관리번호

백운1교 등 7개소
정밀안전진단보고서
- 백운4교(부산,춘천) -

2016. 12

한국도로공사

백운1교 등 7개소
백운4교(부산, 춘천)

정밀안전진단보고서

2016. 12

한국도로공사

관리번호

백운1교 등 7개소
정밀안전진단보고서
- 백운4교(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 백운4교(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 백운4교(부산) ····· 7

1.4.2 백운4교(춘천) ····· 15

1.5 사용장비 및 시험기기 현황 ····· 23

1.6 교량기호의 정의 ····· 27

제 2 장 자료수집 및 분석 ····· 31

2.1 자료수집 현황 ····· 33

2.1.1 백운4교(부산) ····· 33

2.1.2 백운4교(춘천) ····· 34

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약 ····· 35

2.2.1 백운4교(부산) ····· 35

2.2.2 백운4교(춘천) ····· 46

2.3 기존 점검 및 진단 실시결과 요약 ····· 47

2.3.1 점검 및 진단이력 ····· 47

2.3.2 전회 정밀안전진단 결과 요약 ····· 51

2.4 보수·보강 이력 ····· 64

2.4.1 백운4교(부산) ····· 64

2.4.2 백운4교(춘천) ····· 64
2.5 구조물 용도, 하중 및 구조 변경 여부 ····· 64
2.6 시설물 내진설계 여부 ····· 65
2.6.1 백운4교(부산) ····· 65
2.6.2 백운4교(춘천) ····· 66
2.7 자료분석 결과요약 ····· 72

제 3 장 현장조사 및 시험 ····· 77
3.1 개 요 ····· 79
3.1.1 대상구조물의 개요 ····· 79
3.1.2 현장조사 개요 ····· 79
3.1.3 현장조사 진행방향 ····· 80
3.1.4 교량 점검 및 접근방법 ····· 81
3.1.5 일반적 부재별, 손상별 발생원인 및 조사방향 ····· 82
3.1.6 부재제원 확인 ····· 83
3.2 백운4교(부산) 외관조사 ····· 84
3.2.1 상부구조 ····· 84
3.2.2 하부구조 ····· 94
3.2.3 교량받침 ····· 103
3.2.4 신축이음장치 ····· 114
3.2.5 교면포장 ····· 120
3.2.6 기타부재 ····· 123
3.3 백운4교(춘천) 외관조사 ····· 129
3.3.1 상부구조 ····· 129
3.3.2 하부구조 ····· 145
3.3.3 교량받침 ····· 153
3.3.4 신축이음장치 ····· 163
3.3.5 교면포장 ····· 169
3.3.6 기타부재 ····· 172
3.4 콘크리트 내구성 조사 ····· 177
3.4.1 개 요 ····· 177

3.4.2 현장시험 개요 ····· 182
3.4.3 시험결과 및 분석 ····· 189
3.5 강재 내구성조사 ····· 203
3.5.1 개 요 ····· 203
3.5.2 현장시험 개요 ····· 207
3.5.3 시험결과 및 분석 ····· 209
3.6 현장조사 및 시험 결과요약 ····· 213
3.6.1 외관조사 결과요약 ····· 213
3.6.2 내구성조사 결과요약 ····· 225

제 4 장 시설물의 상태평가 ····· 229
4.1 개 요 ····· 231
4.1.1 경간(지점)별 부재 상태평가 산정 ····· 231
4.1.2 전체 시설물의 상태평가 결과 결정 ····· 231
4.1.3 상태평가 결과 산정 방법 ····· 231
4.1.4 구조형식에 따른 부재별 가중치 ····· 232
4.2 상태평가 항목 및 기준 ····· 233
4.2.1 부재별 상태평가 적용 범위 ····· 233
4.2.2 부재별 상태평가 기준 ····· 234
4.3 상태평가 결과 ····· 239
4.3.1 부산방향 ····· 239
4.3.2 춘천방향 ····· 244

제 5 장 시설물의 안전성평가 ····· 249
5.1 개 요 ····· 251
5.1.1 안전성평가의 방법 ····· 252
5.1.2 기본내하율(RF) 및 기본내하력(Po) 산정 ····· 252
5.2 백운4교(부산) 안전성평가 ····· 253
5.2.1 개요 ····· 253
5.2.2 상부구조 안전성평가 ····· 256
5.2.3 하부구조 안전성평가 ····· 288

5.2.4 내하력평가 ····· 300
5.2.5 고유진동수 검토 ····· 301
5.2.6 안전성평가 결과 ····· 302
5.3 백운4교(춘천) 안전성평가 ····· 303
5.3.1 개요 ····· 303
5.3.2 상부구조 안전성평가 ····· 306
5.3.3 하부구조 안전성검토 ····· 323
5.3.4 내하력평가 ····· 339
5.3.5 안전성평가 결과 ····· 342

제 6 장 종합평가 및 안전등급 지정 ····· 345
6.1 종합평가 산정절차 ····· 347
6.2 종합평가 결과 ····· 348
6.2.1 백운4교(부산) ····· 348
6.2.2 백운4교(춘천) ····· 349
6.3 안전등급 지정 ····· 350
6.3.1 백운4교(부산) 안전등급 지정 ····· 351
6.3.2 백운4교(춘천) 안전등급 지정 ····· 351

제 7 장 보수·보강 및 유지관리방안 ····· 353
7.1 개 요 ····· 355
7.1.1 보수·보강 방안 수립에 따른 검토사항 ····· 355
7.1.2 보수·보강 필요성 판단 ····· 356
7.1.3 보수・보강 공법 선정 및 수준 결정 ····· 356
7.1.4 보수・보강 재료의 선정 ····· 357
7.1.5 보수・보강 우선순위 결정 ····· 358
7.2 보수・보강 방안 ····· 360
7.2.1 부재별 보수・보강방안 ····· 360
7.2.2 주요결함 및 손상에 대한 보수·보강 방법 ····· 364
7.3 보수·보강 개략공사비 ····· 386
7.3.1 보수·보강 공법별 적용 단가 ····· 386

7.3.2 백운4교(부산) ····· 387
7.3.3 백운4교(춘천) ····· 388
7.4 유지관리 방안 ····· 389
7.4.1 개 요 ····· 389
7.4.2 부재별 일반 유지관리 사항 ····· 389
7.4.3 진단결과에 따른 중점 유지관리 사항 ····· 403
7.4.4 형하공간 이용 현황 ····· 408
7.4.5 유지관리 개선 방안 ····· 410

제 8 장 종합결론 ····· 411
8.1 개 요 ····· 413
8.2 정밀안전진단 실시결과의 종합결론 ····· 413
8.2.1 백운4교(부산) ····· 413
8.2.2 백운4교(춘천) ····· 416
8.3 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항 ····· 419

□ 부 록

1. 심의 지적사항 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, 내진보강자료 등)

표 목 차

【표 1.1】 과업의 내용 ····· 4
【표 1.2】 과업수행 공정표 ····· 6
【표 1.3】 백운4교(부산) 현황표 ····· 7
【표 1.4】 백운4교(춘천) 현황표 ····· 15
【표 1.5】 사용장비 및 시험기기 ····· 23
【표 1.6】 사용장비 및 시험기기(계속) ····· 24
【표 1.7】 교량기호의 정의 ····· 27

【표 2.1】 백운4교(부산) 자료수집 현황 ····· 33
【표 2.2】 백운4교(춘천) 자료수집 현황 ····· 34
【표 2.3】 백운4교(부산) 실시설계 기간 ····· 35
【표 2.4】 백운4교(부산) 실시설계 공구별 현황 ····· 36
【표 2.5】 백운4교(부산) 지형 및 지질 ····· 36
【표 2.6】 백운4교(부산) 토질조사 ····· 37
【표 2.7】 백운4교(부산) 구조물 설계기준① ····· 37
【표 2.8】 백운4교(부산) 구조물 설계기준② ····· 38
【표 2.9】 백운4교(부산) 구조물 설계기준③ ····· 39
【표 2.10】 백운4교(부산) 구조물 설계기준④ ····· 40
【표 2.11】 백운4교(부산) 구조물 설계기준⑤ ····· 41
【표 2.12】 백운4교(부산) 구조물 설계기준⑥ ····· 42
【표 2.13】 백운4교(부산) 구조물 설계기준⑦ ····· 43
【표 2.14】 백운4교(부산) 설계조건① ····· 44
【표 2.15】 백운4교(부산) 설계조건(계속) ····· 45
【표 2.16】 백운4교(부산) 주요 점검 및 진단이력(1) ····· 47
【표 2.17】 백운4교(부산) 주요 점검 및 진단이력(2) ····· 48
【표 2.18】 백운4교(춘천) 주요 점검 및 진단이력(1) ····· 49
【표 2.19】 백운4교(춘천) 주요 점검 및 진단이력(2) ····· 50
【표 2.20】 백운4교(부산) 정밀안전진단(2011년) 결과요약① ····· 51
【표 2.21】 백운4교(부산) 정밀안전진단(2011년) 결과요약② ····· 52
【표 2.22】 백운4교(부산) 정밀안전진단(2011년) 결과요약③ ····· 53
【표 2.23】 백운4교(부산) 정밀안전진단(2011년) 결과요약④ ····· 54
【표 2.24】 백운4교(부산) 정밀안전진단(2011년) 결과요약⑤ ····· 55

【표 2.25】 백운4교(부산) 정밀안전진단(2011년) 결과요약⑥ ····· 56
【표 2.26】 백운4교(춘천) 정밀안전진단(2013년) 결과요약① ····· 57
【표 2.27】 백운4교(춘천) 정밀안전진단(2013년) 결과요약② ····· 58
【표 2.28】 백운4교(춘천) 정밀안전진단(2013년) 결과요약③ ····· 59
【표 2.29】 백운4교(춘천) 정밀안전진단(2013년) 결과요약④ ····· 60
【표 2.30】 백운4교(춘천) 정밀안전진단(2013년) 결과요약⑤ ····· 61
【표 2.31】 백운4교(춘천) 정밀안전진단(2013년) 결과요약⑥ ····· 62
【표 2.32】 백운4교(춘천) 정밀안전진단(2013년) 결과요약⑦ ····· 63
【표 2.33】 백운4교(부산) 보수·보강 이력 ····· 64
【표 2.34】 백운4교(춘천) 보수·보강 이력 ····· 64
【표 2.35】 백운4교(춘천) 전단키 설치 현황 ····· 71
【표 2.36】 백운4교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약 ····· 72
【표 2.37】 백운4교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약(계속) ····· 73
【표 2.38】 백운4교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약(계속) ····· 74
【표 2.39】 백운4교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약(계속) ····· 75
【표 2.40】 백운4교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약(계속) ····· 76

【표 3.1】 현장조사 진행방향 ····· 80
【표 3.2】 현장조사 기간 ····· 80
【표 3.3】 일반적 부재별, 손상별 발생원인 및 조사방향 ····· 82
【표 3.4】 부재제원 확인 ····· 83
【표 3.5】 바닥판의 손상현황(부산) ····· 84
【표 3.6】 바닥판의 기 진단과의 비교, 검토(부산) ····· 86
【표 3.7】 거더의 손상현황(부산) ····· 87
【표 3.8】 거더의 기 진단과의 비교, 검토(부산) ····· 89
【표 3.9】 가로보 및 세로보의 손상현황(부산) ····· 90
【표 3.10】 가로보 및 세로보의 기 진단과의 비교, 검토(부산) ····· 91
【표 3.11】 브레이싱의 손상현황(부산) ····· 92
【표 3.12】 브레이싱의 기 진단과의 비교, 검토(부산) ····· 94
【표 3.13】 교대 손상발생 현황(부산) ····· 95
【표 3.14】 교대의 기 진단과의 비교, 검토(부산) ····· 98
【표 3.15】 교각 손상발생 현황(부산) ····· 100
【표 3.16】 교각의 기 진단과의 비교, 검토(부산) ····· 102
【표 3.17】 교량받침의 손상발생 현황(부산) ····· 103
【표 3.18】 받침장치의 기 진단과의 비교, 검토(부산) ····· 106

【표 3.19】 연단거리 측정결과(부산) ····· 107
【표 3.20】 교량받침 가동량 평가기준 ····· 108
【표 3.21】 계산가동량 산정결과(부산) ····· 109
【표 3.22】 계산가동량 산정결과(부산) ····· 110
【표 3.23】 교량받침 가동여유량 검토결과(부산) ····· 111
【표 3.24】 신축이음 손상 발생 현황(부산) ····· 114
【표 3.25】 신축이음장치의 기 진단과의 비교, 검토(부산) ····· 116
【표 3.26】 계산 신축량 산정 ····· 117
【표 3.27】 계산 신축량 산정결과 ····· 118
【표 3.28】 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : ㎜) ····· 118
【표 3.29】 신축이음 유간거리 검토결과 ····· 119
【표 3.30】 교면포장의 손상현황(부산) ····· 120
【표 3.31】 교면포장의 기 진단과의 비교, 검토(부산) ····· 122
【표 3.32】 배수시설의 손상현황(부산) ····· 124
【표 3.33】 배수시설의 기 진단과의 비교, 검토(부산) ····· 125
【표 3.34】 방호벽의 손상발생 현황(부산) ····· 126
【표 3.35】 방호벽의 기 진단과의 비교, 검토(부산) ····· 128
【표 3.36】 바닥판의 손상현황(춘천)(1) ····· 129
【표 3.37】 바닥판의 손상현황(춘천)(2) ····· 130
【표 3.38】 바닥판의 기 진단과의 비교, 검토(춘천) ····· 134
【표 3.39】 거더의 손상현황(춘천)(1) ····· 135
【표 3.40】 거더의 손상현황(춘천)(2) ····· 136
【표 3.41】 거더의 기 진단과의 비교, 검토(춘천) ····· 139
【표 3.42】 가로보 및 세로보의 손상현황(춘천) ····· 140
【표 3.43】 가로보 및 세로보의 기 진단과의 비교, 검토(춘천) ····· 142
【표 3.44】 브레이싱의 손상현황(춘천) ····· 143
【표 3.45】 브레이싱의 기 진단과의 비교, 검토(부산) ····· 144
【표 3.46】 교대 손상발생 현황(춘천) ····· 146
【표 3.47】 교대의 기 진단과의 비교, 검토(춘천) ····· 149
【표 3.48】 교각 손상발생 현황(춘천) ····· 150
【표 3.49】 교각의 기 진단과의 비교, 검토(춘천) ····· 152
【표 3.50】 교량받침의 손상발생 현황(춘천) ····· 153
【표 3.51】 받침장치의 기 진단과의 비교, 검토(춘천) ····· 156
【표 3.52】 연단거리 측정결과(춘천) ····· 158
【표 3.53】 교량받침 가동량 평가기준 ····· 158

【표 3.54】 계산가동량 산정결과(부산) ····· 160
【표 3.55】 계산가동량 산정결과(춘천) ····· 160
【표 3.56】 교량받침 가동여유량 검토결과(춘천) ····· 161
【표 3.57】 신축이음 손상 발생 현황(춘천) ····· 164
【표 3.58】 신축이음장치의 기 진단과의 비교, 검토(춘천) ····· 165
【표 3.59】 계산 신축량 산정 ····· 166
【표 3.60】 계산 신축량 산정결과 ····· 167
【표 3.61】 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : ㎜) ····· 167
【표 3.62】 신축이음 유간거리 검토결과 ····· 168
【표 3.63】 교면포장의 손상현황(춘천) ····· 169
【표 3.64】 교면포장의 기 진단과의 비교, 검토(춘천) ····· 171
【표 3.65】 배수시설의 손상현황(춘천) ····· 173
【표 3.66】 배수시설의 기 진단과의 비교, 검토(춘천) ····· 174
【표 3.67】 방호벽의 손상발생 현황(춘천) ····· 175
【표 3.68】 방호벽의 기 진단과의 비교, 검토(춘천) ····· 176
【표 3.69】 현장시험 측정일자 및 조사자 ····· 177
【표 3.70】 재료시험 항목 ····· 177
【표 3.71】 재료시험 기준수량 및 실시수량 ····· 178
【표 3.72】 백운4교(부산) 조사위치 선정사유 ····· 181
【표 3.73】 백운4교(춘천) 조사위치 선정사유 ····· 181
【표 3.74】 부재별 콘크리트 비파괴강도 시험결과(부산) ····· 189
【표 3.75】 비파괴강도 시험결과 분석(부산) ····· 190
【표 3.76】 비파괴강도 측정결과 전회 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석(부산) ····· 190
【표 3.77】 철근탐사시험 결과(부산) ····· 191
【표 3.78】 철근탐사결과 전회 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석(부산) ····· 192
【표 3.79】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가(부산) ····· 193
【표 3.80】 탄산화 깊이 측정결과 전회 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석(부산) ····· 194
【표 3.81】 염화물함유량 시험결과(부산) ····· 194
【표 3.82】 염화물 함유량 시험결과 전회 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석(부산) ····· 195
【표 3.83】 균열깊이 측정 결과(부산) ····· 195
【표 3.84】 부재별 콘크리트 비파괴강도 시험결과(춘천) ····· 196
【표 3.85】 비파괴강도 시험결과 분석(춘천) ····· 197
【표 3.86】 비파괴강도 측정결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천) ····· 197
【표 3.87】 철근탐사시험 결과(춘천) ····· 198
【표 3.88】 철근탐사결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천) ····· 199

【표 3.89】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가(춘천) ····· 200
【표 3.90】 탄산화 깊이 측정결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천) ····· 201
【표 3.91】 염화물함유량 시험결과(춘천) ····· 201
【표 3.92】 염화물 함유량 시험결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천) ····· 202
【표 3.93】 균열깊이 측정 결과(춘천) ····· 202
【표 3.94】 현장시험 측정일자 및 조사자 ····· 203
【표 3.95】 강재 재료시험 및 측정 조사 내용 ····· 203
【표 3.96】 강재 재료시험 측정 기준 및 실시 수량 ····· 203
【표 3.97】 강재 재료시험별 적용 기준 및 근거 ····· 204
【표 3.98】 초음파탐상시험 결과(부산) ····· 209
【표 3.99】 초음파탐상 시험결과 전회 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석(부산) ····· 210
【표 3.100】 도막두께 측정 결과(부산) ····· 210
【표 3.101】 초음파탐상시험 결과(춘천) ····· 211
【표 3.102】 초음파탐상 시험결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천) ····· 211
【표 3.103】 도막두께 측정 결과(춘천) ····· 212
【표 3.104】 도막두께 측정결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천) ····· 212

【표 4.1】 결함도 점수 범위에 따른 기준 ····· 231
【표 4.2】 구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치 ····· 232
【표 4.3】 부재별 상태평가 적용 범위 ····· 233
【표 4.4】 콘크리트 바닥판 상태평가 기준 ····· 234
【표 4.5】 강 거더 상태평가 기준 ····· 234
【표 4.6】 강 가로보, 세로보 상태평가 기준 ····· 235
【표 4.7】 교대 상태평가 기준 ····· 235
【표 4.8】 교각 상태평가 기준 ····· 236
【표 4.9】 교량받침 상태평가 기준 ····· 236
【표 4.10】 신축이음 상태평가 기준 ····· 237
【표 4.11】 교면포장 상태평가 기준 ····· 237
【표 4.12】 배수시설 상태평가 기준 ····· 237
【표 4.13】 난간 및 연석 상태평가 기준 ····· 238
【표 4.14】 탄산화 상태평가 기준 ····· 238
【표 4.15】 염화물 상태평가 기준 ····· 238
【표 4.16】 콘크리트 바닥판 상태평가 결과(부산) ····· 239
【표 4.17】 강 거더 상태평가 결과(부산) ····· 239
【표 4.18】 강 가로보와 세로보, 브레이싱 상태평가 결과(부산) ····· 239

【표 4.19】 콘크리트 교대 상태평가 결과(부산) ····· 240
【표 4.20】 콘크리트 교각 상태평가 결과(부산) ····· 240
【표 4.21】 기초 상태평가 결과(부산) ····· 240
【표 4.22】 교량받침 상태평가 결과(부산) ····· 240
【표 4.23】 신축이음 상태평가 결과(부산) ····· 240
【표 4.24】 교면포장 상태평가 결과(부산) ····· 241
【표 4.25】 배수시설 상태평가 결과(부산) ····· 241
【표 4.26】 난간 및 연석 상태평가 결과(부산) ····· 241
【표 4.27】 탄산화 상태평가 결과(부산) ····· 241
【표 4.28】 염화물 상태평가 결과(부산) ····· 242
【표 4.29】 상태평가 결과(부산) ····· 242
【표 4.30】 상태평가 결과 전회 정밀안전진단과의 비교·분석(부산) ····· 243
【표 4.31】 콘크리트 바닥판 상태평가 결과(춘천) ····· 244
【표 4.32】 강 거더 상태평가 결과(춘천) ····· 244
【표 4.33】 강 가로보와 세로보, 브레이싱 상태평가 결과(춘천) ····· 244
【표 4.34】 콘크리트 교대 상태평가 결과(춘천) ····· 245
【표 4.35】 콘크리트 교각 상태평가 결과(춘천) ····· 245
【표 4.36】 기초 상태평가 결과(춘천) ····· 245
【표 4.37】 교량받침 상태평가 결과(춘천) ····· 245
【표 4.38】 신축이음 상태평가 결과(춘천) ····· 245
【표 4.39】 교면포장 상태평가 결과(춘천) ····· 246
【표 4.40】 배수시설 상태평가 결과(춘천) ····· 246
【표 4.41】 난간 및 연석 상태평가 결과(춘천) ····· 246
【표 4.42】 탄산화 상태평가 결과(춘천) ····· 246
【표 4.43】 염화물 상태평가 결과(춘천) ····· 247
【표 4.44】 상태평가 결과(춘천) ····· 247
【표 4.45】 상태평가 결과 전회 정밀안전진단과의 비교·분석(춘천) ····· 248

【표 5.1】 구조물의 안전성평가 기준 ····· 251
【표 5.2】 기본내하율(RF) 및 기본내하력(Po) 산정 ····· 252
【표 5.3】 백운4교(부산) 구조검토 조건 비교 ····· 253
【표 5.4】 백운4교(부산) 부재 제원 확인 결과 ····· 254
【표 5.5】 백운4교(부산) 사용재료 및 강도 ····· 254
【표 5.6】 백운4교(부산) 단면제원 및 철근량 ····· 255
【표 5.7】 단면제원 ····· 259

【표 5.8】 합성단면 유효폭 산정 결과 ····· 262
【표 5.9】 단면특성 산정 결과 ····· 262
【표 5.10】 합성전 고정하중 횡분배 결과 ····· 263
【표 5.11】 방호울타리 고정하중 산정 결과 ····· 263
【표 5.12】 합성후 고정하중 횡분배 결과 ····· 264
【표 5.13】 활하중 검토 ····· 264
【표 5.14】 상부구조의 풍하중(단위:kN/m) ····· 265
【표 5.15】 상부 풍하중에 의한 반력산출 결과 ····· 265
【표 5.16】 하중조건 모델링 ····· 267
【표 5.17】 휨모멘트 산출 결과(단위:kN·m) ····· 269
【표 5.18】 휨모멘트 산출 결과(계속) (단위:kN·m) ····· 270
【표 5.19】 전단력 산출 결과(단위:kN) ····· 270
【표 5.20】 전단력 산출 결과(계속) (단위:kN) ····· 271
【표 5.21】 비틀림모멘트 산출 결과(단위:kN·m) ····· 272
【표 5.22】 영향계수 k값 산출 결과 요약(단위 : kN·m) ····· 273
【표 5.23】 받침반력 산출 결과(단위:kN) ····· 274
【표 5.24】 응력 산정 시 입력자료 ····· 275
【표 5.25】 적용 하중조합 ····· 277
【표 5.26】 사용재료의 허용응력 ····· 277
【표 5.27】 정모멘트부(S5 중앙부) 응력 검토 결과(단위:MPa) ····· 277
【표 5.28】 응력 산정 시 입력자료 ····· 278
【표 5.29】 적용 하중조합 ····· 280
【표 5.30】 사용재료의 허용응력 ····· 280
【표 5.31】 부모멘트부(P4 지점부) 응력 검토 결과(단위:MPa) ····· 280
【표 5.32】 면별 뒴비틀림 고려여부 판정결과 ····· 282
【표 5.33】 S5 중앙부 합성응력검토 결과 ····· 282
【표 5.34】 S4 지점부 합성응력검토 결과 ····· 282
【표 5.35】 상부 고정하중에 의한 반력 산출 결과 ····· 289
【표 5.36】 활하중에 의한 반력산출 결과 ····· 289
【표 5.37】 하부구조에 작용하는 풍하중(단위:MPa) ····· 289
【표 5.38】 하중조건 모델링 ····· 290
【표 5.39】 교각3(P3)요소 하중조건별 작용하중 산출 결과 ····· 291
【표 5.40】 교각3(P3)요소 상하단 단면력 산출 결과 ····· 292
【표 5.41】 골조구조해석을 위한 단면특성 ····· 296
【표 5.42】 하중조합에 따른 장주여부 검토 ····· 296

【표 5.43】 단면력 산출결과 요약 ····· 297
【표 5.44】 임계하중 산정 결과 ····· 297
【표 5.45】 확대모멘트계수 산정 결과 ····· 297
【표 5.46】 확대모멘트 산정 결과 요약 ····· 298
【표 5.47】 거더의 내하율 및 기본 내하력평가 결과 ····· 300
【표 5.48】 바닥판의 내하율 및 기본 내하력평가 결과 ····· 300
【표 5.49】 이론 고유진동수 검토 결과(단위:Hz) ····· 301
【표 5.50】 허용응력법에 의한 안전성평가 결과(휨응력) ····· 302
【표 5.51】 강도설계법에 의한 안전성평가 결과(휨강도) ····· 302
【표 5.52】 강도설계법에 의한 안전성평가 결과(축강도) ····· 302
【표 5.53】 강도설계법에 의한 안전성평가 결과(휨강도) ····· 302
【표 5.54】 안전성평가 결과 ····· 302
【표 5.55】 백운4교(춘천) 구조검토 조건 비교 ····· 303
【표 5.56】 백운4교(춘천) 부재 제원 확인 결과 ····· 304
【표 5.57】 백운4교(춘천) 사용재료 및 강도 ····· 304
【표 5.58】 백운4교(춘천) 단면제원 및 철근량 ····· 305
【표 5.59】 단면력 집계 ····· 314
【표 5.60】 콘크리트와 철근의 물성치 ····· 317
【표 5.61】 차도부분의 바닥판의 최소두께(mm) ····· 317
【표 5.62】 상부구조 안전성 평가결과 ····· 342
【표 5.63】 하부구조 안전성평가 결과 ····· 344
【표 5.64】 안전성평가 등급산정 결과 ····· 344

【표 6.1】 백운4교(부산) 종합평가 결과 ····· 348
【표 6.2】 전회 점검 종합평가 결과와 비교 ····· 348
【표 6.3】 백운4교(부산) 종합평가 결과 ····· 349
【표 6.4】 전회 점검 종합평가 결과와 비교 ····· 349
【표 6.5】 안전등급 기준 ····· 350
【표 6.6】 백운4교(부산) 안전등급 지정 ····· 351
【표 6.7】 백운4교(춘천) 안전등급 지정 ····· 351

【표 7.1】 보수·보강 방안 수립에 따른 검토사항 ····· 355
【표 7.2】 보수·보강 우선순위 선정기준 ····· 358
【표 7.3】 균열 보수·보강 우선순위 선정기준 및 허용균열폭 ····· 358
【표 7.4】 박리 및 박락 보수·보강 우선순위 선정기준 ····· 359

【표 7.5】 누수 및 백태 보수·보강 우선순위 선정기준 ····· 359
【표 7.6】 백운4교(부산) 부재별 보수·보강 방안 ····· 360
【표 7.7】 백운4교(부산) 부재별 보수·보강 방안(계속) ····· 361
【표 7.8】 백운4교(춘천) 부재별 보수·보강 방안 ····· 362
【표 7.9】 백운4교(춘천) 부재별 보수·보강 방안(계속) ····· 363
【표 7.10】 콘크리트 단면보수 비교표 ····· 366
【표 7.11】 콘크리트 단면보수 비교표(계속) ····· 367
【표 7.12】 보수공법 재료 선정시 유의사항(균열폭 0.3㎜ 이상의 경우) ····· 368
【표 7.13】 보수공법 재료 선정시 유의사항(균열폭 0.3㎜ 미만의 경우) ····· 368
【표 7.14】 균열보수 재료의 종류와 보수공법 ····· 369
【표 7.15】 주입보수의 종류 ····· 371
【표 7.16】 저압·저속식 주입방법 ····· 372
【표 7.17】 균열폭에 알맞은 수지의 점성도 ····· 372
【표 7.18】 균열폭에 따른 주입파이프의 간격 ····· 372
【표 7.19】 주입재의 특징 ····· 374
【표 7.20】 주입보수 작업 종료 후의 검사 항목 ····· 377
【표 7.21】 주입보수 비교표 ····· 378
【표 7.22】 재도장시 고려사항 ····· 381
【표 7.23】 외부도장 종류 ····· 382
【표 7.24】 내부도장 종류 ····· 382
【표 7.25】 도장보수 비교표(1) ····· 383
【표 7.26】 도장보수 비교표(2) ····· 384
【표 7.27】 백운4교(부산) 부재별 보수·보강 개략공사비 ····· 387
【표 7.28】 백운4교(춘천) 부재별 보수·보강 개략공사비 ····· 388
【표 7.29】 바닥판 일반 유지관리 사항 ····· 392
【표 7.30】 바닥판 일반 유지관리 사항(계속) ····· 393
【표 7.31】 Steel Plate Girder 일반 유지관리 사항 ····· 394
【표 7.32】 교대 일반 유지관리 사항 ····· 395
【표 7.33】 교각 일반 유지관리 사항 ····· 396
【표 7.34】 교량받침 일반 유지관리 사항 ····· 397
【표 7.35】 교량받침 일반 유지관리 사항(계속) ····· 398
【표 7.36】 신축이음 일반 유지관리 사항 ····· 398
【표 7.37】 신축이음 일반 유지관리 사항(계속) ····· 399
【표 7.38】 교면포장 일반 유지관리 사항 ····· 400
【표 7.39】 배수시설 일반 유지관리 사항 ····· 401

【표 7.40】 방호벽 일반 유지관리 사항 ····· 402
【표 7.41】 백운4교(부산) 부재별 주요 점검 사항 ····· 403
【표 7.42】 백운4교(춘천) 부재별 주요 점검 사항 ····· 404
【표 7.43】 백운4교(부산) 형하공간 이용 현황 ····· 408
【표 7.44】 백운4교(춘천) 형하공간 이용 현황 ····· 409

그 림 목 차

【그림 1.1】 과업수행 흐름도 ····· 5
【그림 1.2】 백운4교(부산) 종·평면도 ····· 9
【그림 1.3】 백운4교(부산) 슬래브 일반도 ····· 10
【그림 1.4】 백운4교(부산) 교대 A1 일반도 ····· 11
【그림 1.5】 백운4교(부산) 교대 A2 일반도 ····· 12
【그림 1.6】 백운4교(부산) 교각 일반도 ····· 13
【그림 1.7】 백운4교(춘천) 종·평면도 ····· 17
【그림 1.8】 백운4교(춘천) 슬래브 배근도 ····· 18
【그림 1.9】 백운4교(춘천) 교대 일반도 ····· 19
【그림 1.10】 백운4교(춘천) 교대 A1 배근도 ····· 20
【그림 1.11】 백운4교(춘천) 교대 A2 배근도 ····· 21
【그림 1.12】 백운4교(춘천) 교각 일반도 ····· 22
【그림 1.13】 과업수행에 사용된 측정장비 ····· 25
【그림 1.14】 과업수행에 사용된 측정장비(계속) ····· 26
【그림 1.15】 받침장치 기호 산정 예 ····· 27

【그림 3.1】 A2-SH1 제원 실측 개요도 ····· 113
【그림 3.2】 백운4교(부산) 신축이음 배치도 ····· 114
【그림 3.3】 백운4교(부산) 배수시설 현황 ····· 123
【그림 3.4】 콘크리트 박락 발생 개요도 및 현황 ····· 133
【그림 3.5】 A1-SH1 제원 실측 개요도 ····· 162
【그림 3.6】 백운4교(춘천) 신축이음 배치도 ····· 163
【그림 3.7】 백운4교(춘천) 배수시설 현황 ····· 172
【그림 3.8】 콘크리트 재료시험(부산) ····· 179
【그림 3.9】 콘크리트 재료시험(춘천) ····· 179
【그림 3.10】 재료시험위치도 ····· 180
【그림 3.11】 콘크리트 강도시험 결과(부산) ····· 190
【그림 3.12】 탄산화깊이 측정결과(부산) ····· 193
【그림 3.13】 콘크리트 강도시험 결과(춘천) ····· 197
【그림 3.14】 탄산화깊이 측정결과(춘천) ····· 200
【그림 3.15】 강재 재료시험 위치도(부산방향) ····· 205

【그림 3.16】 강재 재료시험 위치도(춘천방향) ····· 206

【그림 4.1】 전체 교량의 상태평가 결과 산정 방법 예 ····· 231
【그림 4.2】 백운4교(부산) 상태평가 결과 ····· 243
【그림 4.3】 백운4교(춘천) 상태평가 결과 ····· 248

【그림 5.1】 안전성평가의 방법 ····· 252
【그림 5.2】 백운4교(부산) 부재 제원 측정 ····· 254
【그림 5.3】 백운4교(부산) 종・평면도 ····· 258
【그림 5.4】 상부구조 단면형상 ····· 259
【그림 5.5】 연속거더의 등가지간장 및 유효폭 변화 ····· 260
【그림 5.6】 구조해석 모델링 ····· 266
【그림 5.7】 하중조건별 부재력도 ····· 268
【그림 5.8】 하중조건별 부재력도(계속) ····· 269
【그림 5.9】 하중조건별 받침반력도 ····· 273
【그림 5.10】 백운4교(부산) 해석단면(교각 P3) ····· 288
【그림 5.11】 하중조합(계수하중)별 부재력도 ····· 293
【그림 5.12】 안전성검토 흐름도 ····· 294
【그림 5.13】 안전성검토 흐름도 (계속) ····· 295
【그림 5.14】 백운4교(춘천) 부재 제원 측정 ····· 304
【그림 5.15】 백운4교(춘천) 종・평면도 ····· 307
【그림 5.16】 받침부 경계조건 ····· 310
【그림 5.17】 구조해석 모델링 ····· 311

【그림 6.1】 종합평가 결과 산정 흐름도 ····· 347

【그림 7.1】 보수・보강 범위의 결정 ····· 356
【그림 7.2】 단면보수 시공순서 및 개요도 ····· 364
【그림 7.3】 춘천방향 바닥판 강판 파손 및 콘크리트 박락 발생 현황 ····· 365
【그림 7.4】 표면처리보수 시공 흐름도 ····· 370
【그림 7.5】 균열부 표면처리보수 개요도 ····· 371
【그림 7.6】 주입파이프 설치도 ····· 372
【그림 7.7】 주입보수 시공상세도 ····· 373
【그림 7.8】 주입보수 시공 흐름도 ····· 373
【그림 7.9】 철근이 부식되지 않는 경우의 충전보수 및 시공흐름 ····· 375

【그림 7.10】 철근이 부식된 경우의 충전보수 및 시공흐름 ····· 376
【그림 7.11】 교량받침 부식 도장보수 시공방법 ····· 380
【그림 7.12】 팻칭보수 시공흐름 ····· 385
【그림 7.13】 백운4교(부산) 부재별 명칭 ····· 389
【그림 7.14】 백운4교(부산) 부재별 명칭(계속) ····· 390
【그림 7.15】 백운4교(춘천) 부재별 명칭 ····· 391
【그림 7.16】 백운4교(춘천) 부재별 명칭(계속) ····· 392
【그림 7.17】 백운4교(부산) 상태평가 현황도 및 손상 위치도 ····· 405
【그림 7.18】 백운4교(춘천) 상태평가 현황도 및 손상 위치도 ····· 405
【그림 7.19】 백운4교(춘천) A2/흉벽 균열(0.3mm이상) 현황 ····· 406
【그림 7.20】 백운4교(춘천) 가로등 기초부 강판부식 및 콘크리트 박락 현황 ····· 407

백운4교(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	고속도로	종 류	도로교량	종 별	1종
준 공 일	2000년 05월 31일	진단금액 (천원)	31,602	안 전 등 급	B
시 설 물 위 치	강원도 원주시 판부면 금대리 (중앙선 303.7㎞)	시 설 물 규 모	연장 : 300.0m 교폭 : 12.60m		

나. 진단 실시결과 현황

중대결함	▪ 정밀안전진단 결과 시설물의 중대결함은 없는 상태임
진 단 주요결과	▪ 바 닥 판 : 균열(0.3㎜미만), 백태, 들뜸, 녹물, 잡철근노출 등 ▪ 거 더 : 도장박리 및 부식, 볼트부식, 변형 ▪ 2차부재 : 도장박리 및 부식 ▪ 교 대 : 균열(0.3㎜미만), 균열(0.3㎜이상), 백태, 재료분리, 들뜸, 파손, 사면유실 등 ▪ 교 각 : 균열(0.3㎜미만), 표면불량, 보수재 박리, 들뜸, 박락, 파손, 잡철근노출 등 ▪ 받침장치 : 본체 부식, 가동여유량 부족, 받침콘크리트 균열(0.3㎜미만), 들뜸 등 ▪ 신축이음 : 본체부식, 토사퇴적, 후타재 균열(0.3㎜미만), 파손 등 ▪ 교면포장 : 아스콘 망상균열, 패임, 융기, 침하 ▪ 배수시설 : 배수관 부식, 용접부 부식 및 누수, 고정핀 부식 및 탈락 ▪ 방 호 벽 : 균열(0.3㎜미만), 백태, 파손, 들뜸
주 요 보수·보강	▪ 주요보수 : 표면처리, 주입보수, 단면복구, 단면복구(방청), 도장보수, 용접보수, 사면정비, 팻칭보수, 배수관고정핀 재설치, 전선관덮개 재설치, 청소 ▪ 주요보강 : 보강부 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)	이 기 태	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급(기술사)
분야별책임 (자료분석)	공 영 이	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급(기술사)
참여기술자 (재료시험)	우 현 정 외 5인	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급기술자 등
참여기술자 (자료분석)	이 상 민 외 5인	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급기술자 등

라. 참고사항

▪ 차기 점검시 중점 점검부위 : 콘크리트 균열 및 단면손상부의 손상증가 여부, A2측 받침장치 가동량 부족에 따른 구조적 결함 및 신축거동 지장 여부

백운4교(부산) 정밀안전진단 실시결과 요약표

책임기술자 종합의견
▪ 정밀안전진단 결과, 구조적 안전성을 저해할 만한 심각한 결함이나 손상 및 열화는 발생하지 않았으나, 콘크리트 균열, 백태, 단면손상, 잡철근노출, 강재 부재의 부식, 도장손상, 변형, 배수시설의 배수관 부식, 용접부 부식 및 누수, 고정핀 부식 및 탈락 등의 결함이 국부적으로 발생하였으며, 일부 결함은 내구성확보를 위한 보수가 필요한 상태임. ▪ 콘크리트 강도, 탄산화 등의 내구성 조사결과, 설계기준을 만족하는 것으로 측정되었음. ▪ 시설물에 대한 평가결과, 상태평가 결과 “B”, 안전성평가 결과 “A”로 평가되어 안전등급은 “B”등급으로 지정하였다. ▪ 긴급을 요하는 문제점은 없는 상태로서, 발생된 손상에 대한 내구성 확보차원의 보수 및 지속적인 주의관찰을 수행하면 구조물의 안전성과 사용성 확보를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 책임기술자 : 안 과 현 (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	- 균열, 들뜸, 백태, 녹물, 잡철근노출	- 표면처리, 단면복구 물끊기홈 설치
	거더	b	- 도장박리, 부식, 볼트부식, 변형	- 도장보수
	가로보 세로보 브레이싱	b	- 도장박리, 부식	- 도장보수
하부 구조	교대 교각	b~c	- 균열, 백태, 들뜸, 박락, 파손, 철근노출, 재료분리, 사면유실	- 표면처리, 주입보수, 단면복구, 몰탈보수, 사면정비
교량받침		b	- 본체 부식, 가동여유량 부족 받침콘크리트 균열, 들뜸, 박리	- 도장보수
기타 부재	신축이음	c	- 본체 부식, 토사퇴적, 후타재 균열 망상균열, 파손	- 표면처리, 단면복구, 청소
	교면포장	a	- 접속부 아스콘 망상균열, 패임	- 팻칭보수
	배수시설	c	- 배수관 부식, 용접부 부식 및 누수 고정핀 부식 및 탈락	- 용접보수, 고정핀 재설치
	방호벽 및 중분대	b	- 균열, 백태, 파손, 들뜸, 전선덮개판 탈락	- 표면처리, 단면복구, 전선덮개판 재설치

나. 안전성평가 결과

안전성평가 수행 부재	해석방법	안전성평가 결과 요약	안전율	안전성평가 결 과
바닥판	강도설계법	·시설물의 구조적 안전성을 평가한 결과, 검토부재 전체에서 안전율이 1.0이상으로 계산되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가됨	1.0이상	A
거 더	허용응력법		1.0이상	
교대, 교각	강도설계법		1.0이상	

다. 내진성능 검토 수행 여부

검토대상 부재	설계적용 여부	결 과	검토결과 요약
받침장치	Y	내진 2등급교 적용	상부 사하중의 20%의 수평력을 지지할 수 있는 스페리컬 받침 적용
하부구조	N		지진하중 미고려

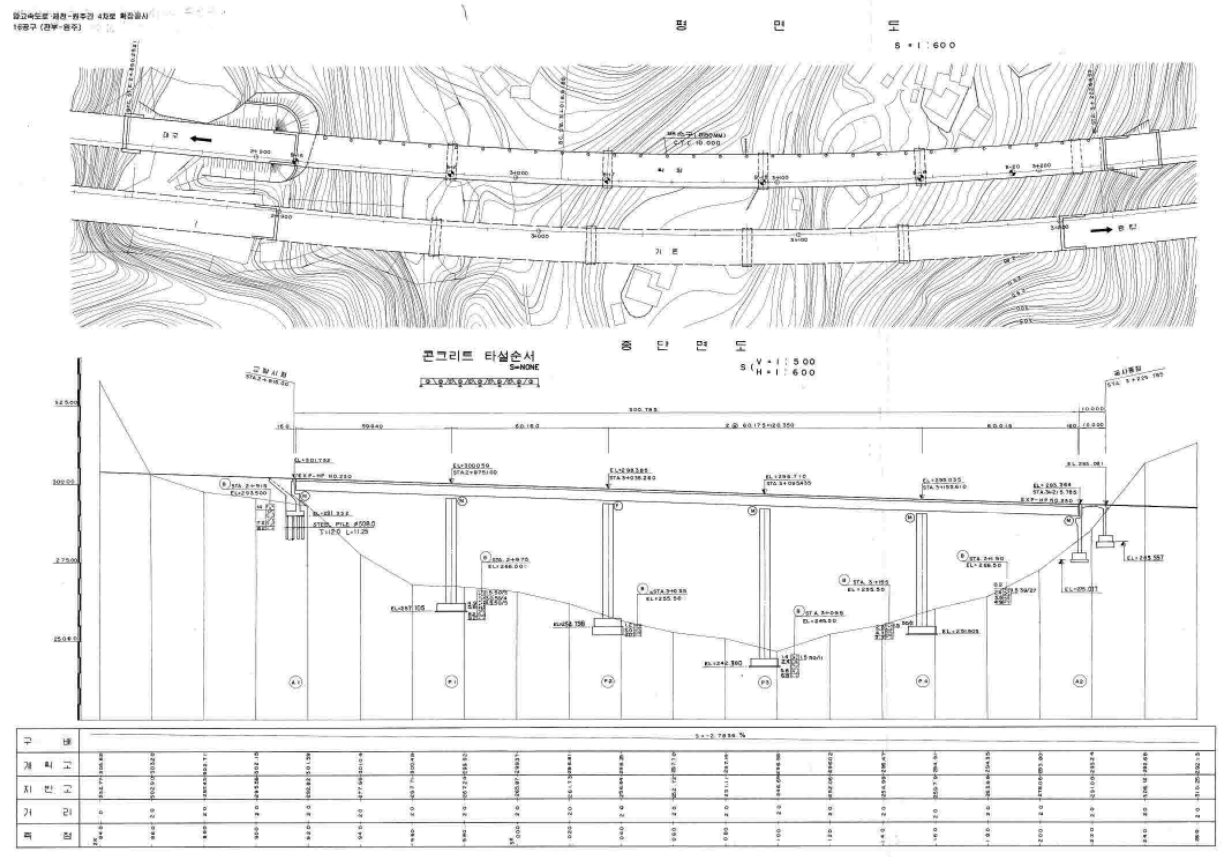
라. 현장시험(비파괴 및 추가시험)

시 험 명		시험 부위	시험결과	책임기술자 의견
콘크리트 강도시험	비파괴 강도 (MPa)	상부구조	▪ 설계기준 강도의 95.2%~116.9%로 설계기준 강도의 90%를 상회하고 있음	양호
		하부구조	▪ 설계기준 강도의 93.3%~120.8%로 설계기준 강도의 90%를 상회하고 있음	양호
철근탐사 (㎜)		상부구조	▪ 준공도면을 비교·검토한 결과 피복두께가 설계치 보다 다소 두꺼운 것으로 나타났으나 외관조사결과 이로 인한 손상은 조사되지 않았으며 배근간격 등이 준공도면과 유사함	전반적으로 양호
		하부구조	▪ 준공도면을 비교·검토한 결과 배근간격, 피복두께 등이 준공도면과 유사함	양호
탄산화 잔여깊이(㎜)		상부구조	▪ 탄산화 잔여깊이 : 30mm이상(상태평가 : a)	부식발생 우려 없음
		하부구조	▪ 탄산화 잔여깊이 : 30mm이상(상태평가 : a)	부식발생 우려 없음
염화물함유량 (kg/m^3)		상부구조	▪ $0.3kg/m^3 \geq$ 염화물함유량(상태평가결과 : a)	부식발생 우려 없음
		하부구조	▪ $0.3kg/m^3 <$ 염화물함유량 $\leq 1.2kg/m^3$ (상태평가결과 : b)	부식발생 가능성 낮음
균열깊이 측정		하부구조	▪ 균열심도(39.3㎜) < 철근피복두께(107.0㎜)	양호
강재 비파괴시험	초음파 탐상	거 더	▪ Ⅰ류등급 : 20개소	양호
도막두께 측정		거 더	▪ 건전부(230~549㎛) > 시방기준두께(215㎛)	건전부 양호

백운4교(부산) 현황표

작성일 : 2016년 12월 26일

구 분		내 용	구 분		내 용
시설물명		백운4교(부산)	시설물번호		BR2000-0000083
준 공 일		2000년 05월 31일	관리번호		제천교-24-1
시설물위치		강원도 원주시 판부면 금대리(중앙선 303.7㎞)			
설계하중		DB-24 / DL-24	노선명		고속국도 55호선(중앙선)
제원	연장	L=300.785m(5@60.0)			
	폭	12.60m, 편도 2차로			
구조형식	상부	강판형교(SPG)	기초형식	교대	강관파일기초(A1) 전면(확대)기초(A2)
	하부	교대 : 역T형식(2기) 교각 : 벽식(4기)		교각	직접기초(P1~P4)
교량받침		스페리컬 받침	신축이음		레일식 조인트(A1, A2)
교차시설물		마을진입도로	통과높이		25m이상
부착시설		-			
시 공 사		극동건설(주), 유성종합건설(주)	설 계 사		삼안엔지니어링



▪ 중점 점검 사항 : 콘크리트 균열 및 단면손상부의 손상증가 여부, A2측 받침장치 가동량 부족에 따른 구조적 결함 및 신축거동 지장 여부

백운4교(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	고속도로	종 류	도로교량	종 별	1종
준 공 일	1995년 10월 01일	진단금액 (천원)	31,602	안 전 등 급	B
시 설 물 위 치	강원도 원주시 판부면 금대리 (중앙선 303.7㎞)	시 설 물 규 모	연장 : 299.421m 교폭 : 13.70m		

나. 진단 실시결과 현황

중대결함	▪ 정밀안전진단 결과 시설물의 중대결함은 없는 상태임
진 단 주요결과	▪ 바 닥 판 : 데크플레이트 부식, 콘크리트 박락, 망상균열 및 백태, 강판 부식 등 ▪ 거 더 : 도장손상 및 부식, 볼트부식, 볼트누락, 변형, 천공홀, 기공 등 ▪ 2차부재 : 도장박리 및 부식, 볼트부식, 볼트풀림, 변형, 누수오염 등 ▪ 교 대 : 균열(0.3㎜미만), 백태, 재료분리, 들뜸 및 파손, 잡철근노출 등 ▪ 교 각 : 균열(0.3㎜미만), 균열(0.3㎜이상), 파손, 들뜸, 표면불량, 잡철근노출 등 ▪ 받침장치 : 본체 부식, 받침콘크리트 균열(0.3㎜미만), 잡철근노출 ▪ 신축이음 : 토사퇴적, 후타재 균열(0.3㎜미만), 덮개판 고정볼트 탈락 ▪ 교면포장 : 아스콘 망상균열, 코어채취부 마감불량 ▪ 배수시설 : 배수구 이물질퇴적, 배수관 용접연결부 누수 및 탈락, 고정핀 부식 및 탈락 ▪ 방 호 벽 : 균열(0.3㎜미만), 파손, 표면박리
주 요 보수·보강	▪ 주요보수 : 표면처리, 주입보수, 단면복구, 단면복구(방청), 도장보수, 용접보수, 몰탈보수, 볼트 재설치, 배수관고정핀 재설치, 전선관덮개 재설치, 청소 ▪ 주요보강 : 보강부 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)	이 기 태	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급(기술사)
분야별책임 (자료분석)	공 영 이	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급(기술사)
참여기술자 (재료시험)	우 현 정 외 5인	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급기술자 등
참여기술자 (자료분석)	이 상 민 외 5인	2016. 06. 20. ~ 2016. 12. 26.	특급기술자 등

라. 참고사항

▪ 차기 점검시 중점 점검부위 : 켄틸레버 강판부식부 파손 및 콘크리트 박락 추가발생 여부, 교대측 받침장치 가동량 부족에 따른 구조적 결함 및 신축거동 지장 여부

백운4교(춘천) 정밀안전진단 실시결과 요약표

책임기술자 종합의견
▪ 정밀안전진단 결과, 구조적 안전성을 저해할 만한 심각한 결함이나 손상 및 열화는 발생하지 않았으나, 교각의 Cw=0.3mm이상의 균열, 거더의 도장박리 및 부식, 배수시설 고정핀 파손 및 탈락의 결함이 주요 손상으로 발생하였으며, 그 외 콘크리트 부재의 단면손상, 데크플레이트 및 2차부재 부식 및 도장박리, 교대 받침장치 가동량부족 등의 결함이 조사되어 일부 손상은 내구성확보를 위한 보수가 필요한 상태임. ▪ 콘크리트 강도, 탄산화 등의 내구성 조사결과, 설계기준을 만족하는 것으로 측정되었음. ▪ 시설물에 대한 평가결과, 상태평가 결과 “B”, 안전성평가 결과 “A”로 평가되어 안전등급은 “B”등급으로 지정하였다. ▪ 긴급을 요하는 문제점은 없는 상태로서, 발생된 손상에 대한 내구성 확보차원의 보수 및 지속적인 주의관찰을 수행하면 구조물의 안전성과 사용성 확보를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 책임기술자 : 안 과 현 (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	- 망상균열, 백태, 데크플레이트 부식 강판 및 전선보호덮개 부식	- 표면처리, 단면복구
	거더	b~c	- 도장박리, 부식, 볼트부식, 변형	- 도장보수
	가로보 세로보 브레이싱	b~c	- 도장박리, 부식, 볼트부식, 변형	- 도장보수
하부 구조	교대 교각	b~c	- 균열, 백태, 들뜸, 파손, 체수 잡철근노출, 재료분리, 표면불량	- 표면처리, 주입보수, 단면복구, 몰탈보수
교량받침		b	- 본체 부식, 전단키 부식, 받침콘크리트 균열, 잡철근노출	- 도장보수
기타 부재	신축이음	b	- 토사퇴적, 후타재 균열, 덮개판 고정볼트 탈락	- 표면처리, 청소 - 볼트 재설치
	교면포장	b	- 아스콘 망상균열, 코어채취부 마감불량	- 팻칭보수
	배수시설	c	- 이물질 퇴적, 배수관 용접 연결부 누수 및 탈락, 고정핀 부식 및 탈락	- 용접보수, 고정핀 재설치, 청소
	방호벽 및 중분대	b	- 균열, 망상균열, 파손, 표면박리	- 표면처리

나. 안전성평가 결과

안전성평가 수행 부재	해석방법	안전성평가 결과 요약	안전율	안전성평가 결 과
바닥판	강도설계법	· 시설물의 구조적 안전성을 평가한 결과, 검토부재 전체에서 안전율이 1.0이상으로 계산되어 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가됨	1.0이상	A
거 더	허용응력법		1.0이상	
교대, 교각	강도설계법		1.0이상	

다. 내진성능 검토 수행 여부

검토대상 부재	설계적용 여부	결 과	검토결과 요약
받침	N	기존 설계 미실시 (2009년 내진성능평가 실시)	내진보강(전단키 설치)
교대	N		안 전
교각	N		안 전

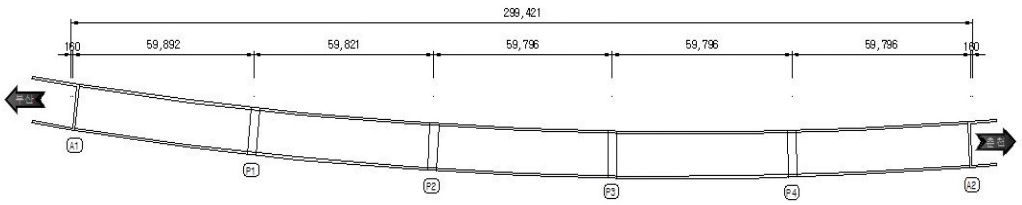
라. 현장시험(비파괴 및 추가시험)

시 험 명		시험 부위	시험결과	책임기술자 의견
콘크리트 강도시험	비파괴 강도 (㎫)	상부구조	▪ 설계기준 강도의 102.3%로 조사되어 설계기준 강도를 상회하고 있음	양호
		하부구조	▪ 설계기준 강도의 91.9%~132.6%로 설계기준 강도의 90%를 상회하고 있음	양호
철근탐사 (㎜)		상부구조	▪ 데크플레이트 및 강판 설치에 의해 측정불가	-
		하부구조	▪ 배근간격은 설계도면과 일치하며, 피복두께는 시방기준을 상회하고 있음	양호
탄산화 잔여깊이(㎜)		상부구조	▪ 탄산화 잔여깊이 : 30mm이상(상태평가 : a)	부식발생 우려 없음
		하부구조	▪ 탄산화 잔여깊이 : 30mm이상(상태평가 : a)	부식발생 우려 없음
염화물함유량 (kg/m^3)		상부구조	▪ 건전부 : 염화물함유량 ≤ 0.3kg/m^3(상태평가 : a)	부식발생 우려 없음
		하부구조	▪ 건전부 : 0.3kg/m^3 ≤ 염화물 ≤ 1.2kg/m^3(상태평가 : b)	부식발생 가능성 낮음
균열깊이 측정		하부구조	▪ 균열심도(25.2~177.7㎜) < 철근피복두께(65.0~109.0㎜)	부식발생 가능성 높음
강재 비파괴시험	초음파 탐상	거 더	▪ Ⅰ류등급 : 10개소	양호
도막두께 측정		거 더	▪ 건전부(216~311㎛) > 시방기준두께(215㎛)	건전부 양호

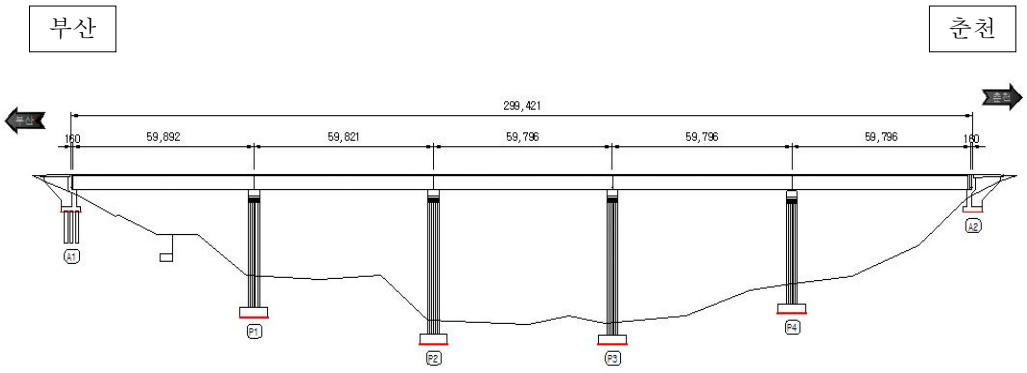
백운4교(춘천) 현황표

작성일 : 2016년 12월 26일

구 분		내 용	구 분		내 용
시설물명		백운4교(춘천)	시설물번호		BR1995-0000137
준 공 일		1995년 10월 01일	관리번호		제천교-24-2
시설물위치		강원도 원주시 판부면 금대리(중앙선 303.7㎞)			
설계하중		DB-24 / DL-24	노선명		고속국도 55호선(중앙선)
제원	연장	L=299.421m(5@60.0)			
	폭	13.70m, 편도 2차로			
구조형식	상부	강판형교(SPG)	기초형식	교대	강관파일기초기초(A1) 직접기초(A2)
	하부	교대 : 역T형식(2기) 교각 : 벽식(4기)		교각	직접기초(P1~P4)
교량받침		포트받침	신축이음		강핑거조인트(A1) 리프렉션조인트(A2)
교차시설물		마을진입도로	통과높이		42.7m
부착시설		-			
시 공 사		극동건설(주)	설 계 사		삼안엔지니어링



【평면도】



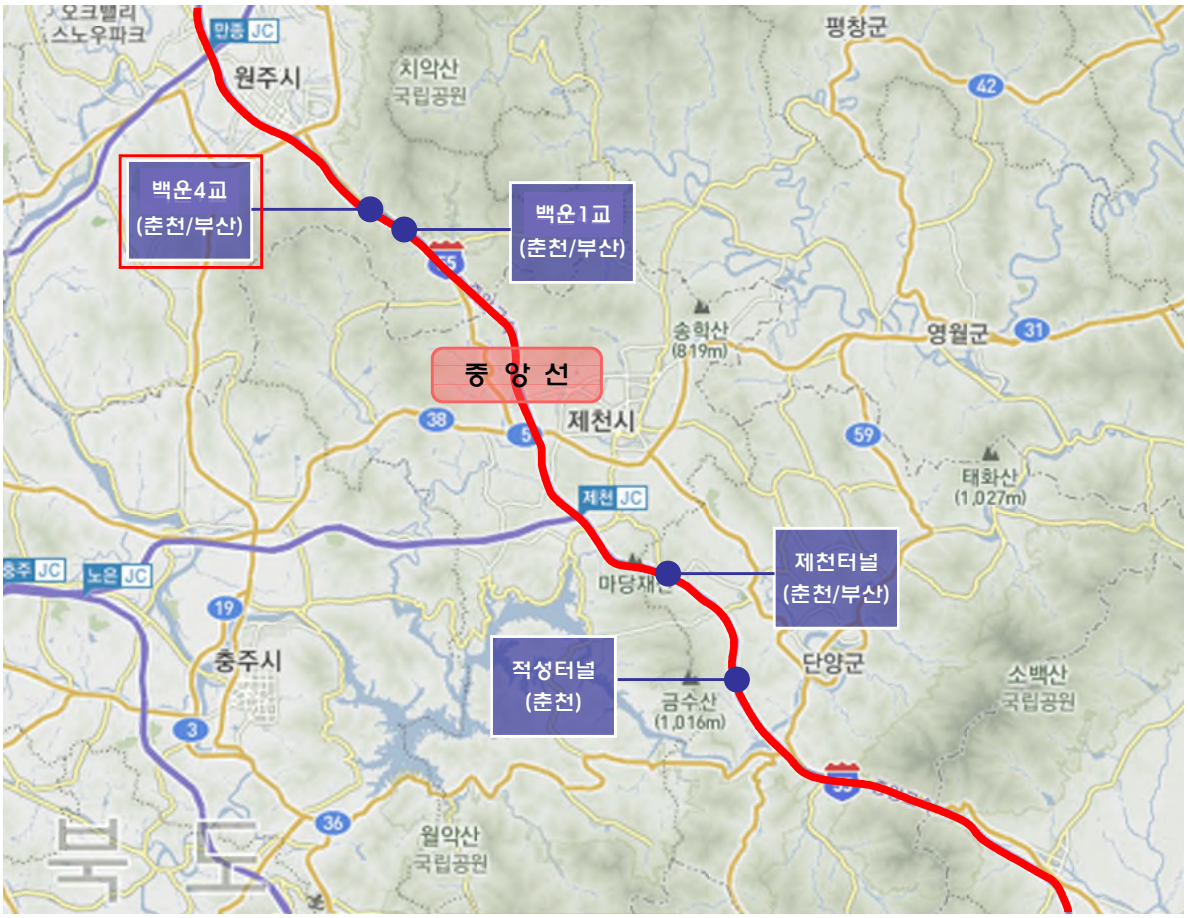
【종단면도】

▪ 중점 점검사항 : 켄틸레버 강판부식부 파손 및 콘크리트 박락 추가발생 여부, 교대측 받침장치 가동량 부족에 따른 구조적 결함 및 신축거동 지장 여부, 교대/흉벽 균열 진전여부

정밀안전진단 참여기술진

참여구분	참여분야	소 속	직 위	성 명	참여기간	서 명
계				15명	674일	
책임기술자	사업책임	㈜한국시설 안전연구원	부원장	안 과 헌	2016.06.20~12.26 (152일)	
분야별 책임기술자	자료분석분야	㈜회덕기술공사	부사장	공 영 이	2016.06.20~12.26 (152일)	
	재료시험분야	㈜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	㈜회덕	차장	우 현 정	2016.06.20~12.26 (95일)	
기타 참여기술자	자료분석	㈜한국시설 안전연구원	부장	김 대 석	2016.06.20~12.26 (3일)	
	자료분석	㈜한국시설 안전연구원	차장	공 병 무	2016.06.20~12.26 (3일)	
	재료시험	㈜한국시설 안전연구원	과장	오 형 택	2016.06.20~12.26 (3일)	
	자료분석	㈜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 (3일)	
	자료분석	㈜회덕기술공사	상무	허 택 영	2016.06.20~12.26 (3일)	
	자료분석	㈜회덕기술공사	부장	장 용 근	2016.06.20~12.26 (2일)	
	재료시험	㈜회덕	주임	김 형 훤	2016.06.20~12.26 (2일)	

시설물의 위치도





○ 시설물 위치 : 강원도 원주시 판부면 금대리(중앙선 303.70㎞)

시설물의 전경사진

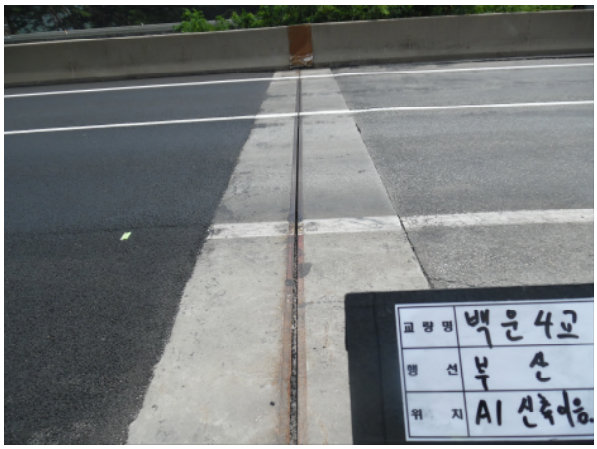


백운4교(부산) 상면 전경



백운4교(부산) 측면 전경

부위별 전경사진

	
바닥판 전경	거더 및 브레이싱 전경
	
교대 전경	교각 전경
	
받침장치 전경	신축이음 전경

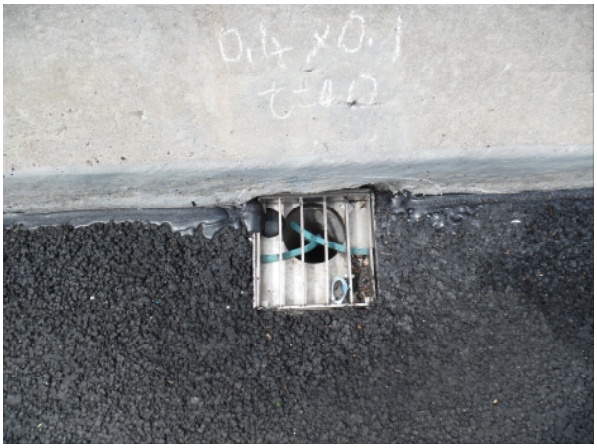
부위별 전경사진



교면포장 전경



방호벽 전경



배수구 전경



배수관 전경



교명판



교량설명판

시설물의 전경사진

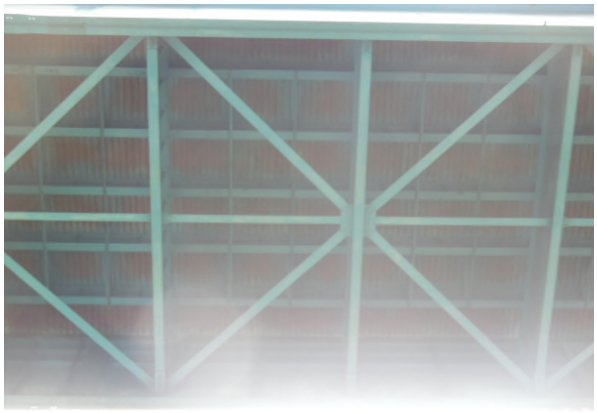


백운4교(춘천) 상면 전경



백운4교(춘천) 측면 전경

부위별 전경사진

	
바닥판 전경	거더 및 브레이싱 전경
	
교대 전경	교각 전경
	
받침장치 전경	신축이음 전경

부위별 전경사진

<table>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>교면포장 전경</td><td>방호벽 전경</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>배수구 전경</td><td>배수관 전경</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>교명판</td><td>교량설명판</td></tr>
</table>

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 - 초음파탐상시험(UT)
상태평가	• 외관조사 결과분석 • 현장시험 및 재료시험 결과분석 • 콘크리트 및 강재 등의 내구성 평가 • 부재별 상태평가 및 시설물 전체의 상태평가 결과에 대한 소견	• 좌동

과업항목	지침상 기본과업	금회 과업 내용
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

나. 과업수행 기간

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

1.3 시설물의 개요

가. 백운4교(부산)

구 분		내 용	구 분		내 용
시설물명		백운4교(부산)	시설물번호		BR2000-0000083
준공년월일		2000년 05월 31일	관리번호		제천교-24-1
시설물위치		강원도 원주시 판부면 금대리(중앙선 303.7km)			
설계하중		DB-24 / DL-24	노선명		고속국도 55호선(중앙선)
제원	연장	L=300.785m(5@60.0)			
	폭(유효폭)	12.60m, 편도 2차로			
구조 형식	상부	강판형교(SPG)	기초 형식	교대	강관파일기초(A1) 전면(확대)기초(A2)
	하부	교대 : 역T형식(2기) 교각 : 벽식(4기)		교각	전면(확대)기초(P1~P4)
교량받침		스페리컬 받침	신축이음		레일식(A1,A2)
평면선형		곡선교	경 간 수		5경간
설 계 사		삼안엔지니어링	시 공 사		극동건설(주), 유성종합건설(주)
감 리 사		-	교차시설물		-
난 간		콘크리트(방호벽)	배 수 구		주철관(백관)
내진설계유무		받침장치만 적용 (내진 2등급교)	관리주체		한국도로공사 강원본부 제천지사

나. 백운4교(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>백운4교(춘천)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR1995-0000137</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월일</td><td>1995년 10월 01일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>제천교-24-2</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">강원도 원주시 판부면 금대리(중앙선 303.7km)</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=299.421m(5@60.0)</td></tr>
<tr><td>폭(유효폭)</td><td colspan="4">13.70m, 편도 2차로</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조
형식</td><td>상부</td><td>강판형교(SPG)</td><td rowspan="2">기초
형식</td><td>교대</td><td>강관파일기초기초(A1)
직접기초(A2)</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교대 : 역T형식(2기)
교각 : 벽식(4기)</td><td>교각</td><td>직접기초(P1~P4)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>포트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>강핑거조인트(A1)
리프렉션조인트(A2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">평면선형</td><td>곡선교</td><td colspan="2">경 간 수</td><td>5경간</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>-</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>기존 설계 적용 : 무
2009년 내진성능평가 실시
(P2, P3 전단키 설치)</td><td colspan="2">관리주체</td><td>한국도로공사 강원본부
제천지사</td></tr>
</table>

2. 자료수집 및 분석

금회 진단대상시설물인 백운4교(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 발생되었거나, 향후 문제가 발생될 가능성이 있는 부분에 대하여 구조검토를 실시하여 안전성을 여부를 평가하고자 한다.

구 분	자료분석 결과요약	비고
설계 관련자료 검토	◈ 백운4교(부산) • 『중앙고속도로(제천~원주간) 4차로 확장공사 구조 및 수리계산서(Ⅰ)(최종분) 제16공구(판부~원주) 2000.9』를 참조함. → **검토결과, 바닥판, 거더, 교대, 교각 등에 대한 구조계산 및 검토에 있어 설계조건, 모델링, 설계 및 검토 등 항목별 검토사항은 적정한 것으로 확인됨.** • 『중앙고속도로(제천~원주간) 4차로 확장공사 설계도 제16공구(판부~원주) 2000.9』를 참조함. → **검토결과, 설계도면은 당시 설계기준에 적합하게 작성된 것으로 검토되었으며, 종·평면도, 단면도, 상부 구조물도, 하부 구조물도, 각종 상세도가 적정하게 작성된 것으로 검토됨.**	설계도서 관리 시스템
	◈ 백운4교(춘천) • 『대구~춘천간 고속도로 건설공사 구조도(준공도) 제7공구(Ⅲ-1) 1995.』를 참조함. → **검토결과, 설계도면은 당시 설계기준에 적합하게 작성된 것으로 검토되었으며, 종·평면도, 단면도, 상부 구조물도, 하부 구조물도, 각종 상세도가 적정하게 작성된 것으로 검토됨.**	
시공 관련자료 검토	• 백운4교(부산, 춘천)은 유지관리기관 보관자료와 시설물정보관리종합 시스템(FMS)에 보유자료가 없는 것으로 확인됨.	설계도서 관리 시스템
전회 정밀안전진단 유지관리방안	◈ 백운4교(부산) • 교량받침 A2 Sh1~Sh4 신장여유량 부족 → 신장여유량 부족으로 인한 받침상태 변화 및 결함발생 여부	
	◈ 백운4교(춘천) • 갓길측 교면포장 열화(망상균열, 들뜸, 포장파쇄부) 발생부 → 포장열화에 따른 누수·백태의 진전여부 및 2차(강재부식) 손상여부 • Deck Plate 누수(S5) 및 하부플랜지 볼트 부식 발생부 → 보수 후 누수흔적(열화) 진전 및 2차 손상여부 • 교량받침(A1/A2) 최대 신장시 허용변위량 초과 → 최대 신장시(하절기) 받침 가동상태 및 2차 손상여부	

3. 현장조사 및 시험

3.1 외관조사 결과 요약

가. 백운4교(부산)

① 외관조사 결과요약

부재		외관조사 결과분석
바닥판		• 바닥판은 내측은 데크플레이트가 설치되어 있으며, 데크플레이트는 양호한 상태이나 콘크리트 부재에서 일부 건조수축에 의한 균열, 백태 및 녹물, 들뜸, 거푸집 미제거, 잡철근노출의 결함이 조사되었으며, 조사된 손상은 비구조적 결함으로 구조물의 안전성에 미치는 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 표면처리 및 단면복구가 필요할 것으로 판단된다.
거더		• 거더는 플레이트 거더 형식으로 현장조사 결과, 공용장기화에 따른 도장열화로 도장박리, 부식, 볼트부식과 시공시 설치과정에 따른 인위적인 변형의 결함이 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장박리 및 부식은 도장보수가 필요하며, 변형은 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
가로보 및 세로보		• 2차 부재인 가로보 및 세로보는 볼트 체결 상태는 양호하나 가로보에서 공용장기화에 따른 도장열화로 일부 부식이 경미한 규모로 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요하며, 세로보는 결함이 없는 양호한 상태이다.
브레이싱		• 브레이싱은 거더의 변형을 보강하기 위해 설치된 부재로 시공 상태는 양호하나 공용장기화에 따른 도장열화로 국부적인 도장박리 및 부식이 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요할 것으로 판단된다.
하부구조	교대	• 교대에서 조사된 균열은 시공초기 건조수축에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 폭 0.3㎜이상은 주입보수를 실시하고, 폭 0.3㎜미만은 주의관찰토록 한다. 그 외 외부충격에 의한 단면손상, 피복부족에 의한 철근노출, 시공시 협재된 잡철근노출 및 앵커볼트노출, 백태, 일부 사면유실의 결함이 조사되어 단면복구, 표면처리, 몰탈보수의 보수방안이 필요할 것으로 판단된다.
	교각	• 교각에서는 건조수축에 의한 균열, 백태, 시공불량에 의한 표면불량, 보수재 박리, 외부충격에 의한 단면손상, 시공미흡에 의한 잡철근노출 및 앵커볼트노출의 결함이 조사되었으며, 단면손상부는 내구성 확보를 위해 단면복구가 필요하며, 그 외 결함은 손상 규모가 경미하며 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

(계속)

부재	외관조사 결과분석
받침장치	• 받침장치에 대한 현장조사 결과, 부식, 볼트간섭 및 길이부족, 받침콘크리트 균열, 들뜸 및 박리의 손상이 조사되어 장기적인 내구성 및 기능성 확보를 위해 부식부는 도장보수가 필요하며, 그 외 결함은 손상규모가 경미하거나 내구성 및 기능성 저하 영향이 미미한 손상으로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다. • 받침장치의 연단거리 및 가동량 조사결과, A2측에서 설치불량에 의해 가동여유량 부족이 조사되었으나 1차 및 2차의 온도변화에 따른 신축거동 상태는 원활한 것으로 조사되어 주의관찰토록 하며, 향후 받침장치 교체 계획 시 보수하는 것이 적합할 것으로 판단된다.
신축이음장치	• 신축이음장치의 유간거리는 신축여유량을 확보한 상태이나 오랜 공용중 본체 부식, 토사퇴적, 후타재균열 및 파손, 덮개판 길이부족 및 변형의 결함이 조사되어 토사퇴적은 청소, 후타재 균열은 표면처리, 후타재 파손은 단면복구가 필요하며, 그 외 결함은 내구성 및 기능성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰토록 한다.
교면포장	• 교면포장은 재포장 보수가 실시되어 교량구간의 포장상태는 양호하나 시점측의 접속슬래브 구간은 미보수 구간으로 시공초기 다짐불량에 의한 아스콘 망상균열 및 침하, 후타재 접합부 전압부족에 의한 패임의 손상이 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 부분 팻칭보수가 필요할 것으로 판단된다.
배수시설	• 배수시설은 상부의 배수구와 하부의 배수관으로 구분되며, 배수구는 양호한 상태이나 배수관에서 용접부 부식 및 누수, 고정핀 부식 및 탈락의 결함이 조사되어 재용접 및 고정핀 재설치의 보수방안이 적합할 것으로 판단된다.
방호벽	• 방호벽의 주요결함은 시공초기 건조수축에 의한 균열(0.3㎜미만) 및 백태, 시공미흡에 의한 들뜸 및 전선덮개판 탈락, 외부충격에 의한 파손의 결함이 조사되어 표면처리, 단면복구, 전선덮개판 재설치의 보수가 적합할 것으로 판단된다.

② 손상물량 총괄표

부재	손상명		손상물량			조치방안	비고
			단위	개소	물량		
바닥판	균열(0.3㎜미만), 백태		m	1	0.20	표면처리	
	들뜸, 백태, 녹물		㎡	2	0.80	단면복구(방청)	t=30㎜
	거푸집 미제거		㎡	3	0.45	주의관찰	
	잡철근노출		㎡	2	0.06	단면복구	t=10㎜
거더	도장박리		㎡	17	4.44	도장보수	
	부식		㎡	142	70.33	도장보수	
	볼트부식		㎡	2	1.80	도장보수	
	변형		m	4	1.60	주의관찰	
가로보	부식		㎡	3	0.13	도장보수	
브레이싱	도장박리		㎡	2	0.02	도장보수	
	부식		㎡	51	3.19	도장보수	
교대	균열(0.3㎜미만)		m	20	15.30	주의관찰	
	균열(0.3㎜미만), 백태		m	2	2.70	표면처리	
	균열(0.3㎜이상), 백태		m	1	3.50	주입보수	
	균열 및 녹물		m	1	3.00	단면복구(방청)	t=30㎜
	들뜸, 박락, 파손		㎡	14	2.52	단면복구	t=30㎜
	재료분리		㎡	3	0.89	주의관찰	
	철근노출		㎡	2	0.07	단면복구(방청)	t=30㎜
	잡철근노출		㎡	29	0.29	주의관찰	
	앵커노출		㎡	36	0.36	주의관찰	
	사면유실	A1측	㎡	2	13.00	몰탈보수	폼타이홈
		A2측	㎡	1	0.50	사면정비	
교각	균열(0.3㎜미만)		m	58	27.10	주의관찰	
	백태		㎡	1	0.24	주의관찰	
	표면불량		㎡	6	5.48	주의관찰	
	보수재 박리		㎡	5	0.46	주의관찰	
	재료분리		㎡	2	0.30	주의관찰	
	들뜸, 박락, 파손		㎡	18	3.35	단면복구	t=30㎜
	잡철근노출		㎡	30	0.54	주의관찰	
	앵커노출		㎡	380	3.80	주의관찰	

(계속)

부재		손상명	손상물량			조치방안	비고
			단위	개소	물량		
받침장치	본체	부식	㎡	19	4.11	도장보수	
		볼트간섭 및 길이부족	EA	5	5.00	주의관찰	
		가동여유량 부족	EA	4	4.00	주의관찰	
	콘크리트	균열(0.2mm이하)	m	19	8.10	주의관찰	
		재균열(0.2mm이하)	m	40	22.30	주의관찰	
		들뜸	㎡	3	0.50	주의관찰	
		박리	㎡	1	0.06	주의관찰	
신축이음장치	본체	부식	㎡	5	0.95	주의관찰	
		토사퇴적	㎡	4	1.03	청소	
	후타재	균열(0.3mm미만)	m	55	27.50	표면처리	
		망상균열	㎡	1	0.60	표면처리	
		파손	㎡	2	0.41	단면복구	t=30㎜
	덮개판	길이부족	EA	2	2.00	주의관찰	
		변형	EA	1	1.00	주의관찰	
교면포장		아스콘 망상균열	㎡	2	12.74	팻칭보수	
		아스콘 패임	㎡	1	0.75	팻칭보수	
		아스콘 융기, 침하	㎡	2	3.00	주의관찰	
배수시설		배수관 부식	㎡	13	0.46	주의관찰	
		용접부 부식 및 누수	㎡	5	0.20	용접보수	
		고정핀 부식	EA	44	44.00	재설치	
		고정핀 탈락	EA	26	26.00	재설치	
방호벽		균열(0.3mm미만)	m	25	20.00	표면처리	
		재균열(0.3mm미만)	m	5	4.50	표면처리	
		균열 및 백태	m	34	30.50	표면처리	
		백태	㎡	11	0.93	표면처리	
		파손	㎡	33	2.04	주의관찰	
		들뜸	㎡	8	5.45	단면복구	t=30㎜
		전선덮개판 탈락	EA	10	10.00	재설치	

③ 기 진단(2011년)과의 손상물량 비교표

부재	손상명		단위	전회(2011년) 정밀안전진단	금회(2016년) 정밀안전진단	전회와 물량비교	비고
바닥판	균열(0.3㎜미만), 백태		m	-	0.20	▲ 0.20	
	들뜸, 백태, 녹물		㎡	0.70	0.80	▲ 0.10	
	거푸집 미제거		㎡	-	0.45	▲ 0.45	
	잡철근노출		㎡	-	0.06	▲ 0.06	
거더	도장박리		㎡	3.21	4.44	▲ 1.23	
	부식		㎡	50.36	70.33	▲ 19.97	
	볼트부식		㎡	-	1.80	▲ 1.80	
	변형		m	1.20	1.60	▲ 0.40	
가로보	부식		㎡	-	0.13	▲ 0.13	
브레이싱	도장박리		㎡	0.01	0.02	▲ 0.01	
	부식		㎡	0.39	3.19	▲ 2.80	
교대	균열(0.3㎜미만)		m	14.00	15.30	▲ 1.30	
	균열(0.3㎜이상)		m	15.90	-	▽ 15.90	보수완료
	균열(0.3㎜미만), 백태		m	-	2.70	▲ 2.70	
	균열(0.3㎜이상), 백태		m	3.50	3.50	-	
	균열 및 녹물		m	-	3.00	▲ 3.00	
	들뜸, 박락, 파손		㎡	1.60	2.52	▲ 0.92	
	재료분리		㎡	0.80	0.89	▲ 0.09	
	철근노출		㎡	0.05	0.07	▲ 0.02	
	잡철근노출		㎡	-	0.29	▲ 0.29	
	앵커노출		㎡	-	0.36	▲ 0.36	
	사면유실	A1측	㎡	-	13.00	▲ 13.00	
		A2측	㎡	-	0.50	▲ 0.50	
교각	균열(0.3㎜미만)		m	3.80	27.10	▲ 23.30	
	망상균열		㎡	0.06	-	▽ 0.06	보수완료
	백태		㎡	-	0.24	▲ 0.24	
	표면불량		㎡	104.20	5.48	▽ 98.72	일부보수
	보수재 박리		㎡	-	0.46	▲ 0.46	
	재료분리		㎡	1.91	0.30	▽ 1.61	일부보수
	들뜸, 박락, 파손		㎡	1.19	3.35	▲ 2.16	
	잡철근노출		㎡	-	0.54	▲ 0.54	
	앵커노출		㎡	-	3.80	▲ 3.80	

(계속)

부재		손상명	단위	전회(2011년) 정밀안전진단	금회(2016년) 정밀안전진단	전회와 물량비교	비고
받침장치	본체	부식	㎡	4.11	4.11	-	동일함
		볼트간섭 및 길이부족	EA	-	5.00	▲ 5.00	
		가동여유량 부족	EA	4.00	4.00	-	동일함
	콘크리트	균열(0.2mm이하)	m	53.30	8.10	▽ 45.20	일부보수
		균열(0.3mm이상)	m	22.20	-	▽ 22.20	보수완료
		재균열(0.2mm이하)	m	-	22.30	▲ 22.30	
		들뜸	㎡	0.01	0.50	▲ 0.49	
		박리	㎡	-	0.06	▲ 0.06	
신축이음장치	본체	부식	㎡	0.95	0.95	-	동일함
		토사퇴적	㎡	1.03	1.03	-	동일함
	후타재	균열(0.3mm미만)	㎡	27.10	27.50	▲ 0.40	
		망상균열	㎡	0.60	0.60	-	동일함
		파손	㎡	-	0.41	▲ 0.41	
	덮개판	길이부족	EA	2	2.00	-	동일함
		변형	EA	1	1.00	-	동일함
교면포장		아스콘 균열	m	102.00	-	▽ 102.00	교량구간 보수완료 접속슬래브구간 미보수
		시공이음 균열	m	540.00	-	▽ 540.00	
		아스콘 망상균열	㎡	173.90	12.74	▽ 161.16	
		아스콘 들뜸	㎡	431.88	-	▽ 431.88	
		아스콘 패임	㎡	10.77	0.75	▽ 10.02	
		아스콘 융기, 침하	㎡	-	3.00	▲ 3.00	
배수시설		배수관 부식	㎡	-	0.46	▲ 0.46	
		용접부 부식 및 누수	㎡	-	0.20	▲ 0.20	
		고정핀 부식	EA	-	44.00	▲ 44.00	
		고정핀 탈락	EA	-	26.00	▲ 26.00	
방호벽		균열(0.3mm미만)	m	10.80	20.00	▲ 9.20	
		재균열(0.3mm미만)	m	-	4.50	▲ 4.50	
		균열 및 백태	m	28.70	30.50	▲ 1.80	
		백태	㎡	0.79	0.93	▲ 0.14	
		파손	㎡	-	2.04	▲ 2.04	
		들뜸	㎡	5.45	5.45	-	동일함
		전선덮개판 탈락	EA	4.00	10.00	▲ 6.00	

나. 백운4교(춘천방향)

① 외관조사 결과요약

부재		외관조사 결과분석
바닥판		• 바닥판의 내측은 데크플레이트, 외측은 강판이 설치된 상태로 현장조사 결과, 데크플레이트 부식, 강판, 부식 및 도장박리, 콘크리트 망상균열 및 백태, 박락, 부착 시설물로 전선 보호덮개 부식 및 탈락의 결함이 조사되어 내구성 확보를 위해 콘크리트 망상균열 및 백태는 물끊기홈 설치 및 표면처리, 콘크리트 박락은 강판 제거 및 단면복구, 전선 보호덮개 탈락은 재설치가 필요하며, 그 외 결함은 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.
거더		• 거더는 플레이트 거더 형식으로 현장조사 결과, 공용장기화에 의한 도장열화 및 우수접촉으로 도장박리, 부식, 볼트부식이 발생하였고, 시공미흡에 의한 볼트누락 및 천공홀, 기공, 외부충격에 의한 변형의 결함이 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장박리 및 부식부는 도장보수가 필요하며, 그 외 결함은 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
가로보 및 세로보		• 2차 부재인 가로보 및 세로보는 도장박리, 부식, 볼트부식, 누수오염, 볼트풀림, 변형의 결함이 조사되었으며, 내구성 확보를 의해 도장박리 및 부식부에 대한 도장보수가 필요하며, 그 외 누수오염, 볼트풀림, 변형의 결함은 손상규모가 경미하여 내구성 저하 영향이 미미하여 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.
브레이싱		• 브레이싱은 거더의 변형을 보강하기 위해 설치된 부재로 시공 상태는 양호하나 공용장기화에 의한 도장열화 및 수분접촉으로 부식 및 볼트부식이 일부 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요할 것으로 판단되며, 그 외 볼트풀림 및 누수오염은 손상규모가 경미하며, 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
하부구조	교대	• 교대에서 조사된 균열은 시공초기 건조수축 및 수화열에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으며, 폭 0.3㎜이상의 균열은 진단 기간 중 보수가 완료되었다. 폭 0.3㎜미만은 주의관찰토록 하며, 미세 균열부 수분접촉에 의한 백태는 표면처리, 신축이음 설치 시 외부충격에 의한 파손부는 단면복구가 필요할 것으로 판단된다. 그 외 시공미흡에 의한 재료분리, 잡철근노출 및 체수의 결함은 손상규모가 경미하거나 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
	교각	• 교각에서 발생된 균열은 대부분 교각 상단부에서 건조수축에 의한 비구조적 균열로 구조물의 안전성에 미치는 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 폭 0.3㎜이상은 주입보수를 실시하고, 폭 0.3㎜미만은 주의관찰토록 한다. 그 외 외부충격에 의한 파손은 단면복구, 상면 몰탈 들뜸 및 박락은 몰탈보수가 필요하며, 시공시 협재된 잡철근노출은 손상 규모가 경미하며 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

(계속)

부재	외관조사 결과분석
받침장치	• 받침장치에 대한 현장조사 결과, 본체 부식, 받침콘크리트 균열(0.2mm이하), 망상균열, 잡철근노출의 손상이 조사되어 장기적인 내구성 및 기능성 확보를 위해 부식부는 도장보수가 필요하며, 그 외 결함은 손상규모가 경미하거나 내구성 및 기능성 저하 영향이 미미한 손상으로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다. • 받침장치의 연단거리 및 가동량 조사결과, 교대(A1, A2)측에서 허용 가동량 자체 부족 및 온도변화에 따른 설치오류에 의해 가동여유량 부족이 조사되었으나 1차 및 2차의 온도변화에 따른 신축거동 상태는 원활하며, 가동여유량 부족에 의한 결함은 관찰되지 않았으므로 현 상태에서 주의관찰토록 하며, 향후 받침장치 교체 계획 시 보수하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 그 외 연단거리는 전 개소 최소 연단거리를 상회하는 것으로 검토되었다.
신축이음장치	• 신축이음장치의 유간거리는 신축여유량을 확보한 상태이나 공용중 적치된 토사퇴적, 건조수축에 의한 후타재균열 및 외부충격에 의한 덮개판 고정볼트 탈락의 결함이 조사되어 토사퇴적은 청소, 덮개판 고정볼트 탈락은 재설치가 필요하며, 후타재 균열은 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 표면처리하는 것이 적합할 것으로 판단된다.
교면포장	• 교면포장은 길어깨 및 갓길측은 기존 손상에 대한 재포장 보수가 실시되었으며, 아스콘 표면 및 방수층의 보수 상태는 양호한 것으로 조사되었으며, 차선구간의 일부 포장 망상균열이 조사되어 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 부분 팻칭보수가 적합할 것으로 판단된다. 그 외 코어채취부 마감불량의 결함이 조사되었으나 손상규모가 경미하여 차량 주행성 및 포장 기능성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.
배수시설	• 배수시설은 상부의 배수구와 하부의 배수관으로 구분되며, 배수구는 전 개소 교체 보수되어 양호한 상태이나 배수관에서 용접 연결부 누수(부식) 및 탈락과, 고정핀 부식 및 탈락의 결함이 조사되어 재용접 및 고정핀 재설치의 보수방안이 필요할 것으로 판단된다.
방호벽	• 방호벽의 주요결함은 시공초기 건조수축에 의한 균열(0.3㎜미만) 및 망상균열, 시공불량에 의한 표면박리, 외부충격에 의한 파손의 결함이 조사되었으며, 기조사된 결함 중 균열 및 망상균열은 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 표면처리하는 것이 적합할 것으로 판단되며, 표면박리 및 파손의 결함은 손상규모가 경미하여 방호벽의 기능성 및 내구성 저하 영향이 미미하므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

② 손상물량 총괄표

부재		손상명	손상물량			조치방안	비고
			단위	개소	물량		
바닥판	데크 플레이트	부식	㎡	331	2462.35	주의관찰	
		처짐	㎡	1	3.00	주의관찰	
	강판	부식	㎡	206	336.51	주의관찰	
		도장박리	㎡	4	0.61	주의관찰	
	콘크리트	망상균열, 백태	㎡	1	2.40	표면처리 및 물끊기홈 설치	
		박락	㎡	5	2.25	강판제거, 단면복구 및 물끊기홈 설치	t=50㎜
	전선 보호덮개	부식	㎡	65	14.59	주의관찰	
		탈락	m	13	35.00	재설치	
거더		도장박리	㎡	58	13.08	도장보수	
		부식	㎡	107	260.75	도장보수	
		볼트부식	㎡	40	203.00	도장보수	
		녹물흔적	㎡	5	6.55	도장보수	
		볼트누락	EA	1	1.00	주의관찰	
		변형	EA	2	2.00	주의관찰	
		천공홀	EA	48	48.00	주의관찰	
		기공	EA	20	20.00	주의관찰	
가로보 및 세로보		도장박리	㎡	50	3.16	도장보수	
		부식	㎡	8	1.33	도장보수	
		볼트부식	㎡	14	4.94	도장보수	
		누수오염	㎡	2	3.20	주의관찰	
		볼트풀림	EA	1	1.00	주의관찰	
		변형	EA	5	5.00	주의관찰	
브레이싱		부식	㎡	37	21.20	도장보수	
		볼트부식	㎡	81	1.62	도장보수	
		볼트풀림	EA	1	1.00	주의관찰	
		누수오염	㎡	1	3.00	주의관찰	
교대		균열(0.3㎜미만)	m	20	18.40	주의관찰	
		망상균열	㎡	5	51.28	주의관찰	
		망상균열 및 백태	㎡	1	1.40	표면처리	
		백태	㎡	2	2.29	표면처리	
		재료분리	㎡	3	0.89	주의관찰	
		들뜸 및 파손	㎡	17	2.39	단면복구	t=30㎜
		체수	㎡	3	33.50	주의관찰	
		잡철근노출	㎡	68	0.73	주의관찰	

(계속)

부재		손상명	손상물량			조치방안	비고
			단위	개소	물량		
교각		균열(0.3㎜미만)	m	119	115.90	주의관찰	
		균열(0.3㎜이상)	m	22	26.00	주입보수	
		망상균열	㎡	5	18.79	주의관찰	
		파손	㎡	38	0.99	단면복구	
		들뜸	㎡	16	18.59	몰탈보수	
		표면불량	㎡	4	0.53	단면복구	
		잡철근노출	㎡	10	0.24	주의관찰	
받침장치	본체	부식	㎡	7	3.09	도장보수	
		전단키 부식	㎡	4	4.00	도장보수	
	콘크리트	균열(0.2mm이하)	m	2	0.80	주의관찰	
		망상균열(0.2mm이하)	㎡	4	1.59	주의관찰	
		잡철근노출	㎡	1	0.01	주의관찰	
신축이음장치	본체	토사퇴적	m	1	3.00	청소	
	후타재	균열(0.3mm미만)	m	82	28.00	표면처리	
	덮개판	고정볼트 탈락	EA	7	7.00	볼트 재설치	
교면포장		포장 망상균열	㎡	2	1.79	팻칭보수	
		코어채취부 마감불량	㎡	2	0.07	주의관찰	
배수시설	배수구	이물질퇴적	EA	3	3.00	청소	
	배수관	용접 연결부 누수 및 탈락	EA	3	3.00	용접보수	
		고정핀 부식	EA	50	50.00	고정핀 재설치	
		고정핀 탈락	EA	15	15.00	고정핀 재설치	
방호벽		균열(0.3mm미만)	m	2261	757.50	표면처리	
		망상균열	㎡	9	156.59	표면처리	
		파손	㎡	3	0.21	주의관찰	
		표면박리	㎡	16	220.47	주의관찰	

③ 기 진단(2013년)과의 손상물량 비교표

부재		손상명	단위	전회(2013년) 정밀안전진단	금회(2016년) 정밀안전진단	전회와 물량비교	비고
바닥판	데크 플레이트	부식	㎡	2,456.50	2.462.35	▲ 5.85	
		처짐	㎡	-	3.00	▲ 3.00	
	강판	부식	㎡	328.84	336.51	▲ 7.67	
		도장박리	㎡	0.60	0.61	▲ 0.01	
	콘크리트	망상균열, 백태	㎡	-	2.40	▲ 2.40	
		열화	㎡	504.00	-	▽ 504.00	보수완료
		박락	㎡	-	2.25	▲ 2.25	
	전선 보호덮개	부식	㎡	9.86	14.59	▲ 4.73	
		탈락	m	9.00	35.00	▲ 24.00	
거더		도장박리	㎡	8.53	13.08	▲ 4.55	
		부식	㎡	214.30	260.75	▲ 46.45	
		볼트부식	㎡	159.00	203.00	▲ 44.00	
		녹물흔적	㎡	-	6.55	▲ 6.55	
		볼트누락	EA	1.00	1.00	-	동일함
		변형	EA	2.00	2.00	-	동일함
		천공홀	EA	48.00	48.00	-	동일함
		기공	EA	-	20.00	▲ 20.00	
가로보 및 세로보		도장박리	㎡	1.08	3.16	▲ 0.13	
		부식	㎡	-	1.33	▲ 1.33	
		볼트부식	㎡	0.74	4.94	▲ 4.20	
		누수오염	㎡	3.20	3.20	-	동일함
		볼트풀림	EA	1.00	1.00	-	동일함
		변형	EA	3.00	5.00	▲ 2.00	
브레이싱		부식	㎡	9.80	21.20	▲ 11.40	
		볼트부식	㎡	1.32	1.62	▲ 0.30	
		볼트풀림	EA	1.00	1.00	-	동일함
		누수오염	㎡	3.00	3.00	-	동일함
교대		균열(0.3㎜미만)	m	2.00	18.40	▲ 16.40	
		균열(0.3㎜이상)	m	17.20	-	▽ 17.20	보수완료
		망상균열	㎡	49.00	51.28	▲ 2.28	
		망상균열 및 백태	㎡	-	1.40	▲ 1.40	
		백태	㎡	2.25	2.29	▲ 0.04	
		재료분리	㎡	2.23	0.89	▽ 1.34	일부보수
		들뜸 및 파손	㎡	1.58	2.39	▲ 0.81	
		체수	㎡	3.00	33.50	▲ 30.50	
		잡철근노출	㎡	0.24	0.73	▲ 0.49	

(계속)

부재		손상명	단위	전회(2013년) 정밀안전진단	금회(2016년) 정밀안전진단	전회와 물량비교	비고
교각		균열(0.3㎜미만)	m	58.50	115.90	▲ 57.40	
		균열(0.3㎜이상)	㎡	24.50	26.00	▲ 1.50	
		망상균열	㎡	20.79	18.79	▲ 2.00	
		파손	㎡	0.71	0.99	▲ 0.28	
		들뜸	㎡	12.91	18.59	▲ 5.68	
		표면불량	㎡	0.08	0.53	▲ 0.45	
		잡철근노출	㎡	-	0.24	▲ 0.24	
받침 본체	본체	본체 부식	㎡	4.45	3.09	▽ 1.36	일부보수
		전단키 부식	㎡	-	4.00	▲ 4.00	
		가동여유량 부족	EA	4.00	4.00	-	
	콘크리트	균열(0.2㎜이하)	m	0.40	0.80	▲ 0.40	
		망상균열	㎡	1.59	1.59	-	
		잡철근노출	㎡	0.01	0.01	-	
신축이음		토사퇴적	m	11.00	3.00	▽ 8.00	일부보수
		후타재 균열(0.3㎜미만)	m	6.60	28.00	▲ 21.40	
		덮개판 고정볼트 탈락	EA	7	7	-	동일함
교면포장		아스콘 균열	m	110.50	-	▽ 110.50	갓길 및 길어깨 재포장 보수완료
		아스콘 망상균열	㎡	92.14	1.79	▽ 90.35	
		아스콘 들뜸	㎡	2.85	-	▽ 2.85	
		아스콘 불량	㎡	4.60	-	▽ 4.60	
		아스콘 파손	㎡	1.40	-	▽ 1.40	
		코어채취부 마감불량	㎡	-	0.07	▲ 0.07	
배수시설		배수구 그레이팅파손	EA	30.00	-	▽ 30.00	보수완료
		배수구 이물질퇴적	EA	-	3.00	▲ 3.00	
		용접부 누수 및 탈락	EA	-	3.00	▲ 3.00	
		배수관 고정핀 부식	EA	-	50.00	▲ 50.00	
		배수관 고정핀 탈락	EA	-	15.00	▲ 15.00	
방호벽		균열(0.3mm미만)	m	860.40	757.50	▽ 102.90	일부보수
		망상균열	m	11.30	156.59	▲ 145.29	
		파손	㎡	-	0.21	▲ 0.21	
		표면박리	㎡	132.78	220.47	▲ 87.69	

3.2 내구성조사 결과요약

가. 백운4교(부산)

① 현장시험 결과요약(부산)

시 험 명		시험부위	시험결과	평 가
콘크리트 강도시험	반발 경도 시험	상부구조	▪ 바닥판 설계기준강도(27.0㎫)의 95.2~116.9%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.	양호
		하부구조	▪ 교대 설계기준강도(24.0㎫)의 106.9~115.5%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음 ▪ 교각 설계기준강도(24.0㎫)의 94.5~120.8%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.	양호
	초음파 전달 속도 시험	상부구조	▪ 거더 설계기준강도(27.0㎫)의 98.6~114.5%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.	양호
		하부구조	▪ 교대 설계기준강도(24.0㎫)의 106.1~111.5%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음 ▪ 교각 설계기준강도(24.0㎫)의 93.3~118.3%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.	양호
철근탐사시험		상부구조	▪ 준공도면을 비교·검토한 결과 피복두께가 설계치보다 다소 두꺼운 것으로 나타났으나 외관조사결과 이로 인한 손상은 조사되지 않았으며 배근간격 등이 준공도면과 유사함	양호
		하부구조	▪ 준공도면을 비교·검토한 결과 배근간격 , 피복두께 등이 준공도면과 유사함	양호
탄산화 깊이 측정		상부구조	▪ 철근까지의 잔여깊이가 30㎜이상 확보되어 “a”로 평가됨	부식발생 우려 없음
		하부구조	▪ 철근까지의 잔여깊이가 30㎜이상 확보되어 “a”로 평가됨	부식발생 우려 없음
염화물함유량 시험		상부구조	▪ 전개소 : 염화물함유량 ≤ 0.3㎏/㎥이하로 (상태평가결과 : a)	부식발생 우려없음
		하부구조	▪ 전개소 : 0.3㎏/㎥≤ 염화물함유량 ≤ 1.2㎏/㎥이하로 (상태평가결과 : b)	부식발생 가능성 낮음
균열깊이 측정		하부구조	▪ 균열심도(39.3㎜) < 철근피복두께(107.0㎜)	양호
초음파탐상시험(UT)		거더	▪ Ⅰ류등급 : 20개소	양호
도막두께 측정		거더	▪ 건전부(230~549㎛) > 시방기준두께(215㎛)	건전부 양호
평가 의견		▪ 본 시설물은 특이사항이 없는 양호한 상태로 구조물을 대표할 수 있는 부위에서 현장시험을 실시하였으며, 측정 및 시험 결과, 콘크리트 강도, 탄산화 깊이, 염화물 함유량 시험, 균열깊이 측정, 초음파탐상시험(UT), 도막두께 측정은 관련기준을 만족하는 양호한 상태임		

② 전회 진단과의 비교·분석(부산)

구 분		2011년 정밀안전진단	2016년 정밀안전진단	기준값
비파괴 강 도 (MPa)	상부	26.9~28.1	25.7~31.6	27.0
	하부	24.6~29.2	22.7~29.0	24.0
철근배근탐사		• 국부적인 철근탐사 시험 결과, 대부분 설계도와 일치하여 철근배근상태는 양호함 • 일부 피복두께 및 배근간격의 부분적인 차이는 있으나 외관조사결과 이에 따른 부재의 손상은 없는 상태임		
탄산화 깊 이 (㎜)	상부	3.0~5.0	1.6~3.0	잔여피복 30㎜이상
	하부	3.0~18.0	3.1~14.2	잔여피복 30㎜이상
염화물 함유량시험 (kg/㎥)	상부	0.990	0.190~0.205	염화물 < 0.3 (평가결과: a)
	하부	0.387~0.405	0.128~0.448	0.3 < 염화물 < 1.2 (평가결과: b)
강재초음파시험		결함도 없음	결함도 없음	
총 평		■ 본 교량에 대한 내구성조사 결과는 측정위치 및 기술자 숙련도, 현장 기상조건 등에 의하여 차이가 있기 때문에 정확한 산술적 비교는 어려운 상태이나 금회 측정된 내구성 평가 결과값과 기 진단시 측정된 결과값에서 큰 차이가 없으며, 전반적으로 허용기준값을 만족하는 것으로 평가됨		

나. 백운4교(춘천방향)

① 현장시험 결과요약(춘천)

시 험 명		시험부위		시험결과	평 가
콘크리트 강도시험	반발 경도 시험	상부구조		▪ 바닥판, 방호벽 설계기준강도(27.0㎫)의 102.3~121.8%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음	양호
		하부구조		▪ 교대 설계기준강도(24.0㎫)의 91.9~109.9%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다. ▪ 교각 설계기준강도(27.0㎫)의 108.7~132.6%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음	양호
	초음파 전달 속도 시험	상부구조		▪ 방호벽 설계기준강도(27.0㎫)의 104.8~115.6%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음	양호
		하부구조		▪ 교대 설계기준강도(24.0㎫)의 91.9~104.8%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다. ▪ 교각 설계기준강도(30,35㎫)의 106.7~126.2%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음	양호
철근탐사시험		상부구조		▪ 배근간격은 설계도면과 일치하며, 피복두께는 방호벽 단면증설로 인해 피복두께가 깊게 측정된 것으로 판단됨	-
		하부구조		▪ 배근간격은 설계도면과 일치하며, 피복두께는 시방기준을 상회하고 있음	양호
탄산화 깊이 측정		상부구조		▪ 철근까지의 잔여깊이가 30㎜이상 확보되어 “a”로 평가됨	부식발생 우려 없음
		하부구조		▪ 철근까지의 잔여깊이가 30㎜이상 확보되어 “a”로 평가됨	부식발생 우려 없음
염화물 함유량 시험	상부구조	S5	건전부	▪ 염화물함유량 ≤ 0.3kg/㎥이하로 (상태평가결과 : a)	부식발생 우려 없음
	하부구조	A1	건전부	▪ 0.3kg/㎥≤ 염화물함유량 ≤ 1.2kg/㎥이하로 (상태평가결과 : b)	부식발생 가능성 낮음
		A2-2	건전부	▪ 염화물함유량 ≤ 0.3kg/㎥이하로 (상태평가결과 : a)	부식발생 우려 없음
균열깊이 측정		하부 구조	A1	▪ 균열심도(49.1㎜) < 철근피복두께(65.0㎜)	양호
			A2	▪ 균열심도(177.7㎜) > 철근피복두께(86.0㎜)	불량
			P3	▪ 균열심도(25.2㎜) < 철근피복두께(109.0㎜)	양호
초음파탐상시험(UT)		거더		▪ Ⅰ류등급 : 10개소	양호
도막두께 측정		거더		▪ 건전부(216.0~311.4㎛) > 시방기준두께(215㎛) ▪ 손상부(23.0㎛) < 시방기준두께(215㎛)	건전부 양호
평가 의견		▪ 본 시설물은 특이사항이 없는 양호한 상태로 구조물을 대표할 수 있는 부위에서 현장시험을 실시하였으며, 측정 및 시험 결과, 콘크리트 강도, 탄산화 깊이, 염화물 함유량 시험, 초음파탐상시험(UT)은 관련기준을 만족하는 양호한 상태이다. A2흉벽의 균열깊이는 철근피복두께를 관통한 상태이나 진단 기간중 균열보수가 실시되어 차기 진단 시 재손상 여부에 대한 확인이 필요하며, 두께 손상부는 기준미만으로 주의관찰 및 보수가 필요한 상태임				

② 전회 진단과의 비교·분석(춘천)

구 분			2013년 정밀안전진단	2016년 정밀안전진단	기준값
비파괴 강 도 (MPa)	상부		-	27.6~32.9	27.0
	하부		28.1~29.6	22.6~31.8	24.0
철근배근탐사			·기 진단 시 상부구조는 데크플레이트 및 강판 설치에 의해 미실시하였고, 금회 진단 시에는 강판 절취부 1개소 및 방호벽 4개소에서 측정하여 비교·분석이 불가능하며, 하부구조는 준공도면과 비교 시 단위 m 당 철근수량은 설계도면과 동일하며, 피복두께는 시방기준을 다소 상회하고 있음		
탄산화 깊 이 (mm)	상부		-	0.4~5.8	잔여피복 30㎜이상
	하부		6.3~11.9	2.7~15.1	잔여피복 30㎜이상
염화물 함유량시험 (kg/㎥)	상부	건전부	0.071	0.167	염화물 < 0.3 (평가결과: a)
	하부	건전부	0.047~0.165	0.131~0.251	염화물 < 0.3 (평가결과: a)
강재초음파시험			결함도 없음	결함도 없음	-
총 평			■ 본 교량에 대한 내구성조사 결과는 측정위치 및 기술자 숙련도, 현장 기상조건 등에 의하여 차이가 있기 때문에 정확한 산술적 비교는 어려운 상태이나 금회 측정된 내구성 평가 결과값과 기 진단시 측정된 결과값에서 큰 차이가 없으며, 전반적으로 허용기준값을 만족하는 것으로 평가됨 ■ 상부 바닥판은 데크플레이트 및 강판이 설치되어 기 진단 시 비파괴강도 및 탄산화깊이 측정은 미실시되어 비교는 불가능한 상태이나 금회 진단 시에는 방호벽 및 캔틸레버 강판 절단부에서 측정하였으며, 측정결과가 기준치를 만족하고 있으므로 공용기간 증가에 따른 내구성 저하는 없는 것으로 평가됨		

4. 시설물의 상태평가

4.1 백운4교(부산)

가. 상태평가 결과

부재의 분류		상부구조			하부구조		교량받침	기타부재				탄산화		염화물	
번호	구조형식	바닥판	거더	가로보	교대교각	기초		신축이음	교면포장	배수시설	난간연석	상부	하부	상부	하부
A1	SPG	-	-	-	c	Q	b	c	-	-	-	-	a	-	b
S1(P1)	SPG	b	b	b	b	Q	b	-	a	c	b	a	-	a	-
S2(P2)	SPG	a	b	b	b	Q	b	-	a	c	b	-	a	-	-
S3(P3)	SPG	a	b	b	b	Q	b	-	a	c	b	a	-	-	-
S4(P4)	SPG	b	b	b	b	Q	b	-	a	c	b	-	a	-	-
S5(A2)	SPG	b	b	b	c	Q	b	c	a	c	b	a	a	-	a
평균		0.160	0.200	0.200	0.267	-	0.200	0.400	0.100	0.400	0.200	0.100	0.100	0.100	0.150
가중치		18	20	5	20	-	9	9	7	3	2	2	2	2	1
(평균×가중치) / 가중치합		0.029	0.040	0.010	0.053	-	0.018	0.036	0.007	0.012	0.0074	0.002	0.002	0.002	0.002

환산결함도 점수	0.217
상태평가 결과	B

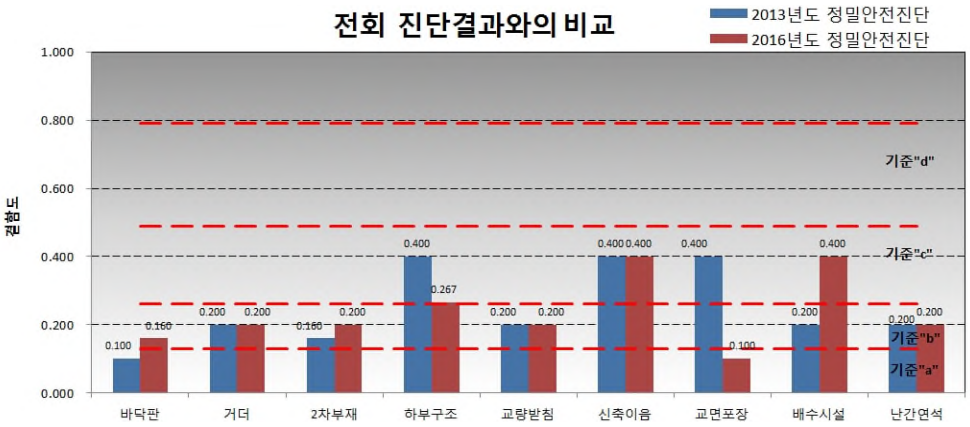
나. 전회 진단 결과와의 비교

구 분	상태평가 결과 분석

상태평가 결과분석

구 분	2011년 정밀안전진단	2016년 정밀안전진단
결함도 점수	0.252	0.217
상태평가 결과	B	B

- 백운4교(부산)는 정밀안전진단(2011년)을 시행하였으며, 상태평가결과 『B』으로 분류된 교량으로 금회 실시된 정밀안전진단에서도 상태평가 『B』으로 평가됨
- 금회 정밀안전진단 시 신규손상이 조사되었지만 구조물의 안전성에 영향을 미치는 손상이 아니므로 신규손상에 따른 결함도 영향은 미미함



<전회 정밀안전진단 결과와의 비교>

- 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
  ⇨ 교면포장(전면 재포장) 및 하부구조 표면보수 실시로 인해 결함도 점수 감소

4.2 백운4교(춘천)

가. 상태평가 결과

부재의 분류		상부구조			하부구조		교량받침	기타부재				탄산화		염화물	
번호	구조형식	바닥판	거더	가로보	교대교각	기초		신축이음	교면포장	배수시설	난간연석	상부	하부	상부	하부
A1	SPG	-	-	-	b	Q	b	b	-	-	-	-	a	-	b
S1(P1)	SPG	b	c	b	c	Q	b	-	b	c	b	a	-	-	-
S2(P2)	SPG	b	c	b	c	Q	b	-	b	c	b	-	a	-	-
S3(P3)	SPG	b	c	b	c	Q	b	-	b	c	b	-	-	-	-
S4(P4)	SPG	b	b	c	c	Q	b	-	a	c	b	-	a	-	-
S5(A2)	SPG	b	c	b	b	Q	b	b	a	c	b	a	a	a	a
평균		0.200	0.360	0.240	0.333	-	0.200	0.200	0.160	0.400	0.200	0.100	0.100	0.100	0.150
가중치		18	20	5	20	-	9	9	7	3	2	2	2	2	1
(평균×가중치) / 가중치합		0.036	0.072	0.012	0.067	-	0.018	0.018	0.011	0.012	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002

환산결함도 점수	0.257
상태평가 결과	B

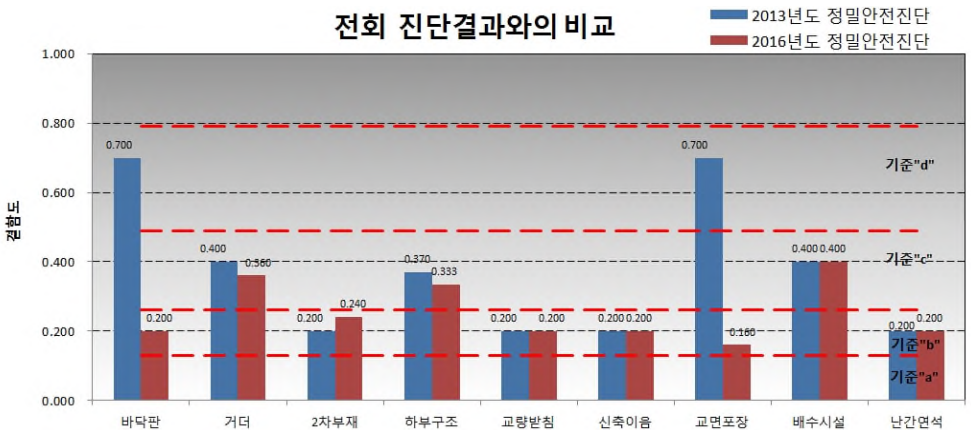
나. 전회 진단결과와의 비교

구 분	상태평가 결과 분석

구 분	2013년 정밀안전진단	2016년 정밀안전진단
결함도 점수	0.397	0.257
상태평가 결과	C	B

상태평가 결과분석

- 백운4교(춘천)는 정밀안전진단(2013년)을 시행하였으며, 상태평가 결과 『C』로 분류된 교량으로 금회 실시된 정밀안전진단에서는 상태평가 결과『B』로 상향 평가됨
- 금회 정밀안전진단 시 신규손상이 조사되었지만 구조물의 안전성에 영향을 미치는 손상이 아니므로 신규손상에 따른 결함도 영향은 미미함



<전회 정밀안전진단 결과와의 비교>

- 금회 정밀안전진단 결함도 점수의 증감 사유는 다음과 같다.

- 결함도 점수 증가 사유

  ⇨ 공용년수 증가에 따른 신규손상 발생 및 상세조사에 의한 손상물량 증가

- 결함도 점수 감소 사유

  ⇨ 교면포장 및 바닥판 열화부, 교대 균열(폭 0.3㎜이상) 보수 실시로 인해 결함도 점수 감소

5. 시설물의 안전성평가

5.1 백운4교(부산)

가. 상부구조

① 거더의 안전성 평가 (허용응력법)

구 분		검토결과(MPa)		안전율(SF)	비고
		f_a	$f(d+l)$		
정모멘트부	거더4 상연	200.000	86.909	2.301	LCB3
	거더4 하연	200.000	134.157	1.491	LCB2
부모멘트부	거더4 상연	200.000	145.755	1.372	LCB1
	거더4 하연	180.900	156.469	**1.156**	LCB1

② 바닥판의 안전성 평가 (강도설계법)

구 분		검토결과(kN·m)		안전율(SF)	비 고
		ϕM_n	M_u		
바닥판	외측 바닥판	132.943	17.390	7.645	
	중앙부 바닥판	132.943	89.961	**1.478**	

나. 하부구조

① 기둥

< 강도설계법에 의한 안전율 산정 결과(축강도) >

구 분		검토결과(kN)		안전율(SF)	비 고
		ϕP_n	P_u		
기둥	최대 축력	280175.3	52938.9	5.292	
	최대 휨모멘트	263506.5	50257.7	**5.243**	교축방향
	최대 휨모멘트	267461.3	50257.7	5.322	교축직각방향

< 강도설계법에 의한 안전율 산정 결과(휨강도) >

구 분		검토결과(kN·m)		안전율(SF)	비 고
		ϕM_n	M_u		
기둥	최대 축력	113076.0	7629.7	14.82	
	최대 휨모멘트	428934.7	57920.7	7.406	교축방향
	최대 휨모멘트	131635.5	22129.4	**5.948**	교축직각방향

5.2 백운4교(춘천)

가. 상부구조

① 거더의 안전성 평가 (허용응력법)

구 분		휨 응 력				안전율		안전성 평가결과
		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)				
		상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	
정모멘트부	단면2	106.9	154.7	210	210	1.97	1.36	a
	단면3	64.5	115.1	210	210	3.26	1.82	a
	단면7	62.7	140.0	210	210	3.35	1.50	a
	단면11	100.3	169.5	210	210	2.09	1.24	a
부모멘트부	단면5	102.2	125.0	-195	184.5	1.91	1.48	a
	단면10	119.3	149.0	-200	181.4	1.68	**1.22**	a

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

② 바닥판의 안전성 평가 (강도설계법)

구분	ϕM_n(kN · m)	M_u(kN · m)	안전율	안전성 평가결과
캔틸레버부	122.167	63.678	1.92	a
중앙부	106.000	60.262	**1.76**	a

나. 하부구조

① 교각기둥

구 분		ΦPn (kN)	Pu (kN)	Mu (kN·M)	안전율	안전성 평가결과
P1	축력최대	344,069	53,203	107	6.467	a
	모멘트최대	343,025	43,760	67,489	7.839	a
	탄성설계	344,069	33,661	65	10.222	a
	편심최대	316,271	30,295	62,278	10.440	a
P2	축력최대	298,396	56,348	224	**5.296**	a
	모멘트최대	331,252	47,233	83,461	7.013	a
	탄성설계	344,069	36,333	102	9.470	a
	편심최대	300,895	32,700	77,071	9.202	a
P3	축력최대	298,396	56,782	150	5.255	a
	모멘트최대	331,430	47,661	84,054	6.954	a
	탄성설계	344,069	36,662	41,184	9.385	a
	편심최대	301,155	32,996	77,600	9.127	a
P4	축력최대	344,069	58,848	109	5.847	a
	모멘트최대	344,069	41,581	55,405	8.275	a
	탄성설계	344,069	31,985	76	10.757	a
	편심최대	330,790	28,787	51,120	11.491	a

② 교각확대기초

단 면		Mu (kN · m/m)	ϕMn (kN · m/m)	안전율	안전성 평가결과
P1	교축방향	36,693	56,079	**1.528**	a
	교직-지점부	2,176	28,788	13.229	a
P2	교축방향	38,652	61,288	1.586	a
	교직-지점부	2,129	31,449	14.769	a
P3	교축방향	38,990	61,288	1.572	a
	교직-지점부	2,145	31,449	14.659	a
P4	교축방향	28,259	56,079	1.984	a
	교직-지점부	1,960	28,788	14.689	a

③ 교대 기초 및 구체

단 면		Mu (kN · m/m)	ϕMn (kN · m/m)	안전율	안전성 평가결과
A1	후면저판	1,525.95	1,631.57	**1.069**	a
	벽 체	1,294.23	1,494.52	1.155	a
	흉 벽	352.907	579.776	1.643	a
A2	후면저판	1,025.74	1631.571	1.591	a
	벽 체	879.774	1,494.52	1.699	a
	흉 벽	380.095	579.776	1.525	a

6. 종합평가 및 안전등급의 지정

6.1 백운4교(부산)

가. 종합평가

평가구분	평가내용	평가결과	비 고
상태평가	F=0.217	B	상태평가와 안전성평가 중 낮은 결과 적용
안전성평가	SF=1.0이상	A	
종합평가	**B**		

나. 안전등급 지정

구 분	상태평가		안전성평가	
	결함도 점수	평가기준	최소 안전율	평가기준
평가결과	0.217	B	1.0이상	A
안전등급 지 정	▶ 백운4교(부산)의 안전등급은 양호한 상태인 B등급으로 지정함 상태평가 B / 안전성평가 A → 안전등급 B			

6.2 백운4교(춘천)

가. 종합평가

평가구분	평가내용	평가결과	비 고
상태평가	F=0.257	B	상태평가와 안전성평가 중 낮은 결과 적용
안전성평가	SF=1.0이상	A	
종합평가	**B**		

나. 안전등급 지정

구 분	상태평가		안전성평가	
	결함도 점수	평가기준	최소 안전율	평가기준
평가결과	0.257	B	1.0이상	A
안전등급 지 정	▶ 백운4교(춘천)의 안전등급은 양호한 상태인 B등급으로 지정함 상태평가 B / 안전성평가 A → 안전등급 B			

7. 보수·보강 및 유지관리방안

7.1 보수·보강방안 및 개략공사비

가. 백운4교(부산)

구 분	손상내용	보수·보강 공법	보수깊이·폭 (mm)	보수		단가 (원)	공사비 (원)	비고
				물량	단위			
바닥판	균열, 백태	표면처리	Cw=0.3㎜미만	0.08	㎡	33,361	2,502	3순위
	들뜸, 백태, 녹물	단면복구(방청)	t=30㎜	1.20	㎡	240,899	289,079	2순위
	잡철근노출	단면복구	t=30㎜	0.09	㎡	212,097	19,089	3순위
거더	도장박리	도장보수		6.66	㎡	18,259	123,383	3순위
	부식	도장보수		105.50	㎡	30,325	3,199,136	3순위
	볼트부식	도장보수		2.70	㎡	30,325	81,878	3순위
가로보	부식	도장보수		0.20	㎡	30,325	5,913	3순위
브레이싱	도장박리	도장보수		0.03	㎡	18,259	556	3순위
	부식	도장보수		4.79	㎡	30,325	145,105	3순위
교대	균열, 백태	표면처리	Cw=0.3㎜미만	1.01	㎡	33,361	33,778	3순위
	균열, 백태	주입보수	Cw=0.3㎜이상	5.25	m	69,938	367,175	2순위
	균열 및 녹물	단면복구(방청)	t=30㎜	1.13	㎡	240,899	271,011	2순위
	들뜸, 박락, 파손	단면복구	t=30㎜	3.78	㎡	212,097	801,727	3순위
	철근노출	단면복구(방청)	t=30㎜	0.11	㎡	240,899	25,294	2순위
	사면유실 A1측	몰탈보수	폼타이홈 누수	0.06	㎡	25,000	1,500	3순위
	사면유실 A2측	사면정비		0.75	㎡	7,400	5,550	3순위
교각	들뜸, 박락, 파손	단면복구	t=30㎜	5.03	㎡	217,000	1,090,425	3순위
받침장치	부식	도장보수		6.17	㎡	57,065	351,806	3순위
신축이음	토사퇴적	청소		1.55	㎡	20,000	30,900	3순위
	후타재 균열	표면처리	Cw=0.3㎜미만	10.31	㎡	33,361	344,035	3순위
	후타재 망상균열	표면처리		0.90	㎡	33,361	30,025	3순위
	후타재 파손	단면복구	t=30㎜	0.62	㎡	212,097	130,440	3순위
교면포장	망상균열 및 패임	팻칭보수		1.00	일	707,554	707,554	3순위
배수시설	용접부 부식, 누수	용접보수		0.30	㎡	43,000	12,900	1순위
	고정핀 부식	재설치		44.00	EA	20,000	880,000	1순위
	고정핀 탈락	재설치		26.00	EA	20,000	520,000	1순위
방호벽	균열	표면처리	Cw=0.3㎜미만	7.50	㎡	33,361	250,208	3순위
	보수부 재균열	표면처리	Cw=0.3㎜미만	1.69	㎡	33,361	56,297	3순위
	균열 및 백태	표면처리		11.44	㎡	33,361	381,566	3순위
	백태	표면처리		1.40	㎡	33,361	46,539	3순위
	들뜸	단면복구	t=30㎜	8.18	㎡	212,097	1,733,893	1순위
	전선덮개판 탈락	재설치		10.00	EA	10,000	100,000	3순위
순공사비(원)		공사비 합계					12,039,000	
순위별 순공사비(원)		단기(1순위)					3,147,000	
		중장기	(2순위)				959,000	
			(3순위)				7,933,000	
제경비(원)		(순공사비×50%)					6,020,000	
개략공사비(원)		순공사비+제경비					18,059,000	

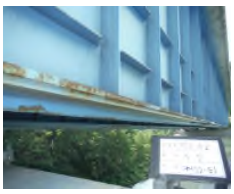
나. 백운4교(춘천)

구 분	손상내용	보수·보강 공법	보수깊이·폭 (mm)	보수		단가 (원)	공사비 (원)	비고
				물량	단위			
바닥판	망상균열, 백태	표면처리	Cw=0.3㎜미만	3.60	㎡	33,361	120,100	3순위
		물끊기홈 설치		22.50	m	10,000	225,000	1순위
	콘크리트 박락	강판제거 및 단면복구	t=50㎜	3.38	㎡	380,000	1,282,500	1순위
		물끊기홈 설치		15.00	m	10,000	150,000	1순위
	전선보호덮개 탈락	재설치		52.50	m	50,000	2,625,000	3순위
거더	도장박리	도장보수		19.62	㎡	18,259	363,480	3순위
	부식	도장보수		391.13	㎡	30,325	11,860,866	3순위
	볼트부식	도장보수		304.50	㎡	30,325	9,233,963	3순위
	녹물흔적	도장보수		9.83	㎡	18,259	182,018	3순위
가로보	도장박리	도장보수		4.74	㎡	18,259	87,813	3순위
	부식	도장보수		2.00	㎡	30,325	60,498	3순위
	볼트부식	도장보수		7.41	㎡	30,325	224,708	3순위
브레이싱	부식	도장보수		31.80	㎡	30,325	964,335	3순위
	볼트부식	도장보수		2.43	㎡	30,325	73,690	3순위
교대	균열	주입보수	Cw=0.3㎜이상	26.70	m	69,938	1,867,345	2순위
	망상균열 및 백태	표면처리	Cw=0.3㎜미만	2.10	㎡	33,361	70,058	3순위
	백태	표면처리		3.44	㎡	33,361	114,595	3순위
	들뜸 및 파손	단면복구	t=30㎜	3.59	㎡	212,097	760,368	3순위
교각	균열	주입보수	Cw=0.3㎜이상	39.00	m	69,938	2,727,582	2순위
	파손	단면복구	t=30㎜	1.49	㎡	212,097	314,964	3순위
	들뜸	몰탈보수		27.89	㎡	25,000	697,125	3순위
	표면불량	단면복구	t=30㎜	0.80	㎡	212,097	168,617	3순위
받침장치	부식	도장보수		4.64	㎡	57,065	264,496	3순위
	전단키 부식	도장보수		6.00	㎡	57,065	342,390	3순위
신축이음	토사퇴적	청소		4.50	m	20,000	90,000	2순위
	후타재 균열	표면처리	Cw=0.3㎜미만	10.50	㎡	33,361	350,291	3순위
	덮개판 볼트탈락	볼트 재설치		7.00	EA	3,000	21,000	1순위
교면포장	망상균열	팻칭보수		1.00	일	707,554	707,554	3순위
배수시설	배수구 이물질퇴적	청소		3.00	EA	20,000	60,000	2순위
	용접연결부 누수	용접보수		3.00	EA	43,000	129,000	1순위
	고정핀 부식	고정핀 재설치		50.00	EA	20,000	1,000,000	1순위
	고정핀 탈락	고정핀 재설치		15.00	EA	20,000	300,000	1순위
방호벽	균열	표면처리	Cw=0.3㎜미만	284.06	㎡	33,361	9,476,609	3순위
	망상균열	표면처리		234.89	㎡	33,361	7,835,998	3순위
순공사비(원)		공사비 합계					54,751,000	
순위별 순공사비(원)		단기(1순위)					3,107,000	
		중장기	(2순위)				4,655,000	
			(3순위)				46,989,000	
제경비(원)		(순공사비×50%)					27,376,000	
개략공사비(원)		순공사비+제경비					82,127,000	

7.2 유지관리방안

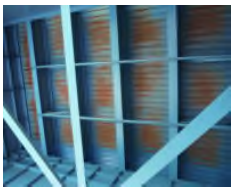
가. 백운4교(부산)

< 부재별 주요 점검 사항 >

부재	손상유형	손상위치	유지관리내용	비고
바닥판	들뜸, 백태 및 녹물	S5/A2지점	• 철근부식 팽창에 의한 손상진전 여부 • 보수 후 재손상 여부	
거더 및 2차 부재	부식	S1~S5	• 부식부 모재 손상 여부 • 보수 후 재손상 여부	
하부구조	균열 (0.3mm이상)	A1/흉벽	• 균열부 손상진전 여부 • 균열부 백태 및 누수 여부	
받침장치	가동여유량 부족	A2측 SH1~SH4	• 가동여유량 부족에 따른 신축 거동 이상 유무 • 고정단 받침콘크리트 파손 여부	
신축이음부	후타재 파손	A2	• 손상진전에 의한 차량 주행성 저하 여부 • 보수 후 재손상 여부	
배수시설	배수관 고정핀 탈락	S1~S5	• 고정핀 탈락 추가손상 및 배수관 탈락 여부	
방호벽	배면 들뜸	S1~S4	• 들뜸부 손상진전에 의한 탈락 여부 • 보수 후 재손상 여부	

나. 백운4교(춘천)

< 부재별 주요 점검 사항 >

부재	손상유형	손상위치	유지관리내용	비고
바닥판	강판파손 및 콘크리트 박락	가로등 기초 설치부	•박락부 손상진전 여부 •보수 후 재손상 여부	
	데크플레이트 및 강판 부식	S1~S5	•데크플레이트 박리 및 누수 발생 여부 •부식 심화에 의한 모재 손상 여부	
거더 및 2차 부재	부식	S1~S5	•부식부 모재 손상 여부 •보수 후 재손상 여부	
하부구조	균열 (0.3mm이상)	A2/흉벽	•균열부 손상진전 여부 •균열부 백태 및 누수 여부	
받침장치	가동여유량 부족	A1, A2측 SH1~SH2	•가동여유량 부족에 따른 신축거동 이상 유무 •고정단 받침콘크리트 파손 여부	
신축이음부	토사퇴적	A2	•토사퇴적에 의한 신축거동 이상 여부	
배수시설	배수관 고정핀 부식 및 탈락	S1~S5	•고정핀 탈락 추가손상 및 배수관 탈락 여부	
	배수관 용접부 누수 및 탈락	S1, S4	•배수관 용접부 누수 및 탈락에 의한 추가손상 여부 •보수 후 누수 진행 여부	

8. 종합결론

8.1 백운4교(부산)

백운4교(부산)에 대하여 현장조사, 시험 및 측정, 시설물 평가를 실시한 결과, 콘크리트 부재는 균열, 망상균열, 백태, 단면손상, 앵커볼트노출, 잡철근노출, 강재 부재는 도장박리, 부식, 볼트부식, 변형 등의 비구조적인 손상이 발생되어 부분적 보수가 필요하나 비파괴 시험결과, 공용기간 증가에 따른 내구성 저하 영향은 없는 것으로 조사되었고, 받침장치 및 신축이음장치는 일부 결함이 있으나 교량 신축거동에 지장이 없는 상태이다. 또한 안전성검토 결과, 상·하부구조의 안전율은 1.0이상으로 안전성을 확보하였으며, 기본내하력은 설계내하력(DB-24)을 만족하는 것으로 평가되어 교량의 전체적인 상태는 특별한 문제점이 없는 건전한 상태로 시설물의 사용성 제한의 필요성은 없는 것으로 평가되었다.

상태평가 및 안전성평가를 종합적으로 분석한 결과, 백운4교(부산)의 안전등급은 “양호한 상태” B등급으로 지정되었으며, 조사된 결함에 대해서 제안한 공법대로 보수를 실시하고, 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 주기적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 구조물의 안전성과 사용성은 확보될 것으로 판단된다.

8.2 백운4교(춘천)

백운4교(춘천)에 대하여 현장조사, 시험 및 측정, 시설물 평가를 실시한 결과, 콘크리트 부재에서 균열, 백태, 재료분리, 표면불량, 단면손상, 앵커볼트노출, 잡철근노출 등과 강재 부재에서 도장박리, 부식, 볼트부식 및 누락, 기공, 변형 등의 비구조적인 손상이 발생하여 부분적 보수가 필요하며, 교각의 폭 0.3mm이상의 균열은 보수 후에도 재손상 여부에 대한 중점관리가 필요할 것으로 판단된다. 비파괴 시험결과, 공용기간 증가에 따른 내구성 저하 영향은 없는 것으로 조사되었고, 받침장치 및 신축이음장치는 일부 결함이 있으나 교량 신축거동에 문제점은 없는 상태이다. 또한 안전성검토 결과, 상·하부구조의 안전율은 1.0이상으로 안전성을 확보하였으며, 기본내하력은 설계내하력(DB-24)을 만족하는 것으로 평가되어 교량의 전체적인 상태는 특별한 문제점이 없는 건전한 상태로 시설물의 사용성 제한의 필요성은 없는 것으로 평가되었다.

상태평가 및 안전성평가를 종합적으로 분석한 결과, 백운4교(춘천)의 안전등급은 “양호한 상태” B등급으로 지정되었으며, 조사된 결함에 대해서 제안한 공법대로 보수를 실시하고, 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 주기적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 구조물의 안전성과 사용성은 확보될 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. 20. ~ 2016. 12. 26. (착수일로부터 190일)

1.2.3 과업의 내용

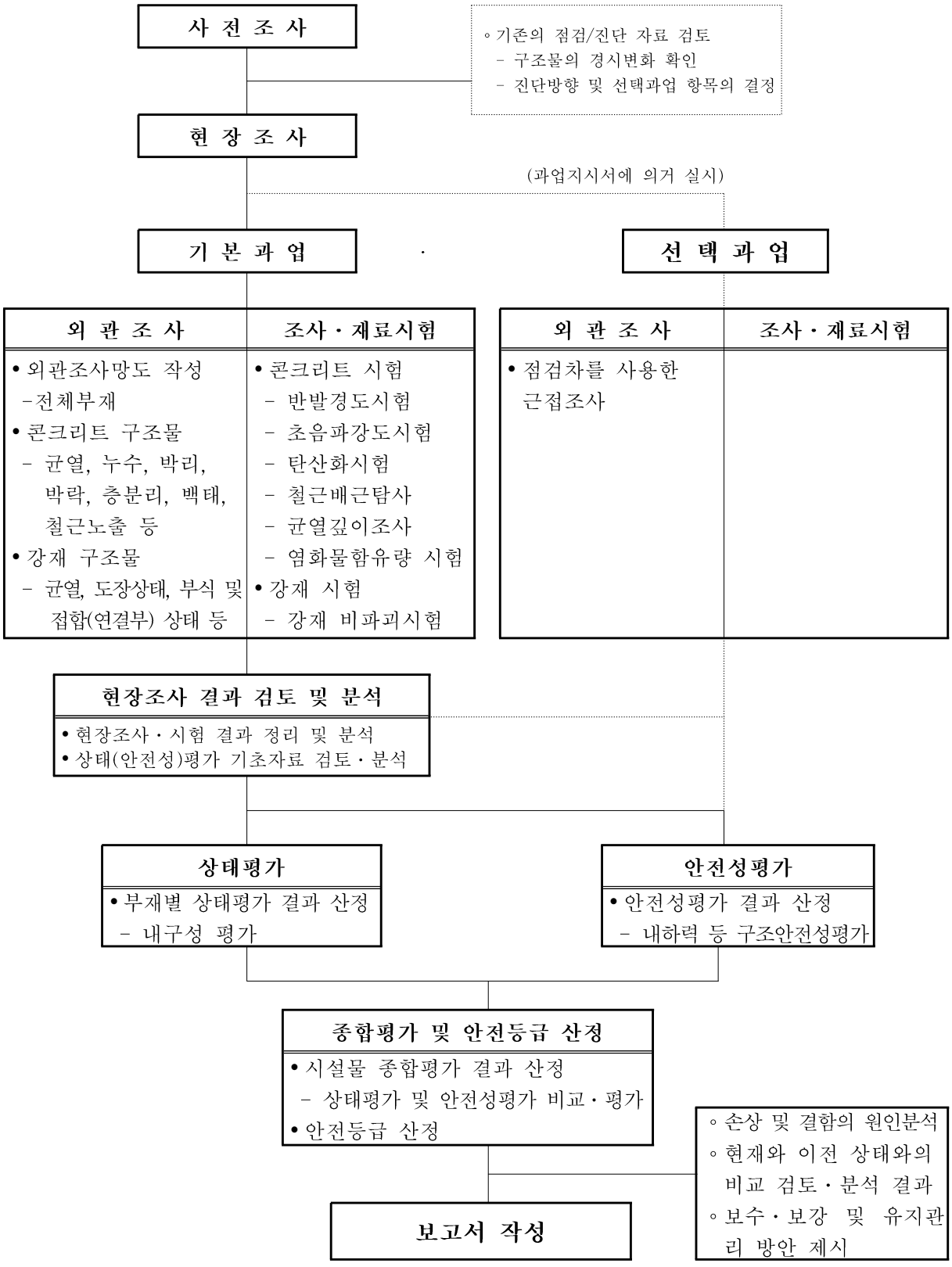
【표 1.1】 과업의 내용

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 과업수행 계획서 제출
02단계	현장답사	3		3																							
03단계	관련자료수집 및분석	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 위한조사	3															1	1	1								-중간보고서 제출 : 관리주체와 일정 협의
14단계	안전성평가	10															0.5	0.5	1	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	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 일정 협의
19단계	심의의뢰및보고서제출	1																									1		
20단계	심의결과 조치	3																									2	1	-기술심의 : 관리주체와 일정 협의
21단계	심의완료	1																										1	
6.보고서 작성		15																						0.5	0.5	1	1	1	1	2	2	2	1	2	
22단계	외관조사망도 작성	9																						0.5	0.5	1	1	1	1	1	1	1			- 12/26 준공
23단계	최종보고서 작성	5																											1	1	1	1	1	
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	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 백운4교(부산)

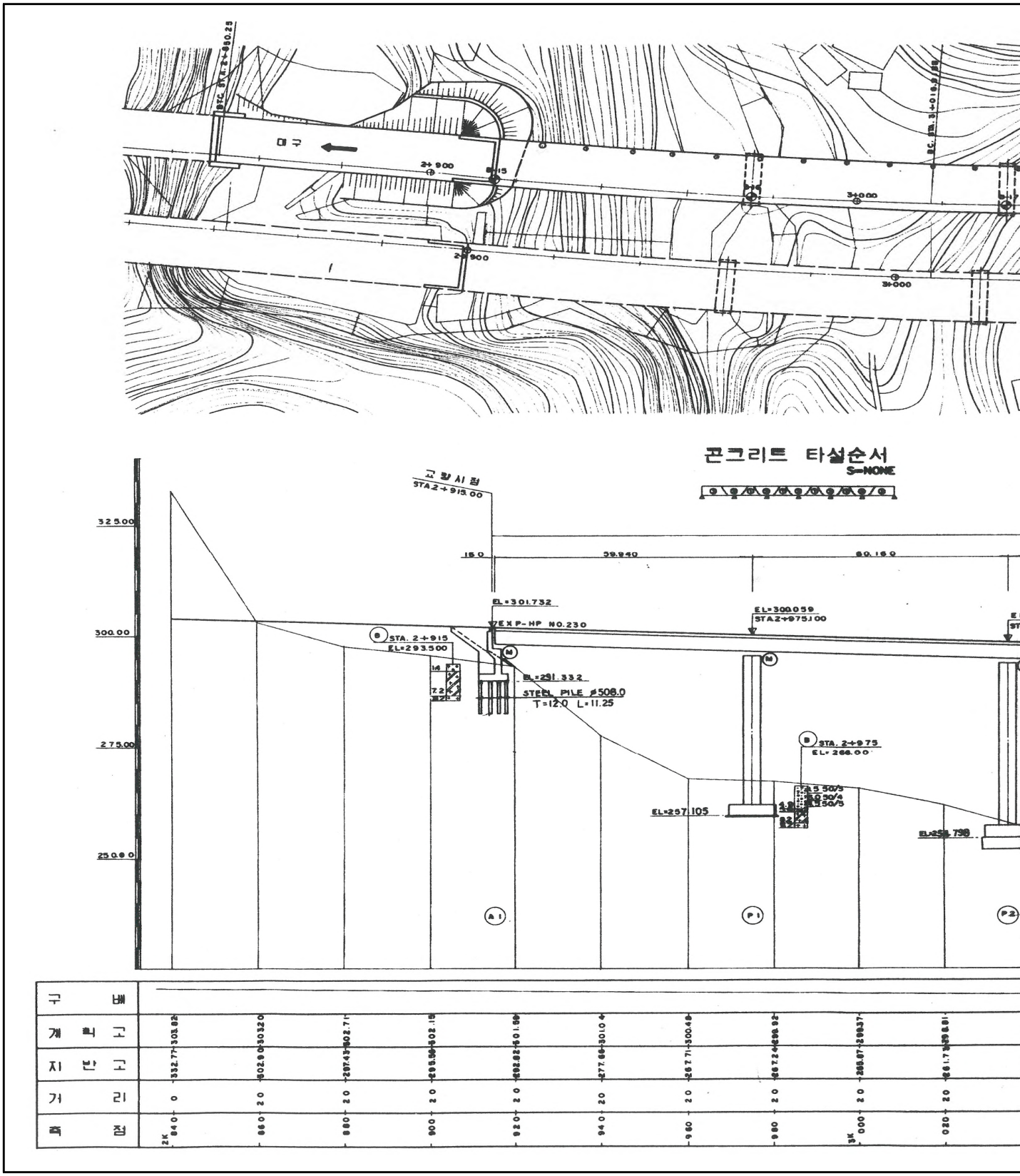
가. 백운4교(부산) 현황

【표 1.3】 백운4교(부산) 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>백운4교(부산)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2000-0000083</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월일</td><td>2000년 05월 31일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>제천교-24-1</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">강원도 원주시 판부면 금대리(중앙선 303.7km)</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=300.785m(5@60.0)</td></tr>
<tr><td>폭(유효폭)</td><td colspan="4">12.60m, 편도 2차로</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조
형식</td><td>상부</td><td>강판형교(SPG)</td><td rowspan="2">기초
형식</td><td>교대</td><td>강관파일기초(A1)
전면(확대)기초(A2)</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교대 : 역T형식(2기)
교각 : 벽식(4기)</td><td>교각</td><td>직접기초(P1~P4)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>스페리컬 받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>레일식(A1,A2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">평면선형</td><td>곡선교</td><td colspan="2">경 간 수</td><td>5경간</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>받침장치만 적용
(내진 2등급교)</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>

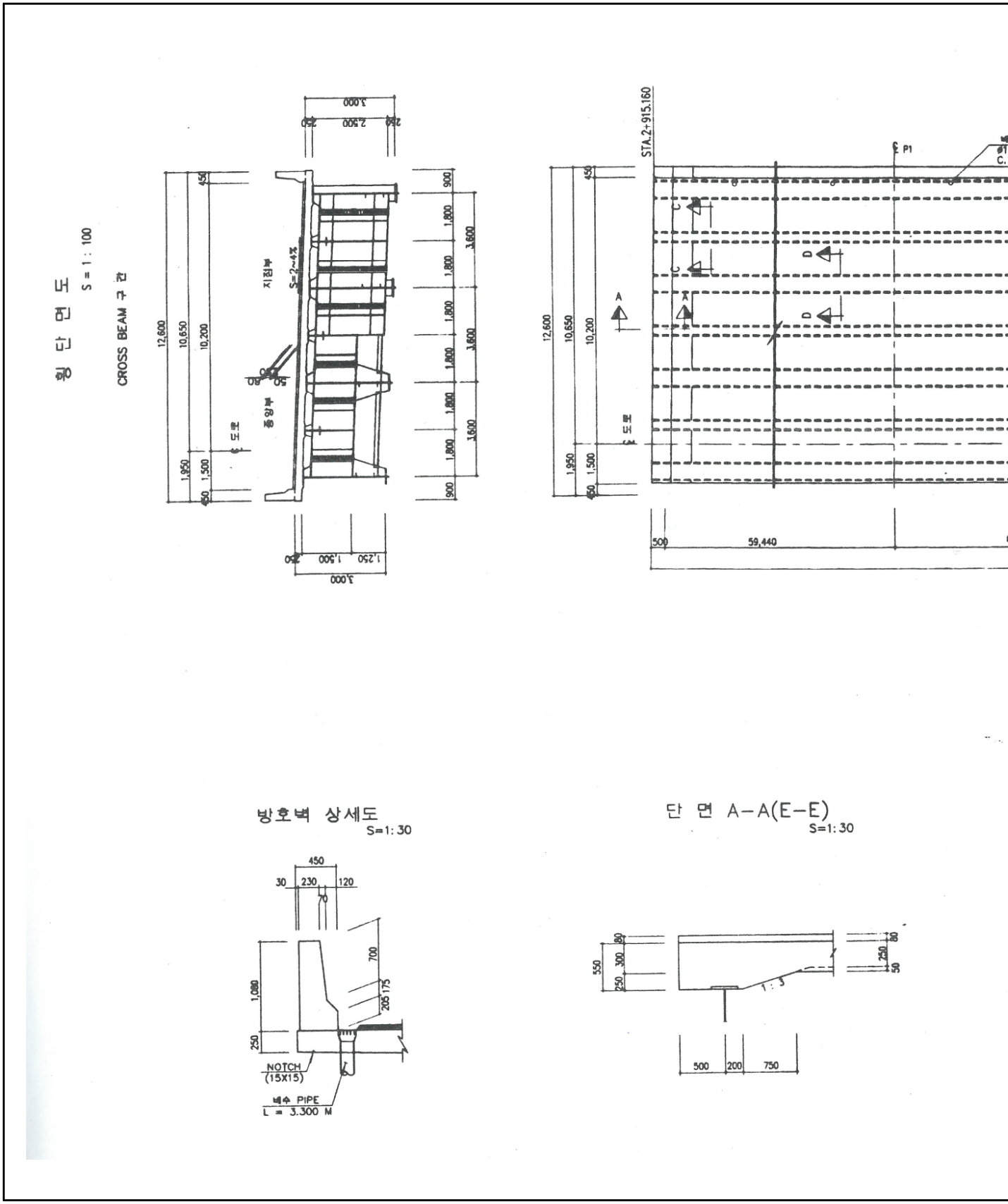
나. 백운4교(부산) 주요도면

1) 종・평면도



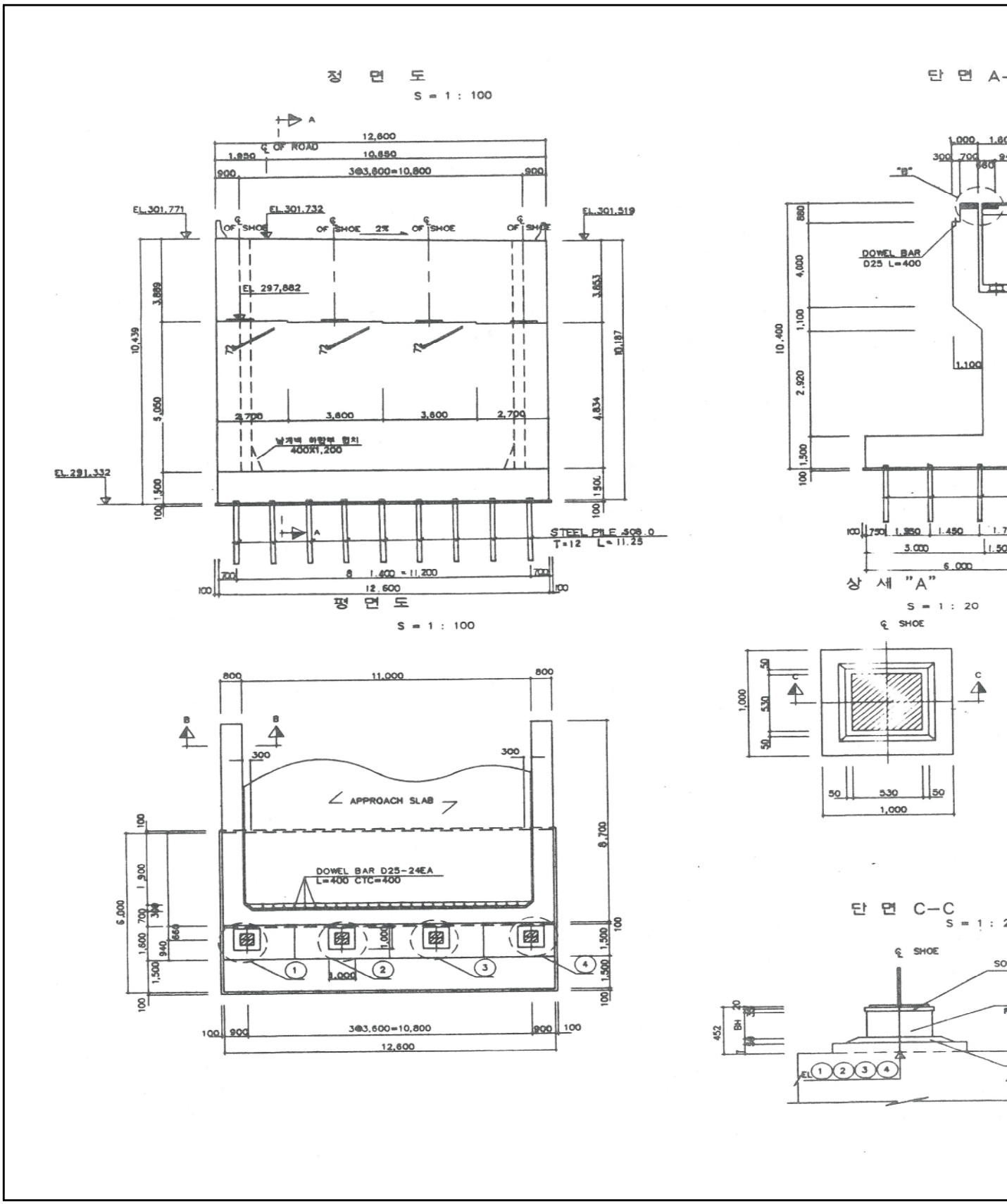
【그림 1.2】 백운4

2) 슬래브 일반도

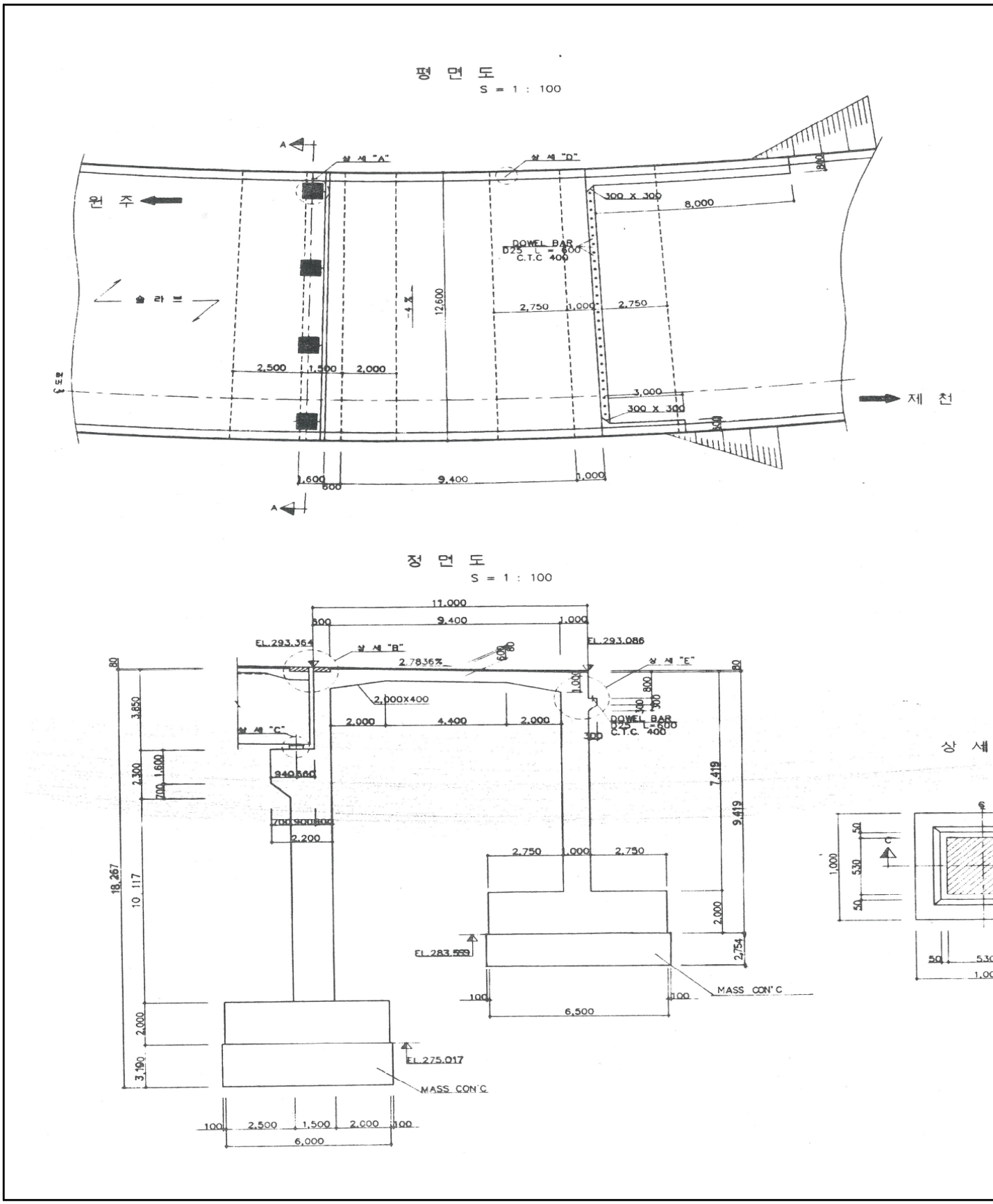


【그림 1.3】 백운4교(

3) 교대 일반도

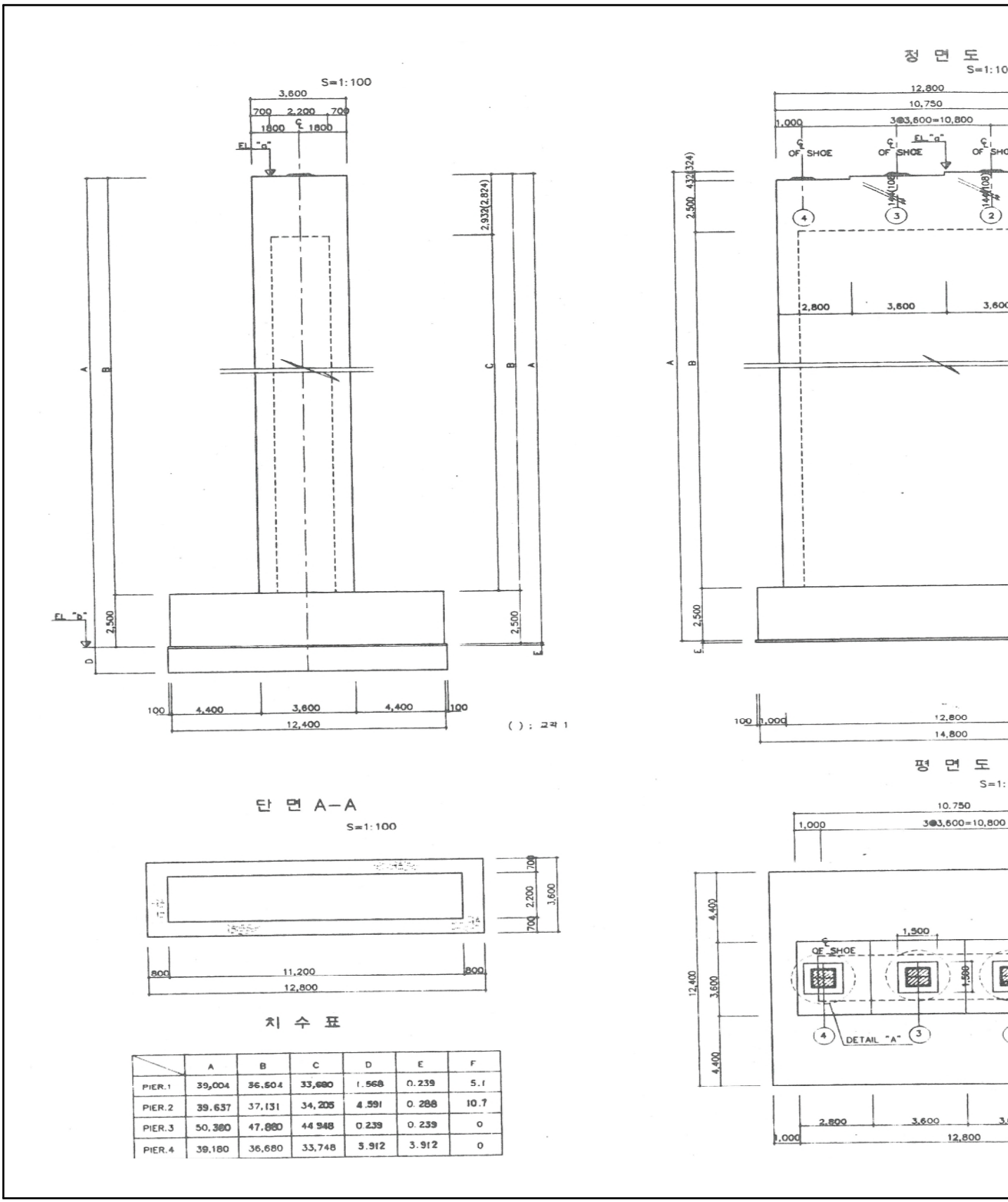


【그림 1.4】 백운4교(


평 면 도
S = 1 : 100
원 주
슬 라 브
제 천
DOWEL BAR
D25 L = 600
C.T.C 400
300 X 300
8,000
2,750
1,000
2,750
12,600
-4 %
2,500
1,500
2,000
3,000
1,600
600
9,400
1,000
정 면 도
S = 1 : 100
11,000
EL.293.364
EL.293.086
2.7836%
2,000X400
2,000
4,400
2,000
940
360
2,200
2,750
1,000
2,750
EL.283.569
EL.275.017
MASS CON'C
6,500
6,000
18,267
10,117
3,650
2,300
1,600
700
2,000
3,190
7,419
9,419
2,754
상 세

【그림 1.5】 백운4교(

4) 교각 일반도



치 수 표

	A	B	C	D	E	F
PIER.1	39,004	36,504	33,680	1.568	0.239	5.1
PIER.2	39.637	37,131	34,205	4.591	0.288	10.7
PIER.3	50,380	47,880	44 948	0.239	0.239	0
PIER.4	39,180	36,680	33,748	3.912	3.912	0

【그림 1.6】 백운4교

1.4.2 백운4교(춘천)

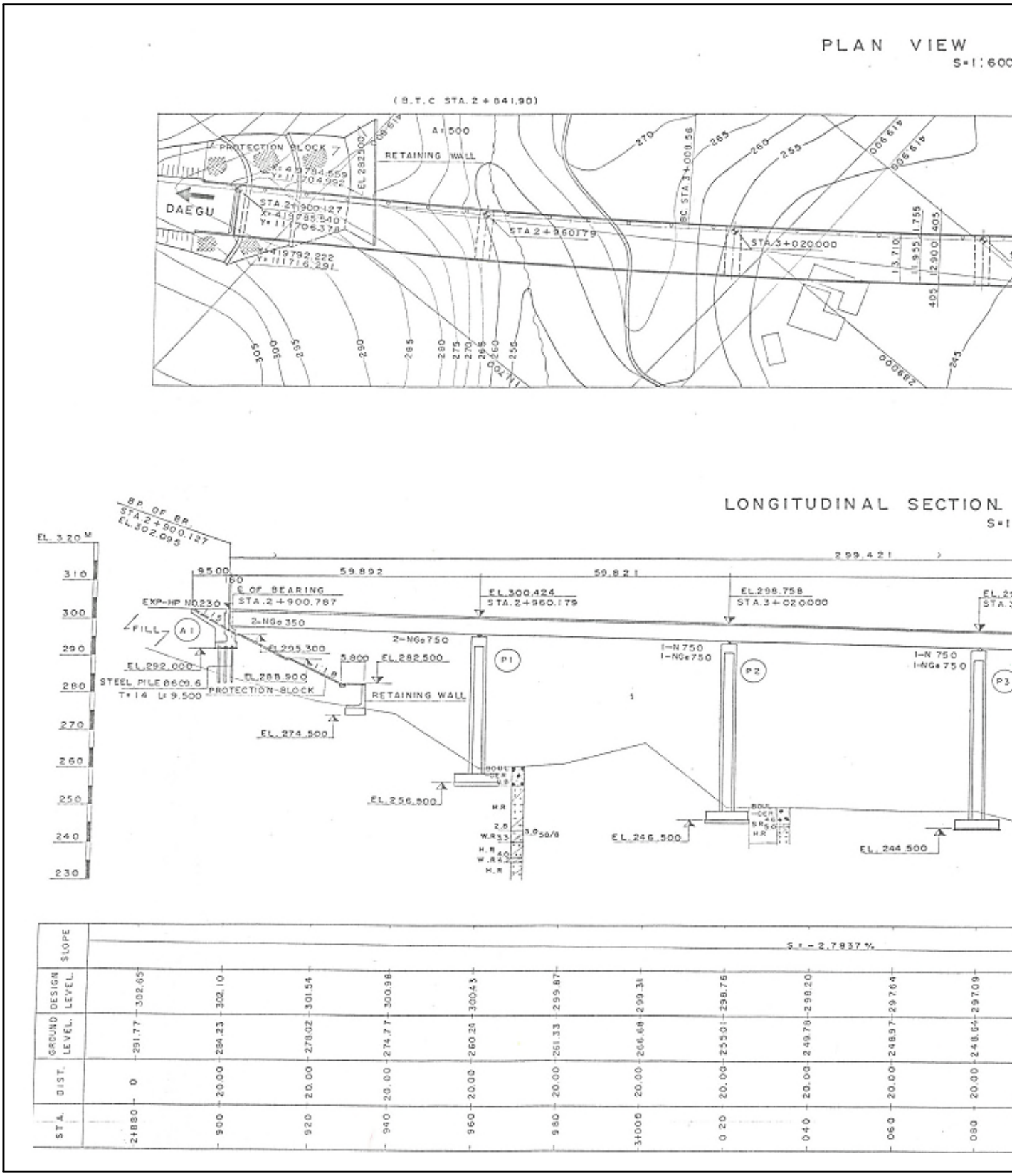
가. 백운4교(춘천) 현황

【표 1.4】 백운4교(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>백운4교(춘천)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR1995-0000137</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월일</td><td>1995년 10월 01일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>제천교-24-2</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">강원도 원주시 판부면 금대리(중앙선 303.7km)</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=299.421m(5@60.0)</td></tr>
<tr><td>폭(유효폭)</td><td colspan="4">13.70m, 편도 2차로</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조
형식</td><td>상부</td><td>강판형교(SPG)</td><td rowspan="2">기초
형식</td><td>교대</td><td>강관파일기초기초(A1)
직접기초(A2)</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교대 : 역T형식(2기)
교각 : 벽식(4기)</td><td>교각</td><td>직접기초(P1~P4)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>포트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>강핑거조인트(A1)
리프렉션조인트(A2)</td></tr>
<tr><td colspan="2">평면선형</td><td>곡선교</td><td colspan="2">경 간 수</td><td>5경간</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>-</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>기존 설계 적용 : 무
2009년 내진성능평가 실시
(P2, P3 전단키 설치)</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>

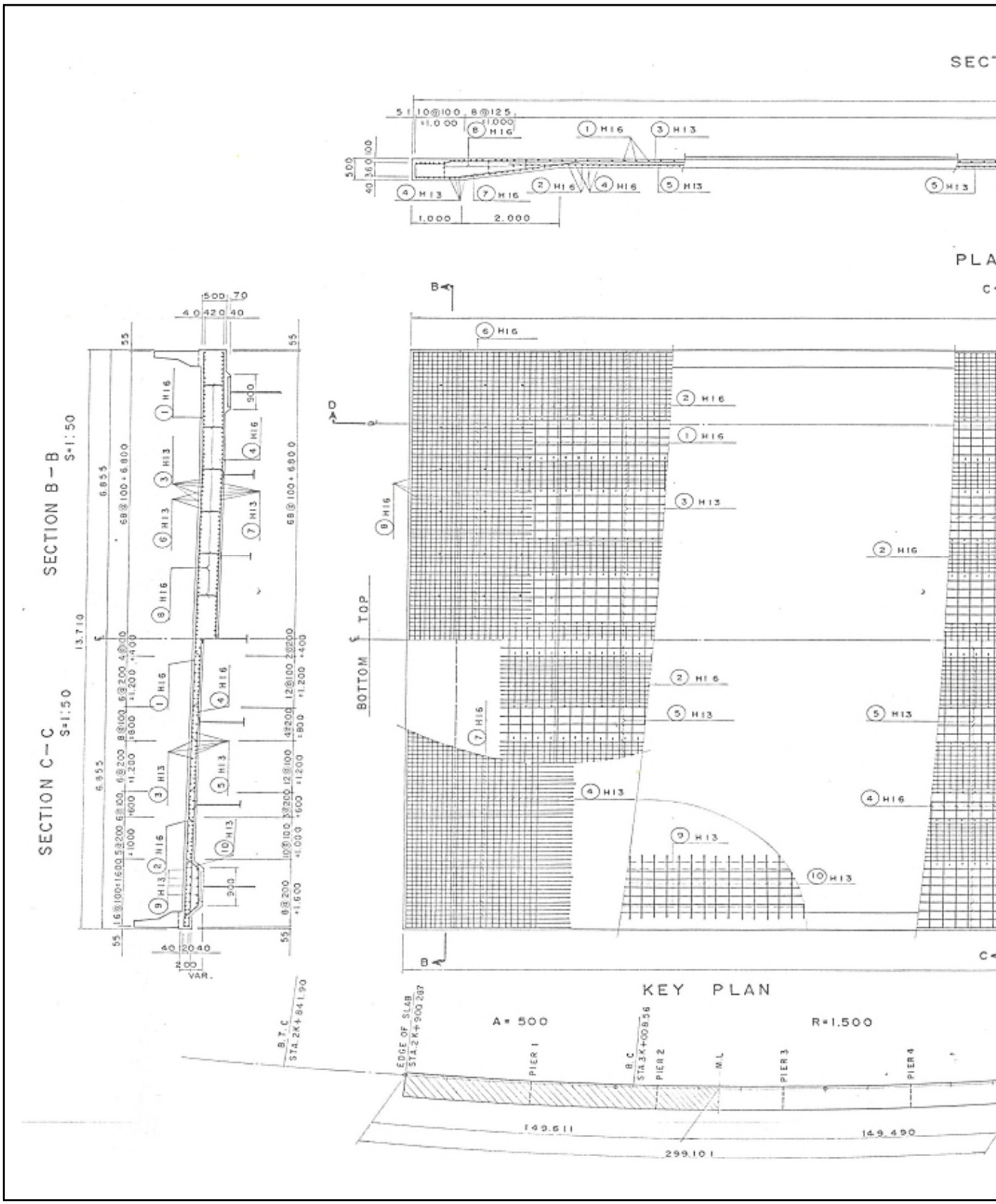
나. 백운4교(춘천) 주요도면

1) 종・평면도



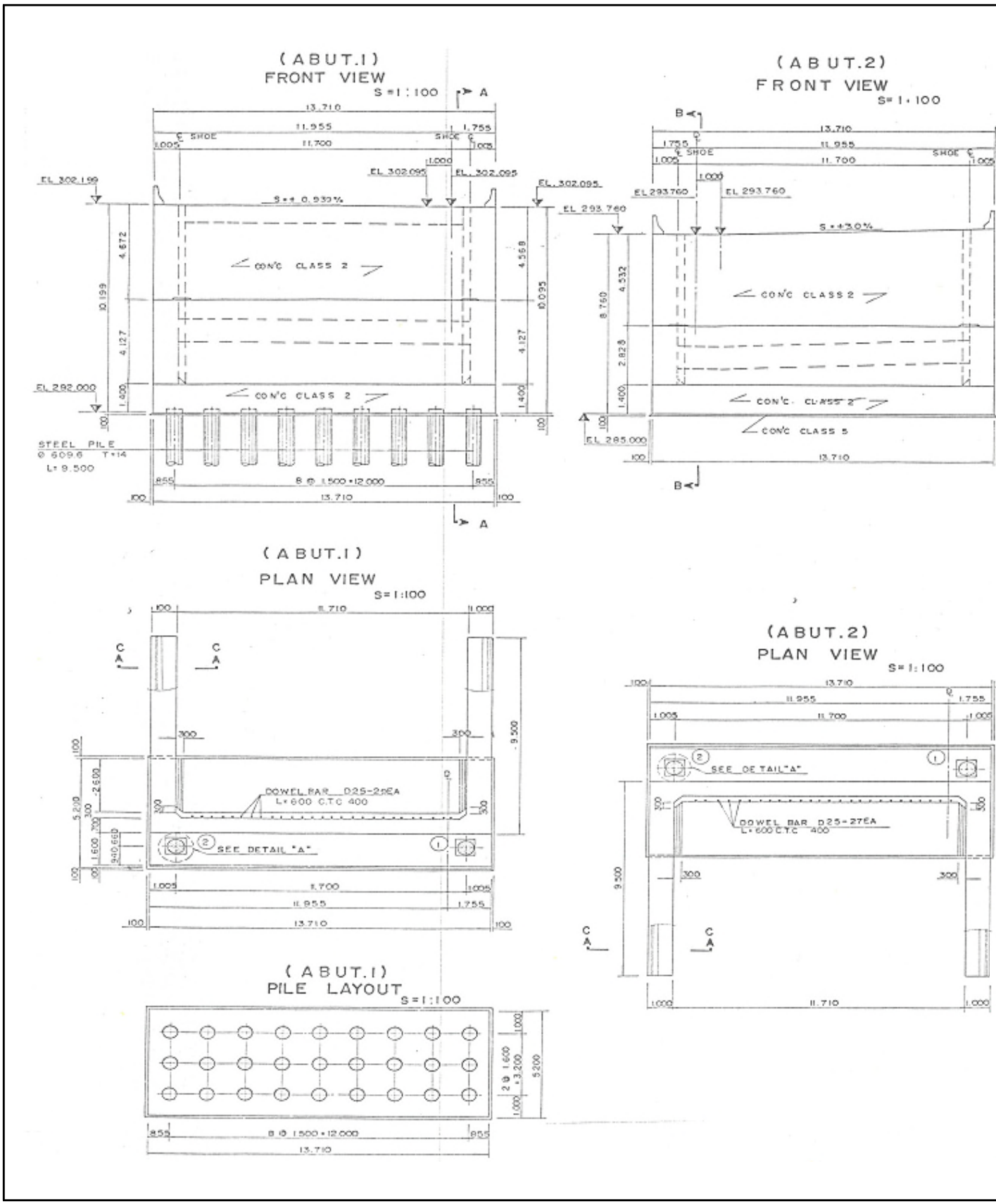
【그림 1.7】 백운4

2) 슬래브 배근도

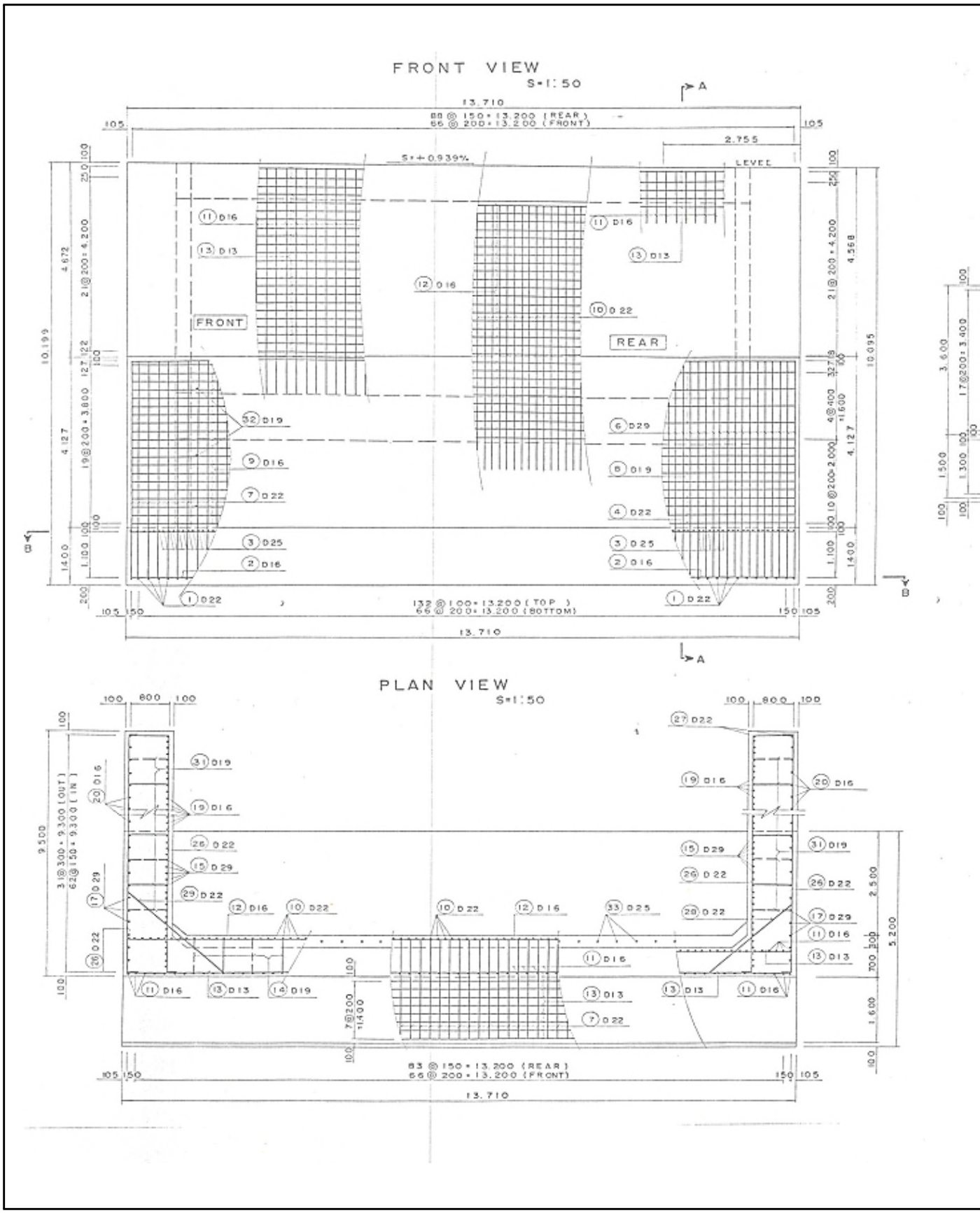


【그림 1.8】 백운4교

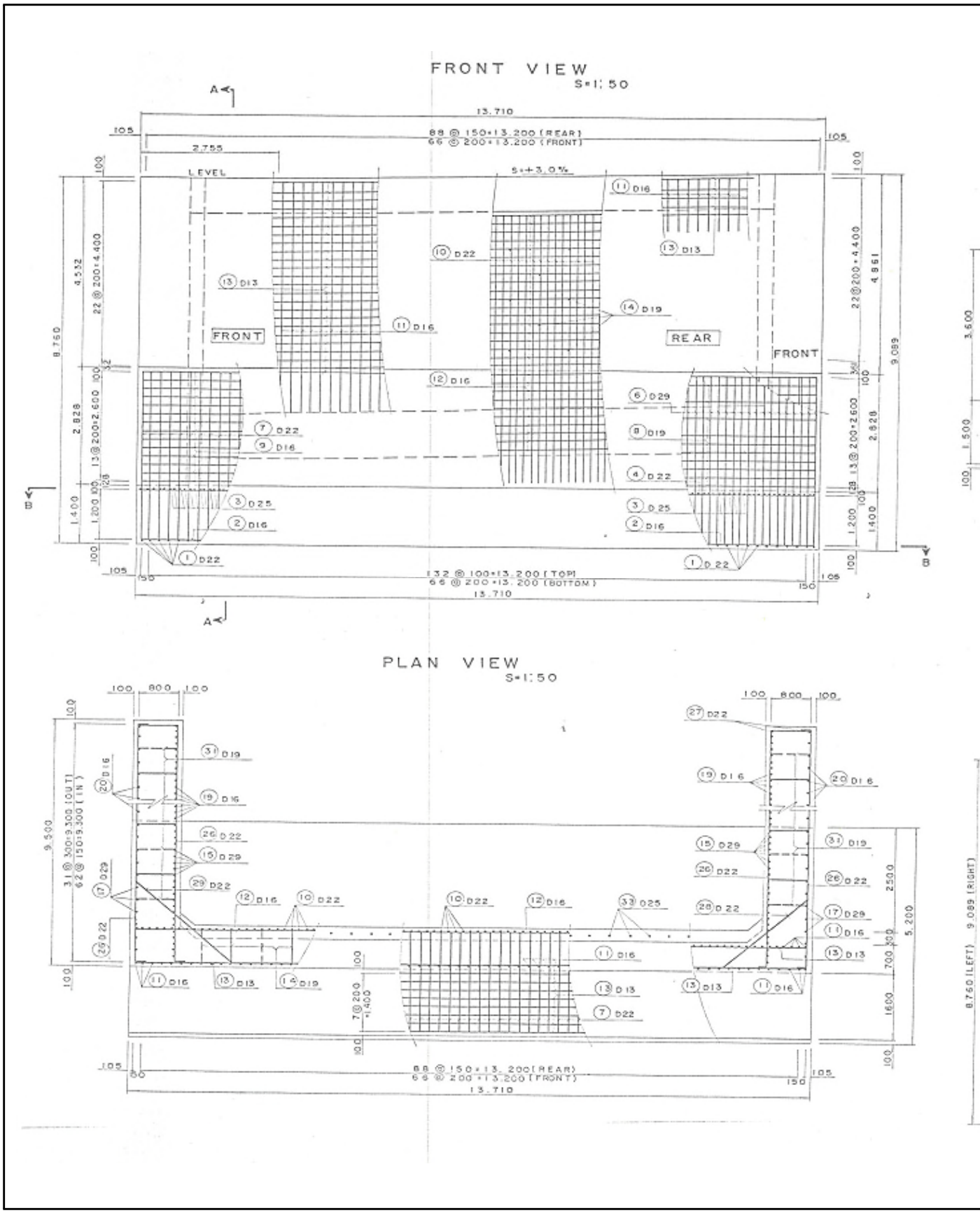
3) 교대 일반도 및 배근도



【그림 1.9】 백운4교

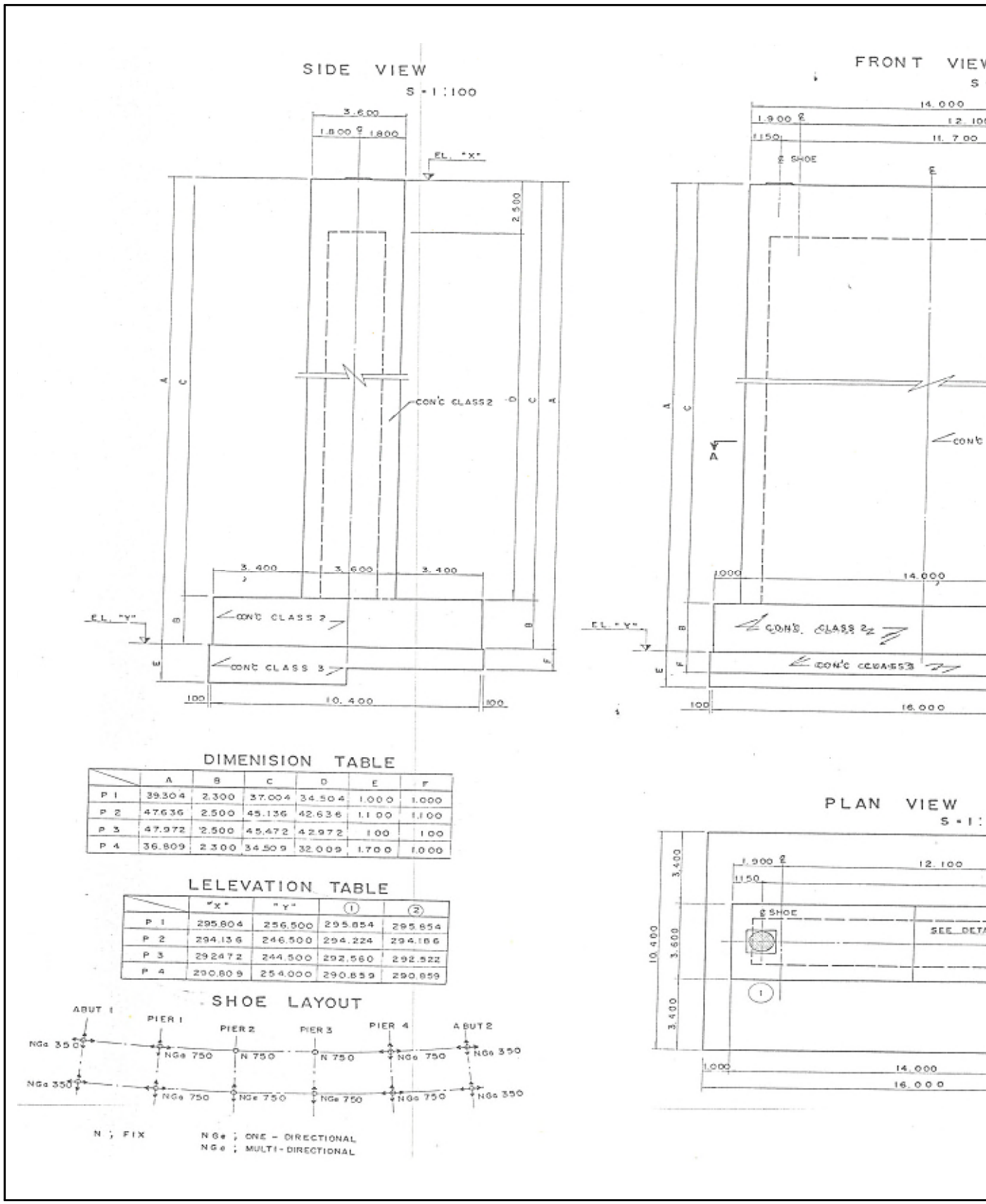

FRONT VIEW
S=1:50
PLAN VIEW
S=1:50
FRONT
REAR
LEVEL
13,710
2,755
S=+0.939%
88 @ 150 = 13,200 (REAR)
66 @ 200 = 13,200 (FRONT)
132 @ 100 = 13,200 (TOP)
66 @ 200 = 13,200 (BOTTOM)
83 @ 150 = 13,200 (REAR)
66 @ 200 = 13,200 (FRONT)

【그림 1.10】 백운4교


FRONT VIEW
S=1:50
PLAN VIEW
S=1:50
FRONT
REAR
LEVEL
S=+3.0%
13,710
88 @ 150=13,200 (REAR)
66 @ 200=13,200 (FRONT)
132 @ 100=13,200 (TOP)
66 @ 200=13,200 (BOTTOM)

【그림 1.11】 백운4교

4) 교각 일반도



	A	B	C	D	E	F
P 1	39.304	2.300	37.004	34.504	1.000	1.000
P 2	47.636	2.500	45.136	42.636	1.100	1.100
P 3	47.972	2.500	45.472	42.972	100	100
P 4	36.809	2.300	34.509	32.009	1.700	1.000

	"X"	"Y"	①	②
P 1	295.804	256.500	295.854	295.854
P 2	294.136	246.500	294.224	294.186
P 3	292.472	244.500	292.560	292.522
P 4	290.809	254.000	290.859	290.859

【그림 1.12】 백운4

1.5 사용장비 및 시험기기 현황

본 과업 수행을 위해 사용된 측정 장비는 다음 표와 같다.

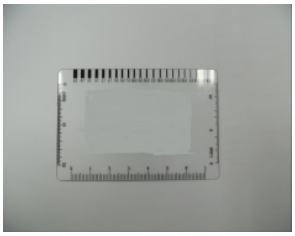
【표 1.5】 사용장비 및 시험기기

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	-

【표 1.6】 사용장비 및 시험기기(계속)

장 비 명	규 격	용 도	활 용 방 법	비 고
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	-
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	-
고소점검차	-	외관조사 보조기구	• 외관조사시 손상이나 현황 조사	-
굴절점검차	-	외관조사 보조기구	• 외관조사시 손상이나 현황 조사	-

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

【그림 1.13】 과업수행에 사용된 측정장비

			
점검망치	산소측정기	줄자	온도계
			
디지스코프	철근부식도측정기	측량기	사다리
			
버니어캘리퍼스	내시경카메라	교량점검차	고소점검차

【그림 1.14】 과업수행에 사용된 측정장비(계속)

1.6 교량기호의 정의

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

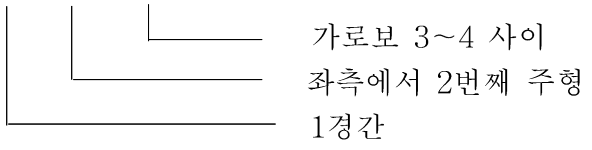
【표 1.7】 교량기호의 정의

부 재 구 분		사용기호	비 고
상부구조	경 간	S	Span
	거 더	G	Main Girder(중분대에서 외측으로 순번)
	바닥판	SL	Slab
	다이아프램	D	Diaphram
	받 침	SH	Shoe(중분대에서 외측으로 순번)
	신축이음	Exp. J	Expansion Joint(시점에서 종점으로 순번)
하부구조	교 대	A	Abutment
	교 각	P	Pier

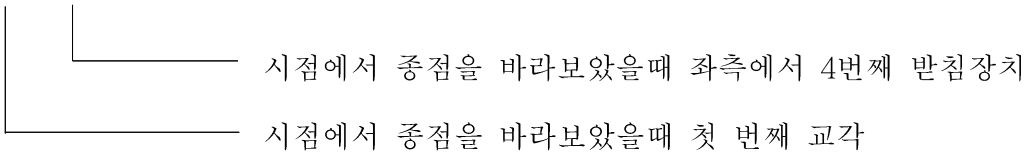
* 일련번호(n)

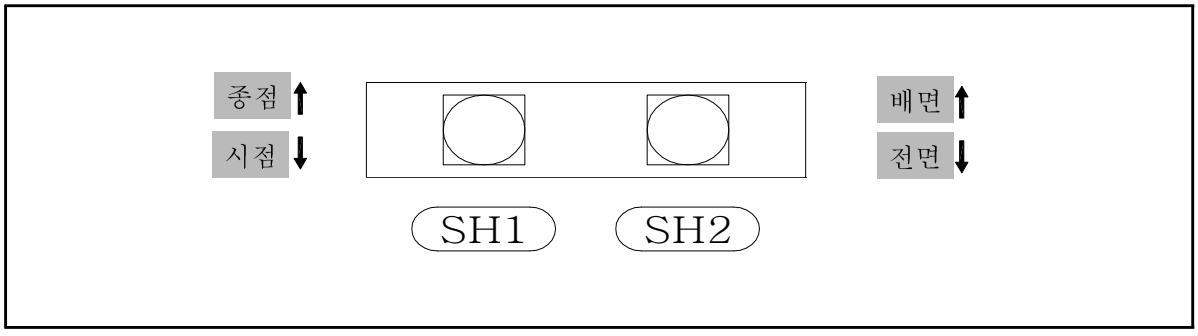
- 시점에서 종점방향으로 일련번호를 정한다.
- 시점에서 바라보았을 때 좌측에서 우측으로 일련번호를 정한다.

ex) S1-G2-CB3/4



P1-Sh4





【그림 1.15】 받침장치 기호 산정 예

※ 참고자료

『구조물 유지관리 실무자료집(2009. 한국도로공사) p.34~36』에 따르면, 교량의 명명 규칙과 세부부재에 대한 규칙을 제시하고 있으며, 그 내용은 다음 아래와 같다.

hi-pass 제 1 장 일반사항

1.2 교 량

1.2.1 교량의 명명 규칙

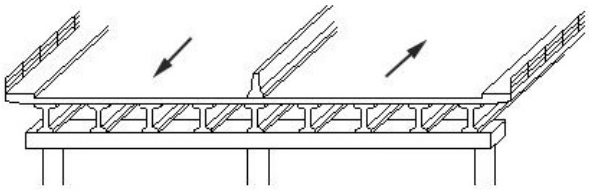
❶ 관련근거

교량 상 · 하행 분리 관리 방안(구조계11101-31,2002.12.24)

❷ 교량 명칭 규칙

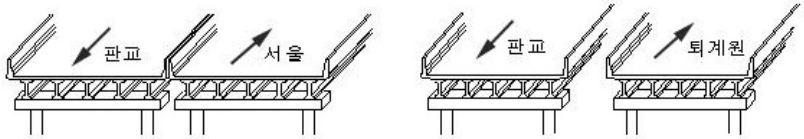
○ 구조적으로 동일 거동 : 동일교량으로 관리

예) 서부산낙동강교



○ 구조적으로 분리되었거나 완전히 이격된 경우 : 구분관리

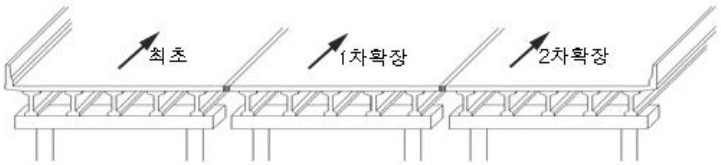
예) 관교1교(서울), 관교1교(부산) 강동대교(관교), 강동대교(퇴계원)



○ 동일한 교량에 대한 확장이 여러번 된 경우 - 각각 구분관리

※ 확장된 순번으로 번호 부여

예) 금강1교(서울0), 금강1교(서울1), 금강1교(서울2)



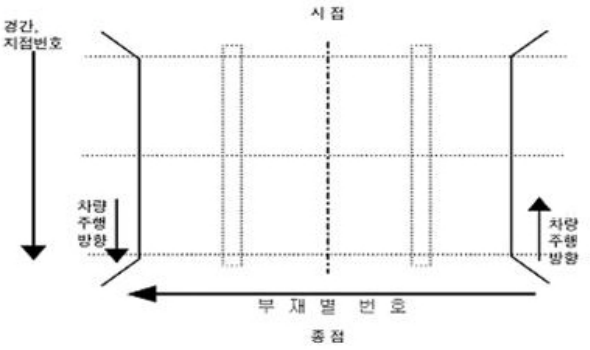
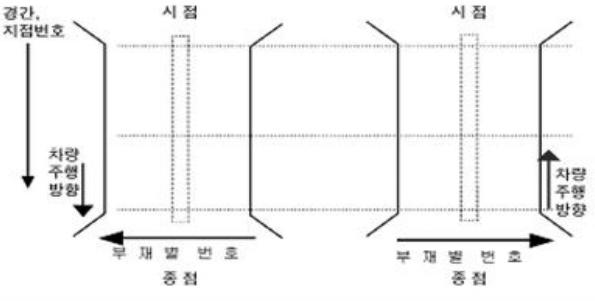
34

❸ 세부부재 명명 규칙

○ 지점, 경간 분류

구분	설 명	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, ... - 2 차부재 : 경간-1, 경간-2, ...
경간	교대/교각 사이	경간-1 경간-2	

○ 교량 구분별 각 부재 명명 순서

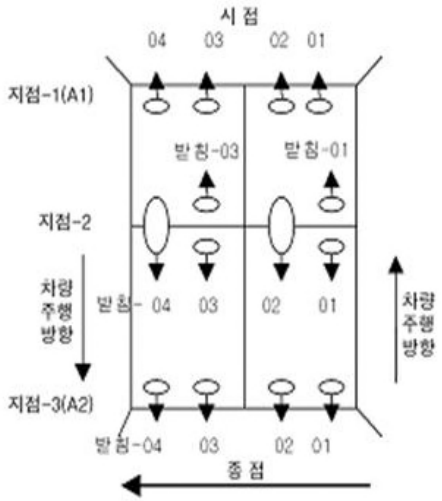
양방향 통행 교량	
일방향 통행 교량 (시점방향, 종점방향)	

○ 교량받침

- 시점부터 지점단위로 '받침-일련번호' 와 같이 명명
- 교각에 양방향으로 교량받침이 있을 때 '교대-1'쪽을 'A1', '교대-2'쪽을 'A2'와 같이 방향구분하여 명명(편측만 있는 경우 'A0')

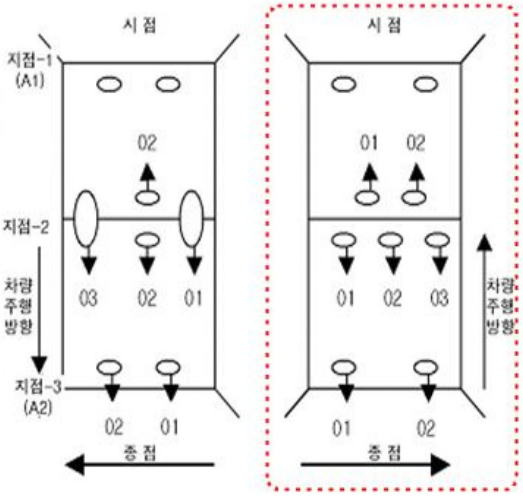
양방향 통행교량

교대-1	받침-01
교대-1	받침-02
교대-1	받침-03
교대-1	받침-04
교각-1	받침-01(A1)
교각-1	받침-01(A2)
교각-1	받침-02(A0)
교각-1	받침-03(A1)
교각-1	받침-03(A2)
교각-1	받침-04(A0)
⋮	



일방향 통행교량

교대-1	받침-01
교대-1	받침-02
교각-1	받침-01(A1)
교각-1	받침-01(A2)
교각-1	받침-02(A1)
교각-1	받침-02(A2)
교각-1	받침-03(A0)
⋮	



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 백운4교(부산)

【표 2.1】 백운4교(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(Ⅰ) (최종본) 제16공구(판부~원주) 2000. 9 (2) 중앙고속도로(제천~원주간) 4차로 확장공사 원주대교 전후구간 선형변경 실시설계 일반보고서 2000.9 (3) 중앙고속도로 제천~원주간 확장공사 실시설계도 제16공구(판부-원주) 2000.9 (4) 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		있음	
사고이력		-	

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

2.1.2 백운4교(춘천)

【표 2.2】 백운4교(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 정밀안전진단 보고서(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 “시설물정보관리종합시스템(FMS)”에 실적을 참고하여 수록함

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약

2.2.1 백운4교(부산)

가. 설계관련 자료

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

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

① 과업의 목적

본 과업은 중앙고속도로 제천～원주간 4차로 확장공사의 원주대교 전후구간에 해당되며, 이 구간의 당초설계노선이 선형불량, 국도5호선 및 중앙선 철도횡단 또는 근접병행, 원주대교 고교각발생(H=61m), 종단구배 6%(L=1170m) 구간발생 등으로 시공성이 불량하고 차량등판능력저하 및 안전성 확보에 문제점이 도출되어 기 완공된 고속도로의 단순확장 노선을 변경하게 된바 시공성 향상, 교통안전, 교통안전 및 유지관리가 양호한 신설고속도로(일방향 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】 백운4교(부산) 실시설계 기간

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

【표 2.4】 백운4교(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	(주)대우 삼성물산(주), 삼호건설(주)
	16	1,345.00	강원도 원주시 판부면 금대리	강원도 원주시 판부면 금대리	극동건설(주) 두산건설(주), 유성종합건설(주)

③ 지형 및 지질

【표 2.5】 백운4교(부산) 지형 및 지질

구분	내 용	비고
지형	• 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.	
지질	• 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, 각섬석 편암, 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 유색광물을 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】 백운4교(부산) 토질조사

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>조사
위치</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>조사
결과</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>백운4교</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】 백운4교(부산) 구조물 설계기준①

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>일반
사항</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>적용
기준</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 2.8】 백운4교(부산) 구조물 설계기준②

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비고</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>형하
공간</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 2.9】 백운4교(부산) 구조물 설계기준③

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비고</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 2.10】 백운4교(부산) 구조물 설계기준④

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비고</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>σck=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>σck=270</td><td>25</td><td>SLAB, 라멘교(SLAB, 측벽, 기초, 날개벽), PREFLEX(복부, 가로보), 현장제작 철근콘크리트관, 콘크리트포장 접속 완층 SLAB</td><td>13,15</td><td>BASE
=8cm</td></tr>
<tr><td rowspan="3">2종</td><td rowspan="3">σck=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 입출구시설, 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>σck=240
(육상300)</td><td>25</td><td>수중콘크리트</td><td>15</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">3종</td><td rowspan="2">σck=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, 배수관 기초, 집수정, U형측구(형식5-6), 배수관 날개벽</td></tr>
<tr><td>5종</td><td>σck=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">σck=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>σck=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>σck=240
(7일양생
기준)</td><td>40</td><td>포장 LEAN 콘크리트</td><td>-</td><td>습윤포
6일
수침양
생1일</td></tr>
<tr><td>포장용</td><td>σck=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 2.11】 백운4교(부산) 구조물 설계기준⑤

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비고</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>σy=4,000
σsa=1,800</td><td>• 1종 콘크리트
- 일반적인 부재, 라멘의 구체(상부 및 하부)</td></tr>
<tr><td>σy=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>σy=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 σpy = 160kg/㎠
인장강도 σpu = 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>응력</th><th colspan="2">부재의 응력</th><th>SD30</th><th>SD35</th><th>SD40</th></tr>
<tr><td rowspan="3">인장
응력</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 colspan="2"></td><td>1,500</td><td>1,750</td><td>1,800</td></tr>
<tr><td>압축응력</td><td colspan="2"></td><td>1,500</td><td>1,750</td><td>1,800</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
</table>

【표 2.12】 백운4교(부산) 구조물 설계기준⑥

구 분	내 용	비고
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, 습도 변화 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 2.13】 백운4교(부산) 구조물 설계기준⑦

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>주요재료
사용기준</td><td>
주요하중조합에서 사하중계수와 토압하중계수를 바꾸어 설계하는 경우
<table>
<tr><th>구분</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 하중증가를 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(Ⅰ)(최종분) 제16공구 (판부～원주) 2000.9』

① 설계조건

【표 2.14】 백운4교(부산) 설계조건①

구 분		내 용	비고
일반 조건		• 교 장 : 5 @ 60 = 300.0m • 교 폭 : 12.60m • 형 식 : 5경간 강판형교(합성) • 설계등급 : 1등급(DB-24, DL-24)	
설계 기준	상부 구조	• 콘크리트 - 설계기준강도 : σ_{ck} = 270kg/㎠ - 탄 성 계 수 : E_C = 250,000kg/㎠ • 철 근 - 강 종 : SD40 - 항복응력 : σ_y = 4000kg/㎠ - 탄성계수 : E_S = 2.04 × 10^6kg/㎠ • 강 재 - 강 종 : SWS 41, SWS 50, SWS 53 - 탄성계수 : E_C = 2.1 × 10^6kg/㎠ - 온도팽창계수 : α = 1.2 × 10^{-5}	
	하부 구조	• 콘크리트 - 설계기준강도 : σ_{ck} = 240kg/㎠ - 탄 성 계 수 : E_C = 235,000kg/㎠ • 철 근 - 강 종 : SD30 - 항복응력 : σ_y = 3000kg/㎠	
하중		• 사하중 - 철근콘크리트 : 2.30 ton/m^3 - 토 사 : 2.00 ton/m^3 - 강 재 : 7.85 ton/m^3 • 활하중 - DB-24, DL24 • 상재하중 - Q = 1.0 ton/m^3 • 토압 - 단위중량 : 2.00 ton/m3	
참고 문헌		• 도로교 표준시방서(건설부) • 고속도로 일반시방서(건설부) • 콘크리트 표준시방서(건설부) • 도로설계 요령(한국도로공사) • 철근콘크리트 설계편람(건설부) • 기타 관련시방서(한국도로공사) • 도로의 구조 시설기준에 관한 규정해설 및 지침 (건설부)	

【표 2.15】 백운4교(부산) 설계조건(계속)

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>강재의
허용
축방향
압축응력
(kg/㎠)</td><td>
<table>
<tr><th>강 종</th><th>a</th><th>b</th><th>c</th></tr>
<tr><td>SWS 41</td><td>$\frac{l}{r} \le 20$
1,400</td><td>$20 < \frac{l}{r} \le 93$
$1,400 - 8.4(\frac{l}{r} - 20)$</td><td>$93 < \frac{l}{r}$
$\frac{12,000,000}{6,700 + (l/r)^2}$</td></tr>
<tr><td>SWS 50</td><td>$\frac{l}{r} \le 15$
1,900</td><td>$15 < \frac{l}{r} \le 80$
$1,900 - 13(\frac{l}{r} - 15)$</td><td>$80 < \frac{l}{r}$
$\frac{12,000,000}{5,000 + (l/r)^2}$</td></tr>
<tr><td>SWS 53</td><td>$\frac{l}{r} \le 14$
2,100</td><td>$14 < \frac{l}{r} \le 76$
$2,100 - 15(\frac{l}{r} - 14)$</td><td>$76 < \frac{l}{r}$
$\frac{12,000,000}{4,500 + (l/r)^2}$</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td>강재의
허용 휨
압축응력
(kg/㎠)</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">강 종</th><th rowspan="2">압축플랜지가 직접 콘크리트 바닥에 고정되어 있는 경우 : 상자, 표단면 등</th><th colspan="2">좌기 이외의 경우</th></tr>
<tr><th>$\frac{Aw}{Ac} \le 2$</th><th>$\frac{Aw}{Ac} > 2$</th></tr>
<tr><td>SWS 41</td><td>1400</td><td>$\frac{l}{b} \le 4.5 : 1,400$
$4.5 < \frac{l}{b} \le 30$
$1,400 - 24(\frac{l}{b} - 4.5)$</td><td>$K\frac{l}{b} \le 9 : 1,400$
$9 < K \le \frac{l}{b}$
$1,400 - 12(k\frac{l}{b} - 9)$</td></tr>
<tr><td>SWS 50</td><td>1900</td><td>$\frac{l}{b} \le 4.0 : 1,900$
$4.0 < \frac{l}{b} \le 30$
$1,900 - 38(\frac{l}{b} - 4.0)$</td><td>$K\frac{l}{b} \le 8 : 1,900$
$8 < K \le \frac{l}{b}$
$1,900 - 19(k\frac{l}{b} - 8)$</td></tr>
<tr><td>SWS 53</td><td>2100</td><td>$\frac{l}{b} \le 3.5 : 2,100$
$3.5 < \frac{l}{b} \le 27$
$2,100 - 44(\frac{l}{b} - 3.5)$</td><td>$K\frac{l}{b} \le 7 : 1,900$
$7 < K \le \frac{l}{b}$
$2,100 - 22(k\frac{l}{b} - 7)$</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
</table>

③ 슬래브 안전성 검토결과

슬래브의 안전성검토결과, 내측 중앙부에서 최소 안전율이 2.733으로 검토되어 안전성을 확보한 것으로 검토되었다.

구 분		Mu(t.m)	ΦMn(t.m)	안전율	비고
슬래브	캔틸레버	0.854	15.596	18.262	O.K
	중앙부	5.707	15.596	2.733	O.K

④ 거더의 대한 안전성 검토결과

거더에 대한 안전성 검토 결과, 휨에 대한 안전율이 1.0이상이며, 전단보강이 불필요한 것으로 평가되었다.

위치	휨응력 (MPa)		허용응력 (MPa)		안전율		Vu (ton)	ΦVc (ton)
	상부	하부	상부	하부	상부	하부		
거더	-87.95	87.95	190.0	190.0	2.160	2.160	110.0	110.0

⑦ 교대의 안전성 검토결과

교대의 벽체, 흉벽 및 기초에 대한 안전성 검토 결과, 휨에 대한 안전율이 1.0이상이며, 기초압굽에 대한 전단보강이 필요한 것으로 평가되었다.

검토단면	Mu (ton.m)	ΦMn (ton.m)	안전율	Vu (ton)	ΦVc (ton)	비고
벽체	218.540	246.759	1.129	56.980	80.465	O.K
기초앞굽	63.930	89.742	4.404	82.380	80.465	전단보강필요
기초뒷굽	158.990	271.907	1.710	45.620	80.465	O.K

⑧ 교각의 안전성 검토결과

벽체 및 기초에 대한 안전성 검토 결과, 휨에 대한 안전율이 1.0이상이며, 기초의 교축직각방향에 대한 전단보강이 필요한 것으로 평가되었다.

단면위치			Mu (ton.m)	ΦMn (ton.m)	안전율	Vu (ton)	ΦVc (ton)	비 고
벽체	P1,4	조합1	1032.600	5175.745	5.012	1050.362	1050.362	O.K
		조합2	9267.361	25419.904	2.743	229.561	317.300	O.K
		조합3	9046.682	21148.055	2.338	223.021	317.300	O.K
		조합4	5340.530	28999.537	5.430	1022.590	1022.590	O.K
		조합5	5340.530	36528.578	6.840	993.458	993.458	O.K
	P2,3	조합1	988.200	4506.359	4.560	1065.694	1065.694	O.K
		조합2	7297.505	28998.641	3.974	233.081	250.440	O.K
		조합3	7087.410	28305.199	3.994	225.697	250.440	O.K
		조합4	7293.310	34065.473	4.671	1038.271	1038.271	O.K
		조합5	7293.310	42588.719	5.839	1005.376	1005.376	O.K
기초	P1,4	교축직각	408.980	484.107	1.184	173.230	137.940	전단보강필요
		교축	17.930	305.286	17.027	35.660	137.940	O.K
	P2,3	교축직각	396.170	484.107	1.222	170.300	137.940	전단보강필요
		교축	20.500	305.282	14.892	137.940	40.800	O.K

2.2.2 백운4교(춘천)

백운4교(춘천)은 설계 및 시공 관련자료는 오랜 공용기간 중 발주처 및 시설물정보관리종합시스템(FMS)에 보존되지 않은 것으로 확인되어 생략토록 한다.

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 2.16】 ~ 【표 2.17】과 같이 수록하였다.

가. 백운4교(부산)

【표 2.16】 백운4교(부산) 주요 점검 및 진단이력(1)

번호	구분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요 점검/진단 결과	안전 등급
1	정기점검	2001.06.26	자체수행	• 양호함	양호
2	정기점검	2001.12.19	자체수행	• 양호함	양호
3	정기점검	2002.06.03 ~2002.06.20	자체수행	• 양호함	양호
4	정밀점검	2002.10.28 ~2002.11.01	자체수행	• 양호함	A
5	정기점검	2003.04.21 ~2003.05.23	자체수행	• 양호함	양호
6	정기점검	2003.11.04 ~2003.11.28	자체수행	• 양호함	양호
7	정기점검	2004.04.06 ~2004.04.17	자체수행	• 양호함	양호
8	정밀점검	2004.11.15 ~2004.11.19	자체수행	• 양호함	A
9	정기점검	2005.05.01 ~2005.05.20	자체수행	• 양호함	양호
10	정기점검	2005.10.01 ~2005.10.20	자체수행	• 양호함	양호
12	정밀점검	2006.08.01 ~2006.11.30	자체수행	• 양호함	A
13	정기점검	2007.05.08	자체수행	• 양호함	양호
14	정기점검	2007.11.12	자체수행	• 양호함	양호
15	정밀점검	2008.03.24	자체수행	• 양호함	A
16	정기점검	2008.08.05 ~2008.08.29	자체수행	• 양호함	양호

【표 2.17】 백운4교(부산) 주요 점검 및 진단이력(2)

번호	구분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요 점검/진단 결과	안전 등급
17	정기점검	2009.04.20	자체수행	• 양호함	양호
18	정기점검	2009.09.02	자체수행	• 양호함	양호
19	정기점검	2010.04.02 ~2010.04.22	자체수행	• 양호함	양호
20	정밀점검	2010.05.19. ~2010.11.14	에스큐엔지니어링 (주)	• 방호벽 균열 및 백태, 배수구 막힘, 강재 발청 및 도장 박리 등이 조사됨	B
21	정기점검	2011.05.13	자체수행	• 양호함	양호
22	정밀안전진단	2011.04.22. ~2011.11.02.	(주)동우기술단	• 백운4교(부산)에 전체등급은「B」등급으로 평가됨. 조사된 일부 손상에 대해 보수와 유지관리를 시행하면 1등교로서 기능을 유지하는데 이상이 없는 것으로 판단됨.	B
23	정밀점검	2012.07.24	자체수행	• 부식, 미세균열 및 누수, 배수구 막힘	B
24	정기점검	2012.10.24	자체수행	• 경미한 부식, 받침 도장박리 및 부식	양호
25	정기점검	2013.04.24	자체수행	• 바닥판 데크 녹발생	양호
26	정기점검	2013.09.25	자체수행	• 바닥판 데크 녹발생	양호
27	정기점검	2014.04.14 ~2014.04.18	자체수행	• 양호함	양호
28	정밀점검	2014.05.30	자체수행	• 양호함	B
29	정기점검	2014.11.10 ~2014.11.14	자체수행	• 양호함	양호
30	정기점검	2015.06.24	자체수행	• 교면포장 포트홀, 열화	양호
31	정기점검	2015.12.11	자체수행	• 거더 하부 도장박리, 받침 녹발생, 교대 흉벽 녹물흔적	양호
32	정밀점검	2016.05.31. ~2016.06.30.	자체수행	• 교면포장 균열, 소성변형, 포트홀 신축이음 유간부족, 후타재 균열, 파손 교량받침 부식	B

나. 백운4교(춘천)

【표 2.18】 백운4교(춘천) 주요 점검 및 진단이력(1)

번호	구분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요 점검/진단 결과	안전 등급
1	정기점검	2000.06.09 ~ 2000.06.30	자체수행	• A2신축이음장치 파손	양호
2	정밀점검	2000.11.07 ~ 2000.11.13	자체수행	• 양호함	A
3	정기점검	2001.06.26	자체수행	• 양호함	양호
4	정기점검	2001.12.19	자체수행	• 양호함	양호
5	정기점검	2002.06.03 ~ 2002.06.20	자체수행	• 양호함	양호
6	정밀점검	2002.10.28 ~ 2002.11.01	자체수행	• 양호함	A
7	정기점검	2003.04.21 ~ 2003.05.23	자체수행	• 양호함	양호
8	정기점검	2003.11.04 ~ 2003.11.28	자체수행	• 양호함	양호
9	정기점검	2004.04.06 ~ 2004.04.17	자체수행	• 양호함	양호
10	정밀점검	2004.11.15 ~ 2004.11.19	자체수행	• A1교대 균열 발생	A
11	정기점검	2005.05.01 ~ 2005.05.20	자체수행	• 양호함	양호
12	정기점검	2005.10.01 ~ 2005.10.20	자체수행	• 양호함	양호
13	정기점검	2006.03.01 ~ 2006.03.30	자체수행	• 양호함	양호
14	정밀점검	2006.08.01 ~ 2006.11.30	자체수행	• 양호함	A
15	정기점검	2007.05.09	자체수행	• 양호함	양호
16	정기점검	2007.11.14	자체수행	• 양호함	양호
17	정기점검	2008.06.17	자체수행	• 양호함	양호
18	정밀점검	2008.07.23	자체수행	• 양호함	A
19	정밀안전진단	2008.03.19 ~ 2008.12.05	(주)한국해외 기술공사	• 상태평가 결과 『B』 • 안전성평가 결과 『A』 • 종합평가등급 『B』	B

【표 2.19】 백운4교(춘천) 주요 점검 및 진단이력(2)

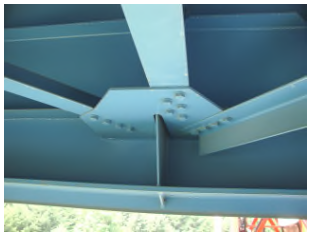
번호	구분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요 점검/진단 결과	안전 등급
20	정기점검	2009.04.20	자체수행	• 양호함	양호
21	정기점검	2009.09.02	자체수행	• 양호함	양호
22	정기점검	2010.04.02 ~ 2010.04.22	자체수행	• 양호함	양호
23	정밀점검	2010.08.22 ~ 2010.09.22	자체수행	• 양호함	A
24	정기점검	2011.05.13	자체수행	• 양호함	양호
25	정기점검	2011.07.06	자체수행	• 강교 외부 도장불량	보통
26	정기점검	2012.06.14	자체수행	• 외부 도장박리 및 누수, 배수구 막힘	양호
27	정밀점검	2012.09.05	자체수행	• 거더외부 도장박리, 표면열화 하부구조 균열, 백태	B
28	정밀안전진단	2013.06.10 ~ 2013.12.06	(재)한국재난연구원 케이에스엠(주)	• 백운4교(춘천)에 전체등급은「C」등급으로 평가됨. 조사된 일부 손상에 대해 보수와 유지관리를 시행하면 1등교로서 기능을 유지하는데 이상이없는 것으로 판단됨.	C
29	정기점검	2014.05.12 ~ 2014.05.16	자체수행	• 양호함	양호
30	정기점검	2014.11.17 ~ 2014.11.21	자체수행	• 교면포장 불량	양호
31	정기점검	2015.06.25	자체수행	• 바닥판 부식, 거더 하단부 부식 방호벽 열화	보통
32	정밀점검	2015.12.14	자체수행	• 바닥판 데크플레이트 녹발생 교대 신축이음장치 누수부 백태, 박리 교면포장 포트홀	B
33	정기점검	2016.06.14	자체수행	• 거더 측면 및 하면 녹발생, 백태 바닥판 녹발생, 백태 교량받침 녹발생, 플레이트 녹발생 하부구조 균열, 백태, 박리, 누수흔적 신축이음 균열, 이물질 퇴적 난간 및 중앙분리대 박리 배수시설 이물질 퇴적, 배수관파이트 녹발생	양호

2.3.2 전회 정밀안전진단 결과 요약

과업대상 시설물의 전회 정밀안전진단 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 백운4교(부산)

【표 2.20】 백운4교(부산) 정밀안전진단(2011년) 결과요약①

<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">상부구조</td><td>바닥판</td><td>• S1~S5까지는 5경간 연속의 강판형교(플레이트거더교)이며 S6경간은 1경간의 라멘교로 구성되어 있음.
• 강판형교(S1~S5)의 캔틸레버부와 바닥판(데크플레이트)은 외관조사결과 누수 등의 손상 없이 양호한 상태이며 S6경간의 슬래브 하면 또한 특이사항 없이 양호한 상태임.
  Deak Plate 상태양호
  캔틸레버 하면 상태양호
  슬래브 하면 상태양호</td></tr>
<tr><td>거더</td><td>• 외관조사결과 강 거더 선단부와 브레이싱에서 긁힘에 의한 국부적인 부식과 초기 점부식 등이 조사되었으며 기능유지에 지장이 없이 전반적으로 양호한 상태임.
  선단부 긁힘 부식
  선단부 점부식
  런칭 플레이트 부식</td></tr>
<tr><td>브레이싱 및 가로보</td><td>• 브레이싱과 가로보의 외관상태는 특이한 손상 없이 양호하며 일부 국부적인 부식이 조사됨.
  브레이싱 상태양호
  가로보 상태양호
  연결판 상태양호</td></tr>
</table>

【표 2.21】 백운4교(부산) 정밀안전진단(2011년) 결과요약②

<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="2">하부구조</td><td>교대</td><td>• 교대의 외관조사결과 흉벽의 폭 0.3㎜ 균열과 교대 전면의 폭 0.1㎜의 균열, 박락, 재료분리, 철근노출 및 층분리, 균열파손 등이 조사됨.
   
교대A1 흉벽 균열 | 교대A2 균열파손 | 교대A2 균열파손</td></tr>
<tr><td>교각</td><td>• 속이 빈 중공의 구주식 교각 4기에서 조사된 주요 손상은 교각 두부에서 시공 미흡에 의한 표면불량과 교각 시공 후 공사를 진행 하면서 발생한 것으로 추정되는 균열파손임.
   
P1(우측)파손상태 | P2(우측)파손상태 | P1 교각두부 표면불량
   
P2 교각두부 표면불량 | P1 교각두부 균열 | P2 재료분리</td></tr>
<tr><td colspan="2">받침장치</td><td>• 교량받침은 스페리컬 받침으로 기능에는 문제가 없을 것으로 판단되나 소울플레이트 부식, 받침콘크리트 균열이 다수 조사됨.
• 교량받침의 이동량을 고려한 여유량 검토결과 대부분의 받침장치가 이동여유량을 확보하고 있으나 A2의 교량받침 Sh1~Sh4는 온도 상승 시 신축여유량이 이론치보다 다소 부족한 것으로 분석됨.
   
A2 교량받침 부식발생 | 받침콘크리트 균열 | 받침콘크리트 균열</td></tr>
</table>

【표 2.22】 백운4교(부산) 정밀안전진단(2011년) 결과요약③

섬강교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2011.11, ㈜동우기술단)			
구 분			정밀안전진단 결과
외관조사	기타부재	신축이음	• 신축이음장치는 레일 조인트 형식으로 각 지점부(A1,A2)에 총 2개소 설치되었으며, 외관조사결과 공용기간 증가에 따른 본체 유간 토사퇴적과 부식, 후타재 균열 및 망상균열 등이 조사됨. • 신축이음장치(A1/A2)의 온도에 따른 가동상태 및 신축유간은 여유량을 확보는 것으로 조사됨.



A1 부식, 토사퇴적



A2 후타재 망상균열



A2 부식, 토사퇴적

외관조사	기타부재	교면포장	• 교면포장의 외관조사 결과 포장백태, 균열, 들뜸, 패임 등이 조사됨. • 좌측의 갓길부분은 바닥판에서 베어 나오는 백태와 들뜸(융기), 그로 인한 포장 균열들이 조사되어 점검망치를 이용, 전체 연장(1.5×310.0)을 전수 조사한 결과 육안으로 확인할 수 없는 들뜸(공극)이 방호울타리 하면에서 일부 조사됨.



포장 들뜸



포장 들뜸 조사



표면열화 및 망상균열

외관조사	기타부재	배수시설	• 집수구는 경간 당 6개소씩 총 30개소이며 막힘없이 모두 양호한 상태이며 유출관은 교량하부에 민가가 있는 관계로 인근 교각까지 연장하여 유도배수하고 있는 상태임.



집수구 상태양호



배수관 연결부 상태양호



배수관 상태양호

외관조사	기타부재	방호벽	• 방호벽 외관조사결과 균열(폭 0.2㎜이하), 덮개판 볼트탈락, 강판부식, 강판탈락, 균열백태, 덮개판 변형, 백태, 층분리, 피복부족, 덮개판 길이부족 등이 조사됨.



배면 층분리



방호벽 균열



방호벽 균열

【표 2.23】 백운4교(부산) 정밀안전진단(2011년) 결과요약④

섬강교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2011.11, ㈜동우기술단)

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>정밀안전진단 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="7">비파괴시험</td><td>콘크리트 강도시험</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">부재구분</th><th>반발경도(MPa)</th><th>초음파전달속도법(MPa)</th><th>설계강도(MPa)</th></tr>
<tr><td>상부구조</td><td>캔틸레버</td><td>24.4~28.7</td><td>25.3~30.4</td><td>27.0</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부구조</td><td>교대</td><td>23.2~28.6</td><td>24.3~30.0</td><td>24.0</td></tr>
<tr><td>교각</td><td>19.3~28.9</td><td>25.7~30.9</td><td>24.0</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>철근탐사 시험</td><td>
<table>
<tr><th colspan="3" 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>상부구조</td><td>캔틸레버</td><td>하면</td><td>150~250</td><td>100~315</td><td>40</td><td>40~94</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부구조</td><td>교대</td><td>전면</td><td>200</td><td>200~620</td><td>100</td><td>73~80</td></tr>
<tr><td>교각</td><td>기둥</td><td>150</td><td>85~235</td><td>100</td><td>90~119</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>탄산화 깊이 측정</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">부재구분</th><th>철근피복(mm)</th><th>탄산화깊이(mm)</th><th>탄산화 잔여깊이(mm)</th><th>상태평가 기준</th></tr>
<tr><td>상부구조</td><td>캔틸레버</td><td>40~94</td><td>3~5</td><td>37~89</td><td>a</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부구조</td><td>교대</td><td>73~81</td><td>3~13</td><td>62~78</td><td>a</td></tr>
<tr><td>교각</td><td>90~108</td><td>12~18</td><td>75~90</td><td>a</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>염화물 함유량 시험</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">시험위치</th><th>전 염화물 함유량(%)</th><th>염화물함유량(kg/㎥)</th><th>등급</th></tr>
<tr><td>상부구조</td><td>캔틸레버</td><td>0.0438</td><td>0.990</td><td>b</td></tr>
<tr><td>하부구조</td><td>교각</td><td>0.0171~0.0179</td><td>0.387~0.405</td><td>b</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>균열깊이 시험</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">시험위치</th><th>균열폭/길이 (mm/m)</th><th>발·수신자 거리 2L(mm)</th><th>균열심도(mm)</th><th>철근피복(mm)</th></tr>
<tr><td>하부구조</td><td>교대</td><td>0.5/3.8</td><td>200</td><td>152~153</td><td>105</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>초음파 탐상시험</td><td>
<table>
<tr><th>시험위치</th><th>조사개소</th><th>합격개소</th><th>등 급</th><th>결 과</th></tr>
<tr><td>G1~G4</td><td>48</td><td>48</td><td>1등급</td><td>합격</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>결과 분석</td><td>
• 콘크리트 강도조사결과 설계기준강도(상부구조 : 27MPa, 하부구조 : 24MPa)의 90%를 상회하고 있는 것으로 나타남.
• 철근배근탐사 결과 상부구조의 일부 피복두께는 설계치 보다 다소 두꺼운 것으로 조사되었으나 외관조사결과 이로 인한 손상은 조사되지 않았으며, 하부구조는 철근의 배근간격 및 피복두께는 전반적으로 설계와 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 상부구조 및 하부구조의 철근부식 가능성을 중점 점검하는 것이 타당할 것으로 판단됨.
• 균열깊이 측정결과, 균열깊이는 152.0~153.0mm로 조사되어 측정 철근피복두께를 초과하는 것으로 나타났으며 이는 철근피복두께를 초과하여 철근부식 등의 내구성 저하의 우려가 있으므로 적절한 보수가 필요함.
• 초음파탐상결과 조사된 모든 위치에서 용접부에 대한 결함지시가 발생하지 않아 구조물의 용접상태는 양호한 것으로 평가됨.
</td></tr>
</table>

【표 2.24】 백운4교(부산) 정밀안전진단(2011년) 결과요약⑤

섬강교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2011.11, ㈜동우기술단)

구 분 | **정밀안전진단 결과**

상태평가

상태평가 결함지수 : 0.252, 상태평가 결과 : "B"

안전성평가 — 허용응력법

부재			fa	fs	안전율	비고
거더	정모멘트부	거더4 상연	200.000	86.909	2.301	O.K
		거더4 하연	200.000	134.157	1.491	O.K
	부모멘트부	거더4 상연	200.000	145.755	1.372	O.K
		거더4 하연	180.900	156.469	**1.156**	O.K

- 거더의 발생응력은 허용응력범위 이내의 수준으로 나타났으며 사용하중에 대해서 안전성을 확보하고 있음.
- 안전성평가등급 : A(최저 안전율 : 1.156)

안전성평가 — 강도설계법

부재		ΦMn	Mu	안전율	비고
바닥판	캔틸레버	132.943	17.390	7.645	O.K
	중앙부	132.943	89.961	**1.478**	O.K
기둥 (휨강도)	최대 축력	113076.0	7629.7	14.820	O.K
	최대 휨모멘트	428934.7	57920.7	7.406	O.K
	최대 휨모멘트	131635.5	22129.4	5.948	O.K

부재		ΦPn	Pu	안전율	비고
기둥 (축강도)	최대 축력	280175.3	52938.9	5.292	O.K
	최대 휨모멘트	263506.5	50257.7	**5.243**	O.K
	최대 휨모멘트	267461.3	50257.7	5.322	O.K

- 바닥판 및 교각의 설계휨강도는 계수하중에 대해서 안전성을 확보하고 있음.
- 안전성평가등급 : A(최저 안전율 : 1.478)

종합평가 및 안전등급

상태평가	안전성평가	종합평가	안전등급
B	A	B	B

- 백운4교(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

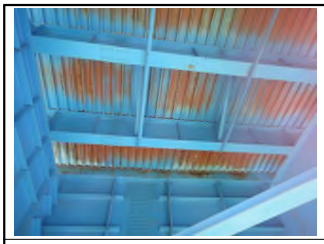
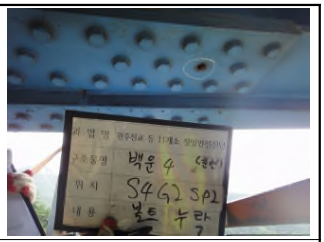
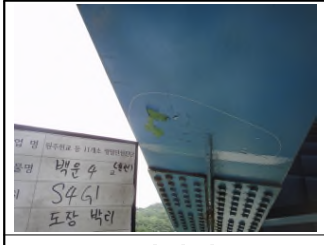
부 재	결함내용	보수방안	우선순위
교면포장	포장백태	패칭보수	2
	포장균열	실런트 주입	2
	포장들뜸	부분 재포장	2
	포장망상균열	실런트 주입	2
	포장망상균열,포장백태	패칭보수	2
	포장패임	패칭보수	2
	포장이음부균열	실런트 주입	2
	포장이격	실런트 주입	2

【표 2.25】 백운4교(부산) 정밀안전진단(2011년) 결과요약⑥

섬강교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2011.11, ㈜동우기술단)					
구 분	정밀안전진단 결과				
보수·보강 방안	부 재		결함내용	보수방안	우선순위
	난간 및 연석		균열(0.1~0.2mm)	주의관찰	4
			덮개판 볼트탈락	주의관찰	4
			강판부식	주의관찰	4
			강판탈락	주의관찰	4
			균열백태	표면처리	3
			덮개판 변형	주의관찰	4
			백태	표면처리	3
			층분리	단면보수(방청)	2
			피복부족	단면보수	3
			덮개판 길이부족	덮개판 재설치	3
	신축 이음	본체	토사퇴적	청소	3
			본체부식	재도장	3
		후타재	균열(0.1~0.2mm)	주의관찰	4
			망상균열	주의관찰	4
	바닥판		누수흔적	주의관찰	4
	거더		부식	재도장	2
			변형	주의관찰	4
			도장박리	재도장	2
	가로보		부식	재도장	2
	브레이싱		부식	재도장	2
			도장박리	재도장	2
	교량 받침	본체	받침부식	재도장	2
			용접누락	주의관찰	4
			도장박리	재도장	2
		받침몰탈	균열파손	단면보수	3
		받침 콘크리트	균열(0.1~0.2mm)	주의관찰	4
			균열(0.3mm이상)	주입보수	2
			표면망상균열	표면처리	3
	교대		균열(0.1~0.2mm)	표면처리	2
			균열(0.3mm이상)	주입보수	2
			박락	단면보수	3
			재료분리	단면보수	3
			철근노출,층분리	단면보수(방청)	2
			균열파손	단면보수(방청)	2
	교각		균열(0.1~0.2mm)	주의관찰	4
			파손	단면보수	3
			표면박리	단면보수	3
			박락	단면보수	3
			재료분리	단면보수	3
			표면망상균열	표면처리	3
	• 금회 정밀안전진단 시, 전회(2011년) 진단에서 제시된 보수방안의 실시여부 및 보수부 상태, 재손상 발생에 대한 보수가 필요함.				

나. 백운4교(춘천)

【표 2.26】 백운4교(춘천) 정밀안전진단(2013년) 결과요약①

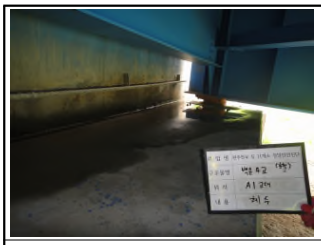
<table>
<tr><th colspan="4">원주천교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2013.12, (재)한국재난연구원, 케이에스엠기술㈜)</th></tr>
<tr><th colspan="3">구 분</th><th>정밀안전진단 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">외관조사</td><td rowspan="2">상부구조</td><td>바닥판</td><td>• 바닥판에 대한 외관조사 결과, 금회 진단시 기 발생한 손상에 대하여 일부(S1) 도장보수를 실시한 상태임.
• 주요 손상으로 Deck Plate의 전반적인 초기 표면부식 및 포장면과 방호벽 접합부에서 교면수가 유입되어 캔틸레버 하면의 강재부식, 배수구 주변 부식이 발생하였고 기타 국부적인 도장박리, 강재변형 등 전차 진단에서 확인된 결함과 유사하게 조사됨.
   
Deak Plate 표면부식 캔틸레버 하면 누수(백태) 캔틸레버 부재변형
   
교면상태 아스콘 두께 바닥판 표층상태</td></tr>
<tr><td>거더</td><td>• 거더에 대한 외관조사 결과, S1경간 단부측에 발생한 부식에 대하여 일부구간 도장보수를 일부 실시하였으나 신축이음 및 좌측 캔틸레버에서 국부적인 부식이 재발생한 상태임.
• 주요 손상으로 외측면(G1측) 현장볼트이음부의 전반적인 부식과 볼트 누락(1개소), 거더 지점부 부식, 도장박리, 천공홀 등이 발생한 상태임.
   
도장보수부 부식 현장이음부 부식 현장이음부 볼트누락
   
도장박리 수평보강재 변형 누수오염</td></tr>
</table>

【표 2.27】 백운4교(춘천) 정밀안전진단(2013년) 결과요약②

<table>
<tr><th colspan="4">원주천교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2013.12, (재)한국재난연구원, 케이에스엠기술㈜)</th></tr>
<tr><th colspan="3">구 분</th><th>정밀안전진단 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="2">외관조사</td><td rowspan="1">하부구조</td><td>교대 및 교각</td><td>
• 교각의 외관조사결과 기 손상에 대한 콘크리트 면보수를 일부 실시한 상태이며, 주요 손상으로 콘크리트 균열 및 탈락, 파손, 재료분리, 누수흔적과 교각 코핑부 상면 망상균열 및 들뜸 등이 국부적으로 조사됨.

교대A1 표면보수

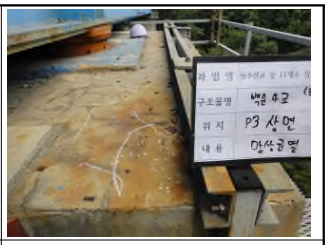
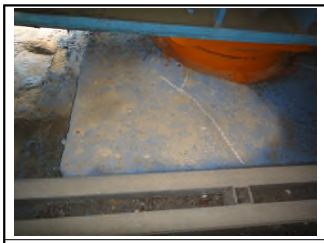
교대A2 흉벽균열

교각P2 코핑균열

교대A1 구체 체수

교대A2 누수흔적

교대A1 콘크리트 들뜸

교대A2 콘크리트 탈락

교대A2 날개벽 망상균열

교각P3 코핑 망상균열
</td></tr>
<tr><td colspan="2">받침장치</td><td>
• 교량받침의 외관조사 결과 받침 콘크리트 및 도장 탈락, 부식이 일부 조사됨.
• 교량받침의 가동상태는 전반적으로 양호하며, 필요 연단거리는 허용기준을 만족하는 것으로 조사됨.

받침P3 몰탈 균열

받침P3 몰탈 망상균열

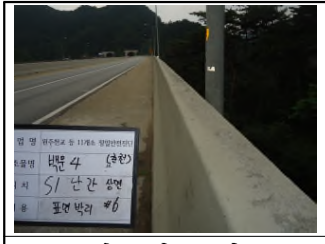
받침A1 몰탈 탈락

받침A2 용접누락

받침A1 부식

받침A2 부식
</td></tr>
</table>

【표 2.28】 백운4교(춘천) 정밀안전진단(2013년) 결과요약③

<table>
<tr><th colspan="5">원주천교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2013.12, (재)한국재난연구원, 케이에스엠기술㈜)</th></tr>
<tr><th colspan="3">구 분</th><th colspan="2">정밀안전진단 결과</th></tr>
<tr><td rowspan="4">외관조사</td><td rowspan="4">기타부재</td><td>신축이음</td><td colspan="2">• 강핑거 조인트와 리플렉션조인트 형식으로 각 지점부(A1,A2)에 총 2개소 설치되었으며, 2012년도에 재설치되어 전반적인 상태는 양호하며, 일부 후타재 균열 및 방호벽 덮개판의 고정볼트가 탈락된 것으로 조사됨.
• 신축이음장치(A1/A2)의 온도에 따른 가동상태 및 신축유간은 여유량을 확보는 것으로 조사됨.
  A1 토사퇴적  A1 후타재 균열  A2 고정볼트 탈락</td></tr>
<tr><td>교면포장</td><td colspan="2">• 교면포장의 외관조사 결과 본선포장은 일부 기 손상부에 대한 부분보수(초속경 LMC)를 실시한 상태이며, 갓길포장부의 경우 전 경간에서 아스콘균열(망상형태) 및 들뜸, 포장불량, 포장파쇄부 마감불량 등 전차 진단결과와 유사하거나 포장의 열화정도가 다수 진행된 것으로 조사됨.
  포장 망상균열  포장 들뜸  포장파쇄부 마감불량</td></tr>
<tr><td>배수시설</td><td colspan="2">• 배수시설의 외관조사 결과 배수 그레이팅 파손 및 배수관 부식 등이 발생한 것으로 확인됨.
  배수관 부식  배수관 주변 누수흔적  배수관 상태양호</td></tr>
<tr><td>방호벽</td><td colspan="2">• 방호벽 외관조사결과 전 경간에 표면보수를 실시한 하였으나 방호벽 상단에서 콘크리트 표면박리 및 미세균열이 조사됨.
  방호벽 균열  방호벽 균열부 백태  방호벽 상태양호</td></tr>
</table>

【표 2.29】 백운4교(춘천) 정밀안전진단(2013년) 결과요약④

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

구 분 | **정밀안전진단 결과**

비파괴시험

콘크리트 강도시험

부재구분		반발경도(MPa)	초음파전달속도법(MPa)	설계강도(MPa)
하부구조	교대	27.0~27.6	26.0~26.3	24.0
	교각	26.6~28.2	26.4~28.2	24.0

철근탐사시험

부재구분			배근간격(mm)		피복두께(mm)	
			설계치	측정치	설계치	측정치
하부구조	교대	전면	200	200	92	61~83
	교각	기둥	150	150~155	100	90~119

탄산화 깊이 측정

부재구분		철근피복(mm)	탄산화깊이(mm)	탄산화 잔여깊이(mm)	상태평가 기준
하부구조	교대	61~83	4.5~4.9	56.5~78.1	a
	교각	47~73	3.7~6.2	40.8~68.1	a

염화물 함유량 시험

시험위치		전 염화물 함유량(%)	염화물함유량(kg/㎥)	등급
상부구조	캔틸레버	0.003~0.005	0.071~0.118	a
하부구조	교각	0.002~0.008	0.047~0.188	a

균열깊이 시험

시험위치		균열폭(mm)	발·수신자 거리 2L(mm)	균열심도(mm)	철근피복(mm)
하부구조	교대	1.0	300	174~190	61~83

초음파 탐상시험

시험위치	조사개소	합격개소	등 급	결 과
G1~G2	19	19	1등급	합격

도막두께 측정

시험위치	측정치	기준값(㎛)	판 정
G1	229.4~234.0	215	적정
G2	224.6~246.0	215	적정

결과 분석

- 콘크리트 강도조사결과 설계기준강도(상부구조 : 27MPa, 하부구조 : 24MPa)를 상회하고 있는 것으로 나타남.
- 철근탐사시험 결과 대부분 설계도와 일치하는 것으로 측정되었으며, 일부 부재의 피복 두께 및 배근간격의 부분적인 차이는 있으나, 외관조사결과 이로 인한 손상은 조사되지 않았으며, 하부구조는 철근의 배근간격 및 피복두께는 전반적으로 설계와 유사한 것으로 조사됨.
- 탄산화 측정평가 결과 전 구간에서 탄산화에 의한 철근부식영향 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 없는 양호한 상태를 유지하고 있는 것으로 조사됨.
- 염화물 함유량시험 결과, 상부구조 0.071~0.118㎏/㎥, 하부구조 0.047~0.188㎏/㎥로 측정되어 상태평가 "a" 기준 0.3㎏/㎥을 만족하므로 염화물에 의한 부식이 발생할 우려는 없는 것으로 분석됨
- 균열깊이 측정결과, 균열깊이는 174.0~190.0mm로 조사되어 측정 철근피복두께를 초과하는 것으로 나타났으며 이는 철근피복두께를 초과하여 철근부식 등의 내구성 저하의 우려가 있으므로 적절한 보수가 필요함.
- 초음파탐상결과 조사된 모든 위치에서 용접부에 대한 결함지시가 발생하지 않아 구조물의 용접상태는 양호한 것으로 평가됨.
- 도막두께 측정결과 도막두께가 기준 값을 모두 만족하는 것으로 조사됨.

【표 2.30】 백운4교(춘천) 정밀안전진단(2013년) 결과요약⑤

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

구 분		정밀안전진단 결과
상태평가		상태평가 결함지수 : 0.397, 상태평가 결과 : "C"

안전성평가

상부구조

부재			작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		안전율		비고
			상연	하연	상연	하연	상연	하연	
거더	정모멘트부	단면2	106.6	-153.7	210.0	-210.0	1.97	1.37	O.K
		단면3	64.3	-114.6	210.0	-210.0	3.27	1.83	O.K
		단면7	62.6	-139.4	210.0	-210.0	3.35	1.51	O.K
		단면11	100.2	-168.5	210.0	-210.0	2.10	1.25	O.K
	부모멘트부	단면5	-102.1	124.7	-195.0	184.5	1.91	1.48	O.K
		단면10	-118.7	147.5	-200.0	181.4	1.68	**1.23**	O.K

부재		ΦMn	Mu	안전율	비고
바닥판	캔틸레버	122.167	75.183	**1.62**	O.K
	중앙부	106.000	60.262	1.76	O.K

• 안전성평가등급 : A(최저 안전율 : 1.23)

하부구조

부재			ΦPn	Pu	Mu	안전율	비고
교각기둥	P1	축력최대	344,069	53,203	107	6.467	O.K
		모멘트최대	343,025	43,760	67,489	7.839	O.K
		탄성설계	344,069	33,661	65	10.222	O.K
		편심최대	316,271	30,295	62,278	10.440	O.K
	P2	축력최대	298,396	56,348	224	**5.296**	O.K
		모멘트최대	331,252	47,233	83,461	7.013	O.K
		탄성설계	344,069	36,333	102	9.470	O.K
		편심최대	300,895	32,700	77,071	9.202	O.K
	P3	축력최대	298,396	56,782	150	5.255	O.K
		모멘트최대	331,430	47,661	84,054	6.954	O.K
		탄성설계	344,069	36,662	41,184	9.385	O.K
		편심최대	301,155	32,996	77,600	9.127	O.K
	P4	축력최대	344,069	58,848	109	5.847	O.K
		모멘트최대	344,069	41,581	55,405	8.275	O.K
		탄성설계	344,069	31,985	76	10.757	O.K
		편심최대	330,790	28,787	51,120	11.491	O.K

부재			Mu	ΦMn	안전율	비고
교각확대기초	P1	교축방향	36,693	56,079	**1.528**	O.K
		교직-지점부	2,176	28,788	13.229	O.K
	P2	교축방향	38,652	61,288	1.586	O.K
		교직-지점부	2,129	31,449	14.769	O.K
	P3	교축방향	38,990	61,288	1.572	O.K
		교직-지점부	2,145	31,449	14.659	O.K
	P4	교축방향	28,259	56,079	1.984	O.K
		교직-지점부	1,960	28,788	14.689	O.K

부재			Mu	ΦMn	안전율	비고
교대	A1	후면저판	1,525.95	1,631.57	**1.069**	O.K
		벽 체	1,294.23	1,494.52	1.155	O.K
		흉 벽	352.907	579.776	1.643	O.K
	A2	후면저판	1,025.74	1631.571	1.591	O.K
		벽 체	879.774	1,494.52	1.699	O.K
		흉 벽	380.095	579.776	1.525	O.K

• 안전성평가등급 : A(최저 안전율 : 1.069)

【표 2.31】 백운4교(춘천) 정밀안전진단(2013년) 결과요약⑥

<table>
<tr><th colspan="2">원주천교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2013.12, (재)한국재난연구원, 케이에스엠기술㈜)</th></tr>
<tr><th>구 분</th><th>정밀안전진단 결과</th></tr>
<tr><td>종합평가
및
안전등급</td><td>
<table>
<tr><th>상태평가</th><th>안전성평가</th><th>종합평가</th><th>안전등급</th></tr>
<tr><td>C</td><td>A</td><td>C</td><td>C</td></tr>
</table>
• 백운4교(춘천)에 대한 종합평가 결과「C」등급으로 평가되었으며, 「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」로 평가됨.
</td></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">바닥판</td><td>강재부식</td><td rowspan="3">전면재포장
(방수층포함)
+도장보수</td><td>2</td></tr>
<tr><td>브라켓 강재부식</td><td>2</td></tr>
<tr><td>강재부식(누수,백태)</td><td>2</td></tr>
<tr><td>데크 표면부식</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>데크부식(누수,백태)</td><td>도장보수</td><td>2</td></tr>
<tr><td>배수구 주변 부식</td><td>도장보수</td><td>2</td></tr>
<tr><td>도장박리, 박락</td><td>도장보수</td><td>3</td></tr>
<tr><td>강재변형</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="8">거더</td><td>현장연결부 부식</td><td>도장보수</td><td>2</td></tr>
<tr><td>도장부식</td><td>도장보수</td><td>2</td></tr>
<tr><td>현장연결부 볼트부식</td><td>도장보수</td><td>2</td></tr>
<tr><td>도장박리,박락,긁힘</td><td>도장보수</td><td>3</td></tr>
<tr><td>도장체킹</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>볼트누락</td><td>재체결</td><td>1</td></tr>
<tr><td>천공홀</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>부재변형</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="8">가로보, 세로보
브레이싱</td><td>점부식(경미)</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>볼트부식(경미)</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>도장박리,박락</td><td>도장보수</td><td>3</td></tr>
<tr><td>누수오염</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>볼트풀림</td><td>재체결</td><td>3</td></tr>
<tr><td>부재변형</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>모재손상(찢김)</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>천공홀</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>이물질 퇴적</td><td>청소</td><td>3</td></tr>
<tr><td rowspan="5">교대</td><td>균열(0.2㎜미만)</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>균열(0.3㎜이상)</td><td>주입보수</td><td>2</td></tr>
<tr><td>망상균열</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>탈락,들뜸,파손</td><td>단면보수</td><td>2</td></tr>
<tr><td>재료분리</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

【표 2.32】 백운4교(춘천) 정밀안전진단(2013년) 결과요약⑦

<table>
<tr><th colspan="2">원주천교 등 11개소 정밀안전진단보고서(2013.12, (재)한국재난연구원, 케이에스엠기술㈜)</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="4">교대</td><td>누수(백태)</td><td>표면보수</td><td>2</td></tr>
<tr><td>철근노출</td><td>단면보수(방청)</td><td>3</td></tr>
<tr><td>누수(녹물)흔적, 체수</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>결속선 노출</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="9">교각</td><td>균열(0.2㎜미만)</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>몰탈부 균열(0.3㎜이상)</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>망상균열</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>긁힘, 박리</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>들뜸,탈락,파손,불량</td><td>단면보수</td><td>3</td></tr>
<tr><td>재료분리(불량)</td><td>단면보수</td><td>3</td></tr>
<tr><td>열화</td><td>표면보수</td><td>3</td></tr>
<tr><td>누수(녹물)흔적</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="5">교량받침</td><td>균열(0.2㎜미만)</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>부식, 도장불량</td><td>도장보수</td><td>3</td></tr>
<tr><td>망상균열</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>탈락(경미)</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>플레이트 용접누락</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="3">신축이음</td><td>토사퇴적</td><td>청소</td><td>3</td></tr>
<tr><td>덮개판고정볼트 탈락</td><td>볼트재체결</td><td>3</td></tr>
<tr><td>후타재 균열</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="5">교면포장</td><td>아스콘 균열</td><td rowspan="5">전면재포장
(방수층포함)</td><td rowspan="5">1</td></tr>
<tr><td>망상균열</td></tr>
<tr><td>포장들뜸</td></tr>
<tr><td>포장불량</td></tr>
<tr><td>포장파쇄부</td></tr>
<tr><td rowspan="2">배수시설</td><td>그레이팅 파손</td><td>배수구재설치</td><td>2</td></tr>
<tr><td>배수관 부식</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="4">방호벽</td><td>균열(0.2㎜미만)</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>망상균열</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>표면박리</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>거푸집 미제거</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="3">기타시설</td><td>전선관보호커버 파손(변형)</td><td>재설치</td><td>3</td></tr>
<tr><td>전선관보호커버 부식</td><td>주의관찰</td><td>4</td></tr>
<tr><td>점검로 시건장치 누락</td><td>자물쇠설치</td><td>3</td></tr>
</table>
• 금회 정밀안전진단 시, 전회(2013년) 진단에서 제시된 보수방안의 실시여부 및 보수부 상태, 재손상 발생에 대한 보수가 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 백운4교(부산)

【표 2.33】 백운4교(부산) 보수·보강 이력

공사기간	공사구분	부위	공사내역	시공자	공사비(천원)	비고
2008.05.	일상보수	배수시설	강원본부 관내 유지보수 협약사업(배수관 설치)	-	-	
2016.06	일상보수	교면포장 하부구조	전면 재포장(S1~S5) 표면처리	-	-	

2.4.2 백운4교(춘천)

【표 2.34】 백운4교(춘천) 보수·보강 이력

공사기간	공사구분	부위	공사내역	시공자	공사비(천원)	비고
1997.09.02	일상보수	하부구조	콘크리트 보수 (P2~P4,A2)	-	-	
1998.11.23	일상보수	교량받침	면보수, 재도장 (P3,P4)	-	-	
1999.09.04	일상보수	교량받침	면보수, 재도장 (P1,P2,A1,A2)	-	-	
2000.04.04	일상보수	하부구조	콘크리트 보수 (P4)	-	-	
2008.05.6	일상보수	배수시설	배수시설 보수 (S1)	-	-	
2012. 04. 15 ~07. 06	하자보수	하부구조 교량받침	균열주입 및 면보수(A1,P1,P2) 도장보수(A1 Sh2, P1~P4)	현대산업개발 (주)	9,835	
2014. 05. 14 ~05. 16	개량보수	교면포장	중분대 및 길어깨측 교면개량 PSMA	(주)유봉건설	322,000	

2.5 구조물 용도, 하중 및 구조 변경 여부

본 진단대상 시설물인 백운4교(부산, 춘천)는 1995년(춘천방향), 2000년(부산방향) 준공 후 구조물 용도, 하중 및 구조 변경은 없는 것으로 확인되었다.

2.6 시설물 내진설계 여부

2.6.1 백운4교(부산)

백운4교(부산)은 구조 설계시 당초 1979년 시방서를 적용하였으나 건설 교통부 시방서(1994년)에 따라 내진적용(2등급)을 추가하였다.

가. 내진설계

구 분	내 진 설 계
내진등급	내 진 2 등 급 (강 원 도)
시 방 서 적용기준	1. 가속도 계수 : A = 0.07 2. 설계지지력 내진 2등급교에서 교량 받침 등 하부구조와 상부구조의 연결부는 사하중 반력의 20%에 해당하는 수평지지력이 구속방향으로 작용한다고 보고 이에 저항하도록 설계하여야 한다. (단, 이 설계력이 과다하다고 판단될 때에는 내진 1등급교의 설계방법대로 설계력을 구하여도 좋다.) 3. 하부구조에 대한 내진설계 • 강교 및 콘크리트교 내진 2등급교에서는 “2. 설계지지력”에 규정된 바와 같이 교량받침 등 상부구조를 하부구조에 연결하는 연결부 이외에 다른 요소의 설계에 대해서는 지진하중을 고려할 필요가 없다.
내진설계 적 용	교량받침의 수평저항력이 사하중 반력의 20%보다 작은 경우에 한하여 내진설계 적용 ① P.C BOX교, STEEL BOX교와 같이 사하중의 반력이 큰 경우는 내진설계 적용 (A= 0.07, 단일모드 스팩트럼 해석법 적용) ② P.C BEAM교, RAHMEN교 등은 내진설계 면제
검토의견	내진 2등급교는 지진 위험성이 낮고 기둥이 항복을 일으키는 지진력을 받을 확률이 작기 때문에 하부구조에 대해 지진력을 고려할 필요가 없다고 사료되나, 단 사하중 반력이 큰 경우에는 교량받침 선정을 위한 내진설계를 할 필요가 있다고 사료됨

나. 교량형식에 따른 내진 2등급교 적용 SHOE

교 량 형 식	사 용 SHOE	비 고
PLATE GIRDER	SPHERICAL BEARING	

다. 결론

중앙고속도로 재설계에 따른 내진 2등급 지역으로서 2차선 선시공분에는 현재 많은 차량이 통행하고 있는 상태이다. 내진설계를 적용하고 있는 서해안 고속도로(내진 1등급 지역) 내진적용 SHOE 문제가 상당한 기간 결정을 못한 상태이며, 외국수입 내진장치는 개당 단가가 3,000~4,000만원 상당에 고가이므로 중앙고속도로로 재설계 구간은 내진 2등급 지역으로서(남원, 천일, 동명) 시방서 내진설계편에 따른 상부 사하중 20%의 수평력을 지지할 수 있는 국내 SHOE가 가능한 스페리컬 받침을 적용하고자 한다.

2.6.2 백운4교(춘천)

금회 과업 대상시설물인 백운4교(춘천)는 1995년 12월 준공된 구조물로 설계당시 내진설계를 반영하지 않았으며, “2009년도 내진성능 향상 대상교량 세부조사 및 보강설계(1공구)에 따라 내진성능 평가를 실시하였으며, 교각(P2, P3)에 대하여 내진보강(전단키 설치)을 실시한 것으로 확인되었다.

가. 설계조건

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">설 계 조 건</th></tr>
<tr><td>적용 기준</td><td colspan="4">- 도로교설계기준(2000, 2005)</td></tr>
<tr><td>교량 연장</td><td colspan="4">- 5@60.000 = 300.000m</td></tr>
<tr><td>내진 등급</td><td colspan="4">- 내진1등급교</td></tr>
<tr><td>지진구역계수</td><td colspan="4">- 0.11 (I 구역)</td></tr>
<tr><td>위험도계수</td><td colspan="4">- I = 1.40</td></tr>
<tr><td>가속도계수</td><td colspan="4">- A = 0.154</td></tr>
<tr><td>지반계수</td><td colspan="4">- 1.00 (I)</td></tr>
<tr><td>고유치 해석방법</td><td colspan="4">- Eigen Value analysis</td></tr>
<tr><td>MODE 조합방법</td><td colspan="4">- C.Q.C 모드 조합</td></tr>
<tr><td>받침형식</td><td colspan="4">- 교대: 포트받침(3,500kN), 교각: 포트받침(7,500kN)</td></tr>
<tr><td>사용프로그램 및 해석모델</td><td colspan="4">
<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>적용내용</th><th>비 고(관련자료)</th></tr>
<tr><td rowspan="4">기둥단면 강도산정</td><td>방법</td><td>모멘트-곡률 곡선법</td><td>내진보강 설계지침</td></tr>
<tr><td>콘크리트 모델</td><td>MANDER 모델</td><td>CALTRANS</td></tr>
<tr><td>철근 모델</td><td>PARK 모델</td><td>CALTRANS</td></tr>
<tr><td>모멘트곡률산정프로그램</td><td>SAP2000</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="5">탄성 지진력산정</td><td>모델</td><td>격자 해석 모델</td><td>내진설계편람</td></tr>
<tr><td>상하부연결상세</td><td>NLLINK 탄성 스프링 모델</td><td>내진설계편람</td></tr>
<tr><td>기초와 지반연결상세</td><td>고정점 처리</td><td>내진설계편람</td></tr>
<tr><td>질량산정</td><td>상,하부고정하중을 분포질량으로입력</td><td>내진설계편람</td></tr>
<tr><td>탄성지지력산정</td><td>SAP2000</td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

나. 내진성능 평가결과

1) 내진성능 평가결과(보강전)

구 분			위치입력 P2(고정단)				
			공급역량	소요역량	판정		비율
기둥 (kN)	휨평가	교축	19490.982	4031.828	O.K		4.834
		교직	44388.760	3815.974	O.K		11.632
	전단 평가	교축	13286.605	4031.828	O.K		3.295
		교직	27641.967	3815.974	O.K		7.244
기초 (kN)	휨평가	교축	61288.055	43362.578	O.K		1.413
		교직	31449.259	1987.810	O.K		15.821
	전단 평가	교축	25132.941	16618.998	O.K		1.512
		교직	16336.411	831.479	O.K		19.647
	안전 평가 (교축)	전도	517041.814	218985.146	O.K		2.361
		활동	59658.671	4838.194	O.K		12.331
		지지력	1238.500	1103.703	O.K		1.122
	안전 평가 (교직)	전도	795448.944	214807.452	O.K		3.703
		활동	59658.671	4579.169	O.K		13.028
		지지력	1238.500	920.216	O.K		1.346
받침 수평력 (kN)	교대	교축	-	-	-		-
		교직	810.0	0.000	1EA	O.K	
	교각	교축	1620.0	2696.526	2EA	N.G	0.601
		교직	810.0	2081.783	2EA	N.G	0.389
앵커 볼트	교대	교축	-	-	-		-
		교직	1.2	0.000	O.K		
	교각	교축	1.2	44.529	N.G		0.027
		교직	1.2	26.540	N.G		0.045
최소받침 지지길이 (mm)	교대		66.5	50.0	O.K		1.330
	교각		146.0	50.0	O.K		2.920
받침 연단거리 (mm)	교대		1450.0	987.3	O.K		1.469
	교각		1500.0	987.3	O.K		1.519
평가 결과			• 받침을 제외한 모든 구조부재의 내진성능을 만족하는 바 전단키를 설치하여 받침의 내진성능을 확보함이 바람직한 것으로 판단됨				

(계속)

구 분			위치입력 P3(고정단)				
			공급역량	소요역량	판정		비율
기둥 (kN)	휨평가	교축	19281.120	3914.882	O.K		4.925
		교직	43950.751	3919.343	O.K		11.214
	전단 평가	교축	13379.541	3914.882	O.K		3.418
		교직	27686.073	3919.343	O.K		7.064
기초 (kN)	휨평가	교축	61288.055	51601.113	O.K		1.188
		교직	31449.259	2503.402	O.K		12.563
	전단 평가	교축	25132.941	19756.904	O.K		1.272
		교직	16336.411	1039.022	O.K		15.723
	안전 평가 (교축)	전도	352673.131	215448.933	O.K		1.637
		활동	40693.054	4697.858	O.K		8.662
		지지력	1238.500	916.846	O.K		1.351
	안전 평가 (교직)	전도	542574.048	222495.663	O.K		2.439
		활동	40693.054	4703.212	O.K		8.652
		지지력	1238.500	741.851	O.K		1.669
받침 수평력 (kN)	교대	교축	-	-	-		-
		교직	810.0	0.000	1EA	O.K	-
	교각	교축	1620.0	2473.617	2EA	N.G	0.655
		교직	810.0	2267.755	2EA	N.G	0.357
앵커 볼트	교대	교축	-	-	-		-
		교직	1.2	0.000	O.K		
	교각	교축	1.2	37.471	N.G		0.032
		교직	1.2	31.494	N.G		0.038
최소받침 지지길이 (mm)	교대		66.5	50.0	O.K		1.330
	교각		137.5	50.0	O.K		2.750
받침 연단거리 (mm)	교대		1450.0	987.3	O.K		1.469
	교각		1500.0	650.3	O.K		1.519
평가 결과			• 받침을 제외한 모든 구조부재의 내진성능을 만족하는 바 전단키를 설치하여 받침의 내진성능을 확보함이 바람직한 것으로 판단됨				

2) 내진성능 평가결과(보강후)

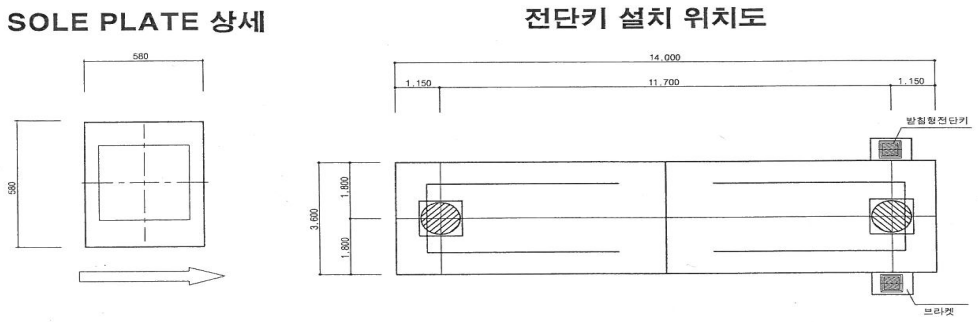
구 분			위치입력 P2(고정단)				
			공급역량	소요역량	판정		비율
기둥 (kN)	휨평가	교축	19490.982	4031.828	O.K		4.834
		교직	44388.760	3815.974	O.K		11.632
	전단 평가	교축	13286.605	4031.828	O.K		3.295
		교직	27641.967	3815.974	O.K		7.244
기초 (kN)	휨평가	교축	61288.055	43362.578	O.K		1.413
		교직	31449.259	1987.810	O.K		15.821
	전단 평가	교축	25132.941	16618.998	O.K		1.512
		교직	16336.411	831.479	O.K		19.647
	안전 평가 (교축)	전도	517041.814	218985.146	O.K		2.361
		활동	59658.671	4838.194	O.K		12.331
		지지력	1238.500	1103.703	O.K		1.122
	안전 평가 (교직)	전도	795448.944	214807.452	O.K		3.703
		활동	59658.671	4579.169	O.K		13.028
		지지력	1238.500	920.216	O.K		1.346
받침 수평력 (kN)	교대	교축	-	-	-		-
		교직	810.0	0.000	1EA	O.K	
	교각	교축	3000.0	2696.526	2EA	O.K	1.113
		교직	3000.0	2081.783	1EA	O.K	1.441
앵커 볼트	교대	교축	-	-	-		-
		교직	1.2	0.000	O.K		
	교각	교축	1.2	0.000	O.K		
		교직	1.2	0.000	O.K		
최소받침 지지길이 (mm)	교대		66.5	50.0	O.K		1.330
	교각		146.0	50.0	O.K		2.920
받침 연단거리 (mm)	교대		1450.0	987.3	O.K		1.469
	교각		1500.0	987.3	O.K		1.519
평가 결과			• 모든 구조부재에서 내진성능을 만족하는 것으로 평가됨 • 전단키 설치 후 받침의 내진성능 평가한 결과, 내진성능을 만족하는 것으로 평가됨				

(계속)

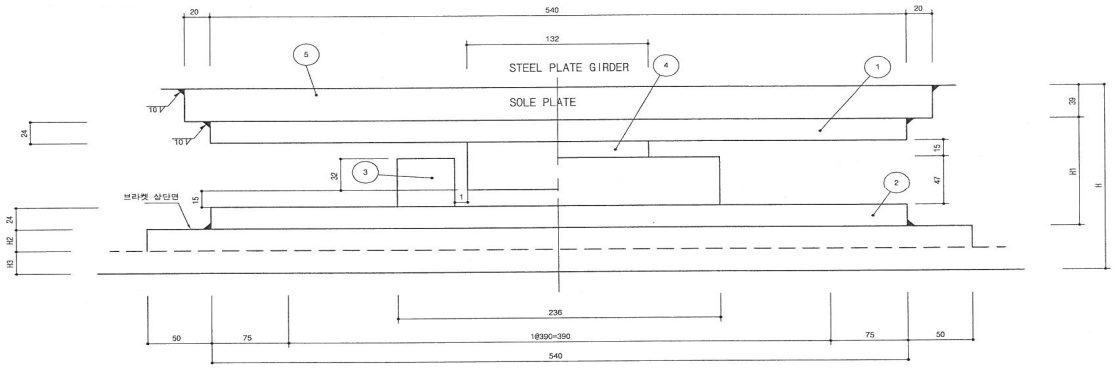
구 분			위치입력 P3(고정단)				
			공급역량	소요역량	판정		비율
기둥 (kN)	휨평가	교축	19281.120	3914.882	O.K		4.925
		교직	43950.751	3919.343	O.K		11.214
	전단 평가	교축	13379.541	3914.882	O.K		3.418
		교직	27686.073	3919.343	O.K		7.064
기초 (kN)	휨평가	교축	61288.055	51601.113	O.K		1.188
		교직	31449.259	2503.402	O.K		12.563
	전단 평가	교축	25132.941	19756.904	O.K		1.272
		교직	16336.411	1039.022	O.K		15.723
	안전 평가 (교축)	전도	352673.131	215448.933	O.K		1.637
		활동	40693.054	4697.858	O.K		8.662
		지지력	1238.500	916.846	O.K		1.351
	안전 평가 (교직)	전도	542574.048	222495.663	O.K		2.439
		활동	40693.054	4703.212	O.K		8.652
		지지력	1238.500	741.851	O.K		1.669
받침 수평력 (kN)	교대	교축	-	-	-		-
		교직	810.0	0.000	1EA	O.K	-
	교각	교축	3000.0	2473.617	2EA	O.K	1.213
		교직	3000.0	2267.755	1EA	O.K	1.323
앵커 볼트	교대	교축	-	-	-		-
		교직	1.2	0.000	O.K		
	교각	교축	1.2	0.000	O.K		
		교직	1.2	0.000	O.K		
최소받침 지지길이 (mm)	교대		66.5	50.0	O.K		1.330
	교각		137.5	50.0	O.K		2.750
받침 연단거리 (mm)	교대		1450.0	987.3	O.K		1.469
	교각		1500.0	650.3	O.K		1.519
평가 결과			• 모든 구조부재에서 내진성능을 만족하는 것으로 평가됨 • 전단키 설치 후 받침의 내진성능 평가한 결과, 내진성능을 만족하는 것으로 평가됨				

다. 전단키 설치 현황

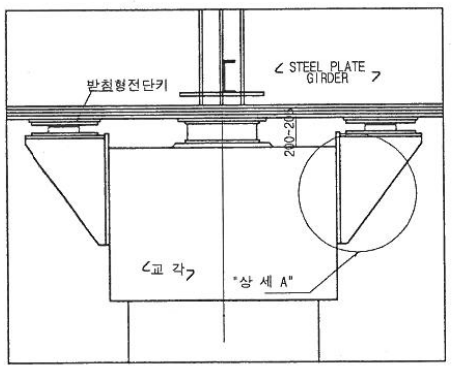
【표 2.35】 백운4교(춘천) 전단키 설치 현황



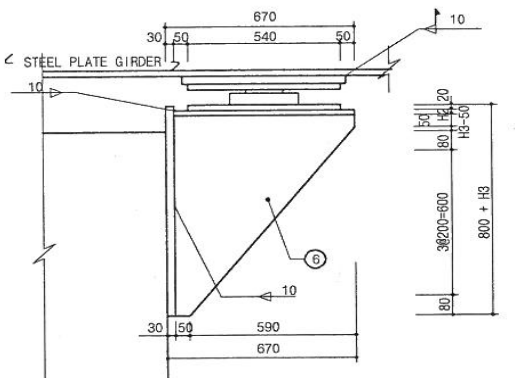
< P2/P3 전단키(1500kN, 양방전단) 설치 위치도 >



< 전단키 상세도 >



< 브라켓 개요도 >



< 브라켓 상세도 >



P2 전단키(양방전단) 설치 현황



P3 전단키(양방전단) 설치 현황

2.7 자료분석 결과요약

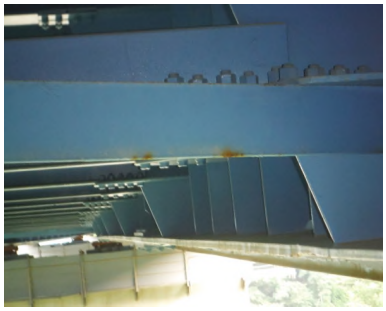
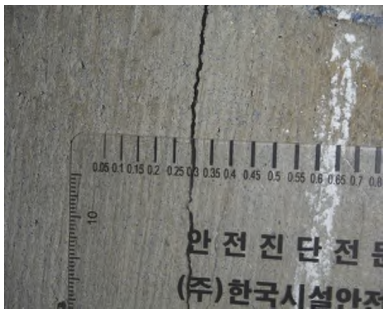
금회 진단대상시설물인 백운4교(부산, 춘천)에 대하여 수집된 자료 및 기초자료를 검토한 결과, 중앙고속도로에 시공된 시설물로서 운행은 원활한 상태이고, 시설물에 대해 유지관리가 잘 이루어지고 있는 상태이다. 따라서 금회 진단 시에는 2011년, 2013년 정밀안전진단에서 제시한 중점 유지관리 사항에 대하여 점검을 실시하고, 상세조사 및 현장시험을 실시한 후 현재 구조적으로 문제가 발생되었으나, 향후 문제가 발생될 가능성이 있는 부분에 대하여 구조검토를 실시하여 안전성을 여부를 평가하고자 한다.

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

【표 2.36】 백운4교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약

구 분	자료분석 결과요약	비고
설계 관련자료 검토	◈ 백운4교(부산) • 『중앙고속도로(제천~원주간) 4차로 확장공사 구조 및 수리계산서(Ⅰ)(최종분) 제16공구(판부~원주) 2000.9』를 참조함. → **검토결과, 바닥판, 거더, 교대, 교각 등에 대한 구조계산 및 검토에 있어 설계조건, 모델링, 설계 및 검토 등 항목별 검토사항은 적정한 것으로 확인됨.** • 『중앙고속도로(제천~원주간) 4차로 확장공사 설계도 제16공구(판부~원주) 2000.9』를 참조함. → **검토결과, 설계도면은 당시 설계기준에 적합하게 작성된 것으로 검토되었으며, 종·평면도, 단면도, 상부 구조물도, 하부 구조물도, 각종 상세도가 적정하게 작성된 것으로 검토됨.**	설계도서 관리 시스템
	◈ 백운4교(춘천) • 『대구~춘천간 고속도로 건설공사 구조도(준공도) 제7공구(Ⅲ-1) 1995.』를 참조함. → **검토결과, 설계도면은 당시 설계기준에 적합하게 작성된 것으로 검토되었으며, 종·평면도, 단면도, 상부 구조물도, 하부 구조물도, 각종 상세도가 적정하게 작성된 것으로 검토됨.**	
시공 관련자료 검토	• 백운4교(부산, 춘천)은 유지관리기관 보관자료와 시설물정보관리종합 시스템(FMS)에 보유자료가 없는 것으로 확인됨.	설계도서 관리 시스템
전회 정밀안전진단 유지관리방안	◈ 백운4교(부산) • 교량받침 A2 Sh1~Sh4 신장여유량 부족 → 신장여유량 부족으로 인한 받침상태 변화 및 주변부재 손상발생 여부	
	◈ 백운4교(춘천) • 갓길측 교면포장 열화(망상균열, 들뜸, 포장파쇄부) 발생부 → 포장열화에 따른 누수·백태의 진전여부 및 2차(강재부식) 손상여부 • Deck Plate 누수(S5) 및 하부플랜지 볼트 부식 발생부 → 보수 후 누수흔적(열화) 진전 및 2차 손상여부 • 교량받침(A1/A2) 최대 신장시 허용변위량 초과 → 최대 신장시(하절기) 받침 가동상태 및 2차 손상여부	

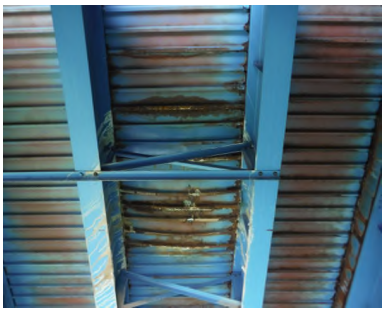
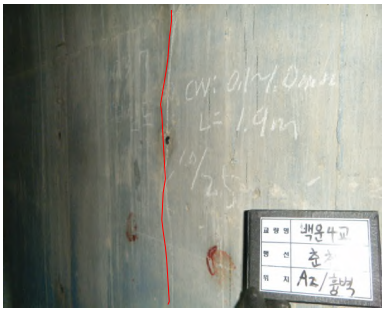
【표 2.37】 백운4교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약(계속)

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>자료분석 결과요약(백운4교(부산))</th><th>비고</th></tr>
<tr><td rowspan="4">사전
답사</td><td>거더</td><td>• 플레이트 거더 및 볼트 부식 및 도장박리
  
→ 손상원인 및 손상의 진전여부 확인</td><td></td></tr>
<tr><td>가로보
세로보
및
브레이싱</td><td>• 가로보, 세로보 및 브레이싱 도장박리 및 부식
  
→ 손상원인 및 손상의 진전여부 확인</td><td></td></tr>
<tr><td>교대
및
교각</td><td>• 교대 및 교각 폭 0.3㎜이상 균열
  
→ 보수여부 및 균열 진전여부 확인</td><td></td></tr>
<tr><td>받침
장치</td><td>• 받침장치 A1 신장여유량 부족부
  
→ 가동여유량 부족에 의한 받침 가동 불량 및 파손 여부 확인</td><td></td></tr>
</table>

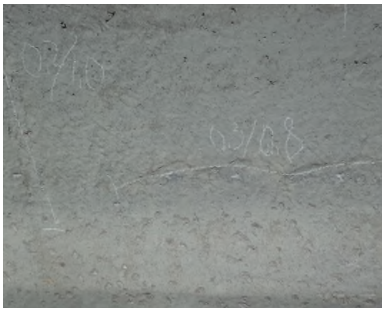
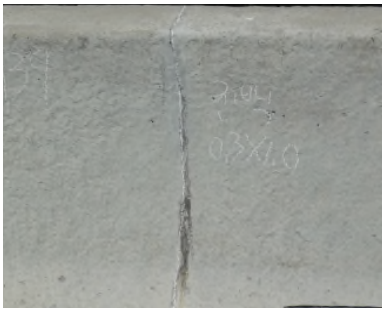
【표 2.38】 백운4교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약(계속)

구 분		자료분석 결과요약(백운4교(부산))	비고
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   **→ 이물질퇴적 발생여부 및 이물질퇴적에 의한 배수불량부 확인**	
	방호 울타리	• 방호벽 및 중앙분리대 균열   **→ 손상 진전여부 및 추가손상 발생여부 확인**	

【표 2.39】 백운4교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약(계속)

구 분		자료분석 결과요약(백운4교(춘천))	비고
사전 답사	바닥판	• 데크플레이트 S5 하면 누수, 백태부   → **데크플레이트 하면 손상 발생여부 및 포장보수 상태 확인**	
	거더	• 플레이트 거더 및 볼트 부식 및 도장박리   → **손상원인 및 손상의 진전여부 확인**	
	교대 및 교각	• 교대 및 교각 폭 0.3㎜이상 균열 및 교대 측방유동 여부 검토   → **보수여부 및 균열 진전여부 확인, 측량을 통한 교대 측방유동 검토**	
	받침 장치	• 받침장치 A1 신장여유량 부족부   → **가동여유량 부족에 의한 받침 가동 불량 및 파손 여부 확인**	

【표 2.40】 백운4교(부산, 춘천) 자료분석 결과요약(계속)

구 분		자료분석 결과요약(백운4교(춘천))	비고
사전 답사	신축 이음 장치	• 신축이음부 토사퇴적 및 강재부식   → 하절기 고온시 유간폐쇄 여부 및 바닥판 하면 누수 여부 확인	
	교면 포장 및 배수 시설	• 길어깨 소성변형 및 들뜸, 배수구 막힘, 덮개 파손   → 포장부 코어채취를 통한 포장 상태 및 방수층 상태 확인	
	방호 울타리	• 방호벽 및 중앙분리대 균열   → 손상 진전여부 및 추가손상 발생여부 확인	
	기타 시설	• 전선관 보호 커버 부식 및 파손   → 하부 보행자 및 차량 위험성 및 재설치 필요성 검토	

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개요
3.2 백운4교(부산) 외관조사
3.3 백운4교(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. 백운4교(부산)

○ 백운4교(부산)은 총연장 310.785m, 총폭 12.6m의 SPG형식의 교량으로서, 강원도 원주시 판부면 금대리에 위치(중앙선 Sta. 303.67km)한다. 평면선형은 R=1,500m인 곡선교이며, 종단경사는 시점(부산측)에서 종점(춘천측)으로 -2.78%의 하향경사를 이루고 있다.

○ 상부구조는 Steel Plate Girder 형식으로 4열로 배열되어 있고, 바닥판은 Deck Plate가 시공되어 있으며,, 2차 부재로 세로보, 가로보 및 브레이싱이 설치되어 있는 5경간 연속교이며, 하부구조는 벽식(중공)교각 4기와 역T형 교대 2기이며, 기초형식은 A1은 강관파일기초, 그 외 직접기초로 시공되었다. 또한 A2/배면은 라멘구간이 10.0m 시공되어 있다.

○ 백운4교(부산)는 1등교(DB-24)로써 2000년도에 준공되어 현재까지 약 16년이 경과되었으며, 최대 경간장이 60.175m인 1종 시설물이다.

나. 백운4교(춘천)

○ 백운4교(춘천)은 총연장 299.421m, 총폭 12.6m의 SPG형식의 교량으로서, 강원도 원주시 판부면 금대리에 위치(중앙선 Sta. 303.70km)한다. 평면선형은 R=1,500m인 곡선교이며, 종단경사는 시점(부산측)에서 종점(춘천측)으로 -2.78%의 하향경사를 이루고 있다.

○ 상부구조는 Steel Plate Girder 형식으로 2열로 배열되어 있고, 바닥판은 Deck Plate가 시공되어 있으며,, 2차 부재로 세로보, 가로보 및 브레이싱이 설치되어 있는 5경간 연속교이며, 하부구조는 벽식(중공)교각 4기와 역T형 교대 2기이며, 기초형식은 A1은 강관파일기초, 그 외 직접기초로 시공되었다.

○ 교각(P2, P3) 코핑 상부는 2009년 내진성능평가 결과에 따라 전단키가 설치되어 있다.

○ 백운4교(춘천)는 1등교(DB-24)로써 1995년도에 준공되어 현재까지 약 21년이 경과되었으며, 최대 경간장이 59.821m인 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 얻기 위함이며, 현장조사는 도보조사, 점검통로, 점검차량 등 접근장비를 이용하여 대상 부위에 가능

한 근접하여 조사를 실시하였다.

현장조사는 정밀 육안관찰을 기본으로 하여 실시하였으며, 필요한 경우 균열게이지, 균열확대경, 줄자 등을 이용하고 카메라, 야장을 이용하여 손상위치 및 현황을 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 실시 등에 관한 지침(국토교통부고시 제2015-467호)』,『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 • 방호벽 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

백운4교는 치악4터널과 금대1터널 간의 골짜기를 연결하는 교량으로 외관조사는 교량 상부 및 교대는 도보를 이용하여 실시하였고, 거더, 바닥판 하면, 교각 코핑부/기둥부, 받침장치 등 접근이 난이한 부재는 교량점검차, 고소점검차, 망원경 및 점검통로를 이용하였다.




도보를 이용한 외관조사




교량점검차를 이용한 외관조사




고소점검차 및 디스코프(망원경)를 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 피복 박리 ▪ 인위적인 큰 단면 손상	▪ 발생 규모 및 위치 ▪ 청음조사 ▪ 부식으로 인한 철근단면 감소 여부
Steel Plate 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 전단파괴	▪ 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 도장 열화 ▪ 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

백운4교의 부재제원 확인을 위해 줄자 및 디스토(거리측정기)를 이용하여 각각의 부재별로 실측을 실시하고 이를 준공도와 비교・검토하여 주요 부재의 규격을 확인하였다.




줄자 및 디스토(거리측정기)를 이용한 부재제원 확인

【표 3.4】 부재제원 확인

구 분				부재제원	실측결과	비 고
백운4교 (부산)	상부 구조	바닥판 B		12.600 m	12.604 m	일치함
		거더	높이 H	3.000 m	3.000 m	일치함
			간격 B	3.600 m	3.598 m	일치함
	하부 구조	교 대 (A1/구체)	폭 B	12.600 m	12.600 m	일치함
			상면 L	1.600 m	1.600 m	일치함
		교 각 (P2/코핑)	폭 B	12.800 m	12.800 m	일치함
			상면 L	3.600 m	3.600 m	일치함
	기타	방호벽	높이 H	1.080 m	1.100 m	유사함
			폭 B	0.450 m	0.450 m	일치함
백운4교 (춘천)	상부 구조	바닥판 B		13.710 m	13.708 m	일치함
		거더	높이 H	4.000 m	4.000 m	일치함
			간격 B	11.700 m	11.698 m	일치함
	하부 구조	교 대 (A1/구체)	폭 B	13.710 m	13.713 m	일치함
			상면 L	1.600 m	1.600 m	일치함
		교 각 (P1/코핑)	폭 B	14.000 m	14.000 m	일치함
			상면 L	3.600 m	3.600 m	일치함
	기타	방호벽	높이 H	0.900 m	1.080 m	단면증설
			폭 B	0.375 m	0.450 m	
측정 결과	▪ 부재 제원의 실측결과, 전반적으로 준공도상의 제원과 일치하였으나 춘천방향의 방호벽은 설계도면의 제원과 실측 제원이 상이한 상태로 공용중 단면증설이 된 것으로 판단되며, 구조계산 시 실측치를 적용토록 한다.					

3.2 백운4교(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 고소점검차를 이용한 근접조사를 실시하였으며, 바닥판하면에서 발생되는 균열, 백태, 누수 및 데크플레이트 부식 등의 손상여부를 중점적으로 조사하였다.



내측 바닥판 전경



외측 바닥판(캔틸레버) 전경

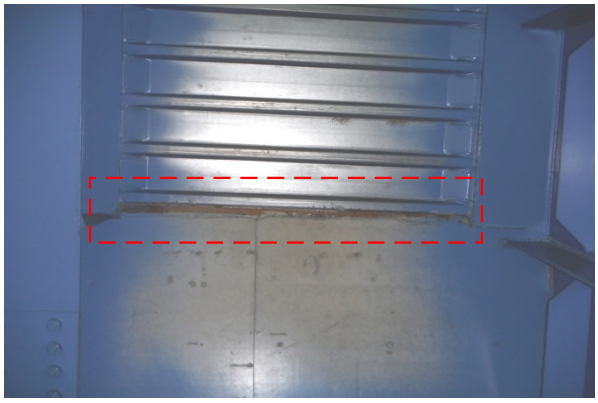
1) 외관조사 결과

바닥판 하면에서 발생된 주요 결함은 균열, 백태, 들뜸, 녹물, 거푸집 미제거 및 잡철근노출의 결함이 경미한 규모로 조사되었으며, 내측 바닥판에 설치된 Deck Plate는 부식이 없는 양호한 상태로 조사되었다. 손상현황은 【표 3.5】과 같다.

【표 3.5】바닥판의 손상현황(부산)

구분	균열 및 백태 폭0.3㎜미만 (m/EA)	들뜸, 백태 및 녹물 (㎡/EA)	거푸집 미제거 (㎡/EA)	잡철근노출 (㎡/EA)
S1	-	-	-	0.03 / 1
S2	-	-	-	-
S3	-	-	-	-
S4	-	-	-	0.03 / 1
S5	0.20 / 1	0.80 / 2	0.45 / 3	-
합계	**0.20 / 1**	**0.80 / 2**	**0.45 / 3**	**0.06 / 2**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S5-A2지점 좌측 캔틸레버
백태균열(Cw=0.2㎜, L=0.2m)</td><td>현 황</td><td>◦ S5-A2지점 바닥판측면
들뜸, 백태 및 녹물 (A=0.70㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦ 수직보강재 응력집중 및 수분접촉</td><td>원 인</td><td>◦ 점검로 설치시 외부충격 및 우수접촉</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦ 표면처리</td><td>대 책</td><td>◦ 단면복구</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S1 우측 캔틸레버하면
잡철근노출 (A=0.03㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ S1 우측 캔틸레버하면
거푸집 미제거 (A=0.15㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦ 시공 시 협재</td><td>원 인</td><td>◦ 시공 시 협재</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦ 제거 및 단면복구</td><td>대 책</td><td>◦ 주의관찰</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S1~S5 바닥판 상면 단면보수 현황(2016년)</td><td>현 황</td><td>◦ S1~S5 재포장 전 방수층 시공 현황(2016년)</td></tr>
<tr><td>평 가</td><td colspan="3">◦ 바닥판 하면의 데크플레이트는 전 구간 부식이 없는 양호한 상태로 누수에 의한 결함은 발생치 않았으며, 바닥판 상면은 단면보수를 실시한 후 재포장(방수층 도포)을 실시하였다.
따라서 본 교량의 바닥판은 양호하며, 누수에 의한 영향은 없는 것으로 판단된다.</td></tr>
</table>

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 균열

발생된 균열은 시공초기 건조수축에 의한 비구조적 균열로 폭0.1mm이하의 미세균열이므로 보수방안보다는 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

② 균열 및 백태

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

③ 들뜸, 백태 및 녹물

점검로 설치 시 외부충격에 의한 들뜸 및 미세균열부 수분접촉에 의한 백태가 발생하였으며, 부분적으로 녹물이 발생한 상태로 철근부식이 우려되므로 내구성 확보를 위해 단면복구가 적합할 것으로 판단된다.

④ 잡철근노출 및 거푸집 미제거

잡철근노출은 시공 시 협재된 철근이 노출되어 발생한 결함으로 구조적인 문제점은 없으나 내구성 확보를 위해 제거 및 단면복구가 적합할 것으로 판단되며, 거푸집 미제거는 시공미흡에 의한 결함으로 내구성 저하 영향은 없는 결함이므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

⑤ 데크플레이트 및 교면 방수층

데크플레이트는 바닥판 누수에 의한 부식의 결함이 없는 양호한 상태이며, 교면 방수층도 양호한 것으로 조사되어 공용기간 증가에 따른 바닥판 누수는 없는 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

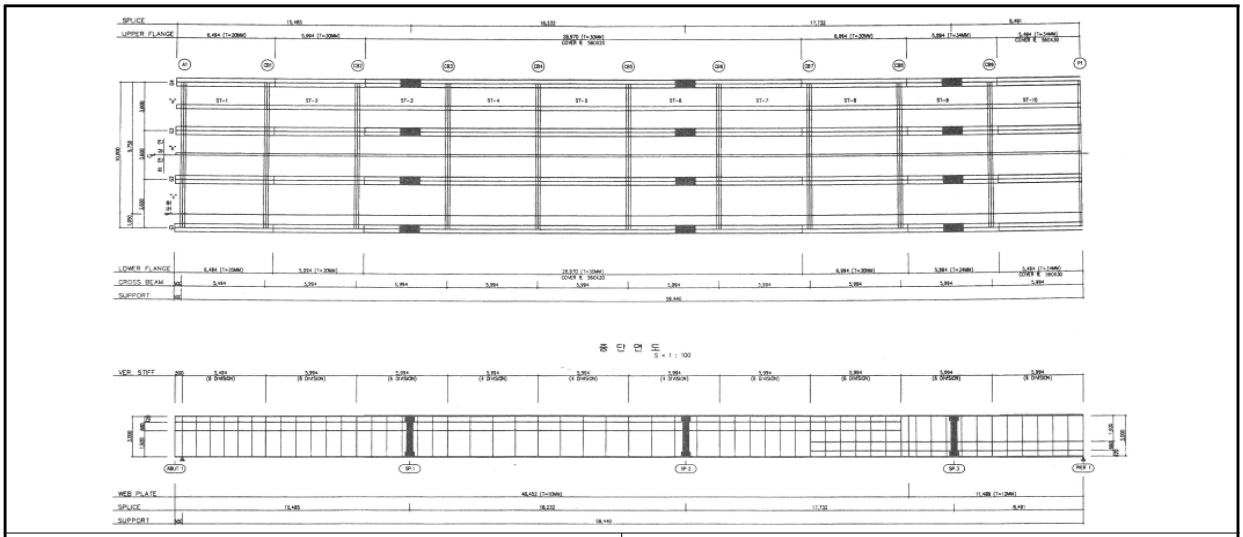
기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 균열, 균열 및 백태, 백태 및 녹물, 거푸집 미제거, 잡철근노출의 결함은 금회 진단 시 상세조사에 의한 신규손상 및 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 데크플레이트는 기 진단과 동일하게 결함이 없는 양호한 상태로 공용기간 증가에 따른 누수 및 노후화는 없는 것으로 판단된다.

【표 3.6】 바닥판의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2011년	2016년		
균열 및 백태	m	-	0.20	+ 0.20	• 상세조사에 의한 신규손상
들뜸, 백태 및 녹물	㎡	0.70	0.80	+ 0.10	• 상세조사에 의한 추가손상
거푸집 미제거	㎡	-	0.45	+ 0.45	• 상세조사에 의한 신규손상
잡철근노출	㎡	-	0.06	+ 0.06	• 상세조사에 의한 신규손상

나. 거더

바닥판으로부터 전달되는 하중을 지지하고 교량받침을 통하여 하부구조로 하중을 전달해 주는 역할을 하는 거더는 최소단면으로 큰 강성을 갖을 수 있는 Steel Plate Girder 형식의 4열로 시공되었으며, 조사방법은 점검로 및 교량점검차를 이용한 근접조사를 실시하였다.





거더 전경



거더 현장이음부 전경

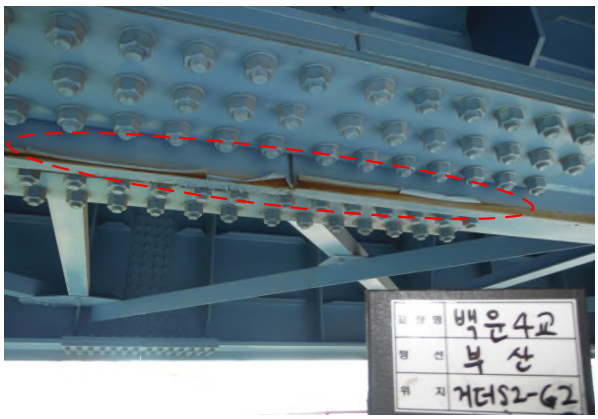
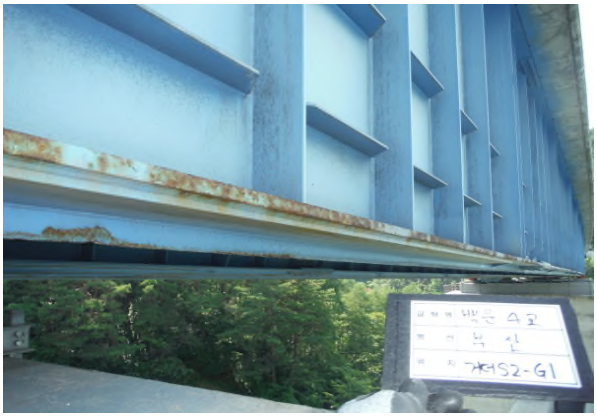
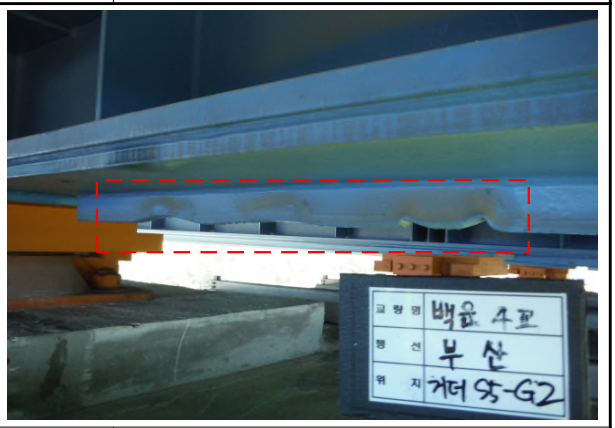
1) 외관조사 결과

거더에 대한 현장조사 결과, 도장박리, 부식, 볼트부식 및 변형의 결함이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.7】과 같다.

【표 3.7】 거더의 손상현황(부산)

구분	도장박리 (㎡/EA)	부식 (㎡/EA)	볼트부식 (㎡/EA)	변형 (m/EA)
S1	0.07 / 3	2.67 / 19	0.60 / 1	-
S2	0.67 / 4	9.42 / 38	1.20 / 1	0.60 / 3
S3	1.16 / 3	13.46 / 35	-	-
S4	1.50 / 1	21.90 / 23	-	-
S5	1.04 / 6	22.88 / 27	-	1.00 / 1
합계	**4.44 / 17**	**70.33 / 142**	**1.80 / 2**	**1.60 / 4**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ S3-G3-LF 도장박리(A=0.15㎡)
원 인 ◦ 공용장기화에 따른 도장열화
대 책 ◦ 도장보수</td><td>현 황 ◦ S2-G2-LF 도장박리(A=0.20㎡)
원 인 ◦ 공용장기화에 따른 도장열화
대 책 ◦ 도장보수</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ S2-G1-LF 부식(A=5.00㎡)
원 인 ◦ 공용장기화 및 우수접촉
대 책 ◦ 도장보수</td><td>현 황 ◦ S5-G4-LF 부식(A=0.10㎡)
원 인 ◦ 공용장기화 및 우수접촉
대 책 ◦ 도장보수</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ S1-G1-SP3 볼트부식(A=5.00㎡)
원 인 ◦ 공용장기화 및 우수접촉
대 책 ◦ 도장보수</td><td>현 황 ◦ S5-G2-P4지점 강재 변형(L=1.0m)
원 인 ◦ 설치과정에 따른 인위적 변형
대 책 ◦ 주의관찰</td></tr>
</table>

3) 원인분석 및 대책방안

① 도장박리

거더에서 발생된 도장박리는 공용장기화에 따른 도장열화가 원인으로 판단되며, 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요할 것으로 판단된다.

② 부식

부식 발생 위치는 대부분 거더/하부플랜지 측면 모서리에서 발생된 결함으로 공용장기화에 따른 도장열화 및 우수접촉 등에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 부식에 따른 단면감소는 없는 것으로 조사되었다. 따라서 내구성 확보를 위한 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

③ 볼트부식

현장이음부는 전반적으로 양호한 상태이나 일부 볼트부식이 발생한 상태로 이는 공용장기화에 따른 도장열화 및 우수접촉에 의한 결함으로 판단되며, 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

④ 변형

거더에서 발생된 변형은 하부플랜지에서 발생된 결함으로 이는 거더 설치시 현장가이드 및 롤러 설치 등의 시공 시 인위적으로 발생된 결함으로 손상규모가 미소하여 구조적인 문제점은 없으므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

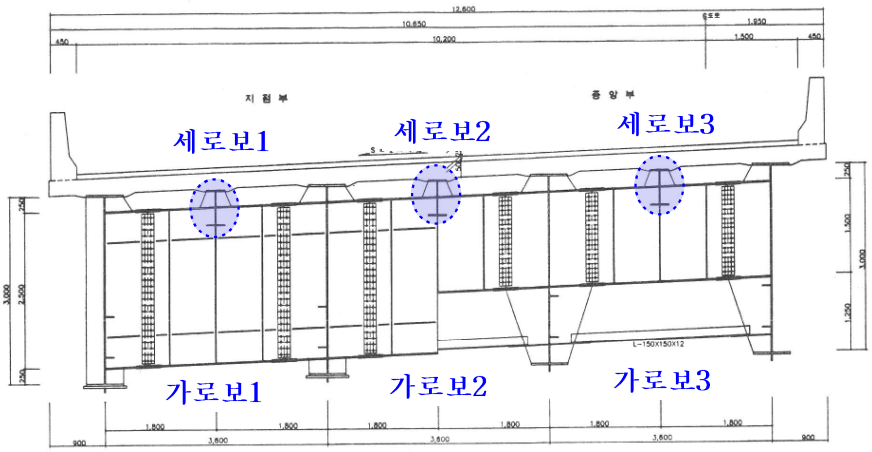
기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 도장박리, 부식, 볼트부식의 결함은 공용기간 증가에 따른 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 강재변형도 상세조사에 의한 추가손상이 조사되어 손상물량이 증가된 것으로 평가되었다.

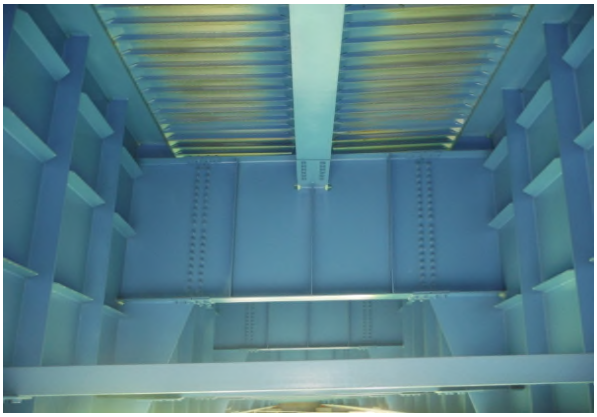
【표 3.8】 거더의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2011년	2016년		
도장박리	㎡	3.21	4.44	+ 1.23	• 공용중 발생된 추가손상
부식	㎡	50.36	70.33	+ 19.97	• 공용중 발생된 추가손상
볼트부식	㎡	-	1.80	+ 1.80	• 공용중 발생된 신규손상
변형	m	1.20	1.60	+ 0.40	• 상세조사에 의한 추가손상

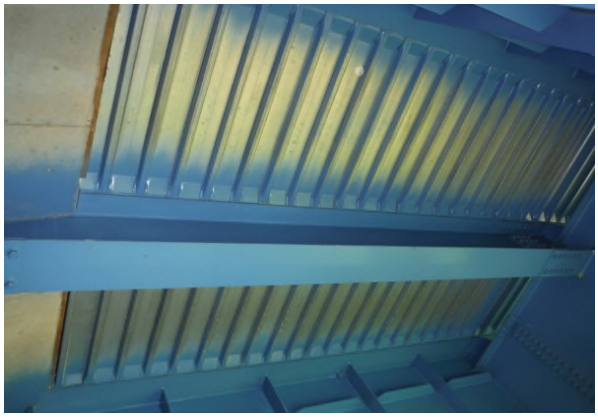
다. 가로보 및 세로보

공용기간중 거더의 횡변형을 방지해주며, 상부에 작용하는 하중을 분배시켜주는 역할을 하는 가로보 및 세로보는 강재로 시공되어 있다.





가로보 전경



세로보 전경

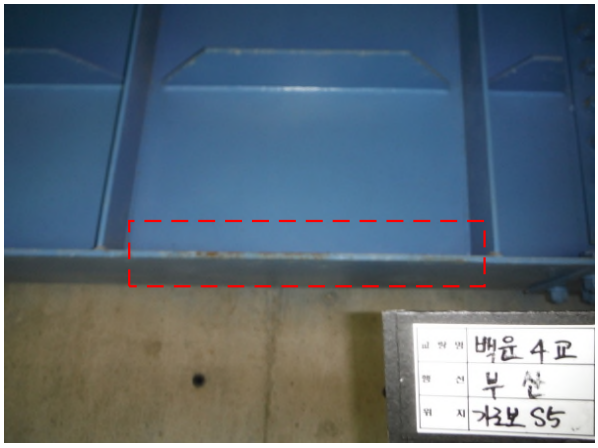
1) 현장조사 결과

현장조사 결과, 가로보에서 일부 경미한 부식이 발생하였고, 세로보는 결함이 없는 양호한 상태로 조사되었다. 손상현황은 【표 3.9】과 같다.

【표 3.9】가로보 및 세로보의 손상현황(부산)

구분	가로보 부식(㎡/EA)	세로보
S1	-	-
S2	0.03 / 1	-
S3	-	-
S4	-	-
S5	0.10 / 2	-
합계	**0.13 / 3**	-

2) 손상별 현황

			
현 황	◦ S2-G3~G4-CB11/A2측 부식(A=0.03㎡)	**현 황**	◦ S5-G1~G2-CB51/A1측 부식(A=0.10㎡)
원 인	◦ 공용장기화에 따른 도장열화	**원 인**	◦ 공용장기화에 따른 도장열화
대 책	◦ 도장보수	**대 책**	◦ 도장보수

3) 원인분석 및 대책방안

① 볼트연결 상태

가로보 및 세로보의 볼트연결 상태는 양호하며, 강재도 변형이나 단면 결함이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

② 부식

가로보에서 일부 부식이 조사되었으며, 이는 하부플랜지 모서리에서 공용장기화에 따른 도장열화에 의해 발생된 결함으로 손상규모는 경미하나 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

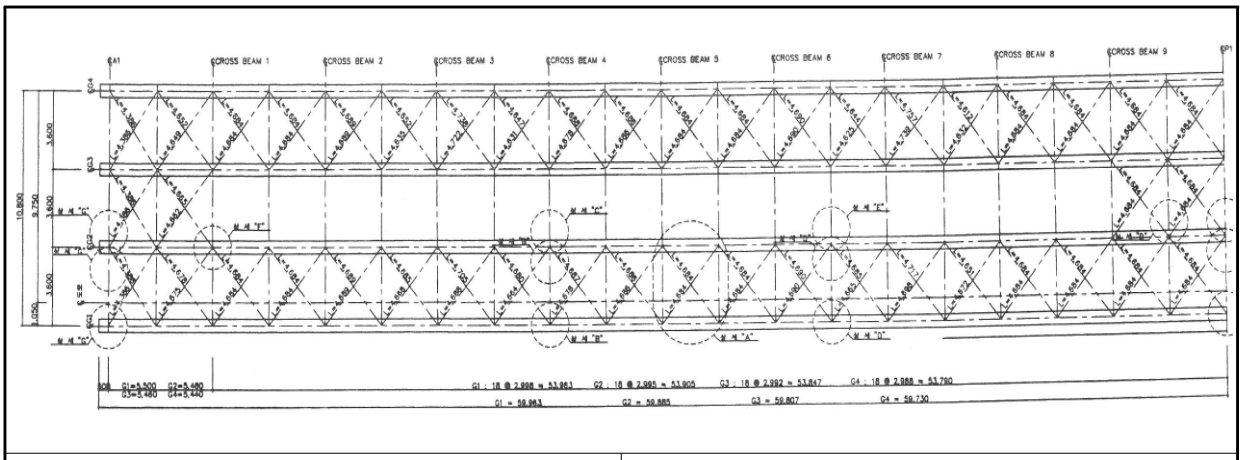
기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 가로보에서 부식이 공용기간 증가에 따른 신규손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 세로보는 결함이 없는 양호한 상태로 공용기간 증가에 따른 노후화 및 결함은 없는 것으로 평가되었다.

【표 3.10】 가로보 및 세로보의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2011년	2016년		
부식	㎡	-	0.13	+ 0.13	● 공용중 발생된 신규손상

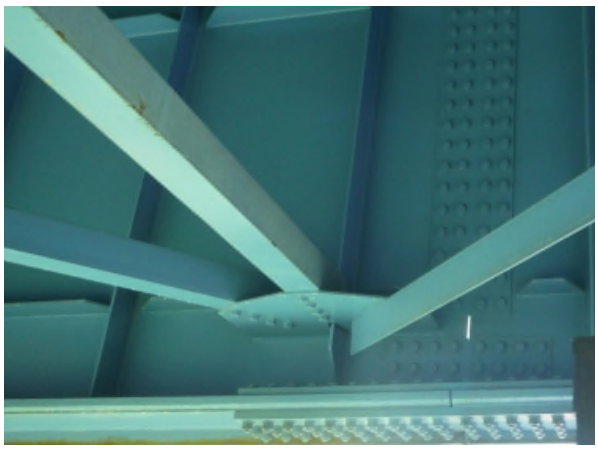
라. 브레이싱

가로보와 병행하여 공용기간중 거더의 횡변형을 방지시켜주는 역할을 하는 브레이싱은 L형강으로 거더 측면에 용접이음된 연결판(Gusset)과 볼트로 연결되어 있다.





브레이싱 전경



연결판(Gusset) 전경

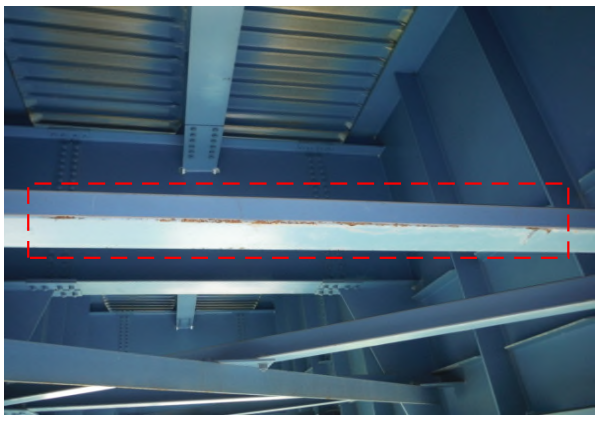
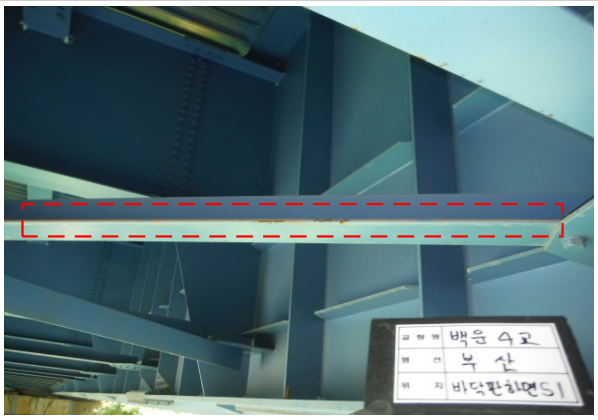
1) 현장조사 결과

현장조사 결과, 볼트연결 상태는 양호하나 국부적으로 도장박리 및 부식이 조사되었다. 손상현황은 【표 3.11】과 같다.

【표 3.11】브레이싱의 손상현황(부산)

구분	도장박리 (㎡/EA)	부식 (㎡/EA)
S1	0.01 / 1	0.60 / 10
S2	-	0.22 / 6
S3	-	0.21 / 7
S4	-	1.34 / 14
S5	0.01 / 1	0.82 / 14
합계	**0.02 / 2**	**3.19 / 51**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S5-G2~G3 도장박리(A=0.01㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ S4-G1~G2 부식(A=0.20㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦ 외부 긁힘</td><td>원 인</td><td>◦ 공용장기화에 따른 도장열화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦ 도장보수</td><td>대 책</td><td>◦ 도장보수</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S1-G2~G3 부식(A=0.03㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ S5-G1-RW 연결판 상태양호</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦ 공용장기화에 따른 도장열화</td><td>원 인</td><td>◦ -</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦ 도장보수</td><td>대 책</td><td>◦ 유지관리</td></tr>
</table>

3) 원인분석 및 대책방안

① 도장박리

브레이싱에서 발생된 도장박리는 외부긁힘에 의한 결함으로 판단되며, 손상규모는 경미하나 장기적인 내구성 확보차원에서 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

② 부식

국부적으로 부식이 조사되었으며, 이는 모서리에서 공용장기화에 따른 도장열화에 의해 발생된 결함으로 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 바람직할 것으로 판단된다.

③ 연결판 상태

연결판의 볼트연결 상태는 양호하며, 거더와 연결판의 용접부도 양호한 상태로 거더의 횡변형에 의한 영향은 없는 것으로 조사되었다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 도장박리 및 부식의 결함은 공용기간 증가에 따른 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 연결판은 결함이 없는 양호한 상태로 공용기간 증가에 따른 노후화 및 변형은 없는 것으로 평가되었다.

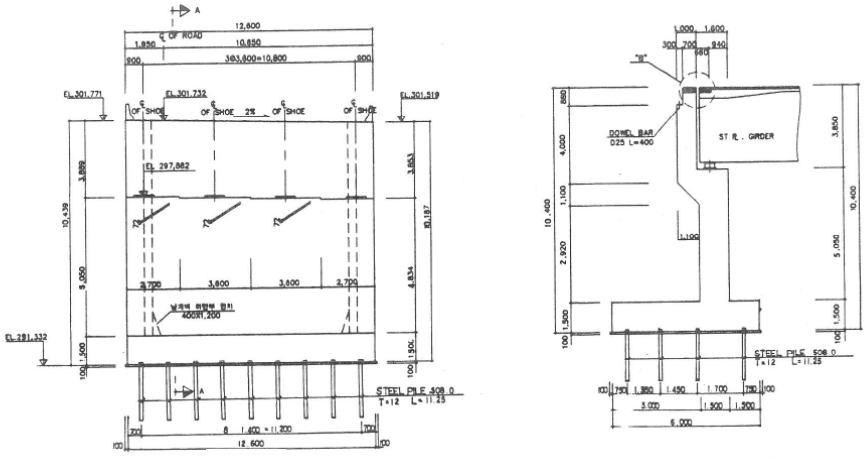
【표 3.12】 브레이싱의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2011년	2016년		
도장박리	㎡	0.01	0.02	+ 0.01	● 공용중 발생된 추가손상
부식	㎡	0.39	3.19	+ 2.80	● 공용중 발생된 추가손상

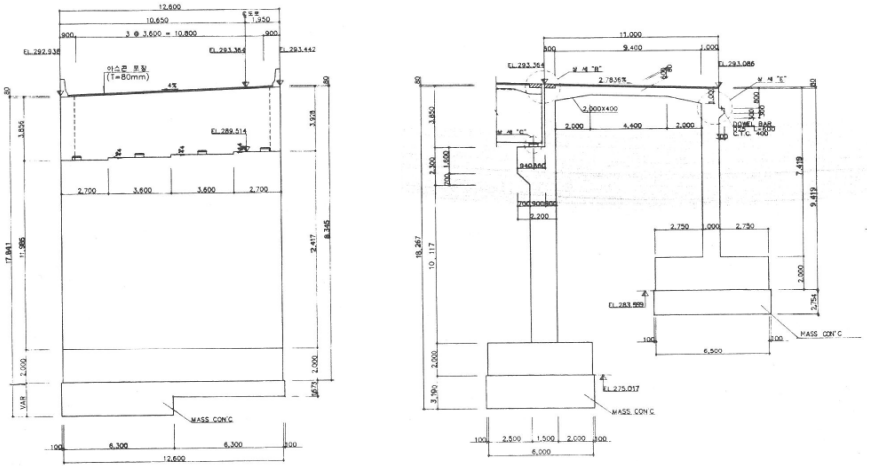
3.2.2 하부구조

가. 교대

본 교량의 교대는 A1, A2 2기로 구성되어 A1은 역T형 교대의 강관파일 기초이며, A2는 라멘형 교대의 확대기초로 시공되어 있다.



< 교대(A1) 일반도 >



< 교대(A2) 일반도 >

	
교대(A1) 전경	교대(A2) 전경

1) 현장조사 결과

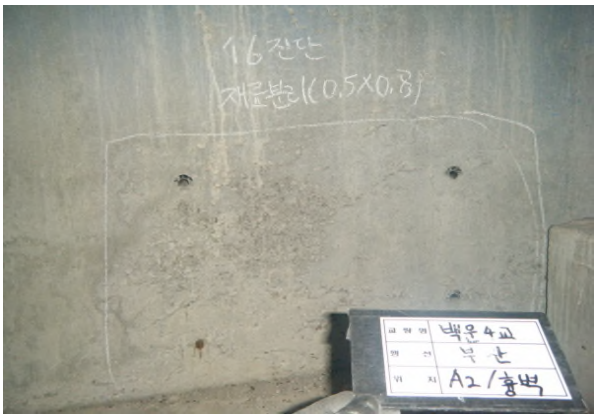
교대의 흉벽 및 구체에 대한 현장조사 결과, 건조수축에 의한 균열, 백태, 단면 손상, 재료분리, 철근노출, 잡철근노출 및 앵커볼트노출, 사면유실의 결함이 조사되었으며, 기초는 노출되지 않은 상태로 손상현황은 【표 3.13】과 같다.

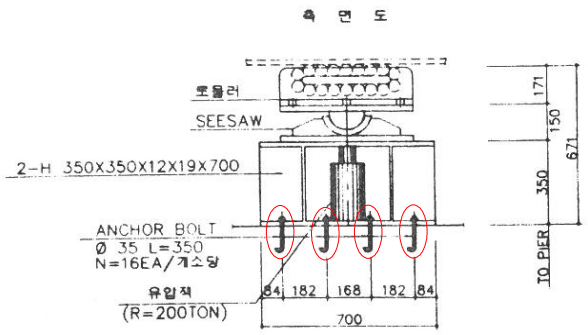
【표 3.13】교대 손상발생 현황(부산)

구분	균열				열화 및 손상
	0.3㎜미만 (m/EA)	0.3㎜미만 및 백태 (m/EA)	0.3㎜이상 및 백태 (m/EA)	균열 및 녹물 (m/EA)	들뜸, 박락, 파손 (㎡/EA)
A1	2.90 / 6	1.50 / 1	3.50 / 1	-	-
A2	12.40 / 14	1.20 / 1	-	3.00 / 1	2.52 / 14
합계	**15.30 / 20**	**2.70 / 2**	**3.50 / 1**	**3.00 / 1**	**2.52 / 14**

구분	열화 및 손상				
	재료분리 (㎡/EA)	철근노출 (㎡/EA)	잡철근노출 (㎡/EA)	앵커볼트노출 (㎡/EA)	사면유실 (㎡/EA)
A1	-	-	-	0.01 / 1	13.00 / 2
A2	0.89 / 3	0.07 / 2	0.29 / 29	0.35 / 35	0.50 / 1
합계	**0.89 / 3**	**0.07 / 2**	**0.29 / 29**	**0.36 / 36**	**13.50 / 3**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ A2/구체 균열(Cw=0.1㎜, L=1.5m)
원 인 ◦ 건조수축
대 책 ◦ 주의관찰</td><td>현 황 ◦ A1/흉벽 균열,백태(Cw=0.3㎜, L=3.5m)
원 인 ◦ 건조수축 및 수분접촉
대 책 ◦ 주입보수</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ A2/라멘 균열,녹물(Cw=0.1㎜, L=3.0m)
원 인 ◦ 미세균열부 우수유입
대 책 ◦ 단면복구</td><td>현 황 ◦ A2/구체 파손(A=0.24㎡)
원 인 ◦ 시공초기 외부충격 및 시공불량
대 책 ◦ 단면복구</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ A2/흉벽 재료분리(A=0.40㎡)
원 인 ◦ 시공미흡
대 책 ◦ 주의관찰</td><td>현 황 ◦ A2/좌측면 철근노출(A=0.04㎡)
원 인 ◦ 피복부족
대 책 ◦ 단면복구 및 방청</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>  </td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ A2/교좌면 앵커볼트노출(A=0.06㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ 현장가이드 및 롤러 설치 개요도</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td colspan="3">◦ 현장가이드 및 롤러 설치시 앵커 제거 후 마감불량</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td colspan="3">◦ 주의관찰</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ A1/압성토 사면유실(A=8.00㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ A2/좌측면 사면유실(A=0.50㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦ 거푸집 홈 마감미흡 및 배면수 유출</td><td>원 인</td><td>◦ 오랜 공용중 지표수에 의한 유실</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦ 거푸집 홈 마감처리(몰탈보수)</td><td>대 책</td><td>◦ 사면 정비</td></tr>
</table>

3) 원인분석 및 대책방안

① 균열

교대에서 조사된 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 건조수축에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 폭 0.3㎜이상의 균열에 대해서는 주입 보수를 실시하고, 폭 0.3㎜미만의 균열은 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다. A1, A2 구체의 기 손상 중 일부는 표면처리가 실시된 것으로 조사되었으며, 보수상태는 양호하다.

② 백태

백태는 미세균열부 틈새로 우수가 유입되어 수산화칼슘 융해에 의해 발생된 결함으로 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

③ 균열 및 녹물

교대(A2) 라멘 좌측면에서 발생된 결함으로 미세균열부로 우수유입에 의한 철근부식이 발생된 것으로 판단되며, 내구성 확보를 위해 단면복구가 필요할 것으로 판단된다.

④ 단면손상

교대(A2)에서 들뜸, 박락, 파손 등의 단면손상이 조사되었으며, 이는 시공초기 외부충격 및 시공미흡에 의한 결함으로 판단되며, 내구성 확보를 위해 단면복구 보수방안이 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 철근노출

철근노출은 피복부족에 의해 발생된 결함으로 교대(A2) 좌측면에서 조사되었으며, 내구성 확보를 위해 단면복구 및 방청 보수가 필요할 것으로 판단된다.

⑦ 잡철근 및 앵커볼트노출

잡철근 노출은 시공 시 협재된 비배근 철근 및 거푸집 결속철근이 노출된 결함으로 내구성 저하 및 단면손상이 없는 상태이며, 앵커볼트노출은 시공시 현장가이드 및 롤러의 기초에 설치된 앵커를 제거 후 마감미흡에 의해 발생된 결함으로 판단된다. 잡철근 및 앵커볼트노출부는 내구성 저하 영향이 미미한 결함이므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

⑧ 사면유실

A1 압성토에서 일부 발생된 사면유실은 구체 거푸집 폼타이 홈을 통해 배면 지하수가 용출되어 발생된 결함으로 향후 추가 유실 방지를 위해 폼타이 홈 몰탈보수가 필요할 것으로 판단되며, A2측 라멘구간에서 발생된 사면유실은 지표수에 의한 결함으로 추가 토사유실 방지를 위해 사면 재정비가 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

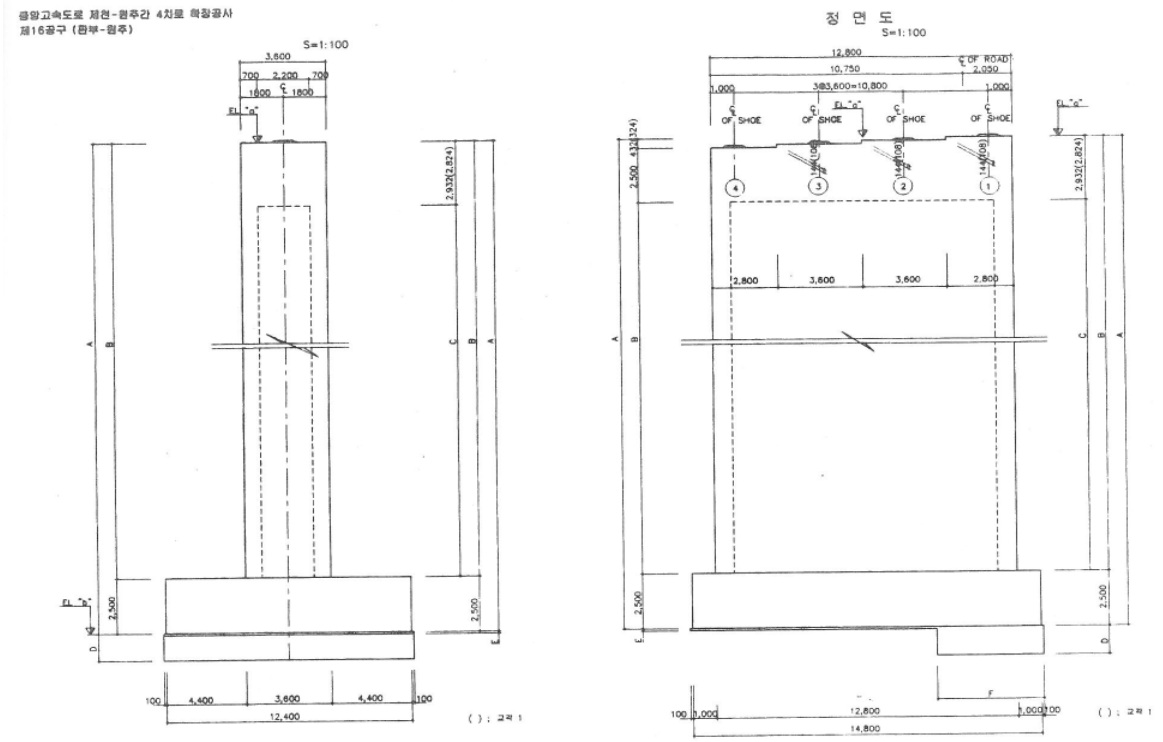
기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 균열(0.3mm미만), 백태, 균열 및 녹물, 단면손상, 재료분리, 잡철근노출, 앵커볼트노출 및 사면유실의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 균열(0.3mm이상)의 결함은 공용중 보수가 완료되어 손상물량이 감소하였으며, 보수상태는 양호한 것으로 평가되었다.

【표 3.14】 교대의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2011년	2016년			
균열(0.3㎜미만)	m	14.00	15.30	+	1.30	● 상세조사에 의한 추가손상
균열(0.3㎜이상)	m	15.90	-	-	15.90	● 공용중 보수완료
균열(0.3㎜미만) 및 백태	m	-	2.70	+	2.70	● 공용중 발생된 신규손상
균열(0.3㎜이상) 및 백태	m	3.50	3.50		-	● 손상변화 없음 (동일손상)
균열 및 녹물	m	-	3.00	+	3.00	● 공용중 발생된 신규손상
들뜸, 박락, 파손	㎡	1.60	2.52	+	0.92	● 공용중 발생된 추가손상
재료분리	㎡	0.80	0.89	+	0.09	● 상세조사에 의한 추가손상
철근노출	㎡	0.05	0.07	+	0.02	● 상세조사에 의한 추가손상
잡철근노출	㎡	-	0.29	+	0.29	● 상세조사에 의한 신규손상
앵커볼트노출	㎡	-	0.36	+	0.36	● 상세조사에 의한 신규손상
사면유실	㎡	-	13.50	+	13.50	● 공용중 발생된 신규손상

나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각은 벽식(중공)으로 되어있으며, 기초는 직접기초로 시공되어 있다. 현장조사는 도보 및 고소점검차를 이용한 근접조사를 실시하였다.





교각 전경(P1)



교각 전경(P3)

1) 현장조사 결과

교각에 대한 현장조사 결과, 건조수축 균열, 백태, 표면불량, 보수재 박리, 재료분리, 단면손상, 잡철근노출, 앵커볼트노출의 결함이 조사되었고, 기존 손상에 대한 일부 표면처리 보수가 실시되었으며, 보수상태는 양호하다. 손상현황은 【표 3.15】과 같다.

【표 3.15】 교각 손상발생 현황(부산)

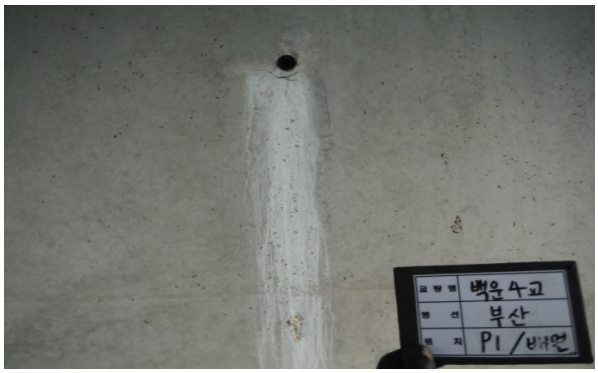
구분	균열(0.3㎜미만) (m/EA)	백태 (㎡/EA)	표면불량 (㎡/EA)	보수재 박리 (㎡/EA)
P1	0.40 / 3	0.24 / 1	0.34 / 3	0.38 / 2
P2	9.40 / 20	-	4.82 / 2	-
P3	4.50 / 10	-	0.32 / 1	-
P4	12.80 / 25	-	-	0.08 / 3
합계	**27.10 / 58**	**0.24 / 1**	**5.48 / 6**	**0.46 / 5**

구분	재료분리 (㎡/EA)	들뜸, 박락, 파손 (㎡/EA)	잡철근노출 (㎡/EA)	앵커볼트노출 (㎡/EA)
P1	0.15 / 1	0.75 / 5	0.28 / 13	0.18 / 18
P2	0.15 / 1	1.08 / 9	0.12 / 3	1.07 / 107
P3	-	-	0.14 / 14	1.14 / 114
P4	-	1.52 / 4	-	1.41 / 141
합계	**0.30 / 2**	**3.35 / 18**	**0.54 / 30**	**3.80 / 380**

2) 손상별 현황



현 황	◦ P2/전면 균열(Cw=0.1㎜ L=0.8m)
원 인	◦ 시공초기 건조수축
대 책	◦ 주의관찰



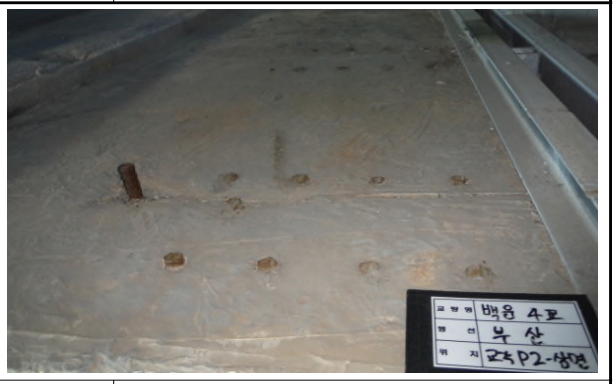
현 황	◦ P1/배면 백태(A=0.24㎡)
원 인	◦ 미세균열부 수분접촉
대 책	◦ 주의관찰



현 황	◦ P2/전면 표면불량(A=4.80㎡)
원 인	◦ 시공불량
대 책	◦ 주의관찰



현 황	◦ P1/우측면 보수재 박리(A=0.02㎡)
원 인	◦ 바탕처리 및 시공불량
대 책	◦ 주의관찰

			
현 황	◦ P1/배면 재료분리(A=0.15㎡)	**현 황**	◦ P1/상면 박락(A=0.48㎡)
원 인	◦ 시공불량	**원 인**	◦ 시공초기 외부충격
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 단면복구
			
현 황	◦ P1/배면 잡철근노출(A=0.02㎡)	**현 황**	◦ P2/상면 앵커볼트노출(A=0.18㎡)
원 인	◦ 시공미흡	**원 인**	◦ 앵커 제거 후 마감불량
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

① 균열

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

② 백태

P1/배면에서 조사된 백태는 미세균열부에 수분이 접촉되어 발생된 결함으로 백태 양상이 시공초기 발생되어 추가 진행은 없는 것으로 판단된다. 따라서 현 상태에서 주의관찰 후 추가 진행 시 표면처리 보수가 바람직할 것으로 판단된다.

③ 표면불량 및 재료분리

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

④ 보수재 박리

교각 상단부는 전체적으로 표면처리 보수가 실시된 상태로 P1, P4에서 일부 보수재 박리가 조사되었으며, 이는 보수 전 바탕처리 및 시공미흡에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 내구성

저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

⑤ 들뜸, 박락, 파손

들뜸, 박락, 파손의 단면손상은 외부충격, 거푸집 제거 시 탈락 등에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 구조적인 영향은 미미하나 장기적인 내구성 확보를 위해 단면복구가 필요할 것으로 판단된다.

⑥ 잡철근 및 앵커볼트노출

잡철근 노출은 시공 시 협재된 비배근 철근 및 거푸집 결속철근이 노출된 결함으로 내구성 저하 및 단면손상이 없는 상태이며, 앵커볼트노출은 시공시 현장가이드 및 롤러의 기초에 설치된 앵커를 제거 후 마감미흡에 의해 발생된 결함으로 판단된다. 잡철근 및 앵커볼트노출부는 내구성 저하 영향이 미미한 결함이므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 균열(0.3mm미만), 백태, 보수재박리, 단면손상, 잡철근노출 및 앵커볼트노출의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 망상균열, 표면불량, 재료분리의 결함은 공용중 보수가 실시되어 손상물량이 감소하였으며, 보수상태는 전반적으로 양호한 것으로 평가되었다.

【표 3.16】 교각의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2011년	2016년			
균열(0.3㎜미만)	m	3.80	27.10	+	23.30	• 상세조사에 의한 추가손상
망상균열	㎡	0.06	-	-	0.06	• 공용중 보수완료
백태	㎡	-	0.24	+	0.24	• 상세조사에 의한 신규손상
표면불량	㎡	104.20	5.48	-	98.72	• 기존손상 보수완료
보수재 박리	㎡	-	0.46	+	0.46	• 공용중 발생된 신규손상
재료분리	㎡	1.91	0.30	-	1.61	• 공용중 일부 보수완료
들뜸, 박락, 파손	㎡	1.19	3.35	+	2.16	• 공용중 발생된 추가손상
잡철근노출	㎡	-	0.54	+	0.54	• 상세조사에 의한 신규손상
앵커볼트노출	㎡	-	3.80	+	3.80	• 상세조사에 의한 신규손상

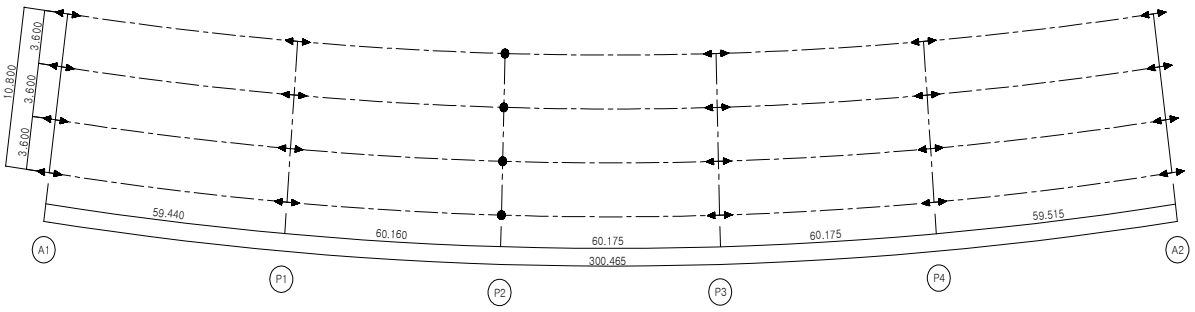
5) 교각의 연직도 측정결과

본 교량은 시공당시 교고가 높아 밀어내기공법(I.L.M)으로 시공된 교량으로 시공중 교각의 변위여부를 확인하기 위하여 광파기를 이용한 교각의 연직도를 측정하였으며, 검토결과 수평변위량은 10mm미만으로 시공중 교각의 변위는 없는 것으로 판단된다.

구분	측정 높이 (mm)	수평변위량 (mm)	기울기	검토결과	비고
P1	22,889	7	1 / 3,269	• 수평변위량은 10mm 미만으로 교각의 연직도는 양호한 상태로 밀어내기공법(I.L.M)에 의한 교각의 변위는 없는 것으로 평가됨	
P2	24,189	8	1 / 3,023		
P3	23,771	6	1 / 3,961		
P4	22,436	8	1 / 2,804		

3.2.3 교량받침

백운4교(부산)의 교량받침은 스페리컬받침으로 일방향 가동단 20개소, 고정단 4개소로 총 24개소 설치되어 있으며, 받침배치 현황은 다음과 같다.



•: 고정단 ↔ : 일방향 가동단



P2-SH2 고정단 전경



P3-SH1 일방향 가동단 전경

가. 받침장치 외관상태 조사결과

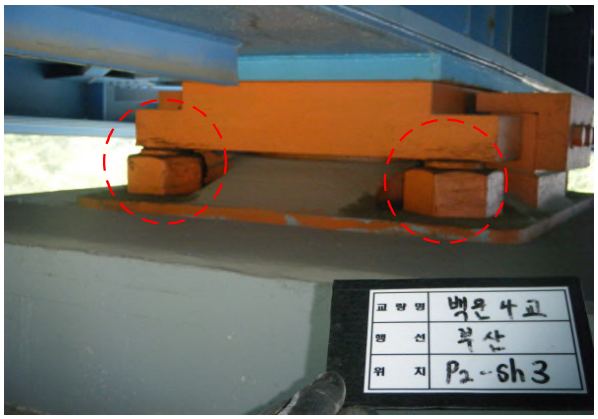
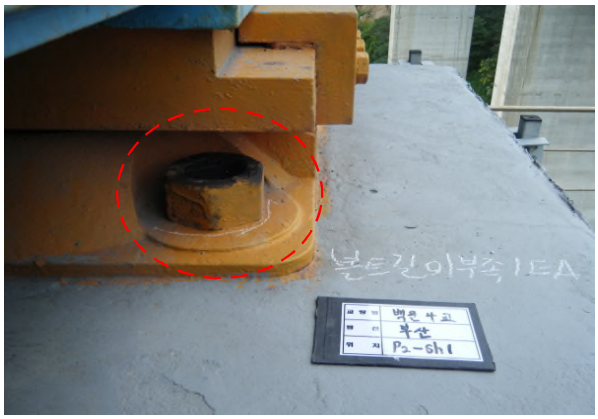
1) 현장조사 결과

받침장치에 대한 현장조사 결과, 받침장치에서 부식, 볼트간섭 및 길이부족과 받침콘크리트에서 균열(0.1㎜), 보수부재균열, 들뜸 및 박리의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.17】와 같다.

【표 3.17】 교량받침의 손상발생 현황(부산)

구분	받침 본체		받침 콘크리트			
	부식 (㎡/EA)	볼트간섭 및 볼트길이부족 (EA)	균열 (0.2mm이하) (m/EA)	보수부재균열 (0.2mm이하) (m/EA)	들뜸 (㎡/EA)	박리 (㎡/EA)
A1	0.24 / 2	-	0.80 / 3	-	0.01 / 1	-
P1	0.80 / 4	-	1.70 / 3	-	-	-
P2	0.57 / 3	5	1.20 / 3	5.50 / 11	-	0.01 / 1
P3	0.70 / 4	-	-	2.50 / 6	-	-
P4	0.62 / 4	-	2.30 / 7	5.80 / 19	0.34 / 1	-
A2	1.18 / 2	-	2.10 / 3	8.50 / 14	0.15 / 1	0.05 / 1
합계	**4.11 / 19**	**5**	**8.10 / 19**	**22.30 / 40**	**0.50 / 3**	**0.06 / 1**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ A2/SH4 본체부식(A=1.00㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ P1/SH1 본체부식(A=0.16㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td colspan="3">◦ 공용장기화에 따른 도장열화 및 외측부 우수접촉</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td colspan="3">◦ 도장보수</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ P2/SH3 볼트간섭(4EA)</td><td>현 황</td><td>◦ P2/SH1 볼트길이부족(1EA)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td colspan="3">◦ 시공불량</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td colspan="3">◦ 고정단이므로 가동량이 없으며, 길이부족에 의한 결함은 없으므로 주의관찰토록 함</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ P4/SH3 균열(Cw=0.1㎜ L=0.3m) 2EA</td><td>현 황</td><td>◦ P1/SH1 재균열(Cw=0.1㎜ L=0.5m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦ 시공초기 건조수축</td><td>원 인</td><td>◦ 보수불량</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦ 주의관찰</td><td>대 책</td><td>◦ 주의관찰</td></tr>
</table>

			
현 황	◦ P4/SH4 몰탈들뜸(A=0.34㎡)	**현 황**	◦ P4/SH1 몰탈박리(A=0.05㎡)
원 인	◦ 시공미흡	**원 인**	◦ 시공초기 외부충격
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

㉠ 받침장치 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 도장보수가 바람직할 것으로 판단된다.

㉡ 볼트간섭 및 볼트길이부족

볼트간섭 4개소와 볼트길이부족 1개소가 조사되었으며, 이는 시공미흡에 의한 결함으로 판단되며, 결함 위치는 교각 P2의 고정단이므로 받침 가동에 미치는 영향이 없는 상태이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

㉢ 받침콘크리트 균열

받침콘크리트 균열은 시공초기 건조수축에 의해 발생된 Cw=0.2㎜이하의 비구조적 균열로 구조물의 안전성 미치는 영향은 없으며, 허용균열폭(0.3mm) 미만이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

㉣ 받침콘크리트 보수부 재균열

받침콘크리트 보수부 재균열은 공용중 표면처리 보수가 실시되었으나 보수미흡에 의해 공용중 재발생된 결함으로 허용균열폭(0.3mm)미만이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

㉤ 받침콘크리트 들뜸 및 박리

받침콘크리트 들뜸은 시공미흡에 의한 결함으로 받침장치의 기능성 및 내구성 저하 영향이 미미한 상태이므로 주의관찰토록 하며, 받침콘크리트 박리는 시공초기 외부충격에 의한 결함으로 손상규모가 경미하며, 내구성 저하 영향이 미미하므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 받침장치 본체 부식은 동일손상으로 손상변화가 없는 상태이며, 받침장치 볼트간섭, 볼트길이부족, 받침콘크리트 보수부 재균열, 들뜸 및 박리의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었고, 받침콘크리트 균열의 결함은 공용중 보수가 실시되어 손상물량이 감소하였으며, 보수상태는 보수부 재균열 부위를 제외하고는 양호한 것으로 조사되었다.

【표 3.18】 받침장치의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용		단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
			2011년	2016년		
받침 본체	본체 부식	㎡	4.11	4.11	-	● 손상변화 없음(동일손상)
	볼트간섭	EA	-	4.00	+ 4.00	● 상세조사에 의한 신규손상
	볼트길이부족	EA	-	1.00	+ 1.00	● 상세조사에 의한 신규손상
받침 콘크 리트	균열(0.3㎜미만)	m	53.30	8.10	- 45.20	● 공용중 일부 보수완료
	균열(0.3㎜이상)	m	22.20	-	- 22.20	● 공용중 보수완료
	보수부 재균열	m	-	22.30	+ 22.30	● 공용중 발생된 재손상
	들뜸	㎡	0.01	0.50	+ 0.49	● 상세조사에 의한 추가손상
	박리	㎡	-	0.06	+ 0.06	● 상세조사에 의한 신규손상

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 최소값과 각 지점별 실측 연단거리를 비교・검토하였다.

1) 최소 연단거리 산정결과

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

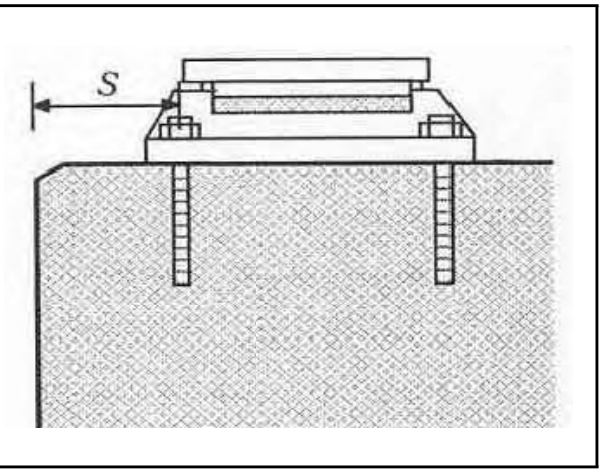
여기서, S : 받침연단거리(㎜), L : 거더의 경간길이(m)

구분	A1	P1		P2		P3		P4		A2
		A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	
경간길이(m)	59.44	59.94	60.16	60.16	60.18	60.18	60.18	60.18	59.52	59.52
최소연단거리(㎜)	497	497	501	501	501	501	501	501	498	498

* 최소연단거리(mm)의 계산값은 소수 첫째 자리에서 반올림하여 수록함

② 연단거리-콘크리트면의 가장자리로부터 가장 가까운 앵커중심까지의 거리





2) 연단거리 검토결과

실측 연단거리와 최소 연단거리를 비교검토한 결과, 전 개소에서 실측 연단거리가 최소 연단거리를 상회하는 것으로 평가되었다.

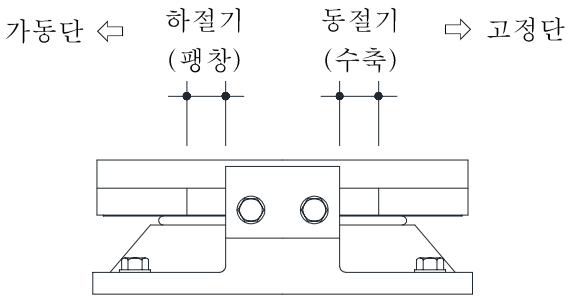
【표 3.19】 연단거리 측정결과(부산)

위치		최소 연단거리 (mm)	실측 연단거리(mm)				검토 결과
			Sh1	Sh2	Sh3	Sh4	
A1		497	755	760	755	755	O.K
P1	A1	497	1495	1510	1450	1525	O.K
	A2	501	1500	1490	1485	1530	O.K
P2	A1	501	1470	1520	1480	1575	O.K
	A2	501	1540	1510	1460	1480	O.K
P3	A1	501	1520	1540	1540	1530	O.K
	A2	501	1520	1500	1530	1530	O.K
P4	A1	501	1510	1490	1370	1510	O.K
	A2	498	1510	1525	1335	1490	O.K
A2		498	740	710	710	710	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 3.20】와 같다.

【표 3.20】교량받침 가동량 평가기준

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>평가
기준</td><td colspan="3">
▣ 온도에 의한 가동량
Δl_t = ⊿T×α×L(신축거더 길이)
⊿T = 온도변화(-20℃～+40℃) → 강교(한랭지방) : 강판형교
α = 선팽창계수(1.2×10^{-5}) → 강교 : 강판형교
※ 한랭지방 적용근거
<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th><th>비 고</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
$\Delta l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$
여기서, h_i : 받침의 회전중심에서 보의 중립축까지의 높이(2h/3)
θ_i : 보의 회전각(강교 1/150)
▣ 계산 가동량 산정
<table>
<tr><td>온도변화 범위</td><td>-20℃～+40℃</td><td>선팽창 계수(α)</td><td>강재:1.2×10^{-5}</td></tr>
<tr><td rowspan="2">점검시 기온(℃)</td><td>1차 (07.11)</td><td colspan="2">28.2℃</td></tr>
<tr><td>2차 (09.28)</td><td colspan="2">21.0℃</td></tr>
<tr><td>온도에 의한 가동량(Δl_t)</td><td colspan="3">Δl_t = ⊿T×α×L</td></tr>
<tr><td>보의 중립축까지 높이2h/3(h_i)</td><td colspan="3">$\frac{2}{3}\times3.000$</td></tr>
<tr><td>보의 회전각(θ_i)</td><td colspan="3">1/150(강합성교)</td></tr>
<tr><td>보의 처짐에 의한 가동량(Δl_r)</td><td colspan="3">$\Delta l_r = \sum(h_i \times \theta_i)$</td></tr>
</table>
<table>
<tr><td rowspan="2">신축거더길이(L)
(m)</td><td>A1</td><td>P1</td><td>P2</td><td>P3</td><td>P4</td><td>A2</td></tr>
<tr><td>119.60</td><td>60.16</td><td>고정단</td><td>60.18</td><td>120.36</td><td>179.88</td></tr>
</table>
※ 처짐에 의한 신축량은 팽창시만 고려하여 계산
</td></tr>
</table>

1) 온도변화에 따른 받침 신축거동상태 검토결과

교량받침의 이동량은 2회(1차: 28.2℃(07월11일), 2차: 21.0℃(09월28일))에 걸쳐 측정하였으며, 변동량 측정결과는 【표 3.21】과 같이 실측치와 이론치가 유사하게 검토되었다. 따라서 본 교량받침의 온도변화에 따른 신축거동상태는 양호한 것으로 판단된다.

【표 3.21】계산가동량 산정결과(부산)

구 분		실측 이동량(mm)		변동량(mm)		비고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	45 (A1)	35 (A1)	10	10	양호
	Sh2	46 (A1)	35 (A1)	11		
	Sh3	43 (A1)	30 (A1)	13		
	Sh4	40 (A1)	25 (A1)	15		
P1	Sh1	33 (A2)	38 (A2)	5	5	양호
	Sh2	28 (A2)	35 (A2)	7		
	Sh3	35 (A2)	43 (A2)	8		
	Sh4	33 (A2)	41 (A2)	8		
P2	-	고 정 단				
P3	Sh1	13 (A2)	10 (A2)	3	5	양호
	Sh2	6 (A2)	4 (A2)	2		
	Sh3	21 (A2)	18 (A2)	3		
	Sh4	50 (A2)	45 (A2)	5		
P4	Sh1	30 (A2)	22 (A2)	8	10	양호
	Sh2	45 (A2)	40 (A2)	5		
	Sh3	20 (A2)	12 (A2)	8		
	Sh4	8 (A2)	2 (A2)	6		
A2	Sh1	80 (A2)	63 (A2)	17	15	양호
	Sh2	77 (A2)	60 (A2)	17		
	Sh3	65 (A2)	50 (A2)	15		
	Sh4	50 (A2)	35 (A2)	15		

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 교각 연속부는 온도변화에 의한 가동량만 고려하며, 교대 단부는 온도변화 및 활하중에 의한 처짐을 고려하여 검토하였다.

【표 3.22】 계산가동량 산정결과(부산)

구분	위치	측정시 온도 (℃)	온도변화(Δlt)		선팽창 계수	신축거더 길이 (m)	처짐(Δlr) (㎜)	계산 가동량(㎜)	
			동절기	하절기				동절기 (최대수축시)	하절기 (최대팽창시)
A1	1차	28.2	69	17	1.2×10^{-5}	119.6	13	69	30
	2차	21.0	59	27	1.2×10^{-5}	119.6	13	59	40
P1	1차	28.2	35	9	1.2×10^{-5}	60.16	-	35	9
	2차	21.0	30	14	1.2×10^{-5}	60.16	-	30	14
P2		고 정 단							
P3	1차	28.2	35	9	1.2×10^{-5}	60.18	-	35	9
	2차	21.0	30	14	1.2×10^{-5}	60.18	-	30	14
P4	1차	28.2	69	17	1.2×10^{-5}	120.36	-	69	17
	2차	21.0	59	27	1.2×10^{-5}	120.36	-	59	27
A2	1차	28.2	104	26	1.2×10^{-5}	179.88	13	104	39
	2차	21.0	89	41	1.2×10^{-5}	179.88	13	89	54

※ 처짐에 의한 신축량은 교대(A1, A2) 단부에서 팽창시에만 고려하며, 교각(연속부)은 고려하지 않음

3) 교량받침 가동여유량 검토결과

받침장치 가동량을 실측하여 계산가동량과 비교 검토한 결과, A2를 제외한 전 개소에서 실측여유량이 계산가동량을 상회하는 것으로 검토되었다.

【표 3.23】 교량받침 가동여유량 검토결과(부산)

구 분		최대 수축시 가동량 검토(mm)						최대 팽창시 가동량 검토(mm)					
		1차 측정(07.11)			2차 측정(09.28)			1차 측정(07.11)			2차 측정(09.28)		
		①	②	평가	①	②	평가	①	②	평가	①	②	평가
A1	Sh1	125	69	O.K	115	59	O.K	35	30	O.K	45	40	O.K
	Sh2	126		O.K	115		O.K	34		O.K	45		O.K
	Sh3	123		O.K	110		O.K	37		O.K	50		O.K
	Sh4	120		O.K	105		O.K	40		O.K	55		O.K
P1	Sh1	50	35	O.K	45	30	O.K	115	9	O.K	120	14	O.K
	Sh2	55		O.K	48		O.K	110		O.K	117		O.K
	Sh3	48		O.K	40		O.K	117		O.K	125		O.K
	Sh4	50		O.K	42		O.K	115		O.K	123		O.K
P2		고 정 단											
P3	Sh1	95	35	O.K	92	30	O.K	70	9	O.K	73	14	O.K
	Sh2	88		O.K	86		O.K	77		O.K	79		O.K
	Sh3	103		O.K	100		O.K	62		O.K	65		O.K
	Sh4	132		O.K	127		O.K	33		O.K	38		O.K
P4	Sh1	115	69	O.K	107	59	O.K	55	17	O.K	63	27	O.K
	Sh2	130		O.K	125		O.K	40		O.K	45		O.K
	Sh3	105		O.K	97		O.K	65		O.K	73		O.K
	Sh4	93		O.K	87		O.K	77		O.K	83		O.K
A2	Sh1	160	104	O.K	143	89	O.K	0	39	N.G	17	54	N.G
	Sh2	157		O.K	140		O.K	3		N.G	20		N.G
	Sh3	145		O.K	130		O.K	15		N.G	30		N.G
	Sh4	130		O.K	115		O.K	30		N.G	45		N.G

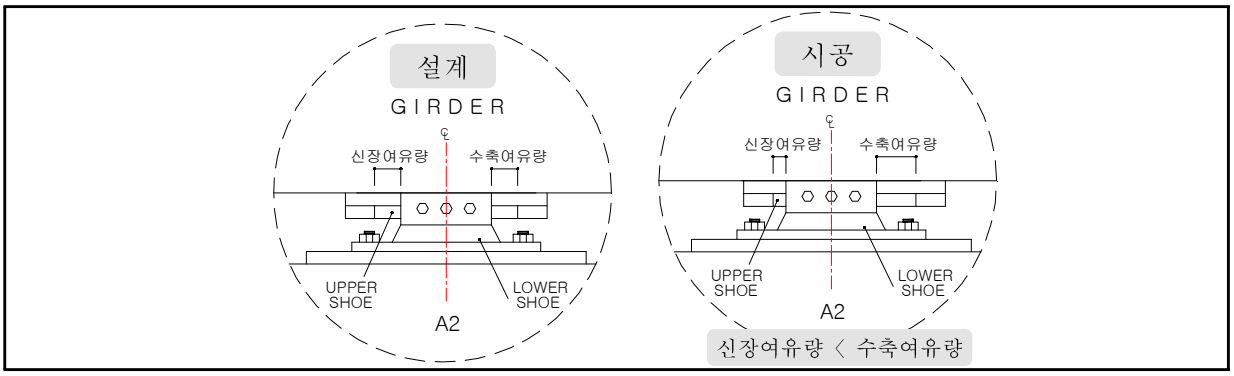
① : 실측여유량, ② : 계산가동량

4) A2측 교량받침 가동여유량 부족 원인 검토결과

A2측 받침장치의 가동여유량 부족 원인에 대한 검토결과는 다음과 같다.

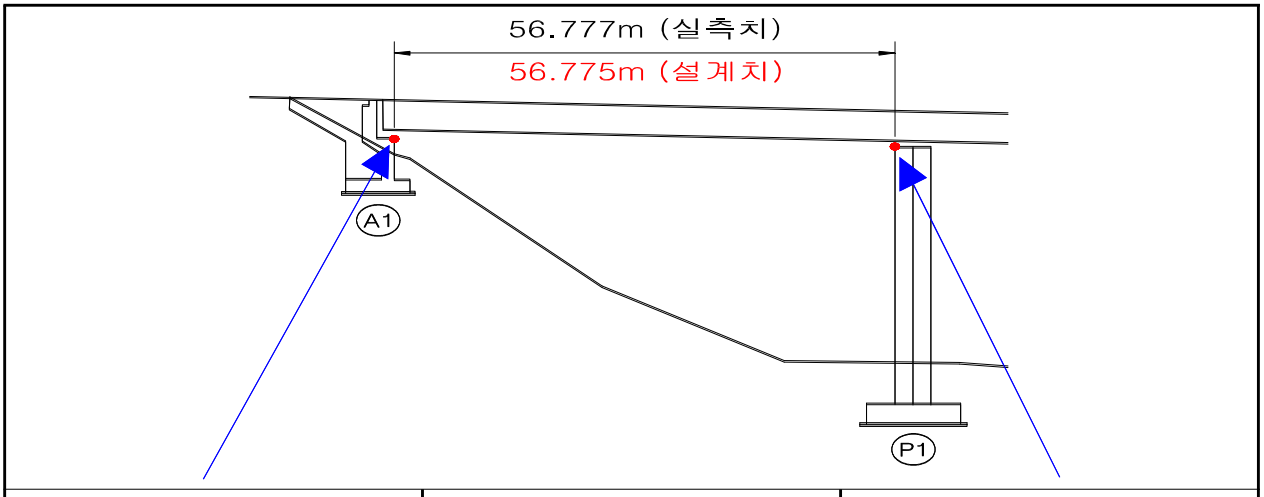
① 기 진단(2011년도) 시 검토결과

A2측 받침장치 가동여유량 부족은 기 진단(2011년도) 시에도 동일하게 조사된 결함으로 주요 원인은 Upper Shoe가 시공당시 온도에 따른 가동량 계산의 오류로 인해 적절한 위치에 설치되지 않은 것으로 검토되었다.



② 측량에 의한 교대변위 여부 검토결과

광파기 측량을 통해 교대(A2)와 교각(P4)의 거리를 측정할 결과, 실측치는 56.777m이며, 설계치는 56.775m로 +0.002m의 미소한 오차로 교대변위는 없는 것으로 검토되었다.





교대(A2) 측량점 표기현황



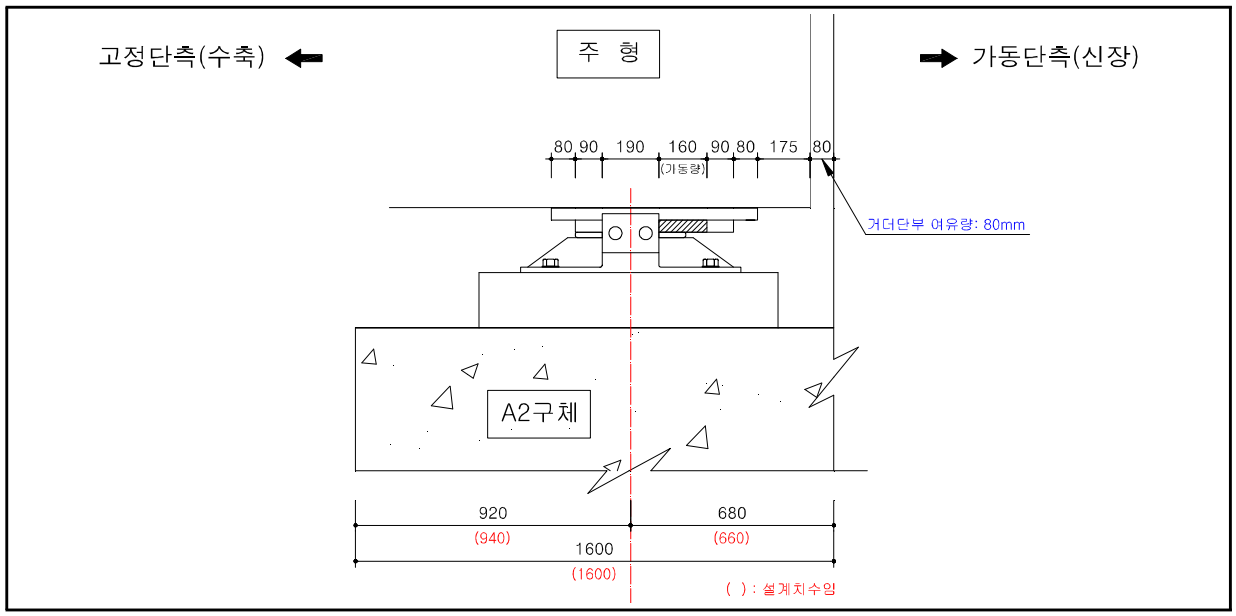
광파기 측량 현황



교각(P4) 측량점 표기현황

③ 받침장치 제원 검토결과

A2-SH1에 대한 받침장치 제원 검토결과, 받침장치 중심은 교대(A2) 흉벽에서 660mm에 설계되어 있으나 실측치는 680mm로 측정되어 20mm 고정단측으로 시공된 것으로 검토되었다.



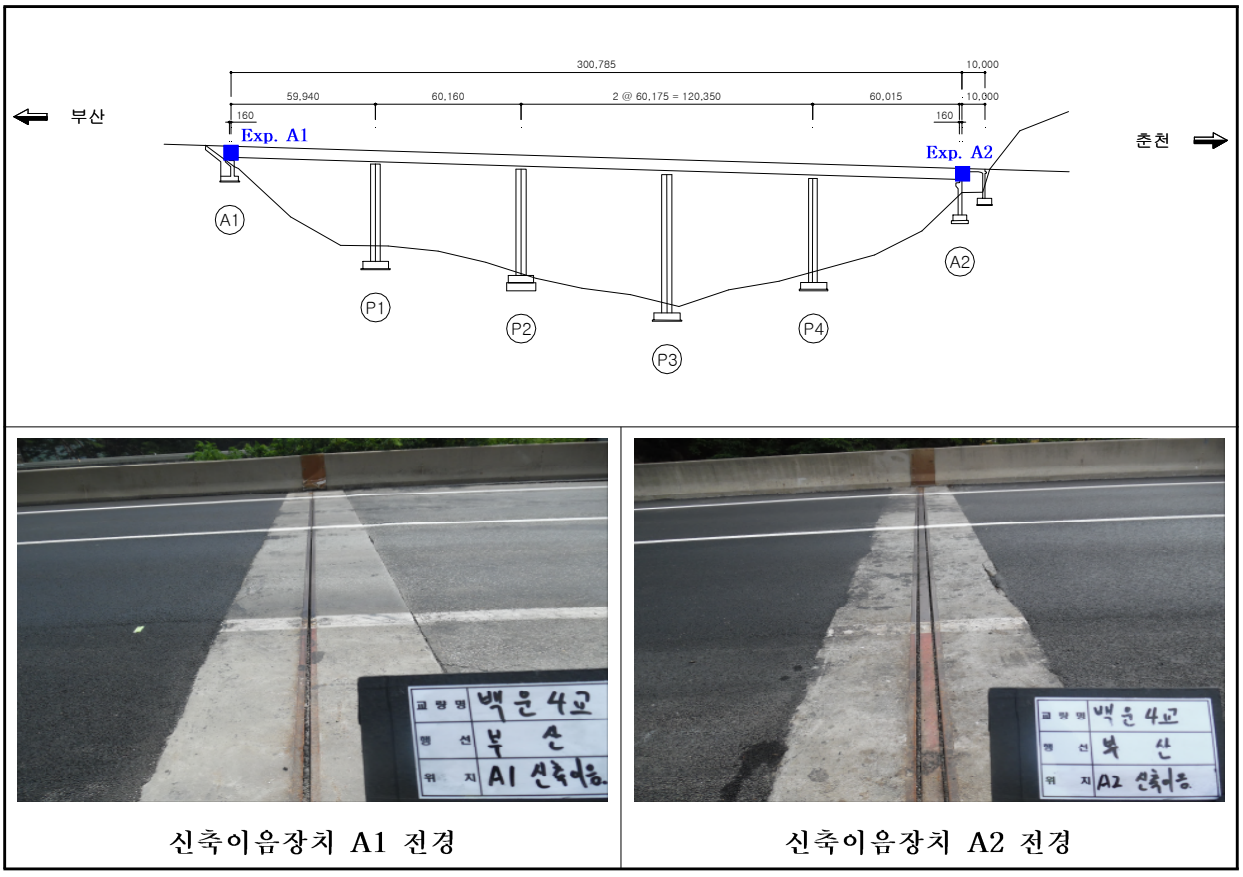
【그림 3.1】 A2-SH1 제원 실측 개요도

④ 결론

교대(A2)측의 받침장치 가동여유량 부족의 원인은 시공초기 받침배치 및 Upper Shoe 시공오류에 의해 발생된 것으로 판단되며, 현장조사 시 거더 단부는 【그림 3.1】과 같이 80mm의 가동 여유량을 확보하고 있고, 가동여유량 부족에 의한 구조적인 결함이나 교량 신축거동에 문제가 될만한 손상은 관찰되지 않으므로 보수방안보다는 현 상태에서 주의관찰토록 하며, 향후 받침 교체 계획 시 온도변화량을 고려하여 교체하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3.2.4 신축이음장치

신축이음은 A1, A2지점부에 Rail Joint형식으로 2개소 설치되어 있으며, 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.



신축이음장치 A1 전경 신축이음장치 A2 전경

【그림 3.2】 백운4교(부산) 신축이음 배치도

가. 신축이음장치 외관상태 조사결과

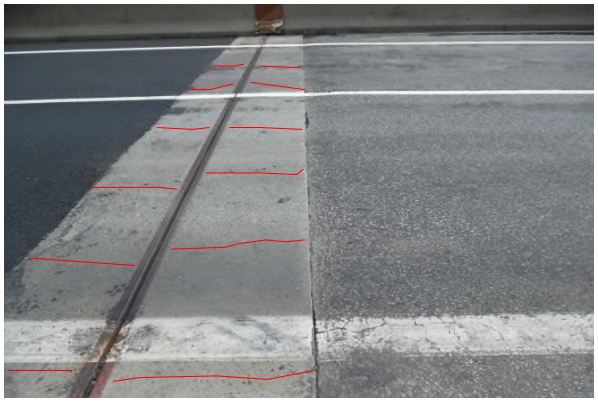
1) 현장조사 결과

신축이음 현장조사 결과, 본체 부식 및 토사퇴적, 후타재 균열(0.3㎜미만), 망상균열, 파손, 덮개판 길이부족 및 변형의 결함이 조사되었으며, 손상 현황은 【표 3.24】와 같다.

【표 3.24】 신축이음 손상 발생 현황(부산)

구분	본체		후타재			덮개판	
	부식	토사퇴적	균열0.3㎜미만	망상균열	파손	길이부족	변형
	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(m/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(EA)	(EA)
A1	0.47 / 2	0.60 / 2	13.40 / 27	-	0.30 / 1	1	1
A2	0.48 / 3	0.43 / 2	14.10 / 28	0.60 / 1	0.11 / 1	1	-
합계	**0.95 / 5**	**1.03 / 4**	**27.50 / 55**	**0.60 / 1**	**0.41 / 2**	**2**	**1**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ A2 신축이음 본체부식(A=0.15㎡)
원 인 ◦ 우수접촉
대 책 ◦ 주의관찰</td><td>현 황 ◦ A1 신축이음 토사퇴적(A=0.28㎡)
원 인 ◦ 공용중 우수 등에 의해 퇴적
대 책 ◦ 청소</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ A1 신축이음 후타재균열(Cw=0.2㎜)
: 0.50m~0.70m 간격으로 발생
원 인 ◦ 건조수축 및 차량반복 하중
대 책 ◦ 표면처리</td><td>현 황 ◦ A2 신축이음 후타재파손
(A=0.11㎡)
원 인 ◦ 재포장 시 외부충격 및 중차량통행
대 책 ◦ 단면복구</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ A1 신축이음 덮개판 길이부족(1EA)
원 인 ◦ 인위적 절단
대 책 ◦ 주의관찰</td><td>현 황 ◦ A1 신축이음 덮개판 변형(1EA)
원 인 ◦ 외부충격
대 책 ◦ 주의관찰</td></tr>
</table>

3) 원인분석 및 대책방안

① 본체부식

신축이음 본체부식은 오랜 공용중 우수접촉 및 체수에 의해 발생된 손상으로 부식에 의한 기능 저하 영향은 없기에 보수방안보다는 현 상태에서 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

② 토사퇴적

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

③ 후타재 균열 및 파손

후타재균열은 공용중 차량반복 하중에 의해 발생된 결함으로 신축이음장치의 신축 거동에 미치는 영향은 없으나 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 표면처리가 필요할 것으로 판단되며, 파손은 재포장 시 장비에 의한 외부충격 및 중차량 통행에 의해 발생된 결함으로 통행차량의 안전성 확보를 위해 단면복구가 필요할 것으로 판단된다.

④ 덮개판 길이부족 및 변형

덮개판 길이부족은 설치 후 인위적으로 절단된 상태로 차수기능에 문제점은 없는 상태이므로 주의관찰토록 하며, 덮개판 변형은 공용중 청소차량 등에 의한 외부충격이 원인으로 판단되며, 차수기능상의 문제점은 없으므로 주의관찰토록 하며 향후 신축이음 교체 시 보수하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 신축이음 본체 부식, 토사퇴적, 후타재 망상균열, 덮개판 길이부족 및 변형의 결함은 동일손상으로 손상변화가 없는 상태이며, 후타재 균열 및 파손의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

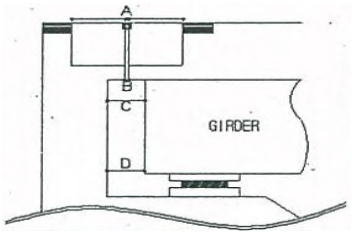
【표 3.25】 신축이음장치의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용		단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
			2011년	2016년		
신축이음	본체 부식	㎡	0.95	0.95	-	● 손상변화 없음(동일손상)
	토사퇴적	㎡	1.03	1.03	-	● 손상변화 없음(동일손상)
후타재	균열(0.3㎜미만)	m	27.10	27.50	+ 0.40	● 상세조사에 의한 추가손상
	망상균열	㎡	0.60	0.60	-	● 손상변화 없음(동일손상)
	파손	㎡	-	0.41	+ 0.41	● 공용중 발생된 신규손상
덮개판	길이부족	EA	2	2	-	● 손상변화 없음(동일손상)
	변형	EA	1	1	-	● 손상변화 없음(동일손상)

나. 신축이음장치 거동상태 검토결과

1) 계산 신축량 산정방법

【표 3.26】 계산 신축량 산정

<table>
<tr><td rowspan="4"> 
</td><td rowspan="2">A1</td><td>1차</td><td>2016년 7월 13일</td><td>26.3℃</td><td rowspan="4">원주기상대</td></tr>
<tr><td>2차</td><td>2016년 9월 28일</td><td>21.0℃</td></tr>
<tr><td rowspan="2">A2</td><td>1차</td><td>2016년 7월 13일</td><td>26.3℃</td></tr>
<tr><td>2차</td><td>2016년 9월 28일</td><td>21.0℃</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>

평가 기준

▣ 온도에 의한 신축량

Δl_t = ⊿T×α×L(신축거더 길이)

△T = 온도변화(-20℃～+40℃)→ 강판형교 : 한랭지방

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5})→ 강판형교

※ 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 (07.13)	26.3℃	
	2차 (09.28)	21.0℃	
온도에 의한 신축량(Δl_t)	Δl_t = ⊿T×α×L		

신축거더 길이 (L)	A1	A2
	120.10m	180.36m

※ 공용기간이 16년이상인 교량이므로 건조수축 및 크리프의 영향은 고려하지 않음

2) 계산 신축량 산정결과

【표 3.27】 계산 신축량 산정결과

위치		측정시 온도 (℃)	온도변화(ΔT)		선팽창 계수	신축거더 길이 (m)	최대 신축량(㎜)	
			동절기 (℃)	하절기 (℃)			동절기 (최대수축시)	하절기 (최대팽창시)
A1	1차	26.3	46.3	13.7	1.2×10^{-5}	120.10	67	20
	2차	21.0	41.0	19.0	1.2×10^{-5}	120.10	59	28
A2	1차	26.3	46.3	13.7	1.2×10^{-5}	180.36	100	30
	2차	21.0	41.0	19.0	1.2×10^{-5}	180.36	89	41

3) 신축이음 유간거리 측정결과

신축이음 유간거리에 대한 실측값은 【표 3.28】과 같으며, 1차, 2차의 실측 변동량을 이론치와 비교검토한 결과, 이론치와 유사하게 변동되므로 온도변화에 따른 신축거동은 원활한 것으로 판단된다.

【표 3.28】 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : ㎜)

구 분		실측 이동량(mm)		변동량(mm)		비고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	신축이음장치	32	41	9	8	양호
	바닥판	95	104	9		
	거더 상단	178	187	9		
	거더 하단	154	165	11		
A2	신축이음장치	36	42	6	11	양호
	바닥판	128	135	7		
	거더 상단	130	140	10		
	거더 하단	108	120	12		

4) 신축이음 가동여유량 검토결과

신축이음 가동여유량 검토결과는 【표 3.29】와 같으며, 신축이음장치 A1과 A2 모두 계산 신축량을 만족하는 상태이므로 본 교량의 신축이음 가동여유량은 양호한 것으로 평가되었다.

【표 3.29】 신축이음 유간거리 검토결과

부 재			측정유간 (㎜)	계산 신축량(㎜)		허용신축량 (㎜)	신축 여유량(㎜)		평가
				수축	팽창		수축	팽창	
Exp.J1(A1)	1차	A	32	67	20	100	1	12	양호
		B	95					75	
		C	178					158	
		D	154					134	
	2차	A	41	59	28		0	13	
		B	104					76	
		C	187					159	
		D	165					137	
Exp.J2(A2)	1차	A	36	100	30	160	24	6	양호
		B	128					98	
		C	130					100	
		D	108					78	
	2차	A	42	89	41		29	1	
		B	135					94	
		C	140					99	
		D	120					79	

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

3.2.5 교면포장

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

	
S1 포장 전경	S4 포장 전경

가. 현장조사 결과

전 구간 재포장 보수를 실시한 상태로 재포장 상태는 양호한 것으로 조사되었으나 시점측 접속슬래브의 미보수 구간에서 아스콘 망상균열, 패임, 융기 및 침하의 결함이 조사되었으며, 손상 현황은 다음과 같다.

【표 3.30】 교면포장의 손상현황(부산)

구분	아스콘 망상균열(㎡/EA)	아스콘 패임(㎡/EA)	아스콘 융기, 침하(㎡/EA)
접속슬래브	12.74 / 2	0.75 / 1	3.00 / 2
S1	-	-	-
S2	-	-	-
S3	-	-	-
S4	-	-	-
S5	-	-	-
라멘구간	-	-	-
합계	**12.74 / 2**	**0.75 / 1**	**3.00 / 2**

나. 손상별 현황

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S1 접속슬래브 아스콘 침하(A=3.00㎡)
및 아스콘 망상균열(A=12.74㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ S1 접속슬래브
아스콘 패임(A=0.75㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦ 시공초기 다짐불량 및 건조수축</td><td>원 인</td><td>◦ 아스콘 단부 전압부족 및 중차량 통행</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦ 팻칭보수</td><td>대 책</td><td>◦ 팻칭보수</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S4 아스콘 재포장 실시 ⟹ 상태양호</td><td>현 황</td><td>◦ 갓길/방호벽 접속부 우수유입 방지를
위한 마감처리 실시 ⟹ 상태양호</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td colspan="3">◦ 교면포장 코어채취를 통한 방수층 조사결과: 상태양호
◦ 교면포장 두께 측정결과 : 80~85mm ⇨ 설계두께 : 80mm와 일치함</td></tr>
</table>

다. 원인분석 및 대책방안

1) 아스콘 망상균열 및 융기, 침하

S1측 접속슬래브에서 시공초기 다짐불량에 의한 지반침하 및 건조수축에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 갓길 차선으로 통행차량의 주행성에 미치는 영향이 없으나 장기적인 내구성 확보를 위해 팻칭보수가 필요할 것으로 판단된다.

2) 아스콘 패임

S1측 접속슬래브의 후타재 접합 단부에서 전압부족 및 중차량 통행에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 부분 팻칭보수가 적합할 것으로 판단된다.

라. 기 진단결과와의 비교·분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 아스콘 균열, 시공이음 균열, 망상균열, 들뜸 및 패임의 결함은 재포장 보수가 완료되어 손상물량이 감소하였으며, 접속슬래브 아스콘 융기 및 침하의 결함은 금회 진단 시 상세조사에 따른 신규손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

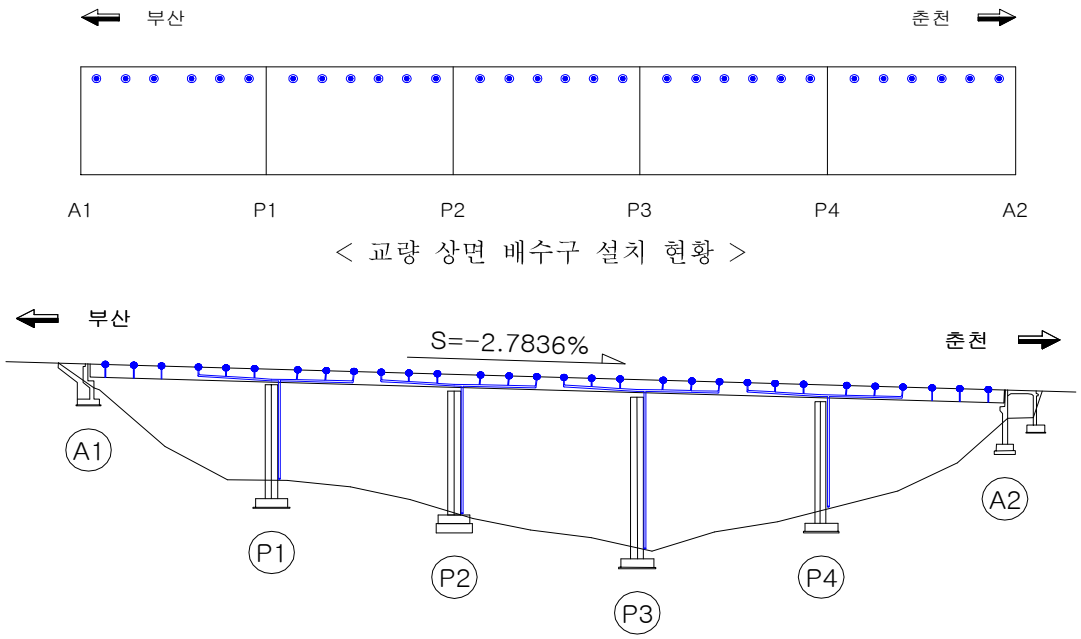
【표 3.31】 교면포장의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2011년	2016년		
아스콘 균열	m	102.00	-	- 102.00	• 재포장 보수완료
시공이음 균열	m	540.00	-	- 540.00	• 재포장 보수완료
아스콘 망상균열	㎡	173.90	12.74	- 161.16	• 교량구간 재포장 보수완료 접속슬래브 구간 미보수
아스콘 들뜸	㎡	431.88	-	- 431.88	• 재포장 보수완료
아스콘 패임	㎡	10.77	0.75	- 10.02	• 교량구간 재포장 보수완료 접속슬래브 구간 미보수
아스콘 융기, 침하	㎡	-	3.00	+ 3.00	• 상세조사에 의한 신규손상

3.2.6 기타부재

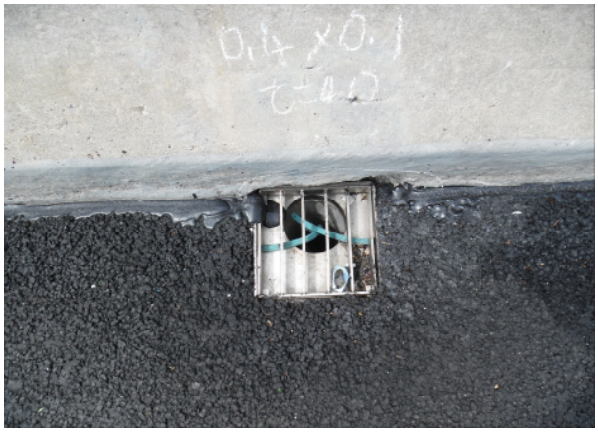
가. 배수시설

배수시설은 우천 시 포장부의 교면수를 배출하기 위한 시설로서, 백운4교(부산)의 배수시설은 횡구배(-2.0%~-4.0%)가 설계되어 교량 상부의 갓길측에 설치된 배수구(30EA)를 통하여 STEEL Pipe ϕ150㎜ 배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있으며, 시점에서 종점으로 하향 종구배(S=-2.7836%)가 설계되어 교면수가 자연배수되도록 시공되었다.



< 교량 상면 배수구 설치 현황 >

< 교량 하면 배수관 종단 개요도 >



교량 상부 배수구 전경



교량 하부 배수관 전경

【그림 3.3】 백운4교(부산) 배수시설 현황

1) 현장조사 결과

배수시설에 대한 현장조사 결과, 상부의 배수구는 재포장 보수 시 교체 보수된 상태로 결함이 없는 양호한 상태이나 하부의 배수관에서 용접부 부식 및 누수, 지지대 부식 및 탈락의 결함이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.32】와 같다.

【표 3.32】배수시설의 손상현황(부산)

구분	배수관			
	부식 (㎡/EA)	부식 및 누수(㎡/EA)	고정핀 부식(EA)	고정핀 탈락(EA)
S1	0.12 / 4	0.04 / 1	1	4
S2	0.12 / 4	0.04 / 1	5	5
S3	0.04 / 1	0.08 / 2	14	7
S4	-	0.04 / 1	14	7
S5	0.18 / 4	-	10	3
합계	**0.46 / 13**	**0.20 / 5**	**44**	**26**

2) 손상별 현황



현 황	◦ S2 배수구 상태양호



현 황	◦ S4 배수구 상태양호



현 황	◦ S3/P2지점 배수관 고정핀 부식 1EA
원 인	◦ 오랜 공용중 수분접촉
대 책	◦ 재설치



현 황	◦ S1/P1지점 배수관 고정핀 탈락 1EA
원 인	◦ 시공불량 및 부식에 의한 파손

			
현 황	◦ S3/좌측 캔틸레버 배수관 용접부 부식 및 누수(A=0.04㎡)	**현 황**	◦ S5/좌측 캔틸레버 배수관 부식(A=0.04㎡)
원 인	◦ 용접불량에 의한 누수 및 도장불량	**원 인**	◦ 배수 시 수분접촉
대 책	◦ 용접보수	**대 책**	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

① 배수관 부식

배수관 부식은 배수구와 배수관 연결 홈으로 수분이 접촉되어 발생된 결함으로 배수시설의 기능상에 문제점은 없는 상태이므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

② 용접부 부식 및 누수

배수관 용접부 부식 및 누수는 시공초기 용접불량에 의한 결함으로 판단되며, 누수가 진행되어 배수관 고정핀 부식의 원인이 되므로 용접보수가 필요할 것으로 판단된다.

③ 배수관 고정핀 부식

배수관 고정핀 부식은 오랜 공용중 배수관 누수에 의한 교면수 및 우수 접촉에 의한 결함으로 판단되며, 일부 부식이 심한 구간은 파손되어 탈락된 상태이므로 교체보수하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

④ 배수관 고정핀 탈락

배수관 고정핀 탈락은 원활한 배수를 위해 배수관은 종방향으로 구배가 형성된 상태이나 시공미흡에 의한 고정핀 길이가 부족하거나 부식에 의한 파손이 원인으로 판단되며, 향후 배수관 탈락의 우려가 있으므로 재설치하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 배수관 부식, 용접부 부식 및 누수, 지지대 부식 및 탈락의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용중 발생된 신규손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

【표 3.33】 배수시설의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

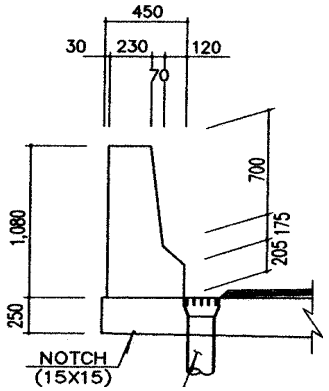
손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2011년	2016년		
배수관 부식	㎡	-	0.46	+ 0.46	● 공용중 발생된 신규손상
용접부 부식 및 누수	㎡	-	0.20	+ 0.20	● 공용중 발생된 신규손상
배수관 고정핀 부식	EA	-	44	+ 44.00	● 상세조사에 의한 신규손상
배수관 고정핀 탈락	EA	-	26	+ 26.00	● 상세조사에 의한 신규손상

나. 방호벽

자동차의 차도이탈 방지 및 맞은편 차선 라이트 차단 등의 기능을 하는 방호벽은 철근콘크리트 구조로 시공되어 있다.



방호벽 전경



방호벽 제원

1) 현장조사 결과

방호벽에 대한 현장조사 결과, 콘크리트 균열, 보수부 재균열, 백태, 파손, 들뜸 및 전선덮개판 탈락의 결함이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.34】과 같다.

【표 3.34】 방호벽의 손상발생 현황(부산)

구분	균열		
	폭 0.3㎜미만 (m/EA)	보수부재균열 (m/EA)	균열 및 백태 (m/EA)
S1	6.90 / 9	2.10 / 2	5.60 / 4
S2	4.80 / 6	-	4.70 / 6
S3	4.60 / 6	2.40 / 3	12.10 / 12
S4	0.80 / 1	-	6.20 / 9
S5	1.30 / 2	-	1.90 / 3
라멘구간	1.60 / 1	-	-
합계	**20.00 / 25**	**4.50 / 5**	**30.50 / 34**

구분	손상 및 열화			
	백태 (㎡/EA)	파손 (㎡/EA)	들뜸 (㎡/EA)	전선덮개판 탈락 (EA)
S1	0.22 / 4	0.23 / 7	0.60 / 2	3
S2	0.05 / 1	0.24 / 6	1.00 / 2	3
S3	0.24 / 4	0.27 / 7	2.75 / 3	1
S4	0.42 / 2	1.07 / 8	1.10 / 1	2
S5	-	0.23 / 5	-	1
라멘구간	-	-	-	-
합계	**0.93 / 11**	**2.04 / 33**	**5.45 / 8**	**10**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ S3/방호벽 균열(Cw=0.2㎜, L=0.9m)</td><td>현 황 ◦ S5/방호벽 백태균열(Cw=0.1㎜, L=0.7m)</td></tr>
<tr><td>원 인 ◦ 건조수축</td><td>원 인 ◦ 미세균열부 우수접촉</td></tr>
<tr><td>대 책 ◦ 표면처리</td><td>대 책 ◦ 표면처리</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ S4/방호벽 배면 들뜸(A=1.10㎡)</td><td>현 황 ◦ S3/방호벽 배면 들뜸(A=1.50㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인 ◦ 시공불량 및 피복부족</td><td></td></tr>
<tr><td>대 책 ◦ 단면복구</td><td></td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ S5/방호벽 파손(A=0.03㎡)</td><td>현 황 ◦ S2/방호벽 전선덮개판 탈락(1EA)</td></tr>
<tr><td>원 인 ◦ 배수구 설치 시 외부충격</td><td>원 인 ◦ 시공미흡</td></tr>
<tr><td>대 책 ◦ 주의관찰</td><td>대 책 ◦ 재설치</td></tr>
</table>

3) 원인분석 및 대책방안

① 균열 및 보수부 재균열

방호벽에서 발생된 균열, 보수부 재균열은 건조수축 및 보수미흡에 의한 균열로 판단되며, 폭0.3㎜미만의 미세균열이나 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 표면처리하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

② 백태

백태는 미세균열부 틈새로 우수가 접촉되어 발생된 결함으로 구조적인 문제점은 없으나 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 바람직할 것으로 판단된다.

③ 파손

파손은 배수구 설치 시 외부충격 등에 의한 결함으로 손상규모가 경미하여 내구성 저하 영향이 미미하므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

④ 들뜸

들뜸은 방호벽 배면에서 발생된 결함으로 시공미흡 및 피복부족에 의한 결함으로 판단되며, 탈락의 우려가 있으므로 단면복구가 필요할 것으로 판단된다.

⑤ 전선덮개판 탈락

전선덮개판은 가로등 배선연결부에 설치된 기타시설물로 시공초기 설치불량 및 관리미흡에 의한 결함으로 판단되며, 우수 차단을 위해 덮개재설치가 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2011년 시행)과의 비교분석 결과, 균열, 보수부 재균열, 백태, 파손, 전선덮개판 탈락의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용중 발생된 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었고, 들뜸은 동일손상으로 손상 증감은 없는 것으로 평가되었다.

【표 3.35】 방호벽의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2011년	2016년		
균열(0.3mm미만)	m	10.80	20.00	+ 9.20	● 상세조사에 의한 추가손상
보수부 재균열	m	-	4.50	+ 4.50	● 공용중 발생된 신규손상
균열 및 백태	m	28.70	30.50	+ 1.80	● 공용중 발생된 추가손상
백태	㎡	0.79	0.93	+ 0.14	● 공용중 발생된 추가손상
파손	㎡	-	2.04	+ 2.04	● 공용중 발생된 신규손상
들뜸	㎡	5.45	5.45	-	● 손상변화없음(동일손상)
전선덮개판 탈락	EA	4.00	10.00	+ 6.00	● 공용중 발생된 추가손상

3.3 백운4교(춘천) 외관조사

3.3.1 상부구조

가. 바닥판

상부의 교통하중을 직접 지지하며, 상부하중을 거더로 전달해 주는 바닥판은 거더와 거더 사이의 내측 바닥판과 캔틸레버 구조인 외측바닥판으로 구분되며, 내측 바닥판은 Deck Plate, 외측 바닥판은 강판이 설치되어 있다. 현장조사는 고소점검차를 이용한 근접조사를 실시하였으며, 데크플레이트 및 강판 부식, 변형, 누수, 콘크리트 부재 노출부 균열, 단면손상 등의 손상여부를 중점적으로 조사하였다.



내측 바닥판 전경



외측 바닥판(캔틸레버) 전경

1) 외관조사 결과

바닥판 하면에서 발생된 주요 결함은 데크플레이트 부식, 처짐, 강판 부식 및 도장박리, 콘크리트 망상균열 및 백태, 열화 및 박락의 결함과 기타 부착시설물로 전선 보호덮개 강판 부식 및 탈락의 손상이 조사되었다. 손상현황은 【표 3.36】, 【표 3.37】과 같다.

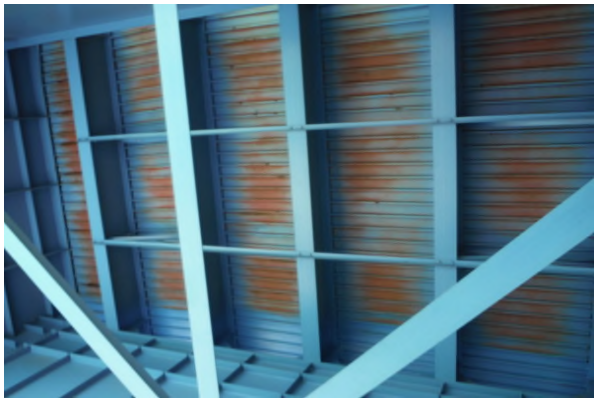
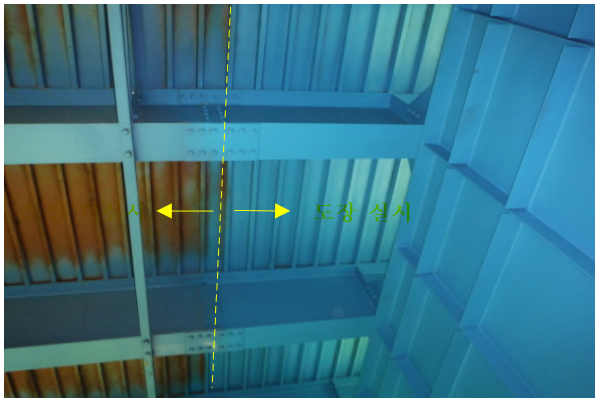
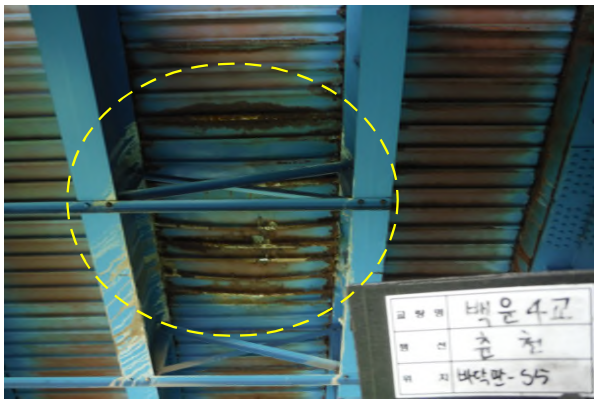
【표 3.36】 바닥판의 손상현황(춘천)(1)

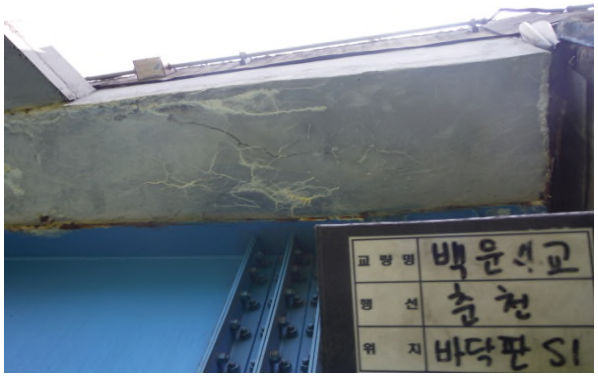
구분	데크 플레이트		강판	
	부식 (㎡/EA)	처짐 (㎡/EA)	부식 (㎡/EA)	도장박리 (㎡/EA)
S1	456.12 / 71	-	67.82 / 41	0.01 / 1
S2	504.00 / 60	-	45.74 / 28	-
S3	504.00 / 60	-	83.42 / 30	0.06 / 1
S4	504.00 / 60	-	74.96 / 46	-
S5	494.23 / 80	3.00 / 1	64.57 / 61	0.54 / 2
합계	**2462.35 / 331**	**3.00 / 1**	**336.51 / 206**	**0.61 / 4**

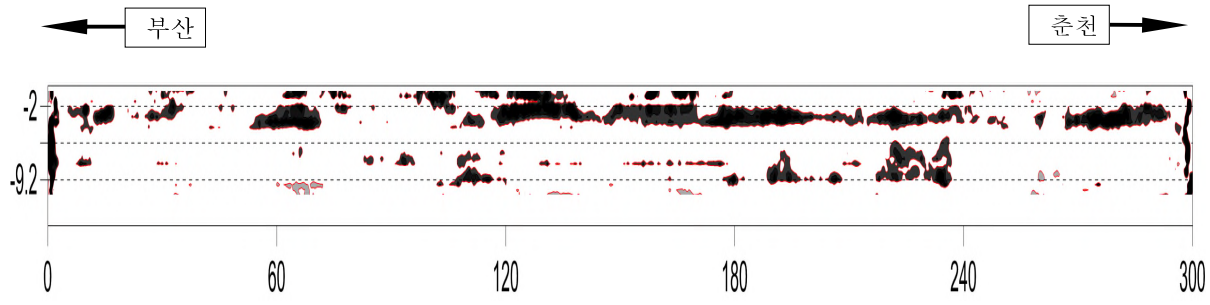
【표 3.37】 바닥판의 손상현황(춘천)(2)

구분	콘크리트		전선 보호덮개	
	망상균열 및 백태 (㎡/EA)	박락 (㎡/EA)	부식 (㎡/EA)	탈락 (m/EA)
S1	2.40 / 1	0.25 / 1	1.55 / 16	10.00 / 2
S2	-	0.60 / 1	1.33 / 12	5.00 / 2
S3	-	0.20 / 1	4.26 / 10	2.00 / 1
S4	-	0.60 / 1	2.40 / 14	4.00 / 2
S5	-	0.60 / 1	5.05 / 13	14.00 / 6
합계	**2.40 / 1**	**2.25 / 5**	**14.59 / 65**	**35.00 / 13**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S4/내측 바닥판 데크플레이트 부식(A=504.00㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ S1/A1지점 내측 바닥판 데크플레이트 도장보수 - 상태양호</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td colspan="3">◦ 시공시 도장 미실시 및 오랜 공용중 수분접촉 ⇒ 바닥판 누수의 영향은 아님</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td colspan="3">◦ 비구조적 부재이며, 바닥판 누수의 영향이 아니므로 주의관찰토록 함</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S5/내측 바닥판 데크플레이트 처짐 (A=3.00㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ S5/내측 바닥판 데크플레이트 처짐부 교면포장 보수현황</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td colspan="3">◦ 교면포장 및 바닥판 손상부 단면보수를 위한 치핑 작업 시 관통 손상이 발생하였으며, 단면보수 시 관통부를 통한 일부 콘크리트 유입에 의한 처짐</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td colspan="3">◦ 인접 거더의 변형 및 처짐은 발생치 않은 상태이므로 주의관찰</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S1/우측 캔틸레버
강판 부식 (A=1.80㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ S1/A1지점 바닥판 우측면
강판 부식 (A=18.00㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦ 가로등 기초를 통한 우수접촉</td><td>원 인</td><td>◦ 오랜공용중 외측부 우수접촉</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td colspan="3">◦ 가로등 기초에 대한 우수차단 강판 설치된 상태이며, 비구조적 부재이므로 주의관찰</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S1/우측 캔틸레버하면(가로등 기초부)
강판 파손 및 콘크리트 박락(A=0.25㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ S2/우측 캔틸레버하면(가로등 기초부)
강판 파손 및 콘크리트 박락(A=0.60㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td colspan="3">◦ 가로등 기초를 통해 우수유입 및 체수 (열화 및 박락 깊이: t= 20~30mm)</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td colspan="3">◦ 강판 제거 및 단면복구, 물끊기 홈 설치</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S1/A1지점 우측 캔틸레버하면
망상균열 및 백태(A=2.40㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ S2/우측 캔틸레버하면
전선 보호덮개 탈락(L=2.00m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦ 보수부 우수접촉</td><td>원 인</td><td>◦ 우수접촉에 의한 부식파손</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦ 물끊기홈 설치 및 표면처리</td><td>대 책</td><td>◦ 재설치</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ 교면 GPR 조사결과 - 바닥판 열화(A=504.00㎡) : 기 진단(2013년) 자료</td></tr>
<tr><td colspan="2">   </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S2/갓길 포장 코어채취 - 표층열화 : 기 진단(2013년) 자료</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 

 </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S4/갓길 재포장 보수완료 : 금회 진단</td><td>현 황</td><td>◦ S2 코어채취부 방수층 양호 : 금회 진단</td></tr>
<tr><td>평 가</td><td colspan="3">◦ 기 진단(2013년) 시 교면 GPR 조사 및 코어채취를 통한 바닥판 조사결과, 갓길측에서 바닥판 상면에서 표층 열화가 조사되었으나 금회 진단 시 현장조사 결과, 교면포장/갓길측은 전 구간 재포장 및 바닥판 열화부 보수가 시행된 상태이며, S2의 교면포장을 코어채취한 결과, 바닥판 상면의 도막 방수층은 양호한 상태로 조사되었다.</td></tr>
</table>

3) 손상별 발생원인 분석 및 대책방안

① 데크플레이트 부식

바닥판하면의 데크플레이트는 전체적으로 부식이 발생한 상태이나 이는 시공시 도장미실시 및 오랜 공용중 수분접촉에 의한 원인으로 바닥판 누수의 영향은 없는 것으로 판단되며, 데크플레이트 부재는 비구조적 부재로 구조물의 안전성과는 무관한 부재이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

② 데크플레이트 처짐

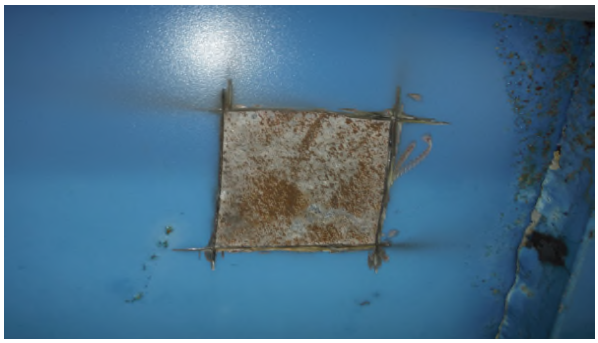
데크플레이트 처짐은 공용중 S5에서 발생된 포장 및 바닥판 단면복구 작업 중 발생된 결함으로 구조적인 영향은 없는 상태이다. 따라서 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

③ 강판 부식 및 도장박리

외측 캔틸레버 및 측면의 강판부식 및 도장박리는 공용장기화에 따른 도장열화 및 외측부 우수접촉에 의해 발생된 결함으로 일부 강판을 절단하여 내부 콘크리트 열화 여부를 검토한 결과, 콘크리트는 양호한 상태로 조사되었다. 따라서 강판부식 및 도장박리에 의한 바닥판 내구성 저하는 없는 것으로 판단되므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.



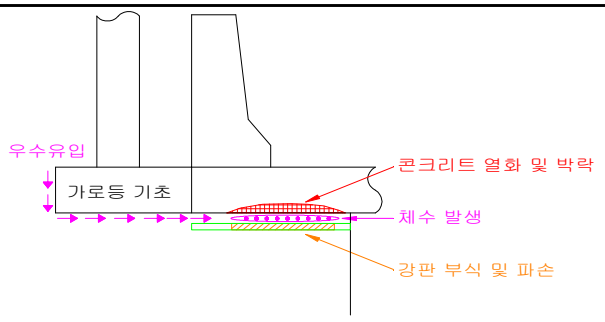
외측 캔틸레버 강판 절취 현황



강판 절취부 콘크리트 표면 현황 : 상태양호

④ 콘크리트 박락

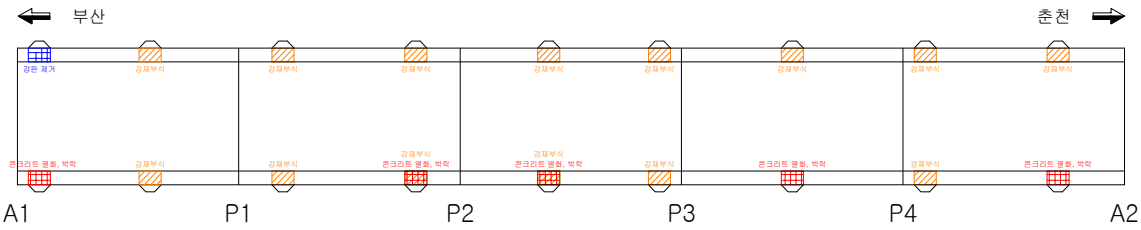
콘크리트 박락은 【그림 3.4】와 같이 가로등 기초를 통해 유입된 우수가 강판과 바닥판 틈새에 오랜기간 체수되면서 발생된 결함으로 판단되며, 현장조사 시 가로등 기초부 우수유입 차단 강판이 설치된 상태이나 내구성 확보를 위해 콘크리트 박락부는 강판 제거, 콘크리트 단면복구 및 물끊기 홈 설치가 바람직할 것으로 판단된다.



< 콘크리트 열화 및 박락 발생 개요도 >



< 기초부 우수차단 강판 설치현황 >



< 가로등 기초부 콘크리트 열화 및 박락 손상 현황 >

【그림 3.4】 콘크리트 박락 발생 개요도 및 현황

⑤ 전선 보호덮개 부식 및 탈락

전선 보호덮개 부식 및 탈락은 오랜 공용중 외측부 우수접촉에 의해 발생된 결함으로 교량 구조물에 미치는 영향은 없는 결함이므로 부식은 주의관찰토록 하며, 전선 보호덮개 탈락은 전선의 우수접촉 차단을 위해 재설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

⑥ 콘크리트 망상균열 및 백태

S1/A1지점부 좌측 캔틸레버는 강판 제거 후 표면처리 보수가 실시된 상태이나 물끊기 홈 미설치에 의한 수분접촉으로 망상균열 및 백태가 재발생한 것으로 판단되며, 내구성 확보를 위해 물끊기 홈 설치 및 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

⑦ 콘크리트 열화

기 진단(2013년) 시 교면 GPR탐사 및 코어채취 조사결과, 포장/갓길측에서 바닥판 상면 표층열화가 전 경간 발생된 것으로 평가되었으나 금회 진단 시 갓길측 재포장 및 바닥판 열화부 보수가 실시되었으며, 방수층도 양호한 것으로 조사되어 콘크리트 열화에 대한 보수는 실시된 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

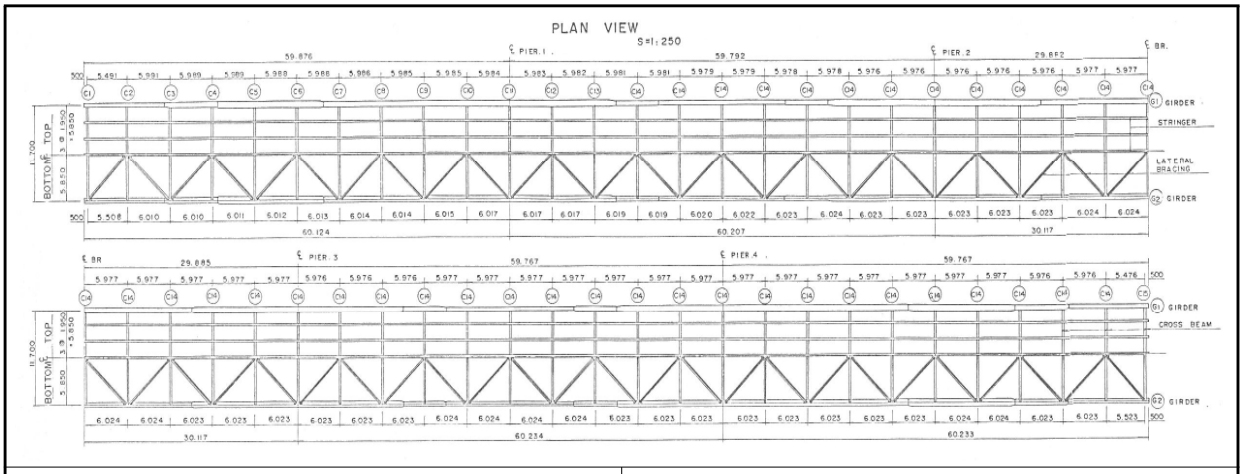
기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 데크플레이트 부식 및 처짐, 강판 부식, 도장박리, 콘크리트 망상균열 및 백태, 박락, 전선 보호덮개 부식 및 탈락의 결함은 금회 진단 시 상세조사에 의한 신규손상 및 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 콘크리트 열화는 교면 재포장 및 방수층 보수가 실시되었으므로 보수가 완료된 것으로 검토되었다.

【표 3.38】 바닥판의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용		단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
			2013년	2016년			
데크 플레이트	부식	㎡	2,456.50	2,462.35	+	5.85	• 공용중 발생된 추가손상
	처짐	㎡	-	3.00	+	3.00	• 상세조사에 의한 신규손상
강판	부식	㎡	328.84	336.51	+	7.67	• 공용중 발생된 추가손상
	도장박리	㎡	0.60	0.61	+	0.01	• 공용중 발생된 추가손상
콘크리트	망상균열, 백태	㎡	-	2.40	+	2.40	• 공용중 발생된 신규손상
	열화	㎡	504.00	-	-	504.00	• 재포장 및 열화부 보수완료
	박락	㎡	-	2.25	+	2.25	• 공용중 발생된 신규손상
전선 보호덮개	부식	㎡	9.86	14.59	+	4.73	• 공용중 발생된 추가손상
	탈락	m	9.00	35.00	+	24.00	• 공용중 발생된 추가손상

나. 거더

바닥판으로부터 전달되는 하중을 지지하고 교량받침을 통하여 하부구조로 하중을 전달해 주는 역할을 하는 거더는 최소단면으로 큰 강성을 갖을 수 있는 Steel Plate Girder 형식의 2열로 시공되었으며, 조사방법은 도보 및 교량점검차를 이용한 근접조사를 실시하였다.





거더 전경



거더 현장이음부 전경

1) 외관조사 결과

거더에 대한 현장조사 결과, 도장박리, 부식, 볼트부식, 녹물흔적, 볼트누락, 천공홀, 변형 및 기공의 결함이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.39】, 【표 3.40】과 같다.

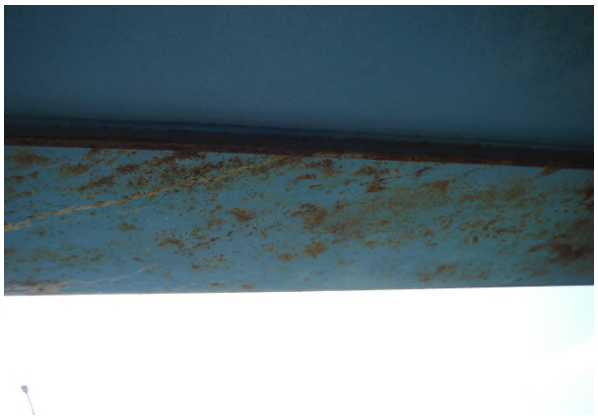
【표 3.39】 거더의 손상현황(춘천)(1)

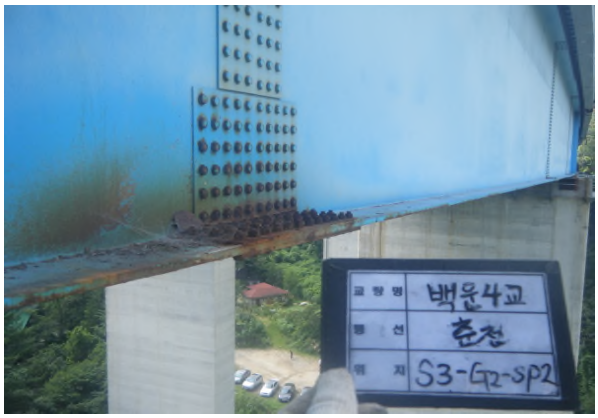
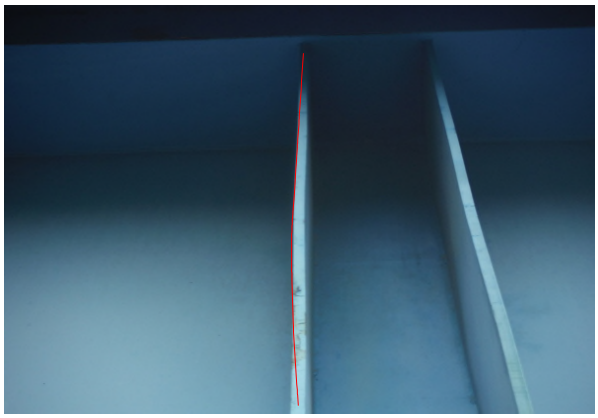
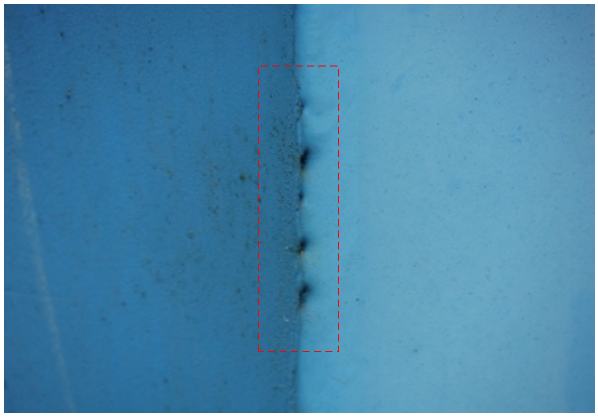
구분	도장박리 (㎡/EA)	부식 (㎡/EA)	볼트부식 (㎡/EA)	녹물흔적 (㎡/EA)
S1	3.32 / 6	113.63 / 21	33.40 / 8	1.20 / 1
S2	1.22 / 6	48.95 / 22	42.40 / 8	1.60 / 2
S3	0.06 / 5	44.39 / 25	42.40 / 8	-
S4	3.71 / 9	23.78 / 11	42.40 / 8	-
S5	4.77 / 32	30.00 / 28	42.40 / 8	3.75 / 2
합계	**13.08 / 58**	**260.75/ 107**	**203.00/ 40**	**6.55 / 5**

【표 3.40】 거더의 손상현황(춘천)(2)

구분	볼트누락 (EA)	변형 (EA)	천공홀 (EA)	기공 (EA)
S1	-	1	16	16
S2	-	1	-	-
S3	-	-	-	4
S4	1	-	-	-
S5	-	-	32	-
합계	**1**	**2**	**48**	**20**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S5-G1-RW 도장박리(A=0.40㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ S3-G2-LF 부식(A=0.70㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦ 공용장기화에 따른 도장열화</td><td>원 인</td><td>◦ 공용장기화 및 우수접촉</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦ 도장보수</td><td>대 책</td><td>◦ 도장보수</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S2-G1-LF 부식(A=0.60㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ S1-G1-LW 부식 및 녹물(A=1.20㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦ 공용장기화 및 우수접촉</td><td>원 인</td><td>◦ 캔틸레버 강판 부식부 녹물 접촉</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦ 도장보수</td><td>대 책</td><td>◦ 도장보수</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ S1-G2-SP1 볼트부식(A=5.30㎡)</td><td>현 황 ◦ S3-G2-SP2 볼트부식(A=5.30㎡)</td></tr>
<tr><td colspan="2">원 인 ◦ 공용장기화에 따른 도장열화 및 우수접촉</td></tr>
<tr><td colspan="2">대 책 ◦ 도장보수</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ S4-G2-SP2 볼트누락(1EA)</td><td>현 황 ◦ S1-G2-P1지점 수직보강재 변형(1EA)</td></tr>
<tr><td>원 인 ◦ 시공불량</td><td>원 인 ◦ 시공초기 외부충격</td></tr>
<tr><td>대 책 ◦ 주의관찰</td><td>대 책 ◦ 주의관찰</td></tr>
<tr><td> 
</td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ S1-G2-LF 천공홀(4EA)</td><td>현 황 ◦ S1-G2-P1지점 용접부 기공(4EA)</td></tr>
<tr><td>원 인 ◦ 거더 설치에 따른 인위적 천공</td><td>원 인 ◦ 용접불량</td></tr>
<tr><td>대 책 ◦ 주의관찰</td><td>대 책 ◦ 주의관찰</td></tr>
</table>

3) 원인분석 및 대책방안

① 도장박리

거더에서 발생된 도장박리는 공용장기화에 따른 도장열화가 주원인으로 판단되며, 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요할 것으로 판단된다.

② 부식

부식은 공용장기화에 따른 도장열화, 우수 및 대기중의 수분접촉 등에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 부식에 따른 단면 감소는 없는 상태이나 내구성 확보를 위한 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

③ 볼트부식

현장이음부는 전반적으로 볼트체결 상태는 양호하나 볼트부식이 전체적으로 발생한 상태로 공용장기화에 따른 도장열화, 우수 및 대기중의 수분접촉 등에 의한 결함으로 판단되며, 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

④ 녹물흔적

녹물흔적은 캔틸레버측의 강판부식이 발생한 부위에서 녹물이 흘러내려 발생된 결함으로 그로 인한 거더 부식이 진행되므로 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요할 것으로 판단된다.

⑤ 볼트누락

시공미흡에 의해 볼트누락이 1개소 조사되었으나 그 외 현장이음부의 볼트체결 상태는 양호한 상태로 구조물의 안전성에 미치는 영향은 미미하기에 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

⑥ 변형

거더에서 발생된 변형은 거더의 지점부 수직보강재 2열 중 1열에서 발생된 결함으로 구조적인 영향보다는 시공초기 외부충격에 의한 결함으로 판단되며, 손상규모가 경미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

⑦ 천공홀

거더의 하부플랜지에서 발생된 천공홀은 시공 과정에서 인위적으로 발생된 결함으로 판단되며, 거더의 안전성 및 내구성 저하 영향은 없는 손상이므로 주의관찰이 바람직하겠다.

⑧ 기공

거더의 수직리브 용접연결 시 용접불량에 의해 발생된 결함으로 손상규모가 경미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 도장박리, 부식, 볼트부식, 녹물흔적, 기공의 결함은 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것

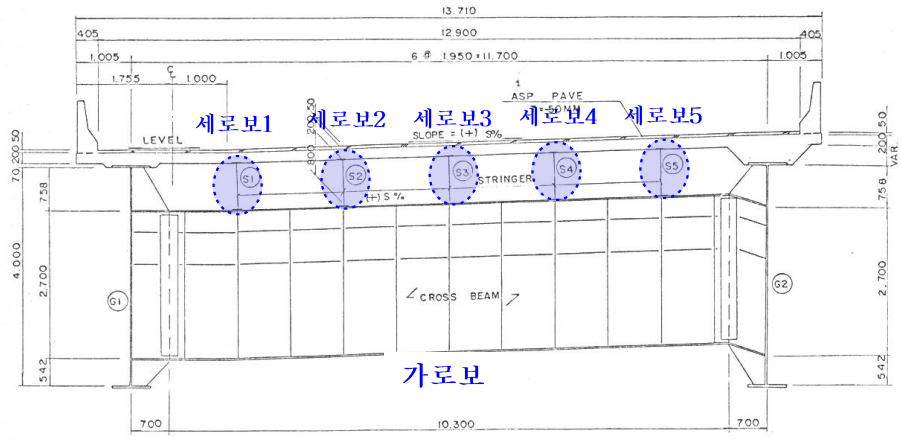
으로 조사되었으며, 볼트누락, 변형, 천공홀의 결함은 동일손상으로 손상물량의 증감은 없는 것으로 검토되었다.

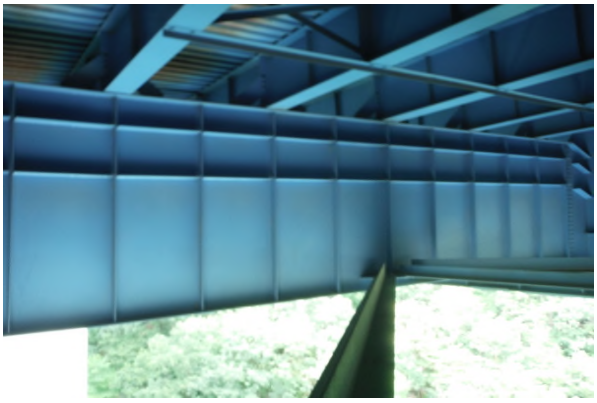
【표 3.41】 거더의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2013년	2016년		
도장박리	㎡	8.53	13.08	+ 4.55	• 공용중 발생된 추가손상
부식	㎡	214.30	260.75	+ 46.45	• 공용중 발생된 추가손상
볼트부식	㎡	159.00	203.00	+ 44.00	• 공용중 발생된 추가손상
녹물흔적	㎡	-	6.55	+ 6.55	• 공용중 발생된 신규손상
볼트누락	EA	1.00	1.00	-	• 손상변화 없음(동일손상)
변형	EA	2.00	2.00	-	• 손상변화 없음(동일손상)
천공홀	EA	48.00	48.00	-	• 손상변화 없음(동일손상)
기공	EA	-	20.00	+ 20.00	• 상세조사에 의한 신규손상

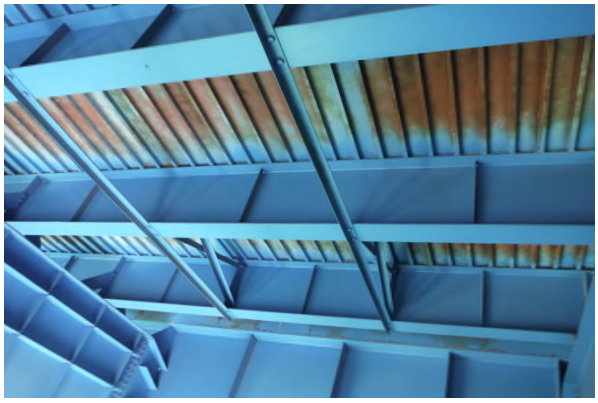
다. 가로보 및 세로보

공용기간중 거더의 횡변형을 방지해주며, 상부에 작용하는 하중을 분배시켜주는 역할을 하는 가로보 및 세로보는 강재로 시공되어 있다.





가로보 전경



세로보 전경

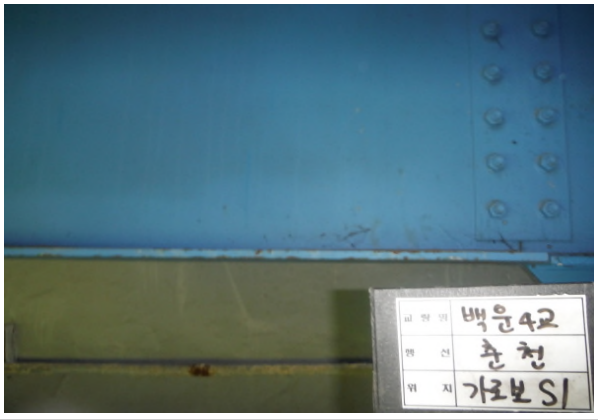
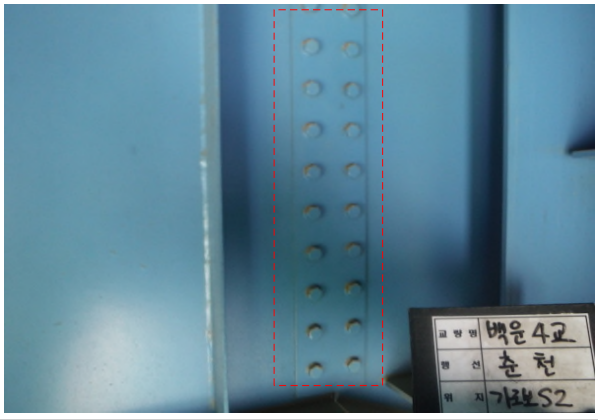
1) 현장조사 결과

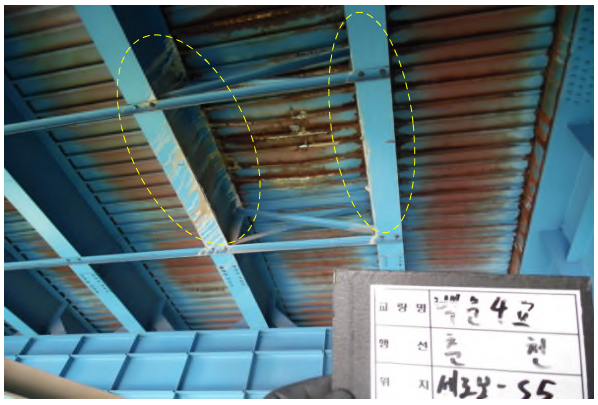
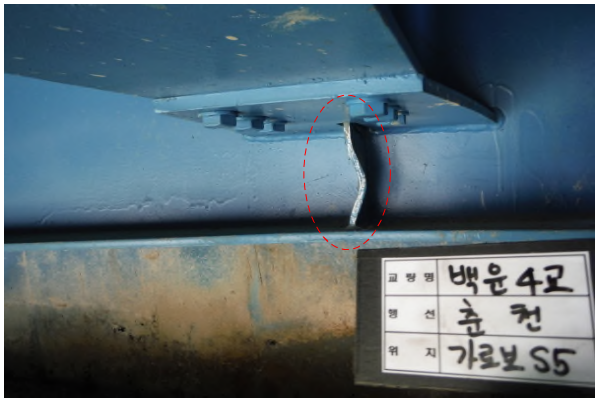
현장조사 결과, 가로보 및 세로보에서 도장박리, 부식, 볼트부식, 누수오염, 볼트풀림 및 변형의 결함이 조사되었고, 손상현황은 【표 3.42】과 같다.

【표 3.42】 가로보 및 세로보의 손상현황(춘천)

구분	도장박리 (㎡/EA)	부식 (㎡/EA)	볼트부식 (㎡/EA)	누수오염 (㎡/EA)	볼트풀림 (EA)	변형 (EA)
S1	0.51 / 13	0.50 / 3	0.70 / 2	-	-	1
S2	1.51 / 18	-	0.94 / 2	-	-	-
S3	0.43 / 9	0.01 / 1	1.70 / 4	-	1.00 / 1	-
S4	0.52 / 4	0.30 / 1	0.80 / 2	-	-	1
S5	0.19 / 6	0.52 / 3	0.80 / 4	3.20 / 2	-	3
합계	**3.16 / 50**	**1.33 / 8**	**4.94 / 14**	**3.20 / 2**	**1.00 / 1**	**5**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S5-CB2-전면 도장박리(A=0.07㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ S1-ST4-LF 도장박리(A=0.04㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td colspan="3">◦ 공용장기화에 따른 도장열화</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td colspan="3">◦ 도장보수</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S1-CB1-배면(A1지점) 부식(A=0.20㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ S2-CB1-전면 볼트부식(A=0.40㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td colspan="3">◦ 공용장기화에 따른 도장열화 및 대기중의 수분접촉(안개)</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td colspan="3">◦ 도장보수</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ S5-ST1~2 누수오염(A=3.20㎡)
원 인 ◦ 상부 바닥판 보수 시 몰탈수 누수
대 책 ◦ 주의관찰</td><td>현 황 ◦ S3-CB11-전면(P3지점) 볼트풀림(1EA)
원 인 ◦ 시공초기 볼트체결 불량
대 책 ◦ 주의관찰</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>현 황 ◦ S1-CB11-P1지점 변형 및 파손(1EA)
원 인 ◦ 시공초기 외부충격
대 책 ◦ 주의관찰</td><td>현 황 ◦ S5-CB11-전면(A2지점) 변형(1EA)</td></tr>
</table>

3) 원인분석 및 대책방안

① 도장박리, 부식 및 볼트부식

도장박리 및 부식은 공용장기화에 따른 도장열화 및 대기중의 수분접촉(안개) 등에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 모재 상태는 양호하여 구조물의 안전성에 미치는 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

② 누수오염

세로보에서 조사된 누수오염은 S5의 상부 바닥판 보수 시 몰탈수가 흘려내려 발생된 결함으로 바닥판 누수의 영향은 없는 것으로 조사되어 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

③ 볼트풀림

볼트풀림은 시공초기 볼트체결 불량에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 그 외 볼트체결 상태는 양호한 것으로 조사되었다. 볼트풀림의 손상규모는 1개소로 가로보의 안전성에 미치는 영향은 미미한 상태이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

④ 변형

2차 부재에서 발생된 변형은 시공초기 외부충격에 의한 결함으로 구조적인 영향은 없는 것으로 조사되었다. 따라서 보수방안보다는 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

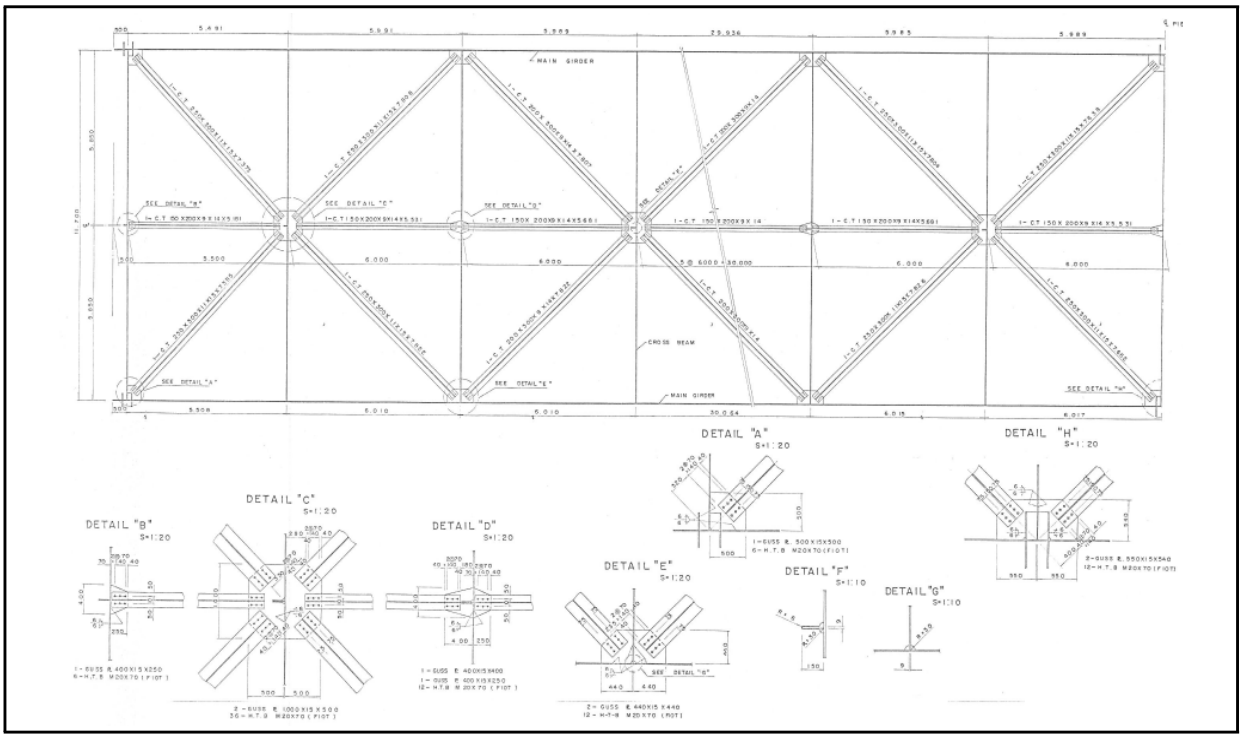
기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 도장박리, 부식, 볼트부식, 변형의 결함은 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 누수오염 및 볼트풀림의 결함은 동일손상으로 조사되어 손상물량의 증감은 없는 것으로 평가되었다.

【표 3.43】 가로보 및 세로보의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2013년	2016년		
도장박리	㎡	1.08	3.16	+ 0.13	● 공용중 발생된 추가손상
부식	㎡	-	1.33	+ 1.33	● 공용중 발생된 신규손상
볼트부식	㎡	0.74	4.94	+ 4.20	● 공용중 발생된 추가손상
누수오염	㎡	3.20	3.20	-	● 손상변화 없음(동일손상)
볼트풀림	EA	1.00	1.00	-	● 손상변화 없음(동일손상)
변형	EA	3.00	5.00	+ 2.00	● 상세조사에 의한 추가손상

라. 브레이싱

가로보와 병행하여 공용기간중 거더의 횡변형을 방지시켜주는 역할을 하는 브레이싱은 L형강으로 거더 하단/측면에 용접이음된 연결판(Gusset)과 볼트로 연결되어 있다.



	
브레이싱 전경	연결판(Gusset) 전경

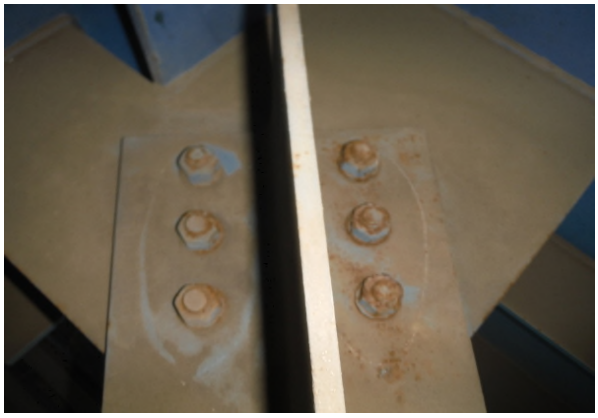
1) 현장조사 결과

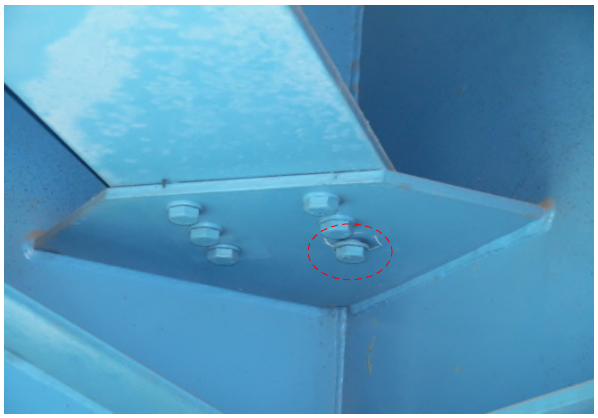
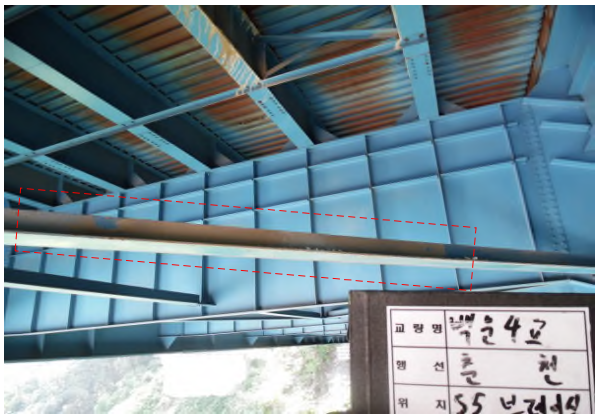
브레이싱에 대한 현장조사 결과, 부식, 볼트부식, 볼트풀림 및 누수오염의 결함이 국부적으로 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.44】과 같다.

【표 3.44】브레이싱의 손상현황(춘천)

구분	부식 (㎡/EA)	볼트부식 (㎡/EA)	볼트풀림(EA)	누수오염 (㎡/EA)
S1	2.30 / 8	0.04 / 2	-	-
S2	3.75 / 7	0.20 / 10	-	-
S3	3.50 / 6	0.54 / 27	-	-
S4	9.70 / 10	0.56 / 28	1.00	-
S5	1.95 / 6	0.28 / 14	-	3.00 / 1
합계	**21.20 / 37**	**1.62 / 81**	**1.00**	**3.00 / 1**

2) 손상별 현황

			
현 황	◦ S4/브레이싱 부식(A=2.40㎡)	**현 황**	◦ S4/브레이싱 볼트부식(A=0.04㎡)
원 인	◦ 공용장기화에 따른 도장열화 및 대기중의 수분접촉(안개)		
대 책	◦ 도장보수		

			
현 황	◦ S4/브레이싱 연결부 볼트풀림(1EA)	**현 황**	◦ S5/브레이싱 누수오염(A=3.00㎡)
원 인	◦ 시공초기 볼트체결 불량	**원 인**	◦ 상부 바닥판 보수 시 몰탈수 누수
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

① 부식 및 볼트부식

브레이싱에서 발생된 부식 및 볼트부식은 공용장기화에 따른 도장열화 및 대기중의 수분접촉(안개) 등에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 내구성 확보차원에서 도장보수가 적합할 것으로 판단된다.

② 볼트풀림

연결판의 용접 및 볼트연결 상태는 전반적으로 양호하나 S4에서 볼트풀림이 1개소 조사되었고, 발생구간의 타 연결부는 체결상태가 양호하므로 공용중 발생된 것으로 보기 어려우므로 시공초기 볼트체결불량에 의해 발생된 것으로 판단된다. 따라서 보수방안보다는 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

③ 누수오염

세로보의 누수오염과 동일 구간으로 상부 바닥판 단면보수 시 몰탈수가 흘러내려 발생된 손상으로 구조물의 안전성 및 내구성 저하 영향이 없는 결함이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 부식 및 볼트부식의 결함은 공용기간 증가에 따른 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 볼트풀림 및 누수오염의 결함은 동일손상으로 손상물량 증감은 없는 것으로 평가되었다.

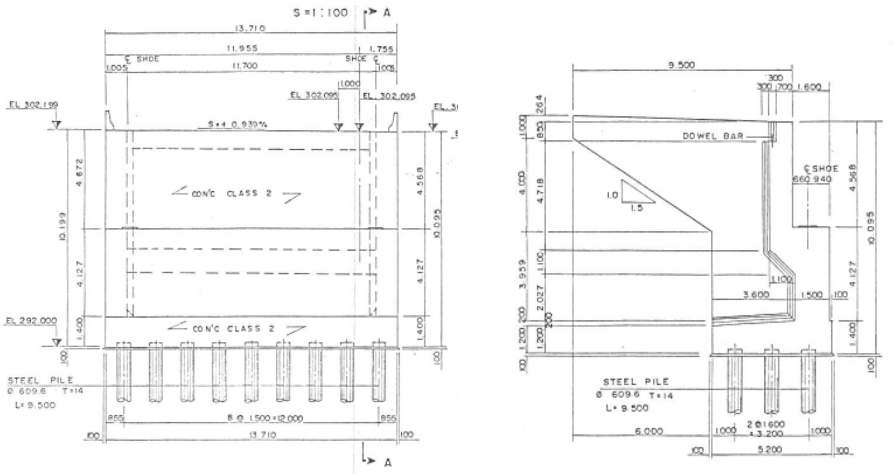
【표 3.45】 브레이싱의 기 진단과의 비교, 검토(부산)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2013년	2016년		
부식	㎡	9.80	21.20	+ 11.40	● 공용중 발생된 추가손상
볼트부식	㎡	1.32	1.62	+ 0.30	● 공용중 발생된 추가손상
볼트풀림	EA	1.00	1.00	-	● 손상변화 없음(동일손상)
누수오염	㎡	3.00	3.00	-	● 손상변화 없음(동일손상)

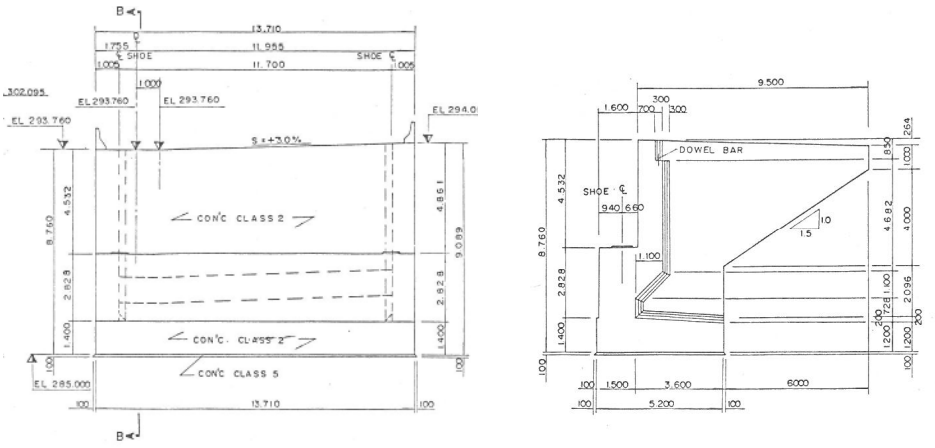
3.3.2 하부구조

가. 교대

본 교량의 교대는 A1, A2 2기로 구성되어 A1은 역T형 교대의 강관파일 기초이며, A2는 역T형 교대의 직접기초로 시공되어 있다.



< 교대(A1) 일반도 >



< 교대(A2) 일반도 >



교대(A1) 전경



교대(A2) 전경

1) 현장조사 결과

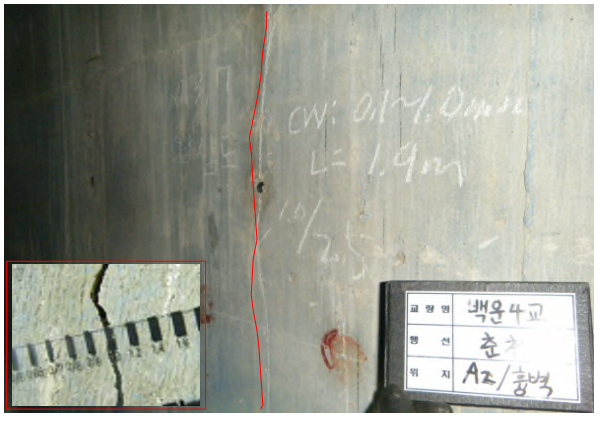
교대의 흉벽 및 구체에 대한 현장조사 결과, 건조수축에 의한 균열, 망상균열, 백태, 녹물흔적, 재료분리, 단면손상, 체수, 잡철근노출의 결함이 조사되었으나 진단 기간 중 Cw= 0.3mm 이상 균열에 대한 보수가 실시되었으며, 기초는 노출되지 않은 상태로 손상현황은 【표 3.46】과 같다.

【표 3.46】 교대 손상발생 현황(춘천)

구분	균열		
	0.3㎜미만 (m/EA)	망상균열 (㎡/EA)	망상균열 및 백태 (㎡/EA)
A1	6.40 / 7	20.80 / 3	-
A2	12.00 / 13	30.48 / 2	1.40 / 1
합계	**18.40 / 20**	**51.28 / 5**	**1.40 / 1**

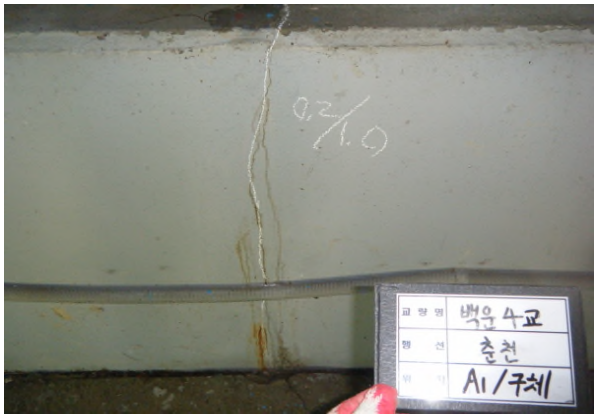
구분	열화 및 손상				
	백태 (㎡/EA)	재료분리 (㎡/EA)	들뜸 및 파손 (㎡/EA)	체수 (㎡/EA)	잡철근노출 (㎡/EA)
A1	0.04 / 1	-	0.32 / 9	16.50 / 2	0.24 / 19
A2	2.25 / 1	0.89 / 3	2.07 / 8	17.00 / 1	0.49 / 49
합계	**2.29 / 2**	**0.89 / 3**	**2.39 / 17**	**33.50 / 3**	**0.73 / 68**

2) 손상별 현황





현 황	◦ A2/흉벽 균열(Cw=0.1~1.0㎜, L=2.5m)	현 황	◦ A2/흉벽 균열 보수 후 현황
원 인	◦ 시공초기 건조수축 및 수화열		
대 책	◦ 기존 손상과 동일하게 조사되었으나 진단 기간 중 균열 보수가 실시됨 ⇨ 보수상태양호		



현 황	◦ A1/구체 균열(Cw=0.2㎜, L=1.0m)
원 인	◦ 건조수축
대 책	◦ 주의관찰



현 황	◦ A2/흉벽 망상균열 및 백태(A=1.40㎡)
원 인	◦ 건조수축 및 수분접촉
대 책	◦ 표면처리



현 황	◦ A2/좌측 날개벽 재료분리(A=0.72㎡)
원 인	◦ 시공불량
대 책	◦ 주의관찰



현 황	◦ A2/흉벽 파손(A=0.35㎡)
원 인	◦ 신축이음 설치 시 외부충격
대 책	◦ 단면복구



현 황	◦ A1/흉벽 잡철근노출(A=0.01㎡)
원 인	◦ 거푸집 제거시 마감불량
대 책	◦ 주의관찰



현 황	◦ A2/교좌면 체수(A=17.00㎡)
원 인	◦ 외측부 우수유입 및 신축이음 누수
대 책	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

① 균열

교대에서 조사된 균열의 형상 및 발생 위치 등을 검토한 결과, 시공초기 건조수축 및 수화열에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으며, 진단 기간 중 폭 0.3㎜이상의 균열에 대한 보수 및 일부 표면처리 보수가 실시되어 조사된 균열 폭은 0.3㎜미만으로 내구성 저하 영향이 미미한 상태으므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다. 또한 균열부 보수상태는 양호한 것으로 조사되었다.

② 망상균열 및 백태

망상균열은 표면 건조수축에 의한 결함으로 균열 폭은 0.1㎜이하의 미세균열로 허용균열폭(0.3㎜) 미만으로 조사되어 주의관찰토록 하며, 균열 틈의 수분접촉에 의한 백태 발생 구간은 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 적합할 것으로 판단된다.

③ 백태

백태는 미세균열부 틈새로 우수가 유입되어 수산화칼슘 융해에 의해 발생된 결함으로 내구성 확보를 위해 표면처리 보수가 필요할 것으로 판단된다.

④ 재료분리

재료분리는 콘크리트 타설 시 다짐불량에 의해 발생된 결함으로 손상규모가 경미하며, 단면력 저하 영향은 미미한 상태이므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

⑤ 들뜸, 파손

들뜸, 파손 등의 단면손상이 조사되었으며, 이는 신축이음 설치 시 외부충격 및 시공미흡에 의한 결함으로 판단되며, 내구성 확보를 위해 단면복구 보수방안이 바람직할 것으로 판단된다.

⑥ 체수

체수는 외측부 우수유입 및 신축이음 누수에 의해 발생된 결함으로 체수에 의한 내구성 저하 영향은 미미한 상태이므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

⑦ 잡철근노출

잡철근 노출은 시공 시 협재된 비배근 철근 및 거푸집 결속철근이 노출된 결함으로 내구성 저하 및 단면손상이 없는 상태이며, 내구성 저하 영향이 미미한 결함이므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

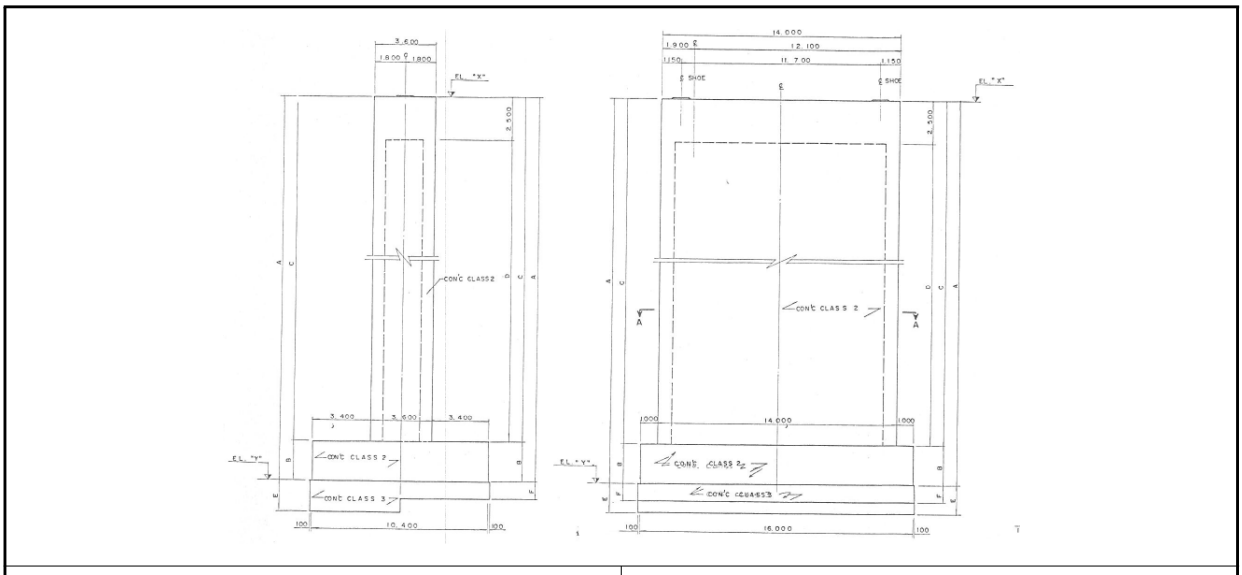
기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 균열(0.3mm미만), 균열(0.3mm이상), 망상균열, 백태, 단면손상, 체수, 잡철근노출의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 재료분리의 결함은 공용중 A1/흉벽에서 일부 보수가 실시되어 손상물량이 감소하였으며, 보수상태는 양호한 것으로 평가되었다.

【표 3.47】 교대의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2013년	2016년			
균열(0.3㎜미만)	m	2.00	18.40	+	16.40	• 상세조사에 의한 추가손상
균열(0.3㎜이상)	m	17.20	-	-	17.20	• 진단 기간중 보수완료
망상균열	㎡	49.00	51.28	+	2.28	• 상세조사에 의한 추가손상
망상균열 및 백태	㎡	-	1.40	+	1.40	• 상세조사에 의한 신규손상
백태	㎡	2.25	2.29	+	0.04	• 공용중 발생된 신규손상
재료분리	㎡	2.23	0.89	-	1.34	• 공용중 일부 보수완료
들뜸 및 파손	㎡	1.58	2.39	+	0.81	• 상세조사에 의한 추가손상
체수	㎡	3.00	33.50	+	30.50	• 공용중 발생된 추가손상
잡철근노출	㎡	0.24	0.73	+	0.49	• 상세조사에 의한 추가손상

나. 교각

상부구조를 지지하는 구조물인 교각은 벽식(중공)으로 되어있으며, 기초는 직접기초로 시공되어 있다. 현장조사는 도보 및 고소점검차를 이용한 근접조사를 실시하였다.





교각 전경(P2)



교각 전경(P3)

1) 현장조사 결과

교각에 대한 현장조사 결과, 건조수축 균열, 백태, 표면불량, 보수재 박리, 재료분리, 단면손상, 잡철근노출, 앵커볼트노출의 결함이 조사되었고, 기존 손상에 대한 일부 표면처리 보수가 실시되었으며, 보수상태는 양호하다. 손상현황은 【표 3.48】과 같다.

【표 3.48】 교각 손상발생 현황(춘천)

구분	균열			열화 및 손상			
	(0.3㎜미만) (m/EA)	(0.3㎜이상) (m/EA)	망상균열 (㎡/EA)	파손 (㎡/EA)	들뜸 (㎡/EA)	표면불량 (㎡/EA)	잡철근노출 (㎡/EA)
P1	10.40 / 8	13.10 / 11	2.52 / 1	0.66 / 16	4.48 / 4	-	0.04 / 2
P2	33.30 / 37	8.00 / 7	1.75 / 1	0.09 / 7	1.58 / 3	-	0.17 / 6
P3	43.20 / 47	0.90 / 1	1.02 / 2	0.12 / 6	5.29 / 6	0.53 / 4	0.02 / 1
P4	29.00 / 27	4.00 / 3	13.50 / 1	0.12 / 9	7.24 / 3	-	0.01 / 1
합계	**115.90 / 119**	**26.00 / 22**	**18.79 / 5**	**0.99 / 38**	**18.59 / 16**	**0.53 / 4**	**0.24 / 10**

2) 손상별 현황



현 황	◦ P3/상면 균열(Cw=0.1㎜, L=0.5m)
원 인	◦ 시공초기 건조수축
대 책	◦ 주의관찰



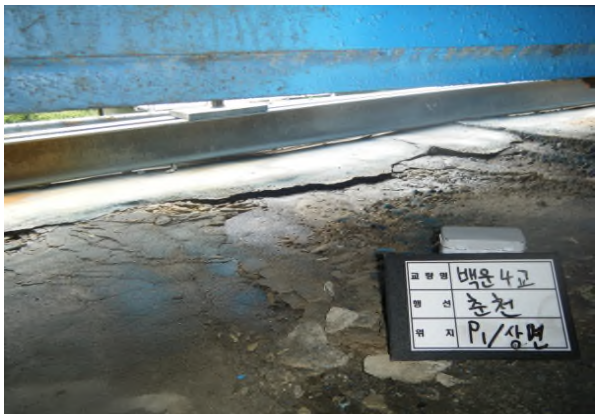
현 황	◦ P2/배면 균열(Cw=0.4㎜, L=1.5m)
원 인	◦ 시공초기 건조수축 및 수화열
대 책	◦ 주입보수



현 황	◦ P1/상면 망상균열(A=2.52㎡)
원 인	◦ 시공초기 건조수축
대 책	◦ 주의관찰



현 황	◦ P1/배면 파손(A=0.06㎡)
원 인	◦ 외부충격
대 책	◦ 단면복구

			
현 황	◦ P3/상면 몰탈 들뜸, 박락(A=1.69㎡)	**현 황**	◦ P1/상면 몰탈 들뜸, 박락(A=0.80㎡)
원 인	◦ 교각 상면 몰탈 표면처리부 시공미흡		
대 책	◦ 몰탈보수		
			
현 황	◦ P3/좌측면 표면불량(A=0.42㎡)	**현 황**	◦ P3/상면 잡철근노출(A=0.02㎡)
원 인	◦ 시공미흡	**원 인**	◦ 시공미흡
대 책	◦ 단면복구	**대 책**	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

① 균열 및 망상균열

교각에서 조사된 균열 및 망상균열은 시공초기 건조수축 및 수화열에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 폭 0.3㎜이상의 균열에 대해서는 주입보수를 실시하고, 폭 0.3㎜미만의 균열은 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

② 파손 및 표면불량

교각에서 발생된 파손은 외부충격, 표면불량은 시공미흡에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 손상 규모가 경미하여 구조물의 안전성에 미치는 영향은 미미하나 피복두께 확보를 위해 단면복구가 적합할 것으로 판단된다.

③ 들뜸

들뜸은 대부분 교각 상면 몰탈 표면보수부에서 발생된 결함으로 시공미흡이 원인으로 판단되며, 유지관리 차원에서 몰탈보수가 바람직할 것으로 판단된다.

④ 잡철근노출

잡철근 노출은 시공 시 협재된 비배근 철근 및 거푸집 결속철근이 노출된 결함으로 내구성 저하 및 단면손상이 없는 상태이며, 내구성 저하 영향이 미미한 결함이므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 균열(0.3mm미만), 균열(0.3mm이상), 파손, 들뜸, 표면불량, 잡철근노출의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규) 손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었으며, 망상균열의 결함은 공용중 일부 보수가 실시되어 손상물량이 감소하였으며, 보수상태는 양호한 것으로 평가되었다.

【표 3.49】 교각의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2013년	2016년		
균열(0.3㎜미만)	m	58.50	115.90	+ 57.40	• 상세조사에 의한 추가손상
균열(0.3㎜이상)	㎡	24.50	26.00	+ 1.50	• 상세조사에 의한 추가손상
망상균열	㎡	20.79	18.79	- 2.00	• 공용중 일부 보수완료
파손	㎡	0.71	0.99	+ 0.28	• 상세조사에 의한 추가손상
들뜸	㎡	12.91	18.59	+ 5.68	• 상세조사에 의한 추가손상
표면불량	㎡	0.08	0.53	+ 0.45	• 상세조사에 의한 추가손상
잡철근노출	㎡	-	0.24	+ 0.24	• 상세조사에 의한 신규손상

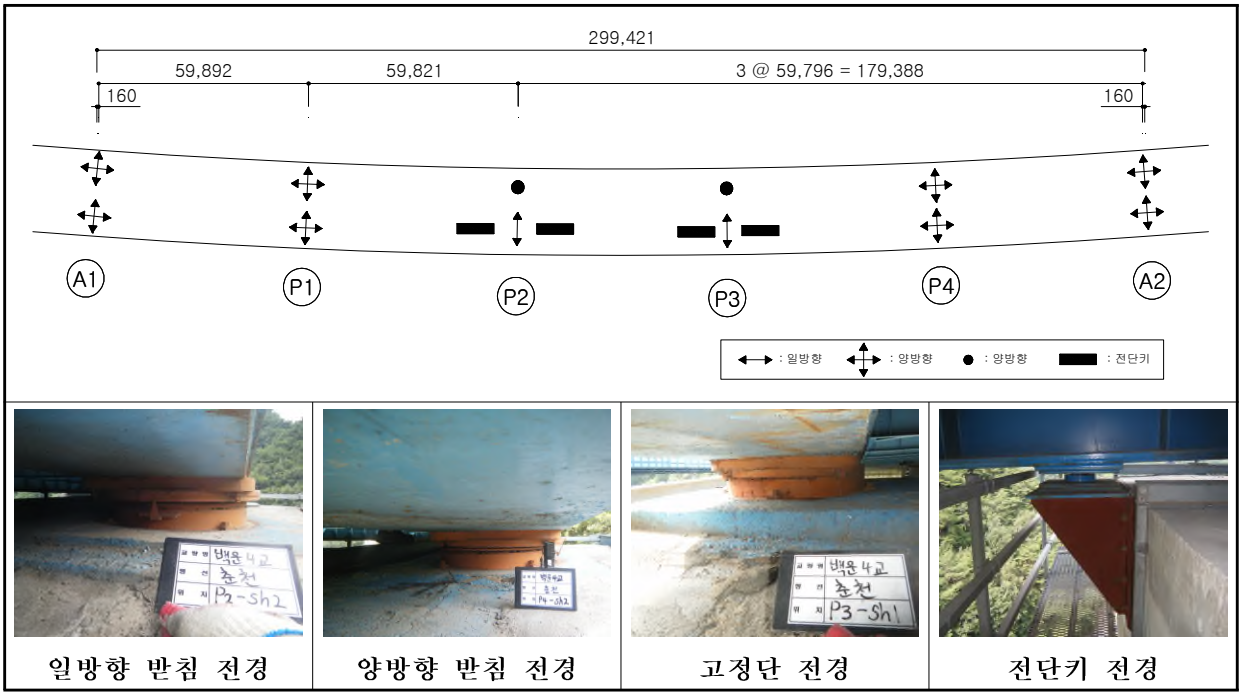
5) 교각의 연직도 측정결과

본 교량은 시공당시 교고가 높아 밀어내기공법(I.L.M)으로 시공된 교량으로 시공중 교각의 변위여부를 확인하기 위하여 광파기를 이용한 교각의 연직도를 측정하였으며, 검토결과 수평변위량은 10mm미만으로 시공중 교각의 변위는 없는 것으로 판단된다.

구분	측정 높이 (mm)	수평변위량 (mm)	기울기	검토결과	비고
P1	26,140	6	1 / 4,357	• 수평변위량은 10mm 미만으로 교각의 연직도는 양호한 상태로 밀어내기공법(I.L.M)에 의한 교각의 변위는 없는 것으로 평가됨	
P2	28,115	2	1 / 14,057		
P3	29,136	8	1 / 3,642		
P4	19,448	9	1 / 2,160		

3.3.3 교량받침

백운4교(춘천)의 교량받침은 포트받침으로 일방향 가동단 2개소, 양방향 가동단 8개소, 고정단 2개소로 총 12개소 설치되어 있으며, 2009년 내진보강에 의하여 P2, P3에 전단키가 2개소씩 총 4개소 보강된 상태이다. 받침배치 현황은 다음과 같다.



일방향 받침 전경

양방향 받침 전경

고정단 전경

전단키 전경

가. 받침장치 외관상태 조사결과

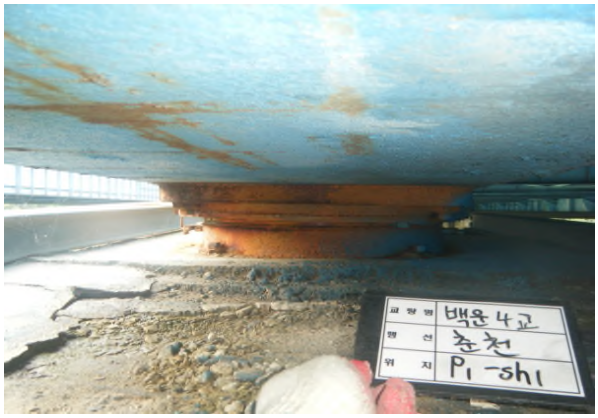
1) 현장조사 결과

받침장치에 대한 현장조사 결과, 받침장치에서 부식, 전단키부식과 받침콘크리트에서 균열(0.2㎜), 망상균열, 들뜸 및 잡철근노출의 손상이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.50】와 같다.

【표 3.50】 교량받침의 손상발생 현황(춘천)

구분	받침 본체		받침 콘크리트		
	부식 (㎡/EA)	전단키 부식 (㎡/EA)	균열 (0.2mm이하) (m/EA)	망상균열 (0.2mm이하) (㎡/EA)	잡철근노출 (㎡/EA)
A1	0.40 / 1	-	-	-	-
P1	0.72 / 1	-	-	0.15 / 1	-
P2	0.12 / 1	2.00 / 2	-	0.48 / 1	-
P3	0.72 / 1	2.00 / 2	0.80 / 2	0.96 / 2	0.01 / 1
P4	0.05 / 1	-	-	-	-
A2	1.08 / 2	-	-	-	-
합계	**3.09 / 7**	**4.00 / 4**	**0.80 / 2**	**1.59 / 4**	**0.01 / 1**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ A2/SH1 본체부식(A=0.72㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ P1/SH1 본체부식(A=0.16㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td colspan="3">◦ 공용장기화에 따른 도장열화 및 외측부 우수접촉</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td colspan="3">◦ 도장보수</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ P2/A1측 전단키 부식(A=1.00㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ P3/A2측 전단키 부식(A=1.00㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td colspan="3">◦ 공용장기화에 따른 도장열화 및 외측부 우수접촉</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td colspan="3">◦ 도장보수</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ P3/SH1 균열(Cw=0.2㎜ L=0.4m)</td><td>현 황</td><td>◦ P3/SH2 망상균열(A=0.05㎡)</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>◦ 주의관찰</td><td>대 책</td><td>◦ 주의관찰</td></tr>
</table>

			
현 황	◦ P3/SH1 잡철근노출(A=0.01㎡)	**현 황**	◦ P2/SH2 기존 받침부식 도장보수완료
원 인	◦ 시공미흡	**평 가**	◦ 상태양호
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 유지관리

3) 원인분석 및 대책방안

㉠ 받침장치 및 전단키 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 도장보수가 바람직할 것으로 판단되며, 받침장치의 기존 부식부에 대한 도장보수가 실시되었고, 보수상태는 전반적으로 양호한 것으로 조사되었다.

㉡ 받침콘크리트 균열 및 망상균열

받침콘크리트 균열 및 망상균열은 시공초기 건조수축에 의해 발생된 Cw=0.2㎜이하의 비구조적 균열로 받침장치의 기능성 저하 영향은 없으며, 허용균열폭(0.3mm) 미만이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

㉢ 받침콘크리트 잡철근노출

받침콘크리트의 잡철근노출은 시공 시 협재된 철근이 노출되어 발생된 결함으로 시공미흡이 원인으로 판단되며, 그에 따른 받침장치의 기능성 및 내구성 저하 영향은 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

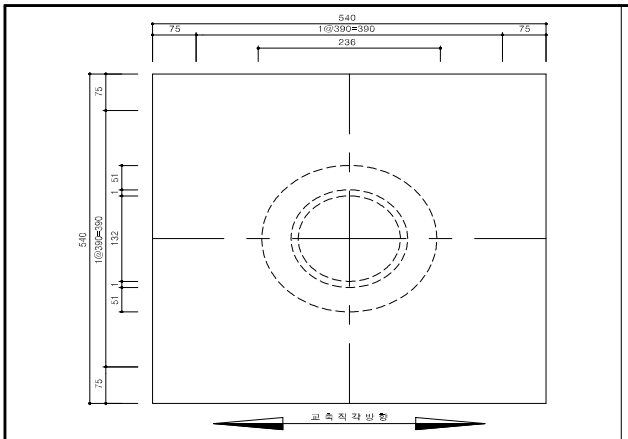
기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 전단키 부식, 받침콘크리트 균열(0.2mm이하), 잡철근노출의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용기간 증가에 따른 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었고, 받침 본체부식은 공용기간 증가에 따른 추가손상이 조사되었으나 기 손상에 대한 보수가 실시되어 손상물량은 감소하였으며, 받침콘크리트 망상균열 및 잡철근노출의 결함은 기 손상과 동일하게 조사되었다.

【표 3.51】 받침장치의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

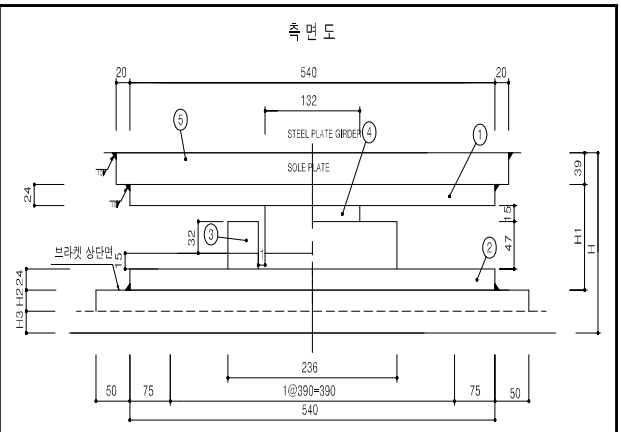
손상내용		단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
			2013년	2016년			
받침 본체	본체 부식	㎡	4.45	3.09	-	1.36	• 기 손상 보수 및 추가손상
	전단키 부식	㎡	-	4.00	+	4.00	• 공용중 발생된 신규손상
받침 콘크리트	균열(0.2㎜이하)	m	0.40	0.80	+	0.40	• 상세조사에 의한 추가손상
	망상균열	㎡	1.59	1.59		-	• 손상변화 없음(동일손상)
	잡철근노출	㎡	0.01	0.01		-	• 손상변화 없음(동일손상)

5) 내진 전단키 제원 조사결과

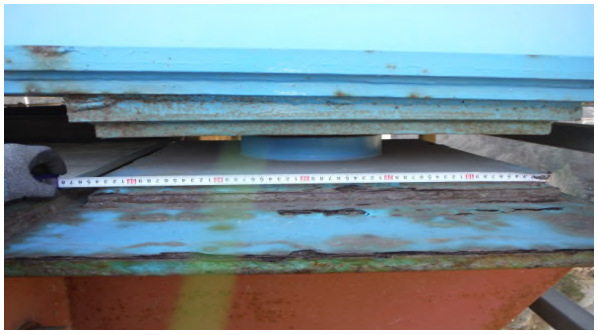
내진 전단키에 대한 조사 결과, 외관상 특이사항이 없고, 제원은 설계도면과 일치하며, 상·하부 간의 이격거리를 확보하는 것으로 검토되어 내진 전단키의 기능성은 확보된 것으로 판단된다.



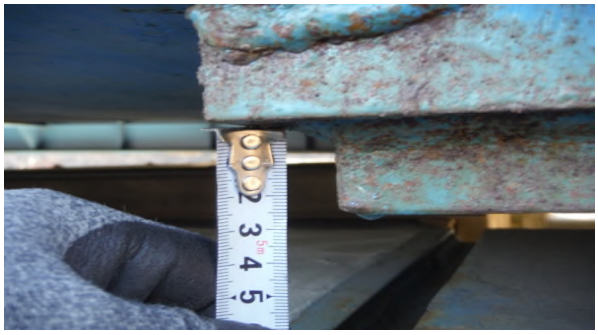
< 평 면 도 >



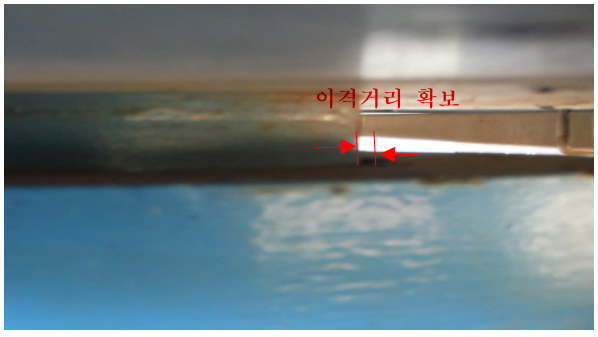
< 측 면 도 >



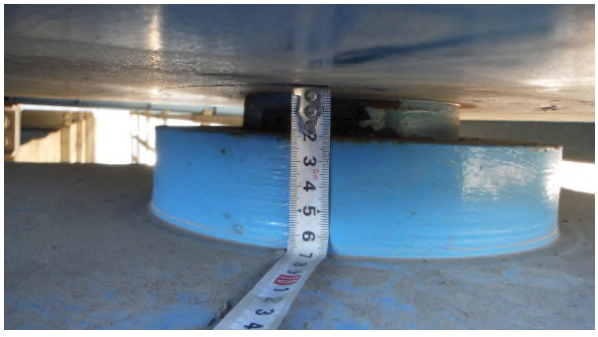
하부 플랜지 길이(540mm) = 설계(540mm)



상부 플랜지 두께(25mm) ≒ 설계(24mm)



상판 원형 강재와 하판 원형 강재 간 이격거리 확보



상부 플랜지와 하판 원형강재 간 이격(20mm)

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 최소값과 각 지점별 실측 연단거리를 비교・검토하였다.

1) 최소 연단거리 산정결과

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

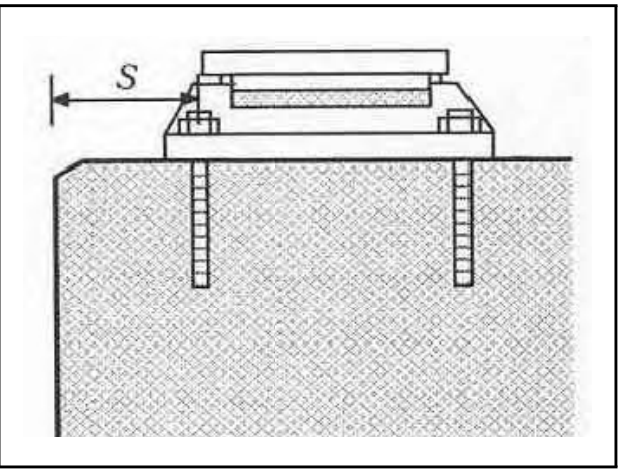
여기서, S : 받침연단거리(㎜), L : 거더의 경간길이(m)

구분	A1	P1		P2		P3		P4		A2
		A1	A2	A1	A2	A1	A2	A1	A2	
경간길이(m)	59.89	59.89	59.82	59.82	59.80	59.80	59.80	59.80	59.80	59.80
최소연단거리(㎜)	499	499	499	499	499	499	499	499	499	499

* 최소연단거리(mm)의 계산값은 소수 첫째 자리에서 반올림하여 수록함

② 연단거리-콘크리트면의 가장자리로부터 가장 가까운 앵커중심까지의 거리





2) 연단거리 검토결과

실측 연단거리와 최소 연단거리를 비교검토한 결과, 전 개소에서 실측 연단거리가 최소 연단거리를 상회하는 것으로 평가되었다.

【표 3.52】 연단거리 측정결과(춘천)

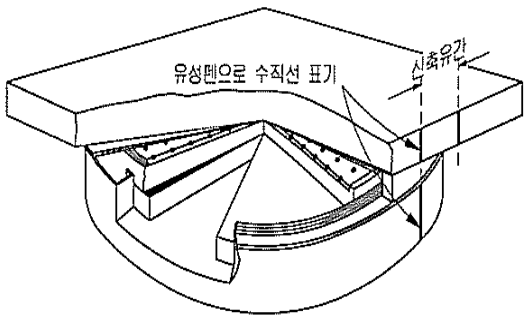
위치		최소 연단거리 (mm)	실측 연단거리(mm)		검토 결과
			Sh1	Sh2	
A1		499	760	760	O.K
P1	A1	499	1560	1510	O.K
	A2	499	1550	1535	O.K
P2	A1	499	1440	1560	O.K
	A2	499	1450	1550	O.K
P3	A1	499	1500	1590	O.K
	A2	499	1430	1510	O.K
P4	A1	499	1525	1570	O.K
	A2	499	1570	1590	O.K
A2		499	790	800	O.K

다. 교량받침 가동량 검토결과

본 교량의 받침형식은 포트받침으로 1차, 2차에 걸쳐 받침장치 가동량을 검토함으로써 온도변화에 따른 받침 신축거동상태 및 가동여유량을 평가하여 교량받침의 기능저하를 방지하고자 한다. 받침 가동여유량 평가기준은 【표 3.53】와 같다.

【표 3.53】 교량받침 가동량 평가기준





(계속)

평가 기준

▣ 온도에 의한 가동량

$\triangle l_t$ = ⊿T×α×L(신축거더 길이)

⊿T = 온도변화(-20℃～+40℃) → 강교(한랭지방) : 강판형교

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5}) → 강교 : 강판형교

※ 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	(07.20)	A1, P1 : 27.0℃	
		(07.18)	P4, A2 : 23.3℃	
	2차 (09.28)		21.0℃	
온도에 의한 가동량($\triangle l_t$)	$\triangle l_t$ = ⊿T×α×L			
보의 중립축까지 높이2h/3(h_i)	$\frac{2}{3}\times4.000$			
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	P3	P4	A2
	119.71	59.82	고정단	고정단	59.80	119.59

※ 처짐에 의한 신축량은 팽창시만 고려하여 계산

1) 온도변화에 따른 받침 신축거동상태 검토결과

교량받침의 이동량은 2회(1차: 23.3℃(07월18일), 27.0℃(07월20일), 2차: 21.0℃(09월28일))에 걸쳐 측정하였으며, 변동량 측정결과는 【표 3.54】과 같이 실측치와 이론치가 유사하게 검토되었다. 따라서 본 교량받침의 온도변화에 따른 신축거동상태는 양호한 것으로 판단된다.

【표 3.54】 계산가동량 산정결과(부산)

구 분		실측 이동량(mm)		변동량(mm)		비고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	55 (A1)	48 (A1)	7	8	양호
	Sh2	45 (A1)	38 (A1)	7		
P1	Sh1	40 (A1)	33 (A1)	7	5	양호
	Sh2	40 (A1)	33 (A1)	7		
P2	-	고 정 단				
P3	-	고 정 단				
P4	Sh1	35 (A2)	33 (A2)	2	2	양호
	Sh2	32 (A2)	30 (A2)	2		
A2	Sh1	28 (A2)	25 (A2)	3	3	양호
	Sh2	30 (A2)	27 (A2)	3		

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 교각 연속부는 온도변화에 의한 가동량만 고려하며, 교대 단부는 온도변화 및 활하중에 의한 처짐을 고려하여 검토하였다.

【표 3.55】 계산가동량 산정결과(춘천)

구분	위치	측정시 온도 (℃)	온도변화(Δlt)		선팽창 계수	신축거더 길이 (m)	처짐(Δlr) (㎜)	계산 가동량(㎜)	
			동절기	하절기				동절기 (최대수축시)	하절기 (최대팽창시)
A1	1차	27.0	68	18	1.2×10^{-5}	119.71	18	68	36
	2차	21.0	59	27	1.2×10^{-5}	119.71	18	59	45
P1	1차	27.0	34	9	1.2×10^{-5}	59.82	-	34	9
	2차	21.0	29	14	1.2×10^{-5}	59.82	-	29	14
P2		고 정 단							
P3		고 정 단							
P4	1차	23.3	31	12	1.2×10^{-5}	59.80	-	31	12
	2차	21.0	29	14	1.2×10^{-5}	59.80	-	29	14
A2	1차	23.3	62	24	1.2×10^{-5}	119.59	18	62	42
	2차	21.0	59	27	1.2×10^{-5}	119.59	18	59	45

※ 처짐에 의한 신축량은 교대(A1, A2) 단부에서 팽창시에만 고려하며, 교각(연속부)은 고려하지 않음

3) 교량받침 가동여유량 검토결과

받침장치 가동량을 실측하여 계산가동량과 비교 검토한 결과, A2를 제외한 전 개소에서 실측여유량이 계산가동량을 상회하는 것으로 검토되었다.

【표 3.56】 교량받침 가동여유량 검토결과(춘천)

구 분		최대 수축시 가동량 검토(mm)						최대 팽창시 가동량 검토(mm)					
		1차 측정(07.18~20)			2차 측정(09.28)			1차 측정(07.18~20)			2차 측정(09.28)		
		①	②	평가	①	②	평가	①	②	평가	①	②	평가
A1	Sh1	105	68	O.K	98	59	O.K	-5	36	N.G	2	45	N.G
	Sh2	95		O.K	88		O.K	5		N.G	12		N.G
P1	Sh1	90	34	O.K	83	29	O.K	10	9	O.K	17	14	O.K
	Sh2	90		O.K	83		O.K	10		O.K	17		O.K
P2		고 정 단											
P3		고 정 단											
P4	Sh1	85	31	O.K	83	29	O.K	15	12	O.K	17	14	O.K
	Sh2	82		O.K	80		O.K	18		O.K	20		O.K
A2	Sh1	160	62	O.K	160	59	O.K	22	42	N.G	25	45	N.G
	Sh2	80		O.K	77		O.K	20		N.G	23		N.G

① : 실측여유량, ② : 계산가동량

4) A2측 교량받침 가동여유량 부족 원인 검토결과

A1, A2측 받침장치의 가동여유량 부족 원인에 대한 검토결과는 다음과 같다.

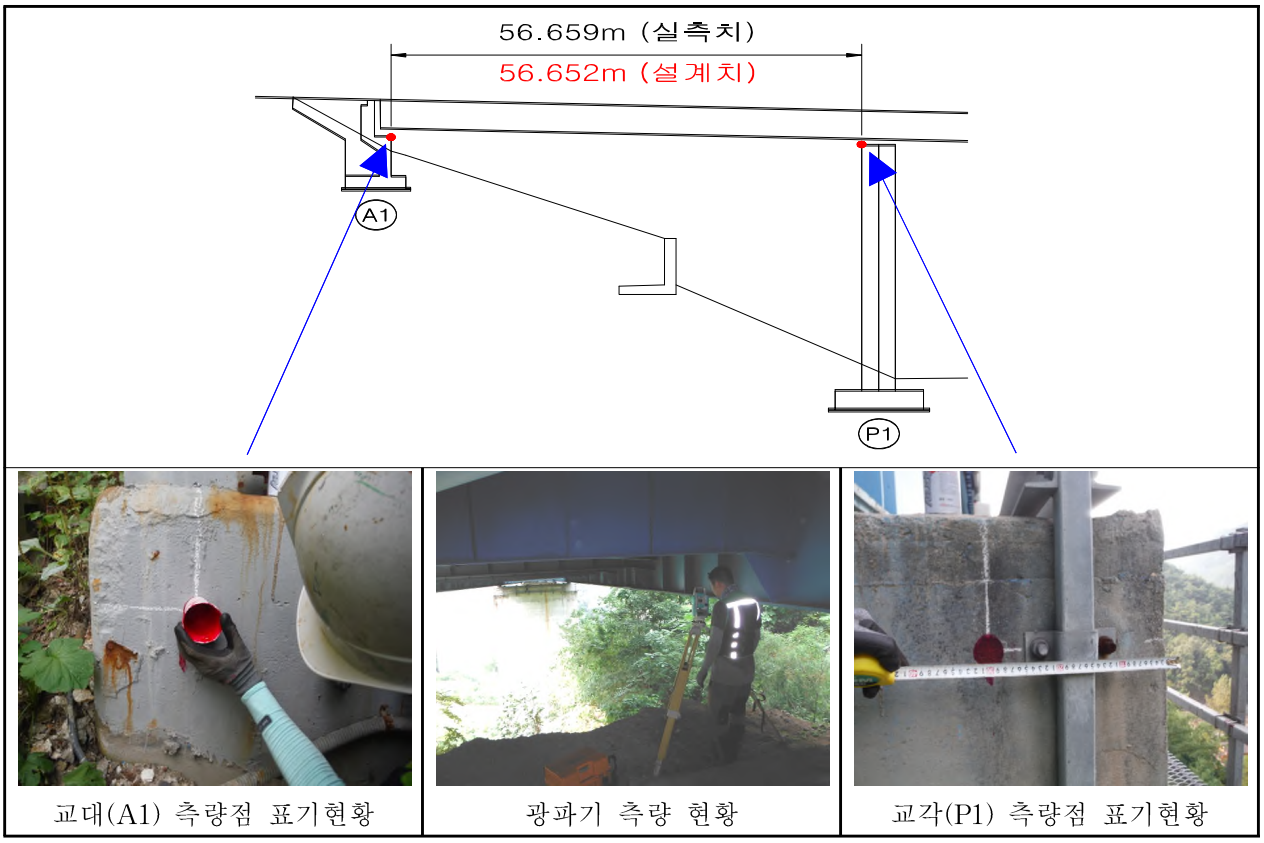
① 기 진단(2013년도) 시 검토결과

A1, A2측 받침장치 가동여유량 부족은 기 진단(2013년도) 시에도 동일하게 조사된 결함으로 최대 신장시(40℃) 허용변위량(±50)를 다소 초과하는 것으로 검토되었으며, 현 상태에서의 받침 이탈이나 주변 시설물의 특이한 손상은 없는 상태이며, 받침의 가동도 정상적으로 작동하므로 주의관찰을 통한 지속적인 유지관리가 요구되는 것으로 검토되었다.

구 분		기 능	이동거리(㎜)			산출이동량(㎜)								허용 변위량 (㎜)	비고
			측정 이동량			최대 신장시				최대 수축시					
			방향	1차	2차	방향	1차	방향	2차	방향	1차	방향	2차		
A1	SH1	양방향	A1	45.0	28.0	A1	**78.9**	A1	**69.9**	A2	10.9	A2	19.9	±50	**N.G**
	SH2	양방향	A1	45.0	28.0	A1	**78.9**	A1	**69.9**	A2	10.9	A2	19.9		
A2	SH1	일방향	A2	30.0	19.0	A2	**63.9**	A2	**60.9**	A1	25.9	A1	28.9	±50	**N.G**
	SH2	양방향	A2	30.0	19.0	A2	**63.9**	A2	**60.9**	A1	25.9	A1	28.9		

② 측량에 의한 교대변위(A1) 여부 검토결과

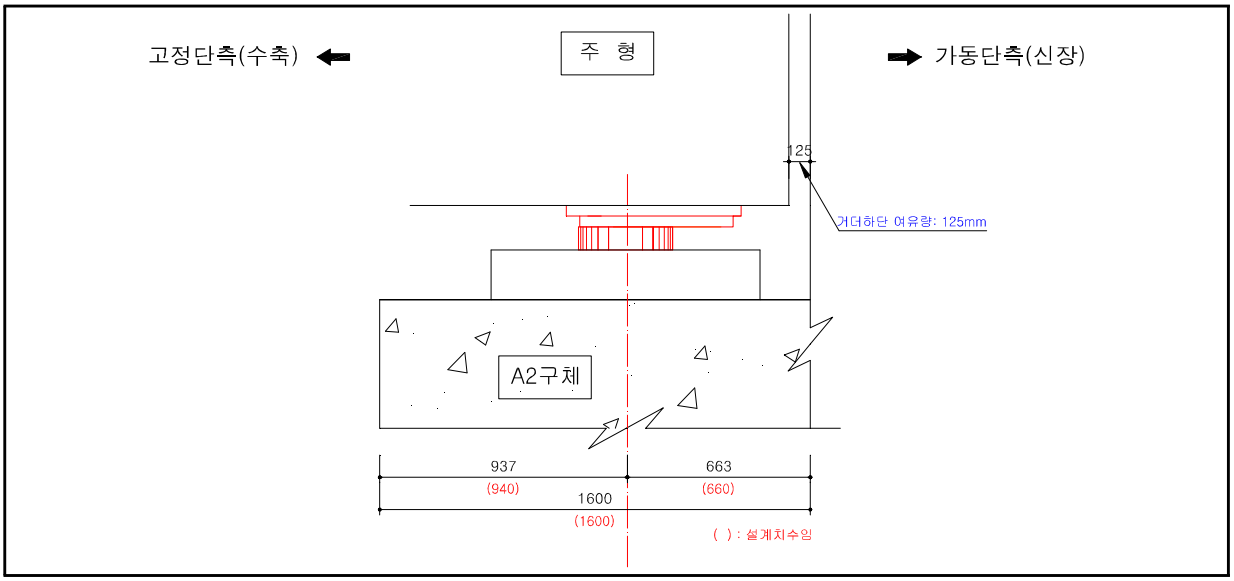
광파기 측량을 통해 교대(A1)와 교각(P1)의 거리를 측정할 결과, 실측치는 56.659m이며, 설계치는 56.652m로 +0.007m의 미소한 오차로 교대변위는 없는 것으로 검토되었다.



교대(A1) 측량점 표기현황 | 광파기 측량 현황 | 교각(P1) 측량점 표기현황

③ 받침장치 제원 검토결과

A1-SH1에 대한 받침장치 제원 검토결과, 받침장치 중심은 교대(A1) 흉벽에서 660mm에 설계되었고, 실측치는 663mm로 측정되어 오차 범위는 3mm이내이므로 교대 교좌면의 Lower Shoe 배치오류는 없는 것으로 검토되었다.



【그림 3.5】 A1-SH1 제원 실측 개요도

④ 받침장치 허용 가동량 검토결과

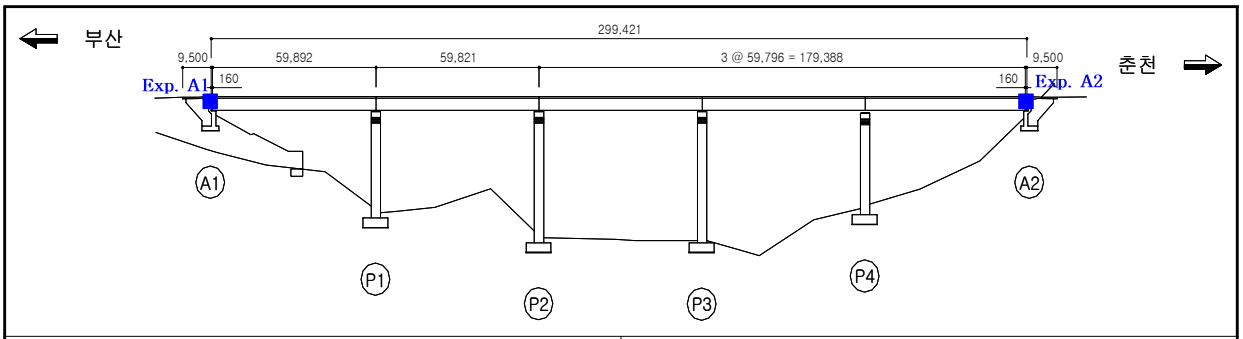
A1, A2의 받침장치 허용 가동량은 ±50mm이나 온도변화 및 거더 처짐에 의한 계산가동량 범위는 A1측은 68mm(수축)+36mm(팽창+처짐)=104mm(±52mm)이며, A2측은 62mm(수축)+42mm(팽창+처짐)=104mm(±52mm)로 검토되어 받침장치 허용 가동량은 미소하게 부족한 것으로 평가되었으나 실온도 변화에 의한 허용 가동량은 문제가 없을 것으로 판단된다.

⑤ 결론

교대 측방유동은 발생치 않았으며, 받침장치 Lower Shoe의 배치도 설계와 일치하는 상태이고, 받침장치 허용 가동량도 문제가 없는 것으로 검토되어 교대의 받침 가동여유량 부족은 온도변화에 따른 Upper Shoe 시공오류 및 사하중에 의한 회전변위량 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 현장조사 시 A1과 A2측의 거더 단부는 125mm의 가동 여유량을 확보하고 있고, 가동여유량 부족에 의한 구조적인 결함이나 교량 신축거동에 문제가 될만한 손상은 관찰되지 않으므로 보수방안보다는 현 상태에서 주의관찰토록 하며, 향후 받침 교체 계획 시 온도변화량 및 받침 허용 가동량을 고려하여 교체하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3.3.4 신축이음장치

신축이음은 A1, A2지점부에 2개소로 A1측은 강핑거 조인트, A2측은 리플렉션조인트로 시공되었으며, 신축이음 배치 현황은 다음과 같다.





신축이음장치 A1 전경



신축이음장치 A2 전경

【그림 3.6】 백운4교(춘천) 신축이음 배치도

가. 신축이음장치 외관상태 조사결과

1) 현장조사 결과

신축이음 현장조사 결과, 유간 토사퇴적, 후타재 균열(0.3㎜미만), 덮개판 고정볼트 탈락의 결함이 조사되었으며, 손상 현황은 【표 3.57】와 같다.

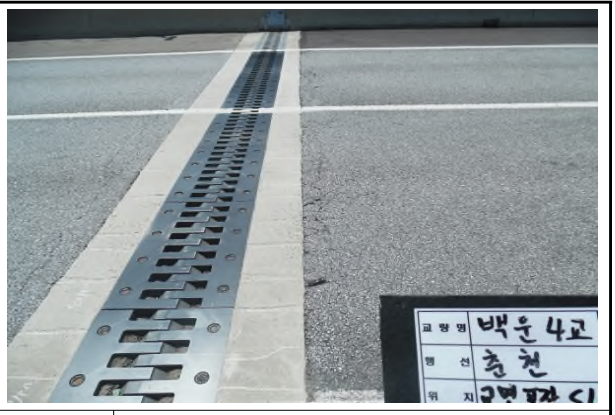
【표 3.57】신축이음 손상 발생 현황(춘천)

구분	본체	후타재	덮개판
	토사퇴적	균열0.3㎜미만	고정볼트 탈락
	(m/EA)	(m/EA)	(EA)
A1	-	14.70 / 49	-
A2	3.00 / 1	13.30 / 33	7
합계	**3.00 / 1**	**28.00 / 82**	**7**

2) 손상별 현황



현 황	◦ A2 신축이음 토사퇴적(L=3.00m)
원 인	◦ 공용중 우수 등에 의해 퇴적
대 책	◦ 청소



현 황	◦ A1 신축이음 후타재균열(Cw=0.2㎜) : 0.30m~0.50m 간격으로 발생
원 인	◦ 건조수축 및 차량반복 하중
대 책	◦ 표면처리



현 황	◦ A2 신축이음 후타재균열(Cw=0.2㎜) : 0.50m~0.70m 간격으로 발생
원 인	◦ 건조수축 및 차량반복 하중
대 책	◦ 표면처리



현 황	◦ A2 신축이음 덮개판 볼트탈락 (7EA)
원 인	◦ 제설작업 시 외부충격 및 교량진동
대 책	◦ 볼트 재설치

3) 원인분석 및 대책방안

① 토사퇴적

공용 중 우수 등에 의해 갓길측에서 토사가 퇴적된 것으로 판단되며, 신축이음의 원활한 거동을 위해 주기적인 청소가 적합할 것으로 판단된다.

② 후타재 균열

후타재균열은 시공초기 건조수축 및 차량반복 하중에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 신축이음의 신축거동에 미치는 영향은 없으나 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 표면처리하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

③ 덮개판 고정볼트 탈락

덮개판 고정볼트 탈락은 공용중 제설작업 시 외부충격 및 교량진동에 의해 발생된 결함으로 판단되며, 덮개판 탈락의 우려가 있으므로 볼트 재설치가 바람직할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 신축이음 토사퇴적의 결함은 일부 보수가 완료되어 손상물량이 감소하였고, 후타재 균열은 금회 진단 시 상세조사에 따른 추가손상이 조사되어 손상물량은 증가되었으며, 덮개판 고정볼트 탈락은 동일손상으로 손상변화가 없는 것으로 조사되었다.

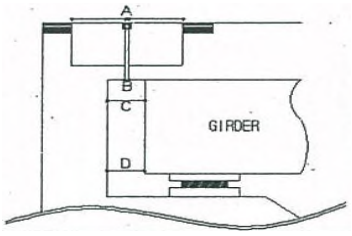
【표 3.58】 신축이음장치의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용		단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
			2013년	2016년		
신축이음	토사퇴적	m	11.00	3.00	- 8.00	• 일부 보수완료
후타재	균열(0.3㎜미만)	m	6.60	28.00	+ 21.40	• 상세조사에 의한 추가손상
덮개판	고정볼트 탈락	EA	7	7	-	• 손상변화 없음(동일손상)

나. 신축이음장치 거동상태 검토결과

1) 계산 신축량 산정방법

【표 3.59】 계산 신축량 산정

<table>
<tr><td rowspan="4"> 
</td><td rowspan="2">A1</td><td>1차</td><td>2016년 7월 20일</td><td>27.0℃</td><td rowspan="4">원주기상대</td></tr>
<tr><td>2차</td><td>2016년 9월 28일</td><td>21.0℃</td></tr>
<tr><td rowspan="2">A2</td><td>1차</td><td>2016년 7월 18일</td><td>23.3℃</td></tr>
<tr><td>2차</td><td>2016년 9월 28일</td><td>21.0℃</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td><td>  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>신축이음 유간(A)</td><td>바닥판 유간(B)</td><td>거더상단 유간(C)</td><td colspan="2">거더하단 유간(D)</td></tr>
<tr><td>평가 기준</td><td colspan="5">▣ 온도에 의한 신축량
Δl_t = ⊿T×α×L(신축거더 길이)
ΔT = 온도변화(-20℃～+40℃)→ 강판형교 : 한랭지방
α = 선팽창계수(1.2×10^{-5})→ 강판형교

※ 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>
▣ 계산 신축량 산정
<table><tr><td>온도변화 범위</td><td colspan="2">-20℃～+40℃</td><td>선팽창 계수(α)</td><td>1.2×10^{-5}</td></tr><tr><td rowspan="3">점검시 기온(℃)</td><td rowspan="2">1차</td><td>07.20</td><td colspan="2">A1 : 27.0℃</td></tr><tr><td>07.18</td><td colspan="2">A2 : 23.3℃</td></tr><tr><td colspan="2">2차 (09.28)</td><td colspan="2">A1, A2 : 21.0℃</td></tr><tr><td>온도에 의한 신축량(Δl_t)</td><td colspan="4">Δl_t = ⊿T×α×L</td></tr></table>
<table><tr><td rowspan="2">신축거더 길이 (L)</td><td>A1</td><td>A2</td></tr><tr><td>119.71m</td><td>119.59m</td></tr></table>
※ 공용기간이 16년이상인 교량이므로 건조수축 및 크리프의 영향은 고려하지 않음</td></tr>
</table>

2) 계산 신축량 산정결과

【표 3.60】 계산 신축량 산정결과

위치		측정시 온도 (℃)	온도변화(ΔT)		선팽창 계수	신축거더 길이 (m)	최대 신축량(㎜)	
			동절기 (℃)	하절기 (℃)			동절기 (최대수축시)	하절기 (최대팽창시)
A1	1차	27.0	47.0	13.0	1.2×10^{-5}	119.71	68	18
	2차	21.0	41.0	19.0	1.2×10^{-5}	119.71	59	27
A2	1차	23.3	43.3	16.7	1.2×10^{-5}	119.59	62	24
	2차	21.0	41.0	19.0	1.2×10^{-5}	119.59	59	27

3) 신축이음 유간거리 측정결과

신축이음 유간거리에 대한 실측값은 【표 3.61】과 같으며, 1차, 2차의 실측 변동량을 이론치와 비교검토한 결과, 이론치와 유사하게 변동되므로 온도변화에 따른 신축거동은 원활한 것으로 판단된다.

【표 3.61】 신축이음 유간거리 측정결과(단위 : ㎜)

구 분		실측 이동량(mm)		변동량(mm)		비고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	신축이음장치	65	75	10	9	양호
	바닥판	175	185	10		
	거더 상단	175	185	10		
	거더 하단	125	138	13		
A2	신축이음장치	164	167	3	3	양호
	바닥판	147	150	3		
	거더 상단	169	172	3		
	거더 하단	125	130	5		

4) 신축이음 가동여유량 검토결과

신축이음 가동여유량 검토결과는 【표 3.62】와 같으며, 신축이음장치 A1과 A2 모두 계산 신축량을 만족하는 상태이므로 본 교량의 신축이음 가동여유량은 양호한 것으로 평가되었다.

【표 3.62】 신축이음 유간거리 검토결과

부 재			측정유간 (㎜)	계산 신축량(㎜)		허용신축량 (㎜)	신축 여유량(㎜)		평가
				수축	팽창		수축	팽창	
Exp.J1(A1)	1차	A	65	68	18	230	97	46	양호
		B	175					156	
		C	175					156	
		D	125					106	
	2차	A	75	59	27		96	47	
		B	185					157	
		C	185					157	
		D	135					107	
Exp.J2(A2)	1차	A	164	62	24	230	4	140	양호
		B	147					123	
		C	169					145	
		D	125					101	
	2차	A	167	59	27		4	140	
		B	150					123	
		C	172					145	
		D	130					103	

※ 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 부재로 아스콘 포장으로 시공되었다.

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>S1 포장 전경</td><td>S4 포장 전경</td></tr>
</table>

가. 현장조사 결과

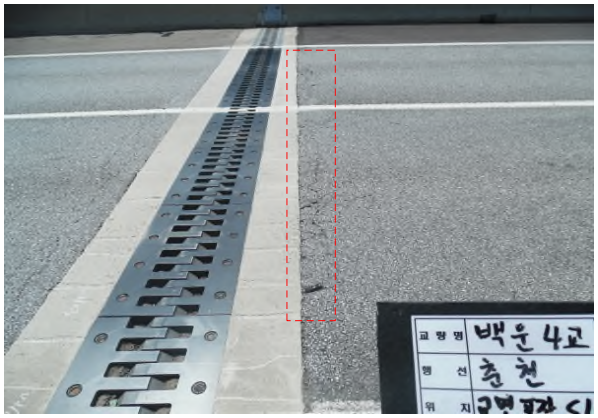
교면포장 현장조사 결과, 아스콘 망상균열, 코어채취부 마감불량의 결함이 발생하였으며, 길어께 및 갓길측의 기존 손상부는 전 구간 재포장 보수를 실시하여 보수가 완료되었으며, 재포장 상태는 양호한 것으로 조사되었다. 손상 현황은 다음과 같다.

【표 3.63】 교면포장의 손상현황(춘천)

구분	포장 망상균열(㎡/EA)	코어채취부 마감불량(㎡/EA)
S1	1.44 / 1	-
S2	-	0.01 / 1
S3	0.35 / 1	0.06 / 1
S4	-	-
S5	-	-
합계	**1.79 / 2**	**0.07 / 2**

주) 교량 종점측은 금대1터널이 인접하여 시공되어 있으며, 터널 내 갓길차선이 없어지므로 이에 따른 유도 방호벽이 S5/갓길 중 일부 설치되어 있고, 유도 방호벽 내측의 갓길은 재포장 보수가 미실시됨

나. 손상별 현황

<table>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S1 아스콘 망상균열(A=1.44㎡)</td><td>현 황</td><td>◦ S3 코어채취부 마감불량(A=0.06㎡)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦ 아스콘 단부 전압부족 및 중차량 통행</td><td>원 인</td><td>◦ 코어채취 시 마감불량</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦ 팻칭보수</td><td>대 책</td><td>◦ 주의관찰</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S1/갓길 아스콘 재포장 실시
⟹ 상태양호</td><td>현 황</td><td>◦ S5/2차선 포장 파손부 보수완료
⟹ 상태양호</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S2/갓길 포장 보수부 코어채취를 통한 방수층 조사결과: 상태양호</td><td>현 황</td><td>◦ S5/갓길 포장 미보수부 코어채취를 통한 슬래브 상면 조사결과: 상태양호</td></tr>
</table>

다. 원인분석 및 대책방안

1) 아스콘 망상균열

S1측 후타재 접합 단부에서 전압부족 및 중차량 통행에 의해 발생된 결함으로 손상규모가 경미하며, 통행차량의 주행성에 미치는 영향이 없으나 동절기 제설재 살포 등에 의한 바닥판 염화물 침투가 우려되므로 표면처리하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

2) 코어채취부 마감불량

코어채취부 마감불량은 기 진단 시 발생된 결함으로 손상 규모가 경미하고, 몰탈채움이 실시되어 바닥판 누수의 영향은 없는 상태이므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

3) 재포장 보수부 상태

길어깨 및 갓길측은 기 진단 결과에 따른 아스콘 재포장 보수가 실시되었으며, 아스콘 표면상태는 결함이 없는 양호한 상태이며, 코어채취를 통한 방수층 확인 결과도 양호하여 누수의 영향은 없을 것으로 판단되고, S5/갓길측 재포장 미실시 구간의 코어채취를 통한 슬래브 표면상태는 누수에 의한 열화가 없는 것으로 조사되었다. 따라서 바닥판 상면의 열화에 대한 보수는 완료된 것으로 판단된다.

라. 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 아스콘 균열, 망상균열, 들뜸, 불량 및 파손의 결함은 재포장 보수가 완료되어 손상물량이 감소하였으며, 코어채취부 마감불량은 기 진단 시 발생된 신규손상으로 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

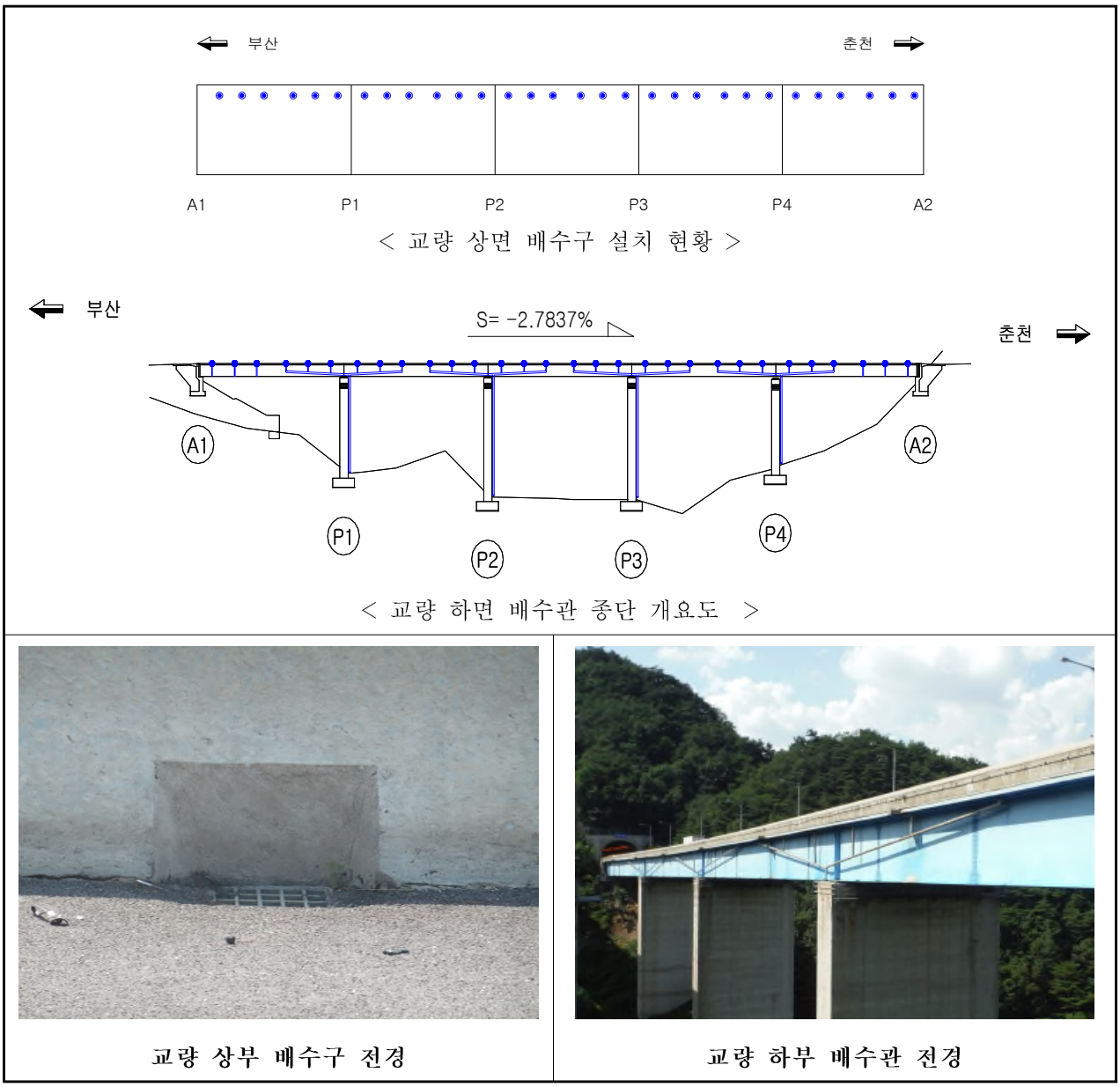
【표 3.64】 교면포장의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2013년	2016년		
아스콘 균열	m	110.50	-	- 110.50	• 재포장 보수완료
아스콘 망상균열	㎡	92.14	1.79	- 90.35	• 재포장 보수완료 및 일부 미보수
아스콘 들뜸	㎡	2.85	-	- 2.85	• 재포장 보수완료
아스콘 불량	㎡	4.60	-	- 4.60	• 재포장 보수완료
아스콘 파손	㎡	1.40	-	- 1.40	• 재포장 보수완료
코어채취부 마감불량	㎡	-	0.07	+ 0.07	• 기 진단시 발생된 신규손상

3.3.6 기타부재

가. 배수시설

배수시설은 우천 시 포장부의 교면수를 배출하기 위한 시설로서, 백운4교(춘천)의 배수시설은 횡구배(-0.939%~-3.0%)가 설계되어 교량 상부의 길어깨에 설치된 배수구(30EA)를 통하여 STEEL Pipe ϕ150㎜ 배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있으며, 시점에서 종점으로 하향 종구배(S=-2.7837%)가 설계되어 교면수가 자연배수되도록 시공되었다.



【그림 3.7】 백운4교(춘천) 배수시설 현황

1) 현장조사 결과

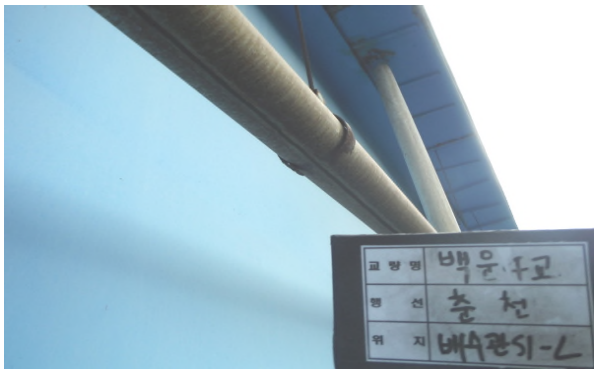
배수시설에 대한 현장조사 결과, 상부의 배수구는 재포장 보수 시 교체 보수된 상태이나 일부 이물질퇴적이 조사되었으며, 하부의 배수관에서 부식, 용접 연결부 탈락, 고정핀 부식 및 파손, 탈락의 결함이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.65】와 같다.

【표 3.65】배수시설의 손상현황(춘천)

구분	배수구	배수관		
	이물질퇴적 (EA)	용접 연결부 누수 및 탈락(EA)	고정핀 부식 (EA)	고정핀 탈락 (EA)
S1	3	1	9	2
S2	-	-	17	2
S3	-	-	10	4
S4	-	2	6	6
S5	-	-	8	1
합계	**3**	**3**	**50**	**15**

2) 손상별 현황

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S1 배수구 상태양호</td><td>현 황</td><td>◦ S1 배수구 이물질퇴적 (1EA)</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 
</td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦ S4/좌측 캔틸레버 배수관
용접부 탈락(1EA)</td><td>현 황</td><td>◦ S4/좌측 캔틸레버 배수관
용접부 부식 및 누수(1EA)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦ 용접불량 및 우수접촉</td><td>원 인</td><td>◦ 용접불량에 의한 누수 및 도장불량</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦ 용접보수</td><td>대 책</td><td>◦ 용접보수</td></tr>
</table>

			
현 황	◦ S1/좌측 캔틸레버 배수관 고정핀 부식 및 파손(1EA)	**현 황**	◦ S4/좌측 캔틸레버 배수관 고정핀 탈락(1EA)
원 인	◦ 오랜 공용중 우수접촉	**원 인**	◦ 오랜 공용중 우수접촉 및 시공불량
대 책	◦ 고정핀 재설치	**대 책**	◦ 고정핀 재설치

3) 원인분석 및 대책방안

① 배수구 이물질 퇴적

배수구 이물질 퇴적은 공용중 차량 통행, 우수 등에 의해 적치된 결함으로 교면수의 원활한 배수를 위해 청소 보수가 바람직할 것으로 판단된다.

② 용접부 누수(부식) 및 탈락

배수관 용접부 누수(부식) 및 탈락은 시공초기 용접불량 및 오랜 공용중 우수접촉에 의한 결함으로 판단되며, 누수가 진행되어 배수관 고정핀 부식의 원인이 되므로 용접보수가 필요할 것으로 판단된다.

③ 배수관 고정핀 부식

배수관 고정핀 부식은 오랜 공용중 배수관 누수에 의한 교면수 및 우수 접촉에 의한 결함으로 판단되며, 일부 부식이 심한 구간은 파손되어 탈락된 상태이므로 고정핀 재설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

④ 배수관 고정핀 탈락

배수관 고정핀 탈락은 원활한 배수를 위해 배수관은 종방향으로 구배가 형성된 상태이나 시공미흡에 의한 고정핀 길이가 부족하거나 부식에 의한 파손이 원인으로 판단되며, 향후 배수관 탈락의 우려가 있으므로 고정핀 재설치하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

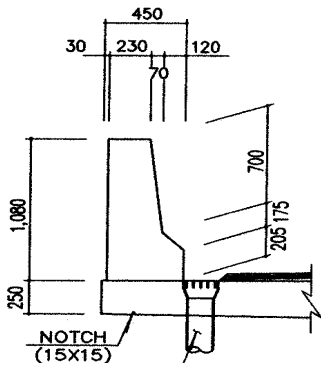
기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 배수구 그레이팅파손은 교체보수가 완료되어 손상물량이 감소하였으며, 배수구 이물질퇴적, 배수관 용접부 누수 및 탈락, 고정핀 부식 및 탈락의 결함은 금회 진단 시 신규손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었다.

【표 3.66】 배수시설의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)		검토결과
		2013년	2016년			
배수구 그레이팅파손	EA	30.00	-	-	30.00	• 교체 보수완료
배수구 이물질퇴적	EA	-	3.00	+	3.00	• 공용중 발생된 신규손상
용접부 누수 및 탈락	EA	-	3.00	+	3.00	• 상세조사에 의한 신규손상
배수관 고정핀 부식	EA	-	50.00	+	50.00	• 상세조사에 의한 신규손상
배수관 고정핀 탈락	EA	-	15.00	+	15.00	• 상세조사에 의한 신규손상

나. 방호벽

자동차의 차도이탈 방지 및 맞은편 차선 라이트 차단 등의 기능을 하는 방호벽은 철근콘크리트 구조로 시공되어 있으며, 공용중 단면증설(900mm ⇒ 1,080mm)이 실시된 상태이다.

	
방호벽 전경	방호벽 제원

1) 현장조사 결과

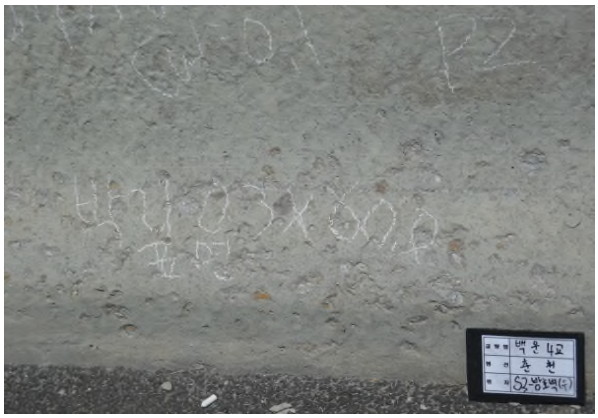
방호벽에 대한 현장조사 결과, 콘크리트 균열, 망상균열, 파손 및 표면박리의 결함이 조사되었으며, 손상현황은 【표 3.67】과 같다.

【표 3.67】 방호벽의 손상발생 현황(춘천)

구분	균열(0.3㎜미만) (m/EA)	망상균열 (㎡/EA)	파손 (㎡/EA)	표면박리 (㎡/EA)
S1	104.10 / 300	15.02 / 3	-	44.91 / 4
S2	96.20 / 284	42.00 / 1	0.10 / 1	42.00 / 3
S3	181.50 / 556	42.00 / 1	0.10 / 1	48.00 / 3
S4	172.30 / 547	15.02 / 3	-	48.00 / 3
S5	203.40 / 574	36.22 / 2	0.01 / 1	37.56 / 3
합계	**757.50 / 2261**	**156.59 / 9**	**0.21 / 3**	**220.47 / 16**

2) 손상별 현황

			
현 황	◦ S2/방호벽 균열(Cw=0.2㎜, L=1.2m)	**현 황**	◦ S3/방호벽 망상균열(A=42.00㎡)
원 인	◦ 건조수축	**원 인**	◦ 건조수축
대 책	◦ 표면처리	**대 책**	◦ 표면처리

			
현 황	◦ S3/방호벽 파손(A=0.10㎡)	**현 황**	◦ S2/방호벽 표면박리(A=18.00㎡)
원 인	◦ 외부충격	**원 인**	◦ 시공미흡
대 책	◦ 주의관찰	**대 책**	◦ 주의관찰

3) 원인분석 및 대책방안

① 균열 및 망상균열

방호벽에서 발생된 균열 및 망상균열은 Cw=0.3mm미만으로 건조수축에 의한 비구조적 균열로 판단되며, 향후 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 표면처리하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

② 파손

파손은 시공초기 및 제설작업 중 외부충격에 의한 결함으로 손상규모가 경미하여 내구성 저하 영향이 미미하므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

③ 표면박리

표면박리는 시공미흡에 의한 결함으로 판단되며, 손상규모가 경미하여 내구성에 미치는 영향이 미미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

4) 기 진단결과와의 비교・분석

기 진단(2013년 시행)과의 비교분석 결과, 파손 및 표면박리의 결함은 금회 진단 시 상세조사 및 공용중 발생된 추가(신규)손상이 조사되어 손상물량은 증가된 것으로 조사되었고, 균열 및 망상균열은 기존 균열부에 대하여 일부 망상균열로 평가하여 균열 손상물량은 감소하였고, 망상균열은 증가한 것으로 평가되었다.

【표 3.68】 방호벽의 기 진단과의 비교, 검토(춘천)

손상내용	단위	손상현황		물량 비교 (+:증가, -:감소)	검토결과
		2013년	2016년		
균열(0.3mm미만)	m	860.40	757.50	- 102.90	• 기존 균열 손상부를 망상균열로 변경하였음
망상균열	m	11.30	156.59	+ 145.29	
파손	㎡	-	0.21	+ 0.21	• 공용중 발생된 신규손상
표면박리	㎡	132.78	220.47	+ 87.69	• 상세조사에 의한 추가손상

3.4 콘크리트 내구성 조사

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.

【표 3.69】 현장시험 측정일자 및 조사자

구 분	일 자	조 사 자	비 고
현장시험	2016. 07. 13 ~ 08. 11.	안과헌 외 14명	도보, 교량점검차 사용

가. 재료시험 항목 및 수량

재료시험 항목 및 수량은 다음과 같다.

【표 3.70】 재료시험 항목

구 분	기 본 과 업	선 택 과 업 (추가과업)
콘크리트 재료시험	◦콘크리트 강도 - 비파괴시험 : 반발경도, 초음파속도 ◦철근탐사시험 - 철근 배근상태, 철근 피복두께 ◦콘크리트 탄산화 깊이 측정 ◦콘크리트 염화물함유량시험 ◦균열 깊이 측정	-
강재 재료시험	◦용접부 결함탐사 - 초음파탐상시험	◦강재 도막두께 측정

【표 3.71】 재료시험 기준수량 및 실시수량

<table>
<tr><th rowspan="2">구 분</th><th colspan="2">세부지침 기준수량</th><th rowspan="2" colspan="2">기준수량</th><th colspan="2">실시
수량</th><th rowspan="2">비고</th></tr>
<tr><th>상부구조</th><th>하부구조</th><th>부산</th><th>춘천</th></tr>
<tr><td>반발경도시험</td><td rowspan="3">· 강합성교
: 1개소/50m
· 철근콘크리트교
: 2개소/50m</td><td rowspan="3">· 교대, 교각
개소수</td><td rowspan="3" colspan="2">· 상부구조
= 6개소
· 하부구조
= 6개소</td><td>상부:6개소
하부:6개소</td><td>상부:5개소
하부:6개소</td><td rowspan="2">춘천방향
(상부:Deck)</td></tr>
<tr><td>초음파
전달속도시험</td><td>상부:6개소
하부:6개소</td><td>상부:4개소
하부:6개소</td></tr>
<tr><td>철근탐사시험</td><td>13개소</td><td>11개소</td><td>춘천방향
(상부:Deck)</td></tr>
<tr><td>탄산화
깊이 측정</td><td colspan="2">· 5경간 이상 : 6~9개소
(상부구조에서 최소 3개소 이상)</td><td colspan="2">· 6~9개소</td><td>7개소</td><td>6개소</td><td>춘천방향
(상부:Deck)</td></tr>
<tr><td>염화물함유량</td><td colspan="2">· 3개소 이상
(상부구조에서 최소 1개소 이상)</td><td colspan="2">· 3개소 이상</td><td>3개소</td><td>3개소</td><td></td></tr>
<tr><td>균열깊이 조사</td><td colspan="4">· 책임기술자 판단</td><td>1개소</td><td>3개소</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">강재용접부
초음파탐상시험</td><td colspan="2" rowspan="2">· 박스거더교 : 2개소/경간별거더
· 플레이트거더교 :1개소/경간별거더</td><td>부산</td><td>· 5(경간) × 4(거더)
× 1개소 = 20개소</td><td rowspan="2">20개소</td><td rowspan="2">10개소</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>춘천</td><td>· 5(경간) × 2(거더)
× 1개소 = 10개소</td></tr>
<tr><td>강재
도막두께 측정</td><td colspan="2">· 책임기술자 판단</td><td colspan="2">· 강재 도장부</td><td>14개소</td><td>9개소</td><td></td></tr>
</table>

주) 백운4교 춘천방향은 내측 바닥판은 데크플레이트가 설치되어 있고, 외측 켄틸레버부는 강판이 시공되어 있어 재료시험을 수행할 수가 없는 상태로 기 진단 시에도 상부구조에 대한 재료시험은 실시하지 않았음

주) 금회 진단 시 외측 켄틸레버부의 강판을 1개소 절취하였으며, 절취부에서 반발경도 및 탄산화 깊이를 측정함

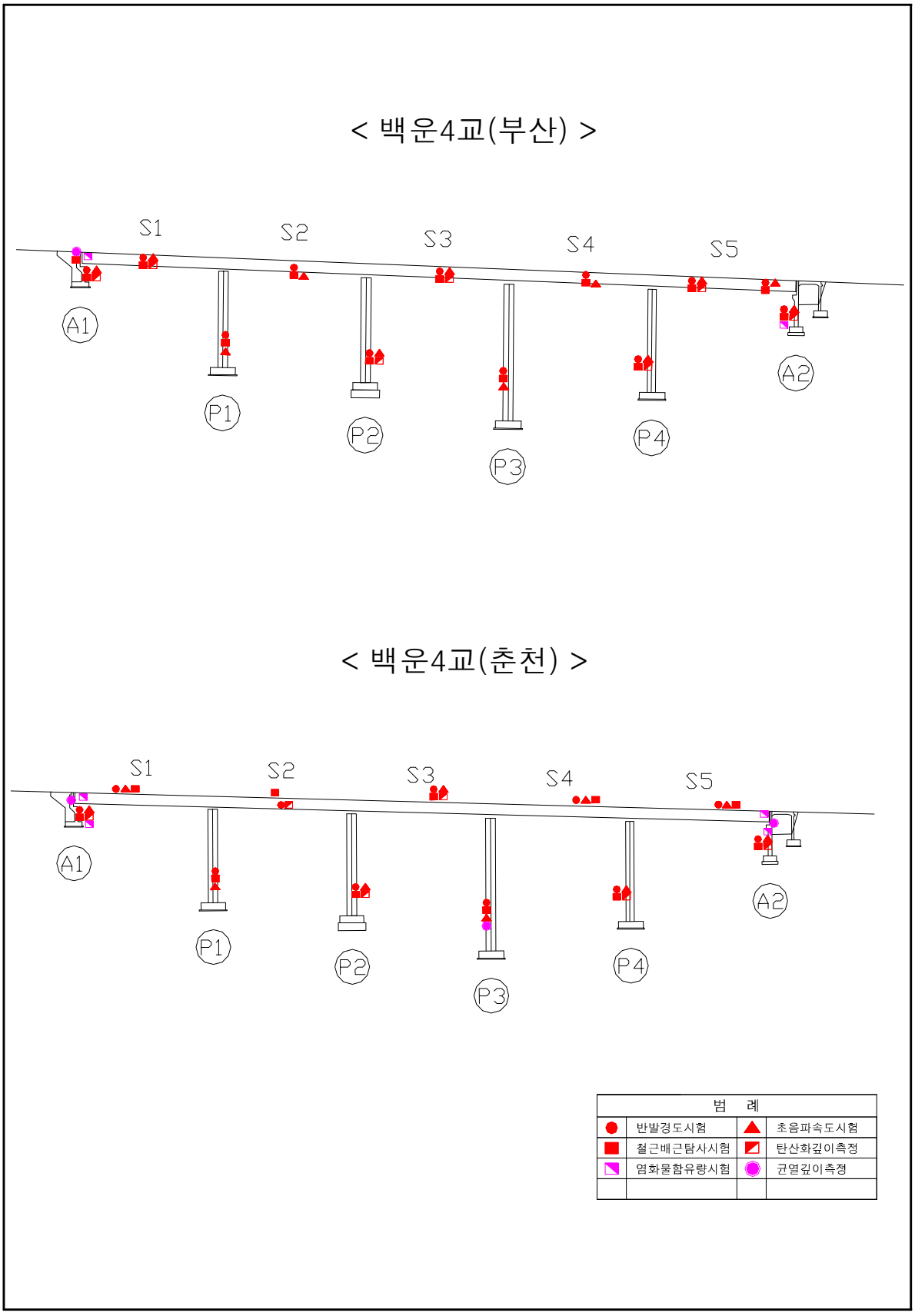
		
반발경도시험	초음파전달속도시험	철근탐사시험
		
탄산화 깊이 측정	염화물 함유량 시료채취	균열깊이 측정

【그림 3.8】 콘크리트 재료시험(부산)

		
외측 켄틸레버 강판 절취부 반발경도시험	초음파전달속도시험	철근탐사시험
		
탄산화 깊이 측정	염화물 함유량 시료채취	균열깊이 측정

【그림 3.9】 콘크리트 재료시험(춘천)

나. 재료시험 위치도



【그림 3.10】 재료시험위치도

【표 3.72】 백운4교(부산) 조사위치 선정사유

구 분	항 목		조사위치 선정사유	비 고
콘크리트 구조물	기본과업	반발경도시험	• 콘크리트 비파괴강도 측정을 위하여 실시하였으며, 경간 및 개소별로 상부구조 6개소, 하부구조 6개소를 선정하여 실시하였음.	<바닥판> 내측: Deck 외측: Con'c
		초음파시험		
		철근탐사시험		
		탄산화깊이 측정	• 탄산화에 의한 철근부식 발생 영향을 검토하기 위한 시험으로 상부구조 3개소, 하부구조 4개소를 선정하여 실시하였음.	
		염화물함유량 시험	• 철근 깊이까지의 염화물 분포 파악을 위한 시험으로 신축이음이 있는 상부구조 S1, 하부구조 A1, A2를 선정하여 총 3개소 실시하였음.	
		균열깊이 조사	• 외관조사 결과를 토대로 책임기술자 판단 하에 철근까지의 진행여부 판단을 위해 Cw=0.3mm이상 균열 1개소를 선정하여 실시하였음.	
강재 구조물		강재용접부 비파괴시험	• 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 융합불량 등의 결함사항에 대한 조사로 하부브레이싱 맞대기 용접부에 20개소를 선정하여 실시하였음.	
		도막두께 측정	• 거더의 도장상태에 대한 전 경간 동일한 상태로 조사되어 임의적으로 8개소이상 선정하여 측정하였음	

【표 3.73】 백운4교(춘천) 조사위치 선정사유

구 분	항 목		조사위치 선정사유	비 고
콘크리트 구조물	기본과업	반발경도시험	• 콘크리트 비파괴강도 측정을 위하여 실시하였으며, 상부구조 5개소, 하부구조 6개소를 선정하여 실시하였음. 상부구조는 데크플레이트 및 강판이 설치되어 콘크리트 비파괴강도 측정이 불가한 상태이나 S2구간에서 1개소 강판 절취 후 반발경도시험을 측정 및 평가하였고, 나머지구간은 방호벽에서 반발경도 및 초음파시험을 측정 및 평가하였음	<바닥판> 내측: Deck 외측: 강 판
		초음파시험		
		철근탐사시험	• 철근수량 및 피복두께 측정을 위하여 상부구조5개소 하부구조2개소 기 진단과 비교하고자 유사 단면 하부구조 4개소를 선정하여 실시하였음.	
		탄산화깊이 측정	• 탄산화에 의한 철근부식 발생 영향을 검토하기 위한 시험으로 상부구조 3개소, 하부구조 4개소를 선정하여 실시하였음.	
		염화물함유량 시험	• 철근 깊이까지의 염화물 분포 파악을 위한 시험으로 신축이음이 있는 상부구조 S5, 하부구조 A1, A2를 선정하여 총 3개소 실시하였음.	
		균열깊이 조사	• 외관조사 결과를 토대로 책임기술자 판단 하에 철근까지의 진행여부 판단을 위해 Cw=0.3mm이상 균열 중 3개소를 선정하여 실시하였음.	
강재 구조물		강재용접부 비파괴시험	• 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 융합불량 등의 결함사항에 대한 조사로 하부브레이싱 맞대기 용접부에 10개소를 선정하여 실시하였음.	
		도막두께 측정	• 거더의 도장상태에 대한 전 경간 동일한 상태로 조사되어 임의적으로 8개소이상 선정하여 측정하였음	

3.4.2 현장시험 개요

가. 반발경도시험

개요

- 콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여, 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사법
- 슈미트해머는 경화된 콘크리트 표면을 타격 시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(Fc)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 함

시험 방법

- 반발경도 측정은 선정된 부위에 그라인딩 작업으로 표면 정리를 한 다음 타격점 상호간의 종·횡 간격을 30mm기준으로 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
- 보-기둥의 모서리에서는 최소 30~60mm 이격 하고, 측정부재의 최소두께는 반발도의 영향을 고려하여 100mm 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



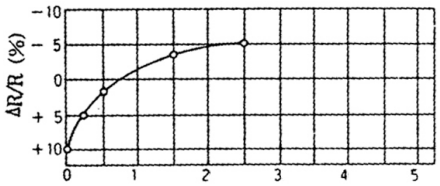
<반발경도법에 의한 강도추정 흐름도>

보정 방법

- 타격방향에 따른 보정(ΔR1)

반발경도(R)	수평과 이루는 각도				비고
	+90°	+45°	-45°	-90°	
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	

- 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정(ΔR2)
  압축응력 1.0kgf/cm2 인 경우
  ΔR2=-0.015R, 2.5kgf/cm2 인 경우
  ΔR2=-0.05R 정도임



<압축응력에 따른 반발경도 보정곡선>

- 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정(ΔR3)
  기건상태 : ΔR3=0, 습윤상태 ΔR3= +5
  반습윤상태 : ΔR3= +3
- 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

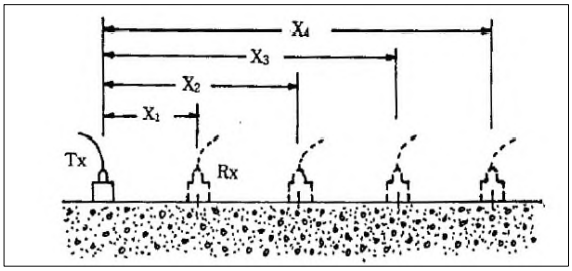
- Ro = R + ΔR (⇒ ΔR = ΔR1 + ΔR2 + ΔR3)
  여기서, ΔR1 : 타격방향에 따른 보정값
  ΔR2 : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값
  ΔR3 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

압축강도 추정식

- 방법 1 : Fc = -18.0+1.27×Ro (MPa) ⇒ 일본 재료학회 추정식
- 방법 2 : Fc = (7.3Ro + 100)×0.098 (MPa) ⇒ 일본건축학회 추정식

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

나. 초음파전달속도시험

<table>
<tr><td>개요</td><td>▪ 초음파전달속도시험은 초음파 (주파수 50~100kHz 정도)의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화한다는 것을 이용하여 이 투과속도로부터 콘크리트의 강도, 균열상태, 내부결함 등을 조사하는 방법
▪ 초음파전달속도시험은 발·수진자의 배치, 콘크리트의 배합비 및 함수율, 내부 철근의 유무 등에 따라 영향을 많이 받기 때문에 강도 추정의 정확도는 높지 않으므로 이 방법을 단독으로 사용하지 않고 반발경도법과 복합법으로 이용하는 것이 일반적임</td></tr>
<tr><td>시험
방법</td><td>▪ 초음파속도를 측정하기 위한 탐촉자의 배열은 직접법, 반직접법 및 간접법이 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 측정
▪ 간접법을 직접법으로 환산
Vd ≈ 1.05 Vi
여기서, Vd : 직접법에 의한 초음파속도
Vi : 간접법에 의한 초음파속도
 

측정 장소의 선정
↓
측정 장소의 확인, 요철제거
↓
Marker 등에 의한 측정점의 표시
↓
측정기의영점 조정
↓
진동자와 측정면 사이 공극이 생기지 않도록 그리스로 밀착
↓
전달속도 측정 및 산출
↓
압축강도의 추정 또는 품질평가
<초음파법에 의한 강도추정 흐름도></td></tr>
<tr><td>초음파
전달
속도</td><td>▪ 전달속도(Velocity, mm/μsec) = $\frac{\text{전달길이(Path Length, L : mm)}}{\text{전달시간(Transit Time, T : } \mu\text{sec)}}$</td></tr>
<tr><td>압축
강도
추정식</td><td>▪ 식1 (일본건축학회) : Fc = (215Vd - 620) × 0.098
▪ 식2 (일본재료학회) : Fc = (102Vd - 117) × 0.098</td></tr>
</table>

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

다. 철근탐사시험

개요

▪ 본 철근탐사는 탄산화 상태평가를 위한 철근피복두께를 조사하여 탄산화로 인한 구조물의 내구성 평가와 장기적인 내구성 확보를 위한 대책마련을 위해 실시

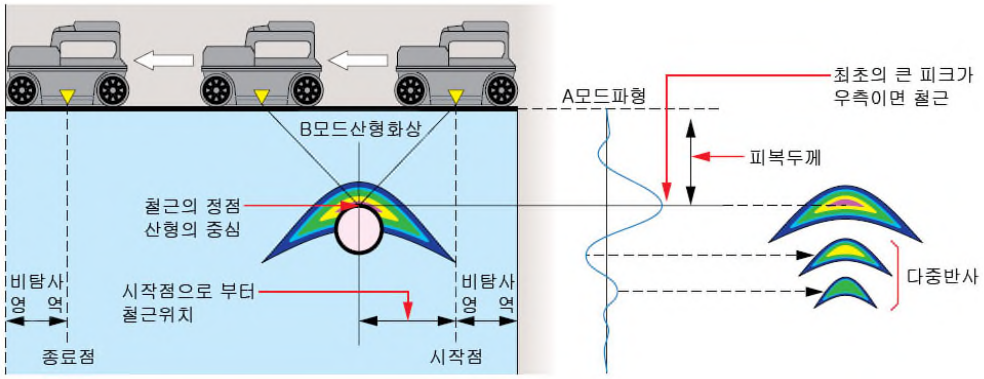
탐사 조건

▪ 적용 가능한 조건
◦ 탐사심도 200mm 이내
◦ 탐사대상 철근지름이 6mm 이상
◦ 콘크리트의 질이 균일한 곳
◦ 철근이 안테나 진행 방향에 직교한 곳

▪ 적용 곤란한 조건
◦ 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑에 철근이 위치한 경우
◦ 100mm 이하의 피치에서 배근된 경우
◦ 철근이 안테나 진행 방향과 평행한 경우

측정 방법

▪ 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 레이더 방식(화면 모니터 방식)이며, 측정가능심도는 5~200mm 임



<RC-Radar 측정원리>

평가 기준

▪ 철근의 피복두께는 콘크리트 표면에서 철근 최외측면까지의 거리로 함
▪ 철근의 피복두께 및 일반적인 피복두께 기준과 비교하여 적정성 여부를 판단
▪ 실측된 피복두께는 평균적인 개념으로 판단함이 바람직함

<철근의 피복두께 기준>

구 분	조 건	부재종류	철근직경/구분	피복두께(mm)	비 고
현장 타설 콘크리트	옥외 공기나 흙에 직접 접하지 않는 부위	슬래브 벽체, 장선	D35 초과	40	
			D35 이하	20	
		보 기둥	fck ≥ 40MPa	30	규정값에서 10㎜ 저감 가능
			fck < 40MPa	40	
		쉘, 절판 부재		20	
	수중에서 타설 되는 콘크리트			100	
	흙에 영구히 묻혀 있는 콘크리트			80	
	흙에 접하거나 옥외공기에 직접 노출되는 콘크리트		D29 이상 철근	60	
			D25 이하 철근	50	
			D16 이하의 철근	40	

※ 콘크리트 구조기준(한국콘크리트학회, 2012) 참조

유효깊이(d)	유효깊이의 허용오차	피복두께의 허용오차
d ≤ 200mm	±10mm	-10mm
d > 200mm	±13mm	-13mm

※ 피복두께의 허용오차는 도면 또는 설계기준에서 요구하는 최소 피복두께의 -1/3로 하여야 함

※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※ 진단장비 활용·관리 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12) 참조

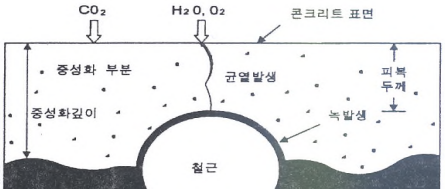
라. 탄산화 깊이 측정

개요

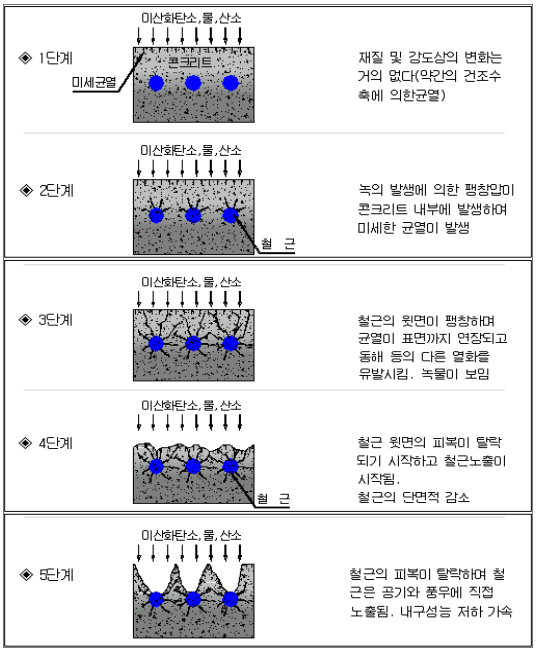
▪ 경화콘크리트는 표면에서 서서히 탄산화하여 pH값은 12~13에서 8~10이하로 감소한다. 이 과정을 콘크리트의 탄산화라고 함

$CaO + H2O \rightarrow Ca(OH)2$

$Ca(OH)2 + CO2 \rightarrow CaCO3 + H2O$

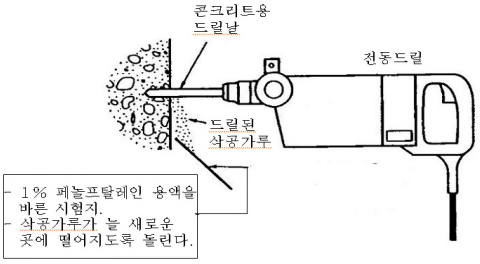


▪ 콘크리트는 탄산화에 의해 직접적으로 성능이 저하되는 것은 아니며, 단지 탄산화가 문제가 되는 이유는 탄산화가 피복두께를 넘어서 철근의 표면에 도달하게 되면 철근 표면을 감싸고 있던 부동태 피막이 파괴되면서 철근표면에 부식이 시작되기 때문.



<탄산화에 의한 콘크리트 성능저하 과정>

측정 방법



▪ 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트가루가 페놀프탈레인용액을 적신 원형시험지에 떨어져 변색되는 시점을 탄산화깊이로 정하는 방법

시험 순서

① 탄산화시험 위치 선정
② 페놀프탈레인 1% 용액을 적신 원형시험지 준비
③ 페놀프탈레인용액을 적신 원형시험지를 드릴 밑에 두고 드릴링 시작
④ 원형시험지가 변색되는 시점에 드릴링 멈춤
⑤ 드릴링된 깊이(mm) 측정, 평균값 선정

평가 기준

<탄산화 상태평가 기준>

구분 \ 결과	a	b	c	d	e
탄산화 잔여 깊이	30mm 이상	10 mm 이상 ~ 30mm 미만	0 mm 이상 ~ 10mm 미만	0mm 미만	-
철근부식의 가능성	탄산화에 의한 부식발생 우려 없음	향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음	경우에 따라서 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음	철근부식 발생	-

※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토해양부, 한국시설안전공단, 2010.12) 참조

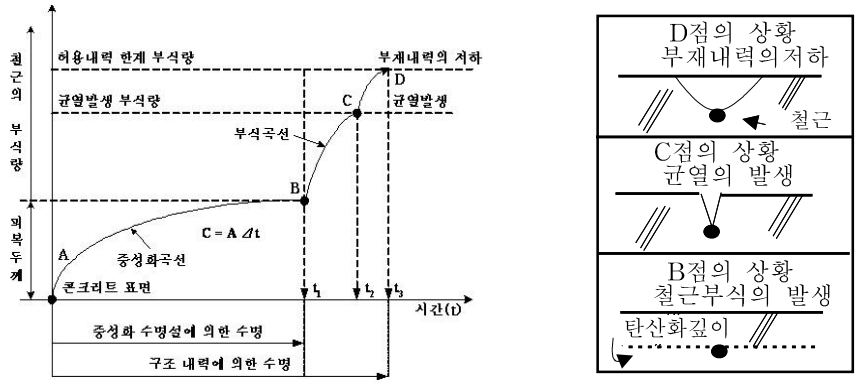
< 계 속>

내구 수명 평가

▪ 콘크리트의 탄산화가 진행하여 철근에 다다르게 되면 철근의 부식이 시작된다. 그러나 철근주변까지 콘크리트가 탄산화 되었다고 해서 바로 부식이 발생하여 철근의 단면 결손이 발생하는 것은 아니다. 또한 실내외의 환경조건에 따라 철근 부식 조건이 달라진다. 실외에서는 탄산화영역이 철근위치에 도달하면 급속하게 철근의 부식이 발생하는 반면, 실내의 경우는 탄산화영역이 철근에 도달해도 급속하게 부식하는 경우는 없고, 탄산화영역이 피복두께를 20~30mm 지나치는 시점에서 부식이 시작됨

▪ 콘크리트가 탄산화 되어 철근의 부식이 시작되고, 수명에 이르는 개념을 아래 그림에 나타내었다. 즉 t1은 탄산화영역이 철근표면에 도달하는 시점, t2는 그 결과 철근이 부식되고 콘크리트에 균열을 발생시키는 시점, t3은 부재내력이 한계에 달하는 시점을 의미한다.

▪ 지금까지 철근콘크리트 구조물의 수명은 t1의 시점이라고 판단되어 왔으나 실제 구조물에 적용할 경우 많은 문제점이 나타나게 된다. 전문가에 따라서는 t1의 시점이 반드시 철근의 유해한 부식량의 시점이라고는 생각되지 않기 때문에, t2의 시점을 수명으로 산정하는 것이 적절하다는 의견이 있으므로 아직까지는 명확한 수명을 판단하기가 어렵다. 또한 다양한 환경조건에 따라 t1에서 t2 도달까지의 시간이 다르기 때문에 본 과업에서는 탄산화에 대한 내구수명으로서 t1에 도달할 때까지의 시간으로 결정하고 내구수명을 산정



<콘크리트 내부에서의 철근부식의 개념>

▪ 대기 중의 탄산가스에 의한 콘크리트 표면으로부터의 탄산화 진행을 경과시간의 함수로서 표현한 것이 탄산화 속도식이다. 탄산화가 정상상태에서 탄산가스의 콘크리트내부 확산에 따라 생긴다고 가정하면, 탄산화깊이 C는 경과시간 t의 평방근에 비례한다고 하는 식이 도출된다. 이것은 통상, √t 법으로 불리며, 가장 일반적으로 사용됨

$$C=A\sqrt{t}$$

▪ 위의 식에서 계수 A는 탄산화속도 계수라고 하며, A의 수치가 큰 만큼 탄산화 속도가 크게 된다. 계수 A는 콘크리트의 재료적 요인 및 환경조건에 의해 정해지는 복잡한 함수이다.

▪ 본 과업에서 탄산화에 의한 수명 평가는 경과년수와 탄산화깊이와의 관계를 통해 탄산화 속도계수를 역추적하여 탄산화가 철근에 도달하는 시간을 계산하였다. 앞서 언급한 식 $C=A\sqrt{t}$ 에서 준공 후 현재까지의 경과년수 t는 설계도로부터 구할 수 있고 탄산화 깊이 C는 현장조사를 통하여 얻을 수 있으므로 탄산화 속도계수 A를 계산할 수 있다. 이에 따라 다음 식을 통하여 현재로부터 탄산화가 철근에 도달하는데 걸리는 시간을 추정

$$t_d = \frac{D_c^2}{A^2} - t_o$$

▪ 여기서, td는 현재로부터 탄산화가 철근에 도달하는데 걸리는 시간, Dc는 현장조사로부터 얻어진 철근까지의 피복두께(mm), A는 탄산화시험으로부터 계산된 계수, to는 현재의 구조물 경과시간임

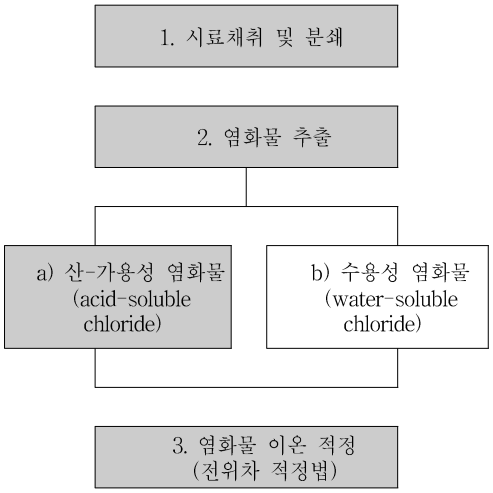
마. 염화물함유량 시험

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/m^3이하로 제한하고 있으며, 책임기술자의 승인을 받는 경우 0.60kg/m^3 까지 허용될 수 있다.

시험 방법

- 본 진단 대상구조물의 콘크리트 재료 중에 함유된 염화물함유량 정도를 추정하기 위하여 현장에서 채취한 분말시료를 이용하여 실내시험을 실시하였다.
- 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 전 염화물 이온량을 구한다.
- 전염화물 이온량은 아래 염화물 상태평가 기준에 의거 평가한다.



<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
※ 콘크리트구조기준 해설(콘크리트학회, 2012.12) 참조

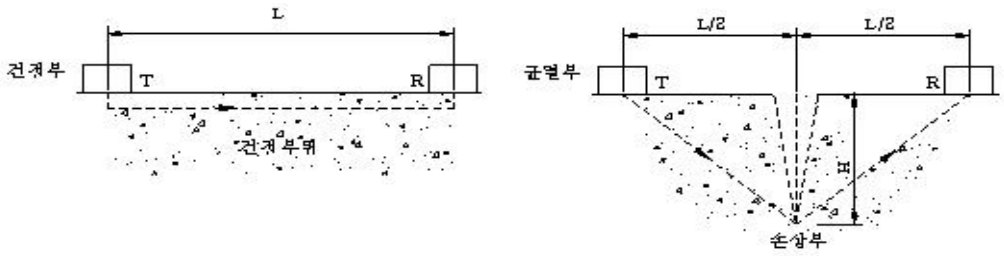
바. 균열깊이 측정

개요

- 본 과업에서는 외관조사를 바탕으로 대표적인 균열부를 선정하였으며, 초음파를 이용한 Tc-To법을 적용하여 측정하였다.
- Tc-To법은 측정대상인 콘크리트 부재에서 균열부와 건전부에서 각각 측정하고, 양자의 데이터 비교에 의해 균열깊이를 산출한다.

시험 방법

- 균열부분을 중심으로 송신탐촉자(TX)와 수신탐촉자(TR)를 등간격으로 배치하고, 송신탐촉자로부터 발신된 종파초음파가 그림 중의 점선과 같이 콘크리트 내를 전파하고, 균열선단부를 경유해서 수신탐촉자에 도달하기까지의 시간 Tc를 구한다.
- 균열이 없는 부분을 대상으로 동일 방법으로 송신탐촉자와 수신탐촉자의 거리 L과 초음파가 전파하는 시간 To를 구해서 균열깊이(H)를 평가한다.
- 콘크리트에 균열 있는 경우 그림과 같이 초음파의 전달경로가 균열을 따라 진행하기 때문에 초음파의 전달시간이 건전부의 전달시간보다 상대적으로 길어지게 된다. 이러한 특성을 이용하여 균열 깊이를 측정할 수 있다.



$$균열깊이(H) = \frac{L}{2}\sqrt{(\frac{T_c}{T_o})^2 - 1}$$

여기서, To : 균열이 없는 건전부의 초음파 전달속도
Tc : 균열면 주위의 초음파 전달속도

평가 기준

<균열깊이의 손상도 판정기준>

손상도	균열깊이(H)	구조물 상황
Ⅰ	Dc/2 > 균열깊이	• 콘크리트 중 강재 부식 없음 • 일반적인 정기점검으로도 충분한 단계
Ⅱ	Dc > 균열깊이 ≥ Dc/2	• 콘크리트 중 강재의 부식 시작 • 구조물의 중요도, 내구연한 등 유지관리의 수준에 따라서 정밀한 내구성 진단의 실시가 필요한 단계
Ⅲ	균열깊이 ≥ Dc	• 콘크리트 중 강재의 부식 진행 • 정밀한 내구성 진단을 실시하여 구조물의 상황을 확실히 파악할 필요가 있는 단계
Ⅳ	-	• 콘크리트 중 강재 부식 • 즉시 정밀한 내구성 진단이 필요한 단계

※ 여기서, Dc는 피복두께(mm)를 의미함

※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

3.4.3 시험결과 및 분석

가. 백운4교(부산)시험 결과

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.

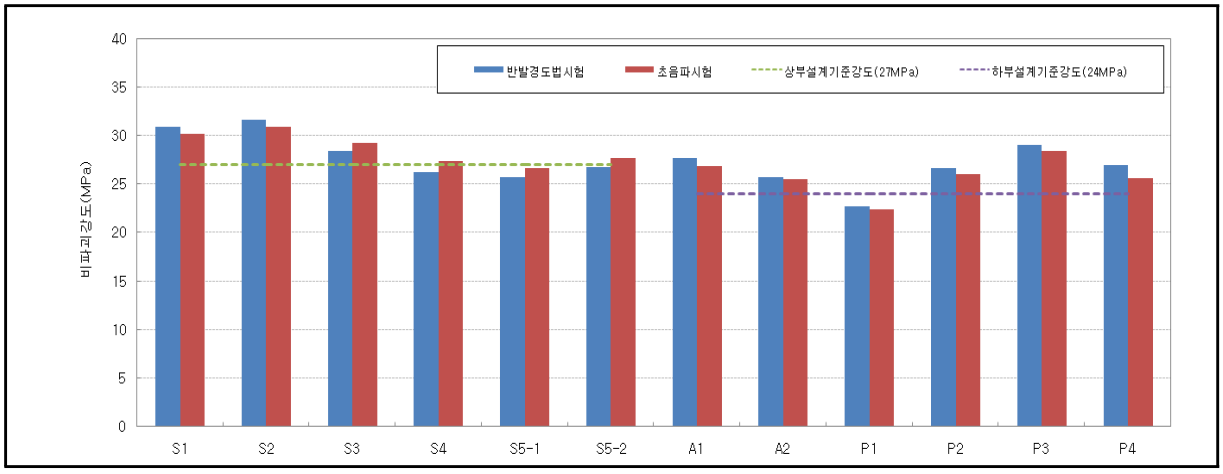
초음파시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스를 도포 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 간접법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 이를 직접법 속도로 환산하였다.

본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 비파괴강도를 평가하기 위하여 반발경도시험, 초음파시험의 결과를 비교하였고, 각 시험방법에 의한 비파괴강도를 【표 3.74】에 나타내었다.

① 비파괴강도 시험결과

【표 3.74】부재별 콘크리트 비파괴강도 시험결과(부산)

시험위치		비파괴시험		반발경도시험(MPa)			초음파시험(MPa)			설계기준강도(MPa)
		반발경도 (R_0)	초음파속도 (V_d)	①식 일본재료학회	②식 일본건축학회	평균	①식 일본재료학회	②식 일본건축학회	평균	
상부구조	S1 캔틸레버	53.5	4.267	31.5	30.3	30.9	29.14	31.19	30.2	27.0
	S2 캔틸레버	54.6	4.316	32.4	30.8	31.6	30.18	31.68	30.9	
	S3 캔틸레버	49.5	4.204	28.3	28.5	28.4	27.82	30.56	29.2	
	S4 캔틸레버	46.1	4.087	25.5	26.9	26.2	25.36	29.39	27.4	
	S5 캔틸레버1	45.2	4.039	24.8	26.6	25.7	24.34	28.91	26.6	
	S5 캔틸레버2	46.8	4.106	26.1	27.3	26.7	25.76	29.58	27.7	
	평 균			28.1	28.4	28.2	27.1	30.2	28.7	
	표준편차			3.2	1.8	2.5	2.3	1.1	1.7	
	변동계수			0.114	0.063	0.088	0.085	0.036	0.059	
하부구조	A1 구체	48.5	3.855	27.4	28.0	27.7	24.52	28.94	26.8	24.0
	A2 구체	45.2	3.775	24.8	26.5	25.7	22.76	28.16	25.5	
	P1 기둥	40.4	3.587	21.0	24.4	22.7	18.60	26.18	22.4	
	P2 기둥	46.7	3.810	26.0	27.2	26.6	23.53	28.52	26.0	
	P3 기둥	50.5	3.955	29.1	28.9	29.0	26.73	30.04	28.4	
	P4 기둥	47.1	3.782	26.3	27.4	26.9	22.90	28.23	25.6	
	평 균			25.8	27.1	27.1	23.2	28.4	25.8	
	표준편차			2.8	1.5	1.5	2.7	1.3	2.0	
	변동계수			0.107	0.057	0.081	0.115	0.045	0.077	



【그림 3.11】 콘크리트 강도시험 결과(부산)

② 시험결과분석

【표 3.75】 비파괴강도 시험결과 분석(부산)

구 분	시험방법	평균강도(A)(MPa)	설계기준강도(B)(MPa)	A/B×100(%)
상부구조	반발경도시험	25.7~31.6	27.0	95.2~116.9
	초음파시험	26.6~30.9		98.6~114.5
하부구조	반발경도시험	22.7~29.0	24.0	94.5~120.8
	초음파시험	22.4~28.4		93.3~118.3

비파괴강도 시험(반발경도시험. 초음파시험)에 의한 콘크리트 강도시험 결과, 상부구조는 설계기준강도의 95.2%~116.9%, 하부구조는 93.3%~120.8%으로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.76】 비파괴강도 측정결과 전회 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석(부산)

구 분	전회 정밀안전진단(2011년)		금회 정밀안전진단		설계강도 (MPa)
	반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	
상부구조	24.4~28.7	25.3~30.4	25.7~31.6	26.6~30.9	27.0
하부구조	19.3~28.9	24.3~30.9	22.7~29.0	22.4~28.4	24.0

전회 정밀안전진단(2011년)과 금회 측정한 비파괴 압축강도 측정값을 비교·분석한 결과, 측정위치에 따라 다소 차이는 발생하고 있으나 전반적으로 전회 정밀안전진단 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 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 배근간격이 설계도서와 다를 경우 구조물의 안전성에 직접적인 영향을 미치므로 내하력 저하의 원인이 된다.

① 시험결과

【표 3.77】 철근탐사시험 결과(부산)

구 분		주철근				배력철근			
		철근간격(㎜)		피복두께(㎜)		철근간격(㎜)		피복두께(㎜)	
		평균	설계	평균	설계	평균	설계	평균	설계
상부구조	S1 캔틸레버	195.0	250.0	70.0	40	-	-	-	-
	S2 캔틸레버	187.0	250.0	61.0	40	-	-	-	-
	S3 캔틸레버	199.0	250.0	60.0	40	-	-	-	-
	S4 캔틸레버	194.0	250.0	60.0	40	-	-	-	-
	S5 캔틸레버1	190.0	250.0	61.0	40	-	-	-	-
	S5 캔틸레버2	200.0	250.0	58.0	40	-	-	-	-
하부구조	A1 구체	199.0	200.0	108.0	100.0	-	-	-	-
	A1 흉벽	202.0	200.0	107.0	100.0	196.0	200.0	119.0	114.5
	A2 구체	193.0	200.0	81.0	100.0	193.0	200.0	88.0	114.5
	P1 기둥	160.0	150.0	108.0	100.0	250.0	250.0	81.0	74.5
	P2 기둥	156.0	150.0	113.0	100.0	251.0	250.0	88.0	74.5
	P3 기둥	148.0	150.0	105.0	100.0	275.0	250.0	75.0	74.5
	P4 기둥	153.0	150.0	101.0	100.0	240.0	250.0	79.0	74.5

② 시험결과 분석

콘크리트 부재에 대하여 철근탐사를 측정한 결과, 준공도면과 비교 시 상부구조의 배근간격은 실측치(200㎜)와 설계치(250㎜)는 차이가 있으나 추가 시험결과 배근간격이 동일하게 200㎜ 간격으로 조사되었고 단위m당 철근수가 설계치 이상이므로 구조적인 문제가 없을 것으로 판단되며, 피복두께는 전반적으로 설계치 보다 다소 두꺼운 것으로 나타났으나 외관조사 결과 이로 인한 손상은 조사되지 않았으며, 하부구조의 배근간격 및 피복두께는 전반적으로 설계와 일치하는 것으로 나타났다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.78】 철근탐사결과 전회 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석(부산)

시험위치		철근종류	전회 정밀안전진단		금회 정밀안전진단		설계치(mm)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부구조	S1 켄틸레버	횡방향철근	180~235	94.0	195.0	70.0	250	40.0	
	S2 켄틸레버	횡방향철근	135~225	40.0	187.0	61.0	250	40.0	
	S3 켄틸레버	횡방향철근	100~145	90.0	199.0	60.0	250	40.0	
	S4 켄틸레버	횡방향철근	100~175	90.0	194.0	60.0	250	40.0	
	S5 켄틸레버1	횡방향철근	175~300	74.0	190.0	61.0	250	40.0	
	S5 켄틸레버2	횡방향철근	-	-	200.0	58.0	250	40.0	
하부구조	A1 구체	수직철근	200~620	-	199.0	108.0	200.0	100.0	
		수평철근	180~215	-	-	-	-	-	
	A1 흉벽	수직철근	-	-	202.0	107.0	200.0	100.0	
		수평철근	-	-	196.0	119.0	200.0	114.5	
	A2 구체	수직철근	-	-	193.0	81.0	200.0	100.0	
		수평철근	-	-	193.0	88.0	200.0	100.0	
	P1 기둥(상부)	수직철근	155~180	-	-	-	200.0	100.0	
		수평철근	220~255	-	-	-	200.0	100.0	
	P1 기둥(하부)	수직철근	-	-	160.0	108.0	150.0	100.0	
		수평철근	-	-	250.0	81.0	250.0	74.5	
	P2 기둥	수직철근	-	-	156.0	113.0	150.0	100	
		수평철근	-	-	251.0	88.0	250.0	74.5	
	P3 기둥	수직철근	-	-	148.0	105.0	150.0	100.0	
		수평철근	-	-	275.0	75.0	250.0	74.5	
	P4 기둥	수직철근	-	-	153.0	101.0	150.0	100.0	
		수평철근	-	-	240.0	79.0	250.0	74.5	

상부구조는 전회 진단 시 측정부위가 지점부에서 시행하여 간격이 불규칙하며, 금회 진단 시 지간 중앙부에서 철근탐사시험을 시행하여 전회 진단과 오차가 발생하는 등 동일부재여도 측정부위에 따른 설계기준이 상이하여 직접적인 비교·분석이 불가능한 상태이며, 하부구조도 측정부위가 상이하여 비교·분석이 불가능하나 전회 진단 및 금회 진단 시험결과 모두 단위 m당 철근수가 설계 이상이므로 구조적인 문제가 없을 것으로 판단된다.

나. 콘크리트 품질시험

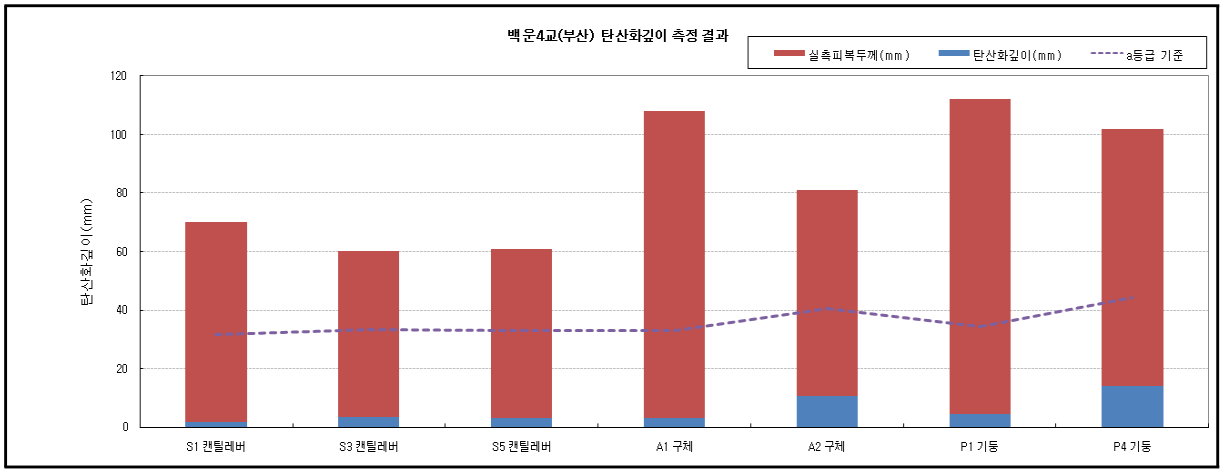
1) 탄산화 깊이 측정

구조물의 탄산화 진행 정도는 상부구조의 경우 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트가루가 페놀프탈레인용액을 적신 시험지에 떨어져 변색되는 시점의 깊이를 측정하였고, 하부구조의 경우는 코어채취 시 실시하였다. 지시약을 분무하면 알칼리성 콘크리트의 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화 진행 깊이로 판단하게 된다.

① 시험결과

【표 3.79】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가(부산)

시험 위치		탄산화깊이 (㎜)	피복두께 (㎜)	탄산화속도 계수(A)	잔존수명 예측(년)	잔여깊이 (㎜)	평가 결과	비고
상부 구조	S1 캔틸레버	1.6	70.0	0.388	∞	68.5	a	
	S3 캔틸레버	3.4	60.0	0.838	∞	56.7	a	
	S5 캔틸레버	3.0	61.0	0.756	∞	58.0	a	
하부 구조	A1 구체	3.1	108.0	0.781	∞	104.9	a	
	A2 구체	10.5	81.0	2.613	∞	70.6	a	
	P2 기둥	4.5	88.0	1.131	∞	107.5	a	
	P4 기둥	14.2	79.0	3.544	∞	87.8	a	



【그림 3.12】 탄산화깊이 측정결과(부산)

② 시험결과 분석

탄산화 깊이 측정은 상부구조 3개소, 하부구조 4개소에서 실시하였으며, 측정위치에서 철근의 피복두께 측정을 실시하였다.

측정 결과, 탄산화 깊이가 상부구조에서 1.6~3.4㎜, 하부구조에서 3.1~14.2㎜로 나타나 측정위치에서의 철근피복두께를 고려할 때, 전 개소에서 “a”의 상태(7개소, 탄산화 잔여깊이 30㎜이상)로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 가능성은 적은 것으로 분석되었다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.80】 탄산화 깊이 측정결과 전회 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석(부산)

구 분	전회 정밀안전진단(2011년)		금회 정밀안전진단		비 고
	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	
상부구조	3.0~5.0	37.0~89.0	1.6~3.4	56.7~68.5	철근부식 우려 없음
하부구조	3.0~18.0	62.0~90.0	3.1~14.2	70.6~107.5	

기 진단 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 측정개소 모두 전 개소에서 “a”의 상태로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 가능성은 적은 것으로 분석되었다

2) 염화물함유량 시험

① 시험결과

염화물함유량시험은 염해피해가 예상되는 신축이음부에서 시행하였으며, 시험결과는 아래표와 같다.

【표 3.81】 염화물함유량 시험결과(부산)

시험 위치			콘크리트구조기준		상태평가 기준		비고
			전 함유율(%)	평가결과	환산 염화물함량(kg/㎥)	평가결과	
상부 구조	S1 바닥판	0~30㎜	0.0091	적합	0.205	a	
		30~50㎜	0.0084		0.190	a	
하부 구조	A1 구체	0~30㎜	0.0237	적합	0.536	b	
		30~50㎜	0.0198		0.448	b	
	A2 구체	0~30㎜	0.0089	적합	0.201	a	
		30~50㎜	0.0057		0.128	a	

※ 콘크리트 중의 환산 염화물 산출시 콘크리트의 단위질량은 2,263kg/㎥을 적용
※ 노출등급(C1), 최소 설계기준 21.0MPa에 해당하는 철근콘크리트 0.3%을 적용
※ 상태평가 결과는 철근이 위치하고 있는 피복두께 깊이의 염화물 함유량 결과에 대하여 실시함.

② 측정결과 분석

측정 전 개소에서 콘크리트구조기준에 적합한 것으로 평가되었으며, 상태평가에 따른 염화물 함유량은 30~50㎜ 깊이에서 상부구조는 0.190kg/m³, 하부구조는 0.128~0.448kg/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.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.82】 염화물 함유량 시험결과 전회 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석(부산)

구 분	전회 정밀안전진단(2011년)		금회 정밀안전진단		비 고
	전 함유율 (%)	환산 염화물함량 (kg/m³)	전 함유율 (%)	환산 염화물함량 (kg/m³)	
상부구조	0.0438	0.990	0.0084	0.190	
하부구조	0.0171~0.0179	0.387~0.405	0.0057~0.0198	0.128~0.448	

전회 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.

3) 균열깊이 측정

균열심도 측정은 책임기술자 판단 하에 철근까지의 진행여부를 판단하기 위해 폭 0.2~1.0㎜ 이상의 균열 중 대표 개소를 선정하여 시험을 실시하였다. 측정 시 발·수신자의 거리를 200㎜로 하였으며, 측정된 속도는 동일 위치에서 3회를 측정한 후 그 평균값을 적용하였다.

① 측정결과

【표 3.83】 균열깊이 측정 결과(부산)

시험 위치		균열폭/길이 (㎜/m)	발·수신자 거리 2L (㎜)	초음파 전달시간 ($\times 10^{-6}$sec)		균열심도 (㎜)	철근피복 (㎜)
				건전부 To	균열부 Tc		
부산	A1 흉벽	0.3/3.5	200	95.4	121.3	39.3	107.0

※ 피복두께는 철근탐사를 통한 실제 조사 피복두께임

② 측정결과 분석

본 구조물에 대하여 1개소에서 균열깊이 측정결과, 균열깊이는 39.3㎜로 측정되었다.

균열깊이는 A1흉벽에서 피복두께의 1/2 이하로 조사되었고, 균열에 의한 구조물 손상이나 철근 부식 등의 내구성 저하는 조사되지 않았으나 주기적인 점검을 통해 이로 인한 철근부식 등의 손상발생에 유의하여 주의 관찰해야 될 것으로 판단된다.

다. 백운4교(춘천)시험 결과

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.

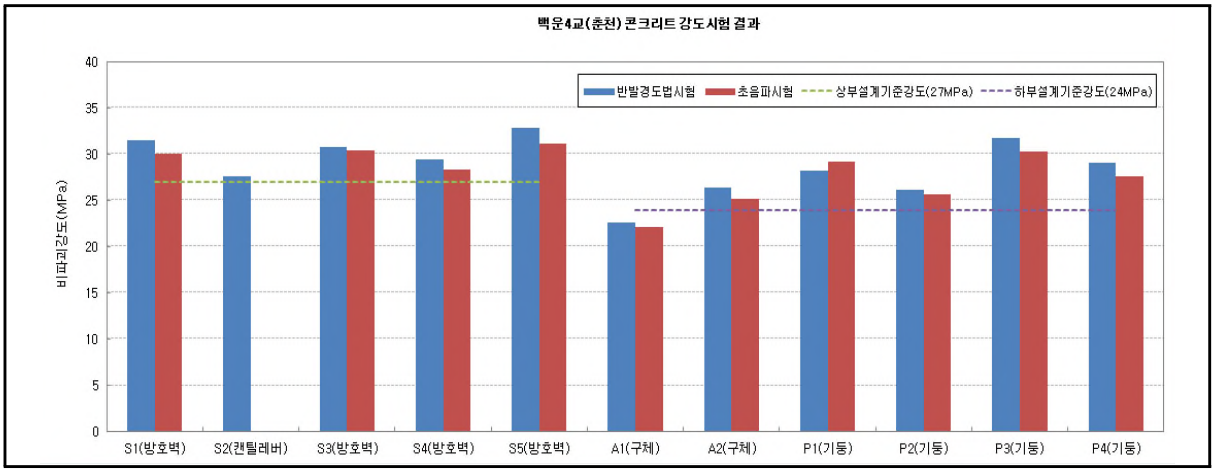
본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 비파괴강도를 평가하기 위하여 반발경도시험, 초음파시험의 결과를 비교하였고, 각 시험방법에 의한 비파괴강도를 【표 3.84】에 나타내었다.

① 비파괴강도 시험결과

【표 3.84】부재별 콘크리트 비파괴강도 시험결과(춘천)

시험위치		비파괴시험		반발경도시험(MPa)			초음파시험(MPa)			설계기준강도(MPa)
		반발경도(R_0)	초음파속도(V_d)	①식 일본재료학회	②식 일본건축학회	평균	①식 일본재료학회	②식 일본건축학회	평균	
상부구조	S2 캔틸레버	51.5	-	27.3	27.9	27.6	-	-	-	27.0 (상부:Deck)
	S1 방호벽	54.6	4.263	32.3	30.8	31.5	29.06	31.14	30.1	
	S3 방호벽	53.3	4.280	31.3	30.2	30.8	29.42	31.32	30.4	
	S4 방호벽	51.1	4.147	29.5	29.2	29.4	26.61	29.99	28.3	
	S5 방호벽	56.7	4.335	34.0	31.7	32.9	30.58	31.87	31.2	
	평 균			30.9	30.0	30.4	28.9	31.08	30.0	
	표준편차			2.6	1.5	2.0	1.7	0.8	1.2	
	변동계수			0.084	0.049	0.006	0.058	0.025	0.041	
하부구조	A1 구체	40.3	3.745	20.9	24.3	22.6	18.14	25.97	22.1	24.0
	A2 구체	46.3	3.945	25.7	27.0	26.4	22.36	27.97	25.2	
	P1 기둥	49.3	4.205	28.1	28.4	28.2	27.84	30.57	29.2	
	P2 기둥	45.8	3.974	25.3	26.8	26.1	22.98	28.26	25.6	
	P3 기둥	55.0	4.274	32.7	31.0	31.8	29.30	31.26	30.3	
	P4 기둥	50.6	4.101	29.1	29.0	29.1	25.65	29.53	27.6	
	평 균			27.0	27.8	27.4	24.38	28.9	26.6	
	표준편차			4.0	2.2	3.1	4.1	1.9	3.0	
	변동계수			0.148	0.081	0.114	0.167	0.067	0.113	

주) 상부구조는 내측 바닥판 및 외측 캔틸레버부가 데크플레이트 및 강판이 설치되어 콘크리트 비파괴강도 측정이 불가한 상태이나 S2구간에서 1개소 강판 절취 후 반발경도시험을 측정 및 평가하였고, 나머지구간은 방호벽에서 반발경도 및 초음파시험을 측정 및 평가하였음



【그림 3.13】 콘크리트 강도시험 결과(춘천)

② 시험결과분석

【표 3.85】 비파괴강도 시험결과 분석(춘천)

구 분	시험방법	평균강도(A)(MPa)	설계기준강도(B)(MPa)	A/B×100(%)
상부구조	반발경도시험	27.6~32.9	27.0	102.3~121.8
	초음파시험	28.3~31.2		104.8~115.6
하부구조	반발경도시험	22.6~31.8	24.0	94.2~132.6
	초음파시험	22.1~30.3		91.9~126.2

비파괴강도 시험(반발경도시험. 초음파시험)에 의한 콘크리트 강도시험 결과, 상부구조는 설계기준강도의 102.3~121.8%, 하부구조는 91.9%~132.6%,으로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.86】 비파괴강도 측정결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천)

구 분	전회 정밀안전진단(2013년)		금회 정밀안전진단		설계강도 (MPa)
	반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	반발경도시험(MPa)	초음파시험(MPa)	
상부구조	-	-	27.6~32.9	28.3~31.2	27.0
하부구조	26.6~28.2	25.9~28.2	22.6~31.8	22.1~30.3	24.0

전회 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 비파괴 압축강도 측정값을 비교·분석한 결과, 상부구조는 전회 진단 시 미실시하여 비교분석은 생략토록 하며, 하부구조는 측정위치에 따라 다소 차이는 발생하고 있으나 전반적으로 전회 정밀안전진단 결과와 유사한 경향을 보이고 있으며, 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 공용기간 증가에 따른 강도 저하는 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 배근간격이 설계도서와 다를 경우 구조물의 안전성에 직접적인 영향을 미치므로 내하력 저하의 원인이 된다.

① 시험결과

【표 3.87】 철근탐사시험 결과(춘천)

구 분		주철근				배력철근			
		철근간격(㎜)		피복두께(㎜)		철근간격(㎜)		피복두께(㎜)	
		평균	설계	평균	설계	평균	설계	평균	설계
상부구조	S1방호벽	200.0	200.0	84.0	40.0	200.0	200.0	102.0	54.5
	S2방호벽	202.0	200.0	76.0	40.0	205.0	200.0	85.0	54.5
	S3방호벽	200.0	200.0	81.0	40.0	190.0	200.0	97.0	54.5
	S4방호벽	202.0	200.0	79.0	40.0	195.0	200.0	95.0	54.5
	S5방호벽	203.0	200.0	80.0	40.0	197.0	200.0	93.0	54.5
하부구조	A1 구체	200.0	200.0	103.0	100.0	207.0	200.0	120.0	114.5
	A2 구체	190.0	200.0	110.0	100.0	193.0	200.0	117.0	114.5
	P1 기둥	153.0	150.0	105.0	100.0	237.0	250.0	79.0	78.0
	P2 기둥	145.0	150.0	104.0	100.0	239.0	250.0	92.0	78.0
	P3 기둥	148.0	150.0	111.0	100.0	245.0	250.0	89.0	78.0
	P4 기둥	132.0	150.0	105.0	100.0	260.0	250.0	85.0	78.0

② 시험결과 분석

콘크리트 부재에 대하여 철근탐사를 측정한 결과, 바닥판하면이 영구거푸집(Deck)으로 마감되어있어 상부구조는 방호벽에서, 하부구조는 교대 및 교각에서 시험을 실시하였다. 준공도면과 비교 시 철근 배근간격은 전반적으로 양호한 상태이고 외관조사결과 이로 인한 손상은 조사되지 않았다. 피복두께의 경우, 상부구조의 방호벽은 단면이 증설되어 피복두께가 다소 깊게 측정된 것으로 판단되며, 하부구조의 피복두께는 전반적으로 설계와 일치하는 것으로 나타났다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.88】 철근탐사결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천)

시험위치		철근종류	전회 정밀안전진단		금회 정밀안전진단		설계치(mm)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부구조	S1방호벽	수직철근	-	-	200.0	84.0	200.0	40.0	
		수평철근	-	-	200.0	102.0	200.0	54.5	
	S2방호벽	수직철근	-	-	202.0	76.0	200.0	40.0	
		수평철근	-	-	205.0	88.0	200.0	54.5	
	S3방호벽	수직철근	-	-	200.0	81.0	200.0	40.0	
		수평철근	-	-	190.0	97.0	200.0	54.5	
	S4방호벽	수직철근	-	-	202.0	79.0	200.0	40.0	
		수평철근	-	-	195.0	95.0	200.0	54.5	
	S5방호벽	수직철근	-	-	203.0	80.0	200.0	50.0	
		수평철근	-	-	197.0	93.0	200.0	54.5	
하부구조	A1 구체	수직철근	-	-	200.0	103.0	200.0	100.0	
		수평철근	-	-	207.0	120.0	200.0	114.5.	
	A2 구체	수직철근	-	-	190.0	110.0	200.0	100.0	
		수평철근	-	-	193.0	117.0	200.0	114.5	
	A1 흉벽	수직철근	200.0	61.0	-	-	200.0	92.0	
		수평철근	200.0	64.0	-	-	200.0	108.0	
	A2 흉벽	수직철근	200.0	83.0	-	-	200.0	92.0	
		수평철근	200.0	134.0	-	-	200.0	108.0	
	P1 기둥	수직철근	150.0	115.0	153.0	105.0	150.0	100.0	
		수평철근	250.0	64.0	237.0	79.0	250.0	78.0	
	P2 기둥	수직철근	155.0	73.0	145.0	104.0	150.0	100.0	
		수평철근	250.0	47.0	239.0	92.0	250.0	78.0	
	P3 기둥	수직철근	150.0	89.0	148.0	111.0	150.0	100.0	
		수평철근	250.0	73.0	245.0	93.0	250.0	78.0	
	P4 기둥	수직철근	150.0	59.0	132.0	105.0	150.0	100.0	
		수평철근	250.0	59.0	260.0	85.0	250.0	78.0	

교대는 측정부위에 따른 설계기준이 상이하여 직접적인 비교·분석이 가능하지 않으며, 교각부에 대한 전회 정밀안전진단(2013년)과 금회 측정한 철근탐사결과를 비교분석한 결과, 측정위치가 상이함에 따라 피복두께 및 배근간격의 부분적인 차이는 있으나 준공도면과 비교시 단위 m당 철근수량은 설계도면과 동일한 검토되었다. 방호벽의 경우 전회 진단시 측정자료가 없으므로 비교·분석이 불가능한 상태이다.

라. 콘크리트 품질시험

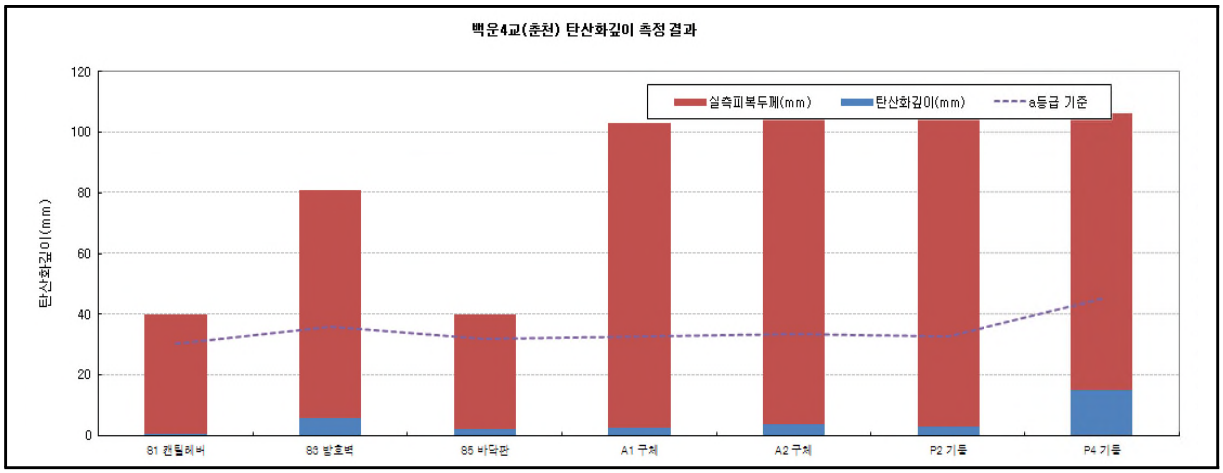
1) 탄산화 깊이 측정

구조물의 탄산화 진행 정도는 상부구조의 경우 드릴링에 의해 발생되는 콘크리트가루가 페놀프탈레인용액을 적신 시험지에 떨어져 변색되는 시점의 깊이를 측정하였고, 하부구조의 경우는 코어채취 시 실시하였다. 지시약을 분무하면 알칼리성 콘크리트의 탄산화가 진행된 면에서는 색의 변화가 나타나지 않고 그 변화가 없는 정도를 곧 탄산화 진행 깊이로 판단하게 된다.

① 시험결과

【표 3.89】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가(춘천)

시험 위치		탄산화깊이 (㎜)	피복두께 (㎜)	탄산화속도 계수(A)	잔존수명 예측(년)	잔여깊이 (㎜)	평가 결과	비고
상부 구조	S1 캔틸레버	0.4	40.0	0.076	∞	39.7	a	
	S3방호벽	5.8	81.0	1.260	∞	75.2	a	
	S5 바닥판	2.1	40.0	0.458	∞	37.9	a	
하부 구조	A1 구체	2.7	103.0	0.584	∞	100.3	a	
	A2 구체	3.7	110.0	0.807	∞	108.3	a	
	P2 기둥	2.8	92.0	0.616	∞	109.2	a	
	P4 기둥	15.1	85.0	3.284	∞	91.0	a	



【그림 3.14】 탄산화깊이 측정결과(춘천)

② 시험결과 분석

탄산화 깊이 측정은 상부구조 3개소, 하부구조 4개소에서 실시하였으며, 상부구조 바닥판, 캔틸레버는 영구거푸집(Deck)으로 마감되어있어 설계기준 피복두께를 적용하였고, 하부구조의 측정위치에서 철근의 피복두께 측정을 실시하였다.

측정 결과, 탄산화 깊이가 상부구조에서 0.4~5.8㎜, 하부구조에서 2.7~15.1㎜로 나타나 측정위치에서의 철근피복두께를 고려할 때, 전 개소에서 “a”의 상태(7개소, 탄산화 잔여 깊이 30㎜이상)로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 가능성은 적은 것으로 분석되었다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.90】 탄산화 깊이 측정결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천)

구 분	전회 정밀안전진단(2013년)		금회 정밀안전진단		비 고
	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	탄산화깊이(mm)	잔여깊이(mm)	
상부구조	-	-	0.4~5.8	37.9~75.2	철근부식 우려 없음
하부구조	3.7~6.2	47.0~83.0	2.7~15.1	91.0~109.2	

기 진단 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 측정개소 모두 전 개소에서 “a”의 상태로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 가능성은 적은 것으로 분석되었다.

2) 염화물함유량 시험

① 시험결과

염화물함유량시험은 염해피해가 예상되는 신축이음부에서 시행하였으며 시험결과는 아래표와 같다.

【표 3.91】 염화물함유량 시험결과(춘천)

시험 위치			콘크리트구조기준		상태평가 기준		비고
			전 함유율(%)	평가결과	환산 염화물함량(kg/㎥)	평가결과	
상부 구조	S5 바닥판	0~30㎜	0.0098	적합	0.221	a	
		30~50㎜	0.0074		0.167	a	
하부 구조	A1 구체	0~30㎜	0.0176	적합	0.398	b	
		30~50㎜	0.0111		0.251	a	
	A2 구체	0~30㎜	0.0061	적합	0.138	a	
		30~50㎜	0.0058		0.131	a	

※ 콘크리트 중의 환산 염화물 산출시 콘크리트의 단위질량은 22.663kg/㎥을 적용
※ 노출등급(C1), 최소 설계기준 21.0MPa에 해당하는 철근콘크리트 0.3%을 적용
※ 상태평가 결과는 철근이 위치하고 있는 피복두께 깊이의 염화물 함유량 결과에 대하여 실시함.

② 측정결과 분석

측정 전 개소에서 콘크리트구조기준에 적합한 것으로 평가되었으며, 상태평가에 따른 염화물 함유량은 30~50㎜ 깊이에서 상부구조는 0.167/m³, 하부구조는 0.131~0.251kg/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.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.92】 염화물 함유량 시험결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천)

구 분	전회 정밀안전진단(2013년)		금회 정밀안전진단		비 고
	전 함유율 (%)	환산 염화물함량 (kg/m³)	전 함유율 (%)	환산 염화물함량 (kg/m³)	
상부구조	0.003	0.071	0.0074	0.167	
하부구조	0.002~0.007	0.047~0.165	0.0058~0.0111	0.131~0.251	

전회 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.

3) 균열깊이 측정

균열심도 측정은 책임기술자 판단 하에 철근까지의 진행여부를 판단하기 위해 폭 0.2~1.0㎜ 이상의 균열 중 대표 개소를 선정하여 시험을 실시하였다. 측정 시 발·수신자의 거리를 200㎜로 하였으며, 측정된 속도는 동일 위치에서 3회를 측정한 후 그 평균값을 적용하였다.

① 측정결과

【표 3.93】 균열깊이 측정 결과(춘천)

시험 위치		균열폭/길이 (㎜/m)	발·수신자 거리 2L (㎜)	초음파 전달시간 (×10-6sec)		균열심도 (㎜)	철근피복 (㎜)
				건전부 To	균열부 Tc		
춘천	A1 흉벽	0.3/1.2	200	48.3	53..8	49.1	65.0
	A2 흉벽	0.7/2.5	200	53.2	108.5	177.7	86.0
	P3 기둥	0.2/4.0	200	49.4	55.3	25.2	109.0

※ 피복두께는 철근탐사를 통한 실제 조사 피복두께임

② 측정결과 분석

균열깊이는 흉벽(A1), 교각(P3)에서 피복두께 이하로 조사되었고, 균열에 의한 구조물 손상이나 철근 부식 등의 내구성 저하는 조사되지 않았으나 주기적인 점검을 통해 이로 인한 철근부식 등의 손상발생에 유의하여 주의 관찰해야 될 것으로 판단되며, A2흉벽에 발생된 균열에 대하여 균열심도 측정결과, 철근의 피복두께까지 진행된 상태이나 금회 진단 기간 중 균열보수가 실시되었으므로 차기 진단 시 보수부 재손상 여부에 대한 확인이 필요할 것으로 판단된다.

3.5 강재 내구성조사

3.5.1 개 요

가. 시험내용 및 평가기준

1) 시험 측정일자 및 조사자

백운4교의 강재 시험 측정일자 및 조사자는 아래와 같다.

【표 3.94】 현장시험 측정일자 및 조사자

구 분	일 자	조사자	비 고
강재 구조물	2016. 8	윤진석외 2명 및 보조인부 하도급(UT): (주)금산기술검사	교량점검차 및 도보

2) 시험내용, 측정 조사방법 및 측정개소

강재 비파괴 조사는 교량의 안정성 평가를 위한 시험으로 외관조사 결과와 함께 구조물의 상태평가, 보수·보강 및 유지관리 방안을 수립하는데 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

각 시험내용 및 수량은 아래의【표 3.95】,【표 3.96】과 같으며, 각 부재별 상세 시험위치는 시험성적서와 함께 부록에 첨부하였다.

【표 3.95】 강재 재료시험 및 측정 조사 내용

구 분	조사 항목	내 용	비고
안정성평가	초음파탐상시험(U.T)	맞대기 용접부 초음파 탐상시험(U.T)	
내구성평가	도막두께 측정	도막기준치와 비교	

【표 3.96】 강재 재료시험 측정 기준 및 실시 수량

항 목	선정 구분		측 정 개 소 기 준	수 량		비 고
	필 수	선 택		기 준	실 시	
초음파탐상시험(부산)	●		1개소/경간별 거더	20	20	
초음파탐상시험(춘천)	●		1개소/경간별 거더	10	10	
도막두께 측정(부산)		●	-	-	14	
도막두께 측정(춘천)		●	-	-	9	

※ 조사수량은 "안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 교량편 (한국시설안전공단, 2010.12)"을 참조하여 결정하였으며, 세부지침 기준수량 이상 실시하였음.

3) 강재 시험별 적용 기준 및 근거

강재 비파괴 시험별 적용 기준 및 근거는 아래의 【표 3.97】과 같다.

【표 3.97】 강재 재료시험별 적용 기준 및 근거

구 분	조사 항목	적용기준	적용근거
안정성 평가	초음파탐상시험(U.T)	- 인장측 : 2등급이상 : 결함크기 모재두께의 1/2 이하(Ⅱ,Ⅲ), 1/3이하(Ⅳ) - 압축측 : 3등급이상 : 결함크기 모재두께이하 (Ⅱ, Ⅲ), 1/2이하(Ⅳ)	· 강도로교 용접 및 도장요령 (1998년, 건교부) - KS-B-0896
	강재두께 측정	- 강판의 폭과 두께에 따라 허용오차: ±0.55 ~ ±1.2mm	KS D3500
내구성 평가	도막두께 측정	- 일반환경용 중방식 도장 교량외부: 215㎛ 교량내부: 175㎛	도로교표준시방서, 2005년



부산 초음파 탐상(U.T)



부산 도막두께 측정

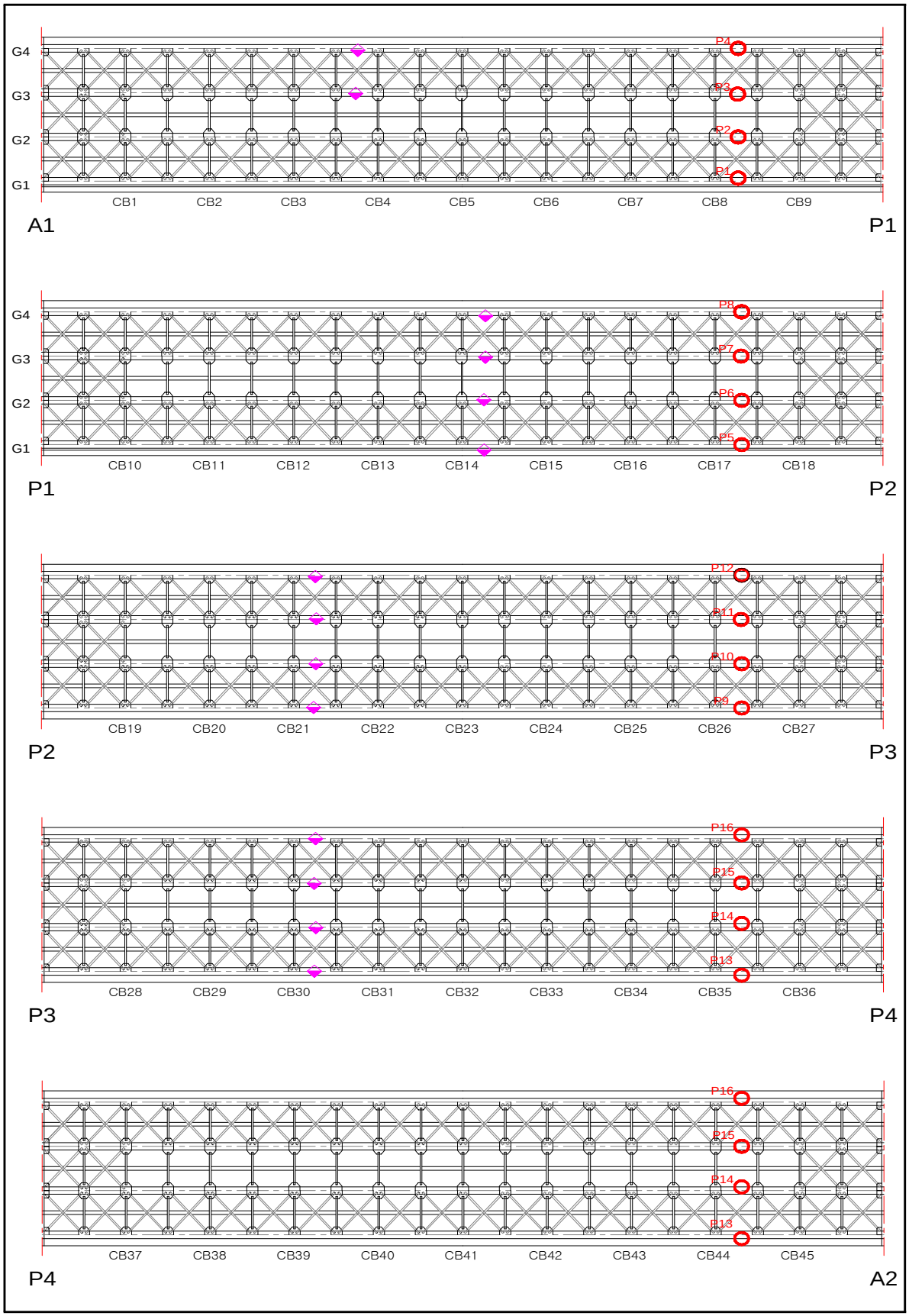


춘천 초음파 탐상(U.T)

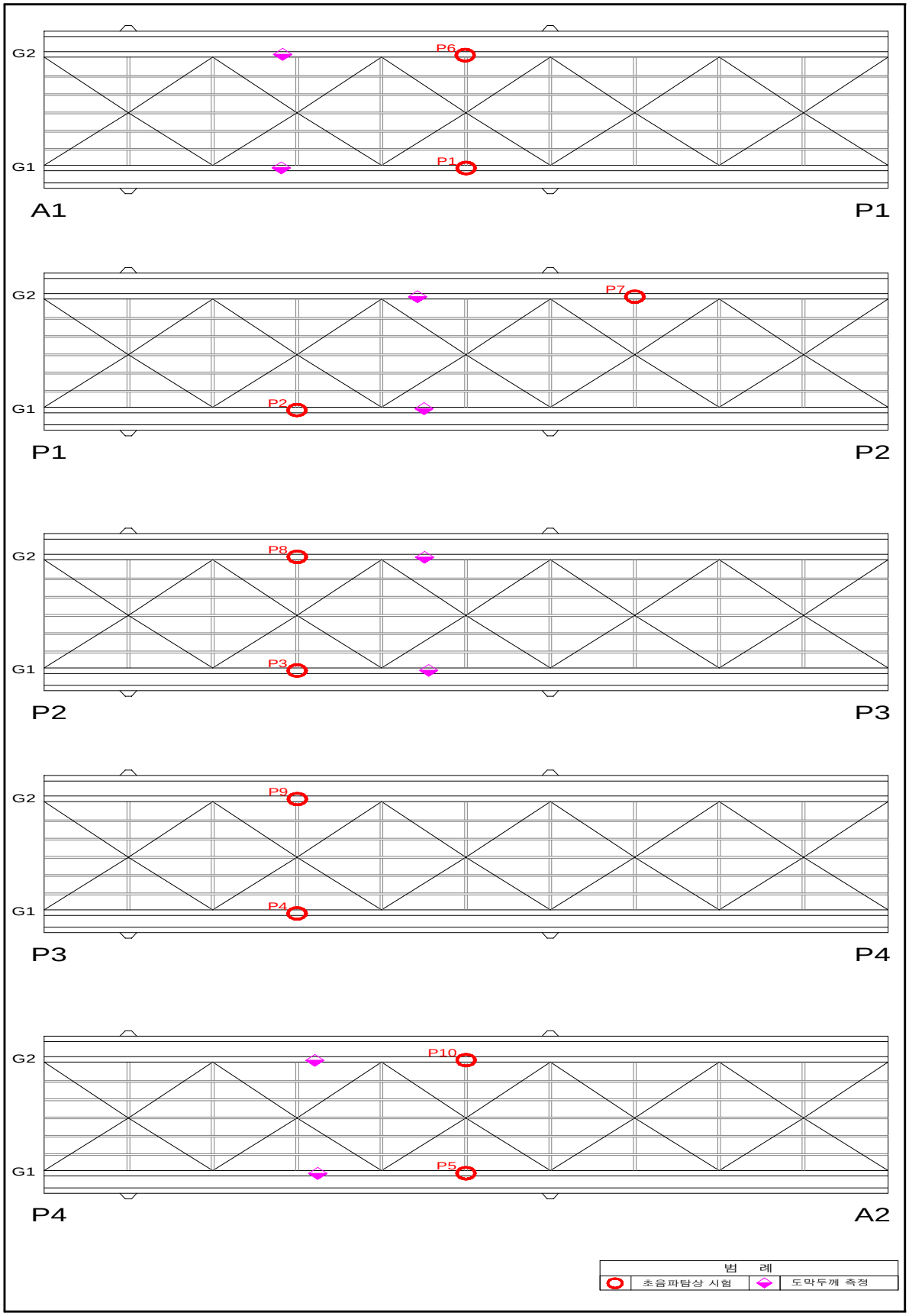


춘천 도막두께 측정

나. 강재비파괴 위치도



【그림 3.15】 강재 재료시험 위치도(부산방향)



【그림 3.16】 강재 재료시험 위치도(춘천방향)

3.5.2 현장시험 개요

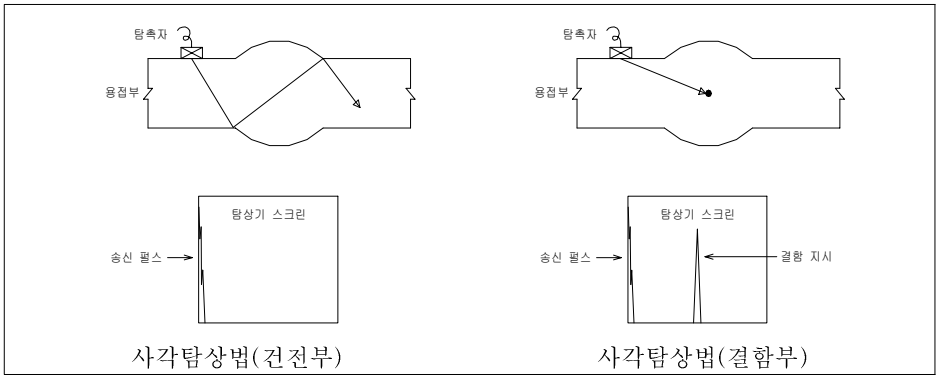
가. 초음파탐상시험 (UT:Ultrasonic Testing)

개요

- 가청 주파수 이상의 주파수를 갖는 초음파(20,000Hz이상)를 시험체 내에 전달하여 초음파 진행 경로 상에 존재하는 결함부로부터 반사하는 초음파 신호를 수신하여 탐상기 CRT 스크린상에서 에코파형을 확인함으로써 결함의 존재여부 및 결함정보를 알아내는 검사 방법이다.
- 표면에 발생된 균열의 검출을 그 목적으로 하지만, 이 밖에 균열과 비슷한 선형으로 발생된 결함, 균열처럼 유해하지는 않지만 다수가 모인 점상결함, 원형과 불규칙한 형상으로 존재하고 어느정도 체적을 가진 결함들도 측정대상으로 한다.

시험 방법

- 초음파탐상 검사는 초음파(20000Hz이상)를 매질내로 전파시켜 매질의 경계면으로부터 반사되어온 초음파를 탐상기 스크린 상에 펄스신호로 나타나게 하여 이 신호를 분석하여 결함유무를 판단하는 검사방법
- 용접부의 경우는 수직탐상법으로는 검출효과가 적음으로 다음과 같은 사각 탐상법을 적용



사각탐상법(건전부) 사각탐상법(결함부)

- 사각탐상은 초음파가 일정의 각도를 가지고 매질내로 전파되도록 하며 용접부 내부에 결함이 존재하지 않을 경우 계속 일정한 각으로 전파되므로 수신신호가 나타나지 않게 된다. 결함이 존재할 경우 반사된 위치까지의 초음파 진행거리를 탐상기 스크린 상에서 읽은 후 삼각함수를 이용하여 결함의 깊이를 구함

평가 기준

<결함의 등급분류>

영 역 / 판두께 / 등급	결 함 의 크 기 (mm)					
	Ⅱ, Ⅲ			Ⅳ		
	18이하	18~60	60초과	18이하	18~60	60초과
1류	6이하	t/3이하	20이하	4이하	t/4이하	15이하
2류	9이하	t/2이하	30이하	6이하	t/3이하	20이하
3류	18이하	t 이하	60이하	9이하	t/2이하	30이하
4류	3류를 초과하는 것					

<용접부 결함의 합·부 판정기준>

검 사 부 위	합 격 기 준	비 고
인 장 측	2류 등급 이상	KS-B-0896
압 축 측	3류 등급 이상	

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※도로교표준시방서(건설교통부, (사)한국도로교통협회, 2005) 참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(한국시설안전공단, 2010.12) 참조

나. 도막두께 측정

개요

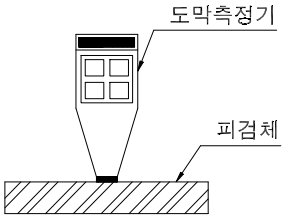
▪ 본 측정은 강재의 높은 안전도를 제공하며 강재의 공용수명의 확보 및 도장의 유지관리 비용을 감소시키기 위함이다. 측정결과는 기존의 두께를 기준하여 정상적으로 도장작업이 수행되었는지의 여부 및 감소여부를 판단한다. 방청방식도장에서는 절대적으로 필요한 요소이며, 도장상태가 구조물에 미치게 될 영향에 대해 평가 할 필요가 있음

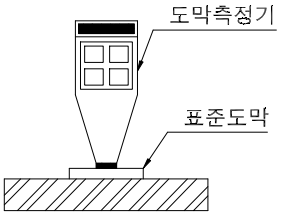
시험 방법

▪ 도막두께 측정은 전자석 또는 영구자석을 이용하여 피검체(자성체)에 도포된 도막의 두께를 측정하는 검사방법으로 페인트 도막 및 기타 코팅에 적용

▪ 도막이 도포되지 않은 피검체(자성체)에 전자석 또는 영구자석을 접촉시켜 지시계의 눈금을 영점(Zero) 조정

▪ 영점 조정 후 확인하고자 하는 두께와 유사한 표준도막을 이용하여 각 도막의 두께에 따른 자력차를 이용하여 검사하는 방법





▪ 도막두께를 교정 후 측정부위에 접촉시켜 전자석 또는 영구자석의 자력차를 수치로 나타내어 측정부위의 도막두께를 확인

평가 기준

▪ 일반적으로 강재에 사용되는 도장계열은 일반환경과 특수환경에 따라 다르게 시공되며 일반 환경용에도 재래식도장과 중방식도장으로 구분되고 특수환경용 도장은 중방식도장(우레탄계 마감)과 중방식도장(자연건조형 불소수지 마감) 등 다양한 재료를 이용한 도장이 실시

▪ 일반 환경의 중방식 도장계열은 다음표의 내용에 따라야 함

구분	도장 계열	공 정		도료명칭 또는 방법	추천도막 두께(㎛)	도장 횟수	비고
교량 외부	GEB	1차 표면처리		SSPC - SP10			
		샵 프라이머		무기질 아연말 샵프라이머	20	1	
		2차 표면처리		SSPC - SP10			
		공장 도장	제1층	무기질 아연말도료	75	1	
			제2층	미스트 코트	80	1	
			제3층	후막형 에폭시계도료		1	
		공장/현장도장	제4층	폴리 우레탄계도료	30	1	
			제5층	폴리 우레탄계도료	30	1	
		계			215		
교량 내부	GIB	1차 표면처리		SSPC - SP10			
		샵 프라이머		무기질 아연말 샵프라이머	20	1	
		2차 표면처리		SSPC - SP10			
		공장 도장	제1층	무기질 아연말도료	75	1	
			제2층	미스트 코트	100	1	
			제3층	후막형 에폭시계도료		1	
		계			175		

※ 도로교 표준시방서(국토해양부, 2013) 참조

3.5.3 시험결과 및 분석

가. 백운4교(부산)

1) 초음파탐상시험

초음파탐상시험은 거더의 용접상태를 검사하기 위해 맞대기 용접부에 대해 세부기준 수량에 따라 경간별, 거더별로 1개소씩 20개소 대해 검사를 실시하였으며, 초음파탐상시험 결과는 다음과 같다.

① 측정결과

【표 3.98】 초음파탐상시험 결과(부산)

시험위치				합격여부	등급	비고
부산	S1	G1	P1	합격	1류	
		G2	P2	합격	1류	
		G3	P3	합격	1류	
		G4	P4	합격	1류	
	S2	G1	P5	합격	1류	
		G2	P6	합격	1류	
		G3	P7	합격	1류	
		G4	P8	합격	1류	
	S3	G1	P9	합격	1류	
		G2	P10	합격	1류	
		G3	P11	합격	1류	
		G4	P12	합격	1류	
	S4	G1	P13	합격	1류	
		G2	P14	합격	1류	
		G3	P15	합격	1류	
		G4	P16	합격	1류	
	S5	G1	P17	합격	1류	
		G2	P18	합격	1류	
		G3	P19	합격	1류	
		G4	P20	합격	1류	

② 측정결과 분석

거더의 용접상태를 검사하기 위해 맞대기 용접부에 대해 경간별, 거더별로 1개소씩 총 20개소에 대해 검사를 실시하였으며, 초음파탐상시험 결과 20개소 모두 결함이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.99】 초음파탐상 시험결과 전회 정밀안전진단(2011년)과의 비교·분석(부산)

구 분	전회 정밀안전진단(2011년)	금회 정밀안전진단	비 고
	초음파 이상유무	초음파 이상유무	
S1	합격 : 8개소	합격 : 4개소	
S2	합격 : 8개소	합격 : 4개소	
S3	합격 : 8개소	합격 : 4개소	
S4	합격 : 8개소	합격 : 4개소	
S5	합격 : 8개소	합격 : 4개소	

전회 정밀안전진단(2011년) 결과와 금회 맞대기 용접부 결함 유무 비교 결과, 용접부의 결함지시가 없는 상태로서 공용기간 증가에 따른 용접부 결함은 발생되지 않은 것으로 판단된다.

2) 도막두께 측정결과

금회 도막두께 측정은 거더 외부의 건전부에서 측정하였으며, 각 위치별 14개소를 측정하여 그 평균값을 도로교표준시방서에 따르는 일반환경의 중방식계열 기준두께와 비교하여 검토하였다.

도막두께 측정결과는 아래 표와 같다.

① 측정결과

【표 3.100】 도막두께 측정 결과(부산)

구 분		측 정 결 과 (㎛)						기준 두께 (㎛)	비고
구분	측정위치	도 막 두 께					두께 평균		
		1	2	3	4	5			
부산	S1 - G3	221	204	207	261	256	229.8	215	양호
	S1 - G4	271	216	264	288	240	255.8	215	양호
	S2 - G1	291	289	284	233	264	272.2	215	양호
	S2 - G2	341	321	495	350	371	375.6	215	양호
	S2 - G3	288	255	267	353	254	283.4	215	양호
	S2 - G4	417	378	365	408	372	388.0	215	양호
	S3 - G1	283	282	275	278	293	282.2	215	양호
	S3 - G2	462	403	445	472	461	448.6	215	양호
	S3 - G3	375	408	368	404	388	388.6	215	양호
	S3 - G4	320	297	331	284	303	307.0	215	양호
	S4 - G1	252	294	259	275	266	269.2	215	양호
	S4 - G2	413	396	347	468	445	413.8	215	양호
	S4 - G3	541	558	585	561	499	548.8	215	양호
	S4 - G4	469	395	376	375	383	399.6	215	양호

② 측정결과 분석

거더의 도막두께 측정 결과, 거더 건전부에서 229~548㎛로 측정되어 건전부의 도장두께는 양호한 상태로 조사되었다.

나. 백운4교(춘천)

1) 초음파탐상시험

초음파탐상시험은 거더의 용접상태를 검사하기 위해 맞대기 용접부에 대해 세부기준 수량에 따라 경간별, 거더별로 1개소씩 10개소 대해 검사를 실시하였으며, 초음파탐상시험 결과는 다음과 같다.

① 측정결과

【표 3.101】 초음파탐상시험 결과(춘천)

시험위치				합격여부	등급	비고
춘천	S1	G1	P1	합격	1류	
		G2	P2	합격	1류	
	S2	G1	P3	합격	1류	
		G2	P4	합격	1류	
	S3	G1	P5	합격	1류	
		G2	P6	합격	1류	
	S4	G1	P7	합격	1류	
		G2	P8	합격	1류	
	S5	G1	P9	합격	1류	
		G2	P10	합격	1류	

② 측정결과 분석

거더의 용접상태를 검사하기 위해 맞대기 용접부에 대해 경간별, 거더별로 1개소씩 총 10개소에 대해 검사를 실시하였으며, 초음파탐상시험 결과 10개소 모두 결함이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.102】 초음파탐상 시험결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천)

구 분	전회 정밀안전진단(2013년)	금회 정밀안전진단	비 고
	초음파 이상유무	초음파 이상유무	
S1	합격 : 4개소	합격 : 2개소	
S2	합격 : 4개소	합격 : 2개소	
S3	합격 : 4개소	합격 : 2개소	
S4	합격 : 4개소	합격 : 2개소	
S5	합격 : 3개소	합격 : 2개소	

전회 정밀안전진단(2013년) 결과와 금회 맞대기 용접부 결함 유무 비교 결과, 용접부의 결함 지시가 없는 상태로서 공용기간 증가에 따른 용접부 결함은 발생되지 않은 것으로 판단된다.

2) 도막두께 측정결과

금회 도막두께 측정은 거더의 건전부와 도장박리부에서 측정하였으며, 각 위치별 9개소를 측정하여 그 평균값을 도로교표준시방서에 따르는 일반환경의 중방식계열 기준두께와 비교하여 검토하였다.

도막두께 측정결과는 아래 표와 같다.

① 측정결과

【표 3.103】 도막두께 측정 결과(춘천)

구 분		측 정 결 과 (㎛)						기준두께 (㎛)	비고
구분	측정위치	도 막 두 께					두께평균		
		1	2	3	4	5			
춘천	S1 - G1	225	205	219	197	234	216.0	215	양호
	S1 - G2	230	231	203	230	204	219.6	215	양호
	S2 - G1	236	231	288	241	233	245.8	215	양호
	S2 - G1 - 도장박리부	23	28	30	36	38	31.0	215	불량
	S2 - G2	250	200	255	181	198	216.8	215	양호
	S4 - G1	280	320	305	315	337	311.4	215	양호
	S4 - G2	210	227	190	232	255	222.8	215	양호
	S5 - G1	279	183	204	313	214	238.6	215	양호
	S5 - G2	252	215	327	306	224	264.8	215	양호

② 측정결과 분석

거더의 도막두께 측정 결과, 거더의 건전부에서 216~311㎛, 도장박리부에서 31㎛로 측정되어 거더 건전부의 도장두께는 양호한 상태이나 도장박리부는 기준두께에 미달되어 부식이 발생될 우려가 있으므로 도장보수가 필요할 것으로 판단된다.

③ 기 진단결과와의 비교

【표 3.104】 도막두께 측정결과 전회 정밀안전진단(2013년)과의 비교·분석(춘천)

구 분	전회 정밀안전진단(2013년)	금회 정밀안전진단	기준두께 (㎛)	비 고
	도막두께평균	도막두께평균		
G1	232.4	252.9	215.0	양호
G2	235.1	231.0		
G1-손상부	-	31.0		불량

기 진단 결과와 비교·분석한 결과, 측정위치 차이에 의해 측정 결과 값에 다소 차이가 있으나, 건전부의 도장두께는 양호한 상태이며, 금회 측정한 도장박리부는 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요한 상태이다.

3.6 현장조사 및 시험 결과요약

3.6.1 외관조사 결과요약

가. 백운4교(부산방향)

1) 외관조사 결과요약

부재		외관조사 결과분석
바닥판		• 바닥판은 내측은 데크플레이트가 설치되어 있으며, 데크플레이트는 양호한 상태이나 콘크리트 부재에서 일부 건조수축에 의한 균열, 백태 및 녹물, 들뜸, 거푸집 미제거, 잡철근노출의 결함이 조사되었으며, 조사된 손상은 비구조적 결함으로 구조물의 안전성에 미치는 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 표면처리 및 단면복구가 필요할 것으로 판단된다.
거더		• 거더는 플레이트 거더 형식으로 현장조사 결과, 공용장기화에 따른 도장열화로 도장박리, 부식, 볼트부식과 시공시 설치과정에 따른 인위적인 변형의 결함이 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장박리 및 부식은 도장보수가 필요하며, 변형은 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
가로보 및 세로보		• 2차 부재인 가로보 및 세로보는 볼트 체결 상태는 양호하나 가로보에서 공용장기화에 따른 도장열화로 일부 부식이 경미한 규모로 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요하며, 세로보는 결함이 없는 양호한 상태이다.
브레이싱		• 브레이싱은 거더의 변형을 보강하기 위해 설치된 부재로 시공 상태는 양호하나 공용장기화에 따른 도장열화로 국부적인 도장박리 및 부식이 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요할 것으로 판단된다.
하부 구조	교대	• 교대에서 조사된 균열은 시공초기 건조수축에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 폭 0.3㎜이상은 주입보수를 실시하고, 폭 0.3㎜미만은 주의관찰토록 한다. 그 외 외부충격에 의한 단면손상, 피복부족에 의한 철근노출, 시공시 협재된 잡철근노출 및 앵커볼트노출, 백태, 일부 사면유실의 결함이 조사되어 단면복구, 표면처리, 몰탈보수의 보수방안이 필요할 것으로 판단된다.
	교각	• 교각에서는 건조수축에 의한 균열, 백태, 시공불량에 의한 표면불량, 보수재 박리, 외부충격에 의한 단면손상, 시공미흡에 의한 잡철근노출 및 앵커볼트노출의 결함이 조사되었으며, 단면손상부는 내구성 확보를 위해 단면복구가 필요하며, 그 외 결함은 손상 규모가 경미하며 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

(계속)

부재	외관조사 결과분석
받침장치	• 받침장치에 대한 현장조사 결과, 부식, 볼트간섭 및 길이부족, 받침콘크리트 균열, 들뜸 및 박리의 손상이 조사되어 장기적인 내구성 및 기능성 확보를 위해 부식부는 도장보수가 필요하며, 그 외 결함은 손상규모가 경미하거나 내구성 및 기능성 저하 영향이 미미한 손상으로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다. • 받침장치의 연단거리 및 가동량 조사결과, A2측에서 설치불량에 의해 가동여유량 부족이 조사되었으나 1차 및 2차의 온도변화에 따른 신축거동 상태는 원활한 것으로 조사되어 주의관찰토록 하며, 향후 받침장치 교체 계획 시 보수하는 것이 적합할 것으로 판단된다.
신축이음장치	• 신축이음장치의 유간거리는 신축여유량을 확보한 상태이나 오랜 공용중 본체부식, 토사퇴적, 후타재균열 및 파손, 덮개판 길이부족 및 변형의 결함이 조사되어 토사퇴적은 청소, 후타재 균열은 표면처리, 후타재 파손은 단면복구가 필요하며, 그 외 결함은 내구성 및 기능성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰토록 한다.
교면포장	• 교면포장은 재포장 보수가 실시되어 교량구간의 포장상태는 양호하나 시점측의 접속슬래브 구간은 미보수 구간으로 시공초기 다짐불량에 의한 아스콘 망상균열 및 침하, 후타재 접합부 전압부족에 의한 패임의 손상이 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 부분 팻칭보수가 필요할 것으로 판단된다.
배수시설	• 배수시설은 상부의 배수구와 하부의 배수관으로 구분되며, 배수구는 양호한 상태이나 배수관에서 용접부 부식 및 누수, 고정핀 부식 및 탈락의 결함이 조사되어 재용접 및 고정핀 재설치의 보수방안이 적합할 것으로 판단된다.
방호벽	• 방호벽의 주요결함은 시공초기 건조수축에 의한 균열(0.3㎜미만) 및 백태, 시공미흡에 의한 들뜸 및 전선덮개판 탈락, 외부충격에 의한 파손의 결함이 조사되어 표면처리, 단면복구, 전선덮개판 재설치의 보수가 적합할 것으로 판단된다.

2) 손상물량 총괄표

부재	손상명		손상물량			조치방안	비고
			단위	개소	물량		
바닥판	균열(0.3㎜미만), 백태		m	1	0.20	표면처리	
	들뜸, 백태, 녹물		㎡	2	0.80	단면복구(방청)	t=30㎜
	거푸집 미제거		㎡	3	0.45	주의관찰	
	잡철근노출		㎡	2	0.06	단면복구	t=10㎜
거더	도장박리		㎡	17	4.44	도장보수	
	부식		㎡	142	70.33	도장보수	
	볼트부식		㎡	2	1.80	도장보수	
	변형		m	4	1.60	주의관찰	
가로보	부식		㎡	3	0.13	도장보수	
브레이싱	도장박리		㎡	2	0.02	도장보수	
	부식		㎡	51	3.19	도장보수	
교대	균열(0.3㎜미만)		m	20	15.30	주의관찰	
	균열(0.3㎜미만), 백태		m	2	2.70	표면처리	
	균열(0.3㎜이상), 백태		m	1	3.50	주입보수	
	균열 및 녹물		m	1	3.00	단면복구(방청)	t=30㎜
	들뜸, 박락, 파손		㎡	14	2.52	단면복구	t=30㎜
	재료분리		㎡	3	0.89	주의관찰	
	철근노출		㎡	2	0.07	단면복구(방청)	t=30㎜
	잡철근노출		㎡	29	0.29	주의관찰	
	앵커볼트노출		㎡	36	0.36	주의관찰	
	사면유실	A1측	㎡	2	13.00	몰탈보수	폼타이홈
		A2측	㎡	1	0.50	사면정비	
교각	균열(0.3㎜미만)		m	58	27.10	주의관찰	
	백태		㎡	1	0.24	주의관찰	
	표면불량		㎡	6	5.48	주의관찰	
	보수재 박리		㎡	5	0.46	주의관찰	
	재료분리		㎡	2	0.30	주의관찰	
	들뜸, 박락, 파손		㎡	18	3.35	단면복구	t=30㎜
	잡철근노출		㎡	30	0.54	주의관찰	
	앵커볼트노출		㎡	380	3.80	주의관찰	

(계속)

부재		손상명	손상물량			조치방안	비고
			단위	개소	물량		
받침장치	본체	부식	㎡	19	4.11	도장보수	
		볼트간섭 및 길이부족	EA	5	5.00	주의관찰	
		가동여유량 부족	EA	4	4.00	주의관찰	
	콘크리트	균열(0.2mm이하)	m	19	8.10	주의관찰	
		재균열(0.2mm이하)	m	40	22.30	주의관찰	
		들뜸	㎡	3	0.50	주의관찰	
		박리	㎡	1	0.06	주의관찰	
신축이음장치	본체	부식	㎡	5	0.95	주의관찰	
		토사퇴적	㎡	4	1.03	청소	
	후타재	균열(0.3mm미만)	m	55	27.50	표면처리	
		망상균열	㎡	1	0.60	표면처리	
		파손	㎡	2	0.41	단면복구	t=30㎜
	덮개판	길이부족	EA	2	2.00	주의관찰	
		변형	EA	1	1.00	주의관찰	
교면포장		아스콘 망상균열	㎡	2	12.74	팻칭보수	
		아스콘 패임	㎡	1	0.75	팻칭보수	
		아스콘 융기, 침하	㎡	2	3.00	주의관찰	
배수시설		배수관 부식	㎡	13	0.46	주의관찰	
		용접부 부식 및 누수	㎡	5	0.20	용접보수	
		고정핀 부식	EA	44	44.00	재설치	
		고정핀 탈락	EA	26	26.00	재설치	
방호벽		균열(0.3mm미만)	m	25	20.00	표면처리	
		재균열(0.3mm미만)	m	5	4.50	표면처리	
		균열 및 백태	m	34	30.50	표면처리	
		백태	㎡	11	0.93	표면처리	
		파손	㎡	33	2.04	주의관찰	
		들뜸	㎡	8	5.45	단면복구	t=30㎜
		전선덮개판 탈락	EA	10	10.00	재설치	

3) 기 진단(2011년)과의 손상물량 비교표

부재	손상명		단위	전회(2011년) 정밀안전진단	금회(2016년) 정밀안전진단	전회와 물량비교	비고
바닥판	균열(0.3㎜미만), 백태		m	-	0.20	▲ 0.20	
	들뜸, 백태, 녹물		㎡	0.70	0.80	▲ 0.10	
	거푸집 미제거		㎡	-	0.45	▲ 0.45	
	잡철근노출		㎡	-	0.06	▲ 0.06	
거더	도장박리		㎡	3.21	4.44	▲ 1.23	
	부식		㎡	50.36	70.33	▲ 19.97	
	볼트부식		㎡	-	1.80	▲ 1.80	
	변형		m	1.20	1.60	▲ 0.40	
가로보	부식		㎡	-	0.13	▲ 0.13	
브레이싱	도장박리		㎡	0.01	0.02	▲ 0.01	
	부식		㎡	0.39	3.19	▲ 2.80	
교대	균열(0.3㎜미만)		m	14.00	15.30	▲ 1.30	
	균열(0.3㎜이상)		m	15.90	-	▽ 15.90	보수완료
	균열(0.3㎜미만), 백태		m	-	2.70	▲ 2.70	
	균열(0.3㎜이상), 백태		m	3.50	3.50	-	
	균열 및 녹물		m	-	3.00	▲ 3.00	
	들뜸, 박락, 파손		㎡	1.60	2.52	▲ 0.92	
	재료분리		㎡	0.80	0.89	▲ 0.09	
	철근노출		㎡	0.05	0.07	▲ 0.02	
	잡철근노출		㎡	-	0.29	▲ 0.29	
	앵커볼트노출		㎡	-	0.36	▲ 0.36	
	사면유실	A1측	㎡	-	13.00	▲ 13.00	
		A2측	㎡	-	0.50	▲ 0.50	
교각	균열(0.3㎜미만)		m	3.80	27.10	▲ 23.30	
	망상균열		㎡	0.06	-	▽ 0.06	보수완료
	백태		㎡	-	0.24	▲ 0.24	
	표면불량		㎡	104.20	5.48	▽ 98.72	일부보수
	보수재 박리		㎡	-	0.46	▲ 0.46	
	재료분리		㎡	1.91	0.30	▽ 1.61	일부보수
	들뜸, 박락, 파손		㎡	1.19	3.35	▲ 2.16	
	잡철근노출		㎡	-	0.54	▲ 0.54	
	앵커볼트노출		㎡	-	3.80	▲ 3.80	

(계속)

부재		손상명	단위	전회(2011년) 정밀안전진단	금회(2016년) 정밀안전진단	전회와 물량비교	비고
받침장치	본체	부식	㎡	4.11	4.11	-	동일함
		볼트간섭 및 길이부족	EA	-	5.00	▲ 5.00	
		가동여유량 부족	EA	4.00	4.00	-	동일함
	콘크리트	균열(0.2mm이하)	m	53.30	8.10	▽ 45.20	일부보수
		균열(0.3mm이상)	m	22.20	-	▽ 22.20	보수완료
		재균열(0.2mm이하)	m	-	22.30	▲ 22.30	
		들뜸	㎡	0.01	0.50	▲ 0.49	
		박리	㎡	-	0.06	▲ 0.06	
신축이음장치	본체	부식	㎡	0.95	0.95	-	동일함
		토사퇴적	㎡	1.03	1.03	-	동일함
	후타재	균열(0.3mm미만)	m	27.10	27.50	▲ 0.40	
		망상균열	㎡	0.60	0.60	-	동일함
		파손	㎡	-	0.41	▲ 0.41	
	덮개판	길이부족	EA	2	2.00	-	동일함
		변형	EA	1	1.00	-	동일함
교면포장		아스콘 균열	m	102.00	-	▽ 102.00	교량구간 보수완료 접속슬래브구간 미보수
		시공이음 균열	m	540.00	-	▽ 540.00	
		아스콘 망상균열	㎡	173.90	12.74	▽ 161.16	
		아스콘 들뜸	㎡	431.88	-	▽ 431.88	
		아스콘 패임	㎡	10.77	0.75	▽ 10.02	
		아스콘 융기, 침하	㎡	-	3.00	▲ 3.00	
배수시설		배수관 부식	㎡	-	0.46	▲ 0.46	
		용접부 부식 및 누수	㎡	-	0.20	▲ 0.20	
		고정핀 부식	EA	-	44.00	▲ 44.00	
		고정핀 탈락	EA	-	26.00	▲ 26.00	
방호벽		균열(0.3mm미만)	m	10.80	20.00	▲ 9.20	
		재균열(0.3mm미만)	m	-	4.50	▲ 4.50	
		균열 및 백태	m	28.70	30.50	▲ 1.80	
		백태	㎡	0.79	0.93	▲ 0.14	
		파손	㎡	-	2.04	▲ 2.04	
		들뜸	㎡	5.45	5.45	-	동일함
		전선덮개판 탈락	EA	4.00	10.00	▲ 6.00	

나. 백운4교(춘천방향)

1) 외관조사 결과요약

부재		외관조사 결과분석
바닥판		• 바닥판의 내측은 데크플레이트, 외측은 강판이 설치된 상태로 현장조사 결과, 데크플레이트 부식, 강판, 부식 및 도장박리, 콘크리트 망상균열 및 백태, 박락, 부착 시설물로 전선 보호덮개 부식 및 탈락의 결함이 조사되어 내구성 확보를 위해 콘크리트 망상균열 및 백태는 물끊기홈 설치 및 표면처리, 콘크리트 박락은 강판 제거 및 단면복구, 전선 보호덮개 탈락은 재설치가 필요하며, 그 외 결함은 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.
거더		• 거더는 플레이트 거더 형식으로 현장조사 결과, 공용장기화에 의한 도장열화 및 우수접촉으로 도장박리, 부식, 볼트부식이 발생하였고, 시공미흡에 의한 볼트누락 및 천공홀, 기공, 외부충격에 의한 변형의 결함이 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장박리 및 부식부는 도장보수가 필요하며, 그 외 결함은 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
가로보 및 세로보		• 2차 부재인 가로보 및 세로보는 도장박리, 부식, 볼트부식, 누수오염, 볼트풀림, 변형의 결함이 조사되었으며, 내구성 확보를 의해 도장박리 및 부식부에 대한 도장보수가 필요하며, 그 외 누수오염, 볼트풀림, 변형의 결함은 손상규모가 경미하여 내구성 저하 영향이 미미하여 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.
브레이싱		• 브레이싱은 거더의 변형을 보강하기 위해 설치된 부재로 시공 상태는 양호하나 공용장기화에 의한 도장열화 및 수분접촉으로 부식 및 볼트부식이 일부 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장보수가 필요할 것으로 판단되며, 그 외 볼트풀림 및 누수오염은 손상규모가 경미하며, 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
하부 구조	교대	• 교대에서 조사된 균열은 시공초기 건조수축 및 수화열에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으며, 폭 0.3㎜이상의 균열은 진단 기간 중 보수가 완료되었다. 폭 0.3㎜미만은 주의관찰토록 하며, 미세 균열부 수분접촉에 의한 백태는 표면처리, 신축이음 설치 시 외부충격에 의한 파손부는 단면복구가 필요할 것으로 판단된다. 그 외 시공미흡에 의한 재료분리, 잡철근노출 및 체수의 결함은 손상규모가 경미하거나 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
	교각	• 교각에서 발생된 균열은 대부분 교각 상단부에서 건조수축에 의한 비구조적 균열로 구조물의 안전성에 미치는 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 폭 0.3㎜이상은 주입보수를 실시하고, 폭 0.3㎜미만은 주의관찰토록 한다. 그 외 외부충격에 의한 파손은 단면복구, 상면 몰탈 들뜸 및 박락은 몰탈보수가 필요하며, 시공시 협재된 잡철근노출은 손상 규모가 경미하며 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

(계속)

부재	외관조사 결과분석
받침장치	• 받침장치에 대한 현장조사 결과, 본체 부식, 받침콘크리트 균열(0.2mm이하), 망상균열, 잡철근노출의 손상이 조사되어 장기적인 내구성 및 기능성 확보를 위해 부식부는 도장보수가 필요하며, 그 외 결함은 손상규모가 경미하거나 내구성 및 기능성 저하 영향이 미미한 손상으로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다. • 받침장치의 연단거리 및 가동량 조사결과, 교대(A1, A2)측에서 허용 가동량 자체 부족 및 온도변화에 따른 설치오류에 의해 가동여유량 부족이 조사되었으나 1차 및 2차의 온도변화에 따른 신축거동 상태는 원활하며, 가동여유량 부족에 의한 결함은 관찰되지 않았으므로 현 상태에서 주의관찰토록 하며, 향후 받침장치 교체 계획 시 보수하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 그 외 연단거리는 전 개소 최소 연단거리를 상회하는 것으로 검토되었다.
신축이음장치	• 신축이음장치의 유간거리는 신축여유량을 확보한 상태이나 공용중 적치된 토사퇴적, 건조수축에 의한 후타재균열 및 외부충격에 의한 덮개판 고정볼트 탈락의 결함이 조사되어 토사퇴적은 청소, 덮개판 고정볼트 탈락은 재설치가 필요하며, 후타재 균열은 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 표면처리하는 것이 적합할 것으로 판단된다.
교면포장	• 교면포장은 길어깨 및 갓길측은 기존 손상에 대한 재포장 보수가 실시되었으며, 아스콘 표면 및 방수층의 보수 상태는 양호한 것으로 조사되었으며, 차선구간의 일부 포장 망상균열이 조사되어 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 부분 팻칭보수가 적합할 것으로 판단된다. 그 외 코어채취부 마감불량의 결함이 조사되었으나 손상규모가 경미하여 차량 주행성 및 포장 기능성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.
배수시설	• 배수시설은 상부의 배수구와 하부의 배수관으로 구분되며, 배수구는 전 개소 교체 보수되어 양호한 상태이나 배수관에서 용접 연결부 누수(부식) 및 탈락과, 고정핀 부식 및 탈락의 결함이 조사되어 재용접 및 고정핀 재설치의 보수방안이 필요할 것으로 판단된다.
방호벽	• 방호벽의 주요결함은 시공초기 건조수축에 의한 균열(0.3㎜미만) 및 망상균열, 시공불량에 의한 표면박리, 외부충격에 의한 파손의 결함이 조사되었으며, 기조사된 결함 중 균열 및 망상균열은 동절기 제설재 살포 등에 의한 염화물 침투가 우려되므로 표면처리하는 것이 적합할 것으로 판단되며, 표면박리 및 파손의 결함은 손상규모가 경미하여 방호벽의 기능성 및 내구성 저하 영향이 미미하므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

2) 손상물량 총괄표

부재		손상명	손상물량			조치방안	비고
			단위	개소	물량		
바닥판	데크 플레이트	부식	㎡	331	2462.35	주의관찰	
		처짐	㎡	1	3.00	주의관찰	
	강판	부식	㎡	206	336.51	주의관찰	
		도장박리	㎡	4	0.61	주의관찰	
	콘크리트	망상균열, 백태	㎡	1	2.40	표면처리 및 물끊기홈 설치	
		박락	㎡	5	2.25	강판제거, 단면복구 및 물끊기홈 설치	t=50㎜
	전선 보호덮개	부식	㎡	65	14.59	주의관찰	
		탈락	m	13	35.00	재설치	
거더		도장박리	㎡	58	13.08	도장보수	
		부식	㎡	107	260.75	도장보수	
		볼트부식	㎡	40	203.00	도장보수	
		녹물흔적	㎡	5	6.55	도장보수	
		볼트누락	EA	1	1.00	주의관찰	
		변형	EA	2	2.00	주의관찰	
		천공홀	EA	48	48.00	주의관찰	
		기공	EA	20	20.00	주의관찰	
가로보 및 세로보		도장박리	㎡	50	3.16	도장보수	
		부식	㎡	8	1.33	도장보수	
		볼트부식	㎡	14	4.94	도장보수	
		누수오염	㎡	2	3.20	주의관찰	
		볼트풀림	EA	1	1.00	주의관찰	
		변형	EA	5	5.00	주의관찰	
브레이싱		부식	㎡	37	21.20	도장보수	
		볼트부식	㎡	81	1.62	도장보수	
		볼트풀림	EA	1	1.00	주의관찰	
		누수오염	㎡	1	3.00	주의관찰	
교대		균열(0.3㎜미만)	m	20	18.40	주의관찰	
		망상균열	㎡	5	51.28	주의관찰	
		망상균열 및 백태	㎡	1	1.40	표면처리	
		백태	㎡	2	2.29	표면처리	
		재료분리	㎡	3	0.89	주의관찰	
		들뜸 및 파손	㎡	17	2.39	단면복구	t=30㎜
		체수	㎡	3	33.50	주의관찰	
		잡철근노출	㎡	68	0.73	주의관찰	

(계속)

부재		손상명	손상물량			조치방안	비고
			단위	개소	물량		
교각		균열(0.3㎜미만)	m	119	115.90	주의관찰	
		균열(0.3㎜이상)	m	22	26.00	주입보수	
		망상균열	㎡	5	18.79	주의관찰	
		파손	㎡	38	0.99	단면복구	
		들뜸	㎡	16	18.59	몰탈보수	
		표면불량	㎡	4	0.53	단면복구	
		잡철근노출	㎡	10	0.24	주의관찰	
받침장치	본체	부식	㎡	7	3.09	도장보수	
		전단키 부식	㎡	4	4.00	도장보수	
	콘크리트	균열(0.2mm이하)	m	2	0.80	주의관찰	
		망상균열(0.2mm이하)	㎡	4	1.59	주의관찰	
		잡철근노출	㎡	1	0.01	주의관찰	
신축이음장치	본체	토사퇴적	m	1	3.00	청소	
	후타재	균열(0.3mm미만)	m	82	28.00	표면처리	
	덮개판	고정볼트 탈락	EA	7	7.00	볼트 재설치	
교면포장		포장 망상균열	㎡	2	1.79	팻칭보수	
		코어채취부 마감불량	㎡	2	0.07	주의관찰	
배수시설	배수구	이물질퇴적	EA	3	3.00	청소	
	배수관	용접 연결부 누수 및 탈락	EA	3	3.00	용접보수	
		고정핀 부식	EA	50	50.00	고정핀 재설치	
		고정핀 탈락	EA	15	15.00	고정핀 재설치	
방호벽		균열(0.3mm미만)	m	2261	757.50	표면처리	
		망상균열	㎡	9	156.59	표면처리	
		파손	㎡	3	0.21	주의관찰	
		표면박리	㎡	16	220.47	주의관찰	

3) 기 진단(2013년)과의 손상물량 비교표

부재		손상명	단위	전회(2013년) 정밀안전진단	금회(2016년) 정밀안전진단	전회와 물량비교	비고
바닥판	데크 플레이트	부식	㎡	2,456.50	2.462.35	▲ 5.85	
		처짐	㎡	-	3.00	▲ 3.00	
	강판	부식	㎡	328.84	336.51	▲ 7.67	
		도장박리	㎡	0.60	0.61	▲ 0.01	
	콘크리트	망상균열, 백태	㎡	-	2.40	▲ 2.40	
		열화	㎡	504.00	-	▽ 504.00	보수완료
		박락	㎡	-	2.25	▲ 2.25	
	전선 보호덮개	부식	㎡	9.86	14.59	▲ 4.73	
		탈락	m	9.00	35.00	▲ 24.00	
거더		도장박리	㎡	8.53	13.08	▲ 4.55	
		부식	㎡	214.30	260.75	▲ 46.45	
		볼트부식	㎡	159.00	203.00	▲ 44.00	
		녹물흔적	㎡	-	6.55	▲ 6.55	
		볼트누락	EA	1.00	1.00	-	동일함
		변형	EA	2.00	2.00	-	동일함
		천공홀	EA	48.00	48.00	-	동일함
		기공	EA	-	20.00	▲ 20.00	
가로보 및 세로보		도장박리	㎡	1.08	3.16	▲ 0.13	
		부식	㎡	-	1.33	▲ 1.33	
		볼트부식	㎡	0.74	4.94	▲ 4.20	
		누수오염	㎡	3.20	3.20	-	동일함
		볼트풀림	EA	1.00	1.00	-	동일함
		변형	EA	3.00	5.00	▲ 2.00	
브레이싱		부식	㎡	9.80	21.20	▲ 11.40	
		볼트부식	㎡	1.32	1.62	▲ 0.30	
		볼트풀림	EA	1.00	1.00	-	동일함
		누수오염	㎡	3.00	3.00	-	동일함
교대		균열(0.3㎜미만)	m	2.00	18.40	▲ 16.40	
		균열(0.3㎜이상)	m	17.20	-	▽ 17.20	보수완료
		망상균열	㎡	49.00	51.28	▲ 2.28	
		망상균열 및 백태	㎡	-	1.40	▲ 1.40	
		백태	㎡	2.25	2.29	▲ 0.04	
		재료분리	㎡	2.23	0.89	▽ 1.34	일부보수
		들뜸 및 파손	㎡	1.58	2.39	▲ 0.81	
		체수	㎡	3.00	33.50	▲ 30.50	
		잡철근노출	㎡	0.24	0.73	▲ 0.49	

(계속)

부재		손상명	단위	전회(2013년) 정밀안전진단	금회(2016년) 정밀안전진단	전회와 물량비교	비고
교각		균열(0.3㎜미만)	m	58.50	115.90	▲ 57.40	
		균열(0.3㎜이상)	㎡	24.50	26.00	▲ 1.50	
		망상균열	㎡	20.79	18.79	▲ 2.00	
		파손	㎡	0.71	0.99	▲ 0.28	
		들뜸	㎡	12.91	18.59	▲ 5.68	
		표면불량	㎡	0.08	0.53	▽ 0.45	
		잡철근노출	㎡	-	0.24	▲ 0.24	
받침 본체	본체	본체 부식	㎡	4.45	3.09	▽ 1.36	일부보수
		전단키 부식	㎡	-	4.00	▲ 4.00	
		가동여유량 부족	EA	4.00	4.00	-	
	콘크리트	균열(0.2㎜이하)	m	0.40	0.80	▲ 0.40	
		망상균열	㎡	1.59	1.59	-	
		잡철근노출	㎡	0.01	0.01	-	
신축이음		토사퇴적	m	11.00	3.00	▽ 8.00	일부보수
		후타재 균열(0.3㎜미만)	m	6.60	28.00	▲ 21.40	
		덮개판 고정볼트 탈락	EA	7	7	-	동일함
교면포장		아스콘 균열	m	110.50	-	▽ 110.50	갓길 및 길어깨 재포장 보수완료
		아스콘 망상균열	㎡	92.14	1.79	▽ 90.35	
		아스콘 들뜸	㎡	2.85	-	▽ 2.85	
		아스콘 불량	㎡	4.60	-	▽ 4.60	
		아스콘 파손	㎡	1.40	-	▽ 1.40	
		코어채취부 마감불량	㎡	-	0.07	▲ 0.07	
배수시설		배수구 그레이팅파손	EA	30.00	-	▽ 30.00	보수완료
		배수구 이물질퇴적	EA	-	3.00	▲ 3.00	
		용접부 누수 및 탈락	EA	-	3.00	▲ 3.00	
		배수관 고정핀 부식	EA	-	50.00	▲ 50.00	
		배수관 고정핀 탈락	EA	-	15.00	▲ 15.00	
방호벽		균열(0.3mm미만)	m	860.40	757.50	▽ 102.90	일부보수
		망상균열	m	11.30	156.59	▲ 145.29	
		파손	㎡	-	0.21	▲ 0.21	
		표면박리	㎡	132.78	220.47	▲ 87.69	

3.6.2 내구성조사 결과요약

가. 백운4교(부산방향)

1) 현장시험 결과요약(부산)

시 험 명		시험부위	시험결과	평 가
콘크리트 강도시험	반발 경도 시험	상부구조	▪ 바닥판 설계기준강도(27.0㎫)의 95.2~116.9%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.	양호
		하부구조	▪ 교대 설계기준강도(24.0㎫)의 106.9~115.5%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음 ▪ 교각 설계기준강도(24.0㎫)의 94.5~120.8%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.	양호
	초음파 전달 속도 시험	상부구조	▪ 거더 설계기준강도(27.0㎫)의 98.6~114.5%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.	양호
		하부구조	▪ 교대 설계기준강도(24.0㎫)의 106.1~111.5%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음 ▪ 교각 설계기준강도(24.0㎫)의 93.3~118.3%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다.	양호
철근탐사시험		상부구조	▪ 준공도면을 비교·검토한 결과 피복두께가 설계치보다 다소 두꺼운 것으로 나타났으나 외관조사결과 이로 인한 손상은 조사되지 않았으며 배근간격 등이 준공도면과 유사함	양호
		하부구조	▪ 준공도면을 비교·검토한 결과 배근간격 , 피복두께 등이 준공도면과 유사함	양호
탄산화 깊이 측정		상부구조	▪ 철근까지의 잔여깊이가 30㎜이상 확보되어 “a”로 평가됨	부식발생 우려 없음
		하부구조	▪ 철근까지의 잔여깊이가 30㎜이상 확보되어 “a”로 평가됨	부식발생 우려 없음
염화물함유량 시험		상부구조	▪ 전개소 : 염화물함유량 ≤ 0.3kg/㎥이하로 (상태평가결과 : a)	부식발생 우려없음
		하부구조	▪ 전개소 : 0.3kg/㎥≤ 염화물함유량 ≤ 1.2kg/㎥이하로 (상태평가결과 : b)	부식발생 가능성 낮음
균열깊이 측정		하부구조	▪ 균열심도(39.3㎜) < 철근피복두께(107.0㎜)	양호
초음파탐상시험(UT)		거더	▪ Ⅰ류등급 : 20개소	양호
도막두께 측정		거더	▪ 건전부(230~549㎛) > 시방기준두께(215㎛)	건전부 양호
평가 의견		▪ 본 시설물은 특이사항이 없는 양호한 상태로 구조물을 대표할 수 있는 부위에서 현장시험을 실시하였으며, 측정 및 시험 결과, 콘크리트 강도, 탄산화 깊이, 염화물 함유량 시험, 균열깊이 측정, 초음파탐상시험(UT), 도막두께 측정은 관련기준을 만족하는 양호한 상태임		

2) 전회 진단과 비교·분석(부산)

구 분		2011년 정밀안전진단	2016년 정밀안전진단	기준값
비파괴 강 도 (MPa)	상부	26.9~28.1	25.7~31.6	27.0
	하부	24.6~29.2	22.7~29.0	24.0
철근배근탐사		• 국부적인 철근탐사 시험 결과, 대부분 설계도와 일치하여 철근배근상태는 양호함 • 일부 피복두께 및 배근간격의 부분적인 차이는 있으나 외관조사결과 이에 따른 부재의 손상은 없는 상태임		
탄산화 깊 이 (㎜)	상부	3.0~5.0	1.6~3.0	잔여피복 30㎜이상
	하부	3.0~18.0	3.1~14.2	잔여피복 30㎜이상
염화물 함유량시험 (kg/m^3)	상부	0.990	0.190~0.205	염화물 < 0.3 (평가결과: a)
	하부	0.387~0.405	0.128~0.448	0.3 < 염화물 < 1.2 (평가결과: b)
강재초음파시험		결함도 없음	결함도 없음	
총 평		■ 본 교량에 대한 내구성조사 결과는 측정위치 및 기술자 숙련도, 현장 기상조건 등에 의하여 차이가 있기 때문에 정확한 산술적 비교는 어려운 상태이나 금회 측정된 내구성 평가 결과값과 기 진단시 측정된 결과값에서 큰 차이가 없으며, 전반적으로 허용기준값을 만족하는 것으로 평가됨		

나. 백운4교(춘천방향)

1) 현장시험 결과요약(춘천)

시 험 명		시험부위		시험결과	평 가
콘크리트 강도시험	반발 경도 시험	상부구조		▪ 바닥판, 방호벽 설계기준강도(27.0㎫)의 102.3~121.8%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음	양호
		하부구조		▪ 교대 설계기준강도(24.0㎫)의 91.9~109.9%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다. ▪ 교각 설계기준강도(27.0㎫)의 108.7~132.6%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음	양호
	초음파 전달 속도 시험	상부구조		▪ 방호벽 설계기준강도(27.0㎫)의 104.8~115.6%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음	양호
		하부구조		▪ 교대 설계기준강도(24.0㎫)의 91.9~104.8%로 나타나 설계기준강도 대비 90%이상의 강도가 측정되어 비교적 양호한 것으로 평가되었다. ▪ 교각 설계기준강도(30,35㎫)의 106.7~126.2%로 나타나 설계기준강도를 상회하고 있음	양호
철근탐사시험		상부구조		▪ 배근간격은 설계도면과 일치하며, 피복두께는 방호벽 단면증설로 인해 피복두께가 깊게 측정된 것으로 판단됨	양호
		하부구조		▪ 배근간격은 설계도면과 일치하며, 피복두께는 시방기준을 상회하고 있음	양호
탄산화 깊이 측정		상부구조		▪ 철근까지의 잔여깊이가 30㎜이상 확보되어 “a”로 평가됨	부식발생 우려 없음
		하부구조		▪ 철근까지의 잔여깊이가 30㎜이상 확보되어 “a”로 평가됨	부식발생 우려 없음
염화물 함유량 시험	상부구조	S5	건전부	▪ 염화물함유량 ≤ 0.3kg/㎥이하로 (상태평가결과 : a)	부식발생 우려 없음
	하부구조	A1	건전부	▪ 0.3kg/㎥≤ 염화물함유량 ≤ 1.2kg/㎥이하로 (상태평가결과 : b)	부식발생 가능성 낮음
		A2	건전부	▪ 염화물함유량 ≤ 0.3kg/㎥이하로 (상태평가결과 : a)	부식발생 우려 없음
균열깊이 측정		하부 구조	A1	▪ 균열심도(49.1㎜) < 철근피복두께(65.0㎜)	양호
			A2	▪ 균열심도(177.7㎜) > 철근피복두께(86.0㎜)	불량
			P3	▪ 균열심도(25.2㎜) < 철근피복두께(109.0㎜)	양호
초음파탐상시험(UT)		거더		▪ Ⅰ류등급 : 10개소	양호
도막두께 측정		거더		▪ 건전부(216.0~311.4㎛) > 시방기준두께(215㎛) ▪ 손상부(23.0㎛) < 시방기준두께(215㎛)	건전부 양호
평가 의견		▪ 본 시설물은 특이사항이 없는 양호한 상태로 구조물을 대표할 수 있는 부위에서 현장시험을 실시하였으며, 측정 및 시험 결과, 콘크리트 강도, 탄산화 깊이, 염화물 함유량 시험, 초음파탐상시험(UT)은 관련기준을 만족하는 양호한 상태이다. A2흉벽의 균열깊이는 철근피복두께를 관통한 상태이나 진단 기간중 균열보수가 실시되어 차기 진단 시 재손상 여부에 대한 확인이 필요하며, 두께 손상부는 기준미만으로 주의관찰 및 보수가 필요한 상태임			

2) 기 진단(2013년)과의 비교·분석(춘천)

구 분			2013년 정밀안전진단	2016년 정밀안전진단	기준값
비파괴 강 도 (MPa)	상부		-	27.6~32.9	27.0
	하부		28.1~29.6	22.6~31.8	24.0
철근배근탐사			• 기 진단 시 상부구조는 데크플레이트 및 강판 설치에 의해 미실시하였고, 금회 진단 시에는 강판 절취부 1개소 및 방호벽 4개소에서 측정하여 비교·분석이 불가능하며, 하부구조는 준공도면과 비교 시 단위 m 당 철근수량은 설계도면과 동일하며, 피복두께는 시방기준을 다소 상회하고 있음		
탄산화 깊 이 (mm)	상부		-	0.4~5.8	잔여피복 30㎜이상
	하부		6.3~11.9	2.7~15.1	잔여피복 30㎜이상
염화물 함유량시험 (kg/㎥)	상부	건전부	0.071	0.167	염화물 < 0.3 (평가결과: a)
	하부	건전부	0.047~0.165	0.131~0.251	염화물 < 0.3 (평가결과: a)
강재초음파시험			결함도 없음	결함도 없음	-
총 평			■ 본 교량에 대한 내구성조사 결과는 측정위치 및 기술자 숙련도, 현장 기상조건 등에 의하여 차이가 있기 때문에 정확한 산술적 비교는 어려운 상태이나 금회 측정된 내구성 평가 결과값과 기 진단시 측정된 결과값에서 큰 차이가 없으며, 전반적으로 허용기준값을 만족하는 것으로 평가됨 ■ 상부 바닥판은 데크플레이트 및 강판이 설치되어 기 진단 시 비파괴강도 및 탄산화깊이 측정은 미실시되어 비교는 불가능한 상태이나 금회 진단 시에는 방호벽 및 캔틸레버 강판 절단부에서 측정하였으며, 측정결과가 기준치를 만족하고 있으므로 공용기간 증가에 따른 내구성 저하는 없는 것으로 평가됨		

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.

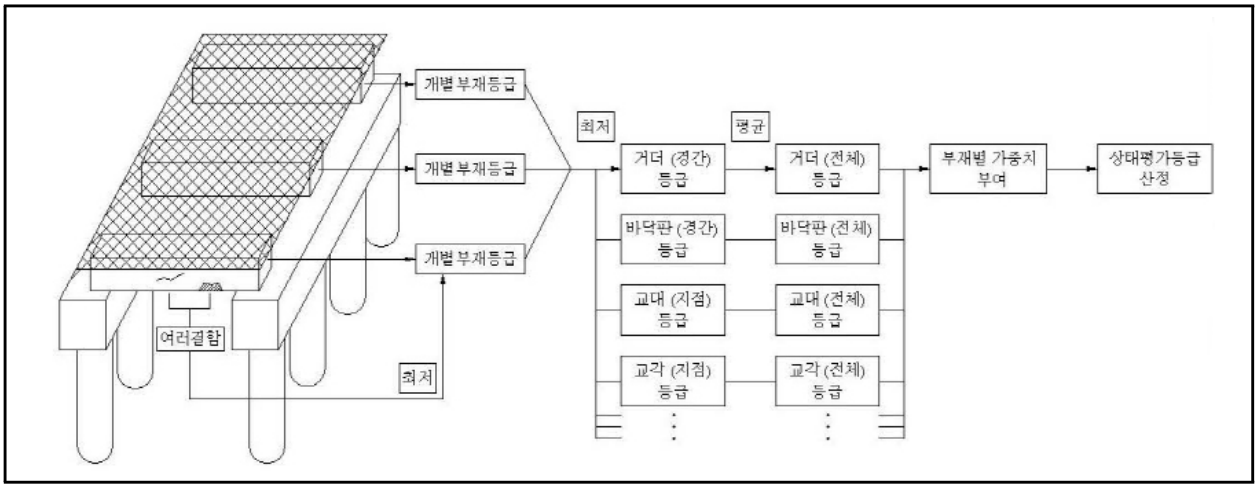
4.1.2 전체 시설물의 상태평가 결과 결정

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 ≤ X < 0.13	0.13 ≤ X < 0.26	0.26 ≤ X < 0.49	0.49 ≤ X < 0.79	0.79 ≤ 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 상태평가등급을 위한 기준값은 경간별로 평가된 부재의 평균등급(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 등급범위는 다음과 같다.

【표 4.2】 구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치

구분	결함도 평가항목		슬래브교량	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)			

※ ( ) : 정밀점검 시 적용 가중치
※ 기타시설물(신축이음, 교면포장, 배수시설, 난간/연석)이 없는 경우, 기타시설물에 할당된 가중치는 바닥판의 가중치에 포함시킨다.
※ 교량받침이 없는 라멘교의 경우 교량받침에 할당된 가중치를 바닥판, 거더, 교대/교각의 가중치에 균등하게 배분한다.

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 조정하였다.

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 단면감소가 심하여 바닥판의 안전성이 저하되는 경우

나. 강 거더

【표 4.5】 강 거더 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 용입부족 및 용접 누락으로 인한 안전성저하	• 부식발생 면적 10%이상 • 부식에 의한 단면 손상 면적 10%미만
e	• 균열이 주부재 단면의 20% 이상 진전	• 좌굴에 의한 과대 변형및파단으로 주부재의안전성 저하	• 주부재 10%이상	• 인장플랜지 용접 연결부 균열진전으로 인해 연결기능 상실	• 부식에 의한 단면 손상 면적 10%이상

다. 강 가로보, 세로보

【표 4.6】 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 용접누락으로 인한 안전성저하	• 부식발생 면적 10%이상 • 부식에 의한 단면 손상 면적 2%이상
e	-	-	-	-	-

라. 교대

【표 4.7】 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

마. 교각

【표 4.8】 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

바. 교량받침

【표 4.9】 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 장애 발생 • 받침 본체 파손 • 받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 미만	• 받침 콘크리트 파손 및 하부 공동으로 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	-

사. 신축이음

【표 4.10】 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	-	-

아. 교면포장

【표 4.11】 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 통행 차량의 안전성 저하
e	-	-	-

자. 배수시설

【표 4.12】 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	-

차. 난간 및 연석

【표 4.13】 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	-	-	-

카. 탄산화

【표 4.14】 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	-	-

타. 염화물

【표 4.15】 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 부산방향

가. 각 부재별 상태평가 결과

1) 콘크리트 바닥판

【표 4.16】 콘크리트 바닥판 상태평가 결과(부산)

구분	부재면적(㎡)	1방향 균열				2방향 균열				열화 및 손상				평가결과
		균열폭(mm)		균열율(%)		균열폭(mm)		균열율(%)		표면손상면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
S1	748.94	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.03	b	없음	a	b
S2	756.00	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	a
S3	756.00	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	a
S4	756.00	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.03	b	없음	a	b
S5	749.89	0.1~0.2	b	0.01	b	없음	a	없음	a	1.00	b	없음	a	b

2) 강 거더

【표 4.17】 강 거더 상태평가 결과(부산)

구분		부재면적(㎡)	모재 및 연결부 손상								열화 및 손상				평가결과
			부재 균열		변형, 파단		연결볼트 이완,탈락(%)		용접연결부 결함		도장손상 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	주부재	1854.53	없음	a	없음	a	볼트부식	b	없음	a	0.01	b	0.14	b	b
	보조부재	738.26	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	
S2	주부재	1872.00	없음	a	국부변형	b	볼트부식	b	없음	a	0.04	b	0.50	b	b
	보조부재	804.86	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	
S3	주부재	1872.00	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.06	b	0.72	b	b
	보조부재	739.66	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	
S4	주부재	1872.00	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.08	b	1.17	b	b
	보조부재	739.66	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	
S5	주부재	1856.87	없음	a	국부변형	b	없음	a	없음	a	0.06	b	1.23	b	b
	보조부재	736.40	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	

3) 강 가로보와 세로보

【표 4.18】 강 가로보와 세로보, 브레이싱 상태평가 결과(부산)

구분		부재면적(㎡)	모재 및 연결부 손상								열화 및 손상				평가결과
			부재 균열		변형, 파단		연결볼트 이완,탈락(%)		용접연결부 결함		도장손상 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	가로보	82.62	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	b
	세로보	106.11	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	
	브레이싱	214.43	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.01	b	0.28	b	
S2	가로보	82.62	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.04	b	b
	세로보	106.11	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	
	브레이싱	214.43	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.10	b	
S3	가로보	82.62	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	b
	세로보	106.11	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	
	브레이싱	214.43	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.10	b	
S4	가로보	82.62	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	b
	세로보	106.11	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	
	브레이싱	214.43	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.62	b	
S5	가로보	82.62	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.12	b	b
	세로보	106.11	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	
	브레이싱	214.43	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.01	b	0.38	b	

4) 콘크리트 교대

【표 4.19】 콘크리트 교대 상태평가 결과(부산)

구분	부재면적(㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가결과
		균열폭(mm)		변위		표면 손상면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
A1	126.81	0.1~0.3	c	없음	a	0.01	b	없음	a	c
A2	108.03	0.1~0.2	b	없음	a	3.94	c	0.06	c	c

5) 콘크리트 교각

【표 4.20】 콘크리트 교각 상태평가 결과(부산)

구분	부재면적(㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가결과
		균열폭(mm)		변위		표면 손상면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
P1	782.80	0.1~0.2	b	없음	a	0.30	b	없음	a	b
P2	1162.53	0.1~0.2	b	없음	a	1.43	b	없음	a	b
P3	1427.62	0.1~0.2	b	없음	a	0.43	b	없음	a	b
P4	1035.10	0.1~0.2	b	없음	a	1.53	b	없음	a	b

6) 기초

【표 4.21】 기초 상태평가 결과(부산)

구분	기초(직접, 말뚝, 케이슨) 손상				지반의 안정성				평가결과
	균열폭(mm)		단면손상		세굴 여부		침하(mm)		
A1~A2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P1~P4	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q

7) 교량받침

【표 4.22】 교량받침 상태평가 결과(부산)

구분	받침 본체				받침 콘크리트				평가결과
	탄성받침		강재받침		균열폭(mm)		박리, 탈락, 파손 등		
A1	-	-	도장부식	b	0.1~0.2	b	들뜸	b	b
P1	-	-	도장부식	b	0.1~0.2	b	양호	a	b
P2	-	-	도장부식	b	0.1~0.2	b	박리	b	b
P3	-	-	도장부식	b	0.1~0.2	b	양호	a	b
P4	-	-	도장부식	b	0.1~0.2	b	들뜸	b	b
A2	-	-	도장부식	b	0.1~0.2	b	들뜸, 박리	b	b

8) 신축이음

【표 4.23】 신축이음 상태평가 결과(부산)

구분	본체		받침 콘크리트				평가결과
			균열 간격(cm)		박리, 탈락, 파손 등		
Exp.J1(A1)	토사퇴적 및 부식	c	85	b	없음	a	c
Exp.J2(A2)	토사퇴적 및 부식	c	85	b	없음	a	c

9) 교면포장

【표 4.24】 교면포장 상태평가 결과(부산)

구분	부재 면적 (㎡)	포장불량				배수		평가 결과
		포장불량 면적(%)		포장손상에 따른 주행성 및 통행성				
S1	695.45	없음	a	양호	a	없음	a	a
S2	702.00	없음	a	양호	a	없음	a	a
S3	702.00	없음	a	양호	a	없음	a	a
S4	702.00	없음	a	양호	a	없음	a	a
S5	696.33	없음	a	양호	a	없음	a	a

10) 배수시설

【표 4.25】 배수시설 상태평가 결과(부산)

구분	평가내용	평가결과
S1	배수관 부식 및 누수, 고정핀 부식 및 탈락	c
S2	배수관 부식 및 누수, 고정핀 부식 및 탈락	c
S3	배수관 부식 및 누수, 고정핀 부식 및 탈락	c
S4	배수관 부식 및 누수, 고정핀 부식 및 탈락	c
S5	배수관 부식, 고정핀 부식 및 탈락	c

11) 난간 및 연석

【표 4.26】 난간 및 연석 상태평가 결과(부산)

구분	부재 길이 (m)	콘크리트						강재				평가 결과
		균열폭 (mm)		박리, 파손, 철근노출(%)		철근부식 손상면적(%)		도장불량 면적(%)		부식손상 면적(%)		
S1	118.88	0.1~0.2	b	경미한손상	b	양호	a	-	-	-	-	b
S2	120.00	0.1~0.2	b	경미한손상	b	양호	a	-	-	-	-	b
S3	120.00	0.1~0.2	b	경미한손상	b	양호	a	-	-	-	-	b
S4	120.00	0.1~0.2	b	경미한손상	b	양호	a	-	-	-	-	b
S5	119.03	0.1~0.2	b	경미한손상	b	양호	a	-	-	-	-	b

12) 탄산화

【표 4.27】 탄산화 상태평가 결과(부산)

구분		탄산화 잔여 깊이(㎜)	평가기준	평가결과
상부구조	S1	68.5	• a : 30㎜ 이상 • b : 10㎜이상~30㎜미만 • c : 0㎜이상~10㎜미만 • d : 0㎜ 미만	a
	S3	56.7		a
	S5	58.0		a
하부구조	A1	104.9		a
	A2	70.6		a
	P2	107.5		a
	P4	87.8		a

13) 염화물

【표 4.28】 염화물 상태평가 결과(부산)

구분		전염화물 이온량(kg/㎥)	평가기준	평가결과
상부구조	S2	0.190 ~ 0.205	• a : 염화물 ≤ 0.3kg/㎥ • b : 0.3kg/㎥ < 염화물 < 1.2kg/㎥ • c : 1.2kg/㎥ ≤ 염화물 < 2.5kg/㎥ • d : 염화물 ≥ 2.5kg/㎥	a
하부구조	A1	0.448 ~ 0.536		b
	P1	0.128 ~ 0.201		a

나. 시설물 전체 상태평가 결과

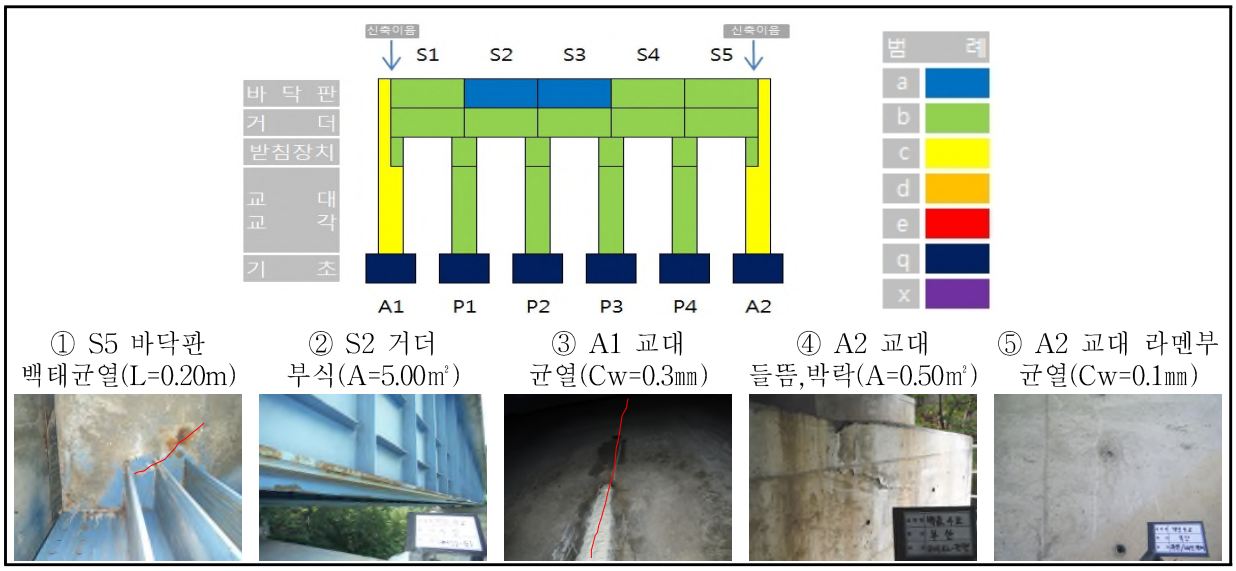
1) 상태평가 결과표

【표 4.29】 상태평가 결과(부산)

부재의 분류		상부구조			하부구조		교량받침	기타부재				탄산화		염화물	
번호	구조형식	바닥판	거더	가로보	교대교각	기초		신축이음	교면포장	배수시설	난간연석	상부	하부	상부	하부
A1	SPG	-	-	-	c	Q	b	c	-	-	-	-	a	-	b
S1(P1)	SPG	b	b	b	b	Q	b	-	a	c	b	a	-	a	-
S2(P2)	SPG	a	b	b	b	Q	b	-	a	c	b	-	a	-	-
S3(P3)	SPG	a	b	b	b	Q	b	-	a	c	b	a	-	-	-
S4(P4)	SPG	b	b	b	b	Q	b	-	a	c	b	-	a	-	-
S5(A2)	SPG	b	b	b	c	Q	b	c	a	c	b	a	a	-	a
평균		0.160	0.200	0.200	0.267	-	0.200	0.400	0.100	0.400	0.200	0.100	0.100	0.100	0.150
가중치		18	20	5	20	-	9	9	7	3	2	2	2	2	1
(평균×가중치) / 가중치합		0.029	0.040	0.010	0.053	-	0.018	0.036	0.007	0.012	0.0074	0.002	0.002	0.002	0.002
										환산결함도 점수				**0.217**	
										상태평가 결과				**B**	

2) 상태평가 결과

백운4교(부산)에 대한 상태평가 결과, 교대의 균열(0.3mm이상), 배수시설 고정핀 부식파손 및 탈락, 신축이음장치 부식 등의 결함이 발생하여 "c"로 평가되었고, 그 외 부재는 경미한 결함이 국부적으로 발생하여 "b"로 평가되었다. 교면포장의 경우 재포장 보수가 실시되어 전 경간 "a"로 평가되어 전체 상태평가 결과는 양호한 상태인 "B"로 산정되었다.



【그림 4.2】 백운4교(부산) 상태평가 결과

다. 전회 정밀안전진단 결과와의 비교

【표 4.30】 상태평가 결과 전회 정밀안전진단과의 비교·분석(부산)

구분	일자	전체		바닥판		거더		2차 부재		교면표장		배수시설		난간/연석		신축이음	
		결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과	결함점수	평가결과
안전진단	2011.11	0.252	B	0.018	a	0.040	b	0.008	b	0.028	c	0.006	b	0.004	b	0.036	c
안전진단	2016.12	0.217	B	0.029	b	0.040	b	0.010	b	0.007	a	0.012	c	0.007	b	0.036	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	0.018	b	0.080	c	N	Q	0.004	b	0.004	b	0.004	b	0.002	b
안전진단	2016.12	0.018	b	0.053	c	N	Q	0.002	a	0.002	a	0.002	a	0.002	b

상태평가 결과 분석

- 백운4교(부산)는 전회 정밀안전진단(2011년) 시 상태평가결과 『B』으로 분류된 교량으로 공용중 2회 정밀점검을 실시하였으며, 금회 실시된 정밀안전진단에서도 상태평가 『B』으로 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
  ⇨ 교면포장(전면 재포장) 및 하부구조 표면보수 실시로 인해 결함도 점수 감소

4.3.2 춘천방향

가. 각 부재별 상태평가 결과

1) 콘크리트 바닥판

【표 4.31】 콘크리트 바닥판 상태평가 결과(춘천)

구분	부재면적(㎡)	1방향 균열				2방향 균열				열화 및 손상				평가결과
		균열폭(mm)		균열율(%)		균열폭(mm)		균열율(%)		표면손상 면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
S1	820.52	0.1~0.2	b	0.07	b	없음	a	없음	a	0.03	b	없음	a	b
S2	819.55	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.07	b	없음	a	b
S3	819.21	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.02	b	없음	a	b
S4	819.21	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.07	b	없음	a	b
S5	819.21	없음	a	0.01	b	없음	a	없음	a	0.07	b	없음	a	b

2) 강 거더

【표 4.32】 강 거더 상태평가 결과(춘천)

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	주부재	1,209.82	없음	a	국부변형	b	볼트부식	b	기공	b	0.27	b	9.39	c	c
	보조부재	426.37	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	
S2	주부재	1,208.38	없음	a	국부변형	b	볼트부식	b	없음	a	0.10	b	4.05	c	c
	보조부재	441.00	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	
S3	주부재	1,207.88	없음	a	없음	a	볼트부식	b	기공	b	0.01	b	3.68	c	c
	보조부재	440.93	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	
S4	주부재	1,207.88	없음	a	없음	a	볼트부식	b	없음	a	0.31	b	1.97	b	b
	보조부재	440.93	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	
S5	주부재	1,207.88	없음	a	없음	a	볼트부식	b	없음	a	0.39	b	2.48	c	c
	보조부재	424.88	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	

3) 강 가로보와 세로보

【표 4.33】 강 가로보와 세로보, 브레이싱 상태평가 결과(춘천)

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	가로보	95.04	없음	a	없음	a	볼트부식	b	없음	a	0.01	b	0.53	b	b
	세로보	110.16	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.45	b	없음	a	
	브레이싱	344.08	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.67	b	
S2	가로보	86.40	없음	a	없음	a	볼트부식	b	없음	a	0.52	b	없음	a	b
	세로보	110.16	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.96	b	없음	a	
	브레이싱	344.08	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	1.09	b	
S3	가로보	86.40	없음	a	없음	a	볼트부식	b	없음	a	없음	a	0.01	b	b
	세로보	110.16	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.39	b	없음	a	
	브레이싱	344.08	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	1.02	b	
S4	가로보	86.40	없음	a	국부변형	b	볼트부식	b	없음	a	0.13	b	0.35	b	c
	세로보	110.16	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.01	b	없음	a	
	브레이싱	344.08	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	2.82	c	
S5	가로보	86.40	없음	a	국부변형	b	볼트부식	b	없음	a	0.15	b	0.58	b	b
	세로보	110.16	없음	a	국부변형	b	없음	a	없음	a	0.05	b	0.02	b	
	브레이싱	344.08	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	없음	a	0.57	b	

4) 콘크리트 교대

【표 4.34】 콘크리트 교대 상태평가 결과(춘천)

구분	부재면적(㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가결과
		균열폭(mm)		변위		표면 손상면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
A1	87.32	0.1~0.2	b	없음	a	0.69	b	없음	a	b
A2	88.76	0.1~0.2	b	없음	a	1.45	b	없음	a	b

5) 콘크리트 교각

【표 4.35】 콘크리트 교각 상태평가 결과(춘천)

구분	부재면적(㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가결과
		균열폭(mm)		변위		표면 손상면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
P1	1140.33	0.1~0.4	c	없음	a	0.45	b	없음	a	c
P2	1251.64	0.1~0.4	c	없음	a	0.15	b	없음	a	c
P3	1417.29	0.1~0.4	c	없음	a	0.42	b	없음	a	c
P4	1018.01	0.1~0.4	c	없음	a	0.72	b	없음	a	c

6) 기초

【표 4.36】 기초 상태평가 결과(춘천)

구분	기초(직접, 말뚝, 케이슨) 손상				지반의 안정성				평가결과
	균열폭(mm)		단면손상		세굴 여부		침하(mm)		
A1~A2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P1~P4	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q

7) 교량받침

【표 4.37】 교량받침 상태평가 결과(춘천)

구분	받침 본체				받침 콘크리트				평가결과
	탄성받침		강재받침		균열폭(mm)		박리, 탈락, 파손 등		
A1	-	-	도장부식	b	양호	a	양호	a	b
P1	-	-	도장부식	b	0.1~0.2	b	양호	a	b
P2	-	-	도장부식	b	0.1~0.2	b	양호	a	b
P3	-	-	도장부식	b	0.1~0.2	b	잡철근노출	b	b
P4	-	-	도장부식	b	양호	a	양호	a	b
A2	-	-	도장부식	b	양호	a	양호	a	b

8) 신축이음

【표 4.38】 신축이음 상태평가 결과(춘천)

구분	본체		받침 콘크리트				평가결과
			균열 간격(cm)		박리, 탈락, 파손 등		
Exp.J1(A1)	양호	a	52	b	없음	a	b
Exp.J2(A2)	토사퇴적	b	81	b	없음	a	b

9) 교면포장

【표 4.39】 교면포장 상태평가 결과(춘천)

구분	부재 면적 (㎡)	포장불량				배수		평가 결과
		포장불량 면적(%)		포장손상에 따른 주행성 및 통행성				
S1	772.61	1.44	b	양호	a	없음	a	b
S2	771.69	0.01	b	양호	a	없음	a	b
S3	771.37	0.41	b	양호	a	없음	a	b
S4	771.37	양호	a	양호	a	없음	a	a
S5	771.37	양호	a	양호	a	없음	a	a

10) 배수시설

【표 4.40】 배수시설 상태평가 결과(춘천)

구분	평가내용	평가결과
S1	배수구 덮개 파손	c
S2	배수구 덮개 파손	c
S3	배수구 덮개 파손	c
S4	배수구 덮개 파손	c
S5	배수구 덮개 파손, 배수관 부식	c

11) 난간 및 연석

【표 4.41】 난간 및 연석 상태평가 결과(춘천)

구분	부재 길이 (m)	콘크리트						강재				평가 결과
		균열폭 (mm)		박리, 파손, 철근노출(%)		철근부식 손상면적(%)		도장불량 면적(%)		부식손상 면적(%)		
S1	119.78	0.1~0.2	b	경미한손상	b	양호	a	-	-	-	-	b
S2	119.64	0.1~0.2	b	경미한손상	b	양호	a	-	-	-	-	b
S3	119.59	0.1~0.2	b	경미한손상	b	양호	a	-	-	-	-	b
S4	119.59	0.1~0.2	b	경미한손상	b	양호	a	-	-	-	-	b
S5	119.59	0.1~0.2	b	경미한손상	b	양호	a	-	-	-	-	b

12) 탄산화

【표 4.42】 탄산화 상태평가 결과(춘천)

구분		탄산화 잔여 깊이(㎜)	평가기준	평가결과
상부구조	S1	39.7	• a : 30㎜ 이상 • b : 10㎜이상~30㎜미만 • c : 0㎜이상~10㎜미만 • d : 0㎜ 미만	a
	S5	37.9		a
하부구조	A1	100.3		a
	A2	108.3		a
	P2	109.2		a
	P4	91.0		a

13) 염화물

【표 4.43】 염화물 상태평가 결과(춘천)

구분		전염화물 이온량(kg/㎥)	평가기준	평가결과
상부구조	S5	0.167 ~ 0.221	• a : 염화물 ≤ 0.3kg/㎥ • b : 0.3kg/㎥ < 염화물 < 1.2kg/㎥ • c : 1.2kg/㎥ ≤ 염화물 < 2.5kg/㎥ • d : 염화물 ≥ 2.5kg/㎥	a
하부구조	A1	0.251 ~ 0.398		b
	A2	0.131 ~ 5.256		d

나. 시설물 전체 상태평가 결과

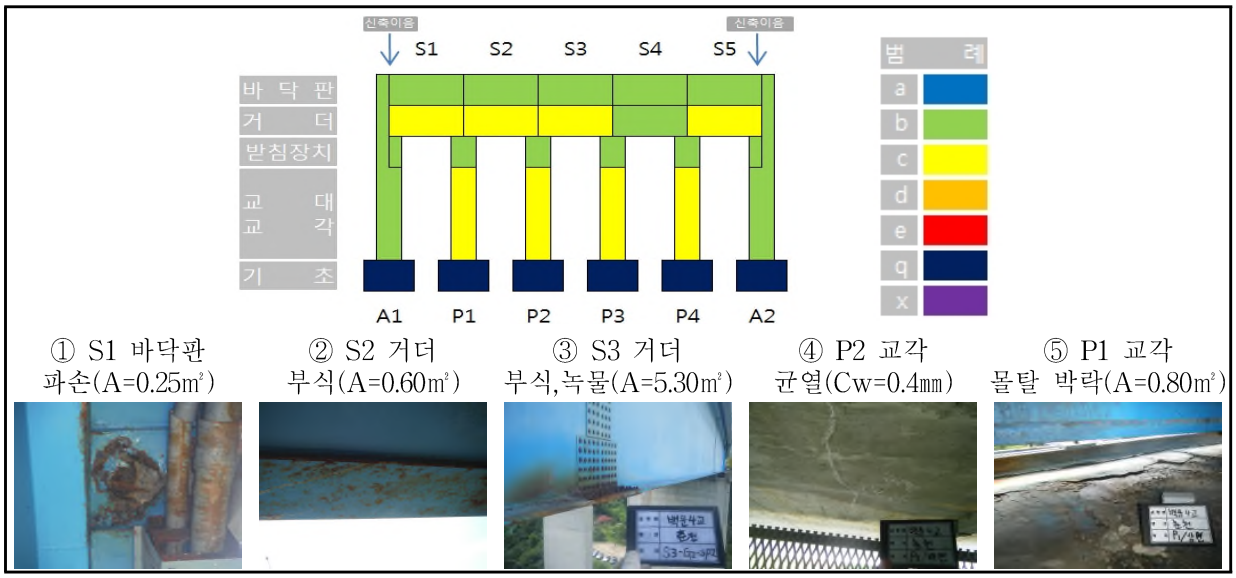
1) 상태평가 결과표

【표 4.44】 상태평가 결과(춘천)

부재의 분류		상부구조			하부구조		교량받침	기타부재				탄산화		염화물	
번호	구조형식	바닥판	거더	가로보	교대교각	기초		신축이음	교면포장	배수시설	난간연석	상부	하부	상부	하부
A1	SPG	-	-	-	b	Q	b	b	-	-	-	-	a	-	b
S1(P1)	SPG	b	c	b	c	Q	b	-	b	c	b	a	-	-	-
S2(P2)	SPG	b	c	b	c	Q	b	-	b	c	b	-	a	-	-
S3(P3)	SPG	b	c	b	c	Q	b	-	b	c	b	-	-	-	-
S4(P4)	SPG	b	b	c	c	Q	b	-	a	c	b	-	a	-	-
S5(A2)	SPG	b	c	b	b	Q	b	b	a	c	b	a	a	a	a
평균		0.200	0.360	0.240	0.333	-	0.200	0.200	0.160	0.400	0.200	0.100	0.100	0.100	0.150
가중치		18	20	5	20	-	9	9	7	3	2	2	2	2	1
(평균×가중치) / 가중치합		0.036	0.072	0.012	0.067	-	0.018	0.018	0.011	0.012	0.004	0.002	0.002	0.002	0.002
										환산결함도 점수				0.257	
										상태평가 결과				B	

2) 상태평가 결과

백운4교(춘천)에 대한 상태평가 결과, 거더의 부식 손상 면적율 2%이상 발생, 교각의 균열(0.3mm이상), 배수시설 고정핀 부식, 파손 및 탈락의 결함이 발생하여 "c"로 평가되었고, 그 외 부재는 경미한 결함이 국부적으로 발생하여 "b"로 평가되며, 교대는 금회 진단 기간 중 0.3mm이상 균열에 대한 보수가 실시되어 "b"로 평가되어 전체 상태평가 결과는 양호한 상태인 "B"로 산정되었다.



【그림 4.3】 백운4교(춘천) 상태평가 결과

다. 전회 정밀안전진단결과(2013년)와의 비교

【표 4.45】 상태평가 결과 전회 정밀안전진단과의 비교·분석(춘천)

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	2013.121	0.397	C	0.126	d	0.080	c	0.010	b	0.049	d	0.012	c	0.004	b	0.018	b
안전진단	2016.12	0.257	B	0.036	b	0.072	c	0.012	b	0.011	b	0.012	c	0.004	b	0.018	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	2013.121	0.018	b	0.073	d	N	q	X	X	0.004	a	0.002	a	0.001	a
안전진단	2016.12	0.018	b	0.067	c	N	q	0.002	a	0.002	a	0.002	a	0.002	b

상태평가 결과 분석

- 백운4교(춘천)는 전회 정밀안전진단(2013년) 시 상태평가 결과 『C』로 분류된 교량으로 공용중 1회 정밀점검을 실시하였으며, 금회 실시된 정밀안전진단에서는 상태평가 결과『B』로 상향 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 상세조사에 의한 손상물량 증가
- 결함도 점수 감소 사유
  ⇨ 교면포장 및 바닥판 열화부, 교대 균열(폭 0.3㎜이상)에 대한 보수 실시로 인해 결함도 점수 감소

제 5 장 시설물의 안전성평가

5.1 개 요
5.2 백운4교(부산) 안전성평가
5.3 백운4교(춘천) 안전성평가

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.

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, 구조계의 변화가 없으므로 금회에는 전회 정밀안전진단(부산방향 : 2011년, 춘천방향 : 2013년)에서 수행한 안전성평가 자료를 활용하는 것으로 하였다. 다만, 금회 정밀안전진단 시 확인결과, 춘천방향의 방호벽은 설계도면의 제원과 실측 제원이 상이한 상태로 공용 중 단면증설이 된 것으로 판단되며, 구조계산 시 실측치를 적용하여 구조검토를 시행하였다.

안전성평가는 도로교설계기준의 규정에 따라 허용응력법 및 강도설계법에 따라 검토하였다. 즉, 상부구조의 거더의 검토는 허용응렵법, 바닥판 및 하부구조는 강도설계법에 근거하여 수행하였다.

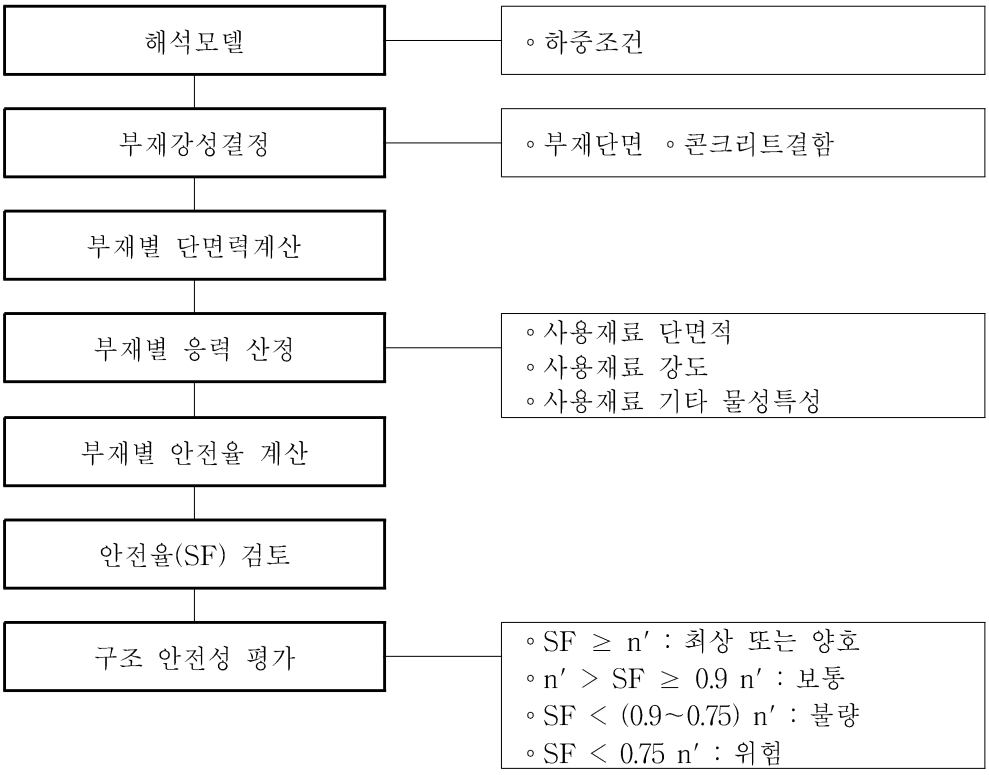
안전성평가 등급은 각 구조요소의 검토방법을 토대로 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010)에서 제시하는 등급기준을 적용하였으며, 안전성평가 등급기준은 아래와 같다.

【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 백운4교(부산) 안전성평가

5.2.1 개요

백운4교(부산)는 총연장 310.785m, 총폭 12.6m의 5경간 연속 Steel Plate Girder형식의 교량으로서, 좌·우측의 주거더와 가로보, 세로보 및 브레이싱으로 구성되었으며, 하부구조는 벽식(중공)교각 4기와 역T형 교대 2기이며, 기초형식은 A1은 강관파일기초, 그 외 직접기초로 시공되었다. 또한 A2/배면은 라멘구간이 10.0m 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.

하부구조는 고정단 교각을 제외한 가동단 교각 중 예비 구조해석을 실시하여 가장 불리한 부재력 발생이 예상되는 교각3(P3)에 대해서 강도설계법으로 안전성검토를 수행하였다.

나. 검토 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】 백운4교(부산) 구조검토 조건 비교

구 분		2000년 설계	2011년 진단	2016년 진단
설계 기준	적용 년도	• 콘크리트 표준시방서(1996) • 도로교 표준시방서(1996)	• 콘크리트 구조설계기준(2007) • 도로교 설계기준(2010)	• 콘크리트 구조설계기준(2012) • 도로교 설계기준(2010)
	주요 하중계수	• 콘크리트 하중조합(1.2D+1.8L)	• 콘크리트 하중조합(1.3D+2.15L)	• 콘크리트 하중조합(1.3D+2.15L)
적용 하중	바닥판	• 고정하중+활하중	• 고정하중+활하중+풍하중	• 고정하중+활하중+풍하중
	거 더	• 고정하중+활하중+풍하중+온도변화	• 고정하중+활하중+풍하중+온도변화	• 고정하중+활하중+풍하중+온도변화
	하부구조	• 고정하중+활하중+풍하중+온도하중	• 고정하중+활하중+풍하중+온도하중	• 고정하중+활하중+풍하중+온도하중
활하중	충격계수	• 20/(50+L)	• 15/(40+L)	• 15/(40+L)
비교결과		• 설계시 구조검토 조건과 비교결과, 하중조건은 구조물의 고정하중과 설계활하중(DB24, DL24) 이외에 콘크리트 바닥판과 강재거더의 온도차, 크리프 및 건조수축에 대한 영향을 추가로 고려함 • 활하중 충격계수는 변경된 설계기준을 적용함		

2) 부재제원 확인

시설물을 구성하고 있는 주요부재에 대한 제원 확인을 위해 실측을 실시하고 이를 준공도와 비교·검토하여 주요 부재의 규격을 확인하였다.




부재 제원 확인

【그림 5.2】 백운4교(부산) 부재 제원 측정

【표 5.4】 백운4교(부산) 부재 제원 확인 결과

구 분				부재제원	실측결과	비 고
백운4교 (부산)	상부 구조	바닥판 B		12.600 m	12.604 m	일치함
		거더	높이 H	3.000 m	3.000 m	일치함
			간격 B	3.600 m	3.598 m	일치함
	하부 구조	교 대 (A1/구체)	폭 B	12.600 m	12.600 m	일치함
			상면 L	1.600 m	1.600 m	일치함
		교 각 (P2/코핑)	폭 B	12.800 m	12.800 m	일치함
			상면 L	3.600 m	3.600 m	일치함
	기타	방호벽	높이 H	1.080 m	1.100 m	유사함
			폭 B	0.450 m	0.450 m	일치함
측정결과	▪ 부재 제원의 실측결과, 전반적으로 준공도상의 제원과 일치함.					

3) 현장시험 및 측정자료 분석

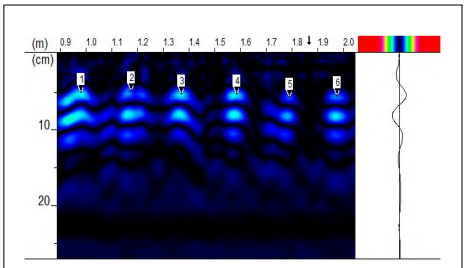
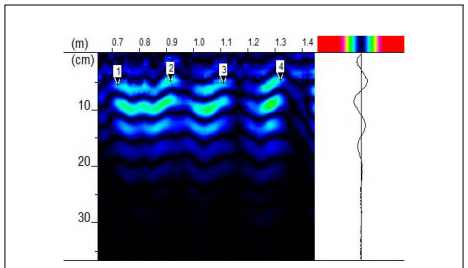
① 사용재료 및 강도

【표 5.5】 백운4교(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	27,800	27.0	28.2~28.7	27.0	400.0	2.1×10^5
하부구조	27,000	24.0	25.8~27.1	24.0	300.0	2.1×10^5
• 콘크리트 강도시험은 반발경도시험 및 초음파시험 결과가 설계기준강도 이상이므로 설계기준강도를 적용강도로 적용함.						

② 단면제원 및 철근량

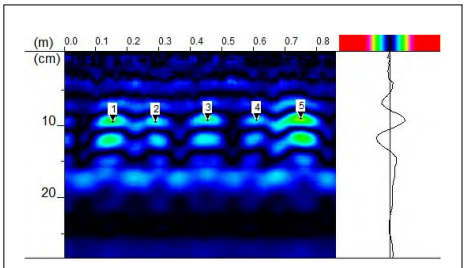
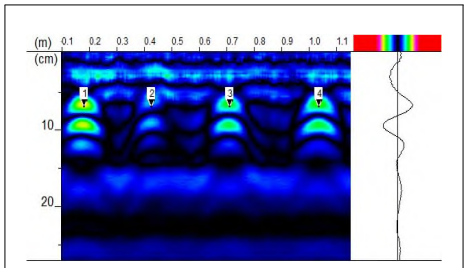
【표 5.6】 백운4교(부산) 단면제원 및 철근량

시험위치	단면두께 (mm)	피복두께(mm)			철근(m당 평균)		
		설계값	측정 평균값	검토 적용값	설계값	철근탐사	검토 적용값
S1 캔틸레버	250.0	40.0	70.0	40.0	H16@250.0	H16@195.0	H16@250.0
S2 캔틸레버	250.0	40.0	61.0	40.0	H16@250.0	H16@187.0	H16@250.0
S3 캔틸레버	250.0	40.0	60.0	40.0	H16@250.0	H16@199.0	H16@250.0
S4 캔틸레버	250.0	40.0	60.0	40.0	H16@250.0	H16@194.0	H16@250.0
S5 캔틸레버	250.0	40.0	58.0	40.0	H16@250.0	H16@200.0	H16@250.0
철근탐사 DATA							

위치	철근종류	피복두께	철근간격
S3캔틸레버	횡방향철근	55.0~64.0	185.0~215.0

위치	철근종류	피복두께	철근간격
S5캔틸레버	횡방향철근	56.0~62.0	195.0~210.0

• 철근배근 탐사결과 측정부재의 길이 부족으로 인해 횡방향철근에 대해서만 측정이 가능한 상태였으며,『중앙고속도로 제천-원주간 확장공사 제16공구 실시설계도』에 적용된 설계값과 금회 측정평균값의 차이가 다소 있으며 안전성 평가시 설계값을 기준으로 적용함.

시험위치		단면두께 (mm)	피복두께(mm)			철근(m당 평균)		
			설계값	측정 평균값	검토 적용값	설계값	철근탐사	검토 적용값
P3 기둥	수직철근	700.0	100.0	105.0	100.0	D29@150.0	D29@148.0	D29@150.0
	수평철근		74.5	75.0	74.5	D22@250.0	D22@275.0	D22@250.0
철근탐사 DATA								

위치	철근종류	피복두께	철근간격
P3 기둥	수직철근	105.5~111.5	135.0~165.0

위치	철근종류	피복두께	철근간격
P3 기둥	수평철근	80.0~81.0	245.0~305.0

• 철근배근 탐사결과 『중앙고속도로 제천-원주간 확장공사 제16공구 실시설계도』에 적용된 설계값과 금회 측정평균값의 차이가 미미하여 안전성 평가시 설계값을 기준으로 적용함.

5.2.2 상부구조 안전성평가

가. 구조검토 조건

1) 교량제원

① 교 량 명 : 백운4교(부산)

② 교량등급 : 1등급(DB-24, DL-24)

③ 교량형식 : 5경간 연속 강판형교(Steel Plate Girder)

④ 교 장 : 5@60.0 = 300.0m

⑤ 교 량 폭 : B = 12.60m

⑥ 거더제원 : H = 3.0m, B = 0.6m

⑦ 사 각 : 90.0°

⑧ 곡률반경 : R = 1,500

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 = 27,800.0 MPa

㉢ 크 리 프 계 수 : $\Phi_2 = 2\Phi_1 = 4.0$

㉣ 선 팽 창 계 수 : $a = 1.2\times10^{-5}$

㉤ 허용응력

- 합성거더에서의 콘크리트 허용압축응력

하중의 조합			허용응력(MPa)	비 고
1	주하중	1) 바닥판으로서의 작용	0.4fck	도로교설계기준(2010) 3.6.1.9항 3.9.3.1항
		2) 주거더 단면의 일부로서의 작용		
		3) 1)과 2)를 동시에 고려할 때		
2	주하중+바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차		1.1)항의 15%증가	

- 합성거더에서의 콘크리트 허용인장응력

하중의 조합		허용응력(MPa)		비 고
1	주하중	바닥판의 상하연	0.07fck로 하되 25이하	도로교설계기준(2010) 3.9.3.1항
		바닥판 두께의 중심	0.04fck로 하되 15이하	
2	활하중, 충격을 제외한 주하중	0		
3	주하중+바닥판 콘크리트와 강재주거더와의 온도차	1항의 15% 증가		

② 철근(SD40)

㉠ 항복강도 : fy = 400.0 MPa

㉡ 탄성계수 : Es = 200,000 MPa

㉢ 허용인장응력 : f_{ta} = 160.0 MPa

③ 강재

㉠ 주부재 : SM520 (SWS520) - 거더

㉠ 부부재 : SM490 (SWS400) - 가로보 및 2차부재

㉢ 탄성계수 : Es = 210,000 MPa

㉣ 항복강도

- 거 더 : 355 MPa
- 가로보 : 235 MPa

㉤ 허용응력 증가율

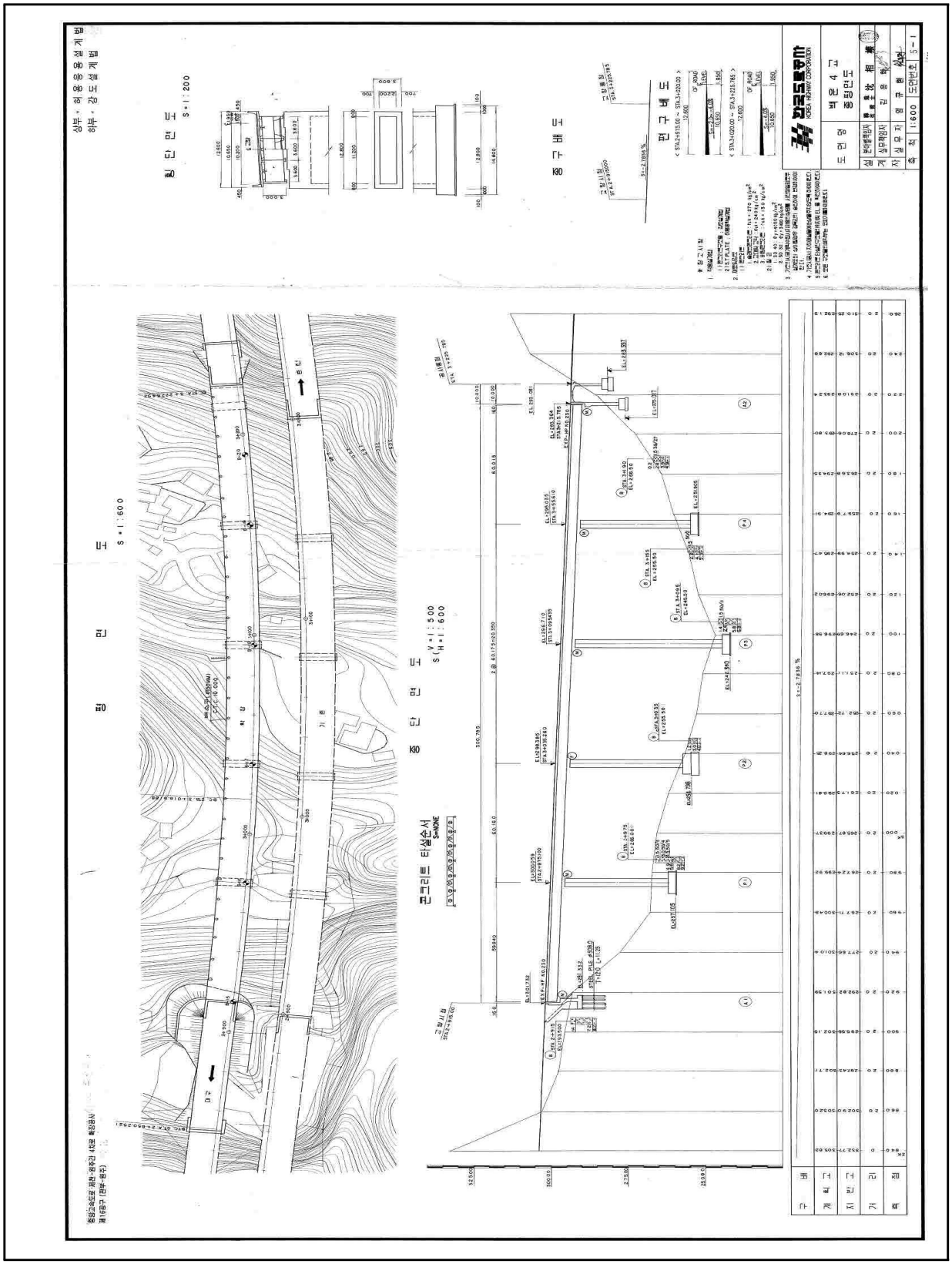
거더강재의 허용응력은 사용강종 및 강재판두께에 따른 도로교설계기준(2010) 3.3.2절과 3.4절의 규정에 따라서 결정하며 본 검토에서 적용된 하중조합별 허용응력 증가율을 정리하여 나타내면 다음과 같다.

- 합성거더 강재의 허용응력 증가율

하중의 조합			증가율(%)	
			정의 휨모멘트를 받는 부분	부의 휨모멘트를 받는 부분
1	크리프의 영향과 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중+바닥판콘크리트와 강재주거더와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

나. 종·평면도

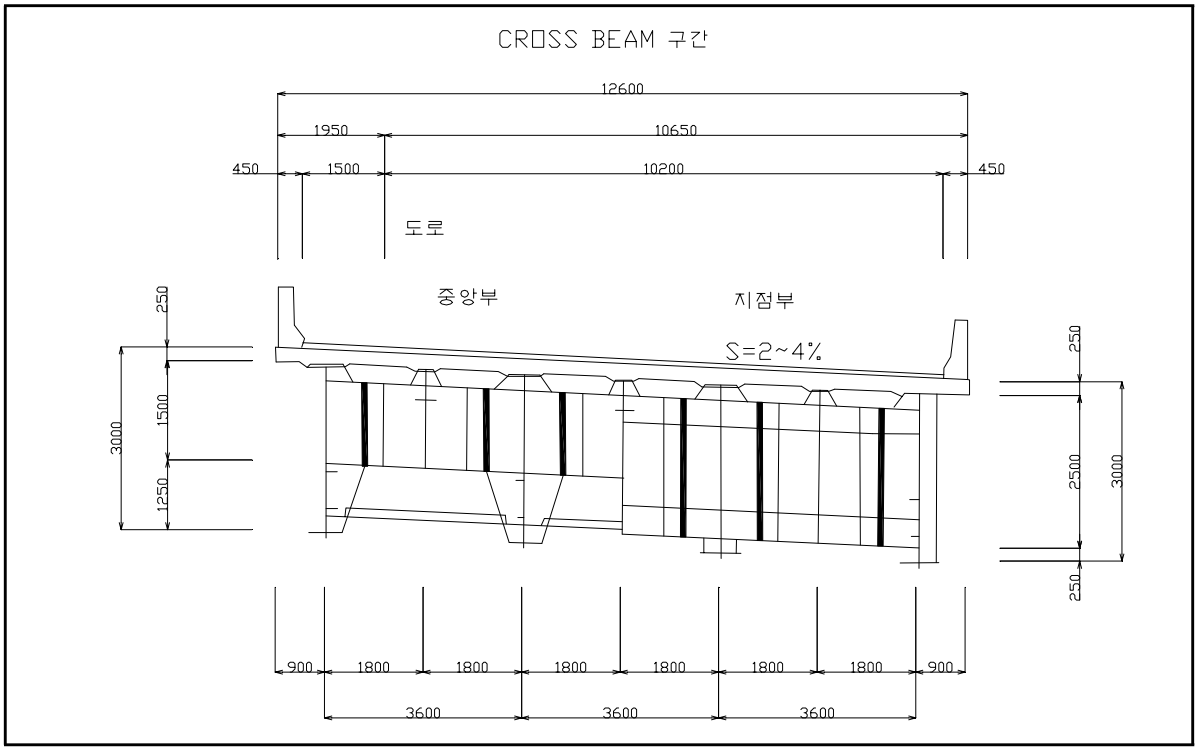
검토 대상교량인 백운4교(부산)의 종평면도는 아래 그림과 같다.



【그림 5.3】 백운4교(부산) 종 · 평면도

다. 단면특성

1) 단면형상



【그림 5.4】 상부구조 단면형상

2) 단면특성 산정

① 단면특성 구분

백운4교(부산)는 사용된 거더를 8개의 단면으로 구분할 수 있으며, 플랜지에 폭이 다른 두 플레이트를 사용한 경우에는 환산단면으로 모델링하여 구조해석을 수행하였다. 해석모델에 적용된 각 단면의 제원은 아래표와 같이 나타내었다.

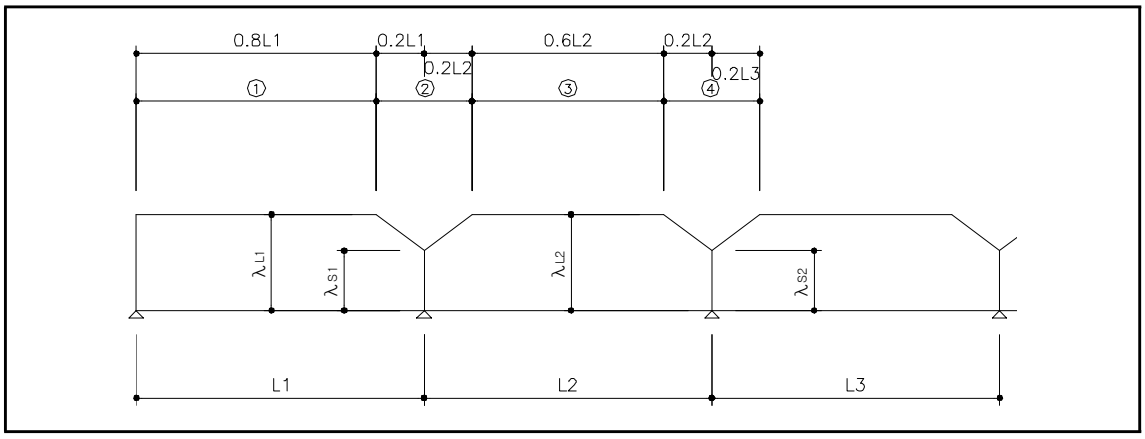
【표 5.7】 단면제원

단면 구분	플랜지(mm)				복부(mm)		플랜지 환산단면(mm)			
	상부		하부		높이	두께	상부		하부	
	폭	두께	폭	두께			폭	두께	폭	두께
단면 1	600	20	600	20	3000	10				
단면 2	600	25	600	25	3000	10				
단면 3	600	30	600	30	3000	10				
단면 4	560/600	20/30	560/600	20/30	3000	10	593.71	49.18	593.71	49.18
단면 5	600	30	600	30	3000	12				
단면 6	560/600	20/30	560/600	20/30	3000	12	593.71	49.18	593.71	49.18
단면 7	600	34	600	34	3000	12				
단면 8	560/600	30/34	560/600	30/34	3000	12	591.31	62.91	591.31	62.91

② 유효폭 산정

플랜지와 바닥판 콘크리트를 합성단면으로 적용하였으며 응력검토 시 전단지연(Shear Lag)의 영향을 고려하기 위해 플랜지의 유효폭을 산정하였으며 세부 계산과정은 다음과 같다.

㉠ 등가지간장과 적용식



【그림 5.5】 연속거더의 등가지간장 및 유효폭 변화

■ 지간 중앙부(①, ③)

- $\frac{b}{l} \leq 0.05$ $\quad \lambda_L = b$
- $0.05 < \frac{b}{l} < 0.30$ $\quad \lambda_L = [1.1 - 2(\frac{b}{l})] \cdot b$
- $\frac{b}{l} \geq 0.30$ $\quad \lambda_L = 0.15\,l$

■ 지점부(②, ④)

- $\frac{b}{l} \leq 0.02$ $\quad \lambda_s = b$
- $0.02 < \frac{b}{l} < 0.30$ $\quad \lambda_s = [1.06 - 3.2\,(\frac{b}{l}) + 4.5\,(\frac{b}{l})^2] \cdot b$
- $\frac{b}{l} \geq 0.30$ $\quad \lambda_s = 0.15\,l$

여기서, λ : 플랜지의 한쪽 유효폭(mm)

b : 복부판 간격의 1/2 또는 플랜지 돌출폭(mm)

l : 등가지간장(mm)

㉡ 합성단면 플랜지 유효폭 산정

- 내측(G2, G3) 복부간격 : 2b = 3.60 m
- 외측(G1, G4) 복부간격 + 플랜지 돌출폭 : b+be = 2.70 m
- 지 간 장 : L = 60.0 m

■ 지간 중앙부(S1, S5)

l = 0.8·L1 = 0.8 × 60.0 = 48.0 m

- 내측거더(G2, G3)

b/l = 1.80 / 48.0 = 0.038

여기서, b/l ≤ 0.05이므로 λL1 = b = 1.80 m

∴ 플랜지 유효폭(Be) = 2λL1 = 2 × 1.80 = 3.60 m

- 외측거더(G1, G4)

b/l = 0.90 / 48.0 = 0.019

여기서, b/l ≤ 0.05이므로 λL2 = b = 0.90 m

∴ 플랜지 유효폭(Be) = λL1 + b1 = 1.80+0.90 = 2.70 m

■ 지간 중앙부(S2~S4)

l = 0.6·L2 = 0.6 × 60.00 = 36.0 m

- 내측거더(G2, G3)

b/l = 1.80 / 36.00 = 0.050

여기서, 0.02 < b/l < 0.30이므로

λs = {1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)2}·b = {1.06 - 3.2×0.050 + 4.5×0.0502} × 1.80 = 1.64m

∴ 플랜지 유효폭(Be) = 2λL2 = 2 × 1.64 = 3.28m

- 외측거더(G1, G4)

b/l = 0.90 / 36.00 = 0.025

여기서, 0.02 < b/l < 0.30이므로

λs = {1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)2}·b = {1.06 - 3.2×0.025 + 4.5×0.0252} × 0.90 = 0.88m

∴ 플랜지 유효폭(Be) = λL2 + b1 = 1.64 +0.88 = 2.52m

■ 지점부(P1~P4)

l = 0.2·(L2 + L3) = 0.2 × (60.0 +60.0) = 24.0m

- 내측거더(G2, G3)

b/l = 1.80 /24.00 = 0.075

여기서, 0.02 < b/l < 0.30이므로

λs = {1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)2}·b = {1.06 - 3.2×0.075 + 4.5×0.0752} × 1.80 = 1.52 m

∴ 플랜지 유효폭(Be) = 2λs = 3.04m

- 외측거더(G1, G4)

b/l = 0.90 /24.00 = 0.038

여기서, 0.02 < b/l < 0.30이므로

λs = {1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)2}·b = {1.06 - 3.2×0.038 + 4.5×0.0382} × 0.9 = 0.85 m

∴ 플랜지 유효폭(Be) = λs + b1 = 2.37m

【표 5.8】 합성단면 유효폭 산정 결과

단면 구분	플랜지(mm)			복부(mm)		합성단면(mm)			
	위치	폭	두께	높이	두께	외측거더		내측거더	
						유효폭	바닥판두께	유효폭	바닥판두께
단면 1	S1, S5 지간부	600	20	3000	10	2600	250	3410	250
단면 2	S2~S4 지간부	600	25	3000	10	2700	250	3600	250
단면 3	S1, S5 지간부	600	30	3000	10	2600	250	3410	250
단면 4	S1, S5 지간부	593.71	49.18	3000	10	2600	250	3410	250
단면 5	P1~P4 지점부	600	30	3000	12	2370	250	3040	250
단면 6	P1~P4 지점부	593.71	49.18	3000	12	2370	250	3040	250
단면 7	P1~P4 지점부	600	34	3000	12	2370	250	3040	250
단면 8	P1~P4 지점부	591.31	62.91	3000	12	2370	250	3040	250

③ 단면특성 산정

유효폭을 고려한 각 단면의 단면특성 산정 결과를 요약하면 다음과 같다.

【표 5.9】 단면특성 산정 결과

구분	A(㎡)	y_{su}(m)	y_{sl}(m)	I_y(m^4)	비고
단면 1	0.0540	1.5200	1.5200	0.0772	
단면 2	0.0600	1.5250	1.5250	0.0911	
단면 3	0.0660	1.5300	1.5300	0.1051	
단면 4	0.0884	1.5492	1.5492	0.1582	
단면 5	0.0720	1.5300	1.5300	0.1096	
단면 6	0.0944	1.5492	1.5492	0.1627	
단면 7	0.0768	1.5340	1.5340	0.1209	
단면 8	0.1104	1.5629	1.5629	0.2015	

라. 적용하중

안전성검토 시 고려된 하중은 고정하중과 활하중, 풍하중, 온도하중에 의한 수평력 등이며 하중산정 및 해석모델상의 재하는 현재의 작용상태와 도로교설계기준(2010) 2.1절에 근거하여 수행하였다.

1) 합성전 고정하중

① 강재

강재는 해석프로그램 내에서 입력된 요소의 부피와 중량을 이용하여 자중을 자동 연산하는 방식(Self Weight Option)으로 하중재하 하였다.

② 바닥판

바닥판의 자중을 거더에 횡분배하였다. 횡분배 결과는 【표 5.10】과 같다.

- W×l=0.30×25.0×6.3= 47.25 kN/m2 =R1+R2
- W×l×l/2=148.84kNm/m=R1× 5.4+R2× 1.8
- R1(G1,G4)=17.72kN/m
- R2(G2,G3)=29.53kN/m

【표 5.10】 합성전 고정하중 횡분배 결과

구분	G1	G2	G3	G4	단위
고정하중	17.72	29.53	29.53	17.72	kN/m

2) 합성후 고정하중

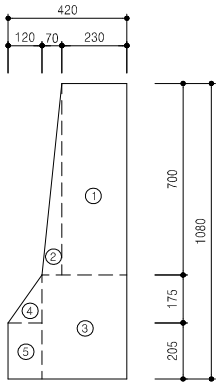
① 포장 (아스팔트 콘크리트)

- W=0.08 × 23.0 = 1.840 kN/m2

② 방호울타리

【표 5.11】 방호울타리 고정하중 산정 결과

NO.	작용하중(kN/m)	
①	0.23×0.7×25.0	= 4.025
②	0.5×0.07×0.7× 25.0	= 0.613
③	0.3×0.38×25.0	= 2.850
④	0.5×0.12×0.175×25.0	= 0.263
⑤	0.12×0.205×25.0	= 0.615
계		8.366



③ 합성후 고정하중의 횡분배

합성후 고정하중에 대한 횡분배 결과는 【표 5.12】과 같다.

- W×l = 0.08 × 23.0 × 5.85 = 10.76 kN/㎡, 10.76 + 8.366 = R1 + R2
- W×l×l/2 = 31.47 kNm/m, 31.47 + 8.366 × 6.109 = R1 × 5.4 + R2 × 1.8
- R1(G1,G4) = 13.38 kN/m
- R2(G2,G3) = 5.75 kN/m

【표 5.12】 합성후 고정하중 횡분배 결과

구분	G1	G2	G3	G4	단위
고정하중	13.38	5.75	5.75	13.38	kN/m

3) 활하중

활하중의 재하는 해석프로그램 내의 이동하중해석 옵션을 사용하였으며 도로교설계기준(2010)을 적용하여 가장 불리한 하중조건이 되도록 설정하였다. 본 구조해석에 사용된 이동하중해석 옵션은 입력된 차로(Traffic Lanes)를 기준으로 영향선(Influence Line)을 계산하고 이를 이용하여 차량하중의 이동에 따른 해석결과를 산출하는 기능으로서 차선과 거더 중심과의 위치차이에 따른 활하중의 편심재하가 가능하고 한 개의 이동하중조건에 대해 최대와 최소의 두 가지 해석결과를 산출한다. 설계활하중에 대한 이동하중해석 수행 시 주요 검토사항을 정리하면 다음과 같다.

【표 5.13】 활하중 검토

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">활하중 검토</th></tr>
<tr><td>교폭</td><td colspan="4">12.60 m</td></tr>
<tr><td>해석지간(L)</td><td colspan="4">5@60.0 = 300.0 m</td></tr>
<tr><td>연석간 교폭(Wc)</td><td colspan="4">12.60 - 0.450 - 0.450 = 11.70 m</td></tr>
<tr><td>재하차로수(N)</td><td colspan="4">9.1 m < Wc < 12.8m ∴ 3차로 재하</td></tr>
<tr><td>설계차로폭(W)</td><td colspan="4">11.70/3 = 3.90 m ; 편심재하 고려를 위해 3.0m마다 재하</td></tr>
<tr><td>충격계수(i)</td><td colspan="4">15/(40+60.0) = 0.15 < 0.3 ∴ i = 0.15 적용</td></tr>
<tr><td rowspan="5">활하중 모델</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></td><td></td><td>총 중량</td><td>432 kN</td></tr>
<tr><td>재하방법</td><td colspan="4">• 해석프로그램의 이동하중 해석기능 사용
• DB-24, DL-24 재하
• DB-24 또는 DL-24하중에 대하여 독립적으로 1~3개 차로에 지간 및 지점별로 가장 불리한 부재력이 산출되도록 편재하
• 최대 부재력이 3차로 이상의 활하중 동시 재하로 발생하는 경우에는 도로교설계기준(2010)에 따라 백분율로 감소
- 3차로 동시 재하시 : 90%
- 4차로 동시 재하시 : 75%</td></tr>
</table>

4) 풍하중

① 단면형상

- 교폭 : B = 12.60 m
- 높이(방호울타리 + 바닥판 + 거더) : D = 1.08 + 0.300 + 3.0 = 4.38 m
- 단면형상 : B / D = 12.60/4.38 = 2.876

【표 5.14】 상부구조의 풍하중(단위:kN/m)

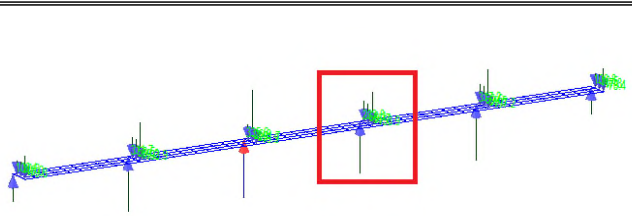
단면형상	풍하중	비 고
1≤ B/D ≤ 8	[4.0 - 0.2 × (B / D)] × D ≥ 6	적 용
8 ≤ B/D	2.4 × D ≥ 6	-

② 주거더와 방호울타리에 작용하는 풍하중

- P = [4.0 - 0.2×2.876] × 4.38 = 15.00 kN / m ≥ 6 kN / m
- M = P × e = 15.00 × 4.38/2 = 32.85 kN·m / m

③ 상부 풍하중에 의한 반력

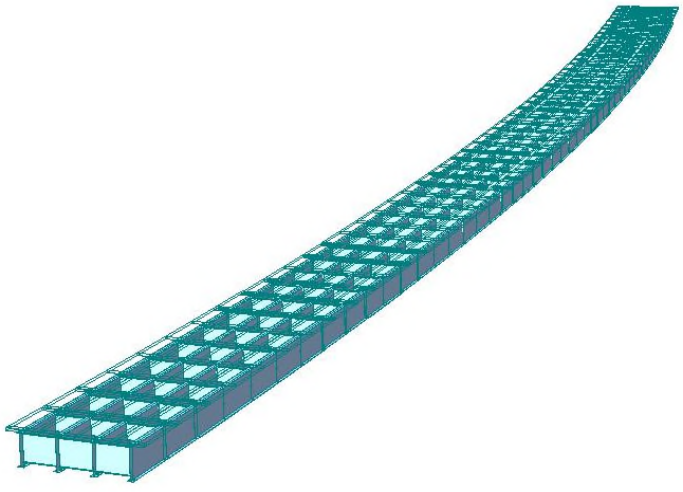
【표 5.15】 상부 풍하중에 의한 반력산출 결과

받침 NO.	반력(kN)	비 고
Sh1	283.8	
Sh2	-68.1	
Sh3	-56.7	
Sh4	-158.9	

마. 모델링

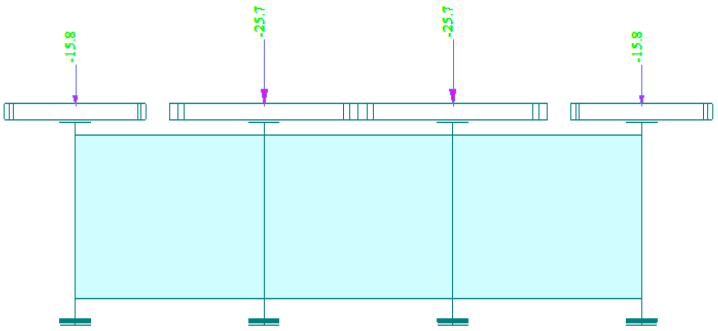
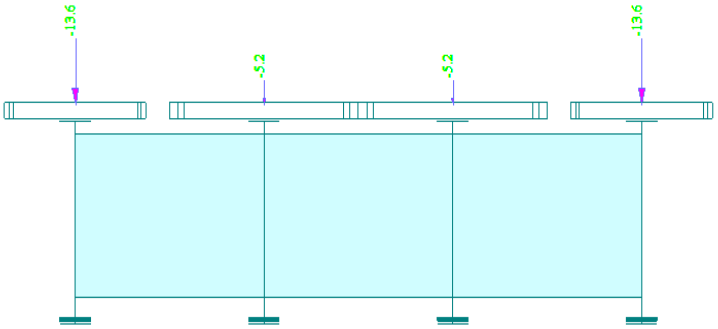
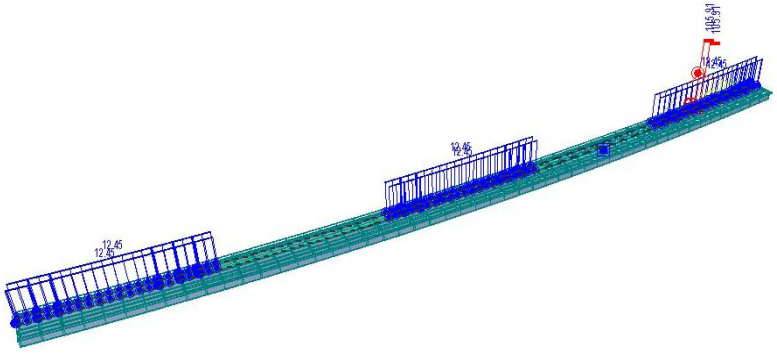
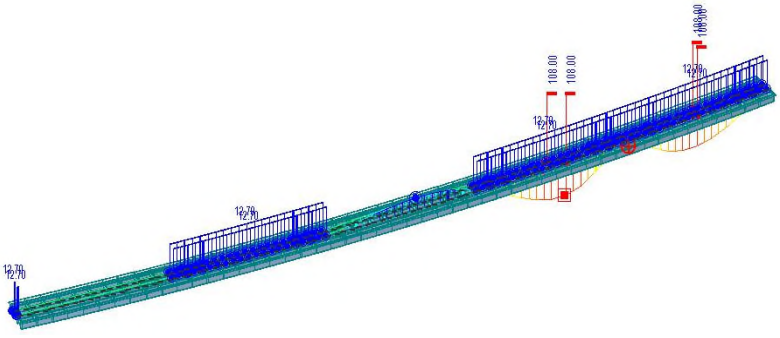
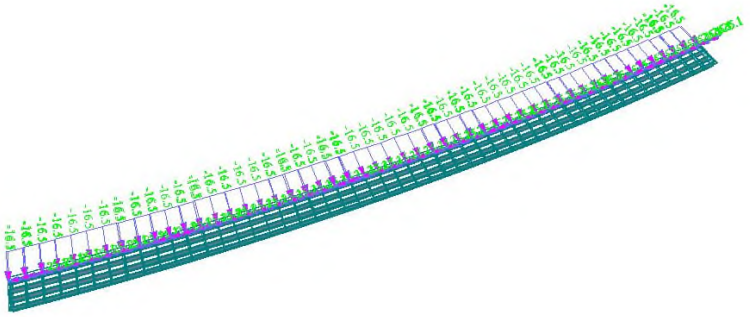
대상교량은 활하중합성 강판형교이므로 이를 감안하여 합성전, 후단계로 구분하여 모델링 하였으며 모델링 수행 시 주요 고려사항은 다음과 같다.

- 해석모델은 강판형 거더 및 가로보로 구성된 3차원 격자모델을 적용하였으며, 보요소로 이상화된 각 구조요소의 연결은 부재편심(Offset)이 반영되도록 하였다.
- 합성전, 후 단계의 강성변화는 바닥판의 강성 기여도에 따라 거더의 강성매트릭스를 재구성하여 반영하였다. 즉, 합성전 해석모델에서는 바닥판은 단면의 강성에 기여하는 바 없이 고정하중만을 추가시키는 역할을 하므로 하중조건으로 고려하였다.
- 고정하중은 교축직각방향으로 모델링된 2차원 프레임모델을 이용, 바닥판에 의한 횡분배 효과를 반영하여 해석모델상에 재하하였으며 설계활하중은 해석프로그램 내의 이동하중 해석 기능을 사용하였다. 또한 적용된 하중조건은 도로교설계기준(2010) 2.2절을 적용하여 검토단면에서 가장 불리한 하중조합이 되도록 편재하 하였다.
- 지점경계조건은 교량받침의 현장배치상태를 고려하였으며 탄성연결요소(Elastic Link)를 사용하여 구성하였다.

구 분	모델링	비 고
해석 모델		■ 경계조건 ·고정단 : P2 ·가동단 : A1, P1, P3, P4, A2

【그림 5.6】 구조해석 모델링

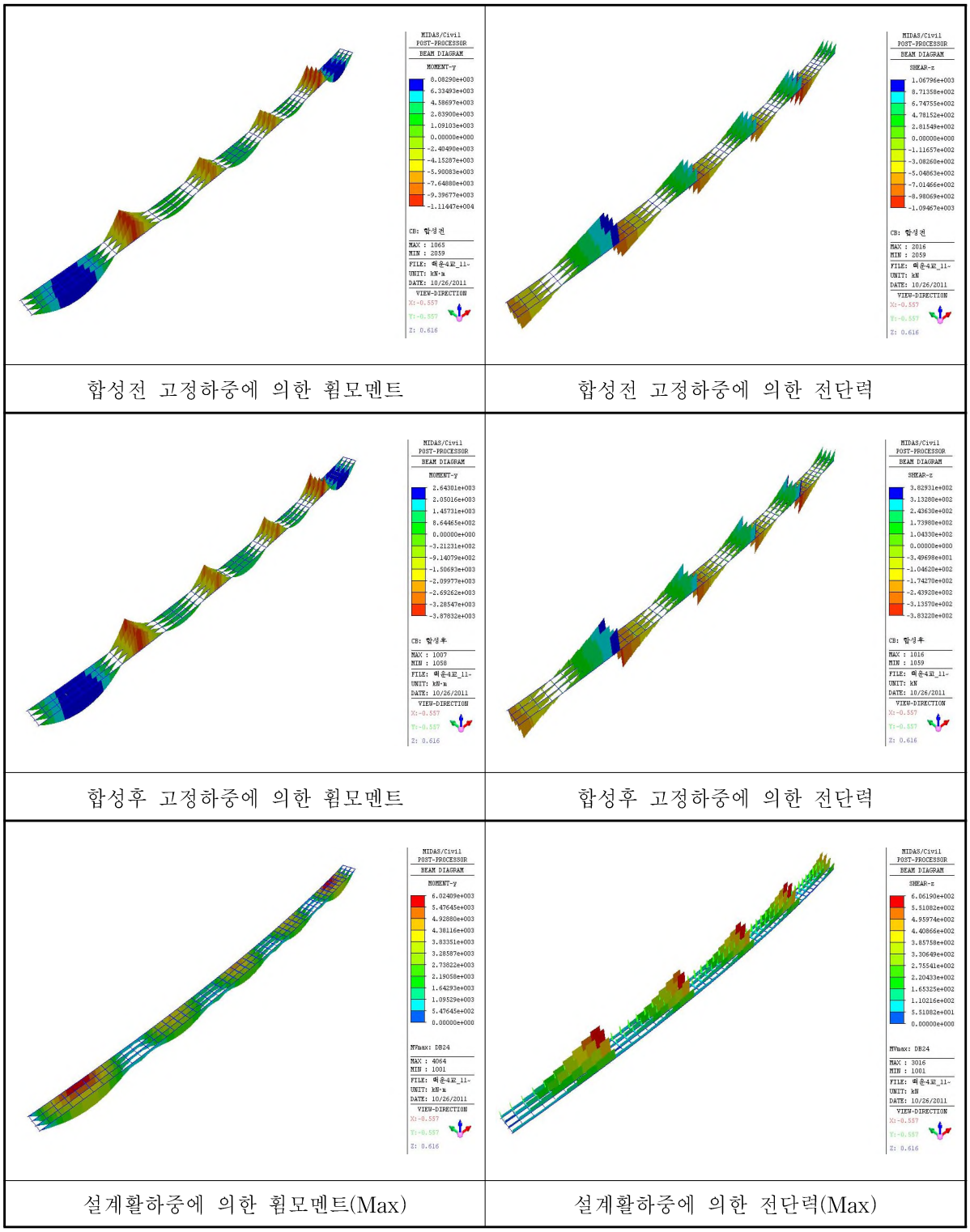
【표 5.16】 하중조건 모델링

구 분	모델링	비 고
상부 구조		■ 합성전 고정하중 ·강재 거더 및 가로보 : 자중옵션 ·콘크리트 바닥판
고정 하중		■ 합성후 고정하중 ·방호울타리 및 난간 ·포장
설 계 활하중		■ S5 중앙부 최대 정모멘트 발생시 활하중 재하위치
		■ P4 지점부 최대 부모멘트 발생시 활하중 재하위치
풍하중		■ 상부구조

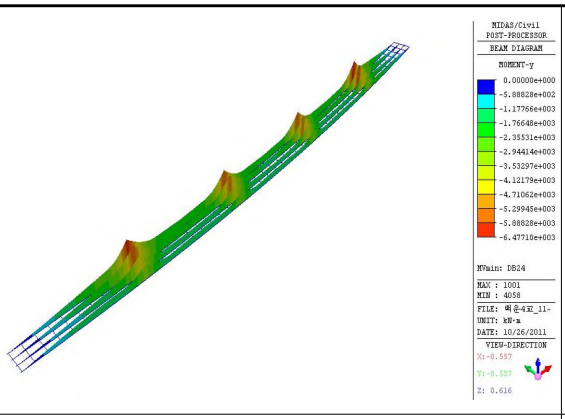
바. 상부구조 구조해석 결과 및 검토

1) 부재력 산출

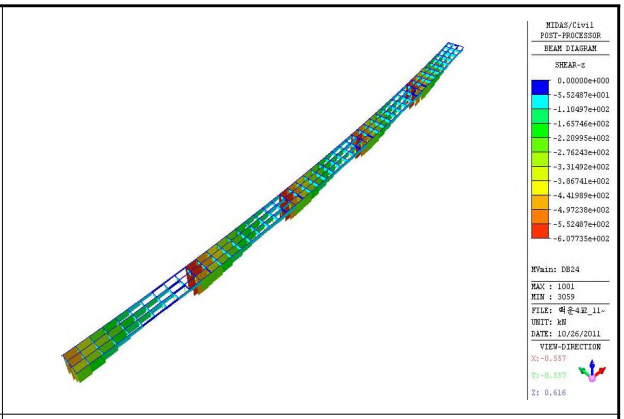
① 하중조건별 부재력 산출 결과



【그림 5.7】 하중조건별 부재력도



설계활하중에 의한 휨모멘트(Min)



설계활하중에 의한 전단력(Min)

【그림 5.8】 하중조건별 부재력도(계속)

【표 5.17】 휨모멘트 산출 결과(단위:kN·m)

구 분		합성전 고정하중	합성후			계		비고
			고정하중	활하중(충격포함)				
				Max	Min	Max	Min	
S1 중앙부	G1	7503.953	2446.083	3414.89	-1485.04	13364.926	8464.996	
	G2	7206.863	2431.995	4228.19	-1189.87	13867.048	8448.988	
	G3	6909.97	2337.238	5389.773	-1473.83	14636.981	7773.378	
	G4	6600.953	2162.039	5936.156	-1675.43	14699.148	7087.562	
S2 중앙부	G1	2516.086	990.784	2491.896	-1611.6	5998.766	1895.27	
	G2	2529.861	999.839	3136.471	-1492.17	6666.171	2037.53	
	G3	2550.92	1007.55	4021.23	-1854.14	7579.7	1704.33	
	G4	2571.615	1001.245	4447.112	-2127.11	8019.972	1445.75	
S3 중앙부	G1	4049.162	1427.751	2710.708	-1510.52	8187.621	3966.393	
	G2	3925.508	1420.036	3372.373	-1350.73	8717.917	3994.814	
	G3	3809.553	1383.999	4309.702	-1686.46	9503.254	3507.092	
	G4	3693.831	1314.153	4770.69	-1939.62	9778.674	3068.364	
S4 중앙부	G1	2439.04	979.317	2437.936	-1571.91	5856.293	1846.447	
	G2	2454.202	987.727	3075.712	-1446.15	6517.641	1995.779	
	G3	2476.688	995.725	3946.991	-1799.46	7419.404	1672.953	
	G4	2498.794	990.568	4364.876	-2067.69	7854.238	1421.672	
S5 중앙부	G1	7546.023	2429.389	3471.783	-1564.65	13447.195	8410.762	
	G2	7247.963	2412.867	4295.615	-1282.26	13956.445	8378.57	
	G3	6947.054	2318.656	5470.867	-1589.78	14736.577	7675.93	
	G4	6630.789	2146.766	6023.823	-1805.33	**14801.378**	6972.225	**단면검토**

【표 5.18】 휨모멘트 산출 결과(계속) (단위:kN·m)

구 분		합성전 고정하중	합성후			계		비고
			고정하중	활하중(충격포함)				
				Max	Min	Max	Min	
P1 지점부	G1	-10567.492	-3844.079	1144.299	-3204.08	-13267.272	-17615.651	
	G2	-10912.718	-3417.1	658.732	-4465.85	-13671.086	-18795.668	
	G3	-10725.4	-3337.398	844.579	-5844.4	-13218.219	-19907.198	
	G4	-10062.71	-3642.015	987.804	-6313.22	-12716.921	-20017.945	
P2 지점부	G1	-7803.745	-3030.478	1453.405	-2983.84	-9380.818	-13818.063	
	G2	-8191.819	-2634.04	1070.695	-4155.77	-9755.164	-14981.629	
	G3	-8114.816	-2595.356	1372.267	-5438.39	-9337.905	-16148.562	
	G4	-7599.026	-2936.528	1602.161	-5883.1	-8933.393	-16418.654	
P3 지점부	G1	-7711.108	-3017.629	1436.679	-2968.87	-9292.058	-13697.607	
	G2	-8109.627	-2621.743	1059.992	-4142.53	-9671.378	-14873.9	
	G3	-8033.537	-2583.257	1357.851	-5419.11	-9258.943	-16035.904	
	G4	-7516.026	-2925.345	1586.765	-5849.49	-8854.606	-16290.861	
P4 지점부	G1	-10789.741	-3878.294	1205.133	-3288.32	-13462.902	-17956.355	
	G2	-11144.735	-3450.991	710.963	-4571.3	-13884.763	-19167.026	
	G3	-10964.338	-3372.546	911.983	-5985.7	-13424.901	-20322.584	
	G4	-10306.835	-3679.235	1065.545	-6476.43	-12920.525	**-20462.5**	**단면검토**

【표 5.19】 전단력 산출 결과(단위:kN)

구 분		합성전 고정하중	합성후			계		비고
			고정하중	활하중(충격포함)				
				Max	Min	Max	Min	
S1 중앙부	G1	204.563	46.904	121.3	-46.78	372.767	204.687	
	G2	163.351	74.938	218.456	-134.065	456.745	104.224	
	G3	154.359	71.7	278.189	-154.53	504.248	71.529	
	G4	177.502	37.501	261.234	-104.663	476.237	110.34	
S2 중앙부	G1	-26.956	-26.898	105.941	-90.263	52.087	-144.117	
	G2	-56.762	0.589	190.616	-166.299	134.443	-222.472	
	G3	-55.252	1.011	241.358	-208.554	187.117	-262.795	
	G4	-22.685	-25.67	225.706	-185.175	177.351	-233.53	

【표 5.20】 전단력 산출 결과(계속) (단위:kN)

구 분		합성전 고정하중	합성후			계		비고
			고정하중	활하중(충격포함)				
				Max	Min	Max	Min	
S3 중앙부	G1	19.294	-13.25	112.293	-87.509	118.337	-81.465	
	G2	-13.638	14.022	198.898	-161.529	199.282	-161.145	
	G3	-15.208	13.402	251.656	-202.529	249.85	-204.335	
	G4	14.356	-14.984	237.321	-178.491	236.693	-179.119	
S4 중앙부	G1	72.026	1.176	115.997	-82.045	189.199	-8.843	
	G2	37.101	28.464	205.354	-152.553	270.919	-86.988	
	G3	33.607	27.13	260.182	-190.765	320.919	-130.028	
	G4	61.235	-2.64	247.322	-164.918	305.917	-106.323	
S5 중앙부	G1	-157.408	-72.618	64.225	-82.092	-165.801	-312.118	
	G2	-184.821	-46.349	161.168	-179.138	-70.002	-410.308	
	G3	-182.101	-45.217	193.66	-227.128	-33.658	-454.446	
	G4	-149.372	-69.23	148.239	-197.756	-70.363	**-416.358**	
P1 지점부	G1	-804.933	-333.077	95.081	-254.399	-1042.929	-1392.409	
	G2	-903.156	-254.368	53.86	-461.38	-1103.664	-1618.904	
	G3	-898.327	-251.586	66.089	-589.838	-1083.824	-1739.751	
	G4	-805.876	-331.674	81.006	-570.323	-1056.544	-1707.873	
P2 지점부	G1	-760.03	-321.541	98.572	-252.663	-982.999	-1334.234	
	G2	-848.15	-243.058	58.496	-454.13	-1032.712	-1545.338	
	G3	-840.512	-239.606	73.254	-579.658	-1006.864	-1659.776	
	G4	-745.893	-316.342	92.187	-562.26	-970.048	-1624.495	
P3 지점부	G1	-701.795	-305.792	99.774	-241.598	-907.813	-1249.185	
	G2	-795.924	-228.072	61.22	-442.986	-962.776	-1466.982	
	G3	-793.558	-226.314	76.561	-566.651	-943.311	-1586.523	
	G4	-704.143	-305.428	95.254	-546.88	-914.317	-1556.451	
P4 지점부	G1	-1007.234	-383.22	68.889	-270.063	-1321.565	-1660.517	
	G2	-1094.672	-303.562	14.666	-476.886	-1383.568	-1875.12	
	G3	-1075.973	-296.504	16.884	-607.735	-1355.593	-1980.212	
	G4	-969.259	-369.864	29.421	-591.19	-1309.702	**-1930.313**	

【표 5.21】 비틀림모멘트 산출 결과(단위:kN·m)

구 분		합성전 고정하중	합성후			계		비고
			고정하중	활하중(충격포함)				
				Max	Min	Max	Min	
S1 중앙부	G1	-0.055	-0.518	5.156	-2.987	4.583	-3.56	
	G2	-0.055	-0.378	5.205	-2.282	4.772	-2.715	
	G3	-0.063	-0.146	5.165	-2.989	4.956	-3.198	
	G4	-0.07	-0.057	5.315	-3.405	5.188	-3.532	
S2 중앙부	G1	0.004	-0.064	5.751	-5.085	5.691	-5.145	
	G2	0.003	-0.005	5.45	-4.496	5.448	-4.498	
	G3	0.003	0.109	5.823	-5.02	5.935	-4.908	
	G4	0.002	0.161	6.088	-5.467	6.251	-5.304	
S3 중앙부	G1	-0.003	-0.206	6.125	-5.12	5.916	-5.329	
	G2	-0.003	-0.141	5.819	-4.532	5.675	-4.676	
	G3	-0.003	-0.021	6.186	-5.057	6.162	-5.081	
	G4	-0.004	0.03	6.447	-5.509	6.473	-5.483	
S4 중앙부	G1	-0.002	-0.211	6.155	-5.047	5.942	-5.26	
	G2	-0.002	-0.137	5.87	-4.461	5.731	-4.6	
	G3	-0.003	-0.006	6.205	-4.979	6.196	-4.988	
	G4	-0.003	0.045	6.465	-5.444	6.507	-5.402	
S5 중앙부	G1	-0.002	0.035	4.141	-4.204	4.174	-4.171	
	G2	-0.003	0.014	3.659	-3.534	3.67	-3.523	
	G3	-0.001	-0.012	4.419	-4.307	4.406	-4.32	
	G4	0.001	-0.014	4.689	-4.541	**4.676**	-4.554	
P1 지점부	G1	-4.699	0.142	12.786	-15.633	8.229	-20.19	
	G2	-4.624	-0.226	13.369	-16.178	8.519	-21.028	
	G3	-4.427	-1.22	14.635	-15.379	8.988	-21.026	
	G4	-4.2	-1.68	14.93	-14.286	9.05	-20.166	
P2 지점부	G1	-3.17	0.945	12.637	-16.593	10.412	-18.818	
	G2	-3.205	0.556	13.213	-17.082	10.564	-19.731	
	G3	-3.152	-0.462	14.426	-16.215	10.812	-19.829	
	G4	-3.03	-0.929	14.78	-15.082	10.821	-19.041	
P3 지점부	G1	-3.456	0.474	12.879	-16.055	9.897	-19.037	
	G2	-3.47	0.078	13.434	-16.515	10.042	-19.907	
	G3	-3.38	-0.935	14.605	-15.605	10.29	-19.92	
	G4	-3.237	-1.398	14.985	-14.495	10.35	-19.13	
P4 지점부	G1	0.16	1.402	10.834	-15.53	12.396	-13.968	
	G2	0.228	0.988	11.321	-15.506	12.537	-14.29	
	G3	0.341	0.105	12.291	-14.734	12.737	-14.288	
	G4	0.393	-0.375	12.996	-14.02	13.014	**-14.002**	

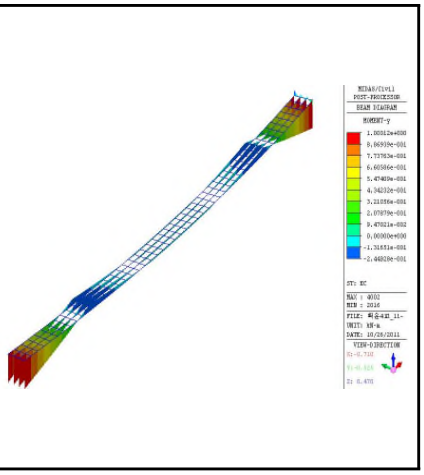
② 2차 부정정력

연속강합성 교량은 고정하중과 활하중에 의한 응력 이외에 크리프 및 건조수축, 강재와 콘크리트의 온도차에 의한 부정정력이 추가로 발생한다. 따라서 부정정력에 의한 2차 모멘트를 산정하기 위하여 해석모델의 양단에 단위모멘트(1.0 kN·m)를 작용시켜 각 절점에 작용되는 영향계수 k값(모멘트)을 산출하였다.

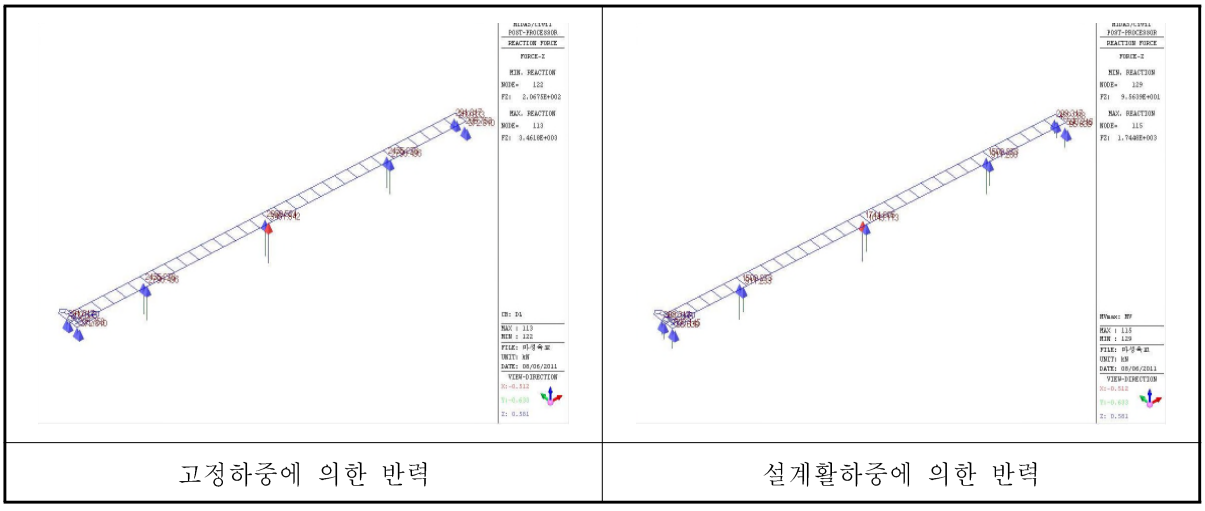
또한 구조물의 준공년도 대비 현재의 재령을 고려할 때 크리프 및 건조수축은 모두 발생하였다고 볼 수 있는바, 크리프 및 건조수축에 의한 응력 산정은 장기손실이 일어난 후로 하여 수행하였다.

【표 5.22】 영향계수 k값 산출 결과 요약(단위 : kN·m)

S1중앙부				S2중앙부				S3중앙부			
G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4
0.405	0.413	0.391	0.343	-0.102	-0.1	-0.092	-0.079	0.053	0.051	0.046	0.038
S4중앙부				S5중앙부				P1지점부			
G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4
-0.1	-0.098	-0.09	-0.078	0.397	0.405	0.384	0.336	-0.238	-0.245	-0.237	-0.219
P2지점부				P3지점부				P4지점부			
G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4	G1	G2	G3	G4
0.05	0.051	0.048	0.043	0.048	0.049	0.046	0.042	-0.232	-0.239	-0.232	-0.215



③ 받침반력 산정 및 용량검토



고정하중에 의한 반력 | 설계활하중에 의한 반력

【그림 5.9】 하중조건별 받침반력도

【표 5.23】 받침반력 산출 결과(단위:kN)

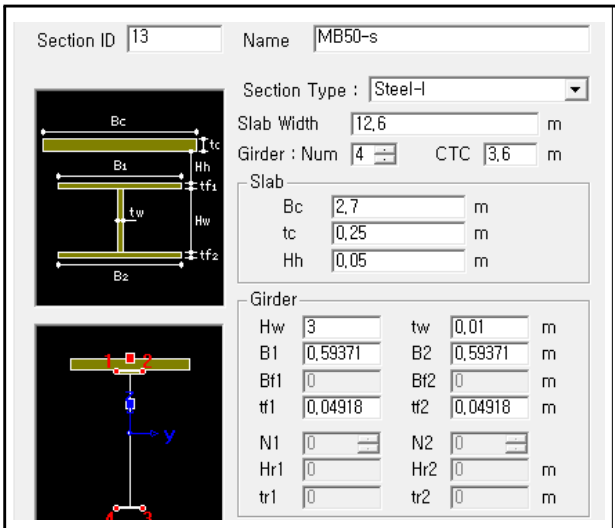
구분		고정하중		활하중	계	받침용량	검토결과
		합성전	합성후				
A1	Sh1	653.923	256.609	216.120	1126.652	2000	O.K.
	Sh2	693.687	201.062	493.460	1388.208	2000	O.K.
	Sh3	674.332	194.493	589.933	1458.758	2000	O.K.
	Sh4	595.389	236.530	491.262	1323.181	2000	O.K.
P1	Sh1	1771.820	712.473	442.864	2927.157	5000	O.K.
	Sh2	1988.557	557.063	943.282	3488.902	5000	O.K.
	Sh3	1953.571	543.015	1189.868	3686.454	5000	O.K.
	Sh4	1771.693	708.932	1088.329	3568.953	5000	O.K.
P2	Sh1	1456.323	626.821	415.233	2498.377	4500	O.K.
	Sh2	1665.499	470.377	911.492	3047.368	4500	O.K.
	Sh3	1646.419	461.822	1149.729	3257.970	4500	O.K.
	Sh4	1474.055	630.295	1038.346	3142.696	4500	O.K.
P3	Sh1	1448.339	625.700	414.069	2488.107	4500	O.K.
	Sh2	1657.284	469.045	910.021	3036.349	4500	O.K.
	Sh3	1638.346	460.613	1147.526	3246.485	4500	O.K.
	Sh4	1465.621	629.174	1035.244	3130.039	4500	O.K.
P4	Sh1	1801.484	713.014	445.263	2959.762	5000	O.K.
	Sh2	2020.443	558.962	944.138	3523.543	5000	O.K.
	Sh3	1985.826	544.818	1191.968	3722.613	5000	O.K.
	Sh4	1803.966	710.222	1094.802	3608.991	5000	O.K.
A2	Sh1	655.499	255.980	218.262	1129.741	2000	O.K.
	Sh2	694.868	200.384	493.489	1388.742	2000	O.K.
	Sh3	675.499	193.934	592.378	1461.810	2000	O.K.
	Sh4	596.585	236.025	492.834	1325.444	2000	O.K.

2) 거더 응력검토

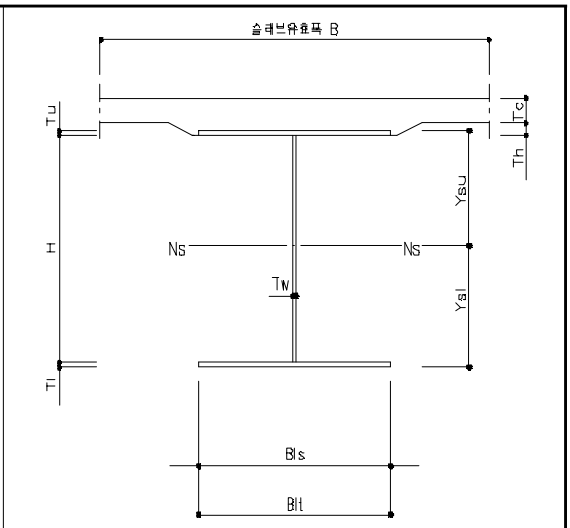
① 정모멘트부

■ S5 중앙부

최대 정모멘트가 작용하는 제5지간 중앙부 거더4(G4) 단면에 대한 응력검토 세부과정은 다음과 같다.



검토단면(단면13)



사용기호의 정의

【표 5.24】 응력 산정 시 입력자료

구 분	단위	입력자료
E_s : 강의 탄성계수	MPa	210000
E_c : 콘크리트 탄성계수	MPa	27800
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축률[주1)]		0.00015
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
Φ_2 : 건조수축에 의한 응력계산에 사용된 크리프계수[주2)]		4
n : 강재와 콘크리트의 탄성계수비[주3)]		8
t : 강재와 콘크리트의 온도차[주4)]	℃	10
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	6630.789
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	2146.766
M_v : (합성후 고정하중 + 활하중)에 의한 모멘트	kN·m	8170.589
S_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-149.372
S_v : (합성후 고정하중 + 활하중)에 의한 전단력	kN	-266.986
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	0.001
M_{vt} : (합성후 고정하중 + 활하중)에 의한 비틀림모멘트	kN·m	4.675
k : 부정정력 산정을 위한 영향계수	kN·m	0.336

주1) 도로교설계기준(2010) 2.1.7항의 콘크리트의 부정정력을 산출하는 경우의 건조수축률 적용
주2) 도로교설계기준(2010) 4.2.3.3항의 콘크리트의 크리프계수 적용
주3) 도로교설계기준(2010) 3.9.2.2항의 강재와 바닥판 콘크리트의 탄성계수비 적용
주4) 도로교설계기준(2010) 3.9.2.7항의 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차 적용

㉠ 응력 산정

ⓐ 합성전 고정하중에 의한 응력

$f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = 64.912 MPa$

$f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = -64.912 MPa$

$\tau_s = S_s / A_{(Web)} + M_{st} \cdot T_w / K = 4.979 MPa$

ⓑ 합성후 고정하중+활하중에 의한 응력

$f_{vcu} = M_v \cdot Y_{vcu} / (n \cdot I_v) = 3.673 MPa$

$f_{vcl} = M_v \cdot Y_{vcl} / (n \cdot I_v) = 2.753 MPa$

$f_{vsu} = M_v \cdot Y_{vsu} / I_v = 21.997 MPa$

$f_{vsl} = M_v \cdot Y_{vsl} / I_v = -69.245 MPa$

$\upsilon = S_s / A_{(Web)} + M_{st} \cdot T_w / K = 9.872 MPa$

ⓒ 크리프에 의한 응력

$f_{vcu1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \times M_\phi \cdot Y_{v1cu} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu} \cdot \phi_1 / E_c = -0.692 MPa$

$f_{vcl1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \times M_\phi \cdot Y_{v1cl} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl} \cdot \phi_1 / E_c = -0.452 MPa$

$f_{vsu1} = P_\phi / A_{v1} + k \times M_\phi \cdot Y_{v_1 su} / I_{v1} = 4.344 MPa$

$f_{vsl1} = P_\phi / A_{v1} + k \times M_\phi \cdot Y_{v1sl} / I_{v1} = 4.067 MPa$

ⓓ 건조수축에 의한 응력

$f_{vcu2} = 1/n_2 \cdot (P_2 / A_{v2} + k \times M_{v2} \cdot Y_{v2cu} / I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = -1.194 MPa$

$f_{vcl2} = 1/n_2 \cdot (P_2 / A_{v2} + k \times M_{v2} \cdot Y_{v2cl} / I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = -1.196 MPa$

$f_{vsu2} = P_2 / A_{v2} + k \times M_{v2} \cdot Y_{v2su} / I_{v2} = 9.101 MPa$

$f_{vsl2} = P_2 / A_{v2} + k \times M_{v2} \cdot Y_{v2sl} / I_{v2} = 8.470 MPa$

ⓔ 온도차에 의한 응력

$f_{cut} = 1/n \cdot (P_1 / A_v + k \times M_{vt} \cdot Y_{vcu} / I_v) - E_c \cdot \epsilon_t = -1.800 MPa$

$fclt = 1/n \cdot (P_1 / A_v + K \times M_{vt} \cdot Y_{vcl} / I_v) - E_c \cdot \epsilon_t = -1.807 MPa$

$f_{sut} = P_1 / A_v + k \times M_{vt} \cdot Y_{vsu} / I_v = 12.231 MPa$

$f_{slt} = P_1 / A_v + k \times M_{vt} \cdot Y_{vsl} / I_v = 11.560 MPa$

ⓕ 전단 및 비틀림

$\upsilon = (S_s + S_v) / A_w + (M_{st} + M_{vt}) \cdot T_w / (J_s)$

$= 14.851 MPa < \upsilon_a = 125 MPa \qquad O.K.$

㉡ 응력조합 및 검토

ⓐ 적용 하중조합

【표 5.25】 적용 하중조합

구 분	하중조합 정의
LCB 1	합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중
LCB 2	합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프
LCB 3	합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축
LCB 4	합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도차
LCB 5	합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축-온도차

ⓑ 허용응력

【표 5.26】 사용재료의 허용응력

구 분	허용압축응력	허용인장응력	비 고
강재(거더)	200.0 MPa[주5)]	200.0 MPa	SWS 520
콘크리트(바닥판)	10.8 MPa	1.89 MPa	fck = 27.0 MPa

주5) 도로교설계기준(2010) 3.3.2.1항 압축플랜지가 콘크리트 바닥판에 직접 고정되어 횡좌굴이 어려운 경우

ⓒ 응력 검토

시공단계별 하중조건에 대한 응력을 조합한 결과, 최대 정모멘트부(S5 중앙부)에서의 휨응력은 허용응력 범위 내에서 발생하는 것으로 검토되었다.

【표 5.27】 정모멘트부(S5 중앙부) 응력 검토 결과(단위:MPa)

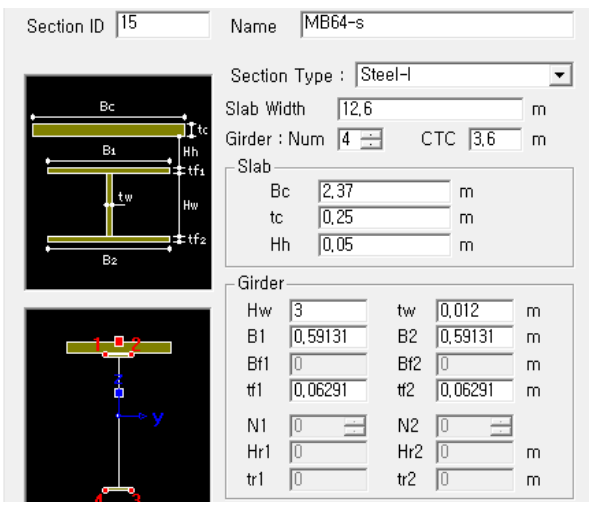
하중조합	콘크리트 바닥판			강재 거더					
	상 연			상 연			하 연		
	발생응력	허용응력	안전율	발생응력	허용응력	검토결과(안전율)	발생응력	허용응력	검토결과(안전율)
LCB 1	3.673	10.80	O.K. (2.940)	86.909	200.0	O.K. (2.301)	-134.157	-200.0	O.K. **(1.491)**
LCB 2	2.981	10.80	O.K. (3.623)	91.253	230.0	O.K. (2.520)	-130.091	-200.0	O.K. (-1.537)
LCB 3	1.787	10.80	O.K. (6.044)	100.354	230.0	O.K. (2.292)	-121.621	-200.0	O.K. (-1.644)
LCB 4	-0.013	12.42	O.K. (955.385)	112.585	260.0	O.K. (2.309)	-110.061	-230.0	O.K. (-2.090)
LCB 5	3.586	12.42	O.K. (3.463)	88.123	260.0	O.K. (2.950)	-133.181	-230.0	O.K. (-1.727)

※ 여기서, 부호규약은 압축을 정(+), 인장을 부(-)로 하였음

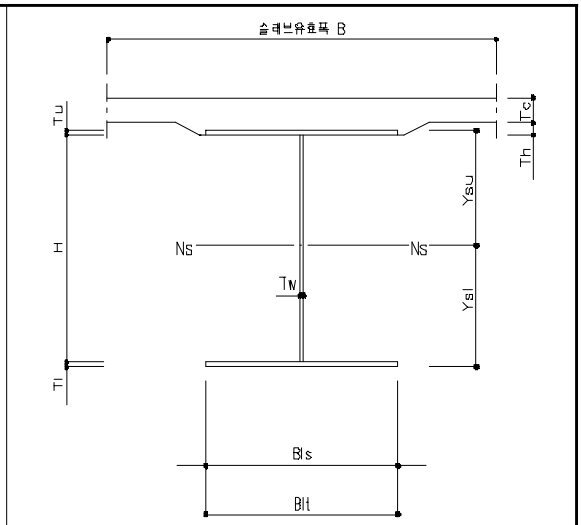
② 부모멘트부

■ P4 지점부

최대 부모멘트가 작용하는 P4 지점부 거더4(G4) 단면에 대한 응력검토 세부과정은 다음과 같으며 바닥판의 합성작용은 바닥판에서 콘크리트 단면은 무시하고 바닥판 내의 교축방향 철근만을 주거더 단면의 일부로 취급하였다.



검토단면(단면15)



사용기호의 정의

【표 5.28】 응력 산정 시 입력자료

구 분	단위	입력자료
E_s : 강의 탄성계수	MPa	210000
E_c : 콘크리트 탄성계수	MPa	27800
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축률[주1)]		0.00015
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
Φ_2 : 건조수축에 의한 응력계산에 사용된 크리프계수[주2)]		4
n : 강재와 콘크리트의 탄성계수비[주3)]		8
t : 강재와 콘크리트의 온도차[주4)]	℃	10
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-10306.835
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-3679.235
M_v : (합성후 고정하중 + 활하중)에 의한 모멘트	kN·m	-10155.665
S_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-969.259
S_v : (합성후 고정하중 + 활하중)에 의한 전단력	kN	-961.054
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	0.039
M_{vt} : (합성후 고정하중 + 활하중)에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-82.460
k : 부정정력 산정을 위한 영향계수	kN·m	-0.215

㉠ 응력 산정

ⓐ 합성전 고정하중에 의한 응력

$f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = -79.985 MPa$

$f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = 79.985 MPa$

$\tau_s = S_s / A_{(Web)} + M_{st} \cdot T_w / K = -26.924 MPa$

ⓑ 합성후 고정하중+활하중에 의한 응력

$f_{vru} = M_v \cdot Y_{vru} / I_{rv} = -74.740 MPa$

$f_{vrl} = M_v \cdot Y_{vrl} / I_{rv} = -67.004 MPa$

$f_{vsu} = M_v \cdot Y_{vsu} / I_{rv} = -65.770 MPa$

$f_{vsl} = M_v \cdot Y_{vsl} / I_{rv} = 76.485 MPa$

$\upsilon = S_v / A_{(Web)} + M_{vt} \cdot T_w / K = -26.696 MPa$

ⓒ 크리프에 의한 응력

$f_{vru1} = P_\phi / A_v + k \times M_\phi \cdot Y_{vru} / I_{rv} = -5.394 MPa$

$f_{vrl1} = P_\phi / A_v + k \times M_\phi \cdot Y_{vrl} / I_{rv} = -5.566 MPa$

$f_{vsu1} = P_\phi / A_v + k \times M_\phi \cdot Y_{vsu} / I_{rv} = -5.594 MPa$

$f_{vsl1} = P_\phi / A_v + k \times M_\phi \cdot Y_{vsl} / I_{rv} = -8.757 MPa$

ⓓ 건조수축에 의한 응력

$f_{vru2} = P_2 / A_v + k \times M_2 \cdot Y_{vru} / I_{rv} = 4.868 MPa$

$f_{vrl2} = P_2 / A_v + k \times M_2 \cdot Y_{vrl} / I_{rv} = 5.042 MPa$

$f_{vsu2} = P_2 / A_v + k \times M_2 \cdot Y_{vsu} / I_{rv} = 5.355 MPa$

$f_{vsl2} = P_2 / A_v + k \times M_2 \cdot Y_{vsl} / I_{rv} = 7.944 MPa$

ⓔ 온도차에 의한 응력

$f_{vru1} = P_1 / A_v + k \times M_{vt} \cdot Y_{vru} / I_{rv} - E_{rt} = -12.435 MPa$

$f_{vrl1} = P_1 / A_v + k \times M_{vt} \cdot Y_{vrl} / I_{rv} - E_{rt} = -12.129 MPa$

$f_{vsu1} = P_1 / A_v + k \times M_{vt} \cdot Y_{vsu} / I_{rv} = 13.120 MPa$

$f_{vsl1} = P_1 / A_v + k \times M_{vt} \cdot Y_{vsl} / I_{rv} = 18.754 MPa$

ⓕ 전단 및 비틀림

$\upsilon = (S_s + S_v) / A_w + (M_{st} + M_{vt}) \cdot T_w / K$

$= 53.722 MPa \quad < \quad \upsilon_a = 125 MPa \quad O.K.$

㉡ 응력조합 및 검토

ⓐ 적용 하중조합

【표 5.29】 적용 하중조합

구분	하중조합 정의
LCB 1	합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중
LCB 2	합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프
LCB 3	합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축
LCB 4	합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도차
LCB 5	합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축-온도차

ⓑ 허용응력

【표 5.30】 사용재료의 허용응력

구분	허용압축응력	허용인장응력	비고
강재(거더)	168.1 MPa[주6)]	200.0 MPa	SWS 520
철근(바닥판)	180.0MPa[주7)]	160.0 MPa	SD400

주6) 도로교설계기준(2010) 3.3.2.1항 구조용 강재의 허용축방향압축응력
주7) 도로교설계기준(2010) 3.6.1.7항 바닥판에 사용되는 철근의 허용응력

ⓒ 응력 검토

시공단계별 하중조건에 대한 응력을 조합한 결과, 최대 부모멘트부(P4 지점부)에서의 휨응력은 허용응력 범위 내에서 발생하는 것으로 검토되었다.

【표 5.31】 부모멘트부(P4 지점부) 응력 검토 결과(단위:MPa)

하중조합	바닥판 철근			강재 거더					
	상 연			상 연			하 연		
	발생응력	허용응력	안전율	발생응력	허용응력	검토결과(안전율)	발생응력	허용응력	검토결과(안전율)
LCB 1	-74.740	-160.0	O.K. (2.141)	-145.755	-200.000	O.K. (1.372)	156.469	168.100	O.K. **(1.074)**
LCB 2	-80.134	-160.0	O.K. (1.997)	-151.349	-200.000	O.K. (1.321)	147.712	168.100	O.K. (1.138)
LCB 3	-75.266	-160.0	O.K. (2.126)	-145.994	-200.000	O.K. (1.370)	155.656	168.100	O.K. (1.080)
LCB 4	-87.701	-184.0	O.K. (-2.098)	-132.874	-230.000	O.K. (1.731)	174.410	193.300	O.K. (1.108)
LCB 5	-62.831	-184.0	O.K. (2.928)	-159.114	-230.000	O.K. (1.446)	136.902	193.300	O.K. (1.412)

3) 합성응력 검토

① 뒴비틀림(Warping Torsion) 검토

• 단면 3

- $\beta u = \frac{b \cdot tu}{tw \cdot h} = \frac{610 \times 20}{10 \times 3020} = 0.603$

- $\beta l = \frac{b \cdot tl}{tw \cdot h} = \frac{610 \times 20}{10 \times 3020} = 0.603$

- $\varepsilon = \frac{2 \cdot tu \cdot tl}{tw^2} = \frac{2 \times 20 \times 20}{10^2} = 18.0$

- 비틀림함수

$$q' = \frac{b \cdot tw \cdot \varepsilon}{\beta u + \beta l + \varepsilon} = \frac{610 \times 10 \times 18.0}{0.603 + 0.603 + 18.0} = 5716.392\ mm^2$$

$$\Delta w = \frac{b \cdot h}{2} + \frac{q' \cdot h}{tw} = \frac{610 \times 3020}{2} + \frac{5716.392 \times 3020}{10} = 2656216.7\ mm^2$$

- 뒴 함수

$$w1 = -\Delta w \cdot \frac{\beta l + 3}{\beta u + \beta l + 6} = -2656216.7 \times \frac{0.603 + 3}{0.603 + 0.603 + 6} = -1328108.4$$

$$w2 = \Delta w \cdot \frac{\beta u + 3}{\beta u + \beta l + 6} = 2656216.7 \times \frac{0.603 + 3}{0.603 + 0.603 + 6} = 1328108.4$$

- 뒴 비틀림상수

$$Iw = \frac{h \cdot tw}{3} \cdot \left\{ w_1^2 (2 + \beta u) + 2 \cdot w_1 \cdot w_2 + w_2^2 (2 + \beta l) \right\}$$

$$= \frac{3020 \times 10}{3} \times \{(-1328108.4)^2 \times (2 + 0.603) + 2 \times (-1328108.4) \times (1328108.4) + 1328108.4^2 \times (2 + 0.603)\} = 5.71494 \times 1016\ mm^6$$

- 순수 비틀림상수

$$K = \frac{4 \cdot b^2 \cdot h^2}{\frac{b}{tu} + \frac{2 \cdot h}{tw} + \frac{b}{tl}} = \frac{4 \times 610^2 \times 3020^2}{\frac{610}{20} + \frac{2 \times 3020}{10} + \frac{610}{20}} = 2.11312 \times 1010$$

- 비틀림 상수비(α)

$$\alpha = L \sqrt{\frac{G \cdot K}{Es \cdot Iw}} = 60000 \times \sqrt{\frac{80769.23 \times 2.11312 \times 10^{10}}{210000 \times 5.71494 \times 10^{16}}} = 22.6 > 10$$

여기서, L : 지간장(mm)

Es : 탄성계수(210000 MPa)

G : 전단탄성계수($= \frac{E}{2(1+\nu)} = \frac{210000}{2 \times (1 + 0.3)} = 80769.23$ MPa

도로교 설계기준(2005) 3.8.2.3절에 의하면 비틀림상수비(α)가 0.4이하일 경우 순수비틀림에 따른 응력계산을, 비틀림상수비(α)가 10이상일 경우에는 뒴비틀림에 대한 응력계산을 각각 생략할 수 있다. 따라서 단면 3은 비틀림상수비가 10이상이므로 뒴비틀림에 대한 검토는 필요치 않으며, 또한 상기와 같은 방법으로 각 단면별 비틀림상수비를 계산하여 적용기준과 비교하면 대상교량은 모든 단면에 대해서 뒴비틀림 검토를 생략할 수 있다.

【표 5.32】 면별 뒴비틀림 고려여부 판정결과

구 분	b (mm)	h (mm)	tu (mm)	tl (mm)	tw (mm)	L (mm)	Iw (mm6)	K (mm4)	α	판정
단면 1	610	3020	20	20	10	60000	4.76×10^{16}	2.04×10^{10}	24.4	검토생략
단면 2	610	3025	25	25	10	60000	5.25×10^{16}	2.08×10^{10}	23.4	검토생략
단면 3	610	3030	30	30	10	60000	5.71×10^{16}	2.11×10^{10}	22.6	검토생략
단면 4	603.71	3049.18	49.18	49.18	10	60000	7.26×10^{16}	2.14×10^{10}	20.2	검토생략
단면 5	612	3030	30	30	12	60000	6.37×10^{16}	2.52×10^{10}	23.4	검토생략
단면 6	605.71	3049.18	49.18	49.18	12	60000	7.98×10^{16}	2.56×10^{10}	21.1	검토생략
단면 7	612	3034	34	34	12	60000	6.76×10^{16}	2.55×10^{10}	22.8	검토생략
단면 8	603.31	3062.91	62.91	62.91	12	60000	9.11×10^{16}	2.58×10^{10}	19.8	검토생략

② 합성응력 검토

합성응력은 도로교설계기준(2010) 3.8.2.4절을 적용하여 휨모멘트 및 휨에 따르는 전단력이 최대가 되는 S5 중앙부와 S4 지점부에 대해서 검토하였다. 한편, 전단력은 비틀림상수비(α)가 10보다 크게 산정되어 휨에 따른 전단력과 순수비틀림에 의한 전단력만을 고려하였다.

최대 모멘트가 작용하는 S5 중앙부와 최대 전단력이 작용하는 S4 지점부는 각각 합성응력에 대한 안전성을 확보하고 있는 것으로 나타났으며, 검토 결과를 아래 표에 나타내었다.

【표 5.33】 S5 중앙부 합성응력검토 결과

하중조합	휨응력(MPa)		전단응력(MPa)		$(\frac{f}{f_a})^2+(\frac{\upsilon}{\upsilon_a})^2$	평가
	f_b	f_a	υ_b	υ_a		
LCB 1	134.157 (하연)	200.00	14.851	125.0	0.450 +0.014 = 0.464	안전 (0.464 ≤ 1.2)

【표 5.34】 S4 지점부 합성응력검토 결과

하중조합	휨응력(MPa)		전단응력(MPa)		$(\frac{f}{f_a})^2+(\frac{\upsilon}{\upsilon_a})^2$	평가
	f_b	f_a	υ_b	υ_a		
LCB 1	156.469 (하연)	168.100	53.722	125.000	0.866 +0.184= 1.051	안전 (1.051 ≤ 1.2)

4) 항복에 대한 안전도 평가

도로교설계기준(2010) 3.9.3.2절에 따라서 최대 정·부모멘트부에 대한 항복안전도 검토를 수행하였다. 검토 결과, 거더 강재는 항복에 대하여 안전성을 확보하고 있는 것으로 나타났으며 세부 검토과정은 다음과 같다.

① 정모멘트부(S5 중앙부)

■ 거더 상부플랜지

• 크리프, 건조수축 포함 시

$\sum f = 1.3\times(64.912 + 21.997) + 2.15\times0.00 + 4.344 + 9.101 + 12.231$

$= 138.657\,\text{MPa} < fy = 355.0\,\text{MPa}$ ∴O.K.

• 크리프, 건조수축 제외 시

$\sum f = 1.3\times(64.912 + 21.997) + 2.15\times0.00 + 12.231$

$= 125.213\,\text{MPa} < fy = 355.0\,\text{MPa}$ ∴O.K.

■ 거더 하부플랜지

• 크리프, 건조수축 포함 시

$\sum f = 1.3\times(-64.912 - 69.245) + 2.15\times0.00 + 4.067 + 8.470 + (-11.560)$

$= -173.428\,\text{MPa} < fy = 355.0\,\text{MPa}$ ∴O.K.

• 크리프, 건조수축 제외 시

$\sum f = 1.3\times(-64.912 - 69.245) + 2.15\times0.00 + (-11.560)$

$= -185.965\,\text{MPa} < fy = 355.0\,\text{MPa}$ ∴O.K.

② 부모멘트부(P4 지점부)

■ 거더 상부플랜지

• 크리프, 건조수축 포함 시

$\sum f = 1.3 \times (-103.8) + 2.15 \times (-65.8) - 5.59 + 5.4 + 13.1$

$= -263.480\,\text{MPa} < fy = 355.0\,\text{MPa}$ ∴O.K.

• 크리프, 건조수축 제외 시

$\sum f = 1.3 \times (-103.8) + 2.15 \times (-65.8) + 13.1$

$= -263.24\,\text{MPa} < fy = 355.0\,\text{MPa}$ ∴O.K.

■ 거더 하부플랜지

• 크리프, 건조수축 포함 시

$\sum f = 1.3 \times 107.7 + 2.15 \times 76.5 - 8.76 + 7.9 + 18.8$

$= 322.385\text{MPa} < fy = 355.0\,\text{MPa}$ ∴O.K.

• 크리프, 건조수축 제외 시

$\sum f = 1.3 \times 107.7 + 2.15 \times 76.5 + 18.8$

$= 323.20\ \text{MPa} < fy = 355.0\,\text{MPa}$ ∴O.K.

5) 바닥판 검토

합성형교의 바닥판은 바닥판으로서 작용할 경우(교축직각방향)와 거더단면의 일부로서 작용할 경우(교축방향)로 구분할 수 있는데 본 검토에서는 전자에 대하여 검토하였다.

① 캔틸레버부(방호울타리측)

㉠ 하중산정 및 하중조합

ⓐ 고정하중

• Md =8.366×0.559+0.25×0.750×0.375+0.13×0.300×0.150 = 4.677 kN·m/m

ⓑ 설계활하중

윤하중의 재하위치가 검토단면위에 있어서 차륜하중으로 인한 모멘트는 고려하지 않는다.

ⓒ 풍하중

• $B/D = 12.6/4.38 = 2.877$

• $(4.0-0.2\frac{B}{D})\times D = 15.0 \geq 6.0$

• Pw = 15.0 × (1.08-0.08) = 15.0 kN/m

• Mw = 15.0× (0.08+1.00/2) = 8.70 kN·m / m

ⓓ 계수하중 산정

• Mu_1 = 1.3D
• Mu_2 = 1.3D+1.3W = 1.3×4.677 + 1.3×8.70 = 17.390 kN·m
• Mu_3 = 1.3D+0.65W
• Mu_4 = 1.25D+1.25W
• Mu_5 = 1..25D+0.625W
• Mu_6 = 1.2D+1.2W

• M_{u2}의 계수가 가장 크므로 Mu2경우만 검토한다.

㉡ 강도 설계법에 의한 단면 검토

ⓐ 검토 조건

• 콘크리트압축강도 : fck = 27.0 MPa
• 인장철근항복강도 : fy = 400 MPa
• 단면폭(b) : 1000.000 mm
• 단면높이(h) : 300.000 mm
• 사용철근량(As_use) : H16@125 = 1588.8 mm2
• 피복두께(dc) : 40.000 mm
• 유효깊이(d) : 300 - 40 = 260.000 mm
• 부재력 : Mu = 1.3×4.677 + 1.3×8.70 = 17.390 kN·m
: Ms = 4.677+8.70 = 13.377kN·m

㉡ 강도설계법에 의한 단면 검토

■ 휨강도 검토

• $a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1588.8 \times 400}{0.85 \times 26.9 \times 1000} = 27.794\,mm$

• $\Phi Mn = \phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\} = 0.85 \times \left\{1588.8 \times 400 \times \left(260 - \frac{27.794}{2}\right)\right\} \times 10^{-6}$

$= 132.943\,kN \cdot m > Mu = 17.390\ kN \cdot m \quad \therefore O.K.$

ⓒ 사용성 검토

• 사용철근비(ρuse) $= \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1588.8}{1000.0 \times 250.0} = 0.006355$

• 탄성계수비(n) $= 7$

• 중립축비(k) $= -n\rho + \sqrt{2n\rho + (n\rho)^2}$

$= -7 \times 0.006355 + \sqrt{2 \times 7 \times 0.006355 + (7 \times 0.006355)^2} = 0.257096$

• 중립축 거리(x) $= k \cdot d = 0.257096 \times 250.0 = 64.274\,mm$

• 2차모멘트(Icr) $= \frac{1}{3} b \cdot x^3 + n \cdot A_s \cdot (d-x)^2$

$= \frac{1000.0 \times 250.0^3}{3} + 7 \times 1588.8 \times (250.0 - 64.274)^2$

$= 4.7214 \times 10^8\,mm^4$

• 사용모멘트(Ms) $= Ms = 4.677 + 8.70 = 13.377 kN \cdot m$

• 철근 응력(fs) $= n \cdot \frac{M_s}{I_{cr}} \cdot (h - x - d_c) = 7 \times \frac{13.377 \times 10^6}{4.7814 \times 10^8} \times (250.0 - 64.274 - 40.0)$

$= 28.90\,MPa$

• 인장철근간격 검토

$sa1 = 375 \cdot \frac{210}{f_s} - 2.5 \cdot C_c = 375 \times \frac{210}{28.9} - 2.5 \times 32.05 = 2644.8\ mm$

$C_c = 40 - \frac{15.9}{2} = 32.05\,mm$ (C_c는 인장철근 표면과 콘크리트 표면사이의 최소 두께)

$sa2 = 300 \cdot \frac{210}{f_s} = 300 \times \frac{210}{28.9} = 2179.9\,mm$

$sa = \min[sa1,\ sa2] = \min[2644.8, 2179.9] = 2179.9\,mm > s = 125.0\,mm \quad \therefore O.K.$

② 중앙부 바닥판

㉠ 하중산정 및 하중조합

ⓐ 고정하중

• 바 닥 판 : $0.250 \times 25.000 = 6.250\,kN/m^2$

• 아스콘포장 : $0.080 \times 23.000 = 1.840\,kN/m^2$

$\therefore$ wd = $8.090 kN/m^2$

• $Md = \frac{w_d L^2}{10} = \frac{8.090 \times 3.00^2}{10} = 7.281\,kN \cdot m/m$

ⓑ 설계활하중(DB-24 : Pr = 96 kN)

• $i = \frac{15}{(40+L)} = \frac{15}{(40+3.60)} = 0.344 > 0.3$ $\quad i = 0.3$ 적용

• $M(1+i) = \frac{(L+0.6) \times P_{24}}{9.6} = \frac{(3.60+0.6) \times 96}{9.6} \times 1.3 = 54.6 kN \cdot m/m$

$\Rightarrow$ 연속바닥판이므로 M(1+i) = 46.8× 0.8 = 37.44kN·m / m

ⓒ 계수하중 산정

• Mu_1 = 1.3D+2.15(L+I) = 1.3×7.281 + 1.3×37.44 = 89.961 kN·m

• Mu_2 = 1.3D+1.3(L+I)

• Mu_3 = 1.25D+1.25(L+I)

• Mu_1의 계수가 가장 크므로 Mu_1경우만 검토한다.

㉡ 강도 설계법에 의한 단면 검토

ⓐ 검토 조건

• 콘크리트압축강도 : f_{ck} = 27.0 MPa

• 인장철근항복강도 : f_y = 400 MPa

• 단면폭(b) : 1000.000 mm

• 단면높이(h) : 300.000 mm

• 사용철근량(A_{s_use}) : H16@125 = $1588.8\,mm^2$

• 피복두께(d_c) : 40.000 mm

• 유효깊이(d) : 300 - 40 = 260.000 mm

• 부재력 : M_u = 1.3×7.281 + 2.15×37.44 = 89.961 kN·m

: M_s = 7.281+37.44 = 44.721kN·m

ⓑ 강도설계법에 의한 단면 검토

■ 휨강도 검토

• $a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1588.8 \times 400}{0.85 \times 27.0 \times 1000} = 27.794\,mm$

• $\phi Mn = \phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\} = 0.85 \times \left\{1588.8 \times 400 \times \left(260 - \frac{27.794}{2}\right)\right\} \times 10^{-6}$

$= 132.943\,kN \cdot m > Mu = 89.961\ kN \cdot m \quad \therefore O.K.$

ⓒ 사용성 검토

• 사용철근비(ρuse) $= \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{1588.8}{1000.0 \times 250.0} = 0.006355$

• 탄성계수비(n) $= 7$

• 중립축비(k) $= -n\rho + \sqrt{2n\rho + (n\rho)^2}$

$= -7 \times 0.006355 + \sqrt{2 \times 7 \times 0.006355 + (7 \times 0.006355)^2} = 0.257096$

• 중립축 거리(x) $= k \cdot d = 0.257096 \times 250.0 = 64.274\,mm$

• 2차모멘트(Icr) $= \frac{1}{3} b \cdot x^3 + n \cdot A_s \cdot (d-x)^2$

$= \frac{1000.0 \times 250.0^3}{3} + 7 \times 1588.8 \times (250.0 - 64.274)^2$

$= 4.7214 \times 108\,mm4$

• 사용모멘트(Ms) $= Ms = 7.281 + 37.44 = 44.721 kN \cdot m$

• 철근 응력(fs) $= n \cdot \frac{M_s}{I_{cr}} \cdot (h - x - d_c) = 7 \times \frac{44.721 \times 10^6}{4.7814 \times 10^8} \times (250.0 - 64.274 - 40.0)$

$= 96.62\ MPa$

• 인장철근간격 검토

$s_{a1} = 375 \cdot \frac{210}{f_s} - 2.5 \cdot C_c = 375 \times \frac{210}{96.6} - 2.5 \times 32.05 = 734.9mm$

$C_c = 40 - \frac{15.9}{2} = 32.05\,mm$ (C_c는 인장철근 표면과 콘크리트 표면사이의 최소 두께)

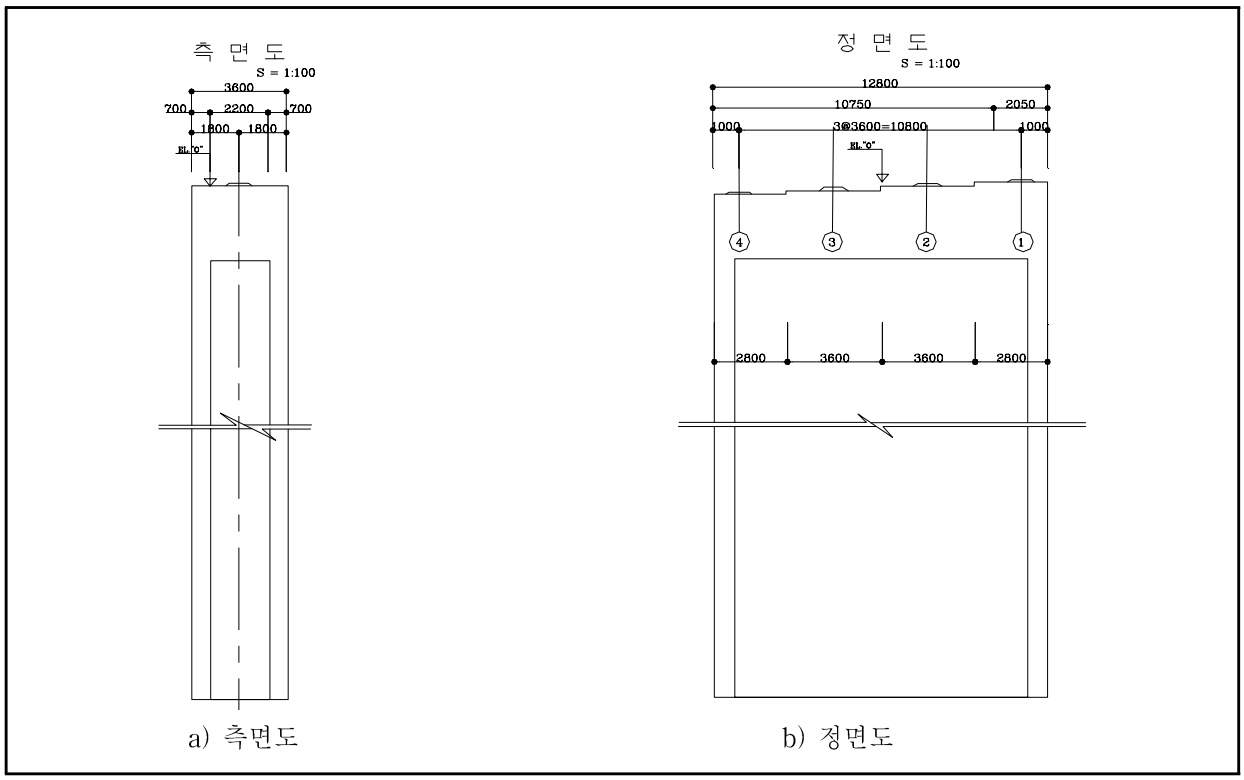
$s_{a2} = 300 \cdot \frac{210}{f_s} = 300 \times \frac{210}{28.9} = 652.0mm$

$s_a = \min[sa1,\ sa2] = \min[734.9,\ 652.0] = 652.0\ mm > s = 125.0\,mm \quad \therefore O.K.$

5.2.3 하부구조 안전성평가

안전성 평가를 위한 하부구조의 선정은 비지지 길이가 큰 것과 받침반력, 지점조건 등을 고려하여 가장 불리한 단면력 발생이 예상되는 교각3(P3)에 대하여 수행하였다. 안전성검토 시 고려된 하중은 고정하중, 설계활하중(DB-24, DL-24)과 풍하중 및 온도하중이며 교각(P3)의 단면제원은 다음과 같다.

가. 검토 단면



【그림 5.10】 백운4교(부산) 해석단면(교각 P3)

나. 검토 조건

- 단면형상 : 중공 사각형
- 콘크리트 설계기준강도(f_{ck}) : 24.0 MPa
- 철근 설계기준항복강도(f_y) : 300.0 MPa
- 철근탄성계수(Es) : 200000.0 MPa
- 콘크리트탄성계수(Ec) : 26900.0 MPa
- 단면2차모멘트(I) : Ix = 39.83 m^4
  : Iy = 371.6 m^4
- 단면적(Ag) : 21.44 m^2
- 압축부재의 비지지길이(lu) : l_u = 48.172 m
- 사용 철근량($_{use}A_{st}$) : A_{rebar}=220500.2 mm^2

다. 적용하중

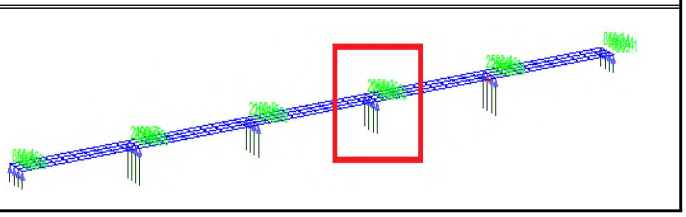
안전성검토 시 고려된 하중은 고정하중과 활하중, 풍하중, 온도하중에 의한 수평력 등이며 하중산정 및 해석모델상의 재하는 현재의 작용상태와 도로교설계기준(2010) 2.1절에 근거하여 수행하였다.

1) 하부구조 고정하중

• 자중옵션(Self Weight Option) 적용

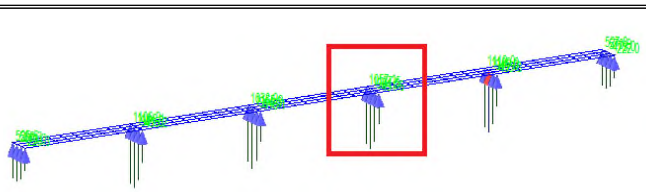
2) 상부구조 고정하중 반력

【표 5.35】 상부 고정하중에 의한 반력 산출 결과

받침 NO.	반력(kN)	비 고
Sh1	2523.4	
Sh2	2568.8	
Sh3	2568.8	
Sh4	2523.4	

3) 활하중에 의한 반력

【표 5.36】 활하중에 의한 반력산출 결과

받침 NO.	반력(kN)	비 고
Sh1	455.8	
Sh2	945.0	
Sh3	1189.0	
Sh4	1112.0	

4) 풍하중

【표 5.37】 하부구조에 작용하는 풍하중(단위:MPa)

부재의 단면 형상		풍하중		비고
		풍상측 부재	풍하측 부재	
원형	활하중 재하시	0.75×10^{-3}	0.75×10^{-3}	
	활하중 비재하시	1.50×10^{-3}	1.50×10^{-3}	
각형	활하중 재하시	1.50×10^{-3}	0.75×10^{-3}	
	활하중 비재하시	3.00×10^{-3}	1.50×10^{-3}	기둥부 적용

① 교축직각방향

• $W_{column} = 3.0\times10^{-3}\times3.6\times1000 = 10.80\,kN/m$

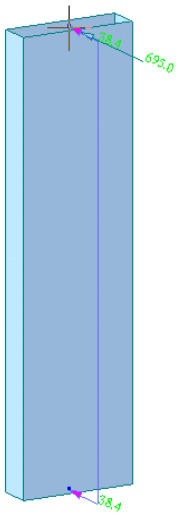
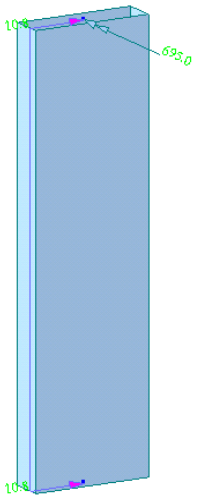
② 교축방향

• $W_{column} = 3.0\times10^{-3}\times12.8\times1000 = 38.40\,kN/m$

라. 모델링

- 지점경계조건은 교량받침의 현장배치상태를 고려하였으며 탄성연결요소(Elastic Link)를 사용하여 구성하였다.
- 하부구조는 보요소를 이용하여 모델링하였으며 외부 경계조건은 기초 상단에서 완전고정으로 설정하였다.

【표 5.38】 하중조건 모델링

구 분	모델링	비 고
풍하중		■ 하부구조 교축방향
		■ 하부구조 교축직각방향

마. 구조해석

1) 하중조건별 작용하중 산출

교각(P3)의 축력이 최대가 되는 경우와 편재하로 인하여 발생하는 모멘트가 최대가 되는 경우를 찾기 위해 네 개의 교량받침이 각각 최대의 반력을 갖는 네 가지 조건을 조합하여 축력과 모멘트의 최댓값을 적용하였다.

【표 5.39】 교각3(P3)요소 하중조건별 작용하중 산출 결과

하중조건	검토위치	Fz(kN)	축력(kN)	편심(m)	Mx(kN·m)	Mz(kN·m)
Sh1 최대	Sh1	431.63	2070.19	-2.7	-1165.40	-308.46
	Sh2	708.05		-0.9	-637.25	
	Sh3	565.66		0.9	509.09	
	Sh4	364.85		2.7	985.10	
Sh2 최대	Sh1	241.91	3122.10	-2.7	-653.16	2043.40
	Sh2	904.53		-0.9	-814.08	
	Sh3	1013.14		0.9	911.83	
	Sh4	962.52		2.7	2598.80	
Sh3 최대	Sh1	283.95	**3154.43**	-2.7	-766.67	2130.49
	Sh2	779.35		-0.9	-701.42	
	Sh3	1137.49		0.9	1023.74	
	Sh4	953.64		2.7	2574.83	
Sh4 최대	Sh1	6.14	2295.61	-2.7	-16.58	**3291.53**
	Sh2	364.00		-0.9	-327.60	
	Sh3	868.37		0.9	781.53	
	Sh4	1057.10		2.7	2854.17	

2) 계수하중에 의한 단면력 산출

안전성검토 시 각 하중별 조합은 도로교설계기준(2010) 2.2.3절 강도설계법에 따른 하중계수를 적용하여 수행하였으며 조합 결과를 정리하여 나타내면 다음과 같다.

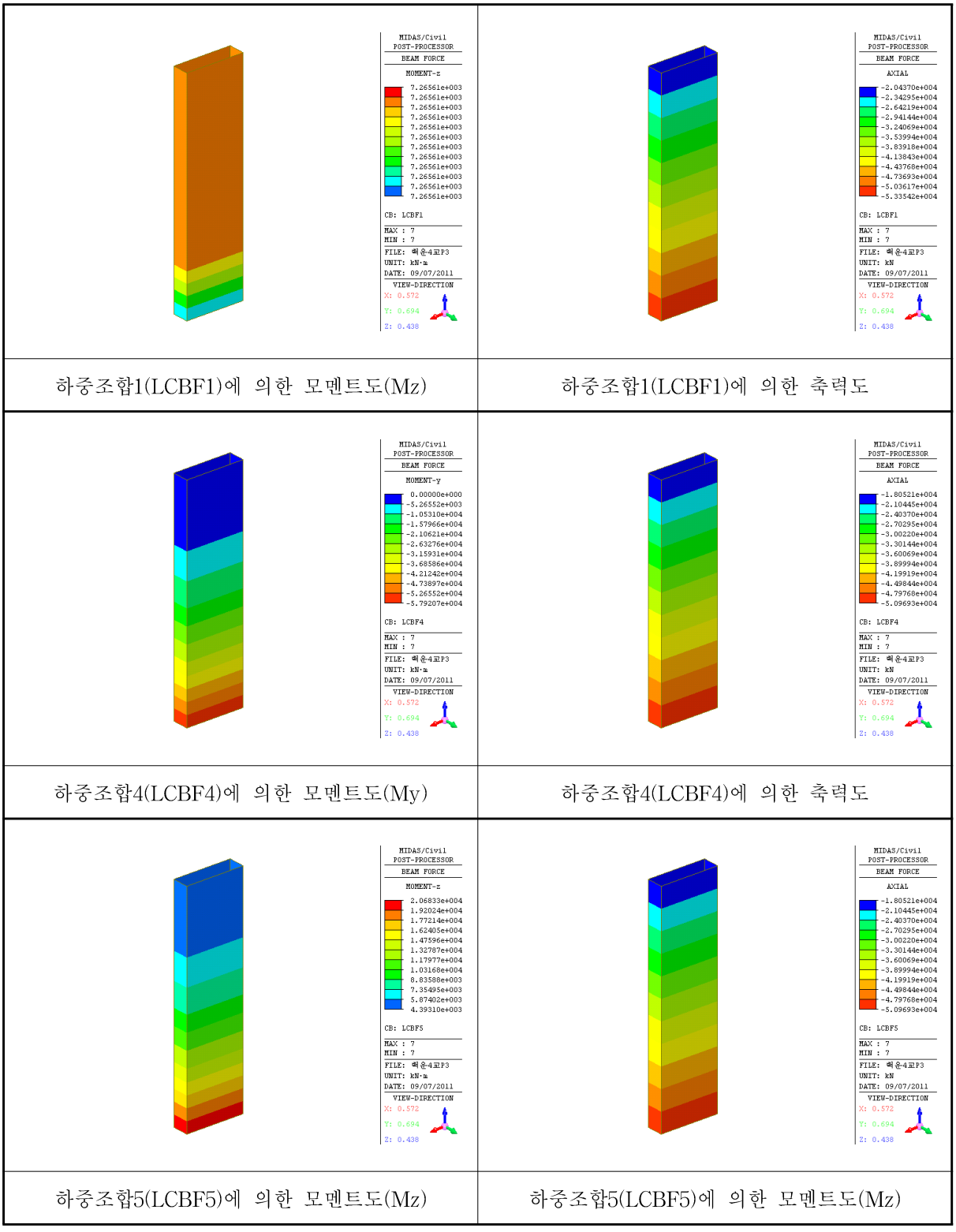
① 교각3(P3)요소 상하단 단면력

【표 5.40】 교각3(P3)요소 상하단 단면력 산출 결과

구분	계수하중 조합				계수하중 산출 결과					
	고정하중 (D)	활하중 (L)	풍하중 (W)		기둥상단			기둥하단		
		L1	W[1)]	W[2)]	축력 (kN)	교축직각 휨모멘트 (kN·m)	교축 휨모멘트 (kN)	축력 (kN)	교축직각 휨모멘트 (kN·m)	교축 휨모멘트 (kN)
LCBF1	1.3	2.15	-	-	-20021.7	0.0	7076.6	-52938.9	0.0	7076.6
LCBF2	1.3	-	1.3	-	-13239.7	0.0	-0.1	-46157.0	-57920.7	-0.1
LCBF3	1.3	-	-	1.3	-13239.7	0.0	-0.1	-46157.0	0.0	16290.1
LCBF4	1.3	1.3	1.3	-	-17340.4	0.0	4278.8	-50257.7	-57920.7	4278.8
LCBF5	1.3	1.3	-	1.3	-17340.4	0.0	4278.8	-50257.7	0.0	**20569.0**
LCBF6	1.25	1.25	0.625	-	다른 하중조합보다 상대적으로 낮은 하중계수로 인해 고려하지 않음					
LCBF7	1.25	1.25	-	0.625						
LCBF8	1.25	-	1.25	-						
LCBF9	1.25	-	-	1.25						

주 : 1) 상·하부구조에 작용하는 교축직각방향 풍하중
2) 하부구조에 작용하는 교축방향 풍하중

② 하중조합별 부재력도

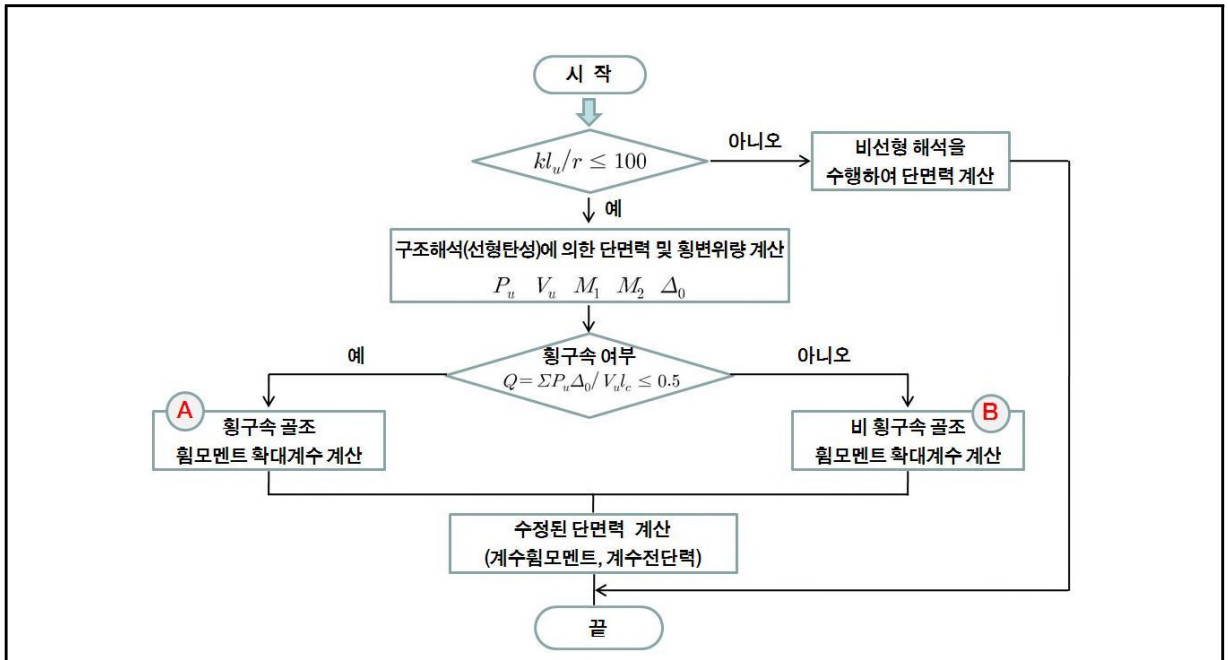


하중조합1(LCBF1)에 의한 모멘트도(Mz)	하중조합1(LCBF1)에 의한 축력도
하중조합4(LCBF4)에 의한 모멘트도(My)	하중조합4(LCBF4)에 의한 축력도
하중조합5(LCBF5)에 의한 모멘트도(Mz)	하중조합5(LCBF5)에 의한 모멘트도(Mz)

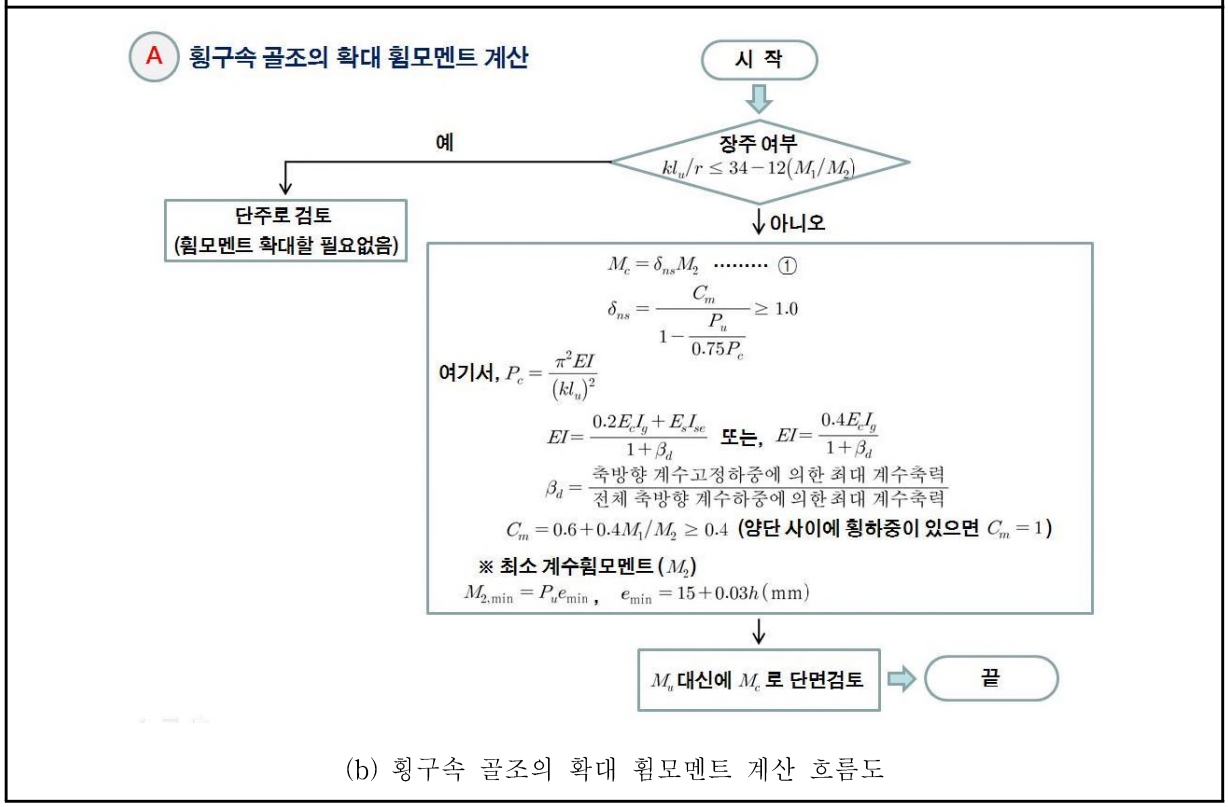
【그림 5.11】 하중조합(계수하중)별 부재력도

바. 안전성검토

1) 검토방법

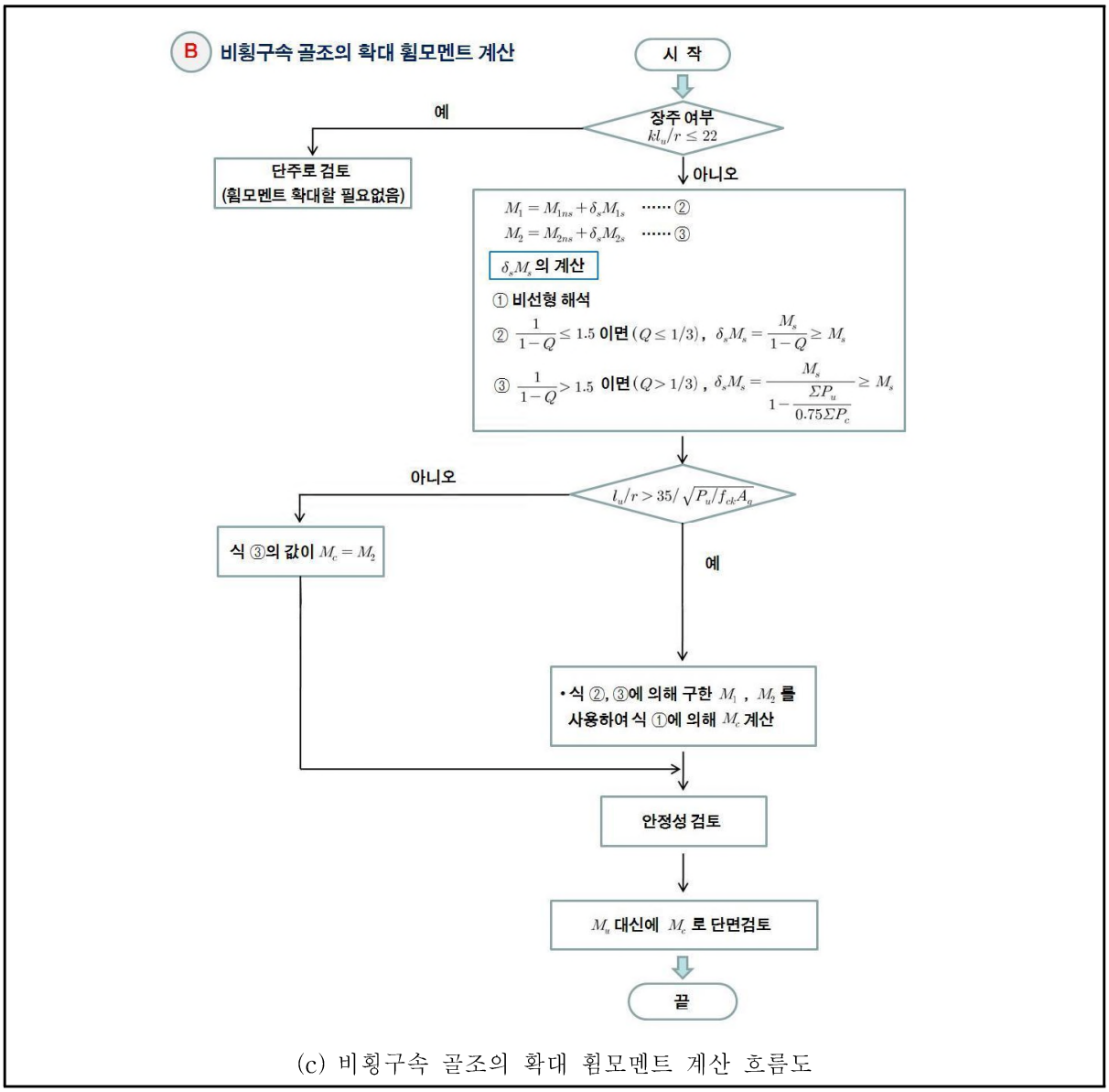


(a) 하부구조 안전성 검토 흐름도



(b) 횡구속 골조의 확대 휨모멘트 계산 흐름도

【그림 5.12】 안전성검토 흐름도



(c) 비횡구속 골조의 확대 휨모멘트 계산 흐름도

【그림 5.13】 안전성검토 흐름도 (계속)

2) 비횡구속(sway)구조 여부의 검토

장주효과의 근사방법인 모멘트 확대계수설계법은 횡구속구조물과 비횡구속구조물을 구별할 것을 요구한다. 이 때, 구조물의 한 층의 안정지수는 다음과 같이 계산한다.

$$Q = \frac{\Sigma P_u \Delta_o}{V_u l_c} \quad \begin{cases} > 0.05 & \text{비횡구속구조} \\ \le 0.05 & \text{횡구속구조} \end{cases}$$

여기서, ΣP_u = 해당 층의 총 수직하중

V_u = 해당 층의 총 전단력

Δ_o = V_u에 의한 해당 층의 상하부의 1차 상대처짐

지점이 일방향 가동단이므로 전단력에 의한 하부구조의 교직방향 변위가 존재하지 않아 횡변위가 방지되어있다고 판단한다.(횡구속구조로 검토)

3) 장주 여부 검토

단주의 한계 세장비보다 큰 세장비를 갖는 기둥은 재료의 항복 이전에 좌굴이 발생 추가 모멘트가 생성되어 내하력의 감소가 유발된다. 이러한 좌굴 이후 장주에서 발생하는 P-Δ 효과에 따른 추가적인 모멘트 발생을 고려하기 위해 1차 모멘트에 모멘트 확대 계수를 적용시켜 검토한다.

① 골조구조의 단면특성산정

【표 5.41】 골조구조해석을 위한 단면특성

부재	탄성계수(E)		단면2차모멘트(I)			단면적(A)	
	설계기준	적 용 (MPa)	설계 기준	적 용 (mm^4)		설계 기준	적 용 (mm^2)
보	$8500\sqrt[3]{f_{cu}}$ $f_{cu}=f_{ck}+8$	27800	$0.35I_g$	1.627×10^{11}		$1.0A_g$	9.49×10^4
기둥		26900	$0.70I_g$	I_x	3.983×10^{13}		2.144×10^7
				I_y	3.716×10^{14}		

• 곡률반경

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{3.983\times10^{13}}{2.144\times10^7}} = 1362.99\,\text{mm} \qquad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{3.716\times10^{14}}{2.144\times10^7}} = 4163.18\,\text{mm}$$

② 압축부재의 유효길이

도로교 설계기준(2010)의 4.4.5.3에 의하면 횡구속 압축부재의 경우 유효길이계수 k는 1.0을 사용해야 한다.

③ 장주여부 검토

• 세장비 산정

$$\text{x축} : \frac{k_x l_u}{r_x} = \frac{1.0\times48172}{1362.99} = 35.34 \qquad \text{y축} : \frac{k_y l_u}{r_y} = \frac{1.0\times48172}{4163.18} = 11.57$$

• λ_{lim} 결정

【표 5.42】 하중조합에 따른 장주여부 검토

하중조합	M_{x1}	M_{x2}	M_{y1}	M_{y2}	M_{x1}/M_{x2}	M_{y1}/M_{y2}	$34-12(M_1/M_2)$	
							x축	y축
LCBF1	0.0	0.0	7076.6	7076.6	1	1	22	22
LCBF4	0.0	-57920.7	4278.8	4278.8	0	1	34	22
LCBF5)	0.0	0.0	4278.8	20569.0	1	0.208	22	31.5

모든 하중조합에 대하여 세장비가 λ_{lim}를 넘는 x축 방향으로는 장주거동하고 넘지 않는 y축 방향으로는 단주거동하므로, x축에 대해서만 장주효과(확대모멘트)를 고려한다.

4) 단면검토

【표 5.43】 단면력 산출결과 요약

하중조합	Pu(kN)	Mx(kN·m)	My(kN·m)	비고
LCBF1	52938.9	0.0	7076.6	Pu Max
LCBF4	50257.7	-57920.7	4278.8	Mx Max
LCBF5	50257.7	0.0	20569.0	My Max

5) 확대모멘트 산정

① 임계하중 산정

【표 5.44】 임계하중 산정 결과

구 분	교축방향(x)			
	k	βd	EI(kN·m²)	Pc(kN)
LCBF1	1.00	0.872	228937420	973704.1
LCBF4	1.00	0.918	223446740	950351.4
LCBF5	1.00	0.918	223446740	950351.4

$$\beta_d = \frac{1.3\,DL}{1.3\,DL + 2.15\,LL} \quad (LCBF1)$$

$$\beta_d = \frac{1.3\,DL}{1.3\,DL + 1.3\,LL} \quad (LCBF4,5)$$

$$EI = \frac{0.4 E_c I_g}{1+\beta_d}$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(k \bullet l_u)^2}$$

βd : 전체 계수 축하중에 대한 최대 계수 축방향 고정하중의 비

EI : 휨강성

Ec : $26900\,MPa$

k : 유효좌굴길이계수

I : 단면2차모멘트

- x축 = $3.983 \times 10^{13}\ mm^4$

lu : 비지지길이

- x축 = $48.172\,m$

② 확대모멘트계수 산정

【표 5.45】 확대모멘트계수 산정 결과

구 분	교축방향(x축)				
	C_m	Pu(kN)	Pc(kN)	δns	M_c (kN·m)
LCBF1	1.0	52938.9	973704.1	1.078	7629.7
LCBF4	1.0	50257.7	950351.4	1.076	4603.4
LCBF5	1.0	50257.7	950351.4	1.076	22129.4

③ 확대모멘트 산정 결과

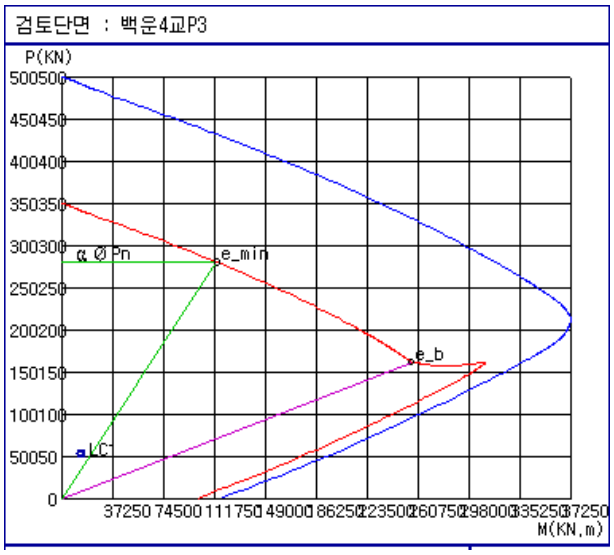
【표 5.46】확대모멘트 산정 결과 요약

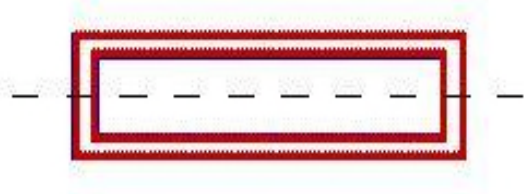
하중조합	P_u (kN)	M_{cx} (kN·m)	M_{cy} (kN·m)	M_c (kN·m)	비 고
LCBF1	52938.9	0.0	7629.7	7629.7	최대 축력 발생 시
LCBF2	50257.7	-57920.7	4603.4	-57920.7	최대 교축 휨모멘트 발생 시
LCBF5	50257.7	0.0	22129.4	22129.4	최대 교축직각 휨모멘트 발생 시

④ 기둥 안전성 검토

■ 하중조합 : LCBF1

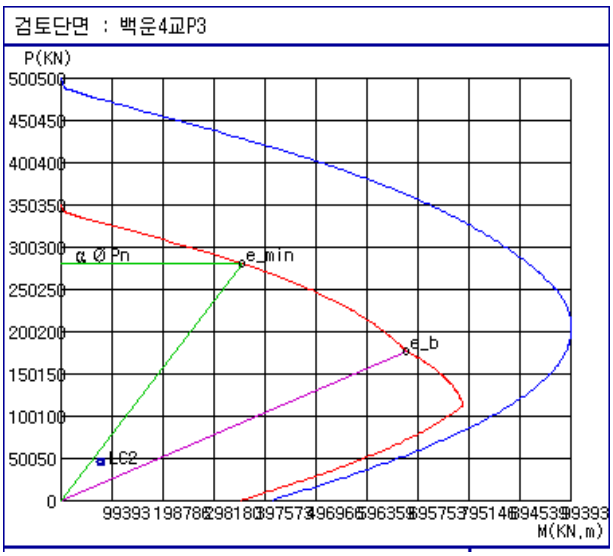
- e = 403.6 mm
- ϕP_n = 280175.3 kN > P_u = 52938.9 kN ∴ O.K. (S.F = 5.292)
- ϕM_n = 113076.0 kN·m > M_u = 7629.7 kN·m ∴ O.K. (S.F = 14.82)

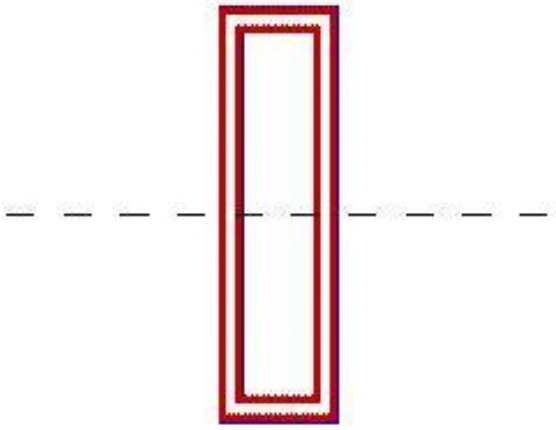




■ 하중조합 : LCBF4

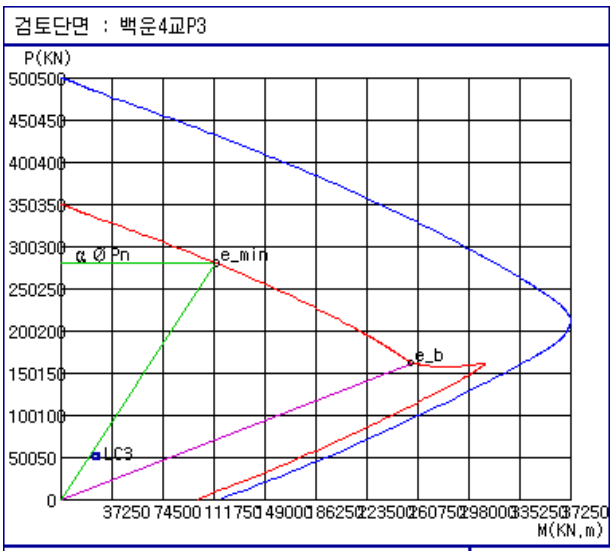
- e = 1627.89 mm
- ϕP_n = 263506.5 kN > P_u = 50257.7 kN ∴ O.K. (S.F = 5.243)
- ϕM_n = 428934.7 kN·m > M_u = 57920.7 kN·m ∴ O.K. (S.F = 7.406)

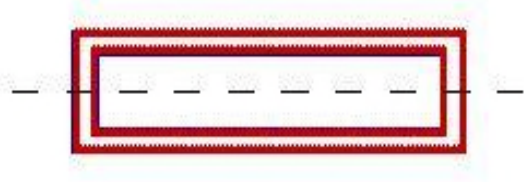




■ 하중조합 : LCBF5

- e = 492.2 mm
- ϕP_n = 267461.3 kN > P_u = 50257.7 kN ∴ O.K. (S.F = 5.322)
- ϕM_n = 131635.5 kN·m > M_u = 22129.4 kN·m ∴ O.K. (S.F = 5.948)





5.2.4 내하력평가

대상교량의 내하력평가는 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010. 12)”의 절차에 따라 강판형거더는 허용응력법으로, 바닥판은 강도설계법을 토대로 수행하였다. 평가 결과 백운4교(부산)는 설계내하력인 DB-24(DL-24)이상을 확보하고 있는 것으로 나타났으며 내하율 및 기본 내하력산정 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 거더

【표 5.47】 거더의 내하율 및 기본 내하력평가 결과

구 분		내하율 계산	내하율 (RF)	기본내하력	비 고
정모멘트부		$\frac{200.00 - 83.106}{51.051}$	2.289	DB-24이상	거더 하연
부 모멘트부	모멘트	$\frac{200.00 - 107.694}{48.775}$	**1.892**	DB-24이상	거더 하연
	전단력	$\frac{125.00 - 37.198}{16.422}$	5.346	DB-24이상	

2) 바닥판

【표 5.48】 바닥판의 내하율 및 기본 내하력평가 결과

구 분	내하율 계산	내하율 (RF)	기본내하력	비 고
중앙부 바닥판	$\frac{132.943 - 1.3\times7.281}{2.15\times37.44}$	**1.534**	DB-24이상	

※ 캔틸레버부 바닥판은 윤하중을 고려하지 않았기에 활하중에 의한 모멘트가 없으므로 내하율을 산정하지 않음

5.2.5 고유진동수 검토

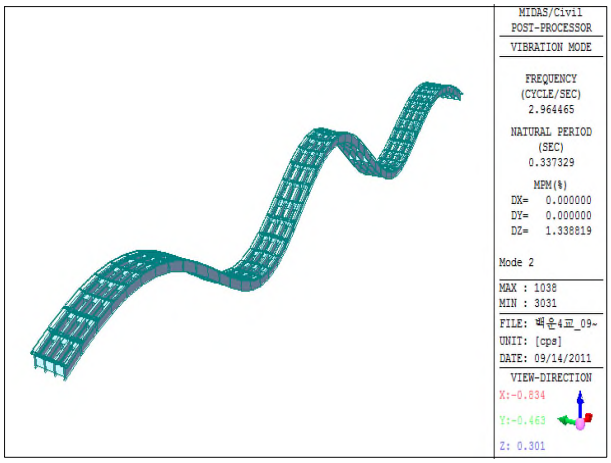
유지관리 시 기본 자료로 활용하기 위해 고유치해석(Eigenvalue Analysis)을 수행하였으며, 해석결과 고유진동수는 2차 모드에서 2.964Hz, 4차 모드에서는 3.458 Hz로 분석되었다. 【표 5.49】에 고유치해석 결과 및 모드의 형상을 나타내었다.

【표 5.49】 이론 고유진동수 검토 결과(단위:Hz)

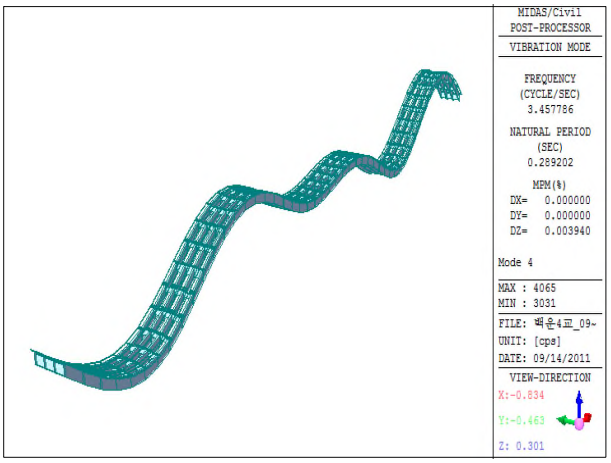
구 분	1차 모드	2차 모드	3차 모드	4차 모드	5차 모드
해석고유진동수	2.580	2.964	2.992	3.458	3.653

EIGENVALUE ANALYSIS

Mode No	Frequency (rad/sec)	Frequency (cycle/sec)	Period (sec)	Tolerance
1	16.212798	2.580347	0.387545	1.5138e-015
2	18.626285	2.964465	0.337329	1.3107e-015
3	18.801784	2.992397	0.334180	4.8240e-016
4	21.725912	3.457786	0.289202	3.6128e-016
5	22.949492	3.652525	0.273783	2.1586e-016
6	26.568343	4.228483	0.236491	1.6106e-016
7	28.263176	4.498224	0.222310	1.4232e-016
8	32.573145	5.184177	0.192895	8.5720e-016
9	32.723399	5.208091	0.192009	6.3701e-016
10	37.674785	5.996128	0.166774	1.6019e-016
11	59.177774	9.418435	0.106175	1.2985e-016
12	64.614283	10.283683	0.097241	0.0000e+000
13	66.893406	10.646416	0.093928	2.0325e-016
14	70.871953	11.279622	0.088655	7.2429e-016
15	72.732761	11.575778	0.086387	1.7193e-016
16	77.331614	12.307709	0.081250	1.0646e-014
17	79.310597	12.622674	0.079223	3.9328e-014
18	81.905239	13.035624	0.076713	1.3327e-013
19	86.004470	13.688037	0.073056	4.1191e-014
20	90.708256	14.436667	0.069268	1.8237e-011



a) 2차모드



b) 4차모드

5.2.6 안전성평가 결과

가. 상부구조

1) 거더

【표 5.50】 허용응력법에 의한 안전성평가 결과(휨응력)

구 분		검토결과(MPa)		안전율(SF)	비고
		f_a	$f(d+l)$		
정모멘트부	거더4 상연	200.000	86.909	2.301	LCB3
	거더4 하연	200.000	134.157	1.491	LCB2
부모멘트부	거더4 상연	200.000	145.755	1.372	LCB1
	거더4 하연	180.900	156.469	**1.156**	LCB1

2) 바닥판

【표 5.51】 강도설계법에 의한 안전성평가 결과(휨강도)

구 분		검토결과(kN·m)		안전율(SF)	비 고
		ϕM_n	M_u		
바닥판	외측 바닥판	132.943	17.390	7.645	
	중앙부 바닥판	132.943	89.961	**1.478**	

나. 하부구조

1) 기둥

【표 5.52】 강도설계법에 의한 안전성평가 결과(축강도)

구 분		검토결과(kN)		안전율(SF)	비 고
		ϕP_n	P_u		
기둥	최대 축력	280175.3	52938.9	5.292	
	최대 휨모멘트	263506.5	50257.7	**5.243**	교축방향
	최대 휨모멘트	267461.3	50257.7	5.322	교축직각방향

【표 5.53】 강도설계법에 의한 안전성평가 결과(휨강도)

구 분		검토결과(kN·m)		안전율(SF)	비 고
		ϕM_n	M_u		
기둥	최대 축력	113076.0	7629.7	14.82	
	최대 휨모멘트	428934.7	57920.7	7.406	교축방향
	최대 휨모멘트	131635.5	22129.4	**5.948**	교축직각방향

다. 안전성평가 결과

【표 5.54】 안전성평가 결과

구 분		안전율(SF)	평가결과	비 고
상부구조	거 더	1.156	**A**	
	바닥판	1.478	**A**	
하부구조	기 둥	5.243	**A**	
평가 결과		◦ 백운4교(부산)은 소정의 안전율을 확보하고 있는 것으로 나타났으며, 안전성평가결과는 최저안전율 1,156에 근거하여 『A』로 평가하였다.		

5.3 백운4교(춘천) 안전성평가

5.3.1 개요

백운4교(춘천)는 총연장 299.421m, 총폭 12.6m의 5경간 연속 Steel Plate Girder형식의 교량으로서, 좌·우측의 주거더와 가로보, 세로보 및 브레이싱으로 구성되었으며, 하부구조는 벽식(중공)교각 4기와 역T형 교대 2기이며, 기초형식은 A1은 강관파일기초, 그 외 직접기초로 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 강교거더는 허용응력법에 의하여, 콘크리트 바닥판 및 교각 부재검토는 강도설계법에 의하며, 전차 정밀안전진단(2013년)에서 수행한 안전성평가 자료를 활용하고, 금회 정밀안전진단(2016년)와 구조적 변화상태에 대하여 비교 하였다.

나. 검토 조건

본 교량은 전회(2013년) 진단 시와 현재(2016년)의 설계기준을 비교하여 현 기준에 의하여 안전성 검토 및 내하력 평가를 실시하며, 사용재료의 특성 및 철근간격, 피복두께 등을 설계도서와 현장측정 값을 비교하여 적용하였다. 전회 진단 시와 금회 정밀안전진단의 비교표는 다음표와 같다.

1) 구조검토 조건 비교

【표 5.55】 백운4교(춘천) 구조검토 조건 비교

구 분		2013년 진단	2016년 진단	비고
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	
비교결과		• 전회(2013년) 진단 시 구조검토 조건 비교 결과, 전회 진단과 설계기준 및 작용하중을 동일하게 적용함 • 방호벽의 경우 설계도면의 제원과 실측 제원이 상이한 상태로 공용중 단면증설이 된 것으로 판단되며 금회 진단에서 실측치를 적용하여 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

【그림 5.14】 백운4교(춘천) 부재 제원 측정

【표 5.56】 백운4교(춘천) 부재 제원 확인 결과

구 분				부재제원	실측결과	비 고
백운4교 (춘천)	상부 구조	바닥판 B		13.710 m	13.708 m	일치함
		거더	높이 H	4.000 m	4.000 m	일치함
			간격 B	11.700 m	11.698 m	일치함
	하부 구조	교 대 (A1/구체)	폭 B	13.710 m	13.713 m	일치함
			상면 L	1.600 m	1.600 m	일치함
		교 각 (P1/코핑)	폭 B	14.000 m	14.000 m	일치함
			상면 L	3.600 m	3.600 m	일치함
	기타	방호벽	높이 H	0.900 m	1.080 m	단면증설
			폭 B	0.375 m	0.450 m	
측정결과	▪ 부재 제원의 실측결과, 전반적으로 준공도상의 제원과 일치하였으나 방호벽은 설계도면의 제원과 실측 제원이 상이한 상태로 공용중 단면증설이 된 것으로 판단되며, 구조계산 시 실측치를 적용토록 한다.					

3) 현장시험 및 측정자료 분석

① 사용재료 및 강도

【표 5.57】 백운4교(춘천) 사용재료 및 강도

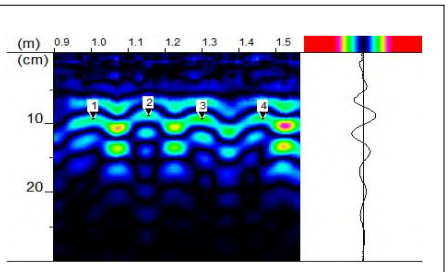
구 분	콘 크 리 트				철 근	
	탄성계수 (MPa)	설계기준강도 (MPa)	현장조사결과 (MPa)	적용강도 (MPa)	철근강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)
상부구조	26,702	27.0	27.6	27.0	400.0	2.0×10^5
하부구조	25,811	24.0	26.6~27.4	24.0	300.0	2.0×10^5
• 콘크리트 강도시험은 반발경도시험 및 초음파시험 결과가 설계기준강도 이상이므로 최젓값인 설계기준강도를 적용강도로 적용함.						

② 단면제원 및 철근량

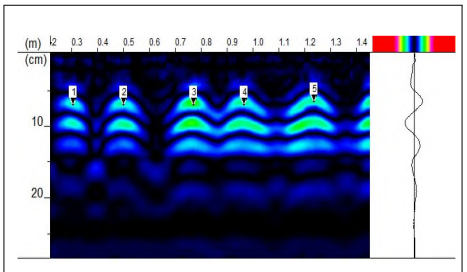
【표 5.58】 백운4교(춘천) 단면제원 및 철근량

시험위치		단면두께 (mm)	피복두께(mm)			철근(m당 평균)		
			설계값	측정 평균값	검토 적용값	설계값	철근탐사	검토 적용값
바닥판	캔틸레버	300.0	60.0	-	60.0	H16@125.0	-	H16@125.0
	중앙부	250.0	40.0	-	40.0	H16@125.0	-	H16@125.0
P1 기둥	수직철근	700.0	100.0	105.0	100.0	D25@150.0	D25@153.0	D25@150.0
	수평철근		78.0	79.0	78.0	D19@250.0	D19@237.0	D19@250.0
P2 기둥	수직철근	700.0	100.0	104.0	100.0	D25@150.0	D25@145.0	D25@150.0
	수평철근		78.0	112.0	78.0	D19@250.0	D19@242.0	D19@250.0
P3 기둥	수직철근	700.0	100.0	111.0	100.0	D25@150.0	D25@148.0	D25@150.0
	수평철근		78.0	93.0	78.0	D19@250.0	D19@245.0	D19@250.0
P4 기둥	수직철근	700.0	100.0	105.0	100.0	D25@150.0	D25@132.0	D25@150.0
	수평철근		78.0	85.0	78.0	D19@250.0	D19@260.0	D19@250.0

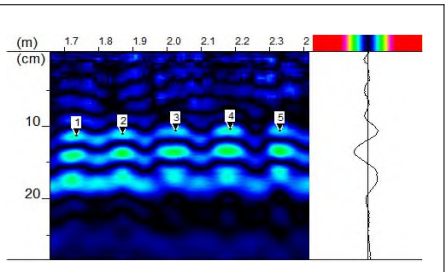
철근탐사 DATA



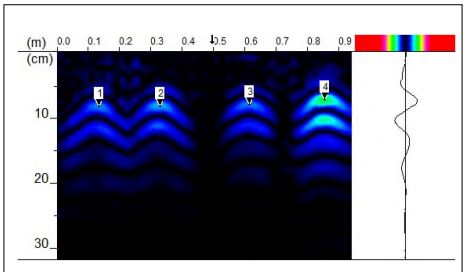
위치	철근종류	피복두께	철근간격
P1 기둥	수직철근	102.5~107.5	145.0~165.0



위치	철근종류	피복두께	철근간격
P1 기둥	수평철근	78.0~81.5	215.0~270.0



위치	철근종류	피복두께	철근간격
P3 기둥	수직철근	118.5~126.5	135.0~160.0



위치	철근종류	피복두께	철근간격
P3 기둥	수평철근	81.5~92.5	225.0~265.0

- 철근배근 탐사결과 『대구-춘천간 고속도로 건설공사 제7공구 구조도(준공도)』에 적용된 설계값과 금회 측정평균값의 차이가 미미하여 안전성 평가시 설계값을 기준으로 적용함.
- 바닥판 하면이 영구거푸집(Deck Plate)로 마감되어 있어 상부구조의 철근탐사시험이 불가능하므로 철근배근은 설계값을 기준으로 적용함

5.3.2 상부구조 안전성평가

가. 구조검토 조건

1) 교량제원

① 교 량 명 : 백운4교(춘천)

② 교량등급 : 1등급(DB-24, DL-24)

③ 교량형식 : 5경간 연속 강판형교(Steel Plate Girder)

④ 교 장 : 5@60.0 = 300.0m

⑤ 교 량 폭 : B = 13.71m

⑥ 거더제원 : H = 4.0m, B = 0.7m

⑦ 사 각 : 90.0°

⑧ 곡률반경 : R = ∞

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 = 26,702.0 MPa

㉢ 크리프계수 : φ2 = 2φ1 = 4.0

㉣ 선 팽 창 계 수 : a = 1.2×10^{-5}

② 철근(SD40)

㉠ 항복강도 : fy = 400.0 MPa

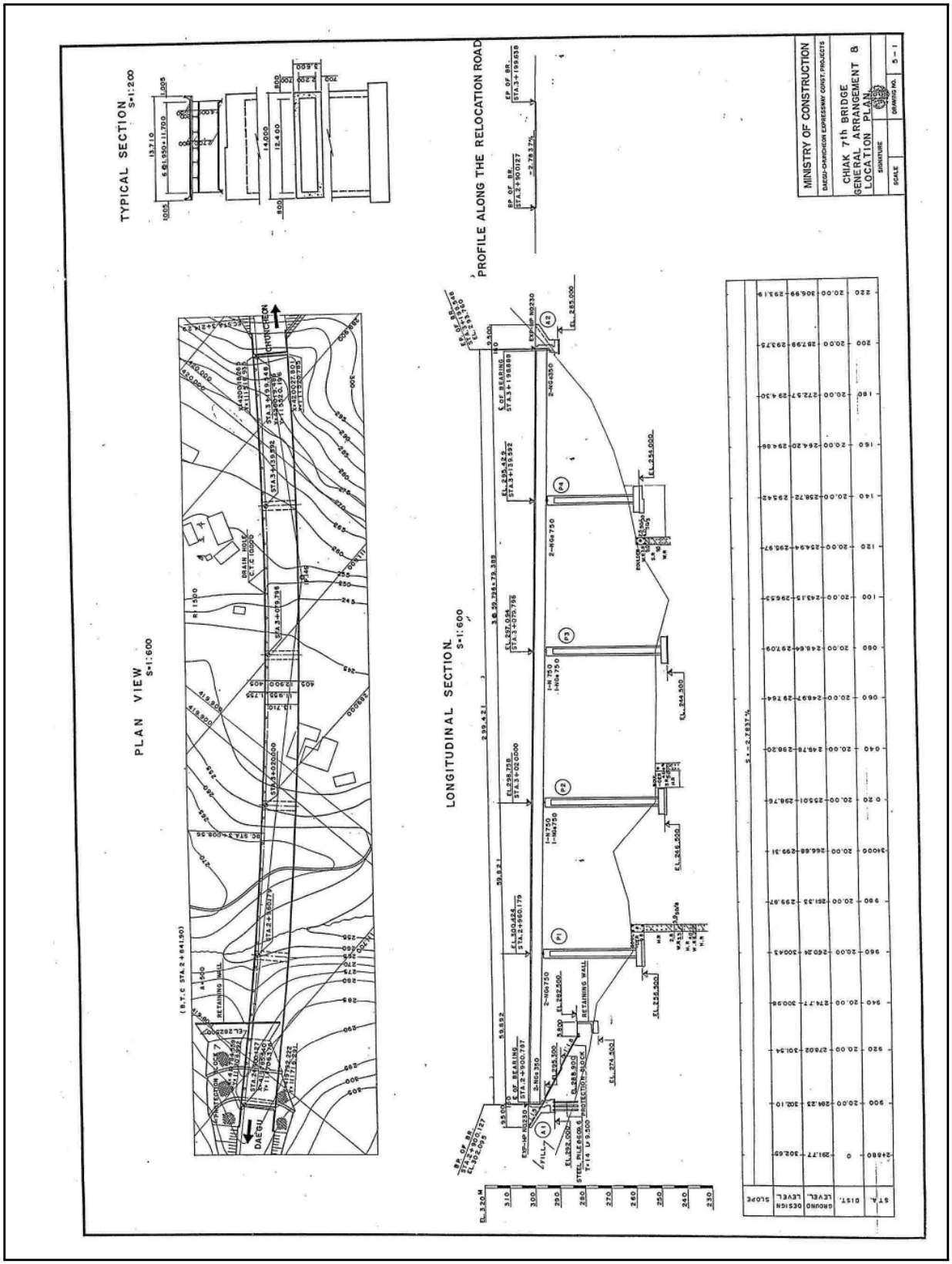
㉡ 탄성계수 : Es = 200,000 MPa

③ 강재

구 분	허용응력(fa)	탄성계수(Es)	비 고
주부재(SM520)	210.0 MPa	205,000 MPa	거더
부부재(SM400)	140.0 MPa	205,000 MPa	가로보 및 2차부재

나. 종·평면도

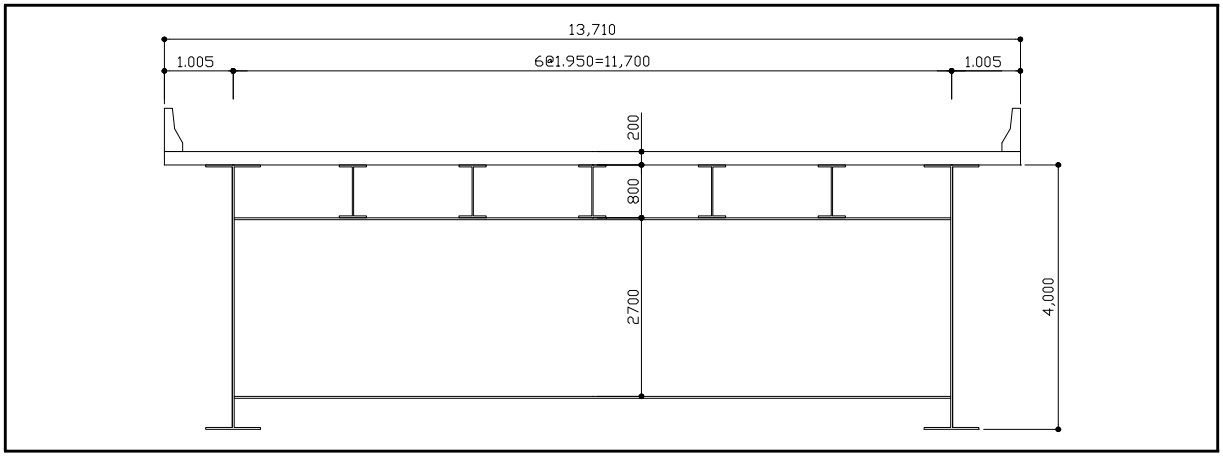
검토 대상교량인 백운4교(춘천)의 종평면도는 아래 그림과 같다.



【그림 5.15】 백운4교(춘천) 종・평면도

다. 단면특성

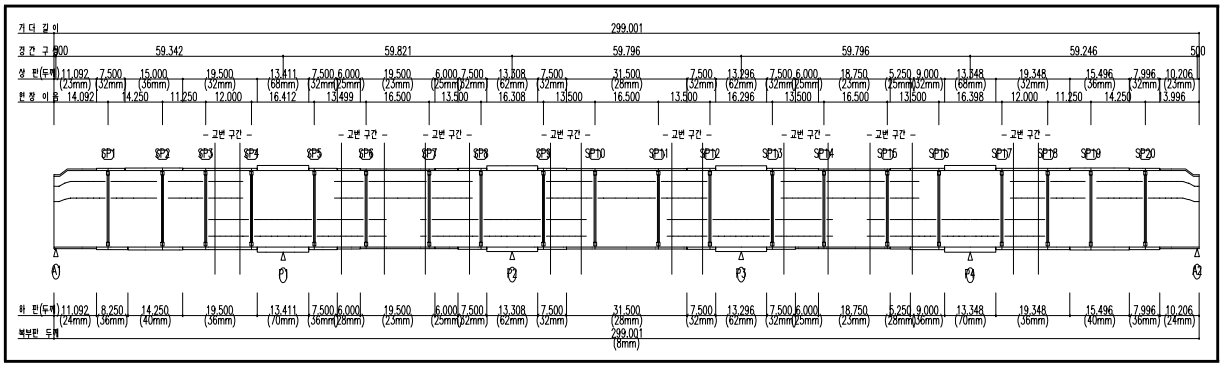
1) 단면형상



2) 단면상수

구 분		A (㎠)	Ixx (cm^4)	Iyy (cm^4)	Izz (cm^4)	비 고
단면 - 1	Girder	799.8	810.4	17,167,020.0	52,171.4	
단면 - 2	Girder	1,064.8	2,346.6	27,881,830.0	233,923.7	
단면 - 3	Girder	1,160.8	3,289.1	31,904,980.0	313,123.7	
단면 - 4	Girder	1,064.8	2,346.6	27,881,830.0	233,923.7	
단면 - 5	Girder	1,527.2	15,003.3	47,213,690.0	423,857.9	
단면 - 6	Girder	865.5	1,093.8	19,806,330.0	85,152.9	
단면 - 7	Girder	790.0	773.5	16,772,870.0	48,008.1	
단면 - 8	Girder	835.0	941.1	18,604,740.0	69,414.4	
단면 - 9	Girder	995.2	1,854.3	25,154,680.0	167,788.5	
단면 - 10	Girder	1,378.4	10,858.0	41,227,970.0	297,170.7	
단면 - 11	Girder	896.0	1,246.5	21,095,700.0	100,891.5	
단면 - 12	Brace	66.0	37.9	5,579.6	1,955.5	
단면 - 13	Brace	37.7	18.4	1,417.5	394.9	
단면 - 14	Stringer	131.2	46.1	144,911.2	4,393.8	
단면 - 15	Cross beam	339.0	147.9	3,246,643.0	7,216.4	

3) 강재개요도



라. 적용하중

1) 합성전 고정하중

① 바닥판 슬래브

바닥판 자중은 구조해석 시 slab높이 × 단위중량(γ_c=25.0kN/㎥) × 단위길이(m)를 적용하며 재하 한다.

② 강박스 거더, 가로보자중

각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 중량을 주부재 자중 할증률(=총중량/주부재중량)을 적용

2) 합성후 고정하중

① 아스팔트포장 하중 : 포장부위에 대하여 등분포 하중으로 고려

$$23.00\,kN/m^3 \times 0.050\,m = 1.1500\,kN/m^2$$

② 방호벽

- 방호벽 : 단위길이 당 자중(5.792 kN/m)을 해당 부위에 재하

3) 활하중

활하중은 DB-24하중과 DL-24하중을 적용하였다. 활하중에 대한 해석은 Midas/Civil 프로그램내에서 활하중에 대한 이동하중해석을 통하여 각 부재에 발생하는 최대부재력을 산출하였다.

○ 설계차선폭(w)

- 연석간 교폭(w_c) : 12.900 m

- 설계차선폭 : $w = \frac{w_c}{N}$

여기서, w_c : 연석간의 교폭, w : 설계차선폭,

N : 설계차선의 수 ($12.8 \le w_c < 16.4$ 일 때 4차선)

∴ w = 12.900 / 4 = 3.225m 이므로, 차선폭 3.0m(4차선) 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

따라서 DB하중 또는 DL하중을 설계차선폭과는 상관없이 표준차선폭 3.0m마다 차선을 침범하지 않는 범위 내에서 설계부재에 가장 불리한 응력을 발생시키도록 1~4차선에 대해 이동하중으로 재하한다. 5경간 부분의 충격계수가 가장 크므로 해당 값을 교량 충격 계수로 적용한다.

·충격계수(i) = $\frac{15}{40+L} \le 0.3$ S_5 (L=59.246m) : $i = \frac{15}{40+59.246} = 0.151$

4) 크리프와 건조수축

콘크리트는 시간이 경과함에 따라 재료의 물리적 특성이 바뀌는 시간 의존적 재료이다. 콘크리트의 압축강도는 시간이 경과함에 따라 점점 증가하며, 또한 시간경과에 따라 콘크리트의 거동에 중요한 영향을 미치는 현상으로 크리프와 건조수축이 있다. 따라서 구조해석시 이러한 콘크리트의 시간 의존적 재료특성을 고려하여야만 정확한 결과를 얻을 수 있다. 합성단면으로서 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 크리프계수와 건조수축률이 도로교 설계기준(크리프계수 Φ_1=2.0, 건조수축률(ε_{sh}) =27×10^{-5}, 크리프계수 $\Phi_2=2\Phi_1$ =4.0)에 제시되어 있으며, 콘크리트의 압축강도와 크리프 및 건조수축의 변형률을 구하는 여러 가지 식들이 제안되어 있으나 본 해석에서는 통상적으로 가장 많이 활용되고 있는 CEB-FIP 모델식을 적용하였다.

5) 온도변화

강교에서 온도변화의 범위는 가설시 온도를 기준으로 정하나 보통의 경우 온도변화의 범위는 -10℃에서 +50℃를 표준으로 한다. 바닥판과 거더부분의 온도차는 10℃를 적용한다.

-온도변화 범위: ±30℃ -상하연 온도차: 0℃ -선팽창계수: $\alpha = 1.2\times10^{-5}$

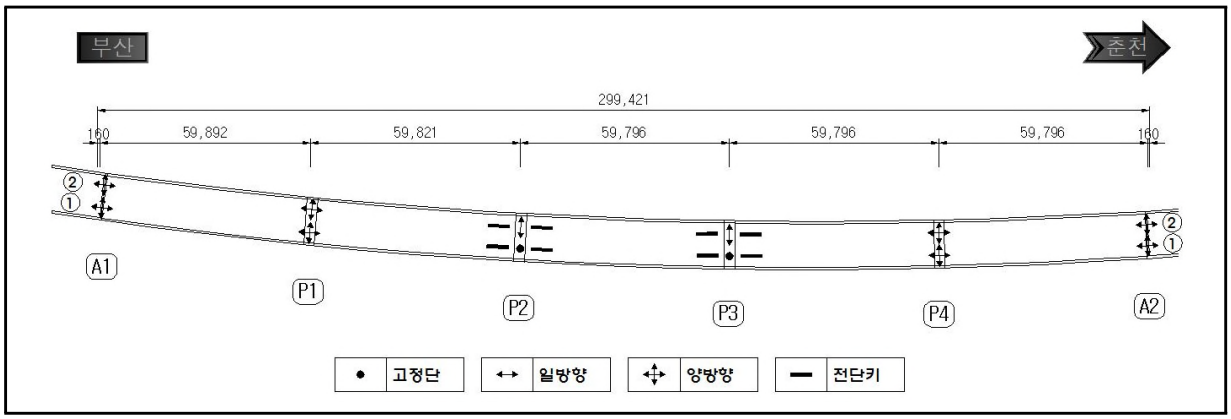
6) 하중조합

대상교량의 상부구조안전성검토를 위해 고려된 하중조합은 다음과 같다.

- COMB 1 : 고정하중(합성전+합성후)+활하중
- COMB 2 : 고정하중+활하중+크리프+건조수축
- COMB 3 : 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도변화(±10℃)

마. 경계조건

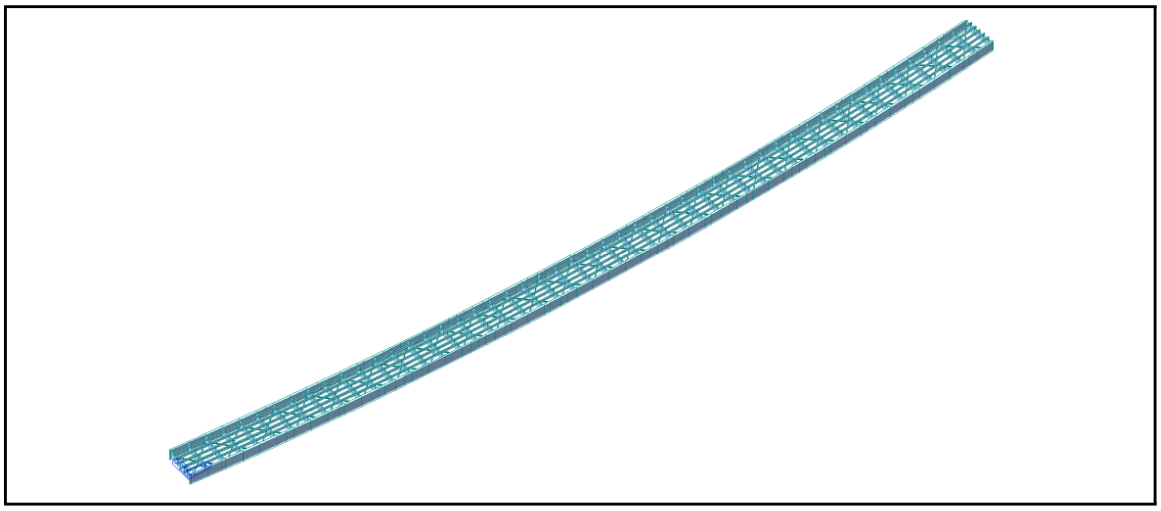
백운4교(춘천) 교량받침부의 경계조건은 【그림 5.16】와 같다.



【그림 5.16】 받침부 경계조건

바. 모델링

대상 교량의 구조해석을 위해서 범용구조해석 프로그램인 Midas/Civil을 사용하였다. 강거더는 Beam요소로, 가로보는 Beam요소를 사용하여 3차원으로 모델링하였으며 해석에 사용된 대상 교량의 구조해석모델은 아래와 같다.



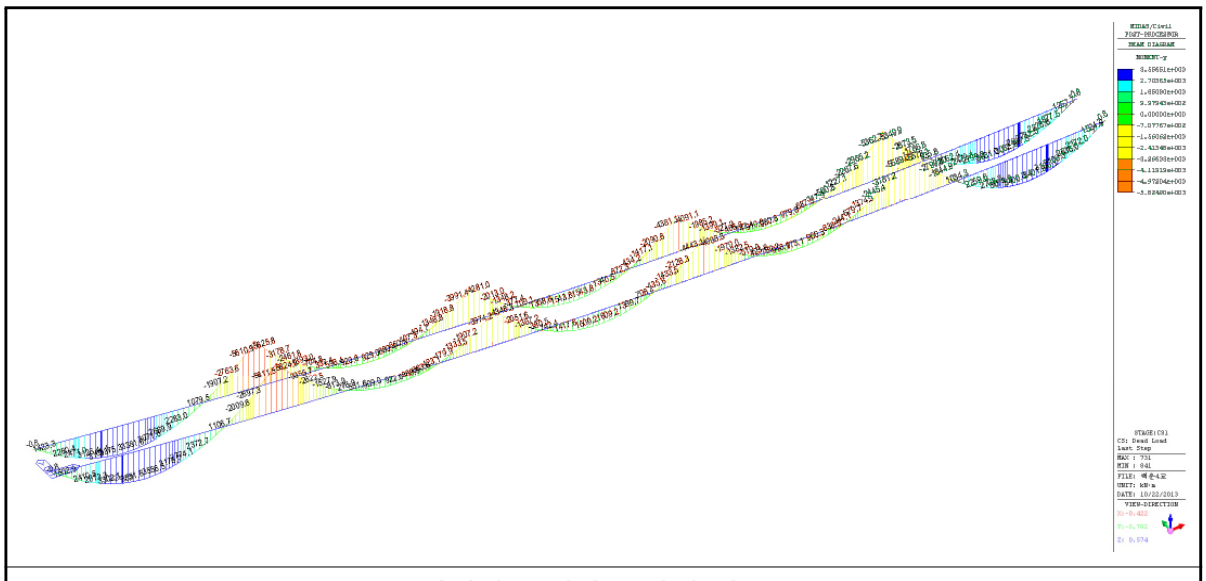
【그림 5.17】 구조해석 모델링

사. 거더 구조해석 결과 및 검토

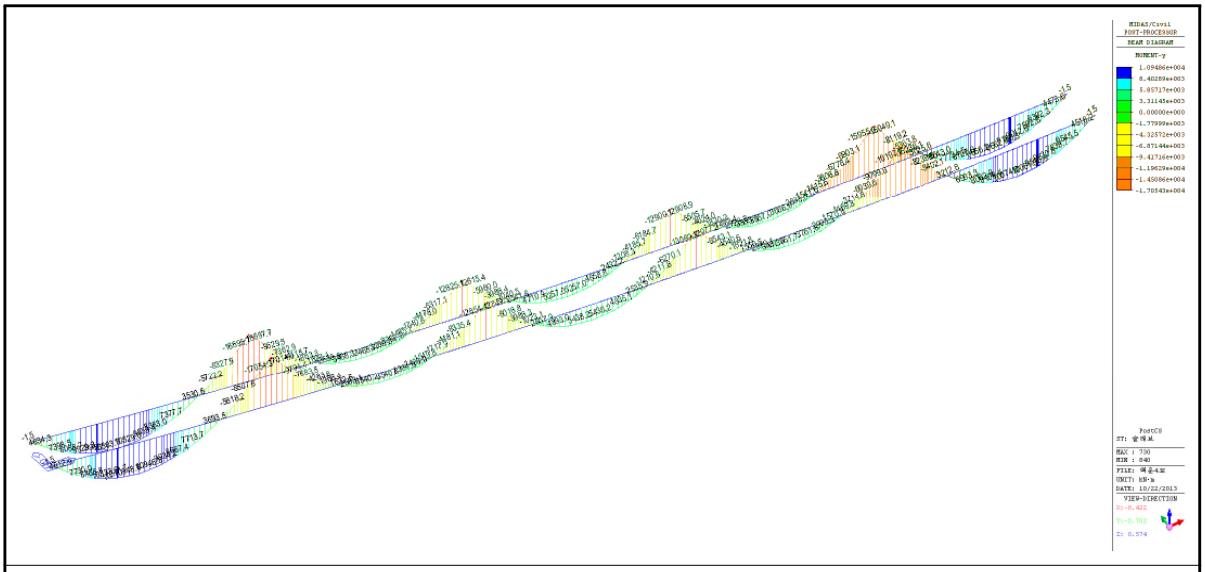
1) 단면력도

구조해석 및 내하력 평가에 필요한 부재력 및 처짐을 구하기 위하여 앞에서 제시한 구조해석모델에 하중조건을 재하하여 구조해석을 수행하였다. 고정하중, 활하중 등 각각의 하중경우에 대하여 발생한 부재의 전단력도와 휨모멘트도를 아래그림에 나타내었다.

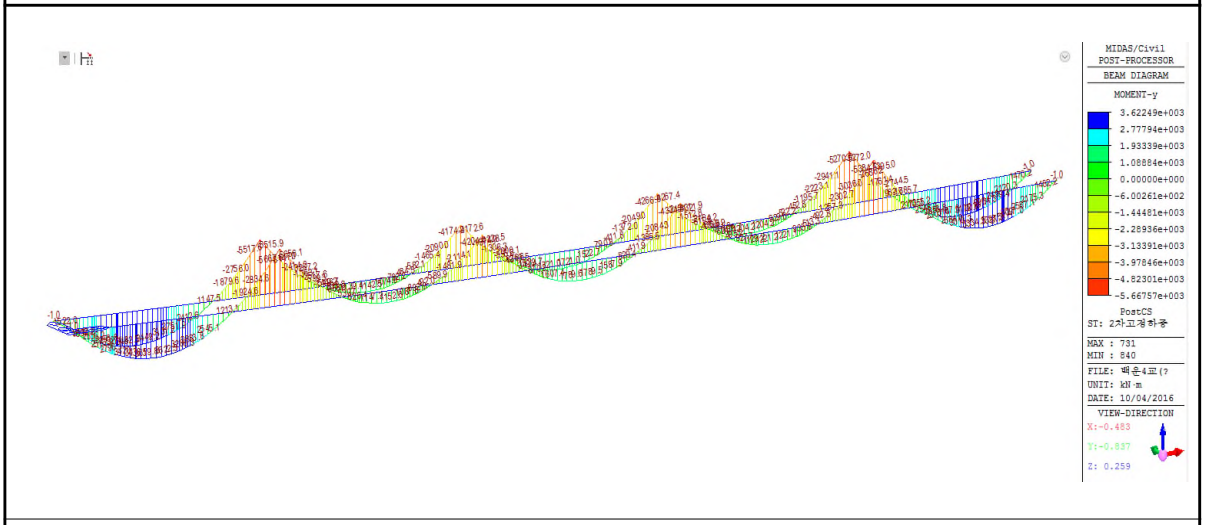
① 단면력도(휨모멘트)



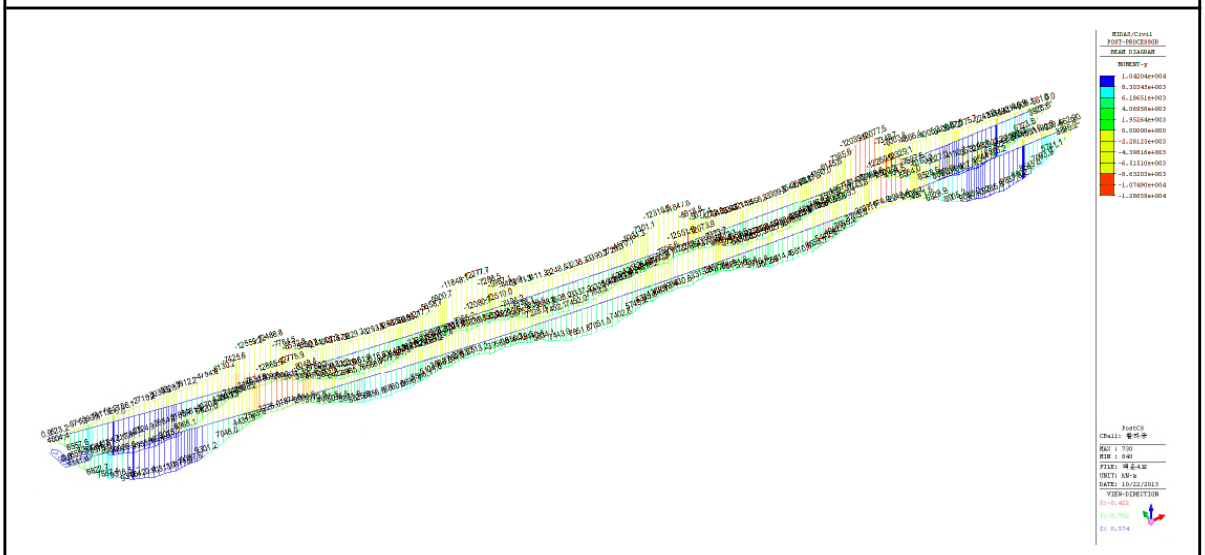
합성전 고정하중(강재 자중)



합성전 고정하중(바닥판 자중)

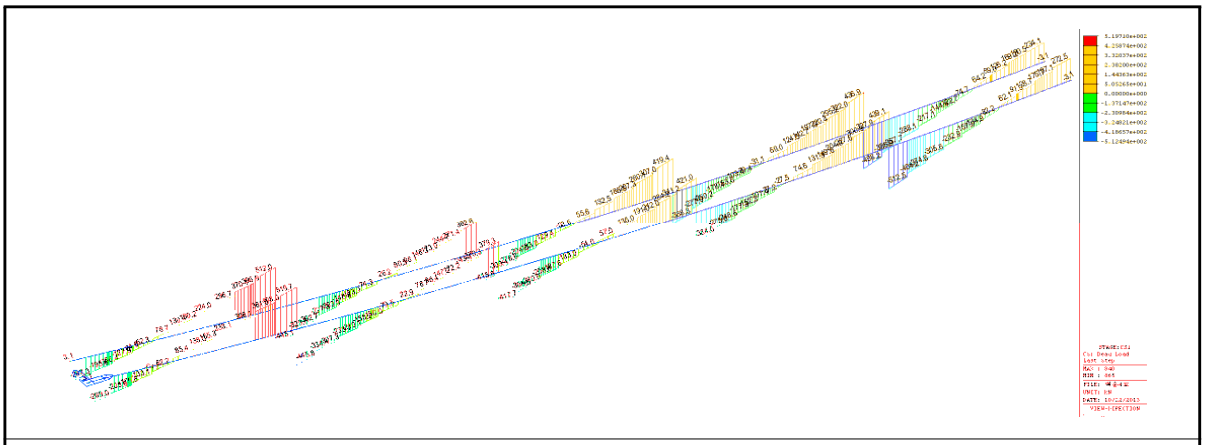


합성후 고정하중

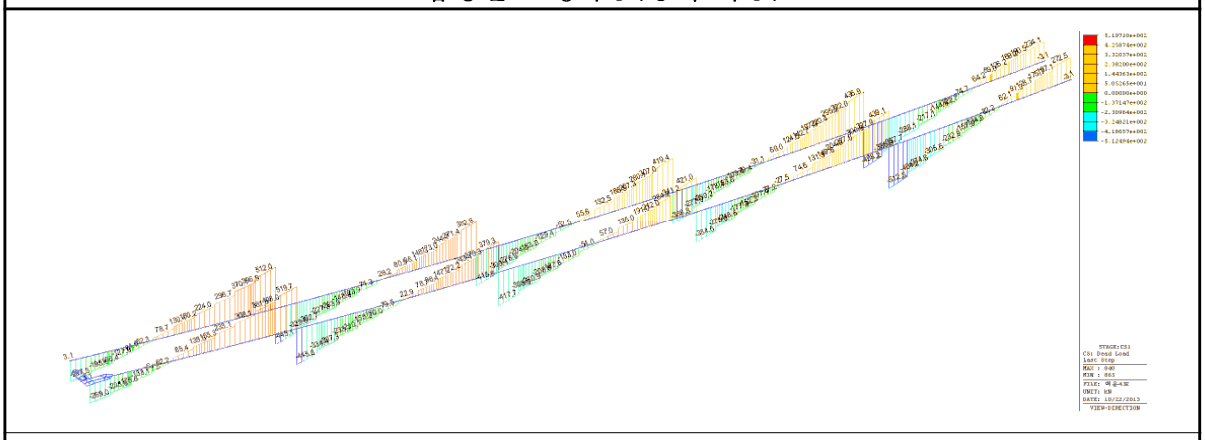


활하중(충격 포함)

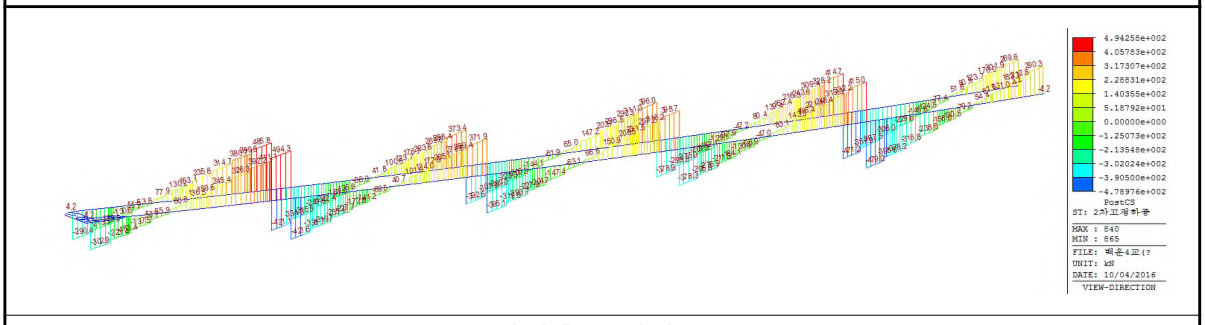
② 단면력도(전단력)



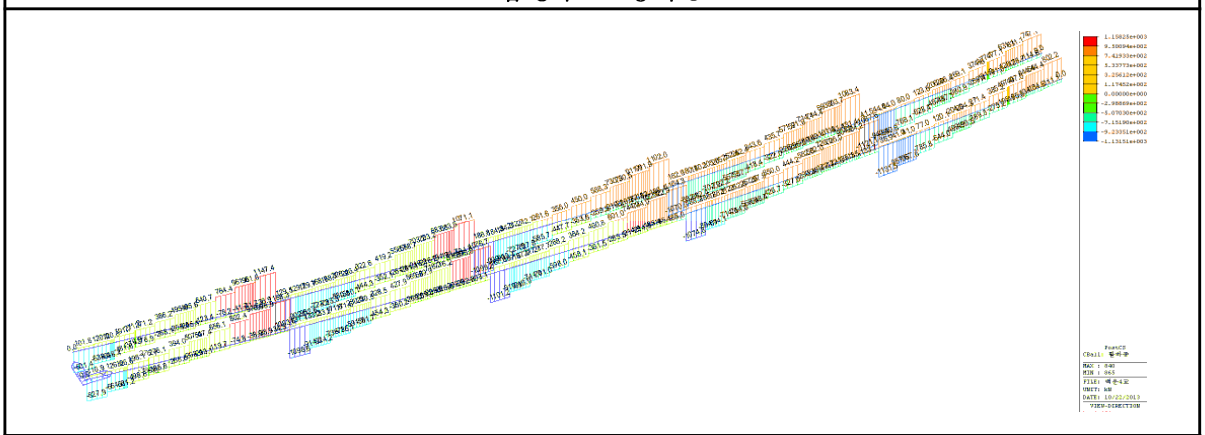
합성전 고정하중(강재 자중)



합성전 고정하중(바닥판 자중)



합성후 고정하중



합성후 고정하중

2) 부재 단면력

【표 5.59】 단면력 집계

구 분		합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
정모멘트부	단면 2	13,740.4	3,622.5	10,313.1	27,676.00
	단면 3	4,185.8	1,152.6	6,860.0	12,198.40
	단면 7	6,429.7	1,789.6	7,651.8	15,871.10
부모멘트부	단면 11	12,923.1	3,334.5	9,786.8	26,044.40
	단면 5	17,807.5	4,174.2	12,551.5	34,533.20
	단면 10	22,032.8	5,517.6	12,329.1	39,879.50

3) 응력검토

① 단면별 응력 검토결과

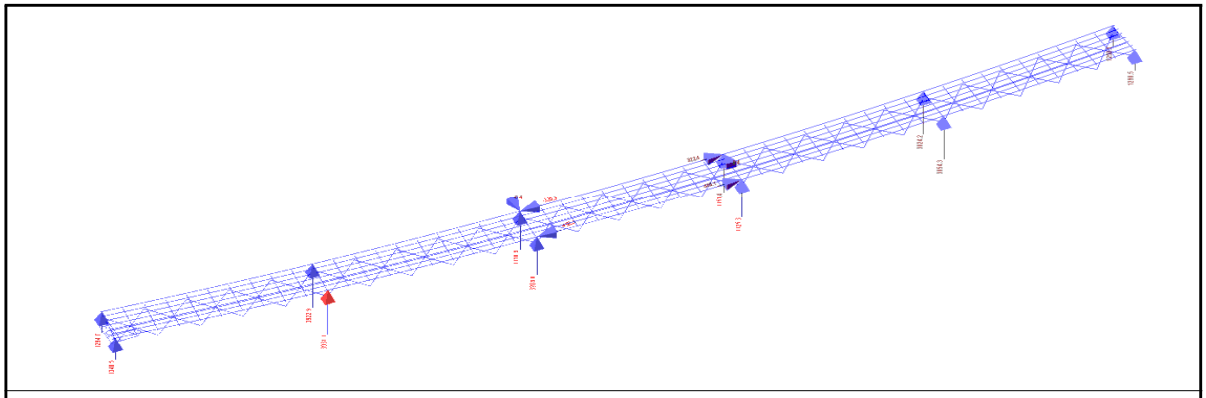
구분		상부 Flange 휨응력(MPa)				하부 Flange 휨응력(MPa)				허용응력 (MPa)	비고
		고정하중		활하중	합계	고정하중		활하중	합계		
		합성전	합성후			합성전	합성후				
정모멘트	2	89.5	4.4	13.0	106.9	85.8	17.9	51.0	154.7	상연(210) 하연(210)	O.K
	3	52.7	1.7	10.1	64.5	49.0	9.5	56.6	115.1	상연(210) 하연(210)	O.K
	7	55.5	2.3	4.9	62.7	68.1	12.6	59.3	140.0	상연(210) 하연(210)	O.K
	11	84.2	3.9	12.2	100.3	104.5	16.5	48.5	169.5	상연(210) 하연(210)	O.K
부모멘트	5	82.7	4.4	15.1	102.2	69.6	14.3	41.1	125.0	상연(195) 하연(184.5)	O.K
	10	100.6	5.8	12.9	119.3	87.8	18.9	42.3	149.0	상연(200) 하연(181.4)	O.K

② 단면별 합성응력 검토결과

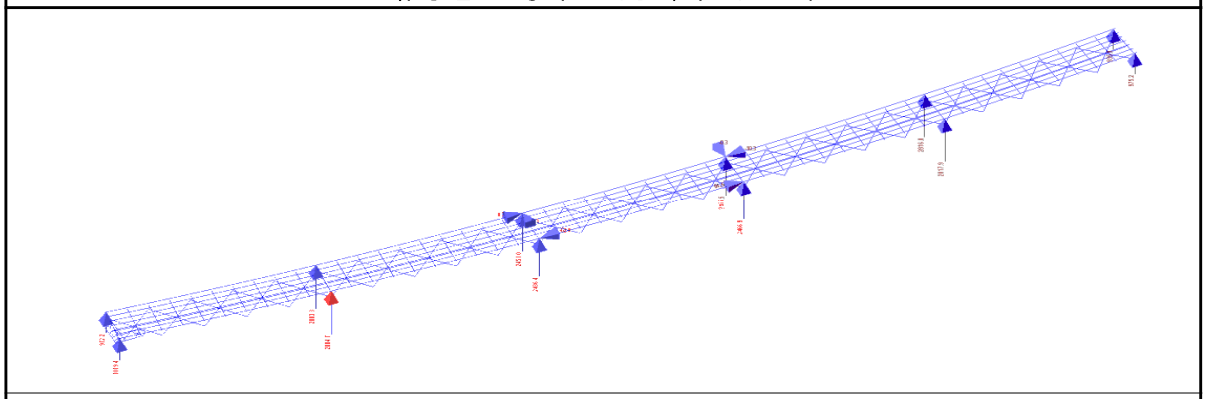
구분 (단면)	휨응력검토(MPa)				전단응력검토(MPa)		합성응력검토		비고
	상부플랜지		하부플랜지		복부판		상연	하연	
	작용응력	허용응력	작용응력	허용응력	작용응력	허용응력			
단면2	106.9	210.0	154.7	210.0	4.843	120	0.197	0.544	OK
단면3	64.5	210.0	115.1	210.0	7.641	120	0.075	0.304	OK
단면7	62.7	210.0	140.0	210.0	8.229	120	0.058	0.449	OK
단면11	100.3	210.0	169.5	210.0	7.932	120	0.139	0.656	OK
단면5	102.2	195.0	125.0	184.5	32.363	120	0.347	0.532	OK
단면10	119.3	200.0	149.0	181.4	33.491	120	0.433	0.752	OK

4) 받침 검토

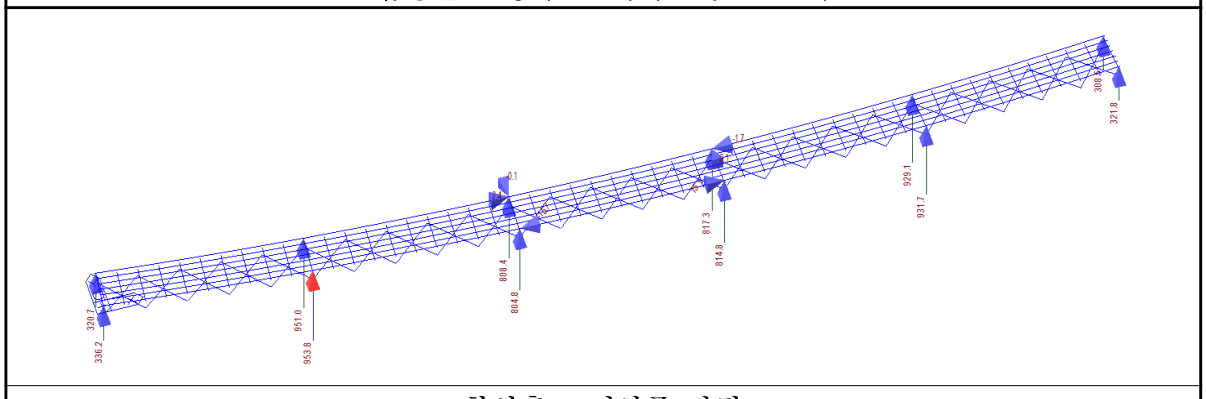
① 받침반력도



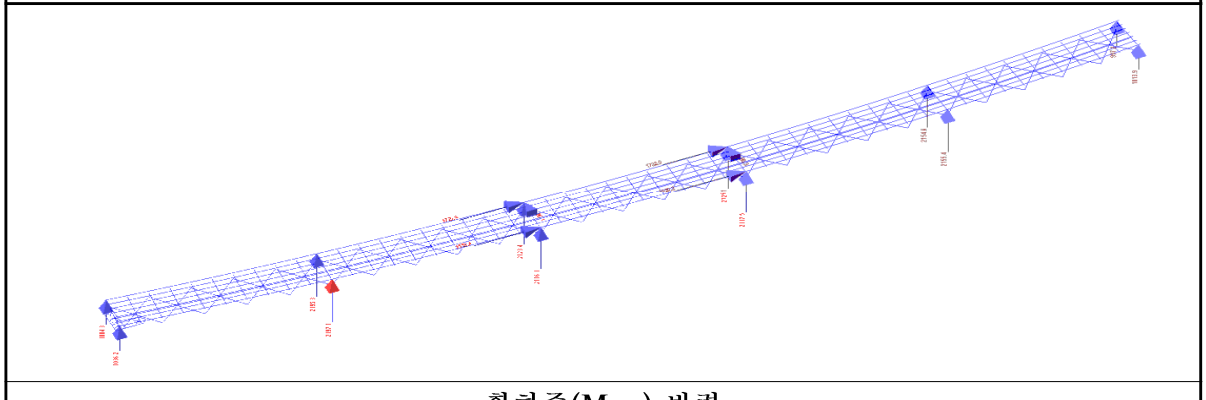
합성전 고정하중 (강재자중) 반력



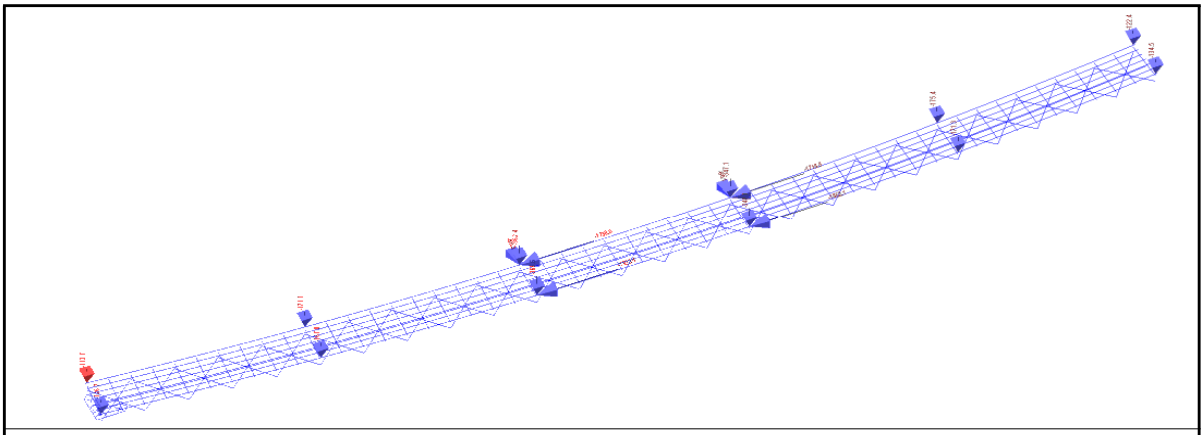
합성전 고정하중 (바닥판자중) 반력



합성후 고정하중 반력



활하중(Max) 반력



활하중(Min) 반력

② 시점부 교대 반력 집계 (단위;kN)

위치	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하 중		합 계	
	Steel	Concrete		Max	Min	Max	Min
Br01	326.967	972.161	320.725	1,004.288	-113.709	2,624.141	1,506.144
Br02	339.587	1,019.436	336.185	1,036.172	-126.741	2,731.380	1,568.467

③ 교각부 반력 집계 (단위;kN)

위 치		합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하 중		합 계	
		Steel	Concrete		Max	Min	Max	Min
P1	Br01	1,028.886	2,883.314	950.955	2,195.302	-171.053	7,058.457	4,692.102
	Br02	1,029.365	2,884.657	953.840	2,197.091	-167.045	7,064.953	4,700.817
P2	Br01	863.070	2,450.964	808.360	2,123.419	-362.394	6,245.813	3,760.000
	Br02	858.806	2,436.371	804.819	2,116.141	-366.626	6,216.137	3,733.370
P3	Br01	872.873	2,477.512	817.316	2,125.103	-347.073	6,292.804	3,820.628
	Br02	867.784	2,466.910	814.757	2,117.465	-348.144	6,266.916	3,801.307
P4	Br01	1,006.479	2,816.759	929.095	2,154.633	-175.418	6,906.966	4,576.915
	Br02	1,015.556	2,817.949	931.700	2,155.400	-171.302	6,920.605	4,593.903

④ 종점부 교대 반력 집계 (단위;kN)

위치	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하 중		합 계	
	Steel	Concrete		Max	Min	Max	Min
G1	320.504	935.854	308.844	997.190	-122.366	2,562.392	1,442.836
G2	329.450	975.245	321.779	1,013.928	-134.463	2,640.402	1,492.011

⑤ 반력 검토 결과

지점부에 대한 반력 검토 결과 부반력은 발생하지 않으며, 교대부는 3,500 kN, 교각부는 7,500 kN 용량을 모두 만족하는 것으로 검토되었다.

아. 바닥판의 안전성 검토

바닥판에 대한 안전성 검토는 강도설계법을 이용하여 안정성을 평가하였으며, 바닥판 철근 배근은 설계도서를 참조하여 적용하였으며 금회 정밀안전진단 시 확인결과, 방호벽은 설계도면의 제원과 실측 제원이 상이한 상태로 공용 중 단면증설이 된 것으로 판단되며, 구조계산 시 실측치를 적용하였다. 적용한 바닥판의 철근과 콘크리트 물성치는 아래의 표와 같다.

【표 5.60】 콘크리트와 철근의 물성치

콘크리트 설계강도	철근의 항복강도	철근배근(중간 바닥판부)
27.0 MPa	400 MPa (SD400)	H16@125

1) 바닥판 두께 검토

바닥판의 최소두께는 도로교설계기준(2010)에 의하여 검토하였다.

【표 5.61】 차도부분의 바닥판의 최소두께(mm)

판의 구분	바닥판 지간의 방향	
	차량 진행방향에 직각	차량 진행방향 평행
단 순 판	40L + 130	65L + 150
연 속 판	30L + 130	50L + 150
캔틸레버판	0 < L ≤ 0.25 280L + 180 L > 0.25 80L + 230	240L + 150

① 캔틸레버부

$h_{min} = (280 \cdot X + 180) = (280 \times 0.130 + 180) = 216.4\,mm < 220.0\,mm \quad \therefore h_{req} = 220.0\,mm$

$h_{use} = 300.0\,mm > h_{req} = 220.0\,mm \quad \therefore$ O.K

② 중앙부

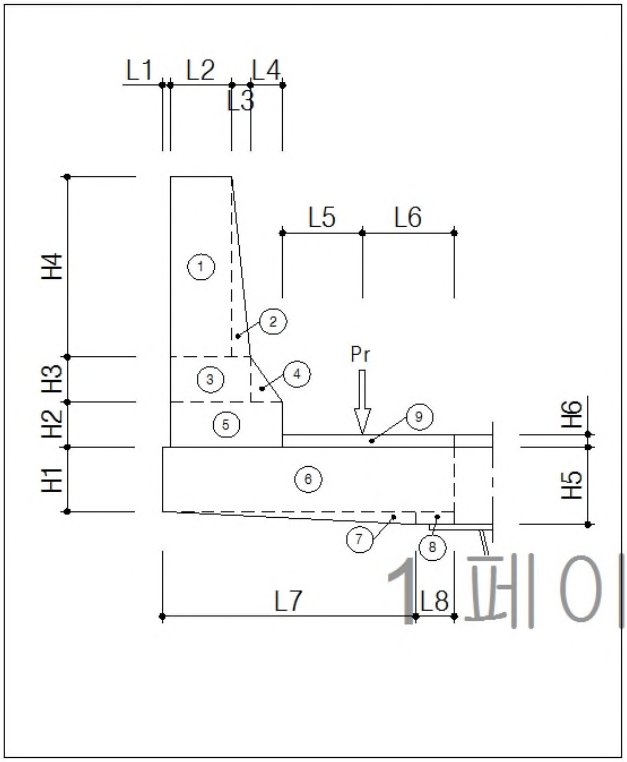
$h_{min} = (30 \cdot L + 130) = (30 \times 1.958 + 130) = 188.7\,mm < 220.0\,mm \quad \therefore h_{req} = 220.0\,mm$

$h_{use} = 200.0\,mm < h_{req} = 220.0\,mm \quad \therefore$ 최소두께기준부족

2) 캔틸레버부

① 고정하중

NO.	작용하중(kN)			작용거리 (m)	모멘트 (kN·m)	비고
①	0.230 × 0.700 × 25.000	=	4.025	0.735	2.958	
②	1/2 × 0.070 × 0.700 × 25.000	=	0.613	0.597	0.365	
③	0.300 × 0.175 × 25.000	=	1.313	0.700	0.919	
④	1/2 × 0.120 × 0.175 × 25.000	=	0.263	0.510	0.134	
⑤	0.420 × 0.205 × 25.000	=	2.153	0.640	1.378	
⑥	0.880 × 0.200 × 25.000	=	4.400	0.440	1.936	
⑦	1/2 × 0.705 × 0.100 × 25.000	=	0.881	0.410	0.361	
⑧	0.175 × 0.100 × 25.000	=	0.438	0.088	0.038	
⑨	0.430 × 0.040 × 23.000	=	0.396	0.215	0.085	
계			14.479		8.175	



H1	0.200 m	L1	0.030 m
H2	0.205 m	L2	0.230 m
H3	0.175 m	L3	0.070 m
H4	0.700 m	L4	0.120 m
H5	0.300 m	L5	0.300 m
H6	0.040 m	L6	0.130 m
H7	0.000 m	L7	0.705 m
R	∞	L8	0.175 m
V	100.000 km/h	L9	0.000 m

콘크리트 단위중량	25.000 kN/m³
무근콘크리트 단위중량	23.500 kN/m³
포장 단위중량	23.000 kN/m³
DB 1후륜 하중 (Pr)	96.000 kN
탱크 총 중량	
탱크궤도 길이	
탱크하중 작용점(L5)	
트레일러 1후륜 하중	
트레일러하중 작용점(L5)	

1페이지

② 활하중

• 윤하중 분포폭

$E = 0.8X + 1.14 = 0.8 \times 0.130 + 1.14 = 1.244m$

여기서, $X = 0.130m$

• 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.130} = 0.374 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

• 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.130 \times (1+0.300)}{1.280} = 13.042 kN \cdot m/m$$

③ 충돌하중

㉠ 수평충돌력 H가 도면상 1.0m 높이에 교축을 따라 1m마다 작용시

$H = (V/60)2 \times 7500 + 2500 = 32.500$ kN/m

작용높이 $h = 1.190$ m

$Mco = 23.333 \times 1.190 = 27.767$ kN·m/m

㉡ 방호벽 상단에 횡방향으로 H = 10 kN/m의 수평하중 재하시

작용높이 $h = 1.230$ m

$Mco = 10.000 \times 1.230 = 12.300$ kN·m/m

㉢ 곡선반경 R >200m 이므로 ①과 ②에 의해 계산된 값 중에서 큰 값을 적용

$M_{co} = 27.767 kN \cdot m/m$

④ 풍하중

$P_w = 3.0 kN/m^2 \times 1.040m = 3.120 kN/m$

$M_w = 3.120 \times (1.040/2 + 0.04 + 0.30/2) = 2.215 kN \cdot m/m$

⑤ 작용 모멘트

구분	고정하중(M_D)	활하중(M_{L+i})	충돌하중(M_{CO})	풍하중(M_W)
모멘트	8.175	13.042	27.767	2.215

⑥ 하중조합

CASE	단위	M_D	M_{L+i}	M_{CO}	M_W	M_{CF}	비고
CASE1	kN·m	1.30	2.15			1.30	
CASE2	kN·m	1.30	1.30	1.30		1.30	차량충돌하중
CASE3	kN·m	1.30	1.30		0.65	1.30	활하중재하시
CASE4	kN·m	1.20		1.20	1.20		차량충돌하중
CASE5	kN·m	1.30			1.30		
CASE6	kN·m	1.00	1.00		0.30	0.00	사용모멘트
CASE7	kN·m	1.00	1.00	0.00		0.00	차량충돌사용모멘트

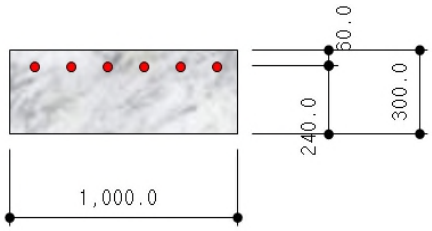
⑦ 계산 적용모멘트 산정

CASE	단위	M_D	M_{L+i}	M_{CO}	M_W	M_{CF}	소계
CASE1	kN·m	10.627	28.040			0.000	38.667
CASE2	kN·m	10.627	16.954	36.097		0.000	63.678
CASE3	kN·m	10.627	16.954		1.440	0.000	29.021
CASE4	kN·m	9.810		33.320	2.658		45.788
CASE5	kN·m	10.627			2.880		13.507
최대계수모멘트				63.678			
CASE6	kN·m	8.175	13.042		0.665	0.000	21.881
CASE7	kN·m	8.175	13.042	0.000		0.000	21.217
최대사용모멘트				21.881			

⑧ 단면검토

• 검토조건

f_{ck}	= 27.0	MPa	f_y	= 400.0	MPa
M_u	= 63.7	kN·m	M	= 21.9	kN·m
b	= 1,000.0	mm	h	= 300.0	mm
β	= 0.85		d'	= 60.0	mm
$\varnothing_f$	= 0.85		d	= 240.0	mm



▪ 강도감소계수(Øf) 산정

T = As×fy = 1,588.8 × 400.0 = 635,520.0

C = 0.85×fck×a×b = 0.85 × 27.0 × a × 1,000.0 = 22,950.0 a

T = C 이므로, a = 27.692mm

c = 27.692 / β = 27.692 / 0.85

εy = fy/Es = 400.0/200,000.0 = 0.0020

εt = 0.003 × (dt - c) / c = 0.003 × (240.0 - 32.578) / 32.578 = 0.0191

εt = 0.0191 ≥ 0.0050 이므로 인장지배 단면이며, Øf = 0.85를 적용한다.

▪ 필요 철근량 산정

a = As×fy/(β×fck×b) = 0.017429 As---------- ①

Mu = Φf×As×fy×(d-a/2) = 81,600.0 As-170.0 As·a ---------- ②

식①을 식②에 대입하여 이차방정식으로 As를 구한다.

63,678,125.4 = -2.962963 As2 + 81,600.0 As

∴As eq = 803.831 mm^2

▪ 사용 철근량 산정

∴As use = H16@250.0 = 794.4 mm^2

H16@250.0 = 794.4 mm^2

Σ = 1,588.8 mm^2 [사용률=1.977] ---------- O.K

▪ 철근량 검토

Asmin = 1.4/fy × b × d = 840.0 mm^2

= 0.25√(fck)/fy×b×d = 779.4 mm^2

= 수축 온도 철근량 = 600.0 mm^2

∴ As min = 840.0 mm^2

Asmax = 0.714 × ρb × b × d = 5,014.2 mm^2

∴ As max ≥ As use ≥ As min ---------- O.K

▪ 휨에 대한 검토

a = As×fy / (β×fck×b) = 27.692 mm

ΦMn = 0.85×1,588.8×400.0×(240.0-a/2) = 122.167 kN·m

∴ ΦMn ≥ Mu [사용률 = 1.919] ---------- O.K

3) 중앙부

① 고정하중

철근콘크리트 : 0.250m × 25.0kN/m^3 = 6.250kN/m^2

아스팔트포장 : 0.080m × 23.0kN/m^3 = 1.840kN/m^2

Σw_d = 8.090kN/m^2

$$M_d = \frac{\Sigma w_d L^2}{10} = \frac{8.090 \times 1.958^2}{10} = 2.358 kN \cdot m/m$$

여기서, 계산지간(L) = 1.958m

② 활하중

• 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 1.958} = 0.358 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300 \text{ 적용}$$

• 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{(L+0.6)P_r}{9.6}(1+i) = \frac{(1.958+0.6)\times 96}{9.6} \times (1 + 0.300) = 33.254\text{kN} \cdot \text{m/m}$$

연속 바닥판이므로, $M_{\ell+i} = 0.8 \times 33.254 = 26.603\text{kN} \cdot \text{m/m}$

③ 계수휨모멘트

■ $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} = 60.262\ \text{kN·m/m}$

④ 단면검토

• 검토조건

설계기준강도(f_{ck}) = 27.0MPa , 인장철근 항복강도(f_y) = 400.0MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 200mm

철근 피복두께(d_c) = 40mm , 유효깊이(d) = 210mm

사용철근량(A_s) = H16@125 = 1588.8㎟

• 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{1588.8 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 27.692\text{mm}$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\}$$

$$= 0.85 \times 1588.8 \times 400.0 \times \left(210.0 - \frac{27.692}{2}\right) = 105.961\text{kN} \cdot \text{m}$$

• 휨모멘트 검토

$\Phi Mn = 106.000\text{kN} \cdot \text{m} \geq Mu = 60.262\text{kN} \cdot \text{m}$ ∴ O.K

자. 검토결과

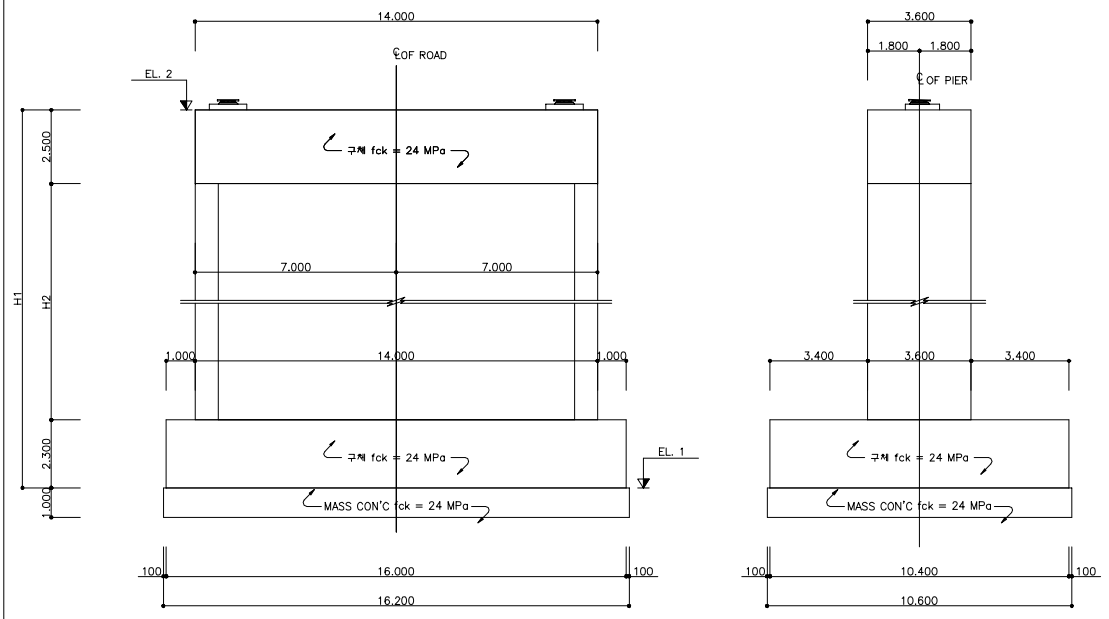
1) 설계하중에 의한 거더의 응력은 각 단면별로 검토한 결과, 거더에 대한 발생응력은 허용응력 이내로 안전성을 확보하고 있다.

2) 현행 도로교설계기준(2010)에 의하여 강도설계법으로 바닥판에 대한 안전성을 검토한 결과, 바닥판은 설계강도가 계수모멘트이상인 것으로 나타나 안전성을 확보하고 있는 것으로 검토되었으나 중앙부의 바닥판은 최소두께가 부족한 것으로 검토되었다.

5.3.3 하부구조 안전성검토

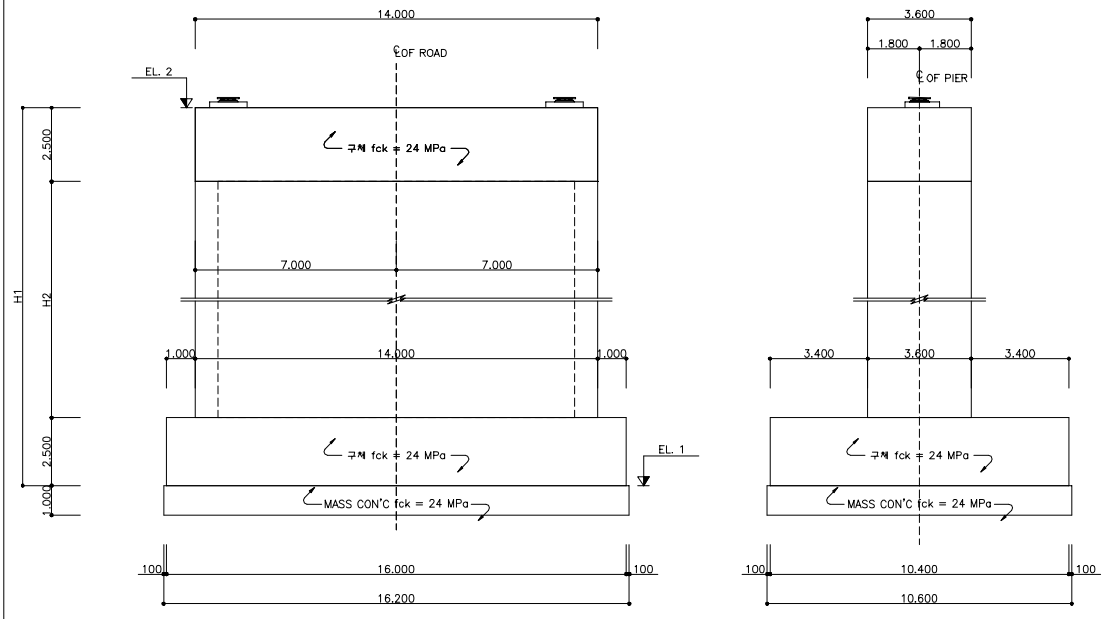
가. 검토 단면

P1, P4



구 분	P1	P4	구분	P1	P4
H1	39.304	36.809	EL-1	256.536	217.191
H2	34.504	32.009	EL-2	295.840	254.000

P2, P3

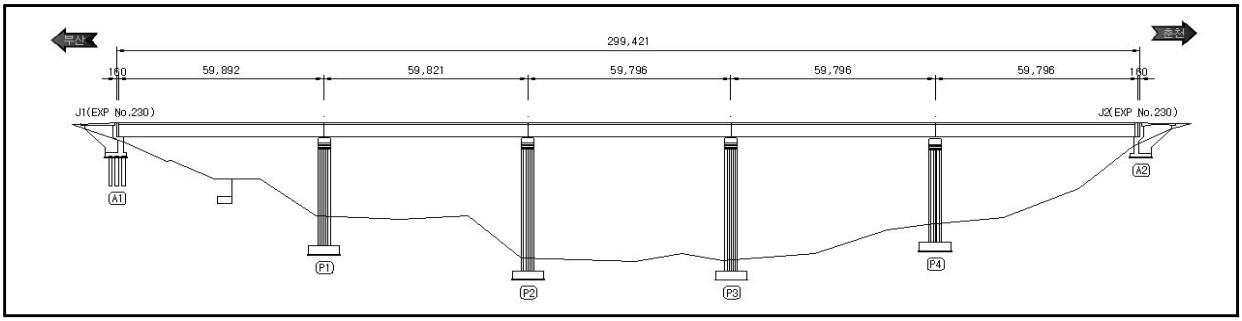


구 분	P1	P4	구분	P1	P4
H1	39.304	36.809	EL-1	256.536	217.191
H2	34.504	32.009	EL-2	295.840	254.000

나. 검토 조건

- 단면형상 : 중공 사각형
- 기초형식 : 직접기초
- 콘크리트 설계기준강도(f_{ck}) : 24.0 MPa
- 철근 설계기준항복강도(f_y) : 300.0 MPa
- 철근탄성계수(Es) : 200000.0 MPa
- 콘크리트탄성계수(Ec) : 25811.0 MPa

다. 하중계산



1) 상부반력

구 분		Br01	Br02	계	비 고
P1	고정하중	4,917.100	4,928.269	9,845.369	
	활 하 중	2,195.302	2,197.091	4,392.393	
P2	고정하중	3,917.173	3,899.814	7,816.987	
	활 하 중	2,123.419	2,116.141	4,239.560	
P3	고정하중	3,979.466	3,972.430	7,951.896	
	활 하 중	2,125.103	2,117.465	4,242.568	
P4	고정하중	4,799.303	4,812.353	9,611.656	
	활 하 중	2,154.633	2,155.400	4,310.033	

※ 교각자중은 프로그램에서 자동재하

2) 구조물에 작용하는 풍하중(P1~P4) [도로설계기준.해설, P58, 8)]

① 상부구조에 작용하는 풍하중(교축직각방향)

구 분		산출근거		하중	단위	비 고
P1	작용위치	h =	5.320/2 + 0.400 + 1.250	4.310	m	
	작용모멘트	My =	1,109.620 × 4.310	4,782.46	kN.m	
P2	작용위치	h =	5.320/2 + 0.400 + 1.250	4.310	m	
	작용모멘트	My =	1,108.730 × 4.310	4,778.63	kN.m	
P3	작용위치	h =	5.320/2 + 0.400 + 1.250	4.310	m	
	작용모멘트	My =	1,108.498 × 4.310	4,777.63	kN.m	
P4	작용위치	h =	5.320/2 + 0.400 + 1.250	4.310	m	
	작용모멘트	My =	1,108.498 × 4.310	4,777.63	kN.m	

② 하부구조에 작용하는 풍하중(교축직각방향)

구 분		산출근거		하중	단위	비고
P1	두부보	W'copping =	3.000 × 2.500 × 3.600	27.000	kN	
	기 둥	W'column =	3.000 × 3.600	10.800	kN.m	
P2	두부보	W'copping =	3.000 × 2.500 × 3.600	27.000	kN	
	기 둥	W'column =	3.000 × 3.600	10.800	kN.m	
P3	두부보	W'copping =	3.000 × 2.500 × 3.600	27.000	kN	
	기 둥	W'column =	3.000 × 3.600	10.800	kN.m	
P4	두부보	W'copping =	3.000 × 2.500 × 3.600	27.000	kN	
	기 둥	W'column =	3.000 × 3.600	10.800	kN.m	

※ 활하중 재하시에는 계산된 하중의 1/2을 적용 한다.

③ 하부구조에 작용하는 풍하중(교축방향)

구 분		산출근거		하중	단위	비 고
P1	두부보	W'copping =	코핑 높이에 따라 재하	105.000	kN	
	기 둥	W'column =	3.000 × 14.000	42.000	kN/m	
P2	두부보	W'copping =	코핑 높이에 따라 재하	105.000	kN	
	기 둥	W'column =	3.000 × 14.000	42.000	kN.m	
P3	두부보	W'copping =	코핑 높이에 따라 재하	105.000	kN	
	기 둥	W'column =	3.000 × 14.000	42.000	kN.m	
P4	두부보	W'copping =	코핑 높이에 따라 재하	105.000	kN	
	기 둥	W'column =	3.000 × 14.000	42.000	kN.m	

※ 활하중 재하시에는 계산된 하중의 1/2을 적용 한다.

④ 활하중에 작용하는 풍하중[도로설계기준, P19]

구 분		산출근거		하중	단위	비 고
P1	작용위치	h =	4.320 + 1.500 + 1.250	7.070	m	
	작용모멘트	My =	89.785 × 7.070	634.778	kN.m	
P2	작용위치	h =	4.320 + 1.500 + 1.250	7.070	m	
	작용모멘트	My =	89.713 × 7.070	634.269	kN.m	
P3	작용위치	h =	4.320 + 1.500 + 1.250	7.070	m	
	작용모멘트	My =	89.694 × 7.070	634.137	kN.m	
P4	작용위치	h =	4.320 + 1.500 + 1.250	7.070	m	
	작용모멘트	My =	89.694 × 7.070	634.137	kN.m	

※ 활하중에 재하되는 풍하중에 대하여는 교면상 1.5m 위치에서 1500 N/m의 풍하중이 재하되는 것으로 한다.

3) 온도하중

① 교축직각방향 온도하중 : 연평균 온도변화차 ΔT = 10℃ 적용

② 교축방향 온도하중 : 교각의 종방향 변위를 유발하는 수평력과 교량받침에 의한 수평력 중 작은 값을 적용한다.

구 분		산출근거		하중	단위	비 고
P1	작용모멘트	Mh =	492.268 × (0.400 + 2.500/2)	812.243	kN.m	
P4	작용모멘트	Mh =	480.583 × (0.400 + 2.500/2)	792.962	kN.m	

※ 교량받침마찰계수 = 0.050

라. 기둥부 단면검토

1) P1

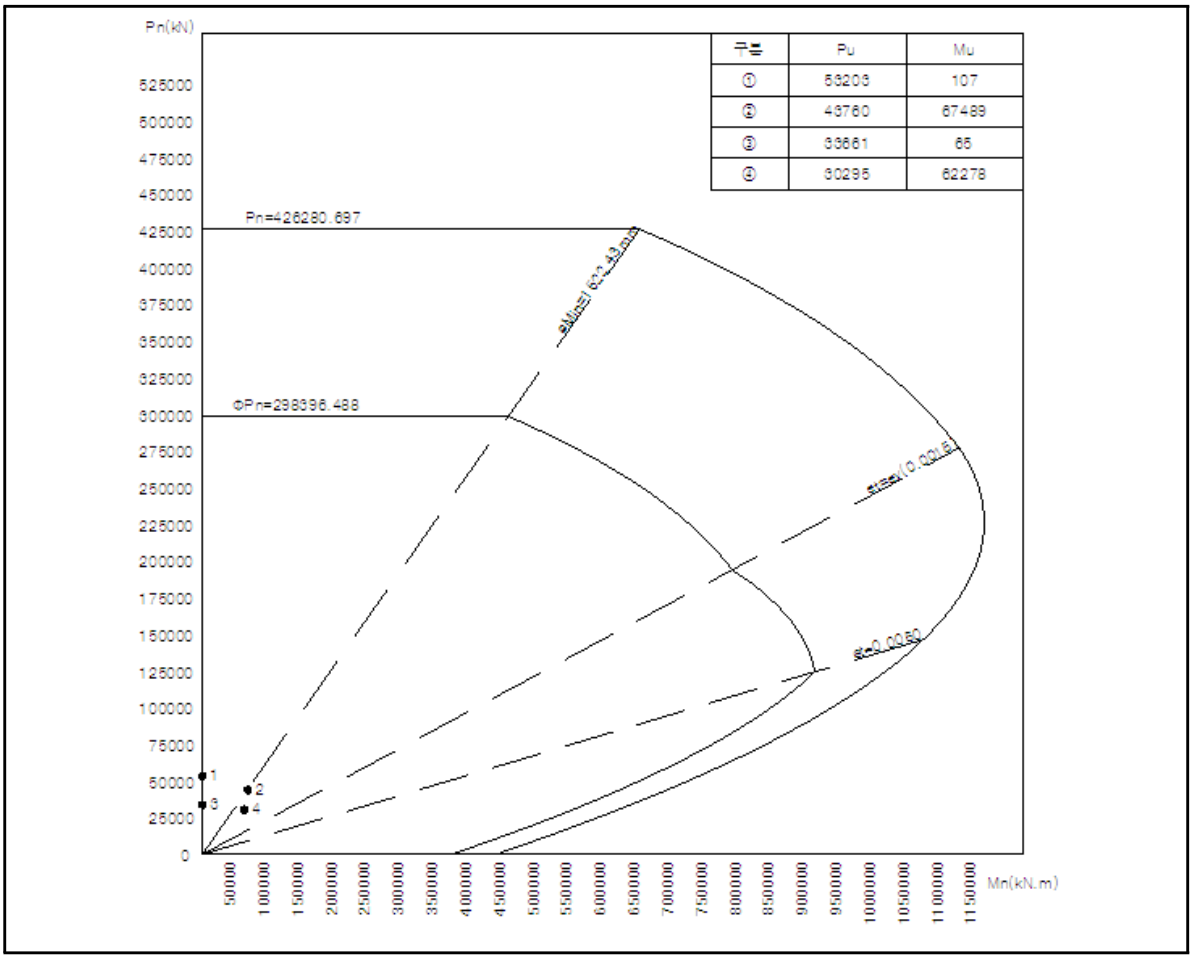
① 기둥 검토를 위한 최대 부재력

구 분	Pe(kN)	Pu(kN)	M1(kN.m)	M2(kN.m)	V(kN)	Δ(m)	비 고
ULO01	-47,660.881	-56,782.406	149.506	149.506	0.000	-0.00001	축력최대
ULO04	-47,660.881	-47,660.881	8,002.557	84,053.737	-1,981.169	0.00537	모멘트최대
ULO22	-36,662.216	-36,662.216	41.184	41.184	0.000	0.00000	탄성최대
UEO26	-32,995.994	-32,995.994	7,399.331	77,600.420	-1,828.771	0.00496	편심최대

② 기둥 검토 결과

구 분	축방향력, 휨				
	ΦPn	Pu	Mu	안전도	비 고
축력최대	298,396.490	56,782.406	149.506	5.255	O.K
모멘트최대	331,430.133	47,660.881	84,053.737	6.954	O.K
탄성최대	344,069.422	36,662.216	41,184	9.385	O.K
편심최대	301,154.573	32,995.994	77,600.420	9.127	O.K

③ P-M 상관도



2) P2

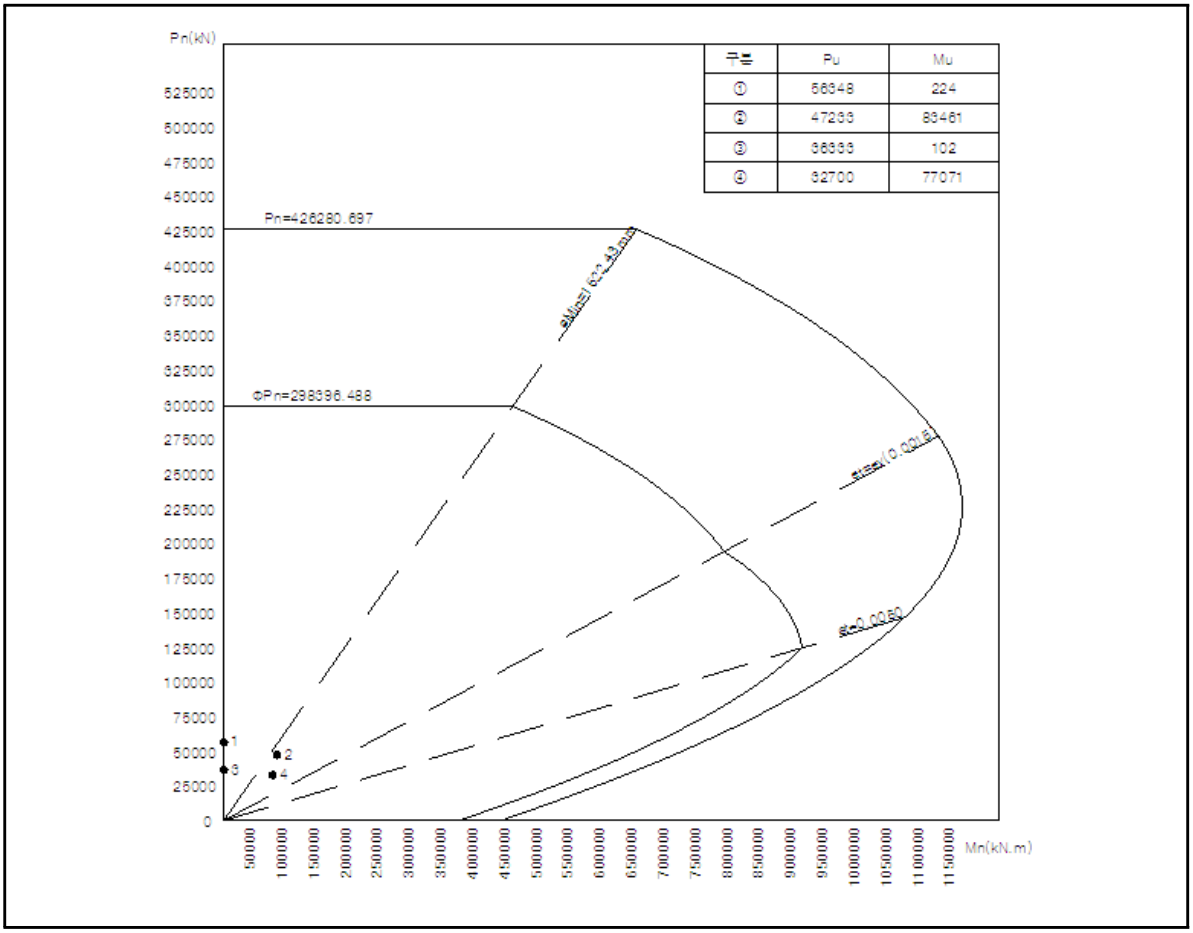
① 기둥 검토를 위한 최대 부재력

구 분	Pe(kN)	Pu(kN)	M1(kN.m)	M2(kN.m)	V(kN)	Δ(m)	비 고
ULO01	-47,233.014	-56,348.068	223.587	223.587	0.000	-0.00002	축력최대
ULO04	-47,233.014	-47,233.014	7,925.759	83,460.942	-2,004.867	0.00525	모멘트최대
ULO22	-36,333.088	-36,333.088	101.556	101.556	0.000	-0.00001	탄성최대
UEO26	-32,699.779	-32,699.779	7,346.552	77,071.336	-1,850.647	0.00485	편심최대

② 기둥 검토 결과

구 분	축방향력, 휨				
	ΦPn	Pu	Mu	안전도	비 고
축력최대	298,396.490	56,348.068	223.587	5.296	O.K
모멘트최대	331,251.501	47,233.014	83,460.942	7.013	O.K
탄성최대	344,069.422	36,333.088	101.556	9.470	O.K
편심최대	300,895.494	32,699.799	77,071.336	9.202	O.K

③ P-M 상관도



3) P3

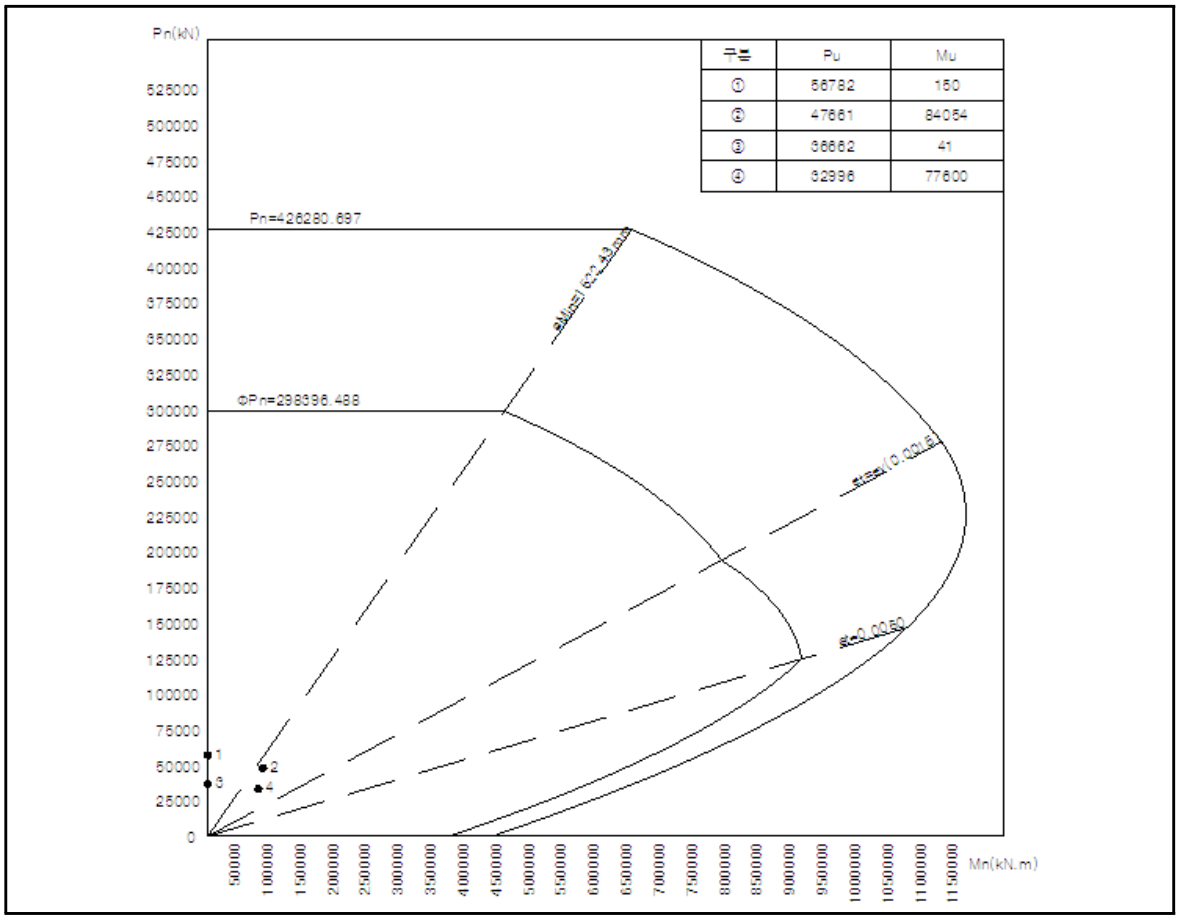
① 기둥 검토를 위한 최대 부재력

구 분	Pe(kN)	Pu(kN)	M1(kN.m)	M2(kN.m)	V(kN)	Δ(m)	비 고
ULO01	-47,660.881	-56,782.406	149.506	149.506	0.000	-0.00001	축력최대
ULO04	-47,660.881	-47,660.881	8,002.557	84,053.737	-1,981.169	0.00537	모멘트최대
ULO22	-36,662.216	-36,662.216	41.184	41.184	0.000	0.00000	탄성최대
UEO26	-32,995.994	-32,995.994	7,399.331	77,600.420	-1,828.771	0.00496	편심최대

② 기둥 검토 결과

구 분	축방향력, 휨				
	ΦPn	Pu	Mu	안전도	비 고
축력최대	298,396.490	56,782.406	149.506	5.255	O.K
모멘트최대	331,430.133	47,660.881	84,053.737	6.954	O.K
탄성최대	344,069.422	36,662.216	41,184	9.385	O.K
편심최대	301,154.573	32,995.994	77,600.420	9.127	O.K

③ P-M 상관도



4) P4

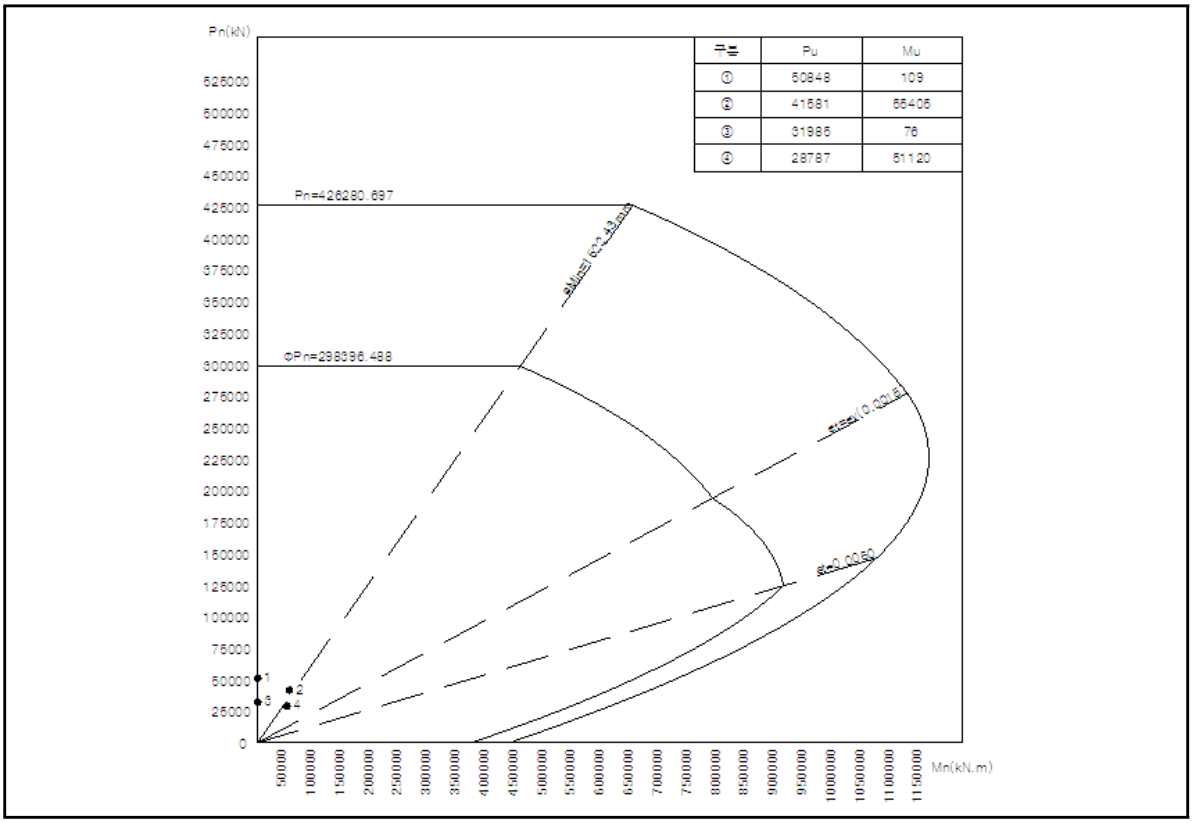
① 기둥 검토를 위한 최대 부재력

구 분	Pe(kN)	Pu(kN)	M1(kN.m)	M2(kN.m)	V(kN)	Δ(m)	비 고
ULO01	-41,580.958	-50,847.522	108.930	108.930	0.000	0.00001	축력최대
ULO04	-41,580.958	-41,580.958	8,155.342	55,405.344	-1,476.147	0.00221	모멘트최대
ULO22	-31,985.352	-31,985.352	76.343	76.343	0.000	0.00000	탄성최대
UEO26	-28,786.817	-28,786.817	7,505.105	51,120.492	-1,362.598	0.00204	편심최대

② 기둥 검토 결과

구 분	축방향력, 휨				
	ΦPn	Pu	Mu	안전도	비 고
축력최대	344,069.422	58,847.522	108.930	5.847	O.K
모멘트최대	344,069.422	41,580.958	55,405.344	8.275	O.K
탄성최대	344,069.422	31,985.352	76.343	10.757	O.K
편심최대	330,790.090	28,786.817	51,120.492	11.491	O.K

③ P-M 상관도



④ 기둥 검토 결과

기둥 검토결과 P1~P4 모두 기둥강도에서 안전율을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.

마. 기초검토

1) 안정검토 및 단면검토

① 안정검토

구 분			허용값	발생값	안전율	허용안전율	비고
P1	교축방향	전도에 대한 안정(kN.m)	224,791.746	42,459.326	5.29	2.00	O.K
		활동에 대한 안정(kN)	21,393.299	2,046.378	10.45	1.50	O.K
		지지력에 대한 안정(kN/㎡)	600.000	407.001	1.47	1.00	O.K
	교축직각방향	전도에 대한 안정(kN.m)	345,833.456	55,386.105	6.24	2.00	O.K
		활동에 대한 안정(kN)	21,393.299	1,509.248	14.17	1.50	O.K
		지지력에 대한 안정(kN/㎡)	600.000	384.609	1.56	1.00	O.K
P2	교축방향	전도에 대한 안정(kN.m)	243,012.058	38,042.027	6.39	2.00	O.K
		활동에 대한 안정(kN)	23,127.316	1,685.739	13.72	1.50	O.K
		지지력에 대한 안정(kN/㎡)	600.000	412.743	1.45	1.00	O.K
	교축직각방향	전도에 대한 안정(kN.m)	373,864.704	68,056.240	5.49	2.00	O.K
		활동에 대한 안정(kN)	23,127.316	1,542.206	15.00	1.50	O.K
		지지력에 대한 안정(kN/㎡)	600.000	434.220	1.38	1.00	O.K
P3	교축방향	전도에 대한 안정(kN.m)	244,723.523	38,350.615	6.38	2.00	O.K
		활동에 대한 안정(kN)	23,290.195	1,615.747	14.41	1.50	O.K
		지지력에 대한 안정(kN/㎡)	600.000	415.791	1.44	1.00	O.K
	교축직각방향	전도에 대한 안정(kN.m)	376,497.728	68,466.660	5.50	2.00	O.K
		활동에 대한 안정(kN)	23,290.195	1,523.976	15.28	1.50	O.K
		지지력에 대한 안정(kN/㎡)	600.000	437.123	1.37	1.00	O.K
P4	교축방향	전도에 대한 안정(kN.m)	216,077.430	18,922.025	11.42	2.00	O.K
		활동에 대한 안정(kN)	20,563.963	585.583	35.12	1.50	O.K
		지지력에 대한 안정(kN/㎡)	600.000	335.,590	1.79	1.00	O.K
	교축직각방향	전도에 대한 안정(kN.m)	332,426.816	45,231.140	7.35	2.00	O.K
		활동에 대한 안정(kN)	20,563.963	1,135.498	18.11	1.50	O.K
		지지력에 대한 안정(kN/㎡)	600.000	351.653	1.71	1.00	O.K

② 단면검토

단면위치		깊이 H(㎜)	피복 (㎜)	Req.As (㎟)	Use.As (㎟)	Mu (kN.m)	ΦMn (kN.m)	안전도	비고
P1	교축방향	2,300.0	100.0	66,326.001	102,141.600	36,693.362	56,078.831	1.528	O.K
	교직-지점부	2,300.0	100.0	3,883.816	52,190.100	2,176.101	28,787.575	13.229	O.K
P2	교축방향	2,500.0	100.0	63,939.025	102,141.600	38,651.597	61,288.053	1.586	O.K
	교직-지점부	2,500.0	100.0	3,482.896	52,190.100	2,129.346	31,449.270	14.769	O.K
P3	교축방향	2,500.0	100.0	64,505.888	102,141.600	38,989.985	61,288.053	1.572	O.K
	교직-지점부	2,500.0	100.0	3,509.215	52,190.100	2,145.420	31,449.270	14.659	O.K
P4	교축방향	2,300.0	100.0	50,914.932	102,141.600	28,259.488	56,078.831	1.984	O.K
	교직-지점부	2,300.0	100.0	3,497.267	52,190.100	1,959.762	28,787.575	14.689	O.K

③ 사용성 검토

단면위치		인장응력(fs)	허용응력(fsa)	철근간격(S)	최대간격(Sq)	비고
P1	교축방향	140.160	150.000	100.629	348.110	O.K
	교직-지점부	15.527	150.000	100.971	4,057.515	O.K
P2	교축방향	129.772	150.000	100.629	393.083	O.K
	교직-지점부	16.112	150.000	100.971	3,910.037	O.K
P3	교축방향	130.908	150.000	100.629	387.817	O.K
	교직-지점부	16.239	150.000	100.971	3,879.620	O.K
P4	교축방향	117.023	150.000	100.629	459.193	O.K
	교직-지점부	13.983	150.000	100.971	4,505.426	O.K

④ 기초 검토 결과

기초의 안정검토 및 단면검토 결과, 구조물의 외적 안정, 공칭강도, 사용성에서 모두 여용력을 갖춘 것으로 검토 되었다.

2) 교각 검토 결과

교각에 대해서 안전성을 검토한 결과 검토대상 하중조합에 대하여 기둥부의 축력 및 모멘트, 기초부의 지지, 전도, 활동에 대하여 안전율을 만족시키고 있음을 확인하였다.

바. 교대 검토

외관조사 결과, 지금까지 공용기간 중 하부구조인 교대에 구조적인 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며 부등침하 및 전도, 활동 등의 이상 징후도 없는 상태이다. 기초부위는 지반에 매립되어 있어 기초의 손상상태 및 시공·품질 상태를 육안으로 확인하기가 현실적으로 어려운 상황이다. 교대 A1과 A2에 대해서 안전성검토를 실시하였다.

1) 해석조건

① 일반조건

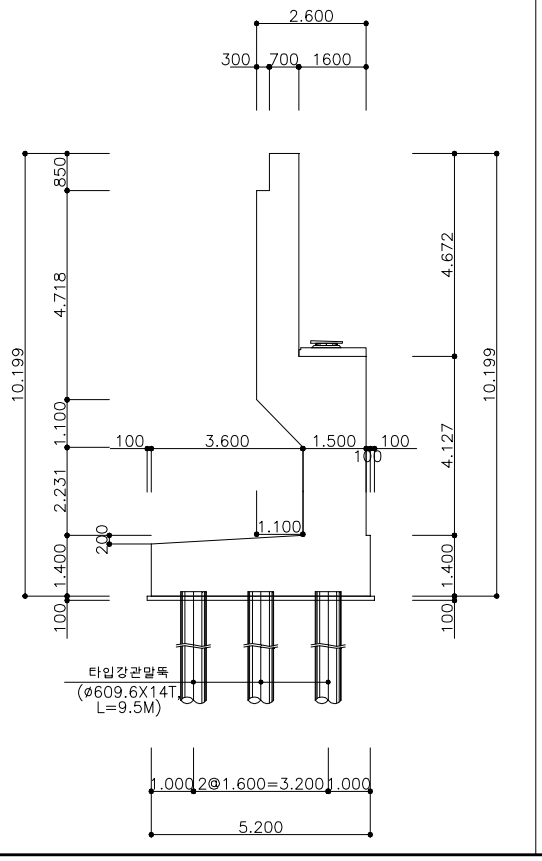
교량등급	1등급	**상부형식**	Steel Plate Girder교
경간장	60.0 m(인접경간)	**사 각**	시점 44.0°, 종점 51.193°
교대형식	역T형 교대	**기초형식**	말뚝기초
교대높이	H = 10.2~9.1 m	**교대길이**	B = 13.71 m
기초폭	Bf = 5.2 m	**기초길이**	Lf = 13.71 m

② 사용재료 및 강도

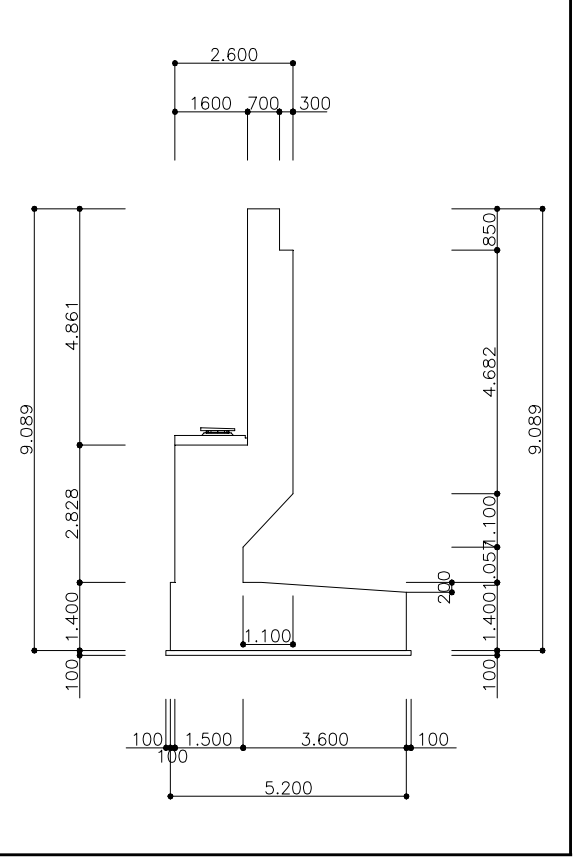
구 분	교대구체		기초	
	콘크리트	철근	콘크리트	철근
단위질량 (kg/m³)	2,500	7,850	2,500	7,850
항복강도 (MPa)	24	300	24	300

③ 검토단면

시점교대



종점교대



2) 하중조건

① 상부구조물 반력(단위 : kN)

구 분	시점교대		종점교대		비 고
	고정하중(D)	활하중(L)	고정하중(D)	활하중(L)	
Br01	1,304.402	1,004.288	1,297.661	997.190	
Br02	1,460.899	1,036.172	1,381.546	1,013.928	
계	2,765.301	2,040.460	2,679.207	2,011.118	

② 토압계수

㉠ 안정검토시 토압

ⓐ 시점교대

$Pa = 1/2 \times Ka \times \gamma \times H^2 \times \cos\delta$

$= 1/2 \times 0.271 \times 20.000 \times 10.199^2 \times \cos 0$

$= 281.893$ kN

$y = H / 3 = 3.400$ m : 작용중심높이

ⓑ 종점교대

$Pa = 1/2 \times Ka \times \gamma \times H^2 \times \cos\delta$

$= 1/2 \times 0.271 \times 20.000 \times 9.089^2 \times \cos 0$

$= 223.873$ kN

$y = H / 3 = 3.030$ m : 작용중심높이

㉡ 단면검토시 토압

ⓐ 시점교대

$Pa = 1/2 \times Ka \times \gamma \times H^2 \times \cos\delta$

$= 1/2 \times 0.251 \times 20.000 \times 8.799^2 \times \cos(11.667 + 0.000)$

$= 190.315$ kN

$y = H / 3 = 2.933$ m : 작용중심높이

ⓑ 종점교대

$Pa = 1/2 \times Ka \times \gamma \times H^2 \times \cos\delta$

$= 1/2 \times 0.251 \times 20.000 \times 7.689^2 \times \cos(11.667 + 0.000)$

$= 145.327$ kN

$y = H / 3 = 2.563$ m : 작용중심높이

③ 지표면 상재하중

㉠ 상재하중에 의한 수직력

ⓐ 시점교대

P1 = 10.000 × 2.800 = 28.000 kN

ⓑ 종점교대

P1 = 10.000 × 2.800 = 28.000 kN

㉡ 상재하중에 의한 수평력

ⓐ 시점교대

(가) 안정검토시 수평토압 (H = 7.500 m)

Pa1 = Ka × q × H × cosδ

= 0.271 × 10.000 × 10.199 × cos0.000

= 27.639 kN

y = H / 2 = 5.099 m : 작용중심높이

(나) 단면검토시 수평토압 (H = 6.400 m)

Pa2 = Ka × q × H × cosδ

= 0.251 × 10.000 × 8.799 × cos11.667

= 21.629 kN

y = H / 2 = 4.399 m : 작용중심높이

ⓑ 종점교대

(가) 안정검토시 수평토압 (H = 8.078 m)

Pa1 = Ka × q × H × cosδ

= 0.271 × 10.000 × 9.089 × cos0.000

= 24.631 kN

y = H / 2 = 4.545 m : 작용중심높이

(나) 단면검토시 수평토압 (H = 6.977 m)

Pa2 = Ka × q × H × cosδ

= 0.251 × 10.000 × 7.689 × cos11.667

= 18.901 kN

y = H / 2 = 3.845 m : 작용중심높이

④ 상부구조에 의한 하중

㉠ 상부반력에 의한 하중

ⓐ 시점교대

- 고정하중반력

Rd = 2,765.301 ÷ 13.710 = 201.700 kN/m

- 활하중반력

Rl = 2,040.460 ÷ 13.710 = 148.830 kN/m

ⓑ 종점교대

- 고정하중반력

Rd = 2,679.207 ÷ 13.710 = 195.420 kN/m

- 활하중반력

Rl = 2,011.118 ÷ 13.710 = 146.690 kN/m

㉡ 교량받침 마찰력에 의한 수평력

ⓐ 시점교대

Ph = Rd × μs × sinΘ (μs = 가동받침의 마찰계수)

= 201.700 × 0.150 × sin90.0

= 30.255 kN/m

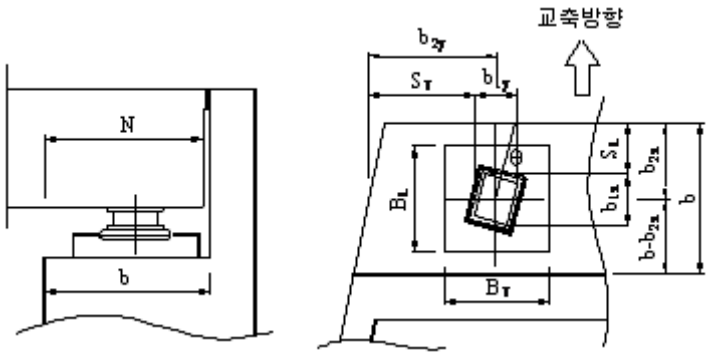
ⓑ 종점교대

Ph = Rd × μs × sinΘ (μs = 가동받침의 마찰계수)

= 195.420 × 0.150 × sin90.0

= 29.313 kN/m

3) 교좌면 검토

단 면 도	제 원 (mm)	
	b1x	420.0
	b2x	790.0
	b1y	1817.0
	b2y	2066.0
	BL	590
	BT	640
	Θ	44.0
	b	1400
	SL	430.0
	ST	1568.0

연단거리 검토	minS = 200 + 5L = 425.000mm
	SL = 430.00mm...OK
	ST = 1568.00mm...OK
받침지지 길이검토	minN = (200+1.67L″+6.66H) × (1+0.000125Θ²) = 815.1mm
	N = b/sin(skew) - a - 유간 = 1200.00mm...OK
신축량 검토	Δl = Δlt + Δls + Δlc + Δlr + α = 85.80mm
	신축장치규격 = 160.000mm

L = 45.000m : 측경간

L′ = 155.00m: 신축거더길이

L″ = 310.00m: 교량길이

H = 7.5m : 교각평균높이

a = 0.000mm : 슬래브 단부 돌출길이

b_{1x}, b_{1y} : 연직하중의 작용폭 (받침의 회전각을 고려한 길이)

b_{2x}, b_{2y} : 하중의 작용점으로부터 교좌장치 외측까지의 거리

B_L, B_T : 받침콘크리트의 길이

b : 흉벽에서부터 연직벽 전면까지의 길이 (교좌면 길이)

S_L, S_T : 연단거리

Δl_t : 온도변화에 의한 신축량

Δl_s : 콘크리트의 건조수축에 의한 수축량

α : 신축량 계산시 여유량

Δl_c : 콘크리트의 크리프에 의한 수축량

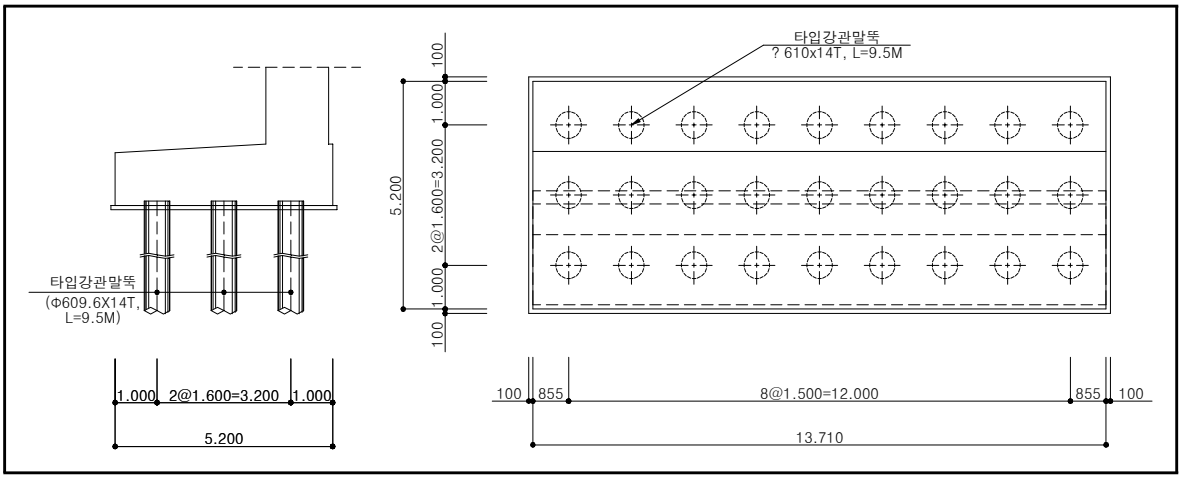
Δl_r : 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 이동량

4) 안정검토

구조해석에서 계산한 상부구조반력과 교대자중 및 토압을 바탕으로 기초의 안정성을 검토하였다.

① A1 말뚝

㉠ 말뚝 배치도 및 제원



㉡ 말뚝 제원 및 사용 계수

말뚝 종류	직경(㎜)	두께(㎜)	부식두께(㎜)	길이(m)
타입강관말뚝	609	14	2	9.5000

- 말뚝의 탄성계수 E = 210,000.0 MPa
- 말뚝의 단면2차모멘트 $I = \pi/64 \times (0.606^4 - 0.582^4) = 0.0009861\ m^4$
- 말뚝 머리의 평균 N치 N = 10
- 말뚝 선단의 평균 N치 N = 연암지지
- 말뚝 선단의 근입깊이 Df = 1.0 m
- 원지반으로부터 돌출된 길이 h = 0.0 m

㉢ 말뚝 검토결과

구 분		허용값	발생값	비 고
지지력	허용지지력(kN/EA)	2072.90	1,561.480	O.K
	허용인발력(kN/EA)	-	-	-
허용응력	휨응력(MPa)	140.000	110.672	O.K
	전단응력(kN)	80.000	15.416	O.K
	수평변위(㎜)	15.000	6.944	O.K

5) 단면검토

① 단면 검토를 위한 최대 부재력

㉠ 흉벽 및 벽체

구 분	시점교대		종점교대		비 고
	전단력(kN)	모멘트(kN.m)	전단력(kN)	모멘트(kN.m)	
흉벽설계	140.114	352.907	147.643	380.095	
벽체설계	399.636	1,294.227	317.294	879.744	

㉡ 기초

시점교대	앞굽 설계단면력		뒷굽 설계단면력	
	Vu(kN)	Mu(kN.m)	Vu(kN)	Mu(kN.m)
COMB 1	4.550	-0.227	484.156	1,525.950
COMB 2	4.550	-0.227	468.286	1,481.520
COMB 3	3.500	-0.175	304.566	972.700
COMB 4	4.550	-0.227	290.088	1,331.882
COMB 5	4.550	-0.227	316.389	1,329.622
COMB 6	3.500	-0.175	237.332	905.466

종점교대	앞굽 설계단면력		뒷굽 설계단면력	
	Vu(kN)	Mu(kN.m)	Vu(kN)	Mu(kN.m)
COMB 1	37.959	1.904	199.442	905.609
COMB 2	38.123	1.912	199.139	905.020
COMB 3	42.953	2.158	286.739	975.161
COMB 4	68.505	3.438	25.861	881.386
COMB 5	66.529	3.339	112.959	1,016.294
COMB 6	62.084	3.122	299.733	1,025.742

D-고정하중, L-활하중, H-토압, G-온도하중

COMB 1 = 1.300D + 2.150L + 1.700H

COMB 2 = 1.300D + 1.300L + 1.700H + 1.300G

COMB 3 = 1.000D + 1.000H + 1.000E

COMB 4 = 1.300D + 2.150L + 1.700H

COMB 5 = 1.300D + 1.300L + 1.700H + 1.300G

COMB 6 = 1.000D + 1.000H + 1.000E

② 단면검토

구 분		깊이 H(㎜)	Req. As (㎟)	Use. As (㎟)	Mu (kN.m)	ΦMn (kN.m)	안전도	비 고
A1	후면저판	1,400	4,729.693	5,067.000	1,525.950	1,631.571	1.069	O.K
	벽 체	1,500	3,697.073	4,282.667	1,294.227	1,494.522	1.155	O.K
	흉 벽	1,000	1,557.540	2,580.667	352.907	579.776	1.643	O.K
A2	후면저판	1,400	3,150.381	5,067.000	1,025.742	1631.571	1.591	O.K
	벽 체	1,500	2,497.015	4,282.667	879.774	1,494.522	1.699	O.K
	흉 벽	1,000	1,679.226	2,580.667	380.095	579.776	1.525	O.K

③ 사용성 검토

구 분		인장응력 (fs)	허용응력 (fsa)	철근간격 (S)	최대간격 (Sq)	비 고
A1	전면저판	0.06	150	200	1,048,572	O.K
	후면저판	185.405	150	200	206.000	O.K
	벽 체	141.67	150	200	342.119	O.K
	흉 벽	95.861	150	200	559.004	O.K
A2	전면저판	0.625	150	200	100,777	O.K
	후면저판	98.569	150	200	580.19	O.K
	벽 체	96.756	150	200	600.152	O.K
	흉 벽	103.246	150	200	540.242	O.K

6) 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.

5.3.4 내하력평가

가. 개요

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. 내하력평가시 강거더에 대해서는 허용응력법으로 내하력을 평가하며, 콘크리트 바닥판은 강도설계법에 의하여 내하력을 평가하였다.

1) 허용응력법

허용응력법에 의한 교량부재의 내하율 산정시에 하중조합으로는 D+L(1+i)를 사용하므로 하중계수는 각각 1.0이 된다. 사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력을 사용하여 도로교 설계기준에 의거 부재종류에 따라 결정한다. 고정하중과 활하중에 의한 응력은 대상 부재단면에 있어서 철근 및 강재부식, 콘크리트의 중성화, 염해 등에 의한 강도저하와 단면손실 등을 고려하여 계산한다. 이때 고정하중은 현재 교량에 작용하고 있는 모든 고정하중을 가능한 한 정확히 고려한다. 활하중은 현행 도로교 설계기준의 설계활하중을 사용한다. 허용응력법에 의한 교량부재의 내하력 평가방법은 다음과 같다.

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

여기서, f_a = 허용응력

f_d = 고정하중에 의한 응력

f_l = 활하중에 의한 응력

i = 설계기준에 의한 이론적 충격계수

$$\text{공용내하력}(P) = K_s \times RF \times P_r$$

여기서, K_S = 응력보정계수 = $\frac{\epsilon_{\text{계산}}}{\epsilon_{\text{실측}}} \times \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$

2) 강도설계법

강도설계법에 의한 교량부재의 내하율 산정시 하중조합은 1.3D+2.15L(1+i)를 사용하므로 하중계수는 각각 1.3, 2.15가 된다. 단면강도는 단면의 현재 상태, 즉 재료강도와 단면손실 등을 고려하여 도로교 설계기준과 콘크리트 구조설계기준의 공칭강도와 강도감소 계수에 따라 계산한다.

교량 설계시의 부재강도 감소계수는 부재강도의 산정에 있어서 재료강도에 대한 불확실성, 설계와 시공단면의 오차 등을 고려하는 계수이나 내하력 평가시에는 그러한 불확실성은 상당히 감소하므로 오히려 공용 중에 부재단면의 손상정도에 따라 결정한다. 그러나 부재단면의 손상정도를 정량적으로 평가하기가 어려우므로 공칭강도의 산정시는 교량의 현재 상태에 따른 단면감소와 재료강도를 고려하고 강도감소계수는 설계시의 값을 그대로 사용한다. 고정하중과 활하중에 의한 단면력은 현재 작용하고 있는 고정하중과 현행 도로교 설계기준의 설계 활하중(DB 또는 DL하중)을 사용하여 구조해석을 통하여 구한다. 강도설계법에 의한 내하력 평가방법은 다음과 같다.

$$\text{내하율}(RF) = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l (1+i)}$$

여기서, ϕM_n = 설계 모멘트 ($RC \cdot PC$ 구조물의 휨부재 : $\phi = 0.85$)

M_d = 고정하중 모멘트

M_l = 활하중 모멘트

γ_l = 활하중 계수 = 2.15

γ_d = 고정하중 계수 = 1.3

i = 이론상의 충격계수

$$\text{공용내하력}(P) = K_s \times RF \times P_r$$

여기서, K_S = 응력보정계수 $= \frac{\epsilon_{\text{계산}}}{\epsilon_{\text{실측}}} \times \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$

$$\text{처짐보정계수} = \frac{\delta_{\text{계산}}}{\delta_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$$

P_r = 설계 활하중

나. 내하력평가 결과

1) 상부거더(허용응력법)

구 분			허용응력 (MPa)	고정하중 응력 (MPa)	활하중 응력 (MPa)	내하율	기본내하력
정모멘트부	S1	상연	210	93.9	13	8.934	DB-24 이상
		하연	210	103.7	51	2.085	
	S2	상연	210	54.4	10.1	15.407	DB-24 이상
		하연	210	58.5	56.6	2.677	
	S3	상연	210	57.8	4.9	31.054	DB-24 이상
		하연	210	80.7	59.3	2.180	
	S5	상연	210	88.1	12.2	9.988	DB-24 이상
		하연	210	121.0	48.5	1.835	
부모멘트부	P3	상연	195	87.1	15.1	7.147	DB-24 이상
		하연	184.5	83.9	41.1	2.448	
	P5	상연	200	106.4	12.9	7.260	DB-24 이상
		하연	181.4	106.7	42.3	**1.766**	
검토결과	DB-24, DL-24 이상의 내하력을 확보						

2) 바닥판 (강도설계법)

구 분	γ_d	γ_ℓ	ϕM_n (kN·m)	M_d (kN·m)	$M_{\ell(1+i)}$ (kN·m)	내하율	기본내하력
캔틸레버부	1.30	2.15	122.167	8.175	13.042	3.978	DB-24 이상
중앙부	1.30	2.15	105.961	2.358	26.603	1.799	DB-24 이상
검토결과	DB-24, DL-24 이상의 내하력을 확보						

3) 고찰

구조해석 및 안전성 검토 결과를 이용한 기본 내하력은 설계활하중 DB-24를 만족하는 것으로 평가된다.

5.3.5 안전성평가 결과

가. 상부구조 안전성평가 결과

1) 거더의 안전성 평가

구 분		휨 응 력				안전율		안전성 평가
		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)				
		상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	
정모멘트부	단면2	106.9	154.7	210	210	1.97	1.36	a
	단면3	64.5	115.1	210	210	3.26	1.82	a
	단면7	62.7	140.0	210	210	3.35	1.50	a
	단면11	100.3	169.5	210	210	2.09	1.24	a
부모멘트부	단면5	102.2	125.0	-195	184.5	1.91	1.48	a
	단면10	119.3	149.0	-200	181.4	1.68	**1.22**	a

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

2) 바닥판 (강도설계법)

구분	ϕM_n(kN · m)	M_u(kN · m)	안전율	안전성 평가
캔틸레버부	122.167	63.678	1.92	a
중앙부	106.000	60.262	**1.76**	a

【표 5.62】 상부구조 안전성 평가결과

부 재	SF(안전율)	평가결과
강재 거더	**1.22**	A
콘크리트 바닥판	**1.76**	

나. 하부구조의 안전성평가 결과

1) 교각기둥

구 분		ΦPn (kN)	Pu (kN)	Mu (kN·M)	안전율	안전성 평가
P1	축력최대	344,069	53,203	107	6.467	a
	모멘트최대	343,025	43,760	67,489	7.839	a
	탄성설계	344,069	33,661	65	10.222	a
	편심최대	316,271	30,295	62,278	10.440	a
P2	축력최대	298,396	56,348	224	**5.296**	a
	모멘트최대	331,252	47,233	83,461	7.013	a
	탄성설계	344,069	36,333	102	9.470	a
	편심최대	300,895	32,700	77,071	9.202	a
P3	축력최대	298,396	56,782	150	5.255	a
	모멘트최대	331,430	47,661	84,054	6.954	a
	탄성설계	344,069	36,662	41,184	9.385	a
	편심최대	301,155	32,996	77,600	9.127	a
P4	축력최대	344,069	58,848	109	5.847	a
	모멘트최대	344,069	41,581	55,405	8.275	a
	탄성설계	344,069	31,985	76	10.757	a
	편심최대	330,790	28,787	51,120	11.491	a

2) 교각확대기초

단 면		Mu (kN · m/m)	ΦMn (kN · m/m)	안전율	안전성 평가
P1	교축방향	36,693	56,079	**1.528**	a
	교직-지점부	2,176	28,788	13.229	a
P2	교축방향	38,652	61,288	1.586	a
	교직-지점부	2,129	31,449	14.769	a
P3	교축방향	38,990	61,288	1.572	a
	교직-지점부	2,145	31,449	14.659	a
P4	교축방향	28,259	56,079	1.984	a
	교직-지점부	1,960	28,788	14.689	a

3) 교대 기초 및 구체

단 면		Mu (kN · m/m)	ΦMn (kN · m/m)	안전율	안전성평가
A1	후면저판	1,525.95	1,631.57	**1.069**	O.K
	벽 체	1,294.23	1,494.52	1.155	O.K
	흉 벽	352.907	579.776	1.643	O.K
A2	후면저판	1,025.74	1631.571	1.591	O.K
	벽 체	879.774	1,494.52	1.699	O.K
	흉 벽	380.095	579.776	1.525	O.K

【표 5.63】 하부구조 안전성평가 결과

부 재	SF(안전율)	평가결과
교각기둥	**5.296**	A
교각확대기초	**1.528**	
교대 기초, 구체	**1.069**	

다. 안전성평가 등급산정 결과

【표 5.64】 안전성평가 등급산정 결과

구 분		안전율(SF)	평가결과	비 고
상부구조	거 더	1.22	**A**	
	바닥판	1.76	**A**	
하부구조	교 대	1.069	**A**	
	교 각	1.528	**A**	
평가 결과		◦ 백운4교(춘천)은 소정의 안전율을 확보하고 있는 것으로 나타났으며, 안전성평가결과는 최저안전율 1069에 근거하여 『A』으로 평가하였다.		

제 6 장 종합평가 및 안전등급 지정

6.1 종합평가 산정절차

6.2 종합평가 결과

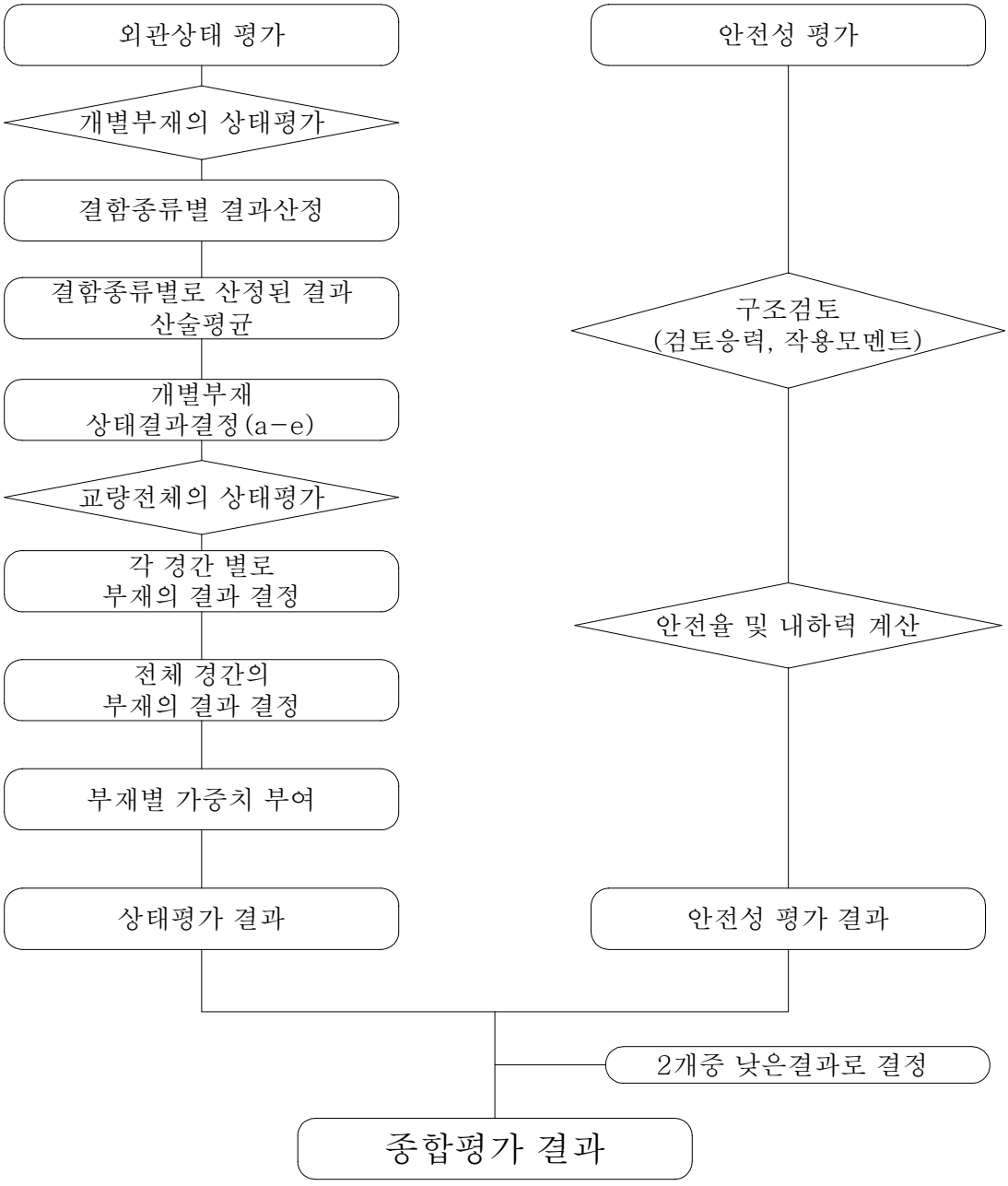
6.3 안전등급 지정

제 6 장 종합평가 및 안전등급 지정

6.1 종합평가 산정절차

외관조사에 따른 상태평가 결과와 안전성 검토에 근거한 안전성평가 결과 중 낮은 결과를 시설물의 종합평가 결과로 결정한다.

종합평가 결과의 산정절차는【그림 6.1】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 백운4교(부산)

백운4교(부산)의 상태평가 결과는 “B”, 안전성평가 결과는 “A”로 평가되어 본 시설물의 종합평가 결과는 이중 낮은 결과인 “B”로 평가되었다.

【표 6.1】 백운4교(부산) 종합평가 결과

평가구분	평가내용	평가결과	비 고
상태평가	F=0.217	B	상태평가와 안전성평가 중 낮은 결과 적용
안전성평가	SF=1.0이상	A	
종합평가	**B**		

◉ 전회 점검 결과와 비교·분석

전회 정밀안전진단 결과와 금회 종합평가 결과를 비교·분석한 결과 2002~2008년, 2012~2016년 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 철근콘크리트 구간 염화물 함유량 증가, ② 조사용 접근장비(고소점검차)를 운용한 근접조사, ③ 전회 진단 시 누락된 일부 손상 추가 조사, ④ 교면포장 전면 재포장 및 하부구조 표면보수 등에 의한 것으로 판단된다.

【표 6.2】 전회 점검 종합평가 결과와 비교

구 분	2002년 정밀 점검	2004년 정밀 점검	2006년 정밀 점검	2008년 정밀 점검	2010년 정밀 점검	2011년 정밀 안전진단	2012년 정밀 점검	2014년 정밀 점검	2016년 정밀 점검	2016년 정밀 안전진단
상태평가 결과	A	A	A	A	B (0.258)	B (0.252)	B	B	B	B (0.217)

주) 2002~2008년, 2012~2016년 정밀점검 평가결과는 정성적 평가임

6.2.2 백운4교(춘천)

백운4교(춘천)의 상태평가 결과는 “B”, 안전성평가 결과는 “A”로 평가되어 본 시설물의 종합평가 결과는 이중 낮은 결과인 “B”로 평가되었다.

【표 6.3】 백운4교(부산) 종합평가 결과

평가구분	평가내용	평가결과	비 고
상태평가	F=0.257	B	상태평가와 안전성평가 중 낮은 결과 적용
안전성평가	SF=1.0이상	A	
종합평가	**B**		

◉ 전회 점검 결과와 비교·분석

기 정밀점검 결과와 금회 종합평가 결과를 비교·분석한 결과 2000~2015년 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 전회 진단 시 누락된 일부 손상 추가 조사, ④ 교면포장 및 바닥판 열화부 보수 등에 의한 것으로 판단된다. 등에 의한 것으로 판단된다.

【표 6.4】 전회 점검 종합평가 결과와 비교

구분	2000년 정밀 점검	2002년 정밀 점검	2004년 정밀 점검	2006년 정밀 점검	2008년 정밀 점검	2008년 정밀 안전진단	2010년 정밀 점검	2012년 정밀 점검	2013년 정밀 안전진단	2015년 정밀 점검	2016년 정밀 안전진단
상태평가 결과	A	A	A	A	A	B	A	B	C	B	B

주) 2000~2015년 정밀점검 평가결과는 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 백운4교(부산) 안전등급 지정

【표 6.6】 백운4교(부산) 안전등급 지정

구 분	상태평가		안전성평가	
	결함도 점수	평가기준	최소 안전율	평가기준
평가결과	0.217	B	1.0이상	A
안전등급 지 정	▶ 백운4교(부산)의 안전등급은 양호한 상태인 B등급으로 지정함 상태평가 B / 안전성평가 A → 안전등급 B			
주요손상 내 용	• 바닥판, 하부구조 등의 콘크리트 부재에서 균열, 망상균열, 백태, 재료분리 및 단면손상, 앵커노출 등의 결함이 국부적으로 발생하였으며, 거더와 2차 부재의 강재 부재에서는 도장박리, 부식, 현장이음부 볼트부식, 경미한 변형 등의 결함이 조사되었고, 배수시설은 고정핀 부식파손 및 탈락의 결함이 국부적으로 조사됨 • 받침장치 및 신축이음장치의 신축거동 상태는 양호하나 A2측 받침장치는 가동량부족이 조사되어 하절기 시 고정단 받침몰탈 파손 및 변형 발생 여부에 대한 중점유지관리가 필요할 것으로 판단됨			

6.3.2 백운4교(춘천) 안전등급 지정

【표 6.7】 백운4교(춘천) 안전등급 지정

구 분	상태평가		안전성평가	
	결함도 점수	평가기준	최소 안전율	평가기준
평가결과	0.257	B	1.0이상	A
안전등급 지 정	▶ 백운4교(춘천)의 안전등급은 양호한 상태인 B등급으로 지정함 상태평가 B / 안전성평가 A → 안전등급 B			
주요손상 내 용	• 바닥판, 하부구조 등의 콘크리트 부재에서 균열, 망상균열, 백태, 재료분리 및 단면손상, 앵커노출 등의 결함이 국부적으로 발생하였으며, 거더와 2차 부재의 강재 부재에서는 도장박리, 부식, 현장이음부 볼트부식, 볼트누락, 기공, 경미한 변형 등의 결함과 배수시설의 고정핀 부식파손 및 탈락의 결함이 조사되었고, 바닥판의 데크플레이트 및 강판은 전반적으로 부식이 발생된 상태임 • 받침장치 및 신축이음장치의 신축거동 상태는 양호하나 교대(A1, A2)측의 받침장치는 가동량부족이 조사되어 하절기 시 고정단 받침몰탈 파손 및 변형 발생 여부에 대한 중점유지관리가 필요할 것으로 판단됨			

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.

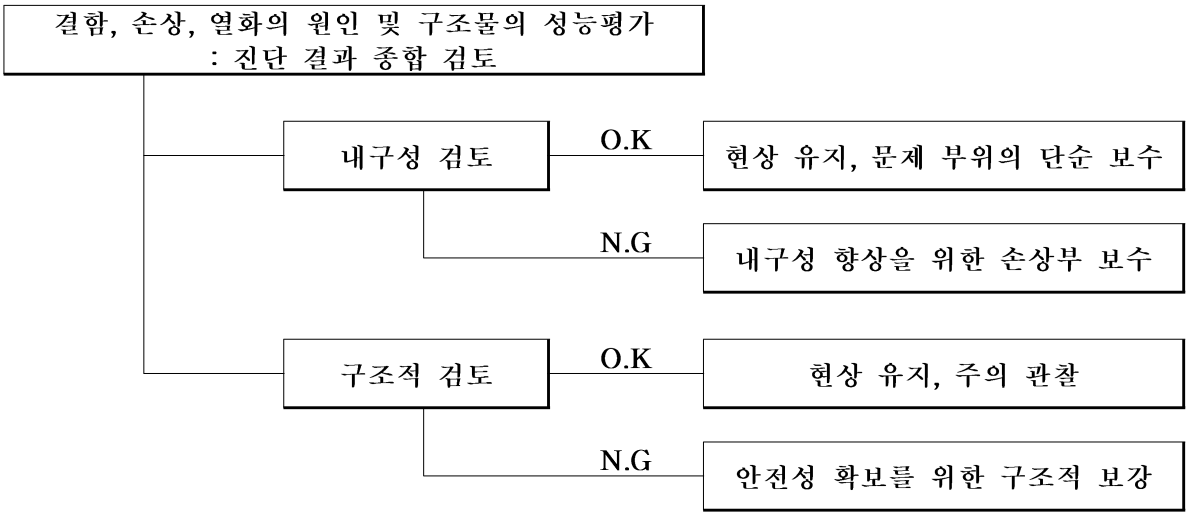
【표 7.1】 보수·보강 방안 수립에 따른 검토사항

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 및 허용균열폭

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)
	교대, 교각	지속관찰	지속관찰 (선택적 보수)		2순위 (1순위)	1순위
	교량 기초	지속관찰			2순위 (1순위)	1순위
보조 (기타) 부재	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, 교체 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 7.9】 와 같다.

가. 백운4교(부산)

【표 7.6】 백운4교(부산) 부재별 보수·보강 방안

구분	손상내용	손상깊이·폭 (mm)	개소	손상		보수		보수 수준	보수 방안	우선 순위
				물량	단위	물량	단위			
바닥판	균열, 백태	Cw=0.3㎜미만	1	0.20	m	0.08	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	들뜸, 백태, 녹물	t=30㎜	2	0.80	㎡	1.20	㎡	성능회복	단면복구 (방청)	2순위
	거푸집 미제거		3	0.45	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	잡철근노출	t=10㎜	2	0.06	㎡	0.09	㎡	성능회복	단면복구	3순위
거더	도장박리		17	4.44	㎡	6.66	㎡	성능회복	도장보수	3순위
	부식		142	70.33	㎡	105.50	㎡	성능회복	도장보수	3순위
	볼트부식		2	1.80	㎡	2.70	㎡	성능회복	도장보수	3순위
	변형		4	1.60	m	-	m	현상유지	주의관찰	4순위
가로보	부식		3	0.13	㎡	0.20	㎡	성능회복	도장보수	3순위
브레이싱	도장박리		2	0.02	㎡	0.03	㎡	성능회복	도장보수	3순위
	부식		51	3.19	㎡	4.79	㎡	성능회복	도장보수	3순위
교대	균열	Cw=0.3㎜미만	20	15.30	m	-	m	현상유지	주의관찰	4순위
	균열, 백태	Cw=0.3㎜미만	2	2.70	m	1.01	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	균열, 백태	Cw=0.3㎜이상	1	3.50	m	5.25	m	성능회복	주입보수	2순위
	균열 및 녹물	t=30㎜	1	3.00	m	1.13	㎡	성능회복	단면복구 (방청)	2순위
	들뜸, 박락, 파손	t=30㎜	14	2.52	㎡	3.78	㎡	성능회복	단면복구	3순위
	재료분리		3	0.89	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	철근노출	t=30㎜	2	0.07	㎡	0.11	㎡	성능회복	단면복구 (방청)	2순위
	잡철근노출		29	0.29	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	앵커노출		36	0.36	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	사면 유실 A1측	폼타이홈 누수	2	13.00	㎡	0.06	㎡	성능회복	몰탈보수	2순위
	사면 유실 A2측		1	0.50	㎡	0.75	㎡	성능회복	사면정비	2순위
교각	균열	Cw=0.3㎜미만	58	27.10	m	-	m	현상유지	주의관찰	4순위
	백태		1	0.24	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	표면불량		6	5.48	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	보수재 박리		5	0.46	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	재료분리		2	0.30	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	들뜸, 박락, 파손	t=30㎜	18	3.35	㎡	5.03	㎡	성능회복	단면복구	3순위
	잡철근노출		30	0.54	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	앵커노출		380	3.80	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위

주1) 보수시 시공성 및 효율성을 고려하여 보수·보강 물량은 손상물량에 50%를 할증 후 소수점 2자리에서 절사하였으며, 명확하게 수량산출이 가능한 손상은 할증적용을 제외하였음
주2) 균열(폭 0.3mm미만) 및 백태 결함은 길이에 0.25m를 곱하여 보수·보강 물량을 ㎡으로 산정함
주3) A1측 사면유실의 원인이 폼타이홈 누수이므로 보수는 폼타이홈 6개소 → 0.06㎡ 몰탈보수를 적용함

【표 7.7】 백운4교(부산) 부재별 보수·보강 방안(계속)

구분		손상내용	손상깊이·폭 (mm)	개소	손상		보수		보수 수준	보수 방안	우선 순위
					물량	단위	물량	단위			
받침장치	본체	부식		19	4.11	㎡	6.17	㎡	성능회복	도장보수	3순위
		볼트간섭 및 길이부족		5	5	EA	-	EA	현상유지	주의관찰	4순위
		가동여유량 부족		4	4	EA	-	EA	현상유지	주의관찰	4순위
	콘크리트	균열	Cw=0.3㎜미만	19	8.1	m	-	m	현상유지	주의관찰	4순위
		재균열	Cw=0.3㎜미만	40	22.3	m	-	m	현상유지	주의관찰	4순위
		들뜸		3	0.5	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
		박리		1	0.06	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
신축이음	본체	부식		5	0.95	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
		토사퇴적		4	1.03	㎡	1.55	㎡	성능회복	청소	3순위
	후타재	균열	Cw=0.3㎜미만	55	27.5	m	10.31	㎡	성능회복	표면처리	3순위
		망상균열		1	0.6	㎡	0.90	㎡	성능회복	표면처리	3순위
		파손		2	0.41	㎡	0.62	㎡	성능회복	단면복구	3순위
	덮개판	길이부족		2	2	EA	-	EA	현상유지	주의관찰	4순위
		변형		1	1	EA	-	EA	현상유지	주의관찰	4순위
교면포장		아스콘 망상균열		2	12.74	㎡	1.00	일	성능회복	팻칭보수	3순위
		아스콘 패임		1	0.75	㎡					
		아스콘 융기, 침하		2	3	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
배수시설		배수관 부식		13	0.46	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
		용접부 부식, 누수		5	0.2	㎡	2.50	m	성능회복	용접보수	1순위
		고정핀 부식		44	44	EA	44.00	EA	성능회복	재설치	1순위
		고정핀 탈락		26	26	EA	26.00	EA	성능회복	재설치	1순위
방호벽		균열	Cw=0.3㎜미만	25	20	m	7.50	㎡	성능회복	표면처리	3순위
		보수부 재균열	Cw=0.3㎜미만	5	4.5	m	1.69	㎡	성능회복	표면처리	3순위
		균열 및 백태		34	30.5	m	11.44	㎡	성능회복	표면처리	3순위
		백태		11	0.93	㎡	1.40	㎡	성능회복	표면처리	3순위
		파손		33	2.04	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
		들뜸		8	5.45	㎡	8.18	㎡	성능회복	단면복구	1순위
		전선덮개판 탈락		10	10	EA	10.00	EA	성능회복	재설치	3순위

주1) 보수시 시공성 및 효율성을 고려하여 보수·보강 물량은 손상물량에 50%를 할증 후 소수점 2자리에서 절사하였으며, 명확하게 수량산출이 가능한 손상은 할증적용을 제외하였음.
주2) 균열(폭 0.3mm미만) 및 백태 결함 중 표면처리는 길이에 0.25m를 곱하여 보수·보강 물량을 ㎡으로 산정함.
주3) 배수관 용접부 부식, 누수는 개소당 0.5m로 환산하여 보수·보강 물량을 m으로 산정함.
주4) 교면포장 아스콘 망상균열 및 패임은 보수물량을 1일 단위로 환산하여 산정함.

나. 백운4교(춘천)

【표 7.8】 백운4교(춘천) 부재별 보수·보강 방안

구분	손상내용	손상깊이·폭 (mm)	개소	손상		보수		보수 수준	보수 방안	우선 순위
				물량	단위	물량	단위			
바닥판	데크 부식		331	2462.35	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	데크 처짐		1	3.00	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	강판 부식		206	336.51	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	강판 도장박리		4	0.61	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	망상균열, 백태		1	2.40	㎡	3.60	㎡	성능회복	표면처리	3순위
			1	15	m	22.50	m	성능회복	물끊기홈	1순위
	강판 부식 및 콘크리트 박락	t=50㎜	5	2.25	㎡	3.38	㎡	성능회복	강판제거 단면복구	1순위
			5	10.00	m	15.00	m	성능회복	물끊기홈	
	전선보호덮개 부식		65	14.59	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	전선보호덮개 탈락		13	35.00	m	52.50	m	성능회복	재설치	3순위
거더	도장박리		58	13.08	㎡	19.62	㎡	성능회복	도장보수	3순위
	부식		107	260.75	㎡	391.13	㎡	성능회복	도장보수	3순위
	볼트부식		40	203.00	㎡	304.50	㎡	성능회복	도장보수	3순위
	녹물흔적		5	6.55	㎡	9.83	㎡	성능회복	도장보수	3순위
	볼트누락		1	1.00	EA	-	EA	현상유지	주의관찰	4순위
	변형		2	2.00	EA	-	EA	현상유지	주의관찰	4순위
	천공홀		48	48.00	EA	-	EA	현상유지	주의관찰	4순위
	기공		20	20.00	EA	-	EA	현상유지	주의관찰	4순위
가로보 및 세로보	도장박리		50	3.16	㎡	4.74	㎡	성능회복	도장보수	3순위
	부식		8	1.33	㎡	2.00	㎡	성능회복	도장보수	3순위
	볼트부식		14	4.94	㎡	7.41	㎡	성능회복	도장보수	3순위
	누수오염		2	3.20	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	볼트풀림		1	1.00	EA	-	EA	현상유지	주의관찰	4순위
	변형		5	5.00	EA	-	EA	현상유지	주의관찰	4순위
브레이싱	부식		37	21.20	㎡	31.80	㎡	성능회복	도장보수	3순위
	볼트부식		81	1.62	㎡	2.43	㎡	성능회복	도장보수	3순위
	볼트풀림		1	1.00	EA	-	EA	현상유지	주의관찰	4순위
	누수오염		1	3.00	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
교대	균열	Cw=0.3㎜미만	20	18.40	m	-	m	현상유지	주의관찰	4순위
	망상균열		5	51.28	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	망상균열, 백태		1	1.40	㎡	2.10	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	백태		2	2.29	㎡	3.44	㎡	성능회복	표면처리	3순위
	재료분리		3	0.89	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	들뜸 및 파손	t=30㎜	17	2.39	㎡	3.59	㎡	성능회복	단면복구	3순위
	체수		3	33.50	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
	잡철근노출		68	0.73	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위

주1) 보수시 시공성 및 효율성을 고려하여 보수·보강 물량은 손상물량에 20%를 할증 후 소수점 2자리에서 절사하였으며, 명확하게 수량산출이 가능한 손상은 할증적용을 제외하였음.

주2) 균열(폭 0.3mm미만) 및 백태 결함 중 표면처리는 길이에 0.25m를 곱하여 보수·보강 물량을 ㎡으로 산정함.

【표 7.9】 백운4교(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		균열	Cw=0.3㎜미만	119	115.90	m	-	m	현상유지	주의관찰	4순위
		균열	Cw=0.3㎜이상	22	26.00	m	39.00	m	성능회복	주입보수	2순위
		망상균열		5	18.79	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
		파손	t=30㎜	38	0.99	㎡	1.49	㎡	성능회복	단면복구	3순위
		몰탈들뜸		16	18.59	㎡	27.89	㎡	성능회복	몰탈보수	3순위
		표면불량	t=30㎜	4	0.53	㎡	0.80	㎡	성능회복	단면복구	3순위
		잡철근노출		10	0.24	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
받침장치	본체	부식		7	3.09	㎡	4.64	㎡	성능회복	도장보수	3순위
		전단키 부식		4	4.00	㎡	6.00	㎡	성능회복	도장보수	3순위
	콘크리트	콘크리트 균열	Cw=0.3㎜미만	2	0.80	m	-	m	현상유지	주의관찰	4순위
		망상균열		4	1.59	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
		잡철근노출		1	0.01	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
신축이음		토사퇴적		1	3.00	m	4.50	m	성능회복	청소	3순위
		후타재 균열	Cw=0.3㎜미만	82	28.00	m	10.50	㎡	성능회복	표면처리	3순위
		덮개판 볼트탈락		7	7.00	EA	7.00	EA	성능회복	볼트설치	1순위
교면포장		포장 망상균열		2	1.79	㎡	1.00	일	성능회복	팻칭보수	3순위
		코어채취부 마감불량		2	0.07	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
배수시설	배수구	이물질퇴적		3	3.00	EA	3.00	EA	성능회복	청소	2순위
	배수관	용접연결부 누수 및 탈락		3	3.00	EA	1.50	m	성능회복	용접보수	1순위
		고정핀 부식		50	50.00	EA	50.00	EA	성능회복	고정핀설치	1순위
		고정핀 탈락		15	15.00	EA	15.00	EA	성능회복	고정핀설치	1순위
방호벽		균열	Cw=0.3㎜미만	2261	757.50	m	284.06	㎡	성능회복	표면처리	3순위
		망상균열		9	156.59	㎡	234.89	㎡	성능회복	표면처리	3순위
		파손		3	0.21	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위
		표면박리		16	220.47	㎡	-	㎡	현상유지	주의관찰	4순위

주1) 보수시 시공성 및 효율성을 고려하여 보수·보강 물량은 손상물량에 50%를 할증 후 소수점 2자리에서 절사하였으며, 명확하게 수량산출이 가능한 손상은 할증적용을 제외하였음.
주2) 균열(폭 0.3mm미만) 및 백태 결함 중 표면처리는 길이에 0.25m를 곱하여 보수·보강 물량을 ㎡으로 산정함.
주3) 배수관 용접부 누수 및 탈락은 개소당 0.5m로 환산하여 보수·보강 물량을 m으로 산정함.
주4) 교면포장 아스콘 망상균열 및 패임은 보수물량을 1일 단위로 환산하여 산정함.

7.2.2 주요결함 및 손상에 대한 보수·보강 방법

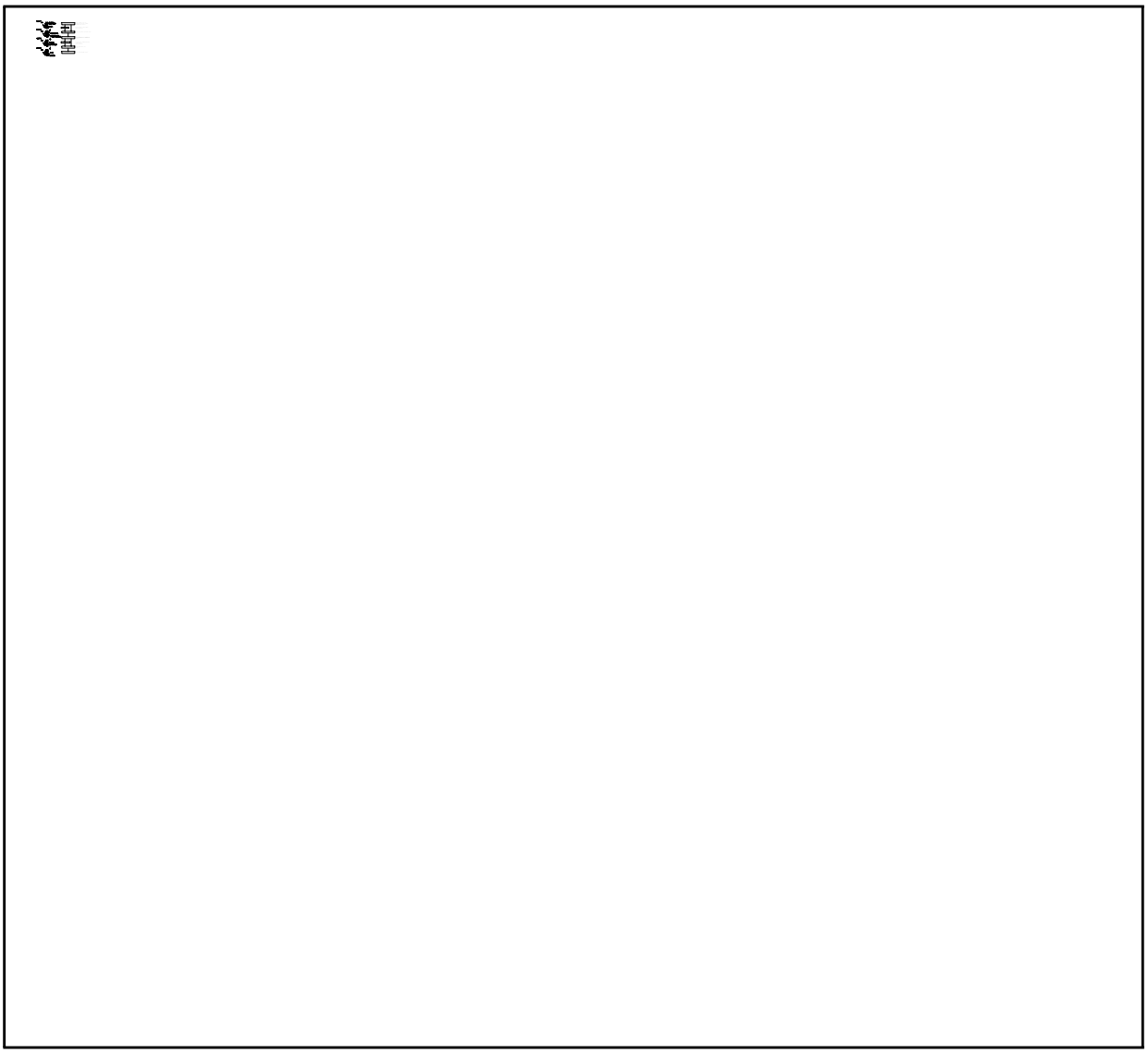
가. 단면보수

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, 일부 철근노출, 들뜸, 파손 등이 발생된 상태로 향후 피복부족에 의한 철근부식으로 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

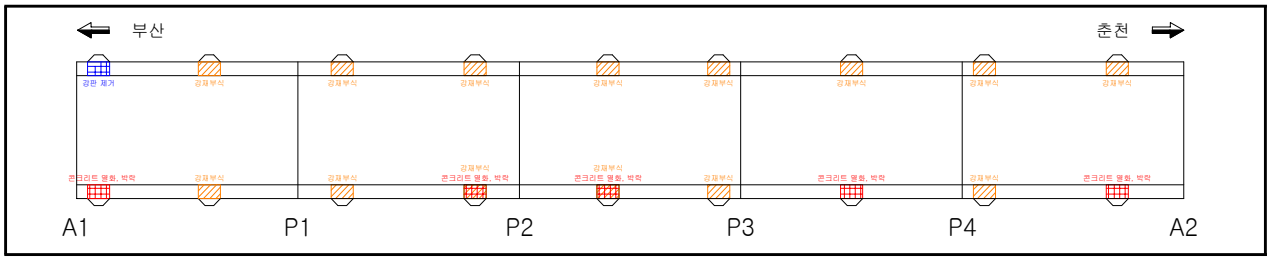
- 신·구 재료의 접착력 강화를 위하여 붓이나 에어 스프레이 건을 사용하여 접착제를 균일하게 도포한다. 콘크리트면과 밀착성이 뛰어나고 탄성계수, 열팽창계수, PH 등이 비슷한 규산염계, 폴리머 계통 접착제 등 사용한다.

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.

⑥ 주요 보수구간

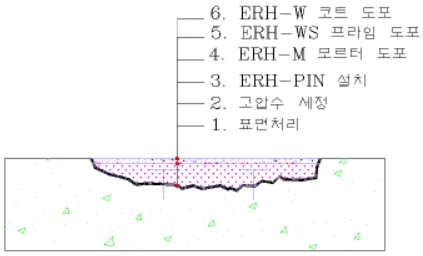
춘천방향의 바닥판 중 가로등 기초를 통한 우수유입으로 강판 파손 및 콘크리트 열화 및 박락이 5개소 발생하였으므로 이 구간은 보수 우선순위를 1순위로 하여 강판 제거 후 단면보수를 시행토록 한다.



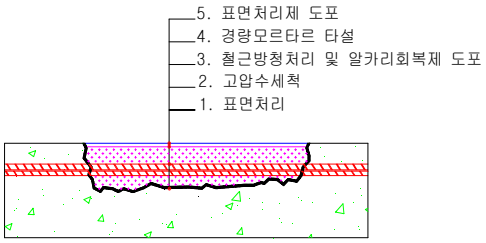
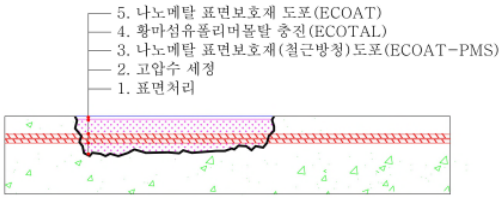
【그림 7.3】 춘천방향 바닥판 강판 파손 및 콘크리트 박락 발생 현황

3) 단면보수 비교안

【표 7.10】 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 7.11】 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 7.12】 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 7.13】 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.

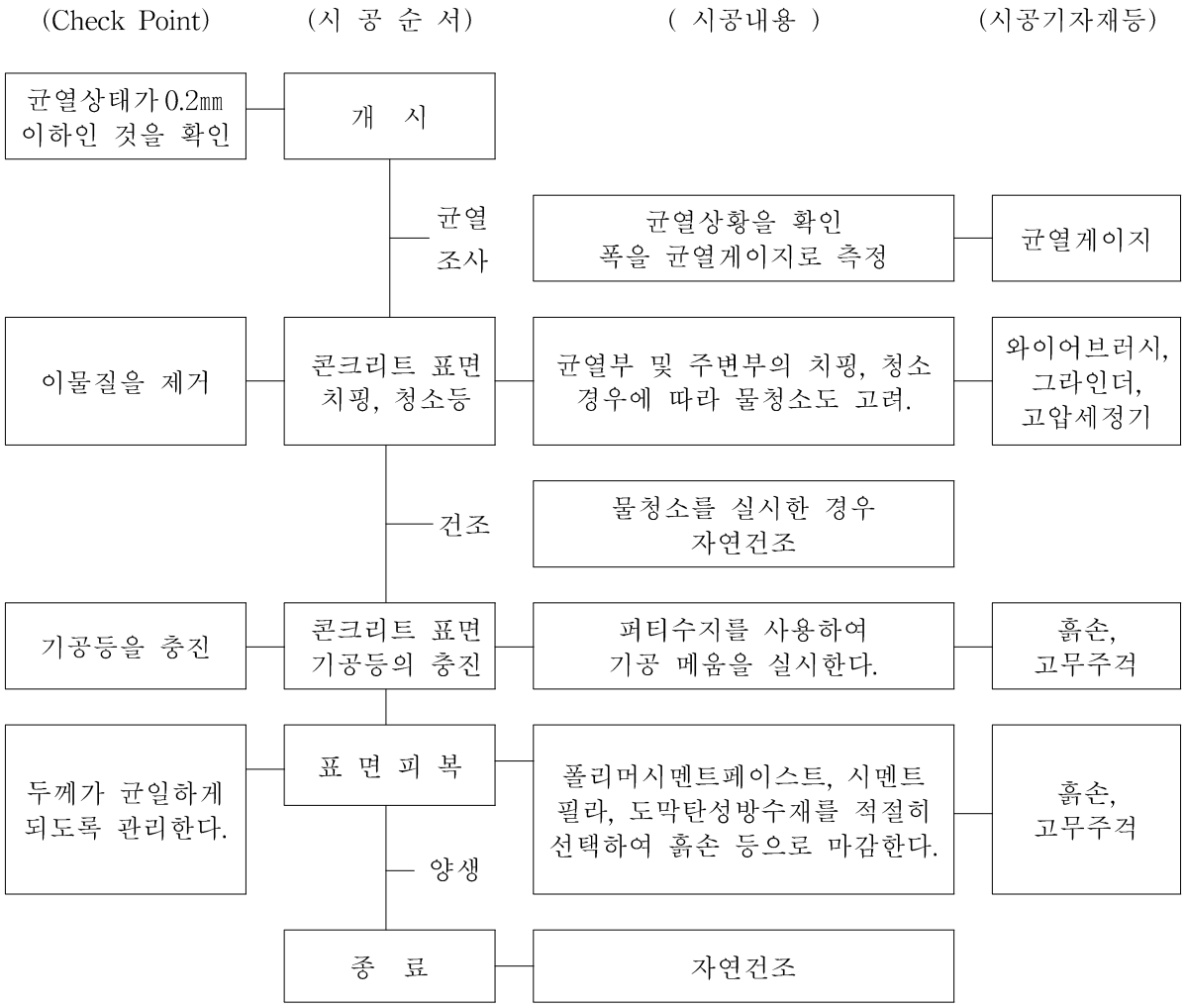
균열 보수공법에는 일반적으로 표면처리보수, 주입보수, 충전보수, 기타의 공법이 있고 공법에 따라 사용재료가 상이하게 된다. 균열보수에 사용되는 재료의 종류와 보수 공법 사이의 관계는【표 7.14】과 같다.

【표 7.14】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 7.4】과 같다.



【그림 7.4】 표면처리보수 시공 흐름도

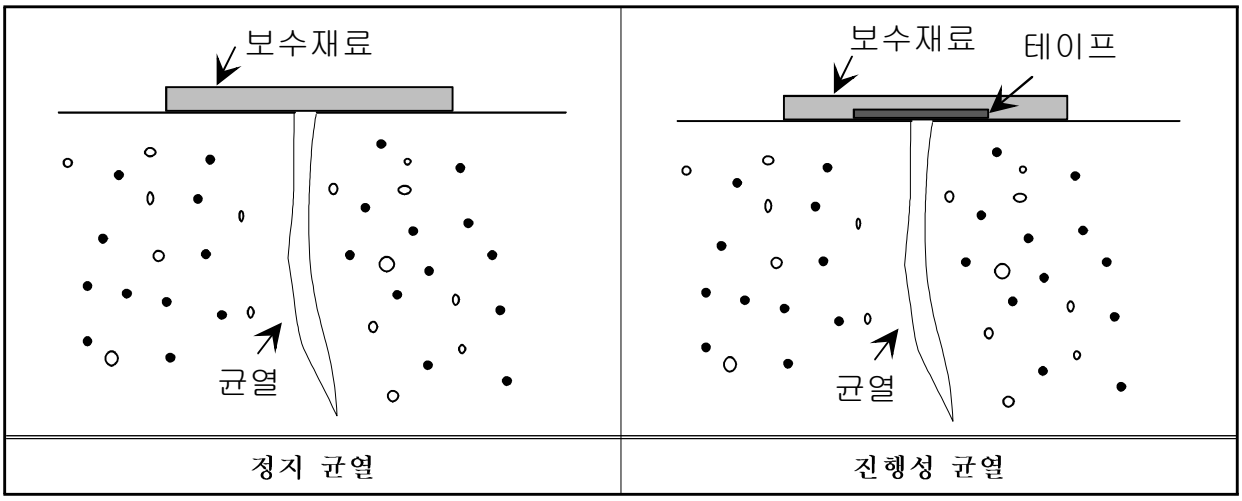
균열의 성장이 정지된 상태에서는【그림 7.5】와 같이 균열선 및 백태를 따라 폭 50~100㎜를 와이어 브러쉬로 닦아내거나 심한 경우 치핑을 실시한 후 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터로 균일하게 도포한다. 콘크리트 표면에 0.3㎜이하의 미세한 균열이 많이 분포해 있는 경우도 같은 방법으로 도포할 수 있으며, 재료를 기계로 분무하여 도포할 수도 있다.

균열폭의 변동이 큰 경우 경화후의 재질이 단단한 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터로 보수할 경우 보수부위에 다시 균열이 발생하므로【그림 7.5】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 7.5】 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 7.15】 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 7.15】 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 7.16】 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 7.16】과 같다.

【표 7.16】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 7.17】와 같으며, 일반적인 주입 파이프의 간격과 설치 개요는【표 7.18】,【그림 7.6】와 같다.

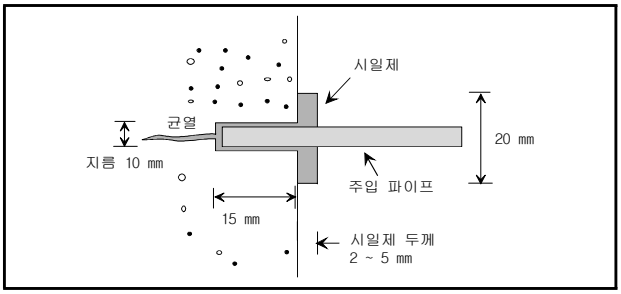
【표 7.17】균열폭에 알맞은 수지의 점성도

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 7.18】균열폭에 따른 주입파이프의 간격

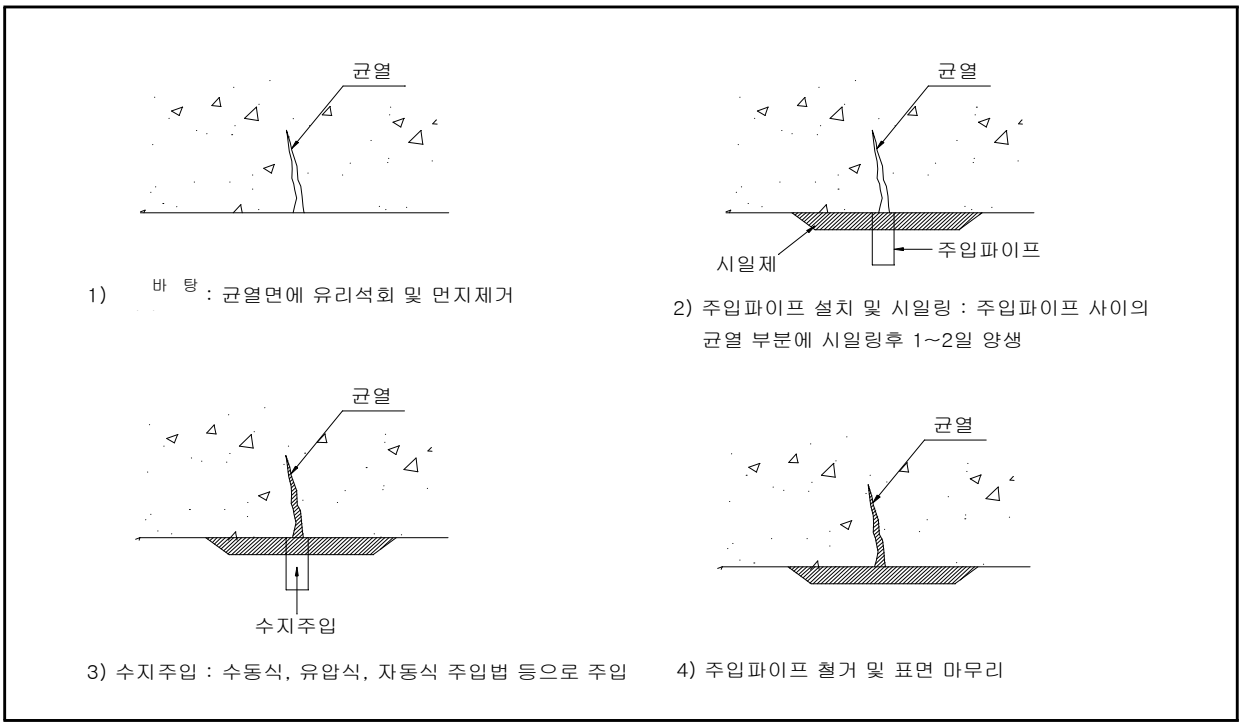
균열폭	주입파이프 간격(㎜)
0.3 이하	50 ~ 100
0.3 ~ 0.5	100 ~ 200
0.5 ~ 1.0	150 ~ 250
1.0 이상	200 ~ 300

【그림 7.6】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.



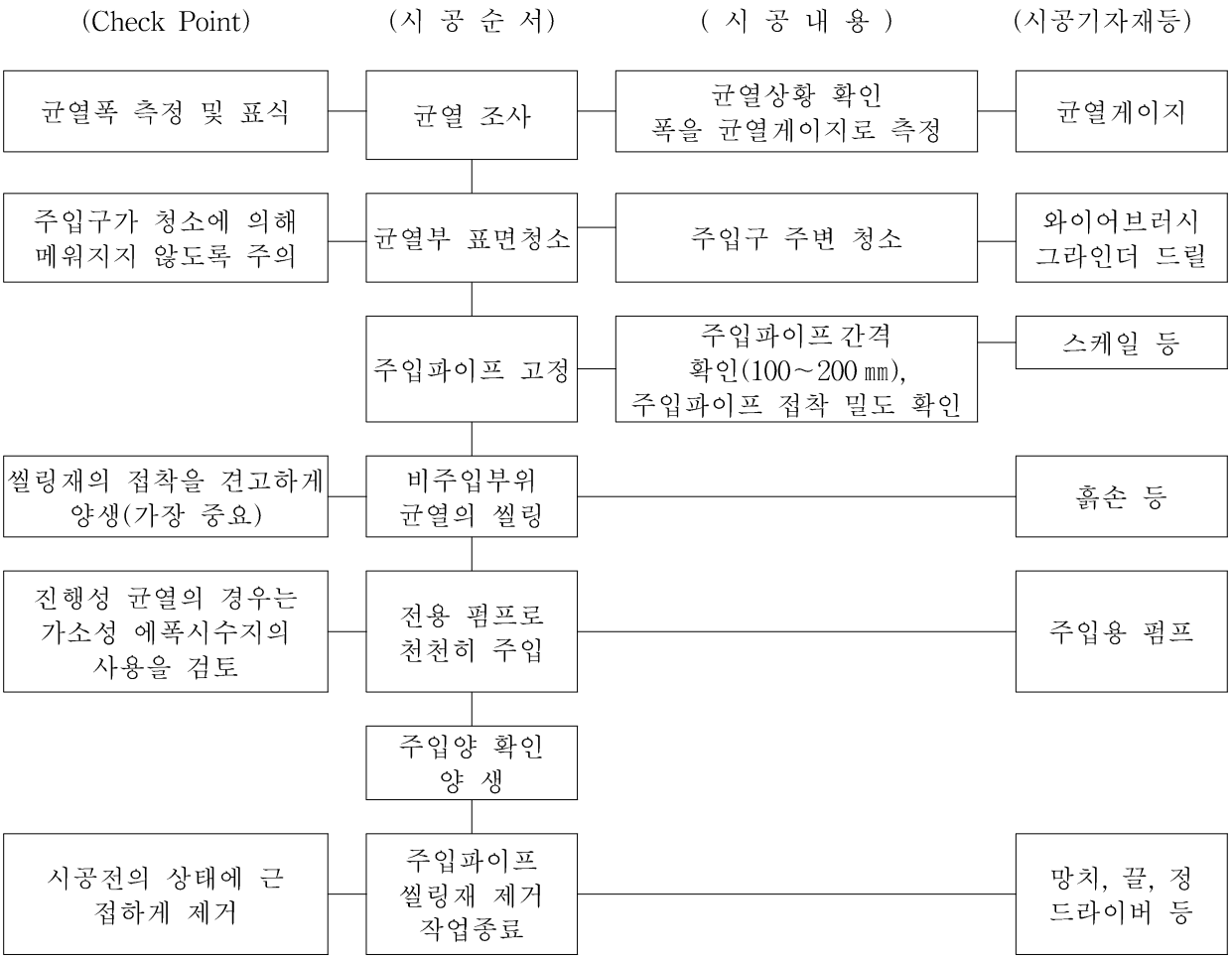
1) 바 탕 : 균열면에 유리석회 및 먼지제거

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 7.7】 주입보수 시공상세도



【그림 7.8】 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 7.7】,【그림 7.8】과 같고, 수지계 주입재의 특징은【표 7.19】과 같다.

【표 7.19】 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.

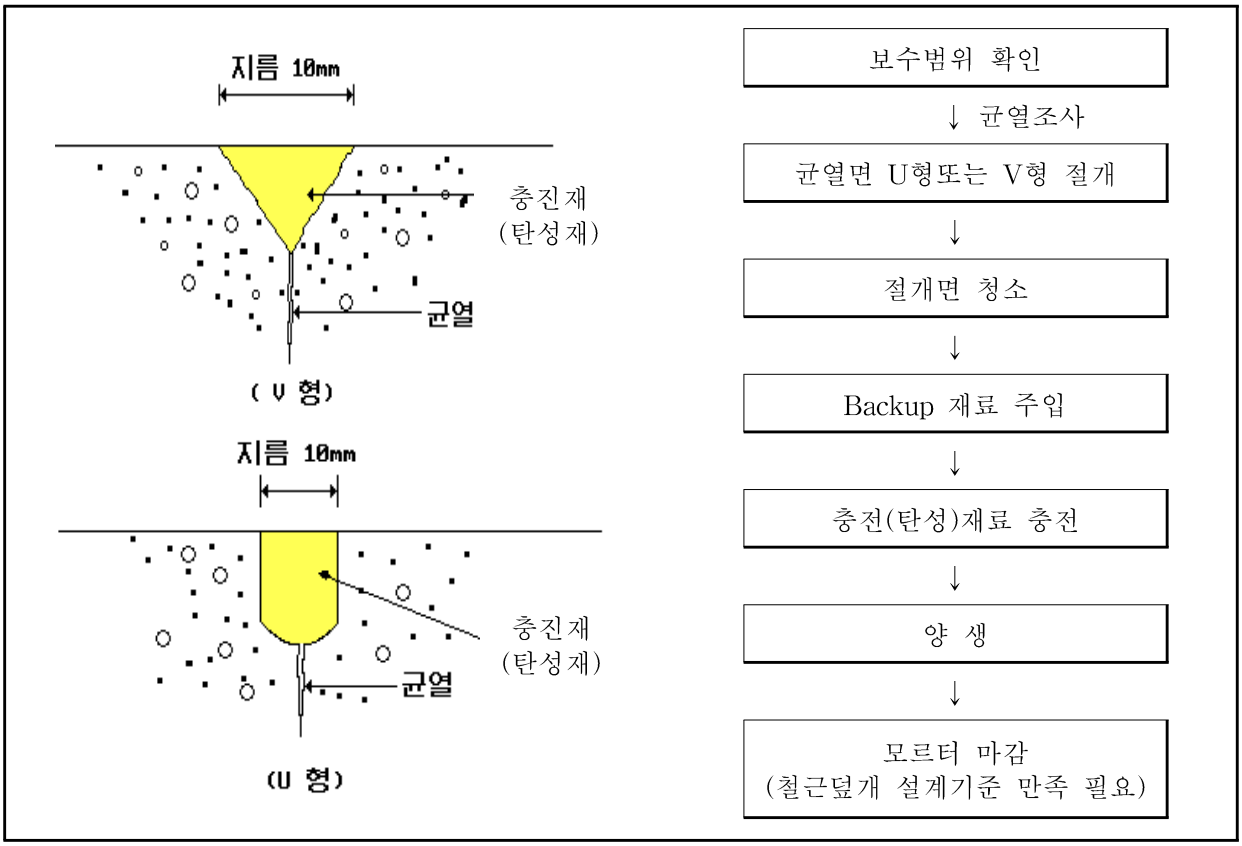
씰링 및 표면 마감면은 주입압에 견디도록 충분히 양생한다.

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



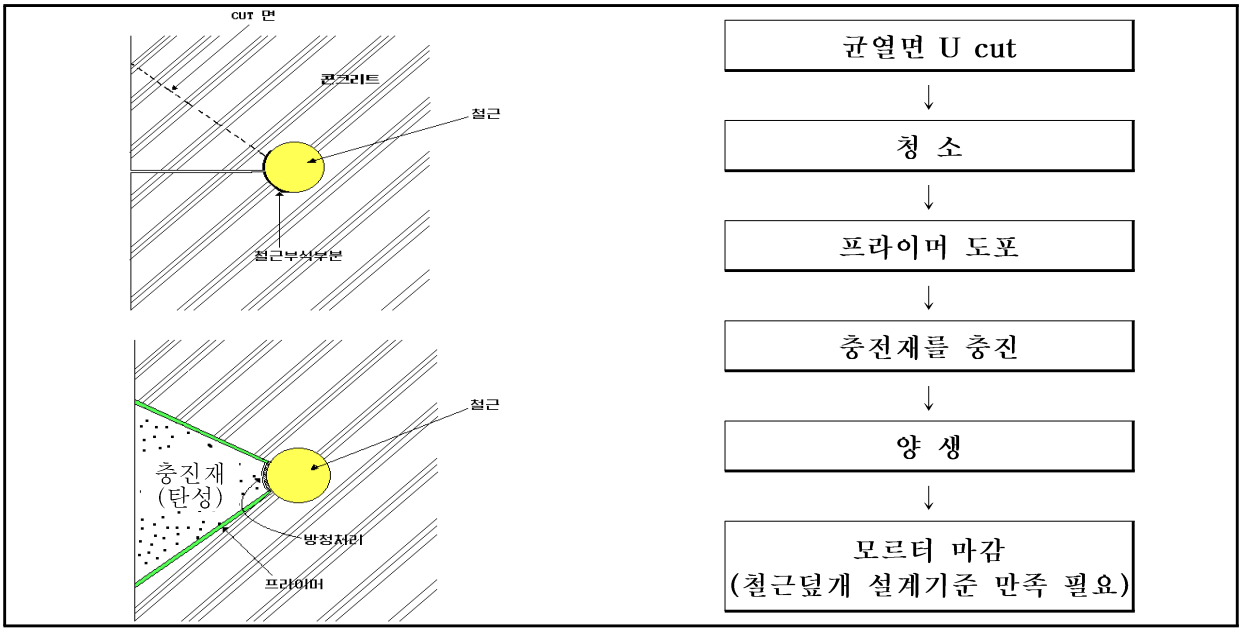
【그림 7.9】철근이 부식되지 않는 경우의 충전보수 및 시공흐름

철근이 부식되지 않은 경우는【그림 7.9】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 7.10】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 7.10】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 7.10】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

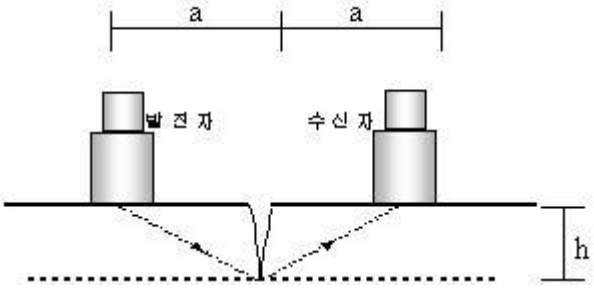
- 표면정리 및 균열 확인

㉡ 작업중의 검사 항목

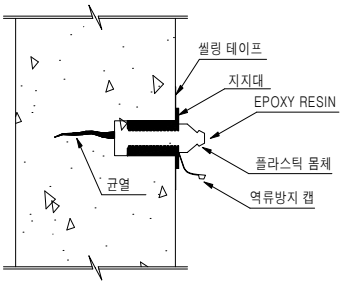
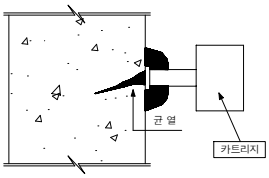
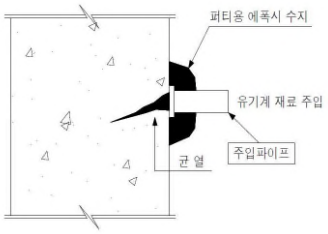
- 주입량 체크 : 주입 보수 실시 전에 주입기에 있는 주입재의 양과 보수 완료 후 주입기 제거 전에 주입재의 양을 체크하여 주입 정도를 판단한다.

㉢ 작업 종료 후의 검사 항목

【표 7.20】 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 7.21】 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 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.

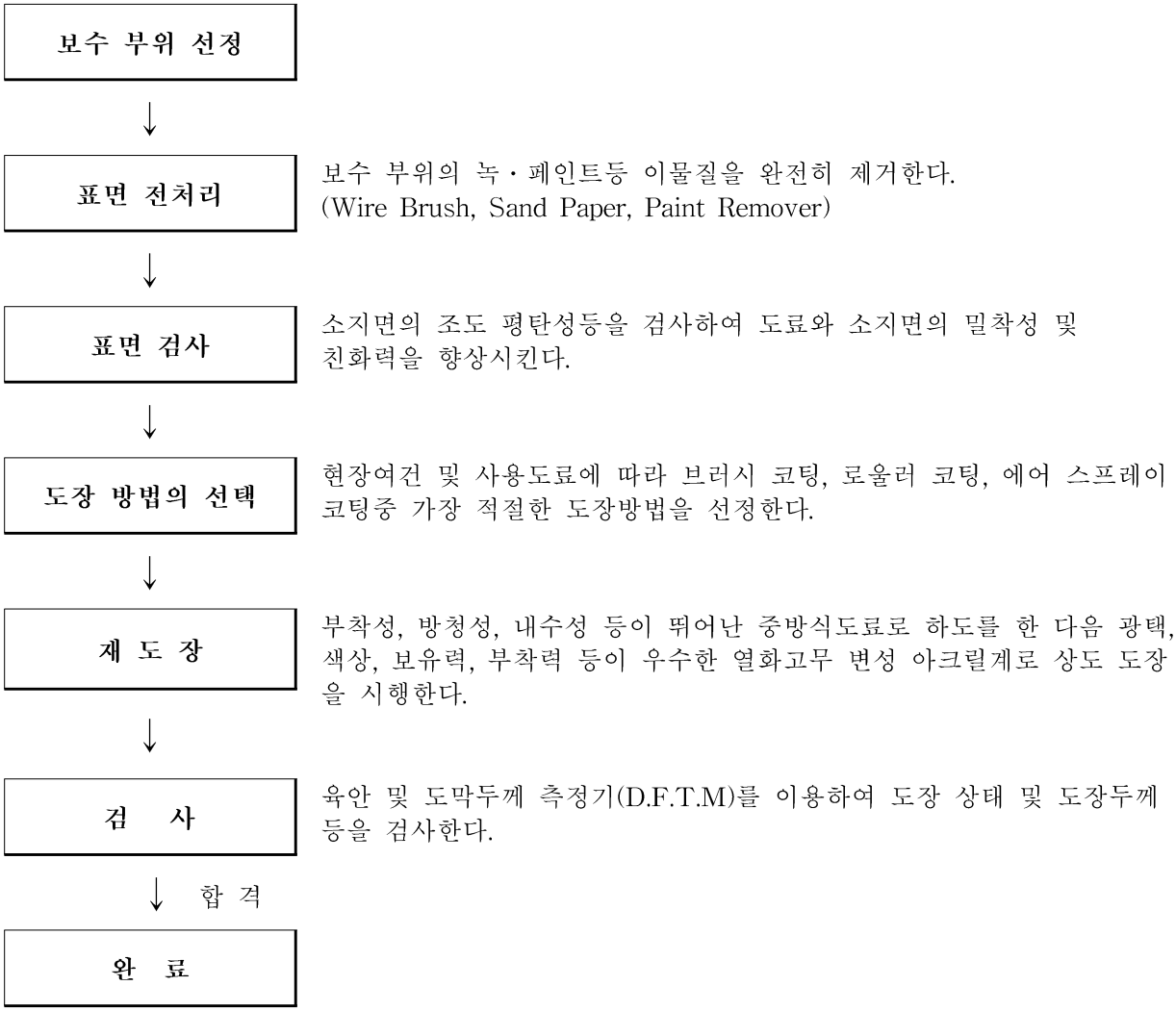
⑤ 스프레이 할 때 풍향과 풍속이 근처의 자동차, 다른 구조물에 피해를 주는가를 반드시 고려해야 한다.

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 7.11】 교량받침 부식 도장보수 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. 강재 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 7.22】 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) 도장 종류

① 외부도장 종류

【표 7.23】 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.

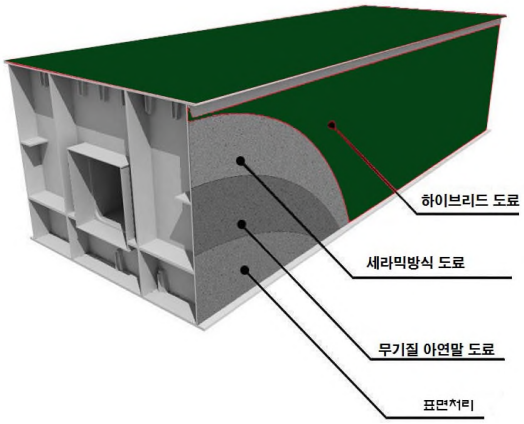
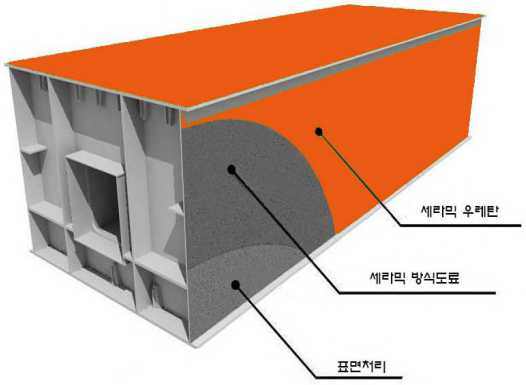
② 내부도장 종류

【표 7.24】 내부도장 종류

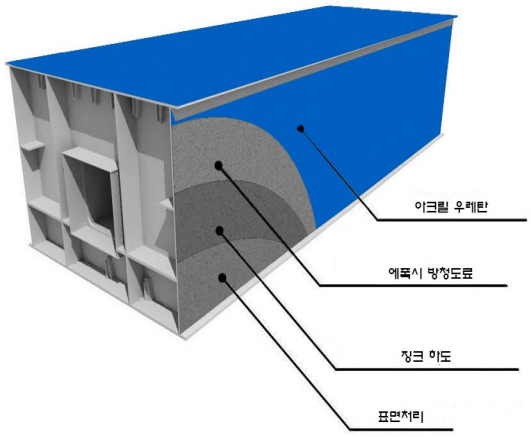
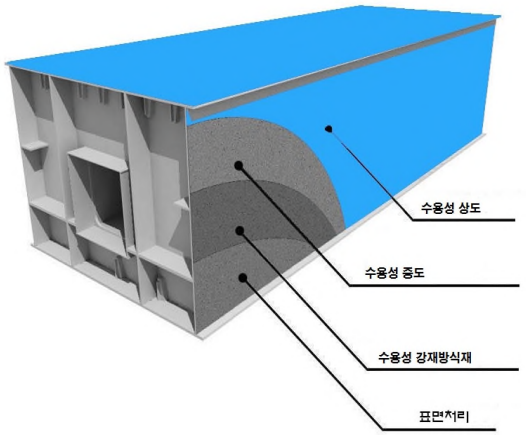
구 분	후막형 에폭시계	타르 에폭시계	수용성무기징크(IC531)
개 요	▪ 에폭시 수지에 체질안료 및 착색안료를 배합하여 제조한 도료 ▪ 하도와 상도의 가교 역할 및 중도로서 차단 역할을 하는 도료로 사용	▪ 에폭시 수지에 내수성이 탁월한 타르를 배합	▪ Silicate와 Potassium 비율(5.3 : 1) ▪ 건조후 탄산칼륨염이 잔존 ▪ 탄산칼륨이 물과 반응하여 수소와 탄산가스를 발생시켜 도막 층간 부착이 불량함
특 징	▪ 다양한 색상 ▪ 내수성, 내마모성, 내용제성 우수 ▪ 수분접촉시 변색 없음 ▪ 작업성, 경도, 부착성 우수 ▪ 공사비 고가	▪ 내수성, 방청성 우수 ▪ 경도, 부착성 우수 ▪ 가격 저렴(후막형 에폭시 대비 20% 저렴) ▪ 색상제한(흑색, 갈색) ▪ 어두운 색상이므로 검사 및 점검시 불리 ▪ 냄새가 심하여 작업환경이 열악함 ▪ 내용제성, 내후성불량(황변)	▪ 도장작업 조건이 적합한 경우 내구연한 우수 ▪ 색상제한(회색) ▪ 보수가 어려움 ▪ 시공환경에 민감

5) 도장보수 비교안

【표 7.25】 도장보수 비교표(1)

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

【표 7.26】 도장보수 비교표(2)

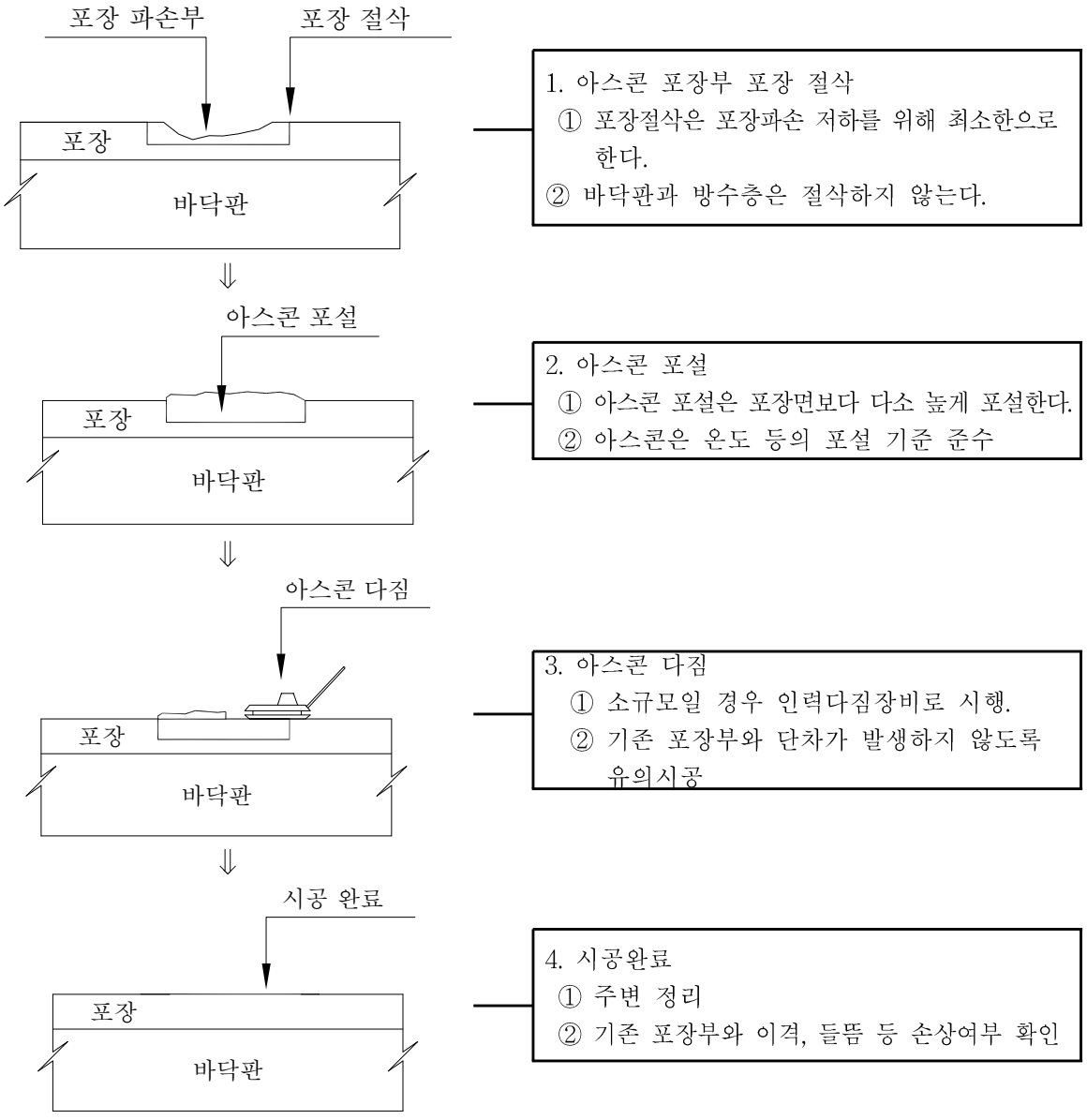
구 분	3안 아크릴계 (태일케미칼)	4안 하이브리드계 (세기하이테크)
개 요 도 (외부기준)		
	징크(Zn) 에폭시계 중방식 방청도료와 아크릴 에스테르 우레탄수지 도료를 이용한 신·구 강구조물의 방청·방식 목적의 중방식 도장 공법	수용성 복합소재로 결합된 하이브리드 결정체로, 구조물 표면에 물리, 화학적 성능이 우수한 방호막을 형성하여, 내구성이 우수한 수용성 친환경 표면보호 공법
장 단 점	· 초 내화학성 및 내충격성 내마모성 등의 우수한 물리적 성능 발휘 · 자외선 차단기능으로 변색 및 탈색 적음 · 에폭시계로 내구수명이 타 공법에 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

마. 아스콘 팻칭보수

1) 개요

부산방향 A1측 접속슬래브 구간의 아스콘 패임(A=0.75㎡, 1개소) 손상에 대하여 주행 안전성 확보를 위해 아스콘 팻칭보수를 시행한다.

2) 시공방법



【그림 7.12】 팻칭보수 시공흐름

7.3 보수·보강 개략공사비

7.3.1 보수·보강 공법별 적용 단가

- 주요 보수·보강 공법별 적용 단가는 2016년 한국도로공사에서 제시한 단가를 적용한다.

품 명		규 격	수량	단위	재료비	노무비	경비	합계	비고
단면복구		폴리머몰탈T=3cm	1	㎡	80,860	127,571	3,666	212,097	적용
철근노출 단면복구		T=30mm:폴리머몰탈(철근노출)	1	㎡	82,470	153,979	4,450	240,899	적용
콘크리트균열보수(0.3mm)		B=0.3mm,T=10cm	1	m	43,052	26,103	783	69,938	적용
표면처리		면갈이30%, 면청소70%	1	㎡	9,569	23,292	500	33,361	적용
강재 도장보수	강교외부 바탕처리	power tool	1	㎡	32	12,190		12,222	
	강교외부도장(하도)	에폭시계	1	㎡	3,165	2,808	331	6,304	
	강교외부도장(중도)	우레탄계	1	㎡	2,813	2,809	140	5,762	
	강교외부도장(상도)	우레탄계	1	㎡	3,087	2,810	140	6,037	
	부식부 도장보수	바탕처리+상·중·하도	1	㎡	9,097	20,616	612	30,325	적용
	도장박리부 도장보수	바탕처리+상도	1	㎡	3,119	15,000	140	18,259	적용
받침 도장보수	슈도장 바탕처리	C급	1	㎡		40,857		40,857	
	슈도장	녹막이 1회, 조합2회	1	㎡	3,374	12,676	158	16,208	
	받침장치 도장보수	바탕처리+슈도장	1	㎡	3,374	53,533	158	57,065	적용
아스팔트포트홀 긴급보수			1	일	67,088	556,154	84,312	707,554	적용

7.3.2 백운4교(부산)

가. 부재별 보수·보강 개략공사비

【표 7.27】 백운4교(부산) 부재별 보수·보강 개략공사비

구 분	손상내용	보수·보강 공법	보수깊이·폭 (mm)	보수 물량	보수 단위	단가 (원)	공사비 (원)	비고
바닥판	균열, 백태	표면처리	Cw=0.3㎜미만	0.08	㎡	33,361	2,502	3순위
	들뜸, 백태, 녹물	단면복구(방청)	t=30㎜	1.20	㎡	240,899	289,079	2순위
	잡철근노출	단면복구	t=30㎜	0.09	㎡	212,097	19,089	3순위
거더	도장박리	도장보수		6.66	㎡	18,259	123,383	3순위
	부식	도장보수		105.50	㎡	30,325	3,199,136	3순위
	볼트부식	도장보수		2.70	㎡	30,325	81,878	3순위
가로보	부식	도장보수		0.20	㎡	30,325	5,913	3순위
브레이싱	도장박리	도장보수		0.03	㎡	18,259	556	3순위
	부식	도장보수		4.79	㎡	30,325	145,105	3순위
교대	균열, 백태	표면처리	Cw=0.3㎜미만	1.01	㎡	33,361	33,778	3순위
	균열, 백태	주입보수	Cw=0.3㎜이상	5.25	m	69,938	367,175	2순위
	균열 및 녹물	단면복구(방청)	t=30㎜	1.13	㎡	240,899	271,011	2순위
	들뜸, 박락, 파손	단면복구	t=30㎜	3.78	㎡	212,097	801,727	3순위
	철근노출	단면복구(방청)	t=30㎜	0.11	㎡	240,899	25,294	2순위
	사면유실 A1측	몰탈보수	폼타이홈 누수	0.06	㎡	25,000	1,500	3순위
	사면유실 A2측	사면정비		0.75	㎡	7,400	5,550	3순위
교각	들뜸, 박락, 파손	단면복구	t=30㎜	5.03	㎡	217,000	1,090,425	3순위
받침장치	부식	도장보수		6.17	㎡	57,065	351,806	3순위
신축이음	토사퇴적	청소		1.55	㎡	20,000	30,900	3순위
	후타재 균열	표면처리	Cw=0.3㎜미만	10.31	㎡	33,361	344,035	3순위
	후타재 망상균열	표면처리		0.90	㎡	33,361	30,025	3순위
	후타재 파손	단면복구	t=30㎜	0.62	㎡	212,097	130,440	3순위
교면포장	망상균열 및 패임	팻칭보수		1.00	일	707,554	707,554	3순위
배수시설	용접부 부식, 누수	용접보수		0.30	㎡	43,000	12,900	1순위
	고정핀 부식	재설치		44.00	EA	20,000	880,000	1순위
	고정핀 탈락	재설치		26.00	EA	20,000	520,000	1순위
방호벽	균열	표면처리	Cw=0.3㎜미만	7.50	㎡	33,361	250,208	3순위
	보수부 재균열	표면처리	Cw=0.3㎜미만	1.69	㎡	33,361	56,297	3순위
	균열 및 백태	표면처리		11.44	㎡	33,361	381,566	3순위
	백태	표면처리		1.40	㎡	33,361	46,539	3순위
	들뜸	단면복구	t=30㎜	8.18	㎡	212,097	1,733,893	1순위
	전선덮개판 탈락	재설치		10.00	EA	10,000	100,000	3순위
순공사비(원)		공사비 합계					12,039,000	
순위별 순공사비(원)		단기(1순위)					3,147,000	
		중장기	(2순위)				959,000	
			(3순위)				7,933,000	
제경비(원)		(순공사비×50%)					6,020,000	
개략공사비(원)		순공사비+제경비					18,059,000	

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

7.3.3 백운4교(춘천)

가. 부재별 보수·보강 개략공사비

【표 7.28】 백운4교(춘천) 부재별 보수·보강 개략공사비

구 분	손상내용	보수·보강 공법	보수깊이·폭 (mm)	보수 물량	보수 단위	단가 (원)	공사비 (원)	비고
바닥판	망상균열, 백태	표면처리	Cw=0.3㎜미만	3.60	㎡	33,361	120,100	3순위
		물끊기홈 설치		22.50	m	10,000	225,000	1순위
	콘크리트 박락	강판제거 및 단면복구	t=50㎜	3.38	㎡	380,000	1,282,500	1순위
		물끊기홈 설치		15.00	m	10,000	150,000	1순위
	전선보호덮개 탈락	재설치		52.50	m	50,000	2,625,000	3순위
거더	도장박리	도장보수		19.62	㎡	18,259	363,480	3순위
	부식	도장보수		391.13	㎡	30,325	11,860,866	3순위
	볼트부식	도장보수		304.50	㎡	30,325	9,233,963	3순위
	녹물흔적	도장보수		9.83	㎡	18,259	182,018	3순위
가로보	도장박리	도장보수		4.74	㎡	18,259	87,813	3순위
	부식	도장보수		2.00	㎡	30,325	60,498	3순위
	볼트부식	도장보수		7.41	㎡	30,325	224,708	3순위
브레이싱	부식	도장보수		31.80	㎡	30,325	964,335	3순위
	볼트부식	도장보수		2.43	㎡	30,325	73,690	3순위
교대	균열	주입보수	Cw=0.3㎜이상	26.70	m	69,938	1,867,345	2순위
	망상균열 및 백태	표면처리	Cw=0.3㎜미만	2.10	㎡	33,361	70,058	3순위
	백태	표면처리		3.44	㎡	33,361	114,595	3순위
	들뜸 및 파손	단면복구	t=30㎜	3.59	㎡	212,097	760,368	3순위
교각	균열	주입보수	Cw=0.3㎜이상	39.00	m	69,938	2,727,582	2순위
	파손	단면복구	t=30㎜	1.49	㎡	212,097	314,964	3순위
	들뜸	몰탈보수		27.89	㎡	25,000	697,125	3순위
	표면불량	단면복구	t=30㎜	0.80	㎡	212,097	168,617	3순위
받침장치	부식	도장보수		4.64	㎡	57,065	264,496	3순위
	전단키 부식	도장보수		6.00	㎡	57,065	342,390	3순위
신축이음	토사퇴적	청소		4.50	m	20,000	90,000	2순위
	후타재 균열	표면처리	Cw=0.3㎜미만	10.50	㎡	33,361	350,291	3순위
	덮개판 볼트탈락	볼트 재설치		7.00	EA	3,000	21,000	1순위
교면포장	망상균열	팻칭보수		1.00	일	707,554	707,554	3순위
배수시설	배수구 이물질퇴적	청소		3.00	EA	20,000	60,000	2순위
	용접연결부 누수	용접보수		3.00	EA	43,000	129,000	1순위
	고정핀 부식	고정핀 재설치		50.00	EA	20,000	1,000,000	1순위
	고정핀 탈락	고정핀 재설치		15.00	EA	20,000	300,000	1순위
방호벽	균열	표면처리	Cw=0.3㎜미만	284.06	㎡	33,361	9,476,609	3순위
	망상균열	표면처리		234.89	㎡	33,361	7,835,998	3순위
순공사비(원)		공사비 합계					54,751,000	
순위별 순공사비(원)		단기(1순위)					3,107,000	
		중장기	(2순위)				4,655,000	
			(3순위)				46,989,000	
제경비(원)		(순공사비×50%)					27,376,000	
개략공사비(원)		순공사비+제경비					82,127,000	

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 유지관리 방안

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

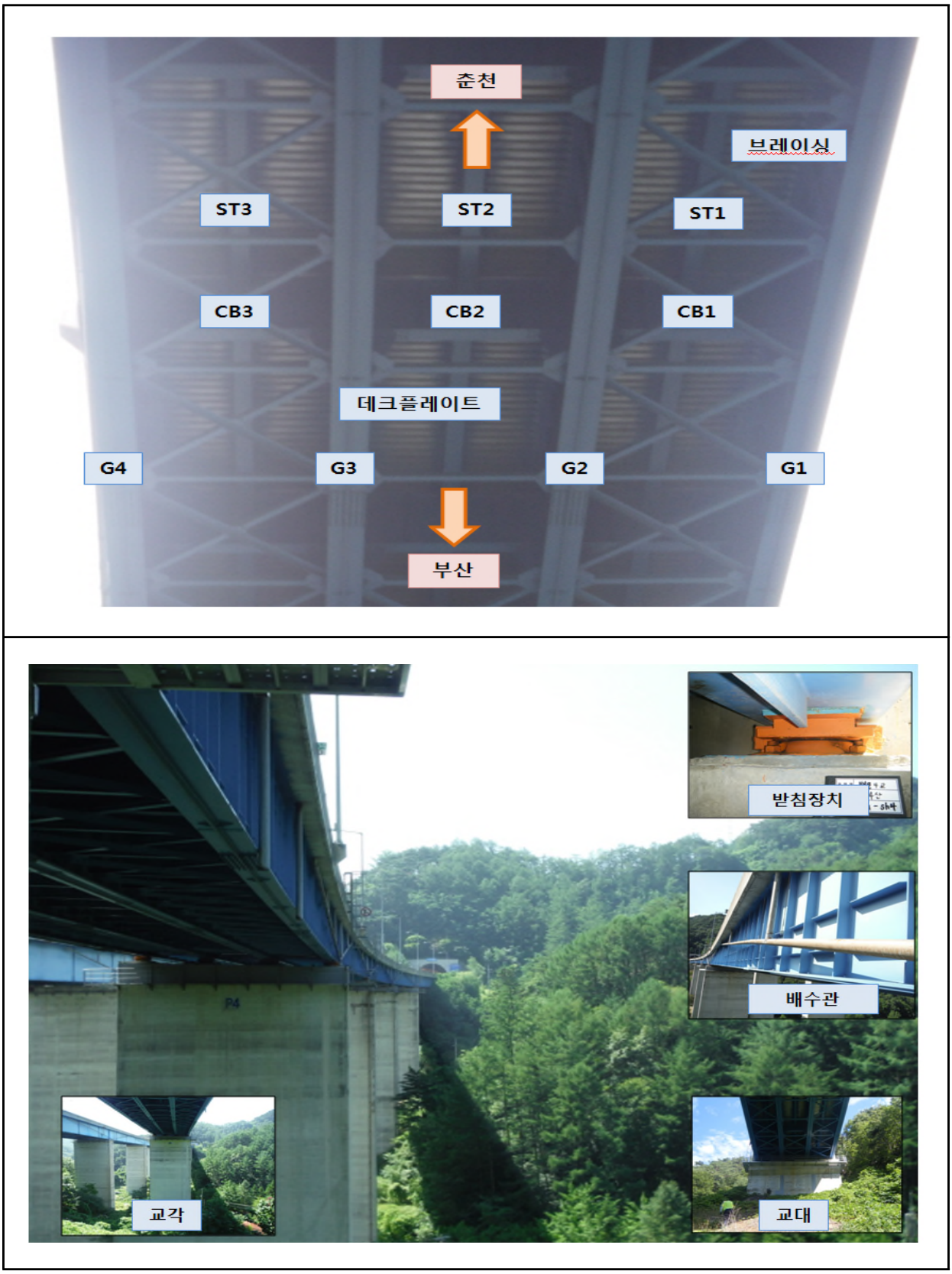
본 절은 교량의 안전성과 기능성, 사용성 및 노후화 정도 등을 파악하여 재해를 사전에 예방하기 위해서 유지관리상 필요한 점검항목 및 점검요령을 기술하였다.

가. 시설물 부재별 명칭

1) 백운4교(부산)

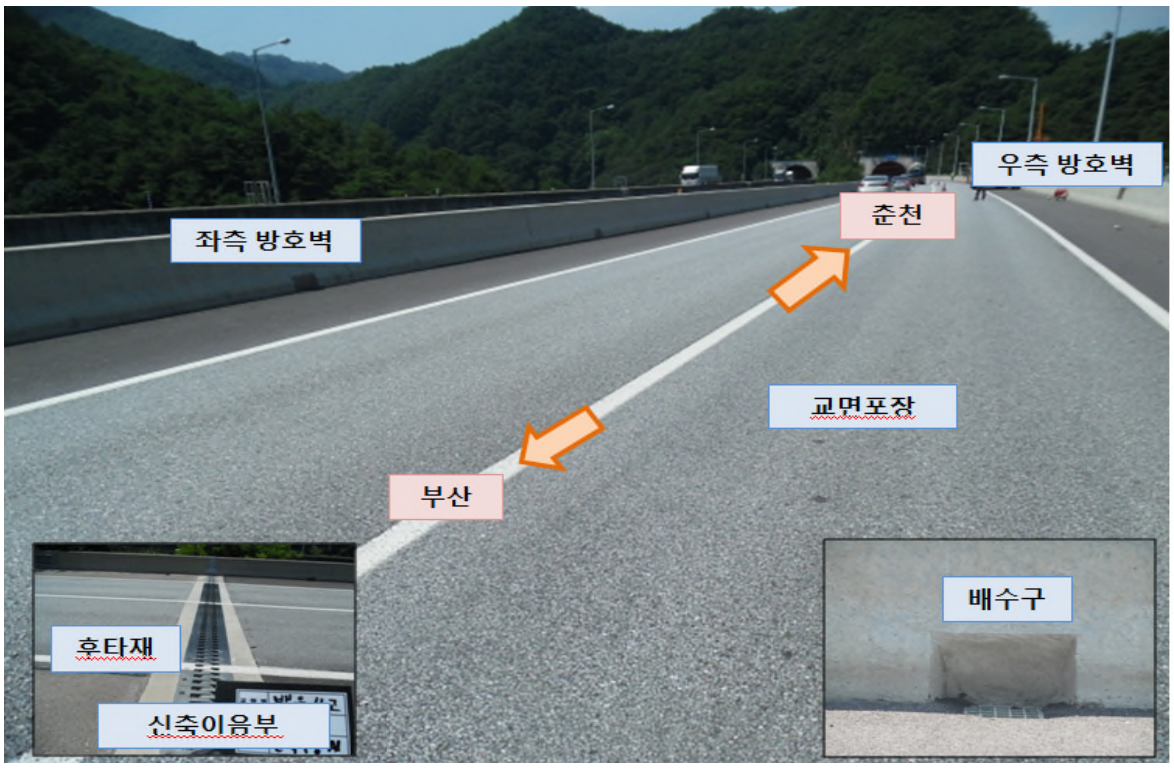


【그림 7.13】 백운4교(부산) 부재별 명칭



【그림 7.14】 백운4교(부산) 부재별 명칭(계속)

2) 백운4교(춘천)





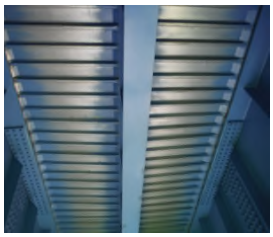
【그림 7.15】 백운4교(춘천) 부재별 명칭



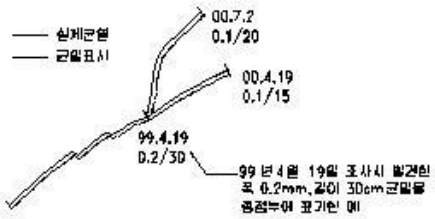
【그림 7.16】 백운4교(춘천) 부재별 명칭(계속)

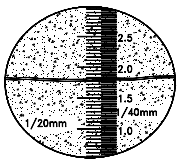
나. 바닥판

【표 7.29】 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	- 콘크리트	• 콘크리트 균열부 백태 및 누수 발생 여부 • 슬래브 중앙부 횡방향 균열
	- 데크플레이트	• 데크플레이트 박리 및 누수 • 데크플레이트 표면 부식
주요 부위	 < 바닥판 > 백운4교(부산)	 < 캔틸레버 하면 > 백운4교(부산)
	 < 바닥판 > 백운4교(춘천)	 < 캔틸레버 하면 > 백운4교(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 - 데크플레이트 및 강판 박리 및 누수부는 슬래브 열화 및 박락 여부에 대한 확인이 필요	

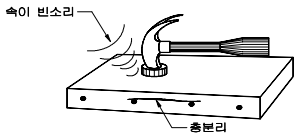
【표 7.30】 바닥판 일반 유지관리 사항(계속)

<table>
<tr>
<td>점검
요령</td>
<td>


(a) 균열표시 예


(b) 균열경 조사 예

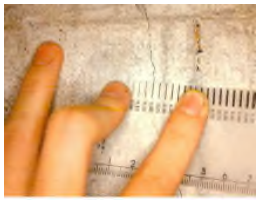
- 부모멘트가 발생하는 연속 받침부는 상부에서 하부로, 정모멘트가 발생하는 중앙부 구간은 하부에서 상부 순서로 점검을 진행
- 균열로부터 녹물 유출 여부 조사(철근 부식)
- 망상균열, 층분리, 누수나 백태흔적이 발견될 경우 점검용 망치를 두드려 나는 소리로서 내부결함의 존재여부를 추정한다. 내부에 결함 존재 시 외관상 건전한 부위에서도 펀칭 전단파괴의 우려가 있다.
※점검용 망치 : 내부의 공동이나 층분리 여부를 소리로 판단. 즉 건전한 부분을 두들기면 “핑”하는 맑은 소리가 나지만 내부결함이 있는 부분은 “퍽”하는 소리가 난다.





※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 Plate Girder

【표 7.31】 Steel Plate Girder 일반 유지관리 사항

점 검 부 위	점 검 항 목
▷공통	• 변형, 균열, 파손 • 표면(도장)상태 오염, 부식 • 이상처짐 • 연결부 볼트 이완, 파손, 이상음
▷받침부	• 복부판 부식 및 국부좌굴 • 거더와 받침연결부 부식
▷중앙부	• 맞대기 용접부 균열 • 플랜지 변형 및 처짐 • 브레이싱 연결판 용접부 균열
▷2차부재(가로보, 세로보, 브레이싱)	• 거더와의 연결부 균열 및 변형
▷보수부위	• 용접부 및 용접부 주변 균열
주요 부위	 < 플레이트거더 백운4교(부산) >  < 플레이트거더 백운4교(춘천) >
점검 요령	○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 - 점검로를 이용한 지점부 조사 시 교량 상부를 통해 이동해야 하므로 2인 1조로 실시
점검 도구	• 사진기(망원렌즈) • 줄자(5m자) • 점검야장 • 점검용 망치 • 손전등(박스내부) • 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)

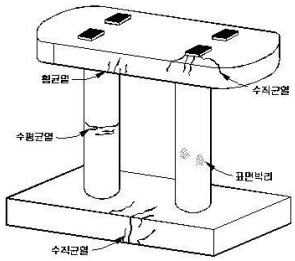
라. 교대

【표 7.32】 교대 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(시공이음부 횡방향 균열)
• 박리, 박락, 층분리, 백태(유리석회), 파손, 철근노출
• 교대 회전(기울음), 침하(연직이동)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 두부</td><td colspan="4">• 두부 물고임
• 두부와 흉벽 경계부 균열(후면으로 기울음)
• 거더와 흉벽 신축유간 부족</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 벽체</td><td colspan="4">• 균열(수직균열)
• 벽체와 날개벽 분리(이동)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 날개벽</td><td colspan="4">• 날개벽 이동, 전도</td></tr>
<tr><td>주요
부위</td><td colspan="5"> 
< 교대 A1 >
백운4교(부산)
 
< 교대 A2 >
백운4교(부산)
 
< 교대 A1 >
백운4교(춘천)
 
< 교대 A2 >
백운4교(춘천)</td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="5">○ 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 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</td><td colspan="3">• 점검추 - 기울음 측정
• 탄산화 시험기
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

마. 교각

【표 7.33】 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 >
백운4교(부산)
< 교각 P3 >
백운4교(부산)
< 교각 P2 >
백운4교(춘천)
< 교각 P3 >
백운4교(춘천)</td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="5"> 

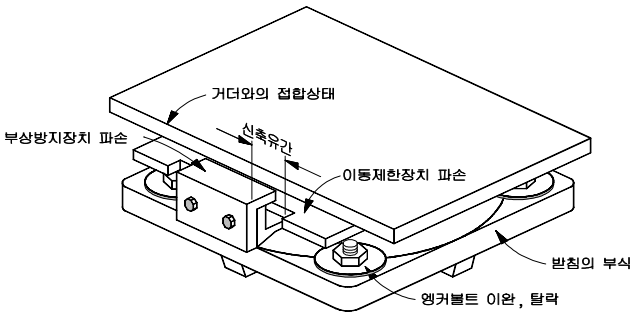
○ 점검방법
- 접근장비 및 점검로에서 점검
- 신축이음의 유간이 비정상적(크게 벌어짐 또는 닫힘)이거나 방호울타리 상단선형이 불량한 경우에는 교각 침하가 의심스러우므로 교각 구체 상부와 하부를 측량기기로 측정하여 교각의 전도 여부를 확인하고 구체에 기준점을 표시하여 침하여부를 주기적으로 확인

○ 손상발생시 조치
- 교각두부 받침하부에 폭 0.3㎜이상 균열이 단부까지 진행된 경우에는 교량 안전과 직접적으로 관련이 있으므로 즉시 보고 및 대책수립

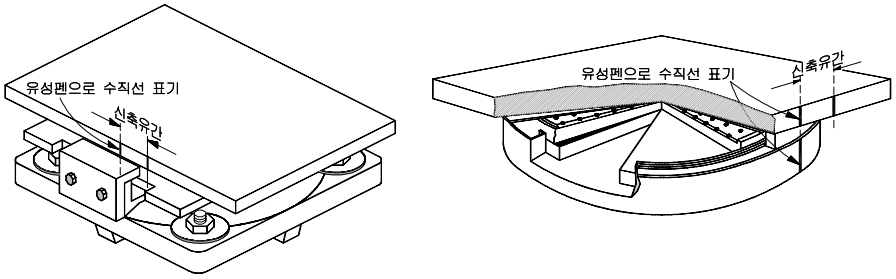
○ 점검시 유의사항
- 신축이음 유간이 크게 벌어지거나 닫힘, 방호울타리 선형불량은 교각 침하의 징후로 볼 수 있으므로 교각 점검 시 참고해야 할 항목임</td></tr>
<tr><td>점검
도구</td><td colspan="5">• 사진기
• 균열자
• 줄자(5m자)
• 점검용 망치
• 점검추 - 기울음 측정
• 탄산화 시험기
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

바. 교량받침

【표 7.34】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
▷ 받침대		• 균열, 파손(하부공동) • 부분 침하
▷ 이동제한장치		• 용접부 균열 • 파손
주요 부위	 < 스페리컬받침, 백운4교(부산) >	 < 포트받침, 백운4교(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 7.35】 교량받침 일반 유지관리 사항(계속)

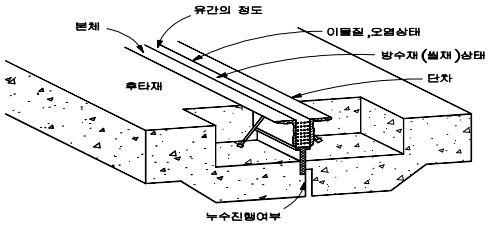
주요 내용	 - 경사교에서 받침 경사설치로 인한 상부가동받침과 하부받침 접촉 및 받침 부속품과의 접촉으로 인한 가동장애요소 점검 - 수직보강재와 받침이 10㎝ 이상 편기시 하부플랜지의 국부변형이나 거더 복부판의 좌굴 여부 확인 - 받침하부에 공동이 의심되면 긴드라이버 혹은 철사로 찔러서 확인하고, 침하흔적은 앵커볼트의 체결상태 및 인접받침의 상태를 참고하여 확인 - 받침부의 물고임 부분은 누수부위 확인 및 물고임 원인분석 ○손상발생시 조치 - 받침하부 교각 두부에 0.3㎜ 이상의 균열이 단부까지 진행된 경우 즉시 보고하고, 안전성 검토 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

사. 신축이음

【표 7.36】 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)
	- 강재	• 방수재(씰재) 파손 - 노면수 유입
▷ 후타재		• 균열, 파손(패임 및 요철)
주요 부위	 < 신축이음 A1 > 백운4교(부산)	 < 신축이음 A2 > 백운4교(부산)
	 < 신축이음 A1 > 백운4교(춘천)	 < 신축이음 A2 > 백운4교(춘천)

【표 7.37】 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>

아. 교면포장

【표 7.38】 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, 백운4교(부산) >
 
< 교면포장, 백운4교(춘천) ></td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="2">○ 점검방법
- 방호울타리 양측 갓길에서 근접하여 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>

자. 배수시설

【표 7.39】 배수시설 일반 유지관리 사항

<table>
<tr><th colspan="3">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 배수구</td><td>- 격자판(grating)
- 유입구</td><td>• 파손, 누락
• 누수, 체수(막힘)
• 오염(오물퇴적)</td></tr>
<tr><td colspan="3">▷ 배수관</td><td>• 파손(연결 고정부 탈락 및 용접부 누수)
• 배수관 길이 부족(거더에 물 떨어짐)
• 유출구 위치 부적절
(도로상이나 구조물 위에 위치)</td></tr>
<tr><td>주요
부위</td><td colspan="3"> 
< 배수구 >
백운4교(부산)
 
< 배수관 >
백운4교(부산)
 
< 배수구 >
백운4교(춘천)
 
< 배수관 >
백운4교(춘천)</td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="3">○ 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="3">• 사진기
• 드라이버(driver)
• 점검용 망치
• 줄자
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

차. 방호벽, 중앙분리대

【표 7.40】 방호벽 일반 유지관리 사항

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td>▷ 방호벽</td><td>- 철근콘크리트</td><td>• 신축이음 접촉부 부스러짐(파손)
• 표면 부스러짐(동결융해)
• 박리, 박락, 부스러짐, 파손
• 배면 들뜸, 층분리에 의한 탈락</td></tr>
<tr><td>주 요
부 위</td><td colspan="2"> 
< 방호벽, 백운4교(부산) >
 
< 방호벽, 백운4교(춘천) ></td></tr>
<tr><td>점 검
요 령</td><td colspan="2">○ 점검방법
- 교량 한쪽에서 눈을 방호벽 높이 정도로 낮추어 방호벽의 전체 선형에 급격한 변화 부분이 있는지 점검
- 신축이음 접속부 파손 및 철근노출부가 있는 점검
- 접속슬래브측 옹벽 시공 시 교대와 옹벽 시공이음부는 공용중 탄성침하에 의한 단차가 발생할 수 있으므로 방호벽의 신축이음 설치 및 파손 여부 점검

○ 손상발생시 조치
- 방호벽의 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
- 방호벽의 큰 변형이나 파손된 부분으로 통행인 추락 위험이 있을 시 즉시 연락하여 추락방지시설 등의 응급조치 필요</td></tr>
<tr><td>점검
도구</td><td colspan="2">• 사진기
• 솔(브러쉬)
• 강재 부식부위 등 상세확인
• 줄자
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

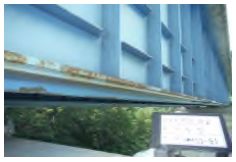
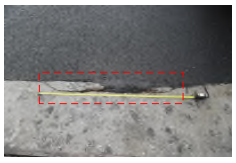
7.4.3 진단결과에 따른 중점 유지관리 사항

가. 부재별 주요 점검 현황

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.

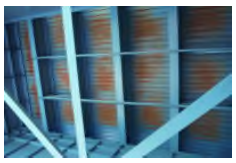
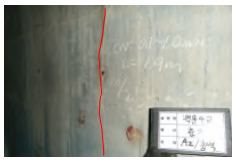
1) 백운4교(부산)

【표 7.41】 백운4교(부산) 부재별 주요 점검 사항

부재	손상유형	손상위치	유지관리내용	비고
바닥판	들뜸, 백태 및 녹물	S5/A2지점	•철근부식 팽창에 의한 손상진전 여부 •보수 후 재손상 여부	
거더 및 2차 부재	부식	S1~S5	•부식부 모재 손상 여부 •보수 후 재손상 여부	
하부구조	균열 (0.3mm이상)	A1/흉벽	•균열부 손상진전 여부 •균열부 백태 및 누수 여부	
받침장치	가동여유량 부족	A2측 SH1~SH4	•가동여유량 부족에 따른 신축거동 이상 유무 •고정단 받침콘크리트 파손 여부	
신축이음부	후타재 파손	A2	•손상진전에 의한 차량 주행성 저하 여부 •보수 후 재손상 여부	
배수시설	배수관 고정핀 탈락	S1~S5	•고정핀 탈락 추가손상 및 배수관 탈락 여부	
방호벽	배면 들뜸	S1~S4	•들뜸부 손상진전에 의한 탈락 여부 •보수 후 재손상 여부	

2) 백운4교(춘천)

【표 7.42】 백운4교(춘천) 부재별 주요 점검 사항

부재	손상유형	손상위치	유지관리내용	비고
바닥판	강판파손 및 콘크리트 박락	가로등 기초 설치부	•박락부 손상진전 여부 •보수 후 재손상 여부	
	데크플레이트 및 강판 부식	S1~S5	•데크플레이트 박리 및 누수 발생 여부 •부식 심화에 의한 모재 손상 여부	
거더 및 2차 부재	부식	S1~S5	•부식부 모재 손상 여부 •보수 후 재손상 여부	
하부구조	균열 (0.3mm이상)	A2/흉벽	•균열부 손상진전 여부 •균열부 백태 및 누수 여부	
받침장치	가동여유량 부족	A1, A2측 SH1~SH2	•가동여유량 부족에 따른 신축거동 이상 유무 •고정단 받침콘크리트 파손 여부	
신축이음부	토사퇴적	A2	•토사퇴적에 의한 신축거동 이상 여부	
배수시설	배수관 고정핀 부식 및 탈락	S1~S5	•고정핀 탈락 추가손상 및 배수관 탈락 여부	
	배수관 용접부 누수 및 탈락	S1, S4	•배수관 용접부 누수 및 탈락에 의한 추가손상 여부 •보수 후 누수 진행 여부	

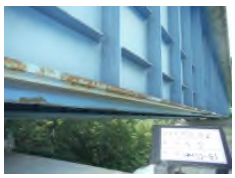
나. 상태평가 현황도 및 손상 위치도



① S5 바닥판 백태균열(L=0.20m)



② S2 거더 부식(A=5.00㎡)



③ A1 교대 균열(Cw=0.3㎜)



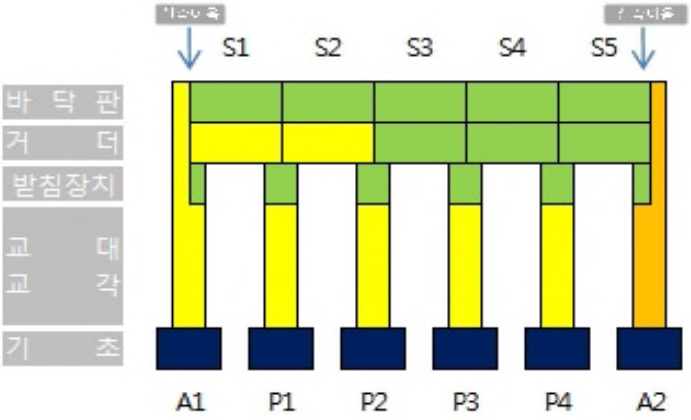
④ A2 교대 들뜸,박락(A=0.50㎡)



⑤ 라멘 교대 균열(Cw=0.1㎜)



【그림 7.17】 백운4교(부산) 상태평가 현황도 및 손상 위치도



① S1 바닥판 파손(A=0.25㎡)



② S2 거더 부식(A=0.60㎡)



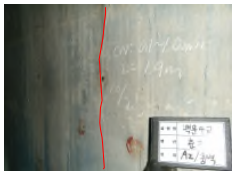
③ P2 교각 균열(Cw=0.4㎜)



④ A1 교대 균열(Cw=0.3㎜)



⑤ A2 교대 균열(Cw=0.1~1.0㎜)

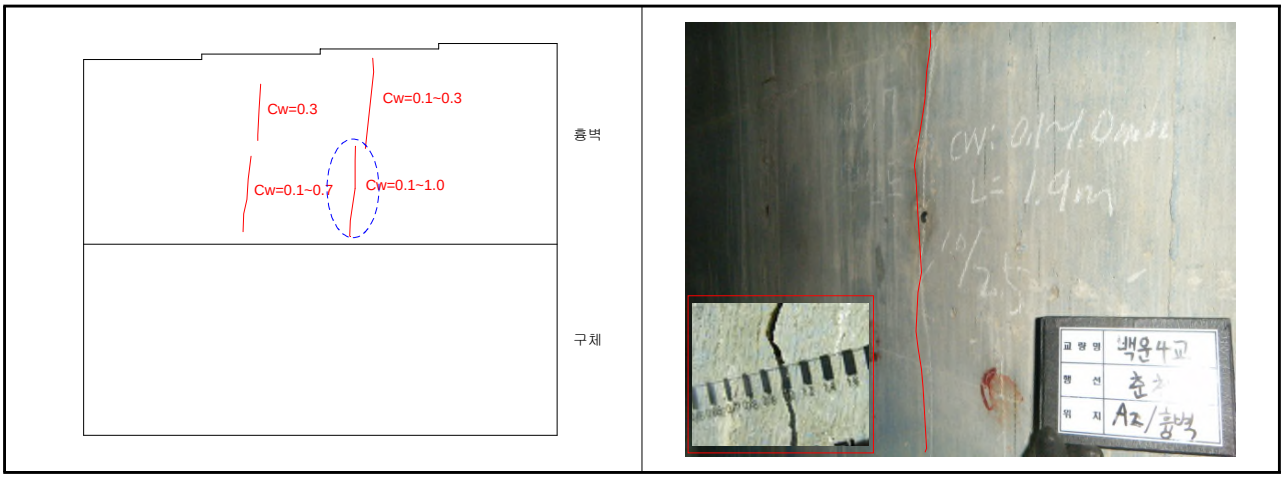


【그림 7.18】 백운4교(춘천) 상태평가 현황도 및 손상 위치도

다. 중점유지관리 사항

1) 춘천방향 교대(A2) 흉벽 수직균열

춘천방향 교대(A2) 흉벽의 수직균열은 Cw=0.1~1.0mm의 크기로 흉벽 하단부는 Cw=0.1mm이고, 흉벽 중앙부에서 Cw=1.0mm로 균열폭이 커지고 있으나 구체로 균열이 연결되지 않은 상태이므로 시공초기 건조수축 및 수화열에 의해 발생된 것으로 판단된다. 기 발생된 균열은 기존 진단 시 조사된 결함으로 금회 진단 기간 중 균열보수가 실시되었으나 차기 정밀점검 및 정밀안전진단 외관조사 시 손상진전 및 보수 후 재손상 여부에 대한 확인이 필요할 것으로 판단된다.



【그림 7.19】 백운4교(춘천) A2/흉벽 균열(0.3mm이상) 현황

2) 교대측 받침 가동여유량 부족

① 개요

백운4교(부산, 춘천)의 교대측 받침가동량 측정결과, 시공초기 받침배치 및 온도변화에 따른 Upper Shoe 시공오류 등에 의해 가동여유량이 부족한 것으로 검토되었다.

② 교대측 받침 가동여유량 검토결과

구 분			최대 수축시 가동량 검토(mm)						최대 팽창시 가동량 검토(mm)					
			1차 측정(07.11)			2차 측정(09.28)			1차 측정(07.11)			2차 측정(09.28)		
			①	②	평가	①	②	평가	①	②	평가	①	②	평가
부산 방향	A1	Sh1	160	104	O.K	143	89	O.K	0	39	N.G	17	54	N.G
		Sh2	157		O.K	140		O.K	3		N.G	20		N.G
		Sh3	145		O.K	130		O.K	15		N.G	30		N.G
		Sh4	130		O.K	115		O.K	30		N.G	45		N.G
춘천 방향	A1	Sh1	105	68	O.K	98	59	O.K	-5	36	N.G	2	45	N.G
		Sh2	95		O.K	88		O.K	5		N.G	12		N.G
	A2	Sh1	160	62	O.K	160	59	O.K	22	42	N.G	25	45	N.G
		Sh2	80		O.K	77		O.K	20		N.G	23		N.G

③ 점검사항

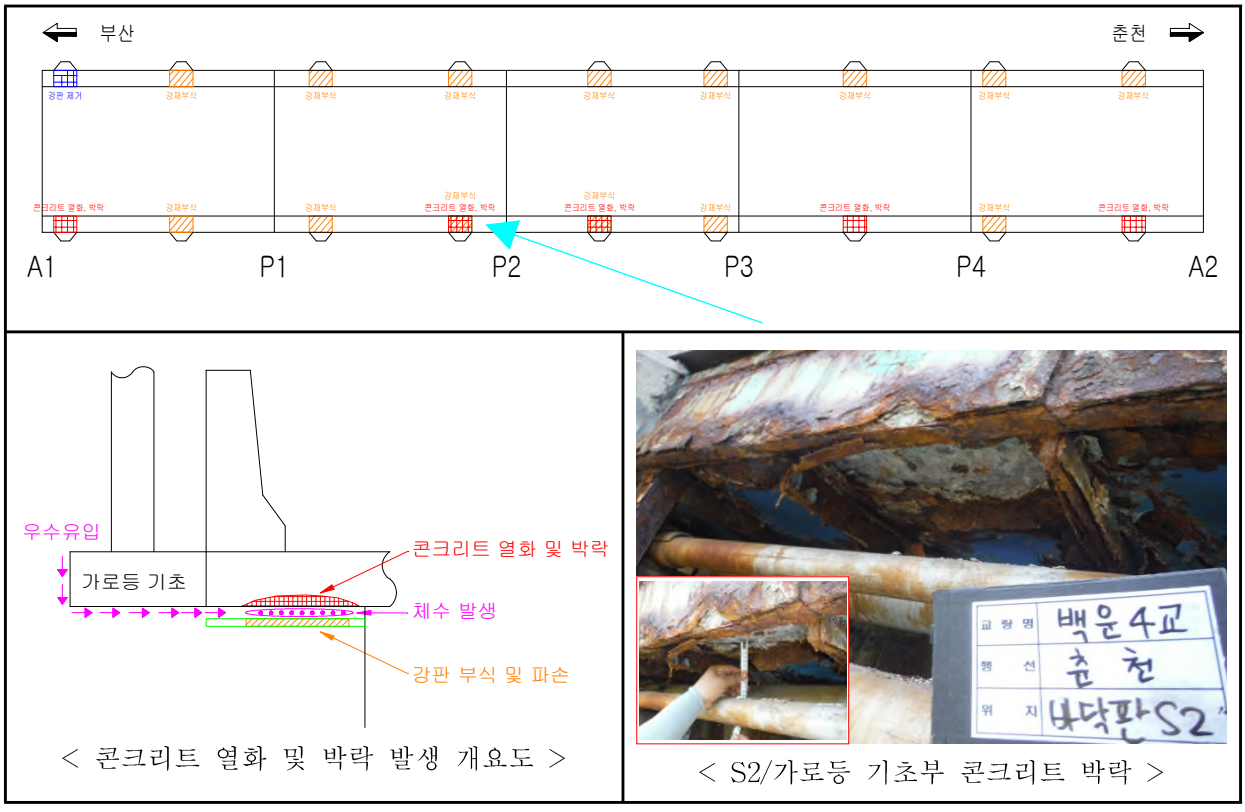
교대측 받침가동여유량 부족은 기 진단 시에도 조사된 결함으로 그에 따른 구조적인 결함이나 교량 신축거동에 문제가 될만한 손상은 관찰되지 않은 상태이나 일상 점검 및 차기 진단 시 온도변화에 따른 받침장치의 가동상태를 확인하고, 고정단 받침콘크리트 파손 등의 신축거동불량에 의한 결함 발생 여부를 상세하게 조사토록 한다.

3) 춘천방향 가로등 기초부 강판부식 및 콘크리트 박락

① 개요

춘천방향은 좌·우측 캔틸레버부에 강판이 설치된 상태로 가로등 기초부를 통해 유입된 우수가 강판과 바닥판 틈새에 오랜기간 체수되면서 강판 부식파손 및 콘크리트 열화, 박락이 발생하였다.

② 가로등 기초부 강판부식 및 콘크리트 박락 현황



< 콘크리트 열화 및 박락 발생 개요도 > < S2/가로등 기초부 콘크리트 박락 >

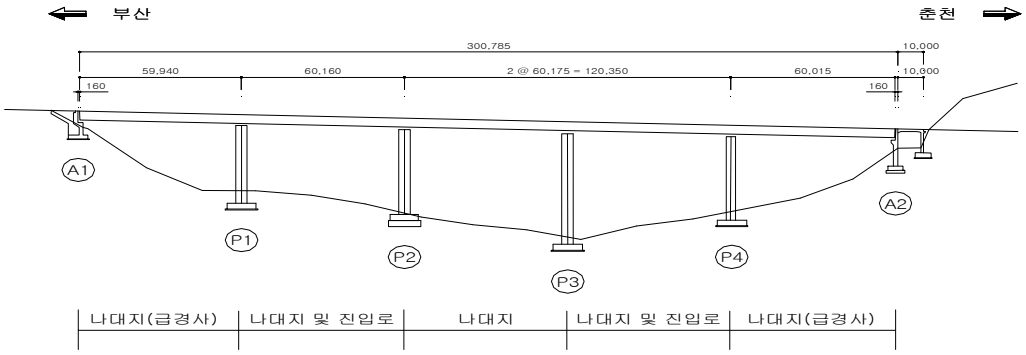
【그림 7.20】 백운4교(춘천) 가로등 기초부 강판부식 및 콘크리트 박락 현황

③ 점검사항

금회 진단 시 가로등 기초부 강판부식 및 콘크리트 박락 구간은 우측 캔틸레버측에서 5개소 조사되었으나 가로등 기초부 강판부식은 전 구간 발생된 상태이므로 향후 일상 점검 및 차기 진단 시 강판파손 및 콘크리트 박락 추가 발생 여부 및 보수 후 재손상 여부에 대한 조사가 필요할 것으로 판단된다.

7.4.4 형하공간 이용 현황

【표 7.43】 백운4교(부산) 형하공간 이용 현황

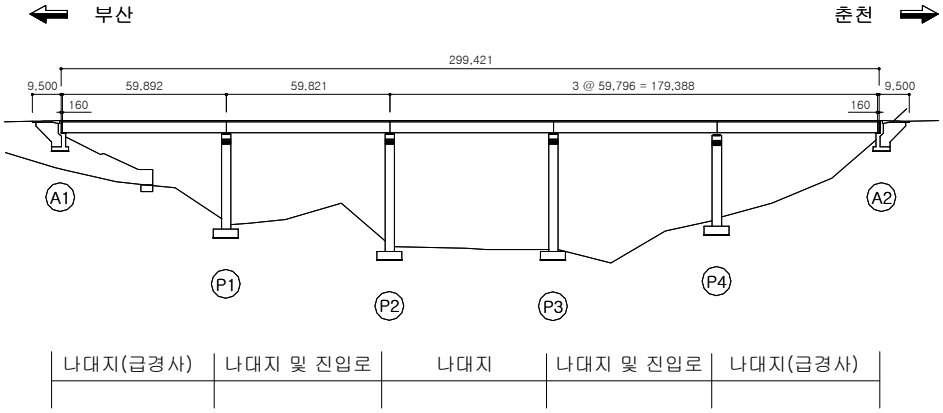
<table>
<tr><th>구 분</th><th>세 부 내 용</th></tr>
<tr><td>위치도</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>형하공간
이용현황</td><td> 

<table>
<tr><td>구분</td><td>S1</td><td>S2</td><td>S3</td><td>S4</td><td>S5</td></tr>
<tr><td>이용현황</td><td>나대지
(급경사)</td><td>나대지 및
진입로</td><td>나대지</td><td>나대지 및
진입로</td><td>나대지
(급경사)</td></tr>
</table>



<table>
<tr><td>S1</td><td>S2~S4</td><td>S5</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>조사방법</td><td>▪ 바닥판하면 및 거더 : 바닥판하면 및 거더는 지점부는 점검로, 중앙부는 점검차량을 이용하여 조사를 실시함
▪ 교대 및 교각 하부 : 교대는 도보 접근이 가능하나 경사가 급하여 어려움이 있으며, 교각 코핑부는 점검로, 기둥부는 고소점검차량을 이용하여 조사를 실시함
▪ 하부 고소점검차 접근시 일부 고소점검차 진입이 불가한 구간은 디지스코프를 이용하여 조사를 실시함</td></tr>
</table>

【표 7.44】 백운4교(춘천) 형하공간 이용 현황

<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><td>S4</td><td>S5</td></tr>
<tr><td>이용현황</td><td>나대지
(급경사)</td><td>나대지 및
진입로</td><td>나대지</td><td>나대지 및
진입로</td><td>나대지
(급경사)</td></tr>
</table>



<table>
<tr><td>S1</td><td>S2~S4</td><td>S3</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>조사방법</td><td>▪ 바닥판하면 및 거더 : 바닥판하면 및 거더는 지점부는 점검로, 중앙부는 점검차량을 이용하여 조사를 실시함
▪ 교대 및 교각 하부 : 교대는 도보 접근이 가능하나 경사가 급하여 어려움이 있으며, 교각 코핑부는 점검로, 기둥부는 고소점검차량을 이용하여 조사를 실시함
▪ 하부 고소점검차 접근시 일부 고소점검차 진입이 불가한 구간은 디지스코프를 이용하여 조사를 실시함</td></tr>
</table>

7.4.5 유지관리 개선 방안

가. 개요

본 교량의 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. 교대(A2) 도보 접근 시 현황



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 종 합 결 론

8.1 개요

8.2 정밀안전진단 실시결과의 종합결론

8.3 유지관리시 특별한 관리가
요구되는 사항

제 8 장 종 합 결 론

8.1 개 요

본 과업대상 시설물인 백운4교(부산, 춘천)는 각각 중앙선 Sta. 303.67km, Sta. 303.70km에 위치하고 있는 고속도로 교량이다. '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 내구성조사를 통한 시설물의 상태평가, 안전성평가 등 과업의 결과를 종합한 결론은 다음과 같다.

8.2 정밀안전진단 실시결과의 종합결론

8.2.1 백운4교(부산)

가. 현장조사 결과

현장조사 결과, 교량을 구성하고 있는 재료별로 조사된 주요 손상으로 콘크리트 부재는 균열, 망상균열, 백태, 단면손상, 앵커볼트노출, 잡철근노출, 강재 부재는 도장박리, 부식, 볼트부식, 변형 등의 결함이 국부적으로 관찰되었다. 주요 부재에 대한 현장조사 결과는 다음과 같다.

- 바닥판의 주요 결함은 균열, 백태, 들뜸, 녹물, 거푸집 미제거 및 잡철근노출의 결함이 경미한 규모로 조사되었으며, 내측 바닥판에 설치된 Deck Plate는 부식이 없는 양호한 상태로 조사되었다. 기 발생된 손상은 비구조적 결함으로 구조물의 안전성에 미치는 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 백태부 표면처리, 들뜸 및 잡철근노출부에 대한 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.
- 거더 및 2차부재의 주요 결함은 도장박리, 부식, 볼트부식 및 변형의 비구조적 결함이 조사되었으며, 그에 대한 보수방안으로 도장박리 및 부식부에 대한 도장보수를 시행한다면 거더의 내구성은 확보될 것으로 판단된다.
- 하부구조인 교대 및 교각의 주요 결함은 건조수축에 의한 균열, 백태, 균열 및 녹물, 철근노출, 앵커노출, 사면유실 등의 비구조적 결함이 조사되었으며, 균열부에 대한 표면처리(Cw<0.3mm) 및 주입보수(Cw≧0.3mm), 단면손상 및 철근노출부에 대한 단면보수, 사면유실부 정비 등의 보수를 시행한다면 하부구조의 내구성은 확보될 것으로 판단된다.
- 받침장치의 주요 결함은 본체 부식, 볼트간섭 및 볼트길이부족, A2측 가동여유량 부족, 받침콘크리트의 건조수축에 의한 균열, 들뜸 및 박리의 결함이 조사되었으며, 내구성 확보를 위해 부식부에 대한 도장보수를 실시하고, A2측 가동여유량 부족은 신축거동에 이상이 없는 상태이므로 주의관찰토록 하며, 그 외 결함은 손상규모가 경미하여 내구성 저하 영향이

미미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.

- 신축이음장치는 본체부식, 토사퇴적, 후타재 균열 및 망상균열, 파손, 덮개판 길이부족 및 변형의 결함이 조사되어 내구성 확보를 위해 각각 청소, 후타재 파손부 단면복구의 보수방안이 적합할 것으로 판단되며, 신축이음장치의 유간은 양호한 것으로 조사되었다.
- 교면포장은 재포장 보수가 실시되어 양호한 상태이나 접속슬래브의 미보수 구간에서 아스콘 망상균열, 패임, 융기 및 침하가 조사되어 내구성 확보를 위해 패임부 팻칭보수가 적합할 것으로 판단된다.
- 기타부재로 배수시설은 상부의 배수구는 교체보수가 실시되어 양호한 상태이나 하부의 배수관에서 부식, 누수, 고정핀 부식 및 탈락의 결함이 조사되어 누수부 용접보수와 고정핀 재설치 보수방안이 필요할 것으로 판단되며, 방호벽은 건조수축에 의한 균열, 백태, 파손, 들뜸, 전선덮개판 탈락의 결함이 조사되어 백태부 표면처리, 들뜸부 단면복구, 전선덮개판 재설치의 보수를 실시하면 방호벽의 내구성은 확보될 것으로 판단된다.

기 진단(2011년)과의 비교 시 교면포장, 교대 균열(0.3mm이상), 받침콘크리트 균열부에 대한 보수가 실시되어 손상물량은 감소하였으나 그 외 결함은 다소 증가된 것으로 확인되었으며, 이는 구조적인 원인에 의한 것이 아닌 금회 진단 시 상세조사 및 공용중 발생된 추가손상에 따른 것으로 판단된다.

나. 내구성조사 결과

현장시험은 세부지침을 근거로 수량 및 위치를 선정하여 수행하였고, 시험 결과는 다음과 같다.

- 콘크리트 강도시험 결과, 설계강도 대비 상부구조(27.0MPa)는 25.7~31.6MPa (95.2~116.9%)이고, 하부구조(24.0MPa)는 22.7~29.0MPa (106.9~115.5%)로 전 개소에서 설계기준강도 대비 90%이상을 만족하고 있어 공용기간 증가에 따른 강도 저하 영향은 없는 것으로 판단된다.
- 철근탐사시험 결과, 피복두께가 설계치 보다 다소 두꺼운 것으로 나타났으나 외관조사결과 이로 인한 손상은 조사되지 않았으며 배근간격 등이 준공도면과 유사한 것으로 검토되었다.
- 콘크리트 품질 평가에 따른 탄산화 깊이 측정 및 염화물함유량시험 결과, 탄산화 잔여깊이가 전 개소에서 30mm이상으로 측정되어 양호한 “a” 상태로 평가되었으며, 염화물함유량은 전 개소에서 0.2kg/㎥ ≤ 염화물함유량 ≤ 1.2kg/㎥이하로 측정되어 철근부식이 발생할 우려가 없거나 낮은 a~b로 평가되었다.
- 교대(A1/흉벽)에 대하여 1개소에서 균열깊이 측정결과, 균열깊이는 39.3㎜로 조사되어 측정 철근피복두께(107.0㎜)를 초과하지 않는 것으로 조사되었고, 균열에 의한 구조물 손상이나 철근 부식 등의 내구성 저하는 조사되지 않았으나, 주기적인 점검을 통해 이로 인한 철근부식 등의 손상발생에 유의하여 주의 관찰해야 될 것으로 판단된다.
- 플레이트거더의 맞대기 용접부에 대한 초음파 탐사(UT)를 실시한 결과, 경간별, 거더별로 1개소씩 총 20개소에 대해 검사를 실시하였으며, 검사결과 총 20개소 모두 합격 판정되어 맞

대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타났다.

- 플레이트거더의 도장에 대한 도막두께 측정결과, 전 개소에서 229~548㎛로 측정되어 기준 두께(215㎛)를 상회하는 것으로 측정되어 거더의 도장두께는 양호한 것으로 조사되었다.

다. 상태평가

현장조사에 따른 부재별 상태평가 분석결과, 교대의 균열(0.3㎜이상), 배수관 고정핀 탈락이 상태평가 기준 "c"로 평가되며, 그 외 콘크리트 부재의 균열(0.3㎜미만), 파손, 강재부재의 부식, 도장박리, 변형 등의 결함은 "b"로 평가되었다.

현장시험에 따른 상태평가 분석결과, 탄산화 시험은 전 개소에서 잔여깊이 30mm이상으로 "a"로 평가되었으며, 염화물함유량은 상태평가 기준 "a~b"로 조사되었다.

현장조사 및 시험에 따른 전체 상태평가 결과는 "B" (F=0.217)로 평가되었다.

라. 안전성평가

백운4교(부산)에 대하여 허용응력설계법을 이용하여 거더의 안전성을 검토하고, 강도설계법을 이용하여 바닥판 및 하부구조에 대한 안전성을 검토한 결과, 최소 안전율이 1.0이상으로 안전성을 확보한 것으로 확인되었으며, 설계활하중 DB-24, DL-24에 대해 충분한 내하력을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

마. 종합평가 및 안전등급 지정

현장조사 및 시험 결과를 분석하여 평가된 상태평가 결과는 “B”(F=0.217), 해석적 검토를 통한 안전성평가를 실시한 결과는 “A”로 평가되었으며, 상태평가 및 안전성평가를 종합적으로 분석한 결과, 백운4교(부산)의 안전등급은 “양호한 상태” B등급으로 지정하였다.

바. 종합결론

백운4교(부산)에 대하여 현장조사, 시험 및 측정, 시설물 평가를 실시한 결과, 부재에 비구조적인 손상이 국부적으로 발생되어 내구성 확보차원에서 부분적 보수가 필요하나 비파괴 시험결과, 공용기간 증가에 따른 내구성 저하 영향은 없는 것으로 조사되었고, 받침장치 및 신축이음장치는 일부 결함이 있으나 교량 신축거동에 지장이 없는 상태이다. 또한 안전성검토 결과, 상·하부구조의 안전율은 1.0이상으로 안전성을 확보하였으며, 기본내하력은 설계내하력(DB-24)을 만족하는 것으로 평가되어 교량의 전체적인 상태는 특별한 문제점이 없는 건전한 상태로 시설물의 사용성 제한의 필요성은 없는 것으로 평가되었다.

조사된 결함에 대해서 제안한 공법대로 보수를 실시하고, 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 주기적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 구조물의 안전성과 사용성은 확보될 것으로 판단된다.

8.2.2 백운4교(춘천)

가. 현장조사 결과

현장조사 결과, 교량을 구성하고 있는 재료별로 조사된 주요 손상으로 콘크리트 부재는 균열, 망상균열, 백태, 단면손상, 앵커볼트노출, 잡철근노출, 강재 부재는 도장박리, 부식, 볼트부식, 변형 등의 결함이 국부적으로 관찰되었다. 주요 부재에 대한 현장조사 결과는 다음과 같다.

- 바닥판의 주요 결함은 데크플레이트 및 강판 부식, 콘크리트 망상균열 및 백태, 강판 파손 및 콘크리트 박락, 기타부착시설물인 전선보호덮개 부식 및 탈락의 결함이 조사되었다. 기 발생된 손상은 비구조적 결함으로 구조물의 안전성에 미치는 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 망상균열 및 백태부 표면처리, 강판 파손 및 콘크리트 박락부에 대한 강판 제거 및 단면복구, 전선보호덮개 탈락부 재설치가 필요할 것으로 판단되며, 데크플레이트, 강판 및 전선보호덮개 부식부는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.
- 거더 및 2차부재는 국부적으로 바탕처리 및 도장불량에 의한 도장박리, 부식, 볼트부식과 시공미흡에 의한 볼트누락 및 풀림, 천공홀, 기공, 외부충격에 의한 변형의 결함이 조사되어 장기적인 내구성 확보를 위해 도장박리 및 부식부는 도장보수가 필요하며, 그 외 결함은 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
- 하부구조인 교대 및 교각에서 조사된 균열은 시공초기 건조수축 및 수화열에 의한 비구조적 균열로 구조적인 영향은 없으나 내구성 확보를 위해 폭 0.3㎜이상은 주입보수를 실시하고, 폭 0.3㎜미만은 주의관찰토록 하며, 미세 균열부 수분접촉에 의한 백태는 표면처리, 신축이음 설치 시 외부충격에 의한 파손부는 단면복구, 교각 상면 몰탈 들뜸 및 박락은 몰탈보수가 필요할 것으로 판단된다. 그 외 시공미흡에 의한 재료분리, 잡철근노출 및 체수의 결함은 손상규모가 경미하거나 내구성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 적합할 것으로 판단된다.
- 받침장치의 주요 결함은 본체 부식, 받침콘크리트 균열(0.2mm이하), 망상균열, 잡철근노출의 손상이 조사되어 장기적인 내구성 및 기능성 확보를 위해 부식부는 도장보수가 필요하며, 그 외 결함은 손상규모가 경미하거나 내구성 및 기능성 저하 영향이 미미한 손상으로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다. 받침장치의 연단거리 및 가동량 조사결과, 교대(A1, A2)측에서 허용 가동량 자체 부족 및 온도변화에 따른 설치오류에 의해 가동여유량 부족이 조사되었으나 1차 및 2차의 온도변화에 따른 신축거동 상태는 원활하며, 가동여유량 부족에 의한 결함은 관찰되지 않으므로 현 상태에서 주의관찰토록 하며, 향후 받침장치 교체 계획 시 보수하는 것이 적합할 것으로 판단된다. 그 외 연단거리는 전 개소 최소 연단거리를 상회하는 것으로 검토되었다.
- 신축이음장치의 유간거리는 신축여유량을 확보한 상태이나 공용중 적치된 토사퇴적, 건조수축에 의한 후타재균열 및 외부충격에 의한 덮개판 고정볼트 탈락의 결함이 조사되어 토사퇴적은 청소, 덮개판 고정볼트 탈락은 재설치가 필요하며, 후타재 균열은 내구성 및 기능성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

- 교면포장은 길어깨 및 갓길측은 기존 손상에 대한 재포장 보수가 실시되었으며, 아스콘 표면 및 방수층의 보수 상태는 양호한 것으로 조사되었으며, 차선구간의 일부 포장 망상균열 및 코어채취부 마감불량의 결함이 2개소씩 발생하였으나 손상규모가 경미하여 차량 주행성 및 포장 기능성 저하 영향이 미미하므로 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.
- 기타부재로 배수시설은 상부의 배수구와 하부의 배수관으로 구분되며, 배수구는 전 개소 교체 보수되어 양호한 상태이나 배수관에서 용접 연결부 누수(부식) 및 탈락과, 고정핀 부식 및 탈락의 결함이 조사되어 재용접 및 고정핀 재설치의 보수방안이 필요할 것으로 판단되며, 방호벽의 주요결함은 시공초기 건조수축에 의한 균열(0.3㎜미만) 및 망상균열, 시공불량에 의한 표면박리, 외부충격에 의한 파손의 결함이 조사되었으며, 기 조사된 결함은 손상규모가 경미하여 방호벽의 기능성 및 내구성 저하 영향이 미미하므로 보수방안보다는 주의관찰이 바람직할 것으로 판단된다.

기 진단(2011년)과의 비교 시 바닥판, 교면포장과 배수구, 교대 균열부에 대한 보수가 실시되어 손상물량은 감소하였으나 그 외 부재의 결함은 다소 증가된 것으로 확인되었으며, 이는 구조적인 원인에 의한 것이 아닌 금회 진단 시 상세조사 및 공용중 발생된 추가손상에 따른 것으로 판단된다.

나. 내구성조사 결과

현장시험은 세부지침을 근거로 수량 및 위치를 선정하여 수행하였고, 시험 결과는 다음과 같다.

- 콘크리트 강도시험 결과, 설계강도 대비 상부구조(27.0MPa)는 27.6MPa (102.2%)이고, 하부구조(24.0MPa)는 22.6~31.8MPa (94.2~109.9%)로 전 개소에서 설계기준강도 대비 90%이상을 만족하고 있어 공용기간 증가에 따른 강도 저하 영향은 없는 것으로 판단된다.
- 철근탐사시험 결과, 배근간격 및 피복두께가 설계기준에 따라 적정하게 배근된 것으로 측정되었으며, 외관조사결과도 피복부족 및 배근간격의 상이함에 따른 문제점은 없는 것으로 조사되어 배근간격은 양호한 것으로 검토되었다.
- 콘크리트 품질 평가에 따른 탄산화 깊이 측정 및 염화물함유량시험 결과, 탄산화 잔여깊이가 전 개소에서 30mm이상으로 측정되어 양호한 “a” 상태로 평가되었으며, 염화물함유량은 전 개소에서 0.2kg/㎥≤ 염화물함유량 ≤ 1.2kg/㎥이하로 측정되어 철근부식이 발생할 우려가 없거나 낮은 a~b로 평가되었다.
- 균열깊이 측정결과, 교각(P3)에서 피복두께의 1/2 이하로 조사되었고, 균열에 의한 구조물 손상이나 철근 부식 등의 내구성 저하는 조사되지 않았으나 주기적인 점검을 통해 이로 인한 철근부식 등의 손상발생에 유의하여 주의 관찰해야 될 것으로 판단되며, A1, A2흉벽에 발생된 균열에 대하여 균열심도 측정결과, 철근의 피복두께까지 진행된 상태이며, 향후 균열부위를 통한 이산화탄소 등의 유해물질이 유입되어 탄산화의 가속 및 철근 부식 등 내구성 저하의 우려가 되므로 균열보수를 통한 유지관리가 필요하다.

- 플레이트거더의 맞대기 용접부에 대한 초음파 탐사(UT)를 실시한 결과, 경간별, 거더별로 1개소씩 총 10개소에 대해 검사를 실시하였으며, 검사결과 총 10개소 모두 합격 판정되어 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타났다.
- 플레이트거더의 도장에 대한 도막두께 측정결과, 거더의 건전부는 216~311㎛로 측정되어 양호한 상태이나 도장박리부는 31㎛로 측정되어 기준두께에 미달되므로 도장보수가 필요한 상태이다.

다. 상태평가

현장조사에 따른 부재별 상태평가 분석결과, 거더 및 2차부재의 부식(면적율 2.0%이상), 교각의 균열(0.3㎜이상), 배수관 고정핀 탈락이 상태평가 기준 "c"로 평가되며, 그 외 콘크리트 부재의 균열(0.3㎜미만), 파손, 강재부재의 부식, 도장박리, 변형 등의 결함은 "b"로 평가되었다.

현장시험에 따른 상태평가 분석결과, 탄산화 시험은 전 개소에서 잔여깊이 30mm이상으로 "a"로 평가되었으며, 염화물함유량은 상태평가 기준 "a~b"로 조사되었다.

현장조사 및 시험에 따른 전체 상태평가 결과는 "B" (F=0.257)로 평가되었다.

라. 안전성평가

백운4교(춘천)에 대하여 허용응력설계법을 이용하여 거더의 안전성을 검토하고, 강도설계법을 이용하여 바닥판 및 하부구조에 대한 안전성을 검토한 결과, 최소 안전율이 1.0이상으로 안전성을 확보한 것으로 확인되었으며, 설계활하중 DB-24, DL-24에 대해 충분한 내하력을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

마. 종합평가 및 안전등급 지정

현장조사 및 시험 결과를 분석하여 평가된 상태평가 결과는 "B"(F=0.257), 해석적 검토를 통한 안전성평가를 실시한 결과는 "A"로 평가되었으며, 상태평가 및 안전성평가를 종합적으로 분석한 결과, 백운4교(춘천)의 안전등급은 "양호한 상태"인 B등급으로 지정하였다.

바. 종합결론

백운4교(춘천)에 대하여 현장조사, 시험 및 측정, 시설물 평가를 실시한 결과, 콘크리트 부재에서 균열, 백태, 재료분리, 단면손상, 앵커볼트노출, 잡철근노출 등과 강재 부재에서 도장박리, 부식, 볼트부식 및 누락, 기공, 변형 등의 비구조적인 손상이 발생하여 부분적 보수가 필요하며, 교각의 Cw=0.3mm이상의 균열은 보수 후에도 재손상 여부에 대한 중점관리가 필요할 것으로 판단된다. 비파괴 시험결과, 공용기간 증가에 따른 내구성 저하 영향은 없는 것으로 조사되었고, 받침장치 및 신축이음장치는 일부 결함이 있으나 교량 신축거동에 문제점은 없는 상태이다. 또한 안전성검토 결과, 상·하부구조의 안전율은 1.0이상으로 안전성을 확보하였으며, 기본

내하력은 설계내하력(DB-24)을 만족하는 것으로 평가되어 교량의 전체적인 상태는 특별한 문제점이 없는 건전한 상태로 시설물의 사용성 제한의 필요성은 없는 것으로 평가되었다.

조사된 결함에 대해서 제안한 공법대로 보수를 실시하고, 보수부 및 중점유지관리가 필요한 부위에 대하여 주기적인 점검 및 유지관리를 실시한다면 구조물의 안전성과 사용성은 확보될 것으로 판단된다.

8.3 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항

백운4교(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 교각 균열(0.3mm이상), 교대측 받침장치 가동여유량 부족, 바닥판 캔틸레버부 강판 부식파손 및 콘크리트 박락(춘천방향)의 결함이 해당된다. 교각 균열(0.3mm)부 보수 후 재손상 여부, 받침가동여유량 부족에 의한 신축거동 이상여부, 강판 부식파손 및 콘크리트 박락부 추가손상 여부에 대한 지속적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다.