연구원-2021-53-534.9607호

2021년도 연구보고서

프리팹 부재를 활용한 교량 모듈화 방안 연구

Development of Modular Bridge System using Prefab Elements

이병주 · 최진웅 · 강상규 · 정경자

공동연구기관 ㈜브리콘

한 국 도 로 공 사

도로교통연구원

▣ 연 구 진

▌ 한국도로공사 도로교통연구원

연구책임자 : 이병주(구조물연구실 연구위원)

참여연구원 : 최진웅(구조물연구실 책임연구원)
강상규(구조물연구실 수석연구원)
정경자(구조물연구실 수석연구원)

▌ 공동연구기관 : ㈜브리콘

연구용역명 : **고속도로 최적화 모듈러 교량 시스템 개발 연구**

용역책임자 : 이순환(대표이사)

세부책임자 : 배성운(이사)
육근만(부장)

참여연구원 : 김성운(부회장)
임영란(차장)
윤정훈(차장)
이경원(차장)
이준환(사장)
김종언(이사)
이가영(과장)
이혜란(실장)
이경효(사원)
조영호(주임)
김재규(대리)
김채현(사원)
한호진(사원)

목 차

목 차 ····· Ⅰ
표 목 차 ····· Ⅴ
그림목차 ····· Ⅶ
요 약 문 ····· Ⅺ
ABSTRACT ····· Ⅻ

제 1 장 서 론 ····· 1
1.1 배경 및 목적 ····· 1
1.2 연구내용 및 범위 ····· 1
1.3 연구개발 방향 ····· 2

제 2 장 환경 분석 및 개발 사례 ····· 4
2.1 건설 산업의 환경 변화 ····· 4
2.2.1 사회 · 문화적 환경 변화 ····· 4
2.2.2 경제적 환경 변화 ····· 5
2.2.3 국내·외 건설 경쟁력 현황 ····· 6
2.2 국내외 모듈러 기술개발 현황 ····· 8
2.2.1 모듈러 교량개발 연구과제 추진 현황 ····· 8
2.2.2 국내 모듈러 기술 적용현황 ····· 8
2.2.3 국외 모듈러 기술 적용현황 ····· 10
2.3 모듈러 시공기술 개발 현황 ····· 12
2.3.1 콘크리트 거더 공법 ····· 12
2.3.2 모듈화 가능 콘크리트 거더 공법 분석 ····· 14

제 3 장 모듈러 교량 시스템 정의 및 적용성 검토 ····· 20
3.1 모듈러 기술 ····· 20

3.2 모듈러 교량 시스템의 정의 ····· 20
3.3 모듈러 교량 기술 단계 정의 ····· 22
3.4 모듈러 부재 가능형식 검토 ····· 23
3.4.1 강재 거더 모듈 ····· 25
3.4.2 콘크리트 거더 모듈 ····· 28
3.4.3 모듈러 바닥판 ····· 29
3.4.4 하부 표준 모듈 구성 ····· 31
3.4.4.1 프리캐스트 조립식 콘크리트 교각 ····· 31
3.4.4.2 CFT 모듈러 교각 ····· 31
3.4.4.3 교각 코핑부 모듈화 기술 ····· 32
3.5 표준 모듈간 연결 및 일체화 방법 ····· 33
3.5.1 표준 모듈간 연결 개요 ····· 33
3.5.2 바닥판과 거더의 연결 ····· 36
3.6 콘크리트 거더 모듈화 한계 ····· 38
3.6.1 운행제한 한계 ····· 38
3.6.2 강연선 프로파일 ····· 39
3.6.3 모듈간 접합부 ····· 39

제 4 장 표준 모듈 개발 ····· 40

4.1 표준 모듈 개요 ····· 40
4.1.1 제한 조건 ····· 40
4.1.2 표준 모듈 대상 ····· 41
4.2 PSC 거더 표준 모듈 ····· 42
4.2.1 표준 모듈 구성 ····· 42
4.2.2 PSC 모듈러 거더 구조 검토 ····· 43
4.2.2.1 30m PSC 모듈러 거더 ····· 44
4.2.2.2 35m PSC 모듈러 거더 ····· 46
4.2.3 형고 변경이 가능한 PSC 모듈러 거더 ····· 50
4.3 CFT 거더 표준 모듈 ····· 55
4.3.1 CFT 거더 표준 모듈 구성 ····· 55

4.3.2 CFT 모듈러 거더 구조 검토 ····· 57
4.3.2.2 Multi Span용 CFT 거더 구조검토 ····· 60
4.3.2.3 이음부 용접검토 ····· 63
4.4 프리캐스트 바닥판 표준 모듈 ····· 64
4.5 거더 표준 모듈 일체화 ····· 67
4.5.1 PSC 거더 표준 모듈 일체화 ····· 67
4.5.2 PSC 모듈러 거더 연속화 ····· 68
4.5.3 CFT 거더 표준 모듈 일체화 ····· 72
4.6 거더와 바닥판간 연결방법 개발 ····· 77
4.6.1 기존 방법 ····· 77
4.6.2 바닥판 전단연결 제안방법 ····· 79
4.6.3 바닥판 종단 연결 ····· 84

제 5 장 모듈러 교량 시스템 설계 ····· 86

5.1 PSC 거더 모듈러 교량 시스템 기본 설계 ····· 86
5.1.1 2경간 연속교 PSC 모듈러 교량 ····· 86
5.1.2 3경간 연속 PSC 거더 모듈러 교량 시스템 ····· 89
5.2 모듈러 교량 시스템 BIM ····· 91
5.2.1 모듈러 교량 시스템 BIM 정의 ····· 91
5.2.2 모듈러 교량 시스템 3차원 설계 ····· 95
5.2.3 모듈러 교량 시스템 축소모형 ····· 99
5.2.4 모듈러 교량 시스템 Pre-Construction 시뮬레이션 ····· 100

제 6 장 모듈러 시스템 활성화 방안 제안 ····· 110

6.1 개요 ····· 110
6.2 모듈러 시스템 경제성 확보 방안 ····· 111
6.2.1 모듈러 부재 규모 및 생산조건 확보 ····· 113
6.2.2 생산 공정 시스템화 ····· 114
6.2.3 유연 생산 시스템 (FMS : Flexible Manufacturing System) 도입 ····· 116
6.2.4 데이터의 디지털화 추진 ····· 117

6.2.5 공사기간 단축 ····· 117
6.2.5.1 현장 시공비용 감소 ····· 117
6.2.5.2 사용자 비용 감소 (편익 증가) ····· 118
6.2.5.3 작업인원 축소에 따른 안전사고 감소 ····· 119
6.2.6 고품질 확보 ····· 124
6.3 모듈러 교량 시스템 적용을 위한 제도 개선 제안 ····· 124
6.3.1 스마트건설 체계 도입 ····· 124
6.3.2 신기술 신공법 적용 인센티브 부여 ····· 125

제 7 장 결론 ····· 127

참 고 문 헌 ····· 129

부 록 ····· 131

표 목 차

표 1.1 연도별 연구목표 및 내용 ····· 2

표 2.1 국내 콘크리트 거더 공법 기술 ····· 13

표 3.1 기존 교량과 모듈러 교량의 차이 ····· 21
표 3.2 국내 도로법 및 도로교통법 차량 운행제한기준 비교 ····· 38
표 3.3 콘크리트 거거별 본당 중량 ····· 38

표 4.1 표준 모듈 구성 ····· 43
표 4.2 PSC 거더 표준 모듈 구조 검토 결과 ····· 50
표 4.3 Single span용 CFT 거더 표준 모듈 및 경간 구성 ····· 55
표 4.4 Multi span용 CFT 거더 표준 모듈 및 경간 구성 ····· 56
표 4.5 CFT 모듈 조합에 의한 Single Span 지간별 거더 모델링 ····· 57
표 4.6 CFT 모듈 거더 Multi span 모델링 ····· 58
표 4.7 CFT 거더 표준 모듈 구조 검토 결과 ····· 62
표 4.8 CFT 모듈러 거더 이음부 용접 크기와 길이 ····· 63
표 4.9 프리캐스트 바닥판 설계 요약 (철근량 산정) ····· 66
표 4.10 PSC 모듈 거더 강선 긴장 순서 ····· 68
표 4.11 PSC 모듈러 거더를 이용한 교량 시공 순서 및 방법 ····· 72

표 5.1 PSC 모듈 2@40.0m 중간 지점부 구조해석 요약 [첨부, 구조계산서 참조] ····· 89
표 5.2 교량 바닥판에 대한 현장타설(R.C) 방식과 프리팹 방식의 분류체계 비교 ····· 95
표 5.3 경간별 모듈 조합 경우의 수 ····· 101

표 6.1 건설 산업 문제점과 모듈화의 기대효과 ····· 110
표 6.2 모듈화 시스템 경제성 확보 분야 ····· 112

표 6.3 모듈화 시스템 경제성 확보를 위한 주요 내용 ····· 112
표 6.4 전국권 차량 1대당 시간가치 ····· 118
표 6.5 BH교 교량 일반정보 ····· 119
표 6.6 신설교량(부항교) 공사비 비교 ····· 120
표 6.7 현장타설 공법과 조립식 공법 비교 ····· 120
표 6.8 제조 및 설치 동원인원 현황 (설계 원안-부분 모듈화) ····· 121
표 6.9 제조 및 설치 동원인원 현황 (현장타설) ····· 122
표 6.10 공사기간 비교 (부항교) ····· 123
표 6.11 PCI의 ABC 교량 건설 공사 계약 사례 ····· 125

그 림 목 차

그림 1.1 연구 수행체계 ····· 2
그림 1.2 개발에 필요한 기술 및 항목별 연구수행 방향 ····· 3

그림 2.1 건설 노동자 변화 추이 ····· 4
그림 2.2 건설안전 재해율 및 사망율 ····· 5
그림 2.3 글로벌 건설시장 성장 추이(IHS Markit(2019.12.30.), IMF(2020.4)) ····· 5
그림 2.4 최근 10년간 해외건설 수주 추이(해외건설종합정보서비스, 2020.3) ····· 6
그림 2.5 프리팹 건설시장 경제 규모 ····· 7
그림 2.5 전단면 프리캐스트 바닥판 국내 시공 사례 ····· 9
그림 2.6 대형자주대차 활용 거더 가설 및 상하부 일괄 가설 사례 ····· 11
그림 2.7 Nodular 거더 특징 ····· 15
그림 2.8 Nodular 거더 시공 순서 ····· 16
그림 2.9 PSC I형 분절 거더 ····· 17
그림 2.10 SegBeam 시공 순서 ····· 17
그림 2.11 HiPC 거더 ····· 18
그림 2.12 HiPC 거더 시공 순서 ····· 19

그림 3.1 모듈러 기술 사례 ····· 20
그림 3.2 모듈러 기술 시스템 기술 컨셉(예시) ····· 21
그림 3.3 모듈러 교량의 효과 ····· 22
그림 3.4 모듈러 교량 기술 수준 단계 ····· 22
그림 3.5 모듈러 교량 시공순서 및 기술의 효과 ····· 23
그림 3.6 강재 모듈러 교량 시스템의 개념 및 모듈조합 개요도 ····· 24
그림 3.7 콘크리트 모듈러 교량 시스템의 개념 및 모듈조합 개요도 ····· 25
그림 3.8 강재 거더 사례 ····· 26
그림 3.9 CFT 거더 현황 및 교량 특징 ····· 27
그림 3.10 트러스를 활용한 다양한 CFT 거더의 조합 형태 ····· 28

그림 3.11 SegBeam 개요 ····· 29
그림 3.12 내부 긴장재를 이용한 프리캐스트 바닥판 패널공법 ····· 30
그림 3.13 요철형 전단면 프리캐스트 바닥판 공법 개요 ····· 30
그림 3.14 프리캐스트 조립식 콘크리트 교각 시공 순서 ····· 31
그림 3.15 다주식 CFT 모듈러 교각 개념 ····· 32
그림 3.16 교각 코핑부 모듈화 시스템 ····· 33
그림 3.17 강재 교량 이음 형식 ····· 33
그림 3.18 PC 세그먼트 FCM 공법 ····· 34
그림 3.19 콘크리트 매치캐스트 제작 ····· 35
그림 3.20 내부 긴장재를 이용한 프리캐스트 바닥판 패널공법 ····· 35
그림 3.21 요철형 루프 철근 이음 프리캐스트 바닥판 공법 ····· 36
그림 3.22 전단연결장치 설치 예 ····· 36
그림 3.23 매립형 착탈식 전단연결재 연구 ····· 37
그림 3.24 콘크리트 거더의 강연선 프로파일 배치 ····· 39
그림 3.25 SegBeam의 매치캐스트 제작 사례 ····· 39

그림 4.1 횡구배를 갖는 직선교량(콘크리트 거더와 전단면 프리캐스트 바닥판 적용 사례) 40
그림 4.2 곡선 교량(콘크리트 거더와 프리캐스트 바닥판 적용 사례) ····· 41
그림 4.3 PSC 모듈 거더 표준 형상 ····· 42
그림 4.4 30m PSC 모듈러 거더 적용 교량 횡단면도 ····· 44
그림 4.5 35m PSC 모듈러 거더 적용 교량 횡단면도 ····· 46
그림 4.6 40m PSC 모듈러 거더 적용 교량 횡단면도 ····· 48
그림 4.7 형고 변경이 가능한 PSC 모듈러 거더 강연선 프로파일 ····· 50
그림 4.8 형고 변형 PSC 모듈러 거더 모듈 구성 ····· 51
그림 4.9 형고 변형 PSC 모듈러 거더 복부 연결 ····· 52
그림 4.10 형고 변형 PSC 모듈러 거더 제품화 ····· 53
그림 4.11 형고 변형 PSC 모듈러 거더 현장 조립 순서 ····· 54
그림 4.12 CFT 표준 모듈을 조합한 Single span CFT 거더 ····· 55
그림 4.13 Multi span용 CFT 거더 표준 모듈 형상 ····· 56
그림 4.14 55m CFT 모듈러 거더 적용 교량 횡단면도 ····· 58
그림 4.15 Single Span CFT 거더 설치 형상 ····· 59

그림 4.16 190m Multi Span CFT 모듈러 거더 적용 교량 횡단면도 ····· 60
그림 4.17 Multi Span CFT 거더 설치 형상 ····· 61
그림 4.18 CFT 모듈러 거더 이음부 ····· 63
그림 4.19 요철형 전단면 프리캐스트 바닥판 공법 개요 ····· 64
그림 4.20 요철형 전단면 프리캐스트 바닥판 형상 ····· 65
그림 4.21 요철형 전단면 프리캐스트 바닥판 시공 순서 ····· 65
그림 4.22 요철형 전단면 프리캐스트 바닥판 일반도 ····· 67
그림 4.23 PSC 모듈 거더 Tendon profile ····· 68
그림 4.24 거더 연속화 지점부 형상 ····· 68
그림 4.25 PSC 모듈 거더 지점부 연속화 시공 절차 ····· 69
그림 4.26 단순교 적용 PSC 거더 표준 모듈 제작과정 및 모듈러 교량 시공 순서 ····· 71
그림 4.27 바닥판 패널과 거더의 연결 방법(FHWA) ····· 78
그림 4.29 모듈러 거더와 전단연결재의 합성 ····· 79
그림 4.30 숨은 전단 포켓 방식 ····· 80
그림 4.31 수평 슬라이딩 전단연결 방식 ····· 81
그림 4.32 수직 삽입 전단연결 방식 ····· 82
그림 4.33 전단포켓 형상 비교 ····· 83
그림 4.34 요철형 루프 철근 이음 프리캐스트 바닥판 공법 ····· 84
그림 4.35 프리캐스트 바닥판 형상 및 상세 ····· 85

그림 5.1 교량 표준 횡단면도 ····· 86
그림 5.2 강선 프로파일 및 지점부 강봉 형상 ····· 87
그림 5.3 합성 전 모델링 ····· 87
그림 5.4 합성 후 모델링 ····· 88
그림 5.5 2경간 PSC 모듈러 거도교의 구조해석 결과 ····· 88
그림 5.6 30m + 40m + 35m 경간 구성 개념 ····· 90
그림 5.7 CFT 교각 일반도 ····· 90
그림 5.8 경간 구성 일반도 ····· 91
그림 5.9 현장타설 방식과 프리팹 방식의 비교 ····· 92
그림 5.10 고속도로공사 작업 분류 체계(WBS : Work Breakdown Structure) ····· 93
그림 5.11 프리팹화 가능 부재를 중심으로 구성한 작업분류체계 ····· 94

그림 5.12 기존 공법과 프리팹 공법의 WBS 분류 체계 비교 ····· 94
그림 5.13 모듈러 부재 3차원 설계도 ····· 97
그림 5.14 BIM 모듈러 부재 3D 모델링, 철근 및 긴장재 배치형상 ····· 97
그림 5.15 바닥판 모델링 ····· 98
그림 5.16 교량 축소 모형의 설계도 및 모형 형상 ····· 100
그림 5.17 표 5.3의 30m A경간 조합 시뮬레이션 ····· 103
그림 5.18 표 5.3의 35m A경간 조합 시뮬레이션 ····· 105
그림 5.19 표 5.3의 35m D경간 조합 시뮬레이션 ····· 107
그림 5.20 표 5.3의 40m A경간 조합 시뮬레이션 ····· 109

그림 6.1 모듈러 공법의 비용절감 분야 ····· 111
그림 6.2 연간 모듈 생산량에 따른 생산성 변화 예시 ····· 113
그림 6.3 표준 모듈 생산을 위한 스마트 팩토리 개념도 ····· 115
그림 6.4 ATO 생산 방식과 디커플링 포인트 예시 ····· 116
그림 6.5 데이터 디지털화 적용방안 예시 ····· 117
그림 6.6 전통적 건설 프로세스와 모듈러 건설 프로세스 비교 ····· 118

요 약 문

최근 건설분야는 현장 작업자 노령화, 전문분야 기술자 감소, 현장근무 기피 등 악조건의 환경변화를 맞이하였다. 전형적인 업무구조와 전통적인 조직체계 등 오랫동안 유지해오던 근무환경을 변화시키기에는 많은 제약이 따르며, 타 분야에 비해 변화되는 모습이 부족할 수밖에 없었던 것이 현실이다. 최근 4차 산업혁명 기술의 발전으로 산업분야 전반에서 이 기술을 융합하여 업무 효율성을 향상키시고 안전하고 품질이 우수한 제품을 생산하고 있다. 건설업 역시 이러한 시대의 흐름에 편승하고자 다양한 방식으로 업무혁신과 체질개선을 추진 중에 있으며, 이 중 건설시스템의 자동화 및 무인화와 관련된 대표적인 방식 중에 하나가 바로 모듈러 기술이며, 이 모듈러 기술을 적용한 교량시스템은 향후 도래할 스마트 건설 분야의 핵심기술로써의 역할을 담당하게 될 것이다.

본 연구에서는 고속도로에 최적화된 모듈러 교량시스템을 개발하고자 하는 목적으로 수행되고 있으며, 교량 형식과 구성 부재별 표준 모듈 및 각 모듈의 조합 · 연결방법 등에 관한 세부기술을 개발하고자 한다. 전체 2년 연구기간 중 당해 2차 년도에는 1차 년도에서 정의한 표준 모듈을 구체화하고 중경간 적용이 가능한 PSC 모듈러 거더 교량 시스템과 장경간 적용이 가능한 CFT 모듈러 거더 교량 시스템에 대한 기본설계를 실시하고 구조검토를 통하여 안전성과 성능을 검증하였다.

모듈러 교량시스템 기술 개발은 새로운 환경의 고속도로 건설 및 유지관리 생태계를 조성하기 위한 필수적인 요소이며, 우리나라 건설기술을 한 단계 발전시키는 계기가 될 것이다. 또한, 이 기술은 미래 도로건설을 선도할 수 있는 토대가 될 것으로 판단된다.

ABSTRACT

Recently, the construction sector faced environmental changes in unfavorable conditions such as aging field workers, decreasing number of technicians in specialized fields, and avoiding on-site work. The reality is that there are many restrictions on changing the long-held working environment, such as the typical work structure and the traditional organizational system, and that it was inevitably lacking in appearance compared to other fields. With the recent development of the fourth industrial revolution technology, this technology is integrated throughout the industry to improve work efficiency and produce safe and high-quality products. The construction industry is also promoting business innovation and constitutional improvement in various ways to jump on the trend of this era. Among them, one of the representative methods related to automation and unmanned construction systems is modular technology, and bridge systems with modular technology will play a role as core technologies in the smart construction field that will come in the future.

In this study, the purpose of developing a modular bridge system optimized for expressways is to develop detailed technologies for standard modules by bridge type and components, and combination and connection methods of each module. Of the total second year, the standard module defined in the first year was specified in the second year. In addition, the basic design of the PSC modular girder bridge system that can be applied in the mid- to long-range and the CFT modular girder bridge system that can be applied in the long-range was conducted and the performance was verified through structural review.

The development of modular bridge system technology is an essential element for creating a new expressway construction and maintenance ecosystem in a new environment, and will serve as an opportunity to further develop Korea's construction technology. In addition, this technology is expected to serve as the foundation for leading the future construction field.

제 1 장 서 론

1.1 배경 및 목적

최근 건설분야는 비약적인 기술발전에 따라 최소비용으로 최대 생산성을 요구하고 있으며, 생산시간 단축, 현장작업 최소화 및 품질안정 확보 등이 필수 요구사항이다. 이러한 요구조건을 충족시킬 수 있는 방법 중의 하나가 바로 교량 구성부재를 모듈화 하여 품질이 보장될 수 있도록 공장제작하고 현장에서 간편하게 조립하는 모듈러 기술이다. 이 모듈러 기술은 다양한 지간에 적용이 가능한 표준 모듈을 이용함으로써 현장 작업의 스마트화를 구현할 수 있으며, 건설 현장 여건변화(근로자 노령화, 기술자 감소, 현장근무 기피 등)에 대비할 수 있다.

한편, 2019년 9월 기준으로 국내 교량 중 공용기간 30년이 경과된 노후교량은 전체교량의 15% 정도를 차지하고 있다. 전체적으로 심각한 노후화의 단계는 아니지만, 점진적으로 노화상태가 가속화되어 2029년에는 전체의 46%, 2039년에는 전체의 87%로 노후화 비율이 급격하게 증가할 것으로 예상된다. 따라서 노후화 교량이 증가함에 따라 손상 부재를 부분 교체하거나 교량 전체를 전면 개량하는 사례가 꾸준히 증가하므로 교통차단을 최소화하여 이용객들의 불편을 초래하지 않는 급속교체 기술이 필요한 실정이다.

모듈러 교량기술은 이러한 시대의 요구사항에 부합하는 최선책이며, 본 연구에서는 고속도로에 최적화된 교량 형식과 구성 부재별 표준 모듈 및 각 모듈의 조합 · 연결방법 등에 관한 세부 요소기술을 개발하고자 한다.

1.2 연구내용 및 범위

본 연구는 고속도로에 최적화된 모듈러 교량시스템을 개발하는 것을 목표로 하고 있으며, 주요 연구내용으로 모듈러 교량 시스템 기술 환경분석과 개발 방향설정, 다양한 경간장에 적용이 가능한 최적화된 표준 모듈 및 조합방법 개발, 모듈러 교량 시스템의 설계 및 해석을 통한 성능 검증, 모듈러 기술 활용 시 제한사항 검토 및 극복방안 마련 등이 있다. 표 1.1에서는 연도별 연구목표와 수행내용을 요약하여 정리하였으며, 그림 1.1에서는 연구수행체계를 도식화하여 나타내었다.

표 1.1 연도별 연구목표 및 내용

구분	연구개발목표	연구개발내용
1차년도 (2020년)	o 모듈러 교량기술 개발 방향 설정	o 현황 조사 및 환경 분석 o 모듈러 교량 대상형식 및 연결방법 검토 o 표준 모듈 개념설계
2차년도 (2021년)	o 다양한 교량 경간장에 최적화된 표준 모듈 및 조합방법 개발 o 모듈러 기술 활용 제한사항검토 및 극복방안 마련	o 중·장경간 교량 시스템 개발 o 표준 모듈 조합 및 연결방법 개발 o 모듈러 교량 시스템 해석 및 기본설계 o 기술 활용 제한사항 검토 및 극복방안 마련

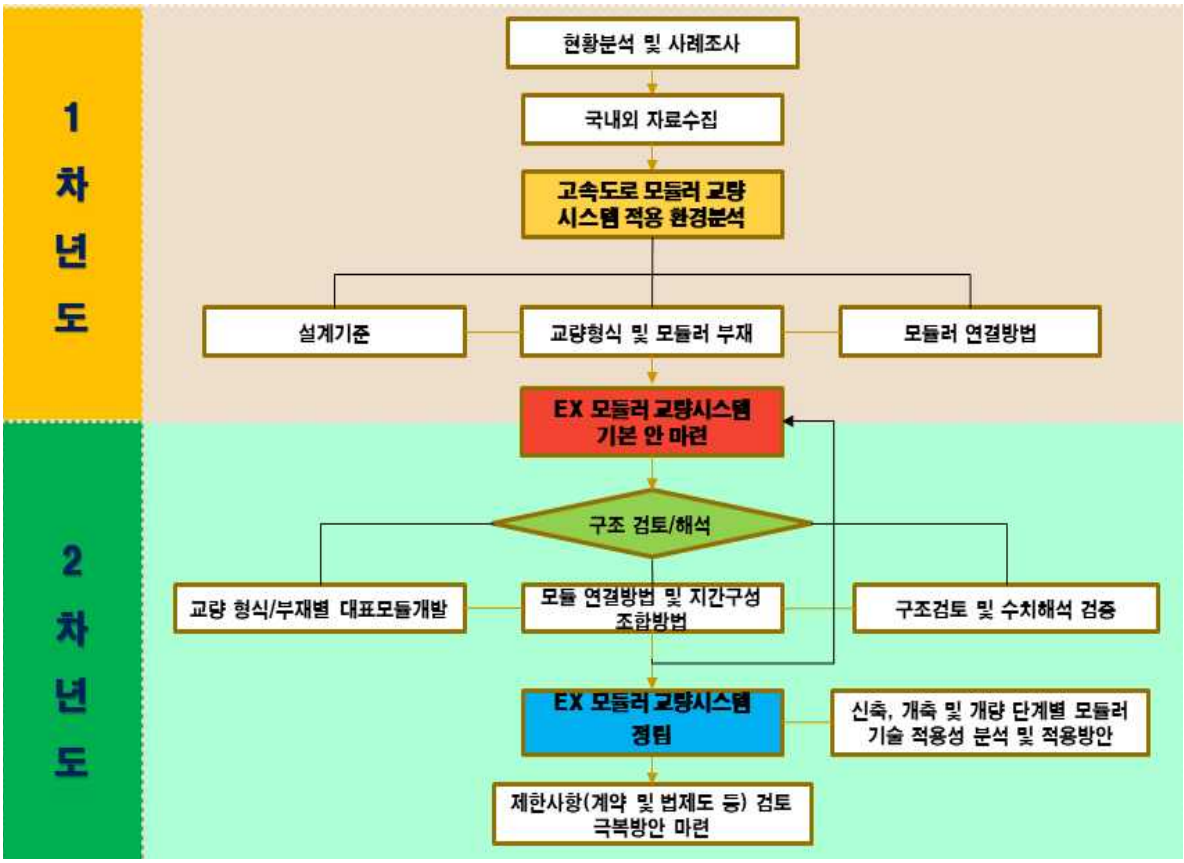


그림 1.1 연구 수행체계

1.3 연구개발 방향

모듈러 교량 시스템을 개발하기 위하여 그림 1.2와 같이 요구되는 기술을 분류하고 각 기술별 연구개발 방향을 설정하였다.



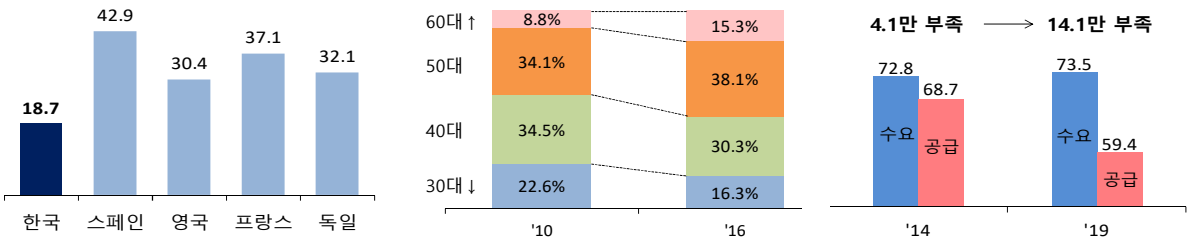
그림 1.2 개발에 필요한 기술 및 항목별 연구수행 방향

제 2 장 환경 분석 및 개발 사례

2.1 건설 산업의 환경 변화

2.1.1 사회 · 문화적 환경 변화

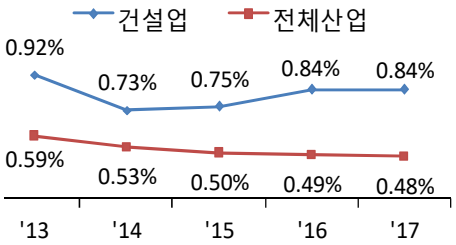
건설산업은 노동집약적 업무구조, 현장의존적인 생산체계, 공급자 위주 산업구조, 참여 주체간 정보전달체계 미흡 등으로 아직 '낡은 전통산업'으로 인식되고 있다. 하지만, 4차 산업혁명을 맞이하여 자동화 · 고객맞춤 · 정보공유 등의 기술을 접목할 경우, 산업 패러다임 전환을 통한 새로운 성장동력 확보가 가능하다. 그림 2.1과 같이 최근에는 작업자의 고령화, 근로시간 단축 등 사회적 환경변화로 인하여 변화와 혁신을 요구하는 강도가 더 세지고 있다. 특히, 생산성이 낮은 건설산업에서 고령화 및 숙력자의 감소 속도가 빠르게 진행되고 있어 건설산업의 자동화와 디지털화의 필요성도 크게 부각되고 있다.



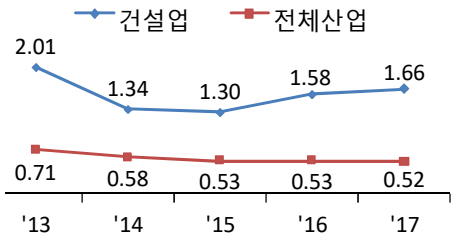
(a) 건설 노동생산성($/시간, 2015) (b) 연령별 건설근로자 비율(%) (c) 숙련인력 수급 전망(만명)

그림 2.1 건설 노동자 변화 추이

또한, 그림 2.2와 같이 건설산업의 재해율은 타 산업에 비해 높은 수준이나, 그동안 지속적인 건설안전 강화 노력에도 불구하고 안전도는 정체되고 있는 실정이다. 이러한 건설현장의 고질적인 안전문제 해결을 위해서도 다양한 기술개발이 필요하다.



(a) 재해율(%,재해자/전체근로자)



(b) 사고사망율(사망자/근로자1만명)

그림 2.2 건설안전 재해율 및 사망율

2.1.2 경제적 환경 변화

그림 2.3, 그림 2.4에서 볼 수 있듯이 코로나19의 세계적 대유행(pandemic)으로 역사상 유래가 없는 공급과 수요의 동시 위축이 발생하면서 2020년 세계 건설시장의 규모도 마이너스 성장을 예상하고 있다. 과거의 경제위기를 고려할 때 이번 코로나19 사태 이후에 V자 곡선의 반등을 예측하기도 한다. 하지만, 이러한 내외부의 상황을 충분히 인식하는 동시에 글로벌 건설시장으로의 도약을 위해 건설기술의 혁신은 반드시 필요하다.



그림 2.3 글로벌 건설시장 성장 추이(IHS Markit(2019.12.30.), IMF(2020.4))

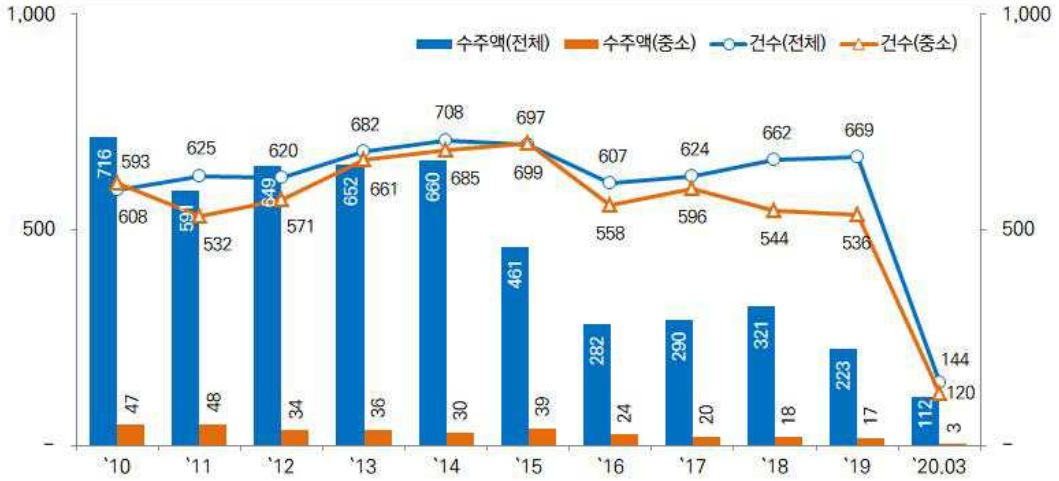


그림 2.4 최근 10년간 해외건설 수주 추이(해외건설종합정보서비스, 2020.3)

2.1.3 국내·외 건설 경쟁력 현황

(1) 건설 노동생산성

미국, 중국, 일본 등 건설업 규모가 큰 세계 41개국의 생산성과 분석한 결과, 우리나라의 건설분야 경쟁력은 상위권 국가의 1/3 ~ 1/4 수준에 해당한다. 우리나라 건설업의 노동시간당 부가가치는 13달러로 벨기에(48달러), 네덜란드(42달러), 영국(41달러), 스페인(41달러) 등 유럽 선진국의 1/3에도 미치지 못하는 실정이며, 슬로바키아(15달러), 사우디아라비아(14달러), 포르투갈(13달러)과 비슷한 수준으로 나타났다.

또한, 국내 건설업의 생산성은 지난 20년간 12~14달러로 정체되고 있는 상황이고, 노동 시간당 부가가치는 시간당 18.7달러로 나타났다. 이는 선진국 대비 50% 수준으로 타 산업의 노동시간당 부가가치가 연평균 4% 증가함에 비해 건설업은 정체되어 있는 것으로 나타났다.

이는 국내 건설 산업의 경우 비양산성, 자연 의존성, 작업 일관성, 사회 환경 의존성, 복합 전문성, 노동 집약성 등의 원인으로 생산성이 타 산업에 비해 낮은 편이며, 해외시장에서도 규모와 비중이 큰 도로·교통 부문에서도 경쟁력이 낮은 것으로 나타났다.

(2) 국내 건설업 경쟁력

2015년 발표된 미국의 ENR지에 따르면, 19개 국가를 대상으로 실시한 글로벌 건설 경쟁력 종합평가에서는 미국, 중국, 스페인 순이며, 우리나라는 7위를 기록했다. 건설 인프라 경쟁력은 미국, 독일, 일본 순이며, 우리나라는 2014년과 동일한 11위로 나타났다. 또한, 건설기업 역량 평가에서는 미국, 중국, 스페인에 이어 2014년과 동일한 6위를 기록하였다.

(3) 4차 산업혁명 기술 개발

현재, 건설기술 발전을 위하여 4차 산업혁명 기술을 도입한 기초기술 개발은 글로벌 IT 기업이 주도적으로 추진하고 있으며, 건설 산업에 특화된 기술은 건설사가 아닌 건설장비 기업 및 솔루션 기업이 주도하는 것으로 나타났다.

캐터필러, 코마츠, Trimble, Leica, Topcon 등 건설 관련 장비를 생산하는 업체는 전통적인 제조 방식에서 벗어나 생산성을 향상시키기 위해 4차 산업혁명 기술 등 첨단기술을 도입하여 다양한 건설장비와 검측장비를 개발하고 있으며, Autodesk는 BIM 설계를 넘어 AR, VR, MR 기술을 바탕으로 한 가상의 3차원 공간에서 도면을 구현하는 기술을 개발 중이다. Vinci, Hochtief, Bechtel 등의 건설사는 IoT 기술을 기획, 설계, 시공, 운영 등 건축 공정의 모든 단계에 적용하여 통합적 관리능력을 갖추는 노력을 추진 중이며, EPC 기업으로 진화 중에 있다.

국내 건설사의 경우 국제 경쟁력은 높은 수준을 유지하고 있지만, 단순시공이라는 한계에 봉착한 상태이며, 시공 능력에 비해 기획 및 설계능력은 여전히 낮은 수준에 있다. 하지만, 최근 대형 건설사를 중심으로 IT 기업과 협업이 이루어지고 있으며, ICT 기술의 도입을 통한 시공능력 향상을 추진하는 등 다각적인 노력하고 있는 실정이다.

(4) 모듈러-스마트 건설시장의 확대 및 시장선점 경쟁 가속

미국, 영국 등은 건설 산업에 3차원 데이터, IoT 기술, 모듈화 건설(프리팹 건설)을 적용하고 있으며, 모듈러-스마트 기술의 발전과 함께 건설시장도 계속 확대되고 있다. 글로벌 프리팹 건설시장은 그림 2.5와 같이 지속적인 성장세를 보이고 있으며, 국내시장의 경우도 2013년 1,200억원 규모에서 2020년 약 9,400억원 규모로 크게 성장한 것으로 나타났다.

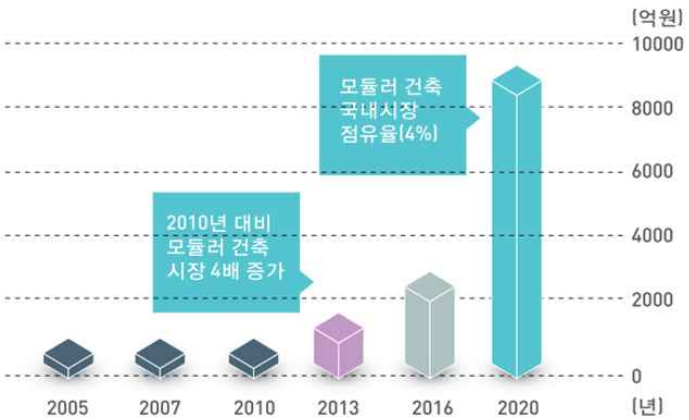


그림 2.5 프리팹 건설시장 경제 규모

2.2 국내외 모듈러 기술개발 현황

2.2.1 모듈러 교량개발 연구과제 추진 현황

현재까지 국내에서 추진된 모듈러 교량 개발 관련 연구과제 추진현황은 다음과 같다.

(1) [최초] 프리캐스트 콘크리트 교량바닥판의 개발 및 실용화(1996~1999, 3년)
- 최종목표 : 국내 최초 전단면 프리캐스트 바닥판 패널 공법 도입
- 시험적용 : 전단면 프리캐스트 바닥판 패널 공법(DPS 공법) 개발 및 실용화를 위해 중부내륙선 시험도로상 삼승1교 시험시공(2002년)

(2) [모듈러교량연구단] 직선교량의 공사기간 단축을 위한 표준 모듈 활용 조립식교량 기술 개발 (모듈러교량 기술개발 및 실용화) (2010~2015, 5년)
- 최종목표 : 세계 최초로 모듈러 기술을 적용한 영구교량을 개발하여 표준 모듈을 활용한 조립식 직선교량(모듈러 직선교량)의 상용화

(3) [ICT교량연구단] ICT 기반 교량 수명 연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재 활용 기술 개발 (2013~2018, 5년)
- 최종목표 : 교량 생애주기에서 발생하는 탄소발생량의 30% 절감 및 공용수명 100년을 보장하기 위한 중경간(200m 이내) 교량 기술 개발

(4) [한국도로공사] 자체 연구과제 추진 현황
- 조립식 교량의 건설기술조사 및 적합 시스템 선정 연구(2005~2006, 2년)
  조립식 교량 공법 요소기술 개발 연구의 직접적인 참여보다는 이미 개발된 공법 중 고속도로 교량에 적합한 공법 선정 연구, 2000년 초반까지의 최신 조립식 교량 공법 및 적용 사례 조사
- 바닥판 급속 교체를 위한 프리캐스트 공법 체계화 연구(2017~2018, 2년)
  최신 전단면 프리캐스트 패널 공법 개발 및 적용 사례 조사
  고속도로 교량바닥판에 적용되는 대표적인 조립식 교량바닥판 공법인 전단면 프리캐스트 바닥판 패널 공법 적용을 위한 기준으로서 공법 가이드라인 제공

2.2.2 국내 모듈러 기술 적용현황

우리나라의 교량건설작업은 대부분 현장타설 작업에 의해 이루어지고 있고 경제적인 이유와 소요장비의 한계 등 많은 제약조건으로 인하여 조립식 교량의 경우 대부분 현장에서 부

재 제작이 이루지고 있는 실정이다. 표준화되어 부재 제작이 가능한 PSC I 거더교 또는 PSC 박스 거더교 등으로 교량형식이 제한되어 있으며, 이러한 조립식 거더는 독립된 제작 공장이 아닌 현장에 부속된 인근 야드를 확보한 후 제한적으로 제작이 이루어진다. 공장 제작이 가능한 모듈러 부재는 바닥판과 특수 거더 일부에 해당하며, 현재는 교량 전체를 모듈화하기에는 여러 가지 환경이 미비한 실정이다.

하지만, 최근 노후화된 교량의 증가로 국부적인 보수·보강 및 구성부재 부분교체 또는 전면 교체하는 수요가 증가함에 따라 모듈러기술 접목사례 또한 증가할 것으로 예상되며, 신설교량의 가설 시에도 고품질 확보와 작업성 개선을 위해 모듈러 기술을 활용한 급속시공법의 적용이 확대될 것으로 예상된다. 모듈러 교량 기술의 개념이 국내에서는 아직 완전하게 정립되지 않은 상태에 있으므로 기술의 개념을 재정립하고 기존 조립식 기술의 개선이 아닌 새로운 교량건설 분야로의 개념정립이 필요한 상태이다. 이를 위해서는 모듈과 부품의 표준화 그리고 선제작/후설계 프로세스 도입이 절실한 실정이다.

국내에서 적용된 모듈러 기술은 교량 건설여건에 따라 제한적으로 활용되어 왔고 기술수준 또한 초기단계에 머무르고 있다. 모듈러 기술의 국내적용 사례를 살펴보면, 먼저 대표적인 모듈러 부재인 바닥판의 경우, 그림 2.5와 같이 서해대교 해상 사장교 구간, 중부내륙고속도로 시험도로 구간 삼승1교, 청주IC교 바닥판 긴급개량공사 그리고 화재에 의한 응급 복구공사로 시공된 부천고가교 등에 적용된 것이 대표적이다. 전단면 프리캐스트 바닥판 개발로 시작된 국내 모듈러 기술의 교량 분야 적용은 영구거푸집으로 활용되는 반단면 프리캐스트 바닥판에서 교각 등의 하부구조 시스템, 거더와 바닥판의 일체화 혹은 프리캐스트 바닥판의 중량을 이용한 거더 구조 합리화 시스템 등으로 확장되고 있다.



삼승1교



청주IC교



부천고가교

그림 2.5 전단면 프리캐스트 바닥판 국내 시공 사례

모듈러 교량의 기술적 난제인 모듈과 모듈의 연결부 상세, 거더와 바닥판을 합성하기 위

한 전단 포켓 구조 상세, 상 하부구조의 경량화 등의 문제를 해결하기 위한 연구가 국내에서 다양하게 수행되고 있다. 프리캐스트 콘크리트 바닥판 개발연구는 현장타설 RC바닥판이 갖는 시공 상 어려움을 해결하기 위한 것으로 프리캐스트 콘크리트 부재 및 복합재료를 응용한 조립식 바닥판 기술인 PPC(Prefabricated Prestressed Concrete) 공법, SPC(Spliced Prestressed Concrete) 공법 등이 개발되어 시공된 사례가 있다. 또한 급속시공이 가능한 교량 하부구조는 한국건설기술연구원, RIST 등 연구기관과 대우건설, GS건설 등 시공업체에서 다양한 기술을 개발하고 있다.

국내에서 전체 부재를 모듈러로 제작하여 시공한 사례는 한국도로공사에서 시공된 천안~아산 고속도로(1공구) 구간의 석정3교가 유일하다. 2018년 시공된 석정3교는 조립식 교각과 개구제형 강합성 거더, 전단면 프리캐스트 바닥판, PC 방호벽 등 모듈 부재로 구성되어 있다. 하지만, 최근에는 스마트건설로의 기술개발 패러다임이 변화됨에 따라 양평~이천, 인주~염치, 대산~당진 등의 고속도로 건설공사에 모듈러 형식 교량이 설계에 반영되고 있다.

2.2.3 국외 모듈러 기술 적용현황

국외의 경우, 대부분의 기술개발은 미국을 중심으로 한 선진국에서 진행 중이며, 모듈러 기술의 적용사례는 임시교량 건설과 급속시공 수요가 있는 일부 교량에 한정되어 있다.

모듈러 기술의 대표적인 사례로 미국의 경우, 고속도로망의 노후화로 인하여 유지관리 측면에서 요구되는 모듈러 기술적용이 대표적인 사례이며, 이를 위해 1990년대 중반부터 FHWA(Federal Highway Administration), AASHTO(American Association of State Highway and Transportation Officials)의 주도로 연구개발과 실증작업이 활발히 진행되고 있다. 미국 대부분의 고속도로망은 1950～1960년대에 건설되어 교량의 노후화로 인한 손상 문제와 통행 수용량 부족문제로 보수 및 보강 혹은 증설교체에 대한 수요가 높다. 이에 따라 1997년 이후 교통통제 최소화 및 공사기간 단축, 생애주기비용 감소, 시공품질 및 안전향상 등을 목표로 FHWA 및 AASHTO가 주도하여 교량급속시공을 위한 모듈러교량 요소 및 시스템 개발을 진행하고 있다. FHWA/AISI Modular steel bridge committee에서는 2010년부터 교량에 모듈러 개념을 도입하여 강교량을 중심으로 바닥판 부착 거더의 모듈화를 주요 내용으로 모듈러교량 전략 수립과 기술개발 계획을 수립하여 추진 중이다.

모듈러 교량의 상부구조 관련 기술은 프리캐스트 바닥판, partial-depth 프리캐스트 바닥판 패널, Exodermic 교량 바닥판 시스템, FRP 바닥판, 채널 콘크리트 단면 거더, 더블 T-거더

등이 있으며, 연결방법으로는 거더 위에 Full-depth 프리캐스트 바닥판을 거치하고 전단 연결재를 통해 합성하는 방법이 일반적으로 적용되고 있다. 기초, 교각, 교대 등의 하부구조의 모듈러 기술 적용은 바닥판이나 거더 등의 상부 구조보다 활발하지 않으며 Texas DOT(TxDOT) 등에서 콘크리트 교각, 코핑부 등을 프리캐스트로 시공한 사례가 있다. 보스톤시는 I-93 고속도로 구간에서 50년이 넘은 노후 교량을 교체하기 위해 1개 교량 당 해체부터 통행 재개까지 55시간 내 완료하는 프로젝트를 수행하였다. 미국에서 모듈러교량을 활용하는 중요한 이유는 공기 단축을 통한 교통혼잡 최소화와 함께 노후교량의 급속교체를 통한 비용절감이 큰 비중을 차지한다.




그림 2.6 대형자주대차 활용 거더 가설 및 상하부 일괄 가설 사례

모듈러 기술의 표준화 특징을 극대화하기 위하여 Massachusetts DOT (Mass DOT)에서는 단일 교량이 아닌 일정 구간의 모든 교량을 개량하는 프로젝트를 추진하여 모듈러 기술의 적용 효율성을 높인 사례가 있다.

교통 혼잡도가 높은 유럽에서는 마찬가지로 공사기간 단축이 주요 이슈로 부각되고 있다. 프리캐스트 바닥판, 상하부 구조 일괄가설 기법 등 모듈러 기술이 적용되고 있으며, 국가 간 합동프로젝트로 연구를 추진하고 있다. 프랑스, 스웨덴, 영국 및 독일에서 모듈러 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되어 부분적으로 시공되고 있다. 프랑스, 스웨덴 등에서 강합성 교량 건설에 Full-depth 프리캐스트 바닥판이 활용되고 있으며, 현장 작업시간 최소를 목적으로 프리캐스트 바닥판과 바닥판의 이음부 콘크리트를 현장에서 타설하지 않고 매치캐스팅(Match casting)을 하거나 요철, 돌기 등을 이용하여 연결부의 상대 처짐을 방지하는 Dry joint에 대한 연구도 최근 진행되고 있다. 독일은 강재 거더와 Partial-depth 프리캐스트 바닥판을 합성한 VFT 거더(Verbundfertigttrager prefabricated composite girder)를 활용한 시공법이 적용되고 있다. 바닥판의 잔여두께를 현장에서 타설하는 VFT 거더 기법은 독일뿐만

아니라 폴란드 등에서도 활용되고 있다. 영국에서는 Full-depth 프리캐스트 바닥판보다 Partial-depth 프리캐스트 바닥판이 주로 활용되고 있다. Partial-depth 프리캐스트 바닥판은 잔여 바닥판 두께의 현장 타설 콘크리트 작업을 위한 거푸집 역할을 한다.

또한, 유럽에서는 국제적 합동 프로젝트를 통하여 모듈러교량 경쟁력을 높이기 위해 노력하고 있다. 모듈러교량 건설 경쟁력 향상을 위해 합동연구프로젝트인 ELEM 프로젝트가 2008년부터 시작되었다. ELEM 프로젝트는 독일, 스웨덴 등이 중심이 되어 착수되었으며, 모듈러교량 건설의 경제성 향상과 가설시간 단축 등을 목표로 하고 있다. EU 도로연구 포럼인 FEHRL(Forum of European National Highway Research Laboratories)에서 2020년까지 장기간의 연구 개발과제로 추진 중인 “Forever Open Road" 프로젝트에서 포장을 포함한 도로의 모듈러 기술 적용이 주요한 연구 아이템 중의 하나로 선정되었다.

일본에서는 대형 건설사 주도로 모듈러교량 연구와 시공 사례가 증가하고 있으며, 공공기관에서는 입지여건에 따른 모듈러 공법 연구가 다각적으로 이뤄지고 있다. 前田(Maeda), 鹿島(Kaijima), 三井住友(Sumitomo Mitsui)와 같은 대형 건설사가 기술개발의 주체가 되어 모듈러교량 관련 기술 개발을 주도하고 있다. 상부구조에 적용되는 모듈러 기술로 프리캐스트 RC바닥판, 프리캐스트 PC바닥판, 강·콘크리트 합성바닥판, FRP 바닥판 및 FRP 콘크리트 합성바닥판 등이 있다. 프리캐스트 바닥판, 프리캐스트 교각 등의 콘크리트 구조 요소를 이용한 모듈러교량에 대한 개발과 함께 강재 교량의 모듈러 기술 개발도 진행 중이다. 상부구조에 집중하여 연구하는 유럽과 달리 하부구조도 모듈러 기술을 적용하기 위해 기초-교각 일체형 공법 개발을 추진하고 있다.

2.3 모듈러 시공기술 개발 현황

2.3.1 콘크리트 거더 공법

국내 콘크리트 거더는 주로 현장에서 제작하는 프리캐스트 콘크리트 거더 공법이 대 다수이며, 대표적인 국내 콘크리트 거더 기술 현황은 표 2.1과 같다. 현재 적용되고 있는 콘크리트 거더 기술 중 공장제작 모듈화가 가능한 공법은 19번, 20번, 21번 항목 등 3건 정도로 분석되었다.

표 2.1 국내 콘크리트 거더 공법 기술

순번	공법명	최대 경간장	최대 형고	기술번호	업체명
1	듀얼-COM 거더 (Dual-Prestressed Composite Girder)	60m	2.4m	특허 10-1585594호	(주) 비티엠이엔씨
2	듀얼-PC 거더 (Dual-Prestressed Concrete Girder)	60m	2.74m	특허 10-1660888호	(주) 비티엠이엔씨
3	변단면PSC-I BEAM (Advanced Prestressed Concrete Beam)	55m	3.24m	건설신기술 648호	(주)에이스이엔씨
4	B.I.B 거더 (Block Integral BrigdgeGirder)	55m	2.74m	건설신기술 774호	(주)지승컨설턴트
5	BH 거더 (Bulb-T Half slab Girder)	60m	2.75m	특허 10-1083600호	토웅이앤씨(주)
6	BiCon거더 (Bi-moment Prestressed Concrete Girder)	50m	2.84m	건설신기술 603호	(주)삼현피에프
7	CPC 거더 (Continuous Prestress Concrete Girder)	50m	2.64m	특허 10-1044469호	(주)오케이건설
8	DR 거더 (De&RetensionablePrestress Concrete Girder)	55m	2.84m	건설신기술 582호	(주)장헌산업
9	EX 거더	55m	2.84m	특허 10-1181154호	한국도로공사
10	Gi-Girder (Green Innovation Gi-Girder)	50m	2.74m	특허 10-1123935호	㈜GI건설
11	Pre 거더 (Haunch Pretension PSC I Girder)	50m	3.14m	건설신기술 752호	(주)장헌산업
12	IPC 거더 (Incrementally Prestressed Concrete Girder)	55m	3.04m	특허 10-0554026호	(주)인터컨스텍
13	MPC 거더 (MonotendonPrestressed Concrete Girder)	50m	2.74m	특허 10-1325154호	SB이엔지(주)
14	SB40 거더 (Curved PSC Box Girder)	60m	2.74m	건설신기술 781호	브릿지테크놀러지(주)
15	PnP 거더 (Preloading & ProgressiveiteGirder)	50m	2.74m	건설신기술 542호	㈜효명ECS
16	Spliced 거더	70m	3.74m	특허 10-1665482호	(주)장헌산업
17	PSC e-Beam (Prestressed Concrete effective Beam)	50m	2.94m	건설신기술 517호	우경건설(주)
18	PSC R-거더 (Pre-Stressed Concrete R Girder)	50m	2.94m	특허 10-1153430호	(주)홍지

19	Nodular 거더 (Nodular Girder with PSC Web)	60m	2.84m	건설신기술 812호	(주)장헌산업
20	PSC I형 분절거더(Seg Beam) (A spliced PSC Girder)	60m	2.74m	건설신기술 690호	(주)인터컨스텍
21	HiPC 거더 (Holed incrementally Prestressed Concrete Girder)	60m	2.74m	건설신기술 784호	삼호코넨㈜
22	SS 거더 (Steel Strengthened Girder)	50m	2.74m	방재신기술 107호	㈜효성
23	n-TOP 거더 (new Transportable Optmized Prestressed concrete girder)	60m	3.20m	특허 10-1248564호	(주)홍지
24	Up Down PSC BEAM	50m	2.84m	특허 10-0567915호	만세코리아
25	V-BEAM	50m	2.30m	특허 10-1106712호	장선건설(주)
26	WPC 거더 (Wide-flange Prestressed Concrete Girder)	50m	2.15m	건설신기술 561호	이엔이건설(주)
27	C 거더 (Curved Connection in PC Girder)	50m	2.74m	특허 10-1080945호	성환이엔씨

2.3.2 모듈화 가능 콘크리트 거더 공법 분석

모듈러 교량 콘크리트 표준 거더의 개발 방향을 모색하기 위해 표 2.1의 19번, 20번, 21번 항목에 대해서 각 공법의 구조적 특성 및 시공절차 등을 분석하였다. 이 세 가지 거더가 가지고 있는 특징을 개선하고 단점을 보완한다면 보다 더 진보된 콘크리트 모듈러 거더의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

(1) Nodular 거더

그림 2.7의 Nodular 거더는 운송 가능한 프리캐스트 콘크리트 부재를 공장에서 제작하고, 현장조립하고 노듈을 이용해 거푸집 없이 콘크리트 타설하여 습식 연결(Wet Joint)하는 공법이다. 프리캐스트 부재의 이송과 인양 그리고 취급에 있어서 편리함을 도모해 현장 작업인력과 시간을 크게 절감, 비용을 줄일 수 있으며, 프리캐스트 부재간 결합 신뢰성이 높은 것이 특징이다. 그림 2.8은 Nodular공법의 시공순서를 보여주고 있다.



그림 2.7 Nodular 거더 특징





그림 2.8 Nodular 거더 시공 순서

(2) PSC I형 분절 거더(SegBeam)

PSC I형 분절 거더는 그림 2.9와 같이 정밀하게 제작한 고강도 블록을 접합 단부로 사용하여 연결부의 구조적 취약성을 보강하는 조립식 거더 공법이다. 접합 블록의 크기를 조정함으로써 하나의 세그먼트 거푸집으로 다양한 길이의 세그먼트 제작이 가능하다.

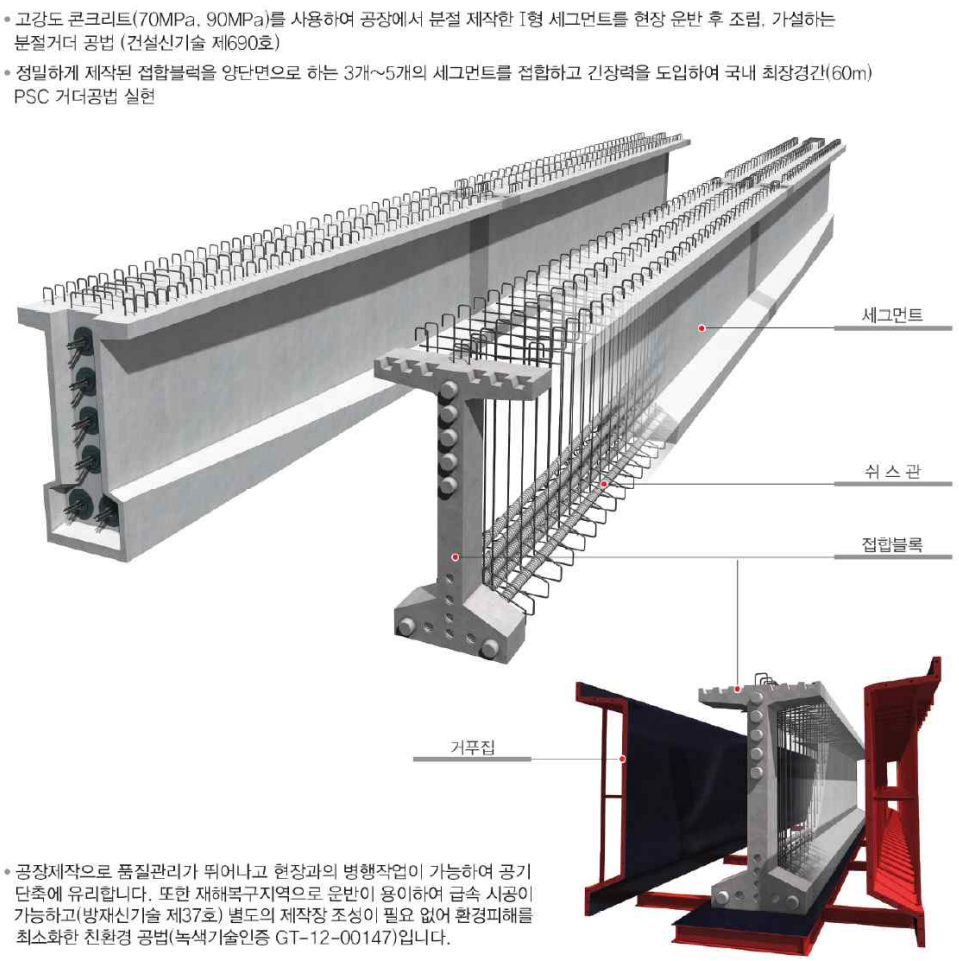


그림 2.9 PSC I형 분절 거더



① 세그먼트 공장 제작



② 양생 및 적재



③ 세그먼트 현장 운반



④ 현장 조립



⑤ 세그먼트 긴장



⑥ 거더 가설

그림 2.10 SegBeam 시공 순서

(3) HiPC 거더

HiPC 거더는 그림 2.12와 같이 PSC I형 거더의 복부에 다수의 중공을 형성하고 중공부를 활용하여 정착장치를 분산하는 공법이다. 단부 정착부와 복부 두께를 최소화하여 거더 자중을 줄이고 단부의 응력 집중을 완화하여 강선량을 최적화하였다. 중공에 정착부를 설치하여 시공단계별 다단계 긴장이 가능하므로 형고를 낮출 수 있다. 60MPa이상 고강도 콘크리트를 사용하여 거더를 분절하거나 일체형으로 제작한다. 그림 2.13은 HiPC 거더의 시공과정을 보여주고 있다.

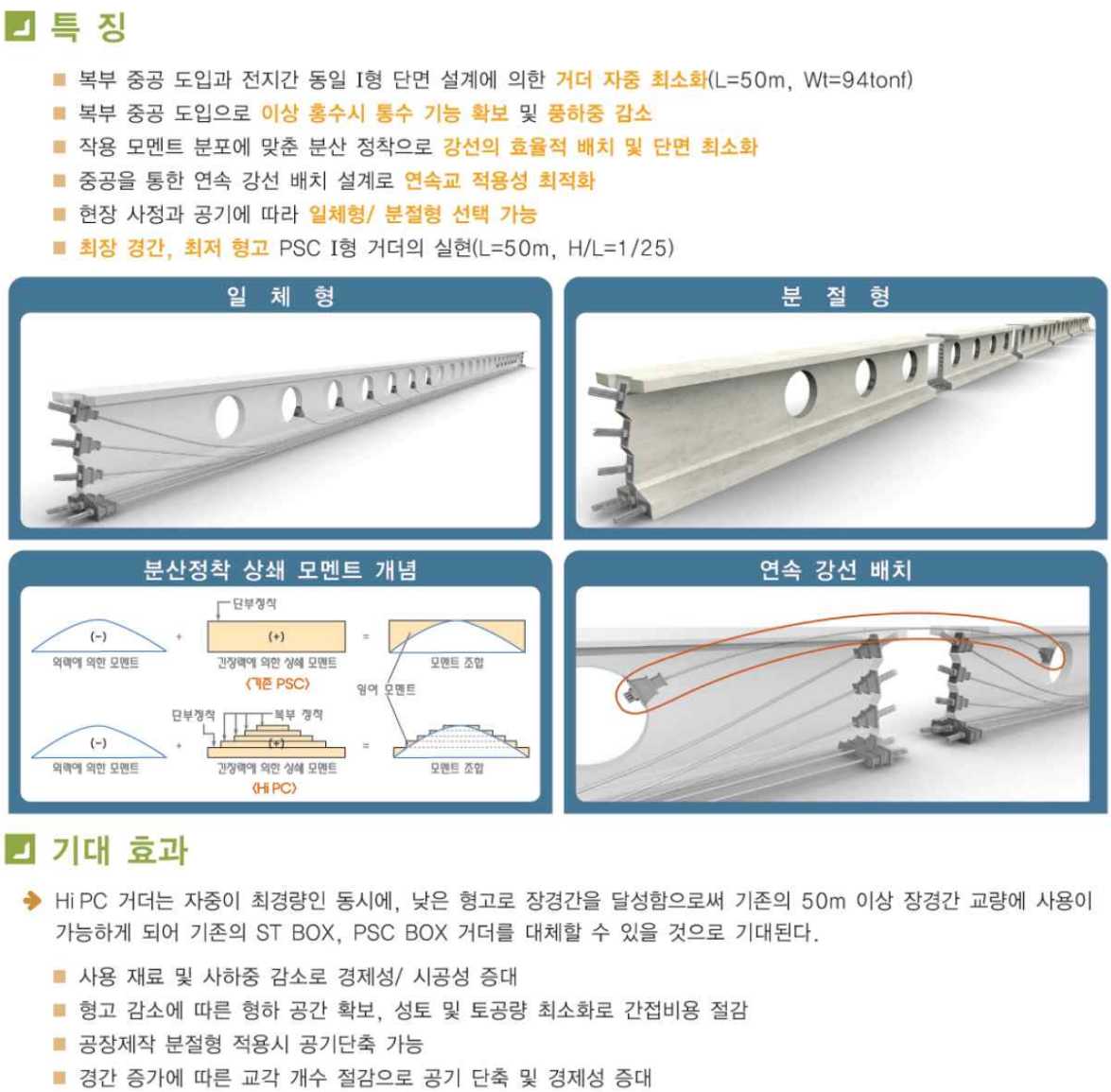


그림 2.11 HiPC 거더



그림 2.12 HiPC 거더 시공 순서

제 3 장 모듈러 교량 시스템 정의 및 적용성 검토

3.1 모듈러 기술

일반적으로 통용되고 있는 모듈러 기술은 레고(Lego)와 같이 사전 제작된 표준 모듈들을 조합하여 다양한 형상 및 구조물을 구현하는 기술이다. 표준 모듈의 교체로 시스템에 부가 기능을 부여하거나 성능 업그레이드가 가능한 Plug-in 기술을 포함한다. 이러한 모듈러 기술을 교량에 접목하면 경제성 개선, 공사기간 단축, 품질안정, 유지관리 편리, 급속시공에 따른 사회 간접비 축소 등에서 큰 효과를 거둘 수 있다.



(a) Lego system (b) Plug-in system (google)

그림 3.1 모듈러 기술 사례

3.2 모듈러 교량 시스템의 정의

모듈러 기술을 교량 시스템에 적용한 기술을 모듈러 교량 시스템이라 정의한다. 모듈러 교량 기술은 그림 3.2와 같이 단위 폭, 교축방향으로 자유롭게 확장되는 표준 모듈(바닥판, 거더, 교각, 교대, 방호벽등)을 공장에서 사전제작하며, 표준 모듈의 DB를 이용한 BIM 설계로 모듈 조합을 통한 교량의 후설계로 이루어진다. 이렇게 모듈 조합 설계에 따라 현장으로 모듈을 운반, 현장 간편 조립으로 교량을 시공하게 된다. 이러한 모듈러 교량 시스템 기술은 교량구조물도 일반 공산품처럼 공장에서 대량으로 제작/유통/공급의 시스템으로 구축이 가능한 기술이며, 종래의 프리캐스트 기술과 확연하게 구분되는 차세대 교량 기술이라 할 수

있다.

종래의 교량(프리캐스트 기술 포함) 기술은 현장 여건을 고려하여 교량의 연장 및 폭원을 결정, 설계가 먼저 선행되고 이 설계를 기반으로 현장에서 시공하는 주문생산 교량 설계 및 시공하는 Custom made 시스템이다. 반면에 모듈러 교량 기술은 사전 제작된 표준 모듈을 공사발주와 동시에 조합하여 현장에 대응할 수 있는 기성품 조합 설계/제작(Ready made) 시스템이다. 이러한 기술의 차이로 생산성이 향상되어 공사비 절감이 가능하며, 공장생산에 따른 자동화/표준화로 고품질 생산이 가능하다. 표준 모듈의 조합으로 시공되므로 공사기간이 단축되며 모듈별 교체가 가능하므로 성능개선 및 유지관리가 용이한 기술이다.



그림 3.2 모듈러 기술 시스템 기술 컨셉(예시)

표 3.1 기존 교량과 모듈러 교량의 차이

구분	기존 교량	모듈러교량
설계/제작방법	맞춤형 교량 설계/제작 (Custom made)	기성품 조합 설계/제작 (Ready made)
선공정	공사발주 후 설계-제작	선설계(Pre-engineered) 선제작(Pre-made/Stocked) 가능

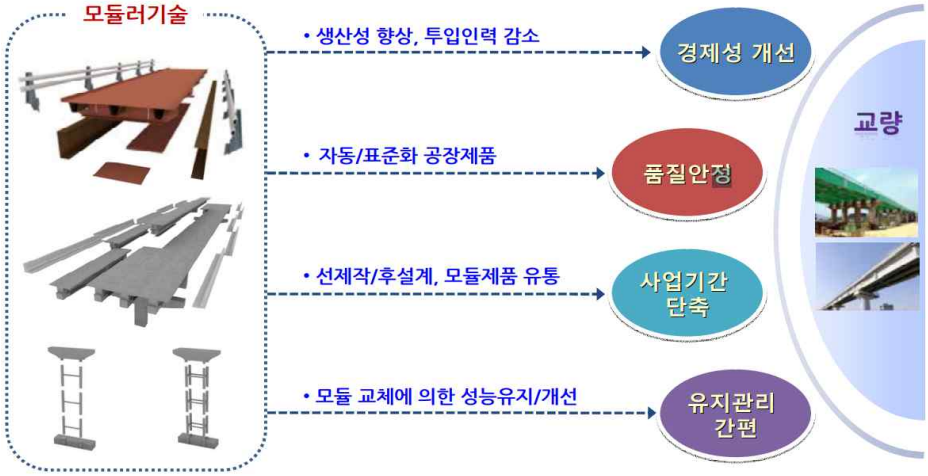


그림 3.3 모듈러 교량의 효과

3.3 모듈러 교량 기술 단계 정의

모듈러 기술은 설계·제작·시공·유지관리 등 건설주기 전 단계에서 자동화 및 무인화를 통하여 건설산업의 스마트화를 실현할 수 있는 대표적인 기술로써, 그림 3.4와 같이 세대를 구분할 수 있으며, 현재의 모듈러 기술은 3세대 수준에서 4세대 수준으로 진화하는 단계에 있다. 그림 3.5에서는 모듈러 교량의 시공 순서 및 모듈러 교량 적용에 따른 효과를 나타내고 있다.

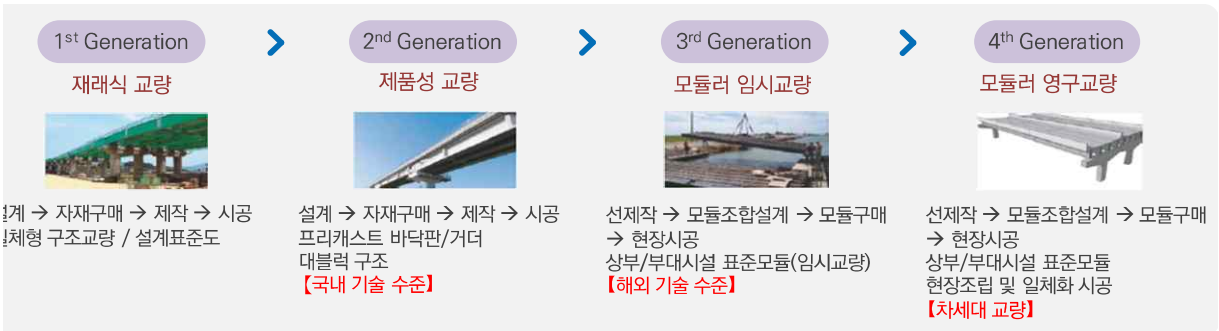


그림 3.4 모듈러 교량 기술 수준 단계



그림 3.5 모듈러 교량 시공순서 및 기술의 효과

3.4 모듈러 부재 가능형식 검토

강교는 원칙적으로 현장 조립이 가능한 모듈화 교량이나 사전 제작 및 후 설계에 의한 모듈 조합에 제약이 매우 크다. 반면에 콘크리트 거더교는 중량적 한계로 인해 현장제작 및 설치가 가장 일반적인 기술이다. 콘크리트 거더의 모듈화 기술은 아직도 현장작업(거더조립)의 공간 및 공기가 소요되는 초기단계의 기술수준이다. 그림 3.6과 그림 3.7은 강교 모듈러 교량 시스템과 콘크리트 모듈러 교량시스템의 개요도를 예시하고 있다.

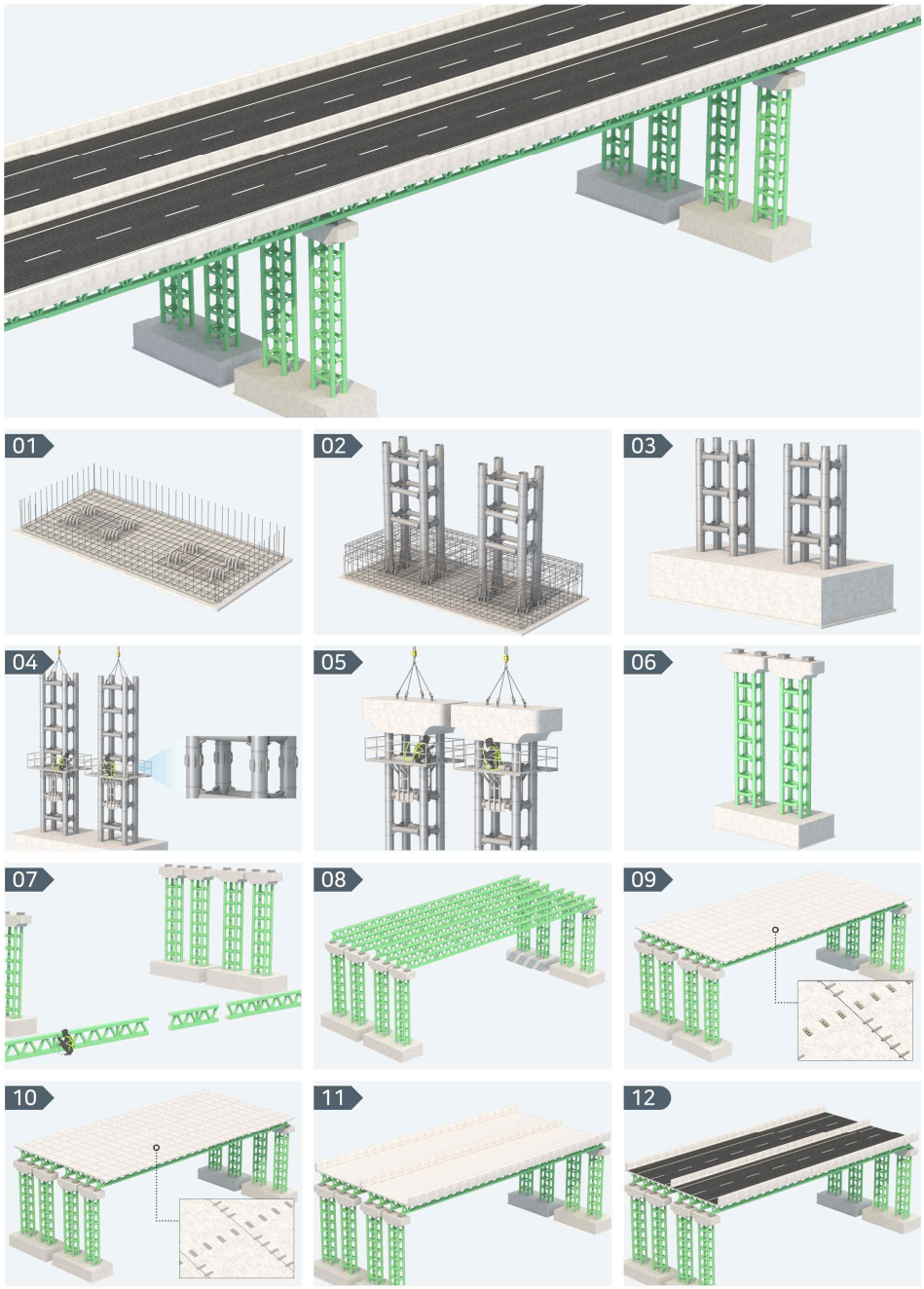


그림 3.6 강재 모듈러 교량 시스템의 개념 및 모듈조합 개요도

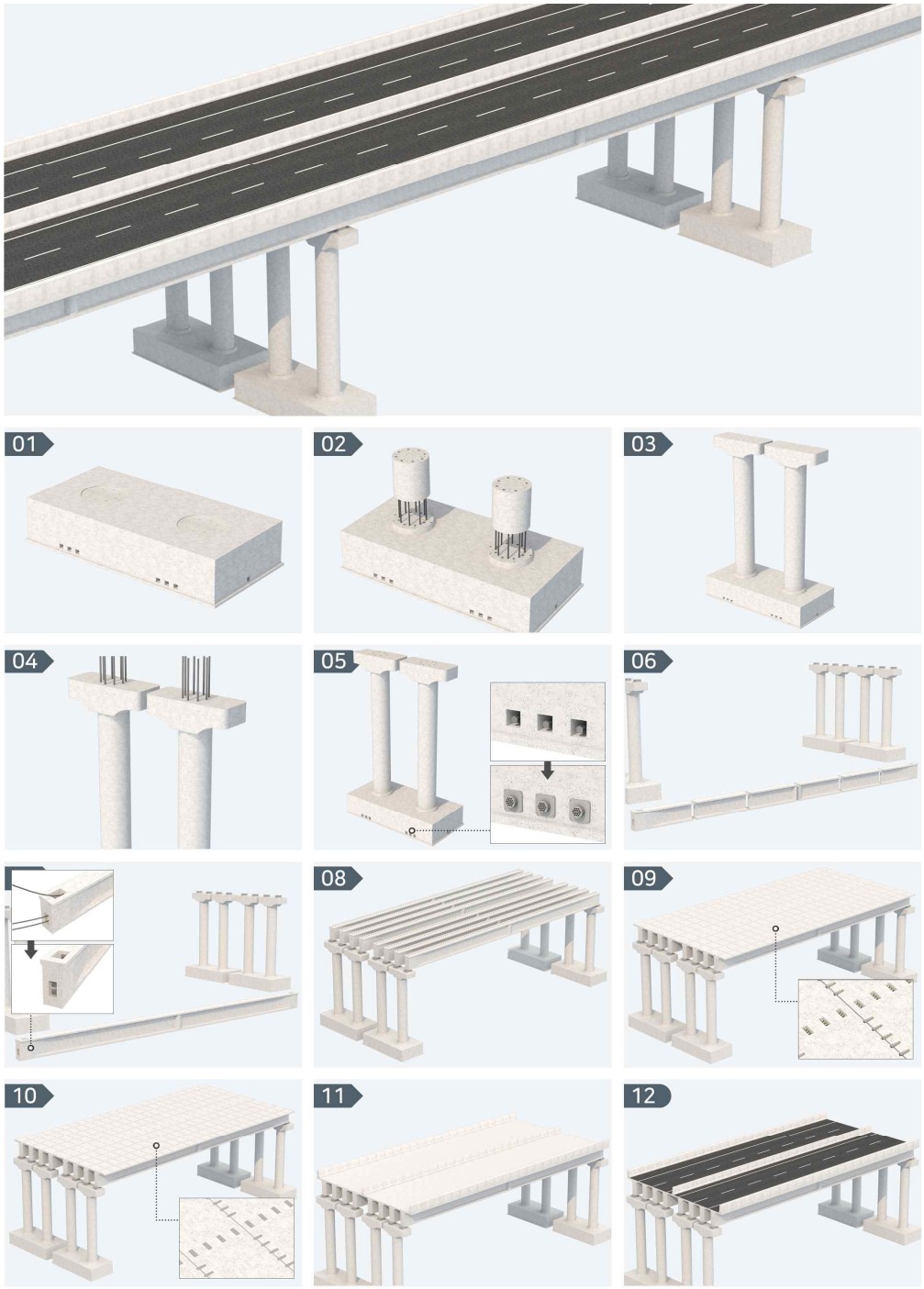


그림 3.7 콘크리트 모듈러 교량 시스템의 개념 및 모듈조합 개요도

3.4.1 강재 거더 모듈

강재 거더는 대부분 프리팹 구조로 이미 설계 및 시공되고 있다. 그림 3.8과 같이 운반 가능한 범위에서 제작하고 현장에서 볼트 또는 용접으로 조립 및 가설하는 교량 시공법이다. 하지만, 시공현장 현황을 고려한 설계가 선행되고 그 설계에 근거하여 거더를 제작하고 설

치되므로 본 과업의 목표에서 정의하는 모듈러 교량에 부합하지 않는다.



(a) 강합성 개구제형교



(b) 조립식 CFT 거더교

그림 3.8 강재 거더 사례

하지만, 그림 3.9의 조립식 CFT 거더 공법을 이용하면 트러스 모듈의 조합으로 다양한 경간장에 적용 가능한 사전제작 모듈화가 가능할 것으로 판단된다.



(a) 조립식 CFT 거더 현황



시공성
- 세그먼트 공장 제작 및 현장 운반
- 현장 공정 절감으로 공기 단축

안전성
- 강재와 콘크리트 일체형
- 현장 조립공정 단순, 안전사고 예방

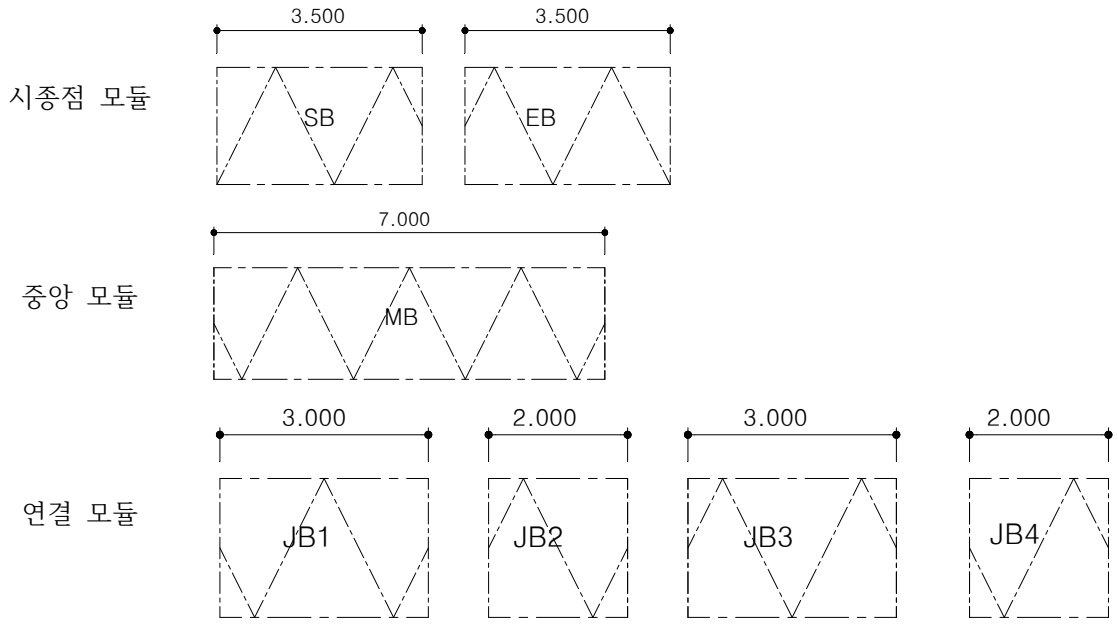
고강성
- CFT 상호작용으로 강성 증가
- 상하현 트러스거더로 형고조정 용이

사용성
- 충실단면 공명억제로 저소음 구조
- CFT에 의한 고감쇠/저진동 구조

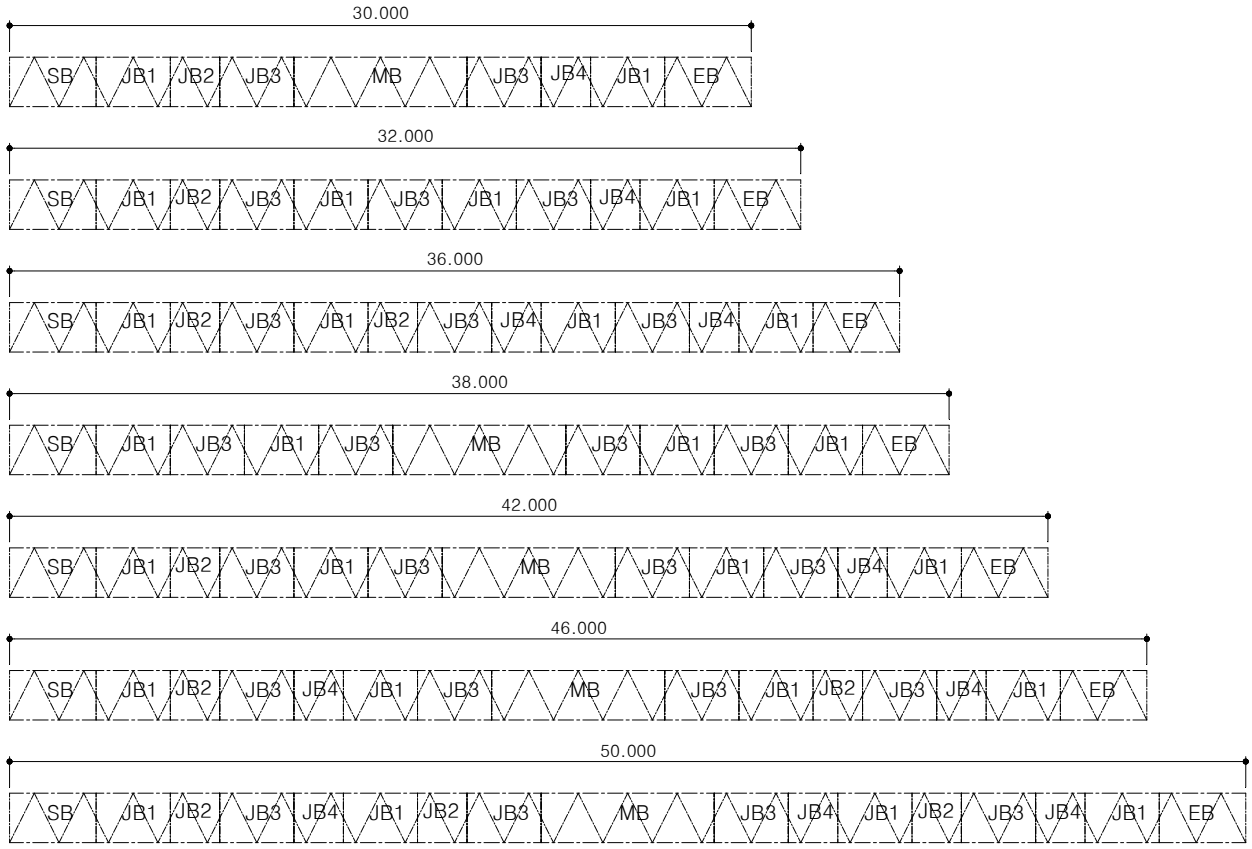
(b) CFT 거더 교량 전경

그림 3.9 CFT 거더 현황 및 교량 특징

조립식 CFT 거더는 상하현재의 CFT 부재를 트러스 형태로 제작하고, 각 세그먼트를 현장 용접으로 일체화하는 공법이다. CFT 부재를 모듈형태로 사전 제작하도록 설계하면 모듈러 공법용 거더로 활용 가능할 것으로 판단된다. 그림 3.10은 다양한 경간에 대한 CFT 거더 모듈조합의 가능성을 보여준다.



(a) 조립식 CFT 거더 경간별 모듈 조합 개념



(b) 조립식 CFT 거더 경간별 모듈 조합 개념

그림 3.10 트러스를 활용한 다양한 CFT 거더의 조합 형태

3.4.2 콘크리트 거더 모듈

콘크리트 계열 교량 거더는 운반 중량과 크기의 제한 때문에 현장 인근에서 제작하여 설치한다. 고강도 콘크리트를 사용한 거더를 분절, 공장제작하고 현장에서 내부 긴장재를 이용하여 일체화하는 시도도 있다. 하지만, 표준 모듈을 사전 제작하여 경간 변화에 맞도록 조립 시공하는 모듈러 공법 개발은 시도되지 않았다. 다음은 현재 모듈러 공법으로 시공되고 있는 SegBeam에 대한 개요 및 시공순서를 정리하였다.

(1) 콘크리트 거더(SegBeam)의 개요 및 시공 순서

그림 3.11은 SegBeam 개요도를 도시하고 있다.

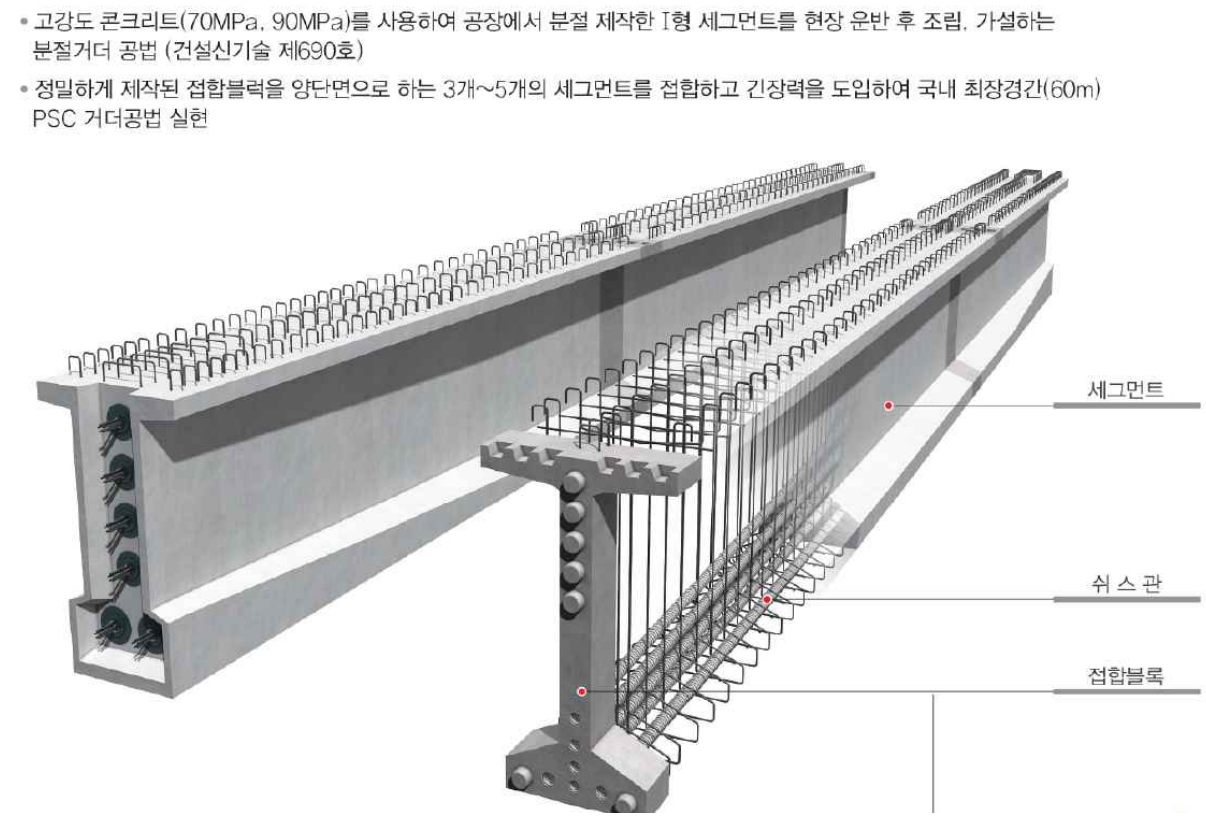


그림 3.11 SegBeam 개요

3.4.3 모듈러 바닥판

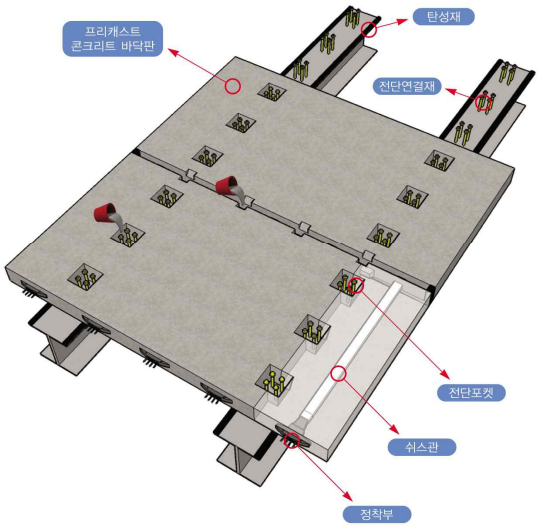
교량 바닥판은 현장에서 콘크리트를 타설하여 완성하는 것이 일반적이었다. 부분적으로 시공되고 있는 반단면 프리캐스트 바닥판 공법은 일정 두께의 패널을 설치하고 이후에 철근 배근 및 콘크리트를 타설하기 때문에 모듈화 개념에는 적합하지 않다.

최근 그림 3.12와 같이 운반, 가설에 적당한 크기로 분할 제작하여 현장에서 조립 완성하는 전단면 프리캐스트 바닥판 적용이 늘고 있다. 이 바닥판은 품질이 우수하고 현장 공정이 획기적으로 줄어 시공 안전성을 높일 수 있는 공법이다. 이음부 일체화 방법에 따라 내부긴장재를 이용한 내부긴장 전단면 프리캐스트 바닥판과 루프철근 요철이음을 이용한 전단면 프리캐스트 바닥판 공법이 교량 공사에 적용 중이다.

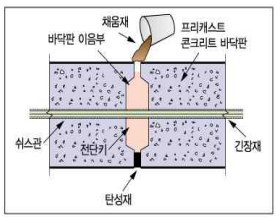
또한, 그림 3.13과 같이 최근 개발된 요철구조 루프형 철근 이음 프리캐스트 바닥판 패널 공법은 이음부를 암수로 구분하여 요철형 격벽으로 제작한다. 루프 철근 이음 연결성능과 요철면 부착성능이 동시에 바닥판의 일체화를 돕는 구조다. 이음부는 고강도 무수축 모르터를 타설하여 후 시공 시간을 단축하고 연결부 성능을 향상시키는 특징이 있다.

바닥판 형상은 도로 기하 구조와 상부 거더 형식에 의해 결정되며, 설계변수를 모두 고려

하면 다양한 교량 바닥판 형상이 필요해져 모듈화 방해요인이 된다. 이에 따라 이 바닥판을 모듈화 하기 위해서는 도로 기하 구조와 거더의 특징에 맞게 바닥판을 표준화하는 연구가 필요하다.

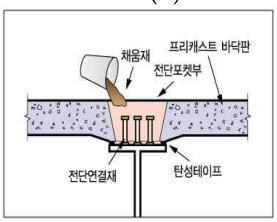


(a) 프리캐스트 바닥판 패널 공법 개요



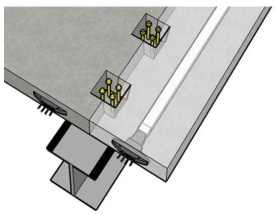


(b) 바닥판간 연결부





(c) 바닥판과 거더 연결부





(d) 프리스트레스 도입

그림 3.12 내부 긴장재를 이용한 프리캐스트 바닥판 패널공법

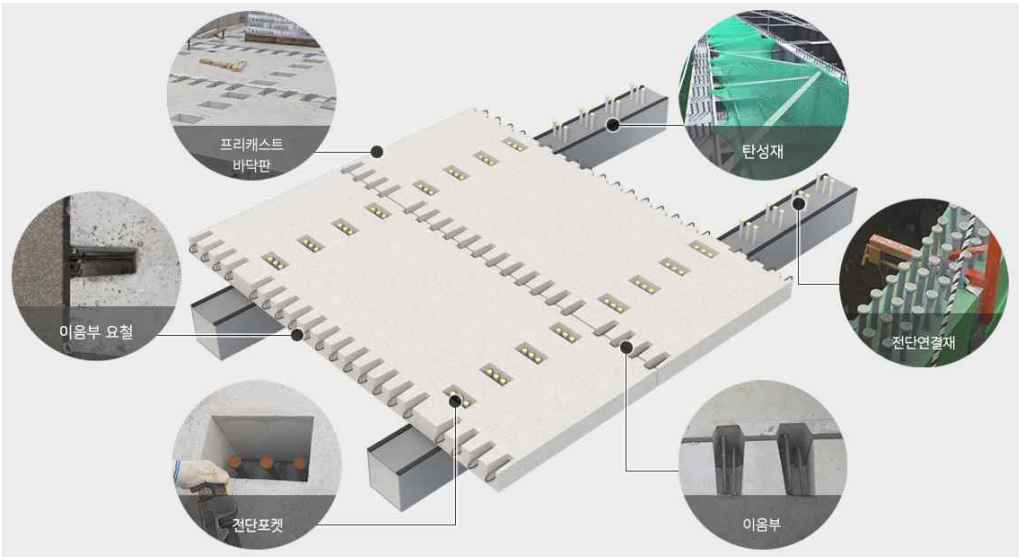


그림 3.13 요철형 전단면 프리캐스트 바닥판 공법 개요

3.4.4 하부 표준 모듈 구성

3.4.4.1 프리캐스트 조립식 콘크리트 교각

교량의 교각 공사는 고소에서 기둥과 코핑부를 제작하기 때문에 시공 효율이 낮고 안전에 취약한 공정이다. 콘크리트 교각에서 반복적으로 시공하는 기둥 부분을 세그먼트로 분할, 공장 제작 후 현장에서 조립하는 공법이 개발되었다. 상부구조(거더 형식 및 교량 폭원등)보다 도로 기하 구조의 영향을 크게 받지 않으므로 표준 모듈 교각 개발이 가능하다. 하지만, 기둥 세그먼트 간 결합이 내부강선 긴장으로 이루어지기 때문에 긴장력 손실로 인해 최대 높이가 20m이하로 제한된다. 긴장방법과 접합부 구조 정밀제작기술을 개발하면 모듈러 교량 표준 교각 제작이 가능할 것으로 판단된다.



① 기둥 메치캐스트 제작



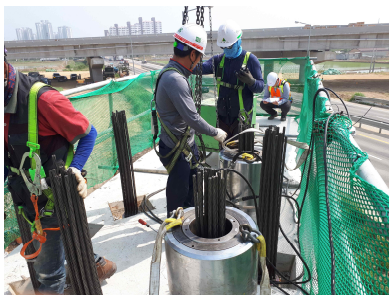
② 기초 프레임 설치 및 배근



③ 기단 설치 및 기초 타설



④ 기둥 조립



⑤ 코핑시공 및 강연선 긴장



⑥ 완공

그림 3.14 프리캐스트 조립식 콘크리트 교각 시공 순서

3.4.4.2 CFT 모듈러 교각

조립식 교각 공법은 프리캐스트 콘크리트 교각, SRC 구조 교각, 단주식 충전 강관 교각 등이 시공된 사례가 있다. 선행 기술의 장점을 연구하여 모듈화 개념(선제작 후설계)에 부합하는 다주식 충전 강관(CFT) 모듈러 교각공법이 적용 가능하다. 그림 3.15에서는 다주식 CFT 모듈러 교각의 개념을 나타내고 있다.

o 다주식 CFT 교각

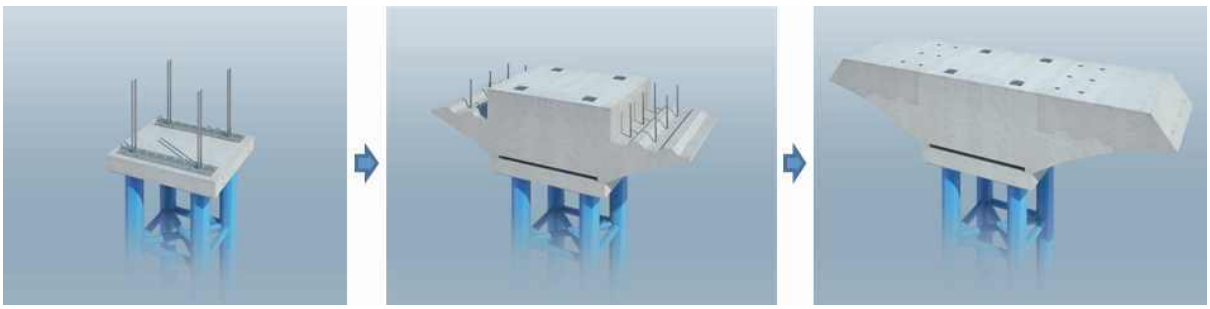
- 공장에서 콘크리트를 충전하여 부재의 구조성능을 향상시킴
- 모듈간 다양한 직렬 및 병렬 연결이 가능하므로 현장적용성이 우수함
- 현장 간편 조립시공으로 고품질 급속시공이 가능함
- 기존 SRC 교각에 비해 경제성이 우수함



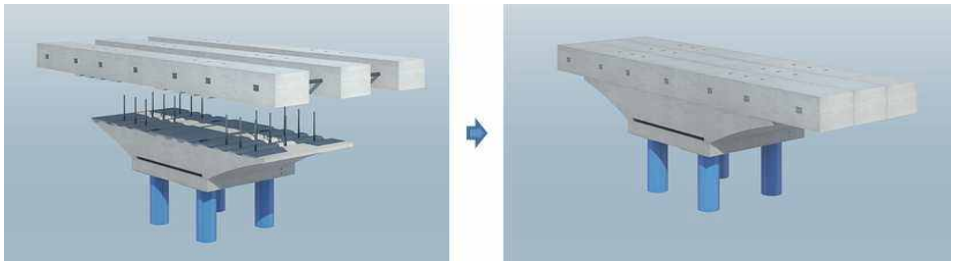
그림 3.15 다주식 CFT 모듈러 교각 개념

3.4.4.3 교각 코핑부 모듈화 기술

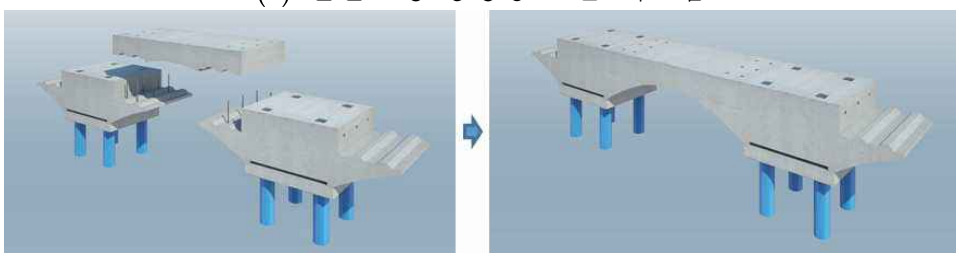
교각 상단 코핑부는 상부구조의 큰 외력을 감당하기 때문에 단면이 크고 철근 배근이 복잡하지만, 도로 기하 구조에 따른 형상 변화가 크지 않기 때문에 표준 모듈 구현이 가능하다. 형상은 단순하나 철근 배근이 복잡한 코핑부를 모듈화하기 위해서 모듈 연결부의 일체화 방법이 중요하다. 국내에서 그림 3.16과 같이 코핑부 모듈화와 연결부 연구가 진행된 사례가 있으나 실물 구조 적용사례는 현재까지는 없는 것으로 파악되었다.



(a) 단일 T형 횡방향 모듈 시스템



(b) 단일 T형 종방향 모듈 시스템



(c) π형 횡방향 모듈 시스템

그림 3.16 교각 코핑부 모듈화 시스템

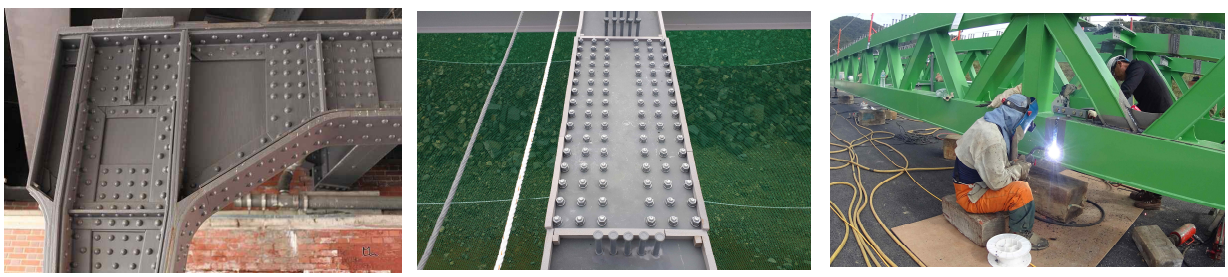
3.5 표준 모듈간 연결 및 일체화 방법

3.5.1 표준 모듈간 연결 개요

모듈러 교량 시스템은 부재 표준 모듈을 결합하여 하중을 지지할 수 있는 구조체를 완성해야만 교량으로써의 기능을 수행할 수 있다. 모듈 결합을 위한 연결부의 구조는 응력전달이 확실해야 하며 편심, 응력 집중, 잔류응력 등이 발생하지 않아야 한다.

(1) 강재 거더의 연결 방법

강재의 연결 방법은 일반적으로 그림 3.17과 같이 리벳이음, 볼트이음, 용접이음이 적용된다. 리벳이음은 1960년대 초까지 널리 사용되었으나 최근에는 고장력볼트에 의한 볼트연결과 용접이음이 주로 사용되고 있다. 부재 연결은 설계하중에 의한 작용 응력의 안전성을 검토하여 설계한다. 모재의 최소 75%이상 강도를 발휘해야 하며, 전단력은 작용력만으로 설계한다.



(a) 리벳 이음 (b) 볼트 이음 (c) 용접 이음

그림 3.17 강재 교량 이음 형식

볼트이음은 지압연결이나 인장연결도 있으나 교량에서는 마찰력에 의해 힘을 전달하는 마찰연결을 사용한다. 볼트이음은 작업이 단순하여 현장시공이 간편하지만 모재 단면손실로 인한 추가 강성이 필요하며 작업 수량이 과다한 단점이 있다. 또한, 용접이음은 인장이나 압축, 전단력 등으로 강성을 전달한다. 모재의 단면손실이 없어 구조적 안전성이 우수하지만, 완전 용입 용접을 요구하므로 정밀한 용접품질관리가 필요하다.

(2) 콘크리트 거더의 연결 방법

콘크리트 교량의 모듈화 공법은 시공 사례가 적다. 콘크리트와 철근의 합성으로 모듈 일체화를 구현하는 다양한 시도가 있다. 그림 3.18의 PSC BOX 거더교는 PC 세그먼트를 이용한 FCM 공법이 시도되고 있지만, 대형 부재의 공장제작 후 운반이 불가능하여 현장 부근 제작장에서 제작하여 가설한다.



그림 3.18 PC 세그먼트 FCM 공법

공장에서 사전 제작하여 현장조립으로 시공 가능한 분절형 콘크리트 거더교와 프리캐스트 조립식 교각 기술이 개발되어 현장에 시공되고 있다. 접합면이 일치하지 않을 경우, 현장 조립과정에서 오차가 누적되어 허용범위를 벗어날 수 있다. 이를 방지하기 위해 그림 3.19와 같이 먼저 제작한 부재의 접합면이 다음 제작 부재의 거푸집면이 되도록 매치캐스팅하여 모

듈을 제작한다. 콘크리트 표준 모듈 개발을 위해 접합부의 제작 정밀도를 향상하는 기술이 필요하다.

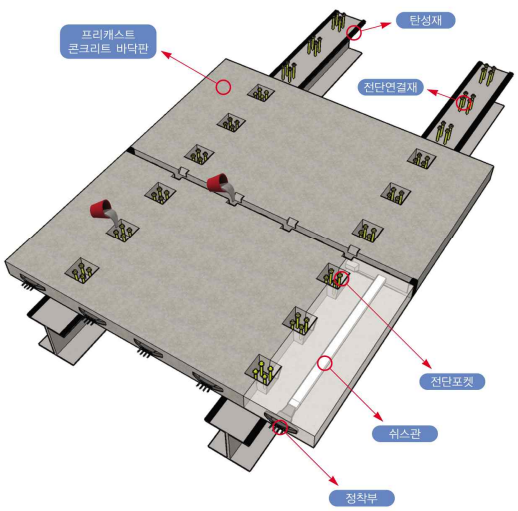


(a) 매치캐스트 거더 제작 (b) 매치캐스트 교각기둥 제작

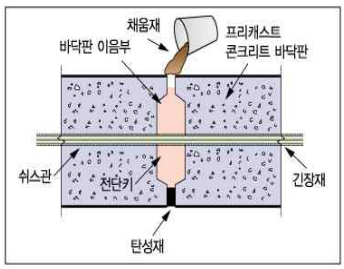
그림 3.19 콘크리트 매치캐스트 제작

(3) 바닥판 연결 방법

그림 3.20과 같이 교량 바닥판을 공장 제작하여 현장에서 조립하는 전단면 프리캐스트 바닥판 기술은 현장적용이 활발하다. 텐던 긴장 일체화 전단면 프리캐스트 바닥판 공법은 바닥판 전 구간에 인장력을 허용하지 않는 구조적 이점으로 연속 지점부의 단면 강성을 증대시키는 장점이 있다. 바닥판에 내부 긴장재를 삽입하고 긴장력을 도입하는 공정이 까다로워 공사비가 상승요인이 된다.



(a) 프리캐스트 바닥판 패널 공법 개요

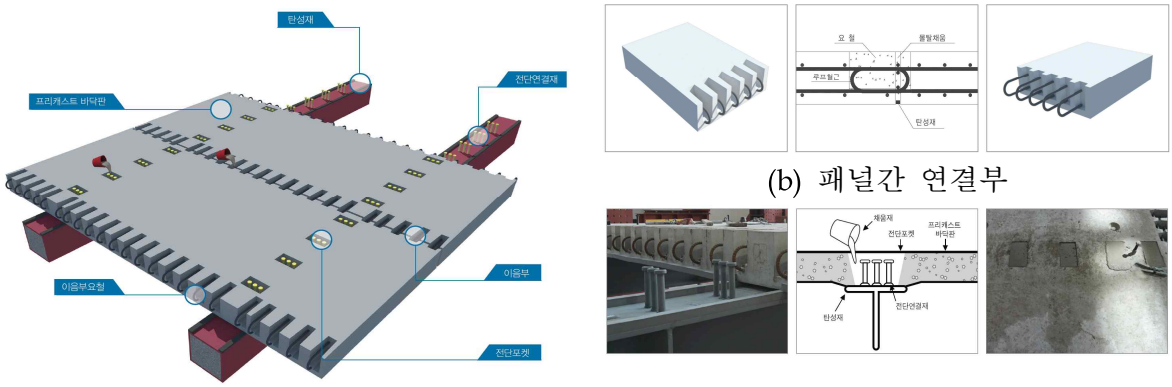




(b) 바닥판간 연결부

그림 3.20 내부 긴장재를 이용한 프리캐스트 바닥판 패널공법

현재는 공사 기간과 공사비용을 절감하기 위하여 그림 3.21과 같이 내부 긴장재를 배제한 프리캐스트 바닥판 패널 공법이 개발되어 교량 공사에 적용 중이다.



(a) 공법 개요

(b) 패널간 연결부

(c) 패널과 거더 연결부

그림 3.21 요철형 루프 철근 이음 프리캐스트 바닥판 공법

3.5.2 바닥판과 거더의 연결

(1) 전단연결장치

콘크리트 모듈 바닥판은 거더 상면의 스터드볼트 혹은 전단연결철근으로 합성한다. 신설 교량은 기 제작한 전단연결장치와 바닥판의 전단포켓을 무수축 모르터 타설로 합성한다. 노후 바닥판 교체공사는 기존 바닥판 해체시 전단연결장치가 같이 철거되어 전단면 바닥판 설치후 전단포켓 내부에 전단연결재를 추가 시공하여 무수축 모르터로 합성한다. 그림 3.22는 전단연결장치의 설치 사례이다.



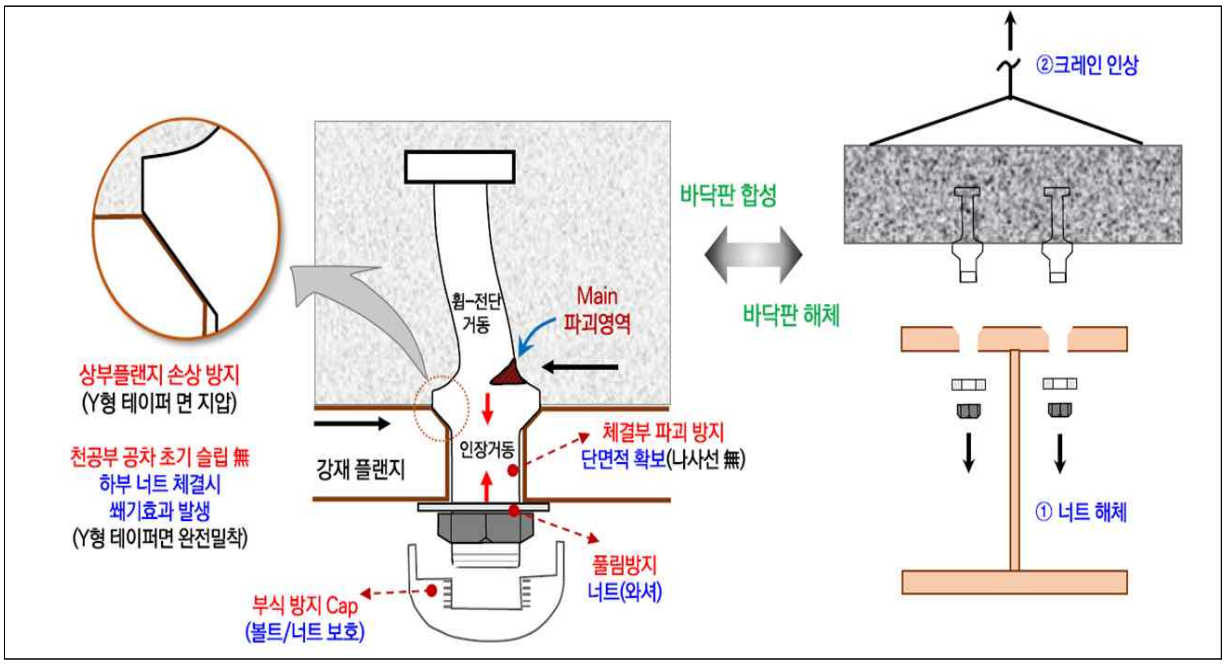
(a) 강재교량의 스터드볼트

(b) 콘크리트교량의 전단철근

그림 3.22 전단연결장치 설치 예

(2) 해체를 고려한 착탈식 전단연결장치

기존 바닥판 해체시 전단연결장치는 절단 파쇄 작업으로 제거한다. 전단면 바닥판 설치 후 용접 또는 앵커 시공으로 전단연결장치를 재설치한다. 해체과정이 복잡하고 거더 상면 손상이 발생할 우려가 있어 그림 3.23과 같이 설치와 해체가 쉬운 탈착식 전단연결장치 개발이 진행되고 있다.



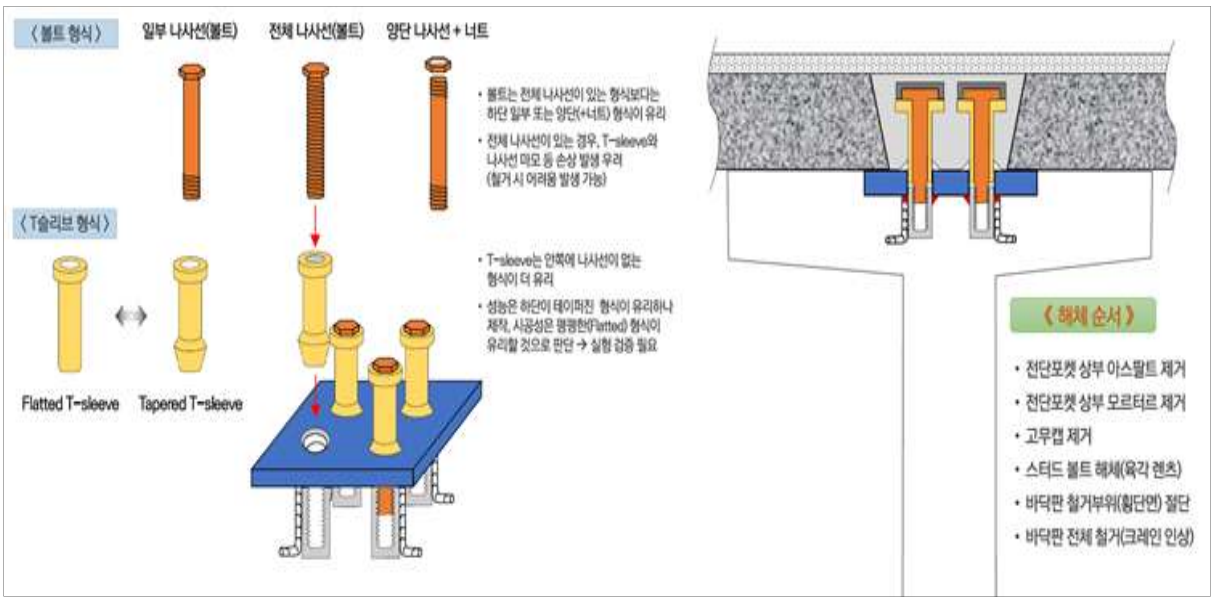


그림 3.23 매립형 착탈식 전단연결재 연구

3.6 콘크리트 거더 모듈화 한계

3.6.1 운행제한 한계

운행차량, 도로구조물, 도로교통, 도로환경의 안전성 확보, 물류의 원활한 수송 등 도로 기능 최대 실현을 위해 운행차량의 제원과 중량에 대한 제한을 제정 · 운영하고 있다.

표 3.2 국내 도로법 및 도로교통법 차량 운행제한기준 비교

구 분		도로법	도로교통법	차량 운행제한규정
제원	길이	16.7m	자동차 길이의 1/10의 길이를 더한 길이	19.0m
	높이	4.0m(4.2m)*	지상으로부터 4.0m(4.2m*)	4.0m(4.2m)*
	폭	2.5m	화물을 후사경보다 낮게 적재한 차량 : 해당화물을 확인할 수 있는 범위	2.5m
			화물을 후사경보다 높게 적재한 차량 : 후방을 확인할 수 있는 범위	
중량	축하중	10.0톤	-	10.0톤
	총중량	40.0톤	적재중량의 11할	40.0톤

* 도로구조의 보전과 통행의 안전에 지장이 없다고 관리청이 인정하여 고시한 도로 노선의 경우

콘크리트 거더는 구조물의 특성상 크기와 중량이 운행제한기준을 초과하여 거더 전체를 공장에서 제작하여 운반하는 것은 불가능하다. 콘크리트 거더 모듈화를 위해서는 도로 운행제한기준을 만족하는 범위 내에서 분할하는 계획이 필요하다.

표 3.3 콘크리트 거더별 본당 중량

거더 형식	거더 연장	거더 중량	비 고	거더 형식	거더 연장	거더 중량	비 고
EX 거더	35m	81.2 ton/본		PnP 거더	45m	118.0 ton/본	
EX 거더	50m	168.0 ton/본		SegBeam	55m	126.6 ton/본	

3.6.2 강연선 프로파일

거더 경간에 따라 강연선 배치 프로파일이 변한다. 거더 분절이 필요한 표준 모듈은 동일한 배치의 텐던 프로파일이 불가능하다. 동일한 강연선 배치로 다양한 경간이 구현 가능한 거더 표준 모듈 개발이 필요하다. 강연선 긴장 효율을 높이기 위해 그림 3.24와 같은 포물선으로 배치하는 것이 유리하다. 하지만, 모듈러 거더의 경우는 모듈의 형상을 최소화하는 것이 요구되므로 거더의 구조적인 성능확보를 위한 효율적인 강선배치가 필요하다.

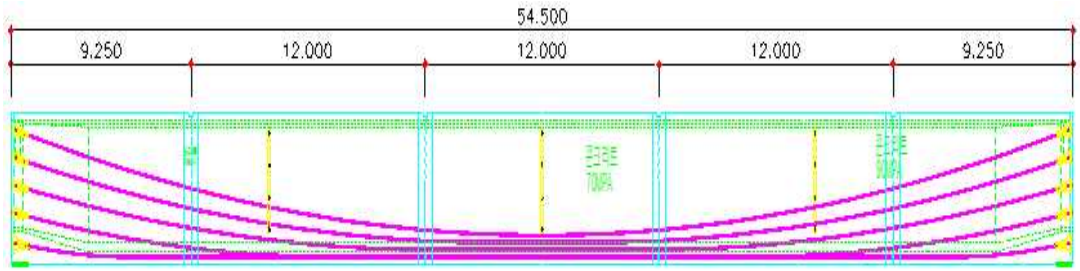


그림 3.24 콘크리트 거더의 강연선 프로파일 배치

3.6.3 모듈간 접합부

표준 모듈 거더 접합부는 그림 3.25의 매치캐스트 제작사례에서와 같이 모듈이 밀실하게 완전 접합되도록 정밀도를 확보하도록 제작되어야 하며, 필요에 따라 전단 저항 장치를 설치하여 접합부 일체화 성능을 높이는 등 접합 성능 확보를 위한 기술 고려가 필요하다.

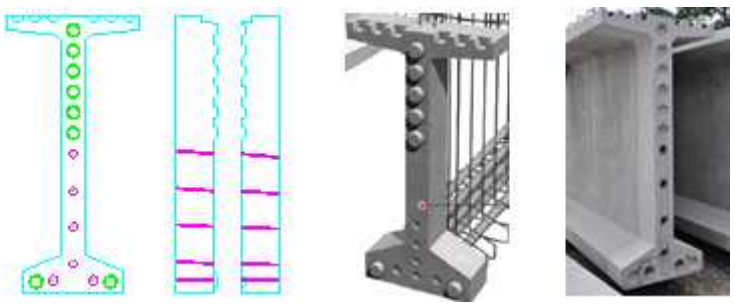


그림 3.25 SegBeam의 매치캐스트 제작 사례

콘크리트 재료는 압축강도는 우수하나 인장강도는 취약하다. 콘크리트로 거더를 제작할 경우 인장 구간의 보강 방법이 필요하다. 콘크리트 압축력을 도입하여 거더 전구간이 압축력만 작용하도록 설계한다.

제 4 장 표준 모듈 개발

4.1 표준 모듈 개요

4.1.1 제한 조건

고속도로 교량은 차량 주행 안전성을 확보하기 위해 다양한 기하학적 변수를 가지고 있다. 차량 주행속도에 맞게 필요로 하는 안전한 회전반경, 도로 노면의 배수를 원활하게 하고 차량 곡선 주행 원심력을 상쇄하는 횡단 경사, 고속도로 진입과 출입 시 그리고 주행 시 원활한 소통을 위해 교통량을 수용할 수 있는 최소한의 교폭, 지형적인 영향으로 인해 곡률의 변화가 발생하는 클로소이드, 도로의 고저 차이에 의한 종단경사 등이 고속도로 교량에 적용되는 설계변수들이다. 이러한 도로의 기하학적 구조는 상호 유기적이므로 하나의 변수만을 고려하는 것은 거의 불가능하며, 모든 형태의 교량을 모듈러화하기 위해서는 기하적인 요건을 충족시켜야만 한다. 이를 위해서는 많은 모듈이 필요하고 결국 모듈러가 갖는 장점이 희석될 수밖에 없다. 따라서 모듈러 구조로 가기 위해서는 최소한의 제한 조건을 설정하여야만 한다.

그림 4.1은 사각이 있고 교폭이 일정하며 교축직각방향 횡단경사를 가지는 교량의 설계 예이다. 이 교량에는 전단면 프리캐스트 바닥판이 적용되었다.

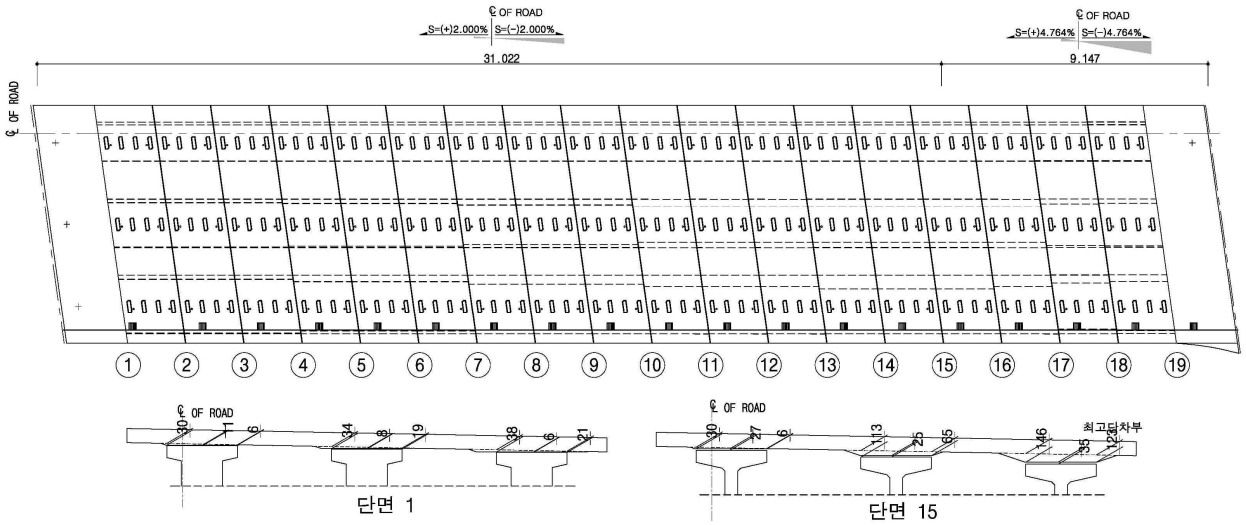
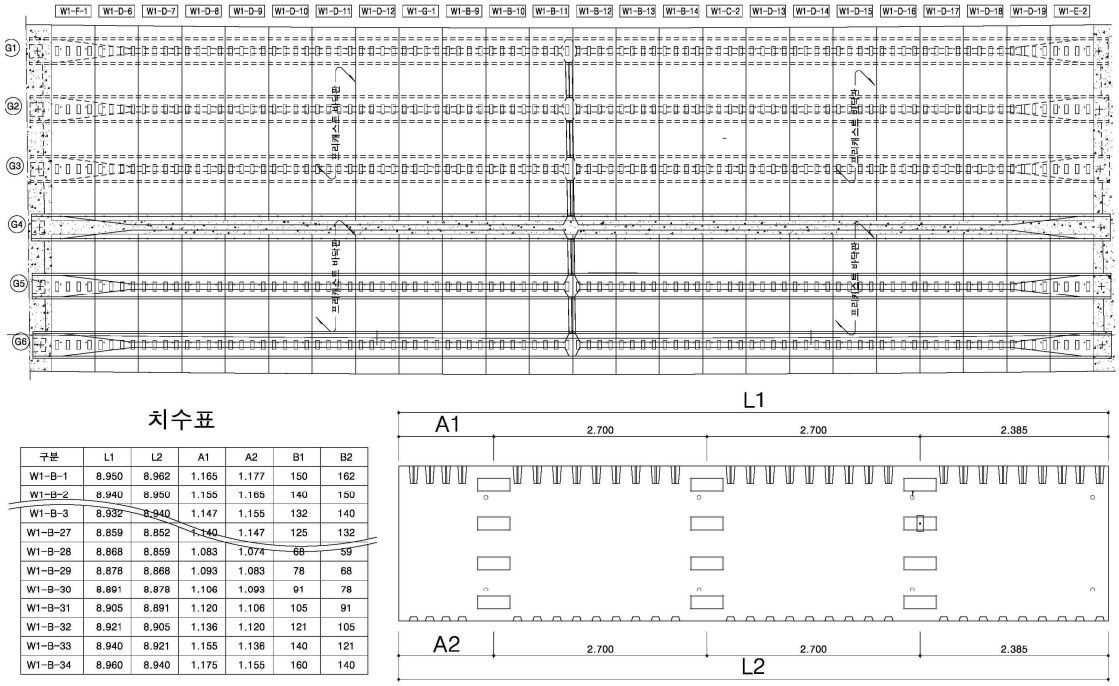


그림 4.1 횡구배를 갖는 직선교량(콘크리트 거더와 전단면 프리캐스트 바닥판 적용 사례)

이 교량의 폭은 동일하므로 거더는 직선으로 배열되고 간격은 동일하다. 교폭의 변화가 없으므로 외측 거더와 바닥판 외측까지 거리 역시 동일하다. 따라서 교량의 횡단 경사 변화에 맞도록 바닥판의 헌치 높이를 조정하면 프리캐스트 바닥판의 모듈화가 가능하다. 하지만, 그림 4.2와 같이 콘크리트 거더가 배치된 전단면 프리캐스트 바닥판을 갖는 곡선 교량(R=2,300m)의 설계로 볼 때, 곡선교에 직선의 콘크리트 거더가 배치됨에 따라 외측 거더에서 바닥판 외측까지의 거리는 모든 바닥판 패널에서 변화가 발생할 수밖에 없으며, 이 경우는 바닥판 모듈화가 거의 불가능하다.



치수표

구분	L1	L2	A1	A2	B1	B2
W1-B-1	8.950	8.962	1.165	1.177	150	162
W1-B-2	8.940	8.950	1.155	1.165	140	150
W1-B-3	8.932	8.940	1.147	1.155	132	140
W1-B-27	8.859	8.852	1.140	1.147	125	132
W1-B-28	8.868	8.859	1.083	1.074	68	59
W1-B-29	8.878	8.868	1.093	1.083	78	68
W1-B-30	8.891	8.878	1.106	1.093	91	78
W1-B-31	8.905	8.891	1.120	1.106	105	91
W1-B-32	8.921	8.905	1.136	1.120	121	105
W1-B-33	8.940	8.921	1.155	1.136	140	121
W1-B-34	8.960	8.940	1.175	1.155	160	140

그림 4.2 곡선 교량(콘크리트 거더와 프리캐스트 바닥판 적용 사례)

위의 두 가지 사례에서 알 수 있듯이 도로 기하구조의 변화를 고려한 표준 모듈 개발은 많은 어려움이 따른다. 따라서 본 과업에서는 현 시점에서 고속도로 지형과 환경에 맞게 적용 가능한 모듈러 공법을 개발하는 것에 주안점을 두었고 교량 설계의 다양한 변수를 최소한으로 줄일 수 있는 직선 교량을 대상 구조물로 한정하여 거더와 바닥판 표준 모듈을 개발하고 기본 설계를 완료하는 것을 목표로 하였다.

4.1.2 표준 모듈 대상

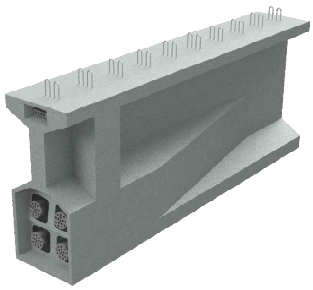
본 연구에서는 고속도로에 최적화된 모듈러 교량 시스템을 개발하기 위한 첫 번째 단계로 다양한 조합이 가능한 표준 모듈을 개발하였다. 이 표준 모듈은 경간장에 따라 15~40m 범위

의 중경간에 적용 가능한 PSC 거더 모듈과 45~70m 장경간에 적용할 수 있는 CFT 거더 모듈로 구분하여 개발하였으며, 설계, 제작, 이동 및 설치 등 모든 조건이 최적화 될 수 있도록 조합방법을 설정하였다.

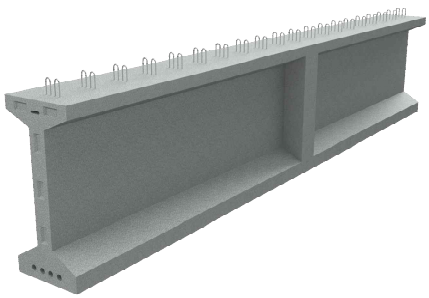
4.2 PSC 거더 표준 모듈

4.2.1 표준 모듈 구성

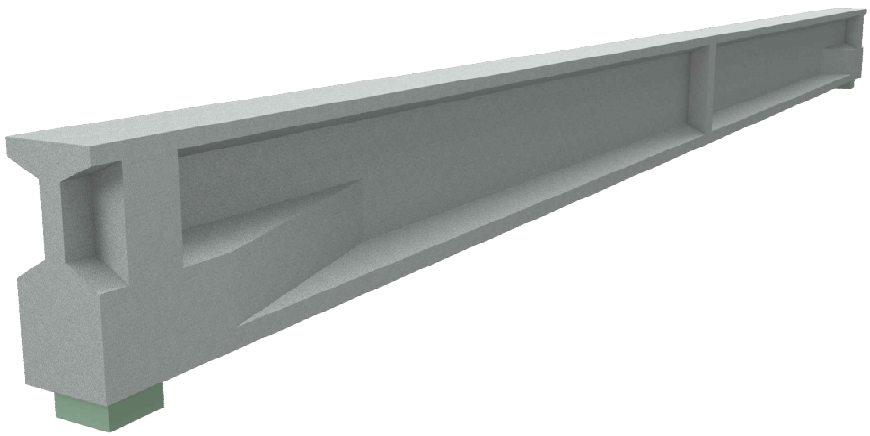
PSC 거더 표준 모듈은 그림 4.3과 같이 7.5m 길이의 단부 모듈 한 종류와 5m, 10m 길이의 중앙부 모듈 두 종류를 조합하여 표 4.1과 같이 15, 20, 25, 30, 35, 40m 경간 구성이 가능하도록 설계할 수 있다. 교량의 기본 설계는 5m 단위의 경간 변화를 모듈 조합 시공하는 것으로 가정하였다. 실증 실험을 통해 모듈러 교량의 실용화 가능성을 확인하여 단부와 중앙부 모듈 타입을 1m, 3m 등으로 제작하면 다양한 경간의 모듈러 교량 구성도 가능하다.



(a) 단부 표준 모듈 (7.5m)



(b) 중앙부 표준 모듈 (5.0m, 10.0m)

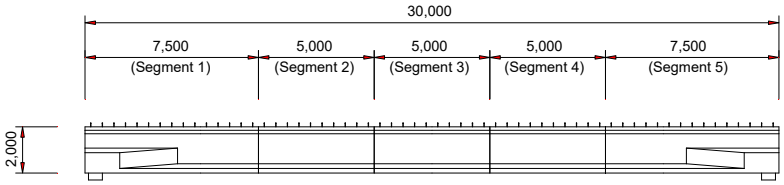
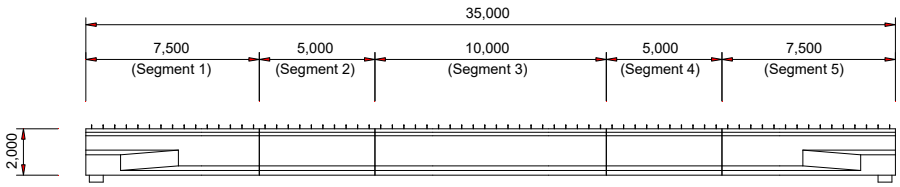
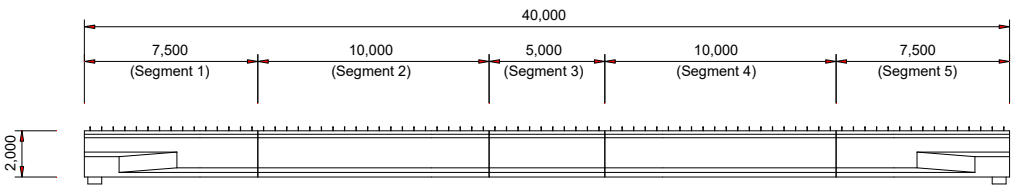


(c) 모듈 조합

그림 4.3 PSC 모듈 거더 표준 형상

PSC 거더의 경간별 표준 모듈 구성은 표 4.1과 같다. 이 표준 모듈은 형고를 2.0m로 고정시키고 구조해석을 통해 내부 긴장재의 양과 긴장값을 설정하여 조합된 거더의 응력수준을 만족시킬 수 있도록 하였다. 최대 정모멘트가 발생하는 거더 중앙부에 이음부가 위치하지 않도록 모듈을 조합하였다. 개별 표준 모듈은 제작 후 이송과정에서 도로 허용중량과 크기를 고려하여 최대 길이와 중량으로 결정하였다.

표 4.1 표준 모듈 구성

구 분	표준 경간 구성
L : 30m H : 2.0m	
	모듈 구성 : 7.5m + 5.0m + 5.0m + 5.0m + 7.5m
L : 35m H : 2.0m	
	모듈 구성 : 7.5m + 5.0m + 10.0m + 5.0m + 7.5m
L : 40m H : 2.0m	
	모듈 구성 : 7.5m + 10.0m + 5.0m + 10.0m + 7.5m

4.2.2 PSC 모듈러 거더 구조 검토

PSC 거더 표준 모듈을 조합한 PSC 모듈러 거더에 대한 구조검토를 수행하였다. 경간장 30m, 35m, 40m에 대한 각 PSC 모듈러 거더를 대상으로 합성 전 및 합성 후에 대한 거더와 합성단면에 대한 모델링을 수행하고 각 경간별로 합성 전후에 대해 구조해석을 수행하였다.

○ 구조해석 프로그램 및 해석방법

- 구조해석 프로그램 : MIDAS Civil (범용 유한요소 해석 프로그램)
- MIDAS PSC 모델 사용, 시공단계해석 수행
- 바닥판 합성 후 3차원 Frame 해석 수행

4.2.2.1 30m PSC 모듈러 거더

○ 적용 교량 및 횡단면

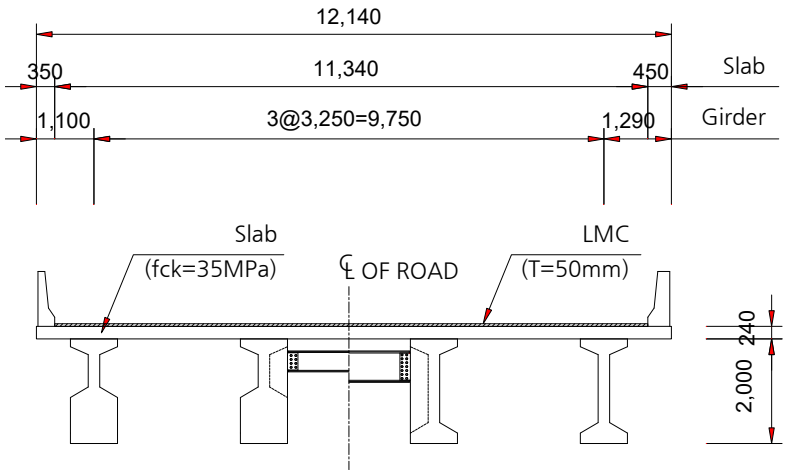
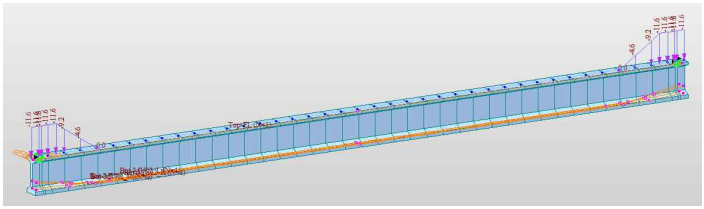
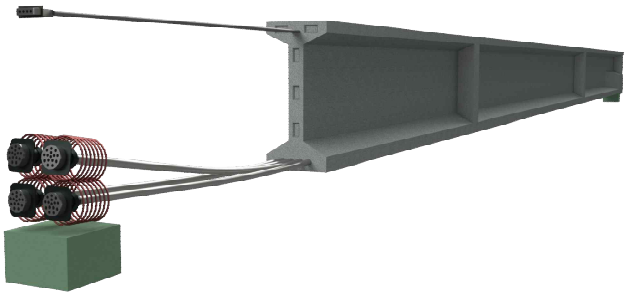
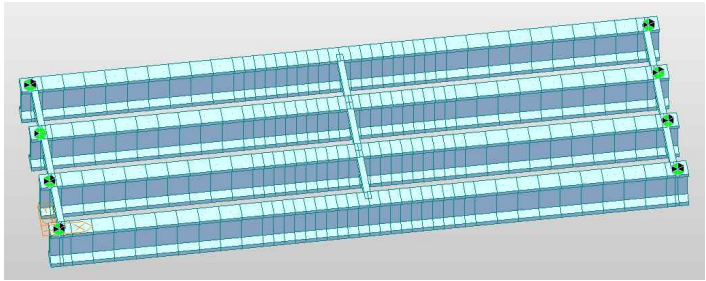


그림 4.4 30m PSC 모듈러 거더 적용 교량 횡단면도

○ 재료특성 및 해석조건

구 분	내 용	비 고
o 콘크리트	f_{ck} = 50.0 MPa	
o Prestress Tendon - 상연 - 하연	f_{pu} = 1,860 MPa Φ15.2mm 5ea x 1 Tendon Φ15.2mm 9ea x 4 Tendon	 Flat type Multi type
o 거더 간격	C.T.C 3.25m	4-girder 적용
o 시공단계 해석	PS강재 장기손실 500,000시간(약 57년) 고려 1day / 7day / 15day / 1month / 3month / 500,000hr (20,833day) 해석	도로교설계기준 5.5.3.2

○ 구조해석 모델링 및 하중재하 조건

구 분		모델링	비 고
30m	합성전	  (텐던 프로파일)	- Tendon Profile : 3차원 모델링 - 단면 변화부 : 추가하중 재하 - 바닥판 합성 전 : 시공단계해석 수행 - 바닥판 합성 후 : 3차원 Frame 해석 - 단부/중앙부 가로보 : 표준 강가로보 적용
	합성후		

○ 구조해석 결과

구 분		부재력M (kN-m)	단면계수(mm^3)		발생응력(MPa)	
			Z_{top}	Z_{bot}	상연응력(f_{top})	하연응력(f_{bot})
거더자중 + Prestress	초기손실 후	2,098.7			-3.067	-13.534
	장기손실 후				-3.437	-11.719
바닥판 자중		1,912.1	398,896,857	444,801,528	-4.793	4.299
2차 고정하중		1,244.3	1,584,133,623	619,491,333	-0.785	2.009
활하중(충격)		2,974.0	1,584,133,623	619,491,333	-1.877	4.801
Summation (공용중, 장기손실 후)					**-10.893**	**-0.611 (Full prestressing)**
검토결과					**O.K! < -30.0MPa**	**O.K! < 3.04MPa**

#1. 부재력이 더 큰 외측 거더에 대한 수치임.
#2. 응력 부호 : (-)압축, (+)인장
#3. 시공 중 거더 허용응력 : 압축 -30.0 MPa, 인장 3.04 MPa

4.2.2.2 35m PSC 모듈러 거더

○ 적용 교량 및 횡단면

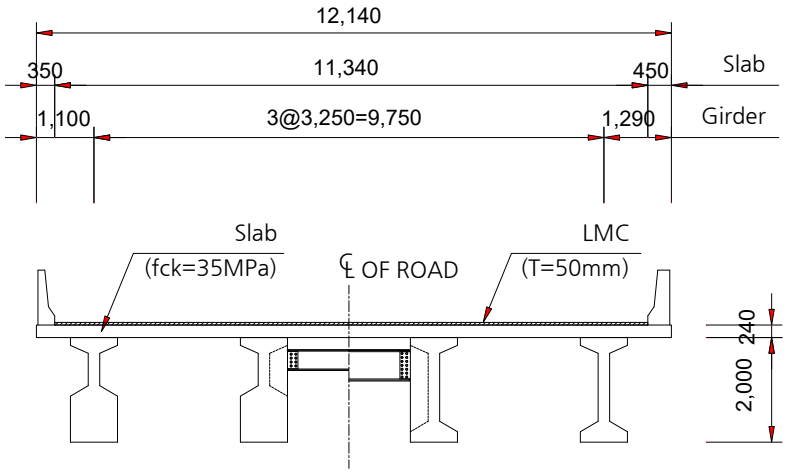
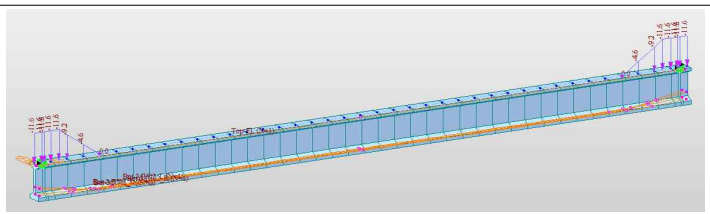
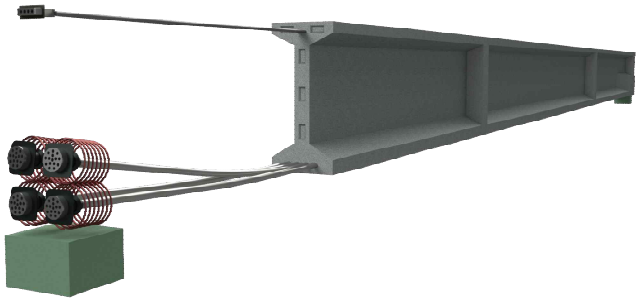
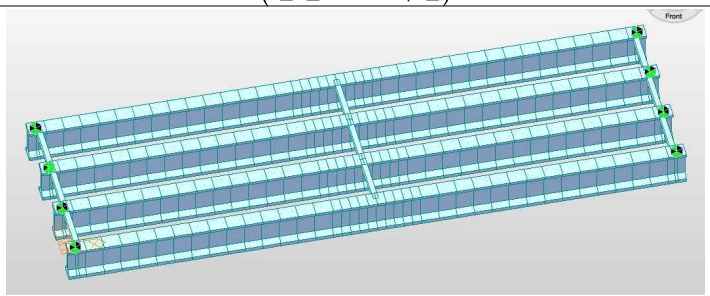


그림 4.5 35m PSC 모듈러 거더 적용 교량 횡단면도

○ 재료특성 및 해석조건

구 분	내 용	비 고
o 콘크리트	f_{ck} = 50.0 MPa	
o Prestress Tendon - 상연 - 하연	f_{pu} = 1,860 MPa Φ15.2mm 5ea x 1 Tendon Φ15.2mm 12ea x 4 Tendon	 Flat type Multi type
o 거더 간격	C.T.C 3.25m	4-girder 적용
o 시공단계 해석	PS강재 장기손실 500,000시간(약 57년) 고려 1day / 7day / 15day / 1month / 3month / 500,000hr (20,833day) 해석	도로교설계기준 5.5.3.2

○ 구조해석 모델링 및 하중재하 조건

구 분		모델링	비 고
35m	합성전	  (텐던 프로파일)	- Tendon Profile : 3차원 모델링 - 단면 변화부 : 추가하중 재하 - 바닥판 합성 전 : 시공단계해석 수행 - 바닥판 합성 후 : 3차원 Frame 해석 - 단부/중앙부 가로보 : 표준 강가로보 적용
	합성후		

○ 구조해석 결과

구 분		부재력M (kN-m)	단면계수(mm^3)		발생응력(MPa)	
			Z_{top}	Z_{bot}	상연응력(f_{top})	하연응력(f_{bot})
거더자중 + Prestress	초기손실 후	2,870.6			-3.349	-17.659
	장기손실 후				-3.960	-15.069
바닥판 자중		2,643.6	401,215,655	455,709,913	-6.589	5.801
2차 고정하중		1,561.2	1,587,876,117	634,177,505	-0.983	2.462
활하중(충격)		3,559.0	1,587,876,117	634,177,505	-2.241	5.612
Summation (공용중, 장기손실 후)					**-13.774**	**-1.194 (Full prestressing)**
검토결과					**O.K! < -30.0MPa**	**O.K! < 3.04MPa**

#1. 부재력이 더 큰 외측 거더에 대한 수치임.
#2. 응력 부호 : (-)압축, (+)인장
#3. 시공 중 거더 허용응력 : 압축 -30.0 MPa, 인장 3.04 MPa

4.2.2.3 40m PSC 모듈러 거더

○ 적용 교량 및 횡단면

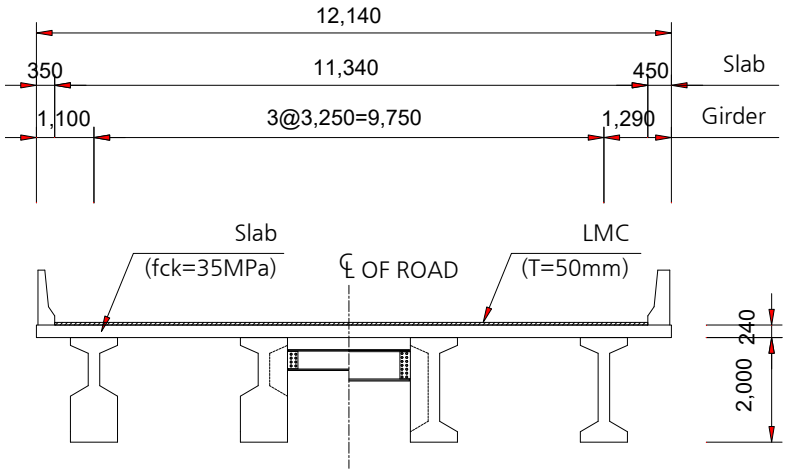
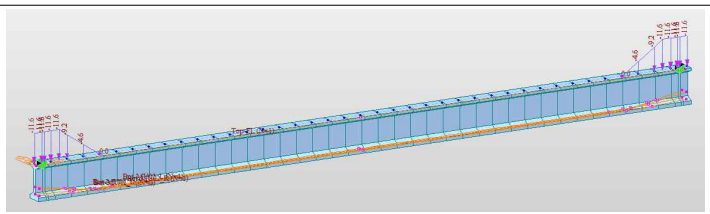
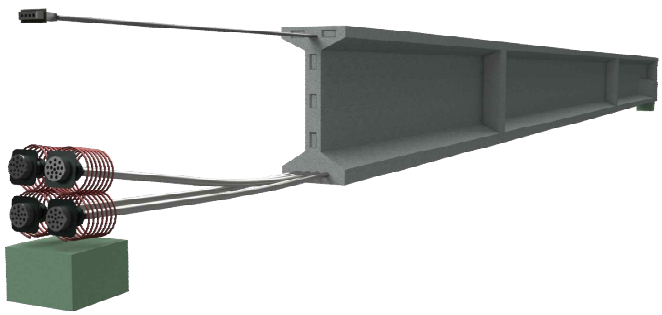
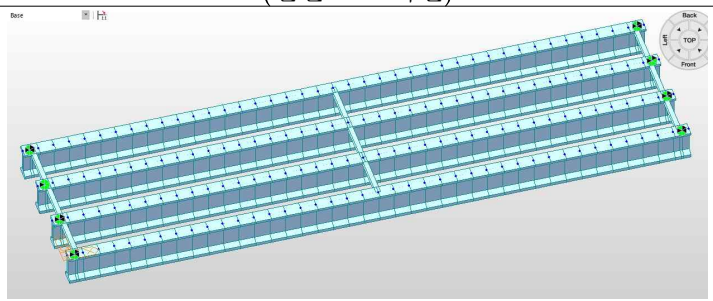


그림 4.6 40m PSC 모듈러 거더 적용 교량 횡단면도

○ 재료특성 및 해석조건

구 분	내 용	비 고
o 콘크리트	f_{ck} = 50.0 MPa	
o Prestress Tendon - 상연 - 하연	f_{pu} = 1,860 MPa Φ15.2mm 5ea x 1 Tendon Φ15.2mm 15ea x 4 Tendon	 Flat type Multi type
o 거더 간격	C.T.C 3.25m	4-girder 적용
o 시공단계 해석	PS강재 장기손실 500,000시간(약 57년) 고려 1day / 7day / 15day / 1month / 3month / 500,000hr (20,833day) 해석	도로교설계기준 5.5.3.2

○ 구조해석 모델링 및 하중재하 조건

구 분		모델링	비 고
40m	합성전	  (텐던 프로파일)	- Tendon Profile : 3차원 모델링 - 단면 변화부 : 추가하중 재하 - 바닥판 합성 전 : 시공단계해석 수행 - 바닥판 합성 후 : 3차원 Frame 해석 - 단부/중앙부 가로보 : 표준 강가로보 적용
	합성후		

○ 구조해석 결과

구 분		부재력M (kN-m)	단면계수(mm^3)		발생응력(MPa)	
			Z_{top}	Z_{bot}	상연응력(f_{top})	하연응력(f_{bot})
거더자중 + Prestress	초기손실 후	3,764.5			-4.001	-21.269
	장기손실 후				-4.858	-17.891
바닥판 자중		3,492.2	403,445,024	466,587,242	-8.656	7.485
2차 고정하중		1,899.2	1,591,461,904	648,847,673	-1.193	2.927
활하중(충격)		4,084.7	1,591,461,904	648,847,673	-2.567	6.295
Summation (공용중, 장기손실 후)					**-17.274**	**-1.184** (Full prestressing)
검토결과					**O.K! < -30.0MPa**	**O.K! < 3.04MPa**

#1. 부재력이 더 큰 외측 거더에 대한 수치임.
#2. 응력 부호 : (-)압축, (+)인장
#3. 시공중 거더 허용응력 : 압축 -30.0 MPa, 인장 3.04 MPa

30m, 35m, 40m 각 경간별로 수행한 구조해석결과를 표 4.2에서 요약하여 정리하였다. 완성계에 대하여 표준 모듈을 이용한 PSC 모듈러 거더는 구조 안전성을 만족하고 있음을 알 수 있다.

표 4.2 PSC 거더 표준 모듈 구조 검토 결과

구 분	구조해석 결과 요약
30.0m	• 하부 강선 15.2mm 36개의 PS강선 적용 시 최대 발생응력 - 하연 인장응력 : 0.61MPa < 3.04MPa(허용인장응력) ∴ O.K - 상연 압축응력 : 10.89MPa < 30.00MPa(허용압축응력) ∴ O.K
35.0m	• 하부 강선 15.2mm 48개의 PS강선 적용 최대 발생응력 - 하연 인장응력 : 1.19MPa < 3.04MPa(허용인장응력) ∴ O.K - 상연 압축응력 : 10.89MPa < 30.00MPa(허용압축응력) ∴ O.K
40.0m	• 하부 강선 15.2mm 60개의 PS강선 적용 최대 발생응력 - 하연 인장응력 : -1.18MPa < 3.04MPa(허용인장응력) ∴ O.K - 상연 압축응력 : 17.27MPa < 30.00MPa(허용압축응력) ∴ O.K

※ 검토조건 : PS강재 장기손실 후 공용 중 안전성 검

4.2.3 형고 변경이 가능한 PSC 모듈러 거더

형고가 고정된 표준 모듈을 사용하여 모듈러 교량을 조합할 경우, 설계 단면은 최대 경간을 기준으로 결정되기 때문에 경간이 짧은 경우 형고가 필요 내력보다 높게 설계되는 과다설계가 발생한다. 이를 보완하기 위해 형고 변경이 가능하고 부재 단면을 최적화하는 기술을 개발하였다. 그림 4.7과 같이 상하부 모듈에 강연선을 직선으로 배치하여 거더 연장에 대한 텐던 프로파일 변화가 없도록 하며, 그림 4.8과 같이 거더 모듈을 단부와 중앙부로 구분하고 각 모듈을 상부플렌지와 하부플렌지로 분할한 형태이다.

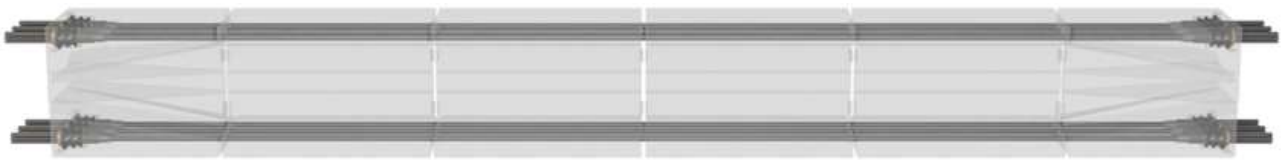
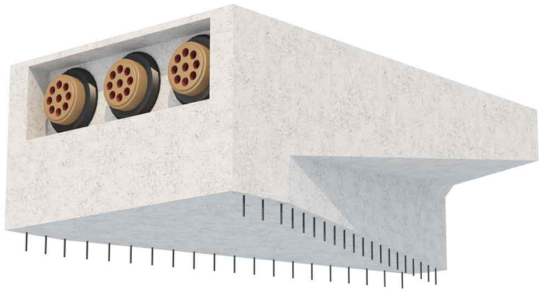
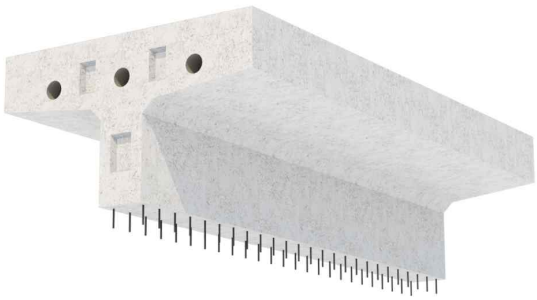


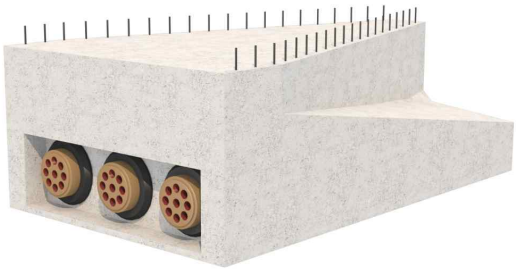
그림 4.7 형고 변경이 가능한 PSC 모듈러 거더 강연선 프로파일



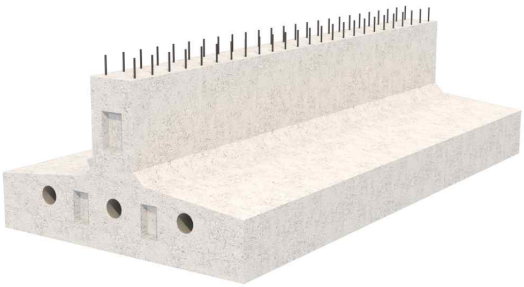
(a) 단부 상부 플렌지 모듈



(c) 일반부 상부 플렌지 모듈



(b) 단부 하부 플렌지 모듈

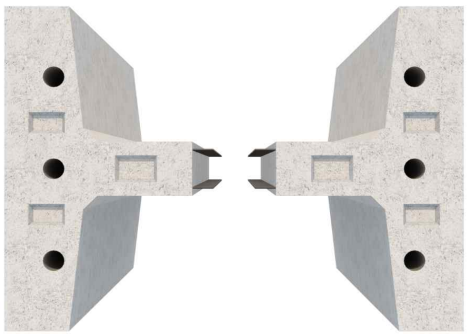


(d) 일반부 하부 플렌지 모듈

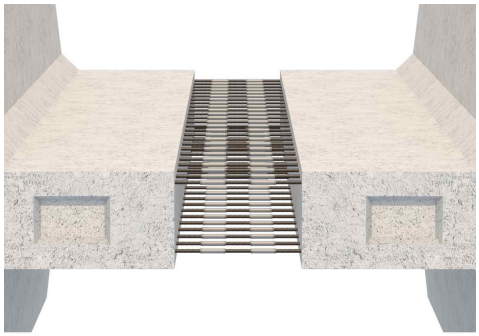
그림 4.8 형고 변형 PSC 모듈러 거더 모듈 구성

이 거더의 특징은 상하부로 분할되어 미리 확보된 플렌지 모듈에 교량 연장에 따라 설계에서 결정된 거더 높이를 고려하여 복부(웨브)를 급속 연결하는 방식으로 거더 모듈을 제작한 다음 현장으로 운반하는 변형된 제작 시스템에 있다.

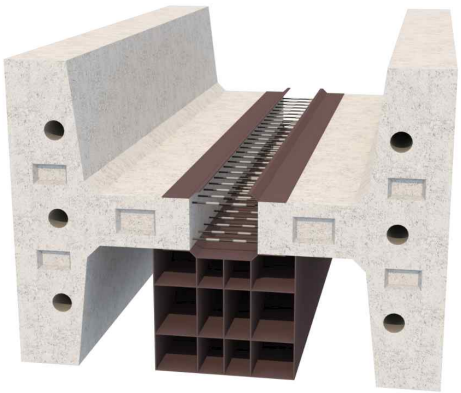
그림 4.9, 그림 4.10과 같이 상하부 플렌지부의 노출 철근에 커플러로 철근을 연결하고 조립식 거푸집을 설치하한 다음 초속경 콘크리트를 타설하여 상하부 모듈을 연결한다. 커플러 단면만큼 축소된 피복을 확보하기 위해 연결부 단면을 확대한다. 그림 4.11과 같이 완성된 모듈을 현장에 운반 조립 후 상하부 강연선을 긴장하여 PSC 모듈러 거더를 완성한다.



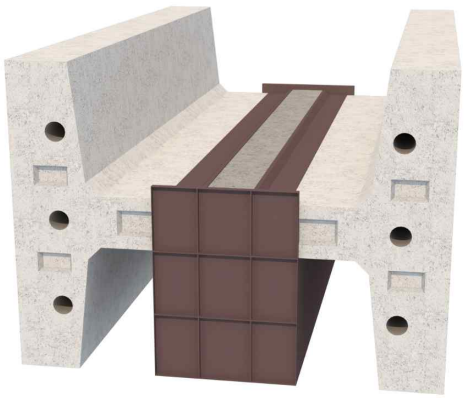
(a) 하부 플렌지 설치



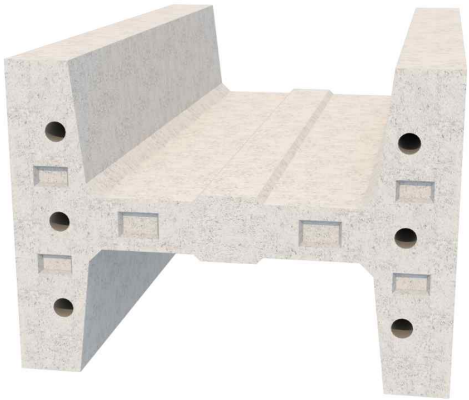
(b) 복부판 철근 연결(커플러)



(c) 거푸집 설치



(d) 콘크리트 타설



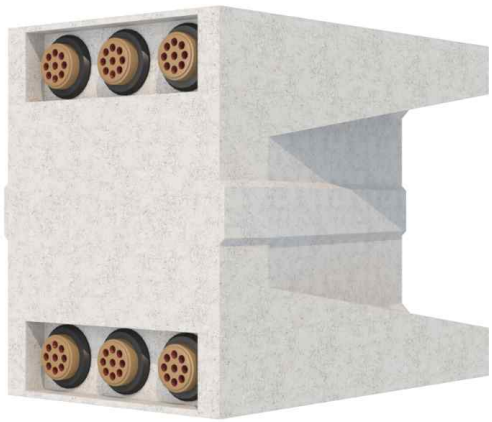
(e) 거푸집 탈형



(f) 모듈 완성

그림 4.9 형고 변형 PSC 모듈러 거더 복부 연결



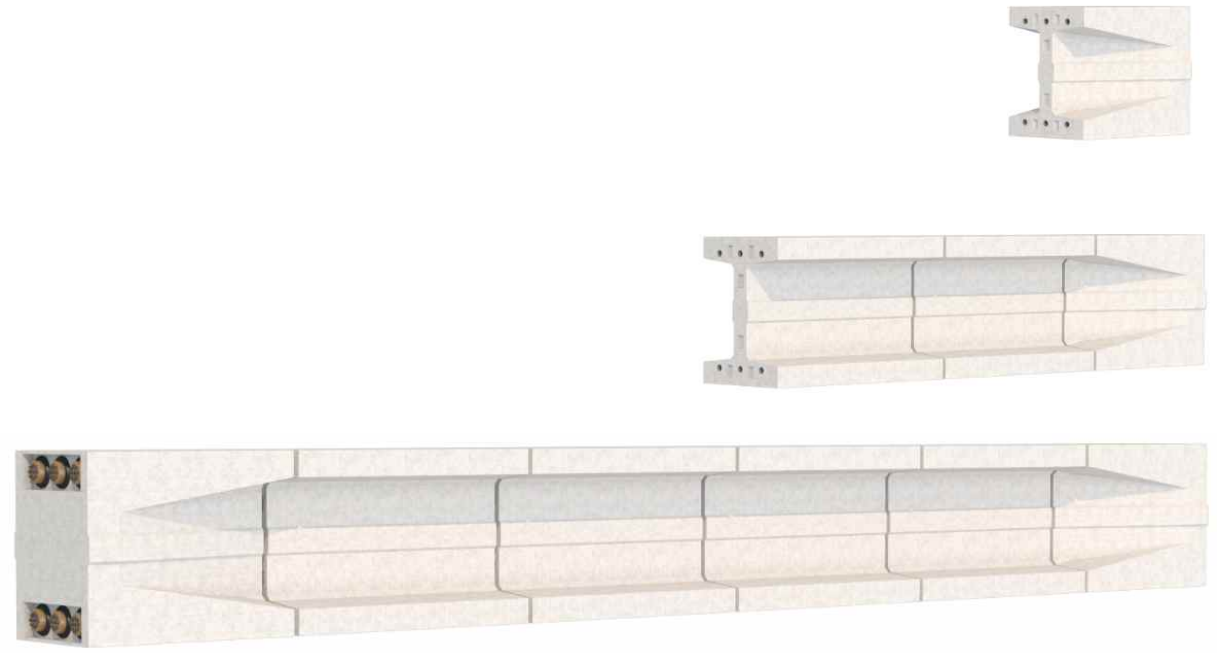


(a) 단부 모듈



(b) 일반부 모듈

그림 4.10 형고 변형 PSC 모듈러 거더 제품화



(a) PSC 모듈러 거더 조립



(b) 강연선 설치



(d) 강연선 긴장



(e) 그라우팅 및 거더 완성

그림 4.11 형고 변형 PSC 모듈러 거더 현장 조립 순서

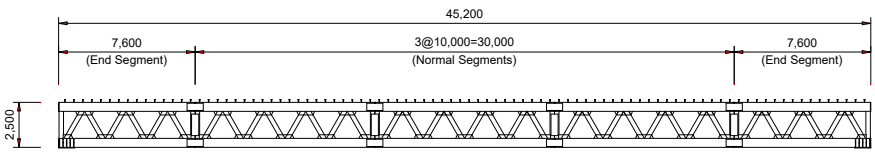
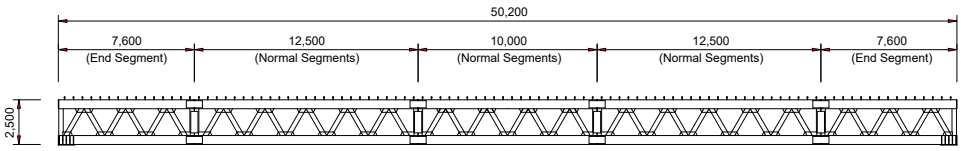
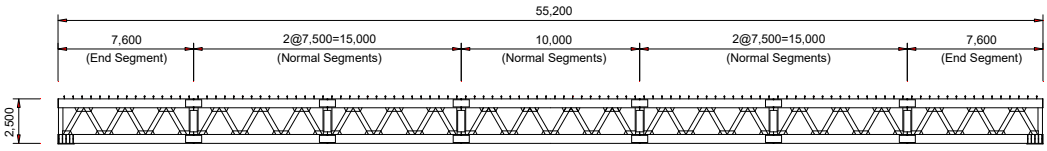
4.3 CFT 거더 표준 모듈

4.3.1 CFT 거더 표준 모듈 구성

모듈러 교량 시스템 CFT 거더 표준 모듈은 표 4.3, 그림 4.12와 같이 45m, 50m, 55m 경간에 적용하는 Single span용 모듈과 표 4.4, 그림 4.13과 같이 60m, 65m, 70m 경간에 적용하는 Multi span용으로 구분하여 표준화하였다.

○ Single span 경간 구성 : 45m / 50m / 55m , 형고 : 2.5m

표 4.3 Single span용 CFT 거더 표준 모듈 및 경간 구성

구 분	표준 경간 구성
45m	
50m	
55m	

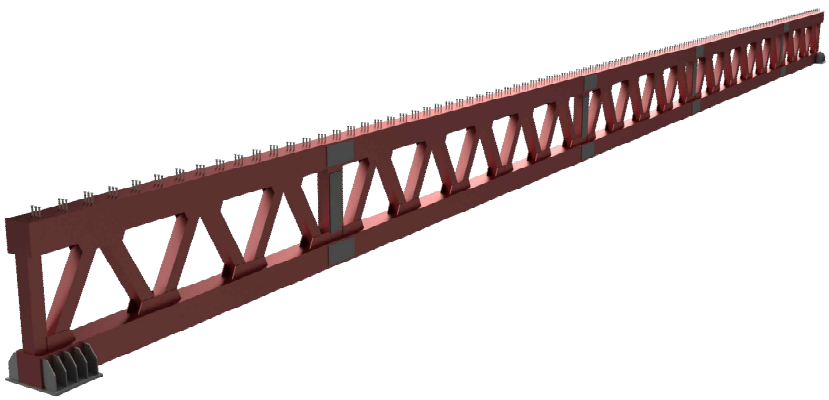
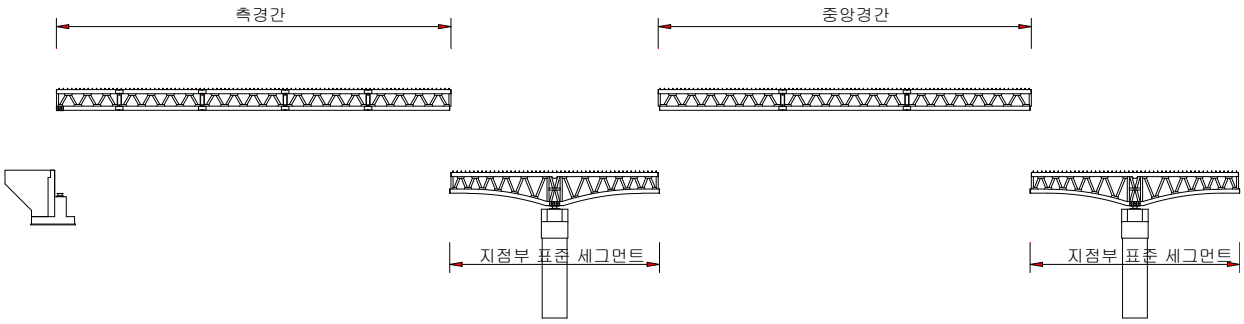
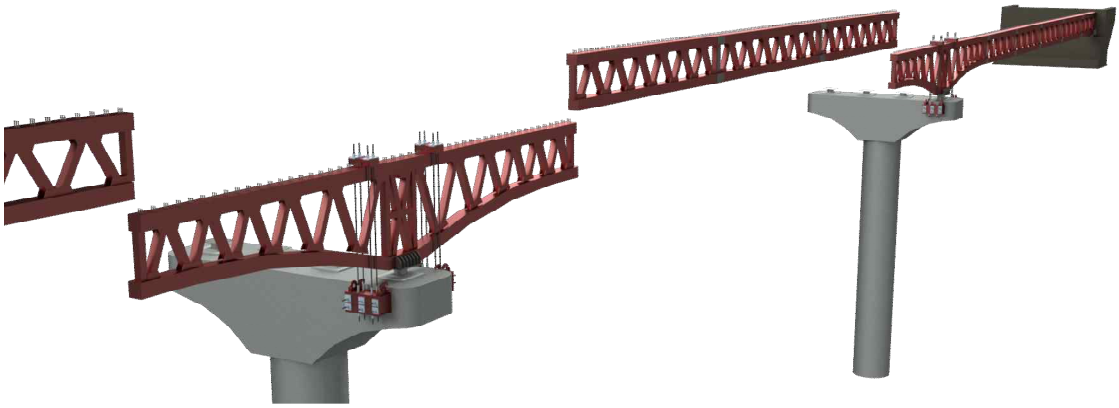


그림 4.12 CFT 표준 모듈을 조합한 Single span CFT 거더

○ Multi span 경간 구성 : 60m / 65m / 70m, 지점부 거더 형고 : 2.5m ~ 4.0m



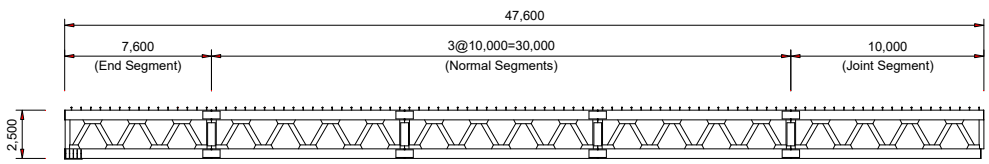
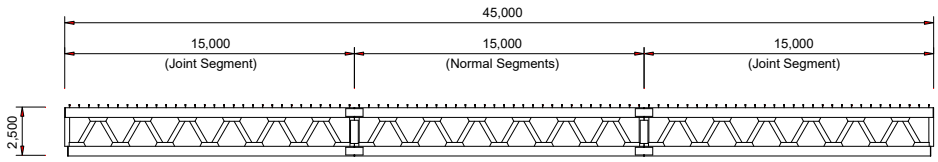
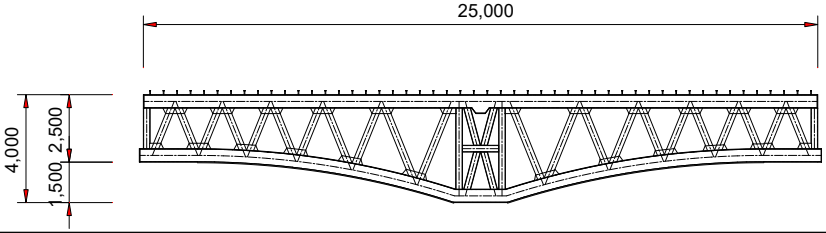
(a) 종평면도



(b) 3D 형상

그림 4.13 Multi span용 CFT 거더 표준 모듈 형상

표 4.4 Multi span용 CFT 거더 표준 모듈 및 경간 구성

측경간 (47.6m)	
중앙경간 (45.0m)	
지점부 (25.0m)	

4.3.2 CFT 모듈러 거더 구조 검토

CFT 표준 모듈을 조합한 CFT 모듈러 거더에 대한 구조검토를 수행하였다. 먼저, Single Span용 거더에 대해서는 표 4.5과 같이 45m, 50m, 55m 경간 중 모멘트가 최대로 발생하는 55m 거더에 대하여 구조검토를 수행하였고, Multi Span용 거더에 대해서는 표 4.6과 같이 60+70+60m으로 구성된 3경간 연속 거더에 대한 구조검토를 수행하였다.

○ 구조해석 프로그램 및 해석방법

- 구조해석 프로그램 : MIDAS Civil (범용 유한요소 해석 프로그램)
- 상/하현재 CFT강관 : MIDAS SRC 단면 사용
- CFT 충진 콘크리트(fck=40.0MPa) 강성 : Steel로 환산 적용

표 4.5 CFT 모듈 조합에 의한 Single Span 지간별 거더 모델링

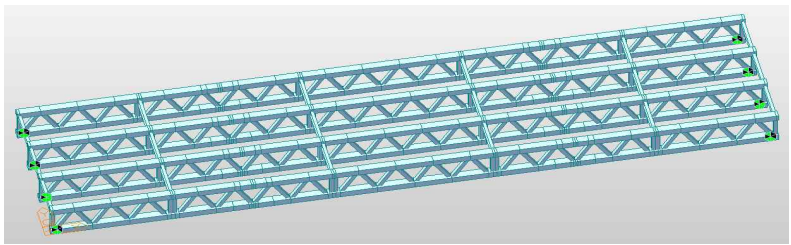
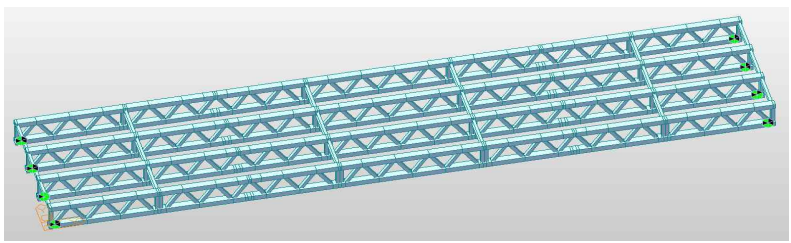
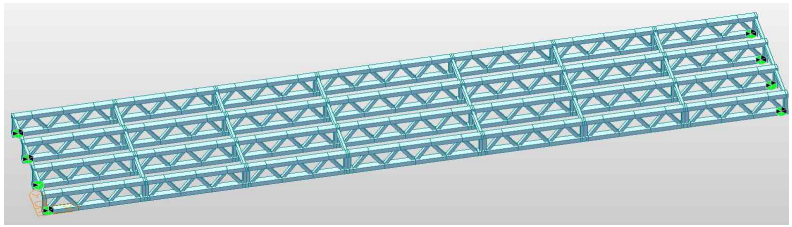
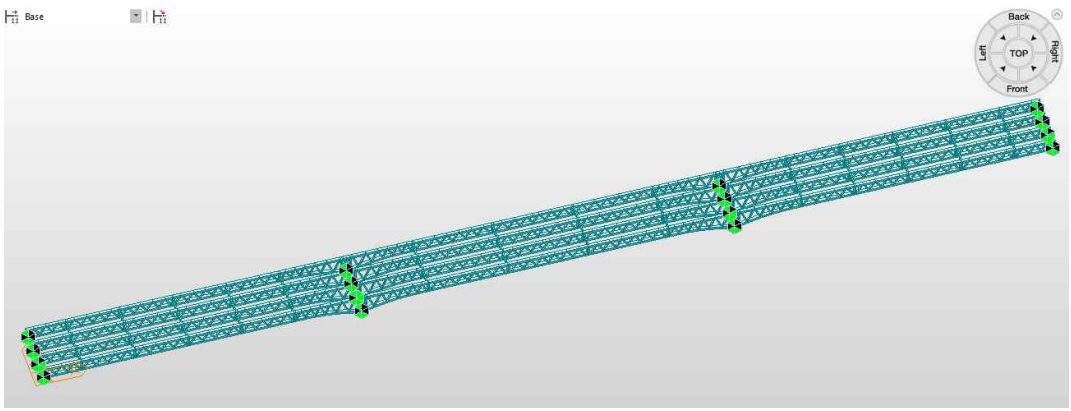
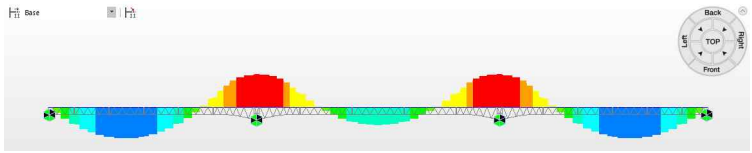
구 분	모델링	비 고
45m		[적용 하중] 1. 거더 자중 (SW) 2. 표준강가로보 적용 3. 바닥판 자중 4. 2차 고정하중 5. 활하중 (KL-510)
50m		
55m		

표 4.6 CFT 모듈 거더 Multi span 모델링

구 분	모델링	비 고
60m + 70m + 60m = 190m	 	[적용 하중] 1. 거더 자중 (SW) 2. 표준 강가로보 적용 3. 바닥판 자중 4. 2차 고정하중 5. 활하중 (KL-510)

4.3.2.1 Single Span용 CFT 거더 구조검토

Single Span용 거더의 경우 표 4.5와 같이 45, 50, 55m 경간 중 동일한 형고로 적용했을 때 모멘트가 최대로 발생하는 55m 경간을 대상으로 구조검토를 수행하였다.

○ 적용 교량 및 횡단면

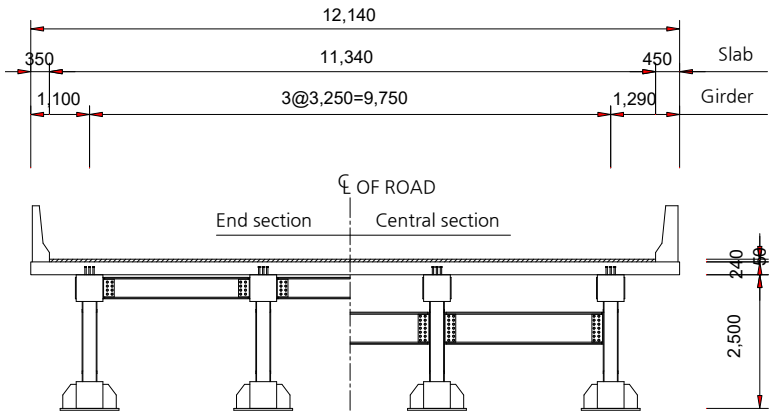


그림 4.14 55m CFT 모듈러 거더 적용 교량 횡단면도

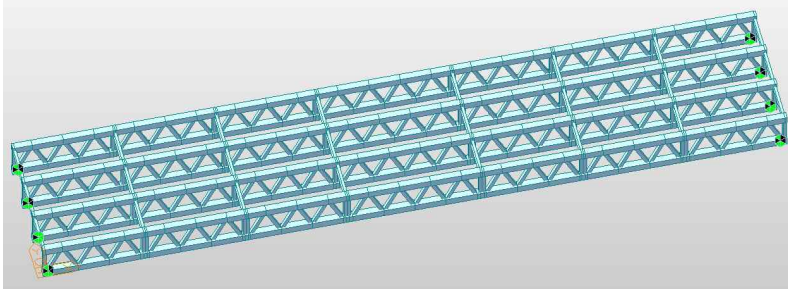


그림 4.15 Single Span CFT 거더 설치 형상

○ 재료특성 및 해석조건

구 분	내 용	비 고
o CFT 기성 강관	SQ-500x500x16t (SM355-(구)SM520)	상 · 하현재
o 중간재 - 수직재 - 경사재	 SQ-250x250x12t (SM315-(구)SM490) SQ-250x250x12t (SM315-(구)SM490)	
o 거더 간격	C.T.C 3.25m	4-girder 적용
o 충진 콘크리트	f_{ck} = 40.0 MPa	
o 가로보	표준 강가로보 적용	

○ 구조해석 모델링 및 하중재하 조건

구 분	모델링	비 고
55m		[적용 하중] 1. 거더 자중 (SW) 2. 표준강가로보 적용 3. 바닥판 자중 4. 2차 고정하중 5. 활하중 (KL-510)

○ 구조해석 결과

구 분	부재력(kN)		발생응력(MPa)		
	축력 F_x	모멘트 M_y	압축(S_{ax})	휨(S_{bz})	합성(S_{comb})
거더 자중 (SW)	2,925	84	46	12	**58**
바닥판 자중 (Slab Deadload)	2,981	87	47	12	**59**
2차 고정하중 (2^{nd} Deadload)	1,176	31	19	4	**23**
활하중(충격) (Live-i)	2,823	111	45	15	**60**
Summation	**9,905**	**313**	**157**	**15**	**201**
검토결과					**O.K! < 215MPa**

#1. 거더 중앙부 하연 응력(인장) 검토
#2. 허용응력 검토
#3. 내측거더 중앙부 기준
#4. 동일 형고에 대해서 거더 55.0m 조건이 가장 불리하므로 45.0m와 50.0m 구조검토 생략

4.3.2.2 Multi Span용 CFT 거더 구조검토

Multi Span용 거더의 경우 표 4.6과 같이 60+70+60 = 190m 3경간 연속 구조에 대한 구조검토를 수행하였다.

○ 적용 교량 및 횡단면

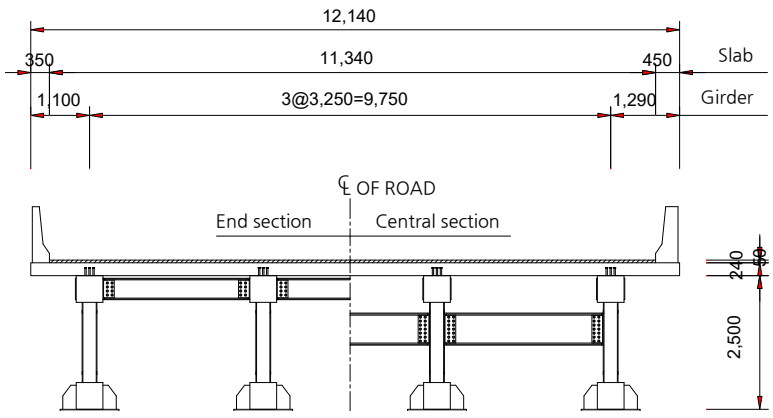


그림 4.16 190m Multi Span CFT 모듈러 거더 적용 교량 횡단면도

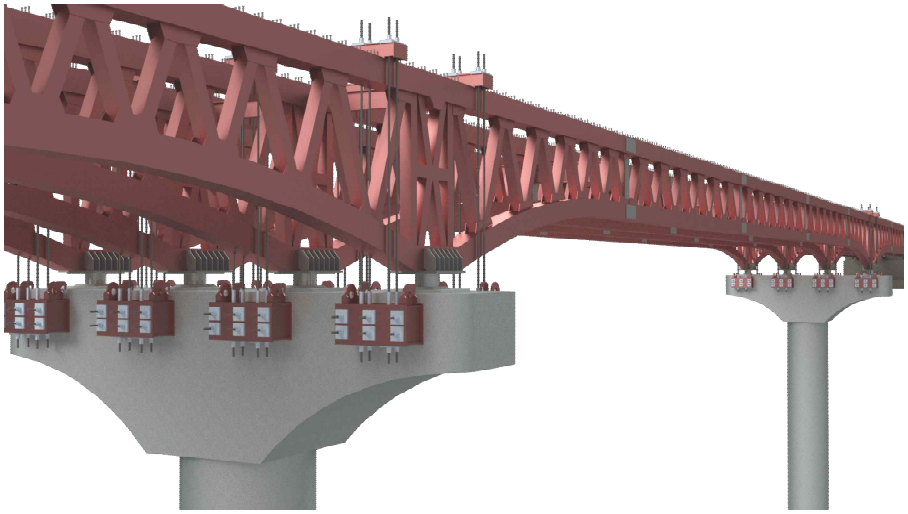


그림 4.17 Multi Span CFT 거더 설치 형상

○ 재료특성 및 해석조건

구 분	내 용	비 고
o CFT 기성 강관	SQ-500x500x16t (SM355-(구)SM520)	상 · 하현재
o 중간재 - 수직재 - 경사재	 SQ-250x250x12t (SM315-(구)SM490) SQ-250x250x12t (SM315-(구)SM490)	
o 거더 간격	C.T.C 3.25m	4-girder 적용
o 충진 콘크리트	f_{ck} = 40.0 MPa	
o 가로보	표준 강가로보 적용	

○ 구조해석 결과

- 최대 정모멘트 발생부

구 분	부재력(kN)		발생응력(MPa)		
	축력 F_x	모멘트 M_y	압축(S_{ax})	휨(S_{bz})	합성(S_{comb})
거더 자중 (SW)	2,069	100	33	14	**47**
바닥판 자중 (Slab Deadload)	2,137	106	34	15	**49**
2차 고정하중 (2^{nd} Deadload)	938	50	15	7	**22**
활하중(충격) (Live-i)	2,830	177	45	25	**70**
Summation	**7,974**	**433**	**127**	**60**	**187**
검토결과					**O.K! < 215MPa**

#1. 거더 중앙부 하연 응력(인장) 검토
#2. 허용응력 검토
#3. 내측거더 중앙부 기준

- 최대 부모멘트 발생부

구 분	부재력(kN)		발생응력(MPa)		
	축력 F_x	모멘트 M_y	압축(S_{ax})	휨(S_{bz})	합성(S_{comb})
거더 자중 (SW)	2,236	86	35	12	**47**
바닥판 자중 (Slab Deadload)	2,341	95	37	13	**50**
2차 고정하중 (2^{nd} Deadload)	1,146	62	18	9	**27**
활하중(충격) (Live-i)	1,886	153	30	21	**51**
Summation	**7,609**	**396**	**121**	**55**	**176**
검토결과					**O.K! < 215MPa**

Single Span 55m 거더와 Multi Span(3경간 연속) 190m 교량에 대한 구조해석결과를 표 4.7에서 요약하여 정리하였다. 표준 모듈을 이용한 CFT 모듈러 거더는 구조 안전성을 만족하고 있음을 알 수 있다.

표 4.7 CFT 거더 표준 모듈 구조 검토 결과

구 분	구조해석 결과 요약
Single span (55m)	• CFT 강재 SM355(구SM520) 적용 시 지간 중앙부 최대발생응력 - 하연 인장응력 : 201MPa < 215MPa(허용인장응력), ∴ O.K • 45.0m, 50.0m 거더는 동일단면 적용 : 55.0m와 비교하여 허용응력을 충분히 만족시킴
Multi span (190m)	• Multi span 60.0+70.0+60.0=190.0m 적용 시 중앙부 최대 발생응력 - 정모멘트 인장응력 : 187MPa < 215MPa(허용인장응력), ∴ O.K - 부모멘트 인장응력 : 176MPa < 215MPa(허용인장응력), ∴ O.K

4.3.2.3 이음부 용접검토

그림 4.18과 같이 CFT 거더 용접 이음부의 안전성을 검토하였다. 용접방법은 필렛용접을 적용하였고 용접부 허용응력은 공장용접 90%를 발현하는 현장용접으로 가정하였다. CFT 모듈 Single span 55m 거더에 대해서 최대 발생 부재력을 산출하고 이 부재력에 저항할 수 있는 필렛용접 크기와 길이를 표 4.8과 같이 산출하였다.

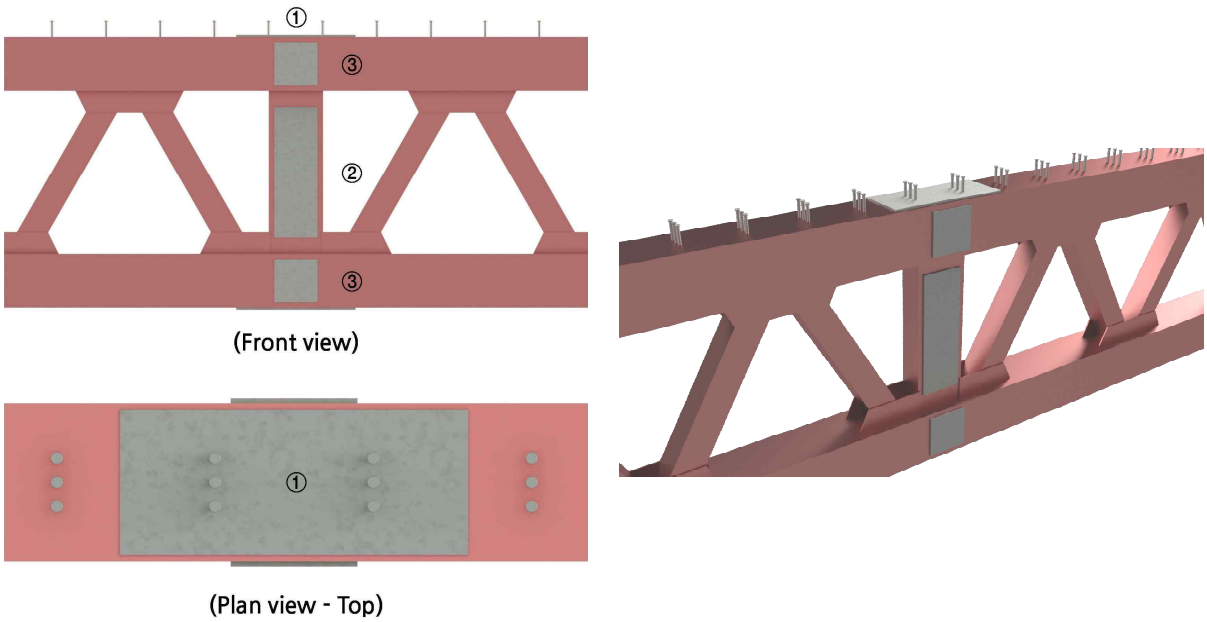


그림 4.18 CFT 모듈러 거더 이음부

표 4.8 CFT 모듈러 거더 이음부 용접 크기와 길이

구 분		강종	필릿용접 크기	용접 길이 (mm)	비고
①	PL-1,100x460x20t	SM520	10mm	1,100	
②	PL-1,200x400x16t	SM490	8mm	1,200	
③	PL-400x400x16t			400	

4.4 프리캐스트 바닥판 표준 모듈

프리캐스트 바닥판 표준 모듈은 그림 4.19와 같이 기존에 개발되어 현재 적용되고 있는 프리캐스트 바닥판을 대상으로 표준 모듈을 적용한다. 이 표준 모듈은 길이 1.97m를 표준으로 하며, 이음부 간격 30mm를 포함되어 2.0m간격으로 배치된다. 프리캐스트 모듈러 바닥판의 폭은 최대 13.0m 이하로 하며, 이를 초과하는 경우에는 2개로 분리하여 횡방향으로 연결하고 종방향으로 현장타설 이음을 둔다.

PSC 모듈러 거더와 CFT 모듈러 거더에 적용하는 프리캐스트 바닥판의 형상은 그림 4.20과 같으며, 방호벽과 중분대 등 2차 시공을 위한 철근을 매립하여 일체로 제작한다.

또한, 현장타설 바닥판과 동일한 역학적 안전성을 가지도록 구조설계하며, 시공순서는 그림 4.21과 같고, 루프이음에 의한 연결부 일체화 성능은 실험과 시공 결과로 검증이 완료된 상태이다.

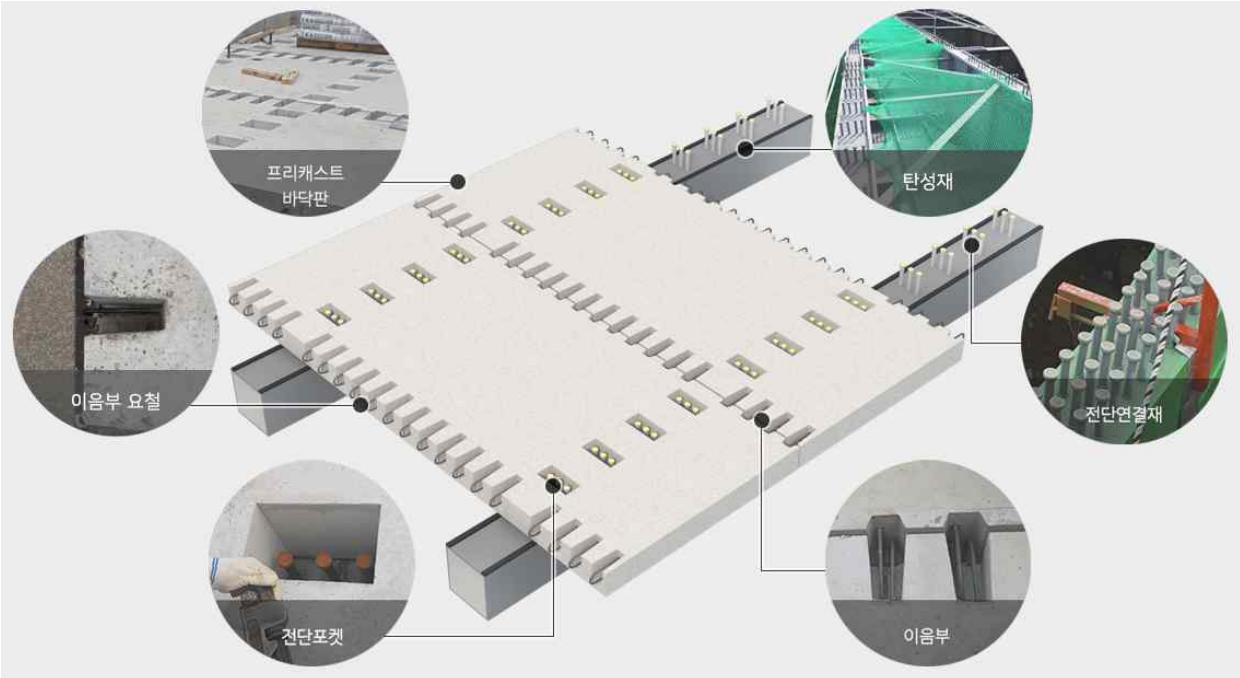
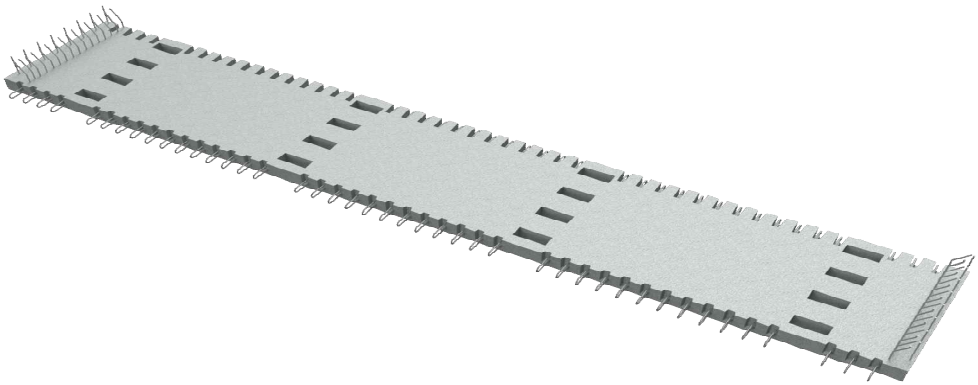


그림 4.19 요철형 전단면 프리캐스트 바닥판 공법 개요

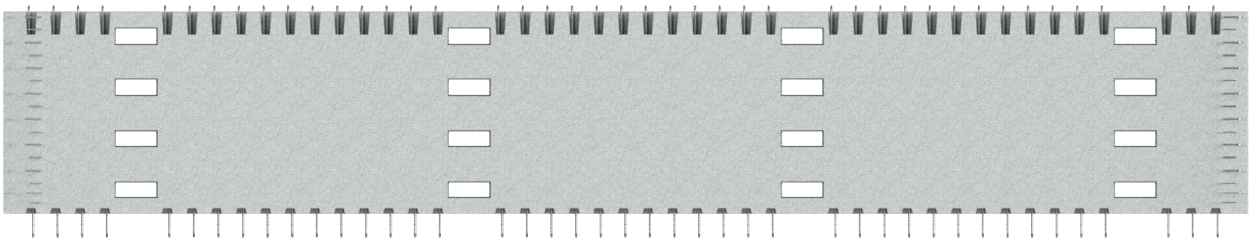
○ 부재 형상



(a) 모듈러 바닥판 3D 형상



(b) 모듈러 바닥판 횡단면 형상



(c) 모듈러 바닥판 평면 형상

그림 4.20 요철형 전단면 프리캐스트 바닥판 형상

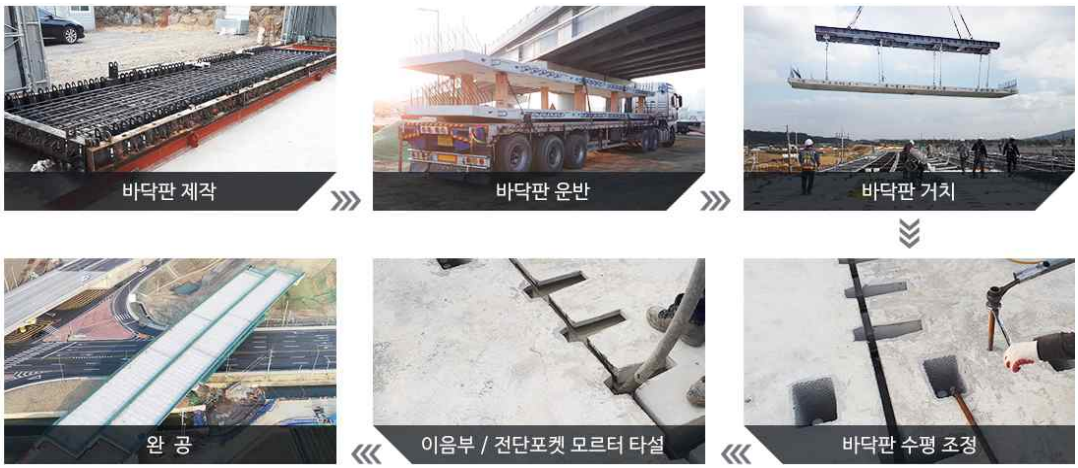


그림 4.21 요철형 전단면 프리캐스트 바닥판 시공 순서

○ 구조계산서 (첨부, 구조계산서 참조)

표 4.9 프리캐스트 바닥판 설계 요약 (철근량 산정)

♦ 단면 휨 설계 (주철근량 산정) (단위 폭 1.0m 기준)

단면 위치		$A_{s,req}$ (mm^2)	깊이 d (mm)	피복 d' (mm)	사용 철근량 $A_{s,use}$ (mm^2)	M_d / M_u	판정
경험적 설계법	바닥판 상면	720	202	65	H16 @ 200 = 993	등방 배근	O.K!
	바닥판 하면	720	202	30	H16 @ 200 = 993		O.K!
한계 상태 설계법	중앙부	834	202	38	H16 @ 400 = 497 H16 @ 400 = 497	1.18	O.K!
	좌측 캔틸레버	459	167	73	H16 @ 400 = 497 H16 @ 400 = 497	2.09	O.K!
	우측 캔틸레버	159	167	73	H16 @ 400 = 497 H16 @ 400 = 497	5.93	O.K!
진입부 바닥판		481	302	38	H16 @ 500 = 397 H16 @ 500 = 397	1.63	O.K!
캔틸레버 단부		746	167	73	H16 @ 200 = 993 H16 @ 200 = 993	2.46	O.K!

♦ 배력 철근량 산정 (건조수축 및 온도변화에 대한 보강 철근량)

검토 위치			$A_{s,req}$ (mm^2)	사용 철근량 $A_{s,use}$ (mm^2)	$A_{s,use}$ / $A_{s,req}$	판정
중앙부 바닥판		경험적 설계법	720	H16 @ 250 = 794	1.10	O.K!
		한계상태 설계법	559	H16 @ 250 = 794	1.42	O.K!
캔틸레버	좌측	한계상태 설계법	500	H16 @ 250 = 794	1.59	O.K!
	우측		500	H16 @ 250 = 794	1.59	O.K!
진입부 바닥판			708	H16 @ 200 = 993	1.40	O.K!
캔틸레버 단부			500	H16 @ 125 = 1,589	3.18	O.K!

♦ 사용성 검토 (사용 한계상태 검토)

검토 위치		균열 제어							처짐 검토 (지간/깊이-비)		
		철근량 검토 (mm^2)			철근 허용 응력 (MPa)						
		최소 철근량 $A_{s,min}$	사용 철근량 $A_{s,use}$	판정	최대 철근 지름	최대 철근 간격	발생 응력	판정	한계	적용	판정
중앙부 바닥판		414	993	O.K!	240	240	21.3	O.K!	172.0	11.6	O.K!
캔틸레버	좌측	414	993	O.K!	240	240	56.6	O.K!	43.4	5.0	O.K!
	우측	414	993	O.K!	240	240	30.5	O.K!	80.5	3.9	O.K!
진입부 바닥판		587	794	O.K!	240	200	3.3	O.K!	876.6	1.2	O.K!

☞ 경험적 설계법으로 산정된 철근량은 한계상태 설계법으로 산정된 철근량과 비교하기 위한 참고자료임.

○ 프리캐스트 바닥판 표준 도면 : 12.14m × 1.97m

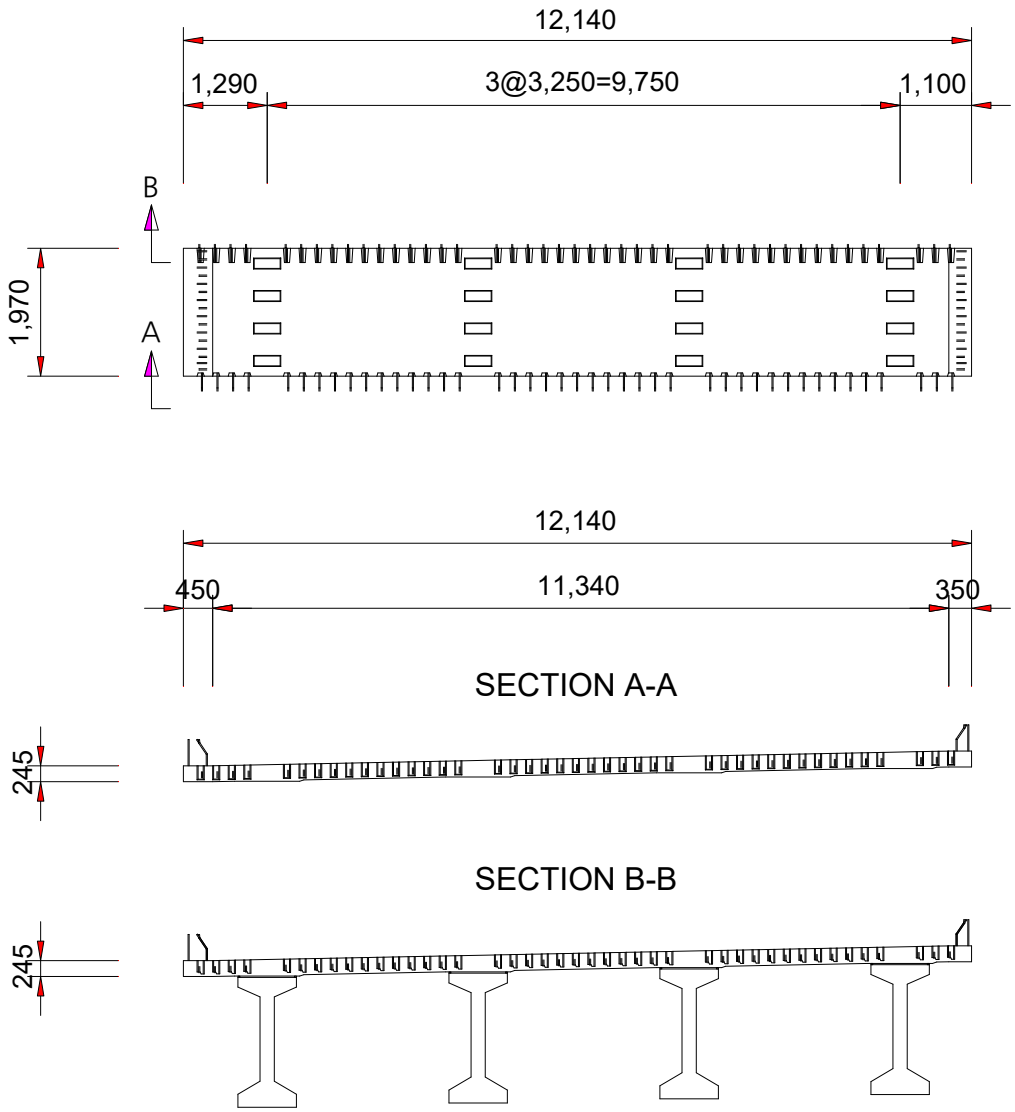


그림 4.22 요철형 전단면 프리캐스트 바닥판 일반도

4.5 거더 표준 모듈 일체화

4.5.1 PSC 거더 표준 모듈 일체화

내부 포스트텐션 긴장재를 사용하는 모듈러 교량의 임시 프리스트레싱 이음에는 접착 에폭시가 경화될 때까지 최소 0.2MPa의 압축응력과 0.3MPa의 평균응력이 전체 이음면에 작용되도록 긴장하여야 한다.(도로교 설계기준 5.13.3.4)

기준을 만족하기 위해 그림 4.23과 같이 주 긴장재 중 절반(②,③번 긴장재)에 대해서 긴장력을 도입하고 이때 거더가 부상하지 않도록 거더 자중을 고려하여 우선 긴장한다. 거더 상면의 벌어짐을 막고 이음면에 고른 압축응력을 도입하기 위해 조립용 긴장재(①번 긴장재, Top tendon)를 긴장한다. 이음면의 에폭시가 경화되면 표 4.10과 같은 긴장 순서대로 잔여 설계 긴장력을 100% 도입하여 PSC 모듈 거더의 긴장 작업을 마무리한다.

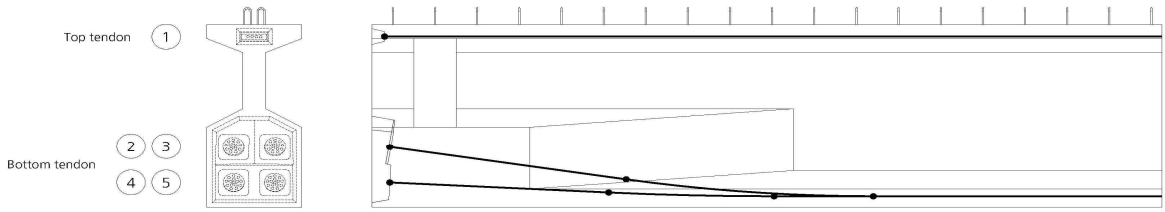


그림 4.23 PSC 모듈 거더 Tendon profile

표 4.10 PSC 모듈 거더 강선 긴장 순서

긴장 순서	강선 위치	Prestress 도입	비 고
1	②, ③	30%	거더 자중 고려 긴장량 결정
2	①	100%	
3	②, ③	추가 70%	
4	④, ⑤	100%	

4.5.2 PSC 모듈러 거더 연속화

연속교에 적용되는 PSC 모듈러 거더는 그림 4.24와 같이 중간 지점부에서 프리스트레싱 강봉을 사용하여 지점부 부모멘트에 저항하는 방법으로 거더 사이를 연속화한다.

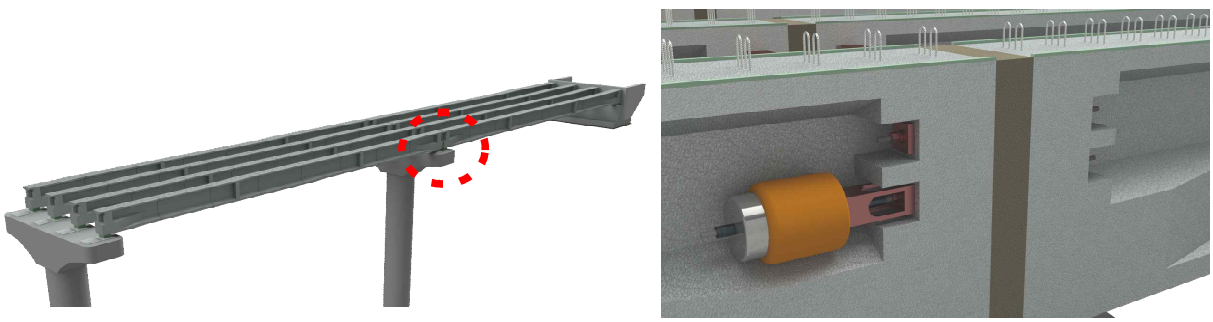
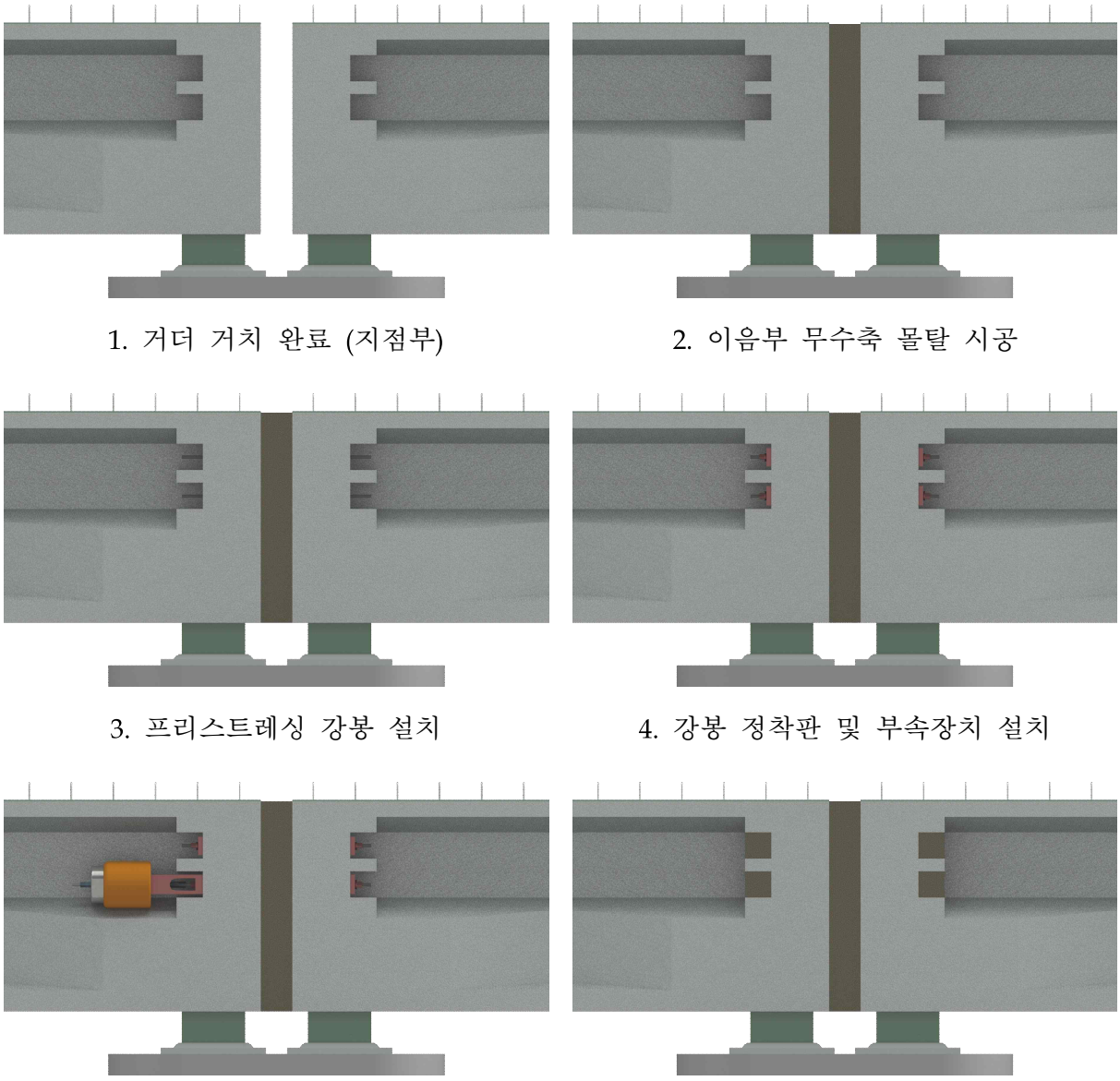


그림 4.24 거더 연속화 지점부 형상

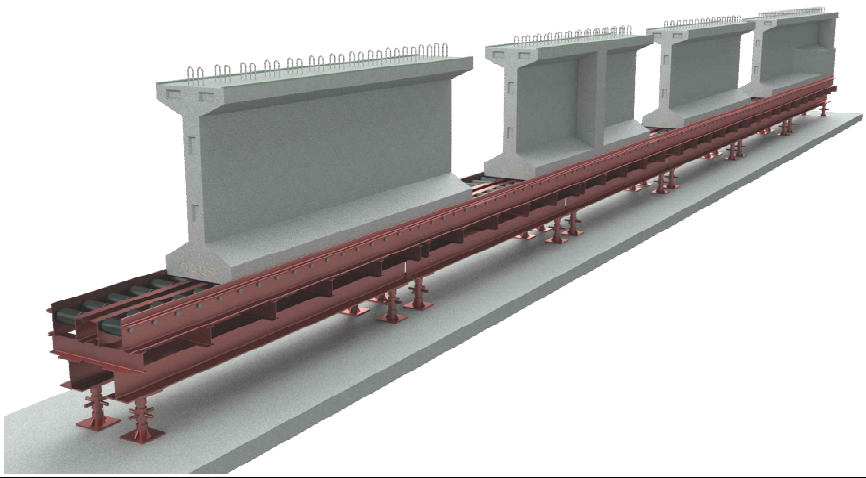
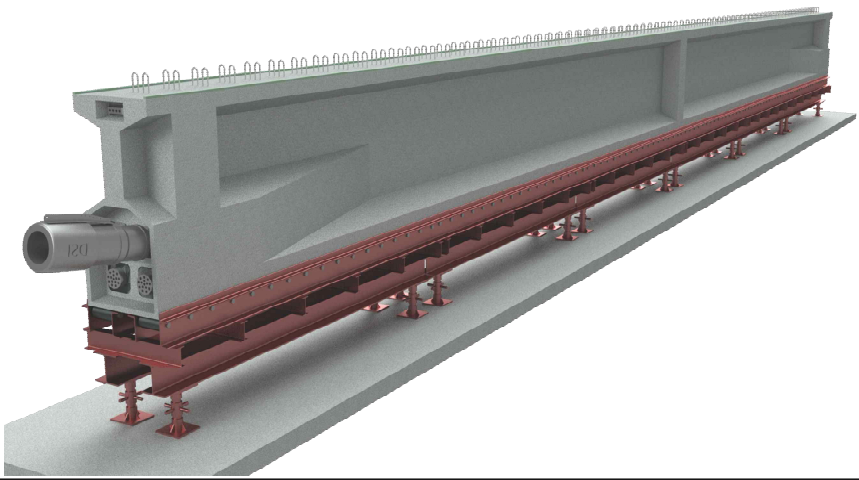
중립축 위쪽의 부모멘트를 상쇄하는 강성을 가진 연속화용 강봉을 사용한다. 프리스트레스 도입부는 긴장력 감소를 막기 위해 밀실하게 접촉되도록 시공해야 한다. 그림 4.25는 PSC 모듈러 거더의 지점부를 연속화하는 시공 절차를 보여주고 있다.



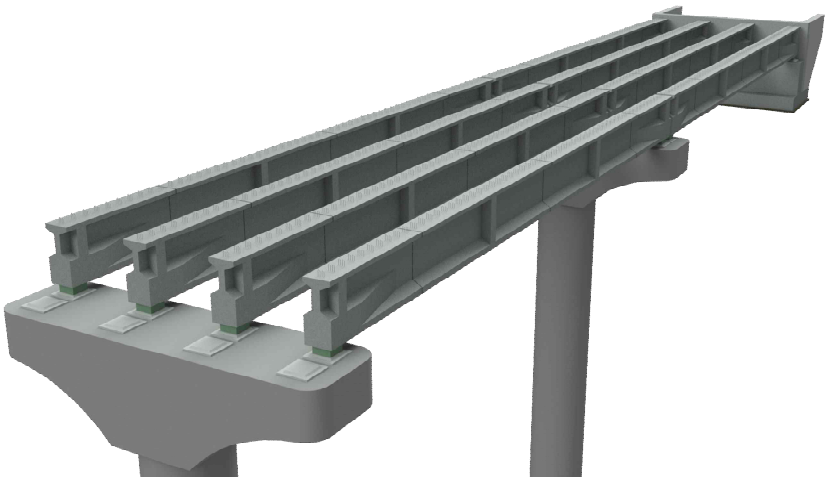
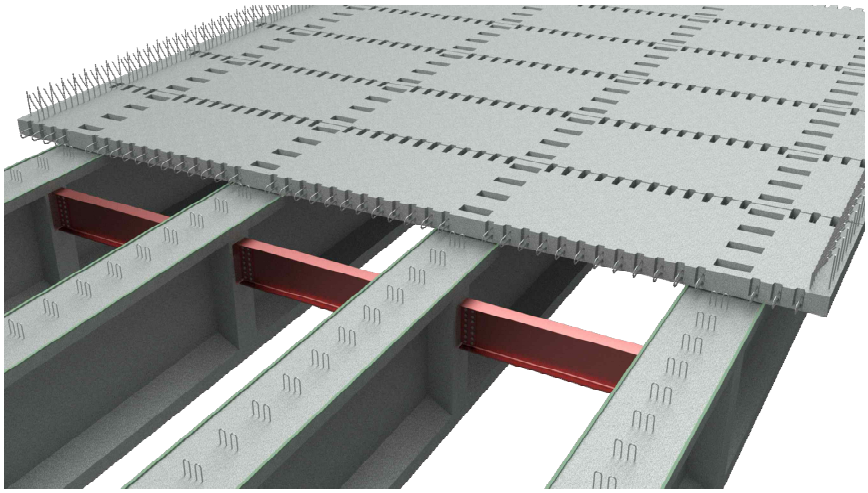
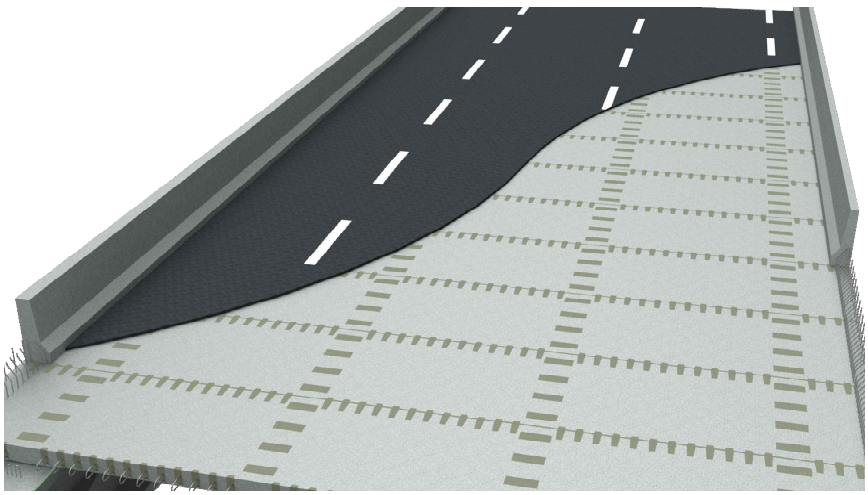
1. 거더 거치 완료 (지점부)
2. 이음부 무수축 몰탈 시공
3. 프리스트레싱 강봉 설치
4. 강봉 정착판 및 부속장치 설치
5. 강봉 긴장 작업
6. 강봉 정착부 마감 / 연속화 시공 완료

그림 4.25 PSC 모듈 거더 지점부 연속화 시공 절차

그림 4.26은 단순교에 적용되는 PSC 거더 표준 모듈의 제작 및 표준 모듈을 이용한 모듈러 거더의 조합과정, 그리고 PSC 모듈러 거더 및 모듈러 교량 시스템의 시공과정을 나타내고 있으며, 표 4.11에서는 전체 과정을 정리하여 나타내었다.

1. 모듈제작	
2. 현장 운반 및 조립 (전용 조립 장치 사용)	
3. 모듈 합성 (프리스트레싱 도입)	

(a) PSC 거더 표준 모듈의 조합 및 모듈러 거더 제작 과정

1. PSC 모듈러 거더 거치	
2. 가로보 및 바닥판 설치	
3. 방호벽 및 포장 시공 / 완공	

(b) PSC 모듈러 거더 및 교량 시공 순서

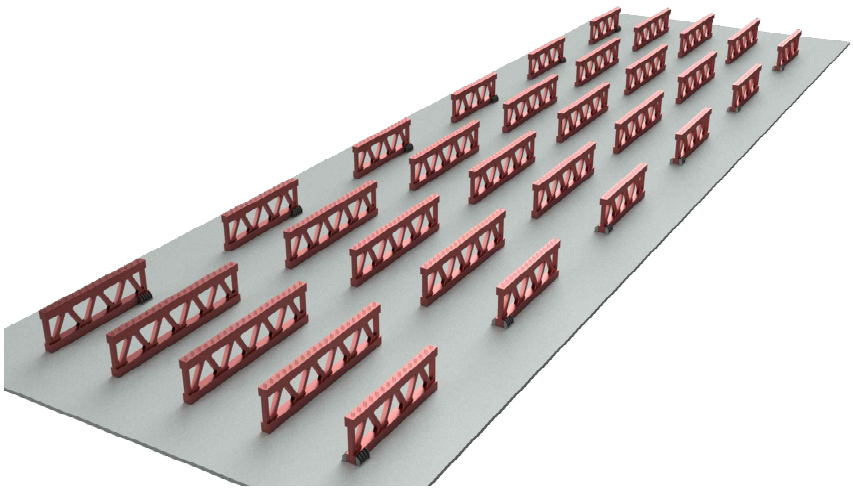
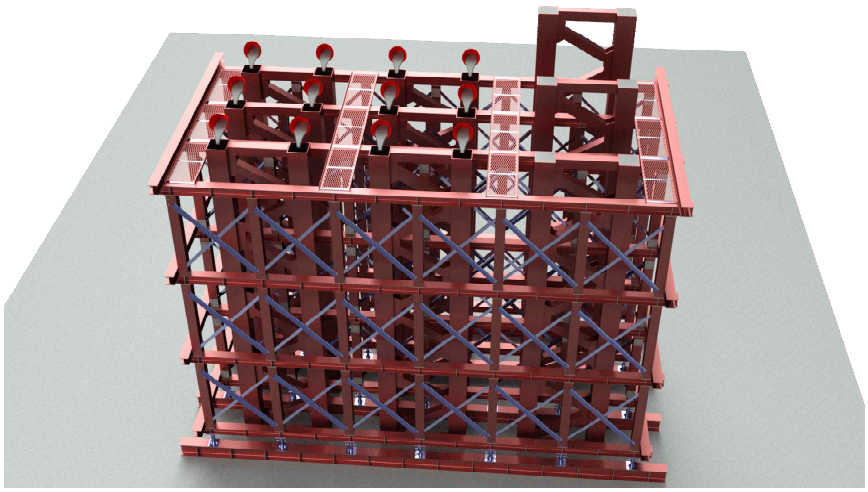
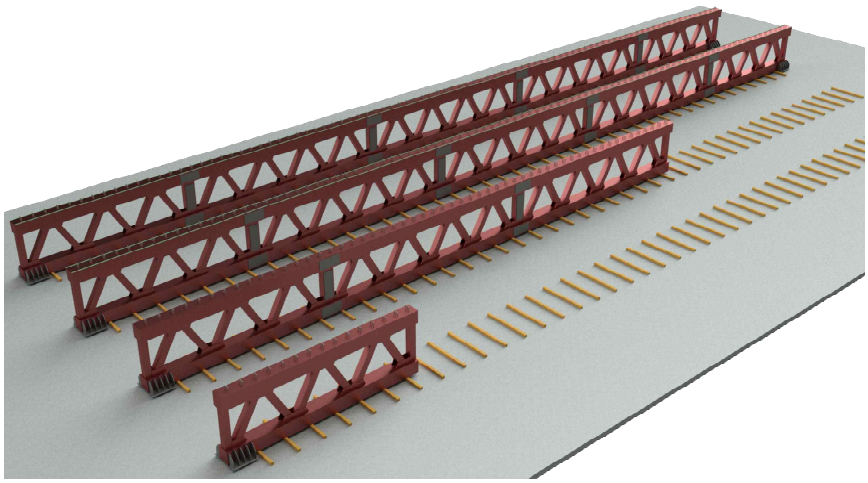
그림 4.26 단순교 적용 PSC 거더 표준 모듈 제작과정 및 모듈러 교량 시공 순서

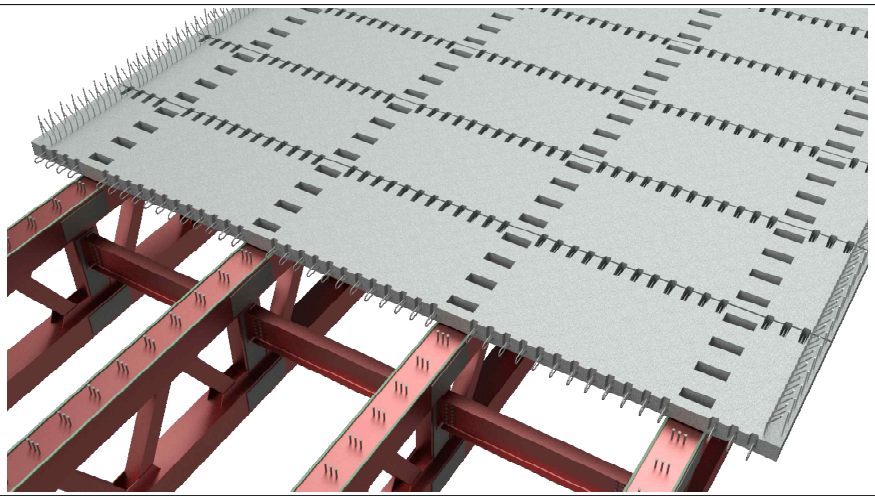
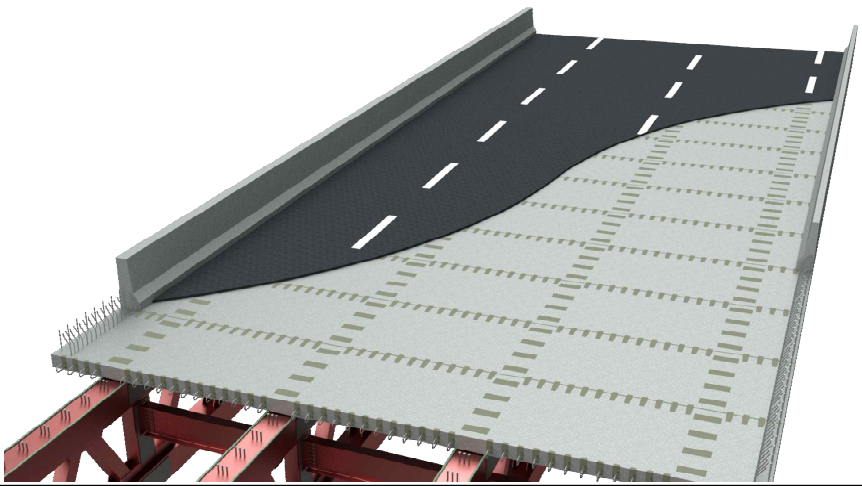
표 4.11 PSC 모듈러 거더를 이용한 교량 시공 순서 및 방법

순서	공정	시공방법
1	모듈 제작 (공장)	- 모듈 표준 도면 작성 - 거더 조합 후 구조안전성 확인 - 3차원 설계 - 철근 간섭 검토 - 철근을 외부에서 조립하여 모듈화 - 거푸집 결합-콘크리트 타설－양생 - 전공정 연속화 자동 제작 스마트 팩토리 구현 필요
2	모듈 운반 조립 (현장)	- 모듈 조립 전용 장치(단부 힌지) 설치 - 전용장치 없을 경우, 텐던 긴장시 단부 크랙 발생 - 설비 전도 방지 - 모듈 정치
3	모듈 합성	- 이음부 클램프 고정 - 에폭시 타설 - 거더 부상 방지 긴장력 산정하여 순서대로 긴장 작업
4	거더 거치	- 거더 거치 - 가로보 설치
5	바닥판 설치	- 바닥판 조립 - 연결부 모르터 타설
6	완공	- 방호벽, 중분대 설치 - 포장

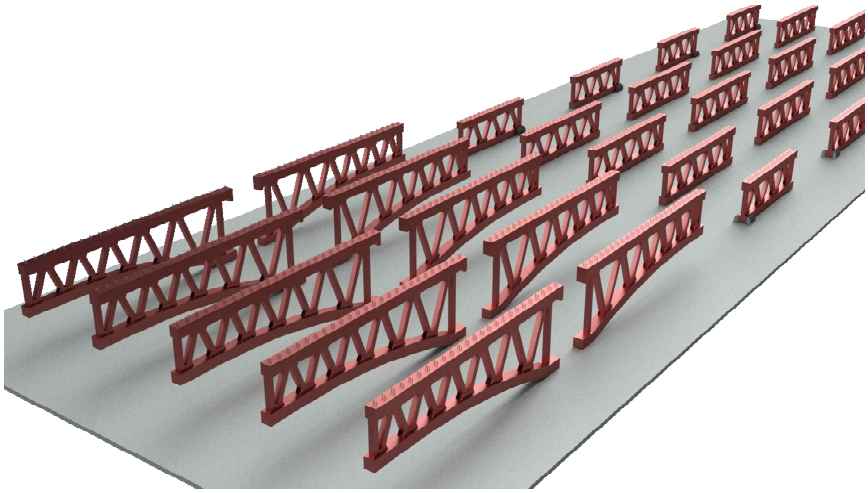
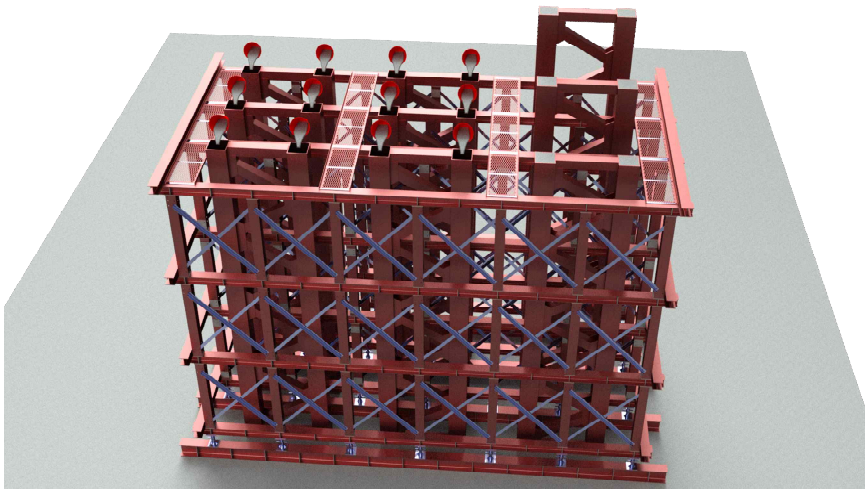
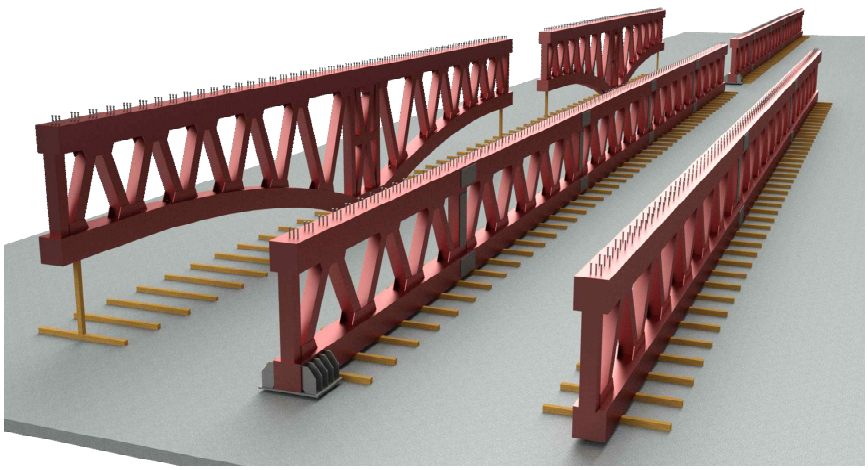
4.5.3 CFT 거더 표준 모듈 일체화

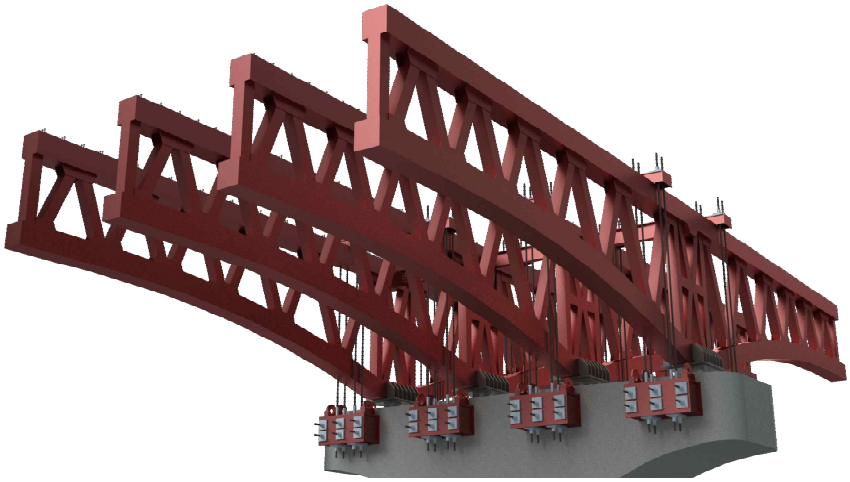
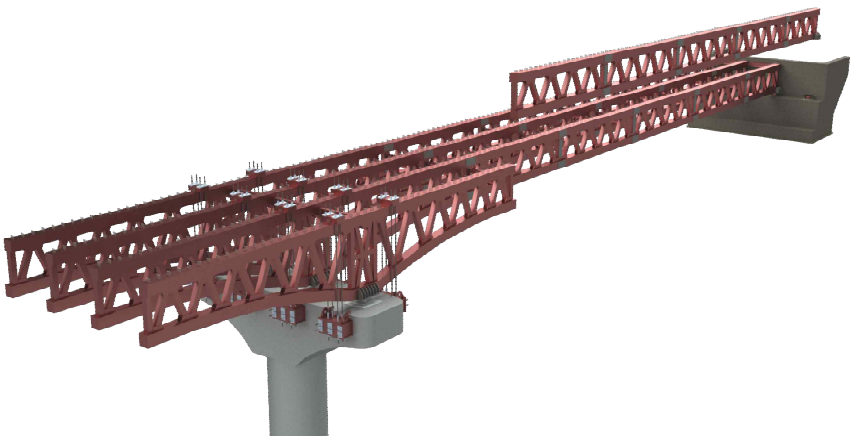
먼저, Single span CFT 모듈 거더의 시공 순서는 다음과 같다.

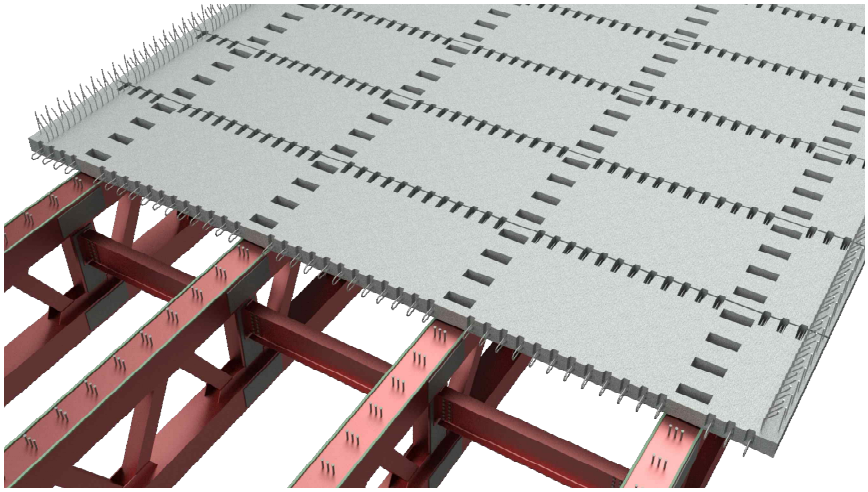
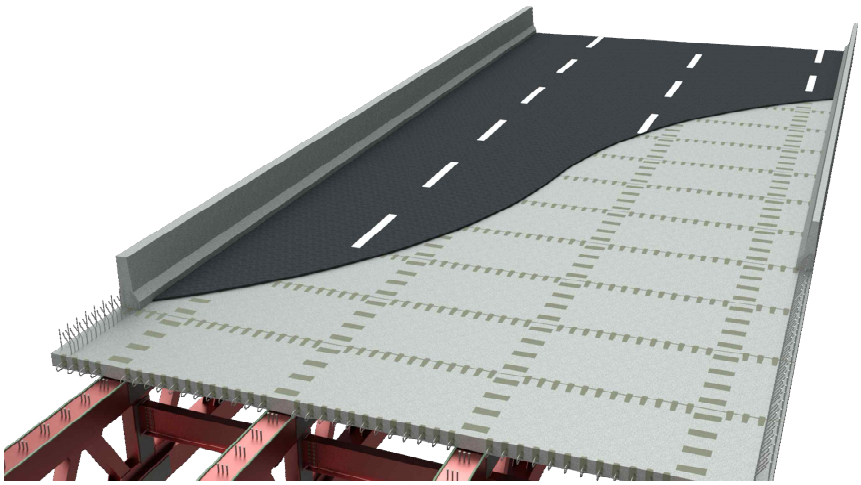
1. 모듈 제작 (공장)	 (모듈 제작/야적장)  (모듈러 CFT 거더 표준 모듈 콘크리트 충진 작업대)
2. 모듈 운반 및 조립 (현장용접)	

3. 모듈러 CFT 거더 거치	
4. 가로보 및 프리캐스트 바닥판 설치	
5. 방호벽 및 포장 시공 / 완공	

다음으로 Multi span CFT 모듈 거더의 시공 순서는 다음과 같다.

1. 세그먼트 제작 (공장)	 (세그먼트 제작/야적장)  (CFT 거더 콘크리트 충진 작업대)
2. 세그먼트 현장 운반 및 조립 (현장용접)	

3. 지점부 거더 설치 / 가고정 장치 설치	
4. 측경간 CFT 거더 설치	
5. 중앙경간 CFT 거더 설치	

6. 가로보 및 프리캐스트 바닥판 설치	
7. 방호벽 및 포장 시공 / 완공	

4.6 거더와 바닥판간 연결방법 개발

4.6.1 기존 방법

전단면 바닥판의 모듈화 기술은 패널과 패널의 연결과 패널과 거더의 연결로 크게 구분된다. 먼저, 패널과 거더간의 연결 기술에 대한 컨셉을 제시하였다. 패널과 거더의 완전합성을 구현하는 가장 일반적인 방법은 그림 4.27과 같이 패널의 전단포켓과 거더의 전단연결재를 후타설로 시공하는 방법이다. 그림 4.28에서는 거더와 바닥판의 전단연결 장치, 그림 4.29에서는 모듈러 거더와 바닥판의 연결방법을 예시하고 있다.

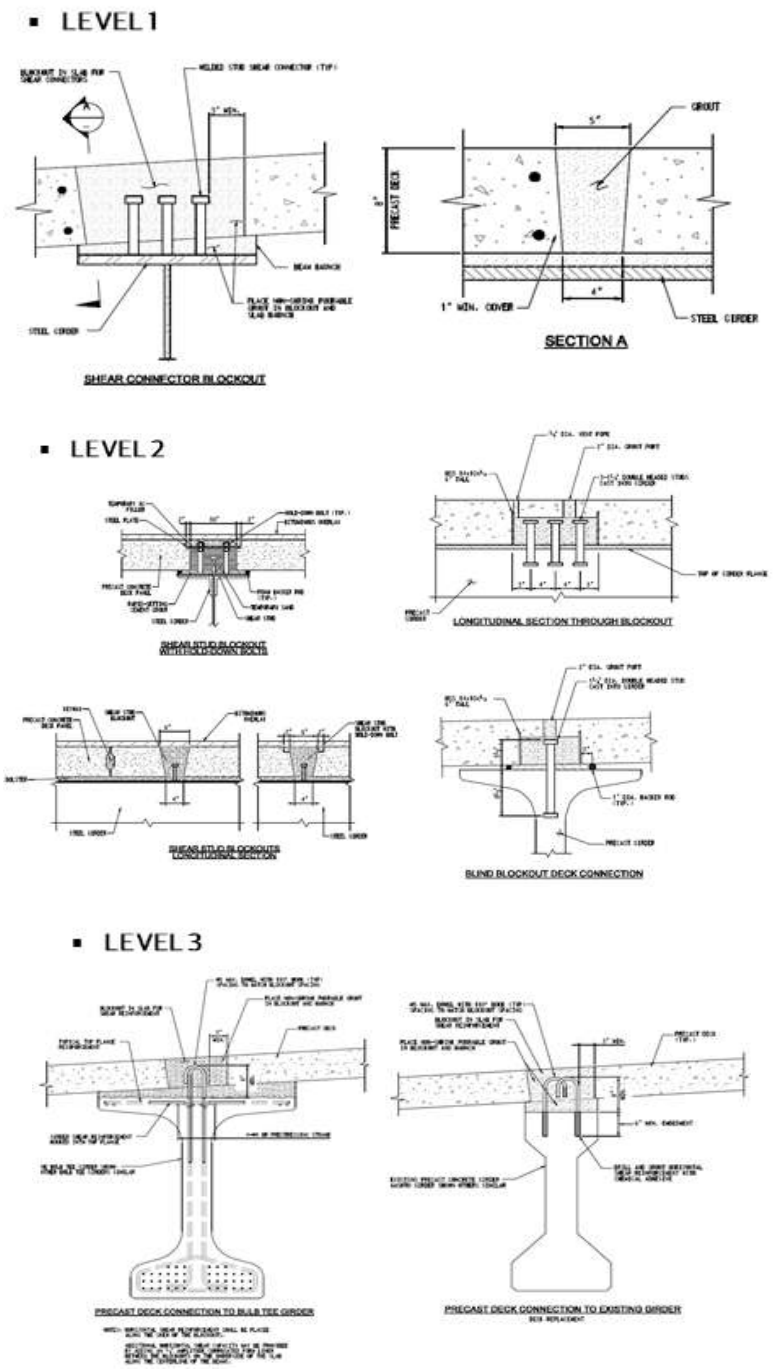
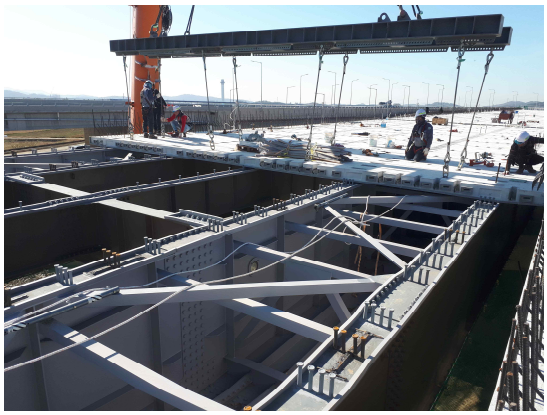


그림 4.27 바닥판 패널과 거더의 연결 방법(FHWA)

그림 4.27은는 미국의 FHWA(Federal HighWay Administation) 에서 제시하고 있는 패널과 전단연결재의 연결방법이다. FHWA에서는 기술의 단계를 LEVEL 1(2건이상의 현장 시공사례가 있고 주단위 기준이 정립), LEVEL 2(1건의 시공사례가 있으며 주단위 기준 미정립), LEVEL 3(실험적 검증 단계로 현장시공 사례 없음)의 3단계로 구분하여 제시하고 있다. 국내에서 개발되어 사용되는 전단면 패널은 모두 LEVEL 1의 해당되는 기술을 적용하고 있다.

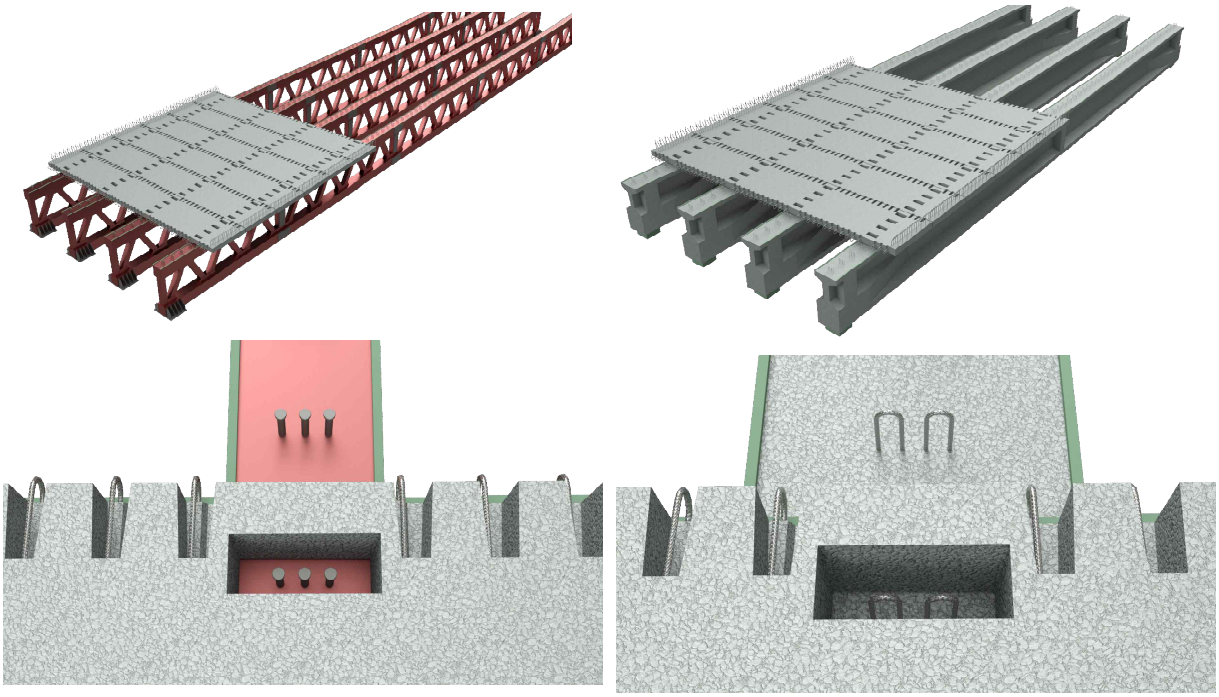


(a) 강재교량 스터드볼트



(b) 콘크리트교량 전단철근

그림 4.29 거더와 바닥판 전단연결 장치



(a) 강재교량 스터드볼트

(b) 콘크리트교량 전단철근

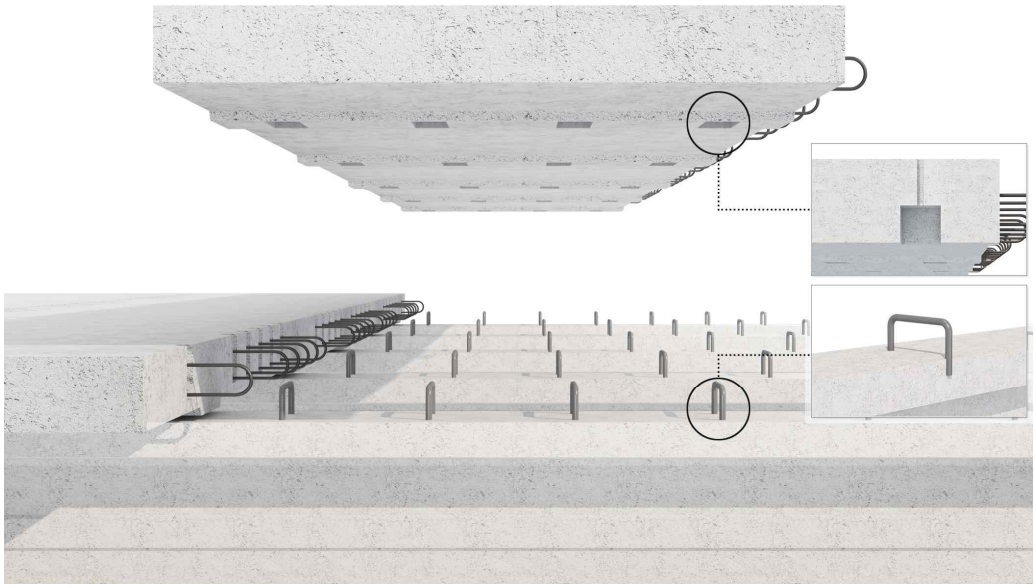
그림 4.29 모듈러 거더와 전단연결재의 합성

4.6.2 바닥판 전단연결 제안방법

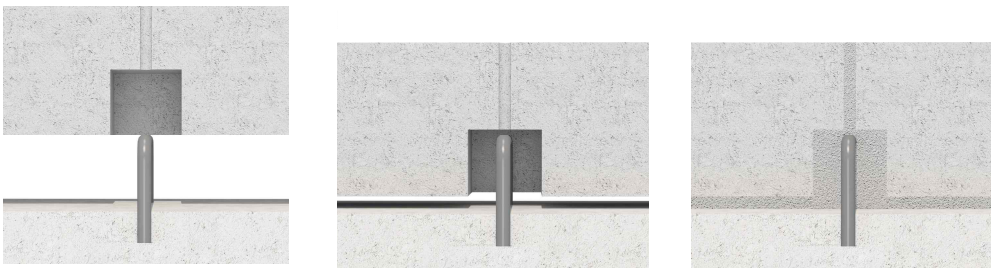
(1) 숨은 전단 포켓 방식

LEVEL 1에 해당되는 연결기술은 전단포켓에 전단연결재를 삽입 연결시공 할 때 육안으

로 확인이 가능하므로 시공과정이 원활한 장점이 있다. 하지만, 전단포켓에 타설하는 무수축 모르타르의 양이 많고 현장 조건에 따라 건조수축으로 인하여 포켓 주변에서 미세한 균열이 발생할 우려가 있다. 또한 본체와 후타설 모르타르의 재료특성 및 배합 차이로 전체 바닥판 표면색이 매끄럽지 못하여 미관이 불량한 단점이 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 그림 4.30과 같이 전단포켓부 상하면을 관통시키지 않고, 패널 하부에서 일정깊이까지만 개방시키고 상부에는 모르타르 타설홀과 에어홀만 설치하는 컨셉을 고안하였다. 전단연결재와 전단포켓의 합성은 기존의 합성방법과 동일하므로 구조안정성은 우수할 것으로 판단되며, 교량 상면에서는 타설홀과 에어홀만 노출되므로 설치 후 면상태가 매우 양호한 장점을 확보할 수 있다. 단점으로는 설치 시 전단연결재가 육안 확인이 되지 않으므로 패널의 제작 및 설치가 정밀하게 이뤄져야 한다.



(a) 전체 개요도



(b) 전단연결 상세도

그림 4.30 숨은 전단 포켓 방식

(2) 수평 슬라이딩 전단연결 방식

숨은 전단포켓에 의한 패널과 거더의 합성도 무수축 모르타르의 타설이 필요하다. 패널과 거더의 하중 작용방향은 거더 상면의 수평방향으로 발생하므로 수평방향의 전단저항을 확보할 수 있다면 전단포켓부의 무수축 모르타르 타설을 완전 배제할 수 있을 것이다. 이러한 구조적 특성을 바탕으로 그림 4.31과 같이 수평 슬라이딩 전단체결 방식을 고안하였다.

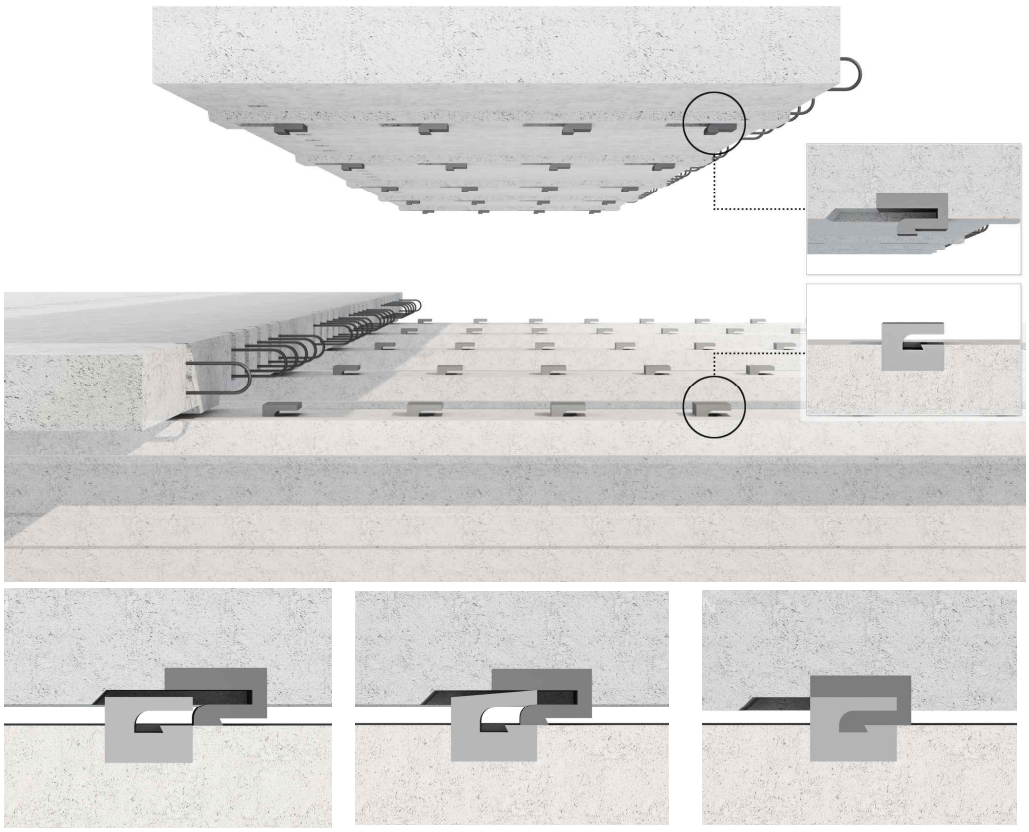


그림 4.31 수평 슬라이딩 전단연결 방식

이 방식은 거더 상면과 패널 하면에 암수로 체결될 수 있는 전단연결 장치를 설치하고 교축방향으로 바닥판이 슬라이딩하면서 장치가 체결되는 방식이다. 수평저항은 돌출장치를 통해 체결이후 양방향 고정이 되도록 암수의 돌출형상으로 계획하였다. 패널을 현장 설치한 후 일시적으로 해체가 필요할 경우 횡방향(교직방향)으로 이동시켜 해체할 수 있다.

(3) 수직 삽입 전단연결 방식

수평 슬라이딩으로 전단체결은 베딩층 확보를 위한 탄성재의 손상이 발생할 우려가 있다.

이러한 단점을 보완하기 위해 그림 4.32와 같이 암수의 전단저항 체결장치를 거더 상면과 패널 하면에 설치하여 수직으로 상호 맞물리도록 설치하는 방식을 고안하였다. 이 방식은 설치 및 해체가 매우 용이하므로 현장 시공이 우수할 것으로 판단된다. 반면에 패널과 거더의 완전합성을 위해 상향방향의 구속을 위한 장치가 필요하다.

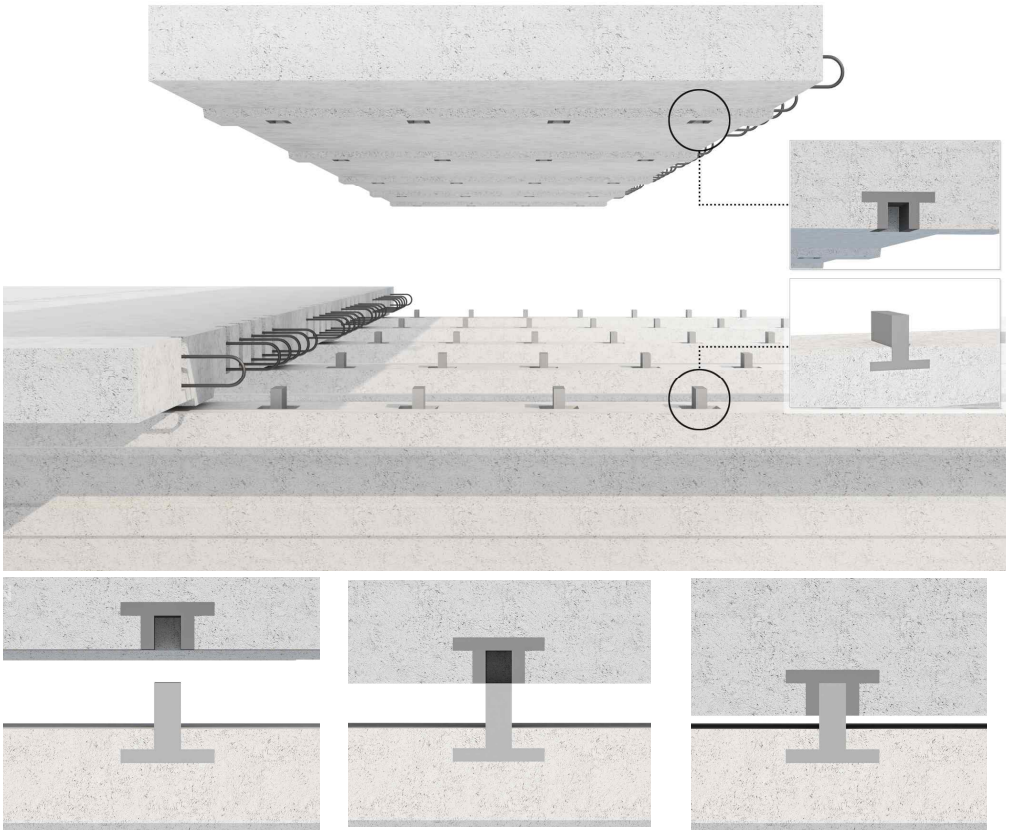
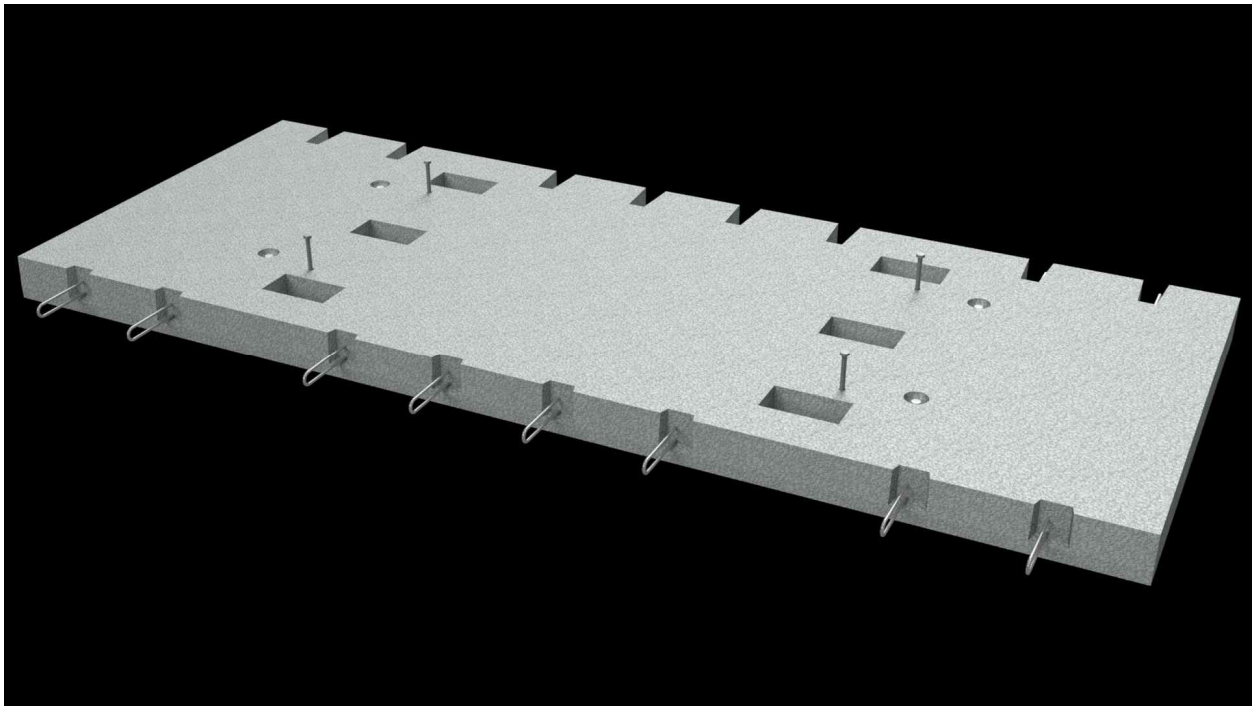


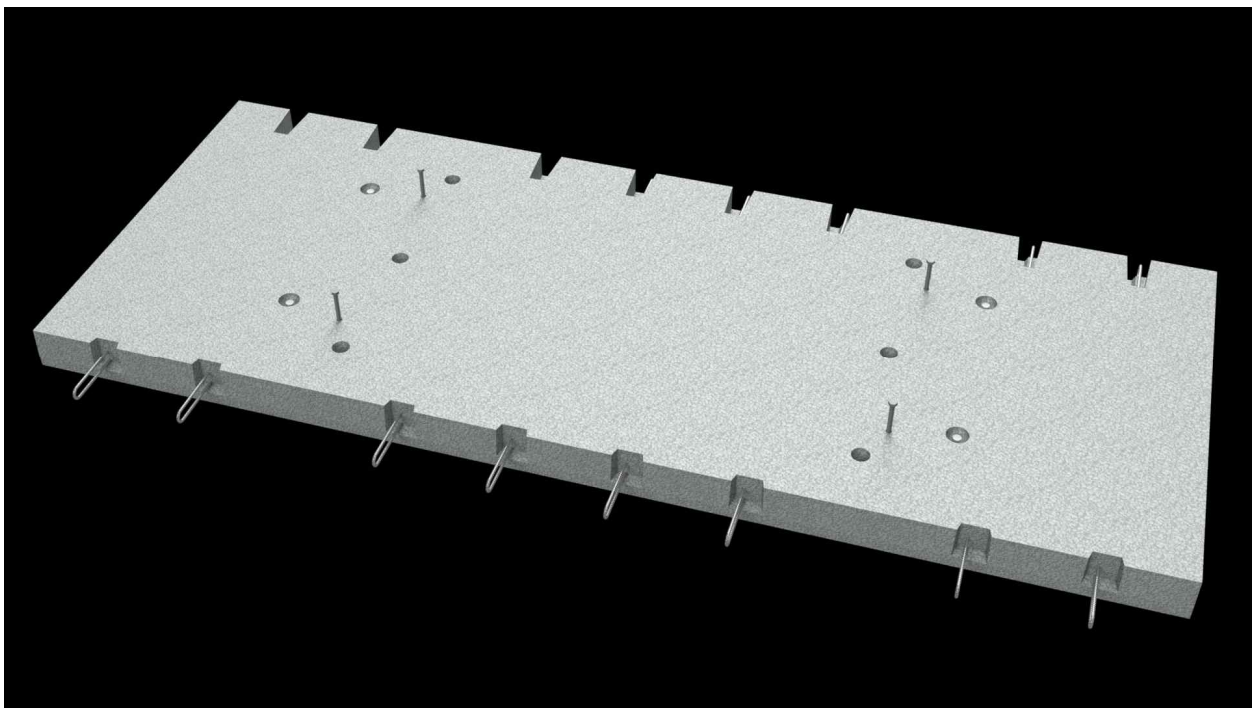
그림 4.32 수직 삽입 전단연결 방식

(4) 기존방법과 제안방법의 비교

그림 4.33에서는 기존방법과 제안방법을 비교하여 나타낸 것이다. 제안방법은 전단포켓이 상면에 노출되지 않아 기존방법에 비해 미관이 우수할 뿐만 아니라 유지관리 단계에서 전단포켓으로 인해 나타나는 손상이 크게 줄어 들 것으로 판단된다.



(a) 기존 프리캐스트 바닥판 및 전단포켓 형상

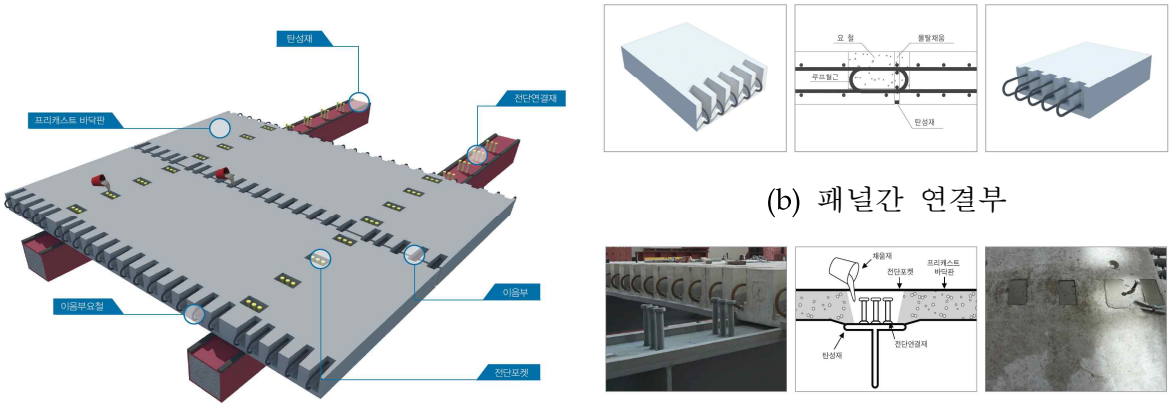


(b) 제안방법의 바닥판 및 전단포켓 형상

그림 4.33 전단포켓 형상 비교

4.6.3 바닥판 종단 연결

요철형 루프 이음 프리캐스트 바닥판 공법은 그림 4.34와 같이 이음부를 암수 요철형태의 격벽으로 제작하여 연결부 부착력을 증가시키고 루프 철근으로 이음부를 연결하는 기술이다. 이음부에 고강도(f_{ck}=60.0MPa) 무수축 모르타르를 타설하여 바닥판 모듈의 연속성을 확보한다. 그림 4.35는 프리캐스트 바닥판의 주요 상세부위에 대한 형상을 나타내고 있다.

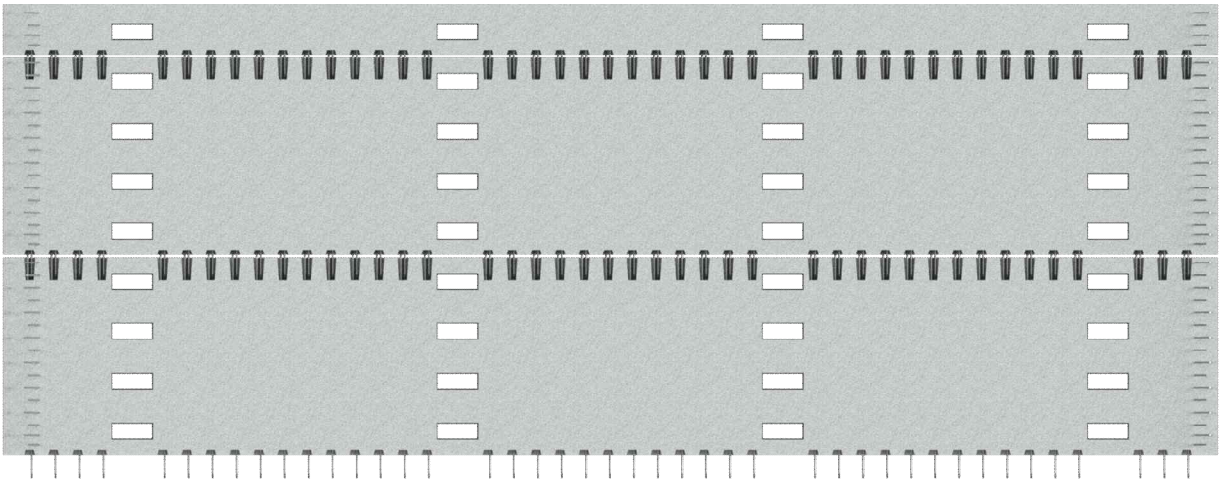


(a) 공법 개요

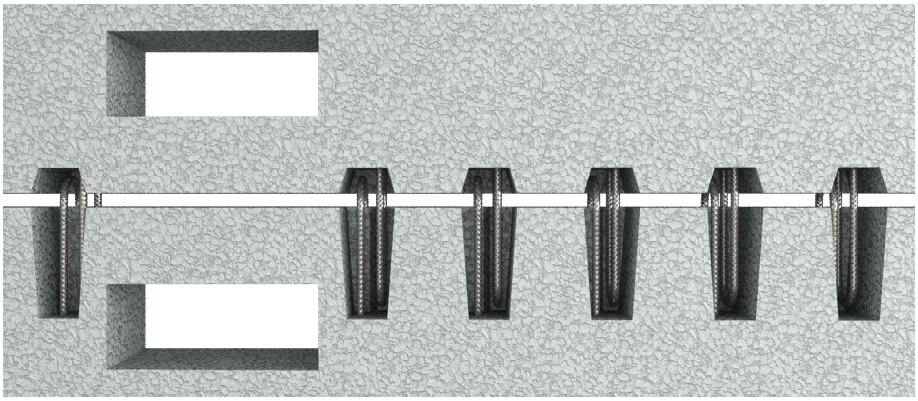
(b) 패널간 연결부

(c) 패널과 거더 연결부

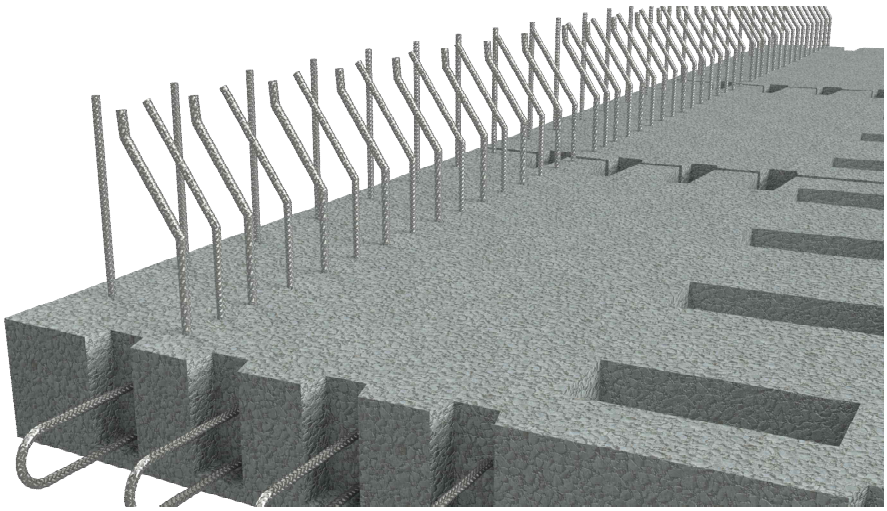
그림 4.34 요철형 루프 철근 이음 프리캐스트 바닥판 공법



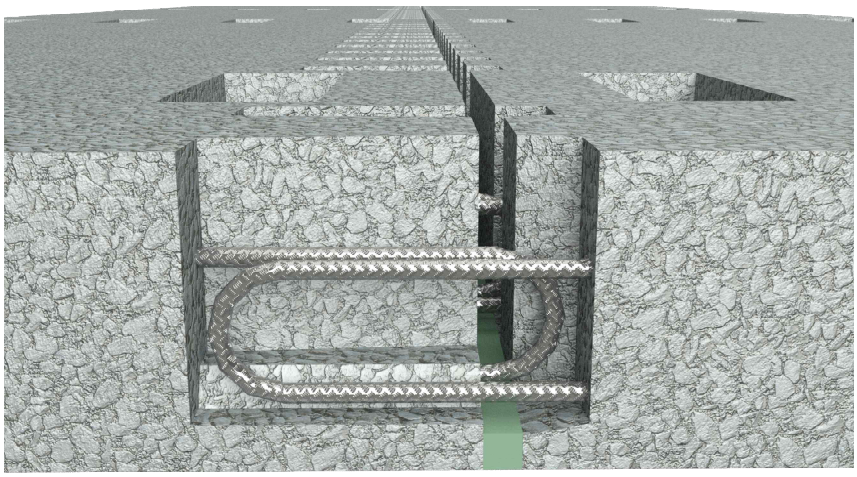
(a) 프리캐스트 바닥판 이음부 형상 (1)



(b) 프리캐스트 바닥판 이음부 형상(2)



(c) 방호벽 매입철근 형상



(d) 요철부 루프이음 상세

그림 4.35 프리캐스트 바닥판 형상 및 상세

제 5 장 모듈러 교량 시스템 설계

5.1 PSC 거더 모듈러 교량 시스템 기본 설계

5.1.1 2경간 연속교 PSC 모듈러 교량

PSC 모듈러 거더 교량 연속교의 구성 방법을 알아보기 위해 그림 5.1과 같이 40m 2경간 연속교를 가정하여 설계를 실시하였다.

○ PSC 모듈러 거더 교량 시스템 2@40.0m=80.0m 설계조건

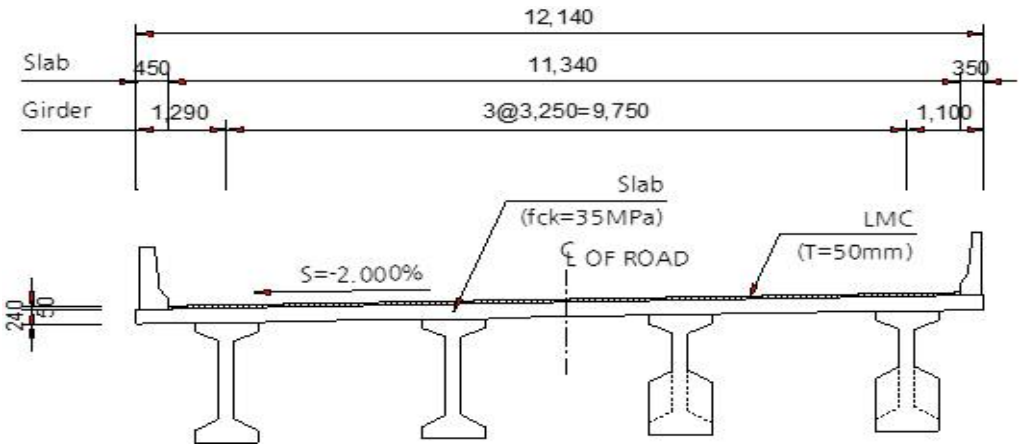
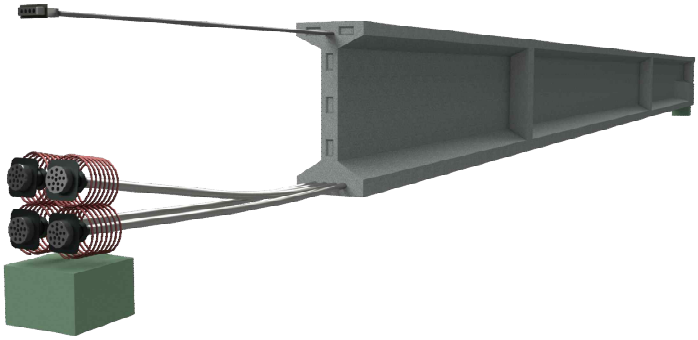


그림 5.1 교량 표준 횡단면도

- 콘크리트 강도 : f_{ck} = 50.0 MPa
- Prestress Tendon : f_{pu} = 1,860 MPa(그림 5.2 참조)
  * 상연 : Flat type Φ15.2mm 5ea x 1 Tendon
  * 하연 : Multi type Φ15.2mm 15ea x 4 Tendon
- 거더 간격 : 4-girder, C.T.C 3.25m
- 시공단계 해석 (PS강재 장기손실 500,000시간(약 57년) 고려, 도로교설계기준 5.5.3.2)
  * 1day / 7day / 15day / 1month / 3month / 500,000hr (20,833day)



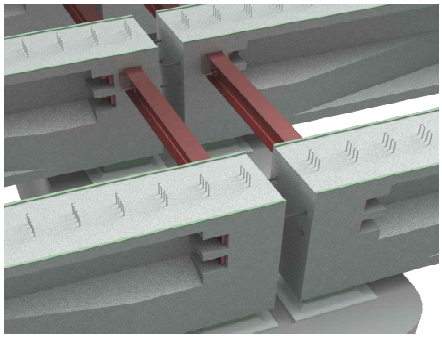


그림 5.2 강선 프로파일 및 지점부 강봉 형상

○ 구조해석 프로그램 및 모델링 (합성 전/후)

- 구조해석 프로그램 : MIDAS Civil (범용 유한요소 해석 프로그램)
- 모델링 방법
  - · 합성 전 : MIDAS PSC 모델
  - · 합성 후 : 3차원 Frame 모델
  - · 강선 프로파일 : 3차원 모델링, 단부 세그먼트 자중은 추가하중으로 재하

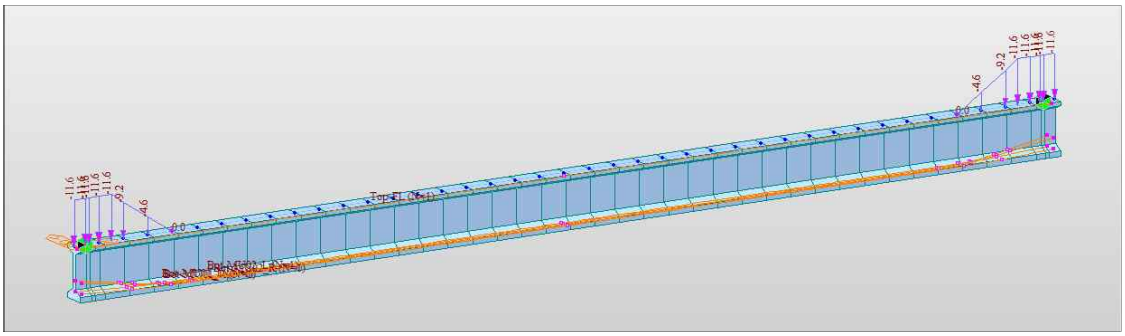


그림 5.3 합성 전 모델링

○ 구조해석 조건 및 방법

- 시공단계해석 수행 (설계기준:500,000시간) : 프리스트레스 손실량 확인
- 2차 고정하중 및 활하중에 대해서 해석 수행
- 횡방향 해석을 통해 산출한 횡분배 하중을 각 거더에 직접 재하

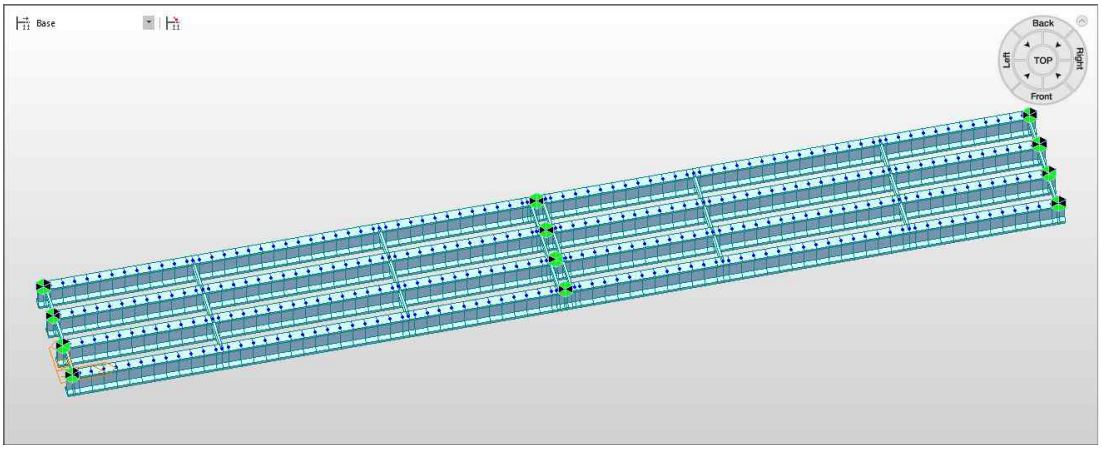
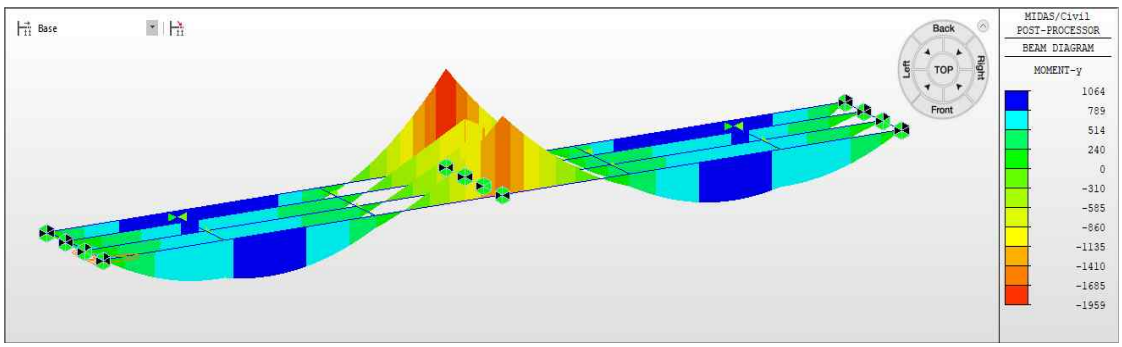


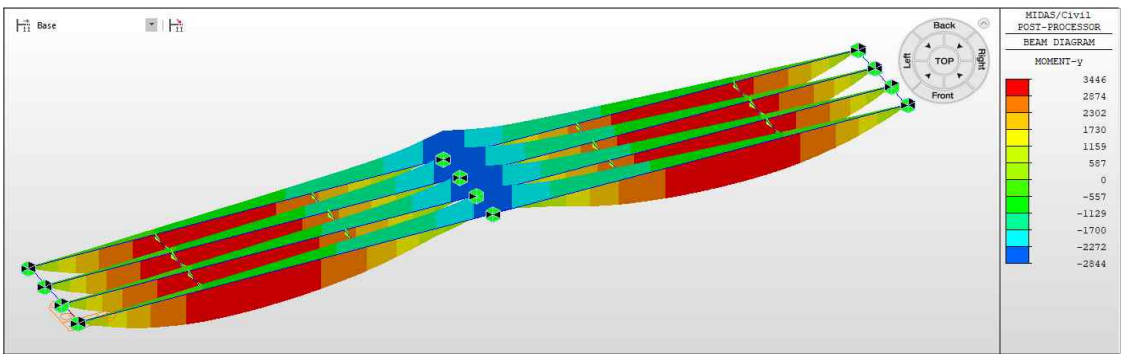
그림 5.4 합성 후 모델링

○ 구조해석 결과 요약

- 경간 중앙부는 동일조건 단경간 40.0m의 구조해석 결과에 비해 충분히 안전하므로 연속교의 경간 중앙부는 응력수준이 더 안전측이므로 본 검토에서는 그림 5.5와 같이 지점부에 대한 구조해석 결과만을 다루었다.



(a) 2차 고정하중 재하시 응력분포도



(b) 활하중(충격계수 고려) 재하시 응력분포도

그림 5.5 2경간 PSC 모듈러 거도교의 구조해석 결과

표 5.1 PSC 모듈 2@40.0m 중간 지점부 구조해석 요약 [첨부, 구조계산서 참조]

구 분	2nd Dead	Live(i)	Total	비고
지점부 부모멘트 (kN-m)	-1,959	-2,844	-4,803	
단면계수 Z_{top} (mm^3)			1,594,105,296	
$P_{Bar,70\%}$ (kN)			2,992	Stress Bar DSI Threadbar(Φ36x4ea)
e_P (mm)			115	
A (mm^2)			2,398,144	
$\frac{P}{A}$ (MPa)			-1.248	축 압축
$\frac{M}{Z_{top}}$ (MPa)			3.013	휨 인장
$\frac{Pe}{Z_{top}}$ (MPa)			-0.216	휨 압축
Total stress (MPa)			**1.549**	**O.K!** **< 3.04MPa**

#1. 부재력이 더 큰 외측거더에 대한 수치임.

#2. 응력 부호 : (-)압축, (+)인장

#3. 시공중 거더 허용응력 : 압축 -30.0 MPa, 인장 3.04 MPa

5.1.2 3경간 연속 PSC 거더 모듈러 교량 시스템

각 경간장이 30m, 40m, 35m인 단경간 거더를 연속화시켜 그림 5.6과 같이 3경간 연속 PSC 모듈러 교량 시스템의 기본 구조를 설계하였다. 교량 하부는 그림 5.7과 같이 조립식 CFT 모듈러 교각을 적용하고 상부는 표준 모듈 바닥판을 합성하여 교량을 완성하였다. 2경간 연속 PSC 거더 모듈러 교량과 마찬가지로 3경간 연속 PSC 거더 모듈러 교량 시스템은 그림 5.8과 같이 구조계산 상에는 문제가 없는 것으로 나타났다. 하지만, 국부적인 응력발생 및 연결부 상세 안전성평가 등에 대하여 차후 실증 실험과 실시설계를 통해 검증할 필요가 있다.

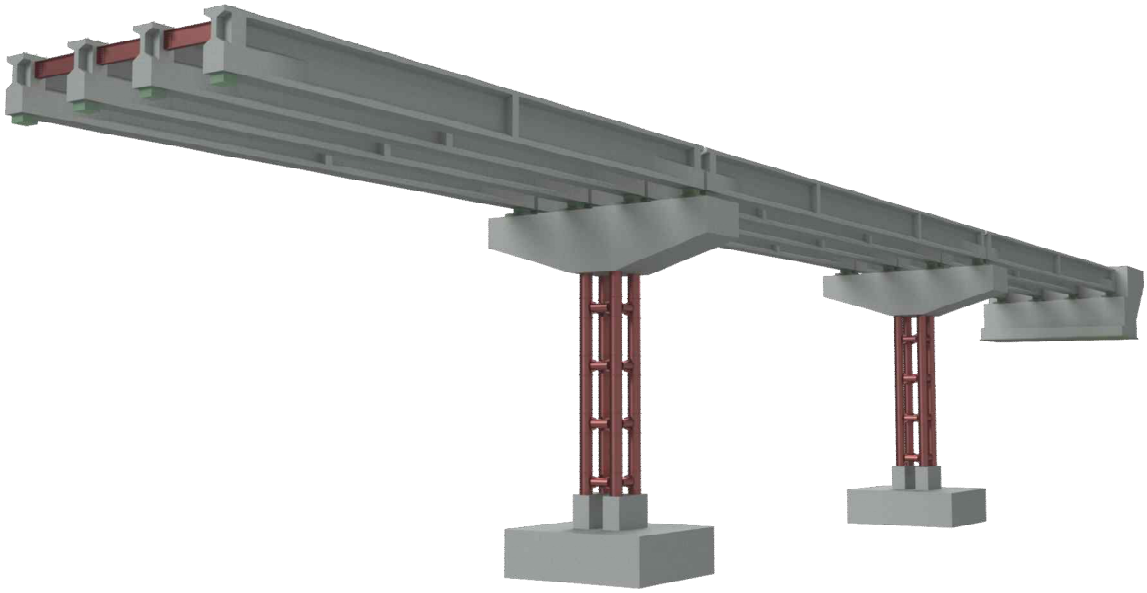


그림 5.6 30m + 40m + 35m 경간 구성 개념

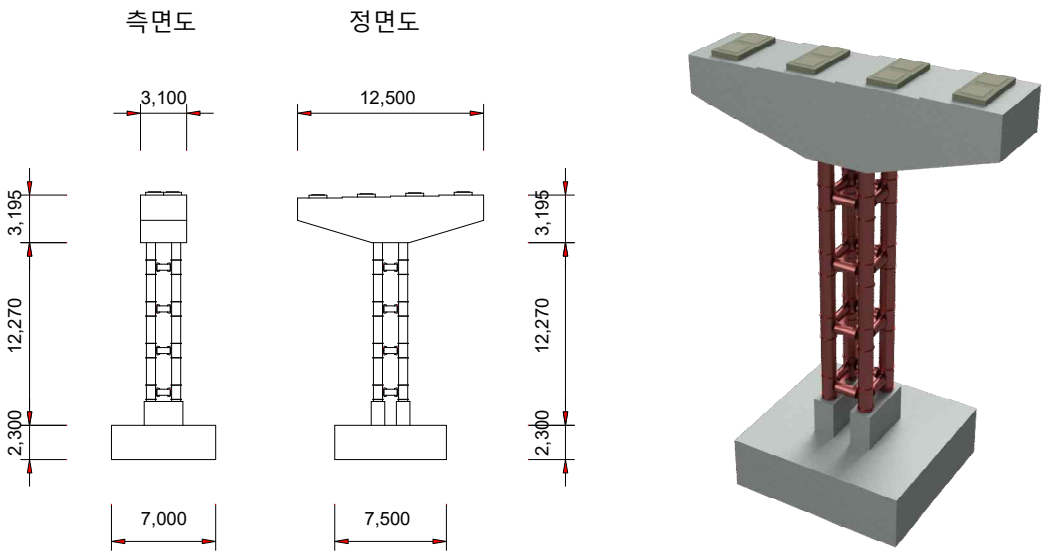


그림 5.7 CFT 교각 일반도

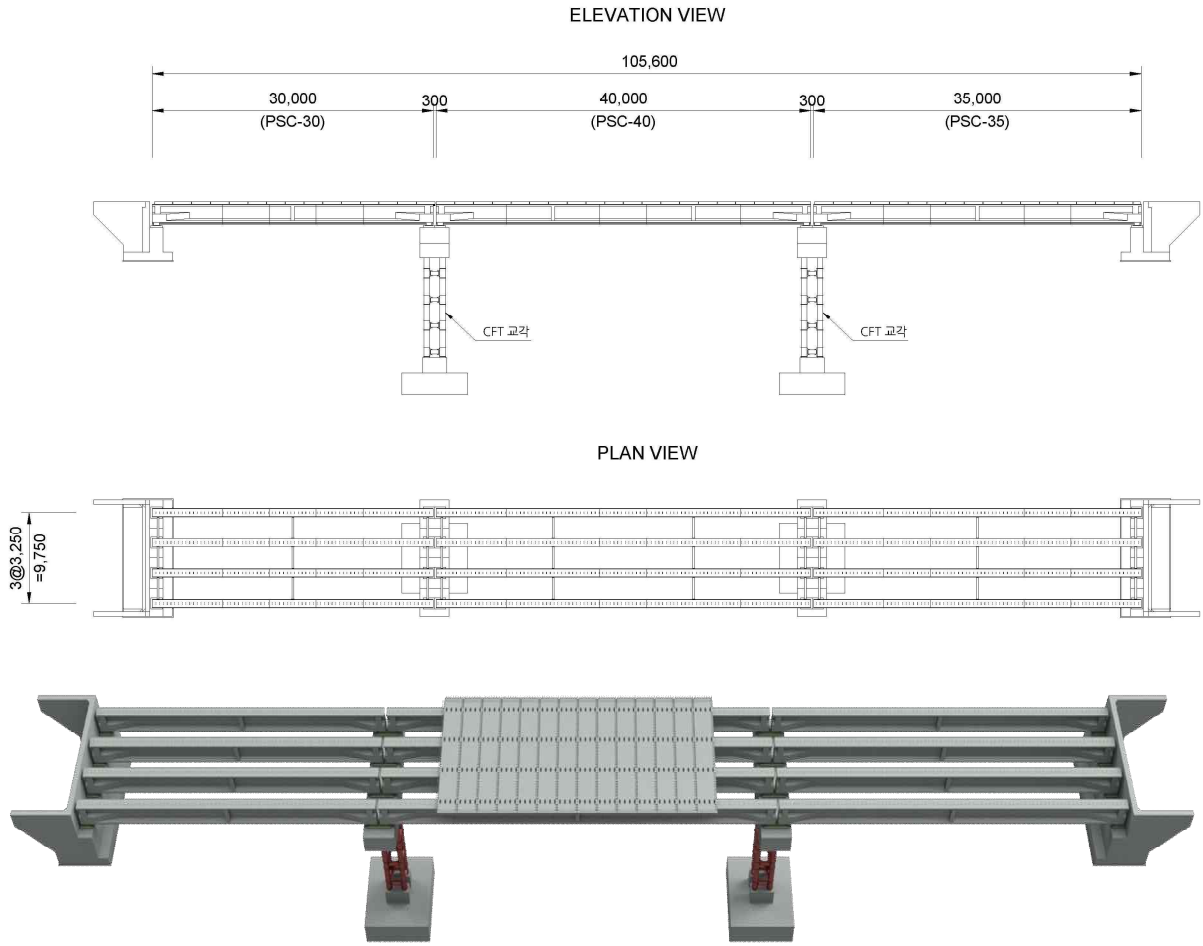


그림 5.8 경간 구성 일반도

5.2 모듈러 교량 시스템 BIM

5.2.1 모듈러 교량 시스템 BIM 정의

모듈러 교량 시스템 설계에서 표준 모듈을 3차원 모델링하면 모듈 형상과 철근 배근 간섭을 제작 전 단계에서 확인할 수 있다. 이 설계모델은 모듈을 제작 및 시공하는 과정에서 취득하는 3차원 품질관리 데이터와 비교하여 모듈러 교량 시스템의 공정 정밀도를 높이는데 사용할 수 있다. 또한, 3차원 설계모델을 활용하면 시공 예정 교량의 경간 구성에 따라 표준 모듈의 조립상태를 사전에 시뮬레이션 하는 Pre-Construction이 가능하므로 모듈의 3차원 설계와 모듈 조합 방법의 시각화를 통해 담당자들이 시공 품질과 공사 절차를 직관적으로 이해할 수 있다.

현장 타설에 의한 교량 공사에 비하여 모듈러 시스템을 이용한 교량 공사는 공정이 줄어

들기 때문에 BIM 적용 시 모델링 정보가 단순해진다. 모듈러 교량 시스템의 BIM은 공장제작 과정 품질 데이터가 명확하게 포함된 표준 모듈을 Digital Twin 기술을 이용하여 실물 시공 전에 시뮬레이션 하는 것을 목적으로 한다. 공장에서 제작하여 제품으로 보유하는 표준 모듈의 구조 설계와 재료 품질을 동일한 데이터 스키마로 정의하여 시공 중인 모듈의 정보가 전 공정에 쉽게 호환되도록 할 수 있다. 또한, 모듈러 교량 시스템에서는 아날로그 방식으로 전달하던 공사정보를 동일한 스키마로 호환하여 건설 공정에 적용함으로써 완전한 품질관리를 수행할 수 있을 뿐만 아니라 제작 및 시공 정보를 유지관리 단계까지 가져옴으로써 공용 중 교량의 안전성 확보에도 큰 도움을 줄 수 있다. 그림 5.9에서는 현장타설에 의한 교량 시공과정과 모듈러 부재를 사용한 프리팹 방식의 시공과정을 비교하였다.

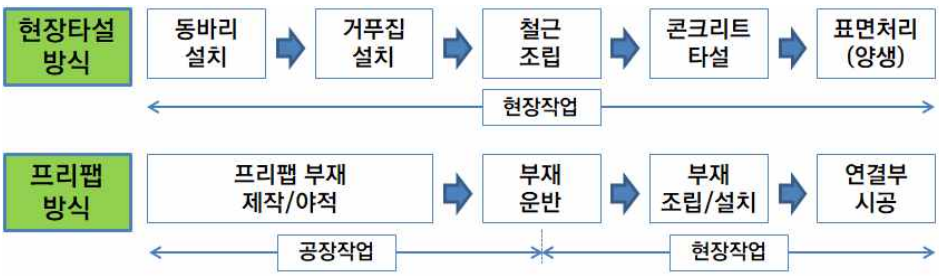


그림 5.9 현장타설 방식과 프리팹 방식의 비교

한편, 고속도로공사 작업분류체계(WBS : Work Breakdown Structure) 설계실무 가이드라인(안)에서 제시한 개선된 작업분류체계는 그림 5.10과 같다. 이 분류체계에서 프리팹化가 가능한 부재를 중심으로 작업분류체계를 그림 5.11과 같이 재구성할 수 있다. 그림 5.12와 표 5.2에서는 그림 5.10과 그림 5.11의 두 분류체계를 비교하여 나타낸 것으로 공장제작을 통하여 공정을 간소화함으로써 현장작업을 획기적으로 줄여 공기를 단축시킬 수 있을 뿐만 아니라 4차 산업혁명 기술을 활용함으로써 부재 제작단계에서부터 품질관리가 가능하기 때문에 고품질의 정밀시공이 가능함을 알 수 있다.

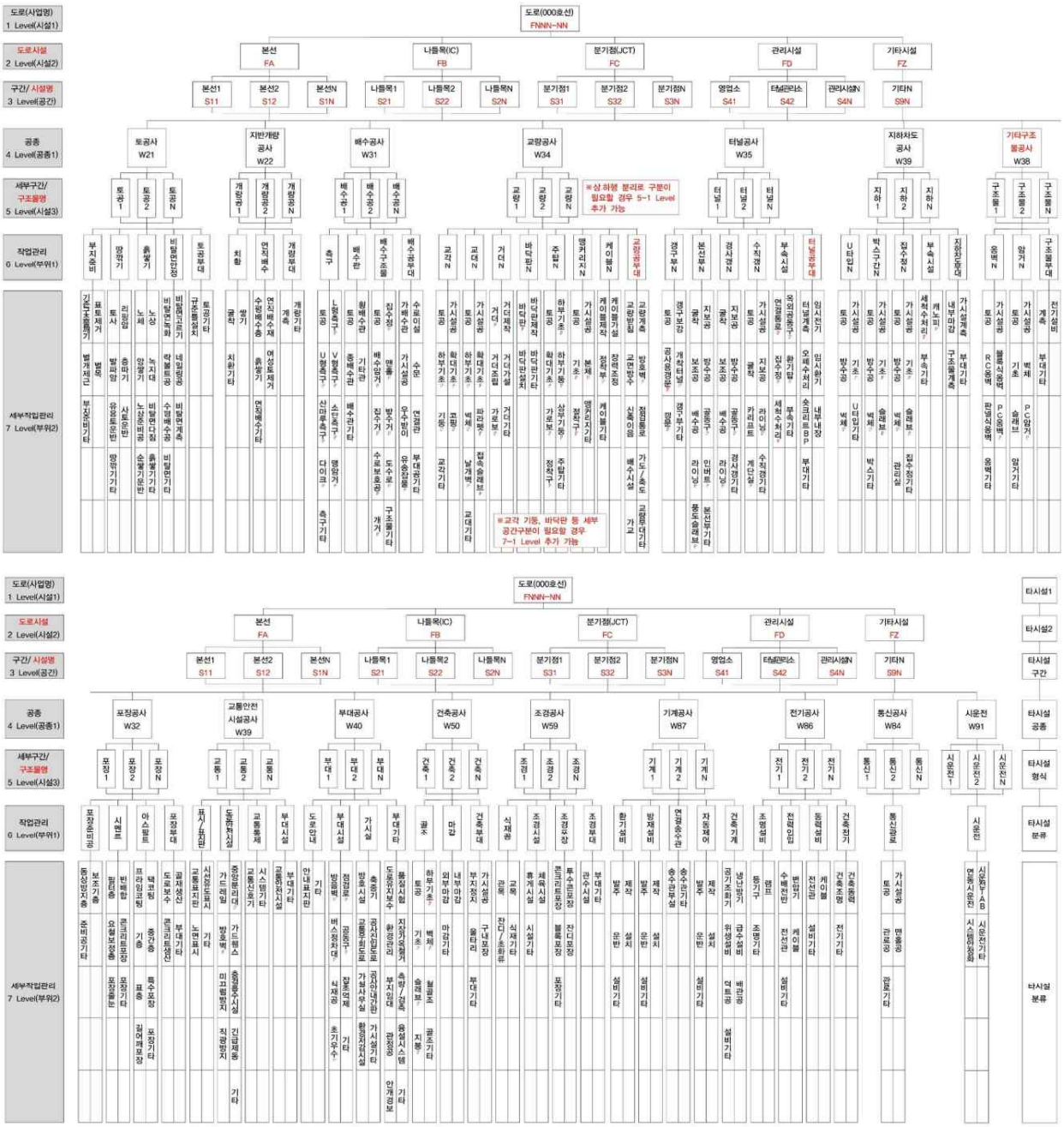


그림 5.10 고속도로공사 작업 분류 체계(WBS : Work Breakdown Structure)

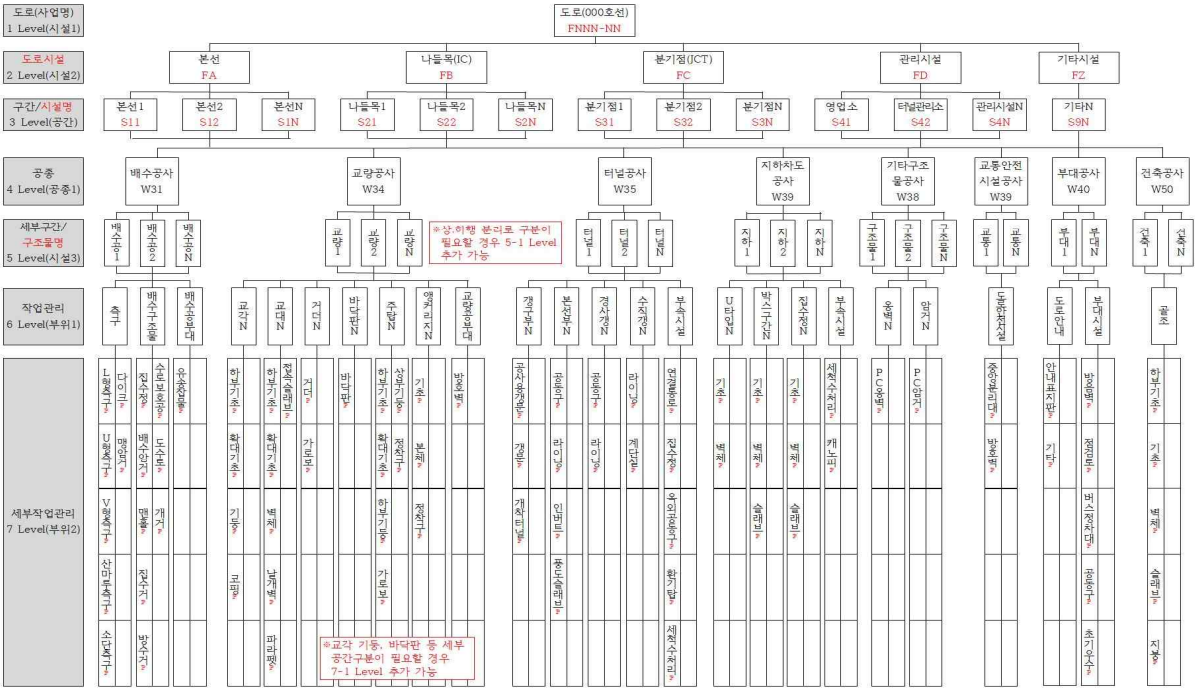


그림 5.11 프리팹화 가능 부재를 중심으로 구성한 작업분류체계

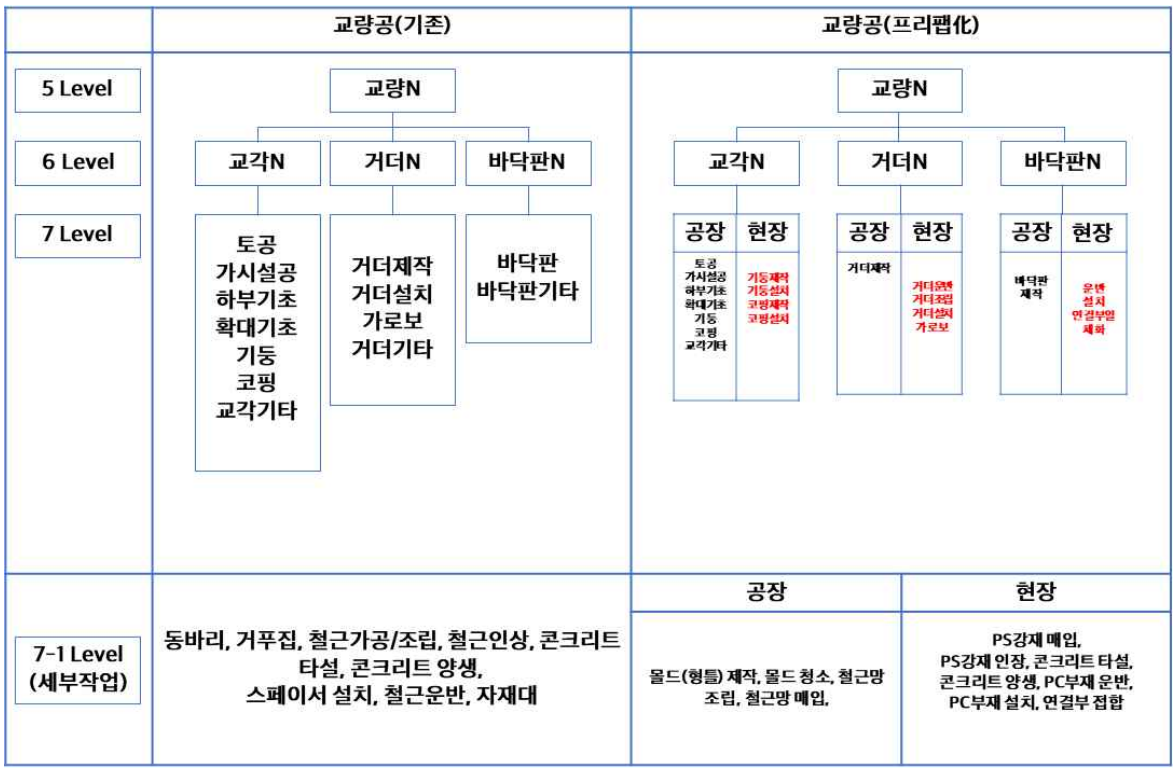


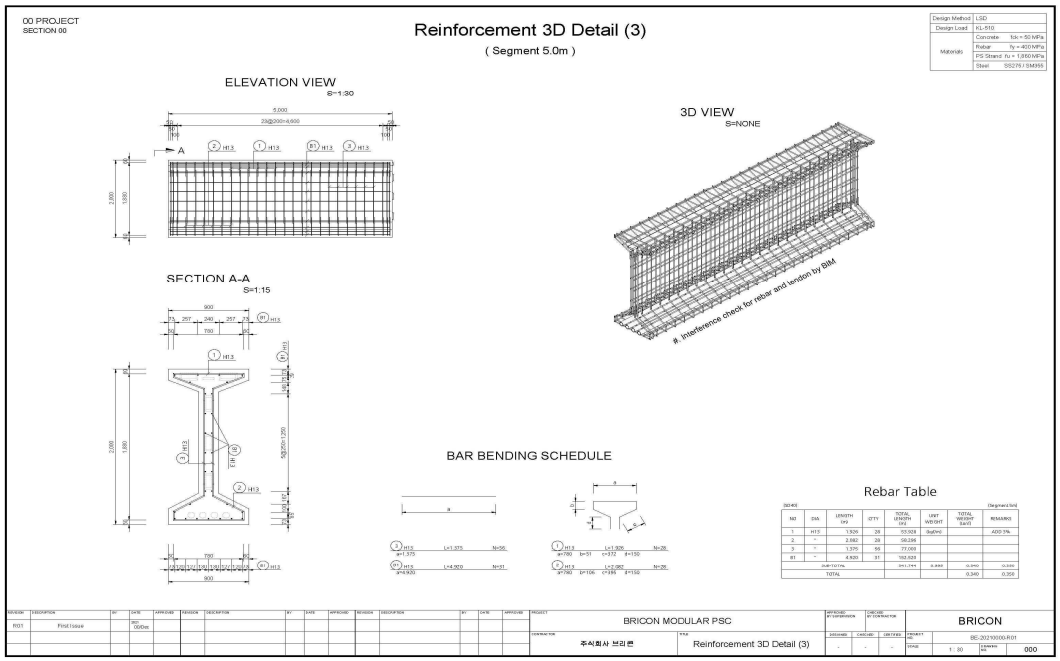
그림 5.12 기존 공법과 프리팹 공법의 WBS 분류 체계 비교

표 5.2 교량 바닥판에 대한 현장타설(R.C) 방식과 프리팹 방식의 분류체계 비교

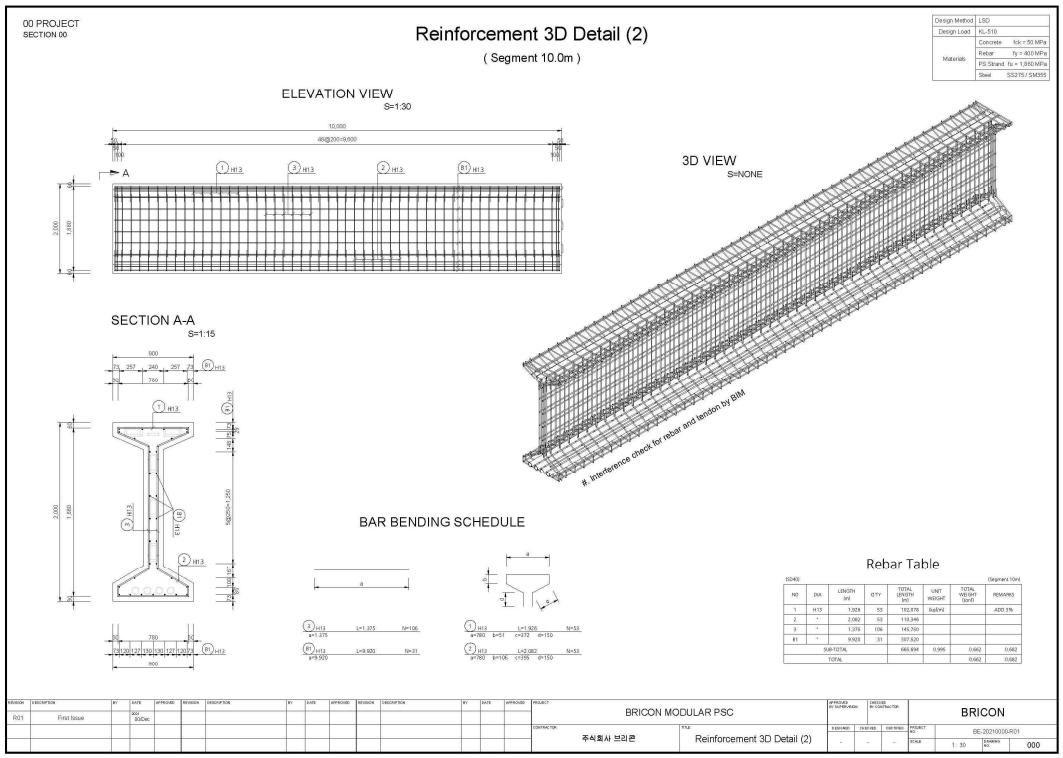
구 분	R.C 방식	프리팹 방식
바닥판	3.10 거푸집공 c 합판거푸집(3회)	3.101 제작비 a 바닥판(A-Type)(B-Type) c 강재거푸집(50회)
	3.11 강관비계 a 강관비계	3.102 운반 a 소운반(공장, 현장조립) b 야적 c 대운반(공장->현장)
	3.12 동바리 b 목재동바리	3.103 조립・설치비 a 바닥판 설치 b 연결부 결합(이음부/전단포켓)
	3.13 철근가공조립 a 철근가공 및 조립 c 철근인상작업	
	3.14 콘크리트 타설 a 철근콘크리트타설 /펌프차	
	3.15 표면처리 a 슬라브 양생 b 데크휘니샤 면고르기 c 콘크리트 양생	
	3.40 스페이셔 설치 a 슬래브 및 기초	3.104 3차원 데이터 기반 품질관리 a 3D 스캐닝(제작정밀도 확인) b 드론(조립 시뮬레이션) c IoT 센서(시공-유지 품질관리)
	3.69 자재운반 c 철근운반	
	3.70 자재대 c 철근	3.105 자동화 장비 a 모바일 팩토리(이동식 제작장) b 가변거푸집(정밀한 프리팹 제작) c 로보틱 트랜스포터(공장내 & 현장 조립시 정위치 소운반)

5.2.2 모듈러 교량 시스템 3차원 설계

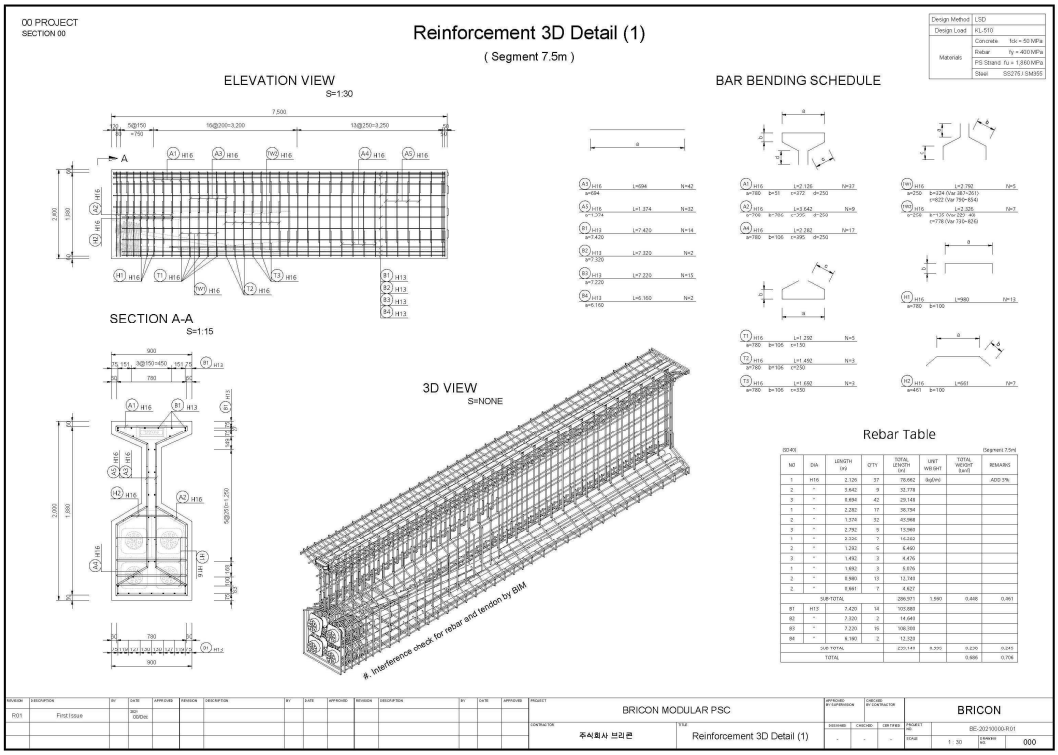
모듈러 교량 시스템 표준 모듈의 시공 BIM을 위하여 그림 5.13 ~ 그림 5.15와 같이 3D 설계와 간략한 3D 모델을 구현하였다. 표준 모델을 이용한 시공 시뮬레이션 결과, 조립 및 설치 등 전체 과정에서 문제는 발견되지 않았다.



(a) 중앙부 모듈러(5m)



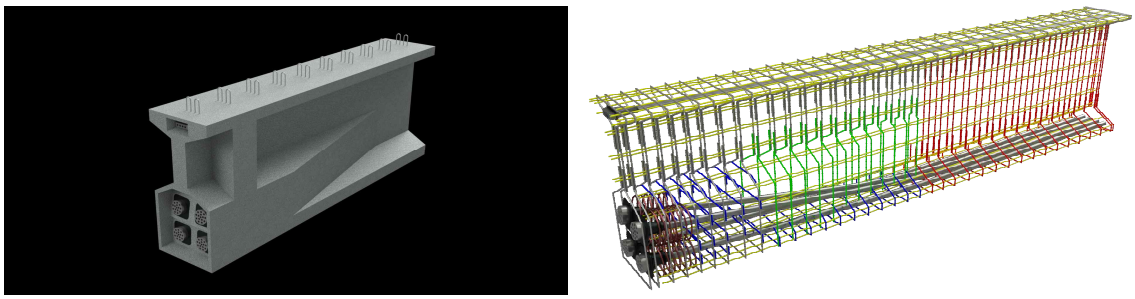
(b) 중앙부 모듈러(10m)



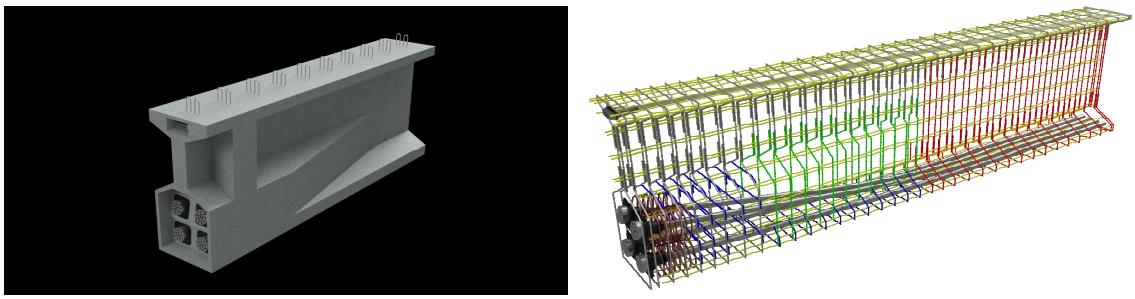
(c) 단부 모듈러

그림 5.13 모듈러 부재 3차원 설계도

○ PSC 거더 표준 모듈 3차원 설계



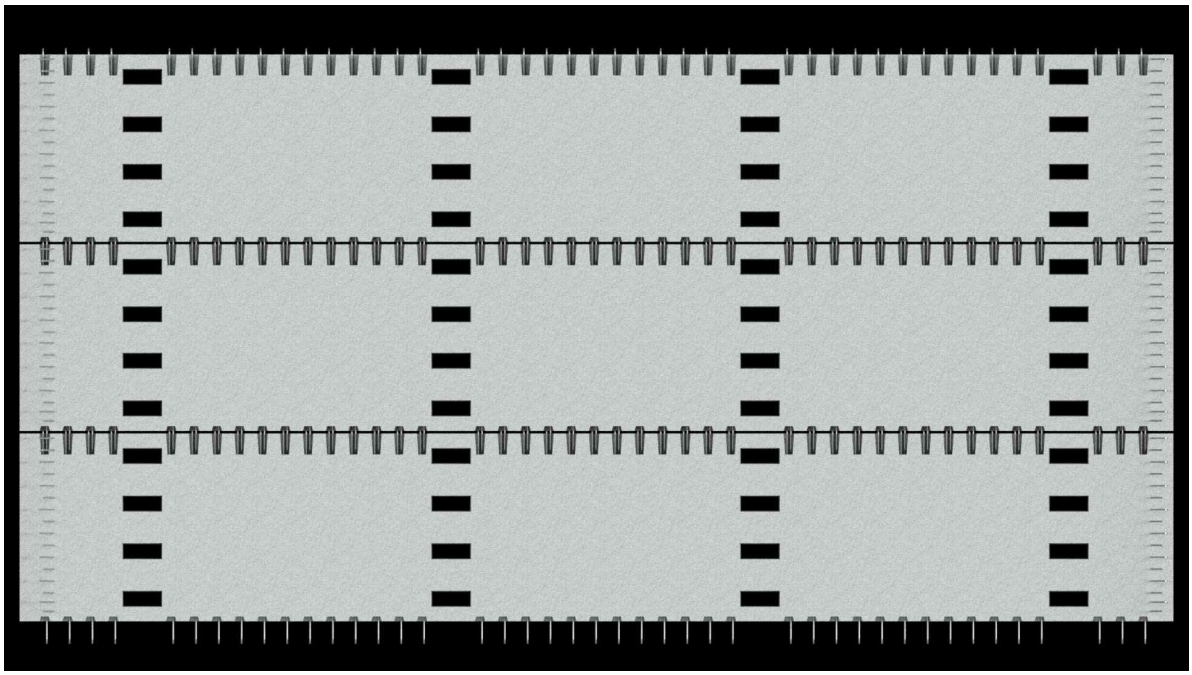
(a) 단부 BIM 모듈 3D 외형 모델링 및 철근 배치



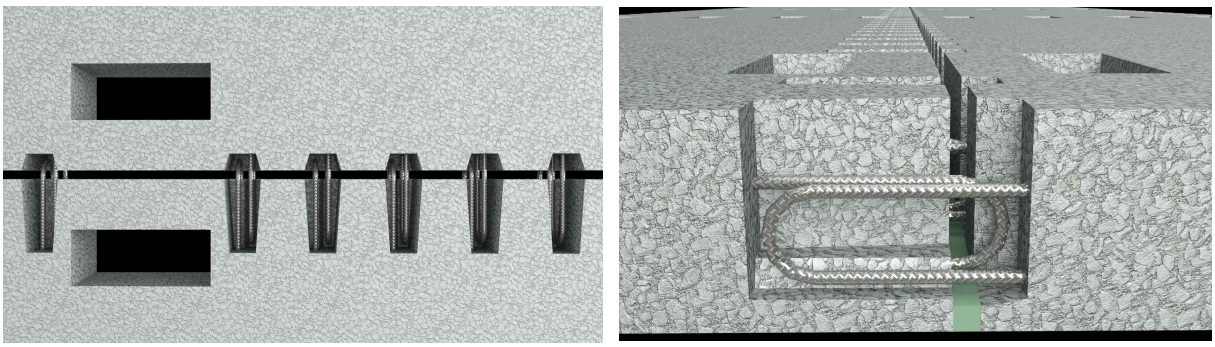
(b) 중앙부 BIM 모듈 3D 외형 모델링 및 철근 배치

그림 5.14 BIM 모듈러 부재 3D 모델링, 철근 및 긴장재 배치형상

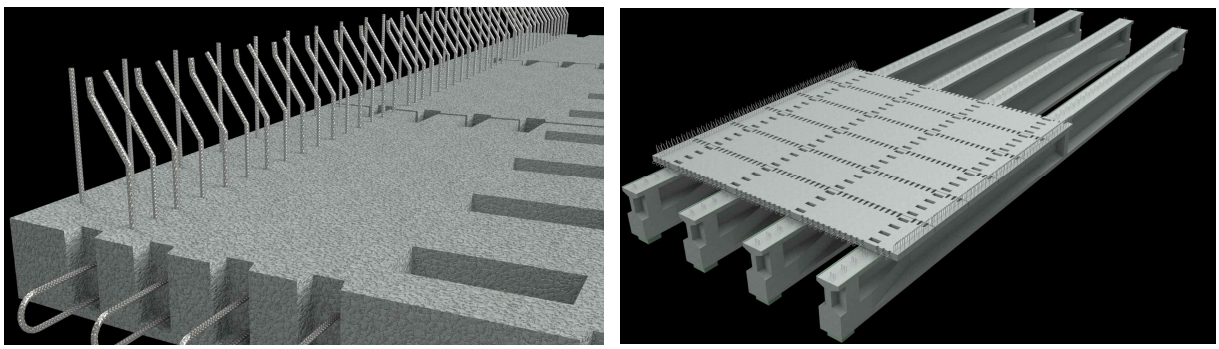
○ 바닥판 표준 모듈 3차원 설계



(a) 바닥판 3D 모델링



(b) 바닥판 연결부 상세

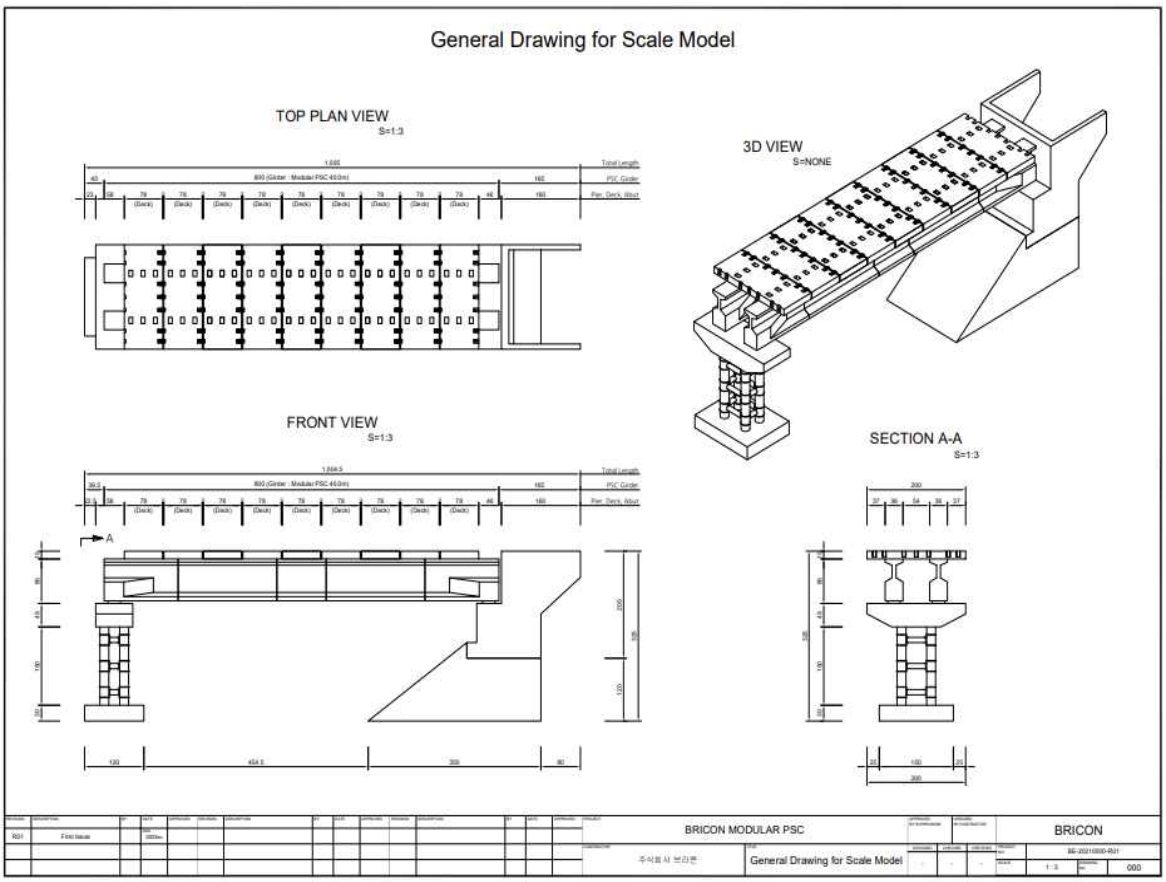


(c) 바닥판 방호벽 연결부 상세 (d) 바닥판과 거더의 조합

그림 5.15 바닥판 모델링

5.2.3 모듈러 교량 시스템 축소모형

기본설계를 완료한 모듈러 교량 시스템의 표준 거더와 표준 바닥판의 경간별 시공성을 확인하기 위하여 그림 5.16과 같이 3D 프린팅을 활용하여 축소모형을 제작하였다. 국내 최초로 교량 전체를 프리팹 공법으로 시공할 예정인 BH교(양평-이천 고속도로)를 대상으로 모형을 제작하였다. 축소모형의 제작 목적은 표준 모듈을 조립할 때 경간변화에 따라 나타나는 교량 시스템의 조립 완결성 및 조립 순서 그리고 조립과정에서 발생하는 문제점을 기본설계 단계에서부터 확인하기 위함이다. 또한, 차후 진행예정인 검증실험을 위한 실물 목업 제작과 구조실험과정에서의 시행착오를 줄일 수 있으며, 실시설계 단계에서는 모형 조립을 통해 조립순서 및 시공 과정에서 도출된 문제점의 해결방안을 수립할 수 있다. 또한, 모형을 이용한 Pre-Construction 결과를 시각적으로 시뮬레이션 함으로써 모듈러 교량 시스템의 장점을 가시적으로 확인할 수 있고 표준 모듈 구성의 적절성을 판단할 수 있다.



(a) 모형 교량 설계도



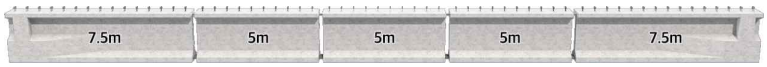
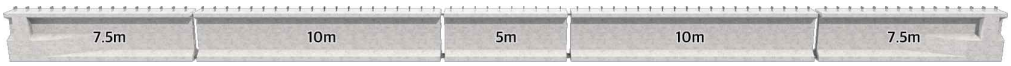
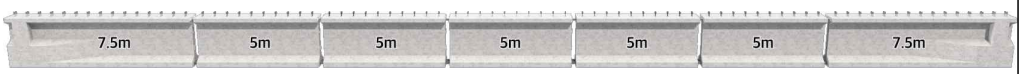
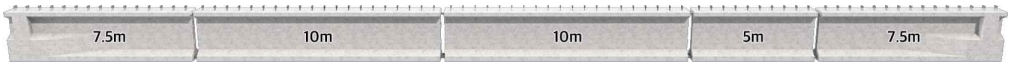
(b) 축소모형 전경

그림 5.16 교량 축소 모형의 설계도 및 모형 형상

5.2.4 모듈러 교량 시스템 Pre-Construction 시뮬레이션

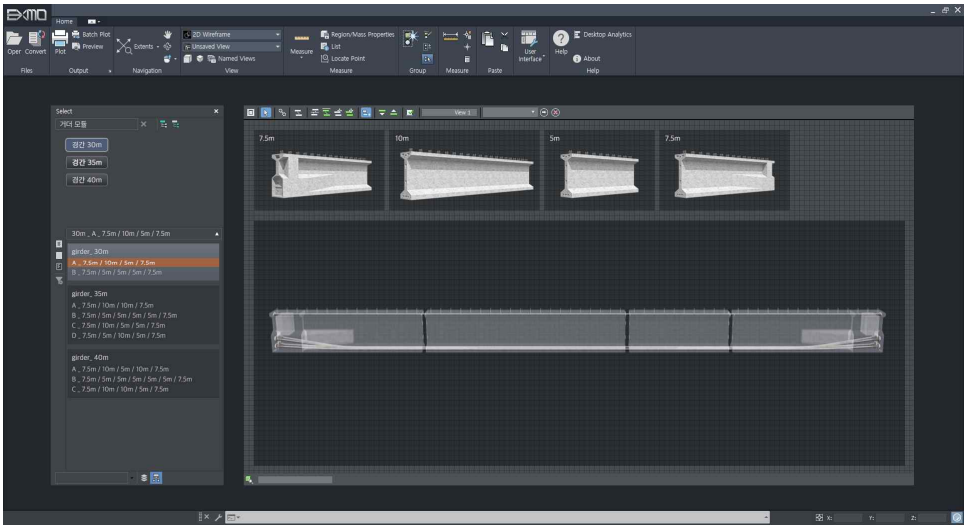
경간장에 따라 표준 모듈을 조합할 수 있는 다양한 경우의 조합방법을 표 5.3에서 제시하였다. 표 5.3을 이용하면 경간변화에 따른 표준 모듈의 최적 조합방법과 수량을 용이하게 산출할 수 있는 Pre-Construction이 가능할 것으로 판단된다.

표 5.3 경간별 모듈 조합 경우의 수

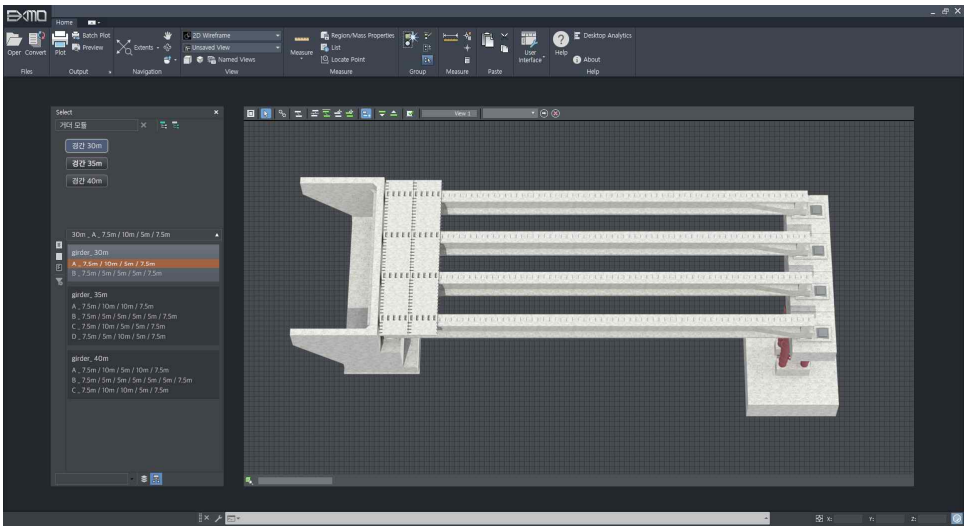
경간	모듈 조합	
30m	A	
	B	
35m	A	
	B	
	C	
	D	
40m	A	
	B	
	C	

또한, 표준 모듈의 재료특성과 구조성능 그리고 제작이력에 대한 모든 정보가 통합된 템플릿 형태의 3차원 정보 모델(BIM)을 구성하면, 모듈의 운반, 조립 및 시공 전 과정을 용이하게 시뮬레이션 할 수 있고 실물 제원 측정 및 영상 맵핑 등을 통해 Digital Twin 체계를 구축할 수 있으며, 향후 스마트 건설이 안정적으로 정착하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

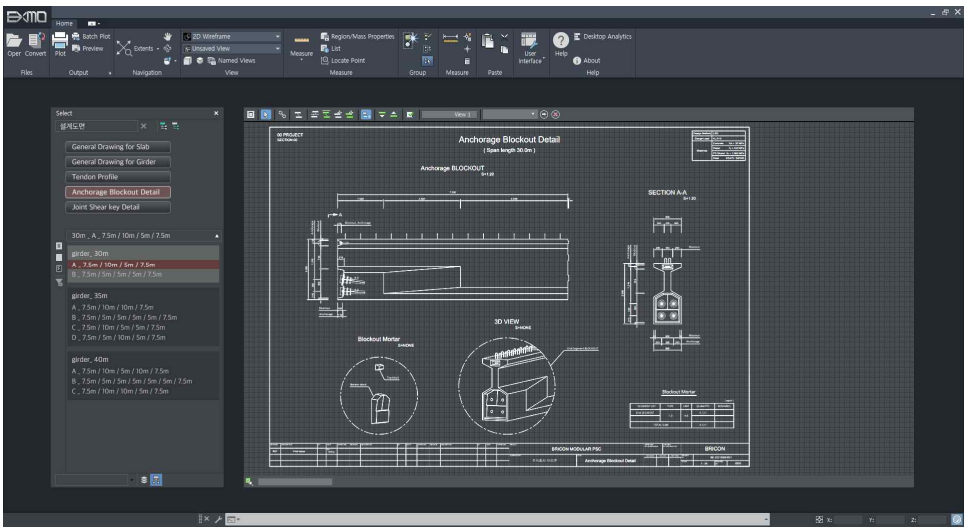
본 연구에서는 거더 및 바닥판 등 BIM 표준 모델을 활용하여 BH교를 대상으로 30, 35, 40m 경간장을 갖는 교량 시스템을 그림 5.17 ~ 그림 5.19에서 각각 시뮬레이션하고 조합의 완결성을 확인하였다.



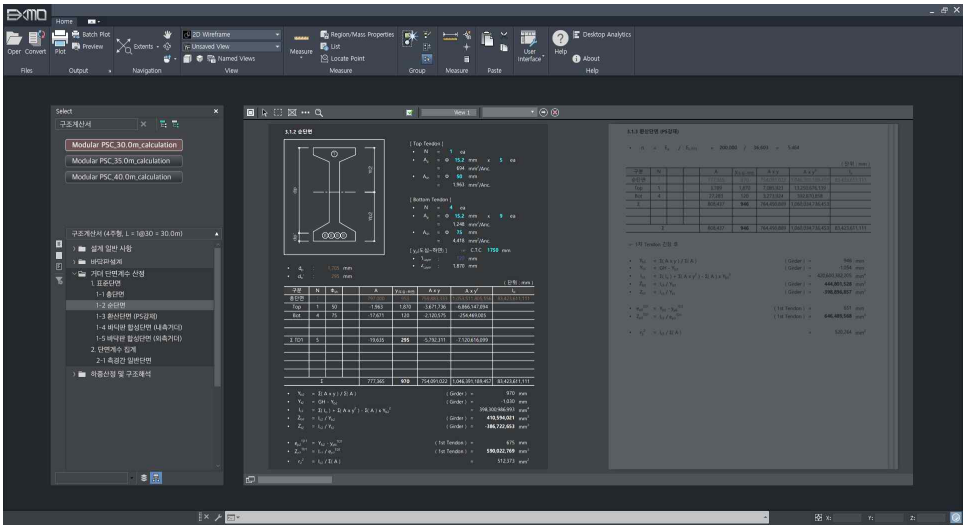
(a) 모듈 선정



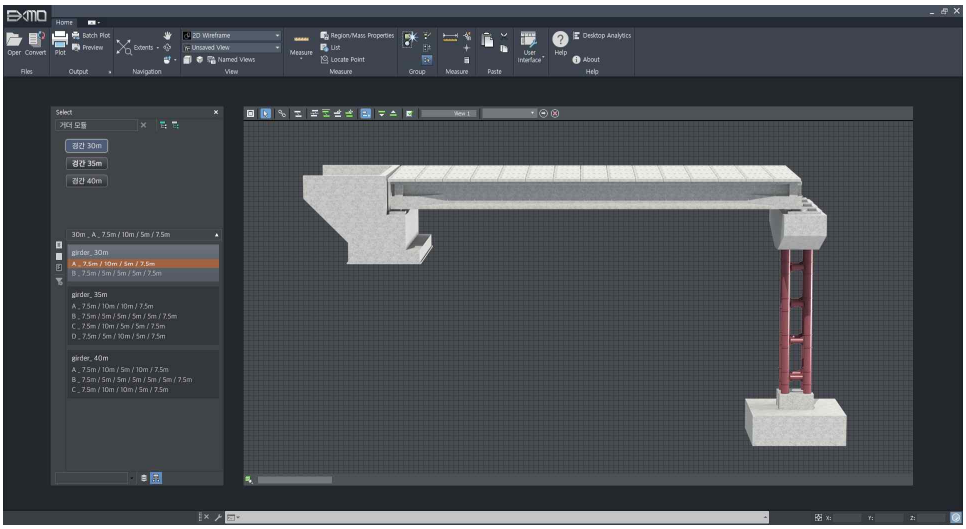
(b) 모듈 조립



(c) 설계도면 추출

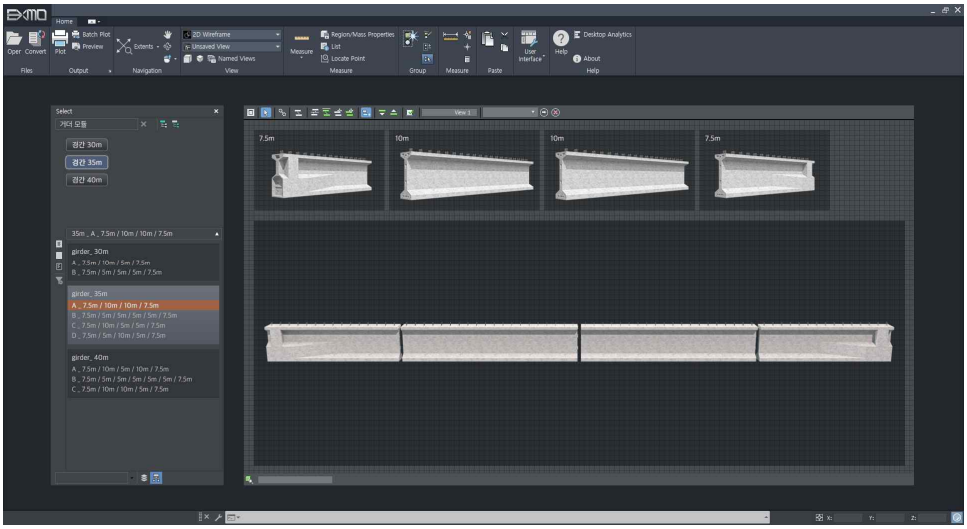


(d) 구조계산서 자동 작성

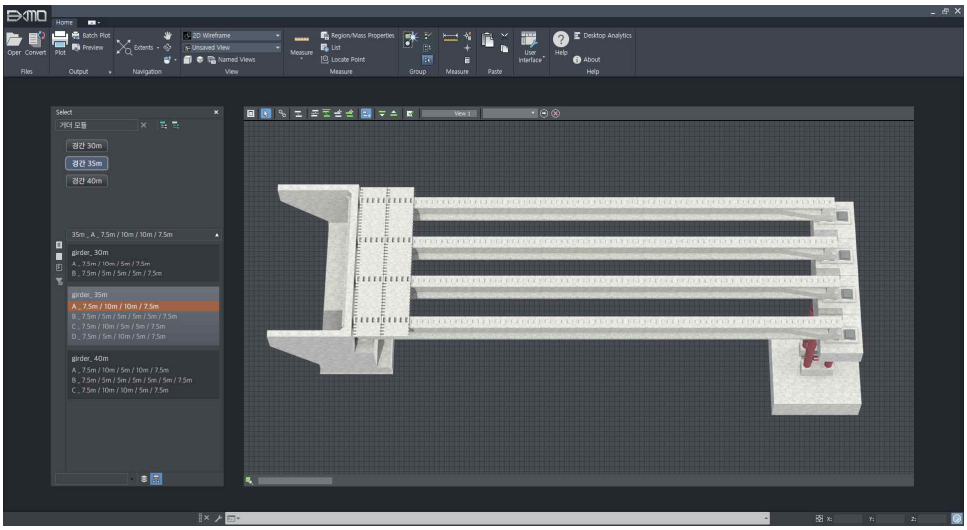


(e) 완성 구조 시뮬레이션

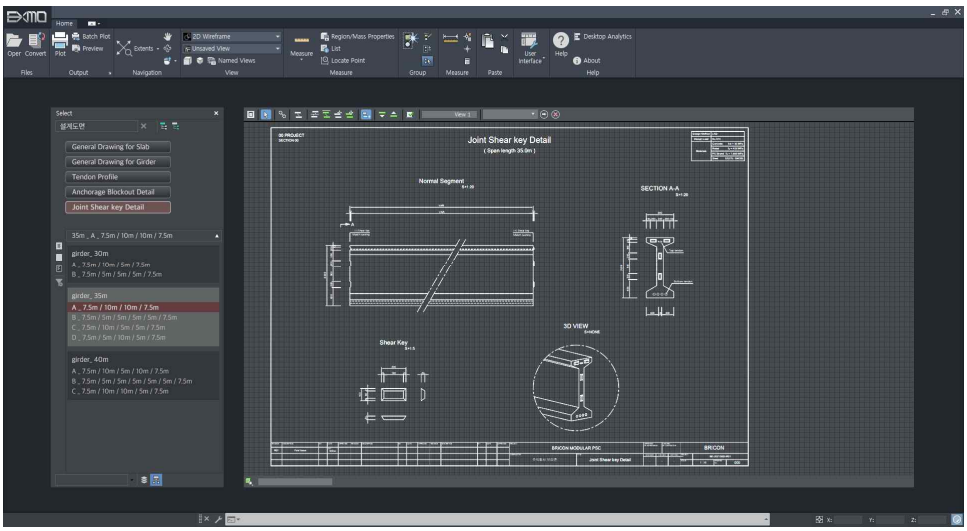
그림 5.17 표 5.3의 30m A경간 조합 시뮬레이션



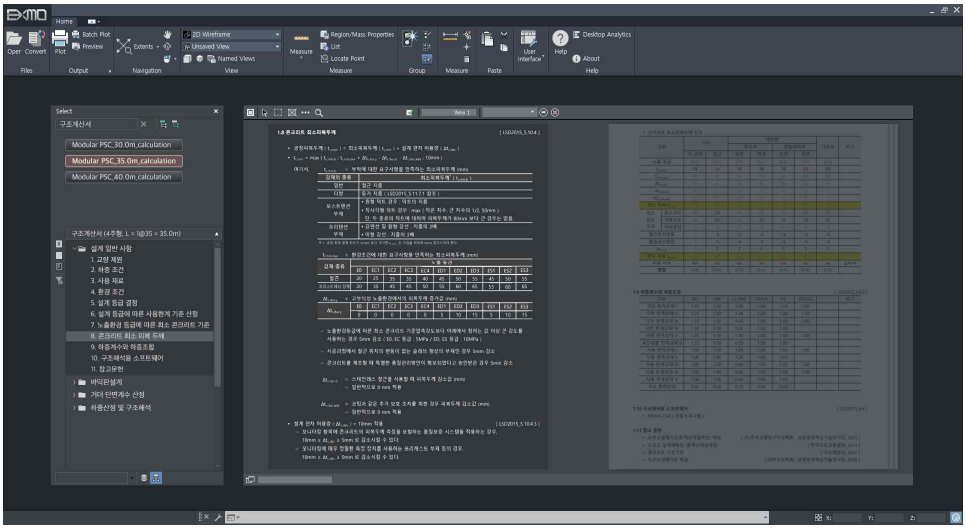
(a) 모듈 선정



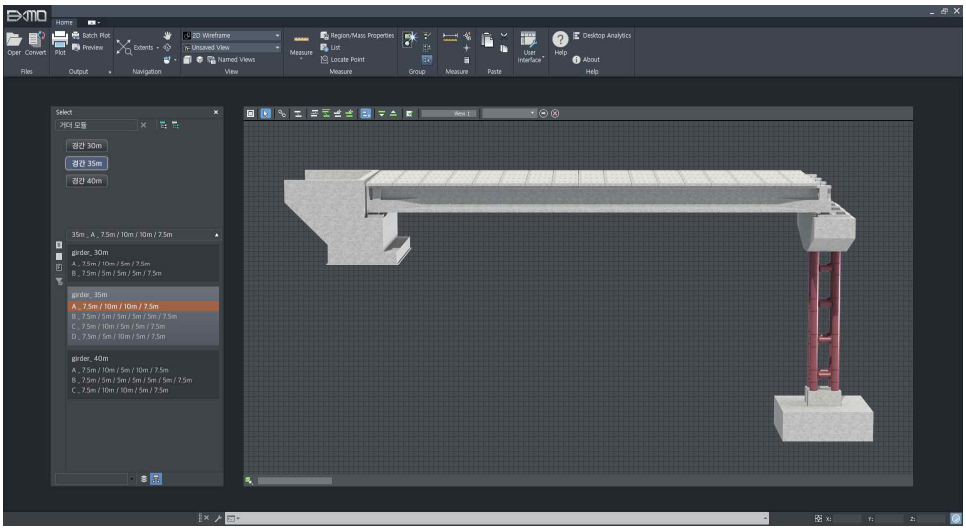
(b) 모듈 조립



(c) 설계도면 추출

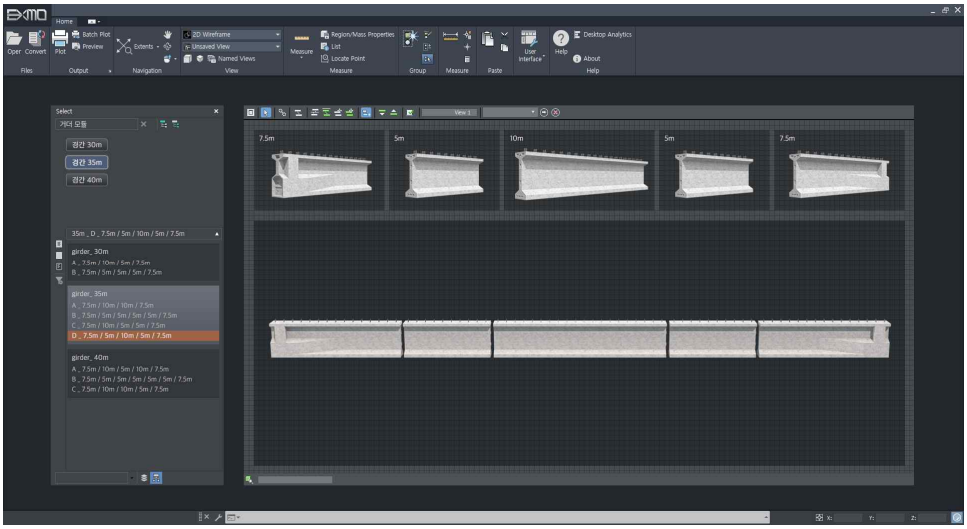


(d) 구조계산서 자동 작성

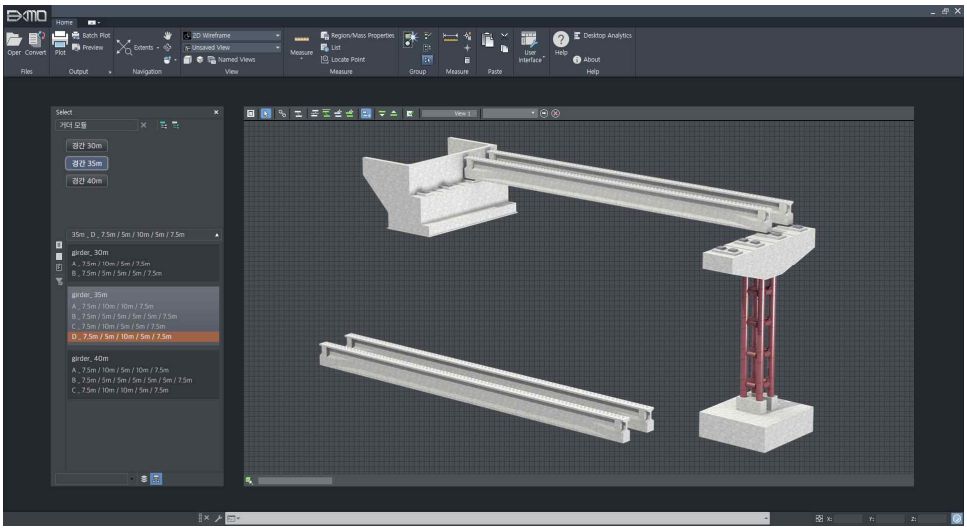


(e) 완성 구조 시뮬레이션

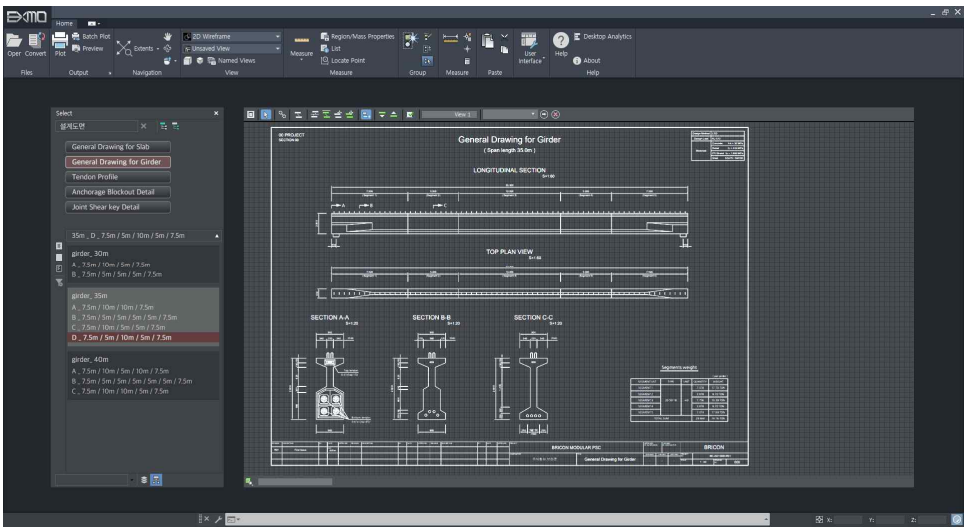
그림 5.18 표 5.3의 35m A경간 조합 시뮬레이션



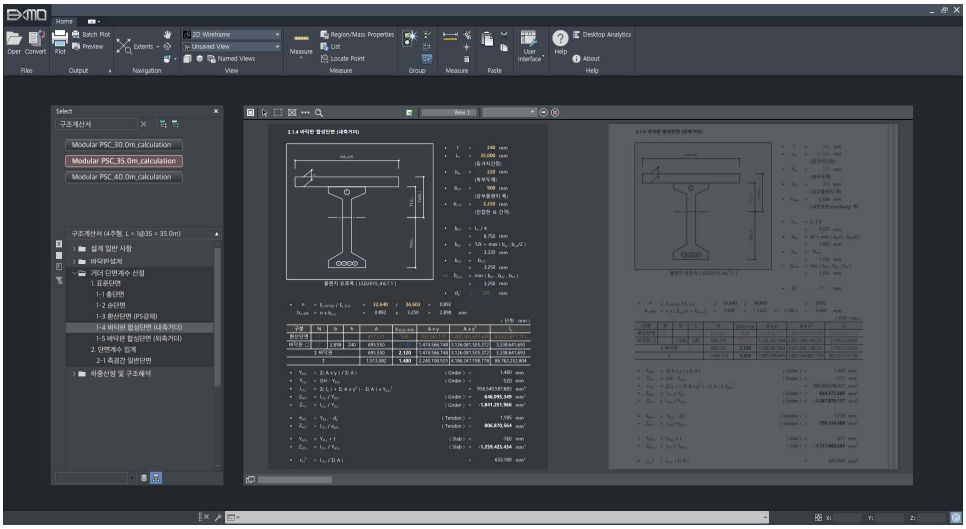
(a) 모듈 선정



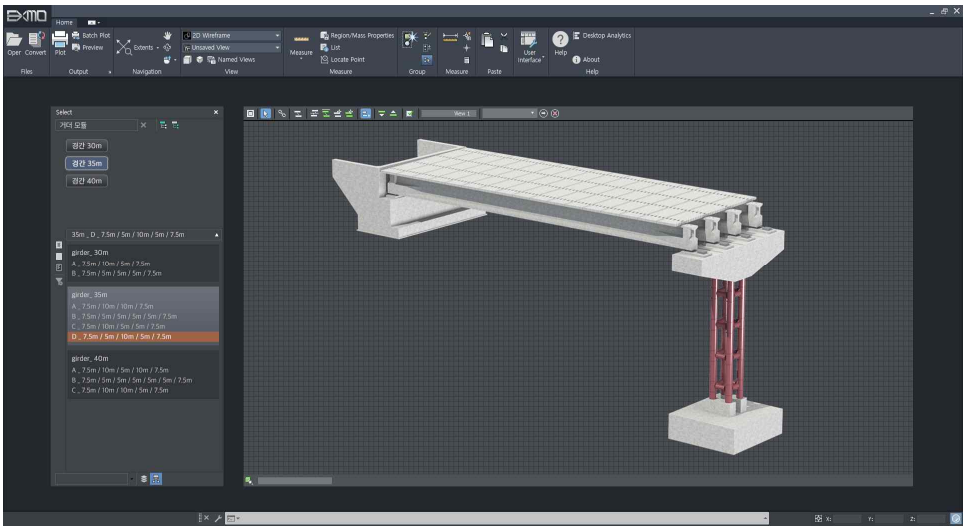
(b) 모듈 조립



(c) 설계도면 추출

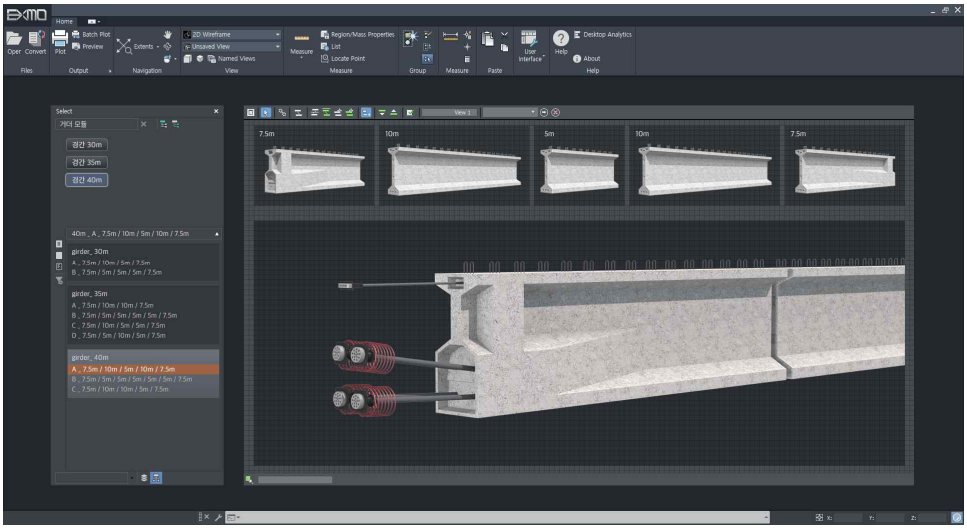


(d) 구조계산서 자동 작성

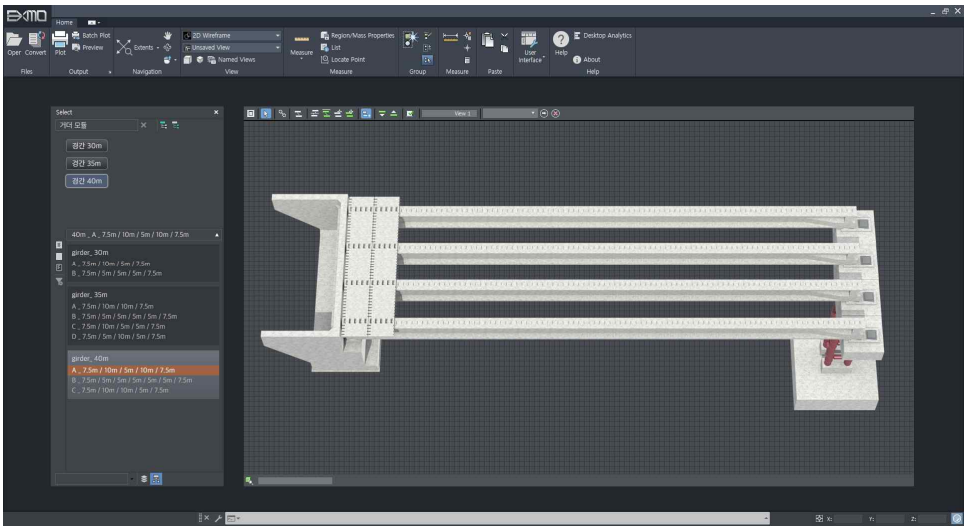


(e) 완성 구조 시뮬레이션

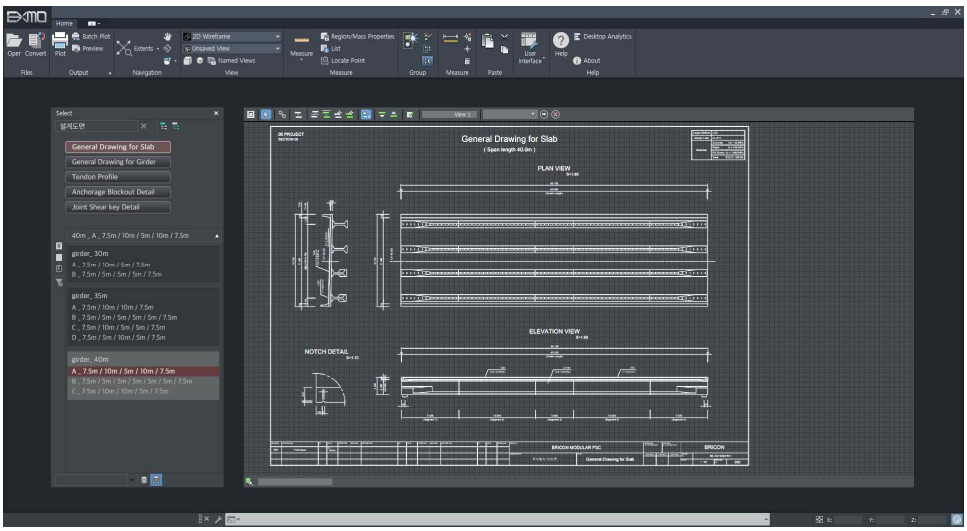
그림 5.19 표 5.3의 35m D경간 조합 시뮬레이션



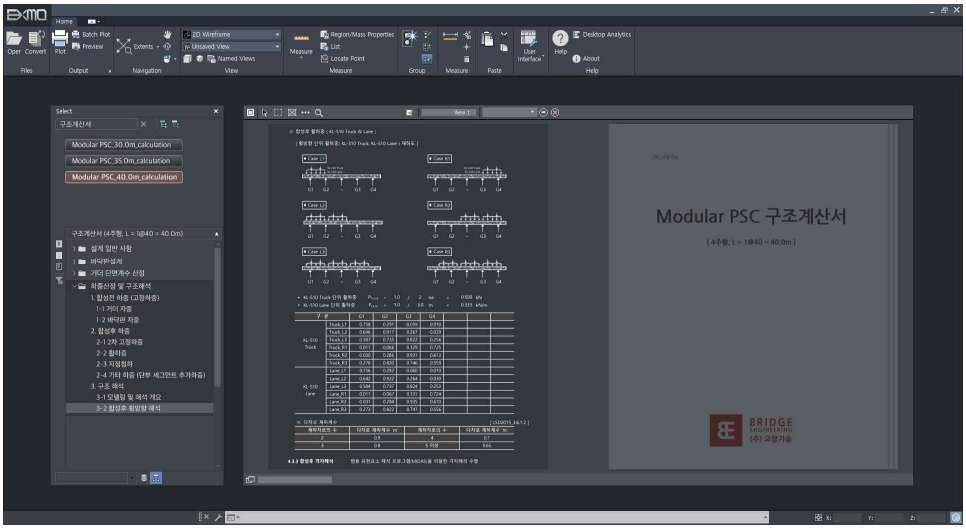
(a) 모듈 선정



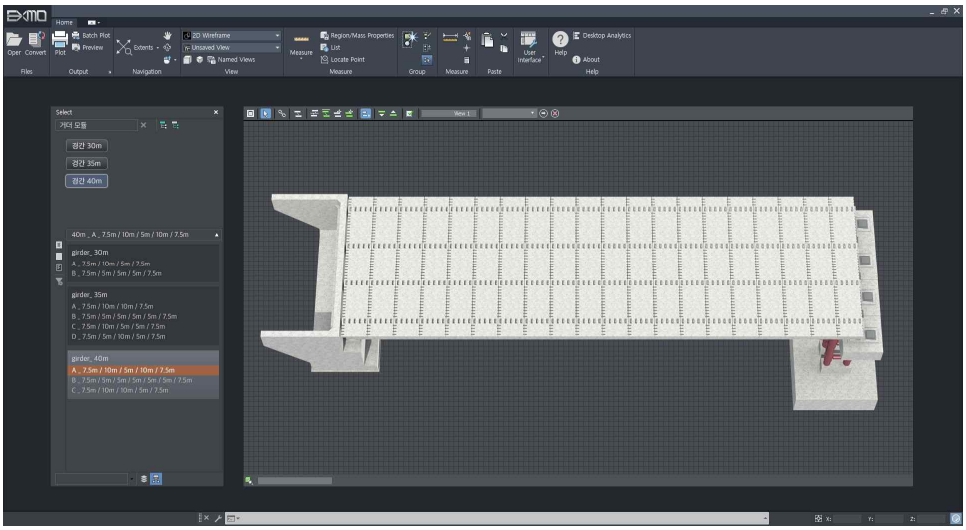
(b) 모듈 조립



(c) 설계도면 추출



(d) 구조계산서 자동 작성



(e) 완성 구조 시뮬레이션

그림 5.20 표 5.3의 40m A경간 조합 시뮬레이션

제 6 장 모듈러 시스템 활성화 방안 제안

6.1 개요

새로운 4차 산업기술의 출현으로 기존 기술과의 융·복합을 통해 효율성과 생산성을 향상시키기 위한 노력들이 모든 산업분야에서 지속적으로 추진되고 있다. 건설산업에서도 기술 융·복합에 대한 요구와 노력이 끊이지 않고 있으며, 이 중에서도 '자동화' 및 '모듈화'는 건설시스템의 효율성과 생산성을 향상시킬 수 있는 핵심 동인으로 인식되고 있다. 이의 일환으로 국토교통부에서는 스마트 건설기술 로드맵을 통해서 건설 생산성 혁신과 안정성 강화를 위해 프리캐스트 기술을 이용한 모듈화를 강조하고 있다. 표 6.1과 같이 모듈러 건설 프로젝트의 경우 사업의 계획단계에서 확정단계까지는 전통적인 건설 방식과 동일하게 진행되지만, 이후 현장 공정에 맞추어 모듈 제조가 이루어진다는 특징이 있으므로 사전 모듈 제작을 통한 품질향상과 공기단축을 통한 경제성 측면에서 많은 이점을 확보할 수 있다.

표 6.1 건설 산업 문제점과 모듈화의 기대효과

영역	숙련기술자 감소·고령화	생산성 정체, 불확실성	지속가능성 요구 증대
현황	○ 건설현장 근무 기피 ○ 40세 미만 건설기술자 2013년 대비 19%감소 ○ 초급기술자 비중 높음 (52.4%) ○ 건설 분야 전공자 감소	○ 장기간 산업 생산성 정체 ○ 미세먼지 등 기상 영향 ○ 자동화 및 첨단기술 미흡 ○ 공기·공비 예측↓ ○ 다수의 참여 주체, 복잡한 인터페이스로 효율 감소	○ 건설현장, 시설물 안전성 및 품질 향상 요구 증대 ○ 폐기물/온실가스 등 환경 부하 저감 요구 증대 ○ 생산 및 운영상의 에너지 효율 관심 증대
기대 효과	○ 현장 인력 소요 감소 ○ 비숙련 기술자 활용 ○ 근로자 작업환경 개선 ○ 사전 제작 공정 자동화	○ 기상/기후 영향 최소화 ○ 공기·공비 절감 ○ 공기·공비 예측↑ ○ 사업 참여 주체 간소화	○ 작업현장 안전성 제고 ○ 생산 품질관리 향상 ○ 폐기물 배출 감소 ○ 에너지 효율 향상

특히, 스마트 건설의 활성화로 많은 건설현장에서 모듈러 시스템이 적용될 경우, 표준화된 모듈을 대량 생산함으로써 기존 공법 대비 품질확보, 공기절약, 비용절감 등에서 더욱 큰 효과가 나타날 수 있다. 또한, 공용교량의 경우에도 보수 교체 공사 시 안정된 품질이 확보된

부재를 사용함으로써 내구성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 작업과정이 간편하고 부지확보의 최소화로 부대비용이 줄어드는 등 강점이 있으므로 구조물의 수명동안 발생하는 생애주기비용(Life Cycle Cost : LCC)을 크게 줄일 수 있다.

6.2 모듈러 시스템 경제성 확보 방안

그림 6.1과 같이 미국 FHWA와 McKinsey의 연구 자료에 따르면, 모듈러 공법으로 대량생산과 공급이 가능할 경우 최대 20%의 공사비용 절감이 가능하고 생애주기비용에서도 이점이 있는 반면, 경우에 따라서는 10% 이상의 공사비가 증가될 수 있다고 분석한 바 있다.

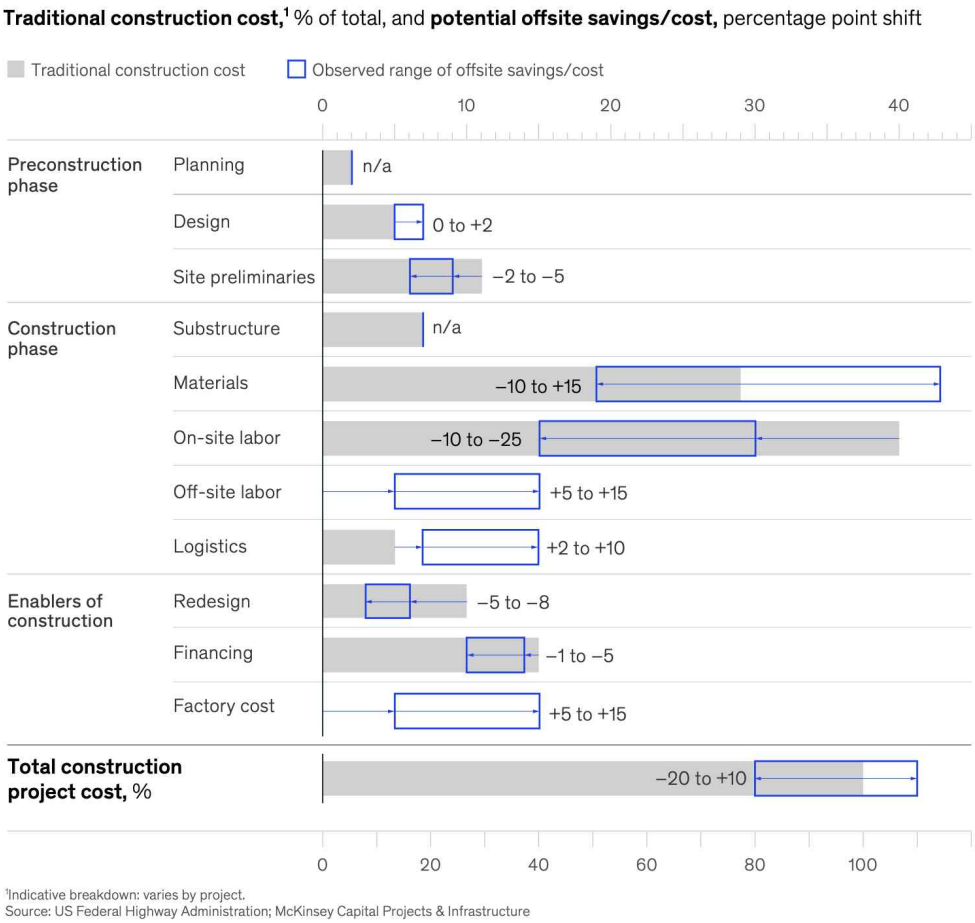


그림 6.1 모듈러 공법의 비용절감 분야

McKinsey의 연구자료를 정리하면 다음과 같다.

(1) 공사비가 증가할 수 있는 주요 분야는 자재비, 운송비, 제작비용(운영비 및 노무비)으로 분류되고 있다. 따라서 모듈러 공법의 제작에 있어서의 경제성 확보를 위해서는 기존 공법 대비 비용 상승 가능성이 있는 분야에서의 비용절감을 우선적으로 고려할 필요가 있다.

(2) 일례로, 그림 6.1에서 자재비는 대량구매에 따라 10%이상을 절감할 수도 있지만, 대량구매가 불가능한 소형 프로젝트의 경우 15%이상 증가할 수도 있음을 보여주고 있다. 따라서 모듈러 공법이 경제성을 확보하기 위해서는 표준화된 모듈을 대량으로 생산하고 판매할 수 있는 기반이 마련되어야 함을 알 수 있다.

(3) 또한, 공장제작에 기반을 둔 모듈러 공법은 작업자의 안전사고 비율을 감소시킬 수 있다. 부재 제작 작업이 상대적으로 안전한 환경을 갖춘 공장에서 시행되므로 안전사고의 위험을 크게 줄일 수 있고 기상 조건에 상관없이 실내에서 작업이 가능하므로 일의 효율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 작업자들의 만족도도 향상시킬 수 있다. 이를 바탕으로 모듈화 시스템의 경제성을 확보하기 위한 분야를 표 6.2와 같이 분류하였고, 표 6.3에서는 경제성을 확보하기 위해 필요한 주안점을 제시하였다.

표 6.2 모듈화 시스템 경제성 확보 분야

구분		내용
직접비	표준화 대량생산	○ 대량생산에 따른 공업화로 제작 단가 절감, 설계비용 절감
	고품질 확보	○ 부재의 교체주기 연장 ○ 유지보수 및 보수·보강비용 절감
간접비		○ 안전사고 및 민원 저감

표 6.3 모듈화 시스템 경제성 확보를 위한 주요 내용

구분	내용
제작	○ 대량생산 및 설계 최적화를 통한 규모의 경제 확보 ○ 제작 및 설치 장비 자동화 ○ 유연 생산 시스템 ○ 데이터의 디지털화 및 활용
설치	○ 공사기간 단축 ○ 안전사고율 저감
유지보수	○ 고품질 내구성을 통한 보수·보강 및 교체주기 연장
제안사항	○ 모바일 팩토리를 활용한 모듈화 부재 생산 시스템

따라서, 모듈러 공법의 경제성을 확보하기 위해서는 여러 조건이 동시에 만족되어야 한다. 대표적으로 재료의 조달, 생산에 필요한 설비 투자, 수요에 따른 공장 가동률 유지, 그리고 자동화 등이 함께 진행되어야 한다. 이들은 모두 가치 사슬로 서로 밀접한 연관성을 지니기 때문에 상호작용에 따른 경제성 확보에 중점을 두어야 한다.

6.2.1 모듈러 부재 규모 및 생산조건 확보

비용 절감의 주요한 요소 중 하나는 규모이다. 수요에 맞게 모듈러 부재를 생산하기 위해서는 반복성이 보장되어야 하며, 일정 규모 이상의 제조시설도 필요하다. 그림 6.2와 같이 어떤 제품을 생산할 때 약 1,000개 이상의 동일한 모듈을 생산하여야 수익이 발생하는 것으로 추정한다. 일반적으로 설비 투자의 근본적인 딜레마는 신뢰할 수 있는 파이프라인을 얼마나 활용할 수 있는지 여부이다. 따라서 여러 제작 공장을 하나로 모으는 플랫폼을 통한 공장 활용과 같은 유연한 접근 방식을 통해 공장 가동률을 100%에 가깝게 유지하는 것이 핵심 전략 중 하나로 작용할 수 있을 것이다.

또한, 이러한 모듈화 시스템은 생산 효율성, 대량 맞춤화를 제공하기 위한 표준화 개발, 운송 및 설치 용이성을 위한 설계가 반영되어야 하며, 최적화 설계를 통해 3~12%의 생산성 향상을 도모할 수 있다.

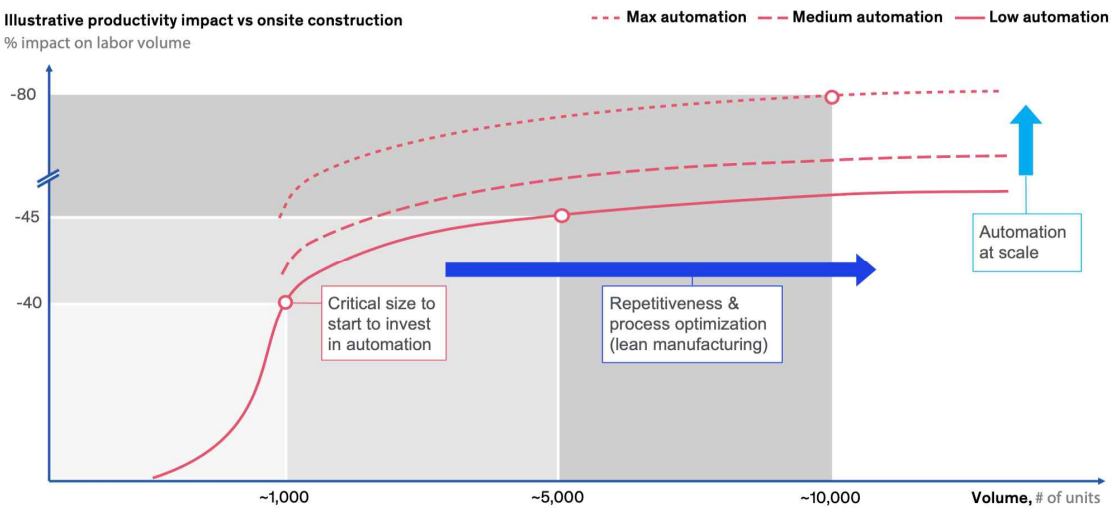


그림 6.2 연간 모듈 생산량에 따른 생산성 변화 예시

6.2.2 생산 공정 시스템화

오프사이트 제조로의 전환에는 두 가지 단계가 있다.

첫 번째는 모듈러 부재 생산작업이 수작업으로 수행되고 있고 단순함에도 불구하고 고정된 공장에서만 부재가 생산되는 제조환경에 놓여 있으므로 오프사이트 제조를 위해서는 모듈러 부재의 생산 공장을 건설현장 가까운 곳으로 옮기는 것이다. 이는 이송물류비용을 줄임으로써 상당한 경제적 이점을 가져올 수 있다.

두 번째는 생산 제조공정을 자동화 하는 것이다. 제조공정에 로봇 및 기타 자동화 기술을 도입하면 생산성을 한 단계 더 높일 수 있다. 이를 위해서는 먼저 최적의 생산 공정을 설정한 다음 자동화된 시설을 갖추어야 하는데, 이를 위해서는 상당한 선행 투자가 필요하므로 안정적인 수요 파이프라인이 반드시 필요하다. 또한, 현장 시공과정에서는 경험이 있는 기술자의 판단에 작업과정에서 발생하는 문제를 해결할 수 있지만, 공장 자동화 과정에서는 문제가 발생할 경우 대처가 불가능하므로 자동화 제작과정에서 오차와 문제가 발생하지 않도록 더 높은 정밀도의 제어를 통해 문제를 해결할 수 있다.

따라서 그림 6.3과 같이 생산공장을 현장 주변으로 용이하게 이동 및 조립해체할 수 있는 포터블 시스템화, 정밀한 계측과 시공 자동화가 조화를 이룬 스마트 팩토리는 경제성을 확보를 위한 좋은 방안이 될 수 있을 것이다.

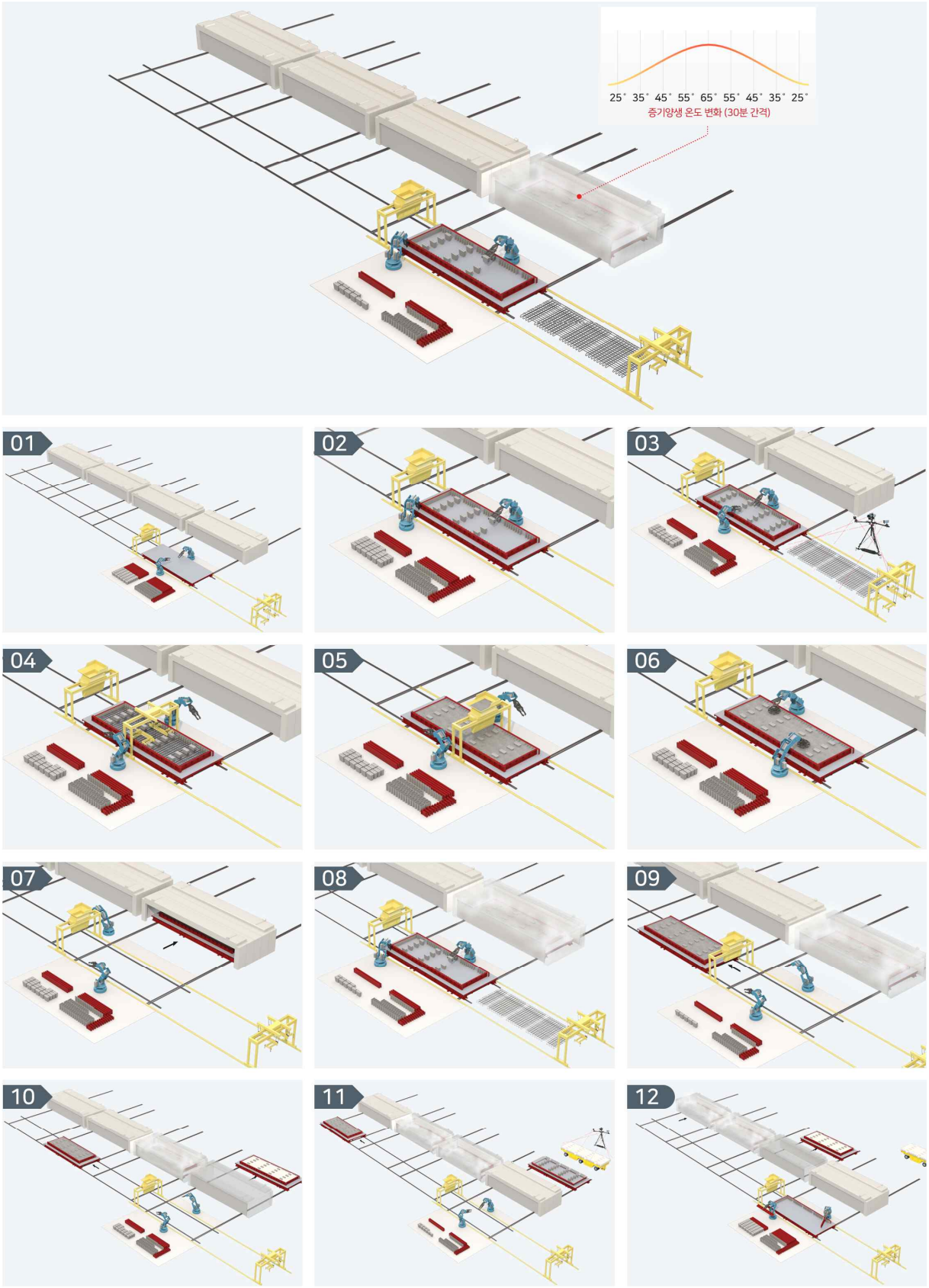


그림 6.3 표준 모듈 생산을 위한 스마트 팩토리 개념도

6.2.3 유연 생산 시스템 (FMS : Flexible Manufacturing System) 도입

1870년 이후 공장에 전기 동력 기관과 컨베이어 벨트가 도입되며 시작된 대량생산체계는 기본적으로 완제품에 대한 수요 예측을 기반으로 생산하는 MTS(Make to Stock)방식을 채택하고 있다. 이는 표준화된 제품이 언제 얼마나 팔릴지를 예측해 생산하는 시스템이다. 하지만 예측의 정확성에 따른 불확실성이 항상 존재하기도 한다.

불확실성을 해소하는 방법은 수요가 확실해졌을 때 생산하는 것으로, MTS 방식은 제품을 미리 만들어 공급한다는 관점에서 납기를 맞추기는 용이하지만, 수요가 불확실한 시점에 생산을 확정 짓는다는 리스크가 발생한다. 그렇다고 주문이 접수된 후 생산을 시작하는 MTO(Make to Order) 방식을 선택한다면 불확실성은 해소되는 반면 주문 후 납품까지 너무 많은 시간이 걸린다는 맹점이 존재하기도 한다.

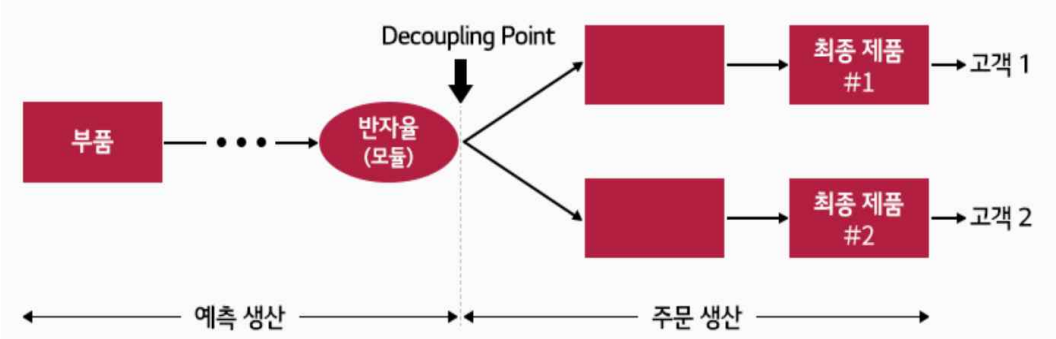


그림 6.4 ATO 생산 방식과 디커플링 포인트 예시

이 두 가지 방식에 대한 절충적인 대안이 바로 ATO(Assemble to Order)이다. ATO는 그림 6.4에서와 같이 반제품이나 모듈 등 특정 단계까지 예측 생산해뒀다가 주문이 접수되면 고객의 요구사항을 반영해 나머지 공정을 진행함으로써 제품을 완성하는 것을 의미한다. 이때 예측 생산과 주문 생산 사이의 지점을 Dcoupling point라고 하며, 고객이 기다려 줄 수 있는 시간 내(주문~배송)에 제품의 차별화가 나타나는 포인트를 최대한 늦추면서 최종 조립을 할 수 있는 지점을 찾아내는 것이 중요하다. 디커플링 포인트를 지나치게 공정 상류 단계로 지정하면 주문 대응 속도가 저하될 수 있고, 하류 단계에서 지정하면 커스터마이징의 수준이 제한될 수 있다.

이러한 맞춤 생산을 위해서는 공정의 유연성을 필수적으로 확보해야 하지만, 기존의 일반적인 자동화 설비에서 다품종을 생산하면 설비의 셋업 변경이 잦아지면서 필연적으로 제조

시간 및 비용이 과도하게 증가하게 된다(기존 단일 자동화 생산시설에서 여러 제품을 생산할 경우 한 제품을 생산할 때보다 단위당 생산 비용이 25~45%증가). 이런 다품종 혼류 생산 문제를 해결하기 위해 일찍이 유연 생산 시스템(FMS : Flexible Manufacturing System)이 등장했으며, 최근에는 더욱 진보적인 개념인 스마트 팩토리를 적용해 공정을 혁신하는 사례들이 소개되고 있기도 하다.

6.2.4 데이터의 디지털화 추진

제조 프로세스의 디지털화는 생산이력과 수치 정보를 통해 시공오류를 줄일 수 있고, 공급망 전반에 걸친 디지털화를 이룰 경우 생산된 모듈을 적치하지 않고 현장으로 즉시 배송할 수 있는 일정을 수립할 수 있게 된다. 따라서 그림 6.5와 같이 제작-운송-설치 계획에 따른 디지털화 솔루션을 통해 제조 단계에서의 경제성 확보에 기여할 수 있게 된다.

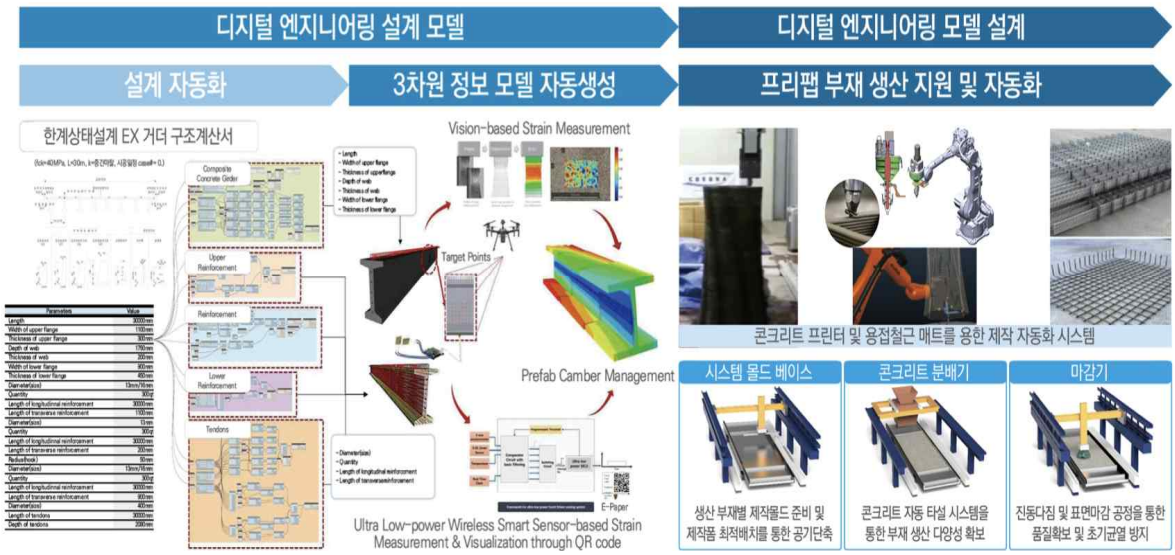


그림 6.5 데이터 디지털화 적용방안 예시

6.2.5 공사기간 단축

6.2.5.1 현장 시공비용 감소

콘크리트는 우수한 시공성과 강도 및 내구특성으로 인해 오늘날 건설 분야에 있어서 가장 주요한 구조재료로 사용되고 있으나, 재료적 특성상 경화기간이 길고 특정 환경조건의 양생과정이 필요하며, 공법적 특성상 가설공사, 거푸집공사, 철근가공 등과 같은 부속 공정으로 많은 공사비와 공기를 필요로 한다. 기존 공법인 현장타설 방식은 이러한 특성으로 인해 노무비의 비율이 다른 재료비들에 비해 상대적으로 크게 증가하는 데 영향을 받아 재료절감을

통한 공사비의 감소율이 상대적으로 미미해질 수밖에 없는 구조이기도 하다.

사전 제작된 모듈화 부재를 현장에서 조립·설치하는 프리캐스트 및 모듈화 공법은 현장공기를 단축함으로써 공사에 투입되는 인건비를 절감할 수 있고 현장의 소요장비 사용료를 줄일 수 있다.

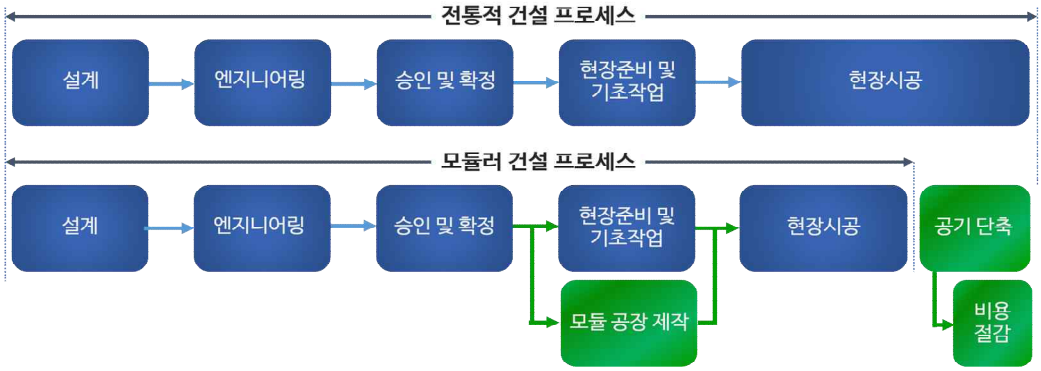


그림 6.6 전통적 건설 프로세스와 모듈러 건설 프로세스 비교

6.2.5.2 사용자 비용 감소 (편익 증가)

또한, 공사기간 투입되는 소규모의 인력에 대한 관리가 용이하고 충분한 복지와 후생제공이 가능할 뿐만 아니라 기존보다 빠르게 이동할 수 있어 편익이 증가할 수 있다. 표 6.4에서는 우리나라에서 통행되는 차량 1대당 시간에 대한 가치비용을 제시한 것이다.

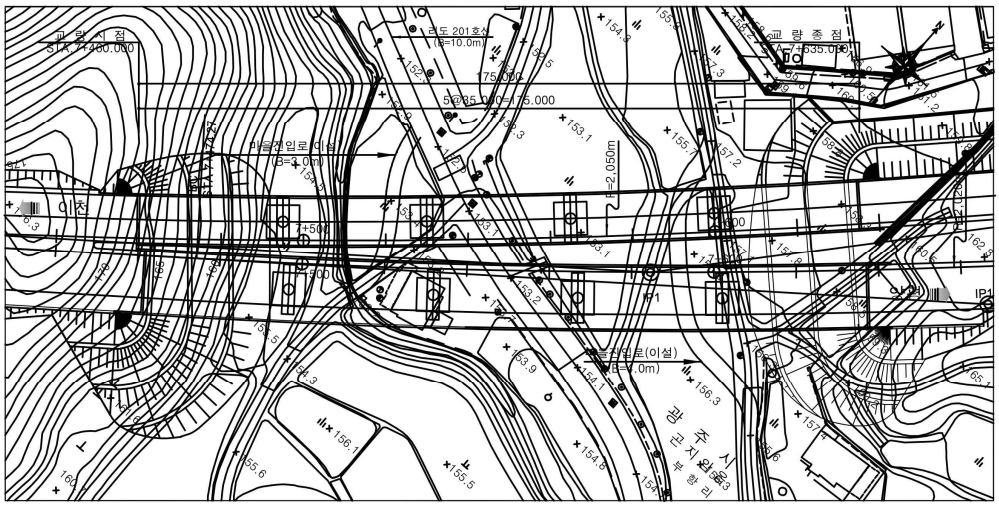
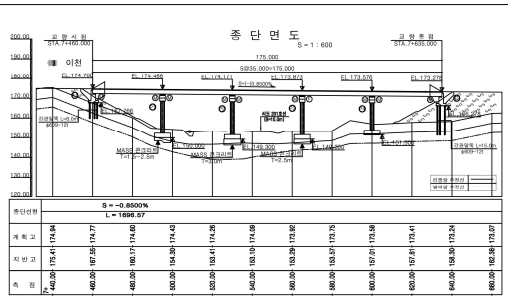
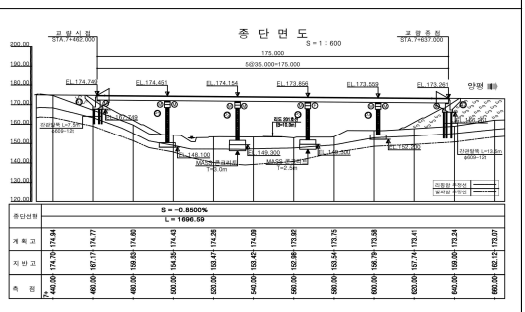
표 6.4 전국권 차량 1대당 시간가치

구분	승용차		버스		화물차
	업무	비업무	업무	비업무	업무
재차인원(인)	0.34	1.22	1.74	9.85	1.00
인당시간가치 (원/인·시간)	22,775	9,748	17,260(1인) 22,775(0.74인)	5,011	16,374
시간가치 (원/대·시간)	7,744	11,893	34,114	49,358	16,374
평균시간가치 (원/대)	19,637		83,472		16,374
2015년 기준 평균시간가치(원/대)	20,030		85,141		16,701

6.2.5.3 작업인원 축소에 따른 안전사고 감소

표 6.5와 같이 양평~이천 고속도로에 시공 예정인 'BH교'는 프리캐스트 바닥판, EX 거더, CFT 충전강관 교각 등으로 설계된 모듈화 시스템 요소를 갖추고 있다. 표 6.6에서는 BH교와 기존 현장타설 교량에 대한 공사비와 투입되는 작업인원을 비교하였다. 모듈러 시스템 적용을 통해 안전사고율이 절감됨으로써 간접비용이 크게 줄어드는 경제적인 효과가 나타남을 추정해 볼 수 있다.

표 6.5 BH교 교량 일반정보

구분	내용
교량정보	○ 노선명 : 양평~이천 고속도로 건설공사 2공구 ○ 교량명 : 부항교 ○ 형식 : 일체식 EX 거더교 ○ 경간 구성 : L=5@35.0=175.0m ○ 교량 폭원 : B=12.3m(이천방향), 15.9m(양평방향)
평면도	
종단면도	 이천 방향  양평 방향

BH교에 적용된 모듈화 요소는 상부구조에 전단면 프리캐스트 바닥판과 EX-거더가 적용되었고, 하부구조 중 Concrete Filled Tube 충전강관 교각이 적용되었다. 따라서 이 교량의 설계원가 대비 기존 재래식공법(현장타설)을 사용했을 경우의 설계가와 작업 투입인원, 공사기간을 표 6.6 ~ 표 6.10과 같이 비교해 볼 수 있다.

표 6.6 신설교량(부항교) 공사비 비교

공종	(A)조립식공법(원안)		(B)재래식공법(현장타설)		(A)-(B) (백만원)
	수량	금액 (백만원)	수량	금액 (백만원)	
- 교량공	1식	8,526	1식	7,011	1,515
1.교량(사급)	1식	8,216	1식	6,688	1,528
a.거푸집공	1식	2,100	1식	517	1,583
b.동바리	1식	42	1식	415	(-)373
c.낙하물방지공	206m^2	5	6,409m^2	171	(-)166
d.CFT제작/가설	183ton	619	-	-	619
e.철근	1,411ton	1,104	1,498ton	1,281	(-)177
f.부대공	1식	4,346	1식	4,304	42
2.관급 자재비	1식	310	1식	323	(-)13
a.콘크리트생산	6,122m^3	310	7,615m^3	323	(-)13

표 6.7 현장타설 공법과 조립식 공법 비교

구분	조립식 공법(원안)	재래식 공법(현장타설)	비고
공사금액	8,526백만원	7,011백만원	기존공법 대비 21.6% 추가
공사기간	996일(제조 포함)	1,243일	기존공법 대비 24.8% 절감
작업인원(공)	4,627명	6,359명	기존공법 대비 37.4% 절감

표 6.8 제조 및 설치 동원인원 현황 (설계 원안-부분 모듈화)

자원명	규격	수량	단위	단가	금액	비고
작업반장	일반공사 직종	3.2224456	인	145,013	467,296	
보통인부	일반공사 직종	861.7618595	인	118,130	101,799,928	
특별인부	일반공사 직종	720.9061006	인	141,507	102,013,259	
비계공	일반공사 직종	336.2182234	인	208,195	69,998,953	
형틀목공	일반공사 직종	187.801	인	197,929	37,171,264	
철근공	일반공사 직종	136.187375	인	199,266	27,137,513	
철골공	일반공사 직종	275.9683244	인	185,739	51,258,080	
용접공	일반공사 직종	425.248353	인	180,350	76,693,540	
콘크리트공	일반공사 직종	35.9139375	인	199,737	7,173,342	
보링공	일반공사 직종	6.6111402	인	150,050	992,001	
포설공	일반공사 직종	2.276785	인	138,693	315,774	
조적공	일반공사 직종	13.348	인	172,091	2,297,070	
방수공	일반공사 직종	953.246	인	139,009	132,509,773	
도장공	일반공사 직종	22.2888	인	174,277	3,884,425	
배관공	일반공사 직종	198.6416628	인	163,004	32,379,385	
배관공(수도)	일반공사 직종	3.4299951	인	177,266	608,021	
보일러공	일반공사 직종	77.8	인	159,406	12,401,786	
건설기계운전사	일반공사 직종	31.91358	인	181,074	5,778,719	
기계설비공	일반공사 직종	24.488644	인	153,426	3,757,194	
플랜트전공	일반공사 직종		인	209,529		
중급기술자	건설부분		인	198,567		
중급숙련기술자	건설부분		인	162,349		
보통인부	일반공사 직종	185.3224938	인	118,130	21,892,146	
보통인부	일반공사 직종	10.1037292	인	118,130	1,193,553	
특별인부	일반공사 직종	2.1017304	인	141,507	297,409	
특별인부	일반공사 직종	8.7946138	인	141,507	1,244,499	
비계공	일반공사 직종	14.02301	인	208,195	2,919,520	
형틀목공	일반공사 직종	2.2008	인	197,929	435,602	
철근공	일반공사 직종	8.35343	인	199,266	1,664,554	
철골공	일반공사 직종	8.0277216	인	185,739	1,491,060	
용접공	일반공사 직종	4.5254326	인	180,350	816,161	
용접공	일반공사 직종	1.7171612	인	180,350	309,690	
콘크리트공	일반공사 직종	3.1993548	인	199,737	639,029	
보링공	일반공사 직종	1.0508652	인	150,050	157,682	
보링공	일반공사 직종	1.4613438	인	150,050	219,274	
건축목공	일반공사 직종		인	188,225		
방수공	일반공사 직종	28.5513	인	139,009	3,968,887	
방수공	일반공사 직종	0.01728	인	139,009	2,402	
도장공	일반공사 직종	0.445776	인	174,277	77,688	
배관공	일반공사 직종	0.8785	인	163,004	143,199	
배관공(수도)	일반공사 직종		인	177,266		
기계설비공	일반공사 직종	5.0508652	인	153,426	774,934	
기계설비공	일반공사 직종	2.4274638	인	153,426	372,436	
기술사	건설부분	7.36	인	363,289	2,673,807	
중급기술자	건설부분	7.36	인	198,567	1,461,453	
초급기술자	건설부분	7.36	인	156,448	1,151,457	
계		**4,627.6**		**4,628**	**712,543,765**	

표 6.9 제조 및 설치 동원인원 현황 (현장타설)

자원명	규격	수 량	단위	단가	금액	비고
작업반장	일반공사 직종	3.2224456	인	145,013	467,296	
보통인부	일반공사 직종	1,621.5681869	인	118,130	191,555,849	
특별인부	일반공사 직종	795.9257011	인	141,507	112,629,058	
비계공	일반공사 직종	1,009.3403664	인	208,195	210,139,617	
형틀목공	일반공사 직종	490.251	인	197,929	97,034,890	
철근공	일반공사 직종	136.187375	인	199,266	27,137,513	
철골공	일반공사 직종	275.9683244	인	185,739	51,258,080	
용접공	일반공사 직종	425.0991655	인	180,350	76,666,634	
콘크리트공	일반공사 직종	37.5064375	인	199,737	7,491,423	
보링공	일반공사 직종	6.6111402	인	150,050	992,001	
포설공	일반공사 직종	2.276785	인	138,693	315,774	
조적공	일반공사 직종	13.348	인	172,091	2,297,070	
방수공	일반공사 직종	880.096	인	139,009	122,341,264	
도장공	일반공사 직종	22.2888	인	174,277	3,884,425	
배관공	일반공사 직종	198.6416628	인	163,004	32,379,385	
배관공(수도)	일반공사 직종	3.4299951	인	177,266	608,021	
보일러공	일반공사 직종	77.8	인	159,406	12,401,786	
건설기계운전사	일반공사 직종	31.91358	인	181,074	5,778,719	
기계설비공	일반공사 직종	24.488644	인	153,426	3,757,194	
플랜트전공	일반공사 직종		인	209,529		
중급기술자	건설부분		인	198,567		
중급숙련기술자	건설부분		인	162,349		
보통인부	일반공사 직종	180.0994751	인	118,130	21,275,150	
보통인부	일반공사 직종	10.1674332	인	118,130	1,201,078	
특별인부	일반공사 직종	2.1017304	인	141,507	297,409	
특별인부	일반공사 직종	8.8583178	인	141,507	1,253,513	
비계공	일반공사 직종	14.02301	인	208,195	2,919,520	
형틀목공	일반공사 직종	2.2008	인	197,929	435,602	
철근공	일반공사 직종	8.35343	인	199,266	1,664,554	
철골공	일반공사 직종	8.0277216	인	185,739	1,491,060	
용접공	일반공사 직종	4.5254326	인	180,350	816,161	
용접공	일반공사 직종	1.7171612	인	180,350	309,690	
콘크리트공	일반공사 직종	3.3586028	인	199,737	670,837	
보링공	일반공사 직종	1.0508652	인	150,050	157,682	
보링공	일반공사 직종	1.4613438	인	150,050	219,274	
건축목공	일반공사 직종		인	188,225		
방수공	일반공사 직종	26.3568	인	139,009	3,663,832	
방수공	일반공사 직종	0.01728	인	139,009	2,402	
도장공	일반공사 직종	0.445776	인	174,277	77,688	
배관공	일반공사 직종	0.8785	인	163,004	143,199	
배관공(수도)	일반공사 직종		인	177,266		
기계설비공	일반공사 직종	5.0508652	인	153,426	774,934	
기계설비공	일반공사 직종	2.4274638	인	153,426	372,436	
기술사	건설부분	7.36	인	363,289	2,673,807	
중급기술자	건설부분	7.36	인	198,567	1,461,453	
초급기술자	건설부분	7.36	인	156,448	1,151,457	
계		**6,359.2**			**1,002,168,737**	

표 6.10 공사기간 비교 (부항교)

구분		일작업량	수량 (조립식)	수량 (현장타설)	작업일수 (조립식)	작업일수 (현장타설)	비 고
준비기간	각종서류 및 착수준비				70.0 일	70.0 일	
	소계				70.0 일	70.0 일	
공종별 작업일수	구조물터파기(토사)	349.0 m3	22,071.0 m3	22,071.0 m3	63.3 일	63.3 일	별표3
	구조물터파기(리핑암)	25.0 m3	842.0 m3	842.0 m3	33.7 일	33.7 일	별표3
	되메우기	235.0 m3	10,596.0 m3	10,596.0 m3	45.1 일	45.1 일	품셈
	강관말뚝공	5.0 개소	48.0 개소	48.0 개소	9.6 일	9.6 일	별표3
	뒷채움	235.0 m3	1,716.0 m3	1,716.0 m3	7.4 일	7.4 일	품셈
	교대 앞성토	745.0 m3	22,115.0 m3	22,115.0 m3	29.7 일	29.7 일	별표3
	뿜어붙이기+거적덮기	2,000.0 m2	3,061.0 m2	3,061.0 m2	1.6 일	1.6 일	품셈
	합판거푸집	50.0 m2	1,006.0 m2	1,280.0 m2	20.2 일	25.6 일	가이드라인
	유로거푸집	60.0 m2	1,736.0 m2	1,864.0 m2	29.0 일	31.1 일	가이드라인
	강재거푸집	69.0 m2	965.0 m2	1,812.0 m2	14.0 일	26.3 일	품셈
	프리캐스트 패널	70.0 m2	4,747.0 m2		67.9 일	-	별표3
	동바리	82.0 m3	683.0 m3	6,732.0 m3	8.4 일	82.1 일	별표3
	강관비계	102.0 m2	758.0 m2	758.0 m2	7.5 일	7.5 일	별표3
	철근가공조립(보통)	2.6 ton	64.3 ton	31.9 ton	24.8 일	12.3 일	품셈
	철근가공조립(복잡)	2.3 ton	90.5 ton	287.5 ton	38.9 일	123.4 일	품셈
	철근가공조립(매우복잡)	2.1 ton	201.5 ton	288.4 ton	96.5 일	138.0 일	품셈
	콘크리트 타설	200.0 m3	4,521.0 m3	5,558.0 m3	22.7 일	27.8 일	가이드라인
	표면처리	290.0 m2	6,918.0 m2	11,666.0 m2	23.9 일	40.3 일	별표3
	교량받침	1.6 개소	75.0 개소	75.0 개소	46.9 일	46.9 일	별표3
	PSC빔 제작	0.6 본	50.0 본	50.0 본	91.0 일	91.0 일	별표3
	PSC빔 가설	15.0 본	50.0 본	50.0 본	3.4 일	3.4 일	별표3
	유공관 설치	20.0 m	147.0 m	147.0 m	7.4 일	7.4 일	별표3
	신축조절장치	15.0 m	53.0 m	53.0 m	3.6 일	3.6 일	별표3
	개비온	110.0 m3	178.0 m3	178.0 m3	1.7 일	1.7 일	품셈
	신축장치	59.0 m	70.0 m	70.0 m	1.2 일	1.2 일	품셈
	교면방수	500.0 m2	5,009.0 m2	4,624.0 m2	10.1 일	9.3 일	별표3
	다웰바 설치	186.0 개소	145.0 개소	145.0 개소	0.8 일	0.8 일	품셈
	무수축 콘크리트	200.0 m3	32.8 m3	32.8 m3	0.2 일	0.2 일	가이드라인
	방수공	500.0 m2	5,454.0 m2	5,454.0 m2	11.0 일	11.0 일	별표3
	교대보호블럭	66.0 m2	4,317.0 m2	4,317.0 m2	65.5 일	65.5 일	별표3
	점배수시설공(직관)	20.0 m	175.0 m	175.0 m	8.8 일	8.8 일	별표3
	선배수시설공	20.0 m	174.0 m	174.0 m	8.7 일	8.7 일	별표3
	교면물빼기공	20.0 m		700.0 m	0.0 일	35.0 일	별표3
	교명판 및 설명판	2.0 개소	2.0 개소	2.0 개소	1.0 일	1.0 일	
	측량기준점 설치	2.0 개소	2.0 개소	2.0 개소	1.0 일	1.0 일	
	유도 배수용 홈설치	20.0 m	130.0 m	764.0 m	6.5 일	38.2 일	별표3
	난간 방호벽	300.0 m	700.0 m	700.0 m	2.4 일	2.4 일	별표3
	교량유지관리용 표지판	5.0 개소	16.0 개소	16.0 개소	3.2 일	3.2 일	별표3
	낙하물 방지공	300.0 m2	206.0 m2	6,409.0 m2	0.7 일	21.4 일	
	신축이음 덮개시설	8.0 개소	8.0 개소	8.0 개소	1.0 일	1.0 일	
	가도 및 측도	745.0 m3	43,022.0 m3	43,022.0 m3	57.8 일	57.8 일	별표3
	배수파이프	20.0 m	95.0 m	95.0 m	4.8 일	4.8 일	별표3
	가시설 H-pile 천공	160.0 m	616.0 m	616.0 m	3.9 일	3.9 일	별표3
	띠장설치	16.0 본	32.0 본	32.0 본	2.0 일	2.0 일	품셈
	버팀보설치	23.0 본	160.0 본	160.0 본	7.0 일	7.0 일	품셈
소계					896.0 일	1143.0 일	
정리기간					30.0 일	30.0 일	
총작업일수					**996.0 일**	**1243.0 일**	

6.2.6 고품질 확보

모듈러 공법은 공장제작을 통하여 재료배합, 타설 및 양생에 이르는 모든 과정을 제어함으로써 요구되는 물성치의 재료부재를 고품질로 생산할 수 있다. 예를 들어 기존 현장타설 콘크리트 부재는 현장조건 및 타설 시기 등에 따라 시공초기에 건조수축균열이 많이 발생한다. 공장제작의 경우 제작과정에서 이를 최소화함으로써 공용수명을 연장시킬 수 있으며, 보수·보강 등에 소요되는 직접 유지관리 비용 및 이와 동반되는 교통차단비용, 편익비용까지 포함하면 비용절감은 상당할 것으로 추정된다.

6.3 모듈러 교량 시스템 적용을 위한 제도 개선 제안

모듈러 시스템이 안정적으로 정착되고 충분한 효과를 발휘하기 위해서는 다음과 같은 제도적인 장치가 마련되어야 할 필요가 있다.

6.3.1 스마트건설 체계 도입

스마트건설 체계에는 건설과정 많은 부분에서 자동화, 무인화 공정이 시행되므로 모듈러 교량 시스템은 스마트건설 체계에서는 핵심적인 부분을 차지할 수밖에 없다. 왜냐하면, 스마트 건설에서 요구하는 원격제어가 가능한 생산체계, 요구되는 시설의 확보, 공사기간 단축 및 비용 절감, 현장주변 교통혼 잡 및 환경피해 최소화 등의 조건을 구현해 줄 수 있기 때문이다.

하지만, 스마트건설 사업은 관련된 법적 근거가 부족하더라도 국가정책, 발주기관의 요구에 따라 사업시행이 가능하기 때문에 지속적이고 안정적으로 건설 사업 내에 정착되기 위해서는 건설사업 계획단계에서부터 실시단계까지 스마트 기술을 적용할 수 있는 상위 가이드가 마련되어야 한다.

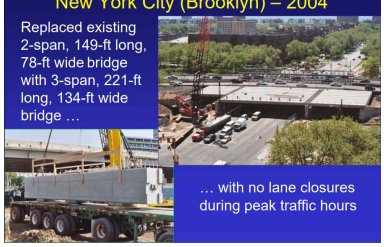
국내 건설시장의 경우 대부분 국가 주도의 사업이 추진됨으로써 생산방식이 고착화되고 다양한 제도의 이해충돌이 발생하여 미국 등 주요 선진국처럼 민간 주도에 따른 스마트 건설기술 활성화를 기대하기에는 한계가 있다. 기업의 입장에서도 건설 생산방식과 관리의 스마트화는 인력과 비용 등의 측면에서 상당한 위험부담이 있기 때문에 정부 차원의 정책과 제도적인 지원이 필요한 실정이다.

6.3.2 신기술 신공법 적용 인센티브 부여

신기술은 기술개발에 비용과 시간의 투자가 필요하며, 기술 도입기에는 수요가 한정된 시장 미성숙 단계이므로 신기술 적용에 따르는 공사비용 상승이 불가피한 경우가 일반적이다. 이런 경우, 산업에 미치는 파급효과와 앞으로 예상되는 부가가치를 고려하여 정책적으로 인센티브를 지급하여 선제적으로 기술개발을 자극하는 것이 필요하다.

표 6.11과 같이 PCI의 ABC 교량 건설 공사 계약 사례를 살펴보면, 건설 사업 계약내용으로 공사기간 단축 시 인센티브를 부여하도록 제도화하고 있다. 급속시공이 필요한 경우, 일정한 공사 기간을 제안하고 시공자의 기술력에 따라 기간 단축에 따른 인센티브와 공기 증가에 따른 패널티를 동시에 제시하여 기술력을 고도화하고 도로 사용 중지 기간을 최소로 하도록 유도한다. 이는 건설공사에 소요되는 직접 공사비용뿐만 아니라 간접 편익비용까지 고려하였기 때문이다.

표 6.11 PCI의 ABC 교량 건설 공사 계약 사례

Mill Street Bridg	Route 1 Bridges	Belt Parkway Bridg
Mill Street Bridge over Lamprey River, New Hampshire – 2004  Totally Prefabricated Bridge, erected in just 8 day!	Route 1 Bridges over Olden Avenue & Mulberry Street, New Jersey – 2005 	Belt Parkway Bridge over Ocean Parkway, New York City (Brooklyn) – 2004 
Mill Street Bridge over Lamprey River **Final Contract Requirements** ☑ Assembly of bridge in 14 days ☑ $5,000 per day: ☑ Incentive if less than 14 days ☑ Disincentive if more than 14 days	**Route 1 Bridges over Olden Avenue & Mulberry Street** **Incentives** ☑ If less than 57 hours: ☑ Bridge over Olden Avenue ☑ $1,500 per hour ☑ Cap of $27,000 ☑ Each bridge over Mulberry Street ☑ $2,000 per hour ☑ Cap of $36,000	**Belt Parkway Bridge over Ocean Parkway** **Incentives/Disincentives** ☑ Incentive for completion before "Critical Duration": ☑ $85,000 per day ☑ Cap of $2,000,000 ☑ Disincentive for completion after "Critical Duration": ☑ $85,000 per day ☑ No dollar limit

공용 중 공사를 시행할 경우, 교통통제에 따르는 사고의 위험 및 민원 발생 가능성이 커지며, 교통 혼잡에 따른 사용자비용과 피로도가 증가하여, 이에 따르는 간접비용도 상승한다. 따라서 급속시공 등이 시행될 경우 직접비용 및 간접비용 등을 종합적으로 고려한 신기술 신공법 선정과 목표 가치를 달성할 경우에 대한 인센티브를 시공자에게 제공함으로써 기

술개발 의지를 높이는 한편 관리기관의 경우 사업시행에 따르는 피로도도 낮출 수 있다.

따라서, 건설 산업에 새로운 시스템을 안착시키기 위해서는 새로운 기술을 적용하여 시스템을 혁신하는 도전적인 기업에 인센티브를 지원하는 것이 필요하며, 이는 국가차원에서도 스마트건설사업 등 새로운 시장을 개척하는 원동력이 될 수 있다. 마찬가지로 기업의 입장에서는 탄탄한 지원과 실패에 따르는 책임과 규제에서 벗어나 보다 창의적이고 활동적으로 업무를 추진하면서 시행착오를 줄일 수 있기 때문에 새로운 시장으로의 진출이 용이할 수 있을 것이다.

제 7 장 결론

본 연구에서는 건설업의 업무효율과 생산성을 향상시킬 수 있는 대표적인 방법 중의 하나인 모듈러 기술을 이용하여 고속도로에 최적화된 모듈러 교량 시스템을 개발하는 연구를 수행하였다. 모듈러 교량 시스템의 기술 환경분석 및 개발 방향설정, 다양한 경간장에 적용 가능한 최적화된 표준 모듈 및 조합방법 개발, 표준 모듈을 이용한 교량 설계 및 성능검토, 모듈러 기술 적용을 위한 제한사항 검토 및 극복방안 마련 등이 주요 연구내용으로 수행되었으며, 결과를 요약하면 다음과 같다.

ㅇ 모듈러 기술 환경 분석 및 적용사례

지금까지 국내외에서 적용된 모듈러 기술은 교량 건설현장의 여건에 맞게 제한적으로 사용되어 왔으며, 교량 부재 중 모듈러 바닥판(프리캐스트 바닥판) 위주로 적용되고 있다.

미국 등 주요 선진국에서는 장기공용에 따른 시설물의 노후화가 가속화되고 이로 인해 붕괴사고가 발생하는 등 사고예방을 위한 노후시설물의 급속교체가 사회적인 문제로 대두되고 있다. 또한, 급변하는 건설 환경에 맞춰 생산성을 향상시키기 위한 노력이 진행 중이며, 대표적으로 교량전체 시스템에 대한 신형식 기술개발과 급속교체 공법 개발이 점진적으로 증가하는 추세에 있다.

우리나라의 건설 환경도 다른 선진국과 마찬가지로 자동화 및 무인화를 요구하는 스마트 건설로의 전환 그리고 공용시설물의 노후화가 가속되는 시대변화를 맞이하고 있다. 이러한 환경에 맞춰 기술개발을 추진하고 변화하는 시대 흐름에 편승하는 한편 해당분야에서 선도적 입지를 다질 필요가 있다.

ㅇ 모듈러 교량 개념정립 및 표준 모듈 개발

모듈러 교량 시스템의 주요 구성부재인 거더와 바닥판에 대한 모듈러 시스템의 개념을 정립하고 거더 및 바닥판에 대한 표준 모듈을 개발하였다.

PSC 거더 표준 모듈은 7.5m 길이의 단부 모듈 한 종류와 5m, 10m 길이의 중앙부 모듈 두 종류를 조합하여 15, 20, 25, 30, 35, 40m 경간 구성이 가능하도록 하였다. 교량의 기본 설계는 5m 단위의 경간 변화를 모듈 조합 시공하는 것으로 가정하였다. 실증 실험을 통해 모듈러 교량의 실용화 가능성을 확인하여 단부와 중앙부 모듈 타입을 1m, 3m 등으로 제작

하면 다양한 경간의 모듈러 교량 구성도 가능할 것으로 예측된다.

CFT 거더 표준 모듈은 형고를 2.5m로 고정시키고 45~55m 지간에 적용이 가능한 Single Span용 모듈과 60~70m 지간에 적용이 가능한 Multi Span용 모듈로 구분하여 표준화 하였다. 불규칙한 경간 구성이 필요할 경우는 Single span 거더의 형태를 유지하면서 길이를 다양하게 조정하여 제작한 모듈을 조립하여 시공할 수 있다.

바닥판의 경우, 기존 프리캐스트 패널을 표준으로 하고 거더와 바닥판을 연결하는 기존 전단포켓 방식에서 단점을 보완한 숨은 전단포켓 방식, 수평 슬라이딩 전단연결 방식 및 수직 삽입 전단연결 방식 등 새로운 방식을 고안하였다. 또한, 모듈러 교량 시스템의 바닥판은 기존에 개발되어 적용되고 있는 전단면 바닥판 기술을 융합하여 적용하고자 한다. 프리캐스트 바닥판의 길이는 1.97m를 표준으로 하여 이음부 간격 30mm를 포함하여 2.0m 간격으로 배치하고 폭은 최대 13.0m를 기준으로 하였다. 이를 초과할 경우 바닥판을 횡방향 2개로 분할하여 연결하고 종방향 현장타설 이음이 가능하도록 하였다.

ㅇ 모듈러 교량 시스템 설계 및 구조 안전성 검토

표준 모듈을 조합한 PSC 모듈러 거더를 이용하여 2경간 및 3경간 연속 모듈러 교량 시스템을 설계하고 구조해석을 통해 안전성을 검토하였다. 모듈이 조합된 거더 및 바닥판 모듈러의 완성계 그리고 교량 시스템에서 각 부재와 전체 시스템에서 발생하는 모든 응력과 모멘트 등이 허용치 이하로 나타나 구조적인 안전성은 만족하는 것으로 나타났다. 하지만, 향후 구조실험을 통해 모듈러 부재의 조합에 따른 연결부 및 세부 상세에 대한 검토, 다양한 하중재하에 따른 내하력 확보여부 및 장기 내구성능 등에 대한 실험과 현장적용성에 대한 검증이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

ㅇ BIM 및 모형을 이용한 모듈러 교량 시스템 Pre-Construction

모듈러 교량 시스템의 경간 변화에 따라 최적의 모듈 조합과 모듈의 종류 및 수량을 결정하기 위하여 BIM 3차원 모델링과 3D 프린팅을 이용한 축소모형 Pre-Construction 시스템을 구상하였다. 고속도로 교량으로 설계 예정인 BH교를 대상으로 PSC 표준 모듈과 바닥판 표준 모듈을 조합하여 30+35+40=105m로 구성된 3경간 연속 교량을 설계하고 BIM Pre-Construction을 수행하여 시공과정에서 문제가 없음을 확인하였다. 또한, 모형을 이용한 모듈 조합을 통하여 모듈러 교량 시스템이 완성 모습을 육안으로 확인하는 동시에 구조계산서와 시공 도면을 연계하여 모듈러 교량 시스템의 완결성을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 한국건설기술연구원, “스마트 건설기술 현장 적용 가이드라인”, 국토교통부, 2021.
2. Lee, Jaehyun, Jeong, Jaewook, Soh, Jayho, Jeong, Jaemin, “Quantification Analysis of Safety Investment Cost and Fatal Accident Cost in Construction”, Journal of the Architectural Institute of Korea 37(7), ,pp. 211-218, 2021.
3. 심창수 외, “디지털 기반 도로구조물 설계-제작-시공 지원기술 개발”, 국토교통과학기술진흥원 중앙대학교 연구개발계획서, 2020.
4. 이상윤 외, “도로구조물 원격 자동화 시공 기술 개발”, 국토교통과학기술진흥원 한국건설기술연구원 연구개발계획서, 2020.
5. 심성한 외, “지능형 도로구조물 시공품질 관리기술 개발”, 국토교통과학기술진흥원 성균관대학교 연구개발계획서, 2020.
6. 한국도로공사 설계처, “미래 건설환경 변화에 대비한 공장기반 스마트 도로건설 로드맵 수립”, 2020.10.
7. 정창구, “최근 해외건설 동향 및 전망”, 건설경제 통권 88권, 2020.
8. 손태홍, “스마트 건설기술 활용 실태와 건설전략의 방향”, 한국건선산업연구원, 2019.12.
9. 박희대, ”모듈러 건설과 기업의 비즈니스 모델“, 한국건선산업연구원, 2019.11.
10. 신성철, 김형, 최정우, 김원용 외, “ICT 기반 교량 수명 연장을 위한 부분교체 및 저탄소 소재 활용 기술 개발 최종보고서”, 국토교통부, 2019.
11. McKinsey&Company, “Modular construction : From projects to products”, 2019.06.
12. JH Kim, “Case studies of Precast Facade Digital Design and Fabrication Strategies”. Journal of KIBIM Vol.9, No.3, 2019
13. Nick Bertram, Steffen Fuchs, Jan Mischke, Robert Palter, Gernot Strube, and Jonathan Woetzel, “Modular construction: From projects to products”, McKinsey&Company, 2019.
14. 국토교통부, “사회기반 시설의 노후화와 장수명화 대응방안 연구”, 2018.11.
15. 김인규, ”건설 자동화 기술현황 및 발전방향“, 대우건설 기술연구원, 2018.05.

16. Vicent Penad←s-Plà, Tatiana Garcia-Segura, José V. Martí 1 and Victor Yepes, “An Optimization-LCA of a Prestressed Concrete Precast Bridge”, MDPI, 2018.
17. 강상규, 최진웅, 강형택, 이창근, “바닥판 급속 교체를 위한 프리캐스트 패널 공법 체계화 연구”, 한국도로공사 도로교통연구원 연구보고서, 2018.
18. 박양호, 이대희, 조배형, 김민, “프리캐스트 교량 바닥판 공법 공사원가검토 및 경제성 분석 보고서”, 건설원가연구원, 2017.
19. 국토교통부, “교통시설 투자평가지침”. 국토교통부 제6차 개정, 2017.
20. 박양호, 이대희, 조배형, 김민, “프리캐스트 교량 바닥판 공법 공사원가검토 및 경제성 분석 보고서”, 건설원가연구원, 2017.
21. “도로교설계기준(한계상태설계법)”, 국토교통부, 2016
22. 윤태양 외, “직선교량의 공사기간 단축을 위한 표준 모듈 활용 조립식교량”. 국토교통부 국토교통과학기술진흥원, 2016.
23. 이일근, 박창호, 강형택, 박민석, 최국권, “교량 내구수명 100년을 위한 중장기 유지관리 전략개발”, 한국도로공사 도로교통연구원 연구보고서, 2015
24. 백병훈, 조중연, “생애 위험도기반 건축물의 설계단계 생애주기비용 분석 방법”, 한국건설관리학회 논문집, 제15권, 제3호, 2014.
25. 한국도로공사 설계처, “조립식 교량(Full Precast) 시범설계 추진”, 2013.06.
26. 성명진, 민태범, 이한승, “증기양생이 불필요한 프리캐스트 콘크리트의 연간 CO2 저감량 및 경제성 평가”, 대한건축학회 논문집, 제13권, 2호, 2013.
27. 윤정방 외, “지능형 친환경 교량 기술개발 기획보고서”, 국토해양부 한국건설교통기술평가원, 2012.
28. Michael P. Culmo, “Accelerated Bridge Construction - Experience in Design, Fabrication and Erection of Prefabricated Bridge Elements and Systems”, Federal Highway Administration, 2011.01
29. 대우건설기술연구원 토목연구팀. “일괄가설 긴장재를 이용한 프리캐스트 콘크리트 바닥판”, 대우건설기술연구원, 2011
30. KT Kim, YH Lee, “Economic Feasibility Study on the Unit Modular Fabrication Method According to the Life Cycle Costing Methodology”, 大韓建築學會論文集 構造系, 27券, 12號, 2011.
31. 오혁희, 지승구, 김지원, 박철우, 박나래, “LCC 예측모델을 활용한 도로시설물 유지관리 계획 수립방안”, 한국시설안전공단, 2010.

[부 록]

모듈러 교량 시스템 기본 설계도

A Basic Blueprint for a Modular Bridge System

2021. 12

한 국 도 로 공 사

도로교통연구원

[기본 설계도 목차]

A. PSC 모듈러 거더 ····· 133

A-1. Span Length 30m PSC 모듈러 거더 ····· 133

A-2. Span Length 35m PSC 모듈러 거더 ····· 139

A-3. Span Length 40m PSC 모듈러 거더 ····· 145

B. CFT 모듈러 거더 ····· 151

B-1. Span Length 45m CFT 모듈러 거더 ····· 151

B-2. Span Length 50m CFT 모듈러 거더 ····· 155

B-3. Span Length 55m CFT 모듈러 거더 ····· 160

B-4. Multi-Span(60+70+60=190m) CFT 모듈러 거더 ····· 165

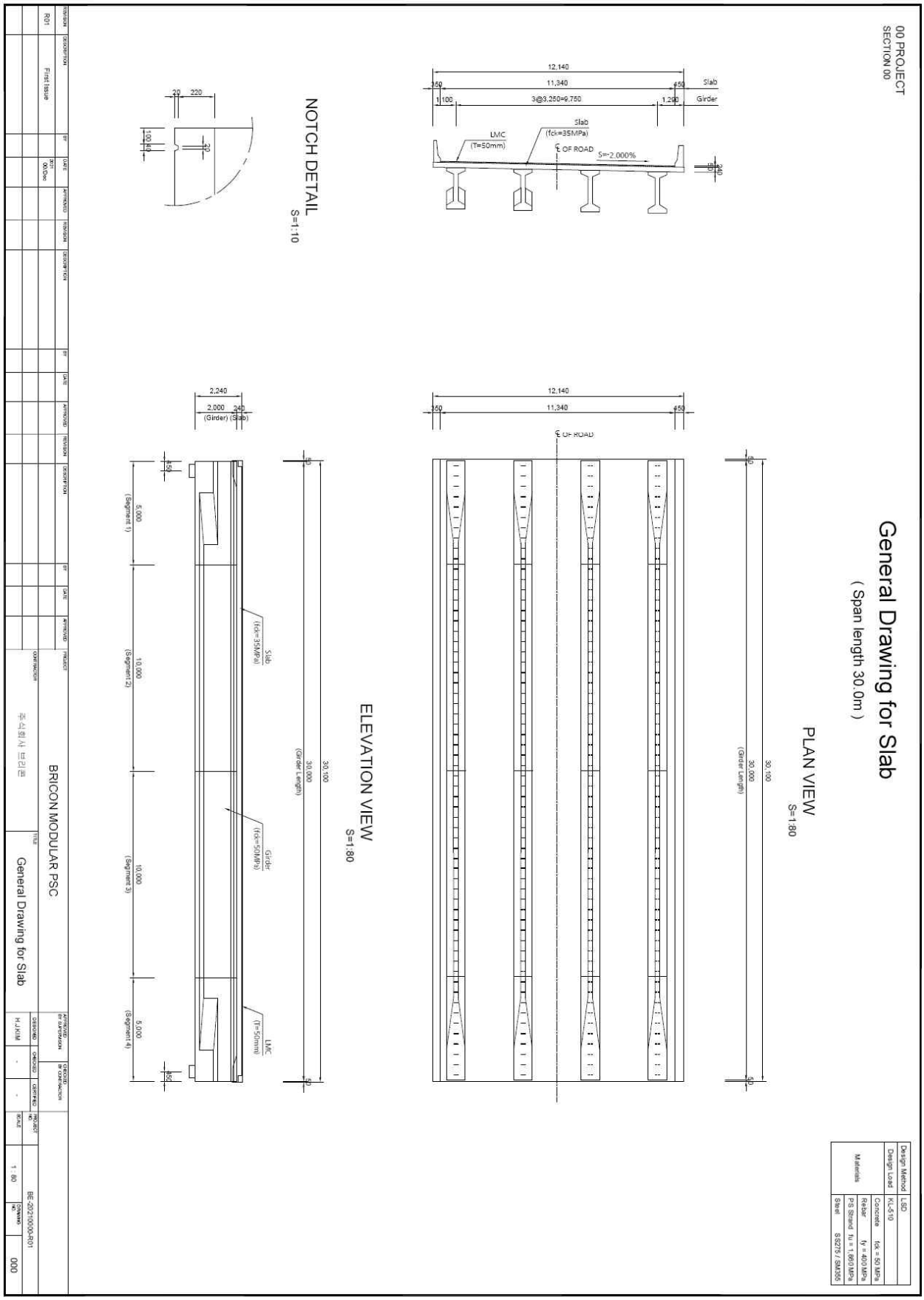
C. 모듈러 바닥판 ····· 172

D. PSC 모듈러 교량 ····· 177

D-1. 2@40=80m PSC 모듈러 교량 ····· 177

D-2. PSC 모듈러 모형 교량 2D $ 3D 설계 ····· 187

A-1. Span Length 30m PSC 모듈러 거더


00 PROJECT
SECTION 00
General Drawing for Slab
(Span length 30.0m)
PLAN VIEW
S=1:80
ELEVATION VIEW
S=1:80
NOTCH DETAIL
S=1:10
12,140
11,340
3@3,250=9,750
Slab
Girder
LMC
(Tr=50mm)
Slab
(fck=35MPa)
Girder
(fck=50MPa)
℄ OF ROAD
S=-2.000%
30,100
30,000
(Girder Length)
2,240
2,000 (Girder)
240 (Slab)
5,000 (Segment 1)
10,000 (Segment 2)
10,000 (Segment 3)
5,000 (Segment 4)
Design Method LSD
Design Load KL-510
Materials
Concrete fck = 50 MPa
Rebar fy = 400 MPa
PS Strand fu = 1,860 MPa
Steel SS275 / SM355
BRICON MODULAR PSC
General Drawing for Slab
주식회사 브리콘
HJHUM
BE-20210000-R01
1 : 80
000
R01
First Issue

00 PROJECT
SECTION 00

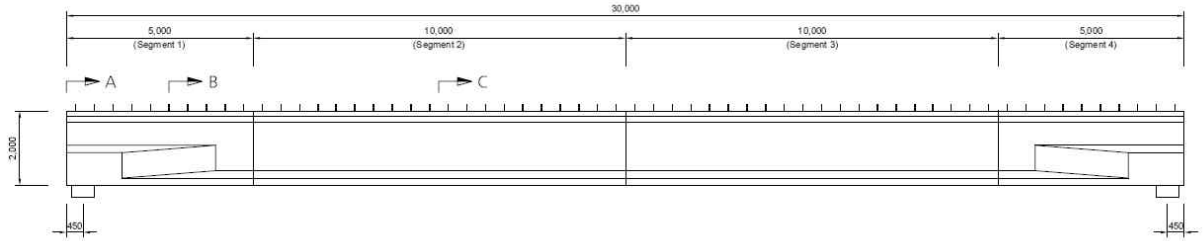
General Drawing for Girder

(Span length 30.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 50 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	fu = 1,860 MPa
	Steel	SS275 / SM355

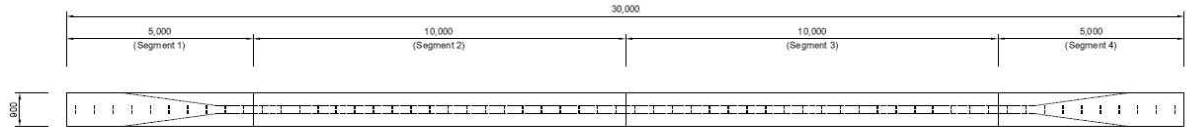
LONGITUDINAL SECTION

S=1:60



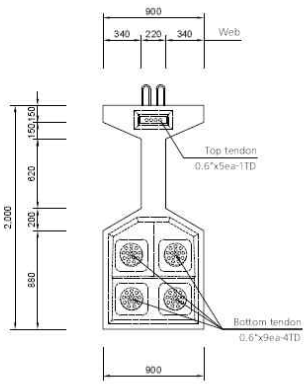
TOP PLAN VIEW

S=1:60



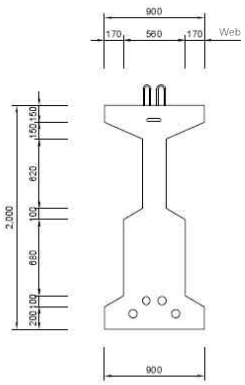
SECTION A-A

S=1:20



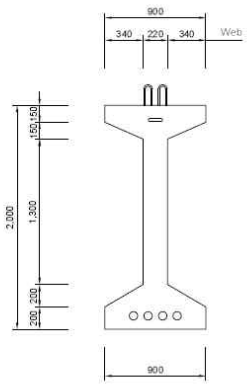
SECTION B-B

S=1:20



SECTION C-C

S=1:20



Segments weight

(per girder)

SEGMENT LIST	TYPE	UNIT	QUANTITY	WEIGHT
SEGMENT 1	20-50-18	m3	5.156	12.89 TON
SEGMENT 2			7.756	19.39 TON
SEGMENT 3			7.756	19.39 TON
SEGMENT 4			5.152	12.88 TON
TOTAL SUM			25.820	64.55 TON

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR PSC
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: General Drawing for Girder
APPROVED BY SUPERVISION
CHECKED BY CONTRACTOR
DESIGNED: H.J.KIM
CHECKED: -
CERTIFIED: -
PROJECT NO.: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 60
DRAWING NO.: 000

00 PROJECT
SECTION 00

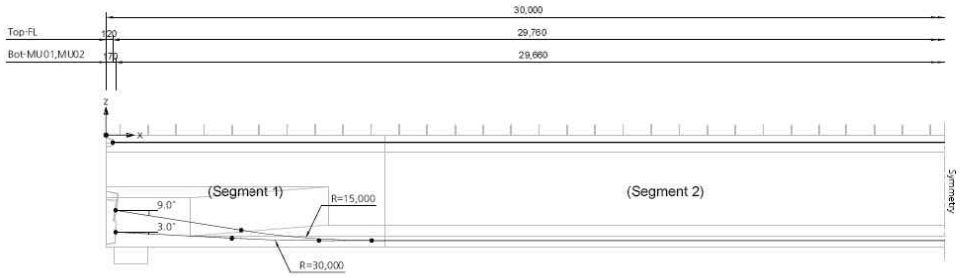
Tendon Profile

(Span length 30.0m)

Design Method	LSD
Design Load	KL-510
Materials	Concrete fck = 50 MPa
	Rebar fy = 400 MPa
	PS Strand fu = 1,860 MPa
	Steel SS275 / SM355

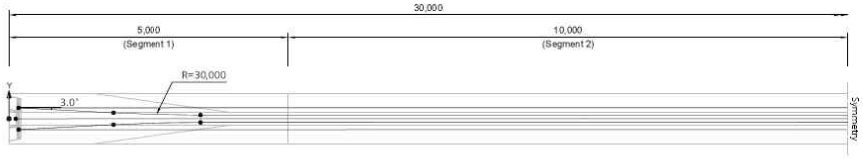
LONGITUDINAL SECTION

S=1:40



TOP PLAN VIEW

S=1:40



Top-FL	X (m)	0.120					15.000
	Z (m)	-0.130					-0.130
	Y (m)	0.000					0.000
Bot-MU01 (Left TD)	X (m)	0.170	1.866	2.413	3.436	4.760	15.000
	Z (m)	-1.340	-1.609	-1.695	-1.821	-1.880	-1.880
	Y (m)	0.195	0.106	0.082	0.065	0.065	0.065
Bot-MU02 (Left TD)	X (m)	0.170	2.248	3.818			15.000
	Z (m)	-1.730	-1.839	-1.880			-1.880
	Y (m)	0.195	0.195	0.195			0.195

* The symmetric tendon location is omitted.

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR PSC
APPROVED BY SUPERVISION
CHECKED BY CONTRACTOR
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: Tendon Profile
DESIGNED: H.J.KIM
CHECKED: -
CERTIFIED: -
PROJECT NO.: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 40
DRAWING NO.: 000

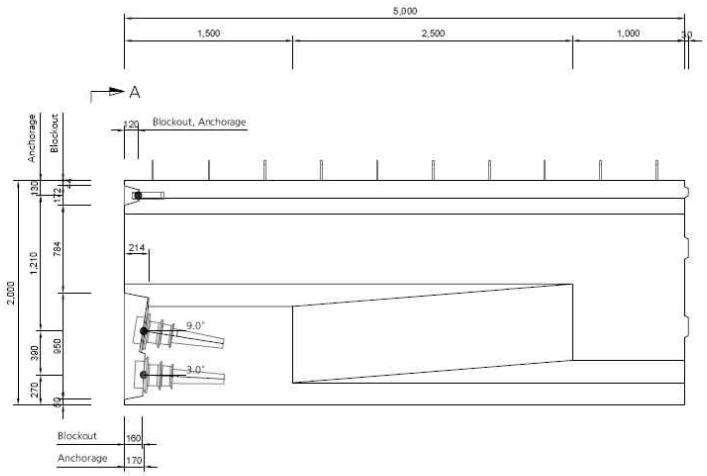
00 PROJECT
SECTION 00

Anchorage Blockout Detail

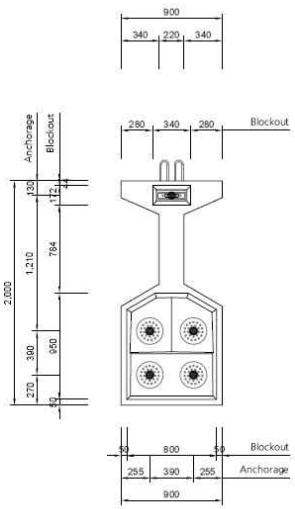
(Span length 30.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 50 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	fu = 1,860 MPa
	Steel	SS275 / SM355

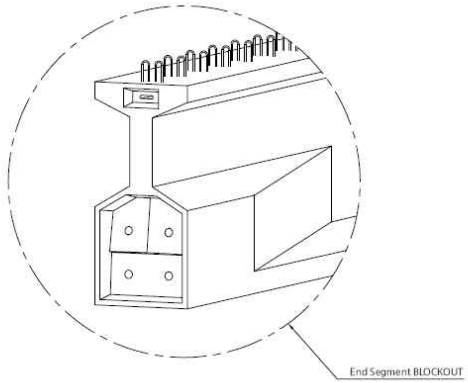
Anchorage BLOCKOUT
S=1:20



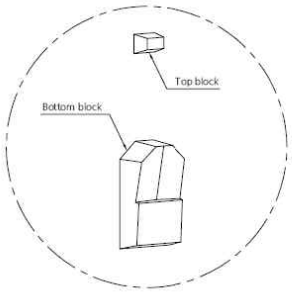
SECTION A-A
S=1:20



3D VIEW
S=NONE



Blockout Mortar
S=NONE



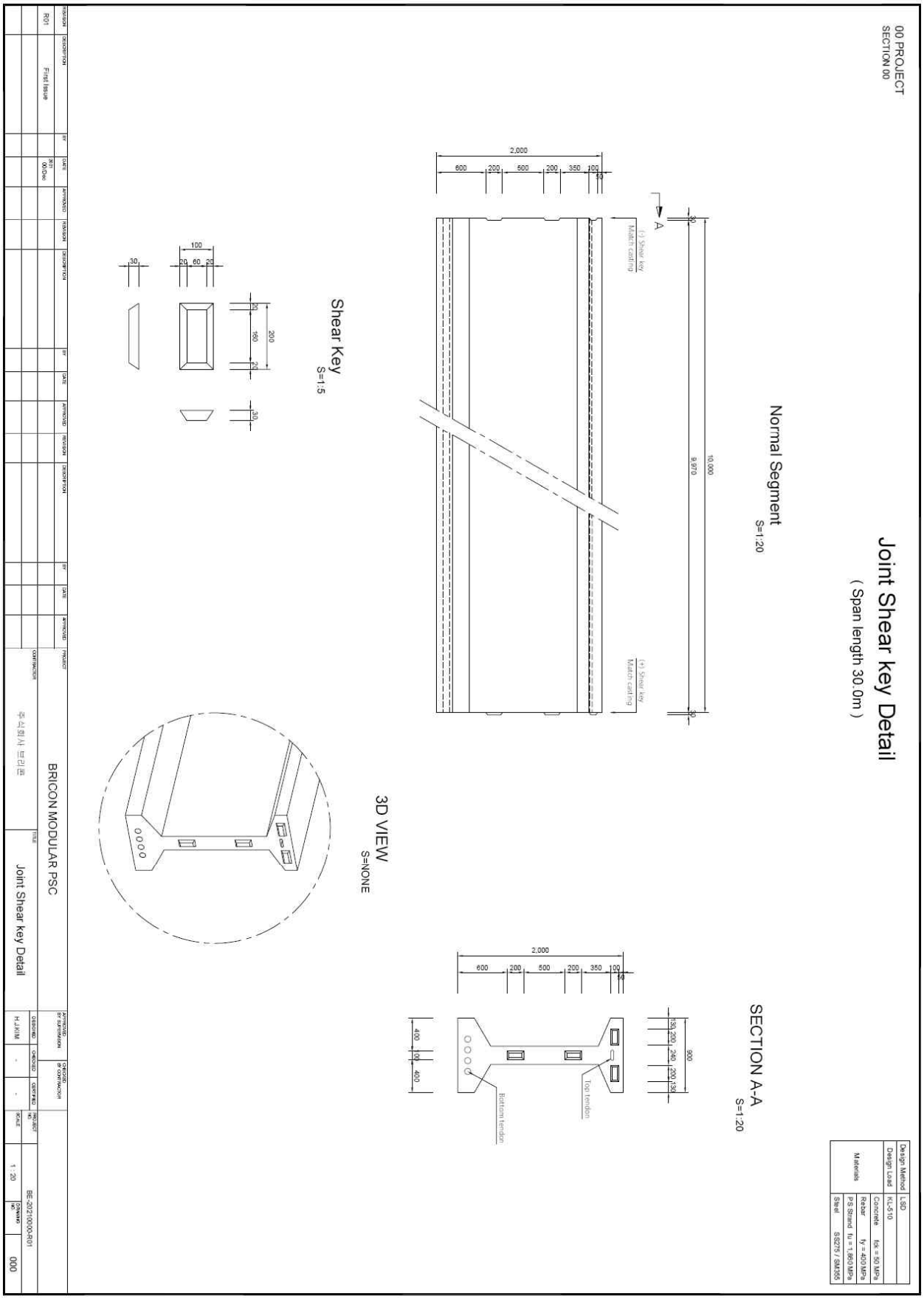
Blockout Mortar

(each)

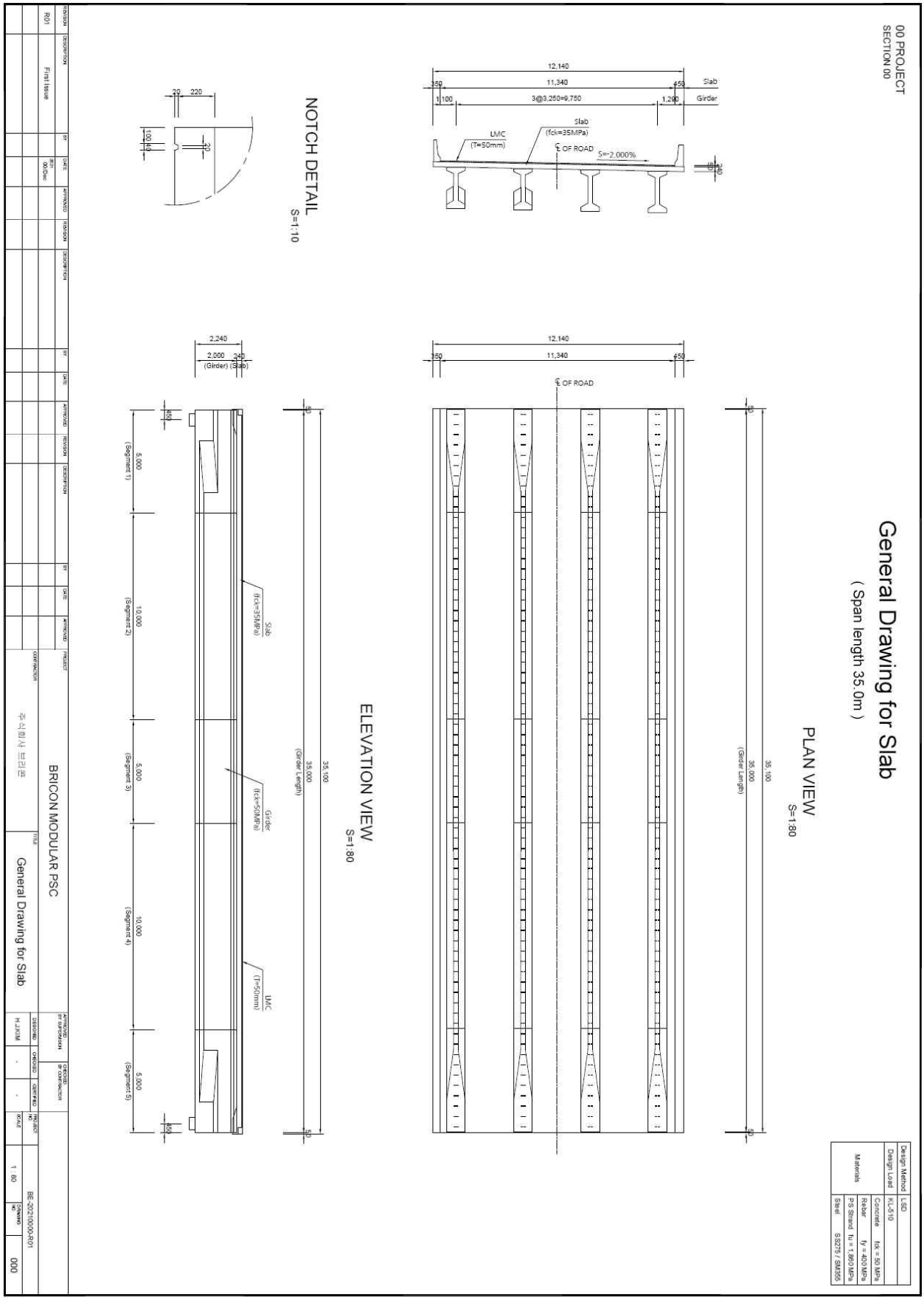
SEGMENT LIST	TYPE	UNIT	QUANTITY	REMARKS
End SEGMENT	1:3	m3	0.121	
TOTAL SUM			0.121	

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR PSC
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: Anchorage Blockout Detail
APPROVED BY SUPERVISION | CHECKED BY CONTRACTOR
DESIGNED: H.J.KIM | CHECKED: - | CERTIFIED: -
PROJECT NO: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 20
DRAWING NO: 000


00 PROJECT
SECTION 00
Joint Shear key Detail
(Span length 30.0m)
Normal Segment
S=1:20
Shear Key
S=1:5
3D VIEW
S=NONE
SECTION A-A
S=1:20
Top tendon
Bottom tendon
Design Method LSD
Design Load KL-510
Materials
Concrete fck = 50 MPa
Rebar fy = 400 MPa
PS Strand fu = 1,860 MPa
Steel SS275 / SM355
BRICON MODULAR PSC
Joint Shear key Detail
주식회사 브리콘
BE-20210000-R01
1 : 20
000

A-2. Span Length 35m PSC 모듈러 거더


00 PROJECT
SECTION 00
General Drawing for Slab
(Span length 35.0m)
PLAN VIEW
S=1:80
ELEVATION VIEW
S=1:80
NOTCH DETAIL
S=1:10
12,140
11,340
350
450
Slab
Girder
1,100
3@3,250=9,750
1,290
LMC
(T=50mm)
Slab
(fck=35MPa)
℄ OF ROAD
S=-2.000%
35,100
35,000
(Girder Length)
2,240
2,000
240
(Girder)
(Slab)
5,000
(Segment 1)
10,000
(Segment 2)
5,000
(Segment 3)
10,000
(Segment 4)
5,000
(Segment 5)
Slab
(fck=35MPa)
Girder
(fck=50MPa)
LMC
(T=50mm)
Design Method LSD
Design Load KL-510
Materials
Concrete fck = 50 MPa
Rebar fy = 400 MPa
PS Strand fu = 1,860 MPa
Steel SS275 / SM355
REVISION
DESCRIPTION
BY
DATE
APPROVED
R01
First Issue
CONTRACTOR
주식회사 브리콘
PROJECT
BRICON MODULAR PSC
TITLE
General Drawing for Slab
DRAWN
HJKIM
CHECKED
-
CERTIFIED
-
SCALE
1 : 80
DRAWING NO.
BE-20210000-R01
REVISION NO.
000

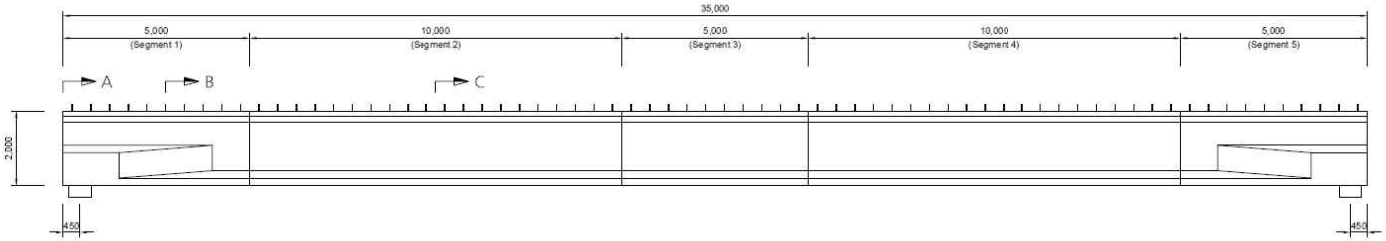
General Drawing for Girder

(Span length 35.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 50 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	fu = 1,860 MPa
	Steel	SS275 / SM355

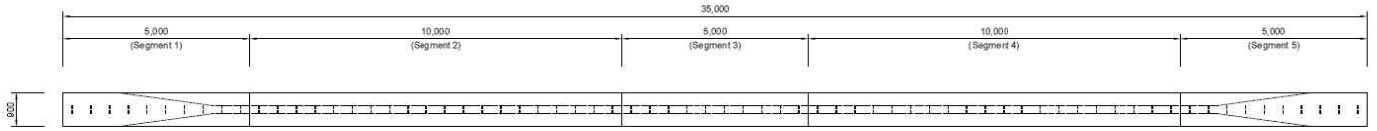
LONGITUDINAL SECTION

S=1:60



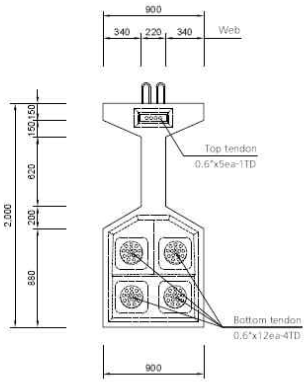
TOP PLAN VIEW

S=1:60



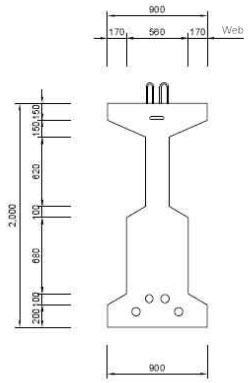
SECTION A-A

S=1:20



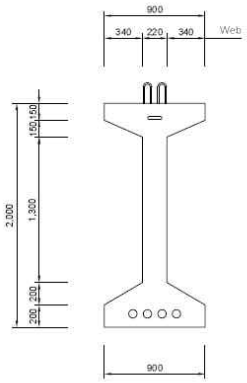
SECTION B-B

S=1:20



SECTION C-C

S=1:20



Segments weight

(per girder)

SEGMENT LIST	TYPE	UNIT	QUANTITY	WEIGHT
SEGMENT 1	20-50-18	m3	5.156	12.89 TON
SEGMENT 2			7.756	19.39 TON
SEGMENT 3			3.878	9.70 TON
SEGMENT 4			7.756	19.39 TON
SEGMENT 5			5.152	12.88 TON
TOTAL SUM			29.698	74.25 TON

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR PSC

CONTRACTOR: 주식회사 브리콘

TITLE: General Drawing for Girder

APPROVED BY SUPERVISION | CHECKED BY CONTRACTOR

DESIGNED	CHECKED	CERTIFIED	PROJECT NO.	SCALE	DRAWING NO.
H.J.KIM	-	-	BE-20210000-R01	1 : 60	000

00 PROJECT
SECTION 00

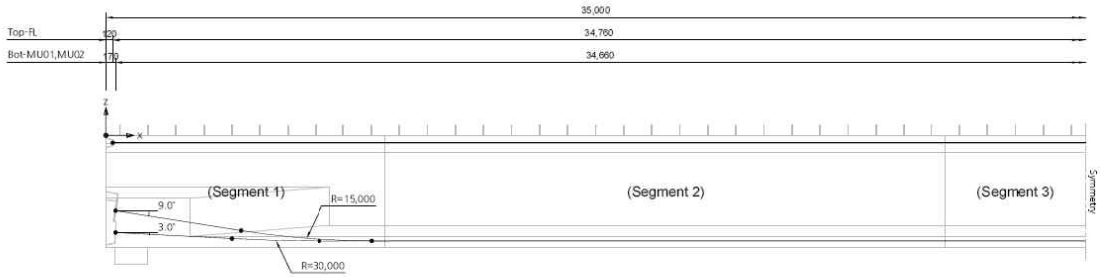
Tendon Profile

(Span length 35.0m)

Design Method	LSD
Design Load	KL-510
Materials	Concrete fck = 50 MPa
	Rebar fy = 400 MPa
	PS Strand fu = 1,860 MPa
	Steel SS275 / SM355

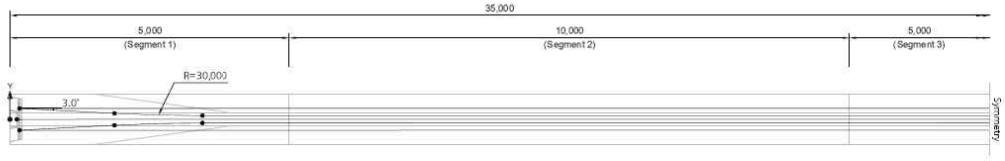
LONGITUDINAL SECTION

S=1:40



TOP PLAN VIEW

S=1:40



Top-FL	X (m)	0.120				17.500
	Z (m)	-0.130				-0.130
	Y (m)	0.000				0.000
Bot-MU01 (Left TD)	X (m)	0.170	1.866 2.413	3.436	4.760	17.500
	Z (m)	-1.340	-1.609-1.695	-1.821	-1.880	-1.880
	Y (m)	0.195	0.106 0.082	0.065	0.065	0.065
Bot-MU02 (Left TD)	X (m)	0.170	2.248	3.818		17.500
	Z (m)	-1.730	-1.839	-1.880		-1.880
	Y (m)	0.195	0.195	0.195		0.195

* The symmetric tendon location is omitted.

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR PSC
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: Tendon Profile
APPROVED BY SUPERVISION
CHECKED BY CONTRACTOR
DESIGNED: H.J.KIM | CHECKED: - | CERTIFIED: -
PROJECT NO: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 40
DRAWING NO: 000

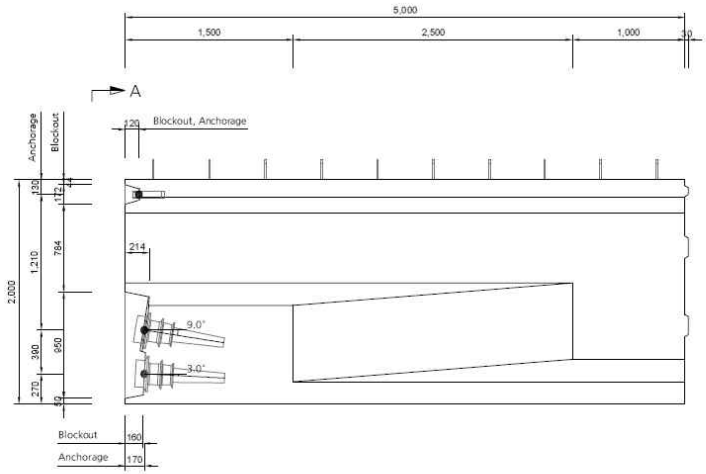
00 PROJECT
SECTION 00

Anchorage Blockout Detail

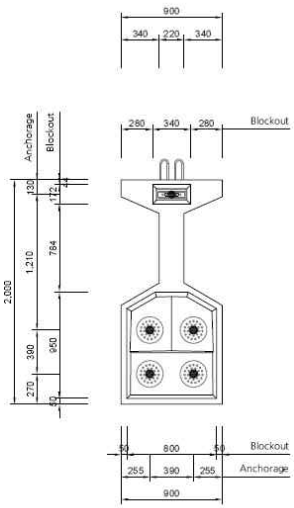
(Span length 35.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 50 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	fu = 1,860 MPa
	Steel	SS275 / SM355

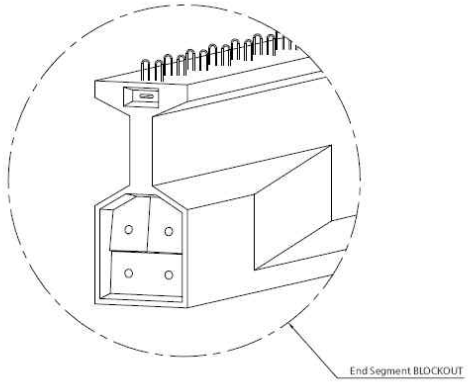
Anchorage BLOCKOUT
S=1:20



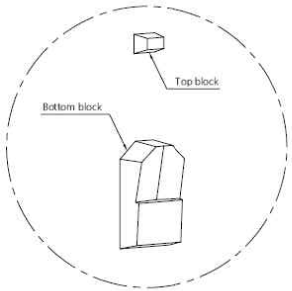
SECTION A-A
S=1:20



3D VIEW
S=NONE



Blockout Mortar
S=NONE



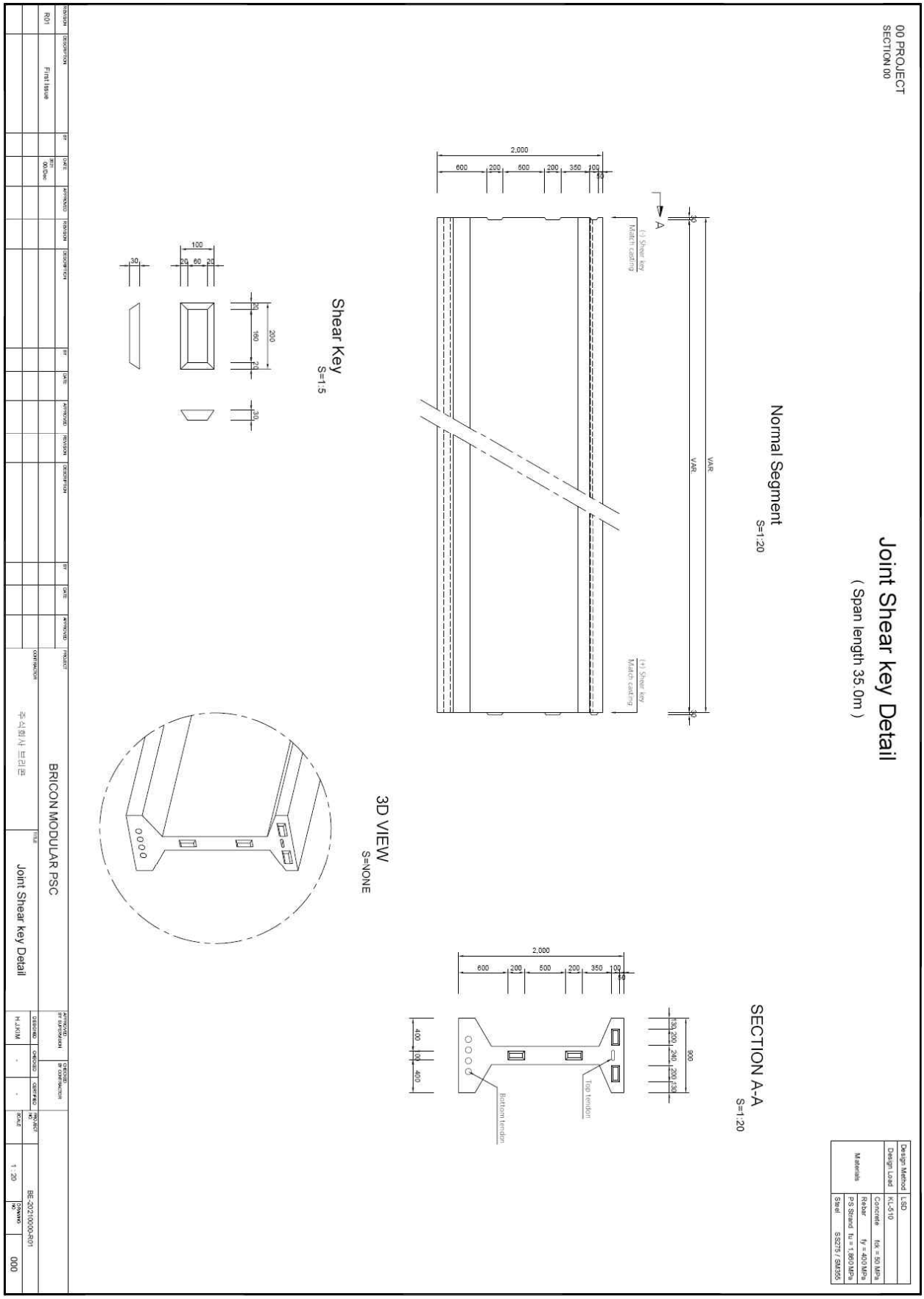
Blockout Mortar

(each)

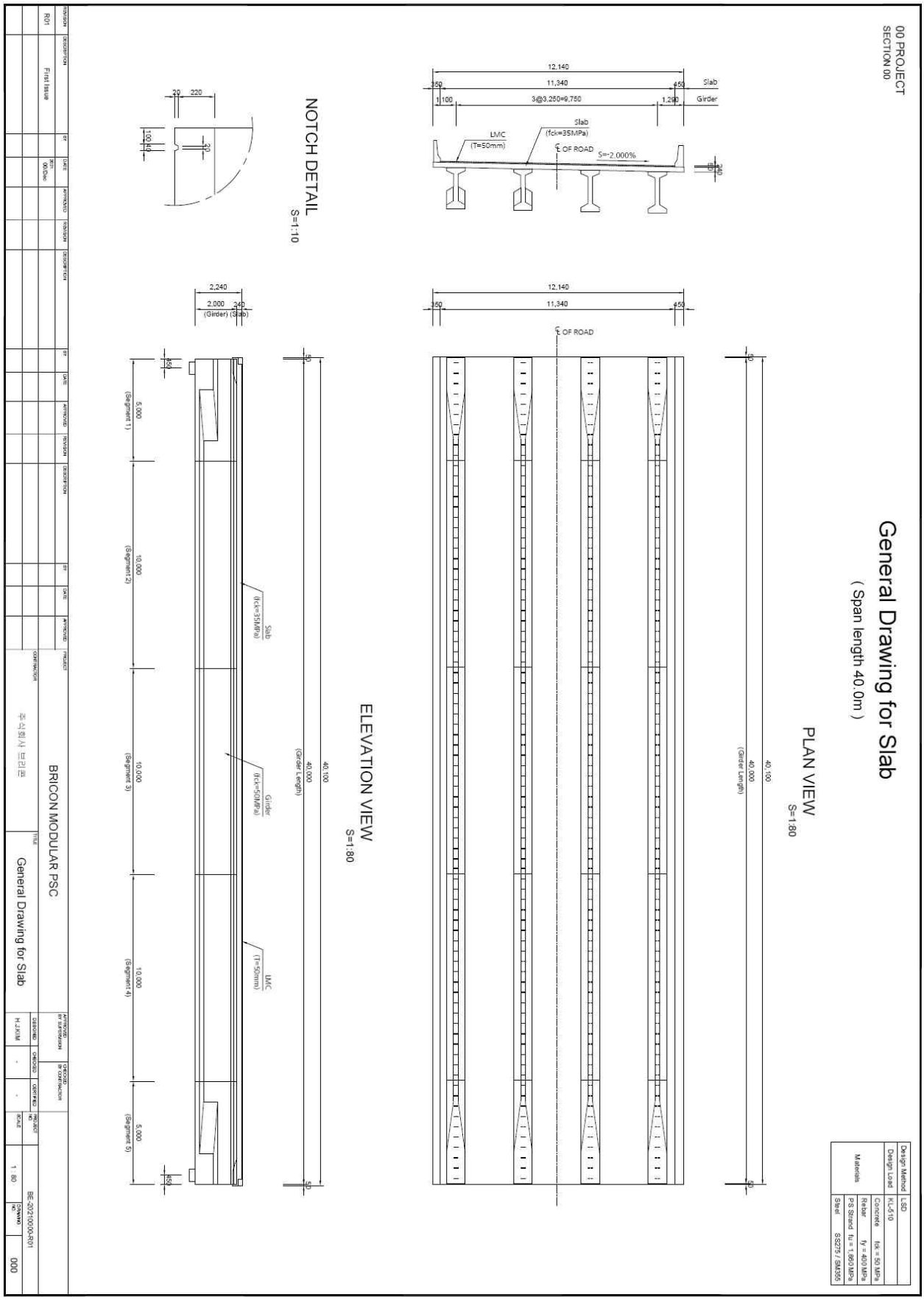
SEGMENT LIST	TYPE	UNIT	QUANTITY	REMARKS
End SEGMENT	1:3	m3	0.121	
TOTAL SUM			0.121	

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR PSC
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: Anchorage Blockout Detail
APPROVED BY SUPERVISION:
CHECKED BY CONTRACTOR:
DESIGNED: H.J.KIM | CHECKED: - | CERTIFIED: -
PROJECT NO: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 20
DRAWING NO: 000


00 PROJECT
SECTION 00
Joint Shear key Detail
(Span length 35.0m)
Normal Segment
S=1:20
Shear Key
S=1:5
3D VIEW
S=NONE
SECTION A-A
S=1:20
Top tendon
Bottom tendon
Design Method LSD
Design Load KL-510
Concrete fck = 50 MPa
Rebar fy = 400 MPa
PS Strand fu = 1,860 MPa
Steel SS275 / SM355
BRICON MODULAR PSC
Joint Shear key Detail
BE-20210000-R01
000

A-3. Span Length 40m PSC 모듈러 거더


00 PROJECT
SECTION 00
General Drawing for Slab
(Span length 40.0m)
PLAN VIEW
S=1:80
ELEVATION VIEW
S=1:80
NOTCH DETAIL
S=1:10
12,140
11,340
350
450
Slab
Girder
1,100
3@3,250=9,750
1,290
LMC
(T=50mm)
Slab
(fck=35MPa)
℄ OF ROAD
S=-2.000%
2,240
2,000
240
(Girder) (Slab)
40,100
40,000
(Girder Length)
(Girder Length)
Girder
(fck=50MPa)
5,000
(Segment 1)
10,000
(Segment 2)
10,000
(Segment 3)
10,000
(Segment 4)
5,000
(Segment 5)
Design Method LSD
Design Load KL-510
Materials
Concrete fck = 50 MPa
Rebar fy = 400 MPa
PS Strand fu = 1,860 MPa
Steel SS275 / SM355
REVISION
R01
DESCRIPTION
First Issue
BY
DATE
2021-09-Dec
APPROVED
CONFIRMATION
주식회사 브리콘
PROJECT
BRICON MODULAR PSC
TITLE
General Drawing for Slab
DESIGNED
H.J.KIM
CHECKED
-
CERTIFIED
-
APPROVED BY SUPERVISION
APPROVED BY CONFIRMATION
SCALE
1 : 80
PROJECT NO.
BE-20210000-R01
DRAWING NO.
000

00 PROJECT
SECTION 00

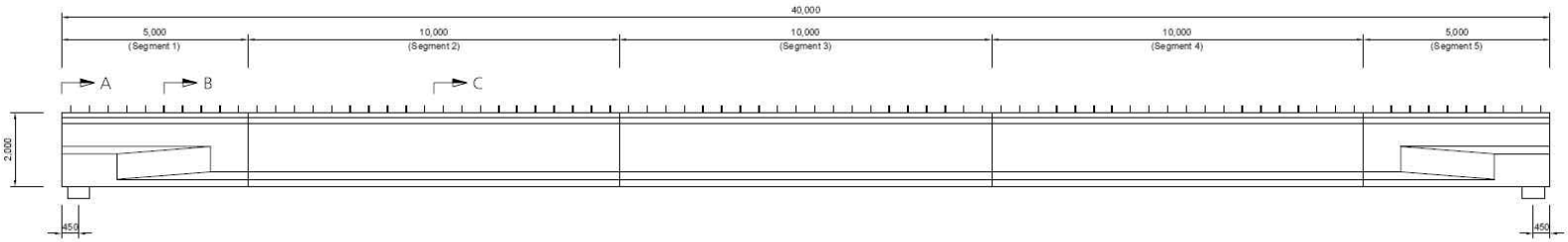
General Drawing

(Span length 40.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 50 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	fu = 1,860 MPa
	Steel	SS275 / SM355

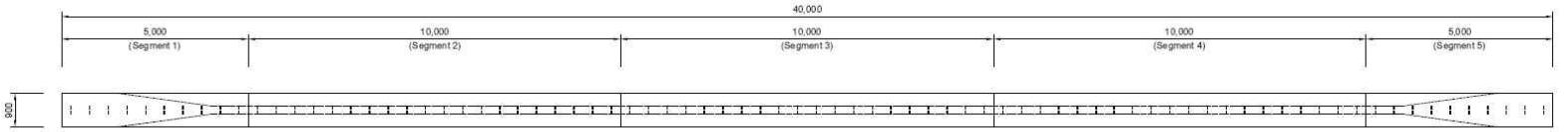
LONGITUDINAL SECTION

S=1:60



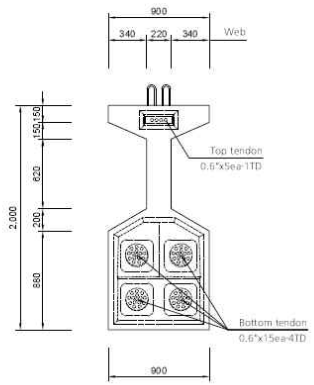
TOP PLAN VIEW

S=1:60



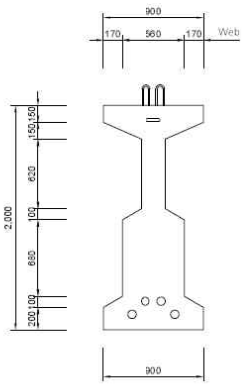
SECTION A-A

S=1:20



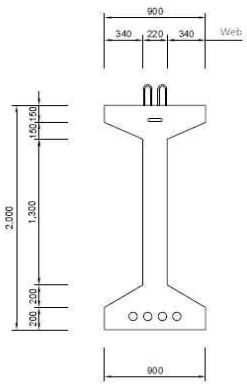
SECTION B-B

S=1:20



SECTION C-C

S=1:20



Segments weight

(per girder)

SEGMENT LIST	TYPE	UNIT	QUANTITY	WEIGHT
SEGMENT 1	20-50-18	m3	5.156	12.89 TON
SEGMENT 2			7.756	19.39 TON
SEGMENT 3			7.756	19.39 TON
SEGMENT 4			7.756	19.39 TON
SEGMENT 5			5.152	12.88 TON
TOTAL SUM			33.576	83.94 TON

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR PSC
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: General Drawing
APPROVED BY SUPERVISION:
CHECKED BY CONTRACTOR:
DESIGNED: H.J.KIM | CHECKED: - | CERTIFIED: -
PROJECT NO: BE-20210000-R01
SCALE: 1:60
DRAWING NO: 000

00 PROJECT
SECTION 00

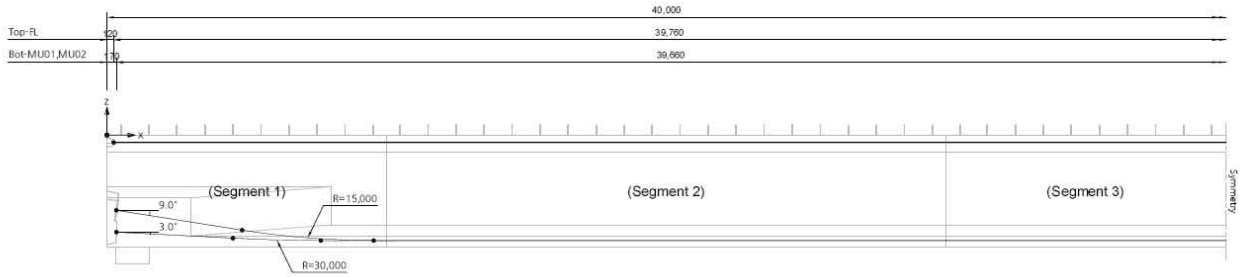
Tendon Profile

(Span length 40.0m)

Design Method	LSD
Design Load	KL-510
Materials	Concrete fck = 50 MPa
	Rebar fy = 400 MPa
	PS Strand fu = 1,860 MPa
	Steel SS275 / SM355

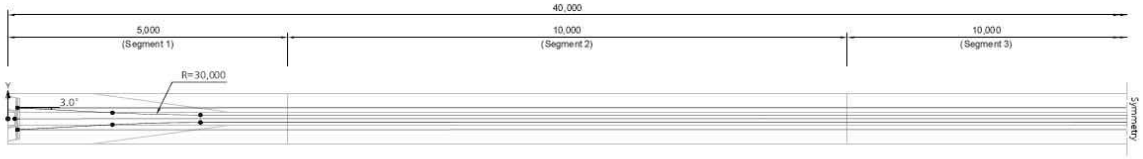
LONGITUDINAL SECTION

S=1:40



TOP PLAN VIEW

S=1:40



Top-FL	X (m)	0.120					20.000
	Z (m)	-0.130					-0.130
	Y (m)	0.000					0.000
Bot-MU01 (Left TD)	X (m)	0.170	1.866	2.413	3.436	4.760	20.000
	Z (m)	-1.340	-1.609	-1.695	-1.821	-1.880	-1.880
	Y (m)	0.195	0.106	0.082	0.065	0.065	0.065
Bot-MU02 (Left TD)	X (m)	0.170	2.248	3.818			20.000
	Z (m)	-1.730	-1.839	-1.880			-1.880
	Y (m)	0.195	0.195	0.195			0.195

* The symmetric tendon location is omitted.

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR PSC
APPROVED BY SUPERVISION
CHECKED BY CONTRACTOR
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: Tendon Profile
DESIGNED: H.J.KIM
CHECKED: -
CERTIFIED: -
PROJECT NO.: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 40
DRAWING NO.: 000

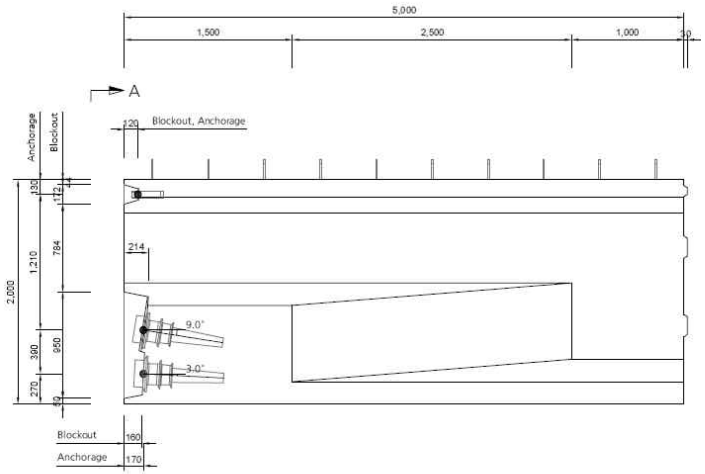
00 PROJECT
SECTION 00

Anchorage Blockout Detail

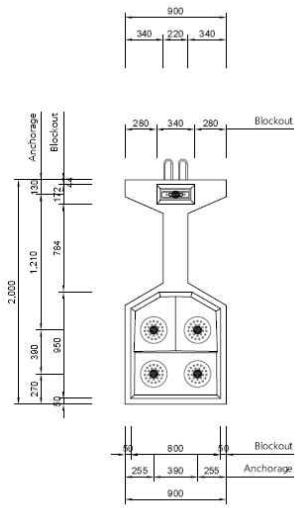
(Span length 40.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 50 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	fu = 1,860 MPa
	Steel	SS275 / SM355

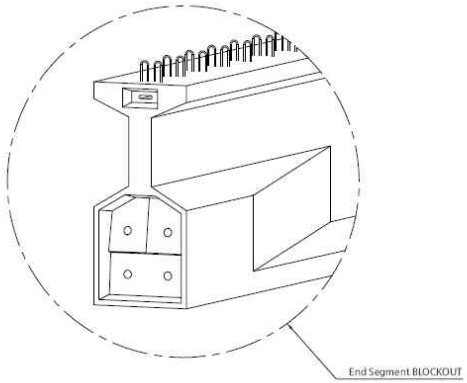
Anchorage BLOCKOUT
S=1:20



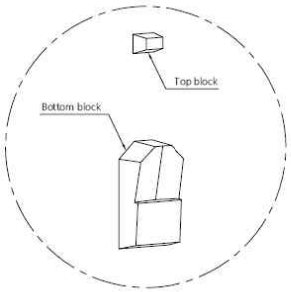
SECTION A-A
S=1:20



3D VIEW
S=NONE



Blockout Mortar
S=NONE



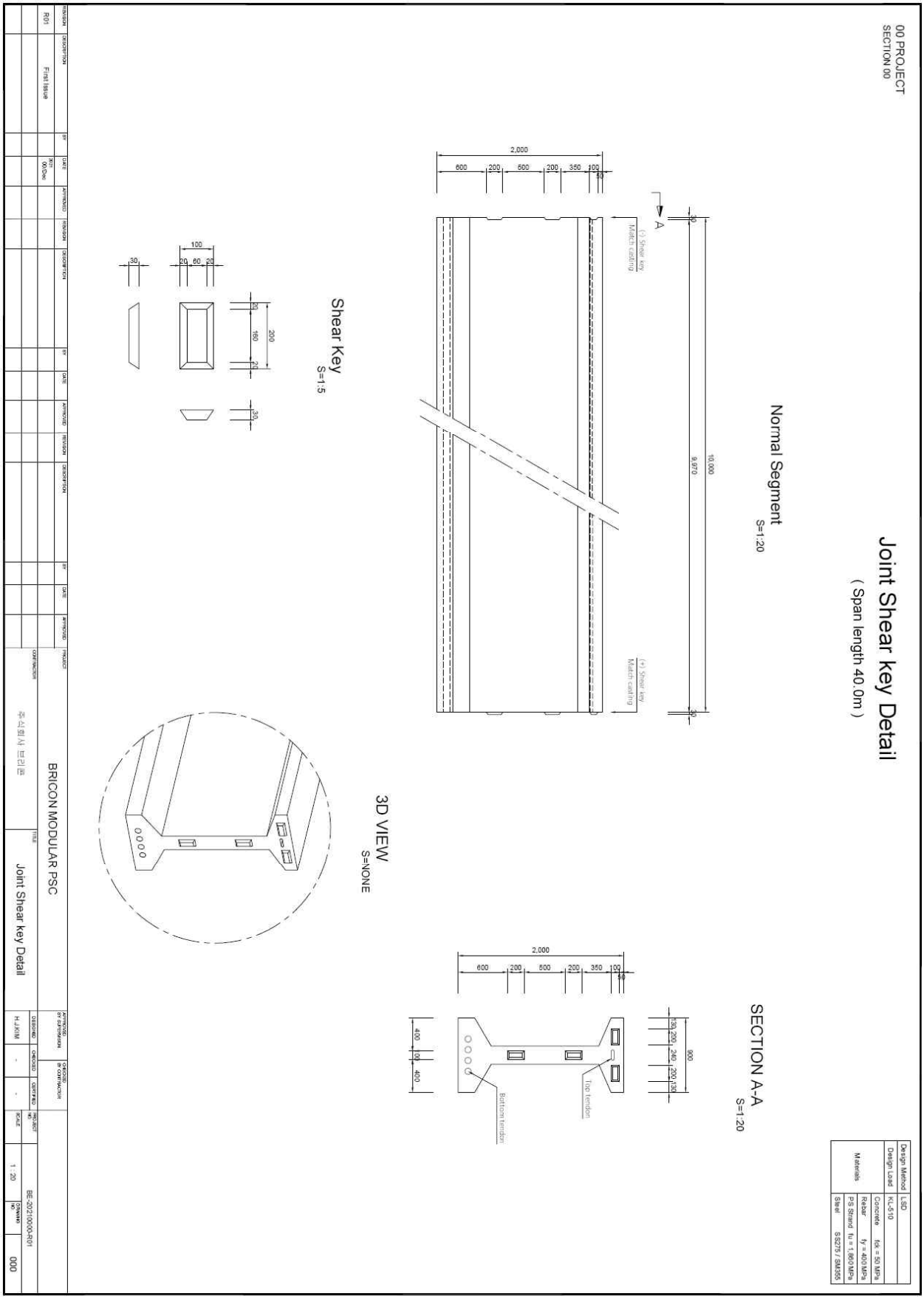
Blockout Mortar

(each)

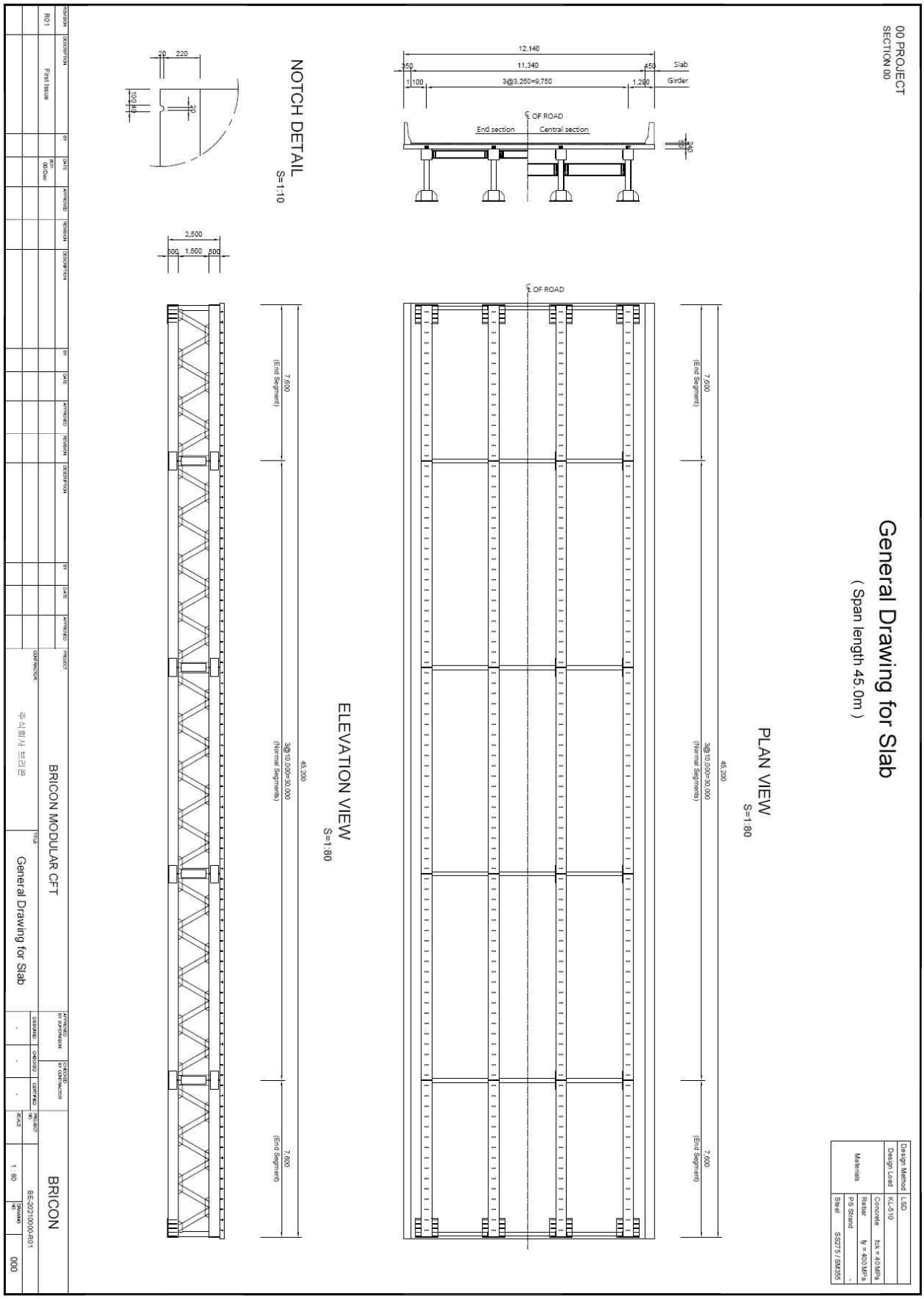
SEGMENT LIST	TYPE	UNIT	QUANTITY	REMARKS
End SEGMENT	1:3	m3	0.121	
TOTAL SUM			0.121	

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021. 00/Dec											

PROJECT: BRICON MODULAR PSC
APPROVED BY SUPERVISION:
CHECKED BY CONTRACTOR:
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: Anchorage Blockout Detail
DESIGNED: H.J.KIM | CHECKED: - | CERTIFIED: -
PROJECT NO.: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 20
DRAWING NO.: 000


00 PROJECT
SECTION 00
Joint Shear key Detail
(Span length 40.0m)
Normal Segment
S=1:20
Shear Key
S=1:5
3D VIEW
S=NONE
SECTION A-A
S=1:20
Top tendon
Bottom tendon
Design Method LSD
Design Load KL-510
Concrete fck = 50 MPa
Rebar fy = 400 MPa
PS Strand fu = 1,860 MPa
Steel SS275 / SM355
BRICON MODULAR PSC
Joint Shear key Detail
BE-20210000-R01
1:20
000

B-1. Span Length 45m CFT 모듈러 거더


00 PROJECT
SECTION 00
General Drawing for Slab
(Span length 45.0m)
Design Method LSD
Design Load KL-510
Materials Concrete fck = 40 MPa
Rebar fy = 400 MPa
PS Strand
Steel SS275 / SM355
12,140
11,340
350
450
Slab
Girder
1,100
3@3,250=9,750
1,200
℄ OF ROAD
End section
Central section
240
NOTCH DETAIL
S=1:10
20
220
100
20
2,500
500
1,500
500
PLAN VIEW
S=1:80
45,200
7,600
(End Segment)
3@10,000=30,000
(Normal Segments)
ELEVATION VIEW
S=1:80
BRICON MODULAR CFT
General Drawing for Slab
주식회사 브리콘
BRICON
BE-20210000-R01
1 : 80
000
R01
First Issue

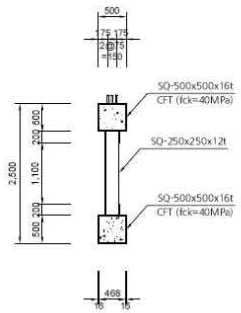
00 PROJECT
SECTION 00

Normal Segment (L=10.0m)

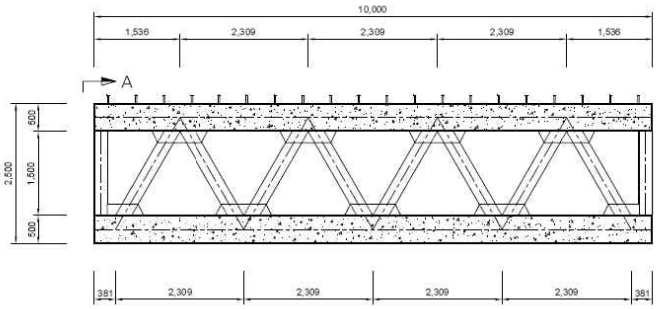
(Span length 45.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 40 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	-
	Steel	SS275 / SM355

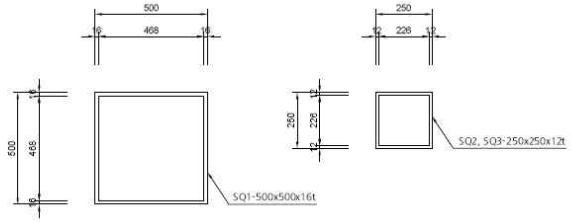
SECTION A-A
S=1:40



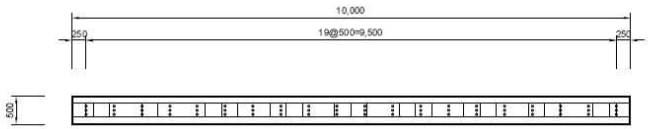
LONGITUDINAL SECTION
S=1:40



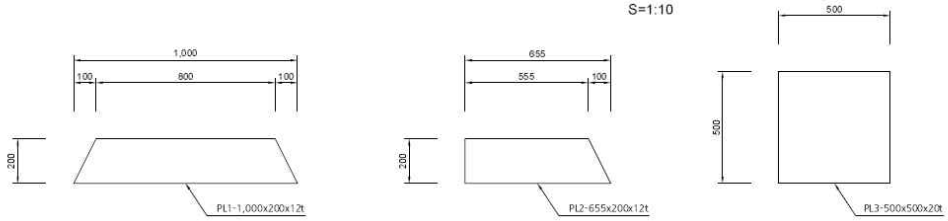
Steel Material Detail
S=1:10



TOP PLAN VIEW
S=1:40



Steel Material Detail
S=1:10



Material Lists

(per each)

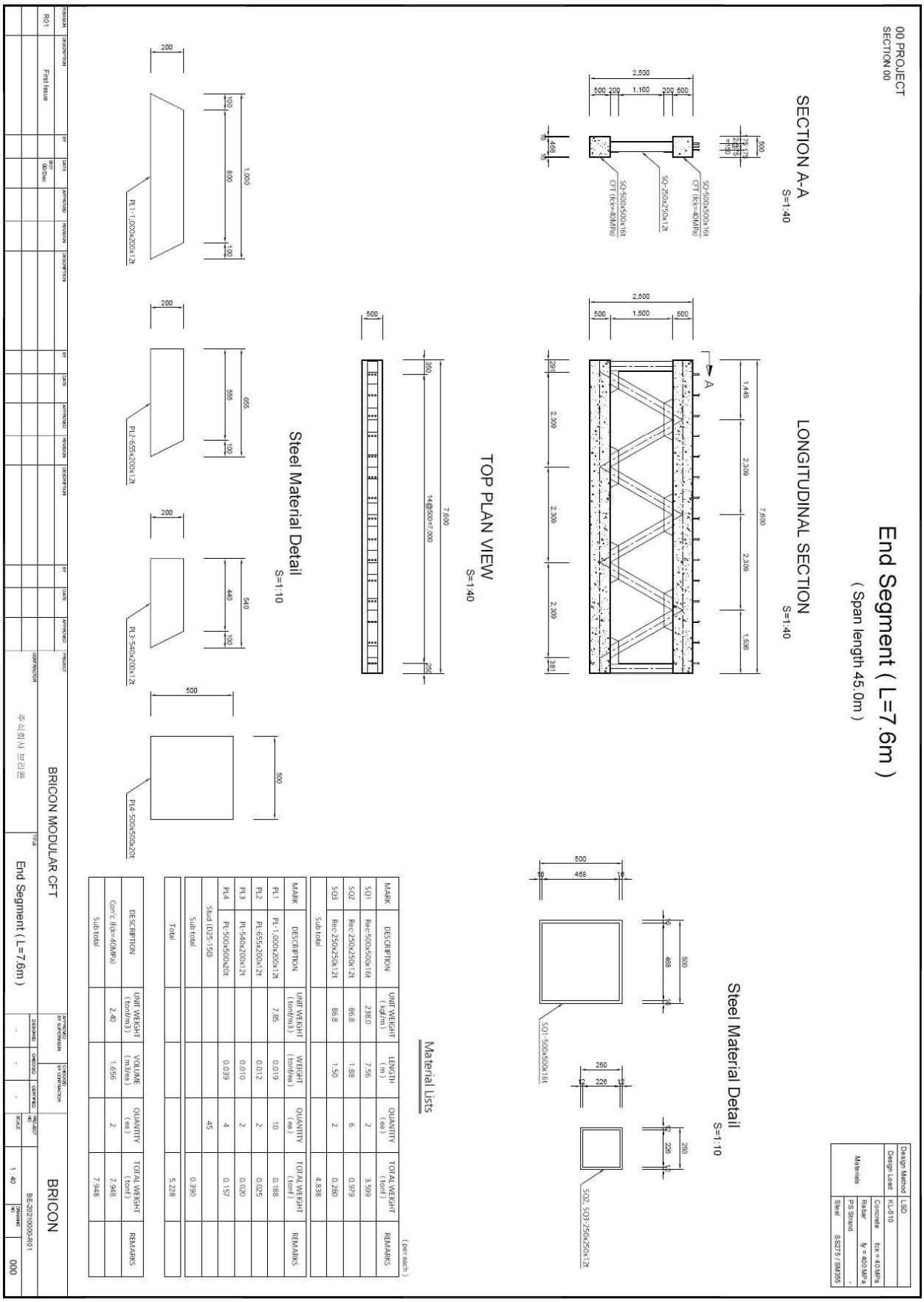
MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (kgf/m)	LENGTH (m)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
SQ1	Rec-500x500x16t	238.0	9.96	2	4.741	
SQ2	Rec-250x250x12t	86.8	1.88	8	1.305	
SQ3	Rec-250x250x12t	86.8	1.50	2	0.260	
Sub total					6.307	

MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	WEIGHT (tonf/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
PL1	PL-1,000x200x12t	7.85	0.019	14	0.264	
PL2	PL-655x200x12t		0.012	4	0.049	
PL3	PL-500x500x20t		0.039	4	0.157	
Stud (D25-150)				60		
Sub total					0.470	
Total					6.777	

DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	VOLUME (m3/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
Con'c (fck=40MPa)	2.40	2.181	2	10.471	
Sub total				10.471	

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec											

PROJECT: BRICON MODULAR CFT
APPROVED BY SUPERVISION:
CHECKED BY CONTRACTOR:
BRICON
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: Normal Segment (L=10.0m)
DESIGNED: -
CHECKED: -
CERTIFIED: -
PROJECT NO: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 40
DRAWING NO: 000

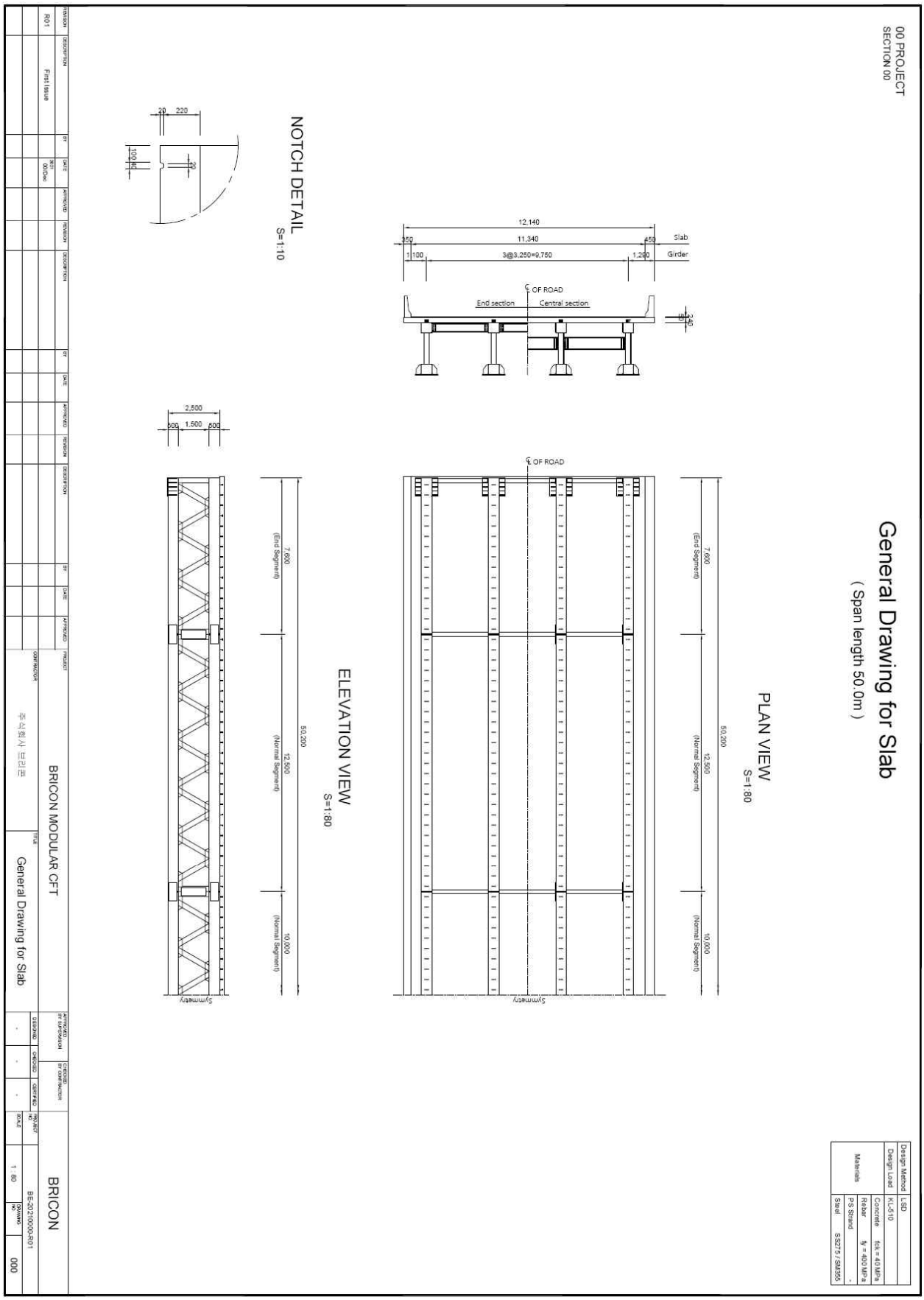


MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (kgf/m)	LENGTH (m)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
SQ1	Rec-500x500x16t	238.0	7.56	2	3.599	
SQ2	Rec-250x250x12t	86.8	1.88	6	0.979	
SQ3	Rec-250x250x12t	86.8	1.50	2	0.260	
	Sub total				4.838	

MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	WEIGHT (tonf/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
PL1	PL-1,000x200x12t	7.85	0.019	10	0.188	
PL2	PL-655x200x12t		0.012	2	0.025	
PL3	PL-540x200x12t		0.010	2	0.020	
PL4	PL-500X500x20t		0.039	4	0.157	
	Stud (D25-150)			45	0.390	
	Sub total					
	Total				5.228	

DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	VOLUME (m3/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
Conc (fck=40MPa)	2.40	1.656	2	7.948	
Sub total				7.948	

B-2. Span Length 50m CFT 모듈러 거더


00 PROJECT
SECTION 00
General Drawing for Slab
(Span length 50.0m)
PLAN VIEW
S=1:80
ELEVATION VIEW
S=1:80
NOTCH DETAIL
S=1:10
Design Method LSD
Design Load KL-510
Materials
Concrete fck = 40MPa
Rebar fy = 400MPa
PS Strand -
Steel SS275 / SM355
BRICON MODULAR CFT
General Drawing for Slab
BRICON
BE-20210000-R01
1 : 80
000
R01
First Issue

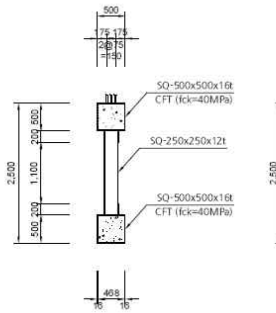
00 PROJECT
SECTION 00

Normal Segment (L=12.5m)

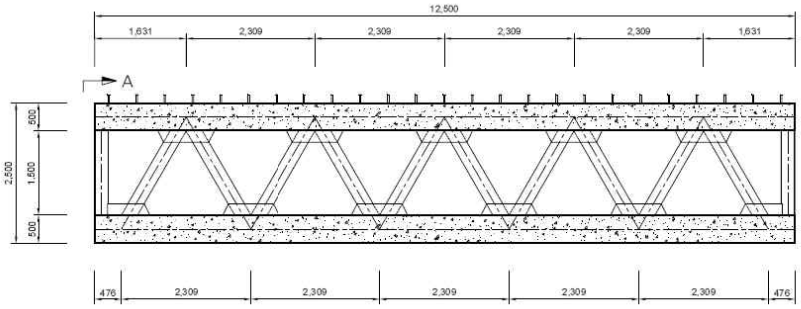
(Span length 50.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 40 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	-
	Steel	SS275 / SM355

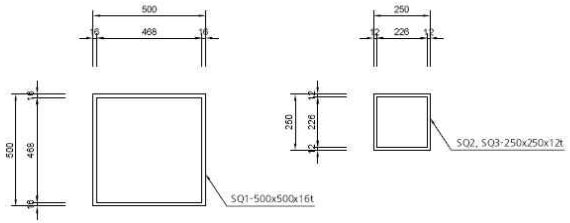
SECTION A-A
S=1:40



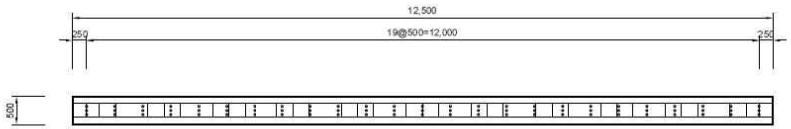
LONGITUDINAL SECTION
S=1:40



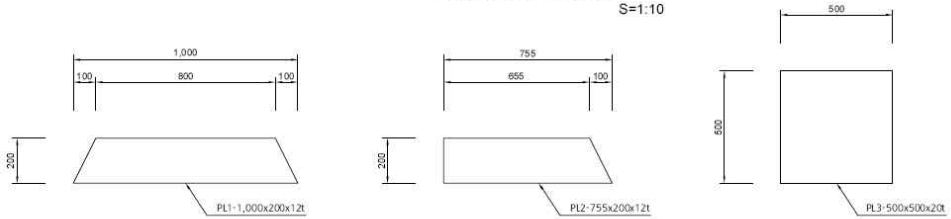
Steel Material Detail
S=1:10



TOP PLAN VIEW
S=1:40



Steel Material Detail
S=1:10



Material Lists

(per each)

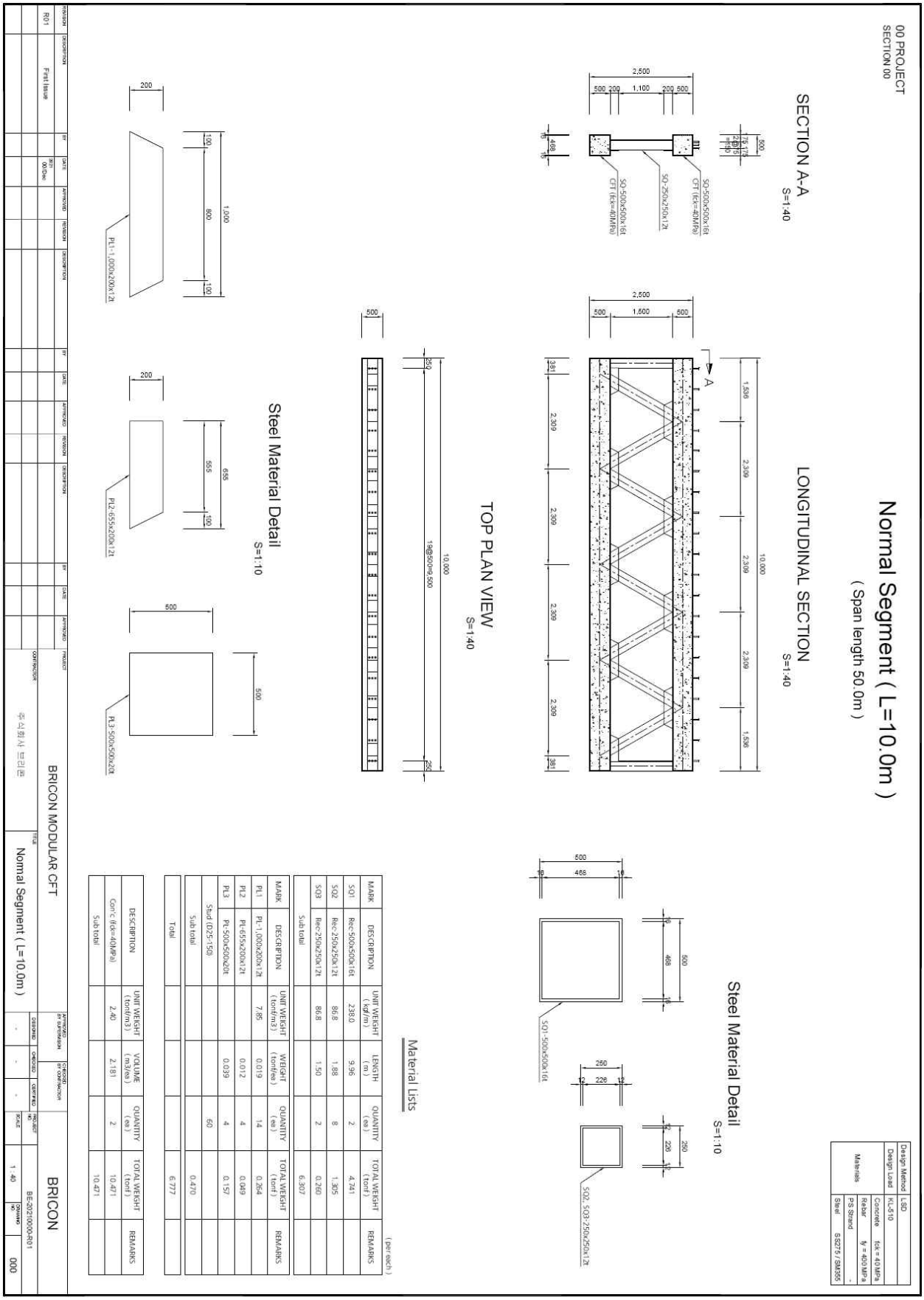
MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (kgf/m)	LENGTH (m)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
SQ1	Rec-500x500x16t	238.0	12.46	2	5.931	
SQ2	Rec-250x250x12t	86.8	1.88	10	1.632	
SQ3	Rec-250x250x12t	86.8	1.50	2	0.260	
Sub total					7.823	

MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	WEIGHT (tonf/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
PL1	PL-1,000x200x12t	7.85	0.019	18	0.339	
PL2	PL-755x200x12t		0.014	4	0.057	
PL3	PL-500x500x20t		0.039	4	0.157	
Stud (D25-150)				75		
Sub total					0.553	
Total					8.376	

DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	VOLUME (m3/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
Con'c (fck=40MPa)	2.40	2.729	2	13.099	
Sub total				13.099	

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR CFT
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: Normal Segment (L=12.5m)
APPROVED BY SUPERVISION
CHECKED BY CONTRACTOR
DESIGNED: -
CHECKED: -
CERTIFIED: -
BRICON
PROJECT NO: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 40
DRAWING NO: 000



MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (kgf/m)	LENGTH (m)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
SQ1	Rec-500x500x16t	238.0	9.96	2	4.741	
SQ2	Rec-250x250x12t	86.8	1.88	8	1.305	
SQ3	Rec-250x250x12t	86.8	1.50	2	0.260	
Sub total					6.307	

MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	WEIGHT (tonf/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
PL1	PL-1,000x200x12t	7.85	0.019	14	0.264	
PL2	PL-655x200x12t		0.012	4	0.049	
PL3	PL-500x500x20t		0.039	4	0.157	
Stud (D25-150)				60	0.470	
Sub total						
Total					6.777	

DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (ton/m3)	VOLUME (m3/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
Con'c (fck=40MPa)	2.40	2.181	2	10.471	
Sub total				10.471	

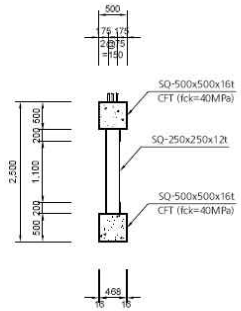
00 PROJECT
SECTION 00

End Segment (L=7.6m)

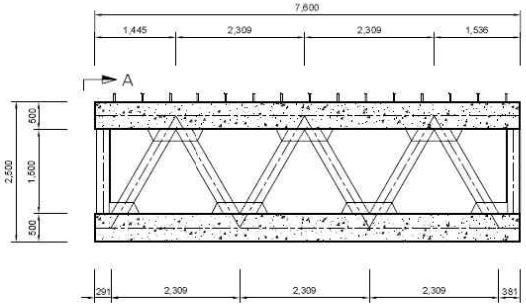
(Span length 50.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 40 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	-
	Steel	SS275 / SM355

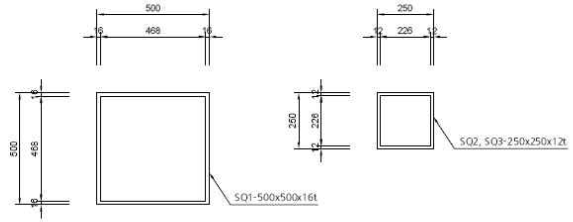
SECTION A-A
S=1:40



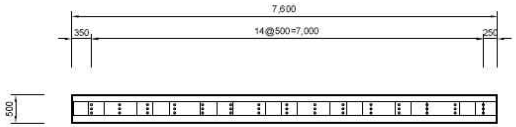
LONGITUDINAL SECTION
S=1:40



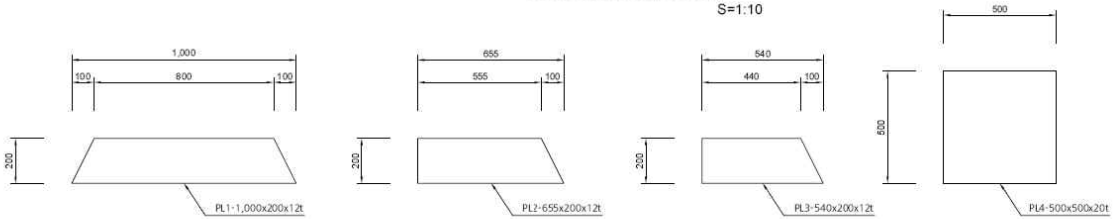
Steel Material Detail
S=1:10



TOP PLAN VIEW
S=1:40



Steel Material Detail
S=1:10



Material Lists

(per each)

MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (kgf/m)	LENGTH (m)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
SQ1	Rec-500x500x16t	238.0	7.56	2	3.599	
SQ2	Rec-250x250x12t	86.8	1.88	6	0.979	
SQ3	Rec-250x250x12t	86.8	1.50	2	0.260	
Sub total					4.838	

MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	WEIGHT (tonf/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
PL1	PL-1,000x200x12t	7.85	0.019	10	0.188	
PL2	PL-655x200x12t		0.012	2	0.025	
PL3	PL-540x200x12t		0.010	2	0.020	
PL4	PL-500x500x20t		0.039	4	0.157	
Stud (D25-150)				45		
Sub total					0.390	
Total					5.228	

DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	VOLUME (m3/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
Con'c (fck=40MPa)	2.40	1.656	2	7.948	
Sub total				7.948	

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR CFT
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: End Segment (L=7.6m)
APPROVED BY SUPERVISION / CHECKED BY CONTRACTOR
DESIGNED - CHECKED - CERTIFIED -
BRICON
PROJECT NO: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 40
DRAWING NO: 000

B-3. Span Length 55m CFT 모듈러 거더

00 PROJECT
SECTION 00

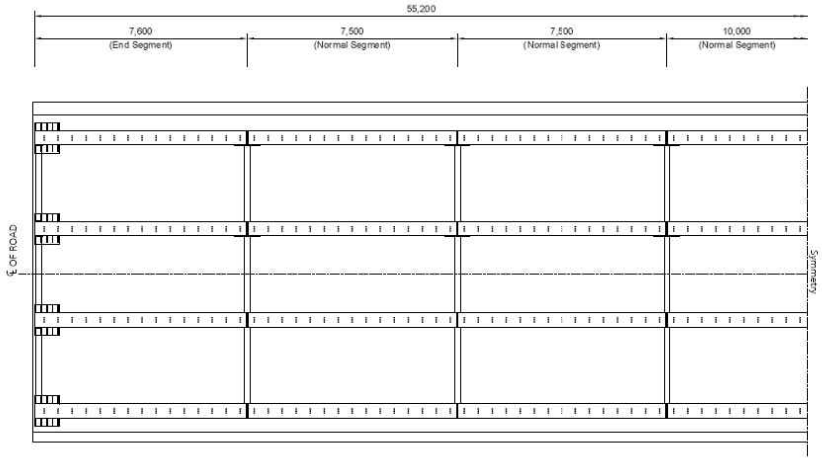
General Drawing for Slab

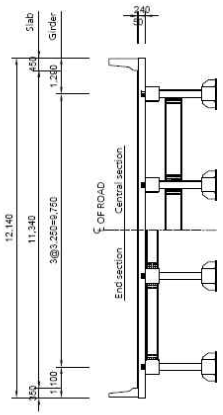
(Span length 55.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 40 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	-
	Steel	SS275 / SM355

PLAN VIEW

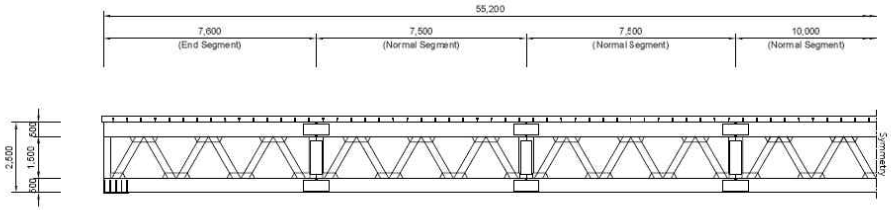
S=1:80





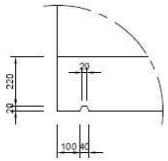
ELEVATION VIEW

S=1:80



NOTCH DETAIL

S=1:10



REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec											

PROJECT	BRICON MODULAR CFT	APPROVED BY SUPERVISION	CHECKED BY CONTRACTOR	BRICON
CONTRACTOR	주식회사 브리콘	TITLE: General Drawing for Slab	DESIGNED: - / CHECKED: - / CERTIFIED: -	PROJECT NO: BE-20210000-R01
			SCALE: 1 : 80	DRAWING NO: 000

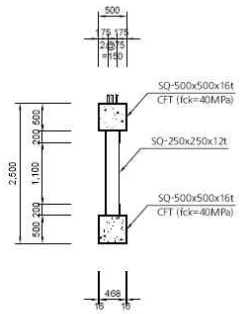
00 PROJECT
SECTION 00

Normal Segment (L=10.0m)

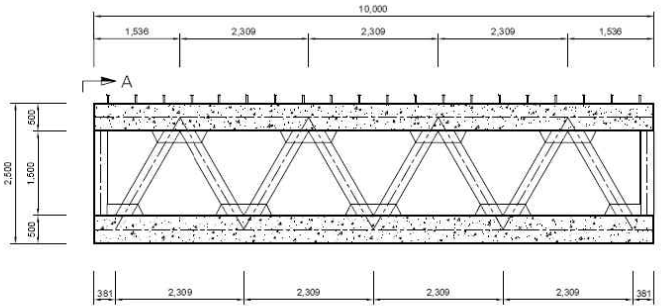
(Span length 55.0m)

Design Method	LSD
Design Load	KL-510
Materials	Concrete fck = 40 MPa
	Rebar fy = 400 MPa
	PS Strand -
	Steel SS275 / SM355

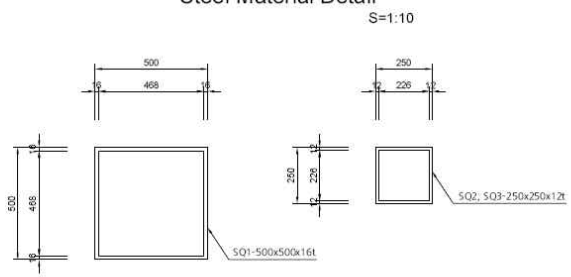
SECTION A-A
S=1:40



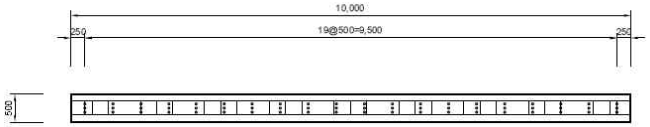
LONGITUDINAL SECTION
S=1:40



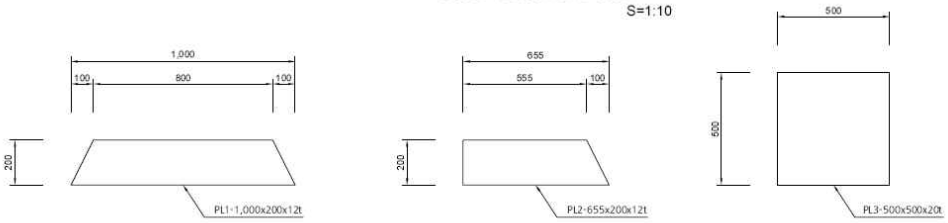
Steel Material Detail
S=1:10



TOP PLAN VIEW
S=1:40



Steel Material Detail
S=1:10



Material Lists

(per each)

MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (kgf/m)	LENGTH (m)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
SQ1	Rec-500x500x16t	238.0	9.96	2	4.741	
SQ2	Rec-250x250x12t	86.8	1.88	8	1.305	
SQ3	Rec-250x250x12t	86.8	1.50	2	0.260	
Sub total					6.307	

MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	WEIGHT (tonf/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
PL1	PL-1,000x200x12t	7.85	0.019	14	0.264	
PL2	PL-655x200x12t		0.012	4	0.049	
PL3	PL-500x500x20t		0.039	4	0.157	
Stud (D25-150)				60		
Sub total					0.470	
Total					6.777	

DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	VOLUME (m3/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
Con'c (fck=40MPa)	2.40	2.181	2	10.471	
Sub total				10.471	

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR CFT
APPROVED BY SUPERVISION:
CHECKED BY CONTRACTOR:
BRICON

CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: Normal Segment (L=10.0m)

DESIGNED	CHECKED	CERTIFIED
-	-	-

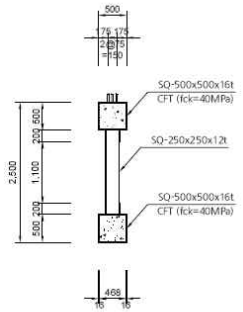
PROJECT NO: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 40
DRAWING NO: 000

Normal Segment (L=7.5m)

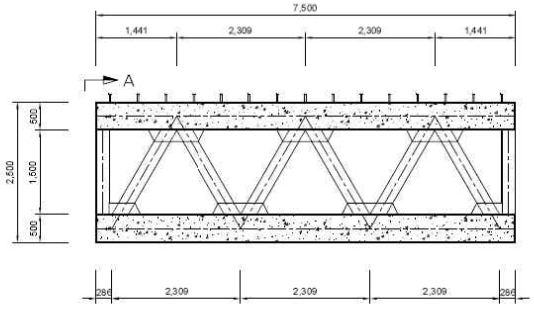
(Span length 55.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 40 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	P.S Strand	-
	Steel	SS275 / SM355

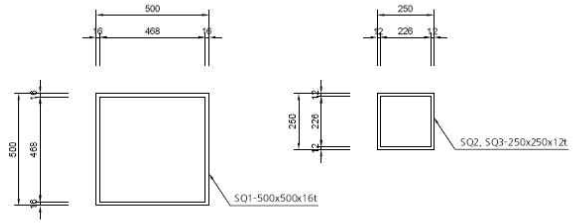
SECTION A-A
S=1:40



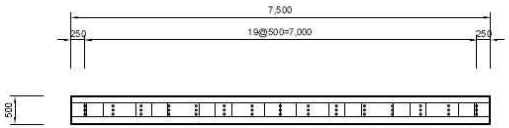
LONGITUDINAL SECTION
S=1:40



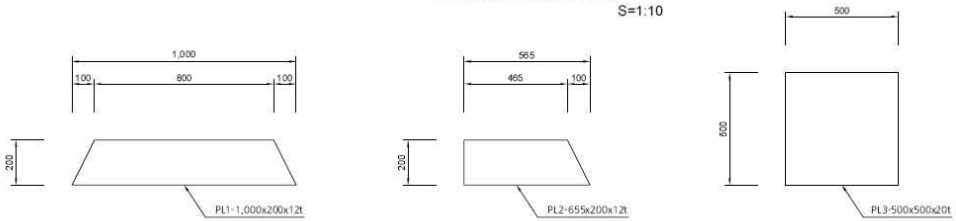
Steel Material Detail
S=1:10



TOP PLAN VIEW
S=1:40



Steel Material Detail
S=1:10



Material Lists

(per each)

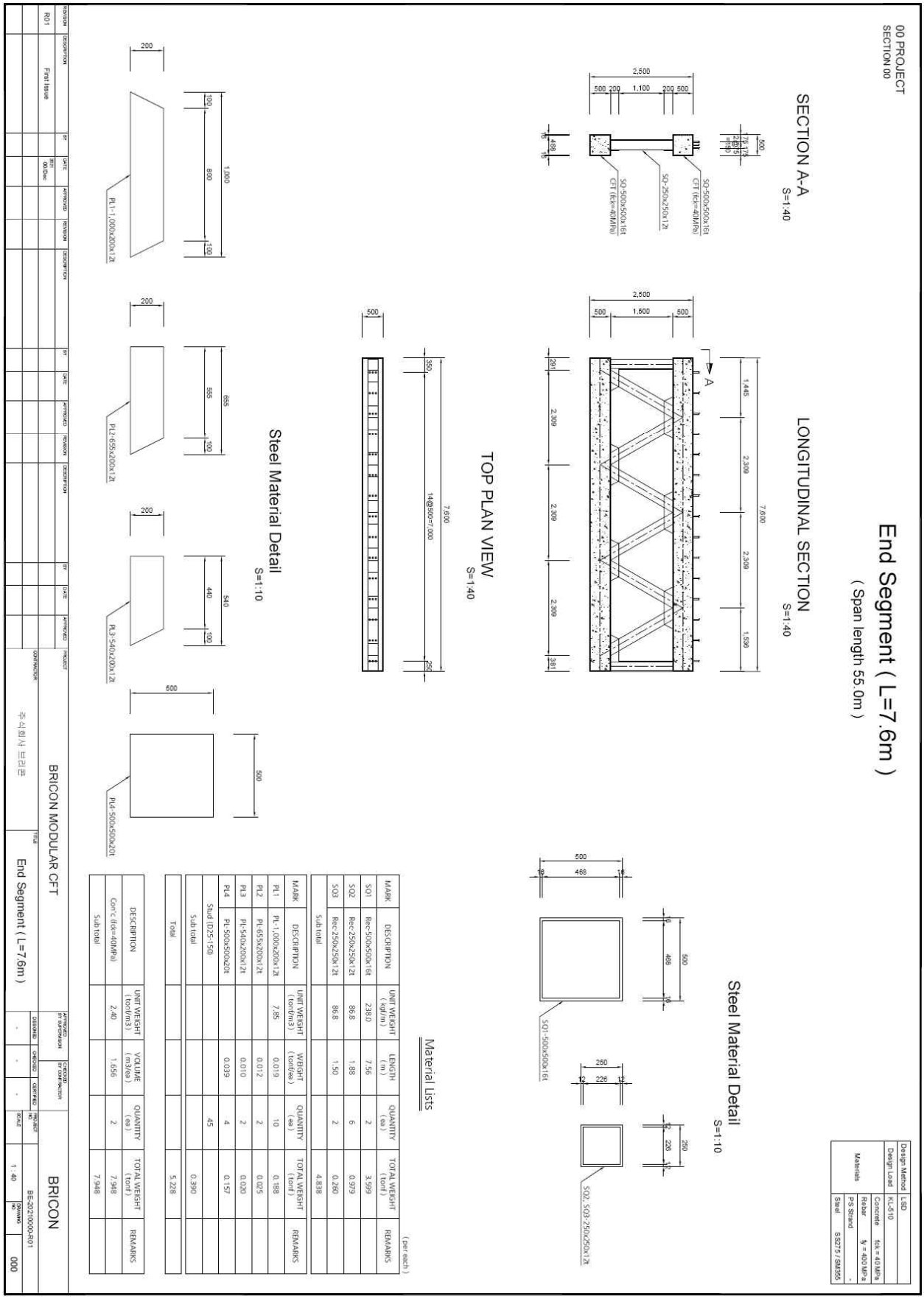
MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (kgf/m)	LENGTH (m)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
SQ1	Rec-500x500x16t	238.0	7.46	2	3.551	
SQ2	Rec-250x250x12t	86.8	1.88	6	0.979	
SQ3	Rec-250x250x12t	86.8	1.50	2	0.260	
Sub total					4.790	

MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	WEIGHT (tonf/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
PL1	PL-1,000x200x12t	7.85	0.019	10	0.188	
PL2	PL-655x200x12t		0.011	4	0.043	
PL3	PL-500x500x20t		0.039	4	0.157	
Stud (D25-150)				45		
Sub total					0.388	
Total					5.178	

DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	VOLUME (m3/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
Con'c (fck=40MPa)	2.40	1.634	2	7.843	
Sub total				7.843	

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR CFT
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: Normal Segment (L=7.5m)
APPROVED BY SUPERVISION
CHECKED BY CONTRACTOR
DESIGNED - CHECKED - CERTIFIED -
BRICON
PROJECT NO. BE-20210000-R01
SCALE 1:40
DRAWING NO. 000

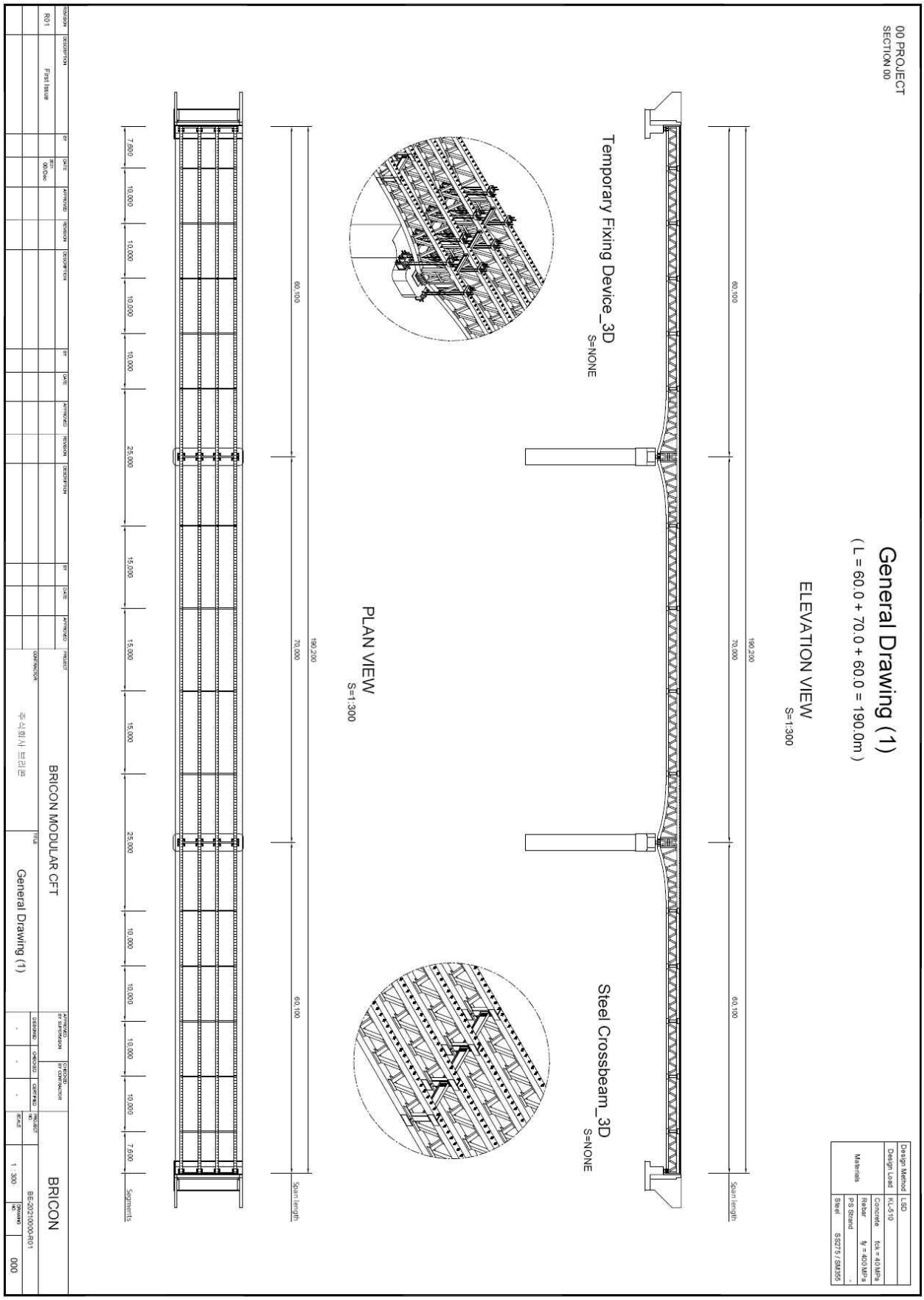


MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (kgf/m)	LENGTH (m)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
SQ1	Rec-500x500x16t	238.0	7.56	2	3.599	
SQ2	Rec-250x250x12t	86.8	1.88	6	0.979	
SQ3	Rec-250x250x12t	86.8	1.50	2	0.260	
	Sub total				4.838	

MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	WEIGHT (tonf/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
PL1	PL-1,000x200x12t	7.85	0.019	10	0.188	
PL2	PL-655x200x12t		0.012	2	0.025	
PL3	PL-540x200x12t		0.010	2	0.020	
PL4	PL-500x500x20t		0.039	4	0.157	
	Stud (D25-150)			45	0.390	
	Sub total					
	Total				5.228	

DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	VOLUME (m3/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
Con'c (fck=40MPa)	2.40	1.656	2	7.948	
Sub total				7.948	

B-4. Multi-Span(60+70+60=190m) CFT 모듈러 거더


00 PROJECT
SECTION 00
General Drawing (1)
(L = 60.0 + 70.0 + 60.0 = 190.0m)
ELEVATION VIEW
S=1:300
Temporary Fixing Device_3D
S=NONE
Steel Crossbeam_3D
S=NONE
PLAN VIEW
S=1:300
Design Method LSD
Design Load KL-510
Materials Concrete fck = 40 MPa
Rebar fy = 400 MPa
PS Strand -
Steel SS275 / SM355
60,100
70,000
190,200
Span length
7,600
10,000
25,000
15,000
Segments
BRICON MODULAR CFT
BRICON
General Drawing (1)
BS-20210000-R01
1 : 300
000
R01
First Issue

00 PROJECT
SECTION 00

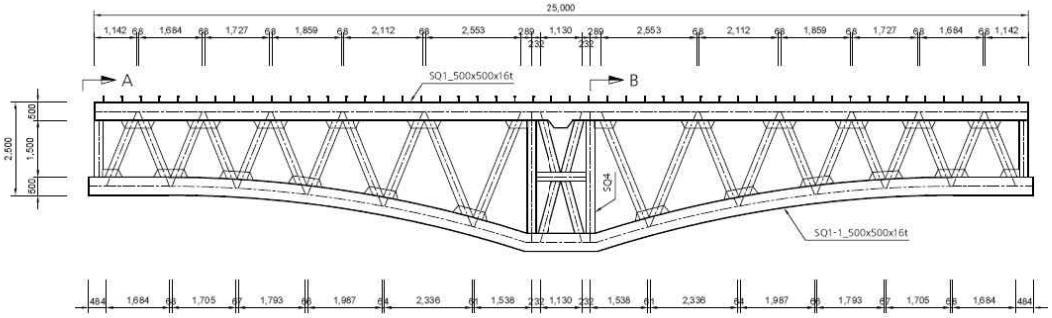
Support Segment (L=25.0m)

(L = 60.0 + 70.0 + 60.0 = 190.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 40 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	-
	Steel	SS275 / SM355

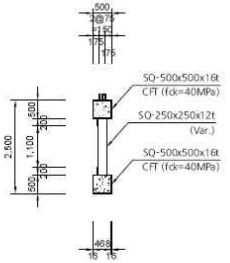
LONGITUDINAL SECTION

S=1:60



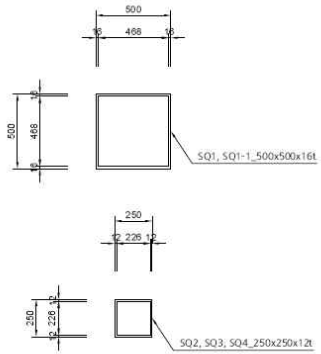
SECTION A-A

S=1:60



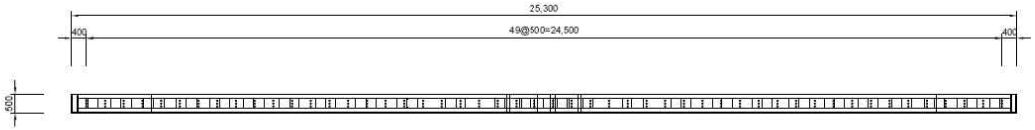
Steel Material Detail

S=1:15



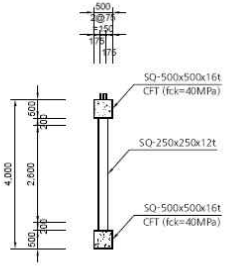
TOP PLAN VIEW

S=1:60



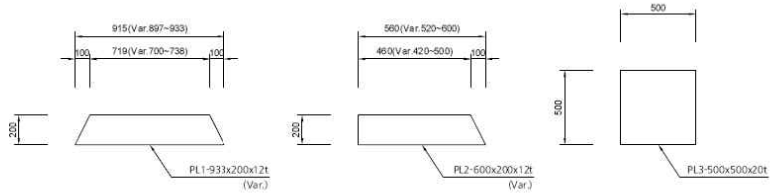
SECTION B-B

S=1:60



Steel Material Detail

S=1:15



Material Lists

(per each)

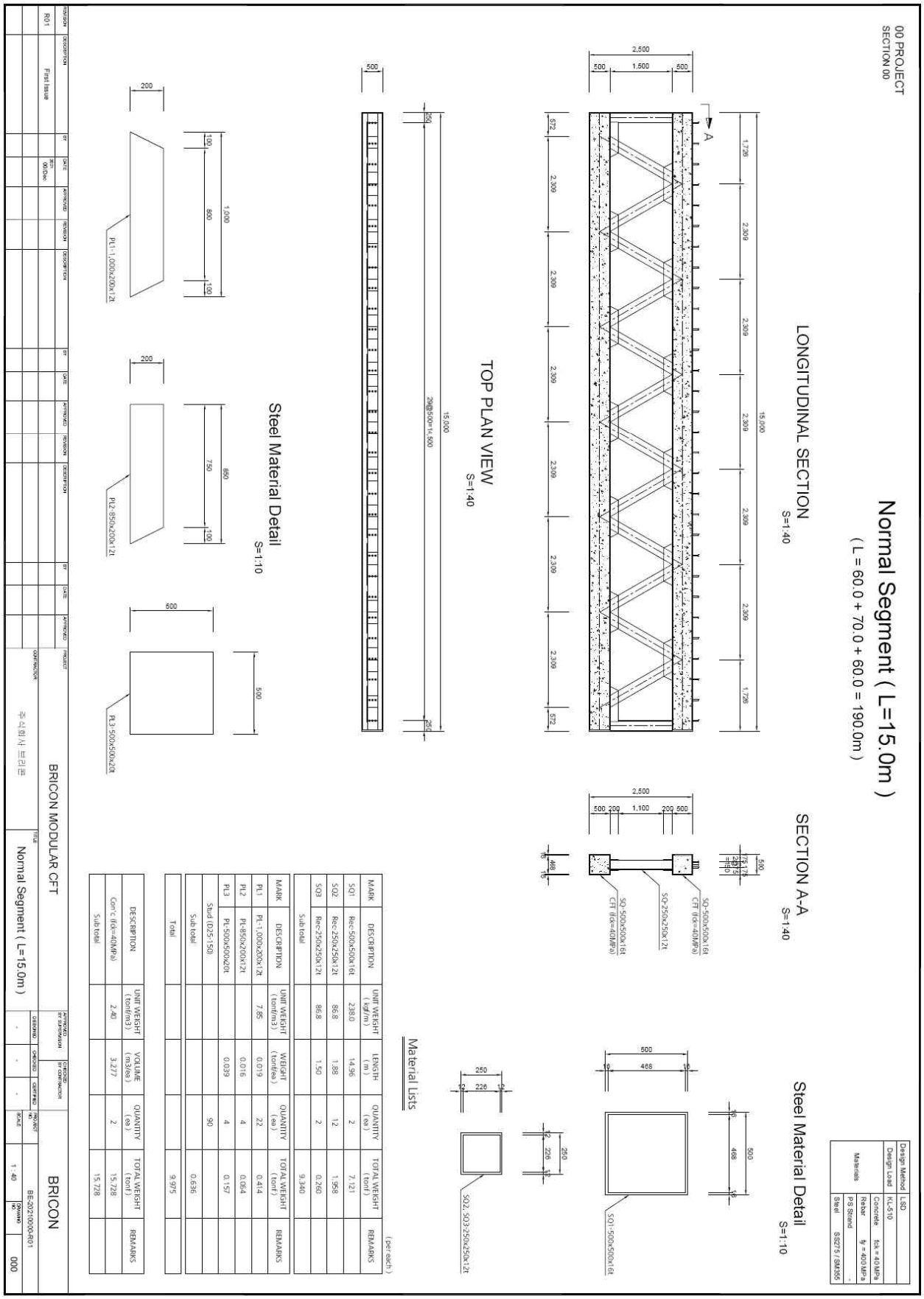
MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (kgf/m)	LENGTH (m)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
SQ1	Rec-500x500x16t	238.0	24.96	1	5.940	
SQ1-1	Rec-500x500x16t	238.0	25.58	1	6.088	Curved
SQ2	Rec-250x250x12t	86.8	2.24	22	4.278	Var.
SQ3		86.8	1.50	2	0.260	
SQ4		86.8	1.50	7	1.325	Var.
Sub total					16.306	

MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	WEIGHT (tonf/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
PL1	PL-933x200x12t	7.85	0.018	40	0.703	Var.
PL2	PL-600x200x12t		0.011	8	0.090	Var.
PL3	PL-500x500x20t		0.039	4	0.157	
Stud (D25-150)				150		
Sub total					0.951	
Total					17.257	

DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	VOLUME (m3/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
Con'c (fck=40MPa)	2.40	5.467	1	13.120	SQ1
	"	5.603	1	13.446	SQ1-1
Sub total				26.567	

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR CFT
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: Support Segment (L=25.0m)
APPROVED BY SUPERVISION
CHECKED BY CONTRACTOR
DESIGNED: -
CHECKED: -
CERTIFIED: -
BRICON
PROJECT NO: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 60
DRAWING NO: 000


00 PROJECT
SECTION 00
Normal Segment (L=15.0m)
(L = 60.0 + 70.0 + 60.0 = 190.0m)
LONGITUDINAL SECTION
S=1:40
TOP PLAN VIEW
S=1:40
SECTION A-A
S=1:40
Steel Material Detail
S=1:10
Steel Material Detail
S=1:10
Material Lists
(per each)
Design Method LSD
Design Load KL-510
Materials
Concrete fck = 40MPa
Rebar fy = 400MPa
PS Strand -
Steel SS275 / SM355
MARK DESCRIPTION UNIT WEIGHT (kgf/m) LENGTH (m) QUANTITY (ea) TOTAL WEIGHT (tonf) REMARKS
SQ1 Rec-500X500X16t 238.0 14.96 2 7.121
SQ2 Rec-250X250X12t 86.8 1.88 12 1.958
SQ3 Rec-250X250X12t 86.8 1.50 2 0.260
Sub total 9.340
MARK DESCRIPTION UNIT WEIGHT (ton/m3) WEIGHT (tonf/ea) QUANTITY (ea) TOTAL WEIGHT (tonf) REMARKS
PL1 PL-1,000x200x12t 7.85 0.019 22 0.414
PL2 PL-850x200x12t 0.016 4 0.064
PL3 PL-500x500x20t 0.039 4 0.157
Stud (D25-150) 90 0.636
Sub total
Total 9.975
DESCRIPTION UNIT WEIGHT (ton/m3) VOLUME (m3/ea) QUANTITY (ea) TOTAL WEIGHT (tonf) REMARKS
Con'c (fck=40MPa) 2.40 3.277 2 15.728
Sub total 15.728
REVISION R01 First Issue
CONTRACTOR 주식회사 브리콘
PROJECT BRICON MODULAR CFT
TITLE Normal Segment (L=15.0m)
BRICON
PROJECT NO. BE-20210000-R01
SCALE 1 : 40
DRAWING NO. 000

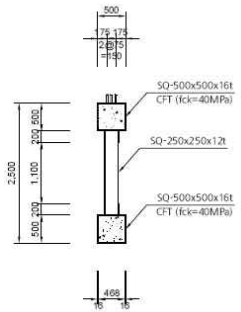
00 PROJECT
SECTION 00

Normal Segment (L=10.0m)

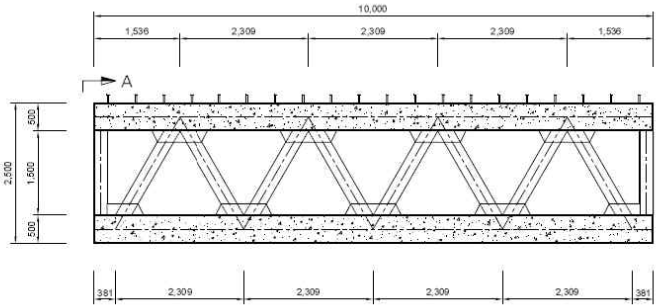
(L = 60.0 + 70.0 + 60.0 = 190.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 40 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	-
	Steel	SS275 / SM355

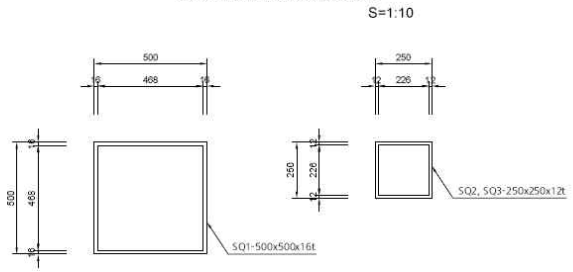
SECTION A-A
S=1:40



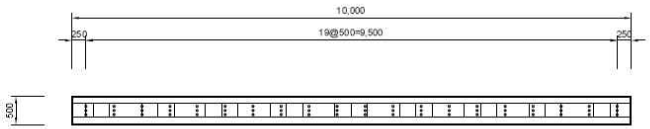
LONGITUDINAL SECTION
S=1:40



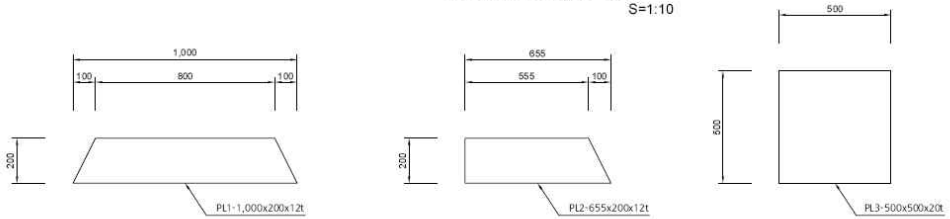
Steel Material Detail
S=1:10



TOP PLAN VIEW
S=1:40



Steel Material Detail
S=1:10



Material Lists

(per each)

MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (kgf/m)	LENGTH (m)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
SQ1	Rec-500x500x16t	238.0	9.96	2	4.741	
SQ2	Rec-250x250x12t	86.8	1.88	8	1.305	
SQ3	Rec-250x250x12t	86.8	1.50	2	0.260	
Sub total					6.307	

MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	WEIGHT (tonf/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
PL1	PL-1,000x200x12t	7.85	0.019	14	0.264	
PL2	PL-655x200x12t		0.012	4	0.049	
PL3	PL-500x500x20t		0.039	4	0.157	
Stud (D25-150)				60		
Sub total					0.470	
Total					6.777	

DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	VOLUME (m3/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
Con'c (fck=40MPa)	2.40	2.181	2	10.471	
Sub total				10.471	

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR CFT
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: Normal Segment (L=10.0m)
APPROVED BY SUPERVISION
CHECKED BY CONTRACTOR
DESIGNED: -
CHECKED: -
CERTIFIED: -
SCALE: 1 : 40
BRICON
PROJECT NO.: BE-20210000-R01
DRAWING NO.: 000

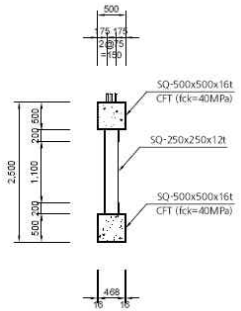
00 PROJECT
SECTION 00

End Segment (L=7.6m)

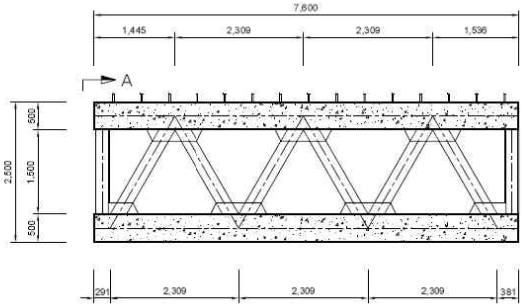
(L = 60.0 + 70.0 + 60.0 = 190.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 40 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	-
	Steel	SS275 / SM355

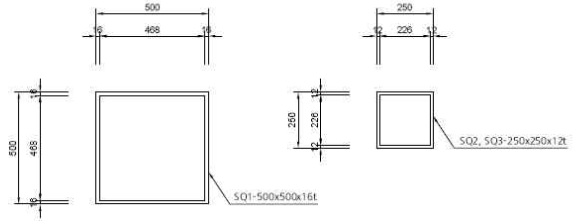
SECTION A-A
S=1:40



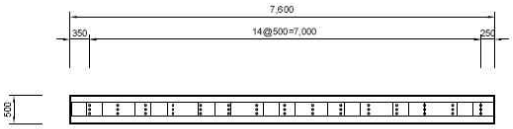
LONGITUDINAL SECTION
S=1:40



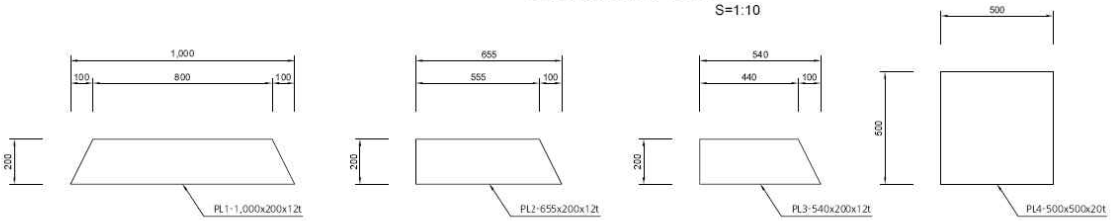
Steel Material Detail
S=1:10



TOP PLAN VIEW
S=1:40



Steel Material Detail
S=1:10



Material Lists

(per each)

MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (kgf/m)	LENGTH (m)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
SQ1	Rec-500x500x16t	238.0	7.56	2	3.599	
SQ2	Rec-250x250x12t	86.8	1.88	6	0.979	
SQ3	Rec-250x250x12t	86.8	1.50	2	0.260	
Sub total					4.838	

MARK	DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	WEIGHT (tonf/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
PL1	PL-1,000x200x12t	7.85	0.019	10	0.188	
PL2	PL-655x200x12t		0.012	2	0.025	
PL3	PL-540x200x12t		0.010	2	0.020	
PL4	PL-500x500x20t		0.039	4	0.157	
Stud (D25-150)				45		
Sub total					0.390	
Total					5.228	

DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/m3)	VOLUME (m3/ea)	QUANTITY (ea)	TOTAL WEIGHT (tonf)	REMARKS
Con'c (fck=40MPa)	2.40	1.656	2	7.948	
Sub total				7.948	

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR CFT
APPROVED BY SUPERVISION | CHECKED BY CONTRACTOR
BRICON
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: End Segment (L=7.6m)
DESIGNED - | CHECKED - | CERTIFIED -
PROJECT NO. BE-20210000-R01
SCALE 1 : 40 | DRAWING NO. 000

00 PROJECT
SECTION 00

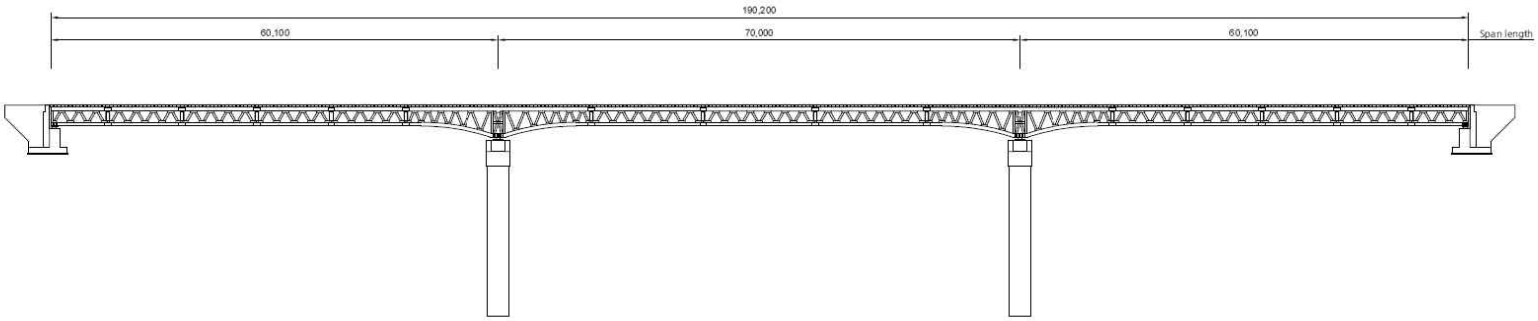
General Drawing (1)

(L = 60.0 + 70.0 + 60.0 = 190.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 40 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	-
	Steel	SS275 / SM355

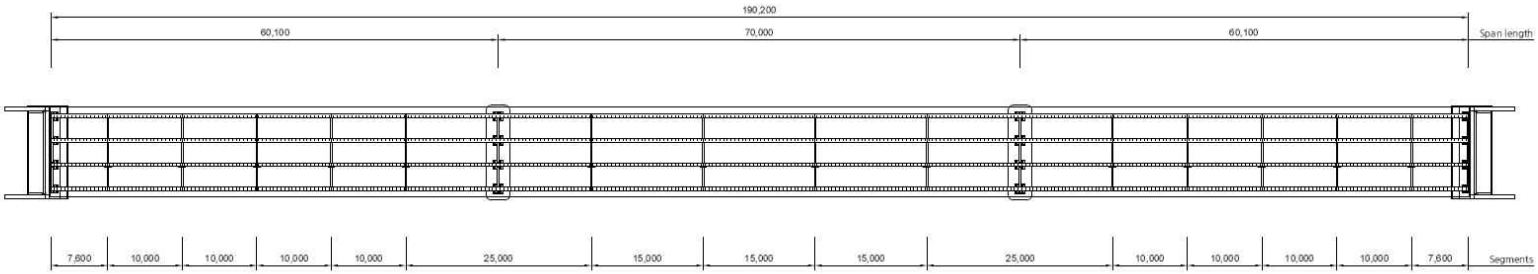
ELEVATION VIEW

S=1:300



PLAN VIEW

S=1:300



REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec											

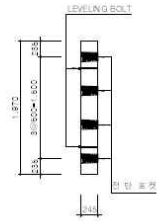
PROJECT: BRICON MODULAR CFT
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: General Drawing (1)
APPROVED BY SUPERVISION:
CHECKED BY CONTRACTOR:
DESIGNED: -
CHECKED: -
CERTIFIED: -
BRICON
PROJECT NO: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 300
DRAWING NO: 000

C. 모듈러 바닥판

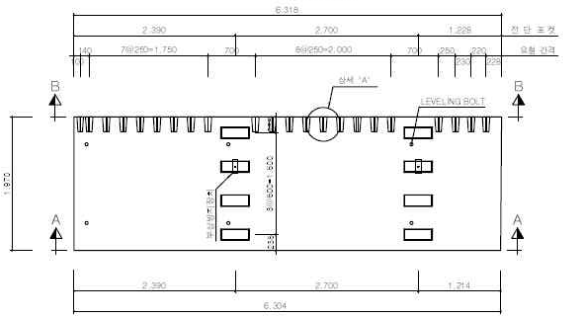
00 PROJECT
SECTION 00

설계 하중	KL-510, 표준차로하중
설계 방법	한계상태설계법
재 료	콘크리트 : fck=35MPa
	철 근 : fy=500MPa

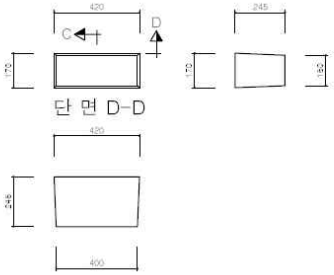
횡 단 면 도
S=1:30



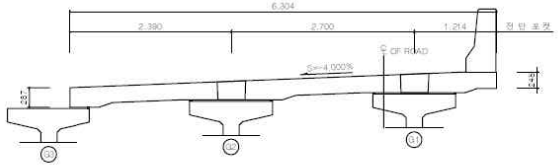
평 면 도
S=1:30



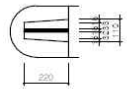
전 단 포 켓 상 세
S=1:10



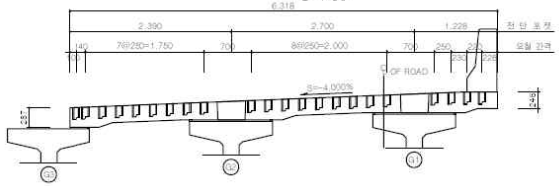
단 면 A-A
S=1:30



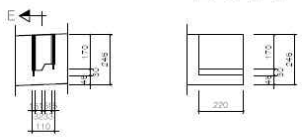
요철부 상세 "A"
S=1:10



단 면 B-B
S=1:30

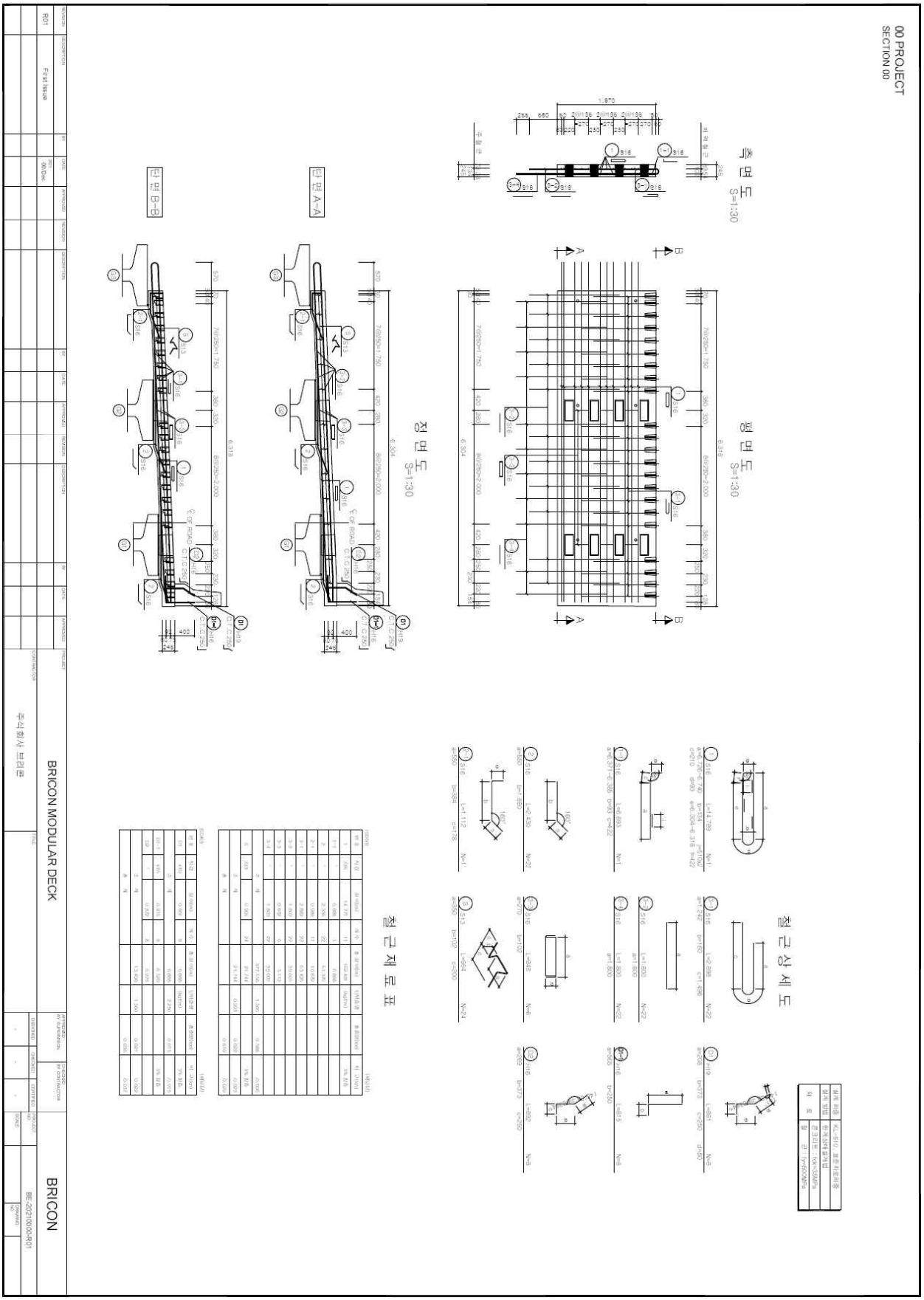


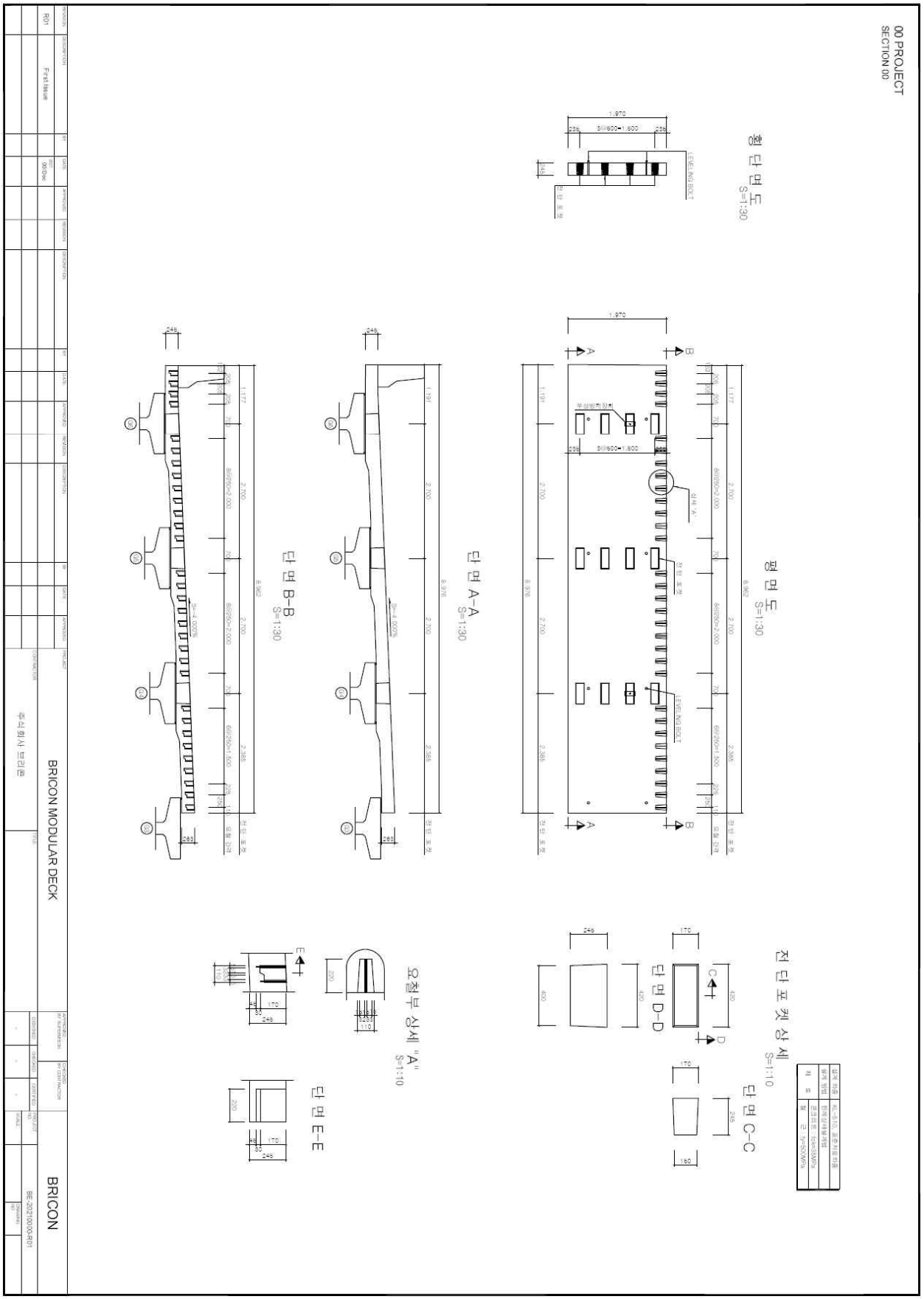
단 면 E-E

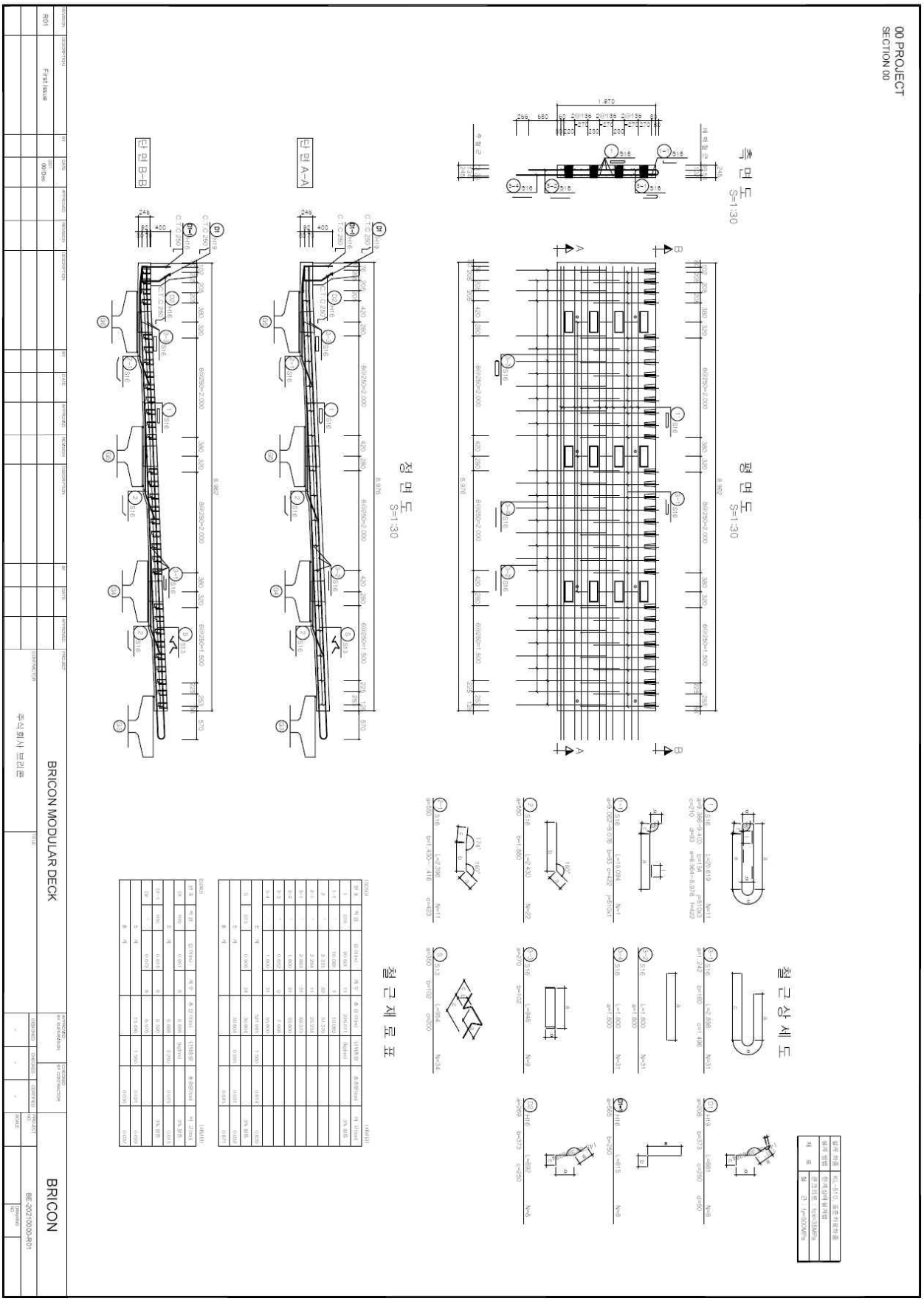


REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		00/Dec											

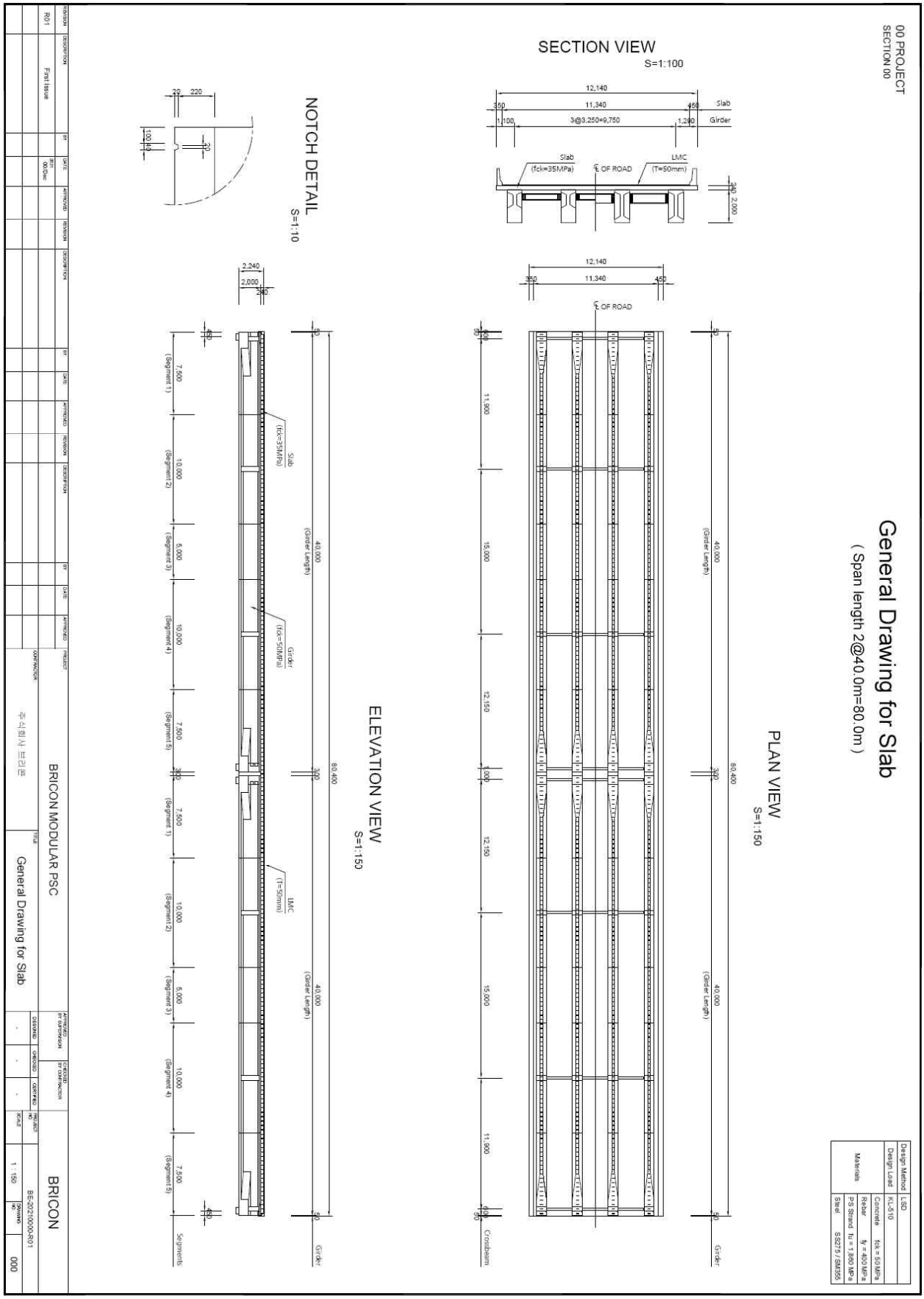
PROJECT: BRICON MODULAR DECK
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE:
APPROVED BY SUPERVISION | CHECKED BY CONTRACTOR
DESIGNED | CHECKED | CERTIFIED
BRICON
PROJECT NO: BE-20210000-R01
SCALE | DRAWING NO


00 PROJECT
SECTION 00
측 면 도
S=1:30
평 면 도
S=1:30
정 면 도
S=1:30
단 면 A-A
단 면 B-B
철 근 상 세 도
철 근 재 료 표
BRICON MODULAR DECK
BRICON
주식회사 브리콘


00 PROJECT
SECTION 00
R01
First Issue
BRICON MODULAR DECK
BRICON
BSE-2021010-R01
평 면 도
S=1:30
단 면 A-A
S=1:30
단 면 B-B
S=1:30
요철부 상세 "A"
S=1:10
단 면 C-C
단 면 D-D
단 면 E-E
전 단 포 켓 상 세
S=1:10


00 PROJECT
SECTION 00
측 면 도
S=1:30
평 면 도
S=1:30
정 면 도
S=1:30
단 면 A-A
단 면 B-B
철 근 상 세 도
철 근 재 료 표
BRICON MODULAR DECK
BRICON
주식회사 브리콘
BE-20210000-R01

D-1. 2@40=80m PSC 모듈러 교량


00 PROJECT
SECTION 00
General Drawing for Slab
(Span length 2@40.0m=80.0m)
SECTION VIEW
S=1:100
PLAN VIEW
S=1:150
ELEVATION VIEW
S=1:150
NOTCH DETAIL
S=1:10
Design Method LSD
Design Load KL-510
Materials
Concrete fck = 50 MPa
Rebar fy = 400 MPa
PS Strand fu = 1,860 MPa
Steel SS275 / SM355
Slab
Girder
Crossbeam
Segments
LMC
(T=50mm)
(fck=35MPa)
(fck=50MPa)
(Girder Length)
(Segment 1)
(Segment 2)
(Segment 3)
(Segment 4)
(Segment 5)
BRICON MODULAR PSC
General Drawing for Slab
주식회사 브리콘
BRICON
BE-20210000-R01
1 : 150
000
R01
First Issue

00 PROJECT
SECTION 00

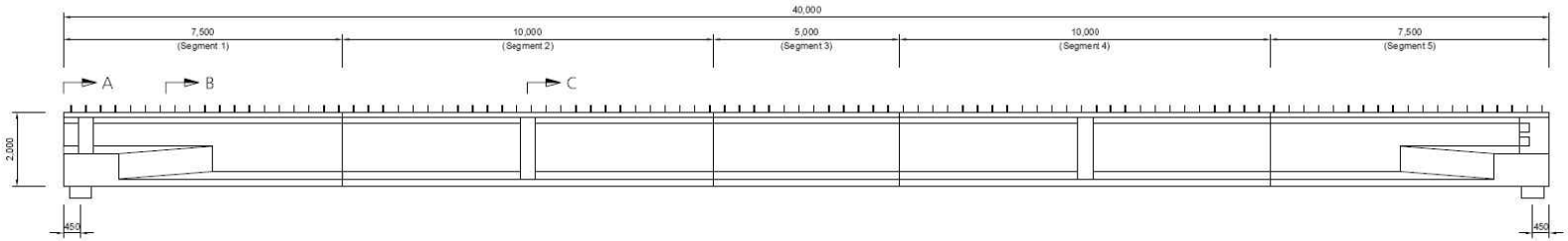
General Drawing for Girder

(Span length 2@40.0m=80.0m)

Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 50 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	fu = 1,860 MPa
	Steel	SS275 / SM355

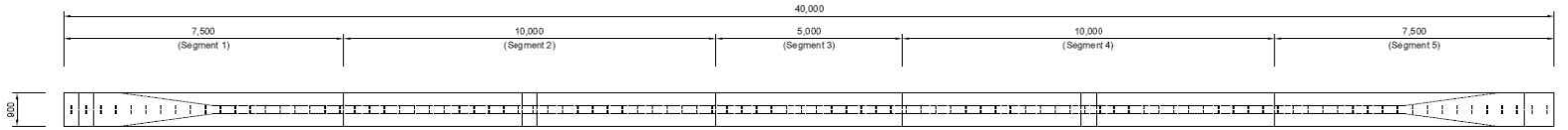
LONGITUDINAL SECTION

S=1:60



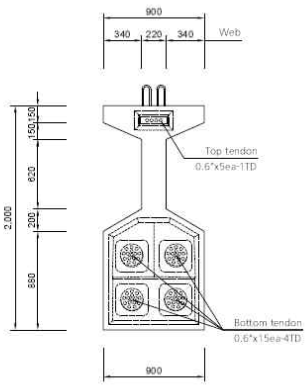
TOP PLAN VIEW

S=1:60



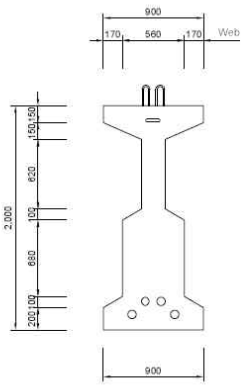
SECTION A-A

S=1:20



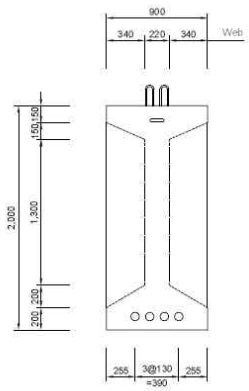
SECTION B-B

S=1:20



SECTION C-C

S=1:20



Segments weight

(per girder)

SEGMENT LIST	TYPE	UNIT	QUANTITY	WEIGHT
SEGMENT 1	20-50-18	m3	7.467	18.67 TON
SEGMENT 2			8.371	20.93 TON
SEGMENT 3			3.985	9.97 TON
SEGMENT 4			8.371	20.93 TON
SEGMENT 5			7.676	19.19 TON
TOTAL SUM			35.870	89.68 TON

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR PSC
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: General Drawing for Girder
APPROVED BY SUPERVISION:
CHECKED BY CONTRACTOR:
DESIGNED: -
CHECKED: -
CERTIFIED: -
BRICON
PROJECT NO: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 60
DRAWING NO: 000

00 PROJECT
SECTION 00

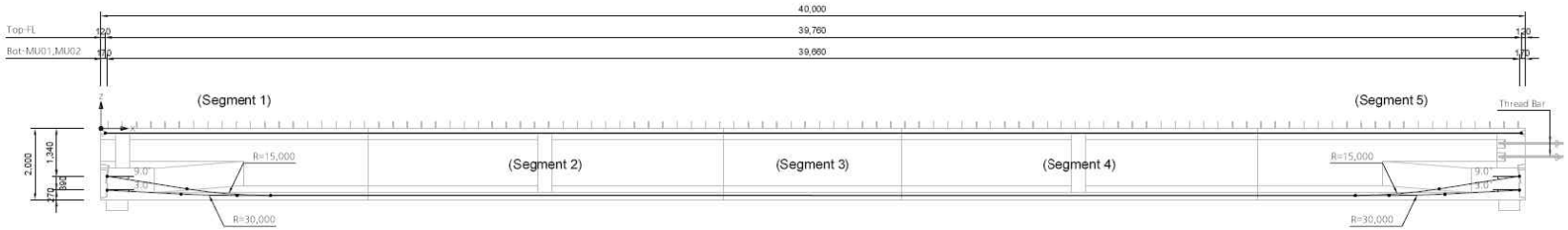
Tendon Profile

(Span length 2@40.0m=80.0m)

Design Method	LSD
Design Load	KL-510
Materials	Concrete fck = 50 MPa
	Rebar fy = 400 MPa
	PS Strand fu = 1,860 MPa
	Steel SS275 / SM355

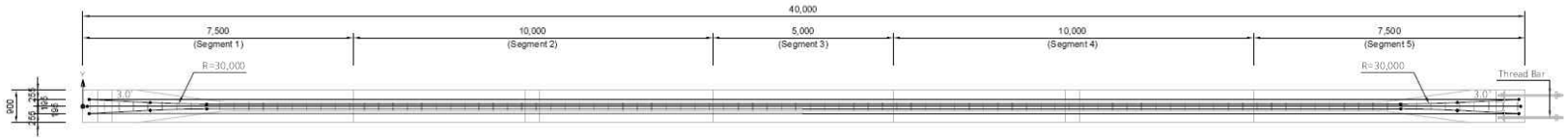
LONGITUDINAL SECTION

S=1:60



TOP PLAN VIEW

S=1:60



Top-FL	X (m)	0.120					20.000							39.880
	Z (m)	-0.130					-0.130							-0.130
	Y (m)	0.000					0.000							0.000
Bot-MU01 (Left TD)	X (m)	0.170	1.866	2.413	3.436	4.760	20.000					35.240	36.564	37.587	38.134	39.830
	Z (m)	-1.340	-1.609	-1.695	-1.821	-1.880	-1.880					-1.880	-1.821	-1.695	-1.609	-1.340
	Y (m)	0.195	0.106	0.082	0.065	0.065	0.065					0.065	0.065	0.082	0.106	0.195
Bot-MU02 (Left TD)	X (m)	0.170	2.248	3.818			20.000					36.182	37.752	39.830		
	Z (m)	-1.730	-1.839	-1.880			-1.880					-1.880	-1.839	-1.730		
	Y (m)	0.195	0.195	0.195			0.195					0.195	0.195	0.195		

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec											

PROJECT	BRICON MODULAR PSC	APPROVED BY SUPERVISION	CHECKED BY CONTRACTOR
CONTRACTOR	주식회사 브리콘	TITLE	Tendon Profile

DESIGNED	CHECKED	CERTIFIED
-	-	-

BRICON

PROJECT NO. BE-20210000-R01

SCALE 1:60 DRAWING NO. 000

00 PROJECT
SECTION 00

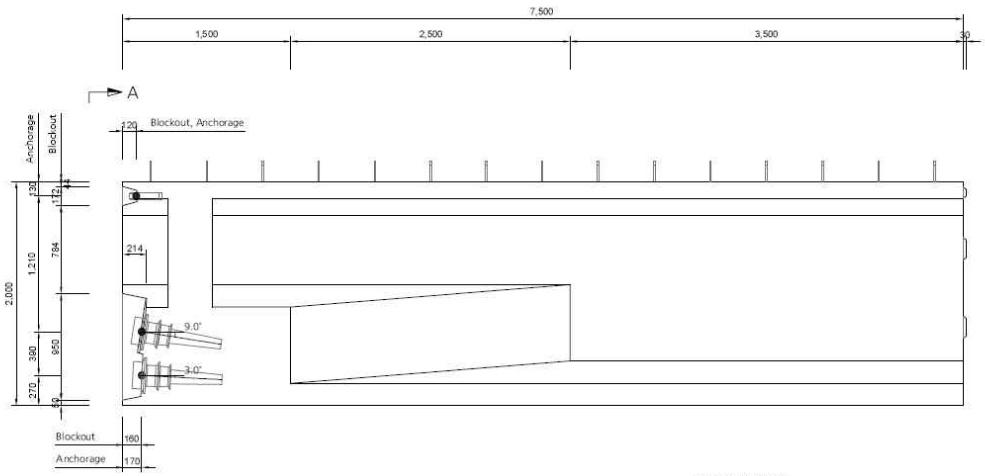
Anchorage Blockout Detail

(Span length 2@40.0m=80.0m)

Design Method	LSD
Design Load	KL-510
Materials	Concrete fck = 50 MPa
	Rebar fy = 400 MPa
	PS Strand fu = 1,860 MPa
	Steel SS275 / SM355

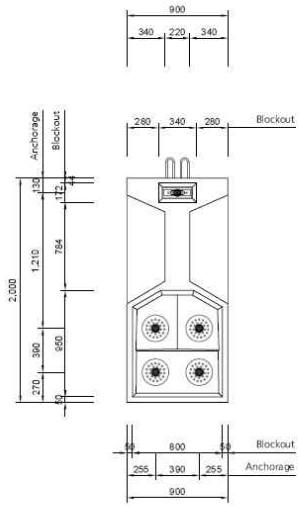
Anchorage BLOCKOUT

S=1:20



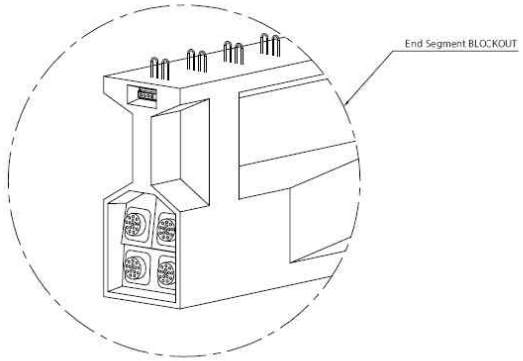
SECTION A-A

S=1:20



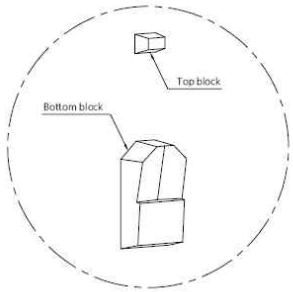
3D VIEW

S=NONE



Blockout Mortar

S=NONE



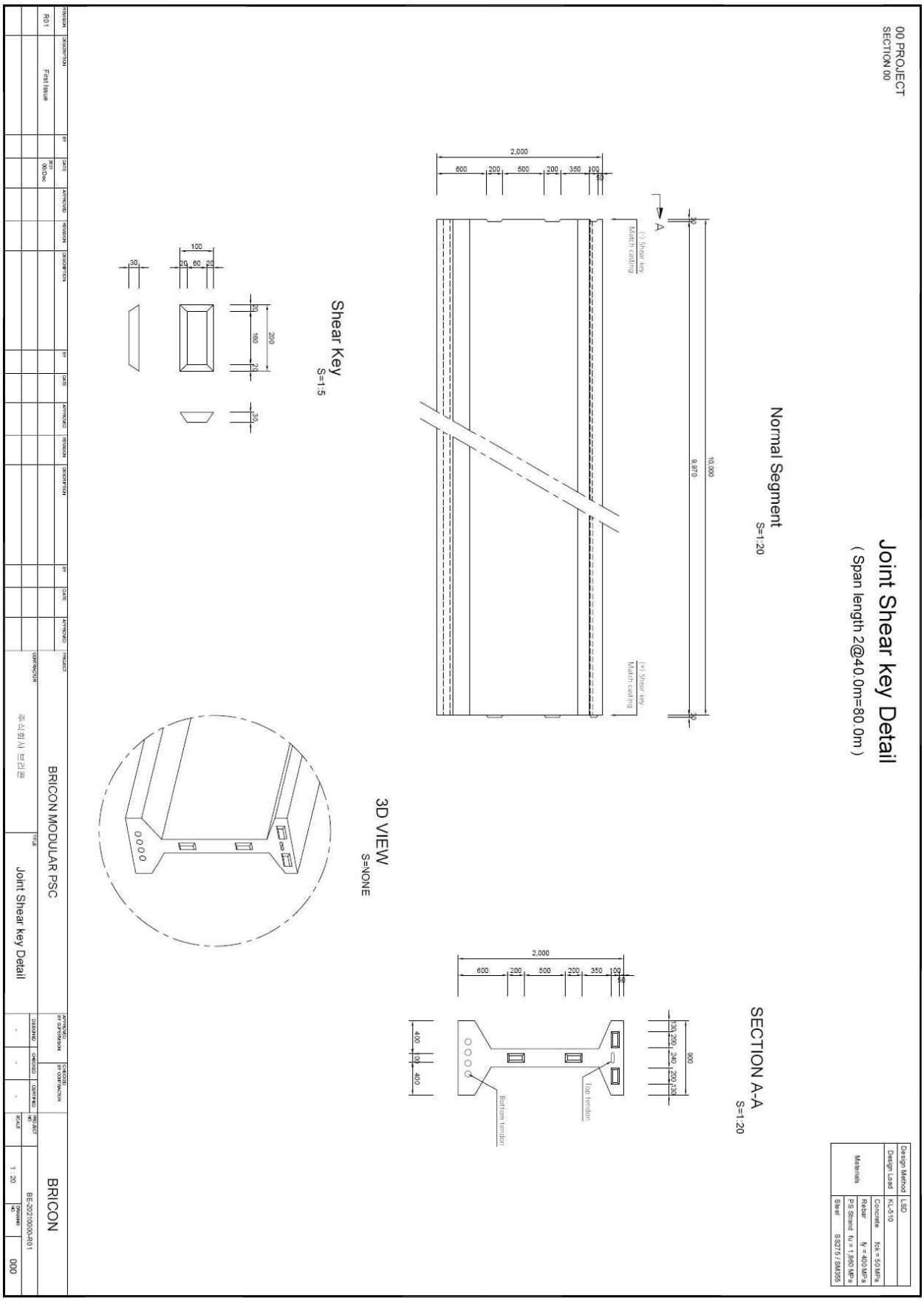
Blockout Mortar

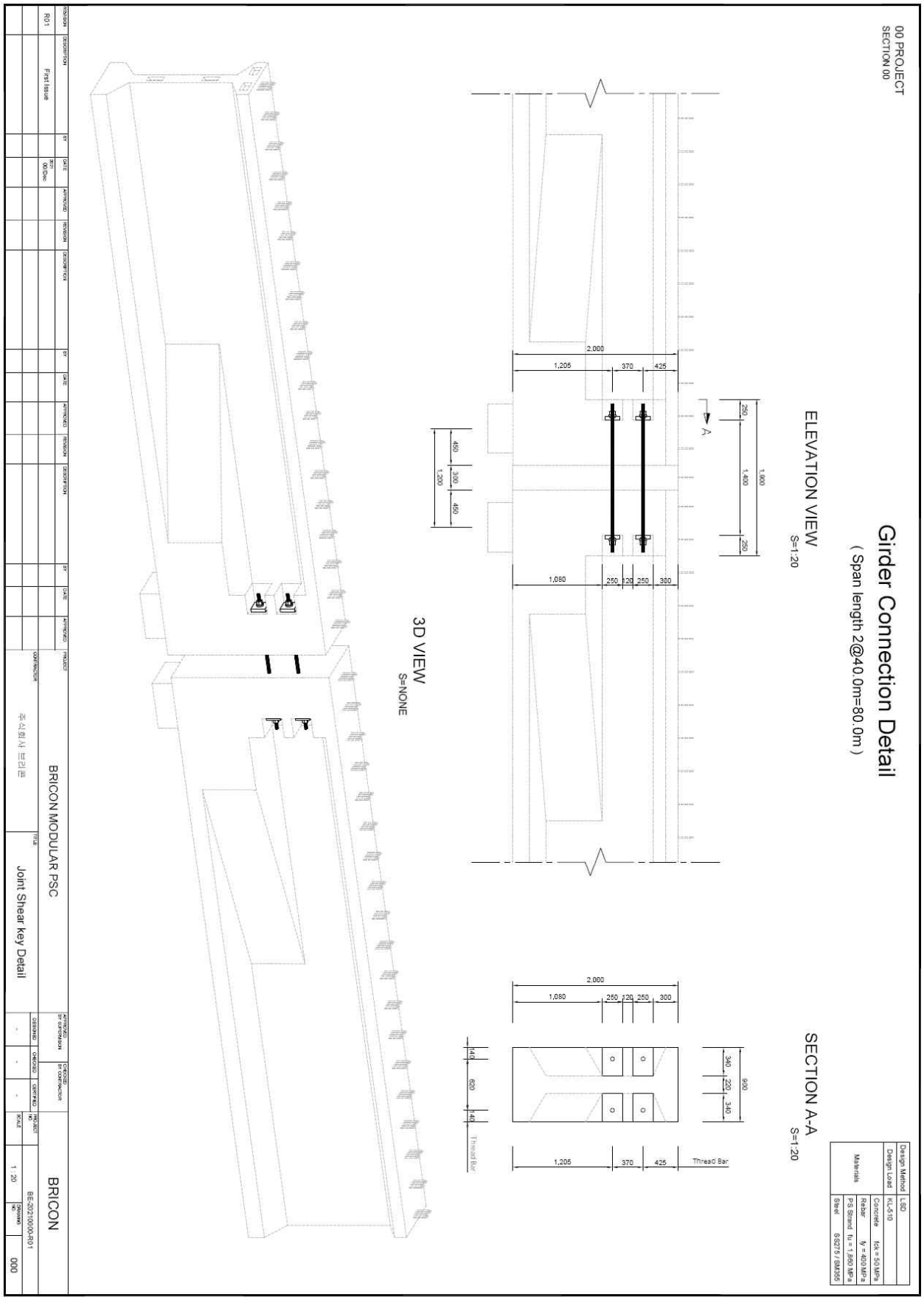
(each)

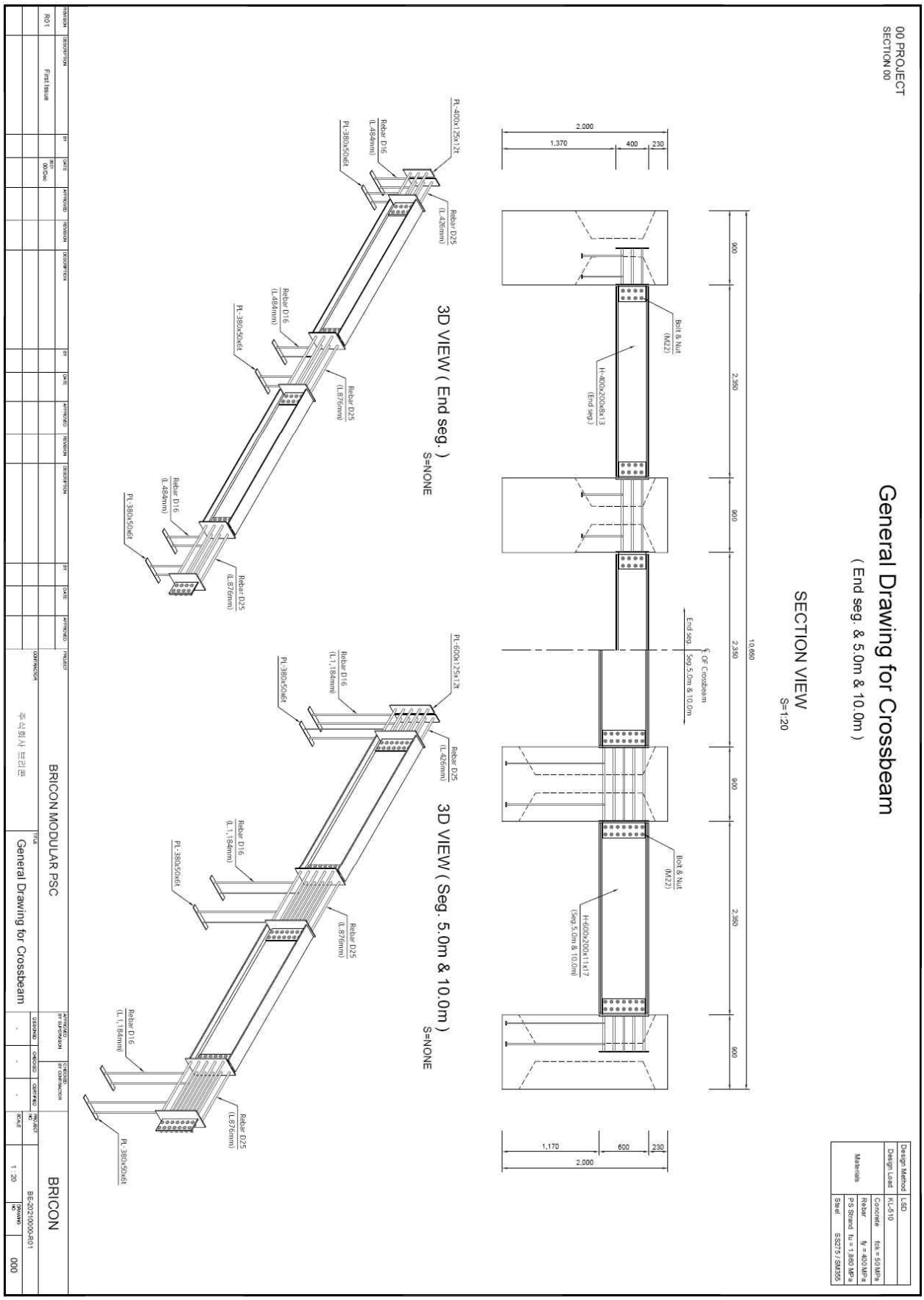
SEGMENT LIST	TYPE	UNIT	QUANTITY	REMARKS
End SEGMENT	1:3	m3	0.121	
TOTAL SUM			0.121	

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec											

PROJECT: BRICON MODULAR PSC
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: Anchorage Blockout Detail
APPROVED BY SUPERVISION:
CHECKED BY CONTRACTOR:
DESIGNED: -
CHECKED: -
CERTIFIED: -
BRICON
PROJECT NO.: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 20
DRAWING NO.: 000


00 PROJECT
SECTION 00
Joint Shear key Detail
(Span length 2@40.0m=80.0m)
Normal Segment
S=1:20
SECTION A-A
S=1:20
Shear Key
S=1:5
3D VIEW
S=NONE
Top tendon
Bottom tendon
Design Method LSD
Design Load KL-510
Concrete fck = 50 MPa
Rebar fy = 400 MPa
PS Strand fu = 1,860 MPa
Steel SS275 / SM355
BRICON MODULAR PSC
Joint Shear key Detail
BRICON
BE-2021000-A01
1 : 20
000


00 PROJECT
SECTION 00
Girder Connection Detail
(Span length 2@40.0m=80.0m)
ELEVATION VIEW
S=1:20
SECTION A-A
S=1:20
3D VIEW
S=NONE
Design Method LSD
Design Load KL-510
Materials
Concrete fck = 50 MPa
Rebar fy = 400 MPa
PS Strand fu = 1,860 MPa
Steel SS275 / SM355
REVISION
DESCRIPTION
First Issue
BY
DATE
APPROVED
PROJECT
CONTRACTOR
주식회사 브리콘
BRICON MODULAR PSC
TITLE
Joint Shear Key Detail
APPROVED
CHECKED
DRAWN
BRICON
DRAWING NO.
BE-2021000-R01
SCALE
1 : 20
REVISION NO.
000

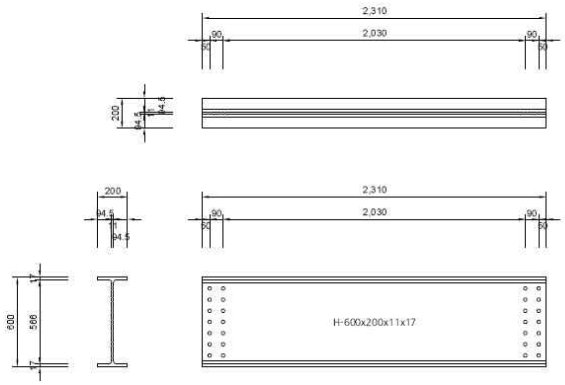

00 PROJECT
SECTION 00
General Drawing for Crossbeam
(End seg. & 5.0m & 10.0m)
SECTION VIEW
S=1:20
Design Method LSD
Design Load KL-510
Materials
Concrete fck = 50MPa
Rebar fy = 400MPa
PS Strand fu = 1,860 MPa
Steel SS275 / SM355
2,000
1,370
400
230
10,650
900
2,350
Bolt & Nut (M22)
H-480x200x8x13 (End seg.)
℄ OF Crossbeam
End seg.
Seg.5.0m & 10.0m
H-600x200X11x17 (Seg.5.0m & 10.0m)
1,170
600
3D VIEW (End seg.)
S=NONE
PL-400x125x12t
Rebar D16 (L.484mm)
PL-380x50x6t
Rebar D25 (L.426mm)
Rebar D25 (L.876mm)
3D VIEW (Seg. 5.0m & 10.0m)
S=NONE
PL-600x125x12t
Rebar D16 (L.1,184mm)
REVISION R01
DESCRIPTION First Issue
BRICON MODULAR PSC
주식회사 브리콘
General Drawing for Crossbeam
BRICON
BE-20210000-R01
1 : 20
000

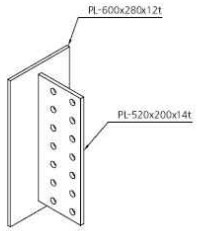
Steel Crossbeam Detail

(Segment 5.0m & 10.0m)

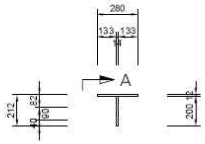
Design Method	LSD	
Design Load	KL-510	
Materials	Concrete	fck = 50 MPa
	Rebar	fy = 400 MPa
	PS Strand	fu = 1,860 MPa
	Steel	SS275 / SM355

PLAN VIEW
S=1:15

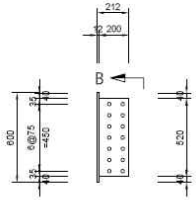




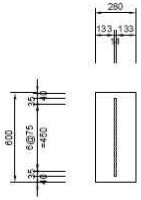
PLAN VIEW
S=1:15



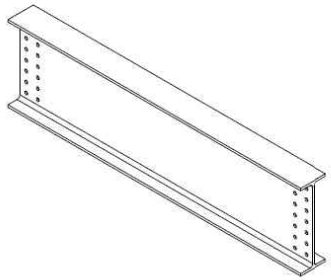
SECTION A-A
S=1:15



SECTION B-B
S=1:15



3D VIEW
S=NONE



Steel Quantity

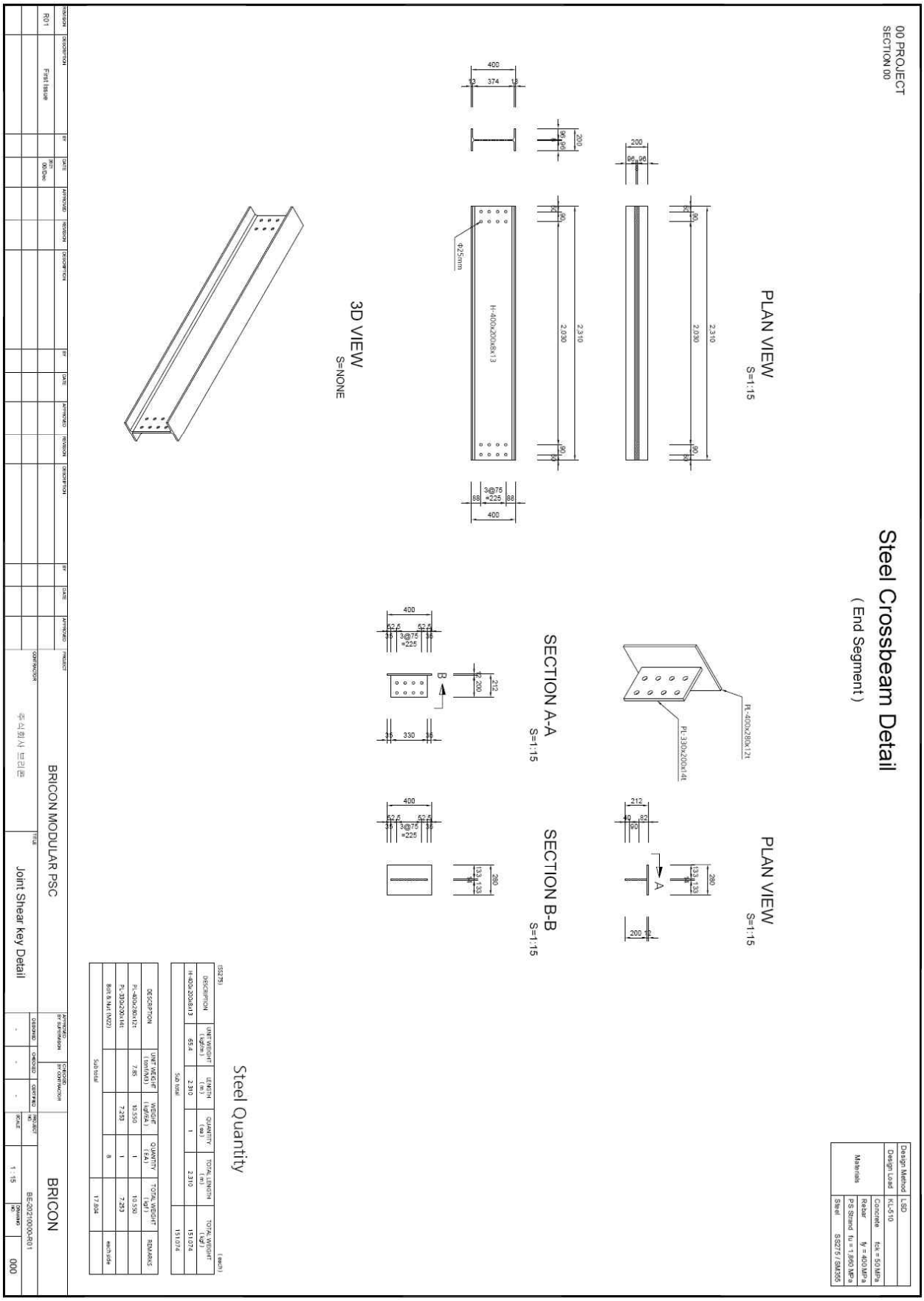
(SS275) (each)

DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (kgf/m)	LENGTH (m)	QUANTITY (ea)	TOTAL LENGTH (m)	TOTAL WEIGHT (kgf)
H-600x200x11x17	103	2.310	1	2.310	237.930
Sub total					237.930

DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (tonf/M3)	WEIGHT (kgf/EA)	QUANTITY (EA)	TOTAL WEIGHT (kgf)	REMARKS
PL-600x280x12t	7.85	15.826	1	15.826	
PL-520x200x14t		11.430	1	11.430	
Bolt & Nut (M22)			14		eachside
Sub total				27.255	

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec	

PROJECT: BRICON MODULAR PSC
CONTRACTOR: 주식회사 브리콘
TITLE: Joint Shear key Detail
APPROVED BY SUPERVISION:
CHECKED BY CONTRACTOR:
DESIGNED: -
CHECKED: -
CERTIFIED: -
BRICON
PROJECT NO: BE-20210000-R01
SCALE: 1 : 15
DRAWING NO: 000



Design Method	LSD
Design Load	KL-510
Materials	Concrete fck = 50 MPa
	Rebar fy = 400 MPa
	PS Strand fu = 1,860 MPa
	Steel SS275 / SM355

Steel Quantity

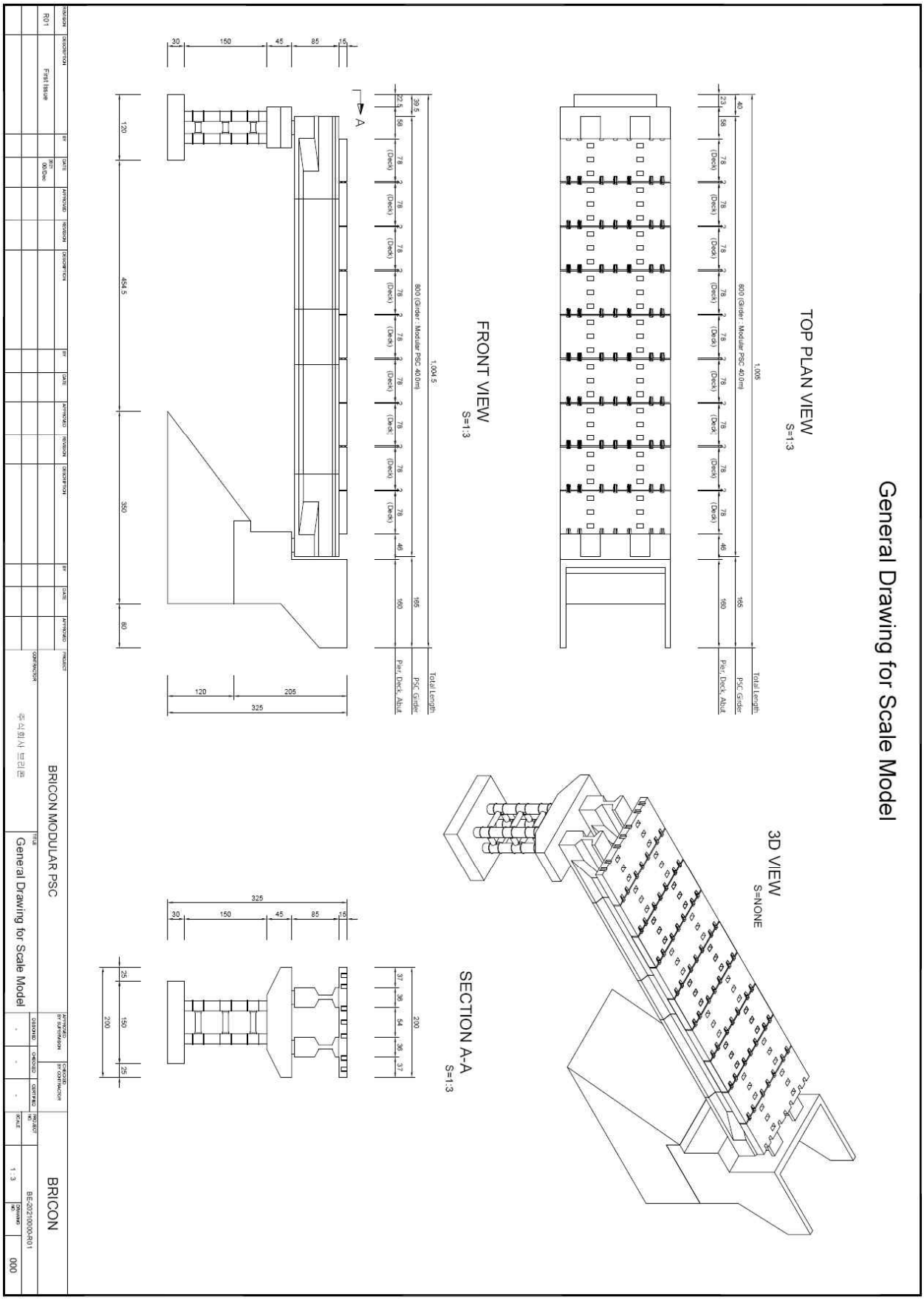
(SS275) (each)

DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (kgf/m)	LENGTH (m)	QUANTITY (ea)	TOTAL LENGTH (m)	TOTAL WEIGHT (kgf)
H-400x200x8x13	65.4	2.310	1	2.310	151.074
Sub total					151.074

(each)

DESCRIPTION	UNIT WEIGHT (ton/EA)	WEIGHT (kgf/EA)	QUANTITY (EA)	TOTAL WEIGHT (kgf)	REMARKS
PL-400x280x12t	7.85	10.550	1	10.550	
PL-330x200x14t		7.233	1	7.233	
Bolt B.Mat (M22)			8		each side
Sub total				17.804	

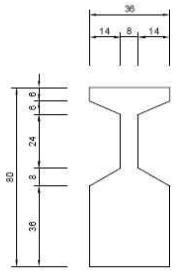
D-2. PSC 모듈러 모형 교량 2D $ 3D 설계


General Drawing for Scale Model
TOP PLAN VIEW
S=1:3
FRONT VIEW
S=1:3
3D VIEW
S=NONE
SECTION A-A
S=1:3
BRICON MODULAR PSC
General Drawing for Scale Model
BRICON
BE-20210000-R01

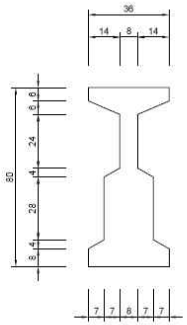
Scale Model for Girder

(Span length 800mm, L:1/50, H:1/25)

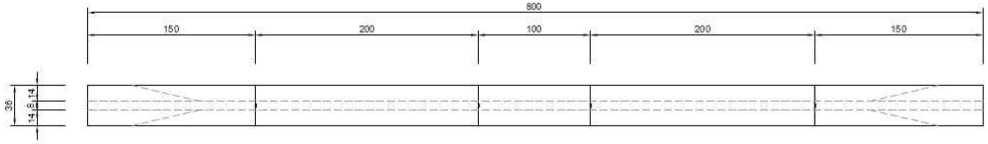
SECTION A-A
S=1:1



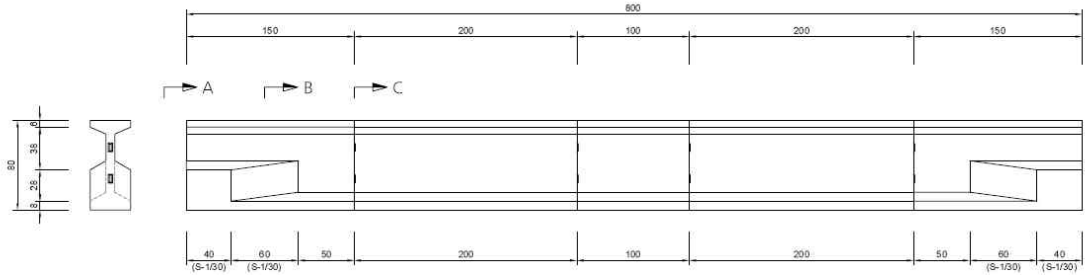
SECTION B-B
S=1:1



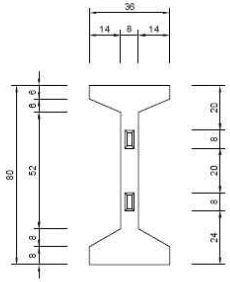
TOP PLAN VIEW
S=1:2



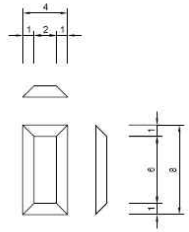
LONGITUDINAL SECTION
S=1:2



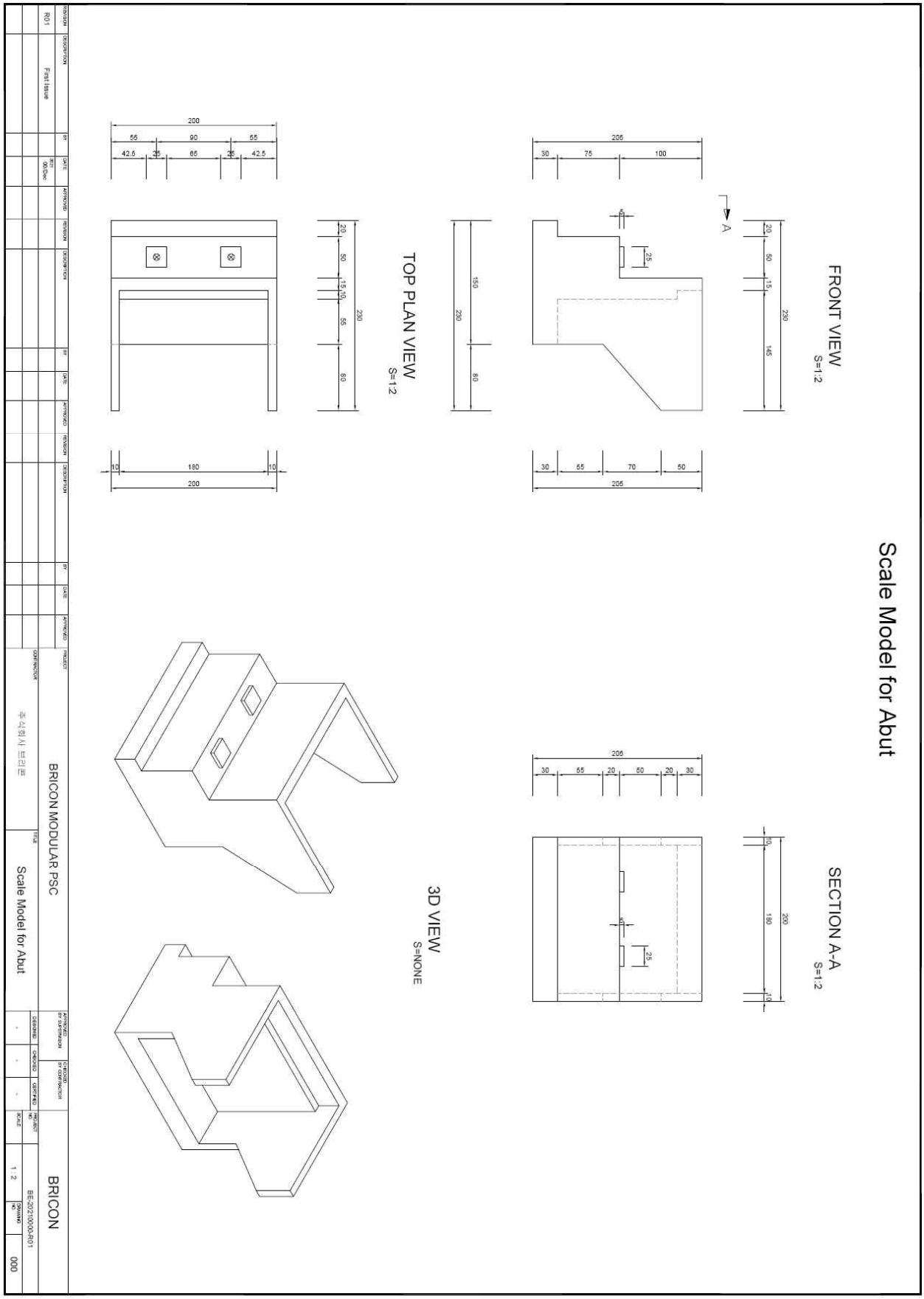
SECTION C-C
S=1:1



Shear Key
S=1:1/5

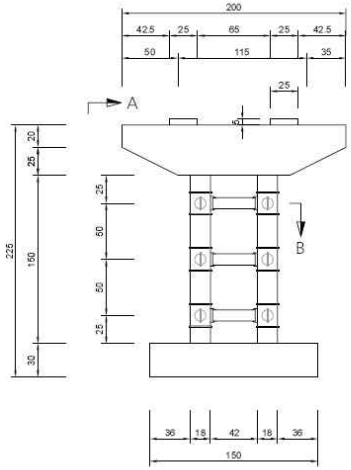


REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	PROJECT		APPROVED BY SUPERVISION	CHECKED BY CONTRACTOR		
R01	First Issue		2021 00/Dec												BRICON MODULAR PSC					BRICON
															CONTRACTOR	TITLE	DESIGNED	CHECKED	CERTIFIED	PROJECT NO.
															주식회사 브리콘	Scale Model for Girder	-	-	-	BE-20210000-R01
																			SCALE	1 : 2	DRAWING NO. 000

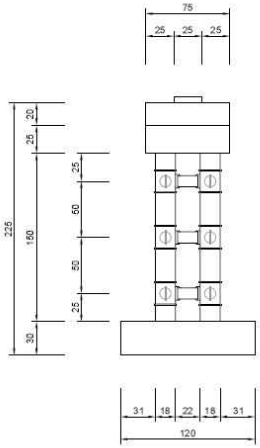

Scale Model for Abut
FRONT VIEW
S=1.2
SECTION A-A
S=1.2
TOP PLAN VIEW
S=1.2
3D VIEW
S=NONE
BRICON MODULAR PSC
Scale Model for Abut
BRICON
BE-20210000-R01
1 : 2
000
주식회사 브리콘
Fast Issue
R01

Scale Model for CFT Pier

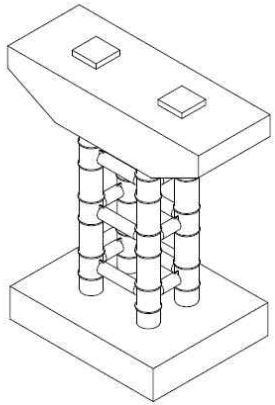
FRONT VIEW
S=1:2



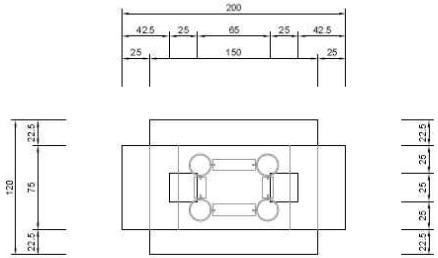
SECTION A-A
S=1:2



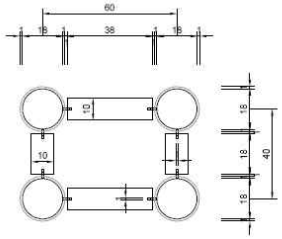
3D VIEW
S=NONE



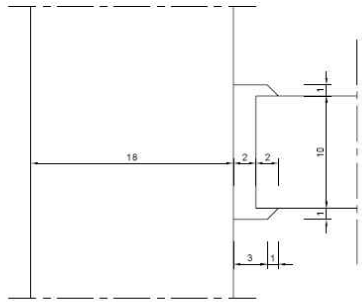
TOP PLAN VIEW
S=1:2



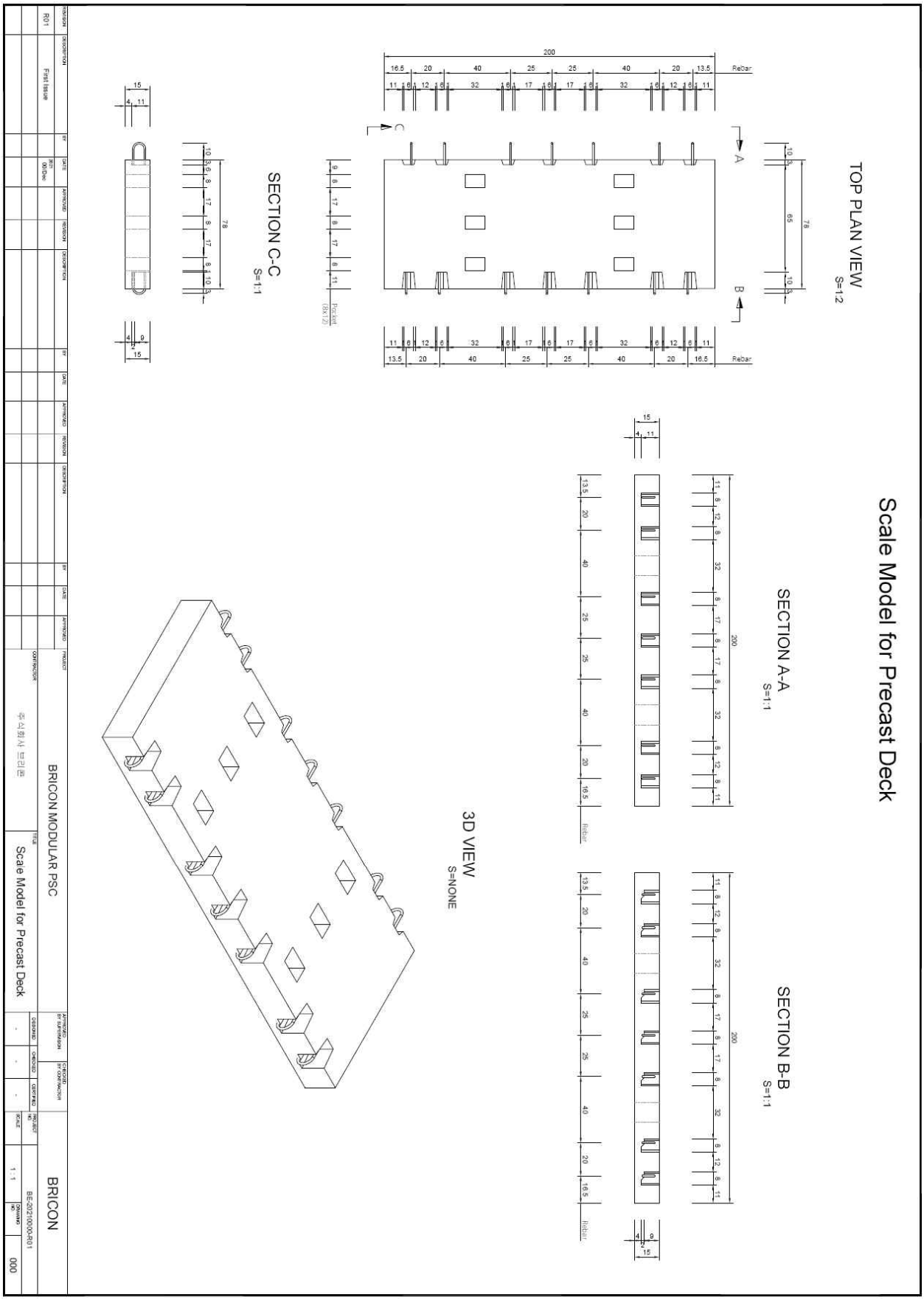
SECTION B-B
S=1:1



Detail for the Cross Joint
S=1:1/5

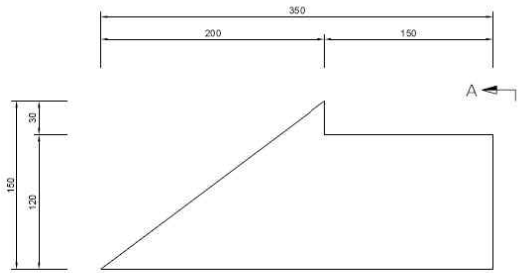


REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	PROJECT	APPROVED BY SUPERVISION	CHECKED BY CONTRACTOR	
R01	First Issue		00/Dec												BRICON MODULAR PSC			BRICON
															CONTRACTOR: 주식회사 브리콘	TITLE: Scale Model for CFT Pier	DESIGNED: - CHECKED: - CERTIFIED: -	PROJECT NO.: BE-20210000-R01
																	SCALE: 1 : 2	DRAWING NO.: 000

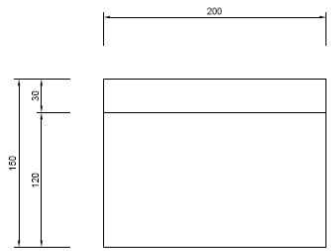

Scale Model for Precast Deck
TOP PLAN VIEW
S=1:2
SECTION C-C
S=1:1
SECTION A-A
S=1:1
SECTION B-B
S=1:1
3D VIEW
S=NONE
Rebar
Post tbd
(9X12)
BRICON MODULAR PSC
Scale Model for Precast Deck
주식회사 브리콘
BRICON
BE-20210000-R01
1:1
000

Scale Model for Abut Slope

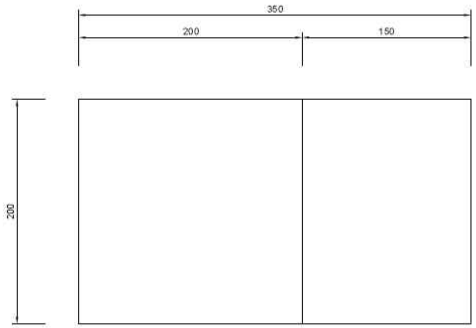
FRONT VIEW
S=1:2



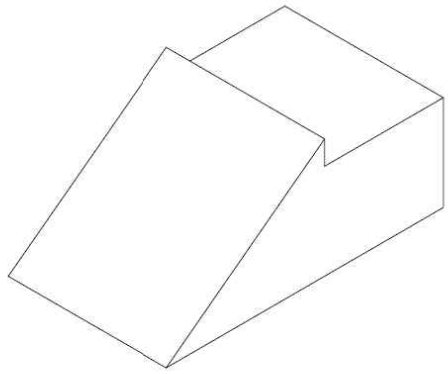
SECTION A-A
S=1:2



TOP PLAN VIEW
S=1:2



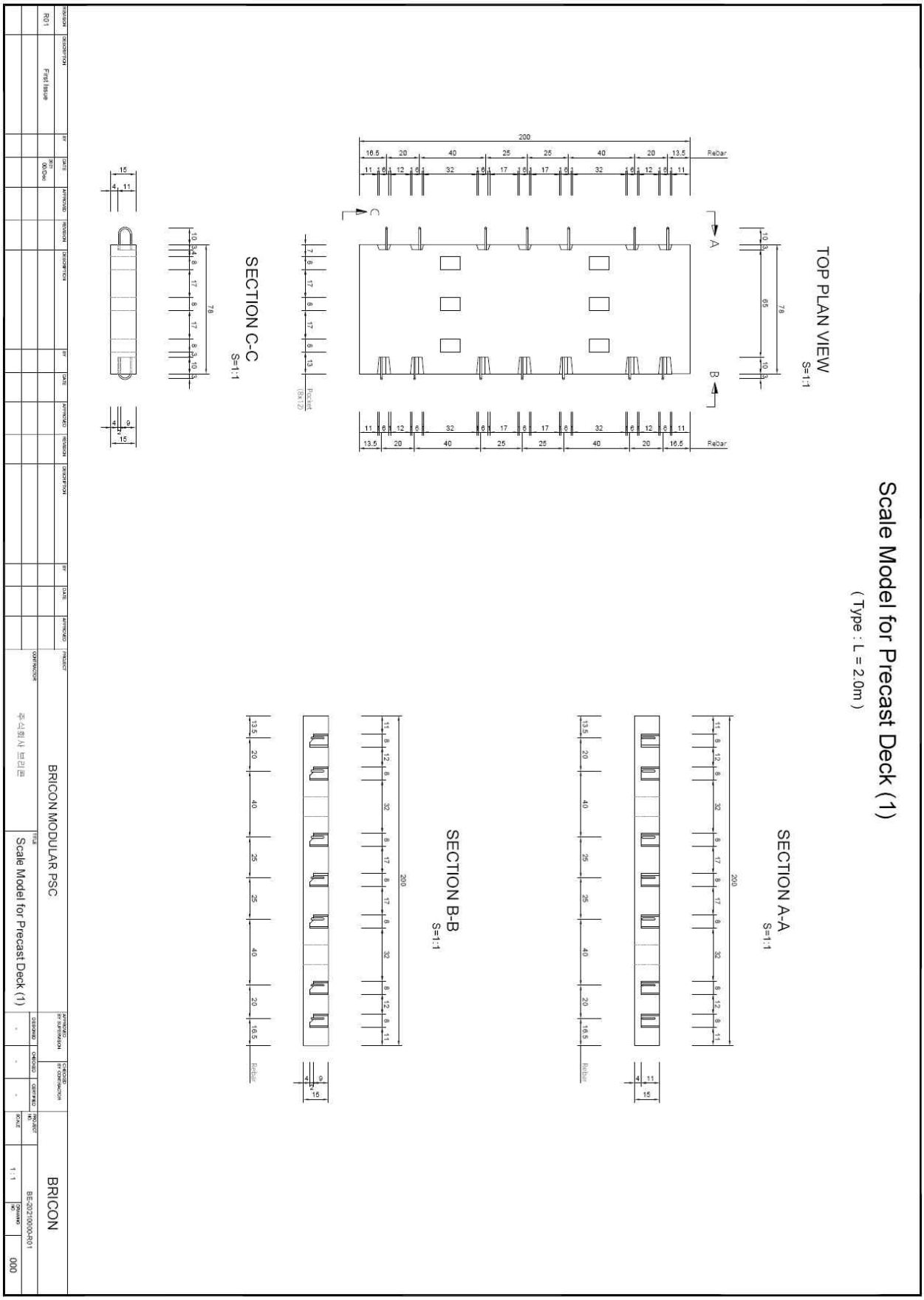
3D VIEW
S=NONE



REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec											

PROJECT		APPROVED BY SUPERVISION	CHECKED BY CONTRACTOR	
BRICON MODULAR PSC				BRICON
CONTRACTOR	TITLE	DESIGNED	CHECKED	CERTIFIED
주식회사 브리콘	Scale Model for Abut Slope	-	-	-

PROJECT NO.	BE-20210000-R01		
SCALE	1 : 2	DRAWING NO.	000

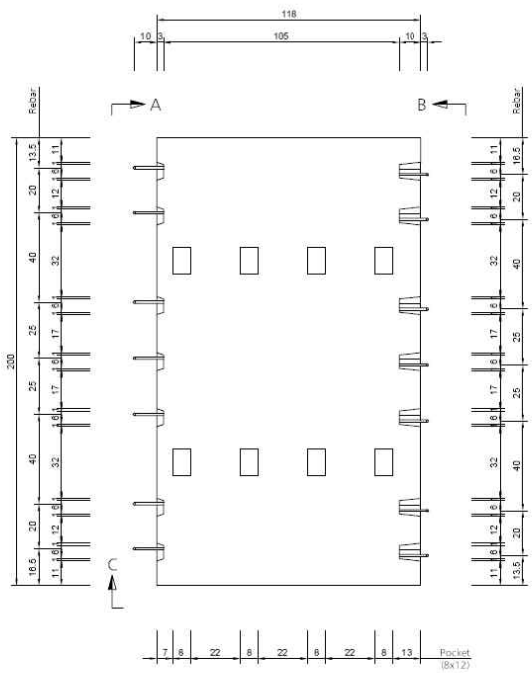

Scale Model for Precast Deck (1)
(Type : L = 2.0m)
TOP PLAN VIEW
S=1:1
SECTION A-A
S=1:1
SECTION B-B
S=1:1
SECTION C-C
S=1:1
REVISION
R01
DESCRIPTION
First Issue
BY
DATE
APPROVED
CONTRACTOR
PROJECT
주식회사 브리콘
BRICON MODULAR PSC
TITLE
Scale Model for Precast Deck (1)
DESIGNED
CHECKED
CERTIFIED
APPROVED BY SUPERVISION
CLOSED BY CERTIFICATION
PROJECT NO.
BE-20210000-R01
SCALE
1:1
DRAWING NO.
000
BRICON

Scale Model for Precast Deck (2)

(Type : L = 3.0m)

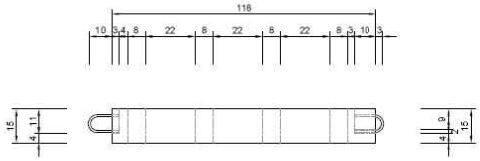
TOP PLAN VIEW

S=1:1



SECTION C-C

S=1:1



SECTION A-A

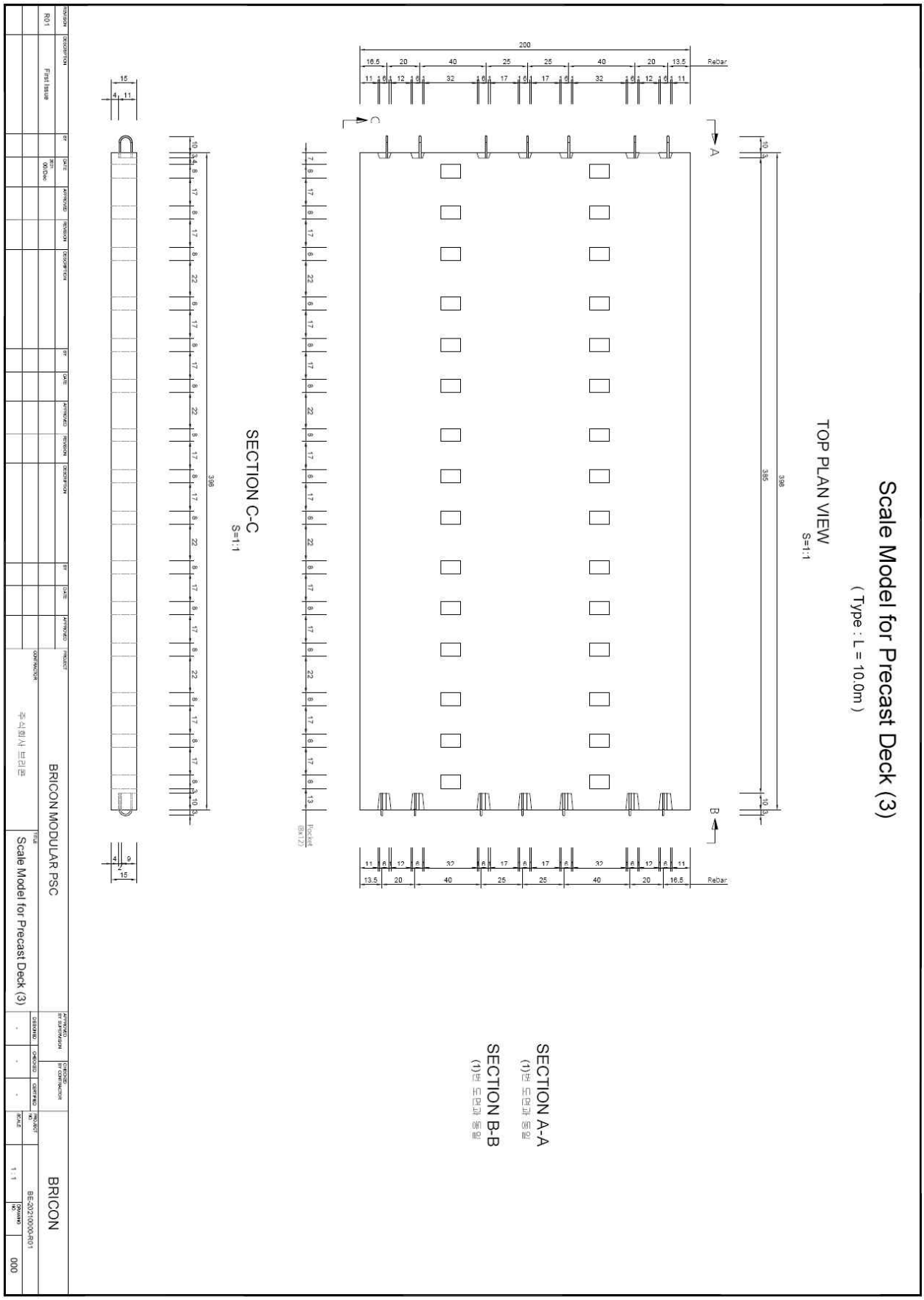
(1)번 도면과 동일

SECTION B-B

(1)번 도면과 동일

REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED	REVISION	DESCRIPTION	BY	DATE	APPROVED
R01	First Issue		2021 00/Dec											

PROJECT	BRICON MODULAR PSC	APPROVED BY SUPERVISION	CHECKED BY CONTRACTOR	BRICON	
CONTRACTOR	주식회사 브리콘	TITLE	Scale Model for Precast Deck (2)	DESIGNED / CHECKED / CERTIFIED	- / - / -
PROJECT NO	BE-20210000-R01	SCALE	1 : 1	DRAWING NO	000


Scale Model for Precast Deck (3)
(Type : L = 10.0m)
TOP PLAN VIEW
S=1:1
SECTION C-C
S=1:1
SECTION A-A
(1)번 도면과 동일
SECTION B-B
(1)번 도면과 동일
Rebar
Pocket (8x12)
BRICON MODULAR PSC
Scale Model for Precast Deck (3)
BRICON
BE-20210000-R01
1:1
000

도 서 정 보

<table>
<tr><td colspan="2">1. 연구보고서 번호 :
연구원-2021-53-534.9607호</td><td>2. 도서목록번호</td><td>3. 수령번호</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">4. 제 목
프리팹 부재를 활용한 교량 모듈화 방안 연구</td><td>5. 발간년월일 : 2022년 2월</td></tr>
<tr><td>6. 연구수행 기관명 코드</td></tr>
<tr><td colspan="3">7. 연구담당자와 소속연구실
구조물연구실 이병주</td><td>8. 연구보고서 발간번호</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">9. 연구수행기관 또는 부서
한국도로공사 도로교통연구원</td><td>10. 사업분류코드</td></tr>
<tr><td>11. 계약 또는 인가번호</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">12. 연구제안 부서 또는 기관명
한국도로공사 도로교통연구원</td><td>13. 연구기관과 보고형태</td></tr>
<tr><td>14. 연구의뢰 기관명코드</td></tr>
<tr><td colspan="4">15. 기타사항</td></tr>
<tr><td colspan="4">16. 요 약 :
최근 건설분야는 현장 작업자 노령화, 전문분야 기술자 감소, 현장근무 기피 등 악조건의 환경변화를 맞이하였다. 전형적인 업무구조와 전통적인 조직체계 등 오랫동안 유지해 오던 근무환경을 변화시키기에는 많은 제약이 따르며, 타 분야에 비해 변화되는 모습이 부족할 수밖에 없었던 것이 현실이다. 최근 4차 산업혁명 기술의 발전으로 산업분야 전반에서 이 기술을 융합하여 업무 효율성을 향상키시고 안전하고 품질이 우수한 제품을 생산하고 있다. 건설업 역시 이러한 시대의 흐름에 편승하고자 다양한 방식으로 업무혁신과 체질개선을 추진 중에 있으며, 이 중 건설시스템의 자동화 및 무인화와 관련된 대표적인 방식 중에 하나가 바로 모듈러 기술이며, 이 모듈러 기술을 적용한 교량시스템은 향후 도래할 스마트 건설 분야의 핵심기술로써의 역할을 담당하게 될 것이다.
본 연구에서는 고속도로에 최적화된 모듈러 교량시스템을 개발하고자 하는 목적으로 수행되고 있으며, 교량 형식과 구성 부재별 표준 모듈 및 각 모듈의 조합·연결방법 등에 관한 세부기술을 개발하고자 한다. 전체 2년 연구기간 중 당해 2차 년도에는 1차 년도에서 정의한 표준 모듈을 구체화하고 중경간 적용이 가능한 PSC 모듈러 거더 교량 시스템과 장경간 적용이 가능한 CFT 모듈러 거더 교량 시스템에 대한 기본설계를 실시하고 구조검토를 통하여 안전성과 성능을 검증하였다.
모듈러 교량시스템 기술 개발은 새로운 환경의 고속도로 건설 및 유지관리 생태계를 조성하기 위한 필수적인 요소이며, 우리나라 건설기술을 한 단계 발전시키는 계기가 될 것이다. 또한, 이 기술은 미래 도로건설을 선도할 수 있는 토대가 될 것으로 판단된다.</td></tr>
<tr><td colspan="3">17. 키워드: 표준 모듈, 모듈러, 교량시스템, 연결 방법</td><td>18. 발행부서 및 배포구분</td></tr>
<tr><td>19. 비밀구분</td><td>20. 비밀페이지</td><td>21. 총페이지 : 196</td><td>22. 가격</td></tr>
</table>

INFORMATION

<table>
<tr><td colspan="2">1. Report No.
KECRI-2021-53-534.9607</td><td>2. Accession No.</td><td colspan="2">3. Receipt No.</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">4. Title and Subtitle
Research on the Advancement of EX-Modular Girder using Prefabrication Elements</td><td colspan="2">5. Report Date : 2022. 2.</td></tr>
<tr><td colspan="2">6. Performing</td></tr>
<tr><td colspan="3">7. Researchers
Structure Research Division
Lee, Byeong Ju</td><td colspan="2">8. Performing Organization Report No.</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">9. Performing Organization Name or Department
Expressway & Transportation Research Institute</td><td colspan="2">10. Work Unit Code</td></tr>
<tr><td colspan="2">11. Contract or Grant No.</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">12. Sponsoring Agency Name and Address
Expressway & Transportation Research Institute</td><td colspan="2">13. Type of Report and Period Covered</td></tr>
<tr><td colspan="2">14. Sponsoring Agency</td></tr>
<tr><td colspan="5">15. Supplementary Note</td></tr>
<tr><td colspan="5">16. Abstract :
In this study, the purpose of developing a modular bridge system optimized for expressways is to develop detailed technologies for standard modules by bridge type and components, and combination and connection methods of each module. Of the total second year, the standard module defined in the first year was specified in the second year. In addition, the basic design of the PSC modular girder bridge system that can be applied in the mid- to long-range and the CFT modular girder bridge system that can be applied in the long-range was conducted and the performance was verified through structural review.
The development of modular bridge system technology is an essential element for creating a new expressway construction and maintenance ecosystem in a new environment, and will serve as an opportunity to further develop Korea’s construction technology. In addition, this technology is expected to serve as the foundation for leading the future construction field.</td></tr>
<tr><td colspan="3">17. Key Word : Standard Module, Modular, Bridge System, Connection Method</td><td colspan="2">18. Circulation and Distribution Statement</td></tr>
<tr><td>19. Security Classify</td><td>20. Security Page</td><td>21. No. of Page
196</td><td colspan="2">22. Price</td></tr>
</table>

보고서 집필 내역

구분	소속 및 직책	성명	집필 부분	비고
연구책임자	구조물연구실	이병주	총괄, 제1장 ~ 제6장,	
참여연구자	구조물연구실	최진웅	제2장 ~ 제6장	
	구조물연구실	강상규	제3장, 제6장	
	구조물연구실	정경자	제3장, 제4장	
	㈜브리콘	이순환 등 16명	제2장 ~ 제6장	위탁 용역

이 출판물은 한국도로공사 도로교통연구원에서 수행한 연구성과물로 정부와 공사의 정책이나 견해와는 관계가 없으며, 공사의 승인 없이 연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

발 행 처 : 한국도로공사 도로교통연구원
우편번호 : 18489
주 소 : 경기도 화성시 동탄순환대로 17길 24
전 화 : 031-8098-6161
F A X : 031-8098-6149
홈페이지 : http://www.ex.co.kr
발 행 월 : 2022년 2월