관리번호

백운1교 등 7개소
정밀안전진단보고서
- 백운1교(부산,춘천) -

2016. 12

한국도로공사



백운1교 등 7개소

백운1교(부산,춘천)

125mm

3mm

정밀안전진단보고서

2016.12

한국도로공사

169mm

※ 주의사항

1. 표지색상(무광택)
   - 상 단 : c:30 m:0 y:0 k:0
   - 중간띠 : c:100 m:0 y:0 k:0
   - 하 단 : k:25
2. 앞표지 한국도로공사의 ex BI 사용 칼라 출력 (별첨 ai파일 참고)
3. 측면(세네카) ex 흑백 출력
4. 절대 이대로 출력하지 말 것.

관리번호

백운1교 등 7개소
정밀안전진단보고서
- 백운1교(부산, 춘천) -

2016. 12

한 국 도 로 공 사

진단기관 : (주)한국시설안전연구원
(주)정신이앤시
(주)회덕기술공사
(주)회덕

제 출 문

한국도로공사 강원본부장 귀하

귀 본부와 2016년 6월 17일자로 계약을 체결한 **“2016년도 백운1교 등 7개소 정밀안전진단 용역”**을 성실히 수행하고 백운1교(부산, 춘천)의 결과를 본 보고서에 수록하여 부속자료와 함께 제출합니다.

2016년 12월 26일

서울특별시 성동구 성수동2가 300-4
(주) 한 국 시 설 안 전 연 구 원
대표이사 안 평 기 (인)

부산광역시 부산진구 중앙대로 702번길 43
(주) 정 신 이 앤 시
대표이사 김 종 출 (인)

경상남도 김해시 김해대로 2315
(주) 회 덕 기 술 공 사
대표이사 노 경 배 (인)

부산광역시 동래구 미남로 36-1
(주) 회 덕
대표이사 이 철 수, 공 영 이 (인)

보고서 목차

제 1 장 정밀안전진단 개요 ····· 1

1.1 과업의 목적 ····· 3

1.2 과업의 범위 및 내용 ····· 3

1.2.1 과업의 범위 ····· 3

1.2.2 과업수행 기간 ····· 3

1.2.3 과업의 내용 ····· 4

1.3 과업수행 일정 ····· 5

1.3.1 과업수행절차 ····· 5

1.3.2 과업수행 일정 ····· 6

1.4 대상 교량의 현황 ····· 7

1.4.1 백운1교(부산) ····· 7

1.4.2 백운1교(춘천) ····· 25

1.5 사용장비 및 시험기기 현황 ····· 47

1.6 교량기호의 정의 ····· 51

제 2 장 자료수집 및 분석 ····· 53

2.1 자료수집 현황 ····· 55

2.1.1 백운1교(부산) ····· 55

2.1.2 백운1교(춘천) ····· 56

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약 ····· 57

2.2.1 백운1교(부산) ····· 57

2.2.2 백운1교(춘천) ····· 113

2.3 기존 점검 및 진단 실시결과 요약 ····· 114

2.3.1 점검 및 진단이력 ····· 114

2.3.2 전차 정밀안전진단 결과 요약 ····· 119

2.4 보수·보강 이력 ····· 137

2.4.1 백운1교(부산) ····· 137

2.4.2 백운1교(춘천) ····· 137

2.5 시설물 내진설계 여부 ····· 137
2.5.1 백운1교(춘천) ····· 137
2.5.2 백운1교(부산) ····· 137
2.6 자료분석 결과요약 ····· 143

제 3 장 현장조사 및 시험 ····· 149

3.1 개 요 ····· 151
3.1.1 대상구조물의 개요 ····· 151
3.1.2 현장조사 개요 ····· 151
3.1.3 현장조사 진행방향 ····· 152
3.1.4 교량 점검 및 접근방법 ····· 153
3.1.5 일반적 부재별, 손상별 발생원인 및 조사방향 ····· 154
3.1.6 부재제원 확인 ····· 155
3.2 백운1교(부산) 외관조사 ····· 157
3.2.1 상부구조 ····· 157
3.2.2 하부구조 ····· 179
3.2.3 교량받침 ····· 189
3.2.4 신축이음장치 ····· 197
3.2.5 교면포장 ····· 205
3.2.6 기타부재 ····· 207
3.3 백운1교(춘천) 외관조사 ····· 215
3.3.1 상부구조 ····· 215
3.3.2 하부구조 ····· 232
3.3.3 교량받침 ····· 250
3.3.4 신축이음장치 ····· 259
3.3.5 교면포장 ····· 267
3.3.6 기타부재 ····· 272
3.4 콘크리트 내구성조사 ····· 280
3.4.1 개 요 ····· 280
3.4.2 시험내용 및 평가기준 ····· 284
3.4.3 시험결과 및 분석 ····· 290

3.5 강재 내구성조사 ····· 305
3.5.1 개 요 ····· 305
3.5.2 시험내용 및 평가기준 ····· 306
3.5.3 시험결과 및 분석 ····· 307
3.6 현장조사 및 시험 결과요약 ····· 308
3.6.1 외관조사 결과요약 ····· 308
3.6.2 내구성조사 결과요약 ····· 314

제 4 장 시설물의 상태평가 ····· 319

4.1 개 요 ····· 321
4.1.1 경간(지점)별 부재 상태평가 산정 ····· 321
4.1.2 전체 시설물의 상태평가 결과 결정 ····· 321
4.1.3 상태평가 결과 산정 방법 ····· 321
4.1.4 구조형식에 따른 부재별 가중치 ····· 322
4.2 상태평가 항목 및 기준 ····· 323
4.2.1 부재별 상태평가 적용 범위 ····· 323
4.2.2 부재별 상태평가 기준 ····· 324
4.3 상태평가 결과 ····· 330
4.3.1 백운1교(부산) ····· 330
4.3.2 백운1교(춘천) ····· 335

제 5 장 시설물의 안전성평가 ····· 341

5.1 개 요 ····· 343
5.1.1 안전성평가의 방법 ····· 344
5.1.2 기본내하율(RF) 및 기본내하력(Po) 산정 ····· 344
5.2 백운1교(부산) 안전성평가 ····· 345
5.2.1 개 요 ····· 345
5.2.2 상부구조 안전성평가 ····· 350
5.2.3 내하력 평가 ····· 448
5.2.4 하부구조 안전성평가 ····· 449
5.2.5 안전성평가 결과 요약 ····· 461

5.3 백운1교(춘천) 안전성평가 ····· 464
5.3.1 개 요 ····· 464
5.3.2 상부구조 안전성평가 ····· 468
5.3.3 내하력 평가 ····· 493
5.3.4 하부구조 구조검토 ····· 494
5.3.5 안전성평가 결과 요약 ····· 500

제 6 장 종합평가 및 안전등급지정 ····· 503

6.1 종합평가 산정절차 ····· 505
6.2 종합평가 결과 ····· 506
6.2.1 백운1교(부산) ····· 506
6.2.2 백운1교(춘천) ····· 507
6.3 안전등급 지정 ····· 508
6.3.1 백운1교(부산) 안전등급 지정 ····· 509
6.3.2 백운1교(춘천) 안전등급 지정 ····· 509

제 7 장 보수·보강 및 유지관리방안 ····· 511

7.1 개 요 ····· 513
7.1.1 보수·보강 방안 수립에 따른 검토사항 ····· 513
7.1.2 보수·보강 필요성 판단 ····· 514
7.1.3 보수·보강 공법 선정 및 수준 결정 ····· 514
7.1.4 보수·보강 재료의 선정 ····· 515
7.1.5 보수·보강 우선순위 결정 ····· 516
7.2 보수·보강 방안 ····· 518
7.2.1 부재별 보수·보강방안 ····· 518
7.2.2 주요결함 및 손상에 대한 보수·보강 방법 ····· 522
7.3 보수·보강 개략공사비 ····· 544
7.3.1 백운1교(부산) ····· 544
7.3.2 백운1교(춘천) ····· 546
7.4 유지관리방안 ····· 548
7.4.1 개 요 ····· 548
7.4.2 부재별 일반 유지관리 사항 ····· 568

7.4.3 진단결과에 따른 중점 유지관리 사항 ····· 563
7.4.4 현장조사 현황사항 ····· 566
7.4.5 유지관리 개선 방안 ····· 568

제 8 장 종합결론 ····· 569

8.1 개 요 ····· 571
8.2 정밀안전진단 실시결과의 종합결론 ····· 571
8.2.1 백운1교(부산) ····· 571
8.2.2 백운1교(춘천) ····· 576
8.3 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항 ····· 582

□ 부 록

1. 심의지적사항 및 조치결과
2. 과업지시서
3. 외관조사망도
4. 측정, 시험, 계측 성과표
5. 상태평가 결과자료
6. 안전성평가 결과자료
7. 시설물관리대장 사본
8. 현황조사 및 외관조사 사진첩
9. 사용장비 및 기기의 사진
10. 사전조사 자료 일체
11. 기타 참고자료(설계도면 등)

표 목 차

【표 1.1】 과업의 내용 ····· 4
【표 1.2】 과업수행 공정표 ····· 6
【표 1.3】 백운1교(부산) 현황표 ····· 7
【표 1.4】 백운1교(춘천) 현황표 ····· 25
【표 1.5】 사용장비 및 시험기기 ····· 47
【표 1.6】 부재별 사용기호 ····· 51
【표 1.7】 지점, 경간의 분류 ····· 51

【표 2.1】 백운1교(부산) 자료수집 현황 ····· 55
【표 2.2】 백운1교(춘천) 자료수집 현황 ····· 56
【표 2.3】 백운1교(부산) 실시설계 기간 ····· 57
【표 2.4】 백운1교(부산) 실시설계 공구별 현황 ····· 58
【표 2.5】 백운1교(부산) 지형 및 지질 ····· 59
【표 2.6】 백운1교(부산) 토질조사 ····· 60
【표 2.7】 백운1교(부산) 구조물 설계기준 ····· 60
【표 2.8】 백운1교(부산) 설계조건 ····· 67
【표 2.9】 백운1교(부산) 슬래브 설계 ····· 74
【표 2.10】 백운1교(부산) 종형설계 ····· 75
【표 2.11】 백운1교(부산) 횡형설계(지간 12.6m) ····· 76
【표 2.12】 백운1교(부산) 주형설계 ····· 77
【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계 ····· 89
【표 2.14】 백운1교(부산) 교각설계 ····· 109
【표 2.15】 백운1교(부산) 주요 점검 및 진단이력 ····· 114
【표 2.16】 백운1교(춘천) 주요 점검 및 진단이력 ····· 116
【표 2.17】 백운1교(부산) 정밀안전진단(2011) 결과요약 ····· 119
【표 2.18】 백운1교(춘천) 정밀안전진단(2008) 결과요약 ····· 126
【표 2.19】 백운1교(춘천) 정밀안전진단(2013) 결과요약 ····· 129
【표 2.20】 백운1교(춘천) 보수・보강 이력 ····· 137
【표 2.21】 백운1교(춘천) 전단키 및 블록 제원표 ····· 141
【표 2.22】 백운1교(춘천) 전단키 설치 현황 ····· 142
【표 2.23】 백운1교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약 ····· 143

【표 3.1】 현장조사 진행방향 ····· 152
【표 3.2】 현장조사 기간 ····· 152
【표 3.3】 일반적 부재별, 손상별 발생원인 및 조사방향 ····· 154
【표 3.4】 부재제원 확인 ····· 155
【표 3.5】 백운1교(부산) 바닥판 외관조사 결과 ····· 158
【표 3.6】 백운1교(부산) 바닥판의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 161
【표 3.7】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 외관조사 결과 ····· 164
【표 3.8】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 용접두께 측정값 ····· 168
【표 3.9】 백운1교(부산) 도막두께 측정 ····· 169
【표 3.10】 백운1교(부산) 도막두께 측정결과 ····· 171
【표 3.11】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 172
【표 3.12】 백운1교(부산) 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거의 손상현황 ····· 176
【표 3.13】 백운1교(부산) 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 178
【표 3.14】 백운1교(부산) 교대의 손상현황 ····· 180
【표 3.15】 백운1교(부산) 교대의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 183
【표 3.16】 백운1교(부산) 교각의 손상현황 ····· 185
【표 3.17】 백운1교(부산) 교각의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 187
【표 3.18】 백운1교(부산) 교대 및 교각 측량 결과 ····· 189
【표 3.19】 백운1교(부산) 받침장치의 손상현황 ····· 190
【표 3.20】 백운1교(부산) 받침장치의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 192
【표 3.21】 백운1교(부산) 최소 연단거리 산정결과 ····· 193
【표 3.22】 백운1교(부산) 연단거리 측정결과 ····· 194
【표 3.23】 백운1교(부산) 교량받침 가동량 평가기준 ····· 194
【표 3.24】 백운1교(부산) 계산가동량 산정결과 ····· 195
【표 3.25】 백운1교(부산) 계산가동량 산정결과 ····· 196
【표 3.26】 백운1교(부산) 교량받침 가동여유량 검토결과 ····· 196
【표 3.27】 백운1교(부산) 신축이음장치 손상 발생 현황 ····· 197
【표 3.28】 백운1교(부산) 신축이음장치의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 199
【표 3.29】 백운1교(부산) 계산 신축량 산정 ····· 200
【표 3.30】 백운1교(부산) 계산 신축량 산정결과 ····· 201
【표 3.31】 백운1교(부산) 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : mm) ····· 201
【표 3.32】 백운1교(부산) 신축이음 유간거리 검토결과 ····· 202
【표 3.33】 백운1교(부산) 신축이음장치(A1) 손상 발생 현황 ····· 203
【표 3.34】 백운1교(부산) 일평균 최고 기온(원주기상대) ····· 203
【표 3.35】 백운1교(부산) 계산 신축량 산정결과(최고온도 30.9℃) ····· 204

【표 3.36】 백운1교(부산) 신축이음 유간거리 검토결과(최고온도 30.9℃) ····· 204
【표 3.37】 백운1교(부산) 배수시설 손상 발생 현황 ····· 208
【표 3.38】 벡운1교(부산) 배수시설의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 210
【표 3.39】 백운1교(부산) 방호울타리 외관조사 결과 ····· 211
【표 3.40】 백운1교(부산) 방호울타리의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 214
【표 3.41】 백운1교(춘천) 바닥판 외관조사 결과 ····· 215
【표 3.42】 백운1교(춘천) 바닥판의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 220
【표 3.43】 백운1교(춘천) AR Girder 외관조사 결과 ····· 225
【표 3.44】 백운1교(춘천) AR Girder의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 230
【표 3.45】 백운1교(춘천) 가로보의 손상현황 ····· 231
【표 3.46】 백운1교(춘천) 가로보의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 232
【표 3.47】 백운1교(춘천) 교대의 손상현황 ····· 233
【표 3.48】 백운1교(춘천) 교대의 보수후 손상현황 ····· 238
【표 3.49】 백운1교(춘천) 교대의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 239
【표 3.50】 백운1교(춘천) 교각의 손상현황 ····· 241
【표 3.51】 백운1교(춘천) 철근부식도 시험 ····· 244
【표 3.52】 백운1교(춘천) P1 철근부식도 시험결과 및 평가 ····· 245
【표 3.53】 백운1교(춘천) 교각의 보수후 손상현황 ····· 246
【표 3.54】 백운1교(춘천) 교각의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 247
【표 3.55】 백운1교(춘천) 교대 및 교각 측량 결과 ····· 250
【표 3.56】 백운1교(춘천) 받침장치의 손상현황 ····· 251
【표 3.57】 백운1교(춘천) 받침장치의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 254
【표 3.58】 백운1교(춘천) 최소 연단거리 산정결과 ····· 254
【표 3.59】 백운1교(춘천) 연단거리 측정결과 ····· 255
【표 3.60】 백운1교(춘천) 교량받침 가동량 평가기준 ····· 256
【표 3.61】 백운1교(춘천) 계산가동량 산정결과 ····· 257
【표 3.62】 백운1교(춘천) 계산가동량 산정결과 ····· 257
【표 3.63】 백운1교(춘천) 교량받침 가동여유량 검토결과 ····· 258
【표 3.64】 백운1교(춘천) 신축이음장치 손상 발생 현황 ····· 260
【표 3.65】 백운1교(춘천) 신축이음장치 보수후 손상현황 ····· 262
【표 3.66】 신축이음장치 유도배수시설 보수개요도 ····· 263
【표 3.67】 백운1교(춘천) 신축이음장치의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 264
【표 3.68】 백운1교(춘천) 계산 신축량 산정 ····· 264
【표 3.69】 백운1교(춘천) 계산 신축량 산정결과 ····· 265
【표 3.70】 백운1교(춘천) 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : mm) ····· 266

【표 3.71】 백운1교(춘천) 신축이음 유간거리 검토결과 ····· 266
【표 3.72】 백운1교(춘천) 교면포장 손상 발생 현황 ····· 267
【표 3.73】 백운1교(춘천) 교면포장의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 271
【표 3.74】 백운1교(춘천) 배수시설 손상 발생 현황 ····· 273
【표 3.75】 벡운1교(춘천) 배수시설의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 274
【표 3.76】 백운1교(춘천) 방호울타리 외관조사 결과 ····· 275
【표 3.77】 백운1교(춘천) 방호울타리의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 277
【표 3.78】 백운1교(춘천) 전선관 보호덮개 외관조사 결과 ····· 278
【표 3.79】 백운1교(춘천) 전선관 보호덮개의 기 진단과의 비교, 검토 ····· 279
【표 3.80】 백운1교 현장시험 측정일자 및 조사자 ····· 280
【표 3.81】 백운1교(부산) 기준수량 및 실시수량 ····· 280
【표 3.82】 백운1교(부산) 조사위치 선정사유 ····· 281
【표 3.83】 백운1교(춘천) 기준수량 및 실시수량 ····· 282
【표 3.84】 백운1교(춘천) 조사위치 선정사유 ····· 283
【표 3.85】 반발경도시험 ····· 284
【표 3.86】 초음파시험 ····· 285
【표 3.87】 철근탐사시험 ····· 286
【표 3.88】 탄산화깊이 측정 ····· 287
【표 3.89】 염화물 함유량 시험 ····· 288
【표 3.90】 균열깊이 조사 ····· 289
【표 3.91】 백운1교(부산) 부재별 콘크리트 비파괴강도 시험결과 ····· 290
【표 3.92】 백운1교(부산) 비파괴강도 시험결과 분석 ····· 291
【표 3.93】 백운1교(부산) 비파괴강도 측정결과 전차 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석 ····· 291
【표 3.94】 백운1교(부산) 철근탐사 시험결과 ····· 292
【표 3.95】 백운1교(부산) 철근탐사결과 전차 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석 ····· 293
【표 3.96】 백운1교(부산) 탄산화 깊이 측정결과 및 평가 ····· 293
【표 3.97】 백운1교(부산) 탄산화 깊이 측정결과 전차 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석 ····· 294
【표 3.98】 백운1교(부산) 염화물 함유량 시험결과 및 평가 ····· 295
【표 3.99】 백운1교(부산) 염화물 함유량 시험결과 전차 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석 ····· 295
【표 3.100】 백운1교(춘천) 부재별 콘크리트 비파괴강도 시험결과 ····· 296
【표 3.101】 백운1교(춘천) 비파괴강도 시험결과 분석 ····· 297
【표 3.102】 백운1교(춘천) 비파괴강도 측정결과 전차 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석 ····· 297
【표 3.103】 백운1교(춘천) 철근탐사 시험결과 ····· 298
【표 3.104】 백운1교(춘천) 철근탐사결과 전차 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석 ····· 300
【표 3.105】 백운1교(춘천) 탄산화 깊이 측정결과 및 평가 ····· 301

【표 3.106】 백운1교(춘천) 탄산화 깊이 측정결과 전차 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석 ····· 302
【표 3.107】 백운1교(춘천) 염화물 함유량 시험결과 및 평가 ····· 302
【표 3.108】 백운1교(춘천) 염화물 함유량 시험결과 전차 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석 ····· 303
【표 3.109】 백운1교(춘천) 균열깊이 조사결과 및 평가 ····· 304
【표 3.110】 백운1교(부산) 강재 재료시험항목 및 조사 전경 ····· 305
【표 3.111】 초음파탐상시험 ····· 306
【표 3.112】 백운1교(부산) 초음파탐상 시험결과 ····· 307
【표 3.113】 백운1교(부산) 초음파탐상 시험결과 전차 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석 ····· 307
【표 3.114】 백운1교(부산) 외관조사 결과요약 ····· 308
【표 3.115】 백운1교(춘천) 외관조사 결과요약 ····· 310
【표 3.116】 백운1교(부산) 내구성조사 결과요약 ····· 314
【표 3.117】 백운1교(춘천) 내구성조사 결과요약 ····· 316

【표 4.1】 결함도 점수 범위에 따른 기준 ····· 321
【표 4.2】 구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치 ····· 322
【표 4.3】 부재별 상태평가 적용 범위 ····· 323
【표 4.4】 콘크리트 바닥판 상태평가 기준 ····· 324
【표 4.5】 Steel Box Girder 상태평가 기준 ····· 324
【표 4.6】 철근콘크리트 상태평가 기준 ····· 325
【표 4.7】 콘크리트 가로보 상태평가 기준 ····· 325
【표 4.8】 강 가로보, 세로보 상태평가 기준 ····· 326
【표 4.9】 교대 상태평가 기준 ····· 326
【표 4.10】 교각 상태평가 기준 ····· 327
【표 4.11】 교량받침 상태평가 기준 ····· 327
【표 4.12】 신축이음 상태평가 기준 ····· 328
【표 4.13】 교면포장 상태평가 기준 ····· 328
【표 4.14】 배수시설 상태평가 기준 ····· 328
【표 4.15】 난간 및 연석 상태평가 기준 ····· 329
【표 4.16】 탄산화 상태평가 기준 ····· 329
【표 4.17】 염화물 상태평가 기준 ····· 329
【표 4.18】 백운1교(부산) 콘크리트 바닥판 상태평가 결과 ····· 330
【표 4.19】 백운1교(부산) 거더(Steel Box Girder) 상태평가 결과 ····· 330
【표 4.20】 백운1교(부산) 강 가로보와 세로보 상태평가 결과 ····· 330
【표 4.21】 백운1교(부산) 콘크리트 교대 상태평가 결과 ····· 330
【표 4.22】 백운1교(부산) 콘크리트 교각 상태평가 결과 ····· 331

【표 4.23】 백운1교(부산) 기초 상태평가 결과 ····· 331
【표 4.24】 백운1교(부산) 교량받침 상태평가 결과 ····· 331
【표 4.25】 백운1교(부산) 신축이음 상태평가 결과 ····· 331
【표 4.26】 백운1교(부산) 교면포장 상태평가 결과 ····· 331
【표 4.27】 백운1교(부산) 배수시설 상태평가 결과 ····· 332
【표 4.28】 백운1교(부산) 난간 및 연석 상태평가 결과 ····· 332
【표 4.29】 백운1교(부산) 탄산화 상태평가 결과 ····· 332
【표 4.30】 백운1교(부산) 염화물 상태평가 결과 ····· 332
【표 4.31】 백운1교(부산) 상태평가 결과 ····· 333
【표 4.32】 백운1교(부산) 상태평가 전회 점검 및 진단 결과와의 비교·분석 ····· 334
【표 4.33】 백운1교(춘천) 콘크리트 바닥판 상태평가 결과 ····· 335
【표 4.34】 백운1교(춘천) 철근콘크리트 거더 상태평가 결과 ····· 335
【표 4.35】 백운1교(춘천) 콘크리트 가로보 상태평가 결과 ····· 335
【표 4.36】 백운1교(춘천) 콘크리트 교대 상태평가 결과 ····· 335
【표 4.37】 백운1교(춘천) 콘크리트 교각 상태평가 결과 ····· 336
【표 4.38】 백운1교(춘천) 기초 상태평가 결과 ····· 336
【표 4.39】 백운1교(춘천) 교량받침 상태평가 결과 ····· 336
【표 4.40】 백운1교(춘천) 신축이음 상태평가 결과 ····· 336
【표 4.41】 백운1교(춘천) 교면포장 상태평가 결과 ····· 336
【표 4.42】 백운1교(춘천) 배수시설 상태평가 결과 ····· 337
【표 4.43】 백운1교(춘천) 난간 및 연석 상태평가 결과 ····· 337
【표 4.44】 백운1교(춘천) 탄산화 상태평가 결과 ····· 337
【표 4.45】 백운1교(춘천) 염화물 상태평가 결과 ····· 337
【표 4.46】 백운1교(춘천) 상태평가 결과 ····· 338
【표 4.47】 백운1교(춘천) 상태평가 전회 진단 결과와의 비교·분석 ····· 339

【표 5.1】 구조물의 안전성평가 기준 ····· 343
【표 5.2】 기본내하율(RF) 및 기본내하력(Po) 산정 ····· 344
【표 5.3】 백운1교(부산) 구조검토 조건 비교 ····· 345
【표 5.4】 백운1교(부산) 부재 제원 확인 결과 ····· 346
【표 5.5】 백운1교(부산) 사용재료 및 강도 ····· 348
【표 5.6】 백운1교(부산) 단면제원 및 철근량 ····· 349
【표 5.7】 적용하중의 강도 및 산정근거 ····· 358
【표 5.8】 응력 검토 시 사용하중 조합경우 ····· 359
【표 5.9】 극한강도 검토 시 계수하중 조합경우 ····· 359

【표 5.10】 부재별 단면 제원 ····· 362
【표 5.11】 단면 제상수 산정 결과 ····· 363
【표 5.12】 백운1교(부산) 강재 자중 ····· 365
【표 5.13】 백운1교(부산) 방호울타리 및 포장하중 산정 결과 ····· 365
【표 5.14】 백운1교(부산) 이동하중 해석 시 기본 설정내용 ····· 366
【표 5.15】 백운1교(부산) 2주구 트러스에 작용하는 풍하중 ····· 368
【표 5.16】 백운1교(부산) 부재별 최대 단면력 산출 결과 ····· 373
【표 5.17】 백운1교(부산) 응력 검토 시 사용하중조합 경우 ····· 374
【표 5.18】 백운1교(부산) 보강거더 적용 사용하중 ····· 376
【표 5.19】 백운1교(부산) 보강거더 허용휨인장응력(fta) ····· 376
【표 5.20】 백운1교(부산) 보강거더 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca) ····· 377
【표 5.21】 백운1교(부산) 보강거더 상부플랜지 허용휨압축응력(fbagy) ····· 378
【표 5.22】 백운1교(부산) 보강거더 하부플랜지 허용휨압축응력(fbagy) ····· 378
【표 5.23】 백운1교(부산) 보강거더 좌측 복부 허용휨압축응력(fbagy) ····· 379
【표 5.24】 백운1교(부산) 보강거더 우측 복부 허용휨압축응력(fbagy) ····· 379
【표 5.25】 백운1교(부산) 보강거더 허용 오일러 좌굴응력 ····· 379
【표 5.26】 백운1교(부산) 보강거더 허용전단응력(Va) ····· 380
【표 5.27】 백운1교(부산) 보강거더 자유돌출판(Top Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 380
【표 5.28】 백운1교(부산) 보강거더 자유돌출판(Top Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ··· 381
【표 5.29】 백운1교(부산) 보강거더 자유돌출판(Left Web(B))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 381
【표 5.30】 백운1교(부산) 보강거더 자유돌출판(Right Web(B))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 381
【표 5.31】 백운1교(부산) 보강거더 보강된 판(Top Flange)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ····· 382
【표 5.32】 백운1교(부산) 보강거더 보강된 판(Left Web)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ····· 383
【표 5.33】 백운1교(부산) 보강거더 보강된 판(Right Web)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ····· 383
【표 5.34】 백운1교(부산) 보강거더 허용응력 요약 ····· 383
【표 5.35】 백운1교(부산) 아치리브 적용 사용하중 ····· 386
【표 5.36】 백운1교(부산) 아치리브 허용휨인장응력(fta) ····· 386
【표 5.37】 백운1교(부산) 아치리브 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca) ····· 387
【표 5.38】 백운1교(부산) 아치리브 상부플랜지 허용휨압축응력(fbagy) ····· 388
【표 5.39】 백운1교(부산) 아치리브 하부플랜지 허용휨압축응력(fbagy) ····· 388
【표 5.40】 백운1교(부산) 아치리브 좌측 복부 허용휨압축응력(fbagy) ····· 389
【표 5.41】 백운1교(부산) 아치리브 우측 복부 허용휨압축응력(fbagy) ····· 389
【표 5.42】 백운1교(부산) 아치리브 허용 오일러 좌굴응력 ····· 389
【표 5.43】 백운1교(부산) 아치리브 허용전단응력(Va) ····· 390
【표 5.44】 백운1교(부산) 아치리브 자유돌출판(Bottom Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 390

【표 5.45】 백운1교(부산) 아치리브 자유돌출판(Bottom Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 391
【표 5.46】 백운1교(부산) 아치리브 보강된 판(Top Flange)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 391
【표 5.47】 백운1교(부산) 아치리브 보강된 판(Left Web)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 392
【표 5.48】 백운1교(부산) 아치리브 보강된 판(Right Web)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 392
【표 5.49】 백운1교(부산) 아치리브 허용응력 요약 ···· 393
【표 5.50】 백운1교(부산) 행거 적용 사용하중 ···· 397
【표 5.51】 백운1교(부산) 행거 허용휨인장응력(fta) ···· 397
【표 5.52】 백운1교(부산) 행거 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca) ···· 398
【표 5.53】 백운1교(부산) 행거 Top Flange 허용휨압축응력(fbagy) ···· 399
【표 5.54】 백운1교(부산) 행거 Bottom Flange 허용휨압축응력(fbagy) ···· 399
【표 5.55】 백운1교(부산) 행거 Left Web 허용휨압축응력(fbagy) ···· 400
【표 5.56】 백운1교(부산) 행거 Right Web 허용휨압축응력(fbagy) ···· 400
【표 5.57】 백운1교(부산) 행거 허용 오일러 좌굴응력 ···· 400
【표 5.58】 백운1교(부산) 행거 허용전단응력(Va) ···· 401
【표 5.59】 백운1교(부산) 행거 자유돌출판(Left Web(T))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 401
【표 5.60】 백운1교(부산) 행거 자유돌출판(Left Web(B))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 402
【표 5.61】 백운1교(부산) 행거 자유돌출판(Left Web(T))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 402
【표 5.62】 백운1교(부산) 행거 자유돌출판(Left Web(B))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 402
【표 5.63】 백운1교(부산) 행거 Top Flange 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 403
【표 5.64】 백운1교(부산) 행거 Bottom Flange 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 403
【표 5.65】 백운1교(부산) 행거 보강된 판의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 404
【표 5.66】 백운1교(부산) 행거 허용응력 요약 ···· 404
【표 5.67】 백운1교(부산) 상부가로보 적용 사용하중 ···· 408
【표 5.68】 백운1교(부산) 상부가로보 허용휨인장응력(fta) ···· 408
【표 5.69】 백운1교(부산) 행거 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca) ···· 409
【표 5.70】 백운1교(부산) 상부가로보 상부플랜지 허용휨압축응력(fbagy)) ···· 410
【표 5.71】 백운1교(부산) 상부가로보 하부플랜지 허용휨압축응력(fbagy)) ···· 410
【표 5.72】 백운1교(부산) 상부가로보 좌측 복부 허용휨압축응력(fbagy)) ···· 411
【표 5.73】 백운1교(부산) 상부가로보 허용 오일러 좌굴응력 ···· 411
【표 5.74】 백운1교(부산) 상부가로보 허용전단응력(Va) ···· 411
【표 5.75】 백운1교(부산) 상부가로보 자유돌출판(Top Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 412
【표 5.76】 백운1교(부산) 상부가로보 자유돌출판(Top Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 412
【표 5.77】 백운1교(부산) 상부가로보 자유돌출판(Bottom Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 412
【표 5.78】 백운1교(부산) 상부가로보 자유돌출판(Bottom Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 413
【표 5.79】 백운1교(부산) 상부가로보 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 413

【표 5.80】 백운1교(부산) 상부가로보 허용응력 요약 ····· 413
【표 5.81】 백운1교(부산) 하부가로보 적용 사용하중 ····· 416
【표 5.82】 백운1교(부산) 하부가로보 허용휨인장응력(fta) ····· 416
【표 5.83】 백운1교(부산) 하부가로보 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca) ····· 417
【표 5.84】 백운1교(부산) 하부가로보 상부플랜지 허용휨압축응력(fbagy)) ····· 418
【표 5.85】 백운1교(부산) 하부가로보 하부플랜지 허용휨압축응력(fbagy)) ····· 418
【표 5.86】 백운1교(부산) 하부가로보 좌측 복부 허용휨압축응력(fbagy)) ····· 419
【표 5.87】 백운1교(부산) 하부가로보 허용 오일러 좌굴응력 ····· 419
【표 5.88】 백운1교(부산) 하부가로보 허용전단응력(Va) ····· 419
【표 5.89】 백운1교(부산) 하부가로보 자유돌출판(Left Web(T))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 420
【표 5.90】 백운1교(부산) 하부가로보 자유돌출판(Left Web(B))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 420
【표 5.91】 백운1교(부산) 하부가로보 자유돌출판(Right Web(T))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 420
【표 5.92】 백운1교(부산) 하부가로보 자유돌출판(Right Web(B))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 421
【표 5.93】 백운1교(부산) 하부가로보 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ····· 421
【표 5.94】 백운1교(부산) 하부가로보 허용응력 요약 ····· 421
【표 5.95】 백운1교(부산) 브레이싱 적용 사용하중 ····· 424
【표 5.96】 백운1교(부산) 브레이싱 허용휨인장응력(fta) ····· 424
【표 5.97】 백운1교(부산) 브레이싱 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca) ····· 425
【표 5.98】 백운1교(부산) 브레이싱 상부플랜지 허용휨압축응력(fbagy)) ····· 426
【표 5.99】 백운1교(부산) 브레이싱 하부플랜지 허용휨압축응력(fbagy)) ····· 426
【표 5.100】 백운1교(부산) 브레이싱 좌측 복부 허용휨압축응력(fbagy)) ····· 427
【표 5.101】 백운1교(부산) 브레이싱 허용 오일러 좌굴응력 ····· 427
【표 5.102】 백운1교(부산) 브레이싱 허용전단응력(Va) ····· 427
【표 5.103】 백운1교(부산) 브레이싱 자유돌출판(Top Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 428
【표 5.104】 백운1교(부산) 브레이싱 자유돌출판(Top Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 428
【표 5.105】 백운1교(부산) 브레이싱 자유돌출판(Bottom Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 428
【표 5.106】 백운1교(부산) 브레이싱 자유돌출판(Bottom Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 429
【표 5.107】 백운1교(부산) 브레이싱 양연지지판(Left Web)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ····· 429
【표 5.108】 백운1교(부산) 브레이싱 허용응력 요약 ····· 429
【표 5.109】 백운1교(부산) 세로보 적용 사용하중 ····· 433
【표 5.110】 백운1교(부산) 세로보 허용휨인장응력(fta) ····· 433
【표 5.111】 백운1교(부산) 세로보 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca) ····· 434
【표 5.112】 백운1교(부산) 세로보 상부플랜지 허용휨압축응력(fbagy)) ····· 435
【표 5.113】 백운1교(부산) 세로보 하부플랜지 허용휨압축응력(fbagy)) ····· 435
【표 5.114】 백운1교(부산) 세로보 좌측 복부 허용휨압축응력(fbagy)) ····· 436

【표 5.115】 백운1교(부산) 세로보 허용 오일러 좌굴응력 ····· 436
【표 5.116】 백운1교(부산) 세로보 허용전단응력(Va) ····· 436
【표 5.117】 백운1교(부산) 세로보 자유돌출판(Top Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 437
【표 5.118】 백운1교(부산) 세로보 자유돌출판(Top Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ···· 437
【표 5.119】 백운1교(부산) 세로보 자유돌출판(Bottom Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ··· 437
【표 5.120】 백운1교(부산) 세로보 자유돌출판(Bottom Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ··· 438
【표 5.121】 백운1교(부산) 세로보 양연지지판(Left Web)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal) ····· 438
【표 5.122】 백운1교(부산) 세로보 허용응력 요약 ····· 438
【표 5.123】 백운1교(부산) 도로종류에 따른 응력반복횟수 ····· 441
【표 5.124】 백운1교(부산) 허용피로응력범위 ····· 441
【표 5.125】 백운1교(부산) 고정하중 산정 결과(단위폭당) ····· 443
【표 5.126】 백운1교(부산) 바닥판 하중 산정 결과 ····· 444
【표 5.127】 백운1교(부산) 하중조합 결과 ····· 445
【표 5.128】 백운1교(부산) 바닥판 안전성검토 결과 ····· 445
【표 5.129】 백운1교(부산) 받침반력 산출 결과 ····· 447
【표 5.130】 백운1교(부산) 바닥판 내하력 평가 ····· 448
【표 5.131】 백운1교(부산) 거더(Steel-Arch) 내하력 평가 ····· 448
【표 5.132】 백운1교(부산) 교각1(P1) 받침반력 산출 결과 ····· 450
【표 5.133】 백운1교(부산) 하부구조에 작용하는 단위 풍하중 ····· 450
【표 5.134】 백운1교(부산) 하부구조 하중조건 모델링 ····· 451
【표 5.135】 백운1교(부산) 하중조건별 단면력 산출 결과 ····· 454
【표 5.136】 백운1교(부산) 극한강도 검토 시 하중조합 경우 ····· 455
【표 5.137】 백운1교(부산) 기둥 계수하중 산출 결과 ····· 457
【표 5.138】 백운1교(부산) 단면력 산정 결과 요약 ····· 458
【표 5.139】 백운1교(부산) 임계하중 산정 결과 ····· 458
【표 5.140】 백운1교(부산) 세장비 검토 결과 ····· 458
【표 5.141】 백운1교(부산) 확대모멘트계수 산정 결과 ····· 459
【표 5.142】 백운1교(부산) 확대모멘트 산정 결과 ····· 459
【표 5.143】 백운1교(부산) 확대모멘트 산정 결과 요약 ····· 459
【표 5.144】 백운1교(부산) 상부구조 강아치(Steel-Arch) 안전성평가 결과 ····· 462
【표 5.145】 백운1교(부산) 상부구조 바닥판 안전성평가 결과 ····· 462
【표 5.146】 백운1교(부산) 하부구조 교각 안전성평가 결과 ····· 462
【표 5.147】 백운1교(부산) 안전성평가 결과 비교・분석 ····· 463
【표 5.148】 백운1교(춘천) 구조검토 조건 비교 ····· 464
【표 5.149】 백운1교(춘천) 부재 제원 확인 결과 ····· 465

【표 5.150】 백운1교(춘천) 사용재료 및 강도 ····· 467
【표 5.151】 백운1교(춘천) 단면제원 및 철근량 ····· 467
【표 5.152】 백운1교(춘천) 단면상수 ····· 472
【표 5.153】 적용하중의 강도 및 산정근거 ····· 473
【표 5.154】 백운1교(춘천) 계수하중 하중조합 ····· 474
【표 5.155】 백운1교(춘천) 사용하중 하중조합 ····· 474
【표 5.156】 백운1교(춘천) 부재별 단면력 집계표 ····· 481
【표 5.157】 백운1교(춘천) 교대부 상부바닥판 단면검토 ····· 482
【표 5.158】 백운1교(춘천) 교대부 연직재 단면검토 ····· 483
【표 5.159】 백운1교(춘천) 교대부 하부거더(아치리브) 단면검토 ····· 484
【표 5.160】 백운1교(춘천) 교각부 상부바닥판 단면검토 ····· 485
【표 5.161】 백운1교(춘천) 교각부 연직재 단면검토 ····· 486
【표 5.162】 백운1교(춘천) 교각부 하부거더(아치리브) 단면검토 ····· 487
【표 5.163】 백운1교(춘천) 중앙부 상부바닥판 단면검토 ····· 488
【표 5.164】 백운1교(춘천) 중앙부 연직재 단면검토 ····· 489
【표 5.165】 백운1교(춘천) 중앙부 하부거더(아치리브) 단면검토 ····· 490
【표 5.166】 벡운1교(춘천) 바닥판의 단면력 검토결과 ····· 491
【표 5.167】 백운1교(춘천) 연직재의 단면력 검토결과 ····· 491
【표 5.168】 백운1교(춘천) 거더의 단면력 검토결과 ····· 491
【표 5.169】 백운1교(춘천) 받침 검토결과 ····· 492
【표 5.170】 백운1교(춘천) 바닥판 내하력 평가 ····· 493
【표 5.171】 백운1교(춘천) 거더(RC-Arch) 내하력 평가 ····· 493
【표 5.172】 백운1교(춘천) 교각(P1) 사용하중 요약 ····· 494
【표 5.173】 백운1교(춘천) 교각(P1) 안정검토 요약 ····· 494
【표 5.174】 백운1교(춘천) 교각(P1) 기초단면검토 요약 ····· 495
【표 5.175】 백운1교(춘천) 교각(P2) 말뚝제원 및 사용계수 ····· 495
【표 5.176】 백운1교(춘천) 교각(P2) 말뚝 검토결과 ····· 496
【표 5.177】 백운1교(춘천) 교대 해석 일반조건 ····· 496
【표 5.178】 백운1교(춘천) 교대 해석 사용재료 및 강도 ····· 496
【표 5.179】 백운1교(춘천) 시점교대 하중조건 ····· 497
【표 5.180】 백운1교(춘천) 종점교대 하중조건 ····· 497
【표 5.181】 백운1교(춘천) 시점교대 안정조건 ····· 498
【표 5.182】 백운1교(춘천) 종점교대 말뚝제원 및 사용계수 ····· 498
【표 5.183】 백운1교(춘천) 종점교대 말뚝 검토결과 ····· 499
【표 5.184】 백운1교(춘천) 종점교대 단면검토를 위한 부재력 산정 ····· 499

【표 5.185】 백운1교(춘천) 종점교대 단면검토 ····· 499
【표 5.186】 백운1교(춘천) 상부구조 안전성평가 결과 ····· 501
【표 5.187】 백운1교(춘천) 하부구조 교대 안전성평가 결과 ····· 501
【표 5.188】 백운1교(춘천) 하부구조 교각 안전성평가 결과 ····· 501
【표 5.189】 백운1교(춘천) 안전성평가 결과 비교・분석 ····· 502

【표 6.1】 백운1교(부산) 종합평가 결과 ····· 506
【표 6.2】 백운1교(부산) 기 점검 종합평가 결과와 비교 ····· 506
【표 6.3】 백운1교(춘천) 종합평가 결과 ····· 507
【표 6.4】 백운1교(춘천) 기 점검 종합평가 결과와 비교 ····· 507
【표 6.5】 안전등급 기준 ····· 508
【표 6.6】 백운1교(부산) 안전등급 지정 ····· 509
【표 6.7】 백운1교(춘천) 안전등급 지정 ····· 509

【표 7.1】 보수・보강 방안 수립에 따른 검토사항 ····· 513
【표 7.2】 보수・보강 우선순위 선정기준 ····· 516
【표 7.3】 균열 보수・보강 우선순위 선정기준 ····· 516
【표 7.4】 박리 및 박락 보수・보강 우선순위 선정기준 ····· 517
【표 7.5】 누수 및 백태 보수・보강 우선순위 선정기준 ····· 517
【표 7.6】 백운1교(부산) 부재별 보수・보강 방안 ····· 518
【표 7.7】 백운1교(춘천) 부재별 보수・보강 방안 ····· 520
【표 7.8】 콘크리트 단면보수 비교표 ····· 524
【표 7.9】 보수공법 재료 선정시 유의사항(균열폭 0.3㎜ 이상의 경우) ····· 526
【표 7.10】 보수공법 재료 선정시 유의사항(균열폭 0.3㎜ 미만의 경우) ····· 526
【표 7.11】 균열보수 재료의 종류와 보수공법 ····· 527
【표 7.12】 주입보수의 종류 ····· 529
【표 7.13】 저압・저속식 주입방법 ····· 530
【표 7.14】 균열폭에 알맞은 수지의 점성도 ····· 530
【표 7.15】 균열폭에 따른 주입파이프의 간격 ····· 530
【표 7.16】 주입재의 특징 ····· 532
【표 7.17】 주입보수 작업 종료 후의 검사 항목 ····· 535
【표 7.18】 주입보수 비교표 ····· 536
【표 7.19】 재도장시 고려사항 ····· 539
【표 7.20】 외부도장 종류 ····· 540
【표 7.21】 내부도장 종류 ····· 540

【표 7.22】 백운1교(부산) 부재별 보수·보강 개략공사비 ····· 544
【표 7.23】 백운1교(춘천) 부재별 보수·보강 개략공사비 ····· 546
【표 7.24】 바닥판 일반 유지관리 사항 ····· 551
【표 7.25】 Steel Box Girder 일반 유지관리 사항 ····· 553
【표 7.26】 철근콘크리트 거더 일반 유지관리 사항 ····· 554
【표 7.27】 교대 일반 유지관리 사항 ····· 555
【표 7.28】 교각 일반 유지관리 사항 ····· 556
【표 7.29】 교량받침 일반 유지관리 사항 ····· 557
【표 7.30】 신축이음 일반 유지관리 사항 ····· 558
【표 7.31】 교면포장 일반 유지관리 사항 ····· 560
【표 7.32】 배수시설 일반 유지관리 사항 ····· 561
【표 7.33】 방호벽, 중앙분리대 일반 유지관리 사항 ····· 562
【표 7.34】 주요 손상별 중점 유지관리 사항 ····· 563
【표 7.35】 백운1교(부산) 중점유지관리 균열 현황 ····· 565
【표 7.36】 백운1교(춘천) 중점유지관리 균열 현황 ····· 565
【표 7.37】 백운1교(부산) 현장조사 현안사항 ····· 566
【표 7.38】 백운1교(춘천) 현장조사 현안사항 ····· 567

【표 8.1】 백운1교(부산) 상태평가 결과 ····· 574
【표 8.2】 백운1교(부산) 상부구조 강아치(Steel-Arch) 안전성평가 결과 ····· 575
【표 8.3】 백운1교(부산) 상부구조 바닥판 안전성평가 결과 ····· 575
【표 8.4】 백운1교(부산) 하부구조 교각 안전성평가 결과 ····· 575
【표 8.5】 백운1교(부산) 안전등급 지정 ····· 576
【표 8.6】 백운1교(춘천) 상태평가 결과 ····· 580
【표 8.7】 백운1교(춘천) 상부구조 안전성평가 결과 ····· 580
【표 8.8】 백운1교(춘천) 하부구조 교대 안전성평가 결과 ····· 581
【표 8.9】 백운1교(춘천) 하부구조 교각 안전성평가 결과 ····· 581
【표 8.10】 백운1교(춘천) 안전등급 지정 ····· 581

그 림 목 차

【그림 1.1】 과업수행 흐름도 ····· 5
【그림 1.2】 백운1교(부산) 평면 및 종단면도 ····· 9
【그림 1.3】 백운1교(부산) 슬래브 일반도 ····· 11
【그림 1.4】 백운1교(부산) 슬래브 배근도 ····· 13
【그림 1.5】 백운1교(부산) 교대(A1) 일반도 ····· 15
【그림 1.6】 백운1교(부산) 교대(A1) 배근도 ····· 17
【그림 1.7】 백운1교(부산) 교대(A2) 일반도 ····· 19
【그림 1.8】 백운1교(부산) 교대(A2) 배근도 ····· 21
【그림 1.9】 백운1교(춘천) 평면 및 종단면도 ····· 27
【그림 1.10】 백운1교(춘천) 구조물 일반도 ····· 29
【그림 1.11】 백운1교(춘천) 상부 배근도 ····· 33
【그림 1.12】 백운1교(춘천) 교대 구조도 ····· 39
【그림 1.13】 백운1교(춘천) 교각 구조도 ····· 43
【그림 1.14】 상부구조의 명칭 ····· 52
【그림 1.15】 부재 명명 순서 ····· 52

【그림 2.1】 백운1교(부산) 실시설계 공구별 현황 ····· 58
【그림 2.2】 백운1교(부산) 단면가정 JOINT & COORDNNATE ····· 70
【그림 2.3】 백운1교(부산) 단면가정 MEMBER ····· 71
【그림 2.4】 백운1교(부산) 단면특성 부재별 SECTION TYPE ····· 72
【그림 2.5】 백운1교(부산) 단면특성 부재별 SECTION TYPE ····· 73
【그림 2.6】 전단키 받침 설치 상세도 ····· 140

【그림 3.1】 백운1교(부산) 포장부 손상 발생부와 바닥판 하면 손상 발생부 개요도 ····· 161
【그림 3.2】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 일반도 및 단면도 ····· 162
【그림 3.3】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 용접두께 ····· 168
【그림 3.4】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 용접두께 측정위치 ····· 169
【그림 3.5】 백운1교(부산) 강재부 우수유입 경로 ····· 178
【그림 3.6】 백운1교(부산) 강재부 우수유입 차단 제안사항(2011년도) ····· 179
【그림 3.7】 백운1교(부산) 교대 일반도 ····· 179
【그림 3.8】 백운1교(부산) 교대 측량 타켓 위치도 및 설치현황 ····· 188

【그림 3.9】 백운1교(부산) 교각 측량 타켓 위치도 ····· 188
【그림 3.10】 백운1교(부산) 연단거리 측정 개요도 ····· 193
【그림 3.11】 백운1교(부산) 신축이음장치 배치도 ····· 197
【그림 3.12】 백운1교(부산) 방호울타리 일반도 및 전경 ····· 210
【그림 3.13】 백운1교(춘천) 아치 거더 구조도 ····· 221
【그림 3.14】 백운1교(춘천) 교대 구조도 ····· 232
【그림 3.15】 백운1교(춘천) 교각 구조도 ····· 240
【그림 3.16】 백운1교(춘천) 교대부 측량 타켓 위치도 및 설치현황 ····· 249
【그림 3.17】 백운1교(춘천) 교각 측량 타켓 위치도 및 설치현황 ····· 249
【그림 3.18】 백운1교(춘천) 연단거리 측정 개요도 ····· 255
【그림 3.19】 백운1교(춘천) 신축이음장치 배치도 ····· 259
【그림 3.20】 백운1교(부산) 현장시험 전경 ····· 281
【그림 3.21】 백운1교(부산) 재료시험 조사 위치도 ····· 281
【그림 3.22】 백운1교(춘천) 현장시험 전경 ····· 282
【그림 3.23】 백운1교(춘천) 재료시험 조사 위치도 ····· 283
【그림 3.24】 백운1교(부산) 콘크리트 강도시험 결과 ····· 291
【그림 3.25】 백운1교(부산) 탄산화깊이 측정결과 ····· 294
【그림 3.26】 백운1교(춘천) 콘크리트 강도시험 결과 ····· 297
【그림 3.27】 백운1교(춘천) P1 배면 철근탐사 ····· 299
【그림 3.28】 백운1교(춘천) 탄산화깊이 측정결과 ····· 301
【그림 3.29】 백운1교(부산) 강재 재료시험 조사 위치도 ····· 305

【그림 4.1】 전체 교량의 상태평가 결과 산정 방법 예 ····· 321
【그림 4.2】 백운1교(부산) 상태평가 결과 ····· 334
【그림 4.3】 백운1교(춘천) 상태평가 결과 ····· 339

【그림 5.1】 안전성평가의 방법 ····· 344
【그림 5.2】 백운1교(부산) 종・평면도 ····· 356
【그림 5.3】 백운1교(부산) 슬래브 일반도 ····· 357
【그림 5.4】 백운1교(부산) 절점과 좌표 ····· 360
【그림 5.5】 백운1교(춘천) 절점별 단면도 ····· 361
【그림 5.6】 구조해석 모델링 ····· 364
【그림 5.7】 백운1교(부산) 하중조건 모델링 ····· 369
【그림 5.8】 백운1교(부산) 하중조건별 단면력도 ····· 371
【그림 5.9】 백운1교(부산) 응력 검토 위치 ····· 374

【그림 5.10】 백운1교(부산) 보강거더 단면조건 ····· 376
【그림 5.11】 백운1교(부산) 아치리브 단면조건 ····· 386
【그림 5.12】 백운1교(부산) 행거 단면조건 ····· 397
【그림 5.13】 백운1교(부산) 상부가로보 단면조건 ····· 408
【그림 5.14】 백운1교(부산) 하부가로보 단면조건 ····· 416
【그림 5.15】 백운1교(부산) 브레이싱 단면조건 ····· 424
【그림 5.16】 백운1교(부산) 세로보 전단연결재 배치도 ····· 432
【그림 5.17】 백운1교(부산) 세로보 하중조건별 단면력도 ····· 432
【그림 5.18】 백운1교(부산) 세로보 단면조건 ····· 433
【그림 5.19】 백운1교(부산) 활하중에 의한 최대·최소 응력도 ····· 442
【그림 5.20】 백운1교(부산) 고정하중에 의한 받침반력도 ····· 446
【그림 5.21】 백운1교(부산) 활하중에 의한 받침반력도 ····· 446
【그림 5.22】 백운1교(부산) 하부구조 해석단면 제원(교각 P1) ····· 449
【그림 5.23】 백운1교(부산) 교각 해석모델 ····· 451
【그림 5.24】 백운1교(부산) 하부구조 하중조건별 단면력도 ····· 453
【그림 5.24】 백운1교(부산) 하부구조 하중조건별 단면력도(계속) ····· 454
【그림 5.25】 백운1교(부산) 계수하중에 의한 축력(Fx)도 ····· 455
【그림 5.26】 백운1교(부산) 계수하중에 의한 교축방향 휨모멘트(My)도 ····· 456
【그림 5.27】 백운1교(부산) 계수하중에 의한 교축직각방향 휨모멘트(Mz)도 ····· 456
【그림 5.28】 백운1교(부산) P-M 상관도에 의한 기둥 안전성 검토 결과 ····· 460
【그림 5.29】 백운1교(춘천) 종·평면도 ····· 469
【그림 5.30】 백운1교(춘천) 구조물 일반도 ····· 470
【그림 5.31】 백운1교(춘천) 단면제원 ····· 472
【그림 5.32】 백운1교(춘천) 해석단면 ····· 475
【그림 5.33】 백운1교(춘천) 하중재하도 ····· 475
【그림 5.34】 백운1교(춘천) 상부바닥판 휨모멘트도(Mxx) ····· 476
【그림 5.35】 백운1교(춘천) 상부바닥판 전단력도(Sxx) ····· 476
【그림 5.36】 백운1교(춘천) 상부바닥판 사용휨모멘트(Mxx) ····· 477
【그림 5.37】 백운1교(춘천) 연직재 휨모멘트도(Mxx) ····· 477
【그림 5.38】 백운1교(춘천) 연직재 계수휨모멘트도(Myy) ····· 478
【그림 5.39】 백운1교(춘천) 연직재 전단력도(Syy) ····· 478
【그림 5.40】 백운1교(춘천) 하부거더(아치리브) 계수휨모멘트도(Mxx) ····· 479
【그림 5.41】 백운1교(춘천) 하부거더(아치리브) 계수휨모멘트도(Myy) ····· 479
【그림 5.42】 백운1교(춘천) 하부거더(아치리브) 전단력도(Syy) ····· 480
【그림 5.43】 백운1교(춘천) 하부거더(아치리브) 사용휨모멘트도(Myy) ····· 480

【그림 5.44】 백운1교(춘천) 받침 반력검토 결과 ····· 492
【그림 5.45】 백운1교(춘천) 교각(P1) 기초제원 ····· 494
【그림 5.46】 백운1교(춘천) 교각(P2) 말두배치도 및 제원 ····· 495
【그림 5.47】 백운1교(춘천) 교대 해석 단면 ····· 497
【그림 5.48】 백운1교(춘천) 종점교대 말뚝 배치도 및 제원 ····· 498

【그림 6.1】 종합평가 결과 산정 흐름도 ····· 505

【그림 7.1】 보수·보강 범위의 결정 ····· 514
【그림 7.2】 단면보수 시공순서 및 개요도 ····· 522
【그림 7.3】 표면처리보수 시공 흐름도 ····· 528
【그림 7.4】 균열부 표면처리보수 개요도 ····· 529
【그림 7.5】 주입파이프 설치도 ····· 530
【그림 7.6】 주입보수 시공상세도 ····· 531
【그림 7.7】 주입보수 시공 흐름도 ····· 531
【그림 7.8】 철근이 부식되지 않는 경우의 충전보수 및 시공흐름 ····· 533
【그림 7.9】 철근이 부식된 경우의 충전보수 및 시공흐름 ····· 534
【그림 7.10】 교량받침 부식 및 도장박리 시공방법 ····· 538
【그림 7.11】 도장보수 비교표 ····· 541
【그림 7.12】 거더단부 스켈럽 및 스플라이스 틈새 실런트 주입 ····· 543
【그림 7.13】 백운1교(부산) 부재별 명칭 ····· 548
【그림 7.14】 백운1교(춘천) 부재별 명칭 ····· 550
【그림 7.15】 백운1교(부산) 상태평가 현황도 및 손상 위치도 ····· 564
【그림 7.16】 백운1교(춘천) 상태평가 현황도 및 손상 위치도 ····· 564

사 진 목 차

【사진 1.1】 과업수행에 사용된 측정장비 ····· 49

【사진 3.1】 외관조사 전경 ····· 153
【사진 3.2】 부재제원 확인 ····· 155
【사진 3.3】 백운1교(부산) 바닥판 전경 ····· 157
【사진 3.4】 백운1교(부산) 바닥판 손상발생 현황 ····· 158
【사진 3.5】 백운1교(부산) 포장부 코어채취 현황 ····· 160
【사진 3.6】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 전경 ····· 163
【사진 3.7】 백운1교(부산) 거더내부 조사 전 이산화탄소 농도 측정 ····· 163
【사진 3.8】 백운1교(부산) 거더 내부 공기 유입 장치 ····· 164
【사진 3.9】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 외관조사 결과 ····· 165
【사진 3.10】 백운1교(부산) 도막두께 측정 전경 ····· 172
【사진 3.11】 백운1교(부산) 가로보 및 세로보 전경 ····· 173
【사진 3.12】 백운1교(부산) 브레이싱 전경 ····· 174
【사진 3.13】 백운1교(부산) 행거 전경 ····· 175
【사진 3.14】 백운1교(부산) 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거 손상발생 현황 ····· 176
【사진 3.15】 백운1교(부산) 교대 전경 ····· 180
【사진 3.16】 백운1교(부산) 교대의 손상현황 ····· 181
【사진 3.17】 백운1교(부사) 교각 일반도 및 전경 ····· 184
【사진 3.18】 백우1교(부산) 교각의 손상현황 ····· 185
【사진 3.19】 백운1교(부산) 측량기준점 및 측량 전경 ····· 187
【사진 3.20】 백운1교(부산) 교량받침 전경 ····· 189
【사진 3.21】 백운1교(부산) 받침장치의 손상현황 ····· 190
【사진 3.22】 백운1교(부산) 신축이음장치 손상 현황 ····· 198
【사진 3.23】 백운1교(부산) 신축이음(A1) 손상 전경 ····· 203
【사진 3.24】 백운1교(부산) 교면포장 전경 ····· 205
【사진 3.25】 백운1교(부산) 재포장 공사 전·후 전경 ····· 205
【사진 3.26】 백운1교(부산) 포장코어 채취 전경 ····· 206
【사진 3.27】 백운1교(부산) 재포장 전경 ····· 207
【사진 3.28】 백운1교(부산) 배수시설 설치 현황 및 전경 ····· 208
【사진 3.29】 백운1교(부산) 배수시설 손상발생 현황 ····· 209

【사진 3.30】 백운1교(부산) 방호울타리 손상발생 현황 ····· 211
【사진 3.31】 백운1교(춘천) 바닥판 전경 ····· 215
【사진 3.32】 백운1교(춘천) 바닥판 손상발생 현황 ····· 216
【사진 3.33】 백운1교(춘천) 포장 손상부 코어채취 현황 ····· 219
【사진 3.34】 백운1교(춘천) 포장 양호부 코어채취 현황 ····· 219
【사진 3.35】 백운1교(춘천) AR Girder 전경 ····· 225
【사진 3.36】 백운1교(춘천) AR Girder 손상발생 현황 ····· 226
【사진 3.37】 백운1교(춘천) 가로보 전경 ····· 231
【사진 3.38】 백운1교(춘천) 가로보 손상발생 현황 ····· 231
【사진 3.39】 백운1교(춘천) 교대 전경 ····· 233
【사진 3.40】 백운1교(춘천) 교대 손상발생 현황 ····· 234
【사진 3.41】 백운1교(춘천) 교대부 내시경 카메라 활용 조사 ····· 237
【사진 3.42】 백운1교(춘천) 교대 A2 흉벽부 백태 보수 현황 ····· 239
【사진 3.43】 백운1교(춘천) 교각 전경 ····· 240
【사진 3.44】 백운1교(춘천) 교각 손상발생 현황 ····· 241
【사진 3.45】 백운1교(춘천) P1배면 철근노출 손상현황 ····· 243
【사진 3.46】 백운1교(춘천) 철근부식도시험 전경 ····· 245
【사진 3.47】 백운1교(춘천) 교각 P1 0.3mm이상 균열 보수 현황 ····· 246
【사진 3.48】 백운1교(춘천) 교각 P1 철근노출 및 박락 보수 현황 ····· 247
【사진 3.49】 백운1교(춘천) 측량기준점 및 측량 전경 ····· 248
【사진 3.50】 백운1교(춘천) 교량받침 전경 ····· 250
【사진 3.51】 백운1교(춘천) 받침장치 손상발생 현황 ····· 251
【사진 3.52】 백운1교(춘천) 신축이음장치 손상 현황 ····· 260
【사진 3.53】 백운1교(춘천) 교대 신축이음장치 후타재균열 보수 현황 ····· 262
【사진 3.54】 백운1교(춘천) 교대 신축이음 유도배수시설 보수 현황 ····· 263
【사진 3.55】 백운1교(춘천) 교면포장 전경 ····· 267
【사진 3.56】 백운1교(춘천) 교면포장 손상발생 현황 ····· 268
【사진 3.57】 백운1교(춘천) 재포장 공사 전·후 전경 ····· 269
【사진 3.58】 백운1교(춘천) 포장 코어채취 현황 ····· 270
【사진 3.59】 백운1교(춘천) 배수시설 설치 현황 및 전경 ····· 272
【사진 3.60】 백운1교(춘천) 배수시설 손상발생 현황 ····· 273
【사진 3.61】 백운1교(춘천) 방호울타리 전경 ····· 275
【사진 3.62】 백운1교(춘천) 방호울타리 손상발생 현황 ····· 276
【사진 3.63】 백운1교(춘천) 전선관 보호덮개 손상발생 현황 ····· 278
【사진 3.64】 백운1교(춘천) P1 배면 철근 배근간격 실측 ····· 299

【사진 5.1】 백운1교(부산) 부재 제원 측정 ····· 346
【사진 5.2】 백운1교(춘천) 부재 제원 측정 ····· 465

백운1교(부산) 정밀안전진단 결과표

가. 일반현황

용 역 명	2016년도 백운1교 등 7개소 정밀안전진단 용역	진단기간	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.		
관 리 주 체 명	한국도로공사 강원본부 제천지사	대 표 자	지사장 조병대		
공동수급	(주)한국시설안전연구원, (주)정신이앤시 (주)회덕기술공사, (주)회덕	계약방법	일반경쟁		
시 설 물 구 분	도 로	종 류	도로교량	종 별	1종
준 공 일	2000년 03월 11일	진단금액 (천원)	20,977	안 전 등 급	B
시 설 물 위 치	강원도 원주시 판부면 금대리 (중앙선 301.8㎞)	시 설 물 규 모	L=180.93m, B=12.60m(2차로)		

나. 진단 실시결과 현황

중대결함	▪ 정밀안전진단 결과 시설물의 중대결함은 없는 상태임.
진 단 주요결과	▪ 상, 하부구조에 비구조적인 균열, 시공미흡 또는 경년열화에 의한 손상이 관찰되나 구조적 안전성을 저해할 만한 심각한 결함이나 손상 또는 시급한 보수·보강 대상은 없는 상태이며 내구성저하 방지를 위해 보수를 필요로 하는 손상이 일부 존재함. ▪ 콘크리트의 품질상태와 내구성을 평가한 결과 제기준을 만족하는 것으로 평가되어 내구성저하 우려는 없는 것으로 판단됨. ▪ 외관조사 상태 및 내구성 평가결과는 “b”로 나타났으며, 안전성 평가결과는 “a”로 산정됨.
주 요 보수·보강	▪ 보수 : 균열 및 파손, 재료분리, 철근노출, 강재의 부식 등 ▪ 보강 : 보강대상 없음

다. 책임(참여)기술자 현황

구 분	성 명	과업참여기간	기술등급
사업책임	안 과 헌	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급(기술사)
분야별책임 (재료시험)	공 영 이	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급(기술사)
분야별책임 (자료분석)	이 기 태	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급(기술사)
참여기술자 (재료시험)	우 현 정외 8인	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급기술자 등
참여기술자 (자료분석)	이 상 민외 7인	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급기술자 등

라. 참고사항

▪ 차기 점검시 중점 점검부위 : A1 신축이음 유간폐쇄 여부, 콘크리트 균열 및 단면손상부의 손상 증가 여부

백운1교(부산) 정밀안전진단 실시결과 요약표

책임기술자 종합의견
▪ 구조적 안전성을 저해할 만한 심각한 결함이나 손상은 없으며 시급한 보수·보강의 필요성은 없는 상태이나 내구성저하 방지를 위해 균열, 파손, 재료분리, 철근노출 등의 단면결손부에 대한 복구와 강재의 부식 등 보수를 필요로 하는 손상이 일부 존재함. ▪ 상태평가 결과는 “b”로 평가됨. ▪ 교량은 안전성을 확보하고 있으며 안전성 평가 결과는 “a”로 평가됨. ▪ 종합평가결과 안전등급은 B등급으로 평가됨. ▪ 발생된 손상에 대한 내구성 확보차원의 보수 및 지속적인 유지관리를 수행하면 1등교로서 기능을 확보할 수 있을 것으로 판단됨. 책임기술자 : 안 과 헌 (서명)

가. 정밀안전진단 외관조사 결과 기본사항

상태평가 결과 및 보수·보강				상태평가 결과 : b
결함발생 부재		상태평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
상부 구조	거더 바닥판 브레이싱 행거	b	- 부식, 도장박리, 볼트부식 등 - 데크플레이트 부식, 브레이싱 변형 - 백태 - 팝아웃	- 재도장 - 주의관찰 - 표면처리 - 단면보수
하부 구조	교대	b~c	- 균열(cw=0.3mm미만) - 균열(cw=0.3mm이상)	- 주의관찰 - 주입보수
	교각	a~b	- 균열(cw=0.3mm미만)	- 주의관찰
교량받침		a~b	- 받침본체 및 솔플레이트 부식	- 재도장
기타 부재	신축이음	c	- 본체부식 - 토사퇴적 - 균열(cw=0.3mm미만) 및 백태	- 재도장 - 청소 - 주의관찰
	교면포장	a	- 상태양호	-
	배수시설	b	- 막힘 - 배수관 부식	- 청소 - 주의관찰
	방호벽	b	- 균열(cw=0.3mm미만) - 균열(cw=0.3mm이상) - 강판부식, 덮개판 변형 - 균열백태, 백태 - 철근노출	- 표면처리 - 주입보수 - 재도장, 재설치 - 표면처리 - 단면보수(방청)

나. 안전성평가 결과

안전성평가 수행 부재	해석방법	안전성평가 결과 요약	안전율	안전성평가 결 과
상부구조	강도설계법, 허용응력설계법	• 사용 및 계수하중에 대한 안전성 확보	1.227	a
하부구조	강도설계법	• 계수하중에 대한 안전성확보	4.572	

다. 내진성능 검토 수행 여부

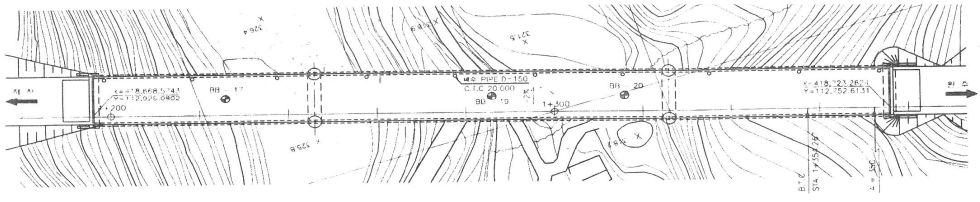
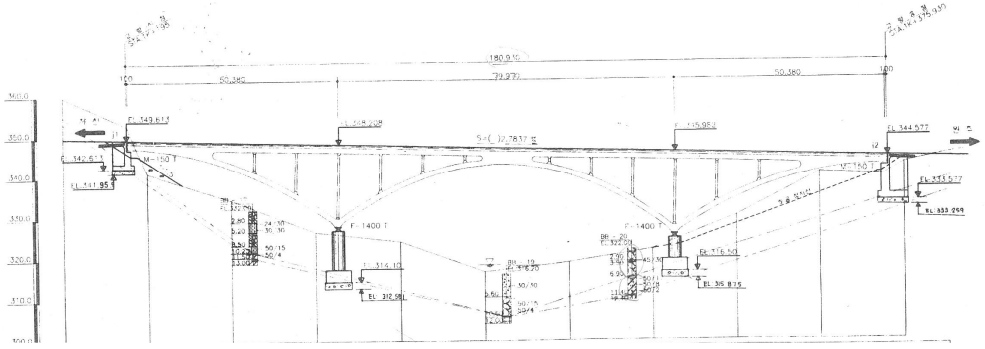
검토대상 부재	설계적용 여부	결 과	검토결과 요약
하부구조	Y	내진 2등급교 적용	지진하중 고려 안정
받침장치	N		지진하중 미고려

라. 현장시험(비파괴 및 추가시험)

시 험 명		시험 부위	시험결과	책임기술자 의견
콘크리트	비파괴강도 (㎫)	상부구조	▪ 설계기준 강도(27.0MPa)의 102.2%~122.6%로 설계기준강도를 상회하고 있음.	양호
		하부구조	▪ 설계기준 강도(24.0MPa)의 105.4%~126.7%로 설계기준강도를 상회하고 있음.	
	철근탐사 (㎜)	상부구조	▪ 배근간격 및 피복두께가 전반적으로 설계값과 유사함.	전반적으로 양호
		하부구조		
	탄산화 잔여깊이(㎜)	상부구조	▪ 탄산화 잔여깊이 : 30mm 이상(상태평가 : a)	부식발생 우려 없음
		하부구조		
	염화물함유량 (kg/㎥)	상부구조	▪ 상부구조 0.106kg/m³, 하부구조 0.158~0.581kg/m³로 분석되어 상태평가 a~b로 부식발생 가능성이 낮은 것으로 평가됨.	양호
		하부구조		
강재	초음파 탐상(UT)	상부구조	• 맞대기 용접부에 대해 거더별로 6개소씩 총 12개소에 대해 검사를 실시하였으며, 탐사결과 조사된 모든 위치에서 용접부에 대한 결함지시가 발생하지 않아 구조물의 용접상태는 양호한 것으로 평가됨.	양호
	강재도막 두께(㎛) 등	상부구조	• 도로교 표준시방서의 기준값을 상회하는 것으로 조사됨.	양호

백운1교(부산) 현황표

작성일 : 2016년 12월 26일

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>백운1교(부산)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2000-0000081</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월일</td><td>2000년 05월 31일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>제천교-21-1</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">강원도 원주시 판부면 금대리 251-5</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24/DL-24</td><td colspan="2">노선명(이정)</td><td>중앙선 (301.8km)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L=180.93m, (50.48+79.97+50.48m)</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B=12.60m, (차도: 11.700m) 2차로</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조
형식</td><td>상부</td><td>아치교(강교)</td><td rowspan="2">기초
형식</td><td>교대</td><td>직접기초</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교대 : 역T형(2기)
교각 : 구주식(2기)</td><td>교각</td><td>직접기초</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>교대 : 고력황동받침
교각 : 핀받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>레일식</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>회론동길</td><td colspan="2">통과높이</td><td>5.0m 이상</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>삼안엔지니어링</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>극동건설(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>하부구조 적용</td><td colspan="2">관리주체</td><td>한국도로공사 강원본부
제천지사</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4"> 
【평면도】
 
【종단면도】
▪ 중점 점검 사항 : A1 신축이음 유간폐쇄 여부, 콘크리트 균열 및 단면손상부의 손상증가 여부</td></tr>
</table>

백운1교(춘천) 정밀안전진단 결과표

가. 일반현황

용 역 명	2016년도 백운1교 등 7개소 정밀안전진단 용역	진단기간	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.		
관 리 주 체 명	한국도로공사 강원본부 제천지사	대 표 자	지사장 조병대		
공동수급	(주)한국시설안전연구원, (주)정신이앤시 (주)회덕기술공사, (주)회덕	계약방법	일반경쟁		
시 설 물 구 분	도 로	종 류	도로교량	종 별	1종
준 공 일	1995년 10월 01일	진단금액 (천원)	20,977	안 전 등 급	B
시 설 물 위 치	강원도 원주시 판부면 금대리 (중앙선 301.9㎞)	시 설 물 규 모	L=151.40m, B=12.50m(2차로)		

나. 진단 실시결과 현황

중대결함	▪ 정밀안전진단 결과 시설물의 중대결함은 없는 상태임
진 단 주요결과	▪ 바닥판 하면 균열(0.3㎜미만), 누수흔적(백태), 표면열화, 철근노출(녹물흔적) 등 ▪ AR 거더 균열, 재료분리(불량), 재료분리(철근노출), 탈락(열화), 거푸집 미제거 등 ▪ 교대/교각의 건조수축 균열(0.3㎜미만) 및 국부적인 콘크리트 손상, 누수흔적(백태) 등 ▪ 교량받침 상부 플레이트 부식 및 국부 변형, 몰탈 탈락 ▪ 신축이음장치 본체 부식 및 토사퇴적, 표면마모, 단차 ▪ 교면포장 균열, 망상균열, 마모, 소성변형, 포트홀 등 ▪ 배수관 부식
주 요 보수·보강	▪ 콘크리트 내구성 저하방지를 위해 균열보수(0.3㎜이상) 및 단면복구 실시 ▪ 받침 부식 등의 손상 발생 부위에 대한 방청 및 도장보수 실시 ▪ 전선관 보호커버 재설치 등

다. 책임(참여)기술자 현황

구 분	성 명	과업참여기간	기술등급
사업책임	안 과 헌	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급(기술사)
분야별책임 (재료시험)	공 영 이	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급(기술사)
분야별책임 (자료분석)	이 기 태	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급(기술사)
참여기술자 (재료시험)	우 현 정외 8인	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급기술자 등
참여기술자 (자료분석)	이 상 민외 7인	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급기술자 등

라. 참고사항

▪ 차기 점검시 중점 점검부위 : 교대A1·A2 누수부 염화물에 의한 철근손상 발생여부(교대, 바닥판 등), 콘크리트 균열 및 단면손상부의 손상증가 여부

▪ 2009년 내진보강공사 실시

백운1교(춘천) 정밀안전진단 실시결과 요약표

책임기술자 종합의견
▪ 백운1교는 1995년 10월에 준공된 교량으로, 금회 진단시 전차 용역(2013년도)에 비하여 전반적인 손상물량이 증가된 상태임. ▪ 주요 손상으로 내측 바닥판은 영구거푸집(Deck Plate)으로 시공되어 전반적으로 양호한 상태이며, 캔틸레버 하면은 누수흔적 및 경미한 백태가 전 경간에 발생하였다. 아치리브의 중앙부에 발생한 균열은 균열위치와 형태가 연속적이지 않고 균열폭이 대부분 0.1㎜ 내외의 허용균열폭 이내로 이는 아치구조의 특성상 발생하는 비구조적인 균열로 판단되므로 현 상태에서의 보수보다는 주기적인 점검을 통한 유지관리가 요구된다. 기타 손상으로 공용중 발생 가능한 콘크리트 부재의 균열 및 열화(누수흔적(백태), 박리/박락, 철근노출)와 교면포장 들뜸(망상균열), 신축이음 본체 부식 및 단차, 배수관 부식 등이 조사되었음. ▪ 콘크리트 내구성 조사결과 설계값을 만족하는 것으로 측정되었음. ▪ 안전성평가 결과, 최소 안전율이 1.0이상이며, 기본내하력이 설계내하력(DB-24)를 만족하므로 안전성평가결과는 “a”로 평가됨. ▪ 백운1교(춘천)의 상태평가(b) 및 구조검토(a)에 의한 종합평가결과, 안전등급은 “B등급”로 평가됨. ▪ 발생된 손상에 대한 내구성 확보차원의 보수 및 지속적인 유지관리를 수행하면 1등교로서 기능을 확보할 수 있을 것으로 판단됨. 책임기술자 : 안 과 헌 (서명)

가. 정밀안전진단 외관조사 결과 기본사항

상태평가 결과 및 보수·보강				상태평가 결과 : b
결함발생 부재		상태평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
상부 구조	바닥판	b~c	- 균열(0.3㎜미만), 균열부 백태, 백태(열화) - 누수흔적(경미한 백태), 망상균열 - 박리, 탈락, 재료분리 - 철근노출(녹물흔적) - 물끊기홈 시공불량 - 거푸집 미제거	- 표면보수 - 주의관찰 - 단면보수 - 단면보수(방청) - 물끊기홈 설치 - 주의관찰
	AR 거더	b~c	- 콘크리트 균열(0.2㎜미만), 망상균열 - 콘크리트 균열(0.3㎜이상) - 재료분리(철근노출), 탈락(열화) - 거푸집 및 결속선 미제거, 누수흔적	- 주의관찰 - 균열주입보수 - 단면보수(방청) - 주의관찰
하부 구조	교대 및 교각	b~c	- 콘크리트 균열(0.2㎜미만) - 망상균열, 백태 - 탈락, 박리(철근노출), 파손 - 표면보호재 박리, 재료분리 등	- 주의관찰 - 표면보수 - 단면보수(방청) - 주의관찰

상태평가 결과 및 보수·보강				상태평가 결과 : b
결함발생 부재		상태평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
교량받침		b	- 몰탈 탈락 및 플레이트 국부변형 - 받침(볼트) 부식	- 주의관찰 - 도장보수
기타 부재	신축이음	b	- 본체 토사퇴적 - 후타재 균열(0.3㎜미만) - 후타재 탈락 및 표면마모(경미) - 본체 부식, 단차	- 유지관리(청소) - 주의관찰 - 주의관찰 - 주의관찰
	교면포장	c	- 포장균열, 시공이음 균열 - 포장들뜸(망상균열), 소성변형, 마모 - 접속포장 균열(탈락), 보수부 탈락	- 씰링재 주입 - 팻칭보수 - 팻칭보수
	배수시설	b	- 배수관 부식	- 주의관찰
	방호벽	b~c	- 균열(0.3㎜미만) - 균열(0.3㎜이상) - 망상균열 - 콘크리트 파손 및 긁힘	- 표면처리 - 표면처리 - 주의관찰 - 주의관찰
	점검시설	-	- 전선관 커버 부식 - 전선관 커버 파손	- 주의관찰 - 재설치

나. 안전성평가 결과

안전성평가 수행 부재		해석방법	안전성평가 결과 요약	안전율	안전성평가 결 과
상부 구조	바닥판	강도설계법	• 단면 휨 검토 양호 • 설계내하력 확보(DB24 이상)	1.0이상	a
	아치리브	강도설계법	• 단면 휨 검토 양호 • 설계내하력 확보(DB24 이상)	1.0이상	
하부 구조	교대	강도설계법 허용응력설계법	• 단면 휨 설계검토 양호 • 기초의 안정성 양호	1.0이상	
	교각		• 기둥의 단면검토 양호 • 기초의 안정성 양호	1.0이상	

다. 내진성능 검토 수행 여부

검토대상 부재	설계적용 여부	결 과	검토결과 요약
받침	Y	내진보강(전단키) 완료(2009년)	내진1등급
교대	Y	-	내진1등급
교각	Y	-	내진1등급

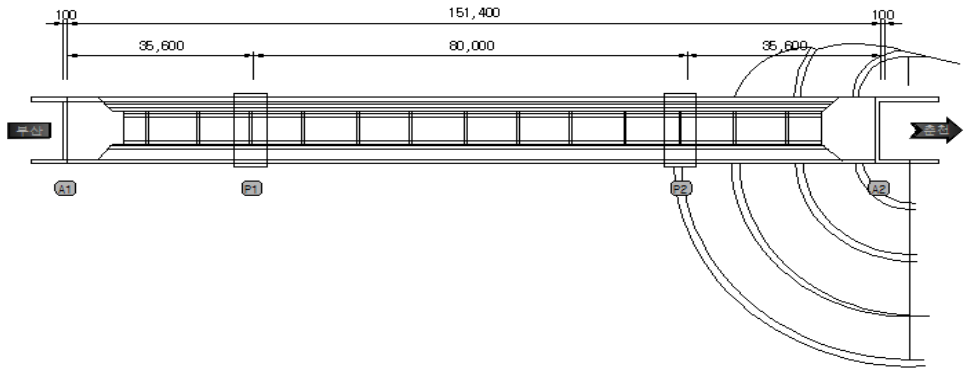
※ 내진성능향상 대상교량 세부조사 및 보강설계(1공구) 구조계산서(제천지사, 2009) 참고

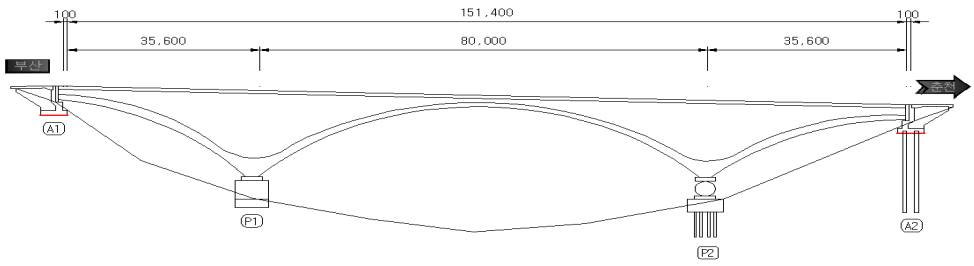
라. 현장시험(비파괴 및 추가시험)

시 험 명		시험 부위	시험결과	책임기술자 의견
콘크리트	비파괴강도 (㎫)	상부구조	▪ 설계기준 강도(27.0MPa)의 101.9%~113.3%로 설계기준강도를 상회하고 있음.	양호
		하부구조	▪ 설계기준 강도(24.0MPa)의 102.5%~130.0%로 설계기준강도를 상회하고 있음.	
	철근탐사 (㎜)	상부구조	▪ 배근간격 및 피복두께가 전반적으로 설계값과 유사함.	전반적으로 양호
		하부구조		
	탄산화 잔여깊이(㎜)	상부구조	▪ 탄산화 잔여깊이 : 30mm 이상(상태평가 : a)	부식발생 우려 없음
		하부구조		
	염화물함유량 (kg/㎥)	상부구조	• 1차 조사(상부구조 4.378kg/m³, 하부구조 0.321~4.338kg/m³), 2차 조사(상부구조 0.377kg/m³, 하부구조1.443kg/m³)로 조사되었으며, 측정값의 차이는 신축이음부와 접하는 바닥판하면 및 교대 구체의 경우 강설시 제설대책인 동결방지제(염화칼슘)의 영향으로 염화물 측정치가 크게 분석된 것으로 판단됨. 노면수 유입이 되는 부위에 대해서는 염화물에 의한 철근부식 등의 구조물 손상 발생여부를 지속적으로 주의 관찰 필요함.	주의관찰 필요함
		하부구조		

백운1교(춘천) 현황표

작성일 : 2016년 12월 26일

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>백운1교(춘천)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR1995-0000134</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월일</td><td>1995년 10월 01일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>제천교-21-2</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">강원도 원주시 판부면 금대리 245</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24/DL-24</td><td colspan="2">노선명(이정)</td><td>중앙선 (301.9km)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L=151.4m, (1@35.7+1@80.0+1@35.7)</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B = 12.5m, 2차로(보도0+차도2)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조
형식</td><td>상부</td><td>AR Girder</td><td rowspan="2">기초
형식</td><td>교대</td><td>직접기초(A1), 강판파일기초(A2)</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교각 : 구형, 교대 : 역T형</td><td>교각</td><td>직접기초(P1), 강판파일기초(P2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>교대 : 스페리칼받침
교각 : 콘크리트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>A1 : Rail Joint
A2 : New 모노셀</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>회룬동길</td><td colspan="2">통과높이</td><td>5.0m 이상</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>삼안엔지니어링</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>극동건설(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유
(준공도면, 내진보강관련)</td><td colspan="2">관리주체</td><td>한국도로공사 강원본부
제천지사</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">


【평면도】


【종단면도】
▪ 중점 점검 사항: 교대A1·A2 누수부 염화물에 의한 철근손상 발생여부(교대, 바닥판 등), 콘크리트 균열 및 단면손상부의 손상증가 여부
▪ 2009년 내진보강공사 실시
</td></tr>
</table>

정밀안전진단 참여기술진

참여구분	참여분야	소 속	직 위	성 명	참여기간	서 명
책임기술자	사업책임	(주)한국시설 안전연구원	부원장	안 과 헌	2016.06.20~12.26 (152일)	
분야별 책임기술자	자료분석분야	(주)회덕기술공사	부사장	공 영 이	2016.06.20~12.26 (152일)	
	재료시험분야	(주)한국시설 안전연구원	부원장	이 기 태	2016.06.20~12.26 (152일)	
분야별 참여기술자	자료분석분야	(주)정신이앤시	이사	이 상 민	2016.06.20~12.26 (95일)	
	재료시험분야	(주)회덕	차장	우 현 정	2016.06.20~12.26 (95일)	
기타 참여기술자	자료분석	(주)한국시설 안전연구원	부장	김 대 석	2016.06.20~12.26 (2일)	
	자료분석	(주)한국시설 안전연구원	차장	공 병 무	2016.06.20~12.26 (3일)	
	재료시험	(주)한국시설 안전연구원	과장	오 형 택	2016.06.20~12.26 (3일)	
	자료분석	(주)한국시설 안전연구원	사원	장 계 영	2016.06.20~12.26 (3일)	
	자료분석	(주)정신이앤시	부장	윤 승 주	2016.06.20~12.26 (3일)	
	재료시험	(주)정신이앤시	과장	이 상 동	2016.06.20~12.26 (3일)	
	재료시험	(주)정신이앤시	사원	강 연 상	2016.06.20~12.26 (2일)	
	자료분석	(주)회덕기술공사	상무	허 택 영	2016.06.20~12.26 (3일)	
	자료분석	(주)회덕기술공사	부장	장 용 근	2016.06.20~12.26 (2일)	
	재료시험	(주)회덕	주임	김 형 훤	2016.06.20~12.26 (2일)	

시설물의 위치도





○ 시설물 위치 : 강원도 원주시 판부면 금대리 지내(중앙선 301.8㎞)

시설물의 전경사진(부산)



백운1교(부산) 상부 전경



백운1교(부산) 측면 전경

부위별 전경사진(부산)



백운1교(부산) 거더외부 및 브레이싱



백운1교(부산) 거더내부



백운1교(부산) 바닥판하면



백운1교(부산) 교대(A1)



백운1교(부산) 교각(P1)



백운1교(부산) 교면포장

부위별 전경사진(부산)



백운1교(부산) 신축이음



백운1교(부산) 받침장치(A2)



백운1교(부산) 받침장치(P2)



백운1교(부산) 방호벽



백운1교(부산) 교명판



백운1교(부산) 설명판

시설물의 전경사진(춘천)



백운1교(춘천) 상부 전경



백운1교(춘천) 측면 전경

부위별 전경사진(춘천)

	
백운1교(춘천) 거더하면	백운1교(춘천) 2차부재(가로보)
	
백운1교(춘천) 바닥판하면	백운1교(춘천) 교대(A1)
	
백운1교(춘천) 교각(P1)	백운1교(춘천) 교각(P2)

부위별 전경사진(춘천)



백운1교(춘천) 교면포장



백운1교(춘천) 신축이음



백운1교(춘천) 받침장치(A1)



백운1교(춘천) 받침장치(P1)



백운1교(춘천) 중앙분리대



백운1교(춘천) 설명판

정밀안전진단 결과 요약문

1. 과업의 개요

1.1 과업의 목적

본 과업은 “시설물의 안전관리에 관한 특별법”(이하 ” 시특법 “이라 한다.) 제7조 및 동법 시행령 제9조에 의한 정밀안전진단으로서 시설물의 물리적·기능적 결함과 손상을 조사·측정하고 원인을 분석하여 신속하고 적절한 조치를 취하며, 상태 및 구조적 안전성, 사용성을 종합적으로 검토·평가하여 적절한 보수·보강방법 및 유지관리 방안을 수립하여, 고속도로 시설물의 재난예방과 안전성 확보를 통해 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

1.2 과업의 범위 및 내용

가. 과업의 범위

과업항목	지침상 기본과업	금회 과업 내용
자료 수집 및 분석	• 설계도서, 시설물관리대장 • 시공관련자료 • 안전점검・정밀안전진단 실시결과 자료 • 보수・보강이력 검토・분석	• 좌동
현장조사 및 시험	• 전체부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 • 현장 재료시험 등 - 콘크리트 시험: 비파괴강도(반발경도시험, 초음파전달속도시험 등), 탄산화 깊이 측정, 염화물함유량시험 - 강재 시험: 강재 비파괴시험	• 전체부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 • 콘크리트 시험 - 반발경도 시험, 초음파전달속도 시험 - 탄산화깊이 측정 - 균열깊이 조사 - 염화물함유량 시험 • 철근탐사 시험 • 강재 시험 : 초음파탐상 시험
상태평가	• 외관조사 결과분석 • 현장시험 및 재료시험 결과분석 • 콘크리트 및 강재 등의 내구성 평가 • 상태평가 결과에 대한 소견	• 좌동
안전성평가	• 조사, 시험, 측정 결과의 분석 • 기존의 구조계산서 또는 안전성평가 자료 검토・분석 • 내하력 및 구조 안전성평가 • 시설물의 안전성평가 결과에 대한 소견	• 좌동
종합평가	• 시설물의 안전상태 종합평가 결과에 대한 소견 • 안전등급 지정	• 좌동
보수보강 방법	• 보수・보강 방법 제시	• 좌동
보고서작성	• CAD 도면 작성 등 보고서 작성	• 좌동

나. 과업수행 기간

2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26. (착수일로부터 190일)

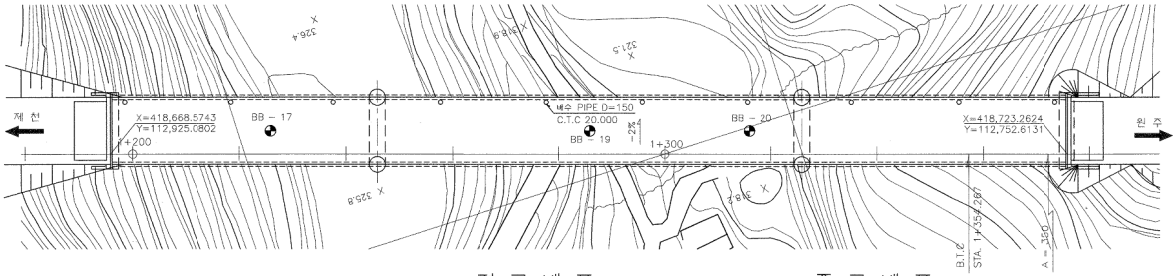
1.3 시설물의 개요

가. 백운1교(부산)

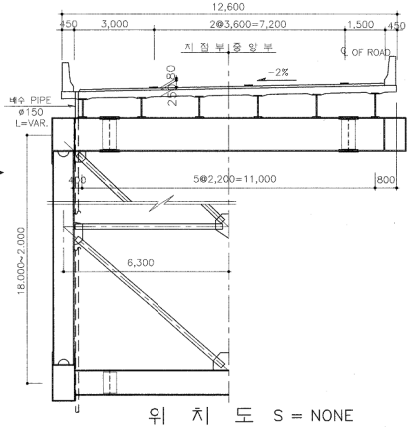
<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>백운1교(부산)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2000-0000081</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월일</td><td>2000년 05월 31일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>제천교-21-1</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">강원도 원주시 판부면 금대리 245</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24/DL-24</td><td>노선명</td><td colspan="2">고속국도 55호선(중앙선)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L＝180.93m, (50.48+79.97+50.48m)</td></tr>
<tr><td>폭(유효폭)</td><td colspan="4">12.60m, 편도 2차로</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조형식</td><td>상부</td><td>아치교(강교)</td><td rowspan="2">기초형식</td><td>교대</td><td>직접기초(A1, A2)</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교대 : 역T형(2기)
교각 : 구주식(2기)</td><td>교각</td><td>직접기초(P1, P2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>교대 : 고력황동받침
교각 : 핀받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>레일식(A1,A2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">평면선형</td><td>직 교</td><td colspan="2">경 간 수</td><td>3경간</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>삼안엔지니어링</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>극동건설(주), 유성종합건설(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">감 리 사</td><td>-</td><td colspan="2">교차시설물</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">난 간</td><td>콘크리트(방호벽)</td><td colspan="2">배 수 구</td><td>주철관(백관)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유
(준공도면, 내진보강관련)</td><td colspan="2">관리주체</td><td>한국도로공사 강원본부
제천지사</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">-</td></tr>
</table>

중앙고속도로 제천-원주간 4차로 확장공사
제 16공구 (판부-원주)

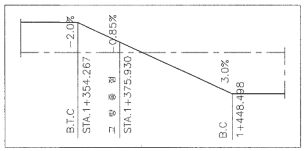
평 면 도
S = 1:400



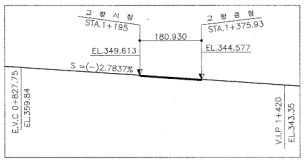
단 면 도
S=1:100



편 구 배 표
S = NONE



종 구 배 표
S = NONE



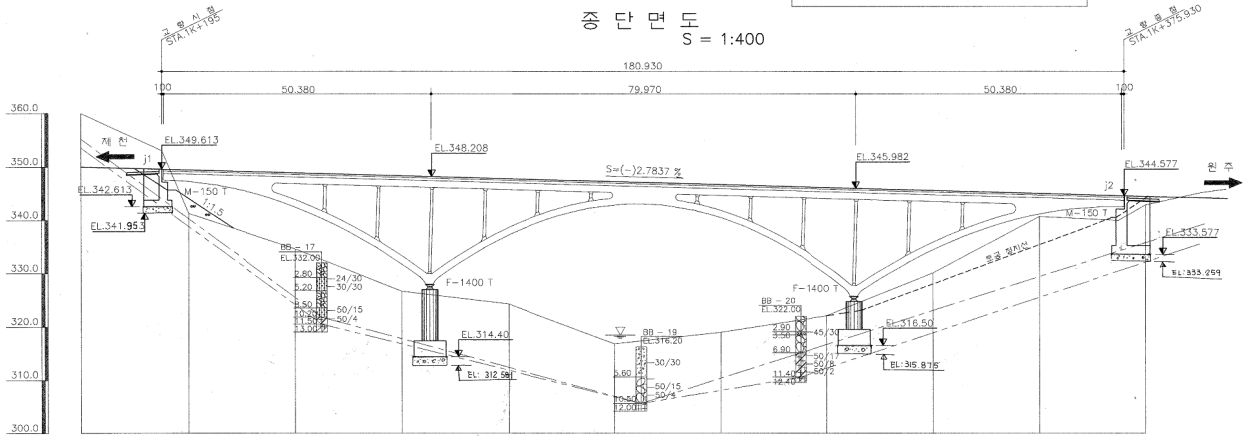
유간 및 신축량

구 분	계산신축량	신축장치형식	설계신축량	설계유간	비 고
j 1	60.4	NBT NO. 80	80	100	
j 2	60.4	NBT NO. 80	80	100	

위 치 도
S = NONE



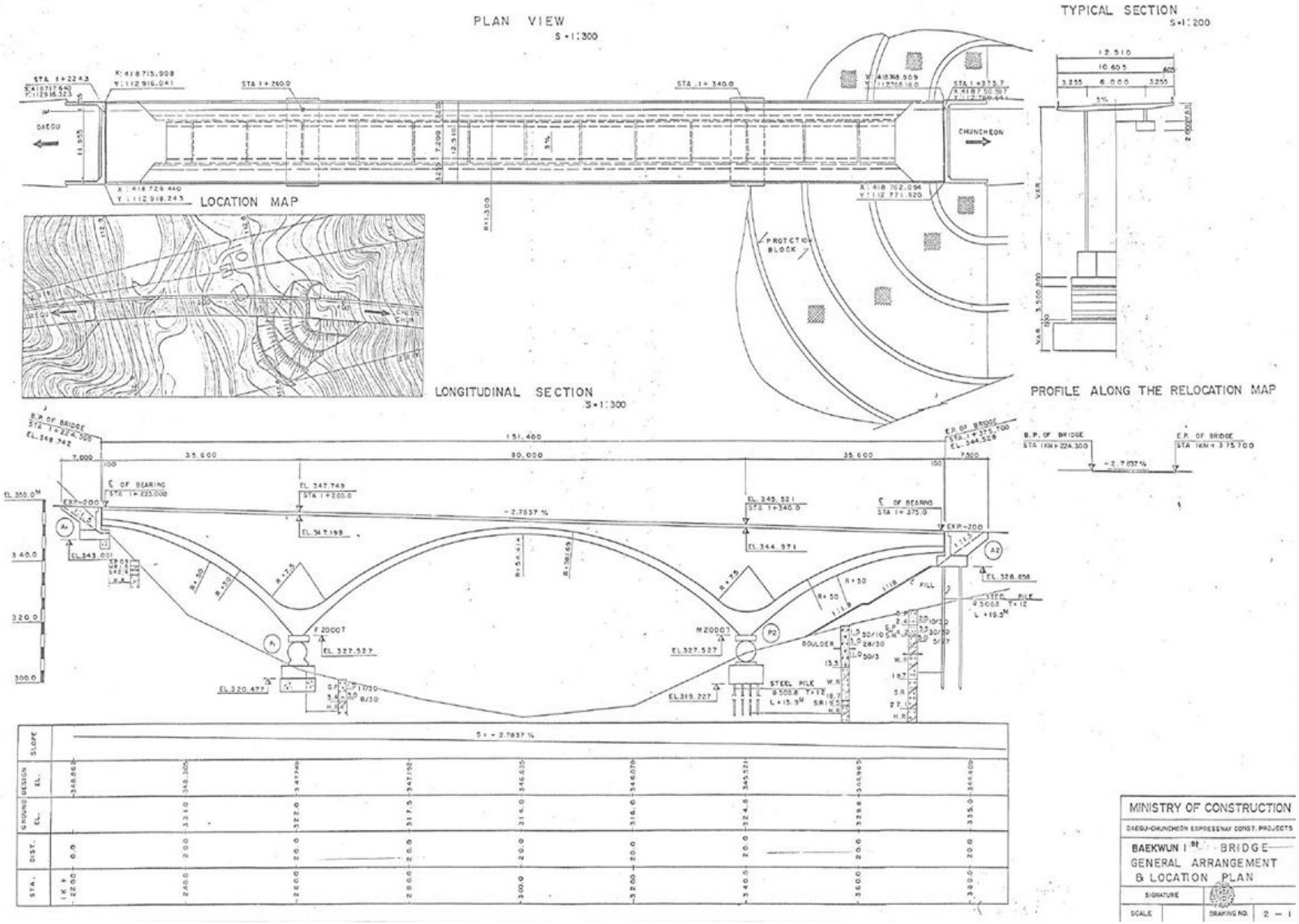
종 단 면 도
S = 1:400



| 구 배 | S=(-)2.7837 % | | |

나. 백운1교(춘천)

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>백운1교(춘천)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR1995-0000134</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월일</td><td>1995년 10월 01일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>제천교-21-2</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">강원도 원주시 판부면 금대리 245</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24/DL-24</td><td colspan="2">노선명</td><td>고속국도 55호선(중앙선)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L=151.4m(1@35.7+1@80.0+1@35.7)</td></tr>
<tr><td>폭(유효폭)</td><td colspan="4">12.50m, 편도 2차로</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조형식</td><td>상부</td><td>AR Girder</td><td rowspan="2">기초형식</td><td>교대</td><td>직접기초(A1),
강관파일기초(A2)</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>역T형식 교대(RTA)
T형 교각(TP)</td><td>교각</td><td>직접기초(P1),
강관파일기초(P2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>교대 : 스페리칼받침
교각 : 콘크리트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>A1 : Rail Joint
A2 : New 모노셀</td></tr>
<tr><td colspan="2">평면선형</td><td>직 교</td><td colspan="2">경 간 수</td><td>3경간</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>삼안엔지니어링</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>극동건설(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">감 리 사</td><td>(주)유신설계공단</td><td colspan="2">교차시설물</td><td>회론동길</td></tr>
<tr><td colspan="2">난 간</td><td>콘크리트(방호벽)</td><td colspan="2">배 수 구</td><td>주철관(백관)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유
(준공도면, 내진보강관련)</td><td colspan="2">관리주체</td><td>한국도로공사 강원본부
제천지사</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4"></td></tr>
</table>


PLAN VIEW
S=1:300
TYPICAL SECTION
S=1:200
LOCATION MAP
LONGITUDINAL SECTION
S=1:300
PROFILE ALONG THE RELOCATION MAP
MINISTRY OF CONSTRUCTION
DAEGU-CHUNCHEON EXPRESSWAY CONST. PROJECTS
BAEKWUN I st BRIDGE
GENERAL ARRANGEMENT
& LOCATION PLAN
SCALE
DRAWING NO. 2 - 1

2. 자료수집 및 분석

금회 진단대상시설물인 백운1교(부산, 춘천)에 대하여 수집된 자료 및 기초자료를 검토한 결과, 중앙고속도로에 시공된 시설물로서 운행은 원활한 상태이고, 시설물에 대해 유지관리가 잘 이루어지고 있는 상태이다. 따라서 금회 진단 시에는 2011년, 2013년 정밀안전진단에서 제시한 중점 유지관리 사항에 대하여 점검을 실시하고, 상세조사 및 현장시험을 실시한 후 현재 구조적으로 문제가 발생되었으나, 향후 문제가 발생될 가능성이 있는 부분에 대하여 구조검토를 실시하여 안전성을 여부를 평가하고자 한다.

구 분	자료분석 결과요약	비 고
설계 관련자료 검토	◈ 백운1교(부산) • "중앙고속도로(제천～원주간) 4차로 확장공사 구조 및 수리계산서(Ⅲ)(최종본) 제16공구(판부～원주) 2000.9"를 참조함. **→ 검토결과, 상부 구조계산, 하부 구조계산, 부대공, 부대공, 옹벽공 등에 대한 구조계산 및 검토에 있어 설계조건, 모델링, 설계 및 검토 등 항목별 검토사항은 적정한 것으로 확인됨.** • "중앙고속도로 제천～원주간 확장공사 실시설계도 제16공구(판부～원주) 2000.9"를 참조함. **→ 검토결과, 설계도면은 당시 설계기준에 적합하게 작성된 거승로 검토되었으며, 종·평면도, 단면도, 상부 구조물도, 강상형 구조도, 강종 상세도가 적정하게 작성된 것으로 검토됨.**	설계도서관리 시스템
	◈ 백운1교(춘천) • "대구～춘천간 고속도로 건설공사 구조도(준공도) 제7공구(Ⅲ-1, Ⅱ) 1995."를 참조함. **→ 검토결과, 설계도면은 당시 설계기준에 적합하게 작성된 것으로 검토되었으며, 종·평면도, 단면도, 상부 구조물도, 강상형 구조도, 강종 상세도가 적정하게 작성된 것으로 검토됨.**	
시공 관련자료 검토	• 백운1교(부산, 춘천)은 유지관리기관 보관자료와 시설물유지관리시스템(FMS)에 보유자료가 없는 것으로 확인됨.	설계도서관리 시스템
기 정밀안전진단 유지관리방안	◈ 백운1교(부산) • 교량 주부재 및 보조부재 국부적 강재 부식 및 도장박리 **→ 손상의 진전여부 및 2차 손상여부** • 우수유입으로 인한 강재의 부식발생 유발 **→ 동판설치를 제안했으므로, 설치상태 확인 및 손상 진전여부**	설계도서관리 시스템
	◈ 백운1교(춘천) • AR 콘크리트 거더(S2) 중앙부 균열(0.2mm미만) 발생부 **→ 손상의 진전여부 및 2차 손상여부** • 거더 복부 수직균열(0.3mm이상) 발생부 **→ 손상의 진전여부 및 2차 손상여부** • 신축이음장치(A2) 누수 여부 **→ 보수 후 누수흔적(열화) 및 2차 손상여부** • 갓길측 포장열화(망상균열, 소성변형, 들뜸 등) 발생부 **→ 포장열화에 따른 누수/백태의 진전여부 및 2차(강재부식) 손상여부**	

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>자료분석 결과요약(백운1교(부산))</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td rowspan="3">사전
답사</td><td>거더 및
리브</td><td>• 강재 부식 및 볼트체결부 부식
  
→ 손상원인(우수유입경로 등) 및 손상의 진전여부 확인</td><td></td></tr>
<tr><td>가로보,
세로보
및 브레
이싱,
행거</td><td>• 선단부 부식 및 볼트체결부 부식
  
→ 손상원인(우수유입경로 등) 및 손상의 진전여부 확인</td><td></td></tr>
<tr><td>교대 및
교각</td><td>• 흉벽부 누수 및 백태, 코핑부 체수, 압성토 사면 기울기 적정성
  
→ 우수유입 경로 및 보수방안 검토, 압성토 사면 기울기 적정성 검토</td><td></td></tr>
<tr><td>받침
장치</td><td>• 받침장치 부식 및 도장박리
  
→ 손상의 진전여부 및 부식에 의한 받침 가동 불량 여부 확인</td><td></td></tr>
</table>

구 분		자료분석 결과요약(백운1교(부산))	비 고
사전 답사	신축 이음	• 신축이음부 토사퇴적 및 길어깨부 체수  → **하절기 고온시 유간폐쇄 여부 및 체수에 의한 바닥판 하면 누수 여부 확인**	
	교면 포장	• 포장부 백태, 균열   → **포장부 코어채취를 통한 포장 상태 및 방수층 상태 확인**	
	배수 시설	• 교면포장 배수구 토사퇴적  → **토사퇴적에 의한 배수불량부 포장부 들뜸 등 손상 확인**	
	방호 울타리	• 보수부 재손상 및 박리   → **기보수 이력 확인 및 보수 필요성 검토**	

구 분		자료분석 결과요약(백운1교(춘천))	비 고
사전 답사	바닥판	• 데크플레이트 마감  → **데크플레이트 마감부 부식 및 누수 손상 발생여부 확인**	
	AR거더	• 복부 철근노출 및 재료분리  → **철근노출 및 재료분리에 의한 추가적인 손상 진전여부 확인**	
	교대 및 교각	• 흉벽부 누수 및 백태, 코핑부 체수, 압성토 사면 기울기 적정성   → **우수유입 경로 및 보수방안 검토, 압성토 사면 기울기 적정성 검토**	
	받침 장치	• 받침장치 부식  → **손상의 진전여부 및 부식에 의한 받침 가동 불량 여부 확인**	

구 분		자료분석 결과요약(백운1교(부산))	비 고
사전 답사	신축 이음 장치	• 신축이음부 토사퇴적 및 강재부식  → **하절기 고온시 유간폐쇄 여부 및 바닥판 하면 누수 여부 확인**	
	교면 포장	• 길어깨 소성변형 및 들뜸  → **포장부 코어채취를 통한 포장 상태 및 방수층 상태 확인**	
	배수 시설	• 교면포장 배수구 스틸그레이팅 파손, 토사퇴적   → **배수시설 손상에 의한 포장부 및 바닥판 추가손상 여부 확인**	
	방호 울타리	• 보수부 재손상   → **기보수 이력 확인 및 보수 필요성 검토**	
	기타 시설	• 전선관 보호 커버 부식 및 파손  → **재설치 필요성 검토**	

3. 현장조사 및 시험

3.1 백운1교(부산)

가. 외관조사 결과요약

부재	손상내용	단위	기 진단 (2011년)	금회 진단 (2016년)	손상원인	대책	증·감 (▲·▽)		증감사유
바닥판	박리	㎡	-	0.20	우수유입 재질열화	단면보수	▲	0.20	공용 중 발생된 추가 손상
	백태	㎡	19.20	19.64	우수유입 재질열화	표면처리	▲	0.44	공용 중 발생된 추가 손상
	부식	㎡	22.90	69.52	우수유입	재도장	▲	46.62	공용 중 발생된 추가 손상
	철근노출	㎡	-	0.08	시공미흡	단면보수 (방청)	▲	0.08	상세조사에 의한 신규 손상
	파손	㎡	0.16	0.16	우수유입	단면보수	-	-	-
보강거더 및 아치리브	부식	㎡	7.63	33.55	장기공용 우수접촉	재도장	▲	25.92	공용 중 발생된 추가손상
	SP볼트 부식	㎡	16.99	20.37	장기공용 우수접촉	재도장	▲	3.38	공용 중 발생된 추가손상
	도장박리	㎡	0.03	20.13	장기공용 우수접촉	재도장	▲	20.10	공용 중 발생된 추가손상
	점검구주위 볼트 부식	㎡	0.04	0.05	장기공용 우수접촉	재도장	▲	0.01	공용 중 발생된 추가손상
	PIT	개소	-	15	용접불량	유지관리	▲	15	내부 조사를 통한 추가 손상
	실리콘 마감 불량	개소	-	152	시공불량	실링보수	▲	152	내부 조사를 통한 추가 손상
	언더컷	m	-	0.10	용접불량	유지관리	▲	0.10	내부 조사를 통한 추가 손상
	이물질 퇴적	㎡	-	6.05	환기구 유입	청소	▲	6.05	내부 조사를 통한 추가 손상
가로보 세로보 브레이싱 행거	볼트부식	㎡	7.33	13.01	장기공용 우수접촉	재도장	▲	5.68	공용 중 발생된 추가손상
	도장박리	㎡	0.29	7.51	장기공용 우수접촉	재도장	▲	7.22	공용 중 발생된 추가손상
	변형	m	1.50	1.50	시공불량	유지관리	-	-	-
	부식	㎡	39.31	49.59	장기공용 우수접촉	재도장	▲	10.28	공용 중 발생된 추가손상

부재	손상내용	단위	기 진단 (2011년)	금회 진단 (2016년)	손상원인	대책	증·감 (▲·▽)		증감사유
교대	계단침하	㎡	-	1.00	사면안정화	유지관리	▲	1.00	상세조사에 의한 물량 변경
	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	2.30	20.50	건조수축	유지관리	▲	18.20	상세조사에 의한 물량 변경
	균열 (cw=0.3mm 이상)	m	4.20	4.10	건조수축	주입보수	▽	0.10	손상범위 수정
	마감불량	㎡	-	0.30	시공미흡	유지관리	▲	0.30	상세조사에 의한 물량 변경
	망상균열	㎡	-	6.56	건조수축	유지관리	▲	6.56	상세조사에 의한 물량 변경
	박리	㎡	-	0.61	시공미흡	유지관리	▲	0.61	상세조사에 의한 물량 변경
	백태	㎡	-	22.29	신축이음부 누수	표면처리	▲	22.29	상세조사에 의한 추가 손상
	체수	㎡	-	3.75	신축이음부 누수	유도배수	▲	3.75	상세조사에 의한 추가 손상
	파손	㎡	-	1.39	외부충격	단면보수	▲	1.39	상세조사에 의한 추가 손상
교각	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	-	17.30	건조수축	유지관리	▲	17.30	상세조사에 의한 추가 손상
	망상균열	㎡	-	0.85	건조수축	유지관리	▲	0.85	상세조사에 의한 추가 손상
	박리	㎡	-	50.16	재질열화	유지관리	▲	50.16	상세조사에 의한 추가 손상
	재료분리	㎡	-	0.21	시공불량	유지관리	▲	0.21	상세조사에 의한 추가 손상
	파손	㎡	-	0.20	외부충격	유지관리	▲	0.20	상세조사에 의한 추가 손상
받침장치	받침부식	㎡	2.42	3.00	장기공용 우수접촉	재도장	▲	0.58	공용 중 발생된 추가손상
	솔플레이트 부식	㎡	1.96	1.96	장기공용 우수접촉	재도장	-	-	-
	받침콘크리트 균열 (cw=0.2mm 이하)	m	6.80	8.20	건조수축	유지관리	▲	1.40	상세조사에 의한 추가 손상
	받침콘크리트 백태	m	-	0.20	건조수축 수분접촉	표면처리	▲	0.20	상세조사에 의한 추가 손상
	망상균열	㎡	-	9.43	건조수축	유지관리	▲	9.43	상세조사에 의한 추가 손상
	거푸집 미제거	㎡	-	0.60	시공미흡	유지관리	▲	0.60	상세조사에 의한 추가 손상

부재	손상내용	단위	기 진단 (2011년)	금회 진단 (2016년)	손상원인	대책	증·감 (▲·▽)		증감사유
신축이음 장치	강재부식	㎡	0.98	0.98	우수접촉	유지관리	-	-	-
	토사퇴적	㎡	0.96	0.96	이물질퇴적	청소	-	-	-
	균열(0.2㎜이하)	m	15.60	15.60	건조수축	유지관리	-	-	-
	백태	㎡	1.50	1.50	침출수 유출	유지관리	-	-	-
	파손	㎡	-	0.05	외부충격	단면보수	▲	0.05	공용 중 발생된 신규 손상
배수시설	막힘	개소	8.00	9.00	강우시 이물질퇴적	청소	▲	1.00	공용 중 발생된 추가손상
	부식	㎡	0.04	0.30	공용 중 열화	유지관리	▲	0.26	공용 중 발생된 추가손상
방호 울타리	강판부식	개소	4	4	공용 중 열화	재도장	-	-	-
	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	8.30	17.50	건조수축	표면처리	▲	9.20	상세조사에 의한 추가 손상
	균열 (cw=0.3mm 이상)	m	0.80	1.60	건조수축	주입보수	▲	0.80	상세조사에 의한 추가 손상
	균열부 백태	㎡	5.31	19.75	건조수축 수분접촉	표면처리	▲	14.44	공용 중 발생된 추가손상
	덮개판 변형	㎡	0.05	0.05	외부충격	재설치	-	-	-
	망상균열	㎡	-	0.49	건조수축	표면처리	▲	0.49	상세조사에 의한 추가 손상
	박리	㎡	-	1.50	공용 중 열화	단면보수	▲	1.50	상세조사에 의한 추가 손상
	백태	㎡	0.62	0.94	우수유입 재질열화	표면처리	▲	0.32	공용 중 발생된 신규 손상
	보호덮개 탈락	개소	-	3	외부충격	재설치	▲	3.00	공용 중 발생된 신규 손상
	철근노출	㎡	0.04	0.05	시공미흡	단면보수 (방청)	▲	0.01	상세조사에 의한 추가 손상
	파손	㎡	-	0.10	외부충격	유지관리	▲	0.10	상세조사에 의한 추가 손상
결과분석	• 기 진단(2011년 시행)과의 비교·분석 결과, 균열, 박리, 백태, 파손 등의 결함은 공용 중 발생된 추가 및 간과된 손상으로 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 금회 진단 시 손상들은 전반적으로 경미한 수준이며, 일부 보수가 필요하나 구조적인 손상은 없는 것으로 조사됨.								

나. 내구성조사 결과요약

구 분	시험위치	전차 정밀안전진단(2011년)		금회 정밀안전진단		설계강도 (MPa)
		반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	
비파괴 강도	상부구조	26.1~30.4	27.7~31.6	27.6~33.1	29.1~30.7	27.0
	하부구조	30.2~34.2	24.1~30.5	25.3~30.4	26.0~28.2	24.0
	고 찰	• 상부구조 반발경도시험 27.6~33.1MPa, 초음파시험 29.1~30.7MPa로 설계기준강도(27.0MPa)를 상회하는 것으로 측정되었으며, 하부구조 반발경도시험 25.3~30.4MPa, 초음파시험 26.0~28.2MPa로 설계기준강도(24.0MPa)를 상회하는 것으로 측정됨. • 전차 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 비파괴 압축강도 측정값을 비교·분석한 결과, 측정위치에 따라 다소 차이는 발생하고 있으나 전반적으로 전차 정밀안전진단 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 측정개소 모두 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 전반적으로 양호하며, 강도저하는 발생되지 않은 것으로 판단됨.				

구 분	시험위치		철근종류	측정치(mm)		설계치(mm)		비 고
				배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
철근 탐사	상부구조 캔틸레버	S1	횡방향철근	112.5	41.0~43.0	125.0	42.0	양호
		S2 A1측	횡방향철근	107.5~112.5	40.0~41.0	125.0	42.0	양호
		S2 A2측	횡방향철근	127.5~132.5	43.0~46.0	125.0	42.0	양호
		S3	횡방향철근	110.0~135.0	43.0~48.0	125.0	42.0	양호
	하부구조	A1 구체	수직철근	115.0~120.0	96.0~97.0	125.0	90.5	양호
			수평철근	150.0~155.0	110.0~111.0	150.0	109.5	양호
		A2 구체	수직철근	95.0~110.0	85.0~92.0	100.0	87.5	양호
			수평철근	140.0	110.0~111.0	150.0	112.5	양호
		P1 기둥	수직철근	90.0~110.0	87.0~88.0	100.0	87.5	양호
			수평철근	145.0~155.0	113.0~116.0	150.0	112.5	양호
		P2 기둥	수직철근	105.0~115.0	86.0~91.0	100.0	87.5	양호
			수평철근	140.0~145.0	113.0	150.0	112.5	양호
	고 찰		• 상부구조(캔틸레버)의 철근배근간격은 종방향철근의 경우 측정부재의 길이부족으로 인해 미실시하였으며, 횡방향철근 107.5~135.0mm 및 피복두께 40.0~48.0mm로 조사되었으며, 하부구조의 철근배근간격은 수직철근 90.0~120.0mm, 수평철근 140.0~155.0mm 및 피복두께 85.0~116.0mm로 조사됨. • 동일 부재여도 측정부위에 따른 설계 배근간격이 상이하여 직접적인 비교·분석이 가능하지 않은 측정개소가 발생하였으나, 전차 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 철근탐사결과 배근간격 및 피복두께가 설계기준에 따라 적정하게 배근된 것으로 검토됨.					

구 분	시험위치	전차 정밀안전진단(2011년)		금회 정밀안전진단		비 고
		탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	
탄산화 깊이 측정	상부구조	2.0~4.0	29.0~52.0	2.0	39.0~41.0	철근부식 우려 없음
	하부구조	12.0~18.0	63.0~104.0	1.0~12.0	74.0~95.0	
	고 찰	• 전차 정밀안전진단(2011년) 결과 상부구조(S2)에서 b등급으로 평가된 1개소는 탄산화깊이 2.0mm로 측정되었으나, 실측 피복두께가 31.0mm로 탄산화 진행정도에 비해 잔여깊이(29.0mm)가 부족한 상태로 평가되었으나 탄산화 속도계수에 의한 잔존수명이 100년 이상을 나타내어 탄산화에 의한 철근부식 우려가 없는 것으로 평가됨. • 기 진단 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 측정개소 모두 탄산화에 의한 철근부식 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 적을 것으로 판단됨.				

구 분	시험위치	전차 정밀안전진단(2011년)		금회 정밀안전진단		비 고
		Cl^-(%)	Cl^-(kg/m³)	Cl^-(%)	Cl^-(kg/m³)	
염화물 함유량 시험	상부구조	0.0311	0.705	0.0047	0.106	
	하부구조	0.0138~0.0261	0.313~0.592	0.0070~0.0257	0.158~0.581	
	고 찰	• 염화물 함유량은 상부구조 0.106kg/m³, 하부구조 0.158~0.581kg/m³로 분석되어 상태평가 “a~b”로 부식발생 가능성이 낮은 것으로 평가됨. 금회 현장조사 결과 철근부식에 의한 박락은 발생되지 않은 상태로 염화물에 의한 구조물의 손상은 없는 것으로 조사됨. • 전차 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 염화물 함유량 시험결과를 비교·분석한 결과, 재료시험 특성 및 시험위치의 차이 등에 의해 미소한 차이가 발생하였으나, 측정개소 모두 염화물 함유량 1.2kg/m³이하로 염화물에 의한 부식발생 가능성이 낮은 것으로 분석됨.				

구 분	시험위치	전차 정밀안전진단(2011년)	금회 정밀안전진단	비 고
		초음파 이상유무	초음파 이상유무	
강재 내구성 조사	상부구조	합격 : 6개소	합격 : 6개소	
	하부구조	합격 : 6개소	합격 : 6개소	
	고 찰	• 강거더의 용접상태를 검사하기 위해 맞대기 용접부에 대해 거더별로 6개소씩 총 12개소에 대해 검사를 실시하였으며, 검사결과 총 12개소 모두 합격 판정되어 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타남 • 전차 정밀안전진단(2011년) 결과와 금회 맞대기 용접부 결함 유무 측정 결과, 용접부의 결함지시가 없는 상태로서 결함이 발생되지 않은 것으로 판단됨.		

3.2 백운1교(춘천)

가. 외관조사 결과요약

부재	손상내용	단위	기 진단 (2013년)	금회 진단 (2016년)	손상원인	대책	증·감 (▲·▽)		증감사유
바닥판	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	48.70	62.80	건조수축	유지관리	▲	14.10	상세조사에 의한 추가 손상
	균열부 백태	m	3.00	6.10	건조수축 수분침투	표면처리	▲	3.10	공용 중 발생된 추가손상
	누수흔적	㎡	399.30	396.00	우수유입	유지관리	▽	3.30	손상범위 수정
	망상균열	㎡	3.10	3.10	건조수축	유지관리	-	-	-
	박리	㎡	0.42	0.51	우수유입	유지관리	▲	0.09	상세조사에 의한 추가 손상
	백태	㎡	4.30	0.83	미세균열부 수분침투	표면처리	▽	3.47	손상범위 수정
	재료분리	㎡	5.80	6.76	시공미흡	유지관리	▲	0.96	상세조사에 의한 추가 손상
	철근노출 (녹물흔적)	㎡	2.61	2.87	시공미흡 및 수분접촉	단면보수 (방청)	▲	0.26	상세조사에 의한 추가 손상
	거푸집 미제거	m	2.00	2.00	시공불량	유지관리	-	-	-
	물끊기홈 미설치	m	1.50	1.50	시공미흡	물끊기홈 설치	-	-	-
	파손	㎡	-	1.50	시공불량	단면보수	▲	1.5	상세조사에 의한 추가 손상
AR Girder	거푸집 미제거	㎡	3.60	3.60	시공미흡	유지관리	-	-	-
	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	276.00	310.80	건조수축	유지관리	▲	34.80	상세조사에 의한 추가 손상
	균열 (cw=0.3mm 이상)	m	235.50	248.10	건조수축	주입보수	▲	12.60	상세조사에 의한 추가 손상
	균열부 백태	m	-	0.30	건조수축 수분접촉	표면처리	▲	0.30	공용 중 발생된 추가손상
	누수흔적	㎡	9.00	4.00	우수접촉	유지관리	▽	5.00	손상범위 수정
	망상균열	㎡	14.50	61.50	건조수축	유지관리	▲	47.00	상세조사에 의한 추가 손상
	박리	㎡	-	2.45	시공미흡 재질열화	단면보수	▲	2.45	상세조사에 의한 추가 손상
	볼트미제거	개소	5	5	시공미흡	유지관리	-	-	-
	파손	㎡	0.25	0.40	시공미흡	단면보수	▲	0.15	상세조사에 의한 추가 손상
	철근미제거	개소	12	12	시공미흡	유지관리	-	-	-
	재료분리	㎡	10.81	96.15	시공미흡	단면보수	▲	85.34	상세조사에 의한 추가 손상
	철근노출	㎡	14.74	23.99	시공미흡 피복부족	단면보수 (방청)	▲	9.25	상세조사에 의한 추가 손상
	이물질삽입	㎡	-	1.80	시공미흡	유지관리	▲	1.80	상세조사에 의한 추가 손상
가로보	재료분리	㎡	-	0.08	시공미흡	유지관리	▲	0.08	상세조사에 의한 추가 손상

부재	손상내용	단위	기 진단 (2013년)	금회 진단 (2016년)	손상원인	대책	증·감 (▲·▽)		증감사유
교대	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	19.00	26.50	건조수축	유지관리	▲	7.50	상세조사에 의한 추가 손상
	균열 (cw=0.3mm 이상)	m	0.80	0.80	건조수축	주입보수	-	-	-
	녹물흔적 및 이물질 삽입	㎡	0.75	1.71	시공미흡 재질열화	단면보수 (방청)	▲	0.96	상세조사에 의한 추가 손상
	망상균열	㎡	31.61	43.20	건조수축	유지관리	▲	11.59	상세조사에 의한 추가 손상
	박리	㎡	1.44	1.38	시공미흡 재질열화	유지관리	▽	0.06	손상범위 수정
	백태	㎡	2.45	0.20	신축이음부 누수	표면처리	▲	2.25	공용 중 발생된 추가손상
	재료분리	㎡	-	0.92	시공미흡	유지관리	▲	0.92	상세조사에 의한 추가 손상
	파손	㎡	1.02	2.36	외부충격	단면보수	▲	1.34	상세조사에 의한 추가 손상
	와이어매쉬노출	㎡	3.30	3.30	시공미흡	단면보수	-	-	-
	접합부 이격	㎡	29.00	21.00	사면안정화	실링보수	▽	8.00	손상범위 수정
	체수 및 누수흔적	㎡	25.59	15.48	신축이음부 누수	유도배수	▽	10.11	손상범위 수정
	토사퇴적	㎡	0.28	0.28	공용 중 이물질 퇴적	유지관리	-	-	-
교각	거푸집 미제거	㎡	-	0.01	시공미흡	유지관리	▲	0.01	상세조사에 의한 추가 손상
	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	23.60	87.20	건조수축	유지관리	▲	63.60	상세조사에 의한 추가 손상
	망상균열	㎡	4.75	24.68	건조수축	유지관리	▲	19.93	상세조사에 의한 추가 손상
	재료분리	㎡	10.75	48.18	시공미흡	유지관리	▲	37.43	상세조사에 의한 추가 손상
	철근노출	㎡	0.06	0.38	시공미흡 피복부족	단면보수 (방청)	▲	0.32	상세조사에 의한 추가 손상
	파손	㎡	0.26	1.02	시공미흡 외부충격	유지관리	▲	0.76	상세조사에 의한 추가 손상
	이물질노출	㎡	-	1.64	시공미흡	단면보수 (방청)	▲	1.64	상세조사에 의한 추가 손상
받침 장치	받침 부식	㎡	1.85	8.60	우수접촉	재도장	▲	6.75	공용 중 발생된 추가손상
	볼트 부식	㎡	0.015	0.37	우수접촉	재도장	▲	0.355	공용 중 발생된 추가손상
	상부 플레이트 변형	개소	1	1	시공미흡	유지관리	-	-	-
	받침콘크리트 균열	m	-	5.30	건조수축	유지관리	▲	5.30	상세조사에 의한 추가 손상
	망상균열	㎡	-	0.48	건조수축	유지관리	▲	0.48	상세조사에 의한 추가 손상
	탈락	㎡	0.0059	0.0018	시공미흡	유지관리	▽	0.0041	손상범위 수정
	파손	㎡	-	0.02	시공미흡 외부충격	유지관리	▲	0.02	상세조사에 의한 추가 손상
	이물질 노출	㎡	-	0.16	시공미흡	단면보수 (방청)	▲	0.16	상세조사에 의한 추가 손상
	재료분리	㎡	-	3.04	시공미흡	유지관리	▲	3.04	상세조사에 의한 추가 손상

부재	손상내용	단위	기 진단 (2013년)	금회 진단 (2016년)	손상원인	대책	증·감 (▲·▽)		증감사유
신축이음	강재부식	m	4.00	5.00	우수접촉	유지관리	▲	1.00	공용 중 발생된 추가손상
	토사퇴적	㎡	2.00	16.00	강우 시 이물질퇴적	청소	▲	14.00	공용 중 발생된 추가손상
	단차	m	3.00	3.00	시공미흡 중차량통과	유지관리	-	-	-
	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	7.35	-	건조수축 중차량통과	유지관리	▽	7.35	보수로 인한 손상감소
	마모	㎡	3.52	3.52	시공미흡 중차량통과	유지관리	-	-	-
	박리	㎡	0.02	0.02	재질열화	단면보수	-	-	-
교면포장	포장균열	m	7.00	23.50	중차량통과 차륜하중	실링보수	▲	16.50	공용 중 발생된 추가손상
	망상균열	㎡	8.95	15.40	중차량통과 차륜하중	소파보수	▲	6.45	공용 중 발생된 추가손상
	접속포장 균열(탈락)	㎡	0.60	-	-	-	▽	0.60	재포장 보수
	시공이음 균열	m	266.80	174.60	중차량통과 차륜하중	실링보수	▽	92.20	재포장 보수
	보수부 탈락	㎡	0.05	-	-	-	▽	0.05	재포장 보수
	소성변형(들뜸)	㎡	41.10	-	-	-	▽	41.40	재포장 보수
	포장마모	㎡	9.50	9.25	재질열화	소파보수	▽	0.25	부분재포장에 의한 감소
	포트홀	㎡	-	0.01	재질열화	소파보수	▲	0.01	공용 중 발생된 추가손상
배수시설	그레이팅 덮개 파손	개소	9	-	-	-	▽	9	재설치
	배수구 막힘		3	-	-	-	▽	3	청소
	배수관 부식	개소	1	2	재질열화	유지관리	▲	1	공용 중 발생된 추가손상
방호 울타리	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	21.30	85.40	건조수축	표면처리	▲	64.10	상세조사에 의한 신규 손상
	균열 (cw=0.3mm 이상)	m	54.10	66.50	건조수축	주입보수	▲	12.40	상세조사에 의한 신규 손상
	균열부 백태	m	-	9.40	건조수축 수분접촉	표면처리	▲	9.40	상세조사에 의한 신규 손상
	긁힘	㎡	0.04	0.10	차량충격	단면보수	▲	0.06	상세조사에 의한 신규 손상
	망상균열	㎡	1.00	1.25	건조수축	표면처리	▲	0.25	상세조사에 의한 신규 손상
	철근노출	㎡	-	0.07	시공미흡 피복부족	단면보수 (방청)	▲	0.07	상세조사에 의한 신규 손상
	파손	㎡	0.01	0.12	시공미흡 외부충격	단면보수	▲	0.11	상세조사에 의한 신규 손상
전선관 보호덮개	전선관 보호덮개 부식	m	2.00	7.70	재질열화	재설치	▲	5.70	공용 중 발생된 추가손상
	전선관 보호덮개 파손	m	10.00	10.30	재일열화	재설치	▲	0.30	공용 중 발생된 추가손상
결과분석		• 기 진단(2013년 시행)과의 비교·분석 결과, 균열, 박리, 백태, 파손 등의 결함은 공용 중 발생된 추가 및 간과된 손상으로 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 금회 진단 시 손상들은 전반적으로 경미한 수준이며, 일부 보수가 필요하나 구조적인 손상은 없는 것으로 조사됨.							

나. 내구성조사 결과요약

<table>
<tr><th rowspan="2">구 분</th><th rowspan="2">시험위치</th><th colspan="2">전차 정밀안전진단(2013년)</th><th colspan="2">금회 정밀안전진단</th><th rowspan="2">설계강도
(MPa)</th></tr>
<tr><th>반발경도시험(MPa)</th><th>초음파시험(MPa)</th><th>반발경도시험(MPa)</th><th>초음파시험(MPa)</th></tr>
<tr><td rowspan="3">비파괴
강도</td><td>상부구조</td><td>28.2～30.6</td><td>28.3～33.2</td><td>27.5～30.6</td><td>28.1～30.1</td><td>27.0</td></tr>
<tr><td>하부구조</td><td>26.6～27.9</td><td>25.3～27.3</td><td>25.4～31.2</td><td>24.6～25.7</td><td>24.0</td></tr>
<tr><td>고 찰</td><td colspan="5">• 상부구조 반발경도시험 27.5～30.6MPa, 초음파시험 28.1～30.1MPa로 설계기준강도(27.0MPa)를 상회하는 것으로 측정되었으며, 하부구조 반발경도시험 25.4～31.2MPa, 초음파시험 24.6～25.7MPa로 설계기준강도(24.0MPa)를 상회하는 것으로 측정됨.
• 전차 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 비파괴 압축강도 측정값을 비교·분석한 결과, 측정위치에 따라 다소 차이는 발생하고 있으나 전반적으로 전차 정밀안전진단 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 측정개소 모두 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 전반적으로 양호하며, 강도저하는 발생되지 않은 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><th rowspan="2">구 분</th><th colspan="2" rowspan="2">시험위치</th><th rowspan="2">철근종류</th><th colspan="2">측정치(mm)</th><th colspan="2">설계치(mm)</th><th rowspan="2">비 고</th></tr>
<tr><th>배근간격</th><th>피복두께</th><th>배근간격</th><th>피복두께</th></tr>
<tr><td rowspan="11">철근
탐사</td><td rowspan="4">상부
구조</td><td rowspan="2">바닥판
하면</td><td>종방향철근</td><td>110.0～144.0</td><td>31.0～40.0</td><td>125.0</td><td>37.5</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>횡방향철근</td><td>180.0～222.0</td><td>60.0～70.0</td><td>200.0</td><td>62.5</td><td>양호</td></tr>
<tr><td rowspan="2">가더</td><td>수직철근</td><td>134.0～149.0</td><td>37.0～48.0</td><td>149.0</td><td>39.0</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>수평철근</td><td>265.0～320.0</td><td>58.0～67.0</td><td>300.0</td><td>61.0</td><td>양호</td></tr>
<tr><td rowspan="6">하부
구조</td><td rowspan="2">교대</td><td>수직철근</td><td>185.0～221.0</td><td>90.0～97.0</td><td>200.0</td><td>90.5</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>수평철근</td><td>190.0～210.0</td><td>108.0～117.0</td><td>200.0</td><td>109.5</td><td>양호</td></tr>
<tr><td rowspan="2">P1
기둥</td><td>수직철근</td><td>215.0～220.0</td><td>90.0～92.0</td><td>200.0</td><td>89.0</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>수평철근</td><td>210.0</td><td>110.0</td><td>200.0</td><td>111.0</td><td>양호</td></tr>
<tr><td rowspan="2">P2
지점
롤러</td><td>수직철근</td><td>190.0～205.0</td><td>92.0～96.0</td><td>200.0</td><td>92.0</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>수평철근</td><td>195.0～210.0</td><td>105.0～108.0</td><td>200.0</td><td>108.0</td><td>양호</td></tr>
<tr><td colspan="2">고 찰</td><td colspan="7">• 상부구조 바닥판하면 종방향철근 110.0～144.0mm, 횡방향철근 180.0～222.0mm 및 피복두께 31.0～70.0mm로 조사되었으며, 거더 수직철근 134.0～149.0mm, 수평철근 265.0～320.0mm 및 피복두께 37.0～67.0mm로 조사되었다. 하부구조의 철근배근간격은 수직철근 185.0～221.0mm, 수평철근 190.0～210.0mm 및 피복두께 90.0～117.0mm로 조사됨.
• 전차 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 철근배근상태를 비교·분석한 결과, 동일 부재여도 측정부위에 따른 설계 배근간격이 상이하여 직접적인 비교·분석이 가능하지 않은 상태로 금회 측정한 철근배근상태를 기준으로 평가를 실시한 결과 배근간격 및 피복두께가 설계기준에 따라 적정하게 배근된 것으로 검토됨.</td></tr>
</table>

구 분	시험위치	전차 정밀안전진단(2011년)		금회 정밀안전진단		비 고
		탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	
탄산화 깊이 측정	상부구조	4.2~5.3	26.8~53.7	4.5~6.1	31.5~34.9	철근부식 우려 없음
	하부구조	3.4~3.6	43.6~98.4	4.0~4.3	86.0~86.7	
	고 찰	• 전차 정밀안전진단(2013년) 결과 상부구조(S1)에서 b등급으로 평가된 1개소는 탄산화깊이 4.2mm로 측정되었으나, 실측 피복두께가 31.0mm로 탄산화 진행정도에 비해 잔여깊이(26.8mm)가 부족한 상태로 평가되었으나 탄산화 속도계수에 의한 잔존수명이 100년 이상을 나타내어 탄산화에 의한 철근부식 우려가 없는 것으로 평가됨. • 기 진단 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 측정개소 모두 탄산화에 의한 철근부식 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 적을 것으로 판단됨.				

구 분	시험위치	전차 정밀안전진단(2011년)		금회 정밀안전진단		비 고
		Cl^-(%)	Cl^-(kg/m³)	Cl^-(%)	Cl^-(kg/m³)	
염화물 함유량 시험	상부구조	0.002	0.071	0.1935	4.378	
	하부구조	0.001~0.003	0.024~0.047	0.0142~0.1917	0.321~4.338	
	고 찰	• 바닥판하면(S3), 교대(A2)의 경우 염화물 함유량 값 2.5kg/m³ 이상으로 염화물에 의한 철근 손상 가능성이 높은 것으로 나타남. 바닥판하면 및 교대 구체의 경우 강설시 제설대책인 동결방지제(염화칼슘)의 영향을 받아 염화물 측정치가 크게 분석된 것으로 판단됨. 하지만 현장조사 결과 철근노출이나 철근부식에 의한 박락은 발생되지 않은 상태로 염화물에 의한 구조물의 손상은 없으므로 손상발생에 대한 지속적인 관찰이 필요함. • 전차 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 염화물 함유량 시험결과를 비교·분석한 결과, 재료시험 특성 및 시험위치, 공용기간 증가에 의한 동결방지제인 염화칼슘의 영향으로 염화물 함유량의 증가가 있는 것으로 분석됨.				

구 분	시험위치		균열폭 (mm)	초음파 전달시간(×10⁻⁶sec)		균열깊이 (mm)	피복두께 (mm)	비 고
				건전부(To)	균열부(Tc)			
균열 깊이 조사	하부 구조	P1	0.2	45.2	47.7	33.7	90.0	
			0.3	43.2	45.6	33.8	92.0	
		P2	0.2	41.1	43.2	32.4	92.0	
	고 찰		• 하부구조 균열폭 0.2~0.3mm에 대하여 균열깊이 조사를 실시한 결과, 균열깊이는 32.4mm~33.8mm로 측정됨. 균열깊이는 하부구조 피복두께(90.0~92.0mm)에 미치지는 않은 것으로 측정되어 철근부식에 의한 내구성 저하는 미미할 것으로 판단됨.					

4. 시설물의 상태평가

4.1 백운1교(부산)

가. 상태평가 결과표

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성 요소			
번호	구조 형식	바닥판	거더		포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	탄산화 (상)	탄산화 (하)	염화물 (상)	염화물 (하)
S1 (A1)	강아치교	b	b	b	a	b	c	c	b	c	q	a	a	×	b
S2 (P1)	강아치교	b	b	b	a	b	c	×	b	b	q	a	a	a	a
S3 (P2)	강아치교	b	b	b	a	b	c	×	b	b	q	×	a	×	×
A2	강아치교							c	b	c	q	×	a	×	×
평균		0.200	0.200	0.200	0.100	0.200	0.400	0.400	0.200	0.300	0.000	0.100	0.100	0.100	0.150
가중치		15	23	5	7	3	2	9	9	20	0	2	2	2	1
(평균×가중치) /가중치 합		0.030	0.046	0.010	0.007	0.006	0.008	0.036	0.018	0.060	0.000	0.002	0.002	0.002	0.002

등급	a	b	c	d	e
결함도 범위	0≤x <0.13	0.13≤x <0.26	0.26≤x <0.49	0.49≤x <0.79	0.79≤x

환산결함도점수	0.229
상태평가 결과	b

나. 기 진단결과와의 비교

구분	일자	전체		바닥판		거더		2차 부재		교면포장		배수시설		난간/연석		신축이음	
		결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과
안전진단	2011.11	0.235	b	0.200	b	0.200	b	0.200	b	0.400	c	0.200	b	0.200	b	0.400	c
안전진단	2016.12	0.229	b	0.200	b	0.200	b	0.200	b	0.100	a	0.200	b	0.400	c	0.400	c

구분	일자	교량받침		교대/교각		기초		탄산화(상부)		탄산화(하부)		염화물(상부)		염화물(하부)	
		결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과
안전진단	2011.11	0.175	b	0.225	b	N	Q	0.200	b	0.200	b	0.200	b	0.200	b
안전진단	2016.12	0.200	b	0.300	c	N	Q	0.100	a	0.100	a	0.100	a	0.150	b

상태평가 결과 분석

- 백운1교(부산)은 정밀안전진단(2011)을 시행하였으며, 상태평가 결과 “b”로 분류된 교량으로 금회 실시된 정밀안전진단에서도 상태평가 “b”로 평가됨.
- 금회 정밀안전진단 시 신규손상이 조사되었지만 구조물의 안전성에 영향을 미치는 손상이 아니므로 신규손상에 따른 결함도 영향은 미미함.
- 금회 정밀안전진단 결함도 점수의 증감 사유는 다음과 같음.

 - 결함도 점수 증가 사유
  ⇨ 공용년수 증가에 따른 신규손상 발생 및 배수시설 고정핀 파손 및 탈락 발생
 - 결함도 점수 감소 사유
  ⇨ 2016.09 교면포장(전면 재포장) 실시로 인해 결함도 점수 감소

4.2 백운1교(춘천)

가. 상태평가 결과표

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성 요소			
번호	구조 형식	바닥판	거더		포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	탄산화 (상)	탄산화 (하)	염화물 (상)	염화물 (하)
S1 (A1)	AR 거더	b	c	a	b	a	c	b	b	b	q	×	×	×	×
S2 (P1)	AR 거더	b	c	a	b	a	c	×	a	b	q	a	a	×	b
S3 (P2)	AR 거더	b	c	a	a	a	c	×	b	b	q	a	×	d	×
A2	AR 거더							b	b	b	q	×	a	×	d
평균		0.200	0.400	0.100	0.167	0.100	0.400	0.200	0.175	0.200	0.000	0.100	0.100	0.700	0.450
가중치		15	23	5	7	3	2	9	9	20	0	2	2	2	1
(평균×가중치) /가중치 합		0.030	0.092	0.005	0.012	0.003	0.008	0.018	0.016	0.040	0.000	0.002	0.002	0.014	0.005

기준	a	b	c	d	e
결함도 범위	0≤x <0.13	0.13≤x <0.26	0.26≤x <0.49	0.49≤x <0.79	0.79≤x

환산결함도점수	0.247
상태평가 결과	b

나. 기 진단결과와의 비교

구분	일자	전체		바닥판		거더		2차 부재		교면포장		배수시설		난간/연석		신축이음	
		결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과
안전진단	2013.12	0.257	b	0.200	b	0.400	c	0.100	a	0.270	c	0.400	c	0.400	c	0.200	b
안전진단	2016.12	0.247	b	0.200	b	0.400	c	0.100	a	0.167	b	0.100	a	0.400	c	0.200	b

구분	일자	교량받침		교대/교각		기초		탄산화(상부)		탄산화(하부)		염화물(상부)		염화물(하부)	
		결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과	결함 점수	평가 결과
안전진단	2013.12	0.180	b	0.250	b	N	Q	0.150	b	0.100	a	0.100	a	0.100	a
안전진단	2016.12	0.175	b	0.200	b	N	Q	0.100	a	0.100	a	0.700	d	0.450	c

상태평가 결과 분석

- 백운1교(춘천)는 정밀안전진단(2008, 2013)을 시행하였으며, 상태평가결과 “b“로 분류된 교량으로 금회 실시된 정밀안전진단에서는 상태평가 “b“로 평가됨.
- 금회 정밀안전진단시 상세조사에 따른 주요부재(하부구조)의 신규손상 발생 및 신축이음 하부누수 반영으로 상태저하가 발생된 것으로 판단됨.
- 금회 정밀안전진단 결함도 점수의 증감 사유는 다음과 같음.
  - 결함도 점수 증가 사유
    ⇨ 교대(A1), 교각(P1) 신규손상 발생, 철근콘크리트구간 전염화물량 증가.
  - 결함도 점수 감소 사유
    ⇨ 2016.10 : 교면포장(부분 재포장) 실시 및 배수구 막힘(청소), 2016.11 : 교각 0.3mm 균열, 교각 철근노출, 교대 백태, 신축이음부 유도배수관, 후타재 균열의 보수로 인해 결함도 점수 감소.

5. 시설물의 안전성 평가

5.1 백운1교(부산)

가. 상부구조 안전성평가 결과

1) 상부구조 안전성평가 결과

단위 : MPa

구 분	축방향력 및 휨모멘트 응력			전단응력			안전성 평가등급
	검토응력	허용응력	안전율	검토응력	허용응력	안전율	
보강거더	172.413	215.000	1.00이상	12.716	125.000	1.00이상	a
아치리브	34.572	215.000	1.00이상	9.820	125.000	1.00이상	a
행거	13.772	140.000	1.00이상	-0.124	80.000	1.00이상	a
상부가로보	114.541	215.000	1.00이상	0.030	125.000	1.00이상	a
하부가로보	-6.516	215.000	1.00이상	-0.086	125.000	1.00이상	a
브레이싱	-3.182	112.591	1.00이상	0.121	80.000	1.00이상	a
세로보	44.653	140.000	1.00이상	0.169	80.000	1.00이상	a

2) 바닥판

구 분		Mu(kN·m)	ΦMn(kN·m)	안전율	안전성 평가등급
바닥판	캔틸레버	37.398	127.569	1.00이상	a
	중앙부	67.724	105.961	1.00이상	a

나. 하부구조 안전성평가 결과

단 면	축력 검토		안전율	모멘트 검토		안전율	안전성 평가 등급
	Pu(kN)	ΦPn(kN)		Mu(kN·m)	ΦMn(kN·m)		
교각	19,987.396	91,935.160	1.00이상	70,826.692	326,210.033	1.00이상	a

다. 기 진단결과와의 비교 · 분석

구 분	2011년 정밀안전진단	2016년 정밀안전진단
해석조건	• 상부 3차원 격자해석 • 준공도에 근거하여 보강거더와 아치리브, 브레이싱의 연결은 강결로 고려하였으며 행거는 양단 힌지로 취급함. • 바닥판과 세로보의 연결은 전단연결재가 1.0m간격으로 배치되어 있어 합성효과를 일부 발휘할 것으로 판단되나 기본적으로 비합성구조로 설계된 교량이므로 구조해석 시 이를 고려하여 안전측의 해석이 되도록 비합성으로 모델링함. • 하중조건은 고정하중과 설계활하중 외 온도변화와 풍하중의 영향을 고려하였으며, 활하중의 재하방법은 해석프로그램 내의 이동하중해석 기능을 사용함. • 지점경계조건은 교량받침의 현장 배치상태를 고려하여 교각 지점을 고정단으로, 교대지점을 가동단으로 설정함.	• 상부 3차원 격자해석 • 준공도에 근거하여 보강거더와 아치리브, 브레이싱의 연결은 강결로 고려하였으며 행거는 양단 힌지로 취급함. • 바닥판과 세로보의 연결은 전단연결재가 1.0m간격으로 배치되어 있어 합성효과를 일부 발휘할 것으로 판단되나 기본적으로 비합성구조로 설계된 교량이므로 구조해석 시 이를 고려하여 안전측의 해석이 되도록 비합성으로 모델링함. • 하중조건은 고정하중과 설계활하중 외 온도변화와 풍하중의 영향을 고려하였으며, 활하중의 재하방법은 해석프로그램 내의 이동하중해석 기능을 사용함. • 지점경계조건은 교량받침의 현장 배치상태를 고려하여 교각 지점을 고정단으로, 교대지점을 가동단으로 설정함. • 풍하중 고려
안전율	거더 최소 안전율 : 1.320 바닥판 최소 안전율 : 1.565 하부구조 최소 안전율 : 4.600	거더 최소 안전율 : 1.247 바닥판 최소 안전율 : 1.565 하부구조 최소 안전율 : 4.600
안전성평가 결과	A	A
총 평	• 금회 정밀안전진단은 자료분석, 현장조사 및 시험을 통한 분석결과, 제원 및 품질저하 요인이 조사되지 않아 전차 진단인 2011년 정밀안전진단의 안전성 평가를 인용하여 평가하였음. • 공용 내하력은 DB-24 이상으로 나타나 설계활하중에 대한 안전성을 확보한 것으로 판단됨. • 기존 정밀안전진단(2011)에 비해 안전율과 내하율이 하향으로 나타난 이유는 금회 진단에서 변경된 포장하중 적용으로 인한 고정하중이 증가되어 안전율과 내하율이 하향된 것으로 판단됨. • 또한, 하부구조에 대한 검토는 금회 상부구조의 적용된 포장하중으로는 하부구조에 수직력이 미미한 것으로 판단되어 전차 진단보고서(2011년)를 내용을 인용함.	

5.2 백운1교(춘천)

가. 상부구조 안전성평가 결과

구 분	모 멘 트 (kN·m)			전 단 력 (kN)			안전성 평가등급
	Mu (kN·m)	ΦMn (kN·m)	안전율	Vu (kN)	ΦVn (kN)	안전율	
바 닥 판	97.211	624.581	7.912	169.447	292.284	1.725	a
연 직 재	194.122	347.945	1.792	2,613.728	4,684.842	1.792	a
아치리브	905.136	3,273.146	3.616	480.914	2,698.752	5.612	a

나. 하부구조 안전성평가 결과

1) 교 대

단 면		Mu (kN · m/m)	ΦMn (kN · m/m)	안전율	안전성 평가 등급
A1	앞 굽 판	108.833	1,889.988	17.366	a
	뒷 굽 판	189.997	957.029	5.037	a
	벽 체	139.874	569.070	4.068	a
A2	앞 굽 판	160.459	2,019.196	12.584	a
	뒷 굽 판	287.589	1,086.237	3.777	a
	벽 체	133.500	569.070	4.263	a

2) 교 각

단 면			Qmax (MPa)	Qa (MPa)	안전율	안전성 평가 등급
교각	P1	기 초	760.871	800.000	1.05	a
	P2	기 초	1351.556	1585.900	1.17	a

다. 기 진단결과와의 비교 · 분석

구 분	2008년 정밀안전진단	2013년 정밀안전진단	2016년 정밀안전진단
해석조건	• 상부 2차원 격자해석 • 바닥판, 연직재, 아치리브가 하나의 부재로 모델링	• 상부 3차원 판해석 • 바닥판, 연직재, 아치리브를 개별적으로 모델링	• 상부 3차원 판해석 • 바닥판, 연직재, 아치리브를 개별적으로 모델링 • 풍하중 고려
안전율	거더 최소 안전율 1.003	거더 최소 안전율 1.221	거더 최소 안전율 1.792
특이사항	• 교각(P2) 말뚝지지력 부족 Qa = 1,301MPa 〈Qmax = 1,758MPa	• 교각(P2) 말뚝지지력 만족 Qa = 1,585MPa 〉 Qmax = 1,351MPa	• 교각(P2) 말뚝지지력 만족 Qa = 1,585MPa 〉 Qmax = 1,351MPa
안전성평가 결과	A	A	A
총 평	• 금회 정밀안전진단은 자료분석, 현장조사 및 시험을 통한 분석결과, 제원 및 품질저하 요인이 조사되지 않아 전차 진단인 2013년 정밀안전진단의 안전성 평가를 인용하여 평가하였음. • 공용 내하력은 DB-24 이상으로 나타나 설계활하중에 대한 안전성을 확보한 것으로 판단됨. • 기존 정밀안전진단(2013)에 비해 안전율과 내하율이 상향으로 나타난 이유는 전차 진단에서 누락된 풍하중 적용으로 인한 연직재 및 하부거더의 수평력 증가로 축력이 감소되어 안전율과 내하율이 상향된 것으로 판단됨. • 또한, 교각(P2)에 대한 지지력 검토결과, 금회 상부구조의 적용된 풍하중으로는 하부구조에 수직력 및 수평력이 미미한 것으로 판단되어, 하부구조 검토는 전차 진단보고서(2013년)를 내용을 인용하였으며, 교대 및 교각의 안전성과 말뚝기초에 지지력은 확보된 것으로 검토됨.		

6. 종합평가 및 안전등급의 지정

6.1 종합평가

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과		종합평가 결과
	환산결함도 점수	평가결과	최소안전율	평가결과	
백운1교(부산)	0.229	b	1.0이상	a	b
백운1교(춘천)	0.247	b	1.0이상	a	c
종합평가	백운1교(부산) : b, 백운1교(춘천) : b				

6.2 안전등급 지정

안전등급	구조물명	안전등급
	백운1교(부산)	**B**
	백운1교(춘천)	**B**

7. 보수 · 보강 및 유지관리방안

7.1 보수 · 보강방안 및 개략공사비

가. 백운1교(부산)

구 분	손상내용	보수·보강 공법	보수깊이·폭 (mm)	보수 물량	보수 단위	단가 (원)	공사비 (원)	비고
바닥판	박리	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	0.30	㎡	212,097	63629	3순위
	백태	표면처리공법	-	29.46	㎡	33,361	982,815	3순위
	부식	강재 재도장	-	104.28	㎡	16,208	1,690,170	3순위
	철근노출	단면보수공법(Ⅱ)	-	0.12	㎡	240,899	28,908	2순위
	파손	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	0.24	㎡	212,097	50,903	3순위
보강거더 및 아치리브	부식	강재 재도장	-	50.33	㎡	20,110	1,012,136	3순위
	SP볼트 부식	강재 재도장	-	30.56	㎡	20,110	614,562	3순위
	도장박리	강재 재도장	-	30.20	㎡	20,110	607,322	3순위
	실리콘 마감 불량	실리콘 재시공	-	152.00	ea	2,000	304,000	3순위
	이물질 퇴적	청소	-	9.08	㎡	20,110	181,600	3순위
	점검구 볼트 부식	강재 재도장	-	0.08	㎡	20,110	1,609	3순위
2차부재 (가로보, 세로보, 행거, 브레이싱)	볼트 부식	강재 재도장	-	19.52	㎡	20,110	392,547	3순위
	도장박리	강재 재도장	-	11.27	㎡	20,110	226,640	3순위
	부식	강재 재도장	-	74.39	㎡	20,110	1,495,983	3순위
교대	백태	표면처리공법	-	33.44	㎡	33,361	1,115,592	3순위
	파손	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	2.09	㎡	212,097	443,283	3순위
	균열	주입공법	cw=0.3이상	6.15	m	69,938	430,119	2순위
	체수	유도배수로 설치	-	25.20	m	145,000	3,654,000	3순위
받침장치	받침부식	강재 재도장	-	4.50	㎡	20,110	90,495	3순위
	받침콘크리트 백태	표면처리공법	-	0.30	㎡	33,361	10,008	3순위
	솔플레이트 부식	강재 재도장	-	2.94	㎡	20,110	59,123	3순위
신축이음	토사퇴적	청소	-	1.44	㎡	20,000	28,800	3순위
	후타재 파손	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	0.08	㎡	212,097	16,968	3순위
배수시설	배수구 막힘	청소	-	9.00	ea	20,000	180,000	3순위
방호벽	강판부식	강재 재도장	-	4	ea	20,110	80,440	3순위
	균열	표면처리공법	cw=0.2이하	2.40	㎡	33,361	80,066	3순위
	균열	주입공법	cw=0.3이상	2.40	m	69,938	167,851	2순위
	균열백태	표면처리공법	cw=0.2이하	29.63	㎡	33,361	988,486	3순위
	덮개판 변형	재설치	-	0.08	㎡	10,000	800	3순위
	망상균열	표면처리공법	cw=0.2이하	0.74	㎡	33,361	24,687	3순위
	박리	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	2.25	㎡	10,000	22,500	3순위
	백태	표면처리공법	-	1.41	㎡	33,361	47,039	3순위
	보호덮개 탈락	재설치	-	3.00	ea	10,000	30,000	3순위
	철근노출	단면보수공법(Ⅱ)	-	0.08	㎡	240,899	19,272	2순위
	파손	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	0.15	㎡	212,097	31,815	3순위

순공사비	공사비 합계		15,174,168원
순위별 순공사비	단기	(1순위)	-
	중장기	(2순위)	646,150원
		(3순위)	14,528,019원
제경비	(순공사비×50%)		7,587,084원
개략공사비	순공사비+제경비		**22,761,000원(≒이천이백칠십만원)**

나. 백운1교(춘천)

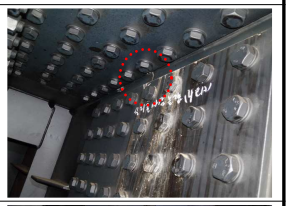
구 분	손상내용	보수·보강 공법	보수깊이·폭 (mm)	보수		단가 (원)	공사비 (원)	비고
				물량	단위			
바닥판	균열백태	표면처리공법	cw=0.2이하	9.15	㎡	33,361	305,253	3순위
	물끊기홈 미설치	설치	-	2.25	m	10,000	22,500	3순위
	백태	표면처리공법	-	1.25	㎡	33,361	41,701	3순위
	철근노출 및 녹물흔적	단면보수공법(Ⅱ)	-	4.31	㎡	240,899	1,038,275	2순위
	파손	단면복구공법(Ⅰ)	t=10미만	2.25	㎡	212,097	477,218	3순위
거더	균열	주입공법	cw=0.3이상	372.15	m	69,938	26,027,427	1순위
	균열백태	표면처리공법	cw=0.2이하	0.45	㎡	33,361	15,012	3순위
	박리	단면보수공법(Ⅰ)	-	3.68	㎡	212,097	780,517	3순위
	파손	단면보수공법(Ⅰ)	-	0.60	㎡	212,097	127,517	3순위
	재료분리	단면보수공법(Ⅰ)	-	144.23	㎡	212,097	30,590,750	3순위
	철근노출	단면보수공법(Ⅱ)	-	35.99	㎡	240,899	8,669,955	2순위
교대	균열	주입공법	cw=0.3이상	1.20	m	69,938	83,926	2순위
	백태	표면처리공법	-	0.30	㎡	33,361	10,008	3순위
	파손	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	3.54	㎡	212,097	750,823	3순위
	접합부 이격	실링보수	-	31.50	m	20,000	630,000	3순위
교각	철근노출	단면보수공법(Ⅱ)	-	1.605	㎡	240,899	386,643	2순위
받침장치	받침부식	강재 재도장	-	12.90	㎡	16,208	209,083	3순위
	볼트부식	강재 재도장	-	0.56	㎡	16,208	9,076	3순위
신축이음	토사퇴적	청소	-	24.00	㎡	20,000	480,000	3순위
	후타재 박리	단면보수공법(Ⅰ)	-	0.03	㎡	212,097	6,363	3순위
교면포장	아스콘 균열	실링보수	-	35.25	m	6,765	238,466	3순위
	망상균열	소파보수	-	23.10	㎡	20,395	471,125	3순위
	포장마모	소파보수	-	13.88	㎡	20,395	283,083	3순위
	시공이음부 균열	실링보수	-	261.90	m	6,765	1,771,754	3순위
	포트홀	소파보수	-	0.15	㎡	20,395	3,059	3순위
방호벽	균열	표면처리공법	cw=0.2이하	32.03	㎡	33,361	1,068,553	3순위
	균열	주입공법	cw=0.3이상	99.75	m	69,938	6,976,316	2순위
	균열백태	표면처리공법	cw=0.2이하	14.10	㎡	33,361	470,390	3순위
	망상균열	표면처리공법	cw=0.2이하	1.88	㎡	33,361	62,719	3순위
	긁힘	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	0.15	㎡	212,097	31,812	3순위
	철근노출	단면보수공법(Ⅱ)	-	0.11	㎡	240,097	26,411	2순위
	파손	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	0.18	㎡	212,097	38,177	3순위
기타부재	전선관 보호커버 부식	교체	-	11.55	m	50,000	577,500	3순위
	전선관 보호커버 파손	교체	-	15.45	m	50,000	772,500	3순위

순공사비	공사비 합계		83,453,656원
순위별 순공사비	단기	(1순위)	26,027,427원
	중장기	(2순위)	17,181,524원
		(3순위)	40,244,705원
제경비	(순공사비×50%)		41,726,827원
개략공사비	순공사비+제경비		**125,180,000원(≒일억이천오백만원)**

7.2 유지관리방안

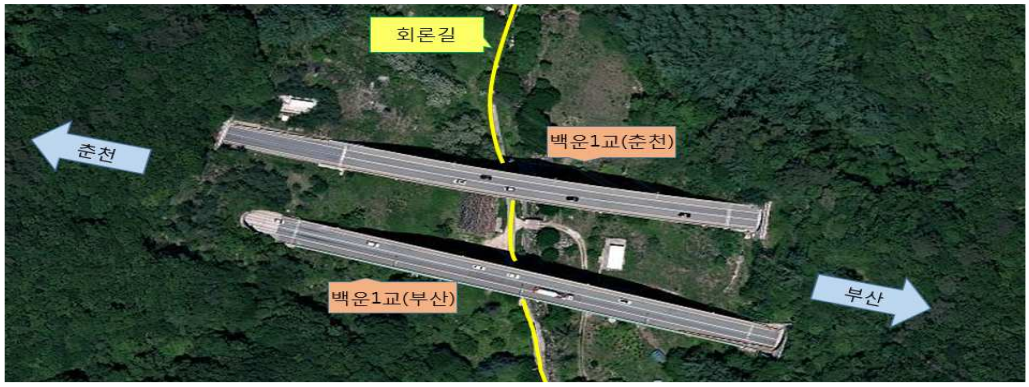
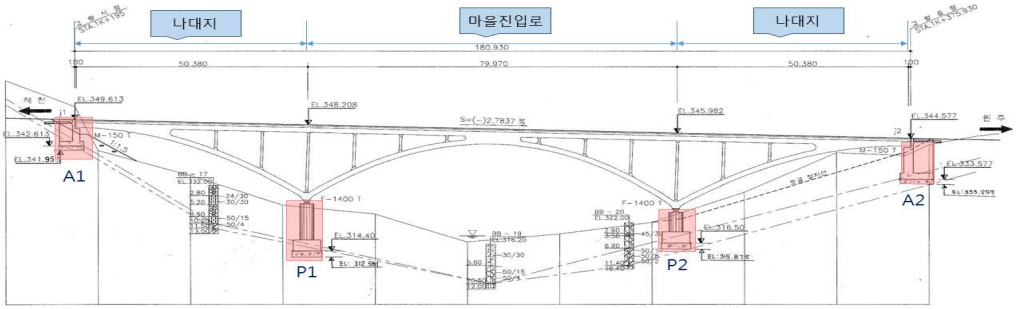
가. 중점 유지관리 사항

본 대상터널의 정밀안전진단 결과 구조의 안전과 직접적인 관련이 있는 결함, 손상 및 열화는 발견되지 않았으나, 유지관리의 효율성과 반복적으로 발생 가능한 현상은 주기적인 점검이 필요하며, 점검 시 확인하여야 할 사항은 다음과 같다.

부재	손상유형	손상위치	유지관리내용	비고
바닥판	백태 및 부식	백운1교(부산) S3	• 재포장 보수 후 손상 진전 여부 관찰	
거더	실리콘 마감불량	백운1교(부산) S2	• 우수유입으로 인한 2차 손상 방지를 위한 실링보수 필요	
거더	맞대기 용접 이음부	백운1교(부산) 단면변화부	• 용접부 부식 및 균열 발생 여부	
교대	백태	백운1교(부산) A1	• 표면처리 후 재손상 여부 관찰	
교각	철근노출	백운1교(춘천)	• 철근노출부 손상 진전 여부	
받침장치	부식	백운1교(춘천) A2	• 신축이음 누수에 따른 받침장치 부식 진전 및 가동상태	
신축이음부	유간부족	백운1교(부산) A1	• 온도신축에 의한 손상 발새 여부	

나. 중점유지관리항목 및 점검 흐름도

1) 백운1교(부산)

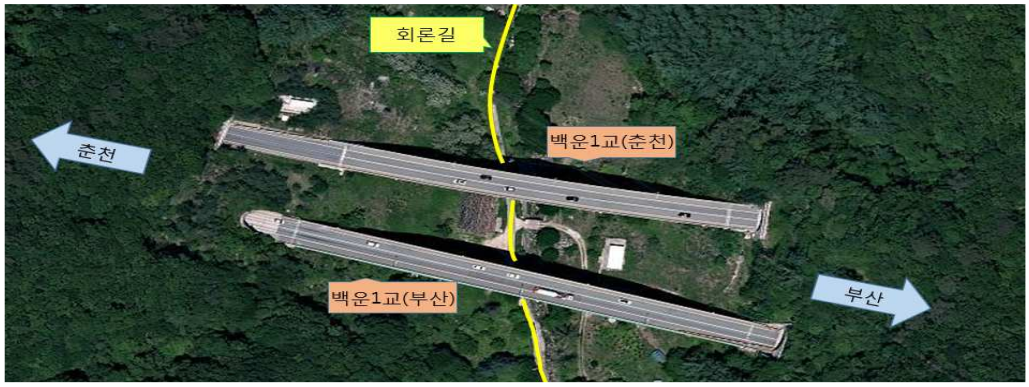
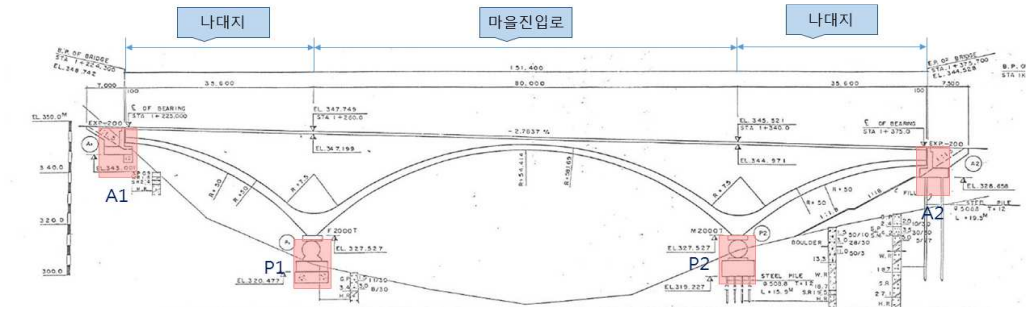
<table>
<tr><th>구 분</th><th>세 부 내 용</th></tr>
<tr><td>위치도</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>형하공간
이용현황</td><td> 

<table>
<tr><td>구분</td><td>S1</td><td>S2</td><td>S3</td></tr>
<tr><td>이용현황</td><td>나대지(급경사)</td><td>마을진입로</td><td>나대지(급경사)</td></tr>
</table>



<table>
<tr><td>S1</td><td>S2</td><td>S3</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>조사방법</td><td>▪ 바닥판하면 및 거더 외부 : 바닥판하면 중앙부는 점검통로를 이용하여 조사를 실시하고, 외측부는 고소점검차 및 굴절점검차를 이용한 조사를 실시함
▪ 교대 및 교각 하부 : 교대(A1) 및 교각(P1, P2)는 도보 접근이 용이하였으나, 교대(A2)는 점검로 미설치로 인해 도보 접근시 어려움이 있어 각별한 주의가 필요함</td></tr>
</table>

2) 백운1교(춘천)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>세 부 내 용</th></tr>
<tr><td>위치도</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>형하공간
이용현황</td><td>


<table>
<tr><td>구분</td><td>S1</td><td>S2</td><td>S3</td></tr>
<tr><td>이용현황</td><td>나대지(급경사)</td><td>마을진입로</td><td>나대지(급경사)</td></tr>
</table>



<table>
<tr><td>S1</td><td>S2</td><td>S3</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>조사방법</td><td>▪ 바닥판하면 및 거더 외부 : 바닥판하면 점검통로 미설치로 인해 고소점검차 및 굴절점검차를 이용한 조사를 실시함
▪ 교대 및 교각 하부 : 교각(P1, P2)는 도보 접근이 용이하였으나, 교대(A1, A2)는 점검로 미설치로 인해 도보 접근시 어려움이 있어 각별한 주의가 필요함
▪ 하부 고소점검차 접근시 S2(P2측) 일부 구간 임의 경작으로 고소점검차 진입이 불가한 구간은 디지스코프를 이용한 조사 실시</td></tr>
</table>

8. 종합결론

본 과업대상 시설물인 백운1교(부산, 춘천)에 대하여 현장조사, 시험 및 측정한 자료를 활용하여 시설물 평가를 실시한 결과 대표등급은 백운1교(부산)은 B등급으로 대체로 양호한 상태이며, 백운1교(춘천)은 C등급으로 일부 발생한 비구조적인 손상을 제외한 대부분의 상태가 특별한 문제점이 없는 양호한 상태로 확인되었다.

조사된 결함에 대해서 제안한 공법대로 보수를 실시하고, 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 지속적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 시설물의 안전성 및 차량의 안전운행을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

제 1 장 정밀안전진단 개요

1.1 과업의 목적

1.2 과업의 범위 및 내용

1.3 과업수행 절차 및 일정

1.4 대상 교량의 현황

1.5 사용장비 및 시험기기의 현황

1.6 교량 기호의 정의

제 1 장 정밀안전진단 개요

1.1 과업의 목적

본 과업은 “시설물의 안전관리에 관한 특별법”(이하 ”시특법“이라 한다.) 제7조 및 동법 시행령 제9조에 의한 정밀안전진단으로서 시설물의 물리적·기능적 결함과 손상을 조사·측정하고 원인을 분석하여 신속하고 적절한 조치를 취하며, 상태 및 구조적 안전성, 사용성을 종합적으로 검토·평가하여 적절한 보수·보강방법 및 유지관리 방안을 수립하여, 고속도로 시설물의 재난예방과 안전성 확보를 통해 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

1.2 과업의 범위 및 내용

1.2.1 과업의 범위

1) 자료수집 및 분석
2) 현장조사 및 시험
3) 상태평가
4) 안전성평가
5) 종합평가 및 안전등급 지정
6) 보수·보강방법 및 유지관리 방안 제시
7) 보고서 작성

1.2.2 과업수행 기간

2016. 06. 17. ~ 2016. 12. 23. (착수일로부터 190일)

1.2.3 과업의 내용

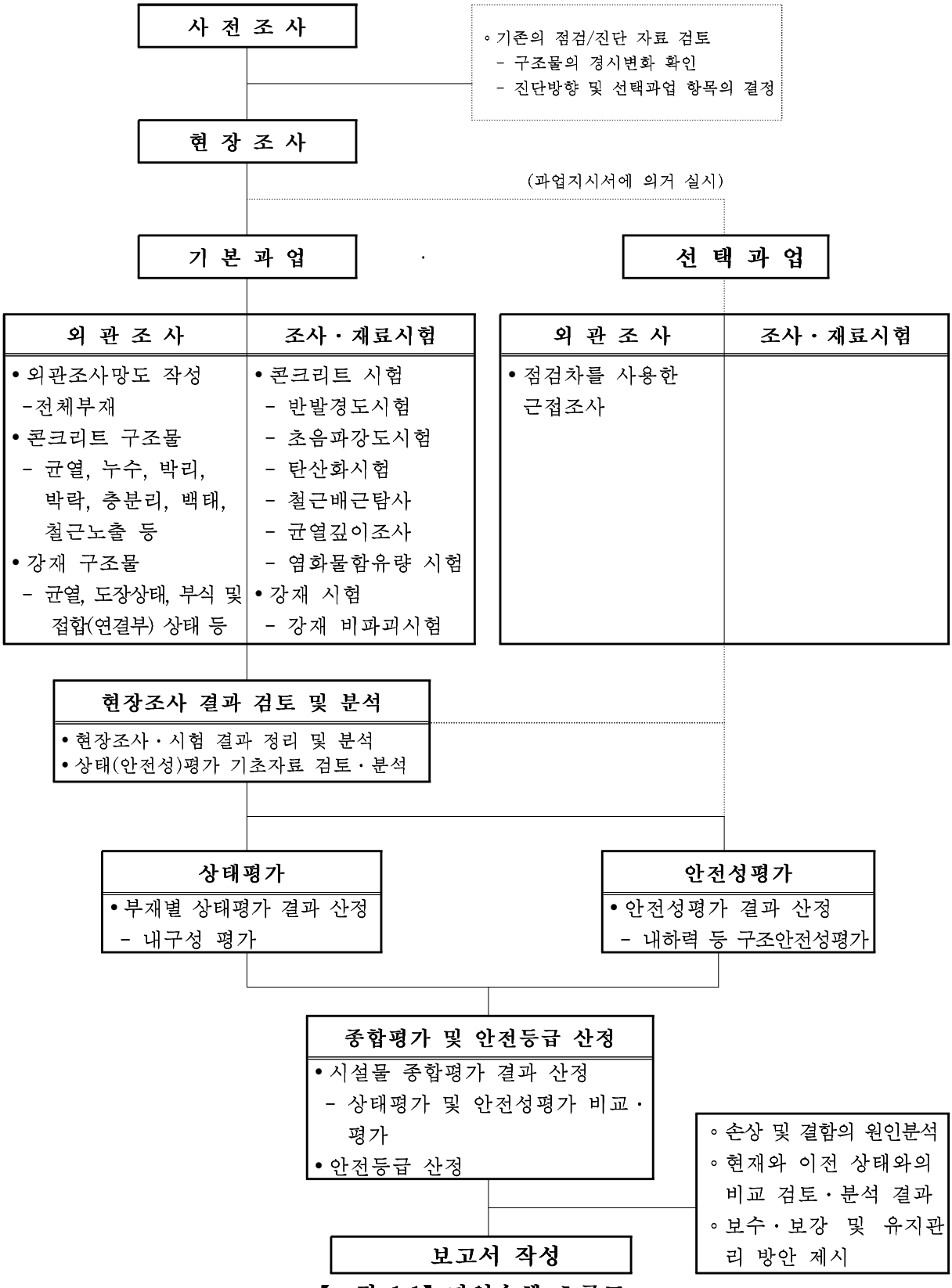
【표 1.1】 과업의 내용

과업항목	지침상 기본과업	금회 과업 내용
자료 수집 및 분석	• 설계도서 • 시설물관리대장 • 시공관련자료 • 안전점검·정밀안전진단 실시결과 자료 • 보수·보강이력 검토·분석	• 좌동
현장조사 및 시험	• 전체부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 • 현장 재료시험 등 - 콘크리트 시험: 비파괴강도(반발경도시험, 초음파전달속도시험 등), 탄산화 깊이 측정, 염화물함유량시험 - 강재 시험: 강재 비파괴시험	• 전체부재의 외관조사 및 외관조사망도 작성 • 콘크리트 시험 - 반발경도 시험 - 초음파전달속도 시험 - 탄산화깊이 측정 - 균열깊이 조사 - 염화물함유량 시험 • 철근탐사 시험 • 강재 시험 - 초음파탐상 시험
상태평가	• 외관조사 결과분석 • 현장시험 및 재료시험 결과분석 • 콘크리트 및 강재 등의 내구성 평가 • 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태평가 결과에 대한 소견	• 좌동
안전성평가	• 조사, 시험, 측정 결과의 분석 • 기존의 구조계산서 또는 안전성평가 자료 검토·분석 • 내하력 및 구조 안전성평가 • 시설물의 안전성평가 결과에 대한 소견	• 좌동
종합평가	• 시설물의 안전상태 종합평가 결과에 대한 소견 • 안전등급 지정	• 좌동
보수·보강 방법	• 보수·보강 방법 제시	• 좌동
보고서작성	• CAD 도면 작성 등 보고서 작성	• 좌동

주) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (한국시설안전공단, 2010.12) 적용

1.3 과업수행 일정

1.3.1 과업수행절차



【그림 1.1】 과업수행 흐름도

1.3.2 과업수행 일정

과업의 세부수행 기간 및 공정표는 다음과 같다.

【표 1.2】 과업수행 공정표

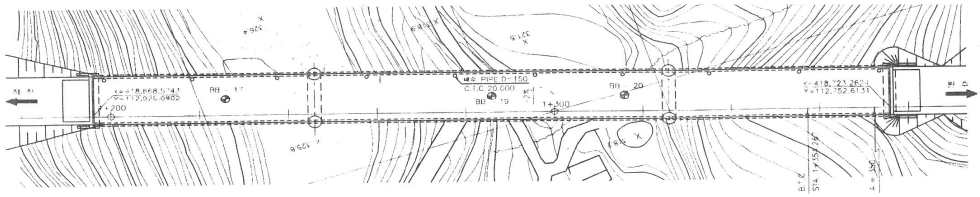
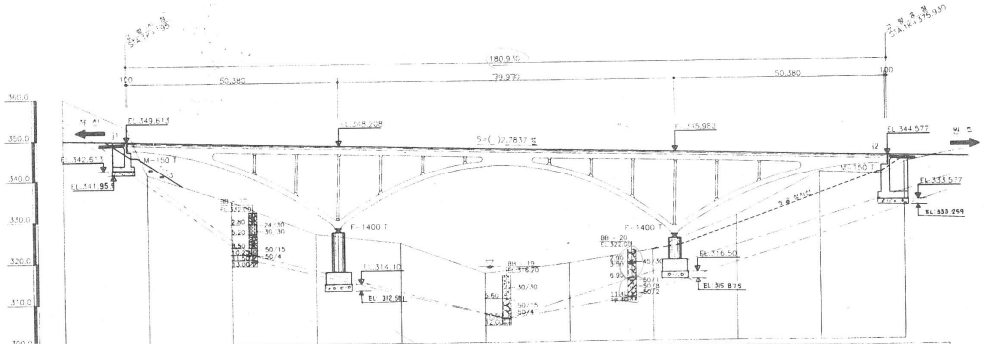
공 종		합계	2016년																						비 고
			6월		7월			8월			9월			10월			11월			12월					
			20	30	10	20	31	10	20	30	10	20	31	10	20	31	10	20	30	10	20	26			
1.사전조사		13	1	3	5	2	2																		
01단계	착수 및 예비	1	1																						- 6/20 착수 - 6/30 사전검토서 제출 - 7/4 과업수행계획서 제출
02단계	현장답사	3		3																					
03단계	관련자료 수집 및 분석	5			5																				
04단계	사전검토보고서 제출	2				2																			
05단계	과업수행계획서 제출	2					2																		
2.현장조사, 상세평가		35			4	2	2	3	2.5	3.5	1.5	1.5	0.5	1.5	2.5	3	3.5	2.1	0.9	0.3	0.2	0.3	0.2		
06단계	현장조사 계획 및 준비	2			2																				
07단계	현장재료시험	5				1	1	1							1	1									
08단계	실내시험	3						1	1	1															
09단계	시험결과 해석 및 평가	3									1	0.5	0.5	0.5	0.5										
10단계	외관조사	15			2	2	2	2	1	1				1	1	1	1	1							
11단계	현장조사결과 정리	5					0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3	0.2								
12단계	상태평가	2															0.5	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2		
3.안전성평가 및 종합평가		15													1	1.5	1.5	1	1	1	1	1	1	2	2	
13단계	안전성평가를 위한 조사	3													1	1	1								- 중간보고서 제출 : 관리주체와 일정협의
14단계	안전성평가	10														0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1	
15단계	종합평가 결과 제출	2																						1	1
4.보수보강 등 제시		12														1	1	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	
16단계	보수보강 및 우선순위 결정	10														1	1	1	1	1	1	1	1	1	
17단계	유지관리방안 제시	2																			0.5	0.5	0.5	0.5	
5.심의		10																						2	2	1	3	2	
18단계	심의용 보고서 작성	5																						2	2	1			- 성과발표 : 관리주체와 일정협의 - 기술심의 : 관리주체와 일정협의
19단계	심의의뢰 및 보고서 제출	1																									1		
20단계	심의결과 조치	3																									2	1	
21단계	심의완료	1																										1	
6.보고서 작성		15																						0.5	0.5	1	1	1	1	2	2	2	1	2
22단계	외관조사도 작성	9																						0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1		
23단계	최종보고서 작성	5																											1	1	1	1	1	- 12/26 준공
24단계	e-보고서 작성	1																															1	
공정율 (%)	계	-	1	3	5	2	6	2	2	3	2.5	3.5	1.5	1.5	0.5	1.5	2.5	3	3.5	2.1	0.9	1.3	1.7	2.8	2.2	2	2	2	2.5	3	6.0	6.5	2	4	3	1	2	2	2	1	2	
	누 계	-	1	4	9	11	17	19	21	24	26.5	30	31.5	33	33.5	35	37.5	40.5	44	46.1	47	48.3	50	52.8	55	57	59	61	63	65.5	68.5	74.5	81	83	87	90	91	93	95	97	98	100	

1.4 대상 교량의 현황

1.4.1 백운1교(부산)

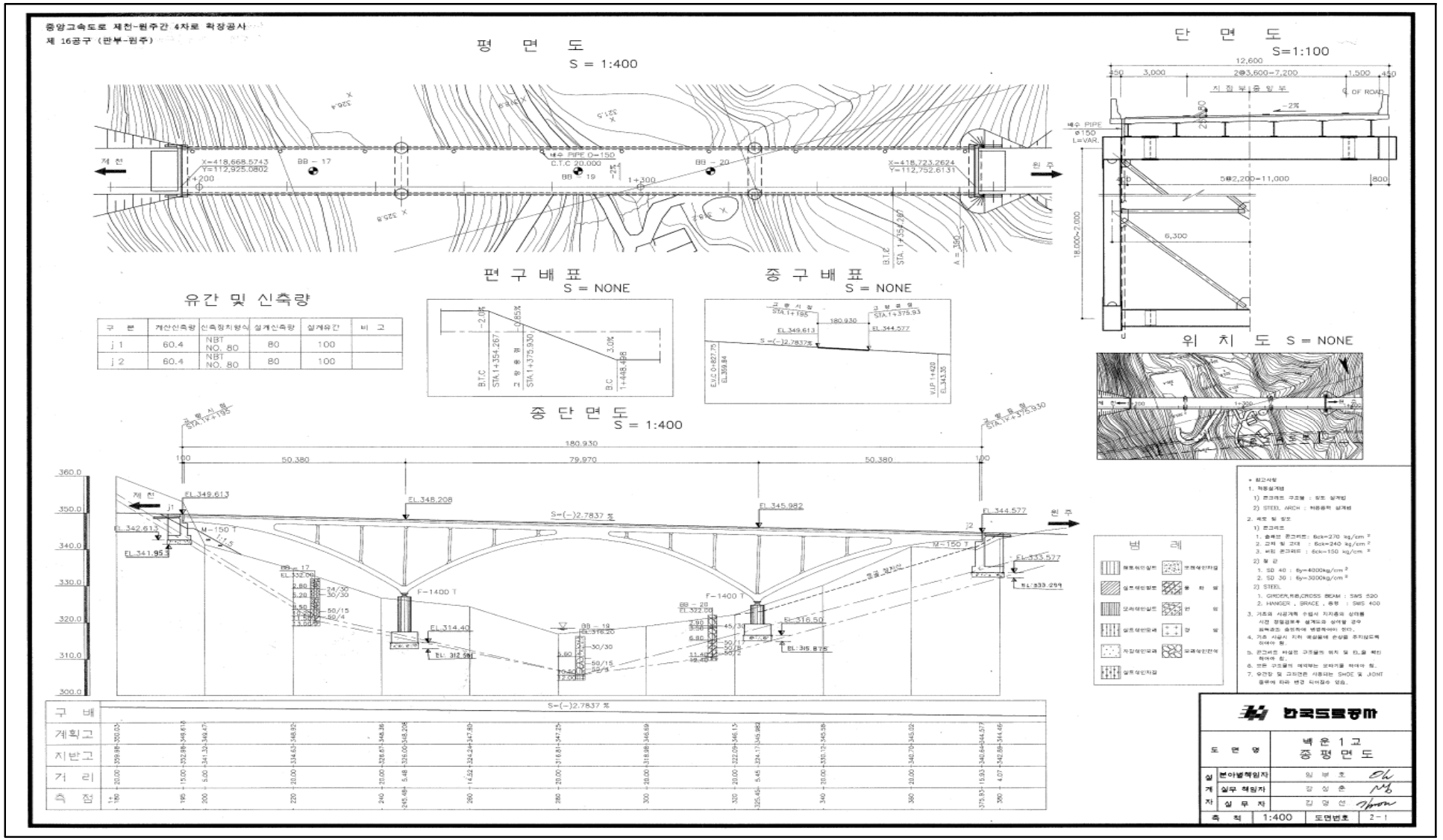
가. 백운1교(부산) 현황

【표 1.3】 백운1교(부산) 현황표

구 분		내 용	구 분		내 용
시설물명		백운1교(부산)	시설물번호		BR2000-0000081
준공년월일		2000년 05월 31일	관리번호		제천교-21-1
시설물위치		강원도 원주시 판부면 금대리 251-5			
설계하중		DB-24/DL-24	노선명(이정)		중앙선 (301.8km)
제원	연장	L=180.93m, (50.48+79.97+50.48m)			
	폭	B=12.60m, (차도: 11.700m) 2차로			
구조 형식	상부	아치교(강교)	기초 형식	교대	직접기초
	하부	교대 : 역T형(2기) 교각 : 구주식(2기)		교각	직접기초
교량받침		교대 : 고력황동받침 교각 : 핀받침	신축이음		레일식
교차시설물		회론동길	통과높이		5.0m 이상
설 계 사		삼안엔지니어링	시 공 사		극동건설(주)
내진설계유무		하부구조 적용	관리주체		한국도로공사 강원본부 제천지사
부착시설내용		-			
기 타		 【평면도】  【종단면도】 ▪ 중점 점검 사항 : A1 신축이음 유간폐쇄 여부, 콘크리트 균열 및 단면손상부의 손상증가 여부			

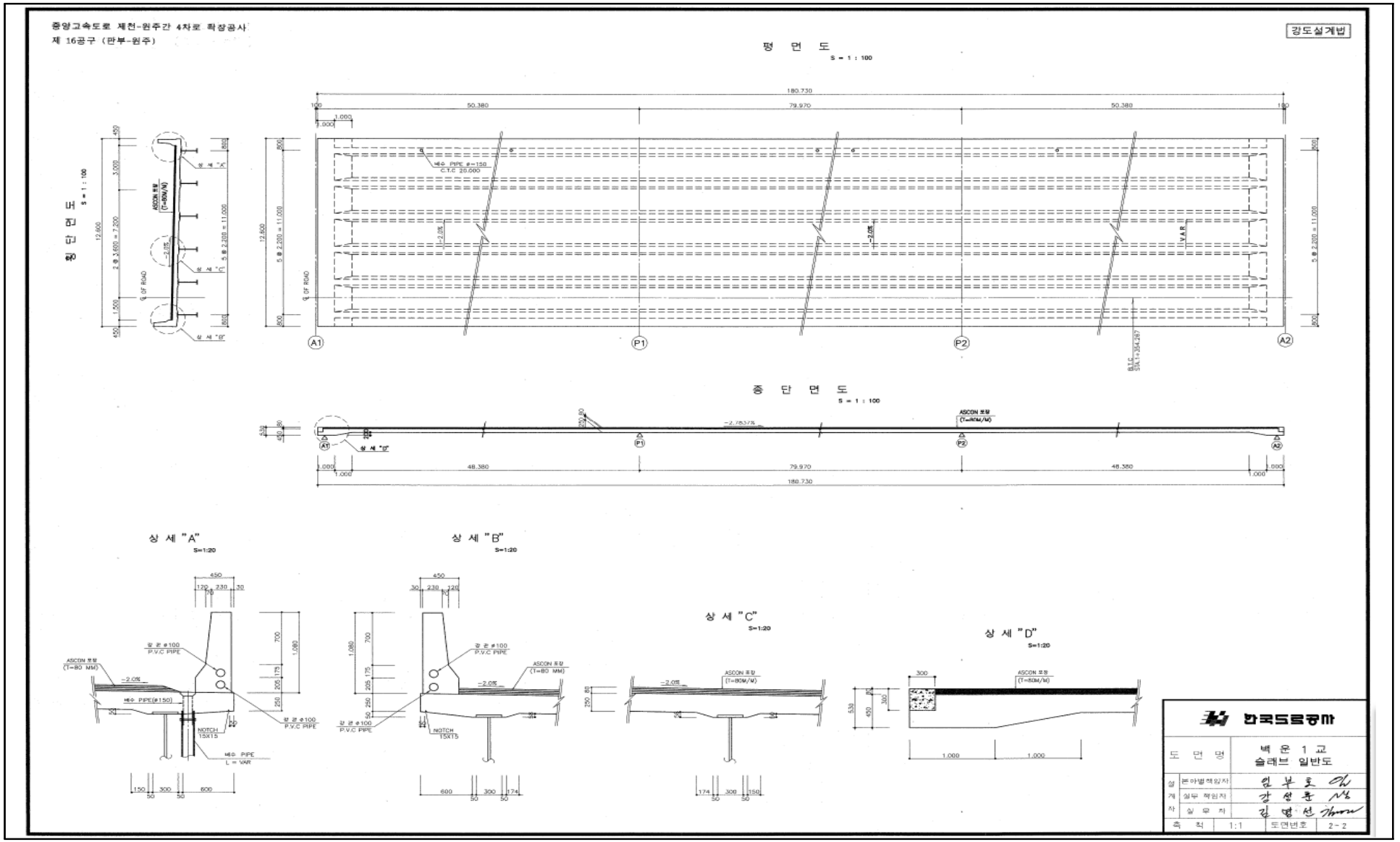
나. 백운1교(부산) 주요도면

1) 평면 및 종단면도



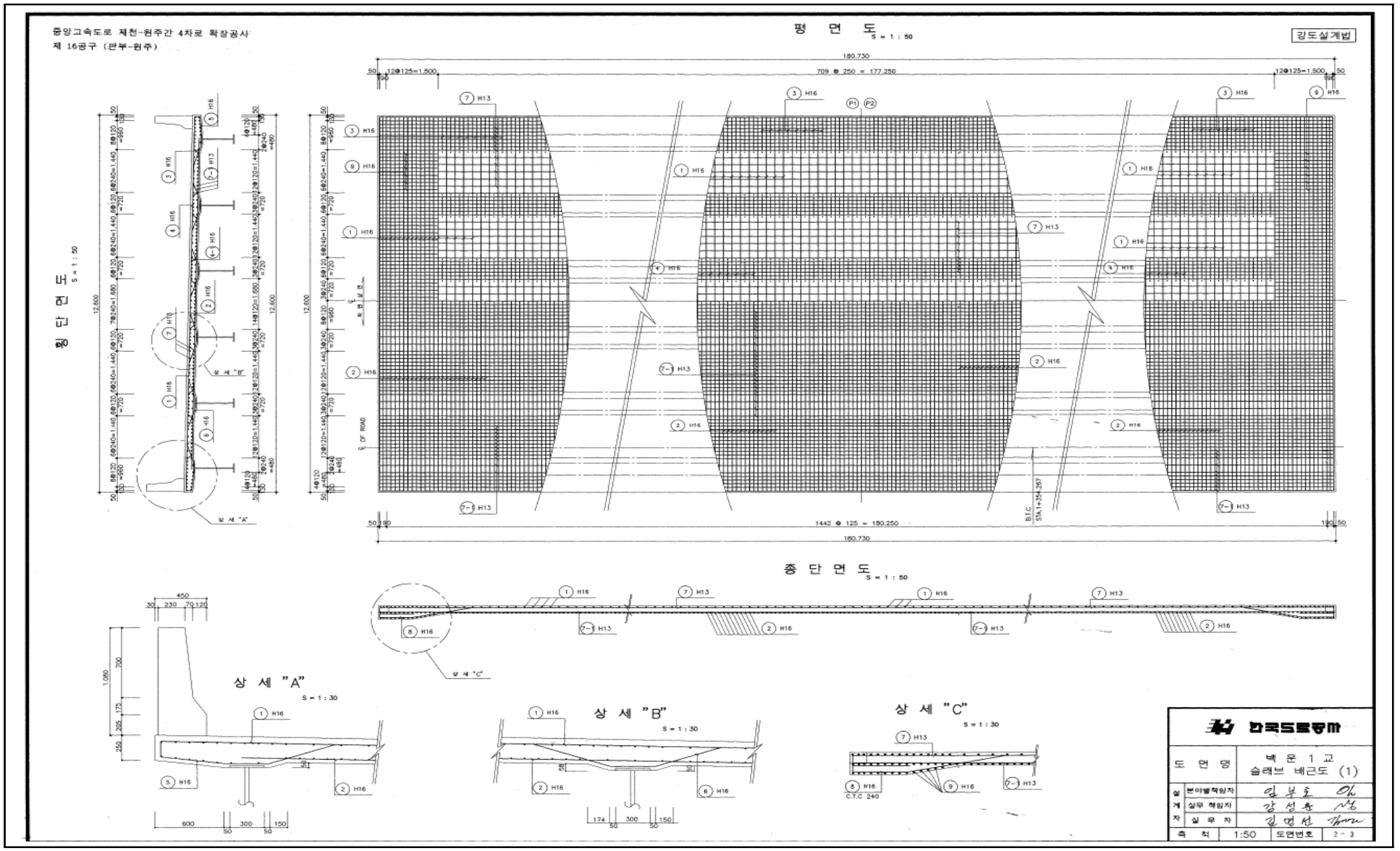
【그림 1.2】 백운1교(부산) 평면 및 종단면도

2) 슬래브 일반도



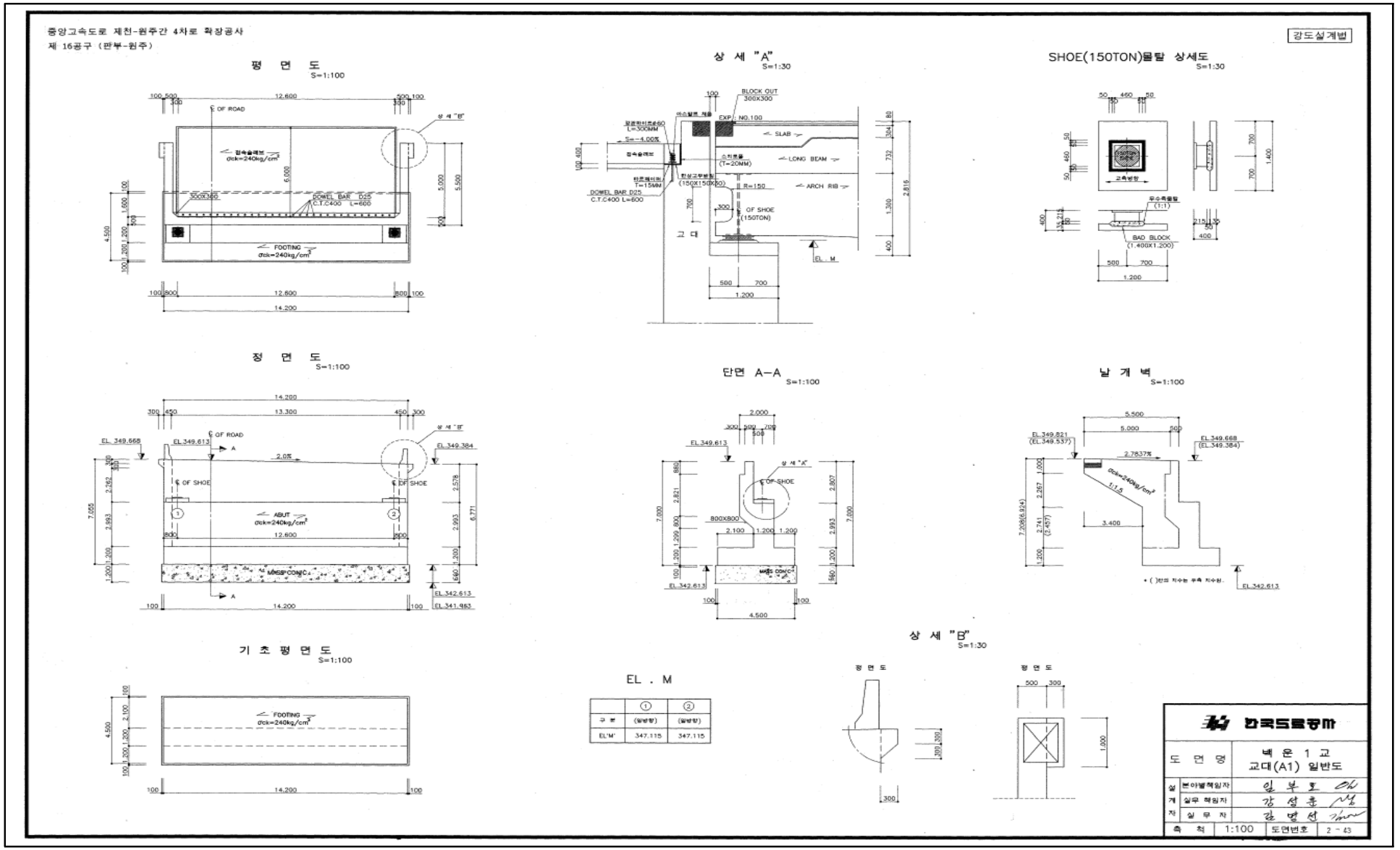
【그림 1.3】 백운1교(부산) 슬래브 일반도

3) 슬래브 배근도



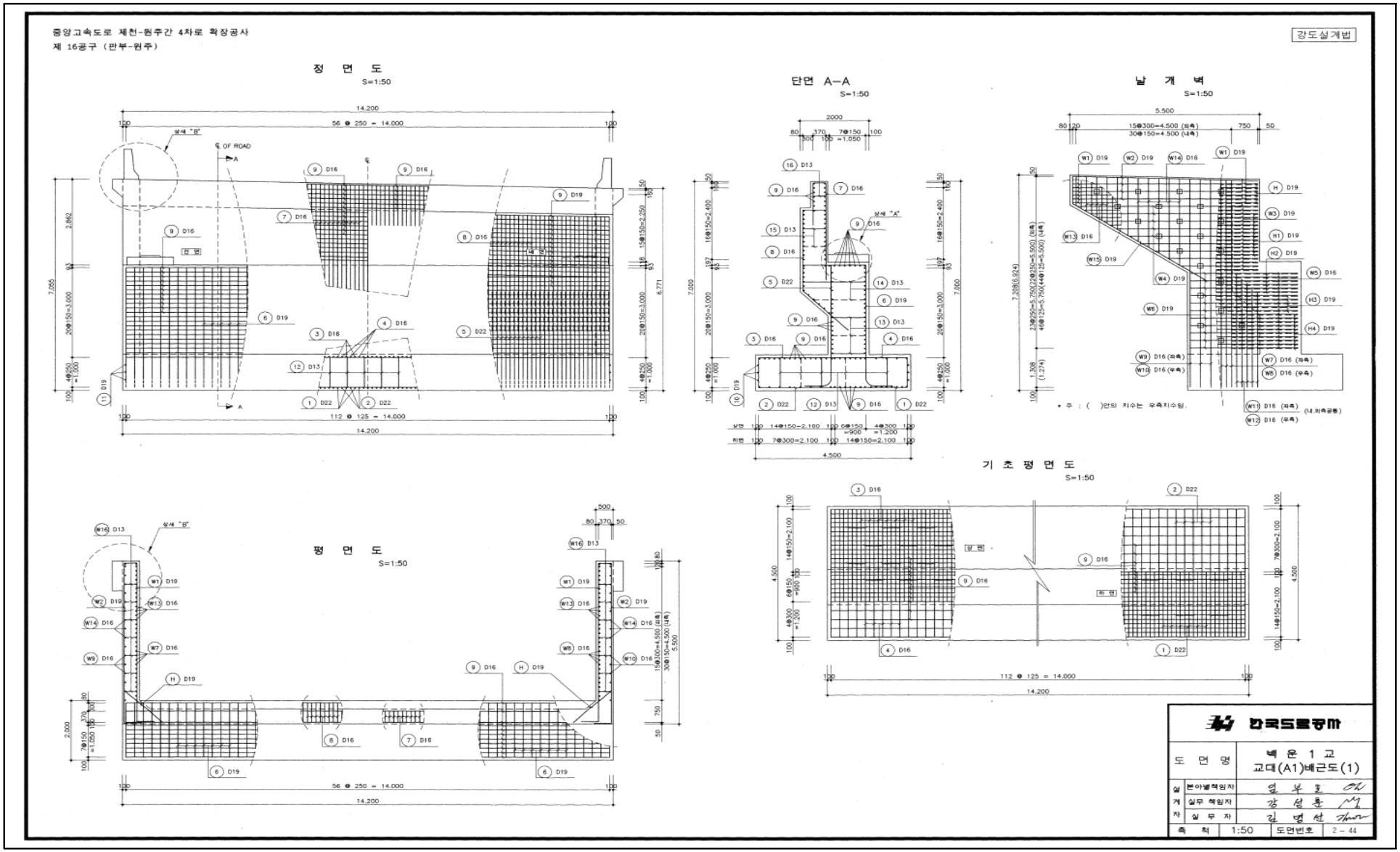
【그림 1.4】 백운1교(부산) 슬래브 배근도

4) 교대 일반도



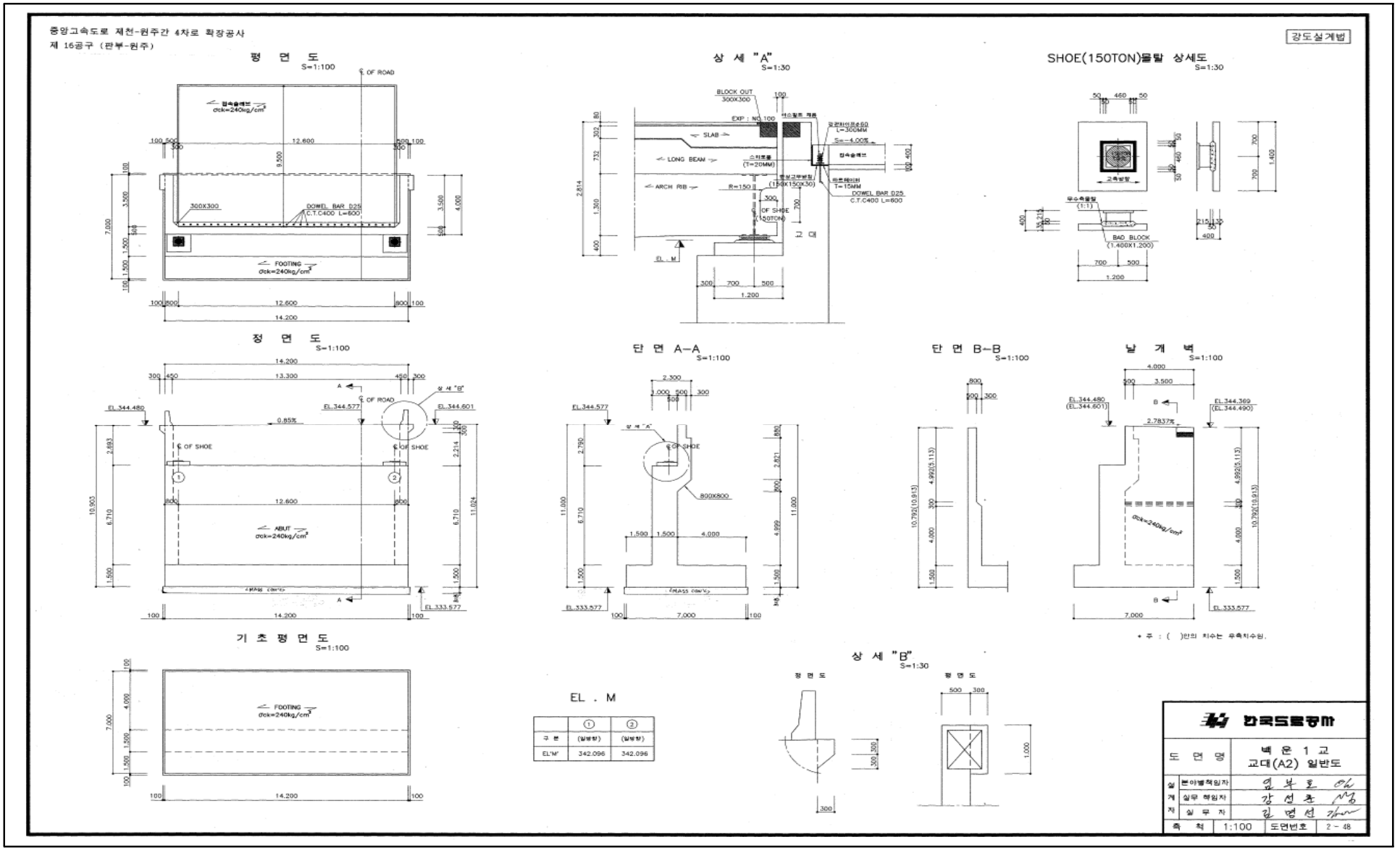
【그림 1.5】 백운1교(부산) 교대(A1) 일반도

5) 교대(A1) 배근도



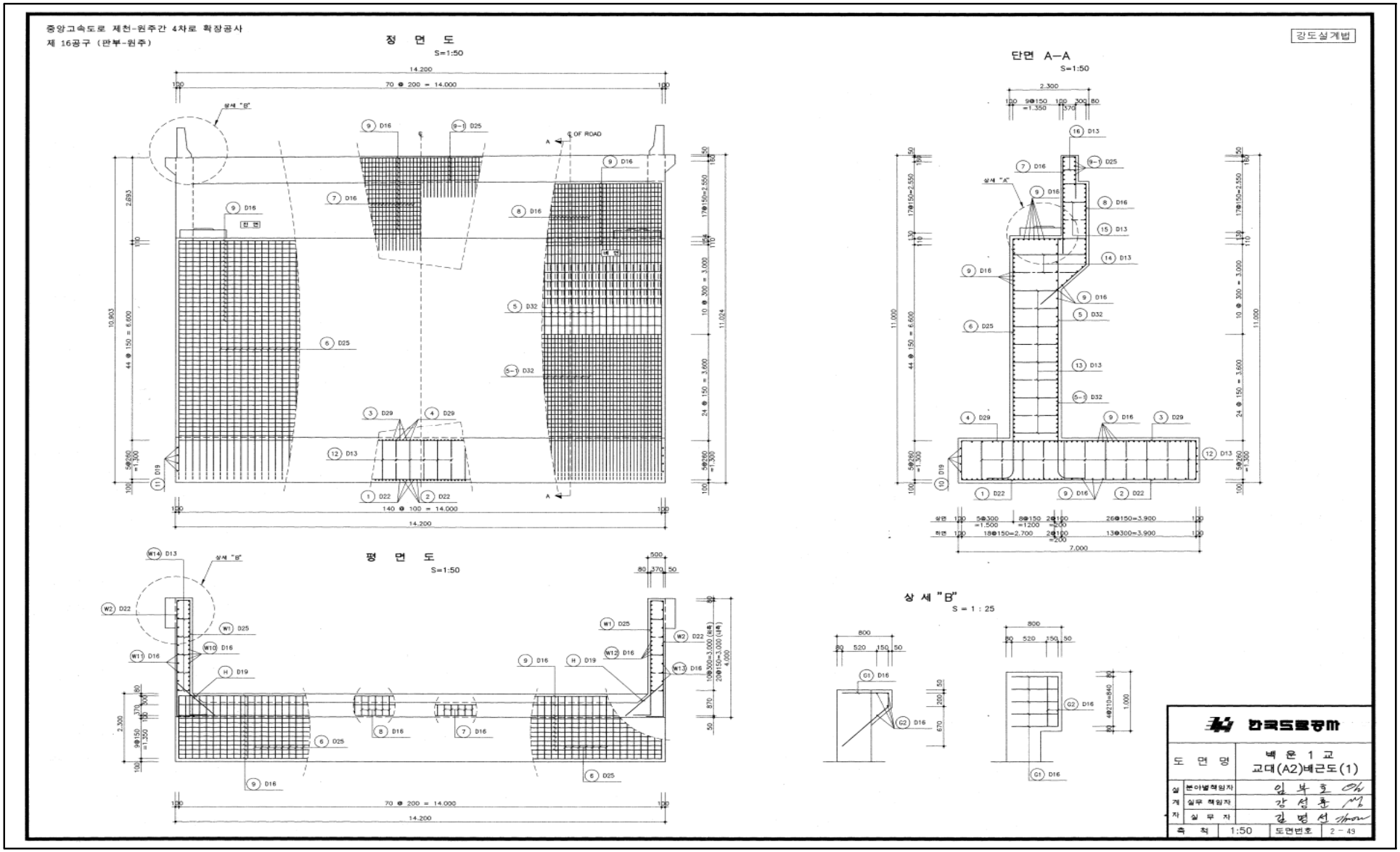
【그림 1.6】 백운1교(부산) 교대(A1) 배근도

6) 교대(A2) 일반도

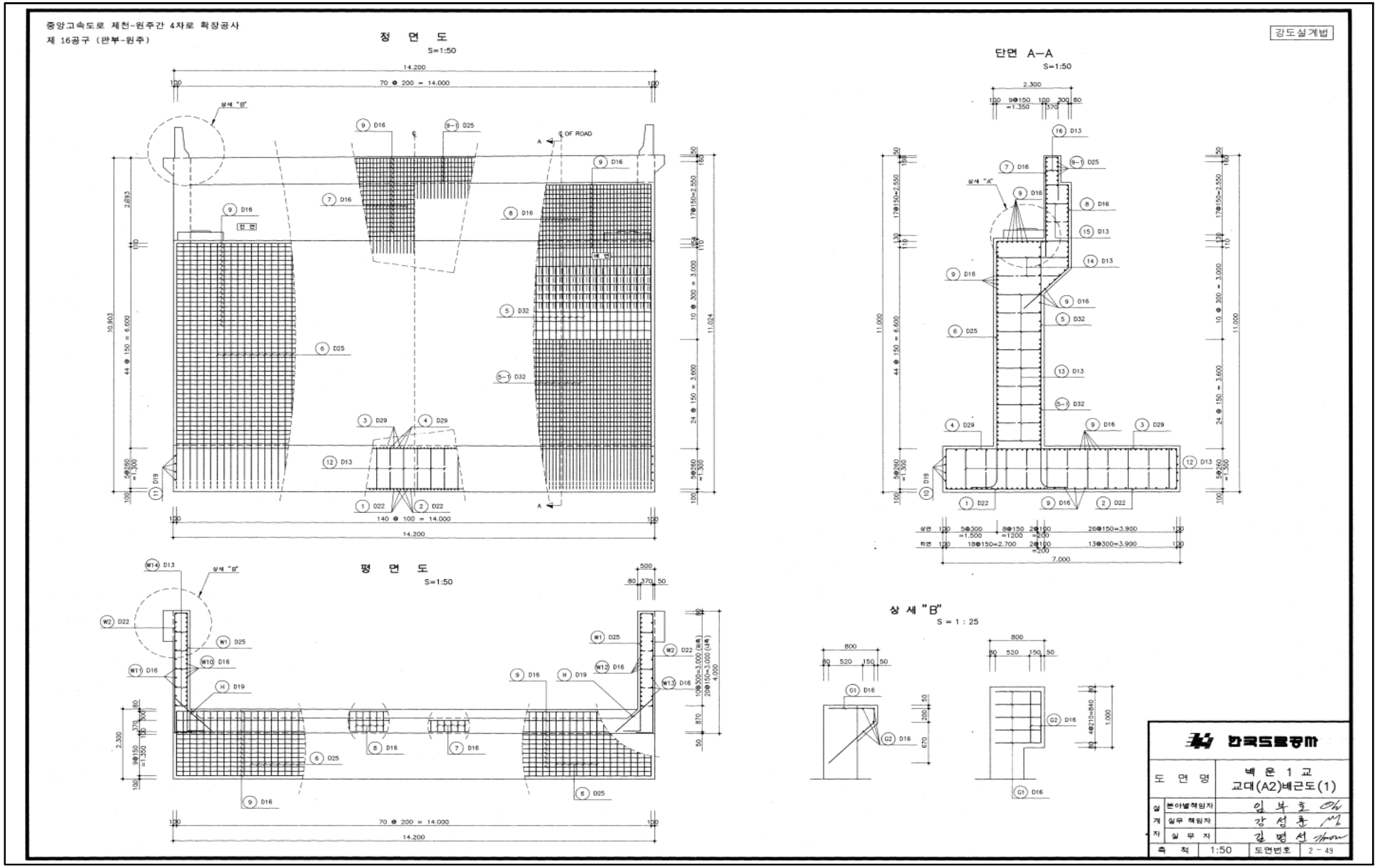


【그림 1.7】 백운1교(부산) 교대(A2) 일반도

7) 교대(A2) 배근도



【그림 1.8】 백운1교(부산) 교대(A2) 배근도

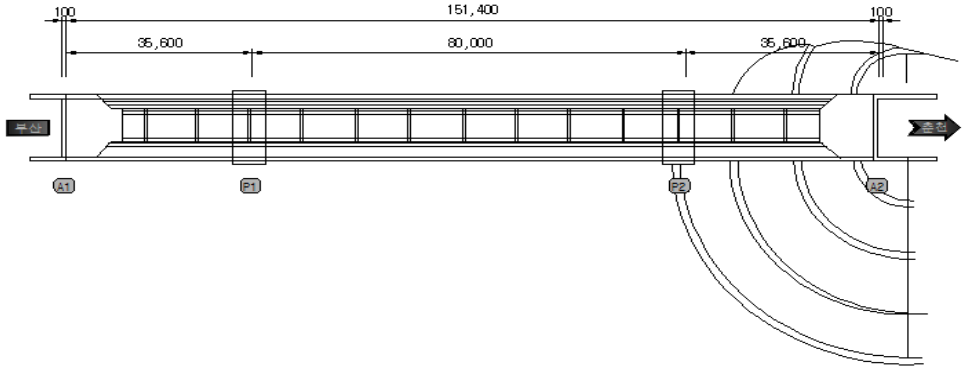


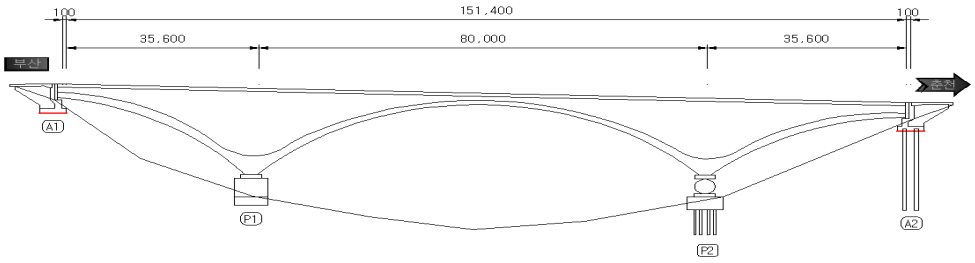
【그림 1.8】 백운1교(부산) 교대(A2) 배근도(계속)

1.4.2 백운1교(춘천)

가. 백운1교(춘천) 현황

【표 1.4】 백운1교(춘천) 현황표

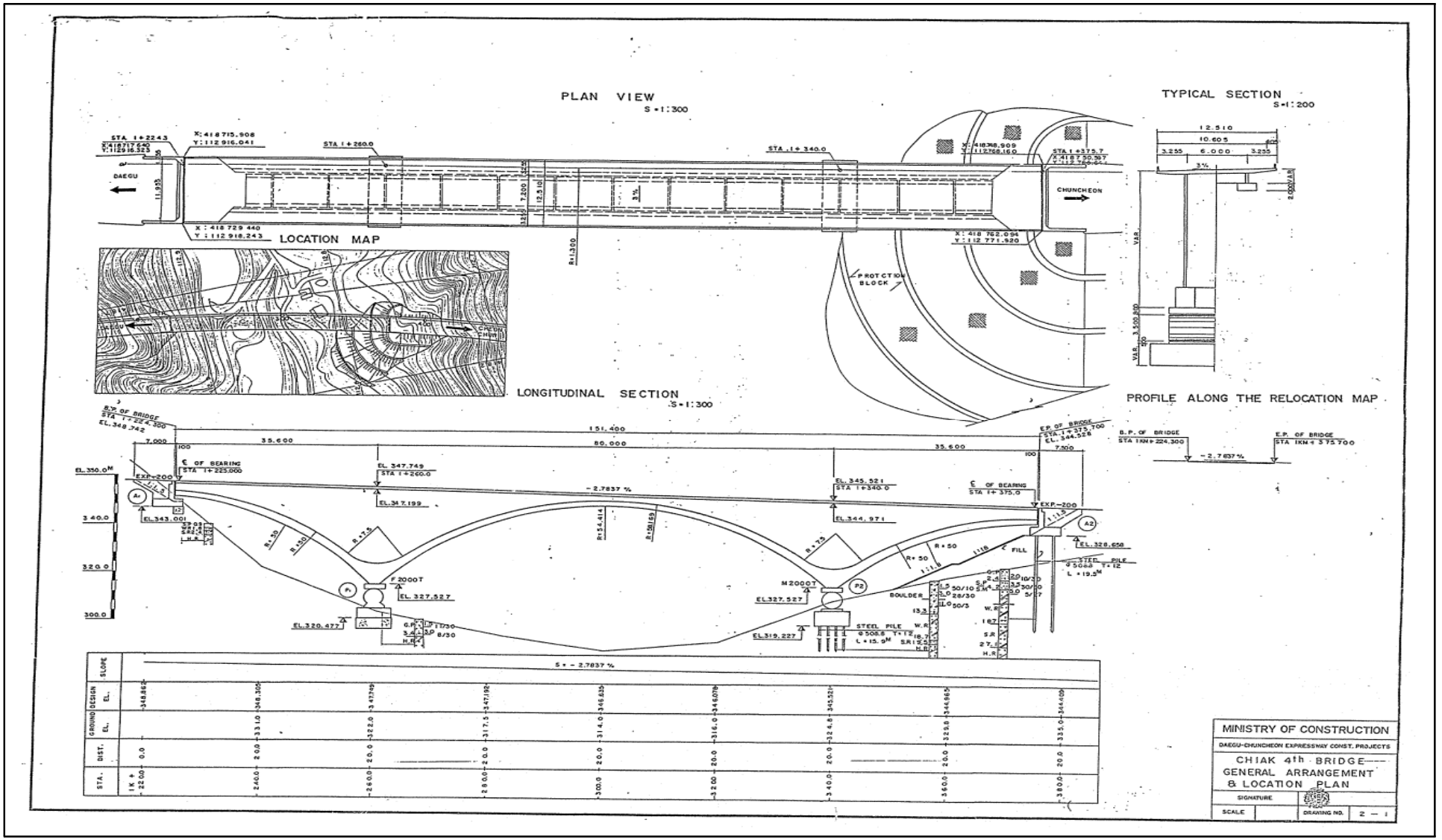
<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>백운1교(춘천)</td><td>시설물번호</td><td></td><td>BR1995-0000134</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월일</td><td>1995년 10월 01일</td><td>관리번호</td><td></td><td>제천교-21-2</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">강원도 원주시 판부면 금대리 245</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24/DL-24</td><td>노선명(이정)</td><td></td><td>중앙선 (301.9km)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L=151.4m, (1@35.7+1@80.0+1@35.7)</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B = 12.5m, 2차로(보도0+차도2)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조형식</td><td>상부</td><td>AR Girder</td><td rowspan="2">기초형식</td><td>교대</td><td>직접기초(A1), 강판파일기초(A2)</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교각 : 구형, 교대 : 역T형</td><td>교각</td><td>직접기초(P1), 강판파일기초(P2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>교대 : 스페리칼받침
교각 : 콘크리트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>A1 : Rail Joint
A2 : New 모노셀</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>회론동길</td><td colspan="2">통과높이</td><td>5.0m 이상</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>삼안엔지니어링</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>극동건설(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유
(준공도면, 내진보강관련)</td><td colspan="2">관리주체</td><td>한국도로공사 강원본부
제천지사</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">


【평면도】


【종단면도】
▪ 중점 점검 사항: 교대A1·A2 누수부 염화물에 의한 철근손상 발생여부(교대, 바닥판 등), 콘크리트 균열 및 단면손상부의 손상증가 여부
▪ 2009년 내진보강공사 실시
</td></tr>
</table>

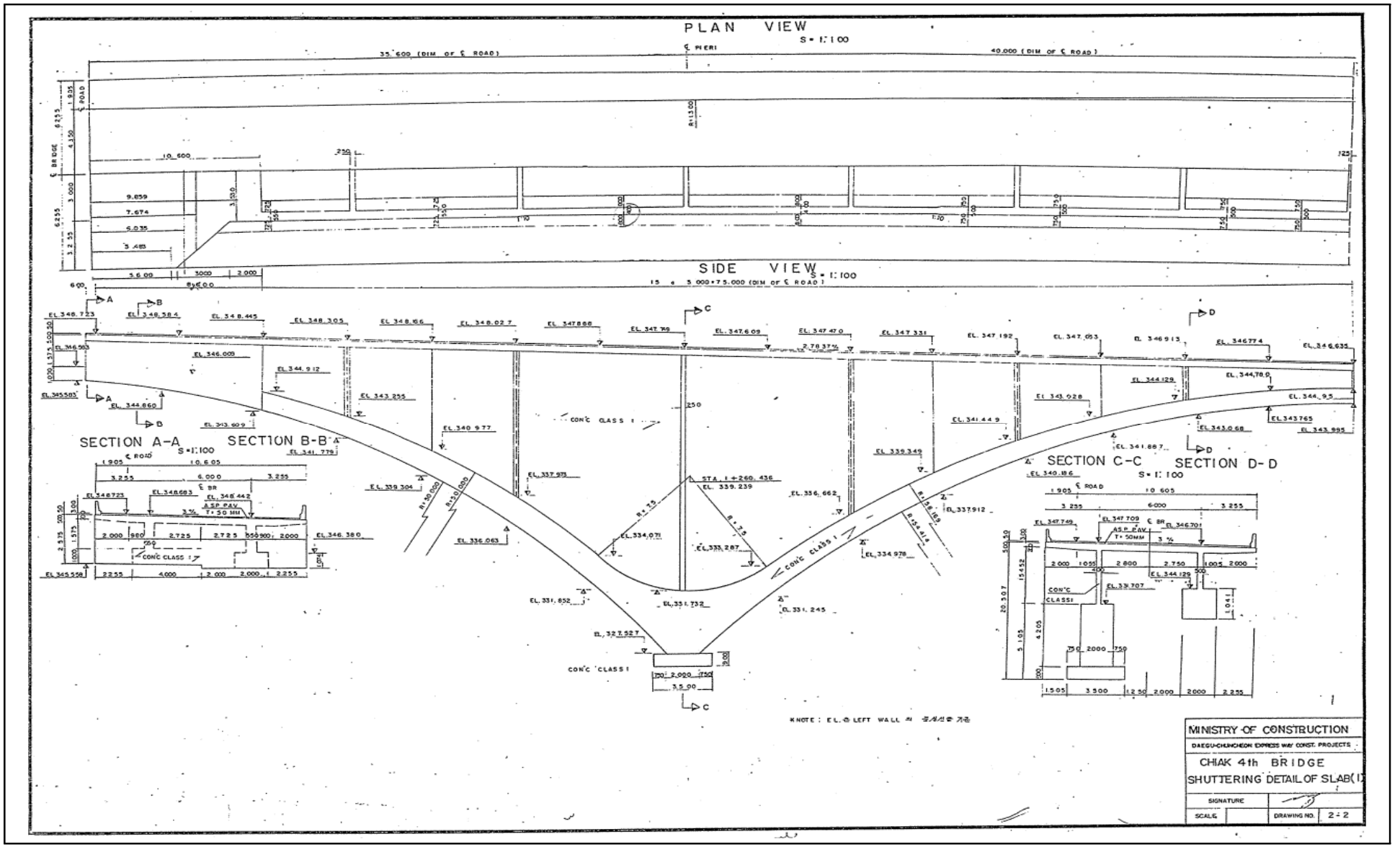
나. 백운1교(춘천) 주요도면

1) 평면 및 종단면도

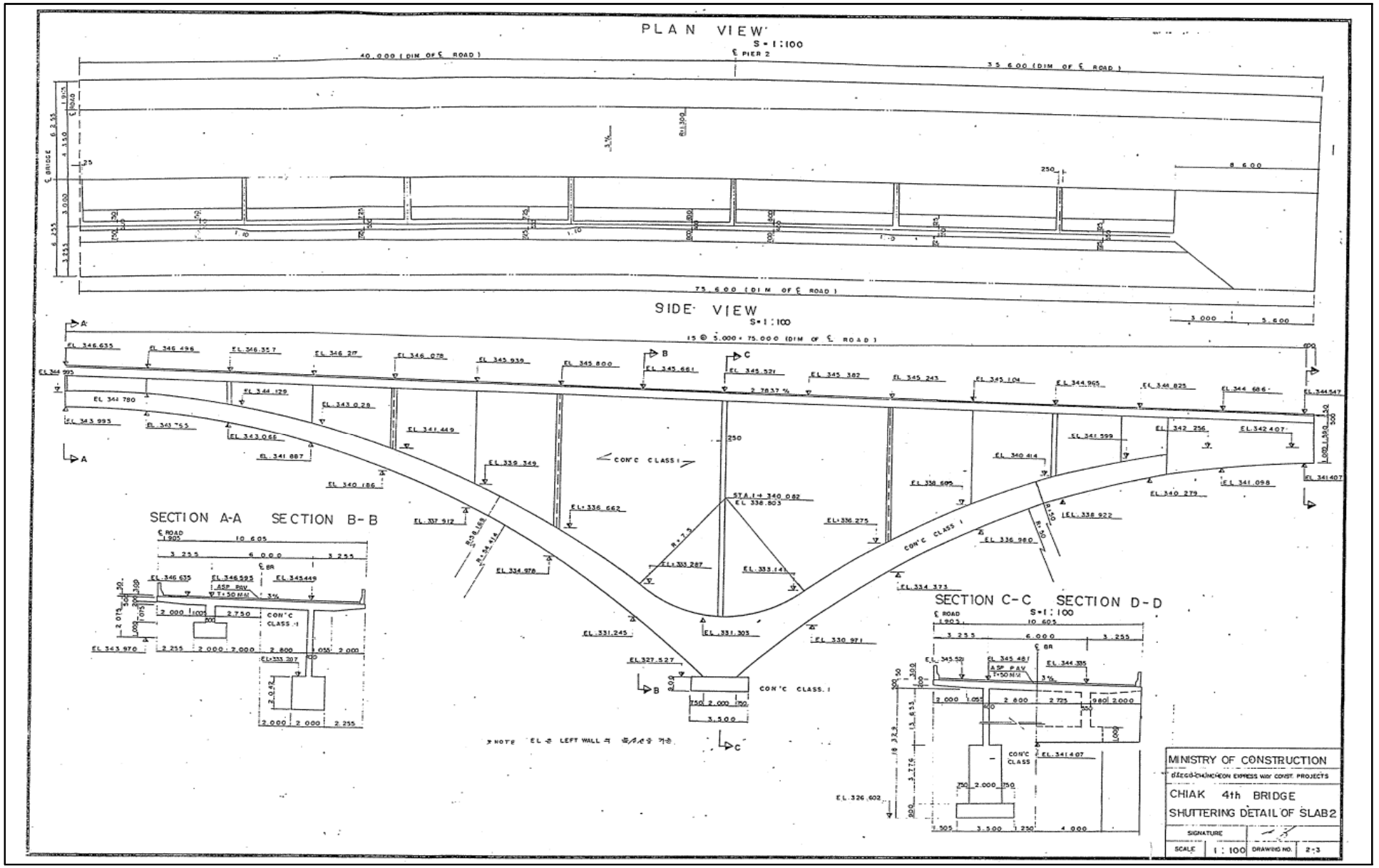


【그림 1.9】 백운1교(춘천) 평면 및 종단면도

2) 구조물 일반도

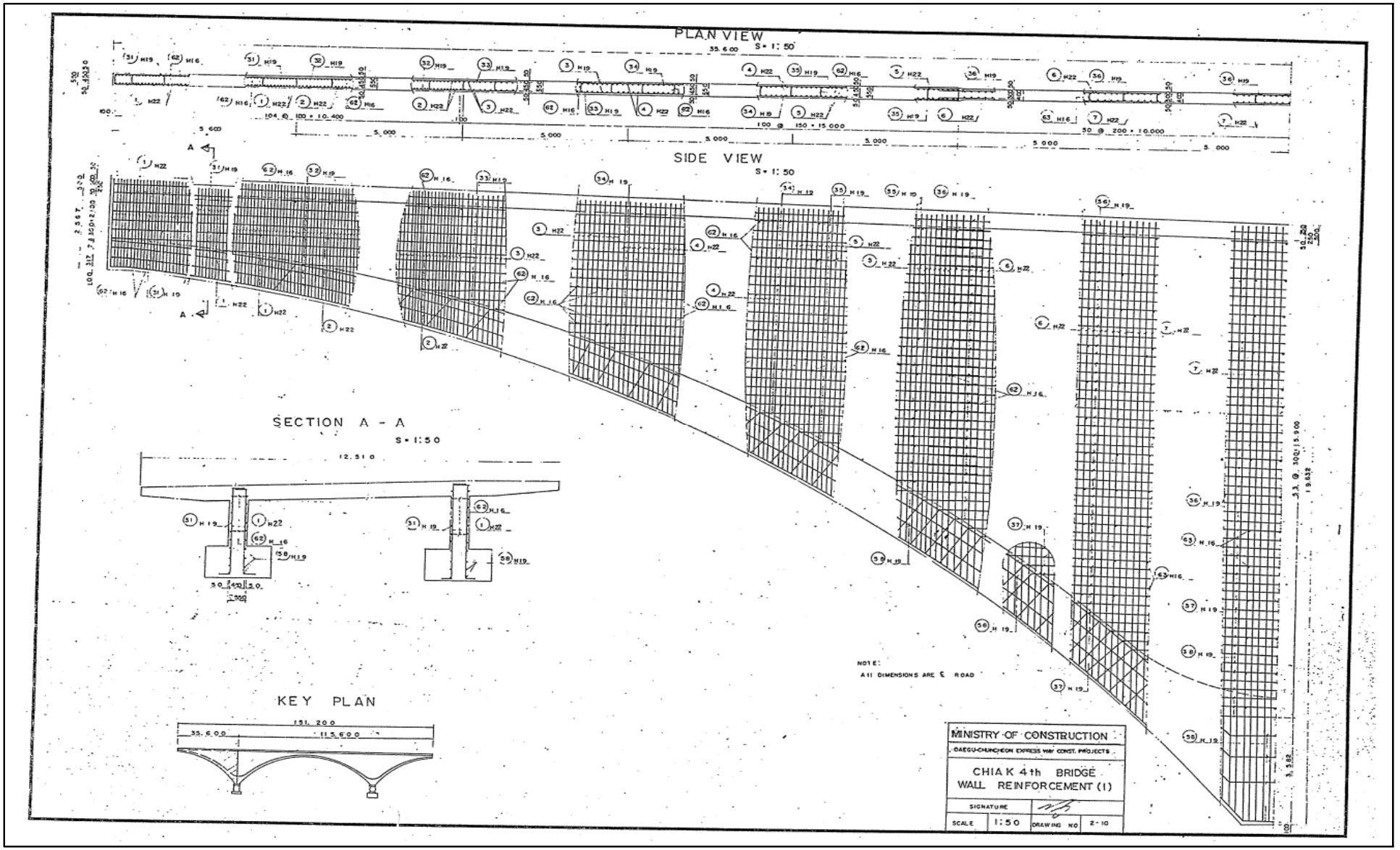


【그림 1.10】 백운1교(춘천) 구조물 일반도

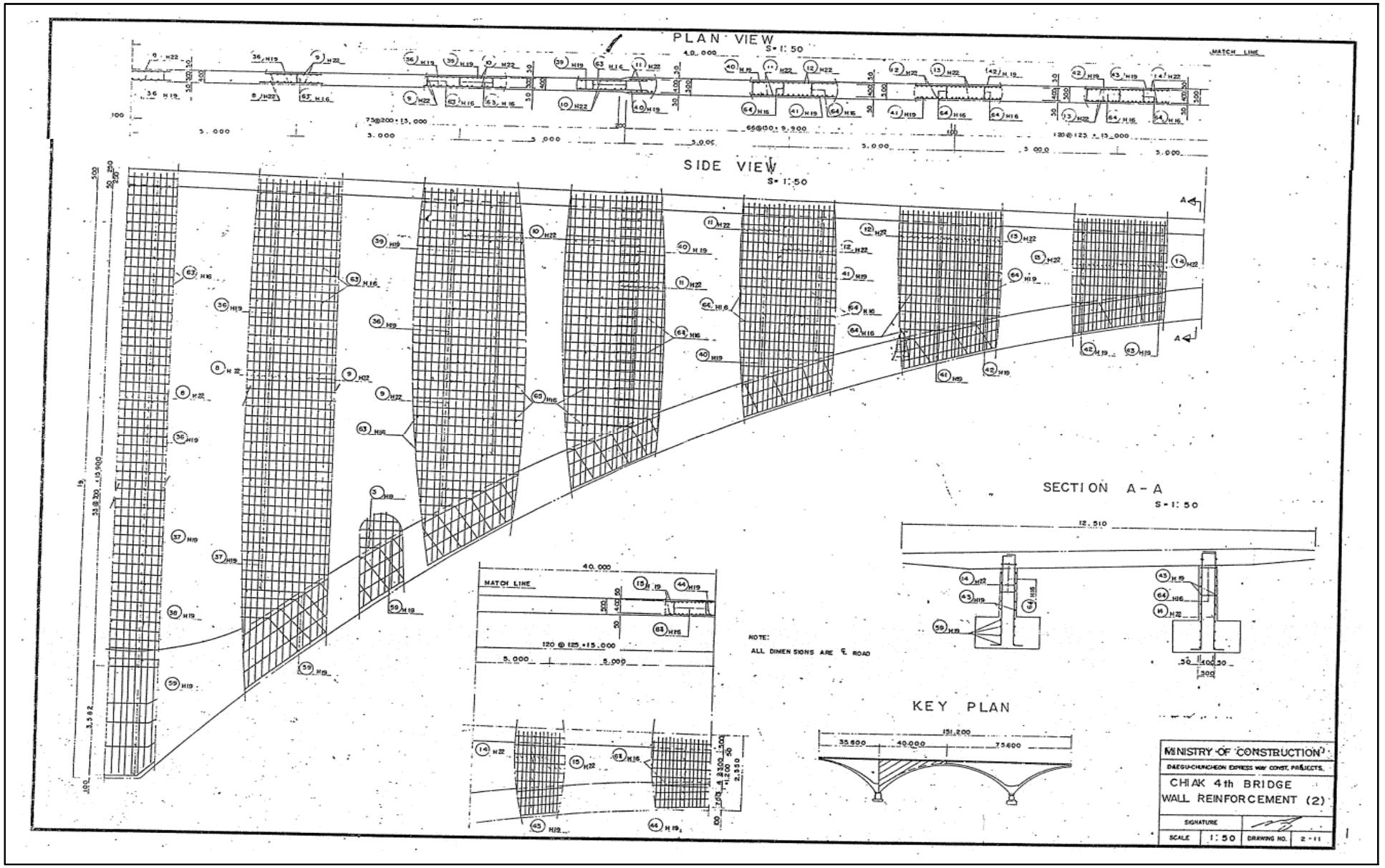


【그림 1.10】 백운1교(춘천) 구조물 일반도(계속)

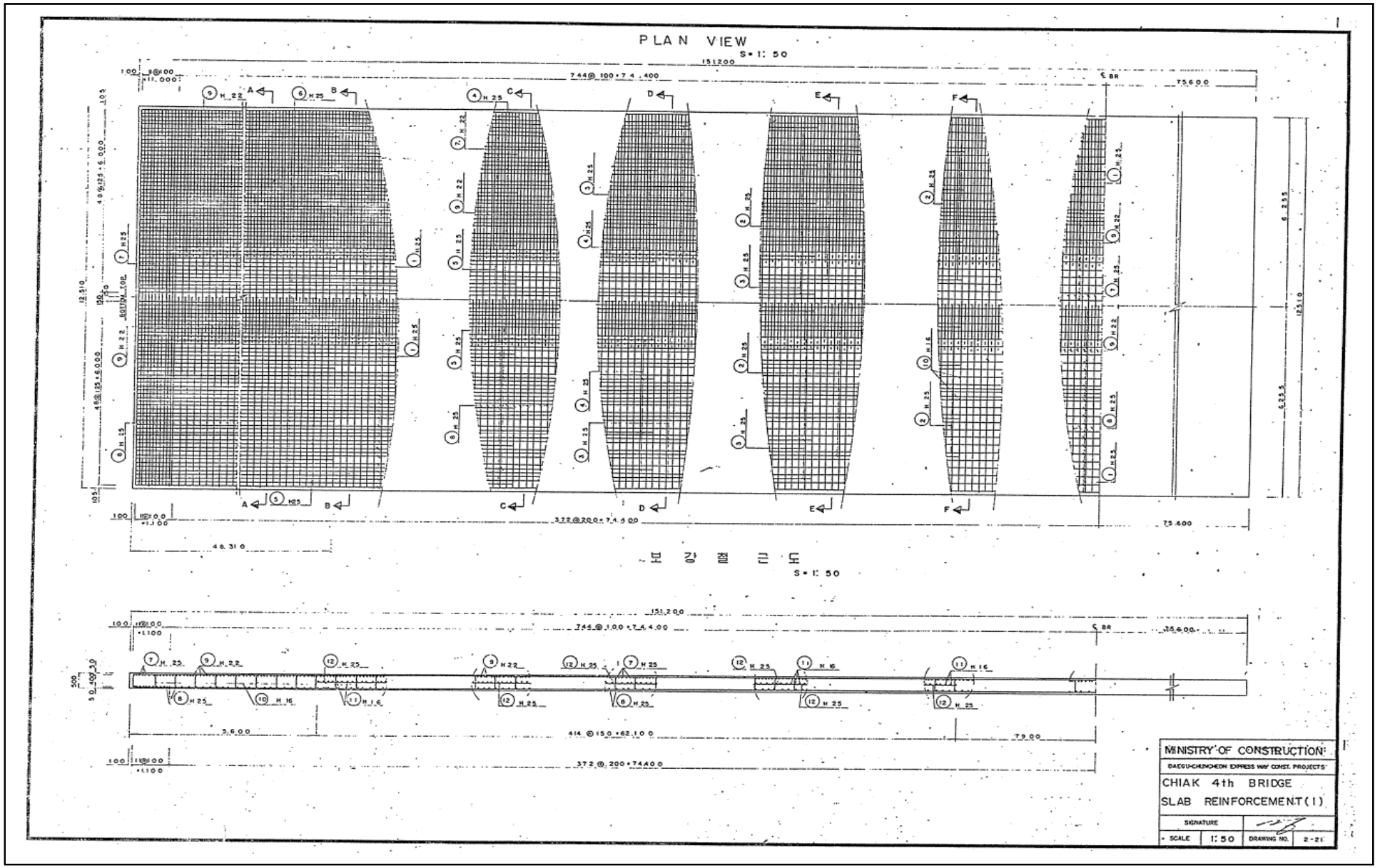
3) 상부 배근도



【그림 1.11】 백운1교(춘천) 상부 배근도

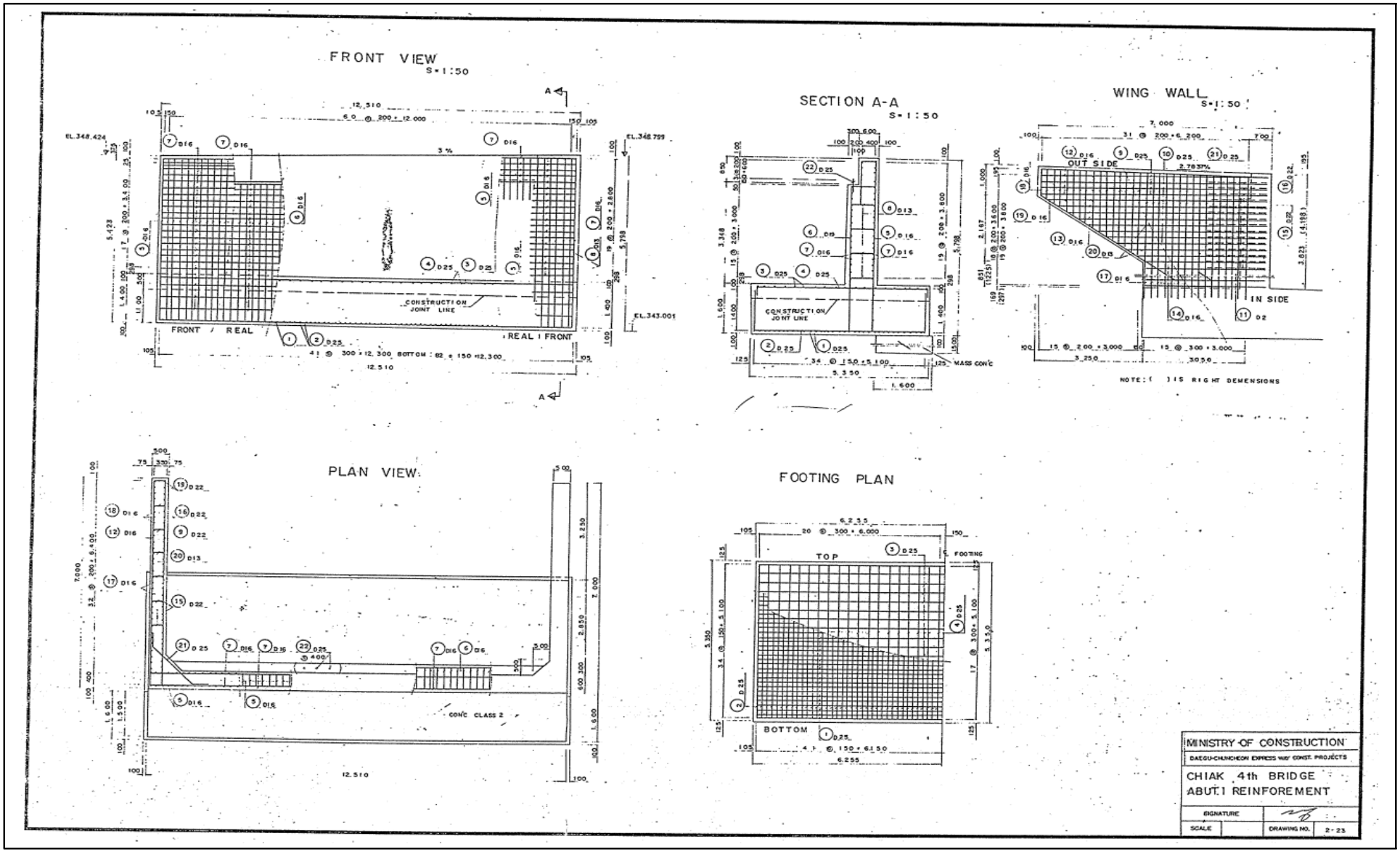


【그림 1.11】 백운1교(춘천) 상부 배근도(계속)

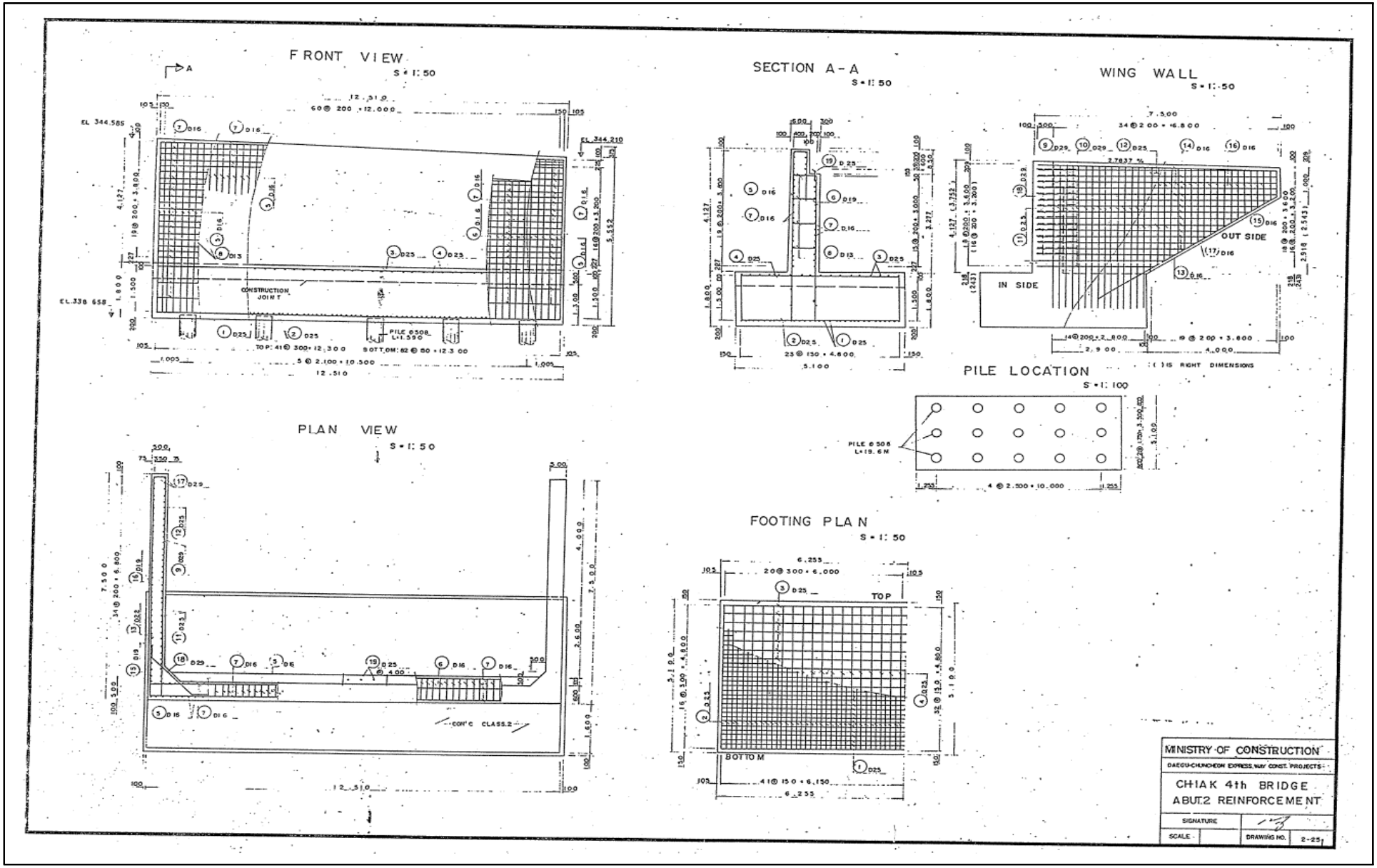


【그림 1.11】 백운1교(춘천) 상부 배근도(계속)

4) 교대 구조도

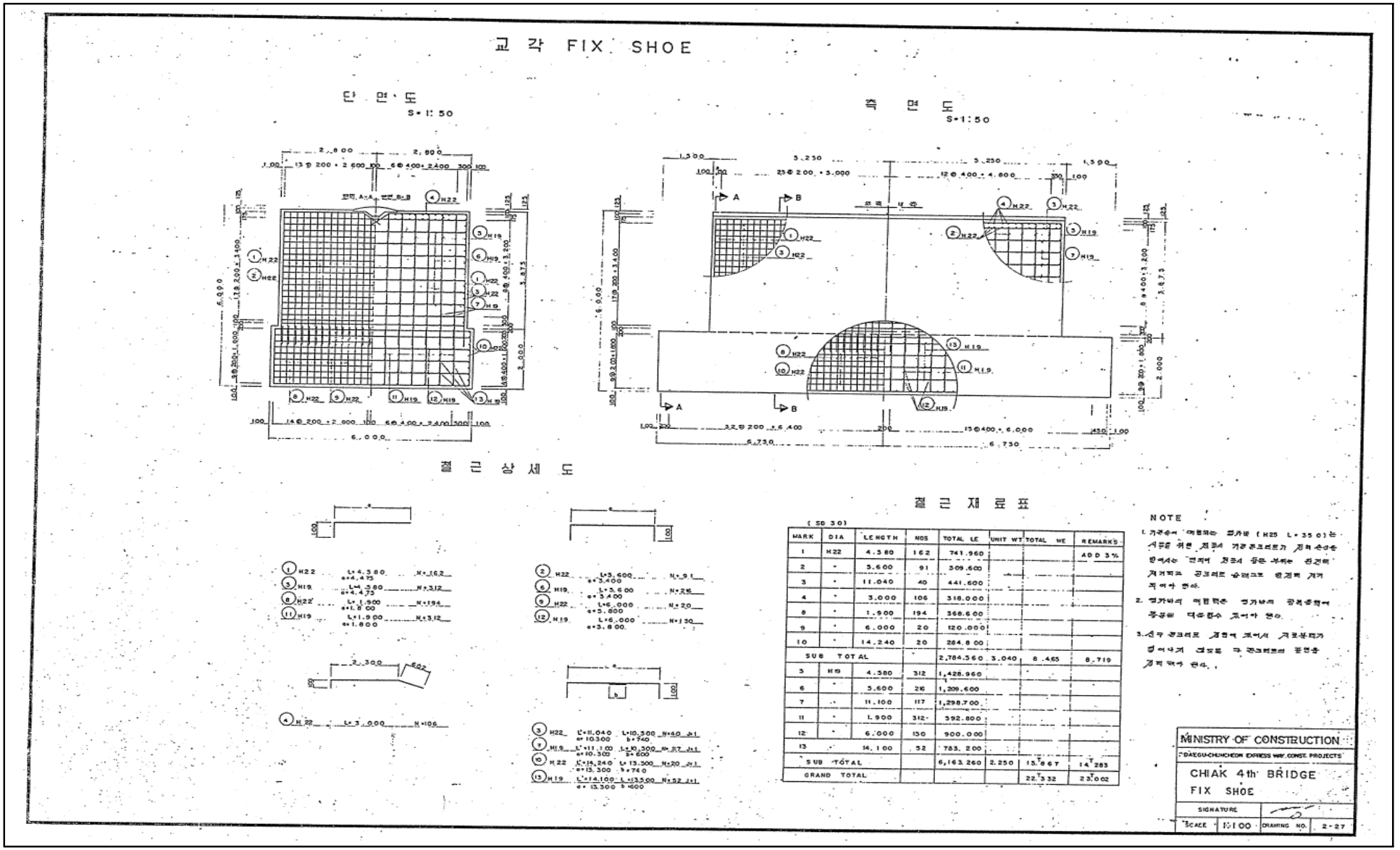


【그림 1.12】 백운1교(춘천) 교대 구조도

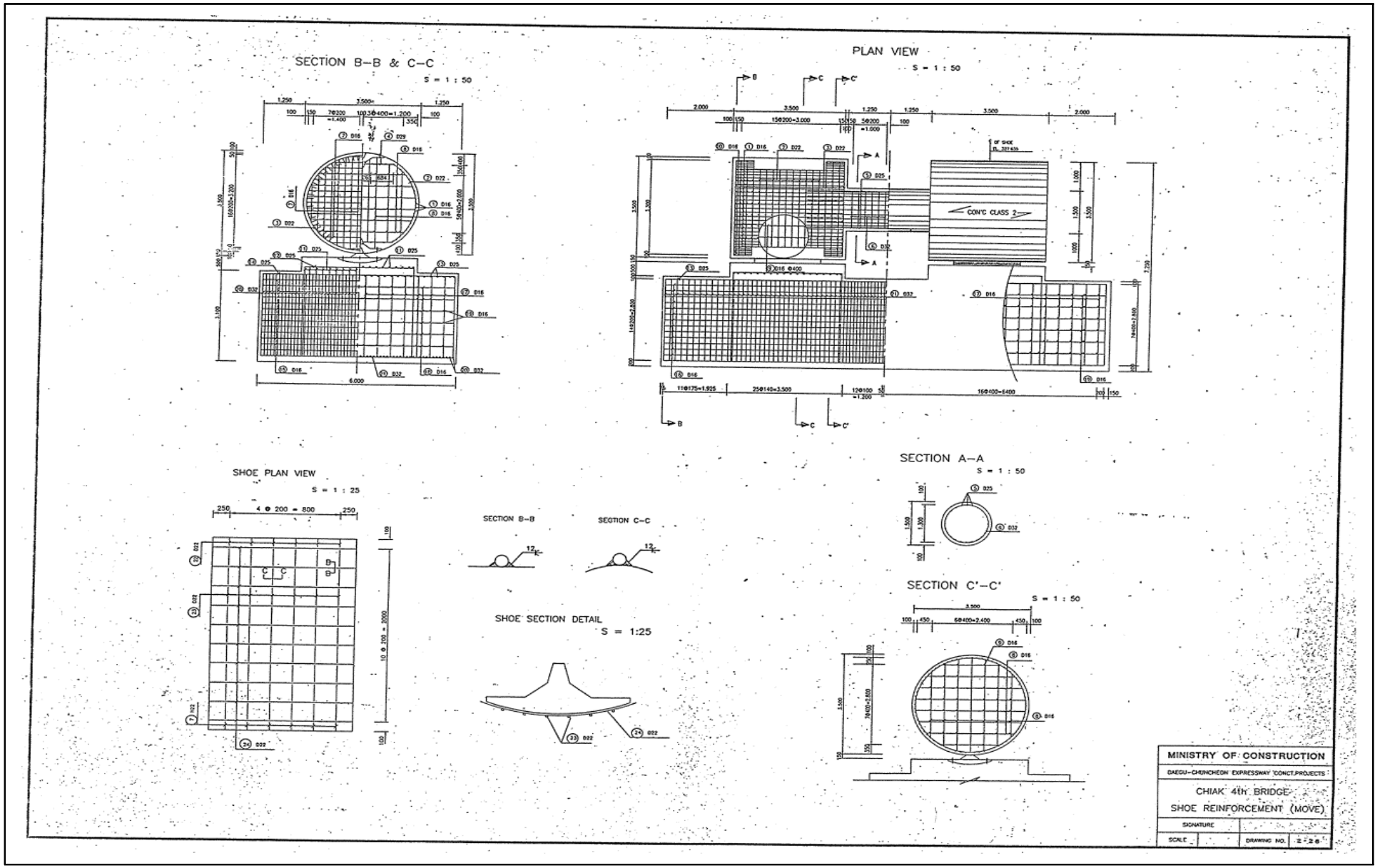


【그림 1.12】 백운1교(춘천) 교대 구조도(계속)

5) 교각 구조도



【그림 1.13】 백운1교(춘천) 교각 구조도



【그림 1.13】 백운1교(춘천) 교각 구조도(계속)

1.5 사용장비 및 시험기기 현황

본 과업 수행을 위해 사용된 측정 장비는 다음 표와 같다.

【표 1.5】 사용장비 및 시험기기

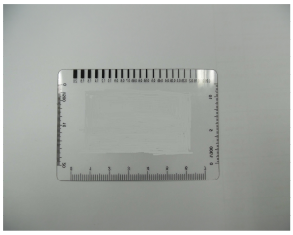
장 비 명	규 격	용 도	활 용 방 법	검교정일자
균열 측정기	PEAK2028	균열폭 측정	• 균열폭의 크기와 길이를 확대렌즈를 통해 육안으로 확인	2016.03.17
균열자	-	균열폭 측정	• 균열폭의 크기를 육안으로 확인	-
철근 탐사기	NJJ-95B	철근배근상태·피복두께 측정	• 한쪽방향으로 이동하여 철근의 위치를 액정화면을 통해 측정	-
반발경도 측정기	NR식	콘크리트강도	• 약 3㎝ 간격에 20회 정도 타격하여 그 값의 평균치를 구함	2016.03.21
초음파 탐지기	Pundit Lab	콘크리트강도, 균열깊이 추정	• 송신자와 수신자를 통해 건전부와 불건전부의 초음파 진행속도의 차이로 측정	2016.04.15
탄산화 시험기	-	콘크리트 내부 탄산화 측정	• 페놀프탈레인 용액 1%를 분사하여 대비되는 색깔로 pH양을 측정	-
초음파 탐상기	Site-Scan 130	용접부 결함 조사	• 초음파 신호를 수신하여 에코파형을 확인함으로써 결함의 존재여부 및 결함정보를 알아냄	-
강재두께 측정기	T-gageⅣ	강재두께측정	• 탐촉자를 통해 송신하여 수신되는 CRT화면의 에코변화를 판단하여 측정	-
도막두께 측정기	ComBi-D3	도막두께측정	• 0~5000㎛의 측정범위로 도막두께를 ±3.5㎛의 오차로 측정	2016.03.02
그라인더	GWS18V-LI	콘크리트 면처리	• 반발경도 시험 및 초음파 강도 시험을 실시하기 전 콘크리트 면처리	-
해머드릴	GBH36V-LI	드릴링	• 탄산화를 위한 드릴링 및 들뜸부 파취를 위해 조사	-
DISTO	D2	디지털 거리 측정기	• 제원조사 및 거리측정시 이용	-
건식 코어채취기	RHC-100A	코어 채취	• 아스팔트 포장면 코어채취 및 분석	-
카메라	SamSung	외관조사 보조기구	• 외관조사시 손상이나 현황 등을 촬영	-
소형랜턴	TI-SSC P7	외관조사 보조기구	• 내부 조사시 보다 정밀한 조사를 위해 소형랜턴을 휴대함	-
망원경	-	외관조사 보조기구	• 원거리에서 근접육안 조사용	-

주) 검교정 성적서는 "부록편"에 첨부

【표 1.5】 사용장비 및 시험기기(계속)

장 비 명	규 격	용 도	활 용 방 법	비 고
점검망치	-	외관조사 보조기구	• 콘크리트 및 강재의 청음조사에 이용	-
산소측정기	XTRTO2	산소측정	• 산소 농도 측정시 사용	-
줄자(5m,50m)	-	외관조사 보조기구	• 각종 제원 조사(부재 및 손상 치수)	-
온도계	-	온도측정	• 부재별 온도변화 측정	-
디지스코프	CANON	외관조사 보조기구	• 고소부 및 미접근부에 대한 원거리 육안조사용	-
철근부식도 측정기	CANIN	부식가능성 측정	• 주철근 노출 작업 후 클립코드를 노출 철근에 접속시키고 살수 작업 후, 전위 센서를 측정	2016.03.15
측량기	TS06Plus5“	현황측량	• 사면 및 부재의 현황측량시 사용	2016.02.17
사다리	-	외관조사 보조기구	• 고소부 접근시 육안조사용	-
버니어 캘리퍼스	-	외관조사 보조기구	• 탄산화 깊이 측정시 사용	-
내시경 카메라	HMX1000	외관조사 보조기구	• 협소한 공간에 기계를 삽입하여 조사가 가능하게 하기 위해 사용	-
경사계	DWL-280	외관조사 보조기구	• 부재 기울기 측정	-
고소점검차	-	외관조사 보조기구	• 외관조사시 손상이나 현황 조사	-
굴절점검차	-	외관조사 보조기구	• 외관조사시 손상이나 현황 조사	-
다굴절점검차	-	외관조사 보조기구	• 외관조사시 손상이나 현황 조사	-
환기시설	-	외관조사 보조기구	• 협소한 공간 작업시 포터블팬 및 주름관을 통한 환기	-

주) 검교정 성적서는 ”부록편“에 첨부

			
균열 측정기	균열자	철근탐사기	반발경도 측정기
			
초음파 탐지기	탄산화 시험기	초음파 탐상기	강재두께 측정기
			
도막두께 측정기	그라인더	해머드릴	DISTO
			
건식 코어채취기	카메라	소형랜턴	망원경

【사진 1.1】 과업수행에 사용된 측정장비

			
점검망치	산소측정기	줄자	온도계
			
디지스코프	철근부식도측정기	측량기	사다리
			
버니어캘리퍼스	내시경카메라	경사계	고소점검차
			
굴절점검차	다굴절점검차	환기시설(포터블팬)	환기시설(주름관)

【사진 1.1】 과업수행에 사용된 측정장비(계속)

1.6 교량기호의 정의

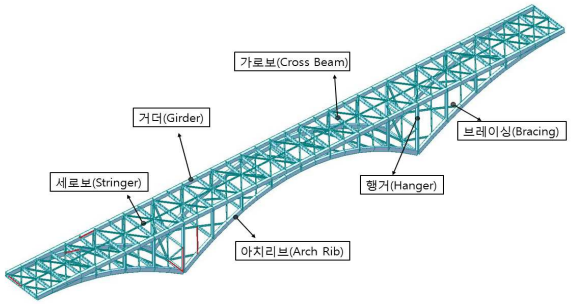
대상 교량의 정밀안전진단을 수행하면서 진단의 효율성과 통일성을 기하기 위하여 각 위치별, 부재별 기호를 부여하였다.

【표 1.6】 부재별 사용기호

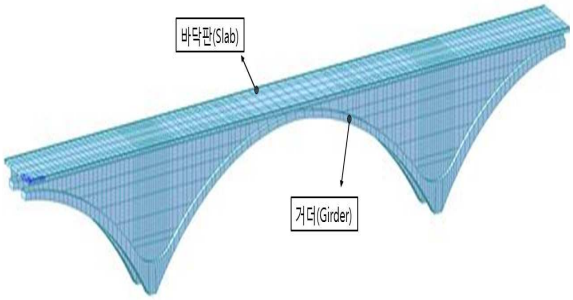
부재구분		사용기호	비고
공통	경간	S	Span(시점에서 종점으로 순번)
	거더	G	Girder(중분대에서 외측으로 순번)
	바닥판	SL	Slab
	가로보	CB	Cross Beam(시점에서 종점으로 순번)
	세로보	ST	Stringer(중분대에서 외측으로 순번)
	데크플레이트	DP	Deck Plate
	교량받침	Sh	Shoe(교량 받침 명명규칙 참조)
	신축이음	EXP. J	Expansion Joint(시점에서 종점으로 순번)
강아치거더	좌측복부	L-W	Left Web
	우측복부	R-W	Right Web
	상부플랜지	UF	Upper Flange
	하부플랜지	LF	Lower Flange
	행거	H	Hanger
	격벽	D	Diaphram
	현장이음부	SP	Splice
	아치리브	AR	Arch Rib
	브레이싱	Bc	Bracing
	수직보강재	V-STIFF	V-Stiffener
	수평보강재	H-STIFF	H-Stiffener
하부구조	교대	A	Abutment(시점에서 종점으로 순번)
	교각	P	Pier(시점에서 종점으로 순번)

【표 1.7】 지점, 경간의 분류

구분	설명	명명방식	분류 부재명
지점	교대/ 교각의 위치부	지점-1 지점-2 지점-3	- 교면포장 : 경간-1, 경간-2, … - 바 닥 판 : 경간-1, 경간-2, … - 거 더 : 거더-1, 거더-2, … - 신축이음 : 지점-1, 지점-2, … - 교량받침 : 받침-1, 받침-2, … - 하부구조 : 교대-1, 교각-1, … - 2차부재 : 경간-1, 경간-2, …
경간	교대/교각 사이	경간-1 경간-2	

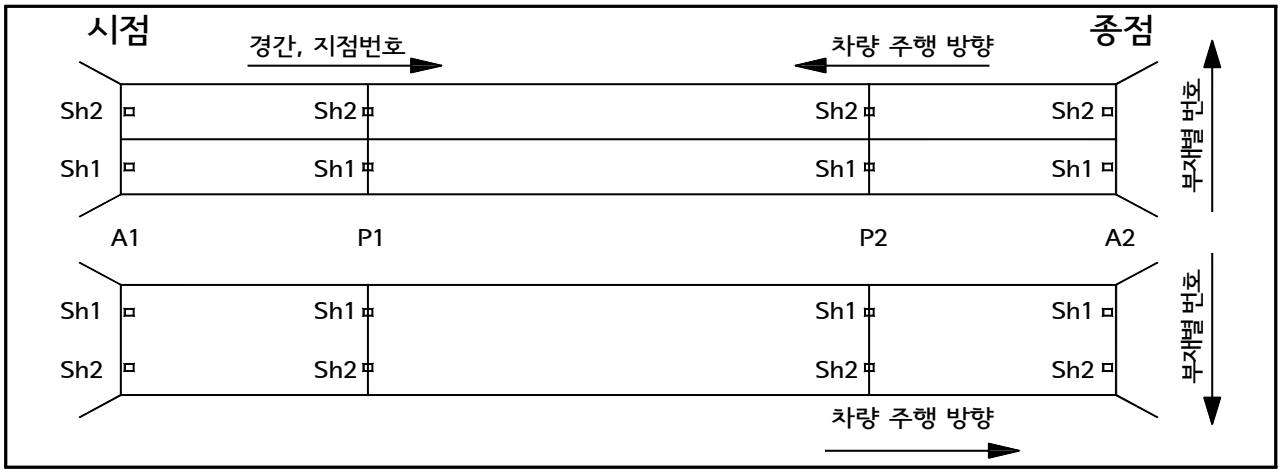


백운1교(부산)



백운1교(춘천)

【그림 1.14】 상부구조의 명칭



【그림 1.15】 부재 명명 순서

* 일련번호(n)

ex) S1-G2(CB3~4)

- 가로보 3~4 사이
- 중분대에서 외측방향으로 2번째 거더
- 1경간

P1-02

- 중앙분리대에서 외측방향으로 4번째 교량받침
- 시점에서 종점을 바라보았을 때 첫 번째 교각

제 2 장 자료수집 및 분석

2.1 자료수집 현황
2.2 건설 관련자료 검토결과 요약
2.3 기존 점검 및 진단 실시결과 요약
2.4 보수·보강 이력
2.5 시설물의 내진설계 여부
2.6 자료분석 결과요약

제 2 장 자료수집 및 분석

2.1 자료수집 현황

본 과업에 대한 자료조사 및 현지답사를 선행하여 각각의 구조특성을 파악하고 점검방향과 세부수행 계획을 수립하였으며, 대상 시설물의 설계, 시공, 유지관리 등에 관련된 설계도서 및 관련서류 조사, 관계자의 청문 등에 의하여 자료를 수집하였다.

2.1.1 백운1교(부산)

【표 2.1】 백운1교(부산) 자료수집 현황

보존대상 목록		보관 유무	수집 자료 목록
설계관련 자료	• 공통 - 공사시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 - 있음 있음 있음	(1) 중앙고속도로(제천~원주간) 4차로 확장공사 구조 및 수리계산서(Ⅲ) (최종본) 제16공구(판부~원주) 2000. 9 (2) 중앙고속도로(제천~원주간) 4차로 확장공사 원주대교 전후구간 선형변경 실시설계 일반보고서 2000.9 (5) 중앙고속도로 제천~원주간 확장공사 실시설계도 제16공구(판부-원주) 2000.9 (6) 섬강교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2011.11, ㈜동우기술단)
	• 설계도면 - 위치도, 평면도, 단면도(종·횡), 상부·하부 구조물도, 빔상세도, 신축이음, 교량받침상세도	 있음 - -	
시설물 관리대장	• 기본현황 • 상세제원 • 유지관리 이력	있음 있음 있음	
시공관련 자료	• 시공관련자료 - 준공지 - 안전점검보고서 - 감리보고서 • 품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 관리 및 선정시험 기록 등 - 시설물의 주요 구조 부위에 대한 계측 관련자료 • 사고기록	 - - - - - - - -	
안전점검 및 정밀안전진단 자료		있음	
보수·보강 자료		-	
사고이력		-	

주) 자료수집 현황은 관리주체인 “한국도로공사 강원본부 제천지사”의 자료 및 “시설물정보관리 종합시스템(FMS)”에 실적을 참고하여 수록함.

2.1.2 백운1교(춘천)

【표 2.2】 백운1교(춘천) 자료수집 현황

보존대상 목록		보관 유무	수집 자료 목록
설계관련 자료	• 공통 - 공사시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 - - - -	(1) 대구~춘천간 고속도로 건설공사 구조도(준공도) 제7공구 (Ⅲ-1, Ⅱ) 1995. (2) 원주천교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2013.12, (재)한국재난연구원, 케이에스엠기술(주))
	• 설계도면 - 위치도, 평면도, 단면도(종・횡), 상부・하부 구조물도, 빔상세도, 신축이음, 교량받침상세도	있음	
시설물 관리대장	• 기본현황 • 상세제원 • 유지관리 이력	있음 있음 있음	
시공관련 자료	• 시공관련자료 - 준공지 - 안전점검보고서 - 감리보고서 • 품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 관리 및 선정시험 기록 등 - 시설물의 주요 구조 부위에 대한 계측 관련자료 • 사고기록	 - - - - - - - -	
안전점검 및 정밀안전진단 자료		있음	
보수・보강 자료		있음	
사고이력		-	

주) 자료수집 현황은 관리주체인 “한국도로공사 강원본부 제천지사”의 자료 및 “시설물정보관리 종합시스템(FMS)”에 실적을 참고하여 수록함.

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약

2.2.1 백운1교(부산)

가. 설계관련 자료

본 과업의 설계관련 자료는『중앙고속도로(제천～원주간) 4차로 확장공사 제16공구(판부～원주)』에 일반보고서, 구조 및 수리계산서(Ⅲ)에 내용을 인용하여 수록하였다.

1) 『중앙고속도로(제천～원주간) 4차로 확장공사 원주대교 전후구간 선형변경 실시설계 일반보고서 (2000.9)』

① 과업이 목적

본 과업은 중앙고속도로 제천～원주간 4차로 확장공사의 원주대교 전후구간에 행당되며 이 구간의 당초설계노선이·선형불량·국도5호선 및 중앙선 철도횡단 또는 근접병행·원주대교 고 교각발생(H=61m)·종단구배 6%(L=1170m) 구간발생 등으로 시공성이 불량하고 차량등판 능력저하 미치 안전성 확보에 문제점이 도출되어 기 완공된 고속도로의 단순확장 노선을 변경하게 된바 시공성향상, 교통안전, 교통안전 및 유지관리가 양호한 신설고속도로(2방향 2차로) 건설을 위한 공사시행에 필요한 실시설계를 시행하는데 그 목적이 있다.

② 과업의 범위

㉠ 과업명 : 중앙고속도도로 제천～원주간 4차로 확장공사 원주대교 전후구간 선형변경 실시설계

㉡ 설계구간

- 15공구(세제천～판부) : 연장 1,535.90m
- 16공구(판부～원주) : 연장 1,345.00m

계 2,880.90m

㉢ 설계기간

【표 2.3】 백운1교(부산) 실시설계 기간

구 분	기 간	비 고
실시설계용역	1996. 4 ～ 1996. 12	착수일로부터 270일간

㉣ 공구별 현황

【표 2.4】 백운1교(부산) 실시설계 공구별 현황

구간	공구	연장(m)	시・종점		시공회사
			시 점	종 점	
제천~원주	15	1,535.90	강원도 원주시 신림면 금창리	강원도 원주시 판부면 금대리	㈜대우 삼성물산(주), 삼호건설(주)
	16	1,345.00	강원도 원주시 판부면 금대리	강원도 원주시 판부면 금대리	극동건설(주) 두산건설(주), 유성종합건설(주)



【그림 2.1】 백운1교(부산) 실시설계 공구별 현황

③ 지형 및 지질

【표 2.5】 백운1교(부산) 지형 및 지질

구 분	내 용	비 고
지 형	• 본 조사노선은 행정구역상 강원도 원주시 판부면 금대리에 해당하며 원주에서 제천을 잇는 5번 국도변에 위치해 있는데 험준한 산맥에 연해 남동-북서방향으로 형성된 좁은 대상의 계곡부에 해당하며 계곡을 봉천이 북서측 원주방향으로 흘러가고 있음. • 주변의 산계를 보면 북측에 남시봉(EL 1181.5m)을 정점으로 능선이 셋방향으로 발달하여 있는데 그중 남쪽으로 뻗은 능선이 본 역 남쪽을 횡단하여 남서측 백운산까지 이어지고 있음. 본 역 남서측에는 백운산(EL 1087.1m)을 정점으로 남동 방향으로는 939.8m의 봉우리를 지나는 능선이 발달하여 있는데 전체적으로 급한 경사를 보이는 장년기 지형의 특성을 보이고 있음. • 주변부의 수계는 가리파 고개로부터 시작되는 봉천이 남동-북서방향으로 형성되어 있으며 각 능선으로부터 남북방향으로 형성된 소 계곡을 따라 흐르는 지류들이 봉천으로 유입되고 있음. • 본 역을 지나는 교통편으로는 원주~제천을 잇는 5번 국도가 본 역을 지나고 있으며 인접하여 중앙선 철도가 지나고 있어 교통은 매우 편리함.	
지 질	• 본 지역의 지질은 선캠브리아기의 퇴적기원 변성암류에 속하는 금대리 편암 및 흑운모 편마암과 이에 협재해 있는 석회암(Limestone) 및 석회규산염암(Limesilicate) 등이 기반암으로 분포하고 있으며, 이를 충적층 및 붕적층이 부정합으로 피복하고 있음. • 기반암인 금대리 편암은 주로 흑운모 편암으로 구성되어 있으며, 각섬석편암, 석영편암, 규암 등을 협재함. 주 구성광물은 장석, 석영, 흑운모 등이며 곳에 따라 백운모, 규산석, 흑영등이 포함되기도 함. • 흑운모 편마암은 편암과의 접촉부에서 발견되며 흑운모를 주로 한 유색광물과 석영 및 장석으로 된 무색광물이 호상구조(Banded Structure)를 이루고 있는 것이 특징임. • 석회암은 주로 방해석 결정으로 구성되어 있으며 소량의 불투명광물 및 유색과물을 포함하고 회백색을 띠고 있는데 부분적으로 형성된 소공동에 방해석이 자형으로 성장한 정동이 관찰되기도 함. • 석회규산염암은 석회질과 석영질로 구성되어 있어 염산에는 반응하지 않으나 부분적으로 석회질과 석영이 호층을 이루며 소습곡을 형성하기도 함. • 기반암의 상부에는 실트, 모래, 자갈, 전석으로 구성된 충적층 및 붕적층이 두텁게 피족하고 있음.	

④ 토질조사

【표 2.6】 백운1교(부산) 토질조사

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>조사위치</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">공 번</th><th rowspan="2">위치</th><th rowspan="2">표고</th><th colspan="2">좌 표</th><th rowspan="2">비 고</th></tr>
<tr><th>X</th><th>Y</th></tr>
<tr><td>BB-17</td><td>1+225</td><td>332.0</td><td>418679.0</td><td>112891.0</td><td></td></tr>
<tr><td>BB-19</td><td>1+285</td><td>316.2</td><td>418696.0</td><td>112839.0</td><td></td></tr>
<tr><td>BB-20</td><td>1+315</td><td>322.0</td><td>418705.0</td><td>112811.0</td><td></td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td>조사결과</td><td>
• 지층분포
<table>
<tr><th>공번</th><th>실트</th><th>자갈</th><th>전석</th><th>풍화암</th><th>연암</th><th>경암</th><th>계</th><th>표준관입시험(회)</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>BB-17</td><td>-</td><td>4.1</td><td>6.1</td><td>1.3</td><td>1.5</td><td>-</td><td>13.0</td><td>4</td><td>BX</td></tr>
<tr><td>BB-19</td><td>-</td><td>5.6</td><td>4.9</td><td>-</td><td>-</td><td>1.5</td><td>12.0</td><td>4</td><td>BX</td></tr>
<tr><td>BB-20</td><td>-</td><td>0.6</td><td>6.0</td><td>4.5</td><td>1.0</td><td>-</td><td>12.4</td><td>4</td><td>BX</td></tr>
</table>
• 지하수위 측정결과
<table>
<tr><th>공번</th><th>지하수위(지표하m)</th><th>지층</th><th>비고</th><th>공번</th><th>지하수위(지표하m)</th><th>지층</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>BB-17</td><td>-</td><td>시추심도이하</td><td></td><td>BB-19</td><td></td><td>붕적층</td><td></td></tr>
<tr><td>BB-20</td><td>6.7</td><td>붕적층</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td>구조물 기초형식</td><td>
<table>
<tr><th>교량명</th><th>시추번호</th><th>지 지 층</th><th>기 초 형 식</th></tr>
<tr><td>백운1교</td><td>BB-17~BB-20</td><td>기반암층</td><td>직접기초</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
</table>

⑤ 구조물 설계기준

【표 2.7】 백운1교(부산) 구조물 설계기준

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>일반사항</td><td>• 본 과업을 수행함에 있어서 구조물 설계전반에 대한 가능한 한도 내에서의 통일성 및 동일한 구조물 내하수준 유지, 그리고 합리적이며 경제적인 설계를 도모하고자 적정기준을 설정하여 적용함.</td><td></td></tr>
<tr><td>적용기준</td><td>• 본 설계에 적용한 표준시방서 및 설계기준
- 도로교 표준시방서---------- 건교부(1996. 5 개정)
- 콘크리트 표준시방서---------- 건교부(1996. 5 개정)
- 철근 콘크리트 설계편람----------건교부(1990. 12 개정)
- 터널 표준시방서----------건교부
- 도로설계요령----------한국도로공사(1992. 12 개정)
- 기타 건교부에 제정된 관련시방서----------건교부
• 본 설계기준에 규정하지 않은 사항은 상기의 시방서 혹은 지침에 의하되 그 인용근거를 명기함.</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.7】 백운1교(부산) 구조물 설계기준(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>교량설계
등급</td><td>「도로의 구조, 시설기준에 관한 규정」에 의거 다음과 같이 적용함.
• 1등교(DB-24) : 고속도로 및 자동차 전용도로상의 교량 다만, 교통량이 많고 중차량이 많으며 중차량의 통과가 불가피한 도로, 국방상 중요한 도로상에 가설되는 교량, 장대교량
• 2등교(DB-18) : 일반국도, 특별시도와 지방도 상의 교통량이 적은 교량 또한, 시도 및 군도 중에서 중요한 도로상에 가설하는 교량
• 3등교(DB-13.5) : 산간벽지에 있는 지방도, 시도 및 군도중에서 교통량이 적은 곳(1,000대/일) 그러나, 교통량이 그보다 적을지라도 대형차량의 통행이 많은 곳은 2등교로 설계하여야 함.</td><td></td></tr>
<tr><td>형하공간</td><td>• 본 교량의 횡단여건에 따른 소요형하공간은 다음을 기준으로 함.
- 도로(국도 및 지방도) : 4.8m 이상(가급적 5.0m이상)
- 철도 : 철도청과 협의 (7.5m 이상)
- 하천
계획홍수량과 여유고 및 경간장의 관계
<table>
<tr><th>계획홍수량(㎥/sec)</th><th>여유고(m)</th><th>경간장(m)</th></tr>
<tr><td>200 이상</td><td>0.7 이상</td><td></td></tr>
<tr><td>200 ~ 500</td><td>0.8 ~ 1.0</td><td>20(15) 이상</td></tr>
<tr><td>500 ~ 1,500</td><td>0.8 ~ 1.0</td><td>30(20) 이상</td></tr>
<tr><td>1,500 ~ 3,500</td><td>0.8 ~ 1.0</td><td>40(30) 이상</td></tr>
<tr><td>3,500 ~ 10,000</td><td>0.8 ~ 1.0</td><td>50(40) 이상</td></tr>
</table>
주) 여유고는 상한치 적용, ( )는 하천공사 표준시방서상의 기준</td><td></td></tr>
<tr><td>설계방법
및
적용기준</td><td>• W.S.D(허용응력 설계법) : 철근콘크리트를 탄성체로 보고 재료에 적합한 안저율을 고려한 허용응력을 사용하여 설계하는 방법
• U.S.D(강도설계법) : 설계하중이 작용하여 부재가 파괴될 때에 콘크리트 압축응력분포를 알아내어 이에 맞도록 적합한 하중율(LOAD FACTOR)를 갖고 설계하는 방법
• 본 설계 적용기준
- 강도설계법 적용 : R.C 구조물(슬래브, 교각, 교대, 옹벽, BOX)
실하중에 의한 사용성(처짐, 균열, 피로----등) 검토
- 허용응력설계법 적용 : P.C 구조물(강도설계법으로 안정성 검토)
강합성 구조물(극한 안전도 검토)</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.7】 백운1교(부산) 구조물 설계기준(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>하 중</td><td>
• 강도설계법에 의할 때는 극한 하중을 적용하고 허용응력 설계법에 의할 경우 사용하중을 적용해야 하며 구조계산 하중조합은 사하중, 활하중, 풍하중, 충격, 건조수축, 크리프, 온도변화 그리고 지지점의 부등침하 등의 영향을 고려한 하중조합 중 가장 불리한 하중으로 설계하고 구조계산서에 상세히 기재함.
• 활하중
- 지상구조물
· 자동차 하중, 즉 표준트럭 하중(DB하중) 또는 차선하중(DL하중), 보도의 군집하중을 고려함.(도.시, P38)
- 지하 구조물의 노면 활하중의 정확한 값이 인정되는 경우외에는 지하철 기준값을 사용함.
지하구조물의 노면활하중
<table>
<tr><th>토 피</th><th>DB - 24</th><th>DB - 18</th></tr>
<tr><td>1.0</td><td>5.1</td><td>3.8</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td>3.9</td><td>2.9</td></tr>
<tr><td>2.0</td><td>2.1</td><td>1.6</td></tr>
<tr><td>2.5</td><td>1.7</td><td>1.3</td></tr>
<tr><td>3.0 ~ 7.0</td><td>1.5</td><td>1.1</td></tr>
<tr><td>8.0</td><td>1.2</td><td>0.9</td></tr>
<tr><td>9.0</td><td>1.1</td><td>0.8</td></tr>
<tr><td>10.0 이상</td><td>0.9</td><td>0.7</td></tr>
</table>
주) 1. 중간 토피는 상위값을 취함.
2. 교대 및 옹벽에 작용하는 노면활하중 : 교량등급에 관계없이 1.0t/㎡으로 함.
• 사하중
- 사하중의 산출시 단위중량은 실하중이 명백한 것은 그 값을 사용함.
(단위 : kg/㎥)
<table>
<tr><th>재 료</th><th>단위중량</th><th>재 료</th><th>단위중량</th></tr>
<tr><td>강재, 주강, 단철</td><td>7,850</td><td>콘크리트</td><td>2,350</td></tr>
<tr><td>주 철</td><td>7,250</td><td>시멘트모르터</td><td>2,150</td></tr>
<tr><td>알루미늄</td><td>2,800</td><td>목 재</td><td>800</td></tr>
<tr><td>철근콘크리트</td><td>2,500</td><td>역청재(방수용)</td><td>1,100</td></tr>
<tr><td>프리스트레스콘크리트</td><td>2,500</td><td>아스팔트 포장</td><td>2,300</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>흙(지하수위 이상)</td><td>1,800</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>(지하수위 이하)</td><td>1,000</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>(뒷채움 φ = 35°)</td><td>2,000</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>(뒷채움 φ = 30°)</td><td>1,900</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.7】 백운1교(부산) 구조물 설계기준(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>주요재료
사용기준</td><td>• 콘크리트
<table>
<tr><th>종 류</th><th>설계기준
강도
(kg/㎠)</th><th>골재
최대치수
(mm)</th><th>적용구조물</th><th>슬럼프
기준
(cm)</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>P.C</td><td>σ_{ck}=400</td><td>19</td><td>P.C 구조물
PREFLEX 아래 플랜지</td><td>15</td><td>BASE
=8cm</td></tr>
<tr><td>1종</td><td>σ_{ck}=270</td><td>25</td><td>SLAB, 라멘교(SLAB, 측벽, 기초, 날개벽), PREFLEX(복부, 가로보), 현장제작 철근콘크리트관, 콘크리트포장 접속 완충 SLAB</td><td>13,15</td><td>BASE
=8cm</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2종</td><td rowspan="3">σ_{ck}=240</td><td>25</td><td>필요시</td><td rowspan="2">15</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>32</td><td>터널라이닝 콘크리트 및 입출구 시설, 교량 하부구조(교각, 교대, 우물통 기초), 교량날개벽, 철근콘크리트 옹벽, 철근콘크리트 용배수로 개거, 암거(구체, 날개벽), 아스콘 포장용 접속슬래브</td></tr>
<tr><td>40</td><td>강관이음용 철근 콘크리트</td><td>15</td></tr>
<tr><td>2종수중</td><td>σ_{ck}=240
(육상300)</td><td>25</td><td>수중콘크리트</td><td>15</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3종</td><td rowspan="2">σ_{ck}=210</td><td>25</td><td>절, 성토부 도수로, 도수로집수거, V형측구, L형측구(형식 3,4), U형측구(형식 1-4,7), U형측구 뚜껑, 중분대 집수정, 노견 집수정</td><td rowspan="2">8,15</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>40</td><td>중력식옹벽, MASS콘크리트, 부대시설기도, 수로 암거 및 배수관, APPROACH 바닥콘크리트, 배수관기초, 집수정, U형측구(형식5-6), 배수관 날개벽</td></tr>
<tr><td>5종</td><td>σ_{ck}=150</td><td>50</td><td>레벨링콘크리트, 속채움콘크리트(우물통)</td><td>-</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">L형
측구형</td><td rowspan="2">σ_{ck}=210</td><td>19</td><td>L형측구(형식1,2), 콘크리트 다이크</td><td>2-5</td><td></td></tr>
<tr><td>25</td><td>형식-3,4</td><td>8</td><td></td></tr>
<tr><td>중분대용</td><td>σ_{ck}=240</td><td>19</td><td>중분대 구체 콘크리트</td><td>2-5</td><td></td></tr>
<tr><td>중간층용
LEAN
CON'C</td><td>σ_{ck}=240
(7일양생
기준)</td><td>40</td><td>포장 LEAN 콘크리트</td><td>-</td><td>습윤포6일
수침양생
1일</td></tr>
<tr><td>포장용</td><td>σ_{ck}=45</td><td>32</td><td>포장슬래브, 중분대기초, 절,성경계보강, 슬래브(콘크리트 포장), 통로암검 APPROACH 바닥콘크리트</td><td>4-6</td><td></td></tr>
</table></td><td></td></tr>
</table>

【표 2.7】 백운1교(부산) 구조물 설계기준(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>주요재료
사용기준</td><td>
• 철근 : KSD 3504에 적합한 재료를 기준으로 함.
<table>
<tr><th>종 류</th><th>허용응력
(kg/㎠)</th><th>적용구조물</th></tr>
<tr><td rowspan="2">SD 40</td><td>σ_y=4,000
σsa=1,800</td><td>• 1종 콘크리트
- 일반적인 부재, 라멘의 구체(상부 및 하부)</td></tr>
<tr><td>σ_y=4,000
σsa=1,800</td><td>• 1종 콘크리트
- 바닥판 및 지간 10m이하의 슬래브교
- 수중 혹은 지하수위 이하에 설치</td></tr>
<tr><td>SD 30</td><td>σ_y=3,000
σsa=1,500</td><td>• 2종 콘크리트</td></tr>
</table>
• P.C 강재 : KSD 7002에 적합한 재료를 기준으로 함.
SWPC 7B(2종) : 항복점 강도 σ_{py} = 160kg/㎠
인장강도 σ_{pu} = 160kg/㎠
• 일반강재
- 주부재 : SWS 490(상·하 플랜지, 복부판, 종 RIB, 주부재, 연결판)
- 부부재 : SWS 400을 기준으로 함.(주부재를 제외한 모든 부재)
</td><td></td></tr>
<tr><td>구조물
설계법
기준</td><td>
• 허용응력 설계
(가) 콘크리트(도.시 P75, P404)
<table>
<tr><th>응력의 종류</th><th>구 분</th><th>적용공식</th></tr>
<tr><td>허용휨응력</td><td>• 허용휨 압축응력
• 허용 압축응력(무근의 확대기초와 벽체)
• 허용휨 인장응력(무근의 확대기초와 벽체)</td><td>$\sigma_{ca}=0.4\sigma_{ck}$
$\sigma_{ca}=0.25\sigma_{ck}$
$\sigma_{ca}=0.42\sqrt{\sigma_{ck}}$</td></tr>
<tr><td>허용전단응력</td><td>• 사인장 철근을 두지 않은 보
• 사인장 철근을 두는 보
• 1방향 배근의 슬래브와 확대기초</td><td>$\tau_{ca}=0.25\sqrt{\sigma_{ck}}$
$\tau_{ca}=1.15\sqrt{\sigma_{ck}}$
$\tau_{ca}=0.25\sqrt{\sigma_{ck}}$</td></tr>
<tr><td>허용부착응력</td><td>• 일반적인 이형 인장철근
• 상부 이형 인장철근
• 이형 압축철근</td><td>$\tau_{ca}=0.8\sqrt{\sigma_{ck}}$
$\tau_{ca}=0.56\sqrt{\sigma_{ck}}$
$\tau_{ca}=1.72\sqrt{\sigma_{ck}}$</td></tr>
<tr><td>허용지압응력</td><td>• 전면적의 재하
• 전면적의 1/3이하로 부분재하</td><td>$\sigma_{ca}=0.50\sigma_{ck}$
$\sigma_{ca}=0.37\sigma_{ck}$</td></tr>
</table>
(나) 철근(도.시 P77, P406)
<table>
<tr><th>응 력</th><th colspan="2">부재의 응력</th><th>SD30</th><th>SD35</th><th>SD40</th></tr>
<tr><td rowspan="3">인장응력</td><td rowspan="3">하중의 조합에 충돌하중 혹은 지진의 영향을 포함하지 않은 경우</td><td>일반적인 부재</td><td>1,500</td><td>1,750</td><td>1,800</td></tr>
<tr><td>바닥판 및 지간 10m이하의 슬래브교</td><td>1,500</td><td>1,600</td><td>1,600</td></tr>
<tr><td>수중 혹은 지하수위 이하에 설치되는 부재</td><td>1,500</td><td>1,600</td><td>1,600</td></tr>
<tr><td>하중의 조합에 충돌하중 혹은 지진의 영향을 포함하는 경우의 허용응력의 기본값</td><td></td><td>1,500</td><td>1,750</td><td>1,800</td></tr>
<tr><td>압축응력</td><td></td><td></td><td>1,500</td><td>1,750</td><td>1,800</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.7】 백운1교(부산) 구조물 설계기준(계속)

구 분	내 용	비 고
주요재료 사용기준	• 강도 설계법 (도.시 P101) (가) 설계하중조합 U=1.3D+2.15(L+i)+1.3CF+1.7H+1.3Q ① U=1.3D+1.7H+1.3Q+1.3W ② U=1.3D+1.3(L+i)+1.3CF+1.7H+1.3Q+1.3(0.5W+WL+BK) ③ U=1.3D+1.3(L+i)+1.3CF+1.7H+1.3Q+1.3G ④ U=1.25D+1.65H+1.25Q+1.25W+1.25G ⑤ U=1.25D+1.25(L+i)+1.25CF+1.65H+1.25Q+1.25(0.5W+WL+BK)+1.25G ⑥ U=1.3D+1.7H+1.3Q+1.3E ⑦ U=1.3D+1.3(L+i)+1.3CF+1.7H+1.3Q+1.3CO ⑧ U=1.2D+1.55H+1.2Q+1.2W+1.2CO ⑨ 여기서, D = 사하중 또는 이에 따른 단면력 L = 활하중 또는 이에 따른 단면력 I = 충격 또는 이에 따른 단면력 H = 토압 또는 이에 따른 단면력 W = 풍화중 도는 이에 따른 단면력 WL = 차량활하중에 작용하는 풍하중 또는 이에 따른 단면력 BK = 제동하중 또는 이에 따른 단면력 E = 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력 CF = 원심하중 또는 이에 따른 단면력 CO = 충돌하중 또는 이에 따른 단면력 G = 부등침하, 크리프, 건조수축, 제작 또는 시공시 치수의 착오, 습도변화 또는 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축병형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력 Q = 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력 (나) 특수 하중 조합의 하중계수 · 도시 2.5절에 따른 2, 3등교의 설계에서 초과하중에 대하여 검토하는 경우 U = 1.3D+2.85(L+i) ⑩ · 특별과하중(탱크, 특수중차량 등)에 대하여 검토하는 경우 U = 1.3D+1.3(L+i)+1.3CF+1.7H+1.3Q ⑪ (다) 식 ①에서 충격을 고려한 차량활하중과 보도 등의 군중하중의 하중조합에 의해서 외측들보를 설계할 때는 활하중계수를 2.15대신 1.65로하여 설계함. 다만 이때의 설계강도는 활하중계수를 2.15FH 한 차량 활하중만에 의한 값보다 작아서는 않됨. 이 경우에 있어서 바닥판 슬래브를 설계할 때는 활하중계수를 2.15대신 1.3으로 함. (라) (가)항과 (나)항의 모든 하중조합에서 각 경우에 대한 사하중 계수와 토압하중계수는 각각 다음 표에 제시한 값을 사용함.	

【표 2.7】 백운1교(부산) 구조물 설계기준(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>주요재료
사용기준</td><td>
주요하중조합에서 사하중계수와 토압하중계수를 바꾸어 설계하는 경우
<table>
<tr><th>구 분</th><th>사하중계수</th><th colspan="2">토압하중계수</th></tr>
<tr><td>식</td><td>기둥설계시 최소 축하중 및 최대 모멘트 또는 최대 편심에 대하여 설계할 경우</td><td>라멘구조에서 반횡토압에 의해 정모멘트를 검토하는 경우</td><td>연직토압의 경우</td></tr>
<tr><td>①~④
⑦~⑧
⑩~⑪</td><td>1.0</td><td>0.65</td><td>1.3</td></tr>
<tr><td>⑤~⑥</td><td>0.95</td><td>0.65</td><td>1.25</td></tr>
<tr><td>⑨</td><td>0.9</td><td>0.6</td><td>1.2</td></tr>
</table>
(마) 기초를 설계할 경우 토압이나 말뚝하중 등에는 하중계수에 의한 하중 증가를 시키지 않음. 또한 전도, 활동 등에 대한 안전율을 사용하여 구조물 기초의 안정성을 검토하는 경우에도 하중계수를 사용하지 않음.
(바) 설계강도(도.시 P81)
설계강도는 단면의 공칭강도에다 다음 표의 강도 감소계수 Φ름 곱함.
<table>
<tr><th colspan="2">부 재</th><th>강도감소 계수</th></tr>
<tr><td rowspan="2">휨, 휨+축방향인장</td><td>보통 철근콘크리트</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>프리스트레스콘크리트</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td colspan="2">축방향 인장</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td rowspan="2">축방향인장
휨+축방향인장</td><td>나선철근으로 보강된 철근콘크리트</td><td>0.70</td></tr>
<tr><td>그 외의 철근콘크리트</td><td>0.65</td></tr>
<tr><td colspan="2">전단, 비틀림</td><td>0.70</td></tr>
<tr><td colspan="2">콘크리트 지압</td><td>0.60</td></tr>
<tr><td colspan="2">압축부배의 안정</td><td>0.65</td></tr>
<tr><td colspan="2">무근 콘크리트</td><td>0.55</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
</table>

2) 『중앙고속도로(제천～원주간) 4차로 확장공사 구조 및 수리계산서(Ⅲ) (최종본) 제16공구 (판부～원주) 2000.9』

① 설계조건

【표 2.8】 백운1교(부산) 설계조건

구 분	내 용	비 고
일반조건	• 구조형식 - 상부구조 : 3경간 STEEL ARCH교(상로식 LOHSE 교) - f/l 비 : 16/80 = 180m • 교 장 : 50 + 80 + 50 = 180m • 폭 원 : 12.6m • 사 각 : 90° • 설계하중 : DB-24, DL-24\ • 충격계수 : $i = \frac{15}{40+L} \leq 0.3$	
재료의 설계강도	• 콘크리트 - 상부구조(DECK SLAB) : 270kg/㎠ - 하부구조(교대, 교각) : 240kg/㎠ - MASS CON'C : 210kg/㎠ • 강 재 -SWS 520 허용인장응력 : σ_{sa} = 2100kg/㎠ -SWS 400 허용인장응력 : σ_{sa} = 1400kg/㎠ • 철 근 - 상부구조(DECK SLAB) : σ_y = 4000kg/㎠ - 하부구조(교대, 교각) : σ_y = 3000kg/㎠	
단위중량	• 콘크리트 : 2.5 ton/m^3 • 아스팔트 : 2.3 ton/m^3 • 흙 : 2.0 ton/m^3 • 강 재 : 7.85 ton/m^3	
기타조건	• 온도차 - 온도차 : 15℃ - 선팽창계수 : α = 12 × 10^{-6} • 설계방법 - 콘크리트 : 강도설계법 - 강 재 : 허용응력 설계법	
참고문헌	• 도로교 표준시방서 - 건설부 • 콘크리트 표준시방서 - 건설부 • 콘크리트 설계편람 - 건설부 • 강구조 보강설계 등 기타	

【표 2.8】 백운1교(부산) 설계조건(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>허용축방향 인장응력 및 허용휨인장 응력(kg/㎠)</td><td>
<table>
<tr><th>강 종</th><th>SS 41
SWS 400
SMA 41</th><th>SWS 490</th><th>SWS 490Y
SWS 520
SMA 50</th><th>SWS 570

SMA 58</th></tr>
<tr><td>축방향인장응력</td><td>1,400</td><td>1,900</td><td>2,100</td><td>2,600</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td>국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향 압축응력 (kg/㎠)</td><td>
<table>
<tr><th>강 종</th><th>SS 41
SWS 400
SMA 41</th><th>SWS 490</th><th>SWS 490Y
SWS 520
SMA 50</th><th>SWS 570

SMA 58</th></tr>
<tr><td rowspan="3">축방향압축응력</td><td>$(a)\frac{l}{r} \le 20$
1,400</td><td>$(a)\frac{l}{r} \le 15$
1,900</td><td>$(a)\frac{l}{r} \le 14$
2,100</td><td>$(a)\frac{l}{r} \le 18$
2,600</td></tr>
<tr><td>$(b)20 < \frac{l}{r} \le 93$
$1,400 - 8.4(\frac{l}{r} - 20)$</td><td>$(b)15 < \frac{l}{r} \le 80$
$1,900 - 13(\frac{l}{r} - 15)$</td><td>$(b)14 < \frac{l}{r} \le 76$
$2,100 - 15(\frac{l}{r} - 20)$</td><td>$(b)18 < \frac{l}{r} \le 67$
$2,600 - 22(\frac{l}{r} - 18)$</td></tr>
<tr><td>$(c)93 < \frac{l}{r}$
$\frac{12,000,000}{6,700 + (l/r)^2}$</td><td>$(c)80 < \frac{l}{r}$
$\frac{12,000,000}{5,000 + (l/r)^2}$</td><td>$(c)76 < \frac{l}{r}$
$\frac{12,000,000}{4,500 + (l/r)^2}$</td><td>$(c)67 < \frac{l}{r}$
$\frac{12,000,000}{3,500 + (l/r)^2}$</td></tr>
<tr><td>비 고</td><td colspan="4">l : 부재의 유효좌굴길이 (cm)
r : 부재의 총단면의 단면2차반지름 (cm)</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td>마찰이음용 고장력볼트의 허용력 (kg) (1볼트 1마찰면마다)</td><td>
<table>
<tr><th>볼트등급 / 나사호칭</th><th>F 8 T</th><th>F 10 T</th></tr>
<tr><td>M 20</td><td>3,100</td><td>3,900</td></tr>
<tr><td>M 22</td><td>3,900</td><td>4,800</td></tr>
<tr><td>M 24</td><td>4,500</td><td>5,600</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.8】 백운1교(부산) 설계조건(계속)

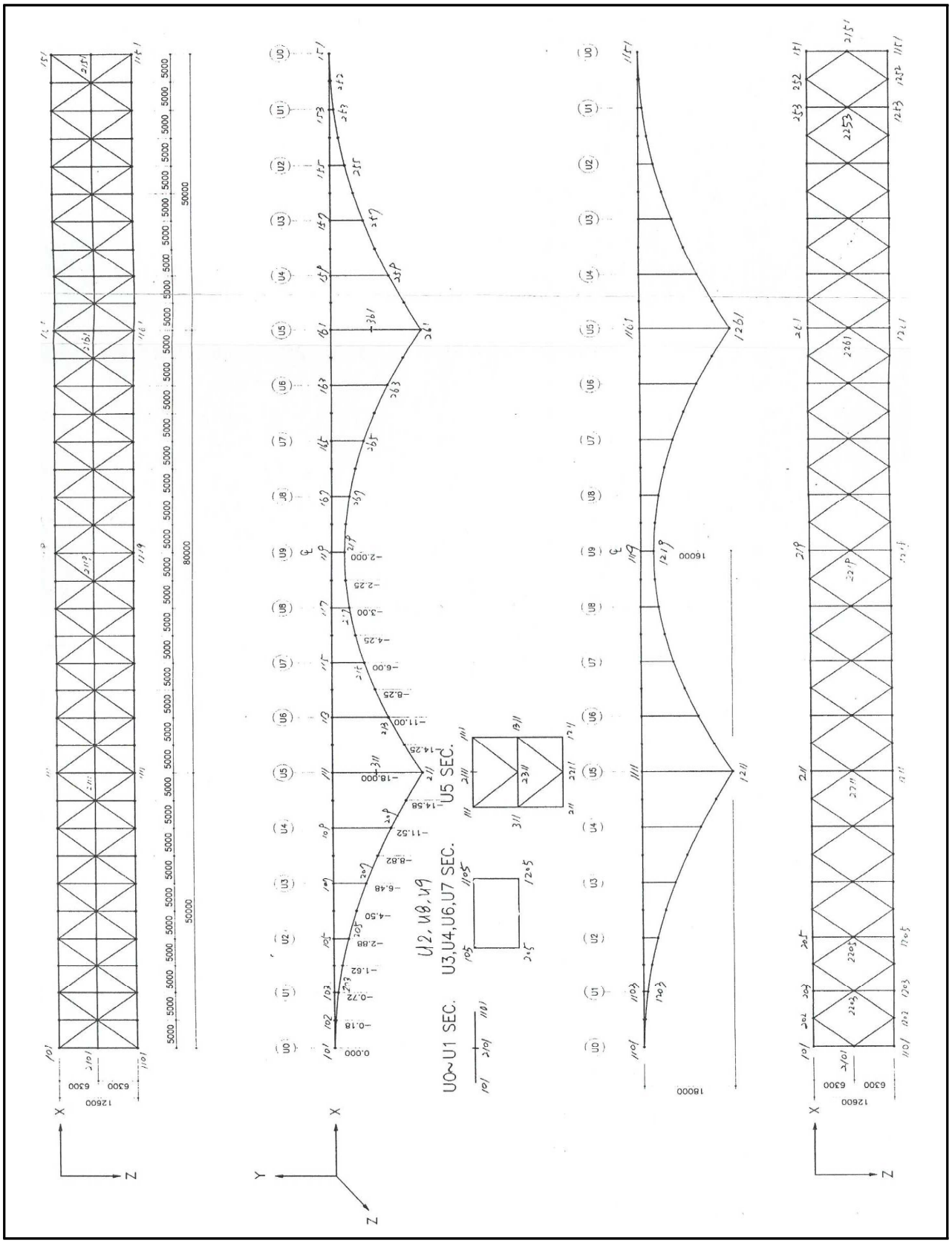
<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>허용휨압축응력(kg/㎠)</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">강 종</th><th>SS 41
SWS 400
SMA 41</th><th>SWS 490</th><th>SWS 490Y
SWS 520
SMA 50</th><th>SWS 570

SMA 58</th></tr>
<tr><td colspan="2">압축 플랜지가 직접콘크리트 바닥판에 고정되어 있는 경우 상자, ㅍ, 파이프 단면의 경우</td><td>1,400</td><td>1,900</td><td>2,100</td><td>2,600</td></tr>
<tr><td rowspan="2">상기 이외의 경우</td><td>$\frac{Aw}{Ac} \le 2$</td><td>$(a)\frac{l}{b} \le 4.5$: 1,400
$(b) 4.5 < \frac{l}{b} \le 30$
1,400 $-24(\frac{l}{b}-4.5)$</td><td>$(a)\frac{l}{b} \le 4.0$: 1,900
$(b) 4.0 < \frac{l}{b} \le 30$
1,900 $-38(\frac{l}{b}-4.0)$</td><td>$(a)\frac{l}{b} \le 43.5$: 2,100
$(b) 3.5 < \frac{l}{b} \le 27$
2,100 $-44(\frac{l}{b}-3.5)$</td><td>$(a)\frac{l}{b} \le 5.0$: 2,600
$(b) 5.0 < \frac{l}{b} \le 25$
2,600 $-66(\frac{l}{b}-5.0)$</td></tr>
<tr><td>$\frac{Aw}{Ac} > 2$</td><td>$(a)\frac{l}{b} \le \frac{9}{k}$
1,400
$(b)\frac{9}{k} < \frac{l}{b} \le 30$
1,400 $-12(k\frac{l}{b}-9)$</td><td>$(a)\frac{l}{b} \le \frac{8}{k}$
1,900
$(b)\frac{8}{k} < \frac{l}{b} \le 30$
1,900 $-19(k\frac{l}{b}-8)$</td><td>$(a)\frac{l}{b} \le \frac{7}{k}$
2,100
$(b)\frac{7}{k} < \frac{l}{b} \le 27$
2,100 $-22(\frac{l}{b}-7)$</td><td>$(a)\frac{l}{b} \le \frac{10}{k}$
2,600
$(b)\frac{10}{k} < \frac{l}{b} \le 25$
2,600 $-33(\frac{l}{b}-10)$</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td>허용전단응력 및 허용지압응력 (kg/㎠)</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">강종 / 응력</th><th>SS 41
SWS 400
SMA 41</th><th>SWS 490</th><th>SWS 490Y
SWS 520
SMA 50</th><th>SWS 570

SMA 58</th></tr>
<tr><td colspan="2">축방향인장응력</td><td>800</td><td>1,100</td><td>1,200</td><td>1,500</td></tr>
<tr><td rowspan="2">지압응력</td><td>헬츠공식</td><td>7,000</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>강판과 강판간의 지압응력</td><td>2,100</td><td>2,800</td><td>3,100</td><td>3,900</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
</table>

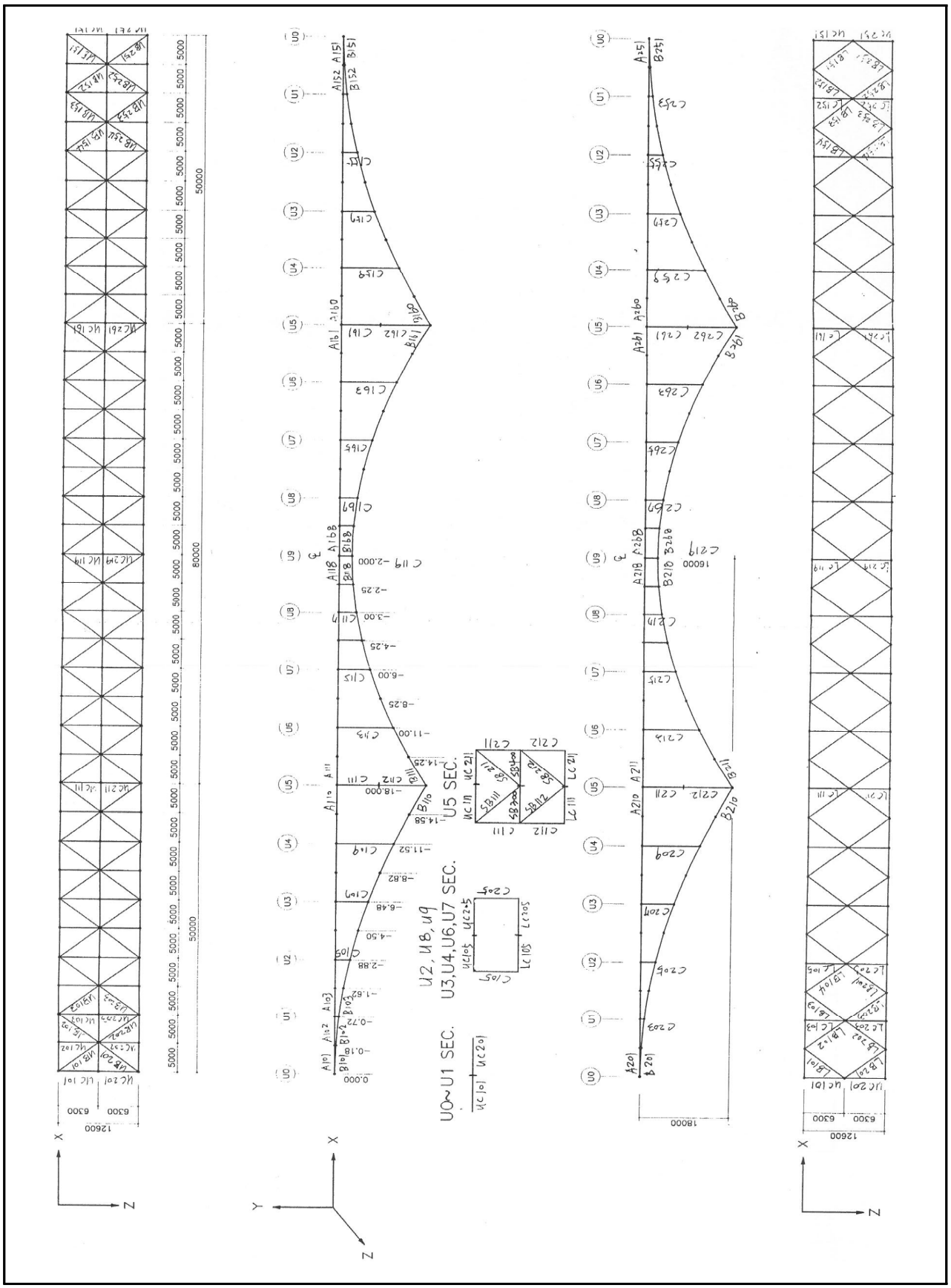
② 단면가정

㉠ JOINT & COORDNNATE



【그림 2.2】 백운1교(부산) 단면가정 JOINT & COORDNNATE

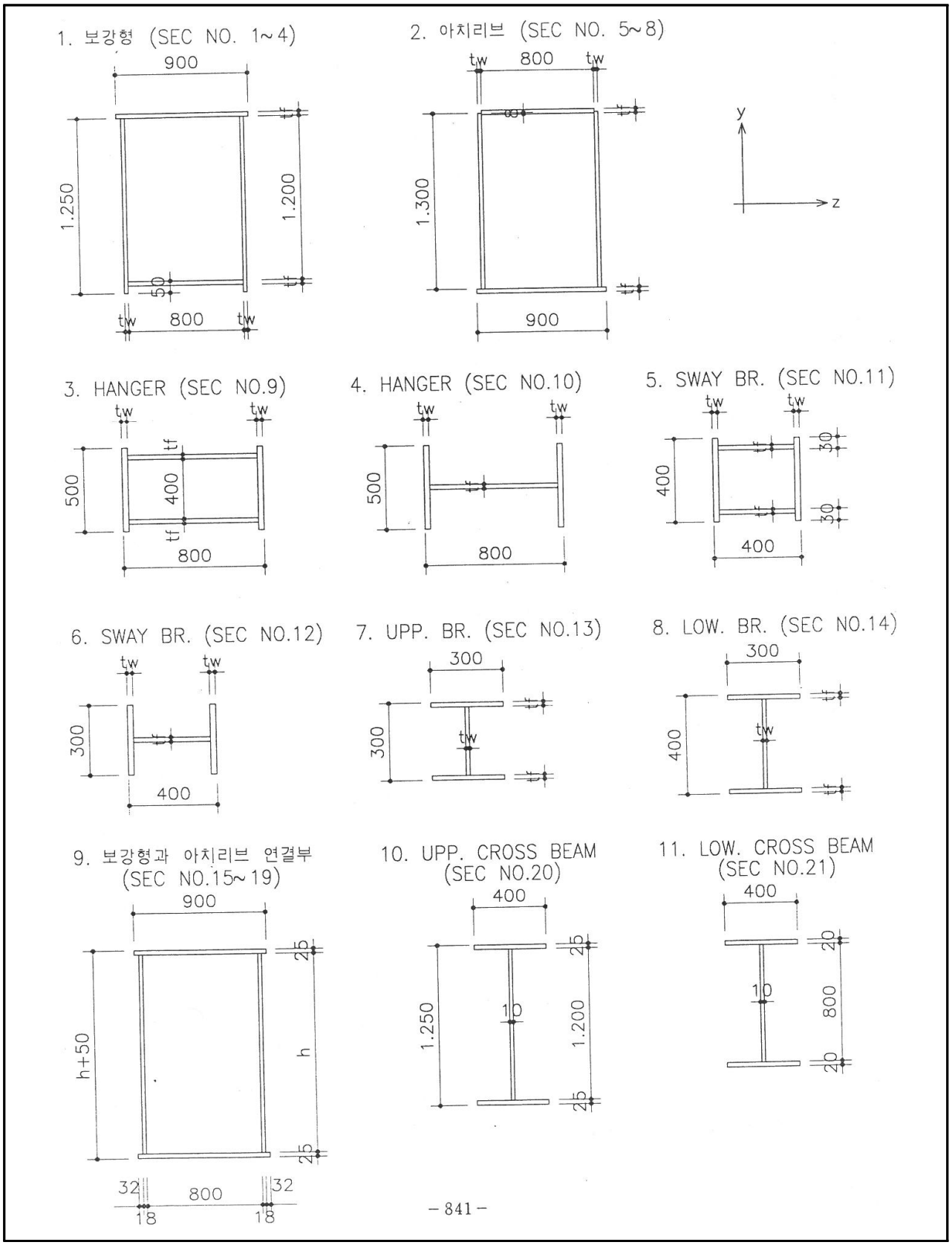
㉡ MEMBER



【그림 2.3】 백운1교(부산) 단면가정 MEMBER

③ 단면특성

㉠ 부재별 SECTION TYPE



【그림 2.4】 백운1교(부산) 단면특성 부재별 SECTION TYPE

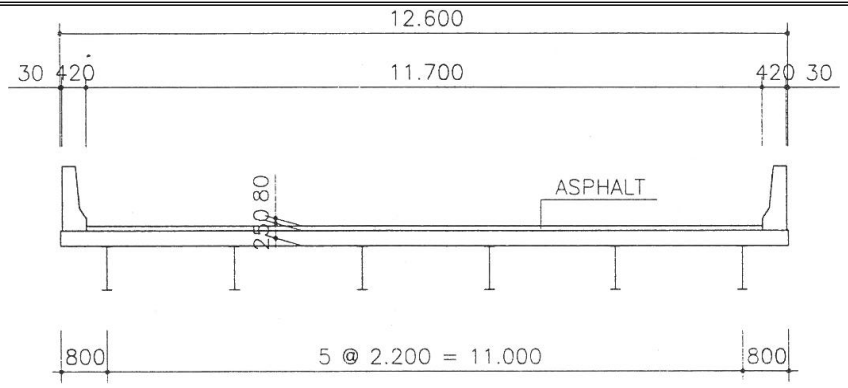
㉡ 단면상수

SEC NO	tf×tw (H)	A (cm^2)	Ix (cm^4)	Iy (cm^4)	Iz (cm^4)	Zu (cm^3)	Zl (cm^3)	ry	rz	비 고
1	25×24	1025.0	2425876.5	1277293.7	2379634.5	38092.7	36592.6	35.3	48.2	보강형
2	25×18	875.0	1992753.5	1011427.7	2183196.8	35192.6	33349.4	34.0	50.0	〃
3	25×20	925.0	2145710.3	1099208.3	2248716.6	36155.4	34434.6	34.5	49.3	〃
4	25×16	825.0	1829995.0	924483.0	2117626.7	34234.7	32259.3	33.5	50.7	〃
5	25×18	893.0	2192132.9	1041543.1	2499906.9	36370.8	38186.3	34.2	52.9	아치리브
6	25×24	1049.0	2681565.2	1318043.7	2720156.2	39750.1	41359.5	35.4	50.9	〃
7	20×18	808.0	2024437.7	989834.8	2120864.8	31192.8	32524.7	35.0	51.2	〃
8	18×16	722.0	1796541.9	878729.0	1897412.2	27984.4	29192.1	34.9	51.3	〃
9	12×20	382.4	241290.3	392061.9	119091.8	4763.7	4763.7	32.0	17.6	HANGER
10	12×20	291.2	166710.4.	348164.3	41677.6	1667.1	1667.1	34.6	12.0	〃
11	10×12	171.2	54266.7	45001.6	35836.3	1791.8	1791.8	16.2	14.5	SWAY BRACING
12	8×12	102.1	21606.4	30650.4	5401.6	360.1	360.1	17.3	7.3	〃
13	8×8	70.7	6118.6	3061.2	11761.3	784.1	784.1	7.1	12.9	상부BRACING
14	8×8	78.7	15109.7	3601.6	22217.1	1110.9	1110.9	6.8	16.8	하부BRACING
15	1250	900.0	2100840.0	1056636.0	2415000.0	37153.8	37153.8	34.3	51.8	보강형+아치리브
16	1430	964.8	2494955.0	1165052.0	3259150.0	44042.6	44042.6	34.8	58.1	〃
17	1970	1159.2	3710301.0	1490298.0	6771374.0	67043.3	67043.3	35.9	76.4	〃
18	2870	1483.2	6005485.0	2032376.0	16520858.0	113156.6	113156.6	37.0	105.5	〃
19	4130	1936.8	8766175.0	2791285.0	40555762.0	194046.7	194046.7	38.0	144.7	〃
20	25×20	320.0	577250.0	26677.0	894417.0	14310.7	14310.7	9.1	52.9	상부CROSS BEAM
21	20×10	240.0	170880.0	21340.0	311680.0	7421.0	7421.0	9.4	36.0	하부CROSS BEAM

【그림 2.5】 백운1교(부산) 단면특성 부재별 SECTION TYPE

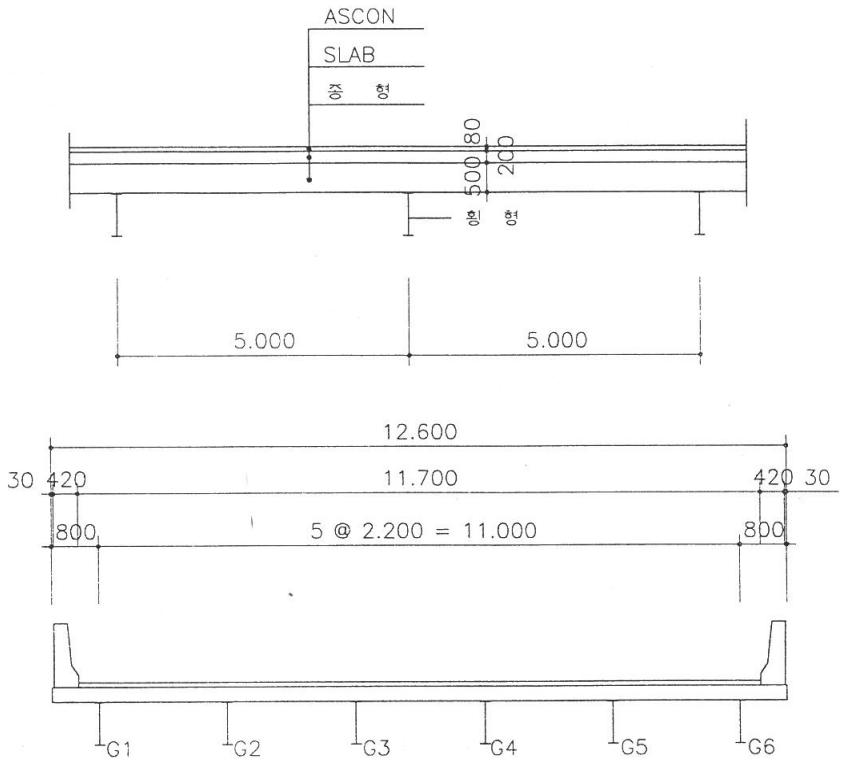
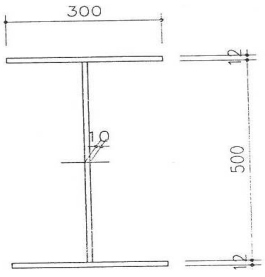
③ 슬래브 설계

【표 2.9】 백운1교(부산) 슬래브 설계

구 분	내 용	비 고
단면가정		
슬래브 최소두께 검토 (도시 p132)	• t_{min1} = 22.0cm • 연속판 - ℓ = 2.2m - $t_{min2} = 3l + 13 = 19.6cm$ • 켄틸레버판 - $l = 0.8 - 0.45 - 0.3 = 0.05m < 0.25$ - $t_{min2} = 28l + 18 = 19.4cm$ ∴ 슬래브 두께는 25cm를 사용	
응력검토	$M = 1.3Md + 2.15M_{l+i}$ = 1.3 × 0.392 + 2.15 × 2.912 = 6.770 t.m b = 100cm d = 25 - 4 = 21cm σ_{ck} = 270kg/㎠ σ_y = 4000kg/㎠ Mu = ΦMn = Φ · 0.85σck · a · b(d-a/2) $6.770 \times 10^5 = 0.85 \times 0.85 \times 270 \times a \times 100 \times (21-a/2)$ a = 1.723cm $Req'As = \frac{6.770 \times 10^5}{0.85 \times 4000 \times (21-1.723/2)} = 9.887cm^2$ ∴ USE As H16@125 = 15.89㎠	
철근비 검토	$P = \frac{As}{bd} = \frac{15.89}{100 \times 16} = 0.0076$ $Pmin = \frac{14}{\alpha_y} = 0.0035$ $Pmax = 0.75 \cdot Pb = 0.75(\frac{0.85 \times \sigma_{ck} \times k_1}{\sigma_y} + \frac{6120}{6120+\sigma_y})$ $= 0.75(\frac{0.85 \times 270 \times 0.85}{4000} + \frac{6120}{6120+4000})$ = 0.0295 $Pmin < P < Pmax$ ∴ O,K $\alpha = \frac{As \cdot \sigma_y}{0.85 \times \sigma_{ck} \times b} = \frac{15.89 \times 4000}{0.85 \times 270 \times 100} = 2.770m$ $\Phi \cdot Mn = 0.85 \times 0.85 \times 270 \times 2.77 \times 100 \times (21 - \frac{2.77}{2}) \div 10^5$ $= 10.599t.m > M = 6.770t.m$ ∴ O.K	

④ 종형설계

【표 2.10】 백운1교(부산) 종형설계

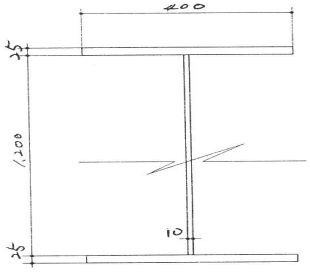
구 분	내 용	비 고
단면가정		
단면계산	• 단지간 - 사용강종 : SWS 400 - 단 면 력 : M=2,375,100 kg·m, S=27,109 kg  $A = 30\times1.2\times2+50\times1.0 = 122\ \text{㎠}$ $I = \dfrac{30\times52.4^3-29.0\times50^3}{12} = 57,611\ \text{cm}^4$ $Z = \dfrac{I}{y} = \dfrac{57611}{26.2} = 2,199\ \text{㎤}$ $\sigma_s = \dfrac{M}{Z} = \dfrac{2,375,100}{2,199} = 1080\ \text{kg/㎠} < \sigma_{sa} = 1,400\text{kg/㎠}$ ∴ O.K $\tau = \dfrac{S}{Aw} = \dfrac{27,109}{50\times1.0} = 542\ \text{kg/㎠} < \sigma_{sa} = 800\text{kg/㎠}$ ∴ O.K	

【표 2.10】 백운1교(부산) 종형설계(계속)

구 분	내 용	비 고
단면계산	• 중간지점 - 사용강종 : SWS 400 - 단 면 력 : M=-1,847,300 kg・m, S=23,701 kg - 단면은 단지간의 단면과 같음. - 압축부 $\sigma_s = \frac{M}{Z} = \frac{1,847,300}{2,199} = 840\,\mathrm{kg/cm^2} < \sigma_{sa} = 1,308\mathrm{kg/cm^2}$ ∴ O.K 허용압축응력 (도시 강교편 2.2.1 참조) $\frac{l}{b} = \frac{250}{30} = 8.3 > 4.5$ $\sigma_{ca} = 1,400 - 24(\frac{l}{b} - 4.5) = 1,308\,\mathrm{kg/cm^2}$ - 인장부 순단면적으로 계산함. $\sigma_s = \frac{M}{Z} \cdot \frac{Ag}{An} = \frac{1,847,300}{2,199} \times \frac{30 \times 12}{(30 \times 1.2 - 2 \times 2.3 \times 1.2)}$ $= 992\,\mathrm{kg/cm^2} < \sigma_{ta} = 1,400\mathrm{kg/cm^2}$ ∴ O.K	
이음설계	• 부재력 - 이음위치는 5.0m 중앙에 둠. - 단 면 력 : M=21.112 t・m, S=23,701 TON - 고장력 BOLT F10T-M20 양면 이음사용 - 인장부 FLANGE BOLT 단면만 공제 $Pa - 7.800\ T/EA$ • 응력검토 $\sigma_u = \frac{M}{Zu} = \frac{21.112/10^5}{2,199} = 960\,\mathrm{kg/cm^2} < \sigma_{sa} = 1,400\mathrm{kg/cm^2}$ ∴ O.K 이음단면 : M20-2줄 사용 $Af = B - d.n - 30.0 - 2.3 \times 2 - 25.4\mathrm{cm}$ $\sigma_L = \frac{M}{Z_L} \cdot \frac{A}{A_F} = \frac{21.112/10^5}{2,199} \times \frac{30.0}{25.4}$ $= 1,134\,\mathrm{kg/cm^2} < \sigma_{ta} = 1,400\mathrm{kg/cm^2}$ ∴ O.K	

⑤ 횡형설계(지간 12.6m)

【표 2.11】 백운1교(부산) 횡형설계(지간 12.6m)

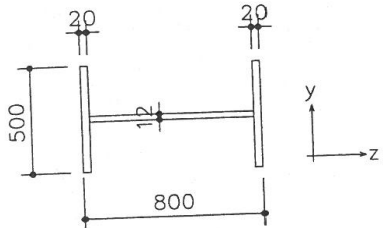
구 분	내 용	비 고
단면계산	• 사용강종 : SWS 520 • 부 재 력 : M = 260.054 t.m, S = 86.542 ton 	

【표 2.11】 백운1교(부산) 횡형설계(지간 12.6m)(계속)

구 분	내 용	비 고
	$A = 40\times2.5\times2+120\times1.0 = 320\ \text{㎠}$ $I = \dfrac{40\times125^3-39\times120^3}{12} = 894,417\ \text{cm}^4$ $Z = \dfrac{I}{y} = \dfrac{894,417}{62.5} = 14,310\ \text{㎤}$ $\sigma_s = \dfrac{M}{Z} = \dfrac{260.054\times10^5}{14,310} = 1,817\ \text{kg/㎠} < \sigma_{sa} = 2,100\ \text{kg/㎠}$ ∴ O.K $\tau = \dfrac{S}{Aw} = \dfrac{86,542\times10^3}{120\times1.0} = 721\ \text{kg/㎠} < \tau_a = 1,200\ \text{kg/㎠}$ ∴ O.K	

⑥ 주형설계

【표 2.12】 백운1교(부산) 주형설계

구 분	내 용	비 고
해석 및 응력검토	1) Hanger (SWS 400) : 일반부  A = 291.2 ㎠ Iy = 348,164.3 cm^4 Iz = 41,677.6 cm^4 yy = 34.58 cm yz = 11.96 cm (1) 부재력(사하중+활하중)	

부 재	Fx(ton)	My (t.m)	비 고
C113	-121.167	-35.7488	압축력 최대

(2) 응력검토

- Z방향

$\sigma_n = \dfrac{F_x}{A} = \dfrac{-121.167\times10^3}{291.2} = -416.1\ \text{kg/㎠}$

▸허용압축응력

i) 국부좌굴에 대한 허용응력(도시. 3.2.2)

$\dfrac{by}{13.1} = \dfrac{24.4}{13.1} = 1.86 < tf = 2.0$ 이므로

σcal = 1,400 kg/㎠

ii) 국부좌굴을 고려하지 않는 허용응력 (도시 2.2.1)

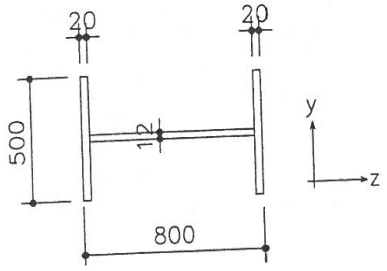
$20 < \dfrac{l2}{\gamma_Z} = 975/11.96 = 81.5 < 93$

$\sigma_{cag} = 1,400 - 8.4(\dfrac{l2}{\gamma_z} - 20) = 883.2\ \text{kg/㎠}$

$\therefore\ \sigma_{ca} = \sigma_{cag,}\ \sigma_{cal}/\sigma_{cao} = 883.2\ \text{kg/㎠}$

$\dfrac{\sigma_n}{\sigma_{ca}} = \dfrac{416.1}{883.2} = 0.47 < 1.0$ **O.K !!**

【표 2.12】 백운1교(부산) 주형설계(계속)

구 분	내 용	비 고
해석 및 응력검토	- Y방향 $\sigma_n = \frac{F_x}{A} = \frac{-121.167\times10^3}{291.2} = -416.1\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\sigma_n = \frac{M_x}{Iy} \cdot Zl = \frac{-35.488\times10^5}{348164.3}\times40.0 = -407.7\,\mathrm{kg/cm^2}$ ▸허용압축응력 i) 국부좌굴에 대한 허용응력(도시. 3.2.1) $\Phi = \frac{\sigma_1-\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{823.8-8.40}{823.8} = 0.990$ $f = 0.65\Phi^2 + 0.13\Phi + 1.0 = 1.766$ $\frac{bz}{39.6\times f} = \frac{76.0}{39.6\times1.766} = 1.087 < tw = 1.2\,\mathrm{cm}$ 이므로 σcal = 1,400 kg/㎠ ii) 국부좌굴을 고려하지 않는 허용응력 (도시 2.2.1) $20 < \frac{l2}{\gamma_Z} = 975/34.58 = 28.2 < 93$ 이므로 $\sigma_{cag} = 1{,}400 - 8.4(\frac{l2}{\gamma_z} - 20) = 1331.2\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore\ \sigma_{ca} = \sigma_{cag,}\sigma_{cal}/\sigma_{cao} = 1331.2\,\mathrm{kg/cm^2}$ - 허용휨 압축응력 $\frac{Aw}{Ac} = \frac{91.2}{100} = 0.912 \le 2.0$ $4.5 < \frac{ly}{b} = 975/50 = 19.5 < 30$ 이므로 $\sigma_{ma} = 1400 - 24(\frac{ly}{b} - 4.5) = 1040\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\frac{\sigma_n}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_{ma}} = \frac{416.1}{1331.2} + \frac{407.7}{1040.0} = 0.71 < 1.0$ **O.K !!** 2) Hanger (SWS 400) : 일반부  A = 291.2 ㎠ Iy = 348,164.3 cm^4 Iz = 41,677.6 cm^4 ɣy = 11.96 cm ɣz = 34.58 cm (1) 부재력(사하중+활하중)	

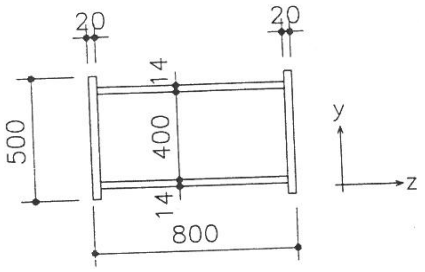
부 재	Fx(ton)	My (t.m)	비 고
C113	-88.986	-53.869	모멘트 최대

【표 2.12】 백운1교(부산) 주형설계(계속)

구 분	내 용	비 고
해석 및 응력검토	(2) 응력검토 - Z방향 $\sigma_n = \frac{F_x}{A} = \frac{-88.986\times10^3}{291.2} = -305.6\,\mathrm{kg/cm^2}$ ▸허용압축응력 ⅰ) 국부좌굴에 대한 허용응력(도시. 3.2.2) $\frac{by}{13.1} = \frac{24.4}{13.1} = 1.86 < tf = 2.0$ 이므로 σcal = 1,400 kg/㎠ ⅱ) 국부좌굴을 고려하지 않는 허용응력 (도시 2.2.1) $20 < \frac{l2}{\gamma_Z} = 975/11.96 = 81.5 < 93$ $\sigma_{cag} = 1{,}400 - 8.4(\frac{l2}{\gamma_z} - 20) = 883.2\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore\ \sigma_{ca} = \sigma_{cag}, \sigma_{cal}/\sigma_{cao} = 883.2\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\frac{\sigma_n}{\sigma_{ca}} = \frac{305.6}{883.2} = 0.35 < 1.0$ **O.K !!** - Y방향 $\sigma_n = \frac{F_x}{A} = -305.6\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\sigma_n = \frac{M_y}{I_y} \cdot Z = \frac{-53.869\times10^5}{348164.3}\times40.0 = -618.9\,\mathrm{kg/cm^2}$ ▸허용압축응력 ⅰ) 국부좌굴에 대한 허용응력(도시. 3.2.1) $\Phi = \frac{924.5-313.3}{924.5} = 1.339$ $f = 0.65\Phi^2 + 0.13\Phi + 1.0 = 2.339$ $\frac{bz}{39.6\times f} = \frac{76.0}{39.6\times2.339} = 0.082 < tw = 1.2\,\mathrm{cm}$ 이므로 σcal = 1,400 kg/㎠ ⅱ) 국부좌굴을 고려하지 않는 허용응력 (도시 2.2.1) $20 < \frac{l2}{\gamma_Z} = 28.2 < 93$ 이므로 $\sigma_{cag} = 1{,}400 - 8.4(\frac{l2}{\gamma_z} - 20) = 1331.2\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore\ \sigma_{ca} = \sigma_{cag}, \sigma_{cal}/\sigma_{cao} = 1331.2\,\mathrm{kg/cm^2}$ - 허용휨 압축응력 $\frac{Aw}{Ac} = \frac{91.2}{100} = 0.912 \le 2.0$ $4.5 < \frac{ly}{b} = 975/50 = 19.5 < 30$ 이므로 $\sigma_{ma} = 1400 - 24(\frac{ly}{b} - 4.5) = 1040\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\frac{\sigma_n}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_m}{\sigma_{ma}} = \frac{305.6}{1331.2} + \frac{618.9}{1040.0} = 0.83 < 1.25$ **O.K !!**	

【표 2.12】 백운1교(부산) 주형설계(계속)

구 분	내 용	비 고
해석 및 응력검토	3) Hanger (SWS 400) : 지점부	



A = 412.8 ㎠
Iy = 406,694.4 cm^4
Iz = 132,884.1 cm^4
ɣy = 31.4 cm
ɣz = 17.9 cm

(1) 부재력(사하중+활하중)

부 재	Fx(ton)	My (t.m)	비 고
C112	-209.188	-46.194	모멘트 최대

(2) 응력검토

- Z방향

$$\sigma_n = \frac{F_x}{A} = \frac{-209.188 \times 10^3}{418.8} = -506.8\,\mathrm{kg/cm^2}$$

▸허용압축응력

ⅰ) 국부좌굴에 대한 허용응력(도시. 3.2.2)

$$\frac{by}{39.6 \times f} = \frac{40.0}{39.6 \times 1.0} = 1.01 < tf = 2.0 \quad \text{이므로}$$

σcal = 1,400 kg/㎠

ⅱ) 국부좌굴을 고려하지 않는 허용응력 (도시 2.2.1)

$$93 < \frac{l_Z}{\gamma_Z} = 1675/17.9 = 93.575$$

$$\sigma_{cag} = \frac{12{,}000{,}000}{6700 + (\frac{l_Z}{\gamma_Z})^2} = 776.4\,\mathrm{kg/cm^2}$$

$$\therefore\ \sigma_{ca} = \sigma_{cag}, \sigma_{cal}/\sigma_{cao} = 776.4\,\mathrm{kg/cm^2}$$

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_{ca}} = \frac{506.8}{776.4} = 0.65 < 1.0 \qquad \textbf{O.K !!}$$

- Y방향

$$\sigma_n = \frac{F_x}{A} = -506.8\,\mathrm{kg/cm^2}$$

$$\sigma_n = \frac{M_y}{I_y} \cdot Z = \frac{-46.194 \times 10^5}{406694.3} \times 40.0 = -454.3\,\mathrm{kg/cm^2}$$

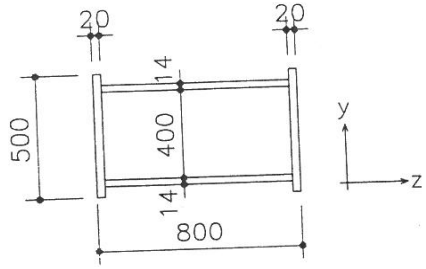
▸허용압축응력

ⅰ) 국부좌굴에 대한 허용응력(도시. 3.2.1)

$$\Phi = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_1} = \frac{961.1 - 52.5}{961.1} = 0.945$$

$$f = 0.65\Phi^2 + 0.13\Phi + 1.0 = 1.703$$

【표 2.12】 백운1교(부산) 주형설계(계속)

구 분	내 용	비 고
해석 및 응력검토	$\frac{bz}{39.6\times f}=\frac{76.0}{39.6\times 1.703}=1.127 < tw=1.4$㎝ 이므로 σcal = 1,400 kg/㎠ ii) 국부좌굴을 고려하지 않는 허용응력 (도시 2.2.1) $20 < \frac{l2}{\gamma_Z}=840/31.4=26.8<93$ 이므로 $\sigma_{cag}=1,400-24(\frac{l}{\gamma}-20)=1238.0\,\mathrm{kg/㎠}$ $\therefore\ \sigma_{ca}=\sigma_{cag,}\sigma_{cal}/\sigma_{cao}=1238.0\,\mathrm{kg/㎠}$ ▸허용휨 압축응력 $\sigma_{ma}=1400\,\mathrm{kg/㎠}$ $\frac{\sigma_n}{\sigma_{ca}}+\frac{\sigma_m}{\sigma_{ma}}=\frac{506.8}{1238.0}+\frac{454.3}{1400.0}=0.73<1.0$ O.K !! 4) Hanger (SWS 400) : 지점부  A = 412.8 ㎠ Iy = 406,694.4 cm^4 Iz = 132,884.1 cm^4 ɣy = 31.4 cm ɣz = 17.9 cm (1) 부재력(사하중+활하중)	

부 재	Fx(ton)	My (t.m)	비 고
C112	-246.112	6.662	압축력 최대

(2) 응력검토

- Z방향

$\sigma_n=\frac{F_x}{A}=\frac{-209.188\times 10^3}{412.8}=-596.2\,\mathrm{kg/㎠}$

▸허용압축응력

i) 국부좌굴에 대한 허용응력(도시. 3.2.2)

$\frac{by}{39.6\times f}=\frac{40.0}{39.6\times 1.0}=1.01 < tf=2.0$ 이므로

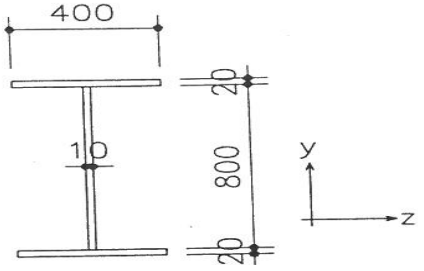
σcal = 1,400 kg/㎠

ii) 국부좌굴을 고려하지 않는 허용응력 (도시 2.2.1)

$93 < \frac{l_Z}{\gamma_Z}=1675/17.9=93.575$

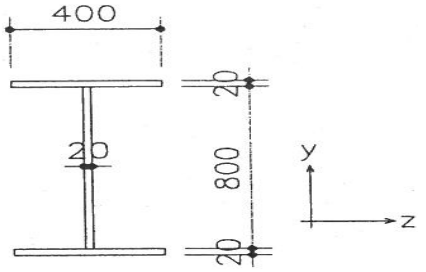
$\sigma_{cag}=\frac{12,000,000}{6700+(\frac{l_Z}{\gamma_Z})^2}=776.4\,\mathrm{kg/㎠}$

【표 2.12】 백운1교(부산) 주형설계(계속)

구 분	내 용	비 고
해석 및 응력검토	$\therefore\ \sigma_{ca}=\sigma_{cag,}\sigma_{cal}/\sigma_{cao}=776.4\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\frac{\sigma_n}{\sigma_{ca}}=\frac{596.2}{776.4}=0.77<1.25$ **O.K !!** - Y방향 $\sigma_n=\frac{F_x}{A}=-596.2\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\sigma_n=\frac{M_y}{I_y}\cdot Z=\frac{-6.662\times10^5}{406694.3}\times65.5=-81.3\,\mathrm{kg/cm^2}$ ▸허용압축응력 ⅰ) 국부좌굴에 대한 허용응력(도시. 3.2.1) $\Phi=\frac{\sigma_1-\sigma_2}{\sigma_1}=\frac{661.7-530.7}{661.1}=0.198$ $f=0.65\Phi^2+0.13\Phi+1.0=1.051$ $\frac{b}{39.6\times f}=1.826>t=1.4>\frac{b}{56\times f}=1.291$ 이므로 $\sigma_{cal}=2200000(\frac{t\cdot f}{b})^2=824.6\,\mathrm{kg/cm^2}$ ⅱ) 국부좌굴을 고려하지 않는 허용응력 (도시 2.2.1) $20<\frac{l2}{\gamma_Z}=840/31.4=26.8<93$ 이므로 $\sigma_{cag}=1{,}400-24(\frac{l}{\gamma}-20)=1238.0\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore\ \sigma_{ca}=\sigma_{cag,}\sigma_{cal}/\sigma_{cao}=729.2\,\mathrm{kg/cm^2}$ ▸허용휨 압축응력 $\sigma_{ma}=824.6\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\frac{\sigma_n}{\sigma_{ca}}+\frac{\sigma_m}{\sigma_{ma}}=\frac{596.2}{729.2}+\frac{65.5}{824.6}=0.90<1.25$ **O.K !!** 5) 하부 CROSS BEAM (SWS 520) : 일반부  A = 240.0 ㎠ Iy = 21,340.0 cm^4 Iz = 311,680.0 cm^4 ɣy = 9.4 cm ɣz = 36.0 cm (1) 부재력(사하중+활하중)	

부 재	Fx(ton)	My (t.m)	비 고
LC105	54.337	6.567	인장력 최대

【표 2.12】 백운1교(부산) 주형설계(계속)

구 분	내 용	비 고
해석 및 응력검토	(2) 응력검토 - 허용압축응력 $\sigma_{ta} = 2100\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\sigma_t = \frac{F_x}{A} + \frac{M_Z}{I} y = \frac{54.337\times10^3}{240.0} + \frac{6.567\times10^3}{311680} = 314.9\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\sigma_t = 314.9\,\mathrm{kg/cm^2} < 1.25\sigma_{ta} = 2100\,\mathrm{kg/cm^2}$ O.K !! ▸허용압축응력 ⅰ) 국부좌굴에 대한 허용응력(도시. 3.2.2) $\frac{by}{39.6\times f} = \frac{40.0}{39.6\times1.0} = 1.01 < tf = 2.0$ 이므로 σcal = 1,400 kg/㎠ ⅱ) 국부좌굴을 고려하지 않는 허용응력 (도시 2.2.1) $93 < \frac{l_Z}{\gamma_Z} = 1675/17.9 = 93.575$ $\sigma_{cag} = \frac{12{,}000{,}000}{6700 + (\frac{l_Z}{\gamma_Z})^2} = 776.4\,\mathrm{kg/cm^2}$ 6) 하부 CROSS BEAM (SWS 520) : 지점부  A = 320.0 ㎠ Iy = 21,386.7 cm^4 Iz = 354,346.7 cm^4 ɣy = 8.2 cm ɣz = 33.3 cm (1) 부재력(사하중+활하중)	

부 재	Fx(ton)	My (t.m)	비 고
LC111	-90.720	17.707	압축력 최대

(2) 허용압축응력
- Z축

$\frac{bz}{10.7} = \frac{19.0}{10.7} = 1.78 < tf = 2.0$

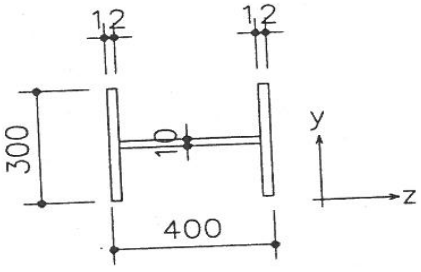
$\sigma_{cal} = 2100\,\mathrm{kg/cm^2}$

$14 < \frac{l_z}{\gamma_z} = \frac{1180}{32.3} = 35.4 < 76$

$\sigma_{cag} = 2100 - 15(\frac{l}{\gamma} - 14) = 1778\,\mathrm{kg/cm^2}$

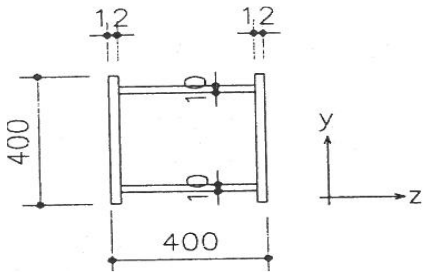
$\therefore\ \sigma_{ma} = 2100 - 44(\frac{l}{b} - 3.5) = 1561\,\mathrm{kg/cm^2}$

【표 2.12】 백운1교(부산) 주형설계(계속)

구 분	내 용	비 고
해석 및 응력검토	$\frac{A_w}{A_c}=\frac{160.0}{80.0}=2<2$ $3.5<\frac{l_z}{b}=\frac{630}{40}=15.75<27$ $\therefore\ \sigma_{ma}=2100-44(\frac{l}{b}-3.5)=1561\,\mathrm{kg/cm^2}$ - Y방향 $\Phi=\frac{\sigma_1-\sigma_2}{\sigma_1}=\frac{489.8-77.2}{489.8}=0.845$ $f=0.65\Phi^2+0.13\Phi+1.0=1.570$ $\frac{b}{32.4\times f}=\frac{80.0}{32.4\times 1.57}=1.573<t_w=2.0$ 이므로 $\sigma_{cal}=2100\,\mathrm{kg/cm^2}$ $14<\frac{l_y}{\gamma_y}=\frac{590}{8.2}=71.95<76$ 이므로 $\sigma_{cag}=2{,}100-15(\frac{l}{\gamma}-14)=1231.0\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore\ \sigma_{ca}=\sigma_{cag,}\sigma_{cal}/\sigma_{cao}=1231.0\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore\ \sigma_{ma}=1561.0\,\mathrm{kg/cm^2}$ (3) 응력검토 $\sigma_n=\frac{F_x}{A}=\frac{-90.720\times10^3}{320.0}=289.8\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\sigma_n=\frac{M_y}{I_y}\cdot y=\frac{17.707\times10^5}{354346.7}\times42.0=209.9\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\frac{\sigma_n}{\sigma_{ca}}+\frac{\sigma_m}{\sigma_{ma}}=\frac{289.3}{1231.0}+\frac{209.9}{1561.0}=0.37<1.15$ **O.K !!** 7) SWAY BRACING (H-TYPE, SWS 400)  A = 109.6 ㎠ Iy = 31,536.3 cm^4 Iz = 5,403.1 cm^4 yy = 17.0 cm yz = 7.0 cm (1) 부재력(사하중+활하중)	

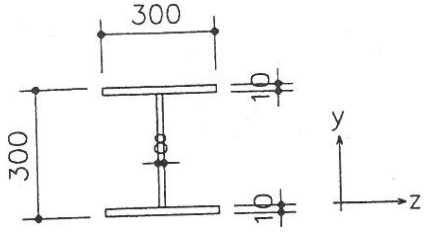
부 재	Fx(ton)	비 고
SB112	47.354	인장력 최대
SB211	-46.260	압축력 최대

【표 2.12】 백운1교(부산) 주형설계(계속)

구 분	내 용	비 고
해석 및 응력검토	(2) 허용압축응력 - 허용인장응력 $\sigma_{ta} = 1400\,\mathrm{kg/cm^2}$ - 허용압축응력 ▸Z축 $\frac{bz}{39.6\times f} = \frac{37.6}{39.6\times 1.0} = 0.95 < tw = 1.0$ $\sigma_{cal} = 1400\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\frac{l_z}{\gamma_z} = \frac{817.9}{7.0} = 116.8 < 93$ $\sigma_{cag} = \frac{12{,}000{,}000}{6700 + (\frac{l}{\gamma})^2} = 589.6\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore\ \sigma_{ca} = \sigma_{cag}, \sigma_{cal}/\sigma_{cao} = 589.6\,\mathrm{kg/cm^2}$ ▸Y방향 $\frac{by}{13.1} = \frac{14.6}{13.1} = 1.15 < tf = 1.2$ $\sigma_{cal} = 1400\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore\ \sigma_{ca} = \sigma_{cag}, \sigma_{cal}/\sigma_{cao} = 589.6\,\mathrm{kg/cm^2}$ $20 < \frac{l_y}{\gamma_y} = \frac{817.9}{17.0} = 48.1 < 93$ $\sigma_{cag} = 1{,}400 - 8.4(\frac{l}{\gamma} - 20) = 1163.9\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore\ \sigma_{ca} = \sigma_{cag}, \sigma_{cal}/\sigma_{cao} = 1163.9\,\mathrm{kg/cm^2}$ (3) 응력검토 - 인장력 최대일 경우 $\sigma_n = \frac{F_x}{A} = \frac{47.354\times 10^3}{109.6} = 432.1\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore \sigma_t = 432.1\,\mathrm{kg/cm^2} < 1.25\sigma_{ta} = 1750\,\mathrm{kg/cm^2}$ **O.K !!** - 압축력 최대일 경우 $\sigma_n = \frac{F_x}{A} = \frac{-46.260\times 10^3}{109.6} = 422.1\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore \sigma_t = 422.1\,\mathrm{kg/cm^2} < 1.25\sigma_{ta} = 737\,\mathrm{kg/cm^2}$ **O.K !!** 8) SWAY BRACING (H-TYPE, SWS 400)  A = 171.2 ㎠ Iy = 45,001.6 cm^4 Iz = 35,836.3 cm^4 ɣy = 16.2 cm ɣz = 14.5 cm	

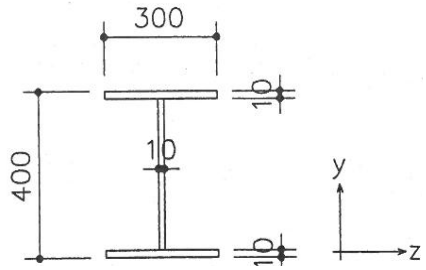
【표 2.12】 백운1교(부산) 주형설계(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>해석 및
응력검토</td><td>
(1) 부재력(사하중+활하중)
<table>
<tr><th>부 재</th><th>Fx(ton)</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>SB300</td><td>-19.021</td><td>압축력 최대</td></tr>
</table>
(2) 허용압축응력
- Z축
$\frac{bz}{39.6\times f}=\frac{37.6}{39.6\times 1.0}=0.949<tw=1.0$
$\sigma_{cal}=1400\,\mathrm{kg/cm^2}$
$20<\frac{l_z}{\gamma_z}=\frac{590.0}{14.5}=40.69<93$
$\sigma_{cag}=1{,}400-8.4(\frac{l}{\gamma}-20)=1226.2\,\mathrm{kg/cm^2}$
$\therefore\ \sigma_{ca}=\sigma_{cag,}\sigma_{cal}/\sigma_{cao}=1226.2\,\mathrm{kg/cm^2}$
- Y방향
$\frac{by}{39.6\times f}=\frac{34.0}{39.6\times 1.0}=0.859<tf=1.2$
$\sigma_{cal}=1400\,\mathrm{kg/cm^2}$
$20<\frac{l_y}{\gamma_y}=\frac{1180.0}{16.2}=72.84<93$
$\sigma_{cag}=1{,}400-8.4(\frac{l}{\gamma}-20)=956.1\,\mathrm{kg/cm^2}$
$\therefore\ \sigma_{ca}=\sigma_{cag,}\sigma_{cal}/\sigma_{cao}=956.1\,\mathrm{kg/cm^2}$
(3) 응력검토
$\sigma_n=\frac{F_x}{A}=\frac{-19.021\times 10^3}{171.2}=111.1\,\mathrm{kg/cm^2}$
$\therefore\sigma_t=111.1\,\mathrm{kg/cm^2}<1.25\sigma_{ca}=1195\,\mathrm{kg/cm^2}$ O.K !!

9) 상부 BRACING (SWS 400)


A = 82.4 ㎠
Iy = 4,501.2 cm^4
Iz = 14,083.5 cm^4
yy = 7.4 cm
yz = 13.2 cm
(1) 부재력(사하중+활하중)
<table>
<tr><th>부 재</th><th>Fx(ton)</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>UB112</td><td>24.324</td><td>인장력 최대</td></tr>
<tr><td>UB202</td><td>-17.038</td><td>압축력 최대</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.12】 백운1교(부산) 주형설계(계속)

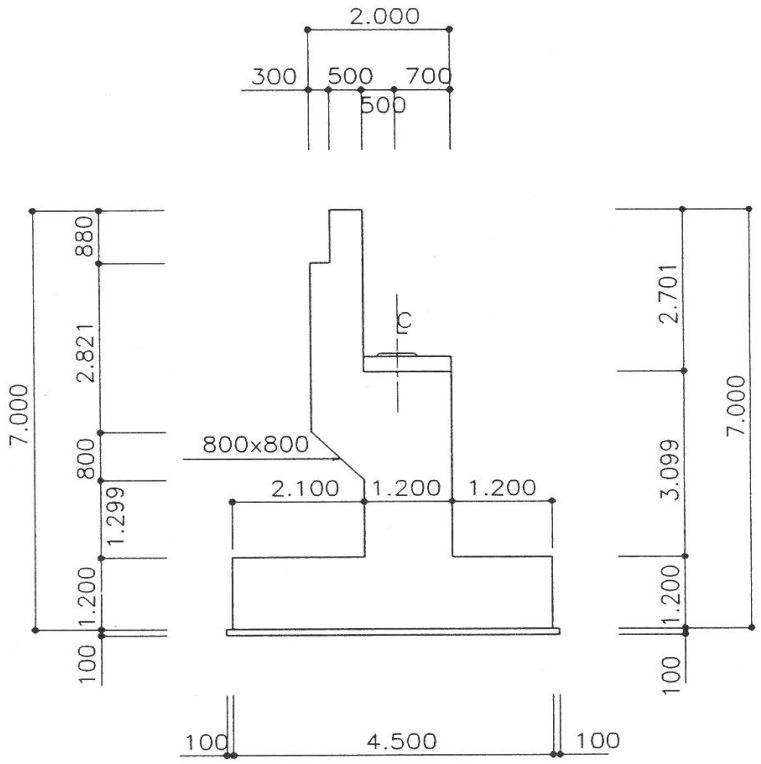
구 분	내 용	비 고
해석 및 응력검토	(2) 허용압축응력 - 허용인장응력 $\sigma_{ta} = 1400\,\mathrm{kg/cm^2}$ - 허용압축응력 ▸Z축 $\frac{bz}{16} = \frac{14.6}{16} = 0.913 < tf = 1.0 < \frac{bz}{13.1} = 1.115$ $\sigma_{cal} = 240000(\frac{t}{b})^2 = 1125.9\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\frac{l_z}{\gamma_z} = \frac{1237.4}{13.1} = 94.458 < 93$ $\sigma_{cag} = \frac{12{,}000{,}000}{6700 + (\frac{l}{\gamma})^2} = 768.0\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore\ \sigma_{ca} = \sigma_{cag,}\sigma_{cal}/\sigma_{cao} = 618.0\,\mathrm{kg/cm^2}$ ▸Y방향 $\frac{by}{39.6\times f} = \frac{28.0}{39.6\times 1.0} = 0.707 < tw = 0.8$ $\sigma_{cal} = 1400\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore\ \sigma_{ca} = \sigma_{cag,}\sigma_{cal}/\sigma_{cao} = 589.6\,\mathrm{kg/cm^2}$ $20 < \frac{l_y}{\gamma_y} = \frac{687.7}{7.4} = 83.6 < 93$ $\sigma_{cag} = 1{,}400 - 8.4(\frac{l}{\gamma} - 20) = 865.7\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore\ \sigma_{ca} = \sigma_{cag,}\sigma_{cal}/\sigma_{cao} = 865.7\,\mathrm{kg/cm^2}$ (3) 응력검토 $\sigma_c = \frac{F_x}{A} = \frac{-24.326\times 10^3}{82.4} = 295.2\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore \sigma_c = 295.2\,\mathrm{kg/cm^2} < 1.25\sigma_{ta} = 1750\,\mathrm{kg/cm^2}$ **O.K !!** $\sigma_c = \frac{F_x}{A} = \frac{-17.038\times 10^3}{82.4} = -206.8\,\mathrm{kg/cm^2}$ $\therefore \sigma_c = 206.8\,\mathrm{kg/cm^2} < 1.25\sigma_{ta} = 773\,\mathrm{kg/cm^2}$ **O.K !!** 10) 하부 BRACING (SWS 400)  A = 98.0 ㎠ Iy = 4,503.2 cm^4 Iz = 27,392.7 cm^4 ɣy = 6.8 cm ɣz = 16.7 cm	

【표 2.12】 백운1교(부산) 주형설계(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>해석 및
응력검토</td><td>
(1) 부재력(사하중+활하중)
<table>
<tr><th>부 재</th><th>Fx(ton)</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>LB112</td><td>-58.073</td><td>압축력 최대</td></tr>
</table>
(2) 허용압축응력
- Z축
$\frac{bz}{16}=\frac{14.5}{15}=0.906<tf=1.0<\frac{bz}{13.1}=1.107$
$\sigma_{cal}=240000(\frac{t}{b})^2=1141.5\,\mathrm{kg/cm^2}$
$20<\frac{l_z}{\gamma_z}=\frac{1327.6}{16.7}=79.5<93$
$\sigma_{cag}=1400-8.4(\frac{l}{\gamma}-20)=900.2\,\mathrm{kg/cm^2}$
$\therefore\ \sigma_{ca}=\sigma_{cag,}\sigma_{cal}/\sigma_{cao}=734.0\,\mathrm{kg/cm^2}$
- Y방향
$\frac{by}{39.6\times f}=\frac{38.0}{39.6\times 1.0}=0.960<tw=1.0$
$\sigma_{cal}=1400\,\mathrm{kg/cm^2}$
$\therefore\ \sigma_{ca}=\sigma_{cag,}\sigma_{cal}/\sigma_{cao}=589.6\,\mathrm{kg/cm^2}$
$20<\frac{l_y}{\gamma_y}=\frac{671.1}{6.8}=98.69<93$
$\sigma_{cag}=\frac{12{,}000{,}000}{6700+(\frac{l}{\gamma})^2}=730.0\,\mathrm{kg/cm^2}$
$\therefore\ \sigma_{ca}=\sigma_{cag,}\sigma_{cal}/\sigma_{cao}=730.0\,\mathrm{kg/cm^2}$
(3) 응력검토
$\sigma_c=\frac{F_x}{A}=\frac{-58.073\times 10^3}{98.0}=592.6\,\mathrm{kg/cm^2}$
$\therefore \sigma_c=592.6\,\mathrm{kg/cm^2}<1.25\sigma_{ta}=912\,\mathrm{kg/cm^2}$ O.K !!
</td><td></td></tr>
</table>

⑦ 교대

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계

구 분	내 용	비 고
단면가정	 Rd = (39.912+1.179)×2EA/14.200 = 5.689 t/m Rl = 56.754×2EA/14.200 = 7.994 t/m	
일반사항	• 교대높이 : 7.000 m • 저 판 폭 : 4.500 m • 저판길이 : 14.200 m	
설계조건	• 흙의 단위중량(γt) : 2.000 t/㎥ CON'C의 단위중량(γc) : 2.500 t/㎥ 흙의 내부마찰각(Φ) : 35.000 deg 흙의 점착력(c) : 0.000 t/㎡ 배면 연직 경사각 : 0.000 deg 노면 수평 경사각 : 0.000 deg • 기초바닥 N치 : 50.000 • 흙과 콘크리트의 마찰각 - 상시 안정검토시(RANKINE 토압사용) : 0.000 deg 단면검토시(COULOMB 토압사용, Φ/3) : 11.667 deg - 지진시 Mononobe Okabe 공식사용 : 0.000 deg 직접기초 - Kh = 0.5A 말뚝기초 - Kh = 1.0A 경사기초 - Kh = 1.5A	

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>설계조건</td><td>• CON'C의 설계강도 : 240.000 kg/㎠
철근의 설계강도 : 3,000.000 kg/㎠
• 과재하중 : 1.000 t/㎡
• 상부전달반력
사하중 반력 : 40.391 t/M
활하중 반력 : 596.784 t/M
• 지진시 수평력 : 2.827 t/M
• 설계 가속도계수 : 0.070
• SHOE 마찰계수 : 0.100
• 지하수위(저판 바닥에서) : -15.000m
• 저판 마찰계수
$\Phi = \sqrt{(15\times N)}+15 = 42.386$ deg
$\mu = \tan(2/3) = 0.537$</td><td></td></tr>
<tr><td>작용하중 계산 및 안정검토</td><td>RANKINE 토압계수 Ka = 0.271
지진시 토압계수 Ke = 0.290

(1) CASE-1 (상부공가설전, 수위고려, 활하중 비재하시)
<table>
<tr><th>항목</th><th>연직력
N(t)</th><th>수평력
H(t)</th><th>저항모멘트
Mx(t.m)</th><th>전도모멘트</th></tr>
<tr><td>교대 자중</td><td>31.144</td><td>0.000</td><td>70.544</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>흙자중</td><td>17.682</td><td>0.000</td><td>65.294</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>상부공하중</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>토압</td><td>0.000</td><td>15.175</td><td>0.000</td><td>37.622</td></tr>
<tr><td>지표재하</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>부력</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>48.826</td><td>15.175</td><td>135.838</td><td>37.622</td></tr>
</table>
전도에 대한 안전율 = 135.839 / 37.622 = 3.61
활동에 대한 안전율 = 26.244 / 15.175 = 1.73 > 1.5 O.K !!

(2) CASE-2 (상시, 수위무시, 활하중 재하시)
<table>
<tr><th>항목</th><th>연직력
N(t)</th><th>수평력
H(t)</th><th>저항모멘트
Mx(t.m)</th><th>전도모멘트</th></tr>
<tr><td>교대 자중</td><td>31.144</td><td>0.000</td><td>70.544</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>흙자중</td><td>17.682</td><td>0.000</td><td>65.294</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>상부공하중</td><td>97.145</td><td>4.039</td><td>184.575</td><td>18.979</td></tr>
<tr><td>토압</td><td>0.000</td><td>15.175</td><td>0.000</td><td>37.622</td></tr>
<tr><td>지표재하</td><td>1.600</td><td>0.000</td><td>5.929</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>147.571</td><td>19.214</td><td>326.334</td><td>56.602</td></tr>
</table>
전도에 대한 안전율 = 326.334 / 56.602 = 5.77
활동에 대한 안전율 = 79.318 / 19.215 = 4.13 > 1.5 O.K !!</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>작용하중
계산 및
안정검토</td><td>
(3) CASE-1 (상시, 수위무시, 활하중 비재하시)
<table>
<tr><th>항목</th><th>연직력
N(t)</th><th>수평력
H(t)</th><th>저항모멘트
Mx(t.m)</th><th>전도모멘트</th></tr>
<tr><td>교대 자중</td><td>31.144</td><td>0.000</td><td>70.544</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>흙자중</td><td>17.682</td><td>0.000</td><td>65.294</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>상부공하중</td><td>40.390</td><td>4.039</td><td>76.742</td><td>18.979</td></tr>
<tr><td>토압</td><td>0.000</td><td>15.175</td><td>0.000</td><td>37.622</td></tr>
<tr><td>지표재하</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>89.217</td><td>19.214</td><td>212.581</td><td>56.602</td></tr>
</table>
전도에 대한 안전율 = 212.581 / 56.602 = 3.76
활동에 대한 안전율 = 47.953 / 19.215 = 2.50 > 1.5 O.K !!

(4) CASE-2 (상시, 수위무시, 활하중 재하시)
<table>
<tr><th>항목</th><th>연직력
N(t)</th><th>수평력
H(t)</th><th>저항모멘트
Mx(t.m)</th><th>전도모멘트</th></tr>
<tr><td>교대 자중</td><td>31.144</td><td>2.180</td><td>70.544</td><td>5.144</td></tr>
<tr><td>흙자중</td><td>17.682</td><td>1.237</td><td>65.294</td><td>4.760</td></tr>
<tr><td>상부공하중</td><td>40.390</td><td>2.827</td><td>76.742</td><td>13.284</td></tr>
<tr><td>토압</td><td>0.000</td><td>14.198</td><td>0.000</td><td>33.128</td></tr>
<tr><td>지표재하</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>89.217</td><td>20.442</td><td>212.581</td><td>56.318</td></tr>
</table>
전도에 대한 안전율 = 212.581 / 56.318 = 3.77
활동에 대한 안전율 = 47.953 / 20.443 = 2.35 > 1.2 O.K !!

(5) CASE-2 (상시, 수위고려, 활하중 재하시)
<table>
<tr><th>항목</th><th>연직력
N(t)</th><th>수평력
H(t)</th><th>저항모멘트
Mx(t.m)</th><th>전도모멘트</th></tr>
<tr><td>교대 자중</td><td>31.144</td><td>0.000</td><td>70.544</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>흙자중</td><td>17.682</td><td>0.000</td><td>65.294</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>상부공하중</td><td>97.145</td><td>4.039</td><td>184.575</td><td>18.979</td></tr>
<tr><td>토압</td><td>0.000</td><td>15.175</td><td>0.000</td><td>37.622</td></tr>
<tr><td>지표재하</td><td>1.600</td><td>0.000</td><td>5.919</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>부력</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>147.571</td><td>19.214</td><td>326.334</td><td>56.602</td></tr>
</table>
전도에 대한 안전율 = 326.334 / 56.602 = 5.77
활동에 대한 안전율 = 79.318 / 19.215 = 4.13 > 1.5 O.K !!
</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>작용하중
계산 및
안정검토</td><td>
(3) CASE-3 (상시, 수위무시, 활하중 비재하시)
<table>
<tr><th>항목</th><th>연직력
N(t)</th><th>수평력
H(t)</th><th>저항모멘트
Mx(t.m)</th><th>전도모멘트</th></tr>
<tr><td>교대 자중</td><td>31.144</td><td>0.000</td><td>70.544</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>흙자중</td><td>17.682</td><td>0.000</td><td>65.294</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>상부공하중</td><td>40.390</td><td>4.039</td><td>76.742</td><td>18.979</td></tr>
<tr><td>토압</td><td>0.000</td><td>15.175</td><td>0.000</td><td>37.622</td></tr>
<tr><td>지표재하</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>89.217</td><td>19.214</td><td>212.581</td><td>56.602</td></tr>
</table>
전도에 대한 안전율 = 212.581 / 56.602 = 3.76
활동에 대한 안전율 = 47.953 / 19.215 = 2.50 > 1.5 O.K !!

(4) CASE-4 (상시, 수위무시, 활하중 재하시)
<table>
<tr><th>항목</th><th>연직력
N(t)</th><th>수평력
H(t)</th><th>저항모멘트
Mx(t.m)</th><th>전도모멘트</th></tr>
<tr><td>교대 자중</td><td>31.144</td><td>2.180</td><td>70.544</td><td>5.144</td></tr>
<tr><td>흙자중</td><td>17.682</td><td>1.237</td><td>65.294</td><td>4.760</td></tr>
<tr><td>상부공하중</td><td>40.390</td><td>2.827</td><td>76.742</td><td>13.284</td></tr>
<tr><td>토압</td><td>0.000</td><td>14.198</td><td>0.000</td><td>33.128</td></tr>
<tr><td>지표재하</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>89.217</td><td>20.442</td><td>212.581</td><td>56.318</td></tr>
</table>
전도에 대한 안전율 = 212.581 / 56.318 = 3.77
활동에 대한 안전율 = 47.953 / 20.443 = 2.35 > 1.2 O.K !!

(5) CASE-5 (상시, 수위고려, 활하중 재하시)
<table>
<tr><th>항목</th><th>연직력
N(t)</th><th>수평력
H(t)</th><th>저항모멘트
Mx(t.m)</th><th>전도모멘트</th></tr>
<tr><td>교대 자중</td><td>31.144</td><td>0.000</td><td>70.544</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>흙자중</td><td>17.682</td><td>0.000</td><td>65.294</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>상부공하중</td><td>97.145</td><td>4.039</td><td>184.575</td><td>18.979</td></tr>
<tr><td>토압</td><td>0.000</td><td>15.175</td><td>0.000</td><td>37.622</td></tr>
<tr><td>지표재하</td><td>1.600</td><td>0.000</td><td>5.919</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>부력</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>147.571</td><td>19.214</td><td>326.334</td><td>56.602</td></tr>
</table>
전도에 대한 안전율 = 326.334 / 56.602 = 5.77
활동에 대한 안전율 = 79.318 / 19.215 = 4.13 > 1.5 O.K !!
</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>작용하중
계산 및
안정검토</td><td>
(6) CASE-6 (상시, 수위무시, 활하중 비재하시)
<table>
<tr><th>항목</th><th>연직력
N(t)</th><th>수평력
H(t)</th><th>저항모멘트
Mx(t.m)</th><th>전도모멘트</th></tr>
<tr><td>교대 자중</td><td>31.144</td><td>0.000</td><td>70.544</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>흙자중</td><td>17.682</td><td>0.000</td><td>65.294</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>상부공하중</td><td>97.145</td><td>4.039</td><td>184.575</td><td>18.979</td></tr>
<tr><td>토압</td><td>0.000</td><td>15.175</td><td>0.000</td><td>37.622</td></tr>
<tr><td>지표재하</td><td>1.600</td><td>0.000</td><td>5.919</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>부력</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>147.571</td><td>19.214</td><td>326.334</td><td>56.602</td></tr>
</table>
전도에 대한 안전율 = 212.581 / 56.602 = 3.76
활동에 대한 안전율 = 47.953 / 19.215 = 2.50 > 1.5 O.K !!

(7) CASE-7 (지진시, 수위고려)
<table>
<tr><th>항목</th><th>연직력
N(t)</th><th>수평력
H(t)</th><th>저항모멘트
Mx(t.m)</th><th>전도모멘트</th></tr>
<tr><td>교대 자중</td><td>31.144</td><td>2.180</td><td>70.544</td><td>5.144</td></tr>
<tr><td>흙자중</td><td>17.682</td><td>1.237</td><td>65.294</td><td>4.760</td></tr>
<tr><td>상부공하중</td><td>40.390</td><td>2.827</td><td>76.742</td><td>13.284</td></tr>
<tr><td>토압</td><td>0.000</td><td>14.198</td><td>0.000</td><td>33.128</td></tr>
<tr><td>지표재하</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>부력</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>합계</td><td>89.217</td><td>20.442</td><td>212.581</td><td>56.318</td></tr>
</table>
전도에 대한 안전율 = 212.581 / 56.318 = 3.77
활동에 대한 안전율 = 47.953 / 20.443 = 2.35 > 1.2 O.K !!

(8) 지지력 계산 (실하중에 의한 값)
기초바닥 N치 : 50.000
흙의 단위중량 γt : 2.000 t/㎥
흙의 점착력 c : 0.000 t/㎡
기초의 저판폭 B : 4.500 m
기초의 유효근입깊이 Df : 1.200 m
</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>작용하중
계산 및
안정검토</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th>상부공
시공전</th><th colspan="3">지하수위 무시</th><th colspan="3">지하수위 고려</th></tr>
<tr><th>CASE-1
비재하시</th><th>CASE-2
재하시</th><th>CASE-3
비재하시</th><th>CASE-4
지진시</th><th>CASE-5
재하시</th><th>CASE-6
비재하시</th><th>CASE-7
지진시</th></tr>
<tr><td>연직력</td><td>48.826</td><td>147.571</td><td>89.217</td><td>89.217</td><td>147.571</td><td>89.217</td><td>89.217</td></tr>
<tr><td>수령력</td><td>15.175</td><td>19.214</td><td>19.214</td><td>20.442</td><td>19.214</td><td>19.214</td><td>20.442</td></tr>
<tr><td>편심량(e)</td><td>0.238</td><td>0.422</td><td>0.501</td><td>0.498</td><td>0.422</td><td>0.501</td><td>0.498</td></tr>
<tr><td>유효재하폭</td><td>4.023</td><td>3.655</td><td>3.496</td><td>3.502</td><td>3.655</td><td>3.496</td><td>3.502</td></tr>
<tr><td>유효
재하면적</td><td>57.127</td><td>51.909</td><td>49.651</td><td>49.742</td><td>51.909</td><td>49.651</td><td>49.742</td></tr>
<tr><td>변형계수(α)</td><td>1.084</td><td>1.077</td><td>1.073</td><td>1.074</td><td>1.077</td><td>1.073</td><td>1.074</td></tr>
<tr><td>변형계수(β)</td><td>0.471</td><td>0.474</td><td>0.475</td><td>0.475</td><td>0.474</td><td>0.475</td><td>0.475</td></tr>
<tr><td>Nc</td><td>132.255</td><td>132.255</td><td>132.255</td><td>132.255</td><td>132.255</td><td>132.255</td><td>132.255</td></tr>
<tr><td>Nq</td><td>125.204</td><td>125.204</td><td>125.204</td><td>125.204</td><td>125.204</td><td>125.204</td><td>125.204</td></tr>
<tr><td>Nr</td><td>194.461</td><td>194.461</td><td>194.461</td><td>194.461</td><td>194.461</td><td>194.461</td><td>194.461</td></tr>
<tr><td>극한지지력
Qu(t)</td><td>59,326.65</td><td>50,599.71</td><td>47,018.32</td><td>47,159.28</td><td>50,599.71</td><td>47,018.32</td><td>47,159.28</td></tr>
<tr><td>허용지지력
Qa(t)</td><td>19,775.55</td><td>16,866.57</td><td>15,672.77</td><td>23,579.64</td><td>16,866.57</td><td>15,672.77</td><td>23,579.64</td></tr>
</table>
(9) 외력의 계산 (실하중에 의한 값)
<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th>상부공
시공전</th><th colspan="3">지하수위 무시</th><th colspan="3">지하수위 고려</th></tr>
<tr><th>CASE-1
비재하시</th><th>CASE-2
재하시</th><th>CASE-3
비재하시</th><th>CASE-4
지진시</th><th>CASE-5
재하시</th><th>CASE-6
비재하시</th><th>CASE-7
지진시</th></tr>
<tr><td>기초폭</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td></tr>
<tr><td>교대길이</td><td>14.199</td><td>14.199</td><td>14.199</td><td>14.199</td><td>14.199</td><td>14.199</td><td>14.199</td></tr>
<tr><td>연직력</td><td>48.826</td><td>147.571</td><td>89.217</td><td>89.217</td><td>147.571</td><td>89.217</td><td>89.217</td></tr>
<tr><td>수평력</td><td>15.175</td><td>19.214</td><td>19.214</td><td>20.442</td><td>19.214</td><td>19.214</td><td>20.442</td></tr>
<tr><td>저항모멘트</td><td>135.838</td><td>326.334</td><td>212.581</td><td>212.581</td><td>326.334</td><td>212.581</td><td>212.581</td></tr>
<tr><td>전도모멘트</td><td>37.622</td><td>56.602</td><td>56.602</td><td>56.318</td><td>56.602</td><td>56.602</td><td>56.318</td></tr>
<tr><td>편심량</td><td>0.238</td><td>0.422</td><td>0.501</td><td>0.498</td><td>0.422</td><td>0.501</td><td>0.498</td></tr>
<tr><td>허용편심량</td><td>0.750</td><td>0.750</td><td>0.750</td><td>1.500</td><td>0.750</td><td>0.750</td><td>1.500</td></tr>
<tr><td>지반반력
작용폭</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td></tr>
<tr><td>최대지반
반력도</td><td>14.300</td><td>51.254</td><td>33.088</td><td>33.004</td><td>51.254</td><td>33.088</td><td>33.004</td></tr>
<tr><td>최소지반
반력도</td><td>7.400</td><td>14.333</td><td>6.563</td><td>6.647</td><td>14.333</td><td>6.563</td><td>6.647</td></tr>
<tr><td>허용지반
반력도</td><td>346.164
(60.0)</td><td>324.921
(60.0)</td><td>315.653
(60.0)</td><td>474.037
(90.0)</td><td>324.921
(60.0)</td><td>315.653
(60.0)</td><td>474.037
(90.0)</td></tr>
<tr><td>극한지지력
Qu(t)</td><td>1.729</td><td>4.128</td><td>2.495</td><td>2.345</td><td>4.128</td><td>2.495</td><td>2.345</td></tr>
<tr><td>허용지지력
Qa(t)</td><td>1.500</td><td>1.500</td><td>1.500</td><td>1.200</td><td>1.500</td><td>1.500</td><td>1.200</td></tr>
</table>
주) ( )는 최대지반반력 상한값 (도.교.시 4.7.3.1 참조)
</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>연직벽의
단면검토</td><td>
(1) 단면력 산정 (하중계수를 적용 : 극한하중)
<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>상 시</th><th>지 진 시</th></tr>
<tr><td colspan="2">토압계수</td><td>0.246</td><td>0.290</td></tr>
<tr><td rowspan="2">토 압</td><td>q_1 (h=0.000 m)</td><td>0.418</td><td>0.000</td></tr>
<tr><td>q_2 (h=5.800 m)</td><td>5.262</td><td>5.714</td></tr>
<tr><td rowspan="2">토압에 의한
단면력</td><td>Mu (t.m)</td><td>34.186</td><td>32.037</td></tr>
<tr><td>Su (t)</td><td>16.471</td><td>16.571</td></tr>
<tr><td rowspan="2">SHOE 마찰에
의한 단면력</td><td>Mu (t.m)</td><td>18.373</td><td></td></tr>
<tr><td>Su (t)</td><td>5.251</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">벽체 자중에
의한 관성력</td><td>Mu (t.m)</td><td></td><td>3.288</td></tr>
<tr><td>Su (t)</td><td></td><td>2.834</td></tr>
<tr><td rowspan="2">상부하중에
의한 관성력</td><td>Mu (t.m)</td><td></td><td>12.861</td></tr>
<tr><td>Su (t)</td><td></td><td>3.676</td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>Mu (t.m)</td><td>52.559</td><td>48.185</td></tr>
<tr><td>Su (t)</td><td>21.722</td><td>23.080</td></tr>
</table>
그러므로 설계모멘트 (Mu) = 52.559 t.m
설계전단력 (Su) = 23.080 t

(2) 단면검토
설계모멘트(Mu) = 5,255,897.500 kg.m
설계전단력(Su) = 23,080.371 kg
단위폭(B) = 100.0 cm
유효높이(D) = 110.0 cm
피복두께(D') = 10.0 cm
*** 소요철근량 계산 ***
설계모멘트(Mu) = 5,255,897.500 kg.m
평형모멘트(Mb) = $0.85\times\sigma_{ck}\times A\times B\times(D-A/2)\times 0.85$
= 85,545,312.000 kg.m
여기서, $A=K\times X=62.743$
$\sigma_{ck}<280$
K = 0.85
$\sigma_{ck}>280$
K = 0.85-(σck-280)×0.007/10
$X=6120\times D/(6120+\sigma y)=73.816$ ㎝
--- Mu < MB ---
인장철근량(As) = $M/(\sigma y\times(D-Ac/2)\times 0.85)=18.978$ ㎠
여기서, $A=(0.85\times\sigma_{ck}\times B\times D-\sqrt{(0.85\times\sigma_{ck}\times B\times D)^2}$
$-2\times\sigma_{ck}\times B\times M)/(0.85\times\sigma_{ck}\times B)=2.791$ ㎝
단면철근비(P) = As/(B/D) = 0.002
최대철근비(Pmax) = $0.75\times 0.85\times\sigma_{ck}\times A/(\sigma y\times D)=0.029$
최소철근비(Pmin) = $14/\sigma_y$ = 0.005
</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>연직벽의
단면검토</td><td>--- P < PMIN 인 경우 ---
최소철근량 : (1) 4/3 × As = 25.304 ㎠
(2) 14/SSY × B × D = 51.333 ㎠
최소철근량 Asmin = 25.304 ㎠
그러므로 As = D22 @12.5 = 31.00 ㎠
공칭모멘트 ΦMn = 0.85 × (As × σy × (D-A/2)
= 8,515,313.000 kg.cm
*** 전단력 검토 ***
설계전단력 Su = 23,080.371 kg
콘크리트 공칭전단력 Sc = 63,222.578 kg
Sc = 63,222.578 kg > Su = 23,080.371 kg
그러므로 STIRRUP이 필요없음.</td><td></td></tr>
<tr><td>기초
단면검토</td><td>(1) 지반반력산정 (하중계수를 적용 : 극한하중)
<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th>상부공
시공전</th><th colspan="3">지하수위 무시</th><th colspan="3">지하수위 고려</th></tr>
<tr><th>CASE-1
비재하시</th><th>CASE-2
재하시</th><th>CASE-3
비재하시</th><th>CASE-4
지진시</th><th>CASE-5
재하시</th><th>CASE-6
비재하시</th><th>CASE-7
지진시</th></tr>
<tr><td>기초폭</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td></tr>
<tr><td>교대길이</td><td>14.200</td><td>14.200</td><td>14.200</td><td>14.200</td><td>14.200</td><td>14.200</td><td>14.200</td></tr>
<tr><td>연직력</td><td>63.474</td><td>241.444</td><td>115.983</td><td>115.983</td><td>241.444</td><td>115.983</td><td>115.983</td></tr>
<tr><td>수평력</td><td>25.798</td><td>31.049</td><td>31.049</td><td>32.255</td><td>31.049</td><td>31.049</td><td>32.255</td></tr>
<tr><td>편심량</td><td>0.476</td><td>0.460</td><td>0.631</td><td>0.613</td><td>0.460</td><td>0.631</td><td>0.613</td></tr>
<tr><td>지반반력
작용폭</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td><td>4.500</td></tr>
<tr><td>최대지반
반력도</td><td>23.049</td><td>86.530</td><td>47.474</td><td>56.832</td><td>86.530</td><td>47.474</td><td>46.832</td></tr>
<tr><td>최소지반
반력도</td><td>5.162</td><td>20.778</td><td>4.074</td><td>4.716</td><td>20.778</td><td>4.074</td><td>4.716</td></tr>
</table>
(2) 기초의 단면력 산정(하중계수를 적용 : 극한하중)
<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">구분</th><th>상부공
시공전</th><th colspan="3">지하수위 무시</th><th colspan="3">지하수위 고려</th></tr>
<tr><th>CASE-1
비재하시</th><th>CASE-2
재하시</th><th>CASE-3
비재하시</th><th>CASE-4
지진시</th><th>CASE-5
재하시</th><th>CASE-6
비재하시</th><th>CASE-7
지진시</th></tr>
<tr><td rowspan="2">앞
FOOTING
단면력</td><td>Mu</td><td>15.451</td><td>58.094</td><td>31.404</td><td>31.024</td><td>58.094</td><td>31.404</td><td>31.024</td></tr>
<tr><td>Su</td><td>13.114</td><td>49.288</td><td>26.748</td><td>26.415</td><td>49.288</td><td>26.748</td><td>26.415</td></tr>
<tr><td rowspan="2">뒷
FOOTING
단면력</td><td>Mu</td><td>24.334</td><td>-26.518</td><td>17.981</td><td>17.006</td><td>-26.518</td><td>17.981</td><td>17.006</td></tr>
<tr><td>Su</td><td>27.644</td><td>-7.747</td><td>22.897</td><td>22.255</td><td>-7.747</td><td>22.897</td><td>22.255</td></tr>
</table></td><td></td></tr>
</table>

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

구 분	내 용	비 고
기초 단면검토	(3) 뒷굽판(HEEL)의 단면검토 설계모멘트(Mu) = 2,433,408.250 kg.m 설계전단력(Su) = 27,643.674 kg 단위폭(B) = 100.0 cm 유효높이(D) = 110.0 cm 피복두께(D') = 10.0 cm *** 소요철근량 계산 *** 설계모멘트(Mu) = 2,433,408.250 kg.m 평형모멘트(Mb) = $0.85\times\sigma_{ck}\times A\times B\times(D-A/2)\times0.85$ = 85,545,312.000 kg.m 여기서, $A=K\times X=62.743$ $\sigma_{ck}<280$ K = 0.85 $\sigma_{ck}>280$ K = 0.85-(σck-280)×0.007/10 $X=6120\times D/(6120+\sigma y)=73.816$ ㎝ --- Mu < MB --- 인장철근량(As) = $M/(\sigma y\times(D-Ac/2)\times0.85)=8.726$ ㎠ 여기서, $A=(0.85\times\sigma_{ck}\times B\times D-\sqrt{(0.85\times\sigma_{ck}\times B\times D)^2}$ $-2\times\sigma_{ck}\times B\times M)/(0.85\times\sigma_{ck}\times B)=1.283$ ㎝ 단면철근비(P) = As/(B/D) = 0.001 최대철근비(Pmax) = $0.75\times0.85\times\sigma_{ck}\times A/(\sigma y\times D)=0.029$ 최소철근비(Pmin) = $14/\sigma_y$ = 0.005 --- P < PMIN 인 경우 --- 최소철근량 : (1) 4/3 × As = 11.635 ㎠ (2) 14/SSY × B × D = 51.333 ㎠ 최소철근량 Asmin = 11.635 ㎠ 그러므로 As = D16 @12.5 = 15.90 ㎠ 공칭모멘트 ΦMn = 0.85 × (As × σy × (D-A/2) = 4,412,548.500 kg.cm *** 전단력 검토 *** 설계전단력 Su = 27,643.674 kg 콘크리트 공칭전단력 Sc = 63,222.578 kg Sc = 63,222.578 kg > Su = 27,643.674 kg 그러므로 STIRRUP이 필요없음.	

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

구 분	내 용	비 고
기초 단면검토	(4) 압굽판(TOE)의 단면검토 설계모멘트(Mu) = 5,809,356.500 kg.cm 설계전단력(Su) = 49,287.992 kg 단위폭(B) = 100.0 cm 유효높이(D) = 110.0 cm 피복두께(D') = 10.0 cm *** 소요철근량 계산 *** 설계모멘트(Mu) = 5,809,356.500 kg.m 평형모멘트(Mb) = $0.85\times\sigma_{ck}\times A\times B\times(D-A/2)\times0.85$ = 85,545,312.000 kg.m 여기서, $A=K\times X=62.743$ $\sigma_{ck}<280$ K = 0.85 $\sigma_{ck}>280$ K = 0.85-(σck-280)×0.007/10 $X=6120\times D/(6120+\sigma y)=73.816$ ㎝ --- Mu < MB --- 인장철근량(As) = $M/(\sigma y\times(D-Ac/2)\times0.85)=21.006$ ㎠ 여기서, $A=(0.85\times\sigma_{ck}\times B\times D-\sqrt{(0.85\times\sigma_{ck}\times B\times D)^2}$ $-2\times\sigma_{ck}\times B\times M)/(0.85\times\sigma_{ck}\times B)=3.059$ ㎝ 단면철근비(P) = As/(B/D) = 0.002 최대철근비(Pmax) = $0.75\times0.85\times\sigma_{ck}\times A/(\sigma y\times D)=0.029$ 최소철근비(Pmin) = $14/\sigma_y$ = 0.005 --- P < PMIN 인 경우 --- 최소철근량 : (1) 4/3 × As = 28.008 ㎠ (2) 14/SSY × B × D = 51.333 ㎠ 최소철근량 Asmin = 28.008 ㎠ 그러므로 As = D22 @12.5 = 31.00 ㎠ 공칭모멘트 ΦMn = 0.85 × (As × σy × (D-A/2) = 8,515,313.000 kg.cm *** 전단력 검토 *** 설계전단력 Su = 49,287.992 kg 콘크리트 공칭전단력 Sc = 63,222.578 kg Sc = 63,222.578 kg > Su = 49,287.992 kg 그러므로 STIRRUP이 필요없음.	

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>흉벽설계</td><td>
(1) 상부단면 설계
1-1) 단면력 계산 (극한하중)
a) 흉벽배면의 단면력 (상시)
* 차륜하중
모멘트 = 3.148 t.m
전단력 = 6.053 t
* 토 압
모멘트 = 0.093 t.m
전단력 = 0.317 t
b) 흉벽배면의 단면력 (지진시)
* 차륜하중
모멘트 = 0.044 t.m
전단력 = 0.100 t
* 토 압
모멘트 = 0.120 t.m
전단력 = 0.480 t
* 단면력 집계표
<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">구 분</th><th colspan="2">흉벽 배면</th></tr>
<tr><th>상 시</th><th>지진시</th></tr>
<tr><td rowspan="2">관성력</td><td>Mu (t.m)</td><td></td><td>0.044</td></tr>
<tr><td>Su (t)</td><td></td><td>0.100</td></tr>
<tr><td rowspan="2">차량 활하중</td><td>Mu (t.m)</td><td>3.148</td><td></td></tr>
<tr><td>Su (t)</td><td>6.053</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">토 압</td><td>Mu (t.m)</td><td>0.093</td><td>0.120</td></tr>
<tr><td>Su (t)</td><td>0.317</td><td>0.480</td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>Mu (t.m)</td><td>3.240</td><td>0.164</td></tr>
<tr><td>Su (t)</td><td>6.370</td><td>0.508</td></tr>
</table>
최대모멘트 = 3.240 t.m
최대전단력 = 6.370 t

1-2) 철근량 계산
설계모멘트(Mu) = 324,045.500 kg.cm
설계전단력(Su) = 6,369.708 kg
단위폭(B) = 100.0 cm
유효높이(D) = 42.0 cm
피복두께(D') = 8.0 cm
*** 소요철근량 계산 ***
설계모멘트(Mu) = 324,045.500 kg.m
평형모멘트(Mb) = $0.85\times\sigma_{ck}\times A\times B\times(D-A/2)\times 0.85$
= 12,471,232.000 kg.m
여기서, $A=K\times X=23.957$
$\sigma_{ck}<280$
K = 0.85
$\sigma_{ck}>280$
K = 0.85-(σck-280)×0.007/10
$X=6120\times D/(6120+\sigma y)=28.184$㎝
</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

구 분	내 용	비 고
흉벽설계	--- Mu < MB --- 인장철근량(As) = $M/(\sigma y \times (D - Ac/2) \times 0.85) = 3.042$ ㎠ 여기서, $A = (0.85 \times \sigma_{ck} \times B \times D - \sqrt{(0.85 \times \sigma_{ck} \times B \times D)^2 - 2 \times \sigma_{ck} \times B \times M})/(0.85 \times \sigma_{ck} \times B) = 0.447$ ㎝ 단면철근비(P) = As/(B/D) = 0.001 최대철근비(Pmax) = $0.75 \times 0.85 \times \sigma_{ck} \times A/(\sigma y \times D) = 0.029$ 최소철근비(Pmin) = $14/\sigma_y$ = 0.005 --- P < PMIN 인 경우 --- 최소철근량 : (1) 4/3 × As = 4.056 ㎠ (2) 14/SSY × B × D = 19.600 ㎠ 최소철근량 Asmin = 4.056 ㎠ 그러므로 As = D16 @12.5 = 15.90 ㎠ 공칭모멘트 ΦMn = 0.85 × (As × σy × (D-A/2) = 1,655,488.125 kg.cm *** 전단력 검토 *** 설계전단력 Su = 6,369.708 kg 콘크리트 공칭전단력 Sc = 24,139.527 kg Sc = 24,139.527 kg > Su = 6,369.708 kg 그러므로 STIRRUP이 필요없음. (2) 하부단면 설계 2-1) 단면력 계산 (극한하중) a) 흉벽배면의 단면력 (상시) * 차륜하중 모멘트 = 14.170 t.m 전단력 = 6.053 t * 토 압 모멘트 = 2.686 t.m 전단력 = 2.984 t b) 흉벽배면의 단면력 (지진시) * 차륜하중 모멘트 = 0.548 t.m 전단력 = 0.967 t * 토 압 모멘트 = 3.458 t.m 전단력 = 3.841 t	

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>흉벽설계</td><td>
* 단면력 집계표
<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">구 분</th><th colspan="2">흉벽 배면</th></tr>
<tr><th>상 시</th><th>지진시</th></tr>
<tr><td rowspan="2">흉벽자중에 의한 관성력</td><td>Mu (t.m)</td><td></td><td>0.548</td></tr>
<tr><td>Su (t)</td><td></td><td>0.967</td></tr>
<tr><td rowspan="2">차량 활하중</td><td>Mu (t.m)</td><td>14.170</td><td></td></tr>
<tr><td>Su (t)</td><td>6.053</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">토 압</td><td>Mu (t.m)</td><td>6.686</td><td>3.458</td></tr>
<tr><td>Su (t)</td><td>2.984</td><td>3.841</td></tr>
<tr><td rowspan="2">계</td><td>Mu (t.m)</td><td>16.856</td><td>4.006</td></tr>
<tr><td>Su (t)</td><td>9.037</td><td>4.807</td></tr>
</table>
최대모멘트 = 16.856 t.m
최대전단력 = 9.037 t

2-2) 철근량 계산
설계모멘트(Mu) = 1,685,647.750 kg.cm
설계전단력(Su) = 9,036.829 kg
단위폭(B) = 100.0 cm
유효높이(D) = 82.0 cm
피복두께(D') = 8.0 cm
*** 소요철근량 계산 ***
설계모멘트(Mu) = 1,685,647.750 kg.m
평형모멘트(Mb) = $0.85\times\sigma_{ck}\times A\times B\times(D-A/2)\times 0.85$
= 47,537,732.000 kg.cm
여기서, $A=K\times X=46.772$
$\sigma_{ck}<280$
K = 0.85
$\sigma_{ck}>280$
K = 0.85-(σck-280)×0.007/10
$X=6120\times D/(6120+\sigma y)=55.026$ ㎝
--- Mu < MB ---
인장철근량(As) = $M/(\sigma y\times(D-Ac/2)\times 0.85)=8.121$ ㎠
여기서, $A=(0.85\times\sigma_{ck}\times B\times D-\sqrt{(0.85\times\sigma_{ck}\times B\times D)^2}$
$-2\times\sigma_{ck}\times B\times M)/(0.85\times\sigma_{ck}\times B)=1.194$ ㎝
단면철근비(P) = As/(B/D) = 0.001
최대철근비(Pmax) = $0.75\times 0.85\times\sigma_{ck}\times A/(\sigma y\times D)=0.029$
최소철근비(Pmin) = $14/\sigma_y$ = 0.005
--- P < PMIN 인 경우 ---
최소철근량 : (1) 4/3 × As = 10.827 ㎠
(2) 14/SSY × B × D = 38.267 ㎠
최소철근량 Asmin = 10.827 ㎠
그러므로 As = D16 @12.5 = 15.90 ㎠
공칭모멘트 ΦMn = 0.85 × (As × σy × (D-A/2)
= 3,277,288.125 kg.cm
</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

구 분	내 용	비 고
흉벽설계	*** 전단력 검토 *** 설계전단력 Su = 9.036.829 kg 콘크리트 공칭전단력 Sc = 47,129.555 kg Sc = 47,129.555 kg > Su = 9,036.829 kg 그러므로 STIRRUP이 필요없음.	
날개벽 설계	정지토압을 사용함. 정지토압계수 Ko = 1-SIN(Θ) = 0.426 (1) a - b 단면계산 설계모멘트(Mu)= 2,111,019.500 kg.cm 설계전단력(Su) = 10,969.758 kg 단위폭(B) = 100.0 cm 유효높이(D) = 42.0 cm 피복두께(D') = 8.0 cm *** 소요철근량 계산 *** 설계모멘트(Mu) = 2,111,0149.500 kg.m 평형모멘트(Mb) = $0.85\times\sigma_{ck}\times A\times B\times(D-A/2)\times0.85$ = 12,471,232.000 kg.cm 여기서, $A=K\times X=46.772$ $\sigma_{ck}<280$ K = 0.85 $\sigma_{ck}>280$ K = 0.85-(σck-280)×0.007/10 $X=6120\times D/(6120+\sigma y)=28.184\,㎝$ --- Mu < MB --- 인장철근량(As) = $M/(\sigma y\times(D-Ac/2)\times0.85)=20.442\,㎠$ 여기서, $A=(0.85\times\sigma_{ck}\times B\times D-\sqrt{(0.85\times\sigma_{ck}\times B\times D)^2}$ $-2\times\sigma_{ck}\times B\times M)/(0.85\times\sigma_{ck}\times B)=3.006\,㎝$ 단면철근비(P) = As/(B/D) = 0.005 최대철근비(Pmax) = $0.75\times0.85\times\sigma_{ck}\times A/(\sigma y\times D)=0.029$ 최소철근비(Pmin) = $14/\sigma_y$ = 0.005 --- P < PMIN 인 경우 --- 인장철근량 (As) = 10.827 ㎠ 압축철근량 (Ass) = 38.267 ㎠ 그러므로 As = D19 @12.5 = 22.90 ㎠ 공칭모멘트 ΦMn = 0.85 × (As × σy × (D-A/2) = 2,354,263.250 kg.cm *** 전단력 검토 *** 설계전단력 Su = 10,969.758 kg 콘크리트 공칭전단력 Sc = 24,139.527 kg Sc = 24,139.527 kg > Su = 10,969.758 kg 그러므로 STIRRUP이 필요없음.	

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

구 분	내 용	비 고
날개벽 설계	(2) b - b 단면계산 설계모멘트(Mu) = 538,579.875 kg.cm 설계전단력(Su) = 7,181.065 kg 단위폭(B) = 100.0 cm 유효높이(D) = 42.0 cm 피복두께(D') = 8.0 cm *** 소요철근량 계산 *** 설계모멘트(Mu) = 538,579.875 kg.m 평형모멘트(Mb) = $0.85\times\sigma_{ck}\times A\times B\times(D-A/2)\times 0.85$ = 12,471,232.000 kg.cm 여기서, $A=K\times X=23.957$ $\sigma_{ck}<280$ K = 0.85 $\sigma_{ck}>280$ K = 0.85-(σck-280)×0.007/10 $X=6120\times D/(6120+\sigma y)=28.184\,㎝$ --- Mu < MB --- 인장철근량(As) = $M/(\sigma y\times(D-Ac/2)\times 0.85)=5.074\,㎠$ 여기서, $A=(0.85\times\sigma_{ck}\times B\times D-\sqrt{(0.85\times\sigma_{ck}\times B\times D)^2}$ $-2\times\sigma_{ck}\times B\times M)/(0.85\times\sigma_{ck}\times B)=0.746\,㎝$ 단면철근비(P) = As/(B/D) = 0.001 최대철근비(Pmax) = $0.75\times 0.85\times\sigma_{ck}\times A/(\sigma y\times D)=0.029$ 최소철근비(Pmin) = $14/\sigma_y$ = 0.005 --- P < PMIN 인 경우 --- 최소철근량 : (1) 4/3 × As = 6.765 ㎠ (2) 14/SSY × B × D = 19.600 ㎠ 최소철근량 Asmin = 6.765 ㎠ 그러므로 As = 6.765 이상 사용하여야 함. 그러므로 As = D16 @12.5 = 15.90 ㎠ 공칭모멘트 ΦMn = 0.85 × (As × σy × (D-A/2) = 1,655,488.125 kg.cm *** 전단력 검토 *** 설계전단력 Su = 7,181.065 kg 콘크리트 공칭전단력 Sc = 24,139.527 kg Sc = 24,139.527 kg > Su = 7,181.065 kg 그러므로 STIRRUP이 필요없음. (3) b - c 단면계산 설계모멘트(Mu) = 807,869.813 kg.cm 설계전단력(Su) = 10,771.598 kg 단위폭(B) = 100.0 cm 유효높이(D) = 42.0 cm 피복두께(D') = 8.0 cm	

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

구 분	내 용	비 고
날개벽 설계	*** 소요철근량 계산 *** 설계모멘트(Mu) = 807,869.813 kg.m 평형모멘트(Mb) = $0.85\times\sigma_{ck}\times A\times B\times(D-A/2)\times0.85$ = 12,471,232.000 kg.cm 여기서, $A=K\times X=23.957$ $\sigma_{ck}<280$ K = 0.85 $\sigma_{ck}>280$ K = 0.85-(σck-280)×0.007/10 $X=6120\times D/(6120+\sigma y)=28.184$㎝ --- Mu < MB --- 인장철근량(As) = $M/(\sigma y\times(D-Ac/2)\times0.85)=7.645$㎠ 여기서, $A=(0.85\times\sigma_{ck}\times B\times D-\sqrt{(0.85\times\sigma_{ck}\times B\times D)^2}$ $-2\times\sigma_{ck}\times B\times M)/(0.85\times\sigma_{ck}\times B)=1.124$㎝ 단면철근비(P) = As/(B/D) = 0.002 최대철근비(Pmax) = $0.75\times0.85\times\sigma_{ck}\times A/(\sigma y\times D)=0.029$ 최소철근비(Pmin) = $14/\sigma_y$ = 0.005 --- P < PMIN 인 경우 --- 최소철근량 : (1) 4/3 × As = 10.194 ㎠ (2) 14/SSY × B × D = 19.600 ㎠ 최소철근량 Asmin = 10.194 ㎠ 그러므로 As = 6.765 이상 사용하여야 함. 그러므로 As = D16 @12.5 = 15.90 ㎠ 공칭모멘트 ΦMn = 0.85 × (As × σy × (D-A/2) = 1,655,488.125 kg.cm *** 전단력 검토 *** 설계전단력 Su = 10,771.598 kg 콘크리트 공칭전단력 Sc = 24,139.527 kg Sc = 24,139.527 kg > Su = 10,771.598 kg 그러므로 STIRRUP이 필요없음. (4) c - d 단면계산 설계모멘트(Mu)= 889,423.438 kg.cm 설계전단력(Su) = 11,858.979 kg 단위폭(B) = 100.0 cm 유효높이(D) = 42.0 cm 피복두께(D') = 8.0 cm *** 소요철근량 계산 *** 설계모멘트(Mu) = 807,869.813 kg.m 평형모멘트(Mb) = $0.85\times\sigma_{ck}\times A\times B\times(D-A/2)\times0.85$ = 12,471,232.000 kg.cm	

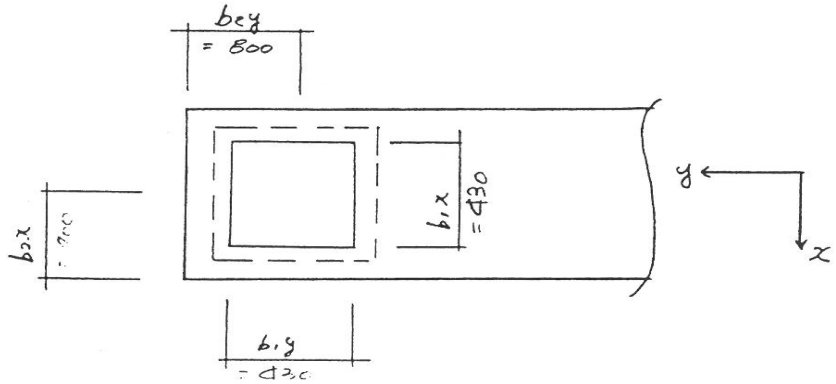
【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

구 분	내 용	비 고
날개벽 설계	여기서, $A = K \times X = 23.957$ $\sigma_{ck} < 280$ K = 0.85 $\sigma_{ck} > 280$ K = 0.85-(σck-280)×0.007/10 $X = 6120 \times D/(6120 + \sigma y) = 28.184$ ㎝ --- Mu < MB --- 인장철근량(As) = $M/(\sigma y \times (D - Ac/2) \times 0.85) = 8.429$ ㎠ 여기서, $A = (0.85 \times \sigma_{ck} \times B \times D - \sqrt{(0.85 \times \sigma_{ck} \times B \times D)^2}$ $-2 \times \sigma_{ck} \times B \times M)/(0.85 \times \sigma_{ck} \times B) = 1.240$ ㎝ 단면철근비(P) = As/(B/D) = 0.002 최대철근비(Pmax) = $0.75 \times 0.85 \times \sigma_{ck} \times A/(\sigma y \times D) = 0.029$ 최소철근비(Pmin) = $14/\sigma_y$ = 0.005 --- P < PMIN 인 경우 --- 최소철근량 : (1) 4/3 × As = 11.239 ㎠ (2) 14/SSY × B × D = 19.600 ㎠ 최소철근량 Asmin = 11.239 ㎠ 그러므로 As = 6.765 이상 사용하여야 함. 그러므로 As = D16 @12.5 = 13.30 ㎠ 공칭모멘트 ΦMn = 0.85 × (As × σy × (D-A/2) = 1,391,263.125 kg.cm *** 전단력 검토 *** 설계전단력 Su = 11,858.979 kg 콘크리트 공칭전단력 Sc = 24,139.527 kg Sc = 24,139.527 kg > Su = 11,858.979 kg 그러므로 STIRRUP이 필요없음. (5) c - d 단면계산 설계모멘트(Mu)= 818,927.500 kg.cm 설계전단력(Su) = 6,258.136 kg 단위폭(B) = 100.0 cm 유효높이(D) = 42.0 cm 피복두께(D') = 8.0 cm *** 소요철근량 계산 *** 설계모멘트(Mu) = 818,927.500 kg.m 평형모멘트(Mb) = $0.85 \times \sigma_{ck} \times A \times B \times (D - A/2) \times 0.85$ = 12,471,232.000 kg.cm	

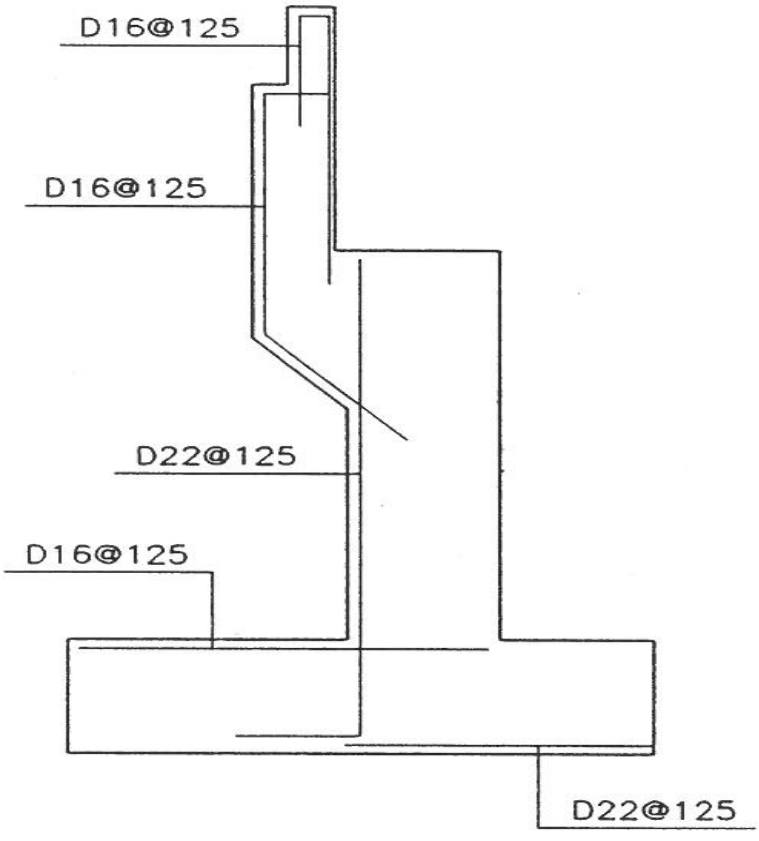
【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

구 분	내 용	비 고
날개벽 설계	여기서, $A = K \times X = 23.957$ $\sigma_{ck} < 280$ K = 0.85 $\sigma_{ck} > 280$ K = 0.85-(σck-280)×0.007/10 $X = 6120 \times D/(6120 + \sigma y) = 28.184$ ㎝ --- Mu < MB --- 인장철근량(As) = $M/(\sigma y \times (D - Ac/2) \times 0.85) = 7.752$ ㎠ 여기서, $A = (0.85 \times \sigma_{ck} \times B \times D - \sqrt{(0.85 \times \sigma_{ck} \times B \times D)^2}$ $-2 \times \sigma_{ck} \times B \times M)/(0.85 \times \sigma_{ck} \times B) = 1.140$ ㎝ 단면철근비(P) = As/(B/D) = 0.002 최대철근비(Pmax) = $0.75 \times 0.85 \times \sigma_{ck} \times A/(\sigma y \times D) = 0.029$ 최소철근비(Pmin) = $14/\sigma_y$ = 0.005 --- P < PMIN 인 경우 --- 최소철근량 : (1) 4/3 × As = 10.335 ㎠ (2) 14/SSY × B × D = 19.600 ㎠ 최소철근량 Asmin = 10.335 ㎠ 그러므로 As = 6.765 이상 사용하여야 함. 그러므로 As = D19 @25.0 = 13.30 ㎠ 공칭모멘트 ΦMn = 0.85 × (As × σy × (D-A/2) = 1,391,263.125 kg.cm *** 전단력 검토 *** 설계전단력 Su = 6,258.136 kg 콘크리트 공칭전단력 Sc = 24,139.527 kg Sc = 24,139.527 kg > Su = 6,258.136 kg 그러므로 STIRRUP이 필요없음.	
교좌장치 하면 보강철근 계산	(1) 검토조건 - 연직하중 : 40.391+56.754 = 97.145 ton - 수평하중 ▸교축방향 (온도하중) : 40.652 ton ▸교축직각방향 (풍하중) : 43.652 ton - 교량지간 : 50.380 m (2) 연단거리 검토 S = 20+0.5L = 20+0.5 × 50.380 = 45.19 < 48.50 ∴ O.K !!! (3) 교좌장치 하면 보강철근 - 연직하중에 의한 수평철근량 : 지압력에 의한 인장응력 발생에 따른 보강 ▸bcx.bcy (지압력의 분포폭)	

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

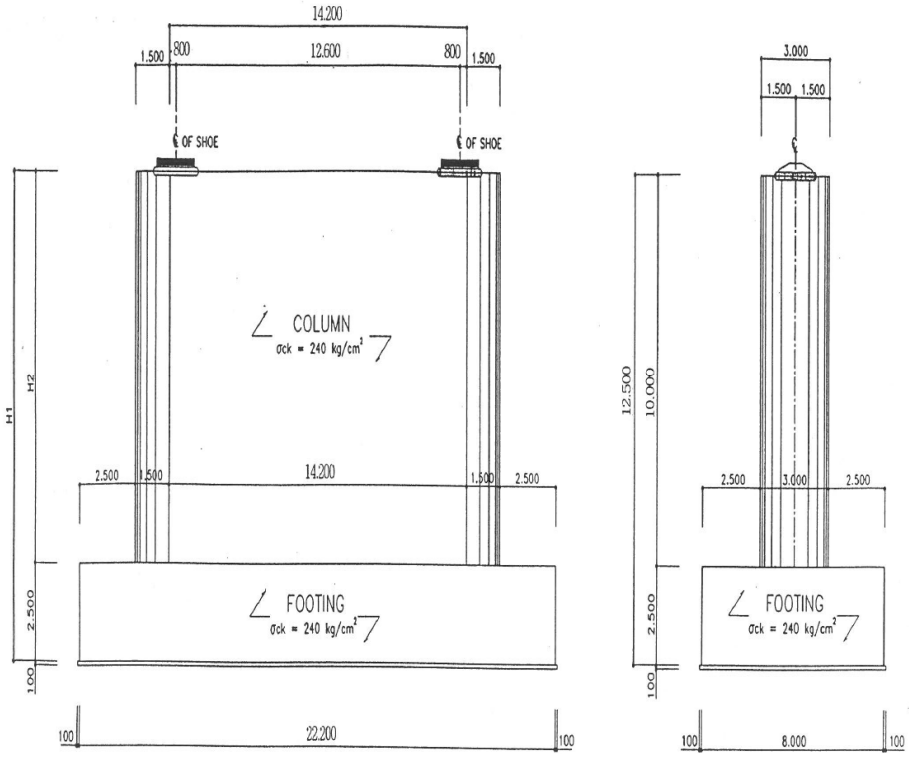
구 분	내 용	비 고
교좌장치 하면 보강철근 계산	 ▸ b_{lx} = 430 mm, b_{2x} = 700 mm ▸ b_{lx} = 430 mm, b_{2x} = 800 mm ▸ $bc_x = 2 \times b_{2x} = 2\times70 = 140$ cm $< 5 \times b_{lx} = 215$ cm ▸ $bcy = 2 \times b_{2y} = 2\times70 = 160$ cm $< 5 \times b_{ly} = 215$ cm ∴ bc_x = 140 cm bc_y = 160 cm ▸ 보강철근량 $Asx1 = 1/4\times(1-b_{ix}/b_{cx})\times P/\sigma_{sa}$ $= 1/4\times(1-43/140)\times97.145\times10^3/1500$ $= 11.218$ ㎠ (교축방향) $Asy1 = 1/4\times(1-b_{iy}/b_{cy})\times P/\sigma_{sa}$ $= 1/4\times(1-43/140)\times97.145\times10^3/1500$ $= 11.840$ ㎠ (교축방향) - 수평하중에 의한 수평방향 철근량 ▸ 교축방향 $A_{SX2} = H_S/\sigma_{sa} = 40.652\times10^3/1500$ $= 27.101$ ㎝ ▸ 교축방향 $A_{sy2} = H_S/\sigma_{sa} = 40.652\times10^3/1500$ $= 29.101$ ㎝ - 철근 보강 범위 $x_o = b_{1x} + b_{2y} = 43+80 = 123$ ㎝ $y_o = b_{1y} + b_{2x} = 43+70 = 113$ ㎝ ∴ 교축방향 Xo = 113 ㎝ 교축직각방향 Yo = 123 cm - 철근배근 ▸ 교축방향 $A_{sx} = A_{SX1} + A_{SX2} = 11.218+27.101 = 38.319$ ㎠ ▸ 교축방향 철근 배치폭 yo=120 cm 범위내에 D22 @ 100간격으로 배치 As = 3.871×12 = 46.452 ㎠	

【표 2.13】 백운1교(부산) 교대설계(계속)

구 분	내 용	비 고
교좌장치 하면 보강철근 계산	▸교축직각방향 $A_{sy} = A_{sy1} + A_{sy2} = 11.840 + 29.101 = 40.941$ ㎠ ▸교축방향 철근 배치폭 xo=140 cm 범위내에 D22 @ 100간격으로 배치 As = 3.871×14 = 54.194 ㎠ - 교좌받침 콘크리트 보강철근 ▸보강개념 수평하중에 의한 교각받침과 하부구조로 상면사이의 전단력에 대하여 수직철근의 전달마찰로 저항 ▸보강철근량 ⅰ) 온도하중에 대한 보강철근량 $A_{s1} = H/\sigma_{sa} = 40.652 \times 10^3/(1500 \times 1.15)$ $= 23.566$ ㎝ ⅱ) 풍하중에 대한 보강철근량 $A_{s2} = H/\sigma_{sa} = 40.652 \times 10^3/(1500 \times 1.25)$ $= 25.306$ ㎝ ※ As1 과 As2 중 큰값 적용 As = 250.306 ㎠ → USE D22 - 14 As = 54.194 ㎠  주철근 조립도	

⑧ 교각

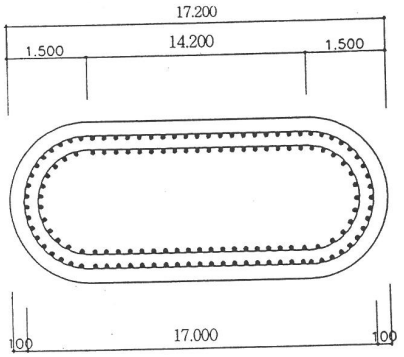
【표 2.14】 백운1교(부산) 교각설계

구 분	내 용	비 고
설계조건	• 개 요 (1) 구조물형식 : 벽체식 RC 교각(H=12.5m) (2) 기초형식 : 직접기초 (3) 상부구조형식 : 3경간 연속 ARCH교 (4) 교량폭 : 12.600m • 설계기준 (1) 도로교 및 콘크리트 표준시방서 (2) 재료의 성질 - 콘크리트 : σck = 240kg/㎠ - 철근(SD30) : σy = 3,000kg/㎠ (3) 설계하중 - 차량하중 : DB-24, DL-24 - 충격계수 : $i = \frac{15}{14+L} \leq 0.30$ - 사하중 ▸철근콘크리트 : 2.50 t/㎥ ▸토사 : 2.00 t/㎥	
단면가정		

【표 2.14】 백운1교(부산) 교각설계(계속)

구 분	내 용	비 고
하중산정	• 상부하중(상부구조계산서 참조) Rd_1 = Rd_2 = 813.035 ton $R\ell_1$ = 249.9647 ton $R\ell_2$ = 179.591 ton • 교각자중 ① (1/4 × π × 3.002 × 10.00 + 14.20 × 3.00 × 10.00) × 2.50 = 1241.715ton ② 22.60 × 8.00 × 2.50 × 2.5 = 1130.0 ton 계 : 2371.715ton • 수평력(교축방향)-가동단 (1) 등가 수평력(PH_1) 수평변위 δ = α · ΔT · L = 1.2×10^{-5} × 25 × 50 = 0.015m - $\delta = \frac{PH_1 \times H^3}{3EI}$ $\therefore\ PH_1 = \frac{3EI}{H^3}\times 0.015$ $= \frac{3\times 2.60\times 10^6 \times 35.926}{10.0^3}\times 0.015 = 4203.342\,\text{ton}$ $E = 4270\times 2.5^{1.5}\times\sqrt{240} = 2.6\times10^6$ t/㎡ $I = \pi/64\times\pi\times 3.0^4 + 1/12\times 14.20\times 3.0^3$ = 35.926 m^4 (2) SHOE 마찰에 의한 수평력 (PH_2) PH2 = 813.035 × 2EA × 0.05 = 81.304 ton (3) 그러므로 PH=min (PH_1, PH_2) = 81.304 ton • 풍하중 - 상부구조 ▶Pw_1 = 88.687 + 88.582 = 177.539 ton (활하중 비재하시) ▶Pw_1' = 42.860 + 44.443 = 87.303 ton (활하중 재하시) • 지진하중(도.시 p1300 참조) RE = 813.035 × 2EA × 0.20 ÷ **3** 응답수정계수, 단수 = 108.405 ton	
하중재하	• CASE 1 : 1.3D + 2.15L • CASE 2 : 1.3D + 1.3W • CASE 3 : 1.3D + 1.3L + 0.65W (활하중 재하시) • CASE 4 : 1.3D + 1.3L + 1.3G (G : 교축방향) • CASE 5 : 1.3D + 1.3E	

【표 2.14】 백운1교(부산) 교각설계(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>하중집계</td><td>
<table>
<tr><th>구 분</th><th>작용방향</th><th>Hu</th><th>Vu</th><th>Mu</th></tr>
<tr><td>CASE1</td><td>교축직각</td><td>0</td><td>4650.983</td><td>0.00</td></tr>
<tr><td>CASE2</td><td>교축직각</td><td>230.801</td><td>3728.121</td><td>2308.010</td></tr>
<tr><td>CASE3</td><td>교축직각</td><td>56.747</td><td>4286.130</td><td>567.470</td></tr>
<tr><td rowspan="3">CASE4</td><td>교축직각</td><td>0</td><td>4286.130</td><td>0.00</td></tr>
<tr><td>교축방향</td><td>105.695</td><td>4286.130</td><td>1056.950</td></tr>
<tr><td>양방향</td><td></td><td>4288.630</td><td>1056.950</td></tr>
<tr><td>CASE5</td><td>교축방향</td><td>140.927</td><td>2113.891</td><td>1409.270</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td>기둥설계</td><td>
• 설계단면


Ag = π/4×300+300×1420.0=496685.8㎠
As min = 0.01 Ag = 4966.86㎠
사용철근 D32-704EA
As=5845.3㎠
$P = \frac{5845.3}{496,685.8} = 0.012 > 0.01$
- 높이 : H = 1650.0cm
- 폭 : B = 300.0cm
- 피복두께 : d' = 15.0cm
- 면적 : Ag = 495000.2㎠
- 단면2차모멘트 : Ig = 1123.031 cm^4
- 길이 : Lu = 10.0m
- 철근비 : Rho = 0.012
- 전체철근량 : Ast = 5845.200 ㎠
- 인장철근량 : As = 1461.300 ㎠
- 압축철근량 : As' = 1461.300 ㎠
<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th colspan="2">설계하중</th><th rowspan="2">Pn'</th><th rowspan="2">장주여부</th><th rowspan="2">비고</th></tr>
<tr><th>Pu(TON)</th><th>Mu(T-M)</th></tr>
<tr><td>CASE1</td><td>4,650.983</td><td>0.001</td><td>70,948.54</td><td>단주</td><td>O.K</td></tr>
<tr><td>CASE2</td><td>3,728.121</td><td>2308.010</td><td>70,948.54</td><td>단주</td><td>O.K</td></tr>
<tr><td>CASE3</td><td>4,286.130</td><td>567.470</td><td>70,948.54</td><td>단주</td><td>O.K</td></tr>
<tr><td>CASE4</td><td>4,286.130</td><td>1,056.950</td><td>70,948.54</td><td>장주</td><td>O.K</td></tr>
<tr><td>CASE5</td><td>2,113.891</td><td>1,409.270</td><td>70,948.54</td><td>장주</td><td>O.K</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.14】 백운1교(부산) 교각설계(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>FOOTING
설계</td><td>
• 작용하중
(1) 지지력 검토용
- 활하중 재하시
P = ΣRD+L + 기둥자중 + 기초자중
= 813.035 × 2EA + 249.647 + 179.591 + 1,241.715 + 1,130.0
= 4,427.023 ton
M=870.303 × 12.500 = 1,091.288 T.m
- 활하중 비재하시
P = ΣRD+L + 기둥자중 + 기초자중
= 813.035 × 2EA + 1,241.715 + 1,130.0
= 3,997.785 ton
M = 177.539 × 12.500 = 2,219.238 T.M
(2) FOOTING 설계용
- 교축직각방향(CASE 3)
P = 4,286.130 + 1.3 × 1,130.0 = 5,755.130 ton
M = 567.470 + 56.747 × 2.50 = 709.338 T.M
- 교축직각방향(CASE 4)
P = 4,286.130 + 1.3 × 1,130.0 = 5,755.130 ton
M = 1,056.950 + 105.695 × 2.50 = 1,321.188 T.M
• 지지력 검토
<table>
<tr><th>구 분</th><th>P(ton)</th><th>M(t.m)</th><th>qmin(t/㎡)</th><th>qmax(t/㎡)</th><th>qa(t/㎡)</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>활하중 재하시</td><td>4,427.023</td><td>1,091.288</td><td>23.263</td><td>26.591</td><td>50</td><td>O.K</td></tr>
<tr><td>활하중 비재하시</td><td>3,997.785</td><td>2,219.238</td><td>19.134</td><td>25.887</td><td>50</td><td>O.K</td></tr>
</table>
• 지반 지지력 산정
Qu = A'[a · C · Nc + q · Nq + βγ1B'Nr]
여기서 Qu : 하중의 편심을 고려한 지반의 극한 지지력(TON)
C : 지반의 점착력 (t/㎡)
A' : 유효재하면적 (㎡)
γ1, γ2 : 지지지반 및 근입지반의 단위중량(t/㎡)
B : 기초의 폭(m)
B : 기초의 폭(m)
eB : 하중의 편심량 = B/6 = 3.700m(최대 편심때 고려)
Df : 기초의 유효 근입깊이(m)
α, β : 기초의 형상계수
Nc, Nq, Nr : 지지력 계수
A' = B' · L = 14.800×8.0 = 118.400㎡
α : 1+0.3 × B/L = 1.795
C = 0
q = 0
β = 0.5-0.1×B/L = 0.5-0.1×22.2/8.0=0.223
γ = 1.9 t/㎡
B' = B-2eB = 22.2-2×3.700 = 14.800
Nγ = 100.4(N값 = 40)
</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.14】 백운1교(부산) 교각설계(계속)

구 분	내 용	비 고
기둥설계	∴ Qu = 118.400×0.223×1.9×118.400×100.4 = 596,342 ton Qa = 1/3Qu = 198,781 ton $qa = \frac{Qa}{A} = \frac{198,781}{22.2 \times 8.0} = 1,119t/m^2 > 50t/m^2$ O.K!! ∴ qa = 50 t/㎡ (풍화암 이상) • FOOTING 철근량 계산 - 교축직각방향 σck(kg/㎠) = 240.000 σy(kg/㎠) = 3,000.000 Mu(t.m) = 1047.153 Φ(benfing) = 0.8500 Su(t) = 334.215 Φ(shear) = 0.7000 Nu(t) = 0.000 Φ(column) = 0.6500 b(cm) = 780.000 e(cm) = 0.000 d(cm) = 240.000 d'(cm) = 10.000 As : D22×78.000 = 301.938 ㎠ Ast = 301.938㎠ > req.Ast×(1+1/3) = 229.692 ㎠ 순수 휨상태(단철근 사용) c = 6.70cm a = 5.69cm Cc = 905.814 t Cs = 0.000 t T = 905.814 t ΦMn = 1,825.946 t.m > Mu = 1,047.153 t.m ⇒ GOOD!! 전단보강 불필요 ! Qu = 334.215 t < ΦVc/2 = 521.763 t - 교축직각방향 σck(kg/㎠) = 240.000 σy(kg/㎠) = 3,000.000 Mu(t.m) = 3,265.153 Φ(benfing) = 0.8500 Su(t) = 1,045.620 Φ(shear) = 0.7000 Nu(t) = 0.000 Φ(column) = 0.6500 b(cm) = 2,200.000 e(cm) = 0.000 d(cm) = 240.000 d'(cm) = 10.000 As : D22×220.000 = 851.620 ㎠ Ast = 851.620㎠ > req.Ast×(1+1/3) = 716.821 ㎠ 순수 휨상태(단철근 사용) c = 6.70cm a = 5.69cm Cc = 2,554.860 t Cs = 0.000 t T = 2,554.860 t ΦMn = 1,825.946 t.m > Mu = 1,047.153 t.m ⇒ GOOD!! 전단보강 불필요 ! Qu = 1,045.620 t < ΦVc/2 = 1,471.768 t	

2.2.2 백운1교(춘천)

백운1교(춘천)은 발주처, 시설물정보관리종합시스템(FMS) 등을 통하여 확인한 결과, 『대구-춘천간 고속도로 건설공사 구조도(준공도) 제7공구(Ⅲ-1)(1995/건설교통부,한국도로공사)』를 제외한 설계관련자료 및 시공관련자료는 없는 것으로 확인되었다.

2.3 기존 점검 및 진단 실시결과 요약

2.3.1 점검 및 진단이력

기존 점검 및 진단이력은「시설물정보관리종합시스템(FMS)」에 기재된 자료를 정리하여 다음【표 2.15】~【표 2.16】과 같이 수록하였다.

가. 백운1교(부산)

【표 2.15】 백운1교(부산) 주요 점검 및 진단이력

번호	구분	점검/진단기간	점검/진단기관	주요 점검/진단 결과	안전등급
1	정기점검	'01.06.26	자체수행	• 교면포장, 상판, 주형, 교좌장치, 신축이음장치, 교대, 교각	양호
2	정기점검	'01.12.19	자체수행	• 교면포장, 상판, 주형, 교좌장치, 신축이음장치, 교대, 교각	양호
3	정기점검	'02.06.05 ~06.20	자체수행	• 교면포장, 상판, 주형, 교좌장치, 신축이음장치, 교대, 교각	양호
4	정밀점검	'02.10.28 ~11.01	자체수행	• 교면포장, 상판, 주형, 교좌장치, 신축이음장치, 교대, 교각	A등급
5	정기점검	'03.04.21 ~05.23	자체수행	• 교면포장, 상판, 주형, 교좌장치, 신축이음장치, 교대, 교각	양호
6	정기점검	'03.11.04 ~11.28	자체수행	• 교면포장, 상판, 주형, 교좌장치, 신축이음장치, 교대, 교각	양호
7	정기점검	'04.04.06 ~04.17	자체수행	• 이상없음	양호
8	정밀점검	'04.11.15 ~11.19	자체수행	• 이상없음	A등급
9	정기점검	'05.05.01 ~05.20	자체수행	• 양호	양호
10	정기점검	'05.10.01 ~10.20	자체수행	• 양호	양호
11	정기점검	'06.08.01 ~11.30	자체수행	• 양호	양호
12	정밀점검	'06.08.01 ~11.30	자체수행	• 이상없음	A등급
13	정기점검	'07.05.07	자체수행	• 양호	양호
14	정기점검	'07.07.04	자체수행	• 양호	양호
15	정밀점검	'08.03.21	자체수행	• 양호	양호
16	정기점검	'08.08.05 ~08.29	자체수행	• 양호	양호

【표 2.15】 백운1교(부산) 주요 점검 및 진단이력(계속)

번호	구분	점검/진단기간	점검/진단기관	주요 점검/진단 결과	안전등급
17	정기점검	'09.03.03	자체수행	• 상태양호	양호
18	정기점검	'10.10.02	자체수행	• 양호	양호
19	정밀점검	'09.04.16 ~12.11	에스큐엔지니어링(주)	• 아스콘포장균열 및 소성변형, 방호벽 균열백태, 신축이은 방치 본체 부식, 부식 및 도장박리	B등급
20	정기점검	'10.04.02 ~04.22	자체수행	• 이상없음	양호
21	정밀점검	'10.08.22 ~09.22	자체수행	• 상태양호	A등급
22	정기점검	'11.05.12	자체수행	• 이상없음	양호
23	정밀안전진단	'11.04.22 ~11.02	㈜동우기술단	• 백운1교(부산)에 전체등급은 「B」 등급으로 평가됨. 조사된 일부 손상에 대해 보수와 유지관리를 시행하면 1등교로서 기능을 유지하는데 이상이없는 것으로 판단됨.	B등급
24	정기점검	'12.06.25	자체수행	• 후타재균열 및 백태	B등급
25	정기점검	'12.10.26	자체수행	• 후타재균열, 아스콘균열 및 소성변형, 백태 등	양호
26	정기점검	'13.04.24	자체수행	• 슈 녹발생	양호
27	정기점검	'13.09.25	자체수행	• 슈 녹발생	A등급
28	정기점검	'14.05.19 ~05.23	자체수행	• 양호	양호
29	정밀점검	'14.09.16	자체수행	• 상태양호	B등급
30	정기점검	'14.11.17 ~11.21	자체수행	• 이상없음	양호
31	정기점검	'15.06.19	자체수행	• S1 : 교량포장 소성변형 및 포트홀 • A1 : 신축이음부 누수 • S3 : 캔틸레버 하면 열화	양호
32	정기점검	'15.12.09	자체수행	• S1-G1 : 녹발생(0.04㎡, 1개소) • S3-G2 : 볼트 및 거더 녹발생 • S3 : 갓길측 켄틸레버하면 백태 • 슈녹발생 • A1 : 교대벽체균열(B=0.1mm, L=0.2m, 1개소) • A2 : G1~G2사이 벽체균열(B=0.2mm, L=1.0m, 1개소) • A1 : 신축이음부 누수 • A2 : 신축이음부 누수 • S1 : 교면포장 백태 및 포트홀 • S2, S3 : 교면포장 소성변형 • S1, S2 : 갓길 방호벽 균열	양호

【표 2.15】 백운1교(부산) 주요 점검 및 진단이력(계속)

번호	구분	점검/진단기간	점검/진단기관	주요 점검/진단 결과	안전등급
33	정밀점검	'08.03.21	자체수행	• 거더 녹발생, 백태 • 2차부재 녹발생 • 바닥판 백태, 열화, 녹발생 • 교량받침 녹발생 • 하부구조 균열, 백태, 녹물흔적 • 신축이음 협착, 균열, 이물질 퇴적 • 교면포장 소성변형, 백태, 균열 • 난간/중분대 균열 • 배수시설 이물질 퇴적, 배수관 파이프 녹발생	양호

나. 백운1교(춘천)

【표 2.16】 백운1교(춘천) 주요 점검 및 진단이력

번호	구분	점검/진단기간	점검/진단기관	주요 점검/진단 결과	안전등급
1	정기점검	'00.06.19 ~06.30	자체수행	• 바닥판, 받침, 교각 교대점검	양호
2	정기점검	'00.11.07 ~11.13	자체수행	• 바닥판, 받침, 교각 교대점검	양호
3	정밀점검	'00.11.07 ~11.13	자체수행	• 바닥판, 받침, 교각 교대점검	A등급
4	정기점검	'01.06.26.	자체수행	• 교면포장, 상판, 주형, 교좌장치, 신축이음장치, 교대, 교각	양호
5	정기점검	'01.12.19	자체수행	• 교면포장, 상판, 주형, 교좌장치, 신축이음장치, 교대, 교각	양호
6	정기점검	'02.06.03 ~06.20	자체수행	• 교면포장, 상판, 주형, 교좌장치, 신축이음장치, 교대, 교각	양호
7	정밀점검	'02.10.28 ~11.01	자체수행	• 교면포장, 상판, 주형, 교좌장치, 신축이음장치, 교대, 교각	A등급
8	정기점검	'03.04.21 ~05.23	자체수행	• 교면포장, 상판, 주형, 교좌장치, 신축이음장치, 교대, 교각	양호
9	정기점검	'05.11.04 ~11.28	자체수행	• 교면포장, 상판, 주형, 교좌장치, 신축이음장치, 교대, 교각	양호
10	정기점검	'04.04.06 ~04.17	자체수행	• 이상없음	양호
11	정밀점검	'04.11.15 ~11.19	자체수행	• 이상없음	A등급
12	정기점검	'05.05.01 ~05.20	자체수행	• 양호	양호
13	정기점검	'05.10.01 ~10.20	자체수행	• 양호	양호

【표 2.16】 백운1교(춘천) 주요 점검 및 진단이력(계속)

번호	구분	점검/진단기간	점검/진단기관	주요 점검/진단 결과	안전등급
14	정기점검	'06.08.01 ~11.30	자체수행	• 이상없음	양호
15	정밀점검	'06.08.01 ~11.30	자체수행	• 이상없음	A등급
16	정기점검	'07.05.07	자체수행	• 양호	양호
17	정기점검	'07.07.04	자체수행	• 양호	양호
18	정기점검	'08.06.17	자체수행	• 양호	양호
19	정밀점검	'08.09.09	자체수행	• 양호	A등급
20	정밀안전진단	'08.03.19 ~12.05	㈜한국해외기술공사	• 각종 조사결과 구조해석 및 내하력 평가결과, 상태평가등급「B」, 안전등급「A」로 평가되어 백운1교의 종합평가등급은 보다 낮은 등급인「B」로 평가되었으며, 금회 정밀안전진단에서 조사된 손상에 대한 보수·보강과 유지관리가 지속된다면 1등교로서의 현재의 내하력을 유지하는데 문제가 없을 것으로 판단됨.	B등급
21	정기점검	'09.03.03	자체수행	• 상태양호	양호
22	정기점검	'09.10.02	자체수행	• 양호	양호
23	정기점검	'10.04.02	자체수행	• 이상없음	양호
24	정밀점검	'10.08.22 ~09.22	자체수행	• 상태양호	A등급
25	정기점검	'11.05.12	자체수행	• 이상없음	양호
26	정기점검	'11.09.06	자체수행	• 난간개량 필요	양호
27	정기점검	'12.07.04	자체수행	• 상태양호	양호
28	정밀점검	'12.10.23	자체수행	• 상태양호	B등급
29	정밀안전진단	'13.06.10 ~12.06	(재)한국재난연구원	• 바닥판하면 균열(0.3mm미만), 누수흔적(백태), 표면열화, 철근노출(녹물흔적)/AR 거더 균열, 재료분리(불량), 재료분리(철근노출), 탈락(열화), 거푸집미제거/교대/교각의 건조수축 균열(0.3mm미만) 및 국부적인 콘크리트 손상, 누수흔적(백태)/교량받침 상부 플레이트 부식 및 국부 변형, 몰탈 탈락/신축이음장치 본체부식 및 토사퇴적, 후타재균열, 표면마모, 단차/교면포장 균열, 갓길부 포장들뜸(망상균열), 마모, 소성변형, 보수부 탈락/배수구 그레이팅 파손 및 막힘, 배수관 부식	양호

【표 2.16】 백운1교(춘천) 주요 점검 및 진단이력(계속)

번호	구분	점검/진단기간	점검/진단기관	주요 점검/진단 결과	안전등급
30	정기점검	'14.04.14 ~04.18	자체수행	• 상태양호	양호
31	정기점검	'14.11.10 ~11.14	자체수행	• 상태양호	양호
32	정기점검	'15.06.19	자체수행	• S3 : 교면포장 포트홀 • S3 : 바닥판하면 열화 • A2 : 신축이음부 누수 • A1 SH1, A2 SH2 : 녹발생 • A2 : 벽체 철근노출	양호
33	정밀점검	'15.09.11	자체수행	• 거더 망상균열, 교면포장 균열 및 포트홀 • 교대 신축이음장치 누수부 백태, 박리 • 신축이음 본체 부식, 후타재 균열, 파손	B등급
34	정밀점검	'10.08.22 ~09.22	자체수행	• 바닥판 균열, 열화 및 파손, 백태, 누수흔적 • 교량받침 녹발생, 받침콘크리트 균열 • 하부구조 열화, 백태, 누수흔적, 박리, 망상균열, 들뜸, 균열 • 신축이음장치 본체녹발생, 이물질퇴적, 후타재열화, 백태 • 교면포장 균열, 백태, 포트홀, 피로균열 • 난간/중분대 열화, 백태, 누수흔적, 박리, 균열, 백태	양호

2.3.2 전차 정밀안전진단 결과 요약

과업대상 시설물의 전차 정밀안전진단 결과를 요약하면 다음【표 2.17】~【표 2.19】와 같다.

가. 백운1교(부산)

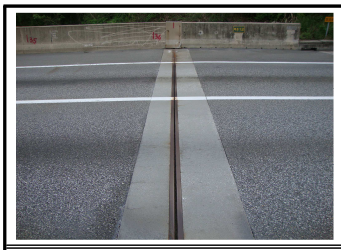
【표 2.17】 백운1교(부산) 정밀안전진단(2011) 결과요약

<table>
<tr><th colspan="4">섬강교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2011.11, ㈜동우기술단)</th></tr>
<tr><th colspan="3">구 분</th><th>정밀안전진단 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">외관조사</td><td rowspan="2">상부구조</td><td>거더 및 리브</td><td>• 아치교의 주 부재인인 거더와 아치리브에서 조사된 손상은 Splice 볼트와 선단부의 부식임. Splice 볼트의 부식은 크게 두 가지 원인으로 조사되었는데 첫째는 11년이 경과한 현시점에서 발생하는 경년열화이며 둘째는 표면에 국부적인 체수로 인한 것임.
• 최상단에 위치한 거더 표면에서 체수된 물이 가로보와 브레이싱을 타고 흘러 도장이 다소 미흡한 부분에서 부식을 유발시키고 있으므로 우수유입을 차단하고 부재를 경유하지 못하도록 조치가 필요함.
  거더 연결볼트 경년열화
  체수로 인한 부식
  리브 선단부 부식</td></tr>
<tr><td>가로보, 세로보 및 브레이싱, 행거</td><td>• 보조부재들에 대한 외관조사결과 볼트의 부식과 선단부 부식, 국부적인 변형, 긁힘 등이 조사되었으며, 도장미흡에 의한 열화와 상부거더에서부터 유입된 물이 연결된 부재들을 경로로하여 부식이 발생하는 경우도 조사되어 이를 차단 할 수 있는 근본적인 대책이 필요함.
• 도장의 상태는 기준(215㎛)에 전반적으로 양호하나 볼트 부위 등은 도장이 다소 미흡하여 경년 열화로 부식이 발새하고 있는 상태이며, 현 시점에서 Splice 볼트 등 주요 부위만이라도 밀실하게 재도장 한다면 유지관리에 매우 효율적임.
  상부 가로보 세로보 누수흔적
  가로보 세로보 누수흔적
  브레이싱 선단 부식
  상부 가로보 부식
  상부 가로보 볼트 부식
  브레이싱 선단 부식</td></tr>
</table>

【표 2.17】 백운1교(부산) 정밀안전진단(2011) 결과요약(계속)

<table>
<tr><th colspan="4">섬강교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2011.11, ㈜동우기술단)</th></tr>
<tr><th colspan="3">구 분</th><th>정밀안전진단 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="4">외관조사</td><td rowspan="3">하부구조</td><td>교대</td><td>• 교대 A1, A2에서 조사된 손상은 균열 폭 0.2mm이하의 균열로 일상적으로 유지관리 한다면 문제가 없을 것으로 판단됨.
  
교대A1 균열 | 교대A2 균열</td></tr>
<tr><td>교각</td><td>• 벽식 교각 2기는 특이사항 없이 양호하며 교각상면에서 체수흔적이 관찰되었는데 문제는 없을 것으로 판단됨.
  
교각 P1 | 교각 P2</td></tr>
<tr><td>기초</td><td>• 노출된 기초가 없었으며 문제가 될 만한 손상, 결함은 조사되지 않음.</td></tr>
<tr><td colspan="2">받침장치</td><td>• 설치된 교량받침은 기능에는 문제가 없을 것으로 판단되며 앵커볼트와 소울플레이트, 교대 A1에서는 받침본체의 부식이 일부 조사되어 이에 도장보수가 필요한 상태임.
• 한편 P1 받침콘크리트에서는 시공초기에 발생한 것으로 추정되는 cw=0.2mm 이하 균열들이 다수 조사되었으며, 보수 후 관리한다면 문제는 없을 것으로 판단됨.
   
P1 교량받침 균열 | 볼트부식 상태 | 교량받침 부식 상태</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기타부재</td><td>신축이음</td><td>• 레일식으로 양측 교대에 2개소가 설치되어있으며, 후타재 균열들과 보수까지는 필요 없겠지만 차량이 통행하지 않는 좌, 우 구간 본체에서 부시과 본체 틈 사이에 토사가 일부 퇴적된 상태임.
• 후타재에 발생한 균열은 비용 대비 일반적인 보수효과를 기대할 수 없으므로 내구연한이 다한 후에 교체 시공하는 것이 바람직함.</td></tr>
</table>

【표 2.17】 백운1교(부산) 정밀안전진단(2011) 결과요약(계속)

<table>
<tr><th colspan="4">섬강교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2011.11, ㈜동우기술단)</th></tr>
<tr><th colspan="3">구 분</th><th>정밀안전진단 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="3">외관조사</td><td rowspan="3">기타부재</td><td>신축이음</td><td>• 한편 A2 신축이음 우측에서 백태현상이 조사되었는데 포장면에서 물이 배어나오고 있는 것으로 추정되므로 손상진전 유무를 주의관할이 필요함.
  
후타재 균열 후타재 주변 백태</td></tr>
<tr><td>교면포장</td><td>• 좌, 우측의 갓길부분은 바닥판에서 배어나오는 백태와 들뜸(융기), 그로 인한 포장 균열들이 조사되어 점검망치를 이용, 전체연장(1.5×180.0)을 전수 조사한 결과 육안으로 확인할 수 없는 들뜸(공극)이 방호울타리 하면에서 일부 조사됨.
• 이러한 현상은 집수구 주변이나 방호울타리와 포장면의 경계부로 유입된 물로 인해 포장면과 방수층의 접착이 불량해지면서 방수층에서 불리된 포장면의 신축이 반복되어 하중작용 없이 나타나는 일종의 소성변형이라 할 수 잇으며 유입된 물은 콘크리트 바닥판에서 백태를 유발시켜 포장 상면으로 일부 배어나오고 있는 실정임. 이에 손상이 심한 부위에 대하여 코어를 채취한 결과 바닥판과 포장층이 들떠 있으며 골재들이 부서지는 현황을 확인함.
  
• 현재 이러한 손상들로 인해 바닥판 하면에서 누수 에 의한 열화손상이 조사되지 않았으며 포장면 또한 시급한 보수가 필요한 상태는 아니나 적적한 시기에 보수할 수 있도록 주기적인 관찰이 필요함.
   
갓길 들뜸(융기)에 의한 포장면 균열 및 백태
   
골재분리에 의한 표면열화(라벨링) 및 망상균열</td></tr>
</table>

【표 2.17】 백운1교(부산) 정밀안전진단(2011) 결과요약(계속)

섬강교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2011.11, ㈜동우기술단)

구 분			정밀안전진단 결과
외관조사	기타부재	배수시설	• 하향경사가 다소 급하고 집수구 주변이 밀실하지 않아 포장면 하부로 우수가 유입될 우려가 있어 주의관차링 요망됨.



배수관 막힘





유출관 현황

구 분			정밀안전진단 결과
외관조사	기타부재	방호울타리	• 균열, 백태와 보수이력들이 관찰되었으며 조사된 손상들은 유지관찰하여도 무방할 손상들임. 다만 우측방호울타리에서 조사된 국부적인 철근노출은 보수하는 것이 바람직함.



균열, 백태



균열, 백태



철근부식

비파괴시험

콘크리트 강도시험

부재구분		반발경도(MPa)	초음파전달속도법(MPa)	설계강도(MPa)
상부구조	캔틸레버	26.1~30.4	27.7~31.6	27.0
하부구조	교대	31.2~34.0	25.2~29.9	24.0
	교각	30.2~34.2	26.3~30.5	24.0

철근탐사 시험

부재구분			배근간격(mm)		피복두께(mm)	
			설계치	측정치	설계치	측정치
상부구조	캔틸레버	하면	250	215~250	50	50~56
		측면	125	105~140		31~57
하부구조	교대	전면	150~250	130~270	100	111~116
	교각	기둥	100~150	95~175	100	75~81

탄산화깊이 시험

부재구분		철근피복(mm)	탄산화깊이(mm)	탄산화잔여깊이(mm)	탄산화속도계수(A)	잔존수명예측(년)	상태평가등급
상부구조	캔틸레버	31~56	2~4	29~52	0.603~1.206	100년 이상	a~b
하부구조	교대	111~116	12~18	93~104	3.618~5.427	100년 이상	a
	교각	75~81	12	63~69	3.618	100년 이상	a

【표 2.17】 백운1교(부산) 정밀안전진단(2011) 결과요약(계속)

섬강교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2011.11, ㈜동우기술단)

구 분 | **정밀안전진단 결과**

비파괴시험

염화물 함유량 시험

시험위치		전 염화물 함유량(%)	염화물함유량(kg/㎥)	등급
상부구조	캔틸레버	0.0311	0.705	b
하부구조	교각	0.0138~0.0261	0.313~0.592	b

초음파 탐상시험

시험위치	조사개소	합격개소	등 급	결 과
G1	6	6	1등급	합격
G2	6	6	1등급	합격

도막두께 측정

시험위치	측정치	기준값(㎛)	판 정
S1	377~707	215	적정
S2	373~951	215	적정
S3	370~776	215	적정

결과 분석

- 콘크리트 강도조사결과 설계기준강도(상부구조 : 27MPa, 하부구조 : 24MPa)의 90%를 상회하고 있는 것으로 나타남.
- 철근배근탐사 결과 철근의 배근간격 및 피복두께는 대체로 설계도서와 유사한 것으로 조사됨.
- 탄산화 측정평가 결과 전 구간에서 탄산화에 의한 철근부식영향 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 없는 양호한 상태를 유지하고 있는 것으로 조사됨.
- 염화물에 의한 부식 등의 결함은 조사되지 않았지만 상부 및 하부구조의 염화물 함량을 지속적으로 점검하여 상부슬래브, 하부 교대 등의 철근부식 가능성을 중점 점검하는 것이 타당할 것으로 판단됨.
- 초음파탐상결과 조사된 모든 위치에서 용접부에 대한 결함지시가 발생하지 않아 구조물의 용접상태는 양호한 것으로 평가됨.
- 도막두께 측정결과 도막두께가 도로교설계기준의 기준 값을 모두 만족하는 것으로 조사됨.

상태평가 | 상태평가 결함지수 : 0.235, 상태평가 결과 : "B"

안전성평가

허용응력법

부재	fa	fs	안전율	비 고
보강거더	215.000	162.851	1.32	**O.K**
아치리브	215.000	171.148	1.26	**O.K**
행거	140.000	111.574	1.25	**O.K**
상부가로보	156.786	95.281	1.65	**O.K**
하부가로보	111.678	25.017	4.46	**O.K**
브레이싱	42.399	39.408	1.08	**O.K**

- 주부재 및 부부재의 발생응력은 허용응력범위 이내의 수준으로 나났으며 사용하중에 대해서 안전성을 확보하고 있음.
- 안전성평가등급 : A(최저 안전율 : 1.08)

【표 2.17】 백운1교(부산) 정밀안전진단(2011) 결과요약(계속)

섬강교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2011.11, ㈜동우기술단)

구 분 | **정밀안전진단 결과**

안전성평가 – 강도설계법

부재	ΦMn	Mu	안전율	비 고
바닥판(캔틸레버)	127.569	37.398	3.41	O.K
바닥판(중앙부)	105.961	67.699	1.57	O.K
교각	307714.179	67300.233	4.57	O.K

- 바닥판 및 교각의 설계휨강도는 계수하중에 대해서 안전성을 확보하고 있음.
- 안전성평가등급 : A(최저 안전율 : 1.57)

종합평가 및 안전등급

상태평가	안전성평가	종합평가	안전등급
B	A	B	B

- 백운1교(부산)에 대한 종합평가 결과「B」등급으로 평가되었으며, 「보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태」로 평가됨.

보수·보강 방안

부 재		결함내용	보수방안	우선순위
교면포장		포장백태	패칭보수	2
		소성변형	주의관찰	4
		포장균열	실런트 주입	2
		포장들뜸	부분 재포장	2
		포장망상균열	실런트 주입	2
		포장이음부균열	실런트 주입	2
		포장패임	패칭보수	2
난간 및 연석		균열(0.1~0.2mm)	주의관찰	4
		균열(0.3mm이상)	주입보수	2
		강판부식	주의관찰	4
		균열백태	표면처리	3
		덮개판변형	주의관찰	4
		백 태	표면처리	3
		철근노출	단면보수(방청)	2
배수시설		막 힘	청소	3
		배수관 부식	주의관찰	4
신축이음장치	본 체	토사퇴적	청소	3
		본체부식	재도장	2
	후타재	백 태	주의관찰	4
		균열(0.1mm~0.2mm)	주의관찰	4

【표 2.17】 백운1교(부산) 정밀안전진단(2011) 결과요약(계속)

섬강교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2011.11, ㈜동우기술단)					
구 분	정밀안전진단 결과				
보수·보강 방안	부 재		결함내용	보수방안	우선순위
	바닥판	캔틸레버	백 태	표면처리	3
			팝아웃	단면보수	3
		데크플레이트	부 식	주의관찰	4
	거 더		도장박리	재도장	2
			부 식	재도장	2
			점검구주위 볼트부식	재도장	2
			rib부식	재도장	2
			SP볼트부식	재도장	2
	브레이싱		도장박리	재도장	2
			볼트부식	재도장	2
			용접부부식	재도장	2
			부 식	재도장	2
			변 형	주의관찰	4
	행 거		도장박리	재도장	2
			볼트부식	재도장	2
			부 식	재도장	2
			SP볼트부식	재도장	2
			선단부부식	재도장	2
	교량받침	본 체	받침부식	재도장	2
			솔플레이트부식	재도장	2
	교 각		균열(0.1~0.2mm)	주의관찰	4
	교 대		균열(0.1~0.2mm)	주의관찰	4
			균열(0.3mm이상)	주입보수	2
	• 상부구조의 경우 국부적인 도장박리 및 부식에 대한 재도장 보수를 제시함. • 하부구조의 균열은 주입보수 등의 보수 방안을 제시함. • 금회 정밀안전진단시, 기 점검에서 제시된 보수방안의 실시여부 및 보수부 상태, 재손상 발생에 대한 보수가 필요함.				

나. 백운1교(춘천)

1) 2008년 정밀안전진단

【표 2.18】 백운1교(춘천) 정밀안전진단(2008) 결과요약

백운1교 정밀안전진단보고서(2008, ㈜한국해외기술공사)			
구 분		정밀안전진단 결과	
		주요결함 및 손상내용	점검의견
외관조사	교면포장	• 길어깨부에서 경미한 일방향균열이 1개소 조사됨.	• 중차량 통행, 통행량 증가
	방호시설	• 수직균열이 다수 조사됨. • 신축이음부 방호벽 하부의 국부적인 파손 • 덮개판 미설치	• 건조수축과 구속에 의한 균열 • 차량통행시 신축이음장치의 진동에 의해 • 시공누락
	신축이음장치	• 신축유간부에 토사적체가 조사됨. • A2 신축유간 부족 • 신축이음 누수 • 후타재의 균열이 조사됨.	• 차량통행에 의한 토사퇴적 • 시공오차, 시공초기 교대의 미세한 변위 • 고무재 열화에 의한 부분 파손 • 건조수축 등에 의한 균열
	바닥판	• 캔틸레버부 횡방향균열이 조사됨. • 캔틸레버부 균열부 백태가 조사됨.	• 초기 건조수축으로 발생 • 방호벽 측면으로 유입된 우수가 건조수축에 의해 발생된 균열부로 유입
	아치리브 및 복부	• 아치리브는 2경간 중앙부에 균열폭 0.1mm 이하의 횡방향 균열이 일부 조사됨. • 복부에 수직균열 다수 조사됨. • 복부에서 재료분리와 철근노출이 조사됨. • 부반력 방지 시설(S1 아치하면)에 망상균열이 조사됨.	• 휨응력에 의한 손상으로 허용균열 폭 이하로 지속적인 관찰이 필요함. • 대단면으로 3회 걸쳐 이루어진 콘크리트 타설에 의한 건조수축 및 구속력 차이에 의해 발생된 균열 • 시공시 다짐불량 • 블리딩에 의한 수분증발로 콘크리트 내부에 공극이 발생되어 콘크리트의 건조수축량이 커져서 건조수축 균열을 유발시킨 것으로 추정됨.
	교 대	• 균열폭 cw=0.1mm정도의 수직균열 일부개소가 조사됨. • 교대 누수흔적 조사됨. • 교대 표면보호재 박리가 조사됨.	• 수화열 및 건조수축에 의해 발생됨. • 신축이음장치 고무재 열화, 방호벽 덮개누락 • 동절기에 동결과 융해의 반복작용에 의한 접착력 저하
	교 각	• 국부적인 파손이 조사됨.	• 외부 충격에 희한 손상

【표 2.18】 백운1교(춘천) 정밀안전진단(2008) 결과요약(계속)

백운1교 정밀안전진단보고서(2008, ㈜한국해외기술공사)

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">구 분</th><th colspan="5">정밀안전진단 결과</th></tr>
<tr><th colspan="4">비파괴시험결과</th><th>결론</th></tr>
<tr><td rowspan="5">내구성조사</td><td>콘크리트 비파괴 강도조사</td><td colspan="4"><table><tr><th colspan="2">구 분</th><th>평균강도(MPa)</th><th>설계강도(MPa)</th></tr><tr><td rowspan="2">반발경도법</td><td>상부구조</td><td>33.4~35.2</td><td>27.0</td></tr><tr><td>하부구조</td><td>27.4~31.5</td><td>24.0</td></tr></table></td><td>• 비파괴 강도 결과는 설계강도를 상회하는 양호한 상태로 조사되었음.</td></tr>
<tr><td>균열깊이 조사</td><td colspan="4"><table><tr><th>시험부위</th><th>건전부 (m/s)</th><th>균열부 (m/s)</th><th>피복두께 (mm)</th><th>균열깊이 (mm)</th></tr><tr><td>S1, W, 중앙부</td><td>88.5</td><td>96.7</td><td>41</td><td>66.05</td></tr><tr><td>S2, W, 중앙부</td><td>77.2</td><td>91.5</td><td>41</td><td>95.43</td></tr></table></td><td>• 균열은 철근 최소피복두께 이상으로 진전된 것으로 평가되었음.</td></tr>
<tr><td>철근배근 상태조사</td><td colspan="4"><table><tr><th rowspan="2">구 분</th><th colspan="2">배근간격</th><th colspan="2">피복두께</th></tr><tr><th>측정치</th><th>설계치</th><th>측정치</th><th>설계치</th></tr><tr><td>슬래브</td><td>200</td><td>200</td><td>53.6</td><td>47.0</td></tr><tr><td>교 대</td><td>199</td><td>200</td><td>85.5</td><td>92.0</td></tr><tr><td>교 각</td><td>203</td><td>200</td><td>75.5</td><td>92.0</td></tr></table></td><td>• 시공적인 요인에 의하여 위치별로 다소 차이를 보이고 있으나, 조사개소 전체의 평균치는 설계기준을 대체적으로 만족하는 것으로 평가되었음.</td></tr>
<tr><td>탄산화 시험</td><td colspan="4"><table><tr><th>구 분</th><th>측정결과(mm)</th><th>피복두께(mm)</th></tr><tr><td>상부구조</td><td>7.63</td><td>39.0</td></tr><tr><td>하부구조</td><td>3.0~10.8</td><td>89.0</td></tr></table></td><td>• 탄산화로 인한 콘크리트내의 철근부식 가능성은 거의 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td>염화물 함유량 시험</td><td colspan="4"><table><tr><th>구 분</th><th>염화물함유량 (kg/㎥)</th><th>판 정</th><th>설계기준</th></tr><tr><td>상부구조</td><td>0.0118</td><td>a</td><td rowspan="2">CL-<0.3</td></tr><tr><td>하부구조</td><td>0.0075~0.0097</td><td>a</td></tr></table></td><td>• 염화물 시험 결과 콘크리트의 염해 가능성은 거의 없는 것으로 조사되었음.</td></tr>
<tr><td colspan="2">상태평가</td><td colspan="4">상태평가 점수 : 0.204, 상태평가 등급 : “B”</td></tr>
<tr><td rowspan="3">안전성평가</td><td>주거더 (아치)</td><td colspan="4"><table><tr><th>구 분</th><th>Mu(kN.m)</th><th>ΦMn(kN.m)</th><th>안전도</th><th>비 고</th></tr><tr><td>중앙부</td><td>91,224.1</td><td>136,922.7</td><td>1.501</td><td>O.K</td></tr><tr><td>지점부</td><td>551,890.4</td><td>553,363.8</td><td>1.003</td><td>O.K</td></tr></table></td><td></td></tr>
<tr><td>횡방향</td><td colspan="4"><table><tr><th>구 분</th><th>Mu(kN.m)</th><th>ΦMn(kN.m)</th><th>안전도</th><th>비 고</th></tr><tr><td>중앙부</td><td>377.224</td><td>624.581</td><td>1.656</td><td>O.K</td></tr><tr><td>지점부</td><td>575.777</td><td>624.581</td><td>1.085</td><td>O.K</td></tr></table></td><td></td></tr>
<tr><td>교대(A1) 안정검토</td><td colspan="4"><table><tr><th>구 분</th><th>허용값</th><th>발생값</th><th>안전도</th><th>비 고</th></tr><tr><td>전도에 대한 안정</td><td>1647.975</td><td>272.858</td><td>6.04</td><td>O.K</td></tr><tr><td>활동에 대한 안정</td><td>328.500</td><td>131.467</td><td>2.50</td><td>O.K</td></tr><tr><td>지지력에 대한 안정</td><td>479.861</td><td>112.199</td><td>4.28</td><td>O.K</td></tr></table></td><td></td></tr>
</table>

【표 2.18】 백운1교(춘천) 정밀안전진단(2008) 결과요약(계속)

백운1교 정밀안전진단보고서(2008, ㈜한국해외기술공사)

구 분 | **정밀안전진단 결과**

안전성평가 — 교대(A1) 단면검토

구 분		깊이 H(mm)	Rep. As (㎟)	사용철근량 (㎟)	Mu (kN.m)	ΦMn (kN.m)	안전도	비고
A1	압굽판	1647.975	400.787	36,379.689	153.000	1,271.314	8.309	O.K
	뒷굽판	328.500	486.914	1,687.311	185.800	640.058	3.445	O.K
	벽 체	479.861	699.417	1,432.500	141.764	288.382	2.034	O.K

안전성평가 — 교각(P2) 말뚝검토

구 분	허용지지력(MPa)	작용지지력(MPa)	극한지지력(MPa)
P2	1,301.283	1,758.896	3,350.000

종합평가

상태평가	안전성평가	종합평가
B	A	B

보수·보강 방안

구 분	결함내용	수량	보수 수량	단위	개략 공사비 (백만원)	보수보강공법	보수 우선 순위
방호 시설	덮개판 미설치	4	4	개소	1.20	덮개판 설치	1
	피선	0.21	0.25	㎡	0.06	모르타르 팻칭공법	2
신축 이음	신축이음 유간부족(A2:NO 80)	12.5	13.0	m	11.70	신축이음장치교체 (강재형)	1
바닥판		1	1	개소	0.18	우레탄 주입보수	2
이치리브 및 복부	균열(0.3≤cw≤0.7)	236.8	260.5	m	34.13	수지주입공법	1
	재료분리 및 철근노출	20.76	24.91	㎡	7.47	단면보수공법	2
순공사비계					54.7		
재경비(순공사비 50%)					27.4		
공사비계					82.1		

유지관리 방안

구 분	결함내용	유지관리 항목	비 고
교면 포장	• 포장균열	• 결함 발생 및 진전여부	
방호 시설	• 수직균열 • 덮개판 미설치로 인한 하부누수 • 콘크리트 파손	• 결함 발생 및 진전여부 • 하부 부식 발생 여부	
신축 이음	• 신축이음 누수에 의한 하부 열화 • 신축이음 유간부족	• 결함 및 손상발생 여부 • 신축이음 유간 확인	
배수 시설	• 배수관 주변 누수	• 배수관 주변 열화 발생여부	
바닥판	• 균열부 백태 및 균열 • 백태	• 균열 발생 및 진전여부	
아치리브 및 복부	• 복부 수직균열 • 재료분리 및 철근노출	• 균열 발생 및 진전여부	
교대 및 교각	• 흉벽 누수흔적 • 교대 교각 수직균열 • 교각2 말뚝 지지력 부족	• 균열 발생 및 진전여부 • 신축이음 누수 여부 • 주변 침하 발생 여부	

2) 2013년 정밀안전진단

【표 2.19】 백운1교(춘천) 정밀안전진단(2013) 결과요약

<table>
<tr><th colspan="4">원주천교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2013.12, (재)한국재난연구원, 케이에스엠기술(주))</th></tr>
<tr><th colspan="3">구 분</th><th>정밀안전진단 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="4">외관조사</td><td rowspan="4">상부구조</td><td rowspan="4">바닥판</td><td>• 바닥판에 대한 외관조사 결과, Deck Plate 부식 및 변형이 없는 전반적인 양호한 상태이며, 바닥판 캔틸레버 하면에서 콘크리트 균열(일부 균열부 백태) 및 누수흔적(백태), 탈락, 재료분리 등이 조사됨.
• 캔틸레버 하면의 횡방향균열은 균열폭이 0.2mm미만으로 시공초기 콘크리트 수화열 및 건조수축에 의한 비구조적인 균열로 판단되며, 일부 발생한 균열부 백태는 방호벽 측면으로부터 교면수가 유입되거나 포장면으로 우수가 침투하여 발생한 것으로 추정되며, 균열정도에 따른 면보수 및 주입보수를 통한 내수성 확보가 필요한 상태임.
• 외측 캔틸레버 하면은 누수흔적(경미한 백태)이 전 경간에서 경미하게 발생한 상태이며, 이는 기 발생된 상부 포장 들뜸부위나 배수구 주변, 그리고 방호벽 측면으로부터 교면수가 유입되어 발생한 것으로 현재 손상정도가 경미하여 현 상태에서의 보수보다는 주의관찰이 요구되며, 우수유입의 원인이 되는 갓길부 포장 및 배수시설에 대해서는 적절한 유지보수가 필요한 것으로 판단됨.
• 기타 발생한 콘크리트 탈락, 재료분리, 철근노출 등은 시공미흡(피복부족) 및 외부충격에 의하여 국부적으로 발생한 상태이므로 손상정도를 고려하여 일반적인 유지보수가 필요한 상태임.
• 코어시편 채취는 1차 외관조사 후 교면포장 및 바닥판 열화 상태를 확인하기 위하여 S2경간에 실시하였으며, 확인 결과 바닥판 상면의 콘크리트 및 방수상태는 양호한 것으로 조사되었으며, 포장의 두께는 60㎜로 측정되어 설계도면(50㎜)과 유사한 것으로 확인됨.</td></tr>
<tr><td>

Deak Plate 상태양호

Deak Plate 들뜸조사

캔틸레버(S3) 균열
</td></tr>
<tr><td>

캔틸레버(S2) 균열부 백태

캔틸레버(S1) 배수구 주변 누수

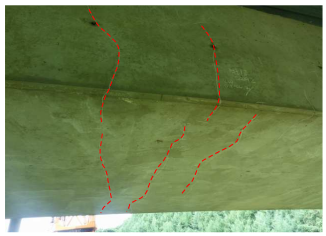
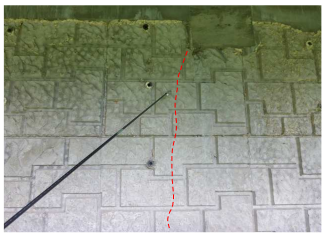
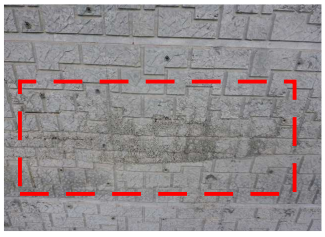
캔틸레버(S2) 누수흔적
</td></tr>
<tr><td>

캔틸레버(S1) 철근노출

캔틸레버(S2) 재료분리


바닥판(S2) 및 방수상태
</td></tr>
</table>

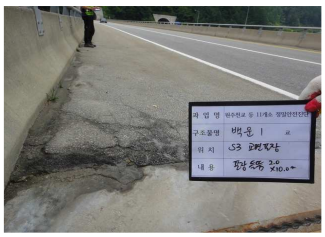
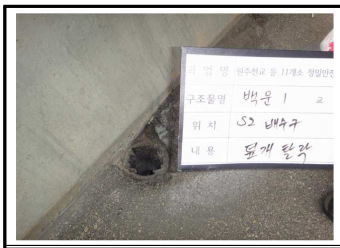
【표 2.19】 백운1교(춘천) 정밀안전진단(2013) 결과요약(계속)

<table>
<tr><th colspan="3">원주천교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2013.12, (재)한국재난연구원, 케이에스엠기술(주))</th></tr>
<tr><th colspan="3">구 분</th><th>정밀안전진단 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">외관조사</td><td>상부구조</td><td>AR 거더</td><td>• AR 거더에 대한 외관조사 결과, 전차 용역에서 확인된 결함내용과 전반적으로 유사하며, 주요 손상으러 아치리브(2경간) 중앙부의 횡균열(0.2㎜미만)과 국부적으로 발생한 콘크리트 탈락, 복규 수직균열(0.1~0.7㎜), 재료분리(표면불량), 철근노출, 철근미제거 등으로 조사됨.
• 아치리브의 중앙부에 발생한 균열은 균열위치 및 형태가 연속적이지 않고 균열폭이 대부분 0.1㎜정도의 허용균열폭 이내로 아치구조의 특성상 발생하는 비구조적인 균열로 판단되어 현 상태에서의 보수보다는 주기적인 점검을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단됨.
• 또한, 거더 복부에 발생한 수직균열은 전 구간에서 1~5m간격으로 다수 발생하였으며, 균열의 패턴은 최초 시공이음부에서 시작하여 다음 시공이음부까지 발생하는 형태임. 이는 본 구조물이 대단면의 특성상 단계별로 콘크리트를 타설함에 따른 전형적인 선타설부와 후타설부와의 콘크리트에서 발생하는 온도 및 건조수축 등의 구속력에 의한 비구조적인 균열로 판단됨. 따라서, 일부 균열폭이 다소 크게 발생된 상태이나 이는 1회 콘크리트 타설높이가 높아 발생된 것으로 균열정도(0.1~0.7㎜)를 고려한 내구성 확보차원의 유지보수가 필요한 상태임.
• 기타 발생한 콘크리트 탈락과 재료분리, 철근노출 등은 시공미흡(피복부족) 및 외부충격에 의하여 국부적으로 발생한 상태이므로 콘크리트 면보수를 통한 유지관리가 필요한 상태임.
<table>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>아치리브 중앙부(S2G2)
횡균열</td><td>아치리브 중앙부(S2G2)
횡균열(0.1~0.2㎜)</td><td>거더 복부(S1)
수직균열(원경)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>거더 복부(S2)
경사균열(근경)</td><td>거더 복부(S2)
재료분리(철근노출)</td><td>거더 복부(S2) 철근노출</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>하부구조</td><td>교대/교각</td><td>• 하부구조에 대한 외관조사 결과, 콘크리트 균열(0.2㎜미만), 표면보호재 탈락, 파손, 재료분리, 누수흔적(백태)과 교대 주변 접합부 이격, 콘크리트 열화 및 탈락, 보호블럭 균열, 와이어매쉬 노출 등 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 특별한 손상은 발생되지 않은 것으로 조사됨.</td></tr>
</table>

【표 2.19】 백운1교(춘천) 정밀안전진단(2013) 결과요약(계속)

<table>
<tr><th colspan="4">원주천교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2013.12, (재)한국재난연구원, 케이에스엠기술(주))</th></tr>
<tr><th colspan="3">구 분</th><th>정밀안전진단 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">외관조사</td><td rowspan="2">하부구조</td><td>교대/교각</td><td>
• 누수(녹물)흔적 및 백태는 신축이음이 위치하는 교대(A1,A2)에서 발생하는 현상으로써, A2 신축이음장치는 기 실시한 2008년도 진단이후 신장시 유간부족에 따라 재설치하여 전반적인 양호한 상태이며, 교대 전면에서 발생하는 누수의 경우 신축이음과 접속부 포장의 손상부위로 우수가 유입되어 발생하므로 포장면 부분보수와 유도배수 설치가 요구됨. 또한, 국부적으로 발생한 콘크리트 표면백태는 손상부위로 우수가 유입되어 수산화칼슘이 빠져나오면서 생기는 현상으로 내구성을 고려한 표면보수가 필요한 상태임.
• 교대 접속부 이격은 압성토부 시공 후 공용년수 증가에 따른 지반이 안정화되면서 발생하는 현상으로 씰링재 주입에 의한 보수가 요구되며, 시공미흡(피복부족) 및 공용열화에 의하여 발생한 교대 보호콘크리트 탈락(와이어메쉬 노출)은 추가적인 열화방지 차원에서 콘크리트 보수가 필요한 상태임.
<table>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>교대(A2) 누수흔적(백태)</td><td>교대(A2) 누수(녹물)흔적 및 백태</td><td>교대(A1) 접속부 이격</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>교대(A1) 보호콘크리트 탈락 (와이어메쉬 노출)</td><td>교대(P1) 콘크리트 탈락</td><td>교각(P2) 표면 망상균열</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>받침장치</td><td>
• 교량받침은 스페리칼 받침으로 콘크리트 탈락 및 받침부식, 상부플레이트 국부 변형이 일부 경미하게 조사되었으며, 받침의 가동상태는 전반적으로 양호한 상태임.
<table>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>받침(A2Sh2) 부식</td><td>받침(A1Sh1) 몰탈 탈락(경미)</td><td>침(A1Sh2) 몰탈 탈락 및 상부 Plate 변형</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

【표 2.19】 백운1교(춘천) 정밀안전진단(2013) 결과요약(계속)

<table>
<tr><th colspan="4">원주천교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2013.12, (재)한국재난연구원, 케이에스엠기술(주))</th></tr>
<tr><th colspan="3">구 분</th><th>정밀안전진단 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="3">외관조사</td><td rowspan="3">기타부재</td><td>신축이음장치</td><td>• A2 신축이음장치는 전차 용역(2008년)시 신축유간 부족에 따라 New Mono Cell Joint로 교체하였으며, 금회 진단시 공용기간 증가에 따른 본체 토사퇴적과 부식, 단차, 후타재 균열 및 표면마모 등이 조사됨.
• 신축이음장치(A1/A2)의 온도에 따른 가동상태 및 신축유간은 여유량을 확보는 것으로 조사됨.
   
본체(A1) 토사퇴적 및 표면부식 | 후타재(A2) 표면마모 | 후타재(A2) 콘크리트 탈락</td></tr>
<tr><td>교면포장</td><td>• 교면포장은 전차 용역(2008년)시 일부 일방향균열이 조사되었으나 금회 진단시 방호벽과 접하는 갓길측 포장들뜸(망상균열) 및 소성변형, 접속포장 탈락 등 공용년수 증가에 따른 포장열화가 다수 진행된 상태이므로 손상정도를 고려한 포장보수가 요구됨.
• 코아채취에 의한 아스콘(교면방수) 및 바닥판 콘크리트 상태조사는 S2경간에서 확인하였으며, 포장두께는 60.0㎜로 측정되어 설계도면(50㎜)과 유사하며, 바닥판 콘크리트 표층상태는 양호한 것으로 조사됨.
   
교면포장(S3) 망상균열 | 교면포장(S3) 횡방향균열 | 교면포장(S3) 갓길부 들뜸 및 열화</td></tr>
<tr><td>배수시설</td><td>• 배수시설 상태는 배수구 막힘 및 체수에 의한 그레이팅 파손, 배수관 부식 등이 전반적으로 발생한 상태임. 배수구 막힘으로 인한 교면의 체수는 배수시설 주변의 열화(누수)를 초래하며, 장기적으로는 구조물의 내구성을 저하시키는 원인이 되고 통행차량의 주행안전성에 영향을 미치므로 주기적 유지관리가 요구됨.
   
수 그레이팅 파손(S2) | 배수구(S1) 주변 누수흔적 | 배수구(S1) 주변 누수흔적</td></tr>
</table>

【표 2.19】 백운1교(춘천) 정밀안전진단(2013) 결과요약(계속)

<table>
<tr><th colspan="4">원주천교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2013.12, (재)한국재난연구원, 케이에스엠기술(주))</th></tr>
<tr><th colspan="3">구 분</th><th>정밀안전진단 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="4">외관조사</td><td rowspan="2">기타부재</td><td>방호벽</td><td>• 방호벽에 대한 외관조사 결과, 전반적인 균열보수 및 면보수를 실시하여 양호한 상태이나, 중분대는 건조수축 등에 의한 콘크리트 균열 및 긁힘, 파손 등이 조사됨. 발생된 손상은 방호벽의 기능성 측면에서 문제될 부분이 없으므로 보수보다는 유지관리가 바람직할 것으로 판단됨.
   
방호벽 균열보수 현황 | 방호벽(S3) 보수부 재균열 | 방호벽(S1) 균열</td></tr>
<tr><td>부재시설</td><td>• 가로등 조명을 위한 전선관은 교량의 종방향으로 우측캔틸레버 하면에 설치되어 있으며, 금회 진단시 공용열화로 인하여 보호커버 부식 및 변형이 조사되어 유지관리가 요구됨.
   
선관 보호커버(S1) 부식 | 전선관 보호커버(S3) 부식(파손) | 전선관 보호커버(S3) 손상</td></tr>
<tr><td rowspan="2">내구성조사</td><td>콘크리트 강도시험</td><td colspan="2"><table>
<tr><th colspan="2">부재구분</th><th>반발경도(MPa)</th><th>초음파전달속도법(MPa)</th><th>설계강도(MPa)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">상부구조</td><td>바닥판 하면</td><td>28.0~28.6</td><td>28.3~31.9</td><td>27.0</td></tr>
<tr><td>거 더</td><td>29.0~31.1</td><td>29.1~33.2</td><td>27.0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부구조</td><td>교 대</td><td>26.6~28.1</td><td>26.4~26.8</td><td>24.0</td></tr>
<tr><td>교 각</td><td>26.0~27.8</td><td>25.3~27.3</td><td>24.0</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>철근배근 상태조사</td><td colspan="2"><table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">부재구분</th><th colspan="2">배근간격(mm)</th><th colspan="2">피복두께(mm)</th></tr>
<tr><th>설계치</th><th>측정치</th><th>설계치</th><th>측정치</th></tr>
<tr><td rowspan="2">상부구조</td><td>바닥판 하면</td><td>200</td><td>200~223</td><td>38~62</td><td>31~75</td></tr>
<tr><td>거 더</td><td>197~294</td><td>100~300</td><td>39~111</td><td>53~115</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부구조</td><td>교대</td><td>200</td><td>150~200</td><td>86~102</td><td>91~109</td></tr>
<tr><td>교각</td><td>200</td><td>185~220</td><td>47~94</td><td>89~111</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

【표 2.19】 백운1교(춘천) 정밀안전진단(2013) 결과요약(계속)

원주천교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2013.12, (재)한국재난연구원, 케이에스엠기술(주))

구 분 / **정밀안전진단 결과**

내구성조사 — 탄산화 시험

부재구분		철근피복 (mm)	탄산화깊이 (mm)	탄산화속도 계수(A)	잔존수명 예측(년)	상태평가 등급
상부구조	S1-바닥판 하면	31.0	4.2	1.00	699	b
	S2-거더 하면	59.0	5.3	1.25	∞	a
하부구조	P1-교각	47.0	3.4	0.80	∞	a
	A2-교대	102.0	3.6	0.85	∞	a

내구성조사 — 염화물 함유량 시험

시험위치		전 염화물 함유량(%)	염화물함유량(kg/㎥)	등급
상부구조	S2	0.118	0.071	a
하부구조	P2-교각	0.094	0.024	a
	A2-교대	0.141	0.047	a

내구성조사 — 결과 분석

- 콘크리트 강도조사결과 설계기준강도(상부구조 : 27MPa, 하부구조 : 24MPa)를 상회하고 있는 것으로 나타남.
- 철근배근탐사 결과 철근의 배근간격 및 피복두께는 대체로 설계도서와 유사한 것으로 조사됨.
- 탄산화 측정평가 결과 전 구간에서 탄산화에 의한 철근부식영향 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 없는 양호한 상태를 유지하고 있는 것으로 조사됨.
- 염화물에 의한 부식 등의 결함은 조사되지 않았지만 상부 및 하부구조의 염화물 함량을 지속적으로 점검하여 상부슬래브, 하부 교대 등의 철근부식 가능성을 중점 점검하는 것이 타당할 것으로 판단됨.

상태평가 : 상태평가 결함지수 : 0.257, 상태평가 결과 : "B"

안전성평가 — 상부구조 — 아치리브

구 분	모 멘 트 (kN·m)			전 단 력 (kN)			비고
	Mu (kN·m)	ΦMn (kN·m)	안전율	Vu (kN)	ΦVn (kN)	안전율	
아치리브	608.821	3273.146	5.376	626.330	2698.752	4.309	a

안전성평가 — 상부구조 — 바닥판

구 분	모 멘 트 (kN·m)			전 단 력 (kN)			안전성 평가등급
	Mu (kN·m)	ΦMn (kN·m)	안전율	Vu (kN)	ΦVn (kN)	안전율	
바 닥 판	252.328	624.581	2.475	179.891	292.284	1.625	a

안전성평가 — 상부구조 — 연직재

구 분	모 멘 트 (kN·m)			축 력 (kN)			비고
	Mu (kN·m)	ΦMn (kN·m)	안전율	Pu (kN)	ΦPn (kN)	안전율	
연 직 재	105.668	224.509	2.125	4529.439	5532.571	1.221	a

【표 2.19】 백운1교(춘천) 정밀안전진단(2013) 결과요약(계속)

원주천교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2013.12, (재)한국재난연구원, 케이에스엠기술(주))

구 분 / **정밀안전진단 결과**

안전성평가 – 하부구조 – 교대

단 면		Mu (kN · m/m)	ϕMn (kN · m/m)	안전율	안전성 평가등급
A1	앞 굽 판	108.833	1,889.988	17.366	a
	뒷 굽 판	189.997	957.029	5.037	a
	벽 체	139.874	569.070	4.068	a
A2	앞 굽 판	160.459	2,019.196	12.584	a
	뒷 굽 판	287.589	1,086.237	3.777	a
	벽 체	133.500	569.070	4.263	a

안전성평가 – 하부구조 – 교각

단 면	Qmax (MPa)	Qa (MPa)	안전율	안전성 평가등급
P1	760.871	800.000	1.05	a
P2	1351.556	1585.900	1.17	a

종합평가 및 안전등급

상태평가	안전성평가	종합평가	안전등급
B	A	B	B

• 백운1교(춘천)에 대한 종합평가 결과「B」등급으로 평가되었으며, 「보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태」로 평가됨.

보수·보강 방안

부 재	결함내용	보수방안	우선순위
바 닥 판	균열(0.2mm미만)	표면보수	3
	균열부 백태	주입보수	2
	박리, 박락	단면보수	2
	표면열화(백태)	표면보수	2
	철근노출(녹물흔적)	단면보수(방청)	2
	물끊기홈 미설치	물끊기 설치	3
거 더	복부 균열(0.3mm이상)	주입보수	2
	재료분리(철근노출)	단면보수(방청)	2
	철근노출	단면보수(방청)	2
	탈락(열화)	단면보수	2

【표 2.19】 백운1교(춘천) 정밀안전진단(2013) 결과요약(계속)

<table>
<tr><th colspan="2">원주천교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2013.12, (재)한국재난연구원, 케이에스엠기술(주))</th></tr>
<tr><th>구 분</th><th>정밀안전진단 결과</th></tr>
<tr><td>보수·보강
방안</td><td>
<table>
<tr><th>부 재</th><th>결함내용</th><th>보수방안</th><th>우선순위</th></tr>
<tr><td rowspan="8">교 대</td><td>탈락(철근노출)</td><td>단면보수(방청)</td><td>2</td></tr>
<tr><td>교면상면 체수, 누수흔적</td><td>유도배수로설치</td><td>3</td></tr>
<tr><td>바닥콘크리트 탈락(열화)</td><td>콘크리트 보수</td><td>3</td></tr>
<tr><td>와이어메쉬 노출</td><td>콘크리트 보수</td><td>3</td></tr>
<tr><td>접합부 이격</td><td>씰링재 주입</td><td>3</td></tr>
<tr><td>백태</td><td>표면보수</td><td>2</td></tr>
<tr><td>토사퇴적</td><td>청소</td><td>3</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교 각</td><td>파손, 탈락</td><td>단면보수</td><td>3</td></tr>
<tr><td>박리(철근노출)</td><td>단면보수(방청)</td><td>3</td></tr>
<tr><td>교량받침</td><td>받침(볼트) 부식</td><td>도장보수</td><td>2</td></tr>
<tr><td>신축이음</td><td>후타재 탈락</td><td>단면보수</td><td>2</td></tr>
<tr><td rowspan="10">교면포장</td><td>아스콘 균열</td><td rowspan="7">갓길부
전면재포장
(방수층 포함)</td><td rowspan="7">1</td></tr>
<tr><td>망상균열</td></tr>
<tr><td>포장들뜸(망상균열)</td></tr>
<tr><td>포장마모</td></tr>
<tr><td>소성변형</td></tr>
<tr><td>시공이음부 균열</td></tr>
<tr><td>본선구간 포장마모</td><td>팻칭보수</td><td>1</td></tr>
<tr><td>보수부 탈락</td><td>팻칭보수</td><td>2</td></tr>
<tr><td>접속포장 균열(탈락)</td><td>팻칭보수</td><td>2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">배수시설</td><td>그레이팅 파손</td><td>배수구 재설치</td><td>2</td></tr>
<tr><td>배수구 막힘</td><td>청소</td><td>3</td></tr>
<tr><td>기타시설</td><td>전선관보호커버 손상</td><td>재설치</td><td>3</td></tr>
</table>
• 상부구조의 경우 국부적인 도장박리 및 부식에 대한 재도장 보수를 제시함.
• 하부구조의 균열은 주입보수 등의 보수 방안을 제시함.
• 금회 정밀안전진단시, 기 점검에서 제시된 보수방안의 실시여부 및 보수부 상태, 재손상 발생에 대한 보사가 필요함.
</td></tr>
</table>

2.4 보수·보강 이력

본 과업대상시설물의 보수·보강 이력 사항은 관리주체인 “한국도로공사 강원본부 제천지사”의 자료 및 “시설물정보관리 종합시스템(FMS)”에 실적을 참고하여 수록하였다.

2.4.1 백운1교(부산)

구분	공사기간	설계자	시공자	공사명	보수·보강공법/내용	공사금액(천원)
보수	2016.08.29.~ 2016.09.02.	-	-	-	재포장보수(전면 재포장)	-

2.4.2 백운1교(춘천)

【표 2.20】 백운1교(춘천) 보수·보강 이력

구분	공사기간	설계자	시공자	공사명	보수·보강공법/내용	공사금액(천원)
보수	1999.11.23	-	-	-	받침보수(A1, A2, 2EA)	-
보수	2000.01.31	-	-	-	받침보수(A1, 1EA)	
개량	2009.03.12.~ 2009.12.30	-	(주)삼영건설	-	신축이음 교체(A2, 12.0m)	11,799
보수	2016.10.17.~ 2016.10.21.	-	-	-	재포장보수(1,2차로 길어깨부)	-

2.5 시설물의 내진설계 여부

2.5.1 백운1교(부산)

백운1교(부산)은 설계당시 하부구조(교대, 교각)에 내진설계를 적용한 시설물인 것으로 확인되었으며, 그 내용은 『중앙고속도로(제천~원주간) 4차로 확장공사 구조 및 수리계산서(Ⅲ)(최종본) 제16공구(판부~원주) 2000.9』에 수록되어있으며, 그 내용은 “【표 2.8】 백운1교(부산) 구조물 설계조건“에 요약하여 수록하였다.

2.5.2 백운1교(춘천)

국내에서는 1992년에 도로교에 대해 내진설계 기준을 최초로 도입하였으나, 1999년 지진방재종합대책이 수립된 이후 전체 교량에 대해 본격적으로 내진설계를 반영하기 시작하였다. 금회 과업 대상시설물인 백운1교(춘천)는 내진등급 1등급에 해당되며, “2009년도 내진성능 향상 대상교량 세부조사 및 보강설계(2공구)에 따라 교대(A1, A2)에 대하여 내진보강(전단키 설치)을 실시한 것으로 확인되었다.

설계 적용	내진보강(2009)
내진등급 : 1등급에 해당 지반종류 : Ⅱ	내진1등급 적용, 지반종류 : Ⅱ(S=1.0) 지진구역계수 : Ⅱ구역(0.07) 위험도계수 : Ⅰ=1.40 가속도계수 : A=0.098 고유치해석, C.Q.C 모드 조합
	⇒ 전단키 설치(교대)

가. 보강 전 내진성능 평가

■ 기존교량 내진성능 평가 결과요약

▨ 백운1교 위치 : 강원도 원주시 , 내진등급 : 내진1등급교 , 지반종류 : I

콘크리트 아치교 B = 12.510 m , L=35.6+80+35.6=151.2

구 분			기존교량 내진성능 평가결과 콘크리트 아치교, 벽식 교각, 역T형교대, 직접기초(P1), 말뚝기초(P2) 받침 (교대: 4,000kN , 교각: 20,000kN)			
특 징			⊙ 교각형식 : 벽식 교각 ⊙ 교각기초 : 직접기초(P1), 말뚝기초(P2) ⊙ 교대형식 : 역T형교대 ⊙ 교대기초 : 직접기초(A1), 말뚝기초(A2) ⊙ 내진성능 상세평가 교각 : 고정단 교각 P1 ⊙ 실측형하고(받침) : 교대 : 340~370 mm 교각 : 160~190 mm ⊙ 받침보수 및 교체수량 : ⊙ 평가결과 : 받침 : N.G			
구 분			교각 1 (고정단)			
			공 급 역 량	소 요 역 량	판 정	비 율
기 둥 (단위:kN)	파괴 모드	교 축	P^L_n = 62704.516 , V^L_n = 47085.559 , R^L = 7.826		⇒ 전단 지배	
		교 직	P^T_n = 34455.210 , V^T_n = 42738.503 , R^T = 6.036		⇒ 휨 지배	
	휨평가	교 축	490725.542	3418.862	O.K	143.535
		교 직	207971.648	1293.7	O.K	160.757
	전단 평가	교 축	47085.559	3418.862	O.K	13.772
		교 직	42738.503	1293.700	O.K	33.036
	판 정		O.K			
기 초 (단위:kN)	휨평가	교 축	9249.045	213.357	O.K	43.350
		교 직	5584.359	4887.838	O.K	1.143
	전단 평가	교 축	16788.019	0.000	O.K	
		교 직	7461.342	2410.563	O.K	3.095
	안정 평가 (교축)	전 도	145253.430	30128.643	O.K	4.821
		활 동	29050.686	4102.634	O.K	7.081
		지지력	1062.200	845.723	O.K	1.256
	안정 평가 (교직)	전 도	326820.218	52098.798	O.K	6.273
		활 동	29050.686	1552.440	O.K	18.713
		지지력	1062.200	788.234	O.K	1.348
	판 정		O.K			
받 침 (단위:kN)	교대 1	교 축	–	–	–	–
		교 직	1536.0	2505.491	2EA	N.G 0.613
	교대 2	교 축	–	–	–	–
		교 직	1536.0	2496.81	2EA	N.G 0.615
	판 정		N.G			
구 분			적용 받침지지길이	변 위 량	판 정	비 율
최소받침 지지길이 (단위:mm)	교 대 1		1480.0	473.4	O.K	3.126
	교각1		2700.0	468.7	O.K	5.761
	교각2		1548.0	473.7	O.K	3.268
	교 대 2		1560.0	473.3	O.K	3.296
	판 정		O.K			
연단거리 (단위:cm)	교 대 1		52.0	37.8	O.K	1.376
	교 각 1		327.0	60.0	O.K	5.450
	교 대 2		48.0	37.8	O.K	1.270
	판 정		O.K			

나. 보강후 내진성능평가

■ 보강후 교량 내진성능 평가 결과요약

▨ 백운1교 위치 : 충청북도 제천시 , 내진등급 : 내진1등급교 , 지반종류 : I

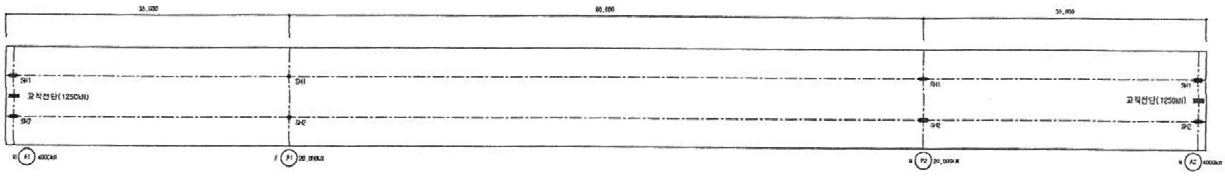
콘크리트 거더교 B = 12.510 m , L=35.6+80+35.6=151.2

구 분			보강후 교량 내진성능 평가결과 콘크리트 거더교, 벽식 교각, 역T형교대, 직접기초(P1), 말뚝기초(P2) 받침 (교대: 4,000kN , 교각: 20,000kN)			
특 징			⊙ 전단키보강 : A1 – 교직 1250kN–1ea A2 – 교직 1250kN–1ea			
구 분			교각 1 (고정단)			
			공 급 역 량	소 요 역 량	판 정	비 율
기 둥 (단위:kN)	파괴 모드	교 축	P^L_n = 62704.516 , V^L_n = 47085.559 , R^L = 7.826		⇒ 전단 지배	
		교 직	P^T_n = 34455.210 , V^T_n = 42738.503 , R^T = 6.036		⇒ 휨 지배	
	휨평가	교 축	490725.542	3418.862	O.K	143.535
		교 직	207971.648	1293.7	O.K	160.757
	전단 평가	교 축	47085.559	3418.862	O.K	13.772
		교 직	42738.503	1293.700	O.K	33.036
	판 정		O.K			
기 초 (단위:kN)	휨평가	교 축	9249.045	213.357	O.K	43.350
		교 직	5584.359	4887.838	O.K	1.143
	전단 평가	교 축	16788.019	0.000	O.K	
		교 직	7461.342	2410.563	O.K	3.095
	안정 평가 (교축)	전 도	145253.430	30128.643	O.K	4.821
		활 동	29050.686	4102.634	O.K	7.081
		지지력	1062.200	845.723	O.K	1.256
	안정 평가 (교직)	전 도	326820.218	52098.798	O.K	6.273
		활 동	29050.686	1552.440	O.K	18.713
		지지력	1062.200	788.234	O.K	1.348
	판 정		O.K			
받 침 (단위:kN)	교대 1	교 축	–	–	–	–
		교 직	**2786.0**	2505.491	2EA	O.K 1.112
	교대 2	교 축	–	–	–	–
		교 직	**2786.0**	2496.81	2EA	O.K 1.116
	판 정		O.K			
구 분			적용 받침지지길이	변 위 량	판 정	비 율
최소받침 지지길이 (단위:mm)	교 대 1		1480.0	473.4	O.K	3.126
	교각1		2700.0	468.7	O.K	5.761
	교각2		1548.0	473.7	O.K	3.268
	교 대 2		1560.0	473.3	O.K	3.296
	판 정		O.K			
연단거리 (단위:cm)	교 대 1		52.0	37.8	O.K	1.376
	교 각 1		327.0	60.0	O.K	5.450
	교 대 2		48.0	37.8	O.K	1.270
	판 정		O.K			

다. 내진보강 방안

▣ 보강방안 :- 전단키 : 받침형 전단키

1) 전단키 배치방안



2) 전단키 용량 및 설치 개소수

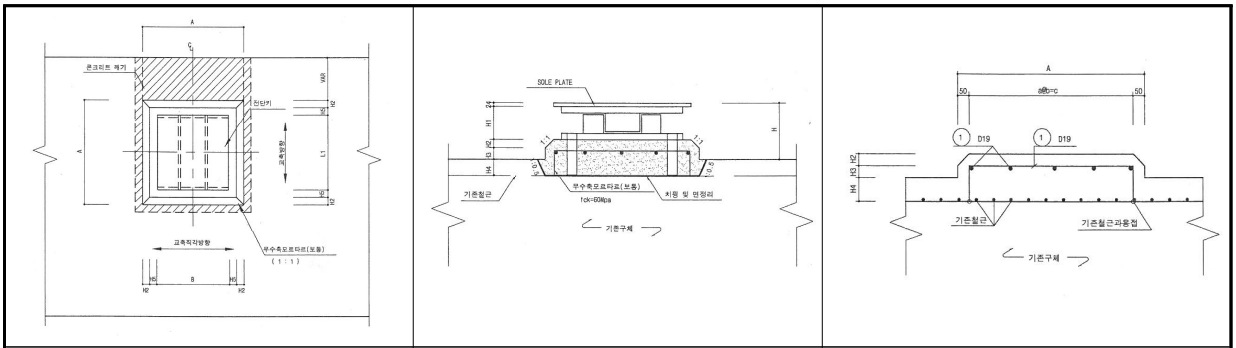
① 전단키 Type : 교축직각방향 전단키
② 최대 설계 지진력 : 2505.491 kN
③ 설계 전단키 용량 : 교축직각방향 : 1250kN
양방향 :

④ 설계 지진력 및 설치 개소수

교각 번호	받침 소요역량(kN)		받침 공급역량(kN)		설계 지진력 (kN)		설치개소수(EA)	
	교축방향	교직방향	교축방향	교직방향	교축방향	교직방향	교축방향	교직방향
교대1	-	2505.491	-	1536.000	-	2505.491	-	교직 1250kN-1ea
교대2	-	2496.810	-	1536.000	-	2496.810	-	교직 1250kN-1ea

⑤ 상시 신축량

구 분		A1	P1	P1	A2
이동방향		↔	●	↔	↔
신축길이 (m)		35.600	0.000	80.000	115.600
온도변화 (-5℃~+35℃)	mm	14.2	0.0	32.0	46.2
상시 이동량(mm)		**14.2**	**0.0**	**32.0**	**46.2**



[평면도] [정면도] [측면도]

【그림 2.6】 전단키 받침 설치 상세도

【표 2.21】 백운1교(춘천) 전단키 및 블록 제원표

구 분	A1	A2
용량(kN)	1250	1250
방향	일방향	일방향
GAP	1㎜	1㎜
A	1020	1020
B	460	460
L1	460	460
H	355	351
H1	150	150
H2	50	50
H3	125	121
H4	100	100
H5	230	230
SOKET(L)	230	230

라. 최소받침지지길이 및 연단거리 평가

1) 최소받침지지길이

소요역량은 도로교설계기준의 최소받침지지길이(N_{min})와 탄성변위 중 큰 값으로 한다.

N_D = Max[탄성변위, N_{min}]

$N_{min} = (200+1.67L+6.67H)(1+0.000125\theta^2)$

여기서, N_{min} : 최소받침 지지길이, mm
L : 인접 신축이음부 까지 또는 교량단부까지의 거리, m
H : 기둥 또는 교각의 평균높이, m
θ : 받침선과 교축직각방향의 사이각, °

- 최소받침지지길이 내진성능 상세평가

위치	적용 받침지지길이(mm)	수식에 의한 변위(mm)	탄성변위(mm)	내진성능평가
A1	1480.0	373.6	473.4	O.K
P1	2700.0	365.6	468.7	O.K
P1	1548.0	365.6	473.7	O.K
A2	1560.0	357.6	473.3	O.K

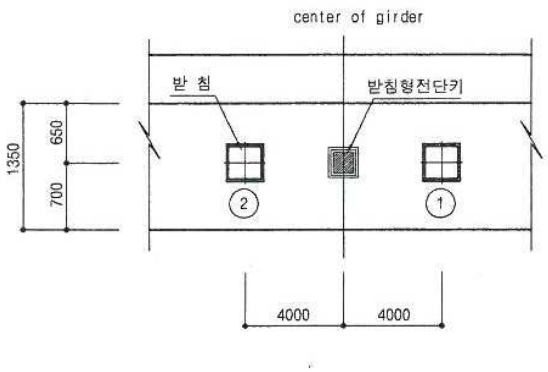
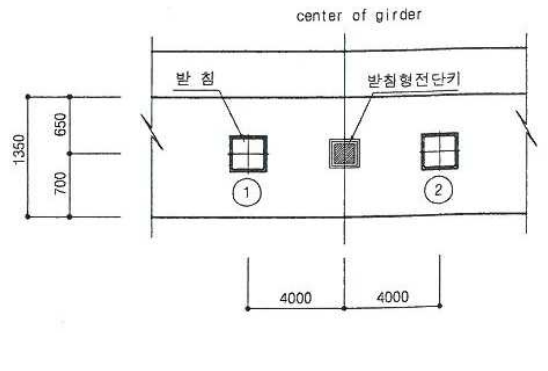
2) 연단거리

- 연단거리 내진성능 상세평가

위치	기존받침 연단거리(cm)	최소필요 연단거리(cm)	내진성능평가
A1	52.0	37.8	O.K
P1	327.0	60.0	O.K
A2	48.0	37.8	O.K

마. 전단키 설치 현황

【표 2.22】 백운1교(춘천) 전단키 설치 현황

	
A1 전단키(1250kN, 교직전단) 설치 위치도	A1 전단키(교직전단) 설치 현황
	
A2 전단키(1250kN, 교직전단) 설치 위치도	A2 전단키(교직전단) 설치 현황

2.6 자료분석 결과요약

금회 진단대상시설물인 백운1교(부산, 춘천)에 대하여 수집된 자료 및 기초자료를 검토한 결과, 중앙고속도로에 시공된 시설물로서 운행은 원활한 상태이고, 시설물에 대해 유지관리가 잘 이루어지고 있는 상태이다. 따라서 금회 진단 시에는 2011년, 2013년 정밀안전진단에서 제시한 중점 유지관리 사항에 대하여 점검을 실시하고, 상세조사 및 현장시험을 실시한 후 현재 구조적으로 문제가 발생되었으나, 향후 문제가 발생될 가능성이 있는 부분에 대하여 구조검토를 실시하여 안전성을 여부를 평가하고자 한다.

금회 진단시설물에 대해 중점적으로 조사해야 될 사항을 기존자료와 일반적인 조사사항을 고려하여 다음과 같이 정리하였다.

【표 2.23】 백운1교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약

구 분	자료분석 결과요약	비 고
설계 관련자료 검토	◈ 백운1교(부산) • "중앙고속도로(제천~원주간) 4차로 확장공사 구조 및 수리계산서(Ⅲ)(최종본) 제16공구(판부~원주) 2000.9"를 참조함. **→ 검토결과, 상부 구조계산, 하부 구조계산, 부대공, 부대공, 옹벽공 등에 대한 구조계산 및 검토에 있어 설계조건, 모델링, 설계 및 검토 등 항목별 검토사항은 적정한 것으로 확인됨.** • "중앙고속도로 제천~원주간 확장공사 실시설계도 제16공구(판부~원주) 2000.9"를 참조함. **→ 검토결과, 설계도면은 당시 설계기준에 적합하게 작성된 거승로 검토되었으며, 종·평면도, 단면도, 상부 구조물도, 강상형 구조도, 강종 상세도가 적정하게 작성된 것으로 검토됨.**	설계도서관리 시스템
	◈ 백운1교(춘천) • "대구~춘천간 고속도로 건설공사 구조도(준공도) 제7공구(Ⅲ-1, Ⅱ) 1995."를 참조함. **→ 검토결과, 설계도면은 당시 설계기준에 적합하게 작성된 것으로 검토되었으며, 종·평면도, 단면도, 상부 구조물도, 강상형 구조도, 강종 상세도가 적정하게 작성된 것으로 검토됨.**	
시공 관련자료 검토	• 백운1교(부산, 춘천)은 유지관리기관 보관자료와 시설물유지관리시스템(FMS)에 보유자료가 없는 것으로 확인됨.	설계도서관리 시스템
기 정밀안전진단 유지관리방안	◈ 백운1교(부산) • 교량 주부재 및 보조부재 국부적 강재 부식 및 도장박리 **→ 손상의 진전여부 및 2차 손상여부** • 우수유입으로 인한 강재의 부식발생 유발 **→ 동판설치를 제안했으므로, 설치상태 확인 및 손상 진전여부**	설계도서관리 시스템
	◈ 백운1교(춘천) • AR 콘크리트 거더(S2) 중앙부 균열(0.2mm미만) 발생부 **→ 손상의 진전여부 및 2차 손상여부** • 거더 복부 수직균열(0.3mm이상) 발생부 **→ 손상의 진전여부 및 2차 손상여부** • 신축이음장치(A2) 누수 여부 **→ 보수 후 누수흔적(열화) 및 2차 손상여부** • 갓길측 포장열화(망상균열, 소성변형, 들뜸 등) 발생부 **→ 포장열화에 따른 누수/백태의 진전여부 및 2차(강재부식) 손상여부**	

【표 2.23】 백운1교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약(계속)

구 분		자료분석 결과요약(백운1교(부산))	비 고
사전 답사	거더 및 리브	• 강재 부식 및 볼트체결부 부식   → 손상원인(우수유입경로 등) 및 손상의 진전여부 확인	
	가로보, 세로보 및 브레이싱, 행거	• 선단부 부식 및 볼트체결부 부식   → 손상원인(우수유입경로 등) 및 손상의 진전여부 확인	
	교대 및 교각	• 흉벽부 누수 및 백태, 코핑부 체수, 압성토 사면 기울기 적정성   → 우수유입 경로 및 보수방안 검토, 압성토 사면 기울기 적정성 검토	
	받침 장치	• 받침장치 부식 및 도장박리   → 손상의 진전여부 및 부식에 의한 받침 가동 불량 여부 확인	

【표 2.23】 백운1교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약(계속)

구 분		자료분석 결과요약(백운1교(부산))	비 고
사전 답사	신축 이음	• 신축이음부 토사퇴적 및 길어깨부 체수  **→ 하절기 고온시 유간폐쇄 여부 및 체수에 의한 바닥판 하면 누수 여부 확인**	
	교면 포장	• 포장부 백태, 균열   **→ 포장부 코어채취를 통한 포장 상태 및 방수층 상태 확인**	
	배수 시설	• 교면포장 배수구 토사퇴적  **→ 토사퇴적에 의한 배수불량부 포장부 들뜸 등 손상 확인**	
	방호 울타리	• 보수부 재손상 및 박리   **→ 기보수 이력 확인 및 보수 필요성 검토**	

【표 2.23】 백운1교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약(계속)

구 분		자료분석 결과요약(백운1교(춘천))	비 고
사전 답사	바닥판	• 데크플레이트 마감  → **데크플레이트 마감부 부식 및 누수 손상 발생여부 확인**	
	AR거더	• 복부 철근노출 및 재료분리  → **철근노출 및 재료분리에 의한 추가적인 손상 진전여부 확인**	
	교대 및 교각	• 흉벽부 누수 및 백태, 코핑부 체수, 압성토 사면 기울기 적정성   → **우수유입 경로 및 보수방안 검토, 압성토 사면 기울기 적정성 검토**	
	받침 장치	• 받침장치 부식  → **손상의 진전여부 및 부식에 의한 받침 가동 불량 여부 확인**	

【표 2.23】 백운1교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약(계속)

구 분		자료분석 결과요약(백운1교(부산))	비 고
사전 답사	신축 이음 장치	• 신축이음부 토사퇴적 및 강재부식  → 하절기 고온시 유간폐쇄 여부 및 바닥판 하면 누수 여부 확인	
	교면 포장	• 길어깨 소성변형 및 들뜸  → 포장부 코어채취를 통한 포장 상태 및 방수층 상태 확인	
	배수 시설	• 교면포장 배수구 스틸그레이팅 파손, 토사퇴적   → 배수시설 손상에 의한 포장부 및 바닥판 추가손상 여부 확인	
	방호 울타리	• 보수부 재손상   → 기보수 이력 확인 및 보수 필요성 검토	
	기타 시설	• 전선관 보호 커버 부식 및 파손  → 재설치 필요성 검토	

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개요
3.2 백운1교(부산) 외관조사
3.3 백운1교(춘천) 외관조사
3.4 콘크리트 내구성조사
3.5 강재 내구성조사
3.6 현장조사 및 시험 결과요약

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

3.1.1 대상구조물의 개요

가. 백운1교(부산)

○ 백운1교(부산)은 총연장 180.93m, 총폭 12.6m의 Steel Arch교량으로서, 강원도 원주시 판부면 금대리에 위치(중앙선 Sta. 301.8km)한다. 평면선형은 사각이 없는 직선교이며, 종단경사는 시점(부산측)에서 종점(춘천측)으로 2.78%의 하향경사를 이루고 있다.

○ Bent공법으로 시공된 3경간 강아치교(상로식 로제교)는 좌, 우측의 주거더와 가로보, 아치리브와 브레이싱 및 행어가 복합적으로 구성된 2힌지의 3경간 연속교이며, 하부구조는 직접(전면)기초 위에 벽식교각과 역T형 교대로 시공되었다.

○ 백운1교(부산)는 1등교(DB-24)로써 2000년도에 준공되어 현재까지 약 16년이 경과되었으며, 최대 경간장이 79.97m인 1종 시설물이다.

나. 백운1교(춘천)

○ 백운1교(춘천)는 총연장 151.4m, 총폭 12.51m의 AR 거더 교량으로서, 강원도 원주시 판부면 금대리에 위치(중앙선, Sta. 301.9km)한다. 평면선형은 사각이 없는 직선교이며, 종단경사는 시점(부산측)에서 종점(춘천측)으로 2.78%의 하향경사를 이루고 있다.

○ 상부구조는 3경간 연속의 AR거더이며, 하부구조는 역T형 교대 2기 및 구형 교각 2기이며, 기초형식은 A1, P1은 직접기초, P2, A2는 강관파일 말뚝기초로 시공되었다.

○ 백운1교(춘천)은 1등교(DB-24)로서 1995년도에 준공되어 현재까지 약 21년이 경과되었으며, 최대 경간장이 80.0m인 1종 시설물이다.

3.1.2 현장조사 개요

진단대상 교량의 외관조사는 손상현황 및 결함의 상태를 파악하여 시설물의 건전성을 저해시키는 위험요인을 사전에 발견하여 보다 적절한 보수대책 수립을 위한 기본자료를 얻기위함이며, 현장조사는 도보조사, 점검통로, 점검차량 등 접근장비를 이용하여 대상 부위에 가능한 근접하여 조사를 실시하였다.

현장조사는 정밀 육안관찰을 기본으로 하여 실시하였으며, 필요한 경우 균열게이지, 균열확대경, 줄자 등을 이용하고 카메라를 이용하여 손상위치를 파악하였다.

외관조사와 더블어 Schmidt Hammer, 콘크리트 초음파시험기, RC-RADAR(철근탐사기), 강재 초음파시험기 등의 비파괴 장비를 이용하여 측정부위에 구조적인 영향이나 파괴없이 구조물의 물적 특성을 조사하였다.

외관조사시 손상 또는 결함의 정도는 육안이나 간단한 도구에 의하여 실시하였는바, 조사자의 주관적인 판단에 의해 발생되는 차이를 최소화하기 위하여『시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 지침(국토교통부고시 제2013-200호)』,『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 해설서(2012.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』를 기준으로 평가하였으며, 구조물에 발생된 손상의 정도는 a~d 4단계, a~e 5단계로 분류하여 적용하였고, 점검항목의 체계화를 위하여 구조물 항목별로 평가를 실시하였다.

3.1.3 현장조사 진행방향

【표 3.1】 현장조사 진행방향

구 분	조사내용	비고
답사 및 예비조사	• 현장조사 여건파악, 부재별 조사방법 및 접근장비 계획 • 주변 상태변화 파악 • 이력사항 검토를 통하여 부재별 주요 결함, 보수·보강 부재, 부위 파악 • 결함, 손상의 발생원인을 추정하고 조사방향 결정 • 조사인원 구성, 진단장비, 교통통제 계획 및 유관기관 협의, 기타 일정 계획	-
본조사	• 바닥판, 강거더, 교대, 교각 등 주부재 손상 보수여부, 균열, 열화 및 손상 • 받침장치, 신축이음장치 보수여부, 외관 및 기능상태 육안점검, 측정 • 교면 아스콘포장 보수여부, 주행로 균열, 열화 및 손상 발생여부 • 배수시설 상태변화 및 기능상태 • 방호울타리 손상 보수여부, 균열, 열화 및 손상 • 콘크리트 부재 및 강부재 내구성조사 ⇒ 상기사항을 중점 점검하여 손상의 원인을 판단하고, 원인에 따른 적정한 보수·보강방안 및 범위, 효율적인 유지관리방안 제시	-

【표 3.2】 현장조사 기간

구 분	일 시	조사내용	수행자
예비조사	2016. 06. 27. ~ 06. 28.	현장답사, 구조물 현황조사	안과헌 외 14명
1차 현장조사	2016. 07. 07. ~ 08. 19.	외관조사, 비파괴시험	
2차 현장조사	2016. 09. 28. ~ 09. 29.	외관조사(받침장치, 신축이음 등)	

3.1.4 교량 점검 및 접근방법

백운1교는 치악 2터널과 치악 3터널 간의 골짜기를 연결하는 교량으로 외관조사는 교량 상부 및 교대 및 교각은 도보를 이용하여 실시하였고, 거더, 바닥판 하면, 행거 등 접근이 난이한 부재는 교량점검차, 이가점검차(다굴절차), 고소점검차, 디지스코프, 망원경 및 점검통로를 이용하였다.





도보를 이용한 외관조사





교량점검차 및 이가점검차(다굴절차)를 이용한 외관조사





고소점검차 및 디지스코프를 이용한 외관조사

【사진 3.1】 외관조사 전경

3.1.5 일반적 부재별, 손상별 발생원인 및 조사방향

【표 3.3】 일반적 부재별, 손상별 발생원인 및 조사방향

손상내용		발생원인	조사방향
교면포장	신축이음 후타재 균열, 파손 등	• 중차량 통과 • 노후화 및 시공불량	• 발생위치 및 규모
바닥판 하면	횡방향 균열	• 건조수축에 의한 균열	• 균열폭, 방향 및 연속성 • 균열부 누수, 백태 유무
	망상균열	• 건조수축에 의한 균열	• 균열폭, 방향 및 연속성 • 균열부 누수, 백태 유무
	누수, 백태	• 교량상면 균열	• 구체를 통한 누수 여부
교대, 교각	균열	• 건조수축에 의한 균열 • 수화열에 의한 균열 • 시공이음부 균열	• 균열폭, 방향 및 연속성 • 균열의 시·종점
철근 비노출 손상 (재료분리, 박리, 박락, 들뜸 등)		• 다짐불량 • 인위적인 손상 • 탄산화로 인한 내부철근 부식	• 발생 규모 및 위치 • 청음조사
철근 노출 손상 (재료분리, 파손, 박락 등)		• 피복두께 부족 • 내부철근 부식으로 인한 피복박리 • 인위적인 큰 단면 손상	• 발생 규모 및 위치 • 청음조사 • 부식으로 인한 철근단면 감소 여부
Steel Box Girder 및 2차 부재	강재본체	• 기 변형된 부재 사용 • 인위적인 절단, 충격(하중)	• 발생위치 및 규모 • 2차적인 손상발생 유무
	용접부	• 피로균열, 받침 지지상태 불량 • 시공시 누락 • 용접전류, 용접속도 불량 • 미숙련자의 용접	• 발생위치 및 규모 • 2차적인 손상발생 유무
	연결볼트	• 연결부 제작오차로 인한 단차 발생 • 볼트 구멍 어긋남(불일치)	• 발생위치 및 규모 • 2차적인 손상발생 유무
	부식 및 도장박리	• 오랜 공용기간으로 인한 도장 열화 • 도막두께 부족 • 신축이음부 누수 및 빗물 유입	• 발생위치 및 규모 • 2차적인 손상발생 유무
교량받침	가동 여유량 부족 및 밀착 발생 등	• 온도변화를 정확히 미고려함 • 시공오차에 따른 가동 여유량 부족	• 현 가동여유량 조사 • 발생 위치 및 개소 • 2차 손상 발생 유무
	연단부 및 받침 콘크리트 파손	• 받침장치 가동불량에 따른 전단 파괴	• 교각 연단부 균열발생 여부 및 받침부 강재 변형여부 관찰
	고정앵커 볼트 미조임, 길이부족 설치불량 등	• 볼트 나사선 청소불량 • 앵커 볼트 편심 시공 • 제작오차로 인한 조임시 하답과 밀착	• 발생 위치 및 개소 • 2차 손상 발생 유무
	녹 및 부식	• 오랜 공용기간으로 인한 도장열화 • 신축이음부 누수	• 발생 위치 및 개소
	무수축 몰탈 균열 및 들뜸	• 시공불량 • 건조수축에 의한 균열	• 발생 규모 및 위치 • 청음조사

3.1.6 부재제원 확인

백운1교의 부재제원 확인을 위해 줄자 및 디스토(거리측정기)를 이용하여 각각의 부재별로 실측을 실시하고, 이를 준공도와 비교·검토하여 주요 부재의 규격을 확인하였다.




부재제원 확인

【사진 3.2】 부재제원 확인

【표 3.4】 부재제원 확인

구 분				부재제원	실측결과	비 고
백운1교 (부산)	상부 구조	바닥판 B		12.600 m	12.606 m	일치
		보강거더	높이 H	1.250 m	1.250 m	일치
			간격 B	0.900 m	0.900 m	일치
		아.리치브	높이 H	1.300 m	1.300 m	일치
			간격 B	0.900 m	0.900 m	일치
		행거	간격 W	0.500 m	0.500 m	일치
			간격 B	0.900 m	0.900 m	일치
		상부 브레이싱	간격 W	0.300 m	0.300 m	일치
			간격 B	0.300 m	0.300 m	일치

【표 3.4】 부재제원 확인(계속)

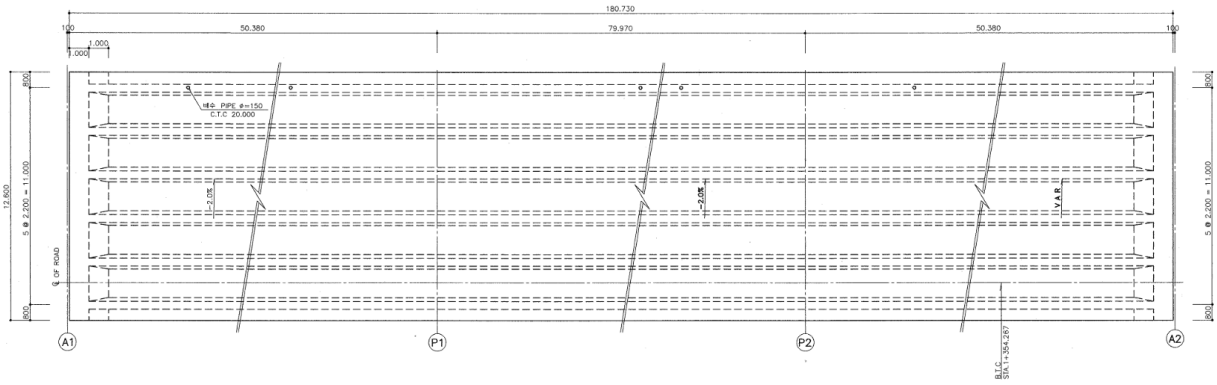
구 분				부재제원	실측결과	비 고
백운1교 (부산)	상부 구조	하부 브레이싱	간격 W	0.300 m	0.300 m	일치
			간격 B	0.300 m	0.300 m	일치
	하부 구조	교 대 (A1/구체)	폭 B	14.200 m	14.150 m	일치
			상면 L	1.200 m	1.200 m	일치
		교 각 (P1/코핑)	폭 B	12.800 m	12.800 m	일치
			상면 L	3.000 m	3.000 m	일치
	기타	방호벽	높이 H	1.080 m	1.070 m	일치
		포장(재포장)	두께 T	0.080 m	0.080 m	일치
백운1교 (춘천)	상부 구조	바닥판 B		12.510 m	12.500 m	일치
		아.리치브	간격 B	2.000 m	2.000 m	일치
	하부 구조	교 대 (A1/구체)	폭 B	12.510 m	12.400 m	일치
			상면 L	1.600 m	1.600 m	일치
		교 각 (P1/코핑)	폭 B	7.000 m	7.000 m	일치
			상면 L	5.600 m	5.610 m	일치
	기타	방호벽	높이 H	1.080 m	1.090 m	일치
		포장	두께 T	0.050 m	0.050 m	일치
측정 결과	• 부재 제원의 실측결과, 전반적으로 백운1교(부산)은 「중앙고속도로 제천-원주간 확장공사 제16공구 실시설계도」, 백운1교(춘천)은 「대구-춘천간 고속도로 건설공사 제7공구 준공도」 준공도상의 제원과 전반적으로 일치함.					

3.2 백운1교(부산) 외관조사

3.2.1 상부구조

가. 바닥판

상부의 교통하중을 직접 지지하며, 상부하중을 거더로 전달해 주는 바닥판은 거더와 거더 사이의 내측 바닥판과 캔틸레버 구조인 외측바닥판으로 구분되며, 내측 바닥판은 Deck Plate가 설치되어 있다. 현장조사는 고소점검차 및 중앙점검통로를 이용한 근접조사를 실시하였으며, 바닥판하면에서 발생되는 균열, 백태, 누수 및 데크플레이트 부식 등의 손상여부를 중점적으로 조사하였다.





내측 바닥판(데크플레이트) 전경



외측 바닥판(캔틸레버) 전경

【사진 3.3】 백운1교(부산) 바닥판 전경

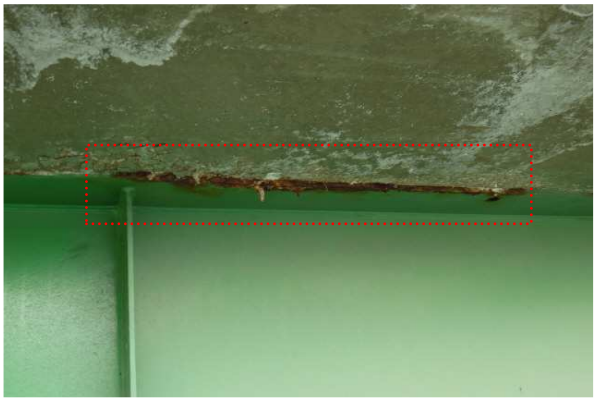
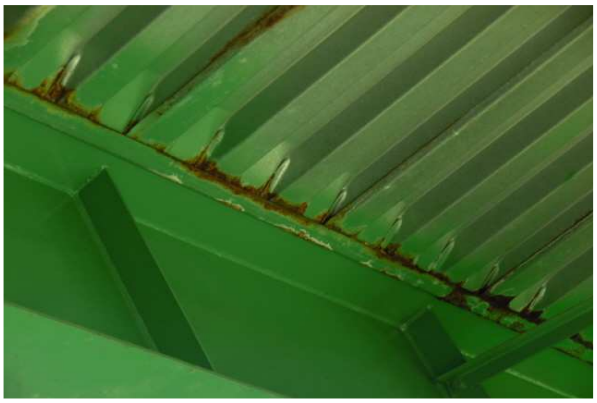
1) 외관조사 결과

바닥판 하면에서 발생된 주요 결함은 도장박리, 박리, 백태, 볼트부식, 데크플레이트 부식, 철그노출, 파손 등이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.5】과 같다.

【표 3.5】 백운1교(부산) 바닥판 외관조사 결과

구분	박리 (㎡/EA)	백태 (㎡/EA)	부식 (㎡/EA)	철근노출 (㎡/EA)	파손 (㎡/EA)
S1	-	5.62/15	5.01/11	0.08/4	-
S2	-	5.52/6	27.07/56	-	-
S3	0.2/1	8.5/4	37.44/59	-	0.16/1
합계	**0.2/1**	**19.64/25**	**69.52/126**	**0.08/4**	**0.16/1**

2) 손상현황

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• S3 우측 캔틸레버하면 박리(A=0.20㎡)</td><td>현 황</td><td>• S3 좌 캔틸레버하면 백태(A=4.00㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 우수 유입 표면열화</td><td>원 인</td><td>• 우수 유입</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 단면보숭</td><td>대 책</td><td>• 표면처리</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• S3 바닥판 하면 부식(A=4.00㎡)</td><td>현 황</td><td>• S2 바닥판 하면 부식(A=0.30㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 우수 유입</td><td>원 인</td><td>• 우수 유입</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 재도장</td><td>대 책</td><td>• 재도장</td></tr>
</table>

【사진 3.4】 백운1교(부산) 바닥판 손상발생 현황





현 황	• S1 바닥판 하면 철근노출(A=0.08㎡)	**현 황**	• S3 바닥판 하면 파손(A=0.16㎡)
원 인	• 시공 미흡	**원 인**	• 우수 유입 후 동결융해
대 책	• 단면보수(방청)	**대 책**	• 단면보수

【사진 3.4】 백운1교(부산) 바닥판 손상발생 현황(계속)

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 박리

캔틸레버부에 조사된 박리는 우수유입에 의한 콘크리트부 재질열화로 우수유입 차단 후 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.

② 백태

강우 시 우수유입에 의한 백태가 발생한 것으로 우수 유입 차단 후 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

③ 부식

바닥판 하면 캔틸레버를 타고 강우 시 유입된 우수에 의해 발생된 부식은 내구성 확보를 위한 부식 제거 후 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

④ 철근노출

S1 바닥판 하면에 조사된 철근노출은 피복부족 또는 파손에 의한 손상이 아닌 시공 시 마감미흡에 의한 손상으로 구조적인 문제점은 없으나 내구성 확보를 위해 제거 및 단면보수가 바람직할 것으로 판단된다.

⑤ 파손

S3 바닥판 하면 캔틸레버측 콘크리트가 신축이음부 누수에 의한 반복적인 우수유입 및 동절기 동결융해를 거치면서 파손 된 것으로 조사되었으며 내구성 확보를 위한 단면보수 및 근본원인인 신축이음부 누수에 대한 신축이음 교체 또는 신축이음하부 유도배수를 통한 우수유입을 차단하여야 할 것으로 판단된다.

⑥ 바닥판(데크플레이트, 캔틸레버) 및 교면 방수층

바닥판 하부는 데크플레이트로 마감되어 있으며, 좌·우측 캔틸레버부는 약 0.8m로 콘크리트로 노출되어 있는 상태이다. 본 교량은 겨울철 제설제가 다량 살포되는 적설한랭지역에 위치하고 있으며, 외관조사 결과 데크플레이트 부식 및 캔틸레버부 백태 등 우수의 영향으로 인한 손상들이 조사되었다. 상부 포장부 외관조사 결과 포장 길어깨부 들뜸, 균열, 마모 등의 손상 및 일부 주행차로부 백태 손상 등이 조사되어, 포장 내부의 바닥판 열화손상이 우려된다. 포장부 상태 및 방수층 손상여부 등을 확인하기 위하여 길어깨부 들뜸 손상부위에 포장 코어채취를 실시하였으며, 포장 코어채취 결과 별도의 방수층은 확인되지 않았으며, 바닥판 상부는 습윤 상태로 조사되었다.



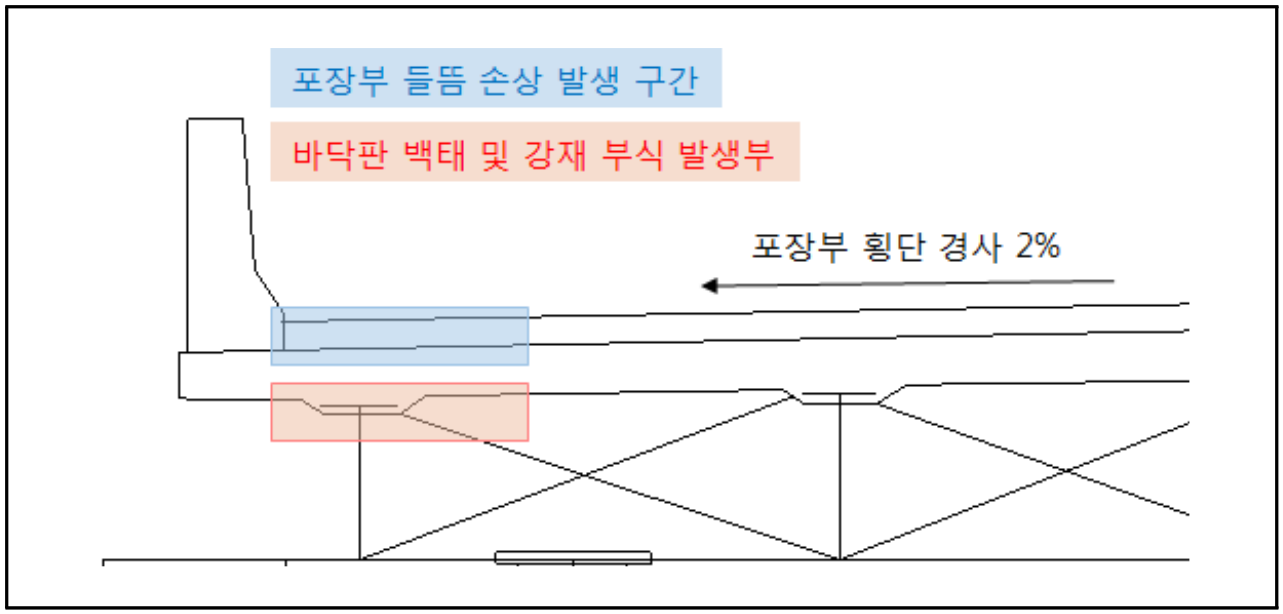
코어채취



바닥판 상부 습윤 상태

【사진 3.5】 백운1교(부산) 포장부 코어채취 현황

포장부 코어채취 결과, 바닥판 하면의 손상이 단순 강우 시 습기에 노출되어 발생되는 손상이라기 보다는 일부 포장 열화부위를 통하여 포장 내부로 우수 및 제설염화물과 같은 유해물질의 침투가 발생하여 아스팔트 콘크리트와 콘크리트 바닥판의 경계면에서 장기체류하면서 동절기동안 동결융해를 거쳐 바닥판 콘크리트의 열화손상을 유발시키고 있는 것으로 판단된다.



【그림 3.1】 백운1교(부산) 포장부 손상 발생부와 바닥판 하면 손상 발생부 개요도

바닥판 콘크리트 하면의 표면처리, 강재 녹제거 및 재도장은 근본적인 원인인 포장손상 및 방수층 손상에 대한 보수 및 바닥판 콘크리트 상면 열화부에 대한 단면보수가 우선 실시되지 않으면 보수부에 대한 재손상 발생 가능성이 높을 것으로 판단된다. 또한 겨울철 기온 하강 시 포장내부 미배출된 노면 유입수의 동결융해 반복으로 손상부위는 점진적으로 확대될 것으로 판단됨으로 동절기 이전에 재포장 및 방수층 재시공, 바닥판 상면 열화부 단면보수 등으로 시설물의 내구성 확보가 필요하다고 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교·분석

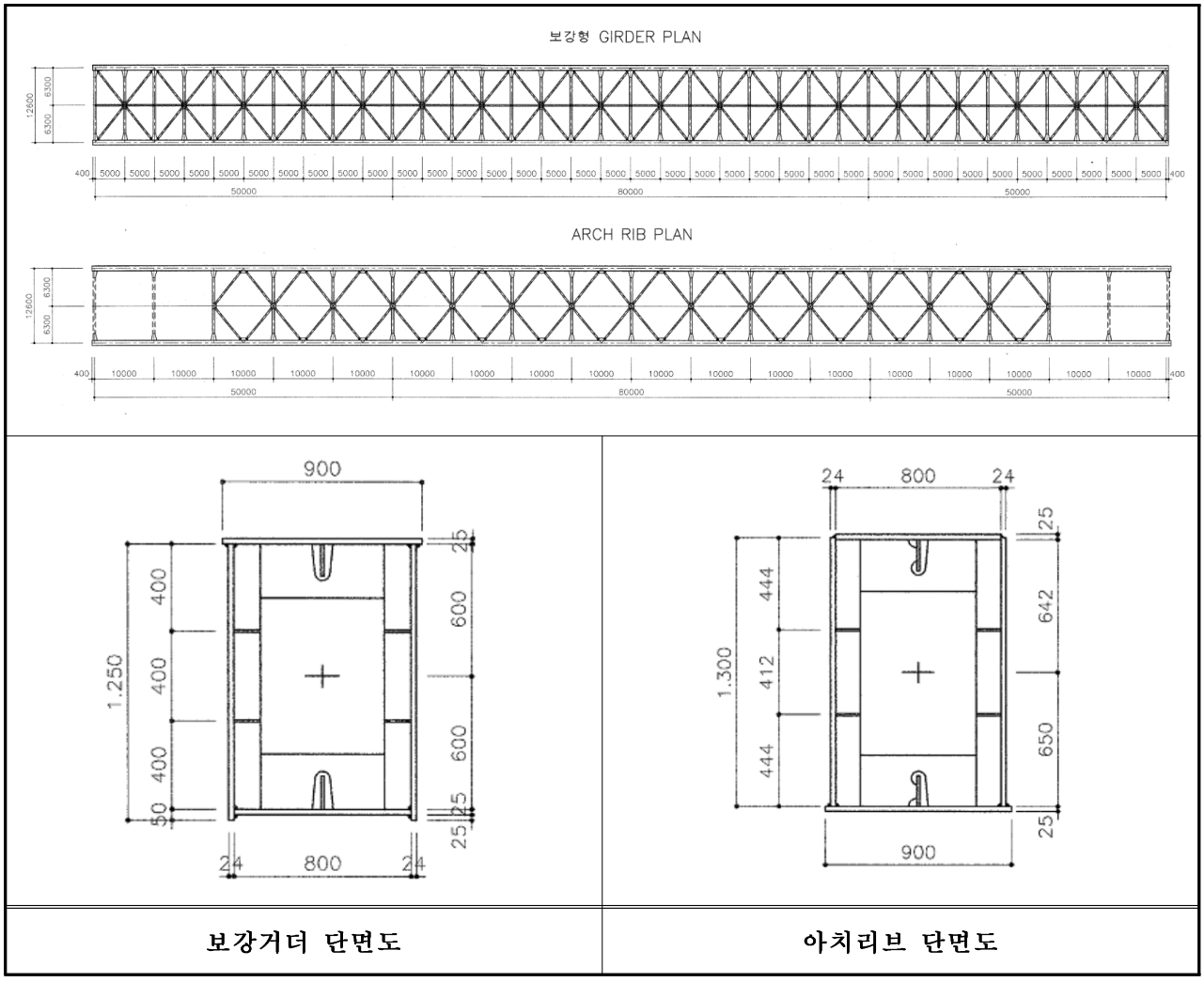
기 진단(2011년 시행)과의 비교·분석 결과, 박리, 백태, 부식 등의 결함은 공용 중 발생된 추가손상으로 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 철근노출은 바닥판과 거더 흉벽의 접합부로 상세조사에 의한 신규손상으로 조사되었으며, 파손은 기 진단과 동일하게 손상의 진전은 없는 것으로 조사되었다.

【표 3.6】 백운1교(부산) 바닥판의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2011년	2016년			
박리	㎡	-	0.20	+	0.20	• 공용 중 발생된 추가손상
백태	㎡	19.20	19.64	+	0.44	• 공용 중 발생된 추가손상
부식	㎡	22.90	69.52	+	46.62	• 공용 중 발생된 추가손상
철근노출	㎡	-	0.08	+	0.08	• 상세조사에 의한 신규손상
파손	㎡	0.16	0.16		-	-

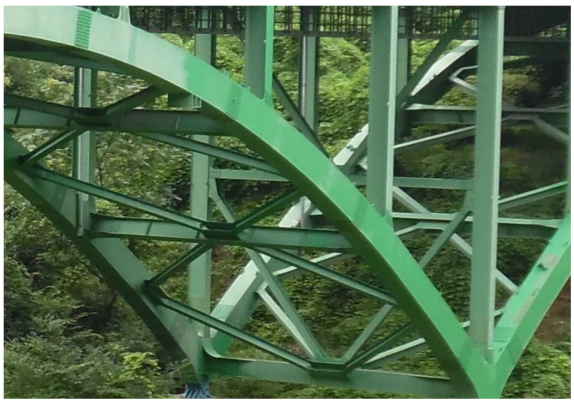
나. 보강거더 및 아치리브

바닥판으로부터 전달되는 하중을 지지하고 교량받침을 통하여 하부구조로 하중을 전달해 주는 역할을 하는 거더는 보강거더와 아치리브로 구성되어 있고, 강박스 거더의 형식으로 시공되었으며, 조사방법은 도보 및 교량점검차를 이용한 근접조사를 실시하였다. 또한 P1, P2에 설치되어있는 점검구를 통하여 아치리브 내부 진입 후 보강거더 및 아치리브 내부를 조사하였다. 장기간 밀폐되어있는 부재의 조사라 점검자의 안전을 위하여 송풍기 및 주름관을 이용하여 거더 내부로 공기를 유입시키고, 출입 전 이산화탄소 농도측정기를 이용하여 거더 내부 이산화탄소 농도를 측정하였으며, 이산화탄소 농도측정기를 점검자에게 소지하도록하여 이상여부를 바로 확인할 수 있도록하여 안전사고가 발생하지 않도록 주의를 기울였다.



보강거더 단면도 | 아치리브 단면도

【그림 3.2】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 일반도 및 단면도

	
보강거더 외부	아치리브 외부
	
보강거더 내부	아치리브 내부

【사진 3.6】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 전경

	
점검 전 이산화탄소 농도 측정	이산화탄소농도 측정기 점검자 휴대

【사진 3.7】 백운1교(부산) 거더내부 조사 전 이산화탄소 농도 측정



거더 내부 공기유입 장치 전경



거더 외부 공기유입 장치 전경

【사진 3.8】 백운1교(부산) 거더 내부 공기 유입 장치

1) 외관조사 결과

보강거더 및 아치리브에 내·외부에 대한 현장조사 결과, 부식, 스플라이스 볼트 부식, 도장박리, 점검구 볼트 부식, PIT, 실리콘 마감불량, 언더컷, 이물질퇴적 등의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표3.7】과 같다.

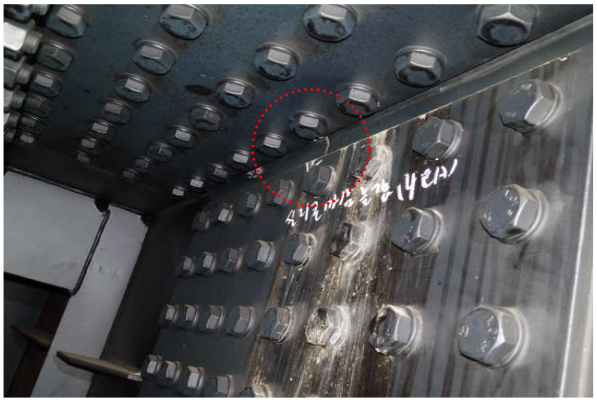
【표 3.7】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 외관조사 결과

구분		부식 (㎡/EA)	SP볼트 부식 (㎡/EA)	도장박리 (㎡/EA)	점검구 주위 볼트 부식 (㎡/EA)	PIT (개소)	실리콘 마감불량 (개소)	언더컷 (m/개소)	이물질 퇴적 (㎡/EA)
S1	G1	5.52/16	1.80/180	-	-	2	11	0.10/1	1.69/3
	G2	1.62/18	3.12/312	-	-	4	10	-	2.54/3
S2	G1	15.75/28	3.47/347	11.78/5	-	9	41	-	1.77/3
	G2	4.95/29	7.11/711	0.03/1	-	-	48	-	-
S3	G1	3.02/25	2.27/227	7.83/4	-	-	19	-	0.05/1
	G2	2.69/34	2.60/260	0.49/3	0.05/5	-	23	-	-
합계		33.55/150	20.37/2037	20.13/13	0.05/5	15	152	0.10/1	6.05/10

2) 손상현황

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• S3-G1-외부 좌측면(내측)
부식(A=0.10㎡)</td><td>현 황</td><td>• S2-2-G1 외부 우측면(외측)
SP볼트 부식(A=0.40㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 장기공용, 우수접촉</td><td>원 인</td><td>• 장기공용, 우수접촉</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 재도장</td><td>대 책</td><td>• 재도장</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• S2-2-G1 우측면(외측) 도장박리(A=2.50㎡)</td><td>현 황</td><td>• S2-G2 외부 볼트부식(A=0.03㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 장기공용, 우수접촉</td><td>원 인</td><td>• 장기공용, 우수접촉</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 재도장</td><td>대 책</td><td>• 재도장</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• S1-3-G1(아치리브) 내부 PIT(1개소)</td><td>현 황</td><td>• S1-3-G1(아치리브) 내부 언더컷(L=0.10m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 용접불량</td><td>원 인</td><td>• 용접불량</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 유지관리</td><td>대 책</td><td>• 유지관리</td></tr>
</table>

【사진 3.9】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 외관조사 결과

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• S2-3-G2(보강거더) 내부
실리콘 마감불량(4개소)</td><td>현 황</td><td>• S1-3-G1(아치리브) 내부
이물질 퇴적(A=1.50㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 시공불량</td><td>원 인</td><td>• 환기구 유입</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 실링재 보수</td><td>대 책</td><td>• 청소</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• 종리브 및 수평 보강재 양호</td><td>현 황</td><td>• 스켈럽 상태 양호</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• 용접부 목두께 측정
(준공도와 전반적 일치)</td><td>현 황</td><td>• 볼트 체결부 타격 조사(양호)</td></tr>
</table>

【사진 3.9】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 외관조사 결과(계속)

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 부식

보강거더 및 아치리브에서 발생된 부식은 공용 중 우수접촉 등에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 부식에 따른 단면 감소는 없는 것으로 조사되었다. 따라서 내구성 확보를 위한 재도장이 적합할 것으로 판단된다.

② 볼트부식(SP볼트 부식, 점검구주위 볼트 부식)

현장이음부는 전반적으로 양호한 상태이나 일부 볼트부식이 발생한 상태로 이는 바탕처리 및 도장불량에 의한 결함과 거더 내부 실리콘 마감불량부로의 우수유입에 의한 손상으로 판단되며, 재도장 및 실링보수가 적합할 것으로 판단된다.

③ 도장박리

보강거더 및 아치리브에서 발생된 부식은 공용 중 우수접촉이 원인으로 판단되며, 장기적인 내구성 확보를 위해 재도장이 필요할 것으로 판단된다.

④ PIT

보강거더 및 아치리브 내부 용접부에서 조사된 PIT는 시공당시 용접불량에 의한 손상으로 판단되며, 그 손상규모가 작고 그 분포 또한 산발적으로 주의관찰을 통한 유지관리가 적절한 것으로 판단된다.

⑤ 언더컷

S1-G1에 조사된 언더컷은 공장 제작 시 용접불량에 의한 손상으로 판단되며, 그 손상규모가 경미한 수준으로 별도의 보수보다는 현 상태를 주의관찰을 통한 유지관리가 적절한 것으로 판단된다.

⑥ 이물질 퇴적

보강거더 및 아치리브 내부에서 조사된 이물질 퇴적은 환기구 및 스플라이스 연결부 실리콘 마감 불량부를 통해 유입된 것으로 실리콘 마감부에 대한 실링보수를 실시 한 후 청소를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

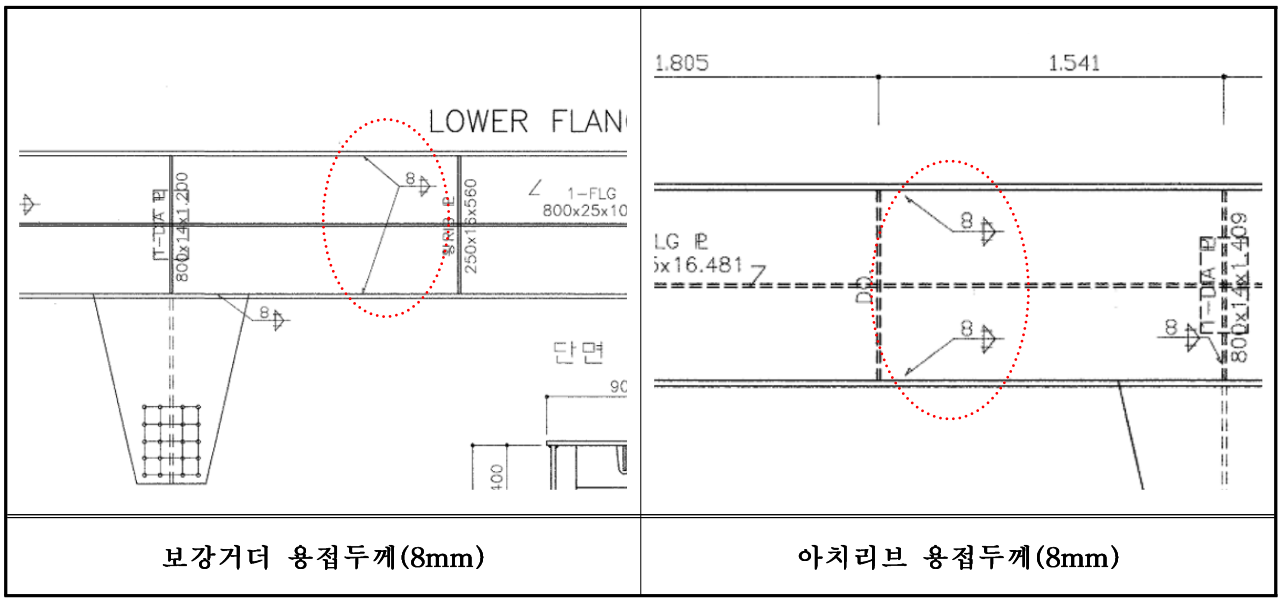
⑦ 실링재 마감불량

시공미흡으로 실링재 마감이 누락된 것으로 판단되며, 실링재 마감불량 부위로 우수유입 흔적이 있는 상태이므로, 실링재 보수를 실시하여 추가손상을 미연에 방지하는게 바람직 하다고 판단된다.

⑧ 용접부 목두께 측정

보강거더 및 아치리브 내부 외관조사 시 용접각장게이지를 활용하여 용접부 목두께를 측정하였으며, 그 결과를 “중앙고속도로 제천-원주간 4차로 확장공사 제16공구(판부-원주)

준공도“의 용접두께와 비교·검토 한 결과 전반적으로 양호한 것으로 나타났다.



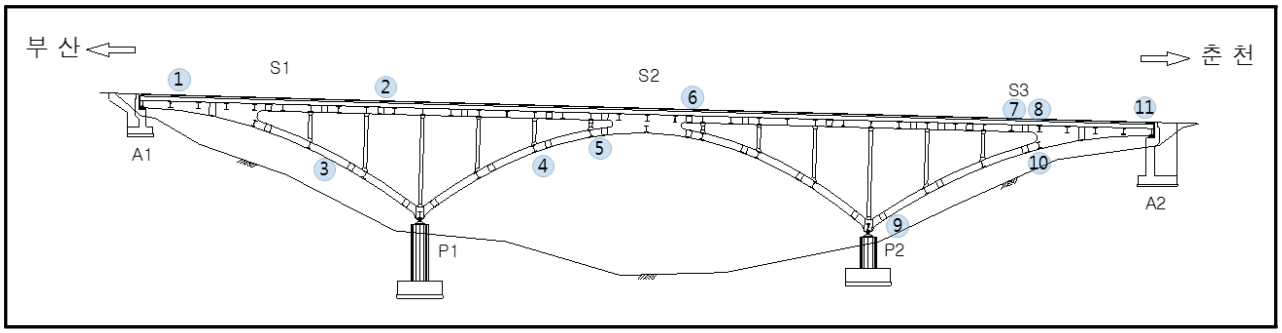
보강거더 용접두께(8mm) | 아치리브 용접두께(8mm)

【그림 3.3】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 용접두께

【표 3.8】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 용접두께 측정값

구 분		측정값(mm)	설계값(mm)	비 고
1	S1-1-G2(보강거더)	7.6	8.0	
2	S1-2-G2(보강거더)	8.1	8.0	
3	S1-3-G1(아치리브)	8.0	8.0	
4	S2-2-G1(아치리브)	8.1	8.0	
5	S2-2-G2(아치리브)	8.0	8.0	
6	S2-4-G2(보강거더)	8.2	8.0	
7	S3-1-G1(보강거더)	7.9	8.0	
8	S3-1-G2(보강거더)	8.3	8.0	
9	S3-2-G1(아치리브)	7.8	8.0	
10	S3-2-G2(아치리브)	8.3	8.0	
11	S3-3-G1(보강거더)	8.4	8.0	

주) 도로교표준시방서(국토해양부, 2013) 참조



【그림 3.4】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브 용접두께 측정위치

⑨ 기타

보강거더 및 아치리브 내부의 리브 및 수평보강재 등의 외관조사 결과 외력에 의한 변형은 없는 상태이며, 스켈럽의 상태는 양호한 것으로 조사되었다. 스플라이스 볼트 체결부에 대해서 점검망치를 활용한 타격 조사를 실시한 결과 볼트 풀림 등의 손상은 없는 것으로 조사되었다.

⑩ 도막두께 측정

현장조사 시 강재의 도장 박리 및 변색 등이 조사되어 도막두께 측정 시험을 통하여 도장상태를 확인하고자 하였다.

【표 3.9】 백운1교(부산) 도막두께 측정

적용 목적	• 도막측정은 정상적인 도장시공이 되어 있는지를 확인하는 작업으로 방청·방식 도장에서는 절대적인 요소이며, 도장상태가 구조물에 미치게 될 영향에 대해 평가할 필요가 있음.
측정 원리	• 측정 Gage는 Magnetic Gage로서 자석의 원리를 이용하여 탐침끝에서 표면조도(Profile)의 Peak로 자기장을 보내서 돌아오는 속도를 감지하여 도막두께를 인지함. 자기장이 가장 먼저 도달되는 부위는 Peak이며, Magnetic 탐침끝에는 여러개의 Peak들이 존재하며 이들의 평균을 계산하여 나타낸 값이 도막두께임. • 도막에 도포되지 않은 피검체(자성체)에 전자석 또는 영구자석을 접촉시켜 지시계 눈금을 영점조정 함. 영점조정 후 확인하고자 하는 두께와 유사한 표준도막을 이용하여 각 도막의 두께에 따른 자력차를 이용하여 검사하는 방법임.
측정 방법	• 도막두께를 측정할 부위에 Random 하게 5곳을 선정. • 선정된 측정장소 1곳당 3회 측정하여 1곳의 평균을 구함. • 같은 방식으로 나머지 4곳도 동일하게 측정. • 측정한 면적에 대한 5곳의 평균을 구함.
평가 기준	• 건도막의 판정은 SSPC-PA2를 기준으로 함. - 각각의 측정장소(Spot)의 평균치를 규정된 건조도막 두께의 80% 이상임. - 5곳의 평균치를 규정된 건조도막 두께와 같거나 높아야 함. - 5곳의 평균치를 최대 120%를 초과해서는 안됨.

【표 3.9】 백운1교(부산) 도막두께 측정(계속)

평가 기준

※ 도장계열에 따른 도막두께 기준

구 분	도장 계열	도장위치		기준 도막두께(㎛)	비 고
일반환경	재래식	교량외부	GEA	140	
		교량내부	GIA	70	
	중방식	교량외부	GEB	215	
		교량내부	GIB	175	
	세라믹	교량외부	GED	160	
		교량내부	GID	140	
특수환경	중방식	교량외부	SED	255	우레탄계 마감
		교량외부	SEE	225	자연건조형 불소수지 마감
		교량내부	SID	275	고고형분 에폭시 2회도장 마감
		교량내부	SIE	225	고고형분 후막형 에폭시도료 마감
		교량내부	SIF	375	고고형분 후막형 에폭시 2회도장 마감
	세라믹	교량외부	SEH	200	
		교량내부	SIG	180	

주) 1. 일반환경 : 전원, 산간계곡 및 도시 : 강재의 부식이 경미하다고 예측되는 지구
2. 특수환경
- 해안지구 : 해염입자의 영향으로 강재의 부식이 빠른 지구
- 공장지구 : 공장과 근접한 지구로 질산화물 등의 영향으로 강재의 부식이 빠른 지구
- 대기오염지구 : 도시 등에서 대기오염도가 대단히 높아서 강재의 부식이 빠른 지구
- 해상지구 : 해상에 설치된 강구조물 또는 이와 동등한 부식환경에 놓여 있는 지구
- 해안공업지구 : 해안과 공장의 환경조건이 중복된 지구

※『도로교표준시방서, 2013년』 참조
※『콘크리트 및 강재비파괴 시험 매뉴얼(2006.12, 한국시설안전공단)』 참조

도막두께 측정은 총 41개소에서 실시하였으며, 측정결과를 도로교 표준시방서에 제시된 도막두께 기준과 비교함으로써 적정 도막두께 확보 여부를 검토하였다.

【표 3.10】 백운1교(부산) 도막두께 측정결과

측 정 위 치			측정값(㎛)			기준값 (㎛)	판 정	비 고
			최소값(㎛)	최대값(㎛)	평균값(㎛)			
S1	보강거더	G1 우측면 A1측	367	446	410.2		적정	
		G1 우측면 중앙부	430	523	483.6		적정	
		G1 우측면 P1측	431	510	470.4		적정	
		G2 좌측면 A1측	410	482	439.2		적정	
		G2 좌측면 중앙부	465	520	493.0		적정	
		G2 좌측면 P1측	432	513	481.2		적정	
	아치리브	G1 우측면 A1측	367	510	442.4		적정	
		G1 우측면 P1측	399	486	433.6		적정	
		G2 좌측면 A1측	382	451	415.2		적정	
		G2 좌측면 P1측	396	453	426.2		적정	
	브레이싱	U1 상부브레이싱	396	472	442.8		적정	
		U3 상부브레이싱	421	512	466.8		적정	
		U4 상부브레이싱	401	453	426.4		적정	
	행거	G1측 U4	423	561	506.4		적정	
		G1측 U4(변색)	427	523	481.4		적정	
S2	보강거더	G1 우측면 P1측	398	511	462.2		적정	
		G1 우측면 중앙부	418	481	442.2		적정	
		G1 우측면 P2측	398	486	439.6		적정	
		G2 좌측면 P1측	428	491	457.0		적정	
		G2 좌측면 중앙부	430	513	470.6		적정	
		G2 좌측면 P2측	446	487	464.0	215	적정	
	아치리브	G1 우측면 시점측 중앙부	415	498	461.0		적정	
		G1 우측면 종점측 중앙부	410	468	438.8		적정	
		G2 좌측면 시점측 중앙부	468	513	486.4		적정	
		G2 좌측면 종점측 중앙부	461	520	486.0		적정	
	브레이싱	시점측 U5 상부브레이싱	415	473	444.4		적정	
		종점측 U6 상부브레이싱	470	531	491.4		적정	
	행거	G1측 U5	384	438	419.8		적정	
		G1측 U7	416	483	450.4		적정	
S3	보강거더	G1 우측면 P2측	427	495	466.2		적정	
		G1 우측면 중앙부	429	510	480.0		적정	
		G1 우측면 A2측	423	483	459.8		적정	
		G2 좌측면 P2측	439	530	481.2		적정	
		G2 좌측면 중앙부	423	476	449.2		적정	
		G2 좌측면 A2측	468	532	488.4		적정	
	아치리브	G1 우측면 P2측	410	483	451.4		적정	
		G1 우측면 A2측	472	534	497.2		적정	
		G2 좌측면 P2측	410	483	444.0		적정	
	브레이싱	시점측 U5 상부브레이싱	420	493	467.2		적정	
		종점측 U6 상부브레이싱	487	520	502.8		적정	
	행거	G1측 U4	429	483	460.8		적정	

교량 외부의 도막두께 측정위치는 책임기술자 판단하에 임의의 위치를 선정하여 실시하였으며, 측정결과 도막두께가 측정개소 모두 도로교 표준시방서의 기준 값을 상회하는 것으로 조사되어 도장상태는 양호한 것으로 판단된다.




【사진 3.10】 백운1교(부산) 도막두께 측정 전경

4) 기 진단결과와의 비교·분석

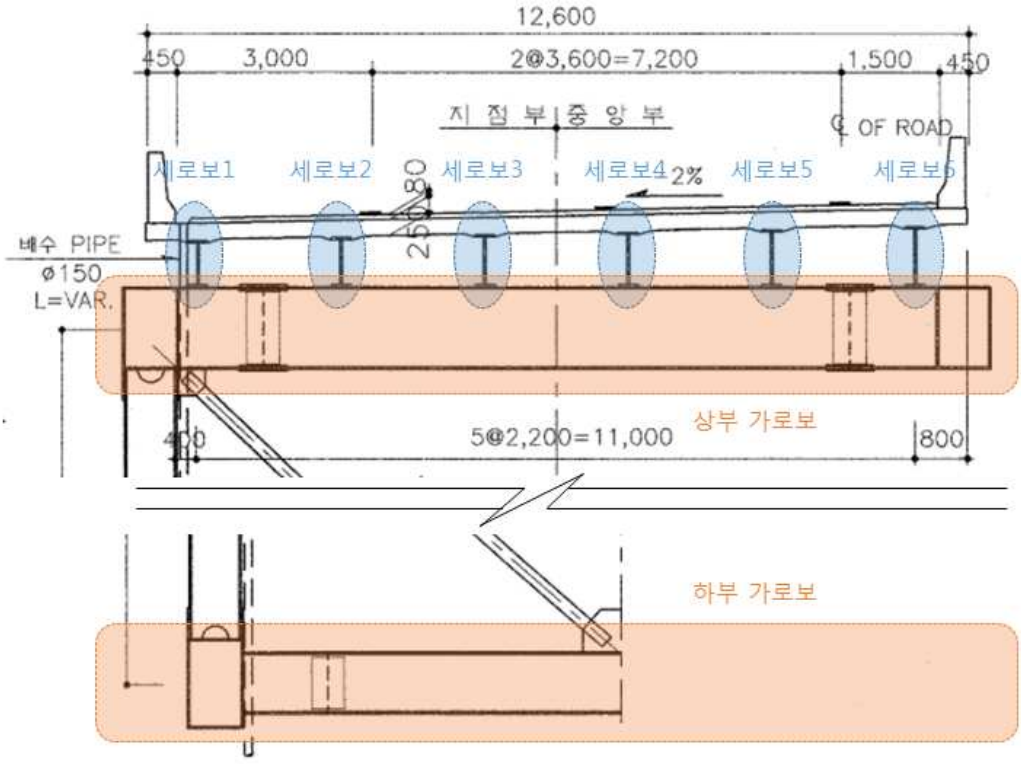
기 진단(2011년 시행)과의 비교·분석 결과, 부식, SP볼트 부식, 도장박리, 점검구주위 볼트 부식 등의 결함은 공용기간 증가에 따른 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 보강거더 및 아치리브 내부 조사를 실시하여 PIT, 실리콘 마감 불량, 언더컷, 이물질 퇴적 등의 추가손상으로 인한 물량의 증가가 있었다.

【표 3.11】 백운1교(부산) 보강거더 및 아치리브의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2011년	2016년			
부식	㎡	7.63	33.55	+	25.92	• 공용 중 발생된 추가손상
SP볼트 부식	㎡	16.99	20.37	+	3.38	• 공용 중 발생된 추가손상
도장박리	㎡	0.03	20.13	+	20.10	• 공용 중 발생된 추가손상
점검구주위 볼트 부식	㎡	0.04	0.05	+	0.01	• 공용 중 발생된 추가손상
PIT	개소	-	15	+	15	• 내부 조사를 통한 추가손상
실리콘 마감 불량	개소	-	152	+	152	• 내부 조사를 통한 추가손상
언더컷	m	-	0.10	+	0.10	• 내부 조사를 통한 추가손상
이물질 퇴적	㎡	-	6.05	+	6.05	• 내부 조사를 통한 추가손상

다. 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거

거더의 횡변형을 방지해주며, 상부에 작용하는 하중을 분배시켜주는 역할을 하는 가로보 및 세로보는 강재로 시공되어 있다. 가로보와 병행하여 거더의 횡변형을 방지시켜주는 역할을 하는 브레이싱은 거더 측면에 용접이음된 연결판(Gusset)과 볼트로 연결되어 있다. 행거는 바닥판에 작용하는 차륜하중을 행거를 이용하여 등분포하게 아치리브에 전달하는 기능을 하고 있으며, 보강거더와 아치리브에 볼트로 연결되어 있다. 점검은 바닥판 하면 중앙의 점검통로를 이용한 도보조사와 고소점검차를 활용하여 조사를 실시하였다.



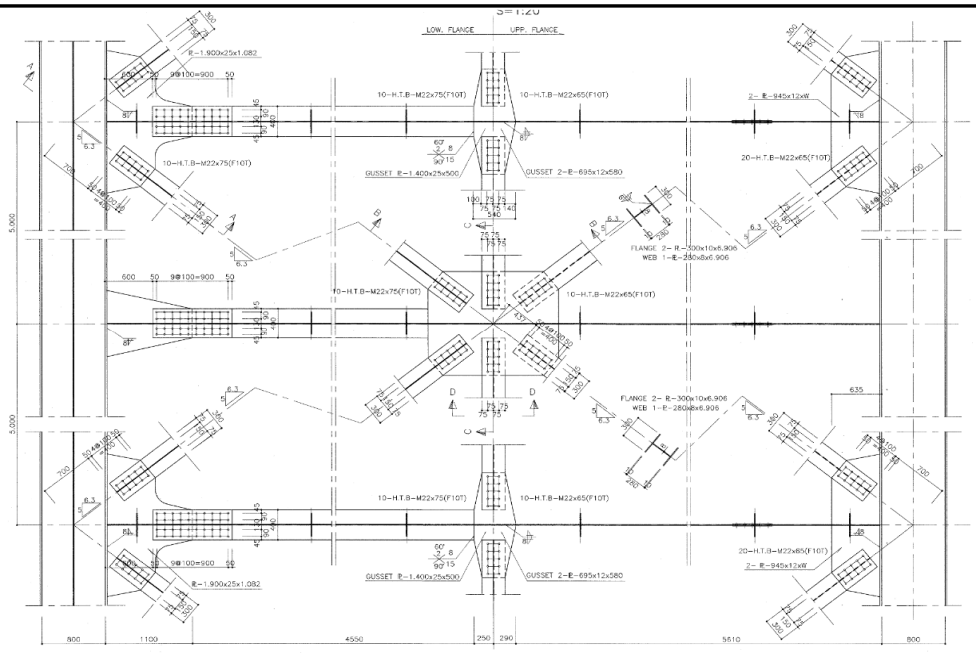


가로보 전경

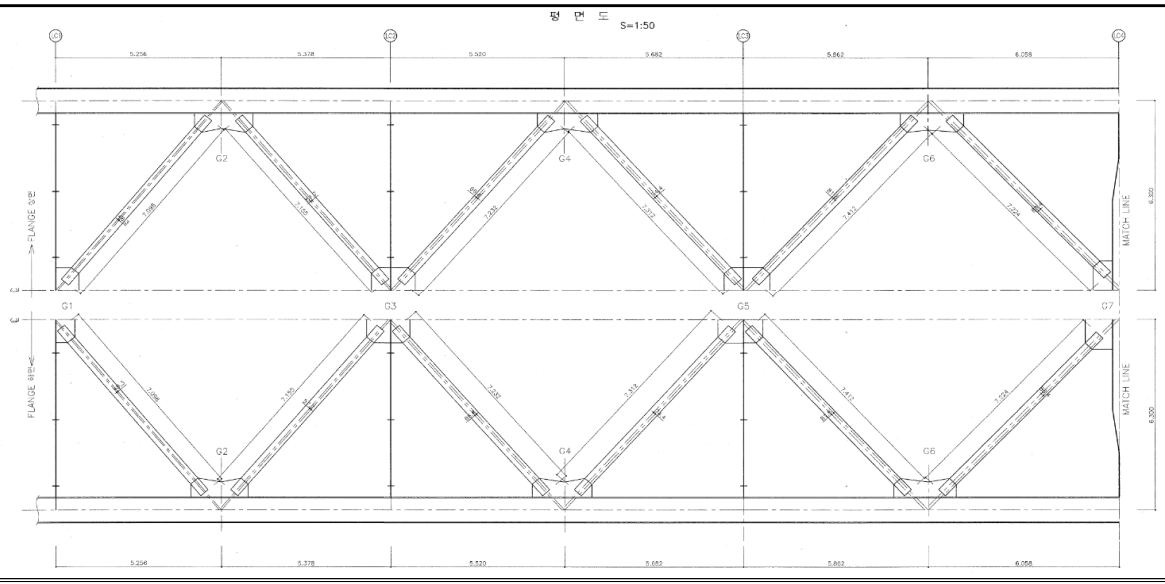


세로보 전경

【사진 3.11】 백운1교(부산) 가로보 및 세로보 전경



상부 브레이싱 상세도



하부 브레이싱 상세도



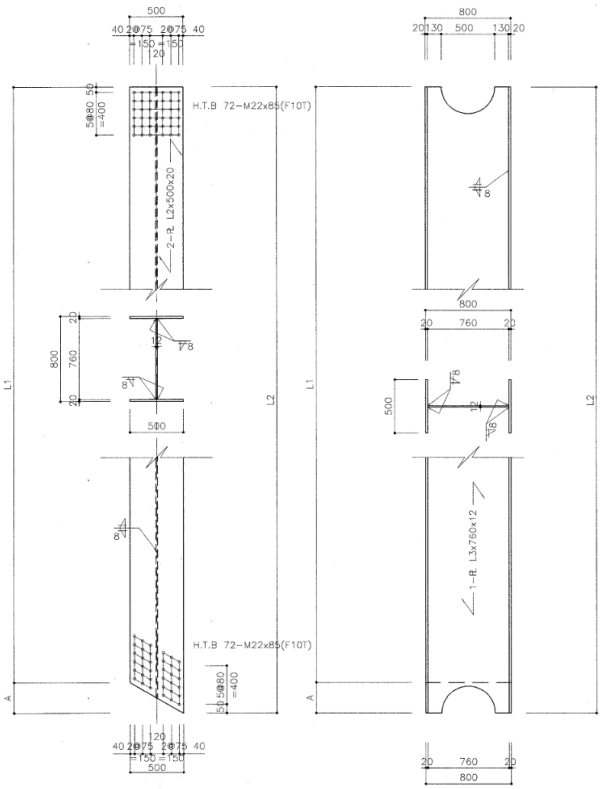
상부 브레이싱 전경



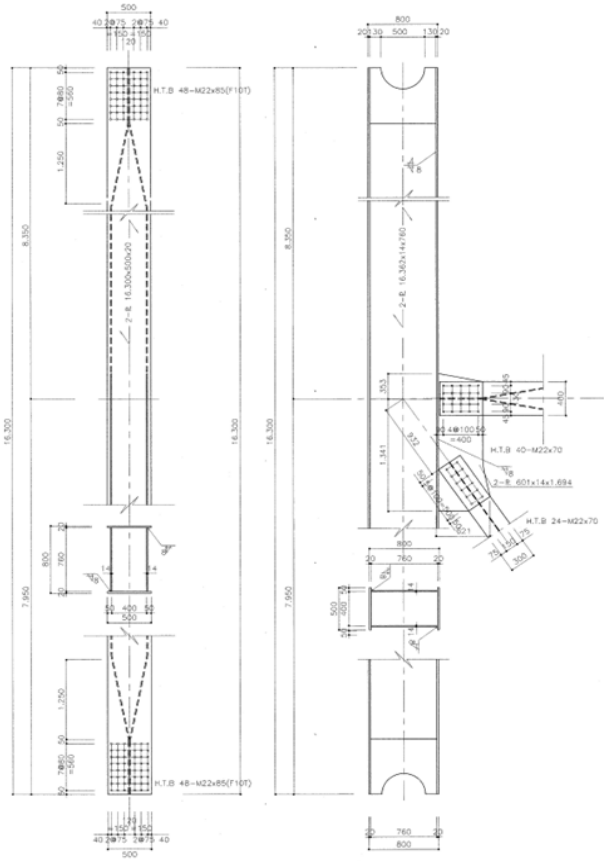
하부 브레이싱 전경

【사진 3.12】 백운1교(부산) 브레이싱 전경

Hanger 1, 2, 4, 5, 6



Hanger 3(지점부)





【사진 3.13】 백운1교(부산) 행거 전경

1) 외관조사 결과

외관조사 결과, 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거에서 볼트 부식, 도장박리, 브레이싱 변형, 볼트 도장박리, 부식 등의 손상이 조사되었다. 손상현황은 【표 3.12】과 같다.

【표 3.12】 백운1교(부산) 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거의 손상현황

구분	볼트 부식 (㎡/EA)	도장박리 (㎡/EA)	변형 (m/EA)	부식 (㎡/EA)
S1	2.71/268	0.11/11	0.30/2	8.60/123
S2	6.16/554	7.37/19	0.40/2	29.02/356
S3	4.14/414	0.03/3	0.80/5	11.97/212
합계	**13.01/1236**	**7.51/31**	**1.50/9**	**49.59/691**

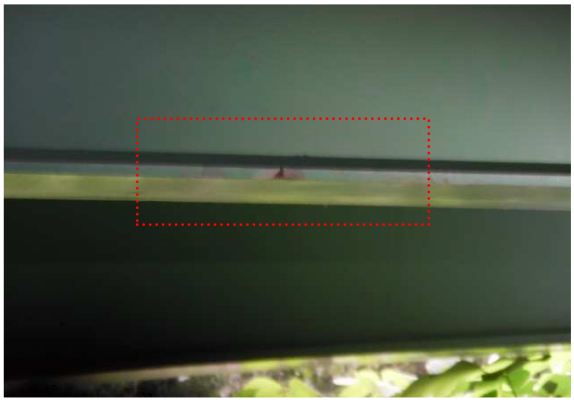
2) 손상별 현황



현 황	• S1-G2 행거 볼트 부식(A=0.48㎡)
원 인	• 장기공용, 우수접촉
대 책	• 재도장



현 황	• S3 상부브레이싱 볼트 부식(A=0.05㎡)
원 인	• 장기공용, 우수접촉
대 책	• 재도장



현 황	• S1 상부브레이싱 도장박리(A=0.02㎡)
원 인	• 장기공용, 우수접촉
대 책	• 재도장



현 황	• S2-2-U6 행거 부식(A=1.60㎡)
원 인	• 장기공용, 우수접촉
대 책	• 재도장

【사진 3.14】 백운1교(부산) 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거 손상발생 현황

			
현 황	• S2-1-U6 행거 부식(A=1.25㎡)	**현 황**	• S2 상부브레이싱 변형(L=0.2m)
원 인	• 장기공용, 우수접촉	**원 인**	• 기 변형된 자재 사용 및 설치시 변형
대 책	• 재도장	**대 책**	• 유지관리

【사진 3.14】 백운1교(부산) 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거 손상발생 현황(계속)

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 볼트 부식

현장이음부는 전반적으로 양호한 상태이나 일부 볼트부식이 발생한 상태로 이는 바탕처리 및 도장불량에 의한 결함으로 판단되며, 재도장이 적합할 것으로 판단된다.

② 도장 박리

도장박리는 장기공용이 원인으로 판단되며, 장기적인 내구성 확보를 위해 재도장이 필요할 것으로 판단된다.

③ 변형

브레이싱에서 발생된 변형은 이는 시공 당시 기 변형된 자재의 사용 또는 현장 설치 시 외부 충격에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 손상규모가 미소하며 전차 진단(2011년 진단)과 비교하여 손상물량의 변화는 없는 것으로 보아 구조적인 문제점은 없는 것으로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

④ 부식

부식은 장기공용 및 공용 중 우수접촉 등에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 부식에 따른 단면 감소는 없는 것으로 조사되었다. 따라서 내구성 확보를 위한 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교·분석

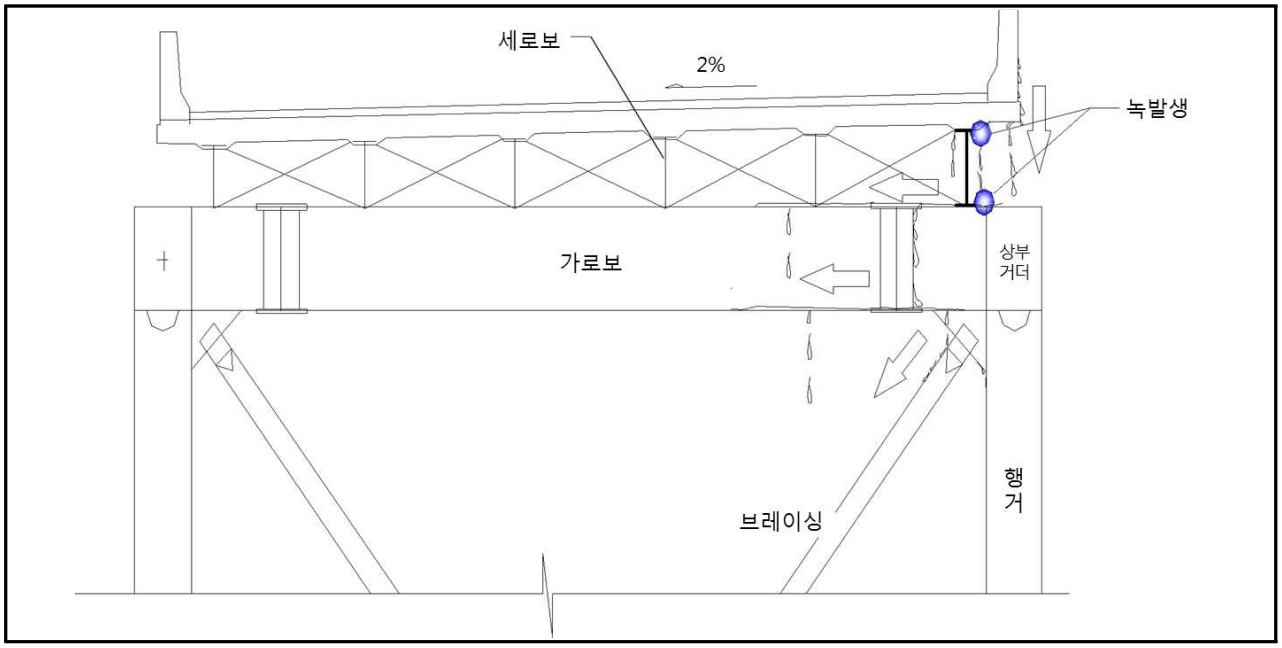
기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 볼트부식, 도장박리, 부식 등의 손상은 공용기간 증가에 따른 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 강재 변형은 기 진단 손상과 비교시 손상의 진전은 없는 것으로 평가되었다.

【표 3.13】 백운1교(부산) 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2011년	2016년			
볼트부식	㎡	7.33	13.01	+	5.68	• 공용 중 발생된 추가손상
도장박리	㎡	0.29	7.51	+	7.22	• 공용 중 발생된 추가손상
변형	m	1.50	1.50		-	• 손상변화 없음 (동일손상)
부식	㎡	39.31	49.59	+	10.28	• 공용 중 발생된 추가손상

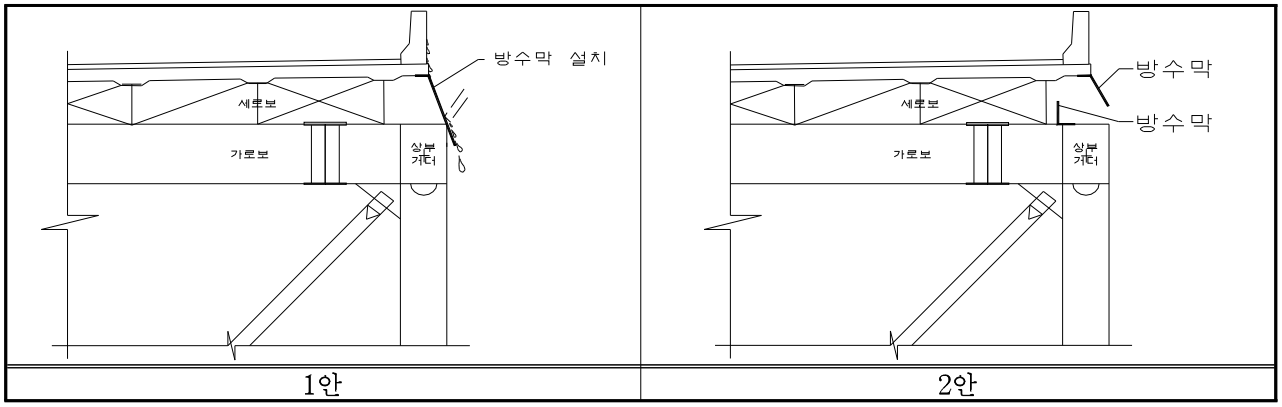
5) 우수 차단 대책

금회 조사된 강재의 부식 및 도장박리는 장기간의 공용기간 중 우수접촉에 의해 발생된 결함으로 판단되는 부분으로 내구성 유지를 위해서 원천적으로 우수의 접촉을 차단하는 것이 바람직하나 교량의 위치한 곳이 계곡부로 바람이 심하게 부는 곳임을 감안한 대책이 필요하다.



【그림 3.5】 백운1교(부산) 강재부 우수유입 경로

2011년 실시한 정밀안전진단 시 우수 차단 대책으로 당초 제안사항으로 바닥판 하면 및 상부거더 상단에 가림막을 설치하여 우수를 차단하는 것으로 제안하였었다.



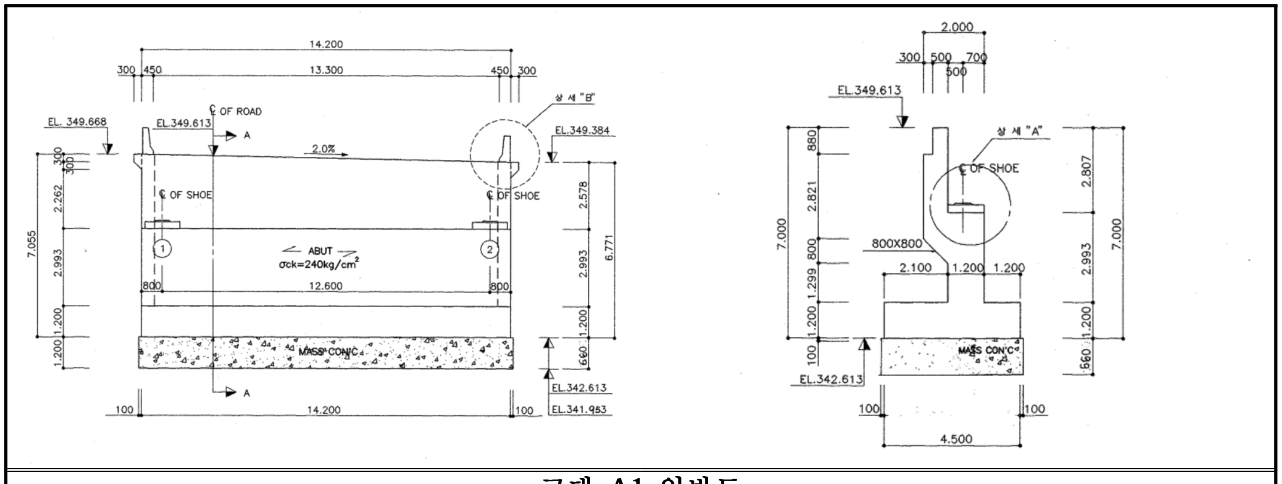
【그림 3.6】 백운1교(부산) 강재부 우수유입 차단 제안사항(2011년도)

이에 관할지사 및 지역본부 담당자와 효율적인 유지관리방안을 모색한 결과, 해당 교량의 설치 위치가 바람이 심한 계곡부임을 감안하고, 미관을 고려하여 방수막 설치 보다는 밀실하게 재도장 하는 것이 유리할 것이라 판단하여 체수로 인한 부식 발생부위에 밀실한 재도장을 실시하는 것으로 판단하였다. 이에 금회 외관조사 결과 발생된 부식 및 도장박리에 대해서도 별도의 부속시설을 설치하는 것 보다는 손상부위에 대한 녹제거 및 재도장이 바람직할 것으로 판단된다.

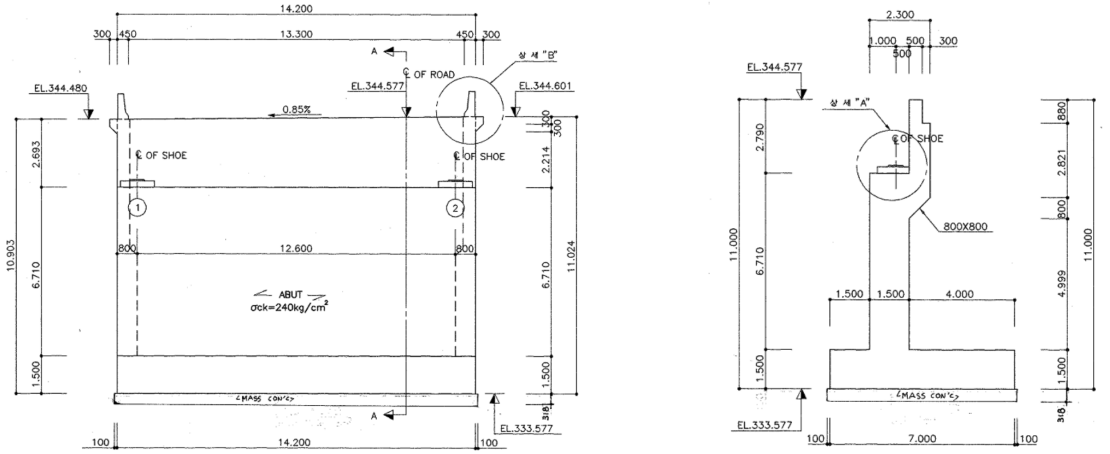
3.2.2 하부구조

가. 교대

본 교량의 교대는 A1, A2 2기로 구성되어 있으며, 역T형 교대로 기초형식은 직접기초로 시공되어 있다.



【그림 3.7】 백운1교(부산) 교대 일반도



교대 A2 일반도

【그림 3.7】 백운1교(부산) 교대 일반도(계속)



교대 A1



교대 A2

【사진 3.15】 백운1교(부산) 교대 전경

1) 외관조사 결과

교대의 흉벽 및 구체에 대한 현장조사 결과, 계단침하, 건조수축에 의한 균열, 마감불량, 망상균열, 박리, 백태, 체수 및 파손 등의 결함이 조사되었으며, 기초는 노출되지 않은 상태로 손상현황은 【표 3.14】과 같다.

【표 3.14】 백운1교(부산) 교대의 손상현황

구분	계단침하 (㎡/EA)	균열(cw=0.2mm 이하) (m/EA)	균열(cw=0.3mm 이상) (m/EA)	마감불량 (㎡/EA)
A1	1.00/1	16.60/18	-	0.30/1
A2	-	3.90/8	4.10/4	-
합계	**1.00/1**	**20.5/26**	**4.10/4**	**0.30/1**

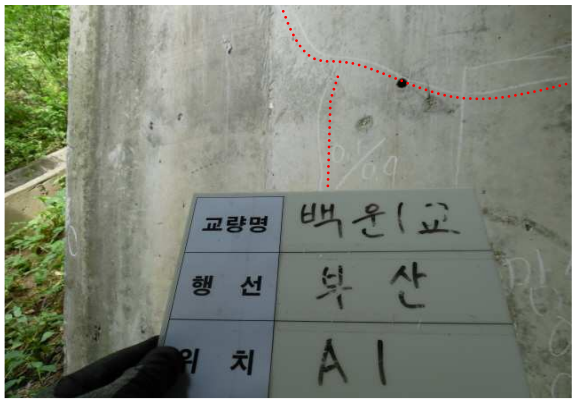
【표 3.14】 백운1교(부산) 교대의 손상현황(계속)

구분	망상균열 (㎡/EA)	박리 (㎡/EA)	백태 (㎡/EA)	체수 (㎡/EA)	파손 (㎡/EA)
A1	6.56/6	-	1.49/5	-	1.30/4
A2	-	0.61/2	20.80/1	3.75/1	0.09/1
합계	**6.56/6**	**0.61/2**	**22.29/6**	**3.75/.1**	**1.39/5**

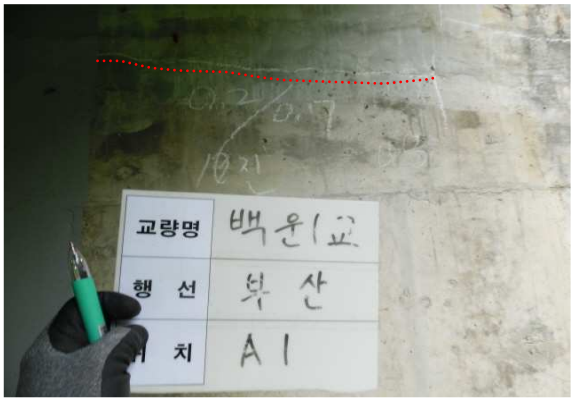
2) 손상별 현황



현 황	• A1/계단침하(A=1.00㎡)
원 인	• 시공 후 사면 안정화
대 책	• 유지관리



현 황	• A1/횡벽 균열(cw=0.1㎜, L=0.9m)
원 인	• 건조수축
대 책	• 유지관리



현 황	• A1/균열(cw=0.2㎜, L=0.7m)
원 인	• 건조수축
대 책	• 유지관리



현 황	• A1/망상균열(A=4.20㎡)
원 인	• 건조수축
대 책	• 유지관리

【사진 3.16】 백운1교(부산) 교대의 손상현황

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>현 황 • A2/박리(A=0.16㎡)
원 인 • 시공미흡 및 공용 중 열화
대 책 • 유지관리</td><td>현 황 • A1/흉벽 백태(A=0.80㎡)
원 인 • 신축이음부 누수
대 책 • 표면처리</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>현 황 • A1/파손(A=0.12㎡)
원 인 • 점검로 설치시 충격
대 책 • 유지관리</td><td>현 황 • A2/흉벽 재료분리(A=0.09㎡)
원 인 • 점검로 설치시 충격
대 책 • 유지관리</td></tr>
</table>

【사진 3.16】 백운1교(부산) 교대의 손상현황(계속)

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 계단침하

교대에서 상부 포장부로 접근이 가능하게 설치된 점검계단이 교량 준공 후 사면의 안정화 단계에서 일부 침하되어 발생된 손상으로 현 상태에서의 주의관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다.

② 균열 및 망상균열

교대에서 조사된 균열 및 망상균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축에

의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 균열폭 0.3mm 이상의 균열에 대해서는 주입보수를 실시하고, 균열폭 0.2mm 이하의 균열 및 망상균열은 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

③ 박리

박리는 시공 시 마감불량 또는 공용 중 열화에 의해 발생된 손상으로 손상깊이가 깊지 않아 보수보다는 주의관찰이 바람직 할 것으로 판단된다.

④ 백태

교대 흉벽부에서 조사된 백태는 신축이음부 누수로 유입된 우수가 미세균열부 틈새로 침투하여 수산화칼슘 융해로 발생된 결함으로 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

⑤ 체수

교대 상면에서 조사된 체수는 신축이음부 누수로 인해 발생된 손상으로 체수에 대한 별도의 보수보다는 근본 원인인 신축이음 누수부에 해해서 신축이음 교체 또는 신축이음 하부 유도배수로 설치를 통하여 상부에서 유입되는 우수를 차단하는 게 바람직 할 것으로 판단된다.

⑥ 파손

교대 구체에서 조사된 파손은 바닥판 하면의 종방향 점검통로의 고정용 앵커볼트 설치과정에서 발생된 손상으로 판단되며, 내구성 확보를 위해 단면보수 보수방안이 바람직 할 것으로 판단된다.

⑦ 마감불량

시공미흡에 의해 발생된 손상으로, 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 상세조사에 의한 추가손상 및 공용기간 증가에 의한 추가손상이 조사되었으며, 균열폭 0.3mm 이상 균열은 상세조사에 의해 손상길이를 실측하여 물량을 수정하였다.

【표 3.15】 백운1교(부산) 교대의 기 진단과의 비교, 검토

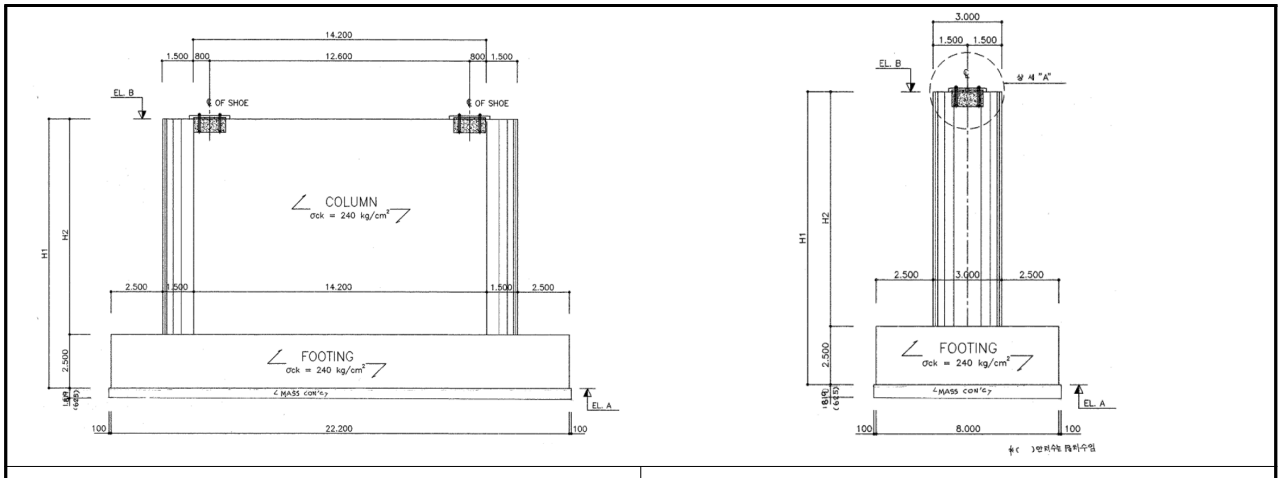
손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2011년	2016년			
계단침하	㎡	-	1.00	+	1.00	• 상세조사에 의한 추가손상
균열(cw=0.2mm 이하)	m	2.30	20.50	+	18.20	• 상세조사에 의한 추가손상

【표 3.15】 백운1교(부산) 교대의 기 진단과의 비교, 검토(계속)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2011년	2016년			
균열(cw=0.3mm 이상)	m	4.20	4.10	-	0.10	• 상세조사에 의한 물량변경
마감불량	m²	-	0.30	+	0.30	• 상세조사에 의한 추가손상
망상균열	m²	-	6.56	+	6.56	• 상세조사에 의한 추가손상
박리	m²	-	0.61	+	0.61	• 상세조사에 의한 추가손상
백태	m²	-	22.29	+	22.29	• 상세조사에 의한 추가손상
체수	m²	-	3.75	+	3.75	• 상세조사에 의한 추가손상
파손	m²	-	1.39	+	1.39	• 상세조사에 의한 추가손상

나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각은 벽식으로 되어있으며, 기초는 직접기초로 시공되어있다. 도보조사를 통한 근접조사를 실시하였다.





교각 전경(P1)



교각 전경(P2)

【사진 3.17】 백운1교(부사) 교각 일반도 및 전경

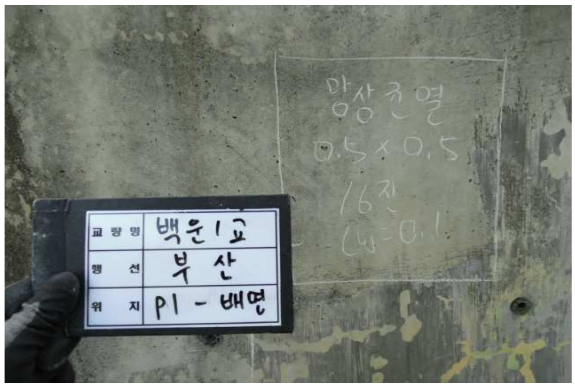
1) 외관조사 결과

교각에 대한 현장조사 결과, 건조수축 균열, 망상균열, 박리, 재료분리, 파손 등의 결함이 조사되었고, 손상현황은 【표 3.16】과 같다.

【표 3.16】 백운1교(부산) 교각의 손상현황

구분	균열(cw=0.2mm 이하) (m/EA)	망상균열 (㎡/EA)	박리 (㎡/EA)	재료분리 (㎡/EA)	파손 (㎡/EA)
P1	9.40/12	0.41/3	6.22/6	0.04/4	0.12/4
P2	7.90/12	0.44/2	43.94/3	0.17/2	0.08/3
합계	**17.3/24**	**0.85/5**	**50.16/9**	**0.21/6**	**0.20/7**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• P1/균열(cw=0.1mm, L=1.30m)</td><td>현 황</td><td>• P1/망상균열(A=0.25㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 시공초기 건조수축</td><td>원 인</td><td>• 시공초기 건조수축</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 유지관리</td><td>대 책</td><td>• 유지관리</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• P1/박리(A=0.12㎡)</td><td>현 황</td><td>• P1/박리(보수재)(A=4.80㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 공용 중 열화</td><td>원 인</td><td>• 공용 중 열화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 유지관리</td><td>대 책</td><td>• 유지관리</td></tr>
</table>

【사진 3.18】 백우1교(부산) 교각의 손상현황

			
현 황	• P2/재료분리(A=0.09㎡)	**현 황**	• P2/파손(A=0.06㎡)
원 인	• 시공불량	**원 인**	• 시공초기 외부충격
대 책	• 유지관리	**대 책**	• 유지관리

【사진 3.18】 백운1교(부산) 교각의 손상현황(계속)

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 균열 및 망상균열

교각에서 조사된 균열 및 망상균열은 건조수축 및 수화열에 의해 발생된 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으며, 균열폭도 0.1㎜이하의 미세균열로 허용균열폭(Cw=0.3mm) 미만이므로 표면처리 또는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

② 박리

박리는 시공 시 마감불량 또는 공용 중 열화에 의해 발생된 손상으로 손상깊이가 깊지 않아 보수보다는 주의관찰이 바람직 할 것으로 판단된다.

③ 재료분리

재료분리는 콘크리트 타설 시 다짐불량에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 그에 따른 단면감소 및 내구성 저하 영향은 미미한 상태이므로 보수방안보다는 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

④ 파손

파손은 외부충격, 거푸집 제거 시 탈락 및 마감불량 등에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 그에 따른 단면감소 및 내구성 저하 영향은 미미한 상태이므로 보수방안보다는 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 균열발생비율은 일반적으로 콘크리트 타설 이후 지속기간 3개월에 50%, 1년에 거의 85~90%가 되는 것으로 보고(건설재료학, 문한영)되

고 있는 점을 고려하여 신규발생보다는 기존 점검 시 손상에 포함되지 않은 것으로 판단되며, 금회 상세조사 및 공용기간 증가에 의한 추가손상이 조사된 것으로 분석되었다.

【표 3.17】 백운1교(부산) 교각의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2011년	2016년			
균열(cw=0.2mm 이하)	m	-	17.30	+	17.30	• 상세조사에 의한 추가손상
망상균열	m²	-	0.85	+	0.85	• 상세조사에 의한 추가손상
박리	m²	-	50.16	+	50.16	• 상세조사에 의한 추가손상
재료분리	m²	-	0.21	+	0.21	• 상세조사에 의한 추가손상
파손	m²	-	0.20	+	0.20	• 상세조사에 의한 추가손상

다. 교대 및 교각의 상대변위(기초침하 검측)

과업대상인 백운1교(부산)의 기초형식은 직접기초로 시공되어 있는 상태로서, 금회 현장조사 시 직립도 및 처짐 등의 이상징후가 조사되지 않은 상태이지만, 향후 기초침하 변화부에 측량타켓(반사시트 및 측량 표시못)을 설치하여 변화를 확인 할 수 있도록 검측을 실시하였다.



측량 기준점 전경



측량 기준점 위치도



측량 기준점

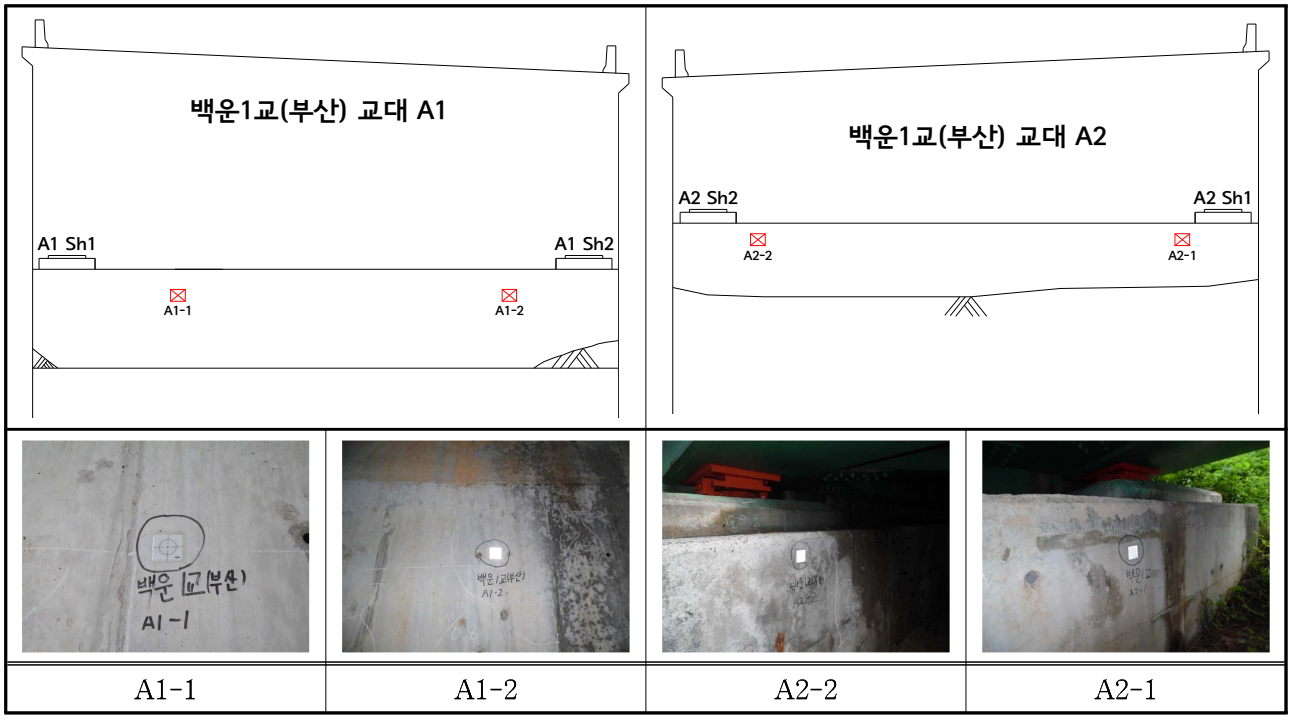


측량 전경

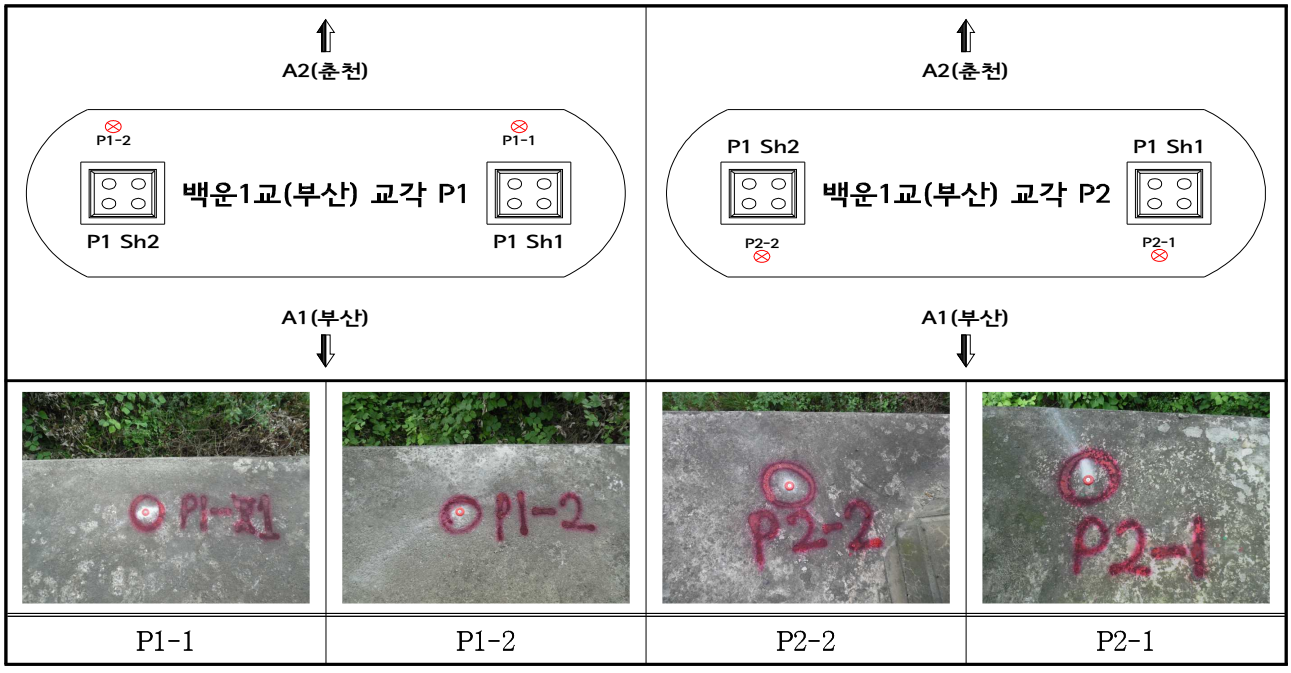
【사진 3.19】 백운1교(부산) 측량기준점 및 측량 전경

1) 상대변위 측정 방법

상대변위 측정은 각 교대 및 교각의 좌·우측 전면부에 관측이 용이하도록 측량타겟(반사시트, 측량 표시못)을 설치하고, 측량기준점을 임의 점(N : 1,000.000, E : 1,000.000, Z : 100.000)에 설치하여, 각 교대, 교각에 설치된 측량타겟을 측정하였다.



【그림 3.8】 백운1교(부산) 교대 측량 타켓 위치도 및 설치현황



【그림 3.9】 백운1교(부산) 교각 측량 타켓 위치도

2) 상대변위 측정 결과 및 분석

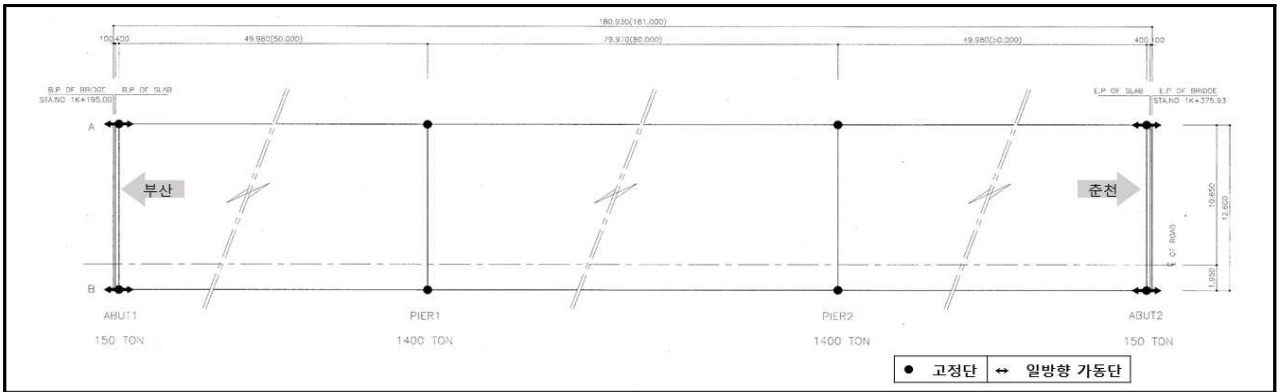
【표 3.18】 백운1교(부산) 교대 및 교각 측량 결과

구분		X	Y	Z	비고
기준점		1,000.000	1,000.000	100.000	
교대	A1-1	1,079.375	942.617	126.743	
	A1-2	1,077.485	937.119	126.758	
교각	P1-1	1,026.546	955.413	107.413	
	P1-2	1,023.862	949.822	107.414	
	P2-1	965.444	1,024.466	103.832	
	P2-2	968.787	1,032.643	103.835	
교대	A2-1	915.204	979.600	122.046	
	A2-2	913.235	967.847	122.439	

금회 측정치는 전차에 실시하지 않아 비교값이 없는 상태이므로, 이번 결과를 초기치로 활용하여 향후 기초침하 및 변화 유무에 대한 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

3.2.3 교량받침

백운1교(부산)의 교량받침은 고력황동받침 및 핀받침으로 일방향 가동단 4개소(A1, A2), 고정단 4개소(P1, P2) 설치되어 있으며, 점검은 도보로 근접하여 조사를 실시하였으며, 받침배치 현황은 다음과 같다.





A2 SH2 일방향 가동단 전경



P1 SH1 고정단 전경

【사진 3.20】 백운1교(부산) 교량받침 전경

가. 받침장치 외관상태 조사결과

1) 외관조사 결과

받침장치에 대한 현장조사 결과, 받침장치에서 부식, 솔플레이트 부식, 받침콘크리트 균열(cw=0.1mm), 받침콘크리트 균열부 백태, 받침콘크리트 망상균열, 거푸집 미제거 등의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.19】과 같다.

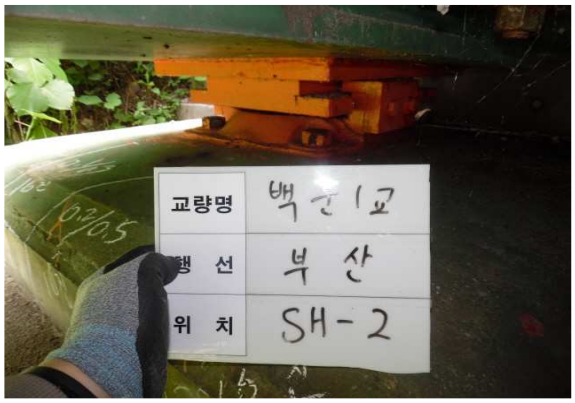
【표 3.19】 백운1교(부산) 받침장치의 손상현황

구분	받침 본체		받침 콘크리트			
	부식 (㎡/개소)	솔플레이트 부식 (㎡/개소)	균열 (cw=0.2mm 이하) (m/개소)	균열부 백태 (cw=0.2mm 이하) (m/개소)	망상균열 (㎡/개소)	거푸집 미제거 (㎡/개소)
A1	0.98/2	-	0.50/1	-	0.98/1	0.60/1
P1	0.72/2	0.98/2	6.80/17	0.20/1	-	-
P2	0.72/2	0.98/2	-	-	8.00/2	-
A2	0.58/2	-	0.90/3	-	0.45/3	-
합계	**3.00/8**	**1.96/4**	**8.20/21**	**0.20/1**	**9.43/6**	**0.60/1**

2) 손상별 현황



현 황	• A2/SH1 본체부식(A=0.49㎡)
원 인	• 도장열화 및 외측부 우수접속
대 책	• 도장보수



현 황	• A2/SH2 본체부식(A=0.09㎡)
원 인	• 도장열화 및 외측부 우수접속
대 책	• 도장보수

【사진 3.21】 백운1교(부산) 받침장치의 손상현황

			
현 황	• P2/SH2 부식(A=0.72㎡)	현 황	• P1/SH1 부식(A=0.98㎡)
원 인	• 도장열화 및 외측부 우수접속	원 인	• 도장열화 및 외측부 우수접속
대 책	• 재도장	대 책	• 재도장
			
현 황	• P1/SH2 균열(cw=0.1mm, L=0.80m)	현 황	• P1/SH1 균열부 백태 (cw=0.1mm, L=0.20m)
원 인	• 시공초기 건조수축	원 인	• 건조수축 및 수분접촉
대 책	• 유지관리	대 책	• 표면처리
			
현 황	• P2/SH2 망상균열(A=)	현 황	• A1/SH1 거푸집 미제거(A=0.60㎡)
원 인	• 시공초기 건조수축	원 인	• 시공미흡
대 책	• 유지관리	대 책	• 유지관리

【사진 3.21】 백운1교(부산) 받침장치의 손상현황(계속)

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 받침장치 부식 및 솔플레이트 부식

받침장치에 대한 현장조사 결과, 오랜 공용기간 증가에 따른 도장열화 및 외측부 우수접촉에 의해 부식이 발생된 상태로 받침장치 신축거동에 미치는 영향은 없으나 장기적인 내구성 확보를 위해 재도장이 바람직할 것으로 판단된다.

② 균열, 망상균열 및 균열부 백태

받침콘크리트 균열 및 망상균열은 시공초기 건조수축에 의해 발생된 Cw=0.2㎜이하의 비구조적 균열로 구조물의 안전성 미치는 영향은 없으며, 허용균열폭(0.3mm) 미만이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단되며, 균열부 백태는 균열부 틈새로 우수유입에 의한 수산화칼슘 융해로 발생된 결함으로 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

③ 거푸집 미제거

거푸집 미제거는 시공미흡에 의한 결함으로 내구성 저하 영향은 없는 결함이므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 받침장치 본체 부식은 공용기간 증가에 따른 추가(신규) 손상이 조사되어 물량이 증가된 것으로 조사되었고, 솔플레이트 부식은 동일손상으로 손상변화가 없는 상태이며, 받침콘크리트 균열 및 균열부 백태, 망상균열, 거푸집 미제거 손상은 상세조사에 의한 추가(신규) 손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

【표 3.20】 백운1교(부산) 받침장치의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2011년	2016년			
받침부식	㎡	2.42	3.00	+	0.58	• 공용 중 발생된 추가손상
솔플레이트 부식	㎡	1.96	1.96		-	• 손상변화 없음 (동일손상)
받침콘크리트 균열(cw=0.2mm 이하)	m	6.80	8.20	+	1.40	• 상세조사에 의한 추가손상
받침콘크리트 균열부 백태	m	-	0.20	+	0.20	• 공용 중 발생된 추가손상
망상균열	㎡	-	9.43	+	9.43	• 상세조사에 의한 추가손상
거푸집 미제거	㎡	-	0.60	+	0.60	• 상세조사에 의한 추가손상

나. 받침장치 연단거리 검토결과

교좌면은 받침을 통해서 상부구조로부터 하중을 받는 곳이고 또한 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부 연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연해서 콘크리트 구체 또는 받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다. 따라서 도로교 설계기준에서 정한 연단거리의 최솟값과 각 지점별 실측 연단거리를 비교·검토하였다.

1) 최소 연단거리 산정결과

① 거더의 경간길이 100m이하 : S = 200 + 5.0L (도로교설계기준)

여기서, S : 받침연단거리(㎜), L : 거더의 경간길이(m)

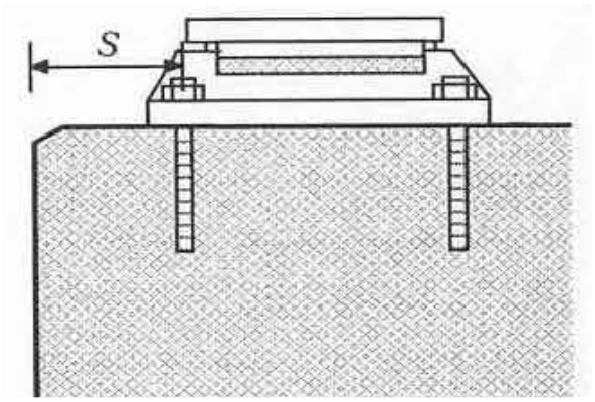
【표 3.21】 백운1교(부산) 최소 연단거리 산정결과

구분	A1	P1		P2		A2
		A1	A2	A1	A2	
경간길이(m)	50.4	50.4	80.0	80.0	50.4	50.4
최소연단거리(㎜)	452	452	600	600	452	452

주) 최소연단거리(mm)의 계산값은 소수 첫째 자리에서 반올림하여 수록함.

② 연단거리-콘크리트면의 가장자리로부터 가장 가까운 앵커중심까지의 거리





【그림 3.10】 백운1교(부산) 연단거리 측정 개요도

2) 연단거리 검토결과

실측 연단거리와 최소 연단거리를 비교·검토한 결과, 전 개소에서 실측 연단거리가 최소 연단거리를 상회하는 것으로 평가되었다.

【표 3.22】 백운1교(부산) 연단거리 측정결과

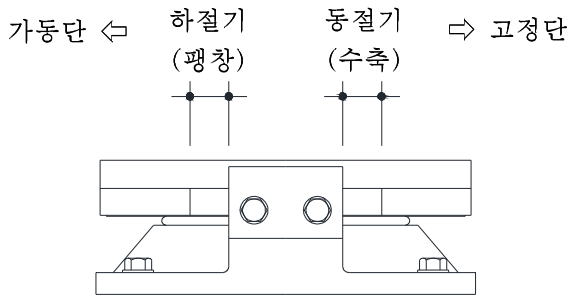
위치		최소 연단거리 (mm)	실측 연단거리(mm)		검토 결과
			Sh1	Sh2	
A1		452	525	544	O.K
P1	A1	452	1070	1015	O.K
	A2	600	1045	1070	O.K
P2	A1	600	1060	1060	O.K
	A2	452	1040	1055	O.K
A2		452	855	830	O.K

다. 교량받침 가동량 검토결과

본 교량의 받침형식은 스페리컬받침으로 1차, 2차에 걸쳐 받침장치 가동량을 검토함으로써 온도변화에 따른 받침 신축거동상태 및 가동여유량을 평가하여 교량받침의 기능저하를 방지하고자 한다. 받침 가동여유량 평가기준은 【표 3.23】과 같다.

【표 3.23】 백운1교(부산) 교량받침 가동량 평가기준





평가 기준

▣ 온도에 의한 가동량

$\triangle l_t$ = $\triangle T \times \alpha \times L$(신축거더 길이)

$\triangle T$ = 온도변화(-20℃～+40℃) → 강교(한랭지방) : 강아치교

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5}) → 강교 : 강아치교

【표 3.23】 백운1교(부산) 교량받침 가동량 평가기준(계속)

평가 기준

※ 한랭지방 적용근거

구 분	내 용	비고
보통지방	- 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산	도로공사 연구보고서 (1993년)
한랭지방	- 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, **원주**, 대관령, 정안, 진천	

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$

여기서, h_i : 받침의 회전중심에서 보의 중립축까지의 높이(2h/3)

θ_i : 보의 회전각(강교 1/150)

▣ 계산 가동량 산정

온도변화 범위	-20℃ ~ +40℃	선팽창 계수(α)	강재:1.2×10^{-5}
점검시 기온(℃)	1차 (08.08)	29.5℃	
	2차 (09.29)	19.4℃	
온도에 의한 가동량($\triangle l_t$)	$\triangle l_t = \Delta T \times \alpha \times L$		
보의 중립축까지 높이2h/3(h_i)	$\frac{2}{3}\times1,250$		
보의 회전각(θ_i)	1/150(강합성교)		
보의 처짐에 의한 가동량($\triangle l_r$)	$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$		

신축거더길이(L) (m)	A1	P1	P2	A2
	50.4	고정단	고정단	50.4

※ 처짐에 의한 신축량은 팽창시만 고려하여 계산

1) 온도변화에 따른 받침 신축거동상태 검토결과

교량받침의 이동량은 2회(1차 : 29.5℃(08월08일), 2차 : 19.4℃(09월29일))에 걸쳐 측정하였으며, 변동량 측정결과는 【표 3.24】와 같으며 본 교량받침의 온도변화에 따른 신축거동상태는 양호한 것으로 판단된다.

【표 3.24】 백운1교(부산) 계산가동량 산정결과

구 분		실측 이동량(mm)		변동량(mm)		비고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	30 (A1)	25 (A1)	5	6	
	Sh2	40 (A1)	25 (A1)	15		
P1	-	고 정 단				
P2	-	고 정 단				
A2	Sh1	44 (A2)	28 (A2)	16	6	
	Sh2	60 (A2)	39 (A2)	21		

2) 계산가동량 산정결과

계산 가동량 산정시 고려되는 항목은 활하중에 의한 보의 처짐, 온도변화, 건조수축, 크리프 등을 고려하여야 한다. 그러나 대상 교량은 준공 후 16년이 경과하였기 때문에 건조수축 및 크리프에 의한 변형은 완료된 것으로 판단하여 온도변화 및 활하중에 의한 처짐을 고려하여 검토하였다.

【표 3.25】 백운1교(부산) 계산가동량 산정결과

구분	위치	측정시 온도 (℃)	온도변화(Δlt)		선팽창계수	신축거더길이 (m)	처짐(Δlr) (㎜)	계산 가동량(㎜)	
			동절기 (℃)	하절기 (℃)				동절기 (최대수축시)	하절기 (최대팽창시)
A1	1차	29.5	49.5	10.5	1.2×10^{-5}	50.4	5.6	29.9	12.0
	2차	19.4	39.4	20.6	1.2×10^{-5}	50.4	5.6	23.8	18.1
P1		고 정 단							
P2		고 정 단							
A2	1차	29.5	49.5	10.5	1.2×10^{-5}	50.4	5.6	29.9	12.0
	2차	19.4	39.4	20.6	1.2×10^{-5}	50.4	5.6	23.8	18.1

주) 처짐에 의한 신축량은 교대(A1, A2) 단부에서 팽창시에만 고려

3) 교량받침 가동여유량 검토결과

받침장치 가동량을 실측하여 계산가동량과 비교·검토한 결과, 전 개소에서 실측여유량이 계산가동량을 상회하는 것으로 검토되었다.

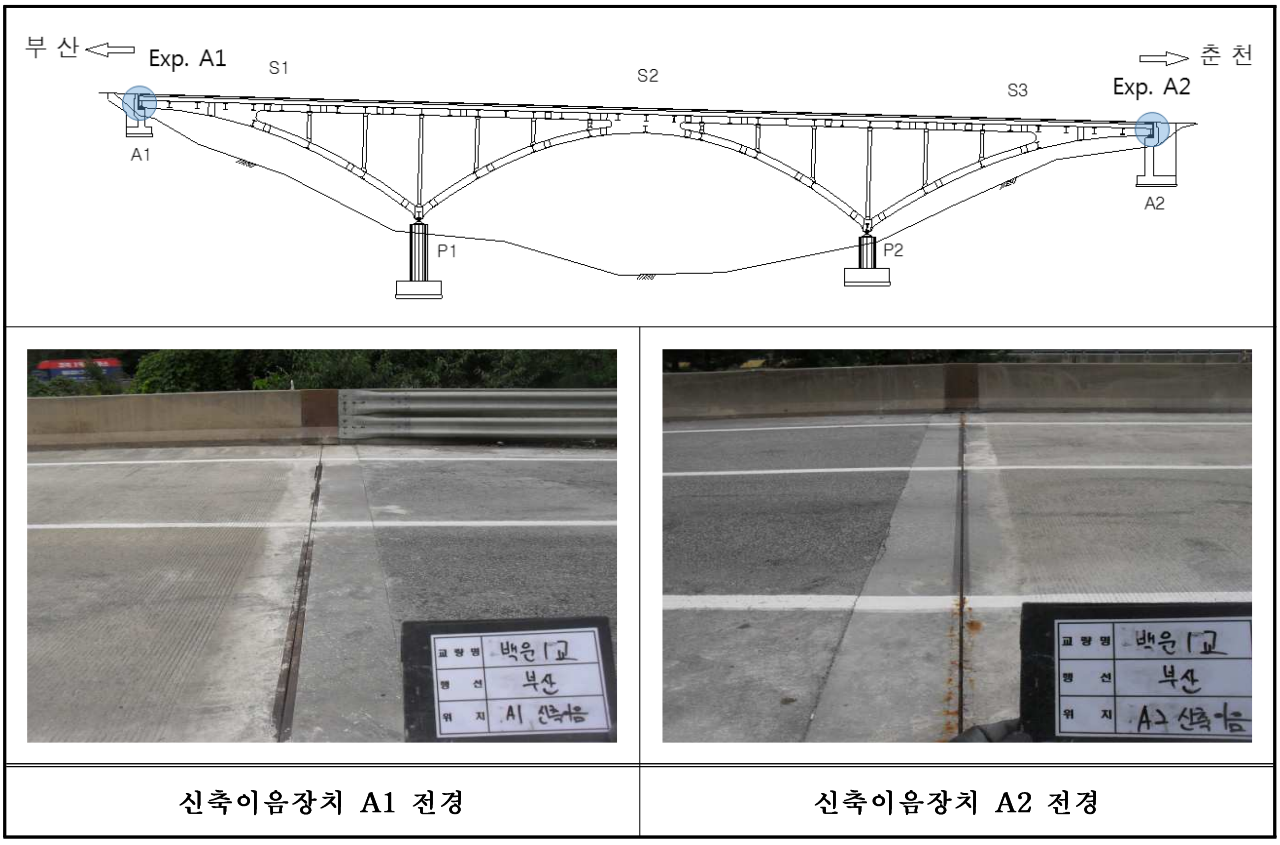
【표 3.26】 백운1교(부산) 교량받침 가동여유량 검토결과

구 분		최대 수축시 가동량 검토(mm)						최대 팽창시 가동량 검토(mm)					
		1차 측정(08.08)			2차 측정(09.29)			1차 측정(08.08)			2차 측정(09.28)		
		①	②	평가	①	②	평가	①	②	평가	①	②	평가
A1	Sh1	51	29.9	O.K	56	23.8	O.K	106	12.0	O.K	100	18.1	O.K
	Sh2	49		O.K	50		O.K	111		O.K	110		O.K
P1		고 정 단											
P2		고 정 단											
A2	Sh1	35	29.9	O.K	53	23.8	O.K	125	12.0	O.K	107	18.1	O.K
	Sh2	63		O.K	42		O.K	97		O.K	118		O.K

① : 실측여유량, ② : 계산가동량

3.2.4 신축이음장치

신축이음은 A1, A2 지점부에 Rail Joint 형식으로 2개소 설치되어 있으며, 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.



신축이음장치 A1 전경	신축이음장치 A2 전경

【그림 3.11】 백운1교(부산) 신축이음장치 배치도

가. 신축이음장치 외관상태 조사결과

1) 현장조사 결과

신축이음 현장조사 결과, 본체 부식, 백태, 토사퇴적, 후타재 균열(0.2㎜이하), 후타재 파손의 결함이 조사되었으며, 손상 현황은 【표 3.27】와 같다.

【표 3.27】 백운1교(부산) 신축이음장치 손상 발생 현황

구분	강재부식 (㎡/개소)	백태 (m/개소)	토사퇴적 (m/개소)	후타재균열 (cw=0.2mm 이하) (㎡/개소)	후타재 파손 (㎡/개소)
A1	0.50/3	-	0.48/2	5.60/14	-
A2	0.48/2	1.50/1	0.48/2	10.00/24	0.05/1
합계	**0.98/5**	**1.50/1**	**0.96/4**	**15.60/38**	**0.05/1**

2) 손상별 현황



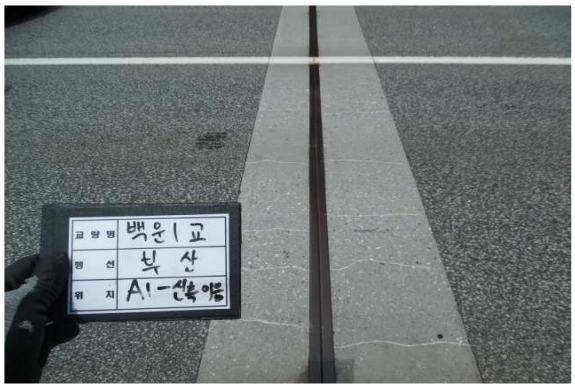
현 황	• A2 신축이음 본체부식(A=0.18㎡)
원 인	• 우수접촉
대 책	• 유지관리



현 황	• A2 신축이음 백태(A=1.50㎡)
원 인	• 아스콘과 바닥판 상면 침출수 유출
대 책	• 유지관리



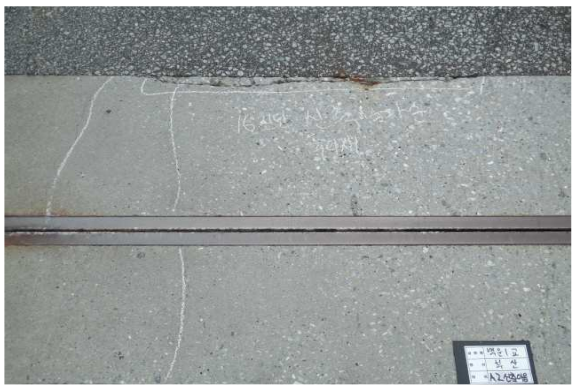
현 황	• A2 신축이음 토사퇴적(A=0.18㎡)
원 인	• 공용중 우수 등에 의해 퇴적
대 책	• 청소



현 황	• A1 신축이음 후타재균열(Cw=0.2㎜)
원 인	• 건조수축 및 차량반복 하중
대 책	• 유지관리



현 황	• A1 신축이음 후타재균열(Cw=0.2㎜)
원 인	• 건조수축 및 차량반복 하중
대 책	• 유지관리



현 황	• A2 신축이음 후타재파손(A=0.05㎡)
원 인	• 재포장 시 외부충격 및 중차량통행
대 책	• 단면보수

【사진 3.22】 백운1교(부산) 신축이음장치 손상 현황

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 본체부식

신축이음 본체부식은 공용기간 중 우수접촉 및 체수에 의해 발생된 손상으로 부식에 의한 기능저하 영향은 없기에 보수보다는 현 상태에서 지속적인 관리가 바람직할 것으로 판단된다.

② 백태

백태는 기존 아스콘 포장과 바닥판 사이로 침투한 우수가 신축이음부로 유출되면서 발생된 손상으로 판단되며, 별도도의 보수보다는 금회 실시한 재포장 공사 후 후타재 백태의 손상 진전여부를 지속적인 관리를 하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

③ 토사퇴적

공용 중 우수 등에 의한 신축이음 유간 내 토사가 퇴적된 것으로 신축이음의 원활한 거동을 위해 주기적인 청소가 요구된다.

④ 후타재 균열 및 파손

후타재 균열은 공 용중 차량반복 하중에 의해 발생된 결함으로 cw=0.3㎜ 미만으로 주의관찰토록 하며, 파손은 재포장 시 장비에 의한 외부충격 및 중차량 통행에 의해 발생된 결함으로 통행차량의 안전성 확보를 위해 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 신축이음 강재부식, 토사퇴적, 후타재 균열, 백태, 의 결함은 동일손상으로 손상변화가 없는 상태이며, 후타재 파손은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

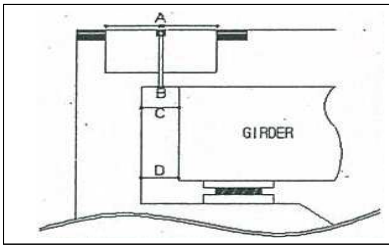
【표 3.28】 백운1교(부산) 신축이음장치의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용		단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
			2011년	2016년		
신축이음	강재부식	㎡	0.98	0.98	-	• 손상변화 없음(동일손상)
	토사퇴적	㎡	0.96	0.96	-	• 손상변화 없음(동일손상)
후타재	균열(0.2㎜이하)	m	15.60	15.60	-	• 손상변화 없음(동일손상)
	백태	㎡	1.50	1.50	-	• 손상변화 없음(동일손상)
	파손	㎡	-	0.05	+ 0.05	• 공용중 발생된 신규손상

나. 신축이음장치 거동상태 검토결과

1) 계산 신축량 산정방법

【표 3.29】 백운1교(부산) 계산 신축량 산정

	A1	1차	2016년 08월 08일	29.5℃	원주기상대
		2차	2016년 09월 29일	19.4℃	
	A2	1차	2016년 08월 08일	29.5℃	
		2차	2016년 09월 29일	19.4℃	

			
신축이음 유간(A)	바닥판 유간(B)	거더상단 유간(C)	거더하단 유간(D)

평가 기준

▣ 온도에 의한 신축량

$\triangle l_t$ = ⊿T×α×L(신축거더 길이)

△T = 온도변화(-20℃～+40℃)→ 강아치교 : 한랭지방

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5})→ 강아치교

※ 한랭지방 적용근거

구 분	내 용	비고
보통지방	- 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산	도로공사 연구보고서 (1993년)
한랭지방	- 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, **원주**, 대관령, 정안, 진천	

▣ 계산 신축량 산정

온도변화 범위	-20℃～+40℃	선팽창 계수(α)	1.2×10^{-5}
점검시 기온(℃)	1차 (08.08)	29.5℃	
	2차 (09.29)	19.4℃	
온도에 의한 신축량($\triangle l_t$)	$\triangle l_t$ = ⊿T×α×L		

신축거더 길이 (L)	A1	A2
	50.4m	50.4m

※ 공용기간이 16년이상인 교량이므로 건조수축 및 크리프의 영향은 고려하지 않음

2) 계산 신축량 산정결과

【표 3.30】 백운1교(부산) 계산 신축량 산정결과

위치		측정시 온도 (℃)	온도변화(ΔT)		선팽창 계수	신축거더 길이 (m)	최대 신축량(㎜)	
			동절기 (℃)	하절기 (℃)			동절기 (최대수축시)	하절기 (최대팽창시)
A1	1차	29.5	49.5	10.5	1.2×10^{-5}	50.4	30	6
	2차	19.4	39.4	20.6	1.2×10^{-5}	50.4	24	13
A2	1차	29.5	49.5	10.5	1.2×10^{-5}	50.4	30	6
	2차	19.4	39.4	20.6	1.2×10^{-5}	50.4	24	13

3) 신축이음 유간거리 측정결과

신축이음 유간거리에 대한 실측값은 【표 3.31】과 같으며, 1차, 2차의 실측 변동량을 이론치와 비교검토한 결과, 온도변화에 따른 신축거동은 원활한 것으로 판단된다.

【표 3.31】 백운1교(부산) 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : mm)

구 분		실측 이동량(mm)		변동량(mm)		비고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	신축이음장치	5	15	10	6	
	바닥판	105	112	7		
	거더 상단	48	61	13		
	거더 하단	43	54	11		
A2	신축이음장치	9	17	8	6	
	바닥판	28	38	10		
	거더 상단	20	36	16		
	거더 하단	24	36	16		

4) 신축이음 가동여유량 검토결과

신축이음 가동여유량 검토결과는 【표 3.32】와 같으며, A1 신축이음장치를 제외한 모든 부재에서 계산 신축량을 만족하는 것으로 평가되었다.

【표 3.32】 백운1교(부산) 신축이음 유간거리 검토결과

부 재			측정유간 (㎜)	계산 신축량(㎜)		허용신축량 (㎜)	신축 여유량(㎜)		평가
				수축	팽창		수축	팽창	
Exp.J1(A1)	1차	A	5	30	6	80 (±40)	45	-1	N.G.
		B	105					99	양호
		C	48					42	
		D	43					37	
	2차	A	15	24	13		41	2	
		B	112					99	
		C	61					48	
		D	54					41	
Exp.J2(A2)	1차	A	9	30	6	80 (±40)	41	3	양호
		B	28					22	
		C	20					14	
		D	24					18	
	2차	A	17	24	13		39	4	
		B	38					25	
		C	36					23	
		D	36					23	

※ 신축여유량(팽창)=측정유간-계산신축량(팽창), 신축여유량(수축)=허용신장량-측정유간-계산신축량(수축)
※ 신축여유량 > 0인 경우 양호
※ A : 신축이음장치, B : 바닥판, C : 거더상단, D : 거더하단

신축이음 가동여유량 검토결과 A1 신축이음부에서 계산 신축량이 최고 온도(40℃)까지 도달한 경우에 여유량이 약 1mm 부족한 것으로 분석되었다.

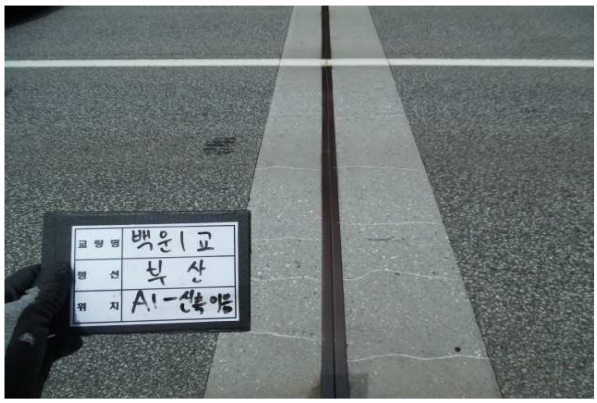
이에 신축이음부 외관조사 시 확인되었던 손상들에 대한 분석을 실시한 결과 신축이음부 유간 폐쇄에 의한 신축이음부 강재 변형, 단차 및 강재와 맞닿은 후타재 파손 등의 손상은 조사되지 않았으며, 공용기간 장기화에 의한 강재부식 및 토사퇴적, 시공초기 건조수축 및 차량반복 하중에 의한 균열폭 0.2mm 이하의 후타재 균열 등이 조사되었다.

【표 3.33】 백운1교(부산) 신축이음장치(A1) 손상 발생 현황

구분	강재부식 (㎡/개소)	토사퇴적 (m/개소)	후타재균열 (cw=0.2mm 이하) (㎡/개소)
A1	0.50/3	0.48/2	5.60/14



A1 신축이음 전경



A1 신축이음 후타재 균열

【사진 3.23】 백운1교(부산) 신축이음(A1) 손상 전경

원주기상대의 21년간의 일평균 최고 기온 자료를 분석한 결과, 일평균 최고기온 중 최곳값은 2012년 08월 06일의 30.9℃로 나타났다.

【표 3.34】 백운1교(부산) 일평균 최고 기온(원주기상대)

일자	일 평균 최고 기온(℃)	일자	일 평균 최고 기온(℃)
1996-08-02	28.9	2007-08-02	28.9
1997-08-01	28.9	2008-08-10	27.7
1998-08-05	27.5	2009-08-19	27.7
1999-08-08	29.2	2010-08-20	29.7
2000-07-21	27.6	2011-07-18	29.1
2001-08-04	28.8	**2012-08-06**	**30.9**
2002-07-27	28.7	2013-08-08	29.3
2003-08-22	27.6	2014-08-02	30.4
2004-08-10	29.0	2015-08-07	30.7
2005-07-23	30.3	2016-08-12	30.3
2006-08-05	29.6		

온도변화 범위의 최고 온도를 30.9℃로 신축이음 가동여유량 검토결과 전체 부재에서 계산 신축량을 만족하는 것으로 평가되었다.

【표 3.35】 백운1교(부산) 계산 신축량 산정결과(최고온도 30.9℃)

위치		측정시 온도 (℃)	온도변화(ΔT)		선팽창 계수	신축거더 길이 (m)	최대 신축량(㎜)	
			동절기 (℃)	하절기 (30.9℃) (℃)			동절기 (최대수축시)	하절기 (최대팽창시)
A1	1차	29.5	49.5	1.4	1.2×10^{-5}	50.4	30	1
	2차	19.4	39.4	11.5	1.2×10^{-5}	50.4	24	7
A2	1차	29.5	49.5	1.4	1.2×10^{-5}	50.4	30	1
	2차	19.4	39.4	11.5	1.2×10^{-5}	50.4	24	7

【표 3.36】 백운1교(부산) 신축이음 유간거리 검토결과(최고온도 30.9℃)

부 재			측정유간 (㎜)	계산 신축량(㎜)		허용신축량 (㎜)	신축 여유량(㎜)		평가
				수축	팽창		수축	팽창	
Exp.J1(A1)	1차	A	5	30	1	80 (±40)	45	4	양호
		B	105					104	
		C	48					47	
		D	43					42	
	2차	A	15	24	7		41	8	
		B	112					105	
		C	61					54	
		D	54					47	
Exp.J2(A2)	1차	A	9	30	1	80 (±40)	41	8	양호
		B	28					27	
		C	20					19	
		D	24					23	
	2차	A	17	24	7		39	10	
		B	38					31	
		C	36					29	
		D	36					29	

※ 신축여유량(팽창)=측정유간-계산신축량(팽창), 신축여유량(수축)=허용신장량-측정유간-계산신축량(수축)
※ 신축여유량 > 0인 경우 양호
※ A : 신축이음장치, B : 바닥판, C : 거더상단, D : 거더하단

1996년부터 2016년까지 21년간의 원주기상청 일 평균 최고온도 자료를 분석하여 기간 중 최고 온도였던 30.9℃(2012년 08월 06일)를 적용한 결과 신축이음 A1, A2 모두 계산 신축량을 만족한 상태이며, 외관조사 상 신축이음부에 유간폐쇄로 인한 손상 징후가 없는 점들을 종합적으로 분석한 결과, 현 상태에서의 주의관찰을 통한 유지관리를 실시하고 추후 점검 시 유간 폐쇄로 인한 손상 징후가 나타날 시 신축이음 교체를 고려하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

3.2.5 교면포장

교면포장은 바닥판 상면에 위치하여 차량에서 발생하는 진동을 흡수·분산시키고, 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 부재이다.

	
시점측 포장 전경	종점측 포장 전경

【사진 3.24】 백운1교(부산) 교면포장 전경

1) 외관조사 결과

기존 포장은 아스팔트 콘크리트로 시공되어 있었으나, 2016년 08월29일~09월02일 기간동안 전면 재포장(LMC) 공사를 실시하여 현재는 콘크리트 포장으로 재포장 공사가 완료된 상태이다.

	
기존 아스팔트 포장	재포장 후 상태 양호

【사진 3.25】 백운1교(부산) 재포장 공사 전·후 전경

재포장 공사 이전 2016년 07월 13일 교통통제 후 기존 아스팔트 포장부 외관조사 결과, 소성변형, 균열, 들뜸, 마모, 망상균열, 백태, 파손 등의 포장부 손상이 조사되었다. 현장조사 시 일부 포장부에 백태를 동반하고 있어 포장 하부 바닥판 열화손상이 우려되어, 포장부 상태, 방수층 손상여부 등을 확인하기 위하여 길어깨부 들뜸 손상부위에 포장 코어채취를 실시하

였다. 포장부 코어채취 결과 기존 아스팔트 포장두께는 약 80mm로 나타났으며, 상면으로부터 40mm 정도는 코어형성이 되었으나, 이후 약 40mm는 열화되어 코어형성이 되지 않은 것으로 조사되었다. 바닥판 상면은 별도의 방수층은 확인되지 않았으며, 습윤상태로 조사되었다.

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>길어깨 포장부 들뜸 손상 확인</td><td>바닥판 백태 및 강재 부식</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>코어채취(포장두께 약 80mm)</td><td>바닥판 상부 습윤상태</td></tr>
</table>

【사진 3.26】 백운1교(부산) 포장코어 채취 전경

이는 공용기간 장기화에 의한 전반적인 포장층의 내구성 저하와 더불어 배수구 막힘에 의한 체수 발생으로 포장열화부위를 통하여 포장 내부로 우수 및 제설염화물과 같은 유해물질의 침투가 발생하여 아스팔트 콘크리트와 콘크리트 바닥판의 경계면에 장기체류하면서 동절기동안 동결융해를 거쳐 바닥판 콘크리트의 열화손상을 유발시키고 있는 것으로 판단된다.

금회 전면 재포장 공사를 통하여 기존에 조사되었던 포장부 손상은 모두 제거되었고, 현재 포장면의 상태는 양호한 것으로 조사되었다.



기존 아스콘 포장 제거



1차로측 포장 완료 후 부분 개통



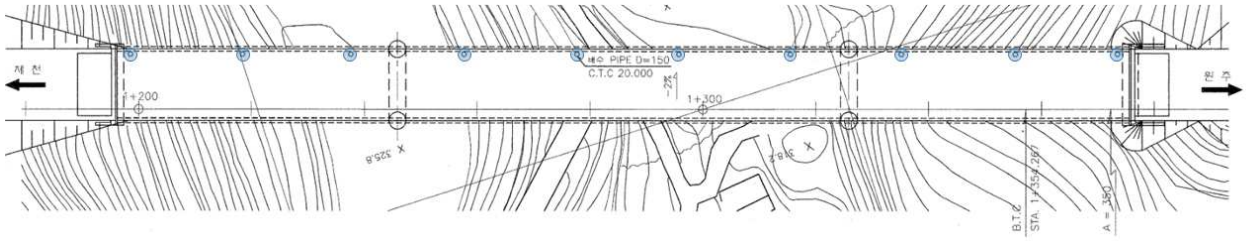
신규 포장 두께 약 80mm

【사진 3.27】 백운1교(부산) 재포장 전경

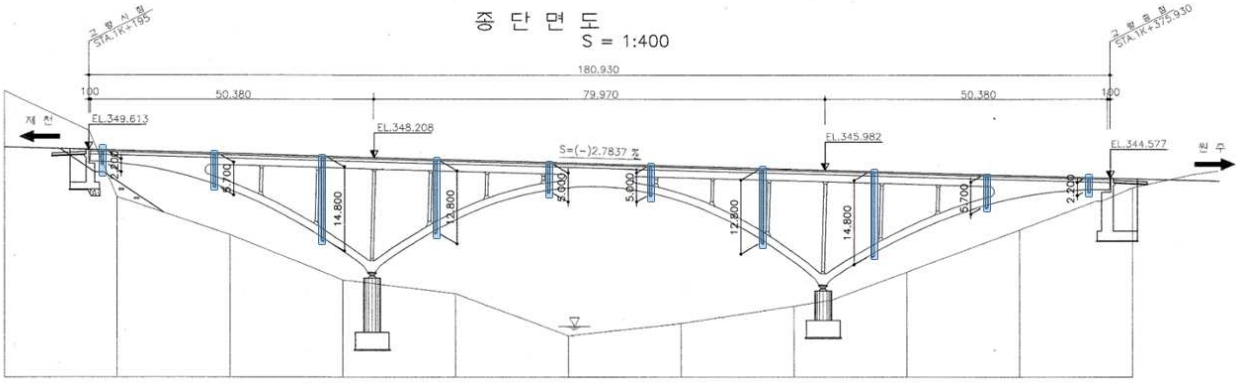
3.2.6 기타부재

가. 배수시설

배수시설은 우천 시 포장부의 교면수를 배출하기 위한 시설로서, 백운1교(부산)의 배수시설은 횡단경사가 2차로측으로 2%로 설계되어 교량 상부의 2차로측 우측 길어깨에 약 20.0m 간격으로 설치된 배수구(10개소)를 통하여 아연도강관 ϕ150 배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있으며, 시점에서 종점으로 종단경사(S=2.7837%)가 설계되어 교면수가 자연배수 되도록 시공되었다.



교량 상면 배수구 설치 현황



교량 하면 배수관 종단 개요도



교량 상부 배수구 전경



교량 하부 배수관 전경

【사진 3.28】 백운1교(부산) 배수시설 설치 현황 및 전경

1) 외관조사 결과

배수시설 외관조사 결과, 배수관 부식 및 포장부 배수구 막힘이 조사되었으며, 손상 현황은 【표 3.37】와 같다.

【표 3.37】 백운1교(부산) 배수시설 손상 발생 현황

구분	부식 (㎡/개소)	막힘 (개소)
S1	0.10/2	3

【표 3.37】 백운1교(부산) 배수시설 손상 발생 현황(계속)

구분	부식 (㎡/개소)	막힘 (개소)
S2	0.19/4	4
S3	0.01/1	2
합계	**0.30/7**	**9**

2) 손상별 현황





현 황	• S1 배수구 막힘(1개소)	현 황	• S2 배수관 부식(A=0.01㎡)
원 인	• 공용장기화	원 인	• 공용장기화
대 책	• 청소	대 책	• 유지관리

【사진 3.29】 백운1교(부산) 배수시설 손상발생 현황

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 배수구 막힘

배수구 막힘은 공용장기화에 의해 강우 시 노면의 토사 등의 이물질이 퇴적된 것으로 원활한 노면서 배출을 위하여 주기적인 청소를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

② 배수관 부식

배수관 부식은 공용장기화에 의해 바닥판 접합부 및 하단 토출부에 발생된 손상으로, 배수에는 문제가 없는 상태로 별도의 보수보다는 주의관찰 후 배수기능에 문제가 발생 시 교체가 바람직 할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교·분석

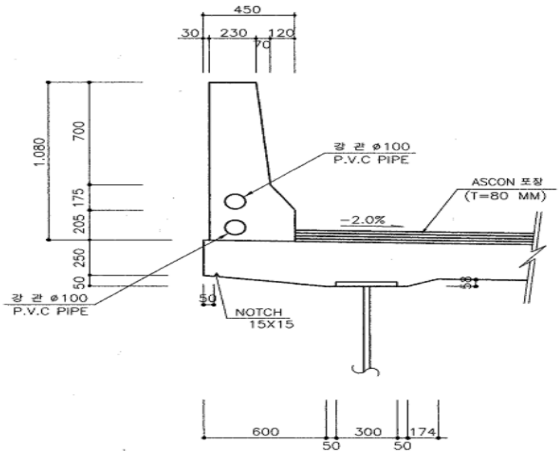
기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 배수구 막힘, 배수구 부식은 공용기간 증가에 따른 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 분석되었다.

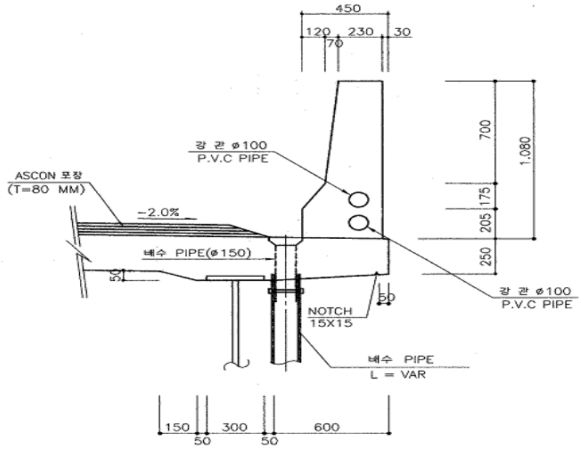
【표 3.38】 백운1교(부산) 배수시설의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2011년	2016년			
막힘	개소	8.00	9.00	+	1.00	• 공용 중 발생된 추가손상
부식	㎡	0.04	0.30	+	0.26	• 공용 중 발생된 추가손상

나. 방호울타리

자동차의 차도이탈 방지 및 사고시 완충작용 등의 기능을 하는 방호울타리는 철근콘크리트 구조로 이루어져 있으며, 도면상의 방호울타리의 높이는 1.080mm 였으며 실측 높이는 약 1,070mm로 도면과 유사한 것으로 측정되었다.









1차로측 방호울타리 | 2차로측 방호울타리

【그림 3.12】 백운1교(부산) 방호울타리 일반도 및 전경

1) 외관조사 결과

방호울타리에서 발생된 주요 결함은 강판부식, 균열, 균열부 백태, 덮개판 변형, 망상균열, 박리, 백태, 보호덮개 탈락, 철근노출 파손 등의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.39】과 같다.

【표 3.39】 백운1교(부산) 방호울타리 외관조사 결과

구분	강판부식 (개소)	균열		균열부 백태 (㎡/EA)	덮개판 변형 (㎡/EA)	망상균열 (㎡/EA)	박리 (㎡/EA)	백태 (㎡/EA)	보호덮개 탈락 (개소)	철근노출 (㎡/EA)	파손 (㎡/EA)
		cw=0.2mm 이하 (m/EA)	cw=0.3mm 이상 (m/EA)								
S1	1	5.20/6	0.80/1	9.10/8	0.01/1	0.49/1	-	0.01/1	2	-	0.10/1
S2	2	6.60/7	0.40/1	6.90/13	-	-	-	0.72/8	1	0.05/5	-
S3	1	5.70/5	0.40/1	3.75/11	0.04/1	-	1.50/1	0.21/2	-	-	-
합계	**4/4**	**17.50/18**	**1.60/3**	**19.75/32**	**0.05/2**	**0.49/1**	**1.50/1**	**0.94/11**	**3**	**0.05/5**	**0.10/1**

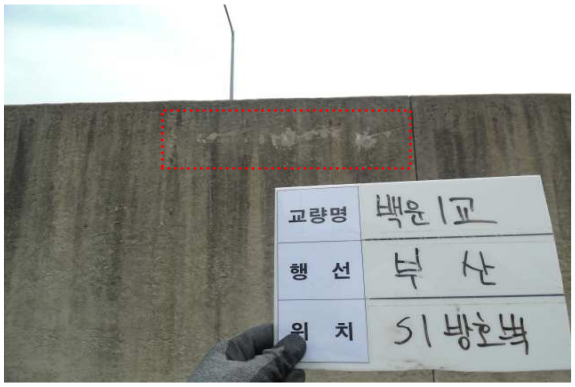
2) 손상현황





현 황	• S2 방호울타리 강판 부식(1개소)	현 황	• S1 방호울타리 균열(cw=0.2mm 이하; L=1.70m)
원 인	• 공용장기화 및 우수접촉	원 인	• 건조수축
대 책	• 유지관리	대 책	• 유지관리

【사진 3.30】 백운1교(부산) 방호울타리 손상발생 현황





현 황	• S1 방호울타리 균열부백태(A=0.15㎡)
원 인	• 건조수축 및 수분접촉
대 책	• 표면처리

현 황	• S3 접속슬래브 방호울타리 박리(A=1.50㎡)
원 인	• 시공미흡 및 공용 중 열화
대 책	• 단면보수





현 황	• S1 방호울타리 백태(A=0.01㎡)
원 인	• 미세균열부 수분접촉
대 책	• 표면처리

현 황	• S3 방호울타리 보호덮개 탈락(1개소)
원 인	• 공용 중 외부충격 망실
대 책	• 재설치





현 황	• S2 방호울타리 철근노출(A=0.01㎡)
원 인	• 시공미흡 피복부족
대 책	• 단면보수(방청)

현 황	• S1 방호울타리 파손(A=0.10㎡)
원 인	• 공용 중 외부충격
대 책	• 단면보수

【사진 3.30】 백운1교(부산) 방호울타리 손상발생 현황(계속)

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 강판부식

강판부식은 공용 장기화에 따른 우수접촉에 의해 발생된 손상으로 사용성 확보를 위한 강재 재도장을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

② 균열

방호울타리에 발생된 균열은 시공초기 건조수축에 의해 발생된 손상으로 판단되며, 내구성 확보차원의 주입보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

③ 균열부 백태

균열부 백태는 균열부 틈새로 우수유입에 의한 수산화칼슘 융해로 발생된 결함으로 내구성확보를 위한 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

④ 덮개판 변형

신축이음부에 설치된 덮개판은 외부충격 또는 온도차에 의한 신축거동 시 발생된 손상으로 시설물의 원활한 관리를 위하여 재설치가 필요할 것으로 판단된다.

⑤ 망상균열

시점측 접속슬래브 부근의 방호울타리에서 발생된 망상균열은 시공초기 건조수축에 의한 손상으로 내구성 확보를 위한 표면처리보수가 필요할 것으로 판단된다.

⑥ 박리

박리는 시공 시 마감불량 또는 공용 중 열화에 의해 발생된 손상으로 내구성 확보를 위한 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.

⑦ 백태

공용 중 강우 시 미세균열부 틈새로 수분이 침투하여 수산화칼슘 융해로 발생된 결함으로 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

⑧ 보호덮개 탈락

방호울타리 측에 설치된 가로등의 전선 유지보수를 위하여 설치된 시설로 공용 중 외부충격 또는 차량 진동에 의해 탈락 후 망실된 상태로 시설물의 원활한 관리를 위하여 재설치가 필요할 것으로 판단된다.

⑨ 철근노출

철근노출은 시공미흡에 의한 피복부족에 의해 발생된 손상으로 판단되며 내구성 확보차원의 단면보수(방청)가 바람직할 것으로 판단된다.

⑩ 파손

파손은 시공 시 거푸집 탈형 시 충격 또는 주행차량에 의한 충격 등으로 발생된 손상으로 판단되며, 내구성 확보를 위한 단면보수가 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 강판부식 및 덮개판 변형은 동일손상으로 손상변화가 없는 상태이며, 균열, 망상균열, 박리, 철근노출 등의 손상은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었고, 균열부 백태, 백태, 보호덮개 탈락, 파손 등의 손상은 공용기간 장기화에 의한 것으로 조사되었다.

【표 3.40】 백운1교(부산) 방호울타리의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2011년	2016년			
강판부식	개소	4	4		-	• 손상변화 없음(동일손상)
균열(cw=0.2mm 이하)	m	8.30	17.50	+	9.20	• 상세조사에 의한 추가손상
균열(cw=0.3mm 이상)	m	0.80	1.60	+	0.80	• 상세조사에 의한 추가손상
균열부 백태	㎡	5.31	19.75	+	14.44	• 공용 중 발생된 신규손상
덮개판 변형	㎡	0.05	0.05		-	• 손상변화 없음(동일손상)
망상균열	㎡	-	0.49	+	0.49	• 상세조사에 의한 추가손상
박리	㎡	-	1.50	+	1.50	• 상세조사에 의한 추가손상
백태	㎡	0.62	0.94	+	0.32	• 공용 중 발생된 신규손상
보호덮개 탈락	개소	-	3	+	3.00	• 공용 중 발생된 신규손상
철근노출	㎡	0.04	0.05	+	0.01	• 상세조사에 의한 추가손상
파손	㎡	-	0.10	+	0.10	• 공용 중 발생된 신규손상

3.3 백운1교(춘천) 외관조사

3.3.1 상부구조

가. 바닥판

상부의 교통하중을 직접 지지하며, 상부하중을 거더로 전달해 주는 바닥판은 거더와 거더 사이의 내측 바닥판과 캔텔리버 구조인 외측바닥판으로 구분되며, 내측 바닥판은 Deck Plate 설치되어 있다. 현장조사는 고소점검차 및 다굴절점검차를 이용하여 근접조사를 실시하였으며, 바닥판하면에서 발생되는 균열, 백태, 누수 및 데크플레이트 부식 등의 손상여부를 중점적으로 조사하였다.



내측 바닥판(데크플레이트) 전경



외측 바닥판(캔틸레버) 전경

【사진 3.31】 백운1교(춘천) 바닥판 전경

1) 외관조사 결과

바닥판 하면에서 발생된 주요 결함은 균열(cw=0.2mm 이하), 균열부 백태, 누수흔적, 망상균열, 박리, 백태, 재료분리, 철근노출, 거푸집 미제거, 물끊기홈 미설치, 파손 등이 조사되었으며, 내측 바닥판의 Deck Plate에는 부식 및 변형이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다. 손상현황은 【표 3.41】과 같다.

【표 3.41】 백운1교(춘천) 바닥판 외관조사 결과

구분	균열 (cw=0.2mm 이하) (m/EA)	균열부 백태 (m/EA)	누수 흔적 (㎡/EA)	망상 균열 (㎡/EA)	박리 (㎡/EA)	백태 (㎡/EA)	재료 분리 (㎡/EA)	철근 노출 (녹물 흔적) (㎡/EA)	거푸집 미제거 (m/EA)	물끊기홈 미설치 (m/EA)	파손 (㎡/EA)
S1	15.80/12	0.70/1	61.00/5	2.80/1	-	-	4.56/3	0.07/3	2.00/1	1.50/1	1.50/1
S2	32.0/20	2.30/3	237.50/5	-	-	0.08/1	2.00/2	-	-	-	-
S3	15.00/14	3.10/3	97.80/3	0.30/1	0.51/3	0.75/4	0.20/1	2.80/3	-	-	-
합계	**62.80/46**	**6.10/7**	**396/13**	**3.10/2**	**0.51/3**	**0.83/5**	**6.76/6**	**2.87/6**	**2.00/1**	**1.50/1**	**1.50/1**

2) 손상현황

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• S1 좌측 캔틸레버하면
균열(cw=0.1mm, L=1.5m)</td><td>현 황</td><td>• S2 좌측 캔틸레버하면
균열부 백태(cw=0.1mm, L=1.5m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 건조수축</td><td>원 인</td><td>• 건조수축 및 수분접촉</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 유지관리</td><td>대 책</td><td>• 표면처리</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• S1 캔틸레버하면 망상균열
(A=0.4m×0.7m=0.28㎡)</td><td>현 황</td><td>• S3 바닥판하면 박리
(A=0.4m×0.5m=0.20㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 건조수축</td><td>원 인</td><td>• 우수유입에 의한 재질열화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 유지관리</td><td>대 책</td><td>• 유지관리</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• S2 좌측 캔틸레버하면 백태
(A=0.1m×0.8m=0.08㎡)</td><td>현 황</td><td>• S1 우측 캔틸레버하면 재료분리
(A=1.5m×1.5m=2.25㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 미세균열부 수분접촉</td><td>원 인</td><td>• 시공미흡</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 표면처리</td><td>대 책</td><td>• 유지관리</td></tr>
</table>

【사진 3.32】 백운1교(춘천) 바닥판 손상발생 현황

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• S1 좌측 캔틸레버하면
철근노출(A=0.1m×0.1m㎡)</td><td>현 황</td><td>• S1 좌측 바닥판 측면
파손(A=0.3m×5.0m=1.50㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 시공미흡</td><td>원 인</td><td>• 시공미흡</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 단면보수(방청)</td><td>대 책</td><td>• 단면보수</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• S1 캔틸레버하면 누수흔적
(A=1.7m×25.0m=42.50㎡)</td><td>현 황</td><td>• S2 좌측 캔틸레버하면
균열(cw=0.2mm, L=3.0m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 강우 시 우수유입</td><td>원 인</td><td>• 건조수축</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 유지관리</td><td>대 책</td><td>• 유지관리</td></tr>
</table>

【사진 3.32】 백운1교(춘천) 바닥판 손상발생 현황(계속)

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 균열

발생된 균열은 시공초기 건조수축에 의한 비구조적 균열로 폭 0.2mm이하의 미세균열이므로 보수방안보다는 표면처리 또는 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

② 균열부 백태

균열 틈으로 수분이 접촉되어 발생된 결함으로 구조물의 안전성에 미치는 영향은 없으나 향후 손상진전이 우려되므로 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

③ 망상균열

조사된 망상균열은 건조수축에 의한 비구조적 균열로 균열폭 0.2mm이하의 미세균열이므로 별도의 보수방안보다는 주의관찰을 통한 유지관리가 적합할 것으로 판단된다.

④ 박리

박리는 공용 중 우수접촉에 의한 열화로 손상깊이가 깊지 않아 보수보다는 주의관찰이 바람직 할 것으로 판단된다.

⑤ 백태

미세균열부 수분접촉에 의한 수산화칼슘 융해로 발생된 결함으로 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

⑥ 재료분리

재료분리는 콘크리트 타설 시 다짐부족에 의해 발생된 결함으로 손상규모가 경미하여 단면력 저하 영향은 미미한 상태이므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

⑦ 철근노출(녹물흔적)

철근노출 및 녹물흔적은 시공미흡 및 장기 우수접촉에 의해 발생된 손상으로 내구성 확보차원의 단면보수(방청)을 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

⑧ 거푸집 미제거

시공미흡에 의해 발생된 손상으로 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 바람직 할 것으로 판단된다.

⑨ 물끊기홈 미설치

시공미흡에 의해 발생된 손상으로 물끊기홈 설치를 통하여 강우시 캔틸레버 하면으로의 우수접촉 차단이 적절할 것으로 판단된다.

⑩ 파손

시공미흡에 의해 발생된 손상으로 내구성 확보차원의 단면보수가 바람직할 것으로 판단된다.

⑪ 누수흔적

캔틸레버 하면의 누수흔적은 강우 시 방호벽 측면으로부터 유입된 우수에 의해 발생된 손상으로 현 상태에서의 보수보다는 주의관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다.

⑫ 바닥판 상면 포장부 코어채취 결과

	
S3 코어채취(포장 손상부)	포장 일부 열화(t=50mm)

【사진 3.33】 백운1교(춘천) 포장 손상부 코어채취 현황

상부 포장부 외관조사 결과 우측 길어깨부 망상균열 및 포장 들뜸 부위에 대해서 코어채취를 실시하여 포장상태 및 바닥판 상면 상태를 확인하고자 하였다. 코어채취 결과 포장 두께는 약 50mm 정도로 설계도면 상의 포장두께 50mm와 유사하며, 포장부 상태는 바닥판 콘크리트와 맞닿은 곳에서 열화되어 일부 코어 형성이 안된 상태로 나왔으며, 바닥판 상면은 표면부가 열화된 것으로 조사되었다.

	
S2 코어채취(포장 양호부)	포장 및 바닥판 상태 양호

【사진 3.34】 백운1교(춘천) 포장 양호부 코어채취 현황

비교·분석을 위하여 S2의 포장상태 양호부위에 대해서 추가 코어채취를 실시하였으며, 그 결과 포장부 및 바닥판 상태 모두 양호한 것으로 조사되었다. 본 교량은 겨울철 제설염화물이 다량 살포되는 적설한랭지역에 위치하고 있으며, 포장 손상부위로 제설염화물, 강우 및

강설 시 바닥판 상면의 경계면에서 장기체류하면서 동절기 동안 동결융해를 거쳐 바닥판 콘크리트의 열화손상을 유발시키고 있는 것으로 판단된다. 이는 단순히 포장 손상부위에 대한 지엽적인 소파보수 또는 실링보수 보다는 재포장 보수시 바닥판 상면의 열화부 제거 후 방수층 재설치를 통해서 포장 상면으로부터의 우수 및 제설제와 같은 원인인자의 유입을 차단하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교·분석

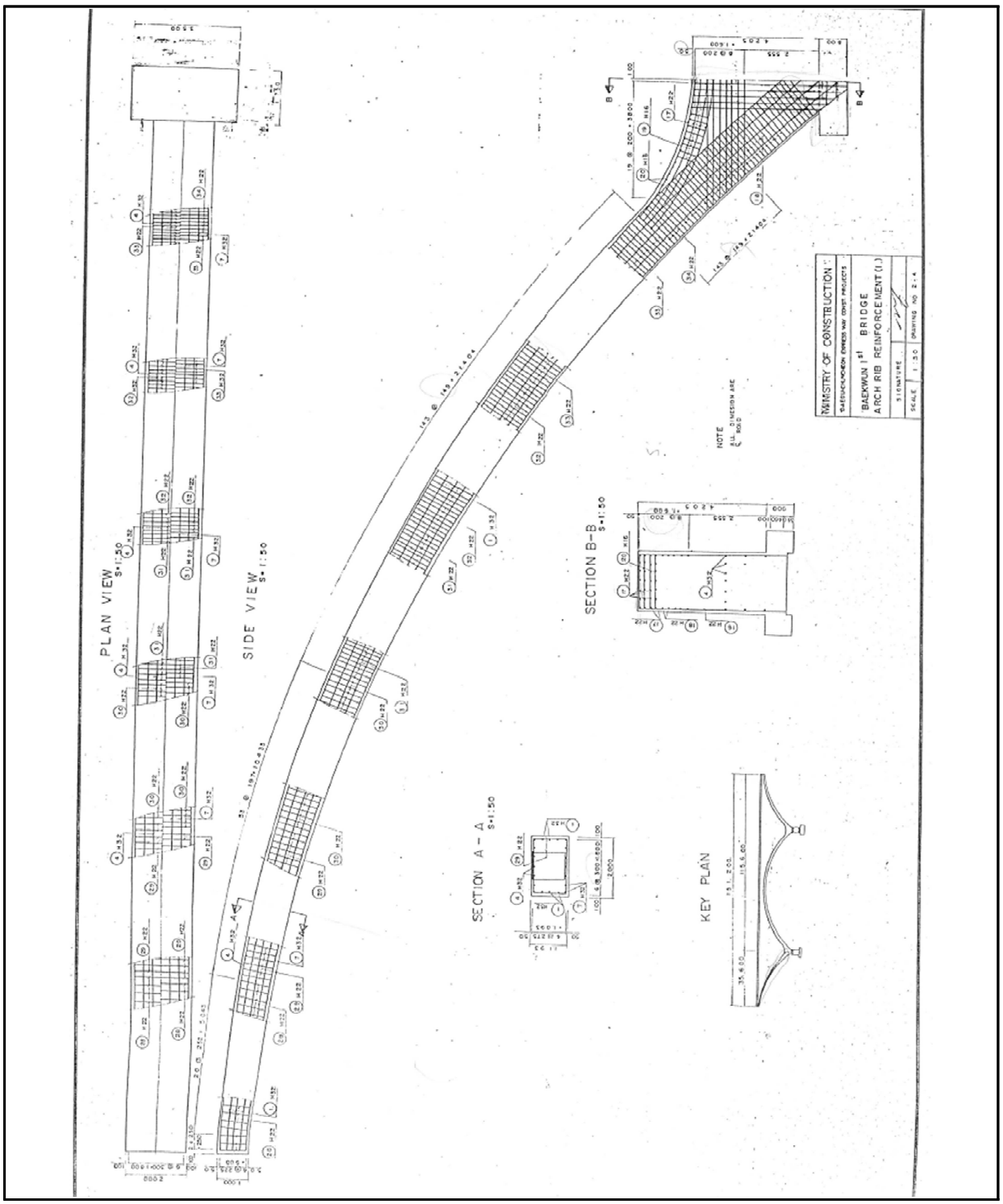
기 진단(2013년 시행)과의 비교·분석 결과, 균열, 균열부 백태, 박리, 재료분리, 철근노출(녹물흔적), 파손 등의 손상은 상세조사 및 공용 중 발생된 추가손상으로 조사되었으며, 망상균열, 거푸집 미제거, 물끊기홈 미설치는 기 진단과 동일하게 손상의 진전은 없는 것으로 조사되었다. 누수흔적 및 백태는 상세조사에 의한 물량의 수정 변경으로 전차 대비 물량은 감소한 것으로 분석되었다.

【표 3.42】 백운1교(춘천) 바닥판의 기 진단과의 비교, 검토

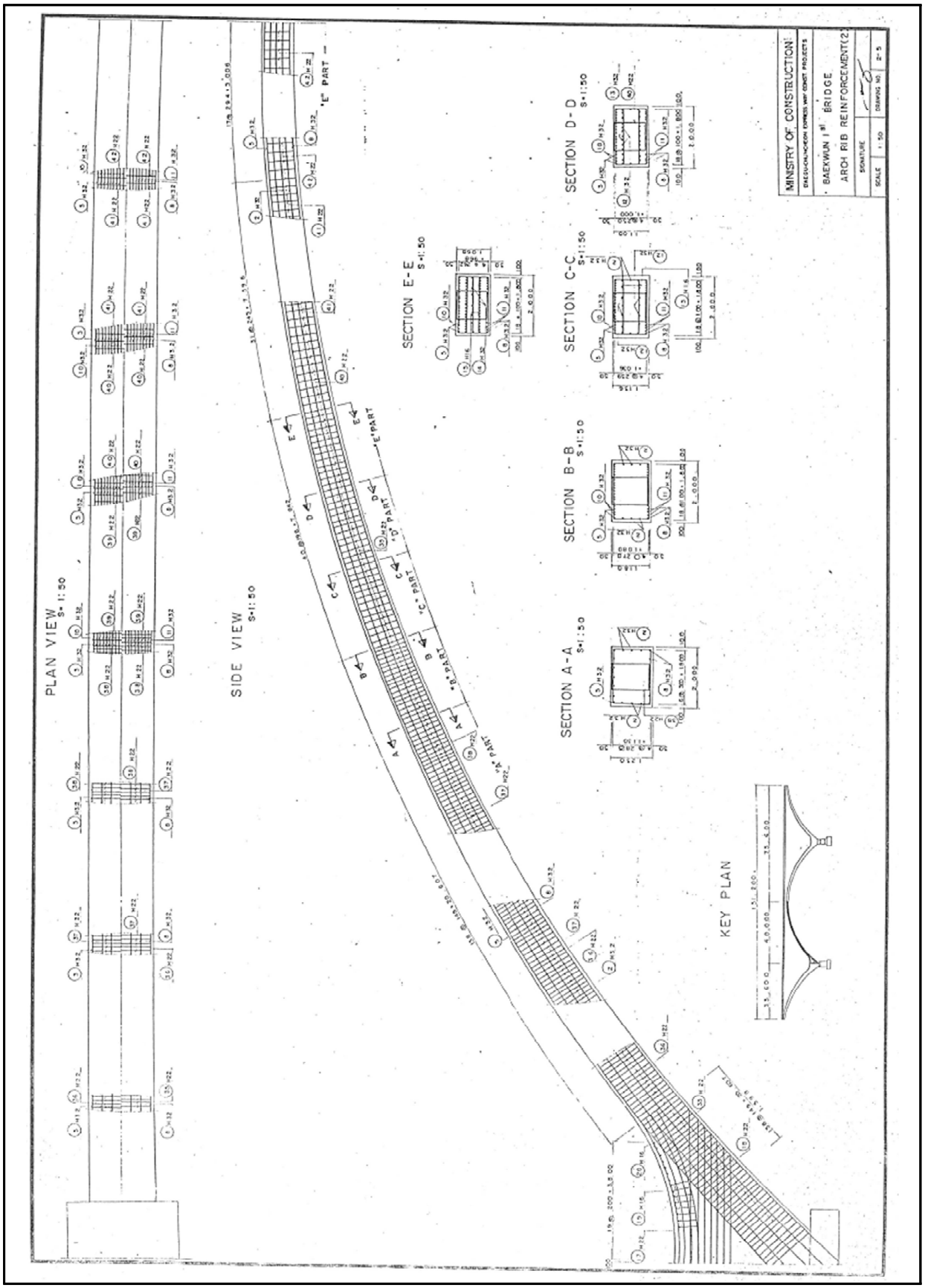
손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2013년	2016년			
균열(cw=0.2mm 이하)	m	48.70	62.80	+	14.10	• 상세조사에 의한 추가손상
균열부 백태	m	3.00	6.10	+	3.10	• 공용 중 발생된 추가손상
누수흔적	㎡	399.30	396.00	-	3.30	• 상세조사에 의한 물량수정
망상균열	㎡	3.10	3.10		-	• 손상변화 없음(동일손상)
박리	㎡	0.42	0.51	+	0.09	• 상세조사에 의한 추가손상
백태	㎡	4.30	0.83	-	3.47	• 상세조사에 의한 물량수정
재료분리	㎡	5.80	6.76	+	0.96	• 상세조사에 의한 추가손상
철근노출(녹물흔적)	㎡	2.61	2.87	+	0.26	• 상세조사에 의한 추가손상
거푸집 미제거	m	2.00	2.00		-	• 손상변화 없음(동일손상)
물끊기홈 미설치	m	1.50	1.50		-	• 손상변화 없음(동일손상)
파손	㎡	-	1.50	+	1.5	• 상세조사에 의한 신규손상

나. AR Girder

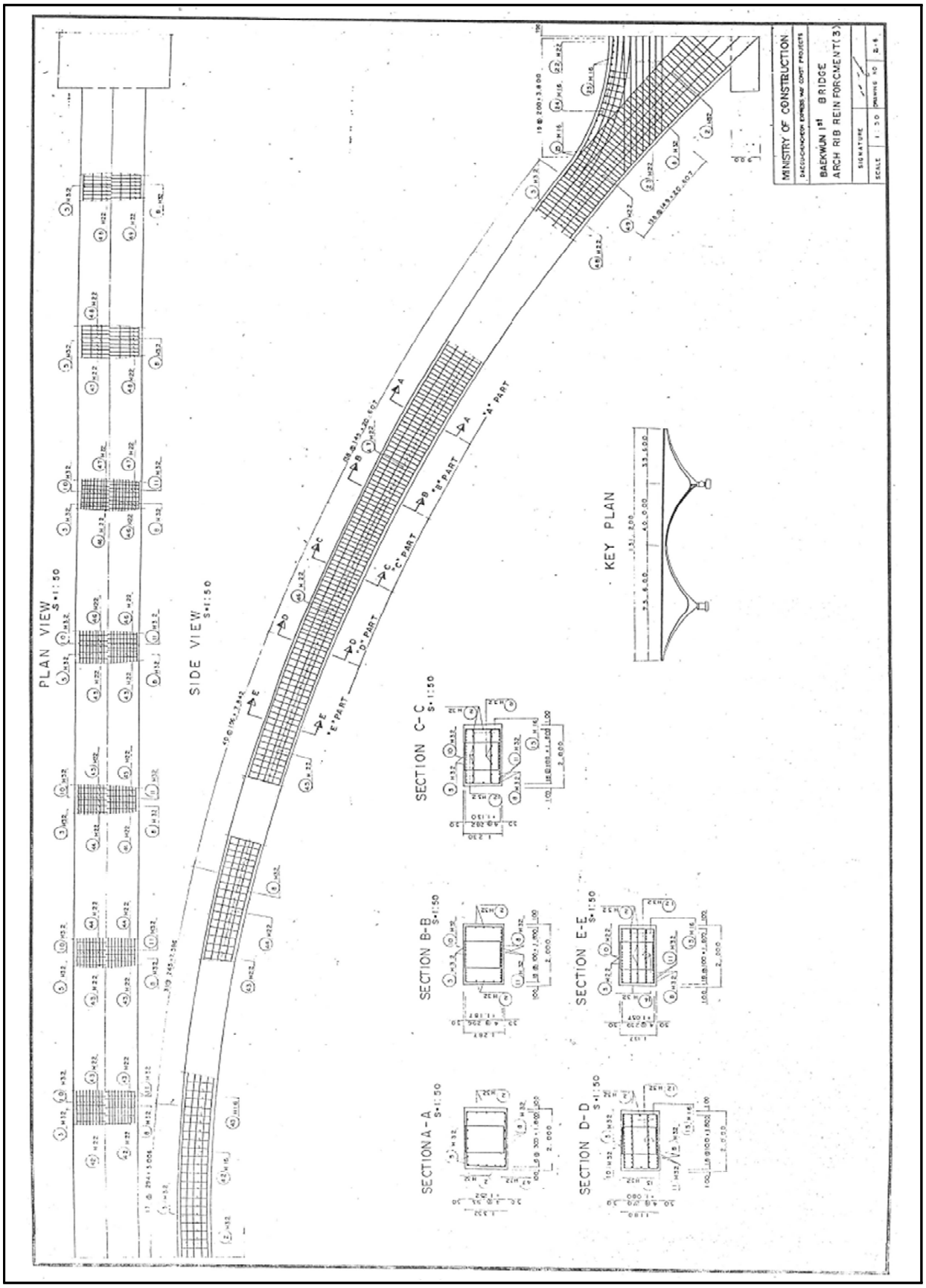
바닥판으로부터 전달되는 하중을 지지하고 교량받침을 통하여 하부구조로 하중을 전달해 주는 역할을 하는 부재로서 경간구성은 S1, S3는 35.7m, S2는 80.0경간으로 구성되어 있다. 거더에 대한 조사방법은 도보, 디지스코프, 고소점검차, 교량점검차 등을 이용한 근접조사를 실시하였다.



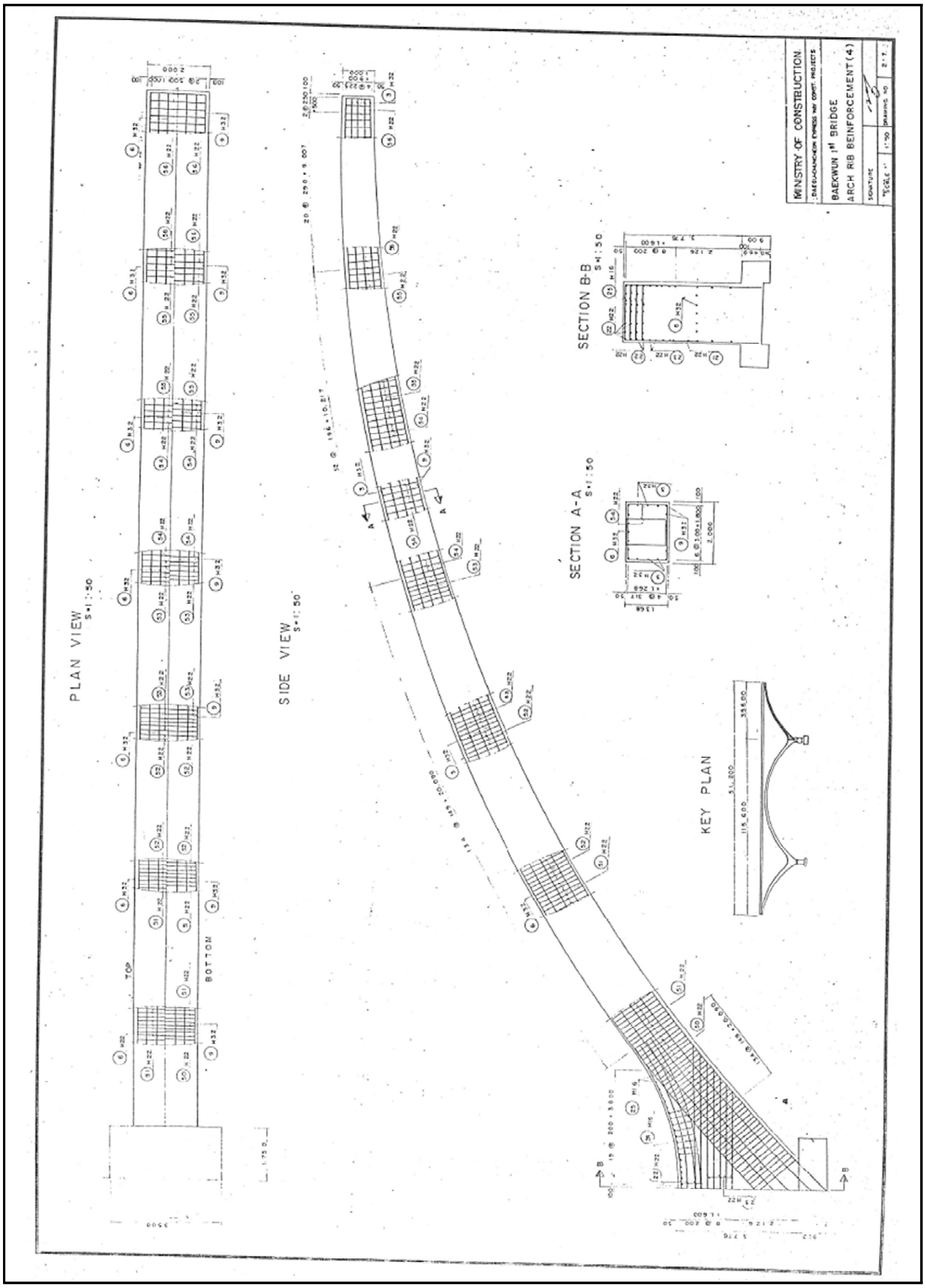
【그림 3.13】 백운1교(춘천) 아치 거더 구조도



【그림 3.13】 백운1교(춘천) 아치 거더 구조도(계속)



【그림 3.13】 백운1교(춘천) 아치 거더 구조도(계속)



【그림 3.13】 백운1교(춘천) 아치 거더 구조도(계속)



AR Girder 측면



AR Girder 하부

【사진 3.35】 백운1교(춘천) AR Girder 전경

1) 외관조사 결과

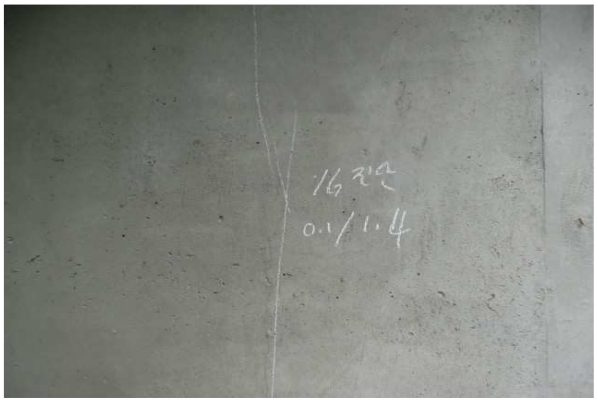
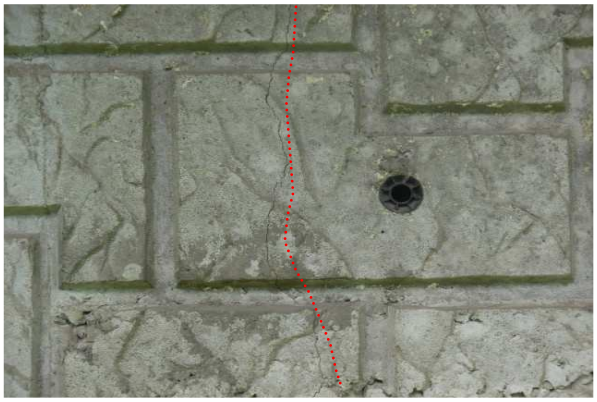
AR Girder에 대한 현장조사 결과, 거푸집 미제거, 균열, 균열부 백태, 누수흔적, 망상균열, 박리, 볼트미제거, 파손, 철근미제거, 재료분리, 철근노출, 이물질 삽입 등의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표3.43】과 같다.

【표 3.43】 백운1교(춘천) AR Girder 외관조사 결과

구분	거푸집미제거 (㎡/EA)	균열(cw=0.2mm 이하) (m/EA)	균열(cw=0.3mm 이상) (m/EA)	균열부백태 (m/EA)	누수흔적 (㎡/EA)	망상균열 (㎡/EA)
S1	-	47.10/28	82.90/24	-	-	27.00/2
S2	-	229.40/109	119.50/51	-	4.00/1	-
S3	3.60/10	33.67/30	45.70/14	0.30/1	-	34.50/2
합계	**3.60/10**	**310.80/167**	**248.10/89**	**0.30/1**	**4.00/1**	**61.50/4**

구분	박리 (㎡/EA)	볼트미제거 (개소)	파손 (㎡/EA)	철근미제거 (개소)	재료분리 (㎡/EA)	철근노출 (㎡/EA)	이물질삽입 (㎡/EA)
S1	2.45/1	5	0.19/9	-	45.50/17	3.25/9	0.62/57
S2	-	-	0.01/1	-	19.60/8	9.09/44	0.10/10
S3	-	-	0.20/1	12	31.05/10	11.65/14	1.08/108
합계	**2.45/1**	**5**	**0.40/11**	**12**	**96.15/35**	**23.99/67**	**1.80/175**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 • S3 G1 거푸집 미제거(A=1.80㎡)
원 인 • 시공미흡
대 책 • 유지관리</td><td>현 황 • S1 G1 균열(cw=0.1mm, 1.4m)
원 인 • 건조수축
대 책 • 유지관리</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 • S1 G1 균열(cw=0.4mm, L=3.0m)
원 인 • 건조수축
대 책 • 주입보수</td><td>현 황 • S3 G1 균열부 백태(L=0.3m)
원 인 • 건조수축 및 수분접촉
대 책 • 표면처리</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 • S2 G1 누수흔적(A=4.00㎡)
원 인 • 우수접촉
대 책 • 유지관리</td><td>현 황 • S1 G1 망상균열(A=5.0m×2.9m=14.5㎡)
원 인 • 건조수축
대 책 • 유지관리</td></tr>
</table>

【사진 3.36】 백운1교(춘천) AR Girder 손상발생 현황





현 황	• S1 G2 박리(A=3.5m×0.7m=2.45㎡)	현 황	• S1 G2 볼트미제거(5개소)
원 인	• 공용 중 열화	원 인	• 시공미흡
대 책	• 단면보수	대 책	• 유지관리





현 황	• S1 G1 이물질삽입(A=0.06㎡)	현 황	• S2 G1 재료분리(A=2.00㎡)
원 인	• 시공미흡	원 인	• 시공미흡
대 책	• 유지관리	대 책	• 단면보수



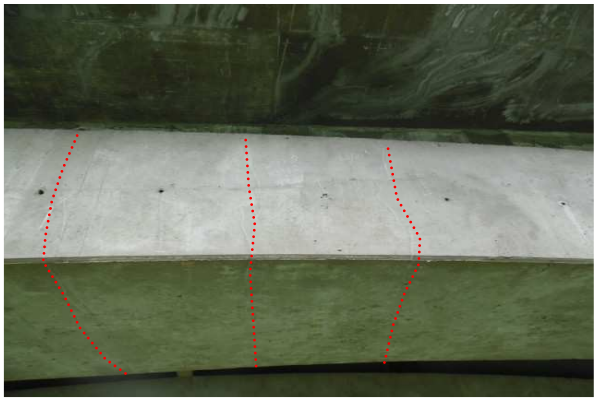


현 황	• S3 G2 철근미제거	현 황	• S3 G1 철근노출(A=0.3m×0.5m=0.15㎡)
원 인	• 시공미흡	원 인	• 시공미흡
대 책	• 유지관리	대 책	• 단면보수(방청)

【사진 3.36】 백운1교(춘천) AR Girder 손상발생 현황(계속)



현 황	• S3 파손(A=0.1m×2.0m=0.20㎡)
원 인	• 공용 중 열화
대 책	• 단면보수



현 황	• S2 G1 균열(cw=0.1mm, L=3.0m)
원 인	• 건조수축
대 책	• 유지관리



현 황	• S2 G1 균열(cw=0.5mm, L=5.00m)
원 인	• 건조수축
대 책	• 주입보수



현 황	• S3 G2 균열(cw=0.1mm, L=1.2m)
원 인	• 건조수축
대 책	• 유지관리



현 황	• S3 G1 재료분리(A=2.00㎡)
원 인	• 시공미흡, 다짐부족
대 책	• 단면보수



현 황	• S2 G2 철근노출(A=1.0m×2.0m=2.0㎡)
원 인	• 시공미흡
대 책	• 단면보수(방청)

【사진 3.36】 백운1교(춘천) AR Girder 손상발생 현황(계속)

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 거푸집 미제거

거더 S3측에 조사된 거푸집 미제거는 시공미흡에 의한 결함으로 내구성 저하 영향은 없는 결함이므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

② 균열 및 망상균열

거더에서 조사된 균열 및 망상균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 거더 복부측 문양거푸집에서 발생된 0.3mm 이상의 균열은 본 구조물의 특성상 대단면 구조물로서 단계별 시공과정에 따른 선타설 콘크리트와 후타설 콘크리트 간의 구속력에 의해 발생되는 온도 및 건조수축에 의한 비구조족인 균열로 내구성 확보차원의 주입보수가 필요할 것으로 판단된다. 거더 하면 및 측면에 발생된 균열폭 0.2mm 이하의 균열 및 망상균열은 건조수축에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으며 표면처리 또는 주의관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다.

③ 균열부 백태

균열부 백태는 균열부 틈새로 우수유입에 의한 수산화칼슘 융해로 발생된 결함으로 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

④ 누수흔적

강우시 거더 측면으로 유입된 우수에 의해 발생된 손상으로 현 상태에서 별도의 보수보다는 주의관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다.

⑤ 박리

박리는 시공미흡 및 공용 중 우수접촉에 의한 열화로 내구성 확보차원의 단면보수가 바람직할 것으로 판단된다.

⑥ 볼트미제거 및 철근미제거

볼트미제거 및 철근미제거는 시공미흡에 의해 발생된 손상으로 별도의 보수보다는 주의관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다.

⑦ 파손

파손은 시공 시 시공미흡 및 공용 중 지속적인 우수접촉 등에 따른 열화로 발생된 손상으로 판단되며, 내구성 확보차원의 단면보수가 바람직 할 것으로 판단된다.

⑧ 재료분리

시공 시 다짐부족에 의한 손상으로 내구성 확보차원의 단면보수가 적절할 것으로 판단된다.

⑨ 철근노출

철근노출은 시공미흡에 의한 피복부족 및 간격재(스페이서) 설치 미흡에 의해 발생된 손상으로 판단되며 내구성 확보차원의 단면보수(방청)이 바람직할 것으로 판단된다.

⑩ 이물질 삽입

시공미흡에 의한 손상으로 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 거푸집 미제거, 볼트미제거, 철근미제거 등의 손상은 동일손상으로 손상변화가 없는 상태이며, 균열, 균열부 백태, 망상균열, 박리, 파손, 재료분리, 철근노출, 이물질 삽입은 금회 진단 시 상세 조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규) 손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

【표 3.44】 백운1교(춘천) AR Girder의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2013년	2016년			
거푸집 미제거	㎡	3.60	3.60		-	• 손상변화 없음(동일손상)
균열(cw=0.2mm 이하)	m	276.00	310.80	+	34.80	• 상세조사에 의한 추가손상
균열(cw=0.3mm 이상)	m	235.50	248.10	+	12.60	• 상세조사에 의한 추가손상
균열부 백태	m	-	0.30	+	0.30	• 공용 중 발생된 신규손상
누수흔적	㎡	9.00	4.00	-	5.00	• 상세조사에 의한 물량수정
망상균열	㎡	14.50	61.50	+	47.00	• 상세조사에 의한 추가손상
박리	㎡	-	2.45	+	2.45	• 상세조사에 의한 추가손상
볼트미제거	개소	5	5		-	• 손상변화 없음(동일손상)
파손	㎡	0.25	0.40	+	0.15	• 상세조사에 의한 추가손상
철근미제거	개소	12	12		-	• 손상변화 없음(동일손상)
재료분리	㎡	10.81	96.15	+	85.34	• 상세조사에 의한 추가손상
철근노출	㎡	14.74	23.99	+	9.25	• 상세조사에 의한 추가손상
이물질삽입	㎡	-	1.80	+	1.80	• 상세조사에 의한 추가손상

다. 가로보

공용기간중 거더의 횡변형을 방지해주며, 상부에 작용하는 하중을 분배시켜주는 역할을 하는 가로보는 콘크리트로 시공되어 있다. 조사는 거더의 중앙부의 가로보는 고소점검차 및 굴절차를 활용하여 조사를 실시하였으며, 지점부에 위치한 가로보에 대해서는 도보 접근하여 조사를 실시하였다.




가로보 전경

【사진 3.37】 백운1교(춘천) 가로보 전경

1) 외관조사 결과

외관조사 결과, 재료분리 2개소가 조사되었다. 손상현황은 【표 3.45】과 같다.

【표 3.45】 백운1교(춘천) 가로보의 손상현황

구분	재료분리 (㎡/EA)
S1	-
S2	0.08/2
S3	-
합계	**0.08/2**

2) 손상별 현황




현 황	• S2 CB3 A2측 재료분리(A=0.08㎡)
원 인	•다짐불량
대 책	• 주의관찰

【사진 3.38】 백운1교(춘천) 가로보 손상발생 현황

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 재료분리

가로보에 발생한 재료분리는 콘크리트 타설 시 시공불량에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 그에 따른 단면감소 및 내구성 저하 영향은 미미한 상태이므로 보수방안보다는 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 상세 조사에 의한 추가 손상으로 신규물량이 발생한 것으로 분석되었다.

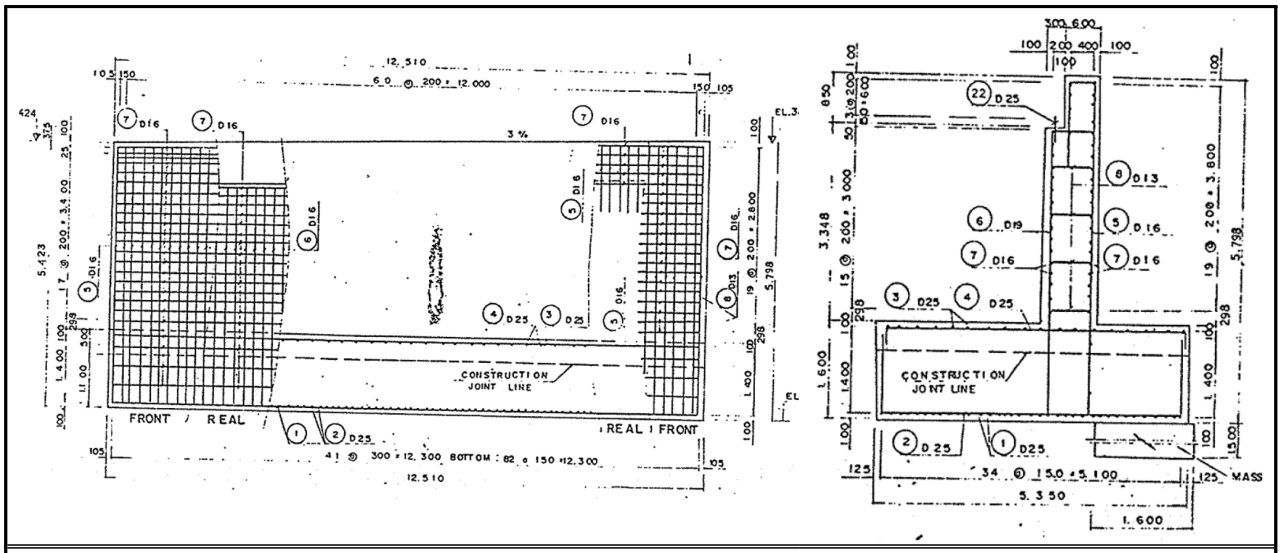
【표 3.46】 백운1교(춘천) 가로보의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2013년	2016년			
재료분리	m	-	0.08	+	0.08	• 상세조사에 의한 추가손상

3.3.2 하부구조

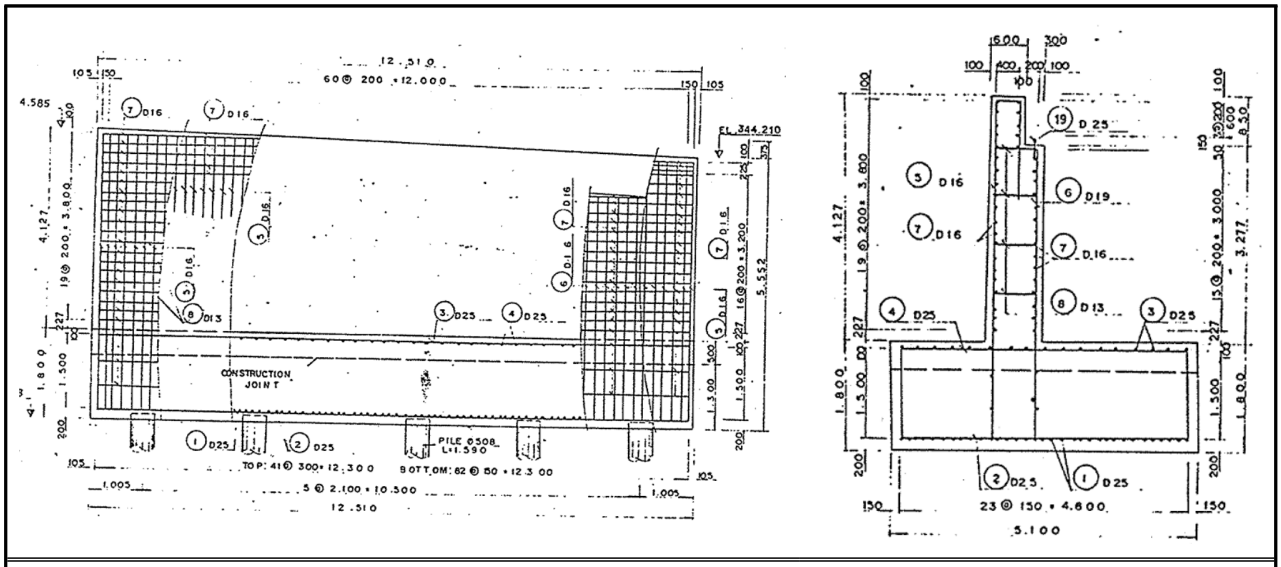
가. 교대

본 교량의 교대는 A1, A2 2기로 구성되어 있으며, 형식은 역T형이며, 기초는 직접기초(A1), 강관파일기초(A2)로 시공되어있다. 조사는 도보로 접근하여 실시하였다.



교대 A1 구조도

【그림 3.14】 백운1교(춘천) 교대 구조도



교대 A2 구조도

【그림 3.14】 백운1교(춘천) 교대 구조도(계속)



교대 A1



교대 A2

【사진 3.39】 백운1교(춘천) 교대 전경

1) 외관조사 결과

교대의 흉벽 및 구체에 대한 현장조사 결과, 계단침하, 건조수축에 의한 균열, 마감불량, 망상균열, 박리, 백태, 체수 및 파손 등의 결함이 조사되었으며, 기초는 노출되지 않은 상태로 손상현황은 【표 3.47】과 같다.

【표 3.47】 백운1교(춘천) 교대의 손상현황

구분	균열 (cw=0.2mm 이하) (m/EA)	균열 (cw=0.3mm 이상) (m/EA)	녹물흔적 (잡철물) (㎡/EA)	망상균열 (㎡/EA)	파손 (㎡/EA)	박리 (㎡/EA)	백태 (㎡/EA)	재료분리 (㎡/EA)
A1	17.10/15	-	-	27.87/7	2.26/6	0.28/1	-	0.92/19
A2	9.40/14	0.80/2	1.19/253	14.28/4	0.10/1	1.10/2	5.15/6	-
합계	**26.50/29**	**0.80/2**	**1.19/253**	**43.20/11**	**2.36/7**	**1.38/3**	**5.15/6**	**0.92/19**

【표 3.47】 백운1교(춘천) 교대의 손상현황(계속)

구분	와이어매쉬노출 (㎡/EA)	이물질삽입 (잡철물) (㎡/EA)	접합부이격 (m/개소)	체수 (㎡/EA)	누수흔적 (㎡/EA)	토사퇴적 (㎡/EA)
A1	3.30/2	0.52/59	11.00/2	5.60/1	0.48/1	-
A2	-	-	10.00/1	9.36/4	-	0.28/1
합계	**3.30/2**	**0.52/59**	**21.00/3**	**15.00/5**	**0.48/1**	**0.28/1**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• A1 균열(cw=0.1mm, L=0.8m)</td><td>현 황</td><td>• A2 녹물흔적(A=0.06㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 건조수축</td><td>원 인</td><td>• 시공미흡(잡철물)</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 유지관리</td><td>대 책</td><td>• 단면보수(방청)</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• A1 누수흔적(A=0.48㎡))</td><td>현 황</td><td>• A1 망상균열(A=0.28㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 신축이음부 누수</td><td>원 인</td><td>• 건조수축</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 유도배수</td><td>대 책</td><td>• 유지관리</td></tr>
</table>

【사진 3.40】 백운1교(춘천) 교대 손상발생 현황

<table>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 • A2 백태(A=1.80㎡)
원 인 • 신축이음부 누수
대 책 • 표면처리, 유도배수</td><td>현 황 • A1 파손 (A=0.10㎡)
원 인 • 외부충격
대 책 • 단면보수</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 • A1 사면보호공 와이어매쉬노출 (A=3.00㎡)
원 인 • 시공미흡
대 책 • 단면보수</td><td>현 황 • A1 이물질삽입(잡철물 등)(A=0.07㎡)
원 인 • 시공미흡
대 책 • 유지관리</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 • A1 접합부 이격(L=5.00m)
원 인 • 공용 기간 중 사면안정화
대 책 • 씰링보수</td><td>현 황 • A2 상면 체수(A=3.00㎡)
원 인 • 신축이음부 누수
대 책 • 유도배수</td></tr>
</table>

【사진 3.40】 백운1교(춘천) 교대 손상발생 현황(계속)

			
현 황	• A2 점검로(바닥콘크리트) 균열 (cw=5.0mm, L=0.5mm)	**현 황**	• A2 녹물흔적(A=0.72㎡)
원 인	• 공용 기간 중 사면안정화	**원 인**	• 시공미흡(잡철물)
대 책	• 주입보수	**대 책**	• 유지관리

【사진 3.40】 백운1교(춘천) 교대 손상발생 현황(계속)

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 균열 및 망상균열

교대 구체에 발생한 균열폭 0.2mm 이하 균열 및 망상균열은 시공초기 건조수축에 의해 발생된 손상으로 현상태에서의 주의관찰을 통한 유지관리가 바람직 할 것으로 판단된다. 균열폭 0.3mm 이상 균열은 교대 전면의 점검로 바닥콘크리트에서 발생된 손상으로 내구성 확보차원의 주입보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

② 녹물흔적(잡철물 및 이물질 삽입)

시공 시 이물질 삽입 및 철근 결속선 마감 불량에 의해서 발생한 손상으로 내구성 확보차원의 단면보수(방청)을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

③ 박리

박리는 공용 중 우수접촉에 의한 열화로 손상깊이가 깊지 않아 보수보다는 주의관찰이 바람직 할 것으로 판단된다.

④ 백태

교대 신축이음부 하부에서 조사된 손상으로 신축이음부 누수로 인한 콘크리트 구체의 미세균열부 수분접촉에 의한 수산화칼슘 용해로 발생된 결함으로 판단된다. 금회 외관조사 시 신축이음하부의 교대흉벽과 거더 및 바닥판의 유간이 협소하여 조사자의 육안으로 점검이 불가한 상태라 내시경 카메라를 활용하여 구조물의 상태를 확인하였다.







• 신축이음하부 교대 흉벽과 거더 유간부 습윤상태인 것으로 조사됨.

【사진 3.41】 백운1교(춘천) 교대부 내시경 카메라 활용 조사

내시경 카메라를 활용한 외관조사 결과, 신축이음하부의 유간부는 일부 습윤한 상태로 조사되었으며, 표면부 백태가 조사되었다. 내구성 확보를 위한 표면처리 보수를 실시하고 누수 차단을 위해 신축이음부 하부 유도배수로를 설치하여 우수 유입 차단을 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

⑤ 재료분리

재료분리는 콘크리트 타설 시 다짐부족에 의해 발생된 결함으로 손상규모가 경미하여 단면력 저하 영향은 미미한 상태이므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

⑥ 파손

파손은 시공 시 시공미흡 및 공용 중 외부충격에 의해 발생된 손상으로 판단되며, 내구성 확보차원의 단면보수가 바람직 할 것으로 판단된다.

⑦ 와이어매쉬 노출

교대 사면보호공의 와이어매쉬 노출은 시공미흡에 의해 발생된 손상으로 부재에 끼치는 영향은 미미한 것으로 판단되므로 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

⑧ 접합부 이격

교대와 교대 점검로 및 사면보호공 사이의 접합부가 시공 후 사면안정화 단계에서 발생된 이격으로 강우 시 이격부위로 우수유입되어 사면부 토사 유실 및 동결융해에 의한 파손 등의 손상을 방지하기 위하여 씰링재 주입을 통한 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

⑨ 체수 및 누수흔적

체수 및 누수흔적은 신축이음부 누수로 발생된 손상으로 체수 및 누수흔적의 근본 원인인 신축이음부 누수에 대한 유도배수로 설치 또는 신축이음 교체와 같은 보수를 실시하지 않는다면 지속적인 포장부 우수유입으로 겨울철 강설 시 사용하는 제설제의 영향으로 부재에 염화물함유량 상승 등에의한 추가적인 손상(재질열화, 철근부식 등)이 발생할 수 있으므로 1차적으로 유도배수로를 설치하여 상부 노면수의 유입을 차단하고, 장기적인 관점에서 신축이음부 교체를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

⑩ 토사퇴적

교대 사면보호공의 끝단에 조사된 손상으로 부재에 끼치는 영향은 미미한 것으로 판단되므로 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

4) 과업기간 중 백운1교(춘천) 교대 보수현황

① 보수현황 확인결과

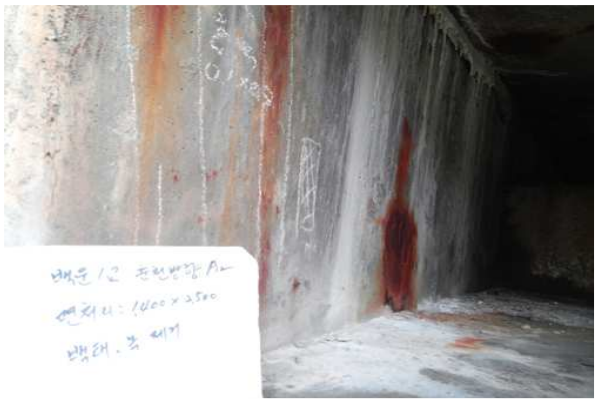
유지관리기관인 한국도로공사 제천지사에서 2016년 12월에 관내 보수공사를 시행하면서 백운1교(춘천) 교대 A2에 백태 보수를 시행하였으며, 이에 보수된 손상을 제외한 최종적인 손상현황은 다음과 같다.

【표 3.48】 백운1교(춘천) 교대의 보수후 손상현황

구분	균열 (cw=0.2mm 이하) (m/EA)	균열 (cw=0.3mm 이상) (m/EA)	녹물흔적 (잡철물) (㎡/EA)	망상균열 (㎡/EA)	파손 (㎡/EA)	박리 (㎡/EA)	백태 (㎡/EA)	재료분리 (㎡/EA)
A1	17.10/15	-	-	27.87/7	2.26/6	0.28/1	-	0.92/19
A2	9.40/14	0.80/2	1.19/253	14.28/4	0.10/1	1.10/2	0.20/1	-
합계	**26.50/29**	**0.80/2**	**1.19/253**	**43.20/11**	**2.36/7**	**1.38/3**	**0.20/1**	**0.92/19**

구분	와이어메쉬노출 (㎡/EA)	이물질삽입 (잡철물) (㎡/EA)	접합부이격 (m/개소)	체수 (㎡/EA)	누수흔적 (㎡/EA)	토사퇴적 (㎡/EA)
A1	3.30/2	0.52/59	11.00/2	5.60/1	0.48/1	-
A2	-	-	10.00/1	9.36/4	-	0.28/1
합계	**3.30/2**	**0.52/59**	**21.00/3**	**15.00/5**	**0.48/1**	**0.28/1**

② 보수 손상별 현황



교대 A2 흉벽부 백태 보수전 전경



교대 A2 흉벽부 백태 보수후 전경

【사진 3.42】 백운1교(춘천) 교대 A2 흉벽부 백태 보수 현황

5) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 균열(cw=0.3mm 이상), 와이어매쉬 노출, 토사퇴적은 손상변화가 없는 동일 손상으로 분석되었고, 균열(cw=0.2mm 이하), 녹물흔적 및 이물질 삽입, 망상균열, 백태, 재료분리, 파손 등의 손상은 상세조사 및 공용 중 발생된 추가 손상으로 손상물량의 증가가 있는 것으로 분석되었으며, 박리, 접합부 이격, 체수 및 누수흔적은 상세조사에 의한 물량 수정으로 손상물량의 감소가 있는 것으로 분석되었다.

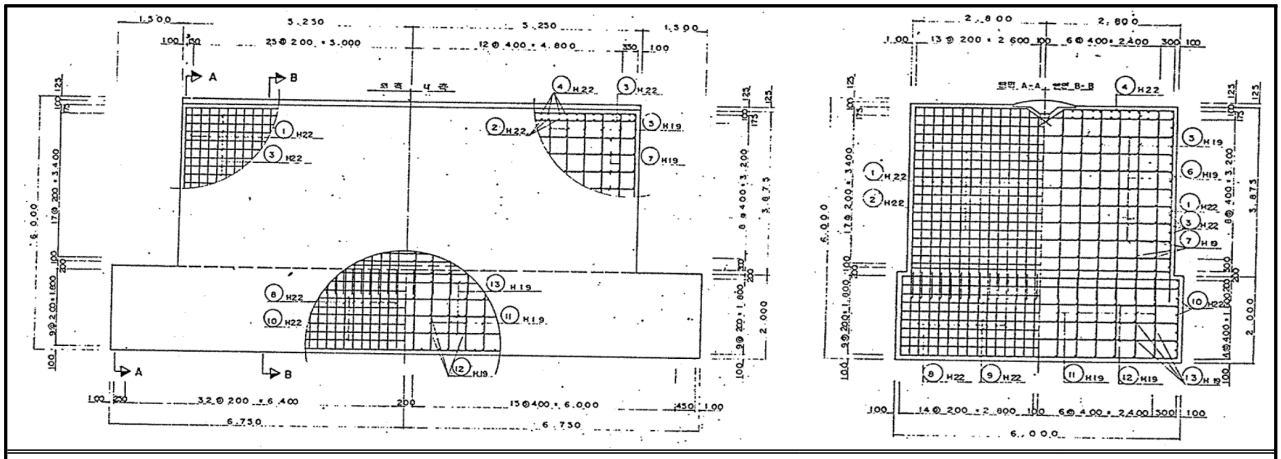
【표 3.49】 백운1교(춘천) 교대의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2013년	2016년			
균열(cw=0.2mm 이하)	m	19.00	26.50	+	7.50	• 상세조사에 의한 추가손상
균열(cw=0.3mm 이상)	m	0.80	0.80	+	0.80	• 손상변화 없음(동일손상)
망상균열	㎡	31.61	43.20	+	11.59	• 상세조사에 의한 추가손상
박리	㎡	1.44	1.38	-	0.06	• 상세조사에 의한 물량수정
박리	㎡	1.44	1.38	-	0.06	• 상세조사에 의한 물량수정
백태	㎡	2.45	0.20	+	2.25	• 보수에 의한 손상감소
재료분리	㎡	-	0.92	+	0.92	• 상세조사에 의한 추가손상
파손	㎡	1.02	2.36	+	1.34	• 상세조사에 의한 추가손상
와이어매쉬 노출	㎡	3.30	3.30		-	• 손상변화 없음(동일손상)
녹물흔적 및 이물질 삽입(잡철물 등)	㎡	0.75	1.71	+	0.96	• 상세조사에 의한 추가손상
접합부 이격	㎡	29.00	21.00	-	8.00	• 상세조사에 의한 물량수정
체수 및 누수흔적	㎡	25.59	15.48	-	10.11	• 상세조사에 의한 물량수정
토사퇴적	㎡	0.28	0.28		-	• 손상변화 없음(동일손상)

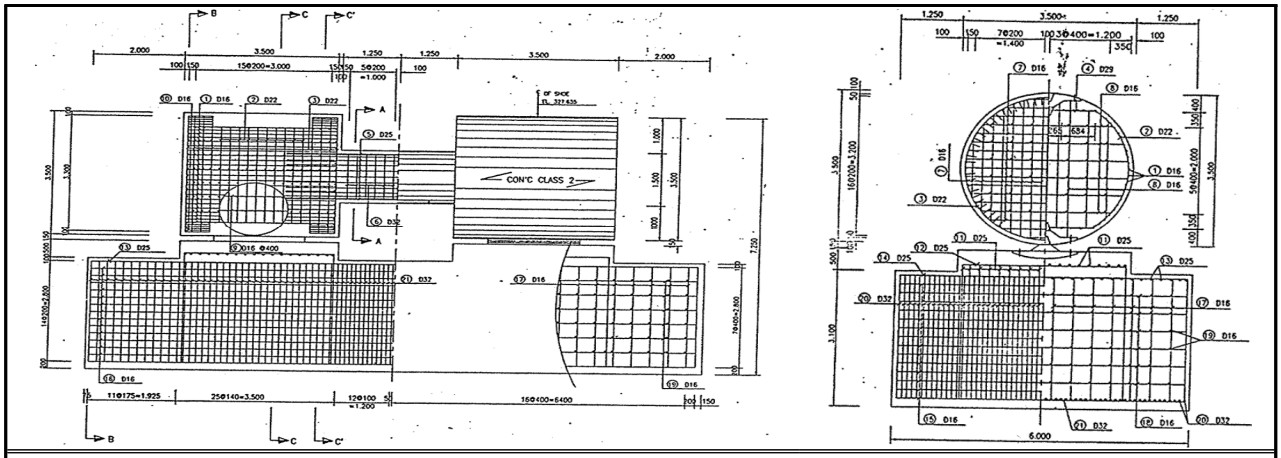
주) 기 진단과의 비교, 검토는 보수가 시행된 손상현황을 적용하였음.

나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각은 구형으로 되어있으며, 기초는 직접기초(P1)과 강관파일기초(P2)로 시공되어있다. 조사는 도보로 접근하여 실시하였다.



교각 P1 구조도



교각 P2 구조도

【그림 3.15】 백운1교(춘천) 교각 구조도



교각 P1



교각 P2

【사진 3.43】 백운1교(춘천) 교각 전경

1) 외관조사 결과

교각에 대한 현장조사 결과, 거푸집 미제거, 균열, 망상균열, 재료분리, 철근노출, 파손, 박락, 이물질 노출 등의 결함이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.50】과 같다.

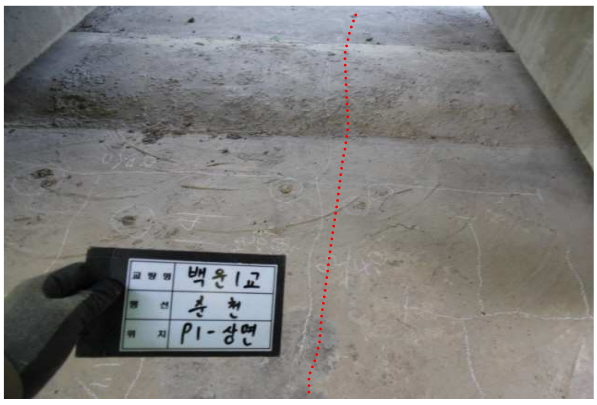
【표 3.50】 백운1교(춘천) 교각의 손상현황

구분	거푸집 미제거 (㎡/EA)	균열 (cw=0.2mm 이하) (m/EA)	균열 (cw=0.3mm 이상) (m/EA)	망상균열 (㎡/EA)	재료분리 (㎡/EA)	철근노출 (㎡/EA)	파손 (㎡/EA)	박락 (㎡/EA)	이물질 노출 (㎡/EA)
P1	-	72.10/60	2.80/1	8.26/4	17.41/13	1.07/40	0.95/44	0.04/1	0.93/89
P2	0.01/1	15.10/16	-	16.42/4	30.77/11	-	0.07/4	-	0.71/71
합계	**0.01/1**	**87.20/76**	**2.80/1**	**24.68/8**	**48.18/24**	**1.07/40**	**1.02/48**	**0.04/1**	**1.64/160**

2) 손상별 현황



현 황	• P2 거푸집미제거(A=0.01㎡)
원 인	• 시공미흡
대 책	• 유지관리



현 황	• P1 균열(cw=0.2mm, L=4.00m)
원 인	• 건조수축
대 책	• 유지관리



현 황	• P1 균열(cw=0.3mm, 2.8m)
원 인	• 건조수축
대 책	• 주입보수



현 황	• P2 망상균열(A=0.90㎡)
원 인	• 건조수축
대 책	• 유지관리

【사진 3.44】 백운1교(춘천) 교각 손상발생 현황



현 황	• P1 재료분리(A=0.40㎡)
원 인	• 다짐부족
대 책	• 유지관리



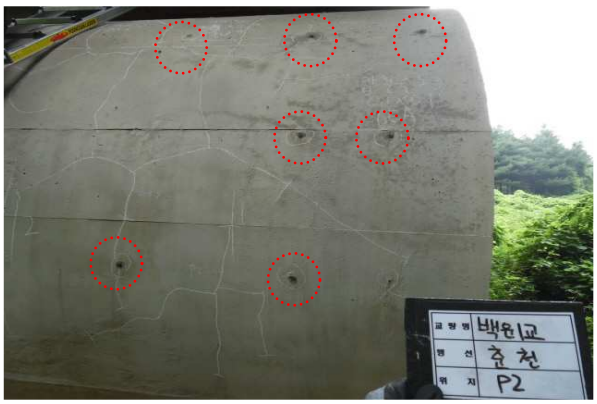
현 황	• P1 철근노출(A=0.65㎡)
원 인	• 시공미흡(피복부족)
대 책	• 보수완료(2016. 12)



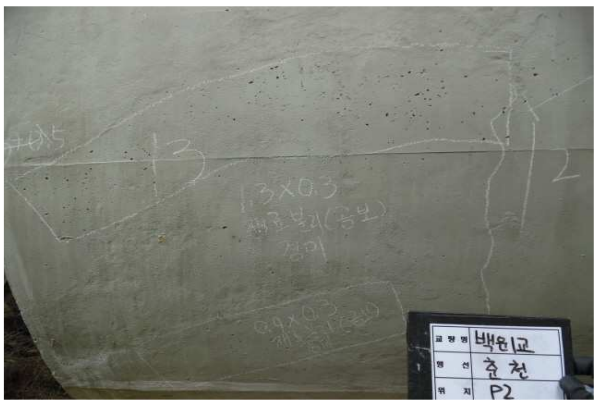
현 황	• P1 파손(A=0.04㎡)
원 인	• 외부충격
대 책	• 유지관리



현 황	• P1 박락(A=0.04㎡)
원 인	• 시공미흡(피복부족)
대 책	• 단면보수(방청)



현 황	• P2 이물질노출(철물)(A=0.04㎡)
원 인	• 시공미흡
대 책	• 단면보수(방청)



현 황	• P2 재료분리(A=0.27㎡)
원 인	• 다짐부족
대 책	• 유지관리

【사진 3.44】 백운1교(춘천) 교각 손상발생 현황(계속)

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 거푸집 미제거

거푸집 미제거는 시공미흡에 의해 발생된 손상으로 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 바람직 할 것으로 판단된다.

② 균열 및 망상균열

교각에서 조사된 균열 및 망상균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 균열폭 0.3mm 이상의 균열에 대해서는 주입보수를 실시하고, 균열폭 0.2mm 이하의 균열 및 망상균열은 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

③ 재료분리

재료분리는 콘크리트 타설 시 시공불량에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 그에 따른 단면감소 및 내구성 저하 영향은 미미한 상태이므로 보수방안보다는 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

④ 철근노출 및 박락

철근노출은 P1 배면에서 조사된 것으로 외관조사 시 철근배근간격과 유사한 간격으로 균열손상이 조사되어 점검망치를 이용하여 타격 조사를 실시한 결과 피복부족 구간의 콘크리트가 탈락하여 철근이 노출된 손상이다.



점검망치 활용한 철근노출 확인

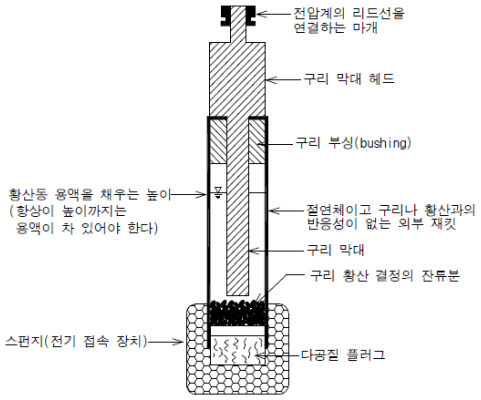


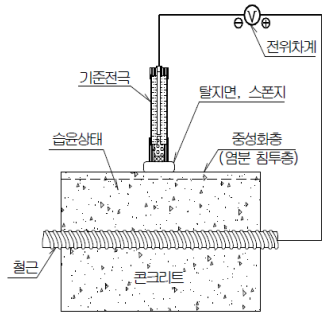
철근노출 현황

【사진 3.45】 백운1교(춘천) P1배면 철근노출 손상현황

철근노출 손상에 대한 추가 시험으로 철근부식도 시험을 실시하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

【표 3.51】 백운1교(춘천) 철근부식도 시험

<table>
<tr><td>개 요</td><td>• 금회 과업시 외관조사를 선행 후 철근콘크리트에 매입되어 있는 철근부식 우려구간에 대해서 철근부식도시험을 실시함.
• 본 시험시 자연전위법으로 시험을 실시하였으며, 보다 정확한 철근부식 진단을 실시하기 위해 철근의 피복두께, 염화물함유량, 탄산화 깊이, 구조물의 균열 상황 등을 종합적으로 고려하여 철근부식도를 판단함.</td></tr>
<tr><td>시험
방법</td><td>• 콘크리트는 강알칼리성으로 철근은 부동태로 전위는 -100~-200mV(CSE)를 나타내지만, 염화물의 침투와 탄산화(중성화)로 철근이 활성상태로 되어 부식이 진행하면 전위는 부(-)방향으로 진행함.
• 측정전 사전 철근탐사를 실시하여 주철근에 대해 노출을 시킨 후 클립코드를 노출철근에 접속시킴.. 시험면까지 살수 작업을 통해 내부철근까지 습윤상태를 유지시킨 후 측정기(막대형전극)를 격자모양으로 임의의 점을 개별적으로 측정을 실시함.
 

<동-황산동 반전지의 단면>
 

<자연전위 측정방법></td></tr>
<tr><td>평가
기준</td><td>• 철근부식 유무 판정은 KS F 2712에서 제시하고 있는 기준을 참고하여 다음 표와 같이 판단함.
<table><tr><th rowspan="2">부식등급</th><th colspan="2">KS F 2712 규격</th></tr><tr><th>자연전위 E (mV)</th><th>부식확률 P(%)</th></tr><tr><td>Ⅰ</td><td>E>-200</td><td>90% 이상의 확률로 부식 없음</td></tr><tr><td>Ⅱ</td><td>-200≥E>-350</td><td>불명확</td></tr><tr><td>Ⅲ</td><td>-350≥E</td><td>90% 이상의 확률로 부식 있음</td></tr></table></td></tr>
</table>

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※콘크리트 내구성 평가절차 수립(한국시설안전공단, 1999.12) 참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조



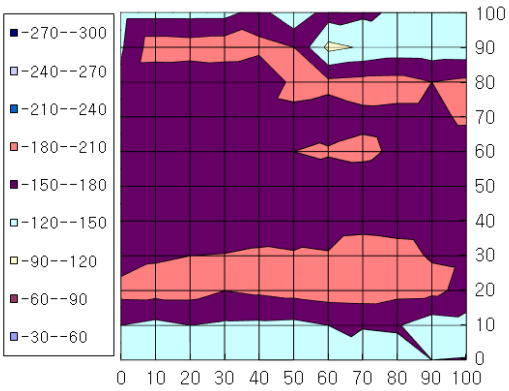

【사진 3.46】 백운1교(춘천) 철근부식도시험 전경

㉠ 철근부식도 시험결과

【표 3.52】 백운1교(춘천) P1 철근부식도 시험결과 및 평가

측정위치	부식등급	부식확률 P(%)
P1 기둥 철근노출부	I	90%이상의 확률로 부식 없음

구분 (cm)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	자연전위 E(㎷)
100	-140	-140	-140	-140	-162	-123	-165	-156	-145	-145	-137	
90	-146	-198	-195	-199	-188	-180	-111	-123	-132	-131	-130	
80	-157	-155	-156	-153	-152	-188	-186	-190	-191	-180	-186	
70	-164	-168	-170	-171	-171	-174	-169	-175	-173	-173	-185	
60	-176	-177	-174	-173	-175	-180	-182	-185	-176	-165	-164	
50	-164	-160	-171	-167	-170	-173	-169	-168	-165	-160	-167	
40	-160	-161	-165	-166	-167	-169	-174	-175	-173	-172	-180	
30	-165	-177	-180	-181	-184	-182	-181	-188	-187	-178	-176	
20	-190	-191	-191	-180	-185	-190	-195	-197	-189	-188	-170	
10	-150	-142	-150	-145	-144	-142	-150	-151	-152	-133	-138	
0	-139	-138	-137	-140	-140	-149	-148	-141	-143	-150	-151	



㉡ 시험결과 분석

교각(P1) 기둥 철근노출부에 실시한 철근부식도 시험결과 철근노출 부위 주변에 90% 이상의 확률로 부식 없음으로 평가되어 철근노출 및 박락부에 대한 보수를 실시한다면 내구성 저하의 영향은 적을 것으로 판단된다.

⑤ 파손

파손은 시공 시 시공미흡 및 공용 중 외부충격에 의해 발생된 손상으로 판단되며, 경미한 수준의 손상이므로 별도의 보수보다는 현 상태로 유지관리 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

⑥ 이물질 노출

시공 시 이물질 삽입 및 철근 결속선 마감 불량에 의해 발생된 손상으로 판단되며, 경미한 수준의 손상이므로 별도의 보수보다는 현 상태로 유지관리 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

4) 과업기간 중 백운1교(춘천) 교각 보수현황

① 보수현황 확인결과

유지관리기관인 한국도로공사 제천지사에서 2016년 12월에 관내 보수공사를 시행하면서 백운1교(춘천) 교각 P1에 0.3mm이상 균열, 철근노출, 박락을 보수를 시행하였으며, 이에 보수된 손상을 제외한 최종적인 손상현황은 다음과 같다.

【표 3.53】 백운1교(춘천) 교각의 보수후 손상현황

구분	거푸집 미제거 (㎡/EA)	균열 (cw=0.2mm 이하) (m/EA)	균열 (cw=0.3mm 이상) (m/EA)	망상균열 (㎡/EA)	재료분리 (㎡/EA)	철근노출 (㎡/EA)	파손 (㎡/EA)	박락 (㎡/EA)	이물질 노출 (㎡/EA)
P1	-	72.10/60	-	8.26/4	17.41/13	0.38/32	0.95/44	-	0.93/89
P2	0.01/1	15.10/16	-	16.42/4	30.77/11	-	0.07/4	-	0.71/71
합계	**0.01/1**	**87.20/76**	-	**24.68/8**	**48.18/24**	**0.38/32**	**1.02/48**	-	**1.64/160**

② 보수 손상별 현황



교각 P1 0.3mm이상 균열 보수전 전경



교각 P1 0.3mm이상 균열 보수후 전경

【사진 3.47】 백운1교(춘천) 교각 P1 0.3mm이상 균열 보수 현황

	
교각 P1 철근노출 및 박락 보수전 전경	교각 P1 철근노출 및 박락 보수후 전경

【사진 3.48】 백운1교(춘천) 교각 P1 철근노출 및 박락 보수 현황

5) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 거푸집 미제거, 균열, 망상균열, 재료분리, 철근노출, 파손, 이물질 노출 손상은 상세조사에 의한 추가손상으로 손상물량의 증가가 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.54】 백운1교(춘천) 교각의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2013년	2016년			
거푸집 미제거	㎡	-	0.01	+	0.01	• 상세조사에 의한 추가손상
균열(cw=0.2mm 이하)	m	23.60	87.20	+	63.60	• 상세조사에 의한 추가손상
망상균열	㎡	4.75	24.68	+	19.93	• 상세조사에 의한 추가손상
재료분리	㎡	10.75	48.18	+	37.43	• 상세조사에 의한 추가손상
철근노출	㎡	0.06	0.38	+	0.32	• 상세조사에 의한 추가손상
파손	㎡	0.26	1.02	+	0.76	• 상세조사에 의한 추가손상
이물질노출	㎡	-	1.64	+	1.64	• 상세조사에 의한 추가손상

주) 기 진단과의 비교, 검토는 보수가 시행된 손상현황을 적용하였음.

다. 교대 및 교각의 상대변위(기초침하 검측)

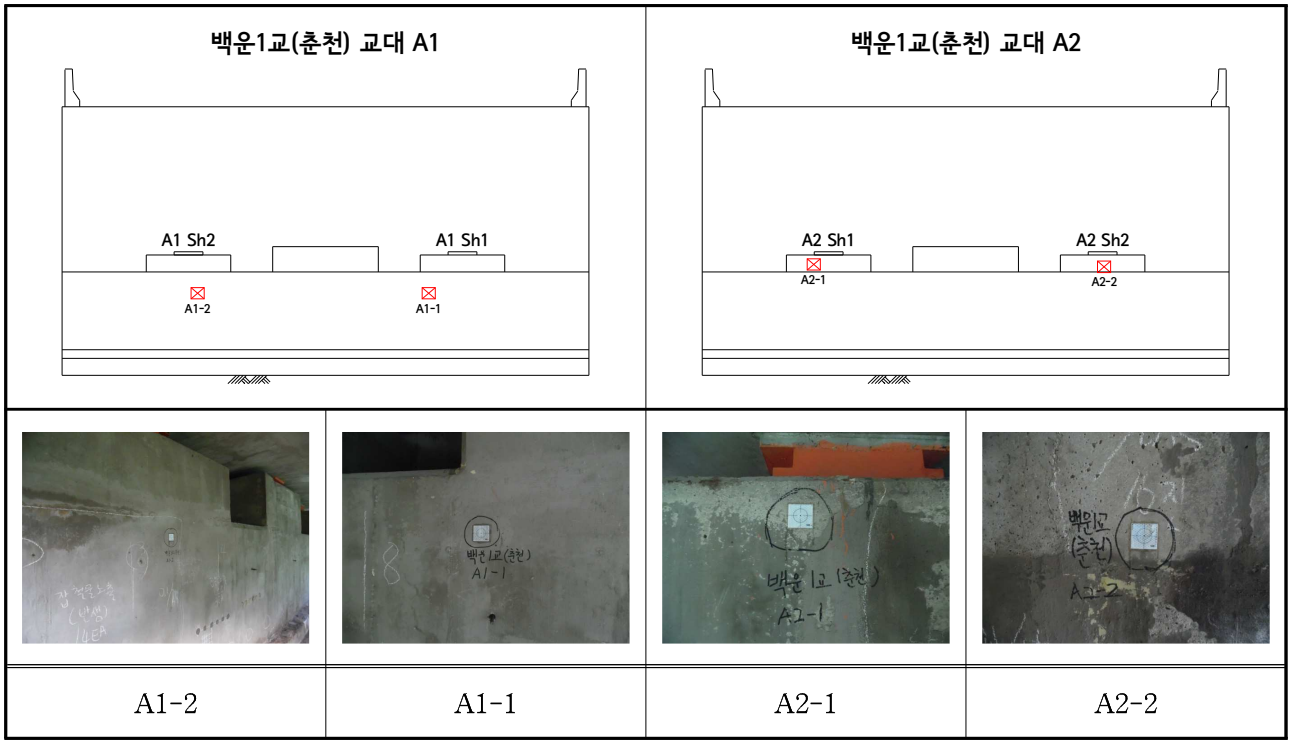
과업대상인 백운1교(춘천)의 기초형식은 직접기초(A1, P1,) 및 강관파일기초(P2, A2)로 시공되어 있는 상태로서, 금회 현장조사 시 직립도 및 처짐 등의 이상징후가 조사되지 않은 상태이지만, 향후 기초침하 변화부에 측량타켓(반사시트 및 측량 표시못)을 설치하여 변화를 확인할 수 있도록 검측을 실시하였다.

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>측량 기준점 전경</td><td>측량 기준점 위치도</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>측량 기준점</td><td>측량 전경</td></tr>
</table>

【사진 3.49】 백운1교(춘천) 측량기준점 및 측량 전경

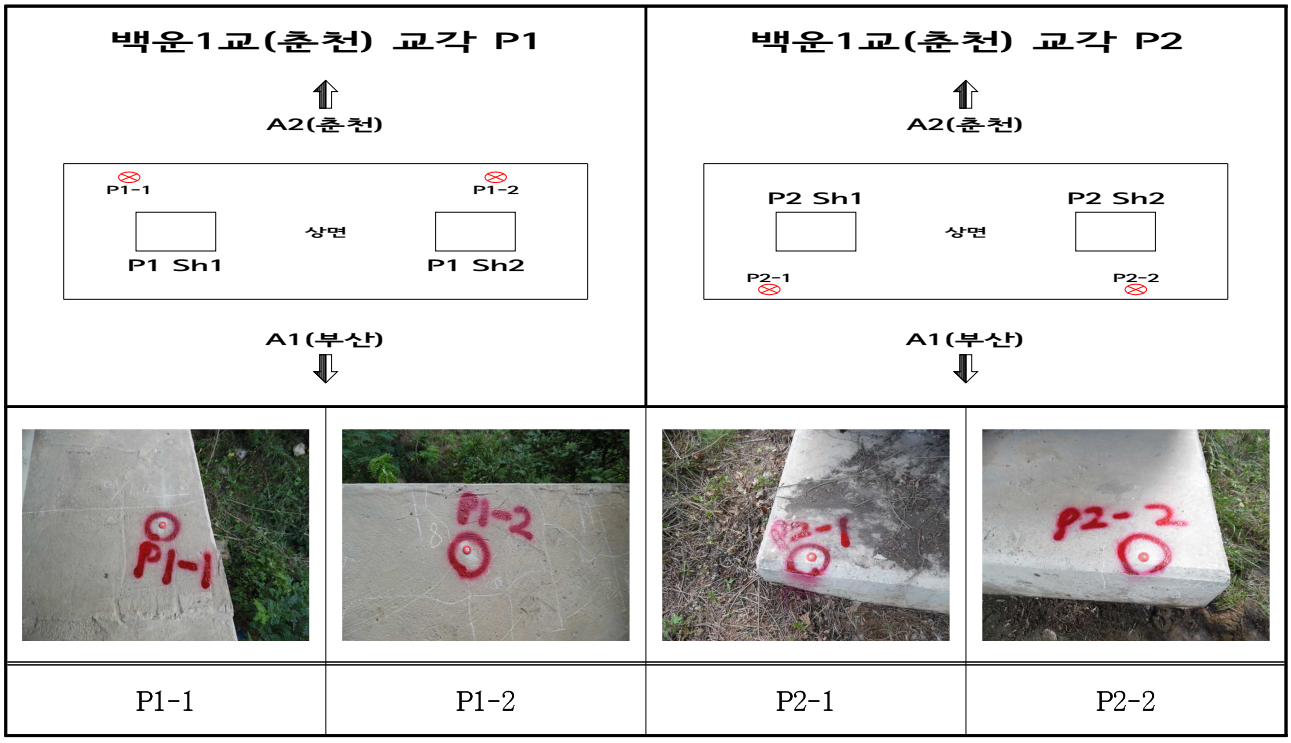
1) 상대변위 측정 방법

상대변위 측정은 각 교대 및 교각의 좌·우측 전면부에 관측이 용이하도록 측량타겟(반사시트, 측량 표시못)을 설치하고, 측량기준점을 임의 점(N : 1,000.000, E : 1,000.000, Z : 100.000)에 설치하여, 각 교대, 교각에 설치된 측량타겟을 측정하였다.



A1-2	A1-1	A2-1	A2-2

【그림 3.16】 백운1교(춘천) 교대부 측량 타켓 위치도 및 설치현황



P1-1	P1-2	P2-1	P2-2

【그림 3.17】 백운1교(춘천) 교각 측량 타켓 위치도 및 설치현황

2) 상대변위 측정 결과 및 분석

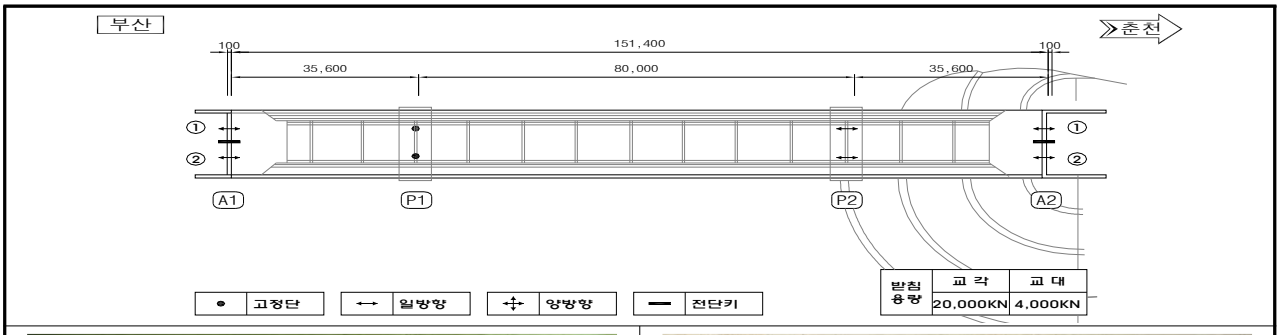
【표 3.55】 백운1교(춘천) 교대 및 교각 측량 결과

구분		X	Y	Z	비고
기준점		1,000.000	1,000.000	100.000	
교대	A1-1	928.825	985.521	125.368	
	A1-2	929.128	980.480	125.432	
교각	P1-1	1,037.235	1,000.104	107.396	
	P1-2	1,038.867	1,004.663	107.374	
	P2-1	957.439	991.257	105.198	
	P2-2	953.203	982.526	105.204	
교대	A2-1	929.009	968.391	121.922	
	A2-2	925.739	973.925	121.488	

금회 측정치는 전차에 실시하지 않아 비교값이 없는 상태이므로, 이번 결과를 초기치로 활용하여 향후 기초침하 및 변화 유무에 대한 지속적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

3.3.3 교량받침

백운1교(춘천)의 스페리컬받침 및 콘크리트받침으로 구성되어있으며, “2009년도 내진성능 향상 대상교량 세부조사 및 보강설계(2공구)에 따라 교대(A1, A2)에 대하여 내진보강(전단키 설치)을 실시한 것으로 확인되었다. 점검은 도보로 근접하여 조사를 실시하였으며, 받침배치 현황은 다음과 같다.





A1 일방향 가동단 전경



P1 고정단 전경

【사진 3.50】 백운1교(춘천) 교량받침 전경

가. 받침장치 외관상태 조사결과

1) 외관조사 결과

받침장치에 대한 현장조사 결과, 받침본체의 부식, 볼트부식, 상부플레이트변형이 조사되었으며, 받침콘크리트의 균열, 망상균열, 탈락, 파손, 이물질 노출, 재료분리 등의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.56】과 같다.

【표 3.56】 백운1교(춘천) 받침장치의 손상현황

구분	받침 본체			받침 콘크리트					
	부식 (㎡/개소)	볼트부식 (㎡/개소)	상부 플레이트 변형 (개소)	균열 (cw=0.2 mm 이하) (m/개소)	망상균열 (㎡/EA)	콘크리트 탈락 (㎡/EA)	파손 (㎡/EA)	이물질 노출 (㎡/EA)	재료분리 (㎡/EA)
A1	0.43/1	0.08/8	1	0.50/1	-	0.0018/2	-	0.10/10	2.04/3
P1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P2	6.00/3	0.15/15	-	2.20/2	-	-	0.02/2	0.06/6	-
A2	2.17/5	0.16/4	-	2.60/6	0.48/1	-	-	-	1.00/1
합계	**8.60/9**	**0.37/27**	**1**	**5.30/9**	**0.48/1**	**0.0018/1**	**0.02/2**	**0.16/6**	**3.04/4**

2) 손상별 현황

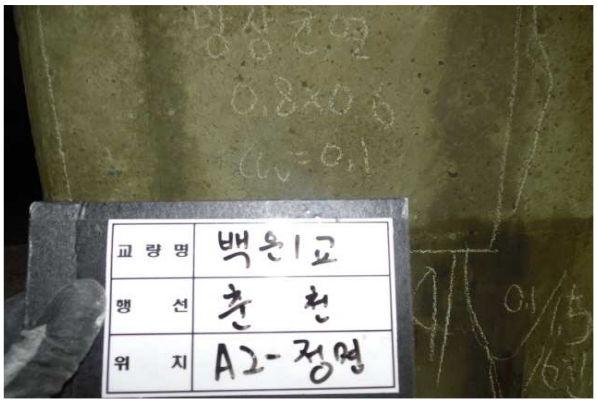


현 황	• A2 SH1 부식(A=0.50㎡)
원 인	• 외측부 우수접속
대 책	• 재도장



현 황	• A1 SH1 볼트부식(A=0.04㎡)
원 인	• 외측부 우수접속
대 책	• 재도장

【사진 3.51】 백운1교(춘천) 받침장치 손상발생 현황

			
현 황	• A1 SH2 상부플레이트변형(1EA)	현 황	• P2 받침콘크리트 균열 (cw=0.1mm, L=0.60m)
원 인	• 시공미흡	원 인	• 건조수축
대 책	• 유지관리	대 책	• 유지관리
			
현 황	• A2 SH2 망상균열(A=0.48㎡)	현 황	• P1 콘크리트 탈락(A=0.0009㎡)
원 인	• 건조수축	원 인	• 시공미흡
대 책	• 유지관리	대 책	• 유지관리
			
현 황	• P2 받침콘크리트 파손(A=0.01㎡)	현 황	• A2 SH1 볼트부식(A=0.16㎡)
원 인	• 시공미흡 및 외부충격	원 인	• 외측부 우수접속
대 책	• 유지관리	대 책	• 재도장

【사진 3.51】 백운1교(춘천) 받침장치 손상발생 현황(계속)

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 받침장치 부식 및 볼트부식

받침장치에 대한 현장조사 결과, 오랜 공용기간 증가에 따른 도장열화 및 외측부 우수접촉에 의해 부식이 발생된 상태로 받침장치 신축거동에 미치는 영향은 없으나 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 바람직할 것으로 판단된다.

② 상부플레이트 변형 및 콘크리트 탈락

받침거치시 시공미흡에 의한 외부 충격에 의한 손상으로 판단되며, 받침의 거동에는 문제가 없는 상태이므로, 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 바람직 할 것으로 판단된다.

③ 균열 및 망상균열

받침콘크리트 균열 및 망상균열은 시공초기 건조수축에 의해 발생된 cw=0.2㎜이하의 비구조적 균열로 구조물의 안전성 미치는 영향은 없음으로, 현 상태에서의 주의관찰을 통한 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

④ 파손

시공 중 거푸집 제거 시 시공미흡에 의한 파손 또는 공용 중 외부충격 등에 의한 손상으로 판단되며, 손상규모가 미소한 정도로 별도의 보수보다는 현상태에서의 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

⑤ 재료분리

시공 시 다짐불량 등의 시공미흡으로 발생한 손상으로 손상의 정도가 경미한 수준으로 별도의 보수보다는 현 상태에서의 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

⑥ 이물질 노출

시공 시 이물질 삽입에 의해서 발생한 손상으로 내구성 확보차원의 단면보수(방청)을 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 상부플레이트 변형은 손상의 변화가 없는 동일 손상으로 분석되었으며, 받침부식, 볼트부식은 공용 중 발생된 추가 손상으로 손상물량의 증가가 있는 것으로 분석되었으며, 받침콘크리트의 탈락은 상세조사에 의한 물량 수정으로 손상물량의 감소가 있는 것으로 조사되었으며, 균열, 망상균열, 파손, 이물질 노출, 재료분리 등의 손상은 상세조사에 의한 추가 손상으로 손상물량의 증가가 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.57】 백운1교(춘천) 받침장치의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2013년	2016년			
받침 부식	㎡	1.85	8.60	+	6.75	• 공용 중 발생된 신규손상
볼트 부식	㎡	0.015	0.37	+	0.355	• 공용 중 발생된 신규손상
상부 플레이트 변형	개소	1	1		-	• 손상변화 없음(동일손상)
받침콘크리트 균열	m	-	5.30	+	5.30	• 상세조사에 의한 추가손상
망상균열	㎡	-	0.48	+	0.48	• 상세조사에 의한 추가손상
탈락	㎡	0.0059	0.0018	-	0.0041	• 상세조사에 의한 물량수정
파손	㎡	-	0.02	+	0.02	• 상세조사에 의한 추가손상
이물질 노출	㎡	-	0.16	+	0.16	• 상세조사에 의한 추가손상
재료분리	㎡	-	3.04	+	3.04	• 상세조사에 의한 추가손상

나. 받침장치 연단거리 검토결과

교좌면은 받침을 통해서 상부구조로부터 하중을 받는 곳이고 또한 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부 연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연해서 콘크리트 구체 또는 받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다. 따라서 도로교 설계기준에서 정한 연단거리의 최솟값과 각 지점별 실측 연단거리를 비교・검토하였다.

1) 최소 연단거리 산정결과

① 거더의 경간길이 100m이하 : S = 200 + 5.0L (도로교설계기준)

여기서, S : 받침연단거리(㎜), L : 거더의 경간길이(m)

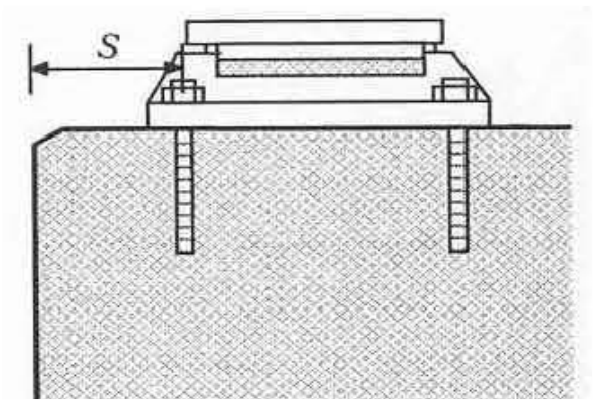
【표 3.58】 백운1교(춘천) 최소 연단거리 산정결과

구분	A1	P1		P2		A2
		A1	A2	A1	A2	
경간길이(m)	35.7	35.7	80.0	80.0	35.7	35.7
최소연단거리(㎜)	379	379	600	600	379	379

주) 최소연단거리(mm)의 계산값은 소수 첫째 자리에서 반올림하여 수록함.

② 연단거리-콘크리트면의 가장자리로부터 가장 가까운 앵커중심까지의 거리





【그림 3.18】 백운1교(춘천) 연단거리 측정 개요도

2) 연단거리 검토결과

실측 연단거리와 최소 연단거리를 비교·검토한 결과, 전 개소에서 실측 연단거리가 최소 연단거리를 상회하는 것으로 평가되었다.

【표 3.59】 백운1교(춘천) 연단거리 측정결과

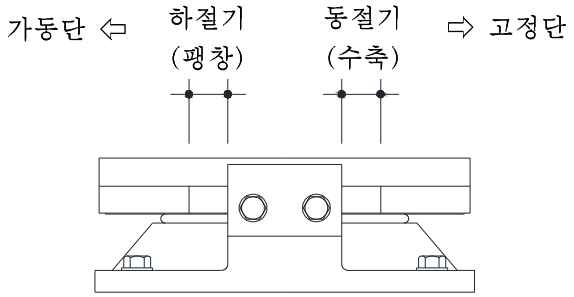
위치		최소 연단거리 (mm)	실측 연단거리(mm)		검토 결과
			Sh1	Sh2	
A1		379	610	555	O.K
P1	A1	379	2130	2195	O.K
	A2	600	2150	2110	O.K
P2	A1	600	1420	1445	O.K
	A2	379	1480	1415	O.K
A2		379	555	550	O.K

다. 교량받침 가동량 검토결과

본 교량의 받침형식은 스페리컬받침으로 1차, 2차에 걸쳐 받침장치 가동량을 검토함으로써 온도변화에 따른 받침 신축거동상태 및 가동여유량을 평가하여 교량받침의 기능저하를 방지하고자 한다. 받침 가동여유량 평가기준은 【표 3.60】과 같다.

【표 3.60】 백운1교(춘천) 교량받침 가동량 평가기준

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


</td></tr>
<tr><td>평가
기준</td><td>▣ 온도에 의한 가동량
$\triangle l_t$ = ⊿T×α×L(신축거더 길이)
⊿T = 온도변화(-15℃～+35℃) → 콘크리트교(한랭지방)
α = 선팽창계수(1.0×10^{-5}) → 콘크리트교</td></tr>
<tr><td>평가
기준</td><td>※ 한랭지방 적용근거
<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>보통지방</td><td>- 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산</td><td rowspan="2">도로공사 연구보고서 (1993년)</td></tr>
<tr><td>한랭지방</td><td>- 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, 원주, 대관령, 정안, 진천</td></tr>
</table>
▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량
$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$
여기서, h_i : 받침의 회전중심에서 보의 중립축까지의 높이(2h/3)
θ_i : 보의 회전각(콘크리트교 1/300)
▣ 계산 가동량 산정
<table>
<tr><td>온도변화 범위</td><td>-15℃～+35℃</td><td>선팽창 계수(α)</td><td>콘크리트:1.0×10^{-5}</td></tr>
<tr><td rowspan="2">점검시 기온(℃)</td><td>1차 (08.08)</td><td colspan="2">29.5℃</td></tr>
<tr><td>2차 (09.29)</td><td colspan="2">19.4℃</td></tr>
<tr><td>온도에 의한 가동량($\triangle l_t$)</td><td colspan="3">$\triangle l_t$ = ⊿T×α×L</td></tr>
<tr><td>보의 중립축까지 높이2h/3(h_i)</td><td colspan="3">$\frac{2}{3}\times2.575$</td></tr>
<tr><td>보의 회전각(θ_i)</td><td colspan="3">1/300(콘크리트교)</td></tr>
<tr><td>보의 처짐에 의한 가동량($\triangle l_r$)</td><td colspan="3">$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td>신축거더길이(L)
(m)</td><td>A1</td><td>A2</td></tr>
<tr><td></td><td>35.6</td><td>35.6</td></tr>
</table>
※ 처짐에 의한 신축량은 팽창시만 고려하여 계산</td></tr>
</table>

1) 온도변화에 따른 받침 신축거동상태 검토결과

교량받침의 이동량은 2회(1차 : 29.5℃(08월08일), 2차 : 19.4℃(09월29일))에 걸쳐 측정하였으며, 변동량 측정결과는 【표 3.61】와 같으며 본 교량받침의 온도변화에 따른 신축거동상태는 양호한 것으로 판단된다.

【표 3.61】 백운1교(춘천) 계산가동량 산정결과

구 분		실측 이동량(mm)		변동량(mm)		비고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	22 (A1)	15 (A1)	7	3.6	
	Sh2	73 (A1)	65 (A1)	8		
A2	Sh1	19 (A2)	15 (A2)	4	3.6	
	Sh2	28(A2)	22 (A2)	6		

2) 계산가동량 산정결과

계산 가동량 산정시 고려되는 항목은 활하중에 의한 보의 처짐, 온도변화, 건조수축, 크리프 등을 고려하여야 한다. 그러나 대상 교량은 준공 후 21년이 경과하였기 때문에 건조수축 및 크리프에 의한 변형은 완료된 것으로 판단하여 온도변화 및 활하중에 의한 처짐을 고려하여 검토하였다.

【표 3.62】 백운1교(춘천) 계산가동량 산정결과

구분	위치	측정시 온도 (℃)	온도변화(Δlt)		선팽창 계수	신축거더 길이 (m)	처짐(Δlr) (㎜)	계산 가동량(㎜)	
			동절기 (℃)	하절기 (℃)				동절기 (최대수축시)	하절기 (최대팽창시)
A1	1차	29.5	44.5	5.5	1.0×10^{-5}	35.7	5.7	15.9	7.7
	2차	19.4	34.4	15.6	1.0×10^{-5}	35.7	5.7	12.3	11.3
A2	1차	29.5	44.5	5.5	1.0×10^{-5}	35.7	5.7	15.9	7.7
	2차	19.4	34.4	15.6	1.0×10^{-5}	35.7	5.7	12.3	11.3

주) 처짐에 의한 신축량은 교대(A1, A2) 단부에서 팽창시에만 고려

3) 교량받침 가동여유량 검토결과

받침장치 가동량을 실측하여 계산가동량과 비교·검토한 결과, 전 개소에서 실측여유량이 계산가동량을 상회하는 것으로 검토되었다.

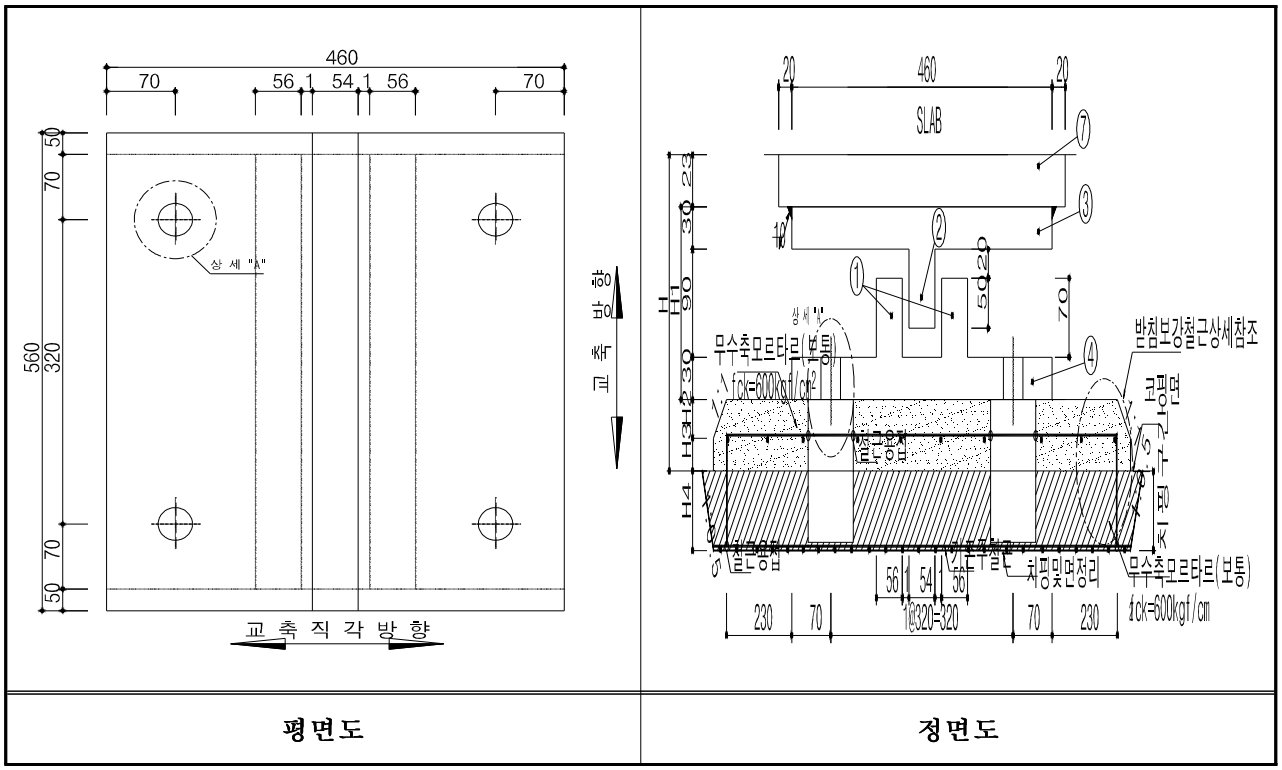
【표 3.63】 백운1교(춘천) 교량받침 가동여유량 검토결과

구 분		최대 수축시 가동량 검토(mm)						최대 팽창시 가동량 검토(mm)					
		1차 측정(08.08)			2차 측정(09.29)			1차 측정(08.08)			2차 측정(09.28)		
		①	②	평가	①	②	평가	①	②	평가	①	②	평가
A1	Sh1	72	15.9	O.K	65	12.3	O.K	23	7.7	O.K	30	11.3	O.K
	Sh2	105		O.K	97		O.K	27		O.K	65		O.K
A2	Sh1	39	15.9	O.K	35	12.3	O.K	64	7.7	O.K	68	11.3	O.K
	Sh2	43		O.K	37		O.K	68		O.K	74		O.K

① : 실측여유량, ② : 계산가동량

라. 전단키 외관조사 결과

교대 A1, A2 코핑 상면 중앙부에 설치된 전단키에 대한 외관조사 결과, 별도의 손상은 없는 것으로 조사되었으며, 제원은 설계도면과 일치하며, 유격거리는 확보하고 있는 것으로 검토되어 내진보강되어 설치된 전단키의 기능성은 확보된 것으로 판단된다.

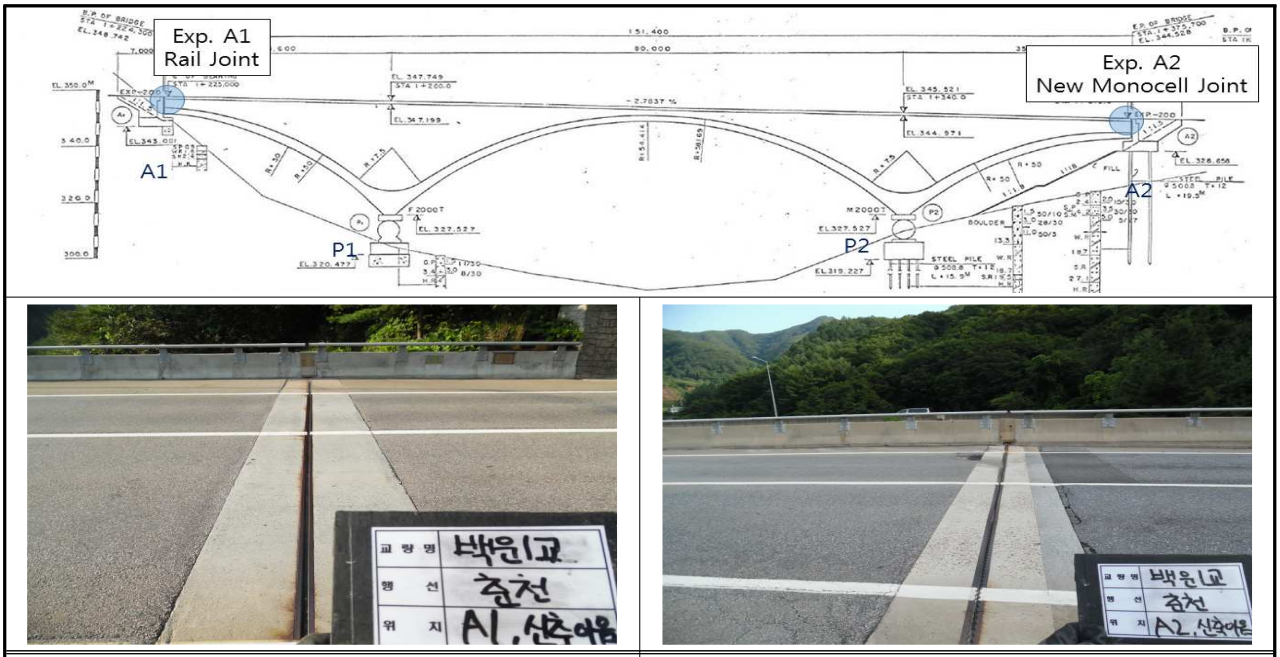


평면도 정면도

	
전단키 전경 A1(양호)	상부 전단키 두께 : 54.4mm ≒ 설계치 : 54mm 하부 유간 : 55.8mm ≒ 설계치 : 56mm
	
전단키 전경 A2(양호)	상부 전단키 두께 : 54.2mm ≒ 설계치 : 54mm 하부 유간 : 56.4mm ≒ 설계치 : 56mm

3.3.4 신축이음장치

신축이음은 A1 지점의 Rai. Joint, A2 지점부에 New Monocell Joint 형식으로 2개소 설치되어 있으며, 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.

	
신축이음장치 A1 전경	신축이음장치 A2 전경

【그림 3.19】 백운1교(춘천) 신축이음장치 배치도

가. 신축이음장치 외관상태 조사결과

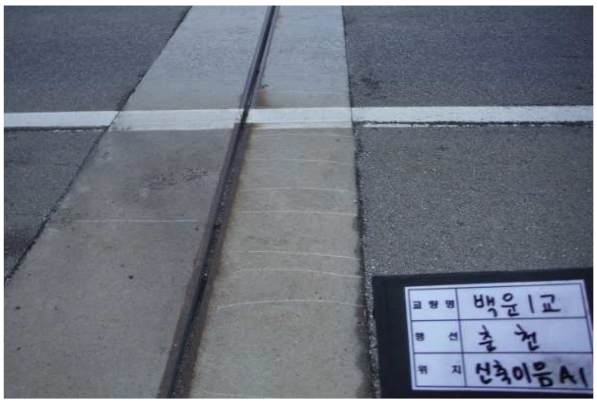
1) 현장조사 결과

신축이음 현장조사 결과, 본체 부식, 토사퇴적, 후타재 균열(0.2㎜이하), 후타재 마모, 단차, 후타재 박리의 결함이 조사되었으며, 손상 현황은 【표 3.64】와 같다.

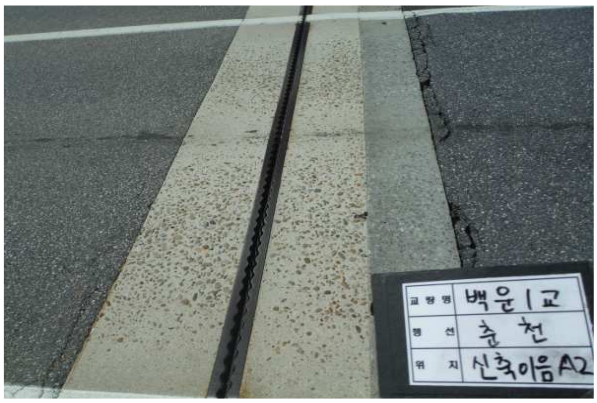
【표 3.64】 백운1교(춘천) 신축이음장치 손상 발생 현황

구분	후타재 균열 (m/EA)	후타재 마모 (㎡/EA)	본체 부식 (m/EA)	토사퇴적 (㎡/EA)	단차 (m/EA)	후타재 박리 (㎡/EA)
A1	36.45/57	1.41/2	2.00/1	12.00/3	3.00/1	-
A2	3.85/20	2.11/2	3.00/2	4.00/2	-	0.02/1
합계	**40.3/77**	**3.52/4**	**5.00/3**	**16.00/5**	**3.00/1**	**0.02/1**

2) 손상별 현황



현 황	• A1 후타재 균열(cw=0.2mm, L=0.6m)
원 인	• 건조수축 및 차량반복 하중
대 책	• 유지관리



현 황	• A2 후타재 마모(A=1.24㎡)
원 인	• 차량반복 하중
대 책	• 유지관리



현 황	• A1 본체 부식(L=2.00m)
원 인	• 우수접촉
대 책	• 유지관리



현 황	• A1 토사퇴적(L=2.00m)
원 인	• 공용 중 우수
대 책	• 청소

【사진 3.52】 백운1교(춘천) 신축이음장치 손상 현황





현 황	• A1 단차(L=3.0m)	**현 황**	• A2 후타재 균열(cw=0.1mm, L=0.5m)
원 인	• 시공미흡 및 중차량 통과	**원 인**	• 건조수축 및 차량반복 하중
대 책	• 유지관리	**대 책**	• 유지관리

【사진 3.52】 백운1교(춘천) 신축이음장치 손상 현황(계속)

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 후타재 균열

후타재 균열은 공 용중 차량반복 하중에 의해 발생된 결함으로 cw=0.2㎜ 이하로 주의관찰에 의한 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

② 후타재 마모

시공초기 시공미흡 및 중차량 반복 통행에 의해 발생된 손상으로 판단되며, 현 단계에서의 별도의 보수보다는 주의관찰을 통한 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

③ 본체부식

신축이음 본체부식은 공용기간 중 우수접촉 및 체수에 의해 발생된 손상으로 부식에 의한 기능저하 영향은 없기에 보수보다는 현 상태에서 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

④ 토사퇴적

공용 중 우수 등에 의한 신축이음 유간 내 토사가 퇴적된 것으로 신축이음의 원활한 거동을 위해 주기적인 청소가 적합할 것으로 판단된다.

⑤ 단차

시공초기 시공미흡 또는 중차량 반복통과로 발생된 손상으로 판단되며, 단차 높이는 최대 7mm 정도로 차량통과시 안전에는 문제가 없는 수준이므로 현 상태로 주의관찰을 통한 유지관리가 적절할 것으로 판단된다.

⑥ 후타재 박리

후타재 박리는 A2측 접속슬래브와 접하는 후타재에서 발생한 손상으로 내구성 확보 및 우수 유입 방지를 위한 단면보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

4) 과업기간 중 백운1교(춘천) 신축이음장치 보수현황

① 보수현황 확인결과

유지관리기관인 한국도로공사 제천지사에서 2016년 12월에 관내 보수공사를 시행하면서 백운1교(춘천) 신축이음장치 A1, A2 후타재 균열, 유도배수시설 설치하는 보수를 시행하였으며, 이에 보수된 손상을 제외한 최종적인 손상현황은 다음과 같다.

【표 3.65】 백운1교(춘천) 신축이음장치 보수후 손상현황

구분	후타재균열 (m/EA)	후타재 마모 (㎡/EA)	본체 부식 (m/EA)	토사퇴적 (㎡/EA)	단차 (m/EA)	후타재 박리 (㎡/EA)
A1	-	1.41/2	2.00/1	12.00/3	3.00/1	-
A2	-	2.11/2	3.00/2	4.00/2	-	0.02/1
합계	-	**3.52/4**	**5.00/3**	**16.00/5**	**3.00/1**	**0.02/1**

② 보수 손상별 현황



교대 A1 신축이음장치 후타재균열 보수전 전경



교대 A1 신축이음장치 후타재균열 보수후 전경



교대 A2 신축이음장치 후타재균열 보수전 전경

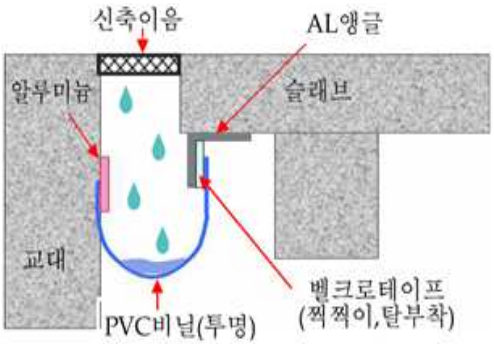


교대 A2 신축이음장치 후타재균열 보수후 전경

【사진 3.53】 백운1교(춘천) 교대 신축이음장치 후타재균열 보수 현황

신축이음부에 누수로 인하여 교대 흉벽부 백태 및 누수흔적 조사되어 이를 보수하고자 현재 유도배수시설을 설치하였다.

【표 3.66】 신축이음장치 유도배수시설 보수개요도

	공법개요	• 신축이음 하부에 탈·부착식의 투명의 PVC비닐을 설치하여 침투수를 차단하는 방식임. • 공사비 저렴함. • 이물질 퇴적 여부 확인 가능함.(유지관리용이)
투명 배수시설 개요도		

	
교대 A1 신축이음 유도배수시설 설치 전 전경	교대 A1 신축이음 유도배수시설 설치 후 전경
	
교대 A2 신축이음 유도배수시설 설치 전 전경	교대 A2 신축이음 유도배수시설 설 치후 전경

【사진 3.54】 백운1교(춘천) 교대 신축이음 유도배수시설 보수 현황

5) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 본체 단차, 후타재 마모 및 박리는 손상변화가 없는 동일 손상으로 분석되었으며, 강재부식, 토사퇴적은 공용 중 발생된 신규손상에 의해 손상물량의 증가가 있는 것으로 분석되었으며, 균열은 보수로 인하여 물량이 감소된 것으로 분석되었다.

【표 3.67】 백운1교(춘천) 신축이음장치의 기 진단과의 비교, 검토

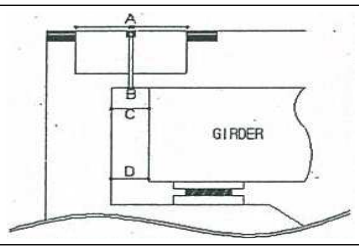
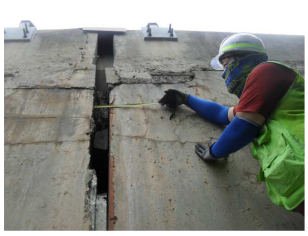
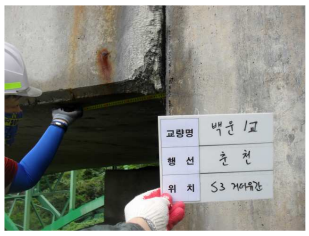
손상내용		단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
			2013년	2016년			
후타재	균열(0.2㎜이하)	m	7.35	-	-	7.35	• 보수로 인한 손상감소
	마모	㎡	3.52	3.52		-	• 손상변화 없음(동일손상)
	박리	㎡	0.02	0.02		-	• 손상변화 없음(동일손상)
신축 이음	강재부식	m	4.00	5.00	+	1.00	• 공용중 발생된 신규손상
	토사퇴적	㎡	2.00	16.00	+	14.00	• 공용중 발생된 신규손상
	단차	m	3.00	3.00		-	• 손상변화 없음(동일손상)

주) 기 진단과의 비교, 검토는 보수가 시행된 손상현황을 적용하였음.

나. 신축이음장치 거동상태 검토결과

1) 계산 신축량 산정방법

【표 3.68】 백운1교(춘천) 계산 신축량 산정

<table>
<tr><td rowspan="4"> 
</td><td rowspan="2">A1</td><td>1차</td><td>2016년 08월 08일</td><td>29.5℃</td><td rowspan="4">원주기상대</td></tr>
<tr><td>2차</td><td>2016년 09월 29일</td><td>19.4℃</td></tr>
<tr><td rowspan="2">A2</td><td>1차</td><td>2016년 08월 08일</td><td>29.5℃</td></tr>
<tr><td>2차</td><td>2016년 09월 29일</td><td>19.4℃</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>신축이음 유간(A)</td><td>바닥판 유간(B)</td><td>거더상단 유간(C)</td><td>거더하단 유간(D)</td></tr>
</table>

【표 3.68】 백운1교(춘천) 계산 신축량 산정(계속)

평가 기준

▣ 온도에 의한 신축량

$\triangle l_t$ = ⊿T×α×L(신축거더 길이)

△T = 온도변화(-15℃～+35℃)→ 콘크리트교 : 한랭지방

α = 선팽창계수(1.0×10^{-5})→ 콘크리트교

※ 한랭지방 적용근거

구 분	내 용	비고
보통지방	- 대전 구미, 대구, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창령, 고령, 동서울, 부산	도로공사 연구보고서 (1993년)
한랭지방	- 인천, 수원, 천안, 영동, 이천, **원주**, 대관령, 정안, 진천	

▣ 계산 신축량 산정

온도변화 범위	-15℃～+35℃	선팽창 계수(α)	1.0×10^{-5}
점검시 기온(℃)	1차 (08.08)	29.5℃	
	2차 (09.29)	19.4℃	
온도에 의한 신축량($\triangle l_t$)	$\triangle l_t$ = ⊿T×α×L		

신축거더 길이 (L)	A1	A2
	35.7m	35.7m

※ 공용기간이 21년이상인 교량이므로 건조수축 및 크리프의 영향은 고려하지 않음

2) 계산 신축량 산정결과

【표 3.69】 백운1교(춘천) 계산 신축량 산정결과

위치		측정시 온도 (℃)	온도변화(ΔT)		선팽창 계수	신축거더 길이 (m)	최대 신축량(㎜)	
			동절기 (℃)	하절기 (℃)			동절기 (최대수축시)	하절기 (최대팽창시)
A1	1차	29.5	44.5	5.5	1.0×10^{-5}	35.7	16	2
	2차	19.4	34.4	15.6	1.0×10^{-5}	35.7	12	6
A2	1차	29.5	44.5	5.5	1.0×10^{-5}	35.7	16	2
	2차	19.4	34.4	15.6	1.0×10^{-5}	35.7	12	6

3) 신축이음 유간거리 측정결과

신축이음 유간거리에 대한 실측값은 【표 3.70】과 같으며, 1차, 2차의 실측 변동량을 이론치와 비교검토한 결과, 온도변화에 따른 신축거동은 원활한 것으로 판단된다.

【표 3.70】 백운1교(춘천) 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : mm)

구 분		실측 이동량(mm)		변동량(mm)		비고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	신축이음장치	27	33	6	4	
	바닥판	75	80	5		
	거더 상단	94	100	6		
	거더 하단	147	151	4		
A2	신축이음장치	26	31	5	4	
	바닥판	63	70	7		
	거더 상단	64	70	6		
	거더 하단	92	98	6		

4) 신축이음 가동여유량 검토결과

신축이음 가동여유량 검토결과는 【표 3.71】와 같으며, A1, A2 신축이음장치 모두에서 계산 신축량을 만족하는 것으로 평가되었다.

【표 3.71】 백운1교(춘천) 신축이음 유간거리 검토결과

부 재			측정유간 (㎜)	계산 신축량(㎜)		허용신축량 (㎜)	신축 여유량(㎜)		평가
				수축	팽창		수축	팽창	
Exp.J1(A1)	1차	A	27	16	2	80 (±40)	37	21	양호
		B	75					69	
		C	94					88	
		D	147					141	
	2차	A	33	12	6		35	20	
		B	80					67	
		C	100					87	
		D	151					138	
Exp.J2(A2)	1차	A	26	16	2	80 (±40)	38	20	양호
		B	63					57	
		C	64					58	
		D	92					86	
	2차	A	31	12	6		37	18	
		B	70					57	
		C	70					57	
		D	98					85	

※ 신축여유량(팽창)=측정유간-계산신축량(팽창), 신축여유량(수축)=허용신장량-측정유간-계산신축량(수축)
※ 신축여유량 > 0인 경우 양호
※ A : 신축이음장치, B : 바닥판, C : 거더상단, D : 거더하단

3.3.5 교면포장

교면포장은 바닥판 상면에 위치하여 차량에서 발생하는 진동을 흡수·분산시키고, 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 부재이다.




교면포장 전경

【사진 3.55】 백운1교(춘천) 교면포장 전경

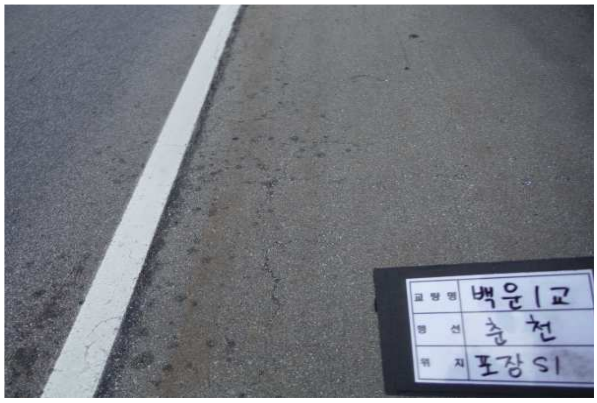
1) 외관조사 결과

교면포장 현장조사 결과, 포장균열, 망상균열, 시공이음부 균열, 소성변형(들뜸), 포장마모, 포트홀 결함이 조사되었으며, 2016년10월17일~21일 간 1, 2차로 길어깨 측 폭 3.00m 구간에 재포장 보수를 실시하였으며, 손상 현황은 【표 3.72】와 같다.

【표 3.72】 백운1교(춘천) 교면포장 손상 발생 현황

구분	포장균열 (m/개소)	망상균열 (㎡/개소)	시공이음 균열 (m/개소)	포장마모 (㎡/개소)	포트홀 (㎡/개소)
S1	19.00/12	15.40/3	59.60/3	0.25/1	0.10/2
S2	4.50/3	-	80.00/1	9.00/1	-
S3	-	-	35.00/1	-	-
합계	**23.50/15**	**15.40/3**	**174.60/5**	**9.25/2**	**0.10/2**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• S1 포장 균열(L=0.5m)</td><td>현 황</td><td>• S1 포장 망상균열(A=35.0㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 차륜하중 및 중차량 통과</td><td>원 인</td><td>• 차륜하중 및 중차량 통과</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 실링보수</td><td>대 책</td><td>• 소파보수(절삭후 오버레이)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• S1 시공이음부 균열(L=35.60m)</td><td>현 황</td><td>• S1 소성변형(들뜸)(A=0.90㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 차륜하중 및 중차량 통과</td><td>원 인</td><td>• 공용기간 장기화에 의한 열화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 실링보수</td><td>대 책</td><td>• 소파보수(절삭 후 오버레이)(보수완료)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>• S2 포장마모(A=9.00㎡)</td><td>현 황</td><td>• S1 포트홀(A=0.01㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>• 공용기간 장기화에 의한 열화</td><td>원 인</td><td>• 공용기간 장기화에 의한 열화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>• 소파보수(절삭 후 오버레이)</td><td>대 책</td><td>• 소파보수(절삭 후 오버레이)</td></tr>
</table>

【사진 3.56】 백운1교(춘천) 교면포장 손상발생 현황

	
기존 아스팔트 포장	재포장 후 상태 양호(1, 2차로 길어깨 측)

【사진 3.57】 백운1교(춘천) 재포장 공사 전·후 전경

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 포장균열 및 망상균열

금회 조사된 포장부 균열 및 망상균열은 공용기간 장기화에 의해 차륜하중 및 중차량 반폭 통과와 같은 원인에 의해 발생된 손상으로 판단된다. 주행차로의 단차, 요철, 파손과 같은 차량 주행 안전성에 문제가 될만한 손상은 아니나 1차적으로 균열부 실링보수를 통한 내구성 확보가 필요할 것으로 판단되며, 장기적으로 전면재포장 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

② 시공이음 균열

공용 중인 고속도로 교량의 특성상 재포장 보수 시 교량 전체를 전면 통제 후 보수를 실시 할 수 없는 관계로 구간을 분할하여 보수를 실시하는 과정에서 시공이음부가 발생을 하게된다. 이에 공용기간이 장기화됨에 따라 시공이음부 열화에 의한 균열이 발생한 것으로 판단되며, 1차적으로 실링보수를 실시하여 내구성을 확보하고 장기적인 관점에서 재포장 보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

③ 소성변형(들뜸)

길어깨측 재포장 보수 전 조사된 손상으로 공용기간 증가에 따른 열화 손상으로 판단되며, 손상부위로의 우수 유입에 따른 바닥판 콘크리트의 열화를 의심해 볼 수 있는 상황으로 S3 포장부의 소성변형(들뜸), 망상균열 발생부위에 포장 코어를 채취하여 포장상태 및 바닥판 상면 상태를 확인하였으며, 비교·분석을 위하여 S2 포장상태 양호부위에 추가 코어채취를 실시하였다.

	
S3 코어채취(포장 손상부)	포장 일부 열화(t=50mm)
	
S2 코어채취(포장 양호부)	포장 및 바닥판 상태 양호

【사진 3.58】 백운1교(춘천) 포장 코어채취 현황

포장부 코어채취 결과, S3 포장손상부는 바닥판 콘크리트 및 그와 맞닿은 아스콘포장부도 일부 열화된 것으로 조사되었으며, 바닥판은 일부 습윤상태인 것으로 나타났다. 비교·분석하기 위해 추가 코어 채취를 실시한 S2 포장 양호부는 S3 포장손상부와 비교하여 바닥판 콘크리트 및 포장 상태도 양호한 것으로 나타났다. 두 번의 포장 코어채취 결과로 보아 포장 손상부로 우수 유입 및 그에 따른 포장 열화 및 바닥판 콘크리트 열화가 발생하는 것을 확인 할 수 있었다. 본 교량은 겨울철 제설염화물이 다량 살포되는 적설한랭지역에 위치하고 있으며, 포장 손상부위로 제설제, 강우 및 강설 시 바닥판 상면의 경계면에서 장기체류하면서 동절기 동안 동결융해를 거쳐 바닥판 콘크리트의 열화손상을 유발시키고 있는 것으로 판단된다. 이는 단순히 포장 손상부위에 대한 지엽적인 소파보수 또는 실링보수 보다는 재포장 보수시 바닥판 상면의 열화부 제거 후 방수층 재설치를 통해서 포장 상면으로부터의 우수 및 제설염화물과 같은 원인인자의 유입을 차단하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

④ 포장마모

공용기간 장기화에 의해 발생한 손상으로 판단되며, 추가적인 손상의 진전을 막기 위하여 소파보수(절삭 후 오버레이)를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

⑤ 포트홀

공용기간 장기화에 의한 노후화 및 차량하중에 의해 발생된 손상으로 소파보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교·분석 결과, 접속포장 균열(탈락) 및 보수부 탈락은 기 진단과 동일하게 손상의 진전은 없는 것으로 분석되었다. 접속부 단차는 상세조사에 의한 추가손상으로 손상물량이 추가되었으며, 포장균열, 망상균열, 시공이음 균열, 소성변형(들뜸), 포장마모, 포트홀 손상은 공용 중 발생된 추가손상에 의해 손상물량의 증가가 있는 것으로 분석되었다.

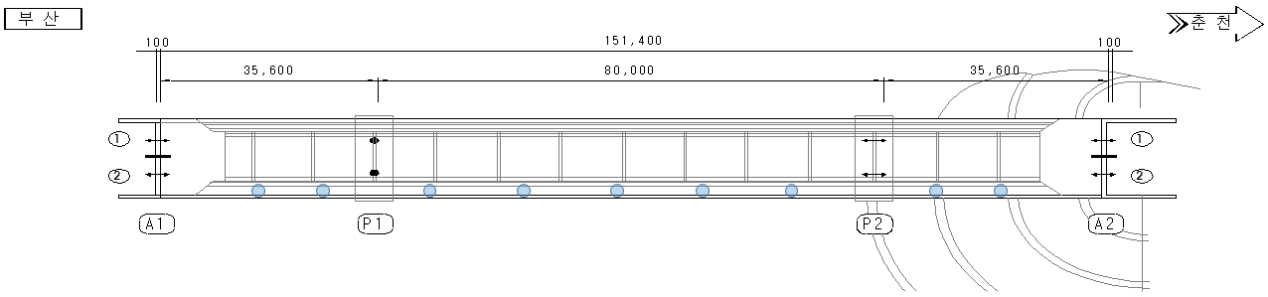
【표 3.73】 백운1교(춘천) 교면포장의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2013년	2016년			
포장균열	m	7.00	23.50	+	16.50	• 공용 중 발생된 추가손상
망상균열	㎡	8.95	15.40	+	6.45	• 공용 중 발생된 추가손상
접속포장 균열(탈락)	㎡	0.60	-	-	0.60	• 재포장보수
시공이음 균열	m	266.80	174.60	-	92.20	• 재포장보수
보수부 탈락	㎡	0.05	-	-	0.05	• 재포장보수
소성변형(들뜸)	㎡	41.10	-	-	41.40	• 재포장보수
포장마모	㎡	9.50	9.25	-	0.25	• 재포장보수
포트홀	㎡	-	0.10	+	0.10	• 공용 중 발생된 추가손상

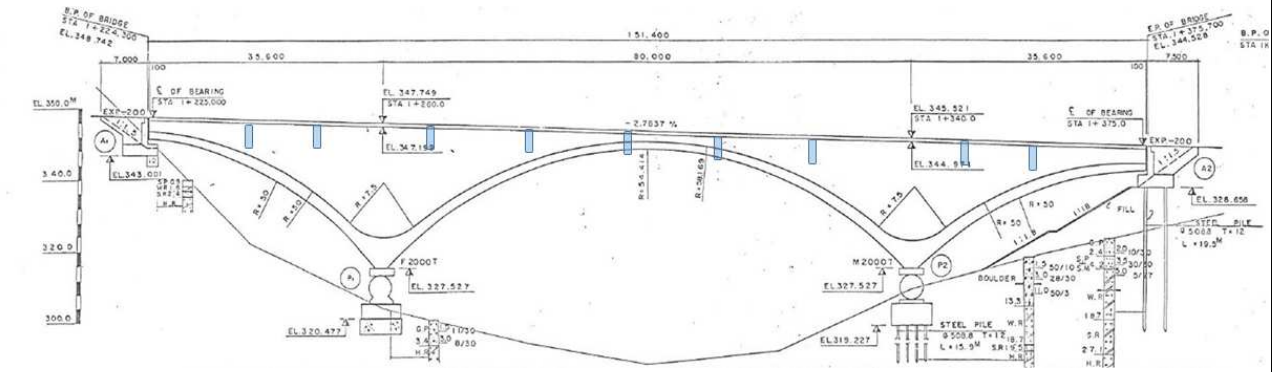
3.3.6 기타부재

가. 배수시설

배수시설은 우천 시 포장부의 교면수를 배출하기 위한 시설로서, 백운1교(춘천)의 배수시설은 횡단경사가 2차로측으로 2%로 설계되어 교량 상부의 2차로측 우측 길어깨에 S1 2개소, S2 5개소, S3 2개소, 총 9개의 집수구가 설치되어있다.



교량 상면 배수구 설치 현황



교량 하면 배수관 종단 개요도



교량 상부 배수구 전경



교량 하부 배수관 전경

【사진 3.59】 백운1교(춘천) 배수시설 설치 현황 및 전경

1) 외관조사 결과

배수시설 1차 외관조사 결과, 배수구 그레이팅 덮개 파손, 배수구 막힘, 배수관 부식 등의 손상이 조사되었으나, 1, 2차로 길어깨 측 재포장 보수와 함께 배구수 막힘 청소 및 그레이팅 재설치 보수를 실시하였다. 손상 현황은 【표 3.74】와 같다.

【표 3.74】 백운1교(춘천) 배수시설 손상 발생 현황

구분	배수관 부식 (개소)
S1	-
S2	2
S3	-
합계	**2**

2) 손상별 현황



현 황	• S2 배수관 부식(1개소)
원 인	• 공용장기화
대 책	• 유지관리



현 황	• S2 그레이팅 덮개 파손(1개소)
원 인	• 공용장기화 및외부충격
대 책	• 재설치



현 황	• 배구수 막힘 청소
원 인	-
대 책	-



현 황	• 그레이팅 재설치
원 인	-
대 책	-

【사진 3.60】 백운1교(춘천) 배수시설 손상발생 현황

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 배수구 막힘

배수구 막힘은 공용장기화에 의해 강우 시 노면의 토사 등의 이물질이 퇴적된 것으로 원활한 노면서 배출을 위하여 주기적인 청소를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

② 그레이팅 덮개 파손

공용장기화에 따른 이물질 퇴적 및 부식 등에 의해 파손된 것으로 판단되며, 배수구로의 이물질 유입 차단을 위해 재설치 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

③ 배수관 부식

배수관 부식은 공용장기화에 의해 바닥판 접합부 및 하단 토출부에 발생된 손상으로, 배수에는 문제가 없는 상태로 별도의 보수보다는 주의관찰 후 배수기능에 문제가 발생 시 교체가 바람직 할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 그레이팅 덮개 파손 및 배수구 막힘은 손상변화가 없는 동일 손상으로 조사되었으며, 배수관 부식은 공용기간 장기화에 의해 추가 발생된 손상으로 조사되었다.

【표 3.75】 백운1교(춘천) 배수시설의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2013년	2016년			
그레이팅 덮개 파손	개소	9	-	-	9	• 재설치
배수구 막힘	개소	3	-	-	9	• 청소
배수관 부식	개소	1	2	+	1	• 공용 중 발생된 추가손상

나. 방호울타리

자동차의 차도이탈 방지 및 사고시 완충작용 등의 기능을 하는 방호울타리는 철근콘크리트 구조로 이루어져 있으며, 방호울타리의 실측 높이는 약 1,090mm로 도면과 유사한 것으로 측정되었다.

	
방호울타리 제원측정	외관조사 전경

【사진 3.61】 백운1교(춘천) 방호울타리 전경

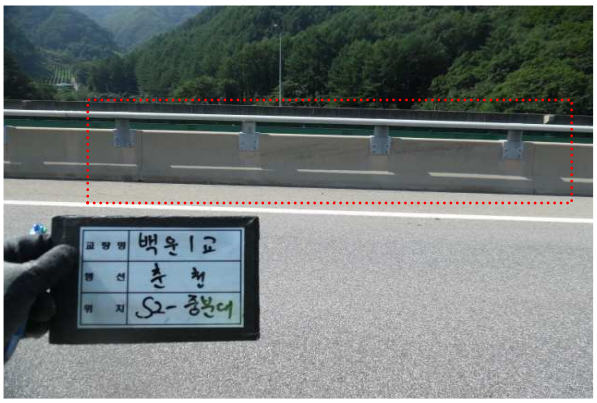
1) 외관조사 결과

방호울타리에서 발생된 주요 결함은 균열, 균열부 백태, 긁힘, 망상균열, 철근노출, 파손 등의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.76】 과 같다.

【표 3.76】 백운1교(춘천) 방호울타리 외관조사 결과

구분	균열		균열부 백태	긁힘	망상균열	철근노출	파손
	cw=0.2mm 이하 (m/EA)	cw=0.3mm 이상 (m/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)
S1	24.30/35	20.50/16	1.10/1	-	-	-	0.02/2
S2	35.40/45	24.60/14	-	0.10/1	0.25/1	0.07/7	0.01/1
S3	25.70/37	21.40/15	8.30/8	-	1.00/1	-	0.09/1
합계	**85.40/117**	**66.50/45**	**9.40/9**	**0.10/1**	**1.25/2**	**0.07/7**	**0.12/4**

2) 손상현황

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>현 황 • S1 균열(cw=0.3mm, L=2.0m)
원 인 • 건조수축
대 책 • 주입보수</td><td>현 황 • S1 균열부 백태(A=1.10㎡)
원 인 • 건조수축 및 수분접촉
대 책 • 표면처리</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>현 황 • S1 긁힘(A=0.10㎡)
원 인 • 차량충돌
대 책 • 단면보수</td><td>현 황 • S1 파손(A=0.01㎡)
원 인 • 시공미흡 및 외부충격
대 책 • 단면보수</td></tr>
</table>

【사진 3.62】 백운1교(춘천) 방호울타리 손상발생 현황

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 균열

방호울타리에 발생된 균열은 시공초기 건조수축에 의해 발생된 손상으로 판단되며, 내구성 확보차원의 주입보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

② 균열부 백태

균열부 백태는 균열부 틈새로 우수유입에 의한 수산화칼슘 용해로 발생된 결함으로 내구성확보를 위한 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

③ 망상균열

망상균열은 시공초기 건조수축에 의한 손상으로 균열폭 0.1mm 이하의 미세균열로서, 내구성 확보차원의 표면처리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

④ 긁힘

긁힘은 주행차량의 방호벽 충돌로 인한 손상으로 보이며, 내구성 확보차원의 단면보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

⑤ 철근노출

철근노출은 시공미흡에 의한 피복부족에 의해 발생된 손상으로 판단되며 내구성 확보차원의 단면보수(방청)이 바람직할 것으로 판단된다.

⑥ 파손

파손은 시공 시 거푸집 탈형 시 충격 또는 주행차량에 의한 충격 등으로 발생된 손상으로 판단되며, 내구성 확보차원의 단면보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 균열, 망상균열, 철근노출, 파손 등의 손상은 상세조사에 의한 추가손상으로 손상물량이 증가된 것으로 분석되었으며, 균열부 백태는 공용기간 장기화에 의한 추가 손상으로 조사되었고, 긁힘은 상세조사에 의한 손상물량의 수정으로 물량의 증가가 있는 것으로 조사되었다.

【표 3.77】 백운1교(춘천) 방호울타리의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2013년	2016년			
균열(cw=0.2mm 이하)	m	21.30	85.40	+	64.10	• 상세조사에 의한 추가손상
균열(cw=0.3mm 이상)	m	54.10	66.50	+	12.40	• 상세조사에 의한 추가손상
균열부 백태	m	-	9.40	+	9.40	• 공용 중 발생된 신규손상
긁힘	㎡	0.04	0.10	+	0.06	• 상세조사에 의한 물량수정
망상균열	㎡	1.00	1.25	+	0.25	• 상세조사에 의한 추가손상
철근노출	㎡	-	0.07	+	0.07	• 상세조사에 의한 추가손상
파손	㎡	0.01	0.12	+	0.11	• 상세조사에 의한 추가손상

다. 전선관 보호덮개

바닥판 우측 캔틸레버 하면으로 가로등 조명을 위한 전선관이 지나가며, 그 전선관을 보호하기 위하여 보호덮개가 설치되어있다.

1) 외관조사 결과

전선관 보호덮개에서 발생된 주요 결함은 전선관 보호덮개 부식 및 파손 등의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.78】과 같다.

【표 3.78】 백운1교(춘천) 전선관 보호덮개 외관조사 결과

구분	전선관 보호덮개 부식 (m/개소)	전선관 보호덮개 파손 (m/개소)
S1	1.00/2	0.30/1
S2	-	-
S3	6.70/3	10.00/1
합계	**7.70/5**	**10.30/2**

2) 손상현황



현 황	• S1 전선관 보호덮개 파손(L=0.30)
원 인	• 공용열화
대 책	• 재설치



현 황	• S3 전선관 보호덮개 부식(L=4.00)
원 인	• 공용열화
대 책	• 재설치

【사진 3.63】 백운1교(춘천) 전선관 보호덮개 손상발생 현황

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 전선관 보호덮개 파손 및 부식

공용기간 장기화에 의한 열화로 부식 및 파손이 발생한 것으로 판단되며, 내구성 확보를 위한 재설치가 바람직 할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 공용 중 열화에 의해 손상물량의 증가가 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.79】 백운1교(춘천) 전선관 보호덮개의 기 진단과의 비교, 검토

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2013년	2016년			
전선관 보호덮개 부식	m	2.00	7.70	+	5.70	• 공용 중 발생된 신규손상
전선관 보호덮개 파손	m	10.00	10.30	+	0.30	• 공용 중 발생된 신규손상

3.4 콘크리트 내구성조사

3.4.1 개 요

콘크리트 구조물은 공용기간이 증가함에 따라 주변 환경 및 사용여건의 영향으로 강도, 내구성, 사용성 등이 저하되고 이에 따라 균열, 누수, 백태, 표면 노후화, 부재변형, 동해, 철근부식 등의 손상이 발생한다. 본 과업에서는 현장조사 결과를 기초로 각종 검사기구 및 시험장비를 사용하여 콘크리트 재료시험을 실시하여, 대상구조물의 내구성과 구조안전성 평가의 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

가. 시험 측정일자 및 조사자

【표 3.80】 백운1교 현장시험 측정일자 및 조사자

구 분	일 자	조 사 자	비 고
콘크리트 현장시험	2016. 07. 11 ~ 2016. 08. 19	안과헌 외 8명	도보, 교량점검차 사용

나. 백운1교(부산)

백운1교(부산)는 연장 180.93m, 폭 12.6m, 교대 2기, 교각 2기로 공용중인 강아치 교량으로 비파괴시험은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[교량편](2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 위치 및 수량을 결정하였으며, 현장여건, 외관조사 결과를 고려하여 조사위치를 선정하였다.

【표 3.81】 백운1교(부산) 기준수량 및 실시수량

<table>
<tr><th rowspan="2">구 분</th><th colspan="2" rowspan="2">항 목</th><th colspan="2">세부지침 기준</th><th colspan="2">기준수량</th><th colspan="2">실시수량</th></tr>
<tr><th>상부구조</th><th>하부구조</th><th>상부구조</th><th>하부구조</th><th>상부구조</th><th>하부구조</th></tr>
<tr><td rowspan="5">콘크리트 구조물</td><td rowspan="5">기본 과업</td><td>반발경도시험</td><td rowspan="3">• 철근콘크리트 : 2개소/50m
• 강합성교 : 1개소/50m</td><td rowspan="3">• 1개소/50m
• 교대, 교각 개소수 (경간장 50m이상)</td><td>4개소</td><td>4개소</td><td>4개소</td><td>4개소</td></tr>
<tr><td>초음파시험</td><td>4개소</td><td>4개소</td><td>4개소</td><td>4개소</td></tr>
<tr><td>철근탐사시험</td><td>4개소</td><td>4개소</td><td>4개소</td><td>4개소</td></tr>
<tr><td>탄산화깊이 측정</td><td colspan="2">• 5경간 이내 : 4~6개소 (상부구조에서 최소 2개소 이상 실시)
• 5경간 이상 : 6~9개소 (상부구조에서 최소 3개소 이상 실시)</td><td>2개소</td><td>2개소</td><td>2개소</td><td>4개소</td></tr>
<tr><td>염화물함유량 시험</td><td colspan="2">• 3개소 이상 (상부구조에서 최소 1개소 이상 실시)</td><td>1개소</td><td>2개소</td><td>1개소</td><td>2개소</td></tr>
<tr><td>강재 구조물</td><td>강재용접부 비파괴시험</td><td colspan="2">• 플레이트거더교 : 1개소/경간별 거더
• 박스거더교 : 2개소/경간별 거더</td><td colspan="2">12개소</td><td colspan="2">12개소</td></tr>
</table>


반발경도시험 전경


반발경도시험 전경

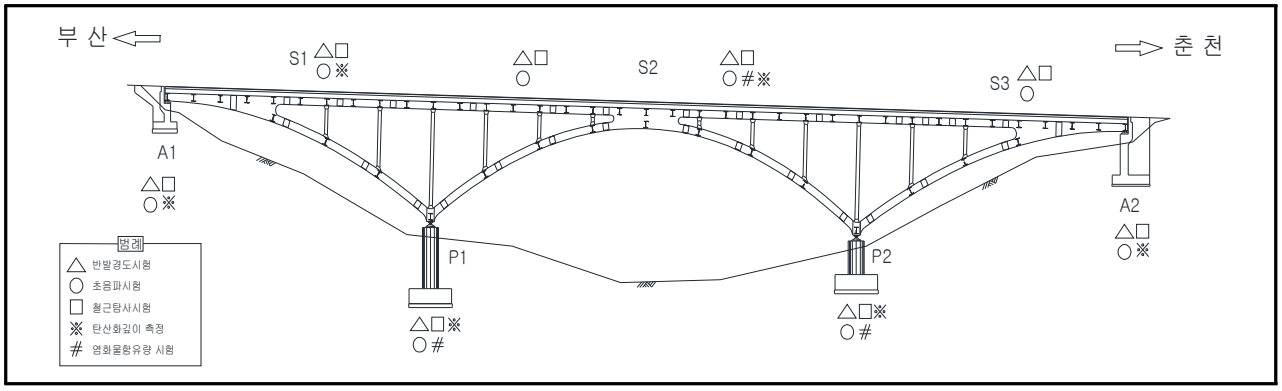

초음파시험 전경


철근탐사시험 전경


탄산화깊이 측정 전경


강재용접부 비파괴시험 전경

【그림 3.20】 백운1교(부산) 현장시험 전경



【그림 3.21】 백운1교(부산) 재료시험 조사 위치도

【표 3.82】 백운1교(부산) 조사위치 선정사유

구 분	항 목		조사위치 선정사유	비 고
콘크리트 구조물	기본 과업	반발경도시험 초음파시험 철근탐사시험	• 콘크리트 비파괴강도 측정을 위하여 실시하였으며, 기 진단과 비교하고자 동일 단면 상부구조 4개소, 하부구조 4개소를 선정하여 실시하였음.	
		탄산화깊이 측정	• 탄산화에 의한 철근부식 발생 영향을 검토하기 위한 시험으로 기 진단과 비교하고자 동일 단면 상부구조 2개소, 하부구조 4개소를 선정하여 실시하였음.	
		염화물함유량 시험	• 철근 깊이까지의 염화물 분포 파악을 위한 시험으로 기 진단과 비교하고자 동일 단면 상부구조 1개소, 하부구조 2개소를 선정하여 실시하였음.	
		균열깊이 조사	• 금회 조사된 균열이 미세하여 측정을 제외함.	
강재 구조물		강재용접부 비파괴시험	• 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 융합불량 등의 결함사항에 대한 조사로 하부브레이싱 맞대기 용접부에 12개소를 선정하여 실시하였음.	

다. 백운1교(춘천)

백운1교(춘천)는 연장 151.4m, 폭 12.5m, 교대 2기, 교각 2기로 공용중인 AR Girder 교량으로 비파괴시험은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[교량편](2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 위치 및 수량을 결정하였으며, 현장여건, 외관조사 결과를 고려하여 조사위치를 선정하였다.

【표 3.83】 백운1교(춘천) 기준수량 및 실시수량

구 분	항 목		세부지침 기준		기준수량		실시수량	
			상부구조	하부구조	상부구조	하부구조	상부구조	하부구조
콘크리트 구조물	기본과업	반발경도시험	• 철근콘크리트 : 2개소/50m • 강합성교 : 1개소/50m	• 1개소/50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m이상)	8개소	4개소	8개소	4개소
		초음파시험			8개소	4개소	8개소	4개소
		철근탐사시험			8개소	4개소	8개소	4개소
		탄산화깊이 측정	• 5경간 이내 : 4~6개소 (상부구조에서 최소 2개소 이상 실시) • 5경간 이상 : 6~9개소 (상부구조에서 최소 3개소 이상 실시)		2개소	2개소	2개소	2개소
		염화물함유량 시험	• 3개소 이상 (상부구조에서 최소 1개소 이상 실시)		1개소	2개소	2개소	3개소
		균열깊이 조사	• 부재의 중요도를 고려 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정		-		3개소	



반발경도시험 전경



초음파시험 전경



철근탐사시험 전경



탄산화깊이 측정 전경

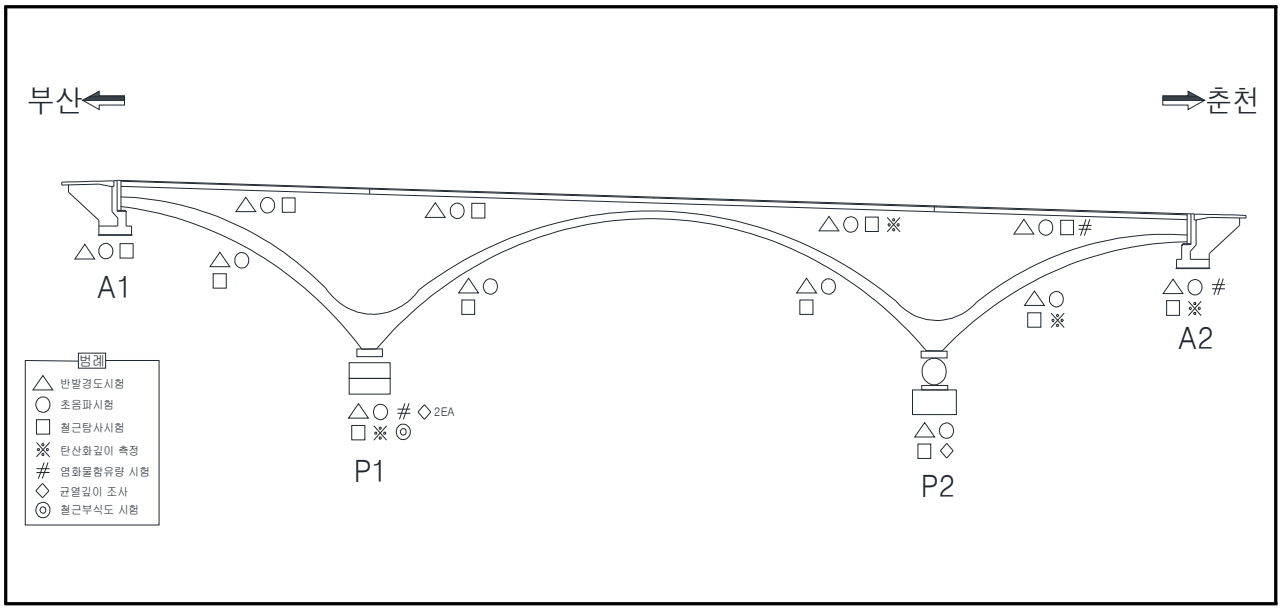


염화물함유량시험 전경



균열깊이 측정 전경

【그림 3.22】 백운1교(춘천) 현장시험 전경



【그림 3.23】 백운1교(춘천) 재료시험 조사 위치도

【표 3.84】 백운1교(춘천) 조사위치 선정사유

구 분	항 목		조사위치 선정사유	비 고
콘크리트 구조물	기본 과업	반발경도시험	• 콘크리트 비파괴강도 측정을 위하여 실시하였으며, 기 진단과 비교하고자 동일 단면 상부구조 8개소, 하부구조 4개소를 선정하여 실시하였음.	
		초음파시험		
		철근탐사시험		
		탄산화깊이 측정	• 탄산화에 의한 철근부식 발생 영향을 검토하기 위한 시험으로 기 진단과 비교하고자 동일 단면 상부구조 2개소, 하부구조 2개소를 선정하여 실시하였음.	
		염화물함유량 시험	• 철근 깊이까지의 염화물 분포 파악을 위한 시험으로 상부구조 1개소, 하부구조 2개소를 선정하여 실시하였고, 결과자료를 근거로 상부구조 1개소, 하부구조 1개소 추가조사 실시하였음.	
		균열깊이 조사	• 외관조사 결과를 토대로 책임기술자 판단 하에 철근까지의 진행여부 판단을 위해 3개소를 선정하여 실시하였음.	

3.4.2 시험내용 및 평가기준

가. 콘크리트 강도시험

1) 반발경도시험

【표 3.85】 반발경도시험

개 요

- 콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여, 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사방법임.
- 슈미트해머는 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(f_c')와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 적용함.

시험 방법

- 반발경도 측정은 선정된 부위에 그라인딩 작업으로 표면 정리를 한 다음 타격점 상호간의 종·횡 간격을 30㎜기준으로 그어 직교되는 부위에 20점 이상을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균값을 구하고, 각 반발경도 값이 평균값의 ±20%범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도를 결정함.
- 측정점간의 최소간격은 보, 기둥 등 모서리로부터 30~60㎜ 이상 떨어진 장소에서 측정 하고, 측정부재의 최소두께는 반발도의 영향을 고려하여 100㎜이상을 원칙으로 함.
- 측정치는 원칙적으로 정수값을 읽고, 표면 건조상태의 부위를 선정, 측정하여 건습에 따른 보정, 압축응력에 따른 반발도의 보정과 타격 방향에 대한 보정 및 재령에 따른 보정을 적용함.

측정기의 기종 선정
↓
점검기에 의한 정도확인
↓
측정 장소의 확인, 요철제거
↓
Marker 등에 의한 측정점의 표시
↓
측정, 20점 이상의 평균
↓
타격 방향, 습윤 및 재령의 보정
↓
강도추정식에 의한 압축강도 산출
↓
압축강도의 추정

<반발경도법에 의한 강도추정 흐름도>

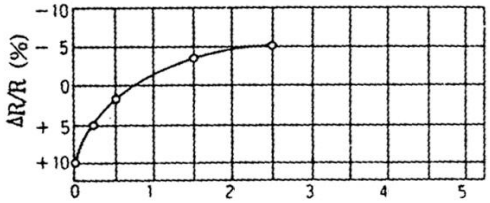
보정 방법

- 타격방향에 따른 보정(ΔR_1)

반발경도 (R)	수평과 이루는 각도 +90°	+45°	-45°	-90°	비고
10	-	-	+2.4	+3.2	상향수직 : +90° 하향수직 : -90°
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4	
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1	
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7	
50	-3.1	-2.1	+1.6	+2.2	
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	

- 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정(ΔR_3)
  기건상태 : $\Delta R_3 = 0$, 습윤상태 $\Delta R_3 = +5$

- 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정(ΔR_2)
  압축응력 1.0kgf/㎠ 인 경우 $\Delta R_2 = -0.015R$, 2.5kgf/㎠ 인 경우 $\Delta R_2 = -0.05R$ 정도임. 그러나 현실적으로 측정부위에 작용하는 응력을 산정하는 것이 용이하지 않으므로 보정은 제외함.



<압축응력에 따른 반발경도 보정곡선>

- 콘크리트 재령에 따른 보정(α)

구분	7일	14일	21일	28일	100일	500일	750일	1000일	2000일	3000일
재령(α)	1.72	1.36	1.12	1.00	0.78	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63

- $R_o = R + \Delta R$ ($\Rightarrow \Delta R = \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3$)
  여기서, ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값
  ΔR_2 : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값
  ΔR_3 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

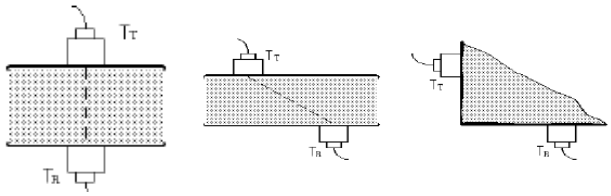
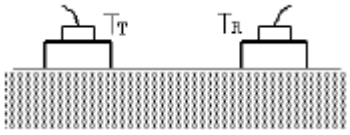
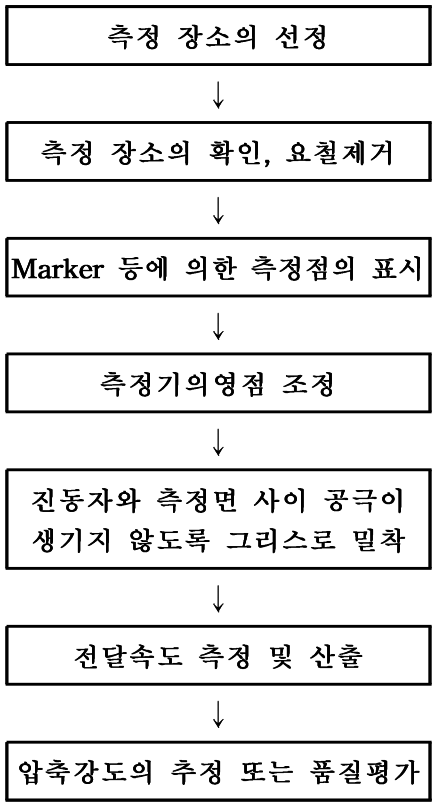
압축 강도 추정식

- 기 진단 시험결과와의 비교·검토를 동일한 방법을 산정함.
- ①식 : $Fc = -18.0 + 1.27 \times R_o$ (MPa) ⇒ 일본 재료학회 강도 추정식
- ②식 : $Fc = (7.3R_o + 100) \times 0.098$ (MPa) ⇒ 일본 건축학회 강도 추정식

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※콘크리트 내구성 평가절차 수립(한국시설안전공단, 1999.12) 참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

2) 초음파시험

【표 3.86】초음파시험

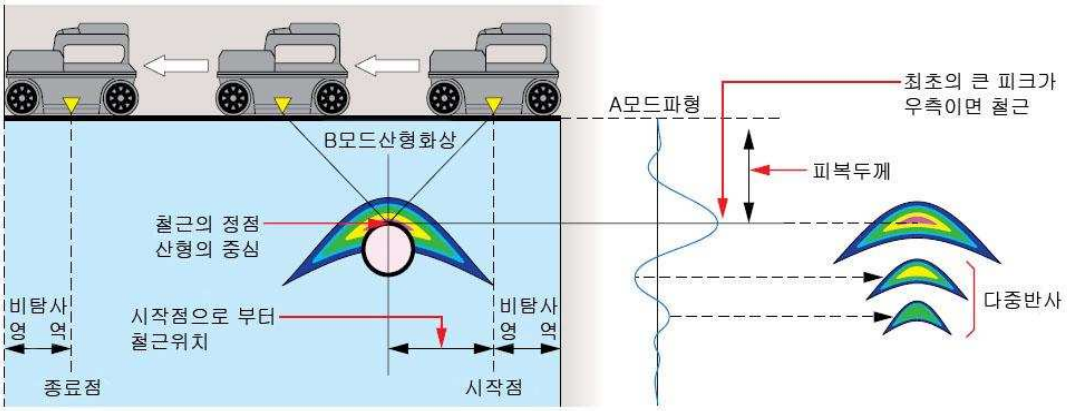
<table>
<tr><td>개 요</td><td>• 초음파법은 초음파 (주파수 50~100 kHz 정도)의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화한다는 것을 이용하여 이 투과속도로부터 콘크리트의 강도, 균열상태, 내부결함 등을 조사하는 방법임.</td></tr>
<tr><td>영향
인자</td><td>• 콘크리트의 특성을 정확히 재현할 수 있는 펄스 속도 시험을 위해서는 펄스속도에 영향을 미치는 요인 및 콘크리트의 다양한 물리적 특성과의 상관관계를 고려해야 하며, 영향인자로는 함수량, 콘크리트의 온도, 시험체의 형상, 내부 철근의 유무 등이 있음.</td></tr>
<tr><td>시험
방법</td><td>• 초음파속도를 측정하기 위한 탐촉자의 배열은 직접법, 간접법 및 표면법이 있음.
• 직접법에서 구한 초음파 전달속도(종파)를 강도 추정에 이용하나 보통 현장에서 직접법으로 적용할 수 없는 측정부분들에 대해서는 간접법(표면법)으로 초음파속도를 측정함.
• 타격법과 동일부재 동일위치에서 측정하는 것을 원칙으로 하여 초음파속도를 측정함.
• 간접법을 직접법으로 환산
Vd ≈ 1.05 Vi
여기서, Vd : 직접법에 의한 초음파속도
Vi : 간접법에 의한 초음파속도
 
<직접법> <간접법>
 
<표면법>
 

<초음파법에 의한 강도추정 흐름도></td></tr>
<tr><td>초음파
전달
속도</td><td>• 전달속도(Velocity, mm/μsec) = $\frac{\text{전달길이}(\textit{PathLength},\ L:\ mm)}{\text{전달시간}(\textit{TransitTime},\ T:\ \mu\text{sec})}$</td></tr>
<tr><td>압축
강도
추정식</td><td>• 기 진단 시험결과와의 비교·검토를 동일한 방법을 산정함.
- ③식 : Fc = (102Vd - 117) × 0.098 (MPa) ⇒ 일본재료학회 강도 추정식
- ④식 : Fc = (215Vd - 620) × 0.098 (MPa) ⇒ 일본건축학회 강도 추정식</td></tr>
</table>

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※콘크리트 내구성 평가절차 수립(한국시설안전공단, 1999.12) 참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

나. 철근탐사시험

【표 3.87】 철근탐사시험

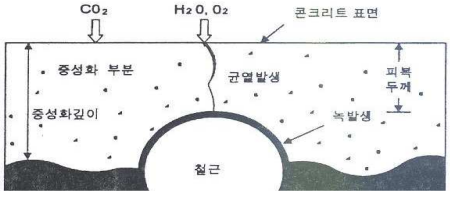
<table>
<tr><td>개 요</td><td colspan="2">• 본 탐사는 시공 상태평가를 위하여 설계도서에 기록된 배근간격과의 동일 시공여부를 비교하여 구조체 배근상태의 적정성을 판단하며, 철근피복두께를 조사하여 탄산화로 인한 구조물의 내구성 평가와 장기적인 내구성 확보를 위한 대책마련을 위해 실시함.</td></tr>
<tr><td>탐사
조건</td><td>• 적용 가능한 조건
- 탐사심도 200㎜ 이내
- 탐사대상 철근지름이 6㎜ 이상
- 콘크리트의 질이 균일한 곳
- 철근이 안테나 진행 방향에 직교한 곳</td><td>• 적용 곤란한 조건
- 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑에 철근이 위치한 경우
- 100㎜ 이하의 피치에서 배근된 경우
- 철근이 안테나 진행 방향과 평행한 경우</td></tr>
<tr><td>측정
방법</td><td colspan="2">• 철근탐사장비 RC-Radar의 측정원리는 전자파를 콘크리트의 표면에서 내부로 방사하여 콘크리트와 전기적 성질이 다른 철근이나 공동 등의 대상물로부터 반사되는 전파를 다시 안테나에서 수신하여 철근의 배근상태나 공동 등의 위치 및 깊이를 화상으로 기록하는 장비로 레이다 방식(화면 모니터 방식)이며, 측정가능심도는 5~200㎜임.
 

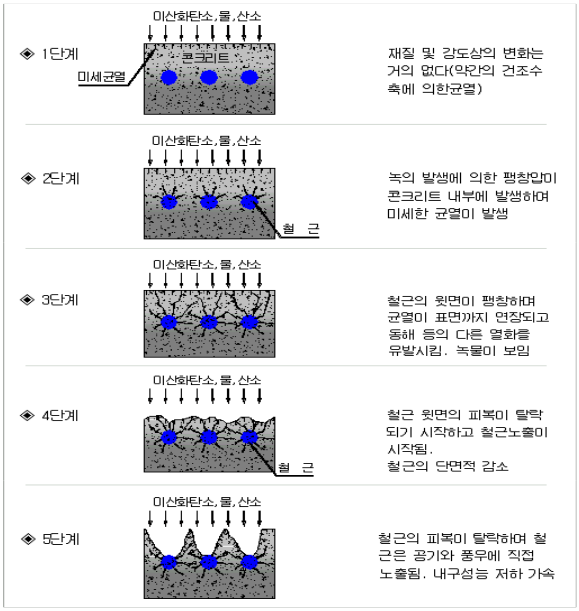
<RC-Radar 측정원리></td></tr>
<tr><td>평가
기준</td><td colspan="2">• 철근의 피복두께는 콘크리트 표면에서 철근 최외측면까지의 거리로 함.
• 철근의 피복두께 및 배근상태를 준공도면과 비교하여 적정성 여부를 판단함.
• 실측된 철근배근 간격과 피복두께는 평균적인 개념으로 판단함이 바람직함.
<철근의 피복두께 기준>
<table>
<tr><th>구 분</th><th>조 건</th><th>부재종류</th><th>철근직경/구분</th><th>피복두께(㎜)</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td rowspan="9">현장 타설 콘크리트</td><td rowspan="4">옥외 공기나 흙에 직접 접하지 않는 부위</td><td>슬래브 벽체, 장선</td><td>D35 초과</td><td>40</td><td></td></tr>
<tr><td>슬래브 벽체, 장선</td><td>D35 이하</td><td>20</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">보 기둥</td><td>fck ≥ 40MPa</td><td>30</td><td>규정값에서 10㎜ 저감 가능</td></tr>
<tr><td>fck < 40MPa</td><td>40</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">쉘, 절판 부재</td><td>20</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">수중에서 타설 되는 콘크리트</td><td>100</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">흙에 영구히 묻혀 있는 콘크리트</td><td>80</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3" colspan="2">흙에 접하거나 옥외공기에 직접 노출되는 콘크리트</td><td>D29 이상 철근</td><td>60</td><td></td></tr>
<tr><td>D25 이하 철근</td><td>50</td><td></td></tr>
<tr><td>D16 이하의 철근</td><td>40</td><td></td></tr>
</table>
※콘크리트 구조기준(한국콘크리트학회, 2012) 참조
<table>
<tr><th>유효깊이(d)</th><th>유효깊이의 허용오차</th><th>피복두께의 허용오차</th></tr>
<tr><td>d ≤ 200㎜</td><td>±10㎜</td><td>-10㎜</td></tr>
<tr><td>d > 200㎜</td><td>±13㎜</td><td>-13㎜</td></tr>
</table>
※피복두께의 허용오차는 도면 또는 설계기준에서 요구하는 최소 피복두께의 -1/3로 하여야 함.</td></tr>
</table>

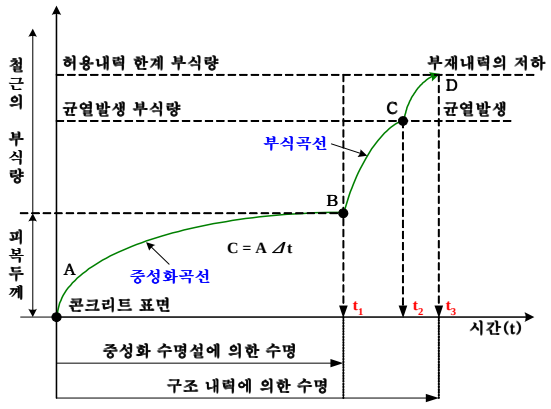
※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※진단장비 활용·관리 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

다. 탄산화깊이 측정

【표 3.88】 탄산화깊이 측정

<table>
<tr>
<td>개 요</td>
<td>
• 경화콘크리트는 표면에서 서서히 탄산화 하여 pH값은 12~13에서 8~10 이하로 감소함. 이 과정을 콘크리트의 탄산화라고 함.
$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$
$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$


• 콘크리트는 탄산화에 의해 직접적으로 성능이 저하되는 것은 아니며, 단지 탄산화가 문제가 되는 이유는 탄산화가 피복두께를 넘어서 철근의 표면에 도달하게 되면 철근표면을 감싸고 있던 부동태 피막이 파괴되면서 철근표면에 부식이 시작되기 때문임.


<탄산화에 의한 콘크리트 성능저하 과정>
</td>
</tr>
<tr>
<td>측정 위치 및 방법</td>
<td>
① 코어 공시체 표면 또는 햄머드릴을 이용하여 직경 1~2 ㎝정도의 구멍을 뚫고 청소 후에 페놀프탈레인 용액을 분무하여 탄산화 깊이를 측정 또는 채취된 코어에 시험함.
② 페놀프탈레인 1% 용액 : 페놀프탈레인 1g + 에탄올 90cc(순도 95%) + 증류수 = 100ml로 제조함.
</td>
</tr>
<tr>
<td>시험 순서</td>
<td>
① 햄머드릴을 이용 콘크리트 구조체의 표면에 직경 1~2 ㎝ 정도의 구멍을 천공함.
② 콘크리트를 긁어낸 면을 붓, 솔 등으로 깨끗이 청소함.
③ 페놀프탈레인 1% 용액을 콘크리트를 벗겨낸 면에 분무기로 분무함.
④ 탄산화되지 않은 부분은 자주색으로 변하며, 탄산화된 부분은 착색되지 않음.
⑤ 콘크리트 표면으로부터 색이 변화되지 않은 깊이(㎜)를 측정, 평균값 산정함.
</td>
</tr>
<tr>
<td>평가 기준</td>
<td>
<탄산화 상태평가 기준>
<table>
<tr><th>구분</th><th>a</th><th>b</th><th>c</th><th>d</th><th>e</th></tr>
<tr><td>탄산화 잔여 깊이</td><td>30㎜ 이상</td><td>10 ㎜ 이상 ~ 30㎜ 미만</td><td>0 ㎜ 이상 ~ 10㎜ 미만</td><td>0㎜ 미만</td><td>-</td></tr>
<tr><td>철근부식의 가능성</td><td>탄산화에 의한 부식발생 우려 없음.</td><td>향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음.</td><td>탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음.</td><td>철근부식 발생함.</td><td>-</td></tr>
</table>
</td>
</tr>
<tr>
<td>내구 수명 평가</td>
<td>
• t_1 : 탄산화가 철근표면에 도달하는 시점
t_2 : 철근 부식, 콘크리트 균열 발생 시점
t_3 : 부재내력이 한계에 달하는 시점
• 탄산화속도 식 : $C = A\sqrt{t}$
여기서, C : 탄산화깊이(㎜)
t : 경과년수(년)
A : 탄산화 속도계수(㎜/$\sqrt{년}$)
• 탄산화가 철근에 도달하는 시간(t_d) :
$$t_d = \frac{D_c^2}{A^2} - t_0$$
여기서, D_c : 철근까지의 피복두께(㎜)
t_0 : 현재의 구조물 경과시간(년)


<콘크리트 내부에서 철근부식의 개념>
</td>
</tr>
</table>

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

라. 염화물 함유량 시험

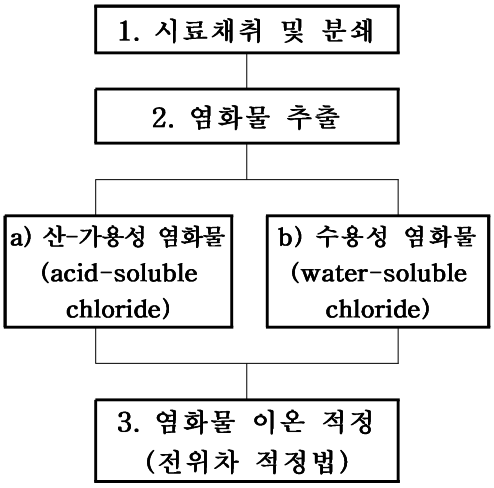
【표 3.89】 염화물 함유량 시험

개요

- 콘크리트가 탄산화되거나 염화물이 침투하게 되면 철근주위의 산소차단 역할을 하는 부동태막이 파손되고, 강재표면이 활성화되면 철근의 부식이 시작되어 철근의 부식방지를 위해서 염화물 이온량을 원칙적으로 제한할 필요가 있음.
- 굳지 않은 콘크리트의 총 염화물 이온량은 국내의 경우 0.30kg/m3이하로 제한하고 있으며, 책임기술자의 승인을 받는 경우 0.60kg/m^3 까지 허용될 수 있음.

시험 방법

- 본 진단 대상구조물의 콘크리트 재료 중에 함유된 염화물함유량 정도를 추정하기 위하여 현장에서 채취한 분말시료를 이용하여 실내시험을 실시하였음.
- 이미 굳은 콘크리트의 총 염화물 이온량에 대한 검토가 이루어질 경우에는 대상시설물의 시료를 채취한 후 산-가용성 염화물 이온농도 시험 KS F 2713 (콘크리트 및 콘크리트의 재료의 염화물 분석 시험 방법)에 따라 시행한 후 산출된 염화물량(%)에 22.63kg/m^3을 곱하여 전염화물 이온량을 구함.
- 전염화물 이온량은 아래 염화물 상태평가 기준 및 노출등급에 따른 내구성 허용기에 의거 평가함.



<염화물함유량 시험방법>

평가 기준

<염화물 상태평가 기준>

구분 \ 결과	a	b	c	d	e
전염화물 이온량(kg/m^3)	염화물 ≤ 0.3	0.3 < 염화물 < 1.2	1.2 ≤ 염화물 < 2.5	염화물 ≥ 2.5	-
철근부식의 가능성	염화물에 의한 부식 발생 우려 없음	염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음	향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음	철근부식 발생	-

<노출등급에 따른 내구성 허용기준>

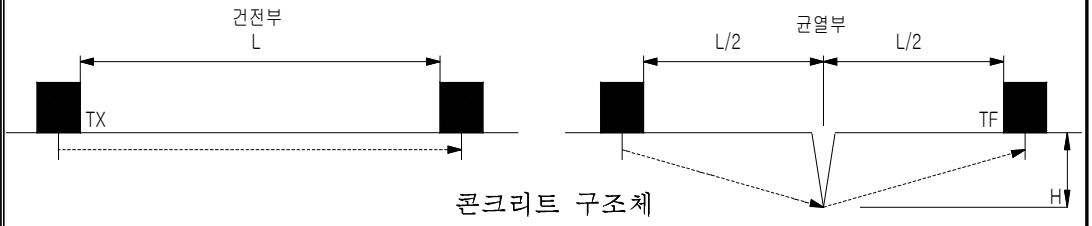
노출등급	최대 물-결합재비	최소 설계기준 압축강도(MPa)	콘크리트 내 최대 수용성 염소이온(Cl-)량 (시멘트 질량에 대한 %)	
			철근콘크리트	프리스트레스트 콘크리트
C0	-	21	1.00	0.06
C1	-	21	0.30	0.06
C2	0.40	35	0.15	0.06

※ 노출등급 ⇨ C0 : 건조하거나 또는 수분으로부터 보호되는 콘크리트
C1 : 수분에 노출되지만 외부의 염화물에 노출되지 않는 콘크리트
C2 : 제빙화학제, 소금, 염수, 해수 또는 해수 물보라 등과 같은 염화물에 직접적으로 노출되는 콘크리트

※ 콘크리트 내구성 평가절차 수립(국토해양부, 한국시설안전공단, 1999.12) 참조
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12) 참조
※ 콘크리트 구조기준 해설(콘크리트학회, 2012.12) 참조

마. 균열깊이 조사

【표 3.90】 균열깊이 조사

<table>
<tr><td>개 요</td><td>• 본 과업에서는 외관조사를 바탕으로 대표적인 균열부를 선정하였으며, 초음파를 이용한 T_c-T_o법을 적용하여 측정함.
• T_c-T_o법은 측정대상인 콘크리트 부재에서 균열부와 건전부에서 각각 측정하고, 양자의 데이터 비교에 의해 균열깊이를 산출함.</td></tr>
<tr><td>조사
방법</td><td>• 균열부분을 중심으로 송신탐촉자(T_X)와 수신탐촉자(T_R)를 등간격으로 배치하고, 송신탐촉자로부터 발신된 종파초음파가 그림 중의 점선과 같이 콘크리트 내를 전파하고, 균열선단부를 경유해서 수신탐촉자에 도달하기까지의 시간 T_c를 구함.
• 균열이 없는 부분을 대상으로 동일 방법으로 송신탐촉자와 수신탐촉자의 거리 L과 초음파가 전파하는 시간 T_o를 구해서 균열깊이(H)를 평가함.
• 콘크리트에 균열 있는 경우 그림과 같이 초음파의 전달경로가 균열을 따라 진행하기 때문에 초음파의 전달시간이 건전부의 전달시간보다 상대적으로 길어지게 됨. 이러한 특성을 이용하여 균열 깊이를 측정할 수 있음.
 

콘크리트 구조체
<초음파속도법을 이용한 균열깊이 측정방법>
$$\text{균열깊이}\,(H) = \frac{L}{2}\sqrt{(\frac{T_c}{T_o})^2 - 1}$$
여기서, T_o : 균열이 없는 건전부의 초음파 전달속도
T_c : 균열면 주위의 초음파 전달속도</td></tr>
<tr><td>평가
기준</td><td><균열깊이의 손상도 판정기준>
<table>
<tr><th>손상도</th><th>균열깊이(H)</th><th>구조물 상황</th></tr>
<tr><td>Ⅰ</td><td>$D_c/2$ > 균열깊이</td><td>• 콘크리트 중 강재 부식 없음.
• 일반적인 정기점검으로도 충분한 단계</td></tr>
<tr><td>Ⅱ</td><td>D_c > 균열깊이 ≥ $D_c/2$</td><td>• 콘크리트 중 강재의 부식 시작
• 구조물의 중요도, 내구연한 등 유지관리의 수준에 따라서 정밀한 내구성 진단의 실시가 필요한 단계</td></tr>
<tr><td>Ⅲ</td><td>균열깊이 ≥ D_c</td><td>• 콘크리트 중 강재의 부식 진행
• 정밀한 내구성 진단을 실시하여 구조물의 상황을 확실히 파악할 필요가 있는 단계</td></tr>
<tr><td>Ⅳ</td><td>-</td><td>• 콘크리트 중 강재 부식
• 즉시 정밀한 내구성 진단이 필요한 단계</td></tr>
</table>
※여기서, Dc는 피복두께(mm)를 의미함.</td></tr>
</table>

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
※콘크리트 내구성 평가절차 수립(건설교통부, 시설안전기술공단, 1999.12) 참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12) 참조

3.4.3 시험결과 및 분석

가. 백운1교(부산)

1) 콘크리트 강도시험

반발경도 측정은 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거하고 실시하였으며 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외했다. 또한, 반발경도 값은 각 측정부재에 따라 타격방향, 재령 등에 의한 보정을 한 후 일본재료학회와 일본 건축학회 CDNT 소위원회 강도 계산식을 사용하여 압축강도를 산정하였다.

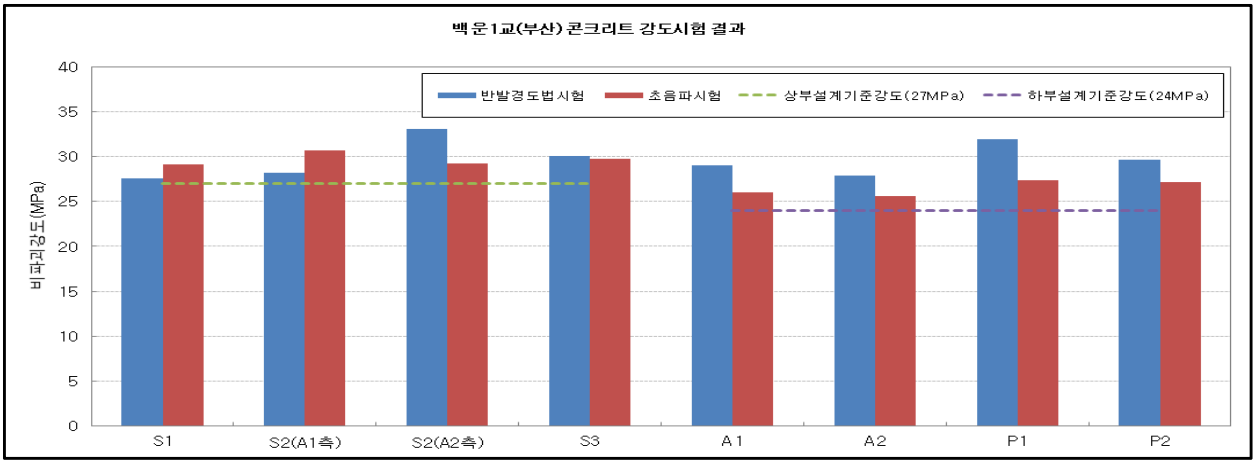
초음파시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스를 도포 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 간접법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 이를 직접법 속도로 환산하였다.

본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 비파괴강도를 평가하기 위하여 반발경도시험, 초음파 시험의 결과를 비교하였고, 각 시험방법에 의한 비파괴강도를 【표 3.91】에 나타내었다.

① 비파괴강도 시험결과

【표 3.91】 백운1교(부산) 부재별 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치		비파괴시험		반발경도시험(MPa)			초음파시험(MPa)			설계기준강도(MPa)
		반발경도 (R_0)	초음파속도 (V_d)	①식 일본재료학회	②식 일본건축학회	평균	③식 일본재료학회	④식 일본건축학회	평균	
상부구조	S1 캔틸레버 우측	48.2	4.197	27.2	27.9	27.6	30.5	27.7	29.1	27.0
	S2 캔틸레버 우측(A1측)	49.2	4.301	28.0	28.4	28.2	31.5	29.9	30.7	
	S2 캔틸레버 우측(A2측)	57.0	4.208	34.3	31.9	33.1	30.6	27.9	29.2	
	S3 캔틸레버 우측	52.2	4.234	30.4	29.7	30.1	30.9	28.5	29.7	
	평 균			30.0	29.5	29.8	30.9	28.5	29.7	
	표준편차			3.2	1.8	2.5	0.5	1.0	0.7	
	변동계수			0.106	0.061	0.083	0.015	0.035	0.025	
하부구조	A1 구체	52.2	4.070	30.4	29.7	30.1	29.2	25.0	27.1	24.0
	A2 구체	52.8	4.139	30.9	30.0	30.4	29.9	26.5	28.2	
	P1 기둥	44.9	4.028	24.6	26.4	25.5	28.8	24.1	26.5	
	P2 기둥	44.7	4.001	24.4	26.3	25.3	28.5	23.5	26.0	
	평 균			27.6	28.1	27.8	29.1	24.8	27.0	
	표준편차			3.6	2.0	2.8	0.6	1.3	0.9	
	변동계수			0.129	0.072	0.101	0.021	0.053	0.035	



【그림 3.24】 백운1교(부산) 콘크리트 강도시험 결과

【표 3.92】 백운1교(부산) 비파괴강도 시험결과 분석

구 분	시험방법	평균강도(A)(MPa)	설계기준강도(B)(MPa)	A/B×100(%)
상부구조	반발경도시험	27.6~33.1	27.0	102.2~122.6
	초음파시험	29.1~30.7		107.8~113.7
하부구조	반발경도시험	25.3~30.4	24.0	105.4~126.7
	초음파시험	26.0~28.2		108.3~117.5

비파괴강도 시험(반발경도시험. 초음파시험)에 의한 콘크리트 강도시험 결과, 상부구조 반발경도시험 27.6~33.1MPa, 초음파시험 29.1~30.7MPa로 설계기준강도(27.0MPa)를 상회하는 것으로 측정되었으며, 하부구조 반발경도시험 25.3~30.4MPa, 초음파시험 26.0~28.2MPa로 설계기준강도(24.0MPa)를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 건전한 것으로 판단된다.

② 기 진단결과와의 비교

【표 3.93】 백운1교(부산) 비파괴강도 측정결과 전차 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석

구 분	전차 정밀안전진단(2011년)		금회 정밀안전진단		설계강도 (MPa)
	반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	
상부구조	26.1~30.4	27.7~31.6	27.6~33.1	29.1~30.7	27.0
하부구조	30.2~34.2	24.1~30.5	25.3~30.4	26.0~28.2	24.0

전차 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 비파괴 압축강도 측정값을 비교·분석한 결과, 측정위치에 따라 다소 차이는 발생하고 있으나 전반적으로 전차 정밀안전진단 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 측정개소 모두 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 전반적으로 양호하며, 강도저하는 발생되지 않은 것으로 판단된다.

2) 철근탐사시험

철근의 피복두께가 부족할 경우에는 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있다. 또한 철근의 배근 간격이 설계도서와 다를 경우 구조물의 안전성에 직접적인 영향을 미치므로 내하력 저하의 원인이 된다.

철근탐사시험은 상부구조 4개소, 하부구조 4개소에서 RC-Rader를 이용하여 실시하였다. 상부구조의 철근탐사는 바닥판 캔틸레버부에서 조사를 실시하였으며, 하부구조의 경우 교대 및 교각 구체에서 조사를 실시하였다.

① 철근탐사 시험결과

【표 3.94】 백운1교(부산) 철근탐사 시험결과

시험위치		철근종류	측정치(mm)		설계치(mm)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부구조	S1 캔틸레버 우측	횡방향철근	112.5	41.0~43.0	125.0	42.0	
	S2 캔틸레버 우측(A1측)	횡방향철근	107.5~112.5	40.0~41.0	125.0	42.0	
	S2 캔틸레버 우측(A2측)	횡방향철근	127.5~132.5	43.0~46.0	125.0	42.0	
	S3 캔틸레버 우측	횡방향철근	110.0~135.0	43.0~48.0	125.0	42.0	
하부구조	A1 구체	수직철근	115.0~120.0	96.0~97.0	125.0	90.5	
		수평철근	150.0~155.0	110.0~111.0	150.0	109.5	
	A2 구체	수직철근	95.0~110.0	85.0~92.0	100.0	87.5	
		수평철근	140.0	110.0~111.0	150.0	112.5	
	P1 기둥	수직철근	90.0~110.0	87.0~88.0	100.0	87.5	
		수평철근	145.0~155.0	113.0~116.0	150.0	112.5	
	P2 기둥	수직철근	105.0~115.0	86.0~91.0	100.0	87.5	
		수평철근	140.0~145.0	113.0	150.0	112.5	

주) 피복두께는 설계도서를 참고하여 순피복두께를 적용함.

철근탐사 시험결과, 상부구조(캔틸레버)의 철근배근간격은 종방향철근의 경우 측정부재의 길이 부족으로 인해 미실시하였으며, 횡방향철근 107.5~135.0mm 및 피복두께 40.0~48.0mm로 조사되었으며, 하부구조의 철근배근간격은 수직철근 90.0~120.0mm, 수평철근 140.0~155.0mm 및 피복두께 85.0~116.0mm로 조사되었다.

철근탐사 결과를 “중앙고속도로 제천-원주간 확장공사 제16공구 실시설계도”를 기준으로 비교·검토 한 결과, 철근의 배근간격은 각각의 철근간의 간격이 다소 편차를 보이고 있으나 전체적인 평균 간격은 설계 간격과 유사한 것으로 조사되었다.

피복두께는 시공시 작업하중, 피복두께 유지재의 설치 차이 등으로 인해 일부 차이를 보이고 있지만, 설계값은 사용피복(철근중심까지의 거리)인 점을 고려할 때 설계도면에 따라 적정하게 배근된 것으로 판단된다.

② 기 진단결과와의 비교

【표 3.95】 백운1교(부산) 철근탐사결과 전차 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석

시험위치		철근종류	전차 정밀안전진단		금회 정밀안전진단		설계치(mm)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부	캔틸레버	횡방향철근	105.0~140.0	31.0~57.0	107.5~135.0	40.0~48.0	125.0	50.0(42.0)	
			215.0~250.0	50.0~56.0	-	-	250.0	50.0	
하부	A1	수직철근	225.0~270.0	116.0	-	-	250.0	100.0	
		수평철근	145.0~170.0	116.0	-	-	150.0	100.0	
		수직철근	-	-	115.0~120.0	96.0~97.0	125.0	(90.5)	
		수평철근	-	-	150.0~155.0	110.0~111.0	150.0	(109.5)	
	A2	수직철근	160.0~220.0	111.0	-	-	200.0	100.0	
		수평철근	130.0~175.0	111.0	-	-	150.0	100.0	
		수직철근	-	-	95.0~110.0	85.0~92.0	100.0	(87.5)	
		수평철근	-	-	140.0	110.0~111.0	150.0	(112.5)	
	교각	수직철근	95.0~120.0	75.0~81.0	90.0~115.0	86.0~91.0	100.0	100.0(87.5)	
		수평철근	140.0~175.0	75.0~81.0	140.0~155.0	113.0~116.0	150.0	100.0(112.5)	

주) 피복두께는 설계치 중 ( )값은 순피복두께임.

동일 부재여도 측정부위에 따른 설계 배근간격이 상이하여 직접적인 비교·분석이 가능하지 않은 측정개소가 발생하였으나, 전차 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 철근탐사결과 배근간격 및 피복두께가 설계기준에 따라 적정하게 배근된 것으로 검토되었다.

3) 탄산화 깊이 측정

구조물의 탄산화 진행 정도는 구조부재에 대해 드릴로 천공하여 1% 페놀프탈레인 용액을 분무하여 콘크리트 색의 변색여부로 평가한다. 지시약을 분무하면 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화 진행 깊이로 판단하게 된다.

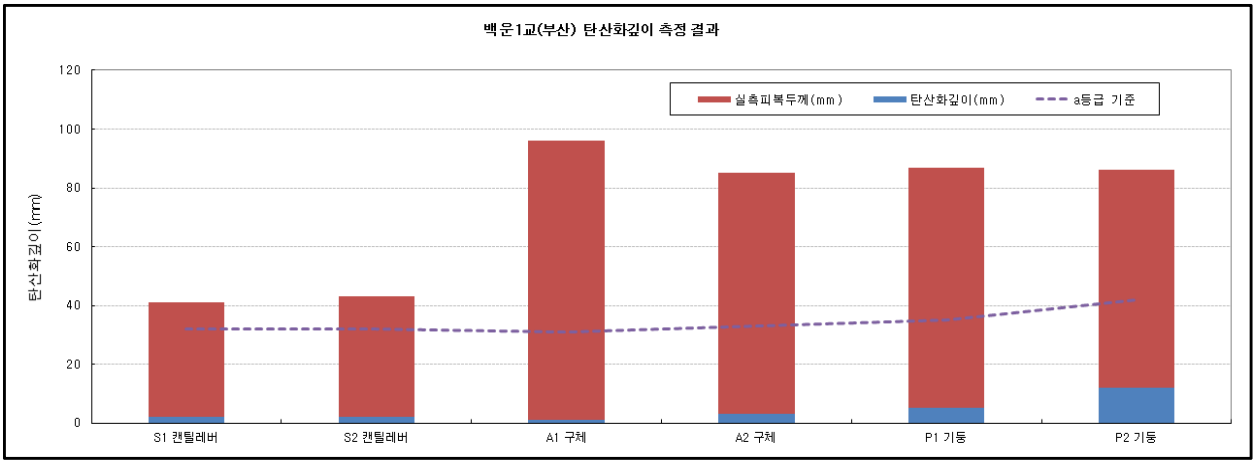
탄산화 시험은 상부구조 2개소, 하부구조 4개소를 선정하여 실시하였다.

① 탄산화 깊이 측정결과

【표 3.96】 백운1교(부산) 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		탄산화 깊이 (mm)	실측 피복두께 (mm)	탄산화 잔여깊이 (mm)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
상부 구조	S1 캔틸레버 우측	2.0	41.0	39.0	a	0.50	100년 이상	
	S2 캔틸레버 우측(A2측)	2.0	43.0	41.0	a	0.50	100년 이상	
하부 구조	A1 구체	1.0	96.0	95.0	a	0.25	100년 이상	
	A2 구체	3.0	85.0	82.0	a	0.75	100년 이상	
	P1 기둥	5.0	87.0	82.0	a	1.25	100년 이상	
	P2 기둥	12.0	86.0	74.0	a	3.00	100년 이상	

※실측 피복두께는 철근탐사 시험결과 중 해당 부재의 최소피복두께를 적용함
※탄산화 속도계수(A) = 탄산화깊이 / √재령(년)
※수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화속도 계수)²
※잔존수명 예측(년) = 수명예측년수 - 경과년수(2000년 준공, 경과년수 : 16년)
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12) 참조



【그림 3.25】 백운1교(부산) 탄산화깊이 측정결과

상부구조의 탄산화 깊이는 2.0mm, 하부구조는 1.0~12.0mm로 조사되었다. 실측 탄산화 깊이 및 철근탐사 피복두께에 의한 탄산화 잔여깊이는 상부구조 39.0~41.0mm, 하부구조 74.0~95.0mm로 측정개소 모두 잔여깊이 30mm 이상으로 철근부식의 우려가 없는 a로 평가되었다. 또한, 현재의 탄산화 깊이를 철근 피복과 비교하여 내구성측면에서의 잔존수명을 계산하면 100년 이상을 나타내고 있으므로 탄산화에 의한 철근부식 등 내구성 저하는 없는 것으로 판단된다.

② 기 진단결과와의 비교

【표 3.97】 백운1교(부산) 탄산화 깊이 측정결과 전차 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석

구 분	전차 정밀안전진단(2011년)		금회 정밀안전진단		비 고
	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	
상부구조	2.0~4.0	29.0~52.0	2.0	39.0~41.0	철근부식 우려 없음
하부구조	12.0~18.0	63.0~104.0	1.0~12.0	74.0~95.0	

전차 정밀안전진단(2011년) 결과 상부구조(S2)에서 b로 평가된 1개소는 탄산화깊이 2.0mm로 측정되었으나, 실측 피복두께가 31.0mm로 탄산화 진행정도에 비해 잔여깊이(29.0mm)가 부족한 상태로 평가되었으나 탄산화 속도계수에 의한 잔존수명이 100년 이상을 나타내어 탄산화에 의한 철근부식 우려가 없는 것으로 평가되었다.

기 진단 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 측정개소 모두 탄산화에 의한 철근부식 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 적을 것으로 판단된다.

4) 염화물 함유량 시험

염화물 함유량 시험은 상부구조(S2) 1개소와 하부구조(A1, P1) 2개소에서 시료를 깊이별로 채취하여 공인기관에 의뢰하여 시험을 실시하였다.

① 염화물 함유량 시험결과

【표 3.98】 백운1교(부산) 염화물 함유량 시험결과 및 평가

시험위치			실측 피복두께 (mm)	콘크리트 구조기준 (Cl^-(%))		상태평가 기준 (Cl^-(kg/m³))		비 고
				함유량	평가결과	함유량	평가결과	
상부 구조	S2 캔틸레버 우측(A2측)	0~20mm	43.0	0.0131	적합	0.296	a	
		20~40mm		0.0060		0.135		
		40~철근부		0.0047		0.106		
하부 구조	A1 구체	0~20mm	96.0	0.0845	적합	1.912	b	
		20~40mm		0.0710		1.606		
		40~60mm		0.0548		1.240		
		60~80mm		0.0370		0.837		
		80~철근부		0.0257		0.581		
	P1 기둥	0~20mm	87.0	0.0249	적합	0.563	a	
		20~40mm		0.0222		0.502		
		40~60mm		0.0177		0.400		
		60~80mm		0.0085		0.192		
		80~철근부		0.0070		0.158		

주) 염화물 함유량 평가는 철근부식을 평가하는 항목으로 철근위치의 값을 기준으로 평가함.

시험결과, 염화물 함유량은 상부구조 0.106kg/m³, 하부구조 0.158~0.581kg/m³로 분석되어 상태평가 “a~b”로 부식발생 가능성이 낮은 것으로 평가되었다. 금회 현장조사 결과 철근부식에 의한 박락은 발생되지 않은 상태로 염화물에 의한 구조물의 손상은 없는 것으로 조사되었다.

② 기 진단결과와의 비교

【표 3.99】 백운1교(부산) 염화물 함유량 시험결과 전차 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석

구 분	전차 정밀안전진단(2011년)		금회 정밀안전진단		비 고
	Cl^-(%)	Cl^-(kg/m³)	Cl^-(%)	Cl^-(kg/m³)	
상부구조	0.0311	0.705	0.0047	0.106	
하부구조	0.0138~0.0261	0.313~0.592	0.0070~0.0257	0.158~0.581	

전차 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 염화물 함유량 시험결과를 비교·분석한 결과, 재료시험 특성 및 시험위치의 차이 등에 의해 미소한 차이가 발생하였으나, 측정개소 모두 염화물 함유량 1.2kg/m³이하로 염화물에 의한 부식발생 가능성이 낮은 것으로 분석되었다.

나. 백운1교(춘천)

1) 콘크리트 강도시험

반발경도 측정은 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거하고 실시하였으며 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외했다. 또한, 반발경도 값은 각 측정부재에 따라 타격방향, 재령 등에 의한 보정을 한 후 일본재료학회와 일본 건축학회 CDNT 소위원회 강도 계산식을 사용하여 압축강도를 산정하였다.

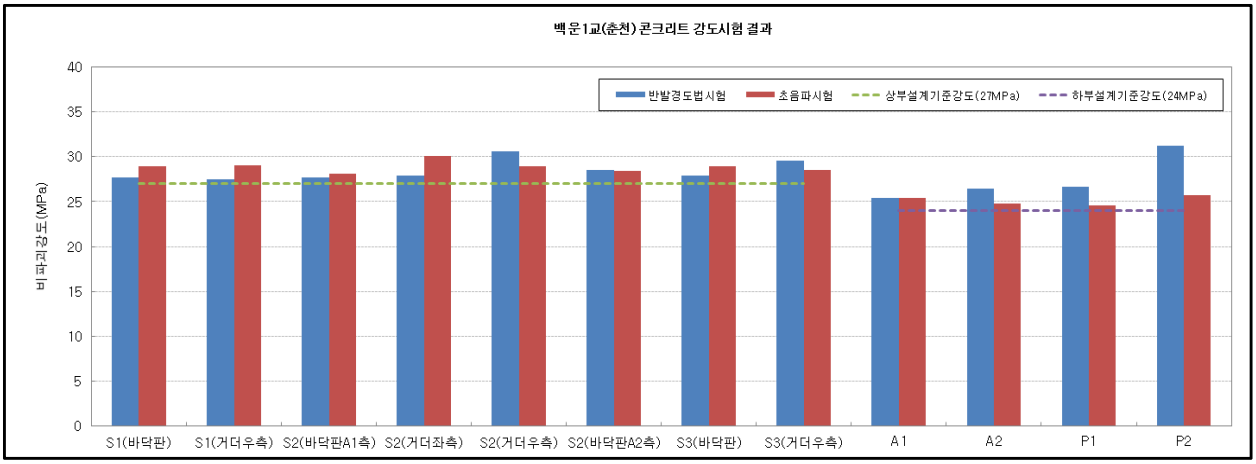
초음파시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스를 도포 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 간접법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 이를 직접법 속도로 환산하였다.

본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 비파괴강도를 평가하기 위하여 반발경도시험, 초음파 시험의 결과를 비교하였고, 각 시험방법에 의한 비파괴강도를 【표 3.100】에 나타내었다.

① 비파괴강도 시험결과

【표 3.100】 백운1교(춘천) 부재별 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치		비파괴시험		반발경도시험(MPa)			초음파시험(MPa)			설계기준강도(MPa)
		반발경도(R_0)	초음파속도(V_d)	①식 일본재료학회	②식 일본건축학회	평균	③식 일본재료학회	④식 일본건축학회	평균	
상부구조	S1 바닥판하면	48.4	4.184	27.3	28.0	27.7	30.4	27.4	28.9	27.0
	S1 거더 우측	48.2	4.190	27.2	27.9	27.5	30.4	27.5	29.0	
	S2 바닥판하면(A1측)	48.5	4.137	27.4	28.0	27.7	29.9	26.4	28.1	
	S2 거더 좌측	48.8	4.264	27.7	28.2	27.9	31.2	29.1	30.1	
	S2 거더 우측	53.1	4.188	31.1	30.1	30.6	30.4	27.5	28.9	
	S2 바닥판하면(A2측)	49.8	4.156	28.5	28.6	28.5	30.1	26.8	28.4	
	S3 바닥판하면	48.8	4.184	27.7	28.2	27.9	30.4	27.4	28.9	
	S3 거더 우측	51.5	4.157	29.8	29.4	29.6	30.1	26.8	28.5	
	평 균			28.3	28.6	28.4	30.4	27.4	28.9	
	표준편차			1.4	0.8	1.1	0.4	0.8	0.6	
	변동계수			0.050	0.028	0.039	0.013	0.030	0.021	
하부구조	A1 구체	44.8	3.959	24.5	26.3	25.4	28.1	22.7	25.4	24.0
	A2 구체	46.3	3.921	25.7	27.0	26.4	27.7	21.9	24.8	
	P1 기둥	46.7	3.910	26.0	27.2	26.6	27.6	21.6	24.6	
	P2 지점부롤러	54.1	3.980	31.9	30.5	31.2	28.3	23.1	25.7	
	평 균			27.0	27.8	27.4	27.9	22.3	25.1	
	표준편차			3.3	1.9	2.6	0.3	0.7	0.5	
	변동계수			0.123	0.068	0.094	0.012	0.031	0.020	



【그림 3.26】 백운1교(춘천) 콘크리트 강도시험 결과

【표 3.101】 백운1교(춘천) 비파괴강도 시험결과 분석

구 분	시험방법	평균강도(A)(MPa)	설계기준강도(B)(MPa)	A/B×100(%)
상부구조	반발경도시험	27.5~30.6	27.0	101.9~113.3
	초음파시험	28.1~30.1		104.1~111.5
하부구조	반발경도시험	25.4~31.2	24.0	105.8~130.0
	초음파시험	24.6~25.7		102.5~107.1

비파괴강도 시험(반발경도시험. 초음파시험)에 의한 콘크리트 강도시험 결과, 상부구조 반발경도시험 27.5~30.6MPa, 초음파시험 28.1~30.1MPa로 설계기준강도(27.0MPa)를 상회하는 것으로 측정되었으며, 하부구조 반발경도시험 25.4~31.2MPa, 초음파시험 24.6~25.7MPa로 설계기준강도(24.0MPa)를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 건전한 것으로 판단된다.

② 기 진단결과와의 비교

【표 3.102】 백운1교(춘천) 비파괴강도 측정결과 전차 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석

구 분	전차 정밀안전진단(2013년)		금회 정밀안전진단		설계강도 (MPa)
	반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	
상부구조	28.2~30.6	28.3~33.2	27.5~30.6	28.1~30.1	27.0
하부구조	26.6~27.9	25.3~27.3	25.4~31.2	24.6~25.7	24.0

전차 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 비파괴 압축강도 측정값을 비교·분석한 결과, 측정위치에 따라 다소 차이는 발생하고 있으나 전반적으로 전차 정밀안전진단 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 측정개소 모두 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 전반적으로 양호하며, 강도저하는 발생되지 않은 것으로 판단된다.

2) 철근탐사시험

철근의 피복두께가 부족할 경우에는 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있다. 또한 철근의 배근 간격이 설계도서와 다를 경우 구조물의 안전성에 직접적인 영향을 미치므로 내하력 저하의 원인이 된다.

철근탐사시험은 상부구조 8개소, 하부구조 4개소에서 RC-Rader를 이용하여 실시하였다.

① 철근탐사 시험결과

【표 3.103】 백운1교(춘천) 철근탐사 시험결과

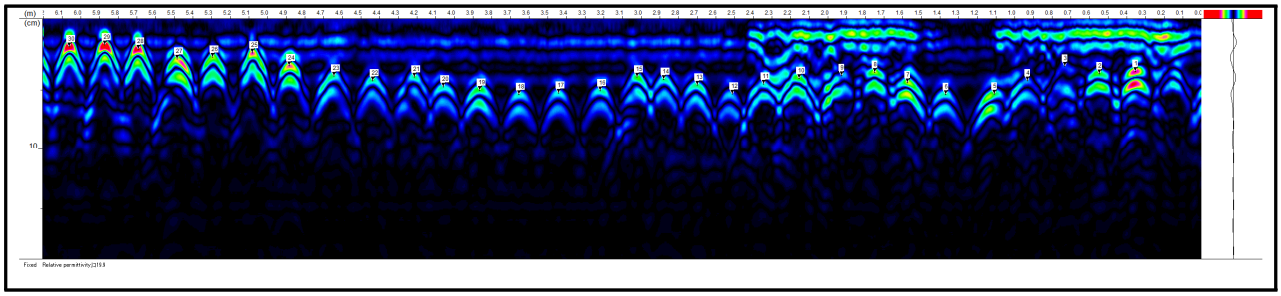
시험위치		철근종류	측정치(mm)		설계치(mm)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부구조	S1 바닥판하면	종방향철근	125.0~137.5	36.0~37.0	125.0	37.5	
		횡방향철근	195.0~205.0	63.0~68.0	200.0	62.5	
	S1 거더 우측	수직철근	144.0	45.0~48.0	149.0	39.0	
		수평철근	300.0	60.0~63.0	300.0	61.0	
	S2 바닥판하면(A1측)	종방향철근	112.5~140.0	31.0~34.0	125.0	37.5	
		횡방향철근	200.0~222.0	60.0~65.0	200.0	62.5	
	S2 거더 좌측	수직철근	144.0~149.0	40.0~42.0	149.0	39.0	
		수평철근	300.0	60.0	300.0	61.0	
	S2 거더 우측	수직철근	134.0	37.0~40.0	149.0	39.0	
		수평철근	265.0~300.0	58.0~60.0	300.0	61.0	
	S2 바닥판하면(A2측)	종방향철근	125.0~142.5	36.0	125.0	37.5	
		횡방향철근	180.0~205.0	65.0~68.0	200.0	62.5	
	S3 바닥판하면	종방향철근	110.0~144.0	37.0~40.0	125.0	37.5	
		횡방향철근	190.0~195.0	69.0~70.0	200.0	62.5	
	S3 거더 우측	수직철근	134.0~144.0	41.0~48.0	149.0	39.0	
		수평철근	280.0~320.0	63.0~67.0	300.0	61.0	
하부구조	A1 구체	수직철근	185.0~200.0	90.0~97.0	200.0	90.5	
		수평철근	190.0~210.0	108.0~111.0	200.0	109.5	
	A2 구체	수직철근	216.0~221.0	91.0	200.0	90.5	
		수평철근	200.0	117.0	200.0	109.5	
	P1 기둥	수직철근	215.0~220.0	90.0~92.0	200.0	89.0	
		수평철근	210.0	110.0	200.0	111.0	
	P2 지점부롤러	수직철근	190.0~205.0	92.0~96.0	200.0	92.0	
		수평철근	195.0~210.0	105.0~108.0	200.0	108.0	

주) 피복두께는 설계도서를 참고하여 순피복두께를 적용함.

철근탐사 시험결과, 상부구조 바닥판하면 종방향철근 110.0~144.0mm, 횡방향철근 180.0~222.0mm 및 피복두께 31.0~70.0mm로 조사되었으며, 거더 수직철근 134.0~149.0mm, 수평철근 265.0~320.0mm 및 피복두께 37.0~67.0mm로 조사되었다. 하부구조의 철근배근간격은 수직철근 185.0~221.0mm, 수평철근 190.0~210.0mm 및 피복두께 90.0~117.0mm로 조사되었다.

철근탐사 결과, 일부 설계도의 배근간격과 차이를 보이는 구간이 발생하여 추가 철근탐사 시험 및 외관조사를 실시하였다.

P1 배면부 수직철근에 대한 추가 철근탐사 결과, 배근간격은 전반적으로 설계치 인 200mm와 유사한 평균 197mm로 나타났다. 각각의 개별 철근의 간격은 설계치와 일부 상이한 경우도 있으나 이는 국부적으로 발생한 시공미흡 또는 콘크리트 타설 시 유동에 의한 오차로 판단된다.



【그림 3.27】 백운1교(춘천) P1 배면 철근탐사

추가적으로 P1 배면 철근피복 부족에 의한 철근노출 손상부위에서 노출된 철근 간격을 실측한 결과 설계치와 유사한 배근간격을 가지고 있는 것으로 확인되었다.



P1 배면 철근노출 손상



철근 배근간격 실측(약 195mm)

【사진 3.64】 백운1교(춘천) P1 배면 철근 배근간격 실측

철근탐사 결과를 “대구-춘천간 고속도로 건설공사 제7공구 구조도(준공도)”를 기준으로 비교·검토 한 결과, 철근의 배근간격은 각각의 철근간의 간격이 다소 편차를 보이고 있으나 전체적인 평균 간격은 설계 간격과 유사한 것으로 조사되었다.

피복두께는 시공시 작업하중, 피복두께 유지재의 설치 차이 등으로 인해 일부 차이를 보이고 있지만, 설계값은 사용피복(철근중심까지의 거리)인 점을 고려할 때 설계도면에 따라 적정하게 배근된 것으로 판단된다.

② 기 진단결과와의 비교

【표 3.104】 백운1교(춘천) 철근탐사결과 전차 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석

시험위치		철근종류	전차 정밀안전진단		금회 정밀안전진단		설계치(mm)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부	바닥판 하면	종방향철근	200.0	31.0~65.0	110.0~144.0	31.0~40.0	125.0	37.5	
		횡방향철근	200.0~223.0	53.0~75.0	180.0~222.0	60.0~70.0	200.0	62.5	
	거더	수직철근	200.0~300.0	59.0~92.0	134.0~149.0	37.0~48.0	149.0	39.0	
		수평철근	100.0~200.0	74.0~115.0	265.0~320.0	58.0~67.0	300.0	61.0	
하부	교대	수직철근	150.0~200.0	86.0~102.0	185.0~221.0	90.0~97.0	200.0	90.5	
		수평철근	-	-	190.0~210.0	108.0~117.0	200.0	109.5	
	P1기둥	수직철근	185.0	47.0	215.0~220.0	90.0~92.0	200.0	89.0	
		수평철근	200.0	94.0	210.0	110.0	200.0	111.0	
	P2지점 롤러	수직철근	200.0	53.0	190.0~205.0	92.0~96.0	200.0	92.0	
		수평철근	200.0	75.0	195.0~210.0	105.0~108.0	200.0	108.0	

전차 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 철근배근상태를 비교·분석한 결과, 동일 부재여도 측정부위에 따른 설계 배근간격이 상이하여 직접적인 비교·분석이 가능하지 않은 상태로 금회 측정한 철근배근상태를 기준으로 평가를 실시한 결과 배근간격 및 피복두께가 설계기준에 따라 적정하게 배근된 것으로 검토되었다.

3) 탄산화 깊이 측정

구조물의 탄산화 진행 정도는 구조부재에 대해 드릴로 천공하여 1% 페놀프탈레인 용액을 분무하여 콘크리트 색의 변색여부로 평가한다. 지시약을 분무하면 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화 진행 깊이로 판단하게 된다.

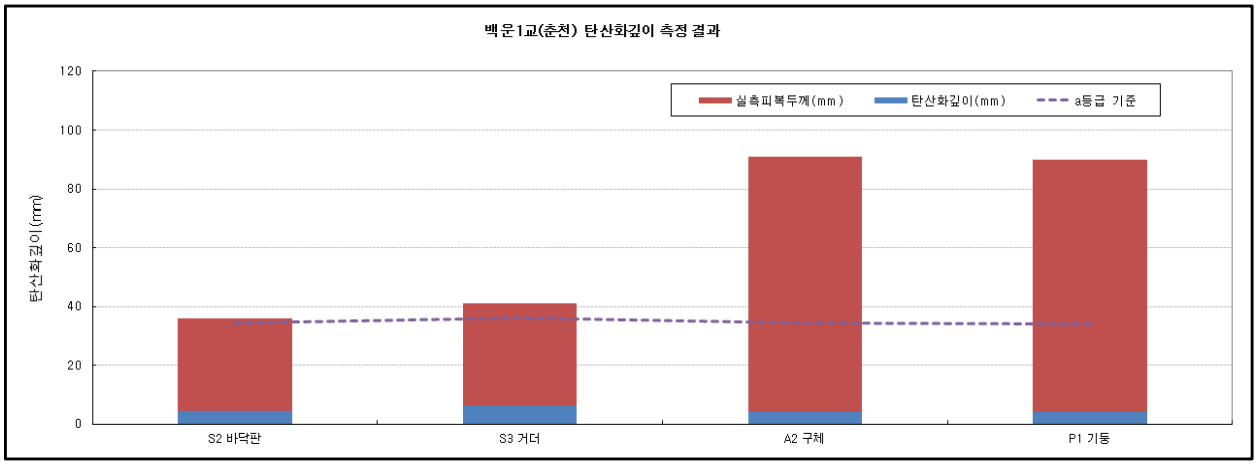
탄산화 시험은 상부구조 2개소, 하부구조 2개소를 선정하여 실시하였다.

① 탄산화 깊이 측정결과

【표 3.105】 백운1교(춘천) 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		탄산화 깊이 (mm)	실측 피복두께 (mm)	탄산화 잔여깊이 (mm)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
상부 구조	S2 바닥판하면(A2측)	4.5	36.0	31.5	a	0.98	100년 이상	
	S3 거더 우측	6.1	41.0	34.9	a	1.33	100년 이상	
하부 구조	A2 구체	4.3	91.0	86.7	a	0.94	100년 이상	
	P1 기둥	4.0	90.0	86.0	a	0.87	100년 이상	

※실측 피복두께는 철근탐사 시험결과 중 해당 부재의 최소피복두께를 적용함
※탄산화 속도계수(A) = 탄산화깊이 / √재령(년)
※수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화속도 계수)²
※잔존수명 예측(년) = 수명예측년수 - 경과년수(1995년 준공, 경과년수 : 21년)
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12) 참조



【그림 3.28】 백운1교(춘천) 탄산화깊이 측정결과

상부구조의 탄산화 깊이는 4.5~6.1mm, 하부구조는 4.0~4.3mm로 조사되었다. 실측 탄산화 깊이 및 철근탐사 피복두께에 의한 탄산화 잔여깊이는 상부구조 31.5~34.9mm, 하부구조 86.0~86.7mm로 측정개소 모두 잔여깊이 30mm 이상으로 철근부식의 우려가 없는 a로 평가되었다. 또한, 현재의 탄산화 깊이를 철근 피복과 비교하여 내구성측면에서의 잔존수명을 계산하면 100년 이상을 나타내고 있으므로 탄산화에 의한 철근부식 등 내구성 저하는 없는 것으로 판단된다.

② 기 진단결과와의 비교

【표 3.106】 백운1교(춘천) 탄산화 깊이 측정결과 전차 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석

구 분	전차 정밀안전진단(2013년)		금회 정밀안전진단		비 고
	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	
상부구조	4.2~5.3	26.8~53.7	4.5~6.1	31.5~34.9	철근부식 우려 없음
하부구조	3.4~3.6	43.6~98.4	4.0~4.3	86.0~86.7	

전차 정밀안전진단(2013년) 결과 상부구조(S1)에서 b로 평가된 1개소는 탄산화깊이 4.2mm로 측정되었으나, 실측 피복두께가 31.0mm로 탄산화 진행정도에 비해 잔여깊이(26.8mm)가 부족한 상태로 평가되었으나 탄산화 속도계수에 의한 잔존수명이 100년 이상을 나타내어 탄산화에 의한 철근부식 우려가 없는 것으로 평가되었다.

기 진단 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 측정개소 모두 탄산화에 의한 철근부식 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 적을 것으로 판단된다.

4) 염화물 함유량 시험

염화물 함유량 시험은 깊이별로 시료를 채취하여 공인기관에 의뢰하여 시험을 실시하였고, 그 위치는 상부구조 1개소(S3), 하부구조 2개소(P1, A2)에서 시료를 채취하였다. 1차 시험 중 상부구조 S3 바닥판 하면 및 하부구조 A2의 시료채취 위치는 신축이음부 누수로 상부 노면수가 유입되어 제설제의 영향이 의심되는 구간(누수흔적 구간)을 선정하여 시료를 채취하였다. 2차 시험은 신축이음부 누수의 영향이 없는 구간(바닥판 중앙부, 교대 전면 중앙부)에 대해서 추가시료 채취를 실시하여 시험 의뢰하였다.

① 염화물 함유량 시험결과

【표 3.107】 백운1교(춘천) 염화물 함유량 시험결과 및 평가

시험위치			실측 피복두께 (mm)	콘크리트 구조기준 (Cl^-(%))		상태평가 기준 (Cl^-(kg/m³))		비 고
				함유량	평가결과	함유량	평가결과	
상부 구조	S3 바닥판하면	0~20mm	37.0	0.3149	적합	7.126	d	누수흔적 구간
		20~40mm		0.2814		6.368		
		40~철근부		0.1935		4.378		
	S3 바닥판하면	0~20mm	37.0	0.0262	적합	0.592	b	건전부 추가조사
		20~40mm		0.0209		0.472		
		40~철근부		0.0167		0.377		

【표 3.107】 백운1교(춘천) 염화물 함유량 시험결과 및 평가(계속)

시험위치			실측 피복두께 (mm)	콘크리트 구조기준 (Cl^-(%))		상태평가 기준 (Cl^-(kg/m³))		비 고
				함유량	평가결과	함유량	평가결과	
하부 구조	P1 기둥	0~20mm	90.0	0.0211	적합	0.477	b	
		20~40mm		0.0209		0.472		
		40~60mm		0.0174		0.393		
		60~80mm		0.0152		0.343		
		80~철근부		0.0142		0.321		
	A2 구체	0~20mm	91.0	0.5608	적합	12.690	d	누수흔적 구간
		20~40mm		0.5448		12.328		
		40~60mm		0.4547		10.289		
		60~80mm		0.3286		7.436		
		80~철근부		0.1917		4.338		
	A2 구체	0~20mm	91.0	0.2206	적합	4.992	c	건전부 추가조사
		20~40mm		0.1677		3.795		
		40~60mm		0.1676		3.792		
		60~80mm		0.1064		2.407		
		80~철근부		0.0638		1.443		

염화물함유량 1차 조사결과 상부구조 4.378kg/m³, 하부구조 0.321~4.338kg/m³로 측정되었으며 염화물함유량 1.2kg/m³ 미만으로 측정되어 상태평가 “b”로 부식발생 가능성이 낮은 것으로 분석된 교각(P1)을 제외한 2개소에 대해서는 추가조사를 실시하였다.

신축이음부와 접하는 바닥판하면 및 교대 구체의 경우 강설시 제설대책인 동결방지제(염화칼슘)의 영향을 받아 염화물 측정치가 크게 분석된 것으로 판단되어 측정위치를 변경하여 2차 시험을 실시하였으며, 측정결과 바닥판하면(S3, 0.377kg/m³), 교대(A2, 1.443kg/m³) 측정값의 차이가 발생되어 교대 신축이음부 하부, 배수구 주변 등 노면수 유입이 되는 부위에 대해서는 염화물에 의한 철근부식 등의 구조물 손상 발생여부를 지속적으로 주의 관찰하여야 할 것이다.

② 기 진단결과와의 비교

【표 3.108】 백운1교(춘천) 염화물 함유량 시험결과 전차 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석

구 분	전차 정밀안전진단(2013년)		금회 정밀안전진단		비 고
	Cl^-(%)	Cl^-(kg/m³)	Cl^-(%)	Cl^-(kg/m³)	
상부구조	0.002	0.071	0.0167~0.1935	0.377~4.378	
하부구조	0.001~0.003	0.024~0.047	0.0142~0.1917	0.321~4.338	

전차 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 염화물 함유량 시험결과를 비교·분석한 결과, 일반적으로 재료시험 특성 및 시험위치, 공용기간 증가, 동결방지제인 염화칼슘의 영향으로 염화물 함유량의 증가가 있을 수 있으며, 특히 신축이음 장기 공용에 따른 노후화로 차수 기능이 저하됨에 따라 동절기 제설제가 함유된 노면수 유입량 증가가 주된 원인으로 판단된다.

5) 균열깊이 조사

균열깊이 조사는 책임기술자 판단 하에 철근까지의 진행여부를 판단하기 위해 폭 0.2~0.3mm 이상의 균열 중 대표 개소를 선정하여 시험을 실시하였다. 측정 시 발·수신자의 거리를 200mm로 하였으며, 측정된 속도는 동일 위치에서 3회를 측정한 후 그 평균값을 적용하였다.

① 균열깊이 조사결과

【표 3.109】 백운1교(춘천) 균열깊이 조사결과 및 평가

시험위치		균열폭 (mm)	초음파 전달시간($\times 10^{-6}$sec)		균열깊이 (mm)	피복두께 (mm)	비 고
			건전부(To)	균열부(Tc)			
하부 구조	P1 기둥	0.2	45.2	47.7	33.7	89.0	
		0.3	43.2	45.6	33.8	89.0	
	P2 지점부롤러	0.2	41.1	43.2	32.4	92.0	

② 조사결과 분석

하부구조 균열폭 0.2~0.3mm에 대하여 균열깊이 조사를 실시한 결과, 균열깊이는 32.4mm ~33.8mm로 측정되었다. 균열깊이는 하부구조 피복두께(90.0~92.0mm)에 미치지는 않은 것으로 측정되어 철근부식에 의한 내구성 저하는 미미할 것으로 판단된다.

3.5 강재 내구성조사

3.5.1 개 요

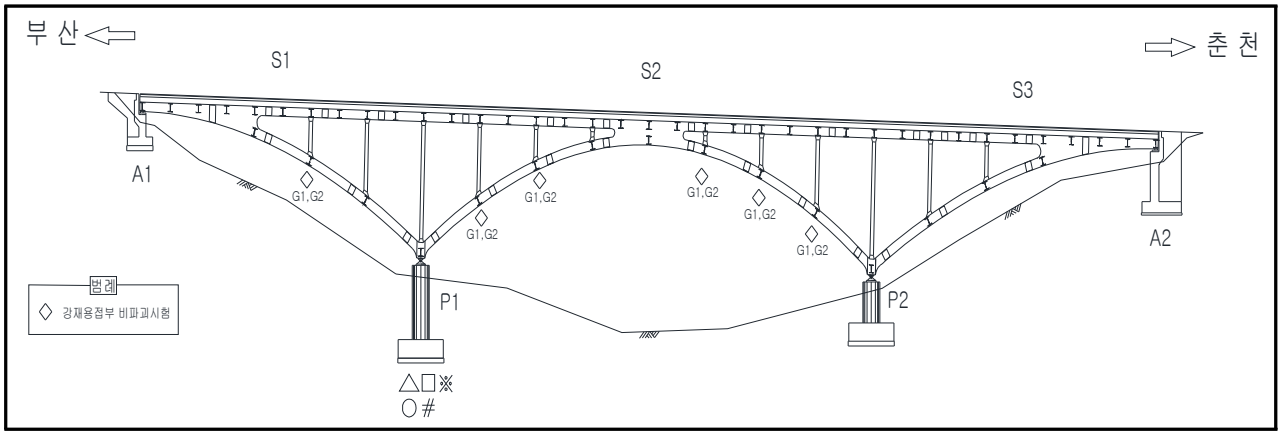
본 구조물의 상태평가를 적절히 수행하기 위해서 정밀안전진단의 목적에 부합하는 비파괴 시험을 실시하였으며, 이를 통해 위에서 언급한 외관조사 내용과 함께 구조물의 사용성, 안전성을 검토하고 보수·보강공법 및 유지관리 방안 제시의 기초 자료로 활용할 수 있도록 하였다. 현장 시험은 구조물의 특성을 간접적으로 측정하는 방법으로 사용장비 및 측정방법, 적용한계 등을 고려하여 사용법을 충분히 숙지한 자가 검·교정을 필한 장비를 사용하여 실시하였다.

가. 백운1교(부산)

백운1교(부산)는 연장 180.93m, 폭 12.6m, 교대 2기, 교각 2기로 공용중인 강아치 교량으로 강재 부재에 대한 비파괴시험은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[교량편](2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 위치 및 수량을 결정하였다.

【표 3.110】 백운1교(부산) 강재 재료시험항목 및 조사 전경

구 분	강재구조물	조사내용 및 전경
항 목	기본과업	
	용접부 결함탐사(초음파탐상)	
세부지침 기준수량	박스거더교 : 2개소/경간별 거더	
조사수량	12개소	
비 고	맞대기용접부	초음파탐상시험(강재)

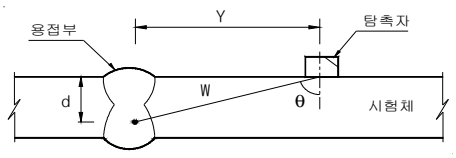


【그림 3.29】 백운1교(부산) 강재 재료시험 조사 위치도

3.5.2 시험내용 및 평가기준

가. 초음파탐상시험(UT: Ultrasonic Testing)

【표 3.111】 초음파탐상시험

<table>
<tr><td>개 요</td><td colspan="2">• 가청 주파수 이상의 주파수를 갖는 초음파(20,000Hz이상)를 시험체 내에 전달하여 초음파 진행경로상에 존재하는 결함부로부터 반사하는 초음파 신호를 수신하여 탐상기 CRT 스크린상에서 에코파형을 확인함으로써 결함의 존재여부 및 결함정보를 알아내는 검사방법임.
• 초음파법의 종류는 크게 수직법과 사각법으로 대별되며, 수직법은 탐촉자를 시험체에 접촉하여 시험체에 수직으로 전달하는 방법으로 통상적으로 판재 및 봉재, 주·단강품 결함 검사와 부재의 부식두께 측정 등에 이용되며, 사각법은 시험체에 임의의 일정각으로 초음파를 전파시켜 검사하는 방법으로 주로 강구조물 용접부 검사에 적용됨.</td></tr>
<tr><td>시험
방법</td><td>• 일반적으로 강교 용접부의 사각탐상에는 주로 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 융합 불량, 용입부족 등의 결함과 균열에 대한 조사가 실시되고 있으며, 각각의 결함부로부터 반사한 에코파형의 펄스형태(펄스폭&높이), 반사체(결함)까지의 진행거리, 초음파 입사각도, 에코의 반사패턴 등을 종합적으로 분석하여 결함의 입체적인 위치를 산출하고 결함 종류 및 길이 등을 측정함. 본시험에서는 70°로 초음파를 입사함.</td><td> 

• 계산식 $Y = W \cdot Sin\ominus$
$d = W \cdot Cos\ominus$
여기서 Y : 입사점-결함거리
d : 결함깊이
w : 초음파 이동거리
θ° : 입사각(70°)</td></tr>
<tr><td>평가
기준</td><td colspan="2">< 결함의 등급분류 >
<table>
<tr><th rowspan="2">영 역</th><th colspan="6">결 함 의 크 기 (㎜)</th></tr>
<tr><th colspan="3">Ⅱ, Ⅲ</th><th colspan="3">Ⅳ</th></tr>
<tr><th>판두께
등급</th><th>18이하</th><th>18~60</th><th>60이상</th><th>18이하</th><th>18~60</th><th>60이상</th></tr>
<tr><td>1 급</td><td>6이하</td><td>t/3이하</td><td>20이하</td><td>4이하</td><td>t/4이하</td><td>15이하</td></tr>
<tr><td>2 급</td><td>9이하</td><td>t/2이하</td><td>30이하</td><td>6이하</td><td>t/3이하</td><td>20이하</td></tr>
<tr><td>3 급</td><td>18이하</td><td>t 이하</td><td>60이하</td><td>9이하</td><td>t/2이하</td><td>30이하</td></tr>
<tr><td>4 급</td><td colspan="6">3급을 초과하는 것</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※도로교표준시방서(건설교통부, (사)한국도로교통협회, 2005) 참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

3.5.3 시험결과 및 분석

가. 백운1교(부산)

1) 초음파탐상시험

강거더의 용접상태를 검사하기 위해 맞대기 용접부에 대해 거더별로 6개소씩 총 12개소에 대해 검사를 실시하였으며, 검사결과 총 12개소 모두 합격 판정되어 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타났다.

① 초음파탐상 시험결과

【표 3.112】 백운1교(부산) 초음파탐상 시험결과

시험위치		시험개소	결함등급	검사결과		결함종류 및 개소	비 고
				합격	불합격		
G1	S1-U4(A1측)	1	1급	1	-	결함없음	
	S2-U6(A1측)	1	1급	1	-	결함없음	
	S2-U7(A1측)	1	1급	1	-	결함없음	
	S2-U6(A2측)	1	1급	1	-	결함없음	
	S2-U7(A2측)	1	1급	1	-	결함없음	
	S2-U8(A2측)	1	1급	1	-	결함없음	
G2	S1-U4(A1측)	1	1급	1	-	결함없음	
	S2-U6(A1측)	1	1급	1	-	결함없음	
	S2-U7(A1측)	1	1급	1	-	결함없음	
	S2-U6(A2측)	1	1급	1	-	결함없음	
	S2-U7(A2측)	1	1급	1	-	결함없음	
	S2-U8(A2측)	1	1급	1	-	결함없음	

주) 합격기준 : 2급 이상(인장 및 교번하중 적용부재), 3급 이상(압축 및 전단응력 작용부재)

② 기 진단결과와의 비교

【표 3.113】 백운1교(부산) 초음파탐상 시험결과 전차 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석

구 분	전차 정밀안전진단(2011년)	금회 정밀안전진단	비 고
	초음파 이상유무	초음파 이상유무	
거더 G1	합격 : 6개소	합격 : 6개소	
거더 G2	합격 : 6개소	합격 : 6개소	

전차 정밀안전진단(2011년) 결과와 금회 맞대기 용접부 결함 유무 측정 결과, 용접부의 결함지시가 없는 상태로서 결함이 발생되지 않은 것으로 판단된다.

3.6 현장조사 및 시험 결과요약

3.6.1 외관조사 결과요약

가. 백운1교(부산)

【표 3.114】 백운1교(부산) 외관조사 결과요약

부재	손상내용	단위	기 진단 (2011년)	금회 진단 (2016년)	손상원인	대책	증·감 (▲·▽)		증감사유
바닥판	박리	㎡	-	0.20	우수유입 재질열화	단면보수	▲	0.20	공용 중 발생된 추가 손상
	백태	㎡	19.20	19.64	우수유입 재질열화	표면처리	▲	0.44	공용 중 발생된 추가 손상
	부식	㎡	22.90	69.52	우수유입	재도장	▲	46.62	공용 중 발생된 추가 손상
	철근노출	㎡	-	0.08	시공미흡	단면보수 (방청)	▲	0.08	상세조사에 의한 신규 손상
	파손	㎡	0.16	0.16	우수유입	단면보수	-	-	-
보강거더 및 아치리브	부식	㎡	7.63	33.55	도장불량 우수접촉	재도장	▲	25.92	공용 중 발생된 추가손상
	SP볼트 부식	㎡	16.99	20.37	도장불량 우수접촉	재도장	▲	3.38	공용 중 발생된 추가손상
	도장박리	㎡	0.03	20.13	도장불량 우수접촉	재도장	▲	20.10	공용 중 발생된 추가손상
	점검구주위 볼트 부식	㎡	0.04	0.05	도장불량 우수접촉	재도장	▲	0.01	공용 중 발생된 추가손상
	PIT	개소	-	15	용접불량	유지관리	▲	15	내부 조사를 통한 추가 손상
	실리콘 마감 불량	개소	-	152	시공불량	실링보수	▲	152	내부 조사를 통한 추가 손상
	언더컷	m	-	0.10	용접불량	유지관리	▲	0.10	내부 조사를 통한 추가 손상
	이물질 퇴적	㎡	-	6.05	환기구 유입	청소	▲	6.05	내부 조사를 통한 추가 손상
가로보 세로보 브레이싱 행거	볼트부식	㎡	7.33	13.01	도장불량 우수접촉	재도장	▲	5.68	공용 중 발생된 추가손상
	도장박리	㎡	0.29	7.51	도장불량 우수접촉	재도장	▲	7.22	공용 중 발생된 추가손상
	변형	m	1.50	1.50	시공불량	유지관리	-	-	-
	부식	㎡	39.31	49.59	도장불량 우수접촉	재도장	▲	10.28	공용 중 발생된 추가손상
교대	계단침하	㎡	-	1.00	사면안정화	유지관리	▲	1.00	상세조사에 의한 물량 변경
	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	2.30	20.50	건조수축	유지관리	▲	18.20	상세조사에 의한 물량 변경
	균열 (cw=0.3mm 이상)	m	4.20	4.10	건조수축	주입보수	▽	0.10	상세조사에 의한 물량 변경
	마감불량	㎡	-	0.30	시공미흡	유지관리	▲	0.30	상세조사에 의한 물량 변경
	망상균열	㎡	-	6.56	건조수축	유지관리	▲	6.56	상세조사에 의한 물량 변경
	박리	㎡	-	0.61	시공미흡	유지관리	▲	0.61	상세조사에 의한 물량 변경

【표 3.114】 백운1교(부산) 외관조사 결과요약(계속)

부재	손상내용	단위	기 진단 (2011년)	금회 진단 (2016년)	손상원인	대책	증·감 (▲·▽)		증감사유
교대	백태	㎡	-	22.29	신축이음부 누수	표면처리	▲	22.29	상세조사에 의한 추가 손상
	체수	㎡	-	3.75	신축이음부 누수	유도배수	▲	3.75	상세조사에 의한 추가 손상
	파손	㎡	-	1.39	외부충격	단면보수	▲	1.39	상세조사에 의한 추가 손상
교각	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	-	17.30	건조수축	유지관리	▲	17.30	상세조사에 의한 추가 손상
	망상균열	㎡	-	0.85	건조수축	유지관리	▲	0.85	상세조사에 의한 추가 손상
	박리	㎡	-	50.16	재질열화	유지관리	▲	50.16	상세조사에 의한 추가 손상
	재료분리	㎡	-	0.21	시공불량	유지관리	▲	0.21	상세조사에 의한 추가 손상
	파손	㎡	-	0.20	외부충격	유지관리	▲	0.20	상세조사에 의한 추가 손상
받침장치	받침부식	㎡	2.42	3.00	도장불량 우수접촉	재도장	▲	0.58	공용 중 발생된 추가손상
	솔플레이트 부식	㎡	1.96	1.96	도장불량 우수접촉	재도장	-	-	-
	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	6.80	8.20	건조수축	유지관리	▲	1.40	상세조사에 의한 추가 손상
	균열부 백태	m	-	0.20	건조수축 수분접촉	표면처리	▲	0.20	상세조사에 의한 추가 손상
	망상균열	㎡	-	9.43	건조수축	유지관리	▲	9.43	상세조사에 의한 추가 손상
	거푸집 미제거	㎡	-	0.60	시공미흡	유지관리	▲	0.60	상세조사에 의한 추가 손상
신축이음장치	강재부식	㎡	0.98	0.98	우수접촉	유지관리	-	-	-
	토사퇴적	㎡	0.96	0.96	강우시 이물질퇴적	청소	-	-	-
	균열(0.2㎜이하)	m	15.60	15.60	건조수축	유지관리	-	-	-
	백태	㎡	1.50	1.50	침출수 유출	유지관리	-	-	-
	파손	㎡	-	0.05	외부충격	단면보수	▲	0.05	공용 중 발생된 신규 손상
배수시설	막힘	개소	8.00	9.00	강우시 이물질퇴적	청소	▲	1.00	공용 중 발생된 추가손상
	부식	㎡	0.04	0.30	공용 중 열화	유지관리	▲	0.26	공용 중 발생된 추가손상
방호울타리	강판부식	개소	4	4	공용 중 열화	재도장	-	-	-
	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	8.30	17.50	건조수축	표면처리	▲	9.20	상세조사에 의한 추가 손상
	균열 (cw=0.3mm 이상)	m	0.80	1.60	건조수축	주입보수	▲	0.80	상세조사에 의한 추가 손상
	균열부 백태	㎡	5.31	19.75	건조수축 수분접촉	표면처리	▲	14.44	공용 중 발생된 추가손상

【표 3.114】 백운1교(부산) 외관조사 결과요약(계속)

부재	손상내용	단위	기 진단 (2011년)	금회 진단 (2016년)	손상원인	대책	증·감 (▲·▽)		증감사유
방호 울타리	덮개판 변형	㎡	0.05	0.05	외부충격	재설치	-	-	-
	망상균열	㎡	-	0.49	건조수축	표면처리	▲	0.49	상세조사에 의한 추가 손상
	박리	㎡	-	1.50	공용 중 열화	단면보수	▲	1.50	상세조사에 의한 추가 손상
	백태	㎡	0.62	0.94	우수유입 재질열화	표면처리	▲	0.32	공용 중 발생된 신규 손상
	보호덮개 탈락	개소	-	3	외부충격	재설치	▲	3.00	공용 중 발생된 신규 손상
	철근노출	㎡	0.04	0.05	시공미흡	단면보수 (방청)	▲	0.01	상세조사에 의한 추가 손상
	파손	㎡	-	0.10	외부충격	단면보수	▲	0.10	상세조사에 의한 추가 손상
결과분석	• 기 진단(2011년 시행)과의 비교·분석 결과, 균열, 박리, 백태, 파손 등의 결함은 공용 중 발생된 추가 및 간과된 손상으로 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 금회 진단 시 손상들은 전반적으로 경미한 수준이며, 일부 보수가 필요하나 구조적인 손상은 없는 것으로 조사됨.								

나. 백운1교(춘천)

【표 3.115】 백운1교(춘천) 외관조사 결과요약

부재	손상내용	단위	기 진단 (2013년)	금회 진단 (2016년)	손상원인	대책	증·감 (▲·▽)		증감사유
바닥판	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	48.70	62.80	건조수축	유지관리	▲	14.10	상세조사에 의한 추가 손상
	균열부 백태	m	3.00	6.10	건조수축 수분침투	표면처리	▲	3.10	공용 중 발생된 추가손상
	누수흔적	㎡	399.30	396.00	우수유입	유지관리	▽	3.30	상세조사에 의한 추가 손상
	망상균열	㎡	3.10	3.10	건조수축	유지관리	-	-	-
	박리	㎡	0.42	0.51	우수유입	유지관리	▲	0.09	상세조사에 의한 추가 손상
	백태	㎡	4.30	0.83	미세균열부 수분침투	표면처리	▽	3.47	상세조사에 의한 추가 손상
	재료분리	㎡	5.80	6.76	시공미흡	유지관리	▲	0.96	상세조사에 의한 추가 손상
	철근노출 (녹물흔적)	㎡	2.61	2.87	시공미흡 및 수분접촉	단면보수 (방청)	▲	0.26	상세조사에 의한 추가 손상
	거푸집 미제거	m	2.00	2.00	시공불량	유지관리	-	-	-
	물끊기홈 미설치	m	1.50	1.50	시공미흡	물끊기홈 설치	-	-	-
	파손	㎡	-	1.50	시공불량	단면보수	▲	1.5	상세조사에 의한 추가 손상

【표 3.115】 백운1교(춘천) 외관조사 결과요약(계속)

부재	손상내용	단위	기 진단 (2013년)	금회 진단 (2016년)	손상원인	대책	증·감 (▲·▽)		증감사유
AR Girder	거푸집 미제거	㎡	3.60	3.60	시공미흡	유지관리	-	-	-
	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	276.00	310.80	건조수축	유지관리	▲	34.80	상세조사에 의한 추가 손상
	균열 (cw=0.3mm 이상)	m	235.50	248.10	건조수축	주입보수	▲	12.60	상세조사에 의한 추가 손상
	균열부 백태	m	-	0.30	건조수축 수분접촉	표면처리	▲	0.30	공용 중 발생된 추가손상
	누수흔적	㎡	9.00	4.00	우수접촉	유지관리	▽	5.00	상세조사에 의한 추가 손상
	망상균열	㎡	14.50	61.50	건조수축	유지관리	▲	47.00	상세조사에 의한 추가 손상
	박리	㎡	-	2.45	시공미흡 재질열화	단면보수	▲	2.45	상세조사에 의한 추가 손상
	볼트미제거	개소	5	5	시공미흡	유지관리	-	-	-
	파손	㎡	0.25	0.40	시공미흡	단면보수	▲	0.15	상세조사에 의한 추가 손상
	철근미제거	개소	12	12	시공미흡	유지관리	-	-	-
	재료분리	㎡	10.81	96.15	시공미흡	단면보수	▲	85.34	상세조사에 의한 추가 손상
	철근노출	㎡	14.74	23.99	시공미흡 피복부족	단면보수 (방청)	▲	9.25	상세조사에 의한 추가 손상
	이물질삽입	㎡	-	1.80	시공미흡	유지관리	▲	1.80	상세조사에 의한 추가 손상
가로보	재료분리	㎡	-	0.08	시공미흡	유지관리	▲	0.08	상세조사에 의한 추가 손상
교대	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	19.00	26.50	건조수축	유지관리	▲	7.50	상세조사에 의한 추가 손상
	균열 (cw=0.3mm 이상)	m	0.80	0.80	건조수축	주입보수	▲	0.80	상세조사에 의한 추가 손상
	녹물흔적 및 이물질 삽입	㎡	0.75	1.71	시공미흡 재질열화	단면보수 (방청)	▲	0.96	상세조사에 의한 추가 손상
	망상균열	㎡	31.61	43.20	건조수축	유지관리	▲	11.59	상세조사에 의한 추가 손상
	박리	㎡	1.44	1.38	시공미흡 재질열화	유지관리	▽	0.06	손상범위 수정
	백태	㎡	2.45	0.20	신축이음부 누수	표면처리	▽	2.25	보수로 인한 손상감소
	재료분리	㎡	-	0.92	시공미흡	유지관리	▲	0.92	상세조사에 의한 추가 손상
	파손	㎡	1.02	2.36	외부충격	단면보수	▲	1.34	상세조사에 의한 추가 손상
	와이어매쉬노출	㎡	3.30	3.30	시공미흡	단면보수	-	-	-
	접합부 이격	㎡	29.00	21.00	사면안정화	실링보수	▽	8.00	상세조사에 의한 추가 손상
	체수 및 누수흔적	㎡	25.59	15.48	신축이음부 누수	유도배수	▽	10.11	상세조사에 의한 추가 손상
	토사퇴적	㎡	0.28	0.28	공용 중 이물질 퇴적	유지관리	-	-	-

【표 3.115】 백운1교(춘천) 외관조사 결과요약(계속)

부재	손상내용	단위	기 진단 (2013년)	금회 진단 (2016년)	손상원인	대책	증·감 (▲·▽)		증감사유
교각	거푸집 미제거	㎡	-	0.01	시공미흡	유지관리	▲	0.01	상세조사에 의한 추가 손상
	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	23.60	87.20	건조수축	유지관리	▲	63.60	상세조사에 의한 추가 손상
	망상균열	㎡	4.75	24.68	건조수축	유지관리	▲	19.93	상세조사에 의한 추가 손상
	재료분리	㎡	10.75	48.18	시공미흡	유지관리	▲	37.43	상세조사에 의한 추가 손상
	철근노출	㎡	0.06	0.38	시공미흡 피복부족	단면보수 (방청)	▲	0.38	상세조사에 의한 추가 손상
	파손	㎡	0.26	1.02	시공미흡 외부충격	유지관리	▲	0.76	상세조사에 의한 추가 손상
	이물질노출	㎡	-	1.64	시공미흡	단면보수 (방청)	▲	1.64	상세조사에 의한 추가 손상
받침장치	받침 부식	㎡	1.85	8.60	우수접촉	재도장	▲	6.75	공용 중 발생된 추가손상
	볼트 부식	㎡	0.015	0.37	우수접촉	재도장	▲	0.355	공용 중 발생된 추가손상
	상부 플레이트 변형	개소	1	1	시공미흡	유지관리	-	-	-
	받침콘크리트 균열	m	-	5.30	건조수축	유지관리	▲	5.30	상세조사에 의한 추가 손상
	망상균열	㎡	-	0.48	건조수축	유지관리	▲	0.48	상세조사에 의한 추가 손상
	탈락	㎡	0.0059	0.0018	시공미흡	유지관리	▽	0.0041	상세조사에 의한 추가 손상
	파손	㎡	-	0.02	시공미흡 외부충격	유지관리	▲	0.02	상세조사에 의한 추가 손상
	이물질 노출	㎡	-	0.16	시공미흡	단면보수 (방청)	▲	0.16	상세조사에 의한 추가 손상
	재료분리	㎡	-	3.04	시공미흡	유지관리	▲	3.04	상세조사에 의한 추가 손상
신축이음	강재부식	m	4.00	5.00	우수접촉	유지관리	▲	1.00	공용 중 발생된 추가손상
	토사퇴적	㎡	2.00	16.00	강우 시 이물질퇴적	청소	▲	14.00	공용 중 발생된 추가손상
	단차	m	3.00	3.00	시공미흡 중차량통과	유지관리	-	-	-
	균열 (cw=0.2㎜ 이하)	m	7.35	-	건조수축 중차량통과	-	▽	7.35	보수로 인한 손상감소
	마모	㎡	3.52	3.52	시공미흡 중차량통과	유지관리	-	-	-
	박리	㎡	0.02	0.02	재질열화	단면보수	-	-	-

【표 3.115】 백운1교(춘천) 외관조사 결과요약(계속)

부재	손상내용	단위	기 진단 (2013년)	금회 진단 (2016년)	손상원인	대책	증·감 (▲·▽)		증감사유
교면포장	포장균열	m	7.00	23.50	중차량통과 차륜하중	실링보수	▲	16.50	공용 중 발생된 추가손상
	망상균열	㎡	8.95	15.40	중차량통과 차륜하중	소파보수	▲	6.45	공용 중 발생된 추가손상
	접속포장 균열(탈락)	㎡	0.60	-	-	-	▽	0.60	재포장 보수
	시공이음 균열	m	266.80	174.60	중차량통과 차륜하중	실링보수	▽	92.20	재포장 보수
	보수부 탈락	㎡	0.05	-	-	-	▽	0.05	재포장 보수
	소성변형(들뜸)	㎡	41.10	-	-	-	▽	41.40	재포장 보수
	포장마모	㎡	9.50	9.25	재질열화	소파보수	▽	0.25	재포장 보수
	포트홀	㎡	-	0.10	재질열화	소파보수	▲	0.10	공용 중 발생된 추가손상
배수시설	그레이팅 덮개 파손	개소	9	-	-	-	▽	9	재설치
	배수구 막힘	개소	3	-	-	-	▽	3	청소
	배수관 부식	개소	1	2	재질열화	유지관리	▲	1	공용 중 발생된 추가손상
방호 울타리	균열 (cw=0.2mm 이하)	m	21.30	85.40	건조수축	표면처리	▲	64.10	상세조사에 의한 신규 손상
	균열 (cw=0.3mm 이상)	m	54.10	66.50	건조수축	주입보수	▲	12.40	상세조사에 의한 신규 손상
	균열부 백태	m	-	9.40	건조수축 수분접촉	표면처리	▲	9.40	상세조사에 의한 신규 손상
	긁힘	㎡	0.04	0.10	차량충격	단면보수	▲	0.06	상세조사에 의한 신규 손상
	망상균열	㎡	1.00	1.25	건조수축	단면보수	▲	0.25	상세조사에 의한 신규 손상
	철근노출	㎡	-	0.07	시공미흡 피복부족	단면보수 (방청)	▲	0.07	상세조사에 의한 신규 손상
	파손	㎡	0.01	0.12	시공미흡 외부충격	단면보수	▲	0.11	상세조사에 의한 신규 손상
전선관 보호덮개	전선관 보호덮개 부식	m	2.00	7.70	재질열화	재설치	▲	5.70	공용 중 발생된 추가손상
	전선관 보호덮개 파손	m	10.00	10.30	재일열화	재설치	▲	0.30	공용 중 발생된 추가손상
결과분석	• 기 진단(2013년 시행)과의 비교·분석 결과, 균열, 박리, 백태, 파손 등의 결함은 공용 중 발생된 추가 및 간과된 손상으로 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 포장부는 과업기간 중 1, 2차로 길어깨 측 재포장보수를 통하여 손상물량이 감소한 것으로 나타났다. 금회 진단 시 손상들은 전반적으로 경미한 수준이며, 일부 보수가 필요하나 구조적인 손상은 없는 것으로 조사됨.								

3.6.2 내구성조사 결과요약

가. 백운1교(부산)

백운1교(부산)는 연장 180.93m, 폭 12.6m, 교대 2기, 교각 2기로 공용중인 강아치 교량으로 비파괴시험은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[교량편](2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 콘크리트 강도시험, 철근탐사시험, 탄산화깊이 측정, 염화물함유량 시험, 강재용접부 비파괴시험을 실시하였다. 금회 시험결과와 전차 정밀안전진단(2011년)과 비교, 분석한 결과는 【표 3.116】과 같다.

【표 3.116】 백운1교(부산) 내구성조사 결과요약

구 분	시험위치	전차 정밀안전진단		금회 정밀안전진단		설계강도 (MPa)
		반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	
비파괴 강도	상부구조	26.1~30.4	27.7~31.6	27.6~33.1	29.1~30.7	27.0
	하부구조	30.2~34.2	24.1~30.5	25.3~30.4	26.0~28.2	24.0
	고 찰	• 상부구조에서 27.6~33.1MPa, 하부구조에서 25.3~30.4MPa로 설계기준강도(상부 : 27.0MPa, 하부 : 24.0MPa)를 상회하는 것으로 나타남.. • 전차 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 비파괴 압축강도 측정값을 비교·분석한 결과, 측정위치에 따라 다소 차이는 발생하고 있으나 전반적으로 전차 정밀안전진단 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 측정개소 모두 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 전반적으로 양호하며, 강도저하는 발생되지 않은 것으로 판단됨.				

구 분	시험위치		전차 정밀안전진단		금회 정밀안전진단		설계치(mm)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
철근 탐사	캔틸레버	횡방향	105.0~140.0	31.0~57.0	107.5~135.0	40.0~48.0	125.0	50.0(42.0)	양호
			215.0~250.0	50.0~56.0	-	-	250.0	50.0	양호
	A1	수직근	225.0~270.0	116.0	-	-	250.0	100.0	양호
		수평근	145.0~170.0	116.0	-	-	150.0	100.0	양호
		수직근	-	-	115.0~120.0	96.0~97.0	125.0	(90.5)	양호
		수평근	-	-	150.0~155.0	110.0~111.0	150.0	(109.5)	양호
	A2	수직근	160.0~220.0	111.0	-	-	200.0	100.0	양호
		수평근	130.0~175.0	111.0	-	-	150.0	100.0	양호
		수직근	-	-	95.0~110.0	85.0~92.0	100.0	(87.5)	양호
		수평근	-	-	140.0	110.0~111.0	150.0	(112.5)	양호
	교각	수직근	95.0~120.0	75.0~81.0	90.0~115.0	86.0~91.0	100.0	100.0(87.5)	양호
		수평근	140.0~175.0	75.0~81.0	140.0~155.0	113.0~116.0	150.0	100.0(112.5)	양호
	고 찰		• 철근탐사결과, 각각의 철근간의 간격은 다소 편차를 보이고 있으나, 전체적인 평균 간격은 설계 간격과 유사한 것으로 조사됨. • 동일 부재여도 측정부위에 따른 설계 배근간격이 상이하여 직접적인 비교·분석이 가능하지 않은 측정개소가 발생하였으나, 전차 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 철근탐사결과 배근간격 및 피복두께가 설계기준에 따라 적정하게 배근된 것으로 검토됨.					

【표 3.116】 백운1교(부산) 내구성조사 결과요약(계속)

구 분	시험위치	전차 정밀안전진단		금회 정밀안전진단		비 고
		탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	
탄산화 깊이 측정	상부구조	2.0~4.0	29.0~52.0	2.0	39.0~41.0	철근부식 우려 없음
	하부구조	12.0~18.0	63.0~104.0	1.0~12.0	74.0~95.0	
	고 찰	• 실측 탄산화깊이 및 철근탐사 피복두께에 의한 탄산화 잔여깊이는 상부구조 39.0~41.0mm, 하부구조 74.0~95.0mm로 측정되어 측정개소 모두 잔여깊이 30mm이상으로 철근부식의 우려가 없는 a로 평가됨. • 전차 정밀안전진단(2011년) 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정결과 값에 다소 차이가 있으나, 측정개소 모두 탄산화에 의한 철근부식 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 적을 것으로 판단됨.				

구 분	시험위치	전차 정밀안전진단		금회 정밀안전진단		비 고
		Cl^-(%)	Cl^-(kg/m³)	Cl^-(%)	Cl^-(kg/m³)	
염화물 함유량 시험	상부구조	0.0311	0.705	0.0047	0.106	
	하부구조	0.0138~0.0261	0.313~0.592	0.0070~0.0257	0.158~0.581	
	고 찰	• 상부구조 0.106kg/m³, 하부구조 0.158~0.581kg/m³로 분석되어 상태평가 a~b로 부식발생 가능성이 낮은 것으로 평가됨. 현장조사 결과 철근부식에 의한 박락은 발생되지 않은 상태로 염화물에 의한 구조물의 손상은 없는 것으로 조사됨. • 전차 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 염화물 함유량 시험결과를 비교·분석한 결과, 재료시험 특성 및 시험위치의 차이 등에 의해 미소한 차이가 발생하였으나, 측정개소 모두 염화물 함유량 1.2kg/m³이하로 염화물에 의한 부식발생 가능성이 낮은 것으로 분석됨.				

구 분	시험위치	전차 정밀안전진단	금회 정밀안전진단	비 고
		초음파 이상유무	초음파 이상유무	
강재 초음파 탐상	거더 G1	합격 : 6개소	합격 : 6개소	
	거더 G2	합격 : 6개소	합격 : 6개소	
	고 찰	• 맞대기 용접부에 대해 거더별로 6개소씩 총 12개소에 대해 검사를 실시하였으며, 탐사결과 조사된 모든 위치에서 용접부에 대한 결함지시가 발생하지 않아 구조물의 용접상태는 양호한 것으로 평가됨. • 전차 정밀안전진단(2011년) 결과와 금회 맞대기 용접부 결함 유무 측정 결과, 용접부의 결함지시가 없는 상태로서 결함이 발생되지 않은 것으로 판단됨.		

나. 백운1교(춘천)

백운1교(춘천)는 연장 151.4m, 폭 12.5m, 교대 2기, 교각 2기로 공용중인 AR Girder 교량으로 비파괴시험은 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[교량편](2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 콘크리트 강도시험, 철근탐사시험, 탄산화깊이 측정, 염화물함유량 시험, 균열깊이 조사를 실시하였다. 금회 시험결과와 전차 정밀안전진단(2013년)과 비교, 분석한 결과는 【표 3.117】과 같다.

【표 3.117】 백운1교(춘천) 내구성조사 결과요약

구 분	시험위치	전차 정밀안전진단		금회 정밀안전진단		설계강도 (MPa)
		반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	
비파괴 강도	상부구조	28.2~30.6	28.3~33.2	27.5~30.6	28.1~30.1	27.0
	하부구조	26.6~27.9	25.3~27.3	25.4~31.2	24.6~25.7	24.0
	고 찰	• 상부구조에서 27.5~30.6MPa, 하부구조에서 24.6~31.2MPa로 설계기준강도(상부 : 27.0MPa, 하부 : 24.0MPa)를 상회하는 것으로 나타남. • 전차 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 비파괴 압축강도 측정값을 비교·분석한 결과, 측정위치에 따라 다소 차이는 발생하고 있으나 전반적으로 전차 정밀안전진단 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 측정개소 모두 설계기준강도를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 전반적으로 양호하며, 강도저하는 발생되지 않은 것으로 판단됨.				

구 분	시험위치		전차 정밀안전진단		금회 정밀안전진단		설계치(mm)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
철근 탐사	바닥판 하면	종방향	200.0	31.0~65.0	110.0~144.0	31.0~40.0	125.0	37.5	양호
		횡방향	200.0~223.0	53.0~75.0	180.0~222.0	60.0~70.0	200.0	62.5	양호
	거더	수직근	200.0~300.0	59.0~92.0	134.0~149.0	37.0~48.0	149.0	39.0	양호
		수평근	100.0~200.0	74.0~115.0	265.0~320.0	58.0~67.0	300.0	61.0	양호
	교대	수직근	150.0~200.0	86.0~102.0	185.0~221.0	90.0~97.0	200.0	90.5	양호
		수평근	-	-	190.0~210.0	108.0~117.0	200.0	109.5	양호
	P1 기둥	수직근	185.0	47.0	215.0~220.0	90.0~92.0	200.0	89.0	양호
		수평근	200.0	94.0	210.0	110.0	200.0	111.0	양호
	P2 지점 롤러	수직근	200.0	53.0	190.0~205.0	92.0~96.0	200.0	92.0	양호
		수평근	200.0	75.0	195.0~210.0	105.0~108.0	200.0	108.0	양호
	고 찰		• 철근탐사결과, 각각의 철근간의 간격은 다소 편차를 보이고 있으나, 전체적인 평균 간격은 설계 간격과 유사한 것으로 조사됨. • 전차 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 철근배근상태를 비교·분석한 결과, 동일 부재여도 측정부위에 따른 설계 배근간격이 상이하여 직접적인 비교·분석이 가능하지 않은 상태로 금회 측정한 철근배근상태를 기준으로 평가를 실시한 결과 배근간격 및 피복두께가 설계기준에 따라 적정하게 배근된 것으로 검토됨.						

【표 3.117】 백운1교(춘천) 내구성조사 결과요약(계속)

구 분	시험위치	전차 정밀안전진단		금회 정밀안전진단		비 고
		탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	
탄산화 깊이 측정	상부구조	4.2~5.3	26.8~53.7	4.5~6.1	31.5~34.9	철근부식 우려 없음
	하부구조	3.4~3.6	43.6~98.4	4.0~4.3	86.0~86.7	
	고 찰	• 실측 탄산화깊이 및 철근탐사 피복두께에 의한 탄산화 잔여깊이는 상부구조 31.5~34.9mm, 하부구조 86.0~86.7mm로 측정되어 측정개소 모두 잔여깊이 30mm이상으로 철근부식의 우려가 없는 a로 평가됨. • 전차 정밀안전진단(2013년) 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정결과 값에 다소 차이가 있으나, 측정개소 모두 탄산화에 의한 철근부식 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 적을 것으로 판단됨.				

구 분	시험위치	전차 정밀안전진단		금회 정밀안전진단		비 고
		Cl^-(%)	Cl^-(kg/m³)	Cl^-(%)	Cl^-(kg/m³)	
염화물 함유량 시험	상부구조	0.002	0.071	0.0167~0.1935	0.377~4.378	
	하부구조	0.001~0.003	0.024~0.047	0.0142~0.1917	0.321~4.338	
	고 찰	• 1차 조사(상부구조 4.378kg/m³, 하부구조 0.321~4.338kg/m³), 2차 조사(상부구조 0.377kg/m³, 하부구조1.443kg/m³)로 조사되었으며, 측정값의 차이는 신축이음부와 접하는 바닥판하면 및 교대 구체의 경우 강설시 제설대책인 동결방지제(염화칼슘)의 영향으로 염화물 측정치가 크게 분석된 것으로 판단됨. 노면수 유입이 되는 부위에 대해서는 염화물에 의한 철근부식 등의 구조물 손상 발생여부를 지속적으로 주의 관찰 필요함. • 전차 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 염화물 함유량 시험결과를 비교·분석한 결과, 재료시험 특성 및 시험위치, 공용기간 증가, 동결방지제인 염화칼슘의 영향으로 염화물 함유량의 증가가 있는 것으로 분석됨.				

구 분	시험위치	금회 정밀안전진단			비 고
		균열폭(mm)	균열깊이(mm)	피복두께(mm)	
균열 깊이 조사	P1 기둥	0.2	33.7	89.0	
		0.3	33.8	89.0	
	P2 지점롤러	0.2	32.4	92.0	
	고 찰	• 균열깊이는 32.4~33.8mm로서 하부구조 피복두께(89.0~92.0mm)에 미치지 않는 것으로 측정되어 철근부식에 의한 내구성 저하는 미미할 것으로 판단됨.			

제 4 장 시설물의 상태평가

4.1 개 요

4.2 상태평가 항목 및 기준

4.3 상태평가 결과

제 4 장 시설물의 상태평가

4.1 개 요

시설물의 상태평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 (2010.12)』의 상태평가 기준에 따라 실시하였다.

4.1.1 경간(지점)별 부재 상태평가 산정

개별부재에서 발견된 결함 및 손상에 대하여 평가한 후 각 상태평가 결과 중 최젓값을 개별부재 상태평가 결과로 산정하였다.

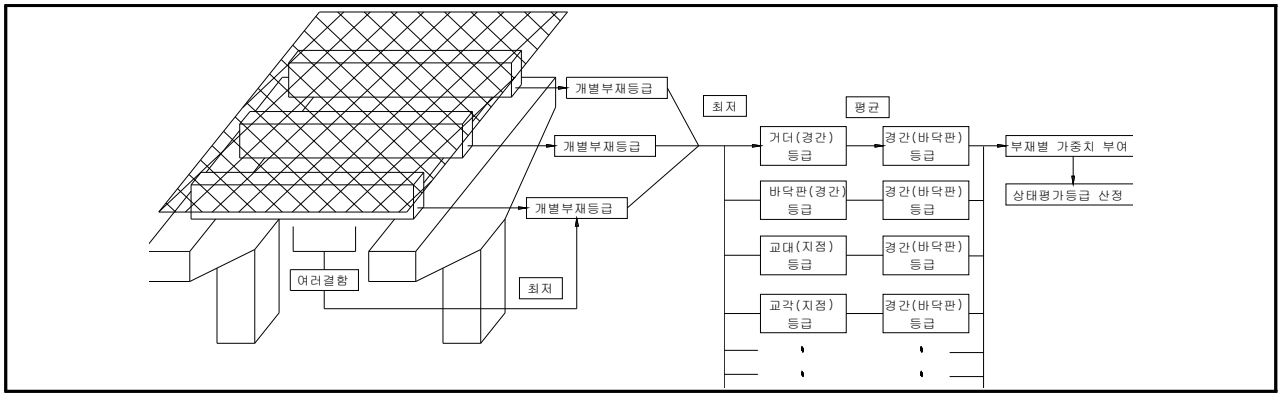
4.1.2 전체 시설물의 상태평가 결과 결정

구조형식이 같은 부재별로 평균하여 부재 상태평가를 결정한 후 구조형식에 따른 부재별 가중치를 적용하여 환산 결함도 점수를 구한다. 환산 결함도 점수는 시설물 전체의 상태평가 결과를 산정하기 위한 기준값이며, 【표 4.1】의 결함도 점수 범위에 따른 기준을 적용하여 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 구하였다.

【표 4.1】 결함도 점수 범위에 따른 기준

기 준	A	B	C	D	E
결함도 지수	0.10	0.20	0.40	0.70	1.00
결함도 범위	$0 \leq X < 0.13$	$0.13 \leq X < 0.26$	$0.26 \leq X < 0.49$	$0.49 \leq X < 0.79$	$0.79 \leq X$

4.1.3 상태평가 결과 산정 방법



【그림 4.1】 전체 교량의 상태평가 결과 산정 방법 예

4.1.4 구조형식에 따른 부재별 가중치

시설물 전체의 상태평가를 위한 기준값은 경간별로 평가된 부재의 평균값(결함도지수)에 부재별 가중치를 곱하여 경간별로 결함도점수를 구한 뒤 이 점수를 해당 경간별 가중치의 합으로 나누어 환산결함도 점수를 구한 후 환산 결함도 점수를 평균한 값이 된다. 구조형식에 부재별 가중치 및 결함도점수 범위에 따른 기준범위는 다음과 같다.

【표 4.2】 구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치

구분	결함도 평가항목		슬래브 교량	거더교량							라멘교		
				일반거더교			바닥판·거더 일체형		아치,트러스		거더 없음	거더있음 (복개구조물)	
				일반	2차부재 없음	바닥판 없음	강 바닥판	PSC 박스	콘크리트 바닥판	강 바닥판			
상부	바닥판		34	**18**	18	-	20	20	15		34	20	21
	주 형		-	**20**	25	37	18	20	23		-	21	23
	2차부재		-	**5**	-	11	5	3	5		-	5	-
하부	교대/교각		20	**13**	13	18	13		13		34	22	24
	기초		7	**7**	7	7	7		7		7	7	7
받침	교량받침		10	**9**	9	14	9		9		3	3	3
기타	신축이음		10	**9**	9	-	9		9		3	3	3
	교면포장		7	**7**	7	-	7		7		7	7	7
	배수시설		3	**3**	3	-	3		3		3	3	3
	방호벽/중분대		2	**2**	2	6	2		2		2	2	2
콘크리트	탄산화	상부	2(4)	**2**(4)		-	-	2(4)	2(4)	-	4(7)		
		하부	2(3)	**2**(3)		4(7)	4(7)	2(3)	2(3)	4(7)			
	염화물	상부	2(0)	**2**(0)		-	-	2(0)	2(0)	-	3(0)		
		하부	1(0)	**1**(0)		3(0)	3(0)	1(0)	1(0)	3(0)			

주) ( ) : 정밀점검 시 적용 가중치

주) 기타시설물(신축이음, 교면포장, 배수시설, 난간/연석)이 없는 경우, 기타시설물에 할당된 가중치는 바닥판의 가중치에 포함시킨다.

4.2 상태평가 항목 및 기준

4.2.1 부재별 상태평가 적용 범위

부재별 상태평가 기준은 교량의 거더와 가로보를 분리하고, 콘크리트의 탄산화와 염화물에 대한 평가항목을 포함하여 세분화하였으며, 아래의 표와 같이 부재별 상태평가 기준을 부재의 중요도를 감안하여 차등화 함으로써 가능한 한 전체 상태평가 기준과 부합하도록 조정 하였다.

교량의 안전에 직접적인 영향을 미치는 바닥판, 거더, 하부구조 및 교량받침은 평가기준을 a~e로 범위를 적용하고, 내구성에 영향을 미치는 신축이음, 배수시설, 교면포장과 2차부재인 가로보와 세로보는 a~d로 범위를 조정하였다.

【표 4.3】 부재별 상태평가 적용 범위

부재의 분류		차등 적용범위
상부구조	바닥판, 거더	a, b, c, d, e
	2차부재 (가로보 및 세로보)	a, b, c, d
하부구조	교대 및 교각, 기초	a, b, c, d, e
받침	교량받침	a, b, c, d, e
기타부재	신축이음, 난간 및 연석, 배수시설, 교면포장	a, b, c, d
콘크리트 재료	탄산화, 염화물	a, b, c, d

부재별 상태평가는 전체 수량에 대한 손상 수량의 비율에 의해 평가하는 정량적 평가와 시설물의 상태에 대한 점검자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행하며, 정성적 평가시 점검자에 의한 편차를 줄이기 위해 손상수량 및 손상현황에 대한 정도를 정확히 파악하여야 한다.

4.2.2 부재별 상태평가 기준

가. 콘크리트 바닥판

【표 4.4】 콘크리트 바닥판 상태평가 기준

기준	균 열		열화 및 손상
	1방향 균열	2방향 균열	
a	• 균열폭 0.1㎜미만	• 망상균열폭 0.1㎜미만	• 없음
b	• 균열폭 0.1㎜이상 ~ 0.3㎜미만 • 균열율 2%미만	• 망상균열폭 0.1㎜ ~ 0.3㎜미만	• 표면 손상면적 2%미만
c	• 균열폭 0.3㎜이상 ~ 0.5㎜미만 • 균열율 2%이상 ~ 10%미만	• 망상균열폭 0.3㎜이상	• 표면 손상면적 2%이상 ~ 10%미만 • 철근부식 손상면적 2%미만 • 데크플레이트 박리 및 누수 발생
d	• 균열폭 0.5㎜이상 ~ 1.0㎜미만 • 균열율 10%이상 ~ 20%미만	• 망상균열의 진전으로 인한 콘크리트 박리 발생	• 표면 손상면적 10%이상 • 철근부식 손상면적 2%이상 • 데크플레이트 박리가 심하고 누수로 인한 부식 발생
e	• 균열폭 1.0㎜이상 • 균열율 20%이상	• 망상균열에 의한 박리가 심하여 펀칭파괴 발생 가능성이 있음	• 부식으로 인한 철근의 단면 감소가 심하여 바닥판의 안전성이 저하되는 경우

나. Steel Box Girder

【표 4.5】 Steel Box Girder 상태평가 기준

기준	모재 및 연결부 손상				표면열화
	부재 균열	변형, 파단	연결 볼트 이완, 탈락	용접연결부 결함	
a	• 없음	• 없음	• 없음	• 없음	• 없음
b	• 보조부재의 국부적 균열	• 보조부재의 국부적 변형	• 보조부재 2%미만	• 부분적 용접불 (기공, 슬래그, 언더컷)	• 도장탈락 면적 10%미만 • 부식발생 면적 2%미만
c	• 보조부재의 전반적 균열 • 주부재의 국부적 균열	• 보조부재의 전반적 변형 및 파단 • 주부재의 국부적 변형	• 보조부재 2%이상~ 10%미만 • 주부재 2% 미만	• 주부재의 심한 용접불량 (기공, 슬래그, 언더컷) • 부분적 용입부족, 용접누락	• 도장탈락 면적 10%이상 • 부식발생 면적 2%이상~10%미만
d	• 주부재의 전반적 균열	• 주부재의 전반적 변형 및 파단 • 좌굴에 의한 주부재 변형 • 주탑하단부 연결볼트 파단	• 보조부재 10%이상 • 주부재 2%이상~ 10%미만	• 인장플랜지 용접 연결부 용입부족및 용접누락으로인한 안전성 저하	• 부식발생 면적 10%이상 • 부식에 의한 단면 손상 면적 10%미만
e	• 균열이 주부재 단면의 20% 이상 진전	• 좌굴에 의한 과대변형 및 파단으로 주부재의 안전성 저하	• 주부재 10%이상	• 인장플랜지 용접 연결부 균열진전으로 인해 연결 기능 상실	• 부식에 의한 단면 손상 면적 10%이상

다. 철근콘크리트 거더

【표 4.6】 철근콘크리트 상태평가 기준

기준	균 열	열화 및 손상
a	• 균열폭 0.1㎜미만	• 없음
b	• 균열폭 0.1㎜이상 ~ 0.3㎜미만	• 표면 손상면적 2%미만
c	• 균열폭 0.3㎜이상 ~ 0.5㎜미만	• 표면 손상면적 2%이상 ~ 10%미만 • 철근부식 손상면적 2%미만
d	• 균열폭 0.5㎜이상 ~ 1.0㎜미만 • 내하력저하로 인한 휨균열 과다발생	• 표면 손상면적 10%이상 • 철근부식 손상면적 2%이상
e	• 균열폭 1.0㎜이상 • 휨균열 과다발생 및 과대처짐으로 인하여 거더의 안전성 저하	• 지점부 콘크리트 파손으로 인한 거더의 안전성 저하

라. 콘크리트 가로보

【표 4.7】 콘크리트 가로보 상태평가 기준

기준	균 열	열화 및 손상
a	• 균열폭 0.1㎜미만	• 없음
b	• 균열폭 0.1㎜이상 ~ 0.3㎜미만	• 표면 손상면적 2%미만
c	• 균열폭 0.3㎜이상 ~ 0.5㎜미만	• 표면 손상면적 2%이상 ~ 10%미만 • 철근부식 손상면적 2%미만
d	• 균열폭 0.5㎜이상	• 표면 손상면적 10%이상 • 철근부식 손상면적 2%이상
e	-	-

마. 강 가로보, 세로보

【표 4.8】 강 가로보, 세로보 상태평가 기준

기준	모재 및 연결부 손상				표면열화
	부재의 균열	변형, 파단	연결 볼트 이완, 탈락	용접연결부 결함	
a	• 없음	• 없음	• 없음	• 없음	• 없음
b	• 보조부재의 국부적 균열	• 보조부재의 국부적 변형	• 보조부재 2%미만	• 부분적 용접불 (기공, 슬래그, 언더컷)	• 도장탈락 면적 10%미만 • 부식발생 면적 2%미만
c	• 보조부재의 전반적 균열 • 주부재의 국부적 균열	• 주부재의 국부적 변형 • 변형 및 충격에 의한 손상발생	• 보조부재 2%이상~ 10%미만 • 주부재 2% 미만	• 주부재의 심한 용접불량 (기공, 슬래그, 언더컷) • 부분적 용입부족, 용접누락	• 도장탈락 면적 10%이상 • 부식발생 면적 2%이상~10%미만 • 부식에 의한 단면 손상 면적 2%미만
d	• 주부재의 전반적 균열	• 압축부 좌굴에 의한 변형 • 부재의 파단 발생	• 보조부재 10%이상 • 주부재 2%이상	• 인장플랜지 용접 연결부 용입부족및 용접 누락으로 인한 안전성 저하	• 부식발생 면적 10%이상 • 부식에 의한 단면 손상 면적 2%이상
e	-	-	-	-	-

바. 교대

【표 4.9】 교대 상태평가 기준

기준	균열, 변위	열화 및 손상
a	• 구체 균열폭 0.1㎜미만	• 없음
b	• 구체 균열폭 0.1㎜이상 ~ 0.3㎜미만	• 표면 손상면적 2%미만 • 앵커블록 내부 결로 발생
c	• 구체 균열폭 0.3㎜이상 ~ 0.5㎜미만 • 교대와 날개벽사이에 폭 1.0㎜이상의 균열발생	• 표면 손상면적 2%이상 ~ 10%미만 • 철근부식 손상면적 2%미만 • 앵커블록 내부 결로에 의한 체수
d	• 구체 균열폭 0.5㎜이상 ~ 1.0㎜미만 • 날개벽 기울음 및 손상 심화 (배면토 유출) • 기초의 부등침하로 인한 구체 기울음	• 표면 손상면적 10%이상 • 철근부식 손상면적 2%이상
e	• 구체 균열폭 1.0㎜이상 • 날개벽 전도 위험 있음 • 부등침하로 인한 교대 안전성 저하	• 코핑부 파손으로 인하여 거더의 탈락 가능성이 있음 • 심한 철근부식으로 인하여 교대의 안전성이 저하됨

사. 교각

【표 4.10】 교각 상태평가 기준

기준	균열, 변위	열화 및 손상
a	• 균열폭 0.1㎜미만	• 없음
b	• 균열폭 0.1㎜이상 ~ 0.3㎜미만	• 표면 손상면적 2%미만 • 앵커블록 내부 결로 발생
c	• 균열폭 0.3㎜이상 ~ 0.5㎜미만	• 표면 손상면적 2%이상 ~ 10%미만 • 철근부식 손상면적 2%미만
d	• 구체 균열폭 0.5㎜이상 ~ 1.0㎜미만 • 기초의 부등침하로 인한 구체 기울음	• 표면 손상면적 10%이상 • 철근부식 손상면적 2%이상
e	• 구체 균열폭 1.0㎜이상 • 부등침하로 인한 교대 안전성 저하	• 코핑부 파손으로 인하여 거더의 탈락 가능성이 있음 • 심한 철근부식으로 인하여 교대의 안전성이 저하됨

아. 교량받침

【표 4.11】 교량받침 상태평가 기준

기준	받침본체	받침 콘크리트
a	• 양호	• 양호
b	• 외부 도장탈락 및 부식 • 도장도색, 먼지 쌓임	• 부분적 박리, 탈락 등 손상
c	• 미끄럼판 부식 발생 • 부분적 변형, 고정장치 파손 및 이완	• 받침 콘크리트에 0.3㎜이상 균열 발생 • 박리, 탈락 등 손상으로 지지단면 감소, 기능상 장애
d	• 받침 본체 부식으로 인한 받침 신축거동 장애발생 • 받침 본체 파손 • 받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 미만	• 받침 콘크리트 파손 및 하부공동으로 받침의 탈락 및 침하 발생 가능성 있음
e	• 받침 신축기능 불량 인하여 거더 등 주부재의 파손 발생 • 받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 이상 • 작동불능 상태	-

자. 신축이음

【표 4.12】 신축이음 상태평가 기준

기준	본 체	후타재
a	• 없음	• 양호
b	• 토사, 이물질 퇴적 • 고무판 노후화	• 미세균열이 발생
c	• 물받이 미설치 또는 파손으로 부분적으로 누수 • 유간사이 이물질로 기능 불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화 • 고무판 균열, 볼트 또는 너트의 부분 탈락 • 누수로 인하여 신축이음 하부의 받침 및 코핑부에 이물질 퇴적 및 부식발생	• 균열이 50㎝이하의 간격으로 발생 • 국부적인 박리, 박락, 파손
d	• 강판유동 및 연결불량으로 이상음 발생 • 신축유간 밀착으로 인한 거동 불량 • 신축유간이 넓어 차량통행에 지장 초래 • 신축이음 본체 탈락, 파손 및 작동 불능	• 신축이음의 심한 파손 및 단차로 인하여 차량통행시 충격발생 • 파손 범위가 후타재 폭 이상으로 큼
e	-	-

차. 교면포장

【표 4.13】 교면포장 상태평가 기준

기준	포장불량		배수
a	• 미세균열	• 없음	• 없음
b	• 포장불량 2%미만	• 포장손상이 미미하여 주행에 영향 없음	• 배수구배 및 배수시설 불량에 의한 부분적 물고임
c	• 포장불량 2%이상~10%이상	• 포장손상으로 인하여 차량의 통행에 영향 있음	• 배수구배 및 배수시설 불량에 의한 물고임 발생으로 주행성 저하
d	• 포장불량 10%이상	• 전반적인 재포장이 필요한 상태	• 배수불량에 의한 물고임으로 통행차량의 안전성 저하
e	-	-	-

카. 배수시설

【표 4.14】 배수시설 상태평가 기준

기준	상태기준 설명
a	• 양호
b	• 다소의 퇴적물이 있으나 배수에는 이상 없음
c	• 배수시설의 상태불량, 길이부족 • 많은 퇴적물, 누수 • 누수로 인하여 구조물 부식 발생 • 배수관 유출구 위치가 부적절하여 하부통행에 따른 위험 초래
d	• 파손이나 노후화로 인하여 재설치가 필요한 상태
e	-

타. 난간 및 연석

【표 4.15】 난간 및 연석 상태평가 기준

기준	강재		콘크리트
a	• 양호	• 양호	• 양호
b	• 도장 불량 10%미만	• 고정장치 및 연결재의 이완이 국부적으로 발생	• 경미한 손상, 0.3㎜이하 균열
c	• 도장불량 10%이상 • 부식으로 인한 단면손상 10%미만	• 파손 및 탈락 10%미만	• 0.3㎜이상 균열 • 박리, 파손, 철근노출, 10%미만 • 철근부식손상 길이 2%미만
d	• 부식으로 인한 단면손상 10%이상	• 파손 및 탈락 10%이상 • 낙석으로 인한 손상발생 • 고정부 열화 및 손상으로 인한 전도의 위험이 있음(방음벽)	• 박리, 파손, 철근노출, 10%이상 • 철근부식손상 길이 2%이상
e	-	-	-

파. 탄산화

【표 4.16】 탄산화 상태평가 기준

기준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	• 30㎜이상	• 탄산화에 의한 부식발생 우려 없음
b	• 10㎜이상 ~ 30㎜미만	• 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음
c	• 0㎜이상 ~ 10㎜미만	• 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 0㎜미만	• 철근부식 발생
e	-	-

하. 염화물

【표 4.17】 염화물 상태평가 기준

기준	전염화물 이온량	철근부식의 가능성
a	• 염화물 ≤ 0.3kg/㎥	• 염화물에 의한 부식발생 우려 없음
b	• 0.3kg/㎥ < 염화물 < 1.2kg/㎥	• 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	• 1.2kg/㎥ ≤ 염화물 < 2.5kg/㎥	• 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 염화물 ≥ 2.5kg/㎥	• 철근부식 발생
e	-	-

4.3 상태평가 결과

4.3.1 백운1교(부산)

가. 각 부재별 상태평가 결과

1) 콘크리트 바닥판

【표 4.18】 백운1교(부산) 콘크리트 바닥판 상태평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	1방향 균열				2방향 균열				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭 (㎜)		균열율 (%)		균열폭 (㎜)		균열율 (%)		표면손상 면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
S1	544.1	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	1.05	b	없음	a	b
S2	863.7	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.64	b	없음	a	b
S3	544.1	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	1.63	b	없음	a	b

2) 거더(Steel Box Girder)

【표 4.19】 백운1교(부산) 거더(Steel Box Girder) 상태평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	모재 및 연결부 손상								열화 및 손상				평가 결과
		부재 균열		변형, 파단		연결볼트 이완, 탈락(%)		용접연결부 결함		도장손상 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	1610.0	없음	a	없음	a	없음	a	부분적 용접불량	b	0.01	b	0.89	b	b
S2	2576.0	없음	a	없음	a	없음	a	부분적 용접불량	b	0.46	b	1.39	b	b
S3	1610.0	없음	a	없음	a	없음	a	부분적 용접불량	b	0.52	b	0.69	b	b

3) 강 가로보와 세로보

【표 4.20】 백운1교(부산) 강 가로보와 세로보 상태평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	모재 및 연결부 손상								열화 및 손상				평가 결과
		부재 균열		변형, 파단		연결볼트 이완, 탈락(%)		용접연결부 결함		도장손상 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	1520.8	없음	a	국부적 (보조부재)	b	없음	a	없음	a	0.02	b	0.73	b	b
S2	2359.1	없음	a	국부적 (보조부재)	b	없음	a	없음	a	0.31	b	1.30	b	b
S3	1520.8	없음	a	국부적 (보조부재)	b	없음	a	없음	a	0.50	b	1.23	b	b

4) 교대 및 교각

① 콘크리트 교대

【표 4.21】 백운1교(부산) 콘크리트 교대 상태평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭 (㎜)		변위		표면 손상면적 (%)		철근부식 손상면적 (%)		
A1	98.0	0.2	b	없음	a	4.17	c	없음	a	c
A2	156.2	0.3	c	없음	a	0.83	b	없음	a	c

② 콘크리트 교각

【표 4.22】 백운1교(부산) 콘크리트 교각 상태평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭 (㎜)		변위		표면 손상면적 (%)		철근부식 손상면적 (%)		
P1	427.9	0.1	b	없음	a	0.37	b	없음	a	b
P2	257.7	0.1	b	없음	a	0.50	b	없음	a	b

5) 기초

【표 4.23】 백운1교(부산) 기초 상태평가 결과

구분	기초(직접, 말뚝, 케이슨) 손상				지반의 안정성				평가 결과
	균열폭 (㎜)		단면손상 (파손, 철근노출 등)		세굴 여부		침하 (㎜)		
A1, A2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P1, P2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q

6) 교량받침

【표 4.24】 백운1교(부산) 교량받침 상태평가 결과

구분	받침 본체				받침 콘크리트				평가 결과
	탄성받침		강재받침		균열폭 (㎜)		박리, 탈락, 파손 등		
A1	-	-	도장부식	b	0.1	b	양호	a	b
P1	-	-	도장부식	b	0.1	b	양호	a	b
P2	-	-	도장부식	b	0.1	b	양호	a	b
A2	-	-	도장부식	b	0.1	b	양호	a	b

7) 신축이음

【표 4.25】 백운1교(부산) 신축이음 상태평가 결과

구분	본체		받침 콘크리트				평가 결과
			균열		박리, 탈락, 파손 등		
Exp.J1(A1)	토사퇴적 및 하부누수	c	미세균열	b	없음	a	c
Exp.J2(A2)	토사퇴적 및 하부누수	c	미세균열	b	국부적 파손	c	c

8) 교면포장

【표 4.26】 백운1교(부산) 교면포장 상태평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	포장불량				배수		평가 결과
		포장불량 면적(%)		포장손상에 따른 주행성 및 통행성				
S1	589.4	없음	a	양호	a	없음	a	a
S2	935.6	없음	a	양호	a	없음	a	a
S3	589.4	없음	a	양호	a	없음	a	a

주) 백운1교 부산방향은 전면재포장(2016.09)을 실시한 상태로 상태평가에 반영함.

9) 배수시설

【표 4.27】 백운1교(부산) 배수시설 상태평가 결과

구분	평가내용	평가결과
S1	다소의 퇴적물이 있으나 배수에는 이상 없음	b
S2	다소의 퇴적물이 있으나 배수에는 이상 없음	b
S3	다소의 퇴적물이 있으나 배수에는 이상 없음	b

10) 난간 및 연석

【표 4.28】 백운1교(부산) 난간 및 연석 상태평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	콘크리트						강재				평가결과
		균열폭 (㎜)		박리, 파손, 철근노출(%)		철근부식 손상면적(%)		도장불량 면적(%)		부식손상 면적(%)		
S1	260.0	0.3	c	경미한손상	b	양호	a	-	-	-	-	c
S2	412.6	0.3	c	경미한손상	b	양호	a	-	-	-	-	c
S3	260.0	0.3	c	경미한손상	b	양호	a	-	-	-	-	c

11) 탄산화

【표 4.29】 백운1교(부산) 탄산화 상태평가 결과

구분		탄산화 잔여 깊이(㎜)	평가기준	평가결과
상부 구조	S1	39.0	• a : 30㎜ 이상 • b : 10㎜이상~30㎜미만 • c : 0㎜이상~10㎜미만 • d : 0㎜ 미만	a
	S2	41.0		a
하부 구조	A1	95.0		a
	P1	82.0		a
	P2	74.0		a
	A2	82.0		a

12) 염화물

【표 4.30】 백운1교(부산) 염화물 상태평가 결과

구분		전염화물 이온량(kg/㎥)	평가기준	평가결과
상부 구조	S2	0.106	• a : 염화물 ≤ 0.3kg/㎥ • b : 0.3kg/㎥ < 염화물 < 1.2kg/㎥ • c : 1.2kg/㎥ ≤ 염화물 < 2.5kg/㎥ • d : 염화물 ≥ 2.5kg/㎥	a
하부 구조	A1	0.581		b
	P1	0.158		a

나. 시설물 전체 상태평가 결과

1) 상태평가 결과표

【표 4.31】 백운1교(부산) 상태평가 결과

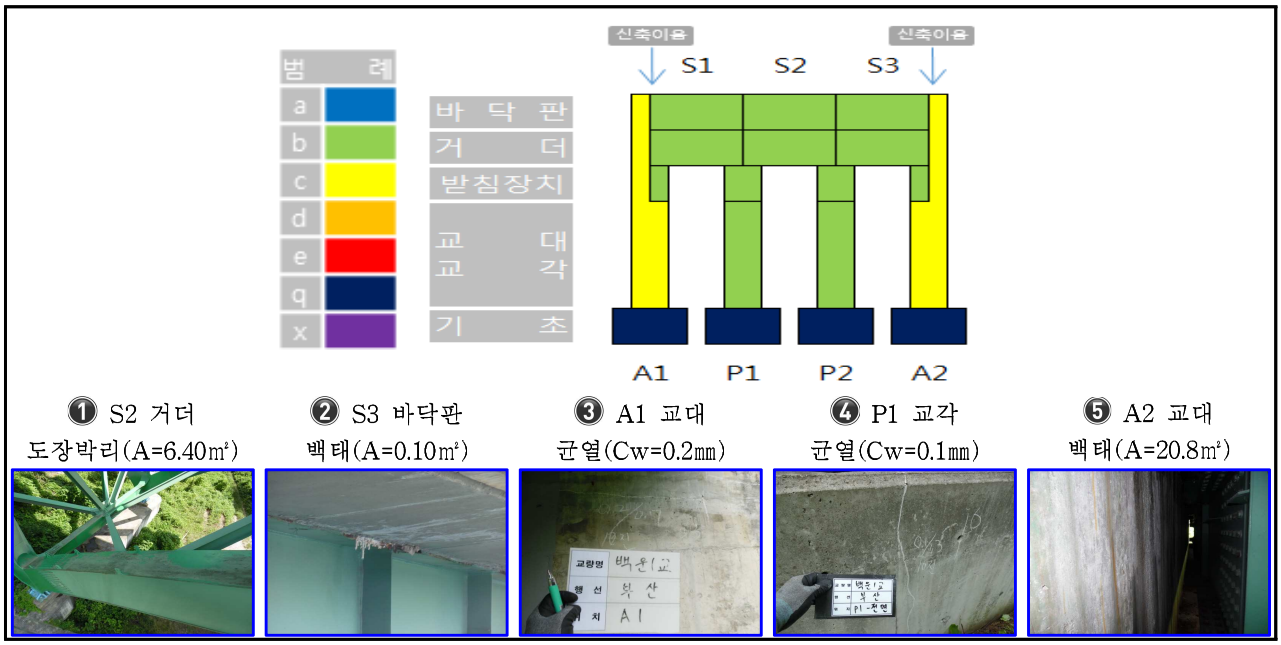
부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성 요소			
번호	구조 형식	바닥판	거더		포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	탄산화 (상)	탄산화 (하)	염화물 (상)	염화물 (하)
S1 (A1)	강아치교	b	b	b	a	b	c	c	b	c	q	a	a	×	b
S2 (P1)	강아치교	b	b	b	a	b	c	×	b	b	q	a	a	a	a
S3 (P2)	강아치교	b	b	b	a	b	c	×	b	b	q	×	a	×	×
A2	강아치교							c	b	c	q	×	a	×	×
평균		0.200	0.200	0.200	0.100	0.200	0.400	0.400	0.200	0.300	0.000	0.100	0.100	0.100	0.150
가중치		15	23	5	7	3	2	9	9	20	0	2	2	2	1
(평균×가중치) /가중치 합		0.030	0.046	0.010	0.007	0.006	0.008	0.036	0.018	0.060	0.000	0.002	0.002	0.002	0.002

기준	a	b	c	d	e
결함도 범위	0≤x <0.13	0.13≤x <0.26	0.26≤x <0.49	0.49≤x <0.79	0.79≤x

환산결함도점수	0.229
상태평가 결과	b

2) 상태평가 결과

본 교량에 대한 종합평가는『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[교량편](2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』을 토대로 실시하였으며 상태평가 결과『기능수행에 영향이 없으나 일부 보수가 필요한 상태』인 “b”로 평가되었다.



【그림 4.2】 백운1교(부산) 상태평가 결과

다. 전회 점검 및 진단 결과와의 비교

【표 4.32】 백운1교(부산) 상태평가 전회 점검 및 진단 결과와의 비교·분석

구분	일자	전체		바닥판		거더		2차 부재		교면포장		배수시설		난간/연석		신축이음	
		결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과
안전진단	2011.11	0.235	b	0.200	b	0.200	b	0.200	b	0.400	c	0.200	b	0.200	b	0.400	c
안전진단	2016.12	0.229	b	0.200	b	0.200	b	0.200	b	0.100	a	0.200	b	0.400	c	0.400	c

구분	일자	교량받침		교대/교각		기초		탄산화(상부)		탄산화(하부)		염화물(상부)		염화물(하부)	
		결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과
안전진단	2011.11	0.175	b	0.225	b	N	Q	0.200	b	0.200	b	0.200	b	0.200	b
안전진단	2016.12	0.200	b	0.300	c	N	Q	0.100	a	0.100	a	0.100	a	0.150	b

상태평가 결과 분석

- 백운1교(부산)은 정밀안전진단(2011)을 시행하였으며, 상태평가 결과 “b”로 분류된 교량으로 금회 실시된 정밀안전진단에서도 상태평가 “b”로 평가됨.
- 금회 정밀안전진단 시 신규손상이 조사되었지만 구조물의 안전성에 영향을 미치는 손상이 아니므로 신규손상에 따른 결함도 영향은 미미함
- 금회 정밀안전진단 결함도 점수의 증감 사유는 다음과 같다.

- 결함도 점수 증가 사유
  ⇨ 공용년수 증가에 따른 신규손상 발생 및 배수시설 고정핀 파손 및 탈락 발생
- 결함도 점수 감소 사유
  ⇨ 2016.09 교면포장(전면 재포장) 실시로 인해 결함도 점수 감소

4.3.2 백운1교(춘천)

가. 각 부재별 상태평가 결과

1) 콘크리트 바닥판

【표 4.33】 백운1교(춘천) 콘크리트 바닥판 상태평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	1방향 균열				2방향 균열				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭 (㎜)		균열율 (%)		균열폭 (㎜)		균열율 (%)		표면손상 면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
S1	445.0	0.2	b	0.04	b	0.2	b	0.63	b	1.36	b	없음	a	b
S2	1001.0	0.1	b	없음	a	없음	a	없음	a	0.21	b	없음	a	b
S3	445.0	0.2	b	0.17	b	0.1	b	0.07	b	0.91	b	없음	a	b

2) 철근콘크리트 거더

【표 4.34】 백운1교(춘천) 철근콘크리트 거더 상태평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	균열		열화 및 손상				평가 결과
		균열폭(㎜)		표면 손상면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
S1	1820.0	0.7	c	1.79	b	없음	a	c
S2	5160.0	0.7	c	0.56	b	없음	a	c
S3	1820.0	0.5	c	1.15	b	없음	a	c

주) 아치리브 복부(시공이음부)에 균열폭 0.5㎜ 이상의 균열이 발생하였으나, 선타설부와 후타설부와의 건조수축 및 구속력에 의한 비구조적인 균열로 판단되어 “c”로 상향 평가함.

3) 콘크리트 가로보

【표 4.35】 백운1교(춘천) 콘크리트 가로보 상태평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	균열		열화 및 손상				평가 결과
		균열폭(㎜)		표면 손상면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
S1	238.0	없음	a	없음	a	없음	a	a
S2	557.0	없음	a	없음	a	없음	a	a
S3	238.0	없음	a	없음	a	없음	a	a

4) 교대 및 교각

① 콘크리트 교대

【표 4.36】 백운1교(춘천) 콘크리트 교대 상태평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭 (㎜)		변위		표면 손상면적 (%)		철근부식 손상면적 (%)		
A1	92.0	0.2	b	없음	a	1.11	b	없음	a	c
A2	91.0	0.2	b	없음	a	0.22	b	없음	a	c

② 콘크리트 교각

【표 4.37】 백운1교(춘천) 콘크리트 교각 상태평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭 (㎜)		변위		표면 손상면적 (%)		철근부식 손상면적 (%)		
P1	259.0	0.2	b	없음	a	0.37	b	없음	a	b
P2	195.0	0.2	b	없음	a	0.04	b	없음	a	b

5) 기초

【표 4.38】 백운1교(춘천) 기초 상태평가 결과

구분	기초(직접, 말뚝, 케이슨) 손상				지반의 안정성				평가 결과
	균열폭 (㎜)		단면손상 (파손, 철근노출 등)		세굴 여부		침하 (㎜)		
A1, A2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P1, P2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q

6) 교량받침

【표 4.39】 백운1교(춘천) 교량받침 상태평가 결과

구분	받침 본체				받침 콘크리트				평가 결과
	탄성받침		강재받침		균열폭 (㎜)		박리, 탈락, 파손 등		
A1	-	-	도장부식 및 변형	b	0.1	b	부분적 손상	b	b
P1	-	-	양호	a	양호	a	양호	a	a
P2	-	-	도장부식	b	0.1	b	부분적 손상	b	b
A2	-	-	도장부식	b	0.2	b	부분적 손상	b	b

7) 신축이음

【표 4.40】 백운1교(춘천) 신축이음 상태평가 결과

구분	본체		받침 콘크리트				평가 결과
			균열		박리, 탈락, 파손 등		
Exp.J1(A1)	토사퇴적	c	미세균열	b	표면마모	b	b
Exp.J2(A2)	토사퇴적	c	미세균열	b	표면마모	b	b

8) 교면포장

【표 4.41】 백운1교(춘천) 교면포장 상태평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	포장불량				배수		평가 결과
		포장불량 면적(%)		포장손상에 따른 주행성 및 통행성				
S1	445.0	0.79	b	주행 영향 없음	b	없음	a	b
S2	1001.0	1.01	b	주행 영향 없음	b	없음	a	b
S3	445.0	없음	a	양호	a	없음	a	a

9) 배수시설

【표 4.42】 백운1교(춘천) 배수시설 상태평가 결과

구분	평가내용	평가결과
S1	양호	a
S2	양호	a
S3	양호	a

10) 난간 및 연석

【표 4.43】 백운1교(춘천) 난간 및 연석 상태평가 결과

구분	부재 면적 (㎡)	콘크리트						강재				평가결과
		균열폭 (㎜)		박리, 파손, 철근노출(%)		철근부식 손상면적(%)		도장불량 면적(%)		부식손상 면적(%)		
S1	183.7	0.3	c	0.01	b	양호	a	-	-	-	-	c
S2	412.8	0.3	c	0.02	b	양호	a	-	-	-	-	c
S3	183.7	0.5	c	0.05	b	양호	a	-	-	-	-	c

11) 탄산화

【표 4.44】 백운1교(춘천) 탄산화 상태평가 결과

구분		탄산화 잔여 깊이(㎜)	평가기준	평가결과
상부구조	S2	31.5	• a : 30㎜ 이상 • b : 10㎜이상~30㎜미만 • c : 0㎜이상~10㎜미만 • d : 0㎜ 미만	a
	S3	34.9		a
하부구조	P1	86.0		a
	A2	86.7		a

12) 염화물

【표 4.45】 백운1교(춘천) 염화물 상태평가 결과

구분		전염화물 이온량(kg/㎥)	평가기준	평가결과
상부구조	S3	4.378	• a : 염화물 ≤ 0.3kg/㎥ • b : 0.3kg/㎥ < 염화물 < 1.2kg/㎥ • c : 1.2kg/㎥ ≤ 염화물 < 2.5kg/㎥ • d : 염화물 ≥ 2.5kg/㎥	d
하부구조	P1	0.321		b
	A2	4.338		d

나. 시설물 전체 상태평가 결과

1) 상태평가 결과표

【표 4.46】 백운1교(춘천) 상태평가 결과

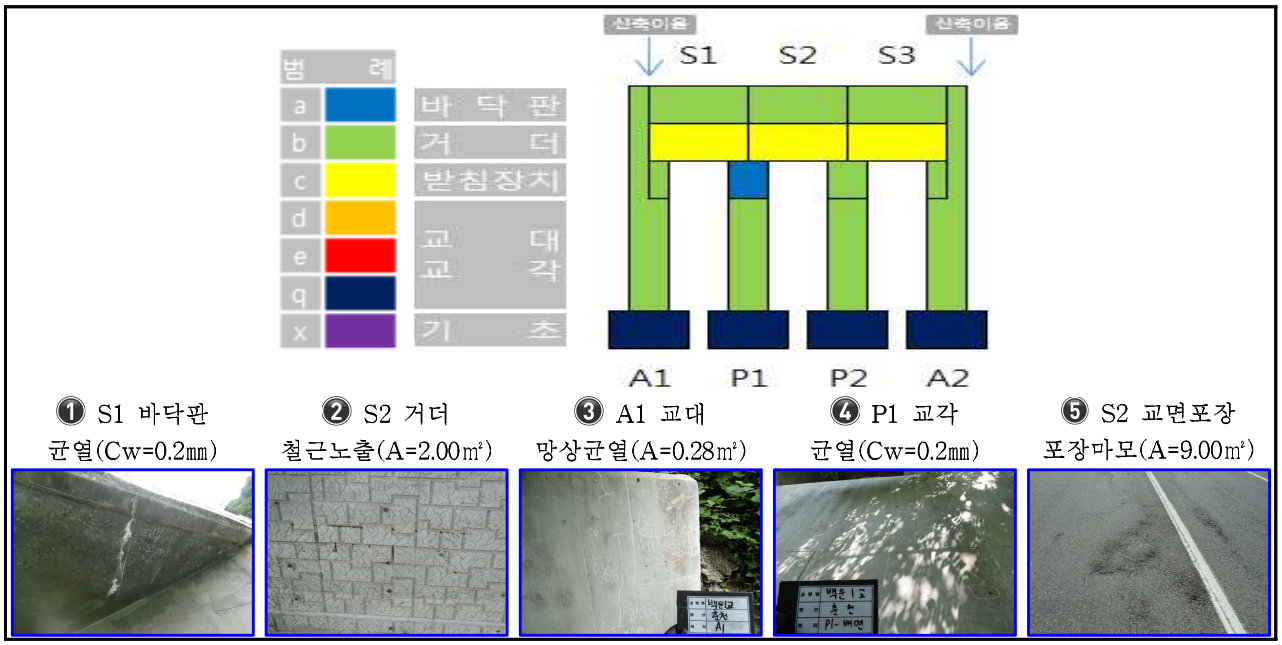
부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성 요소			
번호	구조 형식	바닥판	거더		포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	탄산화 (상)	탄산화 (하)	염화물 (상)	염화물 (하)
S1 (A1)	AR 거더	b	c	a	b	a	c	b	b	b	q	×	×	×	×
S2 (P1)	AR 거더	b	c	a	b	a	c	×	a	b	q	a	a	×	b
S3 (P2)	AR 거더	b	c	a	a	a	c	×	b	b	q	a	×	d	×
A2	AR 거더							b	b	b	q	×	a	×	d
평균		0.200	0.400	0.100	0.167	0.100	0.400	0.200	0.175	0.200	0.000	0.100	0.100	0.700	0.450
가중치		15	23	5	7	3	2	9	9	20	0	2	2	2	1
(평균×가중치) /가중치 합		0.030	0.092	0.005	0.012	0.003	0.008	0.018	0.016	0.040	0.000	0.002	0.002	0.014	0.005

기준	a	b	c	d	e
결함도 범위	0≤x <0.13	0.13≤x <0.26	0.26≤x <0.49	0.49≤x <0.79	0.79≤x

환산결함도점수	0.247
상태평가 결과	b

2) 상태평가 결과

본 교량에 대한 종합평가는『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[교량편](2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』을 토대로 실시하였으며 상태평가 결과『기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태』인 “b”로 평가되었다.



【그림 4.3】 백운1교(춘천) 상태평가 결과

다. 전회 진단 결과와의 비교

【표 4.47】 백운1교(춘천) 상태평가 전회 진단 결과와의 비교·분석

구분	일자	전체		바닥판		거더		2차 부재		교면포장		배수시설		난간/연석		신축이음	
		결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과
안전진단	2013.12	0.257	b	0.200	b	0.400	c	0.100	a	0.270	c	0.400	c	0.400	c	0.200	b
안전진단	2016.12	0.247	b	0.200	b	0.400	c	0.100	a	0.167	b	0.100	a	0.400	c	0.200	b

구분	일자	교량받침		교대/교각		기초		탄산화(상부)		탄산화(하부)		염화물(상부)		염화물(하부)	
		결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과
안전진단	2013.12	0.180	b	0.250	b	N	Q	0.150	b	0.100	a	0.100	a	0.100	a
안전진단	2016.12	0.175	b	0.200	b	N	Q	0.100	a	0.100	a	0.700	d	0.450	c

상태평가 결과 분석

- 백운1교(춘천)는 정밀안전진단(2008, 2013)을 시행하였으며, 상태평가결과 “b“로 분류된 교량으로 금회 실시된 정밀안전진단에서는 상태평가 “b“로 평가됨.
- 금회 정밀안전진단시 상세조사에 따른 주요부재(하부구조)의 신규손상 발생 및 신축이음 하부누수 반영으로 상태저하가 발생된 것으로 판단됨.
- 금회 정밀안전진단 결함도 점수의 증감 사유는 다음과 같음.
  - 결함도 점수 증가 사유
    ⇨ 교대(A1), 교각(P1) 신규손상 발생, 철근콘크리트구간 전염화물량 증가.
  - 결함도 점수 감소 사유
    ⇨ 2016.10 : 교면포장(부분 재포장) 실시 및 배수구 막힘(청소), 2016.12 : 교각 0.3mm 균열, 교각 철근노출, 교대 백태, 신축이음부 유도배수관, 후타재 균열의 보수로 인해 결함도 점수 감소.

제 5 장 시설물의 안전성평가

5.1 개 요
5.2 백운1교(부산) 안전성 평가
5.3 백운1교(춘천) 안전성 평가

제 5 장 시설물의 안전성평가

5.1 개 요

구조물의 안전성평가는 그 기능과 역할을 유지할 수 있는 구조적 및 사용성의 안전성에 대한 확보여부를 평가하는 것이므로 설계자료 검토, 시공방법과 사용재료에 대한 검토, 보수·보강이력 분석, 부재별 상태평가 결과 및 각종 계측·측정·조사·시험 등을 통한 기초자료를 확보하여 이를 바탕으로 구조검토를 실시하고 안전성 여부를 판단하여야 한다.

안전성평가는 도로교설계기준의 규정에 따라 허용응력법 및 강도설계법에 따라 검토하였다. 즉, 상부구조의 Steel Box Girder 검토는 허용응력법, 바닥판 및 하부구조는 강도설계법에 근거하여 수행하였다.

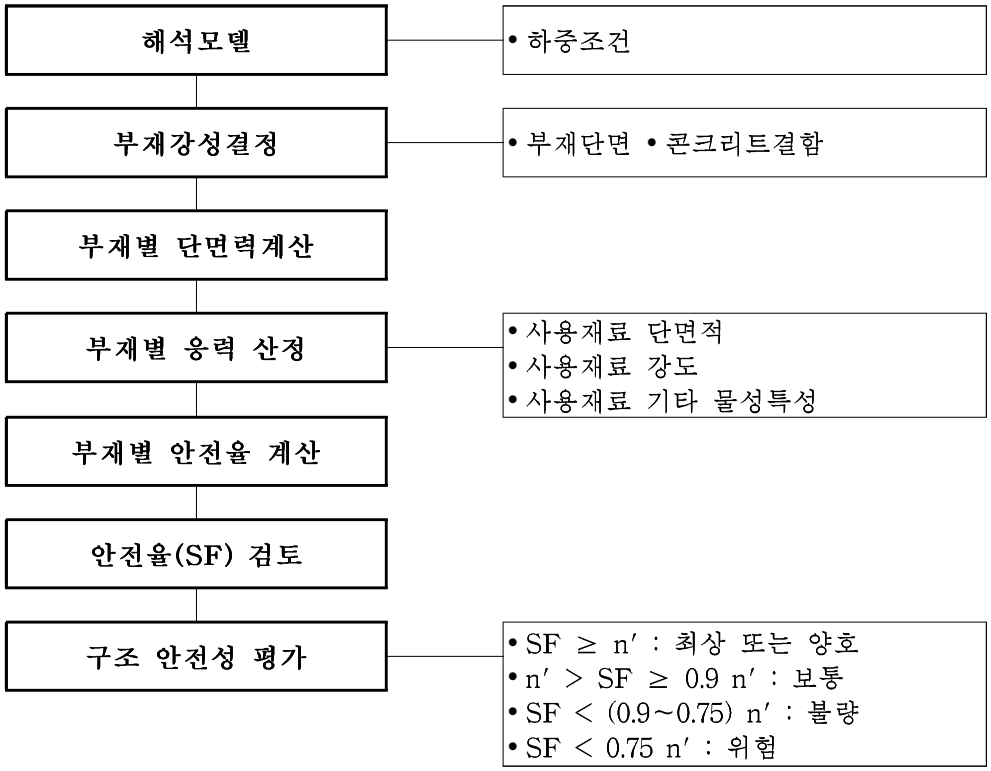
안전성평가 등급은 각 구조요소의 검토방법을 토대로『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에서 제시하는 등급기준을 적용하였으며, 안전성평가 등급기준은 아래와 같다.

【표 5.1】 구조물의 안전성평가 기준

기 준	안전성평가 기준	비 고
A	SF ≥ 1	• 허용응력 설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{f_a}{f_d + i}$ • 강도설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\varphi M_n}{M}$
B	0.9 ≤ SF < 1 공용내하력이 설계하중보다 크게 평가된 경우	
C	0.9 ≤ SF < 1	
D	0.75 ≤ SF < 0.9	
E	SF < 0.75	

주) 기본내하력은 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010)에 근거하여 평가함.

5.1.1 안전성평가의 방법



【그림 5.1】 안전성평가의 방법

5.1.2 기본내하율(RF) 및 기본내하력(Po) 산정

【표 5.2】 기본내하율(RF) 및 기본내하력(Po) 산정

구 분	기본내하율(RF) 및 기본내하력(Po) 산정	적 용
허용응력법	• 기본내하율 : RF = $\frac{f_a - f_d}{f_l(1+i)}$ 여기서, f_a = 허용응력 f_d = 지속하중에 의한 발생응력 $f_l(1+i)$ = 활하중에 의한 발생응력(충격포함) • 기본내하력 : Po = Pr × RF 여기서, Pr = 설계활하중	거 더
강도설계법	• 기본내하율 : RF = $\frac{\varphi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l(1+i)}$ 여기서, ΦM_n = 극한 저항모멘트 M_d = 지속하중에 의한 모멘트 $M_l(1+i)$ = 활하중에 의한 모멘트(충격포함) γ_l = 활하중 계수 = 2.15 γ_d = 고정하중 계수 = 1.30 • 기본내하력 : Po = Pr × RF 여기서, Pr = 설계활하중	바닥판, 하부구조

5.2 백운1교(부산) 안전성평가

5.2.1 개 요

백운1교(부산)는 총연장 180.93m, 총폭 12.6m의 3경간 연속 Steel Arch교량으로서, 좌·우측의 주거더와 가로보, 아치리브와 브레이싱 및 행어가 복합적으로 구성되었으며, 하부구조는 직접(전면) 기초위에 벽식교각과 역T형 교대로 시공되어 있다.

가. 검토구간 선정 및 사유

안전성 평가는 교량의 설계개념을 따라 일관성이 유지되도록 평가하는 것을 원칙으로 하고, 최근 도입되고 있는 신뢰성이론에 의한 평가방법은 충분한 통계자료가 뒷받침되어야 하므로 평가방법은 강교거더는 허용응력법에 의하여, 콘크리트 바닥판 및 교각 부재검토는 강도설계법에 의하며, 전차 정밀안전진단(2011년)에서 수행한 안전성평가 자료를 활용하고, 금회 정밀안전진단(2016년)와 구조적 변화상태에 대하여 비교 하였다.

나. 구조검토 조건

본 교량은 설계 시와 현재의 설계기준을 비교하여 현 기준에 의하여 안전성 검토 및 내하력 평가를 실시하며, 사용재료의 특성 및 철근간격, 피복두께 등을 설계도서와 현장측정 값을 비교하여 적용하였다. 설계시와 금차 정밀안전진단의 비교표는 다음【표 5.3】과 같다.

1) 구조검토 조건 비교

【표 5.3】 백운1교(부산) 구조검토 조건 비교

구 분		2000년 설계	2011년 진단	2016년 진단
설계 기준	적용년도	• 콘크리트 표준시방서(1996) • 도로교 표준시방서(1996)	• 콘크리트 구조설계기준(2007) • 도로교 설계기준(2010)	• 콘크리트 구조기준(2012) • 도로교 설계기준(2010)
	주 요 하중계수	• 콘크리트 하중조합(1.3D+2.15L)	• 콘크리트 하중조합(1.3D+2.15L)	• 콘크리트 하중조합(1.3D+2.15L)
상부구조 적용하중	바닥판	• 고정하중+활하중	• 고정하중+활하중+차량충돌하중+풍하중	• 고정하중+활하중+차량충돌하중+풍하중
	거 더	• 고정하중+활하중+풍화중+온도변화	• 고정하중+활하중+풍화중+온도변화	• 고정하중+활하중+풍하중+온도변화
비교결과		• 설계시 구조검토 조건비교 결과, 교각이 매우 낮고 상대적 높이차이도 없으며, 기초가 경암에 위치한 점을 고려하여 설계 시와 같이 지점침하에 대한 검토를 생략하였음. • 백운1교(부산)은 준공된지 10년이 경과한 구조물로서, 크리프와 건조수축은 진행이 완료된 상태로 판단되어 검토조건에서 생략하였음. • 상부구조 적용하중에서 아스콘포장에서 콘크리트 포장(LMC)으로 재포장 보수를 실시하여 그 실측치를 반영한 안전성평가를 실시함.		

2) 부재제원 확인

시설물을 구성하고 있는 주요부재에 대한 제원 확인을 위해 실측을 실시하고 이를 준공도와 비교·검토하여 주요 부재의 규격을 확인하였다.

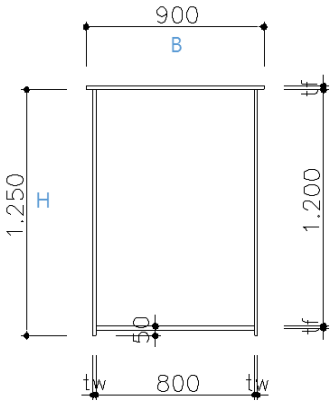




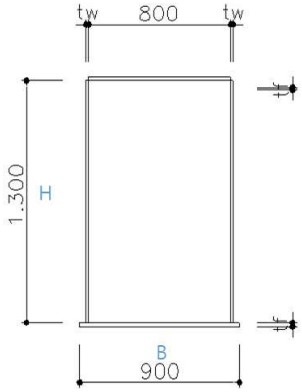
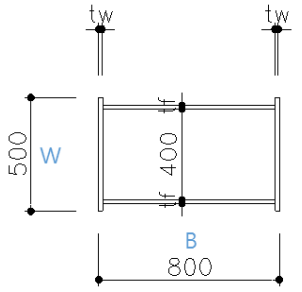
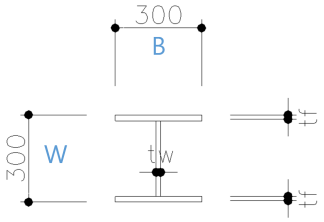
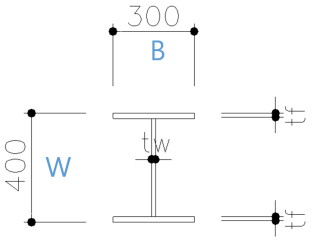
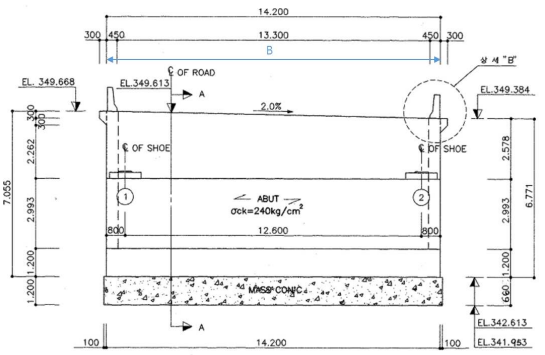

부재 제원 확인

【사진 5.1】 백운1교(부산) 부재 제원 측정

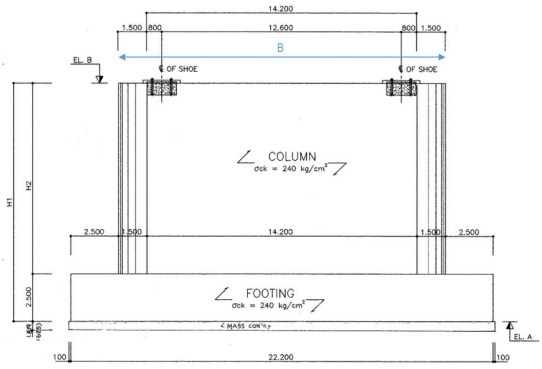
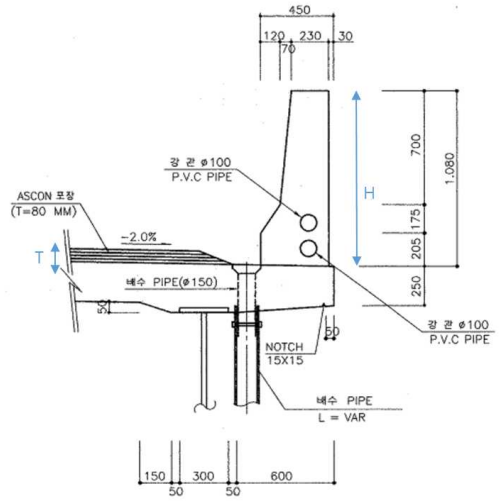
【표 5.4】 백운1교(부산) 부재 제원 확인 결과

구 분		개요도	구분	설계도면	실측결과	비고
상부 구조	보강 거더		H	1.25m	1.25m	일치
			B	0.9m	0.9m	일치

【표 5.4】 백운1교(부산) 부재 제원 확인 결과(계속)

구 분		개요도	구분	설계도면	실측결과	비고
상부 구조	아치 리브		H	1.30m	1.30m	일치
			B	0.9m	0.9m	일치
	행거		W	0.5m	0.5m	일치
			B	0.8m	0.8m	일치
	상부 브레 이싱		W	0.3m	0.3m	일치
			B	0.3m	0.3m	일치
	하부 브레 이싱		W	0.3m	0.3m	일치
			B	0.3m	0.3m	일치
하부 구조	교대		B	14.2m	14.15	일치

【표 5.4】 백운1교(부산) 부재 제원 확인 결과(계속)

구 분		개요도	구분	설계도면	실측결과	비고
하부구조	교각		B	14.2m	14.2m	일치
기타부재	방호벽		H	1.08m	1.07m	일치
	포장(콘크리트재포장)		T	80mm	80mm	일치
측정결과		• 부재제원의 실측결과, 전반적으로 준공도상의 제원과 일치함. • 포장의 경우 2016년08월29일~9월2일 기간 중 재포장 공사를 실시하여 아스콘 포장에서 콘크리트 포장(LMC)으로 변경되었으며 그 실측치를 반영함.				

3) 현장시험 및 측정자료 분석

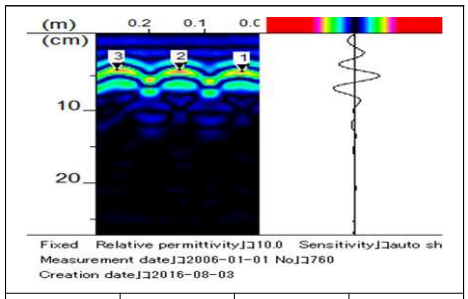
① 사용재료 및 강도

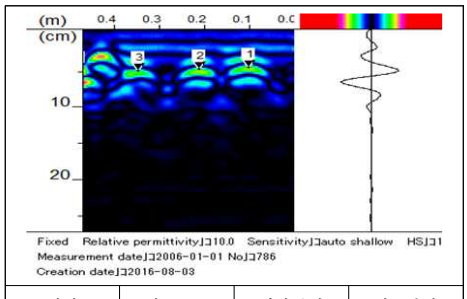
【표 5.5】 백운1교(부산) 사용재료 및 강도

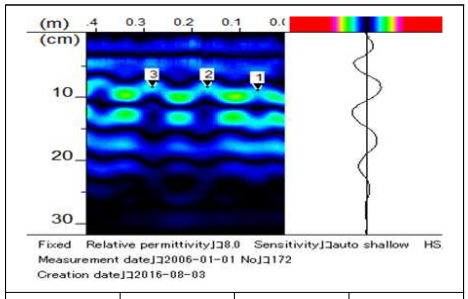
구 분	콘 크 리 트				철 근	
	탄성계수 (MPa)	설계기준강도 (MPa)	현장조사결과 (MPa)	적용강도 (MPa)	철근강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)
상부구조	27,804	27.0	27.6~33.1	27.0	400.0	2.0×10^5
하부구조	26,986	24.0	25.3~30.4	24.0	300.0	2.0×10^5
• 콘크리트 강도시험은 반발경도시험 및 초음파시험 결과가 모두『중앙고속도로(제천~원주간) 4차로 확장공사 구조및수리계산서(Ⅲ)』의 설계기준강도 이상이므로 최저값인 설계기준강도를 적용강도로 적용함.						

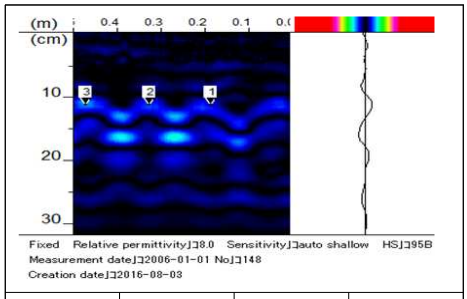
② 단면제원 및 철근량

【표 5.6】 백운1교(부산) 단면제원 및 철근량

<table>
<tr><th rowspan="2">시험위치</th><th rowspan="2">단면두께
(mm)</th><th colspan="3">피복두께(mm)</th><th colspan="3">철근(m당 평균)</th></tr>
<tr><th>설계값</th><th>측정
평균값</th><th>검토
적용값</th><th>설계값</th><th>철근탐사</th><th>검토
적용값</th></tr>
<tr><td>S1 캔틸레버 우측</td><td>250.0</td><td>42.0</td><td>41.0</td><td>42.0</td><td>H16@125.0</td><td>H16@112.5</td><td>H16@125.0</td></tr>
<tr><td>S2 캔틸레버 우측(A1측)</td><td>250.0</td><td>42.0</td><td>40.0</td><td>42.0</td><td>H16@125.0</td><td>H16@110.0</td><td>H16@125.0</td></tr>
<tr><td>S2 캔틸레버 우측(A2측)</td><td>250.0</td><td>42.0</td><td>44.0</td><td>42.0</td><td>H16@125.0</td><td>H16@130.0</td><td>H16@125.0</td></tr>
<tr><td>S3 캔틸레버 우측</td><td>250.0</td><td>42.0</td><td>45.0</td><td>42.0</td><td>H16@125.0</td><td>H16@122.5</td><td>H16@125.0</td></tr>
<tr><td>철근탐사 DATA</td><td colspan="7">


<table>
<tr><th>위치</th><th>철근종류</th><th>피복두께</th><th>철근간격</th></tr>
<tr><td>S1캔틸레버</td><td>횡방향철근</td><td>41.0~43.0</td><td>112.5</td></tr>
</table>


<table>
<tr><th>위치</th><th>철근종류</th><th>피복두께</th><th>철근간격</th></tr>
<tr><td>S3캔틸레버</td><td>횡방향철근</td><td>43.0~48.0</td><td>110.0~135.0</td></tr>
</table>
• 철근배근 탐사결과 측정부재의 길이 부족으로 인해 횡방향철근에 대해서만 측정이 가능한 상태였으며,『중앙고속도로 제천-원주간 확장공사 제16공구 실시설계도』에 적용된 설계값과 금회 측정평균값의 차이가 미미하여 안전성 평가시 설계값을 기준으로 적용함.
</td></tr>
<tr><td rowspan="2">P1 기둥</td><td>수직철근</td><td rowspan="2">3000.0</td><td>87.5</td><td>87.0</td><td>87.5</td><td>D32@100.0</td><td>D32@100.0</td><td>D32@100.0</td></tr>
<tr><td>수평철근</td><td>112.5</td><td>114.0</td><td>112.5</td><td>D25@150.0</td><td>D25@150.0</td><td>D25@150.0</td></tr>
<tr><td>철근탐사 DATA</td><td colspan="7">


<table>
<tr><th>위치</th><th>철근종류</th><th>피복두께</th><th>철근간격</th></tr>
<tr><td>P1 기둥</td><td>수직철근</td><td>87.0~88.0</td><td>90.0~110.0</td></tr>
</table>


<table>
<tr><th>위치</th><th>철근종류</th><th>피복두께</th><th>철근간격</th></tr>
<tr><td>P1 기둥</td><td>수평철근</td><td>113.0~116.0</td><td>145.0~155.0</td></tr>
</table>
• 철근배근 탐사결과 『중앙고속도로 제천-원주간 확장공사 제16공구 실시설계도』에 적용된 설계값과 금회 측정평균값의 차이가 미미하여 안전성 평가시 설계값을 기준으로 적용함.
</td></tr>
</table>

5.2.2 상부구조 안전성평가

가. 구조검토 조건

1) 교량제원

① 교 량 명 : 백운1교(부산)

② 교량등급 : 1등급(DB-24, DL-24)

③ 교량형식 : 3경간 Steel Arch교

④ 교 장 : 50 + 80 + 50 = 180m

⑤ 교 량 폭 : B = 12.6m

⑥ 거더제원 : B = 0.8m, H = 1.25m

⑦ 사 각 : 0.000°

⑧ 곡률반경 : ∞

2) 하중

① 고정하중

- 철근콘크리트 : Wc = 25.00 kN/㎥
- 포장콘크리트 : Wa = 23.50 kN/㎥(LMC)

② 활하중

- DB-24, DL-24
- 충격계수 : I = 15 / (40+L) ≤ 0.3

3) 사용재료

① 콘크리트

㉠ 설계기준강도 : fck = 27.0 MPa

㉡ 허용압축응력 : fcu = 0.4×fck = 10.8 MPa

㉢ 탄 성 계 수 : Ec = 28,693.400 MPa

㉣ 전단탄성계수 : G = 12,297.200 MPa

㉤ 포아송비 : v = 0.167

㉥ 크리프계수 : φ2 = 2φ1 = 2.0

㉦ 선팽창계수 : a = 1.2×10^{-5}

② 철근(SD40)

㉠ 항복강도 : fy = 400.0 MPa

㉡ 탄성계수 : Es = 200,000 MPa

③ 강 재

㉠ 주부재 : SM520 (SWS520) - 보강거더, 아치리브, 가로보

㉡ 부부재 : SM400 (SWS400) - 행거 및 2차 부재

㉢ 탄성계수 : Es = 205,000 MPa

㉣ 허용응력

ⓐ 허용축방향인장응력 및 허용휨인장응력(MPa)

강 종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40 이하	140	190	215	270
40 초과 75 이하	130	175	200	260
75 초과 100 이하			195	250

ⓑ 허용축방향압축응력

$f_{ca} = f_{cag} \cdot f_{cal} / f_{cao}$

여기서, f_{ca} : 허용축방향압축응력(MPa)

f_{cag} : 국부좌굴을 고려치 않은 허용축방향압축응력(MPa)

f_{cal} : 국부좌굴에 대한 허용응력(MPa)

f_{cao} : 국부좌굴을 고려치 않은 허용축방향압축응력의 상한값(MPa)

• 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(MPa)

강종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40 이하	$140 : \ell/r \le 18.6$ $140-0.84(\ell/r-18.6) : 18.6 < \ell/r \le 92.8$ $\frac{1,200,000}{6,700+(\ell/r)^2} : 92.8 < \ell/r$	$190 : \ell/r \le 16.0$ $190-1.29(\ell/r-16.0) : 16.0 < \ell/r \le 80.1$ $\frac{1,200,000}{5,000+(\ell/r)^2} : 80.1 < \ell/r$	$215 : \ell/r \le 15.1$ $215-1.55(\ell/r-15.1) : 15.1 < \ell/r \le 75.5$ $\frac{1,200,000}{4,400+(\ell/r)^2} : 75.5 < \ell/r$	$270 : \ell/r \le 13.4$ $270-2.19(\ell/r-13.4) : 13.4 < \ell/r \le 67.1$ $\frac{1,200,000}{3,500+(\ell/r)^2} : 67.1 < \ell/r$
40 초과 75 이하	$130 : \ell/r \le 19.4$ $130-0.75(\ell/r-19.4) : 19.4 < \ell/r \le 97.0$ $\frac{1,200,000}{7,300+(\ell/r)^2} : 97.0 < \ell/r$	$175 : \ell/r \le 16.6$ $175-1.15(\ell/r-16.6) : 16.6 < \ell/r \le 82.8$ $\frac{1,200,000}{5,300+(\ell/r)^2} : 82.8 < \ell/r$	$200 : \ell/r \le 15.5$ $200-1.40(\ell/r-15.5) : 15.5 < \ell/r \le 77.7$ $\frac{1,200,000}{4,700+(\ell/r)^2} : 77.7 < \ell/r$	$260 : \ell/r \le 13.7$ $260-2.07(\ell/r-13.7) : 13.7 < \ell/r \le 68.6$ $\frac{1,200,000}{3,600+(\ell/r)^2} : 68.6 < \ell/r$
75 초과 100 이하			$195 : \ell/r \le 15.8$ $195-1.35(\ell/r-15.8) : 15.8 < \ell/r \le 78.9$ $\frac{1,200,000}{4,800+(\ell/r)^2} : 78.9 < \ell/r$	$250 : \ell/r \le 13.9$ $250-1.96(\ell/r-13.9) : 13.9 < \ell/r \le 69.4$ $\frac{1,200,000}{3,700+(\ell/r)^2} : 69.4 < \ell/r$

※ 여기서, ℓ : 부재의 유효좌굴 길이 (mm)
r : 부재 총단면의 단면회전반경 (mm)

ⓒ 허용휨압축응력(MPa)

• 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 직접 고정되어 있는 경우 및 상자형 단면, Ⅱ형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우

강 종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40 이하	140	190	215	270
40 초과 75 이하	130	175	200	260
75 초과 100 이하			195	250

• 위 사항 이외의 경우

강 종 / 판두께(mm)		SS 400 SM400 SMA 41	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
Aw/Ac ≤2	40 이하	140 : ℓ/b ≤4.6 140-2.49(ℓ/b-4.6): 4.56 ℓ/b ≤30	190 : ℓ/b ≤4.0 190-3.91(ℓ/b-4.0): 4.0< ℓ/b ≤30	215 : ℓ/b ≤3.8 215-4.69(ℓ/b-3.8): 3.8< ℓ/b ≤27	270 : ℓ/b ≤3.4 270-6.64(ℓ/b-3.4): 3.4< ℓ/b ≤25
	40 초과 75 이하	130 : ℓ/b ≤4.9	175 : ℓ/b ≤4.1	200 : ℓ/b ≤3.9 200-4.24(ℓ/b-3.9): 3.9< ℓ/b ≤27	260 : ℓ/b ≤3.4 260-6.25(ℓ/b-3.4): 3.4< ℓ/b ≤25
	75 초과 100 이하	130-2.21(ℓ/b-4.9): 4.9< ℓ/b ≤30	175-3.48(ℓ/b-4.1): 4.1< ℓ/b ≤30	195 : ℓ/b ≤3.9 195-4.07(ℓ/b-3.9): 3.9< ℓ/b ≤27	250 : ℓ/b ≤3.5 250-5.94(ℓ/b-3.5): 3.5< ℓ/b ≤25
Aw/Ac >2	40 이하	140 : ℓ/b ≤9.3/K 140-1.24(Kℓ/b-9.3): 9.3/K< ℓ/b ≤30	190 : ℓ/b ≤8.0/K 190-1.95(Kℓ/b-8.0): 8.0/K< ℓ/b ≤30	215 : ℓ/b ≤7.5/K 215-2.35(Kℓ/b-7.5): 7.5/K< ℓ/b ≤27	270 : ℓ/b ≤6.7/K 270-3.32(Kℓ/b-6.7): 6.7/K< ℓ/b ≤25
	40 초과 75 이하	130 : ℓ/b ≤9.7/K	175 : ℓ/b ≤8.3/K	200 : ℓ/b ≤7.8/K 200-2.12(Kℓ/b-7.8): 7.8/K< ℓ/b ≤27	260 : ℓ/b ≤6.9/K 260-3.12(ℓ/b-6.9): 6.9/K< ℓ/b ≤25
	75 초과 100이하	130-1.10(Kℓ/b-9.7): 9.7/K< ℓ/b ≤30	175-1.74(Kℓ/b-8.3): 8.3/K< ℓ/b ≤30	195 : ℓ/b ≤7.9/K 195-2.04(Kℓ/b-7.9): 7.9/K< ℓ/b ≤27	250 : ℓ/b ≤6.9/K 250-2.97(Kℓ/b-6.9): 6.9/K< ℓ/b ≤25
비 고		Aw : 복부판의 총 단면적 (㎟) Ac :압축플랜지의 총 단면적 (㎟) ℓ : 압축플랜지의 고정점간의 거리 (㎜) b : 압축플랜지의 폭 (㎜) K : √ (3+Aw/2Ac)			

※ TMC 강재일 경우 별도 규정

ⓓ 허용전단응력(MPa)

강 종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40 이하	80	110	125	155
40 초과 75 이하	75	100	115	150
75 초과 100 이하			115	145

※ TMC 강재일 경우 별도 규정

ⓔ 양연지지판, 자유돌출판, 보강된 판의 국부좌굴에 대한 허용응력

• 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력(MPa)

강 종	판두께(mm)	국부좌굴에 대한 허용응력	
SS400 SM400 SMA400	40 이하	140	$: \frac{b}{39.3 \cdot i} \le t$
		$220{,}000\left(\frac{t \cdot i}{b}\right)^2$	$: \frac{b}{80 \cdot i} \le t < \frac{b}{39.3 \cdot i}$
	40 초과 100 이하	130	$: \frac{b}{41.1 \cdot i} \le t$
		$220{,}000\left(\frac{t \cdot i}{b}\right)^2$	$: \frac{b}{80 \cdot i} \le t < \frac{b}{41.1 \cdot i}$
SM490	40 이하	190	$: \frac{b}{34.0 \cdot i} \le t$
		$220{,}000\left(\frac{t \cdot i}{b}\right)^2$	$: \frac{b}{80 \cdot i} \le t < \frac{b}{34.0 \cdot i}$
	40 초과 100 이하	175	$: \frac{b}{35.1 \cdot i} \le t$
		$220{,}000\left(\frac{t \cdot i}{b}\right)^2$	$: \frac{b}{80 \cdot i} \le t < \frac{b}{35.1 \cdot i}$
SM490Y SM520 SMA520	40 이하	215	$: \frac{b}{32.0 \cdot i} \le t$
		$220{,}000\left(\frac{t \cdot i}{b}\right)^2$	$: \frac{b}{80 \cdot i} \le t < \frac{b}{32.0 \cdot i}$
	40 초과 75 이하	200	$: \frac{b}{32.9 \cdot i} \le t$
		$220{,}000\left(\frac{t \cdot i}{b}\right)^2$	$: \frac{b}{80 \cdot i} \le t < \frac{b}{32.9 \cdot i}$
	75 초과 100 이하	195	$: \frac{b}{33.4 \cdot i} \le t$
		$220{,}000\left(\frac{t \cdot i}{b}\right)^2$	$: \frac{b}{80 \cdot i} \le t < \frac{b}{33.4 \cdot i}$
SM570 SMA570	40 이하	270	$: \frac{b}{28.4 \cdot i} \le t$
		$220{,}000\left(\frac{t \cdot i}{b}\right)^2$	$: \frac{b}{80 \cdot i} \le t < \frac{b}{28.4 \cdot i}$
	40 초과 75 이하	260	$: \frac{b}{29.1 \cdot i} \le t$
		$220{,}000\left(\frac{t \cdot i}{b}\right)^2$	$: \frac{b}{80 \cdot i} \le t < \frac{b}{29.1 \cdot i}$
	75 초과 100 이하	250	$: \frac{b}{29.4 \cdot i} \le t$
		$220{,}000\left(\frac{t \cdot i}{b}\right)^2$	$: \frac{b}{80 \cdot i} \le t < \frac{b}{29.4 \cdot i}$

• 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력(MPa)

강 종	판두께(mm)	국부좌굴에 대한 허용응력	
SS400 SM400 SMA400	40 이하	140	: $\frac{b}{12.9} \le t$
		$24{,}000\,(\frac{t}{b})^2$	: $\frac{b}{16} \le t < \frac{b}{12.9}$
	40 초과 100 이하	130	: $\frac{b}{13.5} \le t$
		$24{,}000\,(\frac{t}{b})^2$	: $\frac{b}{16} \le t < \frac{b}{13.5}$
SM490	40 이하	190	: $\frac{b}{11.1} \le t$
		$24{,}000\,(\frac{t}{b})^2$	: $\frac{b}{16} \le t < \frac{b}{11.1}$
	40 초과 100 이하	175	: $\frac{b}{11.5} \le t$
		$24{,}000\,(\frac{t}{b})^2$	: $\frac{b}{16} \le t < \frac{b}{11.5}$
SM490Y SM520 SMA520	40 이하	215	: $\frac{b}{10.5} \le t$
		$24{,}000\,(\frac{t}{b})^2$	: $\frac{b}{16} \le t < \frac{b}{10.5}$
	40 초과 75 이하	200	: $\frac{b}{10.8} \le t$
		$24{,}000\,(\frac{t}{b})^2$	: $\frac{b}{16} \le t < \frac{b}{10.8}$
	75 초과 100 이하	195	: $\frac{b}{11.0} \le t$
		$24{,}000\,(\frac{t}{b})^2$	: $\frac{b}{16} \le t < \frac{b}{11.0}$
SM570 SMA570	40 이하	270	: $\frac{b}{9.3} \le t$
		$24{,}000\,(\frac{t}{b})^2$	: $\frac{b}{16} \le t < \frac{b}{9.3}$
	40 초과 75 이하	260	: $\frac{b}{9.5} \le t$
		$24{,}000\,(\frac{t}{b})^2$	: $\frac{b}{16} \le t < \frac{b}{9.5}$
	75 초과 100 이하	250	: $\frac{b}{9.6} \le t$
		$24{,}000\,(\frac{t}{b})^2$	: $\frac{b}{16} \le t < \frac{b}{9.6}$

• 보강된 판의 국부좌굴에 대한 허용응력(MPa)

강종	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA520	SM570 SMA570
판두께 40 이하	140 : $\frac{b}{28in} \le t$	190 : $\frac{b}{24in} \le t$	215 : $\frac{b}{22in} \le t$	270 : $\frac{b}{20in} \le t$
	$140-2.5\left(\frac{b}{tin}-28\right)$: $\frac{b}{56in} \le t < \frac{b}{28in}$	$190-3.9\left(\frac{b}{tin}-24\right)$: $\frac{b}{49in} \le t < \frac{b}{24in}$	$210-4.7\left(\frac{b}{tin}-23\right)$: $\frac{b}{46in} \le t < \frac{b}{23in}$	$270-6.7\left(\frac{b}{tin}-20\right)$: $\frac{b}{41in} \le t < \frac{b}{20in}$
	$220,000\left(\frac{tin}{b}\right)^2$: $\frac{b}{80in} \le t < \frac{b}{56in}$	$220,000\left(\frac{tin}{b}\right)^2$: $\frac{b}{80in} \le t < \frac{b}{49in}$	$220,000\left(\frac{tin}{b}\right)^2$: $\frac{b}{80in} \le t < \frac{b}{46in}$	$220,000\left(\frac{tin}{b}\right)^2$: $\frac{b}{80in} \le t < \frac{b}{41in}$
판두께 40 초과 75 이하	130 : $\frac{b}{29in} \le t$	175 : $\frac{b}{24in} \le t$	200 : $\frac{b}{24in} \le t$	260 : $\frac{b}{21in} \le t$
			$200-4.3\left(\frac{b}{tin}-242\right)$: $\frac{b}{47in} \le t < \frac{b}{24in}$	$260-6.3\left(\frac{b}{tin}-21\right)$: $\frac{b}{42in} \le t < \frac{b}{21in}$
	$130-2.2\left(\frac{b}{tin}-29\right)$: $\frac{b}{59in} \le t < \frac{b}{29in}$	$175-3.5\left(\frac{b}{tin}-25\right)$: $\frac{b}{50in} \le t < \frac{b}{25in}$	$220,000\left(\frac{tin}{b}\right)^2$: $\frac{b}{80in} \le t < \frac{b}{47in}$	$220,000\left(\frac{tin}{b}\right)^2$: $\frac{b}{80in} \le t < \frac{b}{42in}$
판두께 75 초과 100 이하			195 : $\frac{b}{24in} \le t$	250 : $\frac{b}{21in} \le t$
			$195-4.1\left(\frac{b}{tin}-24\right)$: $\frac{b}{48in} \le t < \frac{b}{24in}$	$250-6.0\left(\frac{b}{tin}-21\right)$: $\frac{b}{42in} \le t < \frac{b}{21in}$
	$220,000\left(\frac{tin}{b}\right)^2$: $\frac{b}{80in} \le t < \frac{b}{59in}$	$220,000\left(\frac{tin}{b}\right)^2$: $\frac{b}{80in} \le t < \frac{b}{50in}$	$220,000\left(\frac{tin}{b}\right)^2$: $\frac{b}{80in} \le t < \frac{b}{48in}$	$220,000\left(\frac{tin}{b}\right)^2$: $\frac{b}{80in} \le t < \frac{b}{42in}$

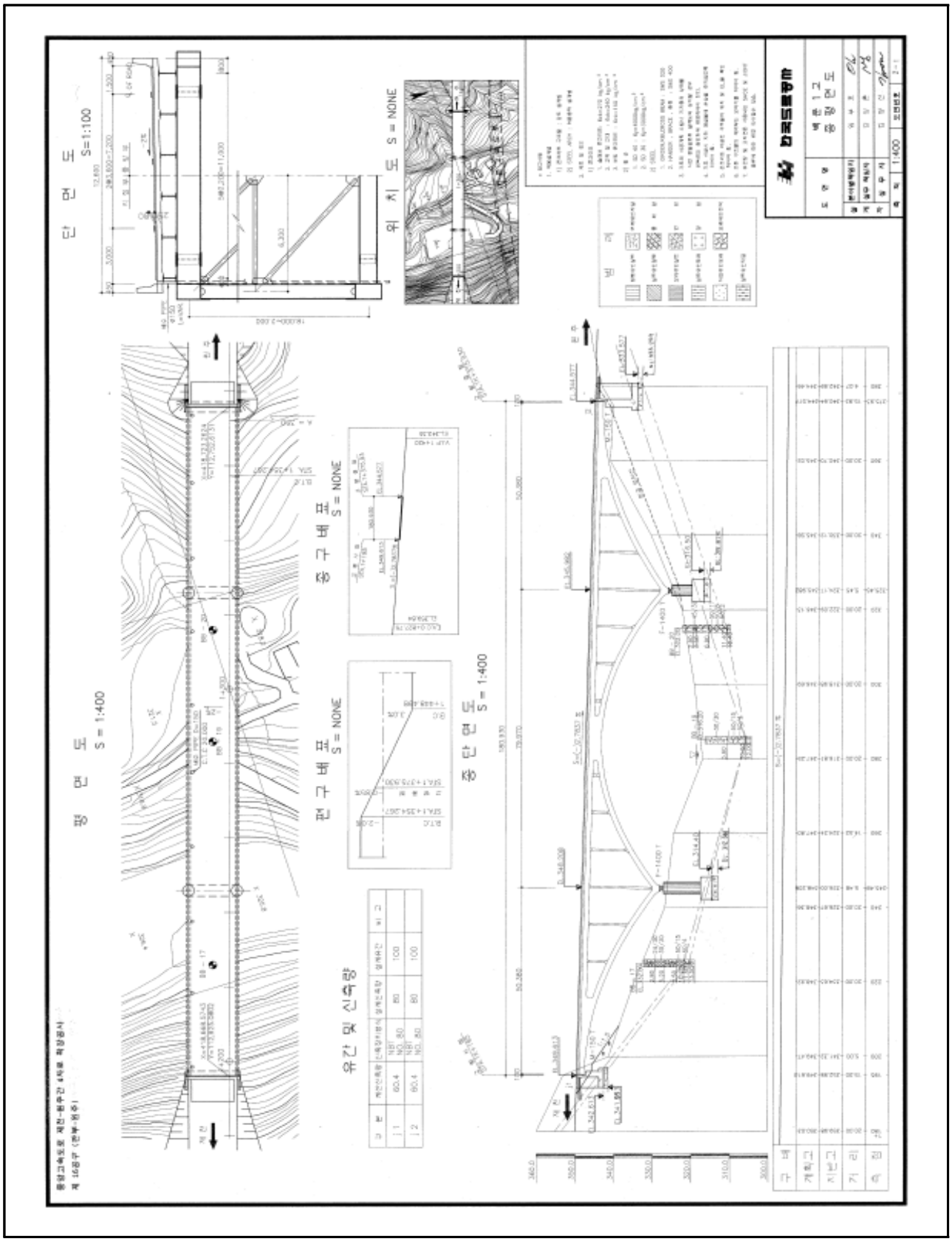
4) 검토방법

① 바닥판 : 강도 설계법

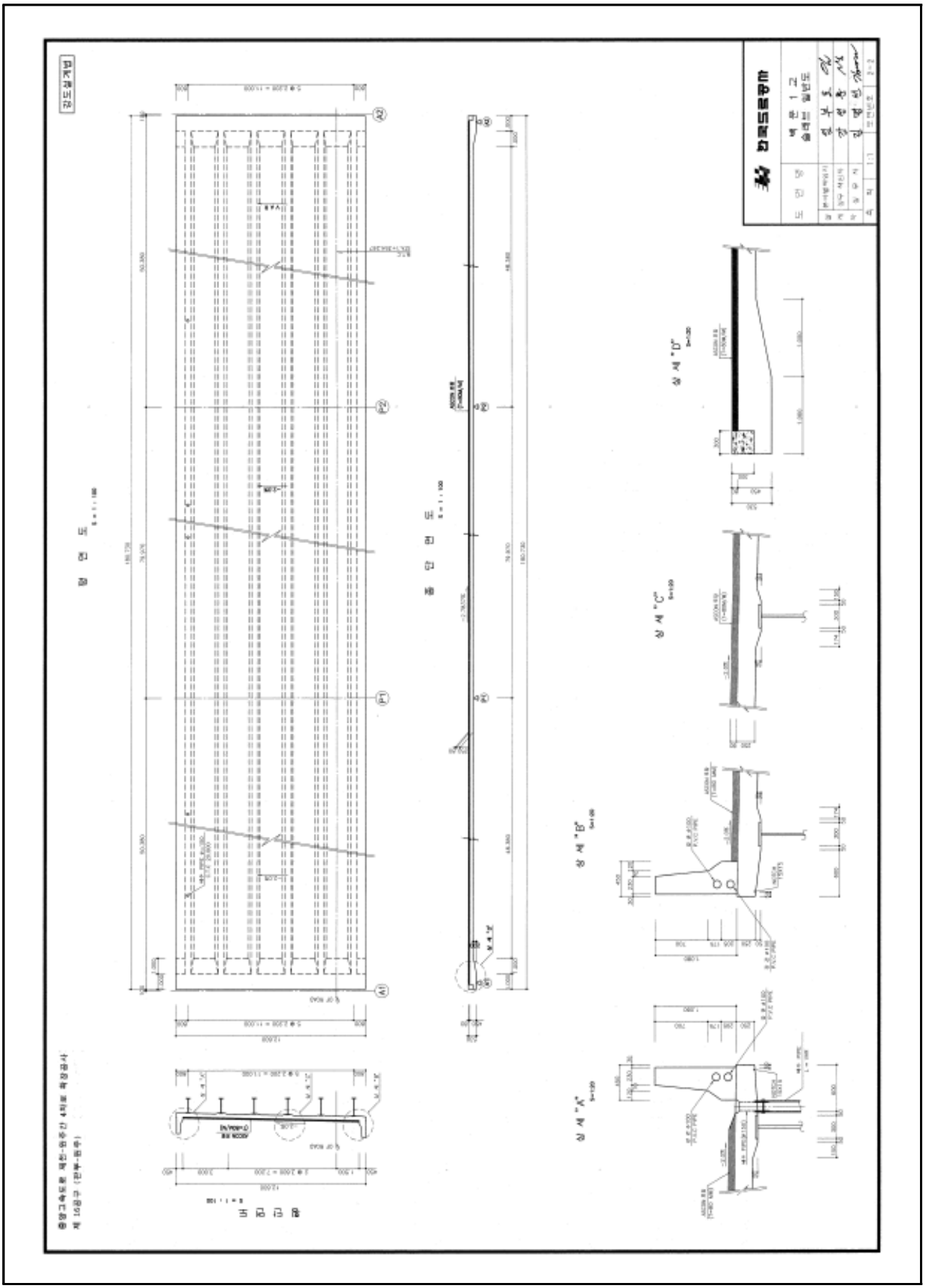
② Steel Arch교 : 허용응력 설계법

나. 관련도면

백운1교(부산)의 종・평면도, 슬래브 일반도는 【그림 5.2】, 【그림 5.3】과 같다.



【그림 5.2】 백운1교(부산) 종・평면도



【그림 5.3】 백운1교(부산) 슬래브 일반도

다. 적용하중

안전성 검토 시 적용하중의 강도와 이에 대한 산정근거를 나타내면 【표 5.7】과 같다.

【표 5.7】적용하중의 강도 및 산정근거

<table>
<tr><th colspan="2">적용하중</th><th>하 중 강 도</th><th>산정근거</th></tr>
<tr><td rowspan="3">주
하
중
(P)</td><td>고정하중
(D)</td><td>
<table>
<tr><th>구 분</th><th>철근콘크리트</th><th>강 재</th><th>LMC 포장</th></tr>
<tr><td>단위질량
(kN/㎥)</td><td>25.0</td><td>78.5</td><td>23.5</td></tr>
</table>
</td><td>도로교설계기준
(2010) 2.1.2항</td></tr>
<tr><td>활하중
(L)</td><td>• 설계활하중(1등교) : DB-24, DL-24</td><td>도로교설계기준
(2010) 2.1.3항</td></tr>
<tr><td>충격
(I)</td><td>• 충격계수 : $I = \frac{15}{40+L} \leq 0.3$</td><td>도로교설계기준
(2010) 2.1.4항</td></tr>
<tr><td rowspan="2">부
하
중
(S)</td><td>풍하중
(W)</td><td>• 상부구조에 작용하는 풍하중
- 거스트응답계수를 사용한 풍하중과 2주구 트러스에 작용하는 풍하중 중 최대값을 적용함.
• 하부구조에 작용하는 풍하중
<table>
<tr><th colspan="2">구체의 단면형상</th><th>풍하중</th></tr>
<tr><td rowspan="2">원형 및 트랙형</td><td>활하중 재하 시</td><td>1.500×10^{-3}</td></tr>
<tr><td>활하중 비재하 시</td><td>3.000×10^{-3}</td></tr>
<tr><td rowspan="2">각형</td><td>활하중 재하 시</td><td>0.750×10^{-3}</td></tr>
<tr><td>활하중 비재하 시</td><td>1.500×10^{-3}</td></tr>
</table>
</td><td>도로교설계기준
(2010) 2.1.11항</td></tr>
<tr><td>온도변화
(T)</td><td>• 선팽창계수 : $\alpha = 1.2\times10^{-5}/℃$
• 온도변화 : $\triangle T = \pm15℃$</td><td>도로교설계기준
(2010) 2.1.12항</td></tr>
<tr><td colspan="2">비교결과</td><td colspan="2">• 상부구조에 거더에 대하여 적용하중 기준에 대하여 비교 검토한 결과, 전반적으로 변화는 없는 상태이나, 고정하중에 아스콘 포장이 LMC 포장으로 개보수가 실시되어 하중 변동이 발생하였음.</td></tr>
</table>

라. 하중조합

안전성 검토 시 하중의 조합은 도로교설계기준(2010) 2.2.2항, 2.2.3항의 규정을 적용하였으며, 이를 정리하여 나타내면 다음 【표 5.8】과 같다.

1) 사용하중

【표 5.8】 응력 검토 시 사용하중 조합경우

조합경우	하 중 조 합	증가계수
Case 1	주하중+주하중에 상당하는 특수하중	1.00
Case 2	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+온도변화의 영향	1.15
Case 3	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+풍하중	1.25
Case 4	주하중+주하중에 상당하는 특수하중+온도변화의 영향+풍하중	1.35

2) 계수하중

【표 5.9】 극한강도 검토 시 계수하중 조합경우

조합경우	고정하중(D)	활하중(L+I)	풍하중(W)	충돌하중(Co)	비 고
Case 1	1.30	2.15	-	-	바닥판 검토 시
Case 2	1.30	-	1.30	-	
Case 3	1.30	1.30	0.65	-	
Case 4	1.30	1.30	-	1.30	
Case 5	1.20	-	-	1.20	
Case 6	1.30	2.15	-	-	하부구조 검토 시
Case 7	1.30	-	1.30	-	
Case 8	1.30	1.30	0.65	-	
Case 9	1.00	2.15	-	-	
Case 10	1.00	-	1.30	-	
Case 11	1.00	1.30	0.65	-	

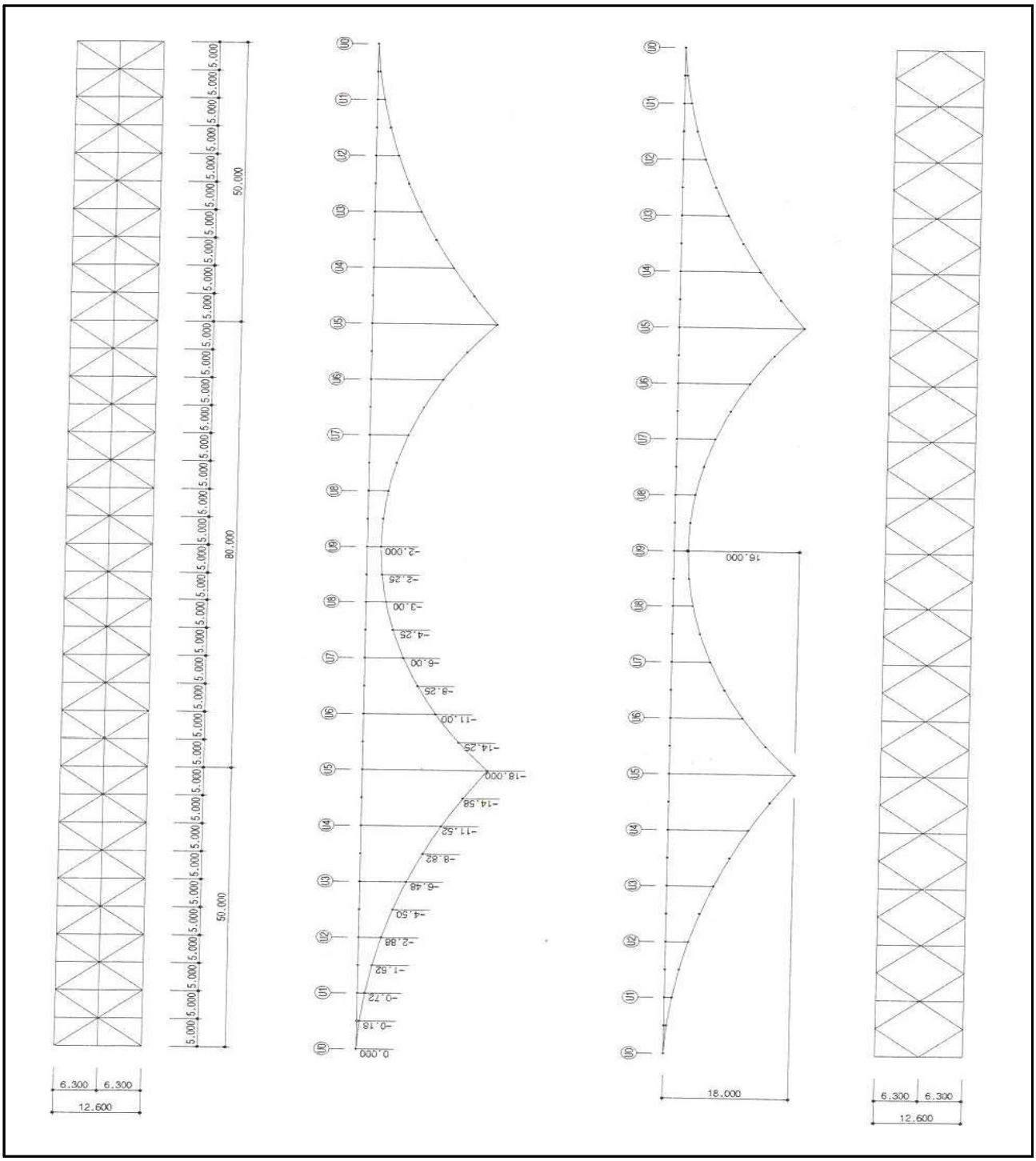
마. 참고문헌

- 도로교설계기준(2010, 국토해양부)
- 콘크리트구조설계기준(2007, 한국콘크리트학회)
- 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010, 국토해양부)
- 중앙고속도로 제천~원주간 4차선 확장공사 제16공구 : 판부~원주 준공도(한국도로공사)
- 중앙고속도로 제천~원주간 4차선 확장공사 제16공구 : 판부~원주 구조계산서(한국도로공사)

바. 단면상수 산정

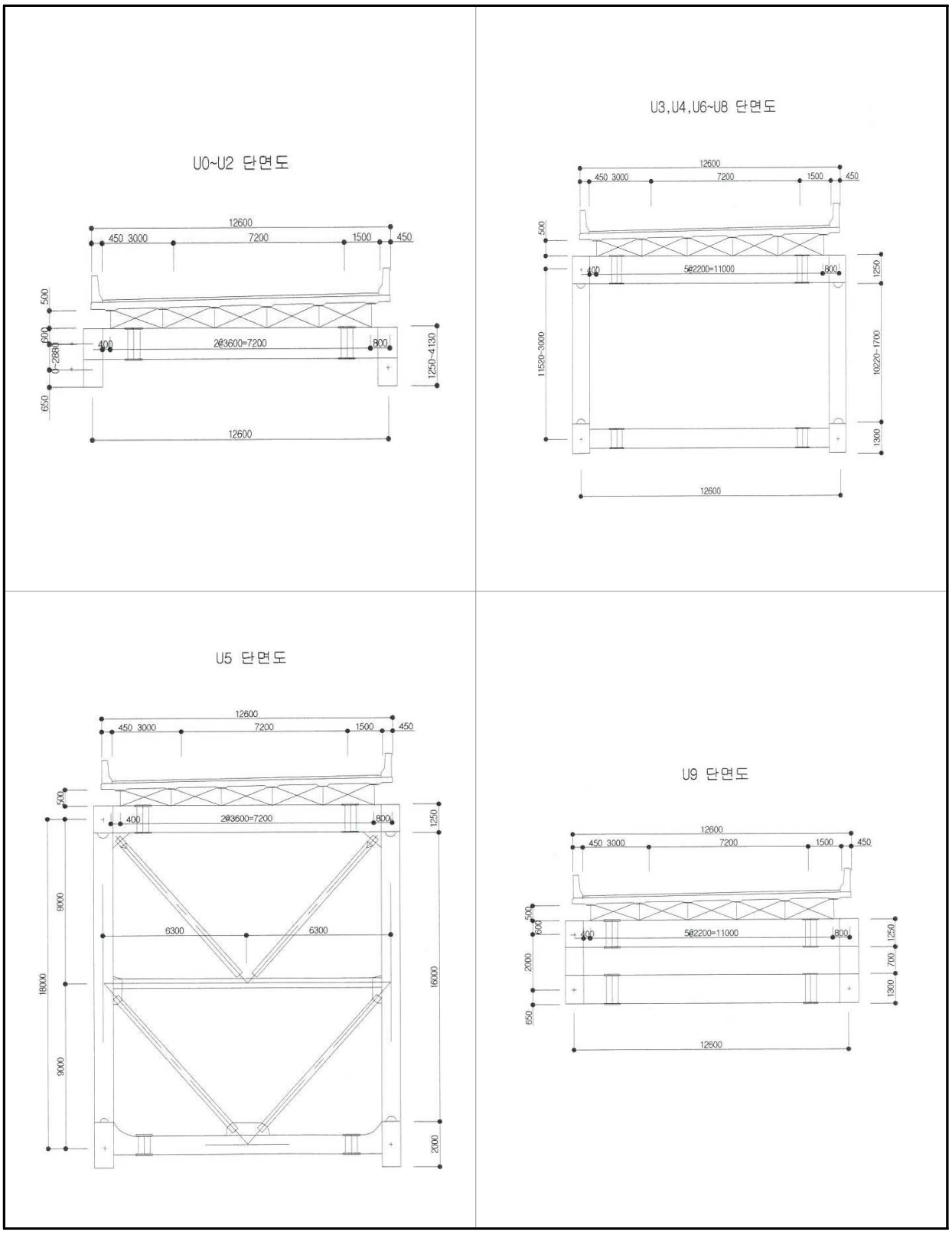
대상교량인 백운1교(부산)는 준공도서가 현존하며, 단면제원을 실측한 결과, 모든 부재는 준공도서와 같은 제원으로 시공된 것을 확인하였다. 이를 근거로 구조해석에 사용된 단면제원 및 단면상수는 다음과 같다.

1) 절점(Joint)과 좌표(Coordinate)



【그림 5.4】 백운1교(부산) 절점과 좌표

2) 절점별 단면도



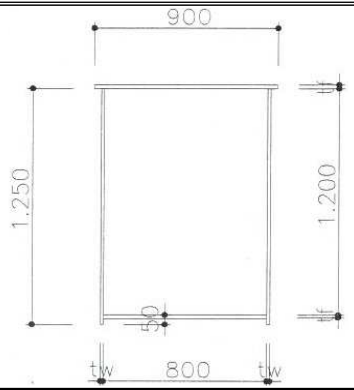
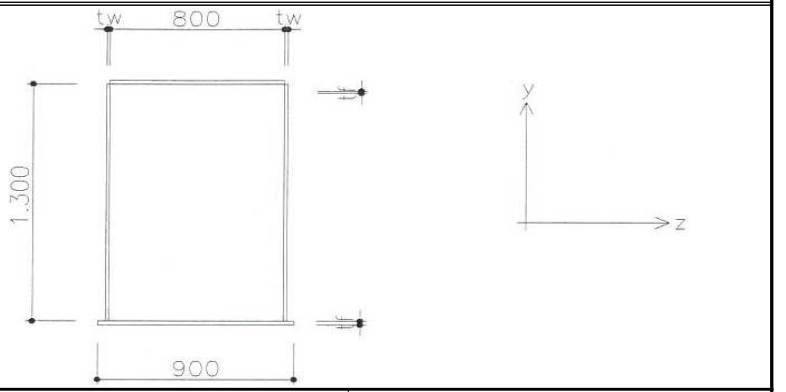
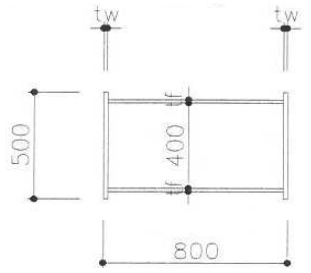
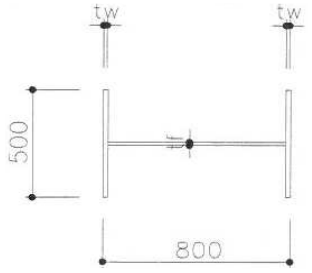
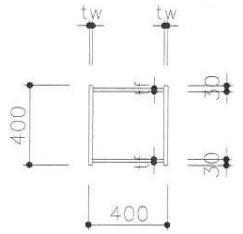
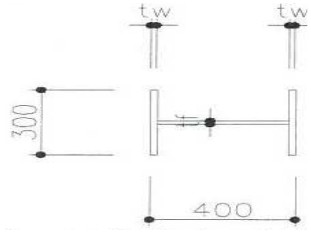
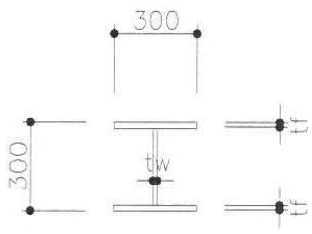
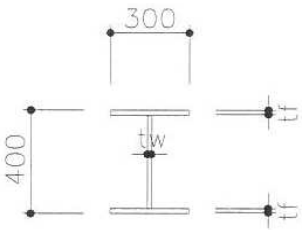
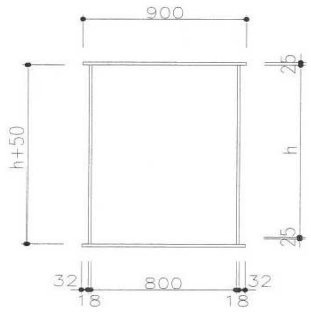
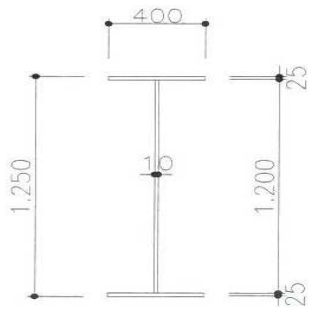
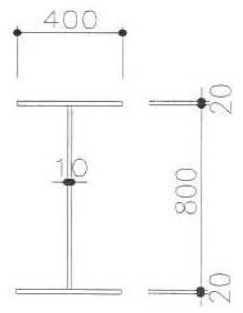
【그림 5.5】 백운1교(춘천) 절점별 단면도

3) 단면특성

상부구조의 아치(Arch)를 구성하고 있는 주부재 및 부부재의 단면특성은 아래와 같다.

① 부재별 단면제원

【표 5.10】 부재별 단면 제원

<table>
<tr><th>보강거더(SEC NO.1~4)</th><th colspan="2">아치리브 (SEC NO. 5~8)</th></tr>
<tr><td> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><th>HANGER (SEC NO.9)</th><th>HANGER (SEC NO.10)</th><th>SWAY BR. (SEC NO.11)</th></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><th>SWAY BR. (SEC NO.12)</th><th>UPP. BR. (SEC NO.13)</th><th>LOW. BR. (SEC NO.14)</th></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><th>보강형과 아치리브 연결부
(SEC NO.15~19)</th><th>UPP. CROSS BEAM
(SEC NO.20)</th><th>LOW. CROSS BEAM
(SEC NO.21)</th></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
</table>

② 부재별 단면상수 산정

【표 5.11】 단면 제상수 산정 결과

단면구분	tf × tw (H)	A (mm^2)	Ix (mm^4)	Iy (mm^4)	Iz (mm^4)	비 고
1	25×24	102,500	24,651,000,000	12,,772,900,000	23,796,300,000	보강거더
2	25×18	87,500	20,204,500,000	10,114,300,000	21,832,000,000	“
3	25×20	92,500	21,776,100,000	10,992,100,000	22,487,200,000	“
4	25×16	82,500	18,708,300,000	9,244,830,000	21,176,300,000	“
5	25×18	89,300	22,232,200,000	10,415,400,000	24,999,100,000	아치리브
6	25×24	104,900	27,238,000,000	13,180,400,000	27,201,600,000	“
7	20×18	80,800	20,543,100,000	9,898,350,000	21,208,600,000	“
8	18×16	72,200	18,129,500,000	87,872,900,00	18,974,100,000	“
9	14×20	41,280	2,783,520,000	4,066,940,000	1,328,840,000	HANGER
10	12×20	29,120	5,865,850	3,481,640,000	416,776,000	“
11	10×12	17,120	555,272,000	450,016,000	358,363,000	SWAY BRACING
12	8×12	10,208	737,869	306,504,000	54,016,000	“
13	8×8	7,072	362,650	36,012,100	117,613,000	상부 BRACING
14	10×10	9,800	330,000	45,031,667	273,926,667	하부 BRACING
15	1,250	90,000	21,357,500,000	10,566,400,000	24,150,000,000	보강형+아치리브
16	1,430	96,480	25,302,000,000	11,650,500,000	32,591,500,000	“
17	1,970	115,920	37,584,500,000	14,903,000,000	67,713,700,000	“
18	2,870	74,160	30,027,400,000	10,161,900,000	82,604,500,000	“
19	4,130	193,680	88,596,400,000	27,912,900,000	405,558,000,000	“
20	25×20	44,000	10,131,700	267,467,000	10,384,200,000	상부CROSS BEAM
21	20×10	24,000	3,858,040	213,400,000	3,116,800,000	하부CROSS BEAM
22	20×10	34,000	2,241,830,000	969,933,000	3,905,130,000	하부CROSS BEAM (지점부)

사. 모델링

1) 구조해석 모델링

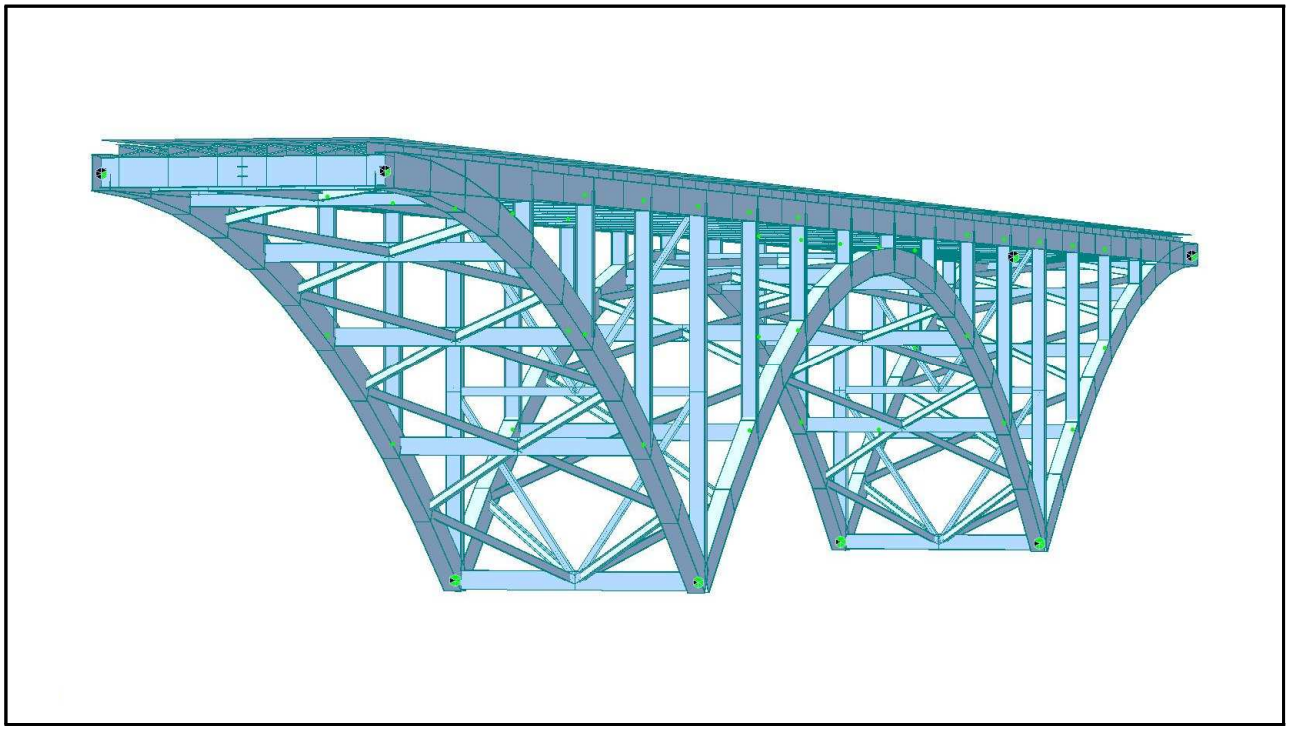
구조해석 모델은 보요소를 사용하여 보강거더, 아치리브, 행거, 가로보 및 브레이싱 등으로 이루어진 3차원 격자구조로 이상화하였으며, 모델링 시 주요 고려사항은 다음과 같다.

○ 준공도에 근거하여 보강거더와 아치리브, 브레이싱의 연결은 강결로 고려하였으며, 행거는 양단 힌지로 취급하였다.

○ 바닥판과 세로보의 연결은 전단연결재가 1.0 m간격으로 배치되어 있어 합성효과를 일부 발휘할 것으로 판단되나, 기본적으로 비합성구조로 설계된 교량이므로 구조해석 시 이를 고려하여 안전측의 해석이 되도록 비합성으로 모델링하였다.

○ 하중조건은 고정하중과 설계활하중 외 온도변화와 풍하중의 영향을 고려하였으며, 활하중의 재하방법은 해석프로그램 내의 이동하중해석 기능을 사용하였다.

○ 지점경계조건은 교량받침의 현장 배치상태를 고려하여 교각 지점을 고정단으로, 교대 지점을 가동단으로 설정하였다.



【그림 5.6】 구조해석 모델링

2) 하중계산

① 고정하중

대상교량에 작용하는 고정하중인 주부재, 부부재의 자중은 프로그램 내에서 자동 입력하였으며 각종 연결재, 보강재 등의 부가 하중을 고려하여 단위중량을 19.8% 할증하였다. 또한 포장, 방호울타리의 고정하중은 바닥판의 횡분배 영향을 반영하여 재하토록 하였다.

㉠ 강재 자중 : 해석프로그램 내에서 자동계산

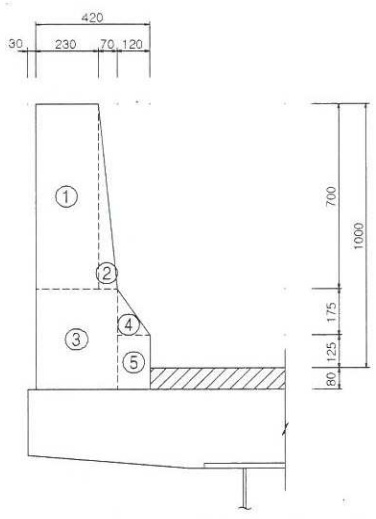
【표 5.12】 백운1교(부산) 강재 자중

강 종	강재재료표	해석모델 순중량	비 고
SM 520(SWS 520)	8,849.560	7,018.0	보강거더, 아치리브, 가로보
SM 400(SWS 400)	2,837.500	2,738.0	행거 및 브레이싱
계	11,687.06	9,756.0	할증률 : 1.198

㉡ 바닥판 슬래브 : $0.25 \times 25.0 = 6.25\ kN/m^2$

㉢ 방호울타리 및 포장하중

【표 5.13】 백운1교(부산) 방호울타리 및 포장하중 산정 결과

<table>
<tr><th>구 분</th><th>하 중 산 정</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>방호울타리</td><td>
<table>
<tr><th>단면구분</th><th>작용하중(kN/m)</th></tr>
<tr><td>①</td><td>0.23×0.7×25.0 = 4.025</td></tr>
<tr><td>②</td><td>0.5×0.07×0.7× 25.0 = 0.613</td></tr>
<tr><td>③</td><td>0.3×0.38×25.0 = 2.850</td></tr>
<tr><td>④</td><td>0.5×0.12×0.175×25.0 = 0.263</td></tr>
<tr><td>⑤</td><td>0.12×0.205×25.0 = 0.615</td></tr>
<tr><td>계</td><td>8.366</td></tr>
</table>
</td><td rowspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>포 장</td><td>Wa = 0.08 × 23.5 = 1.88 kN/㎡</td></tr>
</table>

② 활하중

활하중의 재하는 해석프로그램 내의 이동하중해석 옵션을 사용하였으며, 활하중에 대한 이동하중 해석 수행 시 기본 설정내용을 나타내면【표 5.14】와 같다.

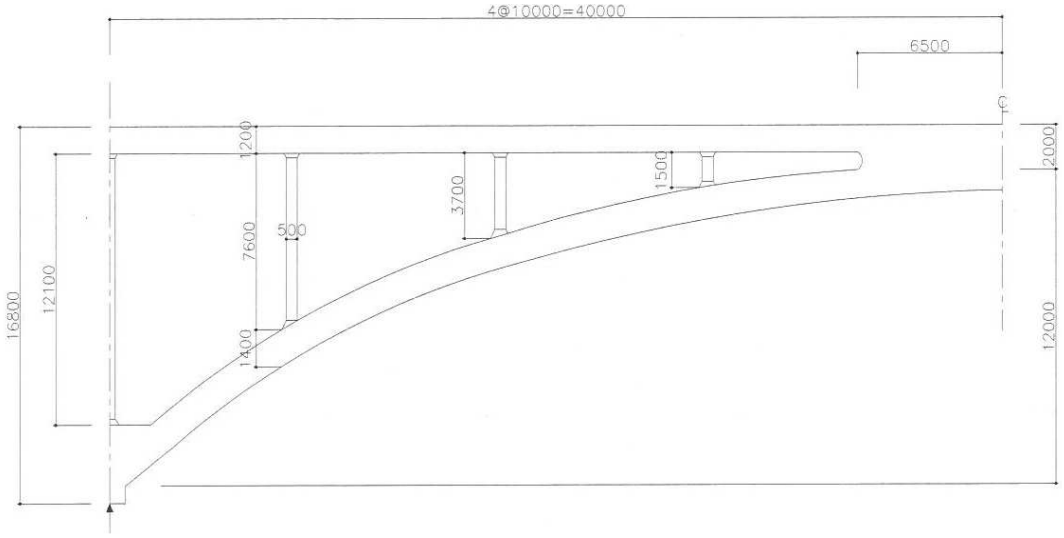
【표 5.14】백운1교(부산) 이동하중 해석 시 기본 설정내용

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">설 정 내 용</th></tr>
<tr><td>해석지간(L)</td><td colspan="4">49.88 + 79.97 + 49.88 = 179.730 m</td></tr>
<tr><td>연석간 교폭(Wc)</td><td colspan="4">12.6 - 0.45×2 = 11.7 m</td></tr>
<tr><td>재하차로수(N)</td><td colspan="4">9.1 ≤ Wc < 12.8 m ∴ 최대 3차로까지 재하가능</td></tr>
<tr><td>설계차로폭(W)</td><td colspan="4">11.70 / 3 = 3.9 m > 3.6 m ∴ W = 3.6 m</td></tr>
<tr><td rowspan="5">활하중 모델
(DL-24, DB-24)</td><td colspan="2">표준차로하중(DL-24)</td><td colspan="2">표준트럭하중(DB-24)</td></tr>
<tr><td>Pm</td><td>108 kN</td><td>전륜(1축)</td><td>48 kN</td></tr>
<tr><td>PS</td><td>156 kN</td><td>후륜(2축)</td><td>192 kN</td></tr>
<tr><td>등분포하중</td><td>12.7 kN/m</td><td>후륜(3축)</td><td>192 kN</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>총 중량</td><td>432 kN</td></tr>
<tr><td>충격계수(I)</td><td colspan="4">◎ 보강거더 및 아치 리브
• 제1지간(L = 49.88 m)
$\frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+49.88} = 0.167 < 0.3$ ∴ i = 0.167 적용
• 제1내부 지점부
$\frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+(49.88+79.97)/2} = 0.143 < 0.3$ ∴ i = 0.143 적용
• 제2지간(L = 79.97 m)
$\frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+79.97} = 0.125 < 0.3$ ∴ i = 0.125 적용

◎ 행거 및 가로보(L = 12.60 m)
$\frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+12.6} = 0.285 < 0.3$ ∴ i = 0.285 적용</td></tr>
<tr><td>재하방법</td><td colspan="4">• DB-24 또는 DL-24하중에 대하여 설정된 1~3개 차로에 지간 및 지점별로 가장 불리한 단면력이 산출되도록 재하됨.</td></tr>
<tr><td>하중감소</td><td colspan="4">• 최대 단면력이 3차로 이상의 활하중 동시 재하로 발생하는 경우에는 도로교설계기준의 관련규정에 따라 백분율로 감소함.(3차로 동시 재하 시 : 90%)</td></tr>
</table>

③ 풍하중

본 검토에서 풍하중 강도는 거스트 응답계수를 사용하는 방식과 2주구 트러스에 작용하는 풍하중을 비교하여 큰 값을 적용하였다.



- Ag = (16.8+10.2) × 1/2 × 10.0 + (10.2+6.3) × 1/2 × 10.0 + (6.3+4.0) × 1/2 × 10.0
  + (4.0+3.25) × 1/2 × 10.0 = 305.25 ㎡
- As = (12.1+7.6+3.7+1.5) × 0.5 + (1.2+1.4) × 33.5 + 6.5 × 3.25 = 120.675 ㎡
- 충실률 (Ø) : Ø = As/Ag = 120.675 / 305.25 = 0.395
- 항력계수(Cd)
  - 아치교의 아치리브, 보강거더, 행거 : 1.6(풍상측), 0.8(풍하측)
  - 아치교의 바닥판 : 1.6
- 거스트 응답계수 (G) : 1.9

㉠ 거스트응답계수 적용 시

- 설계기준 풍속 (Vd)

$$Vd = 1.925\ [\frac{z}{z_G}]^{\alpha} V_{10}\ ,\quad z \geq z_b$$

$$= 1.925\ [\frac{z_b}{z_G}]^{\alpha} V_{10}\ ,\quad z < z_b$$

$$Vd = 1.925\ [\frac{30}{600}]^{0.16} \times 30 = 35.76\ \text{m/sec}$$

여기서, z = 30m, zb = 10m, zG = 600m

α = 0.16, V_{10} = 30m/sec, ρ = 1.225 kg /㎥

• 거스트 응답계수에 의한 풍하중 강도

$P1 = 5 \times 10^{-7} \times \rho \times Vd^2 \times Cd \times G$

$= 5 \times 10^{-7} \times 1.225 \times 35.76^2 \times 1.6 \times 1.9$

$= 2.381 \times 10^{-3}$ MPa

㉡ 2주구 트러스의 풍하중 강도 적용 시

【표 5.15】 백운1교(부산) 2주구 트러스에 작용하는 풍하중

구 분		풍하중(MPa)	비 고
ARCH 부	활하중 재하시	$1.25 \times 10^{-3}/\sqrt{\emptyset}$	단, $0.1 \leq \emptyset < 0.6$ $\emptyset$: 충실률
	활하중 비재하시	$2.5 \times 10^{-3}/\sqrt{\emptyset}$	
교량의 바닥판	활하중 재하시	1.5×10^{-3}	
	활하중 비재하시	3.0×10^{-3}	

• $P_2 = 2.5 \times 10^{-3} / \sqrt{\emptyset} = 2.5 \times 10^{-3} / \sqrt{0.395} = 3.978 \times 10^{-3}$ MPa

㉢ 적용 풍하중 강도(활하중 비재하시)

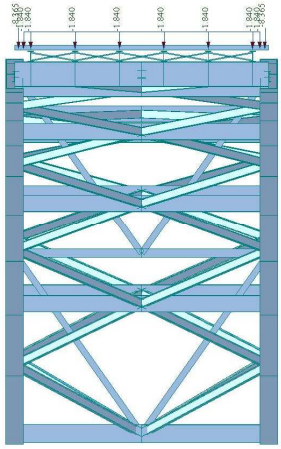
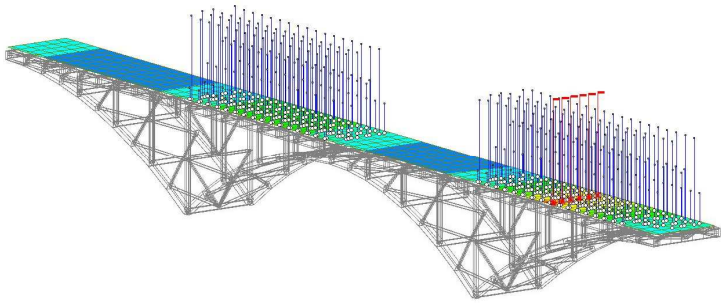
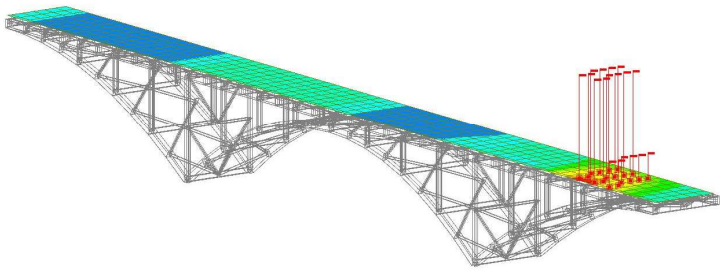
• $P = Max[P1, P2] = 3.978 \times 10^{-3}$ MPa

④ 온도변화의 영향

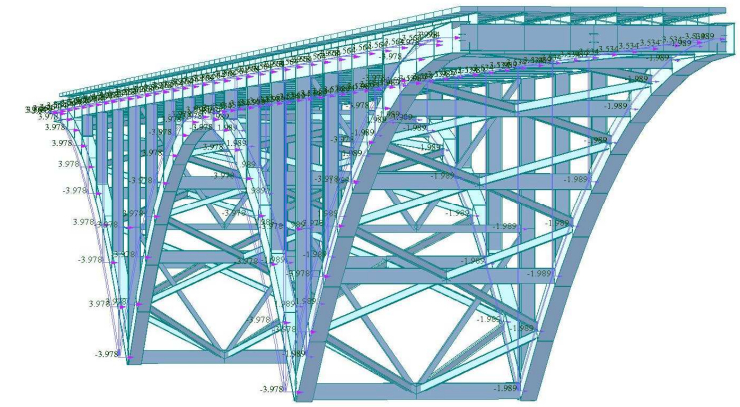
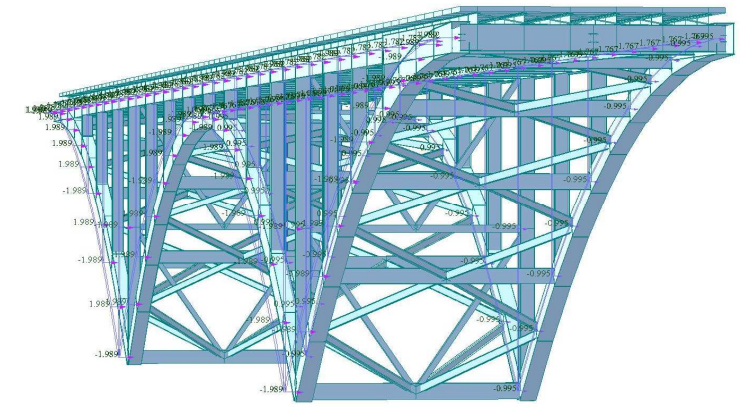
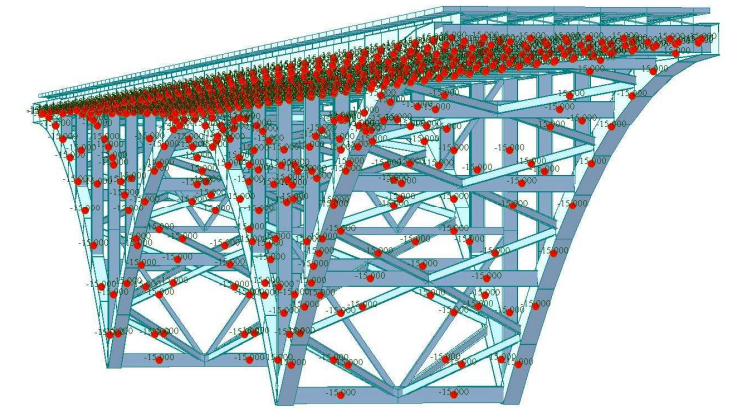
• 선팽창계수 : $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}/℃$

• 온도변화(Temperature Difference) : $\triangle T = \pm 15$ ℃

3) 하중재하

구 분	하중조건 모델링	비 고
구조물 자중		• 보강거더 • 아치리브 • 행거 • 브레이싱 • 세로보 • 바닥판 • 포장 및 방호울타리
활 하 중		• 보강거더 최대 모멘트 발생 시
		• 아치리브 최대 모멘트 발생 시

【그림 5.7】 백운1교(부산) 하중조건 모델링

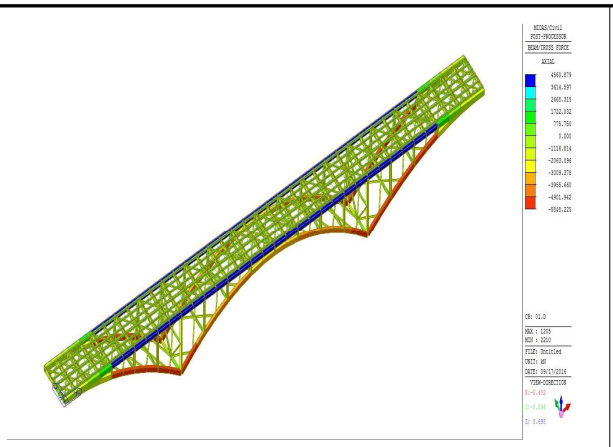
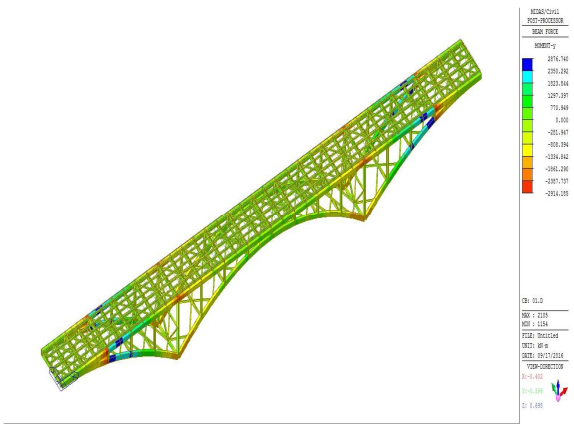
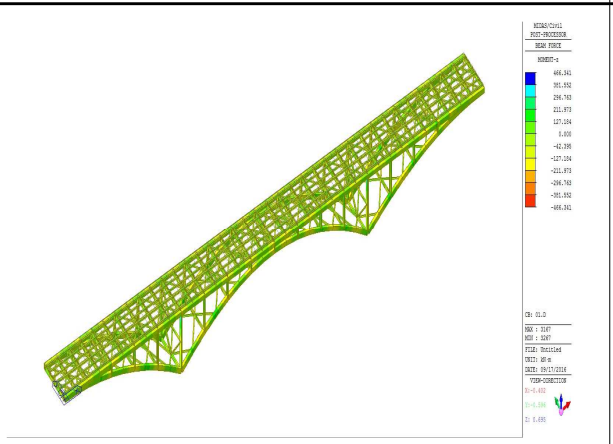
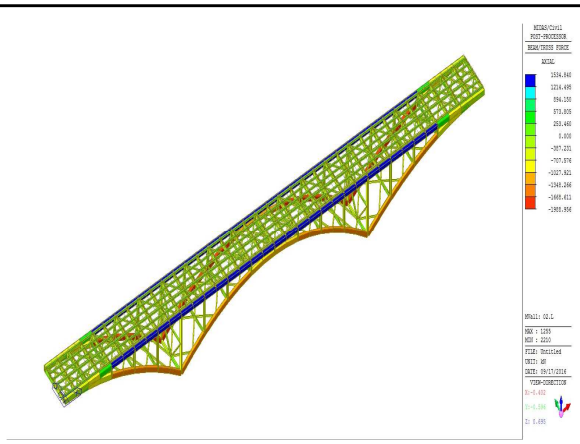
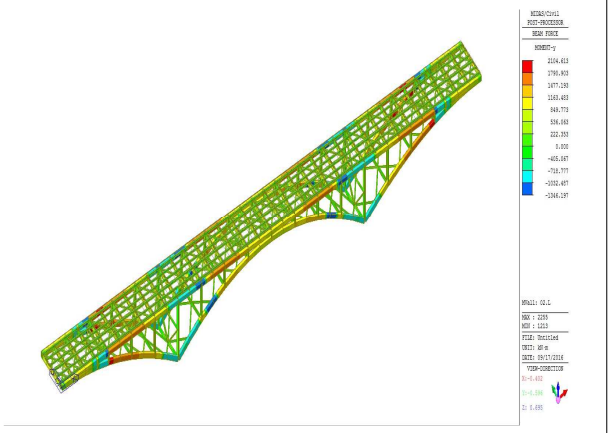
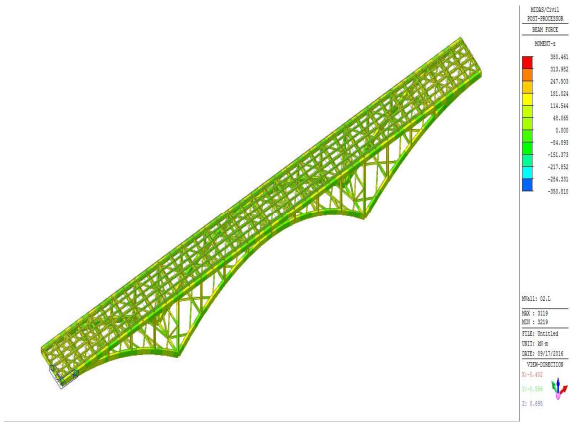
구 분	하중조건 모델링	비 고
풍 하 중		• 활하중 비재하 시
		• 활하중 재하 시
온도하중		• 온도승강 : ±15 ℃

【그림 5.7】 백운1교(부산) 하중조건 모델링(계속)

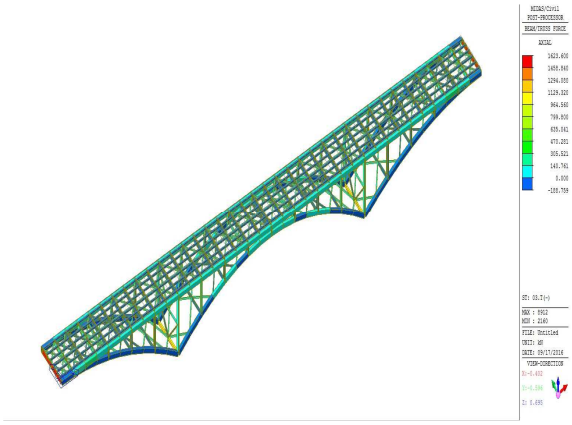
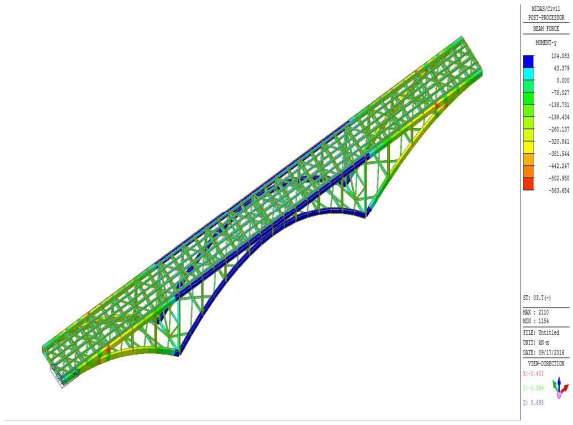
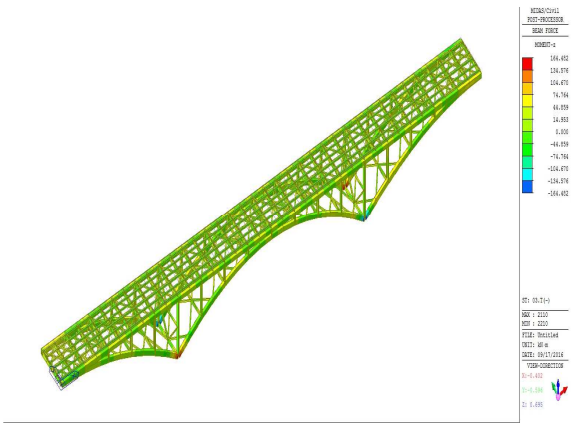
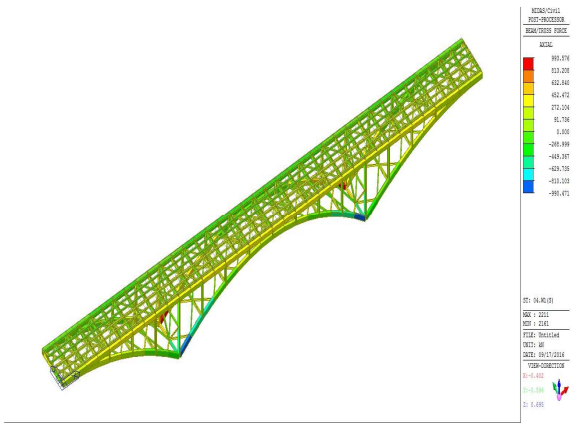
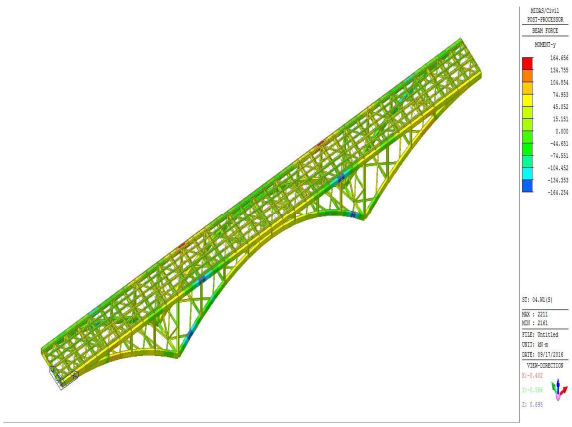
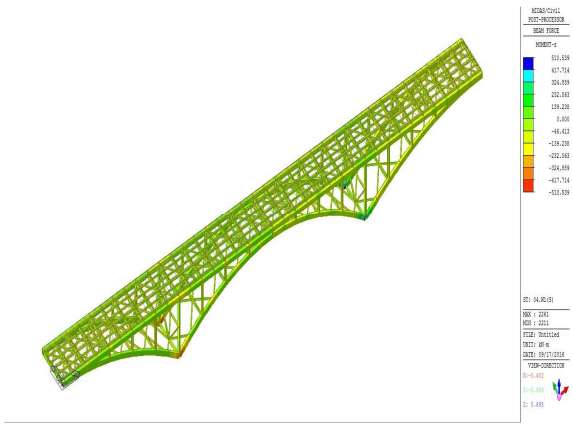
아. 구조해석 결과 및 안전성 검토

1) 해석 결과

① 하중조건별 단면력도

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>고정하중에 의한 축력도(Fx)</td><td>고정하중에 의한 모멘트도(My)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>고정하중에 의한 모멘트도(Mz)</td><td>활하중에 의한 축력도(Fx)</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>활하중에 의한 모멘트도(My)</td><td>활하중에 의한 모멘트도(Mz)</td></tr>
</table>

【그림 5.8】 백운1교(부산) 하중조건별 단면력도

	
온도하중에 의한 축력도(Fx)	온도하중에 의한 모멘트도(My)
	
온도하중에 의한 모멘트도(Mz)	풍하중(활하중 비재하 시)에 의한 축력도(Fx)
	
풍하중(활하중 비재하 시)에 의한 모멘트도(My)	풍하중(활하중 비재하 시)에 의한 모멘트도(Mz)

【그림 5.8】 백운1교(부산) 하중조건별 단면력도(계속)

② 단면력 산출

【표 5.16】 백운1교(부산) 부재별 최대 단면력 산출 결과

구 분		고정하중 (D)	활하중(L+I)		온도하중 (T)	풍하중 (W)	요소번호
			Max	Min			
보강거더 (단면 1)	Fx (kN)	4560.879	1534.503	-156.292	135.697	-276.482	1206
	My (kN・m)	2539.409	1926.104	-964.359	-258.755	-70.150	
	Mz (kN・m)	-82.374	21.294	-39.475	-1.636	26.838	
아치리브 (단면 6)	Fx (kN)	-5085.549	173.891	-1769.887	-159.094	-95.341	2205
	My (kN・m)	2876.740	2318.635	-1141.552	-274.205	-98.190	
	Mz (kN・m)	-66.826	44.137	-97.852	-15.643	43.465	
행 거 (단면 9)	Fx (kN)	-1339.700	162.746	-539.006	43.901	-545.881	3112
	My (kN・m)	7.786	13.626	-11.809	-1.546	0.138	
	Mz (kN・m)	-70.531	2.877	-51.773	-18.261	-18.423	
상부 가로보 (단면 20)	Fx (kN)	0.000	21.354	-14.125	1623.600	94.811	8857
	My (kN・m)	536.698	952.678	-16.845	-0.201	20.190	
	Mz (kN・m)	0.419	0.405	-0.443	-2.433	-1.913	
하부 가로보 (단면 21)	Fx (kN)	0.000	37.137	-28.990	1254.600	-515.120	7111
	My (kN・m)	-149.156	37.981	-38.049	24.992	-1.804	
	Mz (kN・m)	-5.202	5.812	-5.776	0.362	-0.614	
브레이싱 (단면 14)	Fx (kN)	-118.420	31.366	-58.076	19.966	-364.596	6112
	My (kN・m)	-18.898	5.311	-6.357	1.109	-5.499	
	Mz (kN・m)	-1.079	0.502	-0.818	-0.121	0.464	

2) 응력 검토

① 사용하중조합

【표 5.17】 백운1교(부산) 응력 검토 시 사용하중조합 경우

조합경우	하 중 조 합	허용응력 증가계수
LCS 1	주하중(D + L + I)	1.00
LCS 2	주하중+온도변화의 영향(D + L + I + T)	1.15
LCS 3	주하중+풍하중(D + L + I + W)	1.25
LCS 4	주하중+풍하중(D + W)	1.25
LCS 5	주하중+온도변화의 영향+풍하중(D + L + I + T + W)	1.35

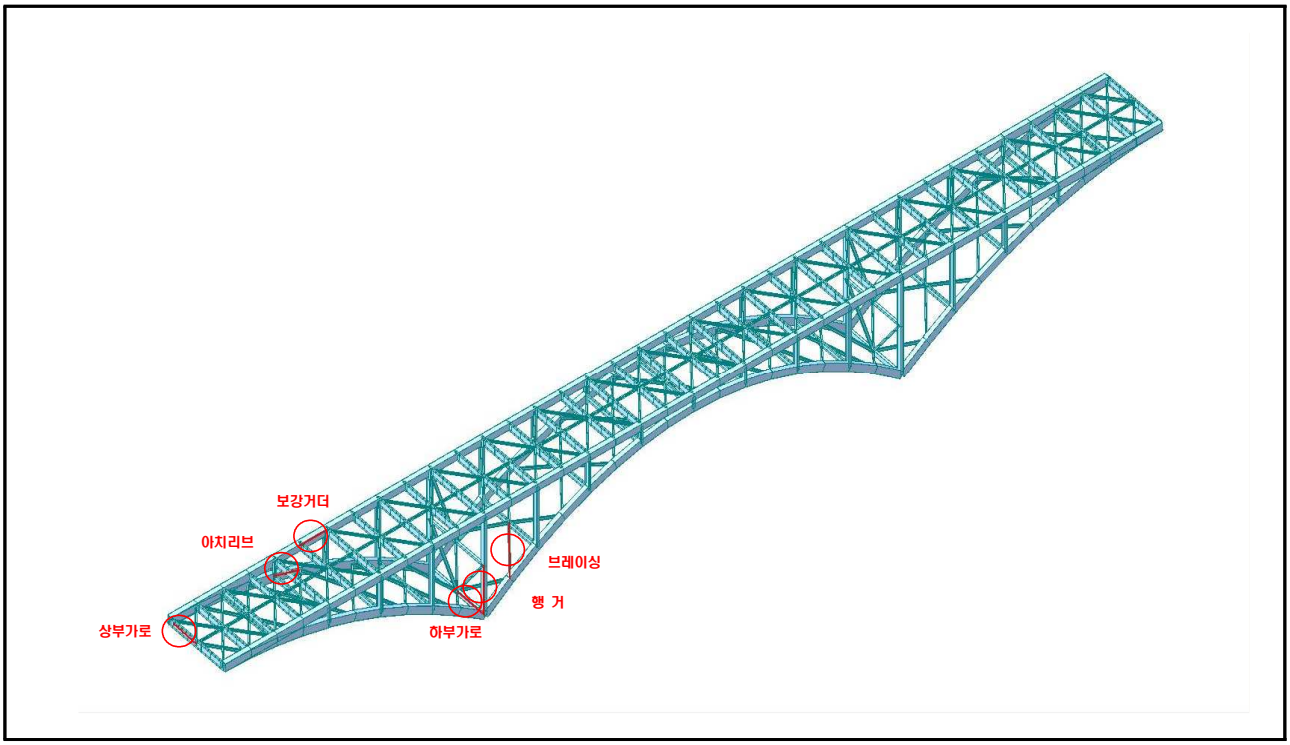
여기서, D : 고정하중

L+I : 활하중(충격포함)

W : 풍하중

T : 온도변화

② 검토 위치



【그림 5.9】 백운1교(부산) 응력 검토 위치

③ 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재의 검토

대상교량의 주부재인 보강거더와 아치리브는 축방향력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재이므로 도로교설계기준 3.4.3항에 근거하여 검토하였으며, 기타 부재도 관련규정을 준용하여 검토하였다.

㉠ 축방향력이 인장인 경우

$$f_t + f_{bty} + f_{btz} \leqq f_{ta}$$

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}} \leqq 1.0$$

$$-f_t + f_{bcy} + f_{bcz} \leqq f_{cal}$$

㉡ 축방향력이 압축인 경우

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} \leqq 1$$

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} + \frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} \leqq f_{cal}$$

여기서, f_t, f_c : 각각 단면에 작용하는 축방향력에 의한 인장 및 압축응력(MPa)

f_{bty}, f_{btz} : 각각 강축 및 약축 둘레에 작용하는 휨모멘트에 의한 인장응력(MPa)

f_{bcy}, f_{bcz} : 각각 강축 및 약축 둘레에 작용하는 휨모멘트에 의한 압축응력(MPa)

f_{ta} : 허용 축방향인장응력(MPa)

f_{caz} : 약축 둘레의 허용 축방향압축응력(MPa)

f_{bagy} : 국부좌굴을 고려하지 않은 강축 둘레의 허용 휨압축응력(MPa)

f_{bao} : 양연지지판, 자유돌출판 및 보강된 판에 대한 국부좌굴응력의 허용응력(MPa)

f_{Ey}, f_{Ez} : 각각 강축 둘레 및 약축 둘레에 대한 허용오일러 좌굴응력(MPa)

$$f_{Ey} = 12,000,000/(\frac{l}{r_y})^2$$

$$f_{Ez} = 12,000,000/(\frac{l}{r_z})^2$$

l : 각 장에 규정되어 있는 유효 좌굴길이(mm)

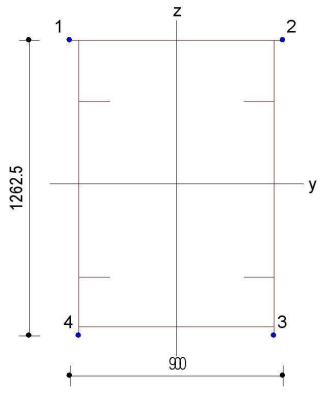
r_y, r_z : 각각 y축 및 z축 둘레의 단면2차반경(mm)

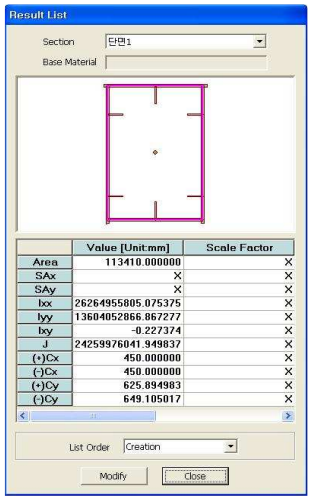
④ 보강거더 검토

㉠ 검토 조건

ⓐ 단면 조건

• 사용강종 : SM520





【그림 5.10】 백운1교(부산) 보강거더 단면조건

ⓑ 부호규약

(+) : 인장, (-) : 압축

ⓒ 적용 사용하중

【표 5.18】 백운1교(부산) 보강거더 적용 사용하중

구 분	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kN · m)	M_y (kN · m)	M_z (kN · m)	비 고
LCS1	6,095.718	-76.801	770.575	491.639	4,465.512	-273.872	Max My

㉡ 응력검토

ⓐ 허용휨인장응력(fta)

【표 5.19】 백운1교(부산) 보강거더 허용휨인장응력(fta)

단위 : MPa

구 분	SM520	
Top Flange	40 이하	215.000
Bottom Flange	40 이하	215.000
Left Web	40 이하	215.000
Right Web	40 이하	215.000

ⓑ 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca)

• y축에 대한 유효좌굴길이

- 부재의 유효좌굴길이 : ℓ_y = 5000.000 mm
- 부재 총단면의 단면회전반경 : r_y = 481.241 mm
- 세장비 : ℓ_y/r_y = 10.390

• z축에 대한 유효좌굴길이

- 부재의 유효좌굴길이 : ℓ_z = 5000.000 mm
- 부재 총단면의 단면회전반경 : r_z = 346.345 mm
- 세장비 : ℓ_z/r_z = 14.436

• 세장비 검토

- 세장비 : ℓ/r = 14.436 ≤ 200.000 ∴ OK

【표 5.20】 백운1교(부산) 보강거더 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca)

단위 : MPa

구 분	SM520	
Top Flange	40 이하	15.1 < ℓ/r ≤ 75.5
		Fcaz = 215 - 1.55 × (ℓ/r - 15.1) = 216.029
Bottom Flange	40 이하	15.1 < ℓ/r ≤ 75.5
		Fcaz = 215 - 1.55 × (ℓ/r - 15.1) = 216.029
Left Web	40 이하	15.1 < ℓ/r ≤ 75.5
		Fcaz = 215 - 1.55 × (ℓ/r - 15.1) = 216.029
Right Web	40 이하	15.1 < ℓ/r ≤ 75.5
		Fcaz = 215 - 1.55 × (ℓ/r - 15.1) = 216.029
Top Flange	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcay = 215.000
Bottom Flange	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcay = 215.000
Left Web	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcay = 215.000
Right Web	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcay = 215.000

ⓒ 허용휨압축응력(f_{bagy})

• Top Flange

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 5000.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 900.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 60600.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 22500.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 2.693 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 5.556, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 2.085

【표 5.21】 백운1교(부산) 보강거더 상부플랜지 허용휨압축응력(fbagy)

단위 : MPa

구 분		SM520
$\frac{A_w}{A_c}$ > 2.0	40 이하	7.5/K < ℓ/b ≤ 27
		215 - 2.35 × (K×ℓ/b - 7.5) = 205.402

• Bottom Flange

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 5000.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 824.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 60600.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 20600.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 2.942 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 6.068, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 2.114

【표 5.22】 백운1교(부산) 보강거더 하부플랜지 허용휨압축응력(fbagy)

단위 : MPa

구 분		SM520
$\frac{A_w}{A_c}$ > 2.0	40 이하	7.5/K < ℓ/b ≤ 27
		215 - 2.35 × (K×ℓ/b - 7.5) = 202.480

• Left Web

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 5000.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 1262.500 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 43100.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 30300.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 1.422 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 3.960, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 1.926

【표 5.23】 백운1교(부산) 보강거더 좌측 복부 허용휨압축응력(fbagy)

단위 : MPa

구 분		SM520
$\frac{A_w}{A_c}$ > 2.0	40 이하	3.8 < ℓ/b ≤ 27
		215 - 4.69 × (ℓ/b - 3.8) = 214.250

• Right Web

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 5000.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 1262.500 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 43100.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 30300.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 1.422 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 3.960, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 1.926

【표 5.24】 백운1교(부산) 보강거더 우측 복부 허용휨압축응력(fbagy)

단위 : MPa

구 분		SM520
$\frac{A_w}{A_c}$ > 2.0	40 이하	3.8 < ℓ/b ≤ 27
		215 - 4.69 × (ℓ/b - 3.8) = 214.250

ⓓ 허용 오일러 좌굴응력

【표 5.25】 백운1교(부산) 보강거더 허용 오일러 좌굴응력

단위 : MPa

f_{Ey}	$1200000/(l_y/r_y)^2$	11116.480
f_{Ez}	$1200000/(l_z/r_z)^2$	5757.841

ⓔ 허용전단응력(υ_a)

【표 5.26】 백운1교(부산) 보강거더 허용전단응력(Va)

단위 : MPa

구 분	SM520	
Top Flange	40 이하	125.000
Bottom Flange	40 이하	125.000
Left Web	40 이하	125.000
Right Web	40 이하	125.000

ⓕ 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력

- 압축응력을 받는 자유돌출판의 최소두께
  - Top Flange(L)

    t_{min} = b / 16 = 26.0/16.0 = 1.625 mm ≤ t_f = 25.000 mm ∴OK
  - Top Flange(R)

    t_{min} = b / 16 = 26.0/16.0 = 1.625 mm ≤ t_f = 25.000 mm ∴OK
  - Left Web(B)

    t_{min} = b / 16 = 25.0/16.0 = 1.563 mm ≤ t_f = 24.000 mm ∴OK
  - Right Web(B)

    t_{min} = b / 16 = 25.0/16.0 = 1.563 mm ≤ t_f = 24.000 mm ∴OK
- 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력(f_{cal})
  - Top Flange(L)

    t = 25.000 mm

    t_1= b / 10.5 = 26.0/10.5 = 2.476 mm

【표 5.27】 백운1교(부산) 보강거더 자유돌출판(Top Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

- Top Flange(R)

t = 25.000 mm

t_1= b / 10.5 = 26.0/10.5 = 2.476 mm

【표 5.28】 백운1교(부산) 보강거더 자유돌출판(Top Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

- Left Web(B)

t = 24.000 mm

t_1= b / 10.5 = 25.0/10.5 = 2.381 mm

【표 5.29】 백운1교(부산) 보강거더 자유돌출판(Left Web(B))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

- Right Web(B)

t = 24.000 mm

t_1= b / 10.5 = 25.0/10.5 = 2.381 mm

【표 5.30】 백운1교(부산) 보강거더 자유돌출판(Right Web(B))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

ⓖ 보강된판 및 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력

• Top Flange

- 보강된 판의 두께 : t = 25.0 mm
- 보강된 판의 폭 : b = 800.0 mm
- 종방향보강재에 의해 구분되는 패널의 수(n ≥ 2) : 2ea
- 응력구배계수 : $i = 0.65 (\phi/n)^2 + 0.13 (\phi/n) + 1.0 = 1.010$
- 응력구배 : $\phi = (f_1 - f_2) / f_1 = 0.118$
- 판의 양연에서의 응력 : f_1 = -58.346 MPa, f_2 = -51.476 MPa
- 압축응력을 받는 보강된 판의 최소두께

  t ≤ 40mm

  t_{min} = b / 46in = 800.0/92.9 = 8.6 ≤ t=25.0 mm ∴OK

【표 5.31】 백운1교(부산) 보강거더 보강된 판(Top Flange)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/23in ≤ t
	215.000

• Bottom Flange

- 판의 양연에서의 응력 : f_1 = 156.485 MPa, f_2 = 149.615 MPa
- 판의 양연에서의 응력이 인장이므로 압축응력을 받는 보강된 판 검토에서 제외.

• Left Web

- 보강된 판의 두께 : t = 24.0 mm
- 보강된 판의 폭 : b = 1200.0 mm
- 종방향보강재에 의해 구분되는 패널의 수(n ≥ 2) : 3ea
- 응력구배계수 : $i = 0.65 (\phi/n)^2 + 0.13 (\phi/n) + 1.0 = 1.200$
- 응력구배 : $\phi = (f_1 - f_2) / f_1 = 1.390$
- 판의 양연에서의 응력 : f_1 = 149.615 MPa, f_2 = -58.346 MPa
- 압축응력을 받는 보강된 판의 최소두께

  t ≤ 40mm

  t_{min} = b / 46in = 1200.0/165.6 = 7.2 ≤ t=24.0 mm ∴OK

【표 5.32】 백운1교(부산) 보강거더 보강된 판(Left Web)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/23in ≤ t
	215.000

• Right Web

- 보강된 판의 두께 : t = 24.0 mm
- 보강된 판의 폭 : b = 1200.0 mm
- 종방향보강재에 의해 구분되는 패널의 수(n ≥ 2) : 3ea
- 응력구배계수 : $i = 0.65 (\phi/n)^2 + 0.13 (\phi/n) + 1.0 = 1.185$
- 응력구배 : $\phi = (f_1 - f_2) / f_1 = 1.329$
- 판의 양연에서의 응력 : f_1 = 156.485 MPa, f_2 = -51.476 MPa
- 압축응력을 받는 보강된 판의 최소두께

  $t \leq 40mm$

  t_{min} = b / 46in = 1200.0/163.5 = 7.3 ≤ t=24.0 mm ∴OK

【표 5.33】 백운1교(부산) 보강거더 보강된 판(Right Web)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/23in ≤ t
	215.000

ⓗ 허용응력 요약

【표 5.34】 백운1교(부산) 보강거더 허용응력 요약

구 분	fta	fcaz	fbagy	Va	fcal
Top Flange	215.000	216.029	205.402	125.000	215.000
Bottom Flange	215.000	216.029	202.480	125.000	인장발생
Left Web	215.000	216.029	214.250	125.000	215.000
Right Web	215.000	216.029	214.250	125.000	215.000

여기서, $f_{ca} = f_{cag} \cdot f_{cal} / f_{cao}$

ⓘ 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재의 허용응력 검토

• 축방향력에 의한 응력

f_c = P / A = 6095.718×10^3 / 1.0125E+05 = 59.470 MPa

• 휨모멘트에 의한 응력

f_{by1} = M_y × Z_1 / I_{yy} = -117.228 MPa, f_{bz1} = M_z × y_1 / I_{zz} = -9.649 MPa

f_{by2} = M_y × Z_2 / I_{yy} = -117.228 MPa, f_{bz2} = M_z × y_2 / I_{zz} = 9.649 MPa

f_{by3} = M_y × Z_3 / I_{yy} = 122.033 MPa, f_{bz3} = M_z × y_3 / I_{zz} = 9.091 MPa

f_{by4} = M_y × Z_4 / I_{yy} = 122.033 MPa, f_{bz4} = M_z × y_4 / I_{zz} = -9.091 MPa

• Position 1(y-direction) 응력 검토

$-f_t + f_{bcy} + f_{bcz} \le f_{cal}$

59.470 + (-117.228) + (-9.649) = -67.406 MPa ≤ f_{cal} = 215.000 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{59.470}{215.000} + \frac{-117.228}{205.402} + \frac{-9.649}{215.000} = -0.339 \le 1.000$$ ∴OK

• Position 2(y-direction) 응력 검토

$-f_t + f_{bcy} + f_{bcz} \le f_{cal}$

59.470 + (-117.228) + 9.649 = -48.108 MPa ≤ f_{cal} = 215.000 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{59.470}{215.000} + \frac{-117.228}{205.402} + \frac{9.649}{215.000} = -0.249 \le 1.000$$ ∴OK

• Position 3(y-direction) 응력 검토

$f_t + f_{bty} + f_{btz} \le f_{ta}$

59.470 + 122.033 + 9.091 = 190.595 MPa ≤ f_{ta} = 215.000 MPa ∴OK

• Position 4(y-direction) 응력 검토

$f_t + f_{bty} + f_{btz} \le f_{ta}$

59.470 + 122.033 + (-9.091) = 172.413 MPa ≤ f_{ta} = 215.000 MPa ∴OK

• Position 1(z-direction)

$-f_t + f_{bcz} + f_{bcy} \le f_{cal}$

59.470 + (-9.649) + (-117.228) = -58.663 MPa ≤ f_{cal} = 215.000 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{59.470}{215.000} + \frac{-9.549}{214.248} + \frac{-117.228}{215.000} = -0.314 \le 1.000 \quad \therefore OK$$

- Position 2(z-direction)

$-f_t + f_{bcz} + f_{bcy} \le f_{cal}$

59.470 + 9.649 + (-117.228) = -48.108 MPa $\le f_{cal}$ = 215.000 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{59.470}{215.000} + \frac{9.649}{214.250} + \frac{-117.228}{215.000} = -0.224 \le 1.000 \quad \therefore OK$$

- Position 3(z-direction)

$f_t + f_{btz} + f_{bty} \le f_{ta}$

59.470 + 9.091 + 122.033 = 190.595 MPa $\le f_{ta}$ = 215.000 MPa ∴OK

- Position 4(z-direction)

$f_t + f_{btz} + f_{bty} \le f_{ta}$

59.470 + (-9.091) + 122.033 = 172.413 MPa $\le f_{ta}$ = 215.000 MPa ∴OK

ⓙ 전단응력에 대한 검토

$\upsilon_z = F_z / A_w + \upsilon_T$

$= 770.575\times10^3 / 60600.000 + 0.924$

= 12.716 MPa $\le \upsilon_a$ = 125.000 MPa ∴OK

$\upsilon_y = F_y / A_f + \upsilon_T$

$= -76.801\times10^3 / 43100.000 + 0.046$

= -1.778 MPa $\le \upsilon_a$ = 125.000 MPa ∴OK

ⓚ 합성응력에 대한 검토

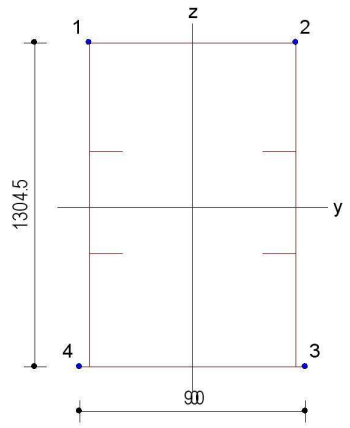
$$\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\upsilon_b}{\upsilon_a}\right)^2 = \left(\frac{131.125}{215.0}\right)^2 + \left(\frac{12.716}{125.0}\right)^2 = 0.382 < 1.200 \quad \therefore OK$$

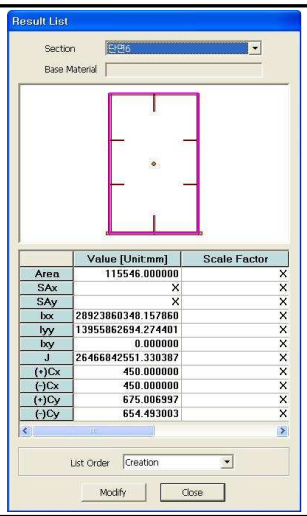
⑤ 아치리브 검토

㉠ 검토 조건

ⓐ 단면 조건

• 사용강종 : SM520





【그림 5.11】 백운1교(부산) 아치리브 단면조건

ⓑ 부호규약

(+) : 인장, (-) : 압축

ⓒ 적용 사용하중

【표 5.35】 백운1교(부산) 아치리브 적용 사용하중

구 분	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kN · m)	M_y (kN · m)	M_z (kN · m)	비 고
LCS1	-7,837.180	-99.554	614.872	-407.885	4,981.352	-307.038	Max My

㉡ 응력검토

ⓐ 허용휨인장응력(fta)

【표 5.36】 백운1교(부산) 아치리브 허용휨인장응력(fta)

단위 : MPa

구 분	SM520	
Top Flange	40 이하	215.000
Bottom Flange	40 이하	215.000
Left Web	40 이하	215.000
Right Web	40 이하	215.000

ⓑ 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca)

• y축에 대한 유효좌굴길이

- 부재의 유효좌굴길이 : ℓ_y = 5255.892 mm
- 부재 총단면의 단면회전반경 : r_y = 500.324 mm
- 세장비 : ℓ_y/r_y = 10.505

• z축에 대한 유효좌굴길이

- 부재의 유효좌굴길이 : ℓ_z = 5255.892 mm
- 부재 총단면의 단면회전반경 : r_z = 347.537 mm
- 세장비 : ℓ_z/r_z = 15.123

• 세장비 검토

- 세장비 : ℓ/r = 15.123 ≤ 120.000 ∴OK

【표 5.37】 백운1교(부산) 아치리브 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca)

단위 : MPa

구 분	SM520	
Top Flange	40 이하	15.1 < ℓ/r ≤ 75.5
		Fcaz = 215 - 1.55 × (ℓ/r - 15.1) = 214.964
Bottom Flange	40 이하	15.1 < ℓ/r ≤ 75.5
		Fcaz = 215 - 1.55 × (ℓ/r - 15.1) = 214.964
Left Web	40 이하	15.1 < ℓ/r ≤ 75.5
		Fcaz = 215 - 1.55 × (ℓ/r - 15.1) = 214.964
Right Web	40 이하	15.1 < ℓ/r ≤ 75.5
		Fcaz = 215 - 1.55 × (ℓ/r - 15.1) = 214.964
Top Flange	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcay = 215.000
Bottom Flange	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcay = 215.000
Left Web	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcay = 215.000
Right Web	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcay = 215.000

ⓒ 허용휨압축응력(fbagy)

• Top Flange

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 5255.892 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 824.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 62616.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 20600.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 3.040 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 6.379, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 2.126

【표 5.38】 백운1교(부산) 아치리브 상부플랜지 허용휨압축응력(fbagy)

단위 : MPa

구 분		SM520
$\frac{A_w}{A_c}$ > 2.0	40 이하	7.5/K < ℓ/b ≤ 27
		215 - 2.35 × (K×ℓ/b - 7.5) = 200.755

• Bottom Flange

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 5255.892 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 900.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 62616.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 22500.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 2.783 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 5.840, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 2.096

【표 5.39】 백운1교(부산) 아치리브 하부플랜지 허용휨압축응력(fbagy)

단위 : MPa

구 분		SM520
$\frac{A_w}{A_c}$ > 2.0	40 이하	7.5/K < ℓ/b ≤ 27
		215 - 2.35 × (K×ℓ/b - 7.5) = 203.866

• Left Web

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 5255.892 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 1304.500 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 43100.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 31308.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 1.377 ≤ 2.000, $\frac{l}{b}$ = 4.029, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 1.921

【표 5.40】 백운1교(부산) 아치리브 좌측 복부 허용휨압축응력(fbagy)

단위 : MPa

구 분		SM520
$\frac{A_w}{A_c}$ > 2.0	40 이하	3.8 < ℓ/b ≤ 27
		215 - 4.69 × (ℓ/b - 3.8) = 213.926

• Right Web

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 5255.892 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 1304.500 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 43100.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 31308.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 1.377 ≤ 2.000, $\frac{l}{b}$ = 4.029, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 1.921

【표 5.41】 백운1교(부산) 아치리브 우측 복부 허용휨압축응력(fbagy)

단위 : MPa

구 분		SM520
$\frac{A_w}{A_c}$ > 2.0	40 이하	3.8 < ℓ/b ≤ 27
		215 - 4.69 × (ℓ/b - 3.8) = 213.926

ⓓ 허용 오일러 좌굴응력

【표 5.42】 백운1교(부산) 아치리브 허용 오일러 좌굴응력

단위 : MPa

f_{Ey}	1200000/(l_y/r_y)^2	10874.025
f_{Ez}	1200000/(l_z/r_z)^2	5246.762

ⓔ 허용전단응력(υ_a)

【표 5.43】 백운1교(부산) 아치리브 허용전단응력(Va)

단위 : MPa

구 분	SM520	
Top Flange	40 이하	125.000
Bottom Flange	40 이하	125.000
Left Web	40 이하	125.000
Right Web	40 이하	125.000

ⓕ 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력

- 압축응력을 받는 자유돌출판의 최소두께
  - Bottom Flange(L)

    t_{min} = b / 16 = 26.0/16.0 = 1.625 mm ≤ t_f = 25.000 mm ∴OK
  - Bottom Flange(R)

    t_{min} = b / 16 = 26.0/16.0 = 1.625 mm ≤ t_f = 25.000 mm ∴OK
- 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력(f_{cal})
  - Bottom Flange(L)

    t = 25.000 mm

    t_1= b / 10.5 = 26.0/10.5 = 2.476 mm

【표 5.44】 백운1교(부산) 아치리브 자유돌출판(Bottom Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

- Bottom Flange(R)

  t = 25.000 mm

  t_1= b / 10.5 = 26.0/10.5 = 2.476 mm

【표 5.45】 백운1교(부산) 아치리브 자유돌출판(Bottom Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

ⓖ 보강된판 및 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력

• Top Flange

- 보강된 판의 두께 : t = 25.0 mm
- 보강된 판의 폭 : b = 800.0 mm
- 종방향보강재에 의해 구분되는 패널의 수(n ≥ 2) : 2ea
- 응력구배계수 : $i = 0.65 (\phi/n)^2 + 0.13 (\phi/n) + 1.0 = 1.003$
- 응력구배 : $\phi = (f_1 - f_2) / f_1 = 0.039$
- 판의 양연에서의 응력 : f_1 = -170.552 MPa, f_2 = -163.868 MPa
- 압축응력을 받는 보강된 판의 최소두께

  t ≤ 40mm

  t_{min} = b / 46in = 800.0/92.3 = 8.7 ≤ t=25.0 mm ∴OK

【표 5.46】 백운1교(부산) 아치리브 보강된 판(Top Flange)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/23in ≤ t
	215.000

• Bottom Flange

- 판의 양연에서의 응력 : f_1 = 60.423 MPa, f_2 = 53.738 MPa
- 판의 양연에서의 응력이 인장이므로 압축응력을 받는 보강된 판 검토에서 제외.

• Left Web

- 보강된 판의 두께 : t = 24.0 mm
- 보강된 판의 폭 : b = 1292.0 mm
- 종방향보강재에 의해 구분되는 패널의 수(n ≥ 2) : 3ea
- 응력구배계수 : $i = 0.65 (\phi/n)^2 + 0.13 (\phi/n) + 1.0 = 1.182$

- 응력구배 : $\phi = (f_1 - f_2) / f_1 = 1.315$
- 판의 양연에서의 응력 : $f_1 = -170.552$ MPa, $f_2 = 53.738$ MPa
- 압축응력을 받는 보강된 판의 최소두께

  $t \leq 40$mm

  $t_{min} = b / 46in = 1292.0/163.1 = 7.9 \leq t=24.0$ mm ∴OK

【표 5.47】 백운1교(부산) 아치리브 보강된 판(Left Web)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/23in ≤ t
	215.000

• Right Web

- 보강된 판의 두께 : t = 24.0 mm
- 보강된 판의 폭 : b = 1292.0 mm
- 종방향보강재에 의해 구분되는 패널의 수(n ≥ 2) : 3ea
- 응력구배계수 : $i = 0.65 (\phi/n)^2 + 0.13 (\phi/n) + 1.0 = 1.195$
- 응력구배 : $\phi = (f_1 - f_2) / f_1 = 1.369$
- 판의 양연에서의 응력 : $f_1 = -163.868$ MPa, $f_2 = 60.423$ MPa
- 압축응력을 받는 보강된 판의 최소두께

  $t \leq 40$mm

  $t_{min} = b / 46in = 1292.0/164.9 = 7.8 \leq t=24.0$ mm ∴OK

【표 5.48】 백운1교(부산) 아치리브 보강된 판(Right Web)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/23in ≤ t
	215.000

ⓗ 허용응력 요약

【표 5.49】 백운1교(부산) 아치리브 허용응력 요약

구 분	fta	fca	fbagy	Va	fcal
Top Flange	215.000	214.964	200.758	125.000	215.000
Bottom Flange	215.000	214.964	203.866	125.000	인장발생
Left Web	215.000	214.964	213.926	125.000	215.000
Right Web	215.000	214.964	213.926	125.000	215.000

여기서, $f_{ca} = f_{cag} \cdot f_{cal} / f_{cao}$

ⓘ 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재의 허용응력 검토

- 축방향력에 의한 응력

$f_c = P / A = -7{,}837.180 \times 10^3 / 1.049E+05 = -74.711$ MPa

- 휨모멘트에 의한 응력

$f_{by1} = M_y \times Z_1 / I_{yy} = -122.203$ MPa, $f_{bz1} = M_z \times y_1 / I_{zz} = -9.877$ MPa

$f_{by2} = M_y \times Z_2 / I_{yy} = -122.203$ MPa, $f_{bz2} = M_z \times y_2 / I_{zz} = 9.877$ MPa

$f_{by3} = M_y \times Z_3 / I_{yy} = 120.440$ MPa, $f_{bz3} = M_z \times y_3 / I_{zz} = 10.483$ MPa

$f_{by4} = M_y \times Z_4 / I_{yy} = 120.440$ MPa, $f_{bz4} = M_z \times y_4 / I_{zz} = -10.483$ MPa

- Position 1(y-direction) 응력 검토

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} + \frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} \le f_{cal}$$

$$-74.711 + \frac{-122.203}{(1-\frac{-74.711}{10{,}874.025})} + \frac{-9.877}{(1-\frac{-74.711}{5{,}246.762})}$$

$= -205.819$ MPa $\le f_{cal} = 215.000$ MPa ∴OK

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} \le 1.0$$

$$\frac{-74.711}{214.964} + \frac{-122.203}{200.758(1-\frac{-74.711}{10{,}874.025})} + \frac{-9.877}{215.000(1-\frac{-74.711}{5{,}246.762})}$$

$= -0.997 \le 1.0$ ∴OK

• Position 2(y-direction) 응력 검토

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} + \frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} \le f_{cal}$$

$$-74.711 + \frac{-122.203}{(1-\frac{-74.711}{10,874.025})} + \frac{9.877}{(1-\frac{-74.711}{5,246.762})}$$

= -186.342 MPa ≤ f_{cal} = 215.000 MPa ∴OK

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} \le 1.0$$

$$\frac{-74.711}{214.964} + \frac{-122.203}{200.758(1-\frac{-74.711}{10,874.025})} + \frac{9.877}{215.000(1-\frac{-74.711}{5246.762})}$$

= -0.907 ≤ 1.0 ∴OK

• Position 3(y-direction) 응력 검토

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} + \frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} \le f_{cal}$$

$$-74.711 + \frac{120.440}{(1-\frac{-74.711}{10,874.025})} + \frac{10.483}{(1-\frac{-74.711}{5,246.762})}$$

= 55.243 MPa ≤ f_{ta} = 215.000 MPa ∴OK

• Position 4(y-direction) 응력 검토

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} + \frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} \le f_{cal}$$

$$-74.711 + \frac{120.440}{(1-\frac{-74.711}{10874.025})} + \frac{-10.483}{(1-\frac{-74.711}{5246.762})}$$

= 34.572 MPa ≤ f_{ta} = 215.000 MPa ∴OK

• Position 1(z-direction) 응력 검토

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} + \frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} \le f_{cal}$$

$$-74.711+\frac{-9.877}{(1-\frac{-74.711}{5246.762})}+\frac{-122.203}{(1-\frac{-74.711}{10874.025})}$$

= -171.148 MPa ≤ f_{ta} = 215.000 MPa ∴OK

$$\frac{f_c}{f_{cay}}+\frac{f_{bcz}}{f_{bagz}(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})}+\frac{f_{bcy}}{f_{bao}(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})}\le 1.0$$

$$\frac{-74.711}{215.000}+\frac{-9.877}{213.926(1-\frac{-74.711}{5,246.762})}+\frac{-122.203}{215.000(1-\frac{-74.711}{10,874.025})}$$

= -0.958 ≤ 1.0 ∴OK

• Position 2(z-direction) 응력 검토

$$f_c+\frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})}+\frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})}\le f_{cal}$$

$$-74.711+\frac{9.877}{(1-\frac{-74.711}{5,246.762})}+\frac{-122.203}{(1-\frac{-74.711}{10,874.025})}$$

= -186.342 MPa ≤ f_{cal} = 215.000 MPa ∴OK

$$\frac{f_c}{f_{cay}}+\frac{f_{bcz}}{f_{bagz}(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})}+\frac{f_{bcy}}{f_{bao}(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})}\le 1.0$$

$$\frac{-74.711}{215.000}+\frac{9.877}{213.926(1-\frac{-74.711}{5246.762})}+\frac{-122.203}{215.000(1-\frac{-74.711}{10874.025})}$$

= -0.866 ≤ 1.0 ∴OK

• Position 3(z-direction) 응력 검토

$$f_c+\frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})}+\frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})}\le f_{cal}$$

$$-74.711+\frac{10.483}{(1-\frac{-74.711}{5,246.762})}+\frac{120.440}{(1-\frac{-74.711}{10,874.025})}$$

= 55.243 MPa ≤ f_{ta} = 215.000 MPa ∴OK

• Position 4(z-direction) 응력 검토

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} + \frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} \le f_{cal}$$

$$-74.711 + \frac{-10.483}{(1-\frac{-74.711}{5{,}246.762})} + \frac{120.440}{(1-\frac{-74.711}{10{,}874.025})}$$

= 34.572 MPa ≤ f_{ta} = 215.000 MPa ∴OK

ⓙ 전단응력에 대한 검토

$\upsilon_z = F_z / A_w + \upsilon_T$

= 614.872×10^3 / 62616.000 + -2.080

= 9.820 MPa ≤ υ_a = 125.000 MPa ∴OK

$\upsilon_y = F_y / A_f + \upsilon_T$

= -99.554×10^3 / 43100.000 + -1.997

= -2.305 MPa ≤ υ_a = 125.000 MPa ∴OK

ⓚ 합성응력에 대한 검토

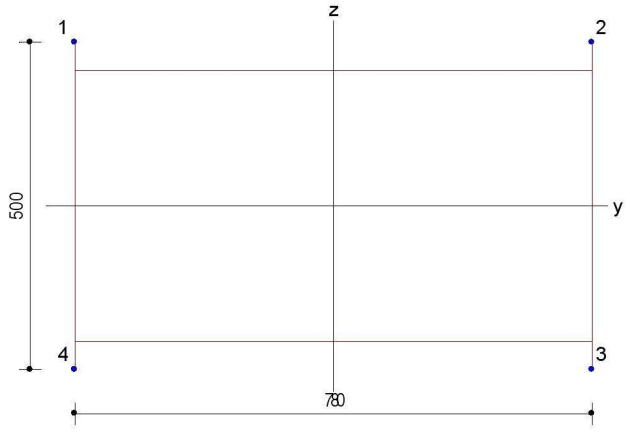
$$\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v_b}{v_a}\right)^2 = \left(\frac{-130.923}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{9.820}{125.000}\right)^2 = 0.377 < 1.200$$ ∴OK

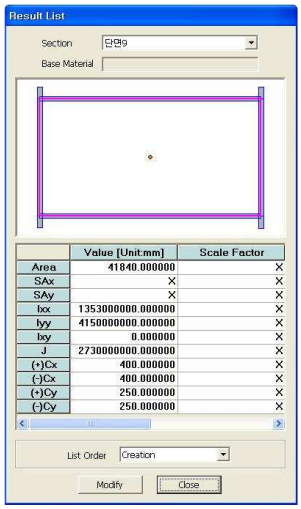
⑥ 행거 검토

㉠ 검토 조건

ⓐ 단면 조건

• 사용강종 : SM400





【그림 5.12】 백운1교(부산) 행거 단면조건

ⓑ 부호규약

(+) : 인장, (-) : 압축

ⓒ 적용 사용하중

【표 5.50】 백운1교(부산) 행거 적용 사용하중

구 분	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kN · m)	M_y (kN · m)	M_z (kN · m)	비 고
LCS1	-2002.373	-97.625	-2.485	-3.036	-21.413	-694.702	Max Fy

㉡ 응력검토

ⓐ 허용휨인장응력(fta)

【표 5.51】 백운1교(부산) 행거 허용휨인장응력(fta)

단위 : MPa

구 분	SM400	
Top Flange	40 이하	140.000
Bottom Flange	40 이하	140.000
Left Web	40 이하	140.000
Right Web	40 이하	140.000

ⓑ 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca)

• y축에 대한 유효좌굴길이

- 부재의 유효좌굴길이 : ℓ_y = 7950.000 mm
- 부재 총단면의 단면회전반경 : r_y = 179.816 mm
- 세장비 : ℓ_y/r_y = 44.212

• z축에 대한 유효좌굴길이

- 부재의 유효좌굴길이 : ℓ_z = 7950.000 mm
- 부재 총단면의 단면회전반경 : r_z = 314.938 mm
- 세장비 : ℓ_z/r_z = 25.243

• 세장비 검토

- 세장비 : ℓ/r = 44.212 ≤ 120.000 ∴OK

【표 5.52】 백운1교(부산) 행거 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca)

단위 : MPa

구 분	SM400	
Top Flange	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcaz = 140 - 0.82 × (ℓ/r - 18.6) = 134.553
Bottom Flange	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcaz = 140 - 0.82 × (ℓ/r - 18.6) = 134.553
Left Web	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcaz = 140 - 0.82 × (ℓ/r - 18.6) = 134.553
Right Web	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcaz = 140 - 0.82 × (ℓ/r - 18.6) = 134.553
Top Flange	40 이하	20 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcay = 140 - 0.82 × (ℓ/r - 18.6) = 118.998
Bottom Flange	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcay = 140 - 0.82 × (ℓ/r - 18.6) = 118.998
Left Web	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcay = 140 - 0.82 × (ℓ/r - 18.6) = 118.998
Right Web	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcay = 140 - 0.82 × (ℓ/r - 18.6) = 118.998

ⓒ 허용휨압축응력(fbagy)

• Top Flange

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 7950.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 780.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 20000.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 10920.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 1.832 ≤ 2.000, $\frac{l}{b}$ = 10.192

【표 5.53】 백운1교(부산) 행거 Top Flange 허용휨압축응력(fbagy)

단위 : MPa

구 분		SM400
$\frac{A_w}{A_c}$ ≤ 2.0	40 이하	4.6 < ℓ/b ≤ 30
		140 - 2.49 × (ℓ/b - 4.6) = 126.075

• Bottom Flange

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 7950.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 780.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 20000.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 10920.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 1.832 ≤ 2.000, $\frac{l}{b}$ = 10.192

【표 5.54】 백운1교(부산) 행거 Bottom Flange 허용휨압축응력(fbagy)

단위 : MPa

구 분		SM400
$\frac{A_w}{A_c}$ ≤ 2.0	40 이하	4.6 < ℓ/b ≤ 30
		140 - 2.49 × (ℓ/b - 4.6) = 126.075

• Left Web

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 7950.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 500.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 21840.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 10000.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 2.184 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 15.900, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 2.023

【표 5.55】 백운1교(부산) 행거 Left Web 허용휨압축응력(fbagy)

단위 : MPa

구 분		SM400
$\frac{A_w}{A_c}$ > 2.0	40 이하	9.3/K < ℓ/b ≤ 30
		140 - 1.24 × (K × ℓ/b - 9.3) = 111.649

• Right Web

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 7950.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 500.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 21840.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 10000.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 2.184 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 15.900, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 2.023

【표 5.56】 백운1교(부산) 행거 Right Web 허용휨압축응력(fbagy)

단위 : MPa

구 분		SM400
$\frac{A_w}{A_c}$ > 2.0	40 이하	9.3/K < ℓ/b ≤ 30
		140 - 1.24 × (K × ℓ/b - 9.3) = 111.649

ⓓ 허용 오일러 좌굴응력

【표 5.57】 백운1교(부산) 행거 허용 오일러 좌굴응력

단위 : MPa

f_{Ey}	1200000/(l_y/r_y)^2	613.909
f_{Ez}	1200000/(l_z/r_z)^2	1883.203

ⓔ 허용전단응력(υ_a)

【표 5.58】 백운1교(부산) 행거 허용전단응력(Va)

단위 : MPa

구 분	SM400	
Top Flange	40 이하	80.000
Bottom Flange	40 이하	80.000
Left Web	40 이하	80.000
Right Web	40 이하	80.000

ⓕ 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

- 압축응력을 받는 자유돌출판의 최소두께
  - Left Web(T)

    t_{min} = b / 16 = 36.0/16.0 = 2.250 mm ≤ t_f = 20.000 mm ∴OK
  - Left Web(B)

    t_{min} = b / 16 = 36.0/16.0 = 2.250 mm ≤ t_f = 20.000 mm ∴OK
  - Right Web(T)

    t_{min} = b / 16 = 36.0/16.0 = 2.250 mm ≤ t_f = 20.000 mm ∴OK
  - Right Web(B)

    t_{min} = b / 16 = 36.0/16.0 = 2.250 mm ≤ t_f = 20.000 mm ∴OK
- 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력(f_{cal})
  - Left Web(T)

    t = 20.000 mm

    t_1= b / 12.9 = 36.0/12.9 = 2.791 mm

【표 5.59】 백운1교(부산) 행거 자유돌출판(Left Web(T))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/12.9 ≤ t
	140.000

  - Left Web(B)

    t = 20.000 mm

    t_1= b / 12.9 = 36.0/12.9 = 2.791 mm

【표 5.60】 백운1교(부산) 행거 자유돌출판(Left Web(B))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/12.9 ≤ t
	140.000

- Right Web(T)

t = 20.000 mm

t_1= b / 12.9 = 36.0/12.9 = 2.791 mm

【표 5.61】 백운1교(부산) 행거 자유돌출판(Left Web(T))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/12.9 ≤ t
	140.000

- Right Web(B)

t = 20.000 mm

t_1= b / 12.9 = 36.0/12.9 = 2.791 mm

【표 5.62】 백운1교(부산) 행거 자유돌출판(Left Web(B))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/12.9 ≤ t
	140.000

ⓖ 보강된판 및 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력

• Top Flange

- 판두께 : t = 14.0 mm
- 판의 고정연 사이의 거리 : b = 760.0 mm
- 응력구배계수 : $i = 0.65\,\phi^2 + 0.13\,\phi + 1.0 = 2.125$
- 응력구배 : $\phi = (f_1 - f_2) / f_1 = 1.219$
- 판의 양연에서의 응력 : f_1 = -110.009 MPa, f_2 = 24.117 MPa

- 압축응력을 받는 양연지지판의 최소두께

  $t \leq 40mm$

  $t_{min} = b / 56i = 760.0/118.985 = 6.4 \leq t=14.0\ mm$ ∴OK

【표 5.63】 백운1교(부산) 행거 Top Flange 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/12.9 ≤ t
	140.000

• Bottom Flange

- 판두께 : t = 14.0 mm
- 판의 고정연 사이의 거리 : b = 760.0 mm
- 응력구배계수 : $i = 0.65\ \phi^2 + 0.13\ \phi + 1.0 = 2.125$
- 응력구배 : $\phi = (f_1 - f_2) / f_1 = 1.219$
- 판의 양연에서의 응력 : $f_1 = -110.009$ MPa, $f_2 = 24.117$ MPa
- 압축응력을 받는 양연지지판의 최소두께

  $t \leq 40mm$

  $t_{min} = b / 56i = 760.0/118.985 = 6.6 \leq t=14.0\ mm$ ∴OK

【표 5.64】 백운1교(부산) 행거 Bottom Flange 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/39.3i ≤ t
	140.000

• Left Web

- 판의 양연에서의 응력 : $f_1 = 24.117$ MPa, $f_2 = 24.117$ MPa
- 판의 양연에서의 응력이 인장이므로 압축응력을 받는 양연지지판 검토에서 제외.

• Right Web

- 판두께 : t = 20.0 mm
- 판의 고정연 사이의 거리 : b = 400.0 mm
- 응력구배계수 : $i = 0.65\phi^2 + 0.13\phi + 1.0 = 1.000$
- 응력구배 : $\phi = (f_1 - f_2) / f_1 = 0.000$
- 판의 양연에서의 응력 : $f_1 = -110.009$ MPa, $f_2 = -110.009$ MPa
- 압축응력을 받는 양연지지판의 최소두께

$t \leq 40mm$

$t_{min} = b / 56i = 400.0/56 = 7.4 \leq t=20.0$ mm ∴OK

【표 5.65】 백운1교(부산) 행거 보강된 판의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/39.3i ≤ t
	140.000

ⓗ 허용응력 요약

【표 5.66】 백운1교(부산) 행거 허용응력 요약

구 분	fta	fcaz	fcay	fbagy	Va	fcal
Top Flange	140.000	134.553	118.998	126.075	80.000	140.000
Bottom Flange	140.000	134.553	118.998	126.075	80.000	140.000
Left Web	140.000	134.553	118.998	111.649	80.000	인장발생
Right Web	140.000	134.553	118.998	111.649	80.000	140.000

여기서, $f_{ca} = f_{cag} \cdot f_{cal} / f_{cao}$

ⓘ 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재의 허용응력 검토

• 축방향력에 의한 응력

$f_c = P / A = -2{,}026.373\times10^3 / 4.1280E+04 = -49.088$ MPa

• 휨모멘트에 의한 응력

$f_{by1} = M_y \times Z_1 / I_{yy} = -4.029$ MPa, $f_{bz1} = M_z \times y_1 / I_{zz} = 68.327$ MPa

$f_{by2} = M_y \times Z_2 / I_{yy} = -4.029$ MPa, $f_{bz2} = M_z \times y_2 / I_{zz} = -68.327$ MPa

$f_{by3} = M_y \times Z_3 / I_{yy} = 4.029$ MPa, $f_{bz3} = M_z \times y_3 / I_{zz} = -68.327$ MPa

$f_{by4} = M_y \times Z_4 / I_{yy} = 4.029$ MPa, $f_{bz4} = M_z \times y_4 / I_{zz} = 68.327$ MPa

• Position 1(y-direction) 응력 검토

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} + \frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} \le f_{cal}$$

$$-49.088 + \frac{-4.029}{(1-\frac{-49.088}{613.910})} + \frac{68.327}{(1-\frac{-49.088}{1883.208})}$$

= 13.772 MPa ≤ fcal = 140.000 MPa ∴OK

• Position 2(y-direction) 응력 검토

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} + \frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} \le f_{cal}$$

$$-49.088 + \frac{-4.029}{(1-\frac{-49.088}{613.909})} + \frac{-68.327}{(1-\frac{-49.088}{1,883.203})}$$

= -119.410 MPa ≤ f_{cal} = 140.000 MPa ∴OK

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} \le 1.0$$

$$\frac{-49.088}{134.553} + \frac{-4.029}{118.998(1-\frac{-49.088}{613.909})} + \frac{-49.088}{140.000(1-\frac{-49.088}{1,883.203})}$$

= -0.872 ≤ 1.0 ∴OK

• Position 3(y-direction) 응력 검토

$$f_c + \frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} + \frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} \le f_{cal}$$

$$-49.088 + \frac{4.029}{(1-\frac{-49.088}{613.909})} + \frac{-68.327}{(1-\frac{-49.088}{1883.203})}$$

= -111.949 MPa ≤ f_{cal} = 140.000 MPa ∴OK

$$\frac{f_c}{f_{caz}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} \le 1.0$$

$$\frac{-49.088}{134.553}+\frac{4.029}{126.075(1-\frac{-49.088}{613.909})}+\frac{-68.327}{140.000(1-\frac{-49.088}{1,883.203})}$$

= -0.811 ≤ 1.0 ∴OK

• Position 4(y-direction) 응력 검토

$$f_c+\frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})}+\frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})}\le f_{cal}$$

$$-49.088+\frac{4.029}{(1-\frac{-49.088}{613.909})}+\frac{68.327}{(1-\frac{-49.088}{1,883.203})}$$

= 21.233 MPa ≤ fcal = 140.000 MPa ∴OK

• Position 1(z-direction) 응력 검토

$$f_c+\frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})}+\frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})}\le f_{cal}$$

$$-49.088+\frac{68.327}{(1-\frac{-49.088}{1883.203})}+\frac{-4.029}{(1-\frac{-49.088}{613.909})}$$

= 13.772 MPa ≤ fcal = 140.000 MPa ∴OK

• Position 2(z-direction) 응력 검토

$$f_c+\frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})}+\frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})}\le f_{cal}$$

$$-49.088+\frac{-68.327}{(1-\frac{-49.088}{1,883.208})}+\frac{-4.029}{(1-\frac{-49.088}{613.909})}$$

= -119.410 MPa ≤ f_{cal} = 140.000 MPa ∴OK

$$\frac{f_c}{f_{cay}}+\frac{f_{bcz}}{f_{bagz}(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})}+\frac{f_{bcy}}{f_{bao}(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})}\le 1.0$$

$$\frac{-49.088}{118.998}+\frac{-68.327}{111.647(1-\frac{-49.088}{1,883.203})}+\frac{-4.029}{140.000(1-\frac{-49.088}{613.910})}$$

= -1.036 ≤ 1.0 ∴OK

• Position 3(z-direction) 응력 검토

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} + \frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} \le f_{cal}$$

$$-49.088 + \frac{-68.327}{(1-\frac{-49.088}{1{,}883.203})} + \frac{4.029}{(1-\frac{-42.088}{613.909})}$$

= -111.949 MPa ≤ f_{cal} = 140.000 MPa ∴OK

$$\frac{f_c}{f_{cay}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagz}(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao}(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} \le 1.0$$

$$\frac{-49.088}{118.998} + \frac{-68.327}{111.649(1-\frac{-49.088}{1{,}883.208})} + \frac{4.029}{140.000(1-\frac{-49.088}{613.909})}$$

= -0.932 ≤ 1.0 ∴OK

• Position 4(z-direction) 응력 검토

$$f_c + \frac{f_{bcz}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ez}})} + \frac{f_{bcy}}{(1-\frac{f_c}{f_{Ey}})} \le f_{cal}$$

$$-49.088 + \frac{68.327}{(1-\frac{-49.088}{1{,}883.203})} + \frac{4.029}{(1-\frac{-49.088}{613.909})}$$

= 21.233 MPa ≤ f_{ta} = 140.000 MPa ∴OK

ⓙ 전단응력에 대한 검토

υ_z = F_z / A_w + υ_T

= -2.485×10^3 / 20000.000 + 0.069

= -0.124 MPa ≤ υ_a = 80.000 MPa ∴OK

υ_y = F_y / A_f + υ_T

= -97.625×10^3 / 21840.000 + 0.099

= -4.470 MPa ≤ υ_a = 80.000 MPa ∴OK

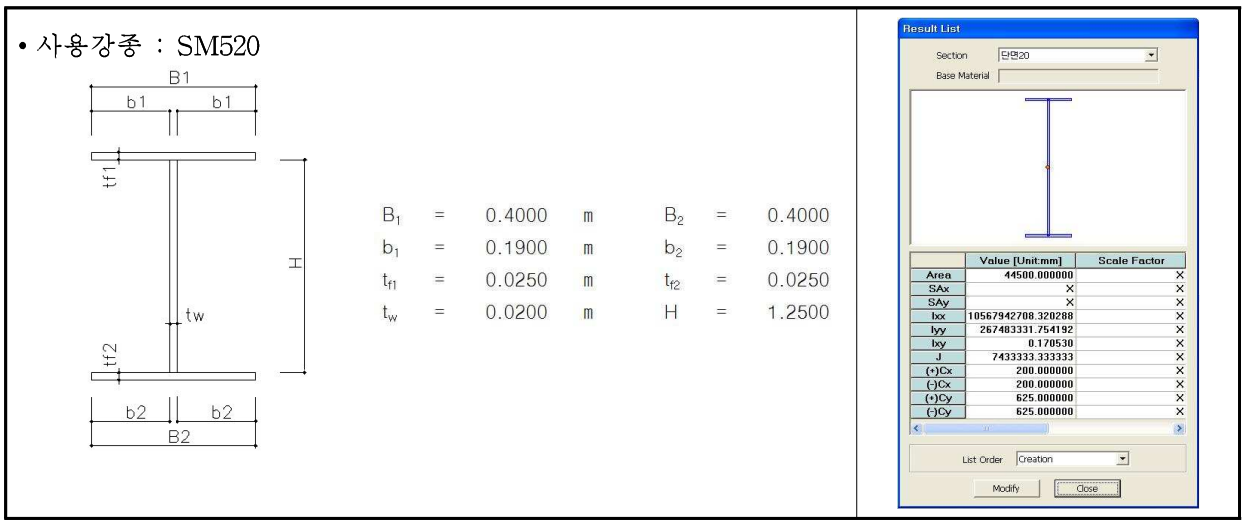
ⓚ 합성응력에 대한 검토

$$\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v_b}{v_a}\right)^2 = \left(\frac{-64.298}{140.000}\right)^2 + \left(\frac{-0.124}{80.000}\right)^2 = 0.211 < 1.200$$ ∴OK

⑦ 상부가로보 검토

㉠ 검토 조건

ⓐ 단면 조건



【그림 5.13】 백운1교(부산) 상부가로보 단면조건

ⓑ 부호규약

(+) : 인장, (-) : 압축

ⓒ 적용 사용하중

【표 5.67】 백운1교(부산) 상부가로보 적용 사용하중

구 분	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kN · m)	M_y (kN · m)	M_z (kN · m)	비 고
LCS1	1432.400	-1.206	48.695	0.036	1379.023	1.355	Max My

㉡ 응력검토

ⓐ 허용휨인장응력(fta)

【표 5.68】 백운1교(부산) 상부가로보 허용휨인장응력(fta)

구 분	SM520	
Top Flange	40 이하	215.000
Bottom Flange	40 이하	215.000
Left Web	40 이하	215.000

ⓑ 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca)

• y축에 대한 유효좌굴길이

- 부재의 유효좌굴길이 : ℓ_y = 1,100.000 mm
- 부재 총단면의 단면회전반경 : r_y = 485.802 mm
- 세장비 : ℓ_y/r_y = 2.264

• z축에 대한 유효좌굴길이

- 부재의 유효좌굴길이 : ℓ_z = 1,100.000 mm
- 부재 총단면의 단면회전반경 : r_z = 77.967 mm
- 세장비 : ℓ_z/r_z = 14.109

• 세장비 검토

- 세장비 : ℓ/r = 14.109 ≤ 200.000 ∴OK

【표 5.69】 백운1교(부산) 행거 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca)

단위 : MPa

구 분	SM400	
Top Flange	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcaz = 215.000
Bottom Flange	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcaz = 215.000
Left Web	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcaz = 215.000
Right Web	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcaz = 215.000
Top Flange	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcay = 215.000
Bottom Flange	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcay = 215.000
Left Web	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcay = 215.000
Right Web	40 이하	ℓ/r ≤ 15.1
		Fcay = 215.000

ⓒ 허용휨압축응력(fbagy)

• Top Flange

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 1100.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 400.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 24000.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 10000.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 2.400 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 2.750, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 2.049

【표 5.70】 백운1교(부산) 상부가로보 상부플랜지 허용휨압축응력(fbagy))

단위 : MPa

구 분		SM520
$\frac{A_w}{A_c}$ > 2.0	40 이하	ℓ/b ≤ 7.5/K
		215.000

• Bottom Flange

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 1100.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 400.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 24000.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 10000.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 2.400 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 2.750, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 2.049

【표 5.71】 백운1교(부산) 상부가로보 하부플랜지 허용휨압축응력(fbagy))

단위 : MPa

구 분		SM520
$\frac{A_w}{A_c}$ > 2.0	40 이하	ℓ/b ≤ 7.5/K
		215.000

• Left Web

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 1100.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 1200.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 20000.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 24000.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 0.833 ≤ 2.000, $\frac{l}{b}$ = 0.917, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 1.848

【표 5.72】 백운1교(부산) 상부가로보 좌측 복부 허용휨압축응력(fbagy))

단위 : MPa

구 분		SM520
$\frac{A_w}{A_c}$ ≤ 2.0	40 이하	ℓ/b ≤ 3.8
		215.000

ⓓ 허용 오일러 좌굴응력

【표 5.73】 백운1교(부산) 상부가로보 허용 오일러 좌굴응력

단위 : MPa

f_{Ey}	$1200000/(l_y/r_y)^2$	234,053.343
f_{Ez}	$1200000/(l_z/r_z)^2$	6,028.550

ⓔ 허용전단응력(υ_a)

【표 5.74】 백운1교(부산) 상부가로보 허용전단응력(Va)

단위 : MPa

구 분	SM520	
Top Flange	40 이하	125.000
Bottom Flange	40 이하	125.000
Left Web	40 이하	125.000

ⓕ 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력

• 압축응력을 받는 자유돌출판의 최소두께

- Top Flange(L)

t_{min} = b / 16 = 190.0/16.0 = 11.875 mm ≤ t_f = 25.000 mm ∴OK

- Top Flange(R)

t_{min} = b / 16 = 190.0/16.0 = 11.875 mm ≤ t_f = 25.000 mm ∴OK

- Bottom Flange(L)

t_{min} = b / 16 = 190.0/16.0 = 11.875 mm ≤ t_f = 25.000 mm ∴OK

- Bottom Flange(R)

t_{min} = b / 16 = 190.0/16.0 = 11.875 mm ≤ t_f = 25.000 mm ∴OK

• 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력(f_{cal})

- Top Flange(L)

t = 25.000 mm

t_1= b / 10.5 = 190.0/10.5 = 18.095 mm

【표 5.75】 백운1교(부산) 상부가로보 자유돌출판(Top Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

- Top Flange(R)

t = 25.000 mm

t_1= b / 10.5 = 190.0/10.5 = 18.095 mm

【표 5.76】 백운1교(부산) 상부가로보 자유돌출판(Top Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

- Bottom Flange(L)

t = 25.000 mm

t_1= b / 10.5 = 190.0/10.5 = 18.095 mm

【표 5.77】 백운1교(부산) 상부가로보 자유돌출판(Bottom Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

- Bottom Flange(R)

t = 25.000 mm

t_1= b / 10.5 = 190.0/10.5 = 18.095 mm

【표 5.78】 백운1교(부산) 상부가로보 자유돌출판(Bottom Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

ⓖ 보강된판 및 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력

• Left Web

- 판두께 : t = 20.0 mm
- 판의 고정연 사이의 거리 : b = 1200.0 mm
- 응력구배계수 : I = 0.65 ϕ^2 + 0.13 ϕ + 1.0 = 3.860
- 응력구배 : ϕ = (f_1 - f_2) / f_1 = 2.000
- 판의 양연에서의 응력 : f_1 = 91.392 MPa, f_2 = -91.392 MPa
- 압축응력을 받는 보강된 판의 최소두께

t ≤ 40mm

t_{min} = b / 46i = 1200/177.56 = 6.8 ≤ t = 20.0 mm ∴OK

【표 5.79】 백운1교(부산) 상부가로보 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/32.0i ≤ t
	215.000

ⓗ 허용응력 요약

【표 5.80】 백운1교(부산) 상부가로보 허용응력 요약

구 분	fta	fcaz	fcay	Va	fcal
Top Flange	215.000	215.000	215.000	125.000	215.000
Bottom Flange	215.000	215.000	215.000	125.000	215.000
Left Web	215.000	215.000	215.000	125.000	215.000

여기서, f_{ca} = min [f_{bagy}, f_{cal}]

ⓘ 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재의 허용응력 검토

• 축방향력에 의한 응력

f_c = P / A = -1,432.400×10^3 / 4.4000E+04 = 32.555 MPa

• 휨모멘트에 의한 응력

$f_{by1} = M_y \times Z_1 / I_{yy}$ = -83.000 MPa, $f_{bz1} = M_z \times y_1 / I_{zz}$ = 1.013 MPa

$f_{by2} = M_y \times Z_2 / I_{yy}$ = -83.000 MPa, $f_{bz2} = M_z \times y_2 / I_{zz}$ = -1.013 MPa

$f_{by3} = M_y \times Z_3 / I_{yy}$ = 83.000 MPa, $f_{bz3} = M_z \times y_3 / I_{zz}$ = -1.013 MPa

$f_{by4} = M_y \times Z_4 / I_{yy}$ = 83.000 MPa, $f_{bz4} = M_z \times y_4 / I_{zz}$ = 1.013 MPa

• Position 1(y-direction) 응력 검토

$-f_t + f_{bcy} + f_{bcz} \le f_{cal}$

32.555 + (-83.000) + (-1.013) = -49.432 MPa ≤ f_{cal} = 215.000 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{32.555}{215.000} + \frac{-83.000}{215.000} + \frac{1.013}{215.000} = -0.230 \le 1.000$$ ∴OK

• Position 2(y-direction) 응력 검토

$-f_t + f_{bcy} + f_{bcz} \le f_{cal}$

32.555 + (-83.000) + (-1.013) = -51.459 MPa ≤ f_{cal} = 215.000 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{32.555}{215.000} + \frac{-83.00}{215.000} + \frac{-1.013}{215.000} = -0.239 \le 1.000$$ ∴OK

• Position 3(y-direction) 응력 검토

$f_t + f_{bty} + f_{btz} \le f_{ta}$

32.555 + 83.000 + (-1.013) = 114.541 MPa ≤ f_{ta} = 215.000 MPa ∴OK

• Position 4(y-direction) 응력 검토

$f_t + f_{bty} + f_{btz} \le f_{ta}$

32.555 + 83.000 + 1.013 = 116.568 MPa ≤ f_{ta} = 215.000 MPa ∴OK

• Position 1(z-direction)

$-f_t + f_{bcz} + f_{bcy} \le f_{cal}$

32.555 + 1.013 + -83.000 = -49.432 MPa ≤ f_{cal} = 215.000 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{32.555}{215.000} + \frac{1.013}{215.000} + \frac{-83.000}{215.000} = -0.230 \le 1.000 \quad \therefore OK$$

- Position 2(z-direction)

$-f_t + f_{bcz} + f_{bcy} \le f_{cal}$

32.555 + (-1.013) + (-83.000) = -51.459 MPa $\le f_{cal}$ = 215.000 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{32.555}{215.000} + \frac{-1.013}{215.000} + \frac{-83.000}{215.000} = -0.239 \le 1.000 \quad \therefore OK$$

- Position 3(z-direction)

$f_t + f_{btz} + f_{bty} \le f_{ta}$

32.555 + (-1.013) + 83.000 = 114.541 MPa $\le f_{ta}$ = 215.000 MPa ∴OK

- Position 4(z-direction)

$f_t + f_{btz} + f_{bty} \le f_{ta}$

32.555 + 1.013 + 83.000 = 116.568 MPa $\le f_{ta}$ = 215.000 MPa ∴OK

ⓙ 전단응력에 대한 검토

$\upsilon_z = F_z / A_w + Mx \times t / K$

$= 48.695\times10^3 / 25{,}000.000 + 0.036 \times 10^6 \times 2.000E+01 / 7.4333E+06$

$= 2.044$ MPa $\le \upsilon_a = 125.000$ MPa ∴OK

$\upsilon_y = F_y / A_f + Mx \times t / K$

$= -1.206\times10^3 / 13{,}333.333 + 0.036 \times 10^6 \times 2.500E+01 / 7.4333E+06$

$= 0.030$ MPa $\le \upsilon_a = 125.000$ MPa ∴OK

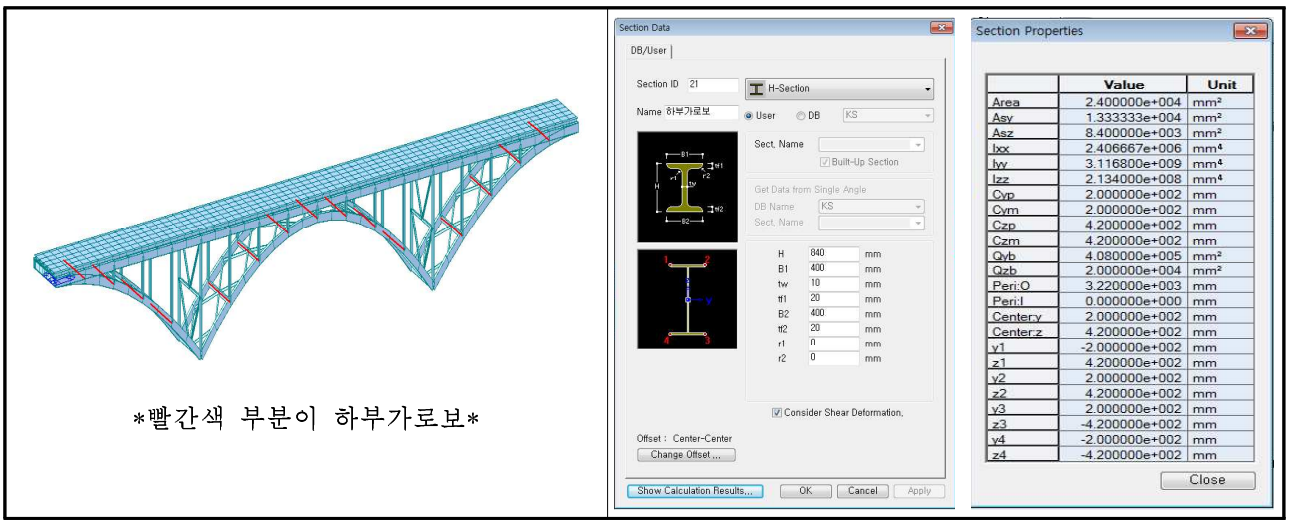
ⓚ 합성응력에 대한 검토

$$\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\upsilon_b}{\upsilon_a}\right)^2 = \left(\frac{-84.014}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{2.044}{125.000}\right)^2 = 0.153 < 1.200 \quad \therefore OK$$

⑧ 하부가로보 검토

㉠ 검토 조건

ⓐ 단면 조건



【그림 5.14】 백운1교(부산) 하부가로보 단면조건

ⓑ 부호규약

(+) : 인장, (-) : 압축

ⓒ 적용 사용하중

【표 5.81】 백운1교(부산) 하부가로보 적용 사용하중

구 분	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	M_z (kN.m)	비 고
LCS1	151.193	-0.002	-23.528	-0.010	-104.668	-1.375	

㉡ 응력검토

ⓐ 허용휨인장응력(fta)

【표 5.82】 백운1교(부산) 하부가로보 허용휨인장응력(fta)

단위 : MPa

구 분	SM520	
Top Flange	40 이하	215.000
Bottom Flange	40 이하	215.000
Left Web	40 이하	215.000

ⓑ 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca)

• y축에 대한 유효좌굴길이

- 부재의 유효좌굴길이 : ℓ_y = 6300.000 mm
- 부재 총단면의 단면회전반경 : r_y = 360.370 mm
- 세장비 : ℓ_y/r_y = 17.482

• z축에 대한 유효좌굴길이

- 부재의 유효좌굴길이 : ℓ_z = 6300.000 mm
- 부재 총단면의 단면회전반경 : r_z = 194.296 mm
- 세장비 : ℓ_z/r_z = 66.811

• 세장비 검토

- 세장비 : ℓ/r = 66.811 ≤ 200.000 ∴OK

【표 5.83】 백운1교(부산) 하부가로보 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca)

단위 : MPa

구 분	SM520	
Top Flange	40 이하	15.1 < ℓ/r ≤ 75.5
		Fcaz = 215 - 1.55 × (ℓ/r - 15.1) = 134.848
Bottom Flange	40 이하	15.1 < ℓ/r ≤ 75.5
		Fcaz = 215 - 1.55 × (ℓ/r - 15.1) = 134.848
Left Web	40 이하	15.1 < ℓ/r ≤ 75.5
		Fcaz = 215 - 1.55 × (ℓ/r - 15.1) = 134.848
Top Flange	40 이하	15.1 < ℓ/r ≤ 75.5
		Fcay = 215 - 1.55 × (ℓ/r - 15.1) = 211.308
Bottom Flange	40 이하	15.1 < ℓ/r ≤ 75.5
		Fcay = 215 - 1.55 × (ℓ/r - 15.1) = 211.308
Left Web	40 이하	15.1 < ℓ/r ≤ 75.5
		Fcay = 215 - 1.55 × (ℓ/r - 15.1) = 211.308

ⓒ 허용휨압축응력(fbagy)

• Top Flange

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 6,300.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 400.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 8,000.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 8,000.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 1.000 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 15.750, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 1.871

【표 5.84】 백운1교(부산) 하부가로보 상부플랜지 허용휨압축응력(fbagy))

단위 : MPa

구 분		SM520
$\frac{A_w}{A_c}$ ≤ 2.0	40 이하	3.8 < ℓ/b ≤ 27.0
		215 - 4.69 × (ℓ/b - 3.8) = 158.955

• Bottom Flange

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 6,300.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 400.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 8,000.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 8,000.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 2.000 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 15.750, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 1.871

【표 5.85】 백운1교(부산) 하부가로보 하부플랜지 허용휨압축응력(fbagy))

단위 : MPa

구 분		SM520
$\frac{A_w}{A_c}$ ≤ 2.0	40 이하	3.8 < ℓ/b ≤ 27.0
		215 - 4.69 × (ℓ/b - 3.8) = 158.955

• Left Web

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 6,300.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 800.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 16,000.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 8 ,000.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 2.000 ≤ 2.000, $\frac{l}{b}$ = 7.875, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 2.000

【표 5.86】 백운1교(부산) 하부가로보 좌측 복부 허용휨압축응력(fbagy))

단위 : MPa

구 분		SM520
$\frac{A_w}{A_c}$ ≤ 2.0	40 이하	3.8 < ℓ/b ≤ 27.0
		215 - 4.69 × (ℓ/b - 3.8) = 195.888

ⓓ 허용 오일러 좌굴응력

【표 5.87】 백운1교(부산) 하부가로보 허용 오일러 좌굴응력

단위 : MPa

f_{Ey}	$1200000/(l_y/r_y)^2$	3,926.430
f_{Ez}	$1200000/(l_z/r_z)^2$	268.833

ⓔ 허용전단응력(υ_a)

【표 5.88】 백운1교(부산) 하부가로보 허용전단응력(Va)

단위 : MPa

구 분	SM520	
Top Flange	40 이하	125.000
Bottom Flange	40 이하	125.000
Left Web	40 이하	125.000

ⓕ 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력

• 압축응력을 받는 자유돌출판의 최소두께

- Left Web(T)

t_{min} = b / 16 = 195.0/16.0 = 12.188 mm ≤ t_f = 20.000 mm ∴OK

- Left Web(B))

t_{min} = b / 16 = 195.0/16.0 = 12.188 mm ≤ t_f = 20.000 mm ∴OK

- Right Web(T)

t_{min} = b / 16 = 195.0/16.0 = 12.188 mm ≤ t_f = 20.000 mm ∴OK

- Right Web(B)

t_{min} = b / 16 = 195.0/16.0 = 12.1888 mm ≤ t_f = 20.000 mm ∴OK

• 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력(f_{cal})

- Left Web(T)

t = 20.000 mm

t_1= b / 10.5 = 195.0/10.5 = 18.571 mm

【표 5.89】 백운1교(부산) 하부가로보 자유돌출판(Left Web(T))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

- Left Web(B)

t = 20.000 mm

t_1= b / 10.5 = 195.0/10.5 = 18.571 mm

【표 5.90】 백운1교(부산) 하부가로보 자유돌출판(Left Web(B))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

- Right Web(T)

t = 20.000 mm

t_1= b / 10.5 = 195.0/10.5 = 18.571 mm

【표 5.91】 백운1교(부산) 하부가로보 자유돌출판(Right Web(T))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

- Right Web(B)

t = 20.000 mm

t_1= b / 10.5 = 195.0/10.5 = 18.571 mm

【표 5.92】 백운1교(부산) 하부가로보 자유돌출판(Right Web(B))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

ⓖ 보강된판 및 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력

• Left Web

- 판두께 : t = 10.0 mm
- 판의 고정연 사이의 거리 : b = 800.0 mm
- 응력구배계수 : $i = 0.65\phi^2 + 0.13\phi + 1.0 = 2.382$
- 응력구배 : $\phi = (f_1 - f_2) / f_1 = 1.361$
- 판의 양연에서의 응력 : f_1 = 19.732 MPa, f_2 = -7.133 MPa
- 압축응력을 받는 보강된 판의 최소두께

t ≤ 40mm

t_{min} = b / 46i = 800/109.566 = 7.3 ≤ t = 10.0 mm ∴OK

【표 5.93】 백운1교(부산) 하부가로보 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM520
40 이하	b/80.0i ≤ t < b/32.i
	220,000 × (ti / b)^2 = 195.018

ⓗ 허용응력 요약

【표 5.94】 백운1교(부산) 하부가로보 허용응력 요약

구 분	fta	fcaz	fcay	fbagy	Va	fcal
Top Flange	215.000	134.848	211.308	158.955	125.000	215.000
Bottom Flange	215.000	134.848	211.308	158.955	125.000	215.000
Left Web	215.000	122.315	211.308	195.888	125.000	195.018

여기서, $f_{ca} = f_{cag} \cdot f_{cal} / f_{cao}$

ⓘ 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재의 허용응력 검토

• 축방향력에 의한 응력

f_c = P / A = 151.193×10^3 / 2.4000E+04 = 6.300 MPa

• 휨모멘트에 의한 응력

f_{by1} = M_y × Z_1 / I_{yy} = 14.104 MPa, f_{bz1} = M_z × y_1 / I_{zz} = -1.289 MPa

f_{by2} = M_y × Z_2 / I_{yy} = 14.104 MPa, f_{bz2} = M_z × y_2 / I_{zz} = 1.289 MPa

f_{by3} = M_y × Z_3 / I_{yy} = -14.104 MPa, f_{bz3} = M_z × y_3 / I_{zz} = 1.289 MPa

f_{by4} = M_y × Z_4 / I_{yy} = -14.104 MPa, f_{bz4} = M_z × y_4 / I_{zz} = -1.289 MPa

• Position 1(y-direction) 응력 검토

$f_t + f_{bty} + f_{btz} \leq f_{ta}$

6.300 + 14.104 + (-1.289) = 19.115 MPa ≤ f_{ta} = 215.000 MPa ∴OK

• Position 2(y-direction) 응력 검토

$f_t + f_{bty} + f_{btz} \leq f_{ta}$

6.300 + 14.104 + 1.289 = 21.693 MPa ≤ f_{ta} = 215.000 MPa ∴OK

• Position 3(y-direction) 응력 검토

$-f_t + f_{bcy} + f_{bcz} \leq f_{cal}$

6.300 + (-14.104) + 1.289 = -6.516 MPa ≤ f_{cal} = 215.000 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}} \leq 1.0$$

$$\frac{6.300}{215.000} + \frac{-14.104}{158.955} + \frac{1.289}{215.000} = -0.053 \leq 1.000$$ ∴OK

• Position 4(y-direction) 응력 검토

$-f_t + f_{bcy} + f_{bcz} \leq f_{cal}$

6.300 + (-14.104) + (-1.289) = -9.094 MPa ≤ f_{cal} = 215.000 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}} \leq 1.0$$

$$\frac{6.300}{215.000} + \frac{-14.104}{158.955} + \frac{-1.289}{215.000} = -0.065 \leq 1.000$$ ∴OK

• Position 1(z-direction)

$f_t + f_{btz} + f_{bty} \leq f_{ta}$

6.300 + (-1.289) + 14.104 = 19.115 MPa ≤ f_{ta} = 215.000 MPa ∴OK

• Position 2(z-direction)

$f_t + f_{btz} + f_{bty} \leq f_{ta}$

6.300 + 1.289 + 14.104 = 21.693 MPa ≤ f_{ta} = 215.000 MPa ∴OK

• Position 3(z-direction)

$-f_t + f_{bcz} + f_{bcy} \leq f_{cal}$

6.300 + (-1.289) + (-14.104) = -6.516 MPa ≤ f_{cal} = 215.000 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao}} \leq 1.0$$

$$\frac{6.300}{215.000} + \frac{1.289}{195.888} + \frac{-14.104}{215.000} = -0.030 \leq 1.000 \quad \therefore OK$$

• Position 4(z-direction)

$-f_t + f_{bcz} + f_{bcy} \leq f_{cal}$

6.300 + (-1.289) + (-14.104) = -9.094 MPa ≤ f_{cal} = 215.000 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao}} \leq 1.0$$

$$\frac{6.300}{215.000} + \frac{-1.289}{195.888} + \frac{-14.104}{215.000} = -0.043 \leq 1.000 \quad \therefore OK$$

ⓙ 전단응력에 대한 검토

$\upsilon_z = F_z / A_w + Mx \times t / K$

$= -23.528\times10^3 / 8{,}400.000 + (-0.010) \times 10^6 \times 1.000E+01 / 2.4067E+06$

$= -2.844$ MPa ≤ υ_a = 125.000 MPa ∴OK

$\upsilon_y = F_y / A_f + Mx \times t / K$

$= -0.002\times10^3 / 10{,}666.667 + (-0.010) \times 10^6 \times 2.000E+01 / 2.4067E+06$

$= -0.086$ MPa ≤ υ_a = 125.000 MPa ∴OK

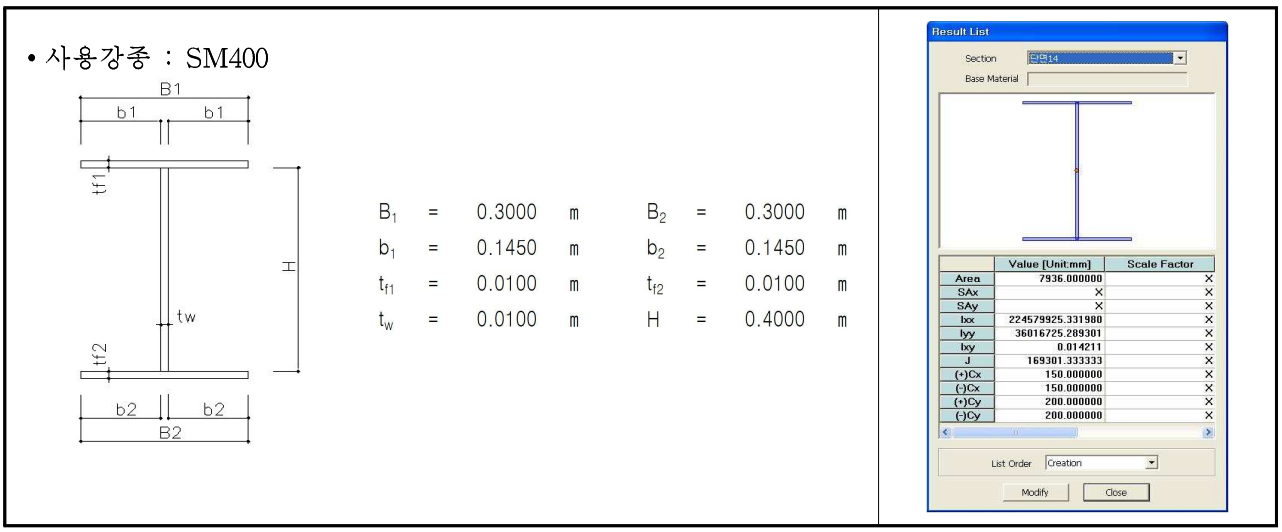
ⓚ 합성응력에 대한 검토

$$\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\upsilon_b}{\upsilon_a}\right)^2 = \left(\frac{-15.393}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{-2.844}{125.000}\right)^2 = 0.006 < 1.200 \quad \therefore OK$$

⑨ 브레이싱 검토

㉠ 검토 조건

ⓐ 단면 조건



【그림 5.15】 백운1교(부산) 브레이싱 단면조건

ⓑ 부호규약

(+) : 인장, (-) : 압축

ⓒ 적용 사용하중

【표 5.95】 백운1교(부산) 브레이싱 적용 사용하중

구 분	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	M_z (kN.m)	비 고
LCS1	322.624	0.217	0.202	0.001	38.562	0.379	

㉡ 응력검토

ⓐ 허용휨인장응력(fta)

【표 5.96】 백운1교(부산) 브레이싱 허용휨인장응력(fta)

단위 : MPa

구 분	SM400	
Top Flange	40 이하	140.000
Bottom Flange	40 이하	140.000
Left Web	40 이하	140.000

ⓑ 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca)

• y축에 대한 유효좌굴길이

- 부재의 유효좌굴길이 : ℓ_y = 5,000.000 mm
- 부재 총단면의 단면회전반경 : r_y = 130.735 mm
- 세장비 : ℓ_y/r_y = 38.245

• z축에 대한 유효좌굴길이

- 부재의 유효좌굴길이 : ℓ_z = 5,000.000 mm
- 부재 총단면의 단면회전반경 : r_z = 73.910 mm
- 세장비 : ℓ_z/r_z = 67.650

• 세장비 검토

- 세장비 : ℓ/r = 67.650 ≤ 200.000 ∴OK

【표 5.97】 백운1교(부산) 브레이싱 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca)

단위 : MPa

구 분	SM400	
Top Flange	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcaz = 140 - 0.82×(ℓ/r-18.6) = 99.779
Bottom Flange	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcaz = 140 - 0.82×(ℓ/r-18.6) = 99.779
Left Web	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcaz = 140 - 0.82×(ℓ/r-18.6) = 99.779
Top Flange	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcay = 140 - 0.82×(ℓ/r-18.6) = 123.891
Bottom Flange	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcay = 140 - 0.82×(ℓ/r-18.6) = 123.891
Left Web	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcay = 140 - 0.82×(ℓ/r-18.6) = 123.891

ⓒ 허용휨압축응력(fbagy)

• Top Flange

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 5,000.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 300.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 2,240.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 3,000.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 0.747 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 16.667, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 1.871

【표 5.98】 백운1교(부산) 브레이싱 상부플랜지 허용휨압축응력(fbagy))

단위 : MPa

구 분		SM400
$\frac{A_w}{A_c}$ ≤ 2.0	40 이하	4.6 < ℓ/b ≤ 30.0
		140 - 2.49 × (ℓ/b - 4.6) = 109.954

• Bottom Flange

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 5,000.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 300.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 2,240.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 3,000.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 0.747 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 16.667, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 1.871

【표 5.99】 백운1교(부산) 브레이싱 하부플랜지 허용휨압축응력(fbagy))

단위 : MPa

구 분		SM400
$\frac{A_w}{A_c}$ ≤ 2.0	40 이하	4.6 < ℓ/b ≤ 30.0
		140 - 2.49 × (ℓ/b - 4.6) = 109.954

• Left Web

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 5,000.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 280.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 6,000.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 2,240.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 2.679 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 17.857, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 2.083

【표 5.100】 백운1교(부산) 브레이싱 좌측 복부 허용휨압축응력(fbagy))

단위 : MPa

구 분		SM400
$\frac{A_w}{A_c}$ > 2.0	40 이하	9.3/K < ℓ/b ≤ 30.0
		140 - 1.24 × (K × ℓ/b - 9.3) = 105.406

ⓓ 허용 오일러 좌굴응력

【표 5.101】 백운1교(부산) 브레이싱 허용 오일러 좌굴응력

단위 : MPa

f_{Ey}	1200000/$(l_y/r_y)^2$	3,926.430
f_{Ez}	1200000/$(l_z/r_z)^2$	268.833

ⓔ 허용전단응력(υ_a)

【표 5.102】 백운1교(부산) 브레이싱 허용전단응력(Va)

단위 : MPa

구 분	SM400	
Top Flange	40 이하	80.000
Bottom Flange	40 이하	80.000
Left Web	40 이하	80.000

ⓕ 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력

• 압축응력을 받는 자유돌출판의 최소두께

- Top Flange(L)

t_{min} = b / 16 = 146.0/16.0 = 9.125 mm ≤ t_f = 10.000 mm ∴OK

- Top Flange(R)

t_{min} = b / 16 = 146.0/16.0 = 9.125 mm ≤ t_f = 10.000 mm ∴OK

- Bottom Flange(L)

t_{min} = b / 16 = 146.0/16.0 = 9.125 mm ≤ t_f = 10.000 mm ∴OK

- Bottom Flange(R)

t_{min} = b / 16 = 195.0/16.0 = 9.125 mm ≤ t_f = 10.000 mm ∴OK

• 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력(f_{cal})

- Top Flange(L)

t = 10.000 mm

t_1= b / 16.0 = 146.0/16.0 = 9.125 mm

t_2= b / 12.9 = 146.0/12.9 = 11.318 mm

【표 5.103】 백운1교(부산) 브레이싱 자유돌출판(Top Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/16.0 ≤ t < b/12.9
	24,000 × (t / b)^2 = 112.591

- Top Flange(R)

t = 10.000 mm

t_1= b / 16.0 = 146.0/16.0 = 9.125 mm

t_2= b / 12.9 = 146.0/12.9 = 11.318 mm

【표 5.104】 백운1교(부산) 브레이싱 자유돌출판(Top Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/16.0 ≤ t < b/12.9
	24,000 × (t / b)^2 = 112.591

- Bottom Flange(L)

t = 10.000 mm

t_1= b / 16.0 = 146.0/16.0 = 9.125 mm

t_2= b / 12.9 = 146.0/12.9 = 11.318 mm

【표 5.105】 백운1교(부산) 브레이싱 자유돌출판(Bottom Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

- Bottom Flange(R)

t = 10.000 mm

t_1= b / 16.0 = 146.0/16.0 = 9.125 mm

t_2= b / 12.9 = 146.0/12.9 = 11.318 mm

【표 5.106】 백운1교(부산) 브레이싱 자유돌출판(Bottom Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/10.5 ≤ t
	215.000

ⓖ 보강된판 및 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력

• Left Web

- 판의 양연에서의 응력 : f_1 = 19.732 MPa, f_2 = -7.133 MPa
- 판의 양연에서의 응력이 인장이므로, 압축응력을 받는 양연지지판 검토에서 제외

【표 5.107】 백운1교(부산) 브레이싱 양연지지판(Left Web)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/80.0i ≤ t < b/32.i
	220,000 × (ti / b)^2 = 195.018

ⓗ 허용응력 요약

【표 5.108】 백운1교(부산) 브레이싱 허용응력 요약

구 분	fta	fcaz	fcay	fbagy	Va	fcal
Top Flange	140.000	99.779	123.891	109.954	80.000	112.591
Bottom Flange	140.000	99.779	123.891	109.954	80.000	112.591
Left Web	140.000	99.779	123.891	105.406	80.000	195.018

여기서, f_{ca} = f_{cag} · f_{cal} / f_{cao}

ⓘ 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재의 허용응력 검토

• 축방향력에 의한 응력

f_c = P / A = 322.624×10^3 / 8.2400E+03 = 39.153 MPa

• 휨모멘트에 의한 응력

f_{by1} = M_y × Z_1 / I_{yy} = -41.072 MPa, f_{bz1} = M_z × y_1 / I_{zz} = 1.263 MPa

f_{by2} = M_y × Z_2 / I_{yy} = -41.072 MPa, f_{bz2} = M_z × y_2 / I_{zz} = -1.263 MPa

f_{by3} = M_y × Z_3 / I_{yy} = 41.072 MPa, f_{bz3} = M_z × y_3 / I_{zz} = -1.263 MPa

f_{by4} = M_y × Z_4 / I_{yy} = 41.072 MPa, f_{bz4} = M_z × y_4 / I_{zz} = 1.263 MPa

• Position 1(y-direction) 응력 검토

$-f_t + f_{bcy} + f_{bcz} \le f_{cal}$

39.153 + (-41.072) + 1.263 = -0.655 MPa ≤ f_{cal} = 112.591 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{39.153}{140.000} + \frac{-41.072}{109.954} + \frac{1.263}{140.000} = -0.085 \le 1.000$$ ∴OK

• Position 2(y-direction) 응력 검토

$-f_t + f_{bcy} + f_{bcz} \le f_{cal}$

39.153 + (-41.072) + (-1.263) = -3.182 MPa ≤ f_{cal} = 112.591 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{39.153}{140.000} + \frac{-41.072}{109.954} + \frac{-1.263}{140.000} = -0.103 \le 1.000$$ ∴OK

• Position 3(y-direction) 응력 검토

$f_t + f_{bty} + f_{btz} \le f_{ta}$

39.153 + (-41.072) + (-1.263) = 78.962 MPa ≤ f_{ta} = 140.000 MPa ∴OK

• Position 4(y-direction) 응력 검토

$f_t + f_{bty} + f_{btz} \le f_{ta}$

39.153 + 41.072 + 1.263 = 81.489 MPa ≤ f_{ta} = 140.000 MPa ∴OK

• Position 1(z-direction)

$-f_t + f_{bcz} + f_{bcy} \le f_{cal}$

39.153 + 1.263 + (-41.072) = -0.655 MPa ≤ f_{cal} = 112.591 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{39.153}{140.000} + \frac{1.263}{105.406} + \frac{-41.072}{140.000} = -0.002 \le 1.000 \quad \therefore OK$$

- Position 2(z-direction)

$-f_t + f_{bcz} + f_{bcy} \le f_{cal}$

39.153 + (-1.263) + (-41.072) = -3.182 MPa $\le f_{cal}$ = 112.591 MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{39.153}{140.000} + \frac{-1.263}{105.406} + \frac{-41.072}{140.000} = -0.026 \le 1.000 \quad \therefore OK$$

- Position 3(z-direction)

$f_t + f_{btz} + f_{bty} \le f_{ta}$

39.153 + (-1.263) + 41.072 = 78.962 MPa $\le f_{ta}$ = 140.000 MPa ∴OK

- Position 4(z-direction)

$f_t + f_{btz} + f_{bty} \le f_{ta}$

39.153 + 1.263 + 41.072 = 81.489 MPa $\le f_{ta}$ = 140.000 MPa ∴OK

ⓙ 전단응력에 대한 검토

$\upsilon_z = F_z / A_w + Mx \times t / K$

$= 0.202\times10^3 / 2{,}400.000 + 0.001 \times 10^6 \times 8.000E+00 / 2.4949E+05$

$= 0.121$ MPa $\le \upsilon_a = 80.000$ MPa ∴OK

$\upsilon_y = F_y / A_f + Mx \times t / K$

$= 0.217\times10^3 / 4{,}000.000 + 0.001 \times 10^6 \times 1.000E+01 / 2.4949E+05$

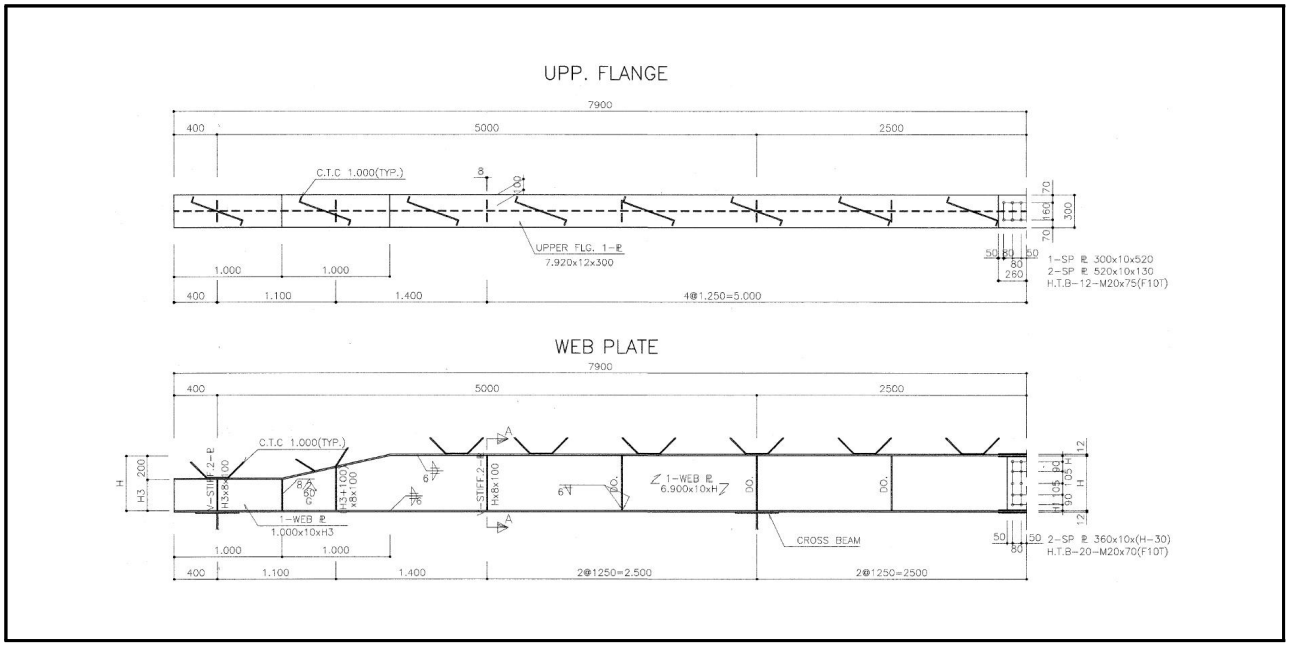
$= 0.101$ MPa $\le \upsilon_a = 80.000$ MPa ∴OK

ⓚ 합성응력에 대한 검토

$$\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\upsilon_b}{\upsilon_a}\right)^2 = \left(\frac{-42.335}{140.000}\right)^2 + \left(\frac{0.121}{80.000}\right)^2 = 0.091 < 1.200 \quad \therefore OK$$

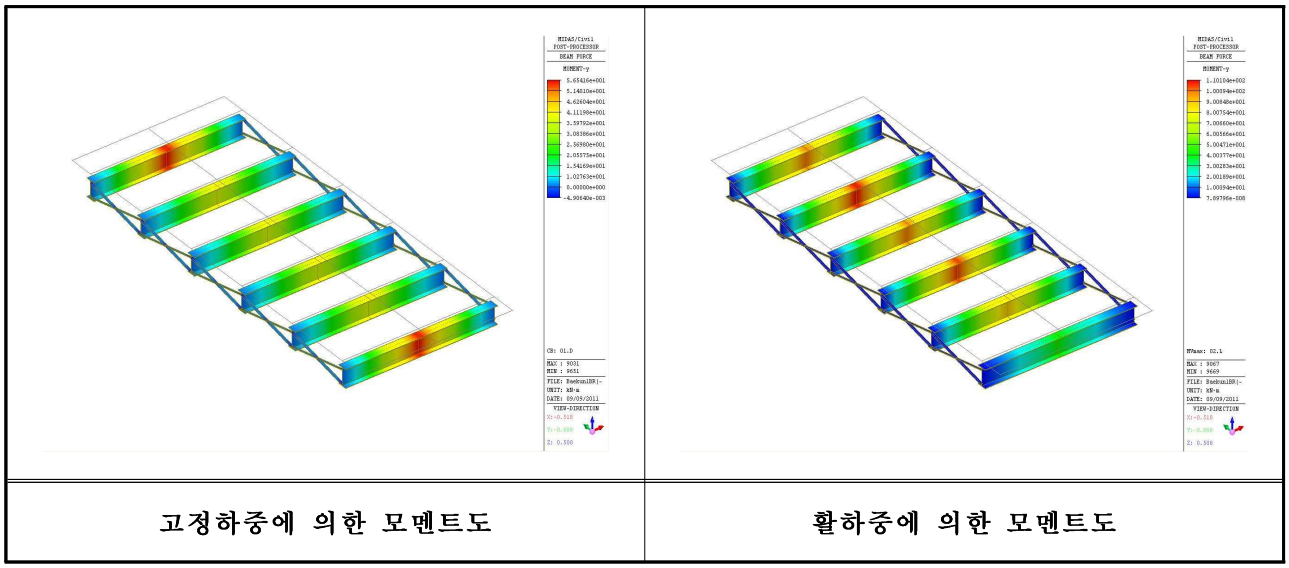
⑩ 세로보 응력 검토

바닥판과 세로보의 연결은 전단연결재가 1.0 m간격으로 배치되어 있어 합성효과를 일부 발휘할 것으로 판단되나 기본적으로 비합성구조로 설계된 교량이므로 구조해석 시 이를 고려하여 안전측의 비합성 구조로 검토하였다. 또한 설계 시 세로보를 단순보로 가정하여 계산하였으므로 본 과업에서도 안전측의 검토가 되도록 단순보로 취급하였으며 바닥판과는 비합성 구조로 검토하였다.



【그림 5.16】 백운1교(부산) 세로보 전단연결재 배치도

㉠ 단면력 산출

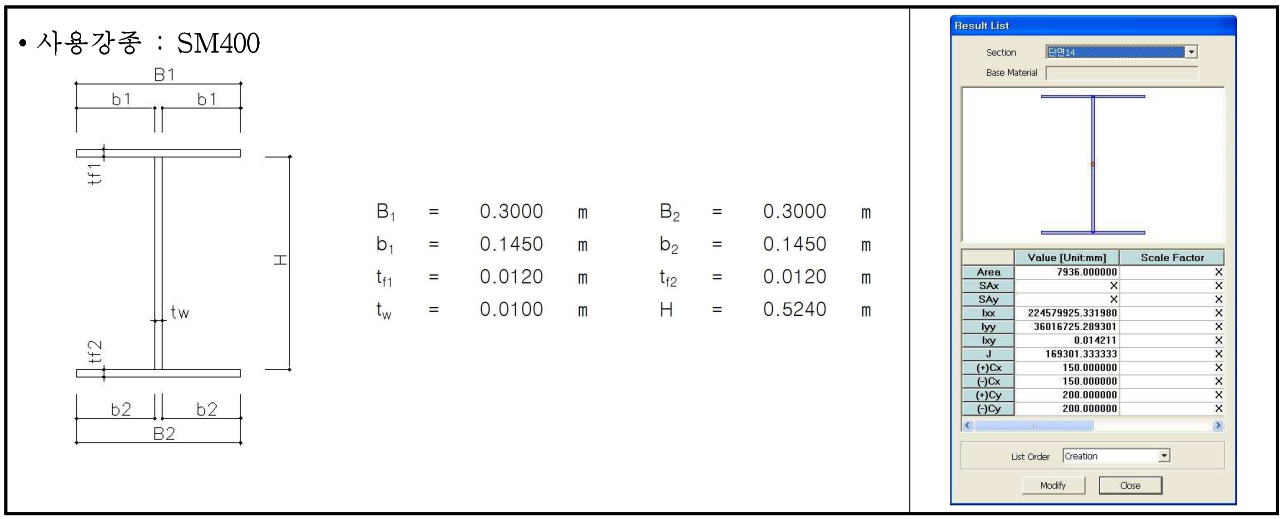


고정하중에 의한 모멘트도	활하중에 의한 모멘트도

【그림 5.17】 백운1교(부산) 세로보 하중조건별 단면력도

㉡ 검토 조건

ⓐ 단면 조건



【그림 5.18】 백운1교(부산) 세로보 단면조건

ⓑ 부호규약

(+) : 인장, (-) : 압축

ⓒ 적용 사용하중

【표 5.109】 백운1교(부산) 세로보 적용 사용하중

구 분	F_x (kN)	F_y (kN)	F_z (kN)	M_x (kN.m)	M_y (kN.m)	M_z (kN.m)	비 고
LCS1	-	-	106.975	0.007	98.187	-	Min Fz

㉢ 응력검토

ⓐ 허용휨인장응력(fta)

【표 5.110】 백운1교(부산) 세로보 허용휨인장응력(fta)

단위 : MPa

구 분	SM400	
Top Flange	40 이하	140.000
Bottom Flange	40 이하	140.000
Left Web	40 이하	140.000

ⓑ 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca)

• y축에 대한 유효좌굴길이

- 부재의 유효좌굴길이 : ℓ_y = 2,500.000 mm
- 부재 총단면의 단면회전반경 : r_y = 217.307 mm
- 세장비 : ℓ_y/r_y = 11.504

• z축에 대한 유효좌굴길이

- 부재의 유효좌굴길이 : ℓ_z = 2,500.000 mm
- 부재 총단면의 단면회전반경 : r_z = 66.556 mm
- 세장비 : ℓ_z/r_z = 37.563

• 세장비 검토

- 세장비 : ℓ/r = 37.563 ≤ 200.000 ∴OK

【표 5.111】 백운1교(부산) 세로보 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향압축응력(fca)

단위 : MPa

구 분	SM400	
Top Flange	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcaz = 140 - 0.82×(ℓ/r-18.6) = 124.451
Bottom Flange	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcaz = 140 - 0.82×(ℓ/r-18.6) = 124.451
Left Web	40 이하	18.6 < ℓ/r ≤ 92.8
		Fcaz = 140 - 0.82×(ℓ/r-18.6) = 124.451
Top Flange	40 이하	ℓ/r ≤ 18.6
		Fcay = 140.000
Bottom Flange	40 이하	ℓ/r ≤ 18.6
		Fcay = 140.000
Left Web	40 이하	ℓ/r ≤ 18.6
		Fcay = 140.000

ⓒ 허용휨압축응력(fbagy)

• Top Flange

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 2,500.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 300.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 5,000.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 3,600.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 1.389 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 8.333, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 1.922

【표 5.112】 백운1교(부산) 세로보 상부플랜지 허용휨압축응력(fbagy))

단위 : MPa

구 분		SM400
$\frac{A_w}{A_c}$ ≤ 2.0	40 이하	4.6 < ℓ/b ≤ 30.0
		140 - 2.49 × (ℓ/b - 4.6) = 130.704

• Bottom Flange

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 2,500.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 300.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 5,000.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 3,600.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 0.747 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 16.667, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 1.871

【표 5.113】 백운1교(부산) 세로보 하부플랜지 허용휨압축응력(fbagy))

단위 : MPa

구 분		SM400
$\frac{A_w}{A_c}$ ≤ 2.0	40 이하	4.6 < ℓ/b ≤ 30.0
		140 - 2.49 × (ℓ/b - 4.6) = 130.704

• Left Web

- 압축플랜지 고정점간 거리 : ℓ = 2,500.000 mm
- 압축플랜지 폭 : b = 500.000 mm
- 복부판의 총단면적 : A_w = 7,200.000 mm^2
- 압축플랜지 총단면적 : A_c = 5,000.000 mm^2

$\frac{A_w}{A_c}$ = 1.440 > 2.000, $\frac{l}{b}$ = 5.000, K= $\sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$ = 1.929

【표 5.114】 백운1교(부산) 세로보 좌측 복부 허용휨압축응력(fbagy))

단위 : MPa

구 분		SM400
$\frac{A_w}{A_c}$ ≤ 2.0	40 이하	4.6 < ℓ/b ≤ 30.0
		140 - 2.49 × (ℓ/b - 4.6) = 139.004

ⓓ 허용 오일러 좌굴응력

【표 5.115】 백운1교(부산) 세로보 허용 오일러 좌굴응력

단위 : MPa

f_{Ey}	$1200000/(l_y/r_y)^2$	9,066.685
f_{Ez}	$1200000/(l_z/r_z)^2$	850.492

ⓔ 허용전단응력(Va)

【표 5.116】 백운1교(부산) 세로보 허용전단응력(Va)

단위 : MPa

구 분	SM400	
Top Flange	40 이하	80.000
Bottom Flange	40 이하	80.000
Left Web	40 이하	80.000

ⓕ 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력

• 압축응력을 받는 자유돌출판의 최소두께

- Top Flange(L)

t_{min} = b / 16 = 145.0/16.0 = 9.063 mm ≤ t_f = 12.000 mm ∴OK

- Top Flange(R)

t_{min} = b / 16 = 145.0/16.0 = 9.063 mm ≤ t_f = 12.000 mm ∴OK

- Bottom Flange(L)

t_{min} = b / 16 = 145.0/16.0 = 9.063 mm ≤ t_f = 12.000 mm ∴OK

- Bottom Flange(R)

t_{min} = b / 16 = 195.0/16.0 = 9.063 mm ≤ t_f = 12.000 mm ∴OK

• 자유돌출판의 국부좌굴에 대한 허용응력(f_{cal})

- Top Flange(L)

t = 12.000 mm

t_1= b / 12.9 = 145.0/12.9 = 11.240 mm

【표 5.117】 백운1교(부산) 세로보 자유돌출판(Top Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/12.9 ≤ t
	140.000

- Top Flange(R)

t = 12.000 mm

t_1= b / 12.9 = 146.0/12.9 = 11.240 mm

【표 5.118】 백운1교(부산) 세로보 자유돌출판(Top Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/12.9 ≤ t
	140.000

- Bottom Flange(L)

t = 12.000 mm

t_1= b / 12.9 = 146.0/12.9 = 11.240 mm

【표 5.119】 백운1교(부산) 세로보 자유돌출판(Bottom Flange(L))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/12.9 ≤ t
	140.000

- Bottom Flange(R)

t = 12.000 mm

t_1= b / 12.9 = 145.0/12.9 = 11.240 mm

【표 5.120】 백운1교(부산) 세로보 자유돌출판(Bottom Flange(R))의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/12.9 ≤ t
	140.000

ⓖ 보강된판 및 양연지지판의 국부좌굴에 대한 허용응력

• Left Web

- 판두께 : t = 10.0 mm
- 판의 고정연 사이의 거리 : b = 500.0 mm
- 응력구배계수 : i = 0.65 ϕ^2 + 0.13 ϕ + 1.0 = 3.860
- 응력구배 : ϕ = (f_1 - f_2) / f_1 = 2.000
- 판의 양연에서의 응력 : f_1 = 42.608 MPa, f_2 = -42.608 MPa
- 압축응력을 받는 보강된 판의 최소두께

t ≤ 40mm

t_{min} = b / 56i = 500/216.200 = 2.3 ≤ t = 10.0 mm ∴OK

【표 5.121】 백운1교(부산) 세로보 양연지지판(Left Web)의 국부좌굴에 대한 허용응력(fcal)

단위 : MPa

구 분	SM400
40 이하	b/39..i ≤ t
	140.000

ⓗ 허용응력 요약

【표 5.122】 백운1교(부산) 세로보 허용응력 요약

구 분	fta	fcaz	fcay	fbagy	Va	fcal
Top Flange	140.000	124.451	140.000	130.704	80.000	140.000
Bottom Flange	140.000	124.451	140.000	130.704	80.000	140.000
Left Web	140.000	124.451	140.000	139.004	80.000	140.000

여기서, f_{ca} = f_{cag} · f_{cal} / f_{cao}

ⓘ 축방향력 및 휨모멘트를 받는 부재의 허용응력 검토

• 축방향력에 의한 응력

$f_c = P / A = 0.000 \times 10^3 / 8.2400E+03 = 0.000$ MPa

• 휨모멘트에 의한 응력

$f_{by1} = M_y \times Z_1 / I_{yy} = -44.653$ MPa, $f_{bz1} = M_z \times y_1 / I_{zz} = 0.000$ MPa

$f_{by2} = M_y \times Z_2 / I_{yy} = -44.653$ MPa, $f_{bz2} = M_z \times y_2 / I_{zz} = 0.000$ MPa

$f_{by3} = M_y \times Z_3 / I_{yy} = 44.653$ MPa, $f_{bz3} = M_z \times y_3 / I_{zz} = 0.000$ MPa

$f_{by4} = M_y \times Z_4 / I_{yy} = 44.653$ MPa, $f_{bz4} = M_z \times y_4 / I_{zz} = 0.000$ MPa

• Position 1(y-direction) 응력 검토

$-f_t + f_{bcy} + f_{bcz} \le f_{cal}$

$0.000 + (-44.653) + 0.000 = -44.653$ MPa $\le f_{cal} = 140.000$ MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{0.000}{140.000} + \frac{-44.653}{130.704} + \frac{0.000}{140.000} = -0.342 \le 1.000$$ ∴OK

• Position 2(y-direction) 응력 검토

$-f_t + f_{bcy} + f_{bcz} \le f_{cal}$

$0.000 + (-44.653) + 0.000 = -44.653$ MPa $\le f_{cal} = 140.000$ MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{0.000}{140.000} + \frac{-44.653}{130.704} + \frac{-1.263}{140.000} = -0.342 \le 1.000$$ ∴OK

• Position 3(y-direction) 응력 검토

$f_t + f_{bty} + f_{btz} \le f_{ta}$

$0.000 + 44.653 + 0.000 = 44.653$ MPa $\le f_{ta} = 140.000$ MPa ∴OK

• Position 4(y-direction) 응력 검토

$f_t + f_{bty} + f_{btz} \le f_{ta}$

$0.000 + 44.653 + 0.000 = 44.653$ MPa $\le f_{ta} = 140.000$ MPa ∴OK

• Position 1(z-direction)

$-f_t + f_{bcz} + f_{bcy} \le f_{cal}$

$0.000 + 0.000 + (-44.653) = -44.653$ MPa $\le f_{cal} = 140.000$ MPa ∴OK

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{0.000}{140.000} + \frac{0.000}{139.004} + \frac{-44.653}{140.000} = -0.319 \le 1.000 \quad \therefore OK$$

- Position 2(z-direction)

$-f_t + f_{bcz} + f_{bcy} \le f_{cal}$

$0.000 + 0.000 + (-44.653) = -44.653\ MPa \le f_{cal} = 140.000\ MPa \quad \therefore OK$

$$-\frac{f_t}{f_{ta}} + \frac{f_{bcz}}{f_{bagy}} + \frac{f_{bcy}}{f_{bao}} \le 1.0$$

$$\frac{0.000}{140.000} + \frac{0.000}{139.004} + \frac{-44.653}{140.000} = -0.319 \le 1.000 \quad \therefore OK$$

- Position 3(z-direction)

$f_t + f_{btz} + f_{bty} \le f_{ta}$

$0.000 + 0.000 + 44.653 = 44.653\ MPa \le f_{ta} = 140.000\ MPa \quad \therefore OK$

- Position 4(z-direction)

$f_t + f_{btz} + f_{bty} \le f_{ta}$

$0.000 + 0.000 + 44.653 = 44.653\ MPa \le f_{ta} = 140.000\ MPa \quad \therefore OK$

ⓙ 전단응력에 대한 검토

$\upsilon_z = F_z / A_w + Mx \times t / K$

$= 106.975\times10^3 / 5{,}240.000 + 0.007 \times 10^6 \times 1.000E+01 / 5.1627E+05$

$= 20.556\ MPa \le \upsilon_a = 80.000\ MPa \quad \therefore OK$

$\upsilon_y = F_y / A_f + Mx \times t / K$

$= 0.000\times10^3 / 4{,}800.000 + 0.007 \times 10^6 \times 1.200E+01 / 5.1627E+05$

$= 0.169\ MPa \le \upsilon_a = 80.000\ MPa \quad \therefore OK$

ⓚ 합성응력에 대한 검토

$$\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\upsilon_b}{\upsilon_a}\right)^2 = \left(\frac{-44.653}{140.000}\right)^2 + \left(\frac{20.556}{80.000}\right)^2 = 0.168 < 1.200 \quad \therefore OK$$

3) 피로응력 검토

① 검토 조건

㉠ 응력반복 회수

【표 5.123】 백운1교(부산) 도로종류에 따른 응력반복횟수

도로의 종류	DB-24	DL-24	비 고
고속도로, 국도등 주간선도로	200만	50만	적용
기타도로	50만	10만	

㉡ 응력의 종류 및 범주

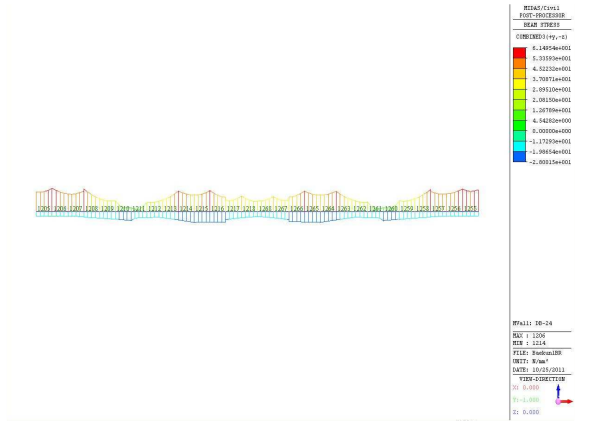
- 조 립 부 재 : 응력방향에 평행한 완전 연속 용입홈용접
- 홈용접 이음 : 용접부를 응력방향으로 연마하고 비파괴 시험을 실시한 완전용입 홈용접을 한 이음부나 그 인접부의 모재와 용접금속
- 응 력 범 주 : B

㉢ 허용피로응력 범위

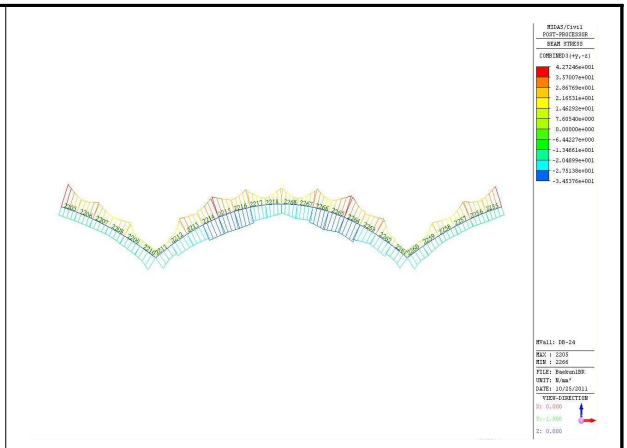
【표 5.124】 백운1교(부산) 허용피로응력범위

재하경로	상세범주	허용피로응력범위 fsr(MPa)				비 고
		10만회	50만회	200만회	200만회이상	
단재하경로 구 조 물	A	351	203	168	168	
	B	274	161	112	112	적용
	B′	218	126	77	77	
	C	196	112	70	63	

② 피로응력 검토



DB-24에 의한 최대·최소 응력도
(보강거더 하연)



DB-24에 의한 최대·최소 응력도
(아치리브 상연)

【그림 5.19】 백운1교(부산) 활하중에 의한 최대·최소 응력도

㉠ 보강거더

ⓐ DB-24 재하 시

- $\Delta fsu = 28.483 - (-49.719) = 78.202\ MPa < fsr = 112.0\ MPa$ ∴OK
- $\Delta fsl = 54.970 - (-26.528) = 81.498\ MPa < fsr = 112.0\ MPa$ ∴OK

ⓑ DL-24 재하 시

- $\Delta fsu = 55.881 - (-54.857) = 110.738\ MPa < fsr = 161.0\ MPa$ ∴OK
- $\Delta fsl = 65.577 - (-36.485) = 102.062\ MPa < fsr = 161.0\ MPa$ ∴OK

㉡ 아치리브

ⓐ DB-24 재하 시

- $\Delta fsu = 18.163 - (-57.650) = 75.813\ MPa < fsr = 112.0\ MPa$ ∴OK
- $\Delta fsl = 39.389 - (-31.315) = 70.704\ MPa < fsr = 112.0\ MPa$ ∴OK

ⓑ DL-24 재하 시

- $\Delta fsu = 32.278 - (-65.754) = 98.032\ MPa < fsr = 161.0\ MPa$ ∴OK
- $\Delta fsl = 54.259 - (-61.378) = 115.637\ MPa < fsr = 161.0\ MPa$ ∴OK

4) 바닥판 검토

본 교량의 콘크리트 바닥판에 대한 안전성 평가는 도로교설계기준에 따라 강도설계법으로 검토하였으며, 세부 검토 과정은 다음과 같다.

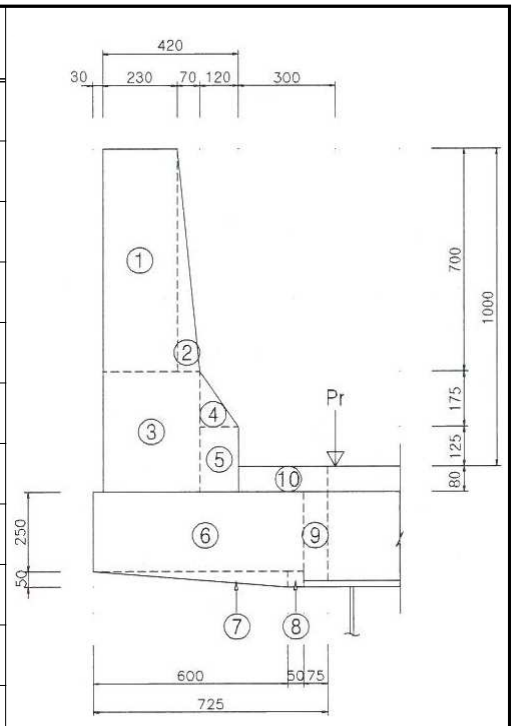
① 바닥판 검토

㉠ 하중 산정

ⓐ 캔틸레버부

• 고정하중

【표 5.125】 백운1교(부산) 고정하중 산정 결과(단위폭당)

NO.	작용하중(kN)	거리 (m)	모멘트 (kN · m)	
①	0.23×0.7×25.0 = 4.025	0.580	2.335	
②	0.5×0.07×0.7×25.0 = 0.613	0.442	0.271	
③	0.3×0.38×25.0 = 2.850	0.545	1.553	
④	0.5×0.12×0.175×25.0 = 0.263	0.355	0.093	
⑤	0.12×0.205×25.0 = 0.615	0.335	0.206	
⑥	0.65×0.25×25.0 = 4.063	0.325	1.320	
⑦	0.5×0.6×0.05×25.0 = 0.375	0.250	0.094	
⑧	0.05×0.05×25.0 = 0.063	0.025	0.002	
⑨	0.075×0.3×25.0 = 0.563	0.038	0.021	
⑩	0.275×0.08×23.0 = 0.506	0.138	0.070	
계	13.936		5.965	

• 설계활하중

설계활하중은【표 5.125】에 나타낸 바와 같이 검토 단면에 영향을 주지 않으므로 캔틸레버 검토 시에는 이를 제외하였다.

• 차량충돌하중

- 수평충돌력 H가 노면상 1m 높이에 교축을 따라 1 m마다 작용 시

$$H = \left(\frac{v}{60}\right)^2 \times 7500 + 2500 = \left(\frac{100}{60}\right)^2 \times 7500 + 2500 = 23333.333\,\mathrm{N/m} = 23.333\,\mathrm{kN/m}$$

$$Mco1 = H \times h = 23.333 \times 1.08 = 25.200\,\mathrm{kN \cdot m/m}$$

여기서, V(설계속도) = 100 km/h

h(작용높이) = 1.0 + 0.08(포장두께) = 1.08 m

- 방호벽 상단에 횡방향으로 H = 10 kN/m의 수평하중이 작용 시

Mco2 = H × h = 10 × 1.08 = 10.800 kN · m / m

Mco = Max[Mco1, Mco2] = 25.200 kN · m / m

⇒ 곡선반경이 R > 200 m이므로 Mco1과 Mco2 중에서 최대값 적용

• 풍하중

Pw = 3.00 × 1.0 = 3.000 kN/m

Mw = 3.00 × 0.58 = 1.740 kN · m / m

ⓑ 중앙부

• 고정하중

바닥판 : 0.25 × 25.0 = 6.25 kN/m

아스콘포장 : 0.08 × 23.5 = 1.880 kN/m

$$Md = \frac{wL^2}{10} = \frac{(6.25+1.88)\times 2.2^2}{10} = 3.935\ \text{kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

• 설계활하중(DB-24 : Pr = 96 kN)

$$i = \frac{15}{(40+L)} = \frac{15}{(40+2.2)} = 0.355 > 0.3 \qquad \therefore\ i = 0.3 \text{ 적용}$$

$$Ml+i = \frac{(L+0.6)P_{24}}{9.6} = \frac{(2.2+0.6)\times 96}{9.6} \times 1.3 = 36.400\ \text{kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

⇒ 연속바닥판이므로 Ml+i = 36.4 × 0.8 = 29.120 kN · m / m

【표 5.126】 백운1교(부산) 바닥판 하중 산정 결과

단위:kN · m

구 분	고정하중 (Md)	활하중 (Ml+i)	차량충돌하중 (Mco)	풍하중 (Mw)	비 고
캔틸레버	5.965	-	25.200	1.740	
중 앙 부	3.935	29.120	-	-	

㉡ 단면력 조합

【표 5.127】 백운1교(부산) 하중조합 결과

구 분		적용하중 조합		비 고
캔틸레버	계수하중	LCU1 : 1.2Md + 1.2Mco	= 37.398 kN · m	
	사용하중	LCS 1 : Md + Mco	= 20.777 kN · m	31.165/1.5
중 앙 부	계수하중	LCU1 : 1.3Md + 2.15Ml+i	= 67.724 kN · m	
	사용하중	LCS 1 : Md + Ml+i	= 33.055 kN · m	

㉢ 안전성검토 결과

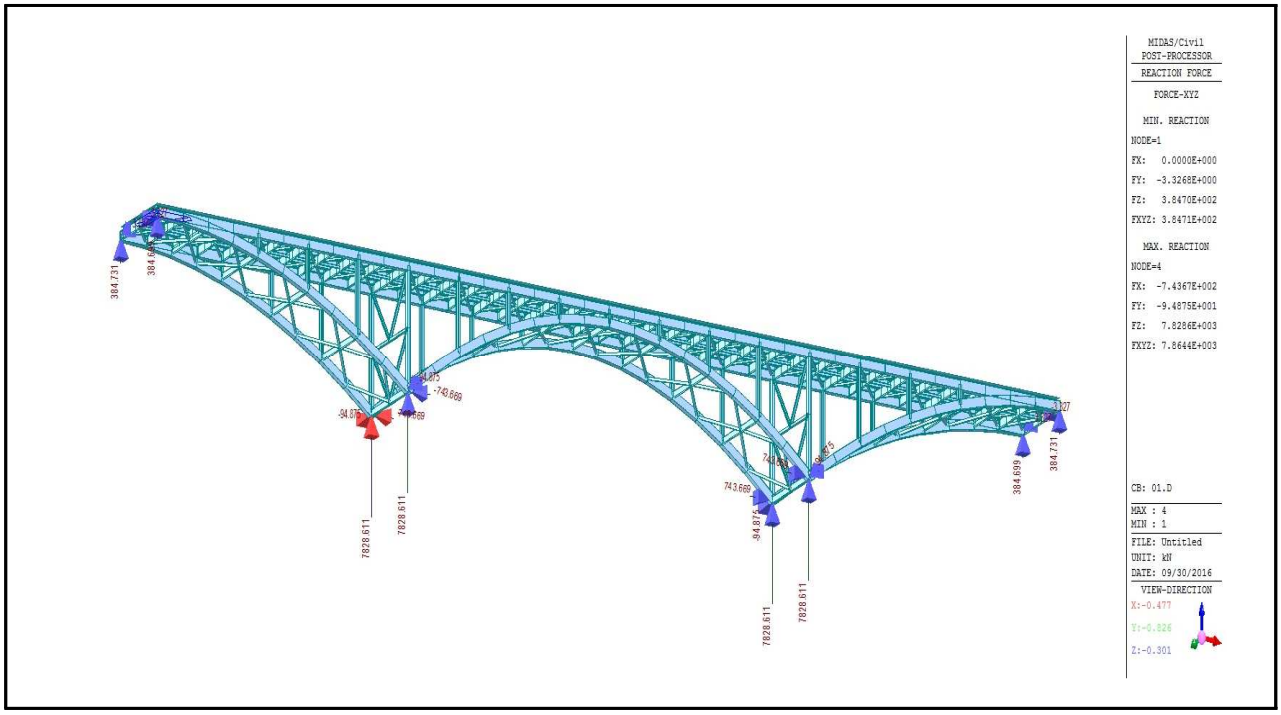
바닥판의 휨강도는 계수하중에 대해서 안전성을 확보하고 있으며, 또한 관련 사용성기준을 만족하는 것으로 나타났다. 단면별 검토 결과를 나타내면 【표 5.128】과 같다.

【표 5.128】 백운1교(부산) 바닥판 안전성검토 결과

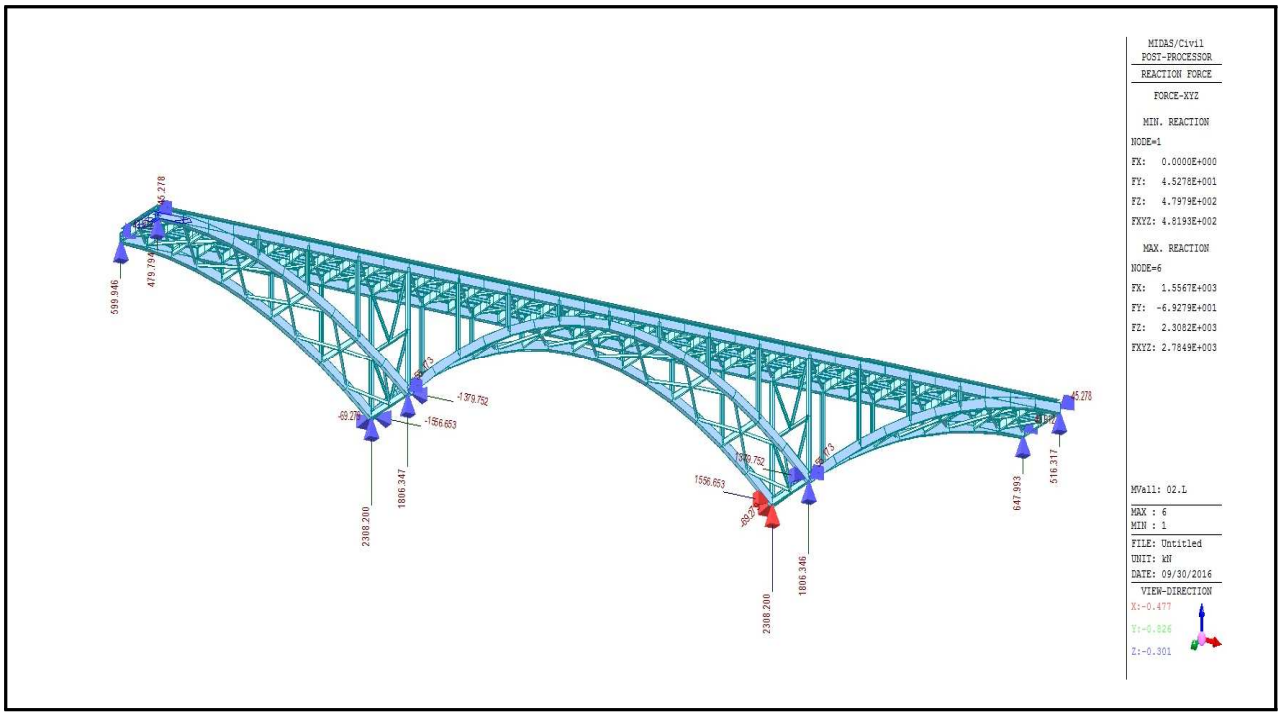
구 분	캔틸레버	중앙부	비 고
설계기준강도(fck)	27	27	MPa
인장철근항복강도(fy)	400	400	MPa
단면높이(h)	300	250	mm
사용인장철근(As)	H16@125=1588.8	H16@125=1588.8	mm^2
인장철근중심까지의 거리(dc)	50	40	mm
피복두께(Cc)	42.05	32.05	mm
유효높이(d)	250	210	mm
■ 휨강도 검토			
설계휨강도(ϕMn)	127.569	105.961	kN · m
계수모멘트(Mu)	37.398	67.724	kN · m
검 토 결 과	OK (SF=3.411)	OK (SF=1.565)	
■ 사용성 검토			
사용모멘트(Ms)	20.777	33.055	kN · m
철근응력(fs)	57.212	109.078	MPa
허용인장철근간격(sa)	1101.175	577.569	mm
검 토 결 과	OK	OK	

5) 교량받침 검토

교량받침의 안전성을 확인하기 위해 하중조건별 반력을 산출하였으며 이를 나타내면 【그림 5.20】 및 【그림 5.21】과 같다. 검토 결과 최대 연직반력은 10116.777kN로 산출되었으며, 전 지점에서 허용반력(교대 : 1500 kN, 교각 : 14000 kN) 이하로 나타났다.



【그림 5.20】 백운1교(부산) 고정하중에 의한 받침반력도



【그림 5.21】 백운1교(부산) 활하중에 의한 받침반력도

【표 5.129】 백운1교(부산) 받침반력 산출 결과

단위:kN

구 분		고정 하중 (D)	활하중 (L)		계		받침 용량	검토 결과
			Max	Min	Max	Min		
A1	Sh1	384.731	479.793	-190.446	864.524	194.285	1,500	OK
	Sh2	384.699	599.944	-197.999	984.643	186.700	1,500	OK
P1	Sh1	7,828.611	1,806.329	-103.904	9,634.940	7,724.707	14,000	OK
	Sh2	7,828.611	2,308.215	-91.040	10,136.826	7,737.571	14,000	OK
P2	Sh1	7,828.611	1,806.329	-103.904	9,634.940	7,724.707	14,000	OK
	Sh2	7,828.611	2,308.215	-91.040	10,136.826	7,737.571	14,000	OK
A2	Sh1	384.699	516.318	-190.446	901.017	194.253	1,500	OK
	Sh2	384.731	647.992	-197.999	1032.723	186.732	1,500	OK

5.2.3 내하력 평가

가. 개 요

○ 구조물이 현재 보유하고 있는 실제 내하력 및 안전도를 추정하기 위한 내하력 평가는 유지관리 체계의 핵심이 되는 중요한 분야로서 그 분석 및 평가방법의 합리성과 결과의 신뢰도가 중요한 문제로 된다. 현재 사용되고 있는 교량의 내하력 평가기법은 공용하중에 대한 내하율(Rating Factor)을 구하기 위한 허용응력개념(Working Stress Rating)이나 강도 또는 하중저항계수개념(Load and Resistance Factor Design)에 의한 방법으로 대별될 수 있다.

○ 본 구조물은 내하력 평가는 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에 따라 허용응력법 및 강도설계법에 따라 검토하였다. 즉, 가로보 및 세로보의 검토는 허용응력법을 적용하고, 바닥판은 강도설계법에 근거하여 수행하였다. 한편, 내하력 평가방법에서 휨과 축방향력을 동시에 받는 부재의 경우는 현재까지 공인된 내하력 평가 방법이 정립되지 않아 주부재인 보강거더, 아치리브 및 행거에 대한 평가는 본 과업에서 제외하였다.

나. 바닥판

【표 5.130】 백운1교(부산) 바닥판 내하력 평가

구 분		내하율 계산	내하율 (RF)	기본내하력	비 고
강아치교	바닥판	$\frac{105.961-1.3\times3.935}{2.15\times29.120}$	1.611	DB-24이상	강도설계법

다. 거더(Steel-Arch)

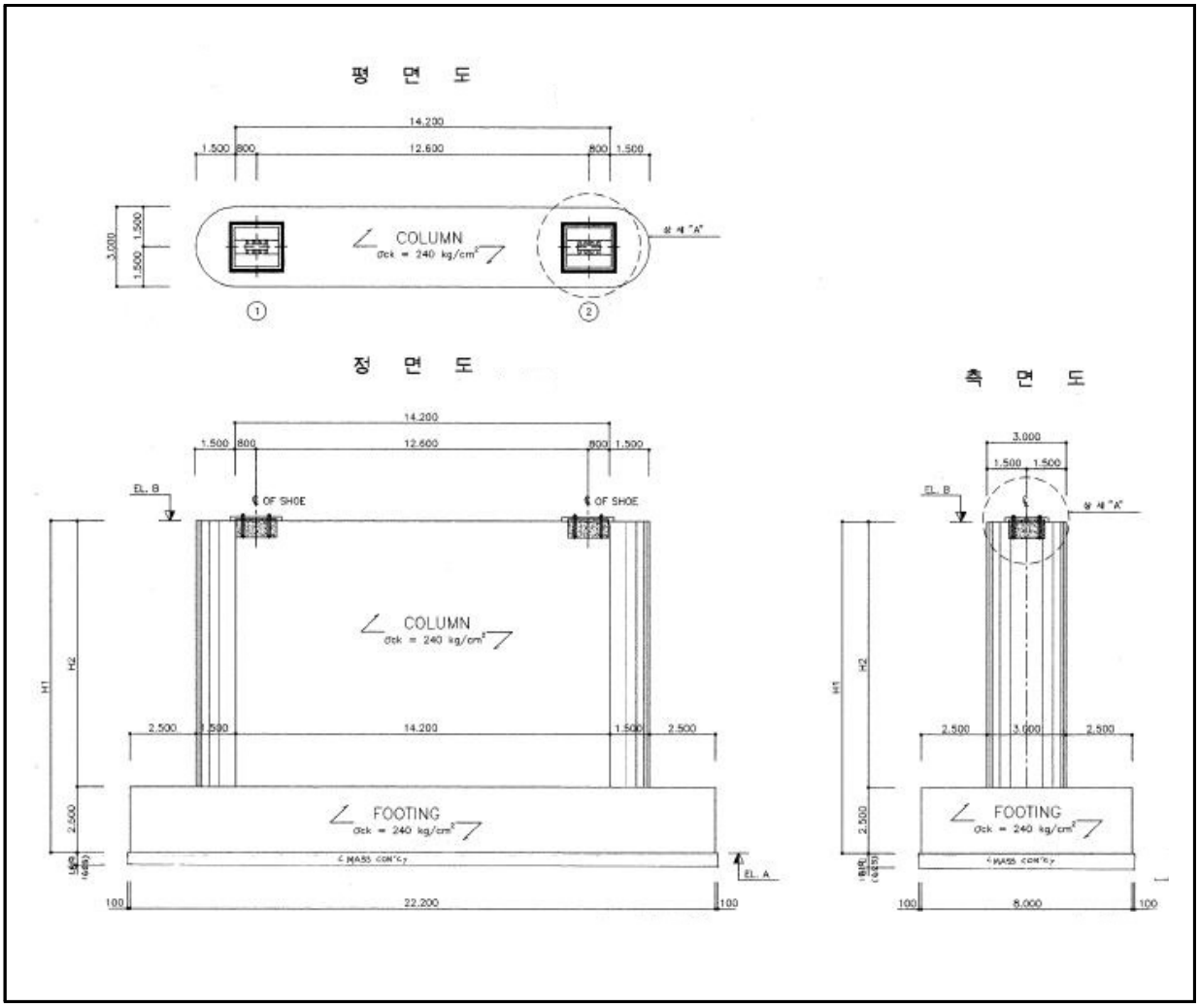
【표 5.131】 백운1교(부산) 거더(Steel-Arch) 내하력 평가

구 분		내하율 계산	내하율 (RF)	기본내하력	비 고
강아치교	가로보	$\frac{140.000 - 48.262}{57.354}$	1.600	DB-24이상	허용응력법
	세로보	$\frac{140.000 - 52.015}{51.933}$	1.694		

5.2.4 하부구조 안전성평가

하부구조에 대한 안전성검토는 예비 구조해석을 수행하여 가장 불리한 단면력 발생이 예상되는 교각1(P1)을 선정하여 수행하였다. 안전성검토시 고려된 하중은 고정하중, 설계활하중(DB-24, DL-24)과 풍하중이며, 해석단면의 제원은 【그림 5.22】에 나타내었다.

가. 검토 단면



【그림 5.22】 백운1교(부산) 하부구조 해석단면 제원(교각 P1)

나. 하중 산정

① 상부하중 산정

【표 5.132】 백운1교(부산) 교각1(P1) 받침반력 산출 결과

단위 : kN

구 분	위 치 / 하 중		Sh 1	Sh 2	비 고
연직반력	고정하중(D)		7,808.562	7,808.562	
	활 하 중 (충격제외)	L1	1,569.882	2,005.914	Max
		L2	-89.550	-78.771	Min
	풍 하 중(W)		1,364.547	-1,364.432	활하중 비재하시
수평반력 (교축방향)	고정하중	D	-741.813	-741.813	
	활 하 중 (충격제외)	L1	1,037.374	1,187.052	Max
		L2	-1,183.335	-1,334.225	Min
	풍 하 중(W)		441.716	-441.971	활하중 비재하시
수평반력 (교축직각방향)	고정하중	D	94.645	-94.645	
	활 하 중 (충격제외)	L1	48.172	30.867	Max
		L2	-37.197	-60.249	Min
	풍 하 중(W)		683.115	710.953	활하중 비재하시

② 하부구조 자중

- W = 25.0 kN/㎥(해석프로그램 자중옵션 적용)

③ 풍하중

【표 5.133】 백운1교(부산) 하부구조에 작용하는 단위 풍하중

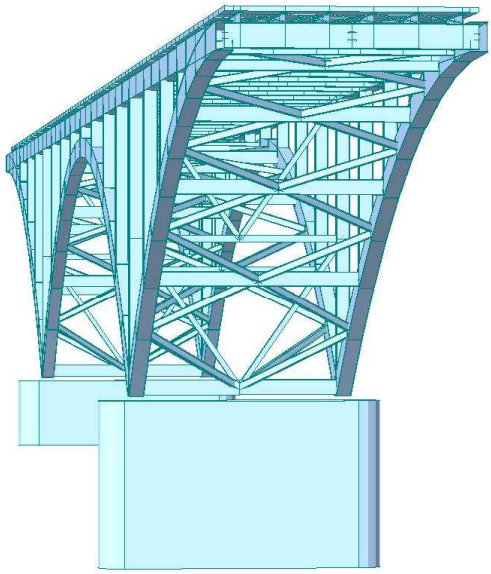
단위 : MPa

구 분		풍하중	비 고
교축방향	활하중 재하 시	1.500×10^{-3}	각 형
	활하중 비재하 시	3.000×10^{-3}	
교축직각방향	활하중 재하 시	0.750×10^{-3}	원 형
	활하중 비재하 시	1.500×10^{-3}	

다. 모델링

1) 해석모델

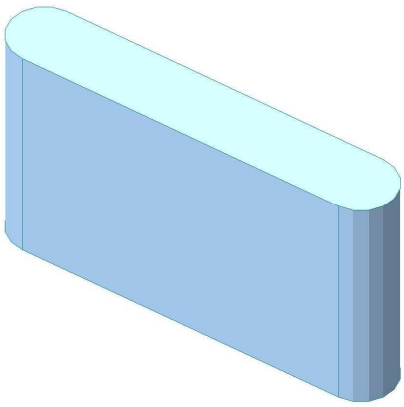
교각은 보요소를 이용하여 이상화하였으며 적용된 해석모델은【그림 5.23】과 같다.



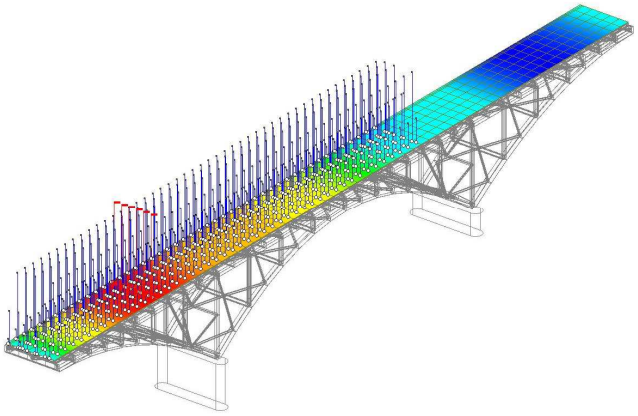
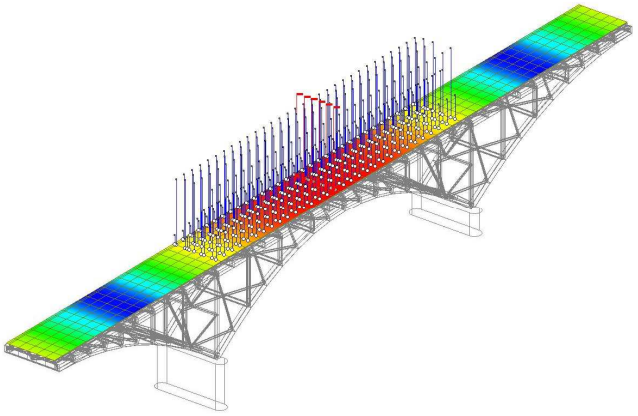
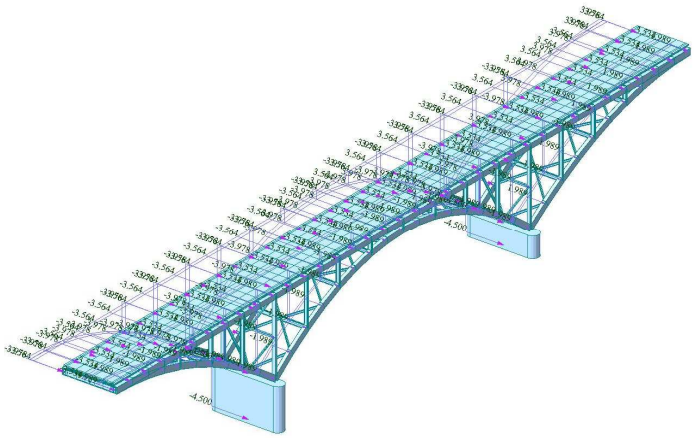
【그림 5.23】 백운1교(부산) 교각 해석모델

2) 하중재하

【표 5.134】 백운1교(부산) 하부구조 하중조건 모델링

구 분	하중조건 모델링	비 고
구조물 자중		

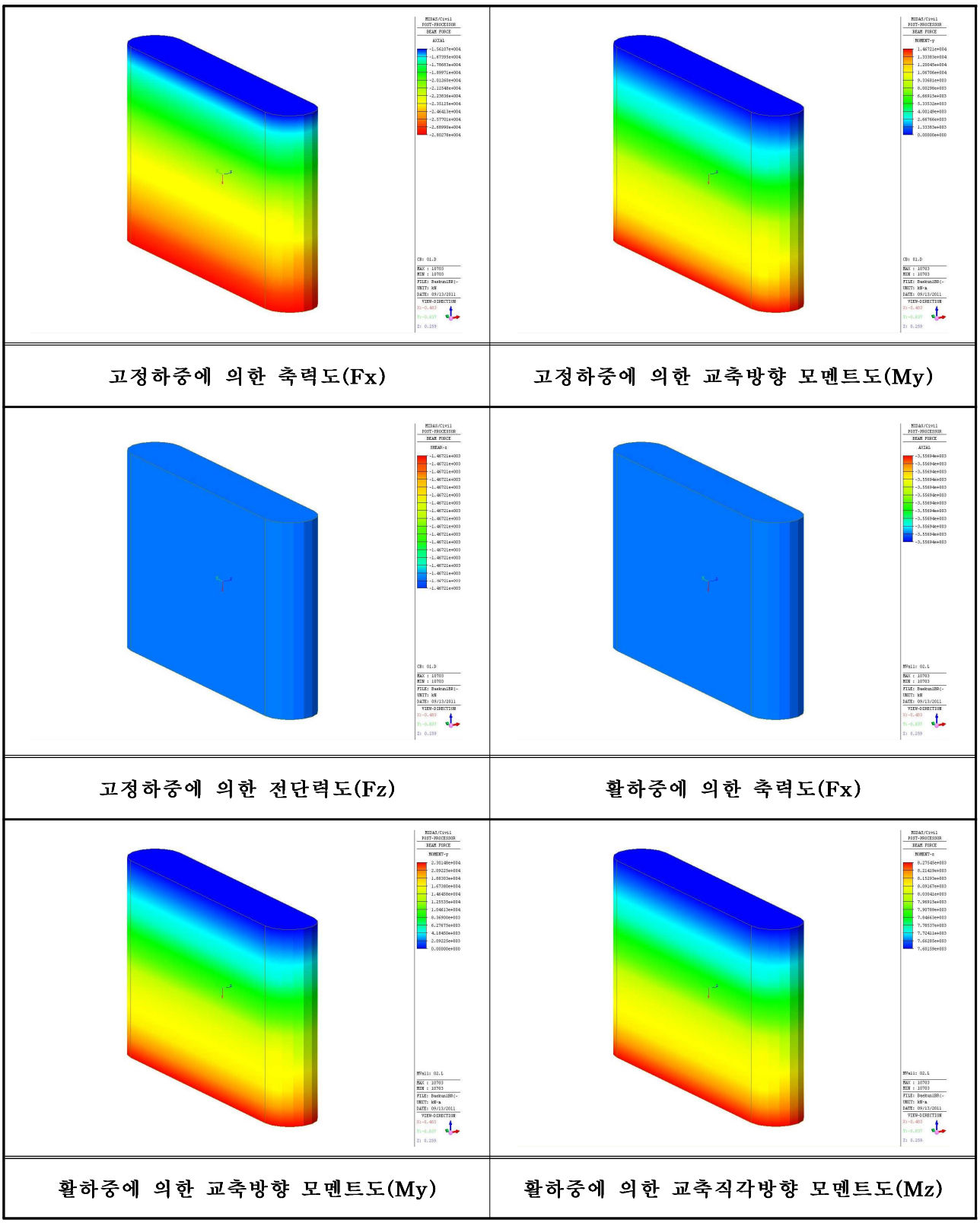
【표 5.134】 백운1교(부산) 하부구조 하중조건 모델링(계속)

구 분	하중조건 모델링	비 고
활 하 중		• 최대 축력 발생 시
		• 최대 모멘트 발생 시 (교축방향)
풍 하 중		• 교축방향 (활하중 비재하 시)

라. 구조해석 결과 및 안전성 검토

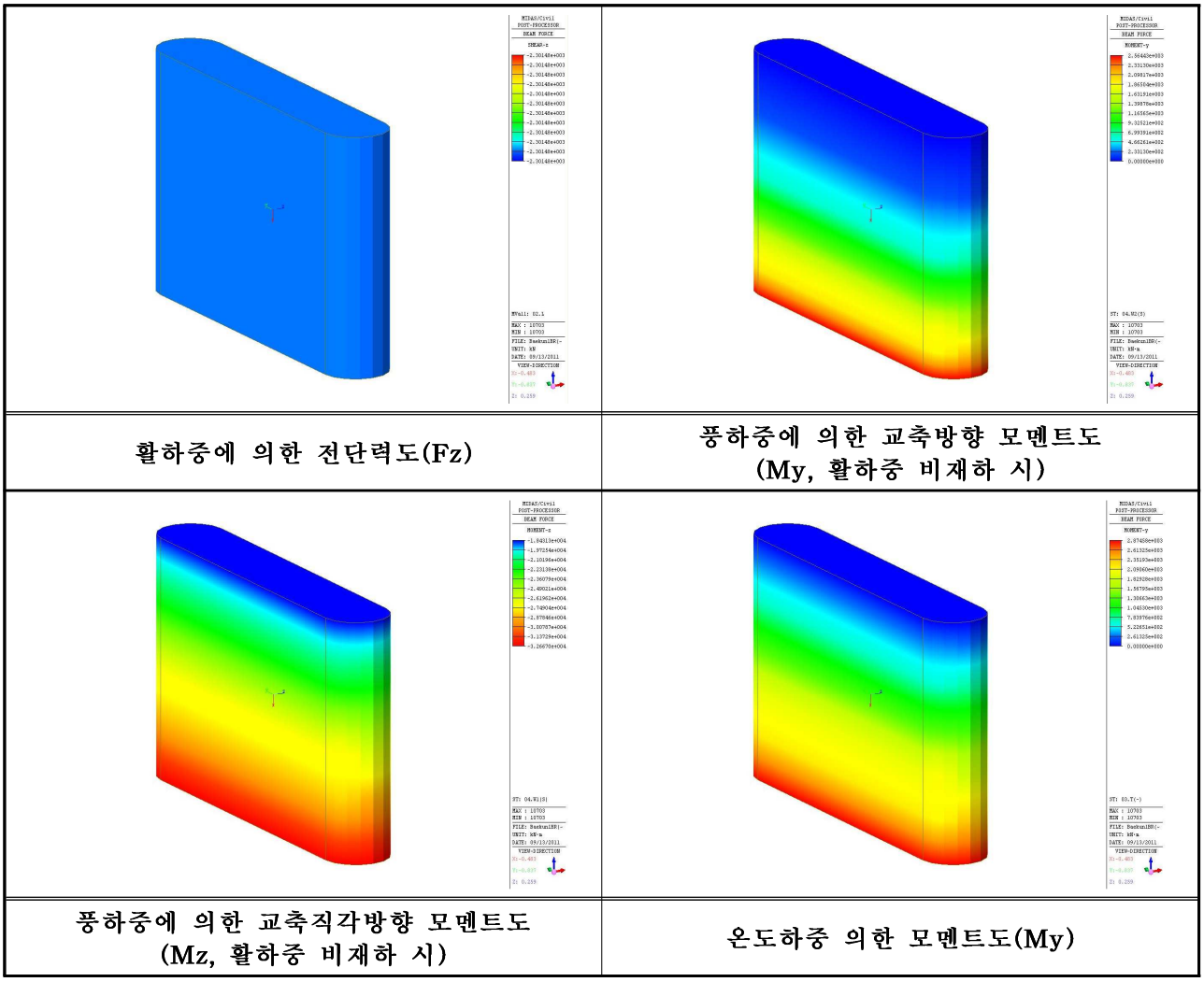
1) 해석 결과

① 하중조건별 단면력도



고정하중에 의한 축력도(Fx)	고정하중에 의한 교축방향 모멘트도(My)
고정하중에 의한 전단력도(Fz)	활하중에 의한 축력도(Fx)
활하중에 의한 교축방향 모멘트도(My)	활하중에 의한 교축직각방향 모멘트도(Mz)

【그림 5.24】 백운1교(부산) 하부구조 하중조건별 단면력도



활하중에 의한 전단력도(Fz)	풍하중에 의한 교축방향 모멘트도 (My, 활하중 비재하 시)
풍하중에 의한 교축직각방향 모멘트도 (Mz, 활하중 비재하 시)	온도하중 의한 모멘트도(My)

【그림 5.24】 백운1교(부산) 하부구조 하중조건별 단면력도(계속)

② 하중조건별 단면력 산출

【표 5.135】 백운1교(부산) 하중조건별 단면력 산출 결과

위치		기둥상단			기둥하단		
하중 \ 단면력		축력	휨모멘트 (교축)	휨모멘트 (교축직각)	축력	휨모멘트 (교축)	휨모멘트 (교축직각)
고정하중(D)		-15610.655	0.000	0.005	-28027.801	14672.137	0.005
활하중(L)	Max	142.538	0.000	7601.593	142.538	23014.756	8275.452
	Min	-3556.936	0.000	-4429.642	-3556.936	-20816.356	-4880.86
풍하중(W)	교축직각	-0.115	0.000	-18431.274	-0.115	2.526	-32667.044
	교축	0.537	0.000	0.000	0.537	2564.434	0.000

2) 적용 하중조합

【표 5.136】 백운1교(부산) 극한강도 검토 시 하중조합 경우

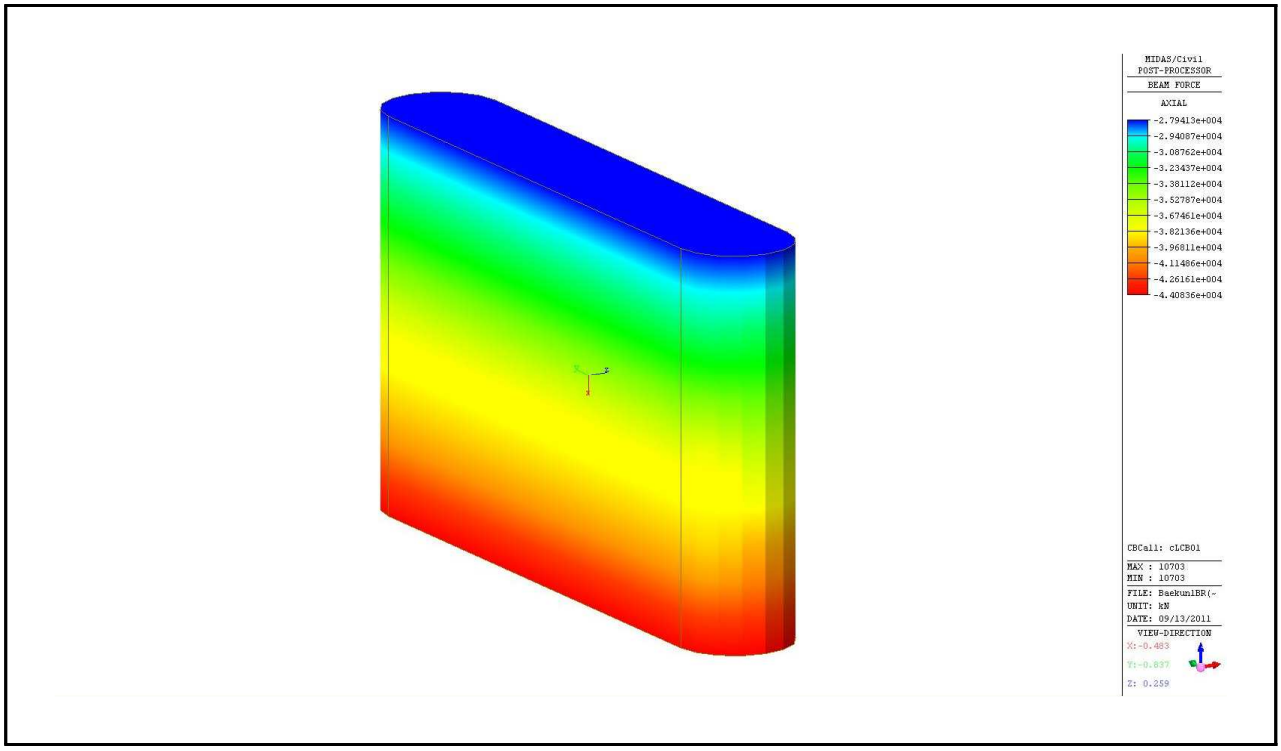
조합경우	하 중 조 합			비 고
	고정하중(D)	활하중(L)	풍하중(W)	
LCU 1	1.30	2.15	-	
LCU 2	1.30	-	1.30	
LCU 3	1.30	1.30	0.65	
LCU 4	1.00	2.15	-	
LCU 5	1.00	-	1.30	
LCU 6	1.00	1.30	0.65	

3) 기둥 검토

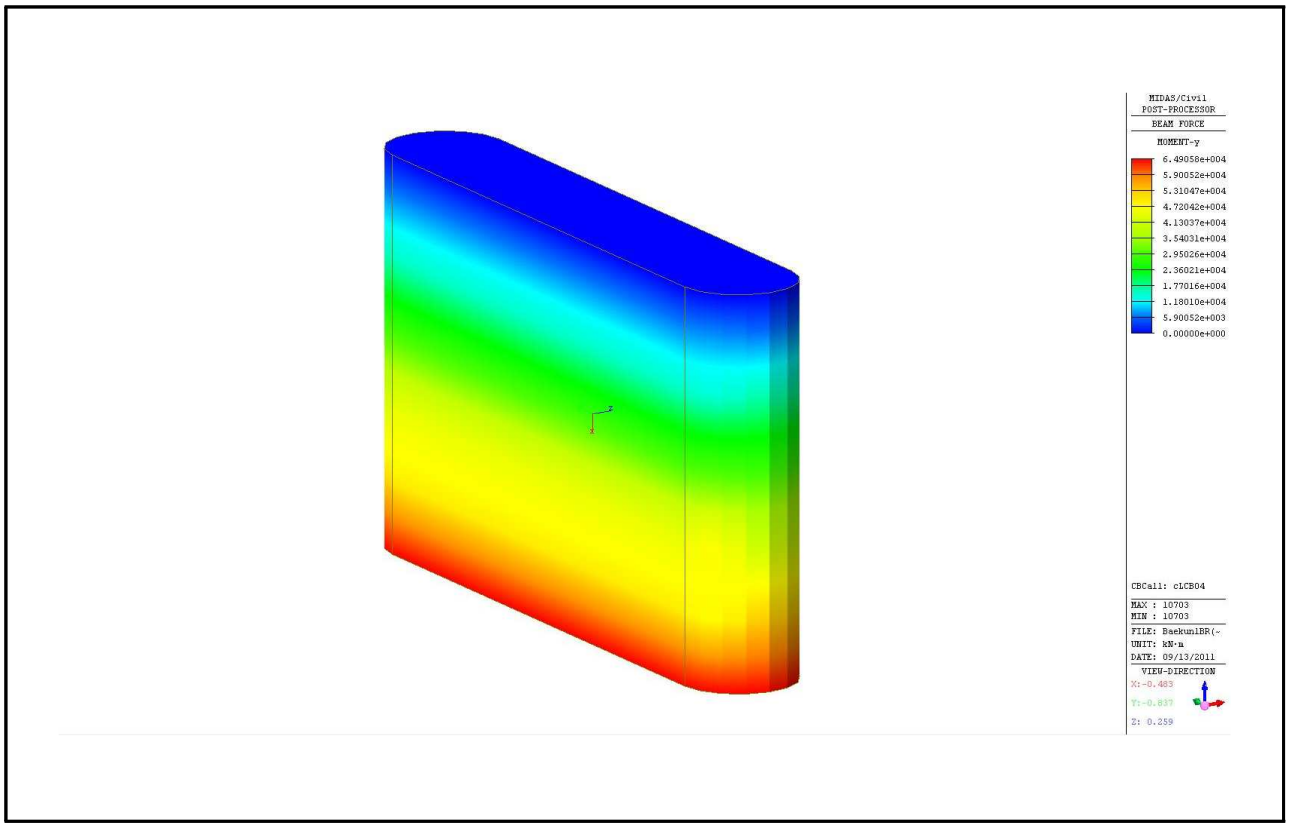
① 계수하중 산출

하부구조의 극한강도를 검토하기 위해【표 5.136】에 나타낸 하중계수를 이용하여 계수하중을 산출하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

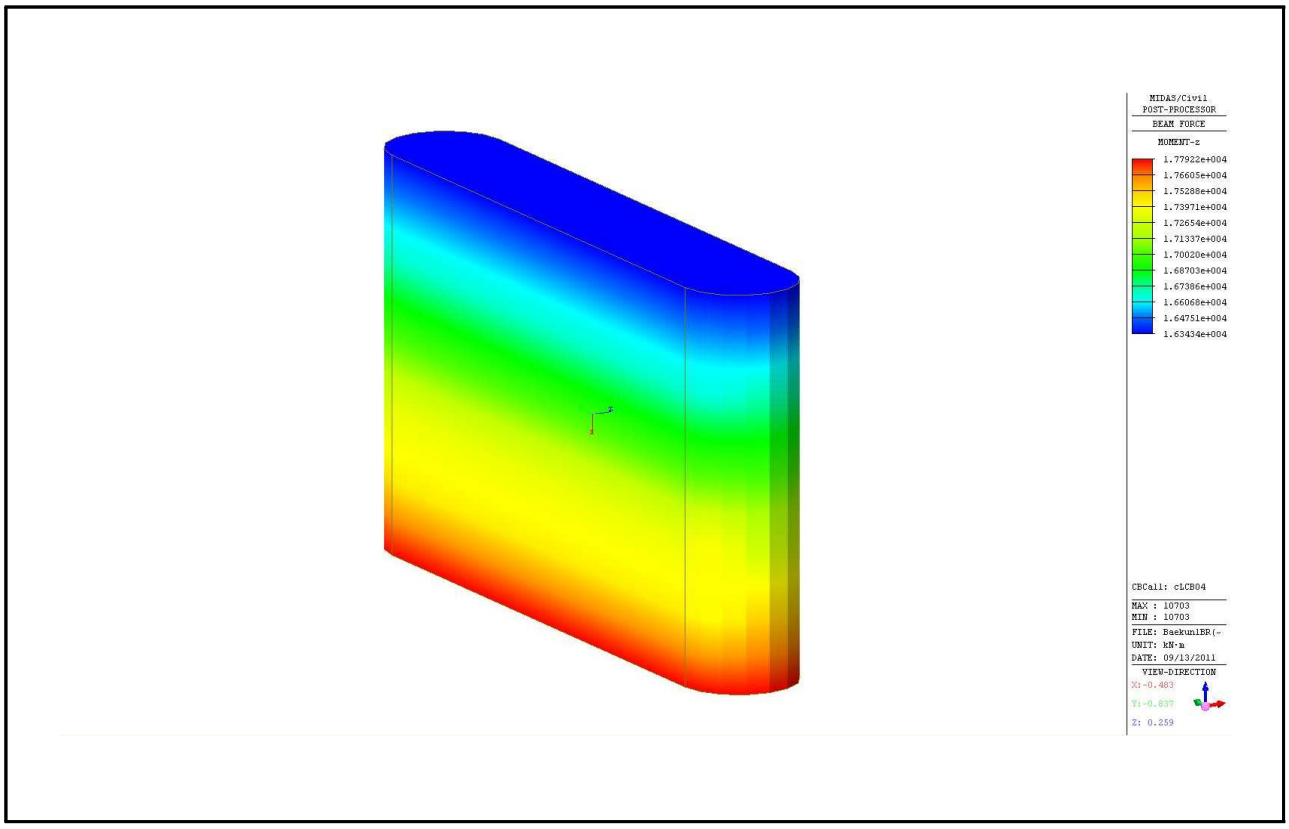
㉠ 계수하중 단면력도



【그림 5.25】 백운1교(부산) 계수하중에 의한 축력(Fx)도



【그림 5.26】 백운1교(부산) 계수하중에 의한 교축방향 휨모멘트(My)도



【그림 5.27】 백운1교(부산) 계수하중에 의한 교축직각방향 휨모멘트(Mz)도

㉡ 계수하중 산출

【표 5.137】 백운1교(부산) 기둥 계수하중 산출 결과

조합경우	기둥상단			기둥하단			비 고
	Pu (kN)	Muy (kN · m)	Muz (kN · m)	Pu (kN)	Muy (kN · m)	Muz (kN · m)	
LCU 1	-19987.396	0.000	16343.431	-36129.685	68555.504	17792.230	Max
	-27941.265	0.000	-9523.725	-44083.554	-25681.387	-10493.842	Min
LCU 2	-20293.154	0.000	0.006	-36435.444	22407.543	0.007	
LCU 3	-20108.204	0.000	9882.077	-36250.494	50659.844	10758.095	Max
	-24917.520	0.000	-5758.529	-41059.810	-6320.602	-6345.111	Min
LCU 4	-16277.997	0.000	16343.430	-28695.143	64905.763	17792.229	Max
	-24231.866	0.000	-9523.726	-36649.012	-29331.128	-10493.843	Min
LCU 5	-16584.603	0.000	-23960.651	-29001.748	15427.321	-42467.152	
LCU 6	-16398.805	0.000	9882.076	-28815.951	47010.102	10758.094	Max
	-21208.121	0.000	-5758.530	-33625.267	-9970.344	-6345.112	Min

② 단면 검토

㉠ 검토 조건

- 콘크리트 설계기준강도(fck) : 24.0 MPa
- 콘크리트 탄성계수(Ec) : 26986 MPa
- 철근 항복강도(fy) : 300.0 MPa
- 철근 탄성계수(Es) : 200000.0 MPa
- 단면적(Ag) : 49668583.471 mm^2
- 단면2차모멘트(I) : 35.926078 m4 (y축)
  1140.025371 m4(z축)
- 비지지길이(lu) : 10.0 m (y축)
  10.0 m (z축)
- 사용철근량(Ause) : 284ea-D32 + 88ea-D32 (1단철근)
  284ea-D32 + 84ea-D32 (2단철근)

㉡ 단면력 산정

【표 5.138】 백운1교(부산) 단면력 산정 결과 요약

구 분		Pu (kN)	Mu (kN · m)				Vu (kN)
			Top		Bottom		
			Sway	Non Sway	Sway	Non Sway	
LCU 1	y축	19987.396	0.000	0.000	0.000	68555.504	2568.138
	z축		0.000	16343.431	0.000	17792.223	125.527
LCU 4	y축	16277.997	0.000	0.000	0.000	64905.763	2933.112
	z축		0.000	16343.430	0.000	17792.223	125.527

㉢ 확대모멘트 산정

ⓐ 횡구속여부 결정

검토 교각은 수평하중의 변형에 대하여 구속력이 없으므로 횡방향 상대변위가 방지되지 않은 부재로 취급하여 검토하였으며, 기둥의 유효좌굴계수(k)는 2를 적용하였다.

ⓑ 임계하중 산정

【표 5.139】 백운1교(부산) 임계하중 산정 결과

구 분	교축방향(y)				교축직각방향(z)			
	k	βd	EI(kN · m²)	Pc(kN)	k	βd	EI(kN · m²)	Pc(kN)
LCU 1	2.0	0.6	242373651	5980330	2.0	0.6	7691129261	189771008
LCU 4	2.0	0.6	242373651	5980330	2.0	0.6	7691129261	189771008

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \cdot l_u)^2}$$

$$EI = \frac{0.4 E_c I_g}{1+\beta_d}$$

βd : 0.6 (고정하중에 의한 전체축력/전체 계수축력)
EI : 휨강성
Ec : 탄성계수
k : 유효좌굴길이계수
I : 단면2차모멘트
lu : 비지지길이

ⓒ 비횡구속 골조인 경우의 확대모멘트

• 세장비 검토

【표 5.140】 백운1교(부산) 세장비 검토 결과

구 분	교축방향(y)				교축직각방향(z축)			
	k	(k · lu)/r	한계세장비	판단	k	(k · lu)/r	한계세장비	판단
LCU 1	2.0	23.516	22.000	장주	2.0	4.175	22.000	단주
LCU 4	2.0	23.516	22.000	장주	2.0	4.175	22.000	단주

• 확대모멘트계수 산정

【표 5.141】 백운1교(부산) 확대모멘트계수 산정 결과

구 분	교축방향(y축)			교축직각방향(z축)		
	ΣPu(kN)	ΣPc(kN)	δs	ΣPu(kN)	ΣPc(kN)	δs
LCU 1	-	-	1.000	-	-	1.000
LCU 4	-	-	1.000	-	-	1.000

$\delta_s = \frac{1}{1-Q}$

δs > 1.5 이면

$Q_s = \frac{1}{1-\frac{\sum P_u}{0.75\sum P_c}} \geq 1.0$

여기서, Q < 0.6, δs < 2.5

ΣPu : 해당층의 모든 수직하중의 합

ΣPc : 해당층의 횡변위를 지지하는 기둥들의 임계하중의 합

• 비횡구속 골조인 경우의 확대모멘트 산정

【표 5.142】 백운1교(부산) 확대모멘트 산정 결과

구 분		δs	M_2 (kN·m)	검토	Cm	Pu (kN)	δns	Mc (kN·m)
y축	LCU 1	1.0	68555.504	이하	-	-	-	68555.504
	LCU 4	1.0	64905.763	이하	-	-	-	64905.763
z축	LCU 1	1.0	17792.223	이하	-	-	-	17792.223
	LCU 4	1.0	17792.223	이하	-	-	-	17792.223

M2 = M2ns + δs · M2s

만일 $\frac{l_u}{r} > \frac{35}{\sqrt{P_u/(f_{ck} \cdot A_g)}}$ 이면, 추가 확대

이때, $\delta_{ns} = \frac{C_m}{1-P/(0.75P)} \geq 1.0$

$C_m = 0.6 + 0.4\frac{M_1}{M_2} \geq 0.4$

$M_c = \delta_{ns} \cdot M_2$

• 확대모멘트 산정

【표 5.143】 백운1교(부산) 확대모멘트 산정 결과 요약

구 분	Pu (kN)	Mcy (kN·m)	Mcz (kN·m)	Mc (kN·m)	비 고
LCU 1	19987.396	68555.504	17792.223	70826.692	
LCU 4	16277.997	64905.763	17792.223	67300.232	

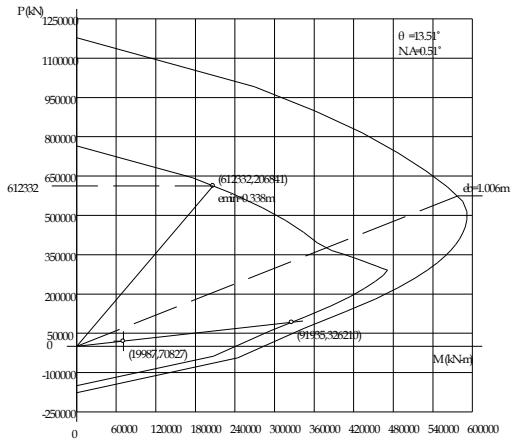
• 기둥 안전성 검토

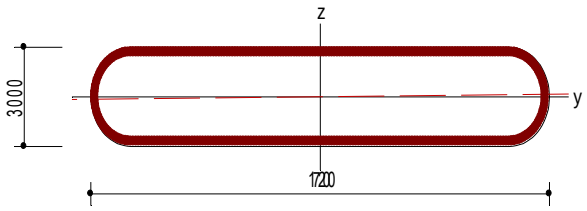
■ 하중조합 : LCU 1

▪ e = 3.548 m

▪ ΦPn = 91935.160 kN > Pu = 19987.396 kN ∴ OK

▪ ΦMn = 326210.033 kN·m > Mu = 70826.692 kN·m ∴ OK



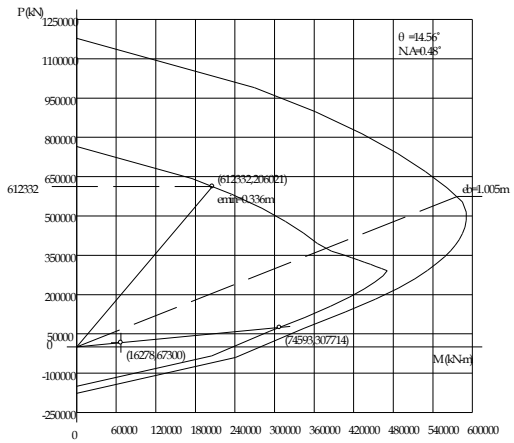


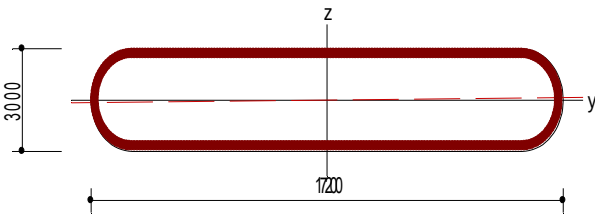
■ 하중조합 : LCU 4

▪ e = 4.125 m

▪ ΦPn = 74592.735 kN > Pu = 16277.997 kN ∴ OK

▪ ΦMn = 307714.179 kN·m > Mu = 67300.232 kN·m ∴ OK





【그림 5.28】 백운1교(부산) P-M 상관도에 의한 기둥 안전성 검토 결과

5.2.5 안전성평가 결과 요약

가. 바닥판

○ 고정하중 및 DB-24의 설계하중이 작용하는 경우에 대해 현 설계기준을 적용하여 구조해석을 실시한 결과, 켄틸레버 및 중앙부 모두 안전한 것으로 평가되었으며 외관조사 결과 구조적 손상은 조사되지 않아 검토대상 구조물은 설계하중에 대해 소요의 안전도를 확보하고 있는 것으로 판단된다.

○ 기본 내하력 산정 결과 DB-24이상으로 도로교 설계기준상의 1등급 정도의 내하력은 가지고 있는 것으로 판단된다.

나. 거더(Steel-Box)

○ 설계하중 및 건조수축, 크리트, 온도영향을 고려하여 지점부 및 중앙부에 대한 구조해석을 실시한 결과, 검토항목 모두 안전한 것으로 평가되었으며, 외관조사 결과 구조적 손상은 조사되지 않아 검토대상 구조물은 설계하중에 대해 소요의 안전도를 확보하고 있는 것으로 판단된다.

○ 기본 내하력 산정 결과 DB-24이상으로 도로교 설계기준상의 1등급 정도의 내하력은 가지고 있는 것으로 판단된다.

다. 교각 검토

○ 외관조사 결과 코핑부 전에 수직균열(cw=0.1~0.2mm)이 발생되어 현설계기준에 대한 안전성 및 사용성 검토결과 소요의 안전성은 확보하는 것으로 검토되었으나 균열제어를 위한 철근간격 검토결과 수평철근의 간격은 다소 넓은 것으로 평가되었다.

○ 따라서 발생된 균열은 건조수축 및 수화열 등이 원인이며 받침하단 및 단면변화부에서 지압·응력집중 효과가 더해진 것으로 판단된다.

○ 공용하중에 대해 철근량이 충분하고 균열진행성이 없으므로 손상규모에 따라 보수 및 주의관찰 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

라. 해석결과 집계표

1) 상부구조 안전성평가 결과

① 강아치(Steel-Arch)

【표 5.144】 백운1교(부산) 상부구조 강아치(Steel-Arch) 안전성평가 결과

단위 : MPa

구 분	축방향력 및 휨모멘트 응력			전단응력			안전성 평가결과
	검토응력	허용응력	안전율	검토응력	허용응력	안전율	
보강거더	172.413	215.000	1.00이상	12.716	125.000	1.00이상	a
아치리브	34.572	215.000	1.00이상	9.820	125.000	1.00이상	a
행거	13.772	140.000	1.00이상	-0.124	80.000	1.00이상	a
상부가로보	114.541	215.000	1.00이상	0.030	125.000	1.00이상	a
하부가로보	-6.516	215.000	1.00이상	-0.086	125.000	1.00이상	a
브레이싱	-3.182	112.591	1.00이상	0.121	80.000	1.00이상	a
세로보	44.653	140.000	1.00이상	0.169	80.000	1.00이상	a

② 바닥판

【표 5.145】 백운1교(부산) 상부구조 바닥판 안전성평가 결과

구 분		Mu(kN·m)	ΦMn(kN·m)	안전율	안전성 평가결과
바닥판	캔틸레버	37.398	127.569	1.00이상	a
	중앙부	67.724	105.961	1.00이상	a

2) 하부구조의 안전성평가 결과

【표 5.146】 백운1교(부산) 하부구조 교각 안전성평가 결과

단 면	축력 검토		안전율	모멘트 검토		안전율	안전성 평가 결과
	Pu(kN)	ΦPn(kN)		Mu(kN·m)	ΦMn(kN·m)		
교각	19,987.396	91,935.160	1.00이상	70,826.692	326,210.033	1.00이상	a

마. 기존 진단결과와의 비교・분석

【표 5.147】 백운1교(부산) 안전성평가 결과 비교・분석

구 분	2013년 정밀안전진단	2016년 정밀안전진단
해석조건	• 상부 3차원 격자해석 • 준공도에 근거하여 보강거더와 아치리브, 브레이싱의 연결은 강결로 고려하였으며 행거는 양단 힌지로 취급함. • 바닥판과 세로보의 연결은 전단연결재가 1.0m간격으로 배치되어 있어 합성효과를 일부 발휘할 것으로 판단되나 기본적으로 비합성구조로 설계된 교량이므로 구조해석 시 이를 고려하여 안전측의 해석이 되도록 비합성으로 모델링함. • 하중조건은 고정하중과 설계활하중 외 온도변화와 풍하중의 영향을 고려하였으며, 활하중의 재하방법은 해석프로그램 내의 이동하중해석 기능을 사용함. • 지점경계조건은 교량받침의 현장 배치상태를 고려하여 교각 지점을 고정단으로, 교대 지점을 가동단으로 설정함.	• 상부 3차원 격자해석 • 준공도에 근거하여 보강거더와 아치리브, 브레이싱의 연결은 강결로 고려하였으며 행거는 양단 힌지로 취급함. • 바닥판과 세로보의 연결은 전단연결재가 1.0m간격으로 배치되어 있어 합성효과를 일부 발휘할 것으로 판단되나 기본적으로 비합성구조로 설계된 교량이므로 구조해석 시 이를 고려하여 안전측의 해석이 되도록 비합성으로 모델링함. • 하중조건은 고정하중과 설계활하중 외 온도변화와 풍하중의 영향을 고려하였으며, 활하중의 재하방법은 해석프로그램 내의 이동하중해석 기능을 사용함. • 지점경계조건은 교량받침의 현장 배치상태를 고려하여 교각 지점을 고정단으로, 교대 지점을 가동단으로 설정함. • 풍하중 고려
안전율	거더 최소 안전율 : 1.320 바닥판 최소 안전율 : 1.565 하부구조 최소 안전율 : 4.600	거더 최소 안전율 : 1.247 바닥판 최소 안전율 : 1.565 하부구조 최소 안전율 : 4.600
안전성평가 결과	A	A
총 평	• 금회 정밀안전진단은 자료분석, 현장조사 및 시험을 통한 분석결과, 제원 및 품질저하 요인이 조사되지 않아 전차 진단인 2011년 정밀안전진단의 안전성 평가를 인용하여 평가하였음. • 공용 내하력은 DB-24 이상으로 나타나 설계활하중에 대한 안전성을 확보한 것으로 판단됨. • 기존 정밀안전진단(2013)에 비해 안전율과 내하율이 하향으로 나타난 이유는 금회 진단에서 변경된 포장하중 적용으로 인한 고정하중이 증가되어 안전율과 내하율이 상향된 것으로 판단됨. • 또한, 하부구조에 대한 검토는 금회 상부구조의 적용된 포장하중으로는 하부구조에 수직력이 미미한 것으로 판단되어 전차 진단보고서(2011년)를 내용을 인용함.	

5.3 백운1교(춘천) 안전성평가

5.3.1 개 요

백운1교(춘천)는 고속도로 55호선(중앙선, 이정 301.9km)으로 강원도 원주시 판부면 금대리에 위치하며, 1995년 10월 01일에 준공된 1종 교량이다. 본 교량의 총연장은 151.4m (35.7+80.0+35.7), 폭 21.51m로 상부구조는 3경간 연속의 AR거더 형식이며, 하부구조는 역T형(교대) 및 구형(교각), 교량받침은 스페리칼 받침(교대) 및 롤러받침(교각), 신축이음장치는 New모노셀조인트(A1, A2)로 시공되었다.

가. 검토구간 선정 및 사유

안전성 평가는 교량의 설계개념을 따라 일관성이 유지되도록 평가하는 것을 원칙으로 하고, 최근 도입되고 있는 신뢰성이론에 의한 평가방법은 충분한 통계자료가 뒷받침되어야 하므로 평가방법은 RC거더 및 콘크리트 바닥판, 교각 부재검토는 강도설계법에 의하며, 전차 정밀안전진단(2013년)에서 수행한 안전성평가 자료를 활용하고, 금회 정밀안전진단(2016년)와 구조적 변화상태에 대하여 비교하였다.

나. 구조검토 조건

본 교량은 설계 시와 현재의 설계기준을 비교하여 현 기준에 안전성 검토 및 내하력 평가를 실시하며, 사용재료의 특성 및 철근간격, 피복두께 등을 설계도서와 현장측정 값을 비교하여 적용하였다. 설계시와 금차 정밀안전진단의 비교표는 다음【표 5.48】와 같다.

1) 구조검토 조건 비교

【표 5.148】 백운1교(춘천) 구조검토 조건 비교

구 분		2013년 진단	2016년 진단	비 고
설계기준	적용년도	• 콘크리트 구조설계기준(2012) • 도로교 설계기준(2010)	• 콘크리트 구조설계기준(2012) • 도로교 설계기준(2010)	
	주 요 하중계수	• 콘크리트 하중조합(1.3D+2.15L)	• 콘크리트 하중조합(1.3D+2.15L)	
상부구조 적용하중	바닥판	• 고정하중+활하중	• 고정하중+활하중+풍하중	
	거더	• 고정하중+활하중+크리프 및 건조수축+온도변화	• 고정하중+활하중+크리프 및 건조수축+온도변화+풍하중	
비교결과		• 설계시 구조검토 조건비교 결과, 교각이 매우 낮고 상태덕으로 높이차이도 없으며, 기초가 경암에 위치한 점을 고려하여 과업대상시설물에 인접해 있는 백운1교(부산)의 구조계산서를 참조하여 지점침하에 대한 검토를 생략하였음. • 상부구조 적용하중에서 풍하중이 누락되어 있는 것으로 확인되어 금회 진단에서 하중를 적용하여 안전성평가를 실시함.		

2) 부재재원 확인

시설물을 구성하고 있는 주요부재에 대한 제원 확인을 위해 실측을 실시하고 이를 준공도와 비교·검토하여 주요부재의 규격을 확인하였다.

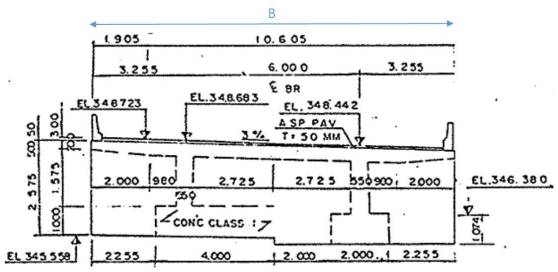




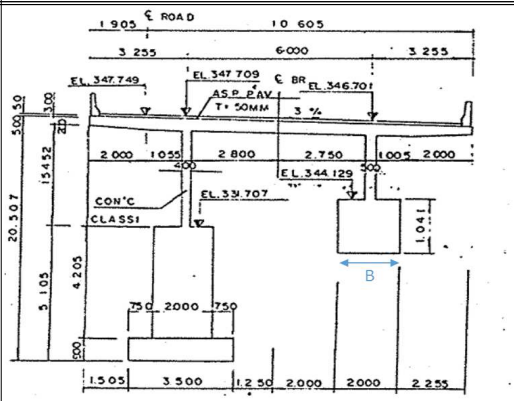
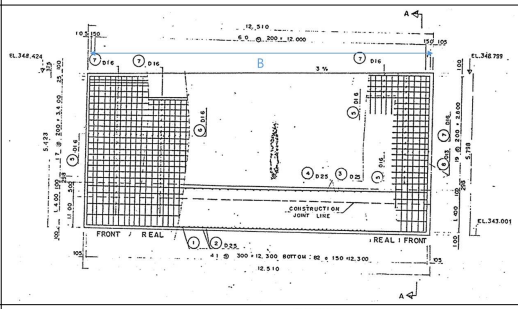
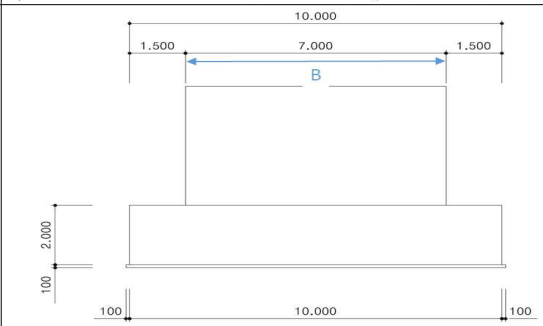
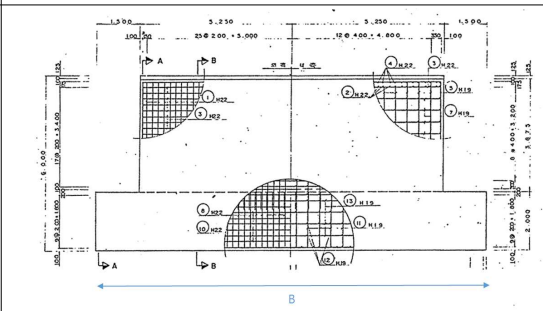
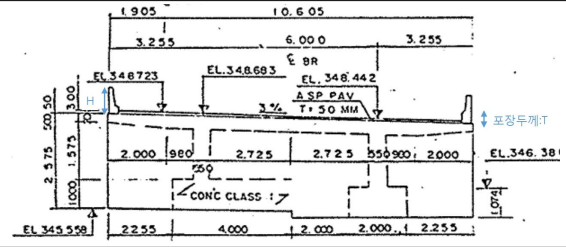

부재 제원 확인

【사진 5.2】 백운1교(춘천) 부재 제원 측정

【표 5.149】 백운1교(춘천) 부재 제원 확인 결과

구분		개요도	구분	설계도면	실측결과	비고
상부 구조	바닥판		B	12.51m	12.50m	일치

【표 5.149】 백운1교(춘천) 부재 제원 확인 결과(계속)

구분		개요도	구분	설계도면	실측결과	비고
상부 구조	아치 리브		B	2.0m	2.0m	일치
하부 구조	교대		B	12.51m	12.40m	일치
	교각 (P1)		B	7.0m	7.0m	일치
	교각 (P2)		B	13.5m	13.4m	일치
기타 부재	방호벽		H	1.08m	1.06m	일치
	포장		T	50mm	50mm	일치
측정결과		• 부재제원의 실측결과, 전반적으로 준공도상의 제원과 일치함. • 안전성 검토에 실측치를 반영함.				

3) 현장시험 및 측정자료 분석

① 사용재료 및 강도

【표 5.150】 백운1교(춘천) 사용재료 및 강도

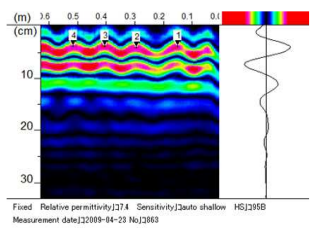
구 분	콘 크 리 트				철 근	
	탄성계수(MPa)	설계기준강도(MPa)	현장조사결과(MPa)	적용강도(MPa)	철근강도(MPa)	탄성계수(MPa)
상부구조	28,693	27.0	27.5~30.6	27.0	400.0	2.0×10^5
하부구조	26986	24.0	24.6~31.2	24.0	300.0	2.0×10^5

• 콘크리트 강도시험은 반발경도시험 및 초음파시험 결과가 모두『원주천교 등 11개소 정밀안전진단(2013.12, (재)한국재난연구원, 케이에스엠기술(주)』에 적용된 설계기준강도 이상이므로 최저값인 설계기준강도를 적용강도로 적용함.

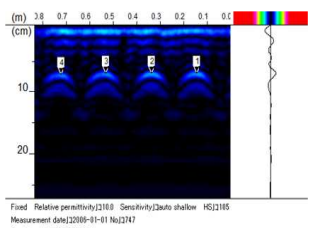
② 단면제원 및 철근량

【표 5.151】 백운1교(춘천) 단면제원 및 철근량

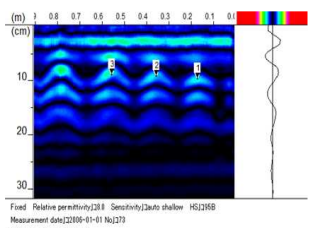
시험위치		단면 두께 (mm)	피복두께(mm)			철근(m당 평균)		
			설계값	측정 평균값	검토 적용값	설계값	철근탐사	검토 적용값
바닥판 하면	종방향철근	500.0	37.5	33.0~38.0	37.5	H25@125.0	H25@122.0~133.7	H25@125.0
	횡방향철근		62.5	62.0~69.0	62.5	H22@200.0 +H25@200.0	H22@192.5~210.0 +H25@192.5~210.0	H22@200.0 +H25@200.0
하부거더 (교대부)	종방향철근	1193.0	34.0	-	34.0	H32@300.0	-	H32@300.0
	횡방향철근		66.0	-	66.0	H22@252.0	-	H22@252.0
하부거더 (교각부)	종방향철근	4205.0	39.0	-	39.0	H22@300.0	-	H22@300.0
	횡방향철근		61.0	-	61.0	H22@149.0	-	H22@149.0
하부거더 (중앙부)	종방향철근	1068.0	34.0	-	34.0	H32@100.0	-	H32@100.0
	횡방향철근		66.0	-	66.0	H22@294.0	-	H22@294.0
A1 구체	수직철근	900.0	90.5	93.0	90.5	D19@200.0	D19@193.0	D19@200.0
	수평철근		109.5	109.0	109.5	D25@200.0	D25@200.0	D25@200.0
A2 구체	수직철근	900.0	90.5	90.0	90.5	D19@200.0	D19@218.0	D19@200.0
	수평철근		109.5	117.0	109.5	D25@200.0	D25@200.0	D25@200.0
P1 기둥	수직철근	5600.0	89.0	90.0	89.0	H22@200.0	H22@218.0	H22@200.0
	수평철근		111.0	110.0	111.0	H22@200.0	H22@210.0	H22@200.0
P2 롤러	수직철근	6000.0	92.0	93.0	92.0	D16@200.0	D16@198.0	D16@200.0
	수평철근		108.0	105.0	108.0	D16@200.0	D16@203.0	D16@200.0



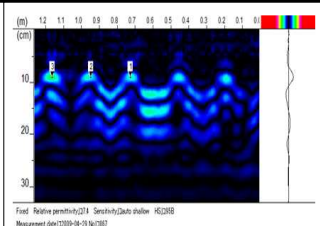
위치	철근종류	피복두께	철근간격
S3 바닥판	종방향 철근	37.0~ 40.0	110.0~ 144.0



위치	철근종류	피복두께	철근간격
S3 바닥판	횡방향 철근	69.0~ 70.0	190.0~ 195.0



위치	철근종류	피복두께	철근간격
A1 구체	수직철근	90.0~ 97.0	185.0~ 200.0



위치	철근종류	피복두께	철근간격
A2 구체	수직철근	91.0	216.0~ 221.0

• 철근배근 탐사결과 “대구-춘천간 고속도로 건설공사 제7공구 구조도(준공도)”에 적용된 설계값과 금회 측정평균값의 차이가 미미하여 안전성 평가시 설계값을 기준으로 적용함.

5.3.2 상부구조 안전성평가

가. 구조검토 조건

1) 교량제원

① 교 량 명 : 백운1교(춘천)

② 교량등급 : 1등급(DB-24, DL-24)

③ 교량형식 : 3경간 RC Arch교

④ 교 장 : 35.6 + 80.0 + 35.6 = 151.4m

⑤ 교 량 폭 : B = 12.51m

⑥ 거더제원 : H = 1.041m, B = 2.0m

⑦ 사 각 : 0.000°

⑧ 곡률반경 : R = 1,300

2) 하중

① 고정하중

- 철근콘크리트 : Wc = 25.00 kN/㎥
- 포장콘크리트 : Wa = 23.00 kN/㎥(아스팔트 포장)

② 활하중

- DB-24, DL-24
- 충격계수 : I = 15 / (40+L) ≤ 0.3

3) 사용재료

① 콘크리트

㉠ 설계기준강도 : fck = 27.0 MPa

㉡ 탄 성 계 수 : Ec = 28,693.400 MPa

㉢ 전단탄성계수 : G = 12,297.200 MPa

㉣ 포아송비 : v = 0.167

㉤ 크리프계수 : φ2 = 2φ1 = 2.0

㉥ 선팽창계수 : a = 1.2×10^{-5}

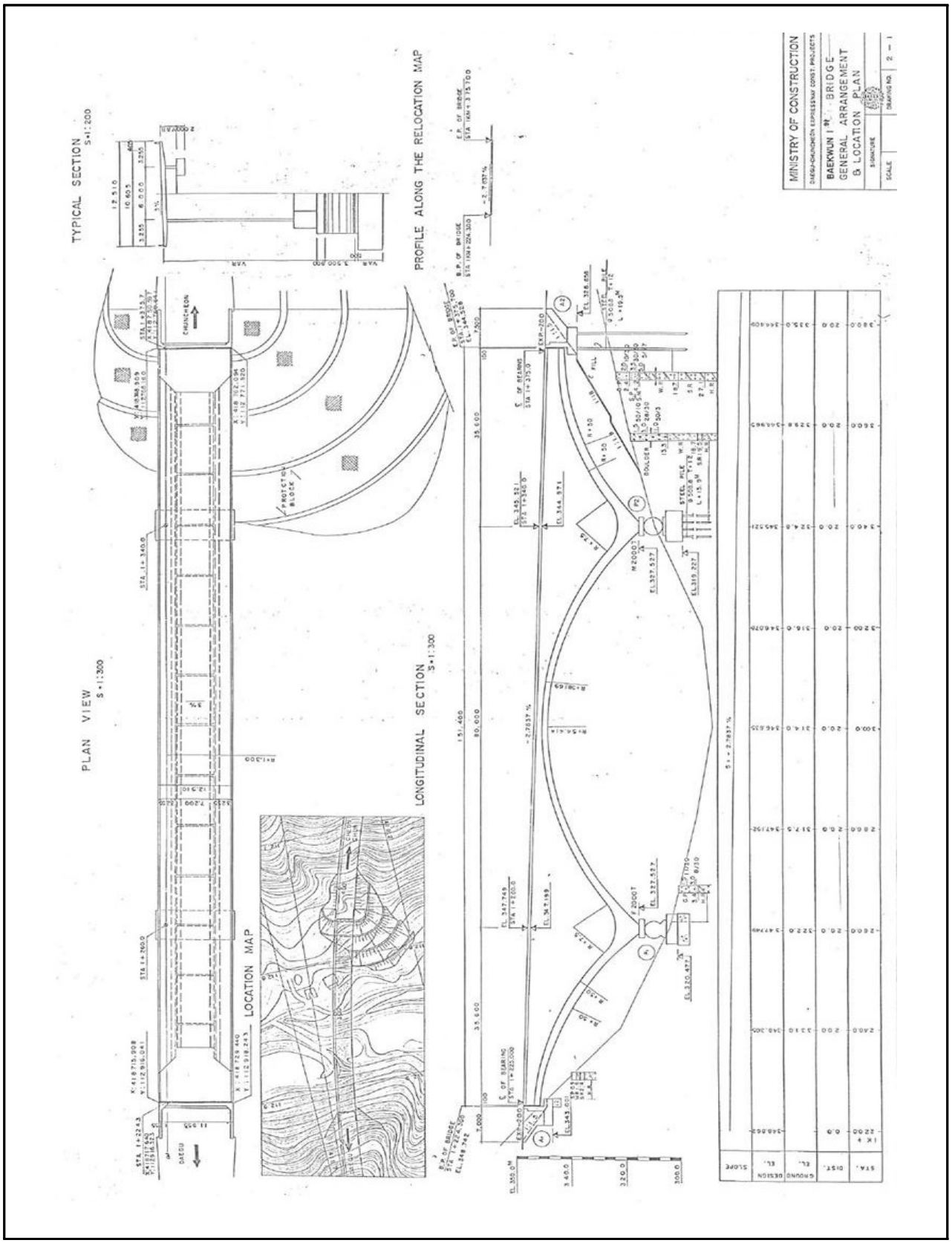
② 철근(SD40)

㉠ 항복강도 : fy = 400.0 MPa

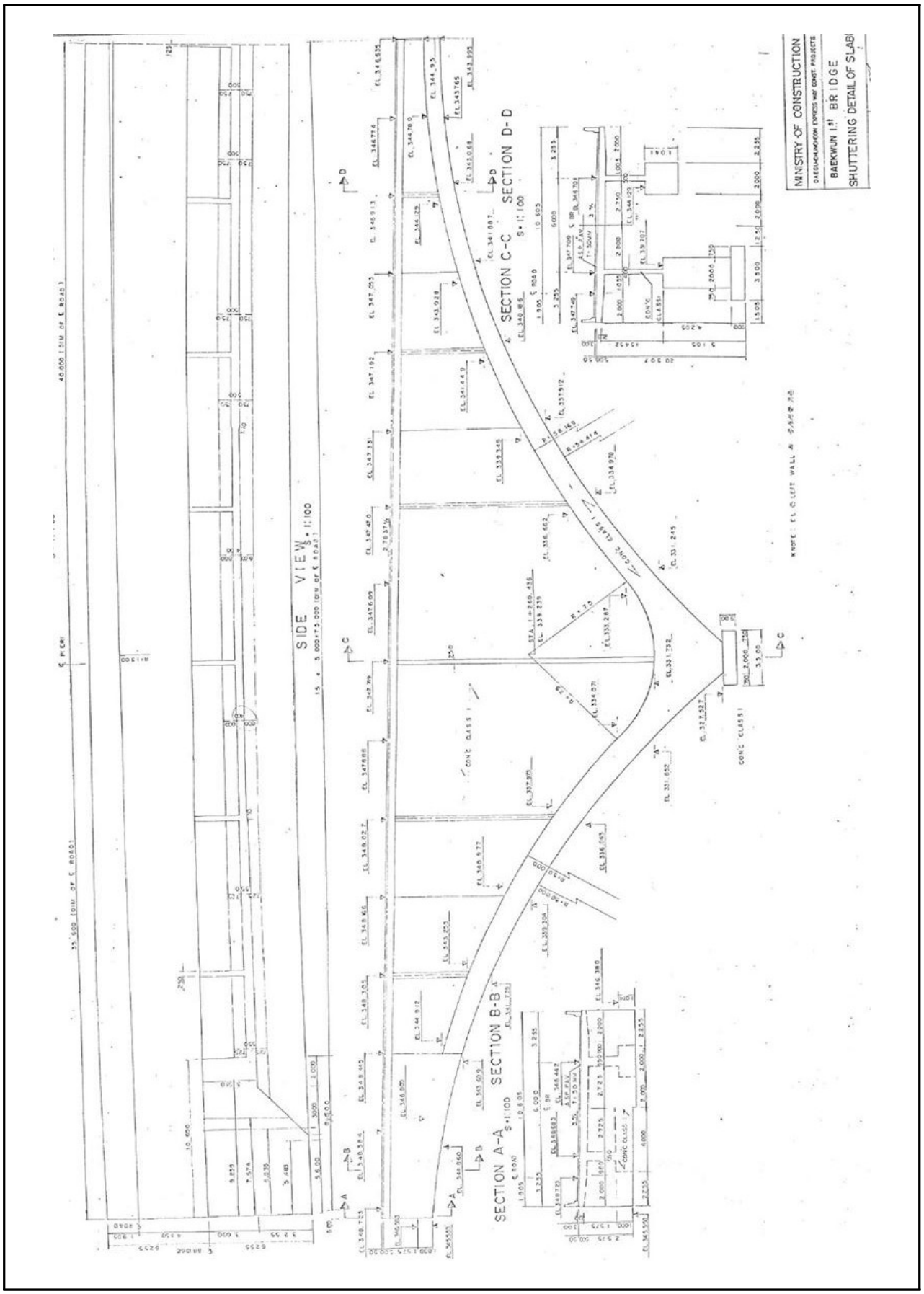
㉡ 탄성계수 : Es = 200,000 MPa

나. 종·평면도

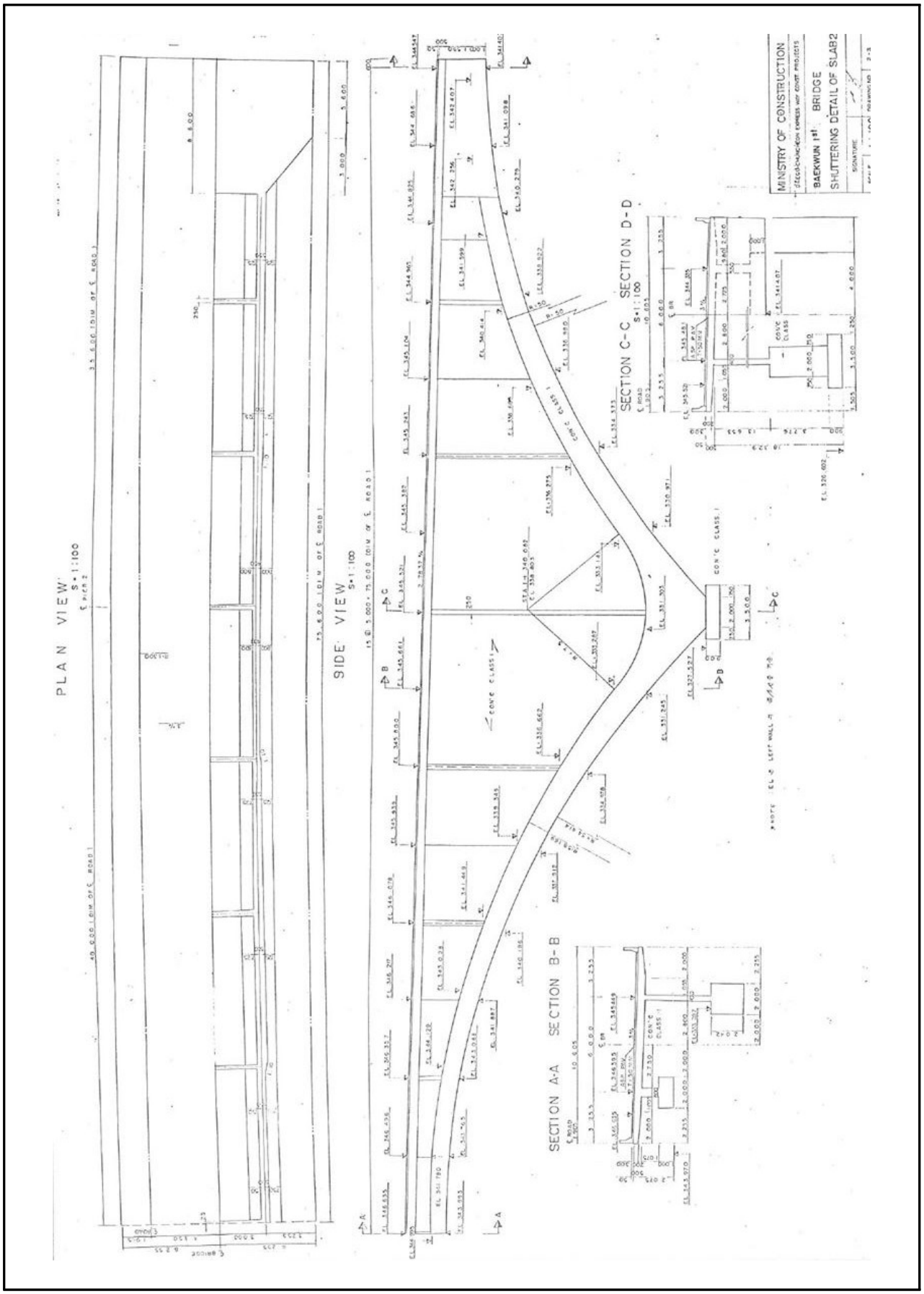
검토 대상교량인 백운1교(춘천)의 교량 종평면도는 아래 그림과 같다.



【그림 5.29】 백운1교(춘천) 종・평면도

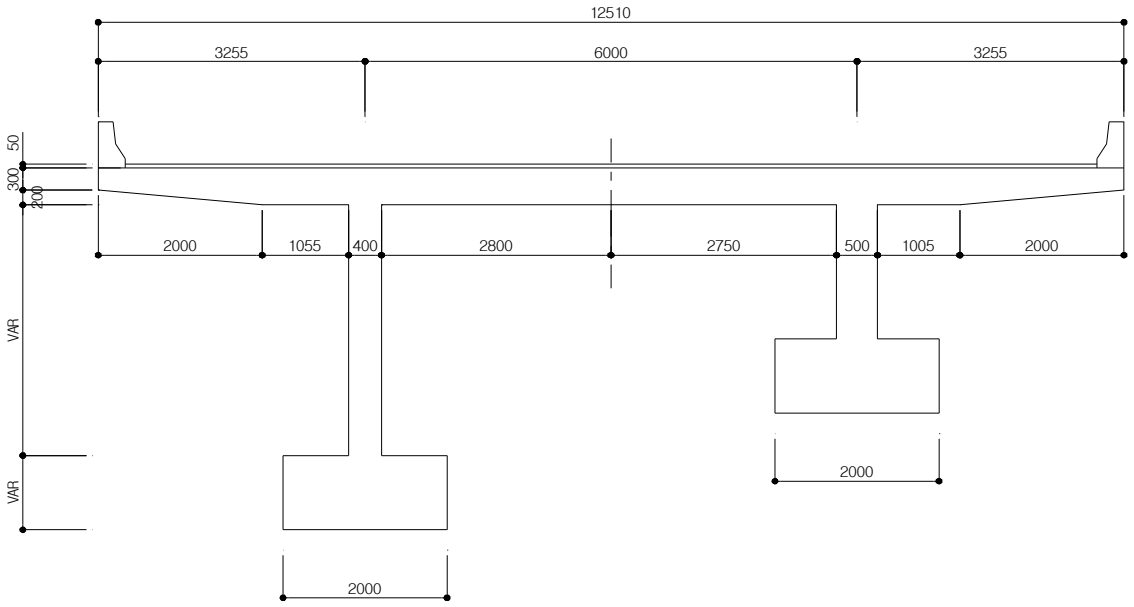


【그림 5.30】 백운1교(춘천) 구조물 일반도



【그림 5.30】 백운1교(춘천) 구조물 일반도(계속)

다. 단면제원



【그림 5.31】 백운1교(춘천) 단면제원

라. 단면상수

【표 5.152】 백운1교(춘천) 단면상수

절	점	A (㎡)	Iyy (mm^4)	비고
1	31	11.604	16.04056	
2	30	12.831	23.03213	
3	29	13.350	33.95107	
4	28	15.202	56.81766	
5	27	17.584	100.01101	
6	26	20.625	184.63711	
7	25	23.192	327.22235	
8	24	32.540	589.29859	
9	23	22.955	350.27574	
10	22	21.800	230.00403	
11	21	18.662	131.64132	
12	20	15.614	75.61058	
13	19	15.050	53.12239	
14	18	14.639	44.92639	
15	17	13.308	30.54850	
16		13.073	28.55332	

마. 적용하중

안전성 검토 시 적용하중의 강도와 이에 대한 산정근거를 나타내면 【표 5.153】 와 같다.

【표 5.153】 적용하중의 강도 및 산정근거

<table>
<tr><th colspan="2">적용하중</th><th>하 중 강 도</th><th>산정근거</th></tr>
<tr><td rowspan="4">주
하
중
(P)</td><td>고정하중
(D)</td><td>
<table>
<tr><th>구 분</th><th>철근콘크리트</th><th>강 재</th><th>포 장</th></tr>
<tr><td>단위중량
(kg/㎥)</td><td>2,500</td><td>7,850</td><td>2,300</td></tr>
</table>
• 콘크리트 자중(단위 중량) : 25.000 kN/㎥
• 아스팔트포장 하중 : 23.000 kN/㎥ × 0.050m = 1.150 kN/㎡
• 방호벽 하중 : 5.015 N/m
</td><td>도로교설계기준
(2010) 2.1.2 항</td></tr>
<tr><td>활하중
(L)</td><td>
•설계활하중(1등교) : DB-24, DL-24
- 설계 활하중의 경우 크게 DB하중과 DL하중으로 구분되며 DB하중과 DL하중을 재하하여 설계부재에 불리한 응력을 주는 것을 선택함.
충격계수 (i) = $\frac{15}{40+L} \leq 0.3$
설계차선폭(w) 여기서, w_c : 연석간의 교폭, w : 설계차선폭,
- N : 설계차선의 수 ($12.8 \leq w_c < 16.4$ 일 때 4차선)
- w = 11.610 / 3 = 3.87m 이므로, 차선폭 3.6m(3차선) 적용
- DB-24 : Pr = 96.0 kN, Pf = 24.0 kN
- DL-24 : Wl = 12.7 kN/m, Pm = 108.0 kN, Ps = 156.0 kN
</td><td>도로교설계기준
(2010) 2.1.3항,
2.1.4 항</td></tr>
<tr><td rowspan="3">부
하
중
(S)</td><td>풍하중
(W)</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">부재의 단면형상</th><th colspan="2">풍 하 중(kN/m²)</th></tr>
<tr><th>풍상측 부재</th><th>풍하측 부재</th></tr>
<tr><td rowspan="2">원형</td><td>활하중 재하시</td><td>0.75×10^{-3}</td><td>0.75×10^{-3}</td></tr>
<tr><td>활하중 비재하시</td><td>1.50×10^{-3}</td><td>1.50×10^{-3}</td></tr>
<tr><td rowspan="2">각형</td><td>활하중 재하시</td><td>1.50×10^{-3}</td><td>0.75×10^{-3}</td></tr>
<tr><td>활하중 비재하시</td><td>3.00×10^{-3}</td><td>1.50×10^{-3}</td></tr>
</table>
• 바닥판 : $1.240m^2 \times 3.000kN/m^2 = 3.720kN/m$ 적용함.
• 거 더 : $1.500kN/m^2$ 적용함.
</td><td>도로교설계기준
(2010) 2.1.11 항</td></tr>
<tr><td>온도변화
(T)</td><td>• 선팽창계수 : a = 0.0001
• 종방향 온도변화(Global) : △t = ±10℃</td><td>도로교설계기준
(2010) 2.1.12 항</td></tr>
<tr><td>크리프 및
건조수축</td><td>• 간경과에 따른 크리프 계수와 건조수축 변형률 산정
• 시멘트 : 보통(1종) 시멘트
- 지속하중 지재하시의 콘크리트 재령 : to = 5일
- 상대습도 : 70%</td><td>도로교설계기준
(2010) 2.1.7 항</td></tr>
<tr><td>특수
하중
(PP)</td><td>지점침하
(SD)</td><td>• 교각이 매우 낮고 상대적 높이차이도 없으며, 기초가 경암에 위치한 점과 인접 시설인 백운1교(부산)의 구조계산서를 참조하여 지점침하에 대한 검토를 생략하였음.</td><td>-</td></tr>
</table>

바. 하중조합

1) 계수하중 하중조합

【표 5.154】 백운1교(춘천) 계수하중 하중조합

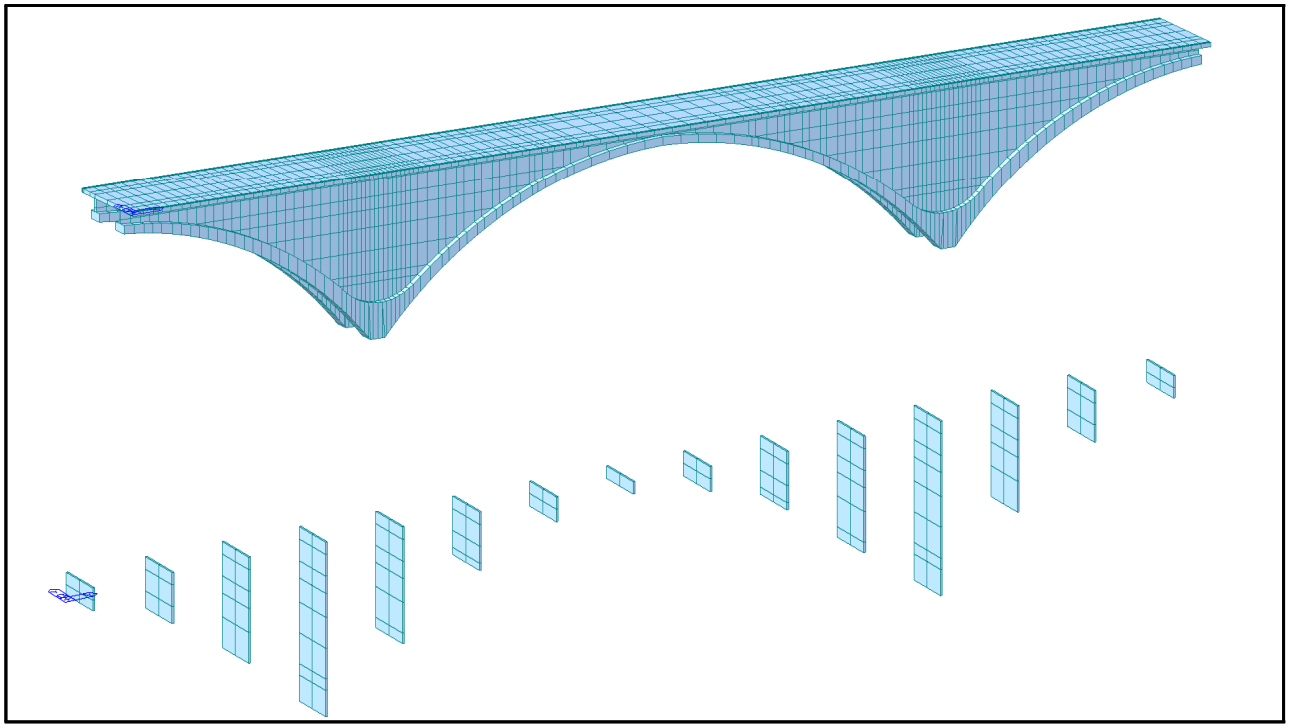
Load Case	하 중 조 합					
	고정하중	활하중	풍하중	온도하중		건조수축
				(+)	(-)	
Case 1	1.30	2.15	1.30			
Case 2	1.30	1.30		1.30		
Case 3	1.30	1.30	1.30		1.30	1.30
Case 4	1.25		1.25	1.25		
Case 5	1.25		1.25		1.25	1.25
Case 6	1.25	1.25	1.25	1.25		
Case 7	1.25	1.25	1.25		1.25	1.25

2) 사용하중 하중조합

【표 5.155】 백운1교(춘천) 사용하중 하중조합

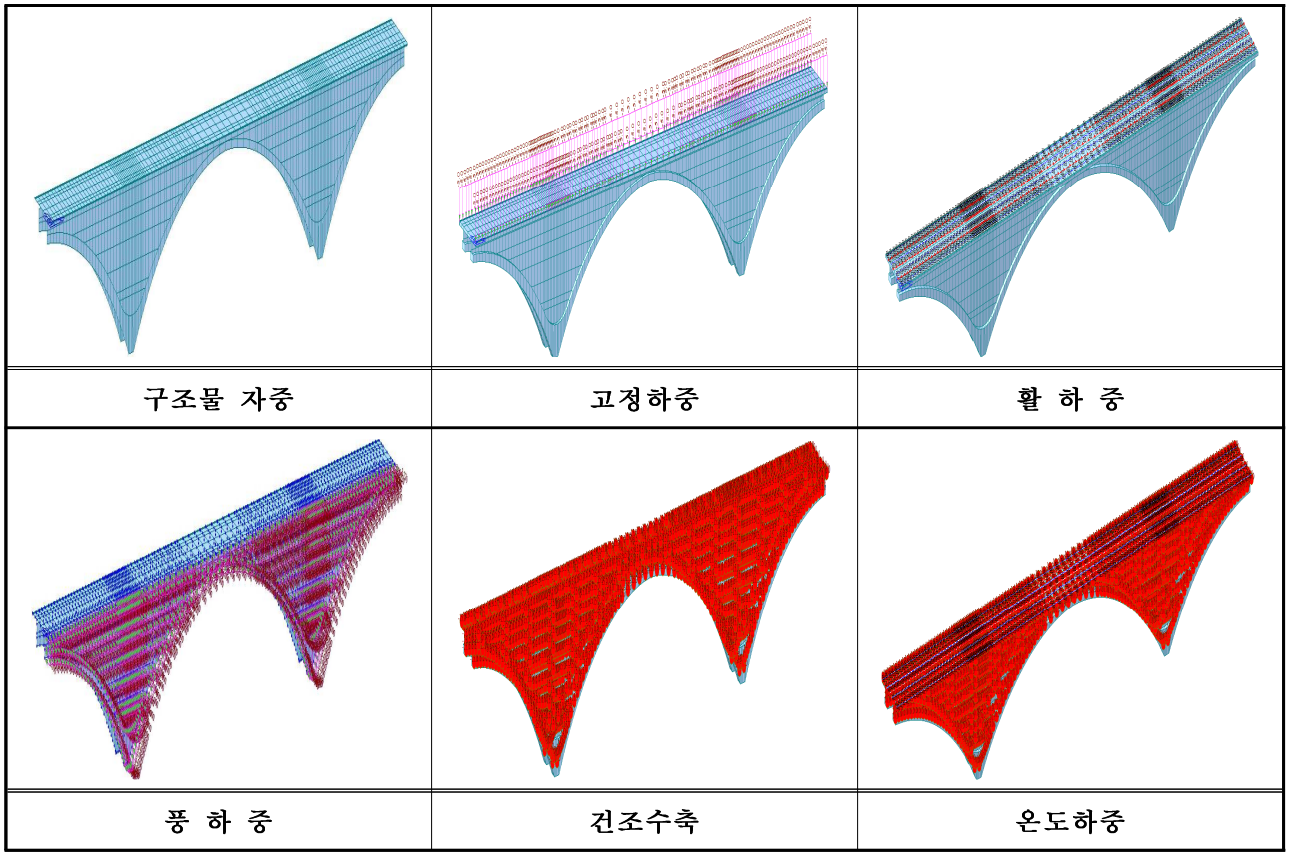
Load Case	하 중 조 합					
	고정하중	활하중	풍하중	온도하중		건조수축
				(+)	(-)	
Case 1	1.00	1.00	1.00	1.00		
Case 2	1.00	1.00		1.00		
Case 3	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00
Case 4	1.00		1.00	1.00		
Case 5	1.00		1.00		1.00	1.00
Case 6	1.00	1.00	1.00	1.00		
Case 7	1.00	1.00	1.00		1.00	1.00

사. 해석모델링



【그림 5.32】 백운1교(춘천) 해석단면

아. 하중재하도



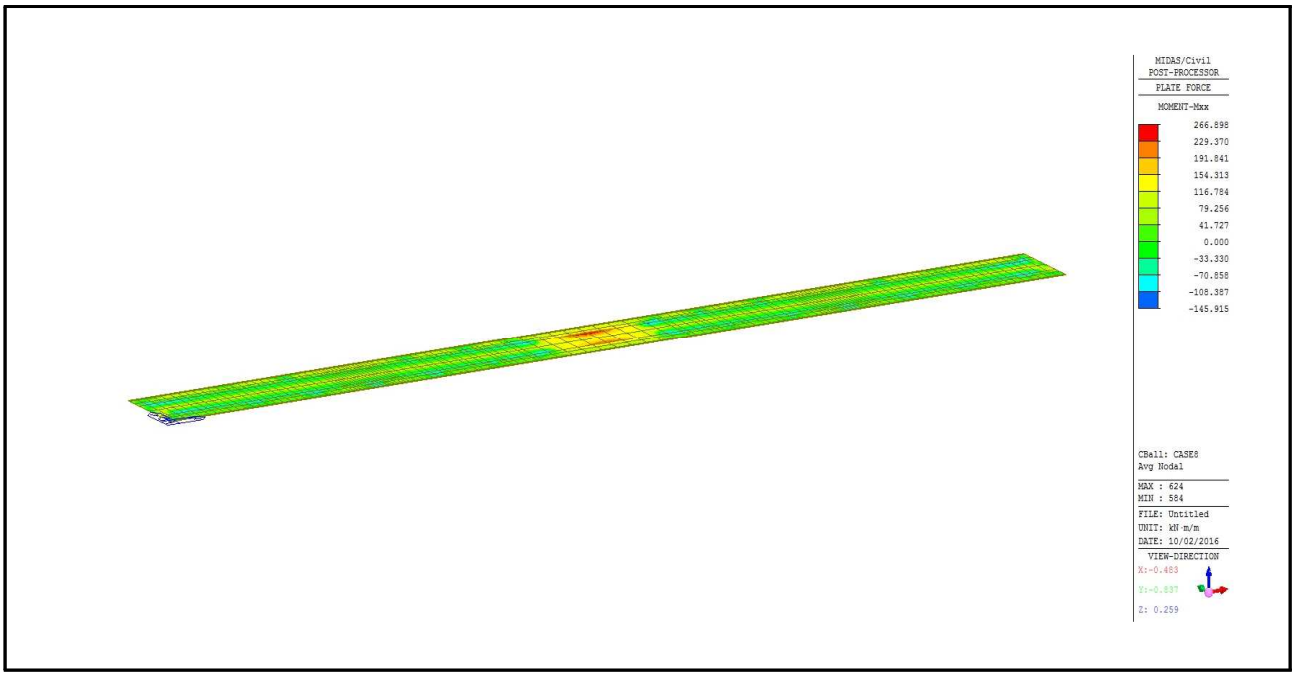
【그림 5.33】 백운1교(춘천) 하중재하도

자. 단면력 산정

1) 부재별 단면력도

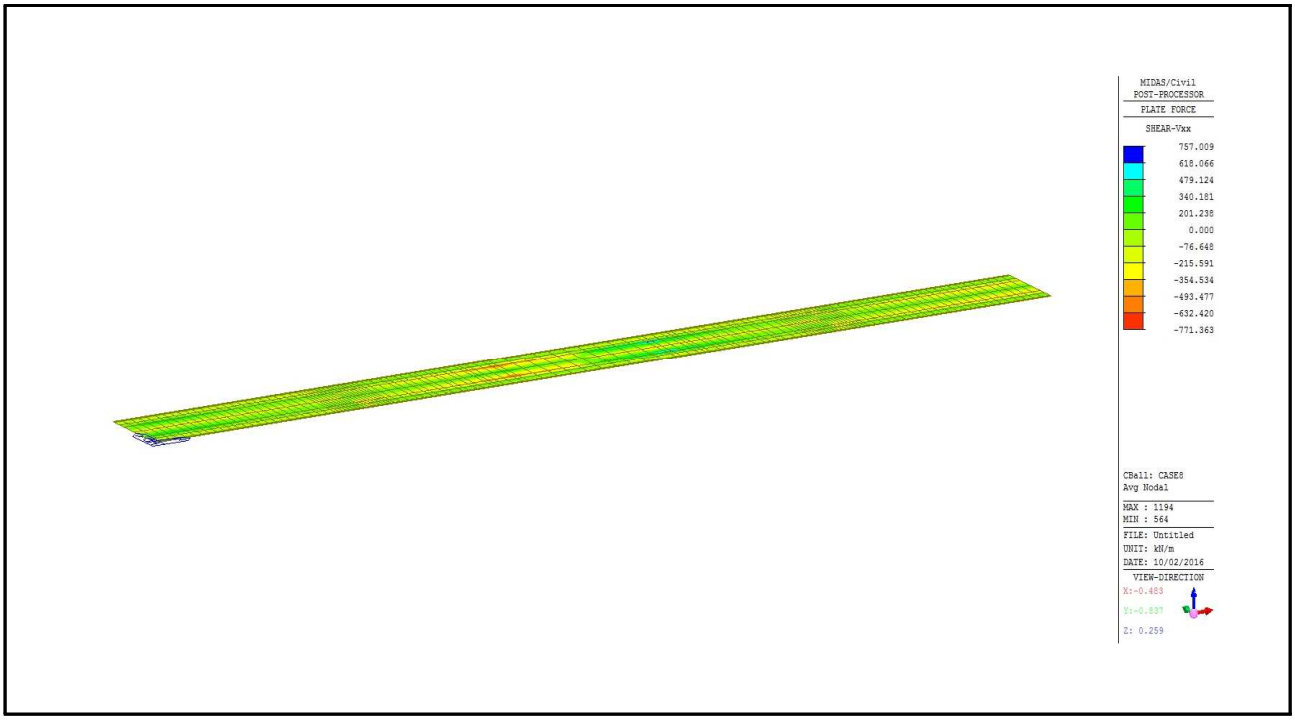
① 상부바닥판

㉠ 계수휨모멘트(Mxx)



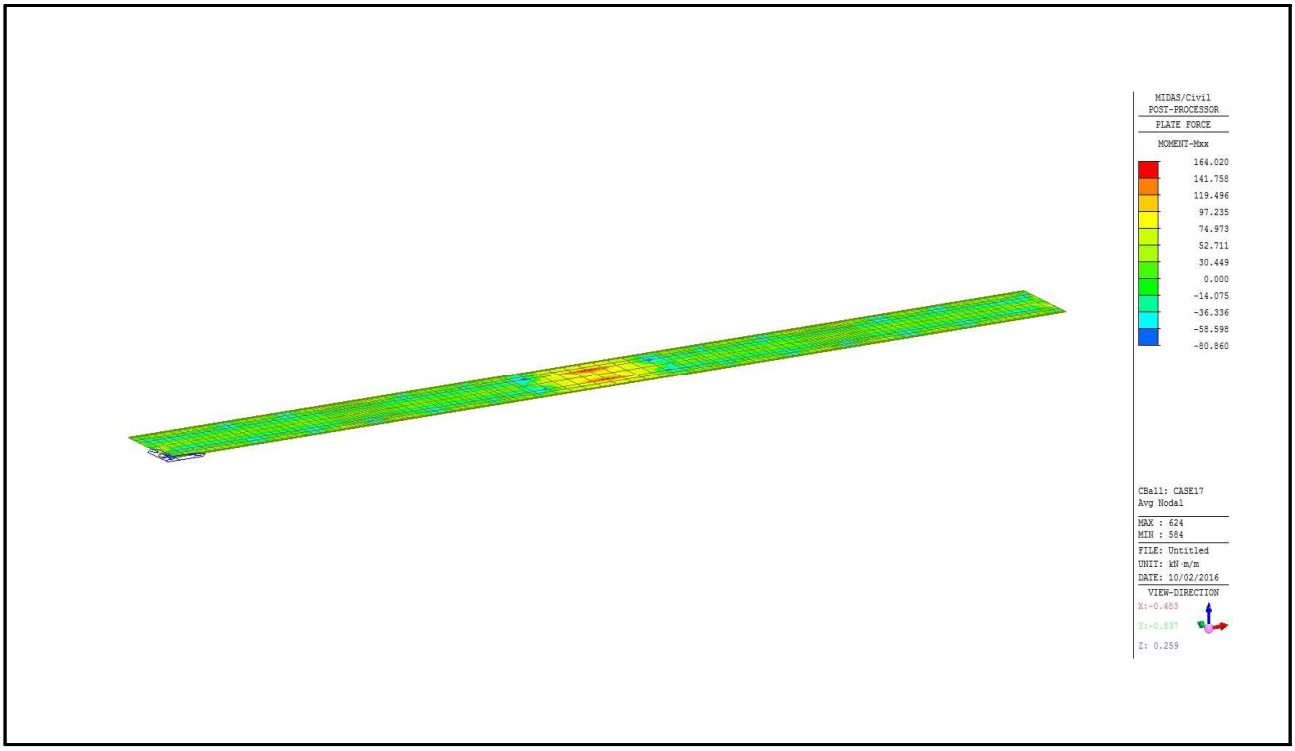
【그림 5.34】 백운1교(춘천) 상부바닥판 휨모멘트도(Mxx)

㉡ 전단력(Sxx)



【그림 5.35】 백운1교(춘천) 상부바닥판 전단력도(Sxx)

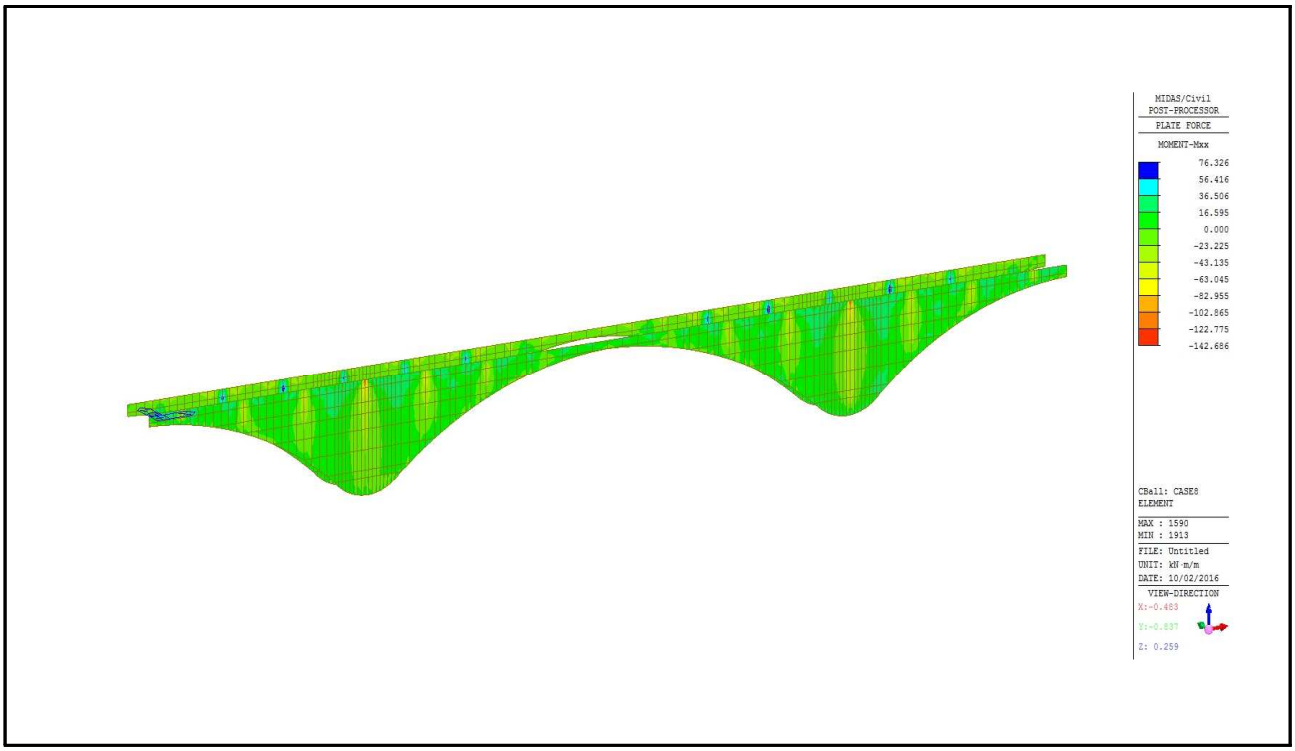
㉡ 사용휨모멘트(Mxx)



【그림 5.36】 백운1교(춘천) 상부바닥판 사용휨모멘트(Mxx)

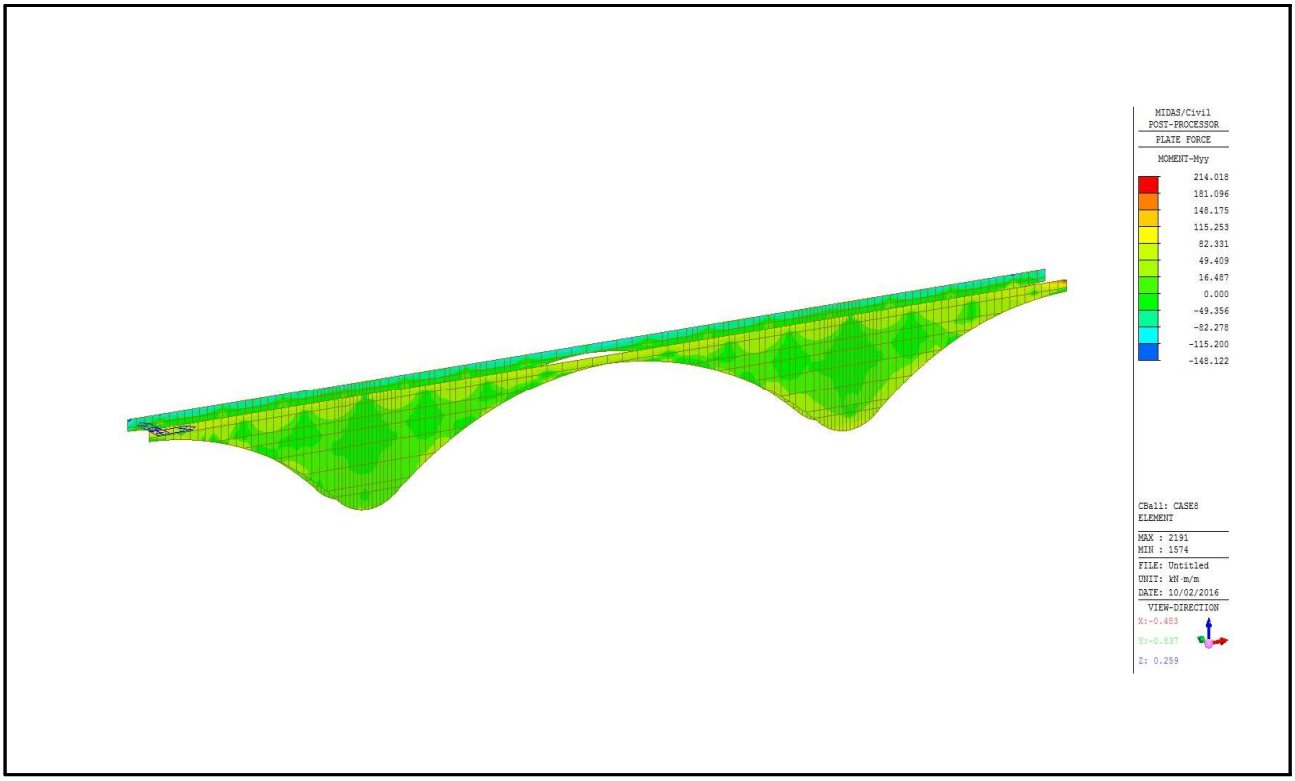
② 연직재

㉠ 계수휨모멘트(Mxx)



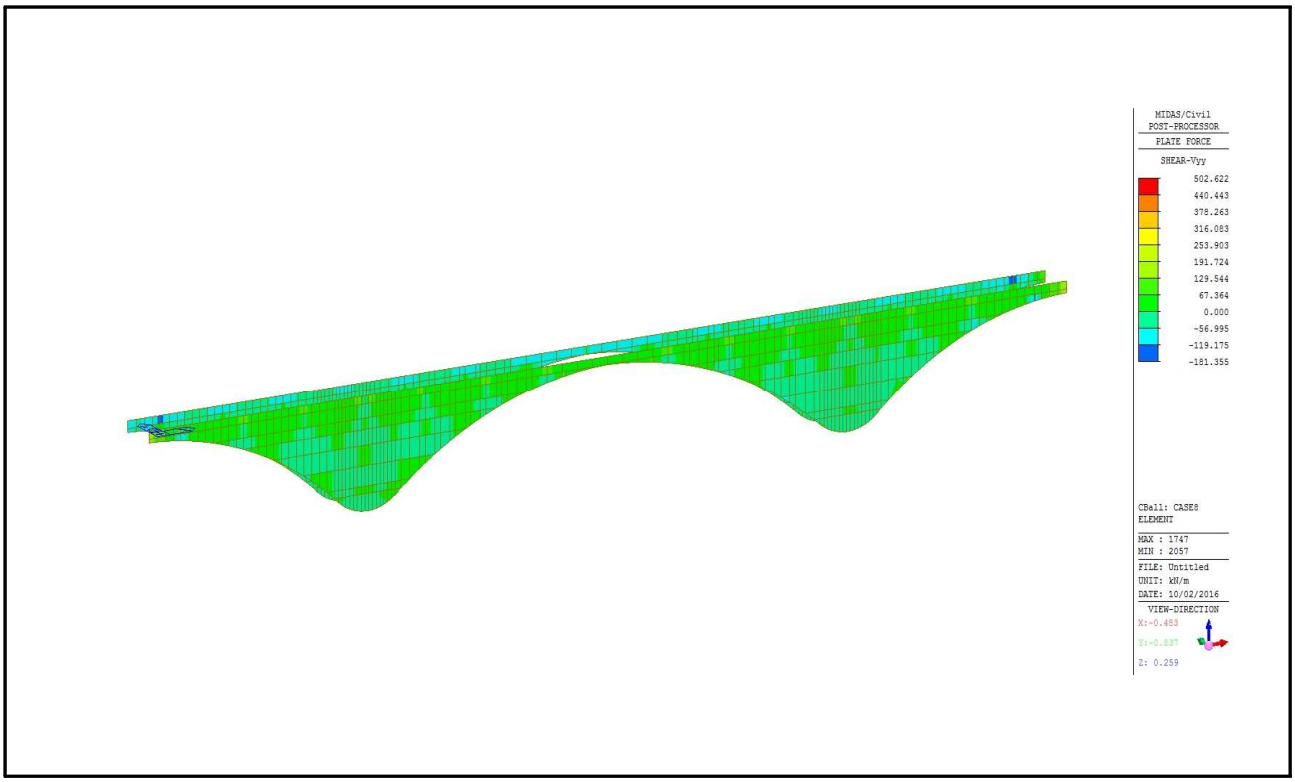
【그림 5.37】 백운1교(춘천) 연직재 휨모멘트도(Mxx)

㉡ 계수휨모멘트(Myy)



【그림 5.38】 백운1교(춘천) 연직재 계수휨모멘트도(Myy)

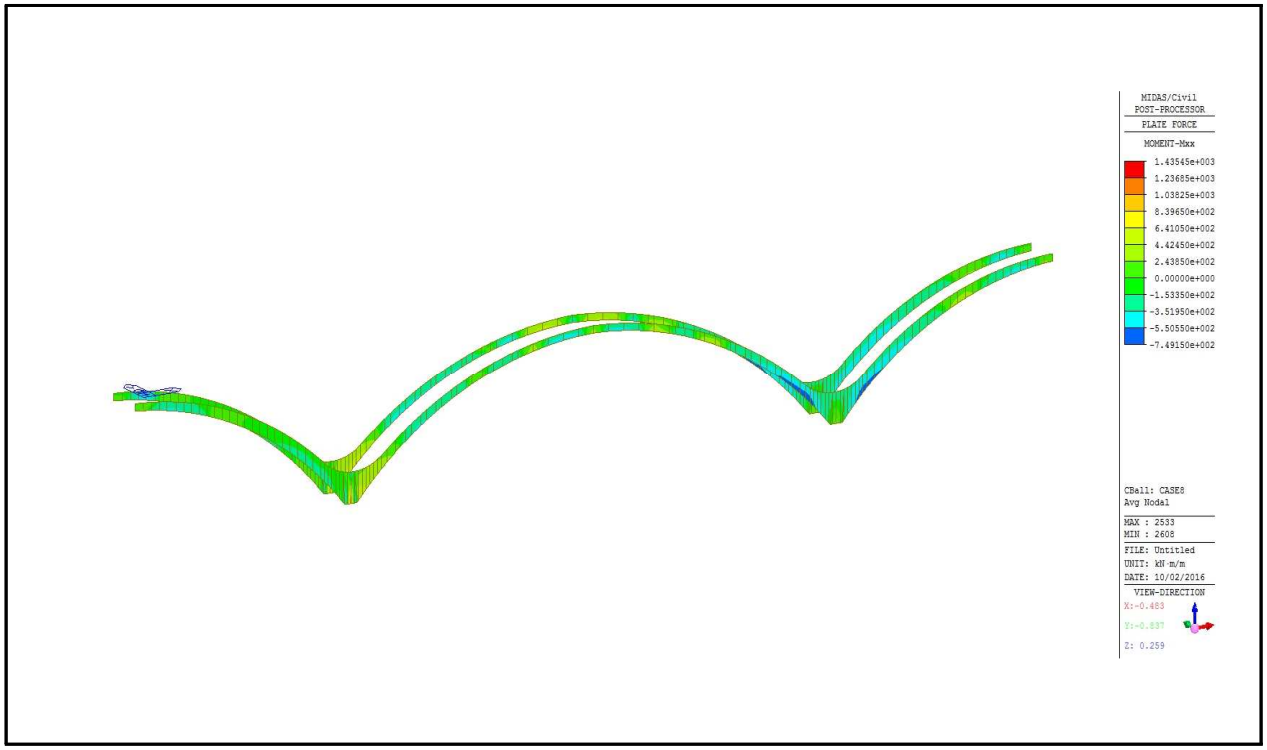
㉢ 전단력(Syy)



【그림 5.39】 백운1교(춘천) 연직재 전단력도(Syy)

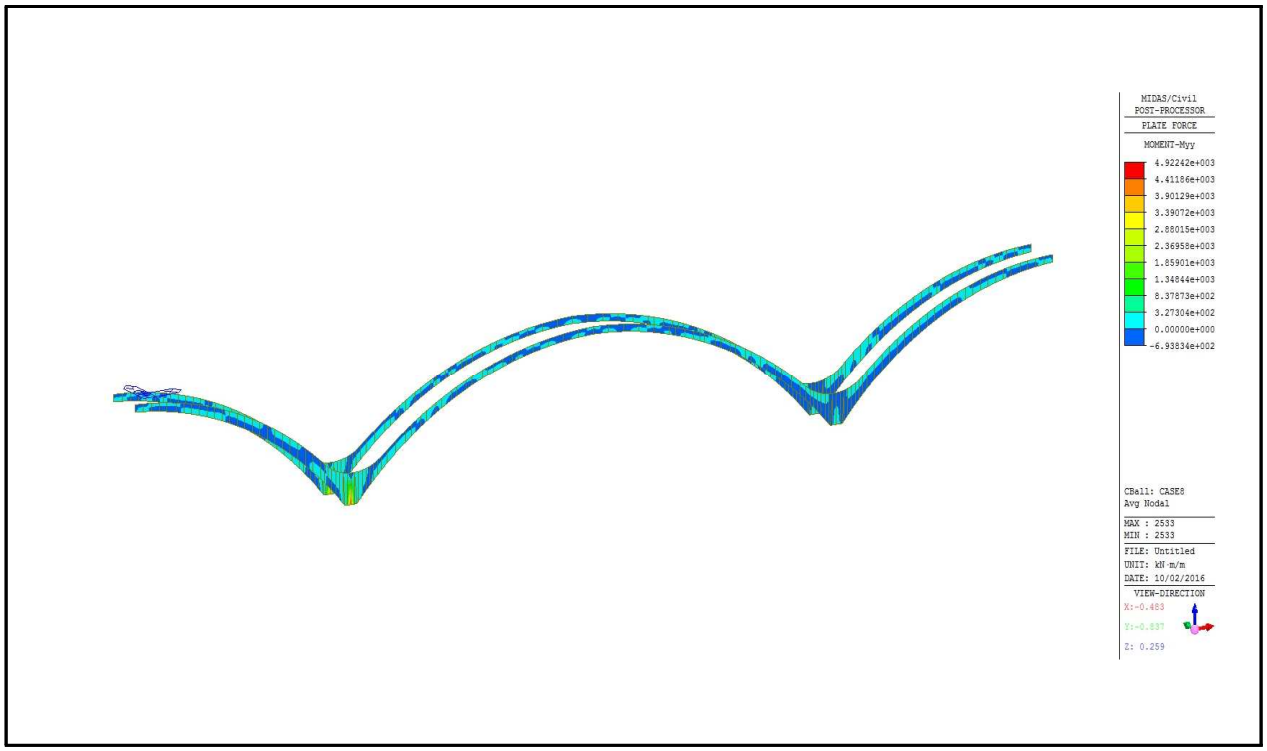
③ 하부거더 (아치리브)

㉠ 계수휨모멘트(Mxx)



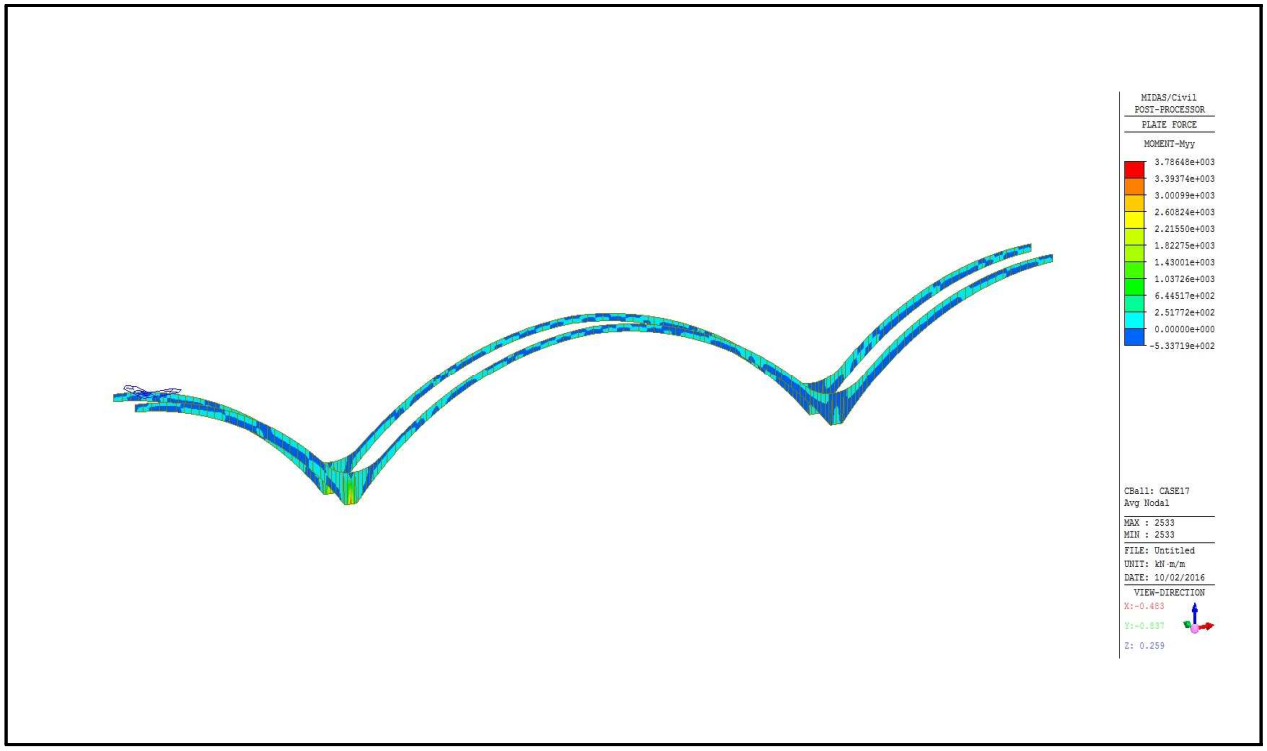
【그림 5.40】 백운1교(춘천) 하부거더(아치리브) 계수휨모멘트도(Mxx)

㉡ 계수휨모멘트(Myy)



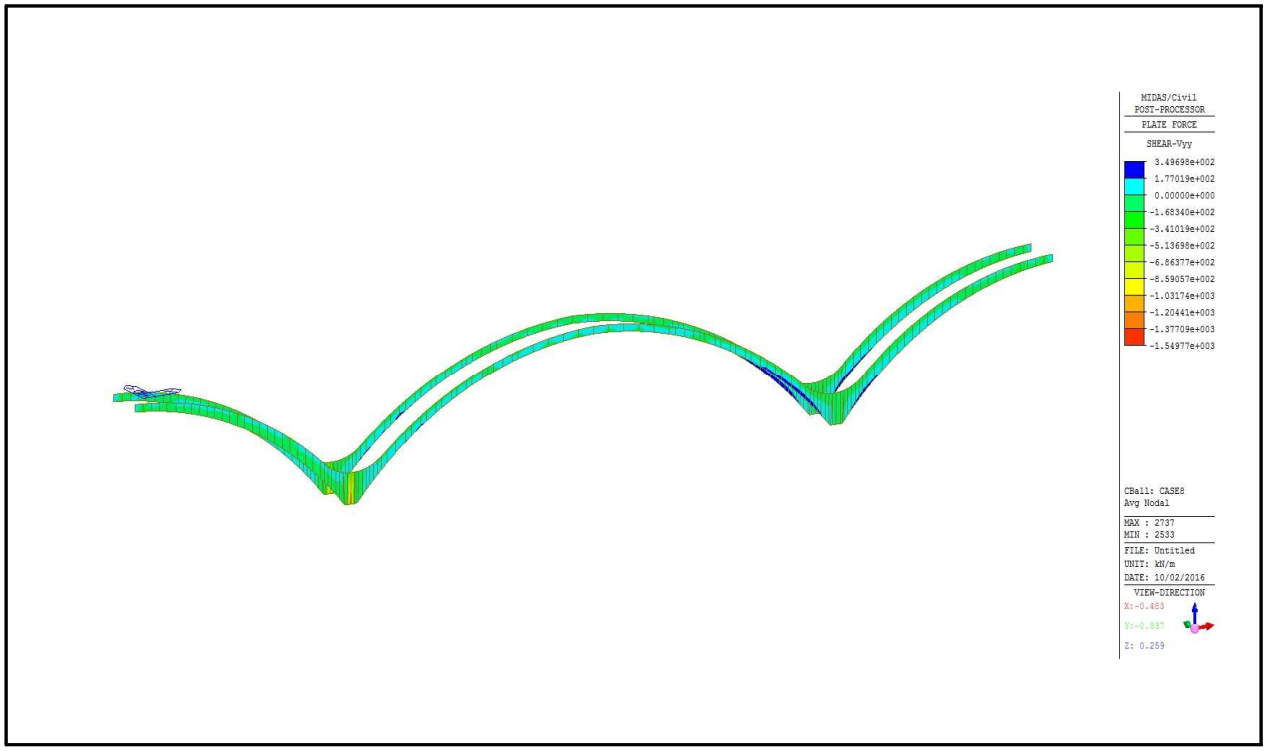
【그림 5.41】 백운1교(춘천) 하부거더(아치리브) 계수휨모멘트도(Myy)

ⓒ 전단력(Syy)



【그림 5.42】 백운1교(춘천) 하부거더(아치리브) 전단력도(Syy)

ⓓ 사용휨모멘트(Myy)



【그림 5.43】 백운1교(춘천) 하부거더(아치리브) 사용휨모멘트도(Myy)

차. 단면력 집계

【표 5.156】 백운1교(춘천) 부재별 단면력 집계표

구 분			계수모멘트 (kN · m)	전단력 (kN)	사용모멘트 (kN · m)	축력 (kN)
교대부	상부바닥판	캔틸레버부 (좌측)	-88.693	-152.195	-45.386	
		슬래브 중앙부	131.677	-98.817	59.992	
		캔틸레버부 (우측)	-58.648	112.407	-46.173	
	연직재	좌측	141.680	-56.419	95.343	-968.864
		우측	258.820	298.745	207.001	944.769
	하부거더 (아치리브)	좌측	-306.678	-49.503	-215.585	
		우측	368.315	-124.899	286.652	
교각부	상부바닥판	캔틸레버부 (좌측)	88.808	-146.666	36.780	
		슬래브 중앙부	97.211	-113.829	-53.504	
		캔틸레버부 (우측)	-53.657	169.447	-53.504	
	연직재	좌측	171.348	-158.561	-113.667	2,613.728
		우측	194.122	-354.291	-139.805	1,774.485
	하부거더 (아치리브)	좌측	655.346	480.914	524.473	
		우측	905.136	-449.244	696.259	
중앙부	상부바닥판	캔틸레버부 (좌측)	107.854	-77.443	68.576	
		슬래브 중앙부	268.973	-53.671	165.616	
		캔틸레버부 (우측)	81.788	77.225	65.430	
	연직재	좌측	-117.703	-120.703	-70.543	695.525
		우측	82.191	87.776	65.752	-1,188.828
	하부거더 (아치리브)	좌측	486.355	-338.228	276.248	
		우측	-466.835	-276.190	-318.276	

카. 단면력 검토

1) 교대부 단면검토

① 상부바닥판

【표 5.157】 백운1교(춘천) 교대부 상부바닥판 단면검토

검 토 조 건	fck = 27.0 MPa fy = 400.0 MPa λ = 1.00 β1 = 0.850 Øf = 0.85 Øv = 0.75 pmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00350 계수 모멘트 Mu = 131.677 KN·m 계수 전단력 Vu = 152.195 KN 단면의 두께 H = 500.000 mm 단 면 폭 B = 1000.000 mm 유 효 깊 이 D = 450.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm
휨모멘트 검 토	- 휨강도 검토 사용철근량 = H25 @ 200.00 mm (Dc = 50.00 mm) + H22 @ 200.00 mm (Dc = 50.00 mm) = 4469.000 ㎟ ∴ P = As/(B·D) = 0.00993 공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 77.891 mm 최외단 인장철근 변형률 εt = 0.01173 ≥ 0.004 ..... ∴ O.K ...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1) 0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용함. ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) = 624580800.000 N·mm = 624.581 KN·m ≥ Mu = 131.677 KN·m ..... ∴ O.K - 필요철근량 및 철근비 검토 소요등가응력깊이 a = 15.259 mm로 가정 As = Mu /{Øf·fy·(D-a/2)} = 875.477 ㎟ a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 15.259 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K Preq = [Mu /{Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D) = 0.00195 ⇒ 4/3 Preq = 0.00259 ∴ 필요철근량 req.As = Preq × (B·D) = 875.477 ㎟ ≤ 사용철근량...O.K 철근비검토 : Pmin ≤ P ..... ∴ O.K
전단력 검 토	Øv·Vc = Øv·1/6·λ√fck·B·d / 1000 = 292.284 KN Øv·Vc = 292.284 KN > Vu = 152.195 KN ... ∴전단철근 필요없음.
균 열 검 토	Mo = 59.992 KN·m (사용하중 모멘트) n = Es/Ec = 200000 / {0.077 mc^1.5 * ³√(Fck + Δf)} = 7 p = As/(B·D) = 0.00993 k = -np + √((np)²+ 2np) = 0.310 j = 0.897 x = k·d = 139.402 mm fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) = 2.133 MPa fs = Mo / (As ·(D - x/3)) = 33.266 MPa fst = fs·(H - Dc_min - x) / (D - x) = 33.266 MPa 최외단철근 소요중심간격 s = Min [375·(210/fst)-2.5Cc , 300·(210/fst)] = 1893.81 mm ...여기서..Cc = dc_min - 주철근 직경/2 = 37.50 mm 최외단철근 평균배근간격 = 200.00 mm ≤ 1893.81 mm ..... ∴ O.K

② 연직재

【표 5.158】 백운1교(춘천) 교대부 연직재 단면검토

검 토 조 건	재 료 강 도 : fck = 27.0 MPa fy = 400.0 MPa 재료저항계수 : Øc = 0.650 Øs = 0.90 f-ε곡선계수 : nε = 2.000 εco = 0.00200 εcu = 0.00330 α = 0.798 β = 0.412 극한 모멘트 Mu = 258.820 KN·m 극 한 축 력 Pu = 968.864 KN 단면의 두께 H = 550.000 mm 단 위 폭 B = 1,000.000 mm 유 효 깊 이 D = 500.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm 작 용 편 심 e = 267.138 mm 인장측 철근 Ast = 3,871.000㎟ 1단 (dc = 50mm) : H 22 @ 100 mm 압축측 철근 Asc = 3,871.000㎟ 1단 (dc = 50mm) : H 22 @ 100 mm
평 형 상 태 검 토	c = εcu / (εcu + εyd)*d = 323.529 mm Cck = 0.85·fck·B·H = 6,547,125.0 N 소성중심 x = (Cck·H/2 + fy·Asc·dc + fy·Ast·d)/(Cck + fy·Asc + fy·Ast) = 275.00 mm 콘크리트 Cc = 0.85·fck·a·b = 3,851,250.0 N 압축철근 Cs = (fs-0.85·fck)·Asc = 1,335,814.0 N (εsc > εy --> fs = fy = 360.00 MPa) 인장철근 Ts = fy·Ast = 1,393,560.0 N 평형축력 Pb = Cc + Cs - Ts = 3,793,504.0 N 평형모멘트 Mb = Cc(x-a/2) + Cs(x-dc) + Ts(d-x) = 1,160,133,000.0 N·mm 평형편심 eb = Mb / Pb = 305.821 mm e < eb -------> 압축파괴영역
강 도 검 토	작용편심 e = 99.008 mm > e_min = 20.000 mm ---> 기둥강도를 Trial & Error Method로 계산함. 중립축 c = 430.742 mm로 가정하면... fsc = 360.00 MPa (압축), fst = 310.40 MPa (인장) 콘크리트 Cc = Cc1 + Cc2 = 2,049,679 N + 1,998,437 N (응력변화부+일정부) 압축철근 Cs = Asc×(fsc - Øc 0.85 fck) = 1,335,814 N (fsc ≤ Øs·fy) 인장철근 Ts = Ast×fst = 1,201,543 N (fst ≤ Øs·fy) Pr = Cc1 + Cc2 + Cs - Ts = 2,049,679 + 1,998,437 + 1,335,814 - 1,201,543 = 4,182,388 N Mr = Mc1 + Mc2 + Ms + Mt = 130,658,900 + 415,708,900 + 300,558,200 + 270,347,100 = 1,117,273,000 N·mm e′ = Mr/Pr = 267.138 mm ≒ e = 267.138 mm ---> say O.K. Pr = 4,182.387 KN ≥ Pu = 968.864 KN ∴O.K Mr = 1,117.273 KN·m ≥ Mu = 258.820 KN·m ∴O.K
전단력 검 토	κ = 1 + √(200/D) = 1.632 ≤ 2.0 fn = Pu / Ag = 1.762 MPa ≤ 0.2Øc·fck = 3.510 MPa (작은값 적용) fctk = 0.7×0.3×(fck+Δf)^⅔ = 2.072 MPa Vc = [0.85 Øc·κ·(p fck)^⅓ + 0.15 fn] B·D / 1000 = 399.757 KN Vcd.min = (0.4 Øc·fctk + 0.15 fn) B·D / 1000 = 401.522 KN ∴ Vcd = Max(Vc, Vcd.min) = 401.522 KN ≥ Vu = 298.745 KN... ∴전단철근 필요없음.

③ 하부거더(아치리브)

【표 5.159】 백운1교(춘천) 교대부 하부거더(아치리브) 단면검토

검 토 조 건	fck = 27.0 MPa fy = 400.0 MPa λ = 1.00 β1 = 0.850 Øf = 0.85 Øv = 0.75 pmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00350 계수 모멘트 Mu = 368.315 KN·m 계수 전단력 Vu = 124.899 KN 단면의 두께 H = 1193.000 mm 단 면 폭 B = 2000.000 mm 유 효 깊 이 D = 1143.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm
휨모멘트 검 토	- 휨강도 검토 사용철근량 = H32 ×6.00 EA (Dc = 50.00 mm) = 4765.200 ㎟ ∴ P = As/(B·D) = 0.00208 공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 41.527 mm 최외단 인장철근 변형률 εt = 0.06719 ≥ 0.004 ..... ∴ O.K ...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1) 0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용함. ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) = 1,818,212,000.000 N·mm = 1818.212 KN·m ≥ Mu = 368.315 KN·m ..... ∴ O.K - 필요철근량 및 철근비 검토 소요등가응력깊이 a = 8.063 mm로 가정 As = Mu /{Øf·fy·(D-a/2)} = 925.283 ㎟ a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 8.063 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K Preq = [Mu /{Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D) = 0.00040 ⇒ 4/3 Preq = 0.00054 ∴ 필요철근량 req.As = Preq × (B·D) = 925.283 ㎟ ≤ 사용철근량...O.K 철근비검토 : 4/3 Preq ≤ P ≤ Pmin ..... ∴ O.K
전단력 검 토	Øv·Vc = Øv·1/6·λ√fck·B·d / 1000 = 1,484.801 KN 1/2·Øv·Vc = 742.400 KN > Vu = 124.899 KN ... ∴전단철근 필요없음.
균 열 검 토	Mo = 286.652 KN·m (사용하중 모멘트) n = Es/Ec = 200000 / {0.077 mc^1.5 * ³√(Fck + Δf)} = 7 p = As/(B·D) = 0.00208 k = -np + √((np)²+ 2np) = 0.157 j = 0.948 x = k·d = 179.293 mm fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) = 1.476 MPa fs = Mo / (As ·(D - x/3)) = 55.533 MPa fst = fs·(H - Dc_min - x) / (D - x) = 55.533 MPa 최외단철근 소요중심간격 s = Min [375·(210/fst)-2.5Cc , 300·(210/fst)] = 1134.46 mm ...여기서..Cc = dc_min - 주철근 직경/2 = 34.00 mm 최외단철근 평균배근간격 = 333.33 mm ≤ 1134.46 mm ..... ∴ O.K

2) 교각부 단면검토

① 상부바닥판

【표 5.160】 백운1교(춘천) 교각부 상부바닥판 단면검토

검 토 조 건	fck = 27.0 MPa fy = 400.0 MPa λ = 1.00 β1 = 0.850 Øf = 0.85 Øv = 0.75 pmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00350 계수 모멘트 Mu = 97.211 KN·m 계수 전단력 Vu = 169.447 KN 단면의 두께 H = 500.000 mm 단 면 폭 B = 1000.000 mm 유 효 깊 이 D = 450.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm
휨모멘트 검 토	- 휨강도 검토 사용철근량 = H25 @ 200.00 mm (Dc = 50.00 mm) + H22 @ 200.00 mm (Dc = 50.00 mm) = 4469.000 ㎟ ∴ P = As/(B·D) = 0.00993 공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 77.891 mm 최외단 인장철근 변형률 εt = 0.01173 ≥ 0.004 ..... ∴ O.K ...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1) 0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용함. ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) = 624,580,800.000 N·mm = 624.581 KN·m ≥ Mu = 97.211 KN·m ..... ∴ O.K - 필요철근량 및 철근비 검토 소요등가응력깊이 a = 11.214 mm로 가정 As = Mu /{Øf·fy·(D-a/2)} = 643.382 ㎟ a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 11.214 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K Preq = [Mu /{Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D) = 0.00143 ⇒ 4/3 Preq = 0.00191 ∴ 필요철근량 req.As = Preq × (B·D) = 643.382 ㎟ ≤ 사용철근량...O.K 철근비검토 : Pmin ≤ P ..... ∴ O.K
전단력 검 토	Øv·Vc = Øv·1/6·λ√fck·B·d / 1000 = 292.284 KN Øv·Vc = 292.284 KN > Vu = 169.447 KN ... ∴전단철근 필요없음.
균 열 검 토	Mo = 171.262 KN·m (사용하중 모멘트) n = Es/Ec = 200000 / {0.077 mc^1.5 * ³√(Fck + Δf)} = 7 p = As/(B·D) = 0.00993 k = -np + √((np)²+ 2np) = 0.310 j = 0.897 x = k·d = 139.402 mm fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) = 1.902 MPa fs = Mo / (As ·(D - x/3)) = 29.669 MPa fst = fs·(H - Dc_min - x) / (D - x) = 29.669 MPa 최외단철근 소요중심간격 s = Min [375·(210/fst)-2.5Cc , 300·(210/fst)] = 2,123.46 mm ...여기서..Cc = dc_min - 주철근 직경/2 = 37.50 mm 최외단철근 평균배근간격 = 200.00 mm ≤ 2,123.46 mm ..... ∴ O.K

② 연직재

【표 5.161】 백운1교(춘천) 교각부 연직재 단면검토

검 토 조 건	재 료 강 도 : fck = 27.0 MPa fy = 400.0 MPa 재료저항계수 : Øc = 0.650 Øs = 0.90 f-ε곡선계수 : nε = 2.000 εco = 0.00200 εcu = 0.00330 α = 0.798 β = 0.412 극한 모멘트 Mu = 194.122 KN·m 극 한 축 력 Pu = 2,613.728 KN 단면의 두께 H = 400.000 mm 단 위 폭 B = 1,000.000 mm 유 효 깊 이 D = 350.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm 작 용 편 심 e = 74.270 mm 인장측 철근 Ast = 1,935.500㎟ 1단 (dc = 50mm) : H 22 @ 200 mm 압축측 철근 Asc = 1,935.500㎟ 1단 (dc = 50mm) : H 22 @ 200 mm
평 형 상 태 검 토	c = εcu / (εcu + εyd)*d = 226.471 mm Cck = 0.85·fck·B·H = 4,761,545.0 N 소성중심 x = (Cck·H/2 + fy·Asc·dc + fy·Ast·d)/(Cck + fy·Asc + fy·Ast) = 200.00 mm 콘크리트 Cc = 0.85·fck·a·b = 2,695,875.0 N 압축철근 Cs = (fs-0.85·fck)·Asc = 667,907.0 N (εsc > εy --> fs = fy = 360.00 MPa) 인장철근 Ts = fy·Ast = 696,780.0 N 평형축력 Pb = Cc + Cs - Ts = 2,667,002.0 N 평형모멘트 Mb = Cc(x-a/2) + Cs(x-dc) + Ts(d-x) = 492,473,800.0 N·mm 평형편심 eb = Mb / Pb = 184.654 mm e < eb -------> 압축파괴영역
강 도 검 토	작용편심 e = 99.008 mm > e_min = 20.000 mm ---> 기둥강도를 Trial & Error Method로 계산함. 중립축 c = 340.456 mm로 가정하면... fsc = 360.00 MPa (압축), fst = 18.50 MPa (인장) 콘크리트 Cc = Cc1 + Cc2 = 2,052,023 N + 2,000,722 N (응력변화부+일정부) 압축철근 Cs = Asc×(fsc - Øc 0.85 fck) = 667,907 N (fsc ≤ Øs·fy) 인장철근 Ts = Ast×fst = 35,809 N (fst ≤ Øs·fy) Pr = Cc1 + Cc2 + Cs - Ts = 2,052,023 + 2,000,722 + 667,907 - 35,809 = 4,684,842 N Mr = Mc1 + Mc2 + Ms + Mt = -23,589,140 + 265,976,800 + 100,186,100 + 5,371,392 = 347,945,200 N·mm e′ = Mr/Pr = 74.270 mm ≒ e = 74.270 mm ---> say O.K. Pr = 4,684.842 KN ≥ Pu = 2,613.728 KN ∴O.K Mr = 347.945 KN·m ≥ Mu = 194.122 KN·m ∴O.K
전단력 검 토	κ = 1 + √(200/D) = 1.756 ≤ 2.0 fn = Pu / Ag = 2.378 MPa ≤ 0.2Øc·fck = 3.510 MPa (작은값 적용) fctk = 0.7×0.3×(fck+Δf)^⅔ = 2.072 MPa Vc = [0.85 Øc·κ·(p fck)^⅓ + 0.15 fn] B·D / 1000 = 364.412 KN Vcd.min = (0.4 Øc·fctk + 0.15 fn) B·D / 1000 = 372.858 KN ∴ Vcd = Max(Vc, Vcd.min) = 372.858 KN ≥ Vu = 354.291 KN... ∴전단철근 필요없음.

③ 하부거더(아치리브)

【표 5.162】 백운1교(춘천) 교각부 하부거더(아치리브) 단면검토

검 토 조 건	fck = 27.0 MPa fy = 400.0 MPa λ = 1.00 β1 = 0.850 Øf = 0.85 Øv = 0.75 pmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00350 계수 모멘트 Mu = 905.136 KN·m 계수 전단력 Vu = 480.914 KN 단면의 두께 H = 4205.000 mm 단 면 폭 B = 2000.000 mm 유 효 깊 이 D = 4155.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm
휨모멘트 검 토	- 휨강도 검토 사용철근량 = H22 ×6.00 EA (Dc = 50.00 mm) = 2,322.600 ㎟ ∴ P = As/(B·D) = 0.00028 공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 20.241 mm 최외단 인장철근 변형률 εt = 0.52047 ≥ 0.004 ..... ∴ O.K ...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1) 0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용함. ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) = 3273146000.000 N·mm = 3,273.146 KN·m ≥ Mu = 905.136 KN·m ..... ∴ O.K - 필요철근량 및 철근비 검토 소요등가응력깊이 a = 5.587 mm로 가정 As = Mu /{Øf·fy·(D-a/2)} = 641.145 ㎟ a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 5.587 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K Preq = [Mu /{Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D) = 0.00008 ⇒ 4/3 Preq = 0.00010 ∴ 필요철근량 req.As = Preq × (B·D) = 641.145 ㎟ ≤ 사용철근량...O.K 철근비검토 : 4/3 Preq ≤ P ≤ Pmin ..... ∴ O.K
전단력 검 토	Øv·Vc = Øv·1/6·λ√fck·B·d / 1000 = 5,397.503 KN 1/2·Øv·Vc = 2,698.752 KN > Vu = 480.914 KN ... ∴전단철근 필요없음.
균 열 검 토	Mo = 696.259 KN·m (사용하중 모멘트) n = Es/Ec = 200000 / {0.077 mc^1.5 * ³√(Fck + Δf)} = 7 p = As/(B·D) = 0.00028 k = -np + √((np)²+ 2np) = 0.061 j = 0.980 x = k·d = 251.907 mm fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) = 0.679 MPa fs = Mo / (As ·(D - x/3)) = 73.636 MPa fst = fs·(H - Dc_min - x) / (D - x) = 73.636 MPa 최외단철근 소요중심간격 s = Min [375·(210/fst)-2.5Cc , 300·(210/fst)] = 855.56 mm ...여기서..Cc = dc_min - 주철근 직경/2 = 39.00 mm 최외단철근 평균배근간격 = 333.33 mm ≤ 855.56 mm ..... ∴ O.K

3) 중앙부 단면검토

① 상부바닥판

【표 5.163】 백운1교(춘천) 중앙부 상부바닥판 단면검토

검 토 조 건	fck = 27.0 MPa fy = 400.0 MPa λ = 1.00 β1 = 0.850 Øf = 0.85 Øv = 0.75 pmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00350 계수 모멘트 Mu = 268.973 KN·m 계수 전단력 Vu = 77.443 KN 단면의 두께 H = 500.000 mm 단 면 폭 B = 1000.000 mm 유 효 깊 이 D = 450.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm
휨모멘트 검 토	사용철근량 = H25 @ 200.00 mm (Dc = 50.00 mm) + H22 @ 200.00 mm (Dc = 50.00 mm) = 4469.000 ㎟ ∴ P = As/(B·D) = 0.00993 공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 77.891 mm 최외단 인장철근 변형률 εt = 0.01173 ≥ 0.004 ..... ∴ O.K ...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1) 0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용함. ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) = 624,580,800.000 N·mm = 624.581 KN·m ≥ Mu = 268.973 KN·m ..... ∴ O.K - 필요철근량 및 철근비 검토 소요등가응력깊이 a = 22.058 mm로 가정 As = Mu /{Øf·fy·(D-a/2)} = 1,822.303 ㎟ a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 22.058 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K Preq = [Mu /{Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D) = 0.00405 ⇒ 4/3 Preq = 0.00540 ∴ 필요철근량 req.As = Preq × (B·D) = 1,822.303 ㎟ ≤ 사용철근량...O.K 철근비검토 : Pmin ≤ P ..... ∴ O.K
전단력 검 토	Øv·Vc = Øv·1/6·λ√fck·B·d / 1000 = 292.284 KN Øv·Vc = 292.284 KN > Vu = 77.443 KN ... ∴전단철근 필요없음.
균 열 검 토	Mo = 165.616 KN·m (사용하중 모멘트) n = Es/Ec = 200000 / {0.077 mc^1.5 * ³√(Fck + Δf)} = 7 p = As/(B·D) = 0.00993 k = -np + √((np)²+ 2np) = 0.310 j = 0.980 x = k·d = 139.402 mm fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) = 5.888 MPa fs = Mo / (As ·(D - x/3)) = 91.836 MPa fst = fs·(H - Dc_min - x) / (D - x) = 91.836 MPa 최외단철근 소요중심간격 s = Min [375·(210/fst)-2.5Cc , 300·(210/fst)] = 686.01 mm ...여기서..Cc = dc_min - 주철근 직경/2 = 39.00 mm 최외단철근 평균배근간격 = 200.00 mm ≤ 686.01 mm ..... ∴ O.K

② 연직재

【표 5.164】 백운1교(춘천) 중앙부 연직재 단면검토

검 토 조 건	재 료 강 도 : fck = 27.0 MPa fy = 400.0 MPa 재료저항계수 : Øc = 0.650 Øs = 0.90 f-ε곡선계수 : nε = 2.000 εco = 0.00200 εcu = 0.00330 α = 0.798 β = 0.412 극한 모멘트 Mu = 117.703 KN·m 극 한 축 력 Pu = 1,188.828 KN 단면의 두께 H = 500.000 mm 단 위 폭 B = 1,000.000 mm 유 효 깊 이 D = 450.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm 작 용 편 심 e = 99.008 mm 인장측 철근 Ast = 3,096.800㎟ 1단 (dc = 50mm) : H 22 @ 125 mm 압축측 철근 Asc = 3,0196.800㎟ 1단 (dc = 50mm) : H 22 @ 125 mm
평 형 상 태 검 토	c = εcu / (εcu + εyd)*d = 291.177 mm Cck = 0.85·fck·B·H = 5,951,932.0 N 소성중심 x = (Cck·H/2 + fy·Asc·dc + fy·Ast·d)/(Cck + fy·Asc + fy·Ast) = 250.00 mm 콘크리트 Cc = 0.85·fck·a·b = 3,466,125.0 N 압축철근 Cs = (fs-0.85·fck)·Asc = 1,068,652.0 N (εsc > εy --> fs = fy = 360.00 MPa) 인장철근 Ts = fy·Ast = 1,114,848.0 N 평형축력 Pb = Cc + Cs - Ts = 3,419,928.0 N 평형모멘트 Mb = Cc(x-a/2) + Cs(x-dc) + Ts(d-x) = 887,644,600.0 N·mm 평형편심 eb = Mb / Pb = 259.551 mm e < eb -------> 압축파괴영역
강 도 검 토	작용편심 e = 99.008 mm > e_min = 20.000 mm ---> 기둥강도를 Trial & Error Method로 계산함. 중립축 c = 430.742 mm로 가정하면... fsc = 360.00 MPa (압축), fst = 29.51 MPa (인장) 콘크리트 Cc = Cc1 + Cc2 = 2,596,202 N + 2,531,297 N (응력변화부+일정부) 압축철근 Cs = Asc×(fsc - Øc 0.85 fck) = 1,068,652 N (fsc ≤ Øs·fy) 인장철근 Ts = Ast×fst = 91,378 N (fst ≤ Øs·fy) Pr = Cc1 + Cc2 + Cs - Ts = 2,596,202 + 2,531,297 + 1,068,652 - 91,378 = 6,104,773 N Mr = Mc1 + Mc2 + Ms + Mt = -45,647,490 + 418,061,000 + 213,730,300 + 18,275,560 = 604,419,400 N·mm e′ = Mr/Pr = 99.008 mm ≒ e = 99.008 mm ---> say O.K. Pr = 6,104.773 KN ≥ Pu = 1,188.828 KN ∴O.K Mr = 604.419 KN·m ≥ Mu = 117.703 KN·m ∴O.K
전단력 검 토	κ = 1 + √(200/D) = 1.667 ≤ 2.0 fn = Pu / Ag = 2.378 MPa ≤ 0.2Øc·fck = 3.510 MPa (작은값 적용) fctk = 0.7×0.3×(fck+Δf)^⅔ = 2.072 MPa Vc = [0.85 Øc·κ·(p fck)^⅓ + 0.15 fn] B·D / 1000 = 396.947 KN Vcd.min = (0.4 Øc·fctk + 0.15 fn) B·D / 1000 = 402.955 KN ∴ Vcd = Max(Vc, Vcd.min) = 402.955 KN ≥ Vu = 120.703 KN... ∴전단철근 필요없음.

③ 하부거더(아치리브)

【표 5.165】 백운1교(춘천) 중앙부 하부거더(아치리브) 단면검토

검 토 조 건	fck = 27.0 MPa fy = 400.0 MPa λ = 1.00 β1 = 0.850 Øf = 0.85 Øv = 0.75 pmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00350 계수 모멘트 Mu = 486.355 KN·m 계수 전단력 Vu = 338.228 KN 단면의 두께 H = 1068.000 mm 단 면 폭 B = 2000.000 mm 유 효 깊 이 D = 1018.000 mm 피 복 두 께 Dc = 50.000 mm
휨모멘트 검 토	- 휨강도 검토 사용철근량 = H32 ×18.00 EA (Dc = 50.00 mm) = 14,295.600 ㎟ ∴ P = As/(B·D) = 0.00702 공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 124.580 mm 최외단 인장철근 변형률 εt = 0.01784 ≥ 0.004 ..... ∴ O.K ...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1) 0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용함. ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) = 4,645,231,000.000 N·mm = 4,645.231 KN·m ≥ Mu = 486.355 KN·m ..... ∴ O.K - 필요철근량 및 철근비 검토 소요등가응력깊이 a = 12.320 mm로 가정 As = Mu /{Øf·fy·(D-a/2)} = 1,413.717 ㎟ a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 12.320 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K Preq = [Mu /{Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D) = 0.00069 ⇒ 4/3 Preq = 0.00093 ∴ 필요철근량 req.As = Preq × (B·D) = 1,413.718 ㎟ ≤ 사용철근량...O.K 철근비검토 : Pmin ≤ P ..... ∴ O.K
전단력 검 토	Øv·Vc = Øv·1/6·λ√fck·B·d / 1000 = 1,322.421 KN 1/2·Øv·Vc = 661.210 KN > Vu = 338.228 KN ... ∴전단철근 필요없음.
균 열 검 토	Mo = 318.276 KN·m (사용하중 모멘트) n = Es/Ec = 200,000 / {0.077 mc^1.5 * ³√(Fck + Δf)} = 7 p = As/(B·D) = 0.00702 k = -np + √((np)²+ 2np) = 0.268 j = 0.911 x = k·d = 273.035 mm fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) = 1.258 MPa fs = Mo / (As ·(D - x/3)) = 24.017 MPa fst = fs·(H - Dc_min - x) / (D - x) = 24.017 MPa 최외단철근 소요중심간격 s = Min [375·(210/fst)-2.5Cc , 300·(210/fst)] = 2,623.09 mm ...여기서..Cc = dc_min - 주철근 직경/2 = 34.00 mm 최외단철근 평균배근간격 = 111.11 mm ≤ 2,623.09 mm ..... ∴ O.K

타. 단면력 검토결과

1) 바닥판

【표 5.166】 백운1교(춘천) 바닥판의 단면력 검토결과

구 분	모 멘 트 (kN·m)			전 단 력 (kN)			비고
	Mu (kN·m)	ΦMn (kN·m)	안전율 (S·F)	Vu (kN)	ΦVn (kN)	안전율 (S·F)	
교 대 부	131.677	624.581	4.743	152.195	292.284	1.920	
교 각 부	97.211	624.581	7.192	169.447	292.284	1.725	
중 앙 부	268.973	624.581	2.322	77.443	292.284	3.774	

2) 연직재

【표 5.167】 백운1교(춘천) 연직재의 단면력 검토결과

구 분	모 멘 트 (kN·m)			축 력 (kN)			비고
	Mu (kN·m)	ΦMn (kN·m)	안전율 (S·F)	Pu (kN)	ΦPn (kN)	안전율 (S·F)	
교 대 부	258.820	1,117.273	4.156	968.860	4,182.387	4.317	
교 각 부	194.122	347.945	1.792	2,613.728	4,684.840	1.792	
중 앙 부	117.703	604.419	5.135	1,188.828	6104.773	5.135	

3) 거 더(아치리브)

【표 5.168】 백운1교(춘천) 거더의 단면력 검토결과

구 분	모 멘 트 (kN·m)			전 단 력 (kN)			비고
	Mu (kN·m)	ΦMn (kN·m)	안전율 (S·F)	Vu (kN)	ΦVn (kN)	안전율 (S·F)	
교 대 부	368.315	1818.212	5.074	124.899	742.400	5.944	
교 각 부	905.136	3273.146	3.616	480.914	2698.752	5.612	
중 앙 부	486.355	4645.231	9.551	338.228	661.210	1.955	

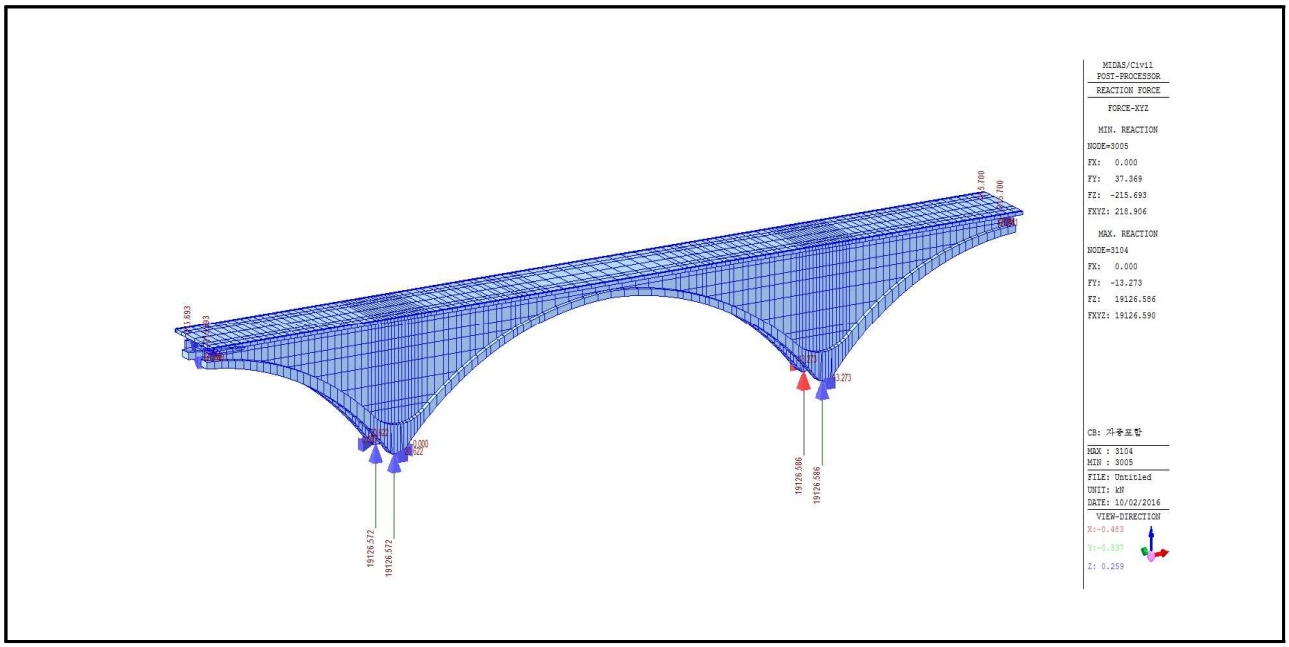
RC ARCH에 대한 안전성 검토결과, 안전율이 1.0이상(최소안전율 1.725)으로 나타나 모든 부재가 안전한 것으로 검토되었다.

파. 받침 검토

1) 받침 검토결과

【표 5.169】 백운1교(춘천) 받침 검토결과

구 분	고정하중 (kN)	활하중 (kN)	합 계 (kN)	받침 용량 (kN)	검토결과
교 대(max)	215.693	793.558	1,009.251	4,000	O.K
교 각(max)	19,126.586	2,258.266	21,384.852	37,000	O.K



【그림 5.44】 백운1교(춘천) 받침 반력검토 결과

2) 받침 검토결과 분석

백운1교(춘천)에 받침을 검토한 결과, 받침에 반력하중은 교대 1,009.251 kN, 교각 21,384.852 kN로 확인되었으며, 이를 교대는 4000kN, 교각은 37,000kN의 받침허용치와 비교한 결과 전체적으로 만족하는 것으로 검토되었다.

5.3.3 내하력 평가

가. 개 요

구조물이 현재 보유하고 있는 실제 내하력 및 안전도를 추정하기 위한 내하력 평가는 유지관리 체계이 핵심이 되는 중요한 분야로서 그 분석 및 평가방법의 합리성과 결과의 신뢰도가 중요한 문제로 된다. 현재 사용되고 있는 교량의 내하력 평가기법은 공용하중에 대한 내하율(Rating Factor)을 구하기 위한 허용응력개념(Working Stress Rating)이나 강도 또는 하중저항계수개념(Load and Resistance Factor Design)에 의한 방법으로 대별될 수 있다. 본 구조물은 철근콘크리트 아치교로 강도설계법에 의하여 내하력을 평가하였다.

나. 바닥판(강도설계법)

【표 5.170】 백운1교(춘천) 바닥판 내하력 평가

구 분	ϕM_n(kN · m)	M_d(kN · m)	M_l(kN · m)	기본 내하율	기본 내하력
캔틸레버부	624.581	38.400	49.727	5.375	DB-24 이상
중앙부	624.581	80.497	74.040	3.266	DB-24 이상

다. 거더(RC-Arch)(강도설계법)

【표 5.171】 백운1교(춘천) 거더(RC-Arch) 내하력 평가

구 분	ϕM_n(kN · m)	M_d(kN · m)	M_l(kN · m)	기본 내하율	기본 내하력
정모멘트 (S1)	1,818.212	88.134	98.259	8.064	DB-24 이상
정모멘트 (S2)	4,645.231	33.571	103.303	20.718	DB-24 이상
부모멘트	3,273.146	122.627	198.230	7.306	DB-24 이상

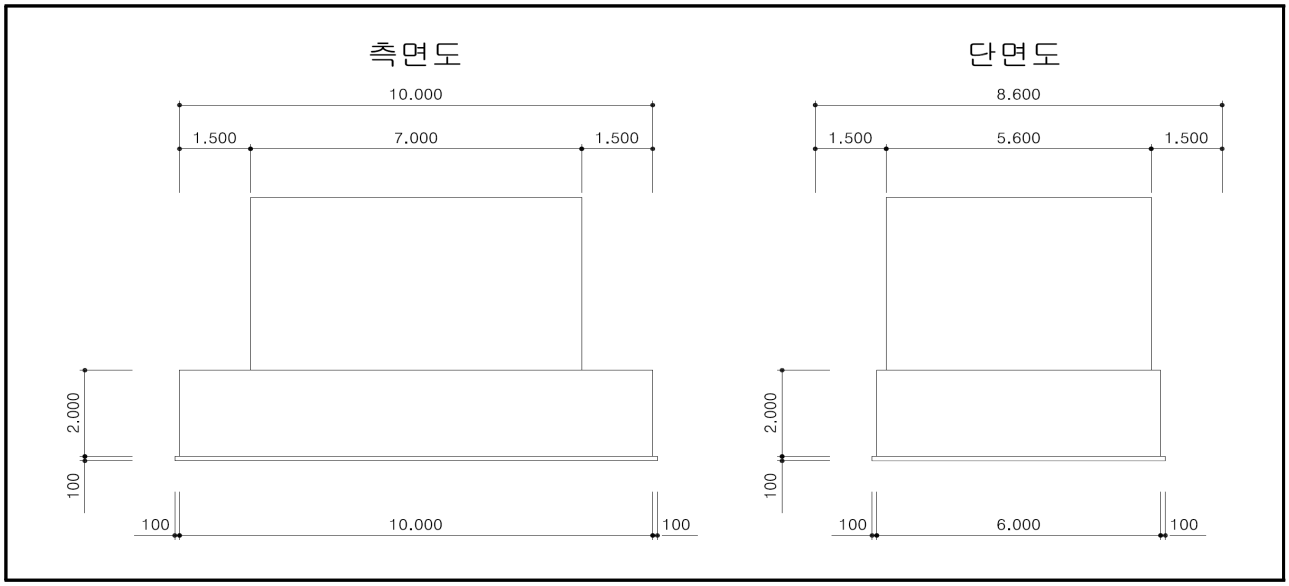
5.3.4 하부구조 구조검토

가. 교각 검토

본 교량의 교각은 2개소로 P1(폭5.6m, 길이7.0m, 높이4.0m), P2(폭6.0m, 길이13.5m, 높이3.0m)는 높이가 낮고 폭과 넓이가 큰 벽식 형식의 교각으로 지중에 매립되어 있어 기둥에 대한 안전성은 충분히 확보하고 있을 것으로 판단되어 기초에 대해서만 안전성 검토를 수행하였다.

1) 교각(P1)

① 기초제원



【그림 5.45】 백운1교(춘천) 교각(P1) 기초제원

② 사용하중 요약

【표 5.172】 백운1교(춘천) 교각(P1) 사용하중 요약

구 분	수 직 력(V)	수 평 력(H)	Mr	Mo
	kN	kN	kN · m	kN · m
상시	45,151	1,525	2,308	56,587

③ 안정검토 요약

【표 5.173】 백운1교(춘천) 교각(P1) 안정검토 요약

구 분	안 전 검 토	판정기준	비 고
전도에 대한 안정	2,308.3 / 56,587.1 = 0.041	B / 6 = 1.0 ≥ e	O.K
활동에 대한 안정	38,007 / 1,525 = 24.918	Hu/H ≥ 1.5	O.K
지지력에 대한 안정	800.0 / 760.8 = 1.051	Qmax/Qa ≥ 1.0	O.K

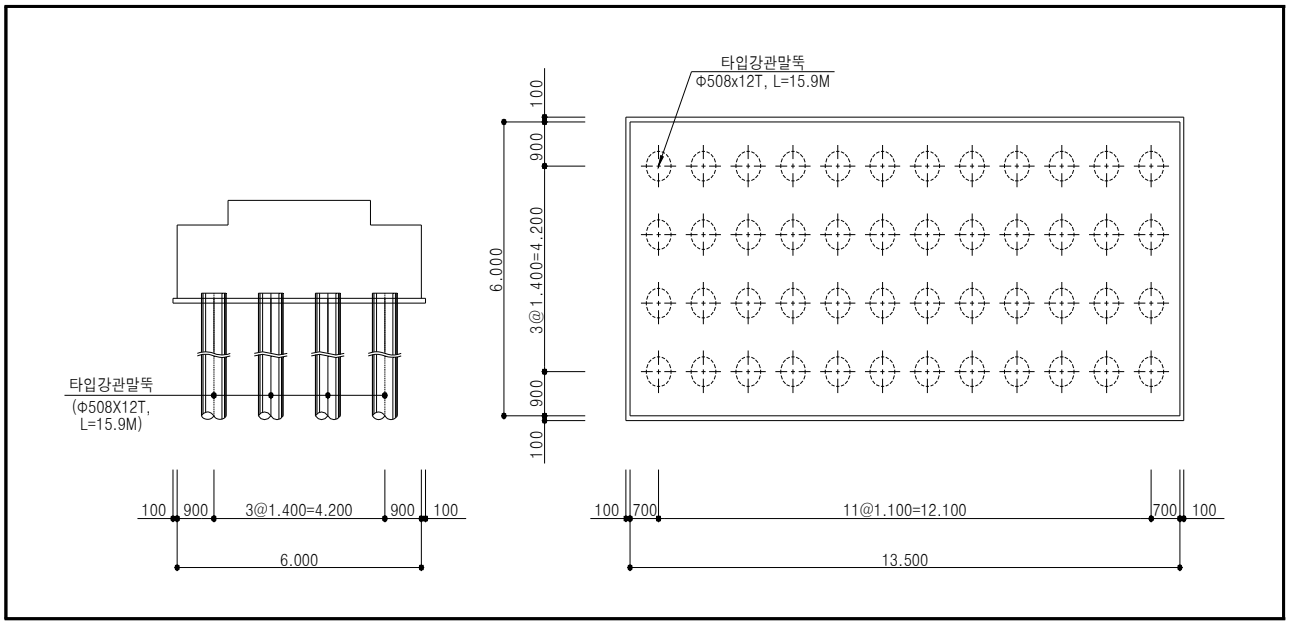
④ 기초단면검토 요약

【표 5.174】 백운1교(춘천) 교각(P1) 기초단면검토 요약

구 분	깊이 H(㎜)	Req. As (㎟)	Use. As (㎟)	Mu (kN.m)	ΦMn (kN.m)	안전도	비 고
기 초	1,900	754.821	1935.500	485.926	1239.233	2.55	O.K

2) 교각(P2)

① 말뚝 배치도 및 제원



【그림 5.46】 백운1교(춘천) 교각(P2) 말두배치도 및 제원

② 말뚝제원 및 사용계수

【표 5.175】 백운1교(춘천) 교각(P2) 말뚝제원 및 사용계수

말뚝 종류	직경(㎜)	두께(㎜)	부식두께(㎜)	길이(m)
타입강관말뚝	508	12	2	15.900

- 말뚝의 탄성계수 E = 210,000.0 MPa
- 말뚝의 단면2차모멘트 = π/64 x (0.504⁴ - 0.484⁴) = 0.000474 m⁴
- 말뚝 머리의 평균 N치 N = 10
- 말뚝 선단 지지층 조건 : 경암층 q = 5,000 kN/㎡
- 말뚝 선단의 근입깊이 Df = 1.0 m

③ 말뚝 검토결과

【표 5.176】 백운1교(춘천) 교각(P2) 말뚝 검토결과

구 분		허용값	발생값	비 고
지지력	허용지지력(kN/EA)	1585.900	1351.556	O.K
	허용인발력(kN/EA)	-	-	-
허용응력	휨응력(kN)	133.000	90.64	O.K
	전단응력(kN)	80.000	0.72	O.K
	수평변위(㎜)	15.000	0.06	O.K

3) 검토결과 분석

교각에 대해서 안전성을 검토한 결과 검토대상 하중조합에 대하여 기둥부의 축력 및 모멘트, 기초부의 지지, 전도, 활동에 대하여 안전율을 만족시키고 있음을 확인하였다.

나. 교대 검토

1) 해석조건

① 일반조건

【표 5.177】 백운1교(춘천) 교대 해석 일반조건

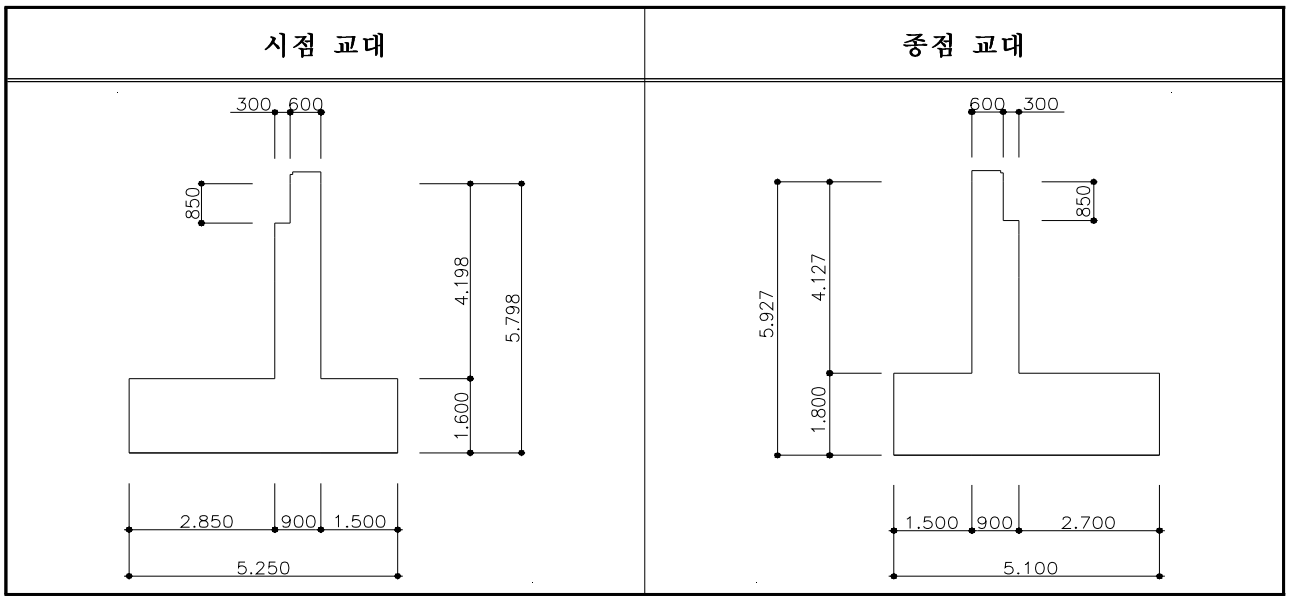
교량등급	1등급	**상부형식**	RC ARCH교
연 장	151.40 m	**사 각**	-
교대형식	역T형 교대	**기초형식**	직접기초, 말뚝기초
교대높이	H = 5.798~5.927 m	**교대길이**	B = 12.51 m
기초폭	Bf = 5.25~5.10m	**기초길이**	Lf = 12.51 m

② 사용재료 및 강도

【표 5.178】 백운1교(춘천) 교대 해석 사용재료 및 강도

구 분	교대구체		기초	
	콘크리트	철근	콘크리트	철근
단위질량 (kg/m³)	2,500	7,850	2,500	7,850
항복강도 (MPa)	24	300	24	300

③ 검토단면



【그림 5.47】 백운1교(춘천) 교대 해석 단면

2) 하중조건

① 시점교대

【표 5.179】 백운1교(춘천) 시점교대 하중조건

구 분	수 직 력(V)	수 평 력(H)	Mr	Mo
	kN	kN	kN · m	kN · m
콘크리트 자중	298.080	-	721.094	-
재하토사 자중	244.386	-	926.744	-
토 압	-	91.102	-	176.070
과 재 하 중	31.500	15.713	115.762	45.552
합 계	573.966	106.815	1,763.600	272.858

② 종점교대

【표 5.180】 백운1교(춘천) 종점교대 하중조건

구 분	수 직 력(V)	수 평 력(H)	Mr	Mo
	kN	kN	kN · m	kN · m
콘크리트 자중	315.983	-	751.955	-
재하토사 자중	227.958	-	847.192	-
토 압	-	95.200	-	188.083
과 재 하 중	30.000	16.062	108.000	47.600
합 계	573.941	111.262	1,707.147	235.683

3) 안정검토

구조해석에서 계산한 상부구조반력과 교대자중 및 토압을 바탕으로 기초의 안정성을 검토하였다.

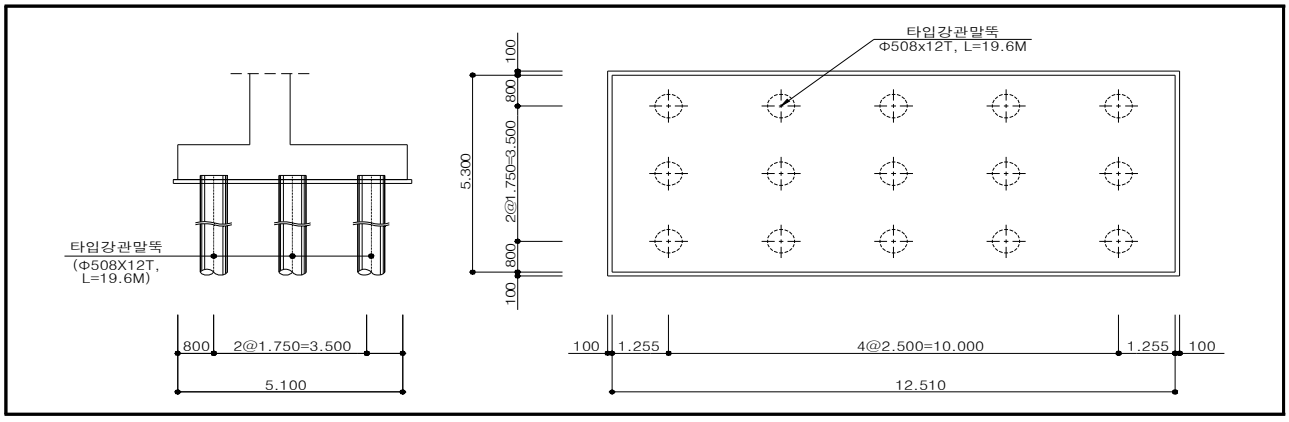
① 시점교대

【표 5.181】 백운1교(춘천) 시점교대 안정조건

구 분	안 정 검 토	판정기준	비 고
전도에 대한 안정	1763.60 / 221.622 =7.958	Mr/Mo ≥ 2.0	O.K
활동에 대한 안정	257.137 / 106.815 =1.65	Hu/H ≥ 1.5	O.K
지지력에 대한 안정	600.0 / 101.63 =5.90	Qmax/Qa ≥ 1.0	O.K

② 종점교대

㉠ 말뚝 배치도 및 제원



【그림 5.48】 백운1교(춘천) 종점교대 말뚝 배치도 및 제원

㉡ 말뚝제원 및 사용계수

【표 5.182】 백운1교(춘천) 종점교대 말뚝제원 및 사용계수

말뚝 종류	직경(㎜)	두께(㎜)	부식두께(㎜)	길이(m)
타입강관말뚝	508	12	2	19.500

- 말뚝의 탄성계수 E = 210,000.0 MPa
- 말뚝의 단면2차모멘트 I = π/64 x (0.504^4 - 0.484^4) = 0.0004736 m^4
- 말뚝 머리의 평균 N치 N = 10
- 말뚝 선단의 지지층 조건 : 연 암
- 말뚝 선단의 근입깊이 Df = 1.0 m
- 원지반으로부터 돌출된 길이 h = 0.0 m

㉢ 말뚝 검토결과

【표 5.183】 백운1교(춘천) 종점교대 말뚝 검토결과

구 분		허용값	발생값	비 고
지지력	허용지지력(kN/EA)	798.015	551.150	O.K
허용응력	휨응력 (MPa)	133.000	84.460	O.K
	전단응력 (MPa)	76.000	11.955	O.K
	수평변위(㎜)	15.000	4.660	O.K

4) 단면검토

① 단면검토를 위한 부재력 산정

【표 5.184】 백운1교(춘천) 종점교대 단면검토를 위한 부재력 산정

구 분	시점교대		종점교대		비 고
	전단력(kN)	모멘트(kN.m)	전단력(kN)	모멘트(kN.m)	
벽 체	91.186	139.874	88.420	133.500	
앞 굽 판	144.525	108.833	235.495	160.459	
뒷 굽 판	117.681	189.997	117.708	287.589	

② 단면검토

【표 5.185】 백운1교(춘천) 종점교대 단면검토

구 분		깊이 H(㎜)	Req. As (㎟)	Use. As (㎟)	Mu (kN.m)	ΦMn (kN.m)	안전율	비 고
A1	앞 굽 판	1,600	284.930	5,067.000	108.833	1,889.988	%.,	O.K
	뒷 굽 판	1,600	497.939	2,533.500	189.997	957.029	%.,	O.K
	벽 체	900	690.032	2,865.000	139.874	569.070	%.,	O.K
A2	앞 굽 판	1,800	393.996	5,067.000	160.459	2,019.196	%.,	O.K
	뒷 굽 판	1,800	665.327	2,533.500	287.589	1,086.237	%.,	O.K
	벽 체	900	658.395	2,865.000	133.500	569.070	%.,	O.K

5) 검토결과

교대에 대해서 안전성을 검토한 결과 기초부가 지지, 전도, 활동에 대하여 안전율을 만족시키고 있으며, 기초 압굽 및 뒷굽의 단면검토에서도 안전한 것으로 확인되었다. 또한, 벽체부와 흉벽의 단면검토 결과도 모두 소요강도를 확보한 것으로 파악되었다.

5.3.5 안전성평가 결과 요약

가. 바닥판

○ 고정하중 및 DB-24의 설계하중이 작용하는 경우에 대해 현 설계기준을 적용하여 구조해석을 실시한 결과 캔틸레버 및 중앙부 모두 안전한 것으로 평가되었으며, 외관조사 결과 구조적 손상은 조사되지 않아 검토대상 구조물은 설계하중에 대해 소요의 안전도를 확보하고 있는 것으로 판단된다.

○ 기본내하력 산정 결과 DB-24이상으로 도로교 설계기준상의 1등교 정도의 내하력은 가지고 있는 것으로 판단된다.

나. 거더(RC Arch)

○ 설계하중 및 건조수축, 크리프, 온도영향을 고려하여 연직재 및 아치리브에 대한 구조해석을 실시한 결과 검토항목 모두 안전한 것으로 평가되었으며, 외관조사 결과 구조적 손상은 조사되지 않아 검토대상 구조물은 설계하중에 대해 소요의 안전도를 확보하고 있는 것으로 판단된다.

○ 공용내하력 산정 결과 DB-24이상으로 도로교 설계기준상의 1등교 정도의 내하력은 가지고 있는 것으로 판단된다.

다. 교각 및 교대 검토

○ 외관조사 결과 교각 및 교대 벽체부에 수직균열(cw=0.1～0.2mm) 및 철근노출이 발생되어 현 설계기준에 대한 안전성 및 사용성 검토결과 소요의 안전성은 확보하는 것으로 검토되었다.

○ 따라서 발생된 균열은 건조수축 및 수화열 등이 원인이며 받침하단 및 단면변화부에서 지압·응력집중 효과가 더해진 것으로 판단되며, 철근노출은 피복부족에 의한 것으로 시공불량이 원인으로 판단된다.

○ 공용하중에 대한 안전성을 확보하고 균열진행성이 없으므로 손상규모에 따라 보수 및 주의관찰 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

라. 해석결과 집계표

1) 상부구조 안전성평가 결과

【표 5.186】 백운1교(춘천) 상부구조 안전성평가 결과

구 분	모 멘 트 (kN·m)			전 단 력 (kN)			안전성 평가등급
	Mu (kN·m)	ΦMn (kN·m)	안전율	Vu (kN)	ΦVn (kN)	안전율	
바 닥 판	97.211	624.581	7.912	169.447	292.284	1.725	a
연 직 재	194.122	347.945	1.792	2,613.728	4,684.842	1.792	a
아치리브	905.136	3,273.146	3.616	480.914	2,698.752	5.612	a

2) 하부구조의 안전성평가 결과

① 교 대

【표 5.187】 백운1교(춘천) 하부구조 교대 안전성평가 결과

단 면		Mu (kN · m/m)	ϕMn (kN · m/m)	안전율	안전성 평가 등급
A1	앞 굽 판	108.833	1,889.988	17.366	a
	뒷 굽 판	189.997	957.029	5.037	a
	벽 체	139.874	569.070	4.068	a
A2	앞 굽 판	160.459	2,019.196	12.584	a
	뒷 굽 판	287.589	1,086.237	3.777	a
	벽 체	133.500	569.070	4.263	a

② 교 각

【표 5.188】 백운1교(춘천) 하부구조 교각 안전성평가 결과

단 면			Qmax (MPa)	Qa (MPa)	안전율	안전성 평가 등급
교각	P1	기 초	760.871	800.000	1.05	a
	P2	기 초	1351.556	1585.900	1.17	a

마. 기존 진단결과와의 비교·분석

【표 5.189】 백운1교(춘천) 안전성평가 결과 비교·분석

구 분	2008년 정밀안전진단	2013년 정밀안전진단	2016년 정밀안전진단
해석조건	• 상부 2차원 격자해석 • 바닥판, 연직재, 아치리브가 하나의 부재로 모델링	• 상부 3차원 판해석 • 바닥판, 연직재, 아치리브를 개별적으로 모델링	• 상부 3차원 판해석 • 바닥판, 연직재, 아치리브를 개별적으로 모델링 • 풍하중 고려
안전율	거더 최소 안전율 1.003	거더 최소 안전율 1.221	거더 최소 안전율 1.792
특이사항	• 교각(P2) 말뚝지지력 부족 Qa = 1,301MPa 〈Qmax = 1,758MPa	• 교각(P2) 말뚝지지력 만족 Qa = 1,585MPa 〉 Qmax = 1,351MPa	• 교각(P2) 말뚝지지력 만족 Qa = 1,585MPa 〉 Qmax = 1,351MPa
안전성평가 결과	A	A	A
총 평	• 금회 정밀안전진단은 자료분석, 현장조사 및 시험을 통한 분석결과, 제원 및 품질저하 요인이 조사되지 않아 전차 진단인 2013년 정밀안전진단의 안전성 평가를 인용하여 평가하였음. • 공용 내하력은 DB-24 이상으로 나타나 설계활하중에 대한 안전성을 확보한 것으로 판단됨. • 기존 정밀안전진단(2013)에 비해 안전율과 내하율이 상향으로 나타난 이유는 전차 진단에서 누락된 풍하중 적용으로 인한 연직재 및 하부거더의 수평력 증가로 축력이 감소되어 안전율과 내하율이 상향된 것으로 판단됨. • 또한, 교각(P2)에 대한 지지력 검토결과, 금회 상부구조의 적용된 풍하중으로는 하부구조에 수직력 및 수평력이 미미한 것으로 판단되어, 하부구조 검토는 전차 진단보고서(2013년)를 내용을 인용하였으며, 교대 및 교각의 안전성과 말뚝기초에 지지력은 확보된 것으로 검토됨.		

제 6 장 종합평가 및 안전등급지정

6.1 종합평가 산정절차

6.2 종합평가 결과

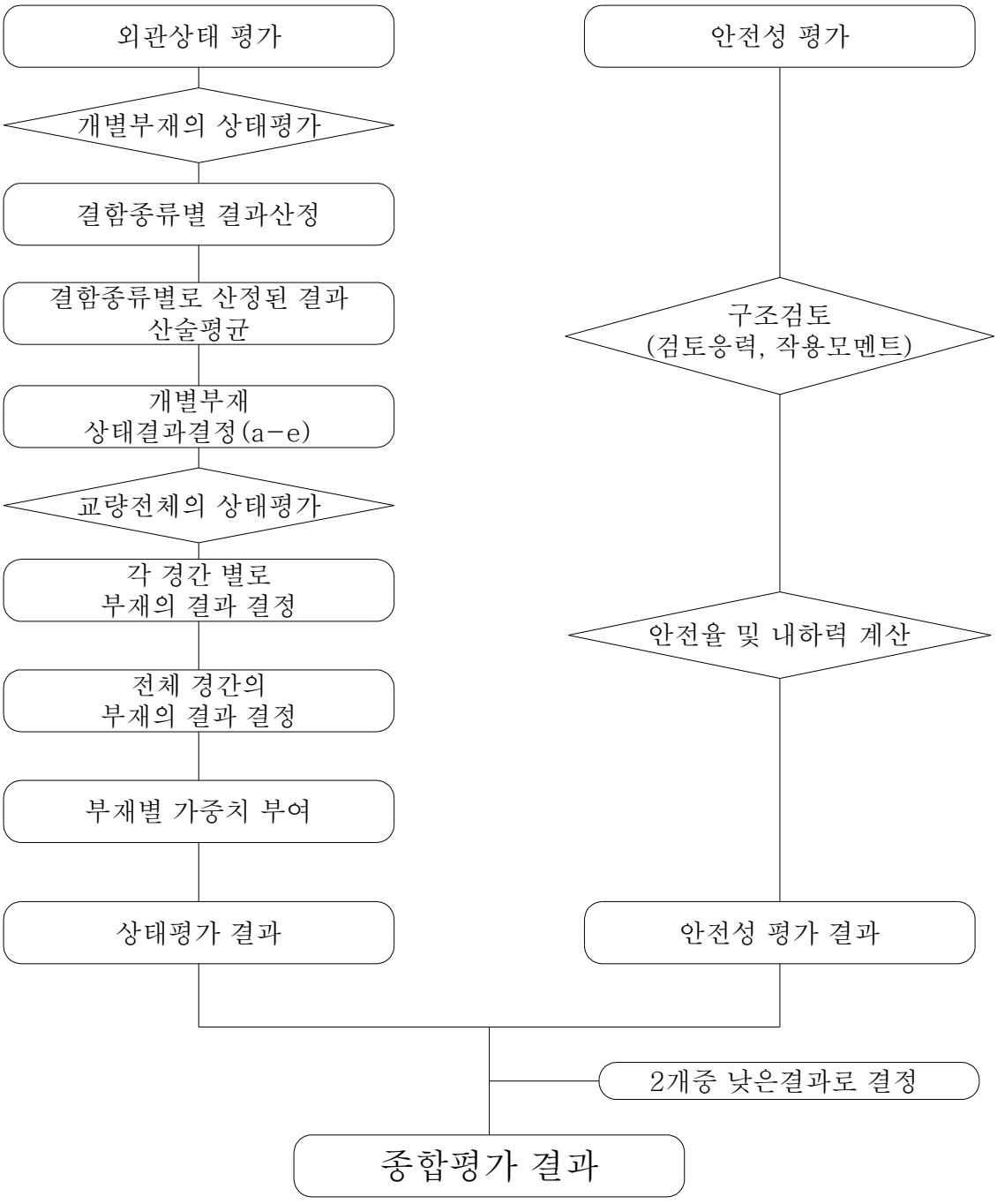
6.3 안전등급 지정

제 6 장 종합평가 및 안전등급지정

6.1 종합평가 산정절차

외관조사에 따른 상태평가 결과와 안전성 검토에 근거한 안전성평가 결과 중 낮은 결과를 시설물의 종합평가 결과로 결정한다.

종합평가 결과의 산정절차는【그림 5.1】에 나타내었다.



【그림 6.1】종합평가 결과 산정 흐름도

6.2 종합평가 결과

대상 구조물의 종합평가는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침[교량편](2010.12, 국토해양부/한국시설안전공단)』에 의거 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 비교하여 낮은 결과를 시설물의 종합평가 결과로 결정하였다.

6.2.1 백운1교(부산)

백운1교(부산)의 상태평가 결과는 “b”, 안전성평가 결과는 “a”로 평가되어 본 시설물의 종합평가 결과는 이중 낮은 결과인 “b”로 평가되었다.

【표 6.1】 백운1교(부산) 종합평가 결과

평가구분	평가내용	평가결과	비 고
상태평가	F=0.229	b	상태평가와 안전성평가 중 낮은 결과 적용
안전성평가	SF=1.0이상	a	
종합평가	**b**		

◉ 기 점검 결과와 비교·분석

기 정밀점검 결과와 금회 종합평가 결과를 비교·분석한 결과 2002~2008년, 2010년 정밀점검은 자체점검으로 정량적 평가가 아닌 정성적 평가를 실시함에 따라 결함도 점수가 산정되지 않은 것으로 조사되었다. 상태평가 결과 결함도 점수가 다소 변동된 것으로 분석되었으며, 이는 상태평가 결과 ① 공용년수 증가에 따른 신규손상 발생 및 철근콘크리트구간 염화물 함유량 증가, ② 조사용 접근장비(고소점검차)를 운용한 근접조사, ③ 기 진단 시 누락된 일부 손상 추가 조사, ④ 2016년9월 교면포장 전면 재포장 등에 의한 것으로 판단된다.

【표 6.2】 백운1교(부산) 기 점검 종합평가 결과와 비교

구 분	2002년 정밀 점검	2004년 정밀 점검	2006년 정밀 점검	2008년 정밀 점검	2009년 정밀 점검	2010년 정밀 점검	2011년 정밀 점검	2012년 정밀 안전진단	2014년 정밀 점검	2016년 정밀 안전진단
상태평가 결과	A	A	A	A	B	A	B	B	B	**B**

주) 2002~2008년, 2010년, 2012년, 2014년 평가결과 자체점검에 따른 정성적 평가임.

6.2.2 백운1교(춘천)

백운1교(춘천)의 상태평가 결과는 “b”, 안전성평가 결과는 “a”로 평가되어 본 시설물의 종합평가 결과는 이중 낮은 결과인 “b”로 평가되었다.

【표 6.3】 백운1교(춘천) 종합평가 결과

평가구분	평가내용	평가결과	비 고
상태평가	F=0.247	b	상태평가와 안전성평가 중 낮은 결과 적용
안전성평가	SF=1.0이상	a	
종합평가	**b**		

◉ 기 점검 결과와 비교·분석

기 정밀점검 결과와 금회 종합평가 결과를 비교·분석한 결과 2000~2008년, 2010년~2012년, 2015년 정밀점검은 자체점검으로 정량적 평가가 아닌 정성적 평가를 실시함에 따라 결함도 점수가 산정되지 않은 것으로 조사되었다. 상태평가 결과 결함도 점수가 다소 변동된 것으로 분석되었으며, 이는 상태평가 결과 ① 공용년수 증가에 따른 신규손상 발생 및 철근콘크리트구간 염화물 함유량 증가, ② 조사용 접근장비(고소점검차)를 운용한 근접조사, ③ 기 진단시 누락된 일부 손상 추가 조사 등에 의한 것으로 판단된다.

【표 6.4】 백운1교(춘천) 기 점검 종합평가 결과와 비교

구 분	2000년 정밀 점검	2002년 정밀 점검	2004년 정밀 점검	2006년 정밀 점검	2008년 정밀 점검	2008년 정밀안 전진단	2010년 정밀 점검	2012년 정밀 점검	2013년 정밀안 전진단	2015년 정밀 점검	2016년 정밀안 전진단
상태평가 결과	A	A	A	A	A	B	A	B	B	B	B

주) 2002~2008년, 2010년, 2012년, 2014년 평가결과는 자체점검에 따른 정성적 평가임.

6.3 안전등급 지정

정밀안전진단을 실시하는 사람은 상태평가 및 안전성평가 등을 종합적으로 평가하여 「법」 제10조의2 및 「영」 제11조의5에 따라서 당해 시설물의 안전등급을 지정하여야 하며,

정밀안전진단을 실시한 책임기술자는 당해 시설물에 대한 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정한다.

다만, 정밀안전진단 실시결과 기존의 안전등급보다 상향하여 조정할 경우에는 해당 시설물에 대한 보수·보강 조치 등 그 사유가 분명하여야 한다.

【표 6.5】 안전등급 기준

안전등급	시설물의 상태	비 고
A (우수)	▪ 문제점이 없는 최상의 상태	
B (양호)	▪ 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태	
C (보통)	▪ 주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태	
D (미흡)	▪ 주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태	
E (불량)	▪ 주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태	

6.3.1 백운1교(부산) 안전등급 지정

【표 6.6】 백운1교(부산) 안전등급 지정

구 분	상태평가		안전성평가	
	결함도 점수	평가기준	최소 안전율	평가기준
평가결과	0.229	b	1.0이상	a
안전등급 지 정	▶ 백운1교(부산)의 안전등급은 양호한 상태인 B등급으로 지정함 상태평가 b, 안전성평가 a → 안전등급 B			

6.3.2 백운1교(춘천) 안전등급 지정

【표 6.7】 백운1교(춘천) 안전등급 지정

구 분	상태평가		안전성평가	
	결함도 점수	평가기준	최소 안전율	평가기준
평가결과	0.247	b	1.0이상	a
안전등급 지 정	▶ 백운1교(춘천)의 안전등급은 양호한 상태인 B등급으로 지정함 상태평가 b, 안전성평가 a → 안전등급 b			

제 7 장 보수·보강 및 유지관리방안

7.1 개 요
7.2 보수·보강 방안
7.3 보수·보강 개략공사비
7.4 유지관리방안

제 7 장 보수·보강 및 유지관리방안

7.1 개 요

모든 구조물은 시간이 경과함에 따라 여러가지 원인에 의해 손상이나 결함이 발생하게 되고, 작은 결함이라도 그대로 방치해 두면 점진적으로 발전하여 대형사고의 원인이 될 수도 있다. 따라서 구조물에 대한 보수·보강은 구조물의 기능성 및 안전성을 유지하고 필요에 따라 그 기능의 강화를 도모하기 위해 실시하여야 한다.

7.1.1 보수·보강 방안 수립에 따른 검토사항

외관조사, 내구성조사, 구조검토, 상태평가 및 안전성평가 결과 등을 종합적으로 검토하고 시공성, 경제성 등을 고려하여 적합한 재료와 보수·보강공법을 선정하였으며, 그에 따라 보수·보강의 우선순위는 결함, 손상, 열화의 상태에 따라서 구조적 안전성, 사용성 및 내구성 등을 종합적으로 고려하여 결정하였다.

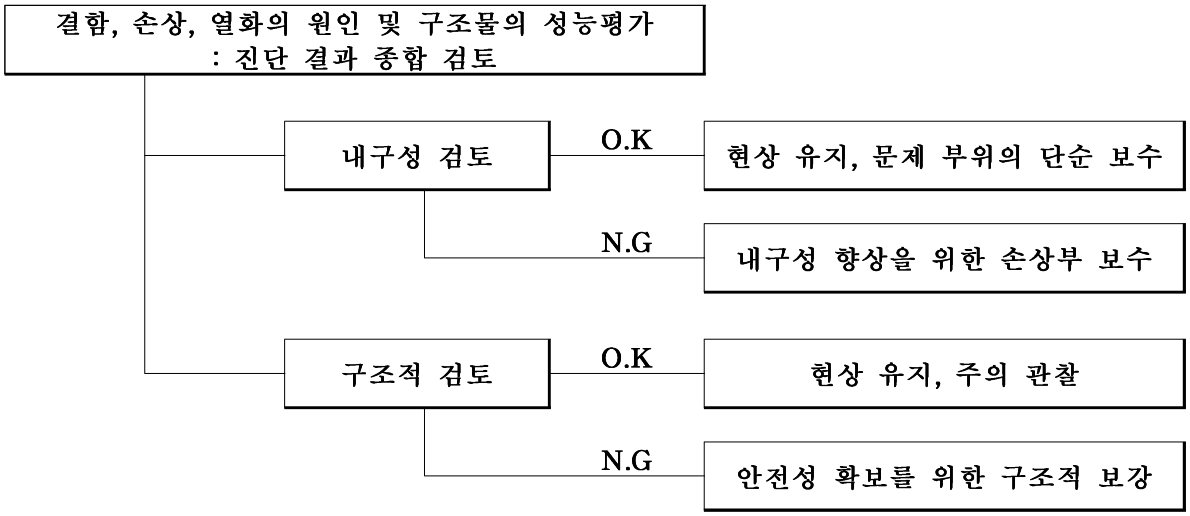
【표 7.1】 보수·보강 방안 수립에 따른 검토사항

검 토 항 목	검 토 내 용
보수·보강 필요성 판단	• 외관조사, 내구성조사, 구조검토, 상태 및 안전성평가 ⇒ 진단 결과 종합 분석 후 보수·보강 여부 판단
보수·보강 공법의 선정	• 구조물의 기능 및 중요도 • 구조물의 형식과 환경조건 • 보수 후의 요구 내용년수 • 공법의 시공성과 경제성
보수·보강 수준 결정	• 국부적인 보수 또는 전반적 보수여부 결정 • 구조물 수명과 장·단기 대책을 고려한 보수·보강 범위 산정
보수·보강 재료의 선정	• 용도 및 목적에 적합한 품질을 가진 재료 선정 • 품질과 성능이 확인된 것을 사용 ⇒ 적절한 시험방법, 사용 실적 또는 신뢰할 만한 자료 근거
보수·보강 우선순위 결정	• 결함, 손상, 열화의 중요도 • 구조적 안전성, 사용성, 내구성

7.1.2 보수·보강 필요성 판단

보수의 필요성은 발생된 손상(균열 등)이 어느 정도까지 허용되는가의 판단에 의하여야 하며, 이를 위해 정밀안전진단 세부지침 및 각종 기준(표준시방서 등)을 참조한다.

보강의 경우는 부재안전율을 각종 기준에서 정하는 수치이상으로 하기 위하여 어느 정도까지 부재단면 등을 증가하여야 하는지를 판단하여야 한다.



【그림 7.1】 보수·보강 범위의 결정

7.1.3 보수·보강 공법 선정 및 수준 결정

가. 보수·보강 공법의 선정

우수한 성능의 보수·보강 공법도 적용구조물의 형식과 환경조건에 따라서 그 성능이 충분히 발휘되지 않는 경우가 있다. 따라서 보수·보강 공법 선정시에는 구조물의 중요도, 형식, 기능, 환경조건 혹은 보수 후의 내용년수 등을 고려하고 공법이 그 성능을 충분하게 발휘할 수 있는지 확인하여야 한다.

나. 보수·보강의 수준 결정

조사 및 시험을 통하여 얻은 결과를 기초자료로 종합적인 평가를 실시한 후 보수·보강의 수준을 결정하게 된다. 손상 및 열화에 대하여 분포면적, 분포유형, 시설물의 안전성, 현 상태의 내구성능, 보수 후의 회복목표수준 등을 고려하여 보수·보강 여부 및 수준을 아래의 경우 중에서 결정하였다.

- 현상유지(진행억제)
- 실용상 지장이 없는 성능까지 회복
- 초기 수준이상으로 개선
- 개축

본 구조물은 내구성 확보를 위한 일부 보수가 필요한 상태로 실용상 지장이 없는 성능까지 회복 수준으로 결정하였다.

7.1.4 보수·보강 재료의 선정

보수재료는 보수공법의 사용목적에 부합하고 시공하기에 적절한 기본적인 성능을 만족하여야 한다.

가. 보수재료의 기본 특성 설정

보수재료의 선정을 위한 기본은 구조물의 종류 및 기능, 보수재료의 종류 및 성능 규격치, 환경조건, 시공조건 및 보수부위의 내용년수 등을 설정한다.

나. 보수재료의 요구 성능 설정

보수재료의 요구 성능은 보호성능, 내구성능, 시공성능 및 기본적인 성능을 고려하여 설정한다. 일반적으로 보수재료에 요구되는 성능으로는 시공성과 내구성능이다. 보수재료는 재료 자체의 특성을 충분하게 발휘할 수 있도록 시공되어야 한다. 즉, 시공환경에서 간단하면서도 균일하게 시공이 되는 것이 중요하다.

내구성능은 보수재료의 원래의 목적이 되는 성능이지만 보수 후의 공용기간 중 소정의 수준을 만족시키는 것을 나타내는 성능으로 재료 자체의 열화에 대한 저항성과 밀접한 관계가 있다. 부착성과 수축성 등은 보수재료가 구조물과 일체화해서 거동하는 것에 기본이 되는 성능이고, 이것이 불충분한 경우에 이들 재료는 그 본래의 목적을 달성할 수 없다.

다. 적용 가능한 보수재료의 선정

구체적인 요구 성능 및 그 요구수준이 결정되면 그것을 만족시키는 재료의 후보를 선정한다. 단, 재료를 새로 설계하는 것이 곤란한 경우에는 시판 재료 중에서 요구 성능을 만족시키는 것으로 생각되는 것을 선택하거나, 혹은 요구 성능을 만족하도록 복수의 시판재료를 조합한 재료시스템을 구축해도 좋다. 재료를 조합해서 사용하는 경우에는 고려방법과 조합의 가능성, 문제점 등에 관해서 명확히 해둘 필요가 있다.

라. 보수재료의 성능조사

보수재료가 요구 성능을 만족하고 있는가를 적당한 방법을 통해서 조사해야 한다. 이 조사는 설계된 재료의 성능 평가값이 요구 성능의 수준 이상인 것을 확인하는 것으로 성능조사의 구체적인 방법은 다음과 같다.

첫 번째 방법으로는 재료의 다양한 특성 값을 사용해서 요구 성능을 직접 평가하고 그 결과를 요구수준과 비교하는 것이다.

또 다른 방법으로는 공공기관이 정한 규격시험을 통해 얻어진 재료시험 결과를 공공기관이 설정한 규격치와 비교하는 것이다.

7.1.5 보수·보강 우선순위 결정

본 구조물에 필요한 보수·보강의 우선순위는 손상 및 결함의 종류, 성상, 원인, 구조적 안전성 등을 고려하여 보수의 완급성을 판단하여 다음과 같이 정하였다.

【표 7.2】 보수·보강 우선순위 선정기준

구 분	순 위	보수·보강 우선순위	비 고
단 기	1순위	• 『시설물의 안전관리에 관한 특별법』 제12조(중대한 결함)의 **"대통령이 정하는 중대한 결함"**에 포함되는 손상 - 철근콘크리트 시설물의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실 등 • 주요부재에 발생된 결함 및 손상이 **상태평가 기준 "d"이하인 경우** • 철근부식에 의한 **내하력 저하가 우려되거나, 부식가능성이 큰 경우**	
중장기	2순위	• **보조부재**에 발생된 결함 및 손상이 커 **내구성에 영향을 미치는 경우** • 상부 차량 통행에 지장을 줄 수 있는 손상 • 즉각적인 보수는 요구되지 않지만 내구성, 기능성, 사용성 저하방지를 위한 보수가 필요한 경우	
	3순위	• 기능발휘에 지장이 없거나, 방치시 규모가 증대될 수 있는 손상 및 사용성 증진을 위해 보수가 필요한 손상	
지속관찰		• 1~3순위를 제외한 손상으로서 지속적인 관찰을 통해 향후 발전상태에 따라 보수·보강 여부를 판단할 수 있는 정도의 손상 - 콘크리트의 0.2mm이하 비구조적 미세균열(단, 균열집중구간은 제외) - 경미한 강재의 용접결함 - 후타재 등의 보조부재에서의 주행에 지장을 주지 않는 균열 등의 손상(빈번한 차량통행으로 인한 보수효과가 없는 경우, 향후 교체가 시행될 부재 등) - 기타 경미한 손상으로 내구성, 사용성에 지장이 없는 경우	

가. 균 열

【표 7.3】 균열 보수·보강 우선순위 선정기준

구분	순위	균열폭(C, mm)				
		0.1 미만	0.1≤C<0.2	0.2≤C<0.3	0.3≤C<0.5	0.5≤C
주부재	콘크리트 바닥판	지속관찰			2순위	1순위 (2순위)
	프리스트레스트 콘크리트 거더	지속관찰		2순위	1순위 (2순위)	1순위
	교대, 교각	지속관찰	지속관찰 (선택적 보수)		2순위 (1순위)	1순위
	교량 기초	지속관찰			2순위 (1순위)	1순위
보조 (기타) 부재	콘크리트 가로보	지속관찰			2순위	2순위 (1순위)
	받침콘크리트	지속관찰			2순위	2순위 (1순위)
	방호벽	지속관찰			3순위	2순위
구 분		건조 환경	습윤 환경	부식성 환경	고부식성 환경	수밀성 구조
허용균열폭 wa(mm)		0.40	0.30	0.20	0.15	0.10

주) 1. ( ) 안은 손상의 규모, 발생형태, 연속성 등을 감안하여 책임기술자의 판단하에 ( )안에 순위로 조정할 수 있음.
2. 콘크리트 균열의 경우 책임기술자의 구조적원인에 의한 명백한 보수 사유가 있을 경우 균열이 적더라도 이에 대한 사유를 언급하고 보수토록 함.
3. 방수를 필요로 하는 중요부위에 대해서는 c/w=0.2mm이상의 균열에 대해서 보수토록 함.

나. 박리 및 박락

【표 7.4】 박리 및 박락 보수·보강 우선순위 선정기준

구 분	손 상 깊 이 (mm)			
박리	0.5mm미만, 박리면적율 10%미만	0.5mm~1.0mm, 박리면적율 10%미만	1.0mm~25mm	25mm이상
	지속관찰	지속관찰(2~3순위)	2순위	1순위
박락	15mm미만, 박락면적율 10%미만	15mm~20mm, 박락면적율 10%미만	15mm미만, 박락면적율 10%이상 20mm이상, 박락면적율 10%미만	20mm이상, 박락면적율 10%이상
	지속관찰	지속관찰	2순위	1순위(2순위)

주) 1. ( ) 안은 손상의 규모, 발생형태, 연속성 등을 감안하여 책임기술자의 판단하에 ( )안의 순위로 조정할 수 있음.
2. 박락에 의한 철근노출이 발생하였을 경우 손상면적에 준하지 않고 철근부식이 가속화 되므로 즉각적인 보수 필요(1순위). 특히, 교량 하부에 통과도로가 있을 경우 박락은 손상의 규모와 상관없이 우선적인 보수가 필요

다. 누수 및 백태

【표 7.5】 누수 및 백태 보수·보강 우선순위 선정기준

구 분	손 상 정 도		
누 수	경미한 누수흔적(건조한 상태)	현저한 누수(습윤상태)	누수 관찰 가능(방울떨어짐)
백 태	면적율 5%미만	5~10%	10% 이상
판 단	경우에 따라 보수	2순위 (1순위)	1순위

주) 1. 누수/백태는 모든 콘크리트 부재에 적용하며, 신축이음 등의 부속부재는 해당하지 않음.
2. 신축이음의 누수는 우선적으로 신축이음의 누수를 차단하는 방안을 수립하여야 하며, 교채 등의 표면열화에 대한 보수는 책임기술자의 판단하에 보수 필요.
3. 백태는 화학적인 작용에 의한 것으로서 미관의 이유뿐 아니라 표면의 내구성을 고려하여 보수계획수립 필요
4. 누수/백태의 기준을 각각 평가하고 두 개의 평가 결과 중 낮은 손상을 평가하여 보수계획 수립.
5. ( ) 안은 손상의 규모, 발생형태, 연속성 등을 감안하여 책임기술자의 판단하에 ( ) 안의 순위로 조정할 수 있음.

7.2 보수·보강 방안

7.2.1 부재별 보수·보강방안

정밀안전진단 결과 부재별 결함내용 및 보수·보강 방안은 다음 【표 7.6】 ~ 【표 7.7】 와 같다.

가. 백운1교(부산)

【표 7.6】 백운1교(부산) 부재별 보수·보강 방안

구분	손상내용	손상깊이·폭 (mm)	개소	손상		보수		보수 수준	보수 방안	우선 순위
				물량	단위	물량	단위			
바닥판	박리	t=10미만	1	0.20	㎡	0.30	㎡	성능회복	단면보수	3순위
	백태		25	19.64	㎡	29.46	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	부식		126	69.52	㎡	104.28	㎡	성능회복	강재 재도장	3순위
	철근노출		4	0.08	㎡	0.12	㎡	성능회복	단면보수(방청)	2순위
	파손	t=10미만	1	0.16	㎡	0.24	㎡	성능회복	단면보수	3순위
보강거더 및 아치리브	PIT		15	15	ea	-	ea	현상유지	유지관리	4순위
	부식		150	33.55	㎡	50.33	㎡	성능회복	강재 재도장	3순위
	SP볼트 부식		2,037	20.37	㎡	30.56	㎡	성능회복	강재 재도장	3순위
	도장박리		13	20.13	㎡	30.20	㎡	성능회복	강재 재도장	3순위
	실리콘 마감 불량		152	152	ea	228.00	ea	성능회복	실링 보수	3순위
	이물질 퇴적		10	6.05	㎡	9.08	㎡	성능회복	청소	3순위
	점검구 볼트 부식		5	0.05	㎡	0.08	㎡	성능회복	강재 재도장	3순위
	언더컷		1	0.10	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
2차부재 (가로보, 세로보, 행거, 브레이싱)	볼트 부식		1,236	13.01	㎡	19.52	㎡	성능회복	강재 재도장	3순위
	도장박리		31	7.51	㎡	11.27	㎡	성능회복	강재 재도장	3순위
	변형		9	1.50	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	부식		691	49.59	㎡	74.39	㎡	성능회복	강재 재도장	3순위
교대	계단침하		1	1.00	m	-	m	현상유지	유지관리	4순위
	마감 불량		1	0.30	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	망상균열	cw=0.2이하	6	6.56	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	박리	t=10미만	2	0.61	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	백태		6	22.29	㎡	33.44	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	파손	t=10미만	5	1.39	㎡	2.09	㎡	성능회복	단면보수	4순위
	균열	cw=0.2이하	26	20.50	m	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	균열	cw=0.3이상	4	4.10	m	6.15	m	성능회복	주입공법	2순위
	체수		1	3.75	㎡	5.63	m	성능회복	유도배수로 설치	3순위

주) 1. 보수시 시공성 및 효율성을 고려하여 보수·보강 물량은 손상물량에 50%를 할증 후 소수점 2자리에서 절사하였으며, 명확하게 수량산출이 가능한 손상은 할증적용을 제외하였음.
2. 균열 폭 0.2mm이하는 길이에 0.25m를 곱하여 보수·보강 물량을 ㎡으로 산정함.
3. 체수는 유도배수로 설치를 위한 신축이음하부 연장을 보수 물량으로 산정함.

【표 7.6】 백운1교(부산) 부재별 보수·보강 방안(계속)

구분	손상내용	손상깊이·폭 (mm)	개소	손상		보수		보수 수준	보수 방안	우선 순위
				물량	단위	물량	단위			
교각	망상균열	cw=0.2이하	5	0.85	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	박리	t=10미만	9	50.16	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	재료분리	t=10미만	6	0.21	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	파손	t=10미만	7	0.20	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	균열	cw=0.2이하	24	17.30	m	-	m	현상유지	유지관리	4순위
받침장치	거푸집 미제거		1	0.60	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	받침부식		3	3.00	㎡	4.50	㎡	성능회복	강재 재도장	3순위
	받침콘크리트 균열		21	8.20	m	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	받침콘크리트 백태		1	0.20	㎡	0.30	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	받침콘크리트 망상균열		6	9.43	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	솔플레이트 부식		4	1.96	㎡	2.94	㎡	성능회복	강재 재도장	3순위
신축이음	강재부식		5	0.98	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	백태		1	1.50	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	토사퇴적		4	0.96	㎡	1.44	㎡	성능회복	청소	3순위
	후타재 균열		38	15.60	m	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	후타재 파손		1	0.05	㎡	0.08	㎡	성능회복	단면보수	3순위
배수시설	배수관 부식		7	0.30	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	배수구 막힘		9	9	ea	13.50	ea	성능회복	청소	3순위
방호벽	강판부식		4	4	ea	0.16	㎡	성능회복	강재 재도장	3순위
	균열	cw=0.2이하	18	17.50	m	6.56	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	균열	cw=0.3이상	3	1.60	m	2.40	m	성능회복	주입보수	2순위
	균열백태	cw=0.2이하	32	19.75	m	29.63	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	덮개판 변형		2	0.05	㎡	2	ea	성능회복	표면처리	3순위
	망상균열	cw=0.2이하	1	0.49	㎡	0.74	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	박리	t=10미만	1	1.50	㎡	2.25	㎡	성능회복	단면보수	3순위
	백태		11	0.94	㎡	1.41	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	보호덮개 탈락		3	3	ea	4.50	ea	성능회복	재설치	3순위
	철근노출		5	0.05	㎡	0.08	㎡	성능회복	단면보수(방청)	2순위
	파손	t=10미만	1	0.10	㎡	0.15	㎡	성능회복	단면보수	3순위

주) 1. 보수시 시공성 및 효율성을 고려하여 보수·보강 물량은 손상물량에 50%를 할증 후 소수점 2자리에서 절사하였으며, 명확하게 수량산출이 가능한 손상은 할증적용을 제외하였음.
2. 균열 폭 0.2mm이하는 길이에 0.25m를 곱하여 보수·보강 물량을 ㎡으로 산정함.
3. 방호벽의 강판부식 1ea = 0.2m×0.2m = 0.04㎡×4ea = 0.16㎡

나. 백운1교(춘천)

【표 7.7】 백운1교(춘천) 부재별 보수·보강 방안

구분	손상내용	손상깊이·폭 (mm)	개소	손상		보수		보수 수준	보수 방안	우선 순위
				물량	단위	물량	단위			
바닥판	거푸집 미제거		1	2.00	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	균열	cw=0.2이하	46	62.80	m	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	균열백태	cw=0.2이하	7	6.10	m	9.15	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	누수흔적		13	396.00	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	망상균열	cw=0.2이하	2	3.10	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	물끊기홈 미설치		1	1.50	m	2.25	m	성능회복	설치	3순위
	박리	t=10미만	3	0.51	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	백태		5	0.83	㎡	1.25	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	재료분리	t=10미만	6	6.76	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	철근노출 및 녹물흔적		6	2.87	㎡	4.31	㎡	성능회복	단면보수(방청)	2순위
	파손	t=10미만	1	1.50	㎡	2.25	㎡	성능회복	단면보수	3순위
거더	거푸집 미제거		10	3.60	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	균열	cw=0.2이하	167	310.80	m	-	m	현상유지	유지관리	4순위
	균열	cw=0.3이상	89	248.10	m	372.15	m	성능회복	주입보수	1순위
	균열백태	cw=0.2이하	1	0.30	m	0.45	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	누수흔적		1	4.00	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	망상균열		4	61.50	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	박리		1	2.45	㎡	3.68	㎡	성능회복	단면보수	3순위
	볼트미제거		5	5	ea	-	ea	현상유지	유지관리	4순위
	파손		11	0.40	㎡	0.60	㎡	성능회복	단면보수	3순위
	재료분리		35	96.15	㎡	144.23	㎡	성능회복	단면보수	3순위
	철근노출		67	23.99	㎡	35.99	㎡	성능회복	단면보수(방청)	2순위
	이물질 삽입(잡철물)		175	1.80	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	철근 미제거		12	12	ea	-	ea	현상유지	유지관리	4순위
가로보	재료분리		2	0.08	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
교대	균열	cw=0.2이하	29	26.50	m	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	균열	cw=0.3이상	2	0.80	m	1.2	m	성능회복	주입보수	2순위
	녹물흔적(잡철물)		253	1.19	㎡	1.78	㎡	성능회복	유지관리	4순위
	망상균열	cw=0.2이하	11	43.20	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	박리		3	1.38	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	백태		6	0.20	㎡	0.30	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	재료분리		19	0.92	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	와이어매쉬 노출		2	3.30	㎡	4.95	㎡	성능회복	단면보수	3순위
	이물질삽입(잡철물)		59	0.52	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	접합부 이격		3	21.00	m	31.5	m	성능회복	실링보수	3순위
	체수		5	15.00	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	누수흔적		1	0.48	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	파손	t=10미만	7	2.36	㎡	3.54	㎡	성능회복	단면보수	3순위
	토사퇴적		1	0.28	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위

주) 1. 보수시 시공성 및 효율성을 고려하여 보수·보강 물량은 손상물량에 50%를 할증 후 소수점 2자리에서 절사하였으며, 명확하게 수량산출이 가능한 손상은 할증적용을 제외하였음.
2. 균열 폭 0.2mm이하는 길이에 0.25m를 곱하여 보수·보강 물량을 ㎡으로 산정함.

【표 7.7】 백운1교(춘천) 부재별 보수·보강 방안(계속)

구분	손상내용	손상깊이·폭 (mm)	개소	손상		보수		보수 수준	보수 방안	우선 순위
				물량	단위	물량	단위			
교각	거푸집 미제거		1	0.01	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	균열	cw=0.2이하	76	87.20	m	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	망상균열	cw=0.2이하	8	24.68	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	재료분리	t=10미만	24	48.18	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	철근노출		32	0.38	㎡	0.57	㎡	성능회복	단면보수(방청)	3순위
	파손	t=10미만	48	1.02	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	이물질 삽입(잡철물)		160	1.64	㎡	2.46	㎡	성능회복	유지관리	4순위
받침장치	받침부식		9	8.60	㎡	12.90	㎡	성능회복	강재 재도장	3순위
	받침콘크리트 균열		9	5.30	m	-	m	현상유지	유지관리	4순위
	받침콘크리트 망상균열		1	0.48	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	받침콘크리트 파손		2	0.02	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	볼트부식		27	0.37	㎡	0.56	㎡	성능회복	강재 재도장	3순위
	상부 플레이트 변형		1	1	ea	-	ea	현상유지	유지관리	4순위
	재료분리		4	3.04	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	콘크리트 탈락		1	0.0018	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	이물질 노출		6	0.16	㎡	0.24	㎡	현상유지	유지관리	4순위
신축이음	강재부식		3	5.00	m	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	단차		1	3.00	m	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	본체 부식		3	5.00	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	토사퇴적		5	16.00	㎡	24	㎡	성능회복	청소	3순위
	후타재 마모		4	3.52	㎡	-	㎡	현상유지	유지관리	4순위
	후타재 박리		1	0.02	㎡	0.03	㎡	성능회복	단면보수	3순위
교면포장	아스콘 균열		15	23.50	m	35.25	m	성능회복	실링보수	3순위
	망상균열		3	15.40	㎡	23.10	㎡	성능회복	소파보수	3순위
	포장마모		2	9.25	㎡	13.88	㎡	성능회복	소파보수	3순위
	시공이음부 균열		5	174.60	m	261.90	m	성능회복	실링보수	3순위
	포트홀		2	0.10	㎡	0.15	㎡	성능회복	소파보수	3순위
배수시설	배수관 부식		2	2	ea	-	ea	현상유지	유지관리	4순위
방호벽	균열	cw=0.2이하	117	85.40	m	32.03	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	균열	cw=0.3이상	45	66.50	m	99.75	m	성능회복	주입보수	2순위
	균열백태	cw=0.2이하	9	9.40	m	14.10	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	망상균열	cw=0.2이하	2	1.25	㎡	1.88	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	긁힘		1	0.10	㎡	0.15	㎡	성능회복	단면보수	3순위
	철근노출		7	0.07	㎡	0.11	㎡	성능회복	단면보수(방청)	2순위
	파손	t=10미만	4	0.12	㎡	0.18	㎡	성능회복	단면보수	3순위
기타부재	전선관 보호덮개 부식		5	7.70	m	11.55	m	성능회복	교체	3순위
	전선관 보호덮개 파손		2	10.30	m	15.45	m	성능회복	교체	3순위

주) 1. 보수시 시공성 및 효율성을 고려하여 보수·보강 물량은 손상물량에 50%를 할증 후 소수점 2자리에서 절사하였으며, 명확하게 수량산출이 가능한 손상은 할증적용을 제외하였음.
2. 균열 폭 0.2mm이하는 길이에 0.25m를 곱하여 보수·보강 물량을 ㎡으로 산정함.

7.2.2 주요결함 및 손상에 대한 보수·보강 방법

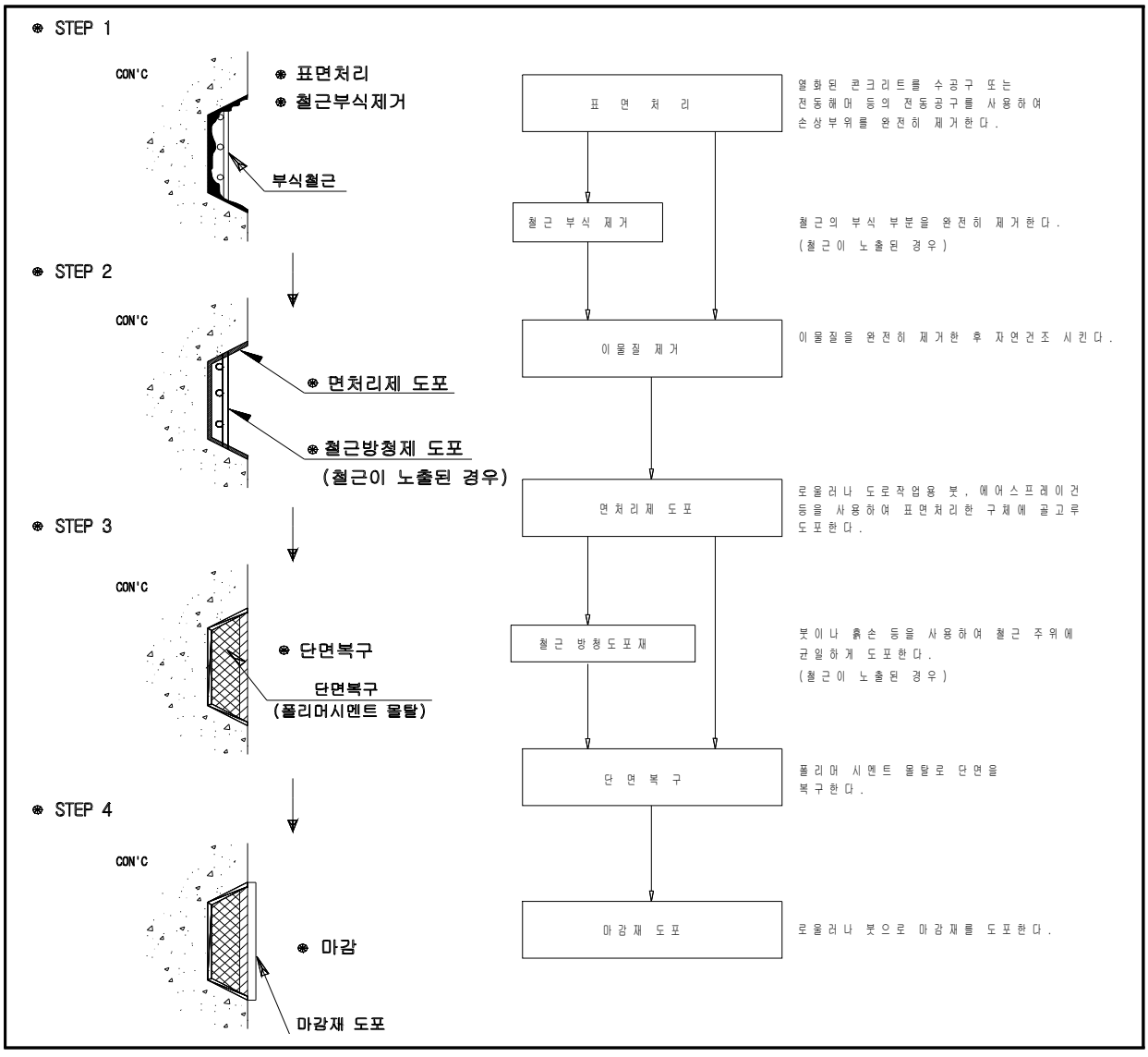
가. 단면보수

1) 개 요

단면보수는 철근부식으로 인한 철근노출, 공동, 박리, 박락 및 균열 등의 손상된 부위를 치핑 한 후 철근노출 부위는 방청처리와 구체강화를 시킨 후 단면을 보수 모르타르로 충진해서, 손상된 콘크리트를 신규 상태로 회복시키는 공법이다.

외관조사 결과 부분적인 피복두께 부족으로 인한 철근노출, 박리, 박락 등이 발생된 상태로 향후 철근 부식에 따른 콘크리트 및 철근단면손실 가능성이 있으므로, 내구성 및 사용성 확보를 위해 단면보수를 실시하여야 한다.

2) 시공순서 및 개요도



【그림 7.2】 단면보수 시공순서 및 개요도

① 표면처리

- 콘크리트 표면에 탈락되려고 하거나 심한 균열로 약간의 물리적 충격으로도 탈락이 예상되는 부분은 모두 철거해야 한다.
- 철근이 노출되어 있는 경우에는 철근 후면 약 2~3㎝까지 콘크리트를 제거하여 완전 노출시키며 와이어 브러쉬(Wire Brush) 또는 전기 브러쉬 등으로 녹을 완전히 제거한다.

② 표면청소

- 콘크리트 표면처리 후 고압 살수기를 이용하여 표면을 고압 세척한다.

(고압세척의 압력은 노즐 TIP에서 5,000 psi(350kgf/㎠)의 압력으로 한다.)

③ 철근부식방지

- 철근부식 방지를 위해 방청제를 도포하며 철근의 방식성, 단면보수재 및 철근과의 부착성이 좋은 재료를 사용하여야 한다.
- 노출된 철근은 가능한 건조상태에 붓을 사용하여 도포한다.
- 도포 시 철근 표면에 과다하게 칠하지 말아야한다.
- 철근방청제 도포는 2~3회 시공한다.

④ 접착력 강화

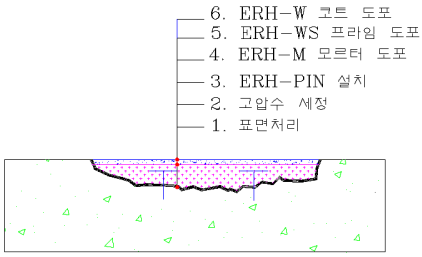
- 신·구 재료의 접착력 강화를 위하여 붓이나 에어 스프레이 건을 사용하여 접착제를 균일하게 도포한다. 콘크리트면과 밀착성이 뛰어나고 탄성계수, 열팽창계수, PH 등이 비슷한 규산염계, 폴리머 계통 접착제 등 사용한다.

⑤ 단면 보수재

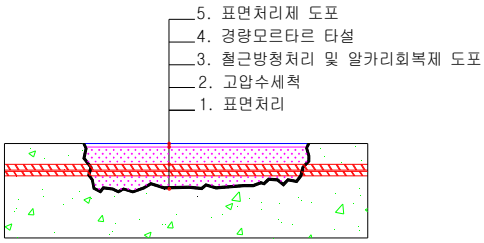
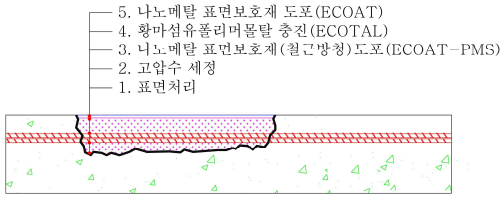
- 깨끗한 담수를 사용해서 폴리머 시멘트 모르타르를 혼합한다.
- 시공 전에 콘크리트 표면을 물로 약간 적신 후 폴리머 시멘트 모르타르를 타설한다.
- 타설은 흙손이나 스프레이로 가능하다.

3) 단면보수 비교안

【표 7.8】 콘크리트 단면보수 비교표

구 분	프리웨팅 공법 (신기술 제507호)	에코플래시 공법 (신기술 제577호)
개요도		
공 법 개 요	• 이중오거 믹서 샤프트를 이용한 프리웨팅 스프레이 방식의 철근콘크리트 구조물 보수공법으로 콘크리트의 탄산화 등 각종 열화요소에 의해 손상되고 성능이 저하된 콘크리트를 제거하고 추가적인 이중보호방식을 실시 시공성 및 장기적인 내구성을 증진시킨 보수공법	• 탄산화, 염해, 동해 및 화학적 부식 등의 열화원인에 대응하여 천연광물을 함유한 모르타르와 특수건식스프레이를 이용하여 화학적 물리적으로 개보수 하고 접착보강핀을 추가하여 장기부착강도를 증진시킨 보수공법
공 법 특 징	• 개선된 스프레이 방식과 우수한 단면복구재 사용으로 시공두께가 우수(10~20㎜/회)함. • 원형 등 구조물 형상에 따른 제약 없음. • 자동화 기계화시스템에 의한 인력절감 및 공사비가 절감됨. • 열화요인 및 구조물의 특성에 따른 특화된 재료를 적용함. • 우수한 부착 성능에 의해 접착강화 공정이 불필요함. • 스프레이시 리바운드가 적음. • 수복면의 밀도 향상으로 품질이 우수함. • 공정이 단순해서 작업시간이 단축됨. • 기계작업으로 품질유지가 확보됨. • 다짐효과가 극대화됨. • 스프레이 시공시 전문가 필요함.	• 무기섬유 혼입에 의한 물리적 특성이 우수함. • 화학적 부식에 저항성 및 탄산화 저항성이 우수함. • 천연재료의 사용으로 기존 콘크리트와 물리적 성질이 유사하여 시공 후 재 손상 발생 가능 적음. • 물리적 접착 보강핀을 통한 장기부착강도를 확보함. • 무기코트재료에 의한 표면을 피복함. (음용수 부위적합) • 리튬실리케이트를 이용한 내구성 및 알카리 회복 효과가 있음. • 습윤한 상태에서 부착강도가 우수함. (해안·수리구조물 등) • 공정이 다소 복잡하여 시공전문가가 필요함.
공사비	74,062원/㎡(표면처리보수) 104,629원/㎡(T=10㎜) 216,305원/㎡(T=30㎜) 323,424원/㎡(T=50㎜) 229,427원/㎡(T=30㎜, 철근노출) 341,125원/㎡(T=50㎜, 철근노출)	53,596원/㎡(표면처리보수) 128,947원/㎡(T=10㎜) 225,281원/㎡(T=30㎜) 321,614원/㎡(T=50㎜) 244,723원/㎡(T=30㎜, 철근노출) 341,056원/㎡(T=50㎜, 철근노출)

【표 7.8】 콘크리트 단면보수 비교표(계속)

구 분	코스렘 공법 (신기술 제596호)	에코텍트 공법 (신기술 제642호)
개요도		
공 법 개 요	• 염해, 탄산화, 열화 등으로 인하여 손상된 단면에 침투성 알칼리 회복WP, 신구접착제, 경량모르타르, 염해, 탄산화 방지표면처리제를 적용하여 구조물을 원상회복 및 유해환경으로부터 보호하는 보수공법	• 천연재료인 황마섬유가 혼입된 폴리모 모르타르를 이용하여 단면을 보수하고, 콘크리트 구조물의 내구성 증진 및 유해물질 침투를 방지하기 위해 나노메탈 미분이 함유된 표면보호제를 분사하여 내구성을 확보하는 보수공법
공 법 특 징	• 철근노출시 방청과 단면복구를 동시수행(공기단축) • 침투성방청제는 철근을 노출시키지 않아도 부식방지 효과가 탁월함. • 부착력 및 내구성, 내약품성이 우수함. • 공사비가 저렴함. • 무기계재료로서 모체와 일체거동함. • 무기계공법으로 경화시간이 유기계보다 느리므로 초기양생이 중요함. • 시공전문가가 필요함. • 장거리 압송이 가능하며, 대단면에 시공이 유리함.	• 친환경적인 무용제형 금속혼합물을 사용함. • 균열 저항성이 우수함. • 점착력, 부착력, 내화확성이 우수함. • 압축강도가 우수함. • 시공전문가가 필요함. • 섬유가 뭉치므로 고른 압축강도 확보가 미흡함. • 균일한 배합비유지 믹싱시간이 간소화됨. • 별도의 보조재료가 불필요하며 인력/일반기계장비 시공이 모두 가능함. • 작업중 적정점도 유지와 정확한 정량 배합으로 고품질 확보가 가능함.
공사비	62,058원/㎡(표면처리보수) 109,958원/㎡(T=10㎜) 211,289원/㎡(T=30㎜) 325,205원/㎡(T=50㎜) 218,546원/㎡(T=30㎜, 철근노출) 332,461원/㎡(T=50㎜, 철근노출)	74,737원/㎡(표면처리보수) 119,167원/㎡(T=10㎜) 214,504원/㎡(T=30㎜) 309,842원/㎡(T=50㎜) 225,105원/㎡(T=30㎜, 철근노출) 320,442원/㎡(T=50㎜, 철근노출)

나. 균열보수

1) 개 요

구조물에 발생된 폭 0.3㎜이상의 균열은 콘크리트 재료적 특징인 건조수축 및 외적(환경)인 요인 등에 의해 발생한 것으로, 이를 그대로 방치할 경우 철근부식 등 내구성 저하가 우려되므로 다음과 같은 보수가 필요하다.

균열보수는 내구성 측면에서 폭 0.3㎜이상 균열에 대해 주입보수, 폭 0.3㎜미만의 균열은 보수가 필요치 않는 균열로 주기적인 관찰 후 균열의 폭 및 길이의 진행성이 있을시 보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

① 균열폭(Cw) 0.3㎜ 이상의 경우

【표 7.9】 보수공법 재료 선정시 유의사항(균열폭 0.3㎜ 이상의 경우)

균열 유형			적용공법	보수공법(재료)선정시 유의사항	비 고
비구조적 균열	진행성 (변화)	건식	탄성씰링 주입보수	신축성을 고려하여 균열 재발 방지	
		습식	탄성씰링 그라우팅	신축성, 차수성 고려하여 균열, 누수 차단	
	고정	건식	주입보수	-	
		습식	탄성씰링 그라우팅	차수성을 고려한 보수재료 선택	
구조적 균열			탄성씰링 그라우팅	해당사항 없음	

주) 누수를 동반한 습식 균열의 경우, 수밀성을 확보할 수 있는 주입보수(습식)을 적용함.

② 균열폭(Cw) 0.3㎜ 미만인 경우

【표 7.10】 보수공법 재료 선정시 유의사항(균열폭 0.3㎜ 미만의 경우)

균열 유형		적용공법	보수공법(재료)선정시 유의사항	비 고
균열 폭 0.1㎜	건식 습식	주의관찰	-	
균열 폭 0.2㎜	건식		-	
균열부 백태	습식	표면처리 (면처리)	차수성을 고려한 보수재료 선택	

2) 균열 보수재료의 선정기준

균열 보수재료의 선정기준은 현재 각 기관에서 적용되고 있는 기준과 “콘크리트 구조물의 균열, 누수 보수·보강 전문시방서” (한국시설안전공단, 1999.12)를 적용하였다.

일반적으로 균열 보수재료는 수지계 재료(폴리머 모르터, 에폭시수지, 가요성 에폭시수지, 탄성씰링제, 도막탄성방수재 등), 시멘트계 재료(폴리머시멘트슬러리, 폴리머시멘트페이스트, 폴리머시멘트모르터, 시멘트충전재, 팽창시멘트주입재 등)가 있다.

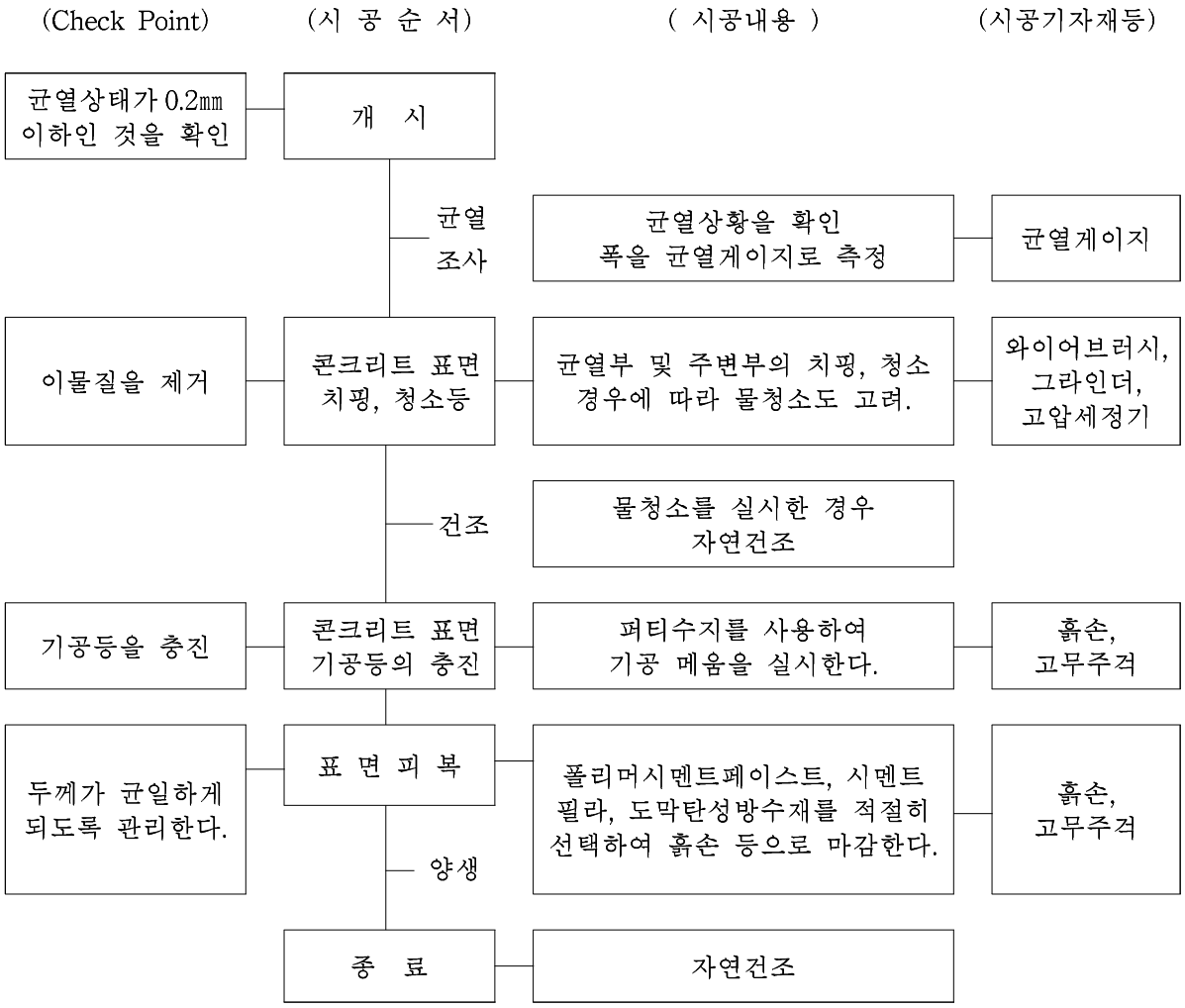
균열 보수공법에는 일반적으로 표면처리보수, 주입보수, 충전보수, 기타의 공법이 있고 공법에 따라 사용재료가 상이하게 된다. 균열보수에 사용되는 재료의 종류와 보수 공법 사이의 관계는【표 7.11】과 같다.

【표 7.11】균열보수 재료의 종류와 보수공법

구 분	보수재료의 종류	표면처리보수	주입보수	충전보수
수 지 계 재 료	폴리머 모르터			○
	에폭시 수지		○	○
	가요성에폭시수지		○	○
	탄성씰링재	○		○
	도막탄성방수재	○		
시멘트계 재 료	폴리머시멘트슬러리		○	
	폴리머시멘트페이스트	○		
	폴리머시멘트모르터			○
	시멘트충전재	○		
	팽창시멘트주입재		○	

3) 표면처리보수

표면처리보수의 적용은 선상 및 면상백태가 발생한 경우에 적용하는 것으로 하며 표면을 피복하여 방수성, 내구성을 지니도록 하는 것으로 그 효과는 콘크리트 표면의 보수에 그치므로 본 공법 적용 시 균열 등의 결함발생 여부에 대한 주기적인 관찰이 요구된다. 공법의 흐름도 및 공법 개요도는 【그림 7.3】과 같다.



【그림 7.3】 표면처리보수 시공 흐름도

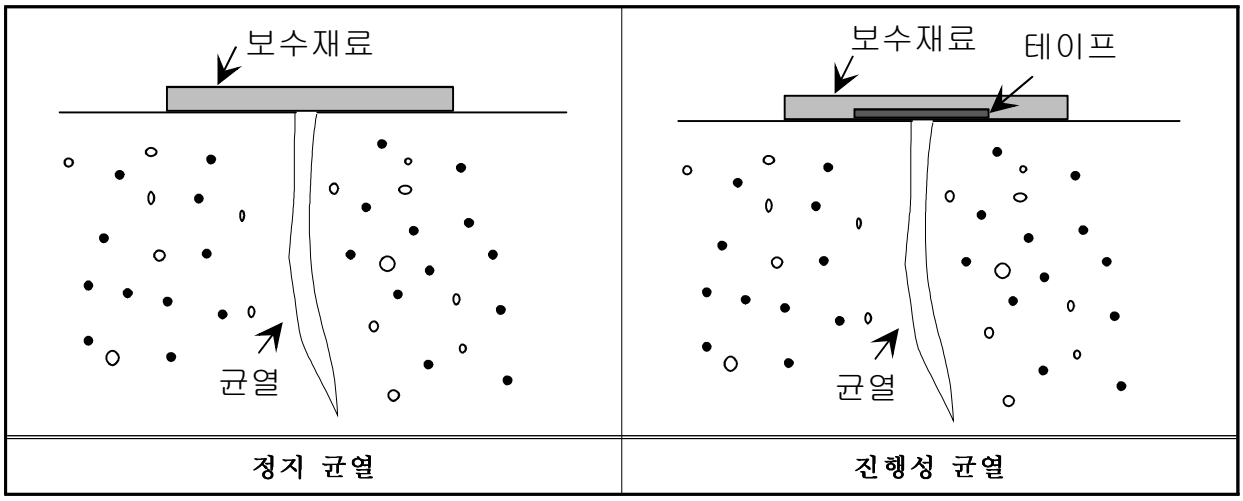
균열의 성장이 정지된 상태에서는【그림 7.4】와 같이 균열선 및 백태를 따라 폭 50~100㎜를 와이어 브러쉬로 닦아내거나 심한 경우 치핑을 실시한 후 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터로 균일하게 도포한다. 콘크리트 표면에 0.3㎜이하의 미세한 균열이 많이 분포해 있는 경우도 같은 방법으로 도포할 수 있으며, 재료를 기계로 분무하여 도포할 수도 있다.

균열폭의 변동이 큰 경우 경화후의 재질이 단단한 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터로 보수할 경우 보수부위에 다시 균열이 발생하므로【그림 7.4】와 같이 균열면을 와이어브러쉬로 완전히 청소한 후 균열선을 중심으로 폭 10~15㎜ 절연재를 부착하고, 절연재를 중심으로 폭 30~50㎜, 두께 2~4㎜의 변형성 및 신장성이 큰 씰링재를 도포하여 바닥의 변형을 이 테이프 사이에서 흡수할 수 있도록 한다.

[사용재료]

① 폴리머시멘트 페이스트 ② 시멘트 필라

③ 도막탄성방수재 (아크릴 수지계) ④ 도막탄성방수재 (우레탄 수지계)



【그림 7.4】 균열부 표면처리보수 개요도

4) 주입보수

균열부에 수지를 주입하면 콘크리트와 일체를 이루어 콘크리트의 방수성을 향상시켜서 내부 철근의 부식방지 및 콘크리트의 열화방지에 효과적이다.

균열보수는 균열 폭 및 균열깊이, 균열의 형태, 구조적 안전성 여부 등을 종합적으로 판단하여 보수 목적에 따라 가장 유리한 보수 대책을 선정하여야 한다. 또한, 균열보수는 균열폭과 균열깊이를 고려하여 이에 적합한 주입속도, 점도 및 양생 속도를 갖는 수지재료를 사용한다.

【표 7.12】 주입보수의 종류

종 류	특 징
압입식	• 수동식 주입 : 인력 • 기계식 주입 : 공기압식, 유압식, 기어식 • 저압·저속식 주입 : 고무, 용수철, 공기 등의 압력
흡입식	• 균열의 양단에 흡기구와 충전재 주입구를 설치하여 흡입펌프로 충전재를 흡입주입

① 주입보수의 선정

균열 주입보수에는 압입식과 흡입식이 있다. 압입식 주입보수에는 수동식, 기계식 및 저압·저속식 주입 방법이 있으며, 【표 7.12】 은 주입보수의 종류별 특징이다.

종래에는 수동식 기계주입 방법이 많이 이용되고 있으나, 이 방법은 주입량을 정확하게 파악할 수 없으며, 관통하지 않은 균열은 구석까지 보수재료를 주입하기가 곤란하다. 또한, 주입압력이 너무 높으면 균열을 넓혀 주는 등의 문제점이 있다. 따라서, 【표 7.13】 의 저압·저속 주입의 압입식 공법이 주요하며, 저압·저속의 주입보수는 주입량 파악이 쉬우며, 균열 구석까지 주입할 수 있는 특징이 있다.

② 압입식 주입보수 선정

이 공법은 균열 위에 주입수지가 들어 있는 용기를 설치하여 고무, 용수철, 공기압 등으로 서서히 수지를 주입하는 방식으로 압입방식은【표 7.13】과 같다.

【표 7.13】 저압·저속식 주입방법

압 입 방 식	용기의 형태
• 압축용기에서의 압축공기로 주입	• 플라스틱제의 실린더
• 압력탱크내의 압축된 압력으로 주입	• 플라스틱제의 압력탱크
• 고무시트의 복원력으로 주입	• 플라스틱제 틀에 고무시트를 고정
• 고무밴드의 복원력으로 주입	• 플라스틱제 실린더와 피스톤
• 캡슐내의 용수철로 주입	• 플라스틱제 캡슐 탱크

이 공법을 적용함에 있어서는 시공위치, 시공시기에 맞는 작업시간 및 균열폭에 대응한 점도의 재료를 선정하는 것이 중요하고, 균열 폭에 알맞은 수지의 점성도는【표 7.14】와 같으며, 일반적인 주입 파이프의 간격과 설치 개요는【표 7.15】,【그림 7.5】와 같다.

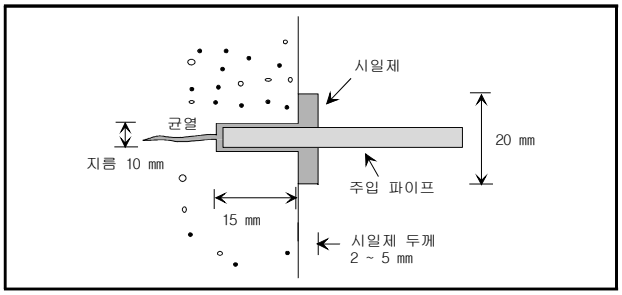
【표 7.14】 균열폭에 알맞은 수지의 점성도

형 상		점성도(20℃, cp)	주입 가능한 균열폭
액 상	저점성도	500±200	0.1㎜ 전후
	고점성도	1,500±500	0.2㎜ 전후
겔 상태		6,000±1,000	0.5~5㎜ 전후

【표 7.15】 균열폭에 따른 주입파이프의 간격

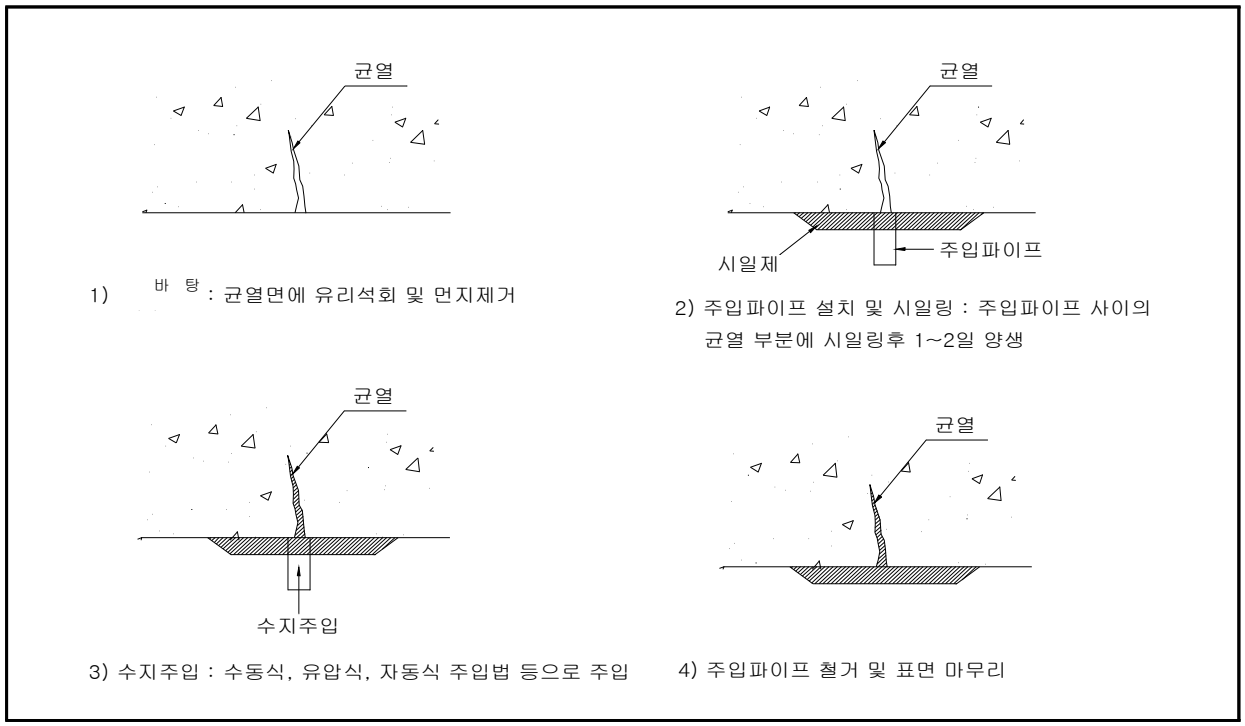
균열폭	주입파이프 간격(㎜)
0.3 이하	50 ~ 100
0.3 ~ 0.5	100 ~ 200
0.5 ~ 1.0	150 ~ 250
1.0 이상	200 ~ 300

【그림 7.5】 주입파이프 설치도



③ 압입식 주입보수 특징

수지가 들어 있는 용기를 균열 위에 설치하므로 사람의 손을 필요로 하지 않고, 용기 높이의 저압력에 의해 자동으로 주입되므로 압력에 의한 씰링부의 파손도 적어 시공관리가 용이하다. 그리고 주입되는 수지의 거동은 동심원상으로 확대되므로 주입압력에 의한 균열이나 들뜸이 발생되지 않는다.



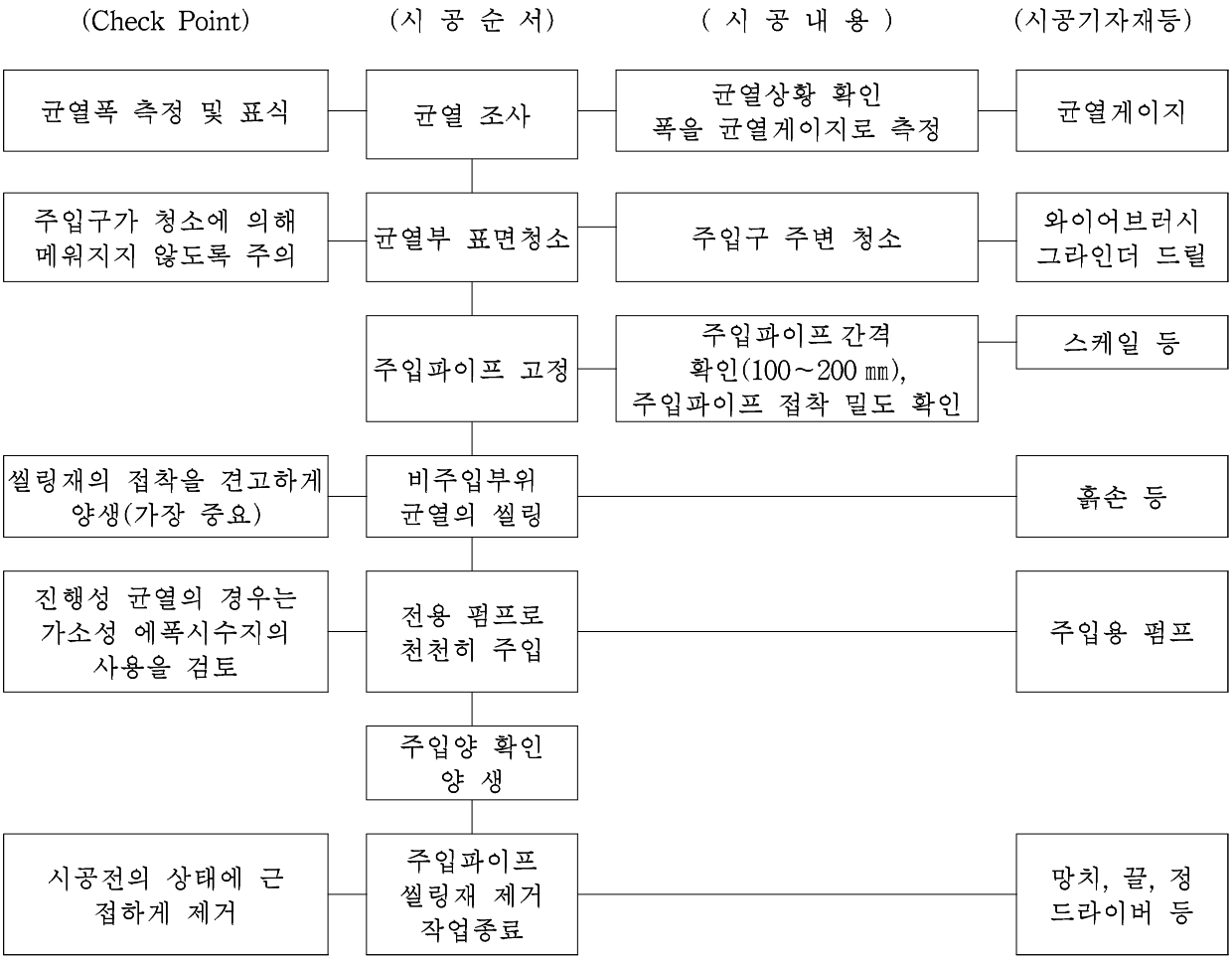
1) 바 탕 : 균열면에 유리석회 및 먼지제거

2) 주입파이프 설치 및 시일링 : 주입파이프 사이의 균열 부분에 시일링후 1~2일 양생

3) 수지주입 : 수동식, 유압식, 자동식 주입법 등으로 주입

4) 주입파이프 철거 및 표면 마무리

【그림 7.6】 주입보수 시공상세도



【그림 7.7】 주입보수 시공 흐름도

주입압력은 4kgf/㎠ 이하로 규정되어 있으나 실제로는 1kgf/㎠ 전후가 사용된다. 주입제는 에폭시수지 이외에도 무기질계의 슬러리도 사용할 수 있으며, 무기질계 슬러리는 습윤환경하에서도 사용이 가능하다. 반면에 주입기에 여분의 주입재료가 남아 재료의 손실이 큰 단점이 있다. 수지주입보수 공법의 시공상세도 및 흐름도는【그림 7.6】,【그림 7.7】과 같고, 수지계 주입재의 특징은【표 7.16】과 같다.

【표 7.16】 주입재의 특징

재료명	주요 성분	특징·용도
에폭시 수지계 균열주입재	에폭시수지	• 균열, 추종성이 양호함. • 적용가능 균열 폭은 0.3~2.0㎜임.
	유연형 에폭시수지	• 경화물의 유연성이 풍부하여 진행성 균열에 적합함. • 균열 및 알칼리골재반응의 성능저하 보수에 적합함.
	자기유화형 에폭시수지	• 수중경화, 콘크리트 중의 수분과 반응함. • 강도특성이 뛰어남. • 균열 폭 0.15㎜ 이상에 적용함.
	에폭시수지, 포틀랜드 시멘트	• 수중경화형 에폭시수지와 시멘트의 반응으로 발포함. • 적용 균열 폭 1㎜~10㎜임.
실런트계 충전재	우레탄수지	• 단일성분으로 작업성이 뛰어남. • 탄성계수가 작아 균열 추종성이 양호함. • 구조물의 신축 줄눈부에 사용함.
폴리머 시멘트계 주입재	에폭시수지계 에밀젼 미분말충전재 조강시멘트	• 균열 폭 5.0㎜ 이상에 적용함. • 습윤면에 대하여 접착성이 우수함. • 알칼리골재반응에 의한 성능저하의 보수에 적합함.

④ 시공시 주의사항

대기온도가 10~30℃일 때 시공 가능하며, 우천시는 중지한다. 보수부 콘크리트의 표면온도는 10℃이상을 표준으로 하고 있으므로 기온차가 심한 경우에는 기온의 변화에 대응하는 에폭시계 수지의 성상을 조사하여 두고 겨울철 부득이 시공하는 경우에는 가열양생 등의 조치를 생각할 필요가 있다.

에폭시계 수지는 사용에 앞서 현장에서 시공시의 기온에 대응하는 경화시간을 설정하여 균열 주입 효과를 높이도록 한다. 일반적으로 에폭시계 수지의 경화시간이란 접착제를 혼합해서 충분한 접착강도가 보증되는 작업 가능시까지의 시간을 말하나 기온, 혼합량의 대소 등에 따라서도 다르므로 주의해야 한다.

사용하는 에폭시계 수지는 적당한 롯트마다 시험을 실시하여 품질의 확인이 필요하다.

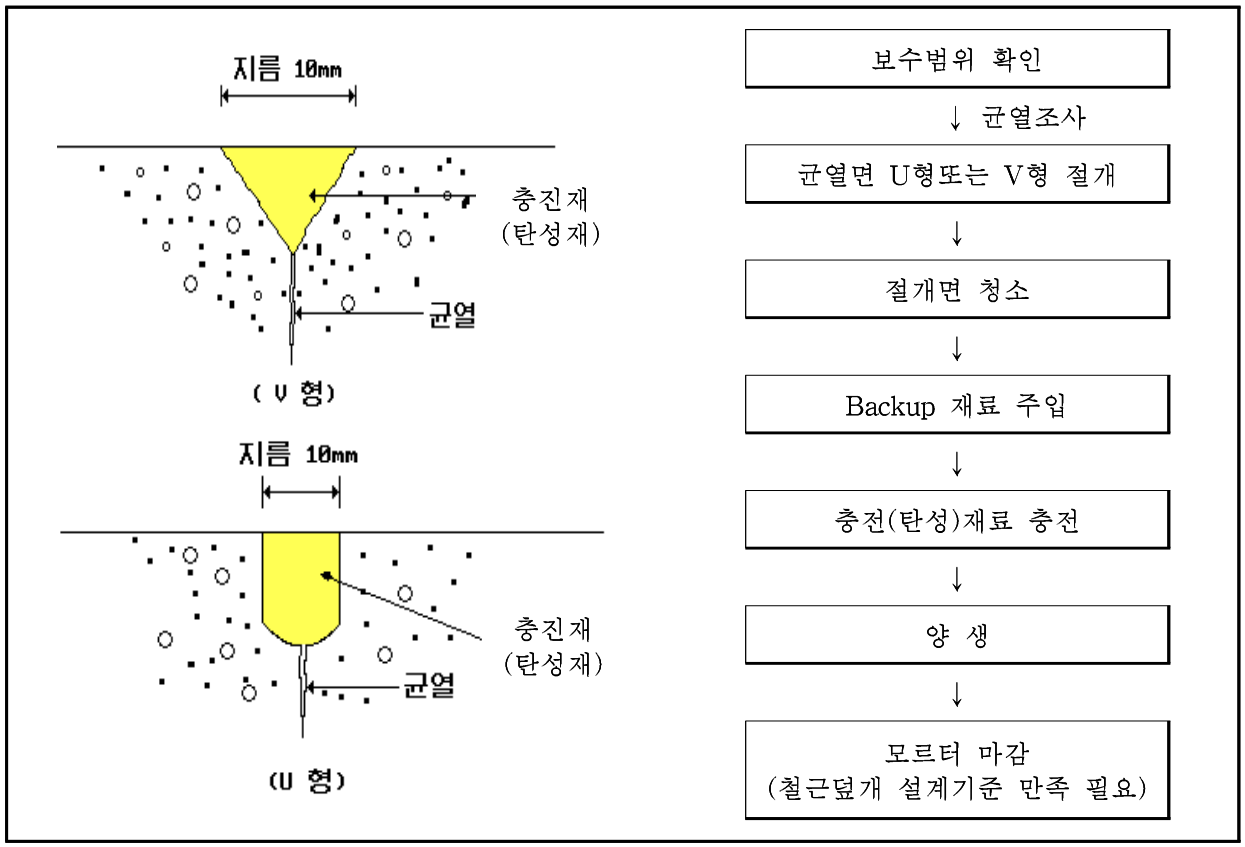
씰링 및 표면 마감면은 주입압에 견디도록 충분히 양생한다.

주입된 에폭시계 수지가 경화한 후에는 주입 파이프를 절단하고 씰링재와 함께 그라인더로 갈아 평탄하게 마무리한다.

5) 충전보수

충전보수는 균열의 폭이 0.5㎜이상으로 비교적 큰 경우의 보수에 적합한 공법으로, 균열을 따라 모르터 마감 또는 콘크리트를 절단하여, 그 부분에 보수재를 충전하는 방법이다. 이 공법은 철근이 부식되어 있는 경우와 부식되지 않은 경우에 따라 보수방법이 다르다. 충전보수에는 철근이 부식되지 않은 경우, 철근이 부식되어 있는 경우, U커트 씰링재 충전보수, 결함부위 에폭시수지 모르터 충전보수 그리고 결함부위 폴리머 시멘트 모르터 충전보수 등이 있다.

① 철근이 부식되지 않은 경우



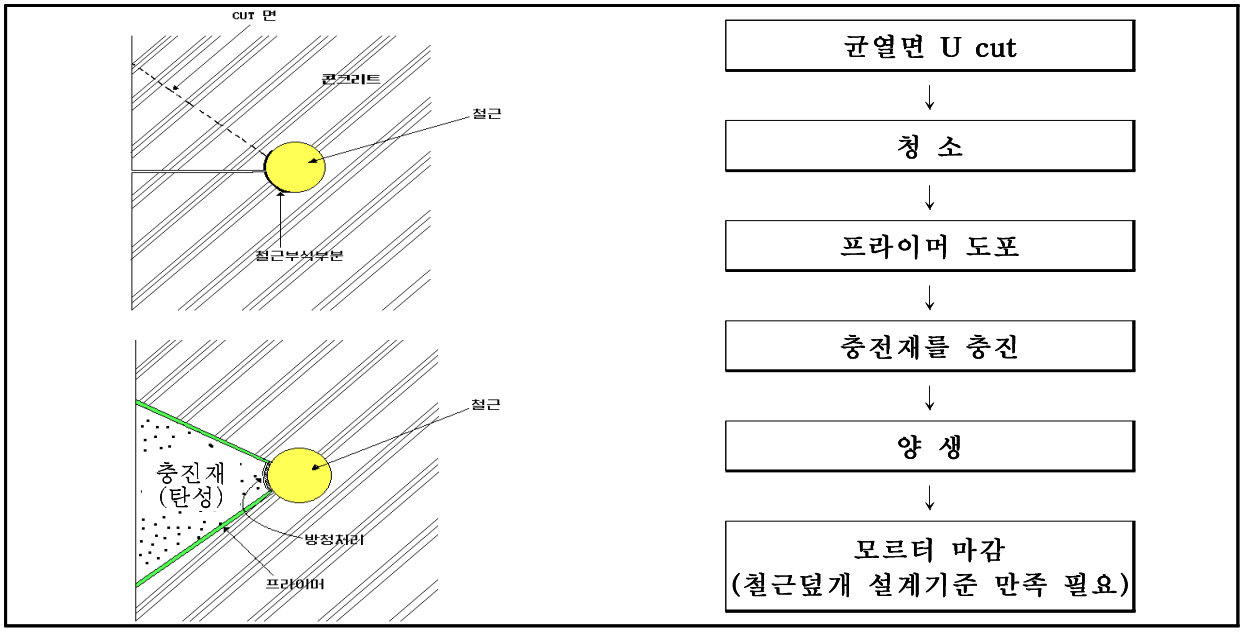
【그림 7.8】 철근이 부식되지 않는 경우의 충전보수 및 시공흐름

철근이 부식되지 않은 경우는【그림 7.8】과 같이 균열을 따라 약 10㎜ 폭으로 콘크리트를 U형 또는 V형으로 절개한 후, 이 부위에 씰링재·유연성 에폭시수지 또는 폴리머 시멘트 모르터 등을 충전하여 보수한다. V형으로 절개하는 방법은 간편하지만 폴리머 시멘트 모르터를 충전하는 경우 충전한 모르터의 박리가 발생하기 쉽기 때문에 U형으로 절개하는 방법이 보다 효과적이다.

② 철근이 부식된 경우

철근이 부식된 경우의 충전보수는【그림 7.9】와 같이 부식된 철근부위까지 콘크리트를 깨내고 철근의 녹을 완전히 제거한다. 철근에 대한 방청처리와 콘크리트면에 대한 프라이머 도포후 폴리머 시멘트 모르터나 에폭시수지 모르터 등의 재료로 충전하는 순서로 시공하며 보수 순서는【그림 7.9】와 같다.

이 방법은 철근이 부식된 경우 철근콘크리트 구조물의 내구성 회복을 목표로 하는 균열 보수의 주된 방법으로 환경조건에 따라 여러 가지의 재료 및 공법이 사용될 수 있다. 철근이 부식된 경우의 충전보수는 크게 보수재료에 의해 물리적으로 부식을 방지하는 방법, 콘크리트에 알카리성을 부가하여 화학적으로 부식을 방지하는 방법 및 이 두 가지의 혼용방법 등 3가지로 분류될 수 있다.



【그림 7.9】철근이 부식된 경우의 충전보수 및 시공흐름

철근이 부식된 경우의 보수에는 다음 사항을 고려해야 한다. 첫째, 부식된 철근의 녹을 완전히 제거하는 것을 원칙으로 한다. 둘째, 균열이 발생되지 않은 부분의 철근도 부식하는 경우가 많기 때문에 그 부분을 포함하여 보수한다. 셋째, 균열이 진행성이면 균열폭이 증가되는 경우가 많이 있기 때문에 변형에 대한 유연성이 큰 보수재료를 사용한다.

이상에서 언급한 공법에 사용하는 재료로서는 일반적으로 콘크리트는 타설 후 수년이 지나도 수분을 함유하는 재료이므로 균열면은 항상 습윤 상태로 있는 것이 많다. 이같은 경우는 습윤 균열 전용으로 개발된 에폭시 수지계 보수재료를 이용하는 것이 바람직하다. 시멘트계 보수재료는 현재 주입성능이 합성수지계에 비해 떨어지나 수경성이므로 습윤면의 시공에 적합하고 내구성, 내화성이 우수하여 화재 발생시 등에 유리하다.

③ 균열보수의 검사

균열보수 검사는 보수 공사 전·중·후로 구분하여 보수 공사가 설계, 시방서 내용대로 적합하게 시공되고 있는지 여부를 단계별로 중점 시공관리 사항을 정하여 검사한다.

㉠ 작업전의 검사 항목

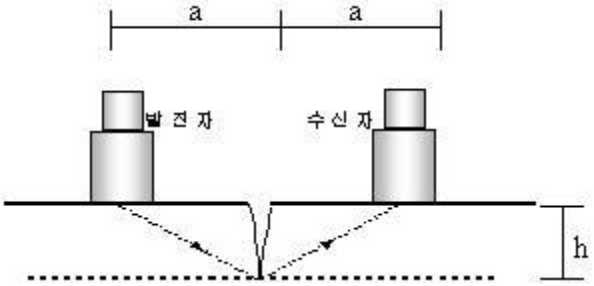
- 표면정리 및 균열 확인

㉡ 작업중의 검사 항목

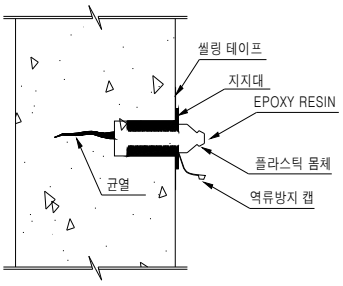
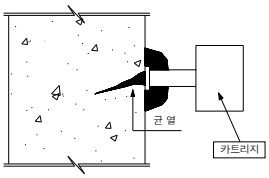
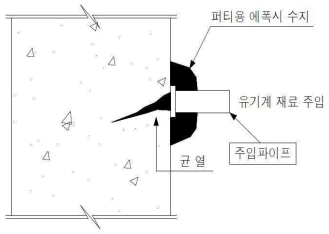
- 주입량 체크 : 주입 보수 실시 전에 주입기에 있는 주입재의 양과 보수 완료 후 주입기 제거 전에 주입재의 양을 체크하여 주입 정도를 판단한다.

㉢ 작업 종료 후의 검사 항목

【표 7.17】 주입보수 작업 종료 후의 검사 항목

구 분	적 용 방 법
초음파시험	• 초음파신호 속도시험을 사용하여 개별 균열에서 접착 재료의 침투깊이를 측정하는 것은 매우 어렵음. 이 방법은 크랙이 전부 채워졌든지 부분적으로 채워졌든지, 상당히 채워졌든지 간에 보수의 전체적인 품질을 평가하는데 유용함. 효과적인 시험을 위해서는 시험이 보수 직전과 직후에 수행되어져야 함.  • 균열깊이 h는 다음 식으로부터 계산됨. $h = a\sqrt{(T_c/T_o)^2 - 1}$
충격음법	• 충격음법에서 콘크리트 표면은 응력을 만들기 위해 작은 충격기로 기계적인 방법으로 충격을 줌. 충격음법은 균열이 분리되어 있을 때 접착재료의 침투 정도를 결정하기 위해서 사용됨. 만약 균열이 많거나 균열을 관통하여 철근이 보강되어 있다면 충격음법을 사용하여 스며든 정도를 평가하는 것은 어렵거나 거의 불가능함.
코어채취	• 주입 및 부착재료의 침투깊이 및 주입효과 등은 균열의 보수부를 포함하는 코어 시료의 채취에 의해 평가함. 사후 보수 평가의 책임기술자는 코어 채취 위치나 시편의 수를 결정해야 함. 고려해야할 사항으로는 구조물 유형(보, 슬래브, 벽체 등), 구조부재의 크기, 보수의 성격(구조적, 비구조적), 품질의 보증 정도 등이 있음.

【표 7.18】 주입보수 비교표

구 분	SKI 균열보수 공법	BICS 균열보수 공법	패카 에폭시 공법
개요도			
공 법 개 요	플라스틱 마이크로 패커와 중공형 코아비트을 이용한 균열보수공법	에폭시수지를 고무압주입기로 주입시키는 공법	균열부위를 컷팅하고 균열부를 씰링한 후에 유기계 재료인 에폭시를 패커를 이용하여 주입하는 공법
시 공 방 법	1.함마드릴천공(1차천공) 2.중공형 코아비트 드릴천공 (2차천공) 3.균열부 주위 표면청소 4.확인창 부착, 균열부 씰링 5.에폭시 주입 6.마감처리	1.표면처리 2.받침파이프 접착 3.씰링작업 4.에폭시 주입 5.주입량 확인 6.주입기구, 씰 제거 7.표면정리	1.표면처리 2.천공 3.패커설치 4.씰링작업 5.에폭시주입 6.씰링재, 패커 제거 7.표면정리
공 법 특 징	• 다양한 보수액 주입가능 • 주입압력 조절 우수 • 주입량 조절 우수 • 단기간 작업완료 • 시공부위 무제한 • 신공법에 대한 인지도 미흡 • 콘크리트 깨짐없이 균열심부까지 밀실한 주입가능 • 시공시 전력이 필요	• 습윤면 시공가능 • 숙련된 기술 필요없음 • 하중변화에 의한 재균열 발생 우려 • 물성의 차이에 의해 시간의 경과 후 접착면 균열 발생	• 인장, 휨강도가 우수함 • 건조한 환경에 유리함 • 시공실적 다수 • 경화시간이 빠름 • 주입량 점검이 용이하고, 균열 속 깊이까지 주입 가능 • 가장 일반적으로 쓰이는 공법 • 시공이 간단
공사비	93,407원/m(건식) 129,560원/m(습식)	42,559원/m	32,838원/m(건식) 32,460원/m(습식)

다. 교량받침 부식 및 도장박리 보수공법

1) 개 요

교량받침 본체 및 가동면에는 녹 및 표면부식이 발생되면 부식으로 인한 단면감소와 원활한 거동을 위해 보수가 필요하므로 발생된 녹 및 부식부를 제거하고, 가동면은 윤활제를 도포하여 장기적인 내구성과 원활한 거동 상태를 유지할 수 있도록 하여야 한다.

2) 재도장 작업

재도장 작업 관리의 주된 항목은 표면처리의 상태, 겹칠 간격, 시공 후의 도막외관, 도막두께, 도료의 사용량 등이다. 그러나 도막두께의 평가는 신설 도장시와는 다르며 적용하는 표면처리의 종류에 따라 평가방법을 다르게 해야한다. 재도장에 있어서 품질관리는 도막면의 상태, 은폐력, 작업성, 도료의 사용량 등에 따라 행하지만, 도장계에 따라서는 도장두께가 두껍게 되면 도막이 갈라질 염려가 있다.

재도장 작업시 다음과 같은 기상조건에 유의하면서 실시하여야 한다.

① 도장에 필요한 최저 기온은 5℃이고, 도장하는 표면에 습기와 서리가 없도록 해야한다.
- 표면온도, 도료온도, 도장 및 경화가 5℃ 이상 60℃ 이하에서 시공
- 상대습도 85% 이하
- 표면온도는 이슬점 온도보다 2.7℃ 이상에서 시공

② 경화되는 순간에 온도가 최저치보다 내려가면 도막이 손상된다.

③ 온도와 관련된 도막 손상 문제는 온도를 측정하지 않는데서 기인하기 때문에 계속적인 온도 계측이 필요하다.

④ 습기 있는 곳에서의 2층 도장은 1층 도막이 반드시 건조되어 있어야 한다.

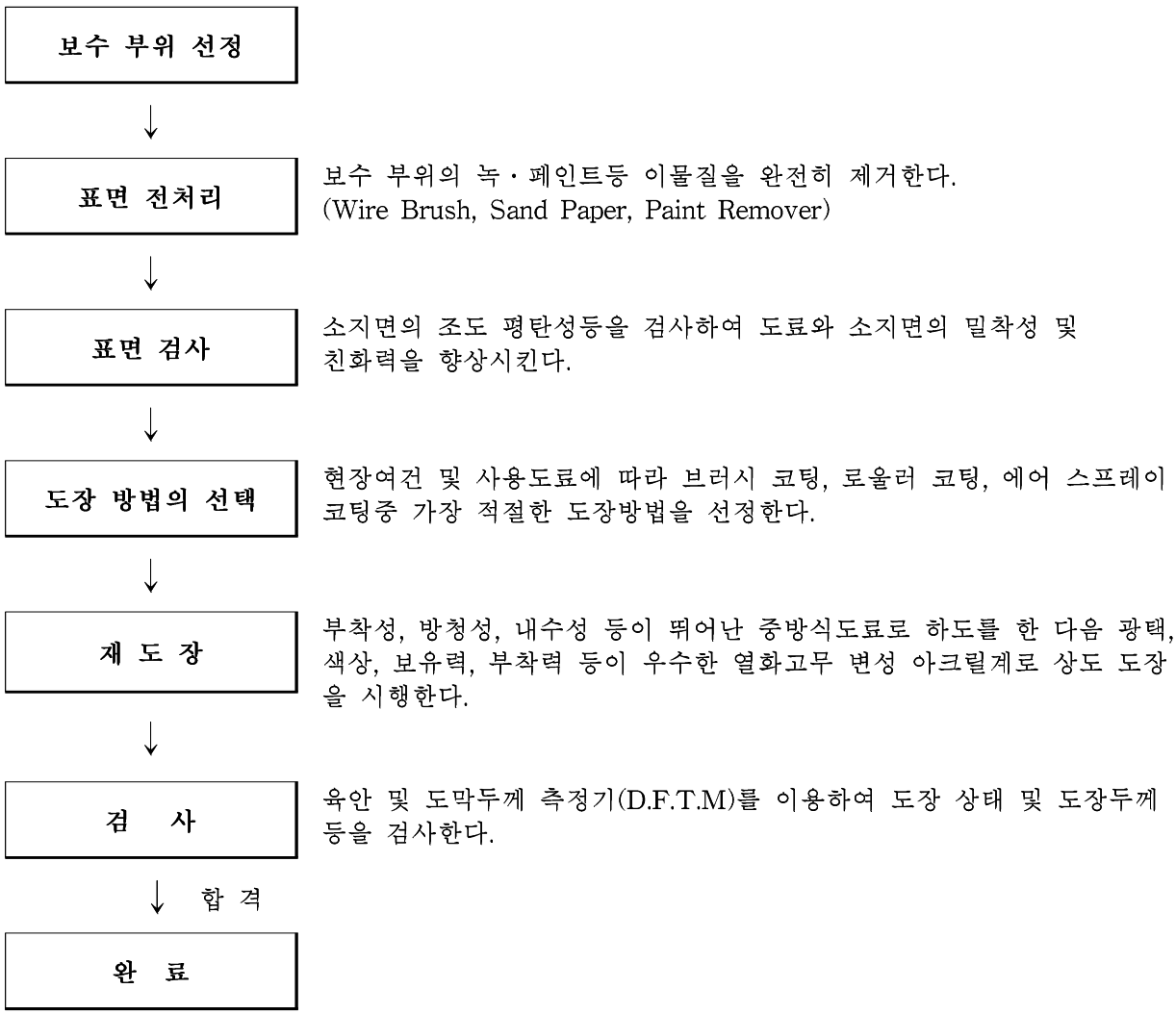
⑤ 스프레이 할 때 풍향과 풍속이 근처의 자동차, 다른 구조물에 피해를 주는가를 반드시 고려해야 한다.

⑥ 강한 바람은 도료 입자들의 과도한 건조를 초래하며 건조분사를 발생시켜 도장의 부착력이나 다음 층 도장될 도료의 부착력을 저하시킨다.

기타 시공조건은 도료 제조회사가 제공한 각 도료의 도장지시서에 따르며 도장완료 후 감독관으로부터 품질관리기준에 의한 각종 검사를 득하여야 한다.

또한, 보수도장을 실시한 후 3~5년 이후에는 반드시 발청 상태를 재확인하는 것이 필요하므로 전문가에 의한 현장조사를 실시하여야 한다.

3) 시공방법



【그림 7.10】 교량받침 부식 및 도장박리 시공방법

4) 주의사항

교량받침에 발생된 녹 및 표면부식부는 반드시 완전히 제거되어야 한다.

윤활제 도포는 장기간 동안 원활한 거동을 할 수 있도록 충분히 도포되어야 한다.

재도장시 받침의 원활한 신축 거동을 위하여 가동면에는 도장을 해서는 안된다.

라. Steel Box Girder 부식 및 도장박리 보수공법

1) 도장 재료의 선정

본 교량에 적용할 도장재료 및 색상의 선택은 재료의 장단점과 경제성 및 주변환경을 감안하여 결정하는 것이 바람직하다.

2) 표면처리

① 기 도장된 표면에 부착된 염분량을 측정하여 염분 부착량이 150㎎/㎡ 이상인 경우에는 강재 표면의 염분과 이물질을 깨끗한 물로 씻어낸다. 이때 분사압력은 2㎫로 하며, 강재면과의 거리는 30~45㎝ 정도 유지한다.

② 강재표면이 건조해질 때까지 기다린 후, 동력공구세정방법(power tool cleaning)을 선정하여 강재표면의 녹을 제거한다. 이때 재도장 실시는 녹 제거(블라스팅) 상태를 감독관 및 감리의 확인과 승인 후 실시한다.

③ 블라스팅시 표면조도가 15~35㎛가 되도록 한다. 기존의 무기질아연 도장면 위에 재도장을 실시한다.

④ 블라스팅과 하부도장은 같은 날 실시한다. 블라스팅 후 재도장까지 1일 이상 지체되면 밤에 응결된 수분에 의해 발청이 될 수도 있다.

⑤ 하부도장을 실시한 후 상부도장까지는 5일이 경과하지 않도록 한다. 만약 5일 이상 경과하면, 상부도장 이전에 깨끗한 물로 세척한 후 도장하도록 한다.

3) 강재 도장시 고려사항

강재부식부에는 재도장을 실시하여 부식을 방지하는 것이 원칙이며, 본 교량의 경우에도 기존의 발청부위의 부식을 제거하고, 재 도장으로 방식처리를 하는 것이 필요하다.

재도장시에는 다음의 사항을 고려하여 시행하는 것이 바람직하다.

【표 7.19】 재도장시 고려사항

도장대상면 물청소	• 현재 도장면에는 공기중의 이물질이 고형화하여 부착되어 있다. 재도장을 위한 표면처리시 이러한 이물질을 제거하지 않으면 블라스팅할 때 이물질이 강재에 부착되어 도장하부 부식의 원인이 되므로 먼저 기존의 도장면을 깨끗이 물청소한다.
가벼운 블라스팅	• 부식이 심한 부위는 동력공구와 수동공구를 이용하여 부식을 제거하고, 발청부위는 가볍게 블라스팅한다. 화이트 블라스팅은 비용과다 및 환경오염을 가중시킬 우려가 있으므로, 기존의 부식부위를 가볍게 블라스팅하여 기존의 녹을 제거한다.
도장보수 작업	• 도장 대상면의 표면처리 후에 재도장을 실시하며, 시공때와 같이 강재면 위에 도장을 하는 것이 아니라 기존의 도장면 위에 도장작업을 수행하므로, 도장작업시 이러한 특성을 고려하여 선택하도록 한다.

4) 외부도장 종류

【표 7.20】 외부도장 종류

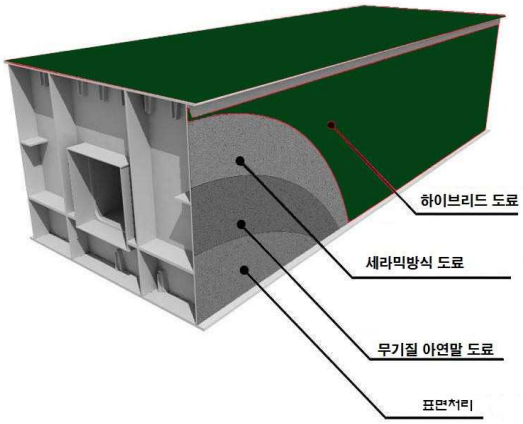
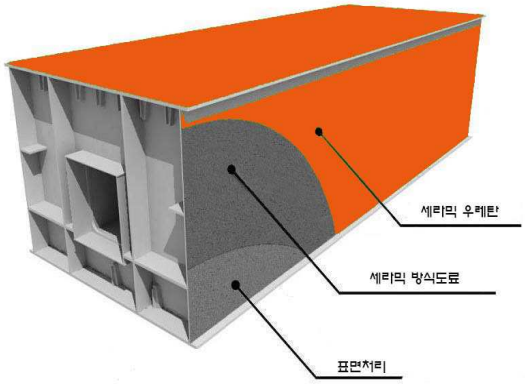
구 분	염화고무계	폴리우레탄계	수용성무기징크(IC531)
개 요	• 수투과성 및 공기 투과성이 아주 낮은 염화고무수지에 체질 안료 및 착색안료를 배합하여 만든 도료 • 건조가 빠르고, 층간 밀착성이 우수하고, 내수성 및 내약품성이 우수한 1액형 도료	• 이소시아네이트기를 다수 가진 가교성분과 하이드로옥시기를 가진 폴리올 성분이 반응하여 도막을 형성하는 도료 • 화학반응에 의하여 경화하므로 치밀하고, 단단한 도막 형성	• Silicate와 Potassium 비율(5.3 : 1)임. • 건조후 탄산칼륨염이 잔존함. • 탄산칼륨이 물과 반응하여 수소와 탄산가스를 발생시켜 도막 층간 부착이 불량함.
특 징	• 일액형이므로 작업이 편리함. • 보수도장이 용이함. • 색상이 다양함. • 내열성 및 내용제성이 불량함.	• 내후성이 우수함. • 경도, 광택, 내화학성, 내마모성이 우수함. • 황변이 발생함. • 가격이 고가임.	• 도장작업 조건이 적합한 경우 내구연한이 우수함. • 색상이 제한(회색)됨. • 보수가 어려움. • 시공환경에 민감함.

5) 내부도장 종류

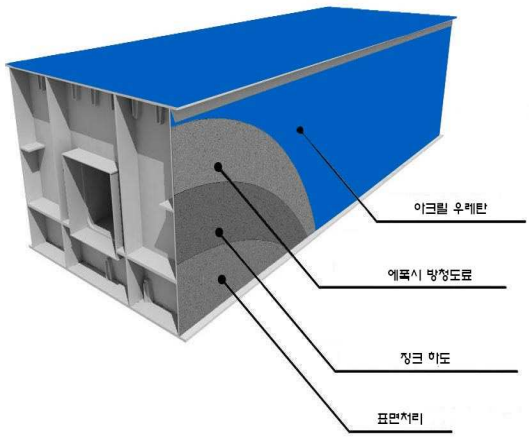
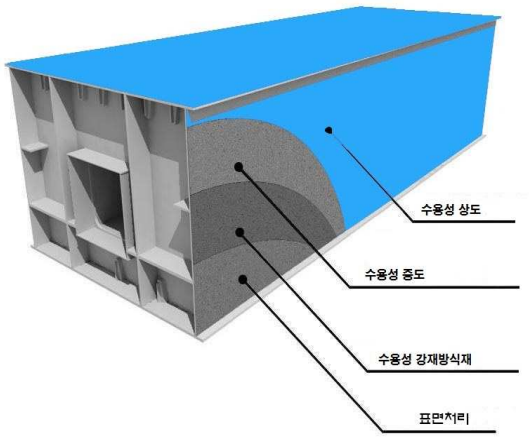
【표 7.21】 내부도장 종류

구 분	후막형 에폭시계	타르 에폭시계	수용성무기징크(IC531)
개 요	• 에폭시 수지에 체질안료 및 착색안료를 배합하여 제조한 도료 • 하도와 상도의 가교 역할 및 중도로서 차단 역할을 하는 도료로 사용	• 에폭시 수지에 내수성이 탁월한 타르를 배합	• Silicate와 Potassium 비율(5.3 : 1) • 건조후 탄산칼륨염이 잔존 • 탄산칼륨이 물과 반응하여 수소와 탄산가스를 발생시켜 도막 층간 부착이 불량함
특 징	• 다양한 색상 • 내수성, 내마모성, 내용제성 우수 • 수분접촉시 변색 없음 • 작업성, 경도, 부착성 우수 • 공사비 고가	• 내수성, 방청성이 우수함. • 경도, 부착성이 우수함. • 가격 저렴(후막형 에폭시 대비 20% 저렴)함. • 색상이 제한(흑색, 갈색)됨. • 어두운 색상이므로 검사 및 점검시 불리함. • 냄새가 심하여 작업환경이 열악함. • 내용제성, 내후성불량(황변)	• 도장작업 조건이 적합한 경우 내구연한이 우수함. • 색상이 제한(회색)됨. • 보수가 어려움. • 시공환경에 민감함.

6) 도장보수 비교안

구 분	하이브리드 세라믹계 (케이닉스공사)	세라믹메탈계 (비앤비)
개 요 도 (외부기준)		
	상온가교형 아크릴수지를 혼합한 도료를 철구조물 표면에 도포하여 피막을 형성함으로써 중방식, 내후성 방식을 구현하는 공법	나노세라믹플레이크, 기능성폴리머, 세라믹 분말을 혼합한 도료를 표면에 도포하여 부식인자의 도막내 침투를 차단하여 내구연한을 증대시키는 공법
장 단 점	· 박막형 오염방지 코팅 · 내구성, 내후성, 색상보존력 양호 · 박막으로 내구성 저하 · 하/중도는 유기용제 사용, 상도만 수성용제를 사용하여 층간박리현상 발생빈도 높음 · 초기공사비 고가	· 내약품, 내염해, 내조분, 내충격성 우수 · 내구성, 부착력, 상도광택성 등 내후성 우수 · 국내·외 대규모 공사 적용실적 풍부 · 내구수명 인증 : RS인증 · 제조공정이 복잡하여 공정관리 중요 · 휘발성 유기용제 사용으로 환경적 측면 불리
제품특허 등	제 10-0764081 호	제 10-0982451 호 NEP-MKE-2009-025 (신제품)
내구성 인증	-	RS인증 (부품소재신뢰성인증) : 강교용중방식도료 15년이상 사용 후 90% 이상없음
기대내구연한	10년 ~ 15년	15년 이상
시공성 (외부기준)	3회도장	2회도장
경제성 표면처리 (B급기준)	40,132원/㎡	40,132원/㎡
경제성 도장비 (외부)	37,000원/㎡	30,000원/㎡
적용실적	인동육교 등 40여건	문산대교, 서울역7017프로젝트 등 140여건

【그림 7.11】 도장보수 비교표

구 분	3안 아크릴계 (태일케미칼)	4안 하이브리드계 (세기하이테크)
개 요 도 (외부기준)		
	징크(Zn) 에폭시계 중방식 방청도료와 아크릴 에스테르 우레탄수지 도료를 이용한 신·구 강구조물의 방청·방식 목적의 중방식 도장 공법	수용성 복합소재로 결합된 하이브리드 결정체로, 구조물 표면에 물리, 화학적 성능이 우수한 방호막을 형성하여, 내구성이 우수한 수용성 친환경 표면보호 공법
장 단 점	· 초 내화학성 및 내충격성 내마모성 등의 우수한 물리적 성능 발휘 · 자외선 차단기능으로 변색 및 탈색 적음 · 에폭시계로 내구수명이 타 공법에 비해 짧아 유지보수 소요 발생 빈도 높음 · 휘발성 유기용제 사용으로 환경적측면 불리 · 초기공사비 고가	· 염해 및 강재 방식성능 우수 · 시공 공정이 간단 (일액형) · 오염방지 기능으로 미관개선 효과 우수 · 환경유해물질 불검출 제품 · 시공에 대한 기초 지식이 필요함 · 속건형으로 경화속도 미관리시 시공불편초래 · 무기질 필러 성분함유로 충분한 교반이 없을 경우 들뜸, 부스럼 현상 발생 · 수용성으로 공정 미관리시 시공중 녹발생
제품특허 등	제 10-0910983 호	제10-0757104호
내구성 인증	-	-
기대내구연한	10년 ~ 15년	10년 ~ 15년
시공성 (외부기준)	3회도장	3회도장
경제성 표면처리 (B급기준)	40,132원/㎡	40,132원/㎡
경제성 도장비 (외부)	51,000원/㎡	40,000원/㎡
적용실적	구 거제대교 보수공사 등	장항I.C교, 양수대교 등

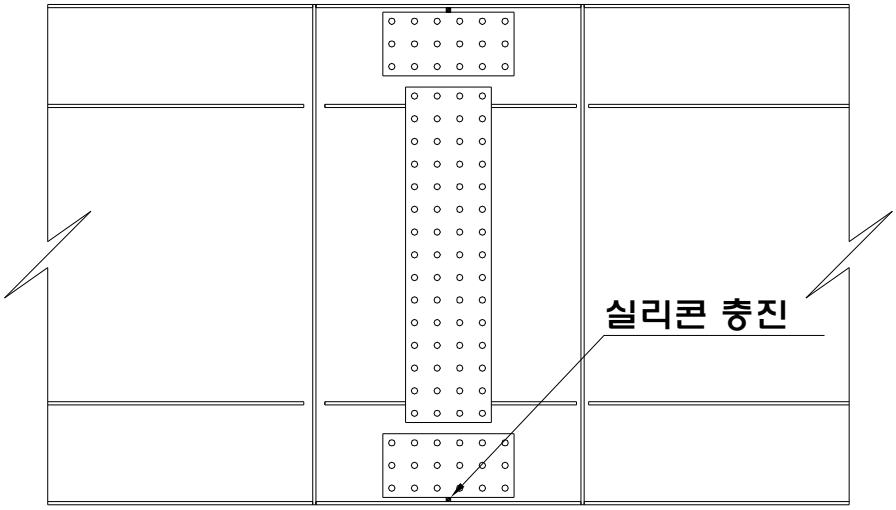
【그림 7.11】 도장보수 비교표(계속)

마. Steel Box Girder 스플라이스 틈새 실런트 주입

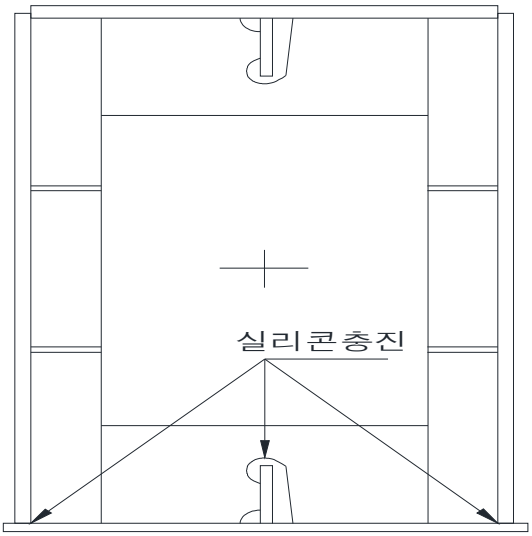
1) 개 요

거더내부에 Scallop 및 Splice 틈으로 우수가 유입하여 하부플랜지에 누수흔적, 강재 및 볼트 부식이 발생한 상태이므로 장기적인 유지관리 및 내구성 확보 차원에서 보수가 필요하다.

2) 보수 개요도



< 스플라이스 틈새 실런트 주입 개요도 >



< 거더단부 스켈럽 틈새 실런트 주입 개요도 >

【그림 7.12】 거더단부 스켈럽 및 스플라이스 틈새 실런트 주입

7.3 보수·보강 개략공사비

7.3.1 백운1교(부산)

가. 부재별 보수·보강 개략공사비

【표 7.22】 백운1교(부산) 부재별 보수·보강 개략공사비

구 분	손상내용	보수·보강 공법	보수깊이·폭 (mm)	보수		단가 (원)	공사비 (원)	비고
				물량	단위			
바닥판	박리	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	0.30	㎡	212,097	63629	3순위
	백태	표면처리공법	-	29.46	㎡	33,361	982,815	3순위
	부식	강재 재도장	-	104.28	㎡	16,208	1,690,170	3순위
	철근노출	단면보수공법(Ⅱ)	-	0.12	㎡	240,899	28,908	2순위
	파손	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	0.24	㎡	212,097	50,903	3순위
보강거더 및 아치리브	부식	강재 재도장	-	50.33	㎡	20,110	1,012,136	3순위
	SP볼트 부식	강재 재도장	-	30.56	㎡	20,110	614,562	3순위
	도장박리	강재 재도장	-	30.20	㎡	20,110	607,322	3순위
	실리콘 마감 불량	실리콘 재시공	-	152.00	ea	2,000	304,000	3순위
	이물질 퇴적	청소	-	9.08	㎡	20,110	181,600	3순위
	점검구 볼트 부식	강재 재도장	-	0.08	㎡	20,110	1,609	3순위
2차부재 (가로보, 세로보, 행거, 브레이싱)	볼트 부식	강재 재도장	-	19.52	㎡	20,110	392,547	3순위
	도장박리	강재 재도장	-	11.27	㎡	20,110	226,640	3순위
	부식	강재 재도장	-	74.39	㎡	20,110	1,495,983	3순위
교대	백태	표면처리공법	-	33.44	㎡	33,361	1,115,592	3순위
	파손	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	2.09	㎡	212,097	443,283	3순위
	균열	주입공법	cw=0.3이상	6.15	m	69,938	430,119	2순위
	체수	유도배수로 설치	-	25.20	m	145,000	3,654,000	3순위

주) 1. 공사시 경제적인 측면을 고려하여 일부 손상 중 발생정도가 아주 경미하고 구조적인 문제가 없는 손상은 제외하였음.
2. 상기 개략공사비는 가시설비 등의 부대비용이 제외된 금액이며, 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 변동될 수 있음.
3. 각 공법별 단가는 2016년 도로공사 단가를 적용하였으며, 총 공사비는 백원 단위에서 절삭하였음.

【표 7.22】 백운1교(부산) 부재별 보수·보강 개략공사비(계속)

구 분	손상내용	보수·보강 공법	보수깊이·폭 (mm)	보수		단가 (원)	공사비 (원)	비고
				물량	단위			
받침장치	받침부식	강재 재도장	-	4.50	㎡	20,110	90,495	3순위
	받침콘크리트 백태	표면처리공법	-	0.30	㎡	33,361	10,008	3순위
	솔플레이트 부식	강재 재도장	-	2.94	㎡	20,110	59,123	3순위
신축이음	토사퇴적	청소	-	1.44	㎡	20,000	28,800	3순위
	후타재 파손	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	0.08	㎡	212,097	16,968	3순위
배수시설	배수구 막힘	청소	-	9.00	ea	20,000	180,000	3순위
방호벽	강판부식	강재 재도장	-	4	ea	20,110	80,440	3순위
	균열	표면처리공법	cw=0.2이하	2.40	㎡	33,361	80,066	3순위
	균열	주입공법	cw=0.3이상	2.40	m	69,938	167,851	2순위
	균열백태	표면처리공법	cw=0.2이하	29.63	㎡	33,361	988,486	3순위
	덮개판 변형	재설치	-	0.08	㎡	10,000	800	3순위
	망상균열	표면처리공법	cw=0.2이하	0.74	㎡	33,361	24,687	3순위
	박리	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	2.25	㎡	10,000	22,500	3순위
	백태	표면처리공법	-	1.41	㎡	33,361	47,039	3순위
	보호덮개 탈락	재설치	-	3.00	ea	10,000	30,000	3순위
	철근노출	단면보수공법(Ⅱ)	-	0.08	㎡	240,899	19,272	2순위
	파손	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	0.15	㎡	212,097	31,815	3순위

순공사비	공사비 합계		15,174,168원
순위별 순공사비	단기	(1순위)	-
	중장기	(2순위)	646,150원
		(3순위)	14,528,019원
제경비	(순공사비×50%)		7,587,084원
개략공사비	순공사비+제경비		**22,761,000원(≒이천이백칠십만원)**

주) 1. 공사시 경제적인 측면을 고려하여 일부 손상 중 발생정도가 아주 경미하고 구조적인 문제가 없는 손상은 제외하였음.
2. 상기 개략공사비는 가시설비 등의 부대비용이 제외된 금액이며, 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 변동될 수 있음.
3. 각 공법별 단가는 2016년 도로공사 단가를 적용하였으며, 총 공사비는 백원 단위에서 절삭하였음.

7.3.2 백운1교(춘천)

가. 부재별 보수·보강 개략공사비

【표 7.23】 백운1교(춘천) 부재별 보수·보강 개략공사비

구 분	손상내용	보수·보강 공법	보수깊이·폭 (mm)	보수		단가 (원)	공사비 (원)	비고
				물량	단위			
바닥판	균열백태	표면처리공법	cw=0.2이하	9.15	㎡	33,361	305,253	3순위
	물끊기홈 미설치	설치	-	2.25	m	10,000	22,500	3순위
	백태	표면처리공법	-	1.25	㎡	33,361	41,701	3순위
	철근노출 및 녹물흔적	단면보수공법(Ⅱ)	-	4.31	㎡	240,899	1,038,275	2순위
	파손	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	2.25	㎡	212,097	477,218	3순위
거더	균열	주입공법	cw=0.3이상	372.15	m	69,938	26,027,427	1순위
	균열백태	표면처리공법	cw=0.2이하	0.45	㎡	33,361	15,012	3순위
	박리	단면보수공법(Ⅰ)	-	3.68	㎡	212,097	780,517	3순위
	파손	단면보수공법(Ⅰ)	-	0.60	㎡	212,097	127,517	3순위
	재료분리	단면복구공법(Ⅰ)	-	144.23	㎡	212,097	30,590,750	3순위
	철근노출	단면보수공법(Ⅱ)	-	35.99	㎡	240,899	8,669,955	2순위
교대	균열	주입공법	cw=0.3이상	1.2	m	69,938	83,926	2순위
	백태	표면처리공법	-	0.30	㎡	33,361	10,008	3순위
	파손	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	3.54	㎡	212,097	750,823	3순위
	접합부 이격	실링보수	-	31.50	m	20,000	630,000	3순위
교각	철근노출	단면보수공법(Ⅱ)	-	1.605	㎡	240,899	386,643	2순위
받침장치	받침부식	강재 재도장	-	12.90	㎡	16,208	209,083	3순위
	볼트부식	강재 재도장	-	0.56	㎡	16,208	9,076	3순위

주) 1. 공사시 경제적인 측면을 고려하여 일부 손상 중 발생정도가 아주 경미하고 구조적인 문제가 없는 손상은 제외하였음.
2. 상기 개략공사비는 가시설비 등의 부대비용이 제외된 금액이며, 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 변동될 수 있음.
3. 각 공법별 단가는 2016년 도로공사 단가를 적용하였으며, 총 공사비는 백원 단위에서 절삭하였음

【표 7.23】 백운1교(춘천) 부재별 보수·보강 개략공사비(계속)

구 분	손상내용	보수·보강 공법	보수깊이·폭 (mm)	보수 물량	보수 단위	단가 (원)	공사비 (원)	비고
신축이음	토사퇴적	청소	-	24.00	㎡	20,000	480,000	3순위
	후타재 박리	단면보수공법(Ⅰ)	-	0.03	㎡	212,097	6,363	3순위
교면포장	아스콘 균열	실링보수	-	35.25	m	6,765	238,466	3순위
	망상균열	소파보수	-	23.10	㎡	20,395	471,125	3순위
	포장마모	소파보수	-	13.88	㎡	20,395	283,083	3순위
	시공이음부 균열	실링보수	-	261.90	m	6,765	1,771,754	3순위
	포트홀	소파보수	-	0.15	㎡	20,395	3,059	3순위
방호벽	균열	표면처리공법	cw=0.2이하	32.03	㎡	33,361	1,068,553	3순위
	균열	주입공법	cw=0.3이상	99.75	m	69,938	6,976,316	2순위
	균열백태	표면처리공법	cw=0.2이하	14.10	㎡	33,361	470,390	3순위
	망상균열	표면처리공법	cw=0.2이하	1.88	㎡	33,361	62,719	3순위
	긁힘	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	0.15	㎡	212,097	31,812	3순위
	철근노출	단면보수공법(Ⅱ)	-	0.11	㎡	240,097	26,411	2순위
	파손	단면보수공법(Ⅰ)	t=10미만	0.18	㎡	212,097	38,177	3순위
기타부재	전선관 보호커버 부식	교체	-	11.55	m	50,000	577,500	3순위
	전선관 보호커버 파손	교체	-	15.45	m	50,000	772,500	3순위

순공사비	공사비 합계		83,453,656원
순위별 순공사비	단기	(1순위)	26,027,427,원
	중장기	(2순위)	17,181,524원
		(3순위)	40,244,705원
제경비	(순공사비×50%)		41,726,827원
개략공사비	순공사비+제경비		**125,180,000원(≒일억이천오백만원)**

주) 1. 공사시 경제적인 측면을 고려하여 일부 손상 중 발생정도가 아주 경미하고 구조적인 문제가 없는 손상은 제외하였음.
2. 상기 개략공사비는 가시설비 등의 부대비용이 제외된 금액이며, 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 변동될 수 있음.
3. 각 공법별 단가는 2016년 도로공사 단가를 적용하였으며, 총 공사비는 백원 단위에서 절삭하였음.

7.4 유지관리방안

7.4.1 개 요

효과적인 교량 유지관리는 결함, 손상 및 열화를 초래할 수 있는 요인들을 미리 발견하여 예방적 조치를 취함으로서 손상단계로의 진전을 미연에 방지하고 이미 결함, 손상 및 열화가 발생한 경우에는 초기에 대책을 강구함으로서 대규모의 보수·보강에 까지 이르지 않도록 경제적인 유지관리를 행하여 교량의 공용수명을 연장하는 것이다. 이를 위해서는 관련자료의 보존, 점검 및 진단, 일상적 예방 유지관리 계획수립과 시행결과에 따른 조치대책 수립 등의 일련의 과정이 적절히 수행되어야 한다.

7.4.2 부재별 일반 유지관리 사항

본 절은 교량의 안전성과 기능성, 사용성 및 노후화 정도 등을 파악하여 재해를 사전에 예방하기 위해서 유지관리상 필요한 점검항목 및 점검요령을 기술하였다.

가. 시설물 부재별 명칭

1) 백운1교(부산)

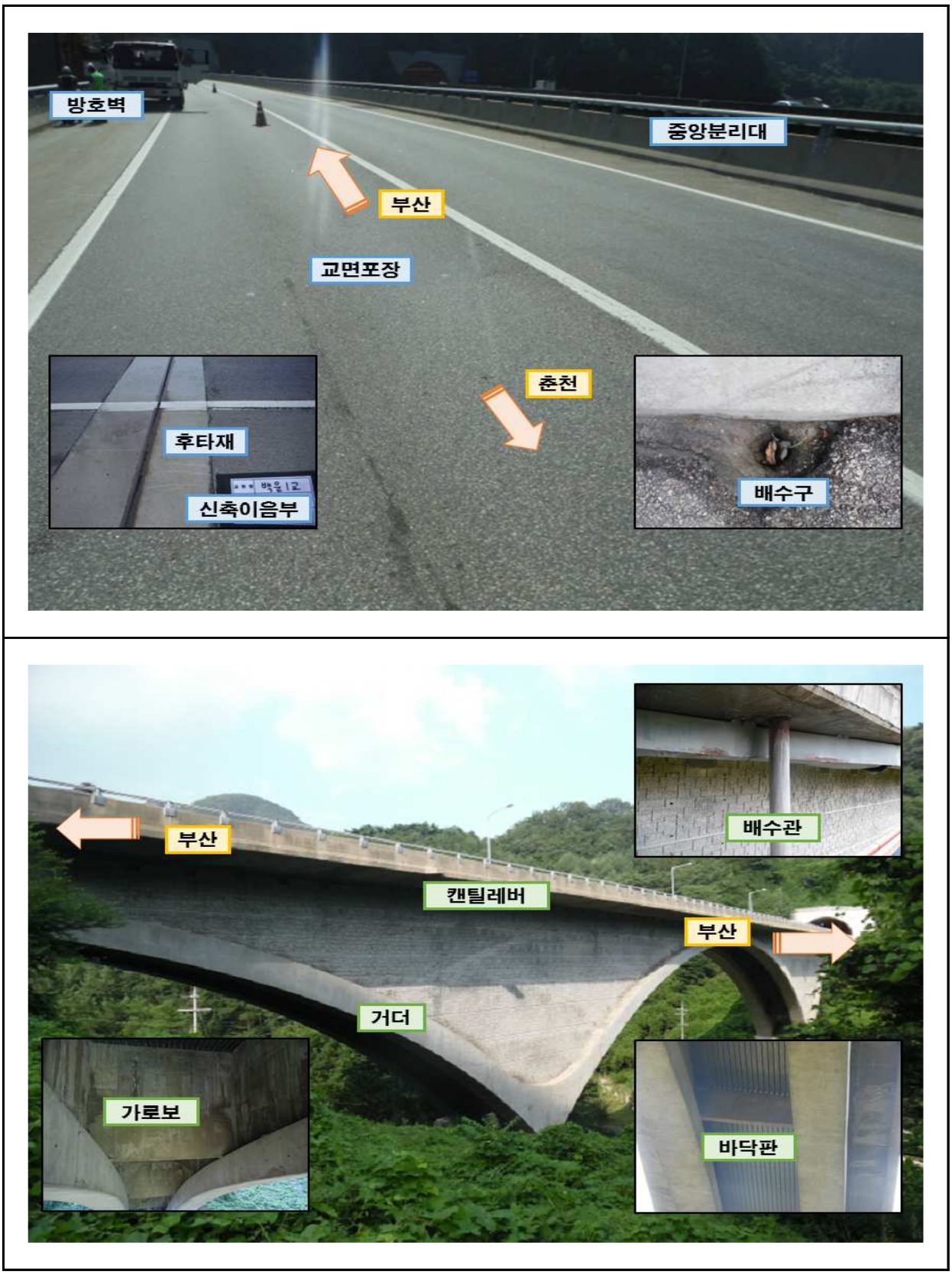


【그림 7.13】 백운1교(부산) 부재별 명칭



【그림 7.13】 백운1교(부산) 부재별 명칭(계속)

2) 백운1교(춘천)



【그림 7.14】 백운1교(춘천) 부재별 명칭



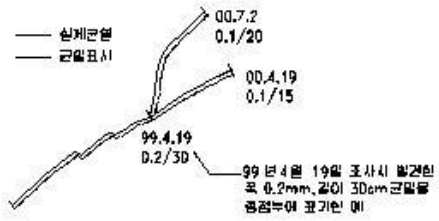
【그림 7.14】 백운1교(춘천) 부재별 명칭(계속)

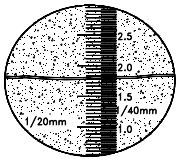
나. 바닥판

【표 7.24】 바닥판 일반 유지관리 사항

점 검 부 위		점 검 항 목
▷ 공통		• 박리, 박락, 층분리, 철근노출(피복두께 부족), 파손 • 백태(유리석회), 오염 • 재료분리, 데크플레이트 부식
▷ 거더교		• 균열(거더사이, 헌치부 종방향 균열) • 망상균열
▷ 슬래브, 라멘교 상부	- 단부	• 부스러짐 • 사인장균열
	- 중앙부	• 휨균열
주요 부위	 < 바닥판 > 백운1교(부산)	 < 캔틸레버 하면 > 백운1교(부산)
	 < 바닥판 > 백운1교(춘천)	 < 캔틸레버 하면 > 백운1교(춘천)
점검 요령	○ 점검방법 - 도보접근이 불가능한 구간은 점검장비를 이용 근접 점검 - 슬래브의 중앙부 횡방향 균열과 받침부 사인장균열은 단면부족 등과 같은 구조적 균열의 형태로써 균열폭, 진전사항 등을 파악하기 위하여 균열의 시·종점을 표시하여 정기적으로 진전여부 관찰	

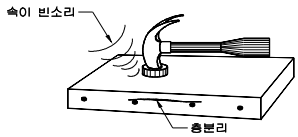
【표 7.24】 바닥판 일반 유지관리 사항(계속)

<table>
<tr>
<td>점검
요령</td>
<td>


(a) 균열표시 예


(b) 균열경 조사 예

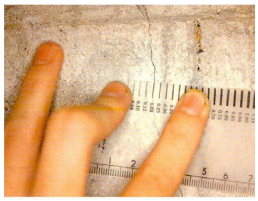
- 부모멘트가 발생하는 연속 받침부는 상부에서 하부로, 정모멘트가 발생하는 중앙부 구간은 하부에서 상부 순서로 점검을 진행
- 균열로부터 녹물 유출 여부 조사(철근 부식)
- 망상균열, 층분리, 누수나 백태흔적이 발견될 경우 점검용 망치를 두드려 나는 소리로서 내부결함의 존재여부를 추정한다. 내부에 결함 존재 시 외관상 건전한 부위에서도 펀칭 전단파괴의 우려가 있다.
※점검용 망치 : 내부의 공동이나 층분리 여부를 소리로 판단. 즉 건전한 부분을 두들기면 “핑”하는 맑은 소리가 나지만 내부결함이 있는 부분은 “퍽”하는 소리가 난다.





※펀칭전단파괴(Punching Shear Failure) : 국부적으로 바닥판에 구멍이 뚫리는 현상

○ 점검시 유의사항
- 균열은 발생위치, 균열폭, 진전길이, 반복성(공통성) 등을 종합적으로 고려하여 발생원인을 규명하고 보수·보강 등 조치방법을 수립할 수 있도록 주변여건을 주의깊게 조사
- 큰 균열일지라도 상당히 오래전에 발생하여 안정된 것이 있는 반면에 미세균열일지라도 윤하중의 반복재하에 의해 점차 커지는 균열이 있으므로 균열 조사 시에는 특별히 큰 균열에만 주목하지 말고 미세한 균열에도 주의


< 예시 >
- 누수 및 백태가 발견된 부위는 교면포장 상태가 비교적 양호할 경우 포장하부의 콘크리트 상태불량, 방수층의 파손이 원인일 수 있으므로 포장을 제거하여 조사하는 등의 원인분석 행위가 필요
- 환경적 요인에 의하여 열화가 심한 부분은 철근의 부식환경을 확인하기 위하여 탄산화시험을 실시

※ 탄산화시험 : 철근콘크리트의 부식, 내구성, 잔존수명을 파악하기 위하여 콘크리트 절단면 또는 절취된 콘크리트의 코어에 페놀프탈레인 용액을 사용하여 탄산화의 깊이 측정</td>
</tr>
<tr>
<td>점검
도구</td>
<td>• 사진기
• 균열자
• 균열경
• 줄자
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장
• 필요시 반발경도 및 탄산화 시험기기</td>
</tr>
</table>

다. Steel Box Girder

【표 7.25】 Steel Box Girder 일반 유지관리 사항

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷공통</td><td>• 변형, 균열, 파손
• 표면(도장)상태 오염, 부식
• 이상처짐
• 연결부 볼트 이완, 파손, 이상음</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷받침부</td><td>• 복부판 부식 및 국부좌굴
• 박스내부 출입구 개폐
• 거더와 받침연결부 부식</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷중앙부</td><td>• 맞대기 용접부 균열
• 플랜지 변형 및 처짐
• 다이아프램 연결부 균열</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷2차부재</td><td>• 거더와의 연결부 균열</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷보수부위</td><td>• 용접부 및 용접부 주변 균열</td></tr>
<tr><td>주요
부위</td><td colspan="2"> 
< 거더 외부 백운1교(부산) >
 
< 거더 내부 백운1교(부산) ></td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="2">○ 점검방법
- 점검로에서 육안점검 혹은 교량하부에서 육안 또는 망원경으로 점검
- 중앙부 처짐은 점검로에서 하부플랜지 정도로 눈높이를 낮추어 점검하거나 교대 옆 혹은 교량에서 조금 떨어진 거리에서 하부플랜지의 전체적인 선형 점검
- 누수에 취약한 신축이음 하부, 배수구 주변 혹은 외측거더의 도장손상 및 녹발생 조사
- 차량통과시 삐걱거리는 소리 등 이상음이 들리면 소음발생 부위를 추정하여 기록 유지
○ 손상발생시 조치
- 눈에 띌 정도의 처짐이나 충돌에 의한 손상으로 추가손상이 우려되거나 주행안전성에 지장을 초래할 경우 즉시 보고하여 대책을 수립
○ 점검시 유의사항
- 박스내부 출입구 잠금장치가 망가져 있는 경우 부랑인들이 거주하고 있는 경우가 있으므로 2인 이상이 1조가 되어 내부점검
- 박스내부에 환기부족으로 유해가스가 있을 수 있으므로 환기를 시킨후 점검하고 인화성 물질을 휴대하지 않도록 하며 특히 흡연은 삼가하여야 함</td></tr>
<tr><td>점검
도구</td><td colspan="2">• 사진기(망원렌즈)
• 줄자(5m자)
• 점검야장
• 점검용 망치
• 손전등(박스내부)
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)</td></tr>
</table>

라. 철근콘크리트 거더

【표 7.26】 철근콘크리트 거더 일반 유지관리 사항

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷공통</td><td>• 박리, 박락, 층분리
• 파손, 철근노출
• 백태(유리석회)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷받침부</td><td>• 부스러짐
• 복부 사인장 균열</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷중앙부</td><td>• 횡방향 균열</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷2차부재</td><td>• 경사균열(거더의 상대처짐 의심)</td></tr>
<tr><td>주요
부위</td><td colspan="2"> 
< 거더 하면 백운1교(춘천) >
 
< 거더 및 가로보 백운1교(춘천) ></td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="2">○ 점검방법
- 점검로에서 육안점검 혹은 교량하부에서 육안 또는 접근장비를 이용하여 근접육안 점검
- 받침부나 중앙부 근처의 손상을 중점 점검하며, 받침부 복부 사인장 균열은 정밀 조사
- 균열의 진행 상황 파악을 위해 균열의 시·종점 표시 후 정기적인 점검 실시
- 균열부에 녹물이 유출되는 것은 철근부식의 징후이므로 유출여부를 조사
○ 점검시 유의사항
- 받침부 거더 복부 사인장 균열, 중앙부 휨균열에 대한 균열폭, 진전길이 등을 조사하고 다른 거더에서 공통적으로 발생되는 손상인지 확인
- 공통적인 손상은 대부분 구조적인 결함이므로 발생 원인을 규명하고 보수·보강 등 적절한 조치방법을 수립할 수 있도록 함
- 미세균열일지라도 신규손상일 경우 균열의 진행성 여부에 대한 확인 필요
- 환경적 요인에 의하여 열화가 심한 부분은 철근의 부식 환경을 확인하기 위하여 탄산화시험, 염화물함유량 시험, 자연전위차시험 등을 선별하여 실시</td></tr>
<tr><td>점검
도구</td><td colspan="2">• 사진기(망원렌즈)
• 줄자(5m자)
• 점검야장
• 균열자
• 점검용 망치
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)</td></tr>
</table>

마. 교대

【표 7.27】 교대 일반 유지관리 사항

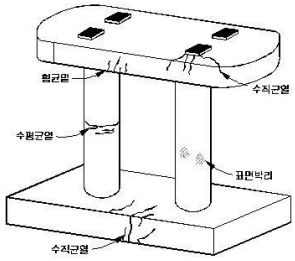
<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 공통</td><td>• 균열(시공이음부 횡방향 균열)
• 박리, 박락, 층분리, 백태(유리석회), 파손, 철근노출
• 교대 회전(기울음), 침하(연직이동)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 두부</td><td>• 두부 물고임
• 두부와 흉벽 경계부 균열(후면으로 기울음)
• 거더와 흉벽 신축유간 부족</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 벽체</td><td>• 균열(수직균열)
• 벽체와 날개벽 분리(이동)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 날개벽</td><td>• 날개벽 이동, 전도</td></tr>
<tr><td>주요
부위</td><td colspan="2"> 
< 교대 A1 >
백운1교(부산)
 
< 교대 A2 >
백운1교(부산)
 
< 교대 A1 >
백운1교(춘천)
 
< 교대 A2 >
백운1교(춘천)</td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="2">○ 점검방법
- 접근 장비에 의해 근접 육안점검
- 교대 입지조건이 성토부 혹은 연약지반에 위치한 경우 전후방으로 교대 벽체가 기울었는지 확인하고 의심스러울 경우 실을 매단 점검추를 늘어뜨리거나 측량기로 확인(날개벽, 옹벽 포함)
- 신축이음 하면에 위치하므로 누수 및 화학물질 등에 대한 열화 취약부위이므로 탄산화 시험에 의한 탄산화 깊이 확인
○ 점검시 유의사항
- 신축이음 유간이 벌어져 충격음이 발생하거나 닫혀 있을 경우 거더 상·하부와 흉벽 사이 간격이 서로 차이가 나는지 점검하고 교대 전도 여부도 확인
- 연약지반상의 교대는 뒷채움부의 침하로 인하여 접속슬래브 하부에 공동이 발생하여 흉벽이 교대 뒤쪽으로 전도되어 균열이 발생하기도 함
- 교대 뒷면과 날개벽 사이에 공동이 발생했거나 흙이 침하된 경우 날개벽의 전도를 의심하여점검
- 벽체에 수직으로 발생하는 균열은 대체적으로 건조수축에 의한 비구조적 균열이므로 우려할 바는 아니지만 폭이 넓은 교대에서 균열폭이 큰 경우 교대기초의 부등침하도 의심하여야 함</td></tr>
<tr><td>점검
도구</td><td colspan="2">• 사진기
• 균열자
• 줄자(5m자)
• 점검용 망치
• 점검추 - 기울음 측정
• 탄산화 시험기
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

바. 교각

【표 7.28】 교각 일반 유지관리 사항

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th colspan="4">점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 공통</td><td colspan="4">• 균열, 박리, 철근노출, 파손
• 침하</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 두부</td><td colspan="4">• 두부 물고임
• 받침 하부 균열 및 파손(박리, 박락)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 구체</td><td colspan="4">• 수직균열
• 이동 또는 기울음</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 수면접촉부</td><td colspan="4">• 수중구간의 경우 침식</td></tr>
<tr><td>주요
부위</td><td colspan="5"> 

< 교각 P1 >
백운1교(부산)
 

< 교각 P2 >
백운1교(부산)
 
< 교각 P1 >
백운1교(춘천)
 
< 교각 P2 >
백운1교(춘천)</td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="5"> 

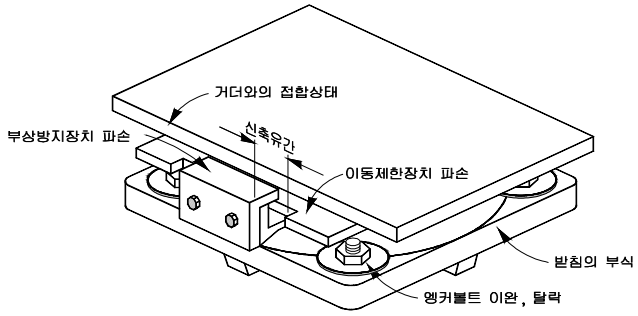
○ 점검방법
- 접근장비 및 점검로에서 점검
- 신축이음의 유간이 비정상적(크게 벌어짐 또는 닫힘)이거나 방호울타리 상단선형이 불량한 경우에는 교각 침하가 의심스러우므로 교각 구체 상부와 하부를 측량기기로 측정하여 교각의 전도 여부를 확인하고 구체에 기준점을 표시하여 침하여부를 주기적으로 확인

○ 손상발생시 조치
- 교각두부 받침하부에 폭 0.3㎜이상 균열이 단부까지 진행된 경우에는 교량 안전과 직접적으로 관련이 있으므로 즉시 보고 및 대책수립

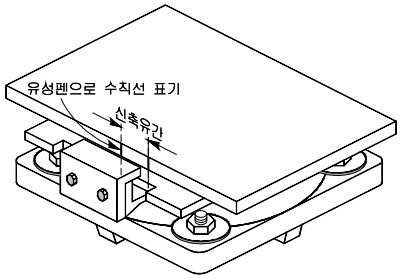
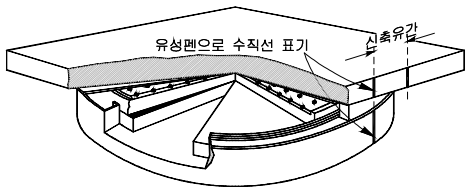
○ 점검시 유의사항
- 신축이음 유간이 크게 벌어지거나 닫힘, 방호울타리 선형불량은 교각 침하의 징후로 볼 수 있으므로 교각 점검 시 참고해야 할 항목임</td></tr>
<tr><td>점검
도구</td><td colspan="5">• 사진기
• 균열자
• 줄자(5m자)
• 점검용 망치
• 점검추 - 기울음 측정
• 탄산화 시험기
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

사. 교량받침

【표 7.29】 교량받침 일반 유지관리 사항

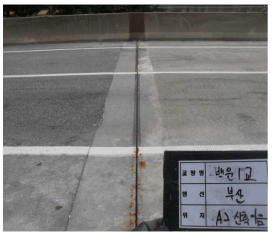
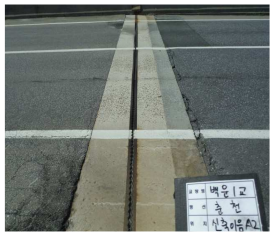
점 검 부 위		점 검 항 목
▷ 본체	- 공통	• 부식(오물퇴적), 변형 • 균열, 파손(균열발생으로 파손진행) • 가동받침의 유간부족 및 가동 장애요소 • 받침과 거더의 밀착상태(분리) • 앵커볼트 파손(절단) • 가동방향 오류, 편기설치
	- 강재받침	• 가동면 부식 • 부속물 파손
	- 고무받침	• 고무재 부풀음 및 갈라짐 • 고무판의 과도한 변형
▷ 받침대		• 균열, 파손(하부공동) • 부분 침하
▷ 이동제한장치		• 용접부 균열 • 파손
주요 부위	 < 교량받침, 백운1교(부산) >	 < 교량받침, 백운1교(춘천) >
주요 내용	 ○ 점검방법 - 도보접근이 불가능한 부분은 접근장비를 이용하여 근접점검 - 가동받침의 가동여부는 가동면의 윤활재가 밀린 흔적이나 먼지 부착정도로 확인 가능함 - 눈금자가 설치되지 않은 받침은 측면을 깨끗한 헝겊으로 잘 닦고 유성펜으로 상부받침과 이동제한장치 끝부분에 수직으로 선을 그어 놓으면 다음 점검시 온도차에 따른 가동량을 측정할 수 있음 - 곡선교 내측단부 혹은 사교의 예각단부의 부반력으로 인한 받침과 거더의 들뜸 상태 점검	

【표 7.29】 교량받침 일반 유지관리 사항(계속)

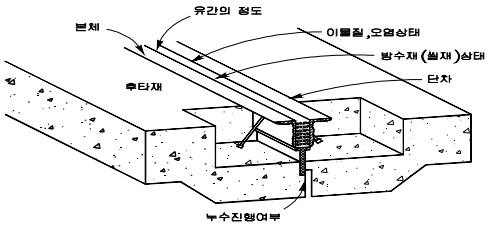
주요 내용	  - 경사교에서 받침 경사설치로 인한 상부가동받침과 하부받침 접촉 및 받침 부속품과의 접촉으로 인한 가동장애요소 점검 - 수직보강재와 받침이 10㎝ 이상 편기시 하부플랜지의 국부변형이나 거더 복부판의 좌굴 여부 확인 - 받침하부에 공동이 의심되면 긴드라이버 혹은 철사로 찔러서 확인하고, 침하흔적은 앵커볼트의 체결상태 및 인접받침의 상태를 참고하여 확인 - 받침부의 물고임 부분은 누수부위 확인 및 물고임 원인분석 ○손상발생시 조치 - 받침하부 교각 두부에 0.3㎜ 이상의 균열이 단부까지 진행된 경우 즉시 보고하고, 안전성 검토 및 대책 수립 필요
점검 도구	• 사진기 • 줄자 • 균열자 • 온도계 • 유성펜(매직) 및 청소용 걸레 • 점검용 망치 • 드라이버(driver) • 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) • 점검야장

아. 신축이음

【표 7.30】 신축이음 일반 유지관리 사항

점 검 부 위		점 검 항 목
▷ 본체	- 공통	• 누수, 오염(배수시설 누락, 유간의 오물퇴적) • 유간(부족 및 과다) • 이상진동(충격음) • 본체 유동 및 파손(충격음, 흔들림)
	- 고무재	• 고무판 마모, 강판노출 및 부식
	- 강재	• 방수재(씰재) 파손 - 노면수 유입
▷ 후타재		• 균열, 파손(패임 및 요철)
주요 부위	 < 신축이음 A1 > 백운1교(부산)	 < 신축이음 A2 > 백운1교(부산)
	 < 신축이음 A1 > 백운1교(춘천)	 < 신축이음 A2 > 백운1교(춘천)

【표 7.30】 신축이음 일반 유지관리 사항(계속)

<table>
<tr>
<td>주요
내용</td>
<td>


○ 점검방법
- 보도에서 점검
- 신축이음 본체의 유동, 단차, 파손으로 인한 충격음 발생 여부 점검
- 고무재의 마모, 파손, 충진 씰재 노출로 방수기능 저하상태를 점검하며 교각, 교대 위에서 신축이음 하부의 방수성 및 단부보강 바닥판 상태 점검



< 예시 >
- 방호울타리부 신축이음의 방수기능 점검
- 점검기간 내 온도차이가 큰 아침과 한낮에 신축 이동량을 조사하고 적정유간을 확보하고 있는지 확인 점검

○ 손상발생시 조치
- 신축이음 본체의 유동, 단차, 파손으로 인한 충격으로 타부재에 추가손상이 우려되거나 주행안전성에 지장을 초래할 경우 즉시 보고하여 대책을 수립

○ 점검시 유의사항
- 차량 진행방향과 반대방향으로 점검을 진행하며 2인 1조로 점검수행
- 신축유간 점검시 차량에 유의
</td>
</tr>
<tr>
<td>점검
도구</td>
<td>• 사진기
• 줄자
• 점검용 망치
• 드라이버(driver) - 유간오물 확인
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td>
</tr>
</table>

자. 교면포장

【표 7.31】 교면포장 일반 유지관리 사항

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 공통</td><td>• 균열(미세, 선상, 격자형)
• 소성변형(요철, 바퀴자국, 단차)
• 포트홀(패임)
• 노면잡물(구배불량)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 신축이음 전후, 구조물 경계부</td><td>• 단차, 침하</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 미끄럼 방지포장</td><td>• 마모</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 배수구 주변</td><td>• 물고임(배수구 간격, 유출구 위치)</td></tr>
<tr><td>주요
부위</td><td colspan="2"> 
< 교면포장, 백운1교(부산) >
 
< 교면포장, 백운1교(춘천) ></td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="2">○ 점검방법
- 보도 혹은 방호울타리 양측 갓길에서 상세점검
- 중차량 통행이 많은 차선, 곡선부 외측, 급정지 구간 주변의 손상 점검
- 신축이음 전후 및 경계부의 단차 점검
- 배수구 주변 물고임 점검(가급적 비온 직후 교면 위 물고임 및 포트홀 점검) 및 부유물 퇴적 흔적에 의한 물고임 부위 확인
○ 손상발생시 조치
- 교면포장의 균열 및 보수면적, 단차 등 각 손상에 대하여 점검야장에 경간별로 기록 후 사진 촬영
○ 점검시 유의사항
- 노견에서 점검시 교통사고의 위험이 높으므로 2인 1조로 하여 차량 진행방향과 반대방향으로 걸어가면서 점검 진행
- 상세조사를 실시할 경우 신호봉 등을 사용하여 차량 유도후 안전하게 점검</td></tr>
<tr><td>점검
도구</td><td colspan="2">• 사진기
• 줄자(5m, 50m)
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장
• 신호봉 또는 수기</td></tr>
</table>

차. 배수시설

【표 7.32】 배수시설 일반 유지관리 사항

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td>▷ 배수구</td><td>- 격자판(grating)
- 유입구</td><td>• 파손, 누락
• 누수, 체수(막힘)
• 오염(오물퇴적</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 배수관</td><td>• 파손(연결 고정부 탈락)
• 배수관 길이 부족(거더에 물 떨어짐)
• 유출구 위치 부적절
(도로상이나 구조물 위에 위치)</td></tr>
<tr><td>주요
부위</td><td colspan="2">    
< 배수구 > 백운1교(부산) < 배수관 > 백운1교(부산) < 배수구 > 백운1교(춘천) < 배수관 > 백운1교(춘천)</td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="2">○ 점검방법
• 배수관
- 교량하부 및 측면에서 점검하며, 접근이 어려운 부분은 접근장비를 이용
- 교량이 도로 위를 통과할 경우 배수관에서 유출된 물이 통행인이나 통행차량 위로 떨어지지 않는지 점검
- 배수관의 물이 구조물의 부식을 유발할 수 있는 위치로 배수되는지 점검
- 경사가 완만한 배수관은 점검용 망치로 두들겨 내부에 쓰레기로 막혀있는지 점검
- 배수관 지지장치 및 연결부 상태는 흔들어 보거나 망치로 두들겨서 점검

○ 손상발생시 조치
- 배수구에 휴지나 나뭇잎 등으로 막혀있는 경우는 드라이버를 사용하여 제거

○ 점검시 유의사항
- 보도가 없는 갓길에서 점검시 2인 1조로 하여 차량 진행 방향과 반대방향으로 걸어가면서 점검하며 차량에 주의
- 접근장비 사용시 교통소통 및 안전에 유의</td></tr>
<tr><td>점검
도구</td><td colspan="2">• 사진기
• 드라이버(driver)
• 점검용 망치
• 줄자
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

카. 방호벽, 중앙분리대

【표 7.33】 방호벽, 중앙분리대 일반 유지관리 사항

<table>
<tr><th colspan="3">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 난간, 방음벽</td><td>- 강재, 알루미늄</td><td>• 변형
• 파손</td></tr>
<tr><td colspan="3">▷ 보도</td><td>• 신축이음 접촉부 부스러짐(파손)
• 표면 부스러짐(동결융해)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 연석</td><td>- 철근콘크리트</td><td>• 박리, 박락, 부스러짐, 파손</td></tr>
<tr><td>주 요
부 위</td><td colspan="3"> 

< 방호벽, 백운1교(부산) >
 

< 중앙분리대, 백운1교(춘천) ></td></tr>
<tr><td>점 검
요 령</td><td colspan="3">○ 점검방법
- 교량 한쪽에서 눈을 난간높이 정도로 낮추어 난간의 전체 선형에 급격한 변화 부분이 있는지 점검
- 안전난간 및 방음벽의 경우 기둥과 바닥판 접촉면의 부식 혹은 볼트 손상에 의해 전도 우려가 있는지 힘을 주어 밀거나 당겨서 흔들림 정도를 확인
- 연속 받침부 연석 및 자갈막이 콘크리트의 경우 부모멘트에 의한 균열(일반적으로 0.3㎜이상)을 점검

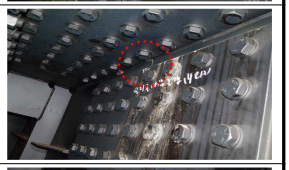
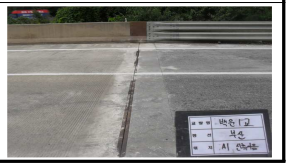
○ 손상발생시 조치
- 난간의 전체 선형에 급격한 변화부분이 있는 경우 받침이나 하부구조의 침하가 있을 수 있으므로 해당부재 점검시 참고할 수 있도록 기록 유지
- 외부의 강한 하중에 의한 손상일 경우 바닥판에도 영향을 줄 수 있으므로 바닥판 점검시 고려
- 난간의 큰 변형이나 파손된 부분으로 통행인 추락 위험이 있을 시 즉시 연락하여 추락 방지시설 등의 응급조치 필요</td></tr>
<tr><td>점검
도구</td><td colspan="3">• 사진기
• 솔(브러쉬)
• 강재 부식부위 등 상세확인
• 줄자
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

7.4.3 진단결과에 따른 중점 유지관리 사항

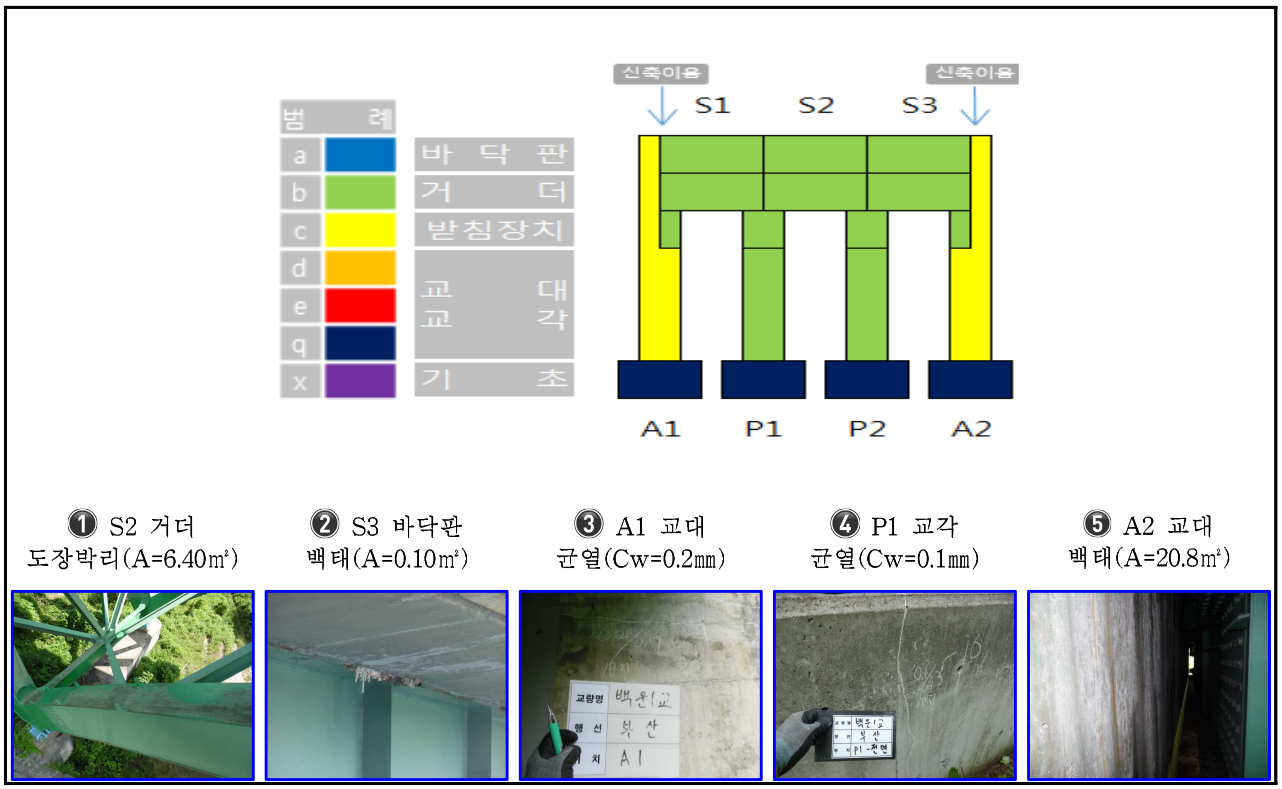
가. 주요 손상별 중점 유지관리 사항

본 대상교량의 정밀안전진단 결과 구조의 안전과 직접적인 관련이 있는 결함, 손상 및 열화는 발견되지 않았으나, 유지관리의 효율성과 반복적으로 발생 가능한 현상은 주기적인 점검이 필요하며, 점검 시 확인하여야 할 사항은 다음과 같다.

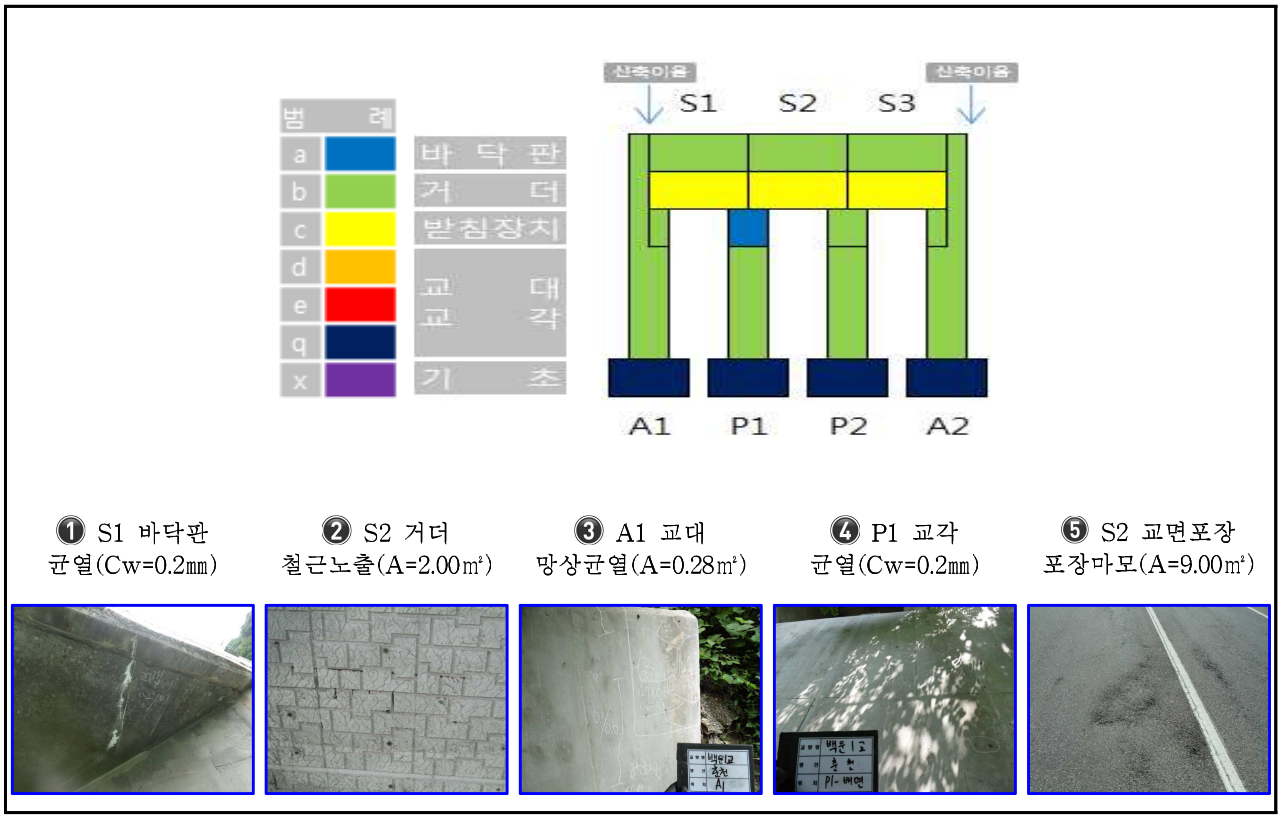
【표 7.34】 주요 손상별 중점 유지관리 사항

부재	손상유형	손상위치	유지관리내용	비고
바닥판	백태 및 부식	백운1교(부산) S3	•재포장 보수 후 손상 진전 여부 관찰	
	염화물함유량 시험 “d”	백운1교(춘천) S3	•염화물함유량 과다에 의한 철근 부식 손상 발생 여부 관찰	
거더	실리콘 마감불량	백운1교(부산) S2	•우수유입으로 인한 2차 손상 방지를 위한 실링보수 필요	
거더	맞대기 용접 이음부	백운1교(부산) 용접부	•용접부 부식 및 균열 발생 여부	
교대	백태	백운1교(부산) A1	•표면처리 후 재손상 여부 관찰	
	염화물함유량 시험 “d”	백운1교(춘천) A2	•염화물함유량 과다에 의한 철근 부식 손상 발생 여부 관찰	
교각	철근노출	백운1교(춘천)	•철근노출부 손상 진전 여부 •보수후 재손상 여부	
받침장치	부식	백운1교(춘천) A2	•신축이음 누수에 따른 받침장치 부식 진전 및 가동상태	
신축이음부	유간부족	백운1교(부산) A1	•온도신축에 의한 손상 발새 여부	

나. 상태평가 현황도 및 손상 위치도



【그림 7.15】 백운1교(부산) 상태평가 현황도 및 손상 위치도



【그림 7.16】 백운1교(춘천) 상태평가 현황도 및 손상 위치도

다. 중점유지관리 균열

1) 중점유지관리 균열 현황

금번 조사된 균열은 보수·보강방안에 따른 조치가 이루어져야 하고, 보수 후 재손상 여부 및 박락 등의 2차 손상 여부 확인을 위해 다음과 같이 균열폭이 0.3mm 이상인 균열들에 대해 중점관리 균열로 제시하였으며, 차기 정밀점검 및 정밀안전진단 외관조사 시 재손상 및 추가손상 등을 확인할 필요가 있을 것으로 판단된다.

2) 백운1교(부산)

【표 7.35】 백운1교(부산) 중점유지관리 균열 현황

구 분	점검부위		외관조사망도 번호	손상 번호	균열폭 (mm)	길이 (m)	비 고
1	교대	S6	01-058	1	0.3	1.2	
2	교대	S7	01-058	2	0.3	1.7	
3	교대	S19	01-058	3	0.3	0.5	
4	교대	S19	01-058	4	0.3	0.7	

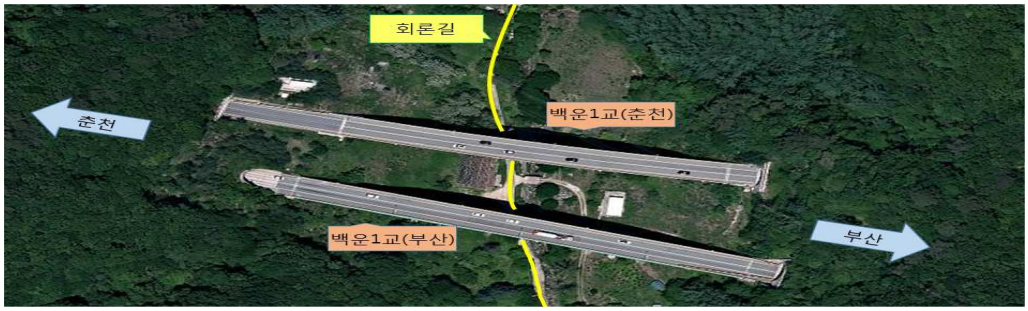
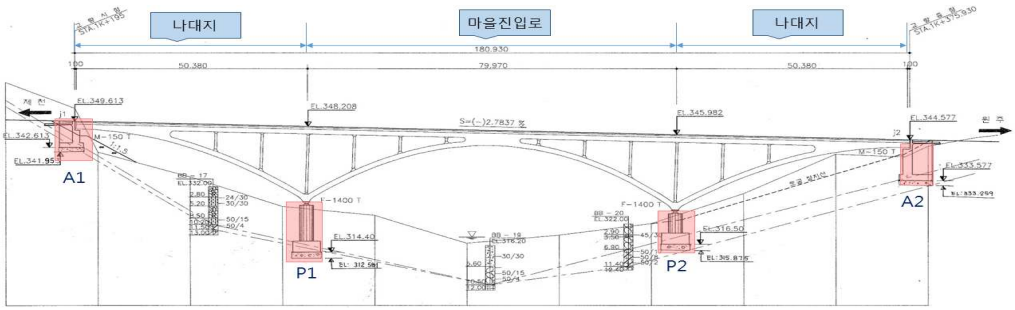
3) 백운1교(춘천)

【표 7.36】 백운1교(춘천) 중점유지관리 균열 현황

구 분	점검부위		외관조사망도 번호	손상 번호	균열폭 (mm)	길이 (m)	비 고
1	교각	01-018	P1	28	0.3	2.8	보수

7.4.4 현장조사 현안사항

【표 7.37】 백운1교(부산) 현장조사 현안사항

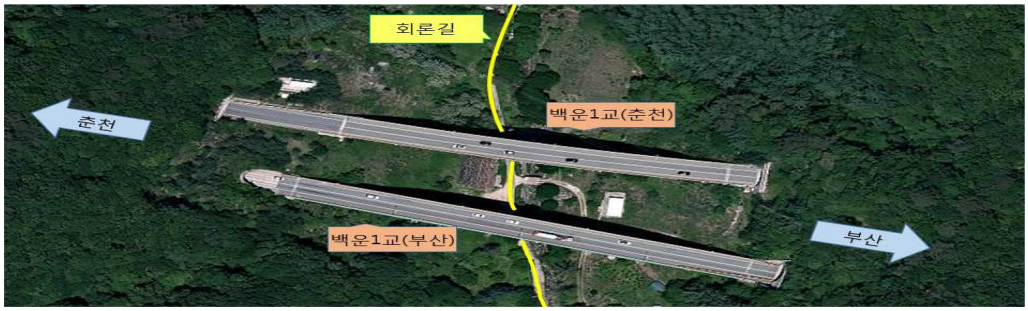
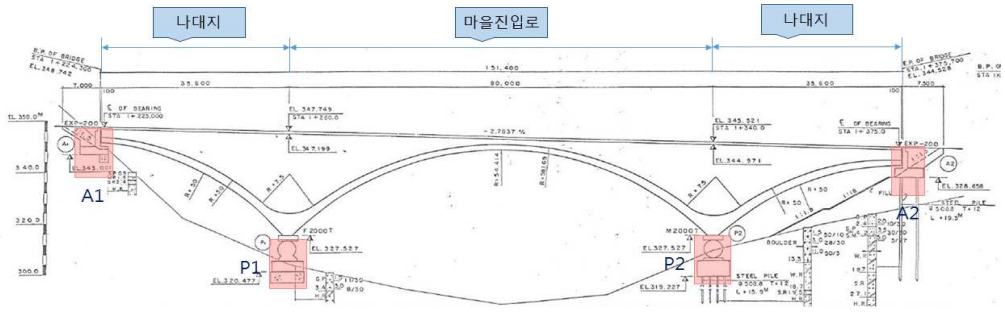
<table>
<tr><th>구 분</th><th>세 부 내 용</th></tr>
<tr><td>위치도</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>형하공간
이용현황</td><td> 

<table>
<tr><td>구분</td><td>S1</td><td>S2</td><td>S3</td></tr>
<tr><td>이용현황</td><td>나대지(급경사)</td><td>마을진입로</td><td>나대지(급경사)</td></tr>
</table>



<table>
<tr><td>S1</td><td>S2</td><td>S3</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>조사방법</td><td>▪ 바닥판하면 및 거더 외부 : 바닥판하면 중앙부는 점검통로를 이용하여 조사를 실시하고, 외측부는 고소점검차 및 굴절점검차를 이용한 조사를 실시함
▪ 교대 및 교각 하부 : 교대(A1) 및 교각(P1, P2)는 도보 접근이 용이하였으나, 교대(A2)는 점검로 미설치로 인해 도보 접근시 어려움이 있어 각별한 주의가 필요함</td></tr>
</table>

【표 7.38】 백운1교(춘천) 현장조사 현안사항

<table>
<tr><th>구 분</th><th>세 부 내 용</th></tr>
<tr><td>위치도</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>형하공간
이용현황</td><td>


<table>
<tr><td>구분</td><td>S1</td><td>S2</td><td>S3</td></tr>
<tr><td>이용현황</td><td>나대지(급경사)</td><td>마을진입로</td><td>나대지(급경사)</td></tr>
</table>



<table>
<tr><td>S1</td><td>S2</td><td>S3</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>조사방법</td><td>▪ 바닥판하면 및 거더 외부 : 바닥판하면 점검통로 미설치로 인해 고소점검차 및 굴절점검차를 이용한 조사를 실시함
▪ 교대 및 교각 하부 : 교각(P1, P2)는 도보 접근이 용이하였으나, 교대(A1, A2)는 점검로 미설치로 인해 도보 접근시 어려움이 있어 각별한 주의가 필요함
▪ 하부 고소점검차 접근시 S2(P2측) 일부 구간 임의 경작으로 고소점검차 진입이 불가한 구간은 디지스코프를 이용한 조사 실시</td></tr>
</table>

7.4.5 유지관리 개선 방안

가. 개요

백운1교(춘천)의 교대(A1, A2)측은 경사가 급하여 하부에서의 도보 접근 시 미끄러짐 및 추락의 우려가 있으므로 유지관리 시 점검자의 안전을 위해 계단 설치가 필요할 것으로 판단된다.

나. 백운1교(춘천) 교대(A1, A2) 현황

	
백운1교(춘천) 교대 A1	백운1교(춘천) 교대 A2

다. 계단 설치 현황 예시

계단 설치는 철재 계단과 콘크리트 계단 등이 주로 사용되며, 설치 현황 예시 다음과 같다.

	
< 철재 계단 설치 현황>	< 블럭 계단 설치 현황>

제 8 장 종합결론

8.1 개　요

8.2 정밀안전진단 실시결과의 종합결론

8.3 유지관리시 특별한 관리가
요구되는 사항

제 8 장 종합결론

8.1 개 요

백운1교(부산)은 총연장 180.93m, 총폭 12.6m의 Steel Arch교량으로서, 강원도 원주시 판부면 금대리에 위치(중앙선 Sta. 301.8km)한다. 평면선형은 사각이 없는 직선교이며, 종단경사는 시점(부산측)에서 종점(춘천측)으로 2.78%의 하향경사를 이루고 있다. Bent공법으로 시공된 3경간 강아치교(상로식 로제교)는 좌, 우측의 주거더와 가로보, 아치리브와 브레이싱 및 행어가 복합적으로 구성된 2힌지의 3경간 연속교이며, 하부구조는 직접(전면)기초 위에 벽식교각과 역T형 교대로 시공되었다. 백운1교(부산)는 1등교(DB-24)로써 2000년도에 준공되어 현재까지 약 16년이 경과되었으며, 최대 경간장이 79.97m인 1종 시설물이다.

백운1교(춘천)는 총연장 151.4m, 총폭 12.51m의 AR 거더 교량으로서, 강원도 원주시 판부면 금대리에 위치(중앙선, Sta. 301.9km)한다. 평면선형은 사각이 없는 직선교이며, 종단경사는 시점(부산측)에서 종점(춘천측)으로 2.78%의 하향경사를 이루고 있다. 상부구조는 3경간 연속의 AR거더이며, 하부구조는 역T형 교대 2기 및 구형 교각 2기이며, 기초형식은 A1, P1은 직접기초, P2, A2는 강관파일 말뚝기초로 시공되었다. 백운1교(춘천)은 1등교(DB-24)로서 1995년도에 준공되어 현재까지 약 21년이 경과되었으며, 최대 경간장이 80.0m인 1종 시설물이다.

'안전점검 및 정밀안전진단 세부지침' 및 과업지시서에 따라 교량의 안전성, 사용성, 내구성을 종합적으로 평가하고, 물리적 기능적, 결함의 원인분석 및 안전성평가를 실시하여 보수·보강대책을 수립함으로써 시설물의 효율적인 관리 및 재해, 재난을 예방하는데 그 목적을 두고 정밀안전진단을 실시하였으며, 외관조사 및 내구성 조사를 통한 시설물의 상태평가 안전성평가 등 과업의 결과를 종합한 결론은 다음과 같다.

8.2 정밀안전진단 실시결과의 종합결론

8.2.1 백운1교(부산)

가. 현장조사 결과

1) 바닥판

○ 캔틸레버부에 우수유입으로 의한 백태, 데크플레이트 부식과 콘크리트부 재질열화에 의한 박리, S1에서 피복부족으로 인한 철근노출, S3에 동절기 동결융해에 의한 파손이 조사되었다.

2) 보강거더 및 아치리브

○ 공용 중 우수접촉에 의한 부식 및 도장박리, 일부 볼트부에 바탕처리 및 도장불량에 의한 볼트부식이 발생되었으며, 용접불량에 의한 PIT와 S1-G1에 언더컷, 환기구 및 스플라이스 연결부에 실리콘 마감 불량으로 인한 이물질 퇴적이 조사되었다.

3) 가로보, 세로보, 브레이싱, 행거

○ 일부 바탕처리 및 도장불량에 의한 볼트부식, 시공시 공용 중 우수접촉으로 인한 도장박리, 브레이싱에 시공 당시 기 변형된 자재의 사용 또는 현장 설치 시 외부 충격에 의한 변형이 조사되었다.

4) 교대

○ 교대에서 상부 포장부로 접근이 가능하게 설치된 점검계단이 교량 준공 후 사면의 안정화 단계에서 발생된 일부 계단침하, 건조수축에 의한 균열 및 망상균열, 시공시 마감불량 또는 공용 중 열화로 인한 박리, 신축이음부 누수로 인한 흉벽부에 백태, 상면부에 체수가 조사되었다. 또한 구체부에 바닥판 하면의 종방향 점검통로의 앵커볼트 설치과정에서 발생된 파손, 시공미흡에 의한 마감불량이 조사되었다.

5) 교각

○ 건조수축 및 수화열에 의한 발생된 균열 및 망상균열, 시공 시 마감불량 또는 공용 중 열화에 의한 박리, 콘크리트 타설 시 다짐불량으로 인한 재료분리와 공용중 외부충격에 의한 파손이 조사되었다.

6) 교량받침

○ 공용 장기화에 따른 도장열화 및 외측부 우수접촉에 의한 부식, 받침콘크리트에 시공초기 건조수축에 의한 균열 및 망상균열, 시공미흡으로 인한 거푸집 미제거가 조사되었다.

7) 신축이음장치

○ 공용기간 중 우수접촉 및 체수에 의한 본체부식, 기존 아스콘 포장과 바닥판 사이로 침투한 우수가 신축이음부로 유출되면서 발생된 백태, 공용 중 우수 등에 의한 신축이음 유간 내 토사퇴적, 차량반복 하중에 의한 후타재 균열, 재포장 시 장비에 의한 외부충격 및 중차량 통행에 의한 파손이 조사되었다.

8) 교면포장

○ 기존 포장은 아스팔트 콘크리트로 시공되어 있었으나, 2016년 08월29일~09월02일 기간 동안 전면 재포장 공사를 실시하여 현재는 콘크리트 포장(LMC)으로 재포장 공사가 완료된 상태이다.

9) 배수시설

○ 공용 장기화에 따른 강우 시 노면의 토사 등의 이물질 퇴적으로 발생된 배수구 막힘과 바닥판 접합부 및 하단 토출부에 배수관 부식이 조사되었다.

10) 방호벽

○ 공용 장기화에 따른 우수접촉으로 의한 강판부식, 시공초기 건조수축에 의한 균열 및 망상균열, 신축이음부에 설치된 덮개판은 외부충격 또는 온도차에 의한 신축거동 시 발생된 덮개판 변형, 시공 시 마감불량 또는 공용 중 열화에 의한 박리, 공용 중 강우 시 미세균열에 유입으로 인한 백태가 조사되었다.

○ 방호벽 측에 설치된 가로등의 전선 유지보수를 위하여 설치된 시설로 공용 중 외부충격 또는 차량 진동에 의해 탈락 후 망실된 보포덮개 탈락, 피복부족에 의한 철근노출, 시공 시 거푸집 탈형 시 또는 주행차량에 의한 충격 등으로 발생된 파손이 조사되었다.

나. 내구성조사 결과

현장 재료시험 결과, 전반적으로 기준치를 만족하는 양호한 상태로 확인되어 구조물의 내구성에는 문제가 없는 것으로 분석되었다.

1) 콘크리트 강도

○ 비파괴강도 시험(반발경도시험. 초음파시험)에 의한 콘크리트 강도시험 결과, 반발경도시험 25.3~33.1MPa, 초음파시험 26.0~30.7MPa로 설계기준강도(상부구조 : 27.0MPa, 하부구조 : 24.0MPa)를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 건전한 것으로 판단된다.

2) 철근배근 탐사

○ 철근의 배근간격은 각각의 철근간의 간격이 다소 편차를 보이고 있으나 전체적인 평균간격은 설계 간격과 유사한 것으로 조사되었다.

3) 탄산화 깊이 측정

○ 탄산화 깊이 측정결과, 1.0~12.0mm로 나타나 측정위치에서의 철근피복두께를 고려할 때 측정개소 모두 잔여깊이 30mm 이상으로 철근부식의 우려가 없는 "a"로 평가되었다. 또한, 현재의 탄산화 깊이를 철근 피복과 비교하여 내구성측면에서의 잔존수명을 계산하면 100년 이상을 나타내고 있으므로 탄산화에 의한 철근부식 등 내구성 저하는 없는 것으로 판단된다.

4) 염화물함유량 시험

○ 금회 측정한 염화물함유량은 상부구조 0.106kg/㎥, 하부구조 0.158~0.581kg/㎥로 분석되어 상태평가 a~b로 부식발생 가능성이 낮은 것으로 평가되었다.

5) 강재초음파 탐상

○ 맞대기 용접부에 대해 거더별로 6개소씩 총 12개소에 대해 검사를 실시하였으며, 탐사결과 조사된 모든 위치에서 용접부에 대한 결함지시가 발생하지 않아 구조물의 용접상태는 양호한 것으로 평가되었다.

다. 상태평가 결과

【표 8.1】 백운1교(부산) 상태평가 결과

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성 요소			
번호	구조 형식	바닥판	거더		포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	탄산화 (상)	탄산화 (하)	염화물 (상)	염화물 (하)
S1 (A1)	강아치교	b	b	b	a	b	c	c	b	c	q	a	a	×	b
S2 (P1)	강아치교	b	b	b	a	b	c	×	b	b	q	a	a	a	a
S3 (P2)	강아치교	b	b	b	a	b	c	×	b	b	q	×	a	×	×
A2	강아치교							c	b	c	q	×	a	×	×
평균		0.200	0.200	0.200	0.100	0.200	0.400	0.400	0.200	0.300	0.000	0.100	0.100	0.100	0.150
가중치		15	23	5	7	3	2	9	9	20	0	2	2	2	1
(평균×가중치) /가중치 합		0.030	0.046	0.010	0.007	0.006	0.008	0.036	0.018	0.060	0.000	0.002	0.002	0.002	0.002

등급	a	b	c	d	e
결함도 범위	0≤x <0.13	0.13≤x <0.26	0.26≤x <0.49	0.49≤x <0.79	0.79≤x

환산결함도점수	0.229
상태평가 결과	b

라. 안전성평가

1) 상부구조 안전성평가 결과

① 강아치(Steel-Arch)

【표 8.2】 백운1교(부산) 상부구조 강아치(Steel-Arch) 안전성평가 결과

단위 : MPa

구 분	축방향력 및 휨모멘트 응력			전단응력			안전성 평가등급
	검토응력	허용응력	안전율	검토응력	허용응력	안전율	
보강거더	172.413	215.000	1.00이상	12.716	125.000	1.00이상	a
아치리브	34.572	215.000	1.00이상	9.820	125.000	1.00이상	a
행거	13.772	140.000	1.00이상	-0.124	80.000	1.00이상	a
상부가로보	114.541	215.000	1.00이상	0.030	125.000	1.00이상	a
하부가로보	-6.516	215.000	1.00이상	-0.086	125.000	1.00이상	a
브레이싱	-3.182	112.591	1.00이상	0.121	80.000	1.00이상	a
세로보	44.653	140.000	1.00이상	0.169	80.000	1.00이상	a

② 바닥판

【표 8.3】 백운1교(부산) 상부구조 바닥판 안전성평가 결과

구 분		Mu(kN·m)	ΦMn(kN·m)	안전율	안전성 평가등급
바닥판	캔틸레버	37.398	127.569	1.00이상	a
	중앙부	67.724	105.961	1.00이상	a

2) 하부구조의 안전성평가 결과

【표 8.4】 백운1교(부산) 하부구조 교각 안전성평가 결과

단 면	축력 검토		안전율	모멘트 검토		안전율	안전성 평가 등급
	Pu(kN)	ΦPn(kN)		Mu(kN·m)	ΦMn(kN·m)		
교각	19,987.396	91,935.160	1.00이상	70,826.692	326,210.033	1.00이상	a

마. 종합평가 및 안전등급 지정

【표 8.5】 백운1교(부산) 안전등급 지정

구 분	상태평가		안전성평가	
	결함도 점수	평가기준	최소 안전율	평가기준
평가결과	0.229	b	1.0이상	a
안전등급 지 정	▶ 백운1교(부산)의 안전등급은 양호한 상태인 B등급으로 지정함 상태평가 b / 안전성평가 a 안전등급 B			

바. 종합결론

본 과업대상 시설물인 백운1교(부산)에 대하여 현장조사, 시험 및 측정한 자료를 활용하여 시설물 평가를 실시한 결과 안전등급은 B등급으로 대체로 양호한 상태이며, 일부 발생한 비구조적인 손상을 제외한 대부분의 상태가 특별한 문제점이 없는 양호한 상태로 확인되었다.

조사된 결함에 대해서 제안한 공법대로 보수를 실시하고, 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 지속적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 시설물의 안전성 및 차량의 안전운행을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

8.2.2 백운1교(춘천)

가. 현장조사 결과

1) 바닥판

○ 시공초기 건조수축에 의한 균열 및 망상균열, 공용 중 우수접촉에 의해 발생된 열화로 인한 박리, 미세균열부 수분접촉에 의한 백태, 콘크리트 타설 시 다짐불량에 의한 재료분리, 시공미흡 및 장기 우수접촉에 의한 철근노출 및 녹물흔적, 시공미흡으로 인한 거푸집 미제거 및 파손이 조사되었다.

○ 시공미흡에 의해 발생된 손상으로 물끊기홈 설치를 통하여 강우시 캔틸레버 하면으로의 우수접촉 차단이 적절할 것으로 필요하며, 시공미흡에 의한 파손, 캔틸레버 하면에 강우 시 방호벽 측면으로부터 유입된 우수에 의한 누수흔적이 조사되었다.

2) AR Girder

○ 거더에 균열은 온도변화와 건조수축에 의한 비구조적인 균열로서, 거더 복부측 문양거푸집에서 발생된 0.3mm 이상의 균열은 본 구조물의 특성상 대단면 구조물로서 단계별 시공과정에 따른 선타설 콘크리트와 후타설 콘크리트 간의 구속력에 의해 발생되었으며, 거더 하면 및 측면에서 건조수축으로 인한 균열폭 0.2mm 이하의 균열 및 망상균열이 조사되었다.

○ 강우시 거더 측면으로 유입된 우수에 의한 누수흔적, 시공미흡에 의한 볼트 및 철근미제거, 이물질 삽입, 거푸집 미제거, 시공미흡 및 공용 중 지속적인 우수접촉 등에 따른 열화로 발생된 박리, 파손, 시공 시 다짐불량에 의한 재료분리, 시공미흡에 의한 피복부족 및 간격재(스페이서) 설치 미흡에 의해 발생된 철근노출이 조사되었다.

3) 가로보

○ 콘크리트 타설 시 시공불량에 의한 재료분리가 조사되었다.

4) 교대

○ 시공초기 건조수축에 의해 발생된 균열 및 망상균열, 시공 시 이물질 삽입 및 철근 결속선 마감 불량에 의해서 발생된 녹물흔적(잡철물 및 이물질 삽입), 공용 중 우수접촉에 의한 열화로 인한 박리, 교대 신축이음부 하부에서 조사된 손상으로 신축이음부 누수로 인한 콘크리트 구체의 미세균열부 수분접촉에 의한 백태가 조사되었다.

○ 콘크리트 타설 시 시공미흡에 의해 발생된 재료분리, 공용 중 외부충격에 의한 파손, 교대 사면보호공에서 시공미흡으로 인한 와이어매쉬 노출, 교대와 교대 점검로 및 사면보호공 사이의 접합부가 시공 후 사면안정화 단계에서 발생된 이격, 신축이음부 누수로 인한 체수 및 누수흔적이 조사되었다.

5) 교각

○ 시공미흡에 의해 발생된 거푸집 미제거, 건조수축에 의한 균열 및 망상균열, 콘크리트 타설 시 시공불량에 의해 발생된 재료분리, 피복부족에 의한 철근노출, 시공미흡 및 공용 중 외부충격에 의한 파손, 시공 시 이물질 삽입 및 철근 결속선 마감 불량에 의한 이물질 노출이 조사되었다.

6) 교량받침

○ 공용기간 증가에 따른 도장열화 및 외측부 우수접촉에 의한 받침장치 및 볼트부식, 받침거치시 시공미흡에 의한 외부 충격에 의한 상부플레이트 변형 및 콘크리트 탈락, 받침콘크리트에 시공초기 건조수축에 의한 균열 및 망상균열, 공용 중 외부충격 등에 의한 파손, 시공 시 다짐불량 등의 시공미흡으로 인한 재료분리, 시공 시 이물질 삽입에 의한 이물질 노출이 조사되었다.

7) 신축이음장치

○ 공용중 차량반복 하중에 의한 후타재 균열, 시공초기 건조수축 및 중차량 반복 통행에 의해 발생된 후타재 마모, 공용기간 중 우수접촉 및 체수로 인한 본체부식, 공용 중 우수 등에 의한 신축이음 유간 내 토사퇴적, 시공초기 시공미흡 또는 중차량 반복통과로 발생된 단차, A2측 접속슬래브와 접하는 후타재에서 박리가 조사되었다.

8) 교면포장

○ 공용기간 장기화에 따른 차륜하중 및 중차량 반폭 통과와 같은 원인에 의해 발생된 포장균열, 망상균열, 포잠마모, 포트홀이 조사되었으며, 공용 중인 고속도로 교량의 특성상 재포장 시 분할하여 보수를 실시하는 과정에서 발생된 시공이음 균열이 조사되었다.

9) 배수시설

○ 공용 장기화에 의한 바닥판 접합부 및 하단 토출부에 배수관 부식이 조사되었다.

10) 방호벽

○ 시공초기 건조수축에 의한 균열 및 망상균열, 주행차량의 방호벽 충돌로 인한 긁힘, 시공미흡에 의한 피복부족으로 인한 철근노출, 시공 시 거푸집 탈형 시 또는 주행차량에 의한 충격 등으로 발생된 파손이 조사되었다.

11) 전선관 보호덮개

○ 공용기간 장기화에 의한 열화로 발생된 전선관 보호덮개 파손 및 부식이 조사되었다.

나. 내구성조사 결과

현장 재료시험 결과, 전반적으로 기준치를 만족하는 양호한 상태로 확인되어 구조물의 내구성에는 문제가 없는 것으로 분석되었다.

1) 콘크리트 강도

○ 비파괴강도 시험(반발경도시험. 초음파시험)에 의한 콘크리트 강도시험 결과, 반발경도시험 25.4~33.2MPa, 초음파시험 24.6~30.1MPa로 설계기준강도(상부구조 : 27.0MPa, 하부구조 : 24.0MPa)를 상회하는 것으로 측정되어 콘크리트 강도는 건전한 것으로 판단된다.

2) 철근배근 탐사

○ 철근의 배근간격은 각각의 철근간의 간격이 다소 편차를 보이고 있으나 전체적인 평균간격은 설계 간격과 유사한 것으로 조사되었다.

3) 탄산화 깊이 측정

○ 탄산화 깊이 측정결과, 4.0~6.1mm로 나타나 측정위치에서의 철근피복두께를 고려할 때 측정개소 모두 잔여깊이 30mm 이상으로 철근부식의 우려가 없는 “a”로 평가되었다. 또한, 현재의 탄산화 깊이를 철근 피복과 비교하여 내구성측면에서의 잔존수명을 계산하면 100년 이상을 나타내고 있으므로 탄산화에 의한 철근부식 등 내구성 저하는 없는 것으로 판단된다.

4) 염화물함유량 시험

○ 염화물함유량 1차 조사결과 상부구조 4.378kg/m^3, 하부구조 0.321~4.338kg/m^{3}로 측정되었으며 염화물함유량 1.2kg/m^3 미만으로 측정되어 상태평가 “b”로 부식발생 가능성이 낮은 것으로 분석된 교각(P1)을 제외한 2개소에 대해서는 추가조사를 실시하였다.

○ 신축이음부와 접하는 바닥판하면 및 교대 구체의 경우 강설시 제설대책인 동결방지제(염화칼슘)의 영향을 받아 염화물 측정치가 크게 분석된 것으로 판단되어 측정위치를 변경하여 2차 조사를 실시하였다.

○ 측정결과 바닥판하면(S3, 0.377kg/m^3), 교대(A2, 1.443kg/m^3) 측정값의 차이가 발생되어 교대 신축이음부 하부, 배수구 주변 등 노면수 유입이 되는 부위에 대해서는 염화물에 의한 철근부식 등의 구조물 손상 발생여부를 지속적으로 주의 관찰하여야 할 것이다.

5) 균열깊이조사

○ 하부구조 균열폭 0.2~0.3mm에 대하여 균열깊이 조사를 실시한 결과, 균열깊이는 32.4mm~33.8mm로 측정되었다. 균열깊이는 하부구조 피복두께(90.0~92.0mm)에 미치지는 않은 것으로 측정되어 철근부식에 의한 내구성 저하는 미미할 것으로 판단된다.

다. 상태평가

【표 8.6】 백운1교(춘천) 상태평가 결과

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성 요소			
번호	구조 형식	바닥판	거더		포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	탄산화 (상)	탄산화 (하)	염화물 (상)	염화물 (하)
S1 (A1)	AR 거더	b	c	a	b	a	c	c	b	c	q	×	×	×	×
S2 (P1)	AR 거더	b	c	a	b	a	c	×	a	c	q	a	a	×	b
S3 (P2)	AR 거더	b	c	a	a	a	c	×	b	b	q	a	×	d	×
A2	AR 거더							c	b	c	q	×	a	×	d
평균		0.200	0.400	0.100	0.167	0.100	0.400	0.400	0.175	0.350	0.000	0.100	0.100	0.700	0.450
가중치		15	23	5	7	3	2	9	9	20	0	2	2	2	1
(평균×가중치) /가중치 합		0.030	0.092	0.005	0.012	0.003	0.008	0.036	0.016	0.070	0.000	0.002	0.002	0.014	0.005

등급	a	b	c	d	e
결함도 범위	0≤x <0.13	0.13≤x <0.26	0.26≤x <0.49	0.49≤x <0.79	0.79≤x

환산결함도점수	0.295
상태평가 결과	c

라. 안전성평가

1) 상부구조 안전성평가 결과

【표 8.7】 백운1교(춘천) 상부구조 안전성평가 결과

구 분	모 멘 트 (kN·m)			전 단 력 (kN)			안전성 평가등급
	Mu (kN·m)	ΦMn (kN·m)	안전율	Vu (kN)	ΦVn (kN)	안전율	
바 닥 판	97.211	624.581	7.912	169.447	292.284	1.725	a
연 직 재	194.122	347.945	1.792	2,613.728	4,684.842	1.792	a
아치리브	905.136	3,273.146	3.616	480.914	2,698.752	5.612	a

2) 하부구조의 안전성평가 결과

① 교 대

【표 8.8】 백운1교(춘천) 하부구조 교대 안전성평가 결과

단 면		Mu (kN · m/m)	ϕMn (kN · m/m)	안전율	안전성 평가 등급
A1	앞 굽 판	108.833	1,889.988	17.366	a
	뒷 굽 판	189.997	957.029	5.037	a
	벽 체	139.874	569.070	4.068	a
A2	앞 굽 판	160.459	2,019.196	12.584	a
	뒷 굽 판	287.589	1,086.237	3.777	a
	벽 체	133.500	569.070	4.263	a

② 교 각

【표 8.9】 백운1교(춘천) 하부구조 교각 안전성평가 결과

단 면			Qmax (MPa)	Qa (MPa)	안전율	안전성 평가 등급
교각	P1	기 초	760.871	800.000	1.05	a
	P2	기 초	1351.556	1585.900	1.17	a

마. 종합평가 및 안전등급

【표 8.10】 백운1교(춘천) 안전등급 지정

구 분	상태평가		안전성평가	
	결함도 점수	평가기준	최소 안전율	평가기준
평가결과	0.247	b	1.0이상	a
안전등급 지 정	▶ 백운1교(춘천)의 안전등급은 양호한 상태인 B등급으로 지정함 상태평가 b / 안전성평가 a 안전등급 B			

바. 종합결론

본 과업대상 시설물인 백운1교(춘천)에 대하여 현장조사, 시험 및 측정한 자료를 활용하여 시설물 평가를 실시한 결과 안전등급은 B등급으로 대체로 양호한 상태이며, 일부 발생한 비구조적인 손상을 제외한 대부분의 상태가 특별한 문제점이 없는 양호한 상태로 확인되었다.

조사된 결함에 대해서 제안한 공법대로 보수를 실시하고, 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 지속적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 시설물의 안전성 및 차량의 안전운행을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

8.3 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항

백운1교(부산, 춘천)은 일상점검 시 보수·보강 및 유지관리 방안에서 제안한 주요 손상에 대한 위치도 등을 활용한다면 효율적인 관리를 실시할 수 있을 것으로 판단된다.

금회 진단 시 본 교량의 특별한 관리 사항으로 백운1교(부산) 신축이음장치(A1) 가동여유량 부족, 바닥판 캔틸레버부 강판 부식, 백운1교(춘천) 교대A2 및 바닥판S3 염화물함유량 증가에 따른 철근부식 손상 발생 여부 등에 대해서 지속적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다.