제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'압축플랜지에 파형강판을 적용하여 제작비 20% 절감이 가능한 차세대 강박스거더 구조시스템 개발'(연구개발 기간 : 2015. 06. 24. ~ 2017. 06. 23.) 과제의 최종보고서 보완본 2부를 제출합니다.

2017. 09. 20.

주관연구기관명 : 동국대학교 산학협력단 (대표자) 이 용 규 (인)



공동연구기관명 : 대림C&S (대표자) 배 동 호 (인)



㈜효명이씨에스 (대표자) 한 녹 희 (인)



주관연구기관책임자: 이 성 철
공동연구기관책임자: 박 찬 식
한 녹 희

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>16CTAP-C098090-02</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2015.06.24. ~ 2017.06.23.</td><td>단계구분</td><td>2/2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">국토교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4">기초원천</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">압축플랜지에 파형강판을 적용하여 제작비 20% 절감이 가능한 차세대 강박스거더 구조시스템 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">압축플랜지에 파형강판을 적용하여 제작비 20% 절감이 가능한 차세대 강박스거더 구조시스템 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">이 성 철</td><td>해당단계 참여 연구원 수</td><td>총: 17 명
내부: 17 명</td><td>해당단계 연구개발비</td><td>정부:200,000천원
기업:200,000천원
계:400,000천원</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총: 20 명
내부: 20 명</td><td>총 연구개발비</td><td>정부:400,000천원
기업:400,000천원
계:800,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">주관: 동국대학교 산학협력단
공동: 대림C&S㈜
㈜효명이씨에스</td><td colspan="2">참여기업명
-</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명: -</td><td colspan="2">상대국 연구기관명: -</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관명: -</td><td colspan="2">연구책임자: -</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약</td><td colspan="2">보고서 면수 : 127</td></tr>
</table>

❋ 본 연구의 최종 목표는 『압축플랜지에 파형강판을 적용하여 제작비 20% 절감이 가능한 차세대 강박스거더 구조시스템 개발』이며 이를 위하여 다음과 같은 단계별 세부목표를 설정함

☞ 1단계 (1년차): 압축플랜지의 소요 폭, 두께 및 강재의 항복강도에 따른 최적 파형 형식 개발 및 실험을 통한 검증

● 국부좌굴강도가 강재의 항복강도를 초과하여 보강재 설치가 필요 없는 다양한 파형형상을 도출함

● 도출된 다양한 파형형상의 제작성 및 경제성을 고려하여 플랜지의 폭, 두께 및 강재의 항복강도에 따른 최적 파형형상 개발

● 실험체 설계

● 비선형해석을 통한 실험체의 타당성 및 구조성능 평가

● 실험을 통하여 개발된 파형형상의 구조성능 확인

☞ 2단계 (2년차): 1단계에서 개발된 파형형식을 적용한 강박스거더 구조시스템 개발 및 소규모 2경간 연속교 모델(Bench scale model) 실험을 통한 검증

● 압축플랜지와 인장플랜지의 효율적인 현장연결을 위한 최적의 연결상세 개발

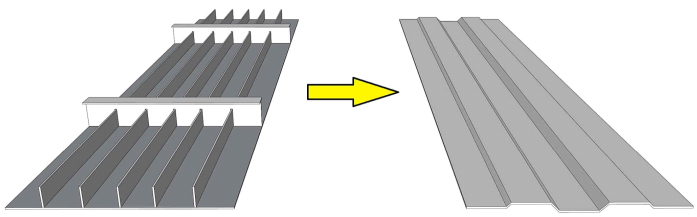
● 파형강판에 적합한 받침 배치방법 개발

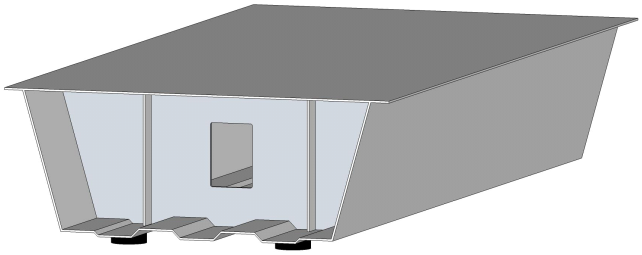
● 파형 플랜지에 적합한 지점부 다이아프램 설계상세 개발

● 개발된 설계상세를 적용한 2경강 연속교 소규모 실험 모델 설계

● 비선형해석을 통한 연속교 실험모델 타당성 및 구조성능 검증

● 실험을 통한 파형강판 적용 차세대 강박스거더 구조시스템의 타당성 및 구조성능 검증

연구개발 목표	❋ 본 연구의 최종 목표는 **『압축플랜지에 파형강판을 적용하여 제작비 20% 절감이 가능한 차세대 강박스거더 구조시스템 개발』**이며 이를 위하여 다음과 같은 단계별 세부목표를 설정함 ☞ 1단계 (1년차): 압축플랜지의 소요 폭, 두께 및 강재의 항복강도에 따른 최적 파형 형식 개발 및 실험을 통한 검증 ☞ 2단계 (2년차): 1단계에서 개발된 파형형식을 적용한 강박스거더 구조시스템 개발 및 소규모 2경간 연속교 모델(Bench scale model) 실험을 통한 검증
연구개발 내용	❋ **압축플랜지의 소요 폭, 두께 및 강재의 항복강도에 따른 최적 파형형상 개발** ● 국부좌굴강도가 강재의 항복강도를 초과하여 보강재 설치가 필요 없는 다양한 파형형상을 도출함 ● 도출된 다양한 파형형상의 제작성 및 경제성을 고려하여 플랜지의 폭, 두께 및 강재의 항복강도에 따른 최적 파형형상 개발 ● 실험체 설계 ● 비선형해석을 통한 실험체의 타당성 및 구조성능 평가 ● 실험을 통하여 개발된 파형형상의 구조성능 확인 ❋ 파형강판을 적용한 차세대 강박스거더 구조시스템 개발 ● 압축플랜지와 인장플랜지의 효율적인 현장연결을 위한 최적의 연결상세 개발 ● 파형강판에 적합한 받침 배치방법 개발 ● 파형 플랜지에 적합한 지점부 다이아프램 설계상세 개발 ● 개발된 설계상세를 적용한 2경강 연속교 소규모 실험 모델 설계 ● 비선형해석을 통한 연속교 실험모델 타당성 및 구조성능 검증 ● 실험을 통한 파형강판 적용 차세대 강박스거더 구조시스템의 타당성 및 구조성능 검증
연구개발성과	❋ **핵심연구성과 1: 강박스거더의 보강플랜지를 대치할 수 있는 최적파형 형식** 압축에 의한 국부좌굴강도가 강재의 항복강도를 초과하여 별도의 보강재가 필요 없도록 강재의 강복강도, 플랜지의 폭, 두께 별로 최적의 파형형식 개발  ❋ **핵심연구성과 2: 플랜지에 파형강판을 적용한 차세대 강박스거더 구조 시스템** ● 압축플랜지와 인장플랜지의 연결상세 ● 받침 배치 상세 ● 지점부 다이아프램 구조 및 배치 상세

	
활용계획 및 기대효과	♣ **지적 재산권 확보:** 본 연구를 수행하여 개발된 압축플랜지 파형강판 및 설계상세 관련 국내 특허 출원을 통하여 지적재산권을 확보함 ♣ **국내 교량건설에 적용하여 국가 예산 절감에 크게 기여함**: 본 연구에서 개발된 신개념 강박스거더 구조시스템은 국가의 주요 기반시설물인 교량의 건설에 적용이 가능함. 이를 통하여 강박스거더 제작비의 20%를 절감할 수 있을 뿐 아니라, 피로성능 및 내구성 향상을 통한 생애주기비용(Life-cycle cost)의 절감이 가능함 ♣ **타 분야에 적용**: 강박스거더 압축플랜지용 파형강판은 교량뿐만이 아니라 선박, 항공기 동체 제작에도 적용이 가능할 것으로 예상됨 ♣ **국내 전문가들에게 기술보급**: 기술강습회, 세미나, 학술대회 발표 등을 통하여 국내 교량 설계 전문가들에게 개발된 신기술을 적극 홍보하여 국내 설계 기술력 향상에 기여함 ♣ **북한의 도로/교량 건설에 활용**: 남북통일을 대비하여 북한의 사회기반 시설물 수준을 상당히 끌어올려야 할 필요성이 대두됨.산악지형이 대부분이 북한의 지형을 감안한다면, 지간장이 크면서 시공이 유리한 교량형식이 경쟁력이 있음. 이 같은 점을 고려한다면 본 연구에서 개발한 차세대 강박스거더 구조시스템이 북한의 교량건설에 크게 활용될 가능성이 매우 높음

핵심어(5개 이내)	강박스거더	보강재	생애주기비용	압축플랜지	파형강판

〈 Summary 〉

Purpose	❋ The purpose of the present study is to develop a next-generation steel box girder with waved (corrugated) compression flanges for 20% cost saving. The detailed year-by year objectives are as follows: ☞ First year: Development of optimum shapes of waved flanges and verification through experimental test ☞ Second year: Development of effective box girder systems using the optimum waved flanges and verification through bench scale model tests of two-span continuous girders
Contents	❋ Development of optimum shapes of waved flanges • development of various types of waved flanges which have buckling strengths higher than the yield strength without stiffeners • verification of the waved flanges through experimental tests and nonlinear analysis ❋ Development of the next generation of steel box girders using waved flanges • development of the connection details of compression and tension flanges • development of bearings • development of load-bearing diaphragms suitable to waved flanges • verification of the developed box girder systems through experimental tests and nonlinear analysis
Development results	❋ Key results 1: optimum shapes of waved flanges • various types of waved flanges which have buckling strengths higher than the yield strength without stiffeners ❋ Key results 2:next generation of steel box girders using waved flanges • connection details of compression and tension flanges • bearing system suitable to waved flanges • load-bearing diaphragms suitable to waved flanges
Expected Contribution	❋ obtainments of intellectual property right ❋ saving of construction costs ❋ application to other fields such as ship building and air plane structure

Keywords	steel box girder	stiffener	life cycle cost	compression flange	corrugated steel plate

〈 목 차 〉

제1장 연구개발과제의 개요 ·····1
제1절 연구개발 목적 ·····1
1. 최종 목표 ·····2
2. 최종목표의 성격 ·····3
3. 최종목표 설정 근거 ·····4
제2절 연구개발의 필요성 ·····5
1. 기술적 측면 ·····5
2. 경제·산업적 측면 ·····5
3. 사회·문화적 측면 ·····5
제3절 연구개발 범위 ·····7

제2장 국내외 기술 개발 현황 ·····8
제1절 강박스거더 선호도 및 국내시장 적용 동향 ·····8
1. 국내 강교량 설계감소 요인분석 및 대응방안 수립에 관한 연구 (대한토목학회, 2005) ·····8
2. 강교 선호도 설문조사 (InterConsTech, 2014) ·····10
제2절 선호도 및 적용동향 분석결과 및 연구 필요성 ·····11
제3절 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과 ·····12
1. 국가 연구개발사업 유사연구 실적 ·····12
2. 관련분야의 국내외 연구동향 및 학술적 흐름 분석 ·····12
제4절 국내외 관련 기술 특허 동향 ·····12
제5절 국내외 시장분석 및 산업동향 ·····13
1. 국내 현황 ·····13
2. 국외 현황 ·····13
제6절 종합결론 ·····15
1. SWOT 분석 ·····15
2. 본 연구과제의 우수성 ·····15

제3장 연구 수행 내용 및 성과 ·····17
제1절 최적파형형식 개발 ·····17
1. 서론 ·····17
2. 유한요소해석 연구 ·····17
3. 실험연구 ·····40
제2절 파형강판이 적용된 차세대 강박스거더 구조시스템 개발 ·····66

1. 서론 ·····66
2. 해석연구 ·····66
3. 실험연구 ·····84
제3절 절곡판 거더의 경제성 분석 ·····107
1. 공사비 검토 개요 ·····107
2. 강박스거더 공사비 구성 분석 ·····107
3. 플랜지 형상별 제작비 비교 ·····109

제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ·····118
제1절 연구 목표치 대비 실적치 ·····118
제2절 연구개발 수행진도율 및 목표의 달성도 ·····119
1. 연구개발 수행 진도율 ·····119
2. 연구개발 목표의 달성도 ·····120
제3절 관련분야에의 기여도 ·····121

제5장 연구개발성과의 활용계획 ·····123

제6장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ·····123

제7장 연구개발성과의 보안등급 ·····124

제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황 ·····124

제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ·····124

제10장 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ·····124

제11장 참고 문헌 ·····125

〈 그 림 목 차 〉

그림 1. 연구 흐름도 ·····1
그림 2. 개발된 차세대 강박스거더 단면 예시 ·····1
그림 3. 최종목표의 성격 ·····3
그림 4. 연차별 연구내용 ·····4
그림 5. 차세대 강박스거더 구조시스템 개발 필요성 ·····6
그림 6. 강박스거더 교량의 점유율 ·····8
그림 7, 강교량의 선호도가 하락하는 주요 원인 ·····9
그림 8. 강교량의 경쟁력 향상을 위한 방법 ·····9
그림 9. 강교량 선호도가 하락하는 이유 ·····10
그림 10. 강교량(강박스거더교량)을 적용하는 이유 ·····10
그림 11. Strut method ·····13
그림 12. Panel method ·····14
그림 13. waved 파형강판 형상 ·····17
그림 14. Single-waved type의 해석모델 형상 ·····18
그림 15. Double-waved type의 해석모델 형상 ·····18
그림 16. 해석결과 ·····19
그림 17. Single-waved type의 좌굴형상 ·····20
그림 18. Double-waved type의 좌굴형상 ·····20
그림 19. 절곡각도와 좌굴강도 관계 ·····21
그림 20. 절곡기계 단면 형상 ·····22
그림 21. Bended type 형상 ·····23
그림 22. Bended type 단면 형상 ·····23
그림 23. Single-bended type 모델의 해석모델 형상 ·····24
그림 24. Double-bended type 모델의 해석모델 형상 ·····24
그림 25. Single-bended type, 형상비 1 해석결과 ·····25
그림 26. Single-bended type, 형상비 2 해석결과 ·····25
그림 27. Single-bended type, 형상비 3 해석결과 ·····26
그림 28. Single-bended type, 형상비 4 해석결과 ·····26
그림 29. Single-bended type, 형상비 5 해석결과 ·····27
그림 30. Single-bended type, 형상비 6 해석결과 ·····27
그림 31. Double-bended type, 형상비 1 해석결과 ·····28
그림 32. Double-bended type, 형상비 2 해석결과 ·····28
그림 33. Double-bended type, 형상비 3 해석결과 ·····29
그림 34. Double-bended type, 형상비 4 해석결과 ·····29
그림 35. Double-bended type, 형상비 5 해석결과 ·····30

그림 36. Double-bended type, 형상비 6 해석결과 ·····30
그림 37. Singel-bended type 해석결과 (형상비 1~6) ·····31
그림 38. Double-bended type 해석결과 (형상비 1~6) ·····31
그림 39. 수정된 판의 형상 Single-bended type ·····32
그림 40. 수정된 판의 형상 Double-bended type ·····32
그림 41. Single-bended type 폭/두께 비 별 좌굴강도 ·····34
그림 42. Double-bended type 폭/두께 비 별 좌굴강도 ·····35
그림 43. 해석결과 vs. 평가식 (Single-bended type) ·····38
그림 44. 해석결과 vs. 평가식 (Double-bended type) ·····39
그림 45. 절곡각도 및 판 폭/두께 비 선택 ·····40
그림 46. 4점 재하 하중조건 ·····42
그림 47. S-1 형상 ·····43
그림 48. S-3 형상 ·····43
그림 49. D-1 형상 ·····44
그림 50. D-3 형상 ·····44
그림 51. 보강재 설계시트(1) ·····46
그림 52. 보강재 설계시트(2) ·····47
그림 53. 보강재 설계시트(3) ·····48
그림 54. S-1 도면 ·····49
그림 55. S-3 도면 ·····50
그림 56. D-1 도면 ·····51
그림 57. D-3 도면 ·····52
그림 58. S-3 가력부 받침 ·····53
그림 59. S-3 가력부 받침 ·····53
그림 60. 좌굴해석 결과 ·····54
그림 61. 비선형 극한해석 결과 ·····55
그림 62. 실험체 거치전경 (S-1) ·····56
그림 63. 실험체 거치전경 (S-3) ·····56
그림 64. 실험체 거치전경 (D-1) ·····57
그림 65. 실험체 거치전경 (D-3) ·····57
그림 66. 실험결과 하중-변위 곡선 ·····58
그림 67. 해석결과 vs. 실험결과 ·····59
그림 68. S-1 모델 가력도 ·····60
그림 69. S-1 모델 파괴형상 ·····60
그림 70. S-1 모델 가력도 ·····60
그림 71. D-1 모델 파괴 형상 ·····61
그림 70. D-3 모델 가력도 ·····61

그림 73. 지그 slip 발생으로 실험 중단된 형상 ·····61
그림 74. S-1 형상 ·····62
그림 75. S-3 형상 ·····62
그림 76. D-1 형상 ·····63
그림 77. D-3 형상 ·····63
그림 78. 가력조건 고려한 해석결과 vs. 실험결과 vs. 이론값 ·····64
그림 79. 가력부 다이아프램 보강재 배치도 ·····65
그림 80. 단면별 받침배치 형상 ·····66
그림 81. Double-bended 받침 배치 예 ·····67
그림 82. 받침배치 타입 ·····67
그림 83. 받침 타입별 해석모델 형상 ·····68
그림 84. 받침 타입별 해석 결과 ·····69
그림 85. 파괴형상 및 항복영역 (Model 1) ·····70
그림 86. 파괴형상 및 항복영역 (Model 2, 최대하중 도달 시) ·····70
그림 87. 파괴형상 및 항복영역 (Model 3) ·····71
그림 88. 가력부 플랜지 보강 타입 ·····72
그림 89. 보강타입별 해석결과 (Model 1) ·····73
그림 90. 보강타입별 해석결과 (Model 2) ·····74
그림 91. 보강타입별 해석결과 (Model 3) ·····75
그림 92. 파괴형상 및 항복영역 (Model 1-1) ·····76
그림 93. 파괴형상 및 항복영역 (Model 1-2) ·····76
그림 94. 파괴형상 및 항복영역 (Model 2-1) ·····77
그림 95. 파괴형상 및 항복영역 (Model 2-2) ·····77
그림 96. 파괴형상 및 항복영역 (Model 3-1) ·····78
그림 97. 파괴형상 및 항복영역 (Model 3-2) ·····78
그림 98. 파괴형상 1 ·····79
그림 99. 파괴형상 2 ·····79
그림 100. 받침 배치 타입 Model 4, Model 5 ·····80
그림 101. 받침 배치 타입 Model 4C, Model 5C ·····80
그림 102. 해석결과 (Model 4 & 4C) ·····81
그림 103. 해석결과 (Model 5, 5C) ·····82
그림 104. Model 4, 4C, 5 & 5C 파괴형상 ·····83
그림 105. 실험 예정 단면 ·····84
그림 106. 연속교 실험 자유물체도 ·····85
그림 107. 연속교 모델을 파괴하기 위한 소요길이 ·····85
그림 108. 연속교의 부모멘트부 → 단순교 치환 ·····86
그림 109. 압축플랜지 절곡각도 선정 ·····87

그림 110. S-2ts, S-4ts 형상 ····89
그림 111. D-2ts, D-4ts 형상 ····89
그림 112. 복부판 보강재 설계 (S-2ts, S-4ts) ····91
그림 113. 하중재하점 보강재 설계 (S-2ts, S-4ts) ····92
그림 114. 지점 복부판 보강재 설계 (S-2ts, S-4ts) ····93
그림 115. 복부판 보강재 설계 (D-2ts, D-4ts) ····94
그림 116. 하중재하점 보강재 설계 (D-2ts, D-4ts) ····95
그림 117. 지점 복부판 보강재 설계 (D-2ts, D-4ts) ····96
그림 118. S-2ts 도면 ····97
그림 119. S-4ts 도면 ····98
그림 120. D-2ts 도면 ····99
그림 121. D-4ts 도면 ····100
그림 122. 좌굴해석 결과 ····101
그림 123. 비선형 극한해석 결과 ····102
그림 124. 실험체 거치전경 (S-2ts, S-4ts) ····103
그림 125. 실험체 거치전경 (D-2ts, D-4ts) ····103
그림 126. 실험결과 하중-변위 곡선 ····104
그림 127. 해석결과 vs. 실험결과 ····105
그림 128. 파괴 후 플랜지 형상 (S-2ts) ····106
그림 129. 파괴 후 플랜지 형상 (D-2ts) ····106
그림 130 하부플랜지 형상 ····107
그림 131. 경간구성별 강박스거더 공사비 분석 대상교량 ····108
그림 132. 하부플랜지 형상별 상세 치수 ····110

〈 표 목 차 〉

표 1. 해석모델 경계조건 (fixed: 0, free:1) ·····18
표 2. 해석모델 경계조건 ·····24
표 3. 모델별 극한하중 ·····58
표 4. 실험체 모델명 ·····86
표 5. 모델별 극한하중 ·····104
표 6 강거더의 경간장별 공사비 구성 ·····108
표 8 하부플랜지 형상별 제작비 산정(하부플랜지 T=10mm, L=12.0m) ·····111
표 9 하부플랜지 형상별 제작비 산정(하부플랜지 T=15mm, L=12.0m) ·····112
표 10 하부플랜지 형상별 제작비 산정(하부플랜지 T=20mm, L=12.0m) ·····113
표 11 하부플랜지 형상별 제작비 산정(하부플랜지 T=25mm, L=12.0m) ·····114
표 12 하부플랜지 형상별 제작비 산정(하부플랜지 T=30mm, L=12.0m) ·····115
표 13 하부플랜지 형상별 제작비 산정(하부플랜지 T=35mm, L=12.0m) ·····116

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발 목적

본 연구과제는 강박스거더가 적용된 연속교의 부모멘트 구간에서의 압축을 받는 플랜지에 설치되는 수많은 보강재를 플랜지의 절곡을 통해 대체하는 새로운 구조시스템을 개발 및 적용하여 강박스거더 제작비의 20% 이상의 절감이 목표이다.

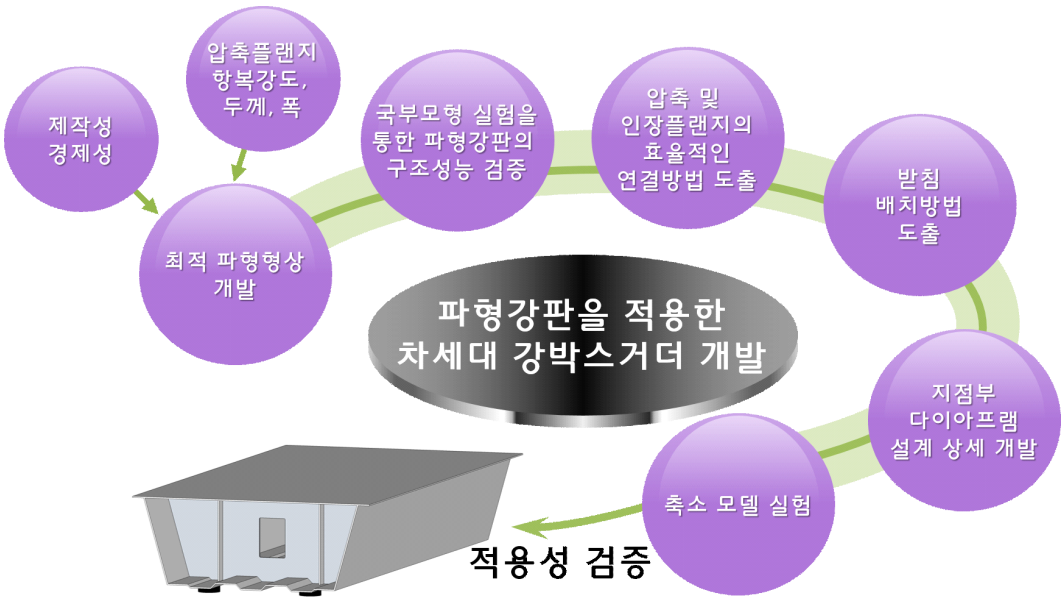


그림 1. 연구 흐름도

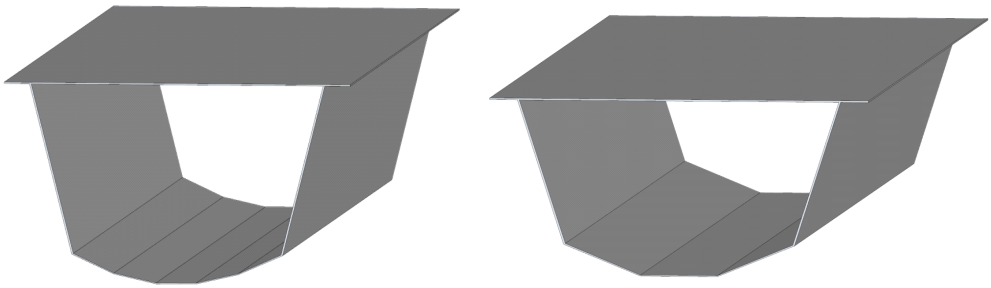


그림 2. 개발된 차세대 강박스거더 단면 예시

1. 최종 목표

○ 강박스거더의 보강플랜지를 대치할 수 있는 최적파형 형식 개발
- 압축플랜지의 국부좌굴강도가 강재의 항복강도를 상회하는 다양한 파형형상 안을 유한요소 좌굴해석을 통하여 도출
- 경제성 및 제작성을 고려하여 압축플랜지의 폭, 두께 및 항복강도에 따른 최적의 파형형상을 선정

○ 구조해석 및 실험을 통한 파형강판의 구조성능 검증
- 개발된 파형강판을 적용한 실험체 설계 및 비선형해석을 통한 검증
- 실험체 제작
- 실험을 통한 검증

○ 압축플랜지와 인장플랜지의 효율적인 연결방법 도출
- 현장에서 파형 압축플랜지와 인장플랜지를 효율적으로 연결할 수 있도록 최적의 연결상세를 개발
  ⇨ 파형 압축플랜지와 평판 인장플랜지의 연결
  ⇨ 파형 형식이 다른 압축플랜지와 인장플랜지의 연결
  ⇨ 파형 형식은 동일하지만 두께가 서로 다른 플랜지의 연결

○ 받침 배치방법 도출
- 파형형상을 고려하여 구조적 안정성이 담보되며 모든 하중을 교각으로 원활하게 전달할 수 있도록 효율적인 받침 배치방법을 도출

○ 지점부 다이아프램 설계 상세 개발
- 강박스거더 교량은 지점부에서 다이아프램(Load-bearing diaphragm)을 설치하여 하중을 받침으로 전달시킴
- 외력이 받침으로 원활하게 전달되도록 파형 형상에 적합한 지점부 다이아프램의 설계 상세 개발

○ 축소 모델 (Bench scale) 실험을 통한 구조성능 및 적용성 검증
- 소규모 2경간 연속 강박스거더 모델(Bench scale model) 설계 및 비선형해석을 통한 검증
- 축소 모델 제작
- 실험을 통한 검증

2. 최종목표의 성격

『압축플랜지에 파형강판을 적용하여 제작비 20% 절감이 가능한 차세대 강박스거더 구조시스템의 개발』이라는 본 연구 최종목표는 “이론적 아이디어 개발” “아이디어의 구체화” 및 “적용성 검증”이라는 3단계의 성격을 지니고 있음



그림 3. 최종목표의 성격

3. 최종목표 설정 근거

가. 연구기간의 적정성

♣ 연구목표를 지정된 연구기간(2년) 내에 충분히 달성할 수 있음:

1차년도 ⇨ 유한요소해석 연구를 통한 파형강판의 최적형상을 개발하고 국부모형 실험을 통하여 구조성능 검증

2차년도 ⇨ 받침배치 방법 및 다이아프램 설계상세 개발을 바탕으로 Bench scale model(소규모 2경간 연속교)을 제작하고 실험하여 구조성능 및 적용성 검증

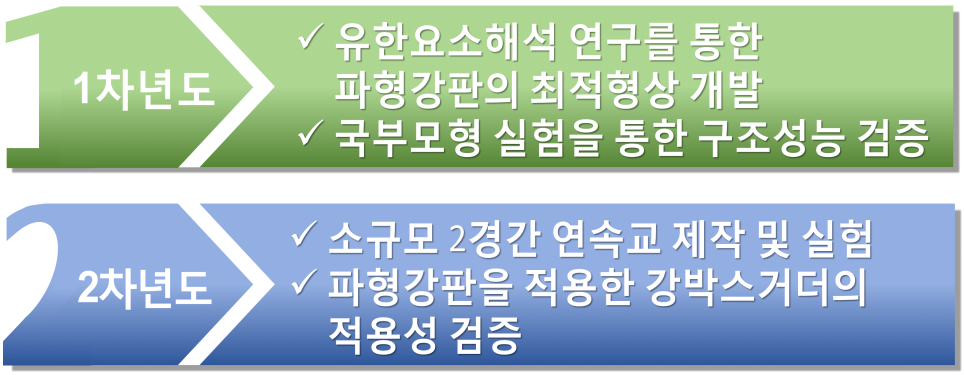


그림 4. 연차별 연구내용

나. 연구비의 적정성

♣ 본 연구를 위한 예산(4억원/년: 국가지원 2억원, 기업부담금 2억원)은 실험을 포함한 모든 연구를 수행하는 데 적정한 규모임.

다. 연구자의 역량

♣ 연구책임자는 본 연구의 성공적인 수행을 위한 충분한 역량을 갖추었음

⇨ 다수의 SCI논문과 국제학술대회 발표 및 저서(Stability of Structures, Elsevier출판)를 통하여 강구조/강교량 분야에서 세계적으로 업적을 인정받고 있음

⇨ 강구조/강교량 분야에서 국가지원과제를 수행한 경험이 풍부함

♣ 공동연구기관인 대림C&S㈜는 강교 제작분야에서 탁월한 수주실적 및 엔지니어를 보유하고 있음.

♣ 공동연구기관인 효명E&C는 강교설계 실적이 매우 우수함.

제2절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

일반적으로 강박스거더의 제작비가 다른 교량 형식에 비해 제작비가 높아 가격 경쟁력이 낮다고 인식되고 있으나, 시공성이 우수하며 경량구조라는 고유한 장점으로 지간장 50~ 100m 내외의 교량에서 적용빈도가 높게 나타난다.

기존 강박스거더는 두께가 얇은 강판으로 구성되어 거더에 작용하는 전단력 및 휨모멘트에 의한 국부좌굴에 취약한 단점을 극복하기 위해 복부판은 전단력 및 휨모멘트에 의한 국부좌굴강도를 증가시키기 위해 수직/수평보강재가 설치되며, 플랜지에는 휨모멘트에 대한 국부좌굴강도의 증가를 위한 종/횡방향 보강재가 다수 설치된다.

강박스거더의 복잡한 보강상세는 다음과 같은 단점을 발생시킨다. 첫째, 압축플랜지에 설치되는 종/횡방향 보강재의 제작 및 용접 비용이 강박스거더 제작비용의 약 30%를 차지할 정도로 크게 발생되어 제작비용이 높아지고, 가격 경쟁력의 하락을 초래한다. 둘째, 보강재 설치를 위한 용접량의 증가로 인해 탄소 배출량이 증가하고, 용접부에서 잔류 응력이 필연적으로 발생되며, 플랜지 전체의 피로강도 및 내구성을 저하시키게 된다.

본 연구과제의 최종 목표인 압축플랜지에 파형강판이 적용된 차세대 강박스거더 구조시스템은 기존 강박스거더가 갖는 단점을 극복할 수 있는 교량형식이다.

2. 경제·산업적 측면

기존 강박스거더에 비해 플랜지에 설치되는 보강재의 감소에 따른 거더 제작비 20% 이상 절감이 가능하여 교량건설 비용 및 유지관리 비용을 포함한 생애주기 비용을 대폭 낮출수 있어, 국가예산 절감을 기대할 수 있다.

본 연구가 성공적으로 수행된다면, 비단 교량 뿐만 아니라 수많은 보강재가 요구되며 설치되고 있는 선박/항공기 제작에도 응용될 수 있는 기술로서 파급효과가 매우 클 것으로 판단된다.

3. 사회·문화적 측면

용접량 감소를 통하여 거더 제작시 발생하는 탄소 배출량 저감이 가능하며, 건설분야에서의 기술혁신을 통해 국가예산을 절감하며 기술수출을 하는 것도 창조경제라는 사회적 인식을 심어줄 수 있다.

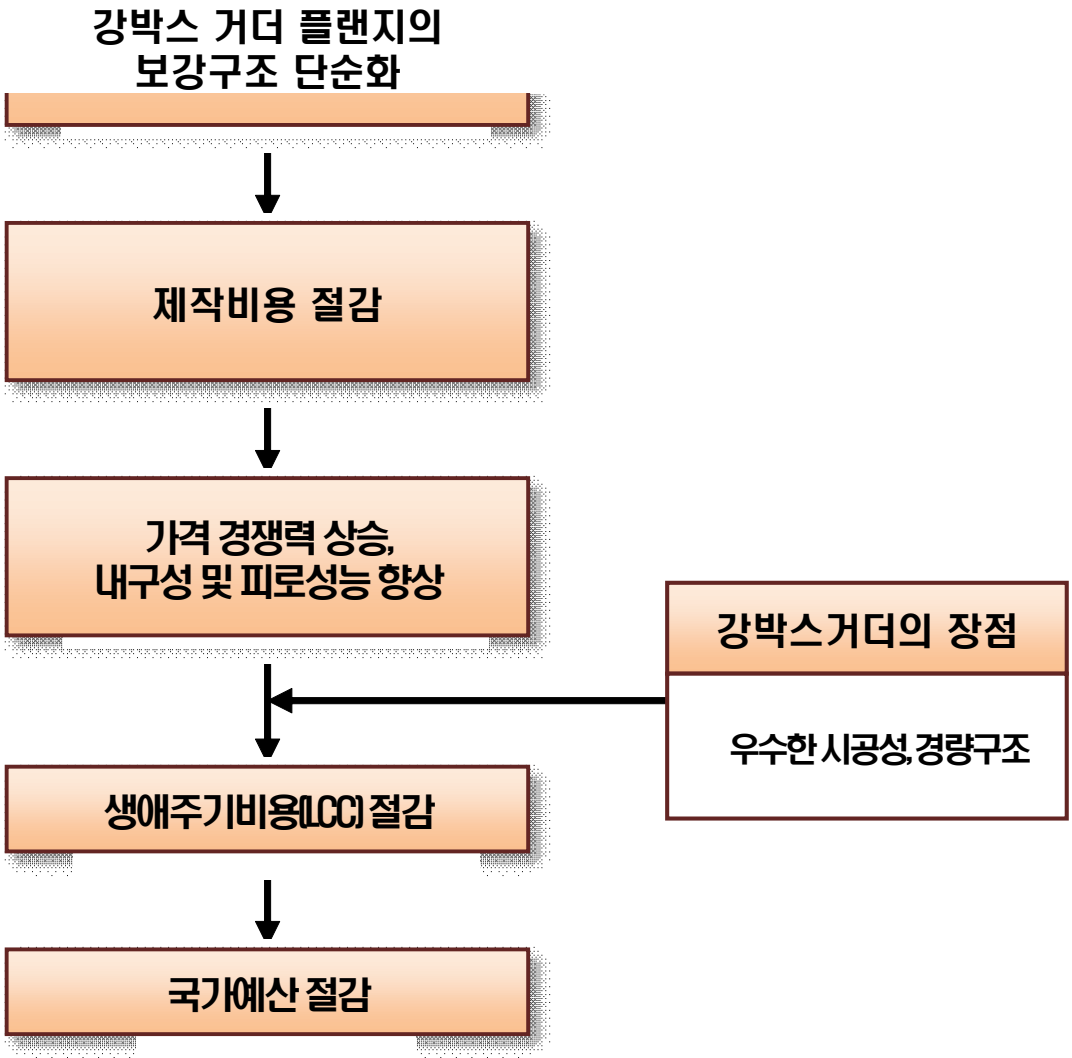


그림 5. 차세대 강박스거더 구조시스템 개발 필요성

제3절 연구개발 범위

기존 강박스거더에 적용되는 보강플랜지를 대체할 수 있는 최적 파형형식을 개발하고 실험을 통해 구조성능을 검증하여 적용성을 검토한다. 이와 같이 개발된 파형형식의 압축플랜지를 적용한 차세대 강박스거더 구조시스템의 개발을 위해 파형형상 별 받침배치 및 지점부 다이아프램의 연결상세를 개발한다.

연차	연구목표	주요연구내용
1차년도	■ 구조해석을 통한 파형강판의 형식 도출	유한요소법을 이용한 구조해석을 통하여 좌굴강도가 항복강도를 초과하는 파형 압축플랜지의 다양한 형상을 폭, 두께, 항복강도 별로 도출함
	■ 최적 파형형상 결정	제작성 및 경제성 분석을 수행하여 압축플랜지의 폭, 두께, 강종 별 최적의 파형형상을 결정함
	■ 국부모형 실험을 통한 구조성능 검증	도출된 파형 압축플랜지 형상의 구조성능 검증을 위하여 국부모형 실험을 수행함
2차년도	■ 파형 압축플랜지와 인장플랜지 연결상세 개발	피로성능이 우수하고 및 현장이음이 용이한 연결상세를 개발함
	■ 파형 형상 별 최적의 받침배치 방법 도출	파형 압축플랜지의 폭, 파형의 폭 등에 따른 구조적 안정성이 확보되는 최적의 받침 배치방법을 도출함
	■ 지점부 다이아프램과 파형 압축플랜지의 연결상세 도출	외력이 받침으로 원활하게 전달될 수 있도록 지점부 다이아프램과 압축플랜지의 연결상세를 도출함
	■ 2경간 연속거더 모델 설계 및 비선형해석	비선형 유한요소해석을 통하여 설계한 2경간 연속거더 모델의 구조성능을 검증함
	■ 2경간 연속거더 모델 실험을 통한 적용성 검증	모델 실험을 통하여 개발된 파형 압축플랜지 및 기타 설계상세의 구조성능 및 적용성을 검증함

제2장 국내외 기술 개발 현황

제1절 강박스거더 선호도 및 국내시장 적용 동향

지간 200m 이하 강교량의 국내시장 적용 동향을 파악하기 위해 2005년 대한토목학회에서 실시한 “국내 강교량 설계감소 요인분석 및 대응방안 수립에 관한 연구” 및 2015년 InterConsTech에서 실시한 “강교 선호도 설문조사”를 분석하였다,

1. 국내 강교량 설계감소 요인분석 및 대응방안 수립에 관한 연구 (대한토목학회, 2005)

2003~2004년을 정점으로 고속국도 강박스거더 점유율이 뚜렷한 감소세를 보이고 있는 것으로 나타난다.

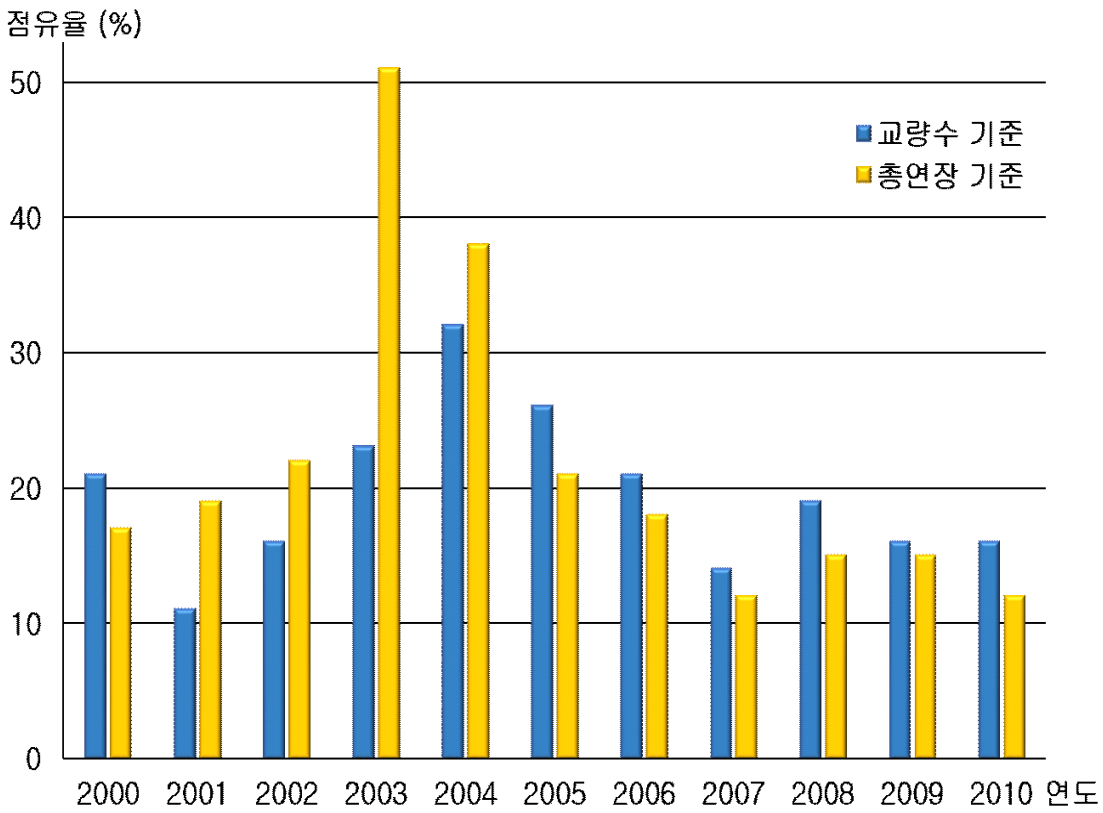


그림 6. 강박스거더 교량의 점유율 <2005년 이후는 준공 예상 교량에 대한 자료>

강교량의 선호도가 하락하는 주된 원인은로는 “강재가격에 상승에 의한 경쟁력 상실”이 48%로 가장 높게 나타났고, “고강도화 및 신형식 개발 등 콘크리트교량과 관련된 기술의 발전”이 33%로 뒤를 이었다.

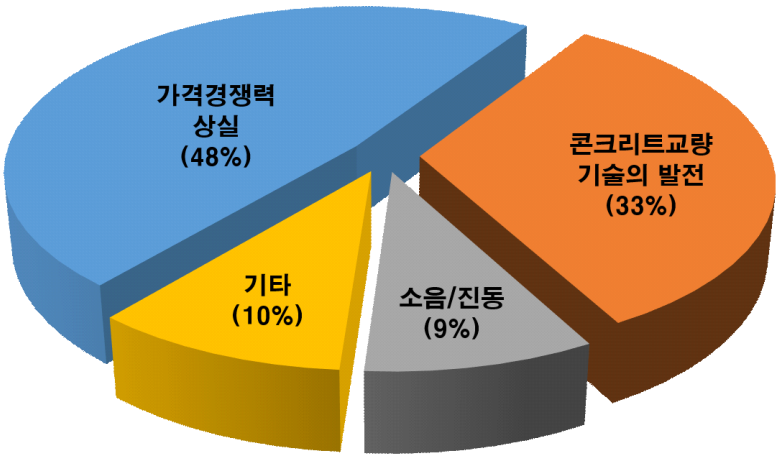


그림 7, 강교량의 선호도가 하락하는 주요 원인

강교량의 경쟁력 향상을 위해서는 “강재의 안정적 공급 및 가격안정”이 40% 비율로 나타났고 “구조의 단순화 등을 적용한 가격 경쟁력 향상”이 필요하다고 답변한 실무자가 31%의 비율로 매우 높게 나타났다.

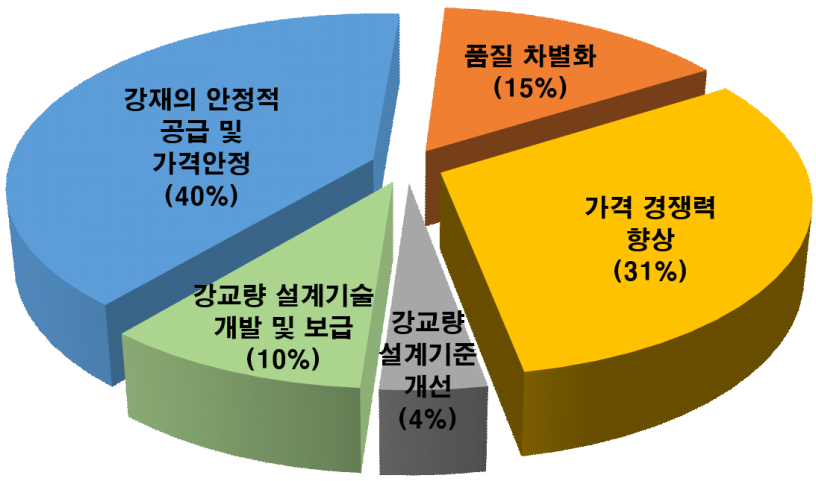


그림 8. 강교량의 경쟁력 향상을 위한 방법

2. 강교 선호도 설문조사 (InterConsTech, 2014)

강교량 선호도 하락의 가장 큰 원인으로는 “강교 공사비 고가”가 36%로 가장 큰 원인으로 나타났다.

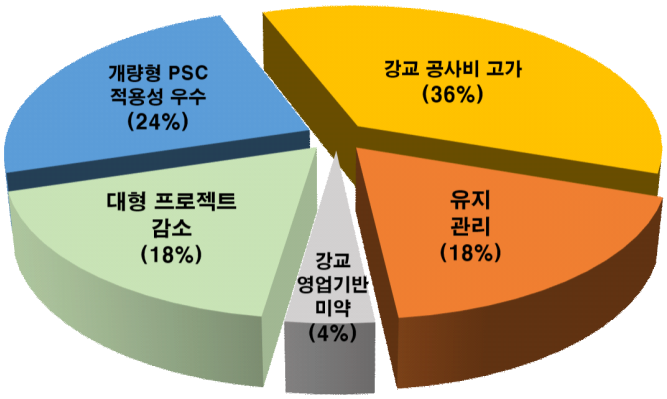


그림 9. 강교량 선호도가 하락하는 이유

강교량(강박스거더교량)을 적용하는 이유는 “시공간편/품질관리 양호”라는 응답이 25%로 높게 나타났으며, “장경간에 적합”이라는 응답은 21%의 비율로 뒤를 따랐다.

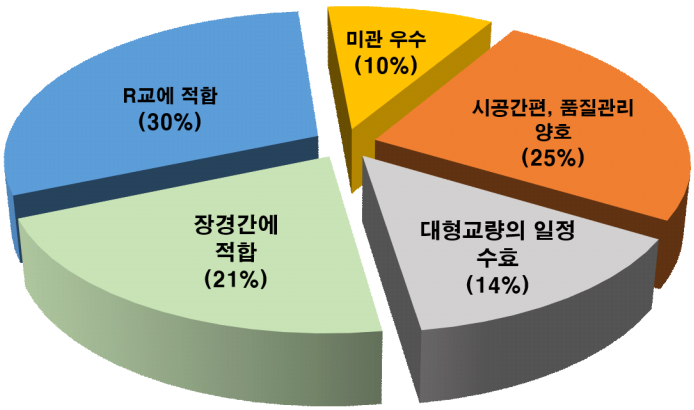


그림 10. 강교량(강박스거더교량)을 적용하는 이유

일반적으로 지간장 60m 이상의 교량을 설계해야하는 경우 가장 우선적으로 고려하는 형식 중에서 강박스거더 형식이 39%의 비율로 가장 높게 나타났다. 그러나 경제성을 고려하여 설계하는 경우 강박스거더의 선호도는 12%로 급격히 감소하게 된다.

적용 빈도 향상을 위해 새로운 강교공법은 29% 비율로 경제성에 가장 집중해야 한다는 응답을 하였다.

제2절 선호도 및 적용동향 분석결과 및 연구 필요성

강박스거더의 시공성이 우수하고 경량구조라는 장점으로 지간장 60m 이상인 교량에서 선호도가 높으나, 경제성이 최우선 고려사항인 경우 선호도가 매우 낮아진다.

강박스거더 교량의 제작비용을 절감할 수 있다면, 강박스거더가 가지는 가격 경쟁력이 낮다는 단점을 극복하고, 가설비용 및 가설기간을 고려한 시공성이 우수하고 경량구조라는 장점을 더욱 부각시키는 시너지 효과를 낼 수 있을 것으로 판단된다.

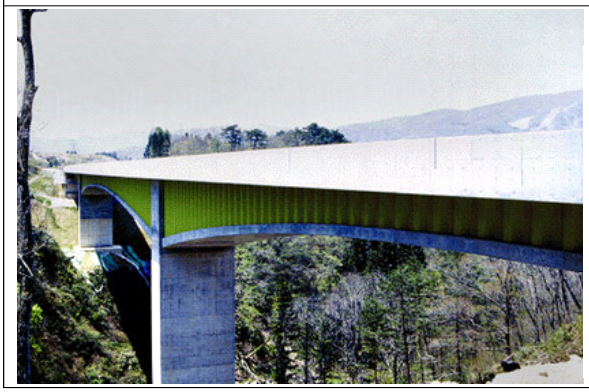
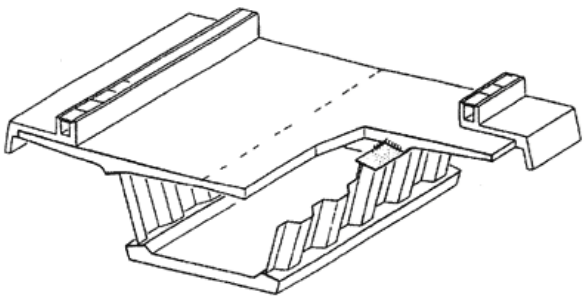
또한 교량건설에 소요되는 국가 예산을 절감할 수 있을 것이다.

– 따라서, 기존 강박스거더의 단점을 보완하고 용접을 최소화 하여, 제작비의 대폭 절감이 가능하며 피로성능 및 내구성이 향상된 차세대 강박스거더 구조시스템이 필요하다.

제3절 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

1. 국가 연구개발사업 유사연구 실적

파형강판을 복부판에 적용하기 위한 연구는 기수행된 연구가 있다. (참고문헌 1~15)

파형강판 적용 복부판
복부판에 파형강판을 적용하면 휨응력과 전단응력을 받는 복부판의 좌굴강도를 높이기 위하여 설치하는 수평보강재 및 수직보강재를 생략이 가능함
 

연구개발과제의 중복 방지를 위한 조사 결과, 본 연구에서 수행하고자 하는 “파형강판을 강박스거더 플랜지에 적용하기 위한 연구” 는 전 세계적으로 아직까지 수행된 적이 없는 것으로 나타났으며, 본 연구과제에서 최초로 시도하는 것이다.

2. 관련분야의 국내외 연구동향 및 학술적 흐름 분석

강박스거더 압축플랜지의 국부좌굴 보강을 위한 횡방향 및 종방향 보강재의 설계와 관련된 연구는 많이 수행되었다. (참고문헌 16~20) 그러나 본 연구처럼 근본적으로 보강재를 생략하는 새로운 형식을 개발하려는 연구는 아직 시도된 적이 없다.

제4절 국내외 관련 기술 특허 동향

본 연구관련 국내외 특허는 없다.

제5절 국내외 시장분석 및 산업동향

1. 국내 현황

최근 들어 도로/교량 등 사회기반시설에 대한 정부투자가 급격하게 감소하고 있으며, 정부에서 민간이 주도하는 신규 도로/교량 건설을 장려하고 있다. 민간주도 건설의 활성화에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 가격 경쟁력이므로 신기술의 개발이 필요한 시점이다.

강박스거더 교량이 장경간에 적합하고 시공성이 우수하다는 장점은 있으나 가격 경쟁력이 취약하므로, 이를 개선하기 위한 연구가 필요하다고 판단된다.

통일을 대비하여 통일비용의 상당부분을 차지하게 될 북한 기반시설 건설비용을 절감하기 위한 기술개발이 필요할 것으로 판단되는데, 산악지형이 대부분을 차지하는 북한의 도로건설에 교량이 차지하는 비중이 매우 높을 것으로 예상되며, 산악지형의 경우 교각건설 비용을 고려할 때 장경간 교량이 유리하다. 이에 통일을 대비하여 장경간에 적합한 강박스거더의 경제적 설계기술 개발이 필요하다.

2. 국외 현황

가. 유럽

세계 1, 2차대전 당시 전쟁무기 제작으로 철강의 수요가 급등하면서 콘크리트 교량설계기술이 발달함에 따라서, 오늘날에도 강교량의 선호도가 상대적으로 매우 낮은 편이다. 또한 강교형식 중에서도 강박스거더 교량은 가격 경쟁력이 취약하여, 플레이트거더를 적용한 소수주형교에 비하여 선호도가 낮다.

유럽에서는 전통적으로 보강압축플랜지의 설계 시 보강재와 플랜지 유효폭으로 구성된 부분(그림 13에서 빗금친 부분)을 독립된 기둥으로 보는 Strut Method를 적용하므로 상당히 많은 수의 종방향보강재가 필요하다.

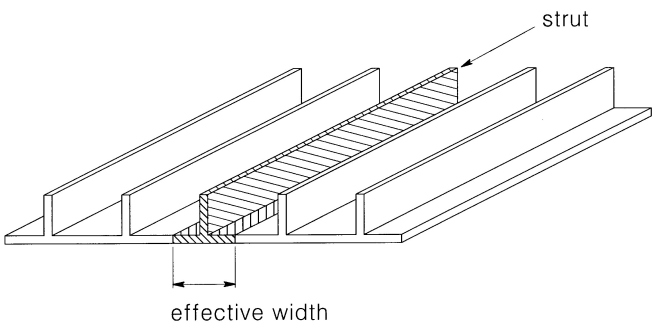


그림 11. Strut method

유럽에서 강교 중에서도 강박스거더의 선호도가 매우 낮은 이유는 압축플랜지에 종방향보강재를 많이 설치함으로 인해서 가격 경쟁력이 떨어진다는 사실 때문인 것으로 판단되며, 본 연구개발을 통하여 가격 경쟁력을 높인다면 기술수출이 가능할 것으로 보인다.

나. 미국

플레이트거더 교량에 비해서 강박스거더 교량이 시공성 측면에서 우수함에도 불구하고, 곡선교 이외에는 강박스거더 교량이 적용되는 사례가 많지 않다. 미국은 우리나라나 일본과 마찬가지로 보강압축플랜지를 설계할 때, 보강재로 구분되는 패널(sub-panel)을 독립된 단순지지 판으로 간주하여 설계한다.

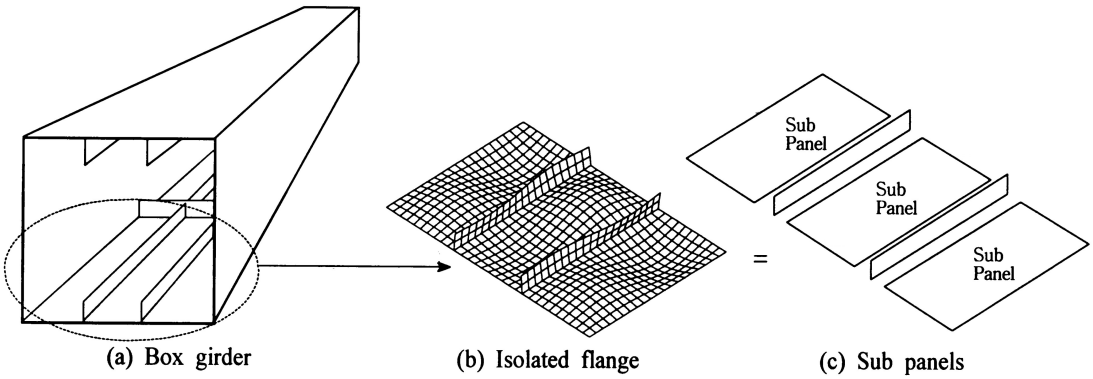


그림 12. Panel method

미국의 도로교설계기준인 AASHTO 설계기준에서는 보강재가 2개 이상인 경우 설치하는 종방향보강재를 지나치게 과다 설계하도록 규정되어 있어 강박스거더 교량의 선호도를 낮추는 주요 원인으로 작용하고 있다.

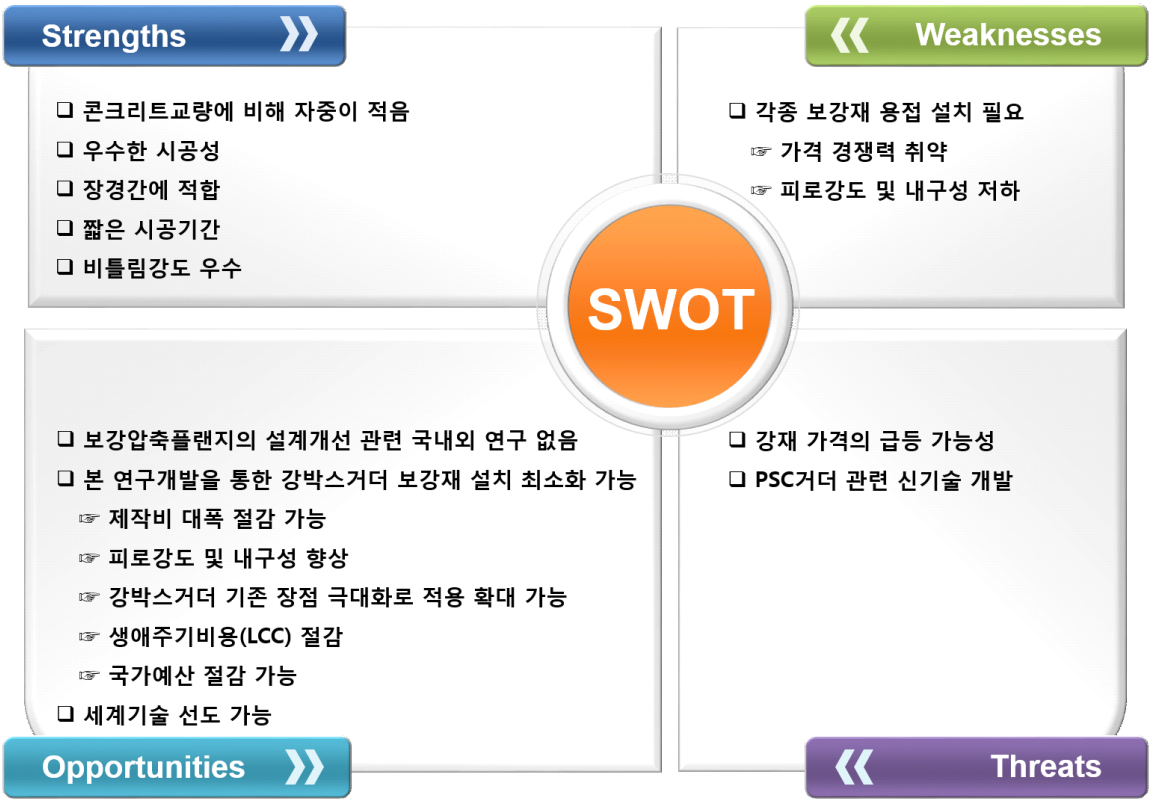
미국에서 강박스거더의 선호도가 매우 낮은 이유는 지나치게 강성이 큰 종방향보강재를 설치로 인한 가격 경쟁력이 취약 때문인 것으로 판단되며, 본 연구개발을 통하여 가격 경쟁력을 높인다면 기술수출이 가능할 것으로 보인다.

다. 일본

일본의 경우 강박스거더 설계방법이 국내와 동일하여 강박스거더 교량의 현황이 국내와 유사하게 나타난다.

제6절 종합결론

1. SWOT 분석



2. 본 연구과제의 우수성

SWOT 분석을 통해 나타난 본 연구개발과제의 우수성을 <창의성 및 발전 가능성>, <연구목표의 기술적 난이도 및 도전성> 및 <기초연구 및 원천기술 개발의 시의성 및 시급성> 측면에서 보면 다음과 같다.

가. 창의성 및 발전가능성

강박스거더의 압축플랜지에 보강재(종방향 및 횡방향 보강재)가 필요 없는 파형강판을 적용하는 연구는 아직 전 세계적으로 시도된 적이 없는 창의성이 매우 높은 연구이다. 보강판이 많이 사용되는 선박 및 항공기 구조물에도 파형강판의 적용 가능성이 매우 높을 것으로 판단되며, 본 연구 결과는 선박/항공기 구조물에도 확장 적용이 가능한 발전성이 매우 높은 기술이다.

나. 연구목표의 기술적 난이도 및 도전성

압축플랜지의 폭, 소요 두께 및 강재별 최적 파형형상을 도출하는 기술은 파형강판의 국부좌굴강도(local buckling strength)의 평가와 비용 최적화(cost minimization)문제가 상호 연관된 난이도가 높은 기술이며, 본 연구의 수행으로 제작비를 20% 정도 대폭 절감이 가능하므로 도전할 만한 가치가 매우 높음 연구이다.

파형강판을 강상자형 압축플랜지에 적용하기 위해 반드시 필요한 (1) 파형강판과 평판의 효율적 연결기술 및 (2) 형상이 서로 다른 파형강판의 연결기술은 현장 연결의 용이성 및 피로성능/내구성이 담보되어야 하는 난이도가 높은 기술이다.

다. 기초연구 및 원천기술 개발의 시의성 및 시급성

최근 교량이나 도로 등 국가 기반시설 관련 국가예산의 투자가 급격히 감소하고 있으며, 민간 투자에 의한 도로 및 교량 건설이 향후 많이 진행될 것으로 예상된다. 이와 같은 민간 투자의 활성화를 위해 교량 건설비용을 대폭 절감이 필요하다.

산악지형이 대부분인 북한의 도로/교량 건설 수요에 대비하여 통일비용을 절감할 수 있는 교량건설기술 개발 및 축적이 요구된다.

제3장 연구 수행 내용 및 성과

제1절 최적파형형식 개발

1. 서론

기존의 부모멘트구간에서 강박스거더의 압축플랜지는 전단 및 휨에 의한 국부좌굴에 취약하여 각종 보강재가 설치된다. 압축플랜지에 설치되는 보강재의 제작 및 용접 비용이 거더 제작비용의 약 30%를 차지하여 가격경쟁력이 취약하고 용접량이 증가하여 잔류응력이 발생하고 피로강도와 내구수명을 저하시킨다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 압축플랜지에 보강재를 대체하여 파형강판을 적용한 강박스거더에 구조시스템을 개발하는 것이 본 연구의 목적이다.

2. 유한요소해석 연구

가. Waved type

그림 13와 같이 판의 너비방향으로 대칭을 유지하며 제형으로 골이 1개 또는 2개가 설치된 파형강판 각각 Single-waved type과 Double-waved type이라 정의하고 이에 대한 유한요소해석을 통해 좌굴성능에 대해 연구를 수행하였다.

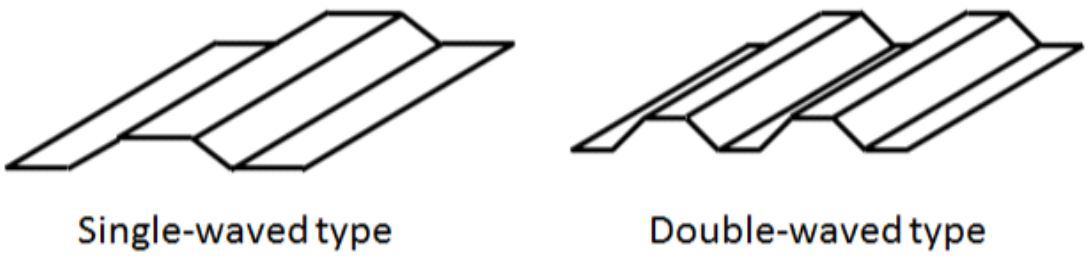


그림 13. waved 파형강판 형상

본 연구에서는 범용해석프로그램인 ADINA 9.1을 사용하여 선형탄성좌굴해석을 수행하였다. 각각 Single/Double-waved type의 해석모델 경계조건은 4변 단순지지조건으로 그림 14, 15과 표 1에서 나타내어진다. 해석에 사용된 판은 a=b=1500 mm의 폭과 길이를 가지며 탄성계수 E=200 Gpa, 프아송 비 ν =0.3의 재료로 모델링 하였다. 절곡각도와 판 폭/두께 비(b/t)를 매개변수로 하여 각각 0~70°, 100~300으로 변화시키며 두 가지 매개변수 이외에는 모두 동일한 조건으로 모델링하였다.

표 1. 해석모델 경계조건 (fixed: 0, free:1)

	u_x	u_y	u_z	θ_x	θ_x	θ_x
①	1	1	0	0	1	1
②	1	1	0	1	0	1
③	1	0	1	1	1	1
④	0	1	1	1	1	1

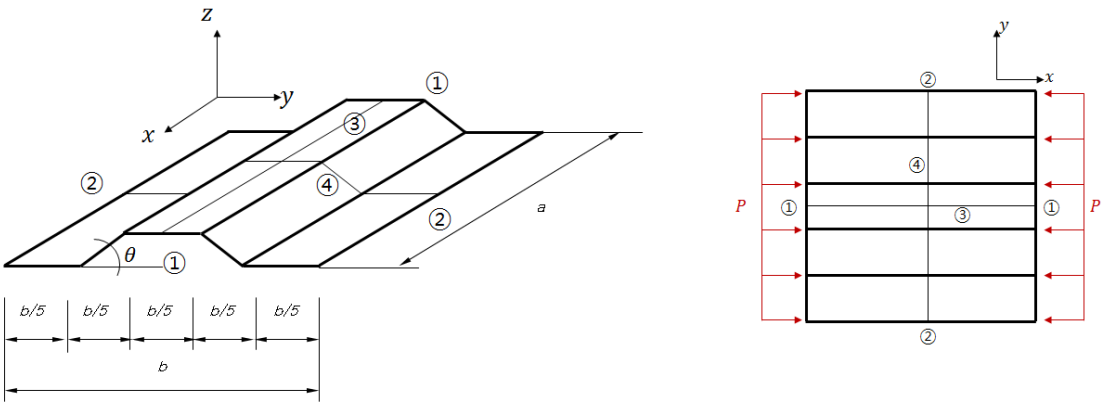


그림 14. Single-waved type의 해석모델 형상

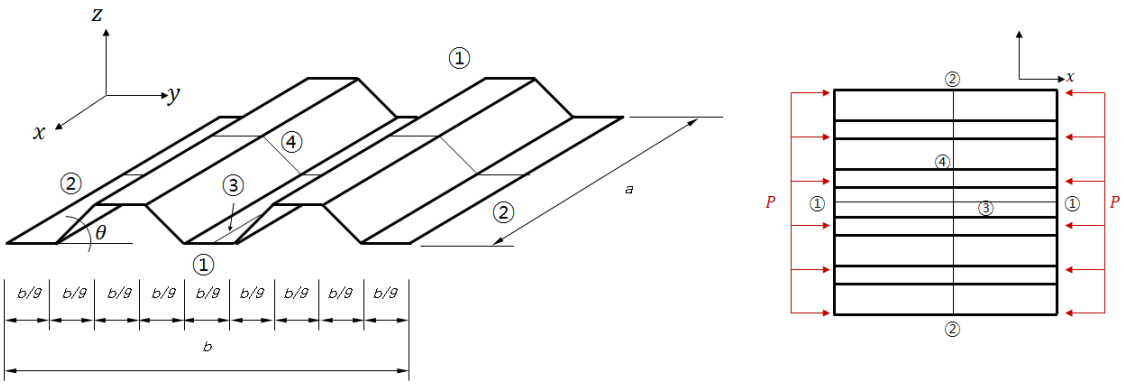
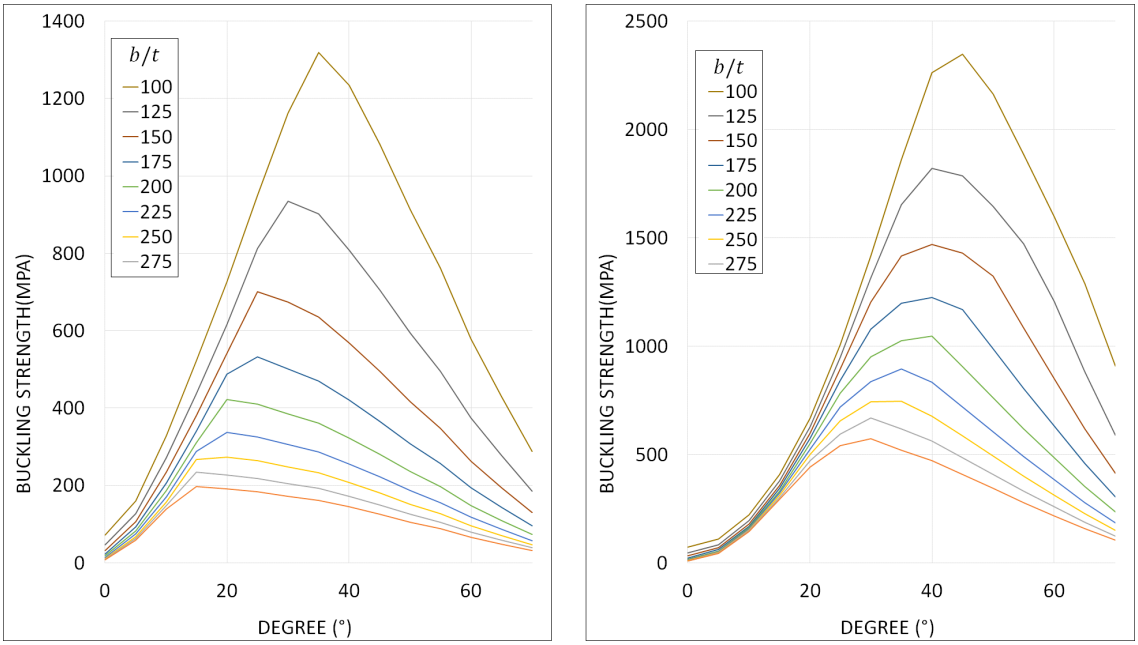


그림 15. Double-waved type의 해석모델 형상

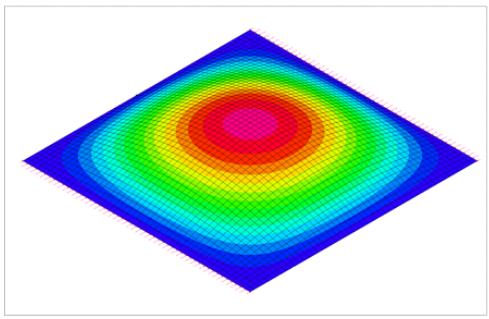


(a) Single-waved type (b) Double-waved type

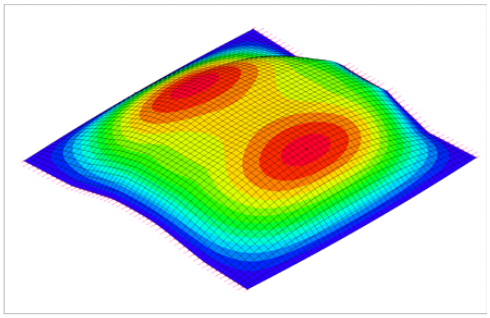
그림 16. 해석결과

그림 16은 좌굴해석 결과로 그림에서 보이는 것과 같이 절곡각도가 증가함에 따라 좌굴강도가 급격하게 증가를 함을 알 수 있다. 이를 통해 소요강도에 따른 판 폭/두께 비와 절곡각도를 선택하여 설계할 수 있을 것으로 판단된다.

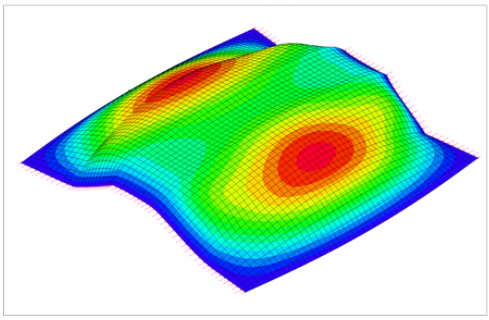
그러나 절곡각도가 증가함에 따라 급격히 증가하던 강도가 일정각도 이상으로 절곡하는 경우 오히려 좌굴강도가 감소하게 된다. 그림에서 가장 위쪽에 위치하는 판 폭/두께 비 100인 모델들의 강도가 감소하는 절곡 각도는 Single/Double-waved type이 각각 35° , 45° 이후이다. 이에 대한 검토를 위하여 판 폭/두께 비가 100이고 각각 절곡각도가 0, 15° , 30° , 45° 인 모델들에 대해 좌굴형상을 살펴보면 그림 17, 18과 같다. 그림에서 나타내어지는 것과 같이 Single-waved type의 경우 30° 의 절곡각도를 갖는 판까지는 전체좌굴이 발생하지만 35° 보다 큰 40° 의 절곡각도를 갖는 판의 경우 국부좌굴이 발생하며 Double-waved type의 경우 45° 인 모델까지 국부좌굴은 발생하지 않고 전체좌굴이 발생함을 알 수 있다.



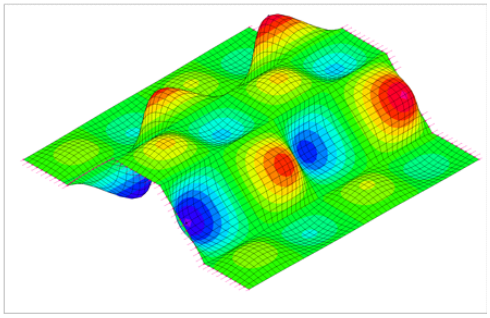
$b/t = 100, \theta = 0°$



$b/t = 100, \theta = 15°$

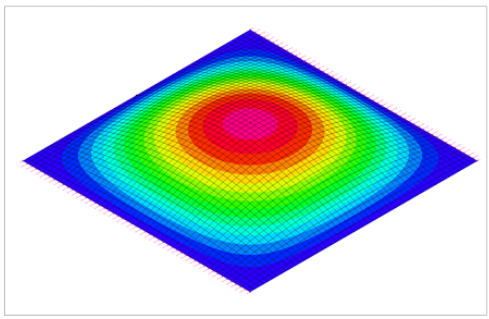


$b/t = 100, \theta = 30°$

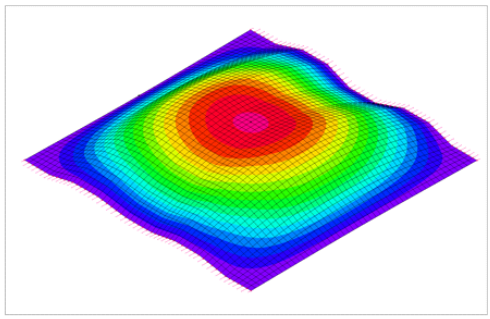


$b/t = 100, \theta = 45°$

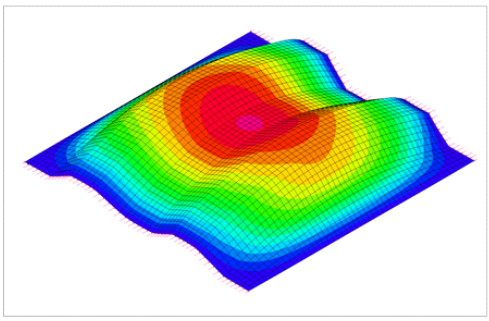
그림 17. Single-waved type의 좌굴형상



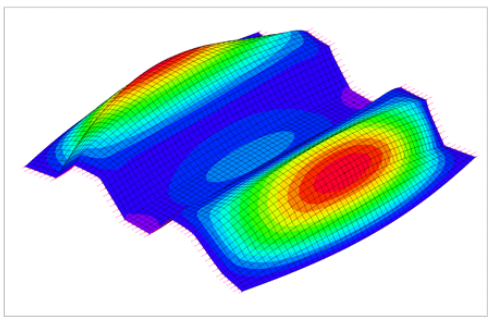
$b/t = 100, \theta = 0°$



$b/t = 100, \theta = 15°$



$b/t = 100, \theta = 30°$



$b/t = 100, \theta = 45°$

그림 18. Double-waved type의 좌굴형상

절곡각도가 증가함에도 불구하고 절곡각도가 일정이상인 경우 좌굴강도가 감소하는 현상은 본 연구에 사용된 해석 모델이 그림 14, 15과 같이 폭방향으로 일정한 제원을 갖도록 결정되었기 때문으로 판단된다. 각도가 증가함에 따라 경사지지 않은 판의 폭은 그대로이나, 경사진 판의 폭은 점점 길어지게 되어 서브패널의 국부좌굴강도가 감소하게 되어 전체적으로 국부좌굴이 지배하는 거동을 보이게 된다. 이를 그림으로 나타내면 그림 19에서 나타내어지는 것과 같이 전체좌굴강도는 강도 증가에 따라 증가를 하지만 절곡각도가 커질수록 경사진 판의 국부좌굴강도가 감소하여 결국에는 전체거동을 국부좌굴이 지배하게 되는 일정 각도 이상에서는 절곡각도가 증가할수록 좌굴성능이 감소하게 된다.

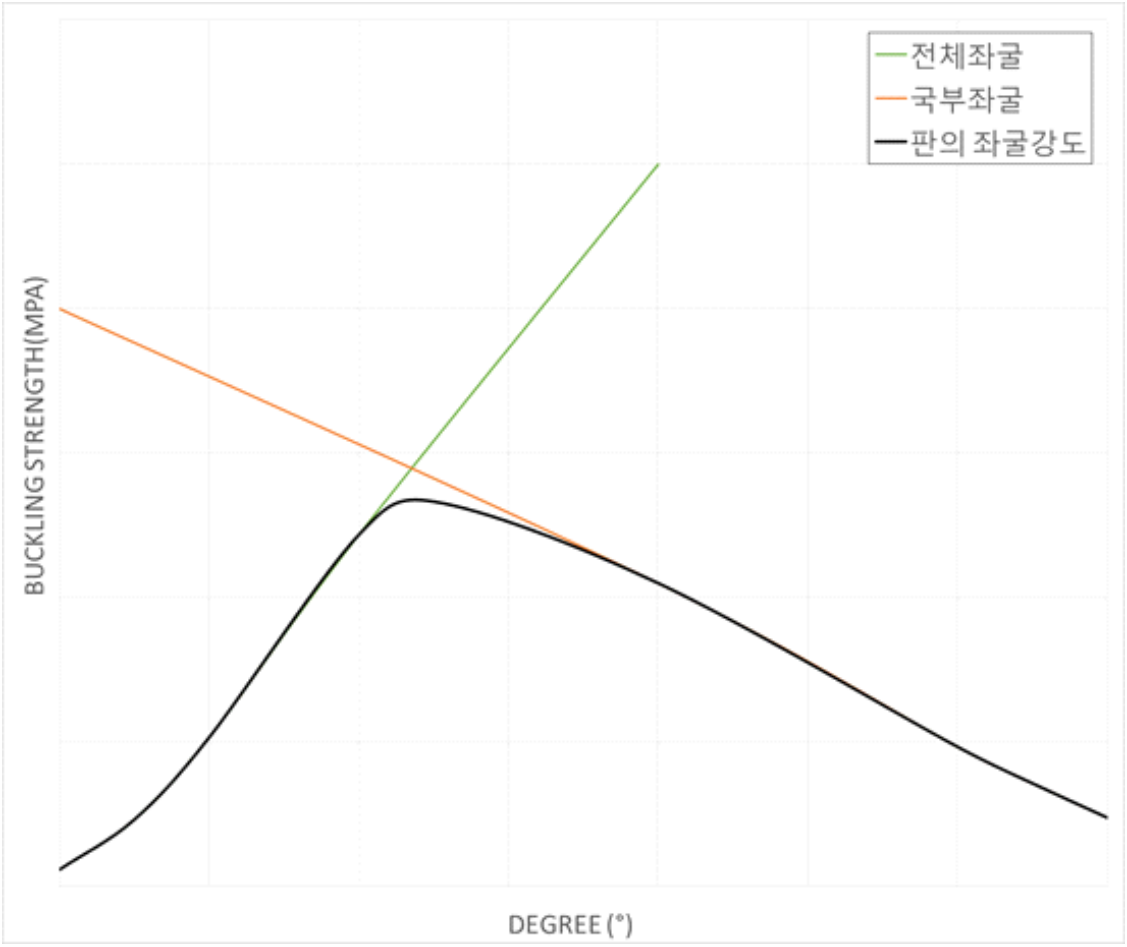


그림 19. 절곡각도와 좌굴강도 관계

절곡각도를 일정이상 증가시킬 때 오히려 좌굴성능이 감소하기는 하나 매우 작은 각도로 절곡하는 경우에도 판의 좌굴성능이 급격히 증가함을 확인하였으므로 본 연구의 목표인 보강재를 대체하여 파형강판을 사용하는 것이 타당하다고 판단된다.

나. 절곡 작업의 문제

구조적으로 좌굴성능을 증가시키는 것은 충분히 가능하다고 판단된 본 형상은 Single-waved type의 경우에는 절곡이 가능하나 Double-waved type의 경우 그림 20와 같은 단면을 갖는 절곡 기계 및 금형과의 간섭에 의해 두 개의 판을 절곡하여 연결하기 위해 맞대기 용접을 필요로 한다. 이로 인해 보강재를 대체하여 용접량을 줄이고 제작단가를 낮추기 위한 본 연구의 목적과 상이하게 맞대기 용접에 의한 문제점이 발생하게 되었다. 따라서 Single-waved type을 사용하는 경우가 아니라면 본 형상을 적용하기에는 적절하지 않다고 판단된다.

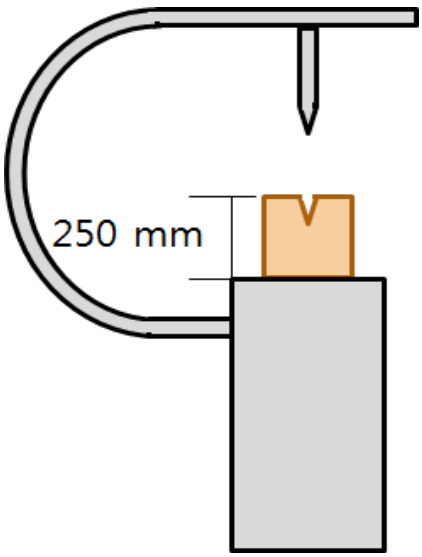


그림 20. 절곡기계 단면 형상

다. Bended type

앞에서 검토한 파형형상의 문제점을 극복하기 위해 그림 21과 같이 판의 형상을 변경하였다. 이와 같은 형상은 추가적인 용접과 절곡작업 시 판을 뒤집는 공정이 불필요하여 제작단가 및 제작기간을 감소시키는 이점을 갖는다.

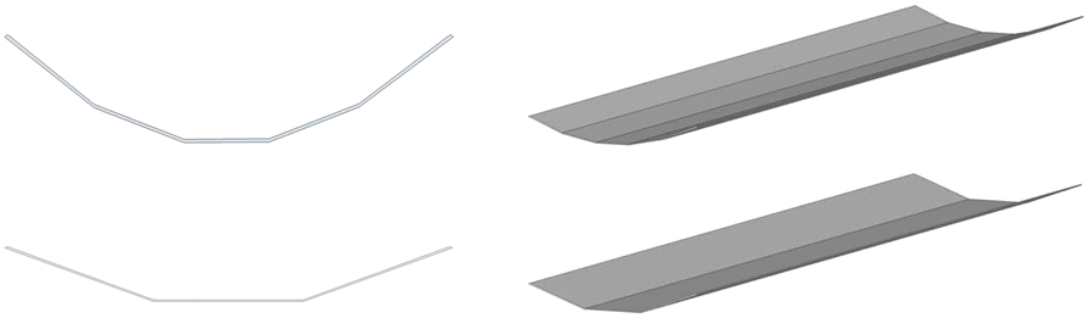


그림 21. Bended type 형상

Bended bended은 그림 22와 같은 형상을 가지며 각각 판의 절반을 기준으로 1, 2번 절곡되어 Single/Double-bended type이라고 명명하였다. 경계조건은 앞서 수행된 해석과 동일하게 4변 단순지지조건으로 하며 그림 23, 24과 표 2에서 나타내어진다. 해석모델의 제원은 폭이 2000 mm이고 탄성계수 E=200 Gpa, 프아송 비 ν=0.3의 재료로 모델링 하였다. 본 해석의 매개변수는 절곡각도 판 두께 및 판의 형상비(a/b)이며 각각 0~70° , 12~20 mm, 1~6으로 변화시키며 모델링 하였다. 실제 거더의 압축플랜지로 설계 시 1이상의 형상비를 갖는 긴 판의 형태로 사용되기 때문에 판의 길이가 길어져 형상비가 변화할 때의 거동 차이를 확인하기 위해 추가적으로 형상비를 1~6까지 변화시키며 해석하였다.

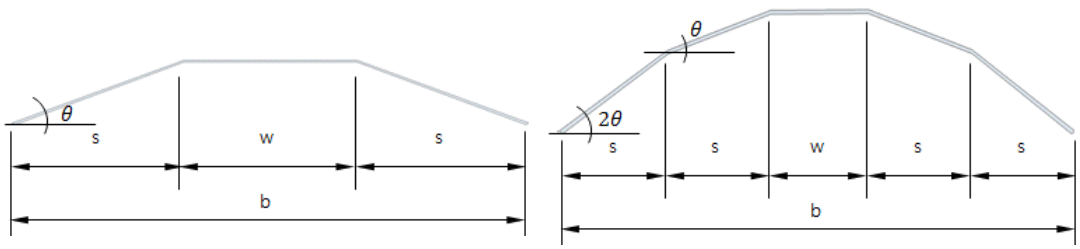


그림 22. Bended type 단면 형상

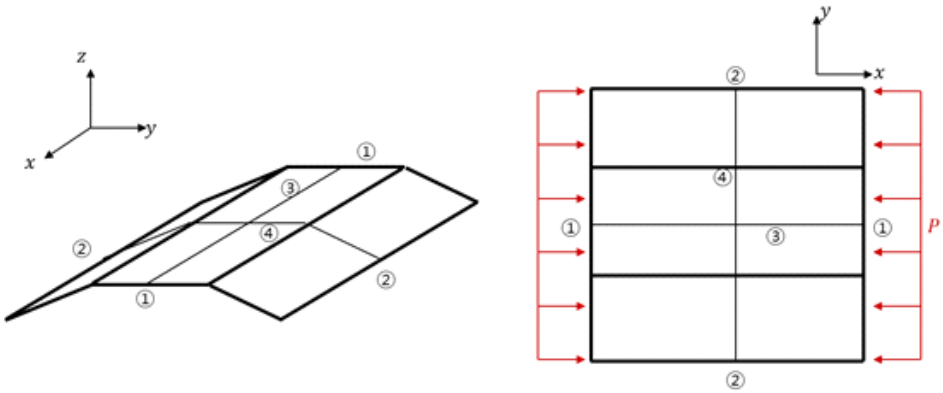


그림 23. Single-bended type 모델의 해석모델 형상

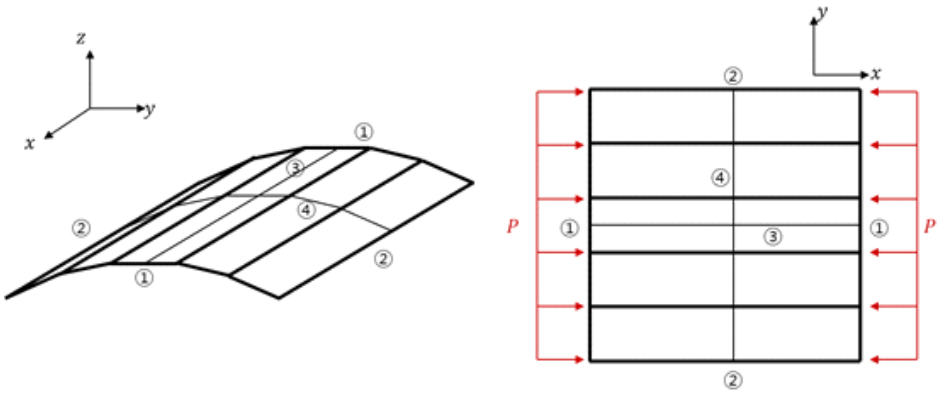


그림 24. Double-bended type 모델의 해석모델 형상

표 2. 해석모델 경계조건

	u_x	u_y	u_z	θ_x	θ_x	θ_x
①	1	1	0	0	1	1
②	1	1	0	1	0	1
③	1	0	1	1	1	1
④	0	1	1	1	1	1

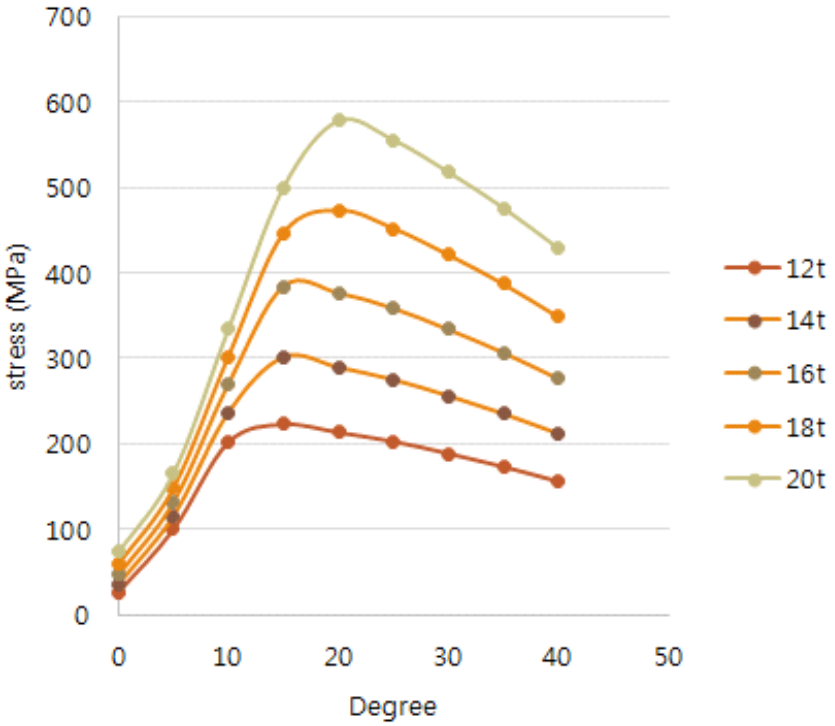


그림 25. Single-bended type, 형상비 1 해석결과

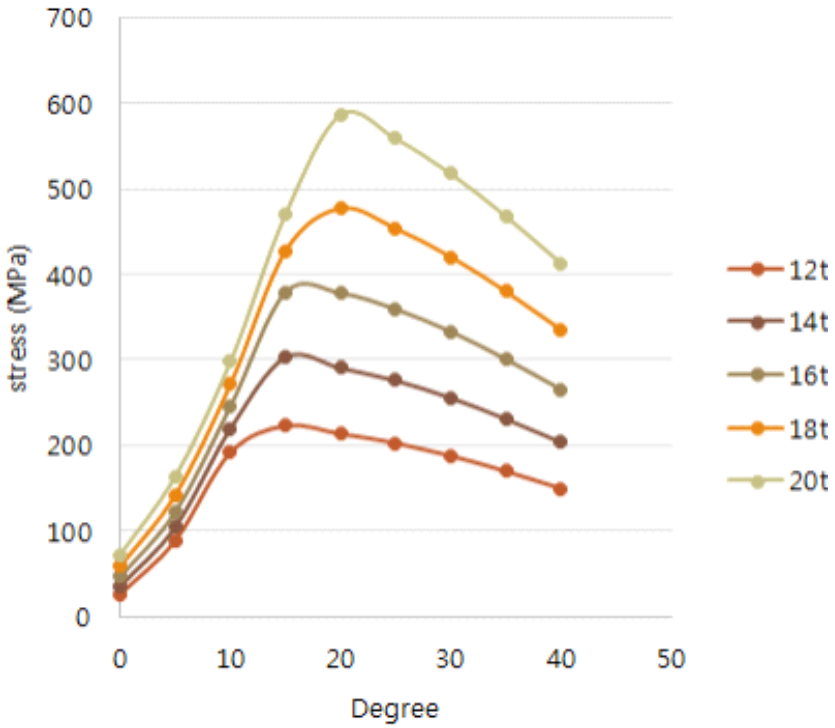


그림 26. Single-bended type, 형상비 2 해석결과

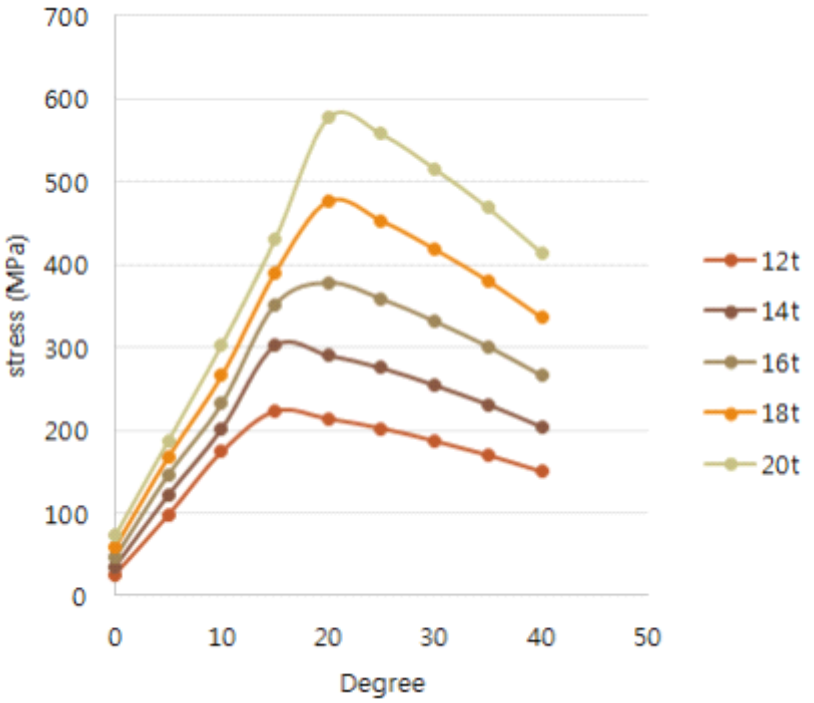


그림 27. Single-bended type, 형상비 3 해석결과

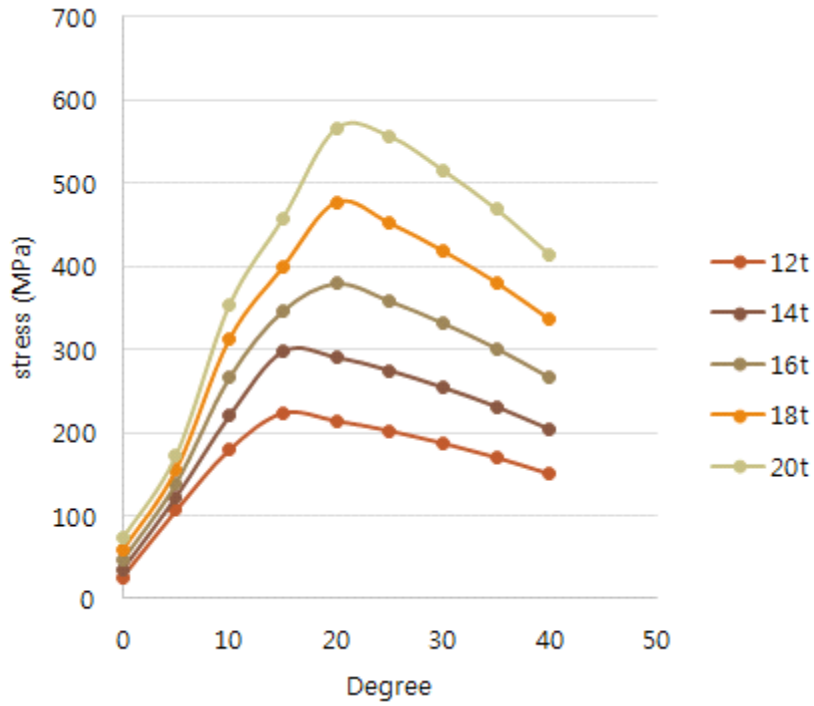


그림 28. Single-bended type, 형상비 4 해석결과

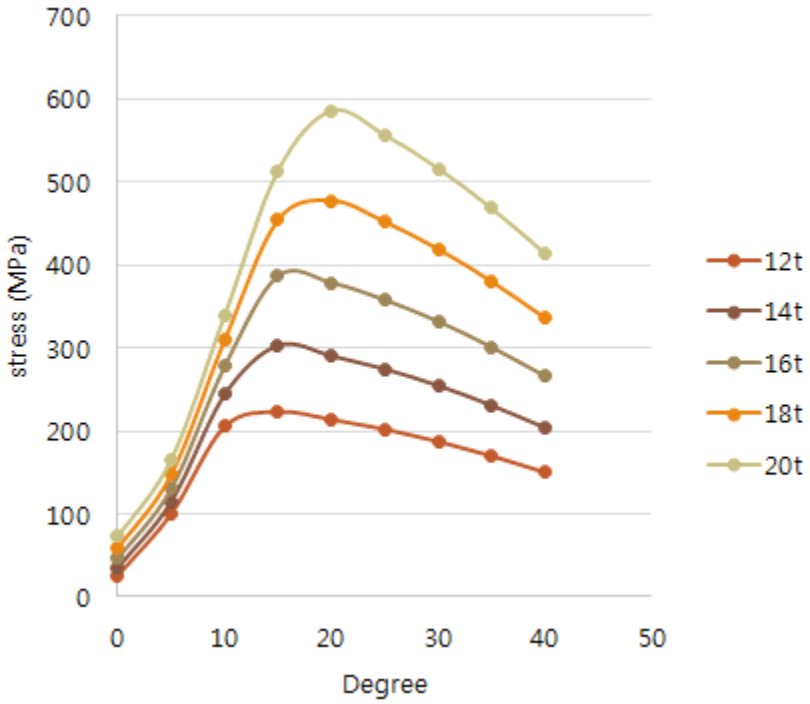


그림 29. Single-bended type, 형상비 5 해석결과

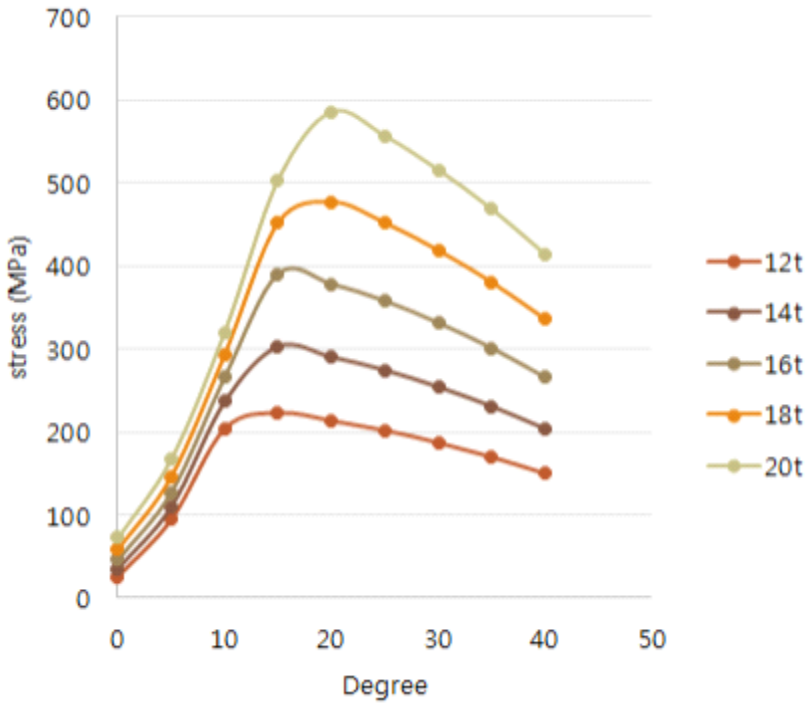


그림 30. Single-bended type, 형상비 6 해석결과

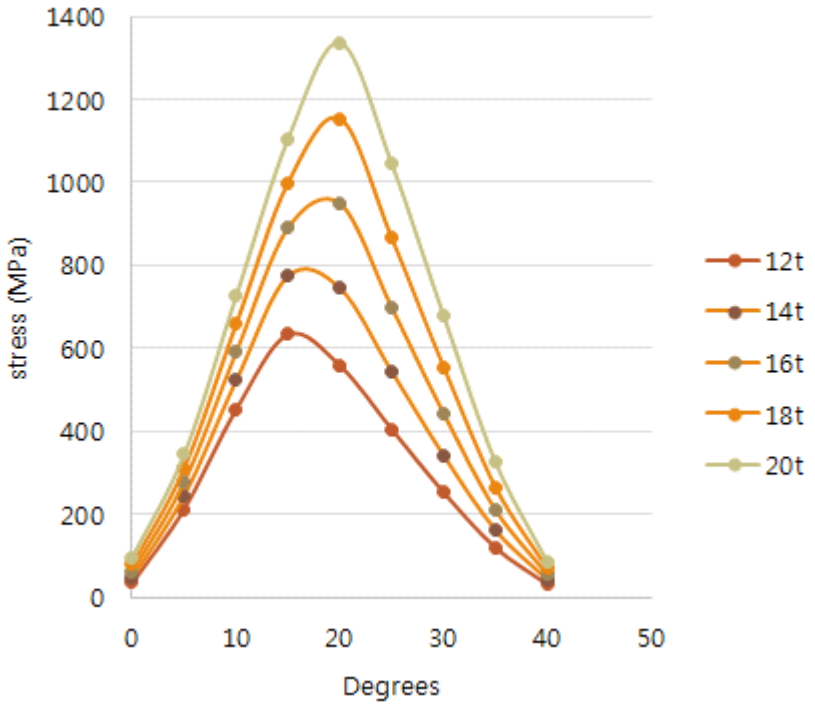


그림 31. Double-bended type, 형상비 1 해석결과

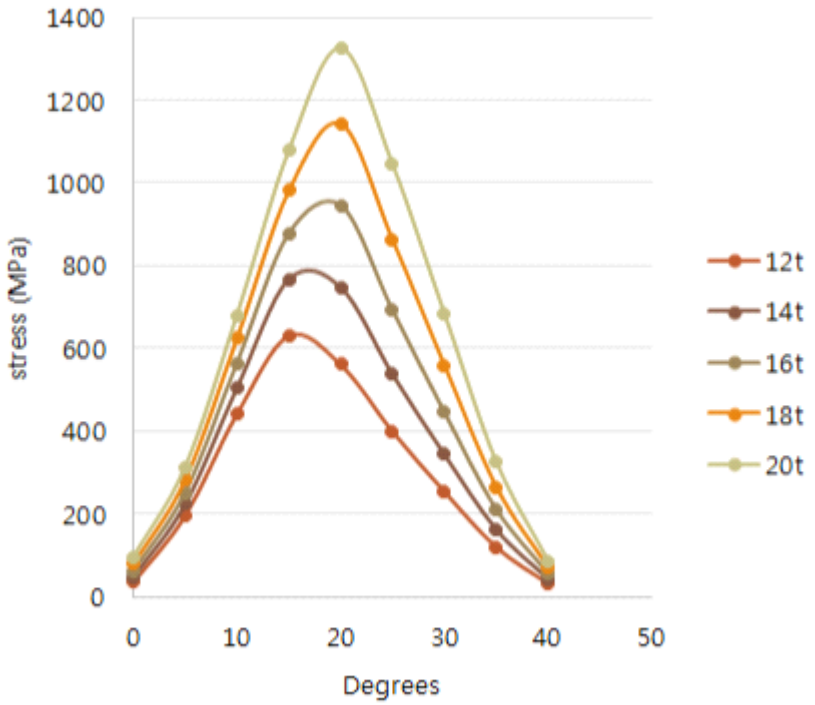


그림 32. Double-bended type, 형상비 2 해석결과

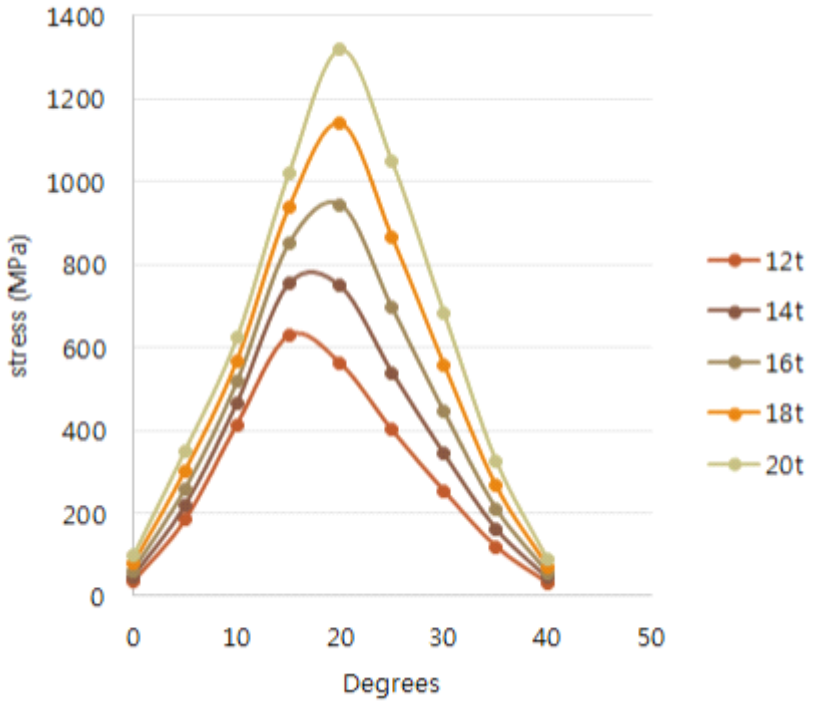


그림 33. Double-bended type, 형상비 3 해석결과

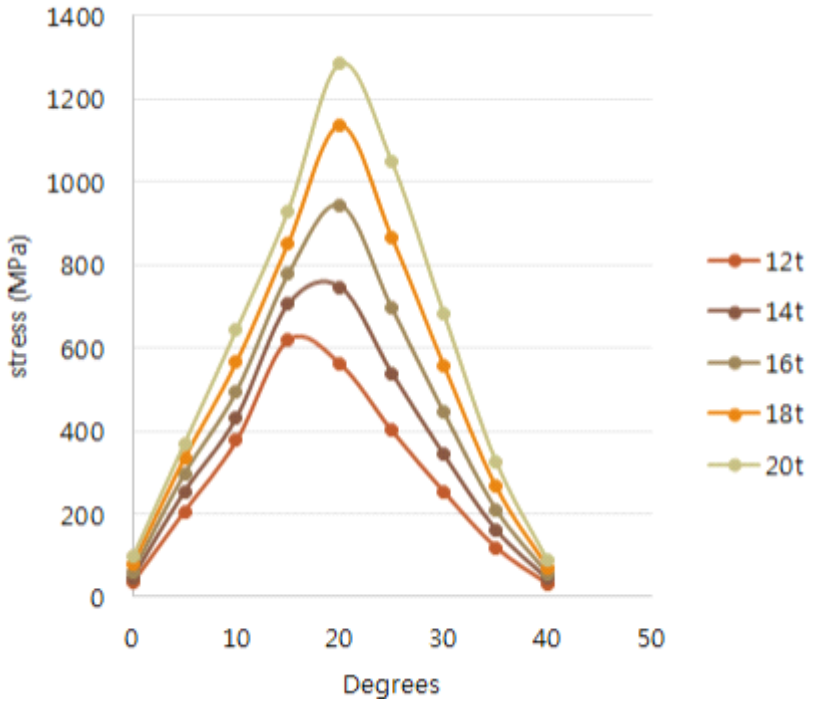


그림 34. Double-bended type, 형상비 4 해석결과

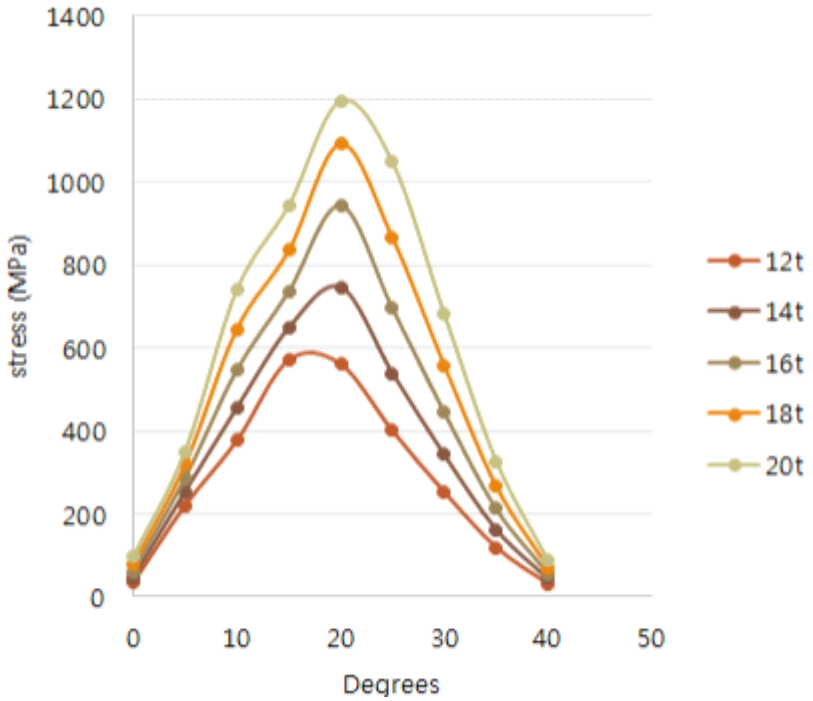


그림 35. Double-bended type, 형상비 5 해석결과

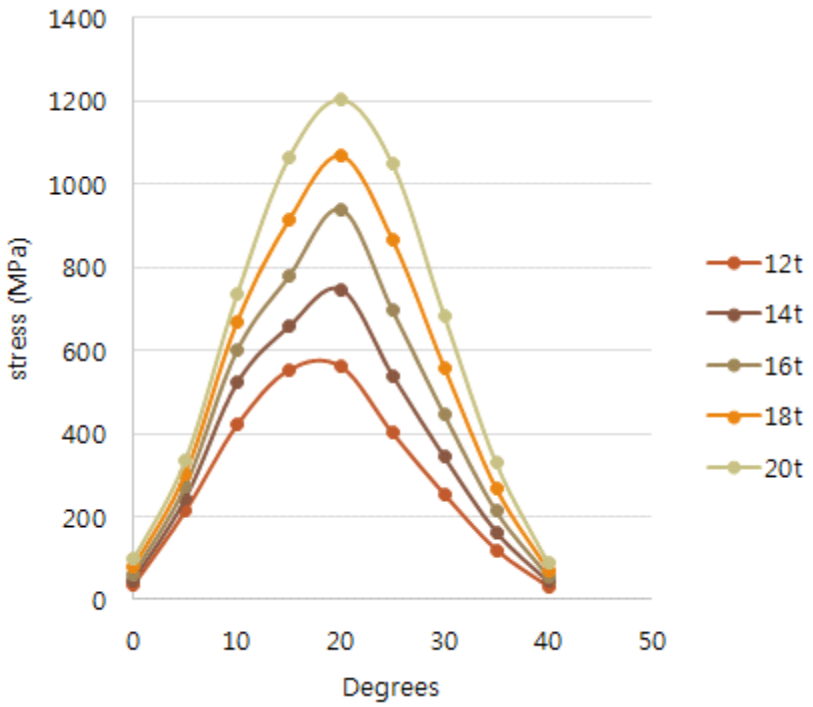


그림 36. Double-bended type, 형상비 6 해석결과

그림 25~30는 Single-bended type의 형상비에 따른 해석결과이고, 그림 31~36은 Double-bended type의 형상비에 따른 해석결과이다. 절곡각도의 증가에 따라 증가하던 좌굴강도는 일정각도 이상의 모델에서는 절곡각도가 증가할수록 좌굴강도가 감소하는 거동을 보여 앞서 수행된 골을 갖는 파형강판의 해석에서와 거의 유사한 형태를 갖는 결과를 나타났다. 이는 동일한 원인으로 판의 폭방향 길이가 고정되어있고 절곡각도가 증가하면 경사진 판의 폭이 점점 길어지게 되어 서브패널의 국부좌굴강도가 감소하게 되어 이와 같은 현상이 발생한 것으로 판단된다.

형상비에 따른 해석결과를 Single/Double-bended type의 형상별로 모아보면 각각 그림 37, 38과 같이 나타난다.

형상비의 변화는 좌굴각도와 판의 두께의 변화에 비해 판의 좌굴성능에 미치는 영향이 작음을 확인하였다.

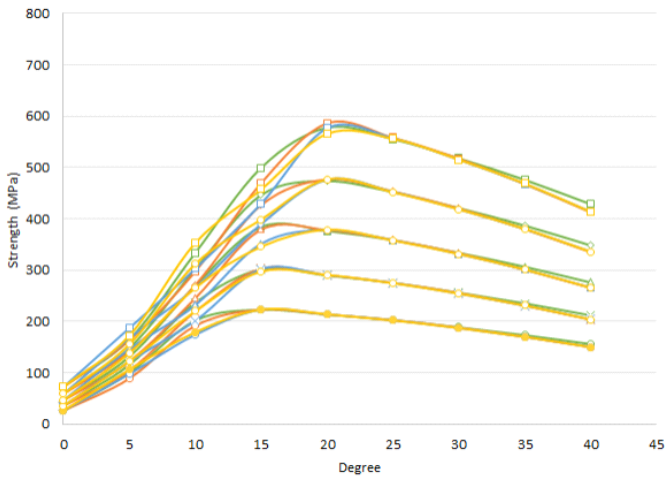


그림 37. Singel-bended type 해석결과 (형상비 1~6)

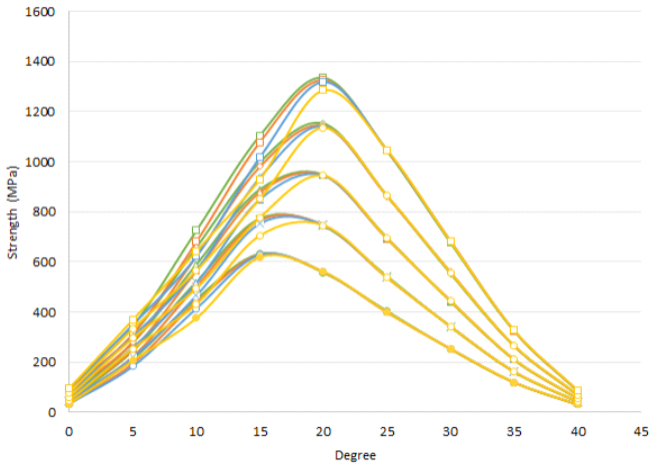


그림 38. Double-bended type 해석결과 (형상비 1~6)

라. 수정된 Bended type 유한요소해석

앞에서 절곡각도가 증가 시 경사진 판의 국부좌굴강도 감소로 인한 전체적인 판의 좌굴성능 감소를 막고, 절곡 작업의 편의성을 위해 그림 39, 40와 같이 평판을 Single-bended type은 3등분, Double-bended type은 5등분 한 형상을 갖는 파형강판 형상을 수정하였다.

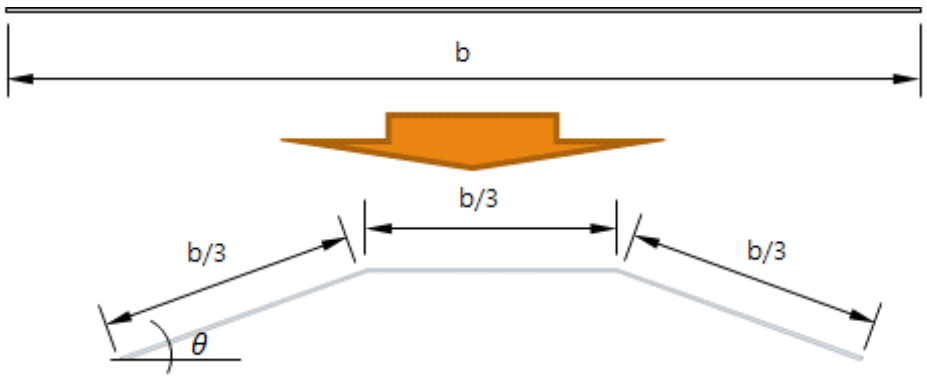


그림 39. 수정된 판의 형상 Single-bended type

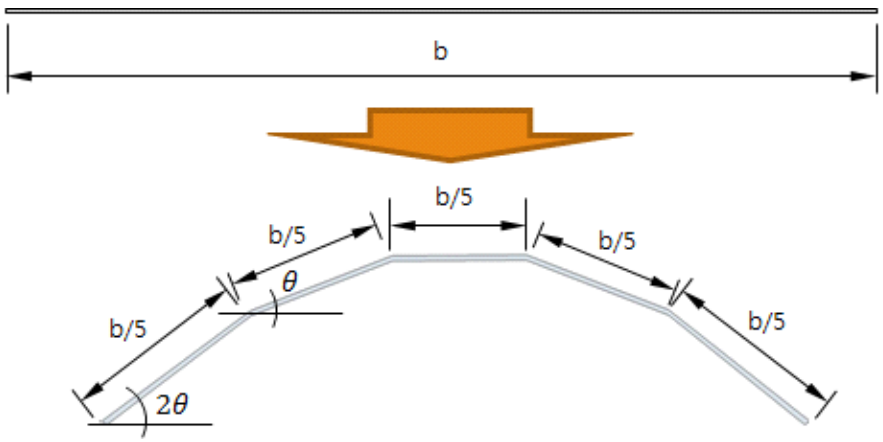


그림 40. 수정된 판의 형상 Double-bended type

앞에서 수행된 해석과 동일한 경계조건과 물성치를 이용하여 형상비 1인 판에 대해 판 폭/두께 비를 100~300까지 25씩 변화시키며 해석을 수행하였다. 그 결과는 그림 41과 42에서 각각 나타내어진다. 이번 해석결과에서는 일정각도 이상에서는 좌굴강도가 증가하지 않고 일정하게 유지가 되는 것을 알 수 있다. 이는 서브패널의 폭이 절곡각도와 무관하게 일정하게 유지가 되므로 서브패널의 국부좌굴강도가 일정하기 때문에 나타나는 현상이다. 판의 좌굴강도는 식 33과 같이

폭/두께 비의 제곱에 반비례하게 된다. 그러므로 서브패널의 국부좌굴강도는 Single-bended type은 평판 좌굴강도의 9배, Double-bended type은 25배를 갖게 된다. 이에 따라 절곡각도 증가에 따라 급격히 증가하던 Bended 파형강판의 좌굴강도는 각각 Single/Double-bended type의 전체좌굴강도가 각각 평판의 9배, 25배 이상이 되면 판의 거동을 서브패널의 국부좌굴이 지배하게 되어 절곡각도 증가와 무관하게 일정한 값을 나타애게 된다.

$$\sigma_{cr} = k\frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)(b/t)^2} \qquad \text{(식 1)}$$

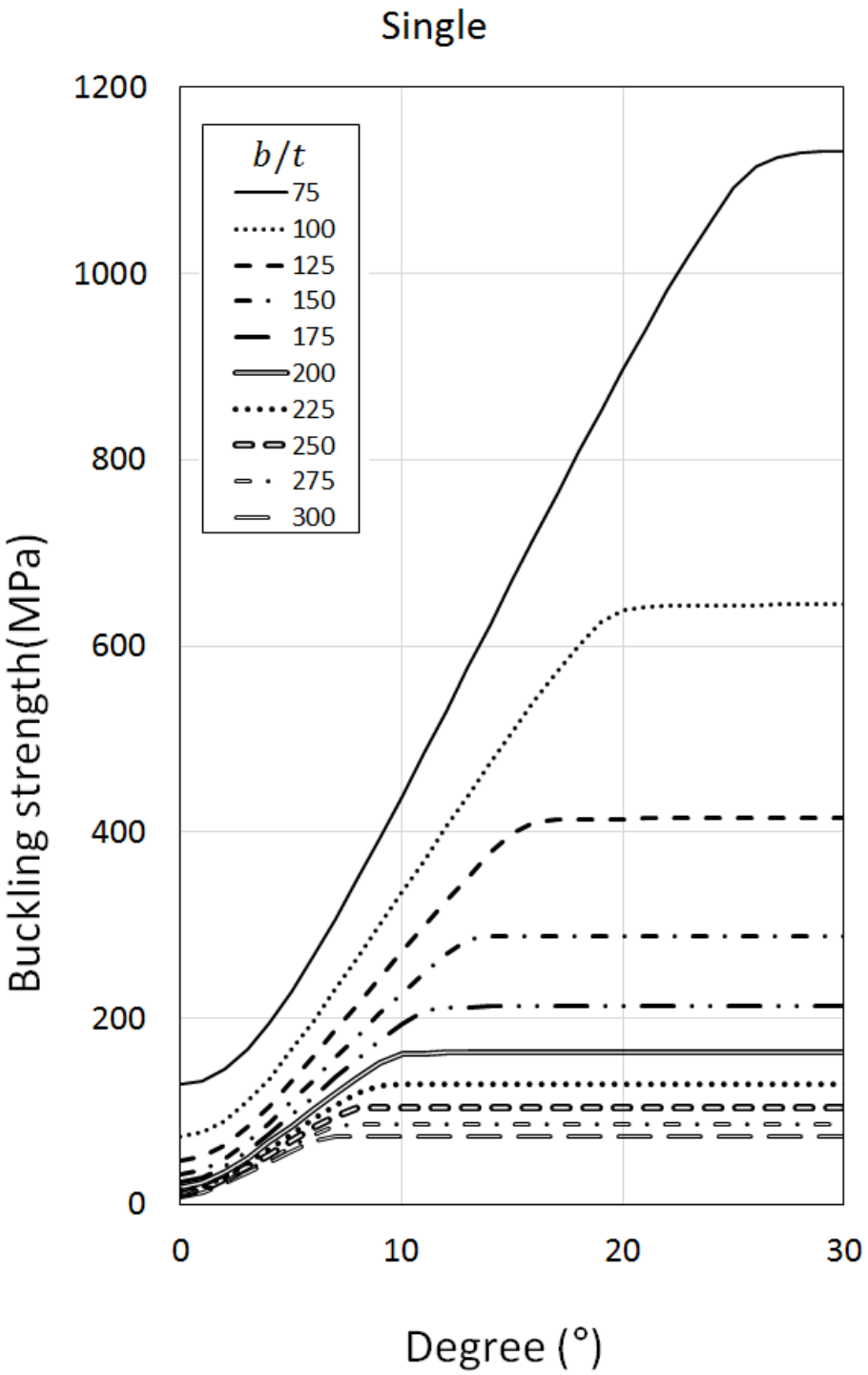


그림 41. Single-bended type 폭/두께 비 별 좌굴강도

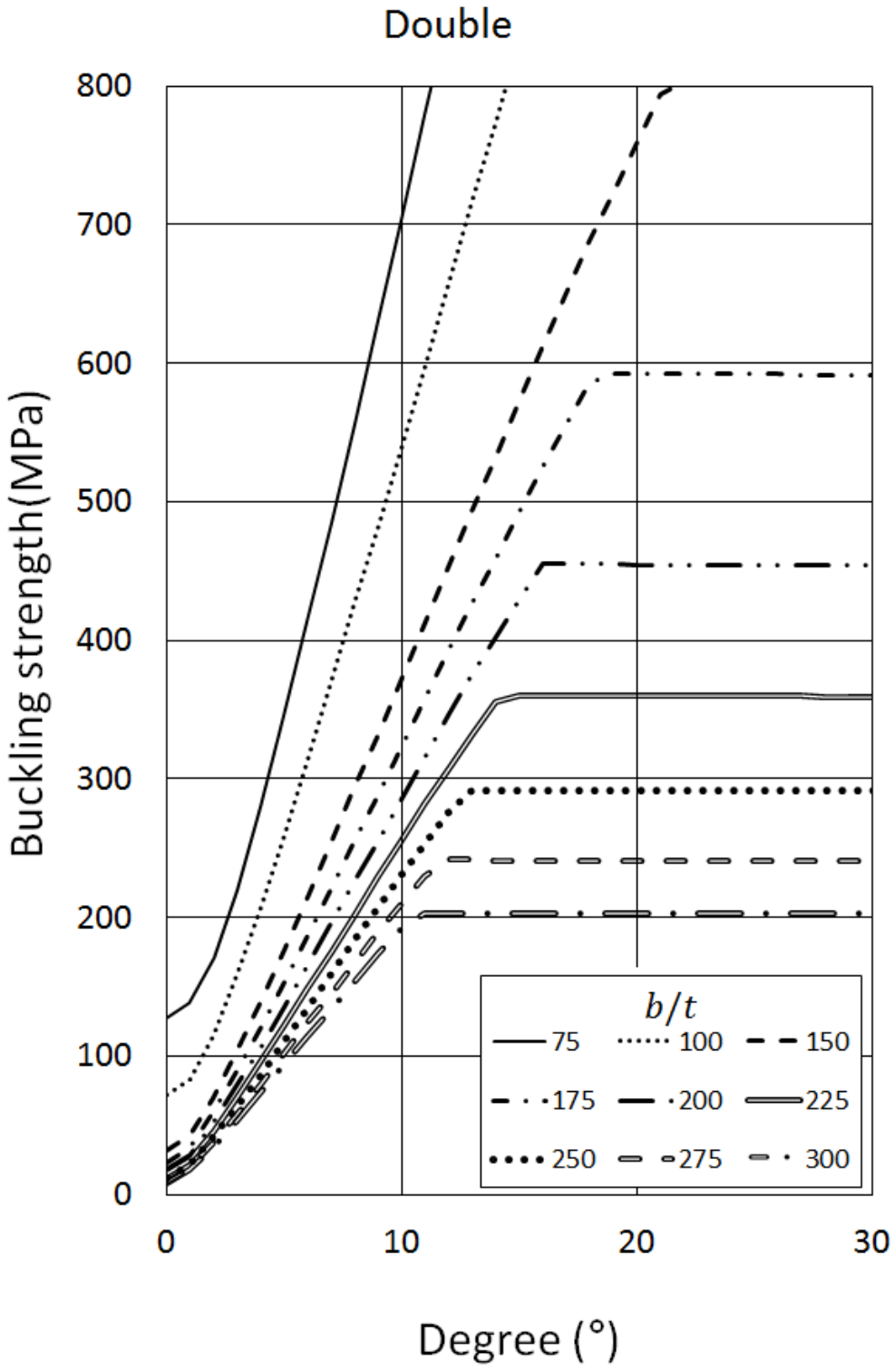


그림 42. Double-bended type 폭/두께 비 별 좌굴강도

본 해석의 결과인 그림 41과 42의 두 차트를 이용하여 추후 설계 시 압축플랜지의 폭과 강종이 선택된다면 항복강도 이상의 좌굴강도를 갖는 절곡각도와 폭/두께 비를 선택하여 설계에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

마. 플랜지의 절곡각도 평가식

앞에서 강판의 폭/두께 비(*b/t*)에 따라 절곡각도 증가와 비례해 좌굴강도가 증가하는 전체거동을 보이다가 일정각도 이상이 되면 서브패널의 국부좌굴 거동을 보임을 확인하였다. 그러므로 각각의 강판 폭/두께 비에 따라 최대 좌굴강도를 계산할 수 있다. 강판의 항복강도 F_y에 비해 절곡판의 좌굴강도가 크면 항복이 지배하는 거동을 보임에 따라 최소 좌굴강도는 항복강도보다 크도록 하는 최대 폭/두께 비에 식 (1)을 수정하면 Sinlge/Double-bended 판은 각각 식 (2), (3)과 같이 나타내어진다.

$$\frac{b}{t} < 5.44\sqrt{\frac{E}{F_y(1-\nu^2)}} \qquad \text{(식 2)}$$

$$\frac{b}{t} < 9.07\sqrt{\frac{E}{F_y(1-\nu^2)}} \qquad \text{(식 3)}$$

강재의 항복강도와 식 (2), (3)을 통해 결정된 최대 폭/두께 비에 따라 결정된 설계 폭/두께 비에 따라 최소 절곡각도는 Single/Double-bended type 각각 식 (4), (5)를 통해 계산되어진다.

$$\theta = (3.1\times10^{-3})F_y\left(\frac{b}{t}\right) \qquad \text{(식 2)}$$

$$\theta = (1.9\times10^{-3})F_y\left(\frac{b}{t}\right) \qquad \text{(식 3)}$$

앞의 유한요소 좌굴해석 결과 구해진 폭/두께 비 및 절곡각도에 따른 좌굴강도 차트와 여기서 주어진 평가식에 의해 구해진 결과를 함께 나타내면 그림 43, 44과 같다. 절곡각도 평가식은 서브패널의 국부좌굴 거동이 전체 거동을 지배하는 각도를 기준으로 구해졌기 때문에 절곡각도에 따른 좌굴강도 평가 시 다소 보수적인 값을 갖으나 안전한 설계를 위해 타당한다고 판단된다.

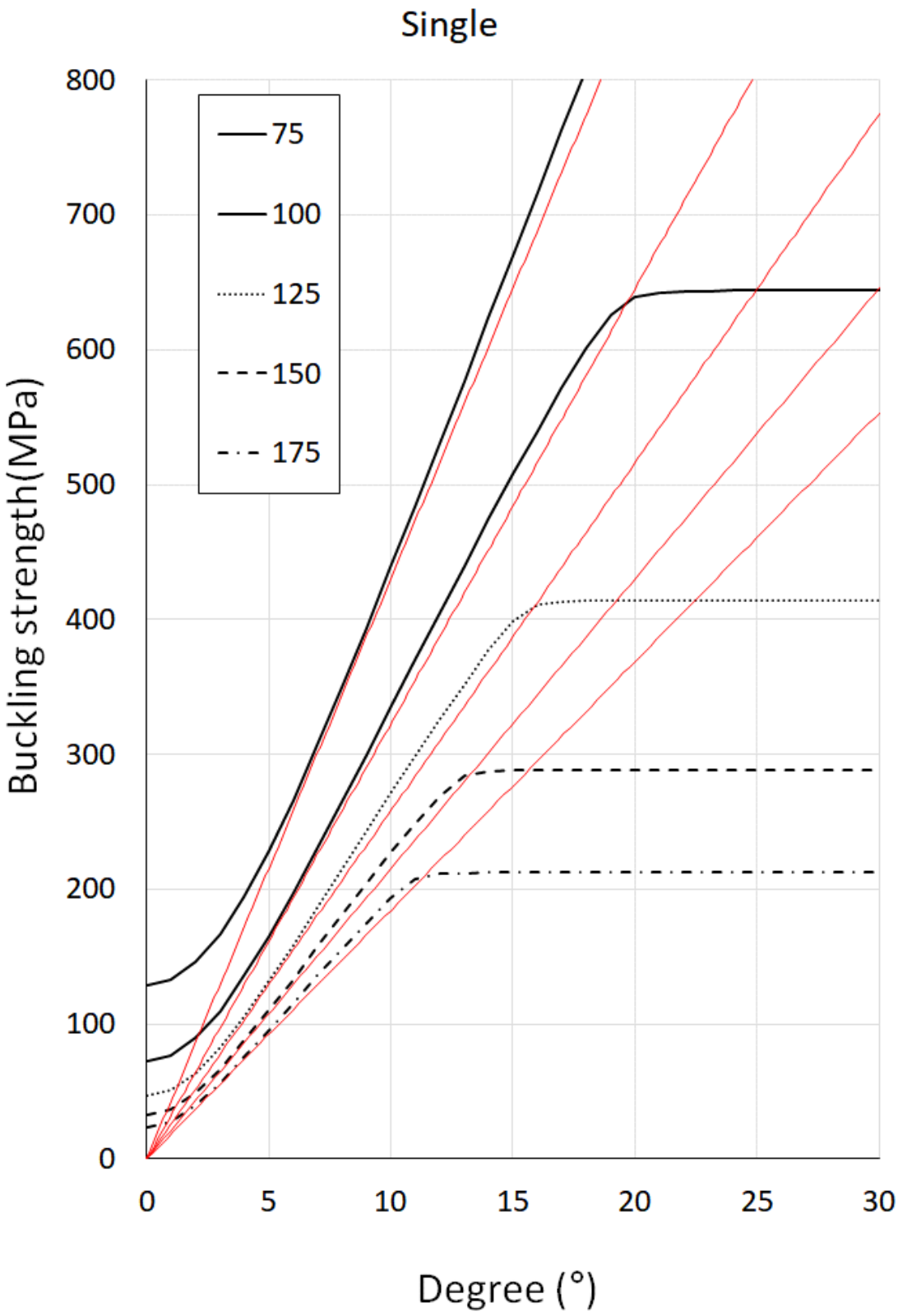


그림 43. 해석결과 vs. 평가식 (Single-bended type)

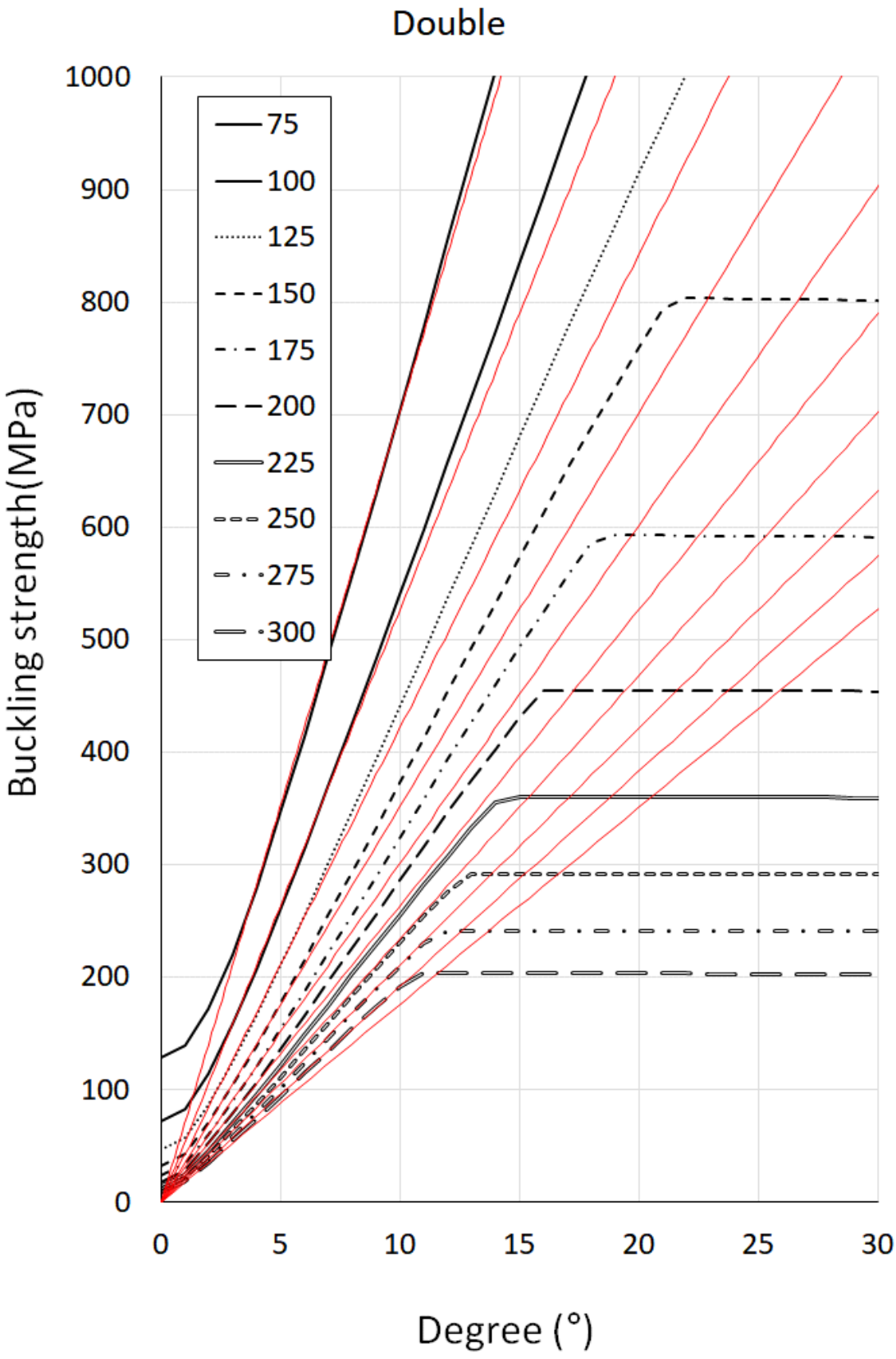


그림 44. 해석결과 vs. 평가식 (Double-bended type)

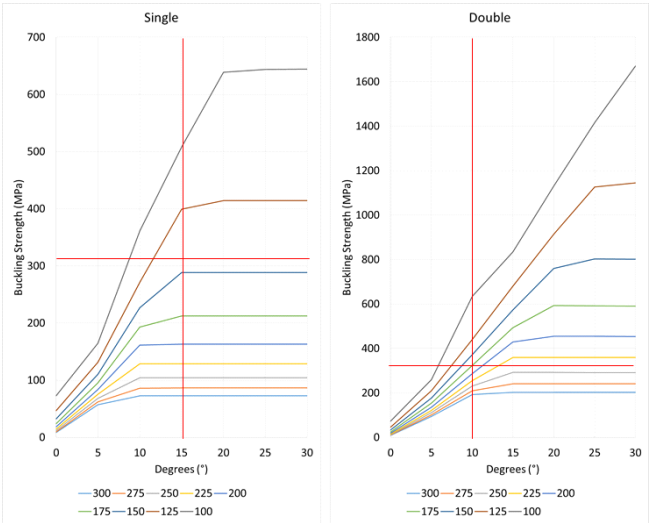
3. 실험연구

가. 시험체 설계

(1) 압축플랜지

? ?에서 개발된 Bended type의 압축플랜지가 적용된 강박스거더에 대한 실험을 수행하였다. Bended type과 플랜지의 형상비(판의 길이/폭)에 따른 거동을 검토하기 위해 Single-bended type의 형상비가 1인 거더(S-1), 형상비가 3인 거더(S-3), Double-bended type의 형상비가 1인 거더 (D-1), 형상비가 3인 거더(D-3)로총 4개의 실험체를 제작하여 실험하였다. 압축플랜지의 폭은 Single/Double-bended 각각 900 mm, 1200 mm로 하였으며 S-1, S-3, D-1 및 D-3는 각각 900, 1800, 1200, 3600 mm의 판의 길이를 갖게 된다.

실험체 제작에 사용된 강종은 SM490 강재를 적용하였는데 도로교설계기준에는 SM490 강재의 최소항복강도를 두께 40mm 이하인 경우 315 MPa 규정한다. 이에 따라 I장에서 판의 유한요소해석을 통해 도출된 판 폭/두께 비와 절곡각도에 대한 좌굴강도 차트 그림 41과 42에서 강재의 항복강도이상의 좌굴강도를 갖는 절곡각도와 판 폭/두께 비를 그림 45과 같이 선택할 수 있다. 강재의 최소항복강도가 315 MPa 이므로 그림에서 수평선 이상의 절곡각도와 판 폭/두께비를 선택하면 되나 보통의 경우 강재의 최소항복강도보다는 더 큰 항복강도를 가지므로 여유치를 두어 Single-bended 및 Double-bended type 모두 판 폭/두께 비는 100으로 하여 각각 판의 두께가 9 mm, 12 mm이고, 절곡각도는 각각 15°, 20° 로 결정하였다.



(a) Single-bended b) Double-bended

그림 45. 절곡각도 및 판 폭/두께 비 선택

(2) 복부판

복부판의 경우 강박스거더에 대한 본 실험에서 결과에 미치는 영향이 미미하므로 두께는 압축플랜지와 동일하게 맞추었고 Single/Double-bended 모델 각각 복부판의 높이를 900 mm, 1000 mm로 하였다. 이를 AASHTO 설계기준으로 검토하면 아래와 같다.

6.11.2.1.3-Webs with Longitudinal Stiffeners

Single-bended

$$D/t_w = 100 < 300$$

Double-bended

$$D/t_w = 83.3 < 300$$

여기에서 복부판에 종방향 보강재를 필요로 하는데 종방향 보강재의 위치는 압축플랜지 위치로부터 복부판 높이의 20% 만큼 떨어진 지점에 배치하는 것이 일반적이다. 보통의 강박스거더의 중립축은 복부판 중앙 높이에 위치하도록 설계되기 때문에 이와 같이 배치하게 된다. 그러나 본 연구에서는 압축플랜지에서의 파괴를 유도하기 위해 중립축을 임의적으로 인장플랜지 쪽으로 가깝게 설계되어 복부판 높이의 1/3 지점에 종방향 보강재가 위치하는 것이 이상적일 것으로 판단하여 이와 같이 설계하였다.

(3) 인장플랜지

본 실험은 강박스거더 압축플랜지의 거동에 대한 연구이므로 압축플랜지의 파괴 이전에 인장플랜지의 파괴가 발생하지 않도록 강박스거더 단면의 중립축을 인장플랜지 쪽으로 위치시키기 위해 충분한 단면을 갖도록 Single/Double-bended 각각 인장플랜지 폭 300 mm, 400 mm으로 인장플랜지 두께 20 mm, 25 mm로 하였다.

AASHTO 설계기준으로 인장플랜지의 제원을 검토하면 다음과 같이 설계기준을 만족함을 확인할 수 있다.

6.11.2.2-Flange Proportions

Single-bended

$$b_{ft}/2t_{ft} = 7.5 < 12,\ b_{ft} = 300 \geq D/6 = 150,\ t_{ft} = 20 \geq 1.1t_w = 9.9$$

Double-bended

$$b_{ft}/2t_{ft} = 8 < 12,\ b_{ft} = 400 \geq D/6 = 166.67,\ t_{ft} = 25 \geq 1.1t_w = 13.2$$

(4) 전체 형상

본 실험에서 타겟으로 하는 압축플랜지의 파괴를 유도하는데 있어 압축플랜지에서 전단의 영향을 배제하고 순수한 휨모멘트만 작용할 수 있도록 4점 재하조건으로 설계되었다.

그림 46에서 보는 것과 같이 양단 단순지지조건으로 지지되고 동일한 크기의 하중을 2개소에 작용하여 하중점 사이의 구간에서 전단력이 없이 휨모멘트만 받을 수 있게 된다. 여기에서 하중점 사이의 길이가 앞절에서 언급한 압축플랜지의 길이로 각각 S-1, S-3, D-1, D-3 모델별 900 mm, 2700 mm, 1200 mm, 3600 mm이다. 하중점에서 지점까지의 거리 거더의 팔거리는 최대 모멘트를 결정하는 요소로서, 거더의 파괴시 하중의 크기를 결정짓는 중요한 요인으로서 이는 유한요소해석을 통해 적절한 극한하중에서 파괴될 수 있도록 적절히 결정하였고 Single/Double-bended type 각각 1800 mm, 3000 mm이었다. 여기까지 결정된 제원을 바탕으로 전체적인 형상을 보면 그림 47-50와 같다.

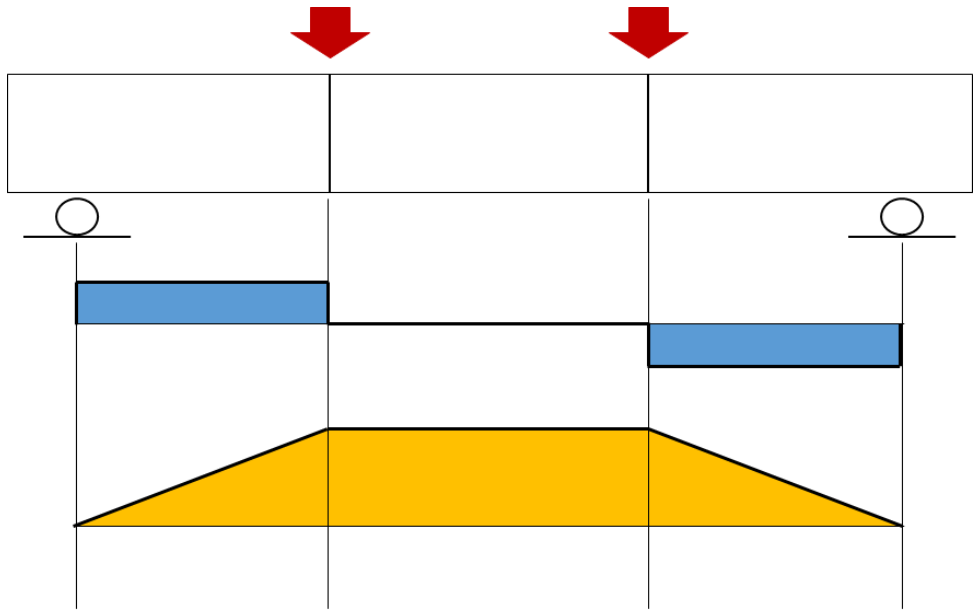


그림 46. 4점 재하 하중조건

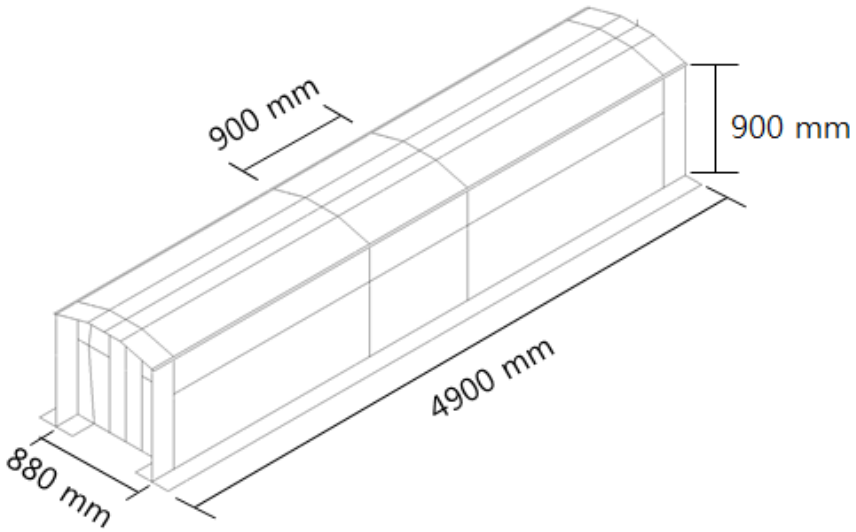


그림 47. S-1 형상

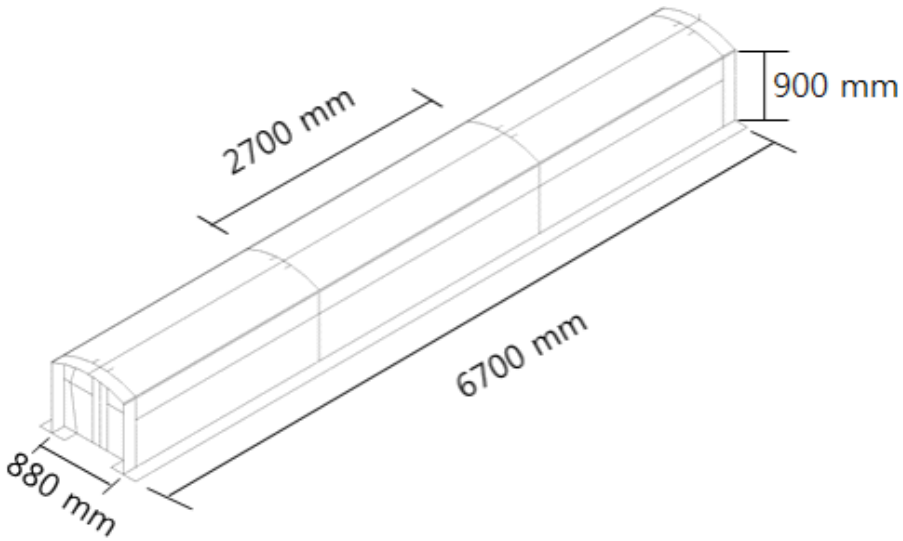


그림 48. S-3 형상

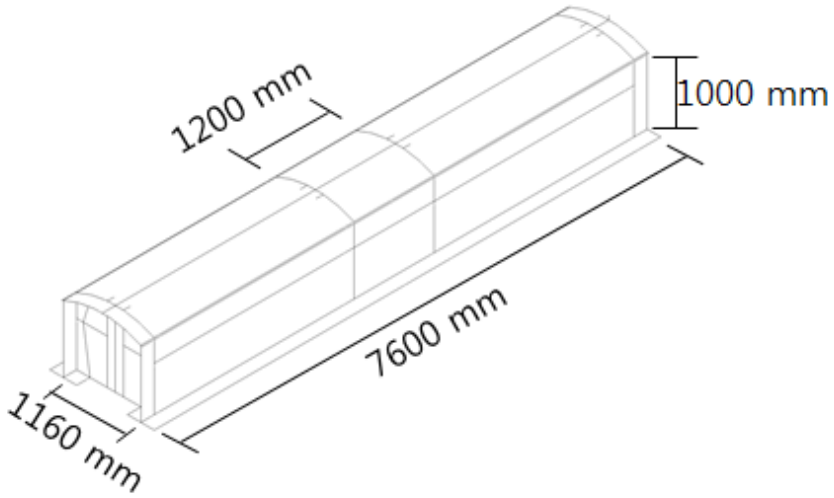


그림 49. D-1 형상

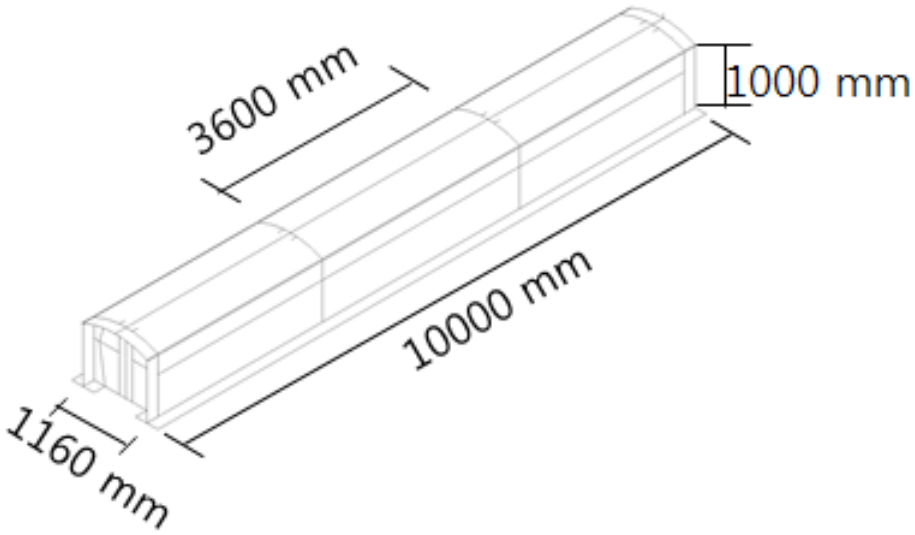


그림 50. D-3 형상

(5) 다이아프램

4점 재하되는 거더이므로 지점부 2개소와 가력부 2개소에 강박스단면 안쪽에 판형으로 배치하였으며 두께는 Single/Double-bended 각각 15 mm, 20 mm로 하여 하중/반력 집중부에서 박스 단면이 찌그러지는 현상을 방지하였다.

(6) 보강재 설계

복부판의 전단좌굴을 방지하기 위해 설치되는 수직보강재, 다이아프램의 좌굴을 방지하기 위해 설치되는 다이아프램 보강재, 지점부 하중분산을 위한 지점보강재의 설계는 그림 51-53와 같이 설계기준에 기준하여 이루어졌으며, S-1, S-3, D-1, D-3 네 실험체의 최종도면은 그림 54-59와 같이 결정 되었다.

(7) 가력부

4점 하중을 가력하기 위해 하중재하점이 2 개소이기 때문에 당초 계획상 실험은 실험용 유압잭으로 변형을 무시할 수 있을 정도로 강도가 큰 지그를 설치하여 거더 위에 얹어두고 가력하는 방식을 선택하였다. 그러나 이 경우 S-1, D-1 모델의 경우 가력부 간격이 0.9 m, 1.2 m로 큰 무리가 없었으나 S-3, D-3의 경우 가력부 간격이 넓어 거더 위에 얹은 지그가 전도되는 상황이 우려되어 그림 58, 59과 같이 가력부에 받침을 제작하여 설치하였다.

복부판 보강재 설계

◎ 검토단면 S-1

1) 수직보강재의 설계 (SM400 사용)

- 수평보강재 사용 단수 : n = 1
- 사용 수직보강재의 폭 : b_{vs} = 120 mm
- 사용 수직보강재의 두께 : t_{vs} = 12 mm
- 수직보강재의 간격 : a = 800 mm
- 상하 양플랜지의 순간격 : b = 887 mm
- 복부판의 두께 : t = 9 mm

① 수직보강재의 간격검토 : (☞ 도.설 3.8.5.1)

a / b = 800 / 887 = 0.902 ≤ 3.0 O.K

② 수직보강재의 강도검토 : (☞ 도.설 3.8.5.2)

$\gamma = 8.0(b/a)^2 = 8.0\ (887/800)^2 = 9.835$

$I_{(req)} = \frac{bt^3}{10.92}\gamma = (\ 887 \times 9^3 / 10.92\ ) \times 9.835 = 582,375\ mm^4$

$I_{(used)} = \frac{1}{3} \times 12 \times 120^3$

$= 6,912,000\ mm^4 > I_{(req)}$ O.K

③ 수직보강재의 최소폭 검토 :

b_{min} = 887/30 + 50 = 79.6 mm < b_{vs} = 120.0 mm O.K

④ 수직보강재의 최소두께 검토 :

t_{min} = 120 / 13 = 9.2 mm < t_{vs} = 12.0 mm O.K

2) 수평보강재의 설계 (SM490 사용)

- 수직보강재의 간격 : a = 800 mm
- 상하 양플랜지의 순간격 : b = 887 mm
- 사용 수평보강재의 폭 : b_{hs} = 90 mm
- 사용 수평보강재의 두께 : t_{hs} = 9 mm > tmin = b / 16 = 5.630 mm O.K

① 수평보강재의 강도검토 : (☞ 도.설 3.8.6.2)

$\gamma = 30.0 \times (a/b) = 30.0 \times (800/887) = 27.057$

$I_{(req)} = \frac{bt^3}{10.92}\gamma = (\ 887 \times 9^3 / 10.92\ ) \times 27.057 = 1.60E+06\ mm^4$

$I_{(used)} = \frac{1}{3} \times 9 \times 90^3 \times 1 = 2.19E+06\ mm^4 > I_{(req)}$ O.K

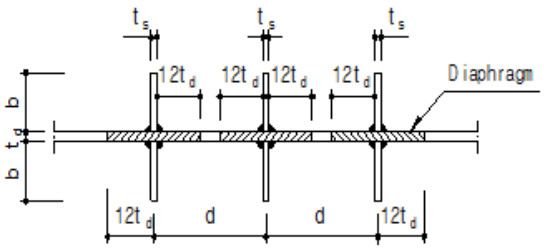
② 수평보강재의 설치위치 : (☞ 도.설 3.8.6.2)

압축측 플랜지로 부터 0.20b = 0.20 × 887 = 177.4 mm

그림 51. 보강재 설계시트(1)

하중재하점 보강재 설계

◎ 검토모델 : S-1



- 사용 강종 : SM490
- 최대지점반력 : R_{max} = 2308.500 kN
- 보강재의 폭 : b = 140.0 mm - 보강재 각도 : α = 90.0 °
- 보강재의 길이 : l = 992.0 mm - 계산 각도 : Θ = 0.0 °
- 보강재의 두께 : t_s = 15.0 mm > ts_{min} = b / 16 = 8.8 mm O.K
- 보강재의 설치간격 : d = 300.0 mm - 보강재의 사용열수 : n = 2 EA
- Diaphragm의 두께 : t_d = 15.0 mm

  d = 300.0 mm < $24t_d$ = 360.0 mm 이므로
- 단면유효폭: Be = 2 · 12td + 1 · d = 660.0 mm (☞ 도.설 3.8.7.2)
- 보강재의 단면적: As = 140 × 15 × 4 = 8400 mm^2
- 유효단면적: Ae = 660 × 15 + 8400 = 18300 mm^2 > 1.7As = 14280 mm^2

  따라서, 유효단면적 Ae = 14280 mm^2 (☞ 도.설 3.8.7.1)
- Diaphragm 중심선 둘레의 단면2차모멘트:

$$I = Be \cdot t_d^3 /12 + \{ t_s \cdot b/12 \times ((b \cdot \cos\Theta)^2 + (t_s \cdot \sin\Theta)^2) + t_s \times b \times (b/2 \cdot \cos\Theta + t_d/2)^2 \} \times 2 \cdot n$$

$$= 660 \times 15^3 / 12 + \{ 15 \times 140 / 12 \times ((140 \times \cos 0.000)^2 + (15 \times \sin 0.000)^2) + 15 \times 140 \times (140/2 \times \cos 0.000 + 15/2)^2 \} \times 4 = 64358125 \ mm^4$$

- 단면2차반경: $r = \sqrt{\frac{I}{Ae}} =$ 67.133 mm
- 유효좌굴길이: le = 1/2 · l = 496.0 mm

1) 허용축방향 압축응력 검토 (☞ 도.설 3.3.2.1)

: 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향 압축응력, fcag

le/r = 7.4 ⇒ le/r < 16 이므로,

⇒ fcag = 190.0 MPa

: 국부좌굴에 대한 허용응력, fcal

b/11.1 = (140) / 11.1 = 12.6 ⇒ b/11.1 ≤ t 이므로,

⇒ fcal = 190.0 MPa

: 국부좌굴을 고려 않은 허용축방향 압축응력 상한값, fcao

⇒ fcao = 190.0 MPa

: 허용축방향 압축응력, fca

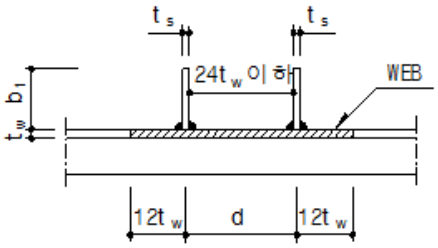
fca = fcag · fcal / fcao = 190.0 MPa fca = 190.0 MPa

fc = Rmax / Ae = 161.7 MPa < fca = 190.0 MPa O.K

그림 52. 보강재 설계시트(2)

지점 복부판 보강재 설계

◎ 검토모델 : S-1



- 사용 강종 : SM490
- 최대지점반력 : R_{max} = 1154.250 kN
- 보강재의 폭 : b = 100.0 mm — 보강재 각도 : α = 90.0 °
- 보강재의 길이 : l = 887.0 mm — 계산 각도 : Θ = 0.0 °
- 보강재의 두께 : t_s = 15.0 mm > ts_{min} = b / 16 = 6.3 mm O.K
- 보강재의 설치간격 : d = 100.0 mm — 보강재의 사용열수 : n = 3 EA
- 복부판의 두께 : t_d = 9.0 mm

  d = 100.0 mm < $24t_d$ = ### mm 이므로
- 단면유효폭: Be = 2 · 12td + 2 · d = ### mm (☞ 도.설 3.8.7.2)
- 보강재의 단면적: As = 100 × 15 × 3 = 4500 mm^2
- 유효단면적: Ae = 416 × 9 + 4500 = ### mm^2 > 1.7As = ### mm^2

  따라서, 유효단면적 Ae = ### mm^2 (☞ 도.설 3.8.7.1)
- Diaphragm 중심선 둘레의 단면2차모멘트:

$$I = Be \cdot t_d^3 / 12 + \{ t_s \cdot b/12 \times ((b \cdot \cos\Theta)^2 + (t_s \cdot \sin\Theta)^2) + t_s \times b \times (b/2 \cdot \cos\Theta + t_d/2)^2 \} \times 2 \cdot n$$

$$= 416 \times 9^3 / 12 + \{ 15 \times 100 / 12 \times ((100 \times \cos 0.000)^2 + (15 \times \sin 0.000)^2) + 15 \times 100 \times (100 / 2 \times \cos 0.000 + 9 / 2)^2 \} \times 6 = ### \ mm^4$$

- 단면2차반경: $r = \sqrt{\frac{I}{Ae}} =$ 66.919 mm
- 유효좌굴길이: le = 1/2 · l = 443.5 mm

1) 허용축방향 압축응력 검토 (☞ 도.설 3.3.2.1)

: 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향 압축응력, fcag

le/r = 6.6 ⇒ le/r < 16 이므로,

⇒ fcag = 190.0 MPa

: 국부좌굴에 대한 허용응력, fcal

b/11.1 = (100) / 11.1 = 9 ⇒ b/11.1 ≤ t 이므로,

⇒ fcal = 190.0 MPa

: 국부좌굴을 고려 않은 허용축방향 압축응력 상한값, fcao

⇒ fcao = 190.0 MPa

: 허용축방향 압축응력, fca

fca = fcag · fcal / fcao = 190.0 MPa fca = 190.0 MPa

fc = Rmax / Ae = 150.9 MPa < fca = 190.0 MPa O.K

그림 53. 보강재 설계시트(3)

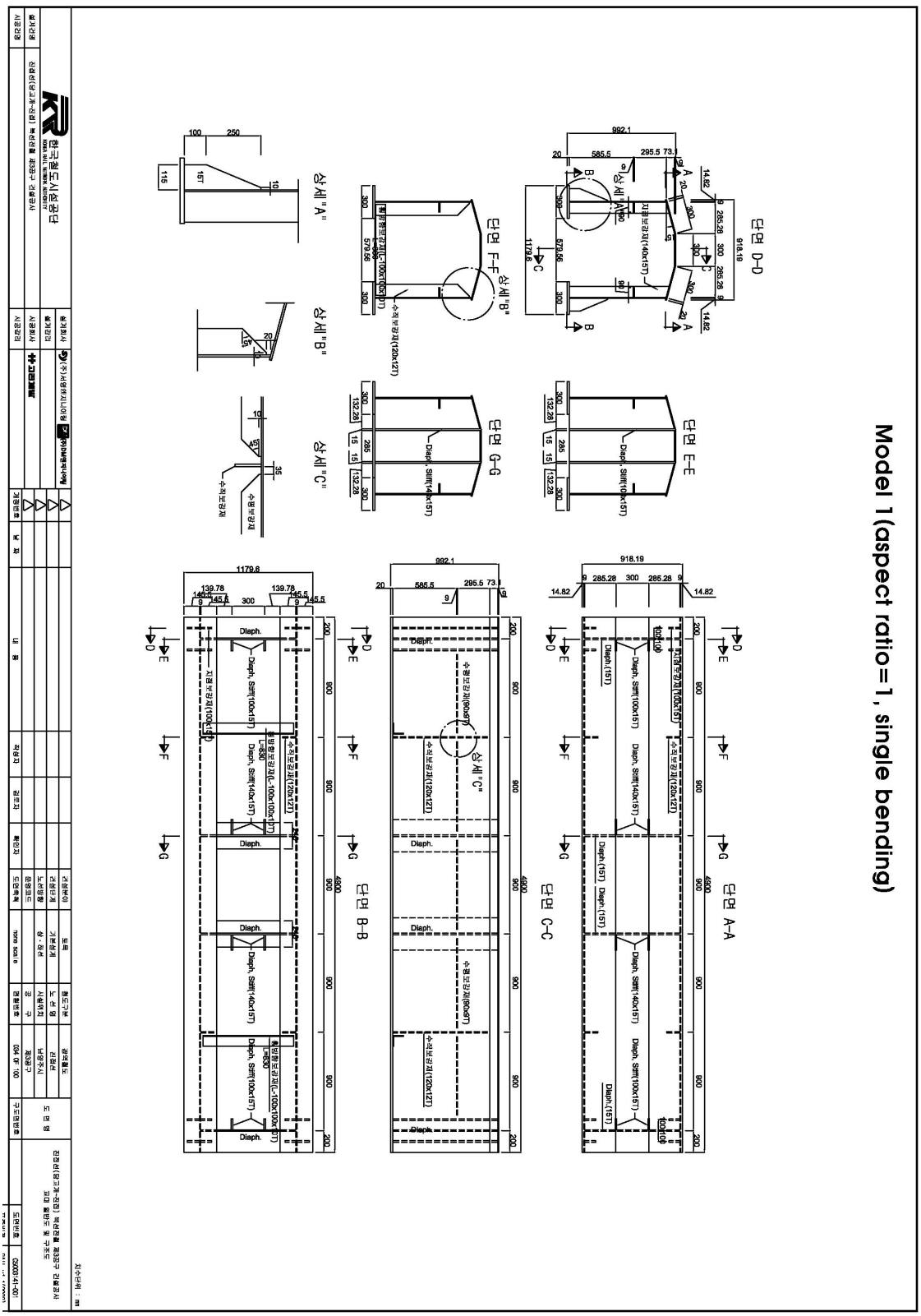
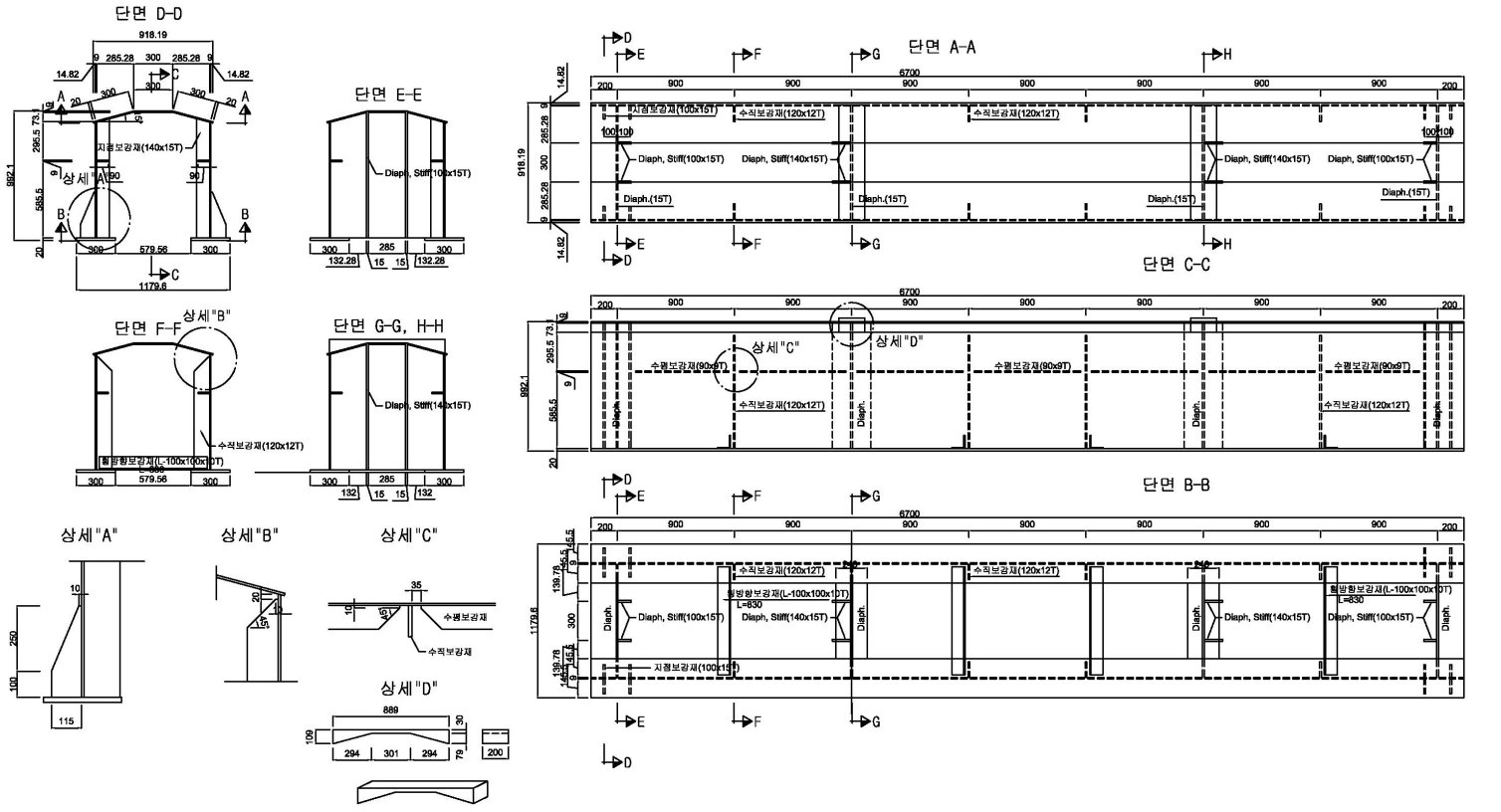

Model 1(aspect ratio=1, single bending)
단면 A-A
단면 B-B
단면 C-C
단면 D-D
단면 E-E
단면 F-F
단면 G-G
상세 "A"
상세 "B"
상세 "C"
상세 "B"
Diaph. Slit(100x157)
Diaph. Slit(140x157)
Diaph.(157)
수직보강재(120x12T)
수평보강재(900x9T)
지점보강재(100x157)
보강재(40x157)
수직보강재
수평보강재
m

그림 54. S-1 도면

Model 2(aspect ratio=3, single bending)



지수단위 : mm

한국철도시설공단 KOREA RAIL NETWORK AUTHORITY		설계회사	(주)서영엔지니어링 / (주)DM엔지니어링							건설분야	토목	철도구분	광역철도	도 면 명	진접선(당고개~진접) 복선전철 제3공구 건설공사 교대 일반도 및 구조도		
		설계감리								건설단계	기본설계	노 선 명	진접선				
설계건명	진접선(당고개~진접) 복선전철 제3공구 건설공사	시공회사	고려개발							노선방향	상 · 하선	시설위치	남양주시				
										문명코드		공 구	제3공구				
시공감리		시공감리		개정번호	W 짝	내 용	작성자	검토자	확인자	도면축척	none scale	원형번호	034 OF 100	구도면번호		도면번호	CS003141-001
																표준버전	RAIL V1.1(2009)

접수 55-S-3 문서

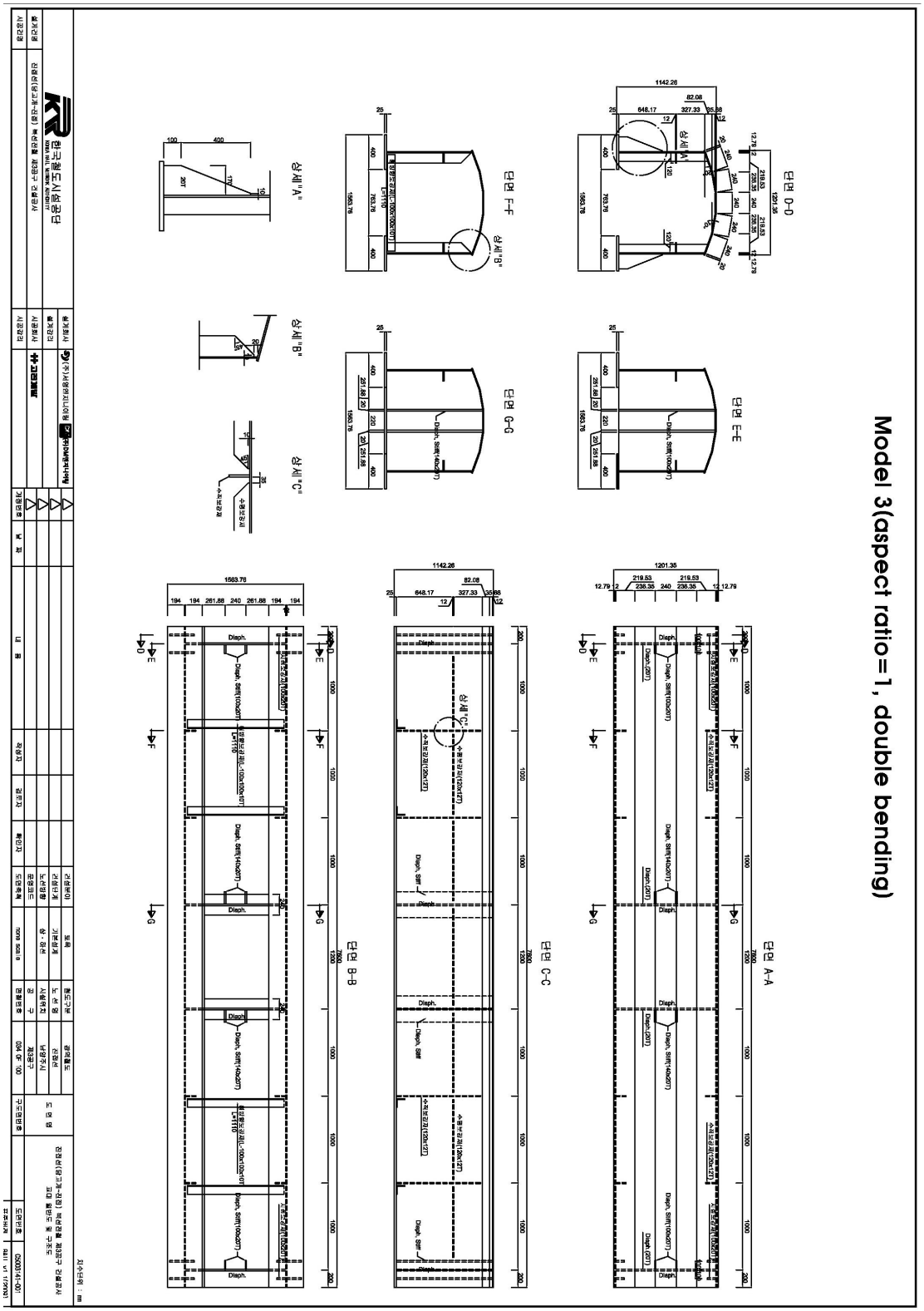
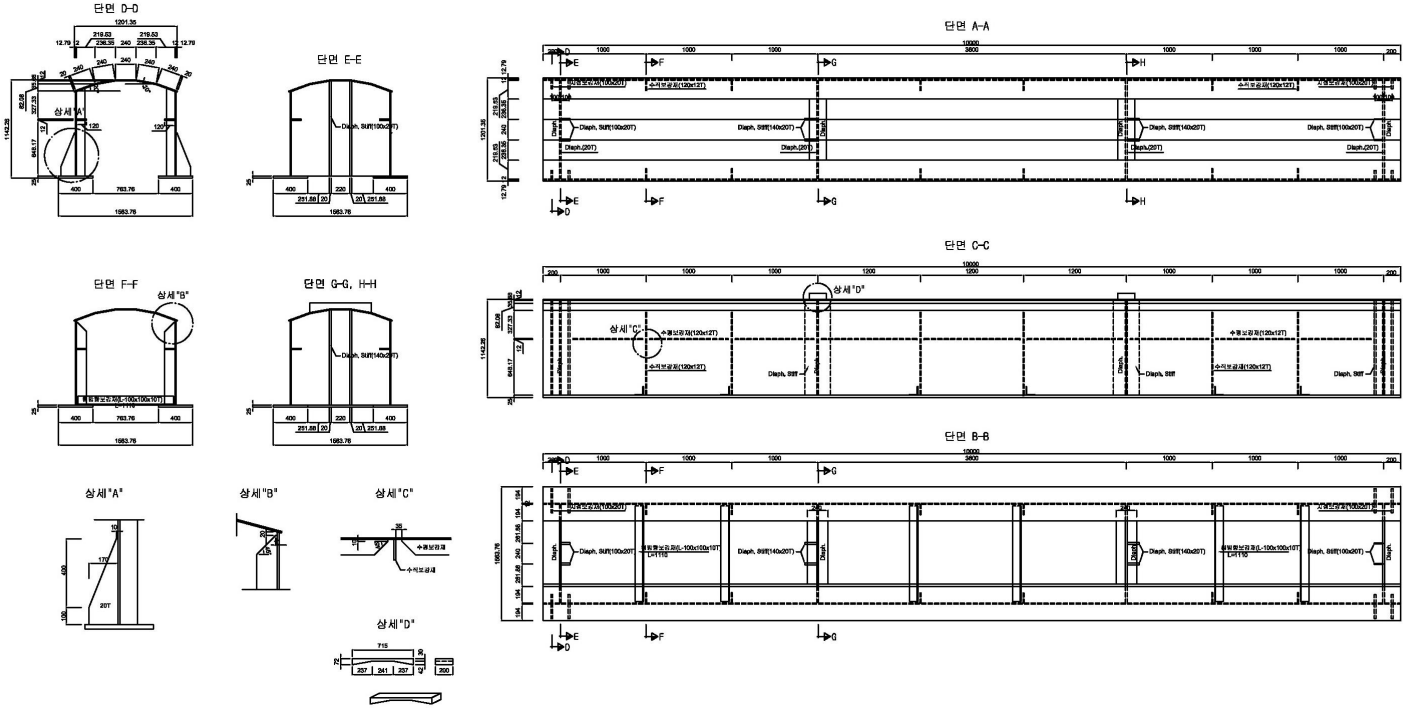

Model 3(aspect ratio=1, double bending)
단면 A-A
단면 B-B
단면 C-C
단면 D-D
단면 E-E
단면 F-F
단면 G-G
상세 "A"
상세 "B"
상세 "C"
상세 "D"
1201.35
1142.26
1563.76
1950.76
Diaph.
Diaph. Strt(100x20T)
Diaph.(20T)
Diaph. Strt(140x20T)
수평보강재(120x12T)
Diaph. Strt
수평보강재(L-120x120x10T)
L-t110
1000
2800
1200
200

그림 56. D-1 도면

Model 4(aspect ratio=3, double bending)



단위 : mm

한국철도시설공단 KOREA RAIL NETWORK AUTHORITY		설계회사	(주)서영엔지니어링 / (주)DM엔지니어링						건설분야	토목	철도구분	광역철도	도면명	진접선(당고개-진접) 복선전철 제3공구 건설공사 코너 일반도 및 구조도	
		설계감리							건설단계	기본설계	노 선 명	진접선			
설계건명	진접선(당고개-진접) 복선전철 제3공구 건설공사	시공회사	고려개발						노선방향	상 - 하선	시설위치	남양주시			
시공감명		시공감리							운영코드		공 구	제3공구			
				개정번호	날 짜	내 용	작성자	검토자	확인자	도면축척	none scale	원본번호	034 OF 100	구도면번호		도면번호	C5003141-001
																표준버전	RAIL v1.1(2009)

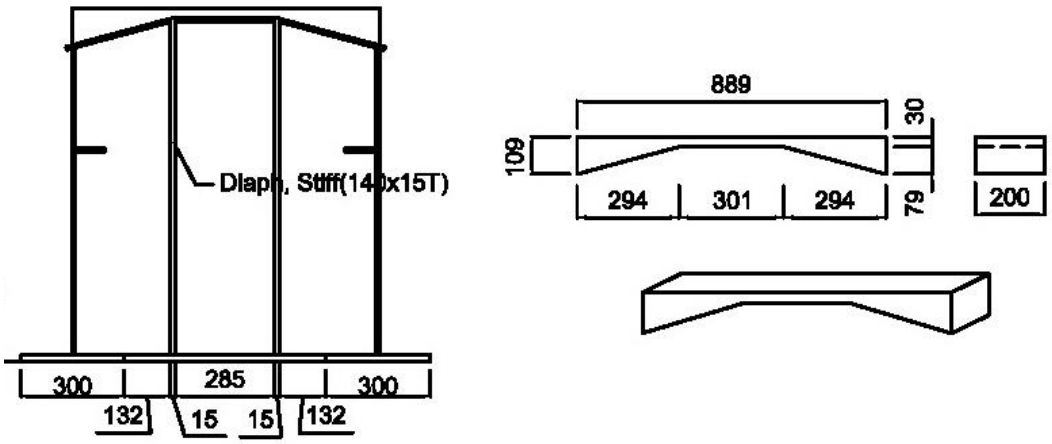


그림 58. S-3 가력부 받침

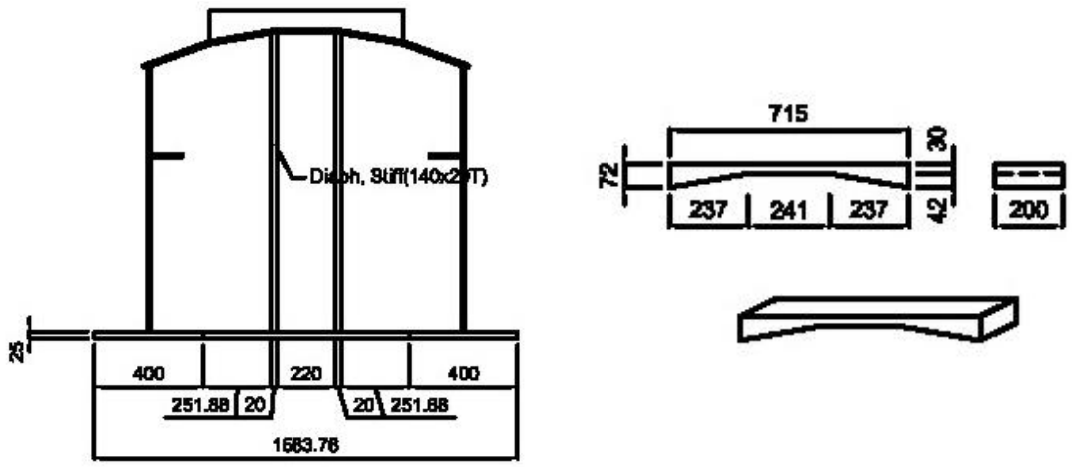


그림 59. S-3 가력부 받침

나. 시험체 유한요소해석

실험을 진행하기에 앞서 유한요소해석을 수행하였다. 각 실험체의 극한 하중을 검토하고 실험을 수행하기 위해 선행되어야한 유한요소해석은 강재의 최소항복강도 315 MPa, 인장강도 400 MPa의 물성치를 동일하게 모든 판이 가진다고 가정하고 수행되었다.

거더의 극한해석을 하기에 앞서 좌굴해석을 수행하였다. 본 연구의 목적은 압축플랜지의 개발에 있으므로 압축플랜지에서 파괴가 되도록 설계가 되었고 이에 따라 좌굴해석을 통해 검증이 필요하였다. 그림 60에서 보여지는 것과 같이 선형탄성좌굴해석결과 실험의 타겟으로 하는 압축플랜지의 가력부 사이구간에서 좌굴이 발생함을 확인할 수 있으며 이 때의 좌굴 하중은 1,086 ton.에서 1,878 ton.까지 매우 크게 나타남을 확인 할 수 있었다.

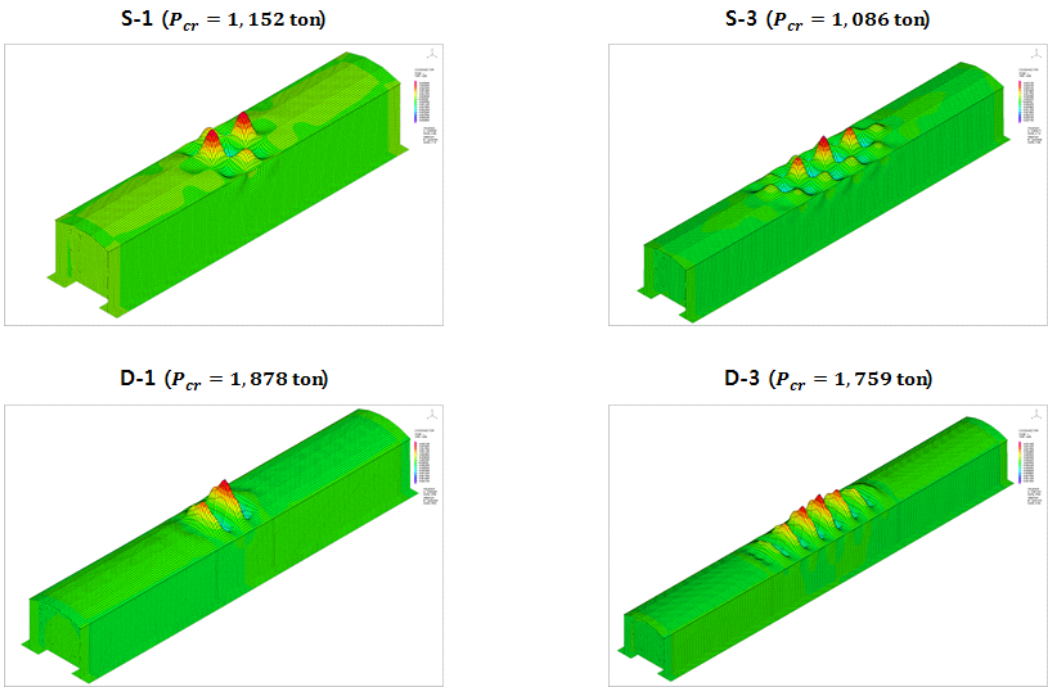
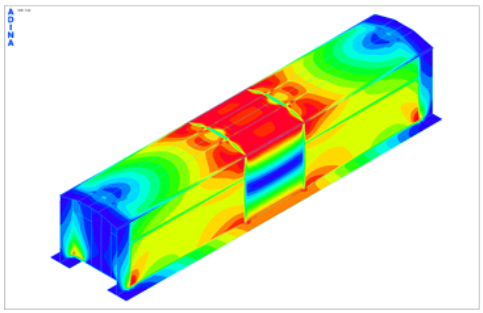


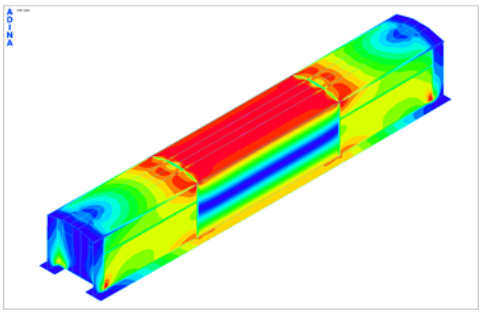
그림 60. 좌굴해석 결과

좌굴해석과 동일한 모델에 대해 비선형 극한해석을 수행하였다. 그 결과는 그림 61과 같으며 예상되는 극한하중은 362 ton.에서 430 ton. 사이의 값으로 나타났다. 그러나 본 해석은 도로교설계기준에서 규정하는 최소항복강도를 갖는 재료 물성치로 모델링하여 해석한 결과이나 실제 강판의 시편시험 결과가 최소항복강도에 비해 매우 크게 나타나는 경우가 있으므로 여유치를 두어 500 ton. 유압잭 두 대를 이용하여 실험을 수행하였다.

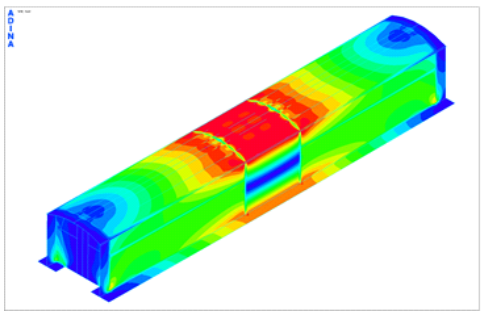
Model 1 (P_u = 384 ton)



Model 2 (P_u = 362ton)



Model 3 (P_u = 430 ton)



Model 4 (P_u = 410 ton)

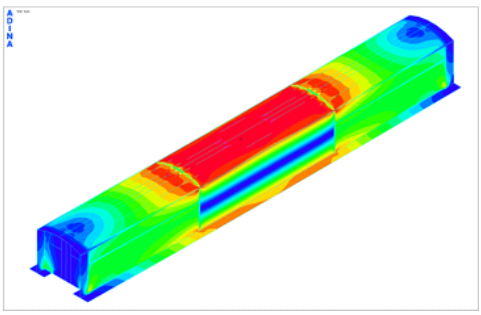


그림 61. 비선형 극한해석 결과

다. 실험방법 및 결과

대우기술연구소 실험실에서 500t 유압잭 하나로 진행할 계획이었으나 실험실 사정으로 명지대 하이브리드 센터에서 500t 유압잭 두 개로 진행하게 되었다. 이에 따라 거더 위의 지그를 얹을 필요가 없이 가력부에 각각 유압잭을 배치하여 실험을 수행하였다. 실험체 거치 전경은 그림 62-65과 같다.



그림 62. 실험체 거치전경 (S-1)



그림 63. 실험체 거치전경 (S-3)



그림 64. 실험체 거치전경 (D-1)



그림 65. 실험체 거치전경 (D-3)

그림 62에서 보이는 것과 같이 S-1 모델의 경우 UTM에서 실험하게 되었다. 4 개의 실험체 중 마지막으로 실험한 모델로 직전에 D-3 모델을 실험하는 도중 유압잭 아래의 지그와 가력부 받침 사이에서 슬립이 발생하여 실험이 중단된 상황이 발생하여 S-3, D-1 실험 결과로 미루어보아 S-1의 극한하중이 500 ton.

이하일 것이로 예상하여 500 ton, UTM에서 실험을 하게 되었다.

실험결과는 그림 66에서 하중-변위 그래프를 나타내고 표 3에서 각 모델 별 최대 극한하중을 나타낸다.

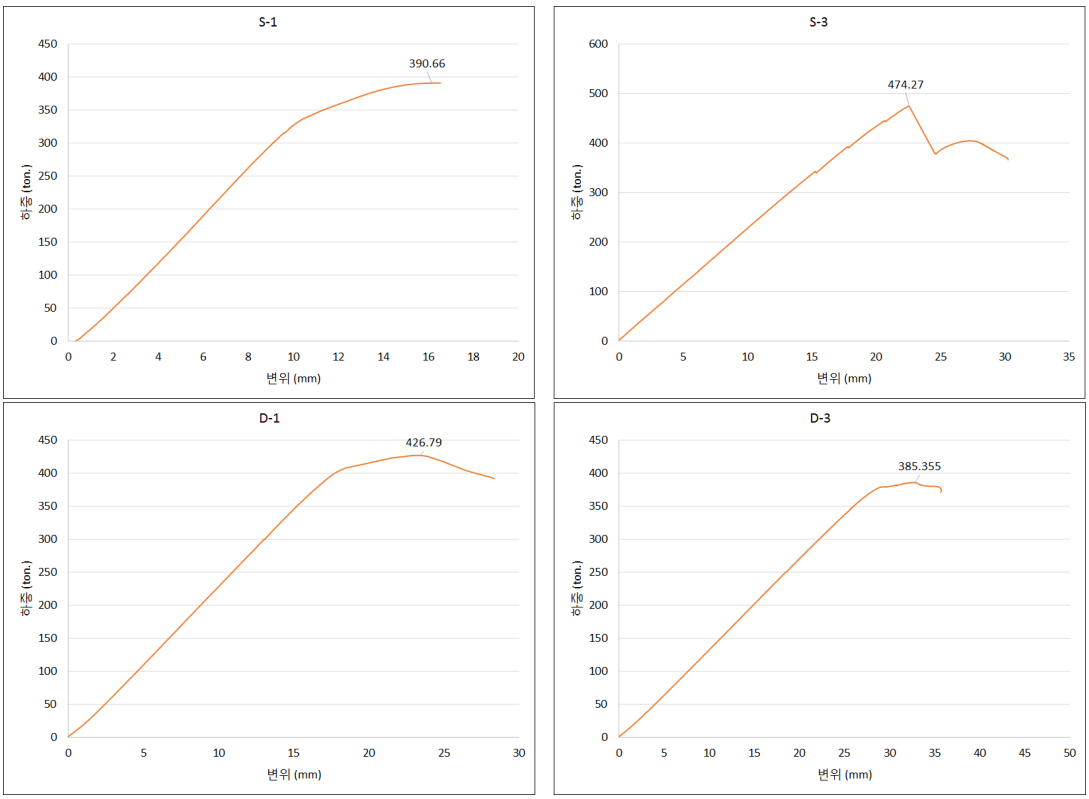


그림 66. 실험결과 하중-변위 곡선

표 3. 모델별 극한하중

	S-1	S-3	D-1	D-3
P_u (ton.)	390.7	474.3	426.8	383.4

라. 실험결과 고찰

실험연구 결과를 검토하기 위하여 실험체의 실험조건과 시편시험 결과로 얻은 강재의 물성치를 이용하여 유한요소해석을 통해 극한해석을 수행하였다. 각 강재 두께별 시편시험결과는 증빙 1-1~1-24로 제출한다. 거더의 각 부재 별 물성치와 제원을 사용하여 극한 해석을 수행한 결과와 실험결과를 비교하면 그림 67과 같다.

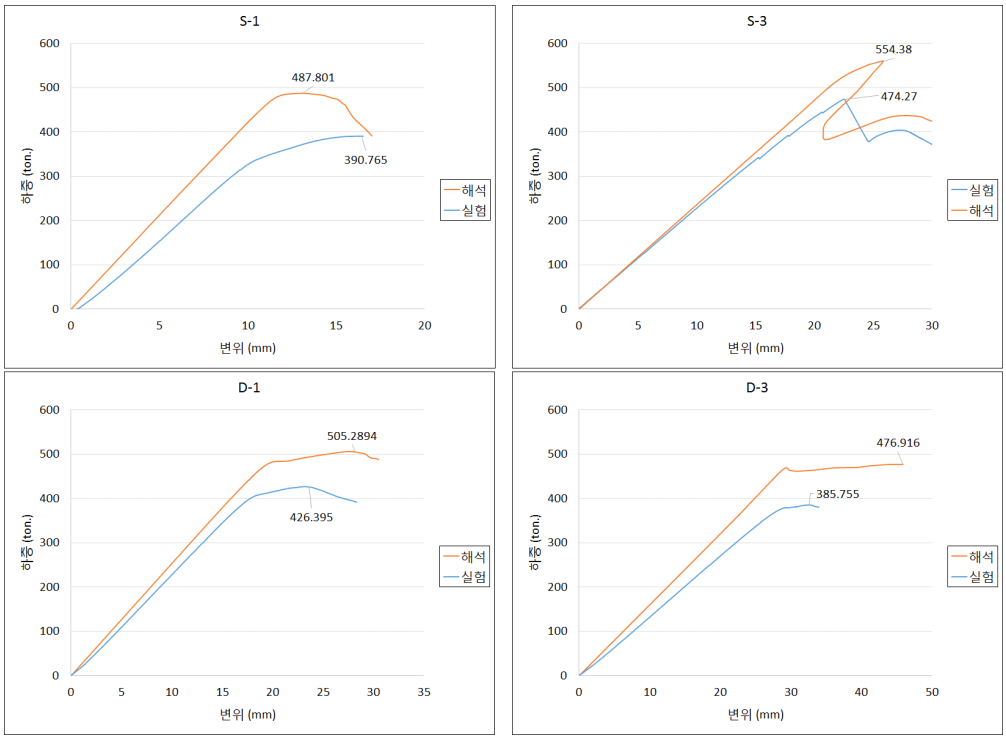
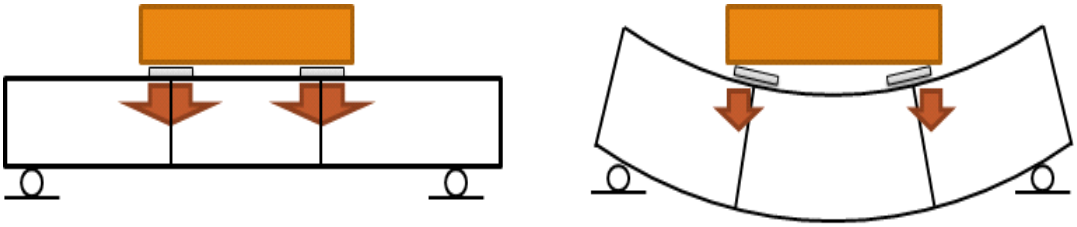


그림 67. 해석결과 vs. 실험결과

실험결과와 유한요소해석을 통해 예측된 강도 사이에 차이가 크게 발생한 것을 알 수 있다. 이에 따라 실험 상의 문제점을 고찰해보면 다음과 같다.

(1) S-1

그림 68과 같이 거더의 압축플랜지 가력부에 강판을 얹고 지그를 이용해서 가력하였는데 초기 그림 68(a)와 같이 가력부의 다이아프램을 중심으로 고르게 가력이 시작되어 거더에 처짐이 발생하면 그림 68(b)와 같이 UTM에 설치된 지그는 거의 강재와 같이 거동을 하게 되어 결과적으로 가력부 다이아프램의 바깥쪽에 하중이 집중되어 가력되어 그림 69과 같이 가력부 사이구간이 아닌 바깥쪽에서 과도한 국부변형이 발생하며 전체적이 거더의 강도가 감소하게 되었다.



(a) 가력 초기 (b) 거더 처짐 발생 후

그림 68. S-1 모델 가력도

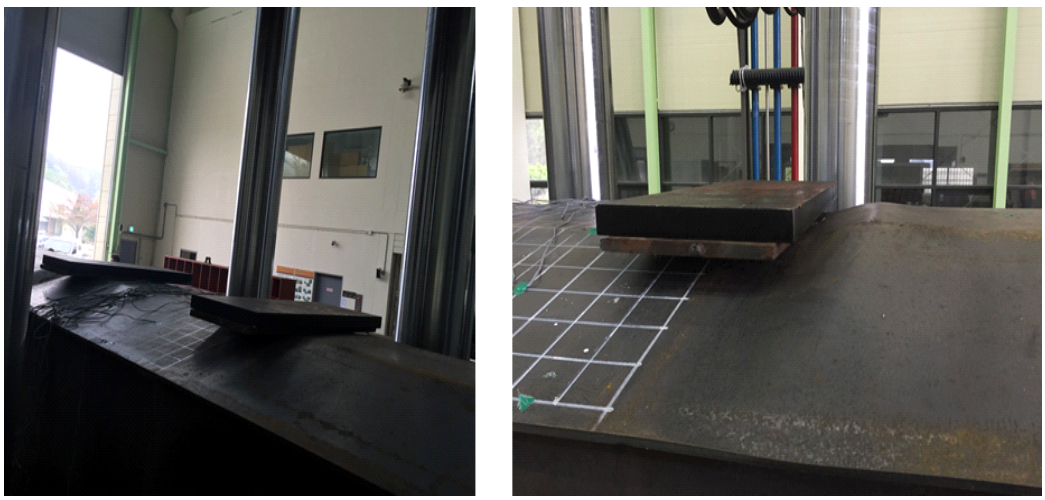
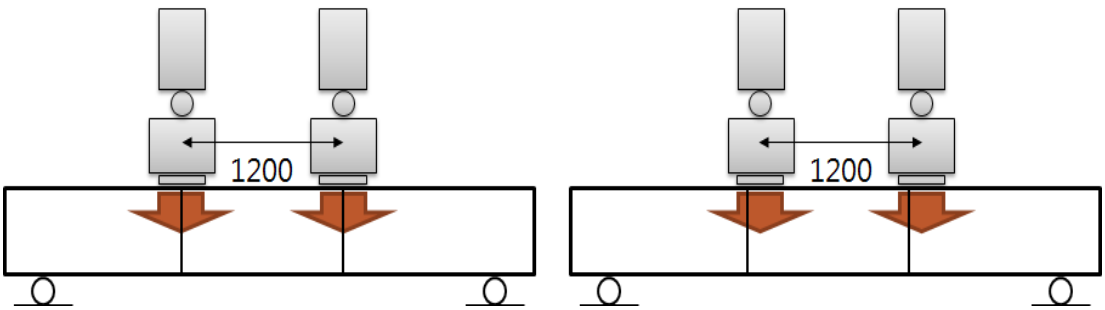


그림 69. S-1 모델 파괴형상

(2) D-1

그림 70(a)와 같이 유압잭 사이의 간격은 가력부 간격인 1200 mm로 정확히 설치가 되었으나 그림 70(b)와 같이 실험체 설치하는 과정에서 중심이 맞지 않아 거더에 편심이 작용하여 그림 71과 같이 한쪽으로 치우쳐서 변형이 생기며 이에 따라 강도가 감소하게 되었다.



(a) 가력 계획 (b) 실제 실험 가력도

그림 70. D-1 모델 가력도

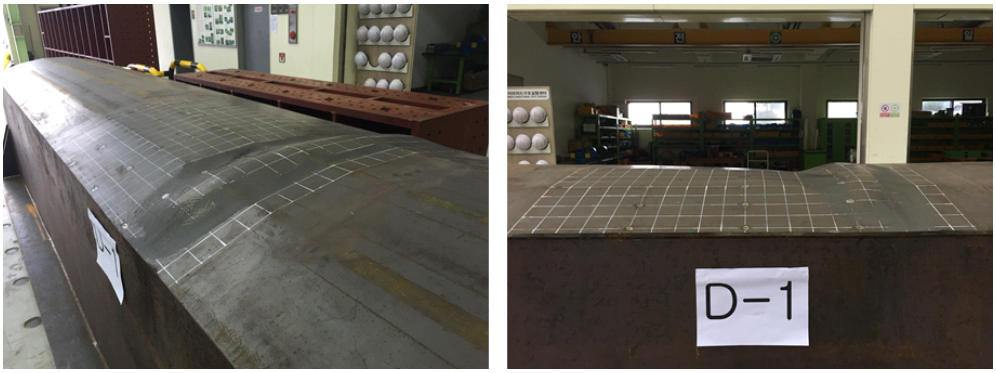
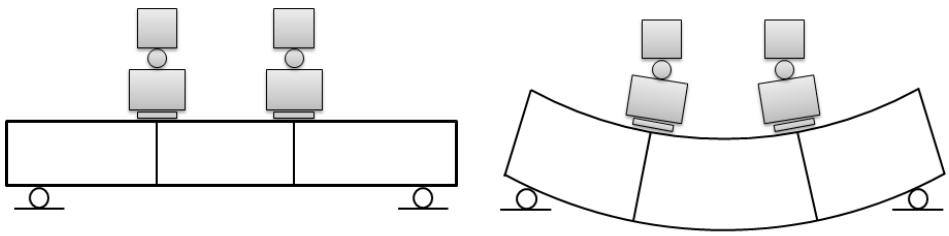


그림 71. D-1 모델 파괴 형상

(3) D-3

그림 72와 같이 유압잭 하부에 롤러가 설치되어있어 고르게 가력할 수 있도록 실험이 수행되었으나 거더의 처짐이 증가하면서 72(b)와 같이 롤러 하단부가 기울어져 있게 된다. 이에 따라 계획상의 수직하중과 함께 유압잭 하부롤러 회전으로 인한 수평하중이 발생하게 되고 이 크기가 일정수준 이상으로 증가하여 결국은 거더 파괴 시 까지 실험을 진행하지 못하고 중간에 중단되게 되었다.



(a) 가력 초기 (b) 거더 처짐 발생 후

그림 72. D-3모델 가력도



그림 73. 지그 slip 발생으로 실험 중단된 형상

위와 같은 실험 시 가력상의 문제점들을 고려한 해석을 수행하고자 그림 74과 같이 S-1모델은 凹형 지그를 거더 위에 올려 가력하였고 그림 75, 77와 같이 S-3와 D-3모델은 가력부 받침을 모델링 하여 가력부 받침에 가력하였다. 그림 76의 D-1 모델 또한 유압잭가력을 고려하여 강체를 압축플랜지에 설치하여 가력하였다.

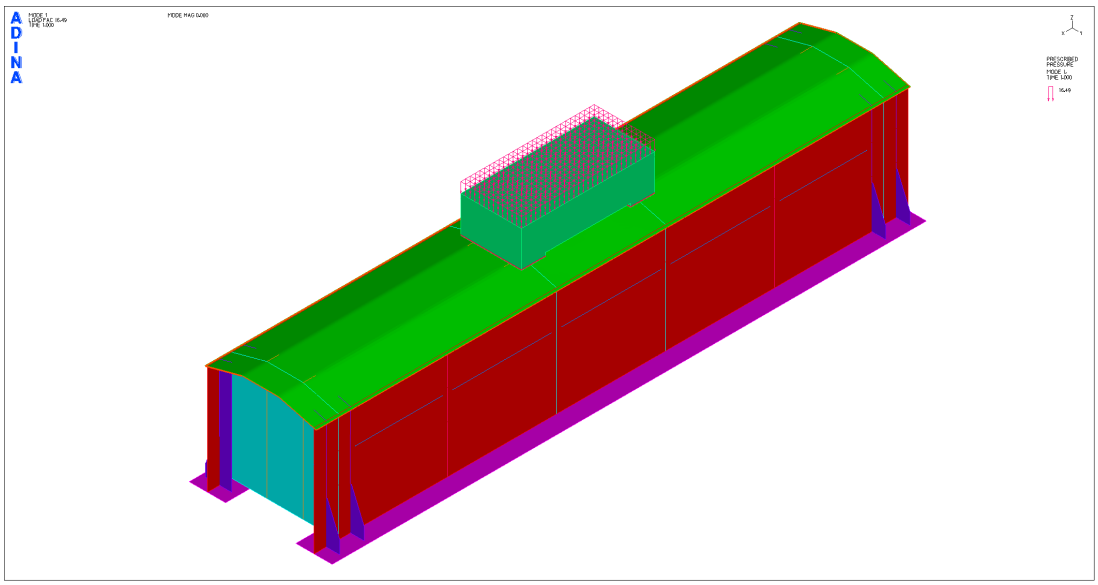


그림 74. S-1 형상

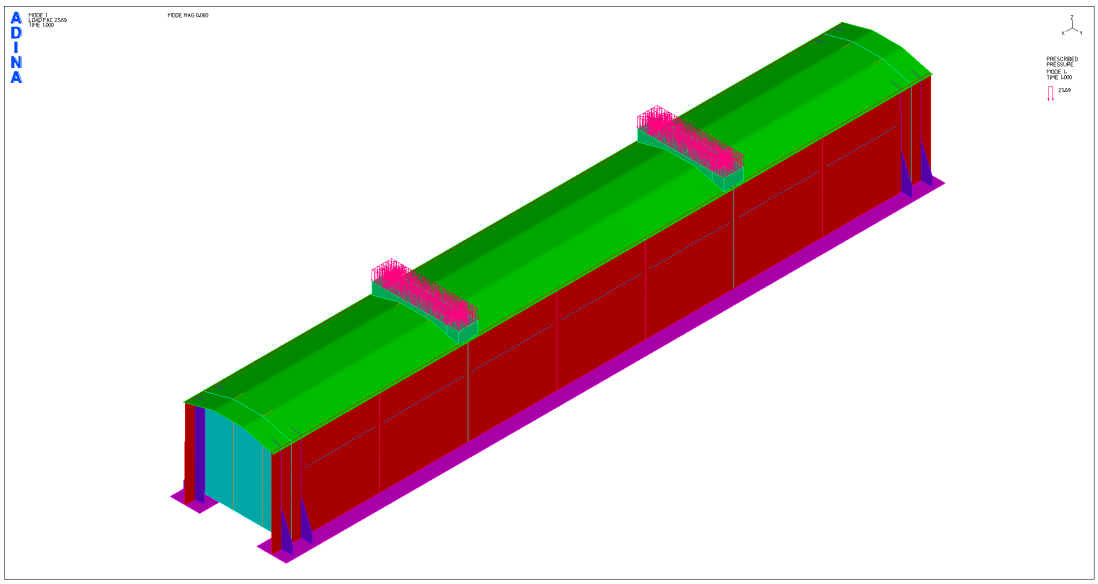


그림 75. S-3 형상

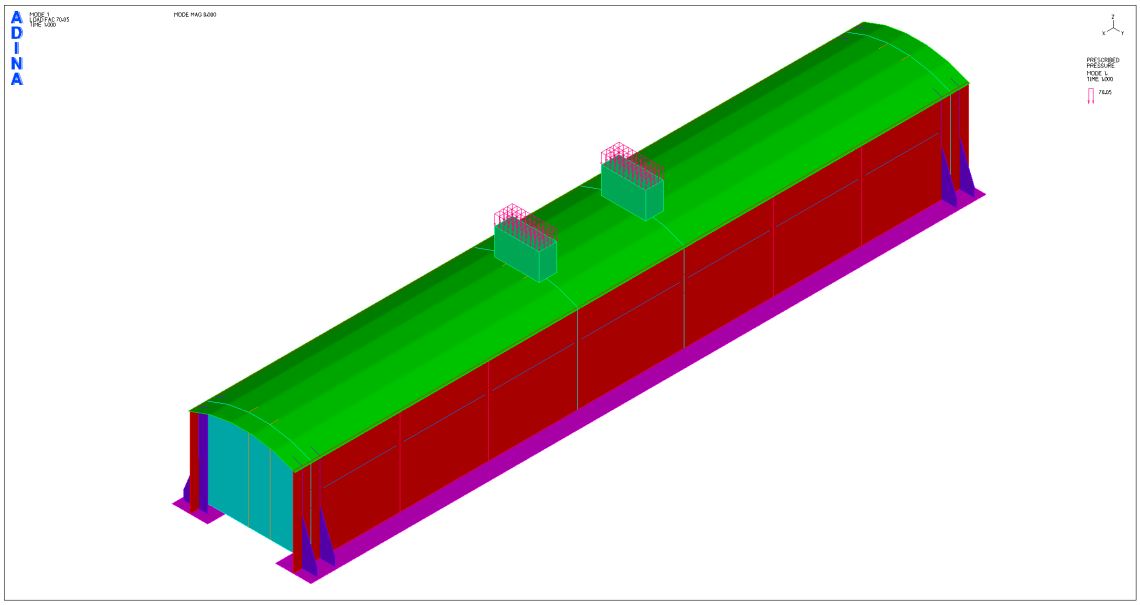


그림 76. D-1 형상

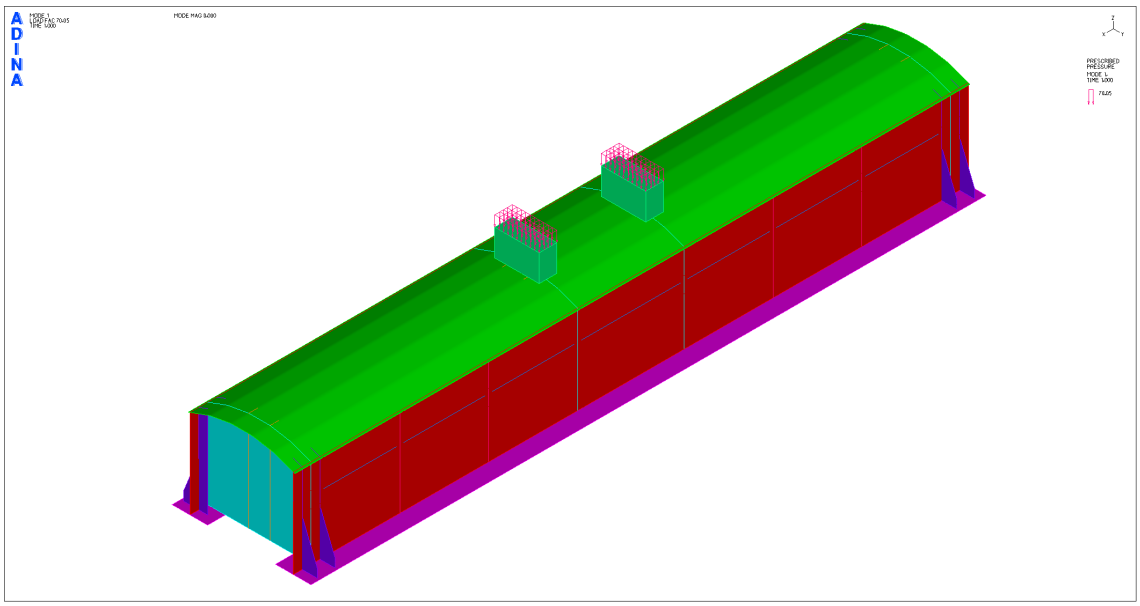


그림 77. D-3 형상

실험의 가력조건을 고려한 해석의 결과는 그림 78과 같이 나타난다. 여기에서 P_y는 압축플랜지의 평평한 부분이 항복에 도달할 때의 하중으로 이론식으로 계산된 값이다. S-3 모델은 해석결과와 실험결과가 압축플랜지가 항복하기 이전에 이미 파괴되는 형상으로 나타나는데 이는 증빙 1에서 제출한 서류와 같이 S-3의 압축플랜지에 사용된 판의 항복강도는 492 MPa 정도로 최소항복강도 315 MPa에 비해 57% 정도 큰 값을 갖지만 인장플랜지에 사용된 판은 358 Mpa로 14% 정도 커지게 되었다. 설계 시에는 동일한 강도를 갖는 강재에 대해 압축플랜지에서 파괴가 유도되도록 하였으나 압축플랜지의 강도가 인장플랜지의 강도에 비해 매우 큰 값을 갖는 강재가 사용되어 인장플랜지에서 먼저 파괴가 발생하였고, 이 때문에 압축플랜지가 항복하기 전에 유한요소해석도 파괴가 먼저 일어나게 되었다.

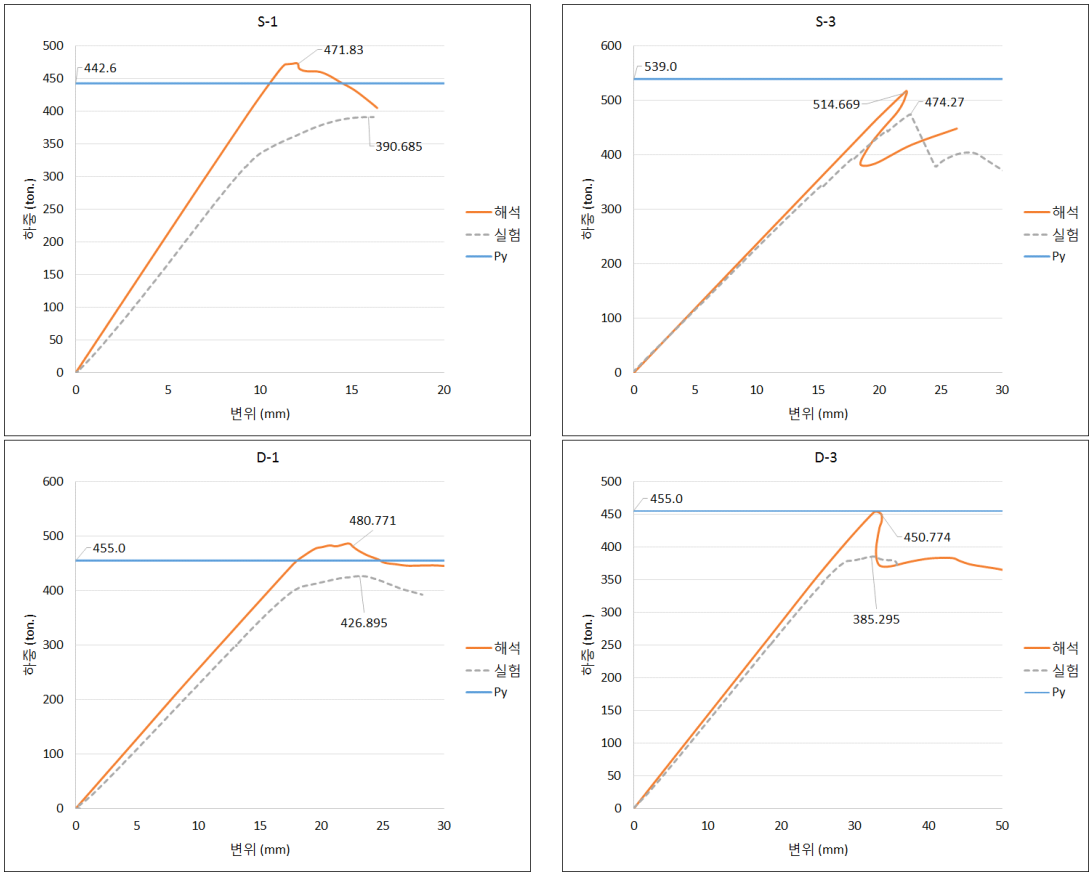


그림 78. 가력조건 고려한 해석결과 vs. 실험결과 vs. 이론값

앞에서 각각의 모델 별 실험 시 발생한 결정적인 문제들에 대해 고찰해 보았다. 그러나 이 뿐만이 아닌 전체적인 모델에 대한 문제점이 발견되었다. 본 실험에서의 타겟은 가력부 사이구간의 압축플랜지의 거동이고, 이에 따라 아래 그림 79과 같이 가력부 다이아프램의 보강재를 바깥쪽에만 배치하여 압축플랜지거동에 미치

는 영향을 최소화하도록 하였다. 그러나 이와 같은 설계는 최종적으로 다이아프램 안쪽의 압축플랜지가 가력을 버티지 못하고 국부적인 변형을 유발하게 되었다. 이로 인해 이론적인 항복강도에 미치지 못하고 거더가 강도를 잃고 파괴되는 현상이 나타났다. D-3과 같이 실험이 중단되는 상황이 발생하지 않은 나머지 실험체는 이론적인 항복강도에 대해 90% 정도의 강도를 발현하였다.

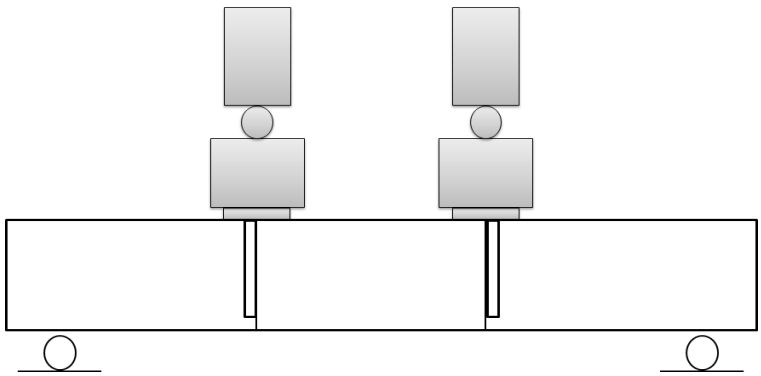


그림 79. 가력부 다이아프램 보강재 배치도

이번 실험의 결과에서 하중이 집중되는 지점부나 가력부의 국부적인 파괴를 방지할 수 있는 보강에 대한 연구가 필요성이 보였다.

제2절 파형강판이 적용된 차세대 강박스거더 구조시스템 개발

1. 서론

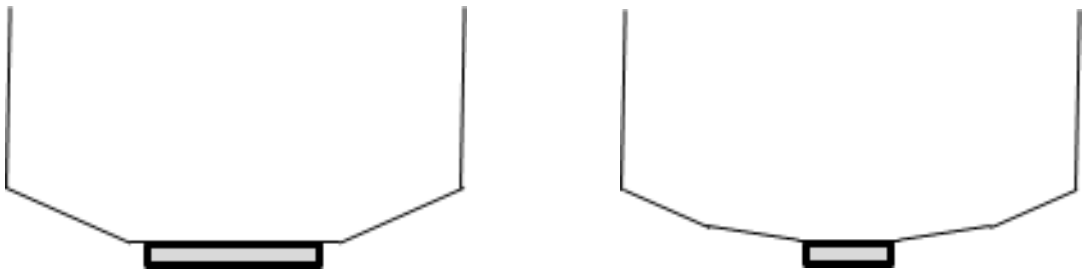
앞에서 개발된 파형강판이 적용된 차세대 강박스거더 구조시스템을 실제 설계에 반영하기 위해 요구되는 사항은 다음과 같다.

(1) 지점부 받침 배치방법 개발
(2) 지점부 플랜지의 국부좌굴을 방지하기 위한 보강상세 개발
(3) 실험을 통한 차세대 강박스거더 구조시스템의 성능 검증

2. 해석연구

가. 지점부 받침 배치

기존의 평판이 적용된 강박스거더와 비교하여 본 연구에서 개발한 압축플랜지에 파형강판이 적용된 차세대 강박스거더의 경우 그림 80에서와 같이 플랜지 폭에 따라 다르겠으나, Single-bended판의 경우에는 덜하지만 Double-bended판의 경우에 받침부 면적이 좁아지게 된다.



(a) Single-bended (b)Double-bended

그림 80. 단면별 받침배치 형상

이와 같이 받침이 좁아지게 되면 플랜지 중앙부에 과도한 하중의 집중으로 인한 국부 파괴를 야기할 수 있으므로 하중전달을 원활하게 하기 위해 제1절에서 수행한 시험체 중 Double-bended 판이 적용된 형상비 3인 거더(D-3)에 그림 81과 같이 받침 블럭을 배치하여 그림 82와 같이 3가지 형태의 받침을 적용하여 유한요소해석을 통해 성능을 검토하으며, 받침배치 타입별 해석모델의 형상은 그림 83와 같다.

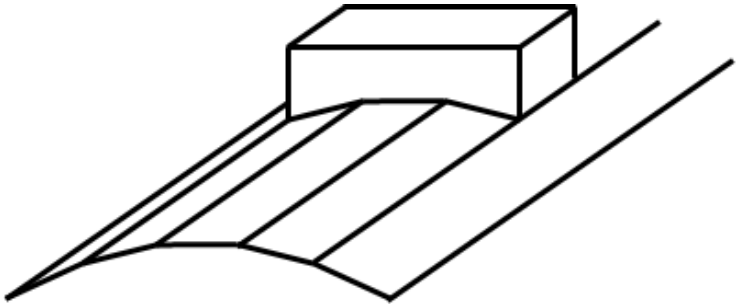
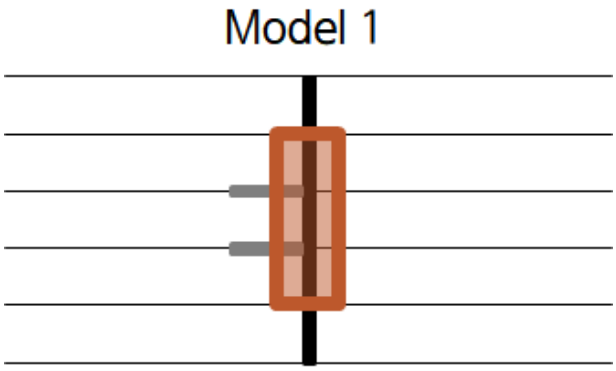
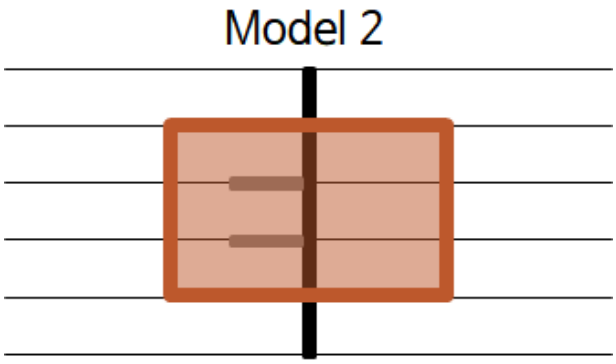


그림 81. Double-bended 받침 배치 예





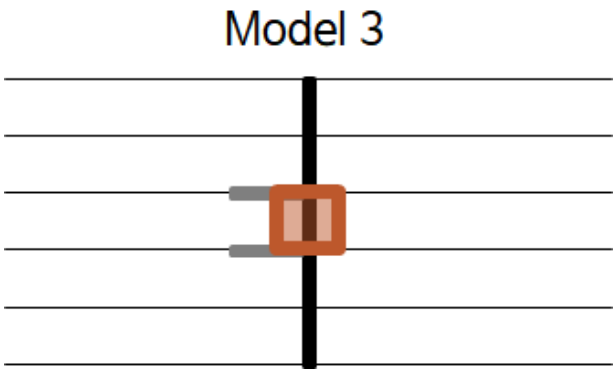
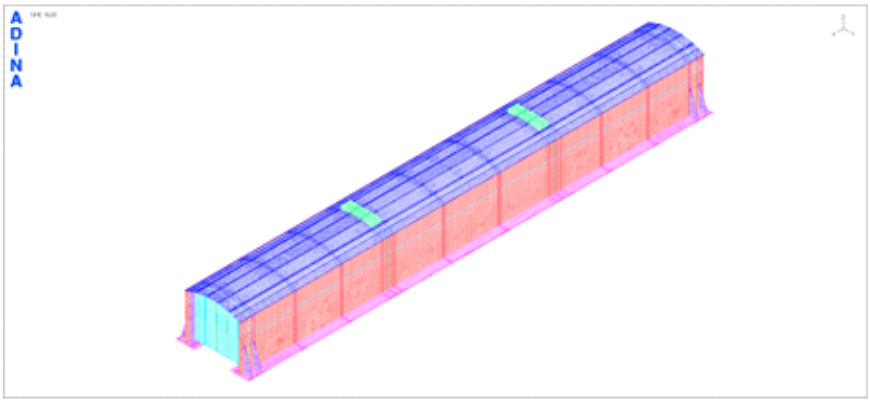
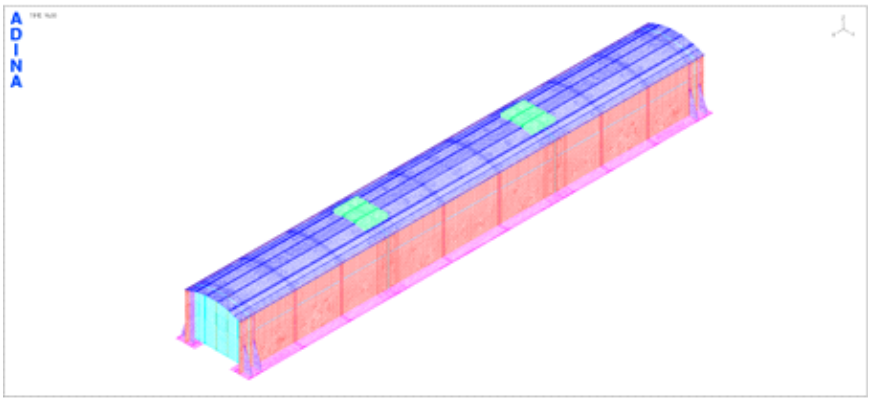


그림 82. 받침배치 타입

Model 1



Model 2



Model 3

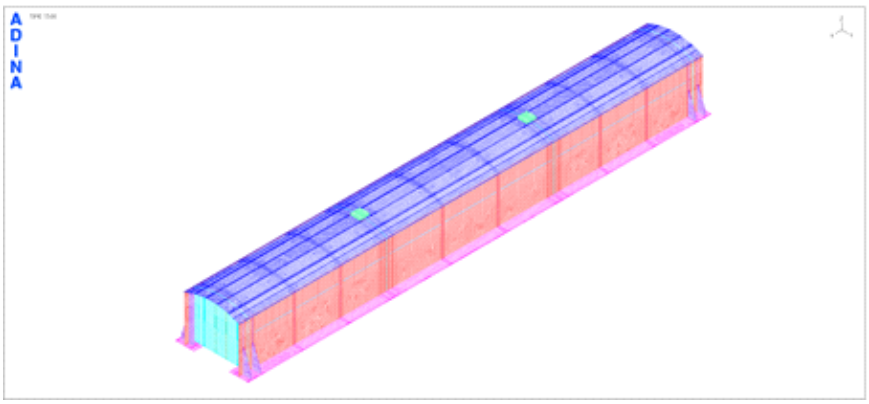


그림 83. 받침 타입별 해석모델 형상

3가지 타입별 유한요소해석 결과는 그림 84과 같이 나타났다. Model 2의 경우 다이아프램 보강재보다 넓은 받침부로 인해 그림 86와 같이 받침 블록 근처에서 국부파괴가 발생하여 항복강도에 미치지 못하고 파괴가 발생하여 3가지 타입 중 가장 빠르게 파괴되었다.

Model 1과 Model 3은 다이아프램 보강재보다 좁은 받침부로 각각 중앙부 서브패널 3개, 1개에 걸쳐 받침이 배치되는 점에서만 차이를 보이는데 각각 그림 85, 87와 같은 결과를 나타내었다. 두 타입은 큰 차이는 없으나 Model 3의 경우 받침 블록이 좁게 배치되다보니 그림 84에서와 같이 Model 1에 비해 항복이 다소 일찍 발생하며 최대하중이 작게 나타났다.

이러한 해석결과에서 Double-bended판이 적용된 강박스거더의 경우 원활한 하중 전달 및 받침부 국부파괴를 방지하기 위해 Model 1과 같이 3개의 서브패널을 커버하며 다이아프램 보강재보다 좁은 형태의 받침 블록의 배치가 필요할 것으로 판단된다.

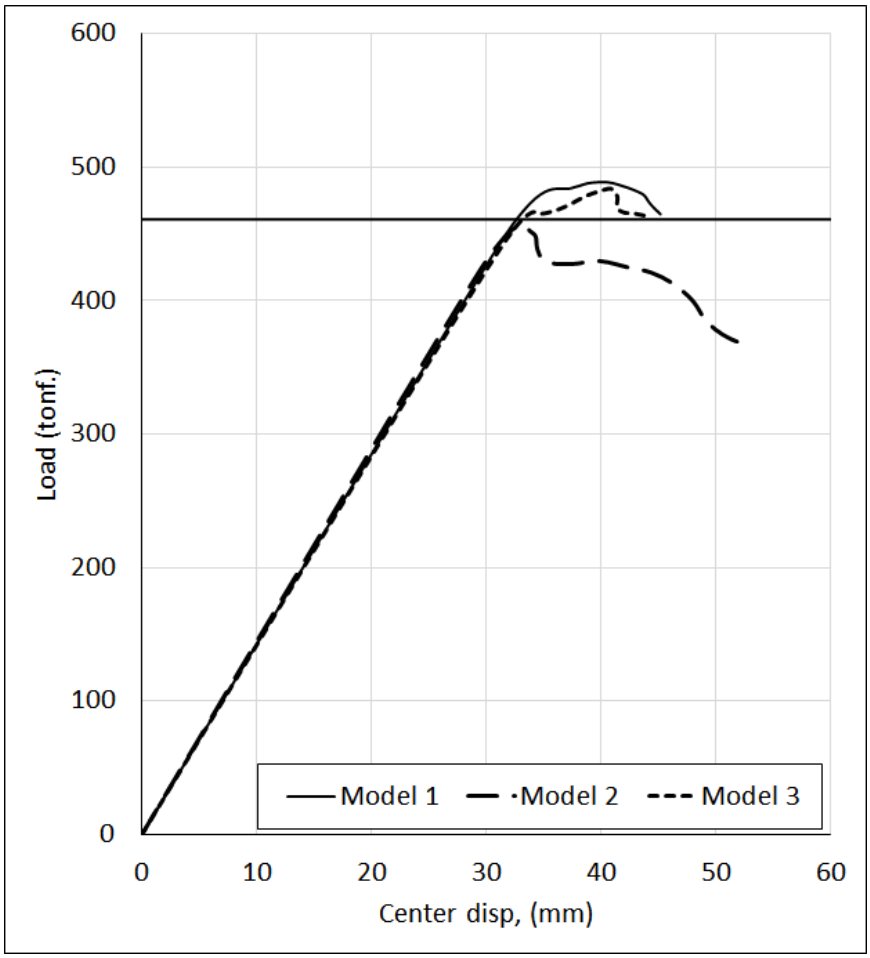
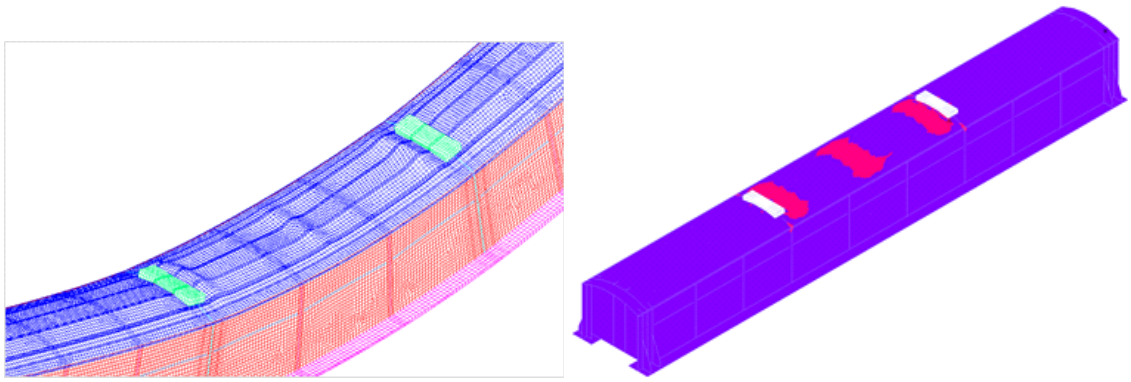
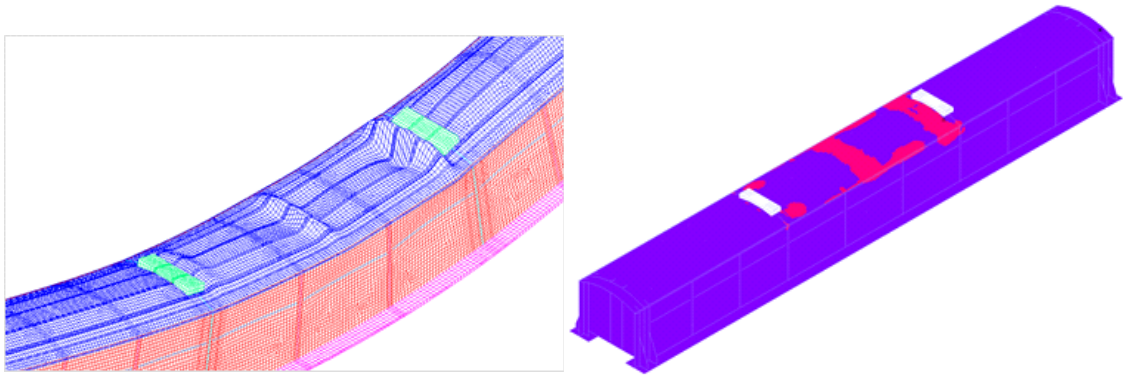


그림 84. 받침 타입별 해석 결과



(a) 항복하중 도달 시



(b) 최대하중 도달 시

그림 85. 파괴형상 및 항복영역 (Model 1)

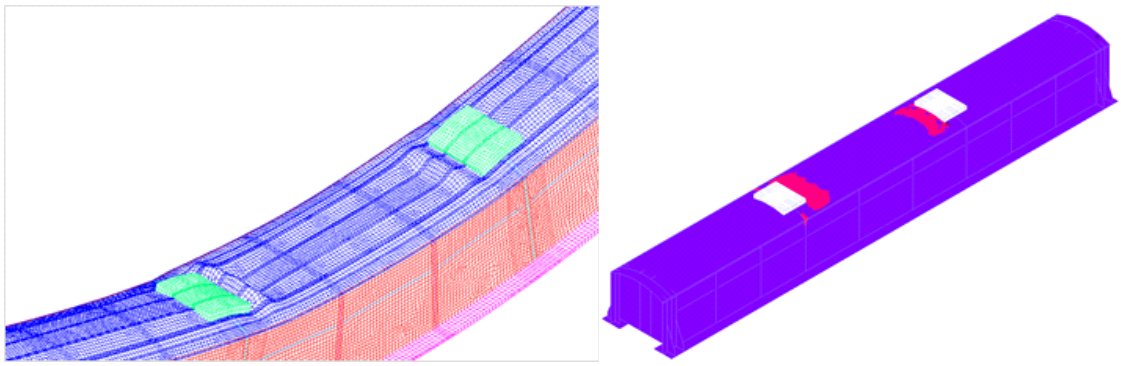
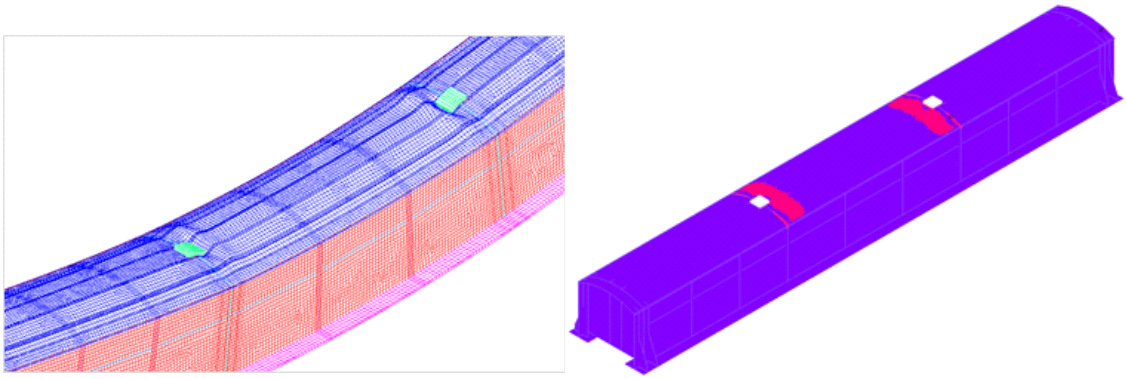
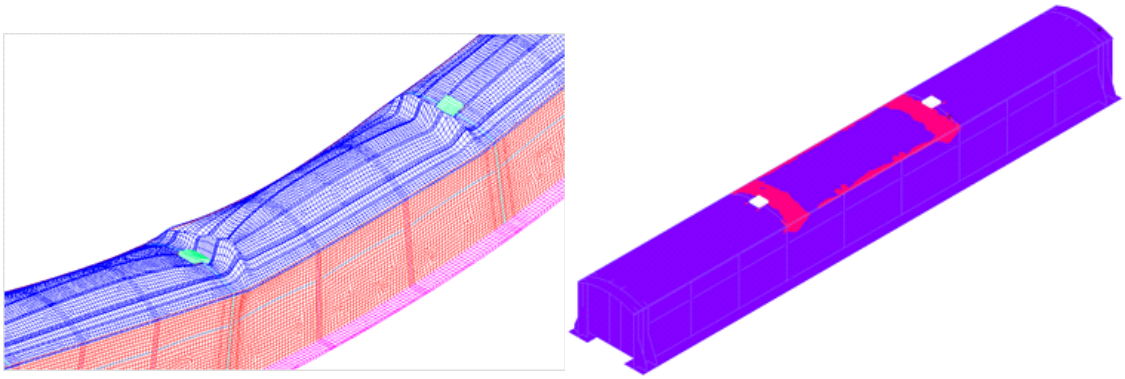


그림 86. 파괴형상 및 항복영역 (Model 2, 최대하중 도달 시)



(a) 항복하중 도달 시



(b) 최대하중 도달 시

그림 87. 파괴형상 및 항복영역 (Model 3)

나. 지점부 플랜지 보강상세

기존 실험에서 압축플랜지에 미치는 영향을 최소화하기 위해 가력부 다이아프램 보강재를 그림 79과 같이 바깥쪽으로만 배치하였다. 이 때문에 가력부 근처에서 국부파괴가 발생하여 예상한 강도에 비해 실험결과가 낮게 나타났다. 이에 지점부 다이아프램 보강재를 다이아프램 양쪽에 배치하는 것을 기본으로 지점부 플랜지의 국부좌굴을 방지하기 위해 플랜지 횡방향 보강재를 추가하여 그림 88과 같이 3 타입으로 지점부를 보강하여 유한요소 해석연구를 수행하였다.

이때 모델은 보강재를 제외한 형상 및 물성치는 기존 시험체와 동일하며 받침부 형상은 ?절에서 해석한 Model 1, 2, 3 타입에 대하여 해석하여 총 6개의 모델에 대한 해석을 추가적으로 수행하였다. 각각의 모델명은 다이아프램 양쪽에 보강재를 배치한 모델과 플랜지에 횡방향 보강재가 추가된 모델이 각가 기존 모델명에 “n-1”, “n-2”로 하였다.

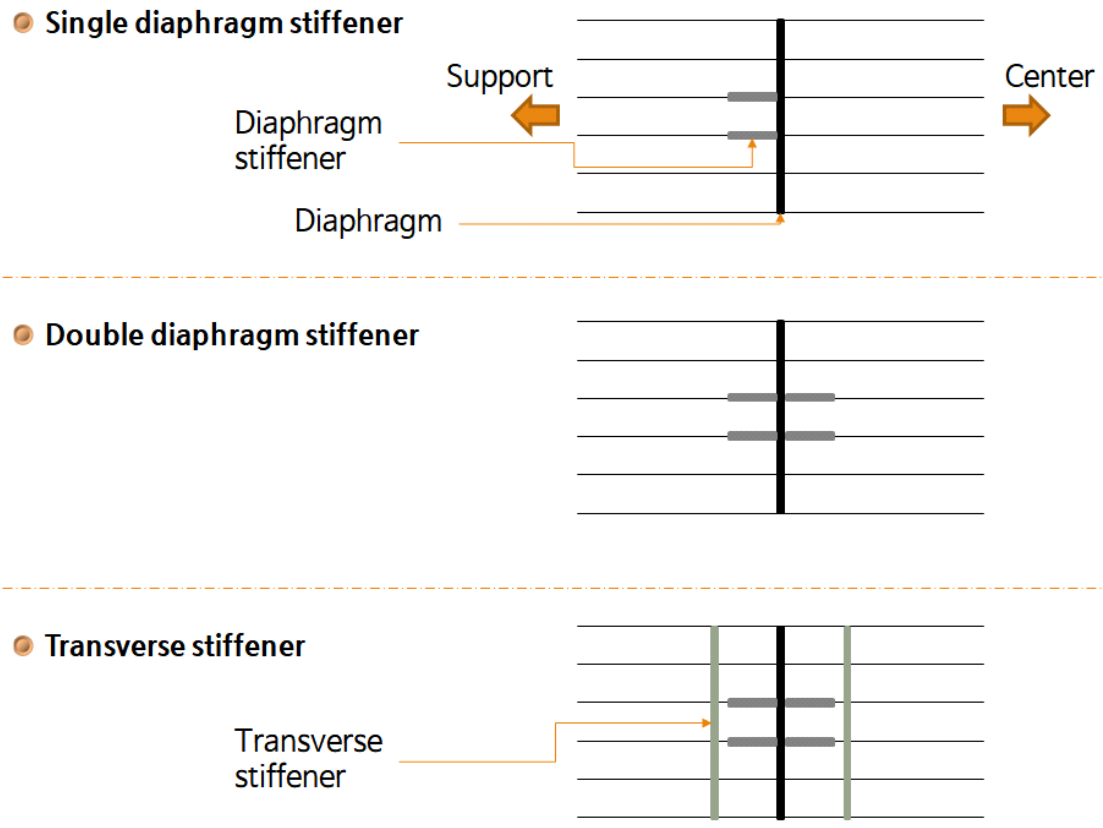


그림 88. 가력부 플랜지 보강 타입

보강타입별 해석결과는 그림 89-91과 같으며 그림 92-97에서 나타내어진다.

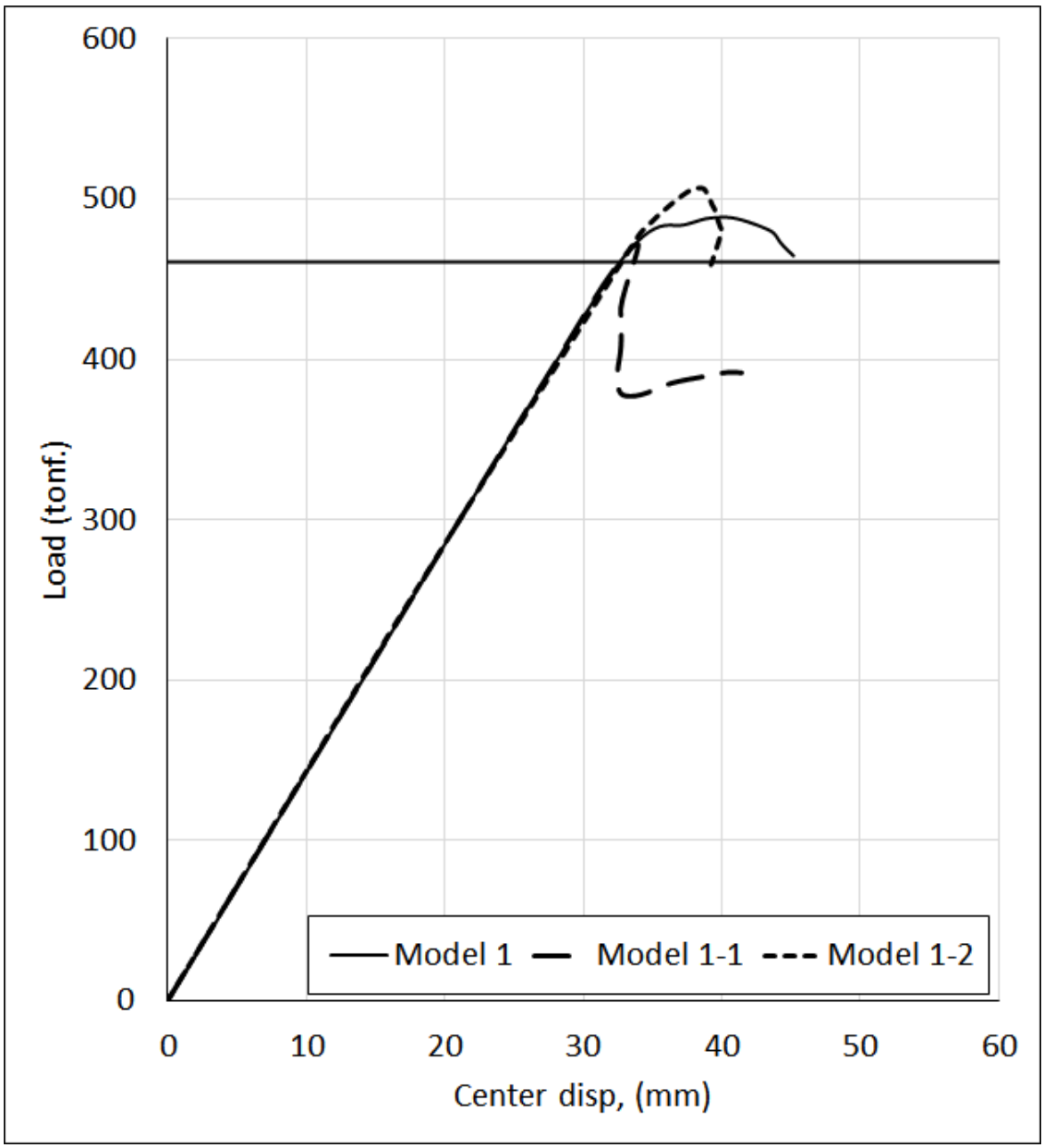


그림 89. 보강타입별 해석결과 (Model 1)

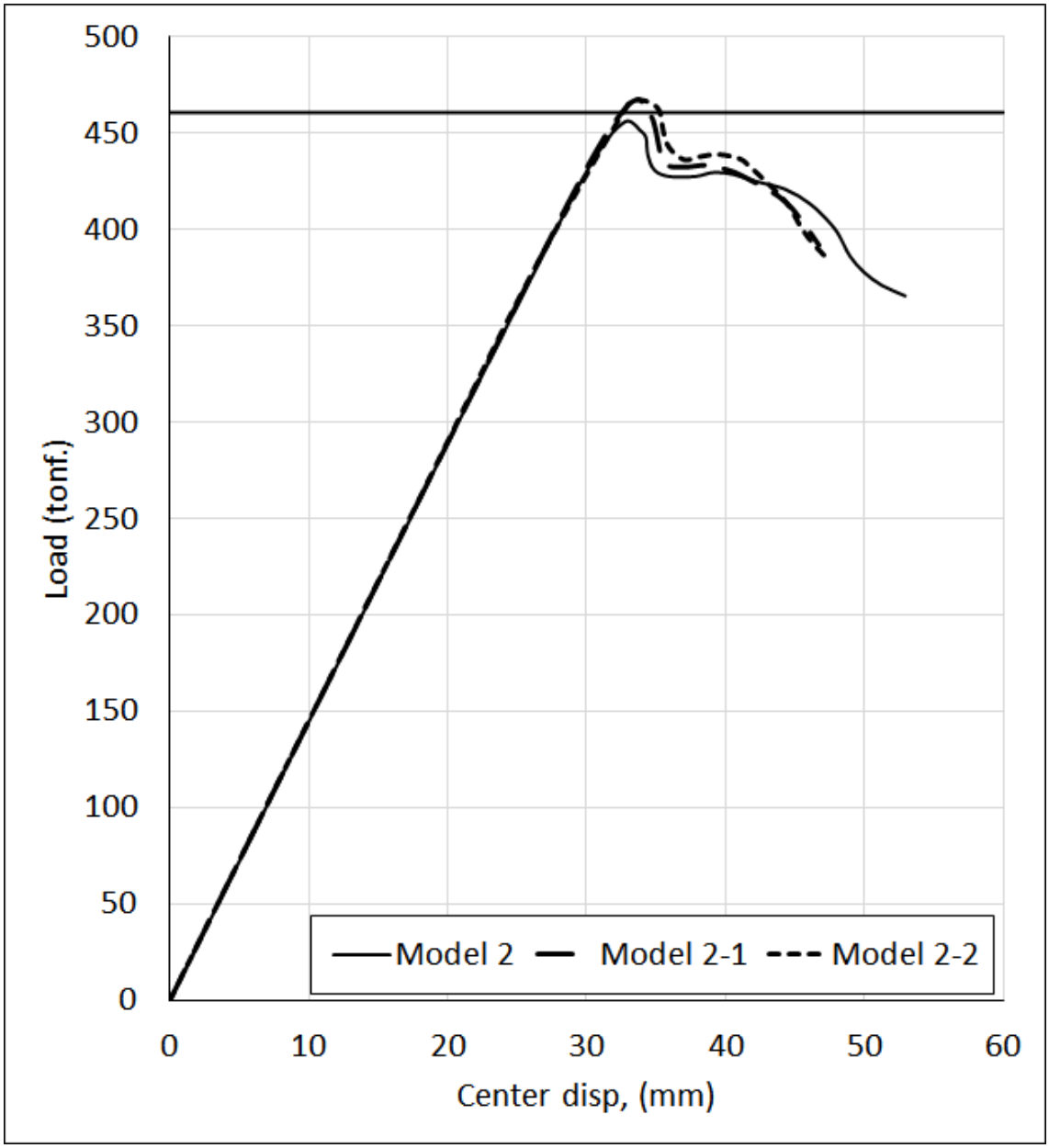


그림 90. 보강타입별 해석결과 (Model 2)

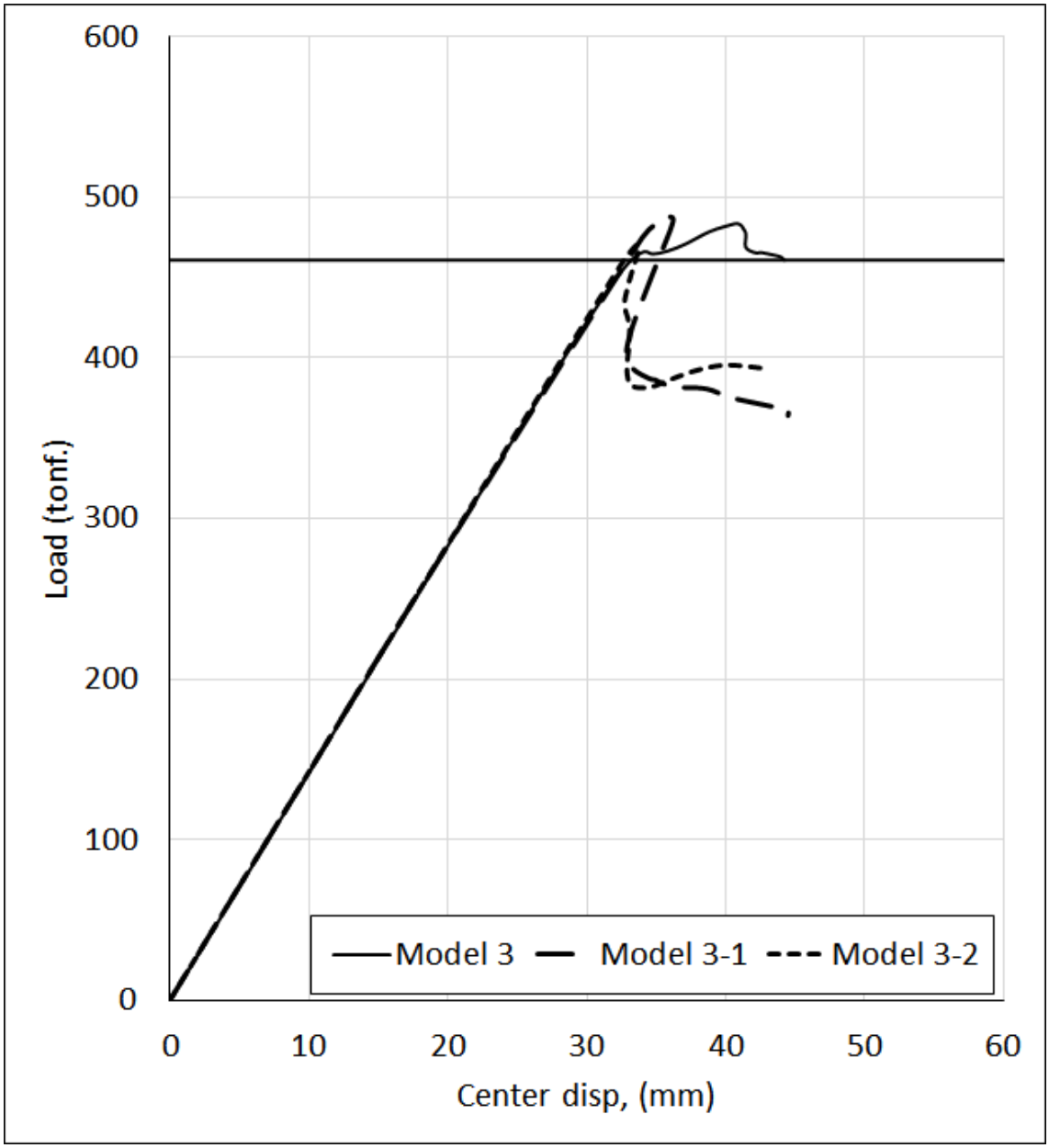
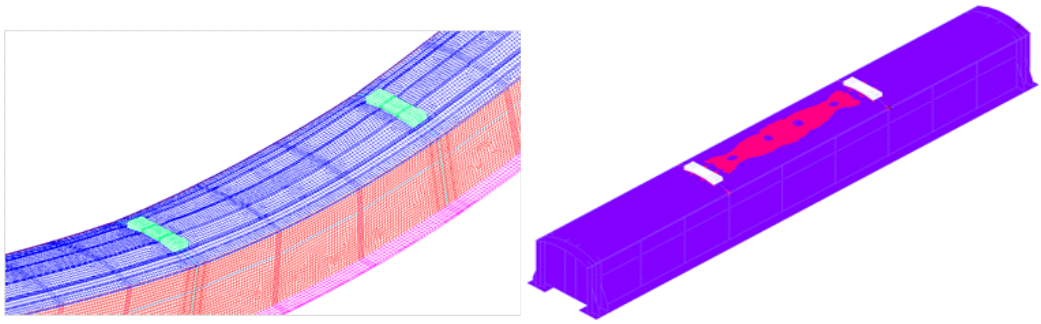
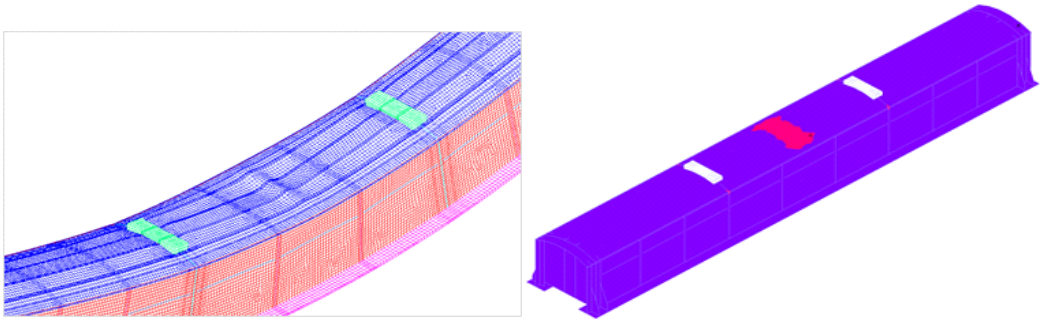


그림 91. 보강타입별 해석결과 (Model 3)

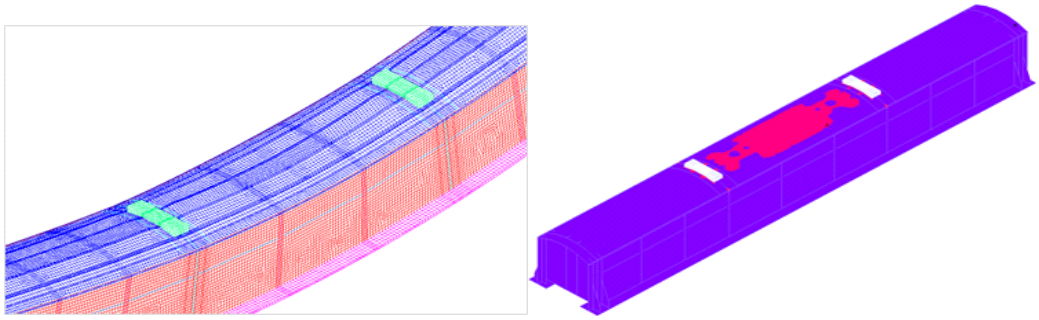


(a) 항복하중 도달 시

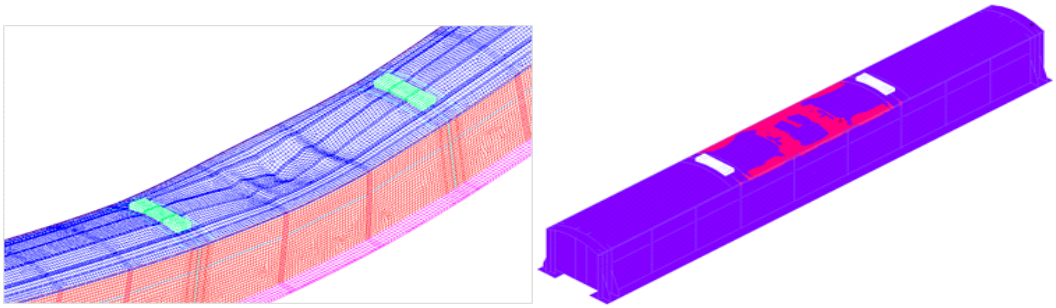


(b) 최대하중 도달 시

그림 92. 파괴형상 및 항복영역 (Model 1-1)

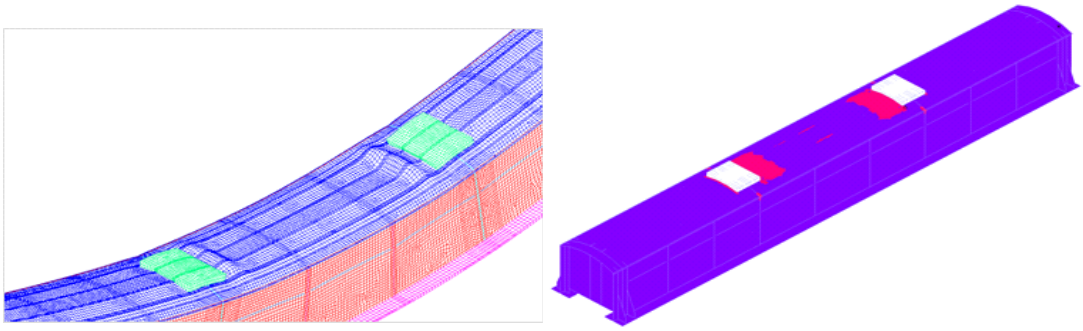


(a) 항복하중 도달 시

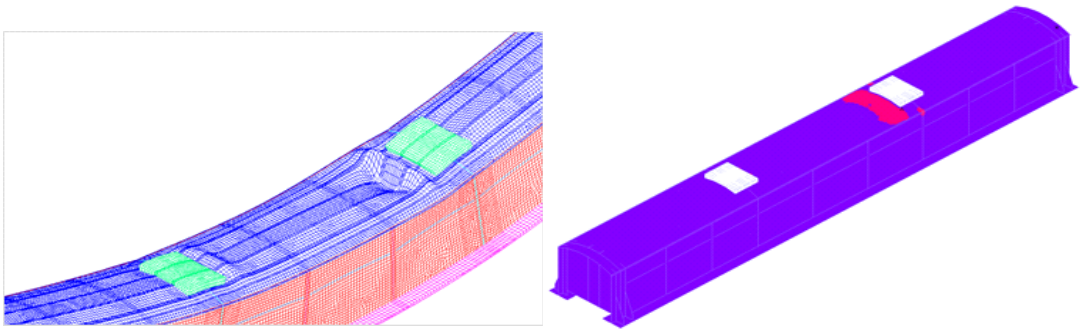


(b) 최대하중 도달 시

그림 93. 파괴형상 및 항복영역 (Model 1-2)

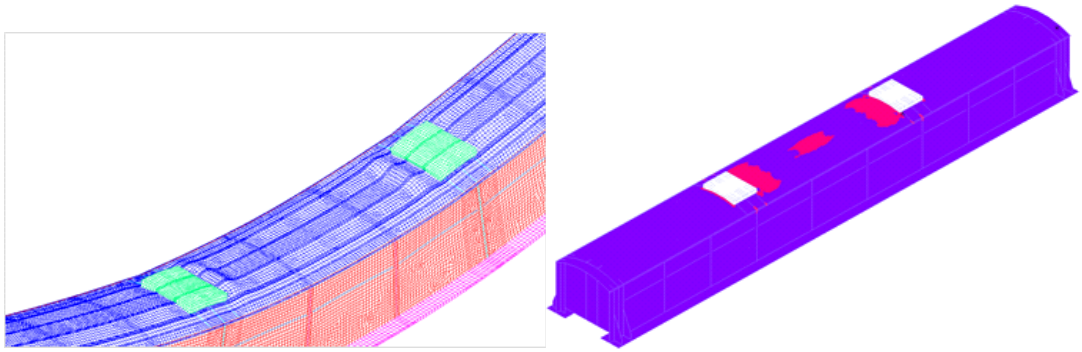


(a) 항복하중 도달 시

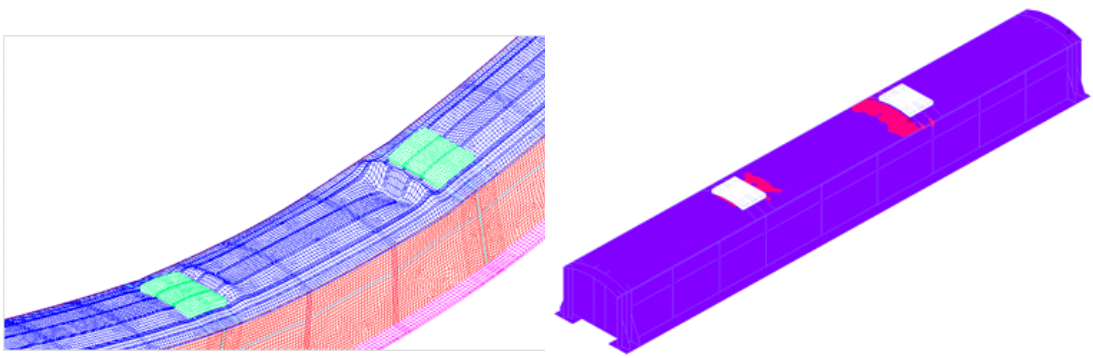


(b) 최대하중 도달 시

그림 94. 파괴형상 및 항복영역 (Model 2-1)

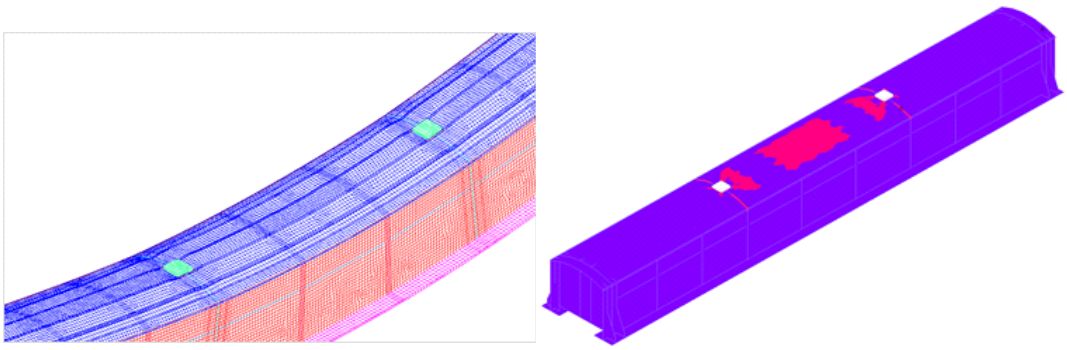


(a) 항복하중 도달 시

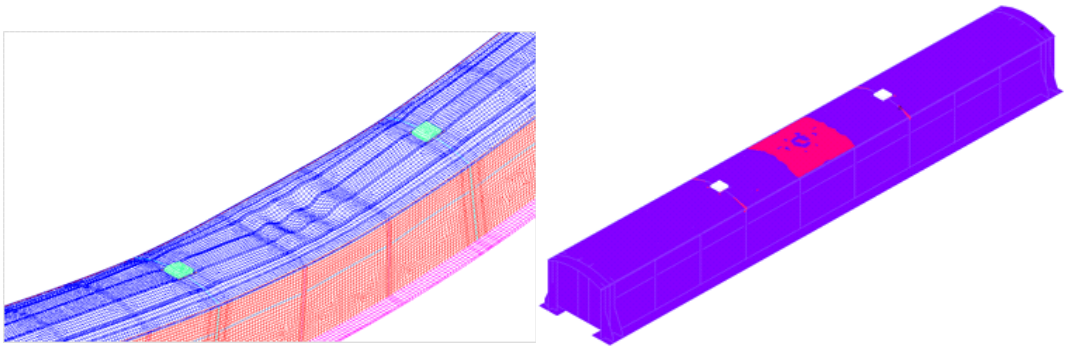


(b) 최대하중 도달 시

그림 95. 파괴형상 및 항복영역 (Model 2-2)

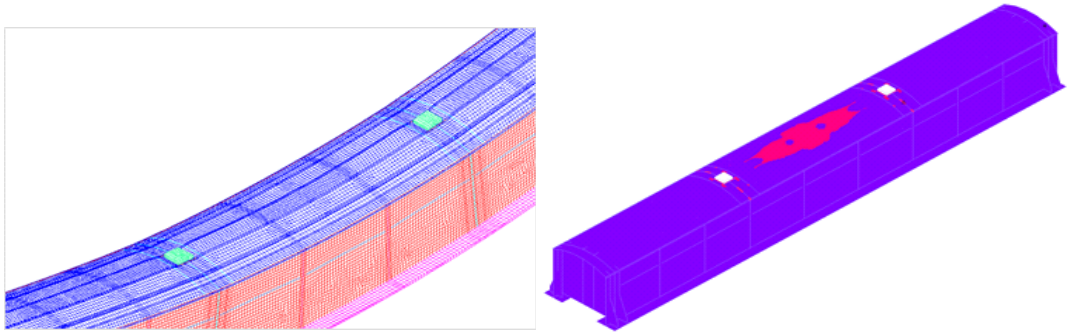


(a) 항복하중 도달 시

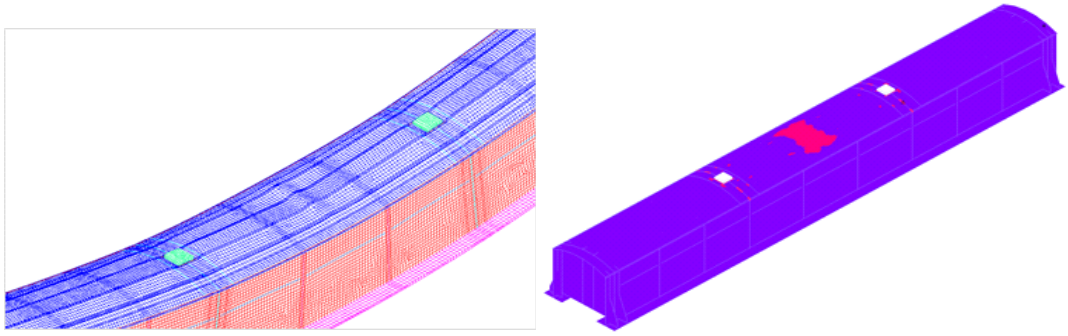


(b) 최대하중 도달 시

그림 96. 파괴형상 및 항복영역 (Model 3-1)



(a) 항복하중 도달 시



(b) 최대하중 도달 시

그림 97. 파괴형상 및 항복영역 (Model 3-2)

전체적인 해석결과를 분석해보면 받침타입 또는 보강재 배치 타입에 따라 크게 두가지 종류의 파괴형상을 갖음을 알 수 있다.

Model 1, 2, 2-1, 2-2, 3은 그림 98과 같은 가력부 근처의 국부파괴 형상을 보이며, Model 1-1, 1-2, 3-1, 3-2는 그림 99과 같이 파괴된다. 파괴형상 1은 가력부의 보강이 부족하여 근처에서 국부적인 파괴가 발생하지만 파괴영역이 작게 분포하게 되어 P-⊿곡선 상에서 다시 항복이후 하중을 더 버틸수 있다. 파괴형상 2는 파괴형상 1에 비해 상대적으로 가력부 보강이 충분하여 가력부 근처에서 국부변형에 따른 파괴가 발생하지 않으나, 거더 중앙부에서 플랜지의 절곡부가 펼쳐짐에 따라 플랜지 좌굴강도가 저하되고 매우 큰 국부변형이 발생하게 되어 항복강도 이후 P-⊿곡선 상 하중이 급격히 저하되는 거동을 보였다. 이는 추가적인 플랜지의 보강을 통하여 방지할 수 있는 파괴형상으로 판단된다.

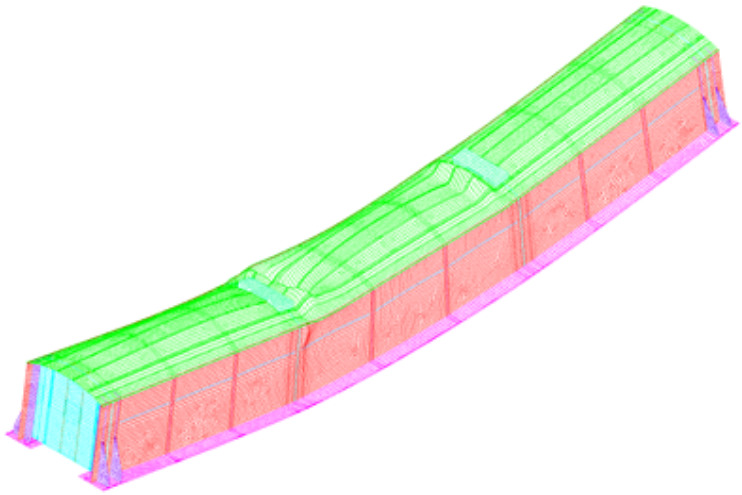


그림 98. 파괴형상 1

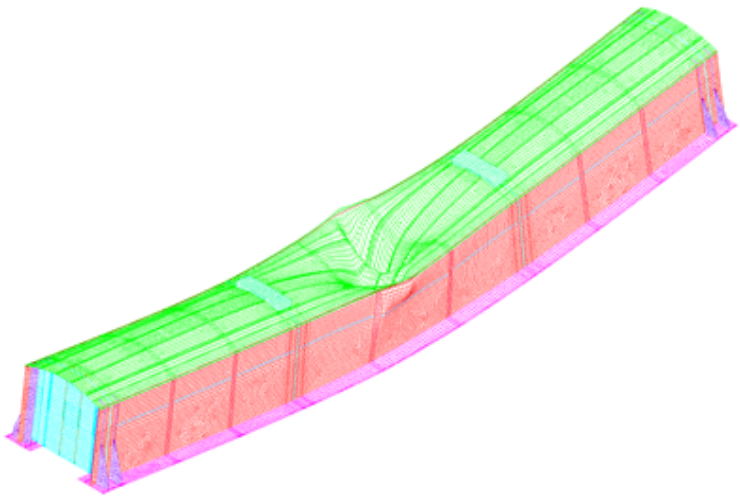


그림 99. 파괴형상 2

다. 받침 및 플랜지 보강에 대한 추가연구

위의 절에서 받침부 형상 및 플랜지 보강에 대한 해석을 수행하였는데 그림 100과 같이 받침부의 길이를 가력부 플랜지에 배치되는 횡방향 보강재까지 넓게 배치하는 Model 4, 5의 두 가지 타입에 대해 추가적인 해석을 수행하였는데 이 모델의 경우 다이아프램의 보강재를 가력부 플랜지 횡방향 보강재와 접합시키는 폭을 갖도록 배치하여 각각 Model 4C, 5C에 대한 해석을 함께 하였다.

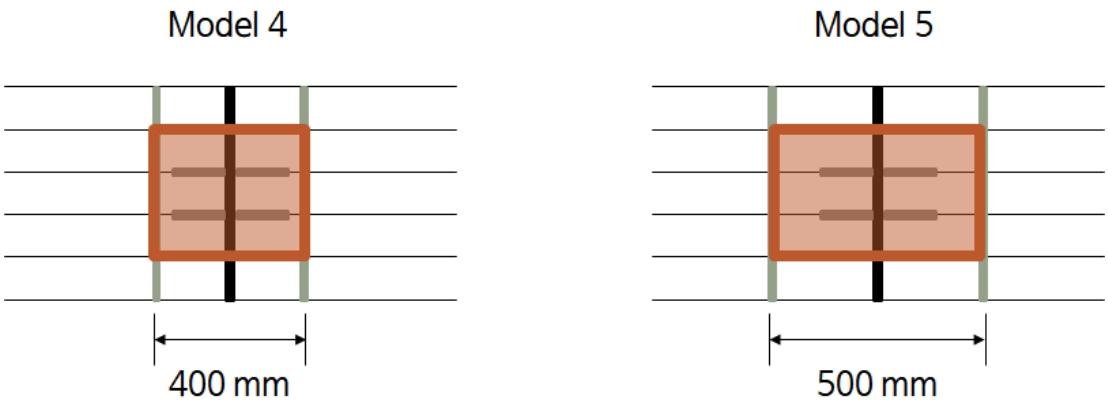


그림 100. 받침 배치 타입 Model 4, Model 5

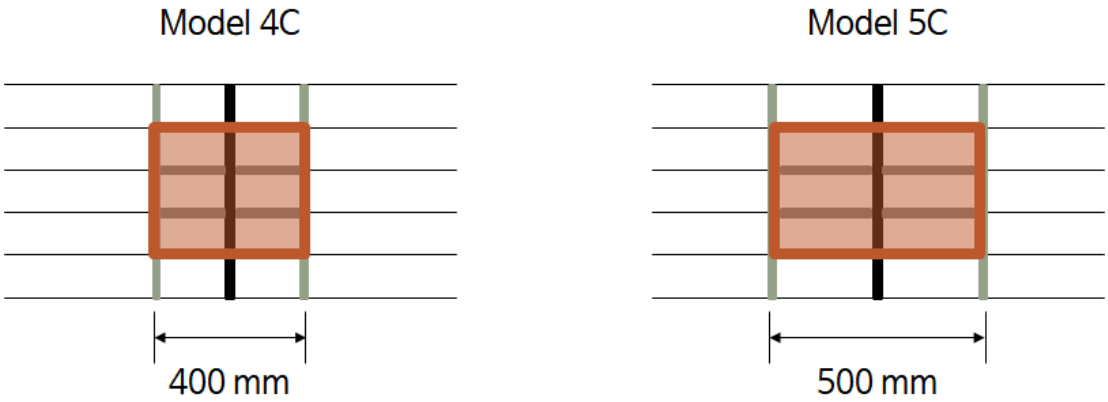


그림 101. 받침 배치 타입 Model 4C, Model 5C

모델 4, 5, 4C 및 5C의 해석결과는 그림 102, 103과 같이 나타내어진다. 해석결과 그래프에서 알 수 있듯 가력부 받침의 길이를 플랜지 횡방향 보강재까지 넓게 배치하여 각각 길이 400, 500mm의 받침을 배치하는 경우 거더의 거동에 크게 영향을 미치지 않는다. 또한 다이아프램 보강재 폭을 다이아프램에서 플랜지 횡방향 보강재까지 거리로 하여 다이아프램 보강재와 접합시키는 것은 결과에 큰 영향을 주지 않았다.

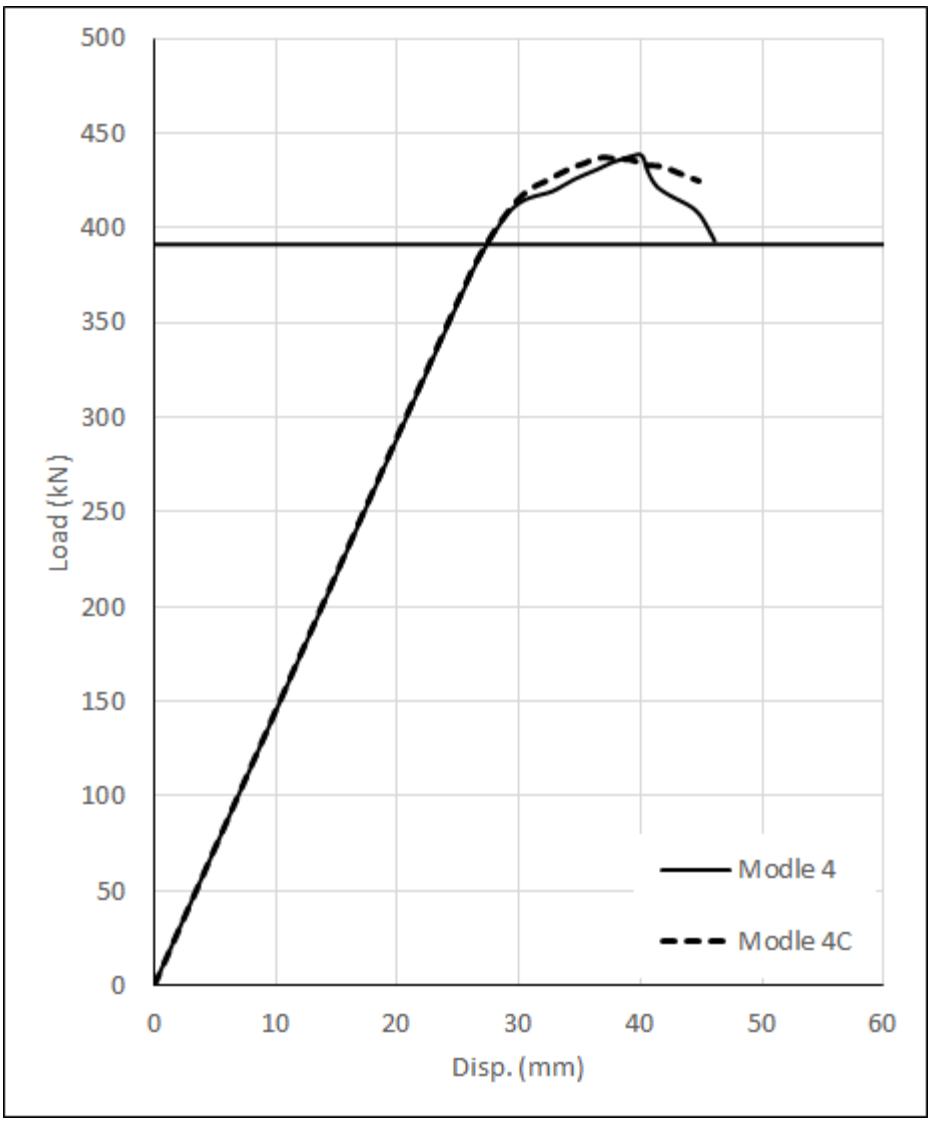


그림 102. 해석결과 (Model 4 & 4C)

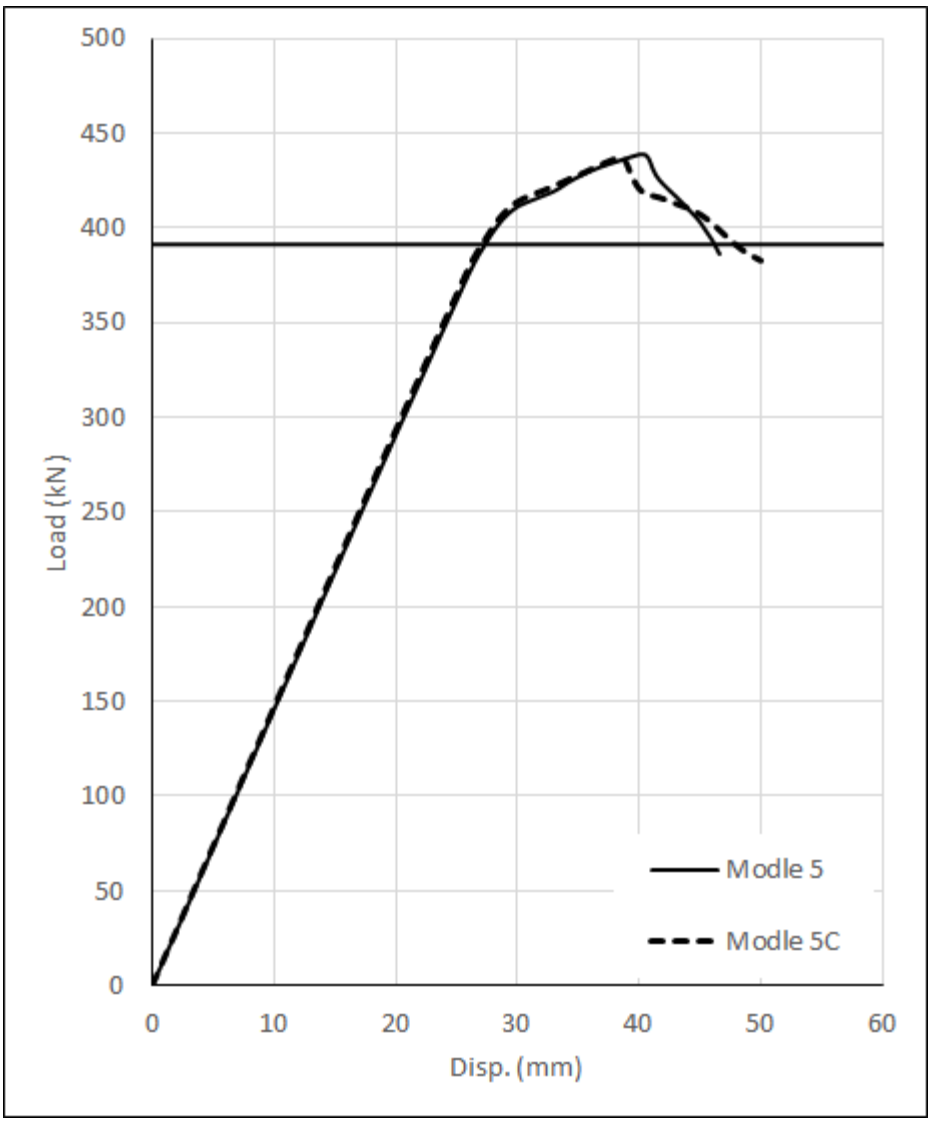


그림 103. 해석결과 (Model 5, 5C)

그림 104은 Model 4, 4C, 5, & 5C의 파괴형상을 보여준다. ?절에서 파괴 형상을 바탕으로 가력부 근처의 보강이 충분한 경우 거더 중앙부 플랜지에서 국부파괴가 발생하며 큰 면외변형에 의해 강도가 급격히 떨어지게 됨을 확인 하였는데 본 해석의 결과에서 보여지는 파괴형상은 가력부 근처의 국부 파괴가 발생함을 알 수 있어 가력부 보강이 부족하다는 결론을 얻을 수 있다. 가력부 플랜지 횡방향 보강재위치까지 받침부가 배치되는 경우 지압으로 인한 가력부 근처 플랜지의 국부파괴가 유도 되므로 이와 같은 배치는 앞의 2., ?절에서 해석한 모델 중 거더 중앙부에서 파괴가 유도되는 받침에 비해 원할한 하중전달이 되지 않는다고 판단되다.

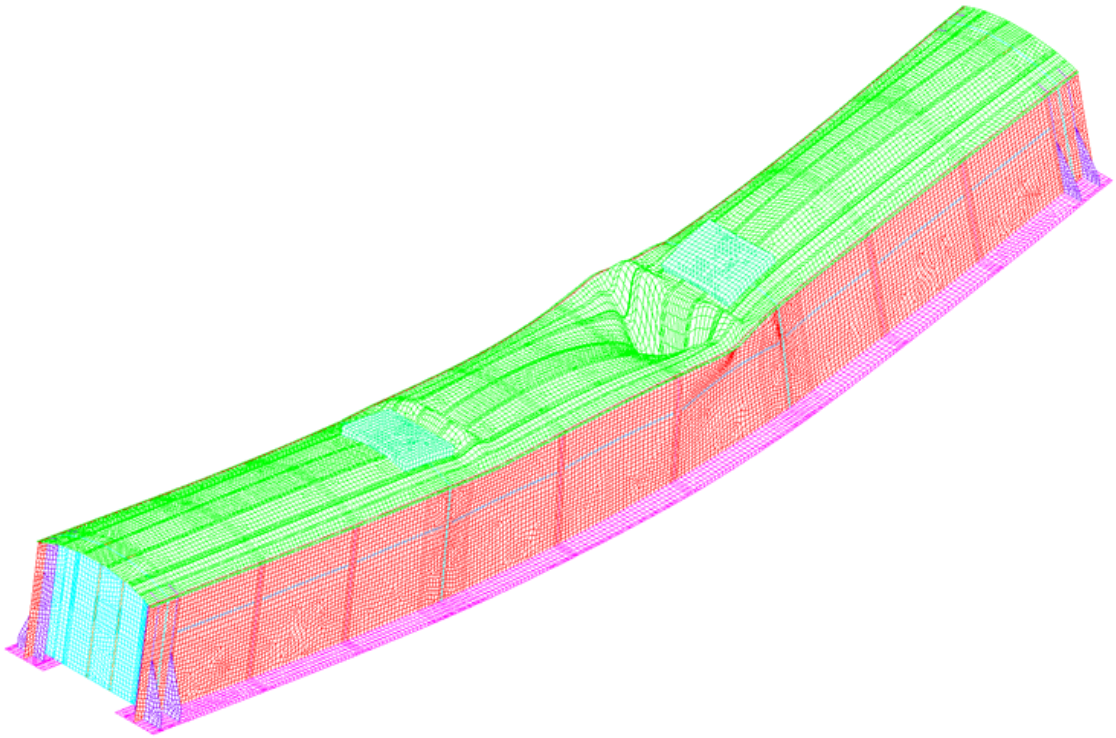


그림 104. Model 4, 4C, 5 & 5C 파괴형상

3. 실험연구

기 제출한 연구개발계획서 상의 목표는 압축플랜지 그림 105 정도의 단면을 갖는 연속교에 대한 실물 모형의 실험이었다. 그러나 명지대 하이브리드센터에서 500 tonf 급 액추에이터 2기를 이용하여 실험한다는 가정하에 안전율을 고려한 최대 재하 가능하중은 2개소에 400 tonf 이다. 그림 106에서 가력 위치에 따라 최대 발생 모멘트가 달라지므로 P는 각각 최대 400 tonf이고 그림 105의 단면을 갖는 거더를 파괴하기 위한 지점부에서 가력부까지의 거리에 따른 계수 a에 대한 소요 길이 L을 계산한 결과는 그림 107와 같다.

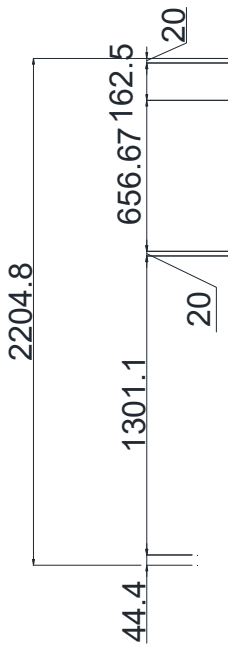


그림 105. 실험 예정 단면

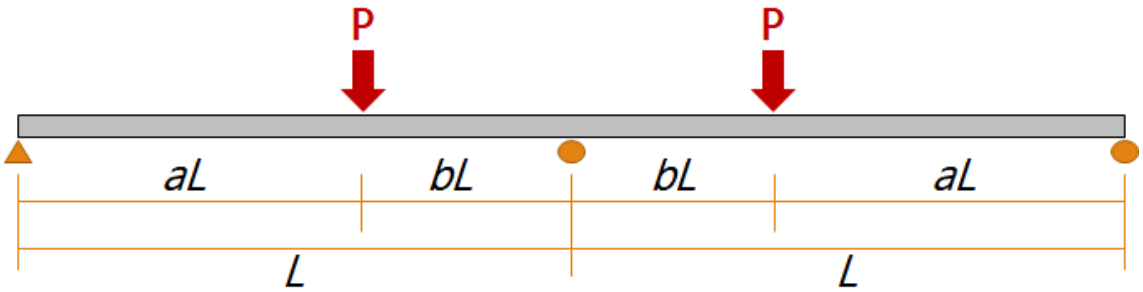


그림 106. 연속교 실험 자유물체도

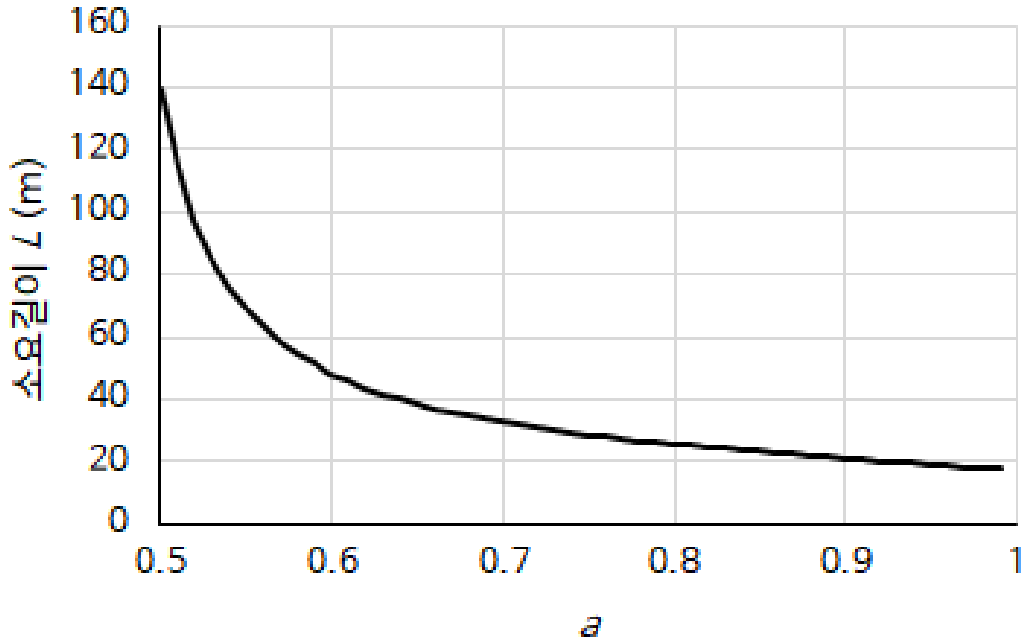


그림 107. 연속교 모델을 파괴하기 위한 소요길이

계수 a가 1에 가까워질수록 가력을 중앙 지점부에 집중되어 재하되는 형태가 되며 이러한 경우 중앙 지점부에서 과도한 전단력이 발생하여 실험체가 전단에 의한 파괴될 수 있다. 이는 현실적으로 발생하지 않는 하중조건이며, 그럼에도 최소 소요길이 L이 20 m로 총 길이 40 m의 실험체의 제작이 필요하였다.

이동시 가능한 최대 적재 길이는 12 m정도이므로 최소 4개의 세그먼트로 분리하여 제작 후 실험실에서 현장 조립을 수행해야 하며, 제작비가 본 과제 연구비로 충당하기에 현실적으로 불가능하므로 그림 108과 같이 연속교에서 부모멘트가 발생하는 중앙 지점부의 모멘트 분포는 단순교에서 발생하는 모멘트와 방향만 반대이므로 그림 105과 같이 압축플랜지를 상면으로 하는 거더에 대한 실험과 유사한 결과를 보일것으로 판단하여 단순교로 실험체를 제작하여 실험연구를 수행하였다.

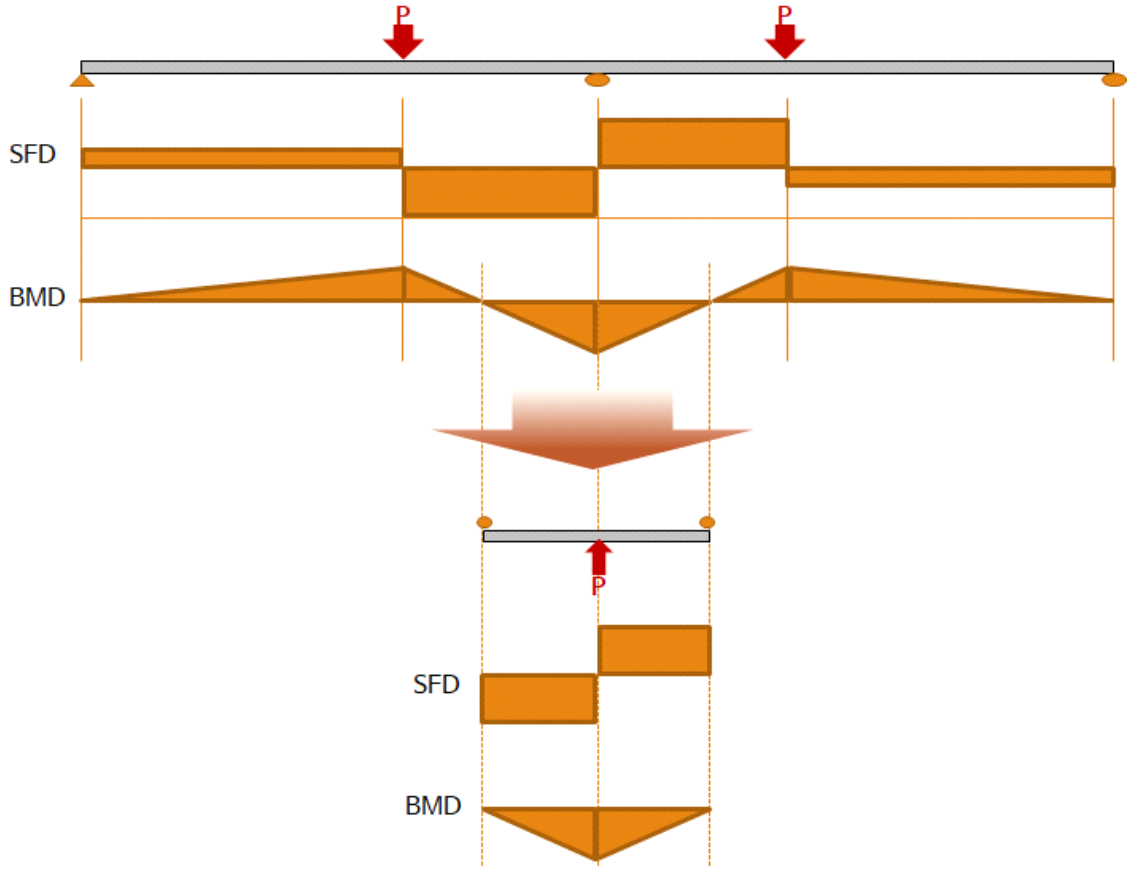


그림 108. 연속교의 부모멘트부 → 단순교 치환

가. 실험체 설계

(1) 실험체 개요

최종적인 실험체는 중앙부에 1개소에 하중을 재하하는 3점 재하형식으로 결정되었고 최대 재하 하중 400 tonf를 고려하여 단면을 설계하였다.

Single/Double-bended 판이 적용된 거더를 각각 2개씩 제작하였으며, 각 플랜지 절곡 타입에 따라 가력부 근처 플랜지에 횡방향 보강재가 2개 또는 4개가 배치하는 총 4개의 실험체를 제작하였다. 모델명은 플랜지 절곡 타입과 횡방향 보강재 수에 따라 표 4와 같이 정의 하였다.

표 4. 실험체 모델명

Bended type	2 trans. stiff	4 trans. stiff
Single	S-2ts	S-4ts
Double	D-2ts	D-4ts

실험체의 총 길이는 운반을 고려하여 4개의 실험체 모두 동일하게 12 m 로 하였으며, 지점부 보강 및 거치를 위해 지점부 설치는 단부에서 400 mm 안쪽에 위치하므로 지점간 거리는 총 11,2 m로 하였다.

(2) 압축플랜지

압축플랜지의 폭은 모든 실험체에 대해 동일하게 1.5 m로 하였으며 길이는 거더 길이와 동일한 12 m 이다. SM400 강재를 사용하였는데 도로교설계기준에는 SM400 강재의 최소항복강도를 두께 40mm 이하인 경우 235 MPa 규정한다. 그러나 ??에서 수행한 실험에서 사용된 SM490 강재의 경우 최소항복강도가 315 MPa로 규정되나 시편시험을 통해 얻은 일부 재료들의 항복강도가 490 MPa 이상을 갖는 강판들이 있었다. 이와 같은 불확실성은 실시 설계시 재료의 항복강도를 설계기준을 따르기 때문에 문제가 되지 않으나 실험체의 설계 시에는 실험체의 파괴 시까지의 거동의 확인에 목적이 있으므로 실험체 파괴 시까지 좌굴이 발생하지 않을 수 있는 설계가 필요하다, 그러므로 강판 항복강도에 여유치를 두어 최소 좌굴강도가 400 MPa을 갖는 압축플랜지의 절곡각도 및 두께를 그림 109과 같이 1차년도에 개발한 그래프를 이용하여 Single/Double-bended type 각각 판 폭/두께 비를 100, 125 정도로 결정하면 각각 판의 두께가 15 mm, 12 mm이나 강판의 두께를 짝수로 하기위해 Single bended type의 경우 두께를 14 mm로 하였고, 절곡각도는 각각 15° , 20° 로 결정하였다.

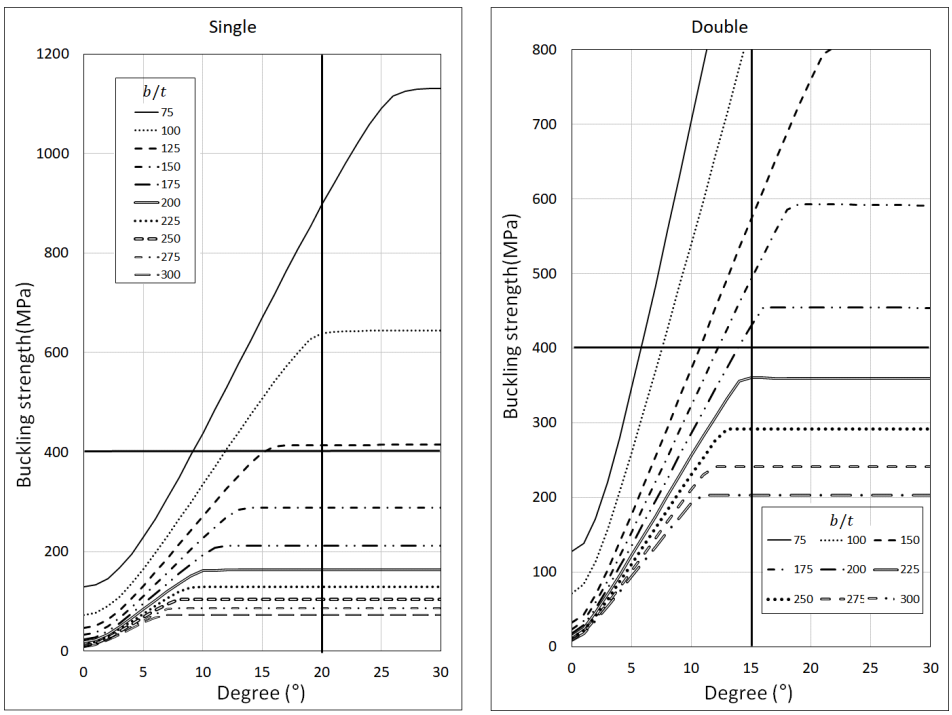


그림 109. 압축플랜지 절곡각도 선정

(3) 복부판

복부판의 경우 강박스거더에 대한 본 실험에서 결과에 미치는 영향이 미미하므로 두께는 압축플랜지와 동일하게 맞추었고 Single/Double-bended 모델 모두 복부판의 높이를 1000 mm로 하였다. 이를 AASHTO 설계기준으로 검토하면 아래와 같다.

6.11.2.1.3-Webs with Longitudinal Stiffeners

Single-bended

$$D/t_w = 71.4 < 300$$

Double-bended

$$D/t_w = 83.3 < 300$$

여기에서 복부판에 종방향 보강재를 필요로 하는데 종방향 보강재의 위치는 압축플랜지 위치로부터 복부판 높이의 20% 만큼 떨어진 지점에 배치하였다.

(4) 인장플랜지

본 실험은 강박스거더 압축플랜지의 거동에 대한 연구이므로 압축플랜지의 파괴 이전에 인장플랜지의 파괴가 발생하지 않도록 강박스거더 단면의 중립축을 인장플랜지 쪽으로 위치시키기 위해 충분한 단면을 갖도록 Single/Double-bended 모두 인장플랜지 폭 400 mm, 두께 30 mm로 하였다.

AASHTO 설계기준으로 인장플랜지의 제원을 검토하면 다음과 같이 설계기준을 만족함을 확인할 수 있다.

6.11.2.2-Flange Proportions

Single-bended

$$b_{ft}/2t_{ft} = 6.67 < 12,\ b_{ft} = 400 \geq D/6 = 166.7,\ t_{ft} = 30 \geq 1.1t_w = 15.4$$

Double-bended

$$b_{ft}/2t_{ft} = 6.67 < 12,\ b_{ft} = 400 \geq D/6 = 166.67,\ t_{ft} = 30 \geq 1.1t_w = 13.2$$

(5) 전체 형상

앞에서 설계된 제원을 바탕으로 본 거더의 전체형상은 그림 110, 111과 같다.

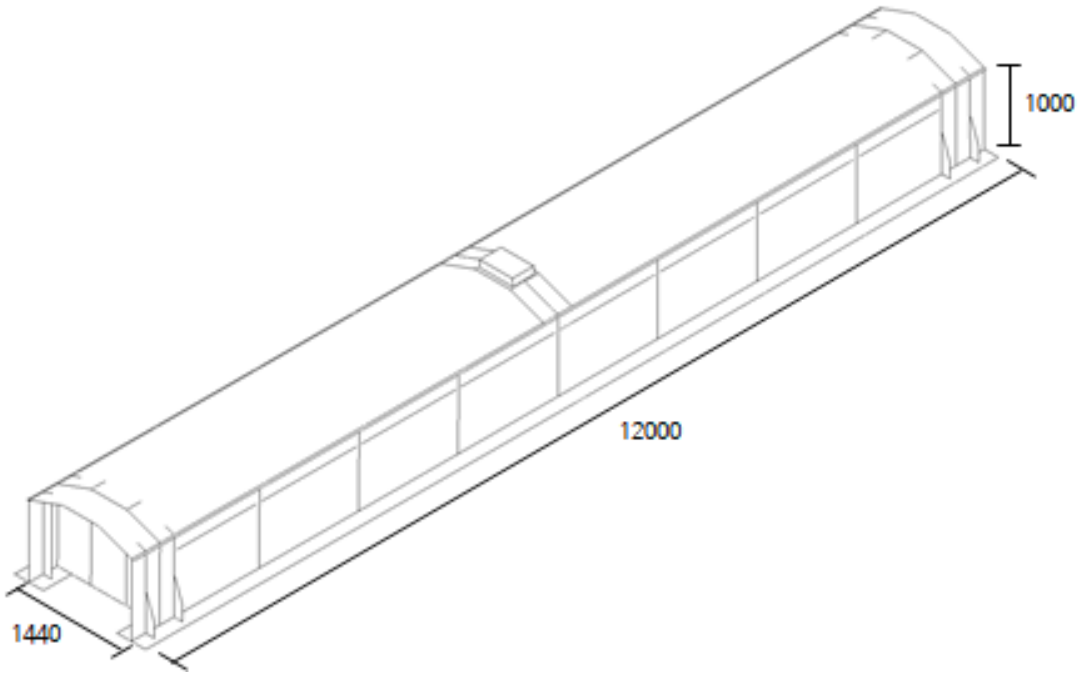


그림 110. S-2ts, S-4ts 형상

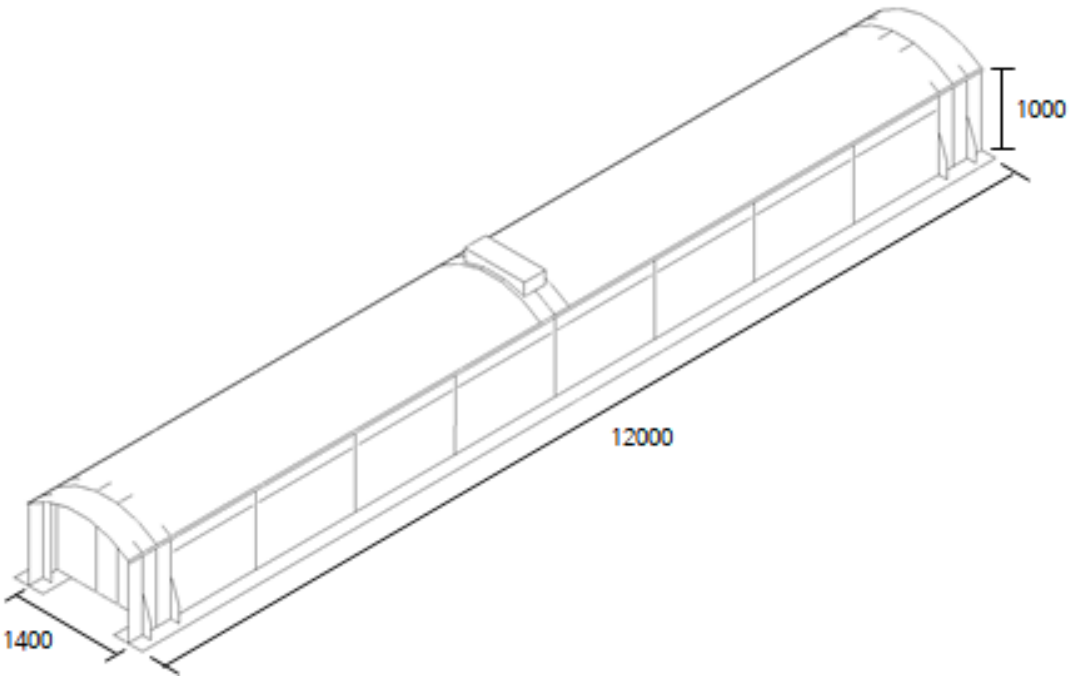


그림 111. D-2ts, D-4ts 형상

(6) 다이아프램

지점부 2개소 및 가력부에 강박스단면 안쪽에 판형으로 배치하였으며 두께는 Single/Double-bended 모두 20 mm로 하여 하중/반력 집중부에서 박스 단면이 찌그러지는 현상을 방지하였다.

(7) 보강재 설계

복부판의 전단좌굴을 방지하기 위해 설치되는 수직보강재, 다이아프램의 좌굴을 방지하기 위해 설치되는 다이아프램 보강재, 지점부 하중분산을 위한 지점보강재의 설계는 그림 112-117와 같이 설계기준에 기준하여 이루어졌으며, 네 실험체의 최종도면은 그림 118-121과 같다.

(8) 가력부

가력부 받침은 다이아프램 보강재 폭이 200 mm일 때, 300 mm의 폭을 가지며 다이아프램 보강재 위에 배치 될 수 있도록 하였다. 또한 다이아프램 보강재의 폭을 200 mm로 하여 플랜지 횡방향 보강재와 접합되도록 하여 Single/Double-bended type 각각 중앙부 1개/3개의 서브패널에 걸쳐 배치되었다.

복부판 보강재 설계

◎ 검토단면 Single

1) 수직보강재의 설계 (SM400 사용)

- 수평보강재 사용 단수 : n = 1
- 사용 수직보강재의 폭 : b_{vs} = 120 mm
- 사용 수직보강재의 두께 : t_{vs} = 12 mm
- 수직보강재의 간격 : a = 1400 mm
- 상하 앙플랜지의 순간격 : b = 978 mm
- 복부판의 두께 : t = 14 mm

① 수직보강재의 간격검토 : (☞ 도.설 3.8.5.1)

a / b = 1400 / 978 = 1.431 ≤ 3.0 O.K

② 수직보강재의 강도검토 : (☞ 도.설 3.8.5.2)

$\gamma = 8.0(b/a)^2 = 8.0\ (978/1400)^2 = 3.904$

$I_{(req)} = \frac{bt^3}{10.92}\gamma =$ (978 ×14³ / 10.92) ×3.904 = 959,423 mm⁴

$I_{(used)} =$ ⅓ × 12 × 120³

= 6,912,000 mm⁴ > $I_{(req)}$ O.K

③ 수직보강재의 최소폭 검토 :

b_{min} = 978/30 + 50 = 82.6 mm < b_{vs} = 120.0 mm O.K

④ 수직보강재의 최소두께 검토 :

t_{min} = 120 / 13 = 9.2 mm < t_{vs} = 12.0 mm O.K

2) 수평보강재의 설계 (SM400 사용)

- 수직보강재의 간격 : a = 1400 mm
- 상하 앙플랜지의 순간격 : b = 978 mm
- 사용 수평보강재의 폭 : b_{hs} = 150 mm
- 사용 수평보강재의 두께 : t_{hs} = 12 mm > tmin = b / 16 = 9.380 mm O.K

① 수평보강재의 강도검토 : (☞ 도.설 3.8.6.2)

$\gamma = 30.0 \times (a/b) = 30.0 \times (1400/978) = 42.945$

$I_{(req)} = \frac{bt^3}{10.92}\gamma =$ (978 ×14³ / 10.92) ×42.945 = 1.06E+07 mm⁴

$I_{(used)} =$ ⅓ × 12 × 150³ × 1 = 1.35E+07 mm⁴ > $I_{(req)}$ O.K

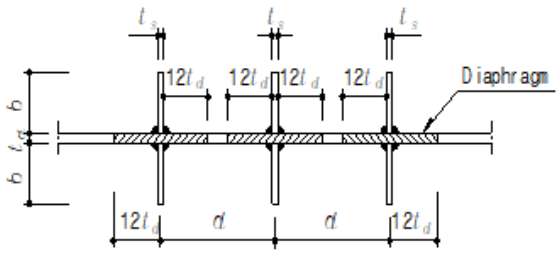
② 수평보강재의 설치위치 : (☞ 도.설 3.8.6.2)

압축측 플랜지로 부터 0.20b = 0.20 × 978 = 195.6 mm

그림 112. 복부판 보강재 설계 (S-2ts, S-4ts)

하중재하점 보강재 설계

◎ 검토모델 : Single



- 사용 강종 : SM400
- 최대지점반력 : R_{max} = 2500.000 kN
- 보강재의 폭 : b = 200.0 mm — 보강재 각도 : α = 90.0 °
- 보강재의 길이 : l = 1133.0 mm — 계산 각도 : Θ = 0.0 °
- 보강재의 두께 : t_s= 16.0 mm > ts_{min} = b / 16 = 12.5 mm 0.K
- 보강재의 설치간격 : d = 500.0 mm — 보강재의 사용열수 : n = 2 EA
- Diaphragm의 두께 : t_d= 20.0 mm

  d = 500.0 mm > $24t_d$ = 480.0 mm 이므로
- 단면유효폭: Be = 2 · 12td + 1 · 24 td = 960.0 mm (☞ 도.설 3.8.7.2)
- 보강재의 단면적: As = 200 ×16 ×4 = 12800 mm^2
- 유효단면적: Ae = 960 ×20 + 12800 = 32000 mm^2 > 1.7As = 21760 mm^2

  따라서, 유효단면적 Ae = 21760 mm^2 (☞ 도.설 3.8.7.1)
- Diaphragm 중심선 둘레의 단면2차모멘트:

$$I = Be \cdot t_d^3 /12 + \{ t_s \cdot b/12\times((b\cdot\cos\Theta)^2 + (t_s\cdot\sin\Theta)^2) + t_s\times b\times(b/2\cdot\cos\Theta+t_d/2)^2 \} \times 2\cdot n$$

$$= 960 \times 20^3 / 12 + \{ 16 \times 200 / 12 \times ((200 \times \cos 0.000)^2 + (16 \times \sin 0.000)^2) + 16 \times 200 \times (200 / 2 \times \cos 0.000 + 20 / 2)^2 \} \times 4 = 198186667\ mm^4$$

- 단면2차반경: $r=\sqrt{\frac{I}{Ae}}$ = 95.435 mm
- 유효좌굴길이: le = 1/2 · l = 566.5 mm

1) 허용축방향 압축응력 검토 (☞ 도.설 3.3.2.1)

: 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향 압축응력, fcag

le/r = 5.9 ⇒ le/r < 18.6 이므로,

⇒ fcag = 140.0 MPa

: 국부좌굴에 대한 허용응력, fcal

b/12.9 = (200) / 12.9 = 15.5 ⇒ b/12.9 ≤ t 이므로,

⇒ fcal = 140.0 MPa

: 국부좌굴을 고려 않은 허용축방향 압축응력 상한값, fcao

⇒ fcao = 140.0 MPa

: 허용축방향 압축응력, fca

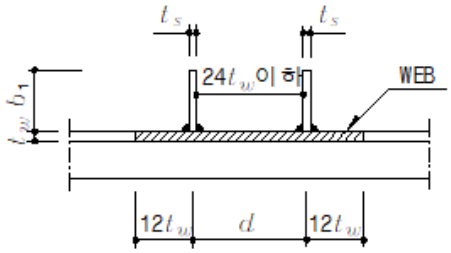
fca = fcag · fcal / fcao = 140.0 MPa fca = 140.0 MPa

fc = Rmax / Ae = 114.9 MPa < fca = 140.0 MPa 0.K

그림 113. 하중재하점 보강재 설계 (S-2ts, S-4ts)

지점 복부판 보강재 설계

◎ 검토모델 : Single



- 사용 강종 : SM400
- 최대지점반력 : R_{max} = 1250.000 kN
- 보강재의 폭 : b = 120.0 mm - 보강재 각도 : α = 90.0 °
- 보강재의 길이 : l = 978.0 mm - 계산 각도 : Θ = 0.0 °
- 보강재의 두께 : t_s= 16.0 mm > ts_{min} = b / 16 = 7.5 mm 0.K
- 보강재의 설치간격 : d = 200.0 mm - 보강재의 사용열수 : n = 3 EA
- 복부판의 두께 : t_d= 14.0 mm

  d = 200.0 mm < $24t_d$ = ### mm 이므로
- 단면유효폭: Be = 2 · 12td + 2 · d = ### mm (☞ 도.설 3.8.7.2)
- 보강재의 단면적: As = 120 ×16 ×3 = 5760 mm^2
- 유효단면적: Ae = 736 ×14 + 5760 = ### mm^2 > 1.7As = ### mm^2

  따라서, 유효단면적 Ae = ### mm^2 (☞ 도.설 3.8.7.1)
- Diaphragm 중심선 둘레의 단면2차모멘트:

$$I = Be \cdot t_d^3 /12 + \{ t_s \cdot b/12 \times ((b \cdot \cos\Theta)^2 + (t_s \cdot \sin\Theta)^2) + t_s \times b \times (b/2 \cdot \cos\Theta + t_d/2)^2 \} \times 2 \cdot n$$

$$= 736 \times 14^3 / 12 + \{ 16 \times 120 / 12 \times ((120 \times \cos 0.000)^2 + (16 \times \sin 0.000)^2) + 16 \times 120 \times (120 / 2 \times \cos 0.000 + 14 / 2)^2 \} \times 6 = ### \ mm^4$$

- 단면2차반경: $r = \sqrt{\frac{I}{Ae}} =$ 81.915 mm
- 유효좌굴길이: le = 1/2 · l = 489.0 mm

1) 허용축방향 압축응력 검토 (☞ 도.설 3.3.2.1)

: 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향 압축응력, fcag

le/r = 6.0 ⇒ le/r < 18.6 이므로,

⇒ fcag = 140.0 MPa

: 국부좌굴에 대한 허용응력, fcal

b/12.9 = (120) / 12.9 = 9.3 ⇒ b/12.9 ≤ t 이므로,

⇒ fcal = 140.0 MPa

: 국부좌굴을 고려 않은 허용축방향 압축응력 상한값, fcao

⇒ fcao = 140.0 MPa

: 허용축방향 압축응력, fca

fca = fcag · fcal / fcao = 140.0 MPa fca = 140.0 MPa

fc = Rmax / Ae = 127.7 MPa < fca = 140.0 MPa 0.K

그림 114. 지점 복부판 보강재 설계 (S-2ts, S-4ts)

복부판 보강재 설계

◎ 검토단면 Double

1) 수직보강재의 설계 (SM400 사용)

- 수평보강재 사용 단수 : n = 1
- 사용 수직보강재의 폭 : b_{vs} = 120 mm
- 사용 수직보강재의 두께 : t_{vs} = 12 mm
- 수직보강재의 간격 : a = 1400 mm
- 상하 앙플랜지의 순간격 : b = 978 mm
- 복부판의 두께 : t = 12 mm

① 수직보강재의 간격검토 : (☞ 도.설 3.8.5.1)

a / b = 1400 / 978 = 1.431 ≤ 3.0 O.K

② 수직보강재의 강도검토 : (☞ 도.설 3.8.5.2)

$\gamma = 8.0(b/a)^2 = 8.0\ (978/1400)^2 = 3.904$

$I_{(req)} = \frac{bt^3}{10.92}\gamma =$ (978 ×12³ / 10.92) ×3.904 = 604,185 mm⁴

$I_{(usal)} =$ ⅓ × 12 × 120³

= 6,912,000 mm⁴ > $I_{(req)}$ O.K

③ 수직보강재의 최소폭 검토 :

b_{min} = 978/30 + 50 = 82.6 mm < b_{vs} = 120.0 mm O.K

④ 수직보강재의 최소두께 검토 :

t_{min} = 120 / 13 = 9.2 mm < t_{vs} = 12.0 mm O.K

2) 수평보강재의 설계 (SM400 사용)

- 수직보강재의 간격 : a = 1400 mm
- 상하 앙플랜지의 순간격 : b = 978 mm
- 사용 수평보강재의 폭 : b_{hs} = 150.0 mm
- 사용 수평보강재의 두께 : t_{hs} = 12 mm > tmin = b / 16 = 9.380 mm O.K

① 수평보강재의 강도검토 : (☞ 도.설 3.8.6.2)

$\gamma = 30.0 \times (a/b) = 30.0 \times (1400/978) = 42.945$

$I_{(req)} = \frac{bt^3}{10.92}\gamma =$ (978 ×12³ / 10.92) ×42.945 = 6.65E+06 mm⁴

$I_{(usal)} =$ ⅓ × 12 × 150³ × 1 = 1.35E+07 mm⁴ > $I_{(req)}$ O.K

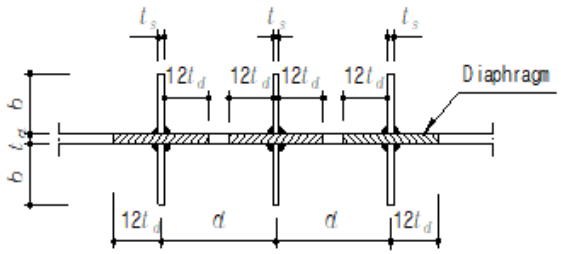
② 수평보강재의 설치위치 : (☞ 도.설 3.8.6.2)

압축측 플랜지로 부터 0.20b = 0.20 × 978 = 195.6 mm

그림 115. 복부판 보강재 설계 (D-2ts, D-4ts)

하중재하점 보강재 설계

◎ 검토모델 : Double



- 사용 강종 : SM400
- 최대지점반력 : R_{max} = 2500.000 kN
- 보강재의 폭 : b = 200.0 mm — 보강재 각도 : α = 90.0 °
- 보강재의 길이 : l = 1107.0 mm — 계산 각도 : Θ = 0.0 °
- 보강재의 두께 : t_s = 16.0 mm > ts_{min} = b / 16 = 12.5 mm O.K
- 보강재의 설치간격 : d = 300.0 mm — 보강재의 사용열수 : n = 2 EA
- Diaphragm의 두께 : t_d = 20.0 mm

  d = 300.0 mm < $24t_d$ = 480.0 mm 이므로
- 단면유효폭: Be = 2 · 12td + 1 · d = 780.0 mm (☞ 도.설 3.8.7.2)
- 보강재의 단면적: As = 200 × 16 × 4 = 12800 mm^2
- 유효단면적: Ae = 780 × 20 + 12800 = 28400 mm^2 > 1.7As = 21760 mm^2

  따라서, 유효단면적 Ae = 21760 mm^2 (☞ 도.설 3.8.7.1)
- Diaphragm 중심선 둘레의 단면2차모멘트:

$$I = Be \cdot t_d^3/12 + \{ t_s \cdot b/12 \times ((b \cdot \cos\Theta)^2 + (t_s \cdot \sin\Theta)^2) + t_s \times b \times (b/2 \cdot \cos\Theta + t_d/2)^2 \} \times 2 \cdot n$$

$$= 780 \times 20^3/12 + \{ 16 \times 200/12 \times ((200 \times \cos 0.000)^2 + (16 \times \sin 0.000)^2) + 16 \times 200 \times (200/2 \times \cos 0.000 + 20/2)^2 \} \times 4 = 198066667\ mm^4$$

- 단면2차반경: $r = \sqrt{\frac{I}{Ae}} =$ 95.406 mm
- 유효좌굴길이: le = 1/2 · l = 553.5 mm

1) 허용축방향 압축응력 검토 (☞ 도.설 3.3.2.1)

: 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향 압축응력, fcag

le/r = 5.8 ⇒ le/r < 18.6 이므로,

⇒ fcag = 140.0 MPa

: 국부좌굴에 대한 허용응력, fcal

b/12.9 = (200) / 12.9 = 15.5 ⇒ b/12.9 ≤ t 이므로,

⇒ fcal = 140.0 MPa

: 국부좌굴을 고려 않은 허용축방향 압축응력 상한값, fcao

⇒ fcao = 140.0 MPa

: 허용축방향 압축응력, fca

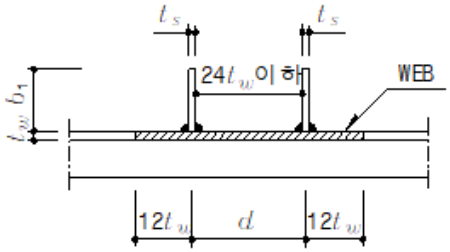
fca = fcag · fcal / fcao = 140.0 MPa fca = 140.0 MPa

fc = Rmax / Ae = 114.9 MPa < fca = 140.0 MPa O.K

그림 116. 하중재하점 보강재 설계 (D-2ts, D-4ts)

지점 복부판 보강재 설계

◎ 검토모델 : Double



- 사용 강종 : SM400
- 최대지점반력 : R_{max} = 1250.000 kN
- 보강재의 폭 : b = 120.0 mm — 보강재 각도 : α = 90.0 °
- 보강재의 길이 : l = 978.0 mm — 계산 각도 : Θ = 0.0 °
- 보강재의 두께 : t_s= 16.0 mm > ts_{min} = b / 16 = 7.5 mm O.K
- 보강재의 설치간격 : d = 200.0 mm — 보강재의 사용열수 : n = 3 EA
- 복부판의 두께 : t_d= 12.0 mm

  d = 200.0 mm < $24t_d$ = 288.0 mm 이므로
- 단면유효폭: Be = 2 · 12td + 2 · d = 688.0 mm (☞ 도.설 3.8.7.2)
- 보강재의 단면적: As = 120 × 16 × 3 = 5760 mm^2
- 유효단면적: Ae = 688 × 12 + 5760 = 14016 mm^2 > 1.7As = 9792 mm^2

  따라서, 유효단면적 Ae = 9792 mm^2 (☞ 도.설 3.8.7.1)
- Diaphragm 중심선 둘레의 단면2차모멘트:

  $I = Be \cdot t_d^3 / 12 + \{ t_s \cdot b/12 \times ((b \cdot \cos\Theta)^2 + (t_s \cdot \sin\Theta)^2) + t_s \times b \times (b/2 \cdot \cos\Theta + t_d/2)^2 \} \times 2 \cdot n$

  = 688 × 12³ / 12 + { 16 × 120 / 12 × ((120 × cos 0.000)² + (16 × sin 0.000)²)

  + 16 × 120 × (120 / 2 × cos 0.000 + 12 / 2)² } × 6 = 64104192 mm^4
- 단면2차반경: $r = \sqrt{\frac{I}{Ae}}$ = 80.911 mm
- 유효좌굴길이: le = 1/2 · l = 489.0 mm

1) 허용축방향 압축응력 검토 (☞ 도.설 3.3.2.1)

: 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향 압축응력, fcag

le/r = 6.0 ⇒ le/r < 18.6 이므로,

⇒ fcag = 140.0 MPa

: 국부좌굴에 대한 허용응력, fcal

b/12.9 = (120) / 12.9 = 9.3 ⇒ b/12.9 ≤ t 이므로,

⇒ fcal = 140.0 MPa

: 국부좌굴을 고려 않은 허용축방향 압축응력 상한값, fcao

⇒ fcao = 140.0 MPa

: 허용축방향 압축응력, fca

fca = fcag · fcal / fcao = 140.0 MPa fca = 140.0 MPa

fc = Rmax / Ae = 127.7 MPa < fca = 140.0 MPa O.K

그림 117. 지점 복부판 보강재 설계 (D-2ts, D-4ts)

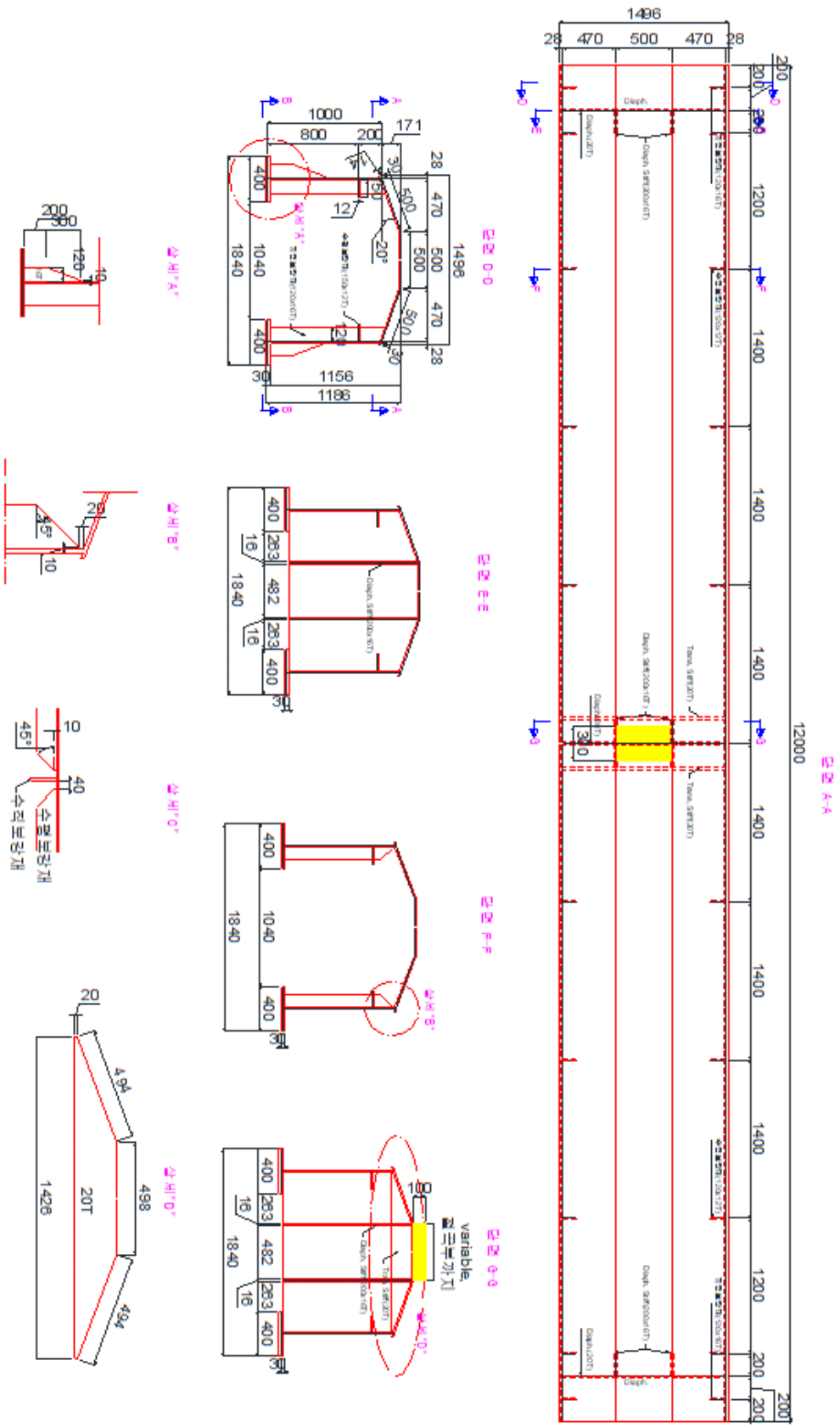


그림 118. S-2ts 도면

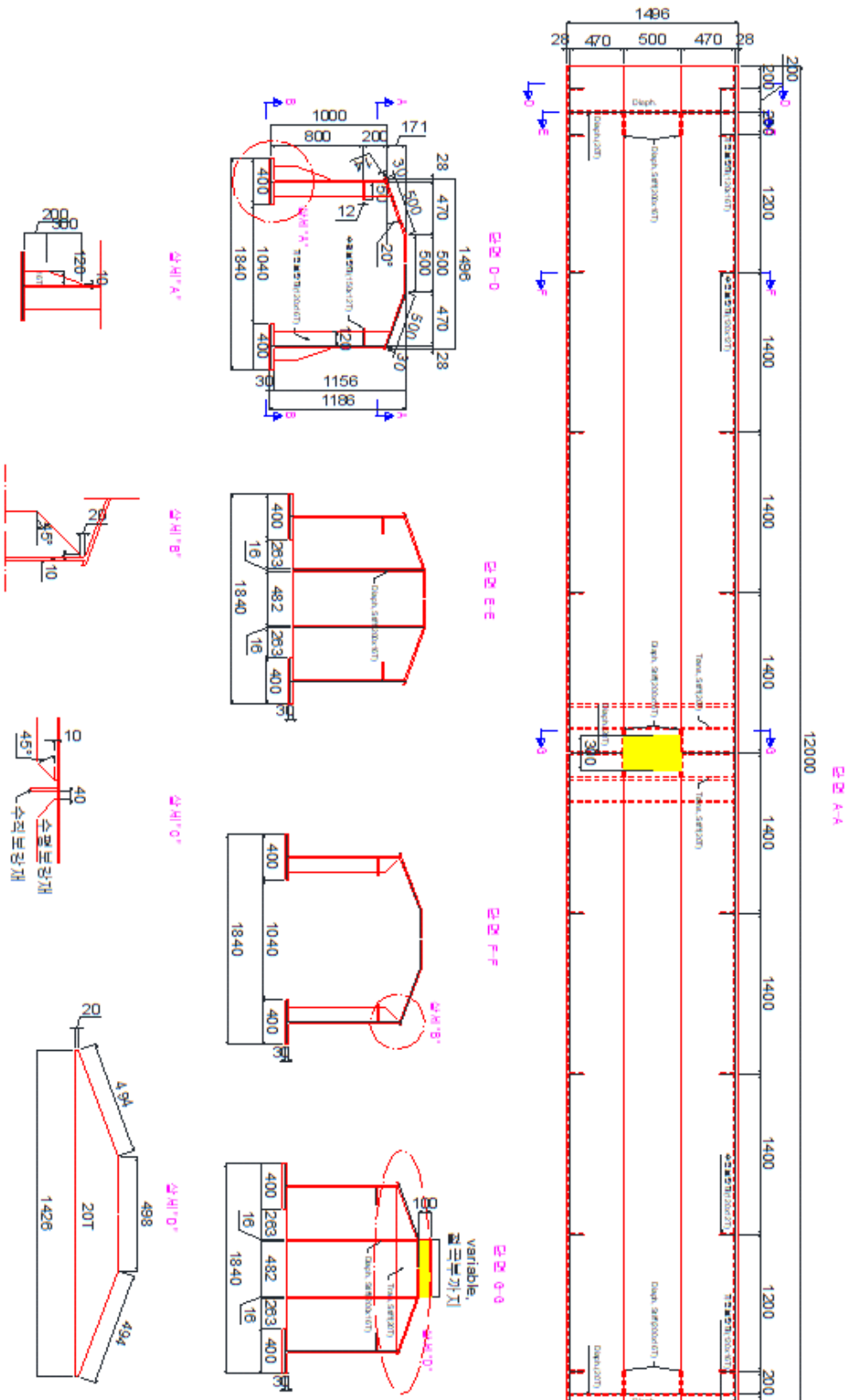


그림 119. S-4ts 도면

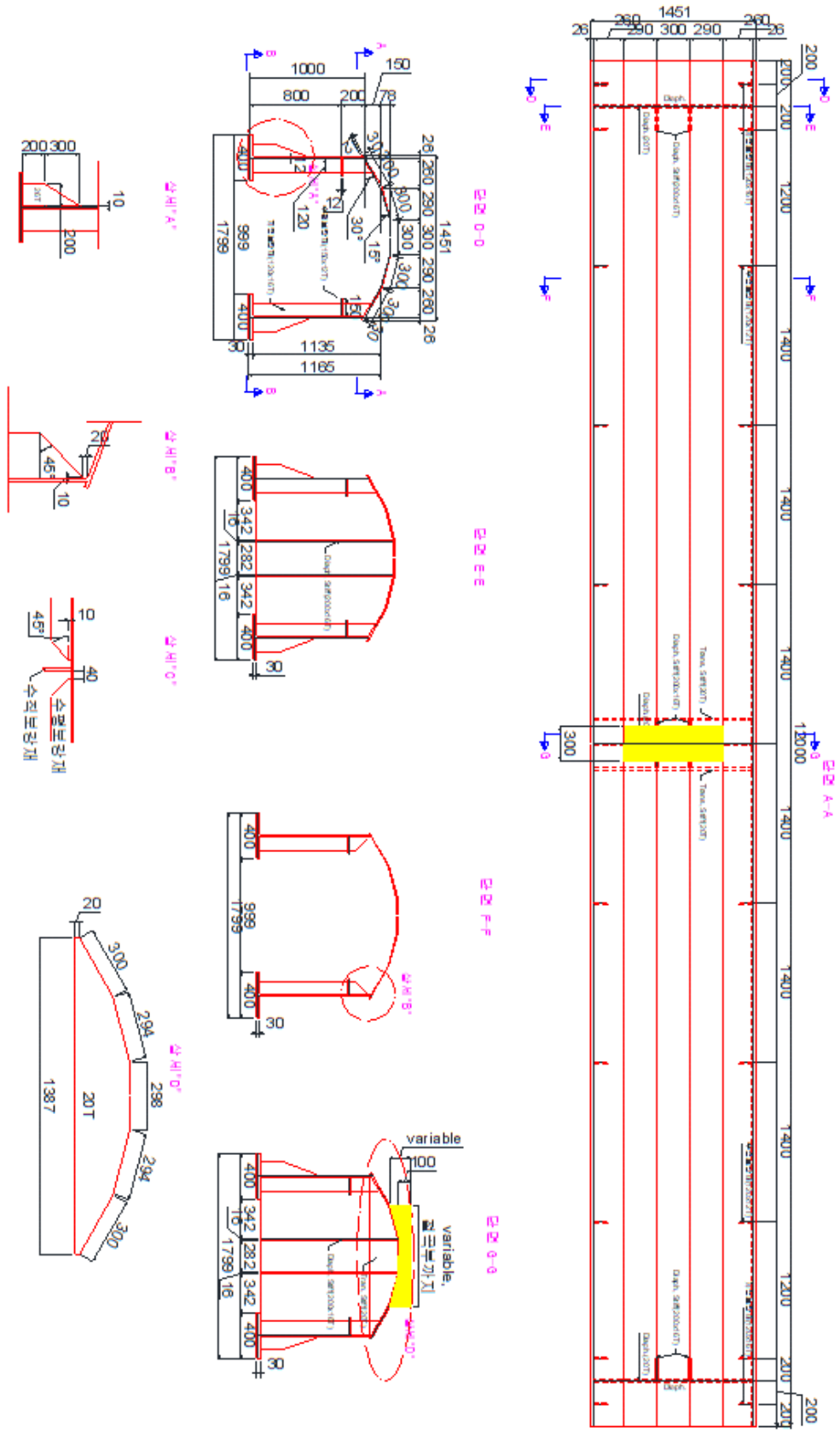


그림 120. D-2ts 도면

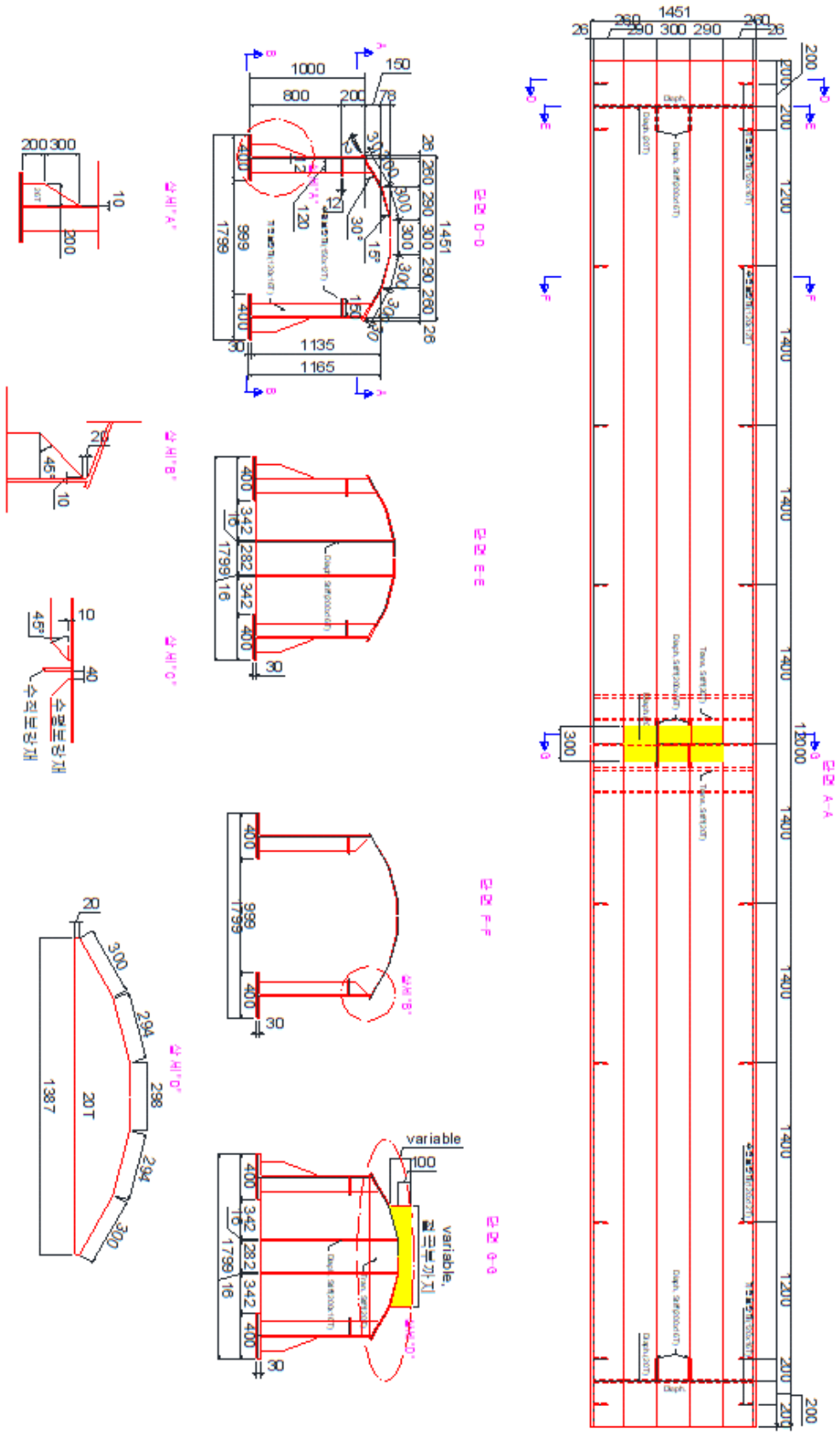


그림 121. D-4ts 도면

나. 시험체 유한요소해석

실험을 진행하기에 앞서 유한요소해석을 수행하였다. 각 실험체의 극한 하중을 검토하고 실험을 수행하기 위해 선행되어야한 유한요소해석은 강재의 최소항복강도 235 MPa, 인장강도 400 MPa의 물성치를 동일하게 모든 판이 가진다고 가정하고 수행되었다.

거더의 극한해석을 하기에 앞서 좌굴해석을 수행하였다. 본 연구의 목적은 압축플랜지의 개발에 있으므로 압축플랜지에서 파괴가 되도록 설계가 되었고 이에 따라 좌굴해석을 통해 검증이 필요하였다. 그림 122에서 보여지는 것과 같이 선형탄성좌굴해석결과 실험의 타겟으로 하는 압축플랜지의 가력부 근처에서 좌굴이 발생함을 확인할 수 있으며 이 때의 좌굴 하중은 736 ton.에서 1,105 ton.까지 매우 크게 나타남을 확인 할 수 있었다.

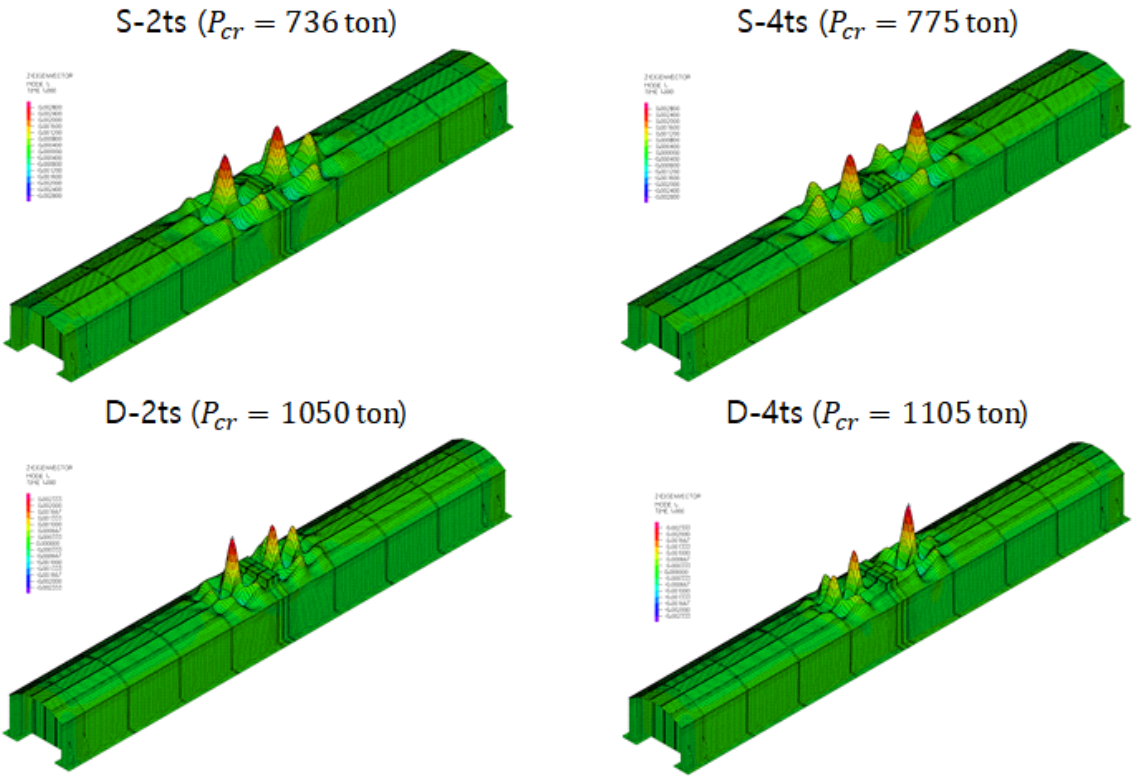


그림 122. 좌굴해석 결과

좌굴해석과 동일한 모델에 대해 비선형 극한해석을 수행하였다. 그 결과는 그림 123과 같으며 예상되는 극한하중은 212 ton.에서 248 ton. 사이의 값으로 나타났다. 그러나 본 해석은 도로교설계기준에서 규정하는 최소항복강도를 갖는 재료물성치로 모델링하여 해석한 결과이나 1차년도 실험 시 실제 강판의 시편시험 결과 항복강도가 인장강도 만큼 나오는 경우가 많았으므로 설계기준 상의 최소항복

강도 235 MPa을 인장강도 400 MPa로 보간하여 개략적으로 계산해보면 예상되는 극한 하중은 S-2ts, S-4ts, D-2ts 및 D-4ts 각각 360, 388, 403, 422 ton이다. 이와 같이 인장강도만큼 항복강도가 나오는 경우에도 500 ton. 유압잭을 이용하여 실험이 가능할 것으로 판단하였다.

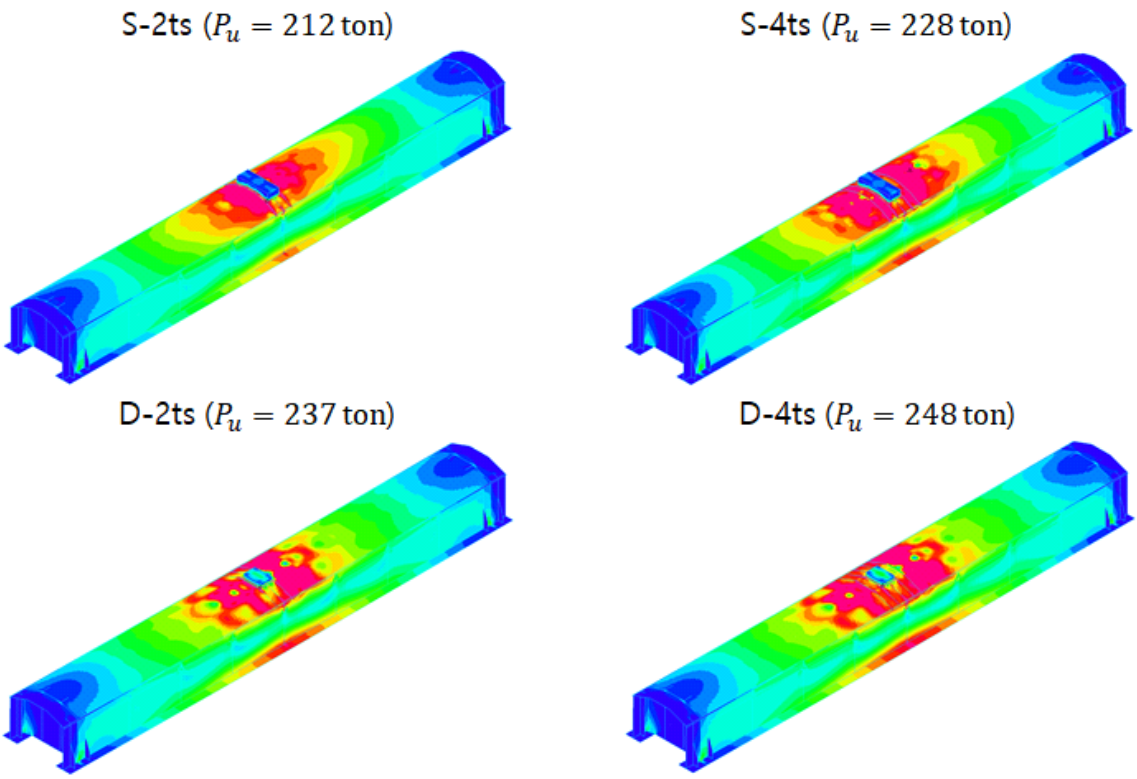


그림 123. 비선형 극한해석 결과

다. 실험방법 및 결과

명지대 하이브리드 센터에서 500t 유압잭을 이용하여 실험을 진행하였다. 실험체 거치 전경은 그림 124, 125과같다.



그림 124. 실험체 거치전경 (S-2ts, S-4ts)

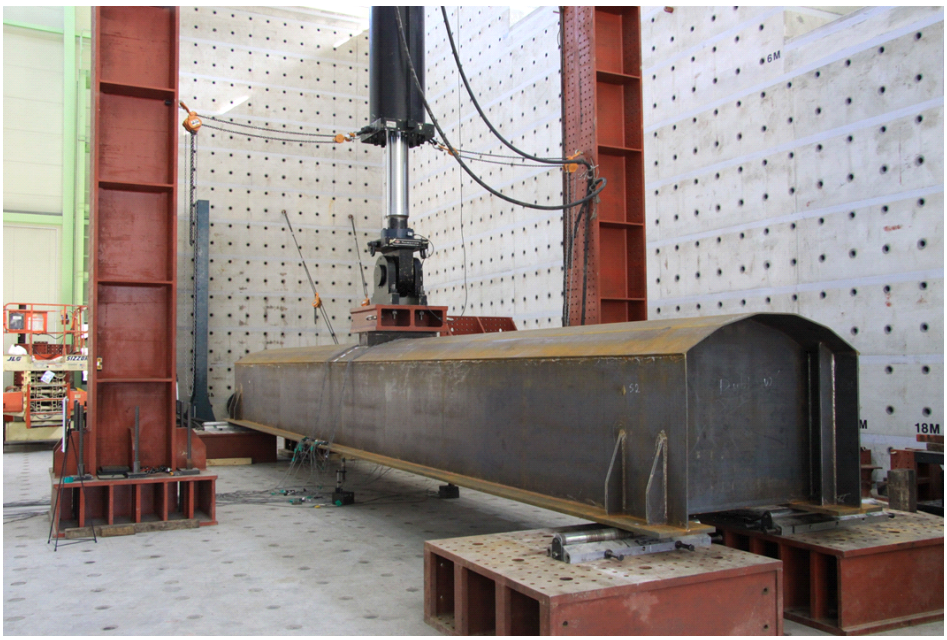
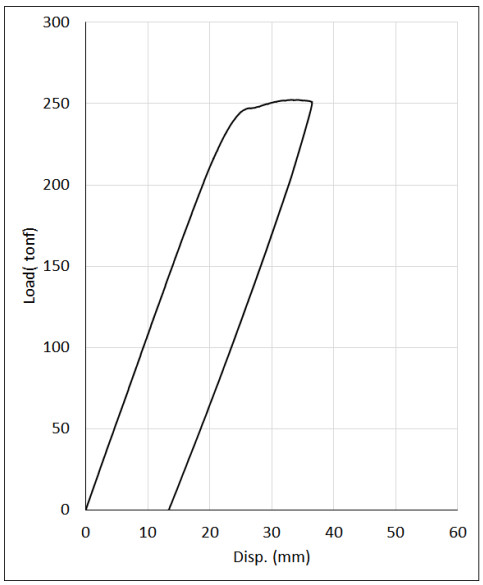
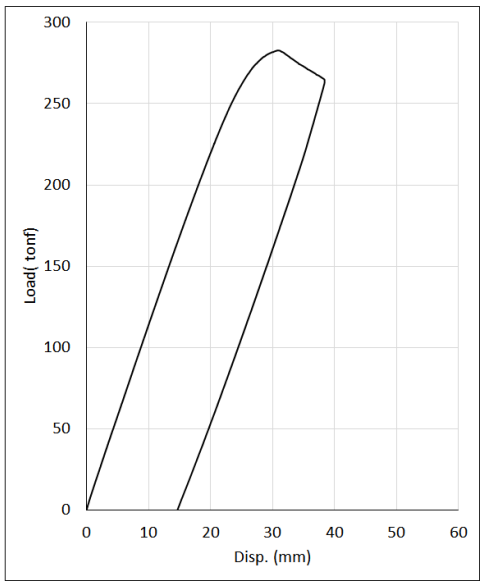


그림 125. 실험체 거치전경 (D-2ts, D-4ts)

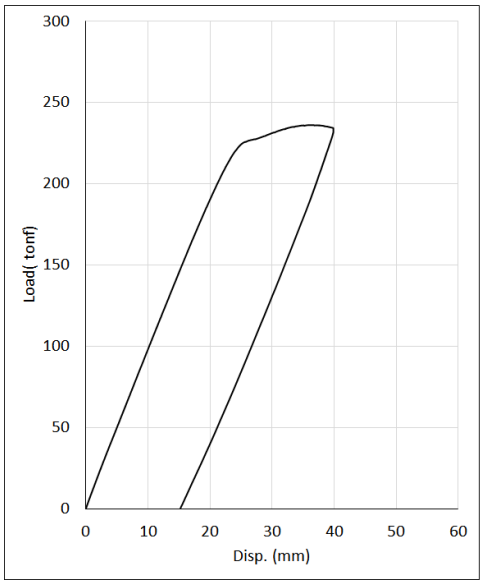
실험결과는 그림 126에서 하중-변위 그래프를 나타내고 표 5에서 각 모델 별 최대 극한하중을 나타낸다.



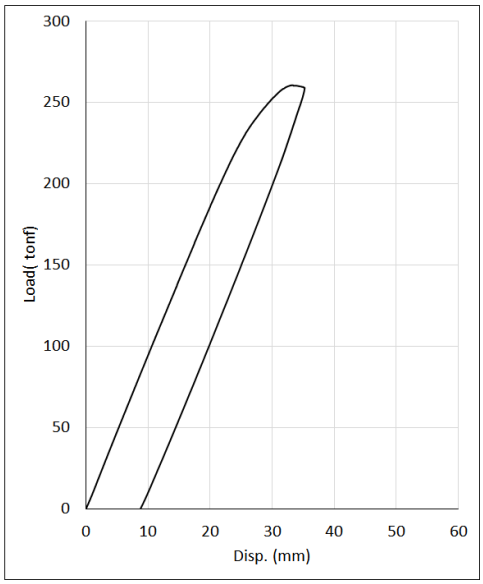
(a) S-2ts



(b) S-4ts



(c) D-2ts



(d) D-4ts

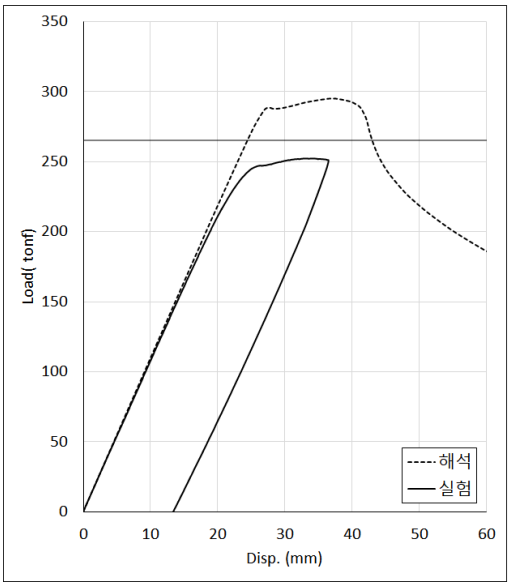
그림 126. 실험결과 하중-변위 곡선

표 5. 모델별 극한하중

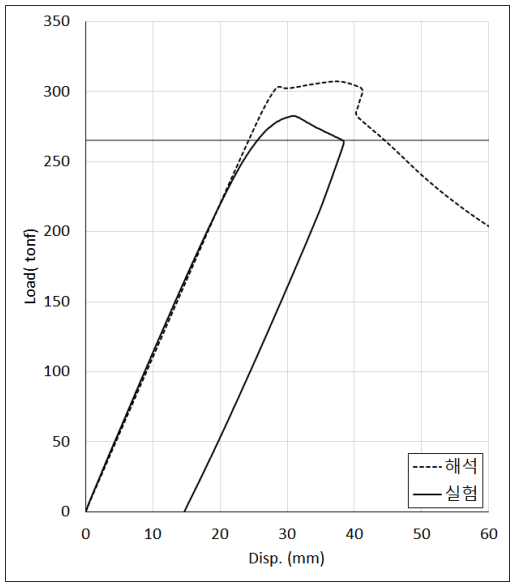
	S-2ts	S-4ts	D-2ts	D-4ts
P_u (ton.)	252.3	282.7	236.1	260.7

라. 실험결과 고찰

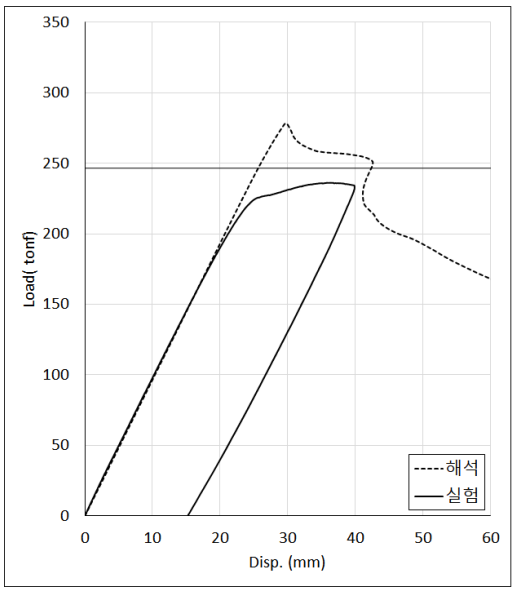
실험연구 결과를 검토하기 위하여 실험체의 실험조건과 시편시험 결과로 얻은 강재의 물성치를 이용하여 유한요소해석을 통해 극한해석을 수행하였다. 각 강재 두께별 시편시험결과는 증빙 1-1~1-24로 제출한다. 거더의 각 부재 별 물성치와 제원을 사용하여 극한 해석을 수행한 결과와 실험결과를 비교하면 그림 127와 같다.



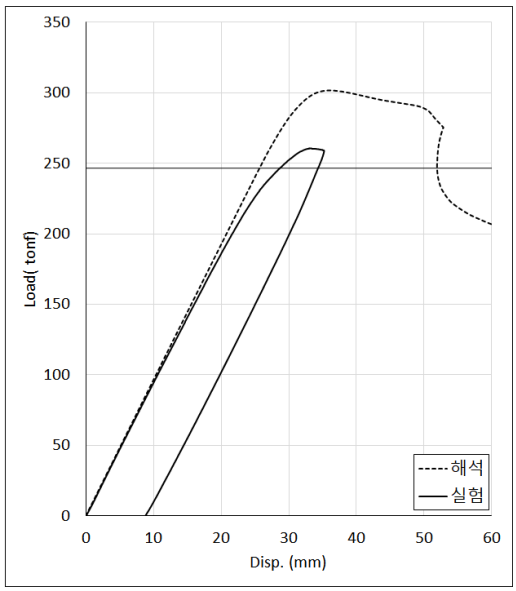
(a) S-2ts



(b) S-4ts



(c) D-2ts



(d) D-4ts

그림 127. 해석결과 vs. 실험결과

가력부에 플랜지 횡방향 보강재가 2개 배치된 S-2ts, D-2ts 모델의 경우 가력부 근처에서 국부적인 변형이 발생하며 항복강도에 도달하지 못하고 파괴되는 거동을 보였다. 두 실험체의 파괴 후 플랜지의 형상은 그림 128, 129과 같다.

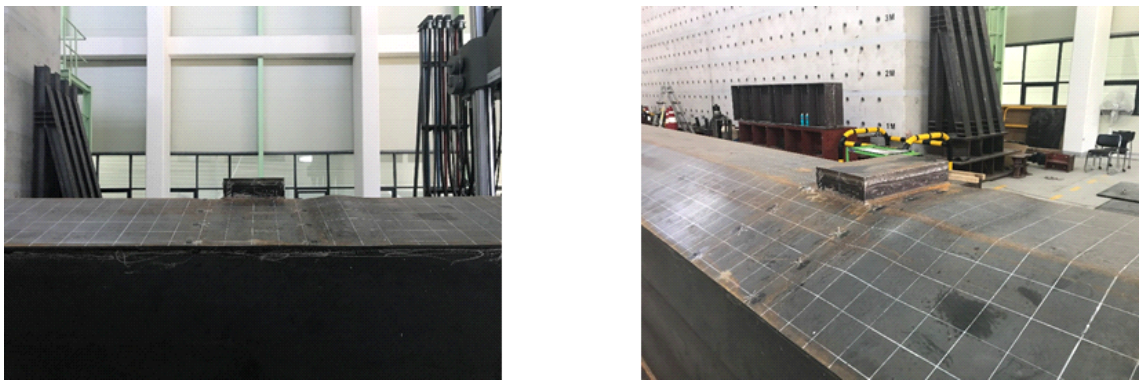


그림 128. 파괴 후 플랜지 형상 (S-2ts)



그림 129. 파괴 후 플랜지 형상 (D-2ts)

가력부 플랜지에 추가적인 보강재를 배치한 S-4ts, D-4ts 모델의 경우 이론적으로 계산한 항복강도 이상의 강도를 갖음을 알 수 있다.

이 실험의 결과에서 보듯이 가력부의 국부변형에 의한 파괴를 방지한다면 본 연구에서 개발한 “압축플랜지에 파형강판을 적용한 차세대 강박스거더”를 실제 거더 설계에 사용이 가능할 것으로 판단된다.

제3절 절곡판 거더의 경제성 분석

1. 공사비 검토 개요

본 절에서는 압축응력이 발생하는 강박스거더의 플랜지 좌굴방지를 위해 기존의 평판에 종방향 보강재를 설치하는 방법과 본 연구진이 공동 개발한 절곡판을 이용하였을 경우에 대한 교량 공사비를 분석하였다. 절곡판의 형상은 그림 130과 같이 상하면으로 절곡하는 파형강판 형상과 거더 도심 외측으로 절곡한 절곡판 형상으로 비교 검토하였다.

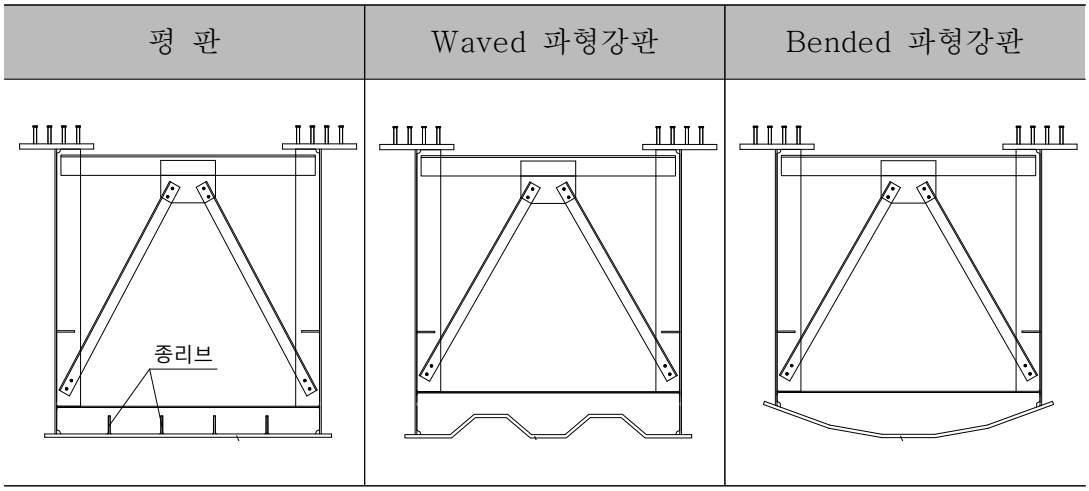
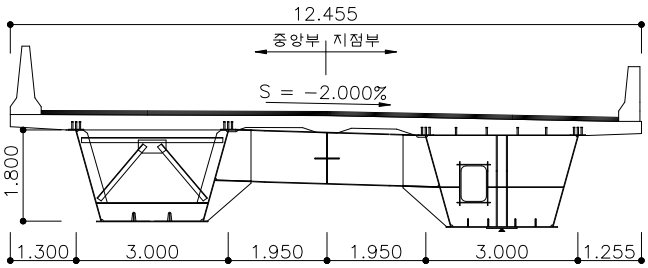


그림 130. 하부플랜지 형상

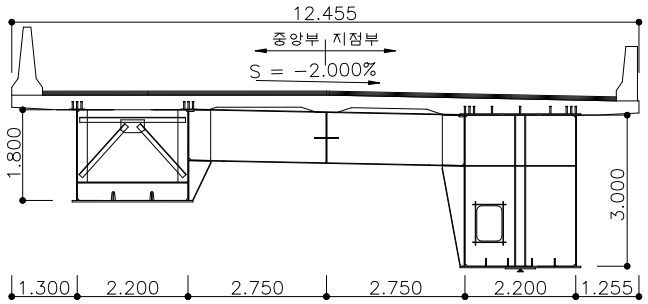
2. 강박스거더 공사비 구성 분석

가. 공사비 구성 분석을 위한 교량 선정

하부플랜지의 형상별 공사비 분석에 앞서 기존 강박스거더의 공사비 구성을 분석하였다. 대상 교량은 그림 131와 같이 중앙 경간장이 50m, 70m인 3경간 연속교량에 대해서 중앙 경간장 50m 교량은 단면높이를 동일하게 하고 복부를 경사로한 제형형상으로, 70m 교량은 단면 높이를 변화하고 복부를 연직으로 배치한 구형형상으로 계획하였다. 또한 바닥판과 합성되는 상부플랜지는 경간 중앙부의 경우 개구형 단면, 연속지점부 폐합 단면을 적용하여 최근 설계 및 시공 추세에 부합되도록 대상교량을 선정하였다.



(a) 경간구성: L=40+50+40=130.0m



(b) 경간구성 : L=53+70+53=176.0m

그림 131. 경간구성별 강박스거더 공사비 분석 대상교량

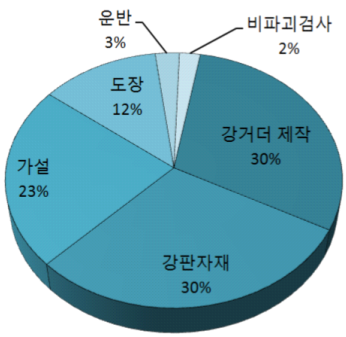
나. 강박스거더 공사비 구성

경간장과 단면구성 조건이 서로 다른 대상교량에 대한 강박스거더의 공사비 구성을 표 6에 정리하였다. 강박스거더의 공사비 구성 항목 중 강거더 제작비, 자재비 및 강거더 가설이 지배적이며 강거더 전체 공사비의 83%의 비중을 차지하고 도장, 운반, 비파괴검사 순으로 기타 공사비를 구성하고 있다. 경간장에 따른 두 대상교량의 공사비 구성 비율은 거의 동일한 것으로 나타났다.

표 6 강거더의 경간장별 공사비 구성

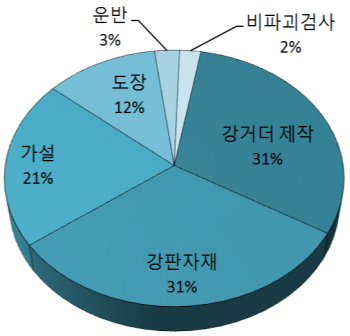
(a) 경간구성 : L=40+50+40=130.0m

항 목	공사비(천원)	구 성 비
강거더제작	382,336	30 %
강 판 자 재	378,011	30 %
가 설	294,641	23 %
도 장	159,073	12 %
운 반	32,520	3 %
비파괴검사	27,958	2 %
계	1,274,512	100 %



(b) 경간구성 : L=53+70+53=176.0m

항 목	공사비(천원)	구 성 비
강거더제작	623,099	31 %
강 판 자 재	638,822	31 %
가 설	430,730	21 %
도 장	239,433	12 %
운 반	53,000	3 %
비파괴검사	45,064	2 %
계	2,030,148	100 %



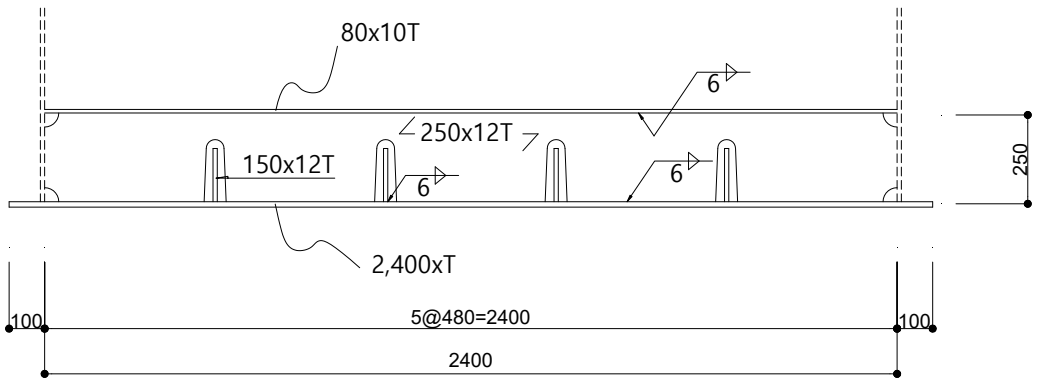
하부플랜지 형상별 공사비 분석 시 이상과 같이 강거더 제작, 자재에 따른 공사비 분석이 지배적이며 가설공사비, 도장 등 기타 공사비는 동일한 것으로 가정한다.

3. 플랜지 형상별 제작비 비교

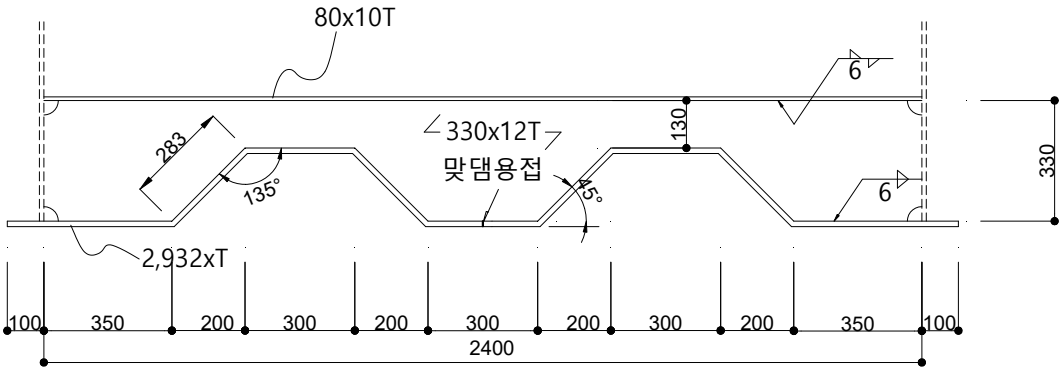
가. 하부플랜지 형상별 제원

본 연구진이 개발한 하부플랜지를 평판, Waved 파형강판, Bended 파형강판 형상으로 제작시 플랜지의 제작비를 비교하였다. 하부플랜지의 형상 및 상세치수는 그림 132에 표시되하였다.

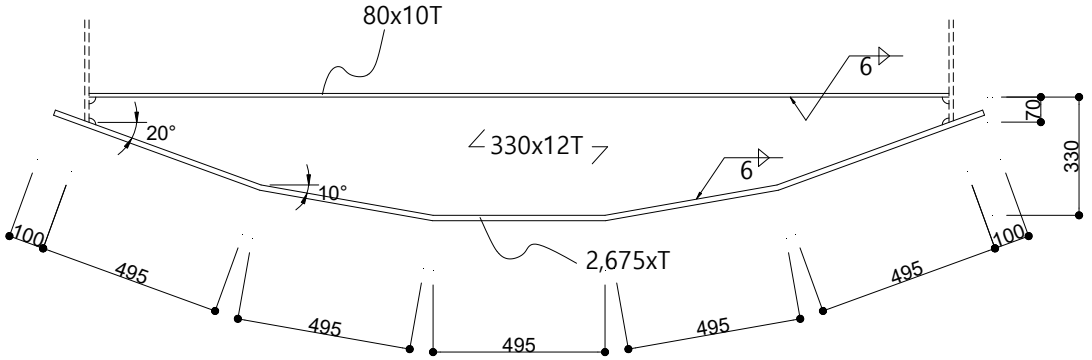
하부플랜지의 두께는 경간장이 길어질수록 증가하므로 두께 변화를 10mm에서 35mm까지 5mm씩 변화를 주면서 분석하였으며 형상별 부재 두께는 동일시하였다.



(a) 평 판



(b) Waved 파형강판



(c) 절곡판

그림 132 하부플랜지 형상별 상세 치수

나. 하부플랜지 형상별 공사비

공사비 산정시 강종은 주부재 HSB500, 부부재 SM490B를 적용하였다. 「건설공사 표준품셈(2016)」및 2016년 상반기 노임단가를 적용하여 최근 공사비로 산정하였다. 표 8~표 13은 하부플랜지 형상 및 두께별 공사비 상세내역을 정리하여 나타낸 것이다.

Waved 파형강판의 경우 강판 절곡 시 상·하면 강판을 여러번 뒤집어 가며 제작하여야 하고, 플랜지 중앙부 맞댐용접이 추가되어야 하는 등 공정이 복잡하여 절곡공사비 증가 요인이 발생한다. 또한 맞댐용접 추가로 플랜지 두께가 증가할수록 용접노무비 상승이 발생한다.

이러한 단점을 개선한 Bended 파형강판의 경우 강판을 뒤집거나 플랜지 중앙부를 맞댐용접하는 공정이 필요없어 제작비가 대폭 절감되는 효과가 발생한다.

하부플랜지 두께 증가에 따른 경향을 보면, 두께가 증가할수록 필렛용접에 대한 노무비가 감소하므로 Ton당 제작 노무비가 감소한다. 판형에서는 하부종리브의 필렛용접량이 상대적으로 많아 이러한 경향이 두드러지지만, 종리브가 없는

Bended 파형강판의 경우 필렛용접량 감소로 인해 Ton당 제작 노무비 감소 경향이 작아진다. 특히 Waved 파형강판의 경우는 맞댐용접으로 인해 두께가 증가할수록 오히려 제작 노무비가 증가한다.

표 8 하부플랜지 형상별 제작비 산정(하부플랜지 T=10mm, L=12.0m)

(a) 평판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	3.600	Ton	4,321
2. 거더 제작							
2.1 철판공		226		226	3.273	Ton	741
2.2 용접공		426		426	3.273	Ton	1,394
2.3 철 공		110		110	3.273	Ton	359
2.4 제작재료비	105			105	3.273	Ton	344
2.5 제경비			457	457	3.273	Ton	1,497
2.6 제작도면작성		59		59	3.273	Ton	195
계	1,305	822	457	2,584			8,852

(b) Waved 파형강판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	2.996	Ton	3,596
2. 거더 제작							
2.1 철판공		149		149	2.724	Ton	405
2.2 용접공		686		686	2.724	Ton	1,868
2.3 철 공		110		110	2.724	Ton	299
2.4 제작재료비	105			105	2.724	Ton	287
2.5 제경비			567	567	2.724	Ton	1,543
2.6 제작도면작성		59		59	2.724	Ton	162
2.7 파형강판절곡		325		325	2.574	Ton	836
계	1,305	1,329	567	3,201			8,996

(c) Bended 파형강판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	2.764	Ton	3,317
2. 거더 제작							
2.1 철판공		146		146	2.513	Ton	367
2.2 용접공		76		76	2.513	Ton	190
2.3 철 공		110		110	2.513	Ton	276
2.4 제작재료비	105			105	2.513	Ton	264
2.5 제경비			199	199	2.513	Ton	500
2.6 제작도면작성		59		59	2.513	Ton	149
2.7 강판절곡		143		143	2.396	Ton	343
계	1,305	534	199	2,038			5,408

표 9 하부플랜지 형상별 제작비 산정(하부플랜지 T=15mm, L=12.0m)

(a) 평판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	4.844	Ton	5,812
2. 거더 제작							
2.1 철판공		202		202	4.404	Ton	890
2.2 용접공		316		316	4.404	Ton	1,394
2.3 철 공		110		110	4.404	Ton	484
2.4 제작재료비	105			105	4.404	Ton	463
2.5 제경비			377	377	4.404	Ton	1,661
2.6 제작도면작성		59		59	4.404	Ton	262
계	1,305	688	377	2,370			10,967

(b) Waved 파형강판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	4.412	Ton	5,294
2. 거더 제작							
2.1 철판공		143		143	4.011	Ton	574
2.2 용접공		664		664	4.011	Ton	2,664
2.3 철 공		110		110	4.011	Ton	440
2.4 제작재료비	105			105	4.011	Ton	422
2.5 제경비			550	550	4.011	Ton	2,208
2.6 제작도면작성		59		59	4.011	Ton	238
2.7 파형강판절곡		325		325	3.860	Ton	1,254
계	1,305	1,302	550	3,158			13,097

(c) Bended 파형강판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	4.082	Ton	4,899
2. 거더 제작							
2.1 철판공		141		141	3.711	Ton	525
2.2 용접공		51		51	3.711	Ton	190
2.3 철 공		110		110	3.711	Ton	408
2.4 제작재료비	105			105	3.711	Ton	391
2.5 제경비			182	182	3.711	Ton	674
2.6 제작도면작성		59		59	3.711	Ton	221
2.7 강판절곡		143		143	3.595	Ton	514
계	1,305	505	182	1,992			7,822

표 10 하부플랜지 형상별 제작비 산정(하부플랜지 T=20mm, L=12.0m)

(a) 평판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	6.087	Ton	7,305
2. 거더 제작							
2.1 철판공		188		188	5.534	Ton	1,039
2.2 용접공		252		252	5.534	Ton	1,394
2.3 철 공		110		110	5.534	Ton	608
2.4 제작재료비	105			105	5.534	Ton	582
2.5 제경비			330	330	5.534	Ton	1,825
2.6 제작도면작성		59		59	5.534	Ton	329
계	1,305	609	330	2,244			13,082

(b) Waved 파형강판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	5.827	Ton	6,993
2. 거더 제작							
2.1 철판공		141		141	5.298	Ton	744
2.2 용접공		704		704	5.298	Ton	3,727
2.3 철 공		110		110	5.298	Ton	582
2.4 제작재료비	105			105	5.298	Ton	557
2.5 제경비			572	572	5.298	Ton	3,032
2.6 제작도면작성		59		59	5.298	Ton	315
2.7 파형강판절곡		325		325	5.147	Ton	1,673
계	1,305	1,338	572	3,216			17,624

(c) Bended 파형강판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	5.401	Ton	6,481
2. 거더 제작							
2.1 철판공		139		139	4.910	Ton	683
2.2 용접공		39		39	4.910	Ton	190
2.3 철 공		110		110	4.910	Ton	539
2.4 제작재료비	105			105	4.910	Ton	517
2.5 제경비			173	173	4.910	Ton	848
2.6 제작도면작성		59		59	4.910	Ton	292
2.7 강판절곡		143		143	4.793	Ton	685
계	1,305	490	173	1,968			10,235

표 11 하부플랜지 형상별 제작비 산정(하부플랜지 T=25mm, L=12.0m)

(a) 평판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	7.331	Ton	8,797
2. 거더 제작							
2.1 철판공		178		178	6.664	Ton	1,188
2.2 용접공		346		346	6.664	Ton	2,309
2.3 철 공		110		110	6.664	Ton	732
2.4 제작재료비	105			105	6.664	Ton	701
2.5 제경비			381	381	6.664	Ton	2,537
2.6 제작도면작성		59		59	6.664	Ton	396
계	1,305	694	381	2,380			16,661

(b) Waved 파형강판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	7.243	Ton	8,691
2. 거더 제작							
2.1 철판공		139		139	6.584	Ton	914
2.2 용접공		736		736	6.584	Ton	4,848
2.3 철 공		110		110	6.584	Ton	723
2.4 제작재료비	105			105	6.584	Ton	693
2.5 제경비			591	591	6.584	Ton	3,892
2.6 제작도면작성		59		59	6.584	Ton	392
2.7 파형강판절곡		325		325	6.434	Ton	2,091
계	1,305	1,370	591	3,266			22,244

(c) Bended 파형강판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	6.719	Ton	8,062
2. 거더 제작							
2.1 철판공		138		138	6.108	Ton	841
2.2 용접공		44		44	6.108	Ton	270
2.3 철 공		110		110	6.108	Ton	671
2.4 제작재료비	105			105	6.108	Ton	643
2.5 제경비			175	175	6.108	Ton	1,069
2.6 제작도면작성		59		59	6.108	Ton	363
2.7 강판절곡		143		143	5.991	Ton	857
계	1,305	494	175	1,975			12,776

표 12 하부플랜지 형상별 제작비 산정(하부플랜지 T=30mm, L=12.0m)

(a) 평판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	8.574	Ton	10,289
2. 거더 제작							
2.1 철판공		172		172	7.795	Ton	1,337
2.2 용접공		296		296	7.795	Ton	2,309
2.3 철 공		110		110	7.795	Ton	856
2.4 제작재료비	105			105	7.795	Ton	820
2.5 제경비			347	347	7.795	Ton	2,701
2.6 제작도면작성		59		59	7.795	Ton	464
계	1,305	637	347	2,289			18,777

(b) Waved 파형강판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	8.658	Ton	10,390
2. 거더 제작							
2.1 철판공		138		138	7.871	Ton	1,084
2.2 용접공		765		765	7.871	Ton	6,020
2.3 철 공		110		110	7.871	Ton	865
2.4 제작재료비	105			105	7.871	Ton	828
2.5 제경비			607	607	7.871	Ton	4,781
2.6 제작도면작성		59		59	7.871	Ton	468
2.7 파형강판절곡		325		325	7.721	Ton	2,509
계	1,305	1,397	607	3,310			26,945

(c) Bended 파형강판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	8.037	Ton	9,644
2. 거더 제작							
2.1 철판공		137		137	7.306	Ton	999
2.2 용접공		37		37	7.306	Ton	270
2.3 철 공		110		110	7.306	Ton	803
2.4 제작재료비	105			105	7.306	Ton	769
2.5 제경비			170	170	7.306	Ton	1,242
2.6 제작도면작성		59		59	7.306	Ton	435
2.7 강판절곡		143		143	7.189	Ton	1,028
계	1,305	486	170	1,961			15,190

표 13 하부플랜지 형상별 제작비 산정(하부플랜지 T=35mm, L=12.0m)

(a) 평판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	9.818	Ton	11,781
2. 거더 제작							
2.1 철판공		167		167	8.925	Ton	1,486
2.2 용접공		259		259	8.925	Ton	2,309
2.3 철 공		110		110	8.925	Ton	981
2.4 제작재료비	105			105	8.925	Ton	939
2.5 제경비			321	321	8.925	Ton	2,865
2.6 제작도면작성		59		59	8.925	Ton	531
계	1,305	595	321	2,221			20,892

(b) Waved 파형강판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	10.074	Ton	12,088
2. 거더 제작							
2.1 철판공		137		137	9.158	Ton	1,253
2.2 용접공		804		804	9.158	Ton	7,365
2.3 철 공		110		110	9.158	Ton	1,006
2.4 제작재료비	105			105	9.158	Ton	964
2.5 제경비			631	631	9.158	Ton	5,775
2.6 제작도면작성		59		59	9.158	Ton	545
2.7 파형강판절곡		325		325	9.007	Ton	2,927
계	1,305	1,435	631	3,371			31,924

(c) Bended 파형강판 공사비 산정

공 종	Ton당 공사비(천원)				수량	단위	공사비 (천원)
	재료비	노무비	경비	계			
1. 강판자재비	1,200			1,200	9.355	Ton	11,226
2. 거더 제작							
2.1 철판공		136		136	8.504	Ton	1,157
2.2 용접공		32		32	8.504	Ton	270
2.3 철 공		110		110	8.504	Ton	934
2.4 제작재료비	105			105	8.504	Ton	895
2.5 제경비			167	167	8.504	Ton	1,417
2.6 제작도면작성		59		59	8.504	Ton	506
2.7 강판절곡		143		143	8.388	Ton	1,199
계	1,305	480	167	1,952			17,604

하부플랜지 형상별 제작비 산정결과를 표 14에 비교 정리하였다. 하부플랜지를 Waved 파형강판으로 제작시는 종래의 평판 대비 두께증가에 따라 2%~53%의 제작비 증가가 발생하였다. 이는 Waved 파형강판 절곡시 강판을 여러번 뒤집어야 하고 플랜지 중앙부를 맞댐용접하는 공정상의 복잡함으로 인한 노무비 증가에 의한 것이다. 본 과제를 통하여 도출한 Bended 파형강판의 경우 이러한 추가공종이 없이 제작하므로 하부플랜지 두께 증가에 따라 종래의 평판 대비 39%~16%정도의 공사비 절감효과가 발생하여 본 과업의 목표인 제작비 20%절감이 가능한 차세대 강박스거더 구조시스템 개발이 가능한 것으로 판단된다.

표 14 하부플랜지 형상별 제작비 산정 결과 비교

하부플랜지 두께	공사비(천원)			평판대비 제작비 비율		
	평 판	Waved	Bended	평 판	Waved	Bended
T=10mm	8,852	8,996	5,408	100 %	102 %	61 %
T=15mm	10,967	13,297	7,821	100 %	119 %	71 %
T=20mm	13,082	17,624	10,235	100 %	135 %	78 %
T=25mm	16,661	22,244	12,776	100 %	134 %	77 %
T=30mm	18,777	26,945	15,190	100 %	144 %	81 %
T=35mm	20,892	31,924	17,604	100 %	153 %	84 %

제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제1절 연구 목표치 대비 실적치

핵심성과 (CTE)		양적 성과 목표	양적 성과 달성
1	강박스거더 보강플랜지를 대치할 수 있는 최적파형형식 개발	특허 등록 : 1 건 SCI(E)급 학술지 : 1 건 학술회의 : 2 건 시제품 : 4 건	특허 출원 : 2 건 학술회의 : 1 건 시제품 : 4 건
2	차세대 강박스거더 구조시스템	특허 출원 : 2 건 학술회의 : 2 건 시제품 : 2 건	특허 등록 : 1 건 특허 출원 : 1 건 학술회의 : 1 건 시제품 : 4 건
계		특허 등록 : 1 건 특허 출원 : 2 건 SCI(E)급 학술지 : 1 건 학술회의 : 4 건 시제품 : 6 건	특허 등록 : 1 건 특허 출원 : 3 건 학술회의 : 2 건 시제품 : 8 건

본 연구의 양적성과 목표 및 달성도는 위의 표와 같으며, 각각의 목표에 대한 간략히 기술하면 다음과 같다.

1) 국내특허를 총 3건 출원하였으며 이 중 1건이 등록되었다.
(목표치: 출원2건, 등록1건 / 달성치: 출원 3건, 등록 1건)

2) 본 연구에서 개발하는 기술의 성격 상, 특허출원 이전에 연구내용을 논문으로 발표하면 기술의 진보성을 인정받지 못하여 등록이 불가능하다. 또한 본 연구개발 성과를 확인하기 위한 최종 검증실험이 4월말에 종료되어, 이 결과를 바탕으로 SCI급 국제 논문 1편을 작성 중에 있고, 7월 이전에 투고할 예정이다. (목표치: 1건 / 달성치: 0건)

3) 본 연구에서 개발하는 기술의 성격 상, 특허출원 이전에 연구내용을 학술대회에서 발표하면 기술의 진보성을 인정받지 못하여 등록이 불가능함. 이 같은 여건으로 인하여 2편만 발표하였다. 10월 대한토목학회 학술대회를 통해 추가로 한편을 발표할 예정이다. (목표치: 4건 / 달성치: 2건)

4) 시작품을 8건 제작하여 성공적으로 실험을 수행하였음.
(목표치: 6건 / 달성치: 8건)

5) 본 연구에서 개발된 압축플랜지가 적용된 강박스거더의 구조계산서 및 표준설계도면을 작성하였다. - 부록 참조.

제2절 연구개발 수행진도율 및 목표의 달성도

1. 연구개발 수행 진도율

연구수행 Activity	달성도	1차년도				2차년도			
		1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
다양한 파형형식 검토	100								
파형형식 별 구조해석	100								
구조해석 결과 분석	100								
경제성 검토	100								
파형강판 거동 분석 실험	100								
파형 압축플랜지와 인장플랜지의 연결상세의 다양한 형식 검토	100								
형식별 구조해석	100								
구조해석 결과 분석	100								
파형형상 별 받침배치 상세의 다양한 형식 검토	100								
형식별 구조해석	100								
구조해석 결과 분석	100								
지점부 다이아프램 연결상세의 다양한 형식 검토	100								
형식별 구조해석	100								
구조해석 결과 분석	100								
최적파형형식 시제품 제작	100								
파형강판 거동 분석 실험	100								
차세대 강박스거더의 시제품 제작	100								
구조성능 분석 실험	100								
최적파형형식 선정 및 설계	100								
차세대 강박스거더의 시제품 설계	100								
총진도율 (%)	100	7	12	30	50	59	69	86	100

2. 연구개발 목표의 달성도

번호	세부연구목표	달성내용	달성도(%)
1	강박스거더 보강플랜지를 대치할 수 있는 최적파형 형식을 구조해석을 통하여 도출함	4가지 형식의 파형형식 - Single-waved type - Double-waved type - Single-bended type - Double-bended type	100
2	제작성 및 경제성 분석을 수행하여 압축플랜지의 폭, 두께, 강종별 최적의 파형형상을 결정함	도출된 4가지 파형형식 중 제작성 및 경제성이 우수한 형식으로 single -bended type과 double-bended type을 결정함	100
3	국부모형 실험을 통한 구조성능 검증	4가지(single-bended type: 2개, double-bended type: 2개) 시작품 모델을 제작하여 성능실험을 수행하였음. 4가지 모델 모두 이론적인 좌굴강도가 항복강도를 초과함. 실험 결과, 하중집중부(load-bearing diaphragm)에서 발생한 국부적인 플랜지의 변형으로 인하여 항복강도의 90% 정도에서 실험체가 극한상태에 도달하였음. 2차년도 연구에서 하중집중 부의 국부적인 보강방법의 연구를 수행할 예정.	100
4	지점부 다이아프램 보강재 설계	1차년도 실험에서 나타난 플랜지의 국부 변형을 억제할 수 있는 효율적인 보강재 배치방법 제안	100
5	지점부 받침 설계	파형형식(Single-bend, Double-bend)에 따른 효과적인 받침(Shoe) 형상 개발	100
6	압축플랜지 횡방향 보강재 설계	1차년도 실험에서 나타난 플랜지의 국부 변형을 억제할 수 있는 효율적인 횡방향 보강재 형상 및 배치방법 개발	100
7	개발된 파형플랜지 구조시스템을 실험을 통하여 검증함	4개의 시작품(실험체)를 제작하여 개발된 파형플랜지를 적용한 강박스거더의 성능을 검증하였음	100

제3절 관련분야에의 기여도

본 연구에서 목표로 하는 파형강판을 적용한 차세대 강박스거더 구조시스템이 개발되었을 경우 나타나는 기대성과 및 파급효과는 다음과 같음:

(1) 기술적 측면

기존 강박스거더의 기술적 문제점

⇨ 보강재 설치로 인하여 압축플랜지의 제작기간이 많이 소요되고, 플랜지의 초기변형 유발

⇨ 내구성 및 피로성능 저하

⇨ 하부 플랜지에 설치된 보강재로 인하여 방청도장에 추가 비용이 소요되고, 유지관리를 위한 통행에 어려움이 있음

본 연구의 기술적 기대성과 및 파급효과

⇨ 제작성능 향상을 통하여 제작기간을 대폭 단축할 수 있음

⇨ 피로성능 및 내구성능이 우수한 강교량 건설이 가능함

⇨ 유지관리가 용이해짐

⇨ 국제특허 획득 및 기술 수출을 통한 세계기술 선도 가능

(2) 사회/경제적 측면

기존 강박스거더의 사회/경제적 문제점

⇨ 플랜지에 보강재를 설치하기 위한 비용이 총 제작비용의 약 30%를 차지함

⇨ 보강재 제작 과정에서 강재의 낭비 유발

⇨ 용접량 과다로 인한 탄소배출 증가

본 연구의 사회/경제적 기대성과 및 파급효과

⇨ 강박스거더 제작비용의 20% 정도 (연간 100억 이상) 절감 가능:

- 2000~2010년간 건설된 고속국도 교량의 연 평균 총연장은 약 28km로, 건설비로 환산하면 연간 약 1조원 정도의 규모임
- 강박스거더의 평균 적용비율이 20% 정도이므로, 강박스거더의 교량의 총 공사비는 약 2,000억원에 해당

● 하부공사를 포함한 총 공사비에서 강박스거더 제작비가 차지하는 비율은 약 60%로, 연간 1,200억원 정도에 해당함

● 제작비의 절감효과를 20%로 보면 절감되는 비용은 연간 240억원에 해당함

● 고속국도의 건설이 줄어드는 추세를 감안하여도 연간 100억원 정도의 절감 효과가 있을 것으로 예상됨

⇨ 피로성능 및 내구성이 우수한 교량건설로 생애주기비용(LCC) 절감

⇨ 용접량 절감 및 제작기간 단축을 통하여 CO2 배출 저감

⇨ 국내 건설엔지니어링, 건설 및 철강산업 발전에 기여 및 국제 경쟁력 확보

제5장 연구개발성과의 활용계획

(1) 지적 재산권 확보

○ 본 연구를 수행하여 개발된 압축플랜지 파형강판 및 설계상세 관련 국내 특허 출원을 통하여 지적재산권을 확보함

○ 또한 국제특허 출원을 통한 기술수출도 가능할 것으로 판단됨

(2) 국내 교량건설에 적용하여 국가 예산 절감에 크게 기여함

○ 본 연구에서 개발된 신개념 강박스거더 구조시스템은 국가의 주요 기반시설물인 교량의 건설에 적용이 가능함. 이를 통하여 강박스거더 제작비의 20%를 절감할 수 있을 뿐 아니라, 피로성능 및 내구성 향상을 통한 생애주기비용(Life-cycle cost)의 절감이 가능함

(3) 타 분야에 적용

○ 본 연구에서 개발된 강박스거더 압축플랜지용 파형강판은 교량뿐만이 아니라 선박, 항공기 동체 제작에도 적용이 가능할 것으로 예상됨

(4) 국내 전문가들에게 기술보급

○ 기술강습회, 세미나, 학술대회 발표 등을 통하여 국내 교량설계 전문가들에게 개발된 신기술을 적극 홍보하여 국내 설계 기술력 향상에 기여함

(5) 북한의 도로/교량 건설에 활용

○ 남북통일을 대비하여 북한의 사회기반 시설물 수준을 상당히 끌어올려야 할 필요성이 대두됨

○ 산악지형이 대부분이 북한의 지형을 감안한다면, 지간장이 크면서 시공이 유리한 교량형식이 경쟁력이 있음

○ 이 같은 점을 고려한다면 본 연구에서 개발한 차세대 강박스거더 구조시스템이 북한의 교량건설에 크게 활용될 가능성이 매우 높음

제6장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

해당사항 없음.

제7장 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		○
결정 사유	창의도전연구 공고 및 평가접수 안내서 상 보안등급은 평가위원회에서 확정할 예정이므로 '일반'으로 지정하였음	

제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

해당사항없음

제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

○ 기술적 위험 요소 분석, 안전 관리 대책

본 연구의 연구기관인 동국대학교는 다년간의 학교 운영 및 연구실 운영의 경험을 바탕으로 연구실 안전시설이 완비되어있고, 매년 기관 차원의 정기적인 정밀안전진단과 연구원의 건강검진 및 안전교육이 실시되고 있다. 또한 실험연구시 사용하게 될 하이브리드 구조실험센터는 여러 분야의 대형 구조실험 및 최첨단의 하이브리드구조실험을 수행할 수 있는 세계적 규모의 최첨단 실험시설로써 연구실의 안전이 기 확보되어 있고, 실험 시 참여연구원의 필요 훈련 및 보험가입을 의무로 하고 있다.

제10장 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일/특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부 / 인용 횟수 등)
1	특허	절곡강판을 이용한 강박스거더 (10-1680649)			한국		201611023		

제11장 참고 문헌

1) 이종원, 염광수, 문지호, 이학은(2007), “Shear Buckling Strength of Trapezoidally Corrugated Steel Webs”, 대한토목학회논문집 A, Vol.27 No.2, pp.181-186.

2) 길흥배, 이승록, 이학은, 윤태양(2004), Shear Buckling Strength of Trapezoidally Corrugated Steel Webs for Bridges, 대한토목학회논문집 A, Vol.24 No.1, pp.197-202.

3) 최규태(2008), 제형파형 복부판의 형상비에 따른 탄성전단좌굴 특성, 연세대학교, 토목공학과, 석사학위논문.

4) 김성남(2010), Elastic/inelastic lateral-torsional buckling strength and moment gradient correction factor of corrugated web I-girder, 고려대학교, 토목환경공학과, 박사학위논문.

5) 이승록(2004), Shear Buckling Strength of Trapezoidally Corrugated Webs, 고려대학교, 토목강구조공학과, 박사학위논문.

6) 이종원(2006), Interactive Shear Buckling of Trapezoidally Corrugated Steel Webs Considering Geometric Characteristics, 고려대학교, 토목공학과, 박사학위논문.

7) 전진수(2008), 선형 모멘트 구배가 작용하는 파형강판 I-거더의 횡-비틂 좌굴강도, 고려대학교, 토목공학과, 석사학위논문.

8) 지효선(2011), Buckling Behaviors of Plate Girder with Corrugated Steel Web, 한국강구조학회 논문집, Vol.23 No.2, pp.221-228.

9) Ucak, A.(2003), Design of Corrugated-Web Girders, SEAOC CONVENTION -PROCEEDINGS-, Vol.- No.72, pp.385-392.

10) Yang, B.W., Zhang, J.D. and Wan, S.(2012), Curved Box-Girders with Corrugated Steel Webs under Torsion Loading, Applied Mechanics and Materials, Vol.105-107 No.2, pp.837-843.

11) Hassanein, M.F., Kharoob, O.F.(2013), Behavior of bridge girders with

corrugated webs: (I) Real boundary condition at the juncture of the web and flanges, ENGINEERING STRUCTURES Vol.57, pp.554-564.

12) Hassanein, M.F., Kharoob, O.F.(2013), Behavior of bridge girders with corrugated webs: (II) Shear strength and design, ENGINEERING STRUCTURES Vol.57, pp.544-553.

13) Nie J.G., Zhu L. and Tao M.X.(2013), Shear strength of trapezoidal corrugated steel webs, Journal of constructional steel research v.85 , pp.105 - 115.

14) Nguyen, Ngoc Duong(2011), Elastic lateral-torsional buckling of tapered I-girder with corrugated webs, 고려대학교, 건축·사회환경공학과, 박사학위논문.

15) Elgaaly, M., Seshadri, A., Rodriquez, R., Ibrahim, S.(2000), Bridge Girders with Corrugated Webs, Transportation Research Record, No.1696/2, pp.162-170.

16) 김영진(2003), (A) Study on Rational Design of Compression Flange Stiffeners in Steel Box Girder Bridges, 동국대학교, 토목환경공학과, 석사학위논문.

17) 이두성, 박찬식, 이성철(2007), Shear Buckling Coefficients for Horizontally Curved Compression Flange with Longitudinal Stiffeners, 대한토목학회논문집 A, Vol.27 No.3 pp.339-345.

18) 최한식, 윤동용, 이성철(2000), Study on the Optimum Rigidity of Longitudinal Stiffeners Attached on Compression Flanges of Steel Box Girders, 대한토목학회 학술발표회 논문집, Vol.2000 No.1 pp.291-294.

19) 윤동용(2000), (A) Study on the ultimate strength design for compression flanges of steel box girder bridges, 동국대학교, 토목공학과, 박사학위논문.

20) 박찬식(2010), An Experimental Study on Ultimate Behavior of Compression Flanges in Open-Top Trapezoidal Steel Box Girder Bridges,

동국대학교, 토목환경공학과, 박사학위논문.

21) 대한토목학회 (2005), 국내 강교량 설계감소 요인분석 및 대응방안 수립에 관한 연구.

22) InterConsTech (2014), 강교 선호도 설문조사연구.

절곡강판 강합성 박스거더교
구 조 계 산 서

2017. 07

(주)효명ECS
HYOMYUNG Eng'g & Consulting Service Co., Ltd

Single Bending

목 차

1. 설계기준

2. 단면가정

3. 바닥판 설계

4. 주거더의 설계

4.1 바닥판의 유효폭 계산

4.2 단면정수 산정

4.3 작용하중의 산정

4.4 모델링 및 하중조합

1) 모 델 링

2) 하중조합

4.5 주거더의 부재력 집계

4.6 반력 집계

5. 주거더 단면검토

5.1 정모멘트구간 단면검토

5.2 부모멘트구간 단면검토

6. 이음부 설계

6.1 정모멘트구간 현장이음 설계

7. 보강재 설계

7.1 교대부 지점보강재 설계

7.2 교각부 지점보강재 설계

8. 브레이싱 설계

8.1 K-다이아프램

8.2 수평브레이싱 설계

9. 전단연결재 설계

9.1 상부바닥판 전단연결재

10. 사용성 검토

10.1 피로검토

10.2 처짐량 검토

11. 솟음(CAMBER)

1. 설 계 기 준

1) 교량등급 및 제원

① 교 량 명 : 절곡 강박스거더교

② 교 량 등 급 : 1등교

③ 교 량 형 식 : 절곡 강박스거더 (Single Bending)

④ 지 간 : 40 + 50 + 40= 130

⑤ 교 폭 : 12.455 m

⑥ 거 더 제 원 : B = 2.400 m , H = 1.800 m

⑦ 사 각 (SKEW) : 0.0 °

⑧ 곡 률 반 경 : R = ∞ m

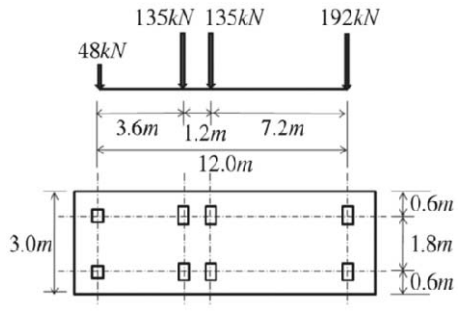
⑨ 설 계 속 도 : 120 km/h

2) 하중조건

① 고정하중 : DC,DW (☞ 도.설.한 3.5)

- 철근 콘크리트 : 25.0 kN/㎥
- 무근 콘크리트 : 23.5 kN/㎥
- 강 재 : 78.5 kN/㎥
- 교면 포장 : 23.0 kN/㎥

② 차량활하중 : LL (☞ 도.설.한 3.6.1)

표준트럭하중	표준차로하중
	$L \leq 60\,\mathrm{m}$: $\omega = 12.7 \quad (\mathrm{kN/m})$ $L > 60\,\mathrm{m}$: $\omega = 12.7 \times \left(\frac{60}{L}\right)^{0.18} \quad (\mathrm{kN/m})$ L : 표준차로하중이 재하되는 부분의 지간

- 다차로재하계수, m

재하차로의 수	다차로재하계수
1	1.0
2	0.9
3	0.8
4	0.7
5	0.65

※ 보도하중과 1차로 이상의 차량하중을 포함하는 하중조건의 경우,
보도하중을 하나의 재하차로로 취할 수 있다.

③ 피로하중 (☞ 도.설.한 3.6.2)

- 표준트럭하중의 80% 적용하여 한차로에 대해서 고려함.

④ 충격하중 : IM (☞ 도.설.한 3.7)

- 충격계수 : i = 1 + IM / 100

성 분		IM
바닥판 신축이음장치를 제외한 모든 다른 부재	피로한계상태를 제외한 모든 한계상태	25%
	피로한계상태	15%

3) 사용재료

① 상부 바닥판 콘크리트 (상부슬래브) (☞ 도.설.한 5.5.1.2)

- 강 도 : fck = 35 MPa
- 탄성계수 : Ec = 28,825 MPa

② 하부 바닥판 콘크리트 (지점부 하부슬래브)

- 강 도 : fck = 40 MPa
- 탄성계수 : Ec = 30,008 MPa

③ 철 근 (SD400) (☞ 도.설.한 5.5.2)

- 항복강도 : fy = 400 MPa
- 탄성계수 : Es = 200,000 MPa

④ 강 재

- 주부재 : HSB500 사용 (상판, 하판, 복부판, 상부종리브, 하부종리브, 수평보강재, 지점부 다이아프램, 지점보강재, 솔플레이트)
- 부부재 : SM400B 사용 (지점부외 다이아프램, 수직보강재, 횡리브, 세로보, 가로보)
- 탄성계수 : Est = 205,000 MPa
- 전단탄성계수 : G = 79,000 MPa

⑤ 주요 구조용 강재의 재료강도 (☞ 도.설.한 6.4.4.1)

구 분	판두께	SS400, SM400	SM490	SM520	HSB500
F_y	40mm 이하	235 MPa	315 MPa	355 MPa	380 MPa
	40mm 초과 75mm 이하	215 MPa	295 MPa	335 MPa	
	75mm 초과 100mm 이하	215 MPa	295 MPa	325 MPa	
F_u	43mm 이하	400 MPa	490 MPa	520 MPa	500 MPa

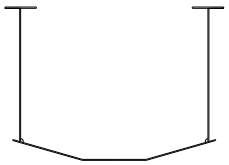
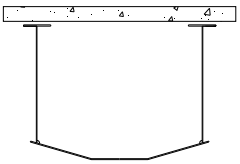
⑤ 고장력볼트의 재료강도 (☞ 도.설.한 6.4.4.2)

구 분	F8T	F10T	F13T	비 고
F_y	640 MPa	900 MPa	1170 MPa	
F_u	800 MPa	1000 MPa	1300 MPa	

4) 설 계 방 법

한계상태설계법

5) 단계별 시공순서 및 작용하중

시공단계	시공단계 및 작용하중	구조해석시 단면강성	비 고
1단계 (합성전)	강거더거치 - 강재 자중		
2단계 (합성후)	바닥판 타설 - 바닥판 콘크리트 자중		

6) 하중계수 및 하중조합

구 분	DC	DW	LL(IM)	SD	비 고
극한 한계상태 Ⅰ	1.25	1.5	1.8	1.0	
사용 한계상태 Ⅱ	1.0	1.0	1.3	-	
피로 한계상태	-	-	0.75	-	

7) 참 고 문 헌

① 도로교설계기준(한계상태설계법)해설 -------- (사)한국교량및구조공학회 (2015) [☞ 도.설.한]

② 콘크리트구조기준 ---------- 국토해양부 (2012) [☞ 콘.구.기]

③ 강구조설계기준 ---------- (사)한국강구조학회 (2014) [☞ 강.설.기]

④ 강도로교상세부설계지침 ---------- 국토해양부 (2006)

⑤ 강구조편람 ---------- 한국강구조학회 (1995)

⑥ 개구제형 강거더 설계지침 ---------- 한국도로공사 (2002)

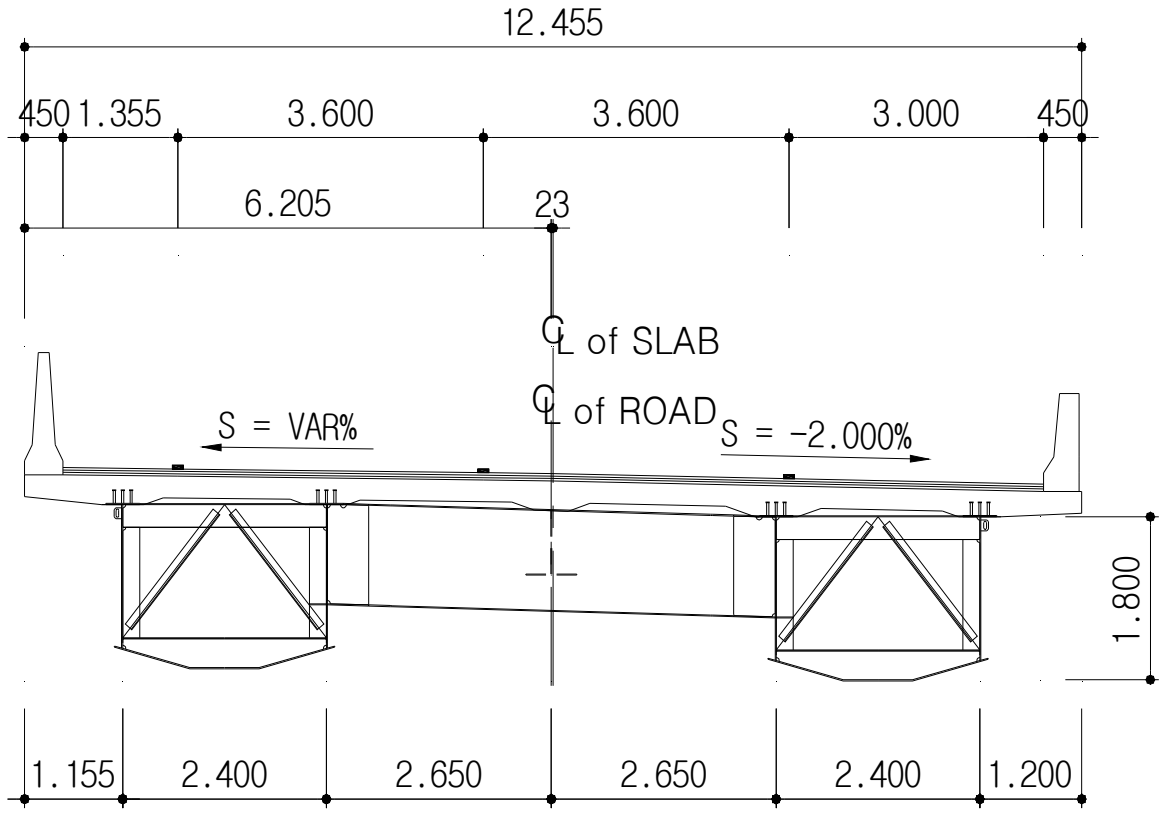
⑦ 강교설계의 기초 ---------- 도서출판 건설도서 (2005)

⑧ AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 7th Edition ---- AASHTO (2015)

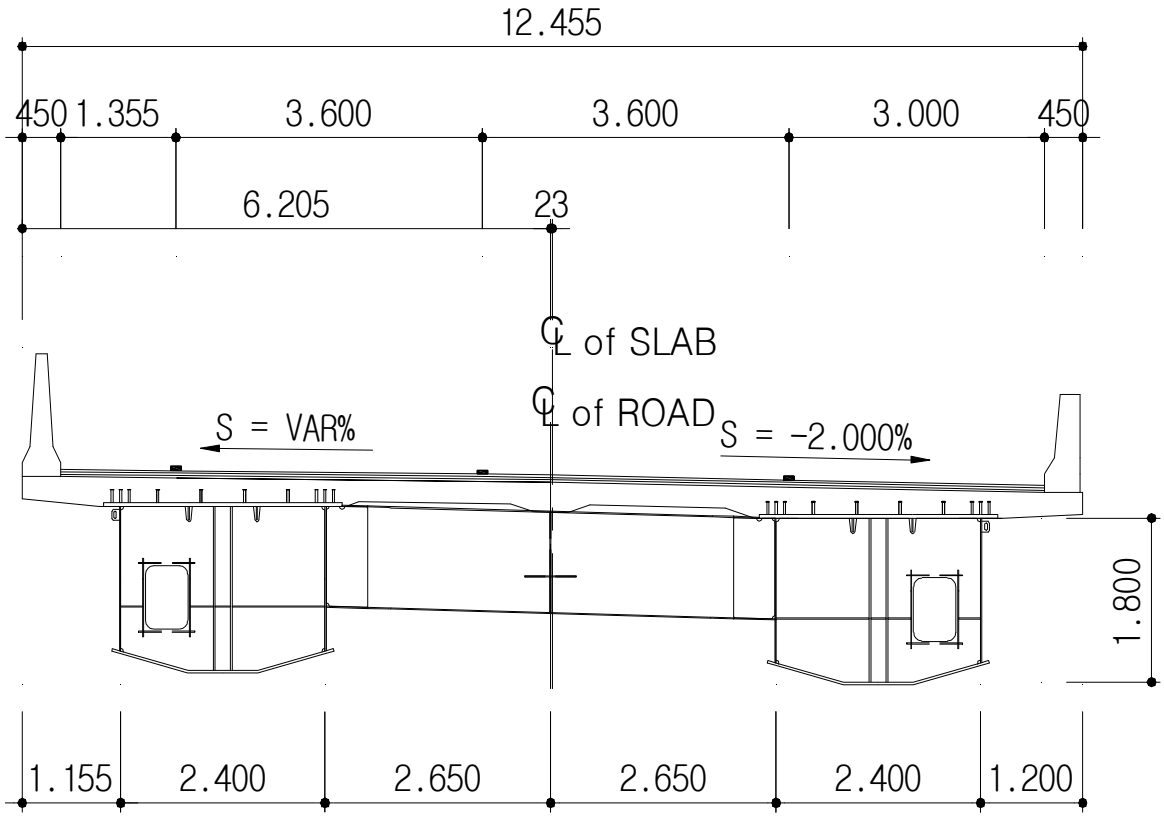
⑨ Steel Bridge Design Handbook ---------- FHWA (2015)

2. 단면가정

중앙부



지점부



3. 바닥판 설계

3.1 경험적 설계법 적용 가능여부 검토 (중앙부 바닥판)

(1) 경험적 설계 조건

1) 지점선의 단면에 가로보 또는 격벽이 사용된 경우 **O.K**

2) 지지부재들이 강재 또는 콘크리트로 된 경우 **O.K**

3) 콘크리트의 바닥판이 현장타설되고 습윤양생된 경우 : 현장타설 & 습윤양생 적용 **O.K**

4) 거더플랜지부의 헌치와 국부적으로 두껍게 한 곳을 제외한 상태에서 전체적으로 바닥판의 두께가 일정한 경우 : 240㎜로 일정함 **O.K**

5) 바닥판의 두께에 대한 유효지간의 비가 6 이상 15 이하인 경우

○ 바닥판 두께 : 240 ㎜

○ 유효지간 길이 1 : 2400

○ 유효지간 비 1 : 2400 / 240 = 10.00 **O.K**

○ 유효지간 길이 2 : 2650

○ 유효지간 비 2 : 2650 / 240 = 11.04 **O.K**

6) 슬래브의 코아 두께는 150 ㎜ 이상인 경우

○ 사용 철근 : 상면: H 13 하면 H 13

○ 상부 피복두께 : 50 ㎜ ○ 하부 피복두께 : 30 ㎜

○ 최외측면 두께 : 160 ㎜ ≥ 150 ㎜ **O.K**

7) 유효지간이 표준차선폭 3600㎜ 이하인 경우

○ 유효지간 길이 1 : 2400 ㎜ ≤ 3600 ㎜ **O.K**

○ 유효지간 길이 2 : 2650 ㎜ ≤ 3600 ㎜ **O.K**

8) 바닥판의 흠집, 마모면, 그리고 보호피복두께층을 제외한 바닥판 최소두께가 240 ㎜ 이상인 경우

○ 바닥판 최소두께 : 240 ㎜ ≥ 240 ㎜ **O.K**

9) 캔틸레버부의 길이가 내측 바닥판 두께의 5배 이상이거나, 캔틸레버부의 길이가 내측 바닥판 두께의 3배 이상이고 연속인 콘크리트 방호책과 구조적으로 합성이 된 경우

○ 좌측 캔틸레버

- 캔틸레버 길이 : 1.055 m ≥ 0.72 m (= 3 x 0.24) **O.K**

○ 우측 캔틸레버

- 캔틸레버 길이 : 1.100 m ≥ 0.72 m (= 3 x 0.24) **O.K**

10) 콘크리트의 28일 압축강도는 27 MPa 이상인 경우

○ Slab f_{ck} = 27.0 MPa ≥ 27.0 MPa **O.K**

11) 바닥판은 바닥판을 지지하는 구조부재들과 합성거동을 하는 경우

⇒ 바닥판과 바닥판을 지지하는구조부재는 완전합성거동함 **O.K**

(2) 검토 결론

○ 중앙부 ⇒ 경험적 설계법 적용

○ 캔틸레버부 ⇒ 전통적 설계법 적용

3.2 경험적 설계법에 의한 거더부 바닥판 설계

3.2.1 설계기준

(1) 지간방향 : 하부 철근량 = 콘크리트 바닥판 단면적의 0.3% 이상
상부 철근량 = 콘크리트 바닥판 단면적의 0.3% 이상

(2) 지간방향에 직각방향 : 하부 철근량 = 콘크리트 바닥판 단면적의 0.3% 이상
상부 철근량 = 콘크리트 바닥판 단면적의 0.3% 이상

3.2.2 철근량 산정

(1) 필요 철근량 산정

1) 지간방향 (주철근)

○ 하부 필요 철근량 A_s^{req} = 240 x 1000 x 0.003 = 720 mm^2

○ 상부 필요 철근량 A_s^{req} = 240 x 1000 x 0.003 = 720 mm^2

2) 지간방향에 직각방향 (배력철근)

○ 하부 필요 철근량 A_s^{req} = 240 x 1000 x 0.003 = 720 mm^2

○ 상부 필요 철근량 A_s^{req} = 240 x 1000 x 0.003 = 720 mm^2

(2) 철근량 산정

1) 지간방향 (주철근)

○ 하부 필요 철근량 A_s^{use} = H13 @ 150 = 845 mm^2 > 720 mm^2 **O.K!**

○ 상부 필요 철근량 A_s^{use} = H13 @ 150 = 845 mm^2 > 720 mm^2 **O.K!**

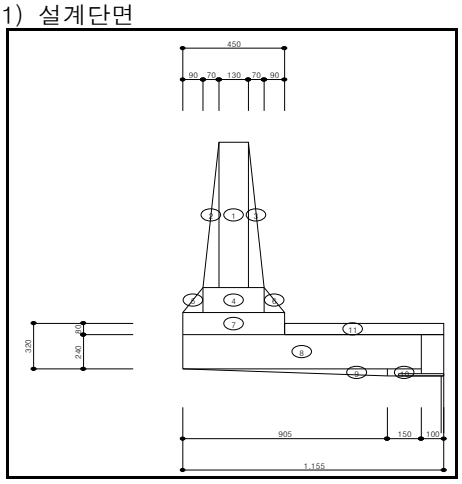
2) 지간방향에 직각방향 (배력철근)

○ 하부 필요 철근량 A_s^{use} = H16 @ 250 = 794 mm^2 > 720 mm^2 **O.K!**

○ 상부 필요 철근량 A_s^{use} = H16 @ 250 = 794 mm^2 > 720 mm^2 **O.K!**

3.3 좌측 캔틸레버부

(1) 설계단면



○ 슬래브 두께 (TS) = 0.240 m
○ 포장 두께 (TP) = 0.080 m
○ 상부플랜지 폭 (UF) = 0.400 m
○ 방호벽 (단위 : m)

구 분	A	X	A · X
1	0.133	0.830	0.11006
2	0.036	0.918	0.03277
3	0.036	0.742	0.02649
4	0.047	0.830	0.03922
5	0.008	0.995	0.00784
6	0.008	0.665	0.00524
7	0.070	0.830	0.05789
8	0.253	0.527	0.13344
9	0.023	0.452	0.01023
10	0.008	0.075	0.00056

(2) 하중산정

1) DC

○ 슬래브 = 0.283 x 25.0 x 0.509 = 3.606 kN · m
○ 방호벽 = 0.337 x 25.0 x 0.830 = 6.988 kN · m

2) DW

○ 포장 = 0.080 x 0.605 x 23.0 x 0.303 = 0.337 kN-m

3) 활하중 (LL, KL-510 후륜 P=96kN)

○ 분 포 폭 E = 0.8 X + 1.14
= 0.8 x 0.305 + 1.14 = 1.384 m
○ 충격계수 IM = = 0.250
○ 폭 1m 당 M_L = P X / E (1 + IM) = 26.445 kN-m

4) 충돌하중 (CT)

○ 곡선 반경 R = 0.0 m (R ≤ 200m 곡선부 : 적용 하중의 2배 적용)
i) 작용 높이 h_i = 1.080 m (노면상 1.0m 높이에 직각으로 작용)
설계 속도 V = 120 km/h
수평충돌력 H_i = $(V / 60)^2$ x 7.5 + 2.5 = 32.500 kN
M_i = = 35.100 kN-m

ii) 작용 높이 h_{ii} = 1.495 m (방호벽, 방음벽 상단)
설계 속도 H_{ii} = 10.000 kN
수평충돌력 M_{ii} = = 14.950 kN-m
○ 적용 하중 M_{CO} = Max (M_i , M_{ii}) = 35.100 kN-m

5) 풍하중

○ 적용 풍하중 P_W = 3.000 kN/m^2
○ 적용 높이 H_W = 1.415 m
○ 작용 위치 e_W = 0.708 m (= H_W / 2)
○ 적용 하중 M_W = = 3.003 kN-m

6) 단면력 요약정리 (단위 : kN-m)

구 분	DC	DW	LL(IM)	CT	WS	비 고
Moment	10.593	0.337	26.445	35.100	3.003	

(3) 하중조합 (단위 : kN-m)

구 분	DC	DW	LL(IM)	CT	WS	모멘트	비 고
극한 한계상태 I	1.25	1.50	1.80	0.00	0.00	61.348	
극한 한계상태 III	1.25	1.50	0.00	0.00	1.40	17.951	
극한 한계상태 V	1.25	1.50	1.40	0.00	0.40	51.971	
극단상황 한계상태 II	1.25	1.50	0.50	1.00	0.00	62.069	
사용한계상태 V	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	10.930	

(4) 극한한계상태 검토

1) 설계조건

M_u	=	61.348	kN-m	f_{ck}	=	27	MPa	f_y = 400 MPa
b	=	1000.0	mm	d	=	230.0	mm	d' = 60.0 mm
Φ_c	=	0.650		Φ_s	=	0.950		β_1 = 0.850

○ 콘크리트 강도에 따른 응력-변형률 곡선 계수

- n (상승곡선부 형상지수) = 2.00
- ε_{co} (최대응력에 처음 도달할 때의 변형률) = 0.0020
- ε_{cu} (극한 변형률) = 0.0033
- α (압축합력 크기 계수) = 0.7980
- β (작용점 위치계수) = 0.4120

2) 필요 휨철근량 산정

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 0.03192 A_s

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$

$= -4.9976\ A_s^2 + 87400.00\ A_s$ = 6.13E+07 N-mm

○ $A_{s,req}$ = 732.6 mm^2

○ 최소철근량 검토

ⓐ $= A_{s,req} \times 4/3$ = 976.8 mm^2

ⓑ $= 1.4 / f_y \times b \times d$ = 805.0 mm^2

ⓒ $= 0.25 \sqrt{(f_{ck})} / f_y \times b \times d$ = 746.9 mm^2

ⓓ $= 0.75 \times A_g / f_y$ = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = min(ⓐ,max(ⓑ,ⓒ,ⓓ)) = 805.0 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 13 @ 150 × 1 단 = 844.7 mm^2 ∴ O.K

3) 허용최대 중립축 깊이

○ δ = = 1.00

○ $c_{max} = (\delta \times \varepsilon_{cu} / 0.0033 - 0.6) \times d$ = 92.00 mm

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 26.96 mm

○ c_{max} = 92.00 mm > c = 26.96 mm ∴ O.K

4) 인장철근 변형률 검토(항복여부 검토)

○ $\varepsilon_s = (d - c) / c \times \varepsilon_{cu}$ = 0.0248 > ε_{yd} = 0.002 ∴ O.K

5) 휨강도 계산

○ $C = \alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b \times c$ = 320973.5 N-mm

○ $T = \Phi_s \times A_s \times f_y$ = 320973.5 N-mm

C = T 이므로 O.K

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$ = 70.258 kN-m

○ M_u = = 61.348 kN-m ∴ O.K

6) 배력철근량 산정

○ 주철근량의 20%이상 배치 = 168.9 mm^2

○ 건조수축 및 온도변화에 대한 보강철근 = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = = 543.8 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 16 @ 250 × 1 단 = 794.4 mm^2 ∴ O.K

(5) 극단상황한계상태 검토

1) 설계조건

M_u	=	62.069	kN-m	f_{ck}	=	27	MPa	f_y	=	400	MPa
b	=	1000.0	mm	d	=	230.0	mm	d'	=	60.0	mm
Φ_c	=	0.650		Φ_s	=	0.950		β_1	=	0.850	

○ 콘크리트 강도에 따른 응력-변형률 곡선 계수

- n (상승곡선부 형상지수) = 2.00
- ε_{co} (최대응력에 처음 도달할 때의 변형률) = 0.0020
- ε_{cu} (극한 변형률) = 0.0033
- α (압축합력 크기 계수) = 0.7980
- β (작용점 위치계수) = 0.4120

2) 필요 휨철근량 산정

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 0.03192 A_s

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$

$= -4.9976\ A_s^2 + 87400.00\ A_s$ = 6.21E+07 N-mm

○ $A_{s,req}$ = 741.6 mm^2

○ 최소철근량 검토

ⓐ $= A_{s,req} \times 4/3$ = 988.8 mm^2

ⓑ $= 1.4 / f_y \times b \times d$ = 805.0 mm^2

ⓒ $= 0.25 \sqrt{(f_{ck})} / f_y \times b \times d$ = 746.9 mm^2

ⓓ $= 0.75 \times A_g / f_y$ = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = min(ⓐ,max(ⓑ,ⓒ,ⓓ)) = 805.0 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 13 @ 150 × 1 단 = 844.7 mm^2 ∴ O.K

3) 허용최대 중립축 깊이

○ δ = = 1.00

○ $c_{max} = (\delta \times \varepsilon_{cu} / 0.0033 - 0.6) \times d$ = 92.00 mm

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 26.96 mm

○ c_{max} = 92.00 mm > c = 26.96 mm ∴ O.K

4) 인장철근 변형률 검토(항복여부 검토)

○ $\varepsilon_s = (d - c) / c \times \varepsilon_{cu}$ = 0.025 > ε_{yd} = 0.002 ∴ O.K

5) 휨강도 계산

○ $C = \alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b \times c$ = 320973.5 N-mm

○ $T = \Phi_s \times A_s \times f_y$ = 320973.5 N-mm

C = T 이므로 O.K

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$ = 70.258 kN-m

○ M_u = = 62.069 kN-m ∴ O.K

6) 배력철근량 산정

○ 주철근량의 20%이상 배치 = 168.9 mm^2

○ 건조수축 및 온도변화에 대한 보강철근 = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = = 543.8 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 16 @ 250 × 1 단 = 794.4 mm^2 ∴ O.K

○ 철근간격 s = 250 mm < min(3h, 450) = 450 mm ∴ O.K

(6) 사용한계상태 검토

1) 균열검토

○ 최소철근량 검토

- $A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot A_{ct} \cdot f_{ct} / f_s$ = 500.3 mm^2

  f_s = 400.0 MPa

  f_{ct} = 3.450 MPa

  k_c = 0.400 ≤ 1.0

  A_{ct} = 145000 mm^2

- $A_{s,min}$ = 500.3 mm^2 < $A_{s,use}$ = 844.7 mm^2 ∴ **O.K**

○ 간접 균열 제어

- 철근에 발생하는 응력

  M_s = 10929941 N-mm

  $n = E_s / E_c$ = 6.127373987

  $x = -n \cdot A_s/b + n \cdot A_s/b \cdot \sqrt{\{1+2 \cdot b \cdot d /(n \cdot A_s)\}}$ = 43.891 mm

  $f_s = M_s / \{A_{s,used} \cdot (d - x / 3)\}$

  = 60.082 MPa < $0.8 \cdot f_y$ = 320.000 MPa ∴ **O.K**

- 철근응력 검토 (사용 철근 H 13)

  균열 제어를 위한 최대 철근 지름 = 280.00 MPa

  f_s = 60.082 MPa < 280.000 MPa

  균열 제어를 위한 최대 철근 간격 = 150.00 mm

  s = 150.000 mm < 150.00 mm

  최대 지름과 최대 철근 간격을 모두 만족하므로 ∴ **O.K**

2) 처짐검토

○ 한계 지간/깊이 비 검토

- $\rho \le \rho_0$

$$\frac{l}{d} = k \left[11 + 1.5 \sqrt{(f_{ck})} \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \sqrt{(f_{ck})} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right]$$

- $\rho > \rho_0$

$$\frac{l}{d} = k \left[11 + 1.5 \sqrt{(f_{ck})} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{(f_{ck})} \sqrt{\left(\frac{\rho}{\rho_c}\right)} \right]$$

  k = 1.500

  ρ_0 = 0.00592

  ρ = 0.00367

  ρ' = 0.000

○ 철근비 판정

ρ = 0.00367 < ρ_0 = 0.00592 **위의 식 적용**

○ 한계 지간/깊이 비 산정

l / d = 51.503

○ 철근응력 보정

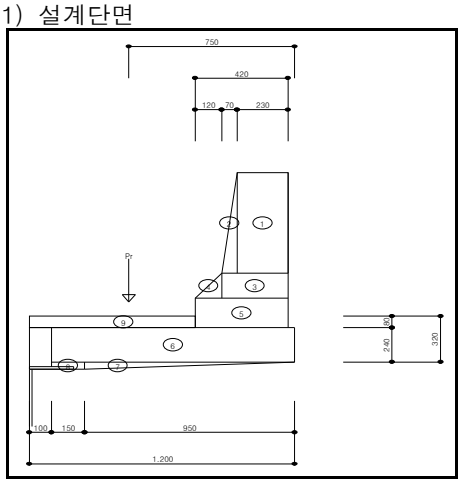
$f_s = n \times M / I \times (d - x)$ = 6.133 MPa

○ 응력보정계수 = 310 / 6.133 = 50.549

○ 보정 l / d = 2603 > 적용 l / d = 4.891 ∴ **O.K**

3.4 우측 캔틸레버부

(1) 설계단면



○ 슬래브 두께 (TS) = 0.240 m
○ 포장 두께 (TP) = 0.080 m
○ 상부플랜지 폭 (UF) = 0.400 m
○ 방호벽 (단위 : m)

구 분	A	X	A · X
1	0.161	0.955	0.15376
2	0.025	0.817	0.02002
3	0.053	0.920	0.04830
4	0.011	0.730	0.00767
5	0.086	0.860	0.07405
6	0.264	0.550	0.14520
7	0.024	0.467	0.01109
8	0.008	0.075	0.00056

(2) 하중산정

1) DC

○ 슬래브 = 0.295 x 25.0 x 0.002 = 0.014 kN · m
○ 방호벽 = 0.335 x 25.0 x 1.375 = 11.502 kN · m

2) DW

○ 포장 = 0.080 x 0.650 x 23.0 x 0.325 = 0.389 kN-m

3) 활하중 (LL, KL-510 후륜 P=96kN)

○ 분 포 폭 E = 0.8 X + 1.14
= 0.8 x 0.350 + 1.14 = 1.420 m
○ 충격계수 IM = = 0.250
○ 폭 1m 당 M_L = P X / E (1 + IM) = 29.577 kN-m

4) 충돌하중 (CT)

○ 곡선 반경 R = 0.0 m (R ≤ 200m 곡선부 : 적용 하중의 2배 적용)
i) 작용 높이 h_i = 1.080 m (노면상 1.0m 높이에 직각으로 작용)
설계 속도 V = 120 km/h
수평충돌력 H_i = $(V / 60)^2$ x 7.5 + 2.5 = 32.500 kN
M_i = = 35.100 kN-m

ii) 작용 높이 h_{ii} = 1.225 m (방호벽, 방음벽 상단)
설계 속도 H_{ii} = 10.000 kN
수평충돌력 M_{ii} = = 12.250 kN-m
○ 적용 하중 M_{CO} = Max (M_i , M_{ii}) = 35.100 kN-m

5) 풍하중

○ 적용 풍하중 P_W = 3.000 kN/m^2
○ 적용 높이 H_W = 1.145 m
○ 작용 위치 e_W = 0.573 m (= H_W / 2)
○ 적용 하중 M_W = = 1.967 kN-m

6) 단면력 요약정리 (단위 : kN-m)

구 분	DC	DW	LL(IM)	CT	WS	비 고
Moment	11.516	0.389	29.577	35.100	1.967	

(3) 하중조합 (단위 : kN-m)

구 분	DC	DW	LL(IM)	CT	WS	모멘트	비 고
극한 한계상태 I	1.25	1.50	1.80	0.00	0.00	68.217	
극한 한계상태 III	1.25	1.50	0.00	0.00	1.40	17.731	
극한 한계상태 V	1.25	1.50	1.40	0.00	0.40	57.173	
극단상황 한계상태 II	1.25	1.50	0.50	1.00	0.00	64.867	
사용한계상태 V	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	11.905	

(4) 극한한계상태 검토

1) 설계조건

M_u	=	68.217	kN-m	f_{ck}	=	27	MPa	f_y = 400 MPa
b	=	1000.0	mm	d	=	230.0	mm	d' = 60.0 mm
Φ_c	=	0.650		Φ_s	=	0.950		β_1 = 0.850

○ 콘크리트 강도에 따른 응력-변형률 곡선 계수

- n (상승곡선부 형상지수) = 2.00
- ε_{co} (최대응력에 처음 도달할 때의 변형률) = 0.0020
- ε_{cu} (극한 변형률) = 0.0033
- α (압축합력 크기 계수) = 0.7980
- β (작용점 위치계수) = 0.4120

2) 필요 휨철근량 산정

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 0.03192 A_s

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$

$= -4.9976\ A_s^2 + 87400.00\ A_s$ = 6.82E+07 N-mm

○ $A_{s,req}$ = 818.9 mm^2

○ 최소철근량 검토

ⓐ $= A_{s,req} \times 4/3$ = 1091.8 mm^2

ⓑ $= 1.4 / f_y \times b \times d$ = 805.0 mm^2

ⓒ $= 0.25 \sqrt{(f_{ck})} / f_y \times b \times d$ = 746.9 mm^2

ⓓ $= 0.75 \times A_g / f_y$ = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = min(ⓐ,max(ⓑ,ⓒ,ⓓ)) = 805.0 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 13 @ 150 × 1 단 = 844.7 mm^2 ∴ O.K

3) 허용최대 중립축 깊이

○ δ = = 1.00

○ $c_{max} = (\delta \times \varepsilon_{cu} / 0.0033 - 0.6) \times d$ = 92.00 mm

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 26.96 mm

○ c_{max} = 92.00 mm > c = 26.96 mm ∴ O.K

4) 인장철근 변형률 검토(항복여부 검토)

○ $\varepsilon_s = (d - c) / c \times \varepsilon_{cu}$ = 0.0248 > ε_{yd} = 0.002 ∴ O.K

5) 휨강도 계산

○ $C = \alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b \times c$ = 320973.5 N-mm

○ $T = \Phi_s \times A_s \times f_y$ = 320973.5 N-mm

C = T 이므로 O.K

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$ = 70.258 kN-m

○ M_u = = 68.217 kN-m ∴ O.K

6) 배력철근량 산정

○ 주철근량의 20%이상 배치 = 168.9 mm^2

○ 건조수축 및 온도변화에 대한 보강철근 = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = = 543.8 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 16 @ 250 × 1 단 = 794.4 mm^2 ∴ O.K

(5) 극단상황한계상태 검토

1) 설계조건

M_u	=	64.867	kN-m	f_{ck}	=	27	MPa	f_y	=	400	MPa
b	=	1000.0	mm	d	=	230.0	mm	d'	=	60.0	mm
Φ_c	=	0.650		Φ_s	=	0.950		β_1	=	0.850	

○ 콘크리트 강도에 따른 응력-변형률 곡선 계수

- n (상승곡선부 형상지수) = 2.00
- ε_{co} (최대응력에 처음 도달할 때의 변형률) = 0.0020
- ε_{cu} (극한 변형률) = 0.0033
- α (압축합력 크기 계수) = 0.7980
- β (작용점 위치계수) = 0.4120

2) 필요 휨철근량 산정

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 0.03192 A_s

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$

$= -4.9976\ A_s^2 + 87400.00\ A_s$ = 6.49E+07 N-mm

○ $A_{s,req}$ = 776.7 mm^2

○ 최소철근량 검토

ⓐ $= A_{s,req} \times 4/3$ = 1035.6 mm^2

ⓑ $= 1.4 / f_y \times b \times d$ = 805.0 mm^2

ⓒ $= 0.25 \sqrt{(f_{ck})} / f_y \times b \times d$ = 746.9 mm^2

ⓓ $= 0.75 \times A_g / f_y$ = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = min(ⓐ,max(ⓑ,ⓒ,ⓓ)) = 805.0 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 13 @ 150 × 1 단 = 844.7 mm^2 ∴ O.K

3) 허용최대 중립축 깊이

○ δ = = 1.00

○ $c_{max} = (\delta \times \varepsilon_{cu} / 0.0033 - 0.6) \times d$ = 92.00 mm

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 26.96 mm

○ c_{max} = 92.00 mm > c = 26.96 mm ∴ O.K

4) 인장철근 변형률 검토(항복여부 검토)

○ $\varepsilon_s = (d - c) / c \times \varepsilon_{cu}$ = 0.025 > ε_{yd} = 0.002 ∴ O.K

5) 휨강도 계산

○ $C = \alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b \times c$ = 320973.5 N-mm

○ $T = \Phi_s \times A_s \times f_y$ = 320973.5 N-mm

C = T 이므로 O.K

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$ = 70.258 kN-m

○ M_u = = 64.867 kN-m ∴ O.K

6) 배력철근량 산정

○ 주철근량의 20%이상 배치 = 168.9 mm^2

○ 건조수축 및 온도변화에 대한 보강철근 = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = = 543.8 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 16 @ 250 × 1 단 = 794.4 mm^2 ∴ O.K

○ 철근간격 s = 250 mm < min(3h, 450) = 450 mm ∴ O.K

(6) 사용한계상태 검토

1) 균열검토

○ 최소철근량 검토

- $A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot A_{ct} \cdot f_{ct} / f_s$ = 500.3 mm^2

f_s = 400.0 MPa

f_{ct} = 3.450 MPa

k_c = 0.400 ≤ 1.0

A_{ct} = 145000 mm^2

- $A_{s,min}$ = 500.3 mm^2 < $A_{s,use}$ = 844.7 mm^2 ∴ O.K

○ 간접 균열 제어

- 철근에 발생하는 응력

M_s = 11904606 N-mm

$n = E_s / E_c$ = 6.127373987

$x = -n \cdot A_s/b + n \cdot A_s/b \cdot \sqrt{\{1+2 \cdot b \cdot d /(n \cdot A_s)\}}$ = 43.891 mm

$f_s = M_s / \{A_{s,used} \cdot (d - x / 3)\}$

= 65.440 MPa < $0.8 \cdot f_y$ = 320.000 MPa ∴ O.K

- 철근응력 검토 (사용 철근 H 13)

균열 제어를 위한 최대 철근 지름 = 280.00 MPa

f_s = 65.440 MPa < 280.000 MPa

균열 제어를 위한 최대 철근 간격 = 150.00 mm

s = 150.000 mm < 150.00 mm

최대 지름과 최대 철근 간격을 모두 만족하므로 ∴ O.K

2) 처짐검토

○ 한계 지간/깊이 비 검토

- $\rho \le \rho_0$

$$\frac{l}{d} = k \left[11 + 1.5 \sqrt{(f_{ck})} \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \sqrt{(f_{ck})} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right]$$

- $\rho > \rho_0$

$$\frac{l}{d} = k \left[11 + 1.5 \sqrt{(f_{ck})} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{(f_{ck})} \sqrt{\left(\frac{\rho}{\rho_t}\right)} \right]$$

k = 1.500

ρ_0 = 0.00592

ρ = 0.00367

ρ' = 0.000

○ 철근비 판정

ρ = 0.00367 < ρ_0 = 0.00592 **위의 식 적용**

○ 한계 지간/깊이 비 산정

l / d = 51.503

○ 철근응력 보정

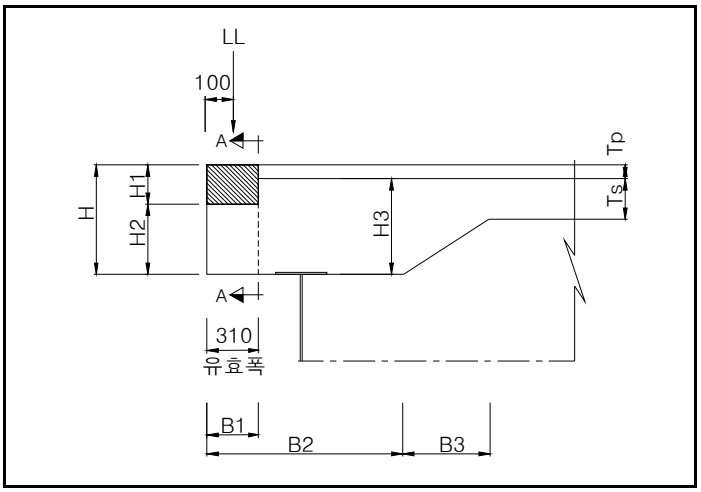
$f_s = n \times M / I \times (d - x)$ = 6.679 MPa

○ 응력보정계수 = 310 / 6.679 = 46.411

○ 보정 l / d = 2390 > 적용 l / d = 4.891 ∴ O.K

3.5 진입부 바닥판(단면 A)

(1) 설계단면



B1	0.300 m	
B2	2.050 m	(최대길이)
B3	1.000 m	

H	0.570 m	
H1	0.150 m	(블럭아웃)
H2	0.420 m	
H3	0.480 m	

Θ	90.0 °	(SKEW 각도)

(2) 하중산정

1) 고정하중(DC)

○ P_{d1} = 0.300 x 0.570 x 25.0 = 4.275 kN

○ M_d = 4.275 x 0.150 = 0.641 kN-m

2) 활하중 (주철근방향이 차량진행방향에 평행한 경우)

○ 분 포 폭 E = 0.35 X + 0.98 < 2.100 m

= 0.35 x 0.200 + 0.98 = 1.050 m **O.K!**

○ 충격계수 i = = 0.25

○ 폭 1m 당 M_L = P X / E (1 + i) = 22.857 kN-m

(3) 하중조합 (단위 : kN-m)

구 분	DC	DW	LL(IM)	모멘트	비 고
극한 한계상태 I	1.25	1.50	1.80	41.944	
사용한계상태 V	1.00	1.00	0.00	0.641	

(4) 극한한계상태 검토

1) 설계조건

M_u = 41.944 kN-m	f_{ck} = 27.0 MPa	f_y = 400.0 MPa
b = 1000.0 mm	d = 360.0 mm	d' = 60.0 mm
Φ_c = 0.65	Φ_s = 0.95	β_1 = 0.850

○ 콘크리트 강도에 따른 응력-변형률 곡선 계수

- n (상승곡선부 형상지수) = 2.00
- ε_{co} (최대응력에 처음 도달할 때의 변형률) = 0.0020
- ε_{cu} (극한 변형률) = 0.0033
- α (압축합력 크기 계수) = 0.798
- β (작용점 위치계수) = 0.412

2) 필요 휨철근량 산정

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 0.03192 A_s

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$

$= -4.9976\ A_s^2 + 136800.00\ A_s$ = 4.19E+07 N-mm

○ $A_{s,req}$ = 310.1 mm^2

○ 최소철근량 검토

ⓐ $= A_{s,req} \times 4/3$ = 413.5 mm^2

ⓑ $= 1.4 / f_y \times b \times d$ = 1260.0 mm^2

ⓒ $= 0.25 \sqrt{(f_{ck})} / f_y \times b \times d$ = 1169.1 mm^2

ⓓ $= 0.75 \times A_g / f_y$ = 787.5 mm^2

○ $A_{s,min}$ = min(ⓐ,max(ⓑ,ⓒ,ⓓ)) = 413.5 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 16 @ 250 × 1 단 = 794.4 mm^2 ∴ **O.K**

3) 허용최대 중립축 깊이

○ δ = = 1.00

○ $c_{max} = (\delta \times \varepsilon_{cu} / 0.0033 - 0.6) \times d$ = 144.00 mm

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 25.36 mm

○ c_{max} = 144.00 mm > c = 25.36 mm ∴ **O.K**

4) 인장철근 변형률 검토(항복여부 검토)

○ $\varepsilon_s = (d - c) / c \times \varepsilon_{cu}$ = 0.0435 > ε_{yd} = 0.002 ∴ **O.K**

5) 휨강도 계산

○ $C = \alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b \times c$ = 301872 N-mm

○ $T = \Phi_s \times A_s \times f_y$ = 301872 N-mm

C = T 이므로 O.K

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$ = 105.5 kN-m

○ M_u = = 41.9 kN-m ∴ **O.K**

6) 배력철근량 산정

○ 주철근량의 20%이상 배치 = 158.9 mm^2

○ 건조수축 및 온도변화에 대한 보강철근 = 787.5 mm^2

○ $A_{s,min}$ = = 787.5 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 13 @ 150 × 1 단 = 844.7 mm^2 ∴ **O.K**

(5) 사용한계상태 검토

1) 균열검토

○ 최소철근량 검토

- $A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot A_{ct} \cdot f_{ct} / f_s$ = 724.5 mm^2

  f_s = 400.0 MPa

  f_{ct} = 3.450 MPa

  k_c = 0.400 ≤ 1.0

  A_{ct} = 210000 mm^2

- $A_{s,min}$ = 724.5 mm^2 < $A_{s,use}$ = 794.4 mm^2 ∴ **O.K**

○ 간접 균열 제어

- 철근에 발생하는 응력

  M_s = 641250 N-mm

  $n = E_s / E_c$ = 6.1274

  $x = -n \cdot A_s/b + n \cdot A_s/b \cdot \sqrt{\{1+2 \cdot b \cdot d /(n \cdot A_s)\}}$ = 54.532 mm

  $f_s = M_s / \{A_{s,used} \cdot (d - x / 3)\}$

  = 2.361 MPa < $0.8 \cdot f_y$ = 320.000 MPa ∴ **O.K**

- 철근응력 검토 (사용 철근 H 16)

  균열 제어를 위한 최대 철근 지름 = 240.00 MPa

  f_s = 2.361 MPa < 240.000 MPa

  균열 제어를 위한 최대 철근 간격 = 200.00 mm

  s = 250.000 mm > 200.00 mm

  최대 지름과 최대 철근 간격 중 최대 철근 지름을 만족하므로 ∴ **O.K**

2) 처짐검토

○ 한계 지간/깊이 비 검토

- $\rho \le \rho_0$

$$\frac{l}{d} = k \left[11 + 1.5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right]$$

- $\rho > \rho_0$

$$\frac{l}{d} = k \left[11 + 1.5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right)} \right]$$

  k = 1.500 ρ = 0.00221

  ρ_0 = 0.00520 ρ' = 0.000

○ 철근비 판정

ρ = 0.00221 < ρ_0 = 0.00520 **위의 식 적용**

○ 한계 지간/깊이 비 산정

l / d = 83.359

○ 철근응력 보정

$f_s = n \times M / I \times (d - x)$ = 0.194 MPa

○ 응력보정계수 = 310 / 0.194 = 1594.635

○ 보정 l / d = 132928 > 적용 l / d = 5.694 ∴ **O.K**

4. 주거더설계

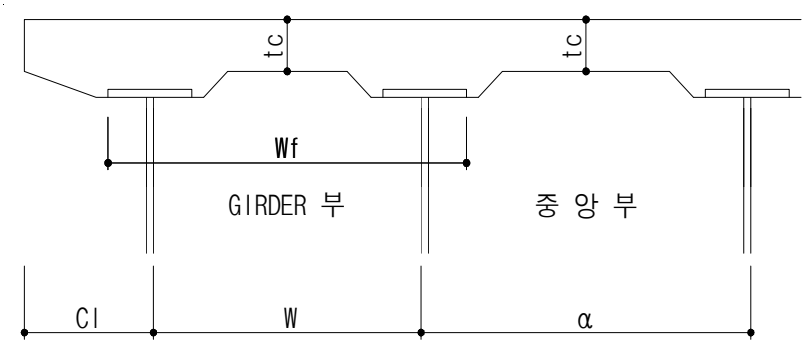
4.1 바닥판의 유효폭 계산

(☞ 도.설.한 4.6.7.1)

- 모든한계상태 구조물의 저항성을 산정하기 위하여 합성거동을 하는 콘크리트의 유효폭 산정은 아래와 같이 산정.
- 처짐 계산시는 전체 플랜지폭을 기반으로 해야 한다.
- 플랜지의 유효폭을 계산하는데 사용되는 등가지간장은 단순지지 된 지간에서는 실제 지간장을 사용하고, 연속지지의 경우에는 고정하중에 의하여 발생하는 정모멘트 구간의 거리 혹은 부모멘트 구간의 거리를 사용한다.

- 내측거더의 플랜지 유효폭은 다음 값들 중 가장 작은 값으로 한다.
  - 등가지간의 1/4
  - 슬래브 평균두께의 12배+Max(복부두께, 주거더 상부플랜지폭의 1/2)
  - 인접한 보 사이의 평균 간격

- 외측거더의 플랜지 유효폭은 인접한 내측거더 유효폭의 절반과 다음 값 중의 최솟값의 합으로 한다.
  - 등가지간의 1/8
  - 슬래브 평균두께의 6배+Max(복부두께의 1/2, 주거더 상부플랜지폭의 1/4)
  - 내민부분의 폭



L : 등가지간장
tc : 바닥판 두께
W : 복부 사이의 거리
Wf : 상부플랜지 폭
α : 거더 사이의 간격
Cl : 좌측 내민부 폭
Beff : 적용 바닥판 유효폭

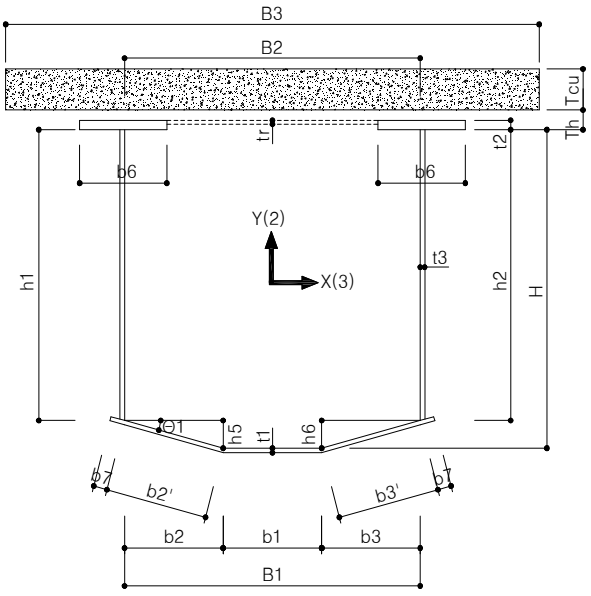
① 외측거더(Girder-G1,G2)

위치	L	tc	W	Wf	유효폭 산정				Beff (W+bmin)
					L/8	6×tc+max (W/2,Wf/4)	Cl+α/2	bmin	
A1	32,000	440	2,400	2,800	4,000	3,840	3,850	3,840	6,240
중앙부	32,000	240	2,400	2,800	4,000	2,640	3,850	2,640	5,040
교번위치	32,000	240	2,400	2,800	4,000	2,640	3,850	2,640	5,040
P1	18,000	240	2,400	2,800	2,250	2,640	3,850	2,250	4,650
교번위치	30,000	240	2,400	2,800	3,750	2,640	3,850	2,640	5,040
중앙부	30,000	240	2,400	2,800	3,750	2,640	3,850	2,640	5,040
교번위치	30,000	240	2,400	2,800	3,750	2,640	3,850	2,640	5,040
P2	18,000	240	2,400	2,800	2,250	2,640	3,850	2,250	4,650
교번위치	32,000	240	2,400	2,800	4,000	2,640	3,850	2,640	5,040
중앙부	32,000	240	2,400	2,800	4,000	2,640	3,850	2,640	5,040
A2	32,000	440	2,400	2,800	4,000	3,840	3,850	3,840	6,240

4.2 단면정수 산정

(1) 정모멘트부

◎ 단면 < 단면5 > 단면위치 : 39,J지점 (외측거더)



※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

단면제원(mm)			
b1	818	B1	2400
b2	791	B2	2400
b3	791	B3	6228
b4	-	H	1800
b5	-	t1	12
b6	400	t2	18
b7	100	t3	12
b2'	818.903	h1	1588
b3'	818.903	h2	1588
b4'	-	h3	100
b5'	-	h4	100
Θ1	15.0°	h5	211.948
Θ2	-	h6	211.948
Tcu	240	h7	-
Th	50	h8	-

플랜지 보강리브 제원 (mm)		유효폭 제원 (mm)		탄성계수비		피복두께(mm)	
상부종리브	0 x 0 x 0 ea	상부바닥판	6228	n(상부)	7	tcu	60

※ tr : 비틀림강성 산정을 위한 브레이싱의 유효두께 (아래계산 참조)

※ 바닥판의 유효두께는 상부플랜지의 두께를 공제한 것을 적용, 단, 하중산정시는 전체 두께를 고려함

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(mm²)	Y(mm)	AsY(mm³)	AsY² (mm⁴)	Io(mm⁴)
상부플랜지	2 - 400 x 18	14,400	803.0	1.156E+07	9.286E+09	3.888E+05
상부종리브	0 - 0 x 0	-	-	-	-	-
복부판 (L)	1 - 1588 x 12	19,057				4.005E+09
복부판 (R)	1 - 1588 x 12	19,057				4.005E+09
하부플랜지(L1)	- - - x -	-	-	-	-	-
하부플랜지(L2)	1 - 919 x 12	11,027	-906.0	-9.990E+06	9.051E+09	1.323E+05
하부플랜지(C)	1 - 818 x 12	9,816	-1,012.0	-9.934E+06	1.005E+10	1.178E+05
하부플랜지(R1)	1 - 919 x 12	11,027	- 906.0	-9.990E+06	9.051E+09	1.323E+05
하부플랜지(R2)	- - - x -	-	-	-	-	-
TOTAL		84,383		-1.835E+07	3.744E+10	8.011E+09

Is´ = ∑AsY² + ∑Io

= 37440789104 + 8010619847 = 4.545E+10 mm⁴

δs = ∑AsY / ∑As

= -18350597 / 84383 = -217.5 mm

I33 = Is´ - ∑As x δs²

= 45451408950 - 84383 x -217.468 ² = 4.146E+10 mm⁴

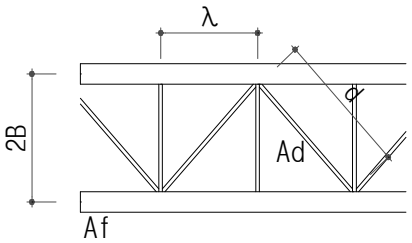
I22 = 9.27345E+10 mm⁴

- 비틀림 강성 : (☞ 개구제형 강거더 설계지침 P8)

※ 개구형 단면의 비틀림 강성은 개단면이므로 매우 작지만, 여기에 상부 브레이싱을 설치하면, 콘크리트 타설중 횡좌굴을 방지하며 비틀림 우력에 대해서도 등가두께를 갖는 폐단면(Quasi-Closed Section)으로 저항한다 [DESIGN OF MODERN STEEL HIGHWAYBRIDGES - 8.2.1 Lateral Bracing]. 이때의 등가두께 tr은 다음식으로 구한다.

< Equivalent Thickness For Quasi Box Girder > (☞ 강구조편람 4편 P196~198)

$$t_r = \frac{E}{G}\cdot\frac{2\lambda B}{d^3/A_d + 2\lambda^3/3A_f}$$ (SD-Type 일때)



E = 205000 MPa

G = 79000 MPa

λ = 2500 mm

B = 1200 mm

d = 3466 mm

Ad = (T 125 x 125 x 6 x 9) = 1821 mm²

Af = 2400 x 18.0 = 43200 mm²

· $tr = \frac{205000}{79000} \times \frac{2 \times 2500 \times 1200}{3466^3 / 1821 + 2 \times 2500^3 / 3 \times 43200} =$ 0.674mm

· F = (B1 + t3) x (H - t2/2 - t1/2) = 4305420 mm²

· Lm = 2 x [(B1 + t3) + (H - t2/2 - t1/2)] = 8394 mm

· $\int\frac{ds}{t} = \frac{Bl}{t1} + \frac{Bu}{tr} + \frac{2Hk/\cos\theta}{t3} = \frac{2.400}{0.012} + \frac{3.176}{0.012} + \frac{2.400}{0.00067} =$ 4025.048

· $K = \frac{4 \times F^2}{\int\frac{ds}{t}} = \frac{4 \times 4305420.000\ \text{^2}}{4025.05} =$ 1.842E+10 mm⁴

· 단면적(A) ····· 8.438E+04 mm²

· 전단에 저항하는 단면적(As) ····· 3.811E+04 mm²

· y축 단면2차모멘트(iy) ····· 9.273E+10 mm⁴

· 유효폭을 고려한 z축 단면2차모멘트(iz) ····· 4.146E+10 mm⁴

· 등가두께를 갖는 비틀림상수(K) ····· 1.842E+10 mm⁴

② 합성후 단면

구 분	규 격	As(mm²)	Y(mm)	AsY(mm³)	AsY² (mm⁴)	Io(mm⁴)
상부플랜지	2 - 400 x 18	14,400	1,821.0	2.622E+07	1.500E+10	3.888E+05
상부종리브	0 - 0 x 0	-	-	-	-	-
복부판 (L)	1 - 1588 x 12	19,057	1,018.0	1.940E+07	9.012E+08	4.005E+09
복부판 (R)	1 - 1588 x 12	19,057	1,018.0	1.940E+07	9.012E+08	4.005E+09
하부플랜지(L1)	- - - x -	-	-	-	-	-
하부플랜지(L2)	1 - 919 x 12	11,027	112.0	1.235E+06	5.228E+09	1.323E+05
하부플랜지(C)	1 - 818 x 12	9,816	6.0	5.890E+04	6.196E+09	1.178E+05
하부플랜지(R1)	1 - 919 x 12	11,027	112.0	1.235E+06	5.228E+09	1.323E+05
하부플랜지(R2)	1 - - x 12	-	-	-	-	-
TOTAL		84,383	800.5	6.755E+07	3.345E+10	8.011E+09

(탄성계수비 n 적용)

구 분	규 격	As(mm²)	Y(mm)	AsY(mm³)	AsY² (mm⁴)	Io(mm⁴)
상부바닥판	1 - 6228 x 240	1,494,600				7.174E+09
바닥판 환산		213,514	1,982.0	4.232E+08	2.391E+10	1.025E+09
강형		84,383	800.5	6.755E+07	6.051E+10	4.146E+10
TOTAL		297,897	1,647.3	4.907E+08	8.443E+10	4.249E+10

- 도심 : ysv = 490734344/297897 = 1647.328 mm

Iv33 = ∑AsY² + ∑Io
= 84426405895 + 42485608027 = 1.269E+11 mm⁴

Iv22 = I22 + B1³ x Tcl / 12 / n
= 92734491539 + 6227.500 ³
x 240.0 / 12 / 7 = 7.828E+11 mm⁴

(탄성계수비 3n 적용)

구 분	규 격	As(mm²)	Y(mm)	AsY(mm³)	AsY² (mm⁴)	Io(mm⁴)
상부바닥판	1 - 6228 X 240	1,494,600				7.174E+09
바닥판 환산		71,171	1,952.0	1.389E+08	2.777E+10	3.416E+08
강형		84,383	800.5	6.755E+07	2.342E+10	4.146E+10
TOTAL		155,554	1,327.4	2.065E+08	5.119E+10	4.180E+10

- 도심 : ysv = 206475658/155554 = 1327.354 mm

Iv33 = ∑AsY² + ∑Io
= 51191943817 + 41802362313 = 9.299E+10 mm⁴

Iv22 = I22 + B1³ x Tcl / 12 / 3n
= 92734491539 + 6227.500 ³
x 240.0 / 12 / 21 = 3.227E+11 mm⁴

※ 합성후 거더의 순수 비틀림 강성은 바닥판 슬래브에 의해 합성 후 폐단면을 형성하며 바닥판 두께를 강재로 환산하여 폐단면의 비틀림 강성을 구한다.

바닥판 콘크리트의 강도 f_{ck}= 35.0 MPa
강재의 전단 탄성계수 G_S= = 79,000 MPa
바닥판의 전단탄성계수 G_C= 29,779 / (2 (1 + 0.167)) = 12,762 MPa
바닥판의 환산두께 tcu= 240 × 12,762 / 79,000 = 38.8 mm

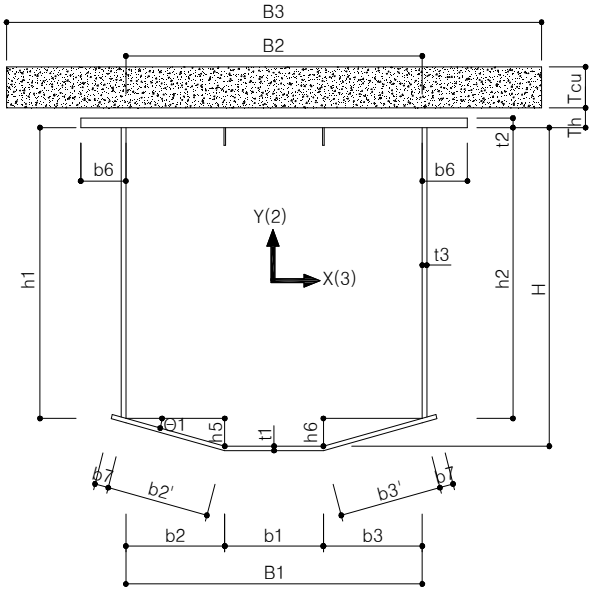
H' = H + (tc+tr)/2 + t1/2 = 1,800.0 + 39.446/2 + 12.0/2
= 1,825.7 mm

F = (Bu+Bl)/ 2 × H' = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 × 1,825.7
= 4,403,644 mm^2

K = $4 \cdot F^2 / (\oint ds/t)$ = $4F^2 / \{2x(H/\cos\Theta) / t3 + Bu /(tcu+tr) + Bl/(tcl+t1)\}$
= 4 × 4,403,643.7² / {2x(1,825.7 / 12.0) + 2,412.0/39.446 + 2,412.0/(12.0) }
= 1.369E+11 mm^4

(2) 부모멘트부

◎ 단면 < 단면3 > : 단면위치 : 34,J지점 (외측거더)



※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

단면제원(mm)			
b1	818	B1	2400
b2	791	B2	2400
b3	791	B3	6228
b4	-	H	1800
b4	-	t1	20
b6	200	t2	14
b7	100	t3	12
b2'	818.903	h1	1588
b3'	818.903	h2	1588
b4'	-	h3	100
b5'	-	h4	100
Θ1	15.0°	h5	211.948
Θ2	-	h6	211.948
Tcu	240	h7	-
Th	50	h8	-

플랜지 보강리브 제원 (mm)		유효폭 제원 (mm)		탄성계수비		피복두께(mm)	
상부종리브	150 x 14 x 2 ea	상부바닥판	6228	n(상부)	7	tcu	60

※ tr : 비틀림강성 산정을 위한 브레이싱의 유효두께 (아래계산 참조)

※ 바닥판의 유효두께는 상부플랜지의 두께를 공제한 것을 적용, 단, 하중산정시는 전체 두께를 고려함

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(mm²)	Y(mm)	AsY(mm³)	AsY²(mm⁴)	Io(mm⁴)
상부플랜지	1 - 2800 x 14	39,200	801.0	3.140E+07	2.515E+10	6.403E+05
상부종리브	2 - 150 x 14	4,200	719.0	3.020E+06	2.171E+09	7.875E+06
복부판 (L)	1 - 1588 x 12	19,057				4.005E+09
복부판 (R)	1 - 1588 x 12	19,057				4.005E+09
하부플랜지(L1)	- - - x -	-	-	-	-	-
하부플랜지(L2)	1 - 919 x 20	18,378	-910.0	-1.672E+07	1.522E+10	6.126E+05
하부플랜지(C)	1 - 818 x 20	16,360	-1,016.0	-1.662E+07	1.689E+10	5.453E+05
하부플랜지(R1)	1 - 919 x 20	18,378	- 910.0	-1.672E+07	1.522E+10	6.126E+05
하부플랜지(R2)	- - - x -	-	-	-	-	-
TOTAL		134,629		-1.565E+07	7.465E+10	8.020E+09

Is´ = $\sum AsY^2 + \sum Io$

= 7.465E+10 + 8.020E+09 = 8.267E+10 mm⁴

δs = $\sum AsY / \sum As$

= -1.565E+07 / 134,629 = -116.2 mm

I33 = Is´ - $\sum As \times \delta s^2$

= 8.267E+10 - 134,629 x -116.2 ² = 8.085E+10 mm⁴

I22 = = 1.08332E+11 mm⁴

- 비틀림 강성 :

Hk = H + t2 / 2 + t1 / 2 = 1,800.0 + 14.0 / 2 + 20.0 / 2

= 1,817.0 mm

F = (Bu+Bl)/ 2 × Hk = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 × 1,817.0

= 4,382,604 mm^2

K = $4 \cdot F^2 / (\oint ds/t)$ = $4F^2 / \{2x(H/\cos\Theta) / t3 + Bu/t2 + Bl/t1)\}$

= 4 × 4,382,604.0² / {2x(1,817.0 / 12.0) + 2,400.0/20.000 + 2,400.0/14.0 }

= 1.2928E+11 mm^4

② 합성후 단면

구 분	규 격	As(mm^2)	Y(mm)	AsY(mm^3)	AsY² (mm^4)	Io(mm^4)
상부플랜지	1 - 2800 X 14	39,200	1,827.0	7.162E+07	3.298E+10	6.403E+05
상부종리브	2 - 150 x 14	4,200	1,745.0	7.329E+06	1.279E+10	7.875E+06
복부판 (L)	1 - 1588 x 12	19,057	1,026.0	1.955E+07	2.575E+08	4.005E+09
복부판 (R)	1 - 1588 x 12	19,057	1,026.0	1.955E+07	2.575E+08	4.005E+09
하부플랜지(L1)	- - - x -	-	-	-	-	-
하부플랜지(L2)	1 - 919 x 20	18,378	116.0	2.131E+06	1.158E+10	6.126E+05
하부플랜지(C)	1 - 818 x 20	16,360	10.0	1.636E+05	1.324E+10	5.453E+05
하부플랜지(R1)	1 - 919 x 20	18,378	116.0	2.131E+06	1.158E+10	6.126E+05
하부플랜지(R2)	1 - - x 20	-	-	-	-	-
TOTAL		134,629	909.73	1.225E+08	8.269E+10	8.020E+09

(탄성계수비 n 적용)

구 분	규 격	As(mm^2)	Y(mm)	AsY(mm^3)	AsY² (mm^4)	Io(mm^4)
상부슬래브	1 - 6228 X 240	1494600				7.174E+09
환산		213514	1990.00	4.249E+08	3.726E+10	1.025E+09
강형		134629	909.73	1.225E+08	5.909E+10	9.071E+10
TOTAL		348144	1572.25	5.474E+08	9.635E+10	9.173E+10

- 도심 : ysv = 547370384/348144 = 1572.254 mm

Iv33 = $\sum AsY^2 + \sum Io$

= 9.635E+10 + 9.173E+10 = 1.881E+11 mm^4

Iv22 = I22 + $B1^3$ x Tcl / 12 / n

= 1.083E+11 + 6228 ^{3} x 240.0 / 12 / 7 = 7.984E+11 mm^4

(탄성계수비 3n 적용)

구 분	규 격	As(mm²)	Y(mm)	AsY(mm³)	AsY² (mm⁴)	Io(mm⁴)
상부슬래브	1 - 6228 X 240	1494600				7.174E+09
환산		71171	1990.00	1.416E+08	3.554E+10	3.416E+08
강형		134629	909.73	1.225E+08	1.879E+10	9.071E+10
TOTAL		205801	1283.32	2.641E+08	5.433E+10	9.105E+10

- 도심 : ysv = 264108098/205801 = 1283.3 mm

Iv33 = $\sum AsY^2 + \sum Io$

= 5.433E+10 + 9.105E+10 = 1.454E+11 mm^4

Iv22 = I22 + $B1^3$ x Tcl / 12 / 3n

= 1.083E+11 + 6228 ^{3} x 240.0 / 12 / 21 = 3.383E+11 mm^4

※ 합성후 거더의 순수 비틀림 강성은 바닥판 슬래브에 의해 합성 후 폐단면을 형성하며 바닥판 두께를 강재로 환산하여 폐단면의 비틀림 강성을 구한다.

바닥판 콘크리트의 강도 f_{ck}= 35.0 MPa

강재의 전단 탄성계수 G_S= 79,000 MPa

바닥판의 전단탄성계수 G_C= 29,779 / (2 (1 + 0.167)) = 12,762 MPa

바닥판의 환산두께 tcu= 240 × 12,762 / 79,000 = 38.8 mm

H' = H +t2/2 + (tcl+t1)/2 = 1,800.0 + 0.0/2 + 20.0)/2

= 1,817.0 mm

F = (Bu+Bl)/ 2 × H' = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 × 1,817.0

= 4,382,604 mm^2

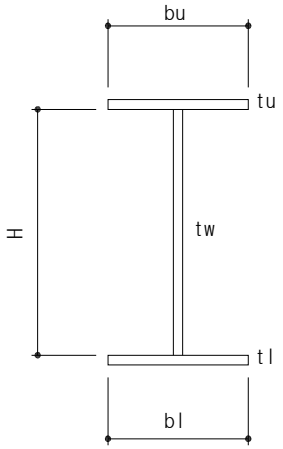
K = $4 \cdot F^2 / (\oint ds/t)$ = $4F^2$ / {2x(H/cosΘ) / t3 + Bu /t2 + Bl/(tcl+t1)}

= 4 × 4,382,604.0² / {2x(1,817.0 / 240.0) + 2,040.0/0.000 + 6,467.5/12.0) }

= 1.2897E+11 mm^4

3) 가로보

◎ 가로보 단면 < 1 >



bu =	300.0	mm
bl =	300.0	mm
H =	1,000.0	mm
tu =	12.0	mm
tw =	12.0	mm
tl =	12.0	mm

X(3)축 방향

구 분	규 격	As(mm^2)	Y(mm)	$As \cdot Y$(mm^3)	$As \cdot Y^2$(mm^4)	I_{xo}(mm^4)
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	506.0	1.822E+06	9.217E+08	4.320E+04
WEB	1 - 1,000.0 × 12.0	12,000.0	-	-	-	1.000E+09
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-506.0	-1.822E+06	9.217E+08	4.320E+04
합 계		19,200.0	-	0.000E+00	1.843E+09	1.000E+09

Y(2)축 방향

구 분	규 격	As(mm^2)	X(mm)	$As \cdot X$(mm^3)	$As \cdot X^2$(mm^4)	I_{yo}(mm^4)
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
WEB	1 - 1,000.0 × 12.0	12,000.0	-	-	-	1.440E+05
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
합 계		19,200.0	-	-	-	5.414E+07

$I_{33} = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo}$ = 1,843,459,200.0 + 1,000,086,400.0 = 2.844E+09 mm^4

$I_{22} = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo}$ = 0.0 + 54,144,000.0 = 5.414E+07 mm^4

※모델링시의 가로보 강성보정은 $I' = I \times (L' / L)^3$ 에 의한다.

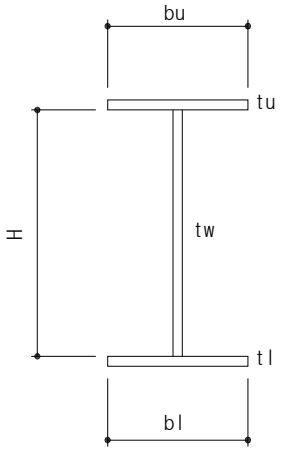
여기서, L, I : 실제 가로보의 길이 및 강성 L', I' : 모델링시 가로보의 길이 및 보정 강성

- 비틀림 강성

$K = \sum (b \times t^3) / 3$

= (300.0 × 12.0³ + 1,000.0 × 12.0³ + 300.0 × 12.0³) / 3 = 9.216E+05 mm^4

◎ 가로보 단면 < 2 >



bu =	300.0	mm
bl =	300.0	mm
H =	1,100.0	mm
tu =	12.0	mm
tw =	12.0	mm
tl =	12.0	mm

X(3)축 방향

구 분	규 격	As(mm^2)	Y(mm)	$As \cdot Y$(mm^3)	$As \cdot Y^2$(mm^4)	I_{xo}(mm^4)
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	556.0	2.002E+06	1.113E+09	4.320E+04
WEB	1 - 1,100.0 × 12.0	13,200.0	-	-	-	1.331E+09
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-556.0	-2.002E+06	1.113E+09	4.320E+04
합 계		20,400.0	-	0.000E+00	2.226E+09	1.331E+09

Y(2)축 방향

구 분	규 격	As(mm^2)	X(mm)	$As \cdot X$(mm^3)	$As \cdot X^2$(mm^4)	I_{yo}(mm^4)
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
WEB	1 - 1,100.0 × 12.0	13,200.0	-	-	-	1.584E+05
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
합 계		20,400.0	-	-	-	5.416E+07

$I_{33} = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo}$ = 2,225,779,200.0 + 1,331,086,400.0 = 3.557E+09 mm^4

$I_{22} = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo}$ = 0.0 + 54,158,400.0 = 5.416E+07 mm^4

※모델링시의 가로보 강성보정은 $I' = I \times (L' / L)^3$ 에 의한다.

여기서, L, I : 실제 가로보의 길이 및 강성 L', I' : 모델링시 가로보의 길이 및 보정 강성

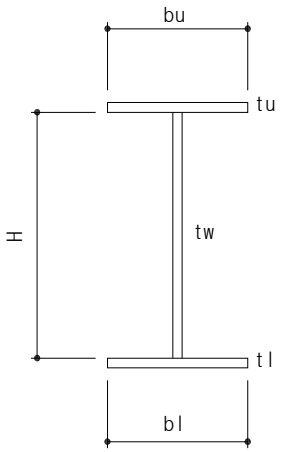
- 비틀림 강성

$K = \sum (b \times t^3) / 3$

= (300.0 × 12.0³ + 1,100.0 × 12.0³ + 300.0 × 12.0³) / 3 = 9.792E+05 mm^4

4) 세로보

◎ 세로보 단면 < 1 >



bu =	300.0	mm
bl =	300.0	mm
H =	1,000.0	mm
tu =	12.0	mm
tw =	12.0	mm
tl =	12.0	mm

X(3)축 방향

구 분	규 격	As(mm^2)	Y(mm)	$As \cdot Y$(mm^3)	$As \cdot Y^2$(mm^4)	I_{xo}(mm^4)
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	506.0	1.822E+06	9.217E+08	4.320E+04
WEB	1 - 1,000.0 × 12.0	12,000.0	-	-	-	1.000E+09
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-506.0	-1.822E+06	9.217E+08	4.320E+04
합 계		19,200.0	-	0.000E+00	1.843E+09	1.000E+09

Y(2)축 방향

구 분	규 격	As(mm^2)	X(mm)	$As \cdot X$(mm^3)	$As \cdot X^2$(mm^4)	I_{yo}(mm^4)
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
WEB	1 - 1,000.0 × 12.0	12,000.0	-	-	-	1.440E+05
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
합 계		19,200.0	-	-	-	5.414E+07

$I_{33} = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo}$ = 1,843,459,200.0 + 1,000,086,400.0 = 2.844E+09 mm^4

$I_{22} = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo}$ = 0.0 + 54,144,000.0 = 5.414E+07 mm^4

※모델링시의 가로보 강성보정은 $I' = I \times (L' / L)^3$ 에 의한다.

여기서, L, I : 실제 가로보의 길이 및 강성 L', I' : 모델링시 가로보의 길이 및 보정 강성

- 비틀림 강성

$K = \sum (b \times t^3) / 3$

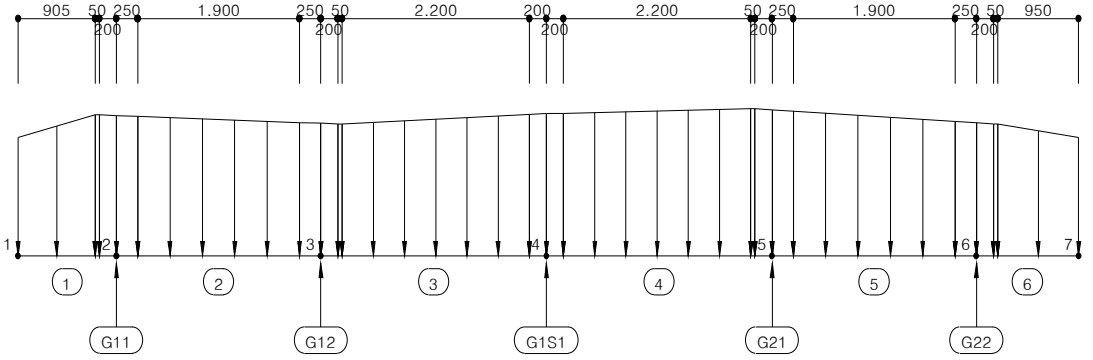
= (300.0 × 12.0³ + 1,000.0 × 12.0³ + 300.0 × 12.0³) / 3 = 9.216E+05 mm^4

4.3 작용하중의 산정

4.3.1 횡방향 하중분배

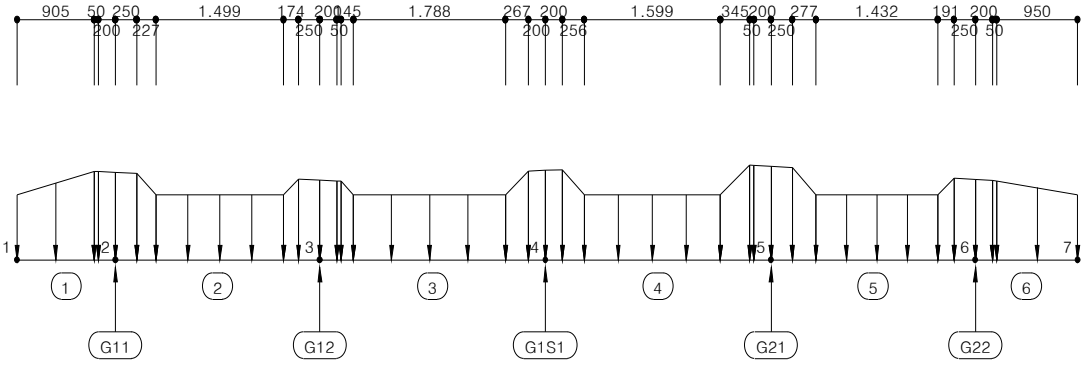
(1) 합성전 고정하중

1) 슬래브자중(STA. 0K+210.700) (☞ 도.설.한 3.5)



하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m²)	위치 (m)	하중(kN/m²)	
W1	1	0.000	-11.000	0.905	-13.118	분포하중
W2	1	0.905	-13.118	0.955	-13.103	분포하중
W3	1	0.955	-13.103	1.155	-13.043	분포하중
W4	2	0.000	-13.043	0.250	-12.968	분포하중
W5	2	0.250	-12.968	2.150	-12.400	분포하중
W6	2	2.150	-12.400	2.400	-12.325	분포하중
W7	3	0.000	-12.325	0.200	-12.265	분포하중
W8	3	0.200	-12.265	0.250	-12.250	분포하중
W9	3	0.250	-12.250	2.450	-13.138	분포하중
W10	3	2.450	-13.138	2.650	-13.216	분포하중
W11	4	0.000	-13.216	0.200	-13.253	분포하중
W12	4	0.200	-13.253	2.400	-13.700	분포하중
W13	4	2.400	-13.700	2.450	-13.675	분포하중
W14	4	2.450	-13.675	2.650	-13.575	분포하중
W15	5	0.000	-13.575	0.250	-13.450	분포하중
W16	5	0.250	-13.450	2.150	-12.500	분포하중
W17	5	2.150	-12.500	2.400	-12.375	분포하중
W18	6	0.000	-12.375	0.200	-12.275	분포하중
W19	6	0.200	-12.275	0.250	-12.250	분포하중
W20	6	0.250	-12.250	1.200	-11.000	분포하중

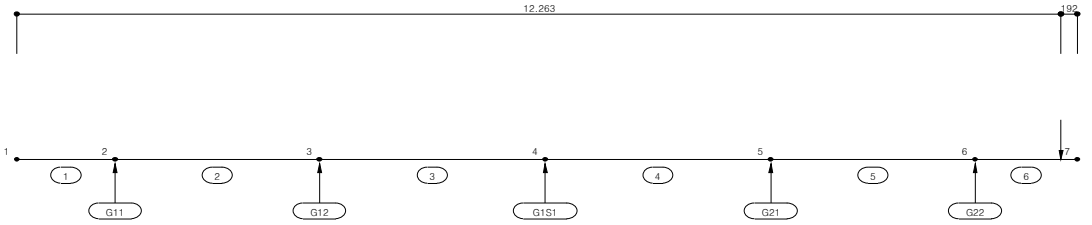
2) 슬래브자중(STA. 0K+215.000)



하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m²)	위치 (m)	하중(kN/m²)	
W1	1	0.000	-6.000	0.905	-8.106	분포하중
W2	1	0.905	-8.106	0.955	-8.091	분포하중
W3	1	0.955	-8.091	1.155	-8.032	분포하중
W4	2	0.000	-8.032	0.250	-7.958	분포하중
W5	2	0.250	-7.958	0.477	-6.000	분포하중
W6	2	0.477	-6.000	1.976	-6.000	분포하중
W7	2	1.976	-6.000	2.150	-7.398	분포하중
W8	2	2.150	-7.398	2.400	-7.324	분포하중
W9	3	0.000	-7.324	0.200	-7.265	분포하중
W10	3	0.200	-7.265	0.250	-7.250	분포하중
W11	3	0.250	-7.250	0.395	-6.000	분포하중
W12	3	0.395	-6.000	2.183	-6.000	분포하중
W13	3	2.183	-6.000	2.450	-8.143	분포하중
W14	3	2.450	-8.143	2.650	-8.221	분포하중
W15	4	0.000	-8.221	0.200	-8.258	분포하중
W16	4	0.200	-8.258	0.456	-6.000	분포하중
W17	4	0.456	-6.000	2.055	-6.000	분포하중
W18	4	2.055	-6.000	2.400	-8.700	분포하중
W19	4	2.400	-8.700	2.450	-8.675	분포하중
W20	4	2.450	-8.675	2.650	-8.575	분포하중
W21	5	0.000	-8.575	0.250	-8.450	분포하중
W22	5	0.250	-8.450	0.527	-6.000	분포하중
W23	5	0.527	-6.000	1.959	-6.000	분포하중
W24	5	1.959	-6.000	2.150	-7.500	분포하중
W25	5	2.150	-7.500	2.400	-7.375	분포하중
W26	6	0.000	-7.375	0.200	-7.275	분포하중
W27	6	0.200	-7.275	0.250	-7.250	분포하중
W28	6	0.250	-7.250	1.200	-6.000	분포하중

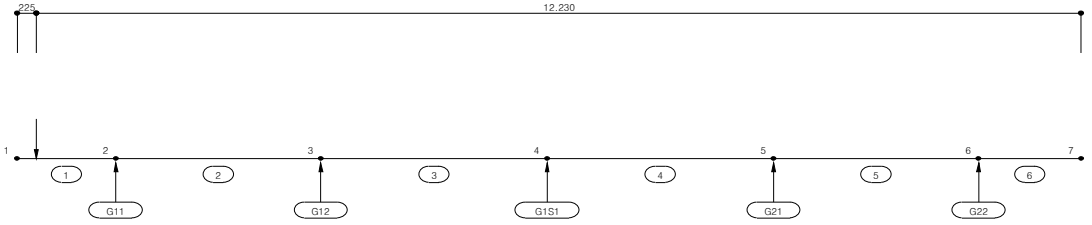
(2) 합성후 고정하중

1) 방호벽(STA. 0K+210.700) (☞ 도.설.한 3.5)



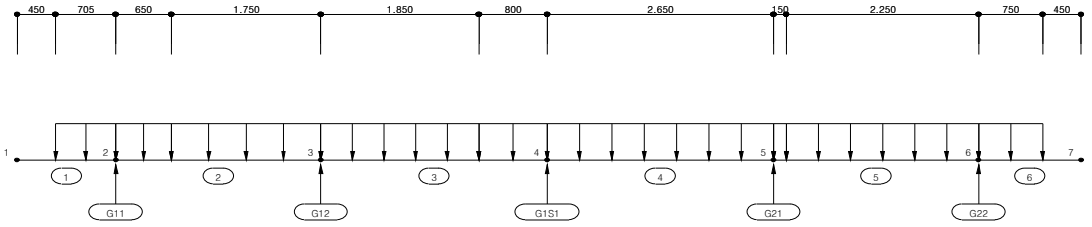
하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m²)	위치 (m)	하중(kN/m²)	
P1	6	1.008	-8.365	-	-	집중하중

2) 중분대(STA. 0K+210.700)



하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m²)	위치 (m)	하중(kN/m²)	
P1	1	0.225	-8.419	-	-	집중하중

3) 아스콘(STA. 0K+210.700)



하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m²)	위치 (m)	하중(kN/m²)	
W1	1	0.450	-1.840	1.155	-1.840	분포하중
W2	2	0.000	-1.840	0.650	-1.840	분포하중
W3	2	0.650	-1.840	2.400	-1.840	분포하중
W4	3	0.000	-1.840	1.850	-1.840	분포하중
W5	3	1.850	-1.840	2.650	-1.840	분포하중
W6	4	0.000	-1.840	2.650	-1.840	분포하중
W7	5	0.000	-1.840	0.150	-1.840	분포하중
W8	5	0.150	-1.840	2.400	-1.840	분포하중
W9	6	0.000	-1.840	0.750	-1.840	분포하중

(3) 차량활하중 (☞ 도.설.한 3.6.1)

1) 재하차로의 수, N

N = Wc / Wp 의 정수부

N = 11.555 / 3.6 = 3.210 ⇒ 3 차로

여기서; Wc : 연석, 방호울타리(중앙분리대 포함)간의 교폭(m) = 11.555 m

Wp : 발주자에 의해 정해진 계획차로의 폭 = 3.6 m

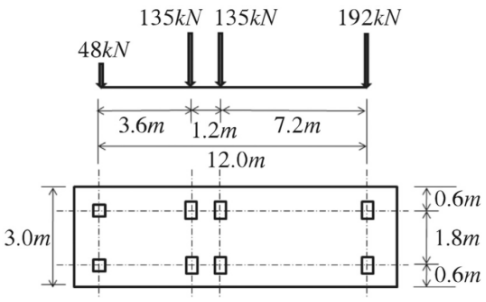
2) 재하차로의 폭, W

W = Wc / N ≤ 3.6m

= 11.555 / 3.0 = 3.852 m > 3.6 m ⇒ W = 3.600 m

3) 활하중의 크기

① 표준트럭하중 (☞ 도.설.한 3.6.1.3.1)

표준트럭하중	비 고
	- 최외측 차륜중심의 횡방향 위치는 단부 600mm 다만, 바닥판 설계시는 단부 300mm - 전륜 : Pf = 48.0 / 2 = 24.0 kN - 후륜1 : Pr1 = 135.0 / 2 = 67.5 kN - 후륜2 : Pr2 = 192.0 / 2 = 96.0 kN

② 표준차로하중 (☞ 도.설.한 3.6.1.3.2)

표준차로하중	비 고
$L \leq 60\,\mathrm{m}$: $\omega = 12.7$ (kN/m) $L > 60\,\mathrm{m}$: $\omega = 12.7 \times \left(\frac{60}{L}\right)^{0.18}$ (kN/m)	- 횡방향으로 3.0m의 폭으로 균등하게 분포 - 충격하중은 고려하지않음 - L : 표준차로하중이 재하되는 부분의 지간 - 교량 지간이 62m로서 60m보다 크므로 w = 12.7 x (60 / 62)$^{0.1}$ = 12.66 w' = 12.66 / 3 = 4.219 kN/m

③ 주거더 설계시 설계차량활하중 (☞ 도.설.한 3.6.1.5)

- 아래의 경우 중 큰 값을 사용 한다.

가. 표준트럭하중의 영향

나. 표준트럭하중 영향의 75%와 표준차로하중의 영향의 합

4) 활하중 충격계수 (☞ 도.설.한 3.7)

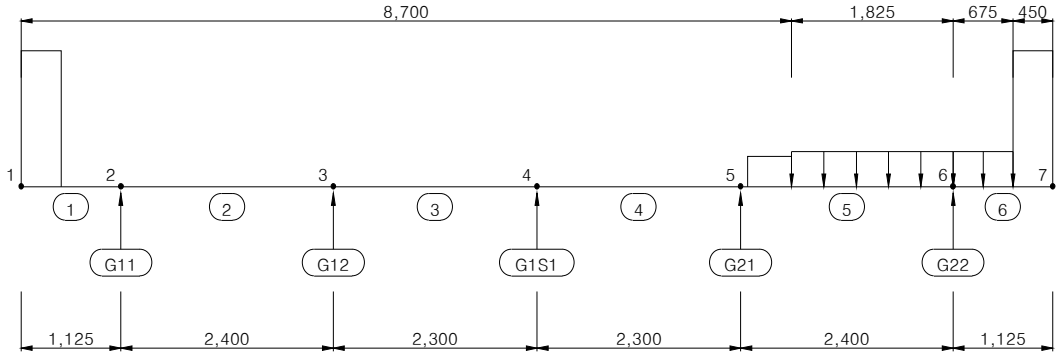
- 충격하중 계수 : i = 1 + IM / 100

성 분		IM
바닥판 신축이음장치를 제외한 모든 다른 부재	피로한계상태를 제외한 모든 한계상태	25%
	피로한계상태	15%

- 보도하중이나 표준차로하중에는 적용되지 않는다.

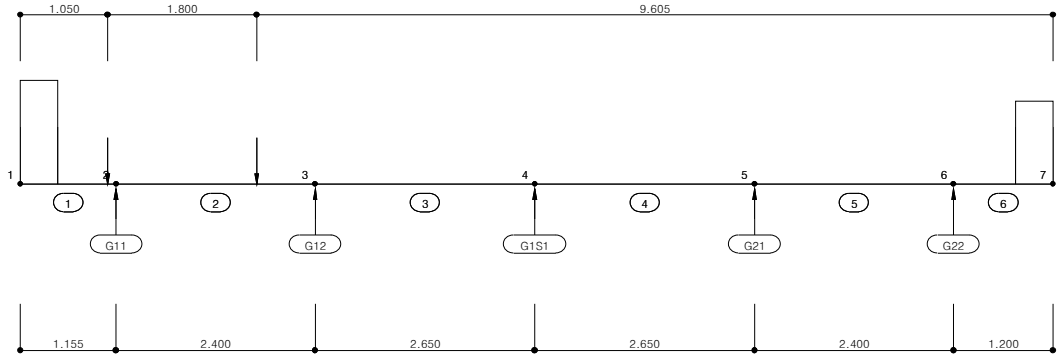
5) 활하중 재하도

< 우측보도 군집하중 >

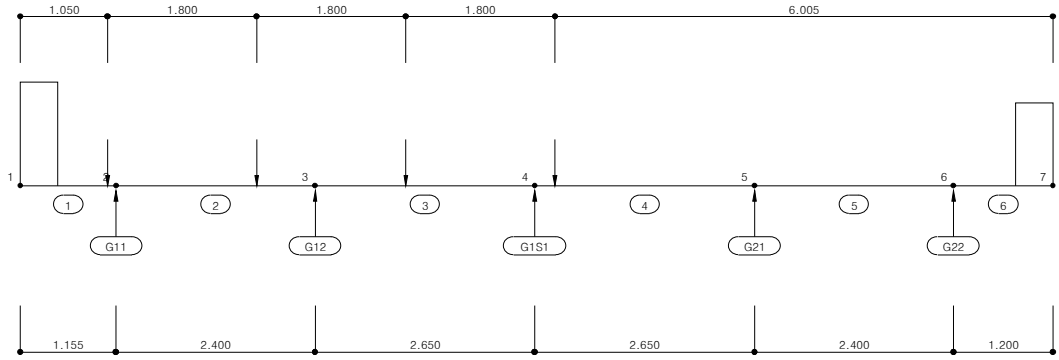


하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m²)	위치 (m)	하중(kN/m²)	
W1	5	0.575	-3.500	2.400	-3.500	분포하중
W2	6	0.000	-3.500	0.675	-3.500	분포하중

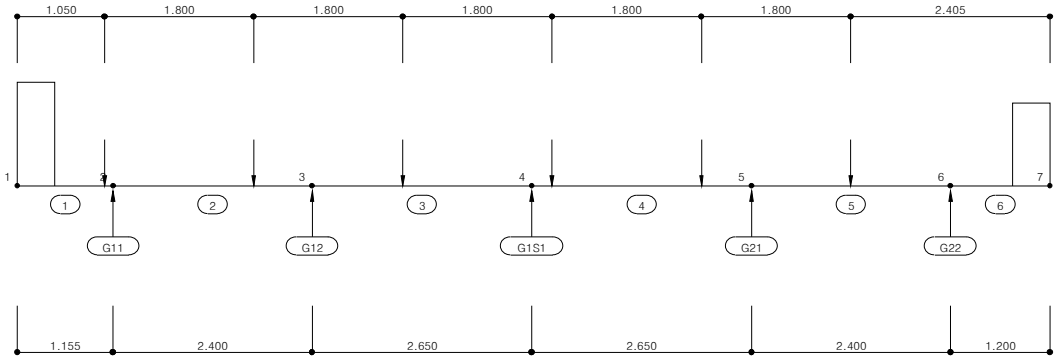
< G1 Max 표준트럭하중 1선 >



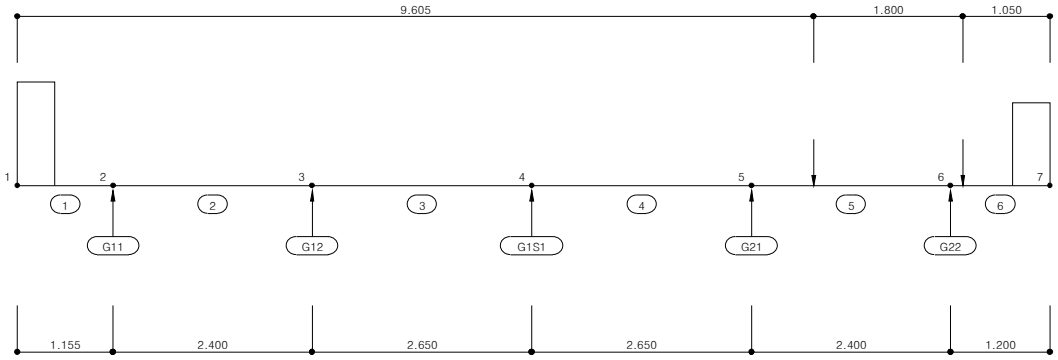
< G1 Max 표준트럭하중 2선 >



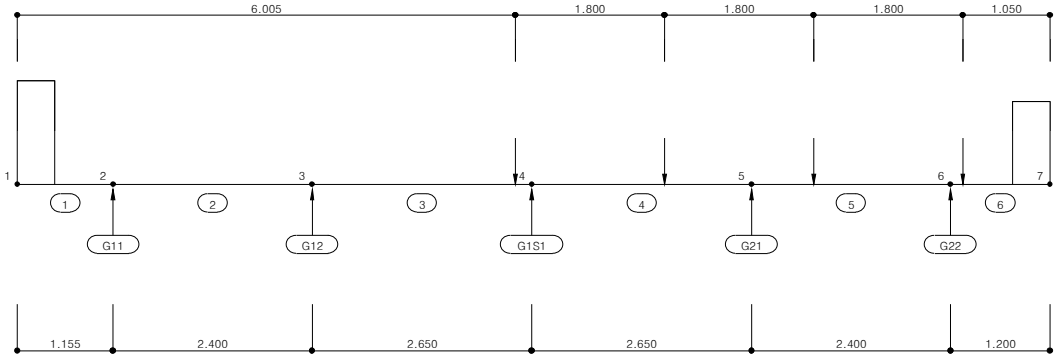
< G1 Max 표준트럭하중 3선 >



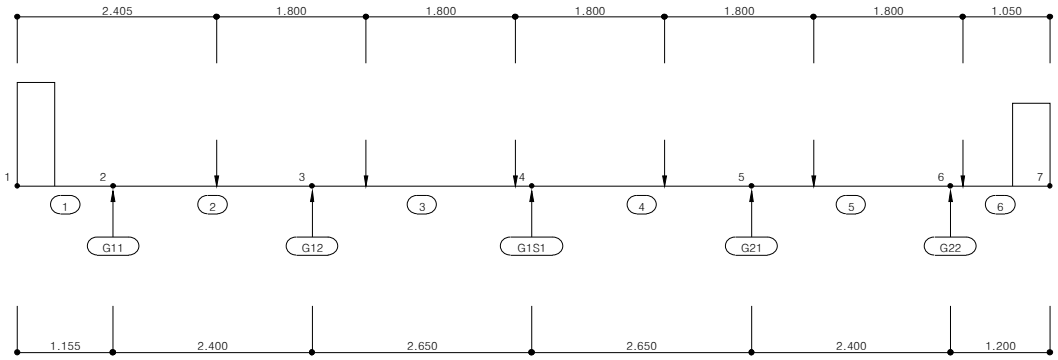
< G2 Max 표준트럭하중 1선 >



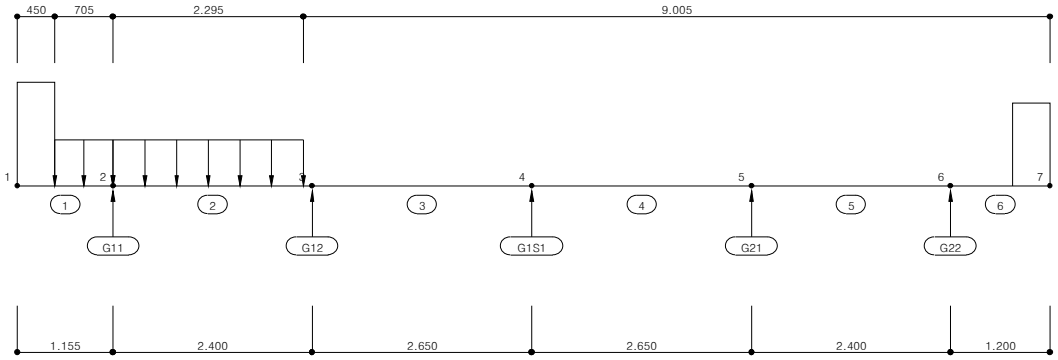
< G2 Max 표준트럭하중 2선 >



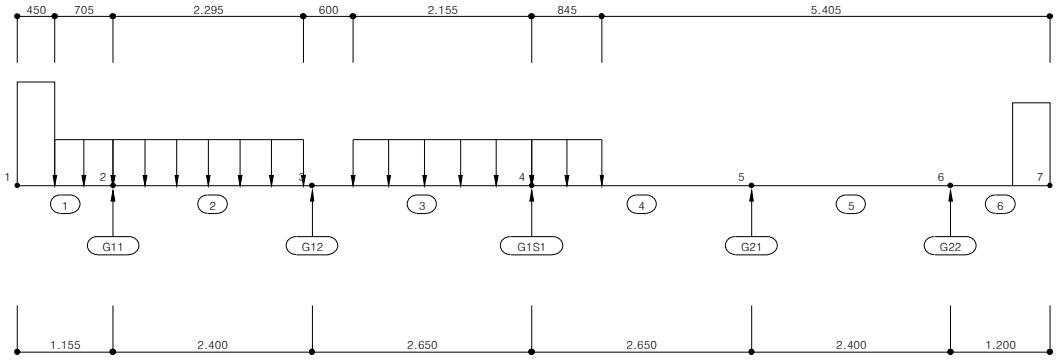
< G2 Max 표준트럭하중 3선 >



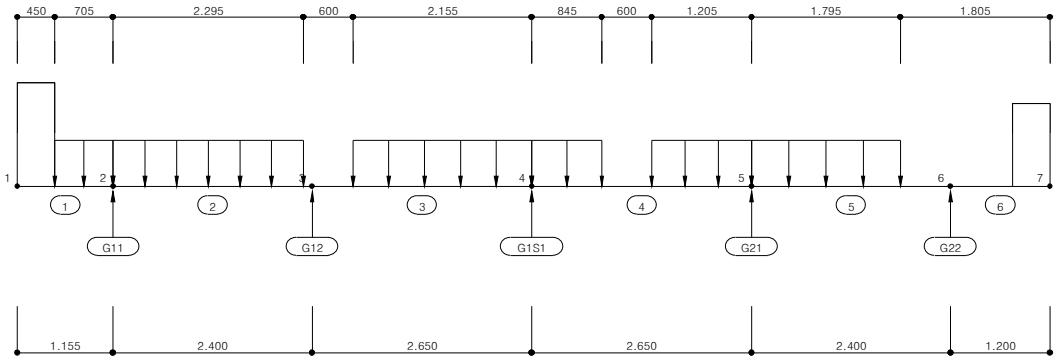
< G1 Max 표준차로하중 1선 >



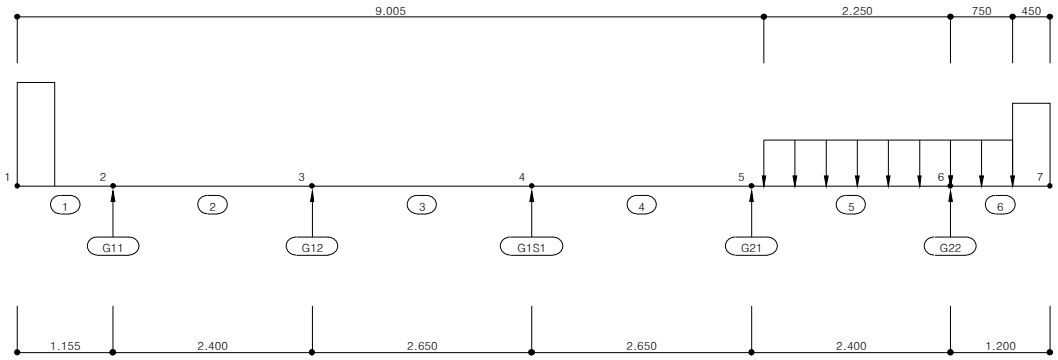
< G1 Max 표준차로하중 2선 >



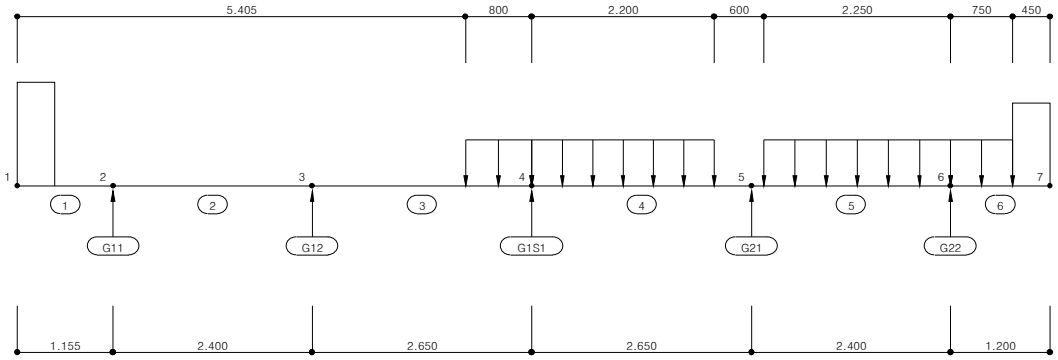
< G1 Max 표준차로하중 3선 >



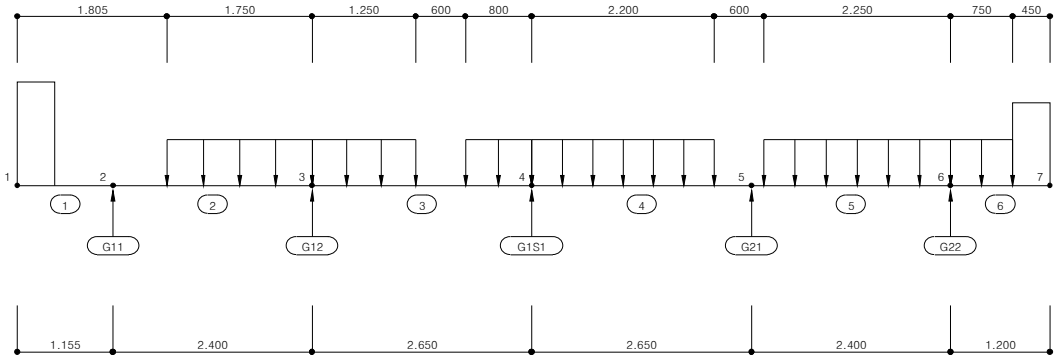
< G2 Max 표준차로하중 1선 >



< G2 Max 표준차로하중 2선 >



< G2 Max 표준차로하중 3선 >

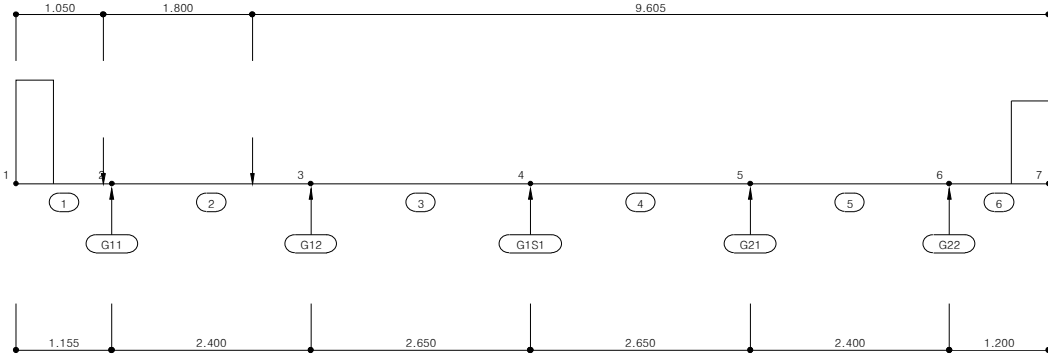


(3) 피로하중 (☞ 도.설.한 3.6.2)

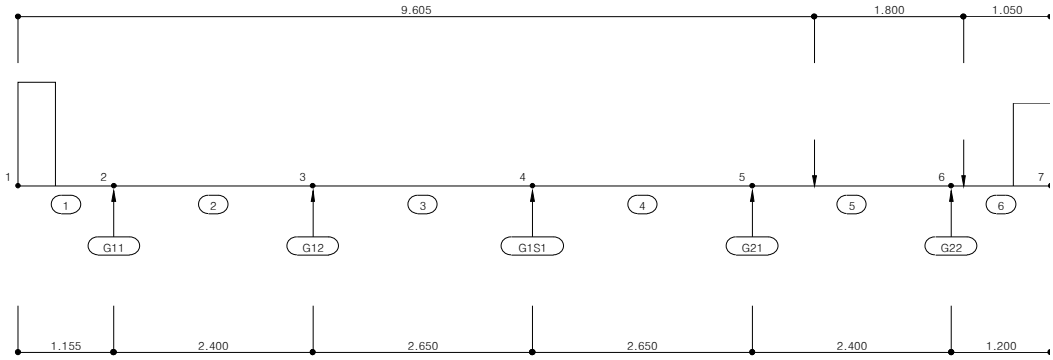
- 표준트럭하중의 80% 적용.
- 한차로에 대해서 고려함.

- 피로검토를 위한 차량하중 재하도

< G1 Max 표준트럭하중 1선 >



< G2 Max 표준트럭하중 1선 >



4.3.2 주형별 작용 하중

(1) 강재자중 - 각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재자 35.355 % 할증적용

총강재중량 / 모델링 강재중량 = 3382.100 kN / 2498.690 kN = 1.35355

· 단 면 - 1 : 0.084 m^2 × 78.50 kN/m^3 × 1.35355 = 8.925 kN/m

· 단 면 - 2 : 0.089 m^2 × 78.50 kN/m^3 × 1.35355 = 9.435 kN/m

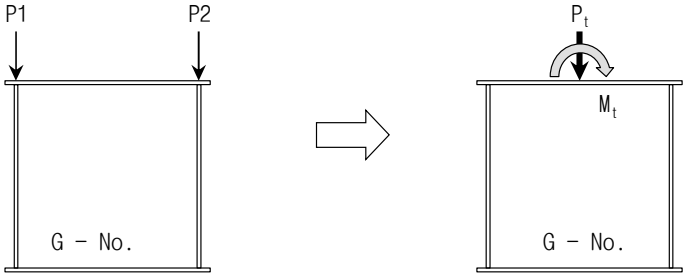
· 단 면 - 3 : 0.128 m^2 × 78.50 kN/m^3 × 1.35355 = 13.579 kN/m

· 가로보 - 1 : 0.019 m^2 × 78.50 kN/m^3 × 1.35355 = 2.040 kN/m

· 가로보 - 2 : 0.020 m^2 × 78.50 kN/m^3 × 1.35355 = 2.168 kN/m

· 세로보 - 1 : 0.019 m^2 × 78.50 kN/m^3 × 1.35355 = 2.040 kN/m

(2) 합성전 고정하중



< Sta 0+210.70 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	30.311	30.066	60.377	-0.294	
G - 2	2.400	32.353	30.190	62.543	-2.596	
ST - 1		36.306		36.306		

(3) 합성후 고정하중

- 방호벽 및 중분대 하중

< Sta 0+210.70 >

거더 No.	거더폭(m)	Pavement 및 방호벽, 중분대				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN)	
G - 1	2.400	15.802	-0.428	15.374	-19.476	
G - 2	2.400	-0.827	16.172	15.345	20.399	
ST - 1	2.400	7.326		7.326		

상기 하중과 점검로 등의 부속설비 하중으로 500.0 N/m^2 을 설계에 반영(강도로교 상세부 설계지침 P131)

거더당 작용하는 부속설비 하중 W(kN/m) = 0.5 kN/m^2 × 슬래브 평균폭(m) / 총거더수

W = 0.50 × 12.455 / 2 = 3.114 kN/m

(5) 활하중

< 표준트럭하중 G1 MAX > : 단위하중재하

차선 재하	거더No.	거더폭(m)	격자해석용 거더별 활하중 계수					비 고
			P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN)	e(m)	
1 차선	G - 1	2.400	1.259	0.831	2.090	-0.513	-0.245	
	G - 2	2.400	0.029	-0.005	0.024	-0.041	-1.744	
	ST - 1		-0.114		-0.114			
2 차선	G - 1	2.400	1.179	1.462	2.641	0.340	0.129	
	G - 2	2.400	0.005	-0.001	0.004	-0.007	-1.762	
	ST - 1		1.355		1.355			
3 차선	G - 1	2.400	1.183	1.438	2.621	0.305	0.117	
	G - 2	2.400	1.594	0.323	1.917	-1.526	-0.796	
	ST - 1		1.462		1.462			

< 표준트럭하중 G2 MAX > : 단위하중재하

차선 재하	거더No.	거더폭(m)	격자해석용 거더별 활하중 계수					비 고
			P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN)	e(m)	
1 차선	G - 1	2.400	-0.005	0.028	0.023	0.040	1.744	
	G - 2	2.400	0.789	1.299	2.087	0.612	0.293	
	ST - 1		-0.110		-0.110			
2 차선	G - 1	2.400	0.002	-0.009	-0.008	-0.013	1.722	
	G - 2	2.400	1.449	1.217	2.666	-0.279	-0.105	
	ST - 1		1.342		1.342			
3 차선	G - 1	2.400	0.303	1.587	1.889	1.540	0.815	
	G - 2	2.400	1.420	1.222	2.642	-0.238	-0.090	
	ST - 1		1.469		1.469			

< 표준차로하중 G1 MAX > : 단위하중재하

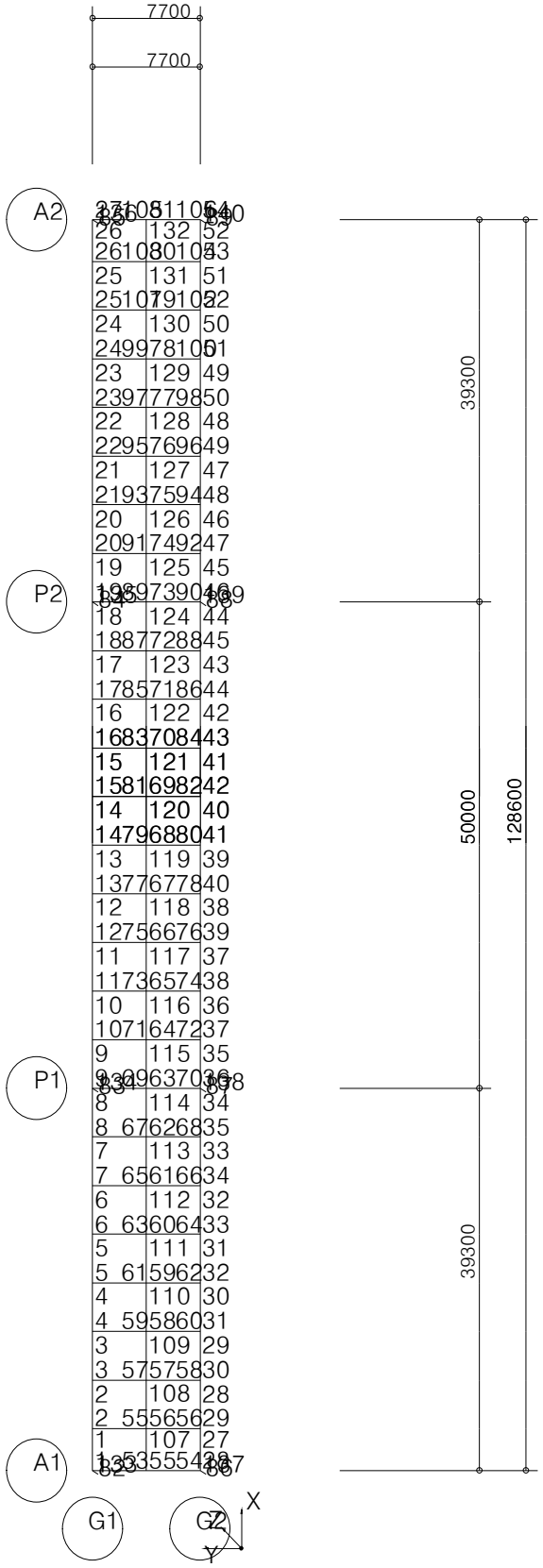
차선 재하	거더No.	거더폭(m)	격자해석용 거더별 활하중 계수					비 고
			P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN)	e(m)	
1 차선	G - 1	2.400	1.881	1.262	3.143	-0.743	-0.236	
	G - 2	2.400	0.046	-0.009	0.038	-0.065	-1.744	
	ST - 1		-0.181		-0.181			
2 차선	G - 1	2.400	1.763	2.186	3.949	0.508	0.129	
	G - 2	2.400	-0.023	0.005	-0.018	0.034	-1.914	
	ST - 1		2.069		2.069			
3 차선	G - 1	2.400	1.767	2.164	3.931	0.477	0.121	
	G - 2	2.400	2.426	0.462	2.888	-2.357	-0.816	
	ST - 1		2.180		2.180			

< 표준차로하중 G2 MAX > : 단위하중재하

차선 재하	거더No.	거더폭(m)	격자해석용 거더별 활하중 계수					비 고
			P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN)	e(m)	
1 차선	G - 1	2.400	-0.008	0.044	0.036	0.063	1.744	
	G - 2	2.400	1.196	1.942	3.138	0.895	0.285	
	ST - 1		-0.174		-0.174			
2 차선	G - 1	2.400	0.009	-0.042	-0.033	-0.061	1.815	
	G - 2	2.400	2.167	1.819	3.987	-0.418	-0.105	
	ST - 1		2.047		2.047			
3 차선	G - 1	2.400	0.431	2.418	2.849	2.385	0.837	
	G - 2	2.400	2.139	1.825	3.964	-0.378	-0.095	
	ST - 1		2.187		2.187			

4.4 모델링 및 단면제원

1) 모델링



(2) 시공단계별 하중:

1) CASE 1 : 합성전 고정하중

① 강재자중

② 상부바닥판 콘크리트 자중

3) CASE 3 : 합성후 고정하중

① 보도, 방음벽, 방호책 등 합성후 고정하중

② 포장등 부속시설물

③ 점검로 등의 부속설비 하중(500 N/m²)

4) CASE 4 : 활하중

- 단위하중을 재하하여 나온 횡분배된 결과를 기준으로 각 거더별 가중치를 산정

SAP2000 Program의 BRIDGE 기능을 이용 거더별로 산정한 가중치를 곱하여 단면력을 산정

① 표준트럭하중 :연행이동 하중으로 적용

② 표준차로하중 :SAP BRIDGE로 해석도구를 이용하여, 재하경간내 검토단면에 최대단면력 발생 위치에 재하

5) CASE 5 : 지점침하

- 합성후 단면에 대하여 각 지점 위치별 10 mm 의 부등침하를 조합하여 적용

4.5 주거더 부재력 집계

1) 하중별 부재력 집계

[BENDING MOMENT]

Unfactored Force, (단위 : kN.m)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		활하중(LL+IM)-피로		지점이동(SD)		비 고	위치
	강재자중 (DC11)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장 (DW)	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN		
27	-0.02	-0.04	0.00	-0.01	0.03	-0.03	0.01	-0.01	0.00	0.00	I지점	시점 단부
29	1350.99	3779.94	1145.24	1061.58	5334.66	-1336.06	1843.86	-349.95	265.51	-177.74	J지점	측경간 중앙부
34	-3113.18	-9777.10	-2466.80	-2279.29	805.52	-4999.48	224.33	-1434.08	729.59	-488.41	J지점	교각 P1
39	762.85	2972.29	1099.35	1018.83	4989.10	-1111.62	1619.60	-220.86	120.24	-120.24	J지점	중앙경간 중앙부
44	-3148.21	-9777.31	-2466.82	-2279.32	805.20	-4999.25	224.11	-1436.78	729.57	-488.41	J지점	교각 P2
49	1385.17	3779.95	1145.24	1061.58	5334.72	-1336.00	1843.96	-349.85	265.51	-177.74	J지점	측경간 중앙부
52	-0.01	-0.03	0.00	0.00	0.03	-0.03	0.01	-0.01	0.00	0.00	J지점	종점 단부

[SHEAR FORCE]

Unfactored Force, (단위 : kN)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		활하중(LL+IM)-피로		지점이동(SD)		비 고	위치
	강재자중 (DC11)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장 (DW)	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN		
27	-174.46	-595.56	-159.11	-145.16	93.71	-719.32	25.29	-301.20	12.39	-18.51	I지점	시점 단부
29	-4.48	11.58	-1.28	-4.22	305.78	-348.44	140.52	-122.08	12.43	-18.57	J지점	측경간 중앙부
34	363.38	1036.20	284.80	260.49	796.75	-58.99	330.45	-30.98	12.44	-18.58	J지점	교각 P1
39	-2.34	-19.23	-2.85	-5.68	347.17	-316.17	150.96	-117.62	24.29	-24.29	J지점	중앙경간 중앙부
44	332.93	1004.28	283.11	258.92	814.14	-89.78	332.17	-34.42	24.37	-24.37	J지점	교각 P2
49	-4.48	-51.60	-4.62	-7.34	360.34	-269.34	154.02	-110.11	18.56	-12.43	J지점	측경간 중앙부
52	176.83	595.70	159.11	145.16	719.32	-93.74	301.21	-25.33	18.51	-12.39	J지점	종점 단부

[TORSION MOMENT]

Unfactored Force, (단위 : kN.m)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		활하중(LL+IM)-피로		지점이동(SD)		비 고	위치
	강재자중 (DC11)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장 (DW)	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN		
27	6.46	14.62	78.54	-12.20	502.37	-423.96	202.26	-186.06	0.44	-0.28	I지점	시점 단부
29	0.48	1.86	-35.05	-1.71	562.85	-449.35	200.72	-169.49	0.22	-0.14	J지점	측경간 중앙부
34	-7.69	-27.70	-56.26	-2.48	719.81	-764.15	245.43	-276.07	0.32	-0.28	J지점	교각 P1
39	0.79	1.42	-54.20	5.61	479.67	-428.46	171.42	-137.05	0.30	-0.32	J지점	중앙경간 중앙부
44	-7.59	-26.61	-64.58	0.32	737.85	-791.92	267.14	-296.01	0.33	-0.27	J지점	교각 P2
49	0.58	-0.20	-69.71	10.89	410.93	-427.01	90.05	-106.15	0.16	-0.22	J지점	측경간 중앙부
52	-6.57	-15.04	-78.54	12.20	424.23	-502.71	186.24	-202.43	0.28	-0.43	J지점	종점 단부

2) 극한한계상태 I 설계하중 집계

[BENDING MOMENT]

극한한계상태 I ,(단위 : kN.m)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		지점이동(SD)		비 고	위치
	강재자중 (DC11)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등부속 (DW)	MAX	MIN	MAX	MIN		
	1.25	1.25	1.25	1.50	1.80	1.80	1.00	1.00	하중계수	
27	-0.02	-0.05	-0.01	-0.01	0.06	-0.06	0.00	0.00	I지점	시점 단부
29	1688.74	4724.93	1431.55	1592.37	9602.39	-2404.91	265.51	-177.74	J지점	측경간 중앙부
34	-3891.47	-12221.38	-3083.50	-3418.94	1449.94	-8999.06	729.59	-488.41	J지점	교각 P1
39	953.57	3715.37	1374.18	1528.25	8980.39	-2000.92	120.24	-120.24	J지점	중앙경간 중앙부
44	-3935.27	-12221.64	-3083.52	-3418.98	1449.35	-8998.65	729.57	-488.41	J지점	교각 P2
49	1731.46	4724.94	1431.55	1592.37	9602.50	-2404.81	265.51	-177.74	J지점	측경간 중앙부
52	-0.02	-0.04	0.00	-0.01	0.06	-0.05	0.00	0.00	J지점	종점 단부

[SHEAR FORCE]

극한한계상태 I ,(단위 : kN)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		지점이동(SD)		비 고	위치
	강재자중 (DC11)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등부속 (DW)	MAX	MIN	MAX	MIN		
	1.25	1.25	1.25	1.50	1.80	1.80	1.00	1.00	하중계수	
27	-218.07	-744.45	-198.88	-217.74	168.68	-1294.77	12.39	-18.51	I지점	시점 단부
29	-5.60	14.48	-1.60	-6.33	550.41	-627.18	12.43	-18.57	J지점	측경간 중앙부
34	454.23	1295.24	356.00	390.73	1434.15	-106.18	12.44	-18.58	J지점	교각 P1
39	-2.92	-24.04	-3.56	-8.52	624.90	-569.11	24.29	-24.29	J지점	중앙경간 중앙부
44	416.16	1255.35	353.88	388.38	1465.46	-161.60	24.37	-24.37	J지점	교각 P2
49	-5.61	-64.50	-5.77	-11.00	648.61	-484.80	18.56	-12.43	J지점	측경간 중앙부
52	221.04	744.63	198.88	217.74	1294.77	-168.72	18.51	-12.39	J지점	종점 단부

[TORSION MOMENT] 극한한계상태 Ⅰ,(단위 : kN.m)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		지점이동(SD)		비 고	위치
	강재자중 (DC11)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등부속 (DW)	MAX	MIN	MAX	MIN		
	1.25	1.25	1.25	1.50	1.80	1.80	1.00	1.00	하중계수	
27	8.08	18.28	98.18	-18.30	904.27	-763.14	0.44	-0.28	I지점	시점 단부
29	0.60	2.32	-43.81	-2.56	1013.12	-808.82	0.22	-0.14	J지점	측경간 중앙부
34	-9.61	-34.62	-70.33	-3.72	1295.65	-1375.48	0.32	-0.28	J지점	교각 P1
39	0.99	1.78	-67.75	8.41	863.41	-771.23	0.30	-0.32	J지점	중앙경간 중앙부
44	-9.48	-33.27	-80.73	0.48	1328.13	-1425.45	0.33	-0.27	J지점	교각 P2
49	0.72	-0.25	-87.14	16.33	739.67	-768.63	0.16	-0.22	J지점	측경간 중앙부
52	-8.21	-18.80	-98.17	18.30	763.62	-904.88	0.28	-0.43	J지점	종점 단부

3) 사용한계상태 II 설계하중 집계

[BENDING MOMENT] 사용한계상태 II,(단위 : kN.m)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		비 고	위치
	강재자중 (DC11)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등부속 (DW)	MAX	MIN		
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30	1.30	하중계수	
27	-0.02	-0.04	0.00	-0.01	0.05	-0.04	I지점	시점 단부
29	1350.99	3779.94	1145.24	1061.58	6935.06	-1736.88	J지점	측경간 중앙부
34	-3113.18	-9777.10	-2466.80	-2279.29	1047.18	-6499.32	J지점	교각 P1
39	762.85	2972.29	1099.35	1018.83	6485.84	-1445.11	J지점	중앙경간 중앙부
44	-3148.21	-9777.31	-2466.82	-2279.32	1046.75	-6499.02	J지점	교각 P2
49	1385.17	3779.95	1145.24	1061.58	6935.14	-1736.81	J지점	측경간 중앙부
52	-0.01	-0.03	0.00	0.00	0.04	-0.03	J지점	종점 단부

[SHEAR FORCE] 사용한계상태 II,(단위 : kN)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		비 고	위치
	강재자중	바닥판	방호벽	포장등부속	MAX	MIN		
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30	1.30	하중계수	
27	-174.46	-595.56	-159.11	-145.16	121.82	-935.11	I지점	시점 단부
29	-4.48	11.58	-1.28	-4.22	397.52	-452.97	J지점	측경간 중앙부
34	363.38	1036.20	284.80	260.49	1035.77	-76.68	J지점	교각 P1
39	-2.34	-19.23	-2.85	-5.68	451.32	-411.02	J지점	중앙경간 중앙부
44	332.93	1004.28	283.11	258.92	1058.39	-116.71	J지점	교각 P2
49	-4.48	-51.60	-4.62	-7.34	468.44	-350.14	J지점	측경간 중앙부
52	176.83	595.70	159.11	145.16	935.11	-121.86	J지점	종점 단부

[TORSION MOMENT] 사용한계상태 II,(단위 : kN.m)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		비 고	위치
	강재자중	바닥판	방호벽	포장등부속	MAX	MIN		
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30	1.30	하중계수	
27	6.46	14.62	78.54	-12.20	653.09	-551.15	I지점	시점 단부
29	0.48	1.86	-35.05	-1.71	731.70	-584.15	J지점	측경간 중앙부
34	-7.69	-27.70	-56.26	-2.48	935.75	-993.40	J지점	교각 P1
39	0.79	1.42	-54.20	5.61	623.58	-557.00	J지점	중앙경간 중앙부
44	-7.59	-26.61	-64.58	0.32	959.21	-1029.49	J지점	교각 P2
49	0.58	-0.20	-69.71	10.89	534.20	-555.12	J지점	측경간 중앙부
52	-6.57	-15.04	-78.54	12.20	551.51	-653.53	J지점	종점 단부

4) 피로한계상태

[1차로의 표준트럭하중의 80%, 충격하중계수15%적용] 피로한계상태, (단위 : kN.m, kN)

부재 번호	Unfactored force [LL+IM]				피로한계상태 [LL+IM]						비 고	위치
	모 멘 트		전 단 력		모 멘 트		전 단 력		피로하중 작용범위			
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	모멘트	전단력		
					0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	하중계수	
27	0.01	-0.01	25.29	-301.20	0.01	-0.01	18.97	-225.90	0.02	244.87	I지점	시점 단부
29	1,843.86	-349.95	140.52	-122.08	1,382.90	-262.46	105.39	-91.56	1,645.36	196.94	J지점	측경간 중앙부
34	224.33	-1,434.08	330.45	-30.98	168.25	-1,075.56	247.84	-23.24	1,243.81	271.08	J지점	교각 P1
39	1,619.60	-220.86	150.96	-117.62	1,214.70	-165.64	113.22	-88.21	1,380.34	201.43	J지점	중앙경간 중앙부
44	224.11	-1,436.78	332.17	-34.42	168.08	-1,077.59	249.13	-25.81	1,245.67	274.94	J지점	교각 P2
49	1,843.96	-349.85	154.02	-110.11	1,382.97	-262.39	115.51	-82.58	1,645.36	198.09	J지점	측경간 중앙부
52	0.01	-0.01	301.21	-25.33	0.01	-0.01	225.91	-19.00	0.01	244.91	J지점	종점 단부

4.6 반력 집계

(1) 최대 반력 집계

< A1 > (단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		차량활하중(LL+IM)		지점침하(SD)		합 계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	188.309	633.351	162.134	149.442	778.652	-97.468	18.688	-12.517	1,930.58	1,023.25	82
G2	188.332	638.543	163.570	151.467	784.196	-97.497	18.706	-12.516	1,944.81	1,031.90	86

< P1 > (단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		차량활하중(LL+IM)		지점침하(SD)		합 계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	735.580	2,096.297	574.943	530.081	1,207.375	-89.270	37.043	-43.213	5,181.32	3,804.42	83
G2	735.554	2,106.862	579.025	536.028	1,216.210	-89.055	37.058	-43.249	5,210.74	3,825.17	87

< P2 > (단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		차량활하중(LL+IM)		지점침하(SD)		합 계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	739.810	2,096.235	574.943	530.082	1,207.300	-89.231	37.044	-43.214	5,185.41	3,808.62	84
G2	739.786	2,106.890	579.025	536.027	1,216.122	-89.002	37.057	-43.249	5,214.91	3,829.48	88

< A2 > (단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		차량활하중(LL+IM)		지점침하(SD)		합 계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	190.757	632.218	162.135	149.443	778.689	-97.537	18.690	-12.517	1,931.93	1,024.50	85
G2	190.776	639.021	163.568	151.466	784.253	-97.573	18.705	-12.515	1,947.79	1,034.74	89

(2) 하부 설계시 작용반력

< A1 > (단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)						최대반력집계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	만재하		좌측편재하		우측편재하				
					Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	188.309	633.351	162.134	149.442	778.652	-97.468	742.937	-97.468	400.907	-72.195	1,930.58	1,023.25	82
G2	188.332	638.543	163.570	151.467	784.196	-97.497	541.041	-91.987	562.253	-76.458	1,944.81	1,031.90	86

< P1 > (단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)						최대반력집계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	만재하		좌측편재하		우측편재하				
					Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	735.580	2,096.297	574.943	530.081	1,207.375	-89.270	1,169.137	-89.270	841.857	-62.462	5,181.32	3,804.42	83
G2	735.554	2,106.862	579.025	536.028	1,216.210	-89.055	852.090	-83.033	1,179.679	-66.791	5,210.74	3,825.17	87

< P2 > (단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)						최대반력집계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	만재하		좌측편재하		우측편재하				
					Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	739.810	2,096.235	574.943	530.082	1,207.300	-89.231	1,169.121	-89.231	841.901	-62.490	5,185.41	3,808.62	84
G2	739.786	2,106.890	579.025	536.027	1,216.122	-89.002	852.115	-83.057	1,179.639	-66.752	5,214.91	3,829.48	88

< A2 >

(단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)						최대반력집계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	만재하		좌측편재하		우측편재하				
					Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	190.757	632.218	162.135	149.443	778.689	-97.537	742.946	-97.537	400.859	-72.144	1,931.93	1,024.50	85
G2	190.776	639.021	163.568	151.466	784.253	-97.573	540.994	-91.934	562.277	-76.527	1,947.79	1,034.74	89

(3) 부반력 검토

$R = 2R_{L+I} + R_D$ or $R = R_D + R_W$ 중 불리한 값을 사용하여 설계한다. (도로교 설계기준 2.4.1.2)

R : 받침반력 (kN)　　R_{L+I} : 충격을 포함한 활하중에 의한 최대 부반력 (kN)

R_D : 고정하중에 의한 받침반력 (kN)　　R_W : 풍하중에 의한 최대 부반력 (kN)

< A1 >

(단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합	이중합성후 고정하중		고정하중 합계 (R_D)	활하중(LL+IM)		풍하중		부반력검토		부반력(R)	절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)		Max	Min	Max	Min	$2R_{L+I} + R_D$	$R_D + R_W$		
G1	188.309	633.351	162.134	149.442	1,133.236	778.652	-97.468	32.865	-36.497	938.30	1,096.74	-	82
G2	188.332	638.543	163.570	151.467	1,141.911	784.196	-97.497	36.504	-32.869	946.92	1,109.04	-	86

< P1 >

(단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합	이중합성후 고정하중		고정하중 합계 (R_D)	활하중(LL+IM)		풍하중		부반력검토		부반력(R)	절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)		Max	Min	Max	Min	$2R_{L+I} + R_D$	$R_D + R_W$		
G1	735.580	2,096.297	574.943	530.081	3,936.901	1,207.375	-89.270	106.531	-123.252	3,758.36	3,813.65	-	83
G2	735.554	2,106.862	579.025	536.028	3,957.469	1,216.210	-89.055	123.246	-106.527	3,779.36	3,850.94	-	87

< P2 >

(단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합	이중합성후 고정하중		고정하중 합계 (R_D)	활하중(LL+IM)		풍하중		부반력검토		부반력(R)	절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)		Max	Min	Max	Min	$2R_{L+I} + R_D$	$R_D + R_W$		
G1	739.810	2,096.235	574.943	530.082	3,941.070	1,207.300	-89.231	106.535	-123.262	3,762.61	3,817.81	-	84
G2	739.786	2,106.890	579.025	536.027	3,961.728	1,216.122	-89.002	123.256	-106.532	3,783.72	3,855.20	-	88

< A2 >

(단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합	이중합성후 고정하중		고정하중 합계 (R_D)	활하중(LL+IM)		풍하중		부반력검토		부반력(R)	절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)		Max	Min	Max	Min	$2R_{L+I} + R_D$	$R_D + R_W$		
G1	190.757	632.218	162.135	149.443	1,134.553	778.689	-97.537	32.864	-36.497	939.48	1,098.06	-	85
G2	190.776	639.021	163.568	151.466	1,144.831	784.253	-97.573	36.503	-32.867	949.68	1,111.96	-	89

5. 주거더 단면검토

5.1 정모멘트부

◎ **< 단면 5 >** 단면위치:39,J지점 **(외측거더)**

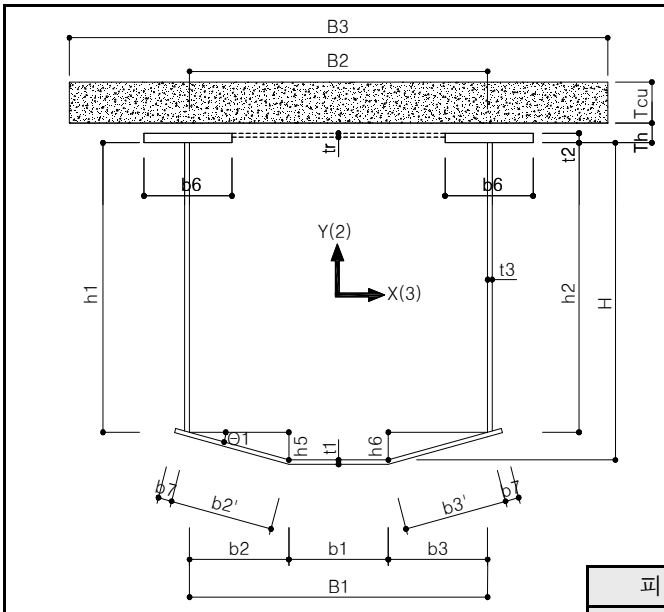
(1) 설계조건

1) 주요기준

상부바닥판, fck	35 MPa	사용강종	HSB500	하중수정계수 $\eta_i=\eta_D x \eta_R x \eta_I$	1.0
상부바닥판, Ec	29779 MPa	강재 탄성계수, Es	205000 MPa	연성계수, η_D	1.0
철근의 항복강도, Fry	400 MPa	상부플랜지 항복강도, Fyc	380 MPa	여용성계수, η_R	1.0
하이브리드단면 감소계수, Rh	1.0	복부판 항복강도, Fyw	380 MPa	중요도계수, η_I	1.0
국부좌굴에대한 감소계수, Rb	1.0	하부플랜지 항복강도, Fyt	380 MPa	단부경간장	40000 mm
강재휨강도 감소계수, Φ_f	1.0	보강재 항복강도, Fys	380 MPa	중앙경간장	50000 mm
강재전단강도 감소계수, Φ_v	1.0				

설계수명기간	100 년	ADTT	5000 대	설계차로수	2 차로
한차로 트럭비율, p	0.85	트럭한대당 반복횟수, n	1.0	휨모멘트 변동범위, $(\triangle M)_{max}$	1840.5
피로상세범주	C'	반복횟수, N_{TH}	2.55×10^6	피로한계값, $(\triangle F)_{Tn}$	82.7 MPa

2) 단면제원



※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

단면제원(mm)			
b1	818	B1	2400
b2	791	B2	2400
b3	791	B3	6228
b4	-	H(D)	1800
b5	-	t1(t_{ft})	12
b6	400	t2(t_{fc})	18
b7	100	t3(t_w)	12
b2'	818.903	h1	1588
b3'	818.903	h2	1588
b4'	-	h3	100
b5'	-	h4	100
Θ1	15.0°	h5	211.948
Θ2	-	h6	211.948
복부판 Θ	0.000°	h7	-
Tcu= t_s	240	h8	-
Th	50		

피복두께(mm)	
tcu	60
tcl	40

보강리브 제원(mm)		유효폭 제원 (mm)		탄성계수비(단기,n)		탄성계수비(장기,3n)	
상부리브	0 x 0 x 0 ea	상부바닥판	6228	n(상부)	7	n(상부)	21

수직보강재 간격, d_o	2500 mm	수직보강재 두께, t_p	16 mm
수직보강재 폭, b_t	200 mm	가장 넓은 상부플랜지 폭, b_f	400 mm
상부플랜지 비지지길이, L_b	2500 mm		
압축플랜지에서 가장 가까운 수평보강재의 중심까지의 거리, d_s			252 mm

3) 설계단면력 및 단면정수 산정

① Unfactored Force

시공단계	작용하중	Unfactored Force			비 고 (탄성계수비)
		모멘트,M	전단력,S	비틀림,T	
		(kN・m)	(kN)	(kN・m)	
합성전	(DC11) 강재자중	762.9	-2.3	0.8	비합성
합성전	(DC12) 지점콘크리트	0.0	0.0	0.0	비합성
단일합성	(DC21) 바닥판콘크리트	2972.3	-19.2	1.4	비합성
이중합성	(DC22) 방호벽	1099.3	-2.8	-54.2	장기합성(3n)
이중합성	(DW) 포장	1018.8	-5.7	5.6	장기합성(3n)
이중합성	(LL+IM) 활하중	4989.1	-316.2	479.7	단기합성(n)
이중합성	(SD) 지점이동	120.2	-24.3	0.3	단기합성(n)

② Unfactored Force ; 피로

시공단계	작용하중	Unfactored Force			비 고 (탄성계수비)
		모멘트,Max	모멘트,Min	전단력,S	
		(kN・m)	(kN・m)	(kN)	
이중합성	(LL+IM) 활하중(피로)	1619.6	-220.9	151.0	단기합성(n)

③ 단면정수 산정

구분	단면	As (mm^2)	d (mm)	As・d (mm^3)	Ad^2 (mm^4)	Ix (mm^4)	Is (mm^4)	비 고
Steel								
상부플랜지	400×18×2	14,400	803	1.156.E+07	9.285.E+09	3.888.E+05	9.286.E+09	
상부리브	0×0×0	-	-	0.000.E+00	0.000.E+00	0.000.E+00	0.000.E+00	
복부판(L)	1,588×12×1	19,057				4.005.E+09	4.005.E+09	
복부판(R)	1,588×12×1	19,057				4.005.E+09	4.005.E+09	
하부플랜지(L1)	-	-	-	-	-	-	-	
하부플랜지(L2)	918.9×12×1	11,027	-906	-9.990.E+06	9.051.E+09	1.323.E+05	9.051.E+09	
하부플랜지(C)	818×12×1	9,816	-1,012	-9.934.E+06	1.005.E+10	1.178.E+05	1.005.E+10	
하부플랜지(R1)	918.9×12×1	11,027	- 906	-9.990.E+06	9.051.E+09	1.323.E+05	9.051.E+09	
하부플랜지(R2)	-	-	-	-	-	-	-	
계		84,383		-1.835.E+07			4.545.E+10	
d_s	-217					$I_{N.A}$	4.146.E+10	$A_{o,NC}$ = 4.320.E+06
Composite (3n)								
steel		84,383		-1.835.E+07			4.545.E+10	
바닥판 Con'c	6227.5×240	71,171	964	6.861.E+07	6.614.E+10	3.416.E+08	6.648.E+10	
계		155,554		5.026.E+07			1.119.E+11	
d_s	323					$I_{N.A}$	9.569.E+10	$A_{o,LT}$ = 4.320.E+06
Composite (n)								
steel		84,383		-1.835.E+07			4.545.E+10	
바닥판 Con'c	6227.5×240	213,514	964	2.058.E+08	1.984.E+11	1.025.E+09	1.994.E+11	
계		297,897		1.875.E+08			2.449.E+11	
d_s	629					$I_{N.A}$	1.269.E+11	$A_{o,ST}$ = 4.320.E+06

아래표의d 부호규약 : (-)중립축위쪽,(+)중립축아래쪽

<< 단면정수 요약 >>

위 치		Steel		Composite (3n)		Composite (n)	
		d (mm)	S (mm^3)	d (mm)	S (mm^3)	d (mm)	S (mm^3)
바닥판	상연			-1117.1	8.566.E+07	-455	2.791.E+08
Con'c	하연			-877.1	1.091.E+08	-215	5.911.E+08
상 부	상연	-1029	4.027.E+07	-488.9	1.957.E+08	-183	6.947.E+08
플랜지	하연	-1011	4.099.E+07	-470.9	2.032.E+08	-165	7.706.E+08
하 부	상연	577	7.191.E+07	1117.1	8.566.E+07	1423	8.916.E+07
플랜지	하연	589	7.044.E+07	1129.1	8.475.E+07	1435	8.842.E+07

4) 부재 단면비 검토

① 복부판

$$-\frac{D}{t_w} = \frac{1588.1}{12} = 132.3 \leq 300 \quad \text{.. O.K} \quad \text{(수평보강재 있는 경우)}$$

② U형 단면의 상부플랜지

○ $\frac{b_f}{2 \cdot t_{fc}} = \frac{400}{2 \times 18} = 11.1 \leq 12.0$ .. O.K

○ $b_f = 400 \geq D/6 = 265$ .. O.K

○ $t_f = 18 \geq 1.1t_w = 13.2$ .. O.K

5) 소성모멘트(Mp) 산정 및 관련제원

① 소성중립축 위치 산정

※ 중립축 위치를 가정한 후 구해진 압축력과 인장력이 동일해지도록 중립축 위치를 변화시키며 반복 수행

c = 142.009 mm (바닥판 상연에서 중립축까지의 거리)

∴ 중립축은 바닥판슬래브 내에 위치하게 된다.

y1 =	148	mm	(바닥판두께 + 헌치높이 - 중립축거리)
y2 =	166	mm	(바닥판두께 + 헌치높이 + 상부플랜지두께 - 중립축거리)
y3 =	1966	mm	(바닥판두께 + 헌치높이 + 상부플랜지두께 + 복부판높이 - 중립축거리)
Cc =	-26310	kN	(바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력)
Ch =	0	kN	(바닥판 헌치 콘크리트에 작용하는 압축력)
St1 =	5472	kN	(중립축이 바닥판에 위치할 경우 : 상부플랜지에 작용하는 인장력 중립축이 복부판에 위치할 경우 : 상부플랜지에 작용하는 압축력)
St2 =	0	kN	(중립축이 상부플랜지에 위치할 경우 상부플랜지에 작용하는 압축력)
St3 =	0	kN	(중립축이 상부플랜지에 위치할 경우 상부플랜지에 작용하는 인장력)
Sw1 =	16416	kN	(중립축이 복부판 위쪽에 있을 경우 복부판에 작용하는 인장력)
Sw2 =	0	kN	(중립축이 복부판에 위치할 경우 복부판에 작용하는 압축력)
Sw3 =	0	kN	(중립축이 복부판에 위치할 경우 복부판에 작용하는 인장력)
Sb =	3730	kN	(하부플랜지에 작용하는 인장력)
∑(C+S) =	-692	kN	(단면에 작용하는 압축력과 인장력의 합)

② 소성모멘트 산정

Mcc =	-1868	kN·m	(바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력에 의한 모멘트)
Mch =	0	kN·m	(바닥판 헌치 콘크리트에 작용하는 압축력에 의한 모멘트)
Mst1 =	859	kN·m	(중립축이 바닥판에 위치할 경우 상부플랜지에 작용하는 인장력에 의한 모멘트 중립축이 복부판에 위치할 경우 상부플랜지에 작용하는 압축력에 의한 모멘트
Mst2 =	0	kN·m	(중립축이 상부플랜지에 위치할 경우 상부플랜지에 작용하는 압축력에 의한 모멘트)
Mst3 =	0	kN·m	(중립축이 상부플랜지에 위치할 경우 상부플랜지에 작용하는 인장력에 의한 모멘트)
Msw1 =	17499	kN·m	(중립축이 복부판 위쪽에 있을 경우 복부판에 작용하는 인장력에 의한 모멘트)
Msw2 =	0	kN·m	(중립축이 복부판에 위치할 경우 복부판에 작용하는 압축력에 의한 모멘트)
Msw3 =	0	kN·m	(중립축이 복부판에 위치할 경우 복부판에 작용하는 인장력에 의한 모멘트)
Msb =	7356	kN·m	(하부플랜지에 작용하는 인장력에 의한 모멘트)
∑M =	27582	kN·m	

∴ 소성모멘트, M_p = 27582.157 kN.m

③ 웨브의 압축측 높이 산정

○ 소성모멘트 적용시

$$- Dcp = \frac{D}{2} \cdot \left[\frac{fyt \cdot At - fyc \cdot Ac - 0.85 \cdot fck \cdot As - fyr \cdot Ar}{fyw \cdot Aw} + 1 \right]$$; 정모멘트를 받는 단면에서 소성중립축이 웨브 내에 있을경우

여기서;

D_{cp}	: 소성모멘트 적용시 웨브 압축측 높이(mm)	=	#VALUE! (mm)
D	: 웨브 높이(mm)	=	1588 (mm)
A_s	: 바닥판 단면적(mm^2)	=	1494600 (mm^2)
A_t	: 인장플랜지 단면적(mm^2)	=	#VALUE! (mm^2)
A_c	: 압축플랜지 단면적(mm^2)	=	14400 (mm^2)
A_w	: 웨브 단면적(mm^2)	=	38113 (mm^2)
A_r	: 단면에 포함된 축방향 철근의 단면적(mm^2)	=	0 (mm^2)
f_{yc}	: 압축플랜지 항복강도(MPa)	=	380 MPa
f_{yr}	: 단면에 포함된 축방향 철근의 항복강도(MPa)	=	0 MPa
f_{yt}	: 인장플랜지의 항복강도(MPa)	=	380 MPa
f_{yw}	: 웨브의 항복강도(MPa)	=	380 MPa
f_{ck}	: 콘크리트의 28일 압축강도(MPa)	=	35 MPa

- 위의 경우를 제외한 정모멘트 단면에서 Dcp는 0으로 한다.
  - 소성모멘트 적용시 웨브의 압축측 높이, D_{cp}
    ∴ 소성 중립축이 강형복부에 위치하지 않으므로 D_{cp} = 0.00 mm

④ 단면 총깊이 (D_t)

- $D_t = t_h + D + t_{ft} + t_{cu} = 50 + 1588 + 12 + 240 = 1890$ mm

⑤ 슬래브 상연으로부터 소성중립축까지의 거리 (D_p)

- $D_p = t_h + D_{cp} + t_{cu} = 50 + 0.00 + 240 = 290.000$ mm

(2) 극한 한계상태 검토

1) 휨강도 검토

① 설계단면력 및 하중계수

구분	휨모멘트(N · mm)	비틀림모멘트(N · mm)	하중계수	비고
DC11(강재자중)	7.629E+08	7.900E+05	1.25	비합성
DC12(지점부콘크리트)	0.000E+00	0.000E+00	1.25	비합성
DC21(바닥판콘크리트)	2.972E+09	1.423E+06	1.25	비합성
DC22(방호벽)	1.099E+09	-5.420E+07	1.25	이중합성(장기)
DW(포장)	1.019E+09	5.607E+06	1.50	이중합성(장기)
LL+IM(활하중)	4.989E+09	4.797E+08	1.80	이중합성(단기)
SD(지점이동)	1.202E+08	2.987E+05	1.00	이중합성(단기)
극한한계상태 I	1.096E+10	4.336E+08		

② 비조밀단면의 압축플랜지(상부플랜지)검토 응력의 부호규약 : (+)인장, (-)압축

○ $f_{bu} = \frac{1.25 \times M_{DC11}}{S_{NC,tfu}} + \frac{1.25 \times M_{DC12}}{S_{NC,tfu}} + \frac{1.25 \times M_{DC21}}{S_{NC,tfu}} + \frac{1.25 \times M_{DC22}}{S_{LT,tfu}} + \frac{1.50 \times M_{DW}}{S_{LT,tfu}} + \frac{1.80 \times M_{LL+IM}}{S_{ST,tfu}} + \frac{1.00 \times M_{SD}}{S_{ST,tfu}}$

$= \frac{9.54E+08}{4.027.E+07} + \frac{0.00E+00}{4.027.E+07} + \frac{3.72E+09}{4.027.E+07} + \frac{1.37E+09}{1.957.E+08} + \frac{1.53E+09}{1.957.E+08} + \frac{8.98E+09}{6.947.E+08} + \frac{1.20E+08}{6.947.E+08}$

$= 143.87$ MPa

○ $F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc} = 1.0 \times 1.0 \times 380 = 380$ MPa

○ $f_{bu} = 143.87 \leq \Phi_f \cdot F_{nc} = 380$ ∴ O.K

③ 비조밀단면의 인장플랜지(하부플랜지) 검토

○ $f_{bu} = \frac{1.25 \times M_{DC11}}{S_{NC1,bfl}} + \frac{1.25 \times M_{DC12}}{S_{NC1,bfl}} + \frac{1.25 \times M_{DC21}}{S_{NC2,bfl}} + \frac{1.25 \times M_{DC22}}{S_{LT,bfl}} + \frac{1.50 \times M_{DW}}{S_{LT,bfl}} + \frac{1.80 \times M_{LL+IM}}{S_{ST,bfl}} + \frac{1.00 \times M_{SD}}{S_{ST,bfl}}$

$= \frac{9.54E+08}{7.044.E+07} + \frac{0.00E+00}{7.044.E+07} + \frac{3.72E+09}{7.044.E+07} + \frac{1.37E+09}{8.475.E+07} + \frac{1.53E+09}{8.475.E+07} + \frac{8.98E+09}{8.842.E+07} + \frac{1.20E+08}{8.842.E+07}$

$= 203.46$ MPa

○ $F_{nt} = R_h \cdot F_{yt} \cdot \triangle = 1.0 \times 380 \times 0.9993702 = 379.76069$ MPa

- $\triangle = \sqrt{\left\{1 - 3\left(\frac{f_v}{F_{yt}}\right)^2\right\}} = \sqrt{\left\{1 - 3\left(\frac{7.7849451}{380}\right)^2\right\}}$

$= 0.9993702$

- $f_v = \frac{1}{2 \cdot A_{0,NC} \cdot t_{ft}}(1.25 \times T_{DC11} + 1.25 \times T_{DC12} + 1.25 \times T_{DC21})$

$+ \frac{1}{2 \cdot A_{0,LT} \cdot t_{ft}}(1.25 \times T_{DC22} + 1.50 \times T_{DW} + 1.0 \times T_{SD})$

$+ \frac{1}{2 \cdot A_{0,LT} \cdot t_{ft}}(1.80 \times T_{LL+IM})$

- $f_v = \frac{1.25 \times 7.90.E+05 + 1.25 \times 0.00.E+00 + 1.25 \times 1.42.E+06}{2 \times 4.320.E+06 \times 12}$

$+ \frac{1.25 \times -5.42.E+07 + 1.5 \times 5.61.E+06 + 1.0 \times 2.99.E+05}{2 \times 4.320.E+06 \times 12}$

$+ \frac{1.8 \times 4.80.E+08}{2 \times 4.320.E+06 \times 12} = 7.785$ MPa

○ $f_{bu} = 203.46 \leq \Phi_f \cdot F_{nt} = 379.761$ ∴ O.K

④ 바닥판 콘크리트 압축응력 검토

○ $f_{cu} = \frac{1.25 \times M_{DC22}}{n\ S_{st,tsu}} + \frac{1.50 \times M_{DW}}{n\ S_{st,tsu}} + \frac{1.80 \times M_{LL+IM}}{n\ S_{st,tsu}} + \frac{1.00 \times M_{SD}}{n\ S_{st,tsu}}$

$= \frac{1.37E+09}{1.954.E+09} + \frac{1.53E+09}{1.954.E+09} + \frac{8.98E+09}{1.954.E+09} + \frac{1.20E+08}{1.954.E+09}$

$= 6.14$ MPa

○ $f_{cu} = 6.14 \leq 0.6 \cdot f_c' = 21.00$ MPa ∴ O.K

⑤ 연성요구조건 검토

○ $0.42D_t = 0.42 \times 1890 = 794$ mm > $D_p = 290.00$ mm ∴ O.K

2) 전단강도 검토

① 설계단면력 및 하중계수

구분	전단력(kN)	하중계수	비고
DC11(강재자중)	-2.3	1.25	비합성
DC12(지점부콘크리트)	0.0	1.25	비합성
DC21(바닥판콘크리트)	-19.2	1.25	단일합성(장기)
DC22(방호벽)	-2.8	1.25	이중합성(장기)
DW(포장)	-5.7	1.50	이중합성(장기)
LL+IM(활하중)	-316.2	1.80	이중합성(단기)
SD(지점이동)	-24.3	1.00	이중합성(단기)
극한한계상태 I	-632.4		

② 보강된 복부판의 전단강도(V_n)

○ 전단좌굴계수(k)

- $k = 5 + \frac{5}{(d_0/D)^2} = 7.0175278$

○ 전단항복강도에 대한 전단좌굴강도의 비(C)

- $\frac{D}{t_w} \leq 1.12 \sqrt{\frac{E\ k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = 1.0$

$1.12 \sqrt{\frac{E\ k}{F_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1.40 \sqrt{\frac{E\ k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.12}{D/t_w} \sqrt{\frac{E\ k}{F_{yw}}}$

$\frac{D}{t_w} > 1.40 \sqrt{\frac{E\ k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.57}{(D/t_w)^2} \left(\frac{E\ k}{F_{yw}} \right)$

$1.12\sqrt{\frac{E\ k}{F_{yw}}} = 68.912$

$1.40\sqrt{\frac{E\ k}{F_{yw}}} = 86.140$

$\frac{D}{t_w} = \frac{1588}{12} = 132.34$ 이므로, $C = 0.264$

○ 소성전단강도(V_p)

- $V_p = 0.58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w = 4200.080429$ kN

○ 단부패널의 전단강도(V_n)

- $V_n = V_{cr} = C\ V_p = 0.2641627 \times 4200.0804 = 1109.5047$ kN

○ 내부패널의 전단강도

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} \leq 2.5$ 이면 $V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}} \right]$

$\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} > 2.5$ 이면 $V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}+d_0/D} \right]$

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} = \frac{38113.253}{21600} = 1.76 \leq 2.5$ 이므로

- $V_n = 2551.209$ kN

③ 전단강도 검토

○ $V_u = (\sum \eta_i \cdot \gamma_i \cdot V_i)/2 = (1.0 \times 1.0 \times 632.429)/2 = 316.214$ kN

○ $V_r = \Phi_v \cdot V_n = 1.0 \times 2551.21 = 2551.209$ kN

○ $V_u < V_r$ ∴ O.K

④ 수직보강재설계

○ 돌출폭 검토

- $b_t \geq 50.0 + \frac{D}{30}$, $16t_p \geq b_t \geq \frac{b_f}{4}$

  · $b_t = 200$ mm : 수직보강재 돌출폭
  · $D = 1588$ mm : 복부판의 높이
  · $t_p = 16$ mm : 수직보강재의 두께
  · $b_f = 400$ mm : 상부플랜지의 전폭

- $b_t = 200$ mm $> 50.0 + \frac{1588.1}{30} = 102.94$ mm ∴ O.K

- $16t_p = 256$ mm $> b_t = 200$ mm $> \frac{b_f}{4} = 100$ mm ∴ O.K

○ 단면2차모멘트 검토

수직보강재의 단면2차모멘트는 다음 조건을 만족해야 한다.

- $I_t \geq bt_w^3 J$ = 1588 x 1728 x 0.5 = 1372077.1 mm^4

  · b = 1588 mm : d_0와 D중 작은 값

  · t_w = 12 mm : 복부판 두께

  · d_0 = 2500 mm : 수직보강재의 간격

  · $J = 2.5\left(\frac{D}{d_0}\right)^2 - 2.0 = 2.5\left(\frac{1588}{2500}\right)^2 - 2.0 = -0.991236 < 0.5$

- $I_t = \frac{1}{3} t_p b_t^3 = \frac{1}{3} \times 16 \times 200^3 = 42666667\ mm^4$

- I_t = 42666667 mm^4 > I_{t1} = 1372077.1 mm^4 ∴ O.K

(3) 피로 한계상태 검토

1) 하중유발피로(Load Induced Fatigue)

① 응력범위 반복횟수(N)

○ $N = (365)(100)\, n\, (ADTT)_{SL}$ = 155125000

- 설계수명기간 : 100 년
- ADTT : 5000 대
- 설계차로수 : 2 차로
- P (한 차로에서 트럭교통량 비율) : 0.85
- $(ADTT)_{SL}$ (=ADTT x P) : 4250 대
- n (트럭 한 대 통과당 반복횟수) : 1.00 (정모멘트부)

② 피로상세범주 및 관련상수

○ 피로상세범주 (수직보강재와 하부플랜지 필렛용접) : C'

○ N_{TH} (상세범주에 따른 반복횟수) : 2.55 x 10^6

○ $(\triangle F)_{TH}$ (상세범주에 따른 피로한계값) : 82.7 MPa

③ 공칭피로강도

○ $(\triangle F)_n = \left(\frac{N_{TH}}{N}\right)^{1/3} \cdot (\triangle F)_{TH}$, $N \leq N_{TH}$

= 82.70

④ 피로응력검토

○ $(\triangle f) = \frac{(\triangle M)_{max}}{S_{ST,bfu}} = \frac{1.380.E+09}{8.566.E+07} = 16.114 < 82.700\ (=(\triangle F)_n)$ ∴ O.K

2) 복부판의 피로요구조건 검토

① 전단좌굴계수(k : shear-buckling coefficient)

○ $k = 5 + \frac{5}{(d_0/D)^2} = 7.0175278$

② 전단항복강도에 대한 전단좌굴강도의 비 (C)

○ $\frac{D}{t_w} \leq 1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = 1.0$

$1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.12}{D/t_w}\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$

$\frac{D}{t_w} > 1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.57}{(D/t_w)^2}\left(\frac{E\,k}{F_{yw}}\right)$

$1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} = 68.912$

$1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} = 86.140$

$\frac{D}{t_w} = \frac{1588}{12} = 132.34$ 이므로, $C = 0.339$

③ 소성전단강도 (V_P)

○ $V_P = 0.58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w = 4200.080429$ kN

④ 전단좌굴강도 (V_{cr})

○ $V_{cr} = C \cdot V_p = 1425.426$ kN

⑤ 복부판의 피로요구조건 검토

○ $V_u \leq V_{cr}$

V_u : 하중계수를 곱하지 않은 영구하중과 하중계수를 곱한 피로하중에 의한 검토단면의 복부에서의 전단력

V_{cr} : 전단좌굴강도

○ $V_u = \left(\frac{V_{DC11} + V_{DC12} + V_{DC21} + V_{DC22} + V_{Dw} + 1.80V_{fat}}{2}\right)$

$= \left|\left(\frac{-2.3 + 0.0 + -19.2 + -2.8 + -5.7 + 271.72613}{2}\right)\right|$

$= 120.818$ kN < 1425.4258 $(=V_{cr})$ $\therefore$ O.K

(4) 사용한계상태 검토

1) 설계단면력 및 하중계수

구분	휨모멘트(N · mm)	하중계수	비고
DC11(강재자중)	7.63E+08	1.00	비합성
DC12(지점부콘크리트)	0.00E+00	1.00	비합성
DC21(바닥판콘크리트)	2.97E+09	1.00	비합성
DC22(방호벽)	1.10E+09	1.00	이중합성(장기)
DW(포장)	1.02E+09	1.00	이중합성(장기)
LL+IM(활하중)	4.99E+09	1.30	이중합성(단기)
SD(지점이동)	1.20E+08	1.00	이중합성(단기)
사용한계상태 II	1.10E+10		

2) 복부판 및 플랜지응력

○ 복부판 최대 휨 압축응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfl}} = \frac{7.63E+08}{4.10E+07} + \frac{0.00E+00}{4.10E+07} = 18.61$ MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfl}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,tfl}} = \frac{2.97E+09}{4.10E+07} + \frac{1.10E+09}{2.03E+08} = 77.93$ MPa

- $f_{DW} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,tfl}} = \frac{1.02E+09}{2.03E+08} = 5.01$ MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,tfl}} = \frac{4.99E+09}{7.71E+08} = 6.47$ MPa

- $f_{SD} = \frac{M_{SD}}{S_{ST,tfl}} = \frac{1.20E+08}{7.71E+08} = 0.16$ MPa

- $f_{cw} = 1.0\ f_{DC1} + 1.0\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} + 1.0\ f_{SD} = 110.12$ MPa

○ 상부플랜지 최대 압축응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfu}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfu}} = \frac{7.63E+08}{4.03E+07} + \frac{0.00E+00}{4.03E+07} = 18.94$ MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfu}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,tfu}} = \frac{2.97E+09}{4.03E+07} + \frac{1.10E+09}{1.96E+08} = 79.42$ MPa

- $f_{DW} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,tfu}} = \frac{1.02E+09}{1.96E+08} = 5.21$ MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,tfu}} = \frac{4.99E+09}{6.95E+08} = 7.18$ MPa

- $f_{SD} = \frac{M_{SD}}{S_{ST,tfu}} = \frac{1.20E+08}{6.95E+08} = 0.17$ MPa

- $f_{fc} = 1.0\ f_{DC1} + 1.0\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} + 1.0\ f_{SD} = 113.08$ MPa

○ 하부플랜지 최대 인장응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,bfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,bfl}} = \frac{7.63E+08}{7.04E+07} + \frac{0.00E+00}{7.04E+07} = 10.83$ MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,bfl}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,bfl}} = \frac{2.97E+09}{7.04E+07} + \frac{1.10E+09}{8.48E+07} = 55.17$ MPa

- $f_{DW} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,bfl}} = \frac{1.02E+09}{8.48E+07} = 12.02$ MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,bfl}} = \frac{4.99E+09}{8.84E+07} = 56.43$ MPa

- $f_{SD} = \frac{M_{SD}}{S_{ST,bfl}} = \frac{1.20E+08}{8.84E+07} = 1.36$ MPa

- $f_{ft} = 1.0\ f_{DC1} + 1.0\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} + 1.0\ f_{SD} = 152.73$ MPa

○ 복부판 압축측 길이 (D_c)

- $D_c = \frac{|f_{fc}|}{(|f_{fc}| + f_{ft})} \times D = \frac{113.0803865}{113.08 + 152.7} \times 1588 = 675.579$ mm

3) 복부판응력 검토(수평보강재가 있는 경우)

○ 복부판 휨 좌굴 강도(web bend-buckling resistance)

- $\frac{d_s}{D_C} \geq 0.4$ 이면

- $k' = \frac{5.17}{(d_s/D)^2} = \frac{5.17}{0.025} = 205.31421 > \frac{9}{(D_c/D)^2} = \frac{9}{0.181} = 49.73$

- $k = \max(205.314, 49.73) = 205.31$

- $\frac{d_s}{D_C} < 0.4$ 이면

- $k = \frac{11.64}{((D_c-d_s)/D)^2} = \frac{11.64}{0.071} = 163.61$

- $\frac{d_s}{D_C} = \frac{252\ mm}{675.57887} = 0.373 < 0.4$ 이므로,

- $k = 163.61$

- $F_{crw} = \frac{0.9\ E\ k}{(D/t_w)^2} = \frac{30186330}{17513.26} = 1723.63$ MPa

○ 복부판 최대압축응력 검토

- $f_{cw} = 110.12$ MPa $< F_{crw} = 380.00$ MPa ∴ O.K

4) 플랜지응력 검토

○ 상부플랜지 응력 검토

- $f_{tf} = 113.08$ MPa $< 0.95 \cdot R_h \cdot F_{yc}$ (= 361) ∴ O.K

○ 하부플랜지 응력 검토

- $f_{bf} = 152.73$ MPa $< 0.95 \cdot R_h \cdot F_{yf}$ (= 361) ∴ O.K

(5) 시공성 검토

1) 설계단면력 및 하중계수

구분	휨모멘트(N · mm)	전단력(kN)	비틀림모멘트(N · mm)	하중계수
DC11(강재자중)	7.63E+08	-2.34	790026.8	1.25
DC12(지점부콘크리트)	0.00E+00	0.00	0	1.25
DC21(바닥판콘크리트)	2.97E+09	-19.23	1422688	1.25
극한한계상태 I	3.74E+09	-21.57	2212714.8	

2) 극한한계상태 I에 대한 단면응력

① 휨응력 (f_{bu})

○ 상부플랜지

- $f_{bu} = \frac{1.25 \times M_{DC11}}{S_{NC,tfu}} + \frac{1.25 \times M_{DC12}}{S_{NC,tfu}} + \frac{1.25 \times M_{DC21}}{S_{NC,tfu}}$

$= \frac{9.54E+08}{4.027.E+07} + \frac{0.00E+00}{4.027.E+07} + \frac{3.72E+09}{4.027.E+07} = 115.935$ MPa

○ 하부플랜지

- $f_{bu} = \frac{1.25 \times M_{DC11}}{S_{NC,tfl}} + \frac{1.25 \times M_{DC12}}{S_{NC,tfl}} + \frac{1.25 \times M_{DC21}}{S_{NC,tfl}}$

$= \frac{9.54E+08}{7.044.E+07} + \frac{0.00E+00}{7.044.E+07} + \frac{3.72E+09}{7.044.E+07} = 66.279$ MPa

○ 복부판 압축측 길이 (D_c)

- $D_c = \frac{|f_{bu,상부}|}{(|f_{bu,상부}| + f_{bu,하부})} \times D = \frac{115.9349978}{115.93 + 66.3} \times 1588 = 1010.410$ mm

② St.Venant 비틀림응력(f_v)

○ $f_v = \frac{T}{2 \cdot A_{0,NC} \cdot t_{ft}} = \frac{2765893.5}{2 \times 4.320.E+06 \times 12} = 0.027$

3) 휨에 의한 상부플랜지 시공성 검토

① 개요

○ 불리한 시공단계에 대하여 다음의 요구조건을 만족해야 한다.

- $f_{bu} + f_l \le \Phi_f \cdot R_h \cdot F_{yc}$ (1)

- $f_{bu} + \frac{1}{3} f_l \le \Phi_f \cdot F_{nc}$ (2)

- $f_{bn} \le \Phi_f \cdot F_{crw}$ (3)

○ 복부판이 세장한 단면에서는 $f_l = 0$ 이면 (1)식은 검토할 필요가 없다.

○ 복부판이 조밀하거나 비조밀한 단면에서는 (3)식은 검토할 필요가 없다.

② 비조밀단면의 복부판 세장비 검토

○ $\frac{2 \cdot D_c}{t_w} = \frac{2 \times 676}{12} = 113 \le 5.7\sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = 132.39$

비조밀 복부판에 해당함 → (1), (2)에 대하여 검토

③ 상부플랜지 국부좌굴강도 (F_{nc})

○ 압축플랜지의 세장비 (λ_f)

- $\lambda_f = \frac{b_{fc}}{2 \cdot t_{fc}} = \frac{400}{36} = 11.1$

○ 조밀한 플랜지의 세장비 제한값 (λ_{pf})

- $\lambda_{pf} = 0.38 \cdot \sqrt{(E/F_{yc})} = 0.38 \cdot \sqrt{(205000 / 380)} = 8.83$

○ 비조밀한 플랜지의 세장비 제한값 (λ_{rf})

- $\lambda_{rf} = 0.56 \cdot \sqrt{(E/F_{yr})} = 0.56 \cdot \sqrt{(205000 / 285)} = 15$

○ 국부좌굴강도 (F_{nc})

- $\lambda_f \leq \lambda_{pf}$ 이면 $F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$

- $\lambda_f > \lambda_{pf}$ 이면 $F_{nc} = \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h \cdot F_{yc}} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$

- $F_{yr} = \min(0.7F_{yc}, F_{yw}) = 285 \geq 0.5 F_{yc} = 190$ $\therefore F_{yr} = 285$ MPa

- $\lambda_f = 11.1$ 이므로 $F_{nc} = 345$ MPa

④ 상부플랜지 횡비틂 좌굴강도 (F_{nc})

○ 균등한 휨에 대해 공칭휨강도($R_bR_hF_{yc}$)에 도달하기 위한 비지지길이의 제한값 (L_p)

- $L_p = 1.0 r_t \sqrt{(E/F_{yc})} = 1.0 \times 98.5 \times \sqrt{(205000 / 380)} = 2286.9$

  · r_t = 횡비틂좌굴에 대한 유효 단면2차반경

  $= \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{3} \frac{D_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \right)}} = 98.462$

○ 공칭항복강도에 도달하기 위한 비지지길이의 제한값 (L_r)

- $L_r = \pi r_t \sqrt{(E/F_{yr})} = \pi \times 98.5 \times \sqrt{(205000 / 285)} = 8296.1$

○ 횡비틂좌굴강도 (F_{nc})

- $L_b \leq L_p$ 이면 $F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc} = 380$ MPa

- $L_p < L_b \leq L_r$ 이면

$F_{nc} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h \cdot F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b \cdot R_h \cdot F_{yc} \leq R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$

$= 376.63$ MPa

- $L_b > L_r$ 이면 $F_{nc} = F_{cr} \leq R_b \cdot R_h \cdot F_{yc} = 380.0$ MPa

- $L_b = 2500$ mm 이므로 $F_{nc} = 376.63$ MPa

⑤ 플랜지의 공칭 휨강도 (F_{nc})

○ F_{nc} = min (③, ④) = 345.01 MPa

⑥ 복부판 공칭휨좌굴강도 (F_{crw} : web bend-buckling resistance)

수평보강재가 있는 경우

○ 휨좌굴계수 (K)

- $\frac{d_s}{D_C}$ ≥ 0.4 이면

- $K = \frac{5.17}{(d_s/D)^2}$ $\frac{9}{(D_c/D)^2}$

$= \frac{5.17}{0.025} = 205.314 \geq \frac{9}{(D_c/D)^2} = 49.730$

$= \max(205.314, 49.730) = 205.314$

- $\frac{d_s}{D_C}$ < 0.4 이면

- $K = \frac{11.64}{(\frac{D_c-d_s}{D})^2} = \frac{11.64}{(\frac{423.579}{1588})^2} = 163.61155$

- d_s / D_c = 252 mm / 675.579 = 0.373 < 0.4 여기서, ds/Dc<0.4 이므로

- k = 163.61

○ 공칭휨좌굴강도(F_{crw})

- $F_{crw} = \frac{0.9EK}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} = \frac{0.9 \times 205000 \times 164}{\left(\frac{1588}{12}\right)^2} = 1723.6 \leq \min(R_h F_{yc}, F_{yw}/0.7)$

$= \min(380, 543) = 380$

⑦ 상부플랜지 시공성 검토

○ $f_{bu} + f_l = 175.93 \leq \Phi_f \cdot R_h \cdot F_{yc} = 380.00$ ∴ O.K

○ $f_{bu} + \frac{1}{3} f_l = 135.93 \leq \Phi_f \cdot F_{nc} = 345.01$ ∴ O.K

○ $f_{bu} = 115.93 \leq \Phi_f \cdot F_{crw} = 380.00$ ∴ O.K

4) 휨에 의한 하부플랜지 시공성 검토

○ $\triangle = \sqrt{1-3(f_v/F_{yf})^2} = \sqrt{1-3(2.668.E-02/380)^2} = 1.0$

- f_v = 플랜지에 작용하는 St.Venant 비틀림 전단응력

= $T/(2A_{0,NC}t_{ft})$ = 0.027

○ f_b = 66.28 MPa ≤ $\Phi_f \cdot R_h \cdot F_{yt} \cdot \triangle$ = 1.0 x 1.0 x 380 x 1 = 380 MPa

∴ O.K

5) 전단 검토

① 공칭전단강도 (V_n)

○ 전단좌굴계수 (k)

- $k = 5 + \frac{5}{(d_0/D)^2} = 7.0175278$

○ 전단항복강도에 대한 전단좌굴강도의 비 (C)

- $\frac{D}{t_w} \leq 1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = 1.0$

$1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.12}{D/t_w}\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$

$\frac{D}{t_w} > 1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.57}{(D/t_w)^2}\left(\frac{E\,k}{F_{yw}}\right)$

$1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} = 68.912$

$1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} = 86.140$

$\frac{D}{t_w} = \frac{1588}{12} = 132.34$ 이므로, $C = 0.339$

○ 소성전단강도 (V_p)

- $V_p = 0.58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w = 4200.080429$ kN

○ 복부판 공칭전단강도 (V_n)

- $V_n = V_{cr} = C\,V_p = 0.339 \times 4200.0804 = 1425.426$ kN

○ 내부패널의 전단강도

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} \leq 2.5$ 이면 $V_n = V_p\left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}}\right]$

$\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} > 2.5$ 이면 $V_n = V_p\left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}+d_0/D}\right]$

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} = \frac{38113.253}{21600} = 1.76 \leq 2.5$ 이므로

- $V_n = 2719.758$ kN

② 전단강도 검토

○ $V_u = \sum \eta_i \cdot \gamma_i \cdot V_i = 1.0 \times 1.0 \times 26.958 = 26.958$ kN

○ $V_r = \Phi_v \cdot V_n = 1.0 \times 2719.758 = 2719.758$ kN

○ $V_u < V_r$ ∴ O.K

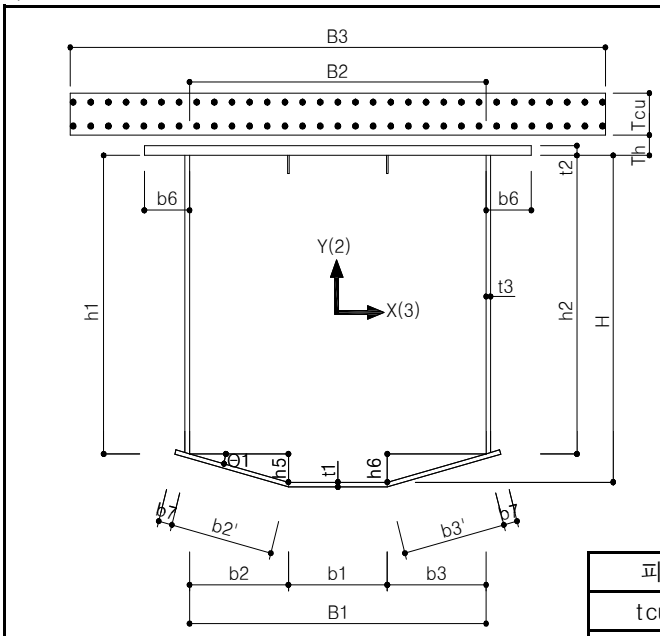
◎ 부모멘트구간 < 단면 3 > 단면위치:34,J지점 (외측거더)

(1) 설계조건

1) 주요기준

상부바닥판, fck	35 MPa	사용강종	HSB500	하중수정계수 $\eta_i=\eta_D x \eta_R x \eta_I$	1.0
상부바닥판, Ec	29779 MPa	강재 탄성계수, Es	205000 MPa	연성계수, η_D	1.0
하부콘크리트, fck	40 MPa	상부플랜지 항복강도, Fyt	380 MPa	여용성계수, η_R	1.0
하부콘크리트, Ec	30008 MPa	복부판 항복강도, Fyw	380 MPa	중요도계수, η_I	1.0
철근의 항복강도, Fry	400 MPa	하부플랜지 항복강도, Fyt	380 MPa		
하이브리드단면 감소계수, Rh	1.0	강재휨강도 감소계수, Φ_f	1.0		
국부좌굴에대한 감소계수, Rb	1.0	강재전단강도 감소계수, Φ_v	1.0		

2) 단면제원



※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

단면제원(mm)			
b1	818	B1	2400
b2	791	B2	2400
b3	791	B3	6228
b4	-	H=D	1800
b5	-	t1	20
b6	200	t2	14
b7	100	t3	12
b2'	818.903	h1	1588
b3'	818.903	h2	1588
b4'	-	h3	100
b5'	-	h4	100
Θ1	15.0°	h5	211.948
Θ2	-	h6	211.948
복부판 Θ	0.000°	h7	-
Tcu= t_s	240	h8	-
Th	50		

피복두께(mm)	
tcu	60
tcl	40

보강리브 제원(mm)		유효폭 제원 (mm)	
상부리브	150 x 14 x 2 ea	상부바닥판	6228

탄성계수비(단기,n)		탄성계수비(장기,3n)	
n(상부)	7	n(상부)	21

3) 설계단면력 및 단면정수 산정

① Unfactored Force

시공단계	작용하중	Unfactored Force 모멘트,M (kN·m)	전단력,S (kN)	비틀림,T (kN·m)	비 고 (탄성계수비)
합성전	(DC11) 강재자중	-3113.2	363.4	-7.7	비합성
합성전	(DC12) 지점콘크리트	0.0	0.0	0.0	비합성
단일합성	(DC21) 바닥판콘크리트	-9777.1	1036.2	-27.7	비합성
이중합성	(DC22) 방호벽	-2466.8	284.8	-56.3	장기합성(3n)
이중합성	(DW) 포장	-2279.3	260.5	-2.5	장기합성(3n)
이중합성	(LL+IM) 활하중	-4999.5	796.7	-764.2	단기합성(n)
이중합성	(SD) 지점이동	-488.4	12.4	-0.3	단기합성(n)

② Unfactored Force ; 피로

시공단계	작용하중	Unfactored Force 모멘트,Max (kN·m)	모멘트,Min (kN·m)	전단력,S (kN)	비 고 (탄성계수비)
이중합성	(LL+IM) 활하중(피로)	224.3	-1434.1	330.5	단기합성(n)

③ 단면정수 산정

- 바닥판 상면철근 : H19 , n= 6228 / 125 = 50 ea = 14,325 mm^2
- 바닥판 하면철근 : H19 , n= 6228 / 125 = 50 ea = 14,325 mm^2

구분	단면	As (mm^2)	d (mm)	As·d (mm^3)	Ad^2 (mm^4)	Ix (mm^4)	Is (mm^4)	비 고
Steel								
상부플랜지	2800×14×1	39,200	801	3.140.E+07	2.515.E+10	6.403.E+05	2.515.E+10	
상부리브	150×14×2	4,200	719	3.020.E+06	2.171.E+09	7.875.E+06	2.179.E+09	
복부판(L)	1,588×12×1	19,057				4.005.E+09	4.005.E+09	
복부판(R)	1,588×12×1	19,057				4.005.E+09	4.005.E+09	
하부플랜지(L1)	-	-	-	-	-	-	-	
하부플랜지(L2)	918.9×20×1	18,378	- 910	-1.672.E+07	1.522.E+10	6.126.E+05	1.522.E+10	
하부플랜지(C)	818×20×1	16,360	-1,016	-1.662.E+07	1.689.E+10	5.453.E+05	1.689.E+10	
하부플랜지(R1)	918.9×20×1	18,378	- 910	-1.672.E+07	1.522.E+10	6.126.E+05	1.522.E+10	
하부플랜지(R2)	-	-	-	-	-	-	-	
계		134,629		-1.565.E+07			8.267.E+10	
d_s	- 116.25					$I_{N.A}$	8.085.E+10	
Steel+Rebar								
steel		134,629		-1.565.E+07			8.267.E+10	
상면철근	H19×50ea	14,325	1,024	1.467.E+07	1.502.E+10		1.502.E+10	
하면철근	H19×50ea	14,325	884	1.266.E+07	1.119.E+10		1.119.E+10	
계		163,279		1.168.E+07			1.089.E+11	
d_s	71.54					$I_{N.A}$	1.080.E+11	
Composite (n)								
steel		134,629		-1.565.E+07			8.267.E+10	
바닥판 Con'c	6227.5×240	213,514	964	2.058.E+08	1.984.E+11	1.025.E+09	1.994.E+11	
계		348,144		1.902.E+08			2.821.E+11	
d_s	546.26					$I_{N.A}$	1.782.E+11	

아래표의d 부호규약 : (-)중립축위쪽,(+)중립축아래쪽

<< 단면정수 요약 >>

위 치		Steel		Steel+Rebar		Composite (n)	
		d (mm)	S (mm^3)	d (mm)	S (mm^3)	d (mm)	S (mm^3)
바닥판 Con'c	상연					-538	-3.314.E+08
	하연					-298	-5.985.E+08
바닥판 철근	상면			-952	-1.134.E+08		
	하면			-812	-1.330.E+08		
상 부 플랜지	상연	-924	-8.747.E+07	-736	-1.467.E+08	-262	-6.809.E+08
	하연	-910	-8.882.E+07	-722	-1.495.E+08	-248	-7.193.E+08
하 부 플랜지	상연	678	1.193.E+08	866	1.248.E+08	1340	1.330.E+08
	하연	698	1.159.E+08	886	1.220.E+08	1360	1.310.E+08

4) 단면비 검토

① 복부판 단면비 검토 (☞ 강.설.기 6.3.2.2.1)

$\cdot \frac{D}{t_w} \leq$ 150 : 수평보강재가 없는 복부판
300 : 수평보강재가 있는 복부판

$\cdot \frac{D}{t_w} = \frac{1588}{12} = 132.3$

∴ 수평보강재가 있는 복부판으로 설계

② 상부플랜지 단면비 검토 (☞ 도.설.한 6.10.2.3 / 강.설.기 6.3.2.2.2)

- 압축 또는 인장을 받는 U형 단면의 상부플랜지는 다음조건을 만족하여야 한다.

∴ 폐합단면으로 상부플랜지 단면비 검토 불필요.

(2) 극한한계상태 검토

1) 휨강도 검토 (☞ 강.설.기 6.3.2.2.1)

① 설계단면력 및 하중계수

구 분	휨모멘트 (kN·m)	하중계수	비 고
DC11 (강재자중)	-3113.2	1.25	비합성
DC12 (지점콘크리트)	0.0	1.25	비합성
DC21 (바닥판콘크리트)	-9777.1	1.25	비합성
DC22 (방호벽)	-2466.8	1.25	장기합성(3n)
DW (포장)	-2279.3	1.50	장기합성(3n)
LL+IM (활하중)	-4999.5	1.80	단기합성(n)
SD (지점이동)	-488.4	1.00	단기합성(n)
극한한계상태 I	-23124.3		

② 플랜지 및 복부판 응력

○ 상부플랜지 최대휨응력 응력의 부호규약 : (+)인장, (-)압축

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfu}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfu}} = \frac{-3.11E+09}{-8.75E+07} + \frac{0.00E+00}{-8.75E+07} =$ 35.59 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfu}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,tfu}} = \frac{-9.78E+09}{-8.75E+07} + \frac{-2.47E+09}{-1.47E+08} =$ 128.59 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,tfu}} = \frac{-2.28E+09}{-1.47E+08} =$ 15.54 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,tfu}} = \frac{-5.00E+09}{-1.47E+08} =$ 34.08 MPa

- $f_{SD} = \frac{M_{SD}}{S_{ST,tfu}} = \frac{-4.88E+08}{-1.47E+08} =$ 3.33 MPa

- $f_{tf} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} + 1.5\ f_{Dw} + 1.8\ f_{LL+IM} + 1.0\ f_{SD} =$ 293.20 MPa

○ 하부플랜지 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,bfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,bfl}} = \frac{-3.11E+09}{1.16E+08} + \frac{0.00E+00}{1.16E+08} =$ -26.87 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,bfl}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,bfl}} = \frac{-9.78E+09}{1.16E+08} + \frac{-2.47E+09}{1.22E+08} =$ -104.60 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,bfl}} = \frac{-2.28E+09}{1.22E+08} =$ -18.68 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,bfl}} = \frac{-5.00E+09}{1.22E+08} =$ -40.98 MPa

- $f_{SD} = \frac{M_{SD}}{S_{ST,bfl}} = \frac{-4.88E+08}{1.22E+08} =$ -4.00 MPa

- $f_{bf} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} + 1.5\ f_{Dw} + 1.8\ f_{LL+IM} + 1.0\ f_{SD} = -270.12$ MPa

○ 복부판상연 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfl}} = \frac{-3.11E+09}{-8.88E+07} + \frac{0.00E+00}{-8.88E+07} = 35.05$ MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfl}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,tfl}} = \frac{-9.78E+09}{-8.88E+07} + \frac{-2.47E+09}{-1.50E+08} = 126.58$ MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,tfl}} = \frac{-2.28E+09}{-1.50E+08} = 15.24$ MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,tfl}} = \frac{-5.00E+09}{-1.50E+08} = 33.43$ MPa

- $f_{SD} = \frac{M_{SD}}{S_{ST,tfl}} = \frac{-4.88E+08}{-1.50E+08} = 3.27$ MPa

- $f_{wu} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} + 1.5\ f_{Dw} + 1.8\ f_{LL+IM} + 1.0\ f_{SD} = 288.34$ MPa

○ 복부판하연 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,bfu}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,bfu}} = \frac{-3.11E+09}{1.19E+08} + \frac{0.00E+00}{1.19E+08} = -26.10$ MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,bfu}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,bfu}} = \frac{-9.78E+09}{1.19E+08} + \frac{-2.47E+09}{1.25E+08} = -101.73$ MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,bfu}} = \frac{-2.28E+09}{1.25E+08} = -18.26$ MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,bfu}} = \frac{-5.00E+09}{1.25E+08} = -40.05$ MPa

- $f_{SD} = \frac{M_{SD}}{S_{ST,bfu}} = \frac{-4.88E+08}{1.25E+08} = -3.91$ MPa

- $f_{wl} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} + 1.5\ f_{Dw} + 1.8\ f_{LL+IM} + 1.0\ f_{SD} = -263.18$ MPa

○ 복부판 압축측 깊이 Dc 산정

- $Dc = \left(\frac{fc}{|fc| + ft}\right) \cdot d - t_{fc}$

$= \left(\frac{-263.18}{263.18 + 288.34}\right) \cdot 1588 - 20 = 778$ mm

③ 상부플랜지 휨강도검토

- $f_{bu} \leq \Phi_f F_{nt}$

- $\Phi_f F_{nt} = \Phi_f R_h F_{yt}$
  $= 1.0 \times 1.0 \times 380.0 = 380.0$ MPa

- $f_{bu} = \eta_i f_t$
  $= 1.0 \times 293.20 = 293.20$ MPa $\leq$ 380.0 MPa $\therefore$ O.K.

④ 하부플랜지 휨강도검토

- $f_{bu} \leq \Phi_f F_{nc}$

- $\Phi_f F_{nc} = \Phi_f R_h F_{yt}$
  $= 1.0 \times 1.0 \times 380.0 = 380.0$ MPa

○ 휨압축응력

- $f_{bu} = \eta_i f_c$
  $= 1.00 \times -270.12 = -270.12$ MPa $\leq$ 380.0 MPa $\therefore$ O.K.

⑤ 복부판 휨좌굴강도 검토

○ 복부판 휨 좌굴 강도(web bend-buckling resistance)

- $\frac{d_s}{D_C} \geq 0.4$ 이면

- $k' = \frac{5.17}{(d_s/D)^2} = \frac{5.17}{0.0252} = 205.3 > \frac{9}{(D_c/D)^2} = \frac{9}{0.2399} = 37.5$

- $k = \max(205.3, 37.5) = 205.3$

- $\frac{d_s}{D_C} < 0.4$ 이면

- $k = \frac{11.64}{((D_c-d_s)/D)^2} = \frac{11.64}{0.1096} = 106.2$

- $\frac{d_s}{D_C} = \frac{252}{778} = 0.32 < 0.4$ 이므로,

- $k = 106.2$

- $F_{crw} = \frac{0.9\ E\ k}{(D/t_w)^2} = \frac{19590023}{17513} = 1118.58$ MPa

○ 복부판 최대압축응력 검토

- $f_{cw} = 263.18$ MPa $< F_{crw} = 380.00$ MPa $\therefore$ O.K

2) 전단강도 검토

① 설계단면력 및 하중계수

구 분	전단력 (kN·m)	하중계수	비 고
DC11 (강재자중)	363.4	1.25	비합성
DC12 (지점콘크리트)	0.0	1.25	비합성
DC21 (바닥판콘크리트)	1036.2	1.25	비합성
DC22 (방호벽)	284.8	1.25	장기합성(3n)
DW (포장)	260.5	1.50	장기합성(3n)
LL+IM (활하중)	796.7	1.80	단기합성(n)
SD (지점이동)	12.4	1.00	단기합성(n)
극한한계상태 I	3942.8		

· 복부판 작용전단력

$V_{ui} = V_u / (2 \times \cos\theta) = 3942.8 / (2 \times \cos 0) = 1971.4$ kN

② 보강된 복부판의 전단강도, Vn

○ 전단좌굴계수 , k

$$k = 5 + \frac{5}{(d_0/D)^2} = 5 + \frac{5}{(2500 / 1588)^2} = 7.02$$

○ 전단항복강도에 대한 전단좌굴강도의 비(C)

$$\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yw}}} = \sqrt{\frac{205{,}000 \times 7.02}{380.0}} = 61.5$$

$$\frac{D}{t_w} = \frac{1588}{12} = 132.3 > 1.40\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yw}}} = 1.40 \times 61.5 = 86.14$$

$$C = \frac{1.57}{(D/t_w)^2}\left(\frac{E \cdot k}{F_{yw}}\right) = \frac{1.57}{(1588 / 12)^2}\left(\frac{205{,}000 \times 7.0}{380.0}\right) = 0.339$$

○ 소성전단강도(V_p)

$V_p = 0.58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w = 0.58 \times 380.0 \times 1588 \times 12 \times 10^{-3} = 4200.1$ kN

○ 내부패널의 전단강도

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} \le 2.5$ 이면 $V_n = V_p\left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}} \right]$

$\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} > 2.5$ 이면 $V_n = V_p\left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}+d_0/D} \right]$

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} = \frac{38113.253}{43600} = 0.87 \le 2.5$ 이므로

- $V_n = 2719.758$ kN

③ 전단강도 검토

○ $V_u = \sum \eta_i \cdot \gamma_i \cdot V_i = 1.00 \times 1971.4 = 1971.4$ kN

○ $V_r = \Phi_v \cdot V_n = 1.00 \times 2719.8 = 2719.8$ kN

○ $V_u < V_r$ ∴ O.K

④ 수직보강재설계

○ 돌출폭 검토

- $b_t \geq 50.0 + \frac{D}{30}$, $16t_p \geq b_t \geq \frac{b_f}{4}$
  - b_t = 200 mm : 수직보강재 돌출폭
  - D = 1588 mm : 복부판의 높이
  - t_p = 16 mm : 수직보강재의 두께
  - b_f = 2800 mm : 상부플랜지의 전폭
- b_t = 200 mm > $50.0 + \frac{1588.1}{30}$ = 103 mm ∴ O.K

○ 단면2차모멘트 검토

수직보강재의 단면2차모멘트는 다음 조건을 만족해야 한다.

- $I_t \geq bt_w^3 J = 1588 \times 1728 \times 0.5 = 1372077.1$ mm^4
  - b = 1588 mm : d_0와 D중 작은 값
  - t_w = 12 mm : 복부판 두께
  - d_0 = 2500 mm : 수직보강재의 간격
  - $J = 2.5 \left(\frac{D}{d_0}\right)^2 - 2.0 = 2.5 \left(\frac{1588}{2500}\right)^2 - 2.0 = -0.991236 \geq 0.5$
- $I_t = \frac{1}{3} t_p b_t^3 = \frac{1}{3} \times 16 \times 200^3 = 42666667$ mm^4
- I_t = 42666667 mm^4 > I_{t1} = 1372077.1 mm^4 ∴ O.K

(3) 피로 한계상태 검토

1) 설계단면력 및 하중계수

구 분	휨모멘트(kN·m)		전단력(kN)	하중계수	비 고
	Max	Min			
DC11 (강재자중)	-3113.2	-	363.4	1.00	비합성
DC12 (지점콘크리트)	0.0	-	0.0	1.00	비합성
DC21 (바닥판콘크리트)	-9777.1	-	1036.2	1.00	비합성
DC22 (방호벽)	-2466.8	-	284.8	1.00	장기합성
DW (포장)	-2279.3	-	260.5	1.00	장기합성
LL+IM (활하중-피로)	224.3	-1434.1	796.7	0.75	단기합성
피로한계상태					

2) 하중유발피로(Load Induced Fatigue)

① 응력범위 반복횟수(N)

○ $N = (365) (100) n (ADTT)_{SL}$ = 232,687,500

- 설계수명기간 : 100 년
- ADTT : 5000 대
- 설계차로수 : 2 차로
- P (한 차로에서 트럭교통량 비율) : 0.85
- $(ADTT)_{SL}$ (=ADTT x P) : 4250 대
- n (트럭 한 대 통과당 반복횟수) : 1.50 (내측지점부근)

② 피론상세범주 및 관련상수

○ 피로상세범주 (수직보강재와 하부플랜지 필렛용접) : C'

○ N_{TH} (상세범주에 따른 반복횟수) : 2.55×10^6

○ $(\triangle F)_{TH}$ (상세범주에 따른 피로한계값) : 82.7 MPa

③ 공칭피로강도

○ $(\triangle F)_n = \left(\frac{N_{TH}}{N} \right)^{1/3} \cdot (\triangle F)_{TH}$, $N \leq N_{TH}$

$= 18.369$

④ 피로응력검토

○ $(\triangle f) = \frac{(\triangle M)_{max}}{S_{ST,bfu}} = \frac{1.683.E+08 - -1.076.E+09}{1.467.E+08}$

$= 8.48 < 18.37 \quad (=(\triangle F)_n) \quad \therefore$ O.K

3) 복부판의 피로요구조건 검토

① 전단좌굴계수(k : shear-buckling coefficient)

○ $k = 5 + \frac{5}{(d_0/D)^2} = 5 + \frac{5}{(2500 / 1588)^2} = 7.02$

② 전단항복강도에 대한 전단좌굴강도의 비 (C)

○ $\frac{D}{t_w} \leq 1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = 1.0$

$1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.12}{D/t_w}\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$

$\frac{D}{t_w} > 1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.57}{(D/t_w)^2}\left(\frac{E\,k}{F_{yw}}\right)$

$1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} = 68.91$

$1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} = 86.14$

$\frac{D}{t_w} = \frac{1588}{12} = 132.34$ 이므로,

$C = 0.339$

③ 소성전단강도 (V_P)

○ $V_P = 0.58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w = 0.58 \times 380 \times 1588 \times 12 \times 10^{-3}$

$= 4200.080429$ kN

④ 단부패널의 전단좌굴강도 (V_{cr})

○ $V_{cr} = C \cdot V_p = 0.339 \times 4200.080429 = 1425.4$ kN

⑤ 내부패널의 전단강도

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} \leq 2.5$ 이면 $V_n = V_p\left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}}\right]$

$\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} > 2.5$ 이면 $V_n = V_p\left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}+d_0/D}\right]$

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} = \frac{38113.253}{43600} = 0.87 \leq 2.5$ 이므로

- $V_n = 2719.758$ kN

⑥ 복부판의 피로요구조건 검토

○ $V_u \leq V_{cr}$

여기서, V_u : 하중계수를 곱하지 않은 영구하중과 설계피로하중으로 발생하는 복부판 전단력(N)

V_{cr} : 전단좌굴 강도(N)

○ $V_u = \left(\frac{V_{DC11} + V_{DC12} + V_{DC21} + V_{DC22} + V_{Dw} + V_{fat}}{2}\right)$

$= \left(\frac{363.4 + 0.0 + 1036.2 + 284.8 + 260.5 + 597.6}{2}\right)$

$= 1271.2$ kN < 2719.8 $(=V_{cr})$ $\therefore$ O.K

(4) 사용한계상태 검토

1) 설계단면력 및 하중계수

구 분	휨모멘트 (kN·m)	하중계수	비 고
DC11 (강재자중)	-3113.2	1.00	비합성
DC12 (지점콘크리트)	0.0	1.00	비합성
DC21 (바닥판콘크리트)	-9777.1	1.00	비합성
DC22 (방호벽)	-2466.8	1.00	장기합성(3n)
DW (포장)	-2279.3	1.00	장기합성(3n)
LL+IM (활하중)	-4999.5	1.30	단기합성(n)
사용한계상태 II	-22635.8		

2) 바닥판 콘크리트 응력 검토

○ 바닥판 상연 응력 응력 부호규약 : (+)인장, (-)압축

; 바닥판 콘크리트 응력산정시는 콘크리트단면을 유효로 하고 탄성계수비는 n을 적용 함.

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC22}}{n\ S_{ST,tcu}} = \frac{-2.47E+09}{-2.32E+09} =$ 1.06 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{DW}}{n\ S_{ST,tcu}} = \frac{-2.28E+09}{-2.32E+09} =$ 0.98 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{n\ S_{ST,tcu}} = \frac{-5.00E+09}{-2.32E+09} =$ 2.16 MPa

- $f_{deck} = 1.00\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} =$ 4.85 MPa

○ 바닥판 콘크리트 응력 검토

- f_{deck} = 4.85 MPa ≥ $2f_r = 2 \times 2.07 =$ 4.14 MPa 이므로,

여기서 ; f_r : 콘크리트 파괴 계수로서 콘크리트의 기준인장강도 f_{ctk} 을 적용함

$f_{ctk} = 0.6f_{ctm} = 0.6 \times 0.3 \times (f_{ck}+\triangle f)^{2/3} = 0.18 \times (35 + 4)^{2/3} = 2.07$ MPa

∴ 바닥판 콘크리트를 제외하고 바닥판내 철근이 단면강성에 기여하는 것으로 계산함.

3) 플랜지 및 복부판 응력

○ 상부플랜지 최대휨응력 응력 부호규약 : (+)인장, (-)압축

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfu}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfu}} = \frac{-3.11E+09}{-8.75E+07} + \frac{0.00E+00}{-8.75E+07} =$ 35.59 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfu}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,tfu}} = \frac{-9.78E+09}{-8.75E+07} + \frac{-2.47E+09}{-1.47E+08} =$ 128.59 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,tfu}} = \frac{-2.28E+09}{-1.47E+08} =$ 15.54 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,tfu}} = \frac{-5.00E+09}{-1.47E+08} =$ 34.08 MPa

- $f_{tf} = 1.00\ f_{DC1} + 1.00\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} =$ 224.02 MPa

○ 하부플랜지 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,bfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,bfl}} = \frac{-3.11E+09}{1.16E+08} + \frac{0.00E+00}{1.16E+08} =$ -26.87 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,bfl}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,bfl}} = \frac{-9.78E+09}{1.16E+08} + \frac{-2.47E+09}{1.22E+08} =$ -104.60 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,bfl}} = \frac{-2.28E+09}{1.22E+08} =$ -18.68 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,bfl}} = \frac{-5.00E+09}{1.22E+08} =$ -40.98 MPa

- $f_{bf} = 1.00\ f_{DC1} + 1.00\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} =$ -203.42 MPa

○ 복부판상연 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfl}} = \frac{-3.11E+09}{-8.88E+07} + \frac{0.00E+00}{-8.88E+07} =$ 35.05 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfl}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,tfl}} = \frac{-9.78E+09}{-8.88E+07} + \frac{-2.47E+09}{-1.50E+08} =$ 126.58 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,tfl}} = \frac{-2.28E+09}{-1.50E+08} =$ 15.24 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,tfl}} = \frac{-5.00E+09}{-1.50E+08} =$ 33.43 MPa

- $f_{wu} = 1.00\ f_{DC1} + 1.00\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} =$ 220.33 MPa

○ 복부판하연 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,bfu}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,bfu}} = \frac{-3.11E+09}{1.19E+08} + \frac{0.00E+00}{1.19E+08} =$ -26.10 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,bfu}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,bfu}} = \frac{-9.78E+09}{1.19E+08} + \frac{-2.47E+09}{1.25E+08} =$ -101.73 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,bfu}} = \frac{-2.28E+09}{1.25E+08} =$ -18.26 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,bfu}} = \frac{-5.00E+09}{1.25E+08} =$ -40.05 MPa

- $f_{wl} = 1.00\ f_{DC1} + 1.00\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} =$ -198.15 MPa

○ 복부판 압축측 깊이 Dc 산정

- $Dc = \left(\frac{fc}{|fc| + ft}\right) \cdot d - t_{fc}$

$= \left(\frac{-198.15}{198.15 + 220.33}\right) \cdot 1588 - 20 =$ 772 mm

4) 복부판응력 검토(수평보강재가 있는 경우)

① 복부판 휨 좌굴 강도(web bend-buckling resistance)

- $\frac{d_s}{D_C}$ ≥ 0.4 이면

- $k' = \frac{5.17}{(d_s/D)^2} = \frac{5.17}{0.025} = 205.3 > \frac{9}{(D_c/D)^2} = \frac{9}{0.2363} = 38.1$

- $k = \max(205.3, 38.1) = 205.3$

- $\frac{d_s}{D_C}$ < 0.4 이면

- $k = \frac{11.64}{((D_c-d_s)/D)^2} = \frac{11.64}{0.1072} = 108.6$

- $\frac{d_s}{D_C} = \frac{252}{772} = 0.33 <$ 0.4 이므로,

- $k = 108.6$

- $F_{crw} = \frac{0.9\ E\ k}{(D/t_w)^2} = \frac{20033597}{17513} = 1143.91$ MPa

○ 복부판 최대압축응력 검토

- $f_{cw} =$ 198.15 MPa < $F_{crw} =$ 380.00 MPa ∴ O.K

5) 플랜지응력 검토

○ 상부플랜지 응력 검토

- $f_{tf} =$ 224.02 MPa < $0.95 \cdot R_h \cdot F_{yc}$ (= 361.00) ∴ O.K

○ 하부플랜지 응력 검토

- $f_{bf} =$ 203.42 MPa < $0.95 \cdot R_h \cdot F_{yf}$ (= 380) ∴ O.K

(5) 시공성 검토 (☞ 강.설.기 6.3.2.2.1)

1) 휨강도 검토

① 설계단면력 및 하중계수 ; 극한한계상태 I

구 분	휨모멘트 (kN·m)	하중계수	비 고
DC11 (강재자중)	-3113.2	1.25	비합성
DC12 (지점콘크리트)	0.0	1.25	비합성
DC21 (바닥판콘크리트)	-9777.1	1.25	비합성

② 플랜지 및 복부판 응력

○ 상부플랜지 최대휨응력 응력의 부호규약 : (+)인장, (-)압축

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfu}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfu}} = \frac{-3.11E+09}{-8.75E+07} + \frac{0.00E+00}{-8.75E+07} =$ 35.59 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfu}} = \frac{-9.78E+09}{-8.75E+07} =$ 111.78 MPa

- $f_{tf} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} =$ 184.21 MPa

○ 하부플랜지 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,bfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,bfl}} = \frac{-3.11E+09}{1.16E+08} + \frac{0.00E+00}{1.16E+08} =$ -26.87 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,bfl}} = \frac{-9.78E+09}{1.16E+08} =$ -84.38 MPa

- $f_{bf} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} =$ -139.07 MPa

○ 복부판상연 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfl}} = \frac{-3.11E+09}{-8.88E+07} + \frac{0.00E+00}{-8.88E+07} =$ 35.05 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfl}} = \frac{-9.78E+09}{-8.88E+07} =$ 110.08 MPa

- $f_{wu} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} =$ 181.42 MPa

○ 복부판하연 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,bfu}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,bfu}} = \frac{-3.11E+09}{1.19E+08} + \frac{0.00E+00}{1.19E+08} =$ -26.10 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,bfu}} = \frac{-9.78E+09}{1.19E+08} =$ -81.97 MPa

- $f_{wl} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} =$ -135.08 MPa

○ 복부판 압축측 깊이 Dc 산정

- $Dc = \left(\frac{fc}{|fc| + ft} \right) \cdot d - t_{fc}$

$= \left(\frac{-135.08}{135.08 + 181.42} \right) \cdot 1588 - 20 = 698$ mm

③ 상부플랜지 휨강도검토 ; 불연속적으로 지지

○ 종방향 휨응력 산정

· $f_{bu} = 184.21$ MPa

④ 하부플랜지 휨강도검토

- $f_{bu} \leq \Phi_f F_{nc}$

○ 휨압축응력

- $f_{bu} = \eta_i f_c$

$= 1.00 \times -139.07 = -139.07$ MPa

○ Normal stress에 의한 판의 좌굴계수, k

- $k = \left(\frac{8 \times l_s}{w \times t_{fc}^3} \right)^{1/3}$, $1 \leq k \leq 4$; 보강된 압축판의 종방향보강재 n=1 일 경우

$= \left(\frac{8 \times 0}{2400 \times 20^3} \right)^{1/3} = 0.000$

- $k = \left(\frac{0.894 \times l_s}{w \times t_{fc}^3} \right)^{1/3}$, $1 \leq k \leq 4$; 보강된 압축판의 종방향보강재 n=2 일 경우

$= \left(\frac{0.894 \times 0.00.E+00}{2400 \times 20^3} \right)^{1/3} = 0.000$

- k ; 종방향보강재 개수 n이 0 개 이므로, k= 4.000

여기서, 종방향보강재 l_s = 0-0T-0ea

$= \frac{1}{3} \times 0 \times 0^3 \times 0$ ea $= 0$ mm^4

○ 세장비 계산, λ

- $\lambda_f = \frac{b_{fc}}{t_{fc}} = \frac{2400 / 1}{20} = 120.0$

여기서, b_{fc} : 종방향 보강재로 구분되는 패널의 최대 폭

- $\lambda_p = 0.57\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yc} \cdot \Delta}}$

여기서, $\Delta = \sqrt{1 - 3\left(\frac{f_r}{F_{yf}}\right)^2} = \sqrt{1 - 3\left(\frac{-9.4}{380}\right)^2} = 1.0$

$\therefore \lambda_p = 0.57 \times \sqrt{\frac{205,000 \times 4.000}{380}} = 26.5$

- $\lambda_r = 0.95\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yr}}}$

여기서, $F_{yr} = (\Delta - 0.4)F_{yc} \leq F_{yw}$

$= (1 - 0.4) \times 380 = 228$ MPa $\leq$ 380.0 MPa

$$\therefore\ \lambda_r = 0.95 \times \sqrt{\frac{205{,}000 \times 4.000}{227.6520847}} = 57.0$$

○ 플랜지의 공칭 축압축 좌굴강도 계산, F_{cb}

- $F_{cb} = R_b R_h F_{yc} \Delta$; $\lambda_f \le \lambda_p$

$= 1.0 \times 1.0 \times 380.0 \times 1.0$

$= 380.0$ MPa

- $F_{cb} = R_b R_h F_{yc}\left[1 - \left(1 - \frac{\Delta - 0.3}{R_h}\right)\left(\frac{\lambda_f - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right)\right]$; $\lambda_p \le \lambda_f \le \lambda_r$

$= 1.0 \times 1.0 \times 380.0 \times \left[1 - \left(1 - \frac{1.0 - 0.3}{1.0}\right)\left(\frac{120.0 - 26.5}{57.0 - 26.5}\right)\right]$

$= 30.9$ MPa

- $F_{cb} = \frac{0.9 E R_b k}{\lambda_f^2}$; $\lambda_f > \lambda_r$

$= \frac{0.9 \times 205{,}000 \times 1.0 \times 1.0}{120.0^{2}}$

$= 12.8$ MPa

- $\lambda f > \lambda r$ 이므로, $F_{cb} = 12.8$ MPa

○ 플랜지의 공칭 전단좌굴강도 계산, F_{cv}

- 전단응력에 대한 판의 좌굴계수, ks

$$k_s = \frac{5.34 + 2.84\left(\frac{I_s}{w \times t_{fc}^{3}}\right)^{1/3}}{(n+1)^2} \le 5.34$$

$$= \frac{5.34 + 2.84\left(\frac{0}{2400 \times 20^{3}}\right)^{1/3}}{(0+1)^2} = 5.34 \le 5.34$$

- 플랜지의 세장비

$$\sqrt{\frac{E \cdot k_s}{F_{yc}}} = \sqrt{\frac{205{,}000 \times 5.34}{380}} = 53.7$$

$$1.12\sqrt{\frac{E \cdot k_s}{F_{yc}}} < \lambda_f \le 1.40\sqrt{\frac{E \cdot k_s}{F_{yc}}}$$ 이므로

- 플랜지의 공칭 전단좌굴강도

$$F_{cv} = \frac{0.65 \times \sqrt{F_{yc} \times E \times k_s}}{\lambda_f} = \frac{0.65 \times \sqrt{380 \times 205{,}000 \times 5.34}}{75}$$

$= 176.76$ MPa

○ 압축플랜지의 휨좌굴 강도 계산

$\therefore\ \Phi_f F_{nc} = \Phi_f F_{cb}\sqrt{1 - \left(\frac{f_v}{\Phi_f F_{cv}}\right)^2} = 1.0 \times 12.8 \times \sqrt{1 - \left(\frac{-9.4}{176.76}\right)^2} = 12.79 \text{ MPa}$

$= 380.00 \text{ MPa} > 139.07 \text{ MPa} \quad \therefore \text{ O.K.}$

⑤ 복부판 휨좌굴강도 검토

○ 복부판 휨 좌굴 강도(web bend-buckling resistance)

- $\frac{d_s}{D_C} \geq 0.4$ 이면

- $k' = \frac{5.17}{(d_s/D)^2} = \frac{5.17}{0.025} = 205.3 > \frac{9}{(D_c/D)^2} = \frac{9}{0.1931} = 46.6$

- $k = \max(205.3, 46.6) = 205.3$

- $\frac{d_s}{D_C} < 0.4$ 이면

- $k = \frac{11.64}{((D_c - d_s)/D)^2} = \frac{11.64}{0.0788} = 147.7$

- $\frac{d_s}{D_C} = \frac{252}{698} = 0.36 < 0.4$ 이므로,

- $k = 147.7$

- $F_{crw} = \frac{0.9\ E\ k}{(D/t_w)^2} = \frac{27254772}{17513} = 1556.24 \text{ MPa}$

○ 복부판 최대압축응력 검토

- $f_{cw} = 198.15 \text{ MPa} < F_{crw} = 380.00 \text{ MPa} \quad \therefore$ O.K

2) 전단강도 검토

① 설계단면력 및 하중계수

구 분	전단력 (kN·m)	하중계수	비 고
DC11 (강재자중)	363.4	1.25	비합성
DC12 (지점콘크리트)	0.0	1.25	비합성
DC21 (바닥판콘크리트)	1036.2	1.25	비합성
극한한계상태 I	1399.6		

○ 복부판 작용전단력

$V_{ui} = V_u / (2 \times \cos\theta) = 1399.6 / (2 \times \cos 0) = 699.8$ kN

② 보강된 복부판의 전단강도, Vn

○ 전단좌굴계수 , k

$$k = 5 + \frac{5}{(d_0/D)^2} = 5 + \frac{5}{(2500 / 1588)^2} = 7.02$$

○ 공칭전단 좌굴 강도

$$\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yw}}} = \sqrt{\frac{205{,}000 \times 7.02}{380.0}} = 61.5$$

$$\frac{D}{t_w} = \frac{1588}{12} = 132.3 > 1.40\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yw}}} = 1.40 \times 61.5 = 86.14$$

$V_p = 0.58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w$ 로 계산

$$C = \frac{1.57}{(D/t_w)^2}\left(\frac{E \cdot k}{F_{yw}}\right) = \frac{1.57}{(1588 / 12)^2}\left(\frac{205{,}000 \times 7.0}{380.0}\right) = 0.339$$

$V_p = 0.58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w = 0.58 \times 380.0 \times 1588 \times 12 \times 10^{-3} = 4200.1$ kN

○ 내부패널의 전단강도

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} \le 2.5$ 이면 $V_n = V_p\left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}} \right]$

  $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} > 2.5$ 이면 $V_n = V_p\left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}+d_0/D} \right]$

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} = \frac{38113.253}{43600} = 0.87 \le 2.5$ 이므로

- $V_n = 2719.758$ kN

③ 전단강도 검토

○ $V_u = \sum \eta_i \cdot \gamma_i \cdot V_i = 1.00 \times 699.8 = 699.8$ kN

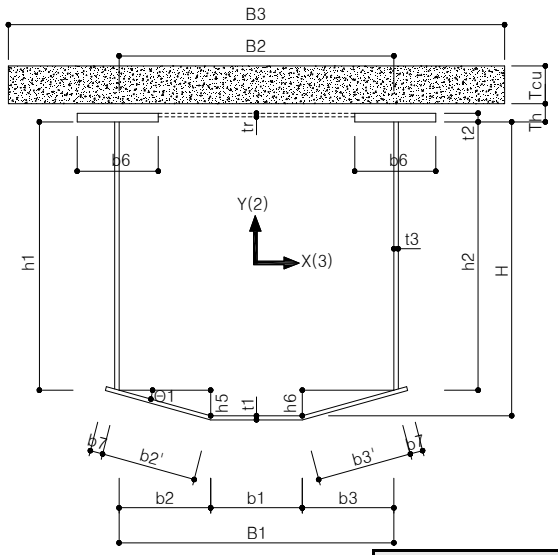
○ $V_r = \Phi_v \cdot V_n = 1.00 \times 2719.8 = 2719.8$ kN

○ $V_u < V_r$ ∴ O.K

6. 이음부 설계

6.1 정모멘트구간 현장이음 설계

6.1.1 이음번호 < S1-1 > : 29,1/4지점 (외측거더)



단면제원(mm)			
b1	818	B1	2400
b2	791	B2	2400
b3	791	B3	6228
b4	-	H	1800
b5	-	t1	12
b6	400	t2	18
b7	100	t3	12
b2'	818.903	h1	1588.052
b3'	818.903	h2	1588.052
b4'	-	h3	100
b5'	-	h4	100
Θ1	15.0°	h5	211.948
Θ2	-	h6	211.948
복부판 Θ	0.0°	h7	-
Tcu	240	h8	-
Th	50		

피복두께(mm)	
tcu	60
tcl	40

보강리브 제원(mm)				유효폭 제원 (mm)				
상부리브	0	0	0	상부플랜지	400	상부바닥판	6228	n(상부)	7

강 재			
강 종	HSB500		
항복강도(플랜지)	F_{yf} =	380.0	MPa
항복강도(이음판)	F_{ys} =	380.0	MPa
인장강도	F_u =	500.0	MPa
탄성계수	E_s =	205000.0	MPa

볼 트			
볼트 등급	M22(F13T)		
공칭강도(볼트)	F_{nv} =	520.0	MPa
극한강도(볼트)	F_{ub} =	1000.0	MPa
볼트 구멍 크기	d_{hall} =	25.00	mm
표면상태 계수	K_s =	0.40	

(1) 이음부 작용 응력

1) 현장이음부 휨모멘트 및 전단력

Load	Moment (unfactored, N·mm)	Shear (unfactored, N)	비 고
DC1	4.846E+09	-1.593E+05	합성전 고정하중
DC2	1.069E+09	-3.963E+04	합성후 고정하중1
DW	9.879E+08	-3.508E+04	합성후 고정하중2
LL_{pos}	4.758E+09	-4.244E+05	활하중(+)
LL_{neg}	-9.838E+08	2.139E+05	활하중(-)
Fat_{pos}	1.730E+09	-1.652E+05	피로하중(+)
Fat_{neg}	-2.552E+08	9.012E+04	피로하중(-)
SD_{pos}	1.959E+08	-1.857E+04	지점침하(+)
SD_{neg}	-1.311E+08	1.243E+04	지점침하(-)

2) 플랜지 유효단면적 산정

① 상부플랜지(압축플랜지)

$A_g = B_f \cdot t_f = 7200 \ mm^2$

$\therefore A_e = A_g = 7200 \ mm^2$

② 하부플랜지(인장플랜지)

- $A_{g,L2} = B_{f,L2} \cdot t_f = 11026.8 \ mm^2$

  $A_{n,L2} = (B_{f,L2} - n \cdot d_{hole}) \cdot t_f = 8626.8 \ mm^2$ $n = 8$ ea

  $A_{e,L2} = \frac{\Phi_u \cdot F_u}{\Phi_y \cdot F_{yf}} \cdot A_{n,L2} = 9559 \ mm^2 < A_{g,L2} = 11027 \ mm^2$

  $\therefore A_{e,L2} = 9559 \ mm^2$

- $A_{g,C} = B_{f,C} \cdot t_f = 9816.0 \ mm^2$

  $A_{n,C} = (B_{f,C} - n \cdot d_{hole}) \cdot t_f = 7716.0 \ mm^2$ $n = 7$ ea

  $A_{e,C} = \frac{\Phi_u \cdot F_u}{\Phi_y \cdot F_{yf}} \cdot A_{n,C} = 8550 \ mm^2 < A_{g,C} = 9816 \ mm^2$

  $\therefore A_{e,C} = 8550 \ mm^2$

- $A_{g,R1} = B_{f,R1} \cdot t_f = 11026.8 \ mm^2$

  $A_{n,R1} = (B_{f,R1} - n \cdot d_{hole}) \cdot t_f = 8626.8 \ mm^2$ $n = 8$ ea

  $A_{e,R1} = \frac{\Phi_u \cdot F_u}{\Phi_y \cdot F_{yf}} \cdot A_{n,R1} = 9559 \ mm^2 < A_{g,R1} = 11027 \ mm^2$

  $\therefore A_{e,R1} = 9559 \ mm^2$

$A_g = B_f \cdot t_f = 31870 \ mm^2$

$A_n = (B_f - n \cdot d_{hole}) \cdot t_f = 24970 \ mm^2$ $n = 23$ ea

$A_e = \frac{\Phi_u \cdot F_u}{\Phi_y \cdot F_{yf}} \cdot A_n = 27667 \ mm^2 < A_g = 31870 \ mm^2$

$\therefore A_e = 27667 \ mm^2$

여기서, A_n : 6.8.3에 규정된 플랜지 순단면적 (mm^2)

$\Phi_u = 0.80$ (인장부재의 파단에 대한 강도저항계수)

$\Phi_y = 0.95$ (인장부재의 항복에 대한 강도저항계수)

$d_{hole} = 25.00$ mm (볼트구멍의 직경)

3) 단면계수 산정

① Section Properties for Gross Steel Section

Section	b(mm)	t(mm)	A(㎟)	d(mm)	A · d(㎟)	A · d^2(mm^4)	I_0(mm^4)	I(mm^4)
steel								
상부플랜지	400	18	14400	803	1.156E+07	9.285E+09	3.888E+05	9.286E+09
복부판(L)	1588	12	19057				4.005E+09	4.005E+09
복부판(R)	1588	12	19057				4.005E+09	4.005E+09
하부플랜지(L1)	-	-	-	-	-	-	-	-
하부플랜지(L2)	919	12	11027	-906	-9.990E+06	9.051E+09	1.323E+05	9.051E+09
하부플랜지(C)	818	12	9816	-1012	-9.934E+06	1.005E+10	1.178E+05	1.005E+10
하부플랜지(R1)	919	12	11027	-906	-9.990E+06	9.051E+09	1.323E+05	9.051E+09
하부플랜지(R2)	-	-	-	-	-	-	-	-
Total			84383		-1.835E+07			4.545E+10
d_s	-217						$I_{N.A}$	4.146E+10
Composite (3n)								
Steel			84383		-1.835E+07			4.545E+10
Con'c Slab	6228	240	71171	964	6.861E+07	6.614E+10	3.416E+08	6.648E+10
Total			155554		5.026E+07			1.119E+11
d_s	323						$I_{N.A}$	9.569E+10
Composite (n)								
Steel			84383		-1.835E+07			4.545E+10
Con'c Slab	6228	240	213514	964	2.058E+08	1.984E+11	1.025E+09	1.994E+11
Total			297897		1.875E+08			2.449E+11
d_s	629						$I_{N.A}$	1.269E+11
	d_{ts}	d_{bs}					S_{ts}	S_{bs}
Steel	-1029	589					4.027E+07	7.044E+07
Comp.(3n)	-489	1129					1.957E+08	8.475E+07
Comp.(n)	-183	1435					6.947E+08	8.842E+07

② Section Properties for Using Effective Top Flange Area of Steel Girder

Section	b(mm)	t(mm)	A(㎟)	d(mm)	A · d(㎟)	A · d^2(mm^4)	I_0(mm^4)	I(mm^4)
steel								
상부플랜지	400	18	14400	803	1.156E+07	9.285E+09	3.888E+05	9.286E+09
복부판(L)	1588	12	19057				4.005E+09	4.005E+09
복부판(R)	1588	12	19057				4.005E+09	4.005E+09
하부플랜지(L1)	-	-	-	-	-	-	-	-
하부플랜지(L2)	919	12	11027	-906	-9.990E+06	9.051E+09	1.323E+05	9.051E+09
하부플랜지(C)	818	12	9816	-1012	-9.934E+06	1.005E+10	1.178E+05	1.005E+10
하부플랜지(R1)	919	12	11027	-906	-9.990E+06	9.051E+09	1.323E+05	9.051E+09
하부플랜지(R2)	-	-	-	-	-	-	-	-
Total			84383		-1.835E+07			4.545E+10
d_s	-217						$I_{N.A}$	4.146E+10
Deck Steel								
Steel			84383		-1.835E+07			4.545E+10
Top Rein.			0	1024	0.000E+00	0.000E+00		0.000E+00
Bot Rein.			0	884	0.000E+00	0.000E+00		0.000E+00
Total			84383		-1.835E+07			4.545E+10
d_s	######						$I_{N.A}$	4.146E+10

Composite (3n)								
Steel			84383		-1.835E+07			4.545E+10
Con'c Slab	6228	240	71171	964	6.861E+07	6.614E+10	3.416E+08	6.648E+10
Total			155554		5.026E+07			1.119E+11
d_s	323						$I_{N.A}$	9.569E+10
Composite (n)								
Steel			84383		-1.835E+07			4.545E+10
Con'c Slab	6228	240	213514	964	2.058E+08	1.984E+11	1.025E+09	1.994E+11
Total			297897		1.875E+08			2.449E+11
d_s	629						$I_{N.A}$	1.269E+11
	d_{ts}	d_{bs}					S_{ts}	S_{bs}
Steel	-1029	589					4.027E+07	7.044E+07
Deck Steel	-1029	589					4.027E+07	7.044E+07
Comp.(3n)	-489	1129					1.957E+08	8.475E+07
Comp.(n)	-183	1435					6.947E+08	8.842E+07

③ Section Properties for Using Effective Bottom Flange Area of Steel Girder

Section	b(mm)	t(mm)	A(㎟)	d(mm)	A・d(㎟)	A・d^2(mm^4)	I_0(mm^4)	I(mm^4)
steel								
상부플랜지	400	18	14400	803	1.156E+07	9.285E+09	3.888E+05	9.286E+09
복부판(L)	1588	12	19057				4.005E+09	4.005E+09
복부판(R)	1588	12	19057				4.005E+09	4.005E+09
하부플랜지(L1)	-	-	-	-	-	-	-	-
하부플랜지(L2)	919	12	9559	-906	-8.660E+06	7.846E+09	1.323E+05	7.846E+09
하부플랜지(C)	818	12	8550	-1012	-8.652E+06	8.756E+09	1.178E+05	8.756E+09
하부플랜지(R1)	919	12	9559	-906	-8.660E+06	7.846E+09	1.323E+05	7.846E+09
하부플랜지(R2)	-	-	-	-	-	-	-	-
Total			80180		-1.441E+07			4.174E+10
d_s	-180						$I_{N.A}$	3.915E+10
Deck Steel								
Steel			80180		-1.441E+07			4.174E+10
Top Rein.			0	1024	0.000E+00	0.000E+00		0.000E+00
Bot Rein.			0	884	0.000E+00	0.000E+00		0.000E+00
Total			80180		-1.441E+07			4.174E+10
d_s	######						$I_{N.A}$	3.915E+10
Composite (3n)								
Steel			80180		-1.441E+07			4.174E+10
Con'c Slab	6228	240	71171	170	1.210E+07	2.057E+09	3.416E+08	2.398E+09
Total			151352		-2.310E+06			4.414E+10
d_s	-15						$I_{N.A}$	4.411E+10

Composite (n)								
Steel			80180		-1.441E+07			4.174E+10
Con'c Slab	6228	240	213514	170	3.630E+07	6.171E+09	1.025E+09	7.195E+09
Total			293695		2.189E+07			4.894E+10
d_s	75						$I_{N.A}$	4.731E+10
	d_{ts}	d_{bs}					S_{ts}	S_{bs}
Steel	-992	626					3.948E+07	6.252E+07
Deck Steel	-992	626					3.948E+07	6.252E+07
Comp.(3n)	-827	791					5.332E+07	5.578E+07
Comp.(n)	-737	881					6.415E+07	5.373E+07

※ 극한한계상태 검토시는 유효 상·하부 플랜지 계수를 사용하고, 사용한계상태 및 피로한계상태 검토시는 Gross Section Properties 사용

4) 플랜지 응력 산정 (Tension : + , Compression : -)

① 상부플랜지

- Calculate Unfactored Stress

・Gross Section

$ft_{DC1,nc} = -M_{DC1} / S_{topsteel} = -120.32$ MPa

$ft_{DC2,3n} = -M_{DC2} / S_{top,3n} = -5.46$ MPa

$ft_{DW,3n} = -M_{DW} / S_{top,3n} = -5.05$ MPa

$ft_{LP,n} = -M_{LL,pos} / S_{top,n} = -6.85$ MPa

$ft_{LN,n} = -M_{LL,neg} / S_{top,n} = 1.42$ MPa

$ft_{SDP,n} = -M_{SD,pos} / S_{top,n} = -0.28$ MPa

$ft_{SDN,n} = -M_{SD,neg} / S_{top,n} = 0.19$ MPa

$ft_{FP,n} = -M_{Fat,pos} / S_{top,n} = -2.49$ MPa

$ft_{FN,n} = -M_{Fat,neg} / S_{top,n} = 0.37$ MPa

・Effective Section

$ft_{DC1,nc} = -M_{DC1} / S_{topsteel} = -120.32$ MPa

$ft_{DC2,3n} = -M_{DC2} / S_{top,3n} = -5.46$ MPa

$ft_{DC2,rein} = -M_{DC2} / S_{top,rein} = -26.53$ MPa

$ft_{DW,3n} = -M_{DW} / S_{top,3n} = -5.05$ MPa

$ft_{DW,rein} = -M_{DW} / S_{top,rein} = -24.53$ MPa

$ft_{LP,n} = -M_{LL,pos} / S_{top,n} = -6.85$ MPa

$ft_{LP,rein} = -M_{LL,pos} / S_{top,rein} = -118.14$ MPa

$ft_{LN,n} = -M_{LL,neg} / S_{top,n} = 1.42$ MPa

$ft_{LN,nc} = -M_{LL,neg} / S_{top,steel} = 24.43$ MPa

$ft_{SDP,n} = -M_{SD,pos} / S_{top,n} = -0.28$ MPa

$ft_{SDN,n} = -M_{SD,neg} / S_{top,nc} = 0.19$ MPa

$ft_{FP,n} = -M_{Fat,pos} / S_{top,n} = -2.49$ MPa

$ft_{FN,n} = -M_{Fat,neg} / S_{top,n} = 0.37$ MPa

- Calculate factored Stress

  ·극한한계상태 I (η = 0.95)

Dead + Positive LL

하중 계수											Stress (MPa)
$ft_{DC1,nc}$	$ft_{DC2,3n}$	$ft_{DC2,rein}$	$ft_{DW,3n}$	$ft_{DW,rein}$	$ft_{LP,n}$	$ft_{LP,rein}$	$ft_{LN,n}$	$ft_{LN,nc}$	$ft_{SDP,n}$	$ft_{SDN,n}$	
1.25	1.25		1.50		1.80						-168.27
0.90	0.90		1.50		1.80						-126.45
1.25	1.25		0.65		1.80						-164.19
0.90	0.90		0.65		1.80						-122.37
1.25	1.25				1.80						-161.08
0.90	0.90				1.80						-119.26
1.25	1.25		1.50		1.80				1.00		-168.54
0.90	0.90		1.50		1.80				1.00		-126.72
1.25	1.25		0.65		1.80				1.00		-164.46
0.90	0.90		0.65		1.80				1.00		-122.64
1.25	1.25				1.80				1.00		-161.35
0.90	0.90				1.80				1.00		-119.52
적용 응력											**-168.5**

Dead + Negative LL

하중 계수											Stress (MPa)
$ft_{DC1,nc}$	$ft_{DC2,3n}$	$ft_{DC2,rein}$	$ft_{DW,3n}$	$ft_{DW,rein}$	$ft_{LP,n}$	$ft_{LP,rein}$	$ft_{LN,n}$	$ft_{LN,nc}$	$ft_{SDP,n}$	$ft_{SDN,n}$	
1.25	1.25		1.50					1.80			-114.78
0.90	0.90		1.50					1.80			-72.96
1.25	1.25		0.65					1.80			-110.71
0.90	0.90		0.65					1.80			-68.89
1.25	1.25							1.80			-107.59
0.90	0.90							1.80			-65.77
1.25	1.25		1.50					1.80		1.00	-114.61
0.90	0.90		1.50					1.80		1.00	-72.78
1.25	1.25		0.65					1.80		1.00	-110.53
0.90	0.90		0.65					1.80		1.00	-68.71
1.25	1.25							1.80		1.00	-107.41
0.90	0.90							1.80		1.00	-65.59
적용 응력											**-114.8**

・사용한계상태 II (η = 1.00)

Dead + Positive LL

하중 계수							Stress (MPa)
$ft_{DC1,nc}$	$ft_{DC2,3n}$	$ft_{DW,3n}$	$ft_{LP,n}$	$ft_{LN,n}$	$ft_{SDP,n}$	$ft_{SDN,n}$	
1.00	1.00	1.00	1.30		1.00		-140.02
1.00	1.00		1.00		1.00		-132.91
적용 응력							**-140.0**

Dead + Negative LL

하중 계수							Stress (MPa)
$ft_{DC1,nc}$	$ft_{DC2,3n}$	$ft_{DW,3n}$	$ft_{LP,n}$	$ft_{LN,n}$	$ft_{SDP,n}$	$ft_{SDN,n}$	
1.00	1.00	1.00		1.30		1.00	-128.80
1.00	1.00			1.00		1.00	-124.18
적용 응력							**-128.8**

・피로한계상태 (η = 1.00)

Positive LL = $\eta(0.75ft_{FP,n})$ = -1.87 MPa

Negative LL = $\eta(0.75ft_{FN,n})$ = 0.28 MPa

② 하부플랜지

- Calculate Unfactored Stress

・Gross Section

$fb_{DC1,nc} = M_{DC1} / S_{botsteel}$ = 68.79 MPa

$fb_{DC2,3n} = M_{DC2} / S_{bot,3n}$ = 12.61 MPa

$fb_{DW,3n} = M_{DW} / S_{bot,3n}$ = 11.66 MPa

$fb_{LP,n} = M_{LL,pos} / S_{bot,n}$ = 53.81 MPa

$fb_{LN,n} = M_{LL,neg} / S_{bot,n}$ = -11.13 MPa

$fb_{SDP,n} = M_{SD,pos} / S_{bot,n}$ = 2.22 MPa

$fb_{SDN,n} = M_{SD,neg} / S_{bot,n}$ = -1.48 MPa

$fb_{FP,n} = M_{Fat,pos} / S_{bot,n}$ = 19.57 MPa

$fb_{FN,n} = M_{Fat,neg} / S_{bot,n}$ = -2.89 MPa

・Effective Section

$fb_{DC1,nc} = M_{DC1} / S_{botsteel}$ = 77.51 MPa

$fb_{DC2,3n} = M_{DC2} / S_{bot,3n}$ = 19.16 MPa

$fb_{DC2,rein} = M_{DC2} / S_{bot,rein}$ = 15.17 MPa

$fb_{DW,3n} = M_{DW} / S_{bot,3n}$ = 17.71 MPa

$fb_{DW,rein} = M_{DW} / S_{bot,rein}$ = 14.02 MPa

$fb_{LP,n} = M_{LL,pos} / S_{bot,n}$ = 88.56 MPa

$fb_{LP,rein} = M_{LL,pos} / S_{bot,rein}$ = 67.54 MPa

$fb_{LN,n} = M_{LL,neg} / S_{bot,n}$ = -18.31 MPa

$fb_{LN,nc} = M_{LL,neg} / S_{bot,steel}$ = -15.74 MPa

$fb_{SDP,n} = M_{SD,pos} / S_{bot,n}$ = 3.65 MPa

$fb_{SDN,n} = M_{SD,neg} / S_{bot,n}$ = -2.44 MPa

- Calculate factored Stress

  ・극한한계상태 I (η = 0.95)

Dead + Positive LL

하중 계수											Stress (MPa)
$fb_{DC1,nc}$	$fb_{DC2,3n}$	$fb_{DC2,rein}$	$fb_{DW,3n}$	$fb_{DW,rein}$	$fb_{LP,n}$	$fb_{LP,rein}$	$fb_{LN,n}$	$fb_{LN,nc}$	$fb_{SDP,n}$	$fb_{SDN,n}$	
1.25	1.25		1.50		1.80						291.47
0.90	0.90		1.50		1.80						259.32
1.25	1.25		0.65		1.80						277.16
0.90	0.90		0.65		1.80						245.02
1.25	1.25				1.80						266.23
0.90	0.90				1.80						234.09
1.25	1.25		1.50		1.80				1.00		294.93
0.90	0.90		1.50		1.80				1.00		262.79
1.25	1.25		0.65		1.80				1.00		280.63
0.90	0.90		0.65		1.80				1.00		248.49
1.25	1.25				1.80				1.00		269.69
0.90	0.90				1.80				1.00		237.55
적용 응력											**294.93**

Dead + Negative LL

하중 계수											Stress (MPa)
$fb_{DC1,nc}$	$fb_{DC2,3n}$	$fb_{DC2,rein}$	$fb_{DW,3n}$	$fb_{DW,rein}$	$fb_{LP,n}$	$fb_{LP,rein}$	$fb_{LN,n}$	$fb_{LN,nc}$	$fb_{SDP,n}$	$fb_{SDN,n}$	
1.25	1.25		1.50					1.80			113.12
0.90	0.90		1.50					1.80			80.98
1.25	1.25		0.65					1.80			98.82
0.90	0.90		0.65					1.80			66.68
1.25	1.25							1.80			87.88
0.90	0.90							1.80			55.74
1.25	1.25		1.50					1.80		1.00	110.80
0.90	0.90		1.50					1.80		1.00	78.66
1.25	1.25		0.65					1.80		1.00	96.50
0.90	0.90		0.65					1.80		1.00	64.36
1.25	1.25							1.80		1.00	85.56
0.90	0.90							1.80		1.00	53.42
적용 응력											**113.12**

・사용한계상태 II (η = 1.00)

Dead + Positive LL

하중 계수							Stress (MPa)
$fb_{DC1,nc}$	$fb_{DC2,3n}$	$fb_{DW,3n}$	$fb_{LP,n}$	$fb_{LN,n}$	$fb_{SDP,n}$	$fb_{SDN,n}$	
1.00	1.00	1.00	1.30		1.00		165.22
1.00	1.00		1.00		1.00		137.42
적용 응력							**165.22**

Dead + Negative LL

하중 계수							Stress (MPa)
$fb_{DC1,nc}$	$fb_{DC2,3n}$	$fb_{DW,3n}$	$fb_{LP,n}$	$fb_{LN,n}$	$fb_{SDP,n}$	$fb_{SDN,n}$	
1.00	1.00	1.00		1.30		1.00	77.10
1.00	1.00			1.00		1.00	68.78
적용 응력							**77.10**

・피로한계상태 (η = 1.00)

Positive LL = η($0.75fb_{FP,n}$) = 14.68 MPa

Negative LL = η($0.75fb_{FN,n}$) = -2.16 MPa

③ 응력산정치 요약 (Tension : + , Compression : -)

하중조합	Component	Dead + Pos.LL	Dead + Neg.LL
극한한계상태 I	상부플랜지	-168.54	-114.78
	하부플랜지	294.93	113.12
사용한계상태 II	상부플랜지	-140.02	-128.80
	하부플랜지	165.22	77.10
피로한계상태		Pos.LL	Neg.LL
	상부플랜지	-1.87	0.28
	하부플랜지	14.68	-2.16

※ Controlling flange : Positive LL 인 경우 → 하부플랜지

Negative LL 인 경우 → 상부플랜지

5) 최소 설계하중 결정

① 극한한계상태 Controlling flange의 최소 설계하중

$$F_{cf} = \frac{(\,|f_{cf}/R_h| + \alpha \cdot \Phi_f \cdot F_{yf}\,)}{2} \geq 0.75 \cdot \alpha \cdot \Phi_f \cdot F_{yf}$$

여기서, f_{cf} = 이음점에서 설계하중에 의한 제어플랜지 두께 중심에서의 최대 휨응력

R_h = 1.0 : 6.10.4.3(1)에 하이브리드단면 플랜지 강도감소계수

α = 1.0 : 단, F_n이 F_{yt}보다 작은 비조밀단면의 플랜지에 대해 1.0보다 작은 (F_n/F_{yf}) 의 값을 사용할수 있다.

F_n = 플랜지의 공칭 휨강도

F_{yf} = 플랜지의 항복강도

・Positive LL인 경우

$f_{cf,p}$ = 294.93

R_h = 1.0 α = 1.0 Φ_f = 1 F_{yf} = 380.0 MPa

$$F_{cf,P1} = \frac{(\,|294.93/1.0| + 1.0 \times 1.0 \times 380.0\,)}{2} = 337.47 \text{ MPa}$$

$F_{cf,P2}$ = 0.75 x 1.0 x 1.0 x 380.0 = 285.00 MPa

$F_{cf,P}$ = max (337.47 , 285.00) = 337.47 MPa

∴ 최소설계하중 $P_{cu,P} = F_{cf,P} \times A_{eb}$ = 337.5 x 8549.6 = 2,885,186 N

= 2.885E+06 N

・Negative LL인 경우

Fcf,N1 = -114.78

R_h = 1.0 α = 1.0 Φ_f = 1 F_{yf} = 380.0 MPa

$$F_{cf,n1} = \frac{(\,|-114.78/1.0| + 1.0 \times 1.0 \times 380.0\,)}{2} = 247.39 \text{ MPa}$$

$F_{cf,n2}$ = 0.75 x 1.0 x 1.0 x 380.0 = 285.00 MPa

$F_{cf,n}$ = max (247.39 , 285.00) = 285.00 MPa

∴ 최소설계하중 $P_{cu,P} = F_{cf,P} \times A_{eb}$ = 285.0 x 7200.0 = 2,052,000 N

= 2.052E+06 N

・Conrolling flange 설계하중 요약표

Load Case	Location	극한한계상태 I				
		f_{cf}(MPa)	F_{cf}(MPa)	A_s(mm^2)	P_{cu}(N)	비고
Dead + Pos.LL	하부플랜지(L2)	294.93	337.47	9558.827	3.226E+06	인장
	하부플랜지(C)	294.93	337.47	8549.584	2.885E+06	인장
	하부플랜지(R1)	294.93	337.47	9558.827	3.226E+06	인장
Dead + Neg.LL	상부플랜지	-114.78	285.00	7200.000	2.052E+06	압축
	상부플랜지	-114.78	285.00	7200.000	2.052E+06	압축
	상부플랜지	-114.78	285.00	7200.000	2.052E+06	압축

② 극한한계상태 Noncontrolling flange의 최소 설계하중

$$F_{ncf} = R_{cf}\left|\frac{f_{ncf}}{R_h}\right| \geq 0.75 \cdot \alpha \cdot \Phi_f \cdot F_{yf}$$

여기서, R_{cf} = 제어플랜지의 f_{cf}에 대한 F_{cf}의 비의 절대값

f_{ncf} = f_{nf}와 동일한 이음점에서의 비제어 플랜지 두께 중앙점의 설계휨응력

R_h = 1.0 : 6.10.4.3(1)에 하이브리드단면 플랜지 강도감소계수

α = 1.0 : 단, F_n이 F_{yt}보다 작은 비조밀단면의 플랜지에 대해 1.0보다 작은 (F_n/F_{yf}) 의 값을 사용할수 있다.

・Positive LL인 경우

$f_{ncf,p}$ = -168.54

R_h = 1.0 α = 1.0 Φ_f = 1 F_{yf} = 380.0 MPa

$$R_{cf,P} = \left|\frac{F_{cf,P}}{f_{cf,P}}\right| = \left|\frac{337.5}{294.9}\right| = 1.144$$

$$F_{ncf,P1} = 1.144 \times \left|\frac{-168.5}{1.0}\right| = 192.845 \text{ MPa}$$

$F_{ncf,P2}$ = 0.75 x 1.0 x 1.0 x 380.0 = 285.00 MPa

$F_{ncf,P}$ = max (192.85 , 285.00) = 285.00 MPa

∴ 최소설계하중 $P_{ncu,P} = F_{ncf,P} \times A_{et}$ = 285.0 x 7200.0 = 2,052,000 N

= 2.052E+06 N

・Negative LL인 경우

$f_{ncf,N}$ = 113.12

R_h = 1.0 α = 1.0 Φ_f = 1 F_{yf} = 380.0 MPa

$$R_{cf,N} = \left|\frac{F_{cf,N}}{f_{cf,N}}\right| = \left|\frac{285.0}{-114.8}\right| = 2.48$$

$$F_{ncf,N1} = 2.48 \times \left|\frac{113.1}{1.0}\right| = 280.869 \text{ MPa}$$

$F_{ncf,N2}$ = 0.75 x 1.0 x 1.0 x 380.0 = 285.00 MPa

$F_{ncf,N}$ = max (280.87 , 285.00) = 285.00 MPa

∴ 최소설계하중 $P_{ncu,N} = F_{ncf,N} \times A_{eb}$ = 285.0 x 8549.6 = 2,436,632 N

= 2.437E+06 N

・Nonconrolling flange 설계하중 요약표

Load Case	Location	극한한계상태 I				
		f_{ncf}(MPa)	F_{ncf}(MPa)	A_s(mm^2)	P_{ncu}(N)	비고
Dead + Pos.LL	상부플랜지	-168.54	285.00	7200.000	2.052E+06	압축
Dead + Neg.LL	하부플랜지	113.12	285.00	0.000	0.000E+00	인장
Dead + Neg.LL	하부플랜지	113.12	285.00	9558.827	2.724E+06	인장
Dead + Neg.LL	하부플랜지	113.12	285.00	8549.584	2.437E+06	인장
Dead + Neg.LL	하부플랜지	113.12	285.00	9558.827	2.724E+06	인장
Dead + Neg.LL	하부플랜지	113.12	285.00	0.000	0.000E+00	인장

③ 사용한계상태 플랜지 작용하중

$$F_s = \frac{f_s}{R_h}$$

설계하중	Location	F_s(MPa)	A_s(mm^2)	P_s(N)
Dead + Pos.LL	상부플랜지	-140.02	7200.000	-1.008E+06
	하부플랜지	165.22	9558.827	1.579E+06
	하부플랜지	165.22	8549.584	1.413E+06
	하부플랜지	165.22	9558.827	1.579E+06
Dead + Neg.LL	상부플랜지	-128.80	7200.000	-9.274E+05
	하부플랜지	77.10	9558.827	7.370E+05
	하부플랜지	77.10	8549.584	6.592E+05
	하부플랜지	77.10	9558.827	7.370E+05

④ 피로한계상태 응력

$$\triangle f = |f_{s,pos}| + |f_{s,neg}|$$

Location	△f(MPa)
상부플랜지	2.144
하부플랜지	16.841

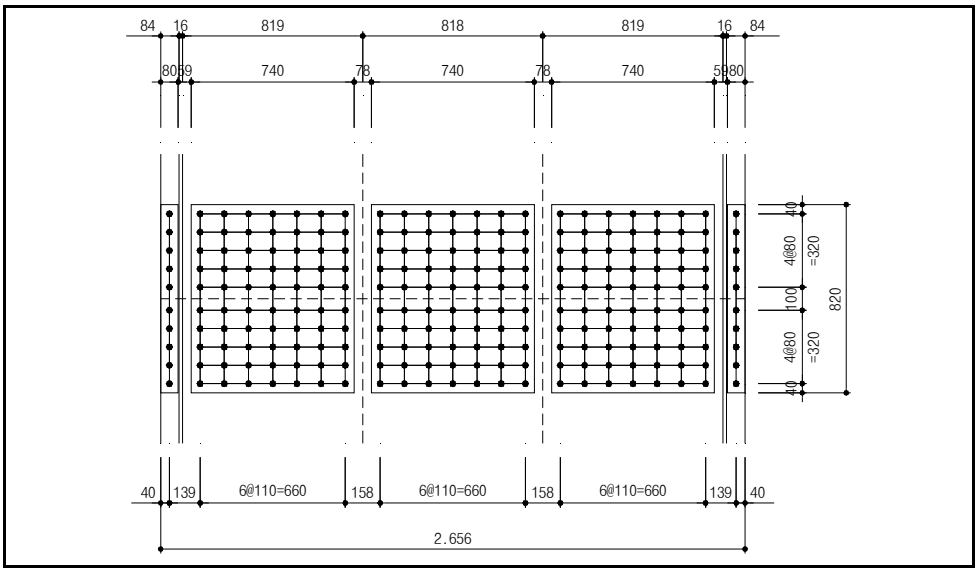
(2) 인장 플랜지 이음부 설계

1) 설계조건

① 단면 제원

제 원		내측-측면 이음판				내측-중앙 이음판			
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이
2400	12	0	80	10	820	1	740	10	820

외측 이음판				볼트 개수		
개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
1	818	10	820	5	7	35



② 재료 제원

강 재					볼 트				
강 종	HSB500				볼트 등급	M22(F13T)			
항복강도(플랜지)	F_{yf}	=	380.000	MPa	공칭강도(볼트)	F_{nv}	=	520.000	kN
항복강도(이음판)	F_{ys}	=	380.000	MPa	극한강도(볼트)	F_{ub}	=	1000.000	MPa
인장강도	F_u	=	500.000	MPa	볼트 구멍 크기	d_{hall}	=	25.00	mm
탄성계수	E_s	=	205000.0	MPa	표면상태 계수	K_s	=	0.40	

- 내외측 이음판 단면적

	내측이음판		외측이음판	
	전단면적	순단면적	전단면적	순단면적
	A_{g-in}	A_{n-in}	A_{g-out}	A_{n-out}
하부플랜지(L2)	9300.000	7300.000	9189.035	7439.035
하부플랜지(C)	7400.000	5650.000	8180.000	6180.000
하부플랜지(R1)	9300.000	7300.000	9189.035	9189.035

2) 이음판 항복 및 파단 검토

① 인장강도 검토

- 전단면 항복 검토

$P_{cu}' = 0.5 \cdot P_{cu} = 1612.885$ kN

$P_{r-in} = \Phi_y \cdot F_{ys} \cdot A_{g-in} = 2671.400$ kN $\geq P_{cu}' = 1612.885$ kN ... **O.K**

$P_{r-out} = \Phi_y \cdot F_{ys} \cdot A_{g-out} = 2952.980$ kN $\geq P_{cu}' = 1612.885$ kN ... **O.K**

- 순단면 파괴 검토

$P_{r-in} = \Phi_u \cdot F_u \cdot A_{n-in} \cdot U = 2260.000\ kN \geq P_{cu}' = 1612.885\ kN$ ... 0.K

$P_{r-out} = \Phi_u \cdot F_u \cdot A_{n-out} \cdot U = 2472.000\ kN \geq P_{cu}' = 1612.885\ kN$ ... 0.K

여기서, Φ_y = 0.95 (인장부재의 항복에 대한 강도저항계수)

Φ_u = 0.80 (인장부재의 파단에 대한 강도저항계수)

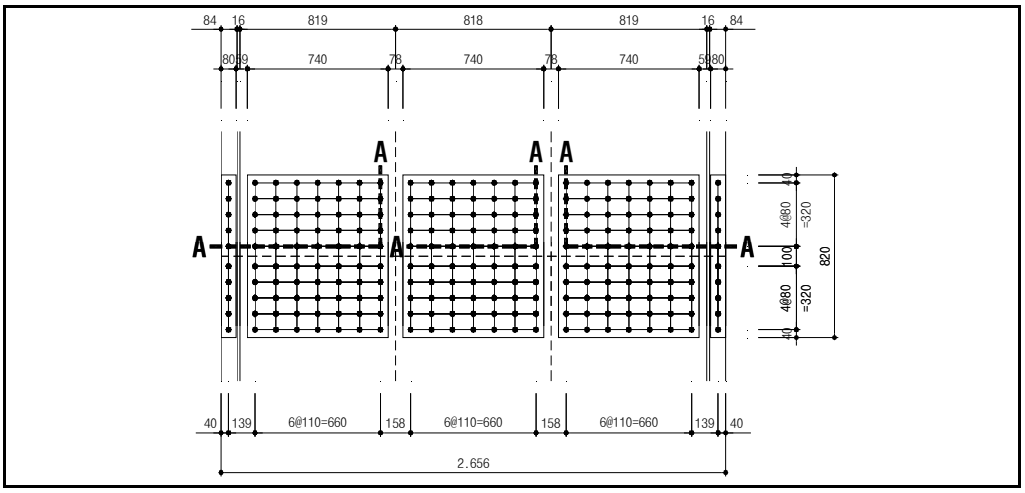
U = 1.00 (전단지연을 고려하기 위한 감소계수)

	전단면 항복 검토				순단면 파괴 검토			
	P_{r-in}	판정	P_{r-out}	판정	P_{r-in}	판정	P_{r-out}	판정
하부플랜지(L2)	3357.3	0.K	3317.2	0.K	2920.0	0.K	2975.6	0.K
하부플랜지(C)	2671.4	0.K	2953.0	0.K	2260.0	0.K	2472.0	0.K
하부플랜지(R1)	3357.3	0.K	3317.2	0.K	2920.0	0.K	3675.6	0.K

3) 블록전단파괴강도 검토

- 외측 이음판

i . Failure Mode 1



$A_{vg} = L_{vg} \cdot t_{s-in} = (40 \cdot 1 + 80 \cdot 4) \cdot 10$

$= 3600.00\ mm^2$

$A_{vn} = L_{vn} \cdot t_{s-in} = (360 - 25.0 \cdot 4.5) \cdot 10$

$= 2475.00\ mm^2$

$A_{tg} = L_{tg} \cdot t_{s-in} = (40 \cdot 1 + 110 \cdot 6) \cdot 10$

$= 7000.00\ mm^2$

$A_{tn} = L_{tn} \cdot t_{s-in} = (700 - 25.0 \cdot 6.5) \cdot 10$

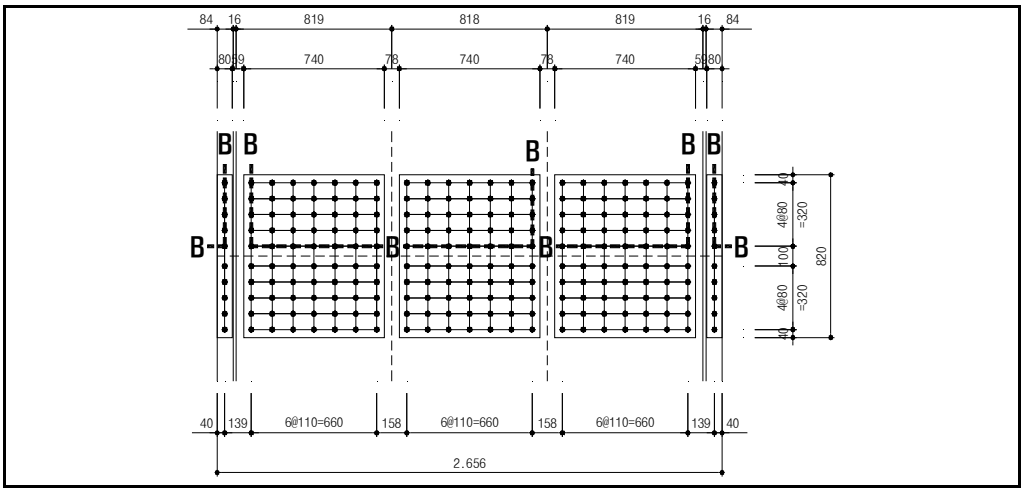
$= 5375.00\ mm^2$

$R_n = \Phi_{bs} \cdot [(0.58 \cdot F_u \cdot A_{vn} + U_{bs} \cdot F_y \cdot A_{tn}) \leq (0.58 \cdot F_y \cdot A_{vg} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{tn})]$

$= 2208.20\ kN \geq P_{cu}' = 1612.88\ kN$ ... 0.K

외측이음판	Failure Mode 1					
	A_{vg}	A_{vn}	A_{tg}	A_{tn}	R_n	판정
하부플랜지(L2)	3600.00	2475.00	9500.00	7625.00	2892.20	0.K
하부플랜지(C)	3600.00	2475.00	7000.00	5375.00	2208.20	0.K
하부플랜지(R1)	3600.00	2475.00	9500.00	7625.00	2892.20	0.K

ii. Failure Mode 2



$A_{vg} = L_{vg} \cdot t_{s-in} = (40 \cdot 1 + 80 \cdot 4) \cdot 1 \cdot 10$

$= 3600.00 \ mm^2$

$A_{vn} = L_{vn} \cdot t_{s-in} = (360 - 25.0 \cdot 4.5) \cdot 1 \cdot 10$

$= 2475.00 \ mm^2$

$A_{tg} = L_{tg} \cdot t_{s-in} = (40 \cdot 1 + 110 \cdot 6) \cdot 10$

$= 7000.00 \ mm^2$

$A_{tn} = L_{tn} \cdot t_{s-in} = (700 - 25.0 \cdot 6.5) \cdot 10$

$= 5375.00 \ mm^2$

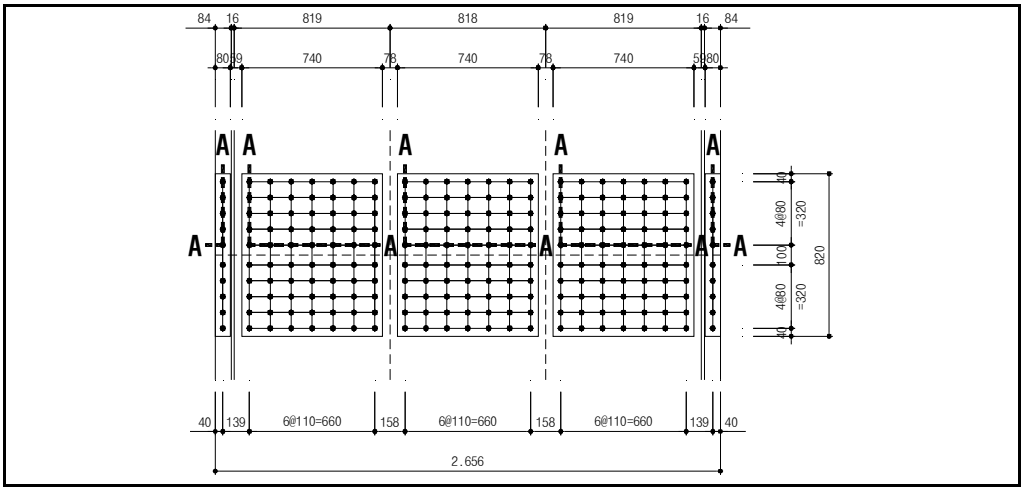
$R_n = \Phi_{bs} \cdot [(0.58 \cdot F_u \cdot A_{vn} + U_{bs} \cdot F_y \cdot A_{tn}) \leq (0.58 \cdot F_y \cdot A_{vg} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{tn})]$

$= 2208.20 \ kN \geq P_{cu}' = 1612.88 \ kN$ ... **O.K**

외측이음판	Failure Mode 2					
	A_{vg}	A_{vn}	A_{tg}	A_{tn}	R_n	판정
하부플랜지(L2)	7200.00	4950.00	8500.00	6625.00	3162.40	**O.K**
하부플랜지(C)	3600.00	2475.00	7000.00	5375.00	2208.20	**O.K**
하부플랜지(R1)	7200.00	4950.00	8500.00	6625.00	3162.40	**O.K**

- 내측 이음판

i . Failure Mode 1



$A_{vg} = L_{vg} \cdot t_{s-in} = (40 \cdot 1 + 80 \cdot 4) \cdot 1 \cdot 10$

$= 3600.00 \ mm^2$

$A_{vn} = L_{vn} \cdot t_{s-in} = (360 - 25.0 \cdot 4.5) \cdot 1 \cdot 10$

$= 2475.00 \ mm^2$

$A_{tg} = L_{tg} \cdot t_{s-in} = (40 \cdot 1 + 110 \cdot 6) \cdot 10$

$= 7000.00 \ mm^2$

$A_{tn} = L_{tn} \cdot t_{s-in} = (700 - 25.0 \cdot 6.5) \cdot 10$

$= 5375.00 \ mm^2$

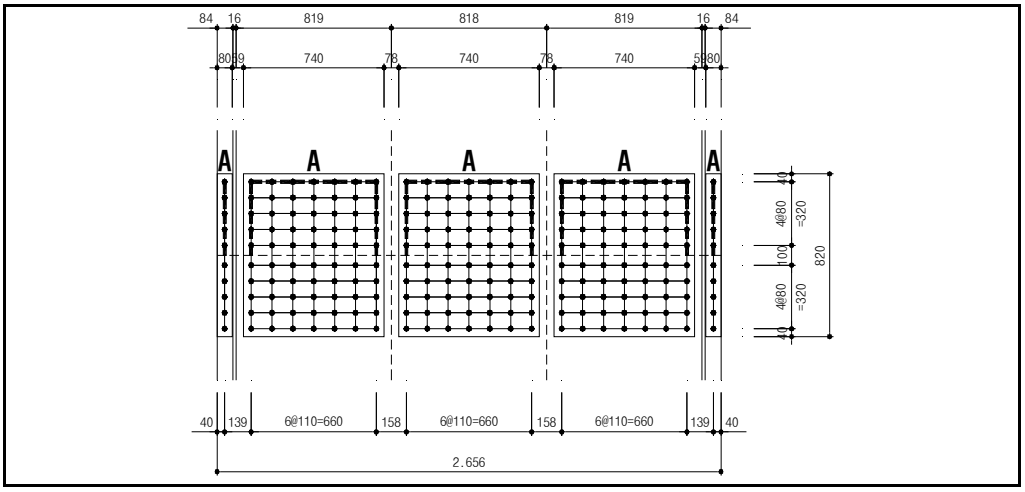
$R_n = \Phi_{bs} \cdot [(0.58 \cdot F_u \cdot A_{vn} + U_{bs} \cdot F_y \cdot A_{tn}) \leq (0.58 \cdot F_y \cdot A_{vg} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{tn})]$

$= 2208.20 \ kN \geq P_{cu}' = 1612.88 \ kN$ ... **O.K**

내측이음판	Failure Mode 1					
	A_{vg}	A_{vn}	A_{tg}	A_{tn}	R_n	판정
하부플랜지(L2)	7200.00	4950.00	8500.00	6625.00	3162.40	**O.K**
하부플랜지(C)	3600.00	2475.00	7000.00	5375.00	2208.20	**O.K**
하부플랜지(R1)	7200.00	4950.00	8500.00	6625.00	3162.40	**O.K**

- 플랜지

i . Failure Mode 1



$A_{vg} = L_{vg} \cdot t_{s-in} = 2 (4 \cdot 80 + 50) \cdot 12$

$= 8880.00 \ mm^2$

$A_{vn} = L_{vn} \cdot t_{s-in} = 2 (4 \cdot 80 + 50 - 4.5 \cdot 25.0) \cdot 12$

$= 6180.00 \ mm^2$

$A_{tg} = L_{tg} \cdot t_{s-in} = 1 \cdot (110 \cdot 6) \cdot 12$

$= 7920.00 \ mm^2$

$A_{tn} = L_{tn} \cdot t_{s-in} = 1 \cdot (110 \cdot 6 - 6 \cdot 25.0) \cdot 12$

$= 6120.00 \ mm^2$

$R_n = \Phi_{bs} \cdot [(0.58 \cdot F_u \cdot A_{vn} + U_{bs} \cdot F_y \cdot A_{tn}) \leq (0.58 \cdot F_y \cdot A_{vg} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{tn})]$

$= 3294.24 \ kN \geq P_{cu} = 2885.19 \ kN$ ... **O.K**

여기서, A_{vg} : 전단력에 저항하는 단면의 전단면적 (mm^2)

A_{vn} : 전단력에 저항하는 단면의 순단면적 (mm^2)

A_{tg} : 인장력에 저항하는 단면의 전단면적 (mm^2)

A_{tn} : 인장력에 저항하는 단면의 순단면적 (mm^2)

Φ_{bs} = 0.80 (블록 전단에 대한 대한 강도저항계수)

플랜지	Failure Mode 1					
	A_{vg}	A_{vn}	A_{tg}	A_{tn}	R_n	판정
하부플랜지(L2)	13320.00	9270.00	9240.00	7140.00	4321.20	**O.K**
하부플랜지(C)	8880.00	6180.00	7920.00	6120.00	3294.24	**O.K**
하부플랜지(R1)	13320.00	9270.00	9240.00	7140.00	4321.20	**O.K**

4) 연결볼트 검토

① 볼트 간격 검토

- 최소 간격검토

$S_{lim} = 3 \cdot d_{bolt} =$ 66.000 mm $\leq S_{min} =$ 80.000 mm ... 0.K

- 최소 연단거리 검토

$e_{min} =$ 40.000 mm $\geq e_{lim} =$ 38.000 mm ... 0.K

- 최대 연단거리 검토

$e_{lim} = \min(12 \cdot t, 150) =$ 120.000 mm $\geq e_{max} =$ 40.000 mm ... 0.K

여기서, t : 외측판 또는 형강의 얇은 쪽 두께 (mm)

e_{lim} : 최소 연단거리 (mm)

② 전단강도 검토

$A_b = \pi \cdot d^2/4 =$ 380.133 mm^2

$R_n = F_n \cdot A_b \cdot N_s =$ 395.34 kN

$R_r = \Phi_t \cdot R_n =$ 316.270 kN

$\therefore N_{req} = P_{cu} / R_r =$ 10 ea $< N_{used} =$ 35 ea ... 0.K

여기서, A_b : 공칭직경에 의한 볼트 단면적

$\Phi_t =$ 0.8 (전단력을 받는 고장력 볼트의 강도저항계수)

③ 마찰접합의 미끄럼강도 검토

$R_n = \mu \cdot h_f \cdot T_0 \cdot N_s =$ 237.600 kN

$R_r = \Phi \cdot R_n =$ 237.600 kN

$P_s =$ 1579.335 kN

$\therefore N_{req} = P_s / R_r =$ 7 ea $< N_{used} =$ 35 ea ... 0.K

여기서, $\Phi =$ 1 (마찰강도 저항계수)

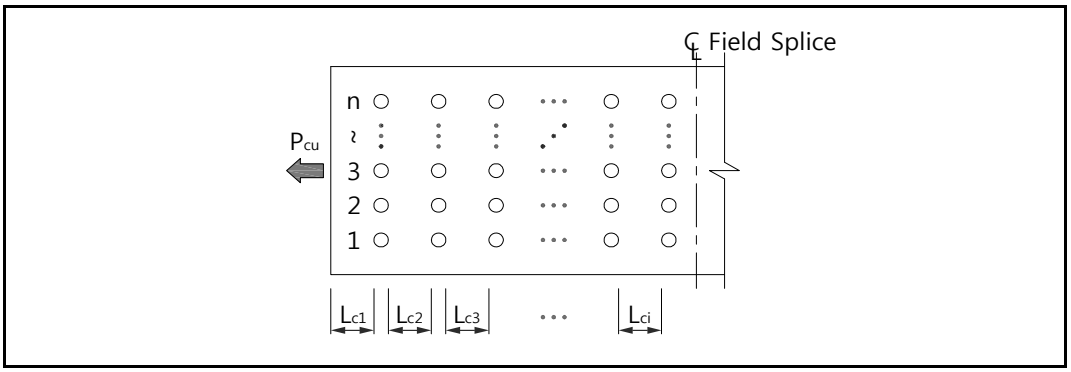
$N_s =$ 2 (전단면의 수)

$\mu =$ 0.45 (미끄럼계수)

$h_f =$ 1.00 (끼움재 계수)

$T_0 =$ 264 kN (설계볼트장력)

④ 볼트구멍의 지압강도 검토



- 내측 이음판 검토

L_{c1} = 40.000 − d_{hole} / 2 = 27.500 mm < 2 · d = 50.000 mm

L_{c2} = 80.000 − d_{hole} = 55.000 mm ≥ 2 · d = 50.000 mm

$R_{c1} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c1} \cdot t_{s-in} \cdot F_u)$ = 7 x 165.000 = 1155.0 kN

$R_{c2} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c2} \cdot t_{s-in} \cdot F_u)$ = 7 x 300.000 = 2100.0 kN x 4

$R_n = \sum R_{n\_row}$ = 9555.0 kN

$R_r = \Phi_{bb} \cdot R_n$ = 7644.0 kN > P_{cu}' = 1612.885 kN ... 0.K

- 외측 이음판 검토

L_{c1} = 40.000 − d_{hole} / 2 = 27.500 mm < 2 · d = 50.000 mm

L_{c2} = 80.000 − d_{hole} = 55.000 mm ≥ 2 · d = 50.000 mm

$R_{c1} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c1} \cdot t_{s-out} \cdot F_u)$ = 7 x 165.000 = 1155.000 kN

$R_{c2} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c2} \cdot t_{s-out} \cdot F_u)$ = 7 x 300.000 = 2100.000 kN x 4

$R_n = \sum R_{n\_row}$ = 9555.0 kN

$R_r = \Phi_{bb} \cdot R_n$ = 7644.0 kN > P_{cu}' = 1612.885 kN ... 0.K

- 플랜지 검토

L_{c1} = 50.000 − d_{hole}/2 = 37.500 mm < 2 · d = 50.000 mm

L_{c2} = 80.000 − d_{hole} = 55.000 mm ≥ 2 · d = 50.000 mm

$R_{c1} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c1} \cdot t_s \cdot F_u)$ = 7 x 270.000 = 1890.000 kN

$R_{c2} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c2} \cdot t_s \cdot F_u)$ = 7 x 360.000 = 2520.000 kN x 4

$R_n = \sum R_{n\_row}$ = 11970.0 kN

$R_r = \Phi_{bb} \cdot R_n$ = 9576.0 kN > P_{cu} = 3225.770 kN ... 0.K

여기서, d_{hole} = 25.00 mm (볼트구멍의 직경)

Φ_{bb} = 0.8 (볼트 지압력에 대한 강도저항계수)

d : 볼트의 공칭직경(mm)

L_c : 구멍 사이의 순간격 또는 구멍과 부재의 응력방향의 순연단거리 (mm)

F_u : 연결부재의 인장강도 (MPa)

n : 한 열에 배치되는 볼트의 개수

5) 피로한계상태 검토

연결상세 B 의 피로강도

$N = (365) \cdot (100) \cdot n \cdot (ADTT)_{SL} = 1.825E+08$

$(\Delta F)_n = (A / N)^{1/3} = 27.82 \text{ MPa} < 1/2\ (\Delta f)_{TH} = 55.00 \text{ MPa}$

$\Delta f = 16.841 \text{ MPa} < (\Delta F)_n = 55.000 \text{ MPa}$ ... 0.K

여기서, $A = 3.930E+12$ (일정진폭 피로 한계값에 해당하는 응력범위 반복횟수

$(\Delta F)_{TH} = 110.000$ MPa (표6.6.5에서 택한 일정 피로 진폭 한계값)

$n = 1.00$ (트럭 한 대 통과시 발생하는 응력범위의 반복회수, 표6.6.4)

$(ADTT)_{SL} = 5000$ (3.6.2.2에서 규정한 한차선당 ADTT(일평균 트럭교통량))

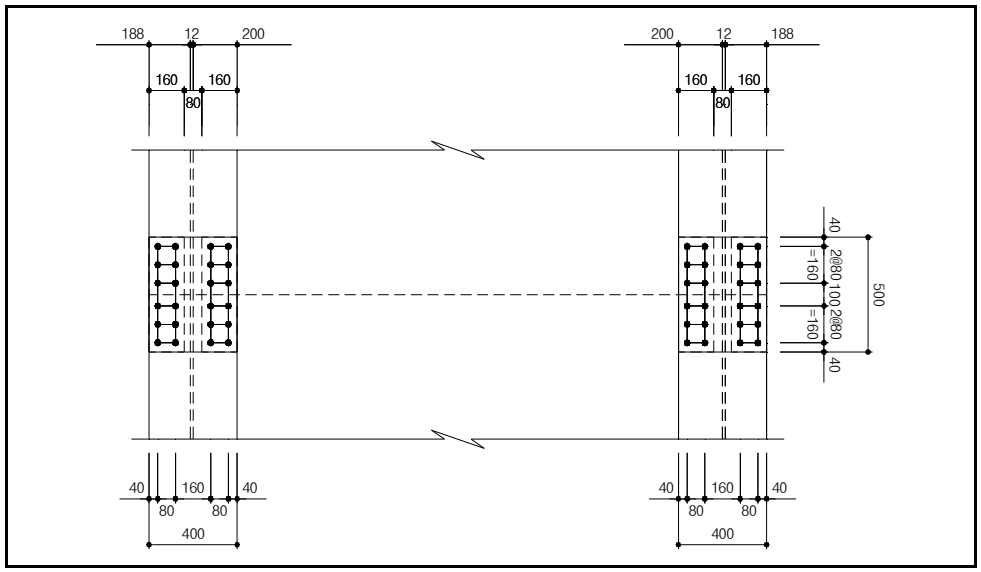
(3) 압축 플랜지 이음부 설계

1) 설계조건

① 단면 제원

제 원		내측-측면 이음판				하면-중앙 이음판			
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이
400	18	2	160	10	500	0	0	0	0

외측 이음판				볼트 개수		
개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
1	400	10	500	3	4	12



② 재료 제원

강 재				
강 종	HSB500			
항복강도(플랜지)	F_{yf}	=	380.000	MPa
항복강도(이음판)	F_{ys}	=	380.000	MPa
인장강도	F_u	=	500.000	MPa
탄성계수	E_s	=	205000.0	MPa

볼 트				
볼트 등급	M22(F13T)			
공칭강도(볼트)	F_{nv}	=	520.000	kN
극한강도(볼트)	F_{ub}	=	1000.000	MPa
볼트 구멍 크기	d_{hall}	=	25.00	mm
표면상태 계수	K_s	=	0.40	

- 내외측 이음판 단면적

$A_{g-in} = 3200.000 \text{ mm}^2$ (내측이음판의 전단면적)

$A_{g-out} = 4000.000 \text{ mm}^2$ (외측이음판의 전단면적)

2) 이음판 항복 검토

① 압축강도 검토

- 전단면 항복 검토

$P_{cu}' = 0.5 \cdot P_{cu} = 1026.000$ kN

$P_{r-in} = \Phi_c \cdot F_{ys} \cdot A_{g-in} = 1094.400$ kN $\geq P_{cu}' = 1026.000$ kN ... 0.K

$P_{r-out} = \Phi_c \cdot F_{ys} \cdot A_{g-out} = 1368.000$ kN $\geq P_{cu}' = 1026.000$ kN ... 0.K

여기서, $\Phi_c = 0.90$ (압축에 대한 강도저항계수)

3) 연결볼트 검토

① 볼트 간격 검토

- 최소 간격검토

$S_{lim} = 3 \cdot d_{bolt} = 66.000$ mm $\leq S_{min} = 80.000$ mm ... 0.K

- 최소 연단거리 검토

$e_{min} = 40.000$ mm $\geq e_{lim} = 38.000$ mm ... 0.K

- 최대 연단거리 검토

$e_{lim} = \min(12 \cdot t, 150) = 120.000$ mm $\geq e_{max} = 40.000$ mm ... 0.K

여기서, t : 외측판 또는 형강의 얇은 쪽 두께 (mm)

e_{lim} : 최소 연단거리 (mm)

② 전단강도 검토

$A_b = \pi \cdot d^2/4 = 380.133$ mm^2

$R_n = F_n \cdot A_b \cdot N_s = 395.338$ kN

$R_r = \Phi_t \cdot R_n = 316.270$ kN

$\therefore N_{req} = P_{cu} / R_r = 6$ ea $< N_{used} = 12$ ea ... 0.K

여기서, A_b : 공칭직경에 의한 볼트 단면적

$\Phi_t = 0.8$ (전단력을 받는 고장력 볼트의 강도저항계수)

③ 마찰접합의 미끄럼강도 검토

$R_n = \mu \cdot h_f \cdot T_0 \cdot N_s = 237.600$ kN

$R_r = \Phi \cdot R_n = 237.600$ kN

$P_s = 1008.109$ kN

$\therefore N_{req} = P_s / R_r = 4$ ea $< N_{used} = 12$ ea ... 0.K

여기서, $\Phi = 1$ (마찰강도 저항계수)

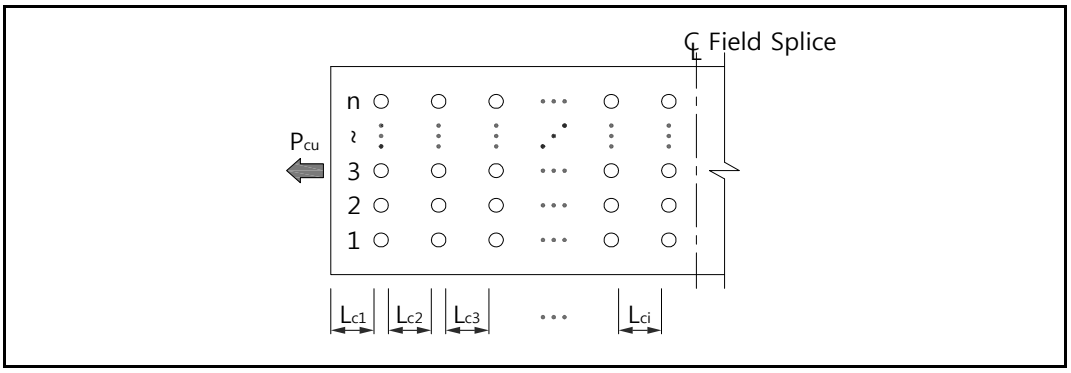
$N_s = 2$ (전단면의 수)

$\mu = 0.45$ (미끄럼계수)

$h_f = 1.00$ (끼움재 계수)

$T_0 = 264$ kN (설계볼트장력)

④ 볼트구멍의 지압강도 검토



- 내측 이음판 검토

L_{c1} = 40.000 − d_{hole} / 2 = 27.500 mm < 2 · d = 50.000 mm

L_{c2} = 80.000 − d_{hole} = 55.000 mm ≥ 2 · d = 50.000 mm

$R_{c1} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c1} \cdot t_{s-in} \cdot F_u)$ = 4 x 165.000 = 660.0 kN

$R_{c2} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c2} \cdot t_{s-in} \cdot F_u)$ = 4 x 300.000 = 1200.0 kN x 2

$R_n = \sum R_{n\_row}$ = 3060.0 kN

$R_r = \Phi_{bb} \cdot R_n$ = 2448.0 kN > P_{cu}' = 1026.000 kN ... 0.K

- 외측 이음판 검토

L_{c1} = 40.000 − d_{hole} / 2 = 27.500 mm < 2 · d = 50.000 mm

L_{c2} = 80.000 − d_{hole} = 55.000 mm ≥ 2 · d = 50.000 mm

$R_{c1} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c1} \cdot t_{s-out} \cdot F_u)$ = 4 x 165.000 = 660.000 kN

$R_{c2} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c2} \cdot t_{s-out} \cdot F_u)$ = 4 x 300.000 = 1200.000 kN x 2

$R_n = \sum R_{n\_row}$ = 3060.0 kN

$R_r = \Phi_{bb} \cdot R_n$ = 2448.0 kN > P_{cu}' = 1026.000 kN ... 0.K

- 플랜지 검토

L_{c1} = 50.000 − d_{hole}/2 = 37.500 mm < 2 · d = 50.000 mm

L_{c2} = 80.000 − d_{hole} = 55.000 mm ≥ 2 · d = 50.000 mm

$R_{c1} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c1} \cdot t_s \cdot F_u)$ = 4 x 405.000 = 1620.000 kN

$R_{c2} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c2} \cdot t_s \cdot F_u)$ = 4 x 540.000 = 2160.000 kN x 2

$R_n = \sum R_{n\_row}$ = 5940.0 kN

$R_r = \Phi_{bb} \cdot R_n$ = 4752.0 kN > P_{cu} = 2052.000 kN ... 0.K

여기서, d_{hole} = 25.00 mm (볼트구멍의 직경)

Φ_{bb} = 0.8 (볼트 지압력에 대한 강도저항계수)

d : 볼트의 공칭직경(mm)

L_c : 구멍 사이의 순간격 또는 구멍과 부재의 응력방향의 순연단거리 (mm)

F_u : 연결부재의 인장강도 (MPa)

n : 한 열에 배치되는 볼트의 개수

4) 피로한계상태 검토

연결상세 B 의 피로강도

$N = (365) \cdot (100) \cdot n \cdot (ADTT)_{SL} = 1.825E+08$

$(\Delta F)_n = (A / N)^{1/3} = 27.82 \text{ MPa} < 1/2\,(\Delta f)_{TH} = 55.00 \text{ MPa}$

$\Delta f = 2.144 \text{ MPa} < (\Delta F)_n = 55.000 \text{ MPa}$ ... 0.K

여기서, A = 3.930E+12 (일정진폭 피로 한계값에 해당하는 응력범위 반복횟수

$(\Delta F)_{TH}$ = 110.000 MPa (표6.6.5에서 택한 일정 피로 진폭 한계값)

n = 1.00 (트럭 한 대 통과시 발생하는 응력범위의 반복회수, 표6.6.4)

$(ADTT)_{SL}$ = 5000 (3.6.2.2에서 규정한 한차선당 ADTT(일평균 트럭교통량))

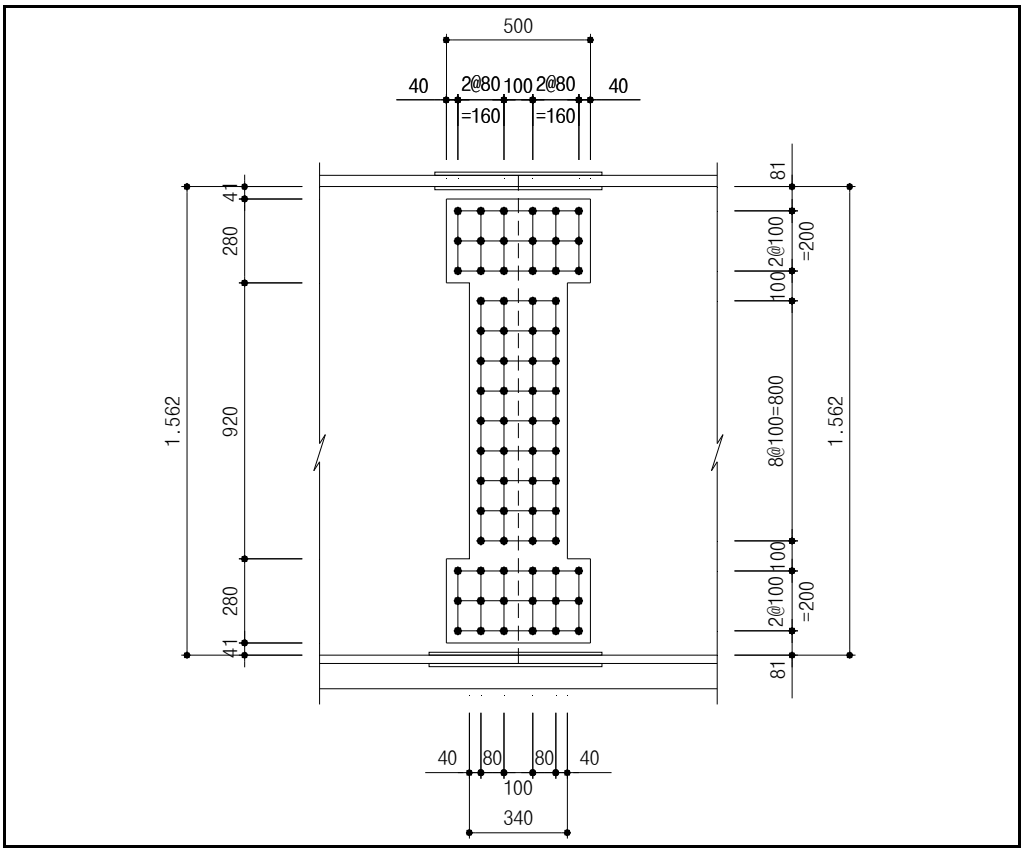
(4) 복부 이음부 설계

1) 설계조건

① 단면 제원

제 원			상하 이음판				중앙 이음판			
폭	두께	간격	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이
1588	12	2400	4	280	10	500	2	908	10	340

볼트 개수 및 간격										
1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
3	100	3	100	3	100	2	100	2	100	36



② 재료 제원

강 재				
강 종	HSB500			
항복강도(복부)	F_{yw}	=	380.000	MPa
항복강도(이음판)	F_{ys}	=	380.000	MPa
인장강도	F_u	=	500.000	MPa
탄성계수	E_s	=	205000.0	MPa

볼 트				
볼트 등급	M22(F13T)			
공칭강도(볼트)	F_{nv}	=	520.000	kN
극한강도(볼트)	F_{ub}	=	1000.000	MPa
볼트 구멍 크기	d_{hall}	=	25.00	mm
표면상태 계수	K_s	=	0.40	

2) 설계하중 산정

① 극한한계상태

- 전단좌굴응력비(C) 산정

$$\frac{H_w}{t_w} = 132.34 \quad , \quad 1.12\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yw}}} = 68.91 \quad , \quad 1.4\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yw}}} = 86.14 \quad C = 0.34$$

여기서, $k = 5 + \frac{5}{(d_0/D)^2} = 5 + \frac{5}{(2500 / 1588)^2}$

$= 7.02$ (전단좌굴계수)

- 복부판 설계전단력 산정

$V_p = 0.58 F_{yw} \cdot H_w \cdot t_w = 4200.080$ kN

$\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} \leq 2.5$ 이면

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}} \right] = 2719.758 \text{ kN}$$

여기서, d_0 : 보강재 간격(mm)

V_n : 공칭전단강도 (N)

V_p : 소성전단력 (N)

C : 전단항복강도에 대한 전단좌굴응력비

$\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} > 2.5$ 이면

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}+d_0/D} \right] = 2499.350 \text{ kN}$$

$\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} = \frac{38113.2525}{36000} = 1.06 \leq 2.5$ 이므로

$V_n = 2719.758$ kN

$V_{upos} = \eta(1.25 \times V_{DC1} + 1.25 \times V_{DC2} + 1.50 \times V_{DW} + 1.80 \times V_{PLL} + 1.00 \times V_{PSD})$

$= 0.95 (1.25 \times -159277 + 1.25 \times -39632 + 1.50 \times + 1.80 \times -424440 + 1.00 \times -18573)$

$= -1,029,635$ N $= -1029.635$ kN (per Box)

$V_u = V_{upos} / \cos\Theta = 1029.635$ kN

$V_u/2 = 514.817$ kN $\leq 0.5 \cdot \Phi_v \cdot V_n = 1359.879$ kN 이므로

$V_{uw} = 1.5 \cdot Vu = 772.226$ kN

여기서, $\Phi_v = 1.00$ (전단에 대한 강도저항계수)

- 복부판 작용 모멘트 및 수평력 산정

· Case1 : Dead Load + Positive LL

F_{cf} = 337.465 MPa , f_{cf} = 294.930 MPa

f_{ncf} = -168.538 MPa

R_{cf} = | F_{cf} / f_{cf} | = 1.14

$M_{uw} = \frac{t_w \cdot H_w^2}{12} | R_h \cdot F_{cf} - R_{cf} \cdot f_{ncf} |$ = 1337.39 kN·m

$M_{tot} = M_{uw} + V_{uw} \cdot e$ = 1337.39 kN·m

$H_{uw} = \frac{t_w \cdot H_w}{2} (R_h \cdot F_{cf} + R_{cf} \cdot f_{ncf})$ = 1378.0 kN

· Case2 : Dead Load + Negative LL

F_{cf} = 285.000 MPa , f_{cf} = -114.785 MPa

f_{ncf} = 113.121 MPa

R_{cf} = | F_{cf} / f_{cf} | = 2.48

$M_{uw} = \frac{t_w \cdot H_w^2}{12} | R_h \cdot F_{cf} - R_{cf} \cdot f_{ncf} |$ = 10.42 kN·m

$M_{tot} = M_{uw} + V_{uw} \cdot e$ = 10.42 kN·m

$H_{uw} = \frac{t_w \cdot H_w}{2} (R_h \cdot F_{cf} + R_{cf} \cdot f_{ncf})$ = 5391.8 kN

여기서, M_{uw} : 극한한계상태에서 복부 이음판과 볼트를 설계하기 위한 설계모멘트

H_{uw} : 복부의 높이 중앙에 작용하는 수평합력

R_h = 1.0 (6.10.4.3(1)에 규정된 하이브리드단면 플랜지 강도감소계수)

α = 1.0

Φ_f = 1.00 (6.5.4.2에 규정된 휨에 대한 강도저항계수)

e = 110.0 mm (이음부의 중심선으로부터 이음 한쪽편에 있는 볼트들의 무게 중심점 까지의 거리(종방향 거리))

② 사용한계상태

- 복부판 작용전단력

$V_{ser,pos}$ = η(1.00 x V_{DC1} + 1.00 x V_{DC2} + 1.30 x V_{PLL} + 1.00 x V_{PSD})

= 1.00 (1.00 x -159277 + 1.00 x -39632 + 1.30 x -4E+05
+ 1.00 x -18573)

= - 750,681 N = -750.681 kN

$V_{ser,neg}$ = η(1.00 x V_{DC1} + 1.00 x V_{DC2} + 1.00 x V_{DW} + 1.30 x V_{NLL}
+ 1.30 x V_{NSD})

= 1.00 (1.00 x -159277 + 1.00 x -39632 + 1.00 x -35083
+ 1.30 x 213918 + 1.00 x 12434)

= 44,101 N = 44.101 kN

∴ $V_{w,ser}$ = max (750.681 , 44.101) = 750.681 kN (per Box)

V_w = $V_{w,ser}$ / cosΘ = 750.68 kN (per Box)

$V_w/2$ = 375.340 kN (per Web)

- 복부판 작용 모멘트 및 수평력

· Case1 : Dead Load + Positive LL

f_s = 165.223 MPa , f_{os} = -140.015 MPa

$M_{w\text{-}ser} = \frac{t_w \cdot H_w^2}{12} | f_s - f_{os} |$ = 769.78 kN · m

$M_{tot\text{-}ser} = M_{w\text{-}ser} + V_{ser} \cdot e$ = 811.07 kN · m

$H_{w\text{-}ser} = \frac{t_w \cdot H_w}{2} (f_s + f_{os})$ = 240.2 kN

· Case2 : Dead Load + Negative LL

f_s = -128.799 MPa , f_{os} = 77.103 MPa

$M_{w\text{-}ser} = \frac{t_w \cdot H_w^2}{12} | f_s - f_{os} |$ = 519.27 kN · m

$M_{tot\text{-}ser} = M_{w\text{-}ser} + V_{ser} \cdot e$ = 560.55 kN · m

$H_{w\text{-}ser} = \frac{t_w \cdot H_w}{2} (f_s + f_{os})$ = -492.6 kN

3) 이음판 단면 검토

① 전단항복 검토

$A_{g\text{-}wp} = N_{ws} \cdot t_s \cdot H_s$ = 29361 mm^2

R_n = 0.60 $A_{g\text{-}wp} \cdot F_{ys}$ = 6694.318 kN

$R_r = \Phi_v \cdot R_n$ = 6694.318 kN > V_{uw} = 772.226 kN ... 0.K

여기서, N_{ws} = 2 ea (이음판의 단면수)

H_s = 1468.1 mm (이음판의 높이)

Φ_v = 1.00 (전단항복에 대한 강도저항계수)

② 이음판 파단 검토

$A_{vn} = N_{ws}(H_s - n \cdot d_{hole})t_s$ = 21861 mm^2

$R_r = \Phi_{bs} (0.58 \cdot F_u \cdot A_{vn})$ = 4754.777 kN > V_{uw} = 772.226 kN ... 0.K

여기서, A_{vn} : 전단력에 저항하는 단면의 순단면적 (mm^2)

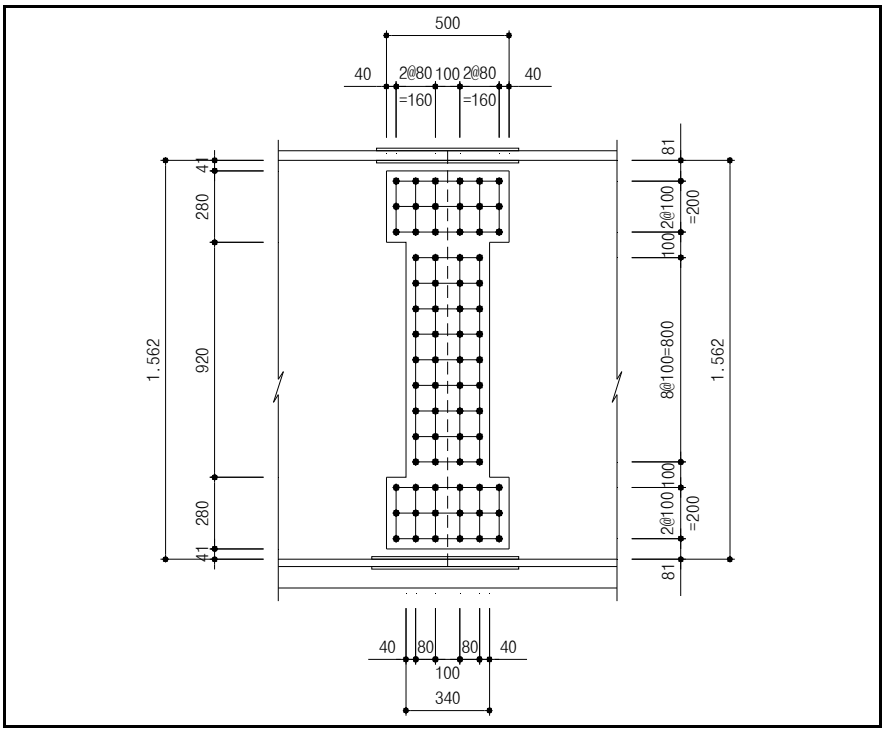
$A_{g\text{-}wp}$: 두께방향 축에 대한 이음판의 전단면적 (mm^2)

n = 15.0 ea (한 열에 배치되는 볼트의 개수)

d_{hole} = 25.0 mm (볼트구멍의 직경)

Φ_{bs} = 0.75 (전단파단에 대한 강도저항계수)

③ 블록 전단파괴강도 검토



$A_{vg} = L_{vg} \cdot t_{s-in} = (40 + (14 \cdot 100) \cdot 10$

$= 14400.00 \ mm^2$

$A_{vn} = L_{vn} \cdot t_{s-in} = (1440 - 25.0 \cdot 14.5) \cdot 10$

$= 10775.00 \ mm^2$

$A_{tg} = L_{tg} \cdot t_{s-in} = (40 + (2 \cdot 80)) \cdot 10$

$= 2000.00 \ mm^2$

$A_{tn} = L_{tn} \cdot t_{s-in} = (200 - 25.0 \cdot 2.5) \cdot 10$

$= 1375.00 \ mm^2$

$R_r = \Phi_{bs} \cdot [(0.58 \cdot F_u \cdot A_{vn} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{tn}) \leq (0.58 \cdot F_y \cdot A_{vg} + U_{bs} \cdot F_y \cdot A_{tn})]$

$= 2957.01 \ kN \geq V_{uw} = = 772.23 \ kN$ ... 0.K

여기서, A_{vg} : 전단력에 저항하는 단면의 전단면적 (mm^2)

A_{vn} : 전단력에 저항하는 단면의 순단면적 (mm^2)

A_{tg} : 인장력에 저항하는 단면의 전단면적 (mm^2)

A_{tn} : 인장력에 저항하는 단면의 순단면적 (mm^2)

Φ_{bs} = 0.80 (블록 전단에 대한 대한 강도저항계수)

④ 이음판 휨항복 검토

- M_{tot} 및 H_{uw} (강도한계상태)에 의한 복부 이음판 전단면의 휨항복 검토

· Case1 : Dead Load + Positive LL

$$f = \frac{M_{tot}}{S_{pl}} + \frac{H_{uw}}{A_{g-wp}} = 233.1 \ MPa < \Phi_f \cdot F_{ys} = 380.0 \ MPa$$ ... 0.K

여기서, S_{pl} = 7183924.1 mm^3 (복부중심에서 두께방향 축에 대한 이음판 단면계수)

Φ_f = 1.000

· Case2 : Dead Load + Negative LL

$$f = \frac{M_{tot}}{S_{pl}} + \frac{H_{uw}}{A_{g-wp}} = 185.1\ MPa < \Phi_f \cdot F_{ys} = 380.0\ MPa \quad \text{... O.K}$$

여기서, S_{pl} = 7183924.1 mm^3 (복부중심에서 두께방향 축에 대한 이음판 단면계수)

Φ_f = 1.000

⑤ 이음판 영구처짐 검토

- $M_{tot-ser}$ 및 H_{w-ser}(사용한계상태)에 의한 복부 이음판 전단면의 휨항복 검토

· Case1 : Dead Load + Positive LL

$$f = \frac{M_{tot-ser}}{S_{pl}} + \frac{H_{w-ser}}{A_{g-wp}} = 121.1\ MPa < 0.80\ F_{ys} = 304.0\ MPa \quad \text{... O.K}$$

· Case2 : Dead Load + Negative LL

$$f = \frac{M_{tot-ser}}{S_{pl}} + \frac{H_{w-ser}}{A_{g-wp}} = 61.3\ MPa < 0.80\ F_{ys} = 304.0\ MPa \quad \text{... O.K}$$

4) 연결볼트 검토

① 볼트 간격 검토

- 최소 간격검토

$S_{lim} = 3 \cdot d_{bolt} = 66.000\ mm \leq S_{min} = 80.000\ mm$ ... O.K

- 최소 연단거리 검토

$e_{min} = 40.000\ mm \geq e_{lim} = 38.000\ mm$ ... O.K

- 최대 연단거리 검토

$e_{lim} = \min(12 \cdot t\ ,\ 150) = 120.000\ mm \geq e_{max} = 40.000\ mm$ ... O.K

여기서, t : 외측판 또는 형강의 얇은 쪽 두께 (mm)

e_{lim} : 최소 연단거리 (mm)

② 전단강도 검토

$I_p = n \cdot m / 12 \cdot [\ S^2 (n^2 - 1) + g^2 (m^2 - 1)\ ] = 8592000\ mm^2$

$A_b = \pi \cdot d^2 / 4 = 380\ mm^2$

$R_n = F_n \cdot A_b \cdot N_s = 395.338\ kN$

$R_r = \Phi_t \cdot R_n = 316.270\ kN$

- Case1 : Dead Load + Positive LL

· V_{uw}에 의한 볼트의 수직방향 전단력 :

$P_v = V_{uw} / N_b = 772.2 / 36.0 = 21.5\ kN$

· H_{uw}에 의한 볼트의 수평방향 전단력 :

$P_H = H_{uw} / N_b = 1378.0 / 36.0 = 38.3\ kN$

· M_{tot}에 의한 최외측 볼트의 수평 및 수직방향 전단력 :

$P_{MV} = M_{tot} \cdot X / I_p = 1337.394 \times 110.000 / 8.592E+06 = 17.12\ kN$

$P_{MH} = M_{tot} \cdot Y / I_p = 1337.394 \times 734.026 / 8.592E+06 = 114.26\ kN$

· 최외측 볼트의 작용력

$P_u = \sqrt{\ (P_V + P_{MV})^2 + (P_H + P_{MH})^2} = 157.33\ kN < R_r = 316.270\ kN$ ... O.K

- Case2 : Dead Load + Negative LL

· V_{uw}에 의한 볼트의 수직방향 전단력 :

$P_v = V_{uw} / N_b = 772.2 / 36.0 = 21.5$ kN

· H_{uw}에 의한 볼트의 수평방향 전단력 :

$P_H = H_{uw} / N_b = 5391.8 / 36.0 = 149.8$ kN

· M_{tot}에 의한 최외측 볼트의 수평 및 수직방향 전단력 :

$P_{MV} = M_{tot} \cdot X / I_p = 10.419 \times 110.000 / 8.592E+06 = 0.13$ kN

$P_{MH} = M_{tot} \cdot Y / I_p = 10.419 \times 734.026 / 8.592E+06 = 0.89$ kN

· 최외측 볼트의 작용력

$P_u = \sqrt{(P_V + P_{MV})^2 + (P_H + P_{MH})^2} = 152.20$ kN $< R_r = 316.270$ kN ... **0.K**

여기서, N_b = 36 ea (이음판에 배치된 전체 볼트개수)

N_s = 2 면 (볼트 1개당 미끄러짐 단면수)

X = 110.0 mm (볼트군 도심에서 수평방향 최외측 볼트까지의 거리)

Y = 734.0 mm (볼트군 도심에서 수직방향 최외측 볼트까지의 거리)

Φ_t = 0.80 (전단력을 받는 고장력 볼트의 강도저항계수)

③ 마찰강도 검토

$R_n = \mu \cdot h_f \cdot T_0 \cdot N_s = 237.600$ kN

$R_r = \Phi \cdot R_n = 237.600$ kN

여기서, Φ = 1 (마찰강도 저항계수)

N_s = 2 (전단면의 수)

μ = 0.45 (미끄럼계수)

h_f = 1.00 (끼움재 계수)

T_0 = 264 kN (설계볼트장력)

- Case1 : Dead Load + Positive LL

· V_{ser}에 의한 볼트의 수직방향 전단력

$P_v = V_{ser} / N_b = 375.3 / 36.0 = 10.4$ kN

· H_w에 의한 볼트의 수평방향 전단력

$P_H = H_{w\text{-}ser} / N_b = 240.2 / 36.0 = 6.7$ kN

· M_{tot}에 의한 최외측 볼트의 수평 및 수직방향 전단력

$P_{MV} = M_{tot\text{-}ser} \cdot X / I_p = 811.070 \times 110.000 / 8.592E+06 = 10.38$ kN

$P_{MH} = M_{tot\text{-}ser} \cdot Y / I_p = 811.070 \times 734.026 / 8.592E+06 = 69.29$ kN

· 최외측 볼트의 작용력

$P_u = \sqrt{(P_V + P_{MV})^2 + (P_H + P_{MH})^2} = 78.76$ kN $< R_r = 237.600$ kN ... **0.K**

- Case2 : Dead Load + Negative LL

· V_{ser}에 의한 볼트의 수직방향 전단력

$P_v = V_{ser} / N_b = 375.3 / 36.0 = 10.4$ kN

· H_w에 의한 볼트의 수평방향 전단력

$P_H = H_{w\text{-}ser} / N_b = -492.6 / 36.0 = -13.7$ kN

· M_{tot}에 의한 최외측 볼트의 수평 및 수직방향 전단력

$P_{MV} = M_{tot\text{-}ser} \cdot X / I_p = 560.555 \times 110.000 / 8.592E+06 = 7.18$ kN

$P_{MH} = M_{tot\text{-}ser} \cdot Y / I_p = 560.555 \times 734.026 / 8.592E+06 = 47.89$ kN

· 최외측 볼트의 작용력

$P_u = \sqrt{(P_V + P_{MV})^2 + (P_H + P_{MH})^2}$ = 38.47 kN < R_r = 237.600 kN ... 0.K

여기서, N_b = 36 ea (이음판에 배치된 전체 볼트개수)

N_s = 2 면 (볼트 1개당 미끄러짐 단면수)

X = 110.0 mm (볼트군 도심에서 수평방향 최외측 볼트까지의 거리)

Y = 734.0 mm (볼트군 도심에서 수직방향 최외측 볼트까지의 거리)

④ 볼트구멍의 지압강도 검토

t_w = 12 mm < 2 · t_s = 20 mm ∴ 복부판에 대한 지압강도 검토

∴ t = 12 mm

L_{c1} = 50 − d_{hole} / 2 = 37.500 mm

L_{c2} = 100 − d_{hole} = 75.000 mm

∴ L_c = min(L_{c1}, L_{c2}) = 37.500 mm < 2 · d 44.000 mm 이므로

$R_n = 1.2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_U$ = 270.000 kN

$R_r = \Phi_{bb} \cdot R_n$ = 216.000 kN > P_u = 157.334 kN ... 0.K

여기서, d_{hole} = 25.0 mm (볼트구멍의 직경)

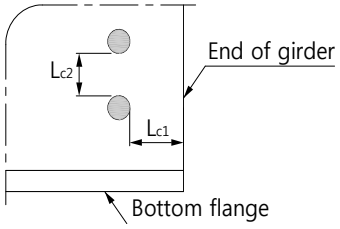
Φ_{bb} = 0.8 (볼트 지압력에 대한 강도저항계수)

d : 볼트의 공칭직경(mm)

L_{c1} : 최외측 볼트구멍의 순연단거리 (mm)

L_{c2} : 최외측 볼트구멍의 순간격 (mm)

F_u : 연결부재의 인장강도 (MPa)

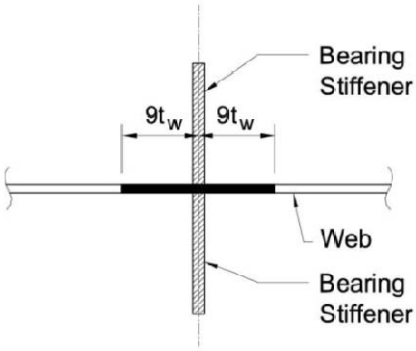


7. 보강재 설계

7.1 교대부 지점보강재 설계

(1) 단면제원

◎ 검토단면　　단면1



- 사용 강종 : HSB500 (F_y = 380 MPa, E = 205000 MPa)
- 보강재의 폭 : b_t = 200 mm　- 보강재의 설치간격 : d = 300 mm
- 보강재의 길이 : L = 1800 mm　- 보강재의 사용열수 : n = 2 Ea
- 보강재의 두께 : t_p = 20 mm　- Diaphragm의 두께 : t_d = 16 mm

(2) 구조해석 결과

- 격자해석에 의한 지점부 반력

Load	Reaction (unfactored)		극한 I 계수
DC1 : 합성전 고정하중	191	kN	1.25
DC2 : 합성후 고정하중	803	kN	1.25
DW : 포장하중	151	kN	1.50
LL : 활하중	784	kN	1.80
극한 I	2881	kN	

R_u = 2881 kN

(3) 부재검토

1) 돌출폭 제한

$b_t \le 0.48\ t_p \sqrt{(E/F_{ys})}$

b_t = 200 mm ≤ $0.48\ t_p \sqrt{(E/F_{ys})}$ = 223 mm　**O.K**

2) 지압강도 검토

$(R_{sb})_r = \Phi_b \cdot (R_{sb})_n$ = 1.0 × 7831040 = 7831040 N

여기서, Φ_b : 받침에 관한 저항계수 = 1.0

$(R_{sb})_n$: 지점보강재의 공칭 지압강도

① 공칭지압강도 산정

$(R_{sb})_n = 1.4 \cdot A_{pn} \cdot F_{ys}$ = 1.4 × 14720 × 380 = 7831040 N

여기서, A_{pn} : 용접부를 제외한 지점보강재의 단면적

A_{pn} = 2 × 2 × (200 - 16) × 20 = 14720 mm^2

∴ $(R_{sb})_r$ = 7831040 N ≥ R_u = 2880559.66 N　**O.K**

3) 압축강도 검토 (☞ 강.설.기 5.1)

$P_r = \Phi_c \cdot P_n$

여기서, Φ_c : 부재의 압축에 관한 저항계수 = 0.9

P_n : 부재의 공칭 압축강도(N)

① 공칭 압축강도 산정

$P_n = F_{cr} \cdot A_s$

F_{cr}은 다음과 같이 산정

$KL_{DK}/r \leq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e \leq 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

$KL_{DK}/r \geq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e > 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = 0.887 F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K L}{r_s}\right)^2} = \frac{\pi\text{^}2 \times 205000}{(0.75\times 1800/89)\text{^}2} = 8819 \text{ MPa}$$

여기서, $r_s = \sqrt{(I_s / A_s)}$

A_s : 지점보강재 면적(A_g)과 다이아프램 유효면적(A_d)의 합

I_s : 지점보강재의 단면 2차 모멘트(mm^4)

K : 유효좌굴길이 계수 = 0.75

$A_g = 2 \times 2 \times 200 \times 20 = 16000 \ mm^2$

$A_d = 2 \times (9 \times 16 + 300) \times 16 = 14208 \ mm^2$

$A_s = 16000 + 14208 = 30208 \ mm^2$

$I_s = 2 \times 20\ (200 + 16 + 200)\text{^}3/12 = 239970987 \ mm^4$

$r_s = \sqrt{(239970986.666667/30208)} = 89 \ mm$

$F_y/F_e = 0.04 \leq 2.25$ 이므로

$F_{cr} = (0.658\text{^}0.0) \times 380.000 = 373.208$ MPa

$P_n = F_{cr} \cdot A_s = 373.208 \times 30,208 = 11273867.3$ N

∴ $P_r = \Phi_c P_n = 0.9 \times 11273867.3 = 10146481$ N ≥ $R_u = 2880560$ N **O.K**

(4) 용접검토

용접각장(S) = 6 mm (목두께 a = 4.2 mm)

용접길이(L_w) = 1800 mm

용접개소(N) = 8 mm

$R_r = 0.6\ \Phi_{e2} \cdot F_{exx} \cdot A_w = 0.6 \times 0.8 \times 380 \times 60480 = 11031552$ MPa

여기서, Φ_{e2} : 받침에 관한 저항계수 = 0.8

F_{exx} : 용접금속의 분류강도 = 380.0 MPa

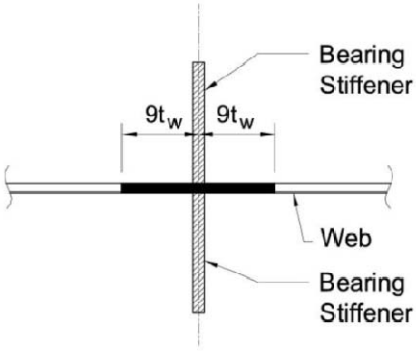
A_w : 필렛용접면적 = 60480 mm^2

∴ $R_r = 11031552$ N ≥ $R_u = 2880560$ N **O.K**

7.2 교각부 지점보강재 설계

(1) 단면제원

◎ 검토단면 단면3



- 사용 강종 : HSB500 (F_y = 380 MPa, E = 205000 MPa)
- 보강재의 폭 : b_t = 250 mm - 보강재의 설치간격 : d = 300 mm
- 보강재의 길이 : L = 1800 mm - 보강재의 사용열수 : n = 2 Ea
- 보강재의 두께 : t_p = 24 mm - Diaphragm의 두께 : t_d = 26 mm

(2) 구조해석 결과

- 격자해석에 의한 지점부 반력

Load	Reaction (unfactored)		극한 I 계수
DC1 : 합성전 고정하중	740	kN	1.25
DC2 : 합성후 고정하중	2686	kN	1.25
DW : 포장하중	536	kN	1.50
LL : 활하중	1216	kN	1.80
극한 I	7275	kN	

R_u = 7275 kN

(3) 부재검토

1) 돌출폭 제한

$b_t \le 0.48\ t_p \sqrt{(E/F_{ys})}$

b_t = 250 mm ≤ $0.48\ t_p \sqrt{(E/F_{ys})}$ = 268 mm **O.K**

2) 지압강도 검토

$(R_{sb})_r = \Phi_b \cdot (R_{sb})_n$ = 1.0 × 11440128 = 11440128 N

여기서, Φ_b : 받침에 관한 저항계수 = 1.0

$(R_{sb})_n$: 지점보강재의 공칭 지압강도

① 공칭지압강도 산정

$(R_{sb})_n = 1.4 \cdot A_{pn} \cdot F_{ys}$ = 1.4 × 21504 × 380 = 11440128 N

여기서, A_{pn} : 용접부를 제외한 지점보강재의 단면적

A_{pn} = 2 × 2 × (250 - 26) × 24 = 21504 mm^2

∴ $(R_{sb})_r$ = 11440128 N ≥ R_u = 7275187 N **O.K**

3) 압축강도 검토 (☞ 강.설.기 5.1)

$P_r = \Phi_c \cdot P_n$

여기서, Φ_c : 부재의 압축에 관한 저항계수 = 0.9

P_n : 부재의 공칭 압축강도(N)

① 공칭 압축강도 산정

$P_n = F_{cr} \cdot A_s$

F_{cr}은 다음과 같이 산정

$KL_{DK}/r \leq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e \leq 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

$KL_{DK}/r \geq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e > 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = 0.887 F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K L}{r_s}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 205000}{(0.75\times 1800/106)^2} = 12484 \text{ MPa}$$

여기서, $r_s = \sqrt{(I_s / A_s)}$

A_s : 지점보강재 면적(A_g)과 다이아프램 유효면적(A_d)의 합

I_s : 지점보강재의 단면 2차 모멘트(mm^4)

K : 유효좌굴길이 계수 = 0.75

$A_g = 2 \times 2 \times 250 \times 24 = 24000 \ mm^2$

$A_d = 2 \times (9 \times 26 + 300) \times 26 = 27768 \ mm^2$

$A_s = 24000 + 27768 = 51768 \ mm^2$

$I_s = 2 \times 24 (250 + 26 + 250)^3/12 = 582126304 \ mm^4$

$r_s = \sqrt{(582126304/51768)} = 106 \ mm$

$F_y/F_e = 0.03 \leq 2.25$ 이므로

$F_{cr} = (0.658^{0.0}) \times 380.000 = 375.189$ MPa

$P_n = F_{cr} \cdot A_s = 375.189 \times 51{,}768 = 19422784.2$ N

∴ $P_r = \Phi_c P_n = 0.9 \times 19422784.2 = 17480506$ N ≥ R_u = 7275187 N **O.K**

(4) 용접검토

용접각장(S) = 6 mm (목두께 a = 4.2 mm)

용접길이(L_w) = 1800 mm

용접개소(N) = 8 mm

$R_r = 0.6 \Phi_{e2} \cdot F_{exx} \cdot A_w = 0.6 \times 0.8 \times 380 \times 60480 = 11031552$ MPa

여기서, Φ_{e2} : 받침에 관한 저항계수 = 0.8

F_{exx} : 용접금속의 분류강도 = 380.0 MPa

A_w : 필렛용접면적 = 60480 mm^2

∴ R_r = 11031552 N ≥ R_u = 7275187 N **O.K**

8. 브레이싱 설계

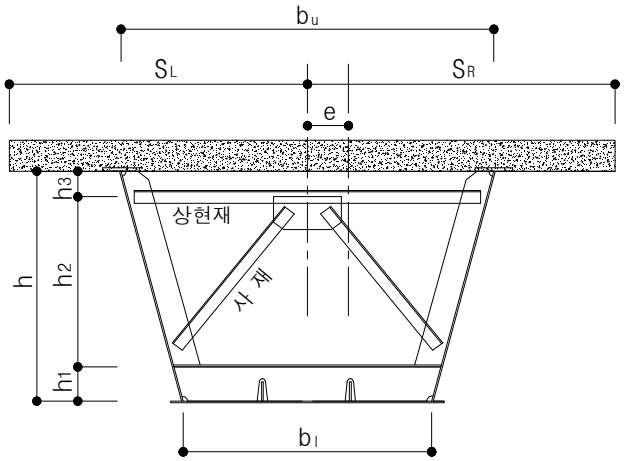
8.1 K-다이아프램

(1) 구조해석 결과

- 격자해석에 의한 강거더 단면력 (부재위치 : **1,J지점**)

Load	Moment (unfactored)		극한 I 계수
DC1-1 : 강재자중	670	kN·m	1.25
DC1-3 : 상부슬래브 하중	2054	kN·m	1.25
극한 I	3405	kN·m	

(2) 설계부재력 산정



S_T	=	290	mm
S_L	=	-3,724	mm
S_R	=	2,400	mm
b_u	=	2,400	mm
b_l	=	2,400	mm
h	=	1,800	mm
h_1	=	320	mm
h_2	=	1,280	mm
h_3	=	200	mm
e1	=	662	mm
e2	=	1,862	mm

$$D = \pm\frac{S_k \cdot L_{DK}}{2 \cdot A_0}\left(\frac{M}{R} - \frac{a}{b}e \cdot w\right) \qquad S = \pm\frac{S_k \cdot a}{4 \cdot A_0}\left(\frac{a}{b}e \cdot w - \frac{M}{R}\right)$$

여기서,

D	: K형-프레임 사재 뒤틀림 유발힘			
S	: K형-프레임 상현재 뒤틀림 유발힘			
S_K	: K형-프레임 간격 (거더 길이에 따라 측정)	=	5.000	m
L_{DK}	: K형-프레임 사재 길이	=	1.755	m
A_0	: 박스로 둘러싸인 면적, (a + b)/2 × h	=	4.320	m^2
a	: a = b_l	=	2.400	m
b	: b = b_u	=	2.400	m
e1	: 거더중심과 슬래브하중의 편심값(일괄타설)	=	0.662	m
e2	: 거더중심과 슬래브하중의 편심값(편측타설)	=	1.862	m
W_1	: 슬래브 분포하중(바닥판 일괄타설)	=	44.396	kN/m
W_2	: 슬래브 분포하중(바닥판 편측타설)	=	26.996	kN/m
M	: 거더에 작용하는 휨모멘트(극한상태I)	=	3,405	kN·m
R	: 거더의 수평 곡률반경	=	0.0	m

1) 바닥판 하중 : 콘크리트 단위중량 = 25.0 kN/m^3 , 두께(S_T) = 290 mm

W_1 = (3.724 + 2.400) × 0.290 × 25.000 ; 바닥판 일괄타설 = 44.396 kN/m

W_2 = (3.724) × 0.290 × 25.000 ; 바닥판 편측타설 = 26.996 kN/m

2) 바닥판 일괄타설시 부재력 산정

D_1 = {(5.000×1.755)/(2×4.320)}×{0.000-(2.400/2.400)×0.662×44.396} = -29.833 kN

S_1 = {(5.000×2.400)/(4×4.320)}×{(2.400/2.400)×0.662×44.396-0.000} = 20.404 kN

3) 바닥판 편측타설시 부재력 산정

D_2 = {(5.000×1.755)/(2×4.320)}×{0.000-(2.400/2.400)×1.862×26.996} = -51.033 kN

S_2 = {(5.000×2.400)/(4×4.320)}×{(2.400/2.400)×1.862×26.996-0.000} = 34.904 kN

4) 설계 부재력 산정

* 휨모멘트 = 1.25 x 강재자중 + 1.25 x 상부슬래브하중

부 재	길이방향 간격	사재길이	폐단면적	휨모멘트	바닥판 타설 Max(일괄타설,편측타설)		비 고
	S_K(m)	L_{DK}(m)	A_0(m^2)	M(kN/m)	D(kN)	S(kN)	
1,J지점	4.3	1.755	4.32	3405.2	± 43.89	± 30.02	
2,J지점	5.0	1.755	4.32	5752.7	± 51.03	± 34.90	
3,J지점	5.0	1.755	4.32	6402.3	± 51.03	± 34.90	
4,J지점	5.0	1.755	4.32	5347.2	± 51.03	± 34.90	
5,J지점	5.0	1.755	4.32	2598.5	± 51.03	± 34.90	
6,J지점	5.0	1.755	4.32	-1877.7	± 51.03	± 34.90	
7,J지점	5.0	1.755	4.32	-8103.2	± 51.03	± 34.90	
8,J지점	5.0	1.755	4.32	-16075.6	± 51.03	± 34.90	P1
9,J지점	5.0	1.755	4.32	-8399.0	± 51.03	± 34.90	
10,J지점	5.0	1.755	4.32	-2575.9	± 51.03	± 34.90	
11,J지점	5.0	1.755	4.32	1486.3	± 51.03	± 34.90	
12,J지점	5.0	1.755	4.32	3876.5	± 51.03	± 34.90	
13,J지점	5.0	1.755	4.32	4661.7	± 51.03	± 34.90	
14,J지점	5.0	1.755	4.32	3836.0	± 51.03	± 34.90	
15,J지점	5.0	1.755	4.32	1405.1	± 51.03	± 34.90	
16,J지점	5.0	1.755	4.32	-2699.5	± 51.03	± 34.90	
17,J지점	5.0	1.755	4.32	-8536.7	± 51.03	± 34.90	
18,J지점	5.0	1.755	4.32	-16118.7	± 51.03	± 34.90	P2
19,J지점	5.0	1.755	4.32	-8026.3	± 51.03	± 34.90	
20,J지점	5.0	1.755	4.32	-1789.0	± 51.03	± 34.90	
21,J지점	5.0	1.755	4.32	2671.3	± 51.03	± 34.90	
22,J지점	5.0	1.755	4.32	5404.7	± 51.03	± 34.90	
23,J지점	5.0	1.755	4.32	6444.6	± 51.03	± 34.90	
24,J지점	5.0	1.755	4.32	5779.8	± 51.03	± 34.90	
25,J지점	5.0	1.755	4.32	3416.9	± 51.03	± 34.90	

(* 상현재는 "수평브레이싱 검토" 에서 비틀림 및 복부경사로 인한 수평력을 합산하여 검토함.)

(3) 단면가정 (부재위치 : **1,J지점**)

구분	제원	단면적 (mm^2)	L_{DK} (mm)	y_c (mm)	r_x (mm)	강종
상현재	L- 100 x 100 x 10	1900	1200	28.2	30	SM400B
사재	L- 100 x 100 x 10	1900	1755	28.2	30	SM400B

- 상현재는 "수평브레이싱 검토" 에서 비틀림 및 복부경사로 인한 수평력을 합산하여 검토함.

(4) 부재 검토

1) 압축 부재 검토

① 압축부재의 세장비 검토 (부재위치 : **1,J지점**)

- 압축부재의 세장비는 다음을 만족해야 한다. (☞ 강.설.기 5.2)

$K \cdot L_{DK} / r \leq$ **140** (브레이싱)

- 단일 등변ㄱ형강 압축부재의 유효세장비는 다음과 같이 산정한다. (☞ 강.설.기 5.5)

$0 < L/r \leq 80$ 일때 $K \cdot L_{DK} / r = 72 + 0.75\ L / r$

$L/r > 80$ 일때 $K \cdot L_{DK} / r = 32 + 1.25\ L / r$

여기서, K = 0.75 : 유효좌굴길이계수(양단이 볼트로 연결)

L_{DK} = 1755 mm : 비지지길이 (mm)

r = 30 mm : 단면의 회전반경 (mm)

L/r = 1755 / 30 = 58 ≤ 80

$K \cdot L_{DK} / r$ = 72 + 0.75 × 1,754.5 / 30.4 = 115.3 ≤ 140.0 **∴ O.K**

② 설계압축강도 산정

- 부재의 설계압축강도 Pr은 다음과 같이 산정한다. (☞ 강.설.기 5.1)

$P_r = \Phi_c \cdot P_n$

여기서, P_n : 부재의 공칭 압축강도(N)

Φ_c : 부재의 압축에 관한 저항계수 = 0.9

- 폭-두께비 제한

$$\frac{b}{t} < \lambda_r = 0.45\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$ (등변 ㄱ 형강)

여기서, b : 규정되 판의 폭 (mm) = 100 mm

t : 판의 두께 (mm) = 10 mm

k : 판 좌굴계수 = 0.45

E : 탄성계수 (MPa) = 205000 MPa

F_y : 항복강도 (MPa) = 235 MPa

$\frac{b}{t} = \frac{100}{10} = 10.000 \leq 0.45\sqrt{(205000/235)} = 13.291$ (비세장판단면)

- 비세장판 단면을 가진 부재의 휨좌굴에 대한 압축강도 (☞ 강.설.기 5.3)

$P_n = F_{cr} \cdot A_g$

F_{cr}은 다음과 같이 산정

$KL_{DK}/r \leq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e \leq 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

$KL_{DK}/r \geq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e > 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = 0.887 F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K L}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \text{ X } (205000)}{115.3\text{^}2} = 152.23$$

$KL_{DK}/r = 115.29 \leq 4.71\sqrt{(E/F_y)} = 139.11$, $F_y/F_e = 1.54 \leq 2.25$ 이므로

$F_{cr} = (0.658\text{^}1.5) \text{ x } 235.000 = 123.157$ MPa

$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 123.157 \text{ x } 1,900 = 233.9983$ kN

$\therefore P_r = \Phi_c P_n = 0.9 \text{ x } 233.998 = 210.60$ kN $\geq P_u = 43.889$ kN $\therefore$ **O.K**

③ 위치별 압축부재 검토

부 재	세장비 KL_{DK}/r (m)	허용 세장비	발생부재력	폭-두께비 검토		공칭압축강도	판정	비고
			P_u	b/t	판정	$\Phi_c P_n$		
1,J지점	115.3	140	-43.89	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
2,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
3,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
4,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
5,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
6,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
7,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
8,J지점								P1
9,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
10,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
11,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
12,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
13,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
14,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
15,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
16,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
17,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
18,J지점								P2
19,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	

③ 위치별 압축부재 검토(계속)

부 재	세장비 KL_{DK}/r (m)	허용 세장비	발생부재력	폭-두께비 검토		공칭압축강도	판정	비고
			P_u	b/t	판정	$\Phi_c P_n$		
20,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
21,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
22,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
23,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
24,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
25,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	

2) 인장 부재 검토

① 인장부재의 세장비 검토 (부재위치 : **1,J지점**) (☞ 강.설.기 4.1)

- 인장부재의 세장비는 다음을 만족해야 한다.

$L_{DK} / r \leq$ **240** (브레이싱)

L/r = 1755 / 30 = 58 ≤ 240 **∴ O.K**

② 인장강도 산정

- 인장강도 P_r은 다음의 두 값 중에서 작은 값으로 한다. (☞ 강.설.기 4.3)

$P_r = \Phi_y \cdot P_{ny} = \Phi_y \cdot F_y \cdot A_g$

$P_r = \Phi_u \cdot P_{nu} = \Phi_u \cdot F_u \cdot A_n \cdot R_p \cdot U$

여기서,

P_{ny}	: 전단면의 항복에 대한 공칭인장강도 (N)			
F_y	: 항복강도 (MPa)	=	**235**	MPa
A_g	: 부재의 전단면적 (mm2)	=	1900	mm2
P_{nu}	: 순단면의 파단에 대한 공칭인장강도 (N)			
F_u	: 인장강도 (MPa)	=	**400**	MPa
A_n	: 부재의 순단면적 (mm2)	=	1425	mm2
R_p	: 홀천공을 고려하기 위한 감소계수	=	**1.00**	
U	: 전단지연을 고려하기 위한 감소계수	=	**1.00**	
Φ_y	: 인장부재의 항복에 대한 저항계수	=	**0.95**	
Φ_u	: 인장부재의 파단에 대한 저항계수	=	**0.80**	

- P_r = 0.950 x 235.0 x 1,900.0 = 424.175 kN
- P_r = 0.800 x 400.0 x 1,425.0 x 1.000 x 1.000 = 456.000 kN

∴ P_r = 424.175 kN ≥ P_u = 51.033 kN **∴ O.K**

③ 위치별 인장부재 검토

부 재	세장비	허용 세장비	발생부재력	공칭압축강도(kN)			판정	비고
	L_{DK}/r (m)		P_u	$\Phi_y \cdot P_{ny}$	$\Phi_u \cdot P_{nu}$	$\Phi_c P_n$		
1,J지점	57.7	240	43.89	424.175	456.000	424.175	O.K	
2,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
3,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
4,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
5,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
6,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
7,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
8,J지점								P1
9,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
10,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
11,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
12,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
13,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
14,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
15,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
16,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
17,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
18,J지점								P2
19,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
20,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
21,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
22,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
23,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
24,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
25,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	

3) 용접검토

① 용접검토 (부재위치 : **1,J지점**)

용접각장(S) = 6 mm (목두께 a = 4.2 mm)

용접길이(L_w) = 300 mm

$R_r = 0.6\ \Phi_{e2} \cdot F_{exx} \cdot A_w$ = 0.6 × 0.8 × 400 × 1273 = 244.376 kN

여기서, Φ_{e2} : 필릿용접의 저항계수 = 0.8 (모재Φ사용)

F_{exx} : 용접금속의 분류강도 = 400.0 MPa

A_w : 필렛용접면적 = 1273 mm^2

∴ R_r = 244.376 kN ≥ R_u = 51.033 kN **∴ O.K**

③ 위치별 용접검토

부 재	용접각장 (㎜)	용접길이 (㎜)	용접단면적 ($㎜^2$)	발생부재력	용접강도	판정	비고
				R_u	R_r		
1,J지점	6.0	300	1273	43.889	244.376	O.K	
3,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
4,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
5,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
6,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
7,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
8,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
9,J지점							P1
10,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
11,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
12,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
13,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
14,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
15,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
16,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
17,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
18,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
19,J지점							P2
20,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
21,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
22,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
23,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
24,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	

8.2 수평브레이싱 설계

(1) 구조해석 결과

○ 격자해석에 의한 강거더 단면력 (단위 : kN·m)

부재	Moment (unfactored)		극한I	Torsion Moment (unfactored)		극한I
	DC1-1	DC1-3		DC1-1	DC1-3	
	1.25	1.25	합계	1.25	1.25	합계
1,J지점	670	2054	3405	-6	-10	-20
2,J지점	1181	3421	5753	-1	1	0
3,J지점	1351	3771	6402	0	4	5
4,J지점	1169	3108	5347	1	7	10
5,J지점	639	1440	2598	3	15	23
6,J지점	-245	-1257	-1878	5	17	28
7,J지점	-1490	-4992	-8103	5	16	26
8,J지점	-3113	-9747	-16076	8	28	44
9,J지점	-1567	-5152	-8399	-8	-15	-29
10,J지점	-486	-1575	-2576	-4	-3	-9
11,J지점	227	962	1486	-4	-4	-9
12,J지점	637	2464	3876	-3	-4	-10
13,J지점	763	2967	4662	-1	4	4
14,J지점	604	2464	3836	1	9	12
15,J지점	162	962	1405	4	18	26
16,J지점	-585	-1575	-2700	3	17	25
17,J지점	-1678	-5152	-8537	4	16	25
18,J지점	-3148	-9747	-16119	8	28	44
19,J지점	-1429	-4992	-8026	-8	-14	-28
20,J지점	-174	-1257	-1789	-5	-3	-10
21,J지점	697	1440	2671	-6	-4	-11
22,J지점	1216	3108	5405	-3	-2	-6
23,J지점	1385	3771	6445	-1	6	7
24,J지점	1204	3420	5780	1	9	12
25,J지점	680	2053	3417	1	12	17

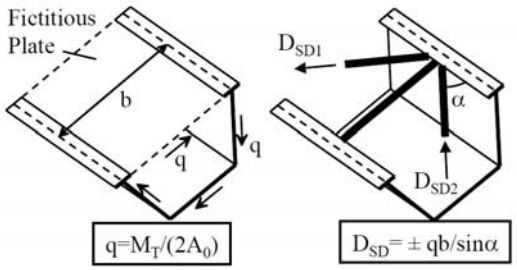
○ 극한 I 하중계수

구분	하중	극한 I 하중계수
DC1-1	강재자중	1.25
DC1-2	하부슬래브 하중	1.25
DC1-3	상부슬래브 하중	1.25

(2) 설계부재력 산정

Design Guidelines For Steel Trapezoidal Box Girder system(2007) 참고, Equivalent Plate Method(EPM)을 적용하여 부재력을 산정

1) 비틀림 모멘트에 의한 부재력 산정



$$F_{T\,Strut} = (D_{SD1} - D_{SD2})\sin\alpha$$

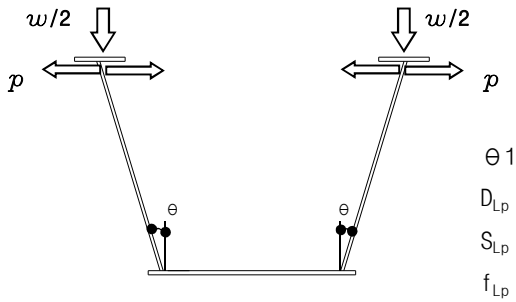
M_T = 비틀림 모멘트
A_0 = 폐합단면적
b = 상부플랜지 간격 (2400 mm)
α = 사재의 기울기 (43.8 °)
s = 수직재 간격 (2500 mm)

○ 위치별 비틀림에 의한 발생 부재력

부 재	T (kN·m)	A_0 (m^2)	s (m)	sin α	q (N/mm)	D_{SD} (kN)	F_{Tsirut} (kN)	비고
1,J지점	-20.3	4.320	2.150	48.1	-2.353	± 7.580	± 5.556	
2,J지점	0.3	4.320	2.500	43.8	0.035	± 0.121	± 1.192	
3,J지점	4.6	4.320	2.500	43.8	0.531	± 1.842	± 1.519	
4,J지점	10.1	4.320	2.500	43.8	1.164	± 4.035	± 3.476	
5,J지점	22.6	4.320	2.500	43.8	2.613	± 9.054	± 1.437	
6,J지점	27.7	4.320	2.500	43.8	3.211	± 11.130	± 0.443	
7,J지점	26.2	4.320	2.500	43.8	3.027	± 10.490	± 4.943	
8,J지점	43.9	4.320	2.500	43.8	5.086	± 17.627	± 4.281	P1
9,J지점	-28.5	4.320	2.500	43.8	-3.303	± 11.445	± 5.456	
10,J지점	-8.9	4.320	2.500	43.8	-1.029	± 3.567	± 0.071	
11,J지점	-9.2	4.320	2.500	43.8	-1.059	± 3.670	± 0.195	
12,J지점	-9.9	4.320	2.500	43.8	-1.140	± 3.952	± 1.572	
13,J지점	4.2	4.320	2.500	43.8	0.485	± 1.682	± 2.257	
14,J지점	12.3	4.320	2.500	43.8	1.426	± 4.941	± 3.897	
15,J지점	26.3	4.320	2.500	43.8	3.050	± 10.568	± 0.376	
16,J지점	25.0	4.320	2.500	43.8	2.893	± 10.025	± 0.071	
17,J지점	25.2	4.320	2.500	43.8	2.922	± 10.127	± 5.292	
18,J지점	44.3	4.320	2.500	43.8	5.127	± 17.768	± 4.450	P2
19,J지점	-28.3	4.320	2.500	43.8	-3.273	± 11.343	± 5.163	
20,J지점	-9.7	4.320	2.500	43.8	-1.122	± 3.888	± 0.498	
21,J지점	-11.5	4.320	2.500	43.8	-1.329	± 4.607	± 1.512	
22,J지점	-6.0	4.320	2.500	43.8	-0.699	± 2.424	± 0.133	
23,J지점	6.5	4.320	2.500	43.8	0.755	± 2.616	± 1.529	
24,J지점	12.0	4.320	2.500	43.8	1.392	± 4.823	± 1.252	
25,J지점	16.5	4.320	2.500	43.8	1.913	± 6.630	± 4.592	

2) 수평분력에 의한 부재력 산정

① 복부경사에 의한 수평분력 발생시



D_{Lp} = 0.00

S_{Lp} = p · s

$f_{Lp} = \dfrac{0.6 \cdot p \cdot s^2}{bf^2 \cdot tf}$

θ1 : 복부판의 기울기 (= 0.000°)

D_{Lp} : 사재의 축력 P : 수평분력

S_{Lp} : 수직재의 축력 s : 수잭재 간격

f_{Lp} : 상부플랜재 횡방향 휨응력 As : 강거더 단면적

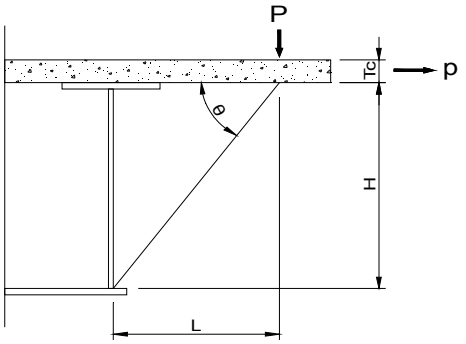
w = γ_c × Tcu × B3 + γ_s × As × 강재할증

= 25.0 kN/m³ × 0.245 m × 5.850 m + 78.5 kN/m³ × As m² × 1.3

p1 = w/2 tanθ1

② 캔틸레버부 바닥판 타설하중에 의한 수평분력(p2)

슬래브자중	= 0.245	× **1.125**	× 25	= 6.9	kN/m	
거푸집하중	= 0.400	× **1.125**		= 0.5	kN/m	
작업하중	= 3.750	× **1.125**		= 4.2	kN/m	
			합 계(P2 =	11.6	kN/m	



θ2 = $\tan^{-1}$(H/L) = 60.6 °

H = **2.000** m

L = **1.125** m

p2 = P2 / tanθ2 = 11.6 / 1.8 = 6.5 kN/m

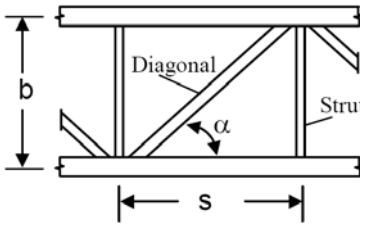
○ 위치별 수평분력에 의한 발생 부재력

부 재	As (㎡)	p1 (kN)	p2 (kN)	S_{Lp} (kN)	D_{Lp} (kN)	f_{Lp} (MPa)	비 고
1,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
2,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
3,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
4,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
5,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
6,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
7,J지점	0.135						(폐합)
8,J지점	0.135						P1
9,J지점	0.135						(폐합)
10,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
11,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
12,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
13,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
14,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
15,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
16,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
17,J지점	0.135						(폐합)
18,J지점	0.135						P2

○ 위치별 수평분력에 의한 발생 부재력(계속)

부 재	As (㎡)	p1 (kN)	p2 (kN)	S_{Lp} (kN)	D_{Lp} (kN)	f_{Lp} (MPa)	비 고
19,J지점	0.135						(폐합)
20,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
21,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
22,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
23,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
24,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
25,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	

3) 주거더의 모멘트로 인한 부재력 산정



$$D_{bend} = \frac{f_{xTop} s \cos\alpha}{K_1}$$

$$K_1 = \frac{L_d}{A_d} + \frac{b}{A_s}\sin^2\alpha + \frac{s^3}{2b_f^3 t_f}\sin^2\alpha$$

$$S_{bend} = -D_{bend}\sin\alpha$$

$$f_{L\,bend} = \frac{1.5s}{b_f^2 t_f} S_{bend}$$

L_d = 사재길이 (3466 mm)

A_d = 사재 단면적 (1883 mm^2)

A_s = 수직재 단면적 (1900 mm^2)

f_{xTop} = 플랜지 응력

b_f = 플랜지 폭

t_f = 플랜지 두께

- 위치별 휨모멘트에 의한 발생 부재력

부 재	M (kN · m)	단면계수 Z (m3)	f_{xTop} (MPa)	b_f (m)	t_f (m)	k_1 (1/m)	D_{bend} (kN)	S_{bend} (kN)	f_{Lbend} (MPa)	비 고
1,J지점	7661.7	0.033	-229.9	0.400	0.018	4,934	-66.83	49.77	55.7	
2,J지점	12943.6	0.033	-388.3	0.400	0.018	5,699	-122.89	85.10	110.8	
3,J지점	14405.1	0.033	-432.2	0.400	0.018	5,699	-136.76	94.71	123.3	
4,J지점	12031.2	0.033	-360.9	0.400	0.018	5,699	-114.22	79.10	103.0	
5,J지점	5846.6	0.033	-175.4	0.400	0.018	5,699	-55.51	38.44	50.1	
6,J지점	-4224.8	0.033	126.7	0.400	0.018	5,699	40.11	-27.78	-36.2	
7,J지점	-18232.2	0.033	547.0	2.800	0.014					(폐합)
8,J지점	-36170.1	0.033	1085.1	2.800	0.014					P1
9,J지점	-18897.7	0.033	566.9	2.800	0.014					(폐합)
10,J지점	-5795.8	0.033	173.9	0.400	0.018	5,699	55.03	-38.11	-49.6	
11,J지점	3344.2	0.033	-100.3	0.400	0.018	5,699	-31.75	21.99	28.6	
12,J지점	8722.1	0.033	-261.7	0.400	0.018	5,699	-82.81	57.35	74.7	
13,J지점	10488.8	0.033	-314.7	0.400	0.018	5,699	-99.58	68.96	89.8	
14,J지점	8631.0	0.033	-258.9	0.400	0.018	5,699	-81.94	56.75	73.9	
15,J지점	3161.4	0.033	-94.8	0.400	0.018	5,699	-30.01	20.79	27.1	
16,J지점	-6073.9	0.033	182.2	0.400	0.018	5,699	57.67	-39.94	-52.0	
17,J지점	-19207.7	0.033	576.2	2.800	0.014					(폐합)
18,J지점	-36267.1	0.033	1088.0	2.800	0.014					P2
19,J지점	-18059.2	0.033	541.8	2.800	0.014					(폐합)
20,J지점	-4025.2	0.033	120.8	0.400	0.018	5,699	38.22	-26.47	-34.5	
21,J지점	6010.4	0.033	-180.3	0.400	0.018	5,699	-57.06	39.52	51.5	

- 위치별 휨모멘트에 의한 발생 부재력(계속)

부 재	M (kN · m)	단면계수 Z (m3)	f_{xTop} (MPa)	b_f (m)	t_f (m)	k_1 (1/m)	D_{bend} (kN)	S_{bend} (kN)	f_{Lbend} (MPa)	비 고
22,J지점	12160.7	0.033	-364.8	0.400	0.018	5,699	-115.45	79.96	104.1	
23,J지점	14500.4	0.033	-435.0	0.400	0.018	5,699	-137.67	95.34	124.1	
24,J지점	13004.5	0.033	-390.1	0.400	0.018	5,699	-123.47	85.50	111.3	
25,J지점	7688.1	0.033	-230.6	0.400	0.018	5,699	-72.99	50.55	65.8	

4) 부재력 집계 (P_u)

- 위치별 수평브레이싱 작용 부재력 (단위 : kN)

부 재	수평브레이싱 부재력(kN)				K-다이아프램 상현재	비 고
	비틀림		모멘트			
	사재	수직재	사재	수직재		
1,J지점	± 7.580	± 5.556	-66.827	49.775	30.017	
2,J지점	± 0.121	± 1.192	-122.887	85.103	34.904	
3,J지점	± 1.842	± 1.519	-136.762	94.712	34.904	
4,J지점	± 4.035	± 3.476	-114.225	79.104	34.904	
5,J지점	± 9.054	± 1.437	-55.508	38.441	34.904	
6,J지점	± 11.130	± 0.443	40.110	-27.778	34.904	
7,J지점						(폐합)
8,J지점						P1
9,J지점						(폐합)
10,J지점	± 3.567	± 0.071	55.025	-38.107	34.904	
11,J지점	± 3.670	± 0.195	-31.750	21.988	34.904	
12,J지점	± 3.952	± 1.572	-82.808	57.347	34.904	
13,J지점	± 1.682	± 2.257	-99.581	68.963	34.904	
14,J지점	± 4.941	± 3.897	-81.943	56.748	34.904	
15,J지점	± 10.568	± 0.376	-30.014	20.786	34.904	
16,J지점	± 10.025	± 0.071	57.666	-39.936	34.904	
17,J지점						(폐합)
18,J지점						P2
19,J지점						(폐합)
20,J지점	± 3.888	± 0.498	38.215	-26.465	34.904	
21,J지점	± 4.607	± 1.512	-57.063	39.518	34.904	
22,J지점	± 2.424	± 0.133	-115.454	79.955	34.904	
23,J지점	± 2.616	± 1.529	-137.667	95.339	34.904	
24,J지점	± 4.823	± 1.252	-123.465	85.503	34.904	
25,J지점	± 6.630	± 4.592	-72.991	50.548	34.904	

- 위치별 조합 부재력 (단위 : kN)

부 재	수평브레이싱 조합 부재력(kN)						비 고
	사재		수직재(일반)		수직재(가로보부)		
	최소	최대	최소	최대	최소	최대	
1,J지점	-74.4070	-59.2465	44.2189	55.3309	57.4846	110.9525	
2,J지점	-123.0080	-122.7663	83.9117	86.2949	109.0851	157.5581	
3,J지점	-138.6038	-134.9207	93.1930	96.2314	121.1509	170.4756	
4,J지점	-118.2600	-110.1896	75.6283	82.5803	98.3168	152.7292	
5,J지점	-64.5619	-46.4532	37.0036	39.8779	48.1047	97.2161	
6,J지점	28.9809	51.2400	-28.2209	-27.3346	-36.6872	9.8398	
7,J지점							(폐합)
8,J지점							P1
9,J지점							(폐합)
10,J지점	51.4579	58.5922	-38.1780	-38.0352	-49.6314	-4.0709	
11,J지점	-35.4200	-28.0794	21.7925	22.1828	28.3303	74.2125	
12,J지점	-86.7601	-78.8560	55.7748	58.9196	72.5073	121.9703	
13,J지점	-101.2628	-97.8997	66.7060	71.2204	86.7178	137.9614	
14,J지점	-86.8836	-77.0018	52.8507	60.6451	68.7059	124.2135	
15,J지점	-40.5825	-19.4457	20.4093	21.1621	26.5321	72.8856	
16,J지점	47.6412	67.6910	-40.0064	-39.8649	-52.0083	-6.4495	
17,J지점							(폐합)
18,J지점							P2
19,J지점							(폐합)
20,J지점	34.3268	42.1035	-26.9628	-25.9676	-35.0517	11.6170	
21,J지점	-61.6694	-52.4556	38.0059	41.0293	49.4077	98.7129	
22,J지점	-117.8777	-113.0297	79.8225	80.0882	103.7693	149.4895	
23,J지점	-140.2828	-135.0511	93.8102	96.8673	121.9533	171.3024	
24,J지점	-128.2881	-118.6420	84.2518	86.7552	109.5274	158.1566	
25,J지점	-79.6212	-66.3603	45.9566	55.1402	59.7436	117.0571	

- 설계부재력

구분	설계부재력		비 고
	압축최대	인장최대	
사재	-140.283	67.691	
수직재(일반)	-40.006	96.867	
수직재(가로보부)	-52.008	171.302	

5) 발생 모멘트 산정 (단위:kN·m)

구분	P_u	y_c	$M_u(=P_u \times y_c)$
사재	140.283	0.028	3.900

(* 수직재, L형강의 휨모멘트는 고려하지 않음)

(3) 단면가정

구분	제원	단면적 (mm^2)	길이 (mm)	y_c (mm)	r_x (mm)	I_x (mm^4)	I_y (mm^4)	S_x (mm^3)	Z_x (mm^3)	J (mm^4)
사재	T-125 x 125 x 6 x 9	1883	3466	28	36	2480000	1470000	25542	56003	39051
수직재	L-100 x 100 x 10t	1900	1900	28	30	1750000	1750000		24400	

(4) 사재 응력검토 (T-125 x 125 x 6 x 9)

1) 압축 부재 검토

① 압축부재의 세장비 검토

- 압축부재의 세장비는 다음을 만족해야 한다. (☞ 강.설.기 5.2)

$K \cdot L_{DK} / r \leq 140$ (브레이싱)

여기서, $K = 0.75$: 유효좌굴길이계수(양단이 볼트로 연결)

$L_{DK} = 3466$ mm : 비지지길이 (mm)

$r = 36$ mm : 단면의 회전반경 (mm)

$K \cdot L_{DK} / r = 0.75 \times 3{,}465.5 / 36.3 = 71.60 \leq 140.0$ ∴ O.K

② 설계압축강도 산정

- 부재의 설계압축강도 Pr은 다음과 같이 산정한다. (☞ 강.설.기 5.1)

$Pr = \Phi c \cdot Pn$

여기서, Pn : 부재의 공칭 압축강도(N)

Φc : 부재의 압축에 관한 저항계수 = 0.9

- 폭-두께비 제한

$$\frac{d}{t} < \lambda_r = 0.75\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$ (T 형강)

여기서,

d	: T 형강의 stem	=	125	mm
t	: 판의 두께 (mm)	=	9	mm
k	: 판 좌굴계수	=	0.75	
E	: 탄성계수 (MPa)	=	205000	MPa
Fy	: 항복강도 (MPa)	=	235	MPa

$\frac{b}{t} = \frac{125}{9} = 13.889 \leq 0.75\sqrt{(205000/235)} = 22.152$ ∴ O.K

- 비세장판 단면을 가진 부재의 휨좌굴에 대한 압축강도 (☞ 강.설.기 5.3)

$P_n = F_{cr} \cdot A_g$

F_{cr}은 다음과 같이 산정

$KL_{DK}/r \leq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e \leq 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

$KL_{DK}/r \geq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e > 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = 0.887 F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K L}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times (205000)}{71.6\text{^}2} = 394.64$$

KL_{DK}/r = 71.60 ≤ $4.71\sqrt{(E/F_y)}$ = 139.11 , F_y/F_e = 0.60 ≤ 2.25 이므로

F_{cr} = (0.658^0.6) x 235.000 = 183.158 MPa

P_n = $F_{cr} \cdot A_g$ = 183.158 x 1,883 = 344.887 kN

∴ P_r = $\Phi_c P_n$ = 0.9 x 344.887 = 310.40 kN ≥ P_u = 140.283 kN ∴ **O.K**

2) 인장 부재 검토

① 인장부재의 세장비는 다음을 만족해야 한다. (☞ 강.설.기 4.1)

L_{DK} / r ≤ **240** (브레이싱)

L_{DK} / r = 3466 / 36 = 95 ≤ 240 ∴ **O.K**

② 인장강도 산정

인장강도 Pr은 다음의 두 값 중에서 작은 값으로 한다. (☞ 강.설.기 4.3)

P_r = $\Phi_y \cdot P_{ny}$ = $\Phi_y \cdot F_y \cdot A_g$

P_r = $\Phi_u \cdot P_{nu}$ = $\Phi_u \cdot F_u \cdot A_n \cdot R_p \cdot U$

여기서,

P_{ny}	: 전단면의 항복에 대한 공칭인장강도 (N)			
F_y	: 항복강도 (MPa)	=	**235**	MPa
A_g	: 부재의 전단면적 (mm2)	=	1883	mm2
P_{nu}	: 순단면의 파단에 대한 공칭인장강도 (N)			
F_u	: 인장강도 (MPa)	=	**400**	MPa
A_n	: 부재의 순단면적 (mm2)	=	1412	mm2
R_p	: 홀천공을 고려하기 위한 감소계수	=	**1.00**	
U	: 전단지연을 고려하기 위한 감소계수	=	**1.00**	
Φ_y	: 인장부재의 항복에 대한 저항계수	=	**0.95**	
Φ_u	: 인장부재의 파단에 대한 저항계수	=	**0.80**	

- P_r = 0.950 x 235.0 x 1,883.0 = 420.380 kN
- P_r = 0.800 x 400.0 x 1,412.3 x 1.000 x 1.000 = 451.920 kN

∴ P_r = 420.380 kN ≥ P_u = 140.283 kN ∴ **O.K**

3) 용접검토

① 용접검토

용접각장(S) = 6 mm (목두께 a = 4.2 mm)

용접길이(L_w) = 300 mm

$R_r = 0.6\ \Phi_{e2} \cdot F_{ex\ x\ .}\ A_w$ = 0.6 × 0.8 × 400 × 1273 = 244.376 kN

여기서,

Φ_{e2}	: 필릿용접의 저항계수	=	0.8	(모재Φ사용)
F_{exx}	: 용접금속의 분류강도	=	400.0	MPa
A_w	: 필렛용접면적	=	1273	mm^2

∴ R_r = 244.376 kN ≥ R_u = 140.283 kN ∴ **O.K**

4) 설계휨강도 산정

① 설계 휨강도 산정 (☞ 강.설.기 6.2.1.1.1)

$M_r = \Phi_f M_n$

여기서, Φ_f : 부재의 휨에 관한 저항계수 = 1.0

M_n : 공칭휨강도 - 항복강도, 횡비틀림좌굴강도, 플랜지국부좌굴강도중 최소값 사용

② 항복강도 (☞ 강.설.기 6.2.1.1.9-1)

$M_n = M_p = F_y Z_x$ = 235 x 56003 = 13.161 kN · m

$$f_{tip.stem} = \frac{P}{A_g} + \frac{M_{ux}}{S_x} = \frac{-140283}{1883} + \frac{3899863}{25542} = 78.185 \text{ MPa}$$ **(인장)**

(인장이므로) $M_p = 1.6M_y = 1.6F_yS_x$ = 9.604 kN · m

∴ M_n = 9.604 kN · m

③ 휨비틀림 좌굴강도 (☞ 강.설.기 6.2.1.1.9-4)

$$M_n = M_{cr} = \frac{\pi\sqrt{(EI_yGJ)}}{L_b}[B+\sqrt{(1+B^2)}]$$

여기서, B : $\pm 2.3\ (d/L_b)\sqrt{(I_y/J)}$ = 0.509

L_b : 횡지지 길이 (mm) = 3466 mm

I_y : y축에 대한 단면2차모멘트 (mm^4) = 1470000 mm^4

G : 강재의 전단탄성계수 (MPa) = 79000 MPa

J : 비틀림 상수 (mm^4) = 39051 mm^4

$$B = \pm 2.3 \frac{125}{3466}\sqrt{(1470000 / 39051)} = 0.509$$

$M_n = \pi \sqrt{9.3E+20 / 3466} \times [0.509 + \sqrt{(1+0.259)}]$ = 45.083 kN · m

④ 플랜지 국부좌굴 검토 (☞ 강.설.기 6.2.1.1.9-6)

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{125}{18} = 6.9$$

$\lambda_{pf} = 0.38\sqrt{(E/F_{yf})} = 0.38\sqrt{(205000 / 235)}$ = 11.2

$\lambda_f < \lambda_{pf}$ 이므로 플랜지 국부 좌굴 검토 필요 없음

⑤ 공칭 휨강도 산정

M_n = 9.604 kN · m

∴ $M_r = \Phi_f \times M_n$ = 1.0 x 9.604 = 9.604 kN · m ≥ M_u = 3.900 kN · m **∴ O.K**

⑥ 축방향력과 휨을 동시에 받는 부재검토 (☞ 강.설.기 7.1.1-1)

$P_u / P_r \geq 0.2$ 인 경우 $P_u / P_r + 8/9 (M_{ux}/M_{rx} + M_{uy}/M_{ry}) \leq 1.0$

$P_u / P_r < 0.2$ 인 경우 $P_u / 2P_r + 1 (M_{ux}/M_{rx} + M_{uy}/M_{ry}) \leq 1.0$

P_u / P_r = 140.283 / 420.380 = 0.33 **>** 0.20 이므로

$P_u / P_r + 8/9 (M_{ux}/M_{rx} + M_{uy}/M_{ry})$

= 140.28 / 420.38 + 8/9 (3.900 / 9.604 + 0.000 / 0.000)

= 0.695 ≤ 1.0 **∴ O.K**

(5) 수직재 응력 검토 (L-100 x 100 x 10t)

1) 압축 부재 검토

① 압축부재의 세장비 검토

- 압축부재의 세장비는 다음을 만족해야 한다. (☞ 강.설.기 5.2)

$K \cdot L / r \leq 140$ (브레이싱)

- 단일 등변ㄱ형강 압축부재의 유효세장비는 다음과 같이 산정한다. (☞ 강.설.기 5.5)

$0 < L/r \leq 80$ 일때 $K \cdot L_{DK} / r = 72 + 0.75\, L / r$

$L/r > 80$ 일때 $K \cdot L_{DK} / r = 32 + 1.25\, L / r$

여기서, K = 0.75 : 유효좌굴길이계수(양단이 볼트로 연결)

L = 1900 mm : 비지지길이 (mm)

r = 30 mm : 단면의 회전반경 (mm)

$L/r = 1900 / 30 = 63 \leq 80$

$K \cdot L_{DK} / r = 72 + 0.75 \times 1{,}900.0 / 30.4 = 118.9 \leq 140.0$ ∴ O.K

② 설계압축강도 산정

- 부재의 설계압축강도 Pr은 다음과 같이 산정한다. (☞ 강.설.기 5.1)

$P_r = \Phi_c \cdot P_n$

여기서, P_n : 부재의 공칭 압축강도(N)

Φ_c : 부재의 압축에 관한 저항계수 = 0.9

- 폭-두께비 제한

$$\frac{b}{t} < \lambda_r = 0.45\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$ (등변 ㄱ 형강)

여기서,

b	: 규정되 판의 폭 (mm)	=	100	mm
t	: 판의 두께 (mm)	=	10	mm
k	: 판 좌굴계수	=	0.45	
E	: 탄성계수 (MPa)	=	205000	MPa
F_y	: 항복강도 (MPa)	=	235	MPa

$\frac{b}{t} = \frac{100}{10} = 10.000 \leq 0.45\sqrt{(205000/400)} = 13.291$ (비세장판단면)

- 비세장판 단면을 가진 부재의 휨좌굴에 대한 압축강도 (☞ 강.설.기 5.3)

$P_n = F_{cr} \cdot A_g$

F_{cr}은 다음과 같이 산정

$KL_{DK}/r \leq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e \leq 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

$KL_{DK}/r \geq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e > 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = 0.887 F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K L}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times (205000)}{118.9\text{^}2} = 143.18$$

KL_{DK}/r = 118.88 ≤ $4.71\sqrt{(E/F_y)}$ = 139.11 , F_y/F_e = 1.64 ≤ 2.25 이므로

F_{cr} = (0.658^1.6) x 235.000 = 118.229 MPa

P_n = F_{cr} · A_g = 118.229 x 1,900 = 224.635 kN

∴ P_r = $\Phi_c P_n$ = 0.9 x 224.635 = 202.17 kN ≥ P_u = 52.01 kN **∴ O.K**

2) 인장 부재 검토

① 인장부재의 세장비 검토 (☞ 강.설.기 4.1)

- 인장부재의 세장비는 다음을 만족해야 한다.

L / r ≤ **240** (브레이싱)

L/r = 1900 / 30 = 63 ≤ 240 **∴ O.K**

② 인장강도 산정

- 인장강도 P_r은 다음의 두 값 중에서 작은 값으로 한다. (☞ 강.설.기 4.3)

P_r = Φ_y · P_{ny} = Φ_y · F_y · A_g

P_r = Φ_u · P_{nu} = Φ_u · F_u · A_n · R_p · U

여기서,

P_{ny}	: 전단면의 항복에 대한 공칭인장강도 (N)			
F_y	: 항복강도 (MPa)	=	**235**	MPa
A_g	: 부재의 전단면적 (mm2)	=	1900	mm2
P_{nu}	: 순단면의 파단에 대한 공칭인장강도 (N)			
F_u	: 인장강도 (MPa)	=	**400**	MPa
A_n	: 부재의 순단면적 (mm2)	=	1425	mm2
R_p	: 홀천공을 고려하기 위한 감소계수	=	**1.00**	
U	: 전단지연을 고려하기 위한 감소계수	=	**1.00**	
Φ_y	: 인장부재의 항복에 대한 저항계수	=	**0.95**	
Φ_u	: 인장부재의 파단에 대한 저항계수	=	**0.80**	

- P_r = 0.950 x 235.0 x 1,900.0 = 424.175 kN
- P_r = 0.800 x 400.0 x 1,425.0 x 1.000 x 1.000 = 456.000 kN

∴ P_r = 424.175 kN ≥ P_u = 171.302 kN **∴ O.K**

3) 용접검토

① 용접검토

용접각장(S) = 6 mm (목두께 a = 4.2 mm)

용접길이(L_w) = 300 mm

R_r = 0.6 Φ_{e2} · $F_{ex\,x}$. A_w = 0.6 × 0.8 × 400 × 1273 = 244.376 kN

여기서, Φ_{e2}	: 필릿용접의 저항계수	=	0.8	(모재Φ사용)
F_{exx}	: 용접금속의 분류강도	=	400.0	MPa
A_w	: 필렛용접면적	=	1273	mm^2

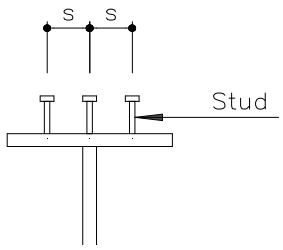
∴ R_r = 244.376 kN ≥ R_u = 171.302 kN **∴ O.K**

9. 전단연결재 설계

9.1 상부바닥판 전단연결재

전단연결재의 설계 : 상부바닥판은 Stud로 합성이 되도록 한다.

(1) 형태 검토



s = 100 mm (s : stud 의 횡방향 최소간격)

d = 25 mm (d : stud 의 직경)

H = 150 mm (h : stud 의 전높이)

n = 6 본 사용

$\frac{H}{D}$ = 6.000 ≥ 4.0 ... 0.K

(2) 피치 검토

1) 전단연결재 피로저항강도

Z_{rcal} = α · d^2 = 3567.034 N < 38 · d^2 / 2 = 11875.000 N

∴ Z_{rcal} = 11875.000 N

여기서,

α = 238-29.5logN = -5.707

N = (365) · (100) · n · $(ADTT)_{SL}$ = 1.825E+08 (6.6.1.2(5)에 규정된 반복하중 수)

n = 1.0 (표6.6.4에서 선택한 트럭 한 대 통과시 발생하는 응력범위의 반복회수)

$(ADTT)_{SL}$ = 5000 (3.6.2.2에서 규정한 한차선당 ADTT(일평균 트럭교통량))

2) 피치 검토 (도로교 설계기준 한계상태 설계법 6.10.7.4 (1))

p_{use} = 450.000 < $\frac{n Z_r I}{V_{st} Q}$

절점	단면	$A_c/n(mm^2)$	$d_{vc}(mm)$	$Q_{vc}(mm^3)$	$I_v(mm^4)$	$V_{st}(kN)$	P_{req}	P_{use}	판정
1	1	390,030	218.080	8.51E+07	1.467E+11	244.648	502	150	0.K
2	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	198.289	600	250	0.K
3	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	191.459	600	250	0.K
4	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	198.246	600	450	0.K
5	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	201.099	600	450	0.K
6	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	203.333	600	450	0.K
7	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	207.078	600	450	0.K
8	3	213,514	417.746	8.92E+07	1.88E+11	227.225	600	450	0.K
9	3	213,514	417.746	8.92E+07	1.88E+11	274.966	546	450	0.K
10	3	213,514	417.746	8.92E+07	1.88E+11	223.028	600	450	0.K
11	5	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	209.922	600	450	0.K
12	5	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	205.917	600	450	0.K
13	5	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	202.581	600	450	0.K
14	5	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	201.599	600	450	0.K
15	5	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	202.434	600	450	0.K
16	5	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	205.243	600	450	0.K
17	5	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	208.465	600	450	0.K
18	3	213,514	417.746	8.92E+07	1.88E+11	231.956	600	450	0.K
19	3	213,514	417.746	8.92E+07	1.88E+11	271.276	554	450	0.K
20	3	213,514	417.746	8.92E+07	1.88E+11	221.896	600	450	0.K
21	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	209.114	600	450	0.K
22	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	205.128	600	450	0.K

23	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	202.008	600	450	0.K
24	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	197.118	600	450	0.K
25	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	187.805	600	450	0.K
26	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	203.339	600	250	0.K
27	1	390,030	218.080	8.51E+07	1.467E+11	244.680	502	150	0.K
28	1	392,860	216.790	8.52E+07	1.469E+11	244.869	502	150	0.K
29	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	203.246	600	250	0.K
30	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	187.592	600	250	0.K
31	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	196.944	600	450	0.K
32	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	201.855	600	450	0.K
33	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	205.021	600	450	0.K
34	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	209.008	600	450	0.K
35	3	213,514	417.746	8.92E+07	1.88E+11	221.873	600	450	0.K
36	3	213,514	417.746	8.92E+07	1.88E+11	271.078	554	450	0.K
37	3	213,514	417.746	8.92E+07	1.88E+11	231.996	600	450	0.K
38	5	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	208.340	600	450	0.K
39	5	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	205.056	600	450	0.K
40	5	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	202.254	600	450	0.K
41	5	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	201.433	600	450	0.K
42	5	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	202.419	600	450	0.K
43	5	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	205.792	600	450	0.K
44	5	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	209.752	600	450	0.K
45	3	213,514	417.746	8.92E+07	1.88E+11	222.838	600	450	0.K
46	3	213,514	417.746	8.92E+07	1.88E+11	274.944	546	450	0.K
47	3	213,514	417.746	8.92E+07	1.88E+11	227.252	600	450	0.K
48	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	206.851	600	450	0.K
49	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	203.173	600	450	0.K
50	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	200.949	600	450	0.K
51	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	198.095	600	450	0.K
52	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	191.243	600	450	0.K
53	1	213,514	334.672	7.15E+07	1.27E+11	198.132	600	250	0.K
54	1	392,860	216.790	8.52E+07	1.469E+11	244.906	502	150	0.K

- 전단연결재 피치는 600㎜를 초과해선 안되며, 직경의 6배 이상

6D = 150.000 ≤ p_{use} ≤ 600.000 ㎜ ... **0.K**

(3) 횡방향간격 검토

1) 전단연결재 횡방향 간격은 전단연결재 직경의 4배이상

S_{use} = 100 ≥ 4d = 100.000 ㎜ ... **0.K**

2) 상부플랜지 연단과 가장 인접한 전단연결재 간의 연단거리는 25㎜ 이상

$$\frac{b_{tf}-(N-1)\cdot S}{2} - \frac{d}{2} = 87.500 \geq 25.0 \text{ ㎜}$$ ... **0.K**

여기서, b_{tf} = 400 ㎜ (전단연결재가 접합된 플랜지의 폭)

N = 3 EA (횡방향 전단연결재 개수)

S = 100 ㎜ (전단연결재의 횡방향 간격)

D = 25 ㎜ (전단연결재 지름)

(4) 극한한계상태 검토

1) 전단연결재 공칭전단강도

$Q_{ncal} = 0.5A_{sc} \cdot \sqrt{(f_{ck} E_c)}$ = 208.397 kN

$Q_{nlim} = A_{sc} \cdot F_u$ = 196.350 kN

$\therefore \quad Q_n = \min(Q_{ncal}, Qn_{lim})$ = 196.350 kN

$Q_r = \Phi_{se} \cdot Q_n$ = 166.897 kN

여기서, f_{ck} = 27 MPa (콘크리트 28일 압축강도)

E_c = 26702 MPa (슬래브 탄성계수)

A_{sc} = 491 mm^2 (전단연결재 면적)

F_u = 400 MPa (전단연결재 인장강도)

Φ_{se} = 0.85 (6.5.4.2에 규정된 전단연결재에 대한 저항계수)

2) 소요 전단연결재(정모멘트 구간)

- 공칭수평전단력

$V_{h01} = 0.85f_{ck} \cdot b \cdot t_s$ = 34301.070 kN

$V_{h02} = F_{yw} \cdot D \cdot t_w + F_{yt} \cdot b_t \cdot t_t + F_{yc} \cdot b_c \cdot t_c$ = 27816.000 kN

$\therefore \quad V_h = \min(V_{h01}, V_{h02})$ = 27816.000 kN

여기서, b = 6228 mm (바닥판 유효폭)

t_s = 240 mm (바닥판 두께)

b_c = 400 mm (압축플랜지 폭)

t_c = 12 mm (압축플랜지 두께)

b_t = 2600 mm (인장플랜지 폭)

t_t = 18 mm (인장플랜지 두께)

F_{yw} = 380 MPa (복부판 항복강도)

F_{yt} = 380 MPa (인장플랜지 항복강도)

F_{yc} = 380 MPa (압축플랜지 항복강도)

D = 1800 mm (복부판 높이)

t_w = 12 mm (복부판 두께)

- 정모멘트 구간에서 소요 전단연결재 개수

$n_{req} = V_h/Q_r$ = 167 EA ≤ n_{ues} = 391 EA ... 0.K

3) 공칭수평전단력 계산(부모멘트 구간)

- 공칭수평전단력

$V_h = A_r \cdot F_{yr}$ = 11418.744 kN

여기서, A_r = 28547 mm^2 (바닥판 유효폭 내 내부지점 위의 축방향 철근의 총단면적)

F_{yr} = 400 MPa (축방향 철근의 항복강도)

- 부모멘트 구간에서 소요 전단연결재 개수

$n_{req} = V_h/Q_r$ = 69 EA ≤ n_{ues} = 400 EA ... 0.K

10. 사용성 검토

10.1 피로검토

※ 피로검토는 "6.주형의 단면검토"에서 검토하였음.

10.2 처짐량 검토

(1) 위치별 활하중 처짐량

절점	처짐량	비고
1	0.00	A1
2	-6.45	
3	-12.49	
4	-16.24	
5	-17.17	
6	-15.33	
7	-11.11	
8	-5.53	
9	0.00	P1
10	-7.05	
11	-14.99	
12	-22.31	
13	-27.39	
14	-29.14	
15	-27.39	
16	-22.32	
17	-14.99	
18	-7.05	
19	0.00	P2
20	-5.53	
21	-11.11	
22	-15.33	
23	-17.17	
24	-16.24	
25	-12.49	
26	-6.45	
27	0.00	A2

절점	처짐량	비고
28	0.00	A1
29	-6.48	
30	-12.54	
31	-16.30	
32	-17.23	
33	-15.38	
34	-11.14	
35	-5.54	
36	0.00	P1
37	-7.06	
38	-15.02	
39	-22.37	
40	-27.46	
41	-29.21	
42	-27.46	
43	-22.37	
44	-15.03	
45	-7.07	
46	0.00	P2
47	-5.55	
48	-11.15	
49	-15.38	
50	-17.24	
51	-16.30	
52	-12.54	
53	-6.48	
54	0.00	A2

(2) 경간별 최대처짐량

구 분	1경간중앙	2경간중앙	3경간중앙
G1	-17.17	-29.14	-17.17
G2	-17.23	-29.21	-17.24

(3) 처짐량 검토 (☞ 도.설.한 5.8.4.1)

구 분	1경간	2경간	3경간
지간길이	40000.00 mm	50000.00 mm	40000.00 mm
허용처짐량	40000/800 50.00 mm	50000/800 62.50 mm	40000/800 50.00 mm
최대처짐량	-17.23	-29.21	-17.24
판정	O.K	O.K	O.K

- 허용처짐량 : L / 800 (사용하중과 충격에 의한 처짐 제한)

11. 솟음(CAMBER)

(단위 : mm)

절점 번호	누가 거리 (M)	합성전 고정하중		합성후 고정 하중	종곡선 보정량	편경사 보정량	솟음량				비고
		강재자중	바닥판 타설				공장 제작시	현장 거치시	바닥판 타설완료	2차 고정하중 재하시	
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) : (1)~(5)	(7) : (6)-(1)	(8) : (7)-(2)	(9) : (8)-(3)	
1	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	A1
2	4.30	5.4	14.9	3.7	0.0	0.0	23.9	18.5	3.7	0.0	
3	9.30	10.1	27.4	6.8	0.0	0.0	44.3	34.2	6.8	0.0	
4	14.30	12.4	33.0	8.2	0.0	0.0	53.6	41.3	8.2	0.0	
5	19.30	12.0	31.3	7.9	0.0	0.0	51.2	39.2	7.9	0.0	
6	24.30	9.4	23.4	6.0	0.0	0.0	38.8	29.4	6.0	0.0	
7	29.30	5.5	13.0	3.2	0.0	0.0	21.7	16.2	3.2	0.0	
8	34.30	2.0	3.9	0.7	0.0	0.0	6.6	4.6	0.7	0.0	
9	39.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	P1
10	44.30	0.6	4.5	2.2	0.0	0.0	7.4	6.7	2.2	0.0	
11	49.30	2.9	14.4	6.2	0.0	0.0	23.5	20.6	6.2	0.0	
12	54.30	5.8	26.1	10.4	0.0	0.0	42.3	36.5	10.4	0.0	
13	59.30	8.1	35.5	13.6	0.0	0.0	57.3	49.2	13.6	0.0	
14	64.30	8.9	39.1	14.8	0.0	0.0	62.9	53.9	14.8	0.0	
15	69.30	7.9	35.5	13.6	0.0	0.0	57.1	49.2	13.6	0.0	
16	74.30	5.4	26.1	10.4	0.0	0.0	42.0	36.5	10.4	0.0	
17	79.30	2.6	14.4	6.2	0.0	0.0	23.2	20.6	6.2	0.0	
18	84.30	0.4	4.5	2.2	0.0	0.0	7.1	6.7	2.2	0.0	
19	89.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	P2
20	94.30	2.2	3.9	0.7	0.0	0.0	6.8	4.6	0.7	0.0	
21	99.30	6.0	13.0	3.2	0.0	0.0	22.2	16.2	3.2	0.0	
22	104.30	9.9	23.4	6.0	0.0	0.0	39.3	29.4	6.0	0.0	
23	109.30	12.6	31.3	7.9	0.0	0.0	51.7	39.1	7.9	0.0	
24	114.30	12.9	33.0	8.2	0.0	0.0	54.1	41.3	8.2	0.0	
25	119.30	10.4	27.4	6.8	0.0	0.0	44.6	34.2	6.8	0.0	
26	124.30	5.6	14.9	3.7	0.0	0.0	24.1	18.5	3.7	0.0	
27	128.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	A2

Double Bending

목 차

1. 설계기준

2. 단면가정

3. 바닥판 설계

4. 주거더의 설계

4.1 바닥판의 유효폭 계산

4.2 단면정수 산정

4.3 작용하중의 산정

4.4 모델링 및 하중조합

1) 모 델 링

2) 하중조합

4.5 주거더의 부재력 집계

4.6 반력 집계

5. 주거더 단면검토

5.1 정모멘트구간 단면검토

5.2 부모멘트구간 단면검토

6. 이음부 설계

6.1 정모멘트구간 현장이음 설계

7. 보강재 설계

7.1 교대부 지점보강재 설계

7.2 교각부 지점보강재 설계

8. 브레이싱 설계

8.1 K-다이아프램

8.2 수평브레이싱 설계

9. 전단연결재 설계

9.1 상부바닥판 전단연결재

10. 사용성 검토

10.1 피로검토

10.2 처짐량 검토

11. 솟음(CAMBER)

1. 설 계 기 준

1) 교량등급 및 제원

① 교 량 명 : 절곡 강박스거더교

② 교 량 등 급 : 1등교

③ 교 량 형 식 : 절곡 강박스거더 (Double Bending)

④ 지 간 : 40 + 50 + 40= 130

⑤ 교 폭 : 12.455 m

⑥ 거 더 제 원 : B = 2.400 m , H = 1.800 m

⑦ 사 각 (SKEW) : 0.0 °

⑧ 곡 률 반 경 : R = ∞ m

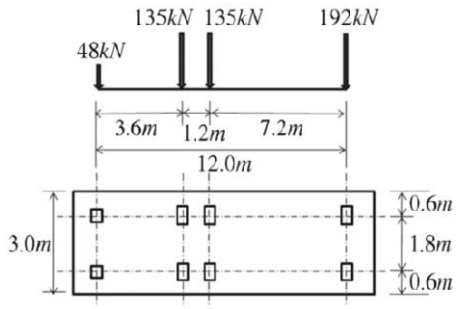
⑨ 설 계 속 도 : 120 km/h

2) 하중조건

① 고정하중 : DC,DW (☞ 도.설.한 3.5)

- 철근 콘크리트 : 25.0 kN/㎥
- 무근 콘크리트 : 23.5 kN/㎥
- 강 재 : 78.5 kN/㎥
- 교면 포장 : 23.0 kN/㎥

② 차량활하중 : LL (☞ 도.설.한 3.6.1)

표준트럭하중	표준차로하중
	$L \leq 60\,\mathrm{m}$: $\omega = 12.7 \quad (\mathrm{kN/m})$ $L > 60\,\mathrm{m}$: $\omega = 12.7 \times \left(\frac{60}{L}\right)^{0.18} \quad (\mathrm{kN/m})$ L : 표준차로하중이 재하되는 부분의 지간

: 부모멘트구

- 다차로재하계수, m

재하차로의 수	다차로재하계수
1	1.0
2	0.9
3	0.8
4	0.7
5	0.65

※ 보도하중과 1차로 이상의 차량하중을 포함하는 하중조건의 경우,
보도하중을 하나의 재하차로로 취할 수 있다.

③ 피로하중 (☞ 도.설.한 3.6.2)

- 표준트럭하중의 80% 적용하여 한차로에 대해서 고려함.

④ 충격하중 : IM (☞ 도.설.한 3.7)

- 충격계수 : i = 1 + IM / 100

성 분		IM
바닥판 신축이음장치를 제외한 모든 다른 부재	피로한계상태를 제외한 모든 한계상태	25%
	피로한계상태	15%

3) 사용재료

① 상부 바닥판 콘크리트 (상부슬래브) (☞ 도.설.한 5.5.1.2)

- 강 도 : fck = 35 MPa
- 탄성계수 : Ec = 28,825 MPa

② 하부 바닥판 콘크리트 (지점부 하부슬래브)

- 강 도 : fck = 40 MPa
- 탄성계수 : Ec = 30,008 MPa

③ 철 근 (SD400) (☞ 도.설.한 5.5.2)

- 항복강도 : fy = 400 MPa
- 탄성계수 : Es = 200,000 MPa

④ 강 재

- 주부재 : HSB500 사용 (상판, 하판, 복부판, 상부종리브, 하부종리브, 수평보강재, 지점부 다이아프램, 지점보강재, 솔플레이트)
- 부부재 : SM400B 사용 (지점부외 다이아프램, 수직보강재, 횡리브, 세로보, 가로보)
- 탄성계수 : Est = 205,000 MPa
- 전단탄성계수 : G = 79,000 MPa

⑤ 주요 구조용 강재의 재료강도 (☞ 도.설.한 6.4.4.1)

구 분	판두께	SS400, SM400	SM490	SM520	HSB500
F_y	40mm 이하	235 MPa	315 MPa	355 MPa	380 MPa
	40mm 초과 75mm 이하	215 MPa	295 MPa	335 MPa	
	75mm 초과 100mm 이하	215 MPa	295 MPa	325 MPa	
F_u	43mm 이하	400 MPa	490 MPa	520 MPa	500 MPa

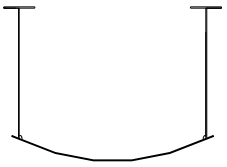
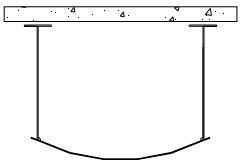
⑤ 고장력볼트의 재료강도 (☞ 도.설.한 6.4.4.2)

구 분	F8T	F10T	F13T	비 고
F_y	640 MPa	900 MPa	1170 MPa	
F_u	800 MPa	1000 MPa	1300 MPa	

4) 설 계 방 법

한계상태설계법

5) 단계별 시공순서 및 작용하중

시공단계	시공단계 및 작용하중	구조해석시 단면강성	비 고
1단계 (합성전)	강거더거치 - 강재 자중		
2단계 (합성후)	바닥판 타설 - 바닥판 콘크리트 자중		

6) 하중계수 및 하중조합

구 분	DC	DW	LL(IM)	SD	비 고
극한 한계상태 Ⅰ	1.25	1.5	1.8	1.0	
사용 한계상태 Ⅱ	1.0	1.0	1.3	-	
피로 한계상태	-	-	0.75	-	

7) 참 고 문 헌

① 도로교설계기준(한계상태설계법)해설 -------- (사)한국교량및구조공학회 (2015) [☞ 도.설.한]

② 콘크리트구조기준 ---------- 국토해양부 (2012) [☞ 콘.구.기]

③ 강구조설계기준 ---------- (사)한국강구조학회 (2014) [☞ 강.설.기]

④ 강도로교상세부설계지침 ---------- 국토해양부 (2006)

⑤ 강구조편람 ---------- 한국강구조학회 (1995)

⑥ 개구제형 강거더 설계지침 ---------- 한국도로공사 (2002)

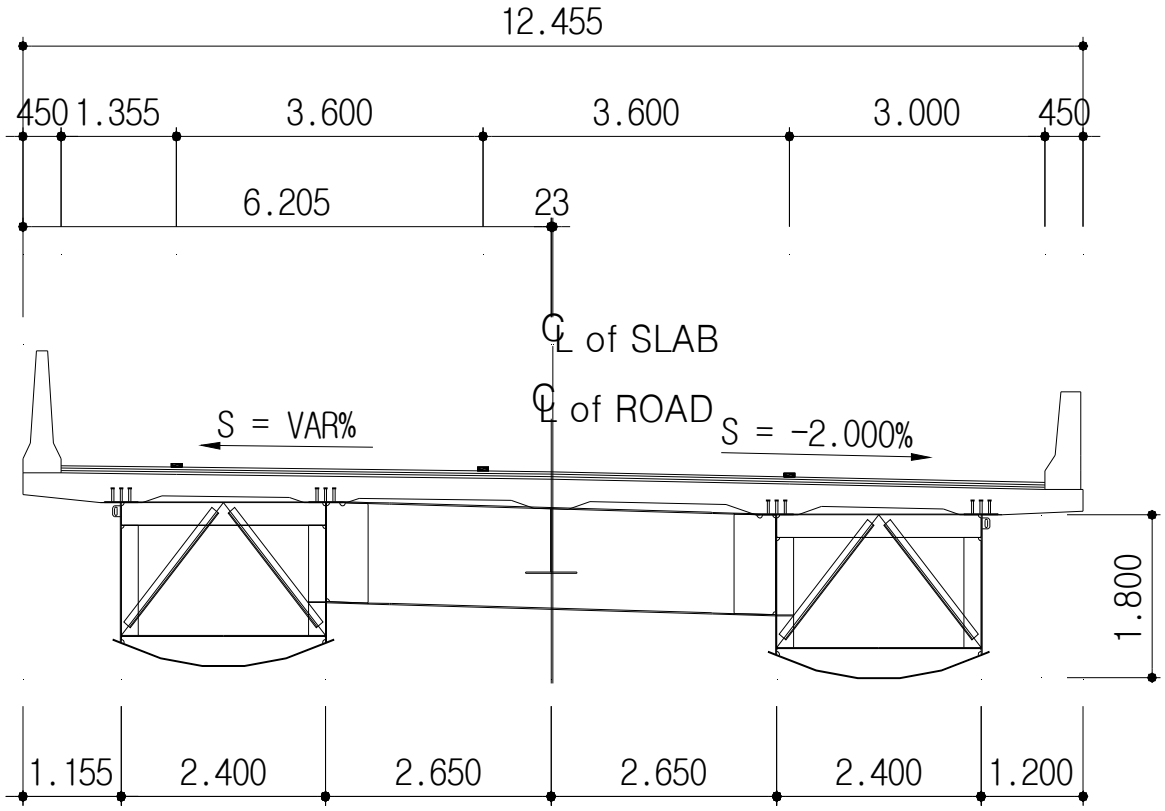
⑦ 강교설계의 기초 ---------- 도서출판 건설도서 (2005)

⑧ AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 7th Edition ---- AASHTO (2015)

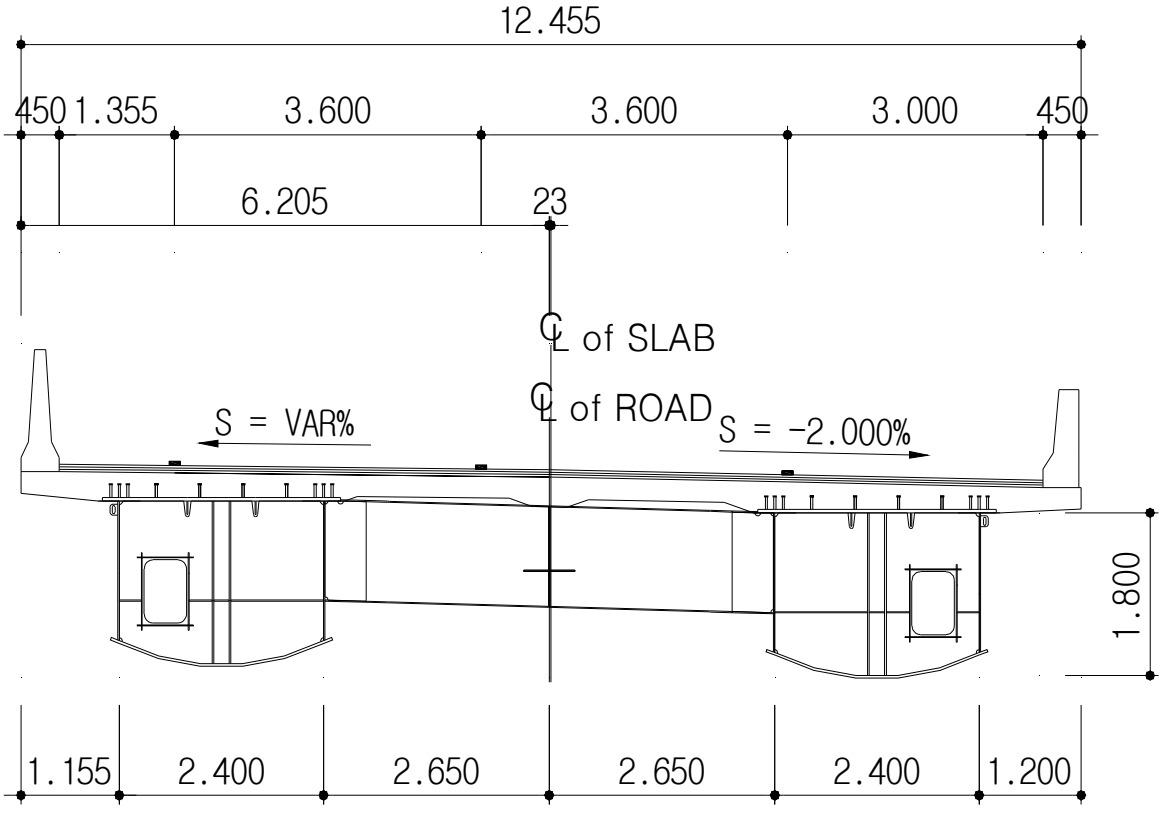
⑨ Steel Bridge Design Handbook ---------- FHWA (2015)

2. 단면가정

중앙부



지점부



3. 바닥판 설계

3.1 경험적 설계법 적용 가능여부 검토 (중앙부 바닥판)

(1) 경험적 설계 조건

1) 지점선의 단면에 가로보 또는 격벽이 사용된 경우 **O.K**

2) 지지부재들이 강재 또는 콘크리트로 된 경우 **O.K**

3) 콘크리트의 바닥판이 현장타설되고 습윤양생된 경우 : 현장타설 & 습윤양생 적용 **O.K**

4) 거더플랜지부의 헌치와 국부적으로 두껍게 한 곳을 제외한 상태에서 전체적으로 바닥판의 두께가 일정한 경우 : 240㎜로 일정함 **O.K**

5) 바닥판의 두께에 대한 유효지간의 비가 6 이상 15 이하인 경우

○ 바닥판 두께 : 240 ㎜

○ 유효지간 길이 1 : 2400

○ 유효지간 비 1 : 2400 / 240 = 10.00 **O.K**

○ 유효지간 길이 2 : 2650

○ 유효지간 비 2 : 2650 / 240 = 11.04 **O.K**

6) 슬래브의 코아 두께는 150 ㎜ 이상인 경우

○ 사용 철근 : 상면: H 13 하면 H 13

○ 상부 피복두께 : 50 ㎜ ○ 하부 피복두께 : 30 ㎜

○ 최외측면 두께 : 160 ㎜ ≥ 150 ㎜ **O.K**

7) 유효지간이 표준차선폭 3600㎜ 이하인 경우

○ 유효지간 길이 1 : 2400 ㎜ ≤ 3600 ㎜ **O.K**

○ 유효지간 길이 2 : 2650 ㎜ ≤ 3600 ㎜ **O.K**

8) 바닥판의 흠집, 마모면, 그리고 보호피복두께층을 제외한 바닥판 최소두께가 240 ㎜ 이상인 경우

○ 바닥판 최소두께 : 240 ㎜ ≥ 240 ㎜ **O.K**

9) 캔틸레버부의 길이가 내측 바닥판 두께의 5배 이상이거나, 캔틸레버부의 길이가 내측 바닥판 두께의 3배 이상이고 연속인 콘크리트 방호책과 구조적으로 합성이 된 경우

○ 좌측 캔틸레버

- 캔틸레버 길이 : 1.055 m ≥ 0.72 m (= 3 x 0.24) **O.K**

○ 우측 캔틸레버

- 캔틸레버 길이 : 1.100 m ≥ 0.72 m (= 3 x 0.24) **O.K**

10) 콘크리트의 28일 압축강도는 27 MPa 이상인 경우

○ Slab f_{ck} = 27.0 MPa ≥ 27.0 MPa **O.K**

11) 바닥판은 바닥판을 지지하는 구조부재들과 합성거동을 하는 경우

⇒ 바닥판과 바닥판을 지지하는구조부재는 완전합성거동함 **O.K**

(2) 검토 결론

○ 중앙부 ⇒ 경험적 설계법 적용

○ 캔틸레버부 ⇒ 전통적 설계법 적용

3.2 경험적 설계법에 의한 거더부 바닥판 설계

3.2.1 설계기준

(1) 지간방향 : 하부 철근량 = 콘크리트 바닥판 단면적의 0.3% 이상
상부 철근량 = 콘크리트 바닥판 단면적의 0.3% 이상

(2) 지간방향에 직각방향 : 하부 철근량 = 콘크리트 바닥판 단면적의 0.3% 이상
상부 철근량 = 콘크리트 바닥판 단면적의 0.3% 이상

3.2.2 철근량 산정

(1) 필요 철근량 산정

1) 지간방향 (주철근)

○ 하부 필요 철근량 A_s^{req} = 240 x 1000 x 0.003 = 720 mm^2

○ 상부 필요 철근량 A_s^{req} = 240 x 1000 x 0.003 = 720 mm^2

2) 지간방향에 직각방향 (배력철근)

○ 하부 필요 철근량 A_s^{req} = 240 x 1000 x 0.003 = 720 mm^2

○ 상부 필요 철근량 A_s^{req} = 240 x 1000 x 0.003 = 720 mm^2

(2) 철근량 산정

1) 지간방향 (주철근)

○ 하부 필요 철근량 A_s^{use} = H13 @ 150 = 845 mm^2 > 720 mm^2 **O.K!**

○ 상부 필요 철근량 A_s^{use} = H13 @ 150 = 845 mm^2 > 720 mm^2 **O.K!**

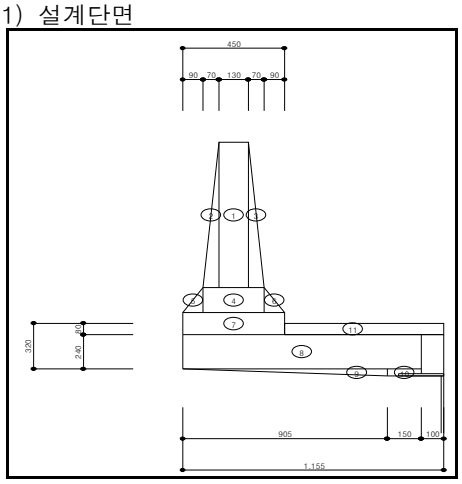
2) 지간방향에 직각방향 (배력철근)

○ 하부 필요 철근량 A_s^{use} = H16 @ 250 = 794 mm^2 > 720 mm^2 **O.K!**

○ 상부 필요 철근량 A_s^{use} = H16 @ 250 = 794 mm^2 > 720 mm^2 **O.K!**

3.3 좌측 캔틸레버부

(1) 설계단면



○ 슬래브 두께 (TS) = 0.240 m
○ 포장 두께 (TP) = 0.080 m
○ 상부플랜지 폭 (UF) = 0.400 m
○ 방호벽 (단위 : m)

구 분	A	X	A · X
1	0.133	0.830	0.11006
2	0.036	0.918	0.03277
3	0.036	0.742	0.02649
4	0.047	0.830	0.03922
5	0.008	0.995	0.00784
6	0.008	0.665	0.00524
7	0.070	0.830	0.05789
8	0.253	0.527	0.13344
9	0.023	0.452	0.01023
10	0.008	0.075	0.00056

(2) 하중산정

1) DC

○ 슬래브 = 0.283 x 25.0 x 0.509 = 3.606 kN · m
○ 방호벽 = 0.337 x 25.0 x 0.830 = 6.988 kN · m

2) DW

○ 포장 = 0.080 x 0.605 x 23.0 x 0.303 = 0.337 kN-m

3) 활하중 (LL, KL-510 후륜 P=96kN)

○ 분 포 폭 E = 0.8 X + 1.14
= 0.8 x 0.305 + 1.14 = 1.384 m
○ 충격계수 IM = = 0.250
○ 폭 1m 당 M_L = P X / E (1 + IM) = 26.445 kN-m

4) 충돌하중 (CT)

○ 곡선 반경 R = 0.0 m (R ≤ 200m 곡선부 : 적용 하중의 2배 적용)
i) 작용 높이 h_i = 1.080 m (노면상 1.0m 높이에 직각으로 작용)
설계 속도 V = 120 km/h
수평충돌력 H_i = $(V / 60)^2$ x 7.5 + 2.5 = 32.500 kN
M_i = = 35.100 kN-m

ii) 작용 높이 h_{ii} = 1.495 m (방호벽, 방음벽 상단)
설계 속도 H_{ii} = 10.000 kN
수평충돌력 M_{ii} = = 14.950 kN-m
○ 적용 하중 M_{CO} = Max (M_i , M_{ii}) = 35.100 kN-m

5) 풍하중

○ 적용 풍하중 P_W = 3.000 kN/m^2
○ 적용 높이 H_W = 1.415 m
○ 작용 위치 e_W = 0.708 m (= H_W / 2)
○ 적용 하중 M_W = = 3.003 kN-m

6) 단면력 요약정리 (단위 : kN-m)

구 분	DC	DW	LL(IM)	CT	WS	비 고
Moment	10.593	0.337	26.445	35.100	3.003	

(3) 하중조합 (단위 : kN-m)

구 분	DC	DW	LL(IM)	CT	WS	모멘트	비 고
극한 한계상태 I	1.25	1.50	1.80	0.00	0.00	61.348	
극한 한계상태 III	1.25	1.50	0.00	0.00	1.40	17.951	
극한 한계상태 V	1.25	1.50	1.40	0.00	0.40	51.971	
극단상황 한계상태 II	1.25	1.50	0.50	1.00	0.00	62.069	
사용한계상태 V	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	10.930	

(4) 극한한계상태 검토

1) 설계조건

M_u	=	61.348	kN-m	f_{ck}	=	27	MPa	f_y = 400 MPa
b	=	1000.0	mm	d	=	230.0	mm	d' = 60.0 mm
Φ_c	=	0.650		Φ_s	=	0.950		β_1 = 0.850

○ 콘크리트 강도에 따른 응력-변형률 곡선 계수

- n (상승곡선부 형상지수) = 2.00
- ε_{co} (최대응력에 처음 도달할 때의 변형률) = 0.0020
- ε_{cu} (극한 변형률) = 0.0033
- α (압축합력 크기 계수) = 0.7980
- β (작용점 위치계수) = 0.4120

2) 필요 휨철근량 산정

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 0.03192 A_s

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$

$= -4.9976\ A_s^2 + 87400.00\ A_s$ = 6.13E+07 N-mm

○ $A_{s,req}$ = 732.6 mm^2

○ 최소철근량 검토

ⓐ $= A_{s,req} \times 4/3$ = 976.8 mm^2

ⓑ $= 1.4 / f_y \times b \times d$ = 805.0 mm^2

ⓒ $= 0.25 \sqrt{(f_{ck})} / f_y \times b \times d$ = 746.9 mm^2

ⓓ $= 0.75 \times A_g / f_y$ = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = min(ⓐ,max(ⓑ,ⓒ,ⓓ)) = 805.0 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 13 @ 150 × 1 단 = 844.7 mm^2 ∴ O.K

3) 허용최대 중립축 깊이

○ δ = = 1.00

○ $c_{max} = (\delta \times \varepsilon_{cu} / 0.0033 - 0.6) \times d$ = 92.00 mm

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 26.96 mm

○ c_{max} = 92.00 mm > c = 26.96 mm ∴ O.K

4) 인장철근 변형률 검토(항복여부 검토)

○ $\varepsilon_s = (d - c) / c \times \varepsilon_{cu}$ = 0.0248 > ε_{yd} = 0.002 ∴ O.K

5) 휨강도 계산

○ $C = \alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b \times c$ = 320973.5 N-mm

○ $T = \Phi_s \times A_s \times f_y$ = 320973.5 N-mm

C = T 이므로 O.K

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$ = 70.258 kN-m

○ M_u = = 61.348 kN-m ∴ O.K

6) 배력철근량 산정

○ 주철근량의 20%이상 배치 = 168.9 mm^2

○ 건조수축 및 온도변화에 대한 보강철근 = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = = 543.8 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 16 @ 250 × 1 단 = 794.4 mm^2 ∴ O.K

(5) 극단상황한계상태 검토

1) 설계조건

M_u	=	62.069	kN-m	f_{ck}	=	27	MPa	f_y	=	400	MPa
b	=	1000.0	mm	d	=	230.0	mm	d'	=	60.0	mm
Φ_c	=	0.650		Φ_s	=	0.950		β_1	=	0.850	

○ 콘크리트 강도에 따른 응력-변형률 곡선 계수

- n (상승곡선부 형상지수) = 2.00
- ε_{co} (최대응력에 처음 도달할 때의 변형률) = 0.0020
- ε_{cu} (극한 변형률) = 0.0033
- α (압축합력 크기 계수) = 0.7980
- β (작용점 위치계수) = 0.4120

2) 필요 휨철근량 산정

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 0.03192 A_s

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$

$= -4.9976\ A_s^2 + 87400.00\ A_s$ = 6.21E+07 N-mm

○ $A_{s,req}$ = 741.6 mm^2

○ 최소철근량 검토

ⓐ $= A_{s,req} \times 4/3$ = 988.8 mm^2

ⓑ $= 1.4 / f_y \times b \times d$ = 805.0 mm^2

ⓒ $= 0.25 \sqrt{(f_{ck})} / f_y \times b \times d$ = 746.9 mm^2

ⓓ $= 0.75 \times A_g / f_y$ = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = min(ⓐ,max(ⓑ,ⓒ,ⓓ)) = 805.0 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 13 @ 150 × 1 단 = 844.7 mm^2 ∴ O.K

3) 허용최대 중립축 깊이

○ δ = = 1.00

○ $c_{max} = (\delta \times \varepsilon_{cu} / 0.0033 - 0.6) \times d$ = 92.00 mm

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 26.96 mm

○ c_{max} = 92.00 mm > c = 26.96 mm ∴ O.K

4) 인장철근 변형률 검토(항복여부 검토)

○ $\varepsilon_s = (d - c) / c \times \varepsilon_{cu}$ = 0.025 > ε_{yd} = 0.002 ∴ O.K

5) 휨강도 계산

○ $C = \alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b \times c$ = 320973.5 N-mm

○ $T = \Phi_s \times A_s \times f_y$ = 320973.5 N-mm

C = T 이므로 O.K

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$ = 70.258 kN-m

○ M_u = = 62.069 kN-m ∴ O.K

6) 배력철근량 산정

○ 주철근량의 20%이상 배치 = 168.9 mm^2

○ 건조수축 및 온도변화에 대한 보강철근 = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = = 543.8 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 16 @ 250 × 1 단 = 794.4 mm^2 ∴ O.K

○ 철근간격 s = 250 mm < min(3h, 450) = 450 mm ∴ O.K

(6) 사용한계상태 검토

1) 균열검토

○ 최소철근량 검토

- $A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot A_{ct} \cdot f_{ct} / f_s$ = 500.3 mm^2

  f_s = 400.0 MPa

  f_{ct} = 3.450 MPa

  k_c = 0.400 ≤ 1.0

  A_{ct} = 145000 mm^2

- $A_{s,min}$ = 500.3 mm^2 < $A_{s,use}$ = 844.7 mm^2 ∴ **O.K**

○ 간접 균열 제어

- 철근에 발생하는 응력

  M_s = 10929941 N-mm

  $n = E_s / E_c$ = 6.127373987

  $x = -n \cdot A_s/b + n \cdot A_s/b \cdot \sqrt{\{1+2 \cdot b \cdot d /(n \cdot A_s)\}}$ = 43.891 mm

  $f_s = M_s / \{A_{s,used} \cdot (d - x / 3)\}$

  = 60.082 MPa < $0.8 \cdot f_y$ = 320.000 MPa ∴ **O.K**

- 철근응력 검토 (사용 철근 H 13)

  균열 제어를 위한 최대 철근 지름 = 280.00 MPa

  f_s = 60.082 MPa < 280.000 MPa

  균열 제어를 위한 최대 철근 간격 = 150.00 mm

  s = 150.000 mm < 150.00 mm

  최대 지름과 최대 철근 간격을 모두 만족하므로 ∴ **O.K**

2) 처짐검토

○ 한계 지간/깊이 비 검토

- $\rho \le \rho_0$

$$\frac{l}{d} = k \left[11 + 1.5 \sqrt{(f_{ck})} \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \sqrt{(f_{ck})} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right]$$

- $\rho > \rho_0$

$$\frac{l}{d} = k \left[11 + 1.5 \sqrt{(f_{ck})} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{(f_{ck})} \sqrt{\left(\frac{\rho}{\rho_c}\right)} \right]$$

  k = 1.500

  ρ_0 = 0.00592

  ρ = 0.00367

  ρ' = 0.000

○ 철근비 판정

ρ = 0.00367 < ρ_0 = 0.00592 **위의 식 적용**

○ 한계 지간/깊이 비 산정

l / d = 51.503

○ 철근응력 보정

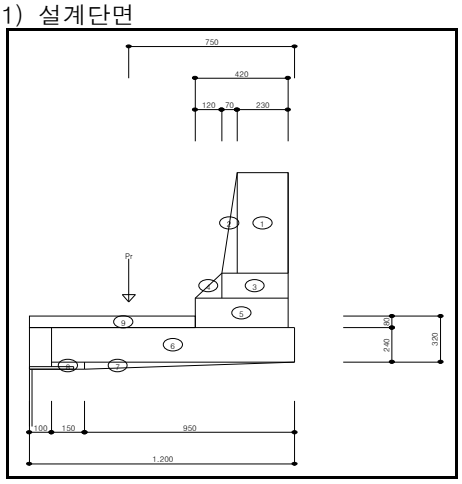
$f_s = n \times M / I \times (d - x)$ = 6.133 MPa

○ 응력보정계수 = 310 / 6.133 = 50.549

○ 보정 l / d = 2603 > 적용 l / d = 4.891 ∴ **O.K**

3.4 우측 캔틸레버부

(1) 설계단면



○ 슬래브 두께 (TS) = 0.240 m
○ 포장 두께 (TP) = 0.080 m
○ 상부플랜지 폭 (UF) = 0.400 m
○ 방호벽 (단위 : m)

구 분	A	X	A · X
1	0.161	0.955	0.15376
2	0.025	0.817	0.02002
3	0.053	0.920	0.04830
4	0.011	0.730	0.00767
5	0.086	0.860	0.07405
6	0.264	0.550	0.14520
7	0.024	0.467	0.01109
8	0.008	0.075	0.00056

(2) 하중산정

1) DC

○ 슬래브 = 0.295 x 25.0 x 0.002 = 0.014 kN · m
○ 방호벽 = 0.335 x 25.0 x 1.375 = 11.502 kN · m

2) DW

○ 포장 = 0.080 x 0.650 x 23.0 x 0.325 = 0.389 kN-m

3) 활하중 (LL, KL-510 후륜 P=96kN)

○ 분 포 폭 E = 0.8 X + 1.14
= 0.8 x 0.350 + 1.14 = 1.420 m
○ 충격계수 IM = = 0.250
○ 폭 1m 당 M_L = P X / E (1 + IM) = 29.577 kN-m

4) 충돌하중 (CT)

○ 곡선 반경 R = 0.0 m (R ≤ 200m 곡선부 : 적용 하중의 2배 적용)
i) 작용 높이 h_i = 1.080 m (노면상 1.0m 높이에 직각으로 작용)
설계 속도 V = 120 km/h
수평충돌력 H_i = $(V / 60)^2$ x 7.5 + 2.5 = 32.500 kN
M_i = = 35.100 kN-m

ii) 작용 높이 h_{ii} = 1.225 m (방호벽, 방음벽 상단)
설계 속도 H_{ii} = 10.000 kN
수평충돌력 M_{ii} = = 12.250 kN-m
○ 적용 하중 M_{CO} = Max (M_i , M_{ii}) = 35.100 kN-m

5) 풍하중

○ 적용 풍하중 P_W = 3.000 kN/m^2
○ 적용 높이 H_W = 1.145 m
○ 작용 위치 e_W = 0.573 m (= H_W / 2)
○ 적용 하중 M_W = = 1.967 kN-m

6) 단면력 요약정리 (단위 : kN-m)

구 분	DC	DW	LL(IM)	CT	WS	비 고
Moment	11.516	0.389	29.577	35.100	1.967	

(3) 하중조합 (단위 : kN-m)

구 분	DC	DW	LL(IM)	CT	WS	모멘트	비 고
극한 한계상태 I	1.25	1.50	1.80	0.00	0.00	68.217	
극한 한계상태 III	1.25	1.50	0.00	0.00	1.40	17.731	
극한 한계상태 V	1.25	1.50	1.40	0.00	0.40	57.173	
극단상황 한계상태 II	1.25	1.50	0.50	1.00	0.00	64.867	
사용한계상태 V	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	11.905	

(4) 극한한계상태 검토

1) 설계조건

M_u	=	68.217	kN-m	f_{ck}	=	27	MPa	f_y = 400 MPa
b	=	1000.0	mm	d	=	230.0	mm	d' = 60.0 mm
Φ_c	=	0.650		Φ_s	=	0.950		β_1 = 0.850

○ 콘크리트 강도에 따른 응력-변형률 곡선 계수

- n (상승곡선부 형상지수) = 2.00
- ε_{co} (최대응력에 처음 도달할 때의 변형률) = 0.0020
- ε_{cu} (극한 변형률) = 0.0033
- α (압축합력 크기 계수) = 0.7980
- β (작용점 위치계수) = 0.4120

2) 필요 휨철근량 산정

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 0.03192 A_s

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$

$= -4.9976\ A_s^2 + 87400.00\ A_s$ = 6.82E+07 N-mm

○ $A_{s,req}$ = 818.9 mm^2

○ 최소철근량 검토

ⓐ $= A_{s,req} \times 4/3$ = 1091.8 mm^2

ⓑ $= 1.4 / f_y \times b \times d$ = 805.0 mm^2

ⓒ $= 0.25 \sqrt{(f_{ck})} / f_y \times b \times d$ = 746.9 mm^2

ⓓ $= 0.75 \times A_g / f_y$ = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = min(ⓐ,max(ⓑ,ⓒ,ⓓ)) = 805.0 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 13 @ 150 × 1 단 = 844.7 mm^2 ∴ O.K

3) 허용최대 중립축 깊이

○ δ = = 1.00

○ $c_{max} = (\delta \times \varepsilon_{cu} / 0.0033 - 0.6) \times d$ = 92.00 mm

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 26.96 mm

○ c_{max} = 92.00 mm > c = 26.96 mm ∴ O.K

4) 인장철근 변형률 검토(항복여부 검토)

○ $\varepsilon_s = (d - c) / c \times \varepsilon_{cu}$ = 0.0248 > ε_{yd} = 0.002 ∴ O.K

5) 휨강도 계산

○ $C = \alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b \times c$ = 320973.5 N-mm

○ $T = \Phi_s \times A_s \times f_y$ = 320973.5 N-mm

C = T 이므로 O.K

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$ = 70.258 kN-m

○ M_u = = 68.217 kN-m ∴ O.K

6) 배력철근량 산정

○ 주철근량의 20%이상 배치 = 168.9 mm^2

○ 건조수축 및 온도변화에 대한 보강철근 = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = = 543.8 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 16 @ 250 × 1 단 = 794.4 mm^2 ∴ O.K

(5) 극단상황한계상태 검토

1) 설계조건

M_u	=	64.867	kN-m	f_{ck}	=	27	MPa	f_y	=	400	MPa
b	=	1000.0	mm	d	=	230.0	mm	d'	=	60.0	mm
Φ_c	=	0.650		Φ_s	=	0.950		β_1	=	0.850	

○ 콘크리트 강도에 따른 응력-변형률 곡선 계수

- n (상승곡선부 형상지수) = 2.00
- ε_{co} (최대응력에 처음 도달할 때의 변형률) = 0.0020
- ε_{cu} (극한 변형률) = 0.0033
- α (압축합력 크기 계수) = 0.7980
- β (작용점 위치계수) = 0.4120

2) 필요 휨철근량 산정

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 0.03192 A_s

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$

$= -4.9976\ A_s^2 + 87400.00\ A_s$ = 6.49E+07 N-mm

○ $A_{s,req}$ = 776.7 mm^2

○ 최소철근량 검토

ⓐ $= A_{s,req} \times 4/3$ = 1035.6 mm^2

ⓑ $= 1.4 / f_y \times b \times d$ = 805.0 mm^2

ⓒ $= 0.25 \sqrt{(f_{ck})} / f_y \times b \times d$ = 746.9 mm^2

ⓓ $= 0.75 \times A_g / f_y$ = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = min(ⓐ,max(ⓑ,ⓒ,ⓓ)) = 805.0 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 13 @ 150 × 1 단 = 844.7 mm^2 ∴ O.K

3) 허용최대 중립축 깊이

○ δ = = 1.00

○ $c_{max} = (\delta \times \varepsilon_{cu} / 0.0033 - 0.6) \times d$ = 92.00 mm

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 26.96 mm

○ c_{max} = 92.00 mm > c = 26.96 mm ∴ O.K

4) 인장철근 변형률 검토(항복여부 검토)

○ $\varepsilon_s = (d - c) / c \times \varepsilon_{cu}$ = 0.025 > ε_{yd} = 0.002 ∴ O.K

5) 휨강도 계산

○ $C = \alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b \times c$ = 320973.5 N-mm

○ $T = \Phi_s \times A_s \times f_y$ = 320973.5 N-mm

C = T 이므로 O.K

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$ = 70.258 kN-m

○ M_u = = 64.867 kN-m ∴ O.K

6) 배력철근량 산정

○ 주철근량의 20%이상 배치 = 168.9 mm^2

○ 건조수축 및 온도변화에 대한 보강철근 = 543.8 mm^2

○ $A_{s,min}$ = = 543.8 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 16 @ 250 × 1 단 = 794.4 mm^2 ∴ O.K

○ 철근간격 s = 250 mm < min(3h, 450) = 450 mm ∴ O.K

(6) 사용한계상태 검토

1) 균열검토

○ 최소철근량 검토

- $A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot A_{ct} \cdot f_{ct} / f_s$ = 500.3 mm^2

f_s = 400.0 MPa

f_{ct} = 3.450 MPa

k_c = 0.400 ≤ 1.0

A_{ct} = 145000 mm^2

- $A_{s,min}$ = 500.3 mm^2 < $A_{s,use}$ = 844.7 mm^2 ∴ O.K

○ 간접 균열 제어

- 철근에 발생하는 응력

M_s = 11904606 N-mm

$n = E_s / E_c$ = 6.127373987

$x = -n \cdot A_s/b + n \cdot A_s/b \cdot \sqrt{\{1+2 \cdot b \cdot d /(n \cdot A_s)\}}$ = 43.891 mm

$f_s = M_s / \{A_{s,used} \cdot (d - x / 3)\}$

= 65.440 MPa < $0.8 \cdot f_y$ = 320.000 MPa ∴ O.K

- 철근응력 검토 (사용 철근 H 13)

균열 제어를 위한 최대 철근 지름 = 280.00 MPa

f_s = 65.440 MPa < 280.000 MPa

균열 제어를 위한 최대 철근 간격 = 150.00 mm

s = 150.000 mm < 150.00 mm

최대 지름과 최대 철근 간격을 모두 만족하므로 ∴ O.K

2) 처짐검토

○ 한계 지간/깊이 비 검토

- $\rho \le \rho_0$

$$\frac{l}{d} = k \left[11 + 1.5 \sqrt{(f_{ck})} \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \sqrt{(f_{ck})} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right]$$

- $\rho > \rho_0$

$$\frac{l}{d} = k \left[11 + 1.5 \sqrt{(f_{ck})} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{(f_{ck})} \sqrt{\left(\frac{\rho}{\rho_t}\right)} \right]$$

k = 1.500

ρ_0 = 0.00592

ρ = 0.00367

ρ' = 0.000

○ 철근비 판정

ρ = 0.00367 < ρ_0 = 0.00592 **위의 식 적용**

○ 한계 지간/깊이 비 산정

l / d = 51.503

○ 철근응력 보정

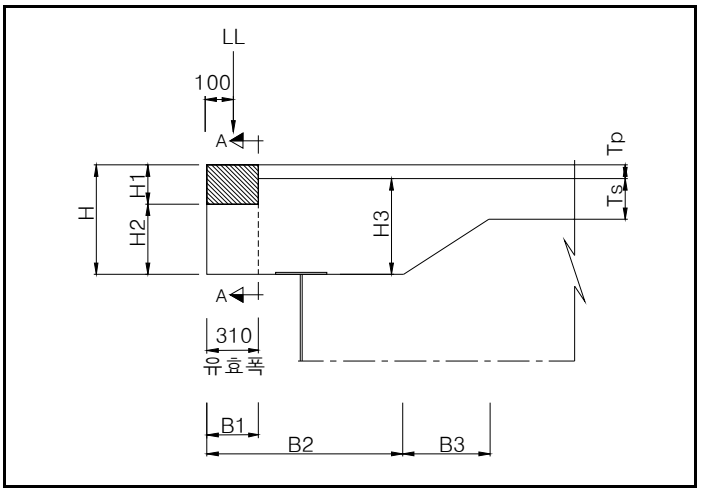
$f_s = n \times M / I \times (d - x)$ = 6.679 MPa

○ 응력보정계수 = 310 / 6.679 = 46.411

○ 보정 l / d = 2390 > 적용 l / d = 4.891 ∴ O.K

3.5 진입부 바닥판(단면 A)

(1) 설계단면



B1	0.300 m	
B2	2.050 m	(최대길이)
B3	1.000 m	

H	0.570 m	
H1	0.150 m	(블럭아웃)
H2	0.420 m	
H3	0.480 m	

Θ	90.0 °	(SKEW 각도)

(2) 하중산정

1) 고정하중(DC)

○ P_{d1} = 0.300 x 0.570 x 25.0 = 4.275 kN

○ M_d = 4.275 x 0.150 = 0.641 kN-m

2) 활하중 (주철근방향이 차량진행방향에 평행한 경우)

○ 분 포 폭 E = 0.35 X + 0.98 < 2.100 m

= 0.35 x 0.200 + 0.98 = 1.050 m **O.K!**

○ 충격계수 i = = 0.25

○ 폭 1m 당 M_L = P X / E (1 + i) = 22.857 kN-m

(3) 하중조합 (단위 : kN-m)

구 분	DC	DW	LL(IM)	모멘트	비 고
극한 한계상태 I	1.25	1.50	1.80	41.944	
사용한계상태 V	1.00	1.00	0.00	0.641	

(4) 극한한계상태 검토

1) 설계조건

M_u = 41.944 kN-m	f_{ck} = 27.0 MPa	f_y = 400.0 MPa
b = 1000.0 mm	d = 360.0 mm	d' = 60.0 mm
Φ_c = 0.65	Φ_s = 0.95	β_1 = 0.850

○ 콘크리트 강도에 따른 응력-변형률 곡선 계수

- n (상승곡선부 형상지수) = 2.00
- ε_{co} (최대응력에 처음 도달할 때의 변형률) = 0.0020
- ε_{cu} (극한 변형률) = 0.0033
- α (압축합력 크기 계수) = 0.798
- β (작용점 위치계수) = 0.412

2) 필요 휨철근량 산정

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 0.03192 A_s

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$

$= -4.9976\ A_s^2 + 136800.00\ A_s$ = 4.19E+07 N-mm

○ $A_{s,req}$ = 310.1 mm^2

○ 최소철근량 검토

ⓐ $= A_{s,req} \times 4/3$ = 413.5 mm^2

ⓑ $= 1.4 / f_y \times b \times d$ = 1260.0 mm^2

ⓒ $= 0.25 \sqrt{(f_{ck})} / f_y \times b \times d$ = 1169.1 mm^2

ⓓ $= 0.75 \times A_g / f_y$ = 787.5 mm^2

○ $A_{s,min}$ = min(ⓐ,max(ⓑ,ⓒ,ⓓ)) = 413.5 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 16 @ 250 × 1 단 = 794.4 mm^2 ∴ **O.K**

3) 허용최대 중립축 깊이

○ δ = = 1.00

○ $c_{max} = (\delta \times \varepsilon_{cu} / 0.0033 - 0.6) \times d$ = 144.00 mm

○ $c = \Phi_s \times A_s \times f_y / (\alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b)$ = 25.36 mm

○ c_{max} = 144.00 mm > c = 25.36 mm ∴ **O.K**

4) 인장철근 변형률 검토(항복여부 검토)

○ $\varepsilon_s = (d - c) / c \times \varepsilon_{cu}$ = 0.0435 > ε_{yd} = 0.002 ∴ **O.K**

5) 휨강도 계산

○ $C = \alpha \times \Phi_c \times 0.85 \times f_{ck} \times b \times c$ = 301872 N-mm

○ $T = \Phi_s \times A_s \times f_y$ = 301872 N-mm

C = T 이므로 O.K

○ $M_r = \Phi_s \times A_s \times f_y \times (d - \beta \times c)$ = 105.5 kN-m

○ M_u = = 41.9 kN-m ∴ **O.K**

6) 배력철근량 산정

○ 주철근량의 20%이상 배치 = 158.9 mm^2

○ 건조수축 및 온도변화에 대한 보강철근 = 787.5 mm^2

○ $A_{s,min}$ = = 787.5 mm^2

○ $A_{s,use}$ = H 13 @ 150 × 1 단 = 844.7 mm^2 ∴ **O.K**

(5) 사용한계상태 검토

1) 균열검토

○ 최소철근량 검토

- $A_{s,min} = k_c \cdot k \cdot A_{ct} \cdot f_{ct} / f_s$ = 724.5 mm^2

  f_s = 400.0 MPa

  f_{ct} = 3.450 MPa

  k_c = 0.400 ≤ 1.0

  A_{ct} = 210000 mm^2

- $A_{s,min}$ = 724.5 mm^2 < $A_{s,use}$ = 794.4 mm^2 ∴ **O.K**

○ 간접 균열 제어

- 철근에 발생하는 응력

  M_s = 641250 N-mm

  $n = E_s / E_c$ = 6.1274

  $x = -n \cdot A_s/b + n \cdot A_s/b \cdot \sqrt{\{1+2 \cdot b \cdot d /(n \cdot A_s)\}}$ = 54.532 mm

  $f_s = M_s / \{A_{s,used} \cdot (d - x / 3)\}$

  = 2.361 MPa < $0.8 \cdot f_y$ = 320.000 MPa ∴ **O.K**

- 철근응력 검토 (사용 철근 H 16)

  균열 제어를 위한 최대 철근 지름 = 240.00 MPa

  f_s = 2.361 MPa < 240.000 MPa

  균열 제어를 위한 최대 철근 간격 = 200.00 mm

  s = 250.000 mm > 200.00 mm

  최대 지름과 최대 철근 간격 중 최대 철근 지름을 만족하므로 ∴ **O.K**

2) 처짐검토

○ 한계 지간/깊이 비 검토

- $\rho \le \rho_0$

$$\frac{l}{d} = k \left[11 + 1.5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \sqrt{f_{ck}} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{3/2} \right]$$

- $\rho > \rho_0$

$$\frac{l}{d} = k \left[11 + 1.5 \sqrt{f_{ck}} \frac{\rho_0}{\rho - \rho'} + \frac{1}{12} \sqrt{f_{ck}} \sqrt{\left(\frac{\rho'}{\rho_0} \right)} \right]$$

  k = 1.500 ρ = 0.00221

  ρ_0 = 0.00520 ρ' = 0.000

○ 철근비 판정

ρ = 0.00221 < ρ_0 = 0.00520 **위의 식 적용**

○ 한계 지간/깊이 비 산정

l / d = 83.359

○ 철근응력 보정

$f_s = n \times M / I \times (d - x)$ = 0.194 MPa

○ 응력보정계수 = 310 / 0.194 = 1594.635

○ 보정 l / d = 132928 > 적용 l / d = 5.694 ∴ **O.K**

4. 주거더설계

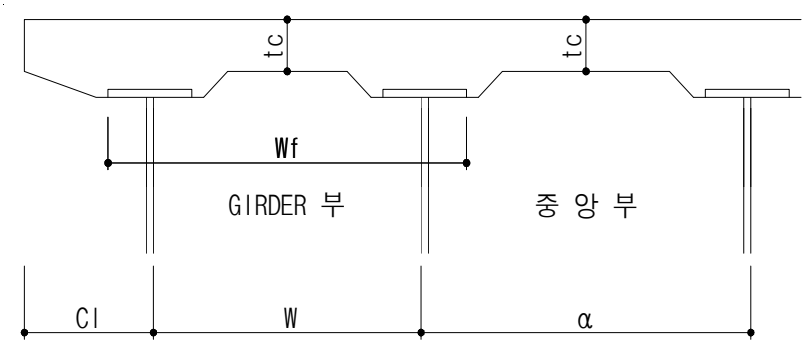
4.1 바닥판의 유효폭 계산

(☞ 도.설.한 4.6.7.1)

- 모든한계상태 구조물의 저항성을 산정하기 위하여 합성거동을 하는 콘크리트의 유효폭 산정은 아래와 같이 산정.
- 처짐 계산시는 전체 플랜지폭을 기반으로 해야 한다.
- 플랜지의 유효폭을 계산하는데 사용되는 등가지간장은 단순지지 된 지간에서는 실제 지간장을 사용하고, 연속지지의 경우에는 고정하중에 의하여 발생하는 정모멘트 구간의 거리 혹은 부모멘트 구간의 거리를 사용한다.

- 내측거더의 플랜지 유효폭은 다음 값들 중 가장 작은 값으로 한다.
  - 등가지간의 1/4
  - 슬래브 평균두께의 12배+Max(복부두께, 주거더 상부플랜지폭의 1/2)
  - 인접한 보 사이의 평균 간격

- 외측거더의 플랜지 유효폭은 인접한 내측거더 유효폭의 절반과 다음 값 중의 최솟값의 합으로 한다.
  - 등가지간의 1/8
  - 슬래브 평균두께의 6배+Max(복부두께의 1/2, 주거더 상부플랜지폭의 1/4)
  - 내민부분의 폭



L : 등가지간장
tc : 바닥판 두께
W : 복부 사이의 거리
Wf : 상부플랜지 폭
α : 거더 사이의 간격
Cl : 좌측 내민부 폭
Beff : 적용 바닥판 유효폭

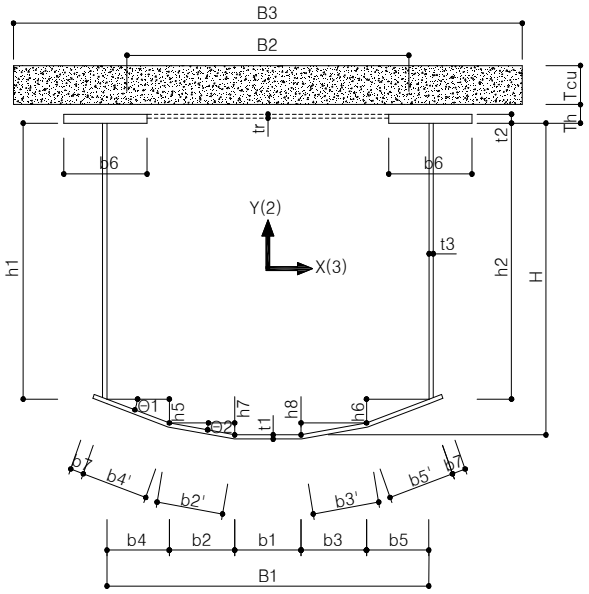
① 외측거더(Girder-G1,G2)

위치	L	tc	W	Wf	유효폭 산정				Beff (W+bmin)
					L/8	6×tc+max (W/2,Wf/4)	Cl+α/2	bmin	
A1	32,000	440	2,400	2,800	4,000	3,840	3,850	3,840	6,240
중앙부	32,000	240	2,400	2,800	4,000	2,640	3,850	2,640	5,040
교번위치	32,000	240	2,400	2,800	4,000	2,640	3,850	2,640	5,040
P1	18,000	240	2,400	2,800	2,250	2,640	3,850	2,250	4,650
교번위치	30,000	240	2,400	2,800	3,750	2,640	3,850	2,640	5,040
중앙부	30,000	240	2,400	2,800	3,750	2,640	3,850	2,640	5,040
교번위치	30,000	240	2,400	2,800	3,750	2,640	3,850	2,640	5,040
P2	18,000	240	2,400	2,800	2,250	2,640	3,850	2,250	4,650
교번위치	32,000	240	2,400	2,800	4,000	2,640	3,850	2,640	5,040
중앙부	32,000	240	2,400	2,800	4,000	2,640	3,850	2,640	5,040
A2	32,000	440	2,400	2,800	4,000	3,840	3,850	3,840	6,240

4.2 단면정수 산정

(1) 정모멘트부

◎ 단면 < 단면5 > 단면위치 : 39,J지점 (외측거더)



※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

단면제원(mm)			
b1	495	B1	2400
b2	487	B2	2400
b3	487	B3	6228
b4	465	H	1800
b5	465	t1	12
b6	400	t2	18
b7	100	t3	12
b2'	494.947	h1	1545
b3'	494.947	h2	1545
b4'	494.947	h3	100
b5'	494.947	h4	100
Θ1	20.0°	h5	169.282
Θ2	10.0°	h6	169.282
Tcu	240	h7	85.947
Th	50	h8	85.947

플랜지 보강리브 제원 (mm)		유효폭 제원 (mm)		탄성계수비		피복두께(mm)	
상부종리브	0 x 0 x 0 ea	상부바닥판	6228	n(상부)	7	tcu	60

※ tr : 비틀림강성 산정을 위한 브레이싱의 유효두께 (아래계산 참조)

※ 바닥판의 유효두께는 상부플랜지의 두께를 공제한 것을 적용, 단, 하중산정시는 전체 두께를 고려함

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(mm²)	Y(mm)	AsY(mm³)	AsY² (mm⁴)	Io(mm⁴)
상부플랜지	2 - 400 x 18	14,400	781.4	1.125E+07	8.792E+09	3.888E+05
상부종리브	0 - 0 x 0	-	-	-	-	-
복부판 (L)	1 - 1545 x 12	18,537				3.686E+09
복부판 (R)	1 - 1545 x 12	18,537				3.686E+09
하부플랜지(L1)	1 - 595 x 12	7,139	-863.0	-6.161E+06	5.318E+09	8.567E+04
하부플랜지(L2)	1 - 495 x 12	5,939	-990.6	-5.884E+06	5.829E+09	7.127E+04
하부플랜지(C)	1 - 495 x 12	5,939	-1,033.6	-6.139E+06	6.345E+09	7.127E+04
하부플랜지(R1)	1 - 495 x 12	5,939	- 990.6	-5.884E+06	5.829E+09	7.127E+04
하부플랜지(R2)	1 - 595 x 12	7,139	-863.0	-6.161E+06	5.318E+09	8.567E+04
TOTAL		83,571		-1.898E+07	3.743E+10	7.373E+09

Is′ = ∑AsY² + ∑Io

= 37429936734 + 7373406773 = 4.480E+10 mm⁴

δs = ∑AsY / ∑As

= -18977555 / 83571 = -227.1 mm

I33 = Is′ - ∑As x δs²

= 44803343506 - 83571 x -227.082 ² = 4.049E+10 mm⁴

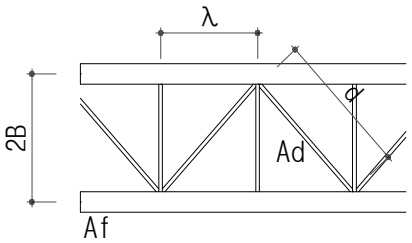
I22 = 9.20740E+10 mm⁴

- 비틀림 강성 : (☞ 개구제형 강거더 설계지침 P8)

※ 개구형 단면의 비틀림 강성은 개단면이므로 매우 작지만, 여기에 상부 브레이싱을 설치하면, 콘크리트 타설중 횡좌굴을 방지하며 비틀림 우력에 대해서도 등가두께를 갖는 폐단면(Quasi-Closed Section)으로 저항한다 [DESIGN OF MODERN STEEL HIGHWAYBRIDGES - 8.2.1 Lateral Bracing]. 이때의 등가두께 tr은 다음식으로 구한다.

< Equivalent Thickness For Quasi Box Girder > (☞ 강구조편람 4편 P196~198)

$$t_r = \frac{E}{G}\cdot\frac{2\lambda B}{d^3/A_d + 2\lambda^3/3A_f}$$ (SD-Type 일때)



E = 205000 MPa

G = 79000 MPa

λ = 2500 mm

B = 1200 mm

d = 3466 mm

Ad = (T 125 x 125 x 6 x 9) = 1821 mm²

Af = 2400 x 18.0 = 43200 mm²

· $tr = \frac{205000}{79000} \times \frac{2 \times 2500 \times 1200}{3466^3 / 1821 + 2 \times 2500^3 / 3 \times 43200} =$ 0.674mm

· F = (B1 + t3) x (H - t2/2 - t1/2) = 4305420 mm²

· Lm = 2 x [(B1 + t3) + (H - t2/2 - t1/2)] = 8394 mm

· $\int\frac{ds}{t} = \frac{Bl}{t1} + \frac{Bu}{tr} + \frac{2Hk/\cos\theta}{t3} = \frac{2.400}{0.012} + \frac{3.090}{0.012} + \frac{2.400}{0.00067} =$ 4017.835

· $K = \frac{4 \times F^2}{\int\frac{ds}{t}} = \frac{4 \times 4305420.000\ ^2}{4017.83} =$ 1.845E+10 mm⁴

· 단면적(A) ····· 8.357E+04 mm²

· 전단에 저항하는 단면적(As) ····· 3.707E+04 mm²

· y축 단면2차모멘트(iy) ····· 9.207E+10 mm⁴

· 유효폭을 고려한 z축 단면2차모멘트(iz) ····· 4.049E+10 mm⁴

· 등가두께를 갖는 비틀림상수(K) ····· 1.845E+10 mm⁴

② 합성후 단면

구 분	규 격	As(mm²)	Y(mm)	AsY(mm³)	AsY² (mm⁴)	Io(mm⁴)
상부플랜지	2 - 400 x 18	14,400	1,821.0	2.622E+07	1.464E+10	3.888E+05
상부종리브	0 - 0 x 0	-	-	-	-	-
복부판 (L)	1 - 1545 x 12	18,537	1,039.6	1.927E+07	9.559E+08	3.686E+09
복부판 (R)	1 - 1545 x 12	18,537	1,039.6	1.927E+07	9.559E+08	3.686E+09
하부플랜지(L1)	1 - 595 x 12	7,139	176.6	1.261E+06	2.887E+09	8.567E+04
하부플랜지(L2)	1 - 495 x 12	5,939	49.0	2.909E+05	3.463E+09	7.127E+04
하부플랜지(C)	1 - 495 x 12	5,939	6.0	3.564E+04	3.864E+09	7.127E+04
하부플랜지(R1)	1 - 495 x 12	5,939	49.0	2.909E+05	3.463E+09	7.127E+04
하부플랜지(R2)	1 - 595 x 12	7,139	176.6	1.261E+06	2.887E+09	8.567E+04
TOTAL		83,571	812.5	6.790E+07	3.312E+10	7.373E+09

(탄성계수비 n 적용)

구 분	규 격	As(mm²)	Y(mm)	AsY(mm³)	AsY² (mm⁴)	Io(mm⁴)
상부바닥판	1 - 6228 x 240	1,494,600				7.174E+09
바닥판 환산		213,514	1,982.0	4.232E+08	2.311E+10	1.025E+09
강형		83,571	812.5	6.790E+07	5.904E+10	4.049E+10
TOTAL		297,086	1,653.0	4.911E+08	8.214E+10	4.152E+10

- 도심 : ysv = 491089735/297086 = 1653.024 mm

Iv33 = ∑AsY² + ∑Io
= 82144632988 + 41518749888 = 1.237E+11 mm⁴

Iv22 = I22 + B1³ x Tcl / 12 / n
= 92074020624 + 6227.500 ³
x 240.0 / 12 / 7 = 7.821E+11 mm⁴

(탄성계수비 3n 적용)

구 분	규 격	As(mm²)	Y(mm)	AsY(mm³)	AsY² (mm⁴)	Io(mm⁴)
상부바닥판	1 - 6228 X 240	1,494,600				7.174E+09
바닥판 환산		71,171	1,952.0	1.389E+08	2.695E+10	3.416E+08
강형		83,571	812.5	6.790E+07	2.295E+10	4.049E+10
TOTAL		154,743	1,336.6	2.068E+08	4.991E+10	4.084E+10

- 도심 : ysv = 206831049/154743 = 1336.612 mm

Iv33 = ∑AsY² + ∑Io
= 49906461071 + 40835504173 = 9.074E+10 mm⁴

Iv22 = I22 + B1³ x Tcl / 12 / 3n
= 92074020624 + 6227.500 ³
x 240.0 / 12 / 21 = 3.221E+11 mm⁴

※ 합성후 거더의 순수 비틀림 강성은 바닥판 슬래브에 의해 합성 후 폐단면을 형성하며 바닥판 두께를 강재로 환산하여 폐단면의 비틀림 강성을 구한다.

바닥판 콘크리트의 강도 f_{ck}= 35.0 MPa
강재의 전단 탄성계수 G_S= = 79,000 MPa
바닥판의 전단탄성계수 G_C= 29,779 / (2 (1 + 0.167)) = 12,762 MPa
바닥판의 환산두께 tcu= 240 × 12,762 / 79,000 = 38.8 mm

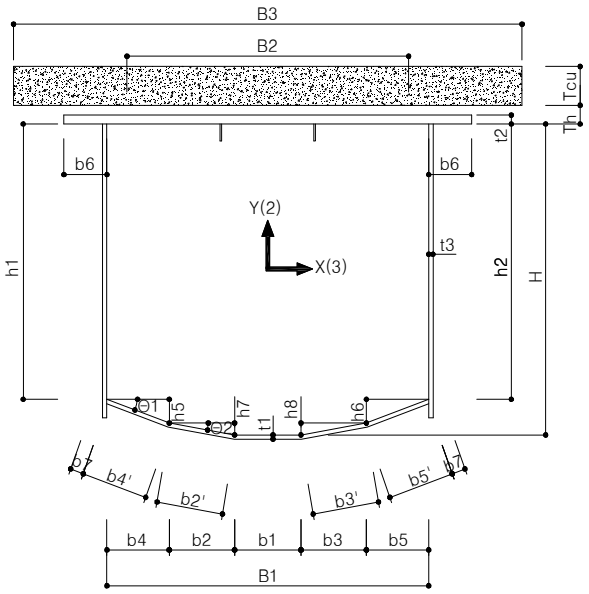
H' = H + (tc+tr)/2 + t1/2 = 1,800.0 + 39.446/2 + 12.0/2
= 1,825.7 mm

F = (Bu+Bl)/ 2 × H' = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 × 1,825.7
= 4,403,644 mm^2

K = $4 \cdot F^2 / (\oint ds/t)$ = $4F^2$ / {2x(H/cosΘ) / t3 + Bu /(tcu+tr) + Bl/(tcl+t1)}
= 4 × 4,403,643.7² / {2x(1,825.7 / 12.0) + 2,412.0/39.446 + 2,412.0/(12.0) }
= 1.369E+11 mm^4

(2) 부모멘트부

◎ 단면 < 단면3 > : 단면위치 : 34,J지점 (외측거더)



※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

단면제원(mm)			
b1	495	B1	2400
b2	487	B2	2400
b3	487	B3	6228
b4	465	H	1800
b4	465	t1	18
b6	200	t2	12
b7	100	t3	12
b2'	494.947	h1	1545
b3'	494.947	h2	1545
b4'	494.947	h3	100
b5'	494.947	h4	100
Θ1	20.0°	h5	169.282
Θ2	10.0°	h6	169.282
Tcu	240	h7	85.947
Th	50	h8	85.947

플랜지 보강리브 제원 (mm)		유효폭 제원 (mm)		탄성계수비		피복두께(mm)	
상부종리브	150 x 14 x 2 ea	상부바닥판	6228	n(상부)	7	tcu	60

※ tr : 비틀림강성 산정을 위한 브레이싱의 유효두께 (아래계산 참조)

※ 바닥판의 유효두께는 상부플랜지의 두께를 공제한 것을 적용, 단, 하중산정시는 전체 두께를 고려함

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(mm²)	Y(mm)	AsY(mm³)	AsY²(mm⁴)	Io(mm⁴)
상부플랜지	1 - 2800 x 12	33,600	778.4	2.615E+07	2.036E+10	4.032E+05
상부종리브	2 - 150 x 14	4,200	697.4	2.929E+06	2.043E+09	7.875E+06
복부판 (L)	1 - 1545 x 12	18,537				3.686E+09
복부판 (R)	1 - 1545 x 12	18,537				3.686E+09
하부플랜지(L1)	1 - 595 x 18	10,709	-866.0	-9.274E+06	8.032E+09	2.891E+05
하부플랜지(L2)	1 - 495 x 18	8,909	-993.6	-8.852E+06	8.796E+09	2.405E+05
하부플랜지(C)	1 - 495 x 18	8,909	-1,036.6	-9.235E+06	9.573E+09	2.405E+05
하부플랜지(R1)	1 - 495 x 18	8,909	- 993.6	-8.852E+06	8.796E+09	2.405E+05
하부플랜지(R2)	1 - 595 x 18	10,709	-866.0	-9.274E+06	8.032E+09	2.891E+05
TOTAL		123,020		-1.641E+07	6.563E+10	7.382E+09

Is′ = ∑AsY² + ∑Io

= 6.563E+10 + 7.382E+09 = 7.301E+10 mm⁴

δs = ∑AsY / ∑As

= -1.641E+07 / 123,020 = -133.4 mm

I33 = Is′ - ∑As x δs²

= 7.301E+10 - 123,020 x -133.4 ² = 7.082E+10 mm⁴

I22 = = 1.01398E+11 mm⁴

- 비틀림 강성 :

Hk = H + t2 / 2 + t1 / 2 = 1,800.0 + 12.0 / 2 + 18.0 / 2

= 1,815.0 mm

F = (Bu+Bl)/ 2 × Hk = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 × 1,815.0

= 4,377,780 mm^2

K = $4 \cdot F^2$ / ($\oint ds/t$) = $4F^2$ / {2x(H/cosΘ) / t3 + Bu/t2 + Bl/t1)}

= 4 × 4,377,780.0² / {2x(1,815.0 / 12.0) + 2,400.0/18.000 + 2,400.0/12.0 }

= 1.2057E+11 mm^4

② 합성후 단면

구 분	규 격	As(mm^2)	Y(mm)	AsY(mm^3)	AsY² (mm^4)	Io(mm^4)
상부플랜지	1 - 2800 X 12	33,600	1,824.0	6.129E+07	2.793E+10	4.032E+05
상부종리브	2 - 150 x 14	4,200	1,743.0	7.321E+06	1.276E+10	7.875E+06
복부판 (L)	1 - 1545 x 12	18,537	1,045.6	1.938E+07	3.297E+08	3.686E+09
복부판 (R)	1 - 1545 x 12	18,537	1,045.6	1.938E+07	3.297E+08	3.686E+09
하부플랜지(L1)	1 - 595 x 18	10,709	179.6	1.923E+06	5.749E+09	2.891E+05
하부플랜지(L2)	1 - 495 x 18	8,909	52.0	4.630E+05	6.593E+09	2.405E+05
하부플랜지(C)	1 - 495 x 18	8,909	9.0	8.018E+04	7.269E+09	2.405E+05
하부플랜지(R1)	1 - 495 x 18	8,909	52.0	4.630E+05	6.593E+09	2.405E+05
하부플랜지(R2)	1 - 595 x 18	10,709	179.6	1.923E+06	5.749E+09	2.891E+05
TOTAL		123,020	912.25	1.122E+08	7.330E+10	7.382E+09

(탄성계수비 n 적용)

구 분	규 격	As(mm^2)	Y(mm)	AsY(mm^3)	AsY² (mm^4)	Io(mm^4)
상부슬래브	1 - 6228 X 240	1494600				7.174E+09
환산		213514	1988.00	4.245E+08	3.302E+10	1.025E+09
강형		123020	912.25	1.122E+08	5.730E+10	8.069E+10
TOTAL		336534	1594.76	5.367E+08	9.032E+10	8.171E+10

- 도심 : ysv = 536691717/336534 = 1594.762 mm

Iv33 = $\sum AsY^2 + \sum Io$

= 9.032E+10 + 8.171E+10 = 1.720E+11 mm^4

Iv22 = I22 + $B1^3$ x Tcl / 12 / n

= 1.014E+11 + 6228 ^{3} x 240.0 / 12 / 7 = 7.914E+11 mm^4

(탄성계수비 3n 적용)

구 분	규 격	As(mm²)	Y(mm)	AsY(mm³)	AsY² (mm⁴)	Io(mm⁴)
상부슬래브	1 - 6228 X 240	1494600				7.174E+09
환산		71171	1988.00	1.415E+08	3.305E+10	3.416E+08
강형		123020	912.25	1.122E+08	1.912E+10	8.069E+10
TOTAL		194191	1306.52	2.537E+08	5.218E+10	8.103E+10

- 도심 : ysv = 253714117/194191 = 1306.5 mm

Iv33 = $\sum AsY^2 + \sum Io$

= 5.218E+10 + 8.103E+10 = 1.332E+11 mm^4

Iv22 = I22 + $B1^3$ x Tcl / 12 / 3n

= 1.014E+11 + 6228 ^{3} x 240.0 / 12 / 21 = 3.314E+11 mm^4

※ 합성후 거더의 순수 비틀림 강성은 바닥판 슬래브에 의해 합성 후 폐단면을 형성하며 바닥판 두께를 강재로 환산하여 폐단면의 비틀림 강성을 구한다.

바닥판 콘크리트의 강도 f_{ck}= 35.0 MPa

강재의 전단 탄성계수 G_S= 79,000 MPa

바닥판의 전단탄성계수 G_C= 29,779 / (2 (1 + 0.167)) = 12,762 MPa

바닥판의 환산두께 tcu= 240 × 12,762 / 79,000 = 38.8 mm

H' = H +t2/2 + (tcl+t1)/2 = 1,800.0 + 0.0/2 + 18.0)/2

= 1,815.0 mm

F = (Bu+Bl)/ 2 × H' = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 × 1,815.0

= 4,377,780 mm^2

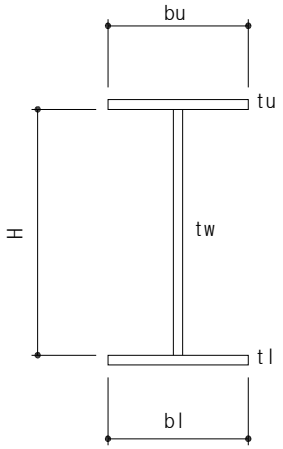
K = $4 \cdot F^2 / (\oint ds/t)$ = $4F^2$ / {2x(H/cosΘ) / t3 + Bu /t2 + Bl/(tcl+t1)}

= 4 × 4,377,780.0² / {2x(1,815.0 / 240.0) + 2,040.0/0.000 + 6,467.5/12.0) }

= 1.2025E+11 mm^4

4) 가로보

◎ 가로보 단면 < 1 >



bu =	300.0	mm
bl =	300.0	mm
H =	1,000.0	mm
tu =	12.0	mm
tw =	12.0	mm
tl =	12.0	mm

X(3)축 방향

구 분	규 격	As(mm^2)	Y(mm)	$As \cdot Y$(mm^3)	$As \cdot Y^2$(mm^4)	I_{xo}(mm^4)
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	506.0	1.822E+06	9.217E+08	4.320E+04
WEB	1 - 1,000.0 × 12.0	12,000.0	-	-	-	1.000E+09
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-506.0	-1.822E+06	9.217E+08	4.320E+04
합 계		19,200.0	-	0.000E+00	1.843E+09	1.000E+09

Y(2)축 방향

구 분	규 격	As(mm^2)	X(mm)	$As \cdot X$(mm^3)	$As \cdot X^2$(mm^4)	I_{yo}(mm^4)
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
WEB	1 - 1,000.0 × 12.0	12,000.0	-	-	-	1.440E+05
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
합 계		19,200.0	-	-	-	5.414E+07

$I_{33} = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo}$ = 1,843,459,200.0 + 1,000,086,400.0 = 2.844E+09 mm^4

$I_{22} = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo}$ = 0.0 + 54,144,000.0 = 5.414E+07 mm^4

※모델링시의 가로보 강성보정은 $I' = I \times (L' / L)^3$ 에 의한다.

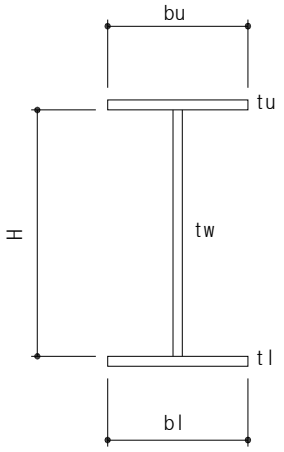
여기서, L, I : 실제 가로보의 길이 및 강성 L', I' : 모델링시 가로보의 길이 및 보정 강성

- 비틀림 강성

$K = \sum (b \times t^3) / 3$

= (300.0 × 12.0³ + 1,000.0 × 12.0³ + 300.0 × 12.0³) / 3 = 9.216E+05 mm^4

◎ 가로보 단면 < 2 >



bu =	300.0	mm
bl =	300.0	mm
H =	1,100.0	mm
tu =	12.0	mm
tw =	12.0	mm
tl =	12.0	mm

X(3)축 방향

구 분	규 격	As(mm^2)	Y(mm)	$As \cdot Y$(mm^3)	$As \cdot Y^2$(mm^4)	I_{xo}(mm^4)
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	556.0	2.002E+06	1.113E+09	4.320E+04
WEB	1 - 1,100.0 × 12.0	13,200.0	-	-	-	1.331E+09
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-556.0	-2.002E+06	1.113E+09	4.320E+04
합 계		20,400.0	-	0.000E+00	2.226E+09	1.331E+09

Y(2)축 방향

구 분	규 격	As(mm^2)	X(mm)	$As \cdot X$(mm^3)	$As \cdot X^2$(mm^4)	I_{yo}(mm^4)
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
WEB	1 - 1,100.0 × 12.0	13,200.0	-	-	-	1.584E+05
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
합 계		20,400.0	-	-	-	5.416E+07

$I_{33} = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo}$ = 2,225,779,200.0 + 1,331,086,400.0 = 3.557E+09 mm^4

$I_{22} = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo}$ = 0.0 + 54,158,400.0 = 5.416E+07 mm^4

※모델링시의 가로보 강성보정은 $I' = I \times (L' / L)^3$ 에 의한다.

여기서, L, I : 실제 가로보의 길이 및 강성 L', I' : 모델링시 가로보의 길이 및 보정 강성

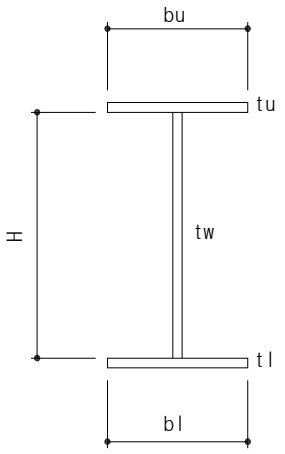
- 비틀림 강성

$K = \sum (b \times t^3) / 3$

= (300.0 × 12.0³ + 1,100.0 × 12.0³ + 300.0 × 12.0³) / 3 = 9.792E+05 mm^4

5) 세로보

◎ 세로보 단면 < 1 >



bu =	300.0	mm
bl =	300.0	mm
H =	1,000.0	mm
tu =	12.0	mm
tw =	12.0	mm
tl =	12.0	mm

X(3)축 방향

구 분	규 격	As(mm^2)	Y(mm)	$As \cdot Y$(mm^3)	$As \cdot Y^2$(mm^4)	I_{xo}(mm^4)
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	506.0	1.822E+06	9.217E+08	4.320E+04
WEB	1 - 1,000.0 × 12.0	12,000.0	-	-	-	1.000E+09
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-506.0	-1.822E+06	9.217E+08	4.320E+04
합 계		19,200.0	-	0.000E+00	1.843E+09	1.000E+09

Y(2)축 방향

구 분	규 격	As(mm^2)	X(mm)	$As \cdot X$(mm^3)	$As \cdot X^2$(mm^4)	I_{yo}(mm^4)
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
WEB	1 - 1,000.0 × 12.0	12,000.0	-	-	-	1.440E+05
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
합 계		19,200.0	-	-	-	5.414E+07

$I_{33} = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo}$ = 1,843,459,200.0 + 1,000,086,400.0 = 2.844E+09 mm^4

$I_{22} = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo}$ = 0.0 + 54,144,000.0 = 5.414E+07 mm^4

※모델링시의 가로보 강성보정은 $I' = I \times (L' / L)^3$ 에 의한다.

여기서, L, I : 실제 가로보의 길이 및 강성 L', I' : 모델링시 가로보의 길이 및 보정 강성

- 비틀림 강성

$K = \sum (b \times t^3) / 3$

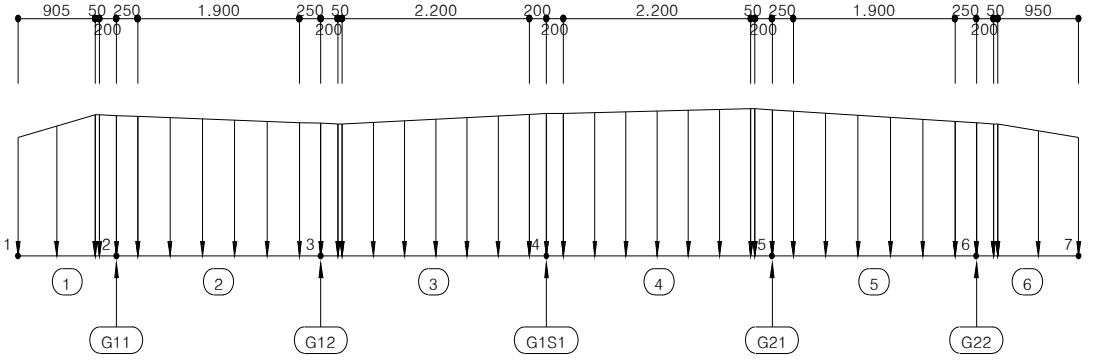
= (300.0 × 12.0³ + 1,000.0 × 12.0³ + 300.0 × 12.0³) / 3 = 9.216E+05 mm^4

4.3 작용하중의 산정

4.3.1 횡방향 하중분배

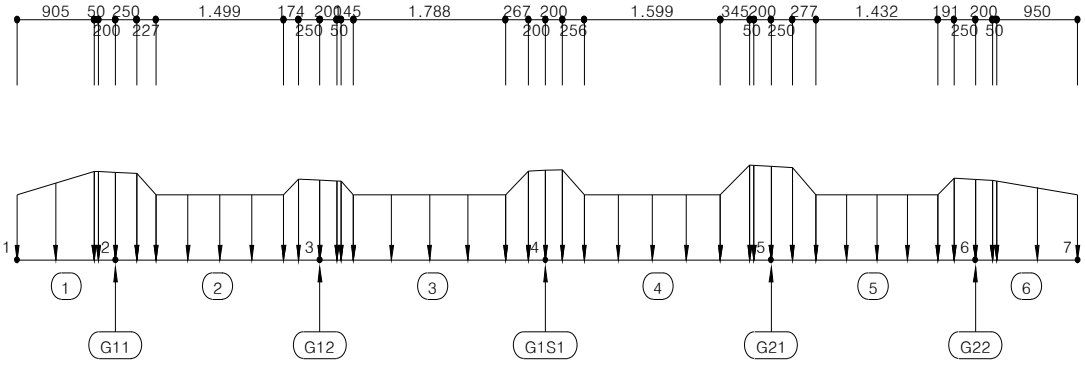
(1) 합성전 고정하중

1) 슬래브자중(STA. 0K+210.700) (☞ 도.설.한 3.5)



하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m²)	위치 (m)	하중(kN/m²)	
W1	1	0.000	-11.000	0.905	-13.118	분포하중
W2	1	0.905	-13.118	0.955	-13.103	분포하중
W3	1	0.955	-13.103	1.155	-13.043	분포하중
W4	2	0.000	-13.043	0.250	-12.968	분포하중
W5	2	0.250	-12.968	2.150	-12.400	분포하중
W6	2	2.150	-12.400	2.400	-12.325	분포하중
W7	3	0.000	-12.325	0.200	-12.265	분포하중
W8	3	0.200	-12.265	0.250	-12.250	분포하중
W9	3	0.250	-12.250	2.450	-13.138	분포하중
W10	3	2.450	-13.138	2.650	-13.216	분포하중
W11	4	0.000	-13.216	0.200	-13.253	분포하중
W12	4	0.200	-13.253	2.400	-13.700	분포하중
W13	4	2.400	-13.700	2.450	-13.675	분포하중
W14	4	2.450	-13.675	2.650	-13.575	분포하중
W15	5	0.000	-13.575	0.250	-13.450	분포하중
W16	5	0.250	-13.450	2.150	-12.500	분포하중
W17	5	2.150	-12.500	2.400	-12.375	분포하중
W18	6	0.000	-12.375	0.200	-12.275	분포하중
W19	6	0.200	-12.275	0.250	-12.250	분포하중
W20	6	0.250	-12.250	1.200	-11.000	분포하중

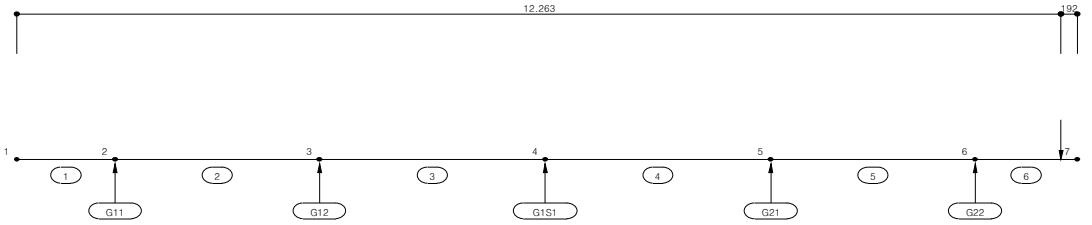
2) 슬래브자중(STA. 0K+215.000)



하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m²)	위치 (m)	하중(kN/m²)	
W1	1	0.000	-6.000	0.905	-8.106	분포하중
W2	1	0.905	-8.106	0.955	-8.091	분포하중
W3	1	0.955	-8.091	1.155	-8.032	분포하중
W4	2	0.000	-8.032	0.250	-7.958	분포하중
W5	2	0.250	-7.958	0.477	-6.000	분포하중
W6	2	0.477	-6.000	1.976	-6.000	분포하중
W7	2	1.976	-6.000	2.150	-7.398	분포하중
W8	2	2.150	-7.398	2.400	-7.324	분포하중
W9	3	0.000	-7.324	0.200	-7.265	분포하중
W10	3	0.200	-7.265	0.250	-7.250	분포하중
W11	3	0.250	-7.250	0.395	-6.000	분포하중
W12	3	0.395	-6.000	2.183	-6.000	분포하중
W13	3	2.183	-6.000	2.450	-8.143	분포하중
W14	3	2.450	-8.143	2.650	-8.221	분포하중
W15	4	0.000	-8.221	0.200	-8.258	분포하중
W16	4	0.200	-8.258	0.456	-6.000	분포하중
W17	4	0.456	-6.000	2.055	-6.000	분포하중
W18	4	2.055	-6.000	2.400	-8.700	분포하중
W19	4	2.400	-8.700	2.450	-8.675	분포하중
W20	4	2.450	-8.675	2.650	-8.575	분포하중
W21	5	0.000	-8.575	0.250	-8.450	분포하중
W22	5	0.250	-8.450	0.527	-6.000	분포하중
W23	5	0.527	-6.000	1.959	-6.000	분포하중
W24	5	1.959	-6.000	2.150	-7.500	분포하중
W25	5	2.150	-7.500	2.400	-7.375	분포하중
W26	6	0.000	-7.375	0.200	-7.275	분포하중
W27	6	0.200	-7.275	0.250	-7.250	분포하중
W28	6	0.250	-7.250	1.200	-6.000	분포하중

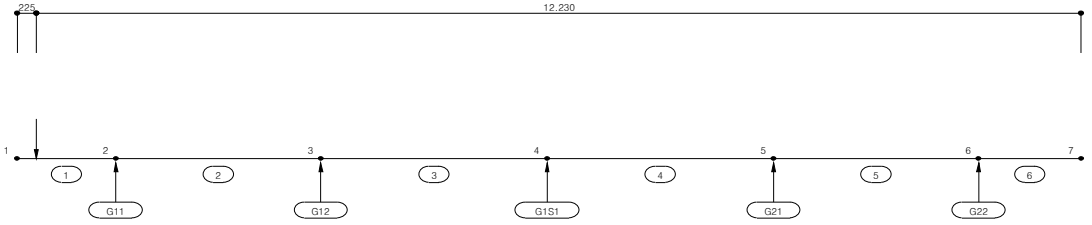
(2) 합성후 고정하중

1) 방호벽(STA. 0K+210.700) (☞ 도.설.한 3.5)



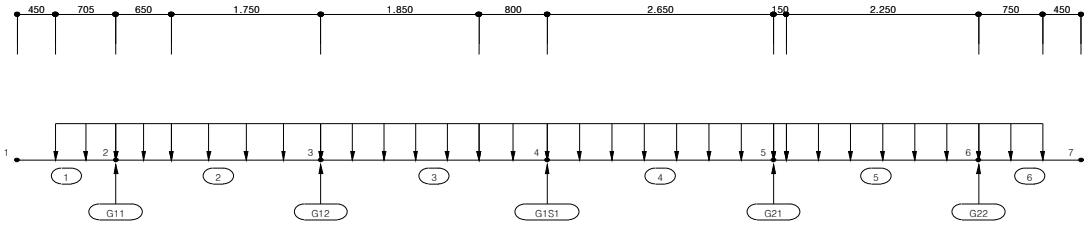
하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m²)	위치 (m)	하중(kN/m²)	
P1	6	1.008	-8.365	-	-	집중하중

2) 중분대(STA. 0K+210.700)



하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m²)	위치 (m)	하중(kN/m²)	
P1	1	0.225	-8.419	-	-	집중하중

3) 아스콘(STA. 0K+210.700)



하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m²)	위치 (m)	하중(kN/m²)	
W1	1	0.450	-1.840	1.155	-1.840	분포하중
W2	2	0.000	-1.840	0.650	-1.840	분포하중
W3	2	0.650	-1.840	2.400	-1.840	분포하중
W4	3	0.000	-1.840	1.850	-1.840	분포하중
W5	3	1.850	-1.840	2.650	-1.840	분포하중
W6	4	0.000	-1.840	2.650	-1.840	분포하중
W7	5	0.000	-1.840	0.150	-1.840	분포하중
W8	5	0.150	-1.840	2.400	-1.840	분포하중
W9	6	0.000	-1.840	0.750	-1.840	분포하중

(3) 차량활하중 (☞ 도.설.한 3.6.1)

1) 재하차로의 수, N

N = Wc / Wp 의 정수부

N = 11.555 / 3.6 = 3.210 ⇒ 3 차로

여기서; Wc : 연석, 방호울타리(중앙분리대 포함)간의 교폭(m) = 11.555 m

Wp : 발주자에 의해 정해진 계획차로의 폭 = 3.6 m

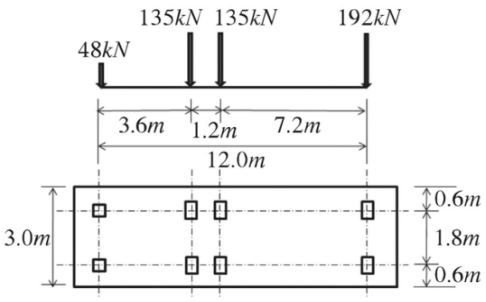
2) 재하차로의 폭, W

W = Wc / N ≤ 3.6m

= 11.555 / 3.0 = 3.852 m > 3.6 m ⇒ W = 3.600 m

3) 활하중의 크기

① 표준트럭하중 (☞ 도.설.한 3.6.1.3.1)

표준트럭하중	비 고
	- 최외측 차륜중심의 횡방향 위치는 단부 600mm 다만, 바닥판 설계시는 단부 300mm - 전륜 : Pf = 48.0 / 2 = 24.0 kN - 후륜1 : Pr1 = 135.0 / 2 = 67.5 kN - 후륜2 : Pr2 = 192.0 / 2 = 96.0 kN

② 표준차로하중 (☞ 도.설.한 3.6.1.3.2)

표준차로하중	비 고
$L \leq 60\,\mathrm{m}$: $\omega = 12.7$ (kN/m) $L > 60\,\mathrm{m}$: $\omega = 12.7 \times \left(\frac{60}{L}\right)^{0.18}$ (kN/m)	- 횡방향으로 3.0m의 폭으로 균등하게 분포 - 충격하중은 고려하지않음 - L : 표준차로하중이 재하되는 부분의 지간 - 교량 지간이 62m로서 60m보다 크므로 w = 12.7 x (60 / 62)$^{0.1}$ = 12.66 w' = 12.66 / 3 = 4.219 kN/m

③ 주거더 설계시 설계차량활하중 (☞ 도.설.한 3.6.1.5)

- 아래의 경우 중 큰 값을 사용 한다.

가. 표준트럭하중의 영향

나. 표준트럭하중 영향의 75%와 표준차로하중의 영향의 합

4) 활하중 충격계수 (☞ 도.설.한 3.7)

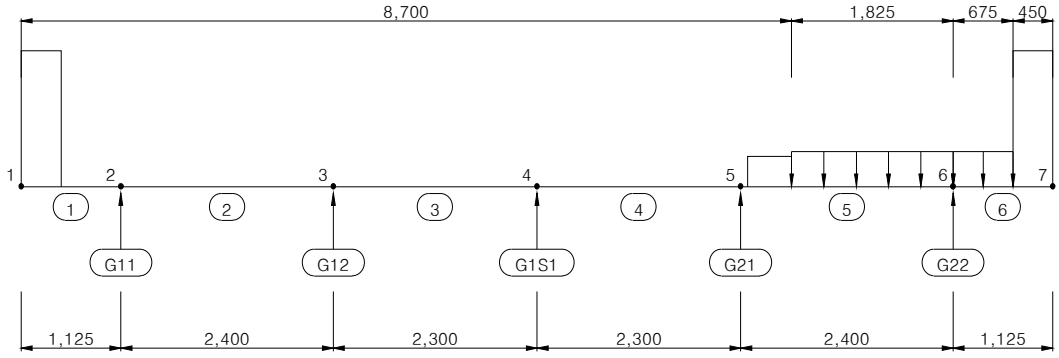
- 충격하중 계수 : i = 1 + IM / 100

성 분		IM
바닥판 신축이음장치를 제외한 모든 다른 부재	피로한계상태를 제외한 모든 한계상태	25%
	피로한계상태	15%

- 보도하중이나 표준차로하중에는 적용되지 않는다.

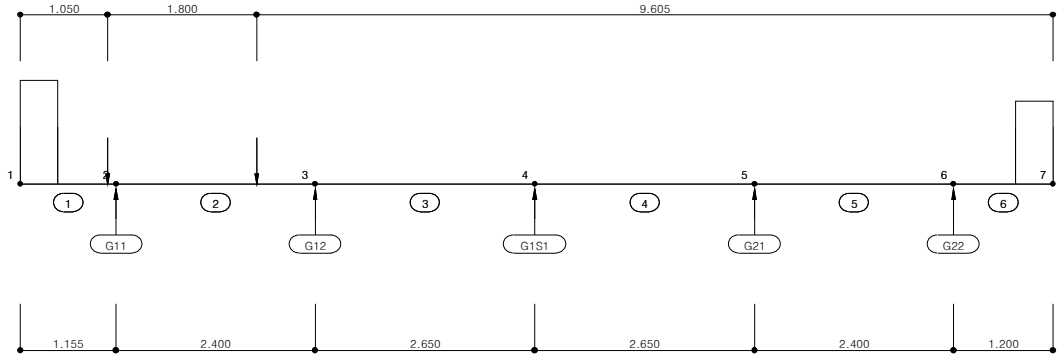
5) 활하중 재하도

< 우측보도 군집하중 >

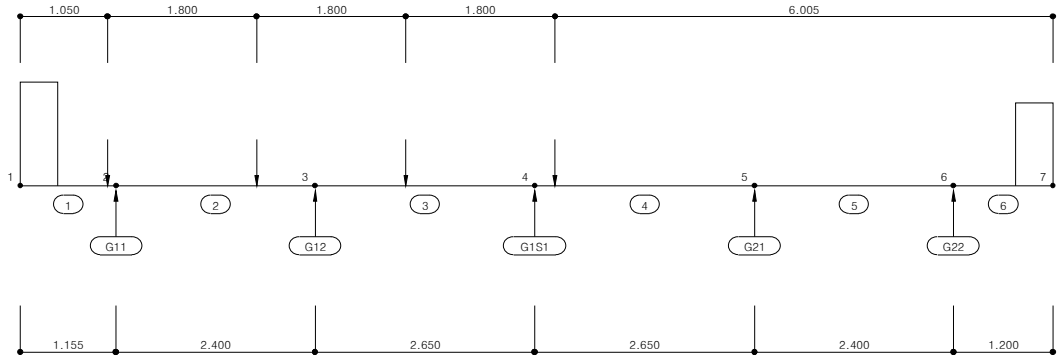


하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m²)	위치 (m)	하중(kN/m²)	
W1	5	0.575	-3.500	2.400	-3.500	분포하중
W2	6	0.000	-3.500	0.675	-3.500	분포하중

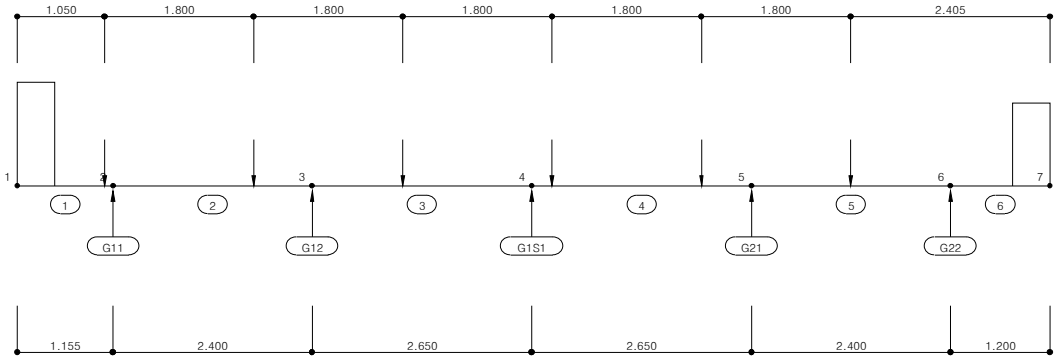
< G1 Max 표준트럭하중 1선 >



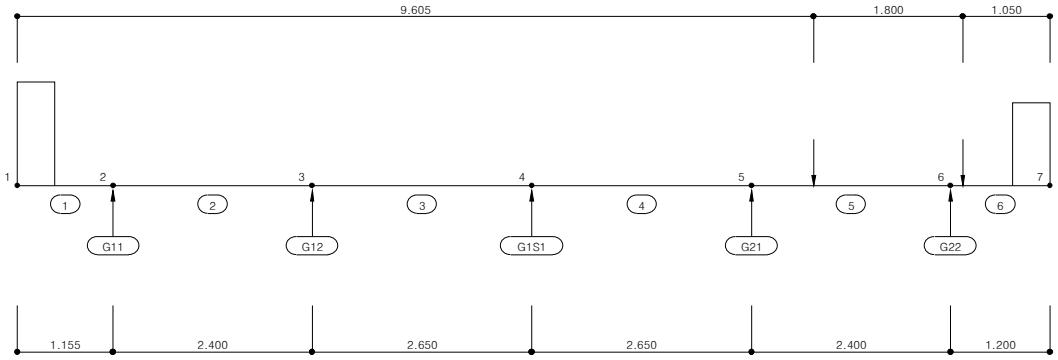
< G1 Max 표준트럭하중 2선 >



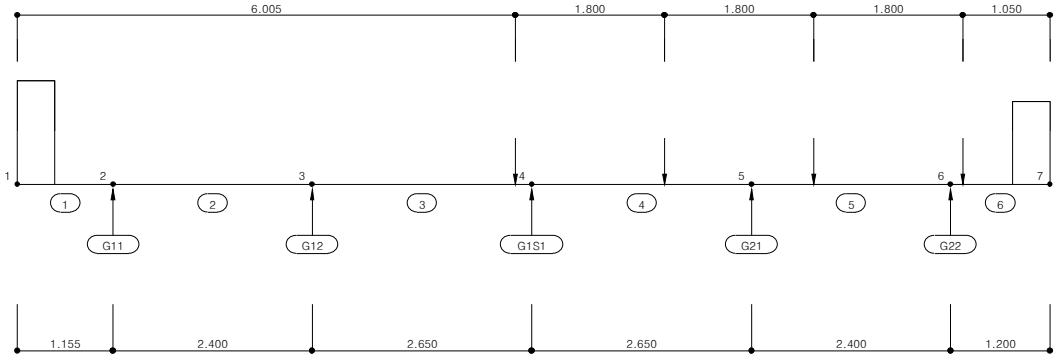
< G1 Max 표준트럭하중 3선 >



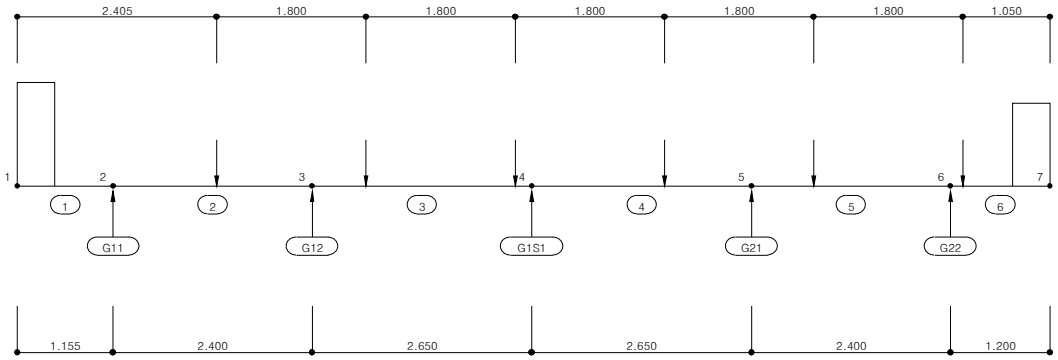
< G2 Max 표준트럭하중 1선 >



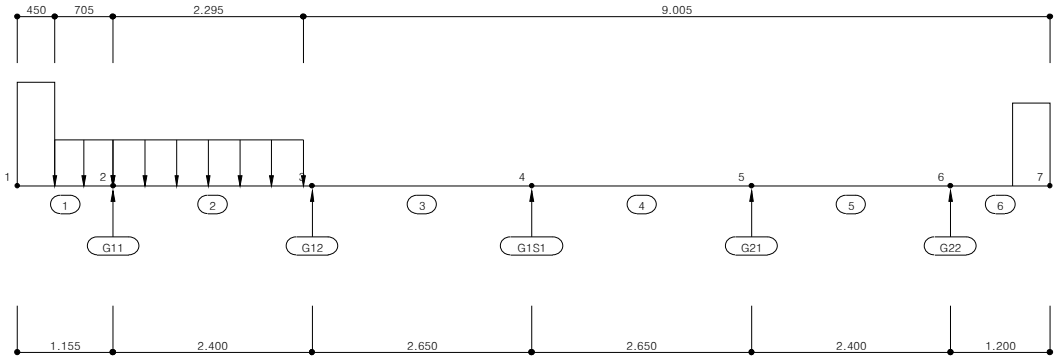
< G2 Max 표준트럭하중 2선 >



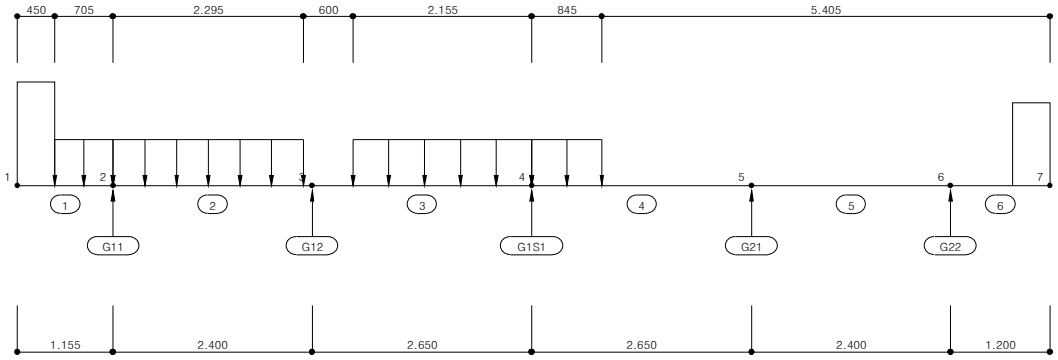
< G2 Max 표준트럭하중 3선 >



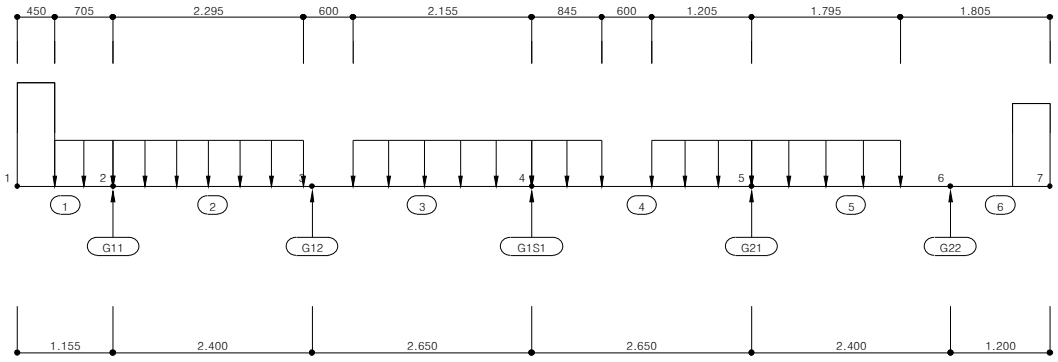
< G1 Max 표준차로하중 1선 >



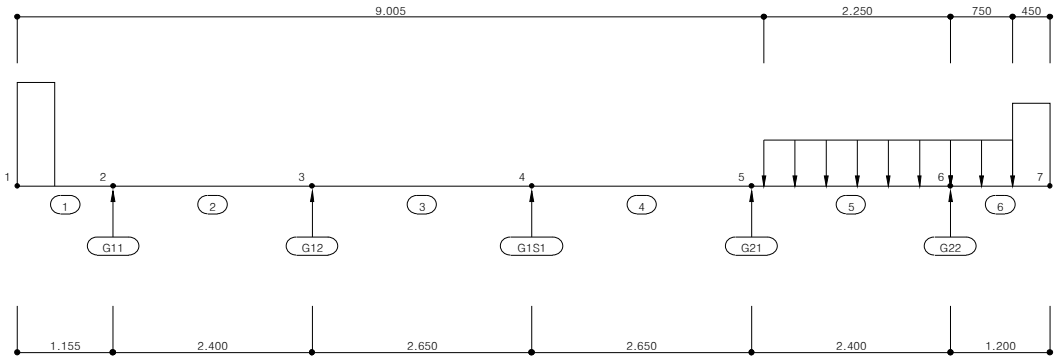
< G1 Max 표준차로하중 2선 >



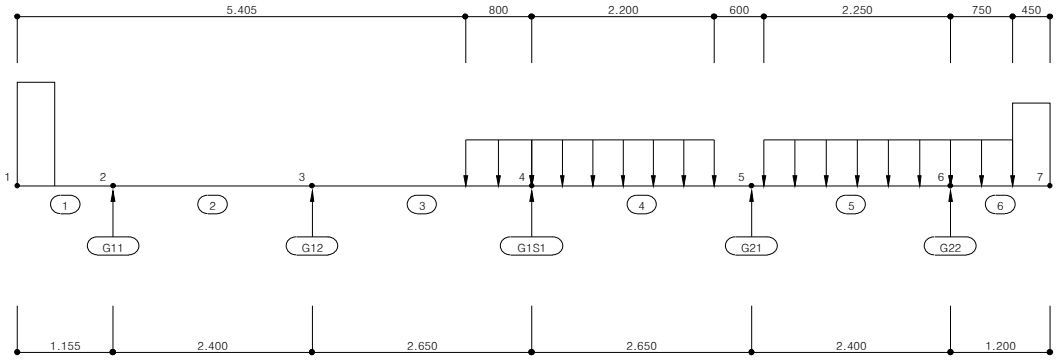
< G1 Max 표준차로하중 3선 >



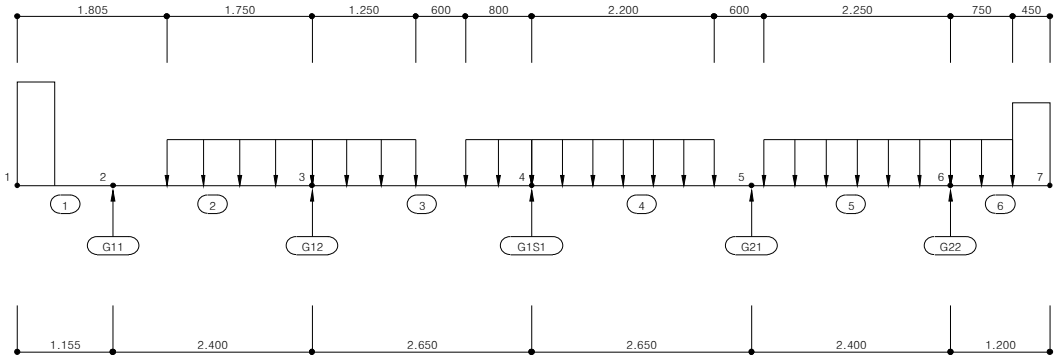
< G2 Max 표준차로하중 1선 >



< G2 Max 표준차로하중 2선 >



< G2 Max 표준차로하중 3선 >

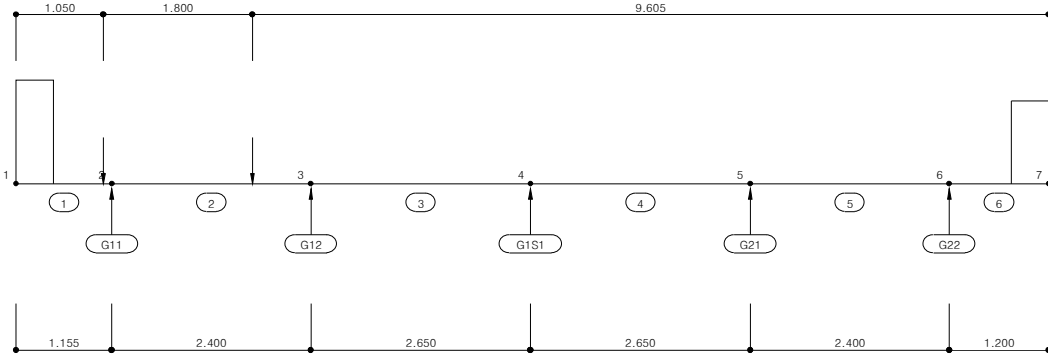


(3) 피로하중 (☞ 도.설.한 3.6.2)

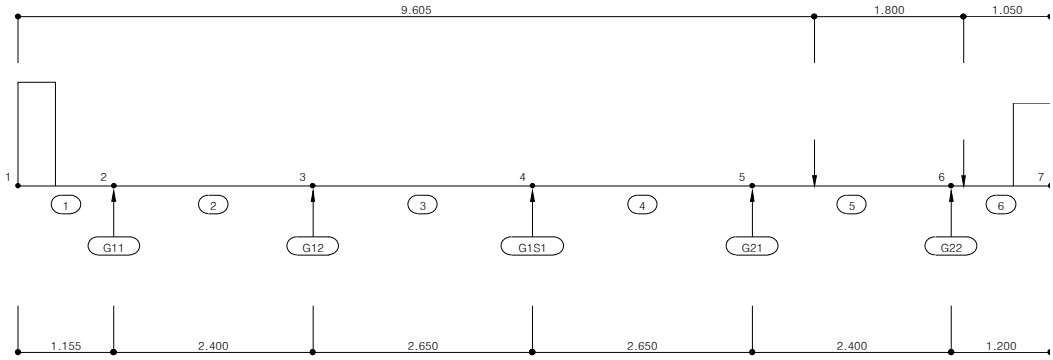
- 표준트럭하중의 80% 적용.
- 한차로에 대해서 고려함.

- 피로검토를 위한 차량하중 재하도

< G1 Max 표준트럭하중 1선 >



< G2 Max 표준트럭하중 1선 >



4.3.2 주형별 작용 하중

(1) 강재자중 - 각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재자 35.355 % 할증적용

총강재중량 / 모델링 강재중량 = 3382.100 kN / 2498.690 kN = 1.35355

· 단 면 - 1 : 0.084 m^2 × 78.50 kN/m^3 × 1.35355 = 8.925 kN/m

· 단 면 - 2 : 0.089 m^2 × 78.50 kN/m^3 × 1.35355 = 9.435 kN/m

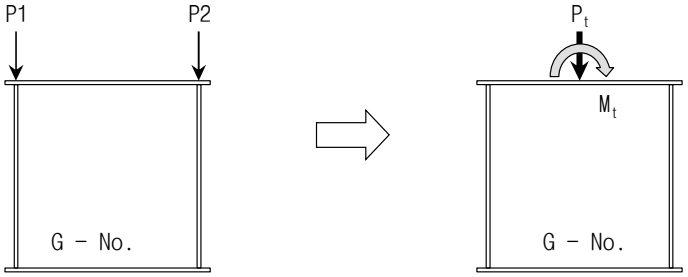
· 단 면 - 3 : 0.128 m^2 × 78.50 kN/m^3 × 1.35355 = 13.579 kN/m

· 가로보 - 1 : 0.019 m^2 × 78.50 kN/m^3 × 1.35355 = 2.040 kN/m

· 가로보 - 2 : 0.020 m^2 × 78.50 kN/m^3 × 1.35355 = 2.168 kN/m

· 세로보 - 1 : 0.019 m^2 × 78.50 kN/m^3 × 1.35355 = 2.040 kN/m

(2) 합성전 고정하중



< Sta 0+210.70 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	30.311	30.066	60.377	-0.294	
G - 2	2.400	32.353	30.190	62.543	-2.596	
ST - 1		36.306		36.306		

(3) 합성후 고정하중

- 방호벽 및 중분대 하중

< Sta 0+210.70 >

거더 No.	거더폭(m)	Pavement 및 방호벽, 중분대				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN)	
G - 1	2.400	15.802	-0.428	15.374	-19.476	
G - 2	2.400	-0.827	16.172	15.345	20.399	
ST - 1	2.400	7.326		7.326		

상기 하중과 점검로 등의 부속설비 하중으로 500.0 N/m^2 을 설계에 반영(강도로교 상세부 설계지침 P131)

거더당 작용하는 부속설비 하중 W(kN/m) = 0.5 kN/m^2 × 슬래브 평균폭(m) / 총거더수

W = 0.50 × 12.455 / 2 = 3.114 kN/m

(5) 활하중

< 표준트럭하중 G1 MAX > : 단위하중재하

차선 재하	거더No.	거더폭(m)	격자해석용 거더별 활하중 계수					비 고
			P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN)	e(m)	
1 차선	G - 1	2.400	1.259	0.831	2.090	-0.513	-0.245	
	G - 2	2.400	0.029	-0.005	0.024	-0.041	-1.744	
	ST - 1		-0.114		-0.114			
2 차선	G - 1	2.400	1.179	1.462	2.641	0.340	0.129	
	G - 2	2.400	0.005	-0.001	0.004	-0.007	-1.762	
	ST - 1		1.355		1.355			
3 차선	G - 1	2.400	1.183	1.438	2.621	0.305	0.117	
	G - 2	2.400	1.594	0.323	1.917	-1.526	-0.796	
	ST - 1		1.462		1.462			

< 표준트럭하중 G2 MAX > : 단위하중재하

차선 재하	거더No.	거더폭(m)	격자해석용 거더별 활하중 계수					비 고
			P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN)	e(m)	
1 차선	G - 1	2.400	-0.005	0.028	0.023	0.040	1.744	
	G - 2	2.400	0.789	1.299	2.087	0.612	0.293	
	ST - 1		-0.110		-0.110			
2 차선	G - 1	2.400	0.002	-0.009	-0.008	-0.013	1.722	
	G - 2	2.400	1.449	1.217	2.666	-0.279	-0.105	
	ST - 1		1.342		1.342			
3 차선	G - 1	2.400	0.303	1.587	1.889	1.540	0.815	
	G - 2	2.400	1.420	1.222	2.642	-0.238	-0.090	
	ST - 1		1.469		1.469			

< 표준차로하중 G1 MAX > : 단위하중재하

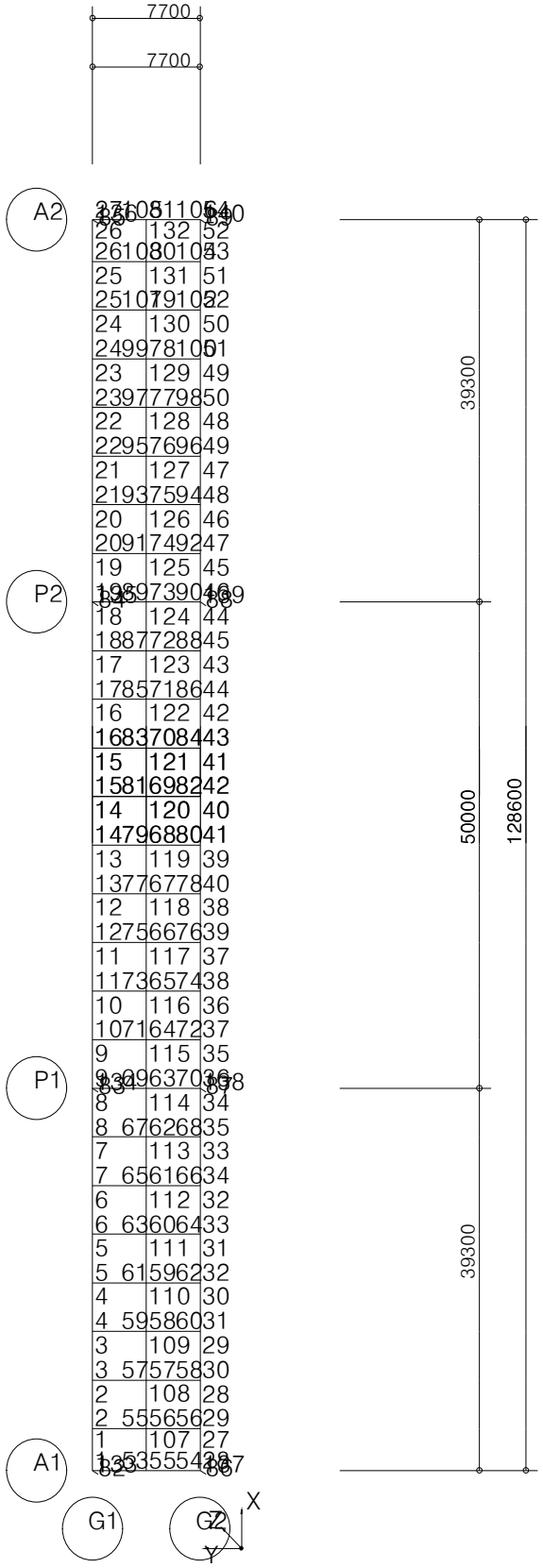
차선 재하	거더No.	거더폭(m)	격자해석용 거더별 활하중 계수					비 고
			P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN)	e(m)	
1 차선	G - 1	2.400	1.881	1.262	3.143	-0.743	-0.236	
	G - 2	2.400	0.046	-0.009	0.038	-0.065	-1.744	
	ST - 1		-0.181		-0.181			
2 차선	G - 1	2.400	1.763	2.186	3.949	0.508	0.129	
	G - 2	2.400	-0.023	0.005	-0.018	0.034	-1.914	
	ST - 1		2.069		2.069			
3 차선	G - 1	2.400	1.767	2.164	3.931	0.477	0.121	
	G - 2	2.400	2.426	0.462	2.888	-2.357	-0.816	
	ST - 1		2.180		2.180			

< 표준차로하중 G2 MAX > : 단위하중재하

차선 재하	거더No.	거더폭(m)	격자해석용 거더별 활하중 계수					비 고
			P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN)	e(m)	
1 차선	G - 1	2.400	-0.008	0.044	0.036	0.063	1.744	
	G - 2	2.400	1.196	1.942	3.138	0.895	0.285	
	ST - 1		-0.174		-0.174			
2 차선	G - 1	2.400	0.009	-0.042	-0.033	-0.061	1.815	
	G - 2	2.400	2.167	1.819	3.987	-0.418	-0.105	
	ST - 1		2.047		2.047			
3 차선	G - 1	2.400	0.431	2.418	2.849	2.385	0.837	
	G - 2	2.400	2.139	1.825	3.964	-0.378	-0.095	
	ST - 1		2.187		2.187			

4.4 모델링 및 단면제원

1) 모델링



(2) 시공단계별 하중:

1) CASE 1 : 합성전 고정하중

① 강재자중

② 상부바닥판 콘크리트 자중

2) CASE 2 : 합성후 고정하중

① 보도, 방음벽, 방호책 등 합성후 고정하중

② 포장등 부속시설물

③ 점검로 등의 부속설비 하중(500 N/m²)

3) CASE 3 : 활하중

- 단위하중을 재하하여 나온 횡분배된 결과를 기준으로 각 거더별 가중치를 산정

SAP2000 Program의 BRIDGE 기능을 이용 거더별로 산정한 가중치를 곱하여 단면력을 산정

① 표준트럭하중 :연행이동 하중으로 적용

② 표준차로하중 :SAP BRIDGE로 해석도구를 이용하여, 재하경간내 검토단면에 최대단면력 발생 위치에 재하

4) CASE 4 : 지점침하

- 합성후 단면에 대하여 각 지점 위치별 10 mm 의 부등침하를 조합하여 적용

4.5 주거더 부재력 집계

1) 하중별 부재력 집계

[BENDING MOMENT]

Unfactored Force, (단위 : kN.m)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		활하중(LL+IM)-피로		지점이동(SD)		비 고	위치
	강재자중 (DC11)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장 (DW)	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN		
27	-0.02	-0.05	-0.01	-0.01	0.04	-0.04	0.02	-0.01	0.00	0.00	I지점	시점 단부
29	1384.36	3893.56	1156.44	1071.85	5297.62	-1272.59	1813.32	-332.86	209.12	-138.47	J지점	측경간 중앙부
34	-3003.46	-9410.51	-2426.38	-2241.90	773.04	-4917.10	217.68	-1380.79	575.15	-380.82	J지점	교각 P1
39	860.72	3278.62	1131.90	1048.87	5111.66	-1141.16	1651.21	-230.96	97.00	-96.80	J지점	중앙경간 중앙부
44	-3031.75	-9427.47	-2431.18	-2246.33	807.21	-4948.57	227.30	-1428.94	574.20	-380.41	J지점	교각 P2
49	1420.89	3887.49	1154.70	1070.22	5324.68	-1314.60	1817.19	-343.03	208.78	-138.32	J지점	측경간 중앙부
52	-0.01	-0.04	0.00	-0.01	0.04	-0.03	0.01	-0.01	0.00	0.00	J지점	종점 단부

[SHEAR FORCE]

Unfactored Force, (단위 : kN)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		활하중(LL+IM)-피로		지점이동(SD)		비 고	위치
	강재자중 (DC11)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장 (DW)	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN		
27	-176.14	-601.39	-159.76	-145.76	89.63	-718.12	24.61	-299.65	9.65	-14.58	I지점	시점 단부
29	-7.01	3.02	-2.17	-5.04	306.49	-346.11	140.93	-120.34	9.69	-14.63	J지점	측경간 중앙부
34	361.54	1030.35	284.39	260.11	797.77	-62.80	328.79	-33.32	9.91	-14.97	J지점	교각 P1
39	-2.33	-18.34	-2.68	-5.52	347.88	-313.74	151.17	-116.29	19.04	-19.03	J지점	중앙경간 중앙부
44	333.77	1007.55	283.76	259.53	814.13	-93.42	331.05	-35.70	19.30	-19.41	J지점	교각 P2
49	-1.69	-43.21	-3.72	-6.50	361.18	-265.68	154.47	-108.34	14.60	-9.67	J지점	측경간 중앙부
52	178.67	601.12	159.64	145.64	719.24	-92.66	299.66	-25.44	14.56	-9.64	J지점	종점 단부

[TORSION MOMENT]

Unfactored Force, (단위 : kN.m)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		활하중(LL+IM)-피로		지점이동(SD)		비 고	위치
	강재자중 (DC11)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장 (DW)	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN		
27	7.93	19.43	78.90	-11.21	534.13	-456.37	221.64	-204.46	0.38	-0.24	I지점	시점 단부
29	0.54	1.94	-35.58	-0.96	589.28	-486.57	221.02	-188.90	0.19	-0.12	J지점	측경간 중앙부
34	-5.61	-20.14	-55.47	-0.59	708.59	-746.97	241.56	-270.67	0.33	-0.50	J지점	교각 P1
39	0.83	1.60	-54.06	5.85	500.20	-443.64	181.54	-147.35	0.22	-0.23	J지점	중앙경간 중앙부
44	-4.63	-17.41	-62.48	1.61	732.95	-772.09	263.16	-289.72	0.26	-0.46	J지점	교각 P2
49	0.49	-0.48	-68.84	10.48	433.20	-439.15	89.00	-120.46	0.13	-0.18	J지점	측경간 중앙부
52	-8.06	-19.78	-78.87	11.26	453.34	-530.96	202.65	-219.86	0.24	-0.38	J지점	종점 단부

2) 극한한계상태 I 설계하중 집계

[BENDING MOMENT]

극한한계상태 I ,(단위 : kN.m)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		지점이동(SD)		비 고	위치
	강재자중 (DC11)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등부속 (DW)	MAX	MIN	MAX	MIN		
	1.25	1.25	1.25	1.50	1.80	1.80	1.00	1.00	하중계수	
27	-0.02	-0.06	-0.01	-0.01	0.07	-0.07	0.00	0.00	I지점	시점 단부
29	1730.45	4866.95	1445.55	1607.77	9535.71	-2290.66	209.12	-138.47	J지점	측경간 중앙부
34	-3754.32	-11763.14	-3032.98	-3362.84	1391.47	-8850.78	575.15	-380.82	J지점	교각 P1
39	1075.90	4098.28	1414.87	1573.31	9200.99	-2054.09	97.00	-96.80	J지점	중앙경간 중앙부
44	-3789.69	-11784.34	-3038.97	-3369.49	1452.99	-8907.43	574.20	-380.41	J지점	교각 P2
49	1776.12	4859.37	1443.37	1605.33	9584.42	-2366.28	208.78	-138.32	J지점	측경간 중앙부
52	-0.02	-0.05	-0.01	-0.01	0.07	-0.06	0.00	0.00	J지점	종점 단부

[SHEAR FORCE]

극한한계상태 I ,(단위 : kN)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		지점이동(SD)		비 고	위치
	강재자중 (DC11)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등부속 (DW)	MAX	MIN	MAX	MIN		
	1.25	1.25	1.25	1.50	1.80	1.80	1.00	1.00	하중계수	
27	-220.17	-751.74	-199.71	-218.63	161.34	-1292.62	9.65	-14.58	I지점	시점 단부
29	-8.76	3.78	-2.72	-7.56	551.68	-623.00	9.69	-14.63	J지점	측경간 중앙부
34	451.92	1287.93	355.49	390.17	1435.98	-113.05	9.91	-14.97	J지점	교각 P1
39	-2.91	-22.93	-3.35	-8.28	626.18	-564.74	19.04	-19.03	J지점	중앙경간 중앙부
44	417.22	1259.43	354.70	389.29	1465.43	-168.15	19.30	-19.41	J지점	교각 P2
49	-2.11	-54.01	-4.65	-9.75	650.12	-478.22	14.60	-9.67	J지점	측경간 중앙부
52	223.34	751.40	199.55	218.46	1294.64	-166.78	14.56	-9.64	J지점	종점 단부

[TORSION MOMENT] 극한한계상태 Ⅰ,(단위 : kN.m)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		지점이동(SD)		비 고	위치
	강재자중 (DC11)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등부속 (DW)	MAX	MIN	MAX	MIN		
	1.25	1.25	1.25	1.50	1.80	1.80	1.00	1.00	하중계수	
27	9.91	24.29	98.63	-16.81	961.44	-821.47	0.38	-0.24	I지점	시점 단부
29	0.68	2.43	-44.47	-1.44	1060.70	-875.83	0.19	-0.12	J지점	측경간 중앙부
34	-7.02	-25.17	-69.34	-0.88	1275.47	-1344.55	0.33	-0.50	J지점	교각 P1
39	1.03	2.00	-67.57	8.77	900.36	-798.54	0.22	-0.23	J지점	중앙경간 중앙부
44	-5.79	-21.77	-78.10	2.42	1319.30	-1389.76	0.26	-0.46	J지점	교각 P2
49	0.61	-0.60	-86.05	15.72	779.76	-790.47	0.13	-0.18	J지점	측경간 중앙부
52	-10.07	-24.73	-98.58	16.89	816.02	-955.73	0.24	-0.38	J지점	종점 단부

3) 사용한계상태 II 설계하중 집계

[BENDING MOMENT] 사용한계상태 II,(단위 : kN.m)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		비 고	위치
	강재자중 (DC11)	바닥판 (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등부속 (DW)	MAX	MIN		
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30	1.30	하중계수	
27	-0.02	-0.05	-0.01	-0.01	0.05	-0.05	I지점	시점 단부
29	1384.36	3893.56	1156.44	1071.85	6886.90	-1654.37	J지점	측경간 중앙부
34	-3003.46	-9410.51	-2426.38	-2241.90	1004.95	-6392.23	J지점	교각 P1
39	860.72	3278.62	1131.90	1048.87	6645.16	-1483.51	J지점	중앙경간 중앙부
44	-3031.75	-9427.47	-2431.18	-2246.33	1049.38	-6433.14	J지점	교각 P2
49	1420.89	3887.49	1154.70	1070.22	6922.08	-1708.98	J지점	측경간 중앙부
52	-0.01	-0.04	0.00	-0.01	0.05	-0.04	J지점	종점 단부

[SHEAR FORCE] 사용한계상태 II,(단위 : kN)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		비 고	위치
	강재자중	바닥판	방호벽	포장등부속	MAX	MIN		
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30	1.30	하중계수	
27	-176.14	-601.39	-159.76	-145.76	116.52	-933.56	I지점	시점 단부
29	-7.01	3.02	-2.17	-5.04	398.44	-449.95	J지점	측경간 중앙부
34	361.54	1030.35	284.39	260.11	1037.10	-81.64	J지점	교각 P1
39	-2.33	-18.34	-2.68	-5.52	452.24	-407.87	J지점	중앙경간 중앙부
44	333.77	1007.55	283.76	259.53	1058.37	-121.44	J지점	교각 P2
49	-1.69	-43.21	-3.72	-6.50	469.53	-345.38	J지점	측경간 중앙부
52	178.67	601.12	159.64	145.64	935.01	-120.45	J지점	종점 단부

[TORSION MOMENT] 사용한계상태 II,(단위 : kN.m)

부재 번호	합성전 고정하중	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)		비 고	위치
	강재자중	바닥판	방호벽	포장등부속	MAX	MIN		
	1.00	1.00	1.00	1.00	1.30	1.30	하중계수	
27	7.93	19.43	78.90	-11.21	694.37	-593.28	I지점	시점 단부
29	0.54	1.94	-35.58	-0.96	766.06	-632.54	J지점	측경간 중앙부
34	-5.61	-20.14	-55.47	-0.59	921.17	-971.06	J지점	교각 P1
39	0.83	1.60	-54.06	5.85	650.26	-576.73	J지점	중앙경간 중앙부
44	-4.63	-17.41	-62.48	1.61	952.83	-1003.72	J지점	교각 P2
49	0.49	-0.48	-68.84	10.48	563.16	-570.89	J지점	측경간 중앙부
52	-8.06	-19.78	-78.87	11.26	589.35	-690.25	J지점	종점 단부

4) 피로한계상태

[1차로의 표준트럭하중의 80%, 충격하중계수15%적용] 피로한계상태, (단위 : kN.m, kN)

부재 번호	Unfactored force [LL+IM]				피로한계상태 [LL+IM]						비 고	위치
	모 멘 트		전 단 력		모 멘 트		전 단 력		피로하중 작용범위			
	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	모멘트	전단력		
					0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	하중계수	
27	0.02	-0.01	24.61	-299.65	0.01	-0.01	18.46	-224.73	0.02	243.19	I지점	시점 단부
29	1,813.32	-332.86	140.93	-120.34	1,359.99	-249.65	105.70	-90.26	1,609.63	195.95	J지점	측경간 중앙부
34	217.68	-1,380.79	328.79	-33.32	163.26	-1,035.59	246.60	-24.99	1,198.85	271.59	J지점	교각 P1
39	1,651.21	-230.96	151.17	-116.29	1,238.41	-173.22	113.38	-87.21	1,411.63	200.59	J지점	중앙경간 중앙부
44	227.30	-1,428.94	331.05	-35.70	170.47	-1,071.71	248.29	-26.77	1,242.18	275.06	J지점	교각 P2
49	1,817.19	-343.03	154.47	-108.34	1,362.89	-257.28	115.85	-81.26	1,620.17	197.11	J지점	측경간 중앙부
52	0.01	-0.01	299.66	-25.44	0.01	-0.01	224.75	-19.08	0.02	243.82	J지점	종점 단부

4.6 반력 집계

(1) 최대 반력 집계

< A1 > (단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		차량활하중(LL+IM)		지점침하(SD)		합 계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	190.907	642.018	163.084	150.309	781.015	-94.094	14.737	-9.765	1,942.07	1,042.46	82
G2	190.934	647.293	164.543	152.377	786.586	-94.159	14.757	-9.764	1,956.49	1,051.22	86

< P1 > (단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		차량활하중(LL+IM)		지점침하(SD)		합 계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	733.119	2,087.277	573.890	529.116	1,204.985	-87.909	29.003	-33.986	5,157.39	3,801.51	83
G2	733.090	2,097.786	577.962	535.038	1,213.788	-87.702	29.020	-34.024	5,186.68	3,822.15	87

< P2 > (단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		차량활하중(LL+IM)		지점침하(SD)		합 계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	736.902	2,088.343	574.215	529.420	1,206.047	-91.761	29.004	-33.952	5,163.93	3,803.17	84
G2	736.874	2,098.907	578.269	535.319	1,214.843	-91.564	29.019	-33.989	5,193.23	3,823.82	88

< A2 > (단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		차량활하중(LL+IM)		지점침하(SD)		합 계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	193.529	640.465	162.967	150.204	780.856	-97.286	14.715	-9.755	1,942.74	1,040.12	85
G2	193.551	647.327	164.414	152.254	786.446	-97.381	14.732	-9.753	1,958.72	1,050.41	89

(2) 하부 설계시 작용반력

< A1 > (단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)						최대반력집계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	만재하		좌측편재하		우측편재하				
					Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	190.907	642.018	163.084	150.309	781.015	-94.094	744.128	-94.094	398.576	-68.438	1,942.07	1,042.46	82
G2	190.934	647.293	164.543	152.377	786.586	-94.159	538.055	-87.001	563.178	-73.696	1,956.49	1,051.22	86

< P1 > (단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)						최대반력집계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	만재하		좌측편재하		우측편재하				
					Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	733.119	2,087.277	573.890	529.116	1,204.985	-87.909	1,166.220	-87.909	838.718	-60.549	5,157.39	3,801.51	83
G2	733.090	2,097.786	577.962	535.038	1,213.788	-87.702	848.976	-80.486	1,176.729	-65.776	5,186.68	3,822.15	87

< P2 > (단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)						최대반력집계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	만재하		좌측편재하		우측편재하				
					Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	736.902	2,088.343	574.215	529.420	1,206.047	-91.761	1,168.964	-91.761	842.558	-63.419	5,163.93	3,803.17	84
G2	736.874	2,098.907	578.269	535.319	1,214.843	-91.564	852.760	-84.322	1,179.451	-68.673	5,193.23	3,823.82	88

< A2 >

(단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		활하중(LL+IM)						최대반력집계		절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)	만재하		좌측편재하		우측편재하				
					Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	193.529	640.465	162.967	150.204	780.856	-97.286	744.533	-97.286	399.671	-70.849	1,942.74	1,040.12	85
G2	193.551	647.327	164.414	152.254	786.446	-97.381	539.517	-90.005	563.496	-76.707	1,958.72	1,050.41	89

(3) 부반력 검토

R = $2R_{L+I}$ + R_D or R = R_D + R_W 중 불리한 값을 사용하여 설계한다. (도로교 설계기준 2.4.1.2)

R : 받침반력 (kN)　　R_{L+I} : 충격을 포함한 활하중에 의한 최대 부반력 (kN)

R_D : 고정하중에 의한 받침반력 (kN)　　R_W : 풍하중에 의한 최대 부반력 (kN)

< A1 >

(단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		고정하중 합계 (R_D)	활하중(LL+IM)		풍하중		부반력검토		부반력(R)	절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)		Max	Min	Max	Min	$2R_{L+I}$ + R_D	R_D + R_W		
G1	190.907	642.018	163.084	150.309	1,146.318	781.015	-94.094	33.098	-36.538	958.13	1,109.78	-	82
G2	190.934	647.293	164.543	152.377	1,155.146	786.586	-94.159	36.543	-33.100	966.83	1,122.05	-	86

< P1 >

(단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		고정하중 합계 (R_D)	활하중(LL+IM)		풍하중		부반력검토		부반력(R)	절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)		Max	Min	Max	Min	$2R_{L+I}$ + R_D	R_D + R_W		
G1	733.119	2,087.277	573.890	529.116	3,923.402	1,204.985	-87.909	106.359	-123.114	3,747.58	3,800.29	-	83
G2	733.090	2,097.786	577.962	535.038	3,943.876	1,213.788	-87.702	123.110	-106.357	3,768.47	3,837.52	-	87

< P2 >

(단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		고정하중 합계 (R_D)	활하중(LL+IM)		풍하중		부반력검토		부반력(R)	절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)		Max	Min	Max	Min	$2R_{L+I}$ + R_D	R_D + R_W		
G1	736.902	2,088.343	574.215	529.420	3,928.879	1,206.047	-91.761	106.249	-123.158	3,745.36	3,805.72	-	84
G2	736.874	2,098.907	578.269	535.319	3,949.369	1,214.843	-91.564	123.154	-106.247	3,766.24	3,843.12	-	88

< A2 >

(단위:kN)

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)	단일합성	이중합성후 고정하중		고정하중 합계 (R_D)	활하중(LL+IM)		풍하중		부반력검토		부반력(R)	절점 번호
	강재자중 (DC11)	바닥Con (DC21)	방호벽 (DC22)	포장등 (DW)		Max	Min	Max	Min	$2R_{L+I}$ + R_D	R_D + R_W		
G1	193.529	640.465	162.967	150.204	1,147.165	780.856	-97.286	33.084	-36.690	952.59	1,110.48	-	85
G2	193.551	647.327	164.414	152.254	1,157.546	786.446	-97.381	36.693	-33.086	962.78	1,124.46	-	89

◎ **< 단면 5 >** 단면위치:39,J지점 **(외측거더)**

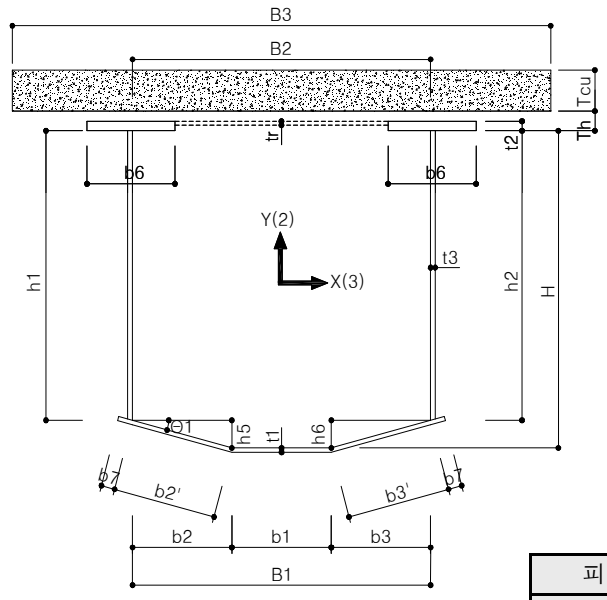
(1) 설계조건

1) 주요기준

상부바닥판, fck	35 MPa	사용강종	HSB500	하중수정계수 $\eta_i=\eta_D x \eta_R x \eta_I$	1.0
상부바닥판, Ec	29779 MPa	강재 탄성계수, Es	205000 MPa	연성계수, η_D	1.0
철근의 항복강도, Fry	400 MPa	상부플랜지 항복강도, Fyc	380 MPa	여용성계수, η_R	1.0
하이브리드단면 감소계수, Rh	1.0	복부판 항복강도, Fyw	380 MPa	중요도계수, η_I	1.0
국부좌굴에대한 감소계수, Rb	1.0	하부플랜지 항복강도, Fyt	380 MPa	단부경간장	40000 mm
강재휨강도 감소계수, Φ_f	1.0	보강재 항복강도, Fys	380 MPa	중앙경간장	50000 mm
강재전단강도 감소계수, Φ_v	1.0				

설계수명기간	100 년	ADTT	5000 대	설계차로수	2 차로
한차로 트럭비율, p	0.85	트럭한대당 반복횟수, n	1.0	휨모멘트 변동범위, $(\triangle M)_{max}$	1882.2
피로상세범주	C'	반복횟수, N_{TH}	2.55×10^6	피로한계값, $(\triangle F)_{Tn}$	82.7 MPa

2) 단면제원



※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

단면제원(mm)			
b1	495	B1	2400
b2	487	B2	2400
b3	487	B3	6228
b4	465	H(D)	1800
b5	465	t1(t_{ft})	12
b6	400	t2(t_{fc})	18
b7	100	t3(t_w)	12
b2'	494.947	h1	1545
b3'	494.947	h2	1545
b4'	494.947	h3	100
b5'	494.947	h4	100
Θ1	20.0°	h5	169.282
Θ2	10.0°	h6	169.282
복부판 Θ	0.000°	h7	85.947
Tcu= t_s	240	h8	85.947
Th	50		

피복두께(mm)	
tcu	60
tcl	40

보강리브 제원(mm)		유효폭 제원 (mm)		탄성계수비(단기,n)		탄성계수비(장기,3n)	
상부리브	0 x 0 x 0 ea	상부바닥판	6228	n(상부)	7	n(상부)	21

수직보강재 간격, d_o	2500 mm	수직보강재 두께, t_p	16 mm
수직보강재 폭, b_t	200 mm	가장 넓은 상부플랜지 폭, b_f	400 mm
상부플랜지 비지지길이, L_b	2500 mm		
압축플랜지에서 가장 가까운 수평보강재의 중심까지의 거리, d_s			252 mm

3) 설계단면력 및 단면정수 산정

① Unfactored Force

시공단계	작용하중	Unfactored Force			비 고 (탄성계수비)
		모멘트,M	전단력,S	비틀림,T	
		(kN・m)	(kN)	(kN・m)	
합성전	(DC11) 강재자중	860.7	-2.3	0.8	비합성
합성전	(DC12) 지점콘크리트	0.0	0.0	0.0	비합성
단일합성	(DC21) 바닥판콘크리트	3278.6	-18.3	1.6	비합성
이중합성	(DC22) 방호벽	1131.9	-2.7	-54.1	장기합성(3n)
이중합성	(DW) 포장	1048.9	-5.5	5.8	장기합성(3n)
이중합성	(LL+IM) 활하중	5111.7	-313.7	500.2	단기합성(n)
이중합성	(SD) 지점이동	97.0	-19.0	0.2	단기합성(n)

② Unfactored Force ; 피로

시공단계	작용하중	Unfactored Force			비 고 (탄성계수비)
		모멘트,Max	모멘트,Min	전단력,S	
		(kN・m)	(kN・m)	(kN)	
이중합성	(LL+IM) 활하중(피로)	1651.2	-231.0	151.2	단기합성(n)

③ 단면정수 산정

구분	단면	As (mm^2)	d (mm)	As・d (mm^3)	Ad^2 (mm^4)	Ix (mm^4)	Is (mm^4)	비 고
Steel								
상부플랜지	400×18×2	14,400	781	1.125.E+07	8.783.E+09	3.888.E+05	8.784.E+09	
상부리브	0×0×0	-	-	0.000.E+00	0.000.E+00	0.000.E+00	0.000.E+00	
복부판(L)	1,545×12×1	18,537				3.686.E+09	3.686.E+09	
복부판(R)	1,545×12×1	18,537				3.686.E+09	3.686.E+09	
하부플랜지(L1)	594.9×12×1	7,139	-863	-6.161.E+06	5.318.E+09	8.567.E+04	5.318.E+09	
하부플랜지(L2)	494.9×12×1	5,939	-991	-5.884.E+06	5.829.E+09	7.127.E+04	5.829.E+09	
하부플랜지(C)	494.9×12×1	5,939	-1,034	-6.139.E+06	6.345.E+09	7.127.E+04	6.345.E+09	
하부플랜지(R1)	494.9×12×1	5,939	- 991	-5.884.E+06	5.829.E+09	7.127.E+04	5.829.E+09	
하부플랜지(R2)	594.9×12×1	7,139	-863	-6.161.E+06	5.318.E+09	8.567.E+04	5.318.E+09	
계		83,572		-1.898.E+07			4.479.E+10	
d_s	-227					$I_{N.A}$	4.048.E+10	$A_{o,NC}$ = 4.320.E+06
Composite (3n)								
steel		83,572		-1.898.E+07			4.479.E+10	
바닥판 Con'c	6227.5×240	71,171	942	6.704.E+07	6.315.E+10	3.416.E+08	6.350.E+10	
계		154,743		4.806.E+07			1.083.E+11	
d_s	311					$I_{N.A}$	9.336.E+10	$A_{o,LT}$ = 4.320.E+06
Composite (n)								
steel		83,572		-1.898.E+07			4.479.E+10	
바닥판 Con'c	6227.5×240	213,514	942	2.011.E+08	1.895.E+11	1.025.E+09	1.905.E+11	
계		297,086		1.821.E+08			2.353.E+11	
d_s	613					$I_{N.A}$	1.236.E+11	$A_{o,ST}$ = 4.320.E+06

아래표의d 부호규약 : (-)중립축위쪽,(+)중립축아래쪽

<< 단면정수 요약 >>

위 치		Steel		Composite (3n)		Composite (n)	
		d (mm)	S (mm^3)	d (mm)	S (mm^3)	d (mm)	S (mm^3)
바닥판	상연			-1083.0	8.621.E+07	-449	2.751.E+08
Con'c	하연			-843.0	1.108.E+08	-209	5.907.E+08
상 부	상연	-1018	3.979.E+07	-479.8	1.946.E+08	-177	6.973.E+08
플랜지	하연	-1000	4.050.E+07	-461.8	2.022.E+08	-159	7.761.E+08
하 부	상연	545	7.425.E+07	1083.0	8.621.E+07	1385	8.922.E+07
플랜지	하연	557	7.265.E+07	1095.0	8.527.E+07	1397	8.845.E+07

4) 부재 단면비 검토

① 복부판

$$-\frac{D}{t_w}=\frac{1544.8}{12}=128.7 \le 300 \quad \text{.. O.K} \qquad \text{(수평보강재 있는 경우)}$$

② U형 단면의 상부플랜지

○ $\dfrac{b_f}{2\cdot t_{fc}}=\dfrac{400}{2\ x\ 18}=11.1 \le 12.0$ .. O.K

○ $b_f = 400 \ge D/6 = 257$ .. O.K

○ $t_f = 18 \ge 1.1t_w = 13.2$ .. O.K

5) 소성모멘트(Mp) 산정 및 관련제원

① 소성중립축 위치 산정

※ 중립축 위치를 가정한 후 구해진 압축력과 인장력이 동일해지도록 중립축 위치를 변화시키며 반복 수행

c = 142.009 mm (바닥판 상연에서 중립축까지의 거리)

∴ 중립축은 바닥판슬래브 내에 위치하게 된다.

y1 =	148	mm	(바닥판두께 + 헌치높이 - 중립축거리)
y2 =	166	mm	(바닥판두께 + 헌치높이 + 상부플랜지두께 - 중립축거리)
y3 =	1966	mm	(바닥판두께 + 헌치높이 + 상부플랜지두께 + 복부판높이 - 중립축거리)
Cc =	-26310	kN	(바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력)
Ch =	0	kN	(바닥판 헌치 콘크리트에 작용하는 압축력)
St1 =	5472	kN	(중립축이 바닥판에 위치할 경우 : 상부플랜지에 작용하는 인장력 중립축이 복부판에 위치할 경우 : 상부플랜지에 작용하는 압축력)
St2 =	0	kN	(중립축이 상부플랜지에 위치할 경우 상부플랜지에 작용하는 압축력)
St3 =	0	kN	(중립축이 상부플랜지에 위치할 경우 상부플랜지에 작용하는 인장력)
Sw1 =	16416	kN	(중립축이 복부판 위쪽에 있을 경우 복부판에 작용하는 인장력)
Sw2 =	0	kN	(중립축이 복부판에 위치할 경우 복부판에 작용하는 압축력)
Sw3 =	0	kN	(중립축이 복부판에 위치할 경우 복부판에 작용하는 인장력)
Sb =	2257	kN	(하부플랜지에 작용하는 인장력)
∑(C+S) =	-2165	kN	(단면에 작용하는 압축력과 인장력의 합)

② 소성모멘트 산정

Mcc =	-1868	kN·m	(바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력에 의한 모멘트)
Mch =	0	kN·m	(바닥판 헌치 콘크리트에 작용하는 압축력에 의한 모멘트)
Mst1 =	859	kN·m	(중립축이 바닥판에 위치할 경우 상부플랜지에 작용하는 인장력에 의한 모멘트 중립축이 복부판에 위치할 경우 상부플랜지에 작용하는 압축력에 의한 모멘트
Mst2 =	0	kN·m	(중립축이 상부플랜지에 위치할 경우 상부플랜지에 작용하는 압축력에 의한 모멘트)
Mst3 =	0	kN·m	(중립축이 상부플랜지에 위치할 경우 상부플랜지에 작용하는 인장력에 의한 모멘트)
Msw1 =	17499	kN·m	(중립축이 복부판 위쪽에 있을 경우 복부판에 작용하는 인장력에 의한 모멘트)
Msw2 =	0	kN·m	(중립축이 복부판에 위치할 경우 복부판에 작용하는 압축력에 의한 모멘트)
Msw3 =	0	kN·m	(중립축이 복부판에 위치할 경우 복부판에 작용하는 인장력에 의한 모멘트)
Msb =	4451	kN·m	(하부플랜지에 작용하는 인장력에 의한 모멘트)
∑M =	24677	kN·m	

∴ 소성모멘트, M_p = 24677.178 kN.m

③ 웨브의 압축측 높이 산정

○ 소성모멘트 적용시

$$- Dcp = \frac{D}{2} \cdot \left[\frac{fyt \cdot At - fyc \cdot Ac - 0.85 \cdot fck \cdot As - fyr \cdot Ar}{fyw \cdot Aw} + 1 \right]$$; 정모멘트를 받는 단면에서 소성중립축이 웨브 내에 있을경우

여기서;

D_{cp}	: 소성모멘트 적용시 웨브 압축측 높이(mm)	=	1544.135 (mm)
D	: 웨브 높이(mm)	=	1545 (mm)
A_s	: 바닥판 단면적(mm^2)	=	1494600 (mm^2)
A_t	: 인장플랜지 단면적(mm^2)	=	20218 (mm^2)
A_c	: 압축플랜지 단면적(mm^2)	=	14400 (mm^2)
A_w	: 웨브 단면적(mm^2)	=	37075 (mm^2)
A_r	: 단면에 포함된 축방향 철근의 단면적(mm^2)	=	0 (mm^2)
f_{yc}	: 압축플랜지 항복강도(MPa)	=	380 MPa
f_{yr}	: 단면에 포함된 축방향 철근의 항복강도(MPa)	=	0 MPa
f_{yt}	: 인장플랜지의 항복강도(MPa)	=	380 MPa
f_{yw}	: 웨브의 항복강도(MPa)	=	380 MPa
f_{ck}	: 콘크리트의 28일 압축강도(MPa)	=	35 MPa

- 위의 경우를 제외한 정모멘트 단면에서 Dcp는 0으로 한다.
  - 소성모멘트 적용시 웨브의 압축측 높이, D_{cp}
    ∴ 소성 중립축이 강형복부에 위치하지 않으므로 D_{cp} = 0.00 mm

④ 단면 총깊이 (D_t)

- $D_t = t_h + D + t_{ft} + t_{cu} = 50 + 1545 + 12 + 240 = 1847$ mm

⑤ 슬래브 상연으로부터 소성중립축까지의 거리 (D_p)

- $D_p = t_h + D_{cp} + t_{cu} = 50 + 0.00 + 240 = 290.000$ mm

(2) 극한 한계상태 검토

1) 휨강도 검토

① 설계단면력 및 하중계수

구분	휨모멘트(N · mm)	비틀림모멘트(N · mm)	하중계수	비고
DC11(강재자중)	8.607E+08	8.279E+05	1.25	비합성
DC12(지점부콘크리트)	0.000E+00	0.000E+00	1.25	비합성
DC21(바닥판콘크리트)	3.279E+09	1.602E+06	1.25	비합성
DC22(방호벽)	1.132E+09	-5.406E+07	1.25	이중합성(장기)
DW(포장)	1.049E+09	5.850E+06	1.50	이중합성(장기)
LL+IM(활하중)	5.112E+09	5.002E+08	1.80	이중합성(단기)
SD(지점이동)	9.700E+07	2.168E+05	1.00	이중합성(단기)
극한한계상태 I	1.153E+10	4.546E+08		

② 비조밀단면의 압축플랜지(상부플랜지)검토 응력의 부호규약 : (+)인장, (-)압축

○ $f_{bu} = \frac{1.25 \times M_{DC11}}{S_{NC,tfu}} + \frac{1.25 \times M_{DC12}}{S_{NC,tfu}} + \frac{1.25 \times M_{DC21}}{S_{NC,tfu}} + \frac{1.25 \times M_{DC22}}{S_{LT,tfu}} + \frac{1.50 \times M_{DW}}{S_{LT,tfu}} + \frac{1.80 \times M_{LL+IM}}{S_{ST,tfu}} + \frac{1.00 \times M_{SD}}{S_{ST,tfu}}$

$= \frac{1.08E+09}{3.979.E+07} + \frac{0.00E+00}{3.979.E+07} + \frac{4.10E+09}{3.979.E+07} + \frac{1.41E+09}{1.946.E+08} + \frac{1.57E+09}{1.946.E+08} + \frac{9.20E+09}{6.973.E+08} + \frac{9.70E+07}{6.973.E+08}$

$= 158.74 \quad MPa$

○ $F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc} = 1.0 \times 1.0 \times 380 = 380 \quad MPa$

○ $f_{bu} = 158.74 \leq \Phi_f \cdot F_{nc} = 380$ ∴ O.K

③ 비조밀단면의 인장플랜지(하부플랜지) 검토

○ $f_{bu} = \frac{1.25 \times M_{DC11}}{S_{NC1,bfl}} + \frac{1.25 \times M_{DC12}}{S_{NC1,bfl}} + \frac{1.25 \times M_{DC21}}{S_{NC2,bfl}} + \frac{1.25 \times M_{DC22}}{S_{LT,bfl}} + \frac{1.50 \times M_{DW}}{S_{LT,bfl}} + \frac{1.80 \times M_{LL+IM}}{S_{ST,bfl}} + \frac{1.00 \times M_{SD}}{S_{ST,bfl}}$

$= \frac{1.08E+09}{7.265.E+07} + \frac{0.00E+00}{7.265.E+07} + \frac{4.10E+09}{7.265.E+07} + \frac{1.41E+09}{8.527.E+07} + \frac{1.57E+09}{8.527.E+07} + \frac{9.20E+09}{8.845.E+07} + \frac{9.70E+07}{8.845.E+07}$

$= 211.39 \quad MPa$

○ $F_{nt} = R_h \cdot F_{yt} \cdot \triangle = 1.0 \times 380 \times 0.9993101 = 379.73782 \quad MPa$

- $\triangle = \sqrt{\left\{1 - 3\left(\frac{f_v}{F_{yt}}\right)^2\right\}} = \sqrt{\left\{1 - 3\left(\frac{8.1483432}{380}\right)^2\right\}}$

$= 0.9993101$

- $f_v = \frac{1}{2 \cdot A_{0,NC} \cdot t_{ft}}(1.25 \times T_{DC11} + 1.25 \times T_{DC12} + 1.25 \times T_{DC21})$

$+ \frac{1}{2 \cdot A_{0,LT} \cdot t_{ft}}(1.25 \times T_{DC22} + 1.50 \times T_{DW} + 1.0 \times T_{SD})$

$+ \frac{1}{2 \cdot A_{0,LT} \cdot t_{ft}}(1.80 \times T_{LL+IM})$

- $f_v = \frac{1.25 \times 8.28.E+05}{2 \times 4.320.E+06 \times 12} + \frac{1.25 \times 0.00.E+00}{2 \times 4.320.E+06 \times 12} + \frac{1.25 \times 1.60.E+06}{2 \times 4.320.E+06 \times 12}$

$+ \frac{1.25 \times -5.41.E+07}{2 \times 4.320.E+06 \times 12} + \frac{1.5 \times 5.85.E+06}{2 \times 4.320.E+06 \times 12} + \frac{1.0 \times 2.17.E+05}{2 \times 4.320.E+06 \times 12}$

$+ \frac{1.8 \times 5.00.E+08}{2 \times 4.320.E+06 \times 12} = 8.148$ MPa

○ $f_{bu} = 211.39 \leq \Phi_f \cdot F_{nt} = 379.738$ ∴ O.K

④ 바닥판 콘크리트 압축응력 검토

○ $f_{cu} = \frac{1.25 \times M_{DC22}}{n\ S_{st,tsu}} + \frac{1.50 \times M_{DW}}{n\ S_{st,tsu}} + \frac{1.80 \times M_{LL+IM}}{n\ S_{st,tsu}} + \frac{1.00 \times M_{SD}}{n\ S_{st,tsu}}$

$= \frac{1.41E+09}{1.926.E+09} + \frac{1.57E+09}{1.926.E+09} + \frac{9.20E+09}{1.926.E+09} + \frac{9.70E+07}{1.926.E+09}$

$= 6.38$ MPa

○ $f_{cu} = 6.38 \leq 0.6 \cdot f_c' = 21.00$ MPa ∴ O.K

⑤ 연성요구조건 검토

○ $0.42D_t = 0.42 \times 1847 = 776$ mm > $D_p = 290.00$ mm ∴ O.K

2) 전단강도 검토

① 설계단면력 및 하중계수

구분	전단력(kN)	하중계수	비고
DC11(강재자중)	-2.3	1.25	비합성
DC12(지점부콘크리트)	0.0	1.25	비합성
DC21(바닥판콘크리트)	-18.3	1.25	단일합성(장기)
DC22(방호벽)	-2.7	1.25	이중합성(장기)
DW(포장)	-5.5	1.50	이중합성(장기)
LL+IM(활하중)	-313.7	1.80	이중합성(단기)
SD(지점이동)	-19.0	1.00	이중합성(단기)
극한한계상태 I	-621.2		

② 보강된 복부판의 전단강도(V_n)

○ 전단좌굴계수(k)

- $k = 5 + \frac{5}{(d_0/D)^2} = 6.9090548$

○ 전단항복강도에 대한 전단좌굴강도의 비(C)

- $\frac{D}{t_w} \leq 1.12 \sqrt{\frac{E\ k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = 1.0$

$1.12 \sqrt{\frac{E\ k}{F_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1.40 \sqrt{\frac{E\ k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.12}{D/t_w} \sqrt{\frac{E\ k}{F_{yw}}}$

$\frac{D}{t_w} > 1.40 \sqrt{\frac{E\ k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.57}{(D/t_w)^2} \left(\frac{E\ k}{F_{yw}} \right)$

$1.12\sqrt{\frac{E\ k}{F_{yw}}} = 68.377$

$1.40\sqrt{\frac{E\ k}{F_{yw}}} = 85.472$

$\frac{D}{t_w} = \frac{1545}{12} = 128.73$ 이므로, $C = 0.260$

○ 소성전단강도(V_p)

- $V_p = 0.58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w = 4085.611236$ kN

○ 단부패널의 전단강도(V_n)

- $V_n = V_{cr} = C\ V_p = 0.2600794 \times 4085.6112 = 1062.5835$ kN

○ 내부패널의 전단강도

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} \leq 2.5$ 이면 $V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}} \right]$

$\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} > 2.5$ 이면 $V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}+d_0/D} \right]$

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} = \frac{37074.512}{21600} = 1.72 \leq 2.5$ 이므로

- $V_n = 2445.071$ kN

③ 전단강도 검토

○ $V_u = (\sum \eta_i \cdot \gamma_i \cdot V_i)/2 = (1.0 \times 1.0 \times 621.246)/2 = 310.623$ kN

○ $V_r = \Phi_v \cdot V_n = 1.0 \times 2445.07 = 2445.071$ kN

○ $V_u < V_r$ ∴ O.K

④ 수직보강재설계

○ 돌출폭 검토

- $b_t \geq 50.0 + \frac{D}{30}$, $16t_p \geq b_t \geq \frac{b_f}{4}$

  · $b_t = 200$ mm : 수직보강재 돌출폭
  · $D = 1545$ mm : 복부판의 높이
  · $t_p = 16$ mm : 수직보강재의 두께
  · $b_f = 400$ mm : 상부플랜지의 전폭

- $b_t = 200$ mm $> 50.0 + \frac{1544.8}{30} = 101.49$ mm ∴ O.K

- $16t_p = 256$ mm $> b_t = 200$ mm $> \frac{b_f}{4} = 100$ mm ∴ O.K

○ 단면2차모멘트 검토

수직보강재의 단면2차모멘트는 다음 조건을 만족해야 한다.

- $I_t \geq bt_w^3 J = 1545 \times 1728 \times 0.5 = 1334682.4\ mm^4$

  · $b = 1545\ mm$: d_0와 D중 작은 값

  · $t_w = 12\ mm$: 복부판 두께

  · $d_0 = 2500\ mm$: 수직보강재의 간격

  · $J = 2.5\left(\frac{D}{d_0}\right)^2 - 2.0 = 2.5\left(\frac{1545}{2500}\right)^2 - 2.0 = -1.045473 < 0.5$

- $I_t = \frac{1}{3} t_p b_t^3 = \frac{1}{3} \times 16 \times 200^3 = 42666667\ mm^4$

- $I_t = 42666667\ mm^4 > I_{t1} = 1334682.4\ mm^4$ ∴ O.K

(3) 피로 한계상태 검토

1) 하중유발피로(Load Induced Fatigue)

① 응력범위 반복횟수(N)

○ $N = (365)(100)\, n\, (ADTT)_{SL} = 155125000$

- 설계수명기간 : 100 년
- ADTT : 5000 대
- 설계차로수 : 2 차로
- P (한 차로에서 트럭교통량 비율) : 0.85
- $(ADTT)_{SL}$ (=ADTT x P) : 4250 대
- n (트럭 한 대 통과당 반복횟수) : 1.00 (정모멘트부)

② 피로상세범주 및 관련상수

○ 피로상세범주 (수직보강재와 하부플랜지 필렛용접) : C'

○ N_{TH} (상세범주에 따른 반복횟수) : 2.55×10^6

○ $(\triangle F)_{TH}$ (상세범주에 따른 피로한계값) : 82.7 MPa

③ 공칭피로강도

○ $(\triangle F)_n = \left(\frac{N_{TH}}{N}\right)^{1/3} \cdot (\triangle F)_{TH}$, $N \leq N_{TH}$

$= 82.70$

④ 피로응력검토

○ $(\triangle f) = \frac{(\triangle M)_{max}}{S_{ST,bfu}} = \frac{1.412.E+09}{8.621.E+07} = 16.374 < 82.700\ (=(\triangle F)_n)$ ∴ O.K

2) 복부판의 피로요구조건 검토

① 전단좌굴계수(k : shear-buckling coefficient)

○ $k = 5 + \frac{5}{(d_0/D)^2} = 6.9090548$

② 전단항복강도에 대한 전단좌굴강도의 비 (C)

○ $\frac{D}{t_w} \leq 1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = 1.0$

$1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.12}{D/t_w}\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$

$\frac{D}{t_w} > 1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.57}{(D/t_w)^2}\left(\frac{E\,k}{F_{yw}}\right)$

$1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} = 68.377$

$1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} = 85.472$

$\frac{D}{t_w} = \frac{1545}{12} = 128.73$ 이므로, $C = 0.353$

③ 소성전단강도 (V_P)

○ $V_P = 0.58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w = 4085.611236$ kN

④ 전단좌굴강도 (V_{cr})

○ $V_{cr} = C \cdot V_p = 1442.712$ kN

⑤ 복부판의 피로요구조건 검토

○ $V_u \leq V_{cr}$

V_u : 하중계수를 곱하지 않은 영구하중과 하중계수를 곱한 피로하중에 의한 검토단면의 복부에서의 전단력

V_{cr} : 전단좌굴강도

○ $V_u = \left(\frac{V_{DC11} + V_{DC12} + V_{DC21} + V_{DC22} + V_{Dw} + 1.80V_{fat}}{2}\right)$

$= \left|\left(\frac{-2.3 + 0.0 + -18.3 + -2.7 + -5.5 + 272.10571}{2}\right)\right|$

$= 121.616$ kN < 1442.7121 $(=V_{cr})$ ∴ O.K

(4) 사용한계상태 검토

1) 설계단면력 및 하중계수

구분	휨모멘트(N · mm)	하중계수	비고
DC11(강재자중)	8.61E+08	1.00	비합성
DC12(지점부콘크리트)	0.00E+00	1.00	비합성
DC21(바닥판콘크리트)	3.28E+09	1.00	비합성
DC22(방호벽)	1.13E+09	1.00	이중합성(장기)
DW(포장)	1.05E+09	1.00	이중합성(장기)
LL+IM(활하중)	5.11E+09	1.30	이중합성(단기)
SD(지점이동)	9.70E+07	1.00	이중합성(단기)
사용한계상태 II	1.15E+10		

2) 복부판 및 플랜지응력

○ 복부판 최대 휨 압축응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfl}} = \frac{8.61E+08}{4.05E+07} + \frac{0.00E+00}{4.05E+07} = 21.25$ MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfl}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,tfl}} = \frac{3.28E+09}{4.05E+07} + \frac{1.13E+09}{2.02E+08} = 86.55$ MPa

- $f_{DW} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,tfl}} = \frac{1.05E+09}{2.02E+08} = 5.19$ MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,tfl}} = \frac{5.11E+09}{7.76E+08} = 6.59$ MPa

- $f_{SD} = \frac{M_{SD}}{S_{ST,tfl}} = \frac{9.70E+07}{7.76E+08} = 0.12$ MPa

- $f_{cw} = 1.0\ f_{DC1} + 1.0\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} + 1.0\ f_{SD} = 121.68$ MPa

○ 상부플랜지 최대 압축응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfu}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfu}} = \frac{8.61E+08}{3.98E+07} + \frac{0.00E+00}{3.98E+07} = 21.63$ MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfu}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,tfu}} = \frac{3.28E+09}{3.98E+07} + \frac{1.13E+09}{1.95E+08} = 88.23$ MPa

- $f_{DW} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,tfu}} = \frac{1.05E+09}{1.95E+08} = 5.39$ MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,tfu}} = \frac{5.11E+09}{6.97E+08} = 7.33$ MPa

- $f_{SD} = \frac{M_{SD}}{S_{ST,tfu}} = \frac{9.70E+07}{6.97E+08} = 0.14$ MPa

- $f_{fc} = 1.0\ f_{DC1} + 1.0\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} + 1.0\ f_{SD} = 124.92$ MPa

○ 하부플랜지 최대 인장응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,bfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,bfl}} = \frac{8.61E+08}{7.26E+07} + \frac{0.00E+00}{7.26E+07} = 11.85$ MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,bfl}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,bfl}} = \frac{3.28E+09}{7.26E+07} + \frac{1.13E+09}{8.53E+07} = 58.40$ MPa

- $f_{DW} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,bfl}} = \frac{1.05E+09}{8.53E+07} = 12.30$ MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,bfl}} = \frac{5.11E+09}{8.84E+07} = 57.79$ MPa

- $f_{SD} = \frac{M_{SD}}{S_{ST,bfl}} = \frac{9.70E+07}{8.84E+07} =$ 1.10 MPa

- $f_{ft} = 1.0\ f_{DC1} + 1.0\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} + 1.0\ f_{SD} =$ 158.78 MPa

○ 복부판 압축측 길이 (D_c)

- $D_c = \frac{|f_{fc}|}{(\ |f_{fc}| + f_{ft}\ )} \times D = \frac{124.9188025}{124.92 + 158.8} \times 1545 =$ 680.199 mm

3) 복부판응력 검토(수평보강재가 있는 경우)

○ 복부판 휨 좌굴 강도(web bend-buckling resistance)

- $\frac{d_s}{D_C} \geq$ 0.4 이면

- $k' = \frac{5.17}{(d_s/D)^2} = \frac{5.17}{0.027} = 194.27542 > \frac{9}{(D_c/D)^2} = \frac{9}{0.194} =$ 46.42

- $k = \max(\ 194.275\ ,\ 46.42\ ) =$ 194.28

- $\frac{d_s}{D_C} <$ 0.4 이면

- $k = \frac{11.64}{((D_c-d_s)/D)^2} = \frac{11.64}{0.077} =$ 151.49

- $\frac{d_s}{D_C} = \frac{252\ mm}{680.19914} =$ 0.370 < 0.4 이므로,

- $k =$ 151.49

- $F_{crw} = \frac{0.9\ E\ k}{(D/t_w)^2} = \frac{27950281}{16571.66} =$ 1686.63 MPa

○ 복부판 최대압축응력 검토

- $f_{cw} =$ 121.68 MPa < $F_{crw} =$ 380.00 MPa ∴ O.K

4) 플랜지응력 검토

○ 상부플랜지 응력 검토

- $f_{tf} =$ 124.92 MPa < $0.95 \cdot R_h \cdot F_{yc}$ (= 361) ∴ O.K

○ 하부플랜지 응력 검토

- $f_{bf} =$ 158.78 MPa < $0.95 \cdot R_h \cdot F_{yf}$ (= 361) ∴ O.K

(5) 시공성 검토

1) 설계단면력 및 하중계수

구분	휨모멘트(N · mm)	전단력(kN)	비틀림모멘트(N · mm)	하중계수
DC11(강재자중)	8.61E+08	-2.33	827868.3	1.25
DC12(지점부콘크리트)	0.00E+00	0.00	0	1.25
DC21(바닥판콘크리트)	3.28E+09	-18.34	1601812	1.25
극한한계상태 I	4.14E+09	-20.67	2429680.3	

2) 극한한계상태 I에 대한 단면응력

① 휨응력 (f_{bu})

○ 상부플랜지

- $f_{bu} = \frac{1.25 \times M_{DC11}}{S_{NC,tfu}} + \frac{1.25 \times M_{DC12}}{S_{NC,tfu}} + \frac{1.25 \times M_{DC21}}{S_{NC,tfu}}$

$= \frac{1.08E+09}{3.979.E+07} + \frac{0.00E+00}{3.979.E+07} + \frac{4.10E+09}{3.979.E+07} = 130.053$ MPa

○ 하부플랜지

- $f_{bu} = \frac{1.25 \times M_{DC11}}{S_{NC,tfl}} + \frac{1.25 \times M_{DC12}}{S_{NC,tfl}} + \frac{1.25 \times M_{DC21}}{S_{NC,tfl}}$

$= \frac{1.08E+09}{7.265.E+07} + \frac{0.00E+00}{7.265.E+07} + \frac{4.10E+09}{7.265.E+07} = 71.221$ MPa

○ 복부판 압축측 길이 (D_c)

- $D_c = \frac{|f_{bu,상부}|}{(|f_{bu,상부}| + f_{bu,하부})} \times D = \frac{130.053091}{130.05 + 71.2} \times 1545 = 998.151$ mm

② St.Venant 비틀림응력(f_v)

○ $f_v = \frac{T}{2 \cdot A_{0,NC} \cdot t_{ft}} = \frac{3037100.375}{2 \times 4.320.E+06 \times 12} = 0.029$

3) 휨에 의한 상부플랜지 시공성 검토

① 개요

○ 불리한 시공단계에 대하여 다음의 요구조건을 만족해야 한다.

- $f_{bu} + f_l \le \Phi_f \cdot R_h \cdot F_{yc}$ (1)

- $f_{bu} + \frac{1}{3} f_l \le \Phi_f \cdot F_{nc}$ (2)

- $f_{bn} \le \Phi_f \cdot F_{crw}$ (3)

○ 복부판이 세장한 단면에서는 $f_l = 0$ 이면 (1)식은 검토할 필요가 없다.

○ 복부판이 조밀하거나 비조밀한 단면에서는 (3)식은 검토할 필요가 없다.

② 비조밀단면의 복부판 세장비 검토

○ $\frac{2 \cdot D_c}{t_w} = \frac{2 \times 680}{12} = 113 \le 5.7\sqrt{\frac{E}{F_{yc}}} = 132.39$

비조밀 복부판에 해당함 → (1), (2)에 대하여 검토

③ 상부플랜지 국부좌굴강도 (F_{nc})

○ 압축플랜지의 세장비 (λ_f)

- $\lambda_f = \frac{b_{fc}}{2 \cdot t_{fc}} = \frac{400}{36} = 11.1$

○ 조밀한 플랜지의 세장비 제한값 (λ_{pf})

- $\lambda_{pf} = 0.38 \cdot \sqrt{(E/F_{yc})} = 0.38 \cdot \sqrt{(205000 / 380)} = 8.83$

○ 비조밀한 플랜지의 세장비 제한값 (λ_{rf})

- $\lambda_{rf} = 0.56 \cdot \sqrt{(E/F_{yr})} = 0.56 \cdot \sqrt{(205000 / 285)} = 15$

○ 국부좌굴강도 (F_{nc})

- $\lambda_f \leq \lambda_{pf}$ 이면 $F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$

- $\lambda_f > \lambda_{pf}$ 이면 $F_{nc} = \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h \cdot F_{yc}} \right) \left(\frac{\lambda_f - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$

- $F_{yr} = \min(0.7F_{yc}, F_{yw}) = 285 \geq 0.5 F_{yc} = 190$ $\therefore F_{yr} = 285$ MPa

- $\lambda_f = 11.1$ 이므로 $F_{nc} = 345$ MPa

④ 상부플랜지 횡비틂 좌굴강도 (F_{nc})

○ 균등한 휨에 대해 공칭휨강도($R_bR_hF_{yc}$)에 도달하기 위한 비지지길이의 제한값 (L_p)

- $L_p = 1.0 r_t \sqrt{(E/F_{yc})} = 1.0 \times 98.4 \times \sqrt{(205000 / 380)} = 2284.8$

  · r_t = 횡비틂좌굴에 대한 유효 단면2차반경

  $= \frac{b_{fc}}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{1}{3} \frac{D_c t_w}{b_{fc} t_{fc}} \right)}} = 98.37$

○ 공칭항복강도에 도달하기 위한 비지지길이의 제한값 (L_r)

- $L_r = \pi r_t \sqrt{(E/F_{yr})} = \pi \times 98.4 \times \sqrt{(205000 / 285)} = 8288.3$

○ 횡비틂좌굴강도 (F_{nc})

- $L_b \leq L_p$ 이면 $F_{nc} = R_b \cdot R_h \cdot F_{yc} = 380$ MPa

- $L_p < L_b \leq L_r$ 이면

$F_{nc} = C_b \left[1 - \left(1 - \frac{F_{yr}}{R_h \cdot F_{yc}} \right) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] R_b \cdot R_h \cdot F_{yc} \leq R_b \cdot R_h \cdot F_{yc}$

$= 376.59$ MPa

- $L_b > L_r$ 이면 $F_{nc} = F_{cr} \leq R_b \cdot R_h \cdot F_{yc} = 380.0$ MPa

- $L_b = 2500$ mm 이므로 $F_{nc} = 376.59$ MPa

⑤ 플랜지의 공칭 휨강도 (F_{nc})

○ F_{nc} = min (③, ④) = 345.01 MPa

⑥ 복부판 공칭휨좌굴강도 (F_{crw} : web bend-buckling resistance)

수평보강재가 있는 경우

○ 휨좌굴계수 (K)

- $\frac{d_s}{D_C}$ ≥ 0.4 이면

- $K = \frac{5.17}{(d_s/D)^2}$ $\frac{9}{(D_c/D)^2}$

$= \frac{5.17}{0.027} = 194.275 \geq \frac{9}{(D_c/D)^2} = 46.419$

$= \max(194.275, 46.419) = 194.275$

- $\frac{d_s}{D_C}$ < 0.4 이면

- $K = \frac{11.64}{(\frac{D_c-d_s}{D})^2} = \frac{11.64}{(\frac{428.199}{1545})^2} = 151.49204$

- d_s / D_c = 252 mm / 680.199 = 0.370 < 0.4 여기서, ds/Dc<0.4 이므로

- k = 151.49

○ 공칭휨좌굴강도(F_{crw})

- $F_{crw} = \frac{0.9EK}{\left(\frac{D}{t_w}\right)^2} = \frac{0.9 \times 205000 \times 151}{\left(\frac{1545}{12}\right)^2} = 1686.6 \leq \min(R_h F_{yc}, F_{yw}/0.7)$

$= \min(380, 543) = 380$

⑦ 상부플랜지 시공성 검토

○ $f_{bu} + f_l = 190.05 \leq \Phi_f \cdot R_h \cdot F_{yc} = 380.00$ ∴ 0.K

○ $f_{bu} + \frac{1}{3} f_l = 150.05 \leq \Phi_f \cdot F_{nc} = 345.01$ ∴ 0.K

○ $f_{bu} = 130.05 \leq \Phi_f \cdot F_{crw} = 380.00$ ∴ 0.K

4) 휨에 의한 하부플랜지 시공성 검토

○ $\triangle = \sqrt{1-3(f_v/F_{yf})^2} = \sqrt{1-3(2.929.E-02/380)^2} = 1.0$

- f_v = 플랜지에 작용하는 St.Venant 비틀림 전단응력

= $T/(2A_{0,NC}t_{ft})$ = 0.029

○ f_b = 71.22 MPa ≤ $\Phi_f \cdot R_h \cdot F_{yt} \cdot \triangle$ = 1.0 x 1.0 x 380 x 1 = 380 MPa

∴ 0.K

5) 전단 검토

① 공칭전단강도 (V_n)

○ 전단좌굴계수 (k)

- $k = 5 + \frac{5}{(d_0/D)^2} = 6.9090548$

○ 전단항복강도에 대한 전단좌굴강도의 비 (C)

- $\frac{D}{t_w} \leq 1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = 1.0$

$1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.12}{D/t_w}\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$

$\frac{D}{t_w} > 1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.57}{(D/t_w)^2}\left(\frac{E\,k}{F_{yw}}\right)$

$1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} = 68.377$

$1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} = 85.472$

$\frac{D}{t_w} = \frac{1545}{12} = 128.73$ 이므로, $C = 0.353$

○ 소성전단강도 (V_p)

- $V_p = 0.58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w = 4085.611236$ kN

○ 복부판 공칭전단강도 (V_n)

- $V_n = V_{cr} = C\,V_p = 0.353 \times 4085.6112 = 1442.712$ kN

○ 내부패널의 전단강도

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} \leq 2.5$ 이면 $V_n = V_p\left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}}\right]$

$\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} > 2.5$ 이면 $V_n = V_p\left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}+d_0/D}\right]$

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} = \frac{37074.512}{21600} = 1.72 \leq 2.5$ 이므로

- $V_n = 2651.360$ kN

② 전단강도 검토

○ $V_u = \sum \eta_i \cdot \gamma_i \cdot V_i = 1.0 \times 1.0 \times 25.840 = 25.840$ kN

○ $V_r = \Phi_v \cdot V_n = 1.0 \times 2651.360 = 2651.360$ kN

○ $V_u < V_r$ ∴ O.K

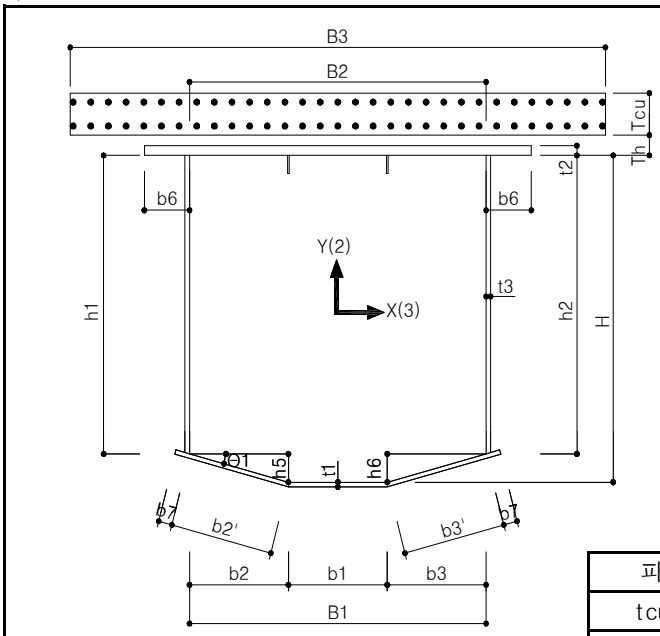
◎ 부모멘트구간 < 단면 3 > 단면위치:34,J지점 (외측거더)

(1) 설계조건

1) 주요기준

상부바닥판, fck	35 MPa	사용강종	HSB500	하중수정계수 $\eta_i=\eta_D x \eta_R x \eta_I$	1.0
상부바닥판, Ec	29779 MPa	강재 탄성계수, Es	205000 MPa	연성계수, η_D	1.0
하부콘크리트, fck	40 MPa	상부플랜지 항복강도, Fyt	380 MPa	여용성계수, η_R	1.0
하부콘크리트, Ec	30008 MPa	복부판 항복강도, Fyw	380 MPa	중요도계수, η_I	1.0
철근의 항복강도, Fry	400 MPa	하부플랜지 항복강도, Fyt	380 MPa		
하이브리드단면 감소계수, Rh	1.0	강재휨강도 감소계수, Φ_f	1.0		
국부좌굴에대한 감소계수, Rb	1.0	강재전단강도 감소계수, Φ_v	1.0		

2) 단면제원



※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

단면제원(mm)			
b1	495	B1	2400
b2	487	B2	2400
b3	487	B3	6228
b4	465	H=D	1800
b5	465	t1	18
b6	200	t2	12
b7	100	t3	12
b2'	494.947	h1	1545
b3'	494.947	h2	1545
b4'	494.947	h3	100
b5'	494.947	h4	100
Θ1	20.0°	h5	169.282
Θ2	10.0°	h6	169.282
복부판 Θ	0.000°	h7	85.947
Tcu= t_s	240	h8	85.947
Th	50		

피복두께(mm)	
tcu	60
tcl	40

보강리브 제원(mm)		유효폭 제원 (mm)		탄성계수비(단기,n)		탄성계수비(장기,3n)	
상부리브	150 x 14 x 2 ea	상부바닥판	6228	n(상부)	7	n(상부)	21

3) 설계단면력 및 단면정수 산정

① Unfactored Force

시공단계	작용하중	Unfactored Force			비 고 (탄성계수비)
		모멘트,M (kN·m)	전단력,S (kN)	비틀림,T (kN·m)	
합성전	(DC11) 강재자중	-3003.5	361.5	-5.6	비합성
합성전	(DC12) 지점콘크리트	0.0	0.0	0.0	비합성
단일합성	(DC21) 바닥판콘크리트	-9410.5	1030.3	-20.1	비합성
이중합성	(DC22) 방호벽	-2426.4	284.4	-55.5	장기합성(3n)
이중합성	(DW) 포장	-2241.9	260.1	-0.6	장기합성(3n)
이중합성	(LL+IM) 활하중	-4917.1	797.8	-747.0	단기합성(n)
이중합성	(SD) 지점이동	-380.8	9.9	-0.5	단기합성(n)

② Unfactored Force ; 피로

시공단계	작용하중	Unfactored Force			비 고 (탄성계수비)
		모멘트,Max (kN·m)	모멘트,Min (kN·m)	전단력,S (kN)	
이중합성	(LL+IM) 활하중(피로)	217.7	-1380.8	328.8	단기합성(n)

③ 단면정수 산정

- 바닥판 상면철근 : H19 , n= 6228 / 125 = 50 ea = 14,325 mm^2
- 바닥판 하면철근 : H19 , n= 6228 / 125 = 50 ea = 14,325 mm^2

구분	단면	As (mm^2)	d (mm)	As·d (mm^3)	Ad^2 (mm^4)	Ix (mm^4)	Is (mm^4)	비 고
Steel								
상부플랜지	2800×12×1	33,600	778	2.614.E+07	2.034.E+10	4.032.E+05	2.034.E+10	
상부리브	150×14×2	4,200	697	2.929.E+06	2.043.E+09	7.875.E+06	2.051.E+09	
복부판(L)	1,545×12×1	18,537				3.686.E+09	3.686.E+09	
복부판(R)	1,545×12×1	18,537				3.686.E+09	3.686.E+09	
하부플랜지(L1)	594.9×18×1	10,709	- 866	-9.274.E+06	8.032.E+09	2.891.E+05	8.032.E+09	
하부플랜지(L2)	494.9×18×1	8,909	- 994	-8.852.E+06	8.796.E+09	2.405.E+05	8.796.E+09	
하부플랜지(C)	494.9×18×1	8,909	-1,037	-9.235.E+06	9.573.E+09	2.405.E+05	9.574.E+09	
하부플랜지(R1)	494.9×18×1	8,909	- 994	-8.852.E+06	8.796.E+09	2.405.E+05	8.796.E+09	
하부플랜지(R2)	594.9×18×1	10,709	- 866	-9.274.E+06	8.032.E+09	2.891.E+05	8.032.E+09	
계		123,020		-1.642.E+07			7.299.E+10	
d_s	- 133.47					$I_{N.A}$	7.080.E+10	
Steel+Rebar								
steel		123,020		-1.642.E+07			7.299.E+10	
상면철근	H19×50ea	14,325	1,002	1.435.E+07	1.438.E+10		1.438.E+10	
하면철근	H19×50ea	14,325	862	1.235.E+07	1.064.E+10		1.064.E+10	
계		151,670		1.028.E+07			9.802.E+10	
d_s	67.80					$I_{N.A}$	9.732.E+10	
Composite (n)								
steel		123,020		-1.642.E+07			7.299.E+10	
바닥판 Con'c	6227.5×240	213,514	942	2.011.E+08	1.895.E+11	1.025.E+09	1.905.E+11	
계		336,534		1.847.E+08			2.635.E+11	
d_s	548.86					$I_{N.A}$	1.621.E+11	

아래표의d 부호규약 : (-)중립축위쪽,(+)중립축아래쪽

<< 단면정수 요약 >>

위 치		Steel		Steel+Rebar		Composite (n)	
		d (mm)	S (mm^3)	d (mm)	S (mm^3)	d (mm)	S (mm^3)
바닥판 Con'c	상연					-514	-3.157.E+08
	하연					-274	-5.926.E+08
바닥판 철근	상면			-935	-1.041.E+08		
	하면			-795	-1.225.E+08		
상 부 플랜지	상연	-918	-7.714.E+07	-717	-1.358.E+08	-236	-6.883.E+08
	하연	-906	-7.816.E+07	-705	-1.381.E+08	-224	-7.252.E+08
하 부 플랜지	상연	639	1.108.E+08	840	1.158.E+08	1321	1.227.E+08
	하연	657	1.078.E+08	858	1.134.E+08	1339	1.210.E+08

4) 단면비 검토

① 복부판 단면비 검토 (☞ 강.설.기 6.3.2.2.1)

$\cdot \frac{D}{t_w} \leq$ 150 : 수평보강재가 없는 복부판
300 : 수평보강재가 있는 복부판

$\cdot \frac{D}{t_w} = \frac{1545}{12} = 128.7$

∴ 수평보강재가 있는 복부판으로 설계

② 상부플랜지 단면비 검토 (☞ 도.설.한 6.10.2.3 / 강.설.기 6.3.2.2.2)

- 압축 또는 인장을 받는 U형 단면의 상부플랜지는 다음조건을 만족하여야 한다.

∴ 폐합단면으로 상부플랜지 단면비 검토 불필요.

(2) 극한한계상태 검토

1) 휨강도 검토 (☞ 강.설.기 6.3.2.2.1)

① 설계단면력 및 하중계수

구 분	휨모멘트 (kN·m)	하중계수	비 고
DC11 (강재자중)	-3003.5	1.25	비합성
DC12 (지점콘크리트)	0.0	1.25	비합성
DC21 (바닥판콘크리트)	-9410.5	1.25	비합성
DC22 (방호벽)	-2426.4	1.25	장기합성(3n)
DW (포장)	-2241.9	1.50	장기합성(3n)
LL+IM (활하중)	-4917.1	1.80	단기합성(n)
SD (지점이동)	-380.8	1.00	단기합성(n)
극한한계상태 I	-22380.2		

② 플랜지 및 복부판 응력

○ 상부플랜지 최대휨응력 응력의 부호규약 : (+)인장, (-)압축

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfu}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfu}} = \frac{-3.00E+09}{-7.71E+07} + \frac{0.00E+00}{-7.71E+07} =$ 38.94 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfu}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,tfu}} = \frac{-9.41E+09}{-7.71E+07} + \frac{-2.43E+09}{-1.36E+08} =$ 139.86 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,tfu}} = \frac{-2.24E+09}{-1.36E+08} =$ 16.51 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,tfu}} = \frac{-4.92E+09}{-1.36E+08} =$ 36.21 MPa

- $f_{SD} = \frac{M_{SD}}{S_{ST,tfu}} = \frac{-3.81E+08}{-1.36E+08} =$ 2.80 MPa

- $f_{tf} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} + 1.5\ f_{Dw} + 1.8\ f_{LL+IM} + 1.0\ f_{SD} =$ 316.23 MPa

○ 하부플랜지 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,bfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,bfl}} = \frac{-3.00E+09}{1.08E+08} + \frac{0.00E+00}{1.08E+08} =$ -27.87 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,bfl}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,bfl}} = \frac{-9.41E+09}{1.08E+08} + \frac{-2.43E+09}{1.13E+08} =$ -108.71 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,bfl}} = \frac{-2.24E+09}{1.13E+08} =$ -19.77 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,bfl}} = \frac{-4.92E+09}{1.13E+08} =$ -43.36 MPa

- $f_{SD} = \frac{M_{SD}}{S_{ST,bfl}} = \frac{-3.81E+08}{1.13E+08} =$ -3.36 MPa

- $f_{bf} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} + 1.5\ f_{Dw} + 1.8\ f_{LL+IM} + 1.0\ f_{SD} =$ -281.78 MPa

○ 복부판상연 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfl}} = \frac{-3.00E+09}{-7.82E+07} + \frac{0.00E+00}{-7.82E+07} =$ 38.43 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfl}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,tfl}} = \frac{-9.41E+09}{-7.82E+07} + \frac{-2.43E+09}{-1.38E+08} =$ 137.97 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,tfl}} = \frac{-2.24E+09}{-1.38E+08} =$ 16.23 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,tfl}} = \frac{-4.92E+09}{-1.38E+08} =$ 35.60 MPa

- $f_{SD} = \frac{M_{SD}}{S_{ST,tfl}} = \frac{-3.81E+08}{-1.38E+08} =$ 2.76 MPa

- $f_{wu} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} + 1.5\ f_{Dw} + 1.8\ f_{LL+IM} + 1.0\ f_{SD} =$ 311.68 MPa

○ 복부판하연 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,bfu}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,bfu}} = \frac{-3.00E+09}{1.11E+08} + \frac{0.00E+00}{1.11E+08} =$ -27.10 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,bfu}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,bfu}} = \frac{-9.41E+09}{1.11E+08} + \frac{-2.43E+09}{1.16E+08} =$ -105.87 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,bfu}} = \frac{-2.24E+09}{1.16E+08} =$ -19.35 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,bfu}} = \frac{-4.92E+09}{1.16E+08} =$ -42.45 MPa

- $f_{SD} = \frac{M_{SD}}{S_{ST,bfu}} = \frac{-3.81E+08}{1.16E+08} =$ -3.29 MPa

- $f_{wl} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} + 1.5\ f_{Dw} + 1.8\ f_{LL+IM} + 1.0\ f_{SD} =$ -274.95 MPa

○ 복부판 압축측 깊이 Dc 산정

- $Dc = \left(\frac{fc}{|fc| + ft}\right) \cdot d - t_{fc}$

$= \left(\frac{-274.95}{274.95 + 311.68}\right) \cdot 1545 - 18 =$ 742 mm

③ 상부플랜지 휨강도검토

- $f_{bu} \leq \Phi_f F_{nt}$

- $\Phi_f F_{nt} = \Phi_f R_h F_{yt}$
  $= 1.0 \times 1.0 \times 380.0 = 380.0$ MPa

- $f_{bu} = \eta_i f_t$
  $= 1.0 \times 316.23 = 316.23$ MPa $\leq$ 380.0 MPa $\therefore$ O.K.

④ 하부플랜지 휨강도검토

- $f_{bu} \leq \Phi_f F_{nc}$

- $\Phi_f F_{nc} = \Phi_f R_h F_{yt}$
  $= 1.0 \times 1.0 \times 380.0 = 380.0$ MPa

○ 휨압축응력

- $f_{bu} = \eta_i f_c$
  $= 1.00 \times -281.78 = -281.78$ MPa $\leq$ 380.0 MPa $\therefore$ O.K.

⑤ 복부판 휨좌굴강도 검토

○ 복부판 휨 좌굴 강도(web bend-buckling resistance)

- $\frac{d_s}{D_C} \geq 0.4$ 이면

- $k' = \frac{5.17}{(d_s/D)^2} = \frac{5.17}{0.0266} = 194.3 > \frac{9}{(D_C/D)^2} = \frac{9}{0.2307} = 39.0$

- $k = \max(194.3, 39.0) = 194.3$

- $\frac{d_s}{D_C} < 0.4$ 이면

- $k = \frac{11.64}{((D_c-d_s)/D)^2} = \frac{11.64}{0.1006} = 115.7$

- $\frac{d_s}{D_C} = \frac{252}{742} = 0.34 < 0.4$ 이므로,

- $k = 115.7$

- $F_{crw} = \frac{0.9\ E\ k}{(D/t_w)^2} = \frac{21342456}{16572} = 1287.89$ MPa

○ 복부판 최대압축응력 검토

- $f_{cw} = 274.95$ MPa $< F_{crw} = 380.00$ MPa $\therefore$ O.K

2) 전단강도 검토

① 설계단면력 및 하중계수

구 분	전단력 (kN·m)	하중계수	비 고
DC11 (강재자중)	361.5	1.25	비합성
DC12 (지점콘크리트)	0.0	1.25	비합성
DC21 (바닥판콘크리트)	1030.3	1.25	비합성
DC22 (방호벽)	284.4	1.25	장기합성(3n)
DW (포장)	260.1	1.50	장기합성(3n)
LL+IM (활하중)	797.8	1.80	단기합성(n)
SD (지점이동)	9.9	1.00	단기합성(n)
극한한계상태 I	3931.4		

· 복부판 작용전단력

$V_{ui} = V_u / (2 \times \cos\theta) = 3931.4 / (2 \times \cos 0) = 1965.7$ kN

② 보강된 복부판의 전단강도, Vn

○ 전단좌굴계수 , k

$$k = 5 + \frac{5}{(d_0/D)^2} = 5 + \frac{5}{(2500 / 1545)^2} = 6.91$$

○ 전단항복강도에 대한 전단좌굴강도의 비(C)

$$\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yw}}} = \sqrt{\frac{205{,}000 \times 6.91}{380.0}} = 61.1$$

$$\frac{D}{t_w} = \frac{1545}{12} = 128.7 > 1.40\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yw}}} = 1.40 \times 61.1 = 85.47$$

$$C = \frac{1.57}{(D/t_w)^2}\left(\frac{E \cdot k}{F_{yw}}\right) = \frac{1.57}{(1545 / 12)^2}\left(\frac{205{,}000 \times 6.9}{380.0}\right) = 0.353$$

○ 소성전단강도(V_p)

$V_p = 0.58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w = 0.58 \times 380.0 \times 1545 \times 12 \times 10^{-3} = 4085.6$ kN

○ 내부패널의 전단강도

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} \le 2.5$ 이면 $V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}} \right]$

$\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} > 2.5$ 이면 $V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}+d_0/D} \right]$

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} = \frac{37074.512}{38400} = 0.97 \le 2.5$ 이므로

- $V_n = 2651.359$ kN

③ 전단강도 검토

○ $V_u = \sum \eta_i \cdot \gamma_i \cdot V_i = 1.00 \times 1965.7 = 1965.7$ kN

○ $V_r = \Phi_v \cdot V_n = 1.00 \times 2651.4 = 2651.4$ kN

○ $V_u < V_r$ ∴ O.K

④ 수직보강재설계

○ 돌출폭 검토

- $b_t \geq 50.0 + \frac{D}{30}$, $16t_p \geq b_t \geq \frac{b_f}{4}$
  - b_t = 200 mm : 수직보강재 돌출폭
  - D = 1545 mm : 복부판의 높이
  - t_p = 16 mm : 수직보강재의 두께
  - b_f = 2800 mm : 상부플랜지의 전폭
- b_t = 200 mm > $50.0 + \frac{1544.8}{30}$ = 101 mm ∴ O.K

○ 단면2차모멘트 검토

수직보강재의 단면2차모멘트는 다음 조건을 만족해야 한다.

- $I_t \geq bt_w^3 J = 1545 \times 1728 \times 0.5 = 1334682.4$ mm^4
  - b = 1545 mm : d_0와 D중 작은 값
  - t_w = 12 mm : 복부판 두께
  - d_0 = 2500 mm : 수직보강재의 간격
  - $J = 2.5 \left(\frac{D}{d_0}\right)^2 - 2.0 = 2.5 \left(\frac{1545}{2500}\right)^2 - 2.0 = -1.045473 \geq 0.5$
- $I_t = \frac{1}{3} t_p b_t^3 = \frac{1}{3} \times 16 \times 200^3 = 42666667$ mm^4
- I_t = 42666667 mm^4 > I_{t1} = 1334682.4 mm^4 ∴ O.K

(3) 피로 한계상태 검토

1) 설계단면력 및 하중계수

구 분	휨모멘트(kN·m)		전단력(kN)	하중계수	비 고
	Max	Min			
DC11 (강재자중)	-3003.5	-	361.5	1.00	비합성
DC12 (지점콘크리트)	0.0	-	0.0	1.00	비합성
DC21 (바닥판콘크리트)	-9410.5	-	1030.3	1.00	비합성
DC22 (방호벽)	-2426.4	-	284.4	1.00	장기합성
DW (포장)	-2241.9	-	260.1	1.00	장기합성
LL+IM (활하중-피로)	217.7	-1380.8	797.8	0.75	단기합성
피로한계상태					

2) 하중유발피로(Load Induced Fatigue)

① 응력범위 반복횟수(N)

○ $N = (365) (100) n (ADTT)_{SL}$ = 232,687,500

- 설계수명기간 : 100 년
- ADTT : 5000 대
- 설계차로수 : 2 차로
- P (한 차로에서 트럭교통량 비율) : 0.85
- $(ADTT)_{SL}$ (=ADTT x P) : 4250 대
- n (트럭 한 대 통과당 반복횟수) : 1.50 (내측지점부근)

② 피론상세범주 및 관련상수

○ 피로상세범주 (수직보강재와 하부플랜지 필렛용접) : C'

○ N_{TH} (상세범주에 따른 반복횟수) : 2.55×10^6

○ $(\triangle F)_{TH}$ (상세범주에 따른 피로한계값) : 82.7 MPa

③ 공칭피로강도

○ $(\triangle F)_n = \left(\frac{N_{TH}}{N} \right)^{1/3} \cdot (\triangle F)_{TH}$, $N \leq N_{TH}$

= 18.369

④ 피로응력검토

○ $(\triangle f) = \frac{(\triangle M)_{max}}{S_{ST,bfu}} = \frac{1.633.E+08 - -1.036.E+09}{1.358.E+08}$

= 8.83 < 18.37 $(=(\triangle F)_n)$ ∴ O.K

3) 복부판의 피로요구조건 검토

① 전단좌굴계수(k : shear-buckling coefficient)

○ $k = 5 + \frac{5}{(d_0/D)^2} = 5 + \frac{5}{(2500 / 1545)^2} = 6.91$

② 전단항복강도에 대한 전단좌굴강도의 비 (C)

○ $\frac{D}{t_w} \leq 1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = 1.0$

$1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} \leq \frac{D}{t_w} \leq 1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.12}{D/t_w}\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$

$\frac{D}{t_w} > 1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}}$ 이면, $C = \frac{1.57}{(D/t_w)^2}\left(\frac{E\,k}{F_{yw}}\right)$

$1.12\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} = 68.38$

$1.40\sqrt{\frac{E\,k}{F_{yw}}} = 85.47$

$\frac{D}{t_w} = \frac{1545}{12} = 128.73$ 이므로,

$C = 0.353$

③ 소성전단강도 (V_P)

○ $V_P = 0.58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w = 0.58 \times 380 \times 1545 \times 12 \times 10^{-3}$

$= 4085.611236$ kN

④ 단부패널의 전단좌굴강도 (V_{cr})

○ $V_{cr} = C \cdot V_p = 0.353 \times 4085.611236 = 1442.7$ kN

⑤ 내부패널의 전단강도

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} \leq 2.5$ 이면 $V_n = V_p\left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}}\right]$

$\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} > 2.5$ 이면 $V_n = V_p\left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}+d_0/D}\right]$

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} = \frac{37074.512}{38400} = 0.97 \leq 2.5$ 이므로

- $V_n = 2651.360$ kN

⑥ 복부판의 피로요구조건 검토

○ $V_u \leq V_{cr}$

여기서, V_u : 하중계수를 곱하지 않은 영구하중과 설계피로하중으로 발생하는 복부판 전단력(N)

V_{cr} : 전단좌굴 강도(N)

○ $V_u = \left(\frac{V_{DC11} + V_{DC12} + V_{DC21} + V_{DC22} + V_{Dw} + V_{fat}}{2}\right)$

$= \left(\frac{361.5 + 0.0 + 1030.3 + 284.4 + 260.1 + 598.3}{2}\right)$

$= 1267.4$ kN < 2651.4 $(=V_{cr})$ $\therefore$ O.K

(4) 사용한계상태 검토

1) 설계단면력 및 하중계수

구 분	휨모멘트 (kN·m)	하중계수	비 고
DC11 (강재자중)	-3003.5	1.00	비합성
DC12 (지점콘크리트)	0.0	1.00	비합성
DC21 (바닥판콘크리트)	-9410.5	1.00	비합성
DC22 (방호벽)	-2426.4	1.00	장기합성(3n)
DW (포장)	-2241.9	1.00	장기합성(3n)
LL+IM (활하중)	-4917.1	1.30	단기합성(n)
사용한계상태 II	-21999.3		

2) 바닥판 콘크리트 응력 검토

○ 바닥판 상연 응력 응력 부호규약 : (+)인장, (-)압축

; 바닥판 콘크리트 응력산정시는 콘크리트단면을 유효로 하고 탄성계수비는 n을 적용 함.

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC22}}{n\ S_{ST,tcu}} = \frac{-2.43E+09}{-2.21E+09} =$ 1.10 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{DW}}{n\ S_{ST,tcu}} = \frac{-2.24E+09}{-2.21E+09} =$ 1.01 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{n\ S_{ST,tcu}} = \frac{-4.92E+09}{-2.21E+09} =$ 2.23 MPa

- $f_{deck} = 1.00\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} =$ 5.01 MPa

○ 바닥판 콘크리트 응력 검토

- f_{deck} = 5.01 MPa ≥ $2f_r$ = 2 x 2.07 = 4.14 MPa 이므로,

여기서 ; f_r : 콘크리트 파괴 계수로서 콘크리트의 기준인장강도 f_{ctk} 을 적용함

$f_{ctk} = 0.6f_{ctm} = 0.6 \times 0.3 \times (f_{ck}+\triangle f)^{2/3} = 0.18 \times (35 + 4)^{2/3} = 2.07$ MPa

∴ 바닥판 콘크리트를 제외하고 바닥판내 철근이 단면강성에 기여하는 것으로 계산함.

3) 플랜지 및 복부판 응력

○ 상부플랜지 최대휨응력 응력 부호규약 : (+)인장, (-)압축

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfu}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfu}} = \frac{-3.00E+09}{-7.71E+07} + \frac{0.00E+00}{-7.71E+07} =$ 38.94 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfu}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,tfu}} = \frac{-9.41E+09}{-7.71E+07} + \frac{-2.43E+09}{-1.36E+08} =$ 139.86 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,tfu}} = \frac{-2.24E+09}{-1.36E+08} =$ 16.51 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,tfu}} = \frac{-4.92E+09}{-1.36E+08} =$ 36.21 MPa

- $f_{tf} = 1.00\ f_{DC1} + 1.00\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} =$ 242.37 MPa

○ 하부플랜지 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,bfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,bfl}} = \frac{-3.00E+09}{1.08E+08} + \frac{0.00E+00}{1.08E+08} =$ -27.87 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,bfl}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,bfl}} = \frac{-9.41E+09}{1.08E+08} + \frac{-2.43E+09}{1.13E+08} =$ -108.71 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,bfl}} = \frac{-2.24E+09}{1.13E+08} =$ -19.77 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,bfl}} = \frac{-4.92E+09}{1.13E+08} =$ -43.36 MPa

- $f_{bf} = 1.00\ f_{DC1} + 1.00\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} =$ -212.71 MPa

○ 복부판상연 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfl}} = \frac{-3.00E+09}{-7.82E+07} + \frac{0.00E+00}{-7.82E+07} =$ 38.43 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfl}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,tfl}} = \frac{-9.41E+09}{-7.82E+07} + \frac{-2.43E+09}{-1.38E+08} =$ 137.97 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,tfl}} = \frac{-2.24E+09}{-1.38E+08} =$ 16.23 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,tfl}} = \frac{-4.92E+09}{-1.38E+08} =$ 35.60 MPa

- $f_{wu} = 1.00\ f_{DC1} + 1.00\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} =$ 238.91 MPa

○ 복부판하연 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,bfu}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,bfu}} = \frac{-3.00E+09}{1.11E+08} + \frac{0.00E+00}{1.11E+08} =$ -27.10 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,bfu}} + \frac{M_{DC22}}{S_{LT,bfu}} = \frac{-9.41E+09}{1.11E+08} + \frac{-2.43E+09}{1.16E+08} =$ -105.87 MPa

- $f_{Dw} = \frac{M_{Dw}}{S_{LT,bfu}} = \frac{-2.24E+09}{1.16E+08} =$ -19.35 MPa

- $f_{LL+IM} = \frac{M_{LL+IM}}{S_{ST,bfu}} = \frac{-4.92E+09}{1.16E+08} =$ -42.45 MPa

- $f_{wl} = 1.00\ f_{DC1} + 1.00\ f_{DC2} + 1.0\ f_{Dw} + 1.3\ f_{LL+IM} =$ -207.51 MPa

○ 복부판 압축측 깊이 Dc 산정

- $Dc = \left(\frac{fc}{|fc| + ft}\right) \cdot d - t_{fc}$

$= \left(\frac{-207.51}{207.51 + 238.91}\right) \cdot 1545 - 18 =$ 736 mm

4) 복부판응력 검토(수평보강재가 있는 경우)

① 복부판 휨 좌굴 강도(web bend-buckling resistance)

- $\frac{d_s}{D_C}$ ≥ 0.4 이면

- $k' = \frac{5.17}{(d_s/D)^2} = \frac{5.17}{0.027} = 194.3 > \frac{9}{(D_c/D)^2} = \frac{9}{0.2270} = 39.6$

- $k = \max(194.3, 39.6) = 194.3$

- $\frac{d_s}{D_C}$ < 0.4 이면

- $k = \frac{11.64}{((D_c-d_s)/D)^2} = \frac{11.64}{0.0982} = 118.5$

- $\frac{d_s}{D_C} = \frac{252}{736} = 0.34 <$ 0.4 이므로,

- $k = 118.5$

- $F_{crw} = \frac{0.9\ E\ k}{(D/t_w)^2} = \frac{21870648}{16572} = 1319.76$ MPa

○ 복부판 최대압축응력 검토

- f_{cw} = 207.51 MPa < F_{crw} = 380.00 MPa ∴ O.K

5) 플랜지응력 검토

○ 상부플랜지 응력 검토

- f_{tf} = 242.37 MPa < $0.95 \cdot R_h \cdot F_{yc}$ (= 361.00) ∴ O.K

○ 하부플랜지 응력 검토

- f_{bf} = 212.71 MPa < $0.95 \cdot R_h \cdot F_{yf}$ (= 380) ∴ O.K

(5) 시공성 검토 (☞ 강.설.기 6.3.2.2.1)

1) 휨강도 검토

① 설계단면력 및 하중계수 ; 극한한계상태 I

구 분	휨모멘트 (kN·m)	하중계수	비 고
DC11 (강재자중)	-3003.5	1.25	비합성
DC12 (지점콘크리트)	0.0	1.25	비합성
DC21 (바닥판콘크리트)	-9410.5	1.25	비합성

② 플랜지 및 복부판 응력

○ 상부플랜지 최대휨응력 응력의 부호규약 : (+)인장, (-)압축

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfu}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfu}} = \frac{-3.00E+09}{-7.71E+07} + \frac{0.00E+00}{-7.71E+07} =$ 38.94 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfu}} = \frac{-9.41E+09}{-7.71E+07} =$ 122.00 MPa

- $f_{tf} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} =$ 201.17 MPa

○ 하부플랜지 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,bfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,bfl}} = \frac{-3.00E+09}{1.08E+08} + \frac{0.00E+00}{1.08E+08} =$ -27.87 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,bfl}} = \frac{-9.41E+09}{1.08E+08} =$ -87.31 MPa

- $f_{bf} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} =$ -143.98 MPa

○ 복부판상연 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,tfl}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,tfl}} = \frac{-3.00E+09}{-7.82E+07} + \frac{0.00E+00}{-7.82E+07} =$ 38.43 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,tfl}} = \frac{-9.41E+09}{-7.82E+07} =$ 120.40 MPa

- $f_{wu} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} =$ 198.54 MPa

○ 복부판하연 최대휨응력

- $f_{DC1} = \frac{M_{DC11}}{S_{NC,bfu}} + \frac{M_{DC12}}{S_{NC,bfu}} = \frac{-3.00E+09}{1.11E+08} + \frac{0.00E+00}{1.11E+08} =$ -27.10 MPa

- $f_{DC2} = \frac{M_{DC21}}{S_{NC,bfu}} = \frac{-9.41E+09}{1.11E+08} =$ -84.92 MPa

- $f_{wl} = 1.25\ f_{DC1} + 1.25\ f_{DC2} =$ -140.03 MPa

○ 복부판 압축측 깊이 Dc 산정

- $D_c = \left(\frac{f_c}{|f_c| + f_t} \right) \cdot d - t_{fc}$

$= \left(\frac{-140.03}{140.03 + 198.54} \right) \cdot 1545 - 18 = 657$ mm

③ 상부플랜지 휨강도검토 ; 불연속적으로 지지

○ 종방향 휨응력 산정

· $f_{bu} = 201.17$ MPa

④ 하부플랜지 휨강도검토

- $f_{bu} \le \Phi_f F_{nc}$

○ 휨압축응력

- $f_{bu} = \eta_i f_c$

$= 1.00 \times -143.98 = -143.98$ MPa

○ Normal stress에 의한 판의 좌굴계수, k

- $k = \left(\frac{8 \times I_s}{w \times t_{fc}^3} \right)^{1/3}$, $1 \le k \le 4$; 보강된 압축판의 종방향보강재 n=1 일 경우

$= \left(\frac{8 \times 0}{2400 \times 18^3} \right)^{1/3} = 0.000$

- $k = \left(\frac{0.894 \times I_s}{w \times t_{fc}^3} \right)^{1/3}$, $1 \le k \le 4$; 보강된 압축판의 종방향보강재 n=2 일 경우

$= \left(\frac{0.894 \times 0.00.E+00}{2400 \times 18^3} \right)^{1/3} = 0.000$

- k ; 종방향보강재 개수 n이 0 개 이므로, k= 4.000

여기서, 종방향보강재 I_s = 0-0T-0ea

$= \frac{1}{3} \times 0 \times 0^3 \times 0$ ea $= 0$ mm^4

○ 세장비 계산, λ

- $\lambda_f = \frac{b_{fc}}{t_{fc}} = \frac{2400 / 1}{18} = 133.3$

여기서, b_{fc} : 종방향 보강재로 구분되는 패널의 최대 폭

- $\lambda_p = 0.57\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yc} \cdot \Delta}}$

여기서, $\Delta = \sqrt{1 - 3\left(\frac{f_r}{F_{yf}}\right)^2} = \sqrt{1 - 3\left(\frac{-9.3}{380}\right)^2} = 1.0$

$\therefore \lambda_p = 0.57 \times \sqrt{\frac{205,000 \times 4.000}{380}} = 26.5$

- $\lambda_r = 0.95\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yr}}}$

여기서, $F_{yr} = (\Delta - 0.4)F_{yc} \le F_{yw}$

$= (1 - 0.4) \times 380 = 228$ MPa $\le$ 380.0 MPa

$$\therefore\ \lambda_r = 0.95 \times \sqrt{\frac{205{,}000 \times 4.000}{227.656966}} = 57.0$$

○ 플랜지의 공칭 축압축 좌굴강도 계산, F_{cb}

- $F_{cb} = R_b R_h F_{yc} \Delta$; $\lambda_f \le \lambda_p$

$= 1.0 \times 1.0 \times 380.0 \times 1.0$

$= 380.0$ MPa

- $F_{cb} = R_b R_h F_{yc}\left[1 - \left(1 - \frac{\Delta - 0.3}{R_h}\right)\left(\frac{\lambda_f - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right)\right]$; $\lambda_p \le \lambda_f \le \lambda_r$

$= 1.0 \times 1.0 \times 380.0 \times \left[1 - \left(1 - \frac{1.0 - 0.3}{1.0}\right)\left(\frac{133.3 - 26.5}{57.0 - 26.5}\right)\right]$

$= -18.9$ MPa

- $F_{cb} = \frac{0.9 E R_b k}{\lambda_f^2}$; $\lambda_f > \lambda_r$

$= \frac{0.9 \times 205{,}000 \times 1.0 \times 1.0}{133.3^2}$

$= 10.4$ MPa

- $\lambda f > \lambda r$ 이므로, $F_{cb} = 10.4$ MPa

○ 플랜지의 공칭 전단좌굴강도 계산, F_{cv}

- 전단응력에 대한 판의 좌굴계수, ks

$$k_s = \frac{5.34 + 2.84\left(\frac{I_s}{w \times t_{fc}^3}\right)^{1/3}}{(n+1)^2} \le 5.34$$

$$= \frac{5.34 + 2.84\left(\frac{0}{2400 \times 18^3}\right)^{1/3}}{(0+1)^2} = 5.34 \le 5.34$$

- 플랜지의 세장비

$$\sqrt{\frac{E \cdot k_s}{F_{yc}}} = \sqrt{\frac{205{,}000 \times 5.34}{380}} = 53.7$$

$$1.12\sqrt{\frac{E \cdot k_s}{F_{yc}}} < \lambda_f \le 1.40\sqrt{\frac{E \cdot k_s}{F_{yc}}}$$ 이므로

- 플랜지의 공칭 전단좌굴강도

$$F_{cv} = \frac{0.65 \times \sqrt{F_{yc} \times E \times k_s}}{\lambda_f} = \frac{0.65 \times \sqrt{380 \times 205{,}000 \times 5.34}}{75}$$

$= 176.76$ MPa

○ 압축플랜지의 휨좌굴 강도 계산

$\therefore\ \Phi_f F_{nc} = \Phi_f F_{cb}\sqrt{1 - \left(\frac{f_v}{\Phi_f F_{cv}}\right)^2} = 1.0 \times 10.4 \times \sqrt{1 - \left(\frac{-9.3}{176.76}\right)^2} = 10.37$ MPa

$= 380.00$ MPa $>$ 143.98 MPa $\therefore$ O.K.

⑤ 복부판 휨좌굴강도 검토

○ 복부판 휨 좌굴 강도(web bend-buckling resistance)

- $\frac{d_s}{D_C} \geq 0.4$ 이면

- $k' = \frac{5.17}{(d_s/D)^2} = \frac{5.17}{0.027} = 194.3 > \frac{9}{(D_c/D)^2} = \frac{9}{0.1808} = 49.8$

- $k = \max(194.3, 49.8) = 194.3$

- $\frac{d_s}{D_C} < 0.4$ 이면

- $k = \frac{11.64}{((D_c - d_s)/D)^2} = \frac{11.64}{0.0687} = 169.4$

- $\frac{d_s}{D_C} = \frac{252}{657} = 0.38 < 0.4$ 이므로,

- $k = 169.4$

- $F_{crw} = \frac{0.9\ E\ k}{(D/t_w)^2} = \frac{31256534}{16572} = 1886.14$ MPa

○ 복부판 최대압축응력 검토

- $f_{cw} = 207.51$ MPa $< F_{crw} = 380.00$ MPa $\therefore$ O.K

2) 전단강도 검토

① 설계단면력 및 하중계수

구 분	전단력 (kN·m)	하중계수	비 고
DC11 (강재자중)	361.5	1.25	비합성
DC12 (지점콘크리트)	0.0	1.25	비합성
DC21 (바닥판콘크리트)	1030.3	1.25	비합성
극한한계상태 I	1391.9		

○ 복부판 작용전단력

$V_{ui} = V_u / (2 \times \cos\theta) = 1391.9 / (2 \times \cos 0) = 695.9$ kN

② 보강된 복부판의 전단강도, Vn

○ 전단좌굴계수 , k

$$k = 5 + \frac{5}{(d_0/D)^2} = 5 + \frac{5}{(2500 / 1545)^2} = 6.91$$

○ 공칭전단 좌굴 강도

$$\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yw}}} = \sqrt{\frac{205{,}000 \times 6.91}{380.0}} = 61.1$$

$$\frac{D}{t_w} = \frac{1545}{12} = 128.7 > 1.40\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yw}}} = 1.40 \times 61.1 = 85.47$$

$V_p = 0.58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w$ 로 계산

$$C = \frac{1.57}{(D/t_w)^2}\left(\frac{E \cdot k}{F_{yw}}\right) = \frac{1.57}{(1545 / 12)^2}\left(\frac{205{,}000 \times 6.9}{380.0}\right) = 0.353$$

$V_p = 0.58 \cdot F_{yw} \cdot D \cdot t_w = 0.58 \times 380.0 \times 1545 \times 12 \times 10^{-3} = 4085.6$ kN

○ 내부패널의 전단강도

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} \le 2.5$ 이면 $V_n = V_p\left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}} \right]$

  $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} > 2.5$ 이면 $V_n = V_p\left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}+d_0/D} \right]$

- $\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} = \frac{37074.512}{38400} = 0.97 \le 2.5$ 이므로

- $V_n = 2651.359$ kN

③ 전단강도 검토

○ $V_u = \sum \eta_i \cdot \gamma_i \cdot V_i = 1.00 \times 695.9 = 695.9$ kN

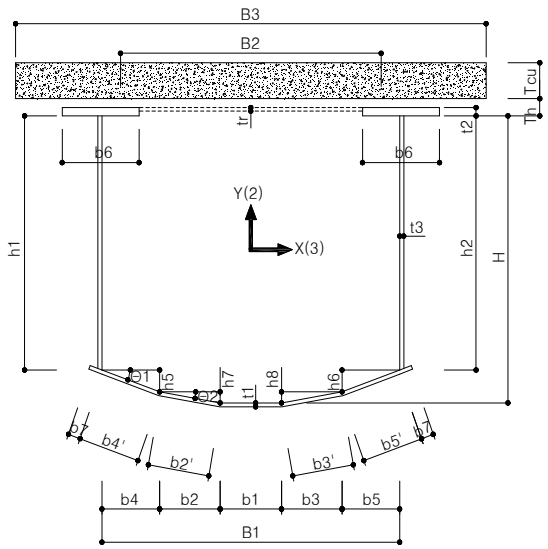
○ $V_r = \Phi_v \cdot V_n = 1.00 \times 2651.4 = 2651.4$ kN

○ $V_u < V_r$ ∴ O.K

6. 이음부 설계

6.1 정모멘트구간 현장이음 설계

6.1.1 이음번호 < S1-1 > : 29,1/4지점 (외측거더)



단면제원(mm)			
b1	494.947	B1	2400
b2	487.428	B2	2400
b3	487.428	B3	6228
b4	559.068	H	1800
b5	559.068	t1	12
b6	400	t2	18
b2'	494.947	t3	12
b3'	494.947	h1	1544.771
b4'	594.947	h2	1544.771
b5'	594.947	h3	100
θ1	20.0°	h4	100
θ2	10.0°	h5	169.282
복부판 θ	0.0°	h6	169.282
tr	0.640	h7	85.947
Tcu	240	h8	85.947
Th	50		

피복두께(mm)	
tcu	60
tcl	40

보강리브 제원(mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	0	0	0	상부플랜지	400	상부바닥판	6228	n(상부)	7

강 재				
강 종	HSB500			
항복강도(플랜지)	F_{yf}	=	380.0	MPa
항복강도(이음판)	F_{ys}	=	380.0	MPa
인장강도	F_u	=	500.0	MPa
탄성계수	E_s	=	205000.0	MPa

볼 트				
볼트 등급	M22(F13T)			
공칭강도(볼트)	F_{nv}	=	520.0	MPa
극한강도(볼트)	F_{ub}	=	1000.0	MPa
볼트 구멍 크기	d_{hall}	=	25.00	mm
표면상태 계수	K_s	=	0.40	

(1) 이음부 작용 응력

1) 현장이음부 휨모멘트 및 전단력

Load	Moment (unfactored, N·mm)	Shear (unfactored, N)	비 고
DC1	4.951E+09	-1.704E+05	합성전 고정하중
DC2	1.076E+09	-4.053E+04	합성후 고정하중1
DW	9.951E+08	-3.591E+04	합성후 고정하중2
LL_{pos}	4.730E+09	-4.234E+05	활하중(+)
LL_{neg}	-9.378E+08	2.124E+05	활하중(-)
Fat_{pos}	1.705E+09	-1.642E+05	피로하중(+)
Fat_{neg}	-2.441E+08	9.003E+04	피로하중(-)
SD_{pos}	1.543E+08	-1.463E+04	지점침하(+)
SD_{neg}	-1.021E+08	9.686E+03	지점침하(-)

2) 플랜지 유효단면적 산정

① 상부플랜지(압축플랜지)

$A_g = B_f \cdot t_f = 7200\ mm^2$

$\therefore\ A_e = A_g = 7200\ mm^2$

② 하부플랜지(인장플랜지)

- $A_{g,L1} = B_{f,L1} \cdot t_f = 7139.4\ mm^2$

  $A_{n,L1} = (B_{f,L1} - n \cdot d_{hole}) \cdot t_f = 5639.4\ mm^2$ $n = 5$ ea

  $A_{e,L1} = \dfrac{\Phi_u \cdot F_u}{\Phi_y \cdot F_{yf}} \cdot A_{n,L1} = 6249\ mm^2 < A_{g,L1} = 7139\ mm^2$

  $\therefore\ A_{e,L1} = 6249\ mm^2$

- $A_{g,L2} = B_{f,L2} \cdot t_f = 5939.4\ mm^2$

  $A_{n,L2} = (B_{f,L2} - n \cdot d_{hole}) \cdot t_f = 4739.4\ mm^2$ $n = 4$ ea

  $A_{e,L2} = \dfrac{\Phi_u \cdot F_u}{\Phi_y \cdot F_{yf}} \cdot A_{n,L2} = 5251\ mm^2 < A_{g,L2} = 5939\ mm^2$

  $\therefore\ A_{e,L2} = 5251\ mm^2$

- $A_{g,C} = B_{f,C} \cdot t_f = 5939.4\ mm^2$

  $A_{n,C} = (B_{f,C} - n \cdot d_{hole}) \cdot t_f = 4739.4\ mm^2$ $n = 4$ ea

  $A_{e,C} = \dfrac{\Phi_u \cdot F_u}{\Phi_y \cdot F_{yf}} \cdot A_{n,C} = 5251\ mm^2 < A_{g,C} = 5939\ mm^2$

  $\therefore\ A_{e,C} = 5251\ mm^2$

- $A_{g,R1} = B_{f,R1} \cdot t_f = 5939.4\ mm^2$

  $A_{n,R1} = (B_{f,R1} - n \cdot d_{hole}) \cdot t_f = 4739.4\ mm^2$ $n = 4$ ea

  $A_{e,R1} = \dfrac{\Phi_u \cdot F_u}{\Phi_y \cdot F_{yf}} \cdot A_{n,R1} = 5251\ mm^2 < A_{g,R1} = 5939\ mm^2$

  $\therefore\ A_{e,R1} = 5251\ mm^2$

- $A_{g,R2} = B_{f,R2} \cdot t_f = 7139.4\ mm^2$

  $A_{n,R2} = (B_{f,R2} - n \cdot d_{hole}) \cdot t_f = 5639.4\ mm^2$ $n = 5$ ea

  $A_{e,R2} = \dfrac{\Phi_u \cdot F_u}{\Phi_y \cdot F_{yf}} \cdot A_{n,R2} = 6249\ mm^2 < A_{g,R2} = 7139\ mm^2$

  $\therefore\ A_{e,R2} = 6249\ mm^2$

$A_g = B_f \cdot t_f = 32097\ mm^2$

$A_n = (B_f - n \cdot d_{hole}) \cdot t_f = 25497\ mm^2$ $n = 22$ ea

$$A_e = \frac{\Phi_u \cdot F_u}{\Phi_y \cdot F_{yf}} \cdot A_n = 28251\ mm^2 < A_g = 32097\ mm^2$$

$\therefore A_e = 28251\ mm^2$

여기서, A_n : 6.8.3에 규정된 플랜지 순단면적 (mm^2)

Φ_u = 0.80 (인장부재의 파단에 대한 강도저항계수)

Φ_y = 0.95 (인장부재의 항복에 대한 강도저항계수)

d_{hole} = 25.00 mm (볼트구멍의 직경)

3) 단면계수 산정

① Section Properties for Gross Steel Section

Section	b(mm)	t(mm)	A(㎟)	d(mm)	A · d(㎟)	A · d^2(mm^4)	I_0(mm^4)	I(mm^4)
steel								
상부플랜지	400	18	14400	781	1.125E+07	8.783E+09	3.888E+05	8.784E+09
복부판(L)	1545	12	18537				3.686E+09	3.686E+09
복부판(R)	1545	12	18537				3.686E+09	3.686E+09
하부플랜지(L1)	595	12	7139	-91	-6.497E+05	5.912E+07	8.567E+04	5.921E+07
하부플랜지(L2)	495	12	5939	-991	-5.884E+06	5.829E+09	7.127E+04	5.829E+09
하부플랜지(C)	495	12	5939	-1034	-6.139E+06	6.345E+09	7.127E+04	6.345E+09
하부플랜지(R1)	495	12	5939	-991	-5.884E+06	5.829E+09	7.127E+04	5.829E+09
하부플랜지(R2)	595	12	7139	-91	-6.497E+05	5.912E+07	8.567E+04	5.921E+07
Total			83571		-7.960E+06			3.428E+10
d_s	-95						$I_{N.A}$	3.352E+10
Composite (3n)								
Steel			83571		-7.960E+06			3.428E+10
Con'c Slab	6228	240	71171	942	6.704E+07	6.315E+10	3.416E+08	6.350E+10
Total			154743		5.908E+07			9.777E+10
d_s	382						$I_{N.A}$	7.522E+10
Composite (n)								
Steel			83571		-7.960E+06			3.428E+10
Con'c Slab	6228	240	213514	942	2.011E+08	1.895E+11	1.025E+09	1.905E+11
Total			297086		1.932E+08			2.248E+11
d_s	650						$I_{N.A}$	9.916E+10
	d_{ts}	d_{bs}					S_{ts}	S_{bs}
Steel	-886	689					3.785E+07	4.864E+07
Comp.(3n)	-409	1166					1.841E+08	6.450E+07
Comp.(n)	-140	1435					7.075E+08	6.912E+07

② Section Properties for Using Effective Top Flange Area of Steel Girder

Section	b(mm)	t(mm)	A(㎟)	d(mm)	A · d(㎟)	A · d^2(mm^4)	I_0(mm^4)	I(mm^4)
steel								
상부플랜지	400	18	14400	781	1.125E+07	8.783E+09	3.888E+05	8.784E+09
복부판(L)	1545	12	18537				3.686E+09	3.686E+09
복부판(R)	1545	12	18537				3.686E+09	3.686E+09
하부플랜지(L1)	595	12	7139	-91	-6.497E+05	5.912E+07	8.567E+04	5.921E+07
하부플랜지(L2)	495	12	5939	-991	-5.884E+06	5.829E+09	7.127E+04	5.829E+09
하부플랜지(C)	495	12	5939	-1034	-6.139E+06	6.345E+09	7.127E+04	6.345E+09
하부플랜지(R1)	495	12	5939	-991	-5.884E+06	5.829E+09	7.127E+04	5.829E+09
하부플랜지(R2)	595	12	7139	-6	-4.284E+04	2.570E+05	8.567E+04	3.427E+05
Total			83571		-7.353E+06			3.422E+10
d_s	-88						$I_{N.A}$	3.357E+10
Deck Steel								
Steel			83571		-7.353E+06			3.422E+10
Top Rein.			0	1002	0.000E+00	0.000E+00		0.000E+00
Bot Rein.			0	862	0.000E+00	0.000E+00		0.000E+00
Total			83571		-7.353E+06			3.422E+10
d_s	-88.0						$I_{N.A}$	3.357E+10
Composite (3n)								
Steel			83571		-7.353E+06			3.422E+10
Con'c Slab	6228	240	71171	942	6.704E+07	6.315E+10	3.416E+08	6.350E+10
Total			154743		5.969E+07			9.772E+10
d_s	386						$I_{N.A}$	7.469E+10
Composite (n)								
Steel			83571		-7.353E+06			3.422E+10
Con'c Slab	6228	240	213514	942	2.011E+08	1.895E+11	1.025E+09	1.905E+11
Total			297086		1.938E+08			2.247E+11
d_s	652						$I_{N.A}$	9.831E+10
	d_{ts}	d_{bs}					S_{ts}	S_{bs}
Steel	-878	696					3.822E+07	4.821E+07
Deck Steel	-878	696					3.822E+07	4.821E+07
Comp.(3n)	-405	1170					1.846E+08	6.383E+07
Comp.(n)	-138	1437					7.118E+08	6.843E+07

③ Section Properties for Using Effective Bottom Flange Area of Steel Girder

Section	b(mm)	t(mm)	A(㎟)	d(mm)	A · d(㎟)	A · d^2(mm^4)	I_0(mm^4)	I(mm^4)
steel								
상부플랜지	400	18	14400	781	1.125E+07	8.783E+09	3.888E+05	8.784E+09
복부판(L)	1545	12	18537				3.686E+09	3.686E+09
복부판(R)	1545	12	18537				3.686E+09	3.686E+09
하부플랜지(L1)	595	12	6249	-91	-5.686E+05	5.174E+07	8.567E+04	5.183E+07
하부플랜지(L2)	495	12	5251	-991	-5.202E+06	5.154E+09	7.127E+04	5.154E+09
하부플랜지(C)	495	12	5251	-1034	-5.428E+06	5.610E+09	7.127E+04	5.610E+09
하부플랜지(R1)	495	12	5251	-991	-5.202E+06	5.154E+09	7.127E+04	5.154E+09
하부플랜지(R2)	595	12	6249	-6	-4.284E+04	2.570E+05	8.567E+04	3.427E+05
Total			79726		-5.197E+06			3.213E+10
d_s	-65						$I_{N.A}$	3.179E+10

Deck Steel								
Steel			79726		-5.197E+06			3.213E+10
Top Rein.			0	1002	0.000E+00	0.000E+00		0.000E+00
Bot Rein.			0	862	0.000E+00	0.000E+00		0.000E+00
Total			79726		-5.197E+06			3.213E+10
d_s	-65.2						$I_{N.A}$	3.179E+10
Composite (3n)								
Steel			79726		-5.197E+06			3.213E+10
Con'c Slab	6228	240	71171	170	1.210E+07	2.057E+09	3.416E+08	2.398E+09
Total			150897		6.902E+06			3.452E+10
d_s	46						$I_{N.A}$	3.421E+10
Composite (n)								
Steel			79726		-5.197E+06			3.213E+10
Con'c Slab	6228	240	213514	170	3.630E+07	6.171E+09	1.025E+09	7.195E+09
Total			293240		3.110E+07			3.932E+10
d_s	106						$I_{N.A}$	3.602E+10
	d_{ts}	d_{bs}					S_{ts}	S_{bs}
Steel	-856	719					3.715E+07	4.420E+07
Deck Steel	-856	719					3.715E+07	4.420E+07
Comp.(3n)	-745	830					4.594E+07	4.121E+07
Comp.(n)	-684	890					5.264E+07	4.046E+07

※ 극한한계상태 검토시는 유효 상·하부 플랜지 계수를 사용하고, 사용한계상태 및 피로한계상태 검토시는 Gross Section Properties 사용

4) 플랜지 응력 산정 (Tension : + , Compression : -)

① 상부플랜지

- Calculate Unfactored Stress

・Gross Section

$ft_{DC1,nc} = -M_{DC1} / S_{topsteel} = -130.81$ MPa

$ft_{DC2,3n} = -M_{DC2} / S_{top,3n} = -5.85$ MPa

$ft_{DW,3n} = -M_{DW} / S_{top,3n} = -5.41$ MPa

$ft_{LP,n} = -M_{LL,pos} / S_{top,n} = -6.69$ MPa

$ft_{LN,n} = -M_{LL,neg} / S_{top,n} = 1.33$ MPa

$ft_{SDP,n} = -M_{SD,pos} / S_{top,n} = -0.22$ MPa

$ft_{SDN,n} = -M_{SD,neg} / S_{top,n} = 0.14$ MPa

$ft_{FP,n} = -M_{Fat,pos} / S_{top,n} = -2.41$ MPa

$ft_{FN,n} = -M_{Fat,neg} / S_{top,n} = 0.35$ MPa

・Effective Section

$ft_{DC1,nc} = -M_{DC1} / S_{topsteel} = -129.54$ MPa

$ft_{DC2,3n} = -M_{DC2} / S_{top,3n} = -5.83$ MPa

$ft_{DC2,rein} = -M_{DC2} / S_{top,rein} = -28.16$ MPa

$ft_{DW,3n} = -M_{DW} / S_{top,3n} = -5.39$ MPa

$ft_{DW,rein} = -M_{DW} / S_{top,rein} = -26.03$ MPa

$ft_{LP,n} = -M_{LL,pos} / S_{top,n} = -6.65$ MPa

$ft_{LP,rein} = -M_{LL,pos} / S_{top,rein} = -123.77$ MPa

$ft_{LN,n} = -M_{LL,neg} / S_{top,n} = 1.32$ MPa

$ft_{LN,nc} = -M_{LL,neg} / S_{top,steel} = 24.54$ MPa

$ft_{SDP,n} = -M_{SD,pos} / S_{top,n} = -0.22$ MPa

$ft_{SDN,n} = -M_{SD,neg} / S_{top,nc} = 0.14$ MPa

$ft_{FP,n} = -M_{Fat,pos} / S_{top,n} = -2.40$ MPa

$ft_{FN,n} = -M_{Fat,neg} / S_{top,n} = 0.34$ MPa

- Calculate factored Stress

  · 극한한계상태 I (η = 0.95)

Dead + Positive LL

하중 계수											Stress (MPa)
$ft_{DC1,nc}$	$ft_{DC2,3n}$	$ft_{DC2,rein}$	$ft_{DW,3n}$	$ft_{DW,rein}$	$ft_{LP,n}$	$ft_{LP,rein}$	$ft_{LN,n}$	$ft_{LN,nc}$	$ft_{SDP,n}$	$ft_{SDN,n}$	
1.25	1.25		1.50		1.80						-179.79
0.90	0.90		1.50		1.80						-134.79
1.25	1.25		0.65		1.80						-175.44
0.90	0.90		0.65		1.80						-130.43
1.25	1.25				1.80						-172.11
0.90	0.90				1.80						-127.10
1.25	1.25		1.50		1.80				1.00		-180.00
0.90	0.90		1.50		1.80				1.00		-134.99
1.25	1.25		0.65		1.80				1.00		-175.65
0.90	0.90		0.65		1.80				1.00		-130.64
1.25	1.25				1.80				1.00		-172.32
0.90	0.90				1.80				1.00		-127.31
적용 응력											**-180.0**

Dead + Negative LL

하중 계수											Stress (MPa)
$ft_{DC1,nc}$	$ft_{DC2,3n}$	$ft_{DC2,rein}$	$ft_{DW,3n}$	$ft_{DW,rein}$	$ft_{LP,n}$	$ft_{LP,rein}$	$ft_{LN,n}$	$ft_{LN,nc}$	$ft_{SDP,n}$	$ft_{SDN,n}$	
1.25	1.25		1.50					1.80			-126.47
0.90	0.90		1.50					1.80			-81.46
1.25	1.25		0.65					1.80			-122.12
0.90	0.90		0.65					1.80			-77.11
1.25	1.25							1.80			-118.79
0.90	0.90							1.80			-73.78
1.25	1.25		1.50					1.80		1.00	-126.34
0.90	0.90		1.50					1.80		1.00	-81.33
1.25	1.25		0.65					1.80		1.00	-121.98
0.90	0.90		0.65					1.80		1.00	-76.97
1.25	1.25							1.80		1.00	-118.65
0.90	0.90							1.80		1.00	-73.64
적용 응력											**-126.5**

・사용한계상태 II (η = 1.00)

Dead + Positive LL

하중 계수							Stress (MPa)
$ft_{DC1,nc}$	$ft_{DC2,3n}$	$ft_{DW,3n}$	$ft_{LP,n}$	$ft_{LN,n}$	$ft_{SDP,n}$	$ft_{SDN,n}$	
1.00	1.00	1.00	1.30		1.00		-150.97
1.00	1.00		1.00		1.00		-143.56
적용 응력							**-151.0**

Dead + Negative LL

하중 계수							Stress (MPa)
$ft_{DC1,nc}$	$ft_{DC2,3n}$	$ft_{DW,3n}$	$ft_{LP,n}$	$ft_{LN,n}$	$ft_{SDP,n}$	$ft_{SDN,n}$	
1.00	1.00	1.00		1.30		1.00	-140.19
1.00	1.00			1.00		1.00	-135.19
적용 응력							**-140.2**

・피로한계상태 (η = 1.00)

Positive LL = $\eta(0.75ft_{FP,n})$ = -1.81 MPa

Negative LL = $\eta(0.75ft_{FN,n})$ = 0.26 MPa

② 하부플랜지

- Calculate Unfactored Stress

・Gross Section

$fb_{DC1,nc} = M_{DC1} / S_{botsteel}$ = 101.79 MPa

$fb_{DC2,3n} = M_{DC2} / S_{bot,3n}$ = 16.69 MPa

$fb_{DW,3n} = M_{DW} / S_{bot,3n}$ = 15.43 MPa

$fb_{LP,n} = M_{LL,pos} / S_{bot,n}$ = 68.44 MPa

$fb_{LN,n} = M_{LL,neg} / S_{bot,n}$ = -13.57 MPa

$fb_{SDP,n} = M_{SD,pos} / S_{bot,n}$ = 2.23 MPa

$fb_{SDN,n} = M_{SD,neg} / S_{bot,n}$ = -1.48 MPa

$fb_{FP,n} = M_{Fat,pos} / S_{bot,n}$ = 24.67 MPa

$fb_{FN,n} = M_{Fat,neg} / S_{bot,n}$ = -3.53 MPa

・Effective Section

$fb_{DC1,nc} = M_{DC1} / S_{botsteel}$ = 112.02 MPa

$fb_{DC2,3n} = M_{DC2} / S_{bot,3n}$ = 26.12 MPa

$fb_{DC2,rein} = M_{DC2} / S_{bot,rein}$ = 22.33 MPa

$fb_{DW,3n} = M_{DW} / S_{bot,3n}$ = 24.15 MPa

$fb_{DW,rein} = M_{DW} / S_{bot,rein}$ = 20.64 MPa

$fb_{LP,n} = M_{LL,pos} / S_{bot,n}$ = 116.93 MPa

$fb_{LP,rein} = M_{LL,pos} / S_{bot,rein}$ = 98.13 MPa

$fb_{LN,n} = M_{LL,neg} / S_{bot,n}$ = -23.18 MPa

$fb_{LN,nc} = M_{LL,neg} / S_{bot,steel}$ = -21.22 MPa

$fb_{SDP,n} = M_{SD,pos} / S_{bot,n}$ = 3.81 MPa

$fb_{SDN,n} = M_{SD,neg} / S_{bot,n}$ = -2.52 MPa

- Calculate factored Stress

  ・극한한계상태 I (η = 0.95)

Dead + Positive LL

하중 계수											Stress (MPa)
$fb_{DC1,nc}$	$fb_{DC2,3n}$	$fb_{DC2,rein}$	$fb_{DW,3n}$	$fb_{DW,rein}$	$fb_{LP,n}$	$fb_{LP,rein}$	$fb_{LN,n}$	$fb_{LN,nc}$	$fb_{SDP,n}$	$fb_{SDN,n}$	
1.25	1.25		1.50		1.80						398.40
0.90	0.90		1.50		1.80						352.47
1.25	1.25		0.65		1.80						378.90
0.90	0.90		0.65		1.80						332.97
1.25	1.25				1.80						363.99
0.90	0.90				1.80						318.06
1.25	1.25		1.50		1.80				1.00		402.02
0.90	0.90		1.50		1.80				1.00		356.09
1.25	1.25		0.65		1.80				1.00		382.52
0.90	0.90		0.65		1.80				1.00		336.59
1.25	1.25				1.80				1.00		367.61
0.90	0.90				1.80				1.00		321.68
적용 응력											**402.02**

Dead + Negative LL

하중 계수											Stress (MPa)
$fb_{DC1,nc}$	$fb_{DC2,3n}$	$fb_{DC2,rein}$	$fb_{DW,3n}$	$fb_{DW,rein}$	$fb_{LP,n}$	$fb_{LP,rein}$	$fb_{LN,n}$	$fb_{LN,nc}$	$fb_{SDP,n}$	$fb_{SDN,n}$	
1.25	1.25		1.50					1.80			162.16
0.90	0.90		1.50					1.80			116.23
1.25	1.25		0.65					1.80			142.66
0.90	0.90		0.65					1.80			96.73
1.25	1.25							1.80			127.75
0.90	0.90							1.80			81.82
1.25	1.25		1.50					1.80		1.00	159.76
0.90	0.90		1.50					1.80		1.00	113.83
1.25	1.25		0.65					1.80		1.00	140.27
0.90	0.90		0.65					1.80		1.00	94.34
1.25	1.25							1.80		1.00	125.35
0.90	0.90							1.80		1.00	79.42
적용 응력											**162.16**

・사용한계상태 II (η = 1.00)

Dead + Positive LL

하중 계수							Stress (MPa)
$fb_{DC1,nc}$	$fb_{DC2,3n}$	$fb_{DW,3n}$	$fb_{LP,n}$	$fb_{LN,n}$	$fb_{SDP,n}$	$fb_{SDN,n}$	
1.00	1.00	1.00	1.30		1.00		225.11
1.00	1.00		1.00		1.00		189.15
적용 응력							**225.11**

Dead + Negative LL

하중 계수							Stress (MPa)
$fb_{DC1,nc}$	$fb_{DC2,3n}$	$fb_{DW,3n}$	$fb_{LP,n}$	$fb_{LN,n}$	$fb_{SDP,n}$	$fb_{SDN,n}$	
1.00	1.00	1.00		1.30		1.00	114.79
1.00	1.00			1.00		1.00	103.43
적용 응력							**114.79**

・피로한계상태 (η = 1.00)

Positive LL = $\eta(0.75fb_{FP,n})$ = 18.50 MPa

Negative LL = $\eta(0.75fb_{FN,n})$ = -2.65 MPa

③ 응력산정치 요약 (Tension : + , Compression : -)

하중조합	Component	Dead + Pos.LL	Dead + Neg.LL
극한한계상태 I	상부플랜지	-180.00	-126.47
	하부플랜지	402.02	162.16
사용한계상태 II	상부플랜지	-150.97	-140.19
	하부플랜지	225.11	114.79
피로한계상태		Pos.LL	Neg.LL
	상부플랜지	-1.81	0.26
	하부플랜지	18.50	-2.65

※ Controlling flange : Positive LL 인 경우 → 하부플랜지

Negative LL 인 경우 → 하부플랜지

5) 최소 설계하중 결정

① 극한한계상태 Controlling flange의 최소 설계하중

$$F_{cf} = \frac{(\,|f_{cf}/R_h| + \alpha \cdot \Phi_f \cdot F_{yf}\,)}{2} \geq 0.75 \cdot \alpha \cdot \Phi_f \cdot F_{yf}$$

여기서, f_{cf} = 이음점에서 설계하중에 의한 제어플랜지 두께 중심에서의 최대 휨응력

R_h = 1.0 : 6.10.4.3(1)에 하이브리드단면 플랜지 강도감소계수

α = 1.0 : 단, F_n이 F_{yt}보다 작은 비조밀단면의 플랜지에 대해 1.0보다 작은 (F_n/F_{yf}) 의 값을 사용할수 있다.

F_n = 플랜지의 공칭 휨강도

F_{yf} = 플랜지의 항복강도

・Positive LL인 경우

$f_{cf,p}$ = 402.02

R_h = 1.0 α = 1.0 Φ_f = 1 F_{yf} = 380.0 MPa

$$F_{cf,P1} = \frac{(\,|402.02/1.0| + 1.0 \times 1.0 \times 380.0\,)}{2} = 391.01 \text{ MPa}$$

$F_{cf,P2}$ = 0.75 x 1.0 x 1.0 x 380.0 = 285.00 MPa

$F_{cf,P}$ = max (391.01 , 285.00) = 391.01 MPa

∴ 최소설계하중 $P_{cu,P} = F_{cf,P} \times A_{eb}$ = 391.0 x 5251.4 = 2,053,340 N

= 2.053E+06 N

・Negative LL인 경우

Fcf,N1 = 162.16

R_h = 1.0 α = 1.0 Φ_f = 1 F_{yf} = 380.0 MPa

$$F_{cf,n1} = \frac{(\,|162.16/1.0| + 1.0 \times 1.0 \times 380.0\,)}{2} = 271.08 \text{ MPa}$$

$F_{cf,n2}$ = 0.75 x 1.0 x 1.0 x 380.0 = 285.00 MPa

$F_{cf,n}$ = max (271.08 , 285.00) = 285.00 MPa

∴ 최소설계하중 $P_{cu,P} = F_{cf,P} \times A_{eb}$ = 285.0 x 5251.4 = 1,496,643 N

= 1.497E+06 N

・Conrolling flange 설계하중 요약표

Load Case	Location	극한한계상태 I				
		f_{cf}(MPa)	F_{cf}(MPa)	A_s(mm^2)	P_{cu}(N)	비고
Dead + Pos.LL	하부플랜지(L1)	402.02	391.01	6248.607	2.443E+06	인장
	하부플랜지(L2)	402.02	391.01	5251.377	2.053E+06	인장
	하부플랜지(C)	402.02	391.01	5251.377	2.053E+06	인장
	하부플랜지(R1)	402.02	391.01	5251.377	2.053E+06	인장
	하부플랜지(R2)	402.02	391.01	6248.607	2.443E+06	인장
Dead + Neg.LL	하부플랜지(L1)	162.16	285.00	6248.607	1.781E+06	인장
	하부플랜지(L2)	162.16	285.00	5251.377	1.497E+06	인장
	하부플랜지(C)	162.16	285.00	5251.377	1.497E+06	인장
	하부플랜지(R1)	162.16	285.00	5251.377	1.497E+06	인장
	하부플랜지(R2)	162.16	285.00	6248.607	1.781E+06	인장

② 극한한계상태 Noncontrolling flange의 최소 설계하중

$$F_{ncf} = R_{cf}\left|\frac{f_{ncf}}{R_h}\right| \geq 0.75 \cdot \alpha \cdot \Phi_f \cdot F_{yf}$$

여기서, R_{cf} = 제어플랜지의 f_{cf}에 대한 F_{cf}의 비의 절대값

f_{ncf} = f_{nf}와 동일한 이음점에서의 비제어 플랜지 두께 중앙점의 설계휨응력

R_h = 1.0 : 6.10.4.3(1)에 하이브리드단면 플랜지 강도감소계수

α = 1.0 : 단, F_n이 F_{yt}보다 작은 비조밀단면의 플랜지에 대해 1.0보다 작은 (F_n/F_{yf}) 의 값을 사용할수 있다.

・Positive LL인 경우

$f_{ncf,p}$ = -180.00

R_h = 1.0 α = 1.0 Φ_f = 1 F_{yf} = 380.0 MPa

$$R_{cf,P} = \left|\frac{F_{cf,P}}{f_{cf,P}}\right| = \left|\frac{391.0}{402.0}\right| = 0.973$$

$$F_{ncf,P1} = 0.973 \times \left|\frac{-180.0}{1.0}\right| = 175.071 \text{ MPa}$$

$F_{ncf,P2}$ = 0.75 x 1.0 x 1.0 x 380.0 = 285.00 MPa

$F_{ncf,P}$ = max (175.07 , 285.00) = 285.00 MPa

∴ 최소설계하중 $P_{ncu,P} = F_{ncf,P} \times A_{et}$ = 285.0 x 7200.0 = 2,052,000 N

= 2.052E+06 N

・Negative LL인 경우

$f_{ncf,N}$ = -126.47

R_h = 1.0 α = 1.0 Φ_f = 1 F_{yf} = 380.0 MPa

$$R_{cf,N} = \left|\frac{F_{cf,N}}{f_{cf,N}}\right| = \left|\frac{285.0}{162.2}\right| = 1.76$$

$$F_{ncf,N1} = 1.76 \times \left|\frac{-126.5}{1.0}\right| = 222.275 \text{ MPa}$$

$F_{ncf,N2}$ = 0.75 x 1.0 x 1.0 x 380.0 = 285.00 MPa

$F_{ncf,N}$ = max (222.27 , 285.00) = 285.00 MPa

∴ 최소설계하중 $P_{ncu,N} = F_{ncf,N} \times A_{eb}$ = 285.0 x 7200.0 = 2,052,000 N

= 2.052E+06 N

・Nonconrolling flange 설계하중 요약표

Load Case	Location	극한한계상태 I				
		f_{ncf}(MPa)	F_{ncf}(MPa)	A_s(mm^2)	P_{ncu}(N)	비고
Dead + Pos.LL	상부플랜지	-180.00	285.00	7200.000	2.052E+06	압축
Dead + Neg.LL	상부플랜지	-126.47	285.00	7200.000	2.052E+06	압축

③ 사용한계상태 플랜지 작용하중

$$F_s = \frac{f_s}{R_h}$$

설계하중	Location	F_s(MPa)	A_s(mm^2)	P_s(N)
Dead + Pos.LL	상부플랜지	-150.97	7200.000	-1.087E+06
	하부플랜지	225.11	6248.607	1.407E+06
	하부플랜지	225.11	5251.377	1.182E+06
	하부플랜지	225.11	5251.377	1.182E+06
	하부플랜지	225.11	5251.377	1.182E+06
	하부플랜지	225.11	6248.607	1.407E+06
Dead + Neg.LL	상부플랜지	-140.19	7200.000	-1.009E+06
	하부플랜지	114.79	6248.607	7.173E+05
	하부플랜지	114.79	5251.377	6.028E+05
	하부플랜지	114.79	5251.377	6.028E+05
	하부플랜지	114.79	5251.377	6.028E+05
	하부플랜지	114.79	6248.607	7.173E+05

④ 피로한계상태 응력

$$\triangle f = |f_{s,pos}| + |f_{s,neg}|$$

Location	△f(MPa)
상부플랜지	2.067
하부플랜지	21.151

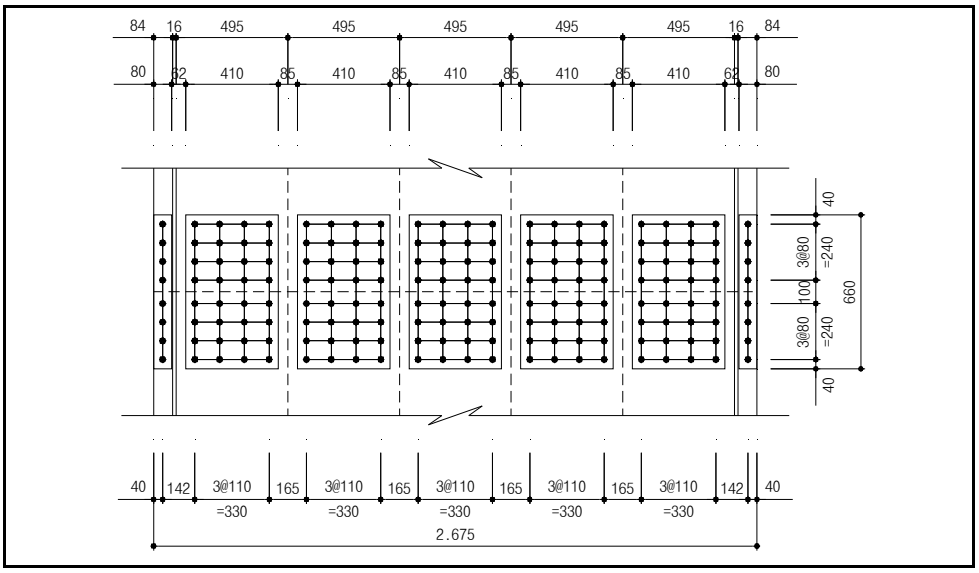
(2) 인장 플랜지 이음부 설계

1) 설계조건

① 단면 제원

제 원		내측-측면 이음판				내측-중앙 이음판			
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이
2400	12	0	80	10	660	1	410	10	660

외측 이음판				볼트 개수		
개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
1	495	10	660	4	4	16



② 재료 제원

강 재				
강 종	HSB500			
항복강도(플랜지)	F_{yf}	=	380.000	MPa
항복강도(이음판)	F_{ys}	=	380.000	MPa
인장강도	F_u	=	500.000	MPa
탄성계수	E_s	=	205000.0	MPa

볼 트				
볼트 등급	M22(F13T)			
공칭강도(볼트)	F_{nv}	=	520.000	kN
극한강도(볼트)	F_{ub}	=	1000.000	MPa
볼트 구멍 크기	d_{hall}	=	25.00	mm
표면상태 계수	K_s	=	0.40	

- 내외측 이음판 단면적

	내측이음판		외측이음판	
	전단면적	순단면적	전단면적	순단면적
	A_{g-in}	A_{n-in}	A_{g-out}	A_{n-out}
하부플랜지(L1)	6000	4750	5949.473	4949.473
하부플랜지(L2)	4100.000	3100.000	4949.473	3949.473
하부플랜지(C)	4100.000	3100.000	4949.473	3949.473
하부플랜지(R1)	4100.000	3100.000	4949.473	3699.473
하부플랜지(R2)	6000	4750	5949.473	5949.473

2) 이음판 항복 및 파단 검토

① 인장강도 검토

- 전단면 항복 검토

$P_{cu}' = 0.5 \cdot P_{cu} = 1221.633$ kN

$P_{r-in} = \Phi_y \cdot F_{ys} \cdot A_{g-in} = 1480.100$ kN $\geq P_{cu}' = 1221.633$ kN ... 0.K

$P_{r-out} = \Phi_y \cdot F_{ys} \cdot A_{g-out} = 1786.760$ kN $\geq P_{cu}' = 1221.633$ kN ... 0.K

- 순단면 파괴 검토

$P_{r-in} = \Phi_u \cdot F_u \cdot A_{n-in} \cdot U = 1240.000$ kN $\geq P_{cu}' = 1221.633$ kN ... 0.K

$P_{r-out} = \Phi_u \cdot F_u \cdot A_{n-out} \cdot U = 1579.789$ kN $\geq P_{cu}' = 1221.633$ kN ... 0.K

여기서, $\Phi_y = 0.95$ (인장부재의 항복에 대한 강도저항계수)

$\Phi_u = 0.80$ (인장부재의 파단에 대한 강도저항계수)

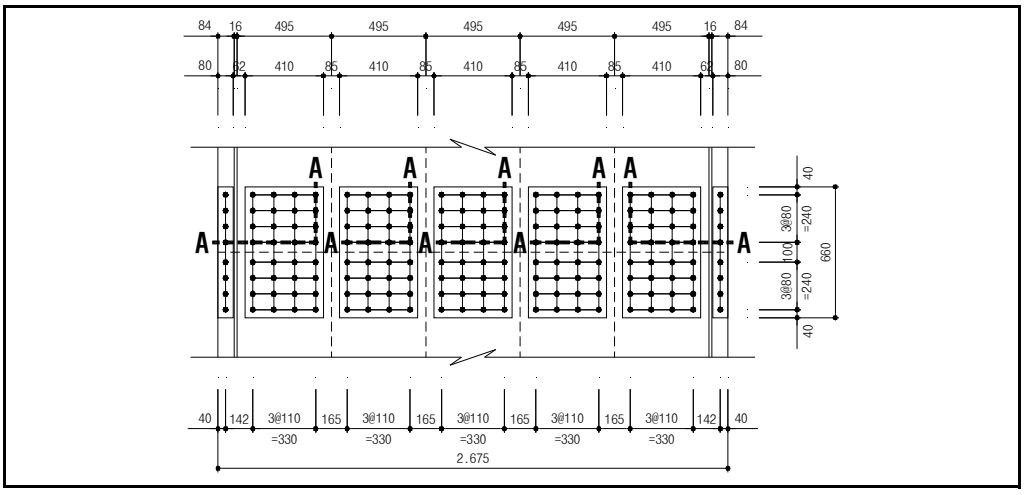
$U = 1.00$ (전단지연을 고려하기 위한 감소계수)

	전단면 항복 검토				순단면 파괴 검토			
	P_{r-in}	판정	P_{r-out}	판정	P_{r-in}	판정	P_{r-out}	판정
하부플랜지(L1)	2166.0	O.K	2147.8	O.K	1900.0	O.K	1979.8	O.K
하부플랜지(L2)	1480.1	O.K	1786.8	O.K	1240.0	O.K	1579.8	O.K
하부플랜지(C)	1480.1	O.K	1786.8	O.K	1240.0	O.K	1579.8	O.K
하부플랜지(R1)	1480.1	O.K	1786.8	O.K	1240.0	O.K	1479.8	O.K
하부플랜지(R2)	2166.0	O.K	2147.8	O.K	1900.0	O.K	2379.8	O.K

3) 블록전단파괴강도 검토

- 외측 이음판

i . Failure Mode 1



$A_{vg} = L_{vg} \cdot t_{s-in} = (40 \cdot 1 + 80 \cdot 3) \cdot 10$

$= 2800.00$ mm^2

$A_{vn} = L_{vn} \cdot t_{s-in} = (280 - 25.0 \cdot 3.5) \cdot 10$

$= 1925.00$ mm^2

$A_{tg} = L_{tg} \cdot t_{s-in} = (40 \cdot 1 + 110 \cdot 3) \cdot 10$

$= 3700.00$ mm^2

$A_{tn} = L_{tn} \cdot t_{s-in} = (370 - 25.0 \cdot 3.5) \cdot 10$

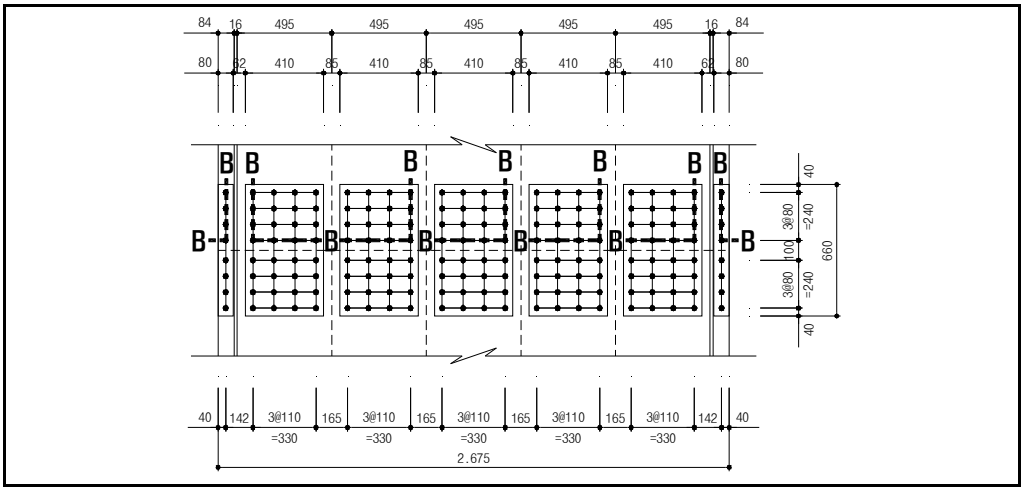
$= 2825.00$ mm^2

$R_n = \Phi_{bs} \cdot [(0.58 \cdot F_u \cdot A_{vn} + U_{bs} \cdot F_y \cdot A_{tn}) \leq (0.58 \cdot F_y \cdot A_{vg} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{tn})]$

$= \quad 1305.40 \ kN \quad \geq \quad P_{cu}' \quad = \quad 1221.63 \ kN$ ... **O.K**

외측이음판	Failure Mode 1					
	A_{vg}	A_{vn}	A_{tg}	A_{tn}	R_n	판정
하부플랜지(L1)	2800.00	1925.00	6200.00	5075.00	1989.40	**O.K**
하부플랜지(L2)	2800.00	1925.00	3700.00	2825.00	1305.40	**O.K**
하부플랜지(C)	2800.00	1925.00	3700.00	2825.00	1305.40	**O.K**
하부플랜지(R1)	2800.00	1925.00	3700.00	2825.00	1305.40	**O.K**
하부플랜지(R2)	2800.00	1925.00	6200.00	5075.00	1989.40	**O.K**

ii. Failure Mode 2



$A_{vg} = L_{vg} \cdot t_{s-in} = (40 \cdot 1 + 80 \cdot 3) \cdot 1 \cdot 10$

$= \quad 2800.00 \ mm^2$

$A_{vn} = L_{vn} \cdot t_{s-in} = (280 - 25.0 \cdot 3.5) \cdot 1 \cdot 10$

$= \quad 1925.00 \ mm^2$

$A_{tg} = L_{tg} \cdot t_{s-in} = (40 \cdot 1 + 110 \cdot 3) \cdot 10$

$= \quad 3700.00 \ mm^2$

$A_{tn} = L_{tn} \cdot t_{s-in} = (370 - 25.0 \cdot 3.5) \cdot 10$

$= \quad 2825.00 \ mm^2$

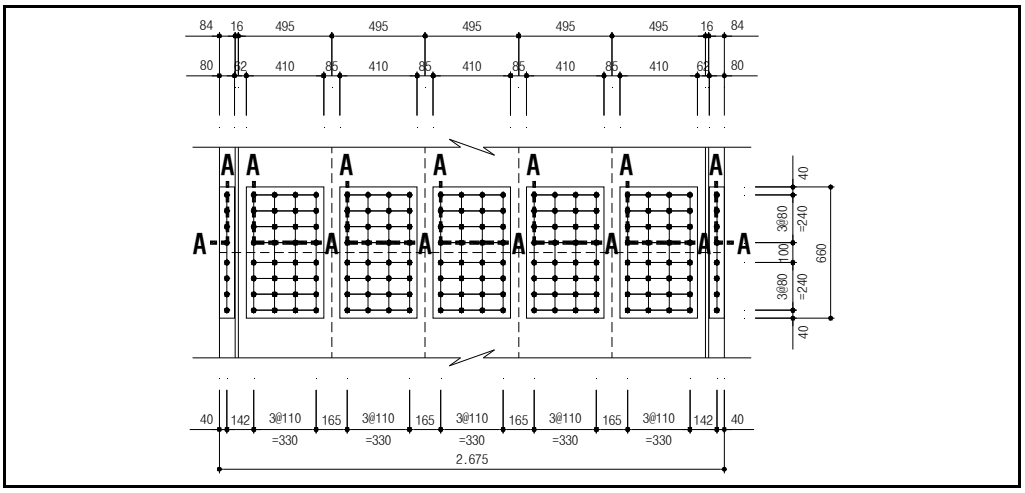
$R_n = \Phi_{bs} \cdot [(0.58 \cdot F_u \cdot A_{vn} + U_{bs} \cdot F_y \cdot A_{tn}) \leq (0.58 \cdot F_y \cdot A_{vg} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{tn})]$

$= \quad 1305.40 \ kN \quad \geq \quad P_{cu}' \quad = \quad 1221.63 \ kN$ ... **O.K**

외측이음판	Failure Mode 2					
	A_{vg}	A_{vn}	A_{tg}	A_{tn}	R_n	판정
하부플랜지(L1)	5600.00	3850.00	5200.00	4075.00	2132.00	**O.K**
하부플랜지(L2)	2800.00	1925.00	3700.00	2825.00	1305.40	**O.K**
하부플랜지(C)	2800.00	1925.00	3700.00	2825.00	1305.40	**O.K**
하부플랜지(R1)	2800.00	1925.00	3700.00	2825.00	1305.40	**O.K**
하부플랜지(R2)	5600.00	3850.00	5200.00	4075.00	2132.00	**O.K**

- 내측 이음판

i. Failure Mode 1



$A_{vg} = L_{vg} \cdot t_{s-in} = (40 \cdot 1 + 80 \cdot 3) \cdot 1 \cdot 10$

$= 2800.00 \ mm^2$

$A_{vn} = L_{vn} \cdot t_{s-in} = (280 - 25.0 \cdot 3.5) \cdot 1 \cdot 10$

$= 1925.00 \ mm^2$

$A_{tg} = L_{tg} \cdot t_{s-in} = (40 \cdot 1 + 110 \cdot 3) \cdot 10$

$= 3700.00 \ mm^2$

$A_{tn} = L_{tn} \cdot t_{s-in} = (370 - 25.0 \cdot 3.5) \cdot 10$

$= 2825.00 \ mm^2$

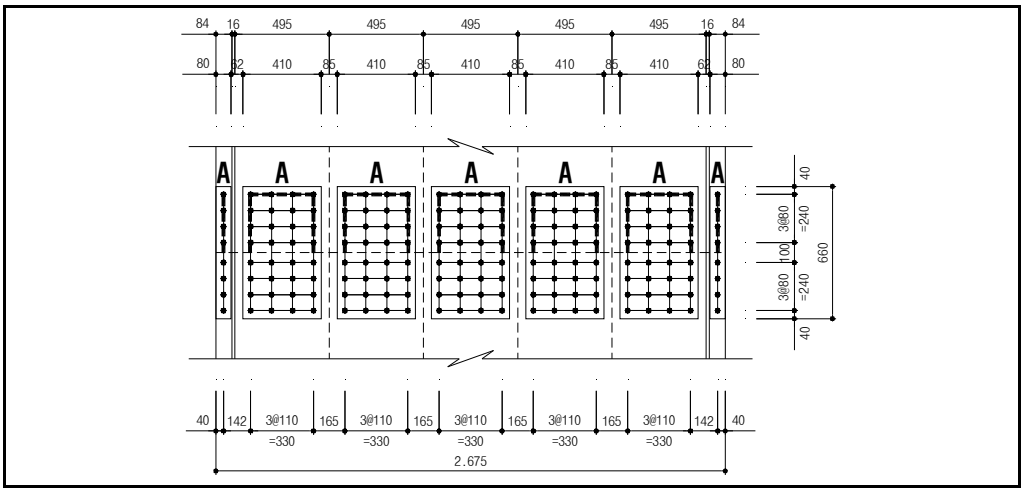
$R_n = \Phi_{bs} \cdot [(0.58 \cdot F_u \cdot A_{vn} + U_{bs} \cdot F_y \cdot A_{tn}) \leq (0.58 \cdot F_y \cdot A_{vg} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{tn})]$

$= 1305.40 \ kN \geq P_{cu}' = 1221.63 \ kN$ ... **O.K**

내측이음판	Failure Mode 1					
	A_{vg}	A_{vn}	A_{tg}	A_{tn}	R_n	판정
하부플랜지(L1)	5600.00	3850.00	5200.00	4075.00	2132.00	**O.K**
하부플랜지(L2)	2800.00	1925.00	3700.00	2825.00	1305.40	**O.K**
하부플랜지(C)	2800.00	1925.00	3700.00	2825.00	1305.40	**O.K**
하부플랜지(R1)	2800.00	1925.00	3700.00	2825.00	1305.40	**O.K**
하부플랜지(R2)	5600.00	3850.00	5200.00	4075.00	2308.83	**O.K**

- 플랜지

i . Failure Mode 1



$A_{vg} = L_{vg} \cdot t_{s-in} = 2 \ (\ 3 \ \cdot \ 80 \ + \ 50 \ ) \ \cdot \ 12$

$= \quad 6960.00 \quad mm^2$

$A_{vn} = L_{vn} \cdot t_{s-in} = 2 \ (\ 3 \ \cdot \ 80 \ + \ 50 \ - \ 3.5 \ \cdot \ 25.0 \ ) \ \cdot \ 12$

$= \quad 4860.00 \quad mm^2$

$A_{tg} = L_{tg} \cdot t_{s-in} = 1 \ \cdot \ (\ 110 \ \cdot \ 3 \ ) \ \cdot \ 12$

$= \quad 3960.00 \quad mm^2$

$A_{tn} = L_{tn} \cdot t_{s-in} = 1 \ \cdot \ (\ 110 \ \cdot \ 3 \ - \ 3 \ \cdot \ 25.0 \ ) \ \cdot \ 12$

$= \quad 3060.00 \quad mm^2$

$R_n = \Phi_{bs} \cdot [\ (\ 0.58 \cdot F_u \cdot A_{vn} + U_{bs} \cdot F_y \cdot A_{tn} \ ) \leq (\ 0.58 \cdot F_y \cdot A_{vg} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{tn} \ ) \ ]$

$= \quad 2057.76 \ kN \quad \geq \quad P_{cu} \quad = \quad 2053.34 \ kN$ **... O.K**

여기서, A_{vg} : 전단력에 저항하는 단면의 전단면적 (mm^2)

A_{vn} : 전단력에 저항하는 단면의 순단면적 (mm^2)

A_{tg} : 인장력에 저항하는 단면의 전단면적 (mm^2)

A_{tn} : 인장력에 저항하는 단면의 순단면적 (mm^2)

Φ_{bs} = 0.80 (블록 전단에 대한 대한 강도저항계수)

플랜지	Failure Mode 1					
	A_{vg}	A_{vn}	A_{tg}	A_{tn}	R_n	판정
하부플랜지(L1)	10440.00	7290.00	5280.00	4080.00	2931.60	**O.K**
하부플랜지(L2)	6960.00	4860.00	3960.00	3060.00	2057.76	**O.K**
하부플랜지(C)	6960.00	4860.00	3960.00	3060.00	2057.76	**O.K**
하부플랜지(R1)	6960.00	4860.00	3960.00	3060.00	2057.76	**O.K**
하부플랜지(R2)	10440.00	7290.00	5280.00	4080.00	2931.60	**O.K**

4) 연결볼트 검토

① 볼트 간격 검토

- 최소 간격검토

$S_{lim} = 3 \cdot d_{bolt} =$ 66.000 mm $\leq S_{min} =$ 80.000 mm ... 0.K

- 최소 연단거리 검토

$e_{min} =$ 40.000 mm $\geq e_{lim} =$ 38.000 mm ... 0.K

- 최대 연단거리 검토

$e_{lim} = \min(12 \cdot t, 150) =$ 120.000 mm $\geq e_{max} =$ 40.000 mm ... 0.K

여기서, t : 외측판 또는 형강의 얇은 쪽 두께 (mm)

e_{lim} : 최소 연단거리 (mm)

② 전단강도 검토

$A_b = \pi \cdot d^2/4 =$ 380.133 mm^2

$R_n = F_n \cdot A_b \cdot N_s =$ 395.34 kN

$R_r = \Phi_t \cdot R_n =$ 316.270 kN

$\therefore N_{req} = P_{cu} / R_r =$ 8 ea $< N_{used} =$ 16 ea ... 0.K

여기서, A_b : 공칭직경에 의한 볼트 단면적

$\Phi_t =$ 0.8 (전단력을 받는 고장력 볼트의 강도저항계수)

③ 마찰접합의 미끄럼강도 검토

$R_n = \mu \cdot h_f \cdot T_0 \cdot N_s =$ 237.600 kN

$R_r = \Phi \cdot R_n =$ 237.600 kN

$P_s =$ 1406.594 kN

$\therefore N_{req} = P_s / R_r =$ 6 ea $< N_{used} =$ 16 ea ... 0.K

여기서, $\Phi =$ 1 (마찰강도 저항계수)

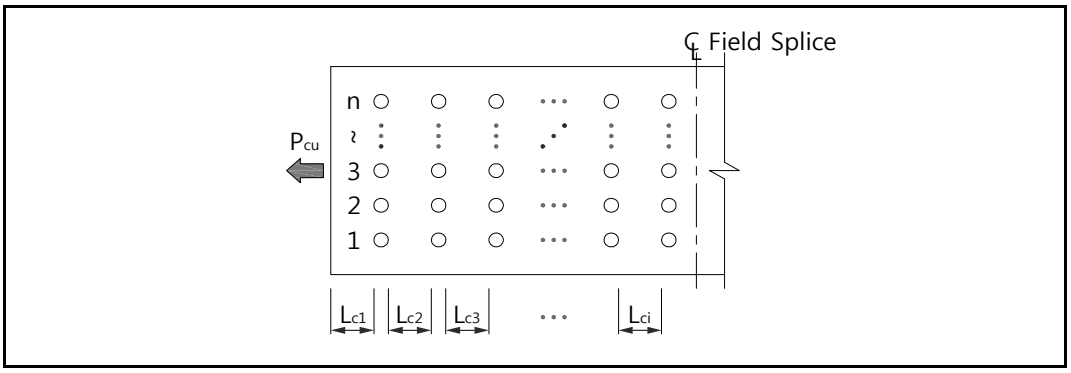
$N_s =$ 2 (전단면의 수)

$\mu =$ 0.45 (미끄럼계수)

$h_f =$ 1.00 (끼움재 계수)

$T_0 =$ 264 kN (설계볼트장력)

④ 볼트구멍의 지압강도 검토



- 내측 이음판 검토

L_{c1} = 40.000 − d_{hole} / 2 = 27.500 mm < 2 · d = 50.000 mm

L_{c2} = 80.000 − d_{hole} = 55.000 mm ≥ 2 · d = 50.000 mm

$R_{c1} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c1} \cdot t_{s-in} \cdot F_u)$ = 4 x 165.000 = 660.0 kN

$R_{c2} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c2} \cdot t_{s-in} \cdot F_u)$ = 4 x 300.000 = 1200.0 kN x 3

$R_n = \sum R_{n\_row}$ = 4260.0 kN

$R_r = \Phi_{bb} \cdot R_n$ = 3408.0 kN > P_{cu}' = 1221.633 kN ... 0.K

- 외측 이음판 검토

L_{c1} = 40.000 − d_{hole} / 2 = 27.500 mm < 2 · d = 50.000 mm

L_{c2} = 80.000 − d_{hole} = 55.000 mm ≥ 2 · d = 50.000 mm

$R_{c1} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c1} \cdot t_{s-out} \cdot F_u)$ = 4 x 165.000 = 660.000 kN

$R_{c2} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c2} \cdot t_{s-out} \cdot F_u)$ = 4 x 300.000 = 1200.000 kN x 3

$R_n = \sum R_{n\_row}$ = 4260.0 kN

$R_r = \Phi_{bb} \cdot R_n$ = 3408.0 kN > P_{cu}' = 1221.633 kN ... 0.K

- 플랜지 검토

L_{c1} = 50.000 − d_{hole}/2 = 37.500 mm < 2 · d = 50.000 mm

L_{c2} = 80.000 − d_{hole} = 55.000 mm ≥ 2 · d = 50.000 mm

$R_{c1} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c1} \cdot t_s \cdot F_u)$ = 4 x 270.000 = 1080.000 kN

$R_{c2} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c2} \cdot t_s \cdot F_u)$ = 4 x 360.000 = 1440.000 kN x 3

$R_n = \sum R_{n\_row}$ = 5400.0 kN

$R_r = \Phi_{bb} \cdot R_n$ = 4320.0 kN > P_{cu} = 2443.267 kN ... 0.K

여기서, d_{hole} = 25.00 mm (볼트구멍의 직경)

Φ_{bb} = 0.8 (볼트 지압력에 대한 강도저항계수)

d : 볼트의 공칭직경(mm)

L_c : 구멍 사이의 순간격 또는 구멍과 부재의 응력방향의 순연단거리 (mm)

F_u : 연결부재의 인장강도 (MPa)

n : 한 열에 배치되는 볼트의 개수

5) 피로한계상태 검토

연결상세 B 의 피로강도

$N = (365) \cdot (100) \cdot n \cdot (ADTT)_{SL} = 1.825E+08$

$(\Delta F)_n = (A / N)^{1/3} = 27.82 \text{ MPa} < 1/2\ (\Delta f)_{TH} = 55.00 \text{ MPa}$

$\Delta f = 21.151 \text{ MPa} < (\Delta F)_n = 55.000 \text{ MPa}$ ... 0.K

여기서, $A = 3.930E+12$ (일정진폭 피로 한계값에 해당하는 응력범위 반복횟수

$(\Delta F)_{TH} = 110.000$ MPa (표6.6.5에서 택한 일정 피로 진폭 한계값)

$n = 1.00$ (트럭 한 대 통과시 발생하는 응력범위의 반복회수, 표6.6.4)

$(ADTT)_{SL} = 5000$ (3.6.2.2에서 규정한 한차선당 ADTT(일평균 트럭교통량))

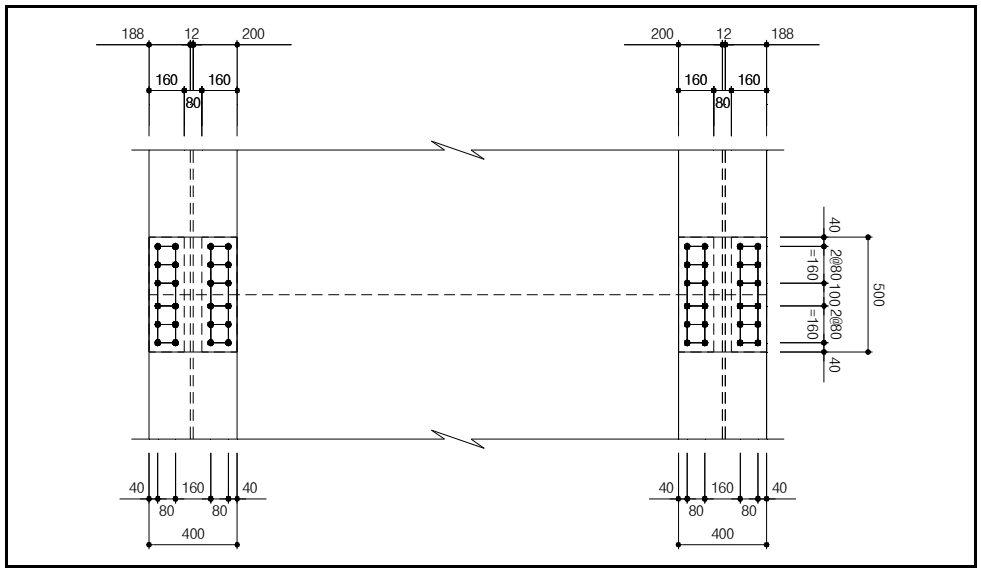
(3) 압축 플랜지 이음부 설계

1) 설계조건

① 단면 제원

제 원		내측-측면 이음판				하면-중앙 이음판			
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이
400	18	2	160	10	500	0	0	0	0

외측 이음판				볼트 개수		
개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
1	400	10	500	3	4	12



② 재료 제원

강 재				
강 종	HSB500			
항복강도(플랜지)	F_{yf}	=	380.000	MPa
항복강도(이음판)	F_{ys}	=	380.000	MPa
인장강도	F_u	=	500.000	MPa
탄성계수	E_s	=	205000.0	MPa

볼 트				
볼트 등급	M22(F13T)			
공칭강도(볼트)	F_{nv}	=	520.000	kN
극한강도(볼트)	F_{ub}	=	1000.000	MPa
볼트 구멍 크기	d_{hall}	=	25.00	mm
표면상태 계수	K_s	=	0.40	

- 내외측 이음판 단면적

$A_{g-in} = 3200.000 \text{ mm}^2$ (내측이음판의 전단면적)

$A_{g-out} = 4000.000 \text{ mm}^2$ (외측이음판의 전단면적)

2) 이음판 항복 검토

① 압축강도 검토

- 전단면 항복 검토

$P_{cu}' = 0.5 \cdot P_{cu} = 1026.000$ kN

$P_{r-in} = \Phi_c \cdot F_{ys} \cdot A_{g-in} = 1094.400$ kN $\geq P_{cu}' = 1026.000$ kN ... 0.K

$P_{r-out} = \Phi_c \cdot F_{ys} \cdot A_{g-out} = 1368.000$ kN $\geq P_{cu}' = 1026.000$ kN ... 0.K

여기서, $\Phi_c = 0.90$ (압축에 대한 강도저항계수)

3) 연결볼트 검토

① 볼트 간격 검토

- 최소 간격검토

$S_{lim} = 3 \cdot d_{bolt} = 66.000$ mm $\leq S_{min} = 80.000$ mm ... 0.K

- 최소 연단거리 검토

$e_{min} = 40.000$ mm $\geq e_{lim} = 38.000$ mm ... 0.K

- 최대 연단거리 검토

$e_{lim} = \min(12 \cdot t, 150) = 120.000$ mm $\geq e_{max} = 40.000$ mm ... 0.K

여기서, t : 외측판 또는 형강의 얇은 쪽 두께 (mm)

e_{lim} : 최소 연단거리 (mm)

② 전단강도 검토

$A_b = \pi \cdot d^2/4 = 380.133$ mm^2

$R_n = F_n \cdot A_b \cdot N_s = 395.338$ kN

$R_r = \Phi_t \cdot R_n = 316.270$ kN

$\therefore N_{req} = P_{cu} / R_r = 6$ ea $< N_{used} = 12$ ea ... 0.K

여기서, A_b : 공칭직경에 의한 볼트 단면적

$\Phi_t = 0.8$ (전단력을 받는 고장력 볼트의 강도저항계수)

③ 마찰접합의 미끄럼강도 검토

$R_n = \mu \cdot h_f \cdot T_0 \cdot N_s = 237.600$ kN

$R_r = \Phi \cdot R_n = 237.600$ kN

$P_s = 1087.004$ kN

$\therefore N_{req} = P_s / R_r = 5$ ea $< N_{used} = 12$ ea ... 0.K

여기서, $\Phi = 1$ (마찰강도 저항계수)

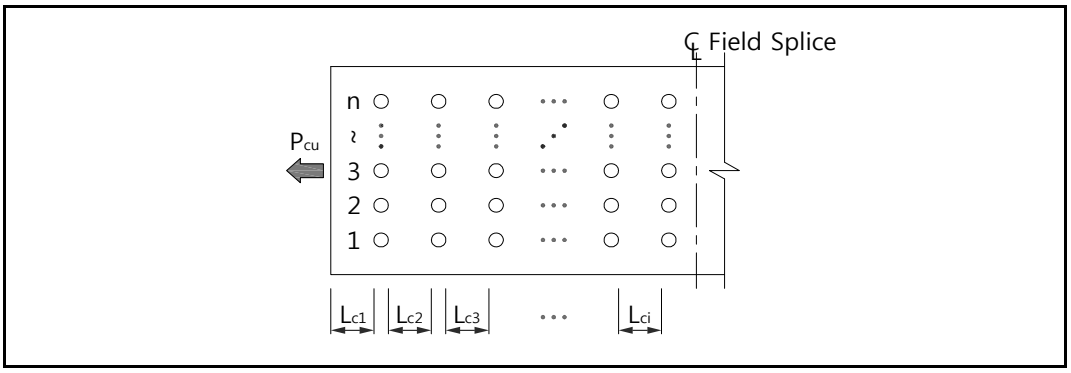
$N_s = 2$ (전단면의 수)

$\mu = 0.45$ (미끄럼계수)

$h_f = 1.00$ (끼움재 계수)

$T_0 = 264$ kN (설계볼트장력)

④ 볼트구멍의 지압강도 검토



- 내측 이음판 검토

L_{c1} = 40.000 − d_{hole} / 2 = 27.500 mm < 2 · d = 50.000 mm

L_{c2} = 80.000 − d_{hole} = 55.000 mm ≥ 2 · d = 50.000 mm

$R_{c1} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c1} \cdot t_{s-in} \cdot F_u)$ = 4 x 165.000 = 660.0 kN

$R_{c2} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c2} \cdot t_{s-in} \cdot F_u)$ = 4 x 300.000 = 1200.0 kN x 2

$R_n = \sum R_{n\_row}$ = 3060.0 kN

$R_r = \Phi_{bb} \cdot R_n$ = 2448.0 kN > P_{cu}' = 1026.000 kN ... 0.K

- 외측 이음판 검토

L_{c1} = 40.000 − d_{hole} / 2 = 27.500 mm < 2 · d = 50.000 mm

L_{c2} = 80.000 − d_{hole} = 55.000 mm ≥ 2 · d = 50.000 mm

$R_{c1} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c1} \cdot t_{s-out} \cdot F_u)$ = 4 x 165.000 = 660.000 kN

$R_{c2} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c2} \cdot t_{s-out} \cdot F_u)$ = 4 x 300.000 = 1200.000 kN x 2

$R_n = \sum R_{n\_row}$ = 3060.0 kN

$R_r = \Phi_{bb} \cdot R_n$ = 2448.0 kN > P_{cu}' = 1026.000 kN ... 0.K

- 플랜지 검토

L_{c1} = 50.000 − d_{hole}/2 = 37.500 mm < 2 · d = 50.000 mm

L_{c2} = 80.000 − d_{hole} = 55.000 mm ≥ 2 · d = 50.000 mm

$R_{c1} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c1} \cdot t_s \cdot F_u)$ = 4 x 405.000 = 1620.000 kN

$R_{c2} = n \cdot (1.2 \cdot L_{c2} \cdot t_s \cdot F_u)$ = 4 x 540.000 = 2160.000 kN x 2

$R_n = \sum R_{n\_row}$ = 5940.0 kN

$R_r = \Phi_{bb} \cdot R_n$ = 4752.0 kN > P_{cu} = 2052.000 kN ... 0.K

여기서, d_{hole} = 25.00 mm (볼트구멍의 직경)

Φ_{bb} = 0.8 (볼트 지압력에 대한 강도저항계수)

d : 볼트의 공칭직경(mm)

L_c : 구멍 사이의 순간격 또는 구멍과 부재의 응력방향의 순연단거리 (mm)

F_u : 연결부재의 인장강도 (MPa)

n : 한 열에 배치되는 볼트의 개수

4) 피로한계상태 검토

연결상세 B 의 피로강도

$N = (365) \cdot (100) \cdot n \cdot (ADTT)_{SL} = 1.825E+08$

$(\Delta F)_n = (A / N)^{1/3} = 27.82 \text{ MPa} < 1/2\,(\Delta f)_{TH} = 55.00 \text{ MPa}$

$\Delta f = 2.067 \text{ MPa} < (\Delta F)_n = 55.000 \text{ MPa}$ ... 0.K

여기서, A = 3.930E+12 (일정진폭 피로 한계값에 해당하는 응력범위 반복횟수

$(\Delta F)_{TH}$ = 110.000 MPa (표6.6.5에서 택한 일정 피로 진폭 한계값)

n = 1.00 (트럭 한 대 통과시 발생하는 응력범위의 반복회수, 표6.6.4)

$(ADTT)_{SL}$ = 5000 (3.6.2.2에서 규정한 한차선당 ADTT(일평균 트럭교통량))

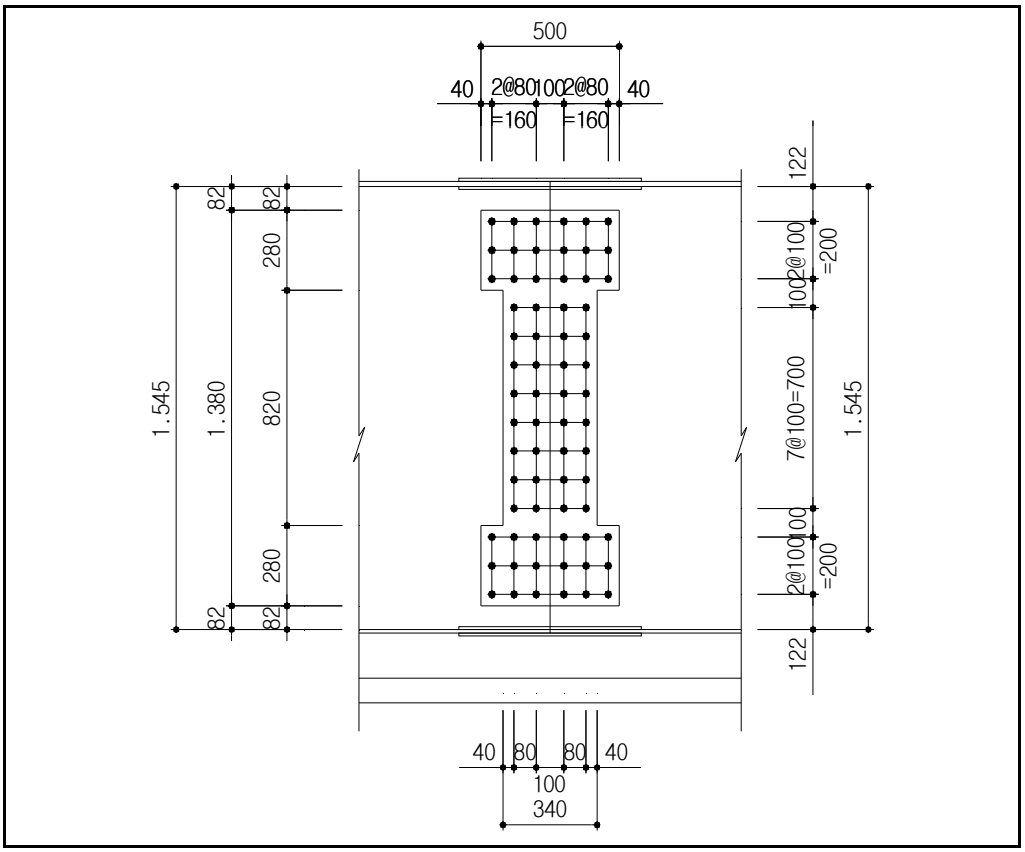
(4) 복부 이음부 설계

1) 설계조건

① 단면 제원

제 원			상하 이음판				중앙 이음판			
폭	두께	간격	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이
1545	12	2400	4	280	10	500	2	865	10	340

볼트 개수 및 간격										
1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
3	100	3	100	3	100	2	100	2	100	34



② 재료 제원

강 재				
강 종	HSB500			
항복강도(복부)	F_{yw}	=	380.000	MPa
항복강도(이음판)	F_{ys}	=	380.000	MPa
인장강도	F_u	=	500.000	MPa
탄성계수	E_s	=	205000.0	MPa

볼 트				
볼트 등급	M22(F13T)			
공칭강도(볼트)	F_{nv}	=	520.000	kN
극한강도(볼트)	F_{ub}	=	1000.000	MPa
볼트 구멍 크기	d_{hall}	=	25.00	mm
표면상태 계수	K_s	=	0.40	

2) 설계하중 산정

① 극한한계상태

- 전단좌굴응력비(C) 산정

$$\frac{H_w}{t_w} = 128.73 \quad , \quad 1.12\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yw}}} = 68.38 \quad , \quad 1.4\sqrt{\frac{E \cdot k}{F_{yw}}} = 85.47 \quad C = 0.35$$

여기서, $k = 5 + \frac{5}{(d_0/D)^2} = 5 + \frac{5}{(2500 / 1545)^2}$

$= 6.91$ (전단좌굴계수)

- 복부판 설계전단력 산정

$V_p = 0.58 F_{yw} \cdot H_w \cdot t_w = 4085.611$ kN

$\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} \leq 2.5$ 이면

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}} \right] = 2651.360 \text{ kN}$$

여기서, d_0 : 보강재 간격(mm)

V_n : 공칭전단강도 (N)

V_p : 소성전단력 (N)

C : 전단항복강도에 대한 전단좌굴응력비

$\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} > 2.5$ 이면

$$V_n = V_p \left[C + \frac{0.87(1-C)}{\sqrt{\{1+(d_0/D)^2\}}+d_0/D} \right] = 2447.419 \text{ kN}$$

$\frac{2 \cdot D \cdot t_w}{(b_{fc}t_{fc}+b_{ft}t_{ft})} = \frac{37074.5121}{36000} = 1.03 \leq 2.5$ 이므로

$V_n = 2651.360$ kN

$V_{upos} = \eta(1.25 \times V_{DC1} + 1.25 \times V_{DC2} + 1.50 \times V_{DW} + 1.80 \times V_{PLL} + 1.00 \times V_{PSD})$

$= 0.95 (1.25 \times -170374 + 1.25 \times -40525 + 1.50 \times + 1.80 \times -423437 + 1.00 \times -14628)$

$= -$ 1,039,583 N $=$ -1039.583 kN (per Box)

$V_u = V_{upos} / \cos\Theta = 1039.583$ kN

$V_u/2 = 519.791$ kN $\leq 0.5 \cdot \Phi_v \cdot V_n = 1325.680$ kN 이므로

$V_{uw} = 1.5 \cdot Vu = 779.687$ kN

여기서, $\Phi_v = 1.00$ (전단에 대한 강도저항계수)

- 복부판 작용 모멘트 및 수평력 산정

· Case1 : Dead Load + Positive LL

F_{cf} = 391.010 MPa , f_{cf} = 402.020 MPa

f_{ncf} = -180.001 MPa

R_{cf} = | F_{cf} / f_{cf} | = 0.97

$M_{uw} = \frac{t_w \cdot H_w^2}{12} | R_h \cdot F_{cf} - R_{cf} \cdot f_{ncf} |$ = 1350.85 kN · m

$M_{tot} = M_{uw} + V_{uw} \cdot e$ = 1350.85 kN · m

$H_{uw} = \frac{t_w \cdot H_w}{2} (R_h \cdot F_{cf} + R_{cf} \cdot f_{ncf})$ = 2001.5 kN

· Case2 : Dead Load + Negative LL

F_{cf} = 285.000 MPa , f_{cf} = 162.163 MPa

f_{ncf} = -126.472 MPa

R_{cf} = | F_{cf} / f_{cf} | = 1.76

$M_{uw} = \frac{t_w \cdot H_w^2}{12} | R_h \cdot F_{cf} - R_{cf} \cdot f_{ncf} |$ = 1210.52 kN · m

$M_{tot} = M_{uw} + V_{uw} \cdot e$ = 1210.52 kN · m

$H_{uw} = \frac{t_w \cdot H_w}{2} (R_h \cdot F_{cf} + R_{cf} \cdot f_{ncf})$ = 581.4 kN

여기서, M_{uw} : 극한한계상태에서 복부 이음판과 볼트를 설계하기 위한 설계모멘트

H_{uw} : 복부의 높이 중앙에 작용하는 수평합력

R_h = 1.0 (6.10.4.3(1)에 규정된 하이브리드단면 플랜지 강도감소계수)

α = 1.0

Φ_f = 1.00 (6.5.4.2에 규정된 휨에 대한 강도저항계수)

e = 122.9 mm (이음부의 중심선으로부터 이음 한쪽편에 있는 볼트들의 무게 중심점 까지의 거리(종방향 거리))

② 사용한계상태

- 복부판 작용전단력

$V_{ser,pos}$ = η(1.00 x V_{DC1} + 1.00 x V_{DC2} + 1.30 x V_{PLL} + 1.00 x V_{PSD})

= 1.00 (1.00 x -170374 + 1.00 x -40525 + 1.30 x -4E+05
+ 1.00 x -14628)

= - 761,368 N = -761.368 kN

$V_{ser,neg}$ = η(1.00 x V_{DC1} + 1.00 x V_{DC2} + 1.00 x V_{DW} + 1.30 x V_{NLL}
+ 1.30 x V_{NSD})

= 1.00 (1.00 x -170374 + 1.00 x -40525 + 1.00 x -35905
+ 1.30 x 212368 + 1.00 x 9686)

= 29,274 N = 29.274 kN

∴ $V_{w,ser}$ = max (761.368 , 29.274) = 761.368 kN (per Box)

V_w = $V_{w,ser}$ / cosΘ = 761.37 kN (per Box)

$V_w/2$ = 380.684 kN (per Web)

- 복부판 작용 모멘트 및 수평력

· Case1 : Dead Load + Positive LL

f_s = 225.105 MPa , f_{os} = -150.973 MPa

$M_{w\text{-}ser} = \frac{t_w \cdot H_w^2}{12} | f_s - f_{os} |$ = 897.44 kN · m

$M_{tot\text{-}ser} = M_{w\text{-}ser} + V_{ser} \cdot e$ = 944.24 kN · m

$H_{w\text{-}ser} = \frac{t_w \cdot H_w}{2} (f_s + f_{os})$ = 687.1 kN

· Case2 : Dead Load + Negative LL

f_s = -140.195 MPa , f_{os} = 114.791 MPa

$M_{w\text{-}ser} = \frac{t_w \cdot H_w^2}{12} | f_s - f_{os} |$ = 608.48 kN · m

$M_{tot\text{-}ser} = M_{w\text{-}ser} + V_{ser} \cdot e$ = 655.28 kN · m

$H_{w\text{-}ser} = \frac{t_w \cdot H_w}{2} (f_s + f_{os})$ = -235.5 kN

3) 이음판 단면 검토

① 전단항복 검토

$A_{g\text{-}wp} = N_{ws} \cdot t_s \cdot H_s$ = 28495 mm^2

R_n = 0.60 $A_{g\text{-}wp} \cdot F_{ys}$ = 6496.957 kN

$R_r = \Phi_v \cdot R_n$ = 6496.957 kN > V_{uw} = 779.687 kN ... 0.K

여기서, N_{ws} = 2 ea (이음판의 단면수)

H_s = 1424.8 mm (이음판의 높이)

Φ_v = 1.00 (전단항복에 대한 강도저항계수)

② 이음판 파단 검토

$A_{vn} = N_{ws}(H_s - n \cdot d_{hole})t_s$ = 21495 mm^2

$R_r = \Phi_{bs} (0.58 \cdot F_u \cdot A_{vn})$ = 4675.255 kN > V_{uw} = 779.687 kN ... 0.K

여기서, A_{vn} : 전단력에 저항하는 단면의 순단면적 (mm^2)

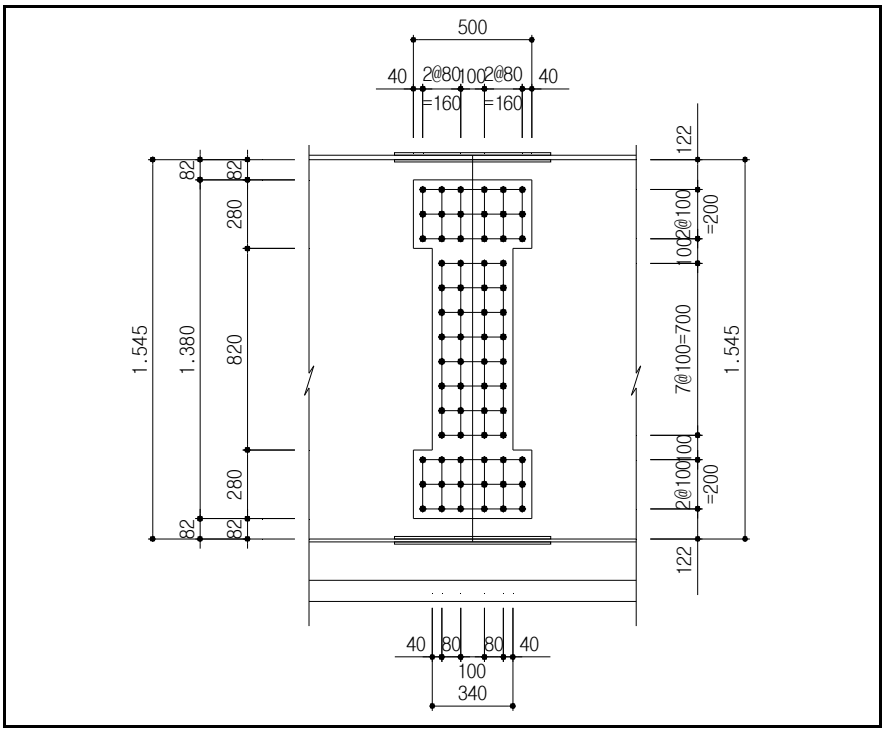
$A_{g\text{-}wp}$: 두께방향 축에 대한 이음판의 전단면적 (mm^2)

n = 14.0 ea (한 열에 배치되는 볼트의 개수)

d_{hole} = 25.0 mm (볼트구멍의 직경)

Φ_{bs} = 0.75 (전단파단에 대한 강도저항계수)

③ 블록 전단파괴강도 검토



$A_{vg} = L_{vg} \cdot t_{s-in} = (40 + (13 \cdot 100) \cdot 10$

$= 13400.00 \ mm^2$

$A_{vn} = L_{vn} \cdot t_{s-in} = (1340 - 25.0 \cdot 13.5) \cdot 10$

$= 10025.00 \ mm^2$

$A_{tg} = L_{tg} \cdot t_{s-in} = (40 + (2 \cdot 80)) \cdot 10$

$= 2000.00 \ mm^2$

$A_{tn} = L_{tn} \cdot t_{s-in} = (200 - 25.0 \cdot 2.5) \cdot 10$

$= 1375.00 \ mm^2$

$R_r = \Phi_{bs} \cdot [(0.58 \cdot F_u \cdot A_{vn} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{tn}) \leq (0.58 \cdot F_y \cdot A_{vg} + U_{bs} \cdot F_y \cdot A_{tn})]$

$= 2780.69 \ kN \geq V_{uw} = = 779.69 \ kN$ ... 0.K

여기서, A_{vg} : 전단력에 저항하는 단면의 전단면적 (mm^2)

A_{vn} : 전단력에 저항하는 단면의 순단면적 (mm^2)

A_{tg} : 인장력에 저항하는 단면의 전단면적 (mm^2)

A_{tn} : 인장력에 저항하는 단면의 순단면적 (mm^2)

Φ_{bs} = 0.80 (블록 전단에 대한 대한 강도저항계수)

④ 이음판 휨항복 검토

- M_{tot} 및 H_{uw} (강도한계상태)에 의한 복부 이음판 전단면의 휨항복 검토

· Case1 : Dead Load + Positive LL

$$f = \frac{M_{tot}}{S_{pl}} + \frac{H_{uw}}{A_{g-wp}} = 269.9 \ MPa < \Phi_f \cdot F_{ys} = 380.0 \ MPa$$ ... 0.K

여기서, S_{pl} = 6766577.9 mm^3 (복부중심에서 두께방향 축에 대한 이음판 단면계수)

Φ_f = 1.000

· Case2 : Dead Load + Negative LL

$$f = \frac{M_{tot}}{S_{pl}} + \frac{H_{uw}}{A_{g-wp}} = 199.3\ MPa < \Phi_f \cdot F_{ys} = 380.0\ MPa \quad \text{... O.K}$$

여기서, S_{pl} = 6766577.9 mm^3 (복부중심에서 두께방향 축에 대한 이음판 단면계수)

Φ_f = 1.000

⑤ 이음판 영구처짐 검토

- $M_{tot-ser}$ 및 H_{w-ser}(사용한계상태)에 의한 복부 이음판 전단면의 휨항복 검토

· Case1 : Dead Load + Positive LL

$$f = \frac{M_{tot-ser}}{S_{pl}} + \frac{H_{w-ser}}{A_{g-wp}} = 163.7\ MPa < 0.80\ F_{ys} = 304.0\ MPa \quad \text{... O.K}$$

· Case2 : Dead Load + Negative LL

$$f = \frac{M_{tot-ser}}{S_{pl}} + \frac{H_{w-ser}}{A_{g-wp}} = 88.6\ MPa < 0.80\ F_{ys} = 304.0\ MPa \quad \text{... O.K}$$

4) 연결볼트 검토

① 볼트 간격 검토

- 최소 간격검토

$S_{lim} = 3 \cdot d_{bolt}$ = 66.000 mm ≤ S_{min} = 80.000 mm ... O.K

- 최소 연단거리 검토

e_{min} = 40.000 mm ≥ e_{lim} = 38.000 mm ... O.K

- 최대 연단거리 검토

$e_{lim} = \min(12 \cdot t\ ,\ 150)$ = 120.000 mm ≥ e_{max} = 40.000 mm ... O.K

여기서, t : 외측판 또는 형강의 얇은 쪽 두께 (mm)

e_{lim} : 최소 연단거리 (mm)

② 전단강도 검토

$I_p = n \cdot m / 12 \cdot [\ S^2 (n^2 - 1) + g^2 (m^2 - 1)\ ]$ = 7004200 mm^2

$A_b = \pi \cdot d^2 / 4$ = 380 mm^2

$R_n = F_n \cdot A_b \cdot N_s$ = 395.338 kN

$R_r = \Phi_t \cdot R_n$ = 316.270 kN

- Case1 : Dead Load + Positive LL

· V_{uw}에 의한 볼트의 수직방향 전단력 :

$P_v = V_{uw} / N_b$ = 779.7 / 34.0 = 22.9 kN

· H_{uw}에 의한 볼트의 수평방향 전단력 :

$P_H = H_{uw} / N_b$ = 2001.5 / 34.0 = 58.9 kN

· M_{tot}에 의한 최외측 볼트의 수평 및 수직방향 전단력 :

$P_{MV} = M_{tot} \cdot X / I_p$ = 1350.850 x 97.059 / 7.004E+06 = 18.72 kN

$P_{MH} = M_{tot} \cdot Y / I_p$ = 1350.850 x 712.386 / 7.004E+06 = 137.39 kN

· 최외측 볼트의 작용력

$P_u = \sqrt{(P_V + P_{MV})^2 + (P_H + P_{MH})^2}$ = 200.63 kN < R_r = 316.270 kN ... O.K

- Case2 : Dead Load + Negative LL

· V_{uw}에 의한 볼트의 수직방향 전단력 :

$P_v = V_{uw} / N_b = 779.7 / 34.0 = 22.9$ kN

· H_{uw}에 의한 볼트의 수평방향 전단력 :

$P_H = H_{uw} / N_b = 581.4 / 34.0 = 17.1$ kN

· M_{tot}에 의한 최외측 볼트의 수평 및 수직방향 전단력 :

$P_{MV} = M_{tot} \cdot X / I_p = 1210.519 \times 97.059 / 7.004E+06 = 16.77$ kN

$P_{MH} = M_{tot} \cdot Y / I_p = 1210.519 \times 712.386 / 7.004E+06 = 123.12$ kN

· 최외측 볼트의 작용력

$P_u = \sqrt{(P_V + P_{MV})^2 + (P_H + P_{MH})^2} = 145.73$ kN $<$ $R_r = 316.270$ kN ... 0.K

여기서, N_b = 34 ea (이음판에 배치된 전체 볼트개수)

N_s = 2 면 (볼트 1개당 미끄러짐 단면수)

X = 97.1 mm (볼트군 도심에서 수평방향 최외측 볼트까지의 거리)

Y = 712.4 mm (볼트군 도심에서 수직방향 최외측 볼트까지의 거리)

Φ_t = 0.80 (전단력을 받는 고장력 볼트의 강도저항계수)

③ 마찰강도 검토

$R_n = \mu \cdot h_f \cdot T_0 \cdot N_s = 237.600$ kN

$R_r = \Phi \cdot R_n = 237.600$ kN

여기서, Φ = 1 (마찰강도 저항계수)

N_s = 2 (전단면의 수)

μ = 0.45 (미끄럼계수)

h_f = 1.00 (끼움재 계수)

T_0 = 264 kN (설계볼트장력)

- Case1 : Dead Load + Positive LL

· V_{ser}에 의한 볼트의 수직방향 전단력

$P_v = V_{ser} / N_b = 380.7 / 34.0 = 11.2$ kN

· H_w에 의한 볼트의 수평방향 전단력

$P_H = H_{w\text{-}ser} / N_b = 687.1 / 34.0 = 20.2$ kN

· M_{tot}에 의한 최외측 볼트의 수평 및 수직방향 전단력

$P_{MV} = M_{tot\text{-}ser} \cdot X / I_p = 944.243 \times 97.059 / 7.004E+06 = 13.08$ kN

$P_{MH} = M_{tot\text{-}ser} \cdot Y / I_p = 944.243 \times 712.386 / 7.004E+06 = 96.04$ kN

· 최외측 볼트의 작용력

$P_u = \sqrt{(P_V + P_{MV})^2 + (P_H + P_{MH})^2} = 118.76$ kN $<$ $R_r = 237.600$ kN ... 0.K

- Case2 : Dead Load + Negative LL

· V_{ser}에 의한 볼트의 수직방향 전단력

$P_v = V_{ser} / N_b = 380.7 / 34.0 = 11.2$ kN

· H_w에 의한 볼트의 수평방향 전단력

$P_H = H_{w\text{-}ser} / N_b = -235.5 / 34.0 = -6.9$ kN

· M_{tot}에 의한 최외측 볼트의 수평 및 수직방향 전단력

$P_{MV} = M_{tot\text{-}ser} \cdot X / I_p = 655.279 \times 97.059 / 7.004E+06 = 9.08$ kN

$P_{MH} = M_{tot\text{-}ser} \cdot Y / I_p = 655.279 \times 712.386 / 7.004E+06 = 66.65$ kN

· 최외측 볼트의 작용력

$P_u = \sqrt{(P_V + P_{MV})^2 + (P_H + P_{MH})^2}$ = 63.07 kN < R_r = 237.600 kN ... 0.K

여기서, N_b = 34 ea (이음판에 배치된 전체 볼트개수)

N_s = 2 면 (볼트 1개당 미끄러짐 단면수)

X = 97.1 mm (볼트군 도심에서 수평방향 최외측 볼트까지의 거리)

Y = 712.4 mm (볼트군 도심에서 수직방향 최외측 볼트까지의 거리)

④ 볼트구멍의 지압강도 검토

t_w = 12 mm < 2 · t_s = 20 mm ∴ 복부판에 대한 지압강도 검토

∴ t = 12 mm

L_{c1} = 50 − d_{hole} / 2 = 37.500 mm

L_{c2} = 100 − d_{hole} = 75.000 mm

∴ L_c = min(L_{c1}, L_{c2}) = 37.500 mm < 2 · d 44.000 mm 이므로

$R_n = 1.2 \cdot L_c \cdot t \cdot F_U$ = 270.000 kN

$R_r = \Phi_{bb} \cdot R_n$ = 216.000 kN > P_u = 200.630 kN ... 0.K

여기서, d_{hole} = 25.0 mm (볼트구멍의 직경)

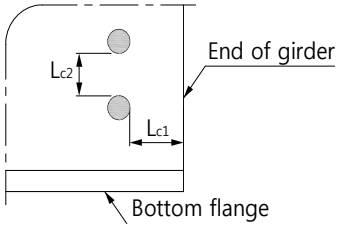
Φ_{bb} = 0.8 (볼트 지압력에 대한 강도저항계수)

d : 볼트의 공칭직경(mm)

L_{c1} : 최외측 볼트구멍의 순연단거리 (mm)

L_{c2} : 최외측 볼트구멍의 순간격 (mm)

F_u : 연결부재의 인장강도 (MPa)

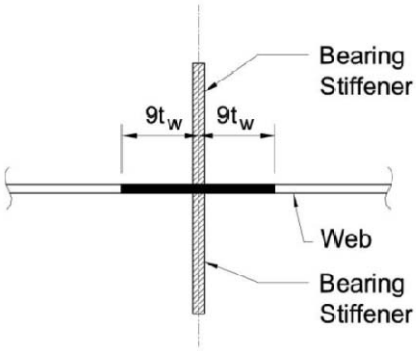


7. 보강재 설계

7.1 교대부 지점보강재 설계

(1) 단면제원

◎ 검토단면　　단면1



- 사용 강종 : HSB500 (F_y = 380 MPa, E = 205000 MPa)
- 보강재의 폭 : b_t = 200 mm　- 보강재의 설치간격 : d = 300 mm
- 보강재의 길이 : L = 1800 mm　- 보강재의 사용열수 : n = 2 Ea
- 보강재의 두께 : t_p = 20 mm　- Diaphragm의 두께 : t_d = 16 mm

(2) 구조해석 결과

- 격자해석에 의한 지점부 반력

Load	Reaction (unfactored)		극한 I 계수
DC1 : 합성전 고정하중	194	kN	1.25
DC2 : 합성후 고정하중	812	kN	1.25
DW : 포장하중	152	kN	1.50
LL : 활하중	786	kN	1.80
극한 I	2901	kN	

R_u = 2901 kN

(3) 부재검토

1) 돌출폭 제한

$b_t \le 0.48\ t_p \sqrt{(E/F_{ys})}$

b_t = 200 mm ≤ $0.48\ t_p \sqrt{(E/F_{ys})}$ = 223 mm　**O.K**

2) 지압강도 검토

$(R_{sb})_r = \Phi_b \cdot (R_{sb})_n$ = 1.0 × 7831040 = 7831040 N

여기서, Φ_b : 받침에 관한 저항계수 = 1.0

$(R_{sb})_n$: 지점보강재의 공칭 지압강도

① 공칭지압강도 산정

$(R_{sb})_n = 1.4 \cdot A_{pn} \cdot F_{ys}$ = 1.4 × 14720 × 380 = 7831040 N

여기서, A_{pn} : 용접부를 제외한 지점보강재의 단면적

A_{pn} = 2 × 2 × (200 - 16) × 20 = 14720 mm^2

∴ $(R_{sb})_r$ = 7831040 N ≥ R_u = 2900598.27 N　**O.K**

3) 압축강도 검토 (☞ 강.설.기 5.1)

$P_r = \Phi_c \cdot P_n$

여기서, Φ_c : 부재의 압축에 관한 저항계수 = 0.9

P_n : 부재의 공칭 압축강도(N)

① 공칭 압축강도 산정

$P_n = F_{cr} \cdot A_s$

F_{cr}은 다음과 같이 산정

$KL_{DK}/r \leq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e \leq 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

$KL_{DK}/r \geq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e > 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = 0.887 F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K L}{r_s}\right)^2} = \frac{\pi\text{^}2 \times 205000}{(0.75\times 1800/89)\text{^}2} = 8819 \text{ MPa}$$

여기서, $r_s = \sqrt{(I_s / A_s)}$

A_s : 지점보강재 면적(A_g)과 다이아프램 유효면적(A_d)의 합

I_s : 지점보강재의 단면 2차 모멘트(mm^4)

K : 유효좌굴길이 계수 = 0.75

$A_g = 2 \times 2 \times 200 \times 20 = 16000 \ mm^2$

$A_d = 2 \times (9 \times 16 + 300) \times 16 = 14208 \ mm^2$

$A_s = 16000 + 14208 = 30208 \ mm^2$

$I_s = 2 \times 20\ (200 + 16 + 200)\text{^}3/12 = 239970987 \ mm^4$

$r_s = \sqrt{(239970986.666667/30208)} = 89 \ mm$

$F_y/F_e = 0.04 \leq 2.25$ 이므로

$F_{cr} = (0.658\text{^}0.0) \times 380.000 = 373.208$ MPa

$P_n = F_{cr} \cdot A_s = 373.208 \times 30,208 = 11273867.3$ N

∴ $P_r = \Phi_c P_n = 0.9 \times 11273867.3 = 10146481$ N ≥ $R_u = 2900598$ N **O.K**

(4) 용접검토

용접각장(S) = 6 mm (목두께 a = 4.2 mm)

용접길이(L_w) = 1800 mm

용접개소(N) = 8 mm

$R_r = 0.6\ \Phi_{e2} \cdot F_{exx} \cdot A_w = 0.6 \times 0.8 \times 380 \times 60480 = 11031552$ MPa

여기서, Φ_{e2} : 받침에 관한 저항계수 = 0.8

F_{exx} : 용접금속의 분류강도 = 380.0 MPa

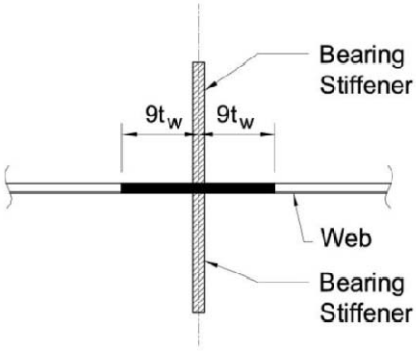
A_w : 필렛용접면적 = 60480 mm^2

∴ $R_r = 11031552$ N ≥ $R_u = 2900598$ N **O.K**

7.2 교각부 지점보강재 설계

(1) 단면제원

◎ 검토단면 단면3



- 사용 강종 : HSB500 (F_y = 380 MPa, E = 205000 MPa)
- 보강재의 폭 : b_t = 250 mm - 보강재의 설치간격 : d = 300 mm
- 보강재의 길이 : L = 1800 mm - 보강재의 사용열수 : n = 2 Ea
- 보강재의 두께 : t_p = 24 mm - Diaphragm의 두께 : t_d = 26 mm

(2) 구조해석 결과

- 격자해석에 의한 지점부 반력

Load	Reaction (unfactored)		극한 I 계수
DC1 : 합성전 고정하중	737	kN	1.25
DC2 : 합성후 고정하중	2677	kN	1.25
DW : 포장하중	535	kN	1.50
LL : 활하중	1215	kN	1.80
극한 I	7257	kN	

R_u = 7257 kN

(3) 부재검토

1) 돌출폭 제한

$b_t \le 0.48\ t_p \sqrt{(E/F_{ys})}$

b_t = 250 mm ≤ $0.48\ t_p \sqrt{(E/F_{ys})}$ = 268 mm **O.K**

2) 지압강도 검토

$(R_{sb})_r = \Phi_b \cdot (R_{sb})_n$ = 1.0 × 11440128 = 11440128 N

여기서, Φ_b : 받침에 관한 저항계수 = 1.0

$(R_{sb})_n$: 지점보강재의 공칭 지압강도

① 공칭지압강도 산정

$(R_{sb})_n = 1.4 \cdot A_{pn} \cdot F_{ys}$ = 1.4 × 21504 × 380 = 11440128 N

여기서, A_{pn} : 용접부를 제외한 지점보강재의 단면적

A_{pn} = 2 × 2 × (250 - 26) × 24 = 21504 mm^2

∴ $(R_{sb})_r$ = 11440128 N ≥ R_u = 7257258 N **O.K**

3) 압축강도 검토 (☞ 강.설.기 5.1)

$P_r = \Phi_c \cdot P_n$

여기서, Φ_c : 부재의 압축에 관한 저항계수 = 0.9

P_n : 부재의 공칭 압축강도(N)

① 공칭 압축강도 산정

$P_n = F_{cr} \cdot A_s$

F_{cr}은 다음과 같이 산정

$KL_{DK}/r \leq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e \leq 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

$KL_{DK}/r \geq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e > 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = 0.887 F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K L}{r_s}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 205000}{(0.75 \times 1800/106)^2} = 12484 \text{ MPa}$$

여기서, $r_s = \sqrt{(I_s / A_s)}$

A_s : 지점보강재 면적(A_g)과 다이아프램 유효면적(A_d)의 합

I_s : 지점보강재의 단면 2차 모멘트(mm^4)

K : 유효좌굴길이 계수 = 0.75

$A_g = 2 \times 2 \times 250 \times 24 = 24000 \ mm^2$

$A_d = 2 \times (9 \times 26 + 300) \times 26 = 27768 \ mm^2$

$A_s = 24000 + 27768 = 51768 \ mm^2$

$I_s = 2 \times 24 (250 + 26 + 250)^3/12 = 582126304 \ mm^4$

$r_s = \sqrt{(582126304/51768)} = 106 \ mm$

$F_y/F_e = 0.03 \leq 2.25$ 이므로

$F_{cr} = (0.658^{0.0}) \times 380.000 = 375.189$ MPa

$P_n = F_{cr} \cdot A_s = 375.189 \times 51,768 = 19422784.2$ N

∴ $P_r = \Phi_c P_n = 0.9 \times 19422784.2 = 17480506$ N ≥ R_u = 7257258 N **O.K**

(4) 용접검토

용접각장(S) = 6 mm (목두께 a = 4.2 mm)

용접길이(L_w) = 1800 mm

용접개소(N) = 8 mm

$R_r = 0.6 \Phi_{e2} \cdot F_{exx} \cdot A_w = 0.6 \times 0.8 \times 380 \times 60480 = 11031552$ MPa

여기서, Φ_{e2} : 받침에 관한 저항계수 = 0.8

F_{exx} : 용접금속의 분류강도 = 380.0 MPa

A_w : 필렛용접면적 = 60480 mm^2

∴ R_r = 11031552 N ≥ R_u = 7257258 N **O.K**

8. 브레이싱 설계

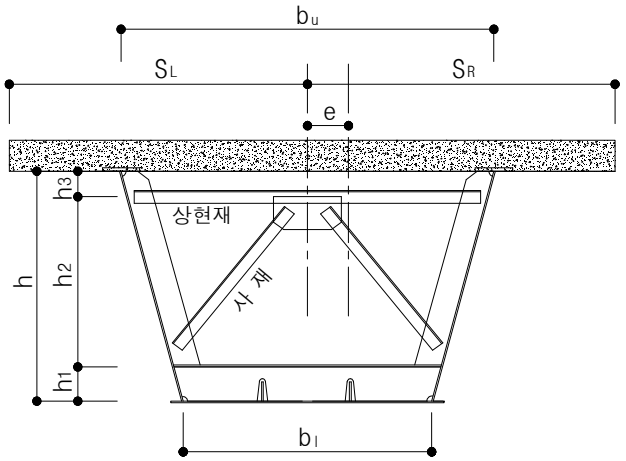
8.1 K-다이아프램

(1) 구조해석 결과

- 격자해석에 의한 강거더 단면력 (부재위치 : **1,J지점**)

Load	Moment (unfactored)		극한 I 계수
DC1-1 : 강재자중	677	kN·m	1.25
DC1-3 : 상부슬래브 하중	2079	kN·m	1.25
극한 I	3446	kN·m	

(2) 설계부재력 산정



S_T	=	290	mm
S_L	=	-3,724	mm
S_R	=	2,400	mm
b_u	=	2,400	mm
b_l	=	2,400	mm
h	=	1,800	mm
h_1	=	320	mm
h_2	=	1,280	mm
h_3	=	200	mm
e1	=	662	mm
e2	=	1,862	mm

$$D = \pm\frac{S_k \cdot L_{DK}}{2 \cdot A_0}\left(\frac{M}{R} - \frac{a}{b}e \cdot w\right) \qquad S = \pm\frac{S_k \cdot a}{4 \cdot A_0}\left(\frac{a}{b}e \cdot w - \frac{M}{R}\right)$$

여기서,

D	: K형-프레임 사재 뒤틀림 유발힘			
S	: K형-프레임 상현재 뒤틀림 유발힘			
S_K	: K형-프레임 간격 (거더 길이에 따라 측정)	=	5.000	m
L_{DK}	: K형-프레임 사재 길이	=	1.755	m
A_0	: 박스로 둘러싸인 면적, (a + b)/2 × h	=	4.320	m^2
a	: $a = b_l$	=	2.400	m
b	: $b = b_u$	=	2.400	m
e1	: 거더중심과 슬래브하중의 편심값(일괄타설)	=	0.662	m
e2	: 거더중심과 슬래브하중의 편심값(편측타설)	=	1.862	m
W_1	: 슬래브 분포하중(바닥판 일괄타설)	=	44.396	kN/m
W_2	: 슬래브 분포하중(바닥판 편측타설)	=	26.996	kN/m
M	: 거더에 작용하는 휨모멘트(극한상태I)	=	3,446	kN·m
R	: 거더의 수평 곡률반경	=	0.0	m

1) 바닥판 하중 : 콘크리트 단위중량 = 25.0 kN/m^3 , 두께(S_T) = 290 mm

W_1 = (3.724 + 2.400) × 0.290 × 25.000 ; 바닥판 일괄타설 = 44.396 kN/m

W_2 = (3.724) × 0.290 × 25.000 ; 바닥판 편측타설 = 26.996 kN/m

2) 바닥판 일괄타설시 부재력 산정

D_1 = {(5.000×1.755)/(2×4.320)}×{0.000-(2.400/2.400)×0.662×44.396} = -29.833 kN

S_1 = {(5.000×2.400)/(4×4.320)}×{(2.400/2.400)×0.662×44.396-0.000} = 20.404 kN

3) 바닥판 편측타설시 부재력 산정

D_2 = {(5.000×1.755)/(2×4.320)}×{0.000-(2.400/2.400)×1.862×26.996} = -51.033 kN

S_2 = {(5.000×2.400)/(4×4.320)}×{(2.400/2.400)×1.862×26.996-0.000} = 34.904 kN

4) 설계 부재력 산정

* 휨모멘트 = 1.25 x 강재자중 + 1.25 x 상부슬래브하중

부 재	길이방향 간격	사재길이	폐단면적	휨모멘트	바닥판 타설 Max(일괄타설,편측타설)		비 고
	S_K(m)	L_{DK}(m)	A_0(m^2)	M(kN/m)	D(kN)	S(kN)	
1,J지점	4.3	1.755	4.32	3445.5	± 43.89	± 30.02	
2,J지점	5.0	1.755	4.32	5866.8	± 51.03	± 34.90	
3,J지점	5.0	1.755	4.32	6585.4	± 51.03	± 34.90	
4,J지점	5.0	1.755	4.32	5601.6	± 51.03	± 34.90	
5,J지점	5.0	1.755	4.32	2923.7	± 51.03	± 34.90	
6,J지점	5.0	1.755	4.32	-1459.8	± 51.03	± 34.90	
7,J지점	5.0	1.755	4.32	-7558.2	± 51.03	± 34.90	
8,J지점	5.0	1.755	4.32	-15482.7	± 51.03	± 34.90	P1
9,J지점	5.0	1.755	4.32	-7834.2	± 51.03	± 34.90	
10,J지점	5.0	1.755	4.32	-2012.2	± 51.03	± 34.90	
11,J지점	5.0	1.755	4.32	2010.2	± 51.03	± 34.90	
12,J지점	5.0	1.755	4.32	4387.3	± 51.03	± 34.90	
13,J지점	5.0	1.755	4.32	5166.9	± 51.03	± 34.90	
14,J지점	5.0	1.755	4.32	4344.5	± 51.03	± 34.90	
15,J지점	5.0	1.755	4.32	1924.2	± 51.03	± 34.90	
16,J지점	5.0	1.755	4.32	-2144.1	± 51.03	± 34.90	
17,J지점	5.0	1.755	4.32	-7930.4	± 51.03	± 34.90	
18,J지점	5.0	1.755	4.32	-15538.4	± 51.03	± 34.90	P2
19,J지점	5.0	1.755	4.32	-7541.4	± 51.03	± 34.90	
20,J지점	5.0	1.755	4.32	-1378.8	± 51.03	± 34.90	
21,J지점	5.0	1.755	4.32	2988.8	± 51.03	± 34.90	
22,J지점	5.0	1.755	4.32	5653.1	± 51.03	± 34.90	
23,J지점	5.0	1.755	4.32	6623.3	± 51.03	± 34.90	
24,J지점	5.0	1.755	4.32	5891.0	± 51.03	± 34.90	
25,J지점	5.0	1.755	4.32	3455.9	± 51.03	± 34.90	

(* 상현재는 "수평브레이싱 검토" 에서 비틀림 및 복부경사로 인한 수평력을 합산하여 검토함.)

(3) 단면가정 (부재위치 : **1,J지점**)

구분	제원	단면적 (mm^2)	L_{DK} (mm)	y_c (mm)	r_x (mm)	강종
상현재	L- 100 x 100 x 10	1900	1200	28.2	30	SM400B
사재	L- 100 x 100 x 10	1900	1755	28.2	30	SM400B

- 상현재는 "수평브레이싱 검토" 에서 비틀림 및 복부경사로 인한 수평력을 합산하여 검토함.

(4) 부재 검토

1) 압축 부재 검토

① 압축부재의 세장비 검토 (부재위치 : **1,J지점**)

- 압축부재의 세장비는 다음을 만족해야 한다. (☞ 강.설.기 5.2)

$K \cdot L_{DK} / r \leq$ **140** (브레이싱)

- 단일 등변ㄱ형강 압축부재의 유효세장비는 다음과 같이 산정한다. (☞ 강.설.기 5.5)

$0 < L/r \leq 80$ 일때 $K \cdot L_{DK} / r = 72 + 0.75\ L / r$

$L/r > 80$ 일때 $K \cdot L_{DK} / r = 32 + 1.25\ L / r$

여기서, K = 0.75 : 유효좌굴길이계수(양단이 볼트로 연결)

L_{DK} = 1755 mm : 비지지길이 (mm)

r = 30 mm : 단면의 회전반경 (mm)

L/r = 1755 / 30 = 58 ≤ 80

$K \cdot L_{DK} / r$ = 72 + 0.75 × 1,754.5 / 30.4 = 115.3 ≤ 140.0 **∴ O.K**

② 설계압축강도 산정

- 부재의 설계압축강도 Pr은 다음과 같이 산정한다. (☞ 강.설.기 5.1)

$P_r = \Phi_c \cdot P_n$

여기서, P_n : 부재의 공칭 압축강도(N)

Φ_c : 부재의 압축에 관한 저항계수 = 0.9

- 폭-두께비 제한

$$\frac{b}{t} < \lambda_r = 0.45\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$ (등변 ㄱ 형강)

여기서, b : 규정되 판의 폭 (mm) = 100 mm

t : 판의 두께 (mm) = 10 mm

k : 판 좌굴계수 = 0.45

E : 탄성계수 (MPa) = 205000 MPa

F_y : 항복강도 (MPa) = 235 MPa

$$\frac{b}{t} = \frac{100}{10} = 10.000 \leq 0.45\sqrt{(205000/235)} = 13.291$$ (비세장판단면)

- 비세장판 단면을 가진 부재의 휨좌굴에 대한 압축강도 (☞ 강.설.기 5.3)

$P_n = F_{cr} \cdot A_g$

F_{cr}은 다음과 같이 산정

$KL_{DK}/r \leq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e \leq 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

$KL_{DK}/r \geq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e > 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = 0.887 F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K L}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \text{ X } (205000)}{115.3\text{^}2} = 152.23$$

$KL_{DK}/r = 115.29 \leq 4.71\sqrt{(E/F_y)} = 139.11$, $F_y/F_e = 1.54 \leq 2.25$ 이므로

F_{cr} = (0.658^1.5) x 235.000 = 123.157 MPa

$P_n = F_{cr} \cdot A_g$ = 123.157 x 1,900 = 233.9983 kN

∴ $P_r = \Phi_c P_n$ = 0.9 x 233.998 = 210.60 kN ≥ P_u = 43.889 kN ∴ O.K

③ 위치별 압축부재 검토

부 재	세장비 KL_{DK}/r (m)	허용 세장비	발생부재력	폭-두께비 검토		공칭압축강도	판정	비고
			P_u	b/t	판정	$\Phi_c P_n$		
1,J지점	115.3	140	-43.89	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
2,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
3,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
4,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
5,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
6,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
7,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
8,J지점								P1
9,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
10,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
11,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
12,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
13,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
14,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
15,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
16,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
17,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
18,J지점								P2
19,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	

③ 위치별 압축부재 검토(계속)

부 재	세장비 KL_{DK}/r (m)	허용 세장비	발생부재력	폭-두께비 검토		공칭압축강도	판정	비고
			P_u	b/t	판정	$\Phi_c P_n$		
20,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
21,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
22,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
23,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
24,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	
25,J지점	115.3	140	-51.03	10.0	비세장판단면	210.60	O.K	

2) 인장 부재 검토

① 인장부재의 세장비 검토 (부재위치 : **1,J지점**) (☞ 강.설.기 4.1)

- 인장부재의 세장비는 다음을 만족해야 한다.

$L_{DK} / r \leq$ **240** (브레이싱)

L/r = 1755 / 30 = 58 ≤ 240 **∴ O.K**

② 인장강도 산정

- 인장강도 P_r은 다음의 두 값 중에서 작은 값으로 한다. (☞ 강.설.기 4.3)

$P_r = \Phi_y \cdot P_{ny} = \Phi_y \cdot F_y \cdot A_g$

$P_r = \Phi_u \cdot P_{nu} = \Phi_u \cdot F_u \cdot A_n \cdot R_p \cdot U$

여기서,

P_{ny}	: 전단면의 항복에 대한 공칭인장강도 (N)			
F_y	: 항복강도 (MPa)	=	**235**	MPa
A_g	: 부재의 전단면적 (mm2)	=	1900	mm2
P_{nu}	: 순단면의 파단에 대한 공칭인장강도 (N)			
F_u	: 인장강도 (MPa)	=	**400**	MPa
A_n	: 부재의 순단면적 (mm2)	=	1425	mm2
R_p	: 홀천공을 고려하기 위한 감소계수	=	**1.00**	
U	: 전단지연을 고려하기 위한 감소계수	=	**1.00**	
Φ_y	: 인장부재의 항복에 대한 저항계수	=	**0.95**	
Φ_u	: 인장부재의 파단에 대한 저항계수	=	**0.80**	

- P_r = 0.950 x 235.0 x 1,900.0 = 424.175 kN
- P_r = 0.800 x 400.0 x 1,425.0 x 1.000 x 1.000 = 456.000 kN

∴ P_r = 424.175 kN ≥ P_u = 51.033 kN **∴ O.K**

③ 위치별 인장부재 검토

부 재	세장비	허용 세장비	발생부재력	공칭압축강도(kN)			판정	비고
	L_{DK}/r (m)		P_u	$\Phi_y \cdot P_{ny}$	$\Phi_u \cdot P_{nu}$	$\Phi_c P_n$		
1,J지점	57.7	240	43.89	424.175	456.000	424.175	O.K	
2,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
3,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
4,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
5,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
6,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
7,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
8,J지점								P1
9,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
10,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
11,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
12,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
13,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
14,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
15,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
16,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
17,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
18,J지점								P2
19,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
20,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
21,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
22,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
23,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
24,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	
25,J지점	57.7	240	51.03	424.175	456.000	424.175	O.K	

3) 용접검토

① 용접검토 (부재위치 : **1,J지점**)

용접각장(S) = 6 mm (목두께 a = 4.2 mm)

용접길이(L_w) = 300 mm

$R_r = 0.6\ \Phi_{e2} \cdot F_{ex\,x} \cdot A_w$ = 0.6 × 0.8 × 400 × 1273 = 244.376 kN

여기서, Φ_{e2} : 필릿용접의 저항계수 = 0.8 (모재Φ사용)

F_{exx} : 용접금속의 분류강도 = 400.0 MPa

A_w : 필렛용접면적 = 1273 mm^2

∴ R_r = 244.376 kN ≥ R_u = 51.033 kN **∴ O.K**

③ 위치별 용접검토

부 재	용접각장 (mm)	용접길이 (mm)	용접단면적 (mm^2)	발생부재력	용접강도	판정	비고
				R_u	R_r		
1,J지점	6.0	300	1273	43.889	244.376	O.K	
3,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
4,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
5,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
6,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
7,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
8,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
9,J지점							P1
10,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
11,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
12,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
13,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
14,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
15,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
16,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
17,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
18,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
19,J지점							P2
20,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
21,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
22,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
23,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	
24,J지점	6.0	300	1273	51.033	244.376	O.K	

8.2 수평브레이싱 설계

(1) 구조해석 결과

○ 격자해석에 의한 강거더 단면력 (단위 : kN·m)

부재	Moment (unfactored)		극한I	Torsion Moment (unfactored)		극한I
	DC1-1	DC1-3		DC1-1	DC1-3	
	1.25	1.25	합계	1.25	1.25	합계
1,J지점	677	2079	3446	-8	-14	-28
2,J지점	1202	3491	5867	0	3	4
3,J지점	1384	3884	6585	-1	4	5
4,J지점	1216	3265	5602	0	7	9
5,J지점	699	1640	2924	3	13	20
6,J지점	-169	-999	-1460	6	21	34
7,J지점	-1390	-4657	-7558	10	31	50
8,J지점	-3004	-9383	-15483	6	20	32
9,J지점	-1463	-4805	-7834	-10	-21	-39
10,J지점	-380	-1230	-2012	-3	1	-3
11,J지점	327	1281	2010	-6	-11	-21
12,J지점	735	2775	4387	-3	-4	-10
13,J지점	861	3273	5167	-1	4	4
14,J지점	704	2772	4344	1	9	12
15,J지점	265	1275	1924	4	17	26
16,J지점	-474	-1241	-2144	5	23	35
17,J지점	-1557	-4787	-7930	8	27	44
18,J지점	-3032	-9399	-15538	5	19	29
19,J지점	-1332	-4701	-7541	-11	-22	-41
20,J지점	-94	-1009	-1379	-5	-3	-10
21,J지점	761	1630	2989	-7	-9	-19
22,J지점	1265	3257	5653	-3	0	-4
23,J지점	1421	3878	6623	0	6	7
24,J지점	1226	3487	5891	1	9	12
25,J지점	688	2077	3456	0	10	13

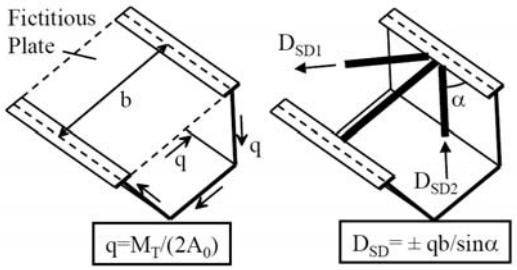
○ 극한 I 하중계수

구분	하중	극한 I 하중계수
DC1-1	강재자중	1.25
DC1-2	하부슬래브 하중	1.25
DC1-3	상부슬래브 하중	1.25

(2) 설계부재력 산정

Design Guidelines For Steel Trapezoidal Box Girder system(2007) 참고, Equivalent Plate Method(EPM)을 적용하여 부재력을 산정

1) 비틀림 모멘트에 의한 부재력 산정



$$F_{T\,Strut} = (D_{SD1} - D_{SD2})\sin\alpha$$

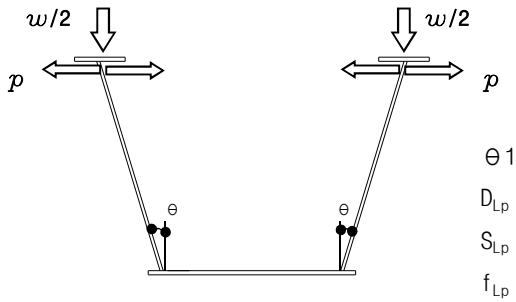
M_T = 비틀림 모멘트
A_0 = 폐합단면적
b = 상부플랜지 간격 (2400 mm)
α = 사재의 기울기 (43.8 °)
s = 수직재 간격 (2500 mm)

○ 위치별 비틀림에 의한 발생 부재력

부 재	T (kN·m)	A_0 (m^2)	s (m)	sin α	q (N/mm)	D_{SD} (kN)	F_{Tsirut} (kN)	비고
1,J지점	-27.9	4.320	2.150	48.1	-3.225	± 10.392	± 6.630	
2,J지점	3.7	4.320	2.500	43.8	0.430	± 1.491	± 0.224	
3,J지점	4.5	4.320	2.500	43.8	0.524	± 1.814	± 1.380	
4,J지점	9.5	4.320	2.500	43.8	1.099	± 3.807	± 2.906	
5,J지점	20.0	4.320	2.500	43.8	2.309	± 8.003	± 3.885	
6,J지점	33.9	4.320	2.500	43.8	3.928	± 13.613	± 4.527	
7,J지점	50.2	4.320	2.500	43.8	5.814	± 20.150	± 5.037	
8,J지점	32.1	4.320	2.500	43.8	3.716	± 12.877	± 1.873	P1
9,J지점	-38.8	4.320	2.500	43.8	-4.496	± 15.582	± 9.864	
10,J지점	-3.3	4.320	2.500	43.8	-0.386	± 1.338	± 4.901	
11,J지점	-21.0	4.320	2.500	43.8	-2.428	± 8.416	± 3.055	
12,J지점	-10.0	4.320	2.500	43.8	-1.155	± 4.004	± 1.656	
13,J지점	4.0	4.320	2.500	43.8	0.465	± 1.613	± 2.296	
14,J지점	12.3	4.320	2.500	43.8	1.422	± 4.928	± 3.831	
15,J지점	26.1	4.320	2.500	43.8	3.018	± 10.460	± 2.583	
16,J지점	35.4	4.320	2.500	43.8	4.095	± 14.190	± 2.496	
17,J지점	44.4	4.320	2.500	43.8	5.134	± 17.794	± 4.279	
18,J지점	29.0	4.320	2.500	43.8	3.351	± 11.614	± 3.292	P2
19,J지점	-40.8	4.320	2.500	43.8	-4.723	± 16.367	± 8.575	
20,J지점	-9.9	4.320	2.500	43.8	-1.150	± 3.985	± 2.625	
21,J지점	-19.4	4.320	2.500	43.8	-2.244	± 7.776	± 4.324	
22,J지점	-3.8	4.320	2.500	43.8	-0.442	± 1.532	± 0.852	
23,J지점	6.9	4.320	2.500	43.8	0.797	± 2.763	± 1.423	
24,J지점	12.0	4.320	2.500	43.8	1.390	± 4.818	± 0.294	
25,J지점	13.1	4.320	2.500	43.8	1.512	± 5.242	± 3.630	

2) 수평분력에 의한 부재력 산정

① 복부경사에 의한 수평분력 발생시



D_{Lp} = 0.00

S_{Lp} = p · s

$f_{Lp} = \dfrac{0.6 \cdot p \cdot s^2}{bf^2 \cdot tf}$

θ1 : 복부판의 기울기 (= 0.000°)

D_{Lp} : 사재의 축력 P : 수평분력

S_{Lp} : 수직재의 축력 s : 수잭재 간격

f_{Lp} : 상부플랜재 횡방향 휨응력 As : 강거더 단면적

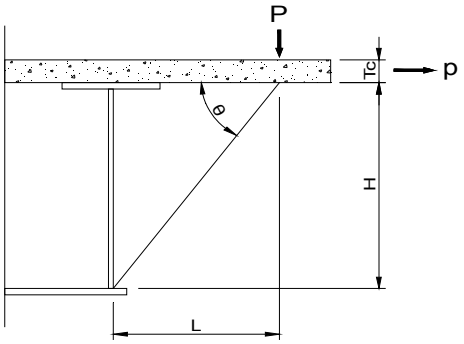
w = γ_c × Tcu × B3 + γ_s × As × 강재할증

= 25.0 kN/m³ × 0.245 m × 5.850 m + 78.5 kN/m³ × As m² × 1.3

p1 = w/2 tanθ1

② 캔틸레버부 바닥판 타설하중에 의한 수평분력(p2)

슬래브자중	= 0.245	× **1.125**	× 25	= 6.9	kN/m	
거푸집하중	= 0.400	× **1.125**		= 0.5	kN/m	
작업하중	= 3.750	× **1.125**		= 4.2	kN/m	
			합 계(P2 =	11.6	kN/m	



θ2 = $\tan^{-1}$(H/L) = 60.6 °

H = **2.000** m

L = **1.125** m

p2 = P2 / tanθ2 = 11.6 / 1.8 = 6.5 kN/m

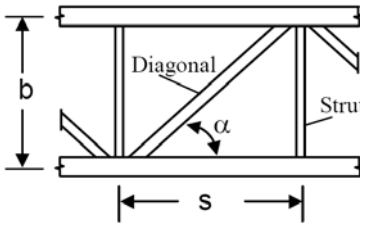
○ 위치별 수평분력에 의한 발생 부재력

부 재	As (㎡)	p1 (kN)	p2 (kN)	S_{Lp} (kN)	D_{Lp} (kN)	f_{Lp} (MPa)	비 고
1,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
2,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
3,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
4,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
5,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
6,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
7,J지점	0.123						(폐합)
8,J지점	0.123						P1
9,J지점	0.123						(폐합)
10,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
11,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
12,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
13,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
14,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
15,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
16,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
17,J지점	0.123						(폐합)
18,J지점	0.123						P2

○ 위치별 수평분력에 의한 발생 부재력(계속)

부 재	As (㎡)	p1 (kN)	p2 (kN)	S_{Lp} (kN)	D_{Lp} (kN)	f_{Lp} (MPa)	비 고
19,J지점	0.123						(폐합)
20,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
21,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
22,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
23,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
24,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	
25,J지점	0.084	0.000	6.502	16.255	0.000	8.47	

3) 주거더의 모멘트로 인한 부재력 산정



$$D_{bend} = \frac{f_{xTop} s \cos\alpha}{K_1}$$

$$K_1 = \frac{L_d}{A_d} + \frac{b}{A_s}\sin^2\alpha + \frac{s^3}{2b_f^3 t_f}\sin^2\alpha$$

$$S_{bend} = -D_{bend}\sin\alpha$$

$$f_{L\,bend} = \frac{1.5s}{b_f^2 t_f} S_{bend}$$

L_d = 사재길이 (3466 mm)

A_d = 사재 단면적 (1883 mm^2)

A_s = 수직재 단면적 (1900 mm^2)

f_{xTop} = 플랜지 응력

b_f = 플랜지 폭

t_f = 플랜지 두께

- 위치별 휨모멘트에 의한 발생 부재력

부 재	M (kN · m)	단면계수 Z (m3)	f_{xTop} (MPa)	b_f (m)	t_f (m)	k_1 (1/m)	D_{bend} (kN)	S_{bend} (kN)	f_{Lbend} (MPa)	비 고
1,J지점	7752.5	0.033	-232.6	0.400	0.018	4,934	-67.62	50.36	56.4	
2,J지점	13200.4	0.033	-396.0	0.400	0.018	5,699	-125.32	86.79	113.0	
3,J지점	14817.2	0.033	-444.5	0.400	0.018	5,699	-140.68	97.42	126.9	
4,J지점	12603.7	0.033	-378.1	0.400	0.018	5,699	-119.66	82.87	107.9	
5,J지점	6578.2	0.033	-197.3	0.400	0.018	5,699	-62.45	43.25	56.3	
6,J지점	-3284.6	0.033	98.5	0.400	0.018	5,699	31.18	-21.60	-28.1	
7,J지점	-17006.0	0.033	510.2	2.800	0.012					(폐합)
8,J지점	-34836.2	0.033	1045.1	2.800	0.012					P1
9,J지점	-17626.9	0.033	528.8	2.800	0.012					(폐합)
10,J지점	-4527.4	0.033	135.8	0.400	0.018	5,699	42.98	-29.77	-38.8	
11,J지점	4522.9	0.033	-135.7	0.400	0.018	5,699	-42.94	29.74	38.7	
12,J지점	9871.5	0.033	-296.1	0.400	0.018	5,699	-93.72	64.90	84.5	
13,J지점	11625.5	0.033	-348.8	0.400	0.018	5,699	-110.37	76.44	99.5	
14,J지점	9775.1	0.033	-293.3	0.400	0.018	5,699	-92.80	64.27	83.7	
15,J지점	4329.4	0.033	-129.9	0.400	0.018	5,699	-41.10	28.47	37.1	
16,J지점	-4824.1	0.033	144.7	0.400	0.018	5,699	45.80	-31.72	-41.3	
17,J지점	-17843.4	0.033	535.3	2.800	0.012					(폐합)
18,J지점	-34961.4	0.033	1048.8	2.800	0.012					P2
19,J지점	-16968.1	0.033	509.0	2.800	0.012					(폐합)
20,J지점	-3102.3	0.033	93.1	0.400	0.018	5,699	29.45	-20.40	-26.6	
21,J지점	6724.8	0.033	-201.7	0.400	0.018	5,699	-63.85	44.22	57.6	

- 위치별 휨모멘트에 의한 발생 부재력(계속)

부 재	M (kN · m)	단면계수 Z (m3)	f_{xTop} (MPa)	b_f (m)	t_f (m)	k_1 (1/m)	D_{bend} (kN)	S_{bend} (kN)	f_{Lbend} (MPa)	비 고
22,J지점	12719.5	0.033	-381.6	0.400	0.018	5,699	-120.76	83.63	108.9	
23,J지점	14902.4	0.033	-447.1	0.400	0.018	5,699	-141.48	97.98	127.6	
24,J지점	13254.7	0.033	-397.6	0.400	0.018	5,699	-125.84	87.15	113.5	
25,J지점	7775.7	0.033	-233.3	0.400	0.018	5,699	-73.82	51.12	66.6	

4) 부재력 집계 (P_u)

- 위치별 수평브레이싱 작용 부재력 (단위 : kN)

부 재	수평브레이싱 부재력(kN)				K-다이아 프램 상현재	비 고
	비틀림		모멘트			
	사재	수직재	사재	수직재		
1,J지점	± 10.392	± 6.630	-67.618	50.365	30.017	
2,J지점	± 1.491	± 0.224	-125.325	86.791	34.904	
3,J지점	± 1.814	± 1.380	-140.675	97.422	34.904	
4,J지점	± 3.807	± 2.906	-119.659	82.868	34.904	
5,J지점	± 8.003	± 3.885	-62.454	43.251	34.904	
6,J지점	± 13.613	± 4.527	31.185	-21.596	34.904	
7,J지점						(폐합)
8,J지점						P1
9,J지점						(폐합)
10,J지점	± 1.338	± 4.901	42.983	-29.767	34.904	
11,J지점	± 8.416	± 3.055	-42.941	29.738	34.904	
12,J지점	± 4.004	± 1.656	-93.720	64.904	34.904	
13,J지점	± 1.613	± 2.296	-110.373	76.437	34.904	
14,J지점	± 4.928	± 3.831	-92.805	64.270	34.904	
15,J지점	± 10.460	± 2.583	-41.104	28.466	34.904	
16,J지점	± 14.190	± 2.496	45.801	-31.718	34.904	
17,J지점						(폐합)
18,J지점						P2
19,J지점						(폐합)
20,J지점	± 3.985	± 2.625	29.453	-20.397	34.904	
21,J지점	± 7.776	± 4.324	-63.846	44.215	34.904	
22,J지점	± 1.532	± 0.852	-120.760	83.630	34.904	
23,J지점	± 2.763	± 1.423	-141.484	97.982	34.904	
24,J지점	± 4.818	± 0.294	-125.840	87.148	34.904	
25,J지점	± 5.242	± 3.630	-73.823	51.125	34.904	

- 위치별 조합 부재력 (단위 : kN)

부 재	수평브레이싱 조합 부재력(kN)						비 고
	사재		수직재(일반)		수직재(가로보부)		
	최소	최대	최소	최대	최소	최대	
1,J지점	-78.0106	-57.2262	43.7346	56.9946	56.8550	113.1153	
2,J지점	-126.8158	-123.8340	86.5674	87.0156	112.5376	158.4951	
3,J지점	-142.4898	-138.8608	96.0422	98.8021	124.8548	173.8175	
4,J지점	-123.4665	-115.8523	79.9623	85.7736	103.9510	156.8805	
5,J지점	-70.4568	-54.4513	39.3660	47.1368	51.1758	106.6527	
6,J지점	17.5712	44.7978	-26.1234	-17.0691	-33.9604	23.1850	
7,J지점							(폐합)
8,J지점							P1
9,J지점							(폐합)
10,J지점	41.6450	44.3216	-34.6686	-24.8660	-45.0692	13.0490	
11,J지점	-51.3564	-34.5250	26.6825	32.7930	34.6873	88.0058	
12,J지점	-97.7244	-89.7165	63.2484	66.5604	82.2229	131.9034	
13,J지점	-111.9858	-108.7604	74.1408	78.7330	96.3830	147.7277	
14,J지점	-97.7330	-87.8765	60.4391	68.1014	78.5709	133.9066	
15,J지점	-51.5641	-30.6436	25.8827	31.0487	33.6476	85.7381	
16,J지점	31.6105	59.9905	-34.2140	-29.2226	-44.4783	7.3854	
17,J지점							(폐합)
18,J지점							P2
19,J지점							(폐합)
20,J지점	25.4684	33.4384	-23.0228	-17.7721	-29.9296	22.2711	
21,J지점	-71.6216	-56.0697	39.8908	48.5395	51.8581	108.4761	
22,J지점	-122.2915	-119.2279	82.7774	84.4824	107.6107	155.2020	
23,J지점	-144.2467	-138.7212	96.5590	99.4053	125.5267	174.6017	
24,J지점	-130.6579	-121.0225	86.8548	87.4419	112.9112	159.0493	
25,J지점	-79.0647	-68.5814	47.4948	54.7548	61.7433	116.5560	

- 설계부재력

구분	설계부재력		비 고
	압축최대	인장최대	
사재	-144.247	59.991	
수직재(일반)	-34.669	99.405	
수직재(가로보부)	-45.069	174.602	

5) 발생 모멘트 산정 (단위:kN·m)

구분	P_u	y_c	$M_u(=P_u \times y_c)$
사재	144.247	0.028	4.010

(* 수직재, L형강의 휨모멘트는 고려하지 않음)

(3) 단면가정

구분	제원	단면적 (mm^2)	길이 (mm)	y_c (mm)	r_x (mm)	I_x (mm^4)	I_y (mm^4)	S_x (mm^3)	Z_x (mm^3)	J (mm^4)
사재	T-125 x 125 x 6 x 9	1883	3466	28	36	2480000	1470000	25542	56003	39051
수직재	L-100 x 100 x 10t	1900	1900	28	30	1750000	1750000		24400	

(4) 사재 응력검토 (T-125 x 125 x 6 x 9)

1) 압축 부재 검토

① 압축부재의 세장비 검토

- 압축부재의 세장비는 다음을 만족해야 한다. (☞ 강.설.기 5.2)

$K \cdot L_{DK} / r \leq 140$ (브레이싱)

여기서, $K = 0.75$: 유효좌굴길이계수(양단이 볼트로 연결)

$L_{DK} = 3466$ mm : 비지지길이 (mm)

$r = 36$ mm : 단면의 회전반경 (mm)

$K \cdot L_{DK} / r = 0.75 \times 3{,}465.5 / 36.3 = 71.60 \leq 140.0$ ∴ **O.K**

② 설계압축강도 산정

- 부재의 설계압축강도 Pr은 다음과 같이 산정한다. (☞ 강.설.기 5.1)

$Pr = \Phi c \cdot Pn$

여기서, Pn : 부재의 공칭 압축강도(N)

Φc : 부재의 압축에 관한 저항계수 = 0.9

- 폭-두께비 제한

$$\frac{d}{t} < \lambda_r = 0.75\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$ (T 형강)

여기서,

d	: T 형강의 stem	=	125	mm
t	: 판의 두께 (mm)	=	9	mm
k	: 판 좌굴계수	=	0.75	
E	: 탄성계수 (MPa)	=	205000	MPa
Fy	: 항복강도 (MPa)	=	235	MPa

$\frac{b}{t} = \frac{125}{9} = 13.889 \leq 0.75\sqrt{(205000/235)} = 22.152$ ∴ **O.K**

- 비세장판 단면을 가진 부재의 휨좌굴에 대한 압축강도 (☞ 강.설.기 5.3)

$P_n = F_{cr} \cdot A_g$

F_{cr}은 다음과 같이 산정

$KL_{DK}/r \leq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e \leq 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

$KL_{DK}/r \geq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e > 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = 0.887 F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K L}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times (205000)}{71.6^2} = 394.64$$

$KL_{DK}/r = 71.60 \leq 4.71\sqrt{(E/F_y)} = 139.11$, $F_y/F_e = 0.60 \leq 2.25$ 이므로

$F_{cr} = (0.658^{0.6}) \times 235.000 = 183.158$ MPa

$P_n = F_{cr} \cdot A_g = 183.158 \times 1{,}883 = 344.887$ kN

∴ $P_r = \Phi_c P_n = 0.9 \times 344.887 = 310.40$ kN ≥ $P_u = 144.247$ kN ∴ **O.K**

2) 인장 부재 검토

① 인장부재의 세장비는 다음을 만족해야 한다. (☞ 강.설.기 4.1)

$L_{DK} / r \leq$ **240** (브레이싱)

L_{DK} / r = 3466 / 36 = 95 ≤ 240 **∴ O.K**

② 인장강도 산정

인장강도 Pr은 다음의 두 값 중에서 작은 값으로 한다. (☞ 강.설.기 4.3)

$P_r = \Phi_y \cdot P_{ny} = \Phi_y \cdot F_y \cdot A_g$

$P_r = \Phi_u \cdot P_{nu} = \Phi_u \cdot F_u \cdot A_n \cdot R_p \cdot U$

여기서,

P_{ny}	: 전단면의 항복에 대한 공칭인장강도 (N)			
F_y	: 항복강도 (MPa)	=	**235**	MPa
A_g	: 부재의 전단면적 (mm2)	=	1883	mm2
P_{nu}	: 순단면의 파단에 대한 공칭인장강도 (N)			
F_u	: 인장강도 (MPa)	=	**400**	MPa
A_n	: 부재의 순단면적 (mm2)	=	1412	mm2
R_p	: 홀천공을 고려하기 위한 감소계수	=	**1.00**	
U	: 전단지연을 고려하기 위한 감소계수	=	**1.00**	
Φ_y	: 인장부재의 항복에 대한 저항계수	=	**0.95**	
Φ_u	: 인장부재의 파단에 대한 저항계수	=	**0.80**	

- P_r = 0.950 x 235.0 x 1,883.0 = 420.380 kN
- P_r = 0.800 x 400.0 x 1,412.3 x 1.000 x 1.000 = 451.920 kN

∴ P_r = 420.380 kN ≥ P_u = 144.247 kN **∴ O.K**

3) 용접검토

① 용접검토

용접각장(S) = 6 mm (목두께 a = 4.2 mm)

용접길이(L_w) = 300 mm

$R_r = 0.6 \Phi_{e2} \cdot F_{ex\,x} \cdot A_w$ = 0.6 × 0.8 × 400 × 1273 = 244.376 kN

여기서,

Φ_{e2}	: 필릿용접의 저항계수	=	0.8	(모재Φ사용)
F_{exx}	: 용접금속의 분류강도	=	400.0	MPa
A_w	: 필렛용접면적	=	1273	mm^2

∴ R_r = 244.376 kN ≥ R_u = 144.247 kN **∴ O.K**

4) 설계휨강도 산정

① 설계 휨강도 산정 (☞ 강.설.기 6.2.1.1.1)

$M_r = \Phi_f M_n$

여기서, Φ_f : 부재의 휨에 관한 저항계수 = 1.0

M_n : 공칭휨강도 - 항복강도, 횡비틀림좌굴강도, 플랜지국부좌굴강도중 최소값 사용

② 항복강도 (☞ 강.설.기 6.2.1.1.9-1)

$M_n = M_p = F_y Z_x$ = 235 x 56003 = 13.161 kN·m

$$f_{tip.stem} = \frac{P}{A_g} + \frac{M_{ux}}{S_x} = \frac{-144247}{1883} + \frac{4010057}{25542} = 80.394 \text{ MPa}$$ **(인장)**

(인장이므로) $M_p = 1.6M_y = 1.6F_yS_x$ = 9.604 kN·m

∴ M_n = 9.604 kN·m

③ 휨비틀림 좌굴강도 (☞ 강.설.기 6.2.1.1.9-4)

$$M_n = M_{cr} = \frac{\pi\sqrt{(EI_yGJ)}}{L_b}[B+\sqrt{(1+B^2)}]$$

여기서, B : $\pm 2.3\ (d/L_b)\sqrt{(I_y/J)}$ = 0.509

L_b : 횡지지 길이 (mm) = 3466 mm

I_y : y축에 대한 단면2차모멘트 (mm^4) = 1470000 mm^4

G : 강재의 전단탄성계수 (MPa) = 79000 MPa

J : 비틀림 상수 (mm^4) = 39051 mm^4

$$B = \pm 2.3 \frac{125}{3466}\sqrt{(1470000 / 39051)} = 0.509$$

$$M_n = \pi \sqrt{9.3E+20 / 3466} \times [0.509 + \sqrt{(1+0.259)}] = 45.083 \text{ kN·m}$$

④ 플랜지 국부좌굴 검토 (☞ 강.설.기 6.2.1.1.9-6)

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{125}{18} = 6.9$$

$\lambda_{pf} = 0.38\sqrt{(E/F_{yf})} = 0.38\sqrt{(205000 / 235)} = 11.2$

$\lambda_f < \lambda_{pf}$ 이므로 플랜지 국부 좌굴 검토 필요 없음

⑤ 공칭 휨강도 산정

M_n = 9.604 kN·m

∴ $M_r = \Phi_f \times M_n$ = 1.0 x 9.604 = 9.604 kN·m ≥ M_u = 4.010 kN·m **∴ O.K**

⑥ 축방향력과 휨을 동시에 받는 부재검토 (☞ 강.설.기 7.1.1-1)

$P_u / P_r \geq 0.2$ 인 경우 $P_u / P_r + 8/9 (M_{ux}/M_{rx} + M_{uy}/M_{ry}) \leq 1.0$

$P_u / P_r < 0.2$ 인 경우 $P_u / 2P_r + 1 (M_{ux}/M_{rx} + M_{uy}/M_{ry}) \leq 1.0$

P_u / P_r = 144.247 / 420.380 = 0.34 > 0.20 이므로

$P_u / P_r + 8/9 (M_{ux}/M_{rx} + M_{uy}/M_{ry})$

= 144.25 / 420.38 + 8/9 (4.010 / 9.604 + 0.000 / 0.000)

= 0.714 ≤ 1.0 **∴ O.K**

(5) 수직재 응력 검토 (L-100 x 100 x 10t)

1) 압축 부재 검토

① 압축부재의 세장비 검토

- 압축부재의 세장비는 다음을 만족해야 한다. (☞ 강.설.기 5.2)

$K \cdot L / r \leq 140$ (브레이싱)

- 단일 등변ㄱ형강 압축부재의 유효세장비는 다음과 같이 산정한다. (☞ 강.설.기 5.5)

$0 < L/r \leq 80$ 일때 $K \cdot L_{DK} / r = 72 + 0.75\, L / r$

$L/r > 80$ 일때 $K \cdot L_{DK} / r = 32 + 1.25\, L / r$

여기서, K = 0.75 : 유효좌굴길이계수(양단이 볼트로 연결)

L = 1900 mm : 비지지길이 (mm)

r = 30 mm : 단면의 회전반경 (mm)

$L/r = 1900 / 30 = 63 \leq 80$

$K \cdot L_{DK} / r = 72 + 0.75 \times 1{,}900.0 / 30.4 = 118.9 \leq 140.0$ ∴ O.K

② 설계압축강도 산정

- 부재의 설계압축강도 Pr은 다음과 같이 산정한다. (☞ 강.설.기 5.1)

$P_r = \Phi_c \cdot P_n$

여기서, P_n : 부재의 공칭 압축강도(N)

Φ_c : 부재의 압축에 관한 저항계수 = 0.9

- 폭-두께비 제한

$$\frac{b}{t} < \lambda_r = 0.45\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$ (등변 ㄱ 형강)

여기서,

b	: 규정되 판의 폭 (mm)	=	100	mm
t	: 판의 두께 (mm)	=	10	mm
k	: 판 좌굴계수	=	0.45	
E	: 탄성계수 (MPa)	=	205000	MPa
F_y	: 항복강도 (MPa)	=	235	MPa

$\frac{b}{t} = \frac{100}{10} = 10.000 \leq 0.45\sqrt{(205000/400)} = 13.291$ (비세장판단면)

- 비세장판 단면을 가진 부재의 휨좌굴에 대한 압축강도 (☞ 강.설.기 5.3)

$P_n = F_{cr} \cdot A_g$

F_{cr}은 다음과 같이 산정

$KL_{DK}/r \leq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e \leq 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y$

$KL_{DK}/r \geq 4.71\sqrt{(E/F_y)}$ or $F_y/F_e > 2.25$ 인 경우 $F_{cr} = 0.887 F_e$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{K L}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times (205000)}{118.9\text{^}2} = 143.18$$

KL_{DK}/r = 118.88 ≤ $4.71\sqrt{(E/F_y)}$ = 139.11 , F_y/F_e = 1.64 ≤ 2.25 이므로

F_{cr} = (0.658^1.6) x 235.000 = 118.229 MPa

P_n = F_{cr} · A_g = 118.229 x 1,900 = 224.635 kN

∴ P_r = $\Phi_c P_n$ = 0.9 x 224.635 = 202.17 kN ≥ P_u = 45.07 kN ∴ **O.K**

2) 인장 부재 검토

① 인장부재의 세장비 검토 (☞ 강.설.기 4.1)

- 인장부재의 세장비는 다음을 만족해야 한다.

L / r ≤ **240** (브레이싱)

L/r = 1900 / 30 = 63 ≤ 240 ∴ **O.K**

② 인장강도 산정

- 인장강도 P_r은 다음의 두 값 중에서 작은 값으로 한다. (☞ 강.설.기 4.3)

P_r = Φ_y · P_{ny} = Φ_y · F_y · A_g

P_r = Φ_u · P_{nu} = Φ_u · F_u · A_n · R_p · U

여기서,

P_{ny}	: 전단면의 항복에 대한 공칭인장강도 (N)			
F_y	: 항복강도 (MPa)	=	**235**	MPa
A_g	: 부재의 전단면적 (mm2)	=	1900	mm2
P_{nu}	: 순단면의 파단에 대한 공칭인장강도 (N)			
F_u	: 인장강도 (MPa)	=	**400**	MPa
A_n	: 부재의 순단면적 (mm2)	=	1425	mm2
R_p	: 홀천공을 고려하기 위한 감소계수	=	**1.00**	
U	: 전단지연을 고려하기 위한 감소계수	=	**1.00**	
Φ_y	: 인장부재의 항복에 대한 저항계수	=	**0.95**	
Φ_u	: 인장부재의 파단에 대한 저항계수	=	**0.80**	

- P_r = 0.950 x 235.0 x 1,900.0 = 424.175 kN

- P_r = 0.800 x 400.0 x 1,425.0 x 1.000 x 1.000 = 456.000 kN

∴ P_r = 424.175 kN ≥ P_u = 174.602 kN ∴ **O.K**

3) 용접검토

① 용접검토

용접각장(S) = 6 mm (목두께 a = 4.2 mm)

용접길이(L_w) = 300 mm

R_r = 0.6 Φ_{e2} · $F_{ex\,x}$. A_w = 0.6 × 0.8 × 400 × 1273 = 244.376 kN

여기서,

Φ_{e2}	: 필릿용접의 저항계수	=	0.8	(모재Φ사용)
F_{exx}	: 용접금속의 분류강도	=	400.0	MPa
A_w	: 필렛용접면적	=	1273	mm^2

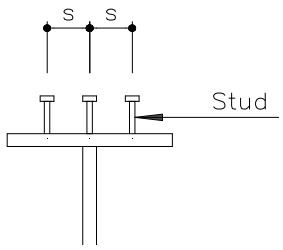
∴ R_r = 244.376 kN ≥ R_u = 174.602 kN ∴ **O.K**

9. 전단연결재 설계

9.1 상부바닥판 전단연결재

전단연결재의 설계 : 상부바닥판은 Stud로 합성이 되도록 한다.

(1) 형태 검토



s = 100 mm (s : stud 의 횡방향 최소간격)

d = 25 mm (d : stud 의 직경)

H = 150 mm (h : stud 의 전높이)

n = 6 본 사용

$\frac{H}{D}$ = 6.000 ≥ 4.0 ... 0.K

(2) 피치 검토

1) 전단연결재 피로저항강도

Z_{rcal} = α · d^2 = 3567.034 N < 38 · d^2 / 2 = 11875.000 N

∴ Z_{rcal} = 11875.000 N

여기서,

α = 238-29.5logN = -5.707

N = (365) · (100) · n · $(ADTT)_{SL}$ = 1.825E+08 (6.6.1.2(5)에 규정된 반복하중 수)

n = 1.0 (표6.6.4에서 선택한 트럭 한 대 통과시 발생하는 응력범위의 반복회수)

$(ADTT)_{SL}$ = 5000 (3.6.2.2에서 규정한 한차선당 ADTT(일평균 트럭교통량))

2) 피치 검토 (도로교 설계기준 한계상태 설계법 6.10.7.4 (1))

p_{use} = 450.000 < $\frac{n\ Z_r\ I}{V_{st}\ Q}$

절점	단면	$A_c/n(mm^2)$	$d_{vc}(mm)$	$Q_{vc}(mm^3)$	$I_v(mm^4)$	$V_{st}(kN)$	P_{req}	P_{use}	판정
1	1	390,030	218.080	8.51E+07	1.467E+11	242.969	506	150	0.K
2	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	196.811	600	250	0.K
3	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	190.729	600	250	0.K
4	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	197.141	600	450	0.K
5	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	199.177	600	450	0.K
6	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	201.353	600	450	0.K
7	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	206.543	600	450	0.K
8	3	213,514	393.238	8.40E+07	1.72E+11	227.495	600	450	0.K
9	3	213,514	393.238	8.40E+07	1.72E+11	273.564	534	450	0.K
10	3	213,514	393.238	8.40E+07	1.72E+11	221.656	600	450	0.K
11	5	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	209.315	599	450	0.K
12	5	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	204.368	600	450	0.K
13	5	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	201.469	600	450	0.K
14	5	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	200.780	600	450	0.K
15	5	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	200.979	600	450	0.K
16	5	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	203.877	600	450	0.K
17	5	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	208.699	600	450	0.K
18	3	213,514	393.238	8.40E+07	1.72E+11	232.259	600	450	0.K
19	3	213,514	393.238	8.40E+07	1.72E+11	270.295	540	450	0.K
20	3	213,514	393.238	8.40E+07	1.72E+11	220.016	600	450	0.K
21	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	208.015	600	450	0.K
22	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	203.114	600	450	0.K

23	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	200.483	600	450	0.K
24	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	196.264	600	450	0.K
25	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	187.018	600	450	0.K
26	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	202.446	600	250	0.K
27	1	390,030	218.080	8.51E+07	1.467E+11	243.601	504	150	0.K
28	1	392,860	216.790	8.52E+07	1.469E+11	243.189	505	150	0.K
29	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	202.316	600	250	0.K
30	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	186.680	600	250	0.K
31	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	195.954	600	450	0.K
32	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	200.076	600	450	0.K
33	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	202.336	600	450	0.K
34	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	207.611	600	450	0.K
35	3	213,514	393.238	8.40E+07	1.72E+11	221.137	600	450	0.K
36	3	213,514	393.238	8.40E+07	1.72E+11	271.588	538	450	0.K
37	3	213,514	393.238	8.40E+07	1.72E+11	229.819	600	450	0.K
38	5	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	207.974	600	450	0.K
39	5	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	204.388	600	450	0.K
40	5	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	200.994	600	450	0.K
41	5	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	200.592	600	450	0.K
42	5	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	201.145	600	450	0.K
43	5	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	203.676	600	450	0.K
44	5	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	208.856	600	450	0.K
45	3	213,514	393.238	8.40E+07	1.72E+11	222.635	600	450	0.K
46	3	213,514	393.238	8.40E+07	1.72E+11	275.060	531	450	0.K
47	3	213,514	393.238	8.40E+07	1.72E+11	225.126	600	450	0.K
48	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	205.843	600	450	0.K
49	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	201.972	600	450	0.K
50	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	199.347	600	450	0.K
51	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	197.106	600	450	0.K
52	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	190.617	600	450	0.K
53	1	213,514	328.976	7.02E+07	1.24E+11	196.779	600	250	0.K
54	1	392,860	216.790	8.52E+07	1.469E+11	243.825	504	150	0.K

- 전단연결재 피치는 600㎜를 초과해선 안되며, 직경의 6배 이상

6D = 150.000 ≤ p_{use} ≤ 600.000 ㎜ ... **0.K**

(3) 횡방향간격 검토

1) 전단연결재 횡방향 간격은 전단연결재 직경의 4배이상

S_{use} = 100 ≥ 4d = 100.000 ㎜ ... **0.K**

2) 상부플랜지 연단과 가장 인접한 전단연결재 간의 연단거리는 25㎜ 이상

$$\frac{b_{tf}-(N-1)\cdot S}{2} - \frac{d}{2} = 87.500 \geq 25.0 \text{ ㎜}$$ ... **0.K**

여기서, b_{tf} = 400 ㎜ (전단연결재가 접합된 플랜지의 폭)

N = 3 EA (횡방향 전단연결재 개수)

S = 100 ㎜ (전단연결재의 횡방향 간격)

D = 25 ㎜ (전단연결재 지름)

(4) 극한한계상태 검토

1) 전단연결재 공칭전단강도

$Q_{ncal} = 0.5A_{sc} \cdot \sqrt{(f_{ck} E_c)}$ = 208.397 kN

$Q_{nlim} = A_{sc} \cdot F_u$ = 196.350 kN

$\therefore \quad Q_n = \min(Q_{ncal}, Qn_{lim})$ = 196.350 kN

$Q_r = \Phi_{se} \cdot Q_n$ = 166.897 kN

여기서, f_{ck} = 27 MPa (콘크리트 28일 압축강도)

E_c = 26702 MPa (슬래브 탄성계수)

A_{sc} = 491 mm^2 (전단연결재 면적)

F_u = 400 MPa (전단연결재 인장강도)

Φ_{se} = 0.85 (6.5.4.2에 규정된 전단연결재에 대한 저항계수)

2) 소요 전단연결재(정모멘트 구간)

- 공칭수평전단력

$V_{h01} = 0.85f_{ck} \cdot b \cdot t_s$ = 34301.070 kN

$V_{h02} = F_{yw} \cdot D \cdot t_w + F_{yt} \cdot b_t \cdot t_t + F_{yc} \cdot b_c \cdot t_c$ = 27816.000 kN

$\therefore \quad V_h = \min(V_{h01}, V_{h02})$ = 27816.000 kN

여기서, b = 6228 mm (바닥판 유효폭)

t_s = 240 mm (바닥판 두께)

b_c = 400 mm (압축플랜지 폭)

t_c = 12 mm (압축플랜지 두께)

b_t = 2600 mm (인장플랜지 폭)

t_t = 18 mm (인장플랜지 두께)

F_{yw} = 380 MPa (복부판 항복강도)

F_{yt} = 380 MPa (인장플랜지 항복강도)

F_{yc} = 380 MPa (압축플랜지 항복강도)

D = 1800 mm (복부판 높이)

t_w = 12 mm (복부판 두께)

- 정모멘트 구간에서 소요 전단연결재 개수

$n_{req} = V_h/Q_r$ = 167 EA ≤ n_{ues} = 391 EA ... 0.K

3) 공칭수평전단력 계산(부모멘트 구간)

- 공칭수평전단력

$V_h = A_r \cdot F_{yr}$ = 11418.744 kN

여기서, A_r = 28547 mm^2 (바닥판 유효폭 내 내부지점 위의 축방향 철근의 총단면적)

F_{yr} = 400 MPa (축방향 철근의 항복강도)

- 부모멘트 구간에서 소요 전단연결재 개수

$n_{req} = V_h/Q_r$ = 69 EA ≤ n_{ues} = 400 EA ... 0.K

10. 사용성 검토

10.1 피로검토

※ 피로검토는 "6.주형의 단면검토"에서 검토하였음.

10.2 처짐량 검토

(1) 위치별 활하중 처짐량

절점	처짐량	비고
1	0.00	A1
2	-7.67	
3	-14.93	
4	-19.50	
5	-20.73	
6	-18.67	
7	-13.75	
8	-6.86	
9	0.00	P1
10	-8.73	
11	-18.32	
12	-26.88	
13	-32.69	
14	-34.63	
15	-32.53	
16	-26.59	
17	-17.98	
18	-8.43	
19	0.00	P2
20	-6.99	
21	-13.95	
22	-18.93	
23	-20.97	
24	-19.70	
25	-15.07	
26	-7.74	
27	0.00	A2

절점	처짐량	비고
28	0.00	A1
29	-7.70	
30	-14.99	
31	-19.57	
32	-20.80	
33	-18.74	
34	-13.79	
35	-6.88	
36	0.00	P1
37	-8.75	
38	-18.36	
39	-26.94	
40	-32.77	
41	-34.72	
42	-32.61	
43	-26.66	
44	-18.02	
45	-8.45	
46	0.00	P2
47	-7.01	
48	-13.99	
49	-18.99	
50	-21.04	
51	-19.77	
52	-15.12	
53	-7.77	
54	0.00	A2

(2) 경간별 최대처짐량

구 분	1경간중앙	2경간중앙	3경간중앙
G1	-20.73	-34.63	-20.97
G2	-20.80	-34.72	-21.04

(3) 처짐량 검토 (☞ 도.설.한 5.8.4.1)

구 분	1경간	2경간	3경간
지간길이	40000.00 mm	50000.00 mm	40000.00 mm
허용처짐량	40000/800 50.00 mm	50000/800 62.50 mm	40000/800 50.00 mm
최대처짐량	-20.80	-34.72	-21.04
판정	O.K	O.K	O.K

- 허용처짐량 : L / 800 (사용하중과 충격에 의한 처짐 제한)

11. 솟음(CAMBER)

< Girder 1 >

(단위 : mm)

절점 번호	누가 거리 (M)	합성전 고정하중		합성후 고정 하중	종곡선 보정량	편경사 보정량	솟음량				비고
		강재자중	바닥판 타설				공장 제작시	현장 거치시	바닥판 타설완료	2차 고정하중 재하시	
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) : (1)~(5)	(7) : (6)-(1)	(8) : (7)-(2)	(9) : (8)-(3)	
1	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	A1
2	4.30	6.1	16.9	4.4	0.0	0.0	27.4	21.3	4.4	0.0	
3	9.30	11.3	30.9	8.1	0.0	0.0	50.3	39.0	8.1	0.0	
4	14.30	13.9	37.0	9.9	0.0	0.0	60.8	46.9	9.9	0.0	
5	19.30	13.4	34.9	9.4	0.0	0.0	57.7	44.3	9.4	0.0	
6	24.30	10.4	25.7	7.1	0.0	0.0	43.2	32.8	7.1	0.0	
7	29.30	5.9	13.2	3.7	0.0	0.0	22.8	16.9	3.7	0.0	
8	34.30	1.8	2.7	0.6	0.0	0.0	5.1	3.3	0.6	0.0	
9	39.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	P1
10	44.30	1.5	7.6	2.8	0.0	0.0	11.9	10.4	2.8	0.0	
11	49.30	4.8	21.4	7.6	0.0	0.0	33.8	29.0	7.6	0.0	
12	54.30	8.8	37.3	12.6	0.0	0.0	58.8	50.0	12.6	0.0	
13	59.30	11.9	49.7	16.4	0.0	0.0	78.0	66.1	16.4	0.0	
14	64.30	13.0	54.2	17.7	0.0	0.0	84.8	71.9	17.7	0.0	
15	69.30	11.5	49.2	16.3	0.0	0.0	76.9	65.4	16.3	0.0	
16	74.30	8.1	36.3	12.4	0.0	0.0	56.7	48.6	12.4	0.0	
17	79.30	3.9	19.9	7.2	0.0	0.0	31.0	27.1	7.2	0.0	
18	84.30	0.6	5.9	2.4	0.0	0.0	8.9	8.3	2.4	0.0	
19	89.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	P2
20	94.30	2.7	4.4	1.0	0.0	0.0	8.1	5.5	1.0	0.0	
21	99.30	7.1	14.9	4.1	0.0	0.0	26.1	19.0	4.1	0.0	
22	104.30	11.6	27.1	7.4	0.0	0.0	46.1	34.5	7.4	0.0	
23	109.30	14.5	35.9	9.7	0.0	0.0	60.2	45.6	9.7	0.0	
24	114.30	14.8	37.8	10.1	0.0	0.0	62.6	47.9	10.1	0.0	
25	119.30	12.0	31.4	8.2	0.0	0.0	51.6	39.6	8.2	0.0	
26	124.30	6.4	17.1	4.4	0.0	0.0	27.9	21.5	4.4	0.0	
27	128.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	A2

절 곡 강 판 강 합 성 박 스 거 더 교

설 계 도

2017. 07.

도 면 목 차

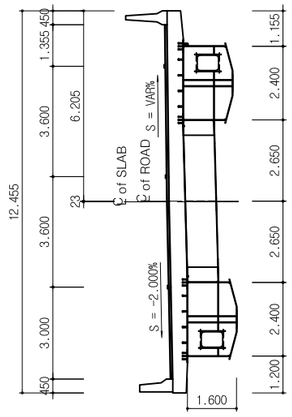
도 면 명	매 수	도 면 번 호	비고
절곡강판 강합성 박스거더교			
SINGLE BENDING			
강상형 일반도	3		
강상형 상세도	5		
강상형 단면도	2		
수평브레이싱 상세도	1		
현장이음 상세도	1		
DOUBLE BENDING			
강상형 일반도	3		
강상형 상세도	5		
강상형 단면도	2		
수평브레이싱 상세도	1		
현장이음 상세도	1		
합 계	24		

SINGLE BENDING

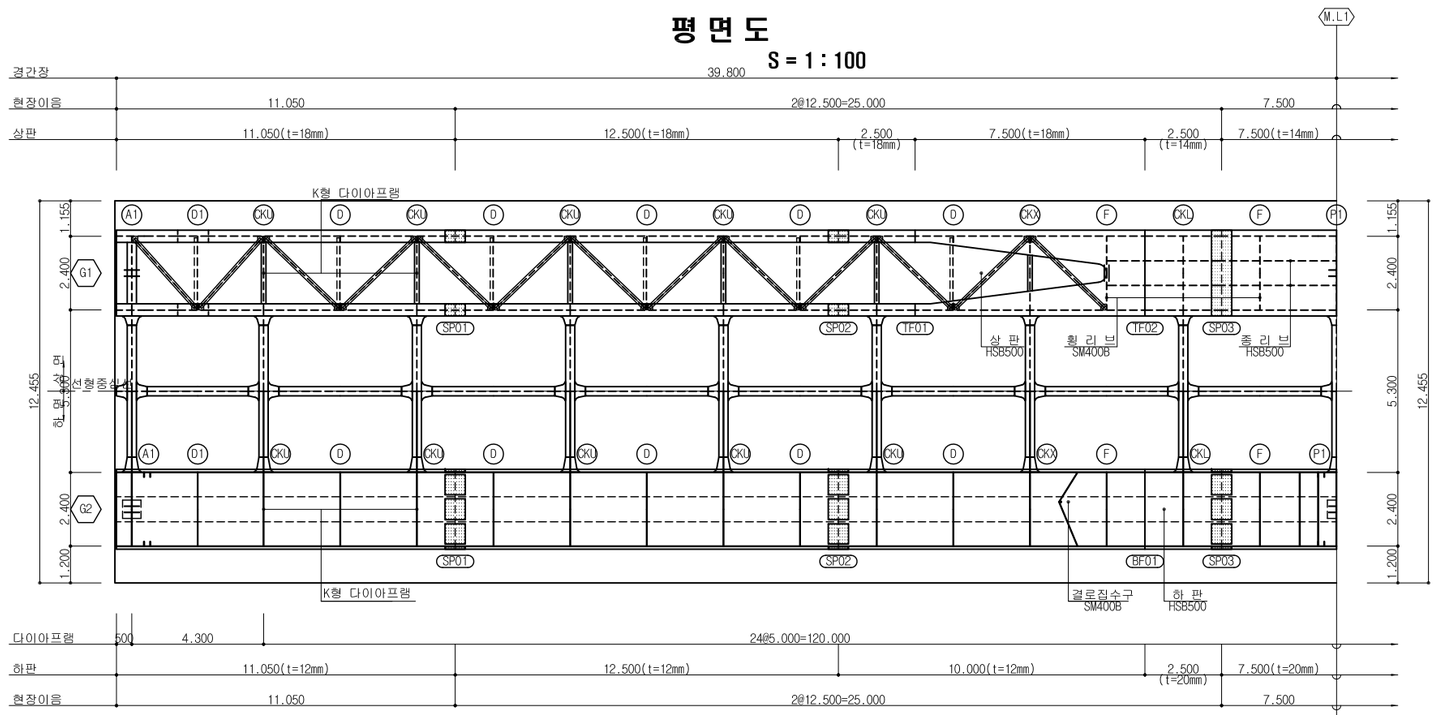
강상형 일반도(1)

(SIngle Bending)

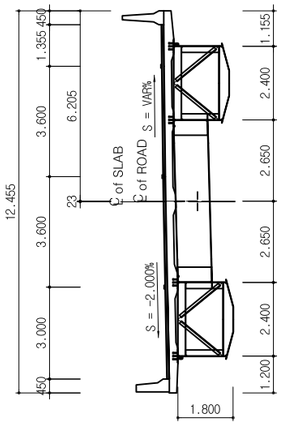
횡 단 면 도
S = 1 : 100



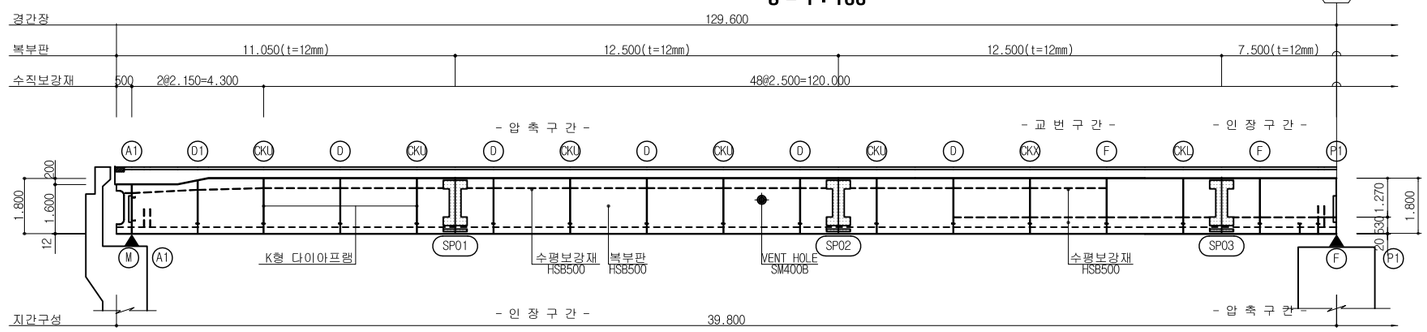
평 면 도
S = 1 : 100



횡 단 면 도
S = 1 : 100



측 면 도
S = 1 : 100

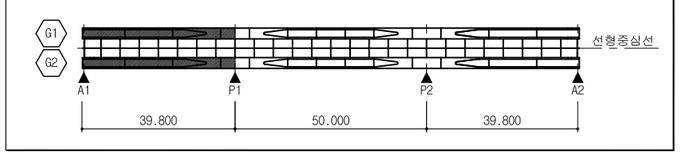


범 례
- M.L : Match Line
- TF : 공장이음(상판)
- BF : 공장이음(하판)
- WF : 공장이음(복부판)
- SP : 현장이음

노트 사항

1. BOX GIRDER 제작시 평면선형도와 종단경사를 참조하여 제작하여야 한다
2. SOLE PLATE 제작시 GIRDER의 종단경사를 고려하여 제작하여야 한다
3. 신축이음장치 설치부의 단면은 강상형 제작전에 공급업체로부터 관련제원을 확인하여 감독원(감리원)의 승인하에 변경할 수 있다
4. 각 용접부의 용접 검사는 KSB-0845, KSB-0816를 만족하는 용접이 될 수 있도록 한다
5. 주부재(HSB500)와 부부재(SM400B)를 용접하는 곳은 고강도용접을 하여야 한다
6. 부재의 조립후에 도장면이 되거나 외부에 자유단이 되는 절단면의 각은 반경 1mm 이상의 둥근형의 모서리 갈기를 하고, 기타 자유단은 반경 0.5mm이상의 둥근면으로 갈거나 또는 0.5mm 정도의 모따기를 한다
7. 주부재의 홈용접과 필릿용접의 양단에는 반드시 엔드탭을 설치하여야 한다
8. 강교 운송중 손상의 우려가 있는 곳은 목재 혹은 앵글등으로 견고하게 포장하여 부재가 파손되지 않도록 유의 하여야 한다
9. 강교 운반시 운반 대차의 구조및 싣기방법에 유의하고, 운반도중손상이 가지않도록 하여야 한다
10. 단면도의 치수중 높이는 상판 하면과 하판 상면 기준임
11. 모든 시험, 측정설비 및 장비는 공인기관의 교정검사를 필하여야하며 교정검사 필증은 설비, 장비에 부착하고 성적서를 감독원에게 제출하여야 한다
12. 모든 치수는 mm단위이며, 15°C 기준이므로 강재 제작시 온도보정을 행하여야한다
13. 볼트 접합되는 현장 이음부 접촉면의 경우 녹이나 흠피는 블러스팅등으로 제거하여야하며 전처리 도료나 녹막이 도료를 도장하지 않아야 한다
14. SHOP DRAWING 승인시 설계도상의 치수와 SHOP DRAWING 상의 치수를 반드시 확인 대조하고 용접이음의 형식에 대해서도 검토하여야 한다
15. 가설 방법에 따라 마지막 작업에서 부재 폐합 오차가 발생할 수 있으므로 가설 계획시 충분히 검토하여야 한다
16. 지점 및 단부 DIAPHRAGM은 증경사의 영향을 고려하여 중력방향으로 설치하여야 한다
17. 수직보강재의 부착방법
    1) 지점부와 같은 집중하중을 받는 위치에 설치되는 수직보강재는 완전용입홈용접으로 양쪽 플랜지에 접합시킨다
    2) 다이아프램이나 수직브레이싱 등의 거셋트판으로도 사용되는 중간수직보강재는 양쪽 플랜지에 볼트나 용접으로 접합시킨다
    3) 수직보강재 용접단부와 인장플랜지 용접단부와는 복부판 두께의 4배 이상 6배 이하의 간격을 띄워야 한다
    4) 바닥판과 접하는 인장플랜지에는 수직보강재를 용접으로 접합시킨다
18. 강재 운반 및 설치시 필요한 LIFTING LUG는 강교 제작자가 위치 및 크기를 결정하여 제작시 반영해야 한다
    단, 바닥판 시공방법이 프리케스트 패널공법을 적용할 경우에는 패널 거치가 가능하도록 LIFTING LUG의 위치를 플랜지 끝단에서 LIFTING LUG의 끝단까지 150mm가 떨어진 곳에 위치하여 제작하여야 한다
19. 강교 가설시 하중의 불균형, 전도, 선회 등에 특히 주의하여야 한다
20. 강교 공작도 작성은 공사기본도, 공사시방서 에 언급된 내용에 준하여 수행하되 불일치 사항이나 명확하게 정의를 내려야할 사항들은 공작도 작성중에 발주처와 협의 및 승인과정을 거쳐 확정 및 제작시 반영되어야 한다

요약도



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발

NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
⚠				
⚠				
⚠				
⚠				

PROJECT: 절곡 강박스거더교 도면

TITLE: 강상형 일반도(1) (Single Bending)

DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	

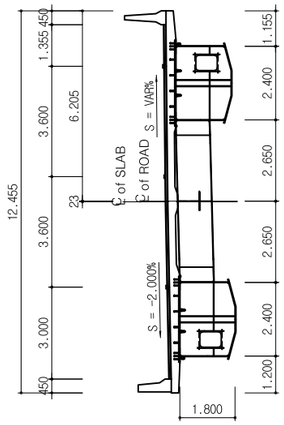
SCALE	1:100
DATE	2017.02.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

강상형 일반도(2)

(SIngle Bending)

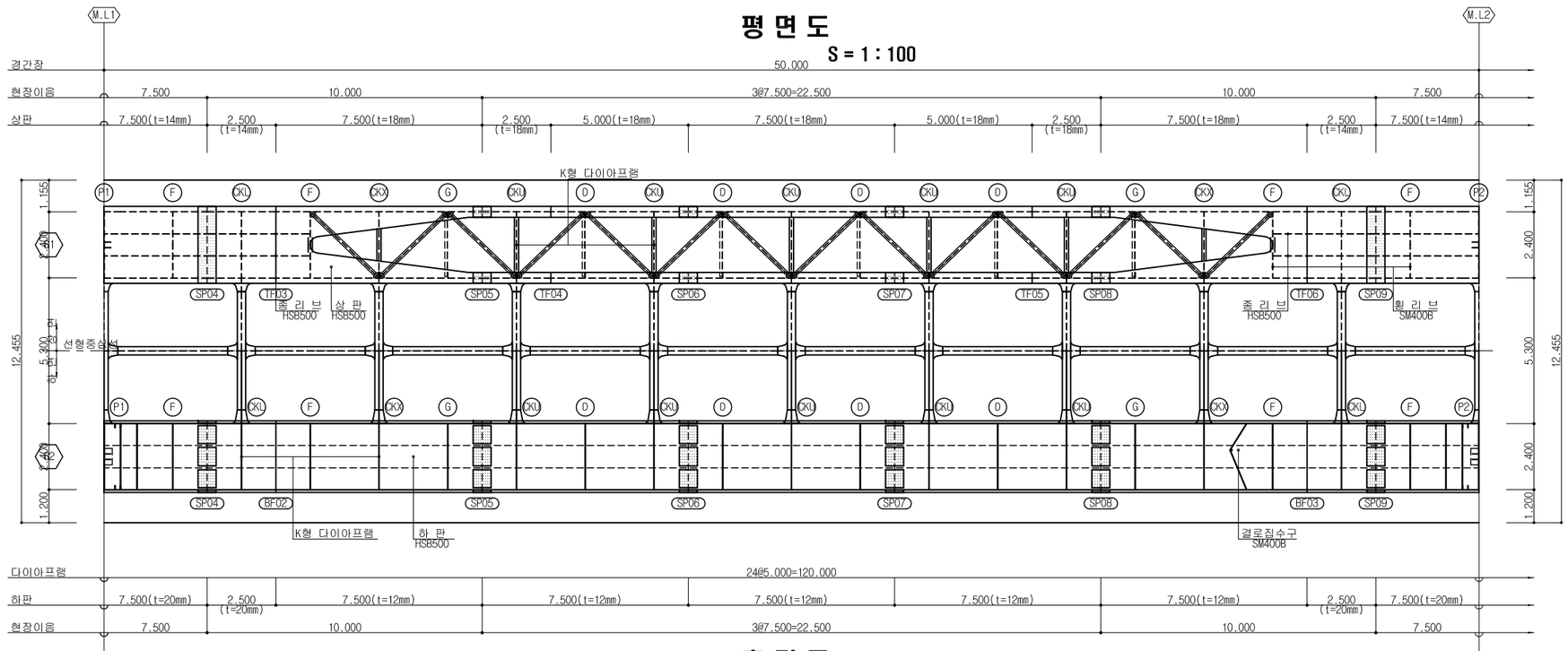
횡 단 면 도

S = 1 : 100



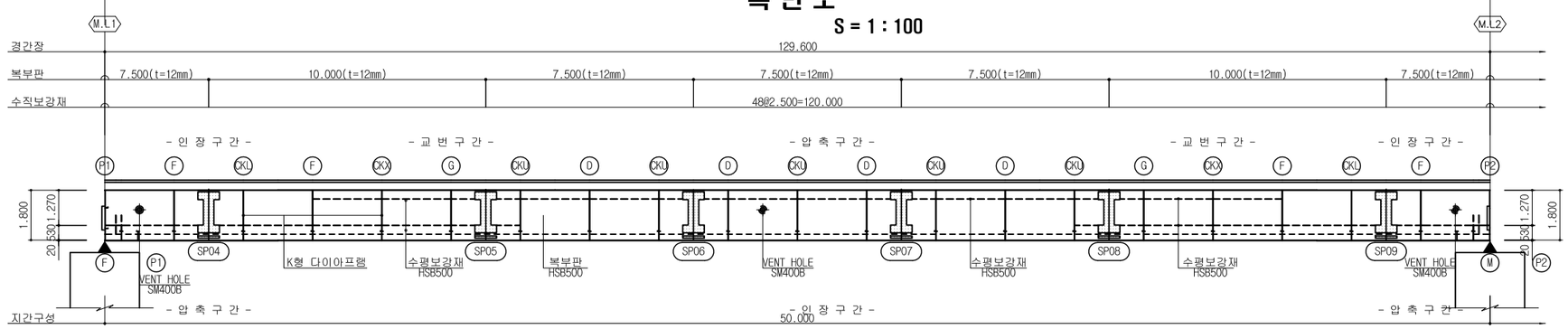
평 면 도

S = 1 : 100



측 면 도

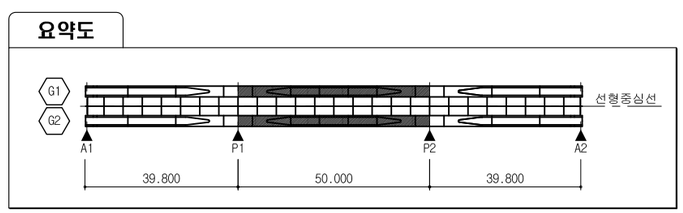
S = 1 : 100



범 례

M.L	: Match Line
TF	: 공장이음(상판)
BF	: 공장이음(하판)
WF	: 공장이음(복부판)
SP	: 현장이음

요약도



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발

NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
⚠				
⚠				
⚠				
⚠				

PROJECT: 절곡 강박스거더교 도면

TITLE: 강상형 일반도(2) (Single Bending)

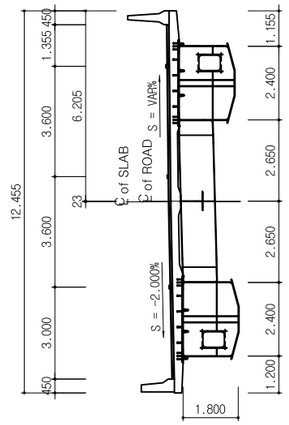
DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	

SCALE	1:100
DATE	2017.02.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

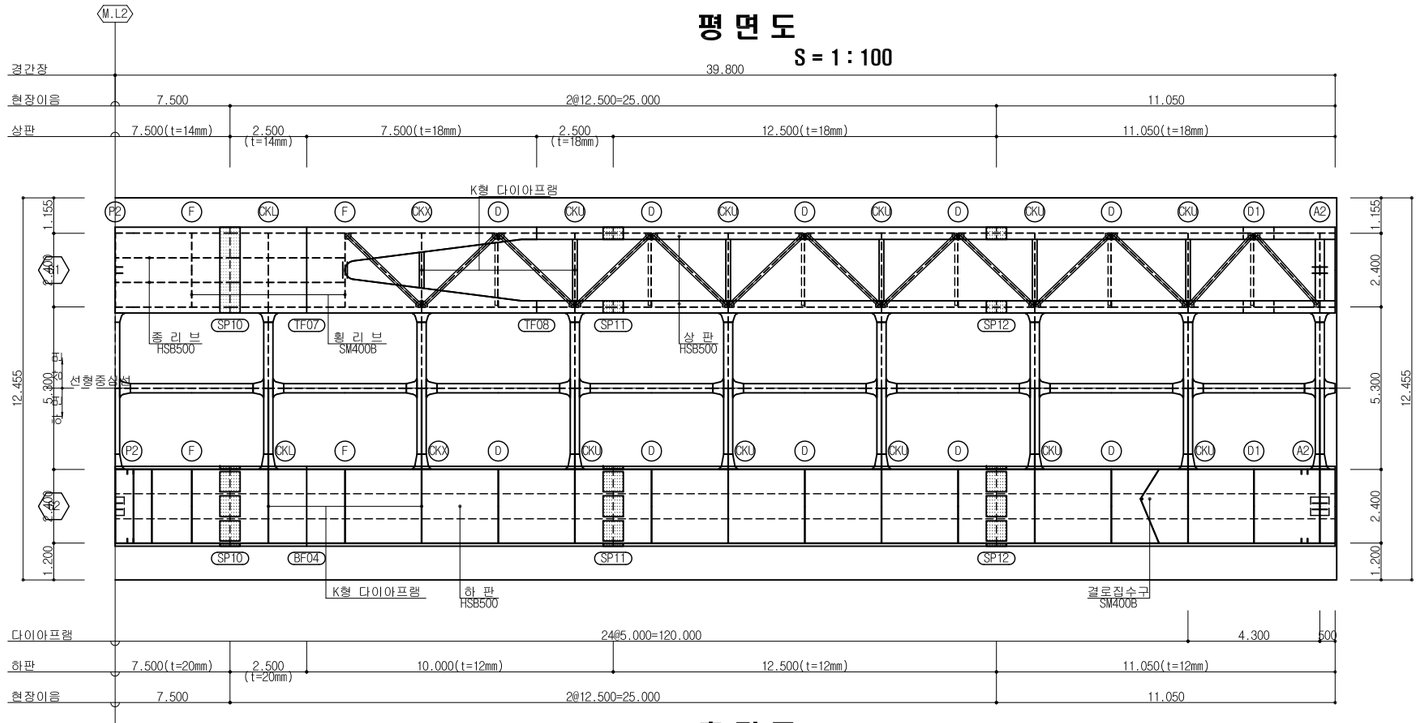
강상형 일반도(3)

(SIngle Bending)

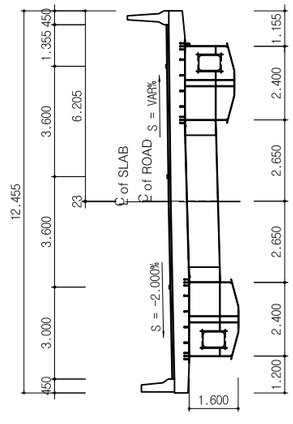
횡 단 면 도
S = 1 : 100



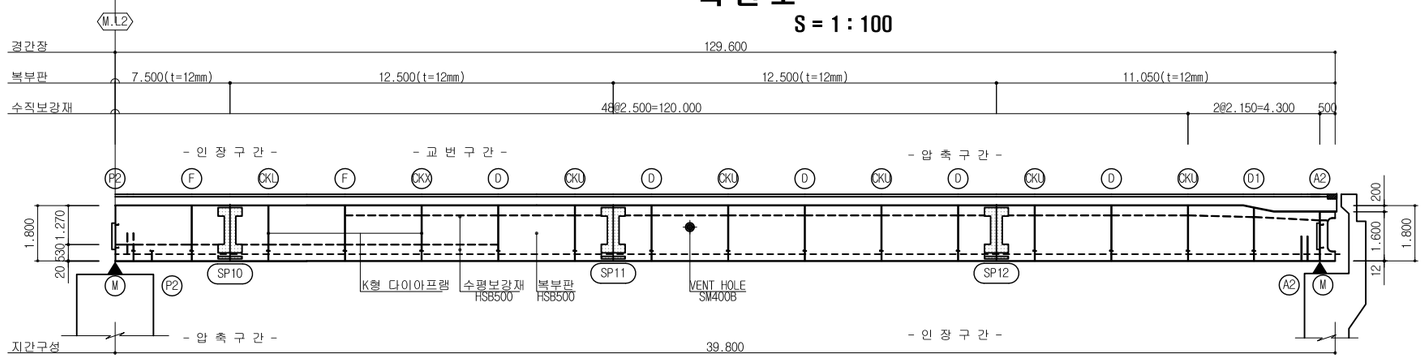
평 면 도
S = 1 : 100



횡 단 면 도
S = 1 : 100



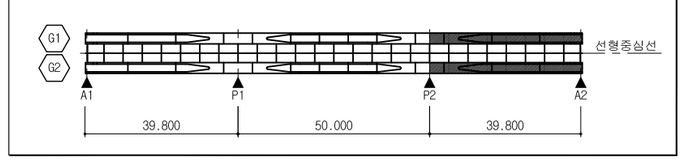
측 면 도
S = 1 : 100



범 례

M.L : Match Line
TF : 공장이음(상판)
BF : 공장이음(하판)
WF : 공장이음(복부판)
SP : 현장이음

요약도



절곡 강박스거더
교량의 구조시스템 개발

NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
△				
△				
△				
△				

PROJECT
절곡 강박스거더교 도면

TITLE
강상형 일반도(3)
(Single Bending)

DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	

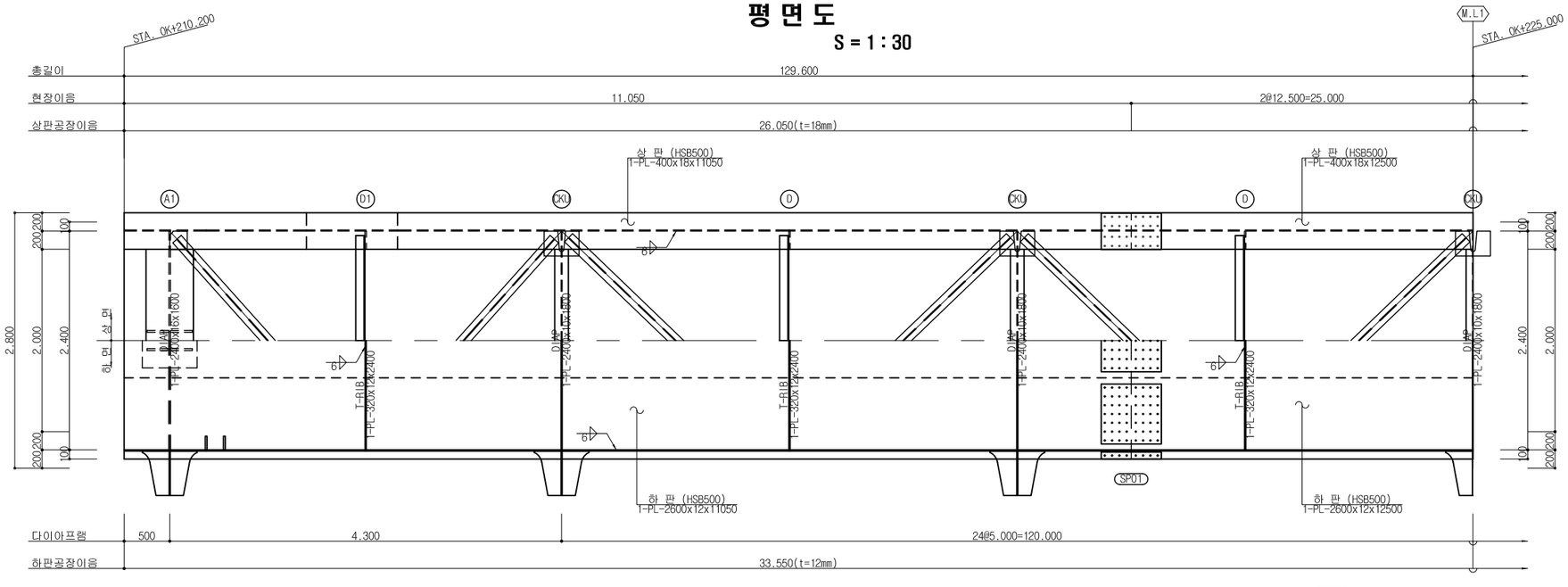
SCALE	1:100
DATE	2017.02.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

강상형 상세도(1)

(SIngle Bending)

평 면 도

S = 1 : 30

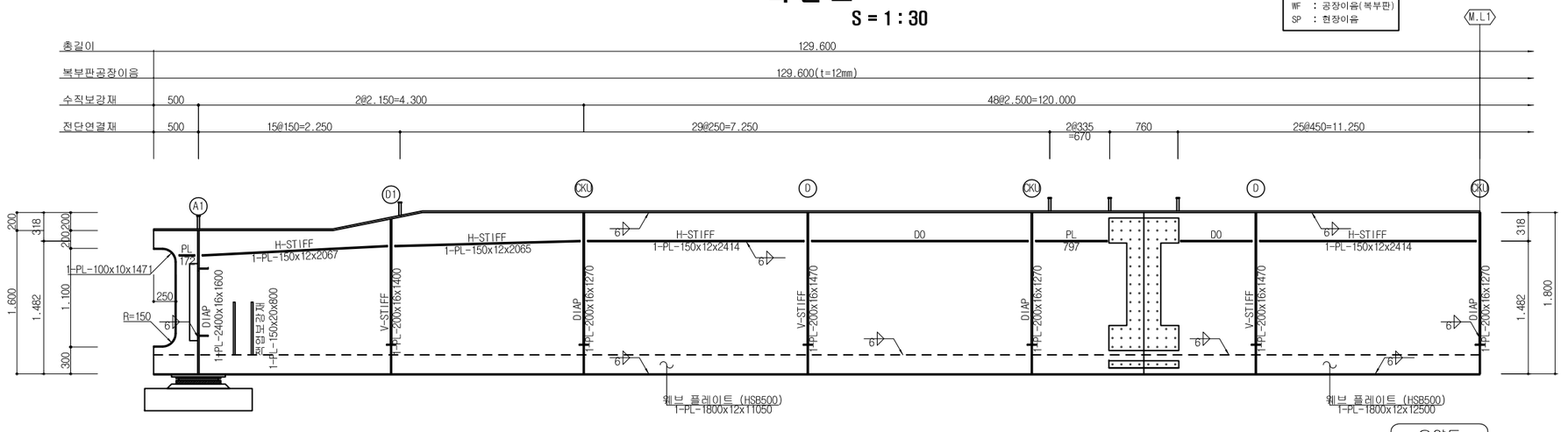


범 례

M.L	: Match Line
TF	: 공장이음(상판)
BF	: 공장이음(하판)
WF	: 공장이음(복부판)
SP	: 현장이음

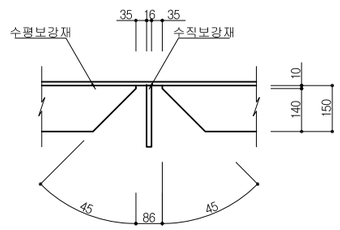
측 면 도

S = 1 : 30

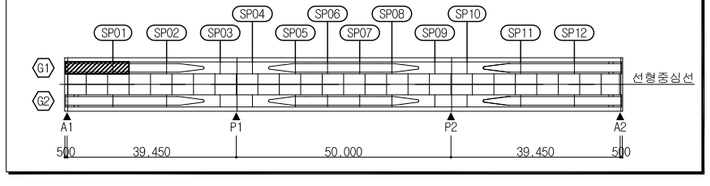


수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10



요약도



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발

NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
⚠				
⚠				
⚠				
⚠				

PROJECT: 절곡 강박스거더교 도면

TITLE: 강상형 상세도(1) (Single Bending)

DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	

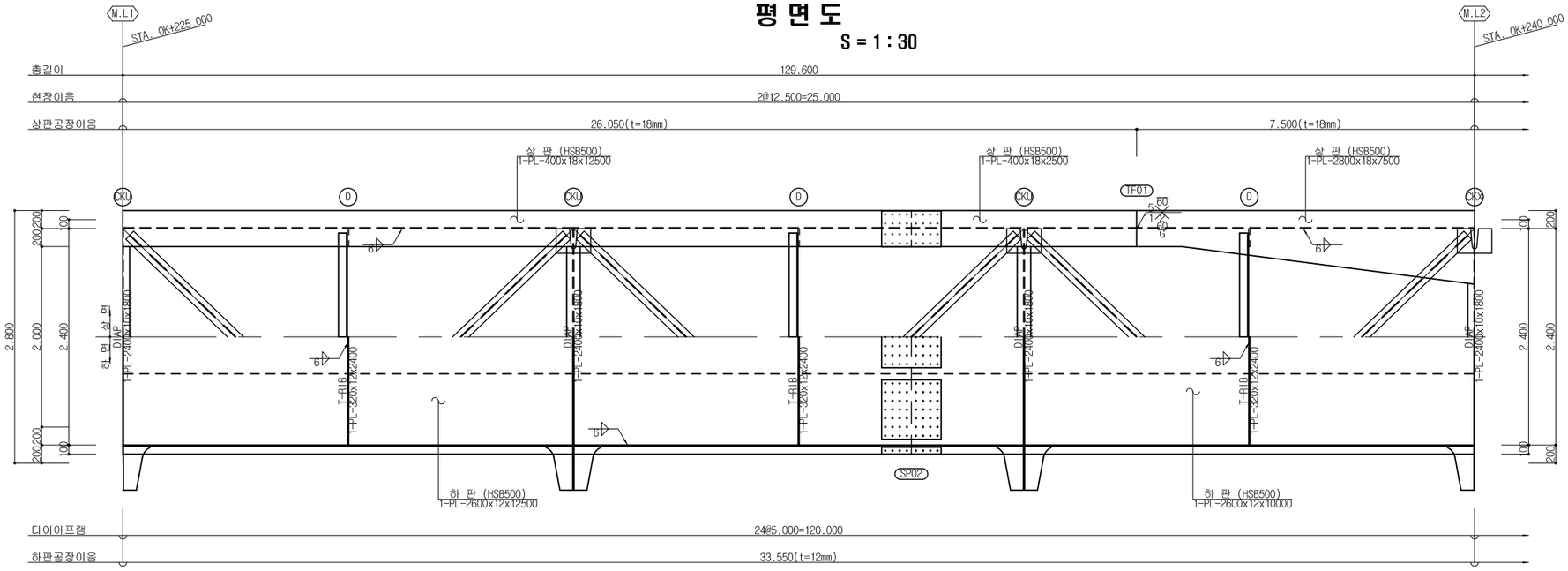
SCALE	S=1:30
DATE	2009.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

강상형 상세도(2)

(SIngle Bending)

평 면 도

S = 1 : 30

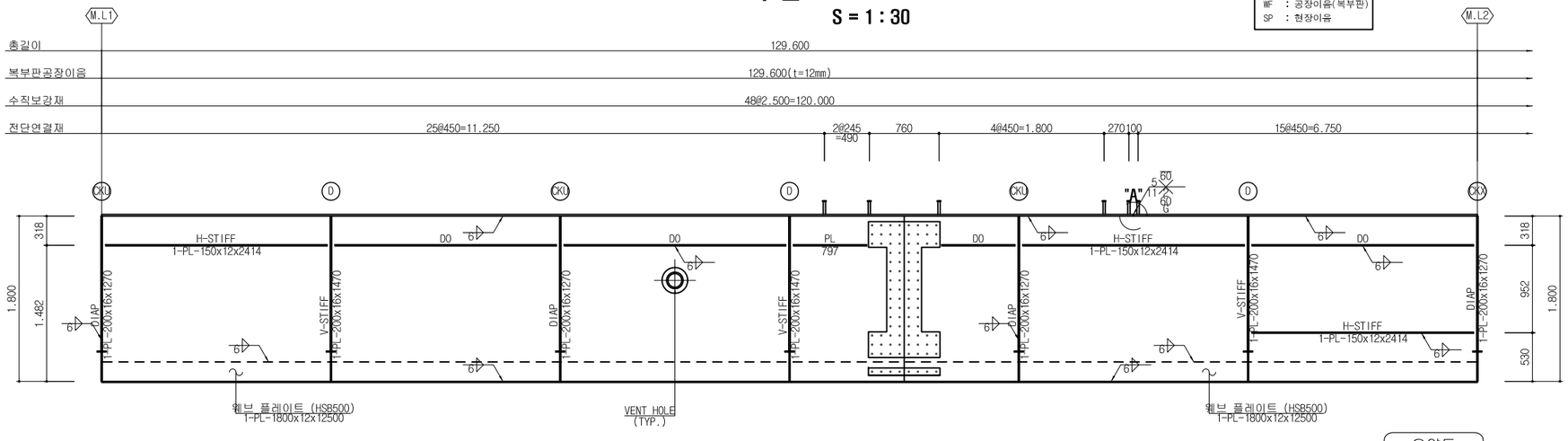


범 례

M.L	: Match Line
TF	: 공장이음(상판)
BF	: 공장이음(하판)
WF	: 공장이음(복부판)
SP	: 현장이음

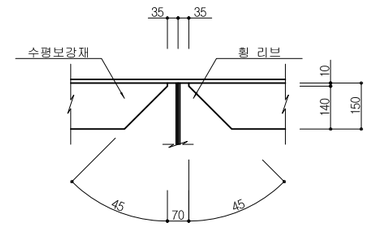
측 면 도

S = 1 : 30



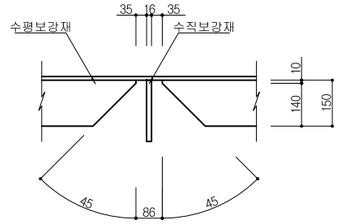
수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10



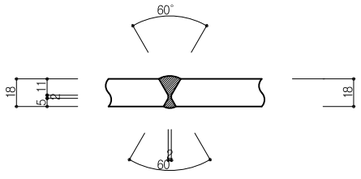
수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10

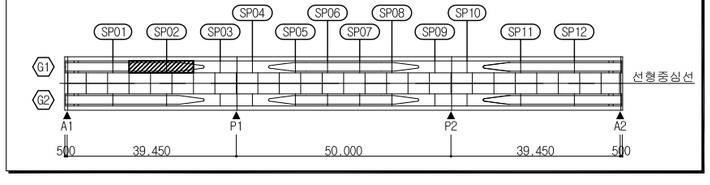


용 접 상 세 "A"

S = 1 : 2



요약도



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발	NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
	⚠				
	⚠				
	⚠				
	⚠				

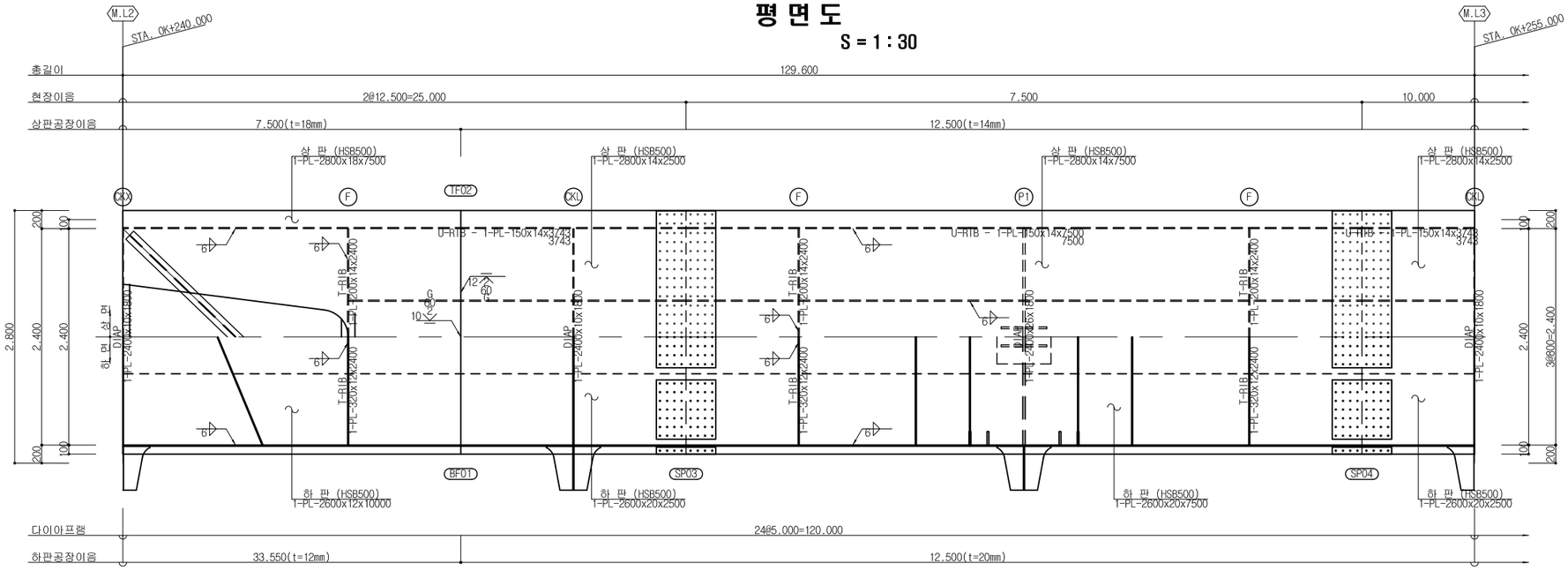
PROJECT	절곡 강박스거더교 도면
TITLE	강상형 상세도(2) (Single Bending)
DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	
SCALE	S=1:30
DATE	2009.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

강상형 상세도(3)

(SIngle Bending)

평 면 도

S = 1 : 30

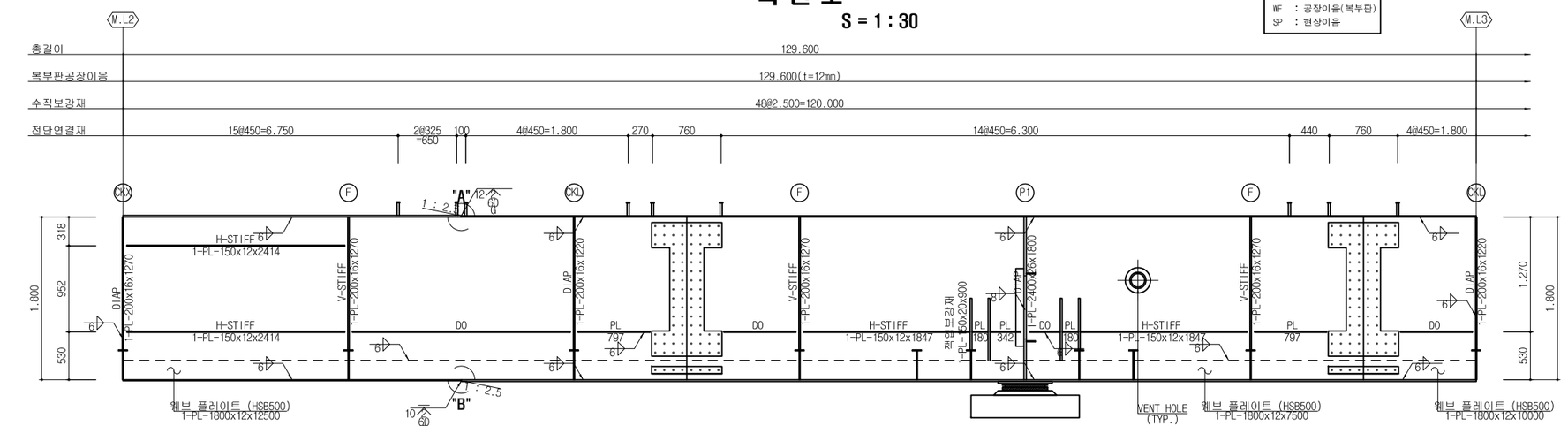


범 례

M.L	: Match Line
TF	: 공장이음(상판)
BF	: 공장이음(하판)
WF	: 공장이음(복부판)
SP	: 현장이음

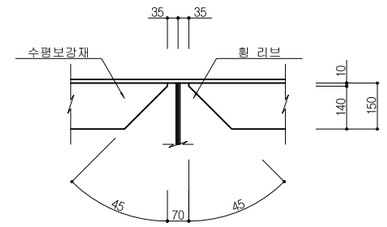
측 면 도

S = 1 : 30



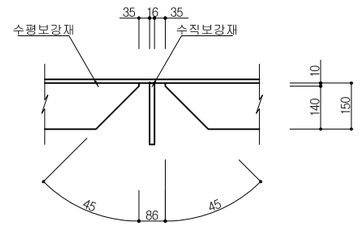
수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10



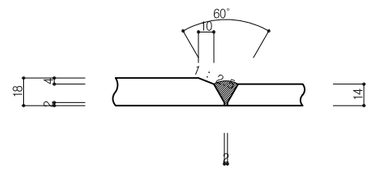
수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10



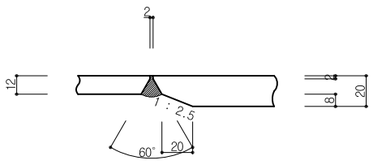
용 접 상 세 "A"

S = 1 : 2

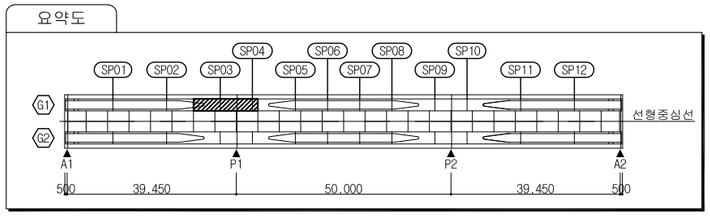


용 접 상 세 "B"

S = 1 : 2



요약도



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발

NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
⚠				
⚠				
⚠				
⚠				

PROJECT: 절곡 강박스거더교 도면

TITLE: 강상형 상세도(3) (Single Bending)

DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	

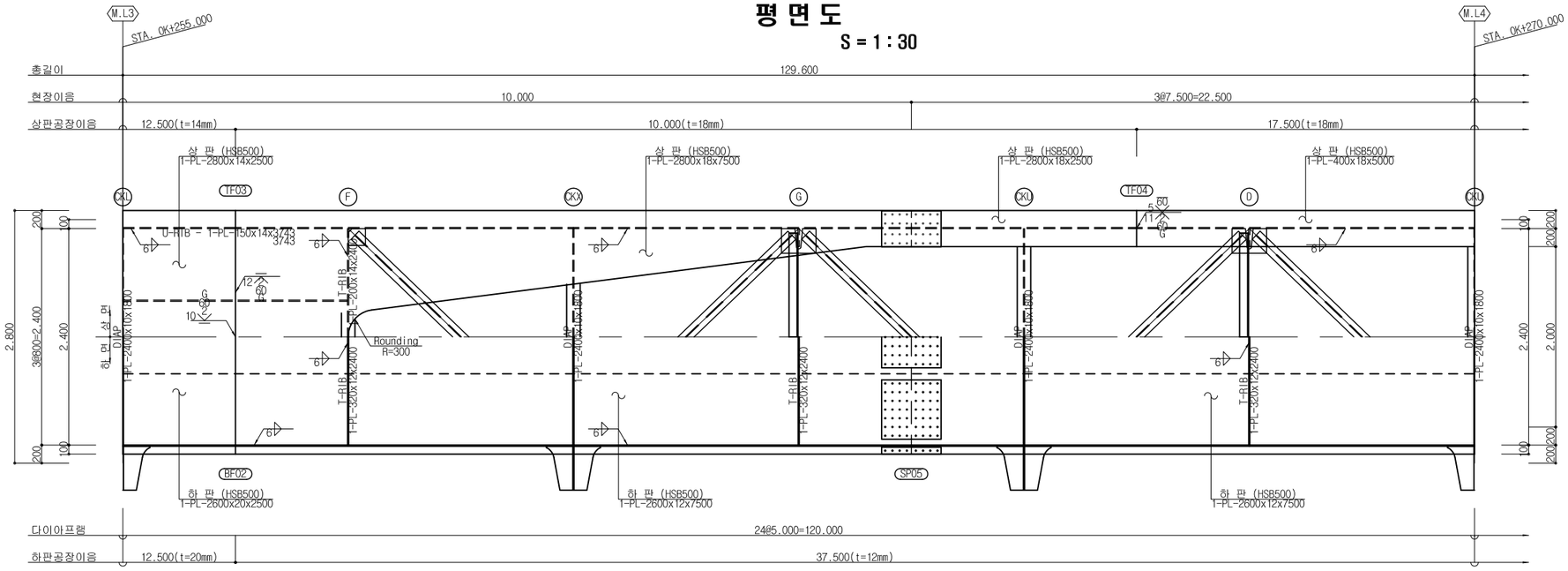
SCALE	S=1:30
DATE	2009.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

강상형 상세도(4)

(SIngle Bending)

평 면 도

S = 1 : 30

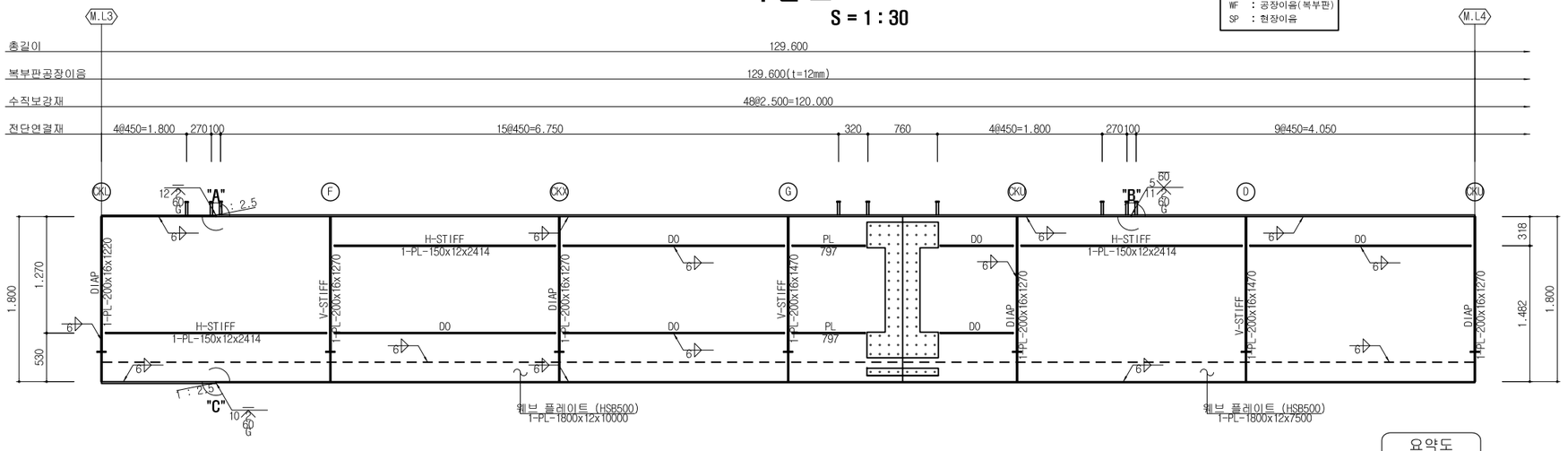


범 례

M.L	: Match Line
TF	: 공장이음(상판)
BF	: 공장이음(하판)
WF	: 공장이음(복부판)
SP	: 현장이음

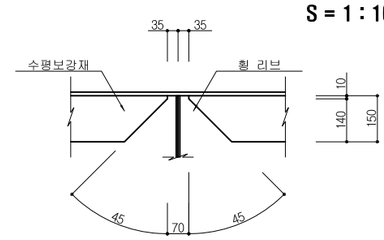
측 면 도

S = 1 : 30



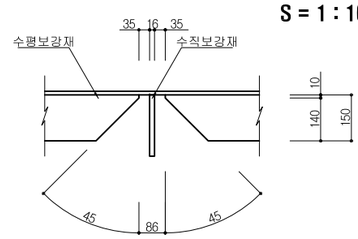
수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10



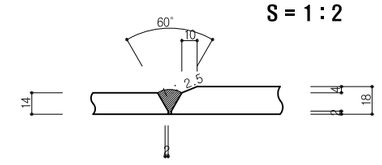
수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10



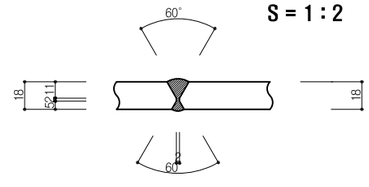
용 접 상 세 "A"

S = 1 : 2



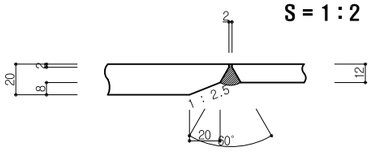
용 접 상 세 "B"

S = 1 : 2

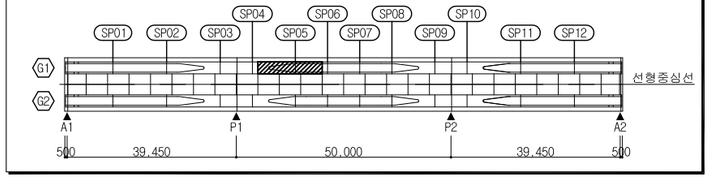


용 접 상 세 "C"

S = 1 : 2



요약도



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발	NO	DATE	REVISED	CHECKED / APPROVED
	⚠			
	⚠			
	⚠			
	⚠			

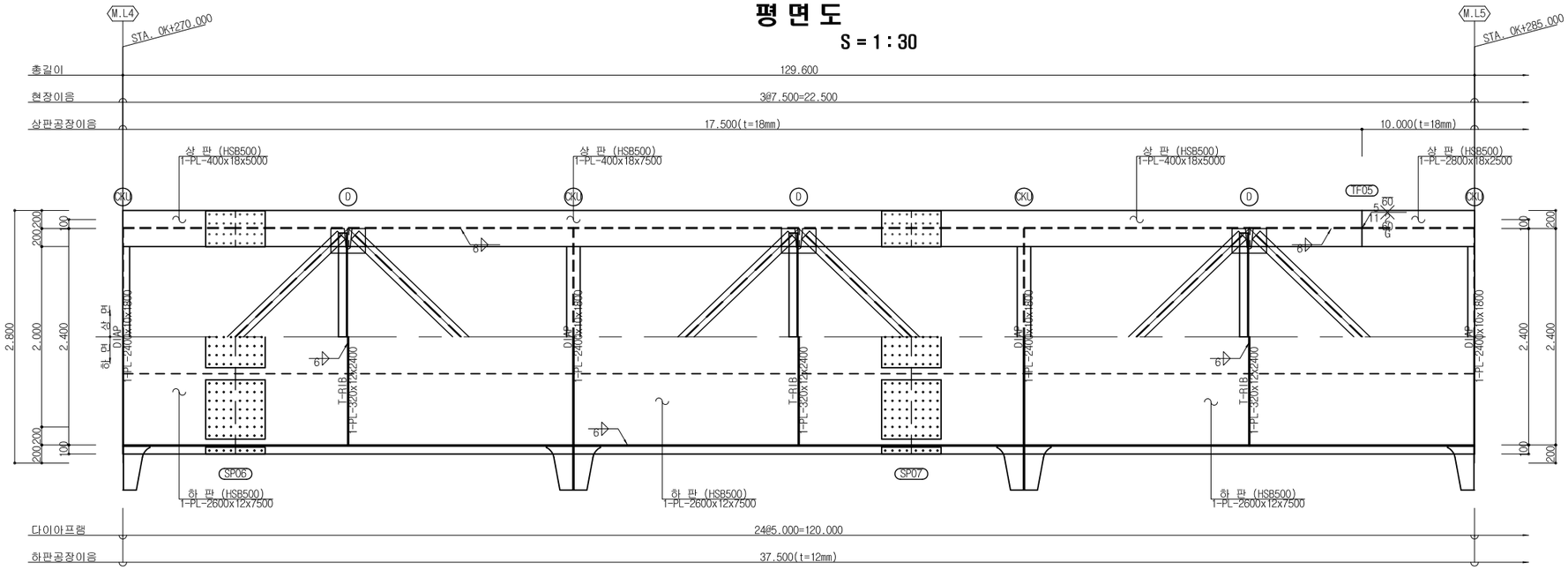
PROJECT	절곡 강박스거더교 도면
TITLE	강상형 상세도(4) (Single Bending)
DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	
SCALE	S=1:30
DATE	2009.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

강상형 상세도(5)

(SIngle Bending)

평 면 도

S = 1 : 30

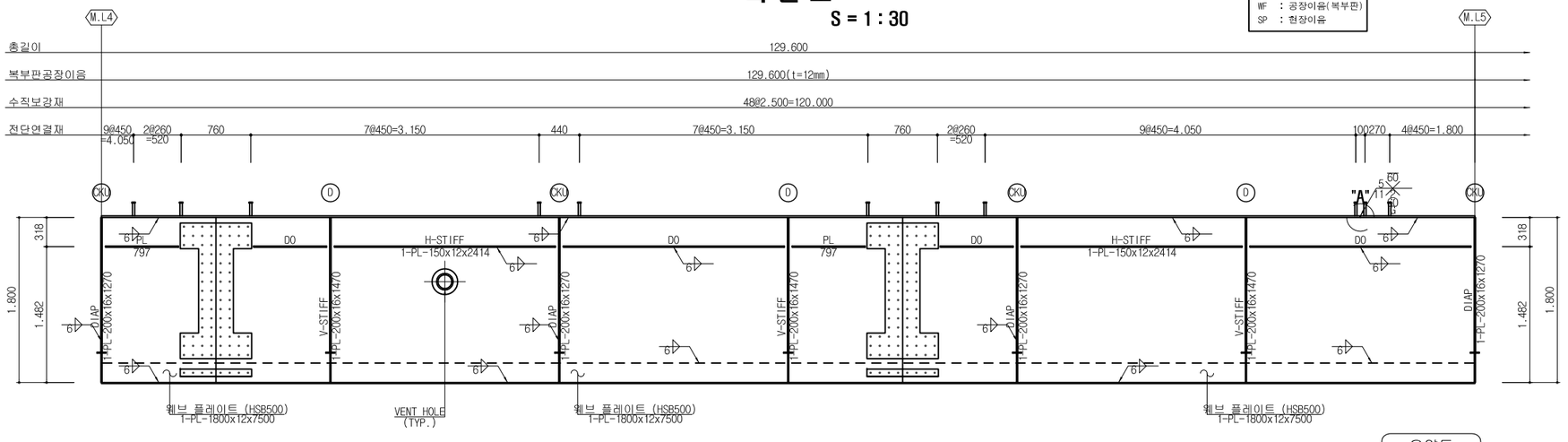


범 례

M.L	: Match Line
TF	: 공장이음(상판)
BF	: 공장이음(하판)
WF	: 공장이음(복부판)
SP	: 현장이음

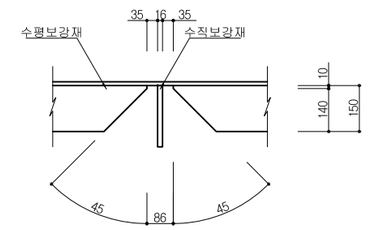
측 면 도

S = 1 : 30



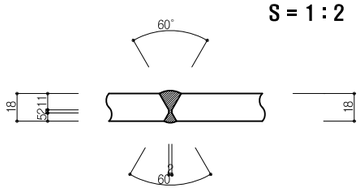
수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10

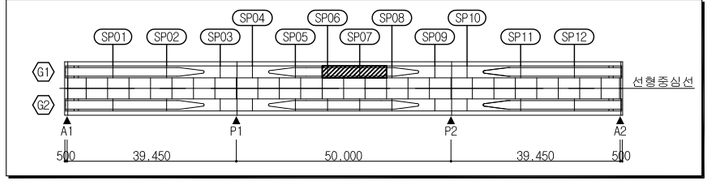


용 접 상 세 "A"

S = 1 : 2



요약도



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발	NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
	⚠				
	⚠				
	⚠				
	⚠				

PROJECT	TITLE		
절곡 강박스거더교 도면	강상형 상세도(5) (Single Bending)	DRAWN BY	SCALE S=1:30
		DESIGNED BY	DATE 2009.
		CHECKED BY	SHEET NO.
		APPROVED BY	DRAWING NO. 17 REV. △

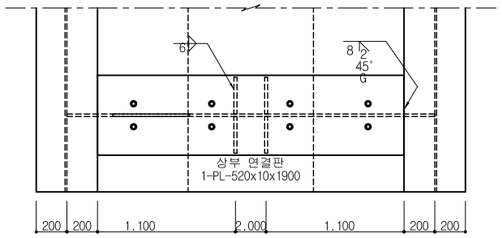
강상형 단면도(1)

(SIngle Bending)

A1 , A2 [G1,G2]

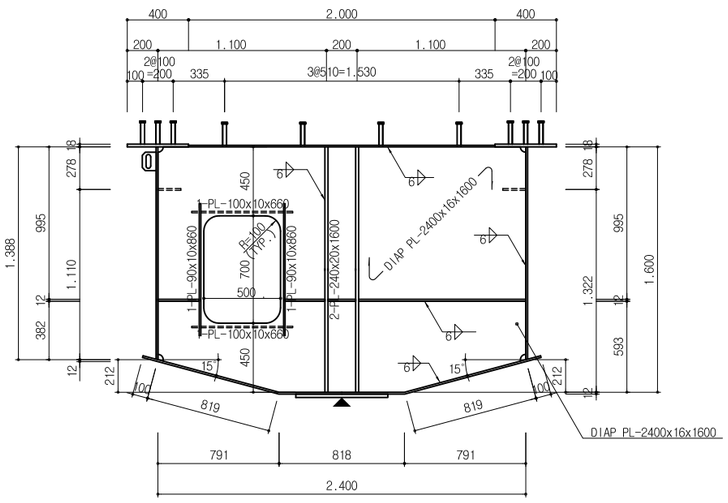
평면도(상판)

S = 1 : 20



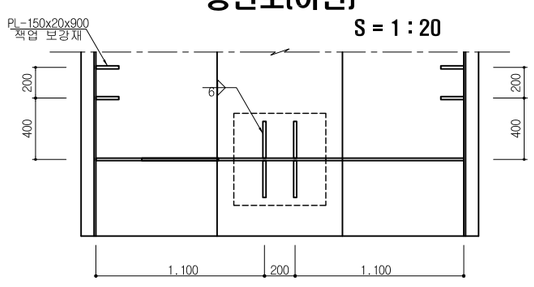
정면도

S = 1 : 20



평면도(하판)

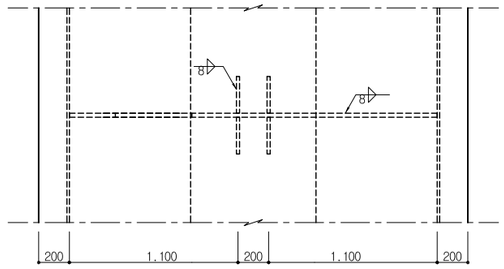
S = 1 : 20



P1 , P2 [G1,G2]

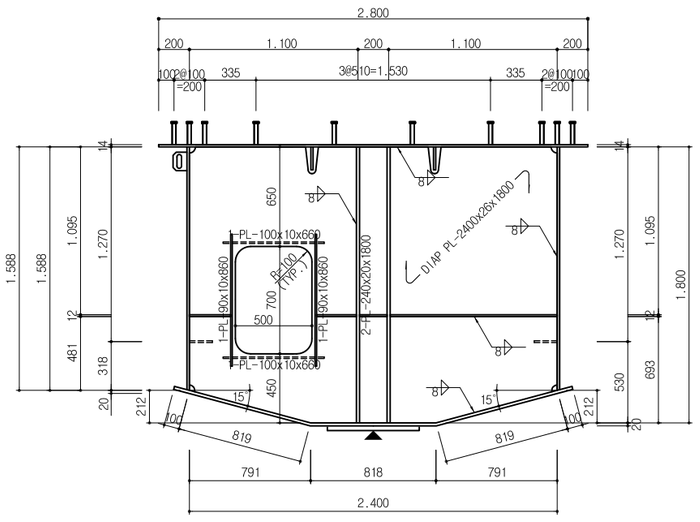
평면도(상판)

S = 1 : 20



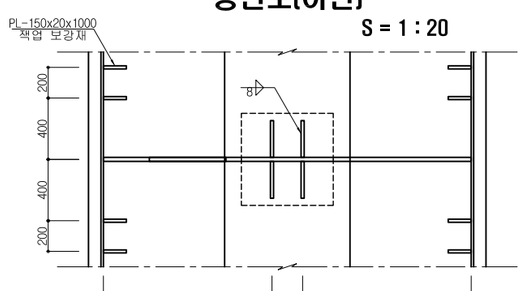
정면도

S = 1 : 20



평면도(하판)

S = 1 : 20



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발	NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
	⚠				
	⚠				
	⚠				
	⚠				

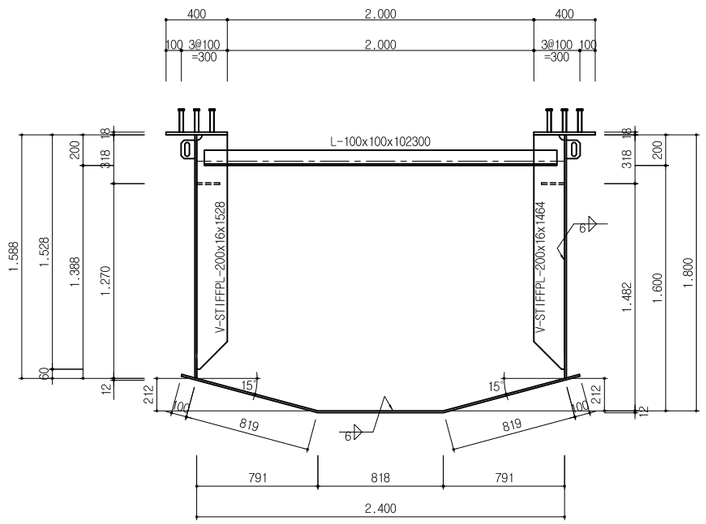
PROJECT	절곡 강박스거더교 도면
TITLE	강상형 단면도(1) (Single Bending)

DRAWN BY		SCALE	1:20
DESIGNED BY		DATE	2017.02.
CHECKED BY		SHEET NO.	
APPROVED BY		DRAWING NO. 17	REV. △

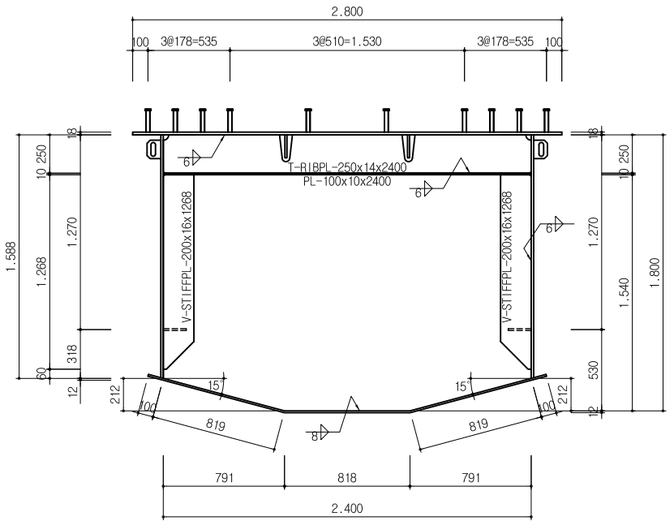
강상형 단면도(2)

(SIngle Bending)

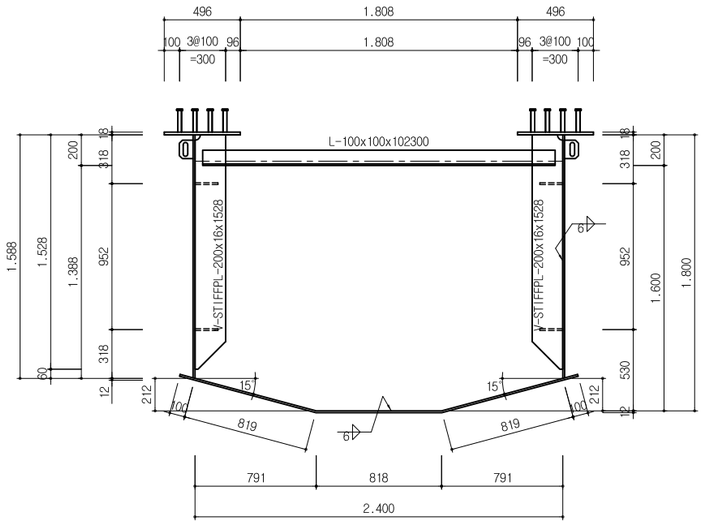
D [G1 ~ G2]



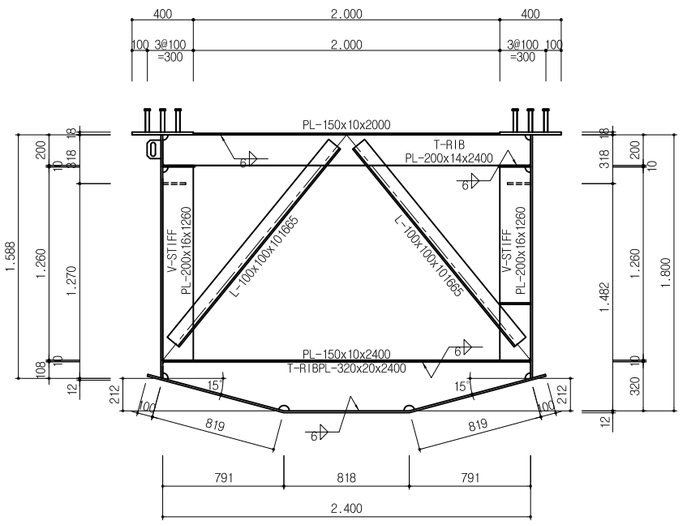
F [G1 ~ G2]



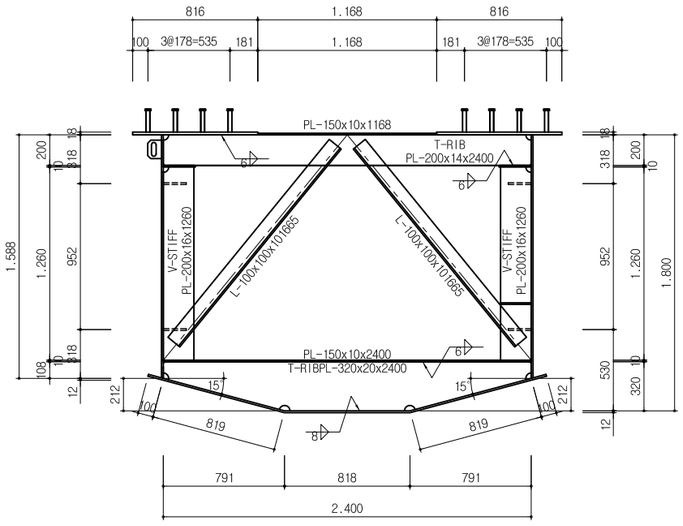
G [G1 ~ G2]



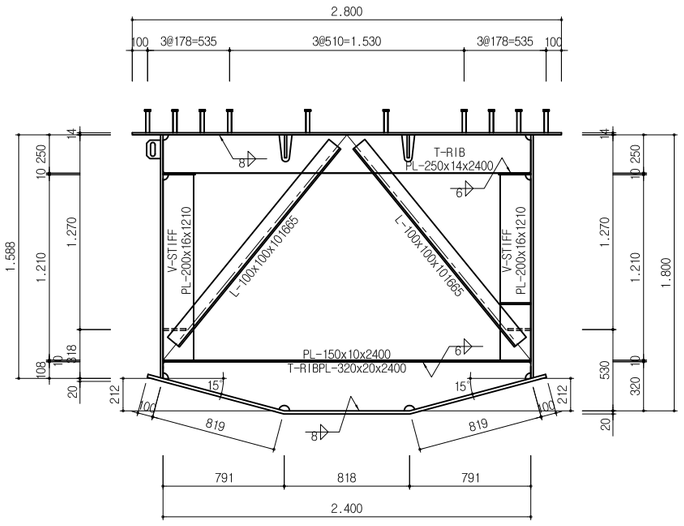
CKU [G1 ~ G2]



CKX [G1 ~ G2]



CKL [G1 ~ G2]



절곡 강박스거더
교량의 구조시스템 개발

NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
⚠				
⚠				
⚠				
⚠				

PROJECT
절곡 강박스거더교 도면

TITLE
강상형 단면도(2)
(Single Bending)

DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	

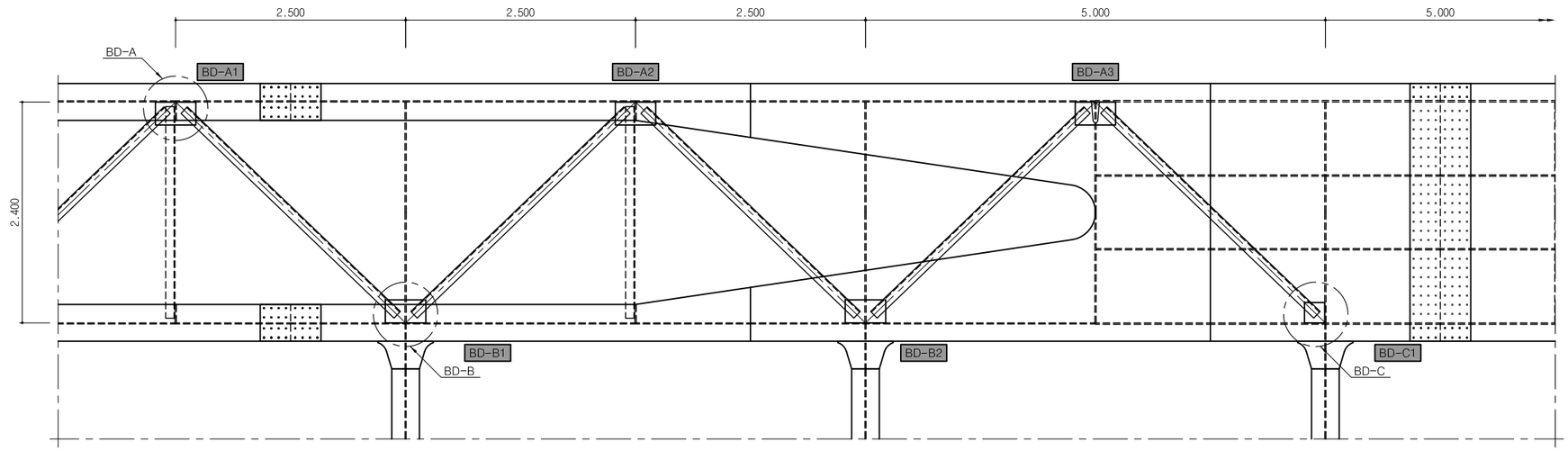
SCALE	1:20
DATE	2017.02.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

상부 브레이싱 상세도

(SIngle Bending)

평면도

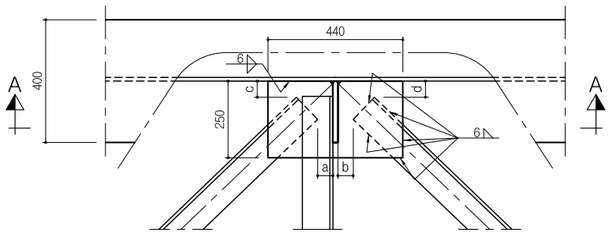
S = 1 : 30



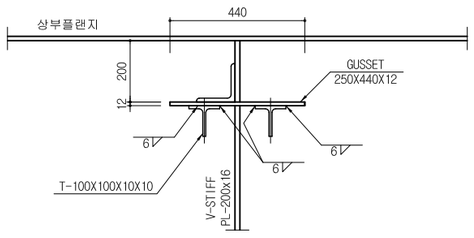
BD-A

S = 1 : 10

평면도



단면 A-A



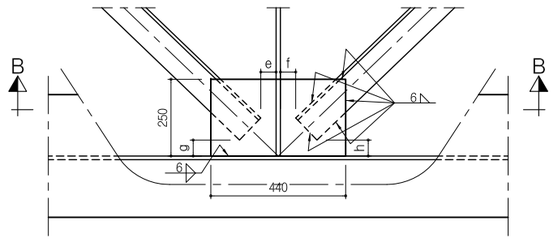
BD-A 치수표

구 분		a	b	c	d
G1	BD-A1	50	50	53	53
	BD-A2	50	50	53	53
	BD-A3	50	50	52	52

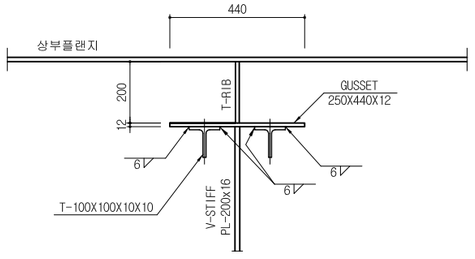
BD-B

S = 1 : 10

평면도



단면 B-B



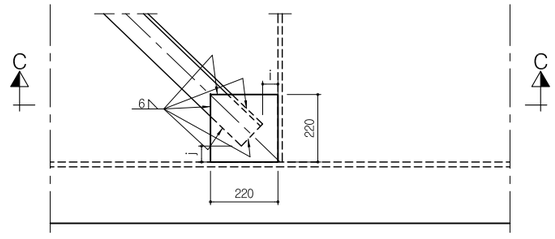
BD-B 치수표

구 분		e	f	g	h
G1	BD-B1	50	50	52	52
	BD-B2	50	50	52	52

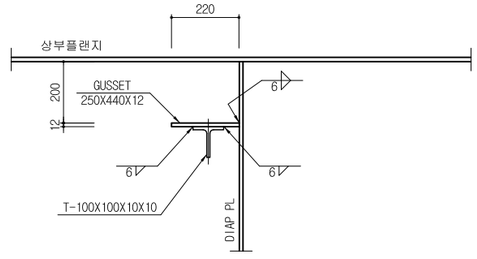
BD-C

S = 1 : 10

평면도



단면 C-C



BD-C 치수표

구 분		i	j
G1	BD-C1	50	52

절곡 강박스거더
교량의 구조시스템 개발

NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
⚠				
⚠				
⚠				
⚠				

PROJECT: 절곡 강박스거더교 도면

TITLE: 상부 브레이싱 상세도 (Single Bending)

DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	

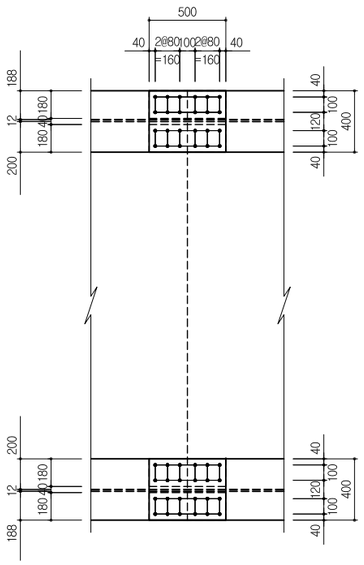
SCALE	1:30
DATE	2017.02.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

현장이음 상세도

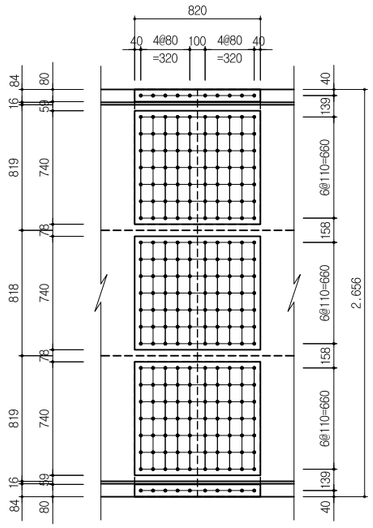
(Single Bending)

G1:SP01~02,05~08,11~12, G2:SP01~02,05~08,11~12

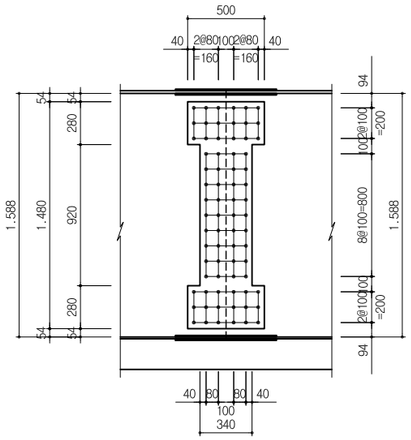
상 판
S = 1 : 20



하 판
S = 1 : 20



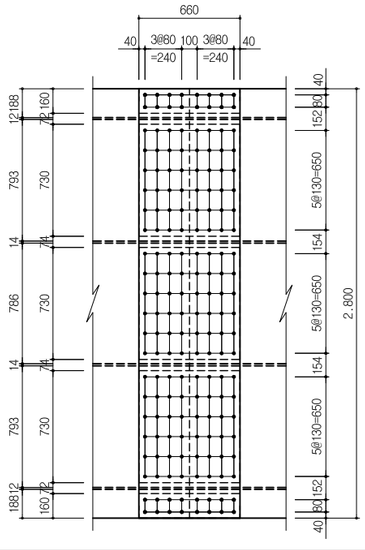
복부판
S = 1 : 20



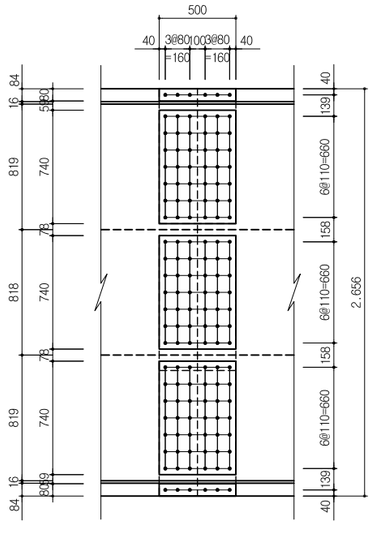
구분	부재명	너비 (mm)	두께 (mm)	길이 (mm)	수량 (개)	단위중량 (kgf/m3)	총중량 (kgf)	재질
상부 현장이음	상면 이음판	400	10	500	2	7850	31.4000	HSB500
	외측 이음판	180	10	500	2	7850	14.1300	HSB500
	내측 이음판	180	10	500	2	7850	14.1300	HSB500
	볼트-너트		22	80	48	0.5854	28.0992	F13T
하부 현장이음	하면 이음판	740	10	820	1	7850	47.6338	HSB500
	하면 이음판	879	10	820	2	7850	113.1625	HSB500
	외측 이음판	80	10	820	2	7850	10.2992	HSB500
	내측 이음판	740	10	820	3	7850	142.9014	HSB500
	볼트-너트		22	70	230	0.5556	127.7880	F13T
복부판 현장이음	전단 이음판	1480	10	500	4	7850	232.3600	HSB500
	볼트-너트		22	70	144	0.5556	80.0064	F13T
총중량 (SP01)							841.9105	
상부 현장이음	상면 이음판	2800	10	660	1	7850	145.0680	HSB500
	외측 이음판	160	10	660	2	7850	16.5792	HSB500
	내측 이음판	730	10	660	3	7850	113.4639	HSB500
	리브 이음판	130	12	820	4	7850	40.1669	HSB500
	볼트-너트		22	75	176	0.5705	100.4080	F13T
	리브 볼트-너트		22	80	20	0.5854	11.7080	F13T
하부 현장이음	하면 이음판	740	10	500	1	7850	29.0450	HSB500
	하면 이음판	879	10	500	2	7850	69.0015	HSB500
	외측 이음판	80	10	500	2	7850	6.2800	HSB500
	내측 이음판	740	10	500	3	7850	87.1350	HSB500
	볼트-너트		22	80	138	0.5854	80.7852	F13T
복부판 현장이음	전단 이음판	1480	10	500	4	7850	232.3600	HSB500
	볼트-너트		22	70	144	0.5556	80.0064	F13T
총중량 (SP03)							1012.0071	

G1:SP03~04,09~10, G2:SP03~04,09~10

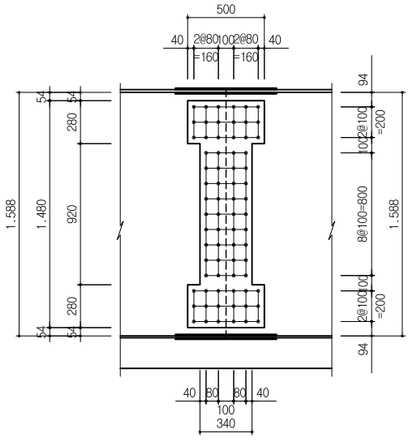
상 판
S = 1 : 20



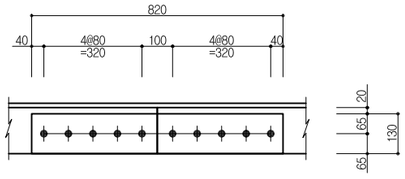
하 판
S = 1 : 20



복부판
S = 1 : 20



상부 리브 현장이음
S = 1 : 10



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발	NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
	⚠				
	⚠				
	⚠				
	⚠				

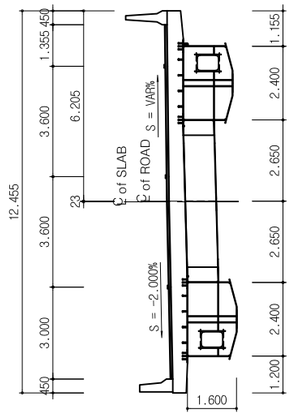
PROJECT	TITLE	DRAWN BY	SCALE	S=1:30
절곡 강박스거더교 도면	현장이음 상세도 (Single Bending)	DESIGNED BY	DATE	2009.
		CHECKED BY	SHEET NO.	
		APPROVED BY	DRAWING NO. 17	REV. △

DOUBLE BENDING

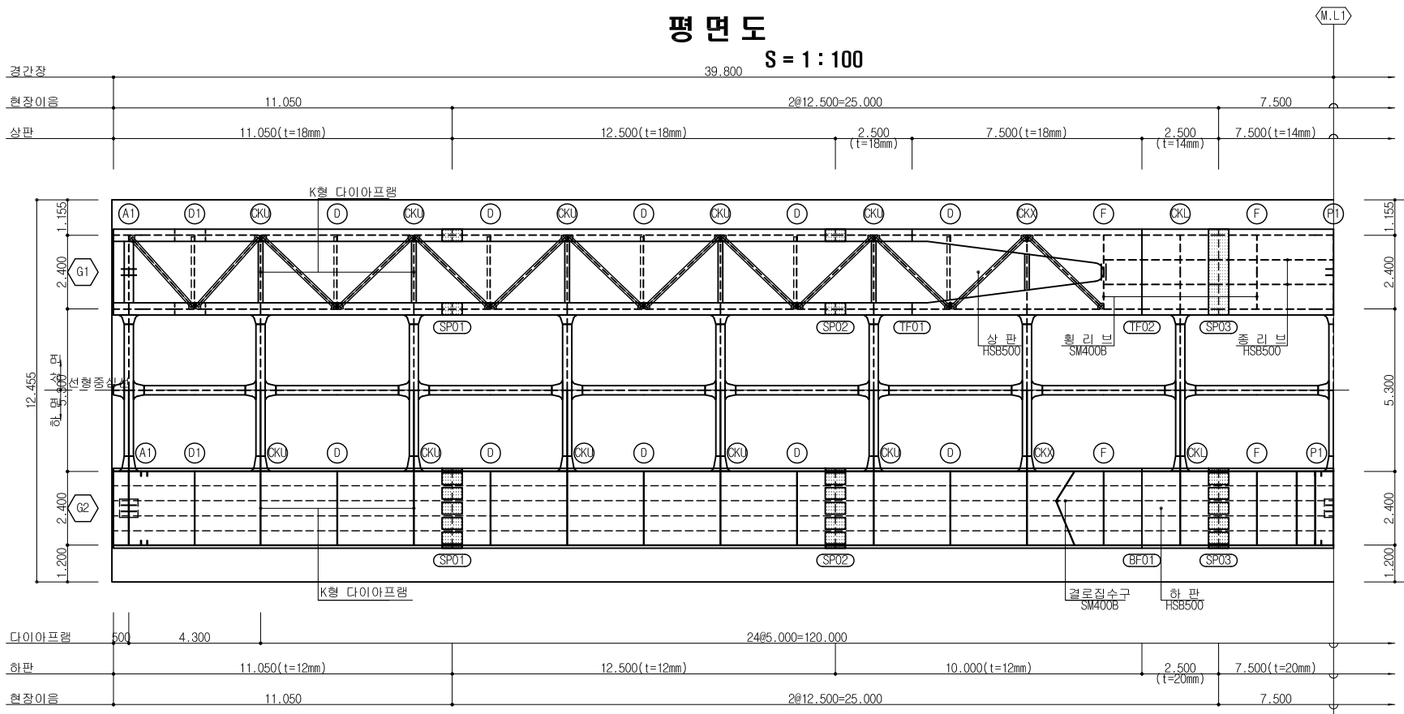
강상형 일반도(1)

(Double Bending)

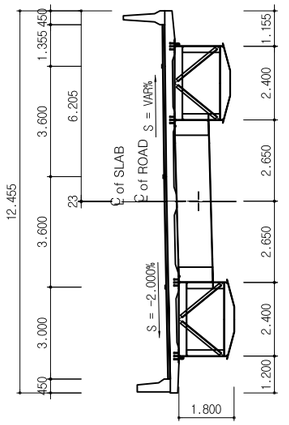
횡 단 면 도
S = 1 : 100



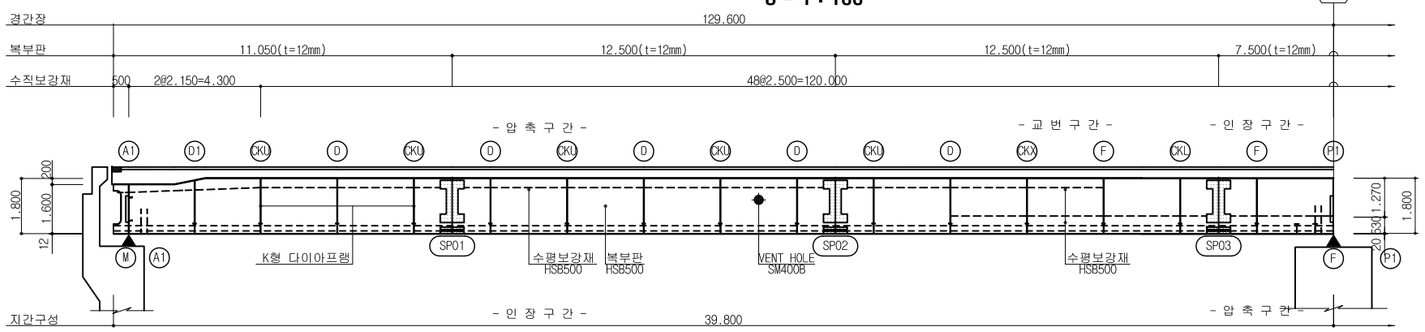
평 면 도
S = 1 : 100



횡 단 면 도
S = 1 : 100



측 면 도
S = 1 : 100

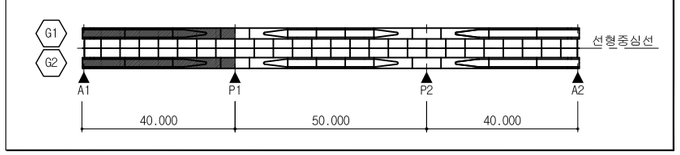


범 례
- M.L : Match Line
- TF : 공장이음(상판)
- BF : 공장이음(하판)
- WF : 공장이음(복부판)
- SP : 현장이음

노트 사항

1. BOX GIRDER 제작시 평면선형도와 종단경사를 참조하여 제작하여야 한다
2. SOLE PLATE 제작시 GIRDER의 종단경사를 고려하여 제작하여야 한다
3. 신축이음장치 설치부의 단면은 강상형 제작전에 공급업체로부터 관련제원을 확인하여 감독원(감리원)의 승인하에 변경할 수 있다
4. 각 용접부의 용접 검사는 KSB-0845, KSB-0816를 만족하는 용접이 될 수 있도록 한다
5. 주부재(HSB500)와 부부재(SM400B)를 용접하는 곳은 고강도용접을 하여야 한다
6. 부재의 조립후에 도장면이 되거나 외부에 자유단이 되는 절단면의 각은 반경 1mm 이상의 둥근형의 모서리 갈기를 하고, 기타 자유단은 반경 0.5mm이상의 둥근면으로 갈거나 또는 0.5mm 정도의 모따기를 한다
7. 주부재의 홈용접과 필릿용접의 양단에는 반드시 엔드탭을 설치하여야 한다
8. 강교 운송중 손상의 우려가 있는 곳은 목재 혹은 앵글등으로 견고하게 포장하여 부재가 파손되지 않도록 유의 하여야 한다
9. 강교 운반시 운반 대차의 구조및 싯기방법에 유의하고, 운반도중손상이 가지않도록 하여야 한다
10. 단면도의 치수중 높이는 상판 하면과 하판 상면 기준임
11. 모든 시험, 측정설비 및 장비는 공인기관의 교정검사를 필하여야하며 교정검사 필증은 설비, 장비에 부착하고 성적서를 감독원에게 제출하여야 한다
12. 모든 치수는 mm단위이며, 15°C 기준이므로 강재 제작시 온도보정을 행하여야한다
13. 볼트 접합되는 현장 이음부 접촉면의 경우 녹이나 흠피는 블라스팅등으로 제거하여야하며 전처리 도료나 녹막이 도료를 도장하지 않아야 한다
14. SHOP DRAWING 승인시 설계도상의 치수와 SHOP DRAWING 상의 치수를 반드시 확인 대조하고 용접이음의 형식에 대해서도 검토하여야 한다
15. 가설 방법에 따라 마지막 작업에서 부재 폐합 오차가 발생할 수 있으므로 가설 계획시 충분히 검토하여야 한다
16. 지점 및 단부 DIAPHRAGM은 증경사의 영향을 고려하여 중력방향으로 설치하여야 한다
17. 수직보강재의 부착방법
    1) 지점부와 같은 집중하중을 받는 위치에 설치되는 수직보강재는 완전용입홈용접으로 양쪽 플랜지에 접합시킨다
    2) 다이아프램이나 수직브레이싱 등의 거셋트판으로도 사용되는 중간수직보강재는 양쪽 플랜지에 볼트나 용접으로 접합시킨다
    3) 수직보강재 용접단부와 인장플랜지 용접단부와는 복부판 두께의 4배 이상 6배 이하의 간격을 띄워야 한다
    4) 바닥판과 접하는 인장플랜지에는 수직보강재를 용접으로 접합시킨다
18. 강재 운반 및 설치시 필요한 LIFTING LUG는 강교 제작자가 위치 및 크기를 결정하여 제작시 반영해야 한다
    단, 바닥판 시공방법이 프리케스트 패널공법을 적용할 경우에는 패널 거치가 가능하도록 LIFTING LUG의 위치를 플랜지 끝단에서 LIFTING LUG의 끝단까지 150mm가 떨어진 곳에 위치하여 제작하여야 한다
19. 강교 가설시 하중의 불균형, 전도, 선회 등에 특히 주의하여야 한다
20. 강교 공작도 작성은 공사기본도, 공사시방서 에 언급된 내용에 준하여 수행하되 불일치 사항이나 명확하게 정의를 내려야할 사항들은 공작도 작성중에 발주처와 협의 및 승인과정을 거쳐 확정 및 제작시 반영되어야 한다

요약도



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발

NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
⚠				
⚠				
⚠				
⚠				

PROJECT: 절곡 강박스거더교 도면

TITLE: 강상형 일반도(1) (Double Bending)

DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	

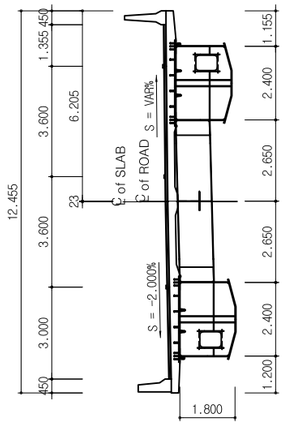
SCALE	1:100
DATE	2017.02.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

강상형 일반도(2)

(Double Bending)

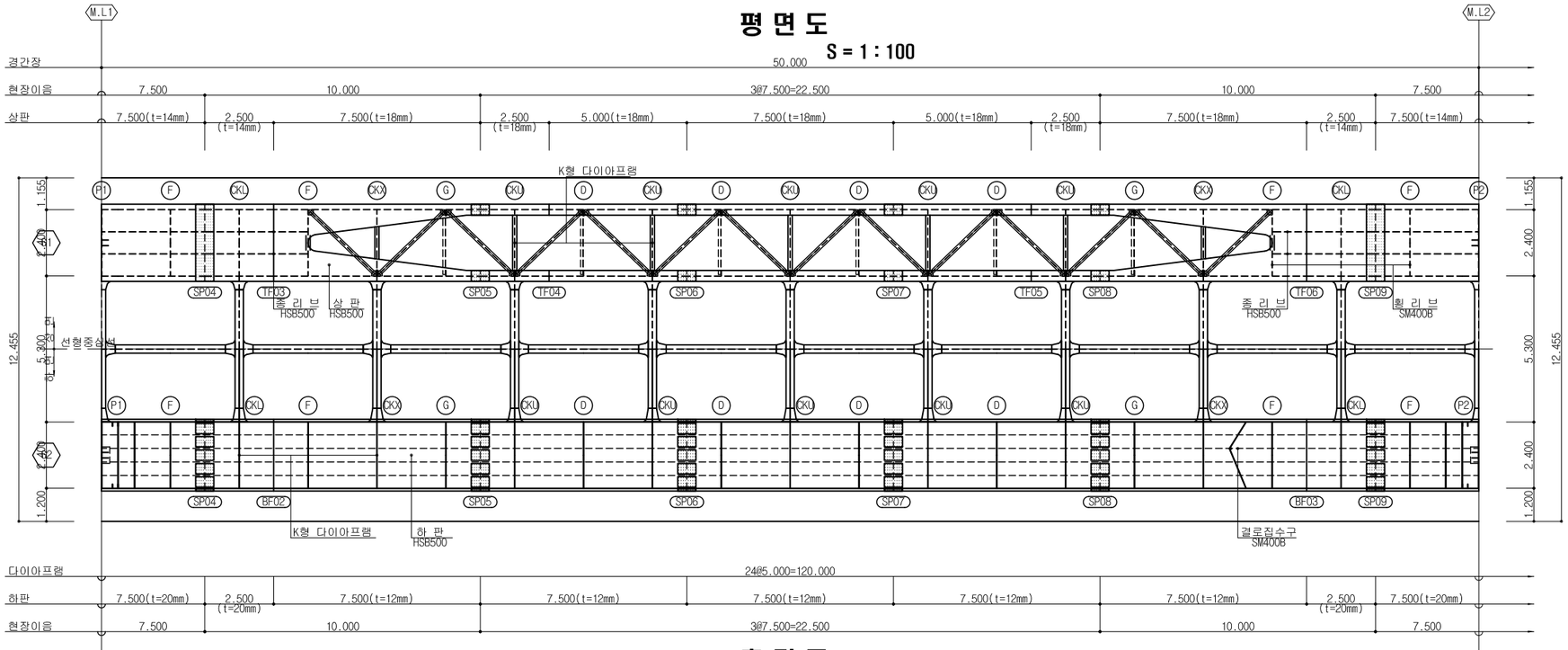
횡 단 면 도

S = 1 : 100



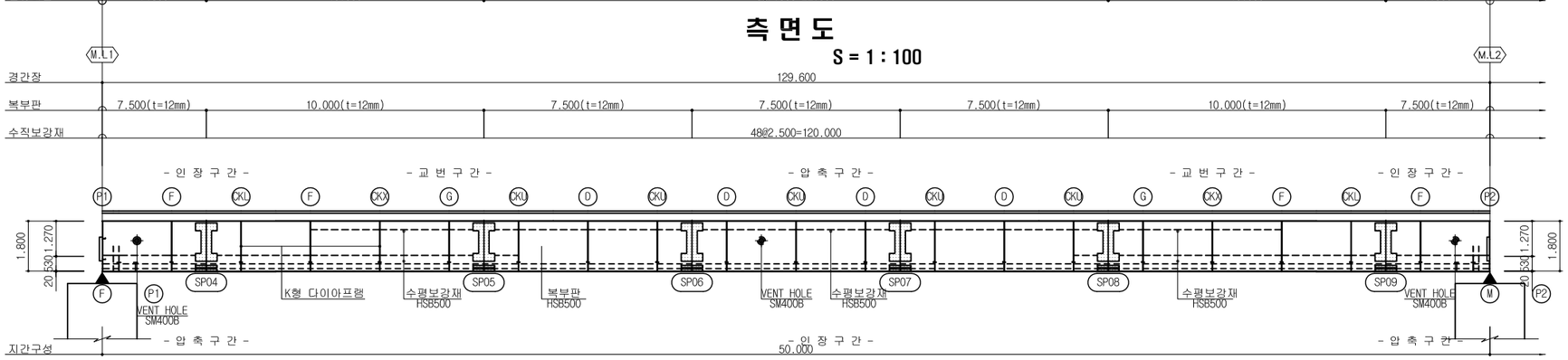
평 면 도

S = 1 : 100



측 면 도

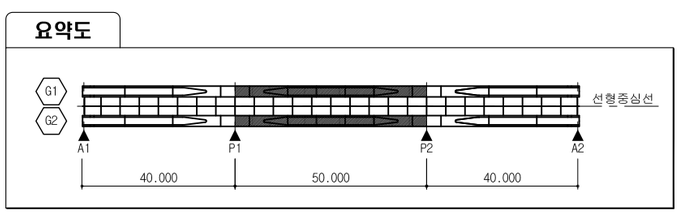
S = 1 : 100



범 례

M.L	: Match Line
TF	: 공장이음(상판)
BF	: 공장이음(하판)
WF	: 공장이음(복부판)
SP	: 현장이음

요약도



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발

NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
⚠				
⚠				
⚠				
⚠				

PROJECT: 절곡 강박스거더교 도면

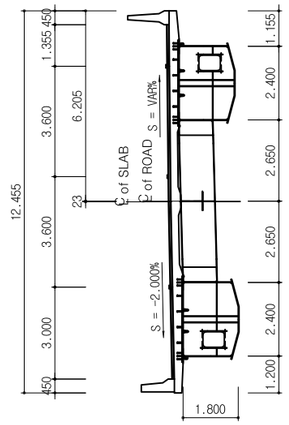
TITLE: 강상형 일반도(2) (Double Bending)

DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	
SCALE	1:100
DATE	2017.02.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

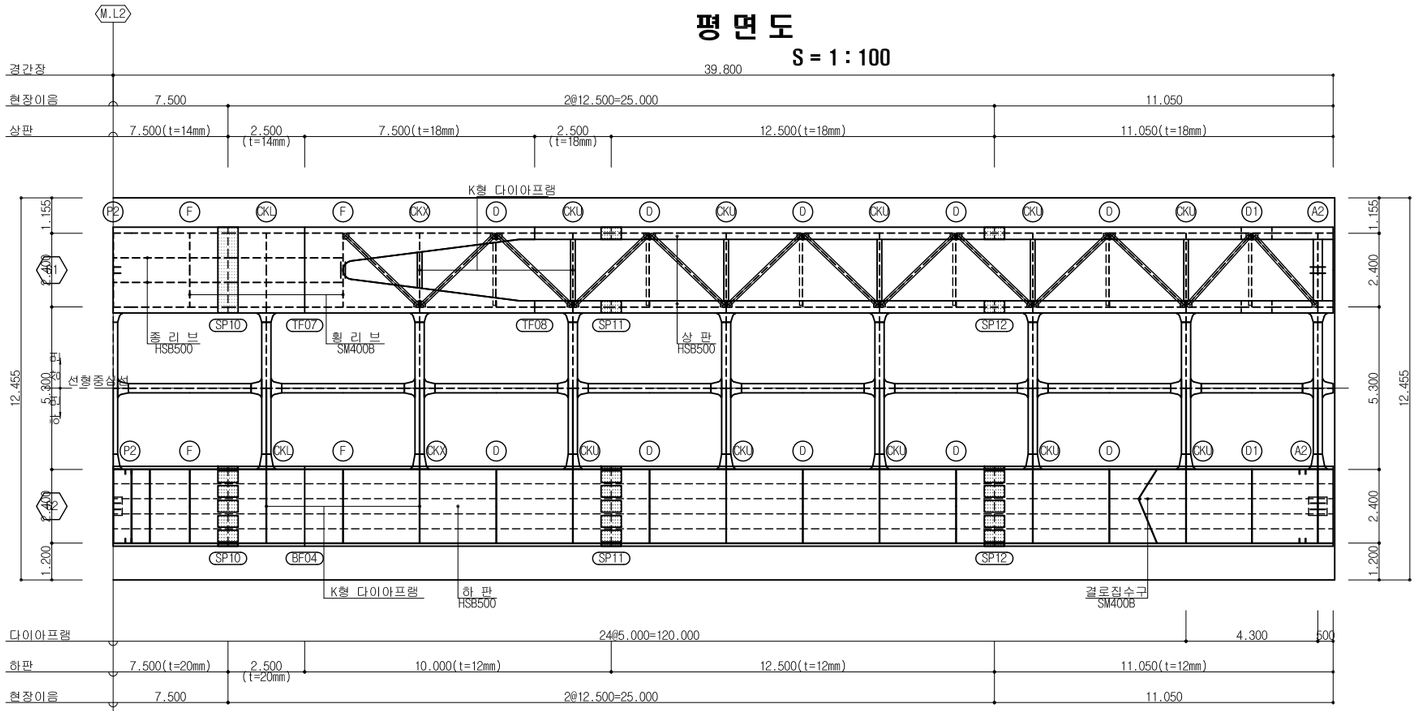
강상형 일반도(3)

(Double Bending)

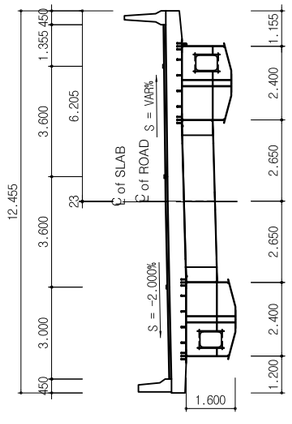
횡 단 면 도
S = 1 : 100



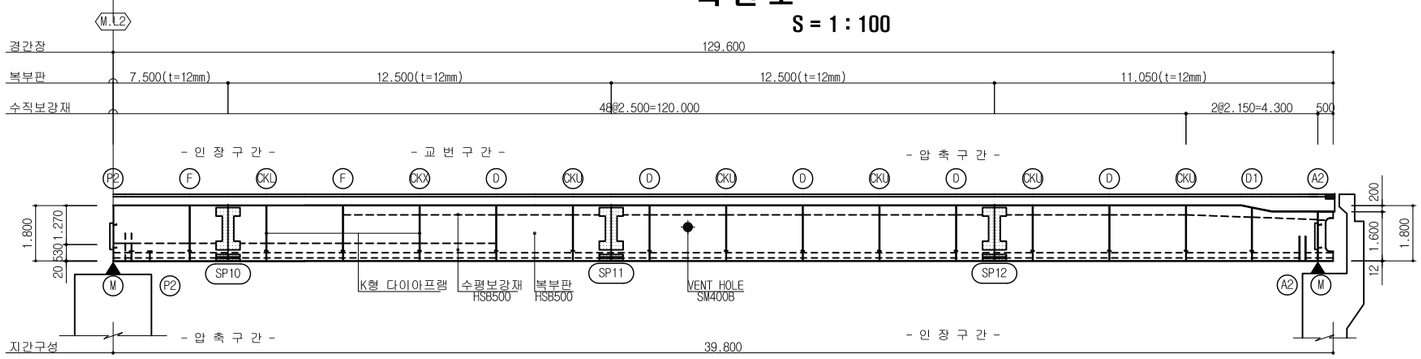
평 면 도
S = 1 : 100



횡 단 면 도
S = 1 : 100



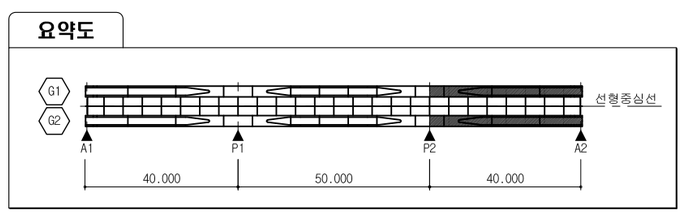
측 면 도
S = 1 : 100



범 례

M.L	: Match Line
TF	: 공장이음(상판)
BF	: 공장이음(하판)
WF	: 공장이음(복부판)
SP	: 현장이음

요약도



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발

NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
⚠				
⚠				
⚠				
⚠				

PROJECT: 절곡 강박스거더교 도면

TITLE: 강상형 일반도(3) (Double Bending)

DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	

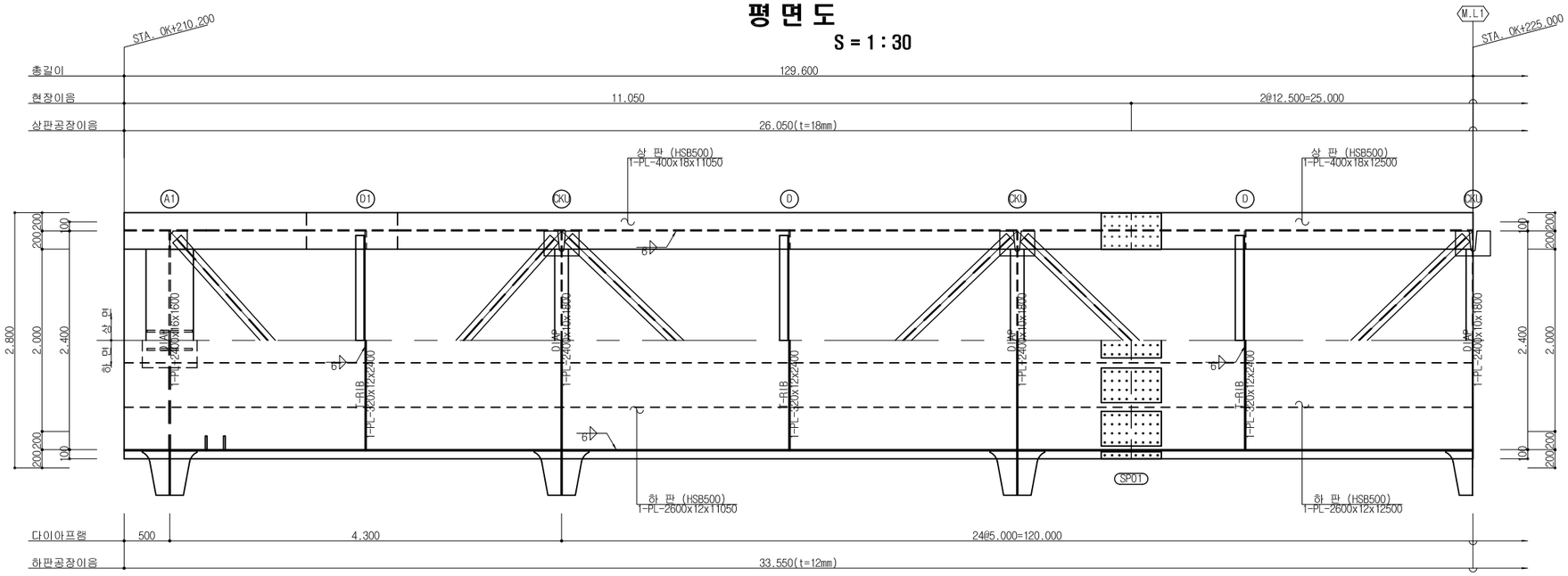
SCALE	1:100
DATE	2017.02.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

강상형 상세도(1)

(Double Bending)

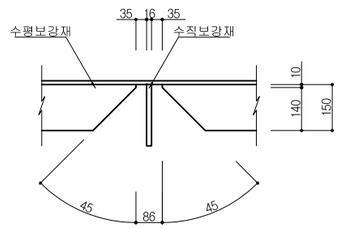
평 면 도

S = 1 : 30



수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10

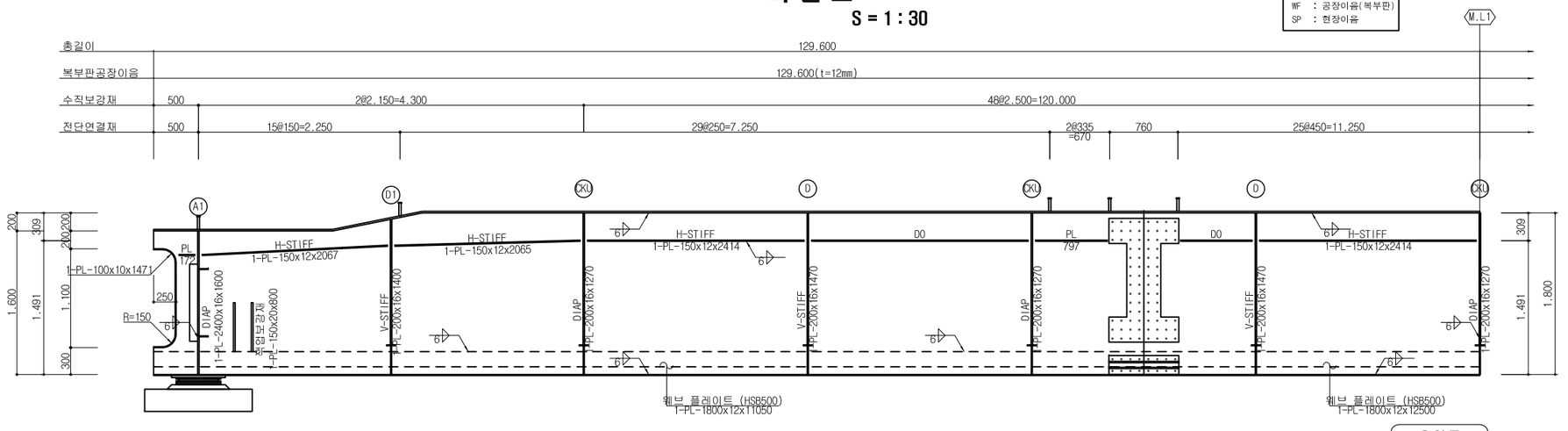


범 례

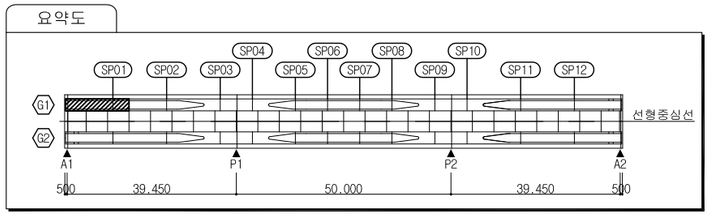
M.L	: Match Line
TF	: 공장이음(상판)
BF	: 공장이음(하판)
WF	: 공장이음(복부판)
SP	: 현장이음

측 면 도

S = 1 : 30



요약도



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발

NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
⚠				
⚠				
⚠				
⚠				

PROJECT: 절곡 강박스거더교 도면

TITLE: 강상형 상세도(1) (Double Bending)

DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	

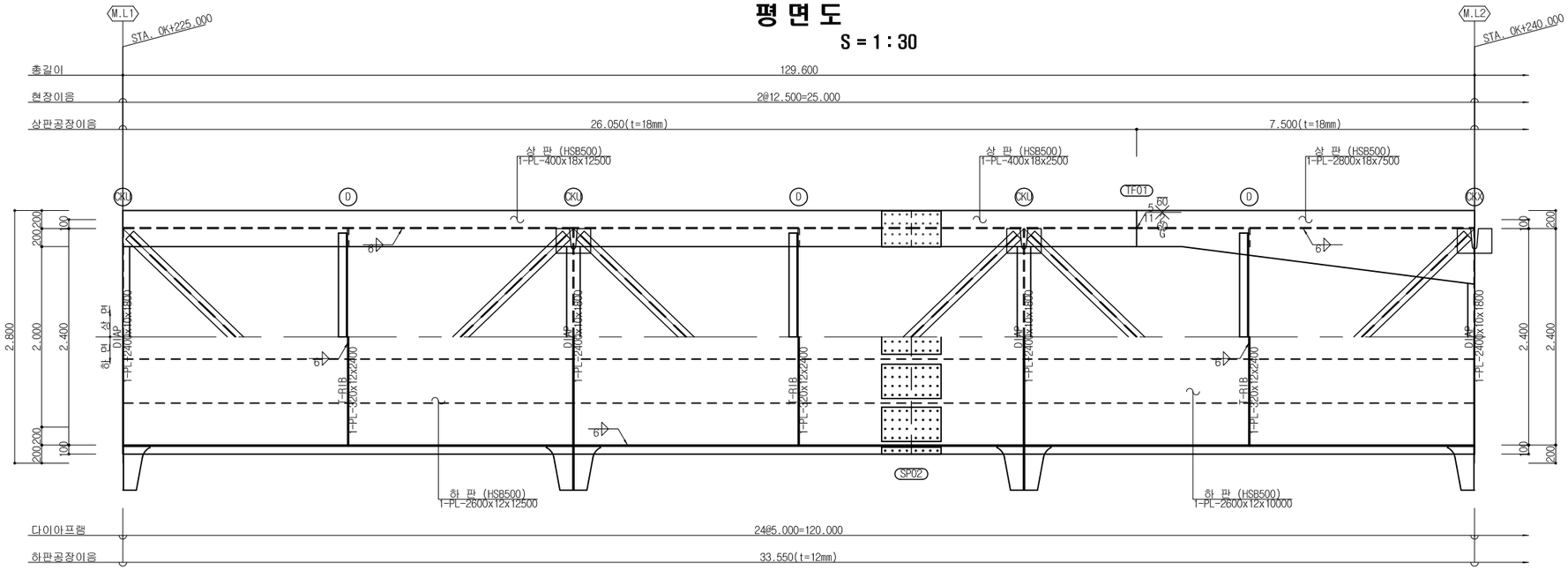
SCALE	S=1:30
DATE	2009.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

강상형 상세도(2)

(Double Bending)

평 면 도

S = 1 : 30

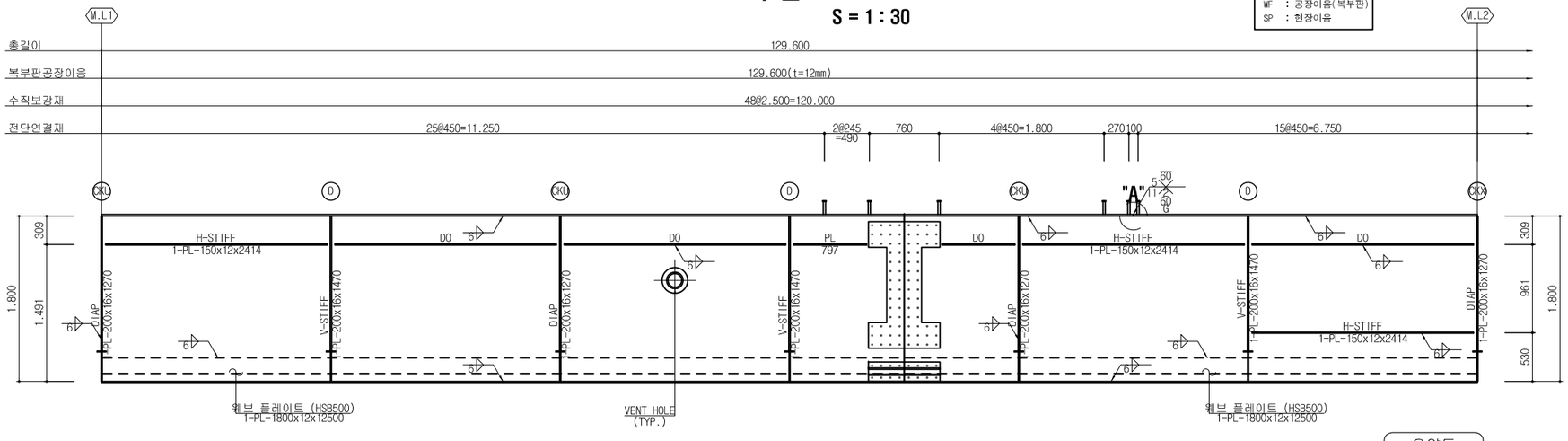


범 례

M.L	: Match Line
TF	: 공장이음(상판)
BF	: 공장이음(하판)
WF	: 공장이음(복부판)
SP	: 현장이음

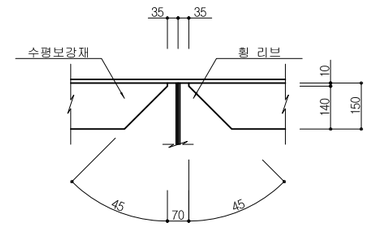
측 면 도

S = 1 : 30



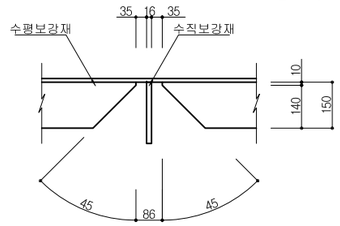
수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10



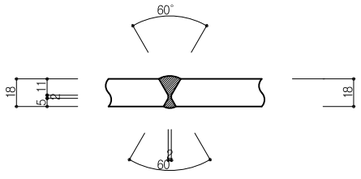
수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10

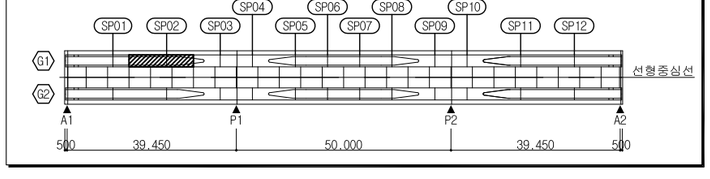


용 접 상 세 "A"

S = 1 : 2



요약도



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발	NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
	⚠				
	⚠				
	⚠				
	⚠				

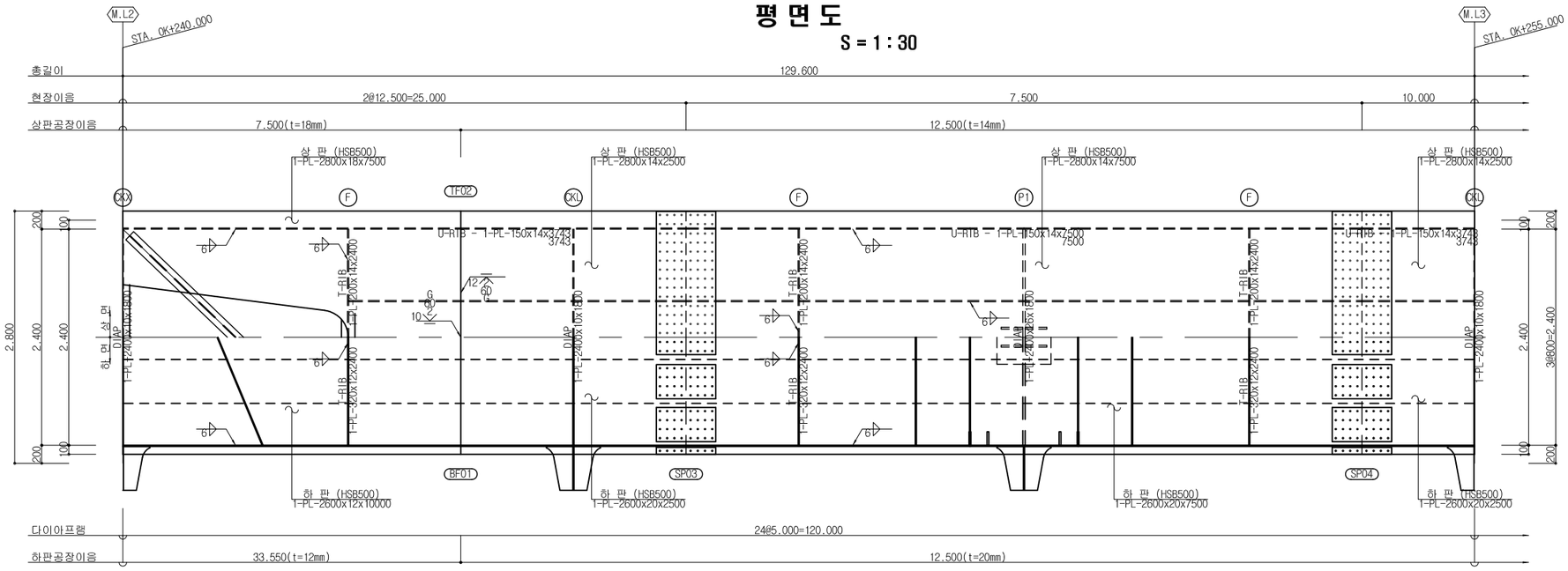
PROJECT	TITLE		
절곡 강박스거더교 도면	강상형 상세도(2) (Double Bending)	DRAWN BY	SCALE S=1:30
		DESIGNED BY	DATE 2009.
		CHECKED BY	SHEET NO.
		APPROVED BY	DRAWING NO. 17 REV. △

강상형 상세도(3)

(Double Bending)

평 면 도

S = 1 : 30

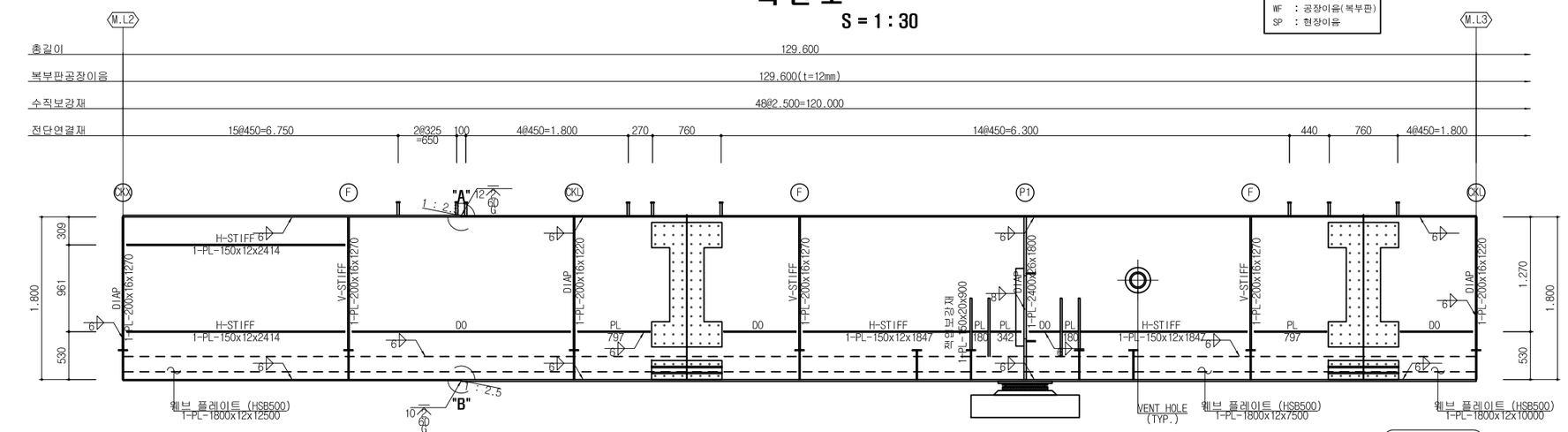


범 례

M,L	: Match Line
TF	: 공장이음(상판)
BF	: 공장이음(하판)
WF	: 공장이음(복부판)
SP	: 현장이음

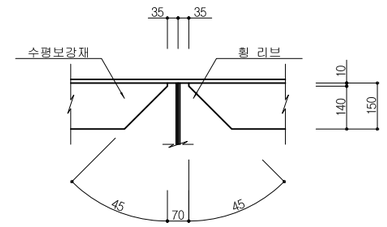
측 면 도

S = 1 : 30



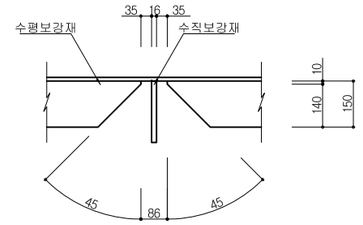
수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10



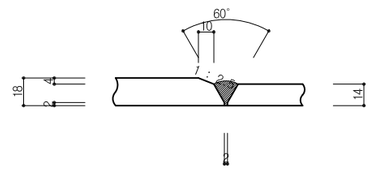
수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10



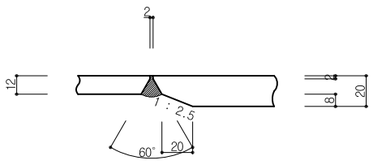
용 접 상 세 "A"

S = 1 : 2

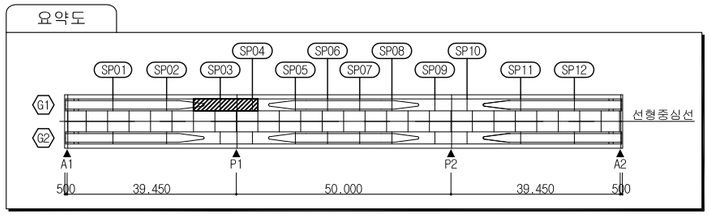


용 접 상 세 "B"

S = 1 : 2



요약도



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발

NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
⚠				
⚠				
⚠				
⚠				

PROJECT: 절곡 강박스거더교 도면

TITLE: 강상형 상세도(3) (Double Bending)

DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	

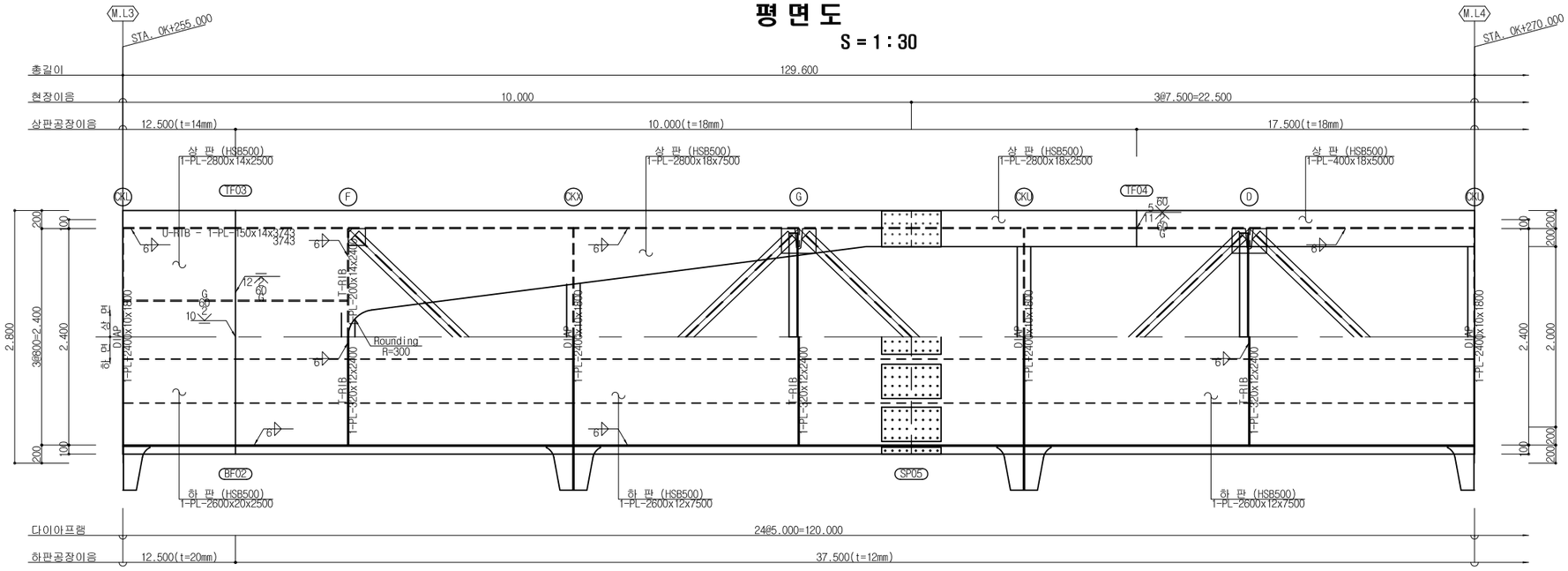
SCALE	S=1:30
DATE	2009.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

강상형 상세도(4)

(Double Bending)

평 면 도

S = 1 : 30

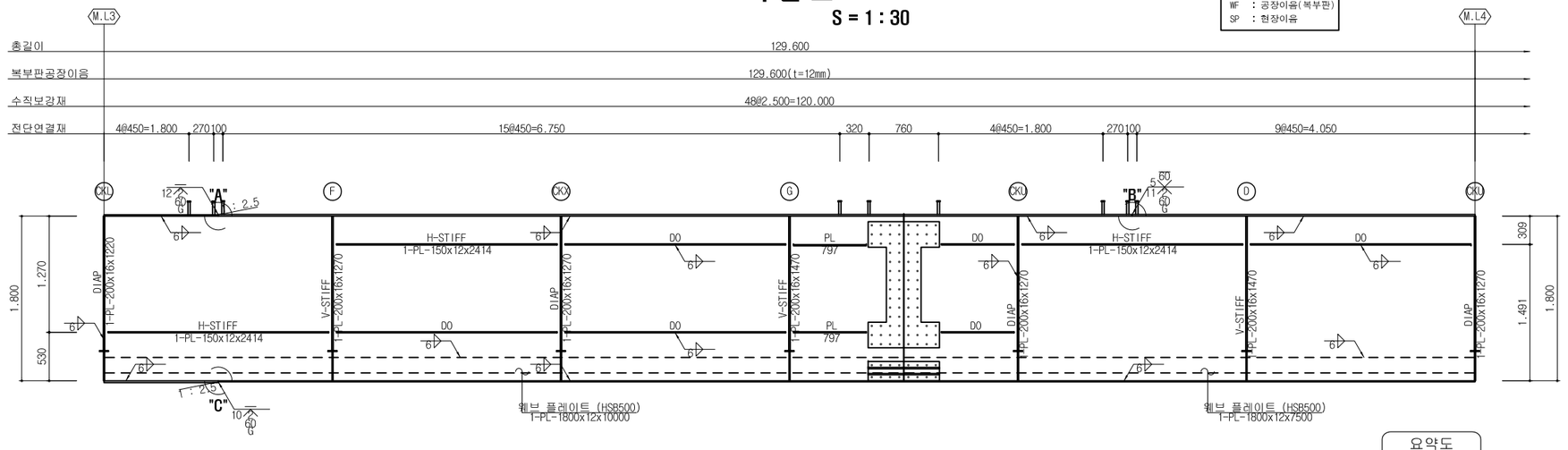


범 례

M.L	: Match Line
TF	: 공장이음(상판)
BF	: 공장이음(하판)
WF	: 공장이음(복부판)
SP	: 현장이음

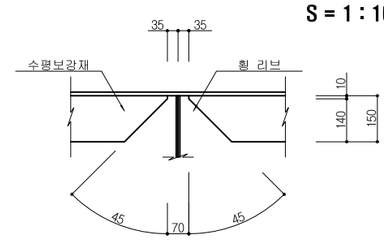
측 면 도

S = 1 : 30



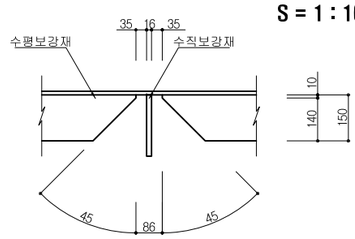
수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10



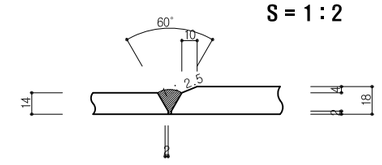
수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10



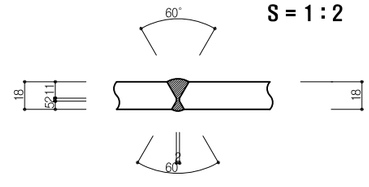
용 접 상 세 "A"

S = 1 : 2



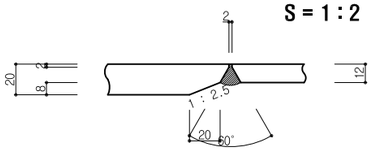
용 접 상 세 "B"

S = 1 : 2

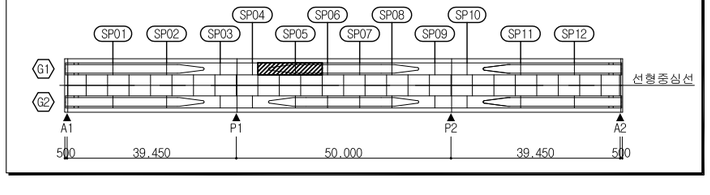


용 접 상 세 "C"

S = 1 : 2



요약도



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발	NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
	⚠				
	⚠				
	⚠				
	⚠				

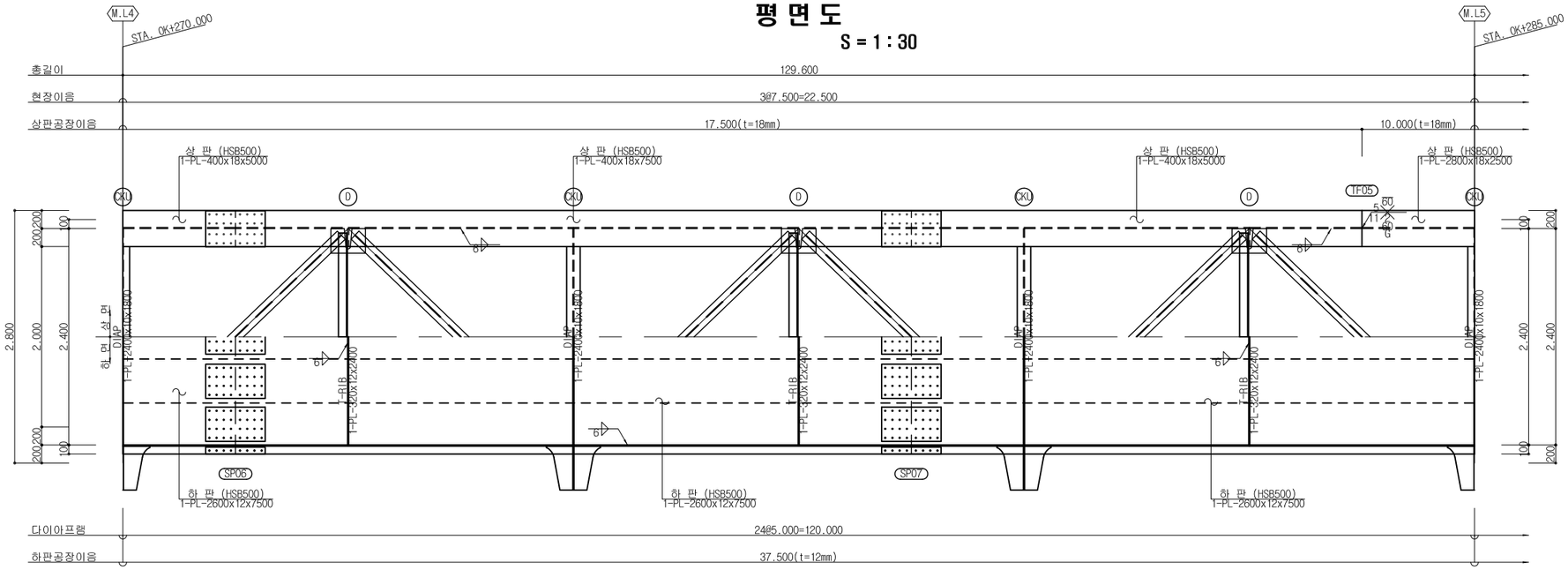
PROJECT	TITLE	DRAWN BY	SCALE	S=1:30
절곡 강박스거더교 도면	강상형 상세도(4) (Double Bending)	DESIGNED BY	DATE	2009.
		CHECKED BY	SHEET NO.	
		APPROVED BY	DRAWING NO. 17	REV. △

강상형 상세도(5)

(Double Bending)

평 면 도

S = 1 : 30

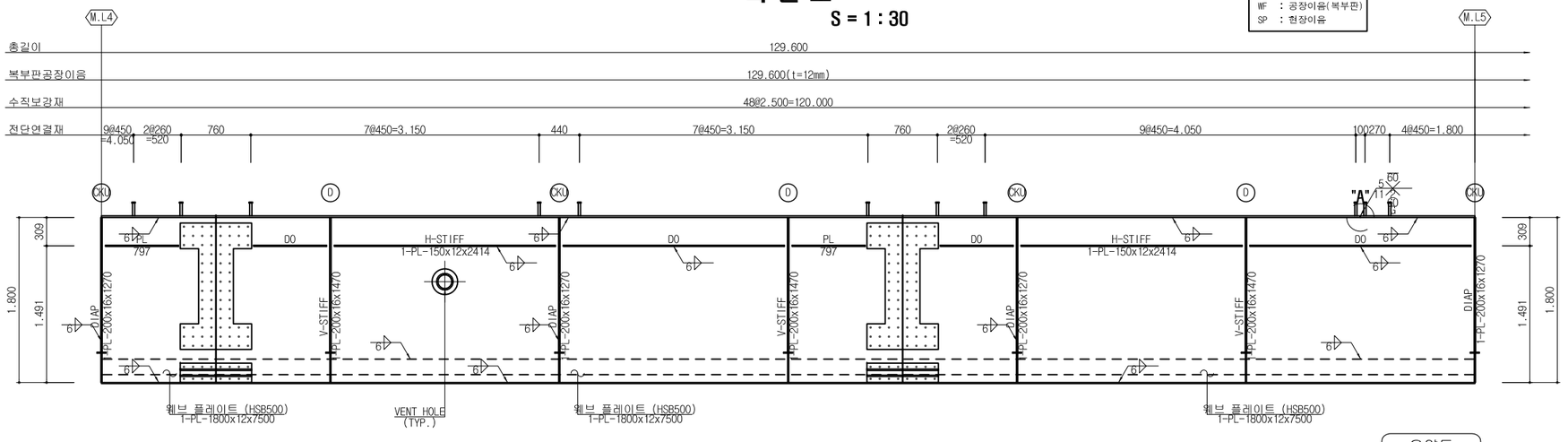


범 례

M.L	: Match Line
TF	: 공장이음(상판)
BF	: 공장이음(하판)
WF	: 공장이음(복부판)
SP	: 현장이음

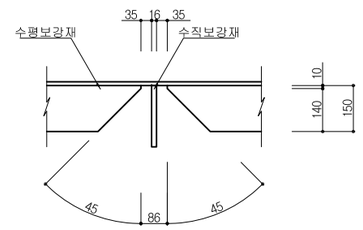
측 면 도

S = 1 : 30



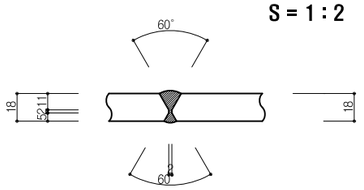
수평 보강재 부착상세

S = 1 : 10

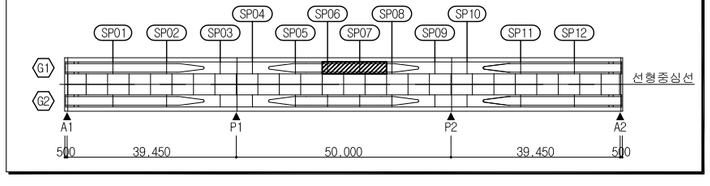


용 접 상 세 "A"

S = 1 : 2



요약도



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발	NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
	⚠				
	⚠				
	⚠				
	⚠				

PROJECT	TITLE		
절곡 강박스거더교 도면	강상형 상세도(5) (Double Bending)	DRAWN BY	SCALE S=1:30
		DESIGNED BY	DATE 2009.
		CHECKED BY	SHEET NO.
		APPROVED BY	DRAWING NO. 17 REV. △

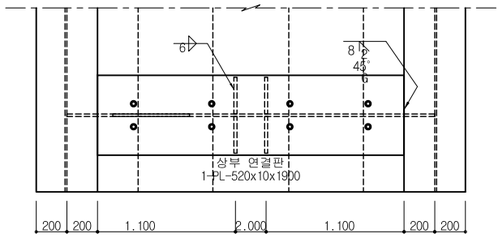
강상형 단면도(1)

(Double Bending)

(A1), (A2) [G1,G2]

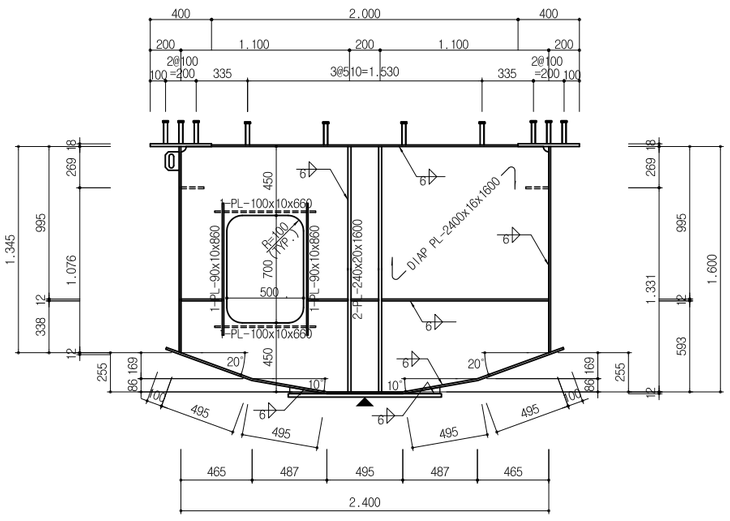
평면도(상판)

S = 1 : 20



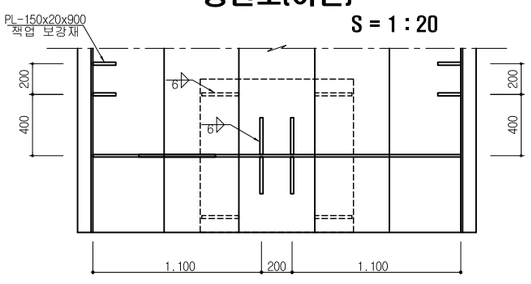
정면도

S = 1 : 20



평면도(하판)

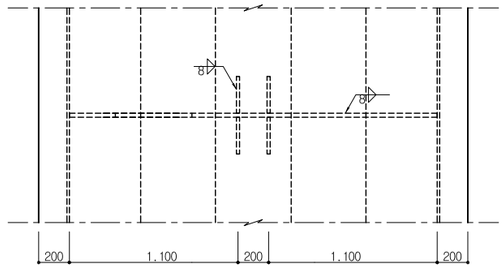
S = 1 : 20



(P1), (P2) [G1,G2]

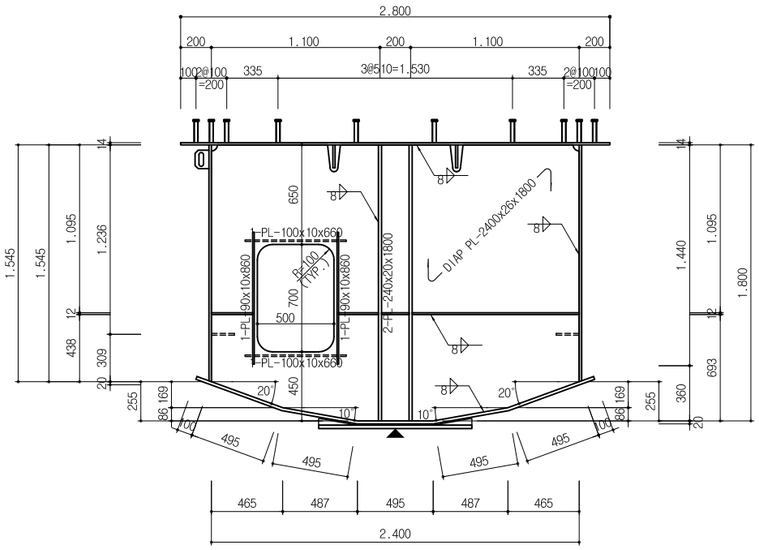
평면도(상판)

S = 1 : 20



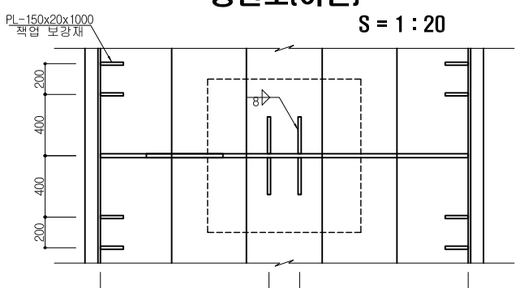
정면도

S = 1 : 20



평면도(하판)

S = 1 : 20



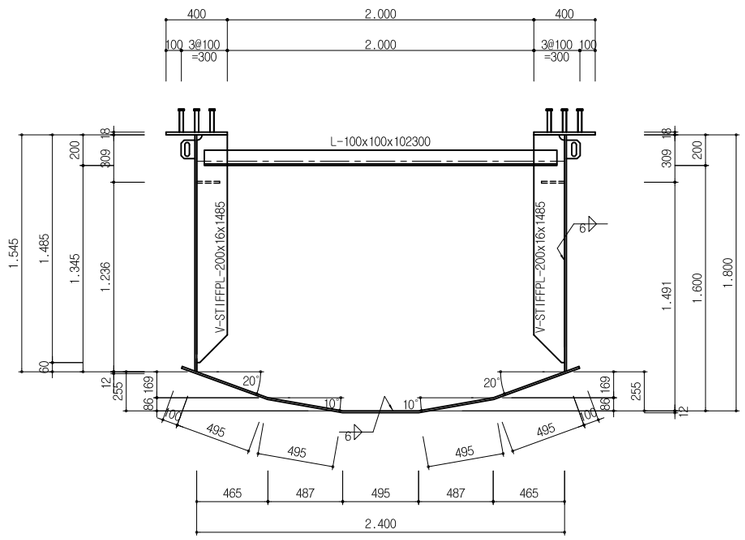
절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발	NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
	⚠				
	⚠				
	⚠				
	⚠				

PROJECT	TITLE			
절곡 강박스거더교 도면	강상형 단면도(1) (Double Bending)	DRAWN BY	SCALE	1:20
		DESIGNED BY	DATE	2017.02.
		CHECKED BY	SHEET NO.	
		APPROVED BY	DRAWING NO. 17	REV. △

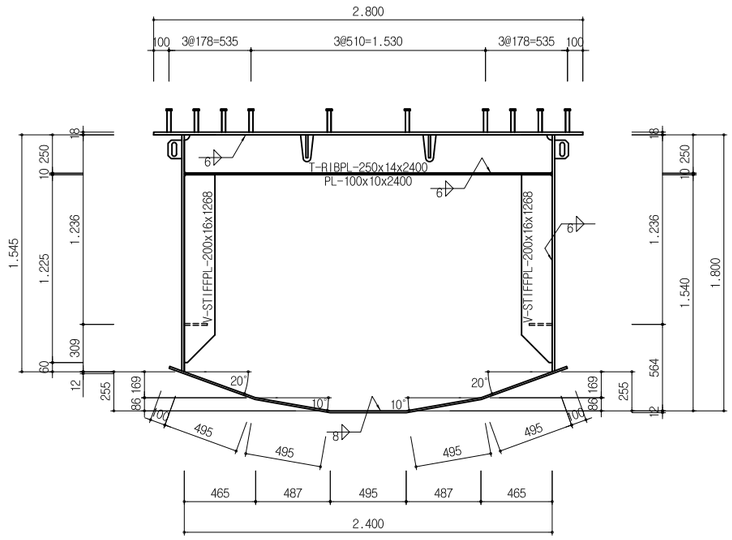
강상형 단면도(2)

(Double Bending)

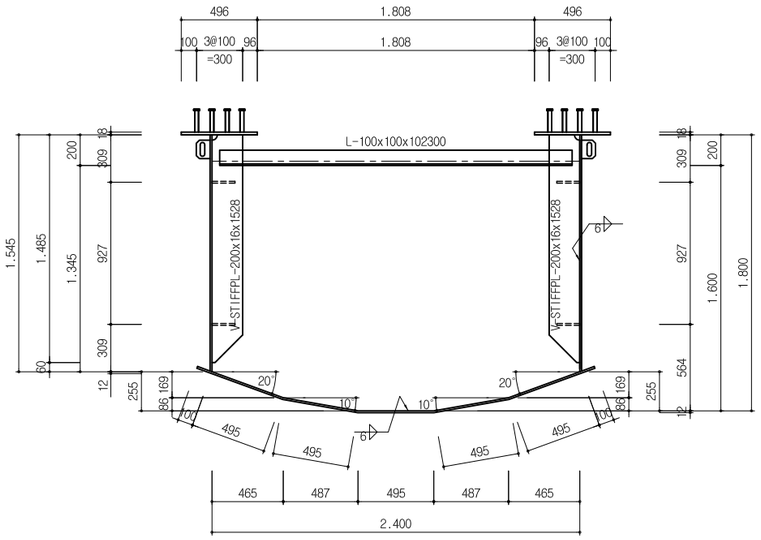
D [G1 ~ G2]



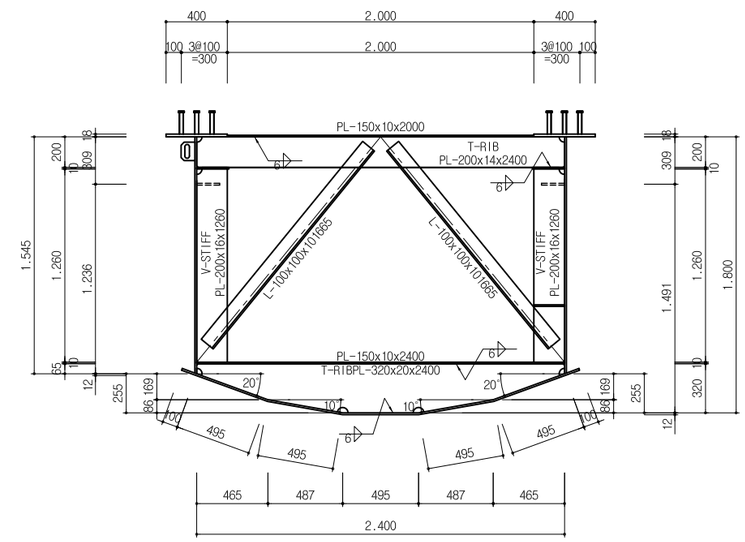
F [G1 ~ G2]



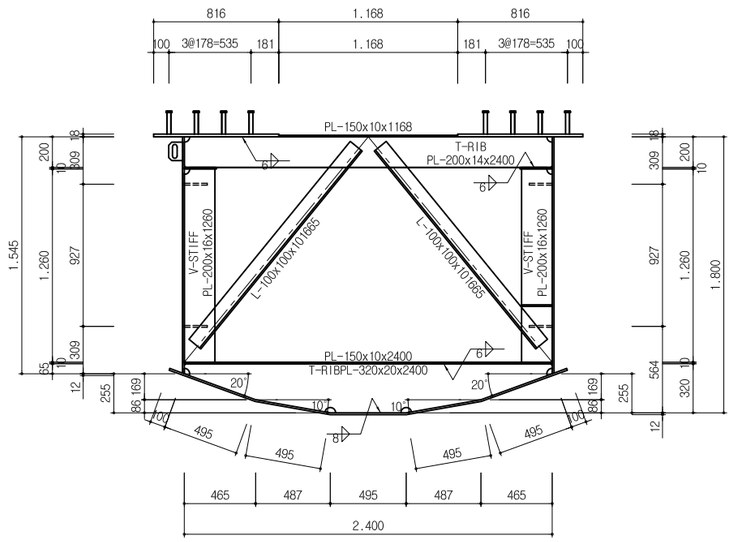
G [G1 ~ G2]



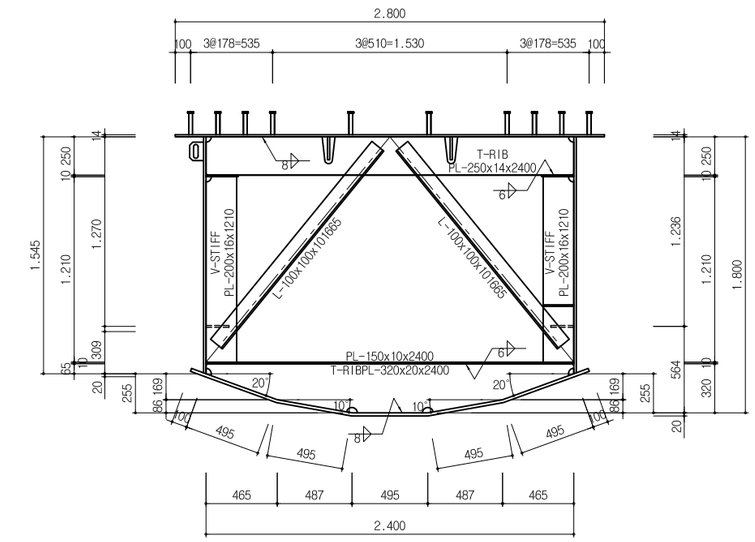
CKU [G1 ~ G2]



CKX [G1 ~ G2]



CKL [G1 ~ G2]



절곡 강박스거더
교량의 구조시스템 개발

NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
⚠				
⚠				
⚠				
⚠				

PROJECT
절곡 강박스거더교 도면

TITLE
강상형 단면도(2)
(Double Bending)

DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	

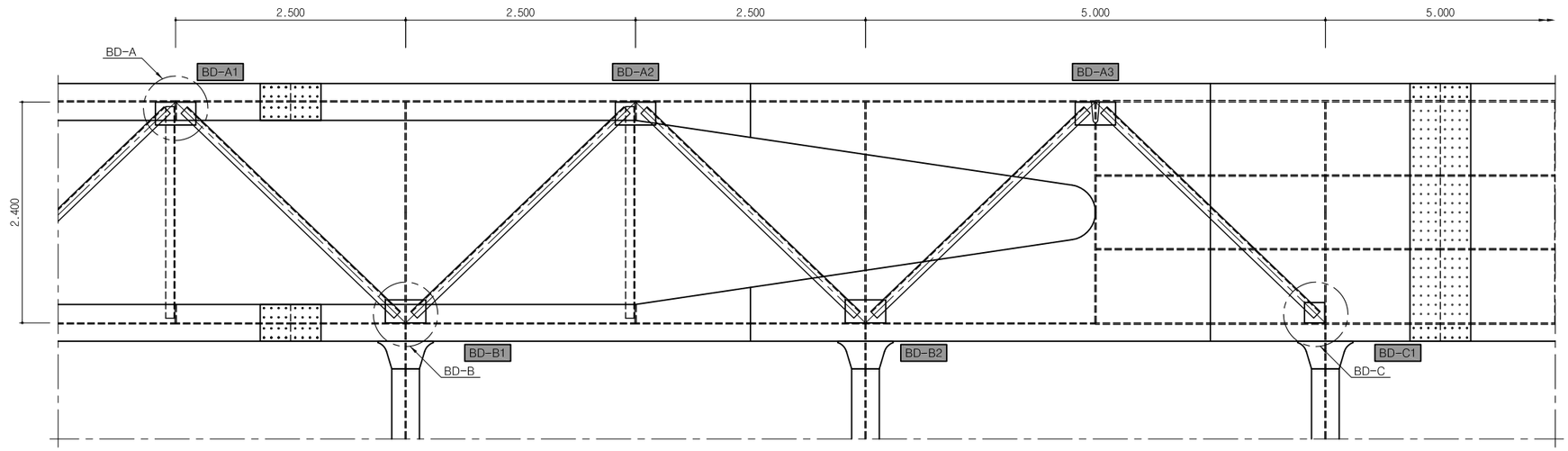
SCALE	1:20
DATE	2017.02.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

상부 브레이싱 상세도

(Double Bending)

평면도

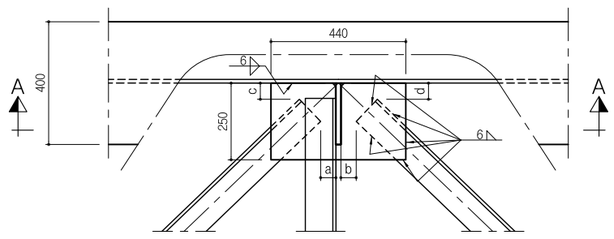
S = 1 : 30



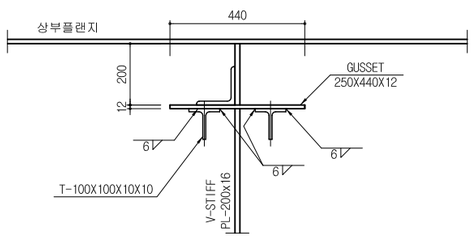
BD-A

S = 1 : 10

평면도



단면 A-A



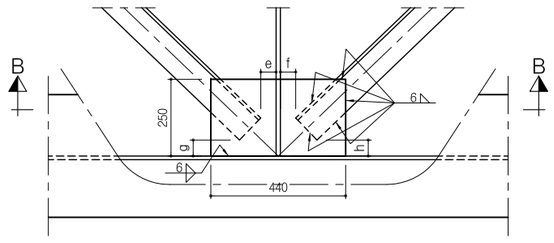
BD-A 치수표

구 분		a	b	c	d
G1	BD-A1	50	50	53	53
	BD-A2	50	50	53	53
	BD-A3	50	50	52	52

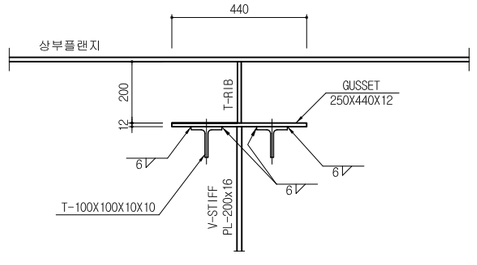
BD-B

S = 1 : 10

평면도



단면 B-B



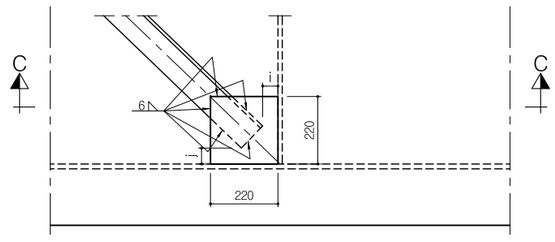
BD-B 치수표

구 분		e	f	g	h
G1	BD-B1	50	50	52	52
	BD-B2	50	50	52	52

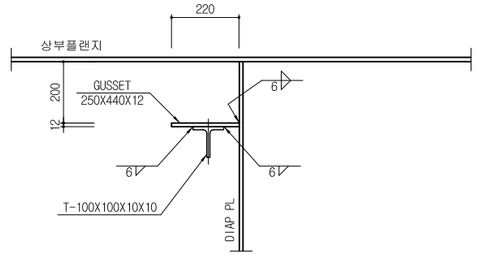
BD-C

S = 1 : 10

평면도



단면 C-C



BD-C 치수표

구 분		i	j
G1	BD-C1	50	52

절곡 강박스거더
교량의 구조시스템 개발

NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
⚠				
⚠				
⚠				
⚠				

PROJECT: 절곡 강박스거더교 도면

TITLE: 상부 브레이싱 상세도 (Double Bending)

DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	

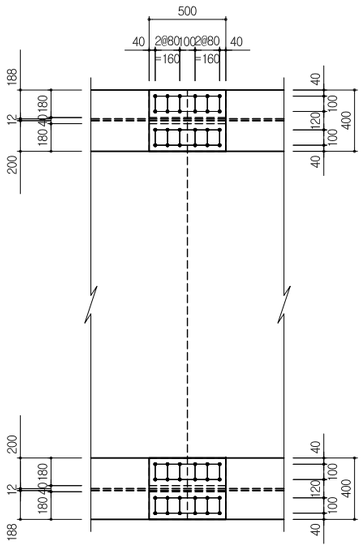
SCALE	1:30
DATE	2017.02.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△

현장이음 상세도

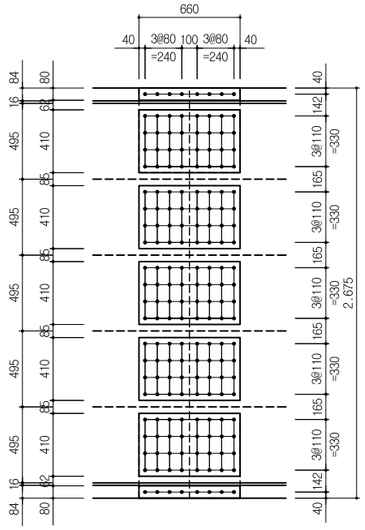
(Double Bending)

G1:SP01~02,05~08,11~12, G2:SP01~02,05~08,11~12

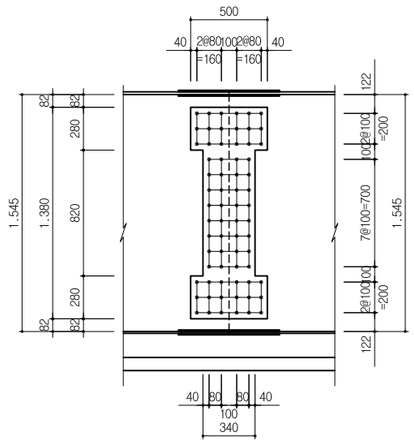
상 판
S = 1 : 20



하 판
S = 1 : 20



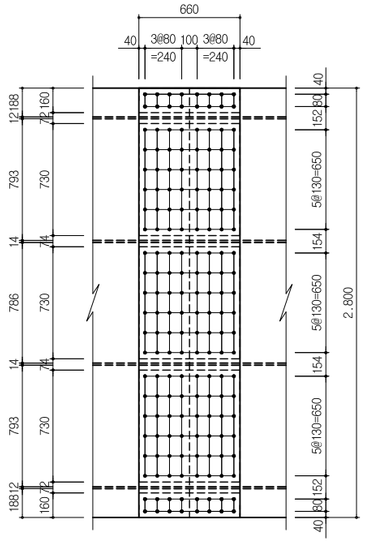
복부판
S = 1 : 20



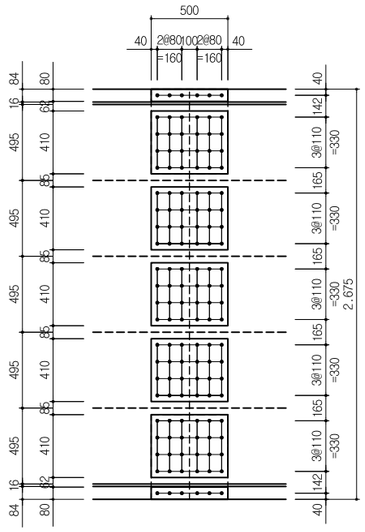
구분	부재명	너비 (mm)	두께 (mm)	길이 (mm)	수량 (개)	단위중량 (kgf/m3)	총중량 (kgf)	재질
상부 현장이음	상면 이음판	400	10	500	2	7850	31.4000	HSB500
	외측 이음판	180	10	500	2	7850	14.1300	HSB500
	내측 이음판	180	10	500	2	7850	14.1300	HSB500
	볼트-너트		22	80	48	0.5854	28.0992	F13T
하부 현장이음	하면 이음판	410	10	660	3	7850	63.7263	HSB500
	하면 이음판	552	10	660	2	7850	57.1982	HSB500
	외측 이음판	80	10	660	2	7850	8.2896	HSB500
	내측 이음판	410	10	660	5	7850	106.2105	HSB500
	볼트-너트		22	70	176	0.5556	97.7856	F13T
복부판 현장이음	전단 이음판	1380	10	500	4	7850	216.6600	HSB500
	볼트-너트		22	70	136	0.5556	75.5616	F13T
총중량 (SP01)							713.1910	
상부 현장이음	상면 이음판	2800	10	660	1	7850	145.0680	HSB500
	외측 이음판	160	10	660	2	7850	16.5792	HSB500
	내측 이음판	730	10	660	3	7850	113.4639	HSB500
	리브 이음판	130	12	820	4	7850	40.1669	HSB500
	볼트-너트		22	75	176	0.5705	100.4080	F13T
	리브 볼트-너트		22	80	20	0.5854	11.7080	F13T
하부 현장이음	하면 이음판	410	10	500	3	7850	48.2775	HSB500
	하면 이음판	552	10	500	2	7850	43.3320	HSB500
	외측 이음판	80	10	500	2	7850	6.2800	HSB500
	내측 이음판	410	10	500	5	7850	80.4625	HSB500
	볼트-너트		22	80	132	0.5854	77.2728	F13T
복부판 현장이음	전단 이음판	1380	10	500	4	7850	216.6600	HSB500
	볼트-너트		22	70	136	0.5556	75.5616	F13T
총중량 (SP03)							975.2404	

G1:SP03~04,09~10, G2:SP03~04,09~10

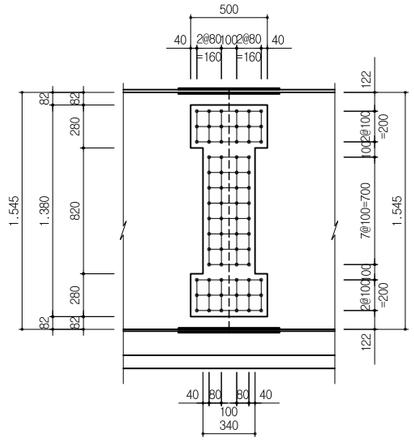
상 판
S = 1 : 20



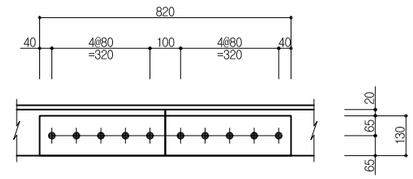
하 판
S = 1 : 20



복부판
S = 1 : 20



상부 리브 현장이음
S = 1 : 10



절곡 강박스거더 교량의 구조시스템 개발

NO	DATE	REVISED	CHECKED	APPROVED
⚠				
⚠				
⚠				
⚠				

PROJECT: 절곡 강박스거더교 도면

TITLE: 현장이음 상세도 (Double Bending)

DRAWN BY	
DESIGNED BY	
CHECKED BY	
APPROVED BY	

SCALE	S=1:30
DATE	2009.
SHEET NO.	
DRAWING NO.	17
REV.	△