2023년 부산울산고속도로 구조물 정밀안전진단 용역

정밀안전진단 종합보고서

[만화교(부산,울산)]

2023. 12.

부 산 울 산 고 속 도 로(주)

백 양 엔 지 니 어 링(주)

2023년 부산울산고속도로 구조물 정밀안전진단 용역

만화교 (부산,울산)

종합보고서

2023. 12

부산울산고속도로(주)

2023년 부산울산고속도로 구조물 정밀안전진단 용역

정밀안전진단 종합보고서

[만화교(부산,울산)]

2023. 12.

부 산 울 산 고 속 도 로(주)

백 양 엔 지 니 어 링(주)

제 출 문

부산울산고속도로(주) 대표이사 귀하

귀 사와 2023년 02월 21일자로 계약 체결한 “2023년 부산울산고속도로 구조물 정밀안전진단 용역” 중 “만화교(부산, 울산)” 정밀안전진단을 성실히 수행하고 그 결과를 본 보고서에 수록하여 부속자료와 함께 제출합니다.

2023년 12월

주 소 : 서울특별시 송파구 충민로 10, 8층 제8-에스25호
상 호 : 백 양 엔 지 니 어 링 (주)
대 표 자 : 김 일 곤 (인)

만화교(부산) 정밀안전진단 결과표

가. 일반현황

용 역 명	2023년 부산울산고속도로 구조물 정밀안전진단 용역	진단기간	2023. 02. 21 ~ 2021. 12. 26		
관리주체명	부산울산고속도로 주식회사	대 표 자	김 기 환		
공동수급	백양엔지니어링(주)	계약방법	일반경쟁		
시설물 구분	교 량	종 류	도로교량	종 별	1종
준 공 일	2008년 12월 31일	진단금액 (천원)	29,690	안전등급	B
시설물 위치	부산광역시 기장군 기장읍 (부산울산선 10.2km)	시설물 규모	L=310.0m, B=16.2m		

나. 진단 실시결과 현황

중대결함	■ 없음
진 단 주요결과	■ 바닥판 균열(Cw=0.3㎜미만), 균열부 백태, 철근노출 ■ 거더 도장박리, 도장열화, 볼트부식, 실링미처리, 그을림, 누수흔적 ■ 2차부재 상태양호 ■ 교대/교각 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열, 보수부 박리, 철근노출, 백태, 파손 등 ■ 교량받침 앵커볼트 부식, 받침콘크리트 파손, 받침콘크리트 들뜸 ■ 신축이음 후타재 균열, 후타재 박락, 유간 토사퇴적, 차수판 볼트탈락 ■ 교면포장 포장 균열, LMC 패임 ■ 배수시설 배수관 고정대 탈락 ■ 난간 및 연석 균열(Cw=0.3㎜미만). 망상균열, 표면열화, 이격, 난간변형
주 요 보수·보강	■ 표면보수, 표면보수(방청), 단면보수, 재도장, 실링처리, 재체결 등

다. 책임(참여)기술자 현황

구 분	성 명	과업 참여기간	기술등급
사업책임기술자	오현승	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자
분야별책임기술자	정정식	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
분야별책임기술자	엄남호	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
분야별참여기술자	반대우	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
분야별참여기술자	김동영	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
참여기술자	임명재	2023.02.21. ~ 2023.08.06.	토목중급기술자
참여기술자	최재범	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
참여기술자	조범균	2023.02.21. ~ 2023.04.11.	토목초급기술자
참여기술자	김기덕	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
참여기술자	조준영	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
참여기술자	이현진	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
참여기술자	양홍용	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자

다. 책임(참여)기술자 현황(계속)

구 분	성 명	과업 참여기간	기술등급
참여기술자	최길림	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자
참여기술자	이형준	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자
참여기술자	안영재	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
참여기술자	박근우	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목중급기술자
참여기술자	서동민	2023.02.21. ~ 2023.03.31.	토목초급기술자
참여기술자	이희철	2023.03.16. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자
참여기술자	정성환	2023.03.16. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
참여기술자	김대인	2023.04.25. ~ 2023.10.19.	토목특급기술자
참여기술자	손범수	2023.04.25. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자
참여기술자	김보헌	2023.08.07. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자
참여기술자	박의수	2023.10.20. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자

라. 참고사항

■ 차기 점검·진단 시 중점 점검부위
- 바닥판 철근노출 부식 진행 여부
- 교대 A1, A2 보강부 측방유동 등 변위 발생 여부

■ 보수·보강 필요여부 판단을 위한 정밀안전진단 실시여부 : 없음

■ 중대결함이 있는 경우 후속조치 : 없음

만화교(부산) 정밀안전진단 실시결과 요약표

책임기술자 종합의견

■ 만화교(부산)의 상태평가결과, 구조물의 영향을 미칠만한 손상이 조사되지 않은 상태로서 전반적으로 양호한 상태인 “B(0.190)”로 산정되었다.

■ 만화교(부산)의 주요 손상으로 상부구조는 철근노출, 도장박리가 조사되었고, 철근노출, 도장박리 손상에 대해서는 표면보수(방청) 및 재도장이 필요한 것으로 판단된다.

하부구조는 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열, 단면손상(박리, 파손 등)이 조사되었고, 조사된 손상에 대해서는 표면보수 및 단면보수 등이 필요한 것으로 판단된다.

교량받침의 온도변화에 따른 일부구간을 제외하고 전반적으로 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었으며, 기능상에는 문제가 없는 것으로 판단됨에 따라 주기적인 점검을 통한 중점관리를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

포장균열, LMC패임은 주의관찰을 실시하며, 향후 마모, 균열, 소성변형 등의 손상 확대 및 진전 시 일괄 보수를 실시하고, 배수시설 고정대 탈락은 재설치가 요구된다.

공용중 유지보수를 실시하고 있으나, 국부적인 추가손상이 확인되고 있는 것으로 조사되었으며, 구조물의 내구성 확보를 위해서는 손상의 진전여부, 추가손상 발생여부 확인 등의 중점관리가 요구된다.

■ 구조검토를 통한 안전성 검토결과, 상부구조(거더 및 바닥판) 및 하부구조(교대 및 교각)은 최소안전율이 1.0이상으로 나타나 안전성을 확보하고 있으며, 내하율도 1.0이상으로 설계하중 DB(DL)-24이상의 내하력을 보유하고 있는 상태로 평가되었다.

■ 결함 및 손상 부위에 대하여 금회 진단 보고서에 제시된 보수를 시행하고 중점유지관리가 필요한 구간에 대한 지속적인 유지관리가 수행된다면 1등교(DB-24)로서의 기능을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

책임기술자 : 오 현 승 (서명)

가. 정밀안전진단 외관조사 결과 기본사항

상태평가 결과 및 보수·보강				상태평가 결과 : B
결함발생 부재		상태평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
상부구조	바닥판	b	- 균열(Cw=0.3㎜미만), 균열부 백태 - 철근노출	- 표면보수 - 표면보수(방청)
	거더(STB)	b	- 도장박리, 그을림, 볼트부식 - 누수흔적, 실링미처리 - 도장열화	- 재도장 - 실링처리 - 주의관찰
	2차부재	a	- 상태양호	-
하부구조		b	- 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열 - 보수부 백태, 백태 - 박리, 보수부 박리, 파손 - 철근노출 - 실링재 열화 - 체수, 이격	- 표면보수 - 표면보수 - 단면보수 - 표면보수(방청) - 실링처리 - 주의관찰
교량받침		a~b	- 앵커볼트 부식 - 받침콘크리트 파손, 들뜸	- 재도장 - 단면보수
기타부재	신축이음장치	b~c	- 유간 토사퇴적 - 차수판 볼트탈락 - 후타재 균열, 박락, 파손	- 청소 - 재체결 - 주의관찰
	교면포장	a~b	- 포장균열 LMC패임	- 주의관찰
	배수시설	a~c	- 배수관 고정대 탈락	- 재설치
	난간 및 연석 (방호벽)	b	- 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열 - 표면열화, 이격, 난간변형	- 주의관찰 - 주의관찰

나. 안전성평가 결과

안전성평가 수행 부재		해석방법	안전성평가 결과 요약	안전율	안전성평가 결과
STB	바닥판	강도설계법	최소 안전율 1.194으로 양호	1.0이상	A
	거더	허용응력법	최소 안전율 1.730으로 양호	1.0이상	
교대		강도설계법	최소 안전율 1.110으로 양호	1.0이상	
교각		강도설계법	최소 안전율 2.161으로 양호	1.0이상	

다. 내진성능 검토 수행 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약
교각	적용	반영	-설계 당시 내진 설계 반영

라. 현장시험(비파괴 및 추가시험)

1) 콘크리트

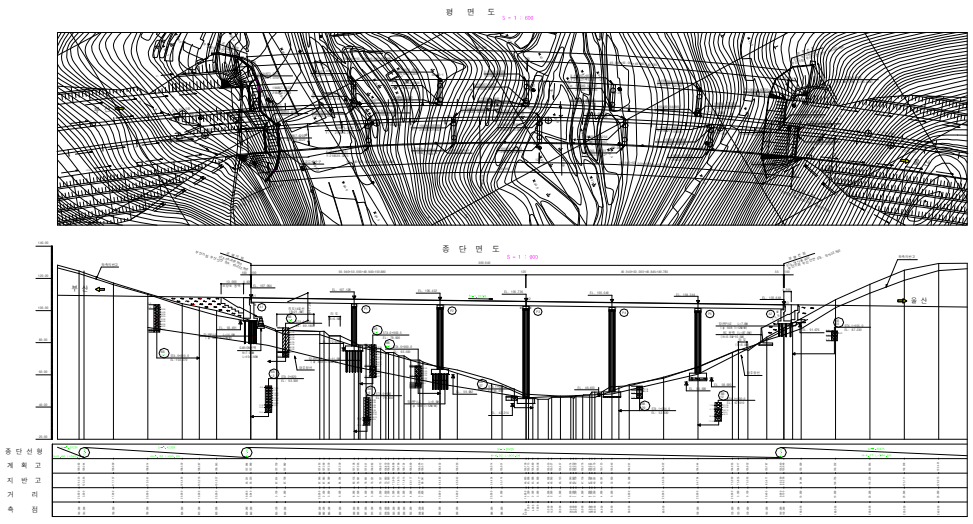
<table>
<tr><th>시 험 명</th><th colspan="3">시험부위</th><th colspan="2">시험결과</th><th>평가의견</th></tr>
<tr><td rowspan="6">비파괴
강도
(㎫)</td><td colspan="2" rowspan="2">상부구조
(바닥판)</td><td>반발경도법</td><td colspan="2">28.0～29.9</td><td rowspan="6">•설계기준강도대비 100% 이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
•건전부대비 비건전부의 측정강도가 95%를 상회하여 콘크리트의 표면 품질저하는 경미한 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td>초음파전달속도법</td><td colspan="2">30.8～31.7</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부
구조</td><td>교대</td><td rowspan="2">반발경도법</td><td colspan="2">25.6～26.4</td></tr>
<tr><td>교각</td><td colspan="2">25.4～27.2</td></tr>
<tr><td>교대</td><td rowspan="2">초음파전달속도법</td><td colspan="2">34.0～34.4</td></tr>
<tr><td>교각</td><td colspan="2">33.0～34.5</td></tr>
<tr><td rowspan="7">철근탐사
(㎜)</td><td colspan="3">구 분</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td rowspan="7">•전반적으로 단위길이당 철근수량을 만족하며 측정피복두께가 설계피복두께 및 배근간격은 일부구간 차이는 있으나, 전반적으로 양호한 것으로 분석됨.</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">상부구조
(바닥판)</td><td>주철근</td><td>92～276</td><td>40～59</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>205～273</td><td>40～54</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부
구조</td><td rowspan="2">교대</td><td>주철근</td><td>192～254</td><td>99～104</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>114～185</td><td>99～104</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td>주철근</td><td>100～178</td><td>100～111</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>284～318</td><td>99～128</td></tr>
<tr><td rowspan="2">탄산화
잔여깊이
(㎜)</td><td colspan="3">상부구조</td><td colspan="2">33.0～34.7</td><td rowspan="2">•전 개소 ‘a등급’으로 분석되어, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="3">하부구조</td><td colspan="2">91.3～94.7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">염화물
함유량시험
(㎏/㎥)</td><td colspan="3">상부구조</td><td colspan="2">0.262</td><td rowspan="2">•상태평가 기준 “a” 로서, 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="3">하부구조</td><td colspan="2">0.140～0.171</td></tr>
<tr><td>종합
평가</td><td colspan="6">•비파괴강도 측정결과, 전 개소의 측정값이 설계기준강도를 상회하는 것으로 나타났으며, 건전부 대비 비건전부의 측정압축강도가 95%를 상회하여 본 구조물의 콘크리트 품질은 양호한 것으로 판단됨.
•탄산화 깊이 측정결과, 전개소에서 상태평가 “a” 로 검토되어 현 상태에서는 탄산화에 철근부식의 우려가 없는 상태로 판단됨.
•염화물함유량 시험결과 상부구조 1개소, 하부구조 2개소에서 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
</table>

2) 강재

<table>
<tr><th>시 험 명</th><th colspan="2">시험부위</th><th>시험결과</th><th>평가의견</th></tr>
<tr><td>강재
초음파탐상</td><td colspan="2">맞대기 용접부</td><td>합격(36개소)</td><td>• 내부결함이 없는 1급(합격).</td></tr>
<tr><td rowspan="2">도막두께
(㎛)</td><td rowspan="2">STB Girder</td><td>거더 내부</td><td>182.0～228.0</td><td rowspan="2">• 거더 내·외부 모두 표준도막두께를 상회하는 양호한 생태인 것으로 측정됨.</td></tr>
<tr><td>거더 외부</td><td>221.0～245.0</td></tr>
<tr><td>종합
평가</td><td colspan="4">• 강재에 대한 초음파탐상 시험결과, 합격(Ⅰ등급) 판정되어 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타났으며, 도막두께 측정값은 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.</td></tr>
</table>

만화교(부산) 현황표

작성일 : 2023년 12월 26일

구 분		내 용	구 분		내 용
시설물명		만화교(부산)	시설물번호		BR2008-0000987
준공년월		2008년 12월 31일	관리번호		-
시설물위치		부산광역시 기장군 기장읍			
설계하중		DB-24 / DL-24	노선명(이정)		부산울산선(10.2㎞)
제원	연장	L = 310.0m (60.0 + 5 @ 50.0)			
	폭	B=16.2m(편도 3차선)			
구조형식	상 부	강박스거더교(STB)	기초형식	교대	강관말뚝기초
	하 부	교대:역T형 교각:Π형		교각	직접기초, 강관말뚝기초
교량받침		포트받침	신축이음		A1, A2 레일조인트 P3 : 강핑거 조인트
교차시설물		일반국도 14호선	통과높이		17.2m
설 계 사		LG건설(주)	시 공 사		경남기업(주)
내진설계유무		유	관리주체		부산울산고속도로(주)
부착시설내용		점검로			
기 타					

만화교(울산) 정밀안전진단 결과표

가. 일반현황

용 역 명	2023년 부산울산고속도로 구조물 정밀안전진단 용역	진단기간	2023. 02. 21 ~ 2021. 12. 26		
관리주체명	부산울산고속도로 주식회사	대 표 자	김 기 환		
공동수급	백양엔지니어링(주)	계약방법	일반경쟁		
시설물 구분	교 량	종 류	도로교량	종 별	1종
준 공 일	2008년 12월 31일	진단금액 (천원)	29,690	안전등급	B
시설물 위치	부산광역시 기장군 기장읍 (부산울산선 10.2km)	시설물 규모	L=310.0m, B=16.2m		

나. 진단 실시결과 현황

중대결함	■ 없음
진 단 주요결과	■ 바닥판 균열(Cw=0.3㎜미만), 박락, 철근노출 ■ 거더 도장박리, 도장열화, 부식, 전등미설치, 환풍구망 탈락 등 ■ 2차부재 부식 ■ 교대/교각 균열(Cw=0.3㎜미만), 균열(Cw=0.3㎜이상), 망상균열, 철근노출, 파손 등 ■ 교량받침 받침콘크리트 박락, 받침콘크리트 재료분리, 볼트부식 ■ 신축이음 후타재 균열, 후타재 마모, 유간 토사퇴적, 차수판 볼트탈락 등 ■ 교면포장 포장 균열, LMC 포장 파손 ■ 배수시설 배수구 막힘, 배수관 고정대 탈락, 배수관 연결고리 부식 ■ 난간 및 연석 파손, 단차
주 요 보수·보강	■ 표면보수, 표면보수(방청), 단면보수, 재도장, 재도장(방청), 청소, 재체결 등

다. 책임(참여)기술자 현황

구 분	성 명	과업 참여기간	기술등급
사업책임기술자	오현승	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자
분야별책임기술자	정정식	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
분야별책임기술자	엄남호	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
분야별참여기술자	반대우	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
분야별참여기술자	김동영	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
참여기술자	임명재	2023.02.21. ~ 2023.08.06.	토목중급기술자
참여기술자	최재범	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
참여기술자	조범균	2023.02.21. ~ 2023.04.11.	토목초급기술자
참여기술자	김기덕	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
참여기술자	조준영	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
참여기술자	이현진	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
참여기술자	양홍용	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자

다. 책임(참여)기술자 현황(계속)

구 분	성 명	과업 참여기간	기술등급
참여기술자	최길림	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자
참여기술자	이형준	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자
참여기술자	안영재	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
참여기술자	박근우	2023.02.21. ~ 2023.12.26.	토목중급기술자
참여기술자	서동민	2023.02.21. ~ 2023.03.31.	토목초급기술자
참여기술자	이희철	2023.03.16. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자
참여기술자	정성환	2023.03.16. ~ 2023.12.26.	토목초급기술자
참여기술자	김대인	2023.04.25. ~ 2023.10.19.	토목특급기술자
참여기술자	손범수	2023.04.25. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자
참여기술자	김보헌	2023.08.07. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자
참여기술자	박의수	2023.10.20. ~ 2023.12.26.	토목특급기술자

라. 참고사항

■ 차기 점검·진단 시 중점 점검부위
- 교대 균열(Cw=0.3㎜이상) 진행 여부
- 교대 A1 보강부 측방유동 등 변위 발생 여부

■ 보수·보강 필요여부 판단을 위한 정밀안전진단 실시여부 : 없음

■ 중대결함이 있는 경우 후속조치 : 없음

만화교(울산) 정밀안전진단 실시결과 요약표

책임기술자 종합의견

■ 만화교(울산)의 상태평가결과, 구조물의 영향을 미칠만한 손상이 조사되지 않은 상태로서 전반적으로 양호한 상태인 “B(0.168)”로 산정되었다.

■ 만화교(울산)의 주요 손상으로 상부구조는 철근노출, 도장박리가 조사되었고, 철근노출, 도장박리 손상에 대해서는 표면보수(방청) 및 재도장이 필요한 것으로 판단된다.

하부구조는 균열(Cw=0.3㎜미만), 균열(Cw=0.3㎜이상), 철근노출 등이 조사되었고, 조사된 손상에 대해서는 표면보수, 주입보수, 표면보수(방청) 등이 필요한 것으로 판단된다.

교량받침의 온도변화에 따른 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었으며, 전반적으로 거동상태는 양호한 것으로 검토되었다.

포장균열, LMC파손은 주의관찰을 실시하며, 향후 마모, 균열, 소성변형 등의 손상 확대 및 진전 시 일괄 보수를 실시하고, 배수시설 고정대 탈락은 재설치가 요구된다.

공용중 유지보수를 실시하고 있으나, 국부적인 추가손상이 확인되고 있는 것으로 조사되었으며, 구조물의 내구성 확보를 위해서는 손상의 진전여부, 추가손상 발생여부 확인 등의 중점관리가 요구된다.

■ 구조검토를 통한 안전성 검토결과, 상부구조(거더 및 바닥판) 및 하부구조(교대 및 교각)은 최소안전율이 1.0이상으로 나타나 안전성을 확보하고 있으며, 내하율도 1.0이상으로 설계하중 DB(DL)-24이상의 내하력을 보유하고 있는 상태로 평가되었다.

■ 결함 및 손상 부위에 대하여 금회 진단 보고서에 제시된 보수를 시행하고 중점유지관리가 필요한 구간에 대한 지속적인 유지관리가 수행된다면 1등교(DB-24)로서의 기능을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

책임기술자 : 오 현 승 (서명)

가. 정밀안전진단 외관조사 결과 기본사항

상태평가 결과 및 보수·보강				상태평가 결과 : B
결함발생 부재		상태평가 결과	결함종류	보수·보강(안)
상부구조	바닥판	a~b	- 균열(Cw=0.3㎜미만) - 박락, 철근노출	- 표면보수 - 표면보수(방청)
	거더(STB)	b	- 도장박리, 부식, 긁힘 및 부식 - 전등미설치, 환풍구망 탈락 - 도장열화	- 재도장 - 재설치 - 주의관찰
	2차부재	a~b	- 부식	- 재도장(방청)
하부구조		a~c	- 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열 - 백태, 균열부 백태, 보수부 백태 - 표면박리 - 균열(Cw=0.3㎜이상) - 철근노출, 잡철근노출 - 파손, 표면오염, 이격	- 표면보수 - 표면보수 - 표면보수 - 주입보수 - 단면보수(방청), 표면보수(방청) - 주의관찰
교량받침		a~b	- 받침콘크리트 박락, 재료분리 - 볼트부식	- 단면보수 - 재도장
기타부재	신축이음장치	b	- 유간 토사퇴적 - 차수판 볼트탈락, 덮개파손 - 후타재 균열, 후타재 마모	- 청소 - 재체결 - 주의관찰
	교면포장	a~b	- 포장균열, LMC포장 파손	- 주의관찰
	배수시설	a~c	- 배수구 막힘 - 배수관 고정대 탈락, 연결고리 부식	- 청소 - 재설치
	난간 및 연석(방호벽)	a~c	- 파손 - 단차	- 표면보수(방청) - 주의관찰

나. 안전성평가 결과

안전성평가 수행 부재		해석방법	안전성평가 결과 요약	안전율	안전성평가 결과
STB	바닥판	강도설계법	최소 안전율 1.194으로 양호	1.0이상	A
	거더	허용응력법	최소 안전율 1.201으로 양호	1.0이상	
교대		강도설계법	최소 안전율 1.016으로 양호	1.0이상	
교각		강도설계법	최소 안전율 1.967으로 양호	1.0이상	

다. 내진성능 검토 수행 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약
교각	적용	반영	-설계 당시 내진 설계 반영

라. 현장시험(비파괴 및 추가시험)

1) 콘크리트

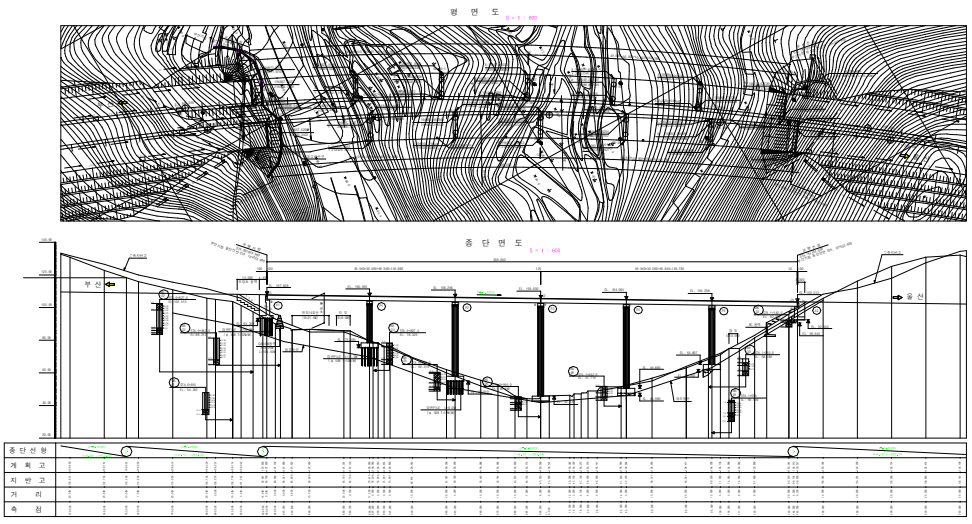
<table>
<tr><th>시 험 명</th><th colspan="4">시험부위</th><th colspan="2">시험결과</th><th>평가의견</th></tr>
<tr><td rowspan="6">비파괴
강도
(㎫)</td><td colspan="2" rowspan="2">상부구조
(바닥판)</td><td>반발경도법</td><td colspan="2">28.6～30.1</td><td rowspan="6">•설계기준강도대비 100% 이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
•건전부대비 비건전부의 측정강도가 95%를 상회하여 콘크리트의 표면 품질저하는 경미한 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td>초음파전달속도법</td><td colspan="2">30.1～33.8</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부
구조</td><td rowspan="2">교대</td><td rowspan="2">반발경도법</td><td colspan="2">26.5～27.4</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td colspan="2">26.6～27.6</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교대</td><td rowspan="2">초음파전달속도법</td><td colspan="2">29.0～30.2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td colspan="2">27.3～30.8</td></tr>
<tr><td rowspan="9">철근탐사
(㎜)</td><td colspan="3">구 분</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td rowspan="9">•전반적으로 단위길이당 철근수량을 만족하며 측정피복두께가 설계피복두께 및 배근간격은 일부구간 차이는 있으나, 전반적으로 양호한 것으로 분석됨.</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">상부구조
(바닥판)</td><td>주철근</td><td>102～280</td><td>40～45</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>210～263</td><td>39～49</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부
구조</td><td rowspan="2">교대</td><td>주철근</td><td>188～273</td><td>100～122</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>126～180</td><td>98～106</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td>주철근</td><td>113～137</td><td>100～113</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>274～355</td><td>98～106</td></tr>
<tr><td rowspan="2">탄산화
잔여깊이
(㎜)</td><td colspan="4">상부구조</td><td colspan="2">31.1～34.8</td><td rowspan="2">•전 개소 ‘a등급’으로 분석되어, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="4">하부구조</td><td colspan="2">89.5～95.1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">염화물
함유량시험
(㎏/㎥)</td><td colspan="4">상부구조</td><td colspan="2">0.262</td><td rowspan="2">•상태평가 기준 “a” 로서, 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="4">하부구조</td><td colspan="2">0.230～0.235</td></tr>
<tr><td>종합
평가</td><td colspan="7">•비파괴강도 측정결과, 전 개소의 측정값이 설계기준강도를 상회하는 것으로 나타났으며, 건전부 대비 비건전부의 측정압축강도가 95%를 상회하여 본 구조물의 콘크리트 품질은 양호한 것으로 판단됨.
•탄산화 깊이 측정결과, 전개소에서 상태평가 “a” 로 검토되어 현 상태에서는 탄산화에 철근부식의 우려가 없는 상태로 판단됨.
•염화물함유량 시험결과 상부구조 1개소, 하부구조 2개소에서 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
</table>

2) 강재

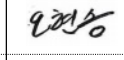
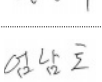
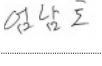
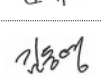
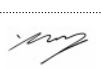
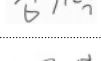
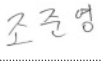
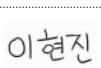
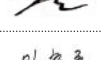
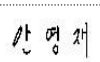
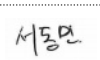
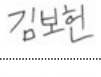
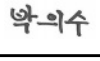
<table>
<tr><th>시 험 명</th><th colspan="2">시험부위</th><th>시험결과</th><th>평가의견</th></tr>
<tr><td>강재
초음파탐상</td><td colspan="2">맞대기 용접부</td><td>합격(36개소)</td><td>• 내부결함이 없는 1급(합격).</td></tr>
<tr><td rowspan="2">도막두께
(㎛)</td><td rowspan="2">STB Girder</td><td>거더 내부</td><td>195.0～208.0</td><td rowspan="2">• 거더 내·외부 모두 표준도막두께를 상회하는 양호한 생태인 것으로 측정됨.</td></tr>
<tr><td>거더 외부</td><td>227.0～253.0</td></tr>
<tr><td>종합
평가</td><td colspan="4">• 강재에 대한 초음파탐상 시험결과, 합격(Ⅰ등급) 판정되어 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타났으며, 도막두께 측정값은 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.</td></tr>
</table>

만화교(울산) 현황표

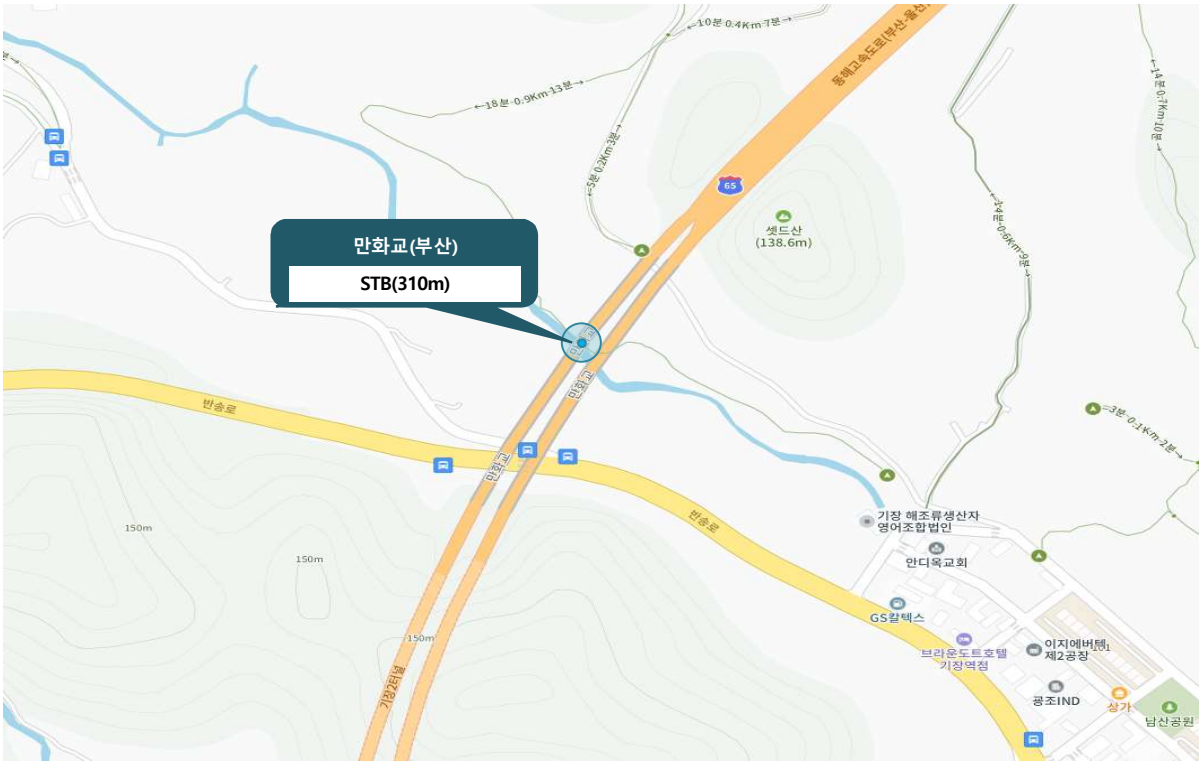
작성일 : 2023년 12월 26일

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>만화교(울산)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2008-0000991</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월</td><td>2008년 12월 31일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">부산광역시 기장군 기장읍</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24 / DL-24</td><td colspan="2">노선명(이정)</td><td>부산울산선(10.2㎞)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L = 310.0m (60.0 + 5 @ 50.0)</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B=16.2m(편도 3차선)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조형식</td><td>상 부</td><td>강박스거더교(STB)</td><td rowspan="2">기초형식</td><td>교대</td><td>강관말뚝기초</td></tr>
<tr><td>하 부</td><td>교대:역T형
교각:Π형</td><td>교각</td><td>직접기초, 강관말뚝기초</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>포트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>A1, A2 레일조인트
P3 : 강핑거 조인트</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>일반국도 14호선</td><td colspan="2">통과높이</td><td>17.2m</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>LG건설(주)</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>경남기업(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유</td><td colspan="2">관리주체</td><td>부산울산고속도로(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">점검로</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">  </td></tr>
</table>

정밀안전진단 참여기술진(1)

구 분	소 속	직 위	성 명	참여기간	서 명
책임기술자	백양엔지니어링(주)	이사	오현승	2023.02.21.~12.26.(309일)	
분야별 책임기술자	백양엔지니어링(주)	대리	정정식	2023.02.21.~12.26.(309일)	
	백양엔지니어링(주)	대리	엄남호	2023.02.21.~12.26.(309일)	
분야별 참여기술자	백양엔지니어링(주)	과장	반대우	2023.02.21.~12.26.(309일)	
	백양엔지니어링(주)	대리	김동영	2023.02.21.~12.26.(309일)	
참여기술자	백양엔지니어링(주)	부장	임명재	2023.02.21.~08.06.(167일)	
	백양엔지니어링(주)	과장	최재범	2023.02.21.~12.26.(309일)	
	백양엔지니어링(주)	주임	조범균	2023.02.21.~04.11.(50일)	
	백양엔지니어링(주)	주임	김기덕	2023.02.21.~12.26.(309일)	
	백양엔지니어링(주)	사원	조준영	2023.02.21.~12.26.(309일)	
	백양엔지니어링(주)	사원	이현진	2023.02.21.~12.26.(309일)	
	백양엔지니어링(주)	부사장	양홍용	2023.02.21.~12.26.(309일)	
	백양엔지니어링(주)	부사장	최길림	2023.02.21.~12.26.(309일)	
	백양엔지니어링(주)	부사장	이형준	2023.02.21.~12.26.(309일)	
	백양엔지니어링(주)	대리	안영재	2023.02.21.~12.26.(309일)	
	백양엔지니어링(주)	전무	박근우	2023.02.21.~12.26.(309일)	
	백양엔지니어링(주)	부장	서동민	2023.02.21.~03.31.(39일)	
	백양엔지니어링(주)	부장	이희철	2023.03.16.~12.26.(286일)	
	백양엔지니어링(주)	과장	정성환	2023.03.16.~12.26.(286일)	
	백양엔지니어링(주)	부사장	김대인	2023.04.25.~10.19.(178일)	
	백양엔지니어링(주)	부사장	손범수	2023.04.25.~12.26.(246일)	
	백양엔지니어링(주)	부사장	김보헌	2023.08.07.~12.26.(142일)	
	백양엔지니어링(주)	이사	박의수	2023.10.20.~12.26.(68일)	

시설물의 위치도



○ 시설물 위치 : 부산광역시 기장군 기장읍 (부산울산선 10.2㎞)

시설물의 전경사진(1)

상부전경

측면전경

시설물의 전경사진(2)

바닥판 전경

거더 전경

시설물의 전경사진(3)

교대 전경(A1)

교대 전경(A2)

시설물의 전경사진(4)

교각 전경(P1)

교각 전경(P3)

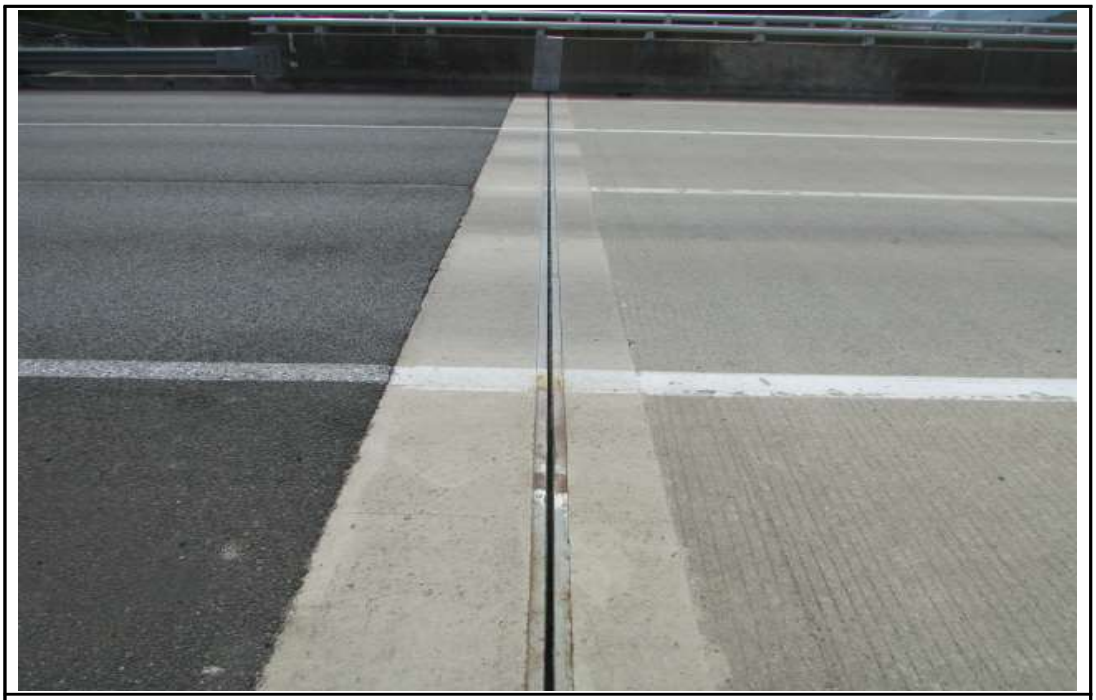
시설물의 전경사진(5)

교명주

설명판

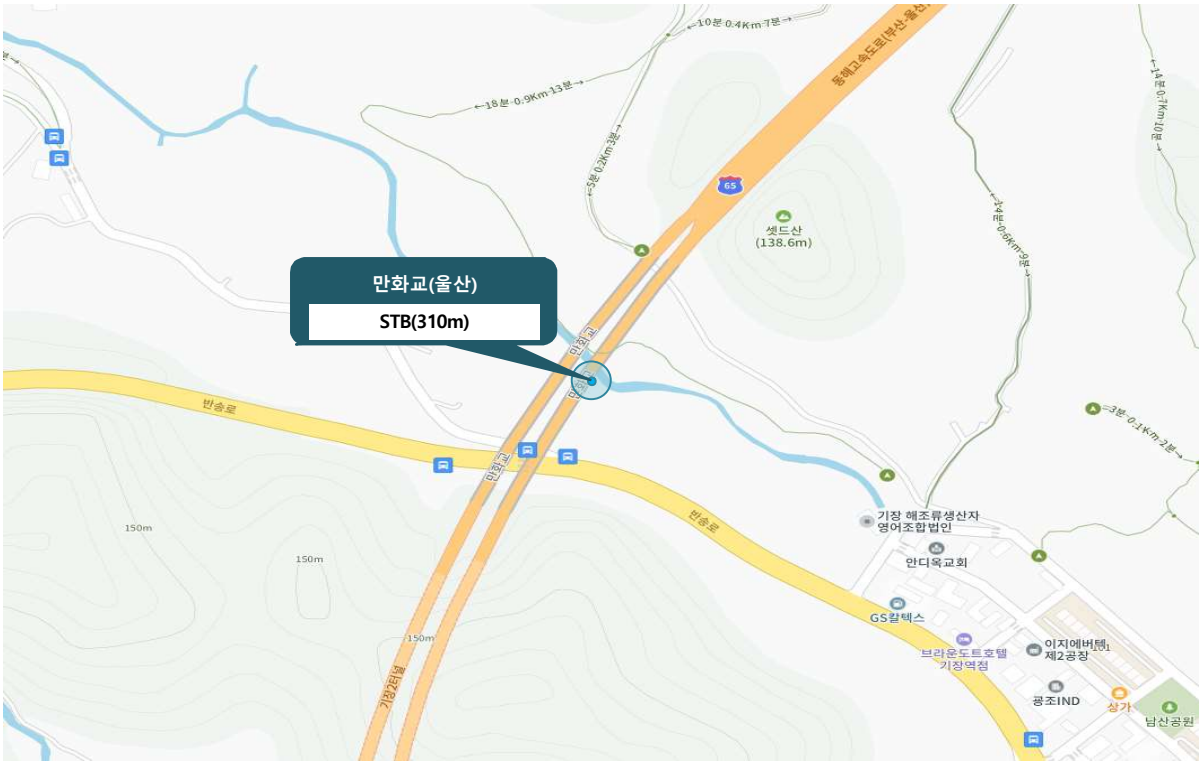
시설물의 전경사진(6)

EXP.J1(A1) 전경



EXP.J3(A2) 전경

시설물의 위치도



○ 시설물 위치 : 부산광역시 기장군 기장읍 (부산울산선 10.2㎞)

시설물의 전경사진(1)

상부전경

측면전경

시설물의 전경사진(2)

바닥판 전경

거더 전경

시설물의 전경사진(3)

교대 전경(A1)

교대 전경(A2)

시설물의 전경사진(4)

교각 전경(P1)

교각 전경(P3)

시설물의 전경사진(5)

교명주

설명판

시설물의 전경사진(6)

EXP.J1(A1) 전경

EXP.J3(A2) 전경

정밀안전진단 결과 요약문

1. 과업의 개요

1.1 과업의 목적

본 과업은 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법”(이하 ” 시설물안전법 “이라 한다.) 제12조 및 동법 시행령 제10조에 의한 정밀안전진단(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 유지관리방안을 수립) 및 동법 제40조 및 동법 시행령 제28조에 규정에 따른 성능평가(시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물 기능 및 성능저하, 상태 등을 신속・정확하게 조사・평가하고, 그에 대한 적절한 성능확보를 취하여 재해 및 재난을 예방하며, 시설물의 안전성능 및 내구성능, 사용성능을 보완・보전케 함으로써 시설물의 효용성을 증진)의 시행을 통한 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

1.2 과업의 범위 및 내용

1.2.1 과업의 범위

본 과업을 수행함에 있어서 과업의 범위는 기본적으로 과업지시서에 충실하고 과업지시서에 명기되지 않은 내용은 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침[안전점검・진단 편](이하 ‘세부지침’이라 한다)」을 준용하여 수행하는 것으로 하였다.

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

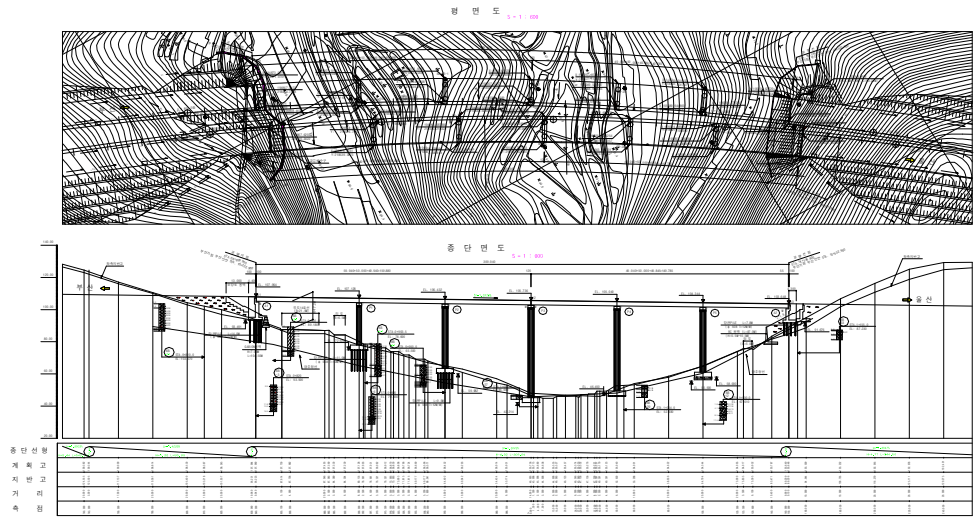
1.2.2 과업수행기간

2023. 02. 21 ~ 2023. 12. 26(착수일로부터 309일간)

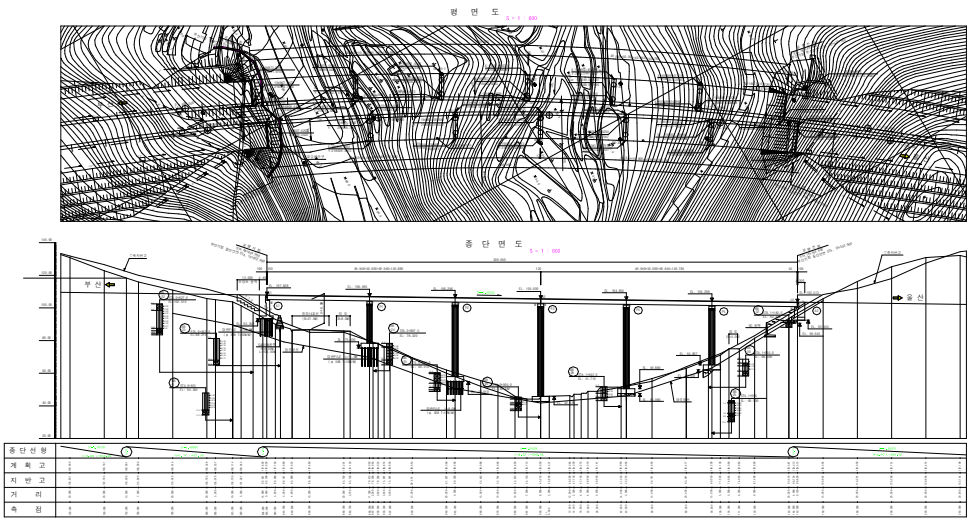
1.3 시설물의 개요

1.3.1 구조물 현황

가. 만화교(부산)

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>만화교(부산)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2008-0000987</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월</td><td>2008년 12월 31일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">부산광역시 기장군 기장읍</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24 / DL-24</td><td colspan="2">노선명(이정)</td><td>부산울산선(10.2㎞)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L = 310.0m (60.0 + 5 @ 50.0)</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B=16.2m(편도 3차선)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조형식</td><td>상 부</td><td>강박스거더교(STB)</td><td rowspan="2">기초형식</td><td>교대</td><td>강관말뚝기초</td></tr>
<tr><td>하 부</td><td>교대:역T형
교각:Π형</td><td>교각</td><td>직접기초, 강관말뚝기초</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>포트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>A1, A2 레일조인트
P3 : 강핑거 조인트</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>일반국도 14호선</td><td colspan="2">통과높이</td><td>17.2m</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>LG건설(주)</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>경남기업(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유</td><td colspan="2">관리주체</td><td>부산울산고속도로(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">점검로</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">  </td></tr>
</table>

나. 만화교(울산)

<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>만화교(울산)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2008-0000991</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월</td><td>2008년 12월 31일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">부산광역시 기장군 기장읍</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24 / DL-24</td><td colspan="2">노선명(이정)</td><td>부산울산선(10.2㎞)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L = 310.0m (60.0 + 5 @ 50.0)</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B=16.2m(편도 3차선)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조형식</td><td>상 부</td><td>강박스거더교(STB)</td><td rowspan="2">기초형식</td><td>교대</td><td>강관말뚝기초</td></tr>
<tr><td>하 부</td><td>교대:역T형
교각:Π형</td><td>교각</td><td>직접기초, 강관말뚝기초</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>포트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>A1, A2 레일조인트
P3 : 강핑거 조인트</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>일반국도 14호선</td><td colspan="2">통과높이</td><td>17.2m</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>LG건설(주)</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>경남기업(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유</td><td colspan="2">관리주체</td><td>부산울산고속도로(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">점검로</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">  </td></tr>
</table>

2. 자료수집 및 분석

2.1 보수·보강 이력

가. 만화교(부산)

구분	공사기간	설계자	시공자	공사명	보수보강공법/내용	공사금액(원)
보수	2011-03-01 ~ 2011-04-15	신재환	울트라건설 (박근필)	부산울산고속도로 하자보수 공사	배수시설 배수시설 부분보수	1,000
-	2017.12	-	바우테크	-	신축이음 P3 신축이음 교체	-
-	2018.11	-	이왕코리아	-	신축이음 P3 신축이음 교체	-
-	2018.11	케이엔씨 컨설턴트 (주)	경남기업(주)	-	교대, 신축이음, 거더 교대 A1, A2 어스앵커보강 신축이음 A1, A2 교체 거더 단부 절단(A1, A2)	-
보수	2019-09-18 ~ 2019-12-31	이효찬	CS청산건설(주) (이건수)	구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사	거더, 교량받침, 신축이음, 하부구조, 방호벽 볼트재체결, 표면처리, 재도장, 주입보수, 차수판설치	4,567,000
개량	2020-08-18 ~ 2020-12-04	구조물 안전팀	㈜가화건설 (정덕민)	2020년 경남본부 관내 교량 내진보강 및 성능개량공사	교량받침(P1) 콘크리트 전단키 설치	8,564,000
※ 시설물통합정보관리시스템(FMS) 내 교량관리대장 및 보수공사현황 참조 ※ 전차 정밀안전진단(2018년) 자료 참조						

나. 만화교(울산)

구분	공사기간	설계자	시공자	공사명	보수·보강공법/내용	공사금액(원)
-	2016년 정밀점검 이후	-	-	-	방호벽, 바닥판, 하부구조 표면처리	-
-	2018.11	케이엔씨 컨설턴트	경남기업(주)	-	교대, 신축이음, 거더 교대 A1 어스앵커보강 신축이음 A1 교체 거더 단부 절단(A1)	-
보수	2019-09-18 ~ 2019-12-31	이효찬	CS청산건설(주) (이건수)	구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사	거더, 교량받침, 신축이음, 하부구조, 방호벽 볼트재체결, 표면처리, 재도장, 주입보수	608,000
개량	2020-08-18 ~ 2020-12-04	구조물 안전팀	㈜가화건설 (정덕민)	2020년 경남본부 관내 교량 내진보강 및 성능개량공사	교량받침(P1) 콘크리트 전단키 설치	8,564,000

※ 시설물통합정보관리시스템(FMS) 내 교량관리대장 및 보수공사현황 참조
※ 전차 정밀안전진단(2018년) 자료 참조

2.2 자료수집 및 분석 결과요약

가. 만화교(부산)

구 분	수집 자료	자료분석 결과	진단과업 진행방향
건 설 관 련 자 료	• 준공도면 및 구조 및 계산서 - 준공도면 부산-울산간 고속도로 민간투자시설사업 준공도면(2008.12) - 토질조사보고서 - 구조계산서 - 수리계산서	• 준공도면, 구조 및 수리계산서, 설계당시 기준에 준하여 작성된 것으로 확인됨. • 준공도면, 구조 및 수리계산서의 구조물 치수는 동일한 것으로 확인됨.	• 현장조사시 부재제원을 실측하여 준공도면과 비교·검토를 실시함. • 손상에 대한 원인분석시, 시공자료 검토를 통하여 시공적인 원인에 의한 발생유무를 확인하고자 함.
유 지 관 리 자 료	• 점검 및 진단 이력 : 정밀안전진단(1회) - 2018. 12. : 1종성능평가(1회) - 2018. 12. : 정밀안전점검(6회) - 2008. 12. - 2010. 05. - 2013. 12. - 2016. 12. - 2020. 12. - 2022. 12. : 정기안전점검(23회)	• 신축이음 유간부족(A1), 후타재 균열 등이 조사됨. • 상부구조 박락, 도장긁힘, 열화(변색) 조사됨. • 하부구조 균열(Cw=0.3㎜미만), 측방유동(우려) 등이 조사됨. • 상태평가결과, 「C」로 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 상태임. • 내구성 조사결과, 설계기준 이상으로 양호한 상태임. • 안전성평가결과 구조물에 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가됨.	• 기 진단과의 비교·분석으로 통하여 추가적인 손상이나, 기존손상의 진전여부 등을 확인함. • 기 진단과의 비교·분석으로 내구성 저하 여부 확인
	• 보수·보강 이력 : 시설물통합정보관리시스템(FMS) 참조.	• 공용중 지속적인 유지보수 실시. - 콘크리트 전단키 설치 - 볼트 재체결, 재도장 - 균열보수(표면처리, 주입보수) - 차수판 설치 등	• 보수부위의 상태점검을 통하여 보수공법의 적정성 및 재손상 발생여부 등을 확인. • 보수공법 효과성 확인을 통하여 합리적인 보수방안 도출.

나. 만화교(울산)

구 분	수집 자료	자료분석 결과	진단과업 진행방향
건 설 관 련 자 료	• 준공도면 및 구조 및 계산서 - 준공도면 부산-울산간 고속도로 민간투자시설사업 준공도면(2008.12) - 토질조사보고서 - 구조계산서 - 수리계산서	• 준공도면, 구조 및 수리계산서, 설계당시 기준에 준하여 작성된 것으로 확인됨. • 준공도면, 구조 및 수리계산서의 구조물 치수는 동일한 것으로 확인됨.	• 현장조사시 부재제원을 실측하여 준공도면과 비교·검토를 실시함. • 손상에 대한 원인분석시, 시공자료 검토를 통하여 시공적인 원인에 의한 발생유무를 확인하고자 함.
유 지 관 리 자 료	• 점검 및 진단 이력 : 정밀안전진단(1회) - 2018. 12. : 1종성능평가(1회) - 2018. 12. : 정밀안전점검(6회) - 2008. 12. - 2010. 05. - 2013. 12. - 2016. 12. - 2020. 12. - 2022. 12. : 정기안전점검(23회)	• 신축이음 본체 고무재파손(P3), 차수판 볼트탈락 등이 조사됨. • 상부구조 협착, 단부파손, 부식, 열화(변색)이 조사됨. • 하부구조 균열(Cw=0.3㎜미만), 측방유동(우려) 등이 조사됨. • 상태평가결과, 「B」로 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부 보수가 필요한 상태임. • 내구성 조사결과, 설계기준 이상으로 양호한 상태임. • 안전성평가결과 구조물에 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가됨.	• 기 진단과의 비교·분석으로 통하여 추가적인 손상이나, 기존손상의 진전여부 등을 확인함. • 기 진단과의 비교·분석으로 내구성 저하 여부 확인
	• 보수·보강 이력 : 시설물통합정보관리시스템(FMS) 참조.	• 공용중 지속적인 유지보수 실시. - 콘크리트 전단키 설치 - 볼트 재체결, 재도장 - 균열보수(표면처리, 주입보수) - 차수판 설치 등	• 보수부위의 상태점검을 통하여 보수공법의 적정성 및 재손상 발생여부 등을 확인. • 보수공법 효과성 확인을 통하여 합리적인 보수방안 도출.

3. 현장조사 및 시험

3.1 만화교(부산)

3.1.1 외관조사 결과요약

가. 금회 진단 외관조사 결과요약

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판	•주요손상으로는 균열(cw=0.3㎜미만), 균열부 백태, 철근노출 손상이 조사됨.	•건조수축 등의 콘크리트 성질에 기인해 발생한 비구조적 손상으로 판단된다. 따라서, 내구성 저하 방지를 위해 표면보수가 필요함. •단면보수 시 콘크리트의 탈락우려가 있으므로 방청 후 탄산화방지제 도포 등의 표면보수 또한 고려해야함.
STB Girder	•도장박리 및 도장열화가 주요손상으로 확인됨.	•도장박리는 시공불량(전처리 미흡) 및 공용기간 증가로 노후화(부착강도 저하)에 의해 발생된 손상으로 재도장을 통한 유지관리가 요구됨. •도장의 전반적인 상태가 건전하여 현재 보수의 시급성을 요하지 않으며, 향후 도장결함의 진전 여부에 따라 전면 재도장을 고려하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.
가로보	•상태양호함.	-
교대	•균열(Cw=0.3㎜ 미만), 망상균열, 백태가 주요 손상으로 확인됨.	•균열(Cw=0.3㎜ 미만) 및 망상균열은 건조수축, 수화열 등에 발생된 미세균열임. •백태는 우수유입에 의한 손상으로 날개벽 및 흉벽에서 1개소씩 조사되었으며, 흉벽 전면 단면변화부에서 외부 충격에 의한 파손이 1개소 조사됨. •신축이음부에 인접한 부재로 방수성, 손상진전 방지를 위한 보수가 필요하며, 흉벽 및 교대 전체의 콘크리트 열화 방지를 위해 전면의 표면보호제(중성화 및 염해방지)도포가 필요할 것으로 판단됨.
교각	•주요손상으로 균열, 보수부 재균열, 백태, 보수부 백태가 조사됨.	•손상규모, 형상, 위치 등을 고려해 볼 때 구조적 원인에 의해 발생된 손상이라기보다 건조수축, 수화열 등에 발생된 미세균열임. 백태 및 보수부 백태는 우수유입에 의한 손상이며, 신축이음부에 인접한 부재로 방수성, 손상진전 방지를 위한 보수가 필요하며, 흉벽 및 교대 전체의 콘크리트 열화 방지를 위해 전면의 표면보호제(중성화 및 염해방지)도포가 필요할 것으로 판단됨.

구 분		주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
기초부		•교대 및 교각의 기초는 지중에 매립되어 외관조사는 불가한 것으로 조사됨.	-
교량받침		•기둥부 및 코핑부에서 균열 폭 0.1~0.2㎜ 수준의 수직균열이 국부적으로 조사됨. •코핑부 철근노출이 11개소 조사됨.	•건조수축 및 점검로 설치시 앵커홀 주변으로 응력이 집중되어 발생된 균열로 판단된다. 상기 균열들은 재료적 특성에 의한 비구조적 균열로 판단되므로 내구성 확보를 위한 표면보수가 필요함. •받침콘크리트 인접부 코핑부 상단에서 조사되었으며, 콘크리트 피복두께 미확보에 의한 것으로 방청후 탄산화방지제 도포 등의 표면보수를 실시하여 관리함이 바람직할 것으로 판단됨.
신축이음		•후타재 콘크리트의 경우 주행차량의 충격하중 및 재료적 특성에 의한 균열이 일부 종방향 형태로 발생한 것으로 확인됨. •신축이음장치 3개소 모두 유간 토사퇴적이 조사됨.	•차량 주행성에는 이상이 없는 것으로 판단되며, 대부분 폭 0.2㎜ 이내의 미세균열로 즉각적인 보수조치 보다는 지속적인 관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다. 다만 손상확대 및 진전 시 보수가 필요함. •토사퇴적은 공용년수 증가에 따른 이물질 유입이 주원인으로 현재 신축이음장치에 기능을 상실한 상태는 아니나, 원활한 유지관리를 위해 청소를 실시하여 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단됨
기타부재	교면포장	•통행차량의 운행성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않은 전반적으로 양호한 상태이며, 주요손상으로 포장균열이 조사됨.	•균열의 경우, 차량의 주행에 미치는 영향 및 균열보수 시 보수효과가 작은 점, 동일위치로 바닥판 하면의 누수, 백태와 같은 2차 손상이 없는 점 등을 고려해 볼 때, 당장의 부분적 보수는 비효율적이므로 손상 확대 및 진전 시 일괄 보수를 실시함이 효율적일 것으로 판단됨.
	배수시설	•S5경간에서 배수관 고정대 탈락이 1개소 조사됨.	•반복적인 차량통행에 의한 차량진동, 풍향 등의 영향으로 배수관 고정이 불량해질 수 있으므로 보수계획에 맞춰 배수관 고정대 재설치가 필요할 것으로 판단됨.
	난간및연석	•방호벽 전면부에 0.3㎜미만의 표면균열과 망상균열이 조사됨.	•균열은 콘크리트 타설 후 재료적 특성 및 온도변화에 따른 수축·팽창 등에 의해 발생된 비구조적 손상으로 현재로써는 지속관찰이 요구되며, 향후 표면보호제 도포 등의 일괄 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

나. 기 진단(2018년) 결과와의 비교, 분석

구분		결함 및 손상내용	단위	2018년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단	물량 증·감
				물량	물량	
바닥판 하면		균열(cw=0.3mm미만)	m	-	23.00	▲ 23.00
		균열부백태	m	-	0.20	▲ 0.20
		철근노출	㎡	-	7.14	▲ 7.14
		박락	㎡	0.14	-	▼ 0.14
STB 거더	내부	도장박리	㎡	-	0.07	▲ 0.07
		누수흔적	㎡	-	3.60	▲ 3.60
		실링미처리	개소	-	2	▲ 2
		그을음	㎡	-	1.12	▲ 1.12
	외부	도장박리	㎡	-	0.13	▲ 0.13
		도장열화	㎡	1,426.00	1,426.00	- -
		볼트부식	개소	-	17	▲ 17
		부식	㎡	0.07	-	▼ 0.07
하부 구조	교대	균열(cw=0.3mm미만)	m	-	6.40	▲ 6.40
		보수부 재균열(cw=0.3mm미만)	m	-	1.00	▲ 1.00
		백태	㎡	-	0.52	▲ 0.52
		보수부백태	㎡	-	0.41	▲ 0.41
		박리	㎡	-	0.24	▲ 0.24
		보수부 박리	㎡	-	1.32	▲ 1.32
		파손	㎡	0.19	0.02	▼ 0.17
		이격	m	-	0.07	▲ 0.07
		실링재 열화	m	-	6.00	▲ 6.00
		표면오염	㎡	8.65	-	▼ 8.65
	교각	균열(cw=0.3mm미만)	m	38.90	32.60	▼ 6.30
		망상균열	㎡	-	2.60	▲ 2.60
		보수부 박리	㎡	-	0.04	▲ 0.04
		철근노출	㎡	0.04	0.11	▲ 0.07
		파손	㎡	0.26	0.26	- -
		체수	㎡	-	0.40	▲ 0.40
		표면오염	㎡	6.45	-	▼ 6.45

구분		결함 및 손상내용	단위	2018년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단	물량 증·감
				물량	물량	
교량받침		앵커볼트 부식	개소	120	41	▼ 79
		받침콘크리트 파손	㎡	-	0.01	▲ 0.01
		받침콘크리트 들뜸	㎡	-	0.04	▲ 0.04
		받침몰탈균열	m	2.40	-	▼ 2.40
신축이음장치		후타재 균열	m	3.20	43.20	▲ 40.00
		후타재 박락	㎡	-	0.18	▲ 0.18
		후타재 파손	㎡	-	0.01	▲ 0.01
		유간 토사퇴적	m	-	29.50	▲ 29.50
		차수판 볼트탈락	개소	2	8	▲ 6
		차수판 유실	개소	1	-	▼ 1
		후타재 이격	m	32.00	-	▼ 32.00
교면포장		포장균열	m	-	1.50	▲ 1.50
		LMC패임	㎡	0.05	0.09	▲ 0.04
기타부재	배수시설	배수관 고정대 탈락	개소	-	1	▲ 1
	난간 및 연석	균열(cw=0.3mm미만)	m	199.20	95.30	▼ 103.90
		망상균열	㎡	6.00	1.00	▼ 5.00
		표면열화	㎡	-	58.00	▲ 58.00
		이격	m	-	0.02	▲ 0.02
		난간변형	m	-	0.40	▲ 0.40
검토의견		•기 진단(18년)과의 비교분석 결과, 구조물의 발생된 손상의 급격한 상태변화는 없는 것으로 확인되었으며, 공용중 실시한 유지보수로 일부 손상물량이 감소한 것으로 조사됨. •금회진단에서 조사된 신규손상은 상세조사 및 경년열화 등에 의하여 추가 확인된 것으로 판단됨.				

3.1.2 내구성 결과요약(콘크리트)

가. 금회 진단 콘크리트 내구성 결과요약

<table>
<tr><th>시 험 명</th><th colspan="3">시험부위</th><th colspan="2">시험결과</th><th>평가의견</th></tr>
<tr><td rowspan="6">비파괴
강도
(㎫)</td><td colspan="2" rowspan="2">상부구조
(바닥판)</td><td>반발경도법</td><td colspan="2">28.0～29.9</td><td rowspan="6">•설계기준강도대비 100% 이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
•건전부대비 비건전부의 측정강도가 95%를 상회하여 콘크리트의 표면 품질저하는 경미한 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td>초음파전달속도법</td><td colspan="2">30.8～31.7</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부
구조</td><td rowspan="2">교대</td><td rowspan="2">반발경도법</td><td colspan="2">25.6～26.4</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td colspan="2">25.4～27.2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교대</td><td rowspan="2">초음파전달속도법</td><td colspan="2">34.0～34.4</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td colspan="2">33.0～34.5</td></tr>
<tr><td rowspan="9">철근탐사
(㎜)</td><td colspan="3">구 분</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td rowspan="9">•전반적으로 단위길이당 철근수량을 만족하며 측정피복두께가 설계피복두께 및 배근간격은 일부구간 차이는 있으나, 전반적으로 양호한 것으로 분석됨.</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">상부구조
(바닥판)</td><td>주철근</td><td>92～276</td><td>40～59</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>205～273</td><td>40～54</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부
구조</td><td rowspan="2">교대</td><td>주철근</td><td>192～254</td><td>99～104</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>114～185</td><td>99～104</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td>주철근</td><td>100～178</td><td>100～111</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>284～318</td><td>99～128</td></tr>
<tr><td rowspan="2">탄산화
잔여깊이
(㎜)</td><td colspan="3">상부구조</td><td colspan="2">33.0～34.7</td><td rowspan="2">•전 개소 ‘a등급’으로 분석되어, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="3">하부구조</td><td colspan="2">91.3～94.7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">염화물
함유량시험
(㎏/㎥)</td><td colspan="3">상부구조</td><td colspan="2">0.262</td><td rowspan="2">•상태평가 기준 “a” 로서, 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="3">하부구조</td><td colspan="2">0.140～0.171</td></tr>
<tr><td>종합
평가</td><td colspan="6">•비파괴강도 측정결과, 전 개소의 측정값이 설계기준강도를 상회하는 것으로 나타났으며, 건전부 대비 비건전부의 측정압축강도가 95%를 상회하여 본 구조물의 콘크리트 품질은 양호한 것으로 판단됨.
•탄산화 깊이 측정결과, 전개소에서 상태평가 “a” 로 검토되어 현 상태에서는 탄산화에 철근부식의 우려가 없는 상태로 판단됨.
•염화물함유량 시험결과 상부구조 1개소, 하부구조 2개소에서 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
</table>

나. 기 진단(2018년) 결과와의 비교, 분석

<table>
<tr><th rowspan="2">시 험 명</th><th colspan="2" rowspan="2">시험부위</th><th colspan="4">시험결과</th><th rowspan="2">평가의견</th></tr>
<tr><th colspan="2">2018년 정밀안전진단</th><th colspan="2">금회 정밀안전진단</th></tr>
<tr><td rowspan="4">비파괴 강도 (㎫)</td><td rowspan="2">상부 구조</td><td>반발경도</td><td colspan="2">27.5～29.5</td><td colspan="2">28.0～29.9</td><td rowspan="4">•측정위치의 편차가 존재하나 모든 부재에서 설계기준강도를 상회하여 구조물의 공용년수 증가에 의한 강도 저하는 발생하지 않음.</td></tr>
<tr><td>초음파 전달속도</td><td colspan="2">25.5～27.7</td><td colspan="2">30.8～31.7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부 구조</td><td>반발경도</td><td colspan="2">22.3～24.6</td><td colspan="2">25.4～27.2</td></tr>
<tr><td>초음파 전달속도</td><td colspan="2">24.9～29.3</td><td colspan="2">33.0～34.5</td></tr>
<tr><td rowspan="7">철근탐사 (㎜)</td><td colspan="2">구 분</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td rowspan="7">•측정위치에 따른 편차가 일부 존재하며, 상부구조의 경우 설계간격 차이로, 단위길이당 철근수량을 만족하며 측정피복두께가 설계피복두께를 상회하여 철근의 배근상태는 양호함.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">상부 구조</td><td>주철근</td><td>110～135</td><td>37～50</td><td>92～276</td><td>40～59</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>115～250</td><td>40～52</td><td>205～273</td><td>40～54</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교대</td><td>주철근</td><td>185～260</td><td>90～98</td><td>192～254</td><td>99～104</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>155～165</td><td>95～105</td><td>114～185</td><td>99～104</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td>주철근</td><td>120～135</td><td>90～115</td><td>100～178</td><td>100～111</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>270～320</td><td>80～100</td><td>284～318</td><td>99～128</td></tr>
<tr><td rowspan="2">탄산화 잔여깊이 (㎜)</td><td colspan="2">상부 구조</td><td colspan="2">32.3～37.8</td><td colspan="2">33.0～34.7</td><td rowspan="2">•기 진단 결과와 비교하여 전반적으로 잔여피복두께가 감소한 부재가 존재하나, 상태평가등급 “a”로 내구성저하 문제는 발생하지 않음.</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부 구조</td><td colspan="2">72.1～88.8</td><td colspan="2">91.3～94.7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">염화물 함유량시험 (kg/㎥)</td><td colspan="2">상부 구조</td><td colspan="2">0.092</td><td colspan="2">0.262</td><td rowspan="2">•시험결과, 염화물에 의한 부식 발생 가능성이 낮은 상태로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부 구조</td><td colspan="2">0.077～0.083</td><td colspan="2">0.140～0.171</td></tr>
<tr><td>종합 평가</td><td colspan="7">•비파괴강도 측정, 탄산화 깊이측정, 염화물함유량 시험 등을 기 진단 결과와 비교 할 때 공용기간 경과에 따른 내구성 저하는 없는 것으로 분석됨.
•철근 배근상태 및 피복두께 측정값이 기 진단 결과와 측정위치별 다소 상이하며, 이는 설계 배근 간격 차이이며, 공용기간 경과에 따른 콘크리트 내부의 유동은 없다고 분석됨.</td></tr>
</table>

3.1.3 내구성 결과요약(강재)

가. 금회 진단 강재 내구성 결과요약

시 험 명	시험부위		시험결과	평가의견
강재 초음파탐상	맞대기 용접부		합격(36개소)	• 내부결함이 없는 1급(합격).
도막두께 (μm)	STB Girder	거더 내부	182.0~228.0	• 거더 내·외부 모두 표준도막 두께를 상회하는 양호한 생태인 것으로 측정됨.
		거더 외부	221.0~245.0	
종합 평가	• 강재에 대한 초음파탐상 시험결과, 합격(Ⅰ등급) 판정되어 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타났으며, 도막두께 측정값은 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.			

나. 기 진단(2018년) 결과와의 비교, 분석

시 험 명	시험부위		시험결과		평가의견
			전차 정밀안전진단 ('18년)	금회 정밀안전진단 ('23년)	
강재 초음파탐상	거더 내부 맞대기 용접부		합격(36개소)	합격(36개소)	• 기 진단 결과와 동일하게 내부결함이 없는 1급(합격)으로 판정됨.
도막두께 (μm)	STB Girder	거더 내부	-	182.0~228.0	• 도막두께가 양호한 상태로 측정됨.
		거더 외부	-	221.0~245.0	
종합 평가	• 기 진단 결과와 비교 시 강재에 대한 초음파탐상 시험은 36개소에서 모두 내부결함이 없는 1급(합격)으로 조사되었고, 도막두께의 경우는 금회 정밀안전진단에서 도막두께 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.				

3.2 만화교(울산)

3.2.1 외관조사 결과요약

가. 금회 진단 외관조사 결과요약

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판	•주요손상으로는 균열(cw=0.3㎜미만), 철근노출 손상이 조사됨.	•건조수축 등의 콘크리트 성질에 기인해 발생한 비구조적 손상으로 판단된다. 따라서, 내구성 저하 방지를 위해 표면보수가 필요함. •단면보수 시 콘크리트의 탈락우려가 있으므로 방청 후 탄산화방지제 도포 등의 표면보수 또한 고려해야함.
STB Girder	•도장박리, 부식이 주요손상으로 확인됨.	•도장박리부위 대부분은 도장의 상도층(마감층)만이 떨어져 나간 상태로서 강재에 미치는 영향은 적으로 것으로 판단되나, 구조물의 장기적인 내구성 확보를 위해서는 재도장을 통한 유지관리가 요구됨. •부식손상은 시점부 스캘럽(Scallop) 및 현장이음부(Splice) 틈을 통해 유입된 우수가 배수되지 못하고 거더 내부에서 부식환경을 초래하여 공용중 발생된 손상으로 판단됨.
가로보	•S2경간에서 경미한 부식이 1개소 조사됨.	•손상은 비교적 경미하나, 부식 진전에 따라 내구성저하 방지를 위한 재도장(방청)이 필요할 것으로 판단됨.
교대	•균열, 보수부 재균열, 균열부 백태, 망상균열, 백태, 보수부 백태가 조사됨.	•균열(Cw=0.3㎜ 미만) 및 망상균열은 건조수축, 수화열 등에 발생된 미세균열임. •백태는 우수유입에 의한 손상으로 날개벽 및 흉벽에서 1개소씩 조사되었으며, 흉벽 전면 단면변화부에서 외부 충격에 의한 파손이 1개소 조사됨. •신축이음부에 인접한 부재로 방수성, 손상진전 방지를 위한 보수가 필요하며, 흉벽 및 교대 전체의 콘크리트 열화 방지를 위해 전면의 표면보호제(중성화 및 염해방지)도포가 필요할 것으로 판단됨.
교각	•기둥부 및 코핑부에서 수평 및 수직형상을 띈 균열폭 0.1~0.3㎜ 수준의 균열 및 망상균열(2개소)이 국부적으로 조사됨.	•손상규모, 형상, 위치 등을 고려해 볼 때 구조적 원인에 의해 발생된 손상이라기보다 건조수축, 수화열 등에 발생된 미세균열임.

구 분		주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
기초부		•교대 및 교각의 기초는 지중에 매립되어 외관조사는 불가한 것으로 조사됨.	-
교량받침		•주요손상으로 받침콘크리트 박락, 받침콘크리트 재료분리가 조사됨.	•시공시 다짐미흡과 품질관리 미흡, 콘크리트 재료적 성질 등에 의해 발생한 것으로 발생규모는 경미하나 내구성 저하 방지를 위해 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.
신축이음		•후타재 콘크리트의 경우 주행차량의 충격하중 및 재료적 특성에 의한 균열이 일부 종방향 형태로 발생한 것으로 확인됨.	•차량 주행성에는 이상이 없는 것으로 판단되며, 대부분 폭 0.2㎜ 이내의 미세균열로 즉각적인 보수조치 보다는 지속적인 관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다. 다만 손상확대 및 진전 시 보수가 필요함.
		•신축이음장치 3개소 모두 유간 토사퇴적이 조사됨.	•토사퇴적은 공용년수 증가에 따른 이물질 유입이 주원인으로 현재 신축이음장치에 기능을 상실한 상태는 아니나, 원활한 유지관리를 위해 청소를 실시하여 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단됨
기타부재	교면포장	•통행차량의 운행성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않은 전반적으로 양호한 상태이며, 주요손상으로 포장균열이 조사됨.	•균열의 경우, 차량의 주행에 미치는 영향 및 균열보수 시 보수효과가 작은 점, 동일위치로 바닥판 하면의 누수, 백태와 같은 2차 손상이 없는 점 등을 고려해 볼 때, 당장의 부분적 보수는 비효율적이므로 손상 확대 및 진전 시 일괄 보수를 실시함이 효율적일 것으로 판단됨.
	배수시설	•S4경간에서 배수관 고정대 탈락이 1개소 조사됨. •배수구 막힘이 S1경간에서 1개소 조사됨.	•반복적인 차량통행에 의한 차량진동, 풍향 등의 영향으로 배수관 고정이 불량해질 수 있으므로 보수계획에 맞춰 배수관 고정대 재설치가 필요할 것으로 판단됨. •배수구 막힘에 의해 배수 영향이나, 교면내 체수 등 2차 손상은 발생하지 않은 비교적 경미한 상태임. 다만 주기적 청소가 필요함.
	난간및연석	•방호벽 전면부로 경미한 파손이 1개소 조사됨.	•손상규모는 비교적 경미하나, 파손에 의해 박락 등 2차손상이 진행되고 있는 점 등을 고려할 때, 탄산화 방지제 도포 등의 표면보수를 통해 유지관리하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

나. 기 진단(2018년) 결과와의 비교, 분석

구분		결함 및 손상내용	단위	2018년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단	물량 증·감
				물량	물량	
바닥판 하면		균열(cw=0.3mm미만)	m	-	0.50	▲ 0.50
		박락	㎡	-	0.26	▲ 0.26
		철근노출	㎡	-	0.82	▲ 0.82
		파손	㎡	0.56	-	▼ 0.56
		협착	m	16.20	-	▼ 16.20
STB 거더	내부	도장박리	㎡	-	0.04	▲ 0.04
		부식	㎡	-	0.04	▲ 0.04
		전등미설치	개소	-	2	▲ 2
		환풍구망 탈락	개소	-	1	▲ 1
	외부	도장박리	㎡	-	0.81	▲ 0.81
		도장열화	㎡	1,426.00	1,426.00	- -
		긁힘 및 부식	㎡	0.05	0.04	▼ 0.01
2차부재		부식	㎡	-	0.04	▲ 0.04
하부 구조	교대	균열(cw=0.3mm미만)	m	0.50	4.00	▲ 3.50
		균열(cw=0.3mm이상)	m	-	7.70	▲ 7.70
		보수부 재균열(cw=0.3mm미만)	m	-	0.80	▲ 0.80
		균열부 백태	m	-	2.00	▲ 2.00
		망상균열	㎡	-	0.80	▲ 0.80
		백태	㎡	0.55	0.83	▲ 0.28
		보수부 백태	㎡	-	0.08	▲ 0.08
		철근노출	㎡	-	0.02	▲ 0.02
		이격	m	-	3.00	▲ 3.00
		표면오염	㎡	0.80	-	▼ 0.80
	교각	균열(cw=0.3mm미만)	m	32.50	36.50	▲ 4.00
		균열(cw=0.3mm이상)	m	-	10.00	▲ 10.00
		망상균열	㎡	-	4.00	▲ 4.00
		철근노출	㎡	0.06	0.04	▼ 0.02
		잡철근노출	㎡	-	0.01	▲ 0.01
		파손	㎡	0.24	0.04	▼ 0.20
		표면박리	㎡	-	0.15	▲ 0.15
		표면오염	㎡	2.50	7.30	▲ 4.80

구분		결함 및 손상내용	단위	2018년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단	물량 증·감
				물량	물량	
교량받침		받침콘크리트 박락	㎡	-	0.27	▲ 0.27
		받침콘크리트 재료분리	㎡	-	0.04	▲ 0.04
		볼트부식	개소	272	1	▼ 271
		몰탈균열	m	2.90	-	▼ 2.90
		받침 플레이트 부식	개소	6	-	6
신축이음장치		후타재 균열	m	-	17.30	▲ 17.30
		후타재 마모	㎡	-	2.10	▲ 2.10
		유간 토사퇴적	m	-	8.70	▲ 8.70
		차수판 볼트탈락	개소	6	18	▲ 12
		차수판 덮개파손	개소	-	1	▲ 1
		본체 고무재파손	m	6.00	-	▼ 6.00
교면포장		포장균열	m	-	2.20	▲ 2.20
		LMC포장 파손	㎡	-	0.04	▲ 0.04
기타부재	배수시설	배수구 막힘	개소	1	1	- -
		배수관 연결고리 부식	개소	-	5	▲ 5
		배수관 고정대 탈락	개소	-	1	▲ 1
	난간 및 연석	파손	㎡	-	0.09	▲ 0.09
		단차	개소	-	1	▲ 1
검토의견		•기 진단(18년)과의 비교분석 결과, 구조물의 발생된 손상의 급격한 상태변화는 없는 것으로 확인되었으며, 공용중 실시한 유지보수로 일부 손상물량이 감소한 것으로 조사됨. •금회진단에서 조사된 신규손상은 상세조사 및 경년열화 등에 의하여 추가 확인된 것으로 판단됨.				

3.2.2 내구성 결과요약(콘크리트)

가. 금회 진단 콘크리트 내구성 결과요약

<table>
<tr><th>시 험 명</th><th colspan="3">시험부위</th><th colspan="2">시험결과</th><th>평가의견</th></tr>
<tr><td rowspan="6">비파괴
강도
(㎫)</td><td colspan="2" rowspan="2">상부구조
(바닥판)</td><td>반발경도법</td><td colspan="2">28.6～30.1</td><td rowspan="6">•설계기준강도대비 100% 이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
•건전부대비 비건전부의 측정강도가 95%를 상회하여 콘크리트의 표면 품질저하는 경미한 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td>초음파전달속도법</td><td colspan="2">30.1～33.8</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부
구조</td><td rowspan="2">교대</td><td rowspan="2">반발경도법</td><td colspan="2">26.5～27.4</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td colspan="2">26.6～27.6</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교대</td><td rowspan="2">초음파전달속도법</td><td colspan="2">29.0～30.2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td colspan="2">27.3～30.8</td></tr>
<tr><td rowspan="9">철근탐사
(㎜)</td><td colspan="3">구 분</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td rowspan="9">•전반적으로 단위길이당 철근수량을 만족하며 측정피복두께가 설계피복두께 및 배근간격은 일부구간 차이는 있으나, 전반적으로 양호한 것으로 분석됨.</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">상부구조
(바닥판)</td><td>주철근</td><td>102～280</td><td>40～45</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>210～263</td><td>39～49</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부
구조</td><td rowspan="2">교대</td><td>주철근</td><td>188～273</td><td>100～122</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>126～180</td><td>98～106</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td>주철근</td><td>113～137</td><td>100～113</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>274～355</td><td>98～106</td></tr>
<tr><td rowspan="2">탄산화
잔여깊이
(㎜)</td><td colspan="3">상부구조</td><td colspan="2">31.1～34.8</td><td rowspan="2">•전 개소 ‘a등급’으로 분석되어, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="3">하부구조</td><td colspan="2">89.5～95.1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">염화물
함유량시험
(kg/㎥)</td><td colspan="3">상부구조</td><td colspan="2">0.262</td><td rowspan="2">•상태평가 기준 “a” 로서, 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="3">하부구조</td><td colspan="2">0.230～0.235</td></tr>
<tr><td>종합
평가</td><td colspan="6">•비파괴강도 측정결과, 전 개소의 측정값이 설계기준강도를 상회하는 것으로 나타났으며, 건전부 대비 비건전부의 측정압축강도가 95%를 상회하여 본 구조물의 콘크리트 품질은 양호한 것으로 판단됨.
•탄산화 깊이 측정결과, 전개소에서 상태평가 “a” 로 검토되어 현 상태에서는 탄산화에 철근부식의 우려가 없는 상태로 판단됨.
•염화물함유량 시험결과 상부구조 1개소, 하부구조 2개소에서 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
</table>

나. 기 진단(2018년) 결과와의 비교, 분석

<table>
<tr><th rowspan="2">시 험 명</th><th colspan="2" rowspan="2">시험부위</th><th colspan="4">시험결과</th><th rowspan="2">평가의견</th></tr>
<tr><th colspan="2">2018년 정밀안전진단</th><th colspan="2">금회 정밀안전진단</th></tr>
<tr><td rowspan="4">비파괴
강도
(㎫)</td><td rowspan="2">상부
구조</td><td>반발경도</td><td colspan="2">27.4～30.0</td><td colspan="2">28.6～30.1</td><td rowspan="4">•측정위치의 편차가 존재하나 모든 부재에서 설계기준강도를 상회하여 구조물의 공용년수 증가에 의한 강도 저하는 발생하지 않음.</td></tr>
<tr><td>초음파
전달속도</td><td colspan="2">28.1～32.9</td><td colspan="2">30.1～33.8</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부
구조</td><td>반발경도</td><td colspan="2">22.3～24.7</td><td colspan="2">26.5～27.6</td></tr>
<tr><td>초음파
전달속도</td><td colspan="2">24.9～27.4</td><td colspan="2">27.3～30.8</td></tr>
<tr><td rowspan="7">철근탐사
(㎜)</td><td colspan="2">구 분</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td rowspan="7">•측정위치에 따른 편차가 일부 존재하며, 상부구조의 경우 설계간격 차이로, 단위길이당 철근수량을 만족하며 측정피복두께가 설계피복두께를 상회하여 철근의 배근상태는 양호함.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">상부
구조</td><td>주철근</td><td>115～135</td><td>38～46</td><td>102～280</td><td>40～45</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>230～260</td><td>43～55</td><td>210～263</td><td>39～49</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교대</td><td>주철근</td><td>205～260</td><td>95～110</td><td>188～273</td><td>100～122</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>140～165</td><td>92～100</td><td>126～180</td><td>98～106</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td>주철근</td><td>100～140</td><td>90～115</td><td>113～137</td><td>100～113</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>280～320</td><td>90～110</td><td>274～355</td><td>98～106</td></tr>
<tr><td rowspan="2">탄산화
잔여깊이
(㎜)</td><td colspan="2">상부 구조</td><td colspan="2">32.8～34.7</td><td colspan="2">31.1～34.8</td><td rowspan="2">•기 진단 결과와 비교하여 전반적으로 잔여피복두께가 감소한 부재가 존재하나, 상태평가등급 “a”로 내구성저하 문제는 발생하지 않음.</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부 구조</td><td colspan="2">82.3～88.9</td><td colspan="2">89.5～95.1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">염화물
함유량시험
(kg/㎥)</td><td colspan="2">상부 구조</td><td colspan="2">0.086</td><td colspan="2">0.262</td><td rowspan="2">•시험결과, 염화물에 의한 부식 발생 가능성이 낮은 상태로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부 구조</td><td colspan="2">0.074～0,086</td><td colspan="2">0.230～0.235</td></tr>
<tr><td>종합
평가</td><td colspan="7">•비파괴강도 측정, 탄산화 깊이측정, 염화물함유량 시험 등을 기 진단 결과와 비교 할 때 공용기간 경과에 따른 내구성 저하는 없는 것으로 분석됨.
•철근 배근상태 및 피복두께 측정값이 기 진단 결과와 측정위치별 다소 상이하며, 이는 설계 배근 간격 차이이며, 공용기간 경과에 따른 콘크리트 내부의 유동은 없다고 분석됨.</td></tr>
</table>

3.2.2 내구성 결과요약(강재)

가. 금회 진단 강재 내구성 결과요약

시 험 명	시험부위		시험결과	평가의견
강재 초음파탐상	맞대기 용접부		합격(36개소)	• 내부결함이 없는 1급(합격).
도막두께 (μm)	STB Girder	거더 내부	195.0~208.0	• 거더 내·외부 모두 표준도막 두께를 상회하는 양호한 생태인 것으로 측정됨.
		거더 외부	227.0~253.0	
종합 평가	• 강재에 대한 초음파탐상 시험결과, 합격(Ⅰ등급) 판정되어 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타났으며, 도막두께 측정값은 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.			

나. 기 진단(2018년) 결과와의 비교, 분석

시 험 명	시험부위		시험결과		평가의견
			전차 정밀안전진단 ('18년)	금회 정밀안전진단 ('23년)	
강재 초음파탐상	거더 내부 맞대기 용접부		합격(36개소)	합격(36개소)	• 기 진단 결과와 동일하게 내부결함이 없는 1급(합격)으로 판정됨.
도막두께 (μm)	STB Girder	거더 내부	-	195.0~208.0	• 도막두께가 양호한 상태로 측정됨.
		거더 외부	-	227.0~253.0	
종합 평가	• 기 진단 결과와 비교 시 강재에 대한 초음파탐상 시험은 36개소에서 모두 내부결함이 없는 1급(합격)으로 조사되었고, 도막두께의 경우는 금회 정밀안전진단에서 도막두께 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.				

4. 시설물의 상태평가

4.1 상태평가 결과

4.1.1 만화교(부산)

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		탄산화		염화물	
번호	구조 형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간/ 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	상부	하부	상부	하부
A1(S1)	STB	b	b	a	a	a	b	b	a	b	-	a	a	-	-
P1(S2)	STB	b	b	a	b	a	b	-	a	b	-	a	a	-	a
P2(S3)	STB	b	b	a	b	a	b	-	a	b	-	-	-	-	-
P3(S4)	STB	b	b	a	b	a	b	c	b	b	-	-	a	-	-
P4(S5)	STB	b	b	a	a	c	b	-	b	b	-	a	-	-	-
P5(S6)	STB	b	b	a	a	a	b	-	b	b	-	a	a	a	a
A2	STB	-	-	-	-	-	-	c	a	b	-		a		-
평균		0.200	0.200	0.100	0.150	0.150	0.200	0.333	0.143	0.200	-	0.100	0.100	0.100	0.100
가중치		18	20	5	7	3	2	9	9	20	-	2	2	2	1
(평균×가중치) /가중치 합		0.036	0.040	0.005	0.011	0.005	0.004	0.030	0.013	0.040	-	0.002	0.002	0.002	0.001

0.190
B

4.1.2 교량 전체의 상태평가 결과

구 분	구조형식	환산 결함도점수	상태평가 결과	연장(m)	연장비	환산 결함도 점수 ×연장비
만화교(부산)	Steel Box Girder	0.190	B	310.0	1.000	0.190
						0.190
						B

■ 만화교(부산)의 결함도 점수 범위에 따른 등급

기 준	A	B	C	D	E
결함도 범위	0≤x<0.13	0.13≤x<0.26	0.26≤x<0.49	0.49≤x<0.79	0.79≤x

■ **결함도 범위 : 0.130≤결함도 지수(0.190)≤0.260**

4.1.3 만화교(울산)

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		탄산화		염화물	
번호	구조 형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간/ 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	상부	하부	상부	하부
A1(S1)	STB	b	b	a	a	c	a	b	a	a	-	a	a	-	-
P1(S2)	STB	a	b	b	a	a	a	-	b	b	-	a	a	-	a
P2(S3)	STB	b	b	a	b	c	a	-	a	b	-	-	-	-	-
P3(S4)	STB	a	b	a	a	c	a	b	b	b	a	-	a	-	-
P4(S5)	STB	a	b	a	b	a	a	-	a	b	-	a	-	-	-
P5(S6)	STB	b	b	a	a	a	c	-	a	c	-	a	a	a	a
A2	STB	-	-	-	-	-	-	b	a	c	-		a		-
평균		0.150	0.200	0.117	0.133	0.250	0.150	0.200	0.129	0.243	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
가중치		18	20	5	7	3	2	9	9	13	7	2	2	2	1
(평균×가중치) /가중치 합		0.027	0.040	0.006	0.009	0.008	0.003	0.018	0.012	0.032	0.007	0.002	0.002	0.002	0.001

0.168
B

4.1.4 교량 전체의 상태평가 결과

구 분	구조형식	환산 결함도점수	상태평가 결과	연장(m)	연장비	환산 결함도 점수 ×연장비
만화교(울산)	Steel Box Girder	0.168	B	310.0	1.000	0.168
						0.168
						B

■ 만화교(울산)의 결함도 점수 범위에 따른 등급

기 준	A	B	C	D	E
결함도 범위	0≤x<0.13	0.13≤x<0.26	0.26≤x<0.49	0.49≤x<0.79	0.79≤x

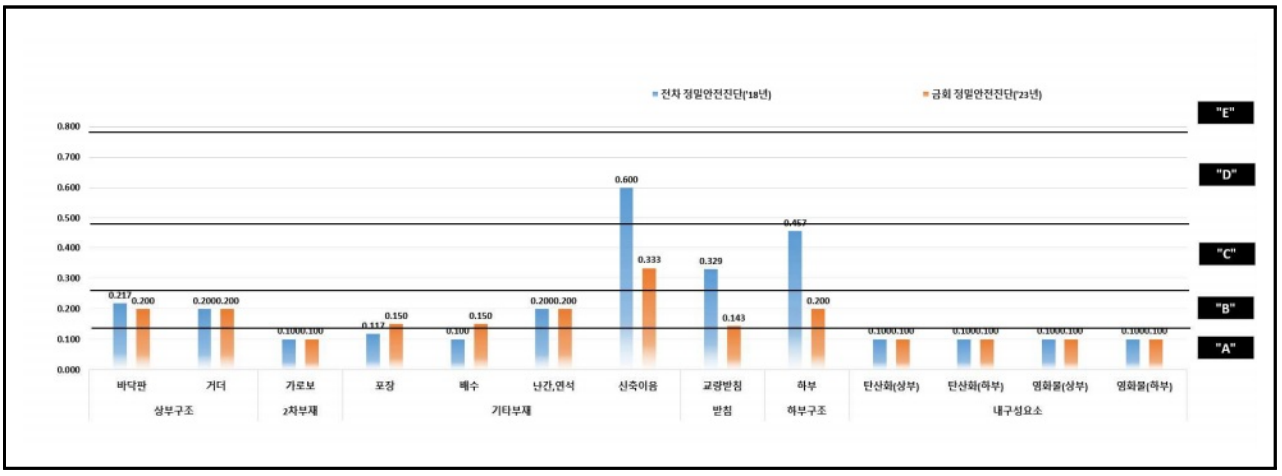
■ 결함도 범위 : 0.130≤결함도 지수(0.168)≤0.260

4.2 기 진단(2018년)결과와의 비교・분석

4.2.1 만화교(부산)

• 기 진단(18년)과의 비교・분석결과, 결함도 지수는 감소(0.281→0.190)하였으며, 상태평가 결과(C→B)로 변화된 것으로 분석되었다.

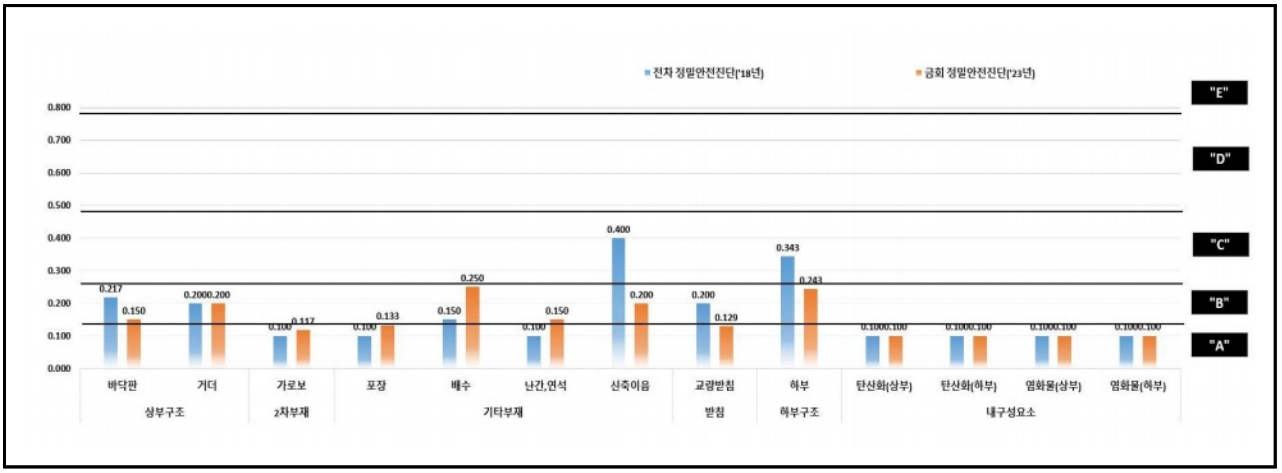
구 분		18년 진단		금회 진단		결함도지수 변화요인
		평가 결과	결함도 지수	평가 결과	결함도 지수	
상부구조	바닥판	b	0.217	b	0.200	・추가손상(균열, 철근노출 등)
	거더	b	0.200	b	0.200	・변동없음.
2차부재	가로보	a	0.100	a	0.100	・양호한 상태
기타부재	포장	a	0.117	b	0.150	・추가손상(포장균열, 패임 등)
	배수	a	0.100	b	0.150	・추가손상(배수관 고정대 탈락)
	난간, 연석	b	0.200	b	0.200	・변동없음.
	신축이음	d	0.600	c	0.333	・변동없음.
받침	교량받침	c	0.329	b	0.143	・유지보수 실시
하부구조	하부	c	0.457	b	0.200	・유지보수 실시
	기초	q	불가	q	불가	・조사불가
내구성요소	탄산화(상부)	a	0.100	a	0.100	・큰 변화 없음(실시위치 상이)
	탄산화(하부)	a	0.100	a	0.100	
	염화물(상부)	a	0.100	a	0.100	
	염화물(하부)	a	0.100	a	0.100	
상태평가결과 / 결함도지수		C	0.281	B	0.190	결함도지수 상승(0.281→0.190)



4.2.2 만화교(울산)

• 기 진단(18년)과의 비교・분석결과, 결함도 지수는 증가(0.227→0.168)하였으나, 상태평가 결과(B)의 변화는 없는 것으로 분석되었다.

구 분		18년 진단		금회 진단		결함도지수 변화요인
		평가 결과	결함도 지수	평가 결과	결함도 지수	
상부구조	바닥판	b	0.217	b	0.150	・유지보수 실시
	거더	b	0.200	b	0.200	・변동없음.
2차부재	가로보	a	0.100	a	0.117	・추가손상(부식)
기타부재	포장	a	0.100	b	0.133	・추가손상(포장균열, 파손)
	배수	b	0.150	b	0.250	・추가손상(배수관 고정대 탈락 등)
	난간, 연석	a	0.100	b	0.150	・추가손상(파손)
	신축이음	c	0.400	b	0.200	・추가손상(후타재 균열 등)
받침	교량받침	b	0.200	b	0.129	・유지보수 실시
하부구조	하부	c	0.343	b	0.243	・유지보수 실시, 가중치 변경
	기초	q	불가	a	0.100	・가중치 변경
내구성요소	탄산화(상부)	a	0.100	a	0.100	・큰 변화 없음(실시위치 상이)
	탄산화(하부)	a	0.100	a	0.100	
	염화물(상부)	a	0.100	a	0.100	
	염화물(하부)	a	0.100	a	0.100	
상태평가결과 / 결함도지수		**B**	**0.227**	**B**	**0.168**	결함도지수 상승(0.227→0.168)



5. 시설물의 안전성평가

5.1 안전성평가 결과

5.1.1 상부구조 안전성 검토 결과

가. 만화교(부산)

구 분				계산식	판정	비고
만화교 (부산)	시점경간 중앙 정모멘트부	휨응력		$\frac{f_a}{f} = \frac{190.000}{87.663} = 2.170$	O.K	MPa
		전단응력		$\frac{v_a}{v} = \frac{110.000}{23.244} = 4.73$	O.K	MPa
	내측경간 중앙 정모멘트부	휨응력		$\frac{f_a}{f} = \frac{-192.630}{-51.258} = 3.760$	O.K	MPa
		전단응력		$\frac{v_a}{v} = \frac{110.000}{8.058} = 13.65$	O.K	MPa
	시점경간 부모멘트부	휨응력		$\frac{f_a}{f} = \frac{190.000}{109.701} = 1.730$	O.K	MPa
		전단응력		$\frac{v_a}{v} = \frac{110.000}{46.041} = 2.39$	O.K	MPa
	바닥판	단면 검토	캔틸레버부	$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{155.876}{114.900} = 1.357$	O.K	kN·m
			중앙부	$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{109.120}{91.387} = 1.194$	O.K	kN·m

나. 만화교(울산)

구 분				계산식	판정	비고
만화교 (울산)	시점경간 중앙 정모멘트부	휨응력		$\frac{f_a}{f} = \frac{190.000}{158.211} = 1.200$	O.K	MPa
		전단응력		$\frac{v_a}{v} = \frac{110.000}{5.382} = 20.44$	O.K	MPa
	내측경간 중앙 정모멘트부	휨응력		$\frac{f_a}{f} = \frac{-192.630}{-35.581} = 5.410$	O.K	MPa
		전단응력		$\frac{v_a}{v} = \frac{110.000}{11.673} = 9.42$	O.K	MPa
	시점경간 부모멘트부	휨응력		$\frac{f_a}{f} = \frac{190.000}{145.033} = 1.310$	O.K	MPa
		전단응력		$\frac{v_a}{v} = \frac{110.000}{54.259} = 2.03$	O.K	MPa
	바닥판	단면 검토	캔틸레버부	$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{155.876}{114.900} = 1.357$	O.K	kN·m
			중앙부	$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{109.120}{91.387} = 1.194$	O.K	kN·m

5.1.2 하부구조 안전성 검토 결과

가. 만화교(부산)

구 분				계산식	판정	비고
A1	단면 검토	전면 저판	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{2374.896}{1504.90} = 1.578$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u} = \frac{1796.271}{1618.522} = 1.110$	O.K	kN
		후면 저판	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{4650.750}{3071.815} = 1.514$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u} = \frac{1796.271}{1262.890} = 1.422$	O.K	kN
		벽체	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{5189.554}{4450.319} = 1.166$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u} = \frac{1211.866}{941.540} = 1.287$	O.K	kN
		흉벽	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{286.971}{252.320} = 1.137$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u} = \frac{470.320}{120.302} = 3.909$	O.K	kN
	말뚝검토	지지력		$V_{\max}(=1066.794) < R_a(=1296.870)$	O.K	kN/EA
		응력		$\frac{f_a}{M_u} = \frac{190.000}{142.866} = 1.330 > 1$	O.K	MPa
		변위		$\delta(=8.404) < \delta_a(=15.000)$	O.K	㎜
P2	기둥 검토	교축직각방향		$\frac{\Phi P_n}{P_u} = \frac{125401.762}{28115.912} = 4.460 > 1$(축력최대) $\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{68559.012}{17488.900} = 3.920 > 1$(모멘트최대)	O.K	kN kN·m
		교축방향		$\frac{\Phi P_n}{P_u} = \frac{125401.762}{28115.912} = 4.460 > 1$(축력최대) $\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{47302.706}{9425.024} = 5.019 > 1$(모멘트최대)	O.K	kN kN·m
	두부보	좌측내민보		$2.869 > 1$	O.K	kN·m
		우측내민보		$2.380 > 1$	O.K	kN·m
		좌측지점부		$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{22731.783}{4308.326} = 5.276 > 1$	O.K	kN·m
		중앙부		$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{12256.428}{3669.134} = 3.340 > 1$	O.K	kN·m
		우측지점부		$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{27731.783}{9094.982} = 2.499 > 1$	O.K	kN·m

구 분				계산식	판정	비고
P2	기초	교축방향		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{68442.944}{31667.931}=2.161 > 1$	O.K	kN·m
		교직방향 지점부		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{43259.587}{13530.598}=3.197 > 1$	O.K	kN·m
		교직방향 중앙부		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{43259.587}{17344.906}=2.494 > 1$	O.K	kN·m
	말뚝 검토	교직 방향	지지력	$V_{\max}(=866.463) < R_a(=1233.170)$	O.K	kN/EA
			응력	$\frac{f_a}{M_u}=\frac{140.000}{60.687}=2.307 > 1$	O.K	MPa
			변위	$\delta(=0.592) < \delta_a(=15.000)$	O.K	㎜
		교축 방향	지지력	$V_{\max}(=781.906) < R_a(=1233.170)$	O.K	kN/EA
			응력	$\frac{f_a}{M_u}=\frac{140.000}{52.339}=2.675 > 1$	O.K	MPa
			변위	$\delta(=0.297) < \delta_a(=15.000)$	O.K	㎜

나. 만화교(울산)

구 분				계산식	판정	비고
A1	단면 검토	전면 저판	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{2374.896}{1420.402}=1.672$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u}=\frac{1796.271}{1531.239}=1.173$	O.K	kN
		후면 저판	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{4650.750}{2934.484}=1.585$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u}=\frac{1208.415}{1189.736}=1.016$	O.K	kN
		벽체	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{5189.554}{3974.742}=1.306$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u}=\frac{1211.866}{874.177}=1.386$	O.K	kN
		흉벽	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{286.971}{252.326}=1.137$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u}=\frac{470.302}{120.304}=3.909$	O.K	kN
	말뚝검토	지지력		$V_{\max}(=1012.968) < R_a(=1339.050)$	O.K	kN/EA
		응력		$\frac{f_a}{M_u}=\frac{190.000}{145.813}=1.303 > 1$	O.K	MPa
		변위		$\delta(=9.303) < \delta_a(=15.000)$	O.K	㎜

구 분				계산식	판정	비고
P2	기둥 검토	교축직각방향		$\frac{\Phi P_n}{P_u}=\frac{125401.762}{29559.988}=4.242>1$(축력최대) $\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{71207.369}{20642.567}=3.450>1$(모멘트최대)	O.K	kN kN·m
		교축방향		$\frac{\Phi P_n}{P_u}=\frac{125401.762}{29508.956}=4.250>1$(축력최대) $\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{47360.507}{10006.201}=4.733>1$(모멘트최대)	O.K	kN kN·m
	두부보	좌측내민보		2.750 > 1	O.K	kN·m
		우측내민보		2.281 > 1	O.K	kN·m
		좌측지점부		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{21775.640}{4603.536}=4.730>1$	O.K	kN·m
		중앙부		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{12256.428}{3766.762}=3.254>1$	O.K	kN·m
		우측지점부		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{21775.640}{10059.932}=2.165>1$	O.K	kN·m
	기초	교축방향		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{68442.944}{34790.506}=1.967>1$	O.K	kN·m
		교직방향 지점부		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{43259.587}{14780.596}=2.927>1$	O.K	kN·m
		교직방향 중앙부		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{43259.587}{19066.957}=2.269>1$	O.K	kN·m
	말뚝 검토	교직 방향	지지력	$V_{\max}(=918.793)<R_a(=1233.170)$	O.K	kN/EA
			응력	$\frac{f_a}{M_u}=\frac{140.000}{63.524}=2.204>1$	O.K	MPa
			변위	$\delta(=0.396)<\delta_a(=15.000)$	O.K	㎜
		교축 방향	지지력	$V_{\max}(=821.888)<R_a(=1233.170)$	O.K	kN/EA
			응력	$\frac{f_a}{M_u}=\frac{140.000}{55.269}=2.533>1$	O.K	MPa
			변위	$\delta(=0.210)<\delta_a(=15.000)$	O.K	㎜

6. 종합평가 및 안전등급의 지정

6.1 종합평가 결과

6.1.1 만화교(부산)

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과			종합평가 결과
	환산결함도점수	기준	S·F		기준	
만화교(부산)	0.190	B	상부 구조	1.0 이상	A	B
			하부 구조	1.0 이상	A	
종합평가	•만화교(부산)의 외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 내구성확보를 위해 일부 보수가 필요한 “B” 로 평가됨 •안전성평가 결과 모두 최소 안전율 1.0이상으로 “A” 로 평가됨 •상태평가 및 안전성평가 결과를 통한 종합평가 결과 만화교(부산)는 “B” 로 평가됨					

6.1.2 만화교(울산)

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과			종합평가 결과
	환산결함도점수	기준	S·F		기준	
만화교(울산)	0.168	B	상부 구조	1.0 이상	A	B
			하부 구조	1.0 이상	A	
종합평가	•만화교(울산)의 외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 내구성확보를 위해 일부 보수가 필요한 “B” 로 평가됨 •안전성평가 결과 모두 최소 안전율 1.0이상으로 “A” 로 평가됨 •상태평가 및 안전성평가 결과를 통한 종합평가 결과 만화교(울산)는 “B” 로 평가됨					

6.2 안전등급 지정

안전등급	구조물명	안전등급
	만화교(부산)	B등급(양호)
	만화교(울산)	B등급(양호)

7. 보수·보강 및 유지관리방안

7.1 보수·보강 및 개략공사비

7.1.1 만화교(부산)

구 분		손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
바닥판하면		균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	23.00	8.63	㎡	65	561	2
		균열부 백태	표면보수	0.20	0.08	㎡	65	5	2
		철근노출	표면보수(방청)	7.14	10.71	㎡	340	3,641	1
STB 거더	내부	도장박리	재도장	0.07	0.11	㎡	80	8	2
		누수흔적	실링처리	3.60	5.40	㎡	50	270	2
		실링미처리	실링처리	2	2	개소	50	100	2
		그을음	재도장	1.12	1.68	㎡	80	134	2
	외부	도장박리	재도장	0.13	0.20	㎡	80	16	2
		볼트부식	재도장	17	17	개소	80	1,360	2
하부 구조	교대	균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	6.40	2.40	㎡	65	156	2
		보수부 재균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	1.00	0.38	㎡	65	24	2
		백태	표면보수	0.52	0.78	㎡	65	51	2
		보수부백태	표면보수	0.41	0.62	㎡	65	40	2
		박리	단면보수	0.24	0.36	㎡	240	86	2
		보수부 박리	단면보수	1.32	1.98	㎡	240	475	2
		파손	단면보수	0.02	0.03	㎡	240	7	2
		실링재 열화	실링처리	6.00	9.00	m	46	414	2

구 분		손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
하부 구조	교각	균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	32.60	12.23	㎡	65	795	2
		망상균열	표면보수	2.60	3.90	㎡	65	254	2
		보수부 박리	단면보수	0.04	0.06	㎡	240	14	2
		철근노출	표면보수(방청)	0.11	0.17	㎡	340	56	1
		파손	단면보수	0.26	0.39	㎡	240	94	2
교량받침		앵커볼트 부식	재도장	41	41	개소	80	3,280	2
		받침콘크리트 파손	단면보수	0.01	0.02	㎡	240	4	2
		받침콘크리트 들뜸	단면보수	0.04	0.06	㎡	240	14	2
신축이음장치		유간 토사퇴적	청소	29.50	44.3	m	18	797	3
		차수판 볼트탈락	재체결	8	8	개소	10	80	2
기타 부재	배수 시설	배수관 고정대 탈락	재설치	1	1	개소	500	500	3
순공사비 합계(천원)									13,236
제경비(순공사비×50%)									6,618
부대공사비(순공사비×20%)									2,647
순위별 공사비 (제경비, 부대공사비 포함)			1순위						6,286
			2순위						14,861
			3순위						1,354
개략공사비 총계(≒)									**22,501**

※ 순공사비는 부대공(교통통제 및 고소장비 등)을 제외한 개략공사비 합산금액이며, 부대비용은 현장여건에 따라 금액이 변경될 수 있음.
※ 부대공사비는 교통통제, 고소장비, 안전관리자 선임 등을 포함한 금액으로, 순공사비의 20%로 산정하였음.
※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였음.
※ 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영.
※ 일부 손상은 보수물량 산정 시 보수단가 및 방법을 고려하여 단위 및 물량 변경.
※ 상기 개략공사비는 금회 현장조사 시 확인한 물량으로 산정하였으며, 이후의 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 부대공의 추가 등으로 변동될 수 있음.(2023년 도로공사 유지보수 공종별 단가집 참조)

7.1.2 만화교(울산)

구 분		손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개락 공사비 (천원)	우선 순위
바닥판하면		균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	0.50	0.19	㎡	65	12	2
		박락	표면보수(방청)	0.26	0.39	㎡	340	133	1
		철근노출	표면보수(방청)	0.82	1.23	㎡	340	418	1
STB 거더	내부	도장박리	재도장	0.04	0.06	㎡	80	5	2
		부식	재도장	0.04	0.06	㎡	80	5	2
		전등미설치	재설치	2	2	개소	10	20	3
		환풍구망 탈락	재설치	1	1	개소	200	200	3
	외부	도장박리	재도장	0.81	1.22	㎡	80	97	2
		긁힘 및 부식	재도장	0.04	0.06	㎡	80	5	2
2차부재		부식	재도장(방청)	0.04	0.06	㎡	290	17	2
하부 구조	교대	균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	4.00	1.50	㎡	65	98	2
		균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	7.70	11.6	m	80	924	1
		보수부 재균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	0.80	0.30	㎡	65	20	2
		균열부 백태	표면보수	2.00	3.00	㎡	65	195	2
		망상균열	표면보수	0.80	1.20	㎡	65	78	2
		백태	표면보수	0.83	1.25	㎡	65	81	2
		보수부 백태	표면보수	0.08	0.12	㎡	65	8	2
		철근노출	표면보수(방청)	0.02	0.03	㎡	340	10	1
	교각	균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	36.50	13.69	㎡	65	890	2
		균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	10.00	15.0	m	80	1,200	1
		망상균열	표면보수	4.00	6.00	㎡	65	390	2
		철근노출	단면보수(방청)	0.04	0.06	㎡	277	17	1
		잡철근노출	단면보수(방청)	0.01	0.02	㎡	277	4	1
		표면박리	표면보수	0.15	0.23	㎡	65	15	2

구 분		손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개락 공사비 (천원)	우선 순위
교량받침		받침콘크리트 박락	단면보수	0.27	0.41	㎡	240	97	2
		받침콘크리트 재료분리	단면보수	0.04	0.06	㎡	240	14	2
		볼트부식	재도장	1	6	개소	80	480	2
신축이음장치		유간 토사퇴적	청소	8.70	13.05	m	18	235	3
		차수판 볼트탈락	재체결	18	18	개소	10	180	2
		차수판 덮개파손	재체결	1	1	개소	50	50	2
기타 부재	배수 시설	배수구 막힘	청소	1	1	개소	20	20	2
		배수관 연결고리 부식	재설치	5	5	개소	20	100	3
		배수관고정대 탈락	재설치	1	1	개소	500	500	2
	난간 및 연석	파손	표면보수(방청)	0.09	0.14	㎡	65	9	1

순공사비 합계(천원)		6,525
제경비(순공사비×50%)		3,263
부대공사비(순공사비×20%)		1,305
순위별 공사비 (제경비 포함)	1순위	4,608
	2순위	5,542
	3순위	943
개략공사비 총계(≒)		**11,093**

※ 순공사비는 부대공(교통통제 및 고소장비 등)을 제외한 개략공사비 합산금액이며, 부대비용은 현장여건에 따라 금액이 변경될 수 있음.
※ 부대공사비는 교통통제, 고소장비, 안전관리자 선임 등을 포함한 금액으로, 순공사비의 20%로 산정하였음.
※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였음.
※ 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영.
※ 일부 손상은 보수물량 산정 시 보수단가 및 방법을 고려하여 단위 및 물량 변경.
※ 상기 개략공사비는 금회 현장조사 시 확인한 물량으로 산정하였으며, 이후의 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장여건상 부대공의 추가 등으로 변동될 수 있음.(2023년 도로공사 유지보수 공종별 단가집 참조)

7.2 유지관리방안

7.2.1 부재별 중점유지관리 사항

가. 만화교(부산)

부재구분	중 점 점 검 내 용
바닥판	•균열(Cw=0.3㎜미만), 균열부 백태의 손상 발생여부 •철근노출의 부식 발생여부
강박스 거더	• 도장박리, 볼트부식, 그을림 • 실링 미처리 - 실링미처리로 인한 내부 추가 손상 발생 여부
하부구조	• 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열의 발생여부 • 철근노출의 부식 발생여부
교량받침	• 받침콘크리트 파손, 들뜸의 발생여부 • 앵커볼트 부식 진행 여부
신축이음장치	• 온도변화에 따른 가동여유량 확보여부 및 주변부 외관상태(A1, P3, A2)
교면포장	• 외부충격에 따른 손상 여부(LMC 패임)
배수시설	• 배수관 고정대 탈락의 발생여부
방호벽 (난간, 연석)	• 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열의 발생여부

나. 만화교(울산)

부재구분	중 점 점 검 내 용
바닥판	•균열(Cw=0.3㎜미만)의 손상 발생여부 •철근노출의 부식 발생여부
강박스 거더	• 도장박리, 부식의 발생여부 • 긁힘 및 부식 - 부식으로 인한 추가 손상 발생 여부
하부구조	• 균열(Cw=0.3㎜미만), 균열(Cw=0.3㎜이상)의 발생여부 • 철근노출의 부식 발생여부
교량받침	• 받침콘크리트 파손, 재료분리의 발생여부 • 볼트 부식 진행 여부
신축이음장치	• 온도변화에 따른 가동여유량 확보여부 및 주변부 외관상태(A1, P3, A2)
교면포장	• 외부충격에 따른 손상 여부(LMC 포장 파손)
배수시설	• 배수관 고정대 탈락의 발생여부
방호벽 (난간, 연석)	• 단차 진행 여부

7.2.2 중점유지관리사항

가. 만화교(부산)

만화교(부산) 중점유지관리사항

▣ 중점유지관리 사항

▣ 점검방향 : ① 바닥판 S2 철근노출 ⇨ ② 거더 내부 실링미처리 ⇨ ③ 거더 외부 도장박리 ⇨ ④ 교대 손상(백태) 및 변위 ⇨ ⑤ 교량받침 앵커볼트 부식 ⇨ ⑥ 배수시설 S5 배수관 고정대 탈락

◎ 교량의 현황
- 구조물명 : 만화교(부산)
- 노 선 명 : 부산울산선(10.2km)
- 제 원 : L=310m / B=16.2m
- 상부형식 : STB
- 하부형식 : 교대 - 역T형
  교각 - Ⅱ형

바닥판 S2 철근노출

거더 내부 S1-G1 실링미처리

거더 내부 S2-G1 실링미처리

거더 외부 S3-G3 도장박리

① 바닥판 S2 철근노출
- 철근노출으로 인한 2차손상 발생여부 지속관찰
- 보수 후 재손상 발생여부 확인

② 거더 내부 실링미처리
- 실링 미처리로 인한 2차 손상 발생여부 지속관찰
- 보수 후 지속적 관리

③ 거더 외부 도장박리
- 도장박리 추가손상 발생여부

④ 교대 손상(백태) 및 변위
- 백태 추가손상 발생여부 확인
- 보수 후 백태 발생 여부 및 지속적 관리
- 교대 A1, A2 보강부 측방유동 등 변위 발생 여부

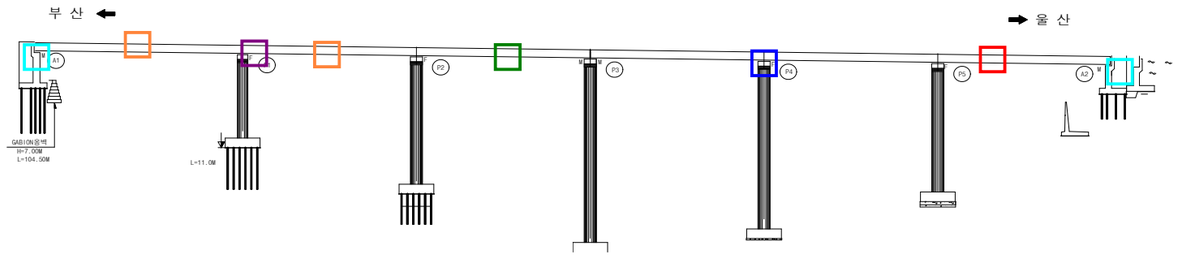
⑤ 교량받침 앵커볼트 부식
- 부식 추가손상 발생여부
- 보수 후 부식 재발생 여부 확인

⑥ 배수시설 S5 배수관 고정대 탈락
- 배수시설 제기능 여부 확인
- 2차손상 발생여부 및 보수 후 지속관찰

① 바닥판 S2 철근노출
→ 손상 진전, 2차 손상 발생 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부

② 거더 내부 실링미처리
→ 2차손상 발생 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부

③ 거더 외부 S3-G3 도장박리
→ 손상 진전 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부



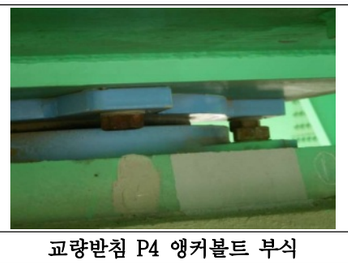
④ 교대 A1, A2 백태 및 변위
→ 손상 진전 여부
→ 변위 발생 여부

⑤ 교량받침 P4 앵커볼트 부식
→ 손상 진전 발생 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부

⑥ 배수시설 S5 배수관 고정대 탈락
→ 2차 손상 발생 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부

교대 A2 백태

교대 A1 보강 전경



교량받침 P4 앵커볼트 부식

배수시설 S5 배수관 고정대 탈락

나. 만화교(울산)

만화교(울산) 중점유지관리사항

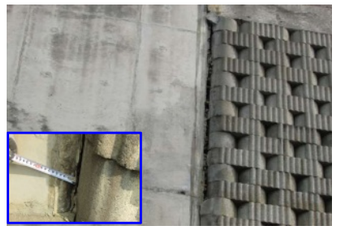
▣ 중점유지관리 사항

▣ 점검방향 : ① 바닥판 S6 철근노출 ⇨ ② 교대 A2 흉벽 균열(Cw=0.3㎜이상) ⇨ ③ 교대 A1 이격 및 변위 ⇨ ④ 교각 P5 코핑 균열(Cw=0.3㎜이상) ⇨ ⑤ 교량받침 P3 받침콘크리트 박락 ⇨ ⑥ 배수시설 S4 배수관 고정대 탈락

◎ 교량의 현황
- 구조물명 : 만화교(울산)
- 노 선 명 : 부산울산선(10.2km)
- 제 원 : L=310m / B=16.2m
- 상부형식 : STB
- 하부형식 : 교대 - 역T형
  교각 - Π형

바닥판 S6 철근노출

교대 A2 흉벽 균열(Cw=0.3㎜이상)



교대 A1 이격

교대 A1 보강 및 측면 전경

① 바닥판 S6 철근노출
- 철근노출으로 인한 2차손상 발생여부 지속관찰
- 보수 후 재손상 발생여부 확인

② 교대 A2 흉벽 균열(Cw=0.3㎜이상)
- 신규 균열 발생여부
- 균열의 진전여부 확인
- 보수 후 재균열 발생 여부 및 지속적 관리

③ 교대 A1 이격 및 변위
- 이격 진전 여부 및 추가손상 여부 확인
- 교대 A1 보강부 측방유동 등 변위 발생 여부

④ 교각 P5 코핑 균열(Cw=0.3㎜이상)
- 신규 균열 발생여부
- 균열의 진전여부 확인
- 보수 후 재균열 발생 여부 및 지속적 관리

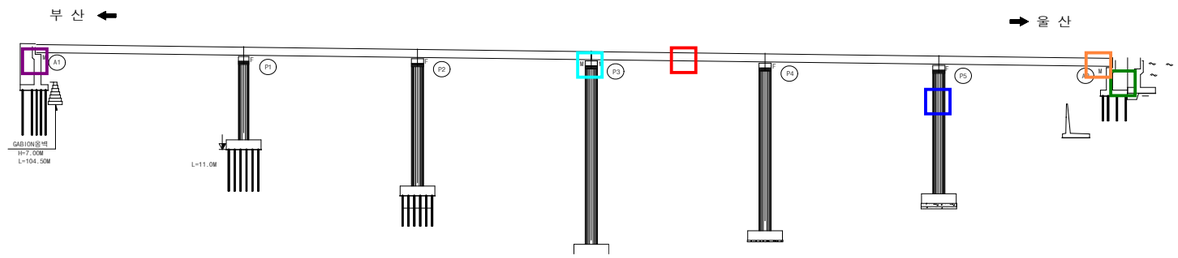
⑤ 교량받침 P3 받침콘크리트 박락
- 손상진전 및 추가손상 발생여부 확인
- 보수 후 박락 추가발생 여부 확인

⑥ 배수시설 S4 배수관 고정대 탈락
- 배수시설 제기능 여부 확인
- 2차손상 발생여부 및 보수 후 지속관찰

③ 교대 A1 이격 및 변위
→ 손상 진전 발생 여부
→ 변위 발생 여부

① 바닥판 S6 철근노출
→ 손상 진전 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부

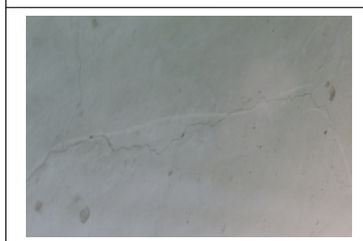
② 교대 A2 흉벽 균열(Cw=0.3㎜이상)
→ 손상 진전 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부



⑤ 교량받침 P3 받침콘크리트 박락
→ 손상 진전 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부

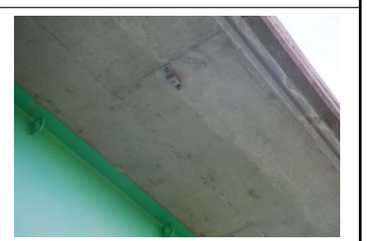
④ 교각 P5 코핑 균열(Cw=0.3㎜이상)
→ 손상 진전 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부

⑥ 배수시설 S4 배수관 고정대 탈락
→ 2차 손상 발생 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부



교각 P5 코핑 균열(Cw=0.3㎜이상)

교량받침 P3 받침콘크리트 박락



배수시설 S4 배수관 고정대 탈락

8. 종합결론

만화교(부산, 울산)는 부산광역시 기장군 기장읍에 위치한 부산울산선 상 (10.2㎞)의 고속도로 교량이며, 2008년 12월에 준공되었다. 시공사는 경남기업(주)이며, 설계하중은 DB-24(DL-24)로 확인되었다.

본 교량의 연장은 310.0m(6경간)이며, 폭은 16.2m(편도3차로)이다. 구조형식으로 상부구조는 Steel Box Girder(S1～S6경간)로 시공되었으며, 하부구조는 역T형 교대와 Π형 교각으로 시공되었다. 또한 기초형식은 직접기초(교각) 및 강관말뚝기초(교대, 교각)로 시공되어 있다.

본 과업은 만화교(부산, 울산)의 준공 이후 2회차 시행하는 정밀안전진단이며, 시공자료 분석을 포함하여 외관조사, 각종시험 및 구조안전성평가 등을 통한 종합결론을 요약하면 다음과 같다.

8.1 현장조사, 시험 및 상태평가 결과

○ 바닥판하면에 대한 외관조사 결과, 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열, 박락 등이 조사되었으며, 하중의 증가 및 내하력 저하에 따른 구조적 손상은 발생하지 않은 것으로 확인되었으며, 금회 상세조사를 통해 조사된 손상은 재료적 특성, 환경요인에 의해 발생된 비구조적 손상이 대부분인 것으로 확인되었다.

○ 거더에 대한 외관조사 결과, 응력의 집중이나 과하중으로 인한 수직, 수평 보강재(Rib)의 변형, 파손 등의 구조적인 손상은 발생하지 않은 것으로 확인되었다. 다만, 관리 및 경년열화, 시공적 요인 등에 의한 도장박리, 누수흔적, 실링미처리, 그을음이 일부구간에 걸쳐 국부적으로 조사되었다.

○ 2차부재(가로보) 에 대한 외관조사결과, 비틀림에 의한 좌굴이나 구조물에 안전성에 영향을 미칠만한 중요손상은 발생하지 않은 상태로 확인되었으나, 만화교(울산) S2경간에서 경미한 부식이 1개소 조사되었다.

○ 교대에 대한 외관조사결과, 균열, 망상균열, 보수부 재균열, 백태, 보수부 백태, 박리 파손, 철근노출, 이격 등이 조사되었으며, 신축이음부 우수 유입의 영향으로 대부분 흉벽에서 보수부 재손상이 조사된 것으로 확인되었다.

○ 만화교(부산) 교각에 대한 외관조사결과, 기둥부 및 코핑부에서 균열 폭 0.1~0.2㎜ 수준의 수직균열이 국부적으로 조사되었으며, 코핑부 보수부 박리(1개소), 코핑부 철근노출(11개소), 기둥부 및 코핑부 파손(12개소)이 조사되었다. 또한, 교각 P3 코핑부 상면 중앙부에서 우기의 영향에 의한 소량의 체수가 1개소 확인되었다.

○ 만화교(울산) 교각에 대한 외관조사결과, 기둥부 및 코핑부에서 수평 및 수직형상을 띈 균열폭 0.1~0.3㎜ 수준의 균열 및 망상균열(2개소)이 국부적으로 조사되었으며, 코핑부 박리(1개소), 코핑부 철근노출(1개소), 기둥부 및 코핑부 파손(4개소) 등이 확인되었다.

○ 교량받침은 온도변화에 따른 여유량 확인결과, 전개소에서 가동여유량이 양호한 것으로 조사되었으며, 그 외 방호벽 균열, 백태, 배수시설 고정대 탈락 등 일부 손상에 대해서 보수가 요구된다.

○ 콘크리트의 내구성조사결과 콘크리트의 강도, 철근배근상태, 탄산화 등의 시험항목에 대해서 설계기준을 만족하는 양호한 품질을 유지하고 있는 상태로 평가되었으며, 철근 깊이에서 염화물함유량 시험결과는 염화물에 의한 부식이 발생할 우려가 없는 상태인 “a” 이상으로 평가되었다.

○ 상태평가결과, 구조물의 영향을 미칠만한 손상이 조사되지 않은 상태로서 전반적으로 양호한 상태인 “B(부산=0.190, 울산=0.168)”로 산정되었다.

8.2 안전성평가 결과

○ 구조검토를 통한 안전성 검토결과, 상부구조(거더 및 바닥판) 및 하부구조(교대 및 교각)은 최소안전율이 1.0이상으로 나타나 안전성을 확보하고 있으며, 내하율도 1.0이상으로 설계하중 DB(DL)-24이상의 내하력을 보유하고 있는 상태로 평가되었다.

8.3. 종합결언

○ 만화교(부산)는 2008년에 준공되어 15년 이상의 공용기간이 경과한 교량시설물로서. 금회 진단결과, 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 중대결함 등은 발생되지 않은 것으로 조사되었다.

주요 손상으로 상부구조는 철근노출, 도장박리가 조사되었고, 철근노출, 도장박리 손상에 대해서는 표면보수(방청) 및 재도장이 필요한 것으로 판단된다.

하부구조는 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열, 단면손상(박리, 파손 등)이 조사되었고, 조사

된 손상에 대해서는 표면보수 및 단면보수 등이 필요한 것으로 판단된다.

교량받침의 온도변화에 따른 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었으며, 전반적으로 거동상태는 양호한 것으로 검토되었다.

포장균열, LMC패임은 주의관찰을 실시하며, 향후 마모, 균열, 소성변형 등의 손상 확대 및 진전 시 일괄 보수를 실시하고, 배수시설 고정대 탈락은 재설치가 요구된다.

공용중 유지보수를 실시하고 있으나, 국부적인 추가손상이 확인되고 있는 것으로 조사되었으며, 구조물의 내구성 확보를 위해서는 손상의 진전여부, 추가손상 발생여부 확인 등의 중점관리가 요구된다.

○ 만화교(울산)는 2008년에 준공되어 15년 이상의 공용기간이 경과한 교량시설물로서. 금회 진단결과, 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 중대결함 등은 발생되지 않은 것으로 조사되었다.

주요 손상으로 상부구조는 철근노출, 도장박리가 조사되었고, 철근노출, 도장박리 손상에 대해서는 표면보수(방청) 및 재도장이 필요한 것으로 판단된다.

하부구조는 균열(Cw=0.3㎜미만), 균열(Cw=0.3㎜이상), 철근노출 등이 조사되었고, 조사된 손상에 대해서는 표면보수, 주입보수, 표면보수(방청) 등이 필요한 것으로 판단된다.

교량받침의 온도변화에 따른 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었으며, 전반적으로 거동상태는 양호한 것으로 검토되었다.

포장균열, LMC파손은 주의관찰을 실시하며, 향후 마모, 균열, 소성변형 등의 손상 확대 및 진전 시 일괄 보수를 실시하고, 배수시설 고정대 탈락은 재설치가 요구된다.

공용중 유지보수를 실시하고 있으나, 국부적인 추가손상이 확인되고 있는 것으로 조사되었으며, 구조물의 내구성 확보를 위해서는 손상의 진전여부, 추가손상 발생여부 확인 등의 중점관리가 요구된다.

○ 본 교량의 상태평가 및 안전성평가 결과를 토대로 안전등급을 산정하면 『B등급(양호)』로 평가되었으며, 결함 및 손상 부위에 대하여 금회 진단 보고서에 제시된 보수를 시행하고 중점유지관리로 지정된 바닥판 철근노출(부산), 교대 균열(0.3㎜이상)(울산)에 대한 지속적인 유지관리가 수행된다면 1등교(DB-24)로서의 기능을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

보고서 목차

◉ 서 두

-. 정밀안전진단 결과표

-. 정밀안전진단 실시결과 요약표

-. 현황표

-. 정밀안전진단 참여기술진

-. 시설물의 위치도

-. 시설물의 전경사진

-. 정밀안전진단 결과 요약문

제 1장 정밀안전진단 개요 ·····1

1.1 과업의 목적 ·····3
1.2 과업의 범위 및 내용 ·····3
1.2.1 과업의 범위 ·····3
1.2.2 과업수행기간 ·····3
1.2.3 과업의 내용 ·····4
1.3 과업수행 절차 및 일정 ·····5
1.3.1 과업수행 절차 ·····5
1.3.2 과업수행 일정 ·····6
1.4 대상교량의 현황 ·····7
1.4.1 교량의 현황 ·····7
1.5 사용장비 및 시험기기의 현황 ·····33
1.6 교량기호의 정의 ·····38

제 2장 자료수집 및 분석 ·····39

2.1 자료수집 현황 ·····41
2.2 건설 관련자료 검토결과 요약 ·····42
2.2.1 구조계산서 검토 ·····42
2.2.2 만화교 보수·보강 용역(케이엔씨컨설턴트(주)-2018.10) ·····43
2.2.3 토질 및 지반조사 자료검토 ·····47

2.3 기존 정밀안전점검 및 정밀안전진단 실시결과 ····55
2.3.1 점검 및 진단이력(부산) ····55
2.3.2 점검 및 진단이력(울산) ····59
2.3.3 기존 정밀안전점검·정밀안전진단 실시결과(부산) ····63
2.3.4 기존 정밀안전점검·정밀안전진단 실시결과(울산) ····65
2.4 보수·보강 이력 ····67
2.4.1 보수·보강 이력 ····67
2.4.2 검토의견 ····68
2.5 시설물의 내진설계 여부 확인 ····69
2.6 자료분석 결과요약 ····72
2.7 기타 참고자료 ····73

제 3장 현장조사 및 시험 ····75
3.1 개요 ····77
3.1.1 주변현황 및 하중변화 ····81
3.1.2 부재제원 측정 ····82
3.2 외관조사(부산) ····83
3.2.1 상부구조 ····83
3.2.2 하부구조 ····98
3.2.3 기초부 ····115
3.2.4 교량받침 ····115
3.2.5 신축이음장치 ····130
3.2.6 교면포장 ····141
3.2.7 기타부재 ····144
3.2.8 공중이 이용하는 부위 ····151
3.2.9 교량의 공중이용시설 유해・위험요인(10대) 위험요소 점검결과 ····153
3.3 외관조사(울산) ····156
3.3.1 상부구조 ····156
3.3.2 하부구조 ····171
3.3.3 기초부 ····188
3.3.4 교량받침 ····190
3.3.5 신축이음장치 ····204
3.3.6 교면포장 ····214
3.3.7 기타부재 ····217
3.3.8 공중이 이용하는 부위 ····224
3.3.9 교량의 공중이용시설 유해・위험요인(10대) 위험요소 점검결과 ····227
3.4 콘크리트 내구성조사 ····230
3.4.1 개 요 ····230
3.4.2 시험내용 및 평가기준 ····234
3.4.3 시험결과 및 분석(부산) ····252
3.4.4 시험결과 및 분석(울산) ····270

3.5 강재 내구성조사 ····288
3.5.1 개 요 ····288
3.5.2 시험현황 ····289
3.5.3 시험내용 및 평가기준 ····292
3.5.4 용접부에 발생하는 대표적인 결함 ····298
3.5.5 시험결과 및 분석(부산) ····299
3.5.6 시험결과 및 분석(울산) ····303
3.6 현장조사 및 시험 결과요약 ····307
3.6.1 외관조사 결과요약(부산) ····307
3.6.2 외관조사 결과요약(울산) ····311
3.6.3 콘크리트 내구성 결과요약(부산) ····315
3.6.4 콘크리트 내구성 결과요약(울산) ····317
3.6.5 강재 내구성조사 결과요약(부산) ····319
3.6.6 강재 내구성조사 결과요약(울산) ····320

제 4장 시설물의 상태평가 ····321
4.1 개요 ····323
4.2 상태평가 항목 및 기준 ····323
4.2.1 부재별 상태평가 적용범위 ····323
4.2.2 구조형식에 따른 부재별 가중치 ····324
4.2.3 상태평가 결과 결정 ····325
4.3 상태평가 결과 ····326
4.3.1 각 부재별 상태평가 결과(부산) ····326
4.3.2 각 부재별 상태평가 결과(울산) ····333
4.3.3 시설물 전체 상태평가 결과(부산) ····339
4.3.4 시설물 전체 상태평가 결과(울산) ····341
4.3.5 기 진단결과와의 비교, 분석(부산) ····343
4.3.6 기 진단결과와의 비교, 분석(울산) ····344

제 5장 시설물의 안전성평가 ····345
5.1 개 요 ····347
5.1.1 안전성검토 ····347
5.1.2 내하력평가 ····351
5.2 상부구조 안전성평가 ····352
5.2.1 만화교(부산)(Steel Box Girder) ····352
5.2.2 만화교(울산)(Steel Box Girder) ····400
5.3 내하력평가 ····448
5.3.1 개 요 ····448
5.3.2 내하력평가 결과(부산) ····450
5.3.3 내하력평가 결과(울산) ····451
5.4 하부구조 안전성평가 ····452

5.4.1 만화교(부산) 교대(A1) 구조검토 ····452
5.4.2 만화교(울산) 교대(A1) 구조검토 ····463
5.4.3 교대 안전성 검토 ····474
5.4.4 만화교(부산) 교각(P2) 구조검토 ····495
5.4.5 만화교(울산) 교각(P2) 구조검토 ····509
5.5 안전성평가 결과 ····523
5.5.1 안전성평가 결과 ····523
5.5.2 안전성평가 종합결론 ····527
5.5.3 전차 정밀안전진단과의 결과비교 ····527

제 6장 종합평가 및 안전등급의 지정 ····529
6.1 종합평가 결과 산정절차 ····531
6.1.1 종합평가 결과 산정방법 ····531
6.2 종합평가 결과 ····532
6.2.1 종합평가 결과(부산) ····532
6.2.2 종합평가 결과(울산) ····532
6.3 안전등급 지정 ····533
6.3.1 안전등급 기준 ····533
6.3.2 안전등급 지정 ····533
6.3.3 기 진단결과와의 비교, 분석 ····534

제 7장 보수·보강 및 유지관리방안 ····535
7.1 개요 ····537
7.2 보수·보강 방안 ····539
7.2.1 보수·보강 추진방향 및 우선순위의 결정 ····539
7.2.2 결함내용별 보수·보강방안 ····545
7.2.3 주요결함 및 손상에 대한 보수·보강 방법 ····549
7.3 보수·보강 개략공사비 ····570
7.4 유지관리 방안 ····574
7.4.1 진단결과에 따른 중점유지관리 사항(부산) ····574
7.4.2 진단결과에 따른 중점유지관리 사항(울산) ····576
7.4.3 유지관리 시 점검요령 ····578
7.4.4 중점 유지관리사항 및 유지관리 시 점검방향 ····591

제 8장 종합결론 ····595
8.1 현장조사, 시험 및 상태평가 결과 ····597
8.2 안전성평가 결과 ····598
8.3 종합결언 ····598

◉ 부 록

1. 과업지시서
2. 외관조사망도
3. 안전성평가 결과자료
4. 측정, 시험. 계측 성과표
5. 상태평가 결과자료
6. 시설물관리대장 사본
7. 사용장비 및 기기의 사진
8. 사전조사자료
9. 사진대지
10. 유해・위험요인(10대) 위험요소 점검결과

표 목 차

【표 1.1】 과업의 내용 ····4
【표 1.2】 정밀안전진단 및 성능평가 과업수행 일정 ····6
【표 1.3】 만화교(부산) 현황표 ····7
【표 1.4】 만화교(울산) 현황표 ····8
【표 1.5】 주요 사용장비 및 시험기기 일반사항 ····33
【표 1.6】 검·교정 성적서 현황 ····34
【표 1.7】 교량기호의 정의 ····38

【표 2.1】 자료수집 현황 ····41
【표 2.2】 구조계산 시 설계조건 및 검토결과 ····42
【표 2.3】 시추조사 위치 ····48
【표 2.4】 시추조사 결과 ····52
【표 2.5】 지하수위 측정 결과 ····53
【표 2.6】 토질시험 결과 ····53
【표 2.7】 일축압축강도시험 결과 ····54
【표 2.8】 점검 및 진단이력(부산) ····55
【표 2.9】 점검 및 진단이력(울산) ····59
【표 2.10】 전차 정밀안전진단(2018년) 실시결과 요약(부산) ····63
【표 2.11】 전차 정밀안전점검(2022년) 실시결과 요약(부산) ····64
【표 2.12】 전차 정밀안전진단(2018년) 실시결과 요약(울산) ····65
【표 2.13】 전차 정밀안전점검(2022년) 실시결과 요약(울산) ····66
【표 2.14】 보수·보강 이력(부산) ····67
【표 2.15】 보수·보강 이력(울산) ····67
【표 2.16】 내진 설계여부 ····69
【표 2.17】 교량받침 내진설계 요약(교축방향)(부산) ····69
【표 2.18】 교량받침 내진설계 요약(교축방향)(울산) ····70
【표 2.19】 교량받침 내진설계 요약(교축직각방향)(부산) ····70
【표 2.20】 교량받침 내진설계 요약(교축직각방향)(울산) ····71
【표 2.21】 자료분석 결과요약 ····72
【표 2.22】 기타 참고자료 ····73

【표 3.1】 부재별 조사항목 ····78
【표 3.2】 공중이용시설 10대 위험요소 점검요령 및 예방방법 ····79

【표 3.3】부재별 제원 측정결과(부산) ·····82
【표 3.4】부재별 제원 측정결과(울산) ·····82
【표 3.5】바닥판 외관조사 결과(부산) ·····84
【표 3.6】바닥판 하면 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····86
【표 3.7】시간경과에 따른 균열 발생도(부산) ·····87
【표 3.8】강박스 거더 내부 외관조사 결과(부산) ·····89
【표 3.9】강박스 거더 내부 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····91
【표 3.10】강박스 거더 외부 외관조사 결과(부산) ·····93
【표 3.11】강박스 거더 외부 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····95
【표 3.12】2차부재(가로보) 외관조사 결과(부산) ·····97
【표 3.13】2차부재(가로보) 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····98
【표 3.14】교대 외관조사 결과(부산) ·····99
【표 3.15】교대 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····102
【표 3.16】각종 기준에 따른 허용각 변위(부산) ·····104
【표 3.17】변위(직립도) 측정 결과(부산) ·····105
【표 3.18】교각 외관조사 결과(부산) ·····111
【표 3.19】교각 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····113
【표 3.20】교량받침 외관조사 결과(부산) ·····117
【표 3.21】연단거리 측정 결과(부산) ·····119
【표 3.22】교량받침 가동상태 검토결과(부산) ·····120
【표 3.23】교량받침 이동량(설계기준 온도) 산정(1차 조사)(부산) ·····121
【표 3.24】교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과(1차 조사)(부산) ·····121
【표 3.25】교량받침 이동량(기상청 통계) 산정(1차 조사)(부산) ·····122
【표 3.26】교량받침 이동량(기상청 통계자료) 검토결과(1차 조사)(부산) ·····123
【표 3.27】교량받침 이동량(설계기준 온도) 산정(2차 조사)(부산) ·····124
【표 3.28】교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과(2차 조사)(부산) ·····124
【표 3.29】교량받침 이동량(기상청 통계) 산정(2차 조사)(부산) ·····126
【표 3.30】교량받침 이동량(기상청 통계자료) 검토결과(2차 조사)(부산) ·····127
【표 3.31】교량받침 기 진단과의 결과 비교(부산) ·····129
【표 3.32】신축이음장치 외관조사 결과(부산) ·····131
【표 3.33】신축이음 유간 측정결과(부산) ·····133
【표 3.34】신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과(부산) ·····134
【표 3.35】신축이음 신축이동량(설계기준 온도) 산정(1차 조사)(부산) ·····134
【표 3.36】신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(설계기준 온도) 검토결과(1차 조사)(부산) ··134
【표 3.37】신축이음 신축이동량(기상청 통계) 산정(1차 조사)(부산) ·····135
【표 3.38】신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(기상청 통계자료) 검토결과(1차 조사)(부산) ···135
【표 3.39】신축이음 신축이동량(설계기준 온도) 산정(2차 조사)(부산) ·····136
【표 3.40】신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(설계기준 온도) 검토결과(2차 조사)(부산) ··136
【표 3.41】신축이음 신축이동량(기상청 통계) 산정(2차 조사)(부산) ·····137

【표 3.42】신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(기상청 통계자료) 검토결과(2차 조사)(부산) ·····137
【표 3.43】신축이음장치 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····139
【표 3.44】교면포장 외관조사 결과(부산) ·····142
【표 3.45】교면포장 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····143
【표 3.46】배수시설 외관조사 결과(부산) ·····145
【표 3.47】배수시설 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····146
【표 3.48】난간 및 연석(방호벽) 외관조사 결과(부산) ·····147
【표 3.49】난간 및 연석(방호벽) 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····150
【표 3.50】고정식 점검시설 설치현황(부산) ·····151
【표 3.51】공중이용시설 10대 위험요소(부산) ·····153
【표 3.52】바닥판 외관조사 결과 ·····157
【표 3.53】바닥판 하면 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····158
【표 3.54】시간경과에 따른 균열 발생도(울산) ·····159
【표 3.55】강박스 거더 내부 외관조사 결과(울산) ·····162
【표 3.56】강박스 거더 내부 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····163
【표 3.57】강박스 거더 외부 외관조사 결과(울산) ·····165
【표 3.58】강박스 거더 외부 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····167
【표 3.59】2차부재(가로보) 외관조사 결과(울산) ·····169
【표 3.60】2차부재(가로보) 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····170
【표 3.61】교대 외관조사 결과(울산) ·····172
【표 3.62】교대 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····175
【표 3.63】각종 기준에 따른 허용각 변위(울산) ·····177
【표 3.64】변위(직립도) 측정 결과(울산) ·····178
【표 3.65】교각 외관조사 결과(울산) ·····183
【표 3.66】교각 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····186
【표 3.67】교량받침 외관조사 결과(울산) ·····191
【표 3.68】연단거리 측정 결과(울산) ·····193
【표 3.69】교량받침 가동상태 검토결과(울산) ·····194
【표 3.70】교량받침 이동량(설계기준 온도) 산정(1차 조사)(울산) ·····195
【표 3.71】교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과(1차 조사)(울산) ·····195
【표 3.72】교량받침 이동량(기상청 통계) 산정(1차 조사)(울산) ·····196
【표 3.73】교량받침 이동량(기상청 통계자료) 검토결과(1차 조사)(울산) ·····197
【표 3.74】교량받침 이동량(설계기준 온도) 산정(2차 조사)(울산) ·····198
【표 3.75】교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과(2차 조사)(울산) ·····198
【표 3.76】교량받침 이동량(기상청 통계) 산정(2차 조사)(울산) ·····200
【표 3.77】교량받침 이동량(기상청 통계자료) 검토결과(2차 조사)(울산) ·····201
【표 3.78】교량받침 기 진단과의 결과 비교(울산) ·····202
【표 3.79】신축이음장치 외관조사 결과(울산) ·····205
【표 3.80】신축이음 유간 측정결과(울산) ·····207

【표 3.81】신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과(울산) ·····208
【표 3.82】신축이음 신축이동량(설계기준 온도) 산정(1차 조사)(울산) ·····208
【표 3.83】신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(설계기준 온도) 검토결과(1차 조사)(울산) ···208
【표 3.84】신축이음 신축이동량(기상청 통계) 산정(1차 조사)(울산) ·····209
【표 3.85】신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(기상청 통계자료) 검토결과(1차 조사)(울산) ··209
【표 3.86】신축이음 신축이동량(설계기준 온도) 산정(2차 조사)(울산) ·····210
【표 3.87】신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(설계기준 온도) 검토결과(2차 조사)(울산) ··210
【표 3.88】신축이음 신축이동량(기상청 통계) 산정(2차 조사)(울산) ·····211
【표 3.89】신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(기상청 통계자료) 검토결과(2차 조사)(울산) ····211
【표 3.90】신축이음장치 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····212
【표 3.91】교면포장 외관조사 결과(울산) ·····215
【표 3.92】교면포장 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····216
【표 3.93】배수시설 외관조사 결과(울산) ·····219
【표 3.94】배수시설 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····220
【표 3.95】난간 및 연석(방호벽) 외관조사 결과(울산) ·····222
【표 3.96】난간 및 연석(방호벽) 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····222
【표 3.97】고정식 점검시설 설치현황(울산) ·····224
【표 3.98】공중이용시설 10대 위험요소(울산) ·····227
【표 3.99】콘크리트 내구성조사 현황(부산) ·····230
【표 3.100】콘크리트 내구성조사 현황(울산) ·····231
【표 3.101】콘크리트 내구성조사 위치선정 사유 ·····231
【표 3.102】반발경도시험 시험내용 및 평가기준 ·····234
【표 3.103】반발경도시험 시험보고서(부산) ·····235
【표 3.104】반발경도시험 시험보고서(울산) ·····236
【표 3.105】초음파전달속도시험 시험내용 및 평가기준 ·····237
【표 3.106】초음파전달속도시험 시험보고서(부산) ·····238
【표 3.107】초음파전달속도시험 시험보고서(울산) ·····239
【표 3.108】코어 압축강도시험 시험내용 및 평가기준 ·····240
【표 3.109】코어 압축강도시험 시험보고서(부산) ·····241
【표 3.110】코어 압축강도시험 시험보고서(울산) ·····242
【표 3.111】철근탐사시험 시험내용 및 평가기준 ·····243
【표 3.112】철근탐사시험 시험보고서(부산) ·····244
【표 3.113】철근탐사시험 시험보고서(울산) ·····245
【표 3.114】탄산화 깊이 측정 시험내용 및 평가기준 ·····246
【표 3.115】탄산화 깊이 측정 시험보고서(부산) ·····247
【표 3.116】탄산화 깊이 측정 시험보고서(울산) ·····248
【표 3.117】염화물 함유량시험 시험내용 및 평가기준 ·····249
【표 3.118】염화물 함유량시험 시험보고서(부산) ·····250
【표 3.119】염화물 함유량시험 시험보고서(울산) ·····250

【표 3.120】균열깊이 조사 시험내용 및 평가기준 ·····251
【표 3.121】상부구조 반발경도 시험결과(MPa)(부산) ·····253
【표 3.122】하부구조 비파괴강도 시험결과(MPa)(부산) ·····254
【표 3.123】반발경도 시험 결과 요약(부산) ·····254
【표 3.124】비건전부 위치선정 현황(부산) ·····255
【표 3.125】건전부/비건전부 비교 결과(부산) ·····255
【표 3.126】전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검의 반발경도 시험 결과 비교(부산) ·····256
【표 3.127】상부구조 초음파 전달속도 시험결과(MPa)(부산) ·····257
【표 3.128】하부구조 초음파 전달속도 시험결과(MPa)(부산) ·····258
【표 3.129】초음파 전달속도 시험 결과 요약(부산) ·····259
【표 3.130】전차 정밀안전진단 초음파 전달속도시험 결과 비교(부산) ·····259
【표 3.131】콘크리트 코어 상태조사(2023년)(부산) ·····260
【표 3.132】코어 압축강도시험 결과(MPa)(부산) ·····260
【표 3.133】보정계수의 결정(부산) ·····261
【표 3.134】하부구조(반발경도법) 비파괴 보정계수에 의한 추정비파괴강도(MPa)(부산) ·····261
【표 3.135】하부구조(초음파속도법) 비파괴 보정계수에 의한 추정비파괴강도(MPa)(부산) ·····262
【표 3.136】보정계수 선정에 의한 비파괴강도 결과분석(부산) ·····262
【표 3.137】전차 정밀안전진단 추정 비파괴강도 결과 비교(부산) ·····263
【표 3.138】상부구조 철근탐사 시험결과(부산) ·····264
【표 3.139】하부구조 철근탐사 시험결과(부산) ·····264
【표 3.140】철근탐사시험 결과 요약(부산) ·····265
【표 3.141】전차 정밀안전진단 철근탐사시험 결과 비교(부산) ·····265
【표 3.142】상부구조 탄산화 깊이 측정 결과(부산) ·····266
【표 3.143】하부구조 탄산화 깊이 측정 결과(부산) ·····266
【표 3.144】탄산화 깊이 측정 결과 요약(부산) ·····267
【표 3.145】전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검의 탄산화 깊이 측정 결과 비교(부산) ··267
【표 3.146】염화물함유량 시험 결과(부산) ·····268
【표 3.147】염화물함유량 시험 결과 요약(부산) ·····269
【표 3.148】전차 정밀안전진단 염화물함유량 결과 비교(부산) ·····269
【표 3.149】상부구조 반발경도 시험결과(MPa)(울산) ·····271
【표 3.150】하부구조 비파괴강도 시험결과(MPa)(울산) ·····272
【표 3.151】반발경도 시험 결과 요약(울산) ·····272
【표 3.152】비건전부 위치선정 현황(울산) ·····273
【표 3.153】건전부/비건전부 비교 결과(울산) ·····273
【표 3.154】전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검의 반발경도 시험 결과 비교(울산) ·····274
【표 3.155】상부구조 초음파 전달속도 시험결과(MPa)(울산) ·····275
【표 3.156】하부구조 초음파 전달속도 시험결과(MPa)(울산) ·····276
【표 3.157】초음파 전달속도 시험 결과 요약(울산) ·····277
【표 3.158】전차 정밀안전진단 초음파 전달속도시험 결과 비교(울산) ·····277

【표 3.159】콘크리트 코어 상태조사(2023년)(울산) ·····278
【표 3.160】코어 압축강도시험 결과(MPa)(울산) ·····278
【표 3.161】보정계수의 결정(울산) ·····279
【표 3.162】하부구조(반발경도법) 비파괴 보정계수에 의한 추정비파괴강도(MPa)(울산) ·····279
【표 3.163】하부구조(초음파속도법) 비파괴 보정계수에 의한 추정비파괴강도(MPa)(울산) ····280
【표 3.164】보정계수 선정에 의한 비파괴강도 결과분석(울산) ·····280
【표 3.165】전차 정밀안전진단 추정 비파괴강도 결과 비교(울산) ·····281
【표 3.166】상부구조 철근탐사 시험결과(울산) ·····282
【표 3.167】하부구조 철근탐사 시험결과(울산) ·····282
【표 3.168】철근탐사시험 결과 요약(울산) ·····283
【표 3.169】전차 정밀안전진단 철근탐사시험 결과 비교(울산) ·····283
【표 3.170】상부구조 탄산화 깊이 측정 결과(울산) ·····284
【표 3.171】하부구조 탄산화 깊이 측정 결과(울산) ·····284
【표 3.172】탄산화 깊이 측정 결과 요약(울산) ·····285
【표 3.173】전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검의 탄산화 깊이 측정 결과 비교(울산) 285
【표 3.174】염화물함유량 시험 결과(울산) ·····286
【표 3.175】염화물함유량 시험 결과 요약(울산) ·····287
【표 3.176】전차 정밀안전진단 염화물함유량 결과 비교(울산) ·····287
【표 3.177】일반적인 강재 비파괴시험 방법의 개요 ·····288
【표 3.178】강재 비파괴시험 기준수량(부산) ·····289
【표 3.179】강재 비파괴시험 기준수량(울산) ·····289
【표 3.180】강재 비파괴시험 시험현황(부산) ·····290
【표 3.181】강재 비파괴시험 시험현황(울산) ·····290
【표 3.182】초음파 탐상시험 시험내용 및 평가기준 ·····292
【표 3.183】초음파 탐상시험 시험보고서(부산) ·····293
【표 3.184】초음파 탐상시험 시험보고서(울산) ·····294
【표 3.185】일반환경용 중방식 도장(도로공사표준시방서(2018)) ·····296
【표 3.186】도막두께 측정 시험보고서(부산) ·····297
【표 3.187】도막두께 측정 시험보고서(울산) ·····297
【표 3.188】용접부에 발생하는 대표적인 결함 ·····298
【표 3.189】강재 초음파(U.T) 탐상시험 측정결과(부산) ·····300
【표 3.190】전차 정밀안진단 강재 초음파(U.T) 결과 비교(부산) ·····301
【표 3.191】도막두께 측정결과(부산) ·····302
【표 3.192】강재 초음파(U.T) 탐상시험 측정결과(울산) ·····304
【표 3.193】전차 정밀안진단 강재 초음파(U.T) 결과 비교(울산) ·····305
【표 3.194】도막두께 측정결과(울산) ·····306
【표 3.195】금회 진단 외관조사 결과요약(부산) ·····307
【표 3.196】기 진단(2018년) 외관조사 결과 비교(부산) ·····309
【표 3.197】금회 진단 외관조사 결과요약(울산) ·····311

【표 3.198】기 진단(2018년) 외관조사 결과 비교(울산) ·····313
【표 3.199】금회 정밀안전진단 내구성조사 결과요약(부산) ·····315
【표 3.200】내구성조사 전차 정밀안전진단(2018년)결과와의 비교(부산) ·····316
【표 3.201】금회 정밀안전진단 내구성조사 결과요약(울산) ·····317
【표 3.202】내구성조사 전차 정밀안전진단(2018년)결과와의 비교(울산) ·····318
【표 3.203】금회 정밀안전진단 강재 내구성조사 결과요약(부산) ·····319
【표 3.204】강재 내구성조사 전차 정밀안전진단(2018년)결과와의 비교(부산) ·····319
【표 3.205】금회 정밀안전진단 강재 내구성조사 결과요약(울산) ·····320
【표 3.206】강재 내구성조사 전차 정밀안전진단(2018년)결과와의 비교(울산) ·····320

【표 4.1】부재별 상태평가 적용 범위 ·····323
【표 4.2】구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치 ·····324
【표 4.3】결함도 점수 범위에 따른 기준 ·····325
【표 4.4】바닥판 상태평가 결과(부산) ·····326
【표 4.5】거더 상태평가 결과(부산) ·····327
【표 4.6】2차부재(가로보) 상태평가 결과(부산) ·····327
【표 4.7】교대 상태평가 결과(부산) ·····328
【표 4.8】교각 상태평가 결과(부산) ·····328
【표 4.9】기초 상태평가 결과(부산) ·····329
【표 4.10】교량받침 상태평가 결과(부산) ·····329
【표 4.11】신축이음 상태평가 결과(부산) ·····330
【표 4.12】교면포장 상태평가 결과(부산) ·····330
【표 4.13】배수시설 상태평가 결과(부산) ·····331
【표 4.14】난간 및 연석 상태평가 결과(부산) ·····331
【표 4.15】탄산화 상태평가 결과(부산) ·····332
【표 4.16】염화물 상태평가 결과(부산) ·····332
【표 4.17】바닥판 상태평가 결과(울산) ·····333
【표 4.18】거더 상태평가 결과(울산) ·····333
【표 4.19】2차부재(가로보) 상태평가 결과(울산) ·····334
【표 4.20】교대 상태평가 결과(울산) ·····334
【표 4.21】교각 상태평가 결과(울산) ·····335
【표 4.22】기초 상태평가 결과(울산) ·····335
【표 4.23】교량받침 상태평가 결과(울산) ·····336
【표 4.24】신축이음 상태평가 결과(울산) ·····336
【표 4.25】교면포장 상태평가 결과(울산) ·····337
【표 4.26】배수시설 상태평가 결과(울산) ·····337
【표 4.27】난간 및 연석 상태평가 결과(울산) ·····337
【표 4.28】탄산화 상태평가 결과(울산) ·····338
【표 4.29】염화물 상태평가 결과(울산) ·····338

【표 4.30】상태평가 결과표(부산) ·····339
【표 4.31】만화교(부산) 상태평가 결과표(전체)(부산) ·····339
【표 4.32】공중이 이용하는 부위 상태평가 결과(부산) ·····340
【표 4.33】상태평가 결과표(울산) ·····341
【표 4.34】만화교(울산) 상태평가 결과표(전체)(울산) ·····341
【표 4.35】공중이 이용하는 부위 상태평가 결과(울산) ·····342
【표 4.36】기 진단 결과와의 상태평가 결함도 점수 비교(부산) ·····343
【표 4.37】기 진단 결과와의 상태평가 결함도 점수 비교(울산) ·····344

【표 5.1】상부구조 검토단면 선정 ·····347
【표 5.2】만화교 설계기준 비교표 ·····348
【표 5.3】구조검토시 적용 물성치 및 하중조건 ·····349
【표 5.4】단면배치(부산) ·····358
【표 5.5】합성전 고정하중(바닥판 하중)에 의해 주거더에 작용하는 하중(부산) ·····360
【표 5.6】합성후 고정하중에 의해 주거더에 작용하는 하중(부산) ·····360
【표 5.7】활하중(부산) ·····361
【표 5.8】플랜지의 유효폭 산정(부산) ·····363
【표 5.9】바닥판의 유효폭 산정(부산) ·····364
【표 5.10】단면제정수 산정(부산) ·····366
【표 5.11】시점경간 중앙 정모멘트부 단면력 산정결과(부산) ·····370
【표 5.12】시점 지점부 부모멘트부 단면력 산정결과(부산) ·····370
【표 5.13】내측경간 중앙 정모멘트부 단면력 산정결과(부산) ·····370
【표 5.14】종점 지점부 부모멘트부 단면력 산정결과(부산) ·····371
【표 5.15】종점경간 중앙 정모멘트부 단면력 산정결과(부산) ·····371
【표 5.16】시점경간 중앙 정모멘트부 휨응력 검토결과(부산) ·····372
【표 5.17】내측경간 중앙부 정모멘트부 휨응력 검토결과(부산) ·····375
【표 5.18】시점경간 지점부 부모멘트부 휨응력 검토결과(부산) ·····378
【표 5.19】허용피로 응력범위(부산) ·····380
【표 5.20】허용피로 응력범위(부산) ·····380
【표 5.21】정모멘트부 검토위치 및 응력범주(부산) ·····381
【표 5.22】부모멘트부 검토위치 및 응력범주(부산) ·····382
【표 5.23】피로검토(부산) ·····383
【표 5.24】강박스거더의 휨응력 검토결과(부산) ·····384
【표 5.25】강박스거더의 전단응력 검토결과(부산) ·····384
【표 5.26】강박스거더의 합성응력 검토결과(부산) ·····385
【표 5.27】교량받침용량 검토(부산) ·····387
【표 5.28】콘크리트와 철근의 물성치(부산) ·····389
【표 5.29】바닥판의 단면검토 결과(부산) ·····399
【표 5.30】단면배치(울산) ·····406

【표 5.31】합성전 고정하중(바닥판 하중)에 의해 주거더에 작용하는 하중(울산) ·····408
【표 5.32】합성후 고정하중에 의해 주거더에 작용하는 하중(울산) ·····408
【표 5.33】활하중(울산) ·····409
【표 5.34】플랜지의 유효폭 산정(울산) ·····411
【표 5.35】바닥판의 유효폭 산정(울산) ·····412
【표 5.36】단면제정수 산정(울산) ·····414
【표 5.37】시점경간 중앙 정모멘트부 단면력 산정결과(울산) ·····418
【표 5.38】시점 지점부 부모멘트부 단면력 산정결과(울산) ·····418
【표 5.39】내측경간 중앙 정모멘트부 단면력 산정결과(울산) ·····418
【표 5.40】종점 지점부 부모멘트부 단면력 산정결과(울산) ·····419
【표 5.41】종점경간 중앙 정모멘트부 단면력 산정결과(울산) ·····419
【표 5.42】시점경간 중앙 정모멘트부 휨응력 검토결과(울산) ·····420
【표 5.43】내측경간 중앙부 정모멘트부 휨응력 검토결과(울산) ·····423
【표 5.44】시점경간 지점부 부모멘트부 휨응력 검토결과(울산) ·····426
【표 5.45】허용피로 응력범위(울산) ·····428
【표 5.46】허용피로 응력범위(울산) ·····428
【표 5.47】정모멘트부 검토위치 및 응력범주(울산) ·····429
【표 5.48】부모멘트부 검토위치 및 응력범주(울산) ·····430
【표 5.49】피로검토(울산) ·····431
【표 5.50】강박스거더의 휨응력 검토결과(울산) ·····432
【표 5.51】강박스거더의 전단응력 검토결과(울산) ·····432
【표 5.52】강박스거더의 합성응력 검토결과(울산) ·····433
【표 5.53】교량받침용량 검토(울산) ·····435
【표 5.54】콘크리트와 철근의 물성치(울산) ·····437
【표 5.55】바닥판의 단면검토 결과(울산) ·····447
【표 5.56】공용내하력(부산) ·····450
【표 5.57】공용내하력(울산) ·····451
【표 5.58】각 부재별 단면검토 결과(A1)(부산) ·····460
【표 5.59】각 부재별 사용성(균열) 검토결과(A1)(부산) ·····460
【표 5.60】말뚝의 안전검토 및 응력검토결과(부산) ·····462
【표 5.61】각 부재별 단면검토 결과(A1)(울산) ·····471
【표 5.62】각 부재별 사용성(균열) 검토결과(A1)(울산) ·····471
【표 5.63】말뚝의 안전검토 및 응력검토결과(울산) ·····473
【표 5.64】단면 제원(P2)(부산) ·····501
【표 5.65】부재력 집계(P2)(부산) ·····502
【표 5.66】기둥 단면검토 결과(P2)(부산) ·····502
【표 5.67】각 부재별 단면검토 결과(P2)(부산) ·····505
【표 5.68】각 부재별 사용성(균열) 검토결과(P2)(부산) ·····505
【표 5.69】말뚝의 지지력 검토결과(부산) ·····508

【표 5.70】 단면 제원(P2)(울산) ·····515
【표 5.71】 부재력 집계(P2)(울산) ·····516
【표 5.72】 기둥 단면검토 결과(P2)(울산) ·····516
【표 5.73】 각 부재별 단면검토 결과(P2)(울산) ·····519
【표 5.74】 각 부재별 사용성(균열) 검토결과(P2)(울산) ·····519
【표 5.75】 말뚝의 지지력 검토결과(울산) ·····522
【표 5.76】 상부구조 안전성 평가결과(부산) ·····523
【표 5.77】 상부구조 안전성 평가결과(울산) ·····523
【표 5.78】 하부구조 안전성 평가결과(부산) ·····524
【표 5.79】 하부구조 안전성 평가결과(울산) ·····526
【표 5.80】 전차 정밀안전진단과의 결과비교(부산) ·····527
【표 5.81】 전차 정밀안전진단과의 결과비교(울산) ·····528

【표 6.1】 종합평가 결과(부산) ·····532
【표 6.2】 종합평가 결과(울산) ·····532
【표 6.3】 시설물의 안전등급 ·····533
【표 6.4】 안전등급 지정 ·····533
【표 6.5】 기 진단 결과와의 종합평가 결과 비교 ·····534

【표 7.1】 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 검토사항 ·····538
【표 7.2】 보수・보강 우선순위 결정 기준 ·····539
【표 7.3】 시특법 시행령 제12조에 의한 “대통령령이 정하는 중대한 결함” 유무(교량) ·····540
【표 7.4】 균열 보수 필요성 판단기준 ·····541
【표 7.5】 박리 보수 필요성 판단기준 ·····541
【표 7.6】 박락 보수 필요성 판단기준 ·····542
【표 7.7】 누수/백태 보수 필요성 판단기준 ·····542
【표 7.8】 철근부식 보수 필요성 판단기준 ·····542
【표 7.9】 보수・보강 일람표(부산) ·····545
【표 7.10】 보수・보강 일람표(울산) ·····547
【표 7.11】 표면처리공법 공법비교안 ·····551
【표 7.12】 일반적인 단면 복구(보수)재의 분류 ·····555
【표 7.13】 단면복구(보수) 공법비교안 ·····557
【표 7.14】 보수도장의 표면처리 ·····559
【표 7.15】 강재도장 전처리공법 비교표 ·····560
【표 7.16】 강재도장 공법비교표 ·····561
【표 7.17】 일반적인 부식환경 도막두께 ·····563
【표 7.18】 가혹한 부식환경 도막두께 ·····563
【표 7.19】 부분 재도장시 도막두께 ·····564
【표 7.20】 도장 전・후 검사항목 ·····565

【표 7.21】보수・보강 개략공사비(부산) ·····570
【표 7.22】보수・보강 개략공사비(울산) ·····572

그 림 목 차

【그림 1.1】정밀안전진단 과업수행 흐름도 ·····5
【그림 1.2】종·평면도(부산) ·····9
【그림 1.3】슬래브 일반도(부산) (1) ·····10
【그림 1.4】슬래브 일반도(부산) (2) ·····11
【그림 1.5】거더 일반도(부산) (1) ·····12
【그림 1.6】거더 일반도(부산) (2) ·····13
【그림 1.7】교대 A1 일반도(부산) ·····14
【그림 1.8】교대 A2 일반도(부산) ·····15
【그림 1.9】교각 P1 일반도(부산) ·····16
【그림 1.10】교각 P3 일반도(부산) ·····17
【그림 1.11】교각 P5 일반도(부산) ·····18
【그림 1.12】교대 A1 보강도(부산) ·····19
【그림 1.13】교대 A2 보강도(부산) ·····20
【그림 1.14】종·평면도(울산) ·····21
【그림 1.15】슬래브 일반도(울산) (1) ·····22
【그림 1.16】슬래브 일반도(울산) (2) ·····23
【그림 1.17】거더 일반도(울산) (1) ·····24
【그림 1.18】거더 일반도(울산) (2) ·····25
【그림 1.19】교대 A1 일반도(울산) ·····26
【그림 1.20】교대 A2 일반도(울산) ·····27
【그림 1.21】교각 P1 일반도(울산) ·····28
【그림 1.22】교각 P3 일반도(울산) ·····29
【그림 1.23】교각 P5 일반도(울산) ·····30
【그림 1.24】교대 A1 보강도(울산) ·····31
【그림 1.25】교대 A2 보강도(울산) ·····32

【그림 2.1】 시추조사 주상도 ·····49

【그림 3.1】바닥판 하면 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····86
【그림 3.2】콘크리트 바닥판의 균열진전 개요도(부산) ·····87
【그림 3.3】강박스 거더의 일반적인 손상(부산) ·····89
【그림 3.4】거더 내부 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····91
【그림 3.5】강박스 거더 외부 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····95

【그림 3.6】교대 기 점검 결과와의 비교(부산) ·····102
【그림 3.7】교대 변위(직립도) 측정 모식도(부산) ·····104
【그림 3.8】교각 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····114
【그림 3.9】교량받침 배치도(부산) ·····116
【그림 3.10】도로교설계기준 연단거리 산출방법 ·····118
【그림 3.11】교량받침 기 점검 결과와의 비교(부산) ·····129
【그림 3.12】신축이음장치 전경 및 배치도(부산) ·····130
【그림 3.13】신축이음장치 기 진단 결과와의 비교 ·····139
【그림 3.14】교면포장 단면도(부산) ·····141
【그림 3.15】교면포장 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····143
【그림 3.16】배수시설 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····146
【그림 3.17】난간 및 연석(방호벽) 기 진단 결과와의 비교(부산) ·····150
【그림 3.18】바닥판 하면 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····159
【그림 3.19】콘크리트 바닥판의 균열진전 개요도(울산) ·····160
【그림 3.20】강박스 거더의 일반적인 손상(울산) ·····161
【그림 3.21】거더 내부 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····163
【그림 3.22】강재의 부식과정 및 원리(울산) ·····165
【그림 3.23】강박스 거더 외부 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····167
【그림 3.24】가로보 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····170
【그림 3.25】교대 기 점검 결과와의 비교(울산) ·····175
【그림 3.26】교각 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····186
【그림 3.27】교량받침 배치도(울산) ·····190
【그림 3.28】도로교설계기준 연단거리 산출방법 ·····192
【그림 3.29】교량받침 기 점검 결과와의 비교(울산) ·····203
【그림 3.30】신축이음장치 전경 및 배치도 ·····204산)
【그림 3.31】신축이음장치 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····212
【그림 3.32】교면포장 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····216
【그림 3.33】배수시설 위치도(울산) ·····217
【그림 3.34】배수시설 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····220
【그림 3.35】난간 및 연석(방호벽) 기 진단 결과와의 비교(울산) ·····223
【그림 3.36】콘크리트 내구성조사 위치도 ·····233
【그림 3.37】상부구조 반발경도 시험결과(부산) ·····253
【그림 3.38】하부구조 반발경도 시험결과(부산) ·····254
【그림 3.39】전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검 결과 비교(부산) ·····256
【그림 3.40】상부구조 초음파 전달속도 시험결과(부산) ·····257
【그림 3.41】하부구조 초음파 전달속도 시험결과(부산) ·····258
【그림 3.42】전차 정밀안전진단 결과 비교(부산) ·····259
【그림 3.43】하부구조 추정비파괴강도 결과 그래프(부산) ·····262
【그림 3.44】전차 정밀안전진단 추정 비파괴 강도 결과와 비교(부산) ·····263

【그림 3.45】상부구조 탄산화 깊이 측정 결과(부산) ·····266
【그림 3.46】하부구조 탄산화 깊이 측정 결과(부산) ·····267
【그림 3.47】염화물함유량 시험 결과(부산) ·····268
【그림 3.48】상부구조 반발경도 시험결과(울산) ·····271
【그림 3.49】하부구조 반발경도 시험결과(울산) ·····272
【그림 3.50】전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검 결과 비교(울산) ·····274
【그림 3.51】상부구조 초음파 전달속도 시험결과(울산) ·····275
【그림 3.52】하부구조 초음파 전달속도 시험결과(울산) ·····276
【그림 3.53】전차 정밀안전진단 결과 비교(울산) ·····277
【그림 3.54】하부구조 추정비파괴강도 결과 그래프(울산) ·····280
【그림 3.55】전차 정밀안전진단 추정 비파괴 강도 결과와 비교(울산) ·····281
【그림 3.56】상부구조 탄산화 깊이 측정 결과(울산) ·····284
【그림 3.57】하부구조 탄산화 깊이 측정 결과(울산) ·····285
【그림 3.58】염화물함유량 시험 결과(울산) ·····286
【그림 3.59】강재 초음파 탐상시험(U.T) 위치도(부산) ·····299
【그림 3.60】강재 초음파 탐상시험(U.T) 위치도(울산) ·····303

【그림 4.1】전체 교량의 상태평가 결과 산정 방법 ·····325
【그림 4.2】기 진단 결과와의 부재별 상태평가 결과 비교(부산) ·····343
【그림 4.3】기 진단 결과와의 부재별 상태평가 결과 비교(울산) ·····344

【그림 5.1】종·평면도 ·····350
【그림 5.2】횡단면도(부산) ·····352
【그림 5.3】단면배치도(부산) ·····358
【그림 5.4】합성전 고정하중(바닥판 하중) 재하도(부산) ·····359
【그림 5.5】합성 후 고정하중 재하도(부산) ·····360
【그림 5.6】활하중 재하(부산) ·····362
【그림 5.7】해석모델링(부산) ·····365
【그림 5.8】합성전 고정하중에 의한 휨모멘트도(부산) ·····367
【그림 5.9】합성전 고정하중에 의한 전단력도(부산) ·····367
【그림 5.10】합성후 고정하중에 의한 휨모멘트도(부산) ·····368
【그림 5.11】합성후 고정하중에 의한 전단력도(부산) ·····368
【그림 5.12】활하중에 의한 휨모멘트도(부산) ·····369
【그림 5.13】활하중에 의한 전단력도(부산) ·····369
【그림 5.14】처짐검토 결과(부산) ·····386
【그림 5.15】받침배치도(부산) ·····387
【그림 5.16】횡단면도(울산) ·····400
【그림 5.17】단면배치도(울산) ·····406
【그림 5.18】합성전 고정하중(바닥판 하중) 재하도(울산) ·····407

【그림 5.19】 합성 후 고정하중 재하도(울산) ·····408
【그림 5.20】 활하중 재하(울산) ·····410
【그림 5.21】 해석모델링(울산) ·····413
【그림 5.22】 합성전 고정하중에 의한 휨모멘트도(울산) ·····415
【그림 5.23】 합성전 고정하중에 의한 전단력도(울산) ·····415
【그림 5.24】 합성후 고정하중에 의한 휨모멘트도(울산) ·····416
【그림 5.25】 합성후 고정하중에 의한 전단력도(울산) ·····416
【그림 5.26】 활하중에 의한 휨모멘트도(울산) ·····417
【그림 5.27】 활하중에 의한 전단력도(울산) ·····417
【그림 5.28】 처짐검토 결과(울산) ·····434
【그림 5.29】 받침배치도(울산) ·····435
【그림 5.30】 해석단면(A1)(부산) ·····453
【그림 5.31】 해석단면(A1)(울산) ·····464
【그림 5.32】 해석단면(P2)(부산) ·····496
【그림 5.33】 해석모델링(P2)(부산) ·····501
【그림 5.34】 교축직각방향 P-M상관도(P2)(부산) ·····503
【그림 5.35】 교축방향 P-M상관도(P2)(부산) ·····504
【그림 5.36】 해석단면(P2)(울산) ·····510
【그림 5.37】 해석모델링(P2)(울산) ·····515
【그림 5.38】 교축직각방향 P-M상관도(P2)(울산) ·····517
【그림 5.39】 교축방향 P-M상관도(P2)(울산) ·····518

【그림 6.1】 종합평가 결과 산정절차 ·····531

【그림 7.1】 보수·보강방안 추진방향(부산) ·····543
【그림 7.2】 보수·보강방안 추진방향(울산) ·····544
【그림 7.3】 콘크리트 표면처리 시공순서도 ·····549
【그림 7.4】 단면복구(보수) 상세도 ·····554
【그림 7.4】 강재 재도장 시공순서도 ·····560
【그림 7.5】 볼트재체결 시공순서도 ·····566

사 진 목 차

【사진 3.1】 접근장비 및 도보를 이용한 근접조사 전경 ····80
【사진 3.2】 주변현황 및 하중변화 ····81
【사진 3.3】 부재제원 확인 전경 ····82
【사진 3.4】 바닥판 전경(부산) ····83
【사진 3.5】 바닥판 손상현황(부산) ····84
【사진 3.5】 바닥판 손상현황(부산)(계속) ····85
【사진 3.6】 강박스 거더 전경(부산) ····88
【사진 3.7】 강박스 거더 내부 손상현황(부산) ····90
【사진 3.8】 강박스 거더 내부 우수 유입경로(부산) ····92
【사진 3.9】 강박스 거더 외부 손상현황(부산) ····93
【사진 3.10】 2차부재(가로보) 전경(부산) ····97
【사진 3.11】 2차부재(가로보) 손상현황 ····97
【사진 3.12】 교대 전경(부산) ····98
【사진 3.13】 교대 손상현황(부산) ····99
【사진 3.14】 교대 변위(직립도) 측정 전경(부산) ····105
【사진 3.15】 교대 어스앵커보강 현황(부산) ····107
【사진 3.16】 교대 전경(부산) ····109
【사진 3.17】 교각 전경(부산) ····110
【사진 3.18】 교각 손상현황(부산) ····111
【사진 3.19】 기초부 외관조사 현황(부산) ····115
【사진 3.20】 교량받침 설치전경(부산) ····116
【사진 3.21】 교량받침 손상현황(부산) ····117
【사진 3.22】 연단거리 측정 전경(부산) ····118
【사진 3.23】 신축이음장치 손상현황(부산) ····131
【사진 3.24】 교면포장 전경(부산) ····141
【사진 3.25】 교면포장 손상현황(부산) ····142
【사진 3.26】 배수시설 위치도 및 전경(부산) ····144
【사진 3.27】 배수시설 손상현황(부산) ····145
【사진 3.28】 난간 및 연석(방호벽) 전경 및 단면도(부산) ····147
【사진 3.29】 난간 및 연석(방호벽) 손상현황(부산) ····148
【사진 3.30】 바닥판 전경(울산) ····156
【사진 3.31】 바닥판 손상현황(울산) ····157
【사진 3.32】 강박스 거더 전경(울산) ····161

【사진 3.33】강박스 거더 내부 손상현황(울산) ·····162
【사진 3.34】강박스 거더 내부 우수 유입경로(울산) ·····164
【사진 3.35】강박스 거더 외부 손상현황(울산) ·····166
【사진 3.36】2차부재(가로보) 전경(울산) ·····169
【사진 3.37】2차부재(가로보) 손상현황(울산) ·····170
【사진 3.38】교대 전경(울산) ·····171
【사진 3.39】교대 손상현황(울산) ·····172
【사진 3.40】교대 변위(직립도) 측정 모식도 및 측정전경(울산) ·····177
【사진 3.41】교각 전경(울산) ·····182
【사진 3.42】교각 손상현황(울산) ·····183
【사진 3.43】기초부 외관조사 현황(울산) ·····188
【사진 3.44】교량받침 설치전경 ·····190
【사진 3.45】교량받침 손상현황(울산) ·····191
【사진 3.46】연단거리 측정 전경(울산) ·····192
【사진 3.47】신축이음장치 손상현황(울산) ·····205
【사진 3.48】교면포장 전경 및 단면도(울산) ·····214
【사진 3.49】교면포장 손상현황(울산) ·····216
【사진 3.50】배수시설 전경(울산) ·····218
【사진 3.51】배수시설 손상현황(울산) ·····219
【사진 3.52】난간 및 연석(방호벽) 전경(울산) ·····221
【사진 3.53】난간 및 연석(방호벽) 손상현황(울산) ·····222
【사진 3.54】점검시설 손상현황(울산) ·····226
【사진 3.55】콘크리트 내구성조사 전경(부산) ·····232
【사진 3.56】콘크리트 내구성조사 전경(울산) ·····232
【사진 3.57】강재 내구성조사 전경 ·····291

제 1장 정밀안전진단 개요

1.1 과업의 목적

1.2 과업의 범위 및 내용

1.3 과업수행 절차 및 일정

1.4 대상교량의 현황

1.5 사용장비 및 시험기기의 현황

1.6 교량기호의 정의

제 1장 정밀안전진단 개요

1.1 과업의 목적

본 과업은 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법”(이하 ” 시설물안전법 “이라 한다.) 제12조 및 동법 시행령 제10조에 의한 정밀안전진단(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 유지관리방안을 수립) 및 동법 제40조 및 동법 시행령 제28조에 규정에 따른 성능평가(시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물 기능 및 성능저하, 상태 등을 신속·정확하게 조사·평가하고, 그에 대한 적절한 성능확보를 취하여 재해 및 재난을 예방하며, 시설물의 안전성능 및 내구성능, 사용성능을 보완·보전케 함으로써 시설물의 효용성을 증진)의 시행을 통한 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

1.2 과업의 범위 및 내용

1.2.1 과업의 범위

본 과업을 수행함에 있어서 과업의 범위는 기본적으로 과업지시서에 충실하고 과업지시서에 명기되지 않은 내용은 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침[안전점검·진단 편](이하 ‘세부지침’이라 한다)」을 준용하여 수행하는 것으로 하였다.

1) 자료수집 및 분석

2) 현장조사 및 시험

3) 시설물의 상태평가

4) 시설물의 안전성평가

5) 종합평가 및 안전등급 지정

6) 보수·보강방법 및 유지관리방안 제시

7) 보고서 작성 및 정밀안전진단결과 전산입력

1.2.2 과업수행기간

2023. 02. 21 ~ 2023. 12. 26(착수일로부터 309일간)

1.2.3 과업의 내용

본 과업은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단편)(국토교통부/국토안전관리원)(2022.12)』에 의거 수행하였으며, 과업의 내용에 대한 세부사항은 다음과 같다.

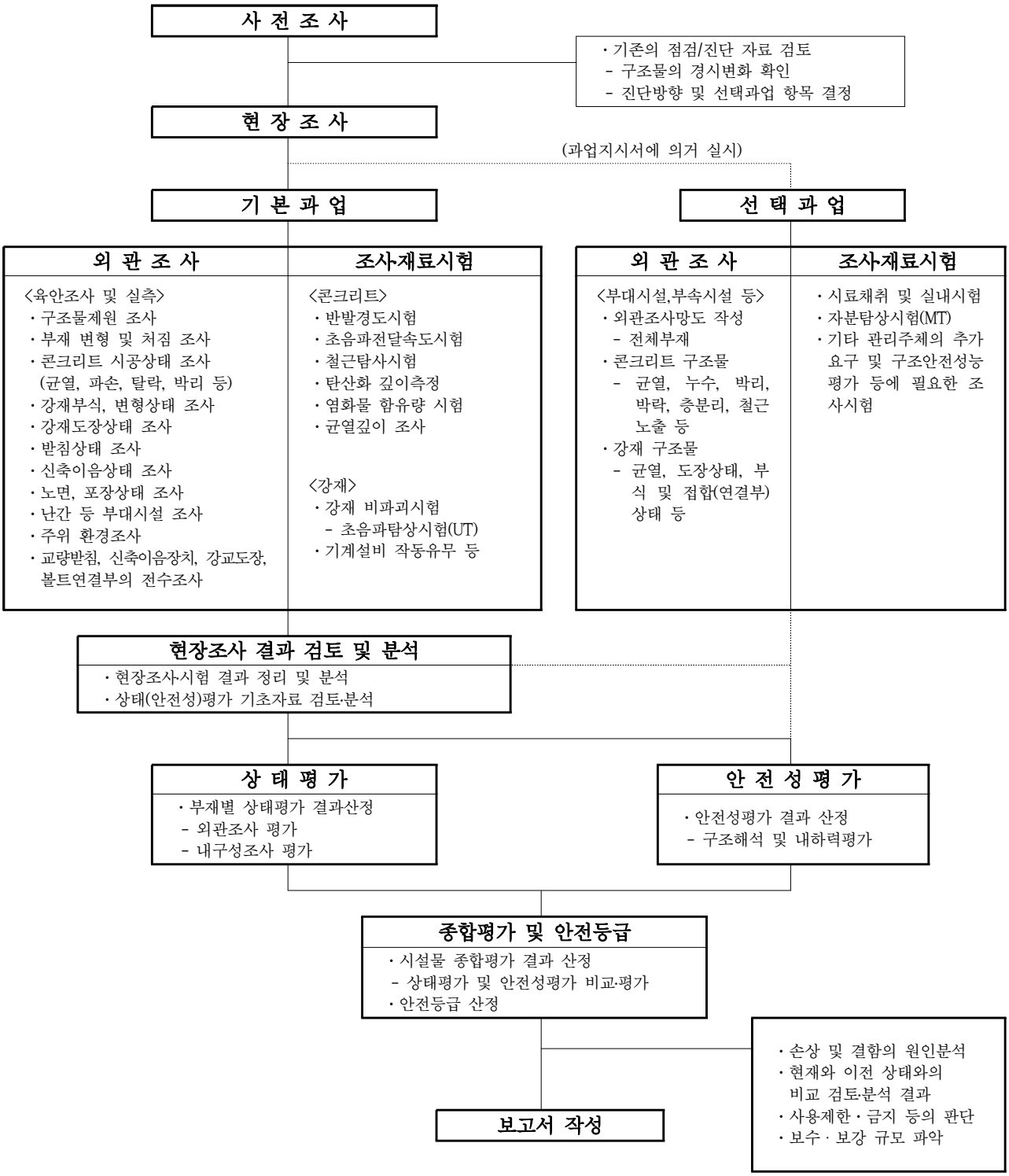
【표 1.1】과업의 내용

과 업 의 범 위		과 업 의 내 용	비 고
자료수집 및 분석		1) 설계자료 검토(준공도면, 구조계산서). 2) 시설물관리대장. 3) 기존 점검, 진단 및 유지관리자료 검토.	시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 (안전점검·진단편) (2022.12) 적용
현장 조사 및 시험	외관 조사	1) 교량의 제원 및 시공상태 조사. 2) 상·하부구조 외관 결함 및 손상 등 외관조사. 3) 신축이음, 교량받침 등 기능상태 조사. 4) 교면의 코어채취를 통한 포장층 및 방수층의 상태 확인	
	내구성 조사 (콘크리트 및 강재)	1) 콘크리트 강도 조사. - 반발경도시험, 초음파전달속도시험에 의한 비파괴 압축강도시험. 2) 철근탐사시험. - 배근간격, 피복두께. 3) 콘크리트 품질시험. - 탄산화 깊이 측정. 4) 균열깊이 조사. 5) 염화물 함유량 시험. 6) 강재 비파괴시험. - 강재 초음파탐상시험(UT, MT), 도막두께 측정.	
상태평가		1) 부재별 상태평가 결과 산정 후 부재별 가중치를 고려한 시설물 전체에 대한 상태평가 결과 산정. 2) 탄산화 및 염화물 함유량에 대한 평가 후 상태평가에 반영. 3) 기 진단결과와의 비교.	
안전성평가		1) 결함부위 진단 및 결함원인 분석. 2) 기존의 구조계산서 또는 안전성평가 자료 분석. 3) 도로교 설계기준에 의한 구조검토. 4) 허용응력법 및 강도설계법에 의한 기본내하력 평가. 5) 기 진단결과와의 비교. 6) 시설물의 안전성평가 결과에 대한 소견	
종합평가 및 안전등급 지정		1) 시설물의 안전상태 종합평가 결과에 대한 소견. 2) 상태평가 및 안전성평가 결과를 이용하여 안전등급 지정.	
보수 및 보강 대책 수립		1) 결함 및 손상부위에 대한 원인 분석 및 평가. 2) 기능 회복 및 향상을 위한 보수·보강 공법 제시. 3) 보수·보강 물량 및 보수·보강 우선순위 제시.	
유지관리 대책 수립		1) 유지 관리상 문제점과 지침 기준 작성. 2) 효율적인 유지관리를 위한 방안 제시.	
보고서 작성		1) 기술심의 개최. 2) 기술심의 지적사항을 보완하여 최종보고서 작성 및 제출.	

1.3 과업수행 절차 및 일정

1.3.1 과업수행 절차

본 교량의 정밀안전진단 과업수행 흐름도는 다음과 같다.



【그림 1.1】정밀안전진단 과업수행 흐름도

1.3.2 과업수행 일정

본 과업을 위해 수행한 정밀안전진단 과업 일정은 다음과 같다.

【표 1.2】정밀안전진단 및 성능평가 과업수행 일정

공 종	2023년 02월 21일 ~ 2023년 12월 26일(309일간)											비 고
	2023년											
	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	
	21 28	10 20 30	10 20 31	10 20 31	10 20 30	10 20 31	10 20 30	10 20 31	10 20 31	10 20 30	10 20 26	
1. 자료수집, 계획수립 -기초자료 분석 -안전 및 점검 계획 수립 -유관기관 협의	02/21일 착수											23/ 02/21 착수
2. 조사 및 시험 -상세 외관조사 -내구성 조사 -흑서기·흑한기 추가조사		현장조사팀 투입					흑서기 조사					
3. 결과분석 및 평가 -상태평가 -안전성 평가 -종합평가 및 안전등급 지정					상태평가 및 안전성평가							
4. 보수·보강방안 -보수·보강, 유지관리 방안제시 -유지관리 전략 제안						보수·보강 및 유지관리방안 제시						
5. 보고서 작성 및 평가 -보고서 보완 및 작성 -지사 용역 준공전 평가 -기술검토 사항에 대한 자문					보고서 수정 및 보완, 점검 매뉴얼 작성 등							23/ 12/26 준공
당월 공정률(%)	5.0	10.0	15.0	15.0	15.0	10.0	10.0	5.0	5.0	5.0	5.0	
누계 공정률(%)	5.0	15.0	30.0	45.0	60.0	70.0	80.0	85.0	90.0	95.0	100.0	

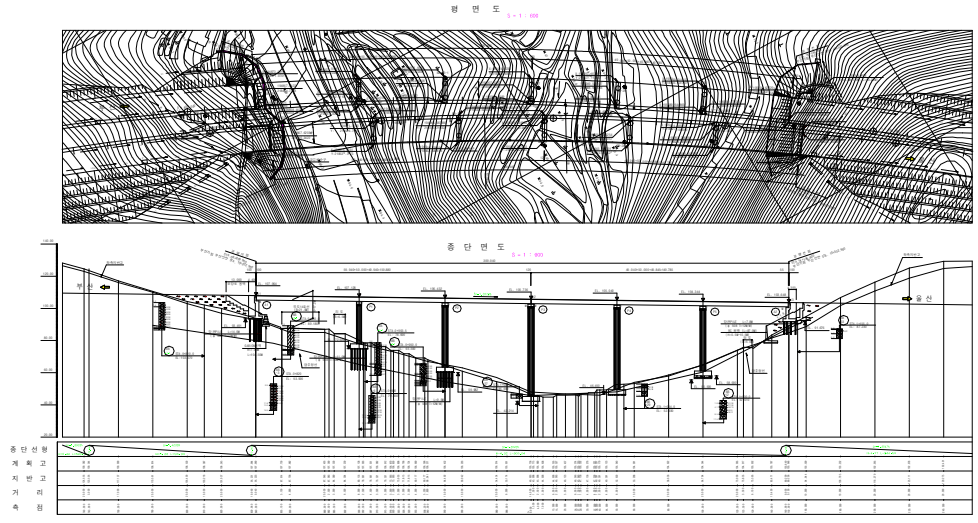
1.4 대상교량의 현황

1.4.1 교량의 현황

본 과업의 대상시설물인 만화교(부산, 울산)의 현황은 다음과 같다.

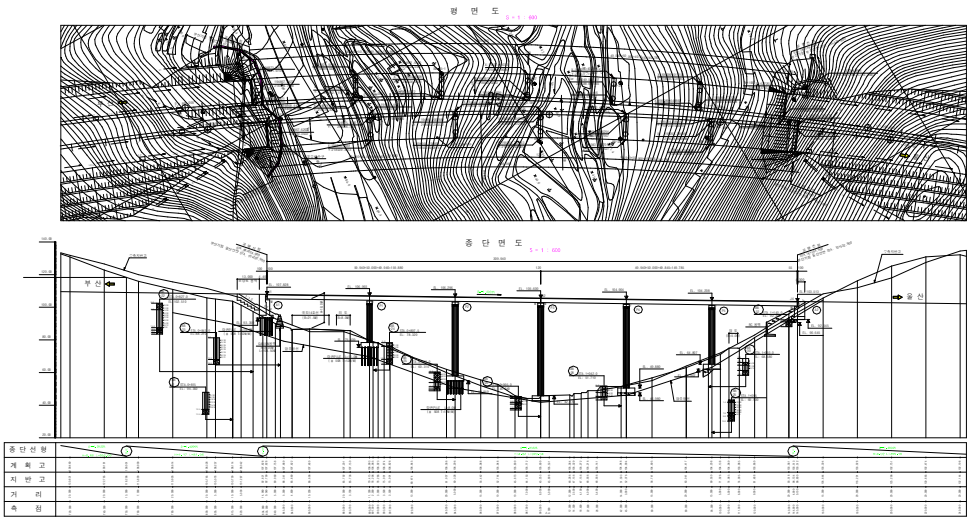
【표 1.3】 만화교(부산) 현황표

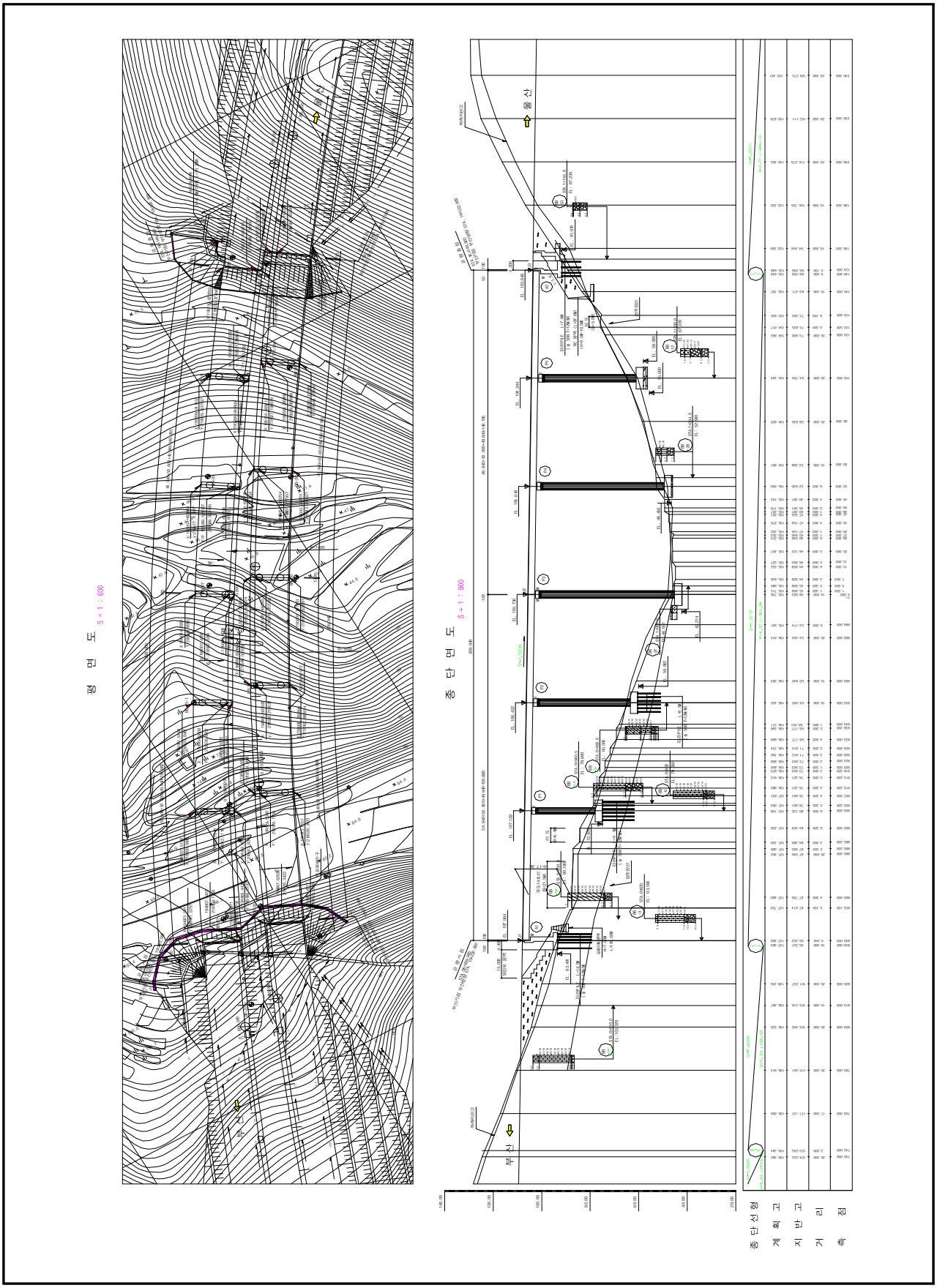
작성일 : 2023년 12월 26일

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>만화교(부산)</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>BR2008-0000987</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월</td><td>2008년 12월 31일</td><td colspan="2">관리번호</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">부산광역시 기장군 기장읍</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24 / DL-24</td><td colspan="2">노선명(이정)</td><td>부산울산선(10.2㎞)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L = 310.0m (60.0 + 5 @ 50.0)</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B=16.2m(편도 3차선)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조형식</td><td>상 부</td><td>강박스거더교(STB)</td><td rowspan="2">기초형식</td><td>교대</td><td>강관말뚝기초</td></tr>
<tr><td>하 부</td><td>교대:역T형
교각:Π형</td><td>교각</td><td>직접기초, 강관말뚝기초</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>포트받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>A1, A2 레일조인트
P3 : 강핑거 조인트</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>일반국도 14호선</td><td colspan="2">통과높이</td><td>17.2m</td></tr>
<tr><td colspan="2">설 계 사</td><td>LG건설(주)</td><td colspan="2">시 공 사</td><td>경남기업(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">내진설계유무</td><td>유</td><td colspan="2">관리주체</td><td>부산울산고속도로(주)</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설내용</td><td colspan="4">점검로</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">  </td></tr>
</table>

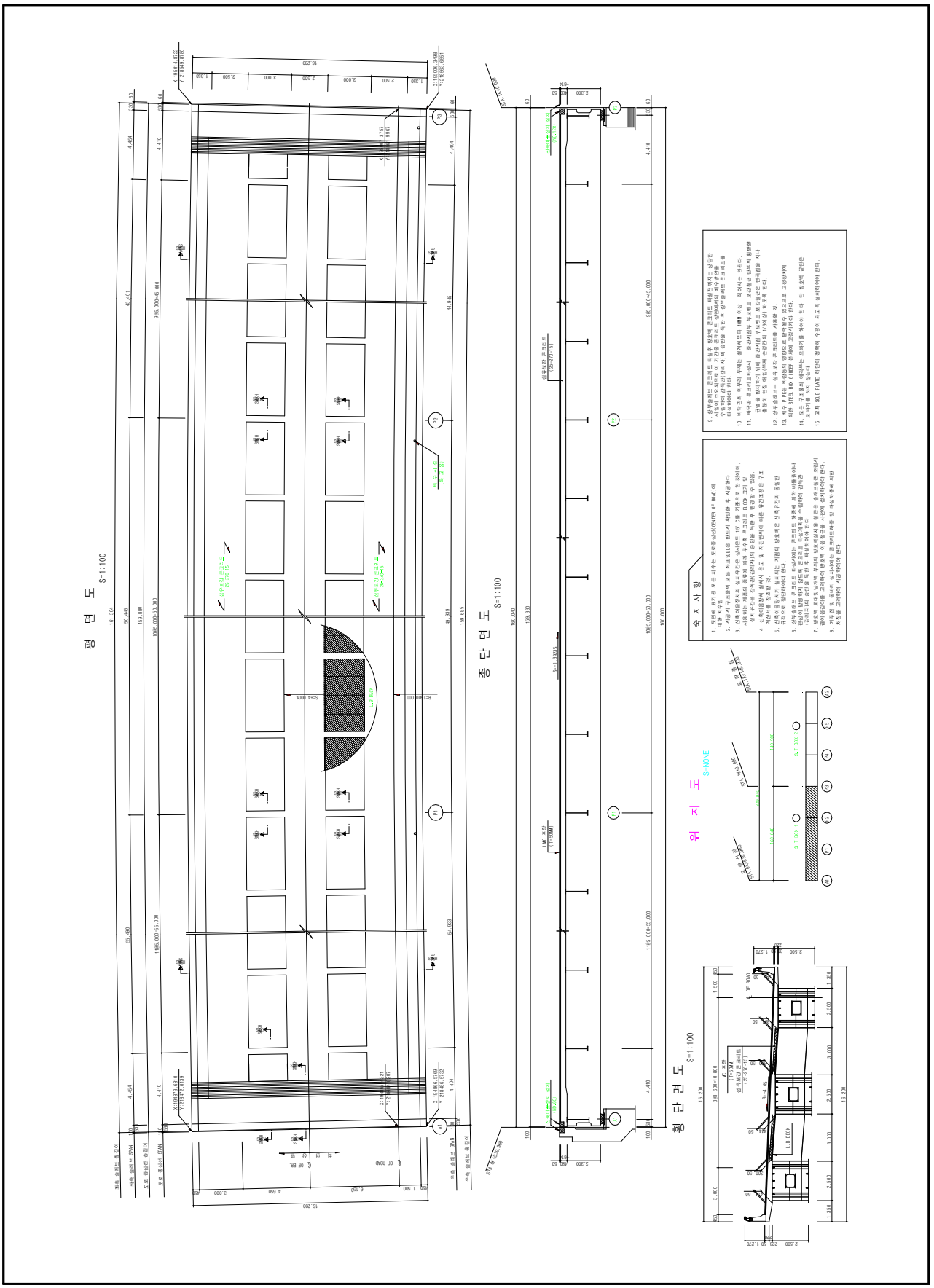
【표 1.4】 만화교(울산) 현황표

작성일 : 2023년 12월 26일

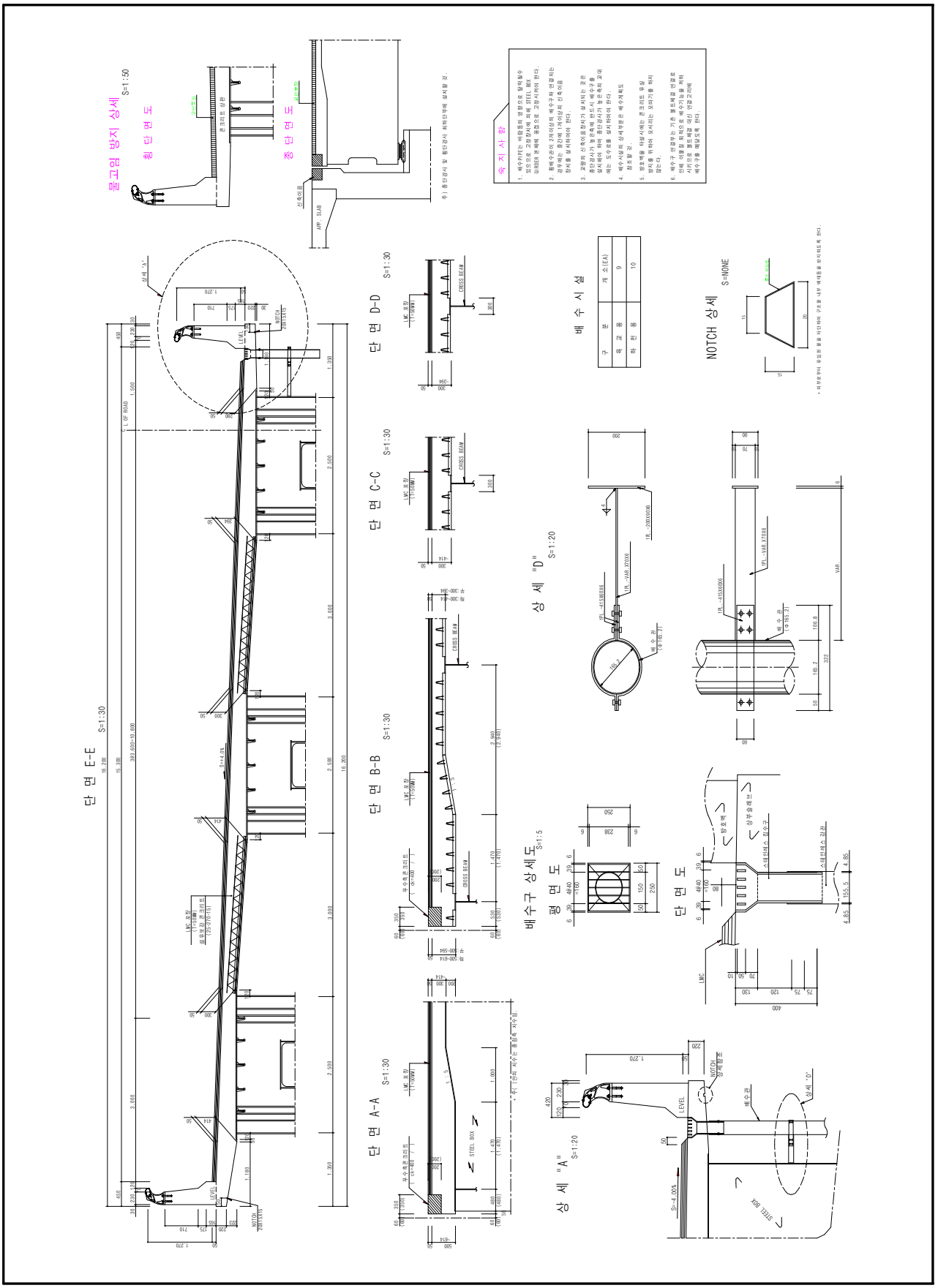
구 분		내 용	구 분		내 용
시설물명		만화교(울산)	시설물번호		BR2008-0000991
준공년월		2008년 12월 31일	관리번호		-
시설물위치		부산광역시 기장군 기장읍			
설계하중		DB-24 / DL-24	노선명(이정)		부산울산선(10.2㎞)
제원	연장	L = 310.0m (60.0 + 5 @ 50.0)			
	폭	B=16.2m(편도 3차선)			
구조형식	상 부	강박스거더교(STB)	기초형식	교대	강관말뚝기초
	하 부	교대:역T형 교각:Π형		교각	직접기초, 강관말뚝기초
교량받침		포트받침	신축이음		A1, A2 레일조인트 P3 : 강핑거 조인트
교차시설물		일반국도 14호선	통과높이		17.2m
설 계 사		LG건설(주)	시 공 사		경남기업(주)
내진설계유무		유	관리주체		부산울산고속도로(주)
부착시설내용		점검로			
기 타					



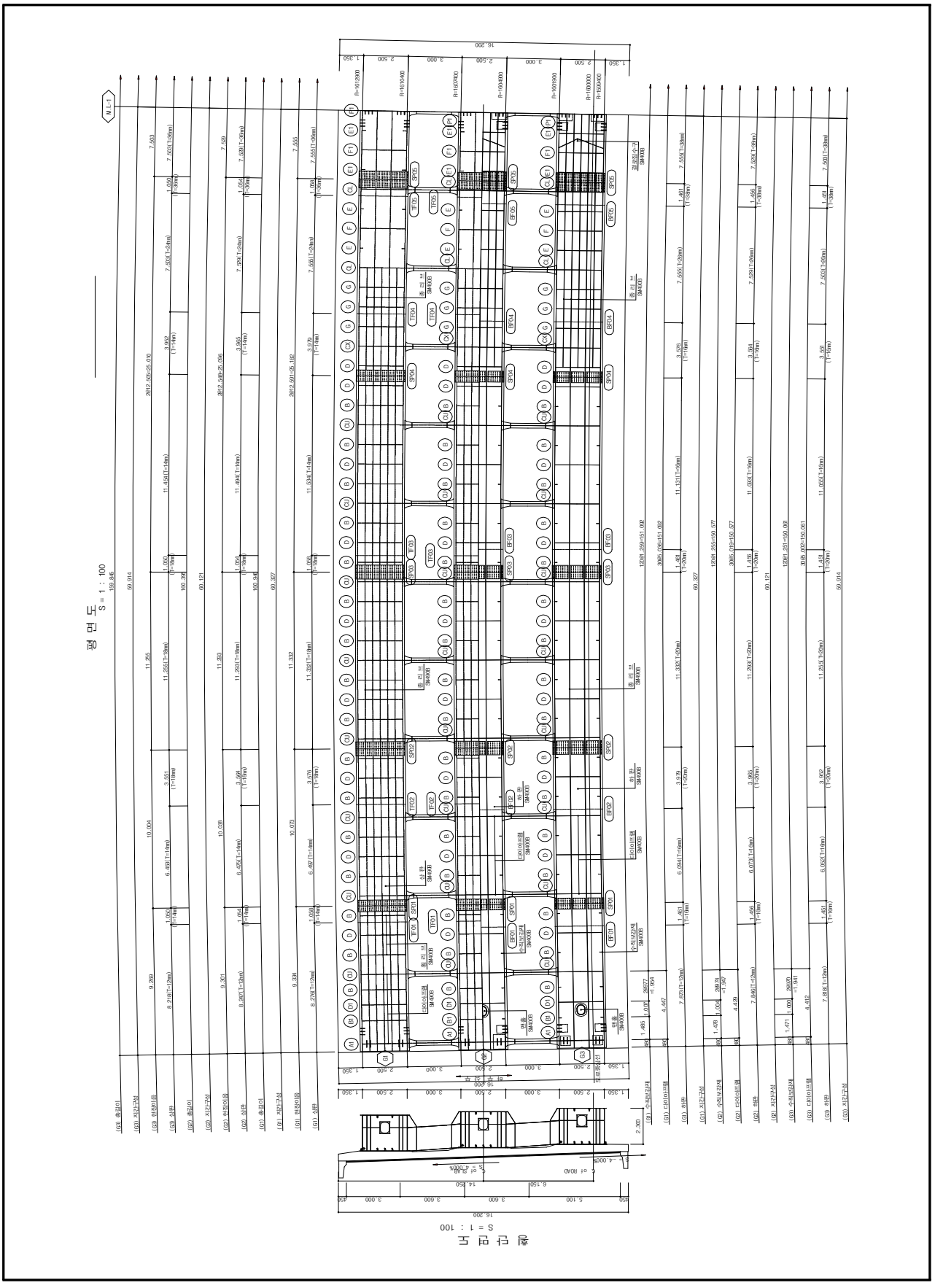
【그림 1.2】 종·평면도(부산)



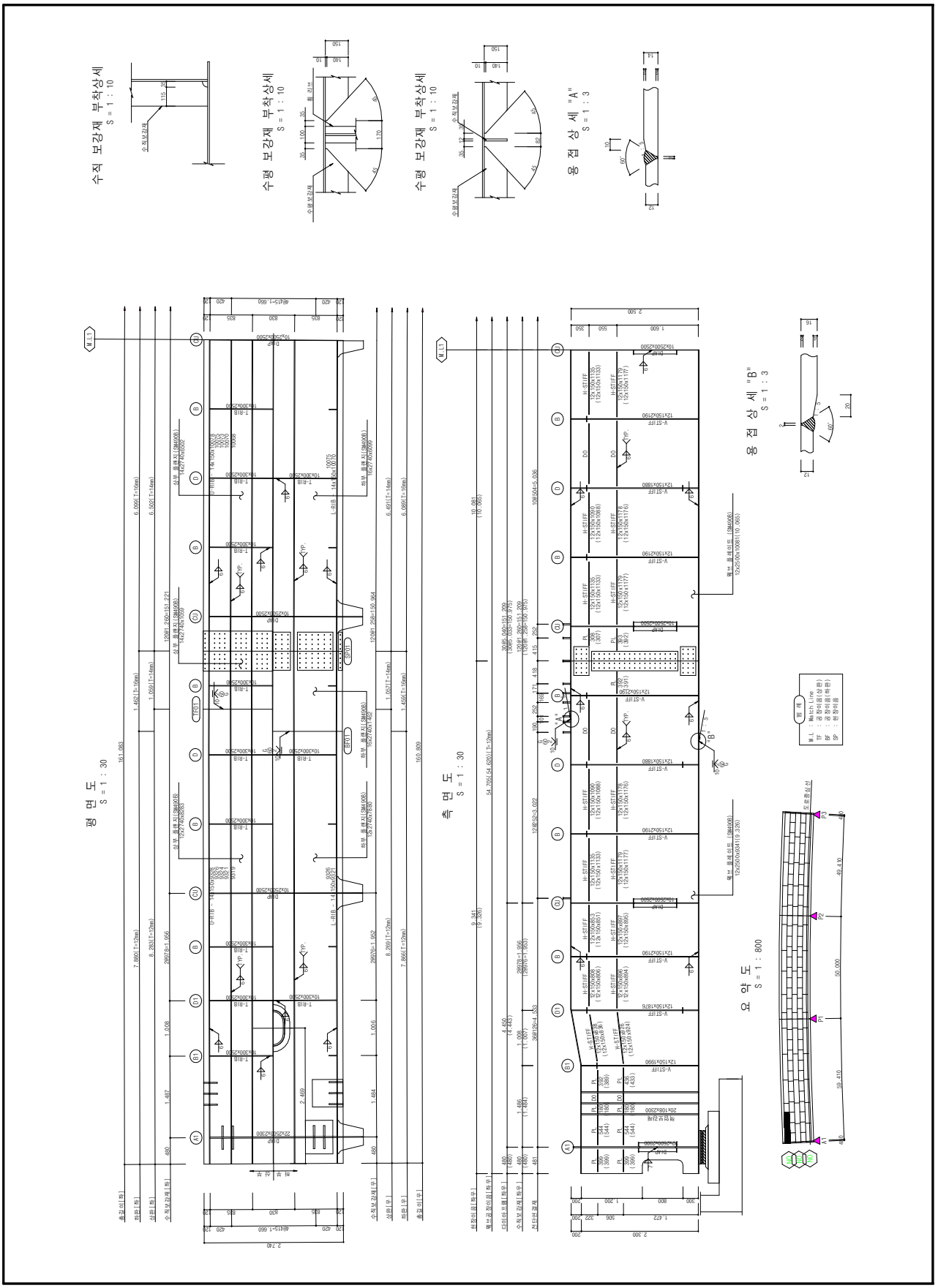
【그림 1.3】 슬래브 일반도(부산) (1)



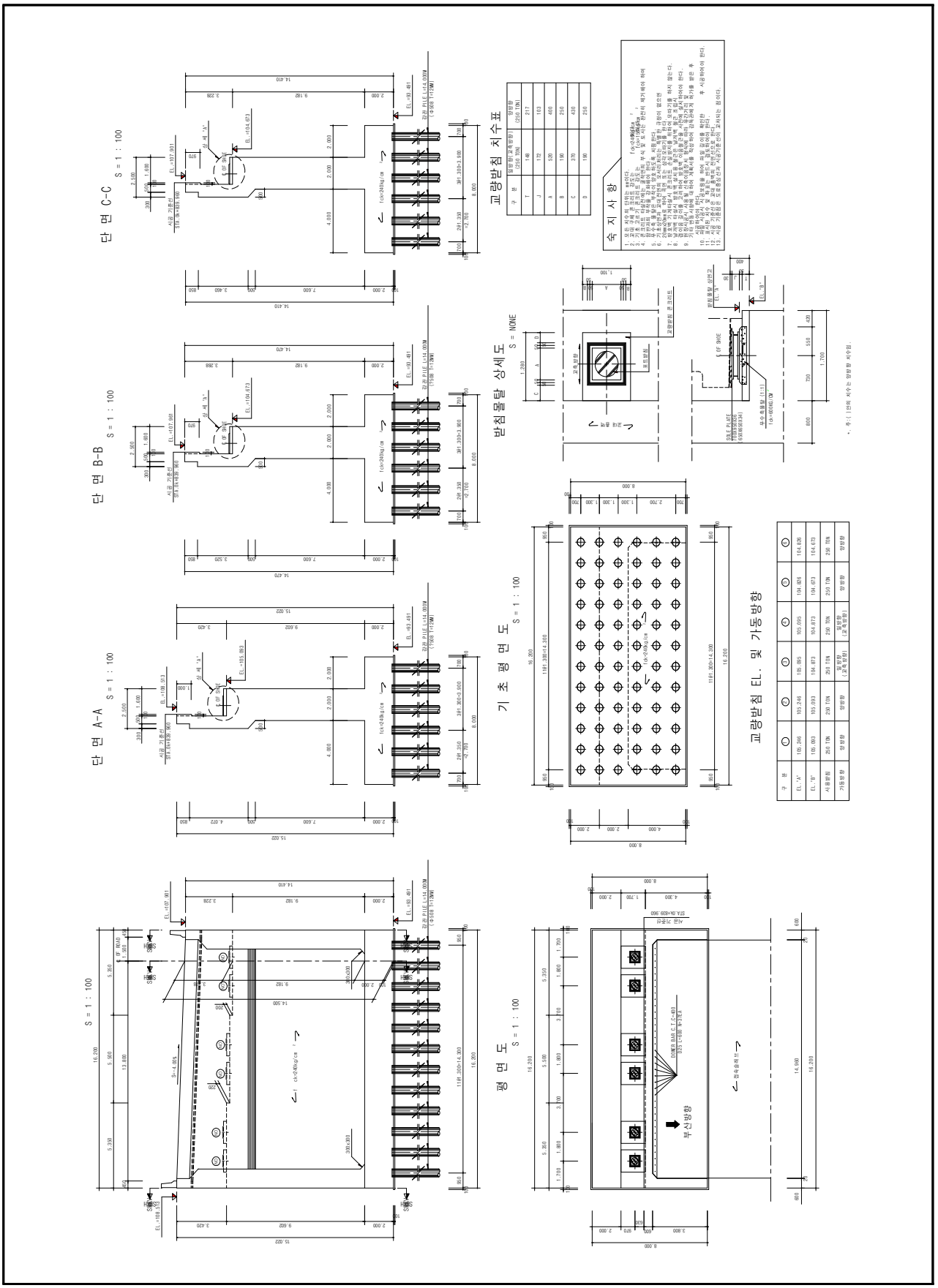
【그림 1.4】 슬래브 일반도(부산) (2)



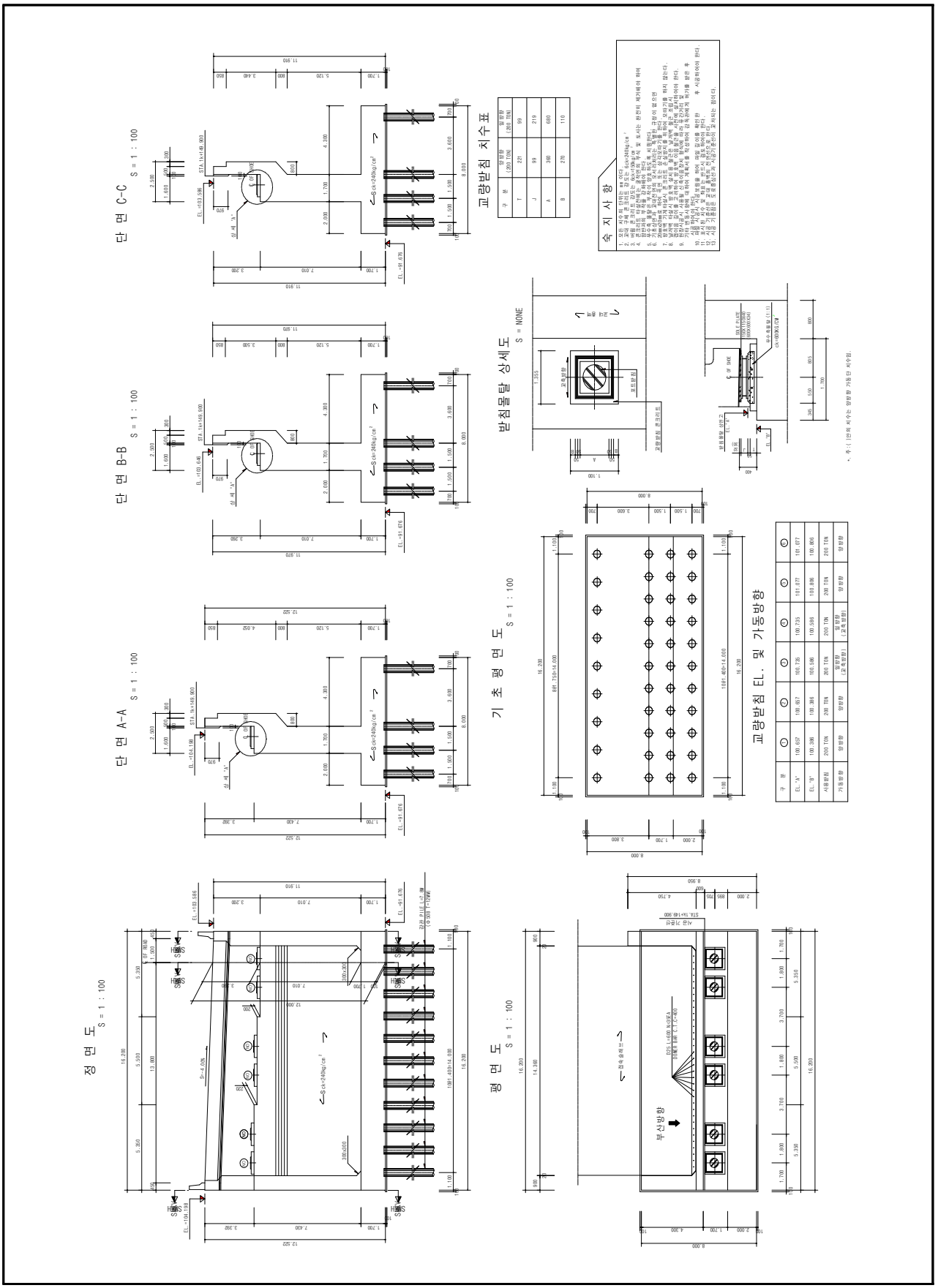
【그림 1.5】 거더 일반도(부산) (1)



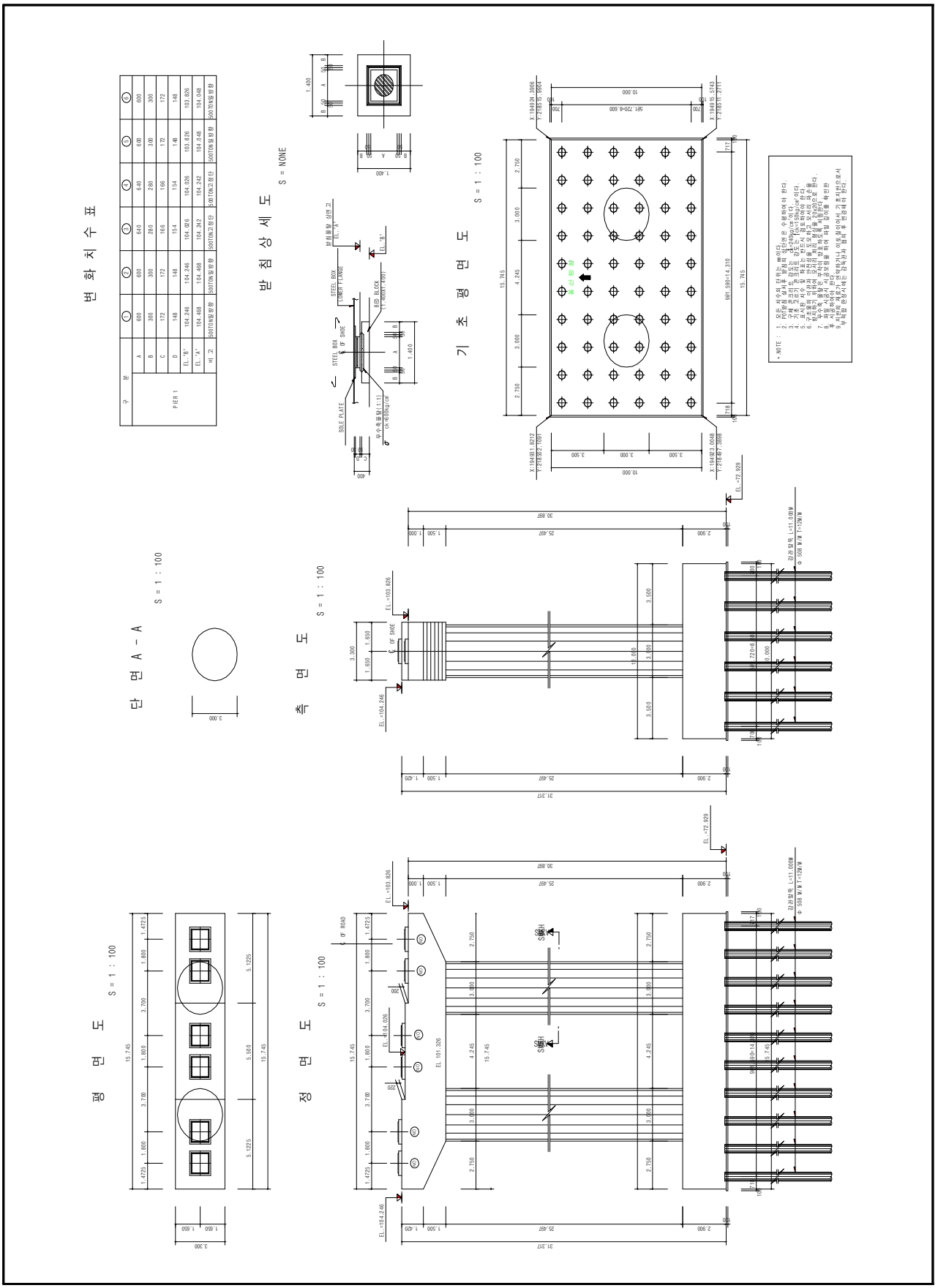
【그림 1.6】 거더 일반도(부산) (2)



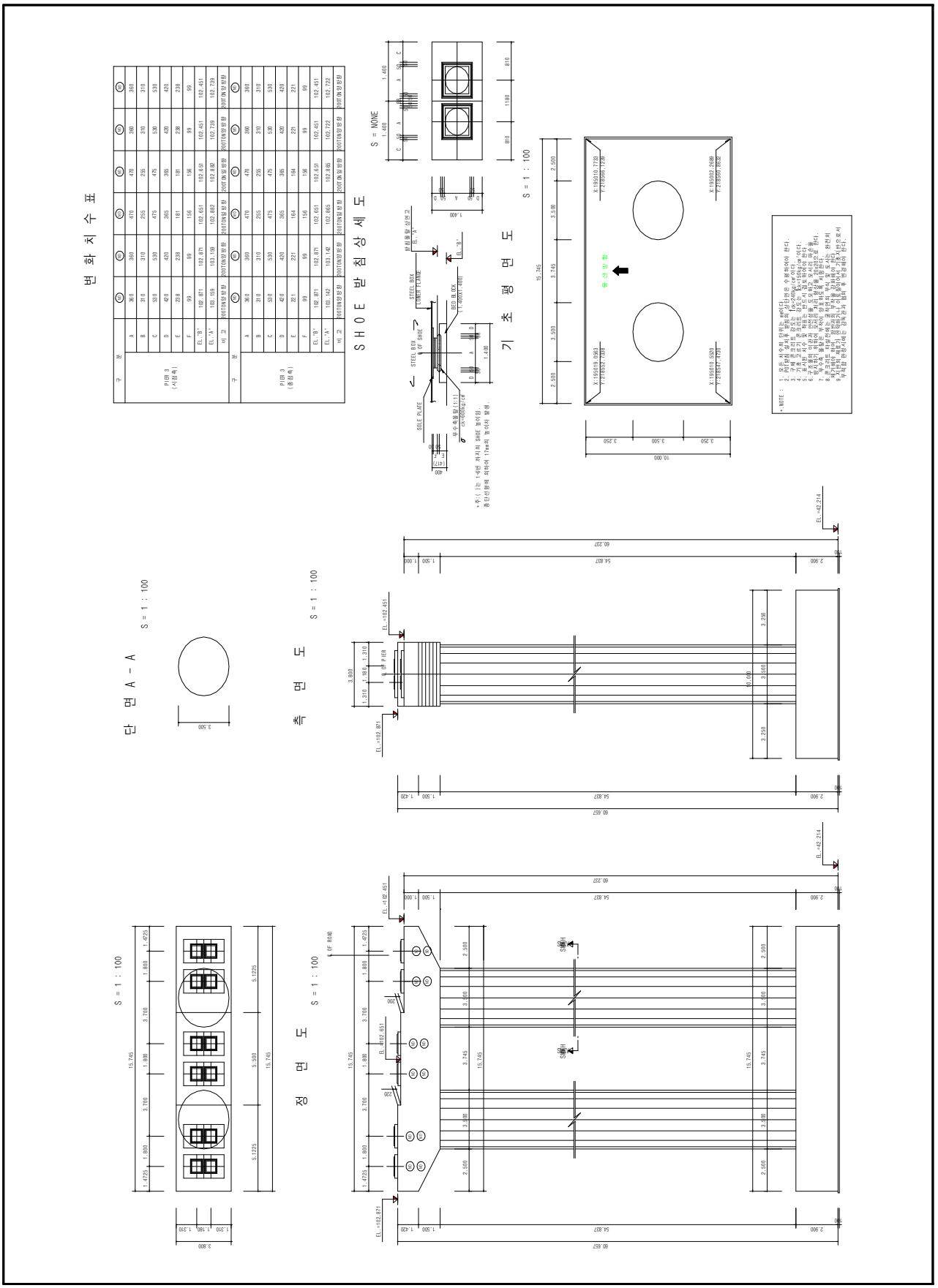
【그림 1.7】교대 A1 일반도(부산)



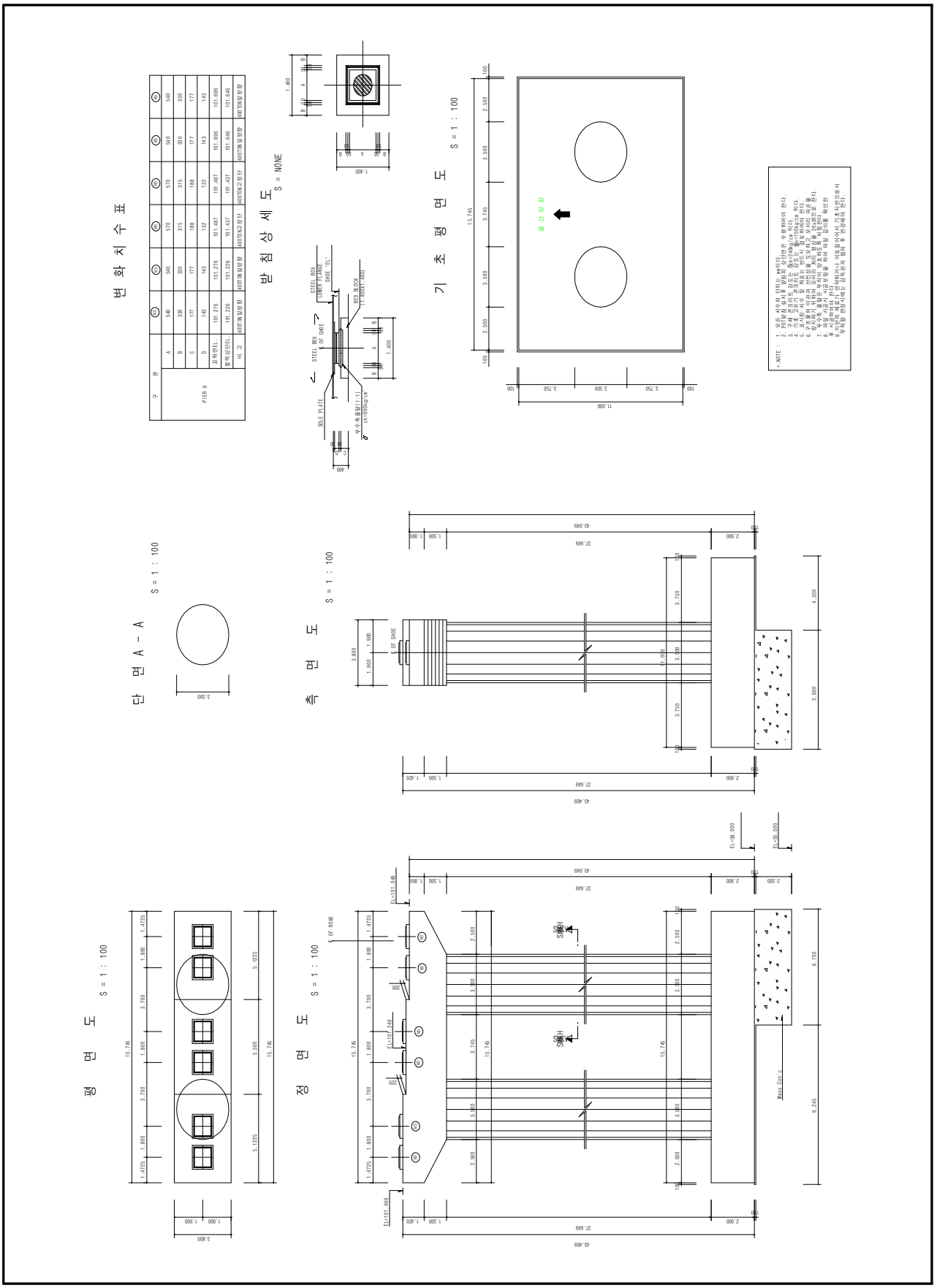
【그림 1.8】교대 A2 일반도(부산)



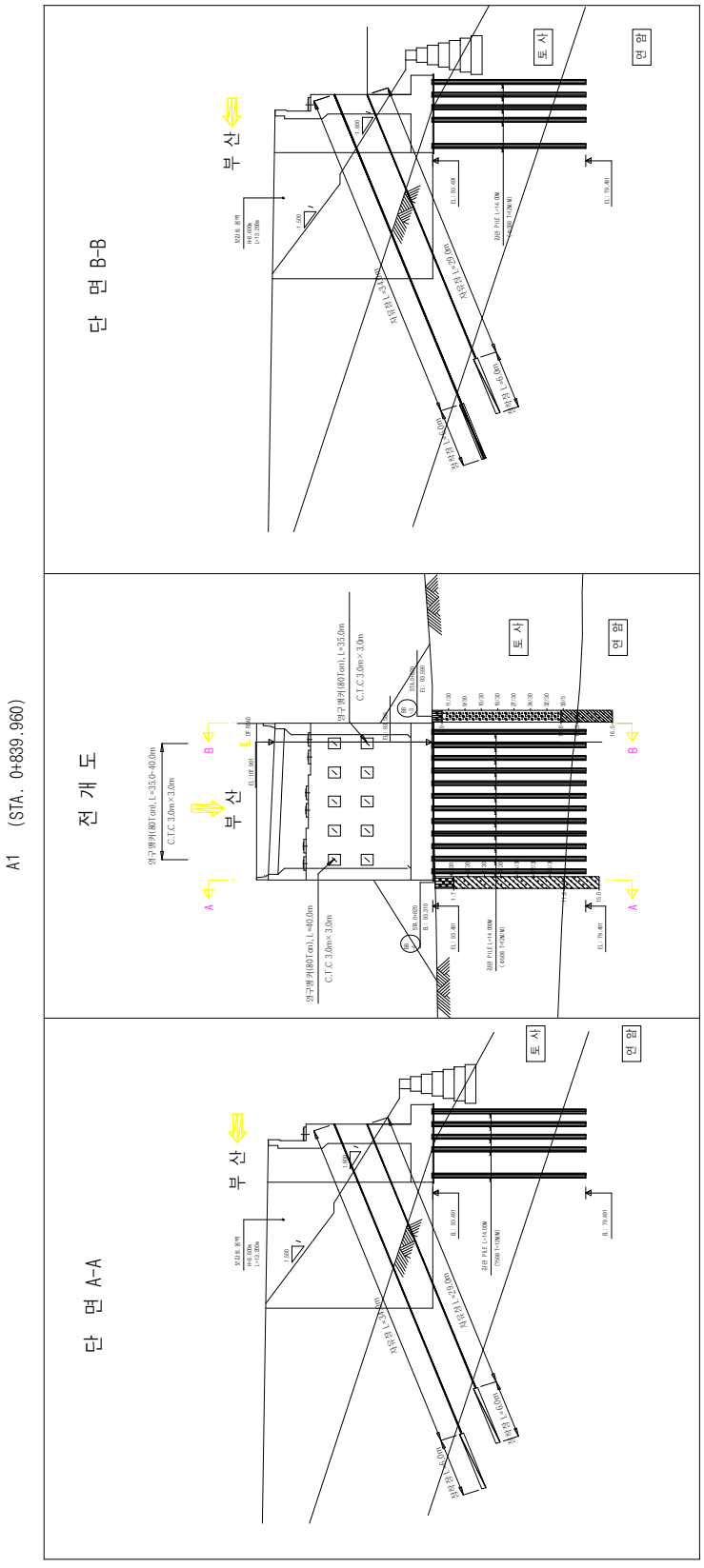
【그림 1.9】 교각 P1 일반도(부산)



【그림 1.10】 교각 P3 일반도(부산)

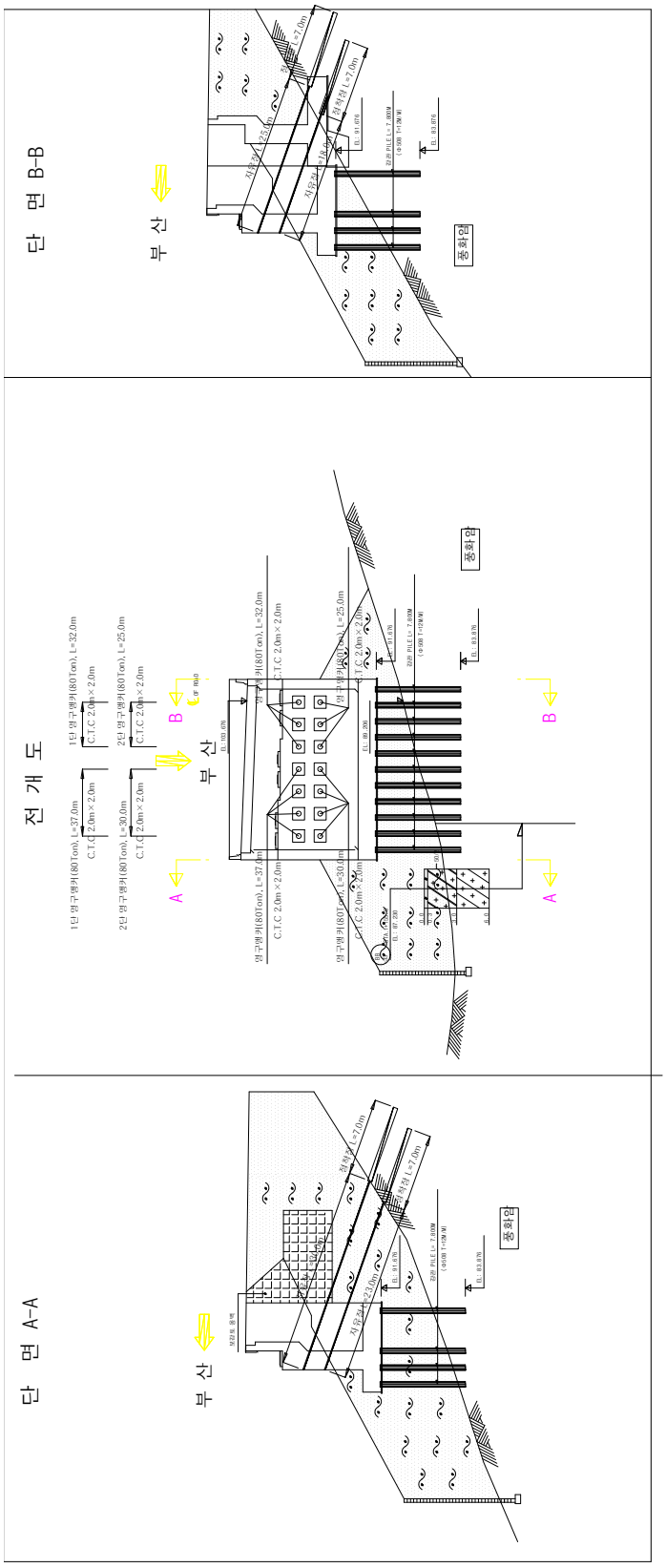


【그림 1.11】 교각 P5 일반도(부산)



구 분	제 원		형 상	비 고
Anchor	C.T.C 3.0mx3.0m,L=40.0m	5 공	○	자유장 : L=34.0m 정착장 : L=6.0m
	C.T.C 3.0mx3.0m,L=35.0m	5 공	○	자유장 : L=29.0m 정착장 : L=6.0m

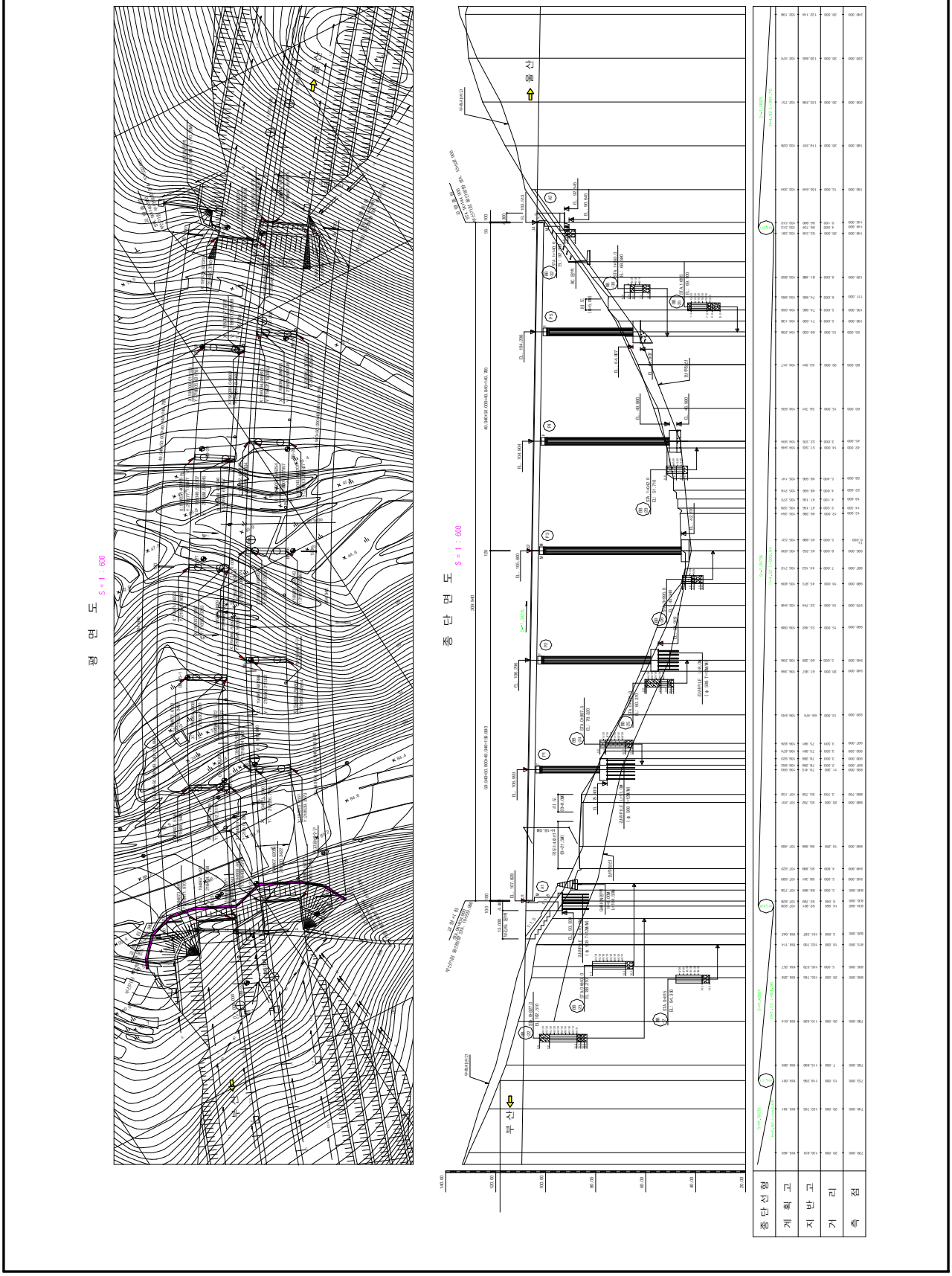
【그림 1.12】 교대 A1 보강도(부산)



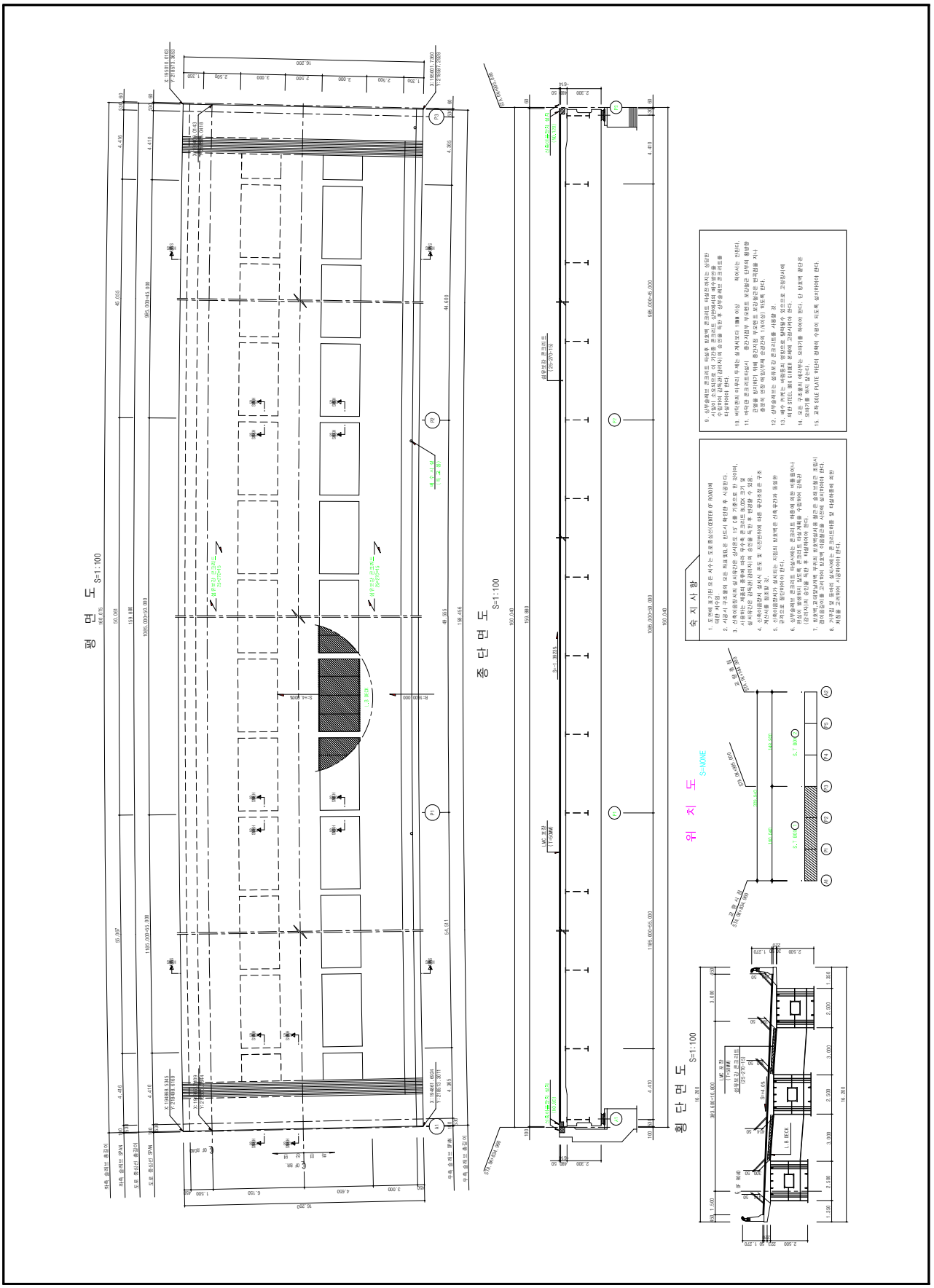
앵커 제원 및 공수

구 분	제 원	공 수	형 상	비 고
Anchor	C.T.C 2.0mx2.0m, L=37.0m(1단)	4 공	○	자유장 : L=30.0m 정착장 : L=7.0m
	C.T.C 2.0mx2.0m, L=30.0m(2단)	4 공	○	자유장 : L=23.0m 정착장 : L=7.0m
	C.T.C 2.0mx2.0m, L=32.0m(1단)	3 공	○	자유장 : L=25.0m 정착장 : L=7.0m
	C.T.C 2.0mx2.0m, L=25.0m(2단)	3 공	○	자유장 : L=18.0m 정착장 : L=7.0m

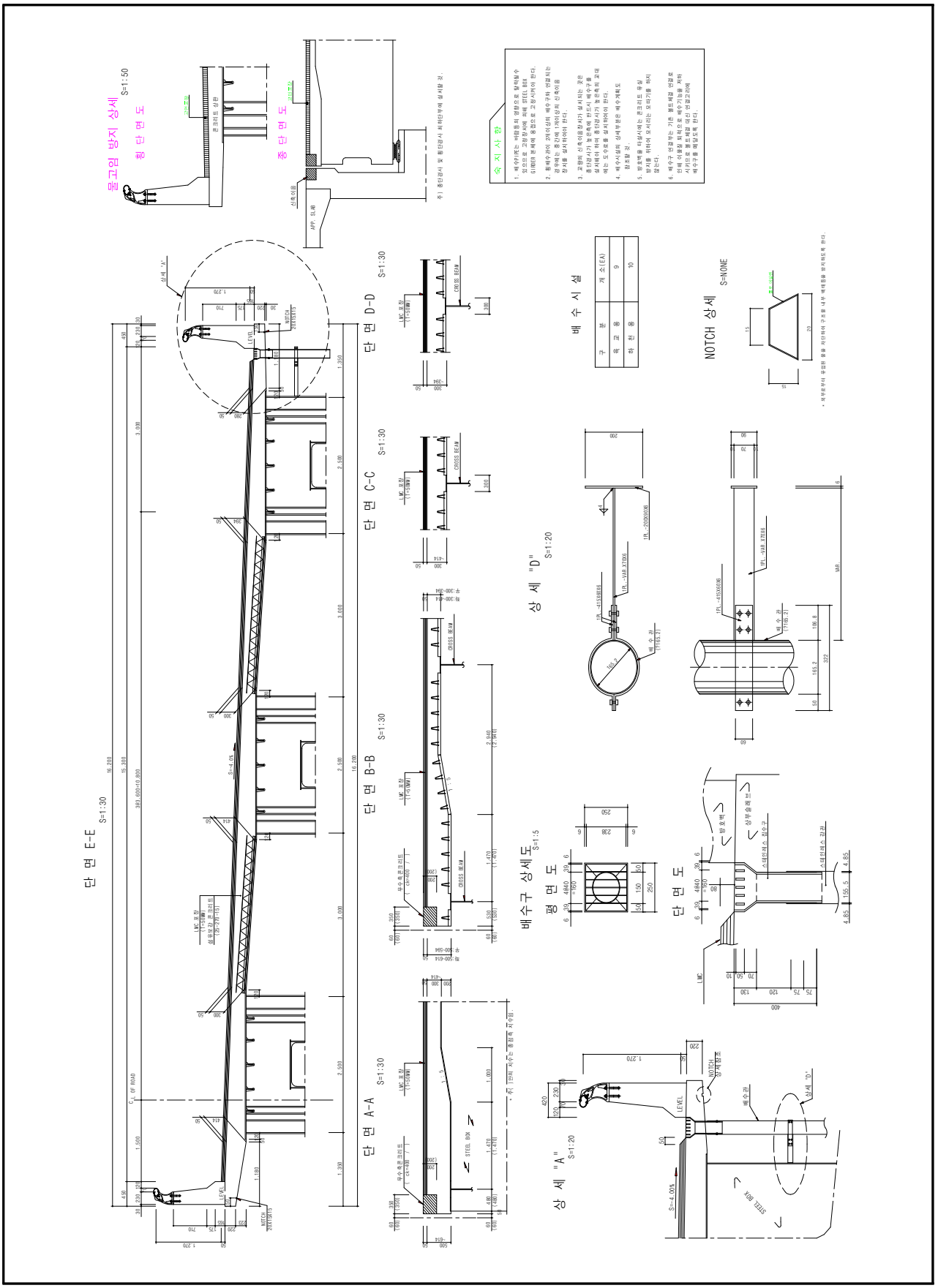
【그림 1.13】 교대 A2 보강도(부산)



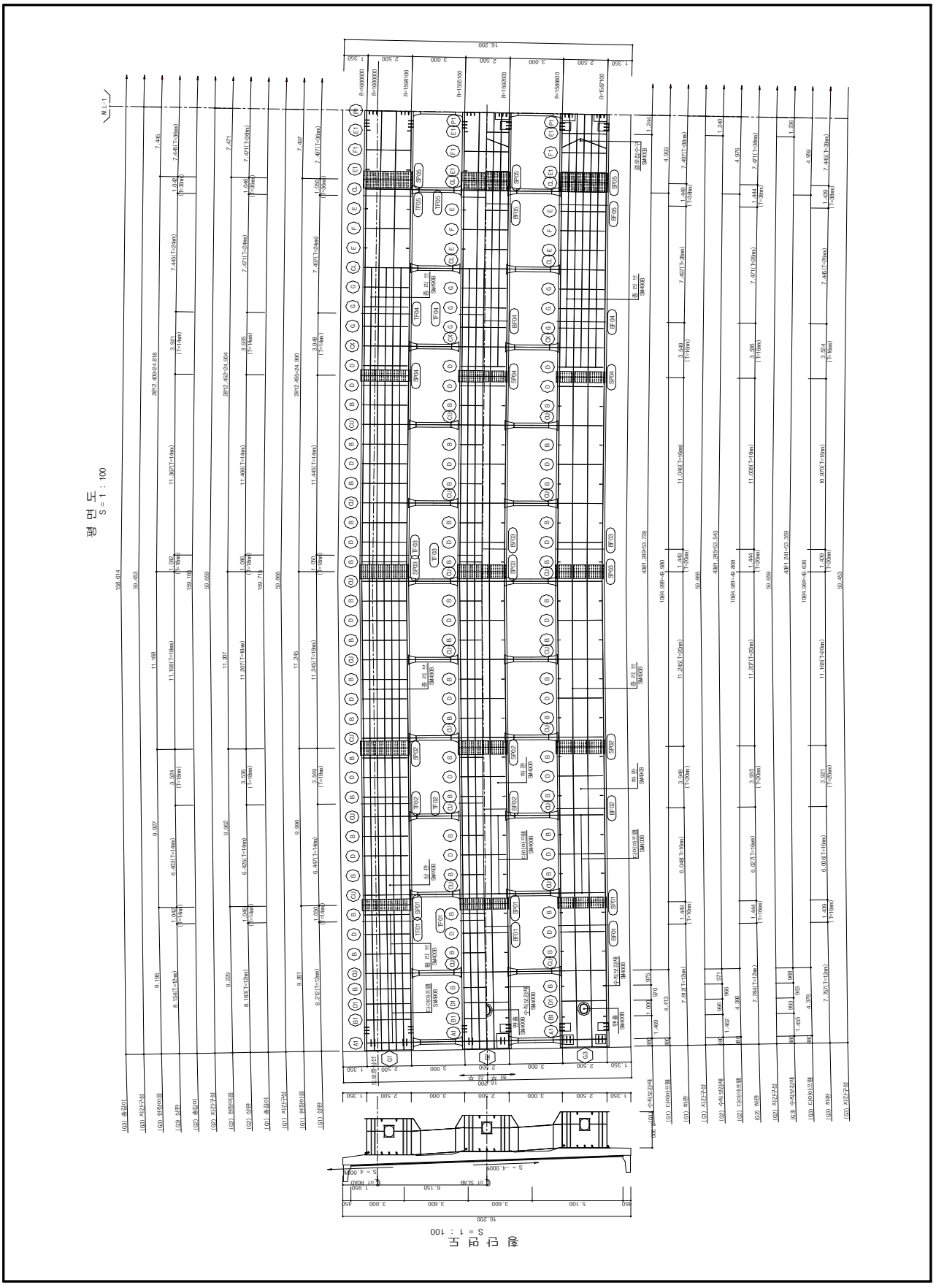
【그림 1.14】 종·평면도(울산)



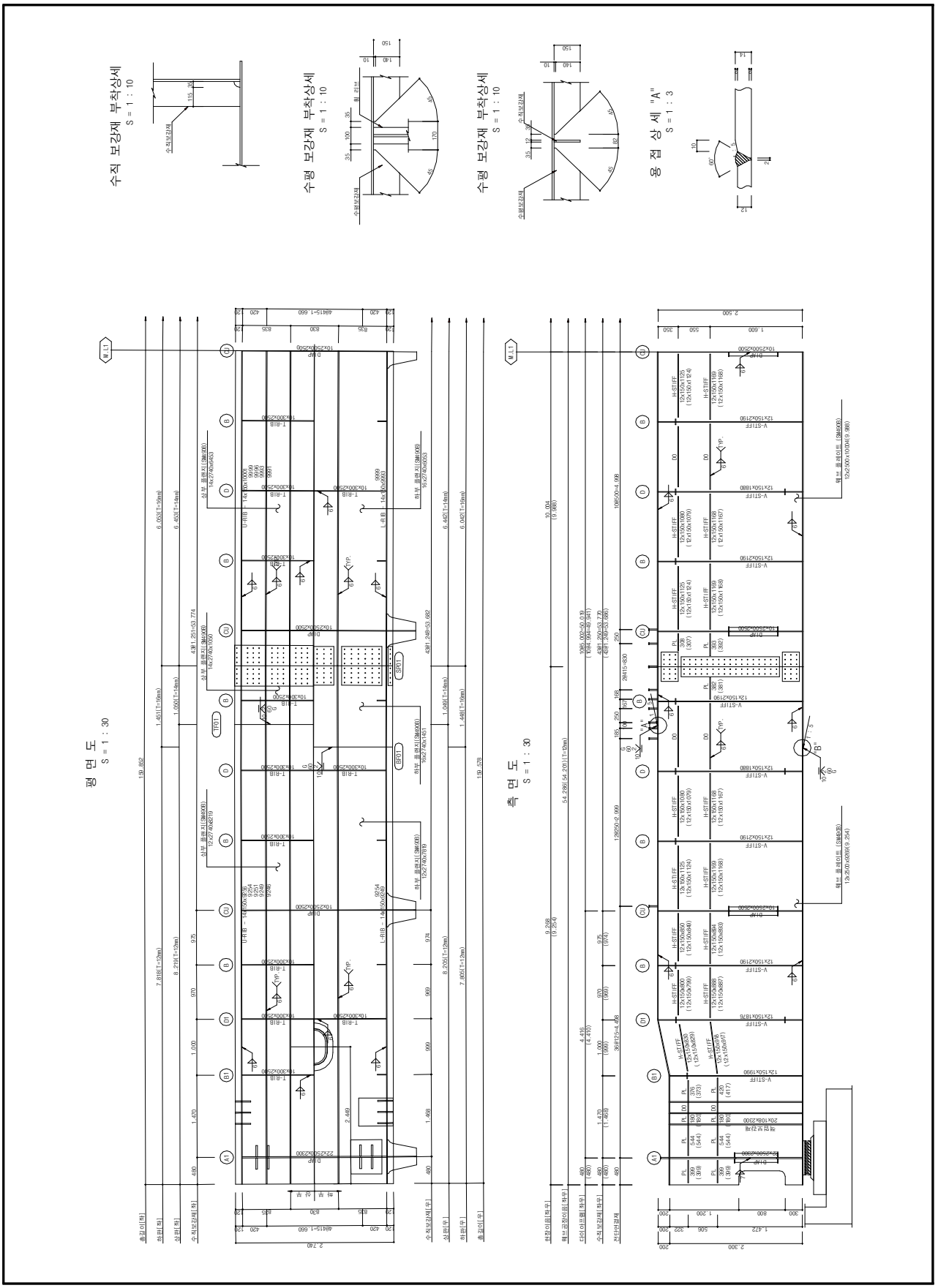
【그림 1.15】 슬래브 일반도(울산) (1)



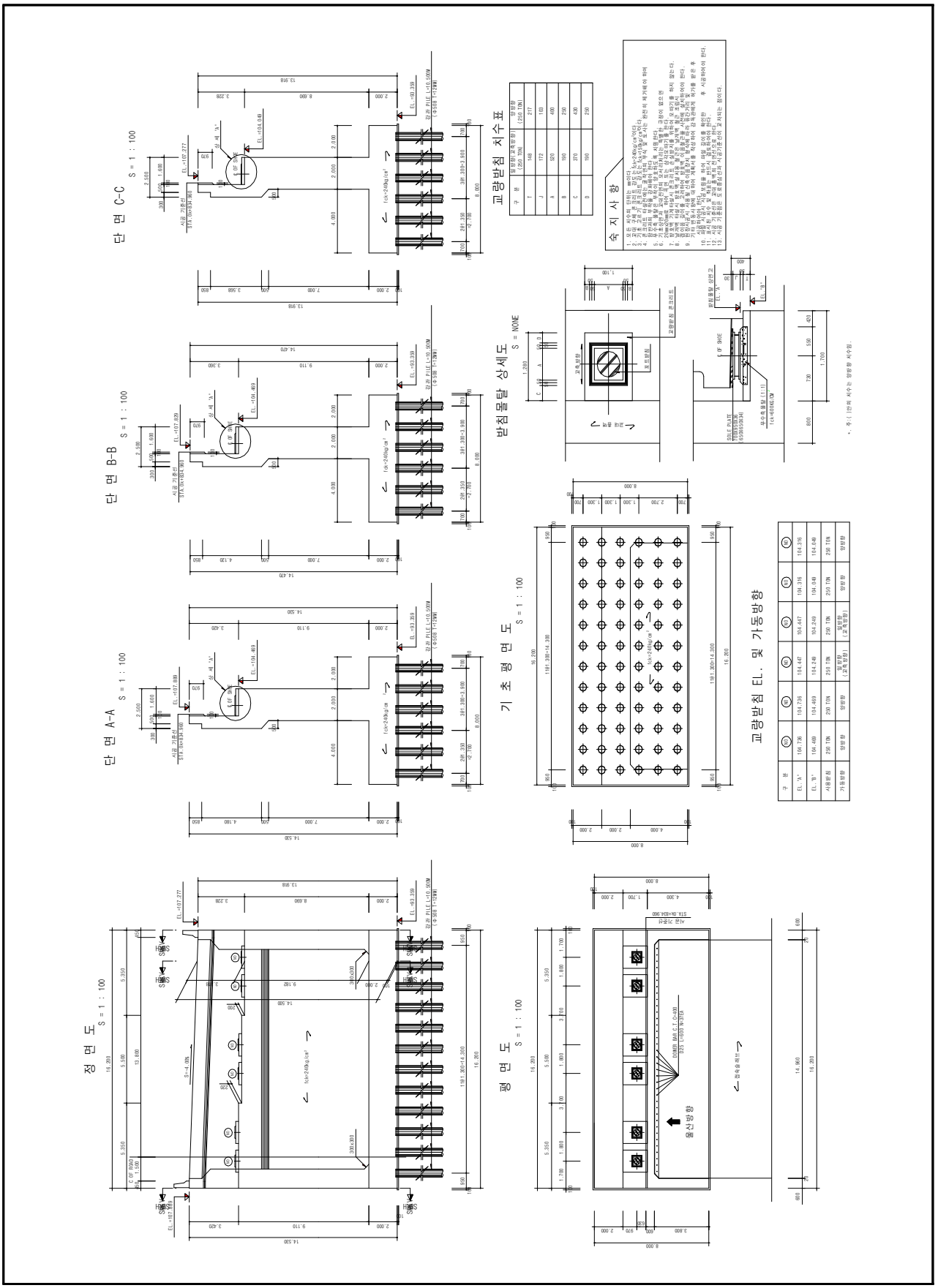
【그림 1.16】 슬래브 일반도(울산) (2)



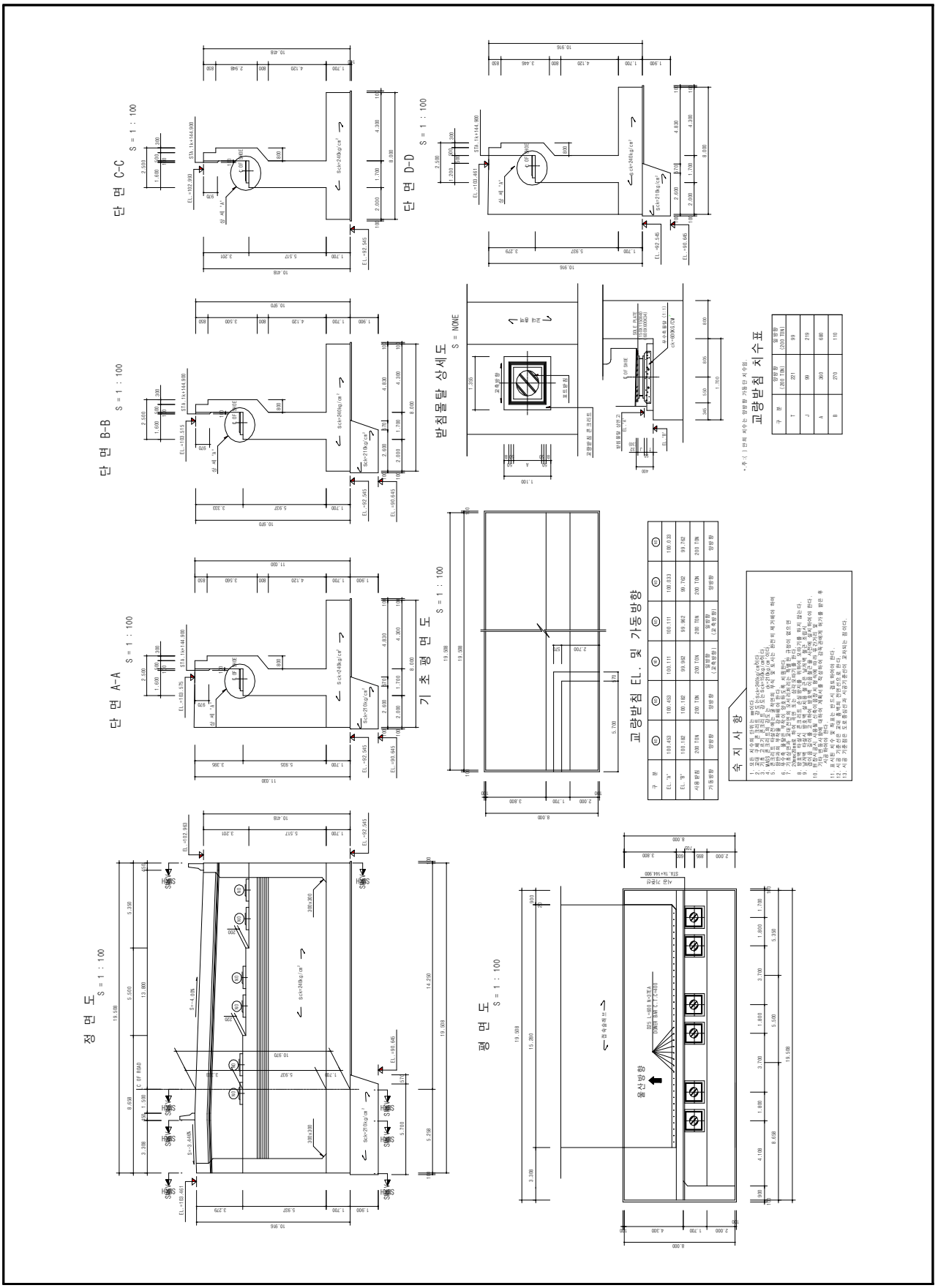
【그림 1.17】 거더 일반도(울산) (1)



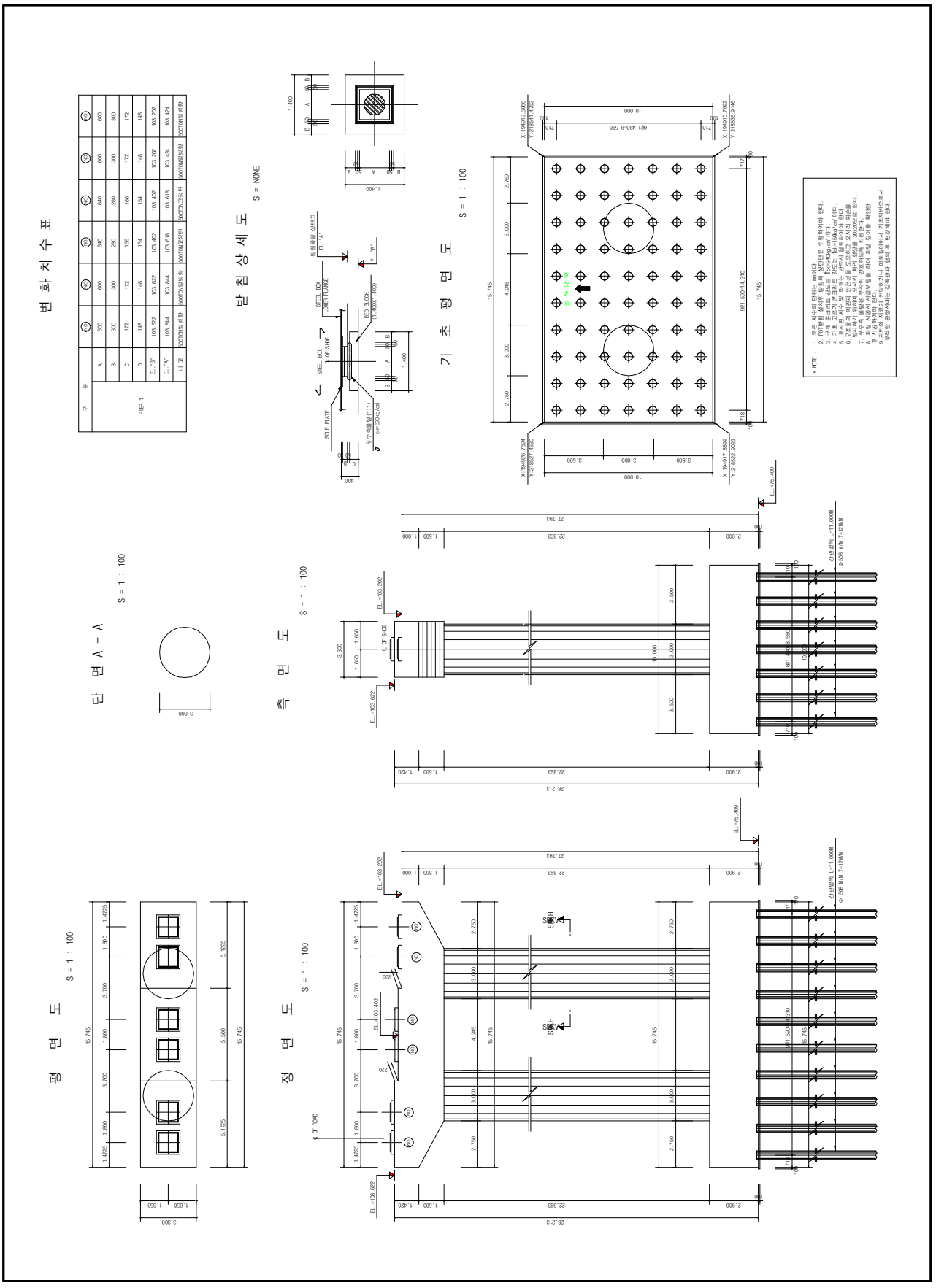
【그림 1.18】 거더 일반도(울산) (2)



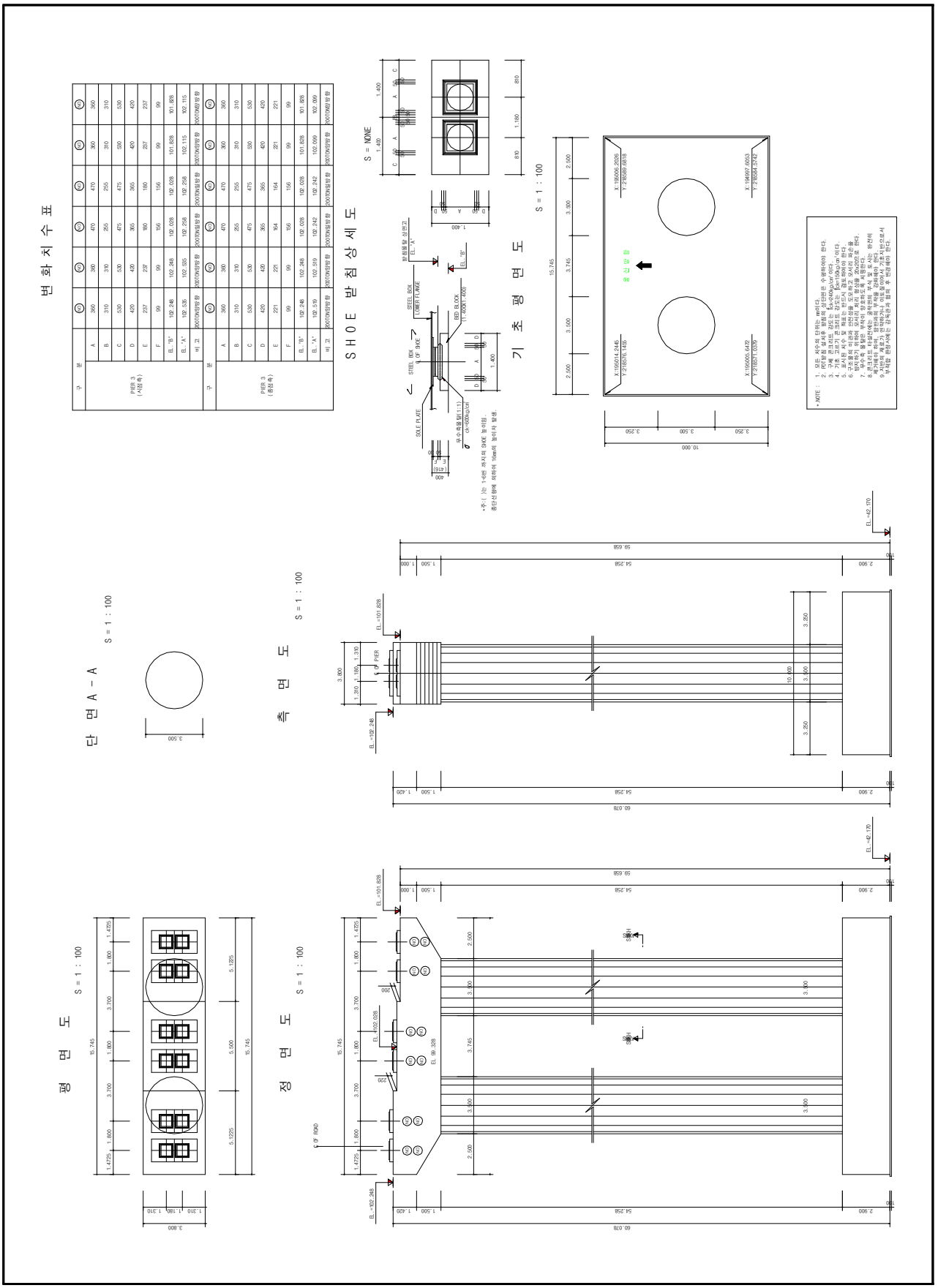
【그림 1.19】 교대 A1 일반도(울산)



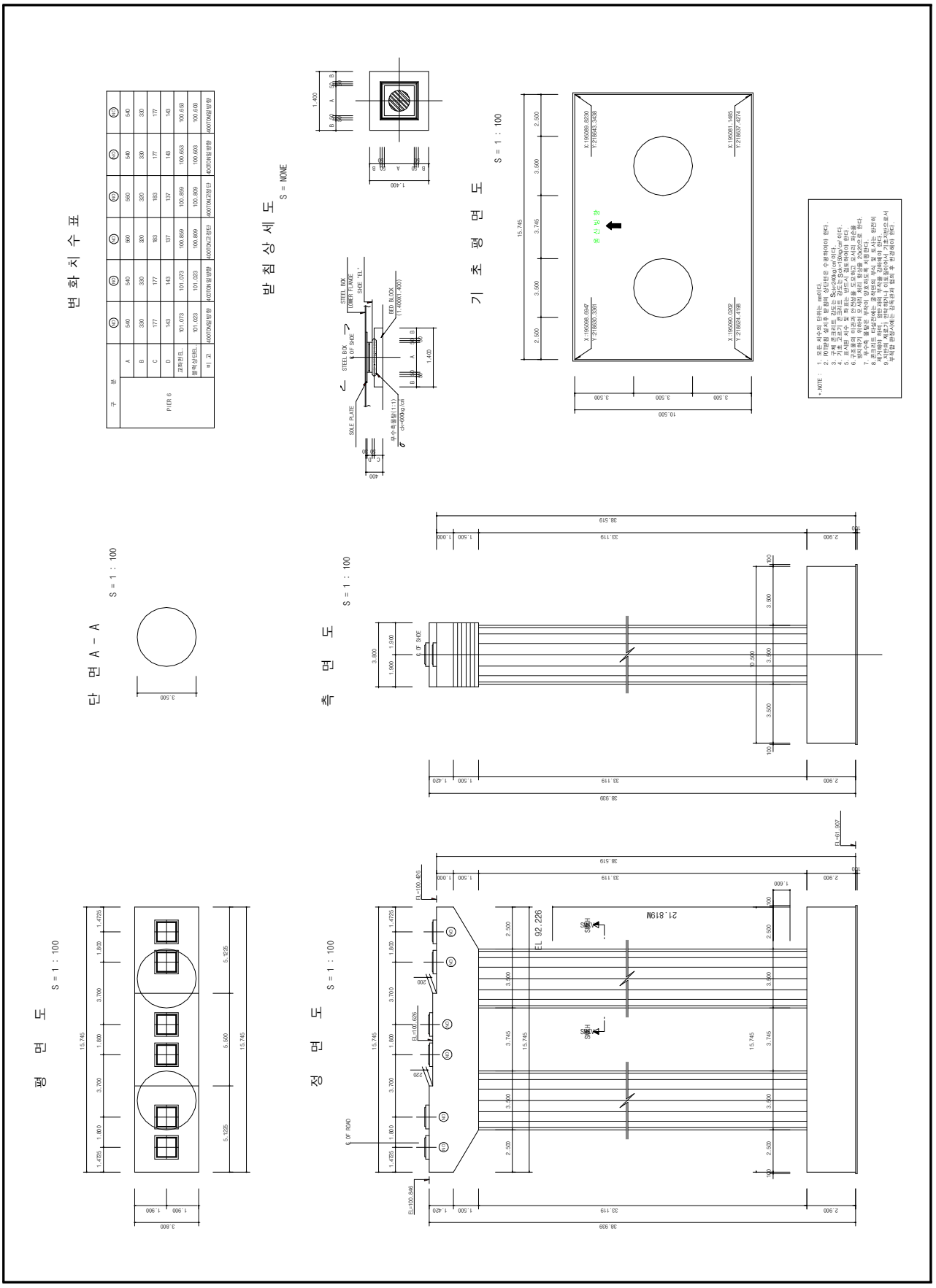
【그림 1.20】교대 A2 일반도(울산)



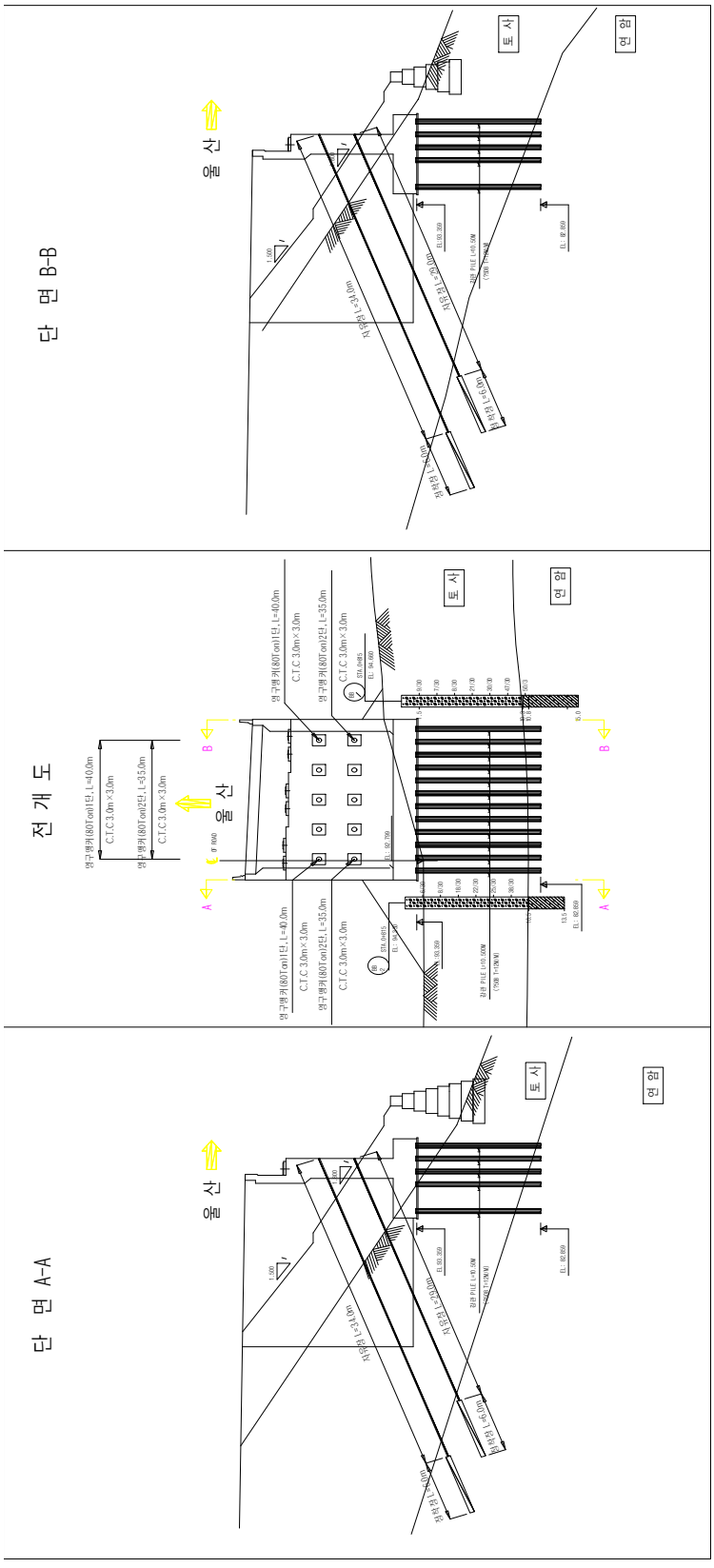
【그림 1.21】 교각 P1 일반도(울산)



【그림 1.22】 교각 P3 일반도(울산)



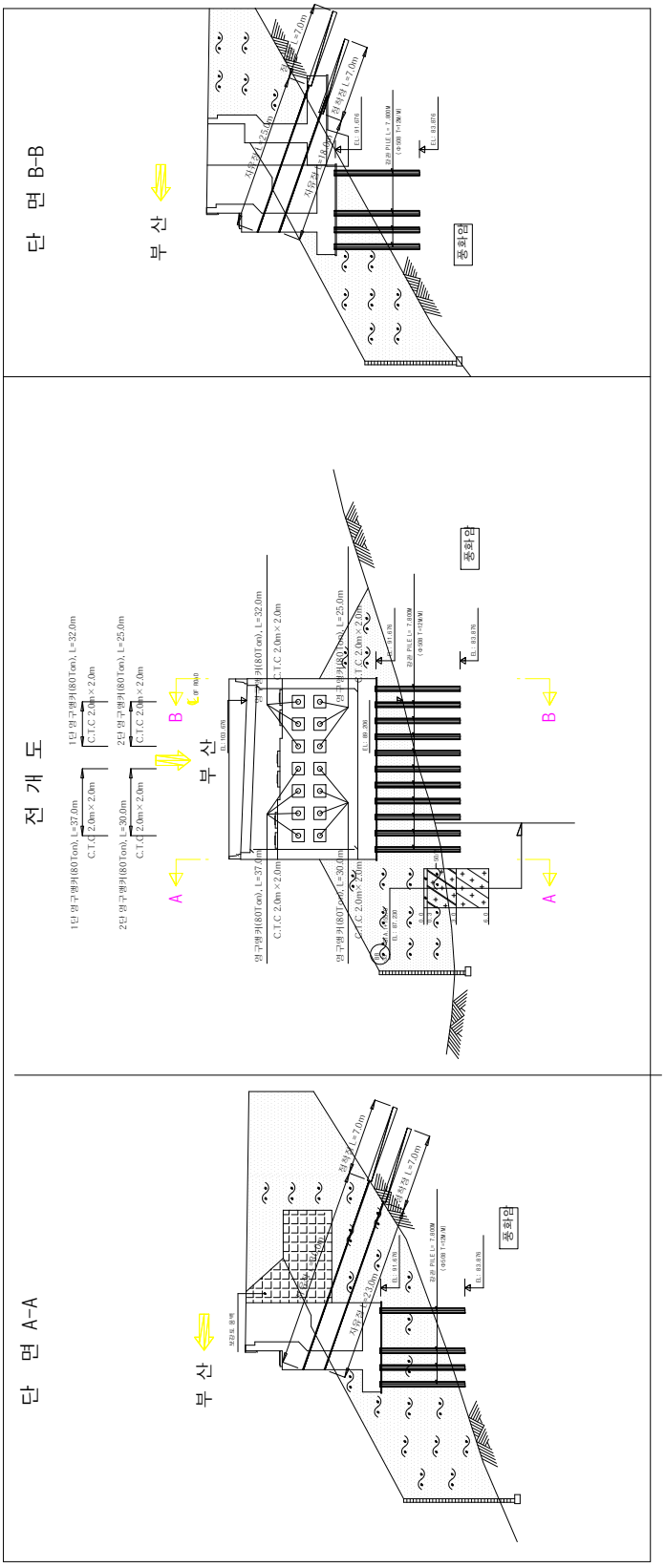
【그림 1.23】 교각 P5 일반도(울산)



앵커 제원 및 공수

구 분	제 원	공 수	형 상	비 고
Anchor	C.T.C 3.0mx3.0m, L=40.0m	5 공	○	자유장 : L=34.0m 정착장 : L=6.0m
	C.T.C 3.0mx3.0m, L=35.0m	5 공	○	자유장 : L=29.0m 정착장 : L=6.0m

【그림 1.24】교대 A1 보강도(울산)



앵커 제원 및 공수

구 분	제 원	공 수	형 상	비 고
Anchor	C.T.C 2.0mx2.0m, L=37.0m(1단)	4 공	○	자유장 : L=30.0m 정착장 : L=7.0m
	C.T.C 2.0mx2.0m, L=30.0m(2단)	4 공	○	자유장 : L=23.0m 정착장 : L=7.0m
	C.T.C 2.0mx2.0m, L=32.0m(1단)	3 공	○	자유장 : L=25.0m 정착장 : L=7.0m
	C.T.C 2.0mx2.0m, L=25.0m(2단)	3 공	○	자유장 : L=18.0m 정착장 : L=7.0m

【그림 1.25】교대 A2 보강도(울산)

1.5 사용장비 및 시험기기의 현황

본 과업을 수행하기 위하여 사용한 주요 진단장비는 다음과 같다.

【표 1.5】주요 사용장비 및 시험기기 일반사항

장 비 명	기 종	모델(규격)	종 류	수 량	용 도
접근장비	고소작업차	3ton, 5ton	1	1	• 교량 점검용(임대)
	교량점검차	-	1	1	• 교량 점검용(임대)
비파괴검사기기 (콘크리트)	철근탐지기	RC-Radar (NJJ-95B)	1	1	• 콘크리트 내부의 철근 크기 및 위치 검사(보유)
	반발경도측정기 (NR형)	NSR	1	1	• 콘크리트 강도 추정(보유)
비파괴검사기기 (강재)	도막두께 측정기	MG-401	1	1	• 도막두께 측정(보유)
계측기기	균열폭 측정기	PEAK	1	1	• 균열폭 측정(보유)
	탄산화측정기기	페놀프탈레인용액	1	1	• 탄산화 진행상태 측정(보유)
		버니어캘리퍼스	1	1	
	염분측정장비	CL-203Z	1	1	• 콘크리트 및 수분의 염화나트륨함유량 측정(보유)
점검기구 및 장비	카메라(하이엔드)	Canon	1	3	• 사진 촬영(보유)
	그라인더	Bosch	1	1	• 콘크리트 등 연마(보유)
	소형랜턴	XM-L2	1	4	• 거더내부 조사(보유)
	사다리	알루미늄(5.0m)	1	1	• 구조물 외관조사(보유)
		알루미늄(2.0m)	1	1	
	줄자	5m, 50m	1	1	• 거리 측정(보유)
	점검망치	Besto	1	1	• 콘크리트 부재 청음조사(보유)
	콘크리트용 드릴	Bosch	1	1	• 콘크리트용 천공(보유)
	발전기	EC-2500C	1	1	• 전력 공급(보유)

【표 1.6】검·교정 성적서 현황

장비명	철근탐사장비(NJJ-95B)

교정성적서
CALIBRATION CERTIFICATE

한국산업기술시험원
경기도 안산시 상록구 해안로 723
TEL : 031-500-0217 FAX : 031-500-0389

성적서 번호 : 23-000845-01-4
Certificate No.
페이지 (1) / (총 2)
Page of Pages

1. 의 뢰 자 (Client)
기 관 명 (Name) : 백양엔지니어링(주)
주 소 (Address) : 서울특별시 송파구 중민로 10, 8층 제8-에스25호 (문정동, 가든파이브톨)
2. 측 정 기 (Calibration Subject)
기 기 명 (Description) : 철근 탐지기 (레이더 방식)
제작회사 및 형식(Manufacturer and Model Name) : JRC / NJJ-95B
기기번호 (Serial Number) : ED74680
3. 교 정 일 자 (Date of Calibration) : 2023년 01월 09일
4. 교 정 환 경 (Environment)
온 도 (Temperature) : (19.8 ± 0.1) ℃ 습 도 (Humidity) : (46 ± 1) % R.H.
교정장소 (Location) : ■ 고정표준실 (KTL Lab) □ 이동교정 (Mobile Lab) □ 현장교정 (On Site Calibration)
(주소 : 경기도 안산시 상록구 해안로 723)
5. 측정표준의 소급성 (Traceability)
교정방법 및 소급성 서술 (Calibration method and/or brief description) :
위의 기기는 표준장치 등의 측정기의 교정방법기준(KHBI-16314-1)에 준하여 국가측정표준기관으로부터 소급성이 유지된 표준기를 사용하여 교정되었음.
교정에 사용한 표준장비 명세 (List of used standards/specifications)

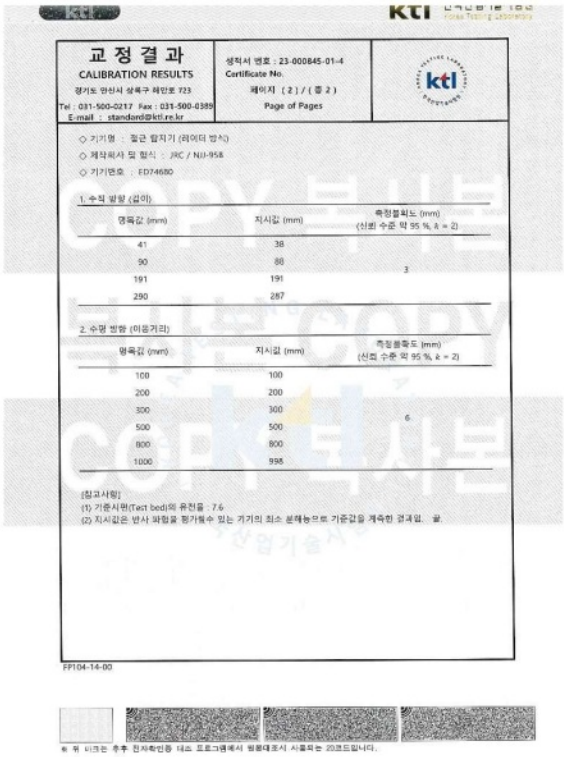
기기명 Description	제작회사 및 형식 Manufacturer and Model	기기번호 Serial Number	차기교정예정일자 Due date	교정기관 Calibration Laboratory
Ultrasonic thickness specimens	KTL / TB400	TB930819	2024. 12. 08	한국산업기술시험원
Ultrasonic thickness specimens	KTL / TB500	TB900218	2024. 12. 08	한국산업기술시험원
Wheel counter tester	KTL / AXIS-2	190800614	2024. 06. 16	한국산업기술시험원

6. 교 정 결 과 (Calibration Results) : 교정결과 참조
7. 측정불확도 (Measurement Uncertainty) : 교정결과 참조

확인 (Affirmation)	작성자 (Measurements performed by)	승인자 (Approved by)
	성 명 (Name) : 오세상	직 위 (Title) : 기술책임자 성 명 (Name) : 황영수

2023년 01월 09일
한국산업기술시험원장
Korea Testing Laboratory

(주) 이 성적서는 측정기의 정밀성확도에 영향을 미치는 프로세서부하, 온도, 습도 등에 급격한 변화가 발생한 경우에는 무효가 됩니다.
FP104-13-00



교 정 결 과
CALIBRATION RESULTS

성적서 번호 : 23-000845-01-4
Certificate No.
페이지 (2) / (총 2)
Page of Pages

◇ 기기명 : 철근 탐지기 (레이더 방식)
◇ 제작회사 및 형식 : JRC / NJJ-95B
◇ 기기번호 : ED74680

1. 수직 방향 (깊이)

명목값 (mm)	지시값 (mm)	측정불확도 (mm) (신뢰 수준 약 95 %, k = 2)
41	38	3
90	88	
191	191	
290	287	

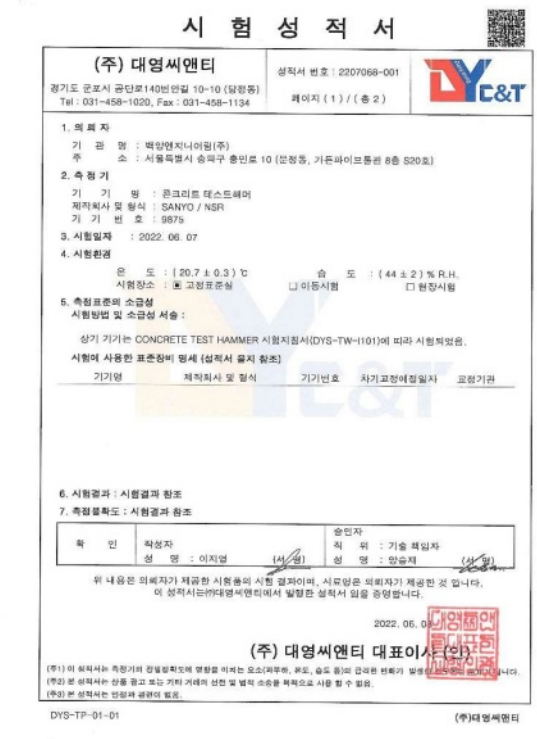
2. 수평 방향 (이음거리)

명목값 (mm)	지시값 (mm)	측정불확도 (mm) (신뢰 수준 약 95 %, k = 2)
100	100	6
200	200	
300	300	
500	500	
800	800	
1000	998	

(참고사항)
(1) 기준시험(Test bed)의 유전율 : 7.6
(2) 지시값은 반사 파형을 평가할 수 있는 기기의 최소 분해능으로 기준값을 계측한 결과임. 끝.

FP104-14-00

장비명	반발경도측정기(NSR)



시 험 성 적 서

(주) 대영씨앤티
경기도 군포시 공단로140번안길 10-10 (당정동)
Tel : 031-458-1020, Fax : 031-458-1134

성적서 번호 : 2207068-001
페이지 (1) / (총 2)

1. 의 뢰 자
기 관 명 : 백양엔지니어링(주)
주 소 : 서울특별시 송파구 중민로 10 (문정동, 가든파이브톨린 8층 S20호)
2. 측 정 기
기 기 명 : 콘크리트 테스트해머
제작회사 및 형식 : SANYO / NSR
기 기 번 호 : 9875
3. 시험일자 : 2022. 06. 07
4. 시험환경
온 도 : (20.7 ± 0.3) ℃ 습 도 : (44 ± 2) % R.H.
시험장소 : ■ 고정표준실 □ 이동시험 □ 현장시험
5. 측정표준의 소급성
시험방법 및 소급성 서술 :
상기 기기는 CONCRETE TEST HAMMER 시험지침서(DYS-TW-I101)에 따라 시험되었음.
시험에 사용한 표준장비 명세 (성적서 끝지 참조)

기기명	제작회사 및 형식	기기번호	차기교정예정일자	교정기관

6. 시험결과 : 시험결과 참조
7. 측정불확도 : 시험결과 참조

확 인	작성자	승인자
	성 명 : 이지엽 (서명)	직 위 : 기술 책임자 성 명 : 양승재 (서명)

위 내용은 의뢰자가 제공한 시험품의 시험 결과이며, 시료명은 의뢰자가 제공한 것 입니다.
이 성적서는(주)대영씨앤티에서 발행한 성적서 임을 증명합니다.

2022. 06. 07
(주) 대영씨앤티 대표이사 (인)

(주1) 이 성적서는 측정기의 정밀성확도에 영향을 미치는 오스(피루하, 온도, 습도 등)의 급격한 변화가 발생한 경우에는 무효가 됩니다.
(주2) 본 성적서는 상품 광고 또는 기타 거래의 선전 및 법적 소송을 목적으로 사용 할 수 없음.
(주3) 본 성적서는 인장과 공관이 없음.

DYS-TP-01-01 (주)대영씨앤티

시 험 결 과

(주) 대영씨앤티
경기도 군포시 공단로140번안길 10-10 (당정동)
Tel : 031-458-1020, Fax : 031-458-1134

성적서 번호 : 2207068-001
페이지 (2) / (총 2)

1. 측정기
1) 기 기 명 : 콘크리트 테스트해머
2) 제작회사 및 형식 : SANYO / NSR
3) 기 기 번 호 : 9875
2. 표준장비 명세

장비명	제작회사 및 형식	기기번호
CONCRETE TEST ANVIL	SANYO / CA	81450

3. 시험결과

< 측정결과 >

(unit : R)

ANVIL 명목값	측정값					평균지시값	분확도
	1회	2회	3회	4회	5회		
80	81	82	82	82	82	82	3.9

끝.

DYS-TP-01-02 (주)대영씨앤티

【표 1.6】검·교정 성적서 현황(계속)

장비명	도막두께측정기(MG-401)

교정성적서
CALIBRATION CERTIFICATE

한국산업기술시험원
경기도 안산시 상록구 해안로 723
TEL : 031-500-0217 FAX : 031-500-0389

성적서 번호 : 23-000845-01-1
Certificate No.
페이지 (1) / (총 2)
Page of Pages

1. 의 뢰 자 (Client)
기 관 명 (Name) : 백양엔지니어링(주)
주 소 (Address) : 서울특별시 송파구 중인로 10, 8층 제8-에스25호 (문정동, 가든파이브몰)
2. 측 정 기 (Calibration Subject)
기 기 명 (Description) : 막두께 측정기
제작회사 및 형식(Manufacturer and Model Name) : ELMETRON / MG-401
기기번호 (Serial Number) : 0677/08
3. 교 정 일 자 (Date of Calibration) : 2023년 01월 05일
4. 교 정 환 경 (Environment)
온 도 (Temperature) : (19.9 ± 0.1) ℃ 습 도 (Humidity) : (51 ± 1) % R.H.
교정장소 (Location) : ■ 고정표준실 (KTL Lab.) □ 이동교정 (Mobile Lab.) □ 현장교정 (On Site Calibration)
(주소 : 경기도 안산시 상록구 해안로 723)
5. 측정표준의 소급성 (Traceability)
교정방법 및 소급성 서술 (Calibration method and/or brief description) :
참조 기기는 세부 측정기의 교정절차서(CP(KTL-1036-1)에 따라 국가측정표준기관으로부터 소급성이 유지된 표준기로 사용하여 교정되었음.
교정에 사용한 표준장비 명세 (List of used standards/specifications)

기기명 Description	제작회사 및 형식 Manufacturer and Model	기기번호 Serial Number	차기교정예정일자 Next Calibration Date	교정기관 Calibration Laboratory
Gauge blocks	Mitutoyo / 0 grade	0603555	2024. 03. 19	한국산업기술시험원
Thickness specimens	Rcenter / (57 ~ 25.996 μm, 15 점)	FK4429	2023. 03. 05	한국산업기술시험원

6. 교 정 결 과 (Calibration Results) : 교정결과 참조
7. 측정불확도 (Measurement Uncertainty) : 교정결과 참조
비고(NOTE)
1. 이 성적서는 시험자가 제출한 시료에 한하며, 별책 및 기타업체에 근거 증빙으로 사용할 경우 시험을 금합니다.
2. 이 성적서는 동일한 조건하에, 업체로 재 기공된 시편 및 전기적특성 등은 측정하지 않습니다.
(참조 : 기기에 장착된 KTL에서 장착한 제조 보안장치를 포함)시에 제공하는 모든 성적서를 의미합니다.)
3. 고객전용홈페이지(customer.ktl.re.kr)에서 이제의 2D바코드를 스캔하여 성적서 원본 확인이 가능합니다.
4. 본 성적서는 KOLAS 인정 시험기관 및 KOLAS 인정과 관련이 없습니다.

확인 (Affirmation)	작성자 (Measurements performed by)	승인자 (Approved by)
	성 명 (Name) : 박한글	직 위 (Title) : 기술책임자 성 명 (Name) : 황영수

본 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야의 교정결과입니다.

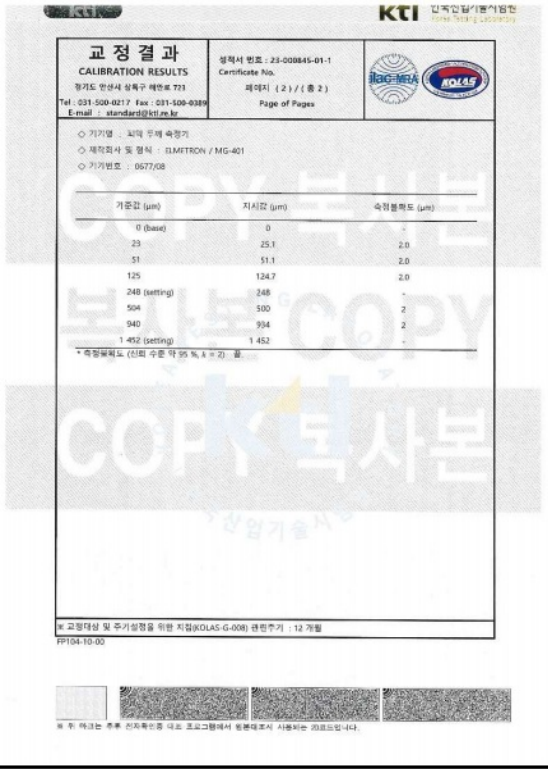
2023년 01월 06일

한국인정기구 인정
Accredited by KOLAS, Republic of KOREA

한국산업기술시험원장
Korea Testing Laboratory

FP104-09-01

※ 위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.



교 정 결 과
CALIBRATION RESULTS

성적서 번호 : 23-000845-01-1
Certificate No.
페이지 (2) / (총 2)
Page of Pages

◇ 기기명 : 막두께 측정기
◇ 제작회사 및 형식 : ELMETRON / MG-401
◇ 기기번호 : 0677/08

기준값 (μm)	지시값 (μm)	측정불확도 (μm)
0 (base)	0	-
23	25.1	2.0
51	51.1	2.0
125	124.7	2.0
248 (setting)	248	-
504	500	2
940	934	2
1 452 (setting)	1 452	-

* 측정불확도 (신뢰 수준 약 95 %, k = 2) 끝.

※ 교정대상 및 주기설정을 위한 지침(KOLAS-G-008) 관련주기 : 12 개월

FP104-10-00

※ 위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

장비명	균열폭측정기(PEAK)

교정성적서
CALIBRATION CERTIFICATE

한국산업기술시험원
경기도 안산시 상록구 해안로 723
TEL : 031-500-0217 FAX : 031-500-0389

성적서 번호 : 22-003700-01-1
Certificate No.
페이지 (1) / (총 2)
Page of Pages

1. 의 뢰 자 (Client)
기 관 명 (Name) : 백양엔지니어링(주)
주 소 (Address) : 서울특별시 송파구 중인로 10, 8층 제8-에스25호 (문정동, 가든파이브몰)
2. 측 정 기 (Calibration Subject)
기 기 명 (Description) : 측미 현미경
제작회사 및 형식(Manufacturer and Model Name) : PEAK / 10× (±15, 1 div.=0.1) mm
기기번호 (Serial Number) : None
3. 교 정 일 자 (Date of Calibration) : 2022년 01월 18일
4. 교 정 환 경 (Environment)
온 도 (Temperature) : (20.0 ± 0.1) ℃ 습 도 (Humidity) : (49 ± 1) % R.H.
교정장소 (Location) : ■ 고정표준실 (KTL Lab.) □ 이동교정 (Mobile Lab.) □ 현장교정 (On Site Calibration)
(주소 : 경기도 안산시 상록구 해안로 723)
5. 측정표준의 소급성 (Traceability)
교정방법 및 소급성 서술 (Calibration method and/or brief description) :
참조 기기는 측미 현미경의 교정절차서(CP(KTL-1057)에 따라 국가측정표준기관으로부터 소급성이 유지된 표준기로 사용하여 교정되었음.
교정에 사용한 표준장비 명세 (List of used standards/specifications)

기기명 Description	제작회사 및 형식 Manufacturer and Model	기기번호 Serial Number	차기교정예정일자 Next Calibration Date	교정기관 Calibration Laboratory
Standard scale	OLYMPUS / (0 ~ 1) mm	035037-1	2023. 11. 24	한국산업기술시험원
Standard scale	Mitutoyo / (0 ~ 80) mm	21538	2023. 09. 03	한국산업기술시험원
Standard scale	Mitutoyo / (0 ~ 50) mm	103418	2023. 03. 26	한국산업기술시험원

6. 교 정 결 과 (Calibration Results) : 교정결과 참조
7. 측정불확도 (Measurement Uncertainty) : 교정결과 참조
비고(NOTE)
1. 이 성적서는 의뢰자가 제공한 시료에 한하며, 별책 및 기타업체에 근거 증빙으로 사용할 경우 시험을 금합니다.
2. 이 성적서는 동일한 조건하에, 업체로 재 기공된 시편 및 전기적특성 등은 측정하지 않습니다.
(참조 : 기기에 장착된 KTL에서 장착한 제조 보안장치를 포함)시에 제공하는 모든 성적서를 의미합니다.)
3. 고객전용홈페이지(customer.ktl.re.kr)에서 이제의 2D바코드를 스캔하여 성적서 원본 확인이 가능합니다.

확인 (Affirmation)	작성자 (Measurements performed by)	승인자 (Approved by)
	성 명 (Name) : 오재상	직 위 (Title) : 기술책임자 성 명 (Name) : 심관진

이 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야의 교정결과입니다.

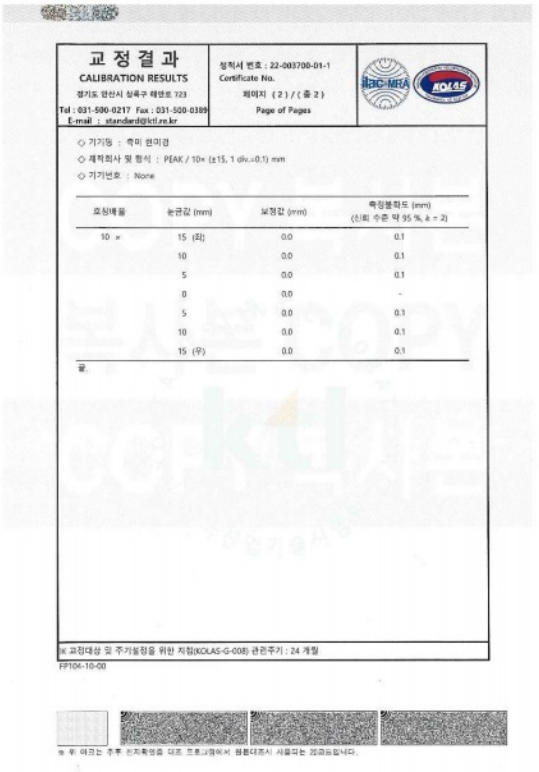
2022년 01월 19일

한국인정기구 인정
Accredited by KOLAS, Republic of KOREA

한국산업기술시험원장
Korea Testing Laboratory

FP104-09-00

※ 위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.



교 정 결 과
CALIBRATION RESULTS

성적서 번호 : 22-003700-01-1
Certificate No.
페이지 (2) / (총 2)
Page of Pages

◇ 기기명 : 측미 현미경
◇ 제작회사 및 형식 : PEAK / 10× (±15, 1 div.=0.1) mm
◇ 기기번호 : None

조정배율	눈금값 (mm)	보정값 (mm)	측정불확도 (mm) (신뢰 수준 약 95 %, k = 2)
10 ×	15 (좌)	0.0	0.1
	10	0.0	0.1
	5	0.0	0.1
	0	0.0	-
	5	0.0	0.1
	10	0.0	0.1
	15 (우)	0.0	0.1

끝.

※ 교정대상 및 주기설정을 위한 지침(KOLAS-G-008) 관련주기 : 24 개월

FP104-10-00

※ 위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

【표 1.6】검·교정 성적서 현황(계속)

장비명	염분측정장비(CL-203Z)

교정성적서
CALIBRATION CERTIFICATE

한국산업기술시험원
경기도 안산시 상록구 해안로 723
TEL : 031-500-0217 FAX : 031-500-0389

성적서 번호 : 22-072325-01-1
Certificate No.
페이지 (1) / (총 2)
Page of Pages

1. 의 뢰 자 (Client)
기 관 명 (Name) : 백암엔지니어링(주)
주 소 (Address) : 서울특별시 송파구 중민로 10, 8층 제8-에스25호 (문정동, 가든파이브툴)
2. 측 정 기 (Calibration Subject)
기 기 명 (Description) : 염화물 측정기
제작회사 및 형식(Manufacturer and Model Name) : KRK / CL-203Z
기기번호 (Serial Number) : 9412
3. 교 정 일 자 (Date of Calibration) : 2022년 11월 18일
4. 교 정 환 경 (Environment)
온 도 (Temperature) : (20.2 ± 0.3)℃ 습 도 (Humidity) : (45 ± 3) % R.H.
교정장소 (Location) : ■ 고정표준실 (KTL Lab.) □ 이동교정 (Mobile Lab.) □ 현장교정 (On Site Calibration)
(주소 : 경기도 안산시 상록구 해안로 723)
5. 측정표준의 소급성 (Traceability)
교정방법 및 소급성 서술 (Calibration method and/or brief description) :
한미 기기는 염화물측정기로 교정업무기준(FP801 20707 기)에 따라 국가측정표준기관으로부터 소급성이 유지된 표준기를 사용하여 교정 되었음.
교정에 사용한 표준장비 명세 (List of used standards/specifications)

기기명 Description	제작회사 및 형식 Manufacturer and Model	기기번호 Serial Number	차기교정예정일자 Next Calibration Date	교정기관 Calibration Laboratory
Sodium chloride	KRISS / 104-02-001	200120-08	2023. 05. 11	한국표준과학연구원
Density meter	Anton Paar / DMA 5000 M	82972912	2023. 07. 15	Anton Paar
Electric Balance	Mettler / AX504	1122212061	2024. 05. 25	한국산업기술시험원

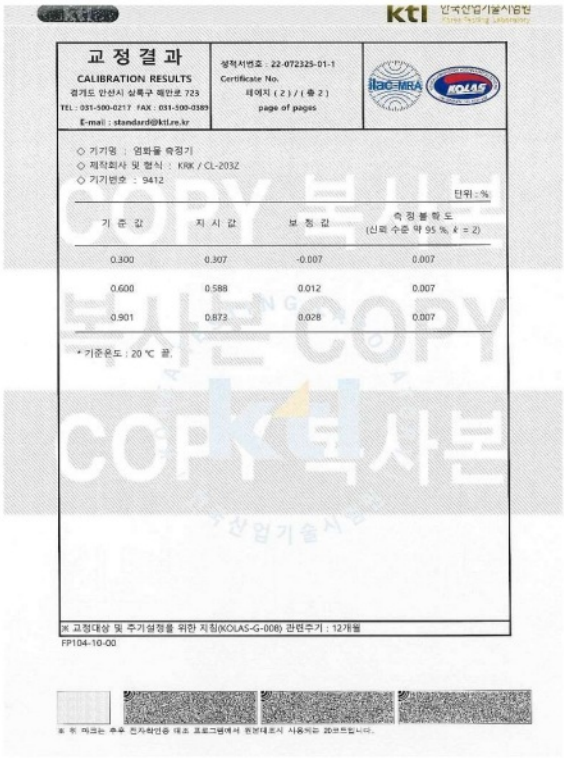
6. 교 정 결 과 (Calibration Results) : 교정결과 참조.
7. 측정불확도 (Measurement Uncertainty) : 교정결과 참조.

확인 (Affirmation)
작성자 (Measurements performed by) 직 위 (Title) : 기술책임자 성 명 (Name) : 강지혜
승인자 (Approved by) 직 위 (Title) : 성 명 (Name) : 박준일

2022년 11월 21일

한국인정기구 인정 Accredited by KOLAS, Republic of KOREA
한국산업기술시험원장 Korea Testing Laboratory

FP104-09-01



교 정 결 과
CALIBRATION RESULTS
경기도 안산시 상록구 해안로 723
TEL : 031-500-0217 FAX : 031-500-0389
E-mail : standard@ktl.re.kr

성적서번호 : 22-072325-01-1
Certificate No.
페이지 (2) / (총 2)
page of pages

◇ 기기명 : 염화물 측정기
◇ 제작회사 및 형식 : KRK / CL-203Z
◇ 기기번호 : 9412

단위 : %

기 준 값	지 시 값	보 정 값	측정불확도 (신뢰 수준 약 95 %, k = 2)
0.300	0.307	-0.007	0.007
0.600	0.588	0.012	0.007
0.901	0.873	0.028	0.007

* 기준온도 : 20 ℃ 끝.

※ 교정대상 및 주기설정을 위한 지침(KOLAS-G-008) 관련주기 : 12개월

FP104-10-00

장비명	진동측정기(MICROMATE)

교정성적서
CALIBRATION CERTIFICATE

한국산업기술시험원
경기도 안산시 상록구 해안로 723
TEL : 031-500-0217 FAX : 031-500-0389

성적서 번호 : 22-048344-01-1
Certificate No.
페이지 (1) / (총 2)
Page of Pages

1. 의 뢰 자 (Client)
기 관 명 (Name) : 백암엔지니어링(주)
주 소 (Address) : 서울특별시 송파구 중민로 10, 8층 제8-에스25호 (문정동, 가든파이브툴)
2. 측 정 기 (Calibration Subject)
기 기 명 (Description) : 진동 측정기
제작회사 및 형식(Manufacturer and Model Name) : INSTANTEL / MICROMATE
기기번호 (Serial Number) : UM14802
3. 교 정 일 자 (Date of Calibration) : 2022년 08월 05일
4. 교 정 환 경 (Environment)
온 도 (Temperature) : (22.6 ± 0.1)℃ 습 도 (Humidity) : (53 ± 1) % R.H.
교정장소 (Location) : ■ 고정표준실 (KTL Lab.) □ 이동교정 (Mobile Lab.) □ 현장교정 (On Site Calibration)
(주소 : 경기도 안산시 상록구 해안로 723)
5. 측정표준의 소급성 (Traceability)
교정방법 및 소급성 서술 (Calibration method and/or brief description) :
한미 기기는 진동 측정기의 교정업무기준(CP801-60009-1)에 따라 국가측정표준기관으로부터 소급성이 유지된 표준기를 사용하여 교정되 었음.
교정에 사용한 표준장비 명세 (List of used standards/specifications)

기기명 Description	제작회사 및 형식 Manufacturer and Model	기기번호 Serial Number	차기교정예정일자 Next Calibration Date	교정기관 Calibration Laboratory
Optical encoder	RENISHAW / T1000-1SA	94X148	2024. 07. 18	한국산업기술시험원
Data acquisition card	NI / PCI-4461	1757695	2023. 06. 15	한국산업기술시험원
Digital Multimeter	Agilent / 34410A	MY47000688	2023. 08. 05	한국산업기술시험원

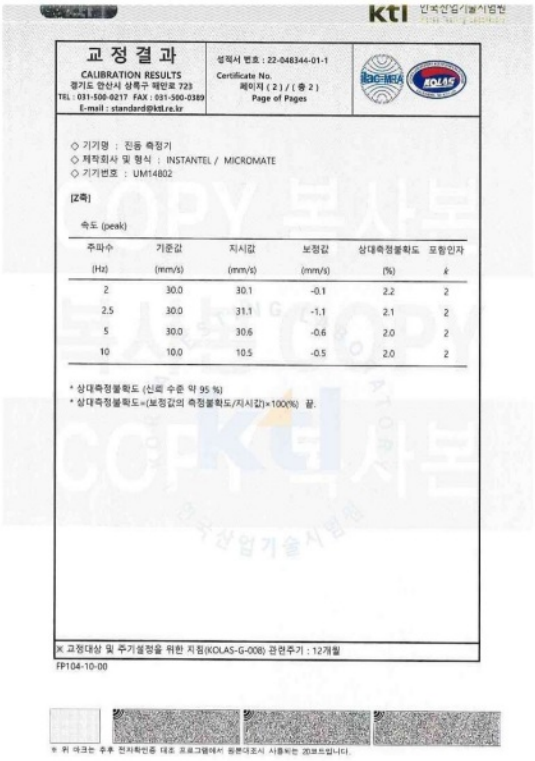
6. 교 정 결 과 (Calibration Results) : 교정결과 참조.
7. 측정불확도 (Measurement Uncertainty) : 교정결과 참조.

확인 (Affirmation)
작성자 (Measurements performed by) 성 명 (Name) : 유해민
승인자 (Approved by) 직 위 (Title) : 기술책임자 성 명 (Name) : 문재덕

2022년 08월 08일

한국인정기구 인정 Accredited by KOLAS, Republic of KOREA
한국산업기술시험원장 Korea Testing Laboratory

FP104-09-00



교 정 결 과
CALIBRATION RESULTS
경기도 안산시 상록구 해안로 723
TEL : 031-500-0217 FAX : 031-500-0389
E-mail : standard@ktl.re.kr

성적서 번호 : 22-048344-01-1
Certificate No.
페이지 (2) / (총 2)
Page of Pages

◇ 기기명 : 진동 측정기
◇ 제작회사 및 형식 : INSTANTEL / MICROMATE
◇ 기기번호 : UM14802

[Z축]

속도 (peak)

주파수 (Hz)	기준값 (mm/s)	지시값 (mm/s)	보정값 (mm/s)	상대측정불확도 (%)	포함인자 k
2	30.0	30.1	-0.1	2.2	2
2.5	30.0	31.1	-1.1	2.1	2
5	30.0	30.6	-0.6	2.0	2
10	10.0	10.5	-0.5	2.0	2

* 상대측정불확도 (신뢰 수준 약 95 %)
* 상대측정불확도=(보정값의 측정불확도/지시값)×100(%) 끝.

※ 교정대상 및 주기설정을 위한 지침(KOLAS-G-008) 관련주기 : 12개월

FP104-10-00

【표 1.6】검·교정 성적서 현황(계속)

장비명	초음파 측정기(Ultracom-170)

교정성적서
CALIBRATION CERTIFICATE

한국산업기술시험원
경기도 안산시 상록구 제안로 723
TEL : 031-500-0217 FAX : 031-500-0389

성적서 번호 : 23-005941-01-1
Certificate No.
페이지 (1) / (총 2)
Page of Pages

1. 의 뢰 자 (Client)
기 관 명 (Name) : 백암엔지니어링(주)
주 소 (Address) : 서울특별시 송파구 중민로 10, 8층 제B-에스25호 (문정동, 가든파이브톨)
2. 측 정 기 (Calibration Subject)
기 기 명 (Description) : 콘크리트용 초음파 측정기
제작회사 및 형식(Manufacturer and Model Name) : mkcndt / Ultracom-170
기기번호 (Serial Number) : 1214
3. 교 정 일 자 (Date of Calibration) : 2023년 02월 03일
4. 교 정 환 경 (Environment)
온 도 (Temperature) : (20.0 ± 0.1) ℃ 습 도 (Humidity) : (49 ± 1) % R.H.
교정장소 (Location) : ▣ 교정표준실 (KTL Lab) □ 이동교정 (Mobile Lab.) □ 현장교정 (On Site Calibration)
(주소 : 경기도 안산시 상록구 제안로 723)
5. 측정표준의 소급성 (Traceability)
교정방법 및 소급성 서술 (Calibration method and/or brief description) :
측정 기기는 초음파속도 두께 측정기로 교정절차기준(KNDT-1025-A)에 준하여 국가측정표준기관으로부터 소급성이 유지된 표준기를 사용하여 교정하였음.
교정에 사용한 표준장비 명세 (List of used standards/specifications)

기기명 Description	제작회사 및 형식 Manufacturer and Model	기기번호 Serial Number	차기교정예정일자 Next Calibration Date	교정기관 Calibration Laboratory
Ultrasonic thickness specimens	KTL / (50 ~ 300) mm	UTC900218	2023. 03. 30	한국산업기술시험원

6. 교 정 결 과 (Calibration results) : 교정결과 참조
7. 측정불확도 (Measurement uncertainty) : 교정성과 참조
비고(NOTE)
1. 이 성적서는 계량법 시행에 관하여, 법적 및 기술상의 근거 등으로의 사용을 금합니다.
2. 이 성적서는 임의로 유효하며, 별도의 제 기준일 시설 및 인자인자는 등을 요일하지 않습니다.
(환경 이상 KTL에서 정해진 범위에 따라 보안성을 조절시켜 제공하는 모든 성적서로 해당합니다.)
3. 고객만족설계서(customercld.suki)에서 이메일 20부터고도를 소정하여 성적서 정보 확인이 가능합니다.
4. 본 실적서는 KS Q ISO/IEC 17025 표준 및 KOLAS 방법에 관련이 없습니다.

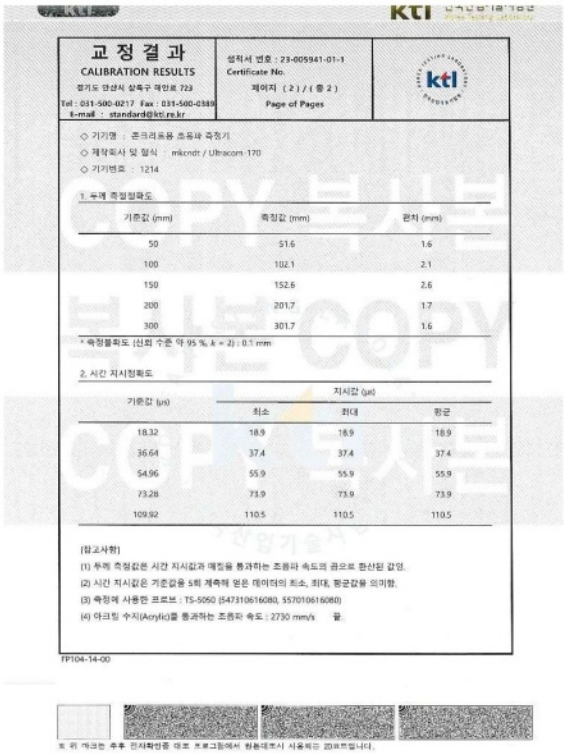
확인 (Affirmation)	작성자 (Measurements performed by)	승인자 (Approved by)
	성 명 (Name) : 오세상	직 위 (Title) : 기술책임자 성 명 (Name) : 황영수

2023년 02월 03일

한국산업기술시험원장
Korea Testing Laboratory

(주) 이 성적서는 측정기의 정밀성확도에 영향을 미치는 요소(온도계, 습도, 습도 등)의 급격한 변화가 발생한 경우에는 무효가 됩니다.
FP104-13-00

※ 위 마크는 추후 전자확인을 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 코드입니다.



교 정 결 과
CALIBRATION RESULTS

경기도 안산시 상록구 제안로 723
Tel : 031-500-0217 Fax : 031-500-0389
E-mail : standard@ktl.re.kr

성적서 번호 : 23-005941-01-1
Certificate No.
페이지 (2) / (총 2)
Page of Pages

◇ 기기명 : 콘크리트용 초음파 측정기
◇ 제작회사 및 형식 : mkcndt / Ultracom-170
◇ 기기번호 : 1214

1. 두께 측정정확도

기준값 (mm)	측정값 (mm)	편차 (mm)
50	51.6	1.6
100	102.1	2.1
150	152.6	2.6
200	201.7	1.7
300	301.7	1.6

* 측정불확도 (신뢰 수준 약 95 %, k = 2) : 0.1 mm

2. 시간 지시정확도

기준값 (μs)	지시값 (μs) 최소	최대	평균
18.32	18.9	18.9	18.9
36.64	37.4	37.4	37.4
54.96	55.9	55.9	55.9
73.28	73.9	73.9	73.9
109.92	110.5	110.5	110.5

(참고사항)
(1) 두께 측정값은 시간 지시값과 매질을 통과하는 초음파 속도의 곱으로 환산된 값임.
(2) 시간 지시값은 기준값을 5회 계측해 얻은 데이터의 최소, 최대, 평균값을 의미함.
(3) 측정에 사용한 프로브 : TS-5050 (547310616080, 557010616080)
(4) 아크릴 수지(Acrylic)를 통과하는 초음파 속도 : 2730 mm/s 끝.

FP104-14-00

※ 위 마크는 추후 전자확인을 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 코드입니다.

장비명	측량기(SET5 50X)

교정성적서
CALIBRATION CERTIFICATE

한국산업기술시험원
경기도 안산시 상록구 제안로 723
TEL : 031-500-0217 FAX : 031-500-0389

성적서 번호 : 22-032504-01-1
Certificate No.
페이지 (1) / (총 3)
Page of Pages

1. 의 뢰 자 (Client)
기 관 명 (Name) : 백암엔지니어링(주)
주 소 (Address) : 서울특별시 송파구 중민로 10, 8층 제B-에스25호 (문정동, 가든파이브톨)
2. 측 정 기 (Calibration Subject)
기 기 명 (Description) : 데오도라이트 (Total station)
제작회사 및 형식(Manufacturer and Model Name) : SOKKIA / SET5 50X
기기번호 (Serial Number) : 119672
3. 교 정 일 자 (Date of Calibration) : 2022년 06월 09일
4. 교 정 환 경 (Environment)
온 도 (Temperature) : (20.0 ± 0.1) ℃ 습 도 (Humidity) : (52 ± 1) % R.H.
교정장소 (Location) : ▣ 교정표준실 (KTL Lab) □ 이동교정 (Mobile Lab) □ 현장교정 (On Site Calibration)
(주소 : 경기도 안산시 상록구 제안로 723)
5. 측정표준의 소급성 (Traceability)
교정방법 및 소급성 서술 (Calibration method and/or brief description) :
측정 기기는 데오도라이트, 트랜시트의 교정업무기준(KNDT-1821-1)에 의해 국가측정표준기관으로부터 소급성이 유지된 표준기를 사용하여 교정하였음.
교정에 사용한 표준장비 명세 (List of used standards/specifications)

기기명 Description	제작회사 및 형식 Manufacturer and Model	기기번호 Serial Number	차기교정예정일자 Next Calibration Date	교정기관 Calibration Laboratory
collective system for survey instruments	KTL / None	None	2024. 05. 27	한국표준과학연구원
Indexing table	LITAKER / CDT-AIN-SI-360	A428108	2024. 03. 09	한국표준과학연구원
Total station	Leica / TM50	368590	2024. 01. 18	한국산업기술시험원

6. 교 정 결 과 (Calibration Results) : 교정결과 참조
7. 측정불확도 (Measurement Uncertainty) : 교정결과 참조
비고(NOTE)
1. 이 성적서는 계량법 시행에 관하여, 법적 및 기술상의 근거 등으로의 사용을 금합니다.
2. 이 성적서는 임의로 유효하며, 별도의 제 기준일 시설 및 인자인자는 등을 요일하지 않습니다.
(환경 이상 KTL에서 정해진 범위에 따라 보안성을 조절시켜 제공하는 모든 성적서로 해당합니다.)
3. 고객만족설계서(customercld.suki)에서 이메일 20부터고도를 소정하여 성적서 정보 확인이 가능합니다.

확인 (Affirmation)	작성자 (Measurements performed by)	승인자 (Approved by)
	성 명 (Name) : 문성준	직 위 (Title) : 기술책임자 성 명 (Name) : 김동현

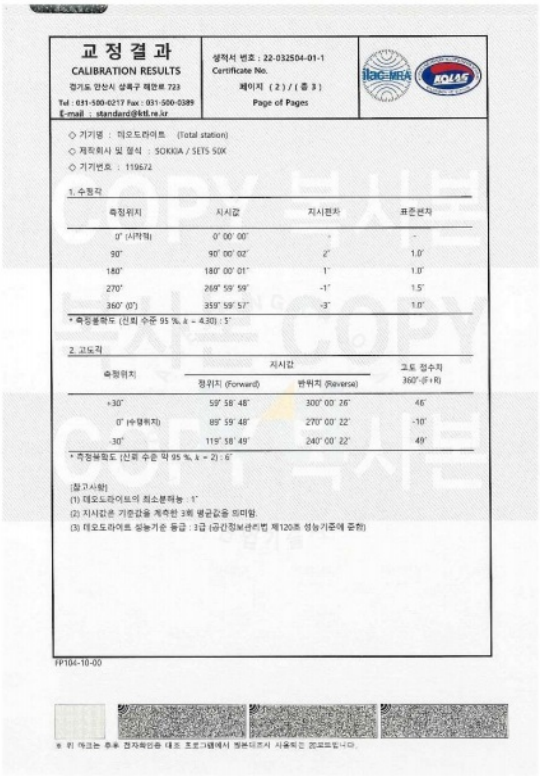
2022년 06월 09일

한국인정기구 인정
Accredited by KOLAS, Republic of KOREA

한국산업기술시험원장
Korea Testing Laboratory

(주) 이 성적서는 측정기의 정밀성확도에 영향을 미치는 요소(온도계, 습도, 습도 등)의 급격한 변화가 발생한 경우에는 무효가 됩니다.
FP104-09-00

※ 위 마크는 추후 전자확인을 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 코드입니다.



교 정 결 과
CALIBRATION RESULTS

경기도 안산시 상록구 제안로 723
Tel : 031-500-0217 Fax : 031-500-0389
E-mail : standard@ktl.re.kr

성적서 번호 : 22-032504-01-1
Certificate No.
페이지 (2) / (총 3)
Page of Pages

◇ 기기명 : 데오도라이트 (Total station)
◇ 제작회사 및 형식 : SOKKIA / SET5 50X
◇ 기기번호 : 119672

1. 수평각

측정위치	지시값	지시편차	표준편차
0° (시작점)	0° 00' 00"	-	-
90°	90° 00' 02"	2"	1.0"
180°	180° 00' 01"	1"	1.0"
270°	269° 59' 59"	-1"	1.5"
360° (0°)	359° 59' 57"	-3"	1.0"

* 측정불확도 (신뢰 수준 약 95 %, k = 4.30) : 5"

2. 고도각

측정위치	지시값 정위치 (Forward)	지시값 반위치 (Reverse)	고도 정수차 360°-(F+R)
+30°	59° 58' 48"	300° 00' 26"	46"
0° (수평위치)	89° 59' 48"	270° 00' 22"	-10"
-30°	119° 58' 49"	240° 00' 22"	49"

* 측정불확도 (신뢰 수준 약 95 %, k = 2) : 6"

(참고사항)
(1) 데오도라이트의 최소분해능 : 1"
(2) 지시값은 기준값을 계측한 3회 평균값을 의미함.
(3) 데오도라이트 성능기준 등급 : 3급 (공간정보산업진흥법 제120조 성능기준에 준함)

FP104-10-00

※ 위 마크는 추후 전자확인을 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 코드입니다.

1.6 교량기호의 정의

【표 1.7】교량기호의 정의

부 재 구 분		사용기호	비 고
공 통	경 간	S	Span(시점에서 종점으로 순번)
	거 더	G	Main Girder
	바 닥 판	SL	Slab
	교량받침	Sh	Shoe
	신축이음	EXP. J	Expansion Joint(시점에서 종점으로 순번)
상부구조 (STB 거더)	가 로 보	CB	Cross Beam
	세 로 보	ST	Stringer
	상부플랜지	UF	Upper Flange
	하부플랜지	LF	Lower Flange
	수직보강재	V-STIF	Vertical Stiffener
	수평보강재	H-STIF	Horizontal Stiffener
	현장이음부	SP	Splice
	격 벽	D	Diaphragm
	좌측(우측)복부	L(R)-W	Left(Right) Web
하부구조	교 대	A	Abutment(시점에서 종점으로 순번)
	교 각	P	Pier(시점에서 종점으로 순번)

EX) S1 G1 P1

- P1 : 시점에서 종점을 바라볼 때 첫 번째 교각
- G1 : 시점에서 종점을 바라볼 때 좌측에서 우측으로 첫 번째 거더
- S1 : 시점에서 종점을 바라볼 때 첫 번째 경간

※ 교량받침장치 및 거더의 표시는 시점에서 종점을 바라볼 때 좌측에서 우측으로 번호를 부여함.

※ 격벽 및 현장이음부의 표시는 신축이음부를 기준으로 하여 구분하였으며, 시점에서 종점을 바라볼 때 순차적으로 번호를 부여함.

※ 본 교량의 시·종점 표시는「구조물 유지관리 실무자료집(2012, 한국도로공사) P.35~37」에 따라 차량 진행방향을 기준으로 진입부를 시점으로 선정하여 실시함.

제 2장 자료수집 및 분석

2.1 자료수집 현황

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약

2.3 기존 정밀안전점검·정밀안전진단 실시결과

2.4 보수·보강 이력 및 용도변경

2.5 시설물의 내진설계 여부 확인

2.6 자료분석 결과요약

2.7 기타 관련자료

제 2장 자료수집 및 분석

2.1 자료수집 현황

본 과업에 대한 자료조사는 주변현황 자료와 시설물의 설계, 시공 및 유지관리 관련자료로 대별되며, 자료 분석을 통하여 과업 수행의 추진방향과 세부계획을 수립하였다. 또한, 본 과업 대상구조물의 관련자료를 수집·분석하여 구조물의 이력 확인, 결함 및 손상의 원인 분석, 손상의 변화 및 진행성 여부, 보수·보강대책 및 유지관리방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하였다.

가. 자료수집 현황

본 구조물에 관련된 자료는 주로 설계 및 시공과 관련된 건설당시 자료와 구조물 준공 이후의 유지관리와 관련된 자료 등이며, 한국도로공사 강원본부의 유지관리자료 보유 현황은 다음 【표 2.1】과 같다.

【표 2.1】자료수집 현황

보존대상 목록		관리주체 보유현황	비 고
설계 도서	◦ 공통 - 준공내역서 - 공사시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	보유	◦부산-울산간 고속도로 민간투자 시설사업 - 일반보고서(2008.12) - 토질조사보고서(2008.12) - 준공내역서(2008.12) - 준공도면(2008.12) ◦부산-울산간 고속도로 민간투자 시설사업 구조 및 수리계산서(2008.12)
	◦ 설계도면 - 위치도, 평면도, 표준단면도, 일반도, 구조도 등	보유	
시설물 관 리 대 장	◦ 기본현황 및 상세제원 ◦ 점검 및 진단 이력 ◦ 보수·보강 및 유지관리 이력	보유	◦시설물통합정보관리시스템(FMS)
시공 관련 자료	◦ 시공관련 자료 ◦ 품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 관리 및 선정시험 기록 등 각종 시험 기록 - 시설물의 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ◦ 사고기록	일부 보유	◦부산-울산간 고속도로 민간투자 시설사업 시공기록보고서(2008.12) - 시공관련 자료 - 품질시험기록 - 관리 및 선정시험 기록 등 각종 시험 기록
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	◦보수·보강 이력사항
보수·보강 자료		보유	

2.2 건설 관련자료 검토결과 요약

설계도서가 보존되어 있는 만화교(부산, 울산)의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 “부산울산 고속도로 건설공사(3공구)” 의 구조 및 수리계산서와 일반보고서, 토질조사 보고서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

2.2.1 구조계산서 검토

【표 2.2】구조계산 시 설계조건 및 검토결과

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">내 용</th></tr>
<tr><td>적용하중
및
사용재료</td><td colspan="4"><table>
<tr><th rowspan="2">적용하중</th><th colspan="2">사용재료</th></tr>
<tr><th>상부</th><th>하부</th></tr>
<tr><td>◦ 고정하중
- L.M.C : 23.5kN/m3
- 철근콘크리트 : 25.0kN/m3
- 강 재 : 78.5kN/m3

◦ 활하중
- DB24, DL24

◦ 기타
- 충격<15/(40+L)>, 원심하중, 차량횡하중, 제동하중 및 시동하중, 풍하중, 수압, 부력 및 양압력, 토압, 지진 등</td><td>◦ 콘크리트
- fck=27MPa

◦ 철근
- fy=400MPa

◦ 강재 주부재(SM490)
- fpu=190MPa(인장)
- fpy=110MPa(항복)

◦ 강재 부부재(SM400)
- fpu=140MPa(인장)
- fpy=80MPa(항복)</td><td>◦ 콘크리트
- fck=24MPa

◦ 철근
- fy=300MPa

◦ 뒷채움흙
- γs=2.0t/㎥
- φs=35(degress)</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>설계법
및
하중조합</td><td colspan="4"><table>
<tr><th colspan="2">검토부재</th><th>설계법 및 하중조합</th></tr>
<tr><td rowspan="2">상부구조</td><td>바닥판</td><td>◦ 강도설계법
- 하중조합 : 고정하중, 활하중, 충격, 충돌, 풍하중, 원심하중</td></tr>
<tr><td>Steel
Box
Girder</td><td>◦ 허용응력설계법
- 하중조합 : 고정하중, 활하중, 충격, 충돌, 원심하중</td></tr>
<tr><td>하부구조</td><td>교 대
교 각</td><td>◦ 허용응력설계법 : 안정검토 시
◦ 강도설계법 : 단면검토 시</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>검토결과</td><td colspan="4">※ 상부구조 구조계산 검토결과 단면력(응력)이 설계강도(허용력) 이내이며 안전율은 1.0 이상임.
※ 하부구조 구조계산 검토결과 교대 및 교각은 안정하며, 구조 안전성을 확보하고 있는 것으로 나타남.</td></tr>
</table>

2.2.2 만화교 보수·보강 용역(케이엔씨컨설턴트(주)-2018.10)

가. 외관조사 결과

- 부산방향 A1 신축이음부는 협착으로 단차(5mm)가 발생된 상태이므로 교체가 필요할 것으로 사료된다.
- 부산방향 A1, A2, 울산방향 A1의 바닥판은 유간이 부족한 것으로 나타나 절단이 필요한 것으로 사료된다.
- 받침 장치는 부산방향 P3(A2측), A2 위치에서 A1측으로 편기가 발생된 것으로 나타나 편기상태 및 온도신축을 고려하여 받침보수(상부판 이동 등)가 필요할 것으로 사료된다.
- 부산방향 A1, A2 교대는 상부 슬라브와 협착이 발생되어 강박스 단부의 절단(약 6cm~10cm)이 필요하고, 울산방향은 A1 교대 상부가 슬래브와 협착되어 절단공사가 필요할 것으로 사료된다.

나. 교대 안정성 검토결과

- 말뚝 미고려시

울산방향 A2교대를 제외한 모든 교대에서 기준안전율을 만족하지 못하는 것으로 검토되었다.

구 분		해석 안전율	기준 안전율	판정
부산방향	A1	1.20	1.50	N.G
	A2	1.31	1.50	N.G
울산방향	A1	1.20	1.50	N.G
	A2	1.96	1.50	O.K

- 말뚝 고려시

울산방향 A2교대(직접기초)를 제외한 모든 교대에서 기준안전율을 만족하지 못하는 것으로 검토되었다.

구 분		해석 안전율	기준 안전율	판정
부산방향	A1	1.75	1.80	N.G
	A2	1.50	1.80	N.G
울산방향	A1	1.74	1.80	N.G
	A2	-	-	직접기초

- 만화교 교대구조물의 측방유동에 대한 사면안정 검토를 수행한 결과, 직접기초인 울산방향 A2 교대구조물을 제외한 모든 구조물에서 기준안전율을 만족하지 못하는 것으로 검토되었다.
- 따라서 현장여건을 고려한 적정의 보강공법의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

다. 보수·보강 방안

발생된 결함 및 손상에 대한 보수·보강은 보수공법의 적용성, 구조적 안전성, 보수 효과 등을 종합적으로 고려하여 현장여건에 적합한 보수·보강 공법을 적용하여야 할 것으로 판단된다. 만화교 구조물에 대한 중점 조사 항목은 신축이음장치, 교대와 바닥판 및 거더 유간, 교좌장치이며 이들에 대한 결함내용과 보수방안은 다음과 같다.

구분			신축이음장치	교대와 상부 바닥판	교좌장치
부산방향	A1		· 신축이음부 협착 및 단차 (5mm) 발생 ⇨ 신축이음 교체 필요	· 협착발생 ⇨ 강박스 단부 절단 필요	-
	P3	A1	-	-	-
		A2	-	-	· A1방향으로 받침 상판이 많이 편기되어 있음 ⇨ 상부판 이동 또는 확장필요
	A2		· 신축이음부 유간 2.1cm ⇨ 신축이음 교체 (상부 바닥판 절단에 따른 교체)	· 협착발생 ⇨ 강박스 단부 절단 필요	· 받침 상·하판이 많이 편기되어 있음. ⇨상부판 이동 또는 확장필요
울산방향	A1		⇨ 신축이음 교체 (상부 바닥판 절단에 따른 교체)	· 협착발생 ⇨ 강박스 단부 절단 필요	-

① 신축이음장치

- 신축이음장치는 대기 온도변화에 의한 교량 상부구조의 수축과 팽창, 콘크리트의 재령에 의한 Creep, 건조수축 및 활하중에 의한 이동과 회전등의 변위 및 변형을 원활하게 하여

2차응력을 줄이고 교면의 평탄성을 유지시켜 주는 장치이다.

- 신축이음장치를 선정함에 있어서 가장 중요한 영향인자는 교축방향으로의 온도변화, 콘크리트의 크리프 및 건조수축에 의한 신축량과 교량의 회전변위 및 처짐량, 그리고 구조적으로 필요한 여유량 등이 있으며 이에 적합한 신축이음장치의 종류가 결정되어야 한다.
- 현재 만화교 A1, A2에는 모노셀 조인트 형식으로 기 시공되어 있으며, 동일형식의 신축이음 형식으로 교체하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

② 바닥판

- 바닥판 절단규모 산정시에는 상부구조의 탄성복원으로 인한 회복량과 여유량 및 온도에 의한 신축량을 고려하여 결정해야 한다.
- 만화교는 강박스 GIRDER교로서 절단위치에 따른 다음과 같은 다른 부재와의 간섭이 발생하는지를 확인하여야 한다.
  - Cross Beam과의 간섭 가능성
  - 기 시공되어 있는 Sole Plate
- 바닥판과 콘크리트 포장 최대두께를 고려한 절단 톱의 직경을 결정(최대 1.5m이내)해야 한다.

③ 교량받침

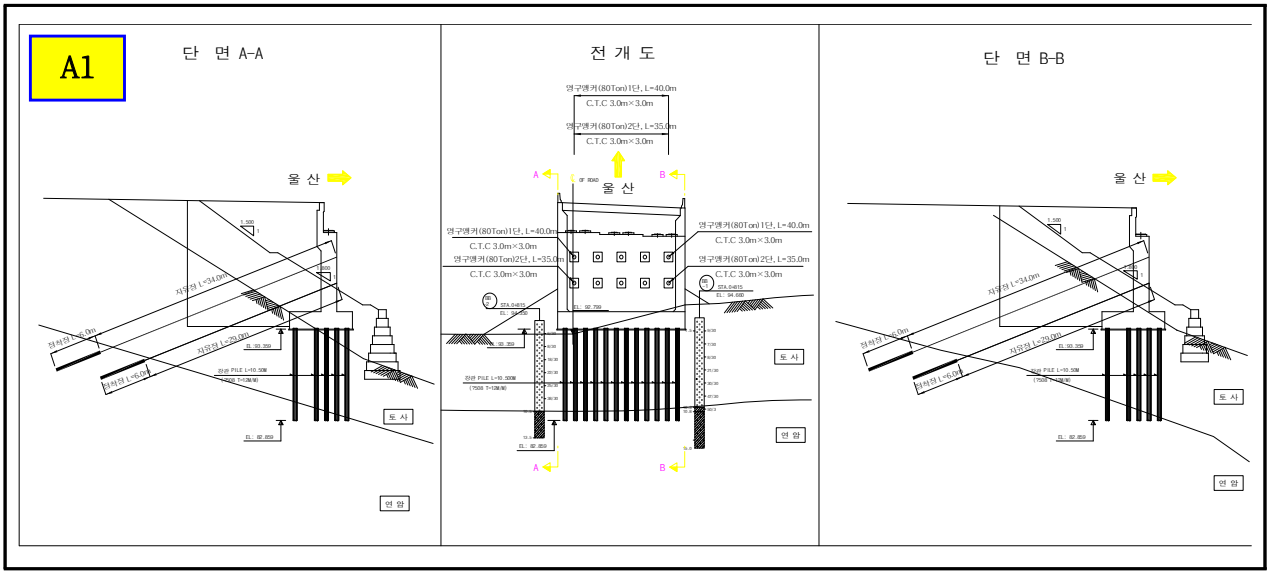
- 받침 이동 여유량을 확보하기 위하여 먼저 받침 이동량을 산정해야 한다.
- 편기가 발생한 교좌장치를 이동시키는 방법은 상부판 또는 하부판을 이동시켜 배치할 수 있으나, 통상적으로 하부판 보다는 상부판을 이동시켜 배치하는 것이 일반적이다.
- 받침 이동작업 완료후 상부 Shoe와 Sole Plate 연결작업은 다음과 같이 실시한다.
- 보통은 용접으로 연결한다.
- 만일, 편기량이 상부 Shoe와 Sole Pate에 크게 벗어날 경우 상부 Shoe를 연장시켜야 추가 설치해야 한다.
- 받침 편기에 의한 지지점 이동으로 상부구조의 변형이 예상되는 경우 받침장치 지지 보강을 실시해야 한다.
- 또한 받침장치 이동작업을 위한 인상 잭 설치시, 잭 설치에 따른 교량 주부재 손상이 발생하지 않도록 필요시 인상 잭 보강재의 설치를 검토해야 한다.

④ 교대 변위 억제공법

본 과업구간인 만화교는 많은 차량이 현재 통행중에 있으며, 차선 통제후 보강작업이 용이하지 않은 현장 여건을 고려하여 시공 가능한 공법을 검토한 결과, 어스앵커(Earth Anchor)공법이 가장 적정한 것으로 검토 되었다.

각 교대에 대한 보강공법 적용시 상세 검토결과는 다음과 같다.

상세보강내용	앵커제원			
	자유장(m)	정착장(m)	C.T.C(m)	단
부산방향 A1	1단, 2단: 40	6	3	2
부산방향 A2	1단:14, 2단:13	7	2	2
울산방향 A1	1단:32, 2단:26	6	3	2



2.2.3 토질 및 지반조사 자료검토

가. 지형 및 지질 상태

1) 지형

- 본 조사지역은 행정구역상 부산광역시 기장군 기장읍 서부리를 시점으로 하여 기장군 일광면 화전리를 종점으로 하는 설계구간(L=4.84㎞)에 해당한다
- 본지역의 지형은 동해안에 인접하여 남북방향으로 이어지는 태백산맥의 남부아래에 동부의 북북동방향 및 북북서방향으로 이어지는 일연의 소산맥이 동남부부근에서 합세하며 비교적 험준한 산세를 나타내고 있다.
- 또한 본 3공구노선 시점부근에서 북서쪽으로 산성(368)-일광산(395)-아홉산(360)-318고지-함박산(460)-천마산(400)-달음산(588)-205고지가 산맥으로 이어져 있다.
- 그리고 노선부근의 하계발달은 남해로 직접동류 또는 서류하면서 유입하는 소하천이 많이 있지만 하폭과 유역평야의 발달은 매우 미약하다.
- 이러한 하계망의 발달상태를 보면 지질분포 및 지질구조와 밀접한 관계를 가지며 화강암류의 수지상으로 분포되어 있고 화산암류 분포지역은 방사상의 하계망을 이루고 있다.
- 그리고 본노선의 동쪽으로 약 2㎞정도 떨어져 남북으로 단층선이 이어지는 데 그 지역의 하천은 일반적으로 사행천이 아닌 직류로 이어지고 있다.

2) 지질

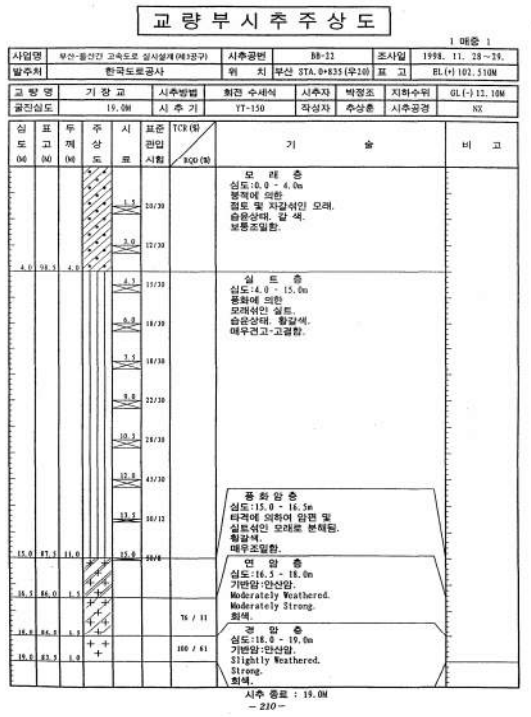
- 본 지역은 하반도 남동부의 경상계 퇴적암층의 분포지역의 남단에 위치하고 있다.
- 노선부근의 지질상태를 보면 경상계 신라총의 퇴적암층이 주류를 이루는 이천리층과 이를 관입 분출한 화산암류 그 후에 관입한 불국사 화강암류인 흑운모화강암, 화강섬록암으로 분포되어 있으며 화산암류는 조직에 따라 아산암질류 유문암질류로 구분되고 화성심성암류는 화강섬록암 및 섬록반암이 소규모의 암주상 또는 화강암이 연변상으로 산재되어 있는 것 외에는 전부 화강암류로 되어 있다. 또한 이지역의 화강암류는 분화상 전혀 다른 불국사 화강암류와 마산암류로 나뉘는데 본 노선은 불국사 화강암류만이 나타난다.
- 불국사 화강암류는 섬록암에서 시작하여 이 분화작용의 소산물인 화강섬록암 각섬석화강암 흑운모화강암등이며 이 화강암류는 경상도에 널리 분포되어 있는 백악기의 암류이다.
- 이천리층은 노선 STA. 2K+600에서 종점부까지 일광면 거의 전역에 널리 분포하고 있으며 구성암석은 대체로 흑색 또는 암회색의 셰일로 되어 있고 암회색 세립질 사암이 소량 함유되어 있다. 또한 이층은 안산암에 의해 대규모로 관입당한 상태이며 암회색의 셰일이 안산암으로 되감에 따라 회색 또는 백색의 치밀한 혼펠스로 된 상태이며 이것이 장석

반점이 발달한 반점상혼펠스를 거쳐 마침내 반상의 안산암으로 이화하는 것이다. 그리고 일광면부근에서는 주향이 N30～45E이고 경사는 대체로 일대의 18～30NW의 층리를 보이고 있다. 안산암질류는 이 노선의 시점부에서 인터체인지 부근까지 분포되어 있으며 신라층의 화산암류중에서 초기에 형성된 것이며 또한 후기 화산암류인 석영안산암류 내지 유문암질 분출암류에 피복되어 있으며 화강섬록암과 흑운모화강암등이 불규칙하게 관입되어 나타나기도 한다. 그리고 노선 종점부에 상부지층에 층적층이 소하천 일대에 존재하나 그 발달은 미약한 상태이다.

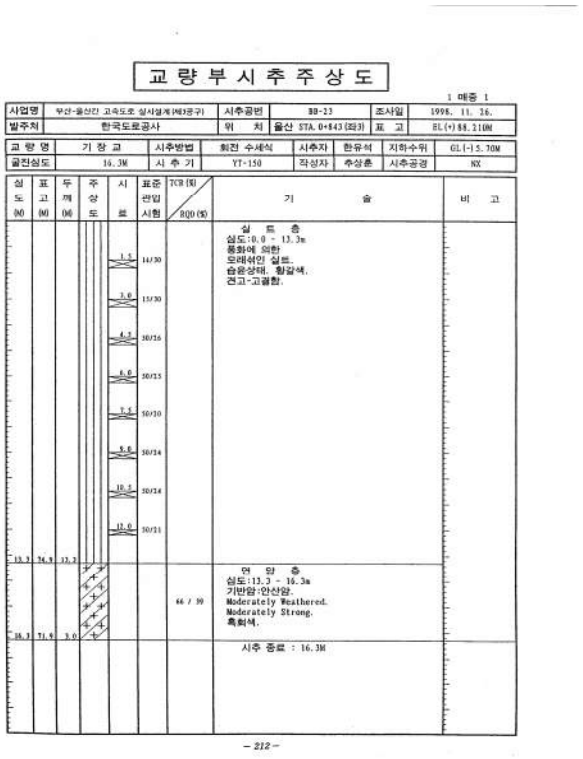
나. 시추조사 결과(고속국도 제65호선 부산～울산간 고속도로 민간투자사업 지반조사보고서,2005.03)

【표 2.3】 시추조사 위치

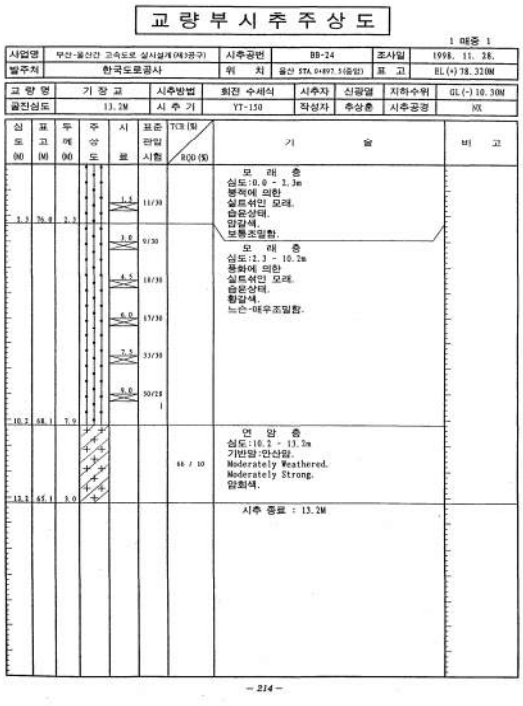
조사번호	조사위치	조사방향	지반고(EL.m)	비고
BB-22	0K+835	부산방향	102.51	
BB-22-1	0K+812	부산방향	103.57	
BB-23	0K+843	울산방향	88.21	
BB-23-1	0K+850	부산방향	89.18	
BB-24	0K+897.5	울산방향	78.32	
BB-24-1	0K+903.5	부산방향	78.69	
BB-25	0K+945	울산방향	60.31	
BB-25-1	0K+950	부산방향	65.50	
BB-26	0K+995	울산방향	45.34	
BB-27	1K+000	부산방향	64.69	
BB-28	1K+045	울산방향	51.71	
BB-29	1K+054	울산방향	52.93	
BB-30	1K+093	부산방향	68.58	
BB-31	1K+080	울산방향	63.29	
BB-32	1K+140	부산방향	92.30	
BB-33	1K+150	울산방향	87.23	



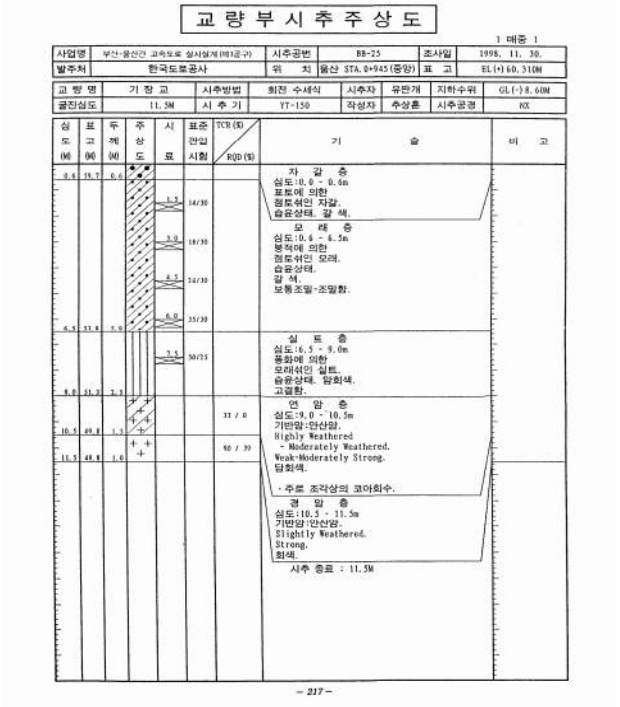
BB-22



BB-23

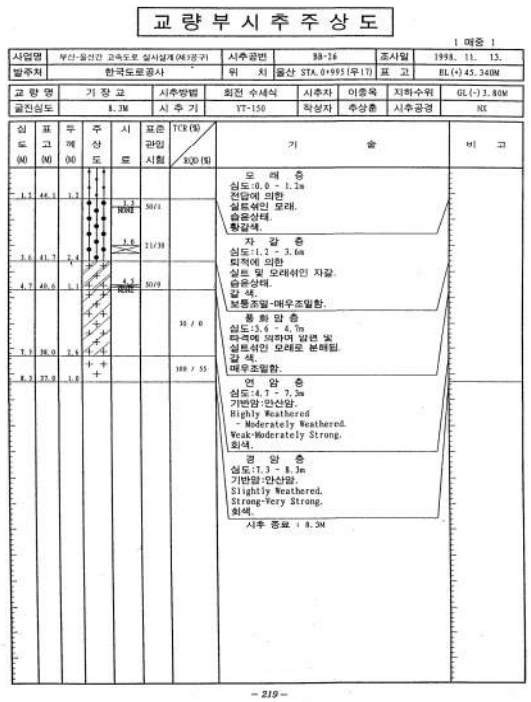


BB-24

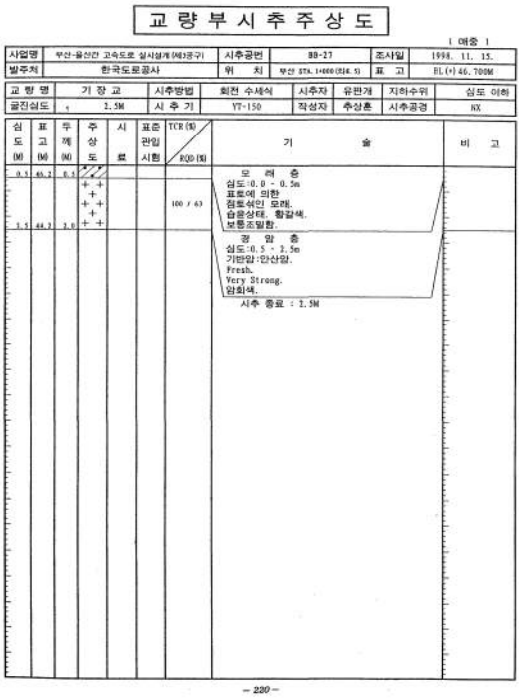


BB-25

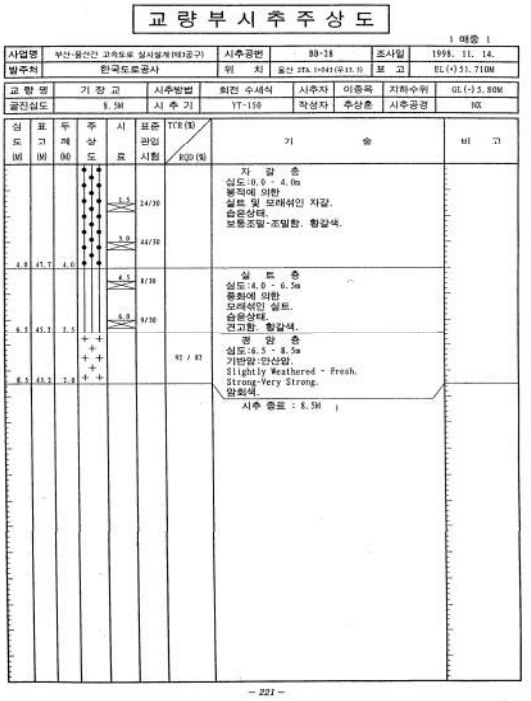
【그림 2.1】 시추조사 주상도



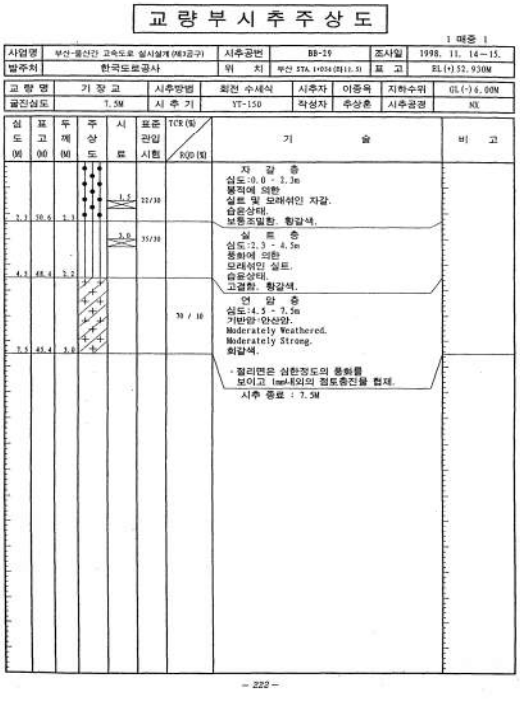
BB-26



BB-27

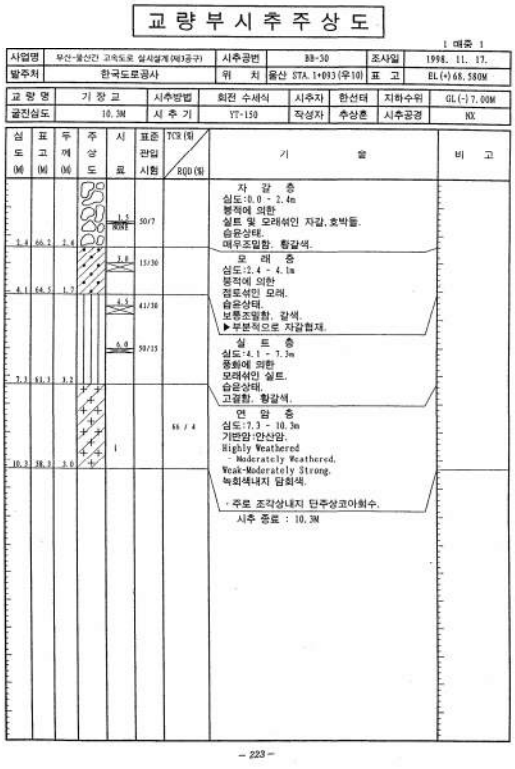


BB-28

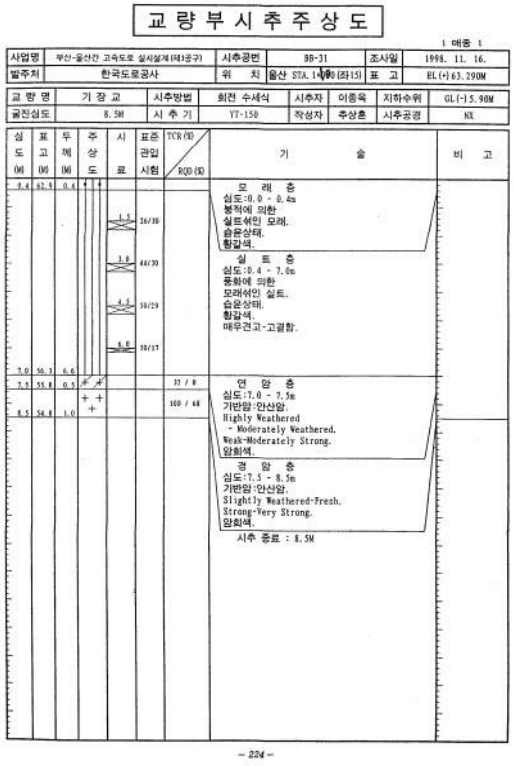


BB-29

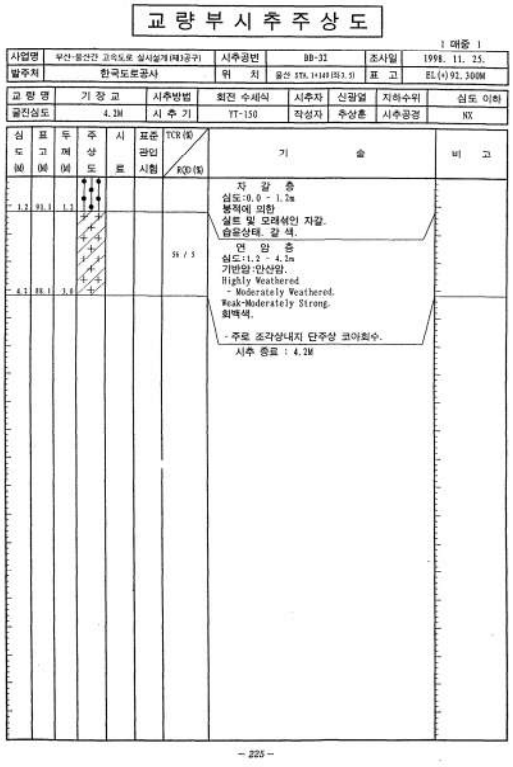
【그림 2.1】 시추조사 주상도(계속)



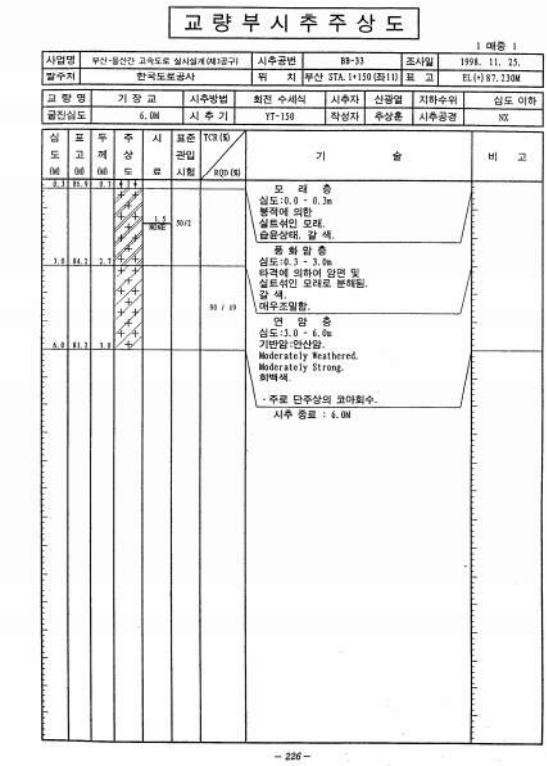
BB-30



BB-31



BB-32



BB-33

【그림 2.1】 시추조사 주상도(계속)

【표 2.4】 시추조사 결과

시 추 공	충 적 층							풍화암	연암	경암	계	비고
	실트질 점토	모래질 실트	실트질 모래	모래질 자갈	모래질 점토	점토질 모래	점토질 자갈					
BB-22	-	11.0	-	-	-	4.0	-	1.5	1.5	1.0	19.0	
BB-22-1	-	-	13.0	2.6	-	-	-	-	0.4	1.0	17.0	
BB-23	-	13.3	-	-	-	-	-	-	3.0	-	16.3	
BB-23-1	14.7	-	-	-	-	-	-	0.5	3.0	-	18.2	
BB-24	-	-	10.2	-	-	-	-	-	3.0	-	13.2	
BB-24-1	-	-	13.3	-	-	-	-	7.0	-	-	20.3	
BB-25	-	2.5	-	-	-	5.9	0.6	-	1.5	1.0	11.5	
BB-25-1	-	-	4.1	-	-	6.4	-	1.2	0.8	1.0	13.5	
BB-26	-	-	1.2	2.4	-	-	-	1.1	2.6	1.0	8.3	
BB-27	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-	2.0	2.5	
BB-28	-	2.5	-	4.0	-	-	-	-	-	2.0	8.5	
BB-29	-	2.2	-	-	2.3	-	-	-	3.0	-	7.5	
BB-30	-	3.2	-	2.4	-	1.7	-	-	3.0	-	10.3	
BB-31	-	6.6	0.4	-	-	-	-	-	0.5	1.0	8.5	
BB-32	-	-	-	1.2	-	-	-	-	3.0	-	4.2	
BB-33	-	-	0.3	-	-	-	-	2.7	3.0	-	6.0	

1) 충적층

- 본 층은 GL-0.0～GL-15.6m까지 분포하고 있으며 주로 실트질 모래 및 모래질 실트층으로 구성되어 있고 황갈색은 띠고 있교 있으며 습윤상태로 매우 조밀한 상태를 보이고 있다. N치는 8/30～50/9(회/cm)로 나타났다.

2) 풍화암층

- 본 층은 기반암인 안산암이 풍화되어 형성된 층으로 모암의 조직과 형태는 보존하고 있으나 역학적 성질 및 화확적 조성이 상실되거나 변질된 상태로 충적층 하부에서 0.5～7.0m의 두께로 분포하며 시추시 시료는 원위치에서는 굳고 단단하나 타격에 의해 암편 및 실트섞인 모래로 분해되며 매우 조밀하고 황갈색을 띠고 있다. N치는 50/7 ˜ 50/1(회/cm)로 나타났다.

3) 연암층

- 본 층은 기반암인 안산암이 부분적인 풍화를 받아 형성된 층으로서, 연경이 교호되며 균열 및 절 리가 발달되어 있고, 부분적으로 풍화가 협재되어 있다. 암회색이나 담회색을 띠며 풍화암층하 0.4～3.0m 두께로 분포하고 있고 조각상의 코아가 채취되었다. T.C.R은 25～90%까지 분포하며 R.Q.D는 0～82%까지 분포하는 것으로 나타났다.

다. 현장시험 결과

1) 지하수위 측정

【표 2.5】지하수위 측정 결과

공번	지하수위	비고
BB-22	GL-12.1m	
BB-22-1	GL-8.50m	
BB-23	GL-5.70m	
BB-23-1	GL-6.20m	
BB-24	GL-10.3m	
BB-24-1	GL-5.30m	
BB-25	GL-8.60m	
BB-25-1	GL-9.20m	
BB-26	GL-3.80m	
BB-27	심도이하	
BB-28	GL-5.80m	
BB-29	GL-6.00m	
BB-30	GL-7.00m	
BB-31	GL-5.90m	
BB-32	심도이하	
BB-33	심도이하	

라. 실내시험 결과

1) 토질시험

【표 2.6】토질시험 결과

공번	지층	심도 (m)	N.M.C (%)	Gs	Atterberg Limit(%)		Grain Size Distribution(%)		U.S.C.S
					LL	PI	No.200	No.4	
BB-22	점토질모래	3.0	28.4	2.69	34.0	11.9	29	100	SC
BB-22-1	실트질자갈	1.5	14.0	2.65	N.P		18	48	GM

【표 2.6】토질시험 결과(계속)

공번	지층	심도 (m)	N.M.C (%)	Gs	Atterberg Limit(%)		Grain Size Distribution(%)		U.S.C.S
					LL	PI	No.200	No.4	
BB-23	모래질실트	7.5	18.1	2.68	N.P		55	100	ML
BB-23-1	실트질점토	6.0	25.6	2.70	36.2	15.6	63	100	CL
BB-24	실트질모래	1.5	15.3	2.66	N.P		18	100	SM
BB-24-1	실트질모래	7.5	15.0	2.67	N.P		17	100	SM
BB-25	점토질모래	4.5	26.5	2.69	34.6	12.1	45	100	SC
BB-25-1	점토질모래	6.0	28.0	2.69	35.1	13.3	45	99	SC
BB-28	실트질자갈	3.0	12.2	2.65	N.P		16	45	GM
BB-29	실트질자갈	1.5	13.0	2.66	N.P		18	45	GM
BB-30	점토질모래	3.0	20.9	2.68	34.6	12.1	47	100	SC
BB-31	모래질점토	6.0	19.6	2.68	N.P		62	100	ML

2) 일축압축강도시험

【표 2.7】일축압축강도시험 결과

공번	시료직경 (cm)	시료높이 (cm)	시료중량 (gr)	단위중량 (g/cm³)	재하중 (kg)	압축강도 (kg/cm²)
BB-22	5.62	10.73	723	2.72	45,000	1,815
BB-29	5.09	10.86	515	2.33	12,000	590

2.3 기존 정밀안전점검 및 정밀안전진단 실시결과

만화교(부산, 울산)는 1종 시설물로써, 준공 이후 2009년 03월에 실시한 정기안전점검(상반기)을 시작으로 2023년 03월 정기안전점검(상반기)까지 공용기간 중 정기안전점검 23회, 정밀안전점검 6회, 정밀안전진단 1회, 1종성능평가 1회를 실시하였으며, 주요 점검이력은 다음과 같다.

2.3.1 점검 및 진단이력(부산)

【표 2.8】 점검 및 진단이력(부산)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요 점검/진단 결과	비용(천원)	상태 등급
1	정기 안전점검 (상반기)	2023-03-06~ 2023-06-05	강춘길/자체수행	•교면포장 LMC포장 패임 등 •난간중분대 균열(cw=0.3㎜ 미만), 망상균열, 난간 변형 등 •신축이음 후타재 균열, 유간토사퇴적, 차수판 볼트 파손, 신장 여유량 부족(A2) 등 •거더 외부 도장박리, 도장열화(백아화) 등 •바닥판 균열부 백태, 망상균열 등 •교량받침 플레이트 앵커볼트 부식, 받침콘크리트 들뜸 등 •하부구조 교대 균열(cw=0.3㎜미만), 백태, 실링재 열화 등 •하부구조 교각 균열(cw=0.3㎜미만) 등	-	양호
2	정밀 안전점검	2022-04-07~ 2022-12-23	(주)엠케이에스이 /허장호	•교면포장 패임 •방호벽 균열(0.3㎜미만), 망상균열, 난간 변형 •배수시설 상태양호 •신축이음 유간토사퇴적, 후타재균열, 차수판 볼트파손, 신장 여유량부족(A2) •바닥판 상태양호 •거더외부 도장박리, 도장열화(백아화) •가로보 상태양호 •교량받침 앵커볼트 부식, 콘크리트 들뜸 •교대/교각 균열(0.3㎜미만), 백태, 실링재 열화	5,782	B등급
3	정기 안전점검 (상반기)	2022-05-16~ 2022-06-15	강춘길/자체수행	•전반적으로 상태가 양호함, 세부결과 보고서 참고	-	양호

【표 2.8】 점검 및 진단이력(부산)(계속)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요 점검/진단 결과	비용(천원)	상태 등급
4	정기 안전점검 (하반기)	2021-12-15~ 2021-12-15	강춘길/자체수행	•거더 : 외부도장 열화, 도장긁힘 및 부식 •교량받침 : 플레이트 앵커볼트 부식 •하부구조 : 균열, 교좌면 철근 노출, 누수, 표면오염 등 •신축이음 : 후타재 균열, 차수판 고정 불량 등 •교면포장 : 교면 콘크리트 파손, 교면 후타 접속부 파손 •난간연석 : 균열, 접속방호벽 단차 등	-	양호
5	정기 안전점검 (상반기)	2021-06-28~ 2021-06-28	강춘길/자체수행	•거더 : 외부 도장 열화로 인한 변색, 외부 도장 긁힘 및 부식 •교량받침 : 플레이트 부식 •하부구조(교대) : 흉벽-보강토 옹벽 접속부 이격, 균열(cw=0.3㎜미만), 균열(cw=0.3㎜이상), 흉벽 백태 •하부구조(교각) : 균열(cw=0.3㎜미만) •신축이음 : 후타재 균열, 차수판 볼트 파손, 유간 토사 퇴적 •교면포장 : 포장 파손 •난간연석 : 접속방호벽 단차 등	-	양호
6	정밀 안전점검	2020-05-27~ 2020-12-31	(주)엠케이에스이 /최은철	•교면포장 파손 •방호벽 균열(0.3㎜미만), 망상균열, 접속부 단차, 난간 변형 •신축이음 유간토사퇴적, 후타재균열, 차수판 볼트파손 •바닥판 상태양호 •거더외부 도장 긁힘 및 부식, 박리, 열화(변색) •교량받침 앵커볼트 부식 •교대 균열(0.3㎜미만), 누수, 철근노출, 표면오염, 실링재 열화 •교각 균열(0.3㎜미만) •점검통로 변형 및 파손	4,067	B등급
7	정기 안전점검 (상반기)	2020-06-30~ 2020-06-30	조재성/자체수행	•양호함	-	양호
8	정기 안전점검 (하반기)	2019-09-19~ 2019-09-19	이건수/자체수행	•신축이음 유간 토사퇴적 •교량받침 도장녹발생	-	양호

【표 2.8】 점검 및 진단이력(부산)(계속)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요 점검/진단 결과	비용(천원)	상태 등급
9	정기 안전점검 (상반기))	2019-04-17~ 2019-04-17	이건수/자체수행	•거더 도장 긁힘 / 교좌장치 받침콘크리트 균열 •교각 코핑부 상면 철근노출 / 갓길 유간 토사 퇴적	-	양호
10	정밀 안전진단	2018-08-16~ 2018-12-31	(주)엠케이에스이 /최은철	•방호벽 균열(0.3㎜미만) •신축이음 차수판 유실 •바닥판 유박락 •거더외부 도장긁힘, 도장 열화(변색) •교량받침 앵커볼트 부식 •교대 파손, 표면오염 •교각 균열, 표면오염	13,580	B등급
11	1종 성능평가	2018-08-16~ 2019-08-21	(주)엠케이에스이 /최은철	•방호벽 균열(0.3㎜미만) •신축이음 차수판 유실 •바닥판 유박락 •거더외부 도장긁힘, 도장 열화(변색) •교량받침 앵커볼트 부식 •교대 파손, 표면오염 •교각 균열, 표면오염	22,620	B등급
12	정기 안전점검 (상반기)	2018-03-28~ 2018-03-28	박형근/자체수행	•양호함	-	양호
13	정기 안전점검 (하반기)	2017-08-16~ 2017-08-16	박형근/자체수행	•양호함	-	양호
14	정기 안전점검 (상반기)	2017-05-17~ 2017-05-17	박형근/자체수행	•양호함	-	양호
15	정밀 안전점검	2016-11-16~ 2016-12-30	(주)엠케이에스이 /정석기	•방호벽 균열(0.3㎜미만) •신축이음 본체 고무재파손, 후타재 이격, 유간부족(A2) •거더외부 도장긁힘 •교량받침 몰탈균열, 잡철근노출 •교대 균열, 망상균열, 철근노출, 파손, 표면오염 •교각 균열, 철근노출, 파손, 점검통로 파손	15,805	B등급
16	정기 안전점검 (상반기)	2016-05-18~ 2016-05-18	옥병석/자체수행	•양호함	-	양호

【표 2.8】 점검 및 진단이력(부산)(계속)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요 점검/진단 결과	비용(천원)	상태 등급
17	정기 안전점검 (하반기)	2015-08-04~ 2015-08-04	최문용/자체수행	•양호	-	양호
18	정기 안전점검 (상반기)	2015-04-22~ 2015-04-22	최문용/자체수행	•양호	-	양호
19	정기 안전점검 (하반기)	2014-08-04~ 2014-08-04	최문용/자체수행	•양호	-	양호
20	정기 안전점검 (상반기)	2014-05-12~ 2014-05-12	최문용/자체수행	•양호	-	양호
21	정밀 안전점검	2013-10-01~ 2013-12-03	장석균/자체수행	•벽체균열	-	A등급
22	정기 안전점검 (상반기)	2013-05-14~ 2013-05-14	장석균/자체수행	•양호	-	양호
23	정기 안전점검 (하반기)	2012-08-01~ 2012-08-02	장석균/자체수행	•양호	-	양호
24	정기 안전점검 (상반기)	2012-04-18~ 2012-04-18	장석균/자체수행	•양호	-	양호
25	정기 안전점검 (하반기)	2011-08-16~ 2011-08-16	강춘길/자체수행	•양호	-	양호
26	정기 안전점검 (상반기)	2011-04-07~ 2011-04-07	강춘길/자체수행	•양호함	-	양호
27	정기 안전점검 (하반기)	2010-07-07~ 2010-12-08	김동광/자체수행	•시공이음부 실링 탈리, 신축 이음부 뒤후타벌어짐	-	양호
28	정밀 안전점검	2009-03-10~ 2009-05-09	전현익/자체수행	•교대뒷채움 옹벽 일부 미세균열	-	A등급
29	정기 안전점검 (하반기)	2009-08-04~ 2009-11-25	신재환	•이상없음	-	양호
30	정기 안전점검 (상반기)	2009-03-06~ 2009-06-30	이재덕	•이상없음	-	양호
31	정밀 안전점검	2008-08-14~ 2008-12-31	㈜다린이앤씨 /정재동	•문제점이 없는 최상의 상태	18,326	A등급

2.3.2 점검 및 진단이력(울산)

【표 2.9】 점검 및 진단이력(울산)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요 점검/진단 결과	비용(천원)	상태 등급
1	정기 안전점검 (상반기)	2023-03-06~ 2023-06-05	강춘길/자체수행	•교면포장 LMC포장 파손 등 •난간중분대 접속부 단차 등 •신축이음 유간토사퇴적, 후타재 균열, 차수판 볼트 파손 등 •거더 외부 도장 긁힘, 도장열화(백아화) 등 •교량받침 플레이트 부식 등 •하부구조 교대 균열(cw=0.3㎜미만), 백태, 측면 접속부 이격 등 •하부구조 교각 균열(cw=0.3㎜미만) 등	-	양호
2	정밀 안전점검	2022-04-07~ 2022-12-23	(주)엠케이에스이 /허장호	•교면포장 패임 •방호벽 상태양호 •배수시설 배수관 고정대 탈락 •신축이음 후타재균열, 유간토사퇴적, 차수판 볼트 탈락, 수축 여유량 부족(A1, A2) •바닥판 상태양호 •거더 도장긁힘 및 부식, 도장열화(백아화), 내부 망 파손 •가로보 상태양호 •교량받침 상태양호 •교대/교각 균열(0.3㎜미만, 0.3㎜이상), 백태, 접속부 이격, 표면박리, 표면오염	5,781	B등급
3	정기 안전점검 (상반기)	2022-05-16~ 2022-06-15	강춘길/자체수행	•전반적으로 상태가 양호함, 세부결과 보고서 참고	-	양호

【표 2.9】 점검 및 진단이력(울산)(계속)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요 점검/진단 결과	비용(천원)	상태 등급
4	정기 안전점검 (하반기)	2021-12-15~ 2021-12-15	강춘길/자체수행	•거더 : 도장열화, 도장 부식 등 •교량받침 : 받침플레이트 부식 •하부구조 : 균열, 열화 및 손상 등 •신축이음 : 후타재 균열, 차수판 볼트 파손 등 •교면포장 : 갓길 교면 콘크리트 파손 •난간연석 : 접속 방호벽 단차	-	양호
5	정기 안전점검 (상반기)	2021-06-28~ 2021-06-28	강춘길/자체수행	•거더 : 외부 도장 열화로 인한 변색, 외부 도장 긁힘 및 부식 •교량받침 : 플레이트 부식 •하부구조(교대) : 흉벽-보강토 옹벽 접속부 이격, 균열(cw=0.3㎜미만), 균열(cw=0.3㎜이상), 흉벽 백태 •하부구조(교각) : 균열(cw=0.3㎜미만) •신축이음 : 후타재 균열, 차수판 볼트 파손, 유간 토사 퇴적 •교면포장 : 포장 파손 •난간연석 : 접속부 방호벽 단차	-	양호
6	정밀 안전점검	2020-05-27~ 2020-12-31	(주)엠케이에스이 /최은철	•교면포장 파손 •방호벽 접속부 단차 •배수시설 상태양호 •신축이음 유간토사퇴적, 후타재 균열, 차수판 볼트파손 •바닥판 상태양호 •거더외부 도장긁힘, 도장열화(변색) •교량받침 Plate부식 •교대 균열(0.3㎜내외), 백태, 측면 접속부 이격 •교각 균열(0.3㎜미만)	4,067	B등급
7	정기 안전점검 (상반기)	2020-06-30~ 2020-06-30	조재성/자체수행	•양호함	-	양호
8	정기 안전점검 (하반기)	2019-09-19~ 2019-09-19	이건수/자체수행	•신축이음 유간 토사퇴적 •교량받침 도장녹발생	-	양호

【표 2.9】 점검 및 진단이력(울산)(계속)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요 점검/진단 결과	비용(천원)	상태 등급
9	정기 안전점검 (상반기)	2019-04-17~ 2019-04-17	이건수/자체수행	•교좌장치 받침콘크리트 균열 / 교대 구체 균열 백태 •신축이음 유간 토사 퇴적 / 점점로 난간대 파손	-	양호
10	정밀 안전진단	2018-08-16~ 2018-12-31	(주)엠케이에스이 /최은철	•배수시설 집수구 막힘 •신축이음 본체고무재파손(P3), 차수판 볼트탈락 •바닥판 단부파손 •거더외부 부식, 도장열화(변색) •교량받침 몰탈균열, Plate부식, 볼트부식 •교대 균열(0.3㎜미만), 백태, 표면오염 •교각 균열(0.3㎜미만), 파손, 철근노출, 표면오염	13,580	B등급
11	1종 성능평가	2018-08-16~ 2019-08-21	(주)엠케이에스이 /최은철	•배수시설 집수구 막힘 •신축이음 본체고무재파손(P3), 차수판 볼트탈락 •바닥판 단부파손 •거더외부 부식, 도장열화(변색) •교량받침 몰탈균열, Plate부식, 볼트부식 •교대 균열(0.3㎜미만), 백태, 표면오염 •교각 균열(0.3㎜미만), 파손, 철근노출, 표면오염	22,620	B등급
12	정기 안전점검 (상반기)	2018-03-28~ 2018-03-28	박형근/자체수행	•양호함	-	양호
13	정기 안전점검 (하반기)	2017-08-16~ 2017-08-16	박형근/자체수행	•양호함	-	양호
14	정기 안전점검 (상반기)	2017-05-18~ 2017-05-18	박형근/자체수행	•양호함	-	양호
15	정밀 안전점검	2016-11-16~ 2016-12-30	(주)엠케이에스이 /정석기	•방호벽 균열(0.3㎜미만) •신축이음 본체고무재파손, 차수판 볼트탈락 •바닥판 균열(0.3㎜미만), 백태 •거더외부 부식 •교량받침 몰탈균열, 받침콘크리트 파손, Plate부식 •교대 균열(0.3㎜미만), 백태, 표면오염 •교각 균열(0.3㎜미만), 파손	15,805	B등급
16	정기 안전점검 (상반기)	2016-04-18~ 2016-04-18	옥병석/자체수행	•양호함	-	양호

【표 2.9】 점검 및 진단이력(울산)(계속)

번호	구 분	점검/ 진단기간	점검/ 진단기관	주요 점검/진단 결과	비용(천원)	상태 등급
17	정기 안전점검 (하반기)	2015-08-04~ 2015-08-04	최문용/자체수행	•양호	-	양호
18	정기 안전점검 (상반기)	2015-04-22~ 2015-04-22	최문용/자체수행	•양호	-	양호
19	정기 안전점검 (하반기)	2014-08-04~ 2014-08-04	최문용/자체수행	•양호	-	양호
20	정기 안전점검 (상반기)	2014-05-12~ 2014-05-12	최문용/자체수행	•양호	-	양호
21	정밀 안전점검	2013-10-01~ 2013-12-03	장석균/자체수행	•벽체균열, 파라펫부 균열	-	A등급
22	정기 안전점검 (상반기)	2013-05-14~ 2013-05-14	장석균/자체수행	•양호	-	양호
23	정기 안전점검 (하반기)	2012-08-01~ 2012-08-02	장석균/자체수행	•양호	-	양호
24	정기 안전점검 (상반기)	2012-04-18~ 2012-04-18	장석균/자체수행	•양호	-	양호
25	정기 안전점검 (하반기)	2011-08-16~ 2011-08-16	강춘길/자체수행	•양호	-	양호
26	정기 안전점검 (상반기)	2011-05-06~ 2011-05-06	강춘길/자체수행	•이상없음	-	양호
27	정기 안전점검 (하반기)	2010-07-07~ 2010-12-08	김동광/자체수행	•양호함	-	양호
28	정밀 안전점검	2010-03-10~ 2010-05-09	전현익/자체수행	•신축이음 고무재 일부 손상	-	A등급
29	정기 안전점검 (하반기)	2009-08-04~ 2009-11-25	신재환	•이상없음	-	양호
30	정기 안전점검 (상반기)	2009-03-06~ 2009-06-30	이재덕	•이상없음	-	양호
31	정밀 안전점검	2008-08-14~ 2008-12-31	㈜다린이앤씨 /정재동	•문제점이 없는 최상의 상태	18,326	A등급

2.3.3 기존 정밀안전점검·정밀안전진단 실시결과(부산)

가. 전차 정밀안전진단 실시결과(2018.08 ~ 2018.12)

【표 2.10】 전차 정밀안전진단(2018년) 실시결과 요약(부산)

구 분		내용	비고
용 역 명		·2018년도 정밀안전진단, 정밀안전점검 및 성능평가[교량]	
용역기간		·2018. 08. 16 ~ 2018. 12. 31	
용 역 사		·(주)엠케이에스이	
외관조사	교면포장	·패임	a
	난간/방호벽	·균열(0.3mm미만), 망상균열	b
	신축이음	·유간부족(A1), 후타재 균열	d
	배수시설	·상태양호	a
	바닥판	·박락	b
	거더/가로보	·도장긁힘, 열화(변색)	b
	교량받침	·가동여유량 부족, 앵커볼트 부식	c
	교대/교각	·균열(0.3mm미만), 측방유동(우려)	c
비파괴	강도	·설계기준강도 이상을 확보 (상부구조 : 28.2 ~ 30.8㎫, 하부구조 : 26.0 ~ 27.9㎫)	
	탄산화	·탄산화에 의한 내구성 저하는 없음 (상부구조 : 3.5 ~ 5.5㎜, 하부구조 : 4.2 ~ 5.6㎜)	
	철근배근	·준공도면과 유사하게 일정간격으로 시공됨	
	염화물	·염화물에 의한 철근부식 우려 없음 (상부:0.092kgf/㎥, 하부:0.077~0.083kgf/㎥)	
	강재비파괴	·거더 상하부플랜지 맞대기 용접부 초음파탐상 모두 1급, 합격	
상태평가		·C등급(상태평가지수 0.281)	
안전성평가		·A등급(안전율 1.194)	
안전등급		·C등급	
종합의견		·만화교(부산, 울산)는 준공 후 10년이 경과된 Steel Box Girder 형식의 교량으로 외관조사결과 신축이음·바닥판 하절기 온도상승에 따른 유간부족(A1, A2), 교량받침 하절기 온도상스에 따른 가동여유량 부족(P3, A2), 구조검토결과 교대 A1, A2 측방유동 가능성이 있는 것으로 조사·검토되었다. ·유간부족, 교대 측방유동, 교량받침 가동여유량 부족에 따른 교대 보강(어스앵커공법), 바닥판 단부 절단, 신축이음 교체, 교량받침 재배치, 기타 상·하부구조의 균열 등에 대하여 신속한 하자 보수·보강이 요구된다. ·또한, 교대 보강공법 변경시 그에 따른 안전성 검토와 교량받침 재배치시 교량 인상공법에 따른 안전성 검토, 보수·보강 이후 계측을 통한 구조물의 이상유무를 일정기간 실시하여야 할 것으로 판단된다.	

나. 전차 정밀안전점검 실시결과(2022.04 ~ 2022.12)

【표 2.11】 전차 정밀안전점검(2022년) 실시결과 요약(부산)

구 분		내용	비고
용 역 명		·2022년 부산울산고속도로 정기·정밀안전점검용역[교량]	
용역기간		·2022. 04. 07 ~ 2022. 12. 23	
용 역 사		·(주)엠케이에스이	
외관조사	교면포장	·포장 패임	a
	난간/방호벽	·균열(0.3㎜미만), 망상균열, 난간 변형	b
	신축이음	·유간토사퇴적, 후타재 균열, 차수판 볼트파손, 신장 여유량 부족(A2)	c
	배수시설	·상태양호	a
	바닥판	·상태양호	a
	거더/가로보	·도장박리, 도장열화(백아화)	b
	교량받침	·앵커볼트 부식, 콘크리트 들뜸	b
	교대/교각	·균열(0.3㎜미만), 백태, 실링재 열화	b
비파괴	강도	·설계기준강도 이상을 확보 (상부구조 : 27.8 ~ 28.5㎫, 하부구조 : 26.2 ~ 27.1㎫)	
	탄산화	·탄산화에 의한 내구성 저하는 없음 (상부구조 : 5.5 ~ 7.2㎜, 하부구조 : 4.6 ~ 7.3㎜)	
상태평가		·B등급(상태평가지수 0.171)	
안전성평가		·미실시	
안전등급		·B등급	
종합의견		·만화교(부산)는 준공 후 14년이 경과된 Steel Box Girder 형식의 교량으로 외관조사결과 주요 손상으로 교면포장 패임, 방호벽 균열(0.3㎜미만), 망상균열, 난간 변형, 신축이음 후타재균열, 유간부 토사퇴적, 신장 여유량부족(A2), 거더 도장박리, 도장열화(백아화), 교량받침 앵커볼트 부식, 몰탈 균열(0.3㎜미만), 콘크리트 들뜸, 교대/교각 균열(0.3㎜미만), 백태 등의 손상이 발생하고 있는 것으로 조사되었다. ·신축이음 A2는 하절기(40℃)에 최대 신장시 여유량이 부족한 것으로 검토되었으며, 대상 시설물의 교대(A1, A2)는 측방 유동에 의한 변위 가능성이 존재하므로 구조물의 원활한 신축거동을 위해 신축이음(A2)에 대한 교체가 요구된다. ·따라서, 본 교량은 「보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능발휘에는 지장이 없으며, 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태」인 “B등급”(양호)으로 평가 되었으며, 금회 점검시 조사된 손상·결함부에 대하여 보수를 시행한다면 공용상의 문제는 없을 것으로 판단되고 시설물 등급의 상향 또는 현 상태의 등급을 지속적으로 유지할 수 있을 것으로 판단된다.	

2.3.4 기존 정밀안전점검·정밀안전진단 실시결과(울산)

가. 전차 정밀안전진단 실시결과(2018.08 ~ 2018.12)

【표 2.12】 전차 정밀안전진단(2018년) 실시결과 요약(울산)

구 분		내용	비고
용 역 명		·2018년도 정밀안전진단, 정밀안전점검 및 성능평가[교량]	
용역기간		·2018. 08. 16 ~ 2018. 12. 31	
용 역 사		·(주)엠케이에스이	
외관조사	교면포장	·상태양호	a
	난간/방호벽	·상태양호	a
	신축이음	·본체 고무재파손(P3), 차수판 볼트탈락	c
	배수시설	·집수구 막힘	b
	바닥판	·협착(A1), 단부 파손	b
	거더/가로보	·부식, 열화(변색)	b
	교량받침	·Plate부식, 볼트부식	b
	교대/교각	·측방유동(우려), 균열(0.3㎜미만)	b
비파괴	강도	·설계기준강도 이상을 확보 (상부구조 : 27.9 ~ 29.4㎫, 하부구조 : 25.3 ~ 26.4㎫)	
	탄산화	·탄산화에 의한 내구성 저하는 없음 (상부구조 : 4.5 ~ 7.2㎜, 하부구조 : 4.5 ~ 8.3㎜)	
	철근배근	·준공도면과 유사하게 일정간격으로 시공됨	
	염화물	·염화물에 의한 철근부식 우려 없음 (상부:0.086kgf/㎥, 하부:0.077~0.082kgf/㎥)	
	강재비파괴	·거더 상하부플랜지 맞대기 용접부 초음파탐상 모두 1급, 합격	
상태평가		·B등급(상태평가지수 0.227)	
안전성평가		·A등급(안전율 1.194)	
안전등급		·B등급	
종합의견		·만화교(포항)는 준공 후 10년이 경과된 Steel Box Girder 형식의 교량으로 외관조사결과 바닥판 하절기 온도상승에 따른 유간부족(A1), 구조검토결과 교대 A1 측방유동 가능성이 있는 것으로 조사·검토되었다. ·유간부족, 교대 A1 측방유동에 따른 교대 보강(어스앵커공법), 바닥판 단부 절단, 신축이음 교체, 기타 상·하부 구조의 균열 등에 대하여 하자보수 하자보수·보강이 요구된다. ·또한, 거더외부(G1, G3) 외측으로 장기공용 및 외기노출(햇빛)에 의한 도장열화(변색)가 조사되었으며, 강재를 보호하는 도장의 기능이 저하된 상태인 것으로 확인되어 도장보수계획을 수립하여 도장손상 및 내구성 저하를 방지하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.	

나. 전차 정밀안전점검 실시결과(2022.04 ~ 2022.12)

【표 2.13】 전차 정밀안전점검(2022년) 실시결과 요약(울산)

구 분		내용	비고
용 역 명		·2022년 부산울산고속도로 정기·정밀안전점검용역[교량]	
용역기간		·2022. 04. 07 ~ 2022. 12. 23	
용 역 사		·(주)엠케이에스이	
외관조사	교면포장	·포장 패임	a
	난간/방호벽	·상태양호	a
	신축이음	·후타재균열 및 마모, 유간토사퇴적, 차수판 볼트탈락, 수축 여유량 부족(A1, A2)	c
	배수시설	·배수관 고정대 탈락	b
	바닥판	·상태양호	a
	거더/가로보	·도장긁힘 및 부식, 도장열화(백아화), 내부망파손	b
	교량받침	·상태양호	b
	교대/교각	·균열(0.3㎜미만, 0.3㎜이상), 백태, 접속부 이격, 표면박리, 표면오염	b
비파괴	강도	·설계기준강도 이상을 확보 (상부구조 : 27.8 ~ 28.3㎫, 하부구조 : 26.3 ~ 27.1㎫)	
	탄산화	·탄산화에 의한 내구성 저하는 없음 (상부구조 : 5.5 ~ 7.6㎜, 하부구조 : 6.1 ~ 8.3㎜)	
상태평가		·B등급(상태평가지수 0.171)	
안전성평가		·미실시	
안전등급		·B등급	
종합의견		·만화교(울산)는 준공 후 14년이 경과된 Steel Box Girder 형식의 교량으로 외관조사결과 주요 손상으로 교면포장 패임, 배수관 고정대 탈락, 신축이음 후타재균열 및 마모, 유간부 토사퇴적, 수축 여유량부족(A1, A2), 거더외부 도장긁힘 및 부식, 도장열화(백아화), 교대/교각 균열(0.3㎜미만, 0.3㎜이상), 백태, 표면박리, 표면오염 등의 손상이 발생하고 있는 것으로 조사되었다. ·본 교량의 교대(A1)는 측방유동의 가능성이 있는 것으로 검토되어 2018년에 어스앵커 보강을 실시한 것으로 확인되었으며, 금회 점검시 추가적인 변위 여부를 확인하기 위해 동일한 위치에서 기울기 측정 결과 초기값(2020.12)과의 차이는 없는 상태로 주기적인 유지관리가 요구된다. ·따라서, 본 교량은 「보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나, 기능발휘에는 지장이 없으며, 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태」인 "B등급"(양호)으로 평가 되었으며, 금회 점검시 조사된 손상·결함부에 대하여 보수를 시행한다면 공용상의 문제는 없을 것으로 판단되고 시설물 등급의 상향 또는 현 상태의 등급을 지속적으로 유지할 수 있을 것으로 판단된다.	

2.4 보수·보강 이력

2.4.1 보수·보강 이력

본 교량은 준공 이후 현재까지 주기적인 점검을 실시하고 있으며, 시설물통합정보관리시스템(FMS)에 입력된 보수・보강이력은 다음과 같다.

【표 2.14】 보수·보강 이력(부산)

구분	공사기간	설계자	시공자	공사명	보수·보강공법/내용	공사금액(원)
보수	2011-03-01 ~ 2011-04-15	신재환	울트라건설 (박근필)	부산울산고속도로 하자보수 공사	배수시설 배수시설 부분보수	1,000
-	2017.12	-	바우테크	-	신축이음 P3 신축이음 교체	-
-	2018.11	-	이왕코리아	-	신축이음 P3 신축이음 교체	-
-	2018.11	케이엔씨 컨설턴트 (주)	경남기업(주)	-	교대, 신축이음, 거더 교대 A1, A2 어스앵커보강 신축이음 A1, A2 교체 거더 단부 절단(A1, A2)	-
보수	2019-09-18 ~ 2019-12-31	이효찬	CS청산건설(주) (이건수)	구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사	거더, 교량받침, 신축이음, 하부구조, 방호벽 볼트재체결, 표면처리, 재도장, 주입보수, 차수판설치	4,567,000
개량	2020-08-18 ~ 2020-12-04	구조물 안전팀	㈜가화건설 (정덕민)	2020년 경남본부 관내 교량 내진보강 및 성능개량공사	교량받침(P1) 콘크리트 전단키 설치	8,564,000
※ 시설물통합정보관리시스템(FMS) 내 교량관리대장 및 보수공사현황 참조 ※ 전차 정밀안전진단(2018년) 자료 참조						

【표 2.15】 보수·보강 이력(울산)

구분	공사기간	설계자	시공자	공사명	보수·보강공법/내용	공사금액(원)
-	2016년 정밀점검 이후	-	-	-	방호벽, 바닥판, 하부구조 표면처리	-
-	2018.11	케이엔씨 컨설턴트	경남기업(주)	-	교대, 신축이음, 거더 교대 A1 어스앵커보강 신축이음 A1 교체 거더 단부 절단(A1)	-
보수	2019-09-18 ~ 2019-12-31	이효찬	CS청산건설(주) (이건수)	구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사	거더, 교량받침, 신축이음, 하부구조, 방호벽 볼트재체결, 표면처리, 재도장, 주입보수	608,000
개량	2020-08-18 ~ 2020-12-04	구조물 안전팀	㈜가화건설 (정덕민)	2020년 경남본부 관내 교량 내진보강 및 성능개량공사	교량받침(P1) 콘크리트 전단키 설치	8,564,000
※ 시설물통합정보관리시스템(FMS) 내 교량관리대장 및 보수공사현황 참조 ※ 전차 정밀안전진단(2018년) 자료 참조						

2.4.2 검토의견

만화교(부산)의 보수·보강 이력 검토결과, 시설물통합정보관리시스템(FMS)상에는 보수·보강 이력이 3건 있는 것으로 확인되었으며, 보수·보강 이력으로는 2011년 3월에 실시한 “부산울산고속도로 하자보수 공사” 및 2019년 9월에 실시한 “구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사” 및 2020년 8월에 실시한 “2020년 경남본부 관내 교량 내진보강 및 성능개량공사”로 확인되었다. 그 외 전차보고서 검토결과, 2017년 12월에 신축이음 교체 및 2018년 신축이음 교체 및 거더 단부 절단 등의 총 3건의 보수·보강 이력이 확인되었다.

만화교(울산)의 보수·보강 이력 검토결과, 시설물통합정보관리시스템(FMS)상에는 보수·보강 이력이 2건 있는 것으로 확인되었으며, 보수·보강 이력으로는 2019년 9월에 실시한 “구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사” 및 2020년 8월에 실시한 “2020년 경남본부 관내 교량 내진보강 및 성능개량공사”로 확인되었다. 그 외 전차보고서 검토결과, 2016년 이후에 방호벽, 바닥판, 하부구조 표면처리 및 2018년 신축이음 교체 및 거더 단부 절단 등의 총 2건의 보수·보강 이력이 확인되었다.

육안으로 확인 가능한 보수부의 손상 재발생 여부 및 전차 정밀안전진단 및 정밀안전점검과 금회 정밀안전진단의 상세 외관조사결과를 비교・검토하여 추가손상 및 진전여부를 확인하고 내구성 및 안전성 확보를 위해 적절한 보수・보강방안을 제시하고자 한다.

2.5 시설물의 내진설계 여부 확인

만화교(부산, 울산)에 대한 내진설계 자료는 『부산~울산간 고속도로 건설공사 구조 계산서(Ⅱ)-제3공구』을 참고하여 작성하였다.

【표 2.16】내진 설계여부

적용유무	내진설계	비고
내진설계 적용	◦ 해석방법 - 다중 모드 스펙트럼 ◦ 설계대상 부재 - 교각 ◦ 내진설계 상수 내진등급 : 내진 1등급 지진구역계수 : 0.110 가속도계수 : 0.154 지반종류 : Ⅱ지역 (S=1.20)	1.1 교량제원 1) 교량명 : 거창교 2) 상부구조 : 7 경간 연속 STEEL BOX 교 3) 하부구조 : ㅍ형 교각 4) 해석방법 : 다중모드 스펙트럼 해석법 5) 교폭 : 16.200 M 6) 내진등급 : 1등급 (고속도로교) 재현주기 1000년 --> 위험도 계수 1.4 (내진1등급) 지진구역 1 --> 구역계수 0.11 (경상남도) 가속도 계수 : A = 1.4 X 0.11 = 0.154 7) 지반계수 : 1.2 (지반종류 II) 8) 응답 수정계수 (R) : ·하부구조 : 다주식 (교축 방향 R =5.0 , 교축 직각방향 R = 3.0) ·연결부분 : 교대 R = 0.8 , 교각 R = 1.0 제3공구 구조계산서(Ⅱ) 2-1825p

【표 2.17】교량받침 내진설계 요약(교축방향)(부산)

구분	작용수평력		검토받침용량		응답수정 계수	적용 받침용량
	전체	받침당	연직력	수평력		
A1	0.000	0.000	100	20	0.8	250
P1	380.357	63.393	350	66	1.0	500
P2	201.823	33.637	400	75	1.0	400
P3	0.000	0.000	200	95	1.0	300
P4	130.840	21.807	400	75	1.0	400
P5	370.742	61.790	400	75	1.0	500
A2	0.000	0.000	200	31	0.8	250

※작용수평력은 응답수정계수가 고려된 값임.

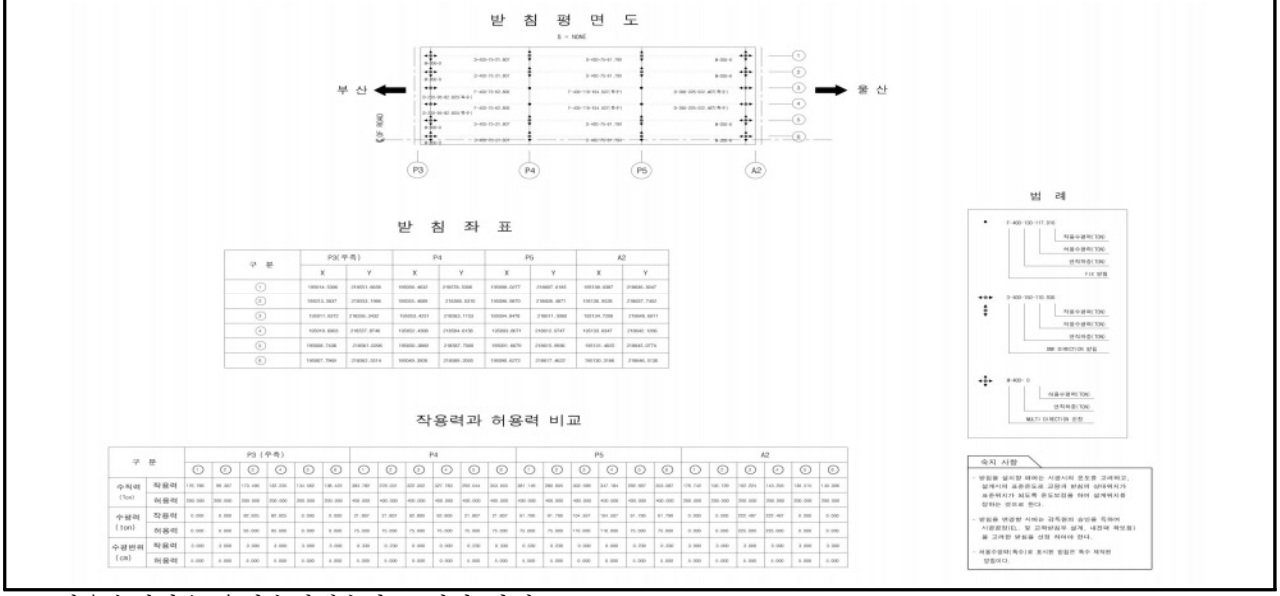
【표 2.18】 교량받침 내진설계 요약(교축방향)(울산)

구분	작용수평력		검토받침용량		응답수정 계수	적용 받침용량
	전체	받침당	연직력	수평력		
A1	0.000	0.000	100	20	0.8	250
P1	505.385	84.231	350	66	1.0	500
P2	128.410	21.402	400	75	1.0	400
P3	0.000	0.000	200	31	1.0	300
P4	123.895	20.649	400	75	1.0	400
P5	388.407	64.735	400	75	1.0	500
A2	0.000	0.000	200	31	0.8	250

※작용수평력은 응답수정계수가 고려된 값임.

【표 2.19】 교량받침 내진설계 요약(교축직각방향)(부산)

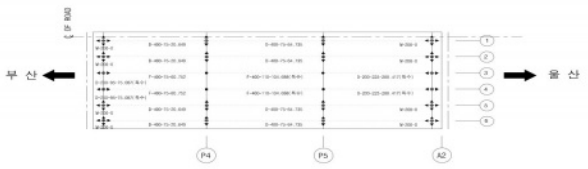
구분	작용수평력		검토받침용량		응답수정 계수	적용 받침용량
	전체	받침당	연직력	수평력		
A1	244.923	122.462	100	20	0.8	250
P1	253.666	126.833	350	66	1.0	500
P2	302.429	151.214	400	75	1.0	400
P3	180.337	90.169	200	31	1.0	300
P4	125.601	62.800	400	75	1.0	400
P5	209.014	104.507	400	75	1.0	500
A2	444.974	222.487	200	31	0.8	250



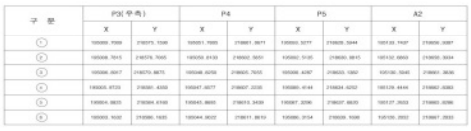
※작용수평력은 응답수정계수가 고려된 값임.

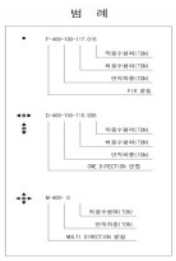
【표 2.20】교량받침 내진설계 요약(교축직각방향)(울산)

구분	작용수평력		검토받침용량		응답수정 계수	적용 받침용량
	전체	받침당	연직력	수평력		
A1	269.253	134.626	100	20	0.8	250
P1	360.971	180.486	350	66	1.0	500
P2	200.188	100.094	400	75	1.0	400
P3	163.139	81.570	200	31	1.0	300
P4	121.503	60.752	400	75	1.0	400
P5	209.377	104.688	400	75	1.0	500
A2	400.834	200.417	200	31	0.8	250

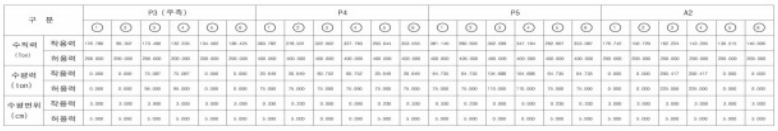


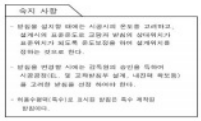
받 침 좌 표





작용력과 허용력 비교





※작용수평력은 응답수정계수가 고려된 값임.

- 준공도서상 내진설계결과 교축직각방향 받침의 작용력이 허용력을 초과하므로 내진성능평가 등의 상세검토가 요구된다.

2.6 자료분석 결과요약

본 과업을 수행함에 있어 효과적으로 용역을 수행하기 위하여 기 실시한 정기안전점검(2023년) 등의 유지관리 자료를 입수하였다. 설계도면 및 구조계산서 등의 기타 필요한 자료는 시설물통합정보관리시스템(FMS)상의 시설물관리대장과 시설물준공자료 등을 확인하여 검토하였으며, 수집자료를 검토한 결과 및 정밀안전진단과업 진행 방향은 다음【표 2.21】과 같다.

【표 2.21】자료분석 결과요약

구 분	수집 자료	자료분석 결과	진단과업 진행방향
건 설 관 련 자 료	• 준공도면 및 구조 및 계산서 - 준공도면 부산-울산간 고속도로 민간 투자시설사업 준공도면(2008.12) - 토질조사보고서 - 구조계산서 - 수리계산서	• 준공도면, 구조 및 수리계산서, 설계당시 기준에 준하여 작성된 것으로 확인됨. • 준공도면, 구조 및 수리계산서의 구조물 치수는 동일한 것으로 확인됨.	• 현장조사시 부재제원을 실측하여 준공도면과 비교·검토를 실시함. • 손상에 대한 원인분석시, 시공자료 검토를 통하여 시공적인 원인에 의한 발생유무를 확인하고자 함.
유 지 관 리 자 료	• 점검 및 진단 이력 : 정밀안전진단(1회) - 2018. 12. : 1종성능평가(1회) - 2018. 12. : 정밀안전점검(6회) - 2008. 12. - 2010. 05. - 2013. 12. - 2016. 12. - 2020. 12. - 2022. 12. : 정기안전점검(23회)	• 신축이음 유간부족(A1), 후타재 균열 등이 조사됨. • 상부구조 박락, 도장긁힘, 열화(변색) 조사됨. • 하부구조 균열(Cw=0.3㎜미만), 측방유동(우려) 등이 조사됨. • 상태평가결과, 「C」로 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 상태임. • 내구성 조사결과, 설계기준 이상으로 양호한 상태임. • 안전성평가결과 구조물에 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가됨.	• 기 진단과의 비교·분석으로 통하여 추가적인 손상이나, 기존손상의 진전여부 등을 확인함. • 기 진단과의 비교·분석으로 내구성 저하 여부 확인
	• 보수·보강 이력 : 시설물통합정보관리시스템(FMS) 참조.	• 공용중 지속적인 유지보수 실시. - 콘크리트 전단키 설치 - 볼트 재체결, 재도장 - 균열보수(표면처리, 주입보수) - 차수판 설치 등	• 보수부위의 상태점검을 통하여 보수공법의 적정성 및 재손상 발생여부 등을 확인. • 보수공법 효과성 확인을 통하여 합리적인 보수방안 도출.

2.7 기타 참고자료

【표 2.22】기타 참고자료

구 분	관련기관 및 종류, 년도
적용기준	· 국토교통부, 시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법(시설물안전법), 2021. · 국토교통부, 시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침, 2022 · 국토교통부, 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검 · 진단 편), 2022. · 국토교통부, 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 해설서(안전점검 · 진단 편), 2022. · 국토교통부, 구조설계기준(KDS 14 00 00)(콘크리트구조 설계, 강구조설계), 2022. · 국토교통부, 구조재료공사 표준시방서(KCS 14 00 00)(콘크리트공사, 강구조공사), 2022. · 국토교통부, 교량설계기준(KDS 24 00 00), 2022. · 국토교통부, 교량공사 표준시방서(KCS 24 00 00), 2018.
참고문헌	· 건설교통부, 도로교표준시방서, 1996. · 건설교통부, 도로교표준시방서, 1999. · 건설교통부, 도로교표준시방서, 2005. · 국토해양부, 도로교표준시방서, 2013. · 국토해양부, 콘크리트표준시방서, 1996. · 국토해양부, 콘크리트표준시방서, 2003. · 국토해양부, 콘크리트표준시방서, 2009. · 건설교통부, 콘크리트 구조물의 균열, 누수 보수 · 보강 전문시방서, 1999. · 건설교통부, 콘크리트 내구성 평가 절차수립, 1999. · 국토교통부, 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 등에 관한 지침, 2016. · 국토해양부, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 2009. · 국토해양부, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 2010. · 국토교통부, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 2017. · 국토교통부, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 2022. · 국토교통부, 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 해설서, 2022. · 사단법인 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조설계기준, 2003. · 사단법인 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조설계기준, 2007. · 사단법인 한국콘크리트학회, 콘크리트 구조설계기준, 2012. · 한국시설안전기술공단, 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼, 2006. · 한국시설안전기술공단, 교량 내하력 평가 매뉴얼, 2006.

제 3장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

3.2 외관조사(부산)

3.3 외관조사(울산)

3.4 콘크리트 내구성조사

3.5 강재 내구성조사

3.6 현장조사 및 시험 결과요약

제 3장 현장조사 및 시험

3.1 개요

만화교(부산, 울산)는 부산광역시 기장군 기장읍에 위치한 부산울산선 상 (10.2㎞)의 고속도로 교량이며, 2008년 12월에 준공되었다. 시공사는 경남기업(주)이며, 설계하중은 DB-24(DL-24)로 확인되었다.

본 교량의 연장은 310.0m(6경간)이며, 폭은 16.2m(편도3차로)이다. 구조형식으로 상부구조는 Steel Box Girder(S1～S6경간)로 시공되었으며, 하부구조는 역T형 교대와 Π형 교각으로 시공되었다. 또한 기초형식은 직접기초(교각) 및 강관말뚝기초(교대, 교각)로 시공되어 있다.

본 시설물에 대한 외관조사는 대상교량의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단함을 목적으로 교량부재 전체에 대하여 가능한 한 근접한 상태에서 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였다. 따라서, 사전 현장답사를 통해 주변 여건을 파악하여 근접조사에 필요한 접근방법 및 장비동원과 그에 따른 일정계획을 수립하고, 기초자료의 수집 및 분석을 통한 주요 손상을 파악하는 등의 사전검토를 통하여 주요손상을 파악한 후 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침_안전점검・진단편(교량)(2022.12, 국토교통부/국토안전관리원)』의 실시요령에 따라 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물의 기능 및 성능 저하, 상태 등을 신속·정확하게 검사·평가하는 데 주안점을 두고 외관조사 방향을 결정하였다.

현황조사결과, 본 교량은 도로 및 등산로 횡단하여 시민의 통행이 잦은 것으로 확인되어 안전에 주의하였으며, 외관조사시, 전구간(S1～S6) 도보조사 및 교량점검차, 고소작업차, 드론을 이용하여 외관조사 및 시험을 실시하였다.

또한 현장조사 시 관리주체의 감독자, 사업책임기술자의 작업지시에 의해 조사·시험을 수행하는 것을 원칙으로 하였으며, 매일 안전관리자의 감독하에 안전교육을 실시하여 안전사고를 미연에 방지할 수 있도록 노력하였다.

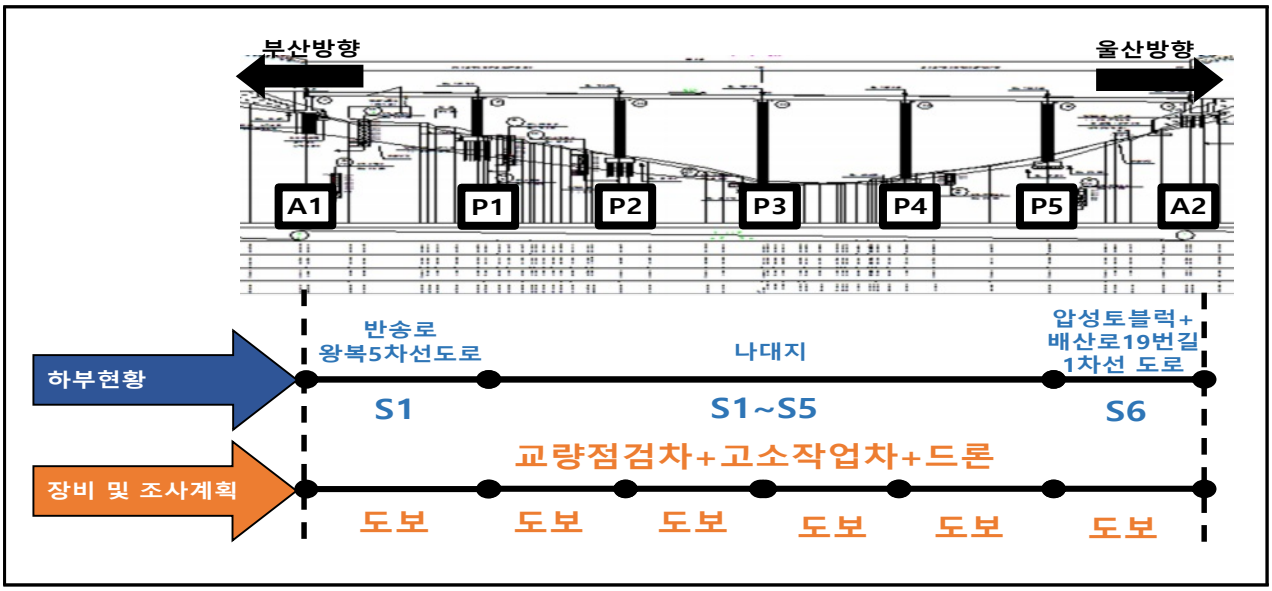
본 장에서는 외관조사 결과 확인된 결함과 손상상태에 대하여 교량의 구성 부재별로 사진을 첨부하여 설명하고 발생원인을 분석하여 보수·보강 및 유지관리방안을 마련하는 데 참고할 수 있도록 하였으며, 전체 부재에 대한 외관조사망도를 작성하여 향후 교량의 점검 및 유지관리시 효율적으로 활용할 수 있도록 하였다.

【표 3.1】 부재별 조사항목

구 분		조 사 항 목	하중변화 상태
상부 구조	바닥판	• 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 재료분리 • 누수, 백태, 표면오염.	• 이상 없음
	강재 거더	• 균열, 파손, 변형. • 연결부 부식, 이완, 이상음, 볼트 파손. • 표면상태, 오염, 부식, 가로보 연결불량. • 강박스 거더 내부로의 우수유입.	• 이상 없음
하부 구조	교대	• 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 누수, 백태, 박락, 파손, 재료분리. • 교대의 이동 및 회전 유무. • 거더 또는 바닥판과의 협착 유무.	• 이상 없음
	교각	• 콘크리트 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 재료분리.	• 이상 없음
	기초	• 세굴, 침하, 파손, 침식.	• 이상 없음
교면포장		• 균열, 요철, 단차, 포트홀, 물고임(체수)	• 이상 없음
배수시설		• 파손, 배수관 길이 부족, 배수관 주변 및 연결부 누수, 배수구 위치불량	• 이상 없음
연석 및 난간		• 균열, 철근부식, 철근노출, 박락, 파손, 백태	• 이상 없음
교량 받침	강재 받침	• 균열, 부식, 변형, 파손	• 이상 없음
	탄성 받침	• 부풀음 및 갈라짐 • 고무판의 과도한 변형	• 이상 없음
	기타	• 유간 부족, 편기, 수평불량, 가동불량, 교량받침 설치오류, 앵커볼트 파손	• 이상 없음
신축이음		• 본체의 파손, 부식, 누수, 이상음 및 진동, 유간 부족 • 후타재의 균열, 파손, 단차 • 후타재와 포장면 사이 이격	• 이상 없음

【표 3.2】공중이용시설 10대 위험요소 점검요령 및 예방방법

연번	구 분	점검요령	예방방법 [예시]	해당사항
①	교각 코핑 콘크리트 탈락	•인접 교각에서 망원경으로 균열여부 확인	•신축이음 누수예방 또는 하천형 배수관 길이 연장	○
②	중분대 하면 콘크리트 탈락	•교량 하부에서 망원경으로 백태, 균열여부 확인	•중분대 바닥판 이음부 누수방지(폴리우레아 등)	○
③	교량 배수관 낙하사고	•교량하부 및 점검시설에서 망원경으로 부식여부 확인	•배수관 중량, 하부조건 등을 고려하여 취약교량 선정 후 중점관리	○
④	터널 고드름 낙하사고	•터널 입·출구부 라이닝 누수여부 조사	•입·출구부 L채널 설치, 라이닝 차수 등	-
⑤	주유소 및 충전소 화재사고	•누유·소방 경보설비 작동여부 등 점검	•접지단자, 정전기 방지패드 및 경보 설비 설치	-
⑥	신축이음장치 솟음현상(Blow-up)	•갓길측 노견부에서 거더·교대 유간 및 신축장치 유간 확인	•하절기 솟음 우려 교량의 경우 기술자문 등을 거쳐 보수·보강공법 검토	○
⑦	포장 부분 보수부 파손	•갓길측 차량진행 반대방향으로 도보점검 (포장 파손 여부 확인)	•임시보수부 주의관찰 후 동절기 전 교면포장부 항구보수·보강 실시	○
⑧	교량 집수구 막힘(미끄럼·결빙)	•교통차단 후 도보로 배수구 육안점검 실시	•고압 살수 방법으로 상부집수구 청소 및 소형굴착기로 하부배수관 청소	○
⑨	절토사면·옹벽 표면 손상	•도보로 비탈면에 접근하여 육안조사를 통한 유실 징후 확인	•배수시설 내 이물질 제거 및 유실 우려지점 집중관리	-
⑩	터널 배수구 뚜껑파손	•뚜껑의 구조계산 및 유격발생(들뜸)여부 조사 등 파손 원인 파악	•최근 점검·진단결과를 확인하여 공동구 덮개 열화로 파손이 우려되는 지점 집중관리	-



도보를 이용한 현장조사(교면상부, 박스내부 등)

도보를 이용한 현장조사(점검로)

교량점검차를 이용한 현장조사

고소작업차를 이용한 현장조사

【사진 3.1】 접근장비 및 도보를 이용한 근접조사 전경

3.1.1 주변현황 및 하중변화

만화교(부산, 울산) 시점부 인접구간으로 기장2터널이 위치하고 있으며, S1(국도14호선) 및 S6(배산로 19번길)은 도로를 횡단하고 있는 것으로 확인되었다.

FMS(시설물통합정보관리시스템 fms.or.kr) 및 위탁관리기관인 한국도로공사 울산지사에 보관된 준공관련자료를 검토한 결과 준공 시 고려되었던 하중 이외의 추가하중 및 주변현황의 변화는 없는 것으로 확인되었다.

향후 본 교량에 부속시설 설치 등의 주변현황 변화시 그에 따른 구조검토를 실시하여 하중변화에 따른 교량의 안정성을 검토하고 확보해야 할 것이다.

2018년 위성지도 전경	2023년 위성지도 전경

【사진 3.2】 주변현황 및 하중변화

3.1.2 부재제원 측정

만화교(부산, 울산)의 부재제원 확인을 위해 조사 가능한 부재에 대하여 실측하고 이를 준공도와 비교·검토하여 주요 부재의 규격을 확인한 결과 모든 부재가 준공도서와 유사하여 적절한 시공이 이루어 진 것으로 확인되었다.

【표 3.3】 부재별 제원 측정결과(부산)

구 분		제원(준공도면)	제원(실측결과)	비고
상부구조	STB 거더	B= 2.50m	B= 2.50m	
		H= 2.50m	H= 2.50m	
	가로보	B= 3.00m	B= 3.01m	
하부구조	코핑측면	B= 3.30m	B= 3.30m	
교량받침	받침콘크리트	B= 1.40m	B= 1.41m	
기타시설	방호벽	H= 1.05m	H= 1.05m	
	안전난간	H= 0.27m	H= 0.27m	
	점검통로 안전난간	H= 1.00m	H= 1.00m	
	점검통로 수직사다리	H= 0.30m	H= 0.30m	
측정결과	• 부재제원 실측결과, 전반적으로 준공도면의 제원과 일치함			

【표 3.4】 부재별 제원 측정결과(울산)

구 분		제원(준공도면)	제원(실측결과)	비고
상부구조	STB 거더	B= 2.50m	B= 2.50m	
		H= 2.50m	H= 2.50m	
	가로보	B= 3.00m	B= 3.01m	
하부구조	코핑측면	B= 3.30m	B= 3.31m	
교량받침	받침콘크리트	B= 1.40m	B= 1.41m	
기타시설	방호벽	H= 1.05m	H= 1.05m	
	안전난간	H= 0.27m	H= 0.27m	
	점검통로 안전난간	H= 1.00m	H= 1.00m	
	점검통로 수직사다리	H= 0.30m	H= 0.30m	
측정결과	• 부재제원 실측결과, 전반적으로 준공도면의 제원과 일치함			

【사진 3.3】 부재제원 확인 전경

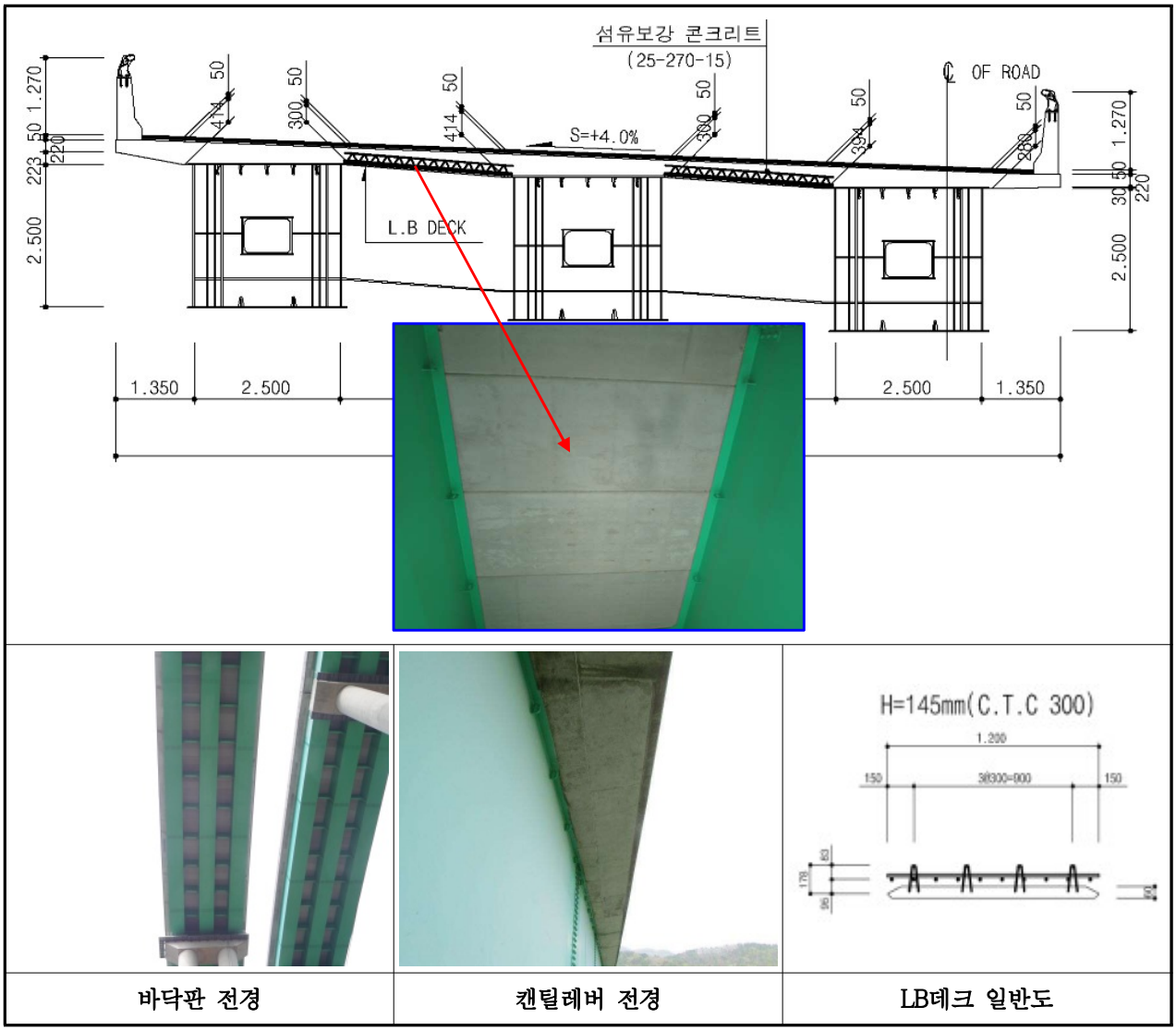
3.2 외관조사(부산)

3.2.1 상부구조

가. 바닥판

1) 개요

- 바닥판은 활하중을 지지하고 하중을 거더로 전달하는 역할을 하며, 거더와 결합하여 구조물의 강성을 확보하는 기능을 한다.
- 만화교(부산)의 바닥판은 6경간으로 철근콘크리트 구조로 시공되어 있으며, LB-DECK로 마감된 것으로 확인되었다. 또한 바닥판 하면 좌·우측으로는 외부로부터의 우수유입 방지를 위한 물끊기홈이 전 구간에 걸쳐 시공되어 있는 것으로 조사되었다.
- 바닥판 하면에 대한 조사는 근접장비(교량점검차) 및 교각 점검로를 이용하여 실시하였다.



바닥판 전경	캔틸레버 전경	LB데크 일반도

【사진 3.4】 바닥판 전경(부산)

2) 외관조사 결과

- 바닥판 하면에 대한 외관조사 결과, 하중의 증가 및 내하력 저하에 따른 구조적 손상은 발생하지 않은 것으로 조사되었으며, 금회 상세조사를 통해 조사된 손상은 재료적 특성, 환경요인에 의해 발생된 비구조적 손상이 대부분인 것으로 확인되었다.
- 주요손상으로는 균열(cw=0.3mm미만), 균열부 백태, 철근노출 손상이 조사되었으며, 바닥판 하면에는 폭 0.1~0.2㎜ 내·외의 균열이 국부적으로 확인되었다.
- 또한 바닥판 하면 균열부로 우수 유입에 의한 균열부백태(1개소)가 조사되었으며, 비교적 경미한 철근노출이 국부적으로 8개소(2개소 박락동반) 확인되었다.

【표 3.5】바닥판 외관조사 결과(부산)

구 분	균열 (cw=0.3mm미만)(m/개소)	균열부백태 (m/개소)	철근노출 (㎡/개소)	비고
S1	7.00/7	-	0.54/3	
S2	5.00/5	-	0.01/1	
S3	9.00/9	0.20/1	2.40/1	
S4	1.00/1	-	3.60/1	
S5	1.00/1	-	-	
S6	-	-	0.59/2	
합 계	**23.00/23**	**0.20/1**	**7.14/8**	

※철근노출 손상중 일부는 박락동반.

S1 균열(Cw=0.2mm/L=1.0m)

S2 균열(Cw=0.1mm/L=1.5m)

【사진 3.5】바닥판 손상현황(부산)

S3 균열부 백태(Cw=0.1mm/L=0.2m)	S1 철근노출(A=1.0×0.1=0.10㎡)
S2 철근노출(A=0.1×0.1=0.01㎡)	S4 철근노출(A=0.4×9.0=3.60㎡)
S2 철근노출(A=5.5×0.1=0.55㎡)	S2 철근노출(A=0.4×0.1=0.04㎡)

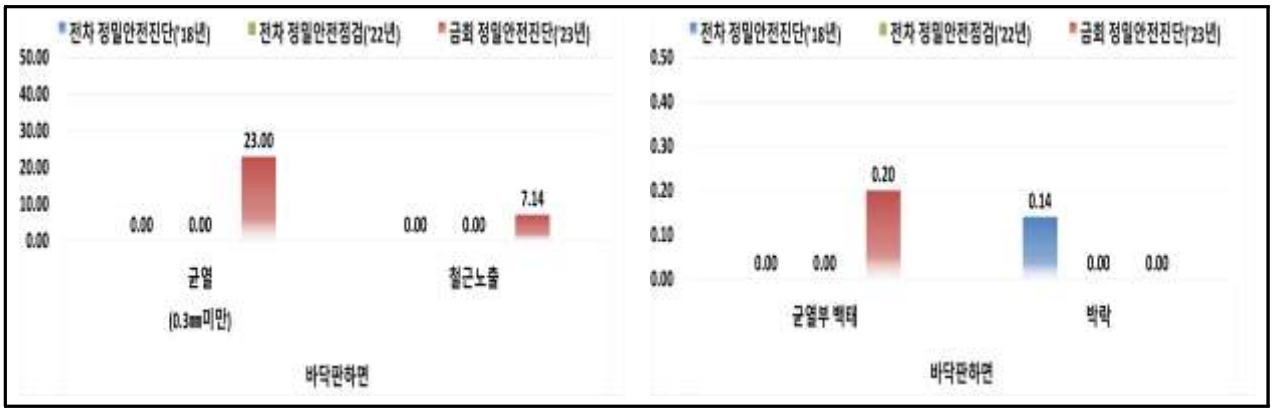
【사진 3.5】바닥판 손상현황(부산)(계속)

3) 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석

- 바닥판에 대한 기 진단 결과와의 비교 결과, 현장조사 결과 금회 신규손상이 추가로 조사되었으며 박락이 보수되어 기 진단 대비 손상물량은 증・감한 것으로 분석되었다.
- 금회 손상물량증가는 단기적인 진전에 기인한 손상이라기보다 금회 상세조사를 통해 추가 조사되어 손상물량이 증가한 것으로 판단된다. 균열 및 균열부 백태, 철근노출의 경우 기 진단 대비 소폭 증가하였으며, 기존부터 관리중인 박락 1개소는 “구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사, 2019.09.18.~12.31”를 통해 보수된 것으로 확인되었다.

【표 3.6】 바닥판 하면 기 진단 결과와의 비교(부산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
균열(cw=0.3mm미만)	m	-	-	23.00	▲ 23.00
균열부백태	m	-	-	0.20	▲ 0.20
철근노출	㎡	-	-	7.14	▲ 7.14
박락	㎡	0.14	-	-	▼ 0.14



【그림 3.1】 바닥판 하면 기 진단 결과와의 비교(부산)

4) 손상발생 원인분석 및 검토의견

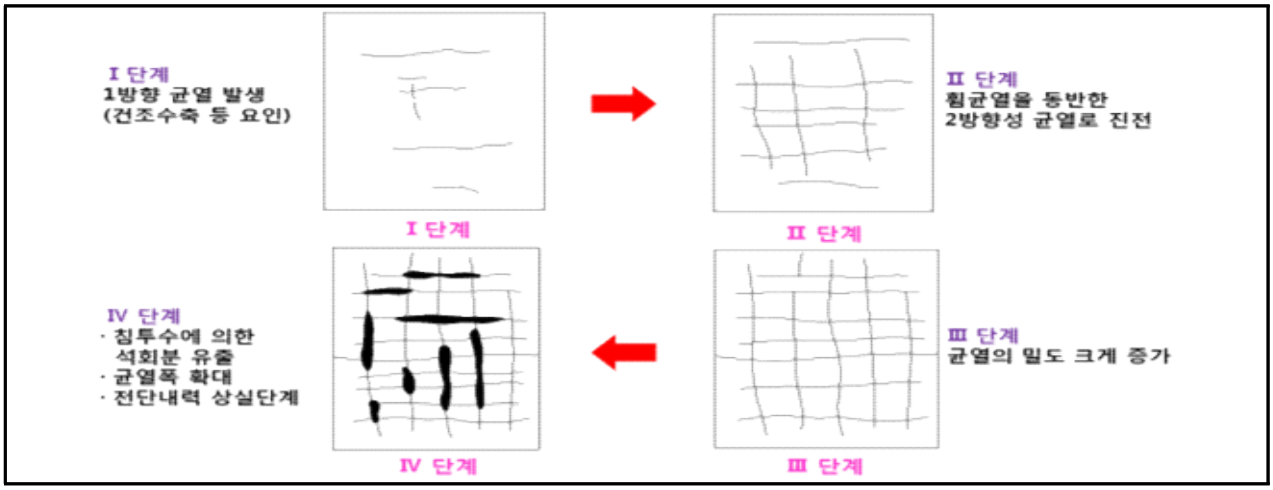
- 일반적으로 콘크리트 바닥판에서 발생하는 균열은 교량 시공시 강박스 거더 상부에 철근콘크리트 바닥판을 타설하여 합성거동을 하는데, 바닥판 타설 후 크리프와 건조수축으로 인해 콘크리트의 수축변형을 강박스 거더가 구속하기 때문에 바닥판 내부와 캔틸레버에 횡방향 균열이 발생하고, 2차적으로 활하중의 반복작용으로 휨균열인 종방향의 균열이 발생함으로써 격자형(망상, 2방향)균열로 발전하는 것이 일반적이다. 금회 조사된 바닥판 균열은 대부분 횡방향의 형태를 띄고 있으며, 일부 균열부(배수관 설치 인접부)로 우수가 스며, 균열부 백태로 진전된 상태이다. 전차 진단대비 물량이 증가한 균열부 백태는 균열폭이 전개소 0.1~0.2mm의 미세균열로 기 진단 이후 급속적인 진전이라기보다 상세 외관

조사를 통해 조사된 신규 손상이며, 건조수축 등의 콘크리트 성질에 기인해 발생한 비구조적 손상으로 판단된다. 따라서, 내구성 저하 방지를 위해 표면보수를 실시한다면 구조물의 안전성 및 사용성에는 지장이 없을 것으로 판단된다.

【표 3.7】시간경과에 따른 균열 발생도(부산)

원인 \ 발생시기	타설후 수시간	수시간~1일	타설후수일	타설후 수10일	시공후 수개월	수년~
하중·외력의 작용			하중작용의 재하조건에 의한 균열			
수 축	소성수축균열					
		경화수축균열				
			단기건조수축균열			
					장기건조수축균열	
온 도 변 화		온도균열(시멘트의 수화열)				
					온도균열 (자연조건에 따른 온도변화)	
콘크리트의 분리	침하균열					
철근의 부식 화학반응						환경조건에 의함

주1) 소성수축균열 : 타설직후 물증발 속도가 블리딩 속도보다 빠른 경우에 발생되는 균열
주2) 경화수축균열 : 수화반응에 의해 체적이 감소되어 발생되는 균열
주3) 단기건조수축균열 : 양생초기 콘크리트내 수분의 빠른 증발로 발생되는 균열
주4) 장기건조수축균열 : 콘크리트 구조물의 장기적인 수분증발에 의해 발생되는 균열(보통 10년 이상 진행되며, 콘크리트 탄산화에 의해서도 건조수축과 마찬가지로 탄산수축이 발생됨)
주5) 불규칙한 그물형태의 표면 망상균열은 콘크리트의 소성수축·경화수축·단기건조수축 모두에서 발생될 수 있음.



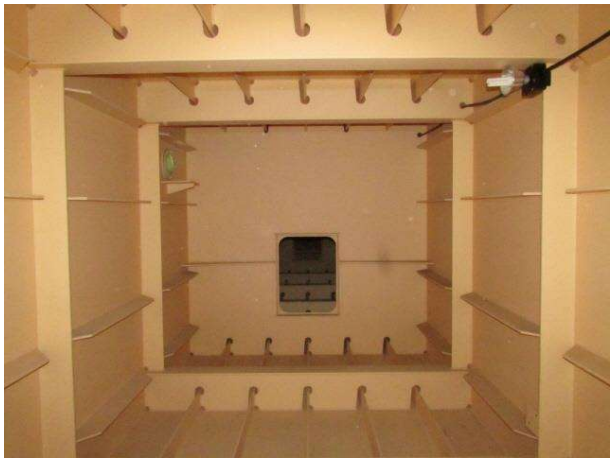
【그림 3.2】콘크리트 바닥판의 균열진전 개요도(부산)

- 본 교량의 발생한 철근노출은 대부분 교대 단부 상단에서 조사되었으며, 캔틸레버부 배수관 인접부에서 1개소가 확인되었다. 철근노출은 콘크리트 피복두께 미확보에 의해 발생한 것으로 내구성 저하 방지를 위해 보수가 필요하나, 단면보수 시 콘크리트의 탈락우려가 있어 방청 후 탄산화방지제 도포 등의 표면보수 또한 함께 고려함이 바람직할 것으로 판단된다.

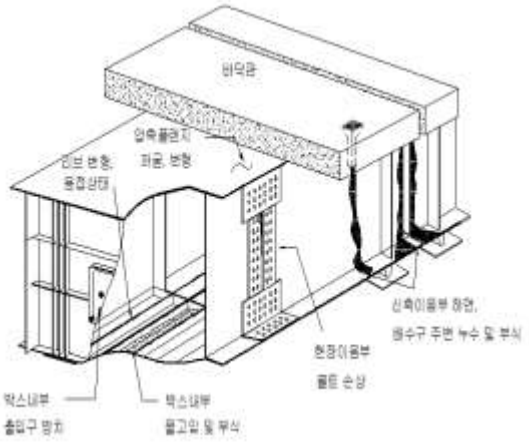
나. 강박스 거더

1) 개요

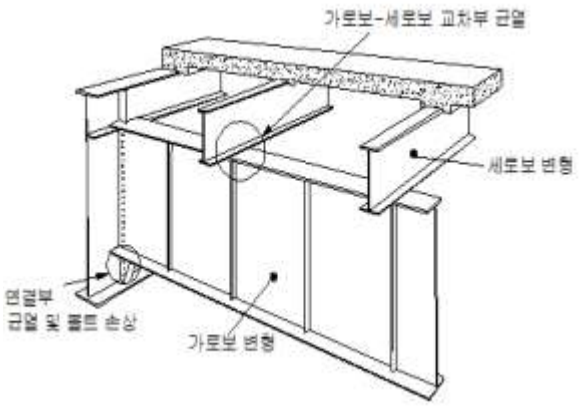
- 만화교(부산)는 3열의 Steel Box Girder형식에 총연장 310.0m(60.0+2@50.0+3@50.0)로 시공되어 있으며, 거더의 좌·우측에는 바닥판 지지를 위한 가로보(Cross Beam)가 설치되어 있다.
- 강박스 거더 내·외부에 대한 점검은 붕괴유발부재(F.C.M)에 대한 점검을 중점적으로 시행하였으며, 특히 피로균열 발생 부재, 부식에 의한 단면감소, 구조적인 변형 여부, 도장 손상 등 안전성, 내구성 및 사용성에 영향을 미치는 결함발생 유·무 대하여 외관조사를 상세히 수행하였다.
- STB Girder 외부는 바닥판과 동일한 교량점검차 및 점검로, 드론을 이용한 방법으로, 내부에 대해서는 도보를 이용한 외관조사를 실시하였다.

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>박스 외부 전경</td><td>박스 외부 조사 전경</td></tr>
<tr><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>박스 내부 전경</td><td>박스 내부 조사 전경</td></tr>
</table>

【사진 3.6】 강박스 거더 전경(부산)



강재거더



2차부재

【그림 3.3】 강박스 거더의 일반적인 손상(부산)

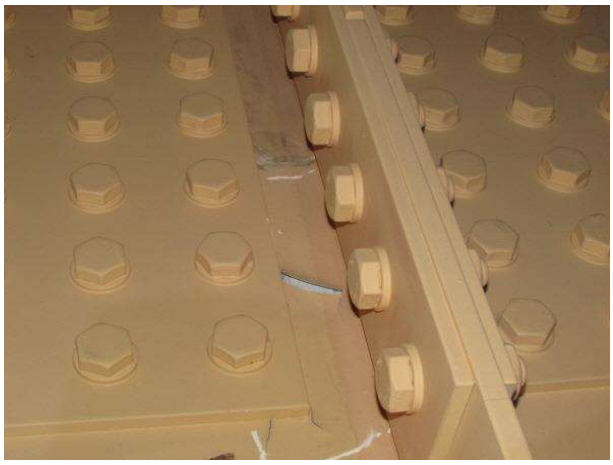
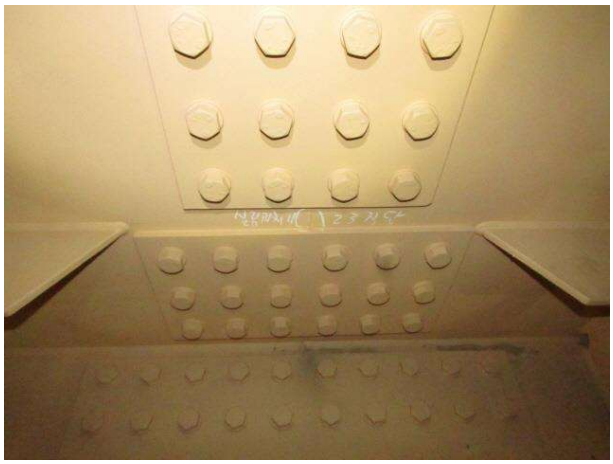
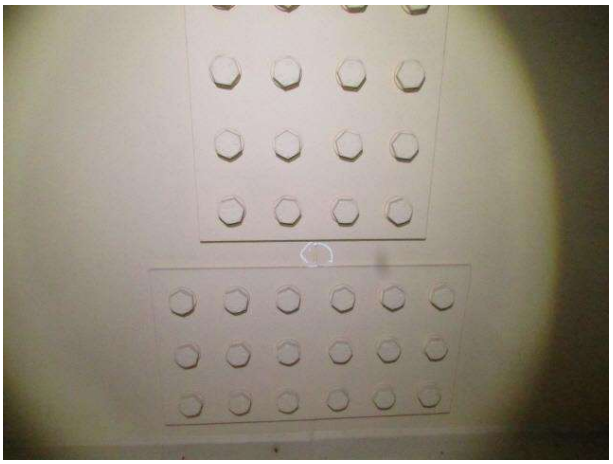
2) 강박스 거더 내부

① 외관조사 결과

- 강박스 거더 내부에 대한 외관조사 결과, 응력의 집중이나 과하중으로 인한 수직, 수평 보강재(Rib)의 변형, 파손 등의 구조적인 손상은 발생하지 않은 것으로 확인되었다. 다만, 관리 및 경년열화, 시공적 요인 등에 의한 도장박리, 누수흔적, 실링미처리, 그을음이 일부구간에 걸쳐 국부적으로 조사되었다.
- 조사된 대부분의 손상은 경미한 정도로서 구조적 안전성 저하와 관련한 이상징후 및 특이 손상은 발생되지 않은 것으로 나타났다.

【표 3.8】 강박스 거더 내부 외관조사 결과(부산)

구 분	도장박리 (㎡/개소)	누수흔적 (㎡/개소)	실링미처리 (개소/개소)	그을음 (㎡/개소)	비고
S1	-	-	1/1	-	
S2	-	-	1/1	-	
S3	-	-	-	-	
S4	0.04/1	3.60/2	-	1.12/2	
S5	0.03/2	-	-	-	
S6	-	-	-	-	
합 계	**0.07/3**	**3.60/2**	**2/2**	**1.12/2**	

	
S4-G3 도장박리(A=0.1×0.4=0.04㎡)	S5-G3 도장박리(A=0.1×0.2=0.02㎡)
S4-G2 누수흔적(A=6.0×0.3=1.80㎡)	S4-G2 그을음(A=0.8×0.7=0.56㎡)
	
S1-G1 실링미처리(1개소)	S2-G1 실링미처리(1개소)

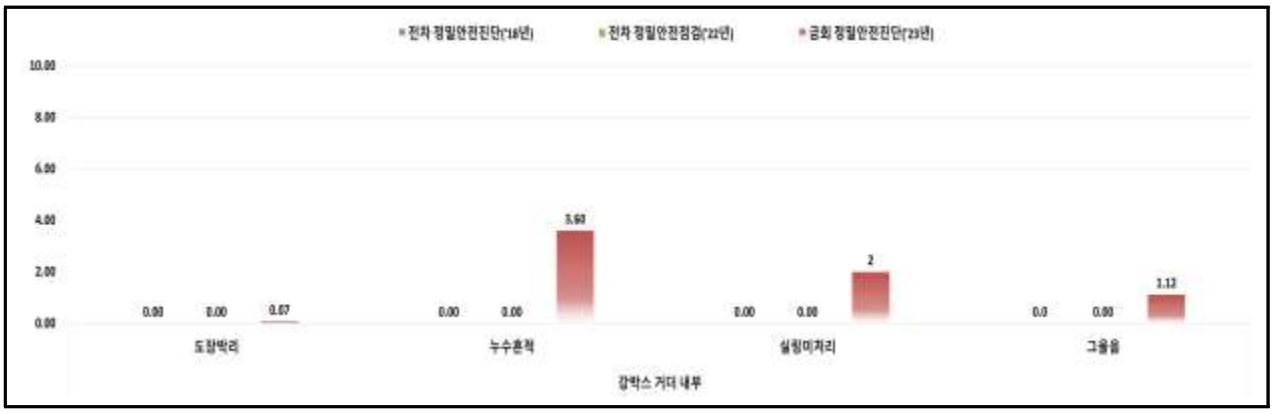
【사진 3.7】강박스 거더 내부 손상현황(부산)

② 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석

- 금회 거더 내부에 대해 기 진단 결과와 비교・분석한 결과 도장박리, 누수흔적, 실링미처리, 그을음 손상 전개소가 금회 신규로 조사되어 기 진단 대비 손상물량이 증가한 것으로 나타났으며, 금회 조사된 손상은 상세 외관조사 및 공용기간 증가에 의한 것으로 분석되었다.

【표 3.9】강박스 거더 내부 기 진단 결과와의 비교(부산)

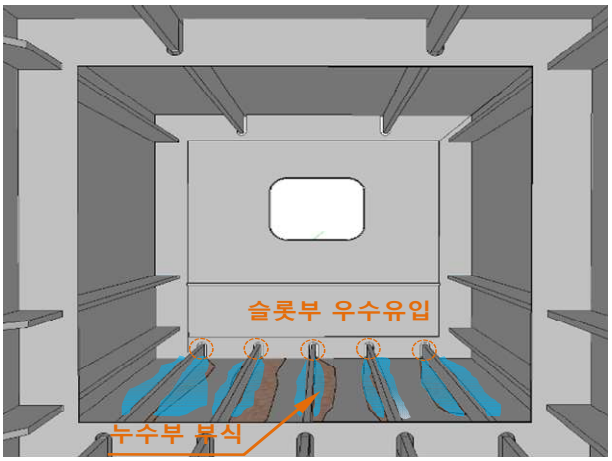
구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
도장박리	㎡	-	-	0.07	▲ 0.07
누수흔적	㎡	-	-	3.60	▲ 3.60
실링미처리	개소	-	-	2	▲ 2
그을음	㎡	-	-	1.12	▲ 1.12



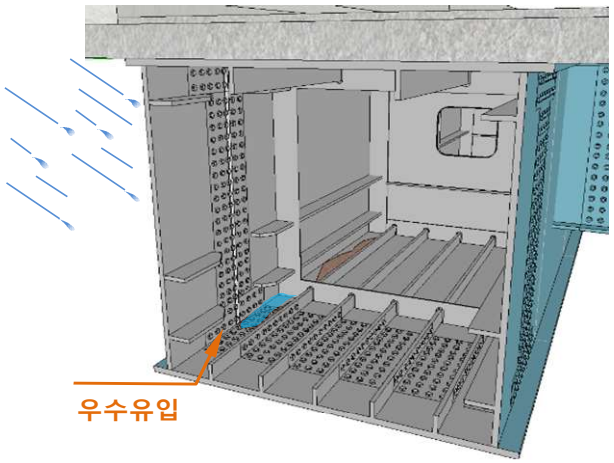
【그림 3.4】거더 내부 기 진단 결과와의 비교(부산)

③ 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 도장박리는 시공불량(전처리 미흡) 및 공용기간 증가로 노후화(부착강도 저하)에 의해 발생된 손상이다. 도장박리부위 대부분은 도장의 상도층(마감층)만이 떨어져 나간 상태로서 강재에 미치는 영향은 적으로 것으로 판단되나, 구조물의 장기적인 내구성 확보를 위해서는 재도장을 통한 유지관리가 요구된다.
- 누수흔적은 시점부 스캘럽(Scallop) 및 현장이음부(Splice) 틈을 통해 유입된 우수가 배수되지 못해 발생한 것으로 판단되며, 금회 현장조사 시 스캘럽 및 슬롯, 현장이음부 일부구간에 걸쳐 실링처리가 되어 있지 않은 것으로 확인되었다. 우수유입이 지속될시 거더내부에서 부식환경을 초래할 것으로 판단되므로 스캘럽 및 현장이음부에 실링처리 등의 선보수를 실시하여 우수유입을 방지하는 것이 바람직한 유지관리 방안일 것으로 판단된다.



신축이음부 노면수 유입 경로



현장이음부 유입 경로

S4-G2 출입구 슬롯 및 스캘럽 전경

【사진 3.8】강박스 거더 내부 우수 유입경로(부산)

- 그을음은 S4-G2 출입구 양안 바닥부에 발생한 손상으로 시공시 날씨에 의한 난로 설치 등 인위적 행위에 의해 발생한 것으로 판단되며 거더내부에 습기 및 우수유입 시 부식환경을 초래할 수 있으므로 재도장을 실시하여 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3) 강박스 거더 외부

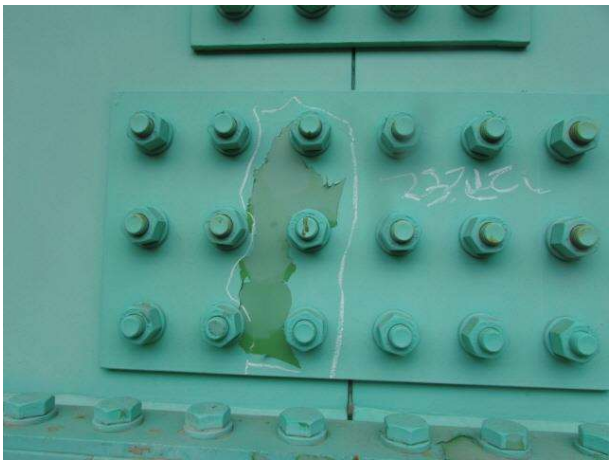
① 외관조사 결과

- 만화교(부산) 강박스 거더 외부에 대한 외관조사 결과, 전반적인 외관상태는 특이한 손상이 없는 상태인 것으로 조사되었으며, 도장박리, 도장열화, 볼트부식이 국부적으로 발생한 것으로 확인되었다.
- 금회 조사된 손상들은 대부분 하면 접합부 및 현장이음부에서 지속적인 우수 및 외기노출에 의해서 주로 발생된 것으로 조사되었다.

【표 3.10】 강박스 거더 외부 외관조사 결과(부산)

구 분	도장박리 (㎡/개소)	도장열화 (㎡/개소)	볼트부식 (개소/개소)	비고
S1	0.01/1	276.00/2	-	
S2	-	230.00/2	12/12	
S3	0.12/2	230.00/2	-	
S4	-	230.00/2	-	
S5	-	230.00/2	5/5	
S6	-	230.00/2	-	
합 계	**0.13/3**	**1,426.00/12**	**17/17**	

S1-G1 도장박리(A=0.1×0.1=0.01㎡)



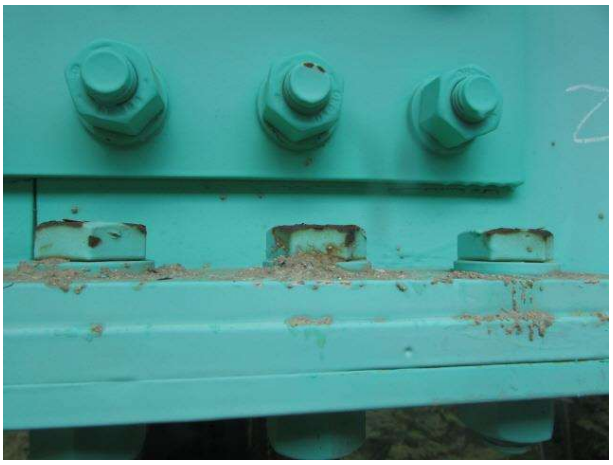
S3-G3 도장박리(A=0.8×0.1=0.08㎡)

S3-G3 도장박리(A=0.4×0.1=0.04㎡)

S5-G1 도장열화(백아화)(A=2.3×50.0=115.00㎡)

【사진 3.9】 강박스 거더 외부 손상현황(부산)

S2-G1 볼트부식(12개소)



S5-G3 볼트부식(5개소)

【사진 3.9】강박스 거더 외부 손상현황(부산)(계속)

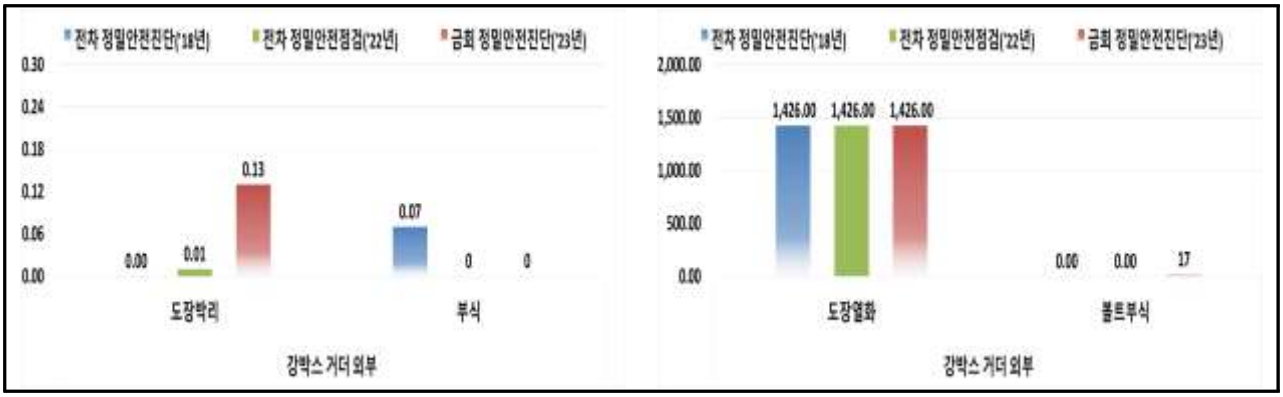
② 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석

- 금회 거더 외부에 대해 기 진단 결과와 비교・분석한 결과, 도장박리, 볼트부식의 손상 물량이 신규조사로 인해 기 진단 대비 증가한 것으로 나타났으며, 금회 조사된 손상은 상세 외관조사 및 공용중 외기노출 및 우수유입에 의한 것으로 확인되었다. 또한 기 진단 이후부터 관리중인 도장열화손상은 면적의 변화는 없으나, 백아화가 진행중인 상태로 도장의 내구연한이 도래되고 있는 것으로 판단된다.
- 보수・보강 이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 “구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사, 2019.09.18.~12.31”를 통해 일부 부재에 대해 보수를 실시한 것으로 조사되었으며, 현장조사 결과 일부 부식 손상에 대해 재도장 보수가 시행된 것으로 확인되었다. 또한 보수불량에 따른 도장탈락 등 보수미흡 현상이 발생하지 않은 비교적 양호한 상태로 확인되었다.

S5-G1 도장열화(백아화)(A=2.3×50.0=115.00㎡)

【표 3.11】 강박스 거더 외부 기 진단 결과와의 비교(부산)

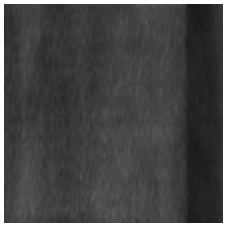
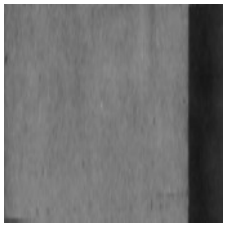
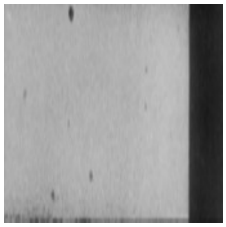
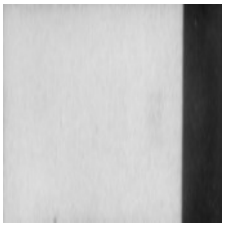
구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
도장박리	㎡	-	0.01	0.13	▲ 0.13
도장열화	㎡	1,426.00	1,426.00	1,426.00	- -
볼트부식	개소	-	-	17	▲ 17
부식	㎡	0.07	-	-	▼ 0.07



【그림 3.5】 강박스 거더 외부 기 진단 결과와의 비교(부산)

③ 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 금회 조사된 도장박리 및 볼트부식은 상대적으로 우수 및 수분접촉이 쉬운 위치인 하부 플랜지와 외측 복부에서, 현장이음부에서 주로 발생되었으며, 공용년수 증가로 인한 부착력 저하 및 경년열화가 복합적으로 작용하여 발생한 것으로 판단된다. 현재 도장박리와 부식의 발생 상태는 비교적 경미하나, 도장박리는 부식으로 진전될 가능성 있으며, 부식은 손상진전으로 인한 볼트 제기능 상실 등을 유발하므로 재도장 보수를 통한 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.
- 도장열화 손상인 백아화는 도장이 대기중의 수분, 자외선, 산소 등의 환경적인 요인에 의해 분해되어 안료입자가 표면으로 묻어나는 현상을 말하며, 도장재료 경년열화의 대표적인 손상 중 하나이다. 금회 보수·보강 이력 분석결과, 일부 손상에 대한 재도장은 실시되었으나, 전체 강박스 거더에 대한 재도장은 실시되지 않은 상태로 도장의 내구연한이 도래된 것으로 판단된다.[표준사진3] 다만, 도장의 전반적인 상태가 건전하여 현재 보수의 시급성을 요하지 않으며, 향후 도장결함의 진전 여부에 따라 전면 재도장을 고려하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

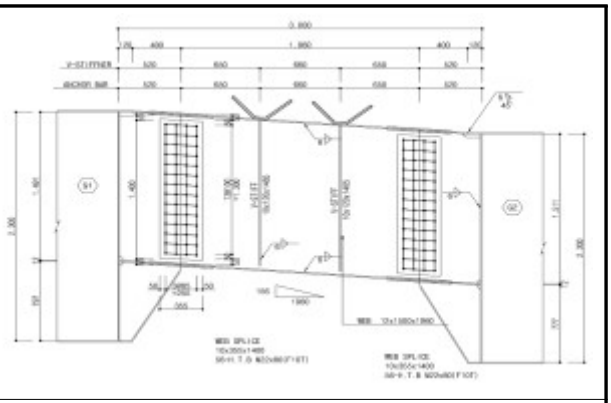
▪ 도장변색 및 백아화 평가기준(교량 및 터널 성능평가 편, 2022. 12)			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4
			

표준사진 1	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착없음
표준사진 2	초기에 비해 미소하게 하얗게 되어 있음 이탈분말이 미소하게 부착
표준사진 3	초기에 비해 상당히 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착
표준사진 4	현저하게 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착 많음

다. 2차부재(가로보)

1) 개요

- 본 교량은 강박스 거더의 좌굴방지 및 상부 하중을 횡분배 시켜주는 가로보가 교축 직각방향으로 설치되어 있다.
- 가로보에 대한 외관조사는 강박스 거더 외부와 동일한 방법으로 외관조사를 실시하였으며, 용접결함, 연결불량, 변형 등의 발생여부를 주안점으로 두고 조사하였다.

	
가로보 전경	가로보 일반도

【사진 3.10】2차부재(가로보) 전경(부산)

2) 외관조사 결과

- 2차부재(가로보) 에 대한 외관조사결과, 비틀림에 의한 좌굴이나 구조물에 안전성에 영향을 미칠만한 중요손상은 발생하지 않은 상태로 전반적인 외관상태가 양호한 것으로 조사되었다.

【표 3.12】2차부재(가로보) 외관조사 결과(부산)

구 분	상태양호	
S1	-	
S2	-	
S3	-	
S4	-	
S5	-	
S6	-	
합 계	**-**	

2차부재(가로보) 상태양호	

【사진 3.11】2차부재(가로보) 손상현황

3) 기 진단(2018년) 결과와 비교, 분석

- 2차부재(가로보)에 대한 기 진단 결과와의 비교・분석결과 기존부터 관리중인 손상은 없는 것으로 확인되었으며, 전반적인 2차부재(가로보)의 상태가 양호한 것으로 조사되었다.

【표 3.13】2차부재(가로보) 기 진단 결과와의 비교(부산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
상태양호	-	-	-	-	- -

3.2.2 하부구조

가. 교대

1) 개요

- 교대는 교량 상부구조의 하중을 지반으로 전달하며, 교량 전체 구조의 안전성을 위해 아주 중요한 역할을 수행하는 구조부재로서 외관조사 시 최대한 근접하여 외관조사를 상세히 실시하였다.
- 만화교(부산)의 교대는 역T형의 철근콘크리트 구조로서 기초는 강관말뚝기초 형식으로 시공되어 있으며, A1 전면에는 법면 보호블럭 및 옹벽이, A2 전면에는 법면 보호블럭이 설치되어 있는 것으로 확인되었다. 또한, 교대(A1, A2)는 측방유동에 의한 협착으로 2018년에 어스앵커 보강을 실시한 것으로 확인되었으며, 향후 추가적인 변위 여부를 확인하기 위한 계측기(경사계, 신축이음계 등)가 설치되어 있으나, 일부 제 기능을 하지못하고 있는 것으로 조사되었다.

교대 전경(A1)

교대 전경(A2)

【사진 3.12】교대 전경(부산)

2) 외관조사 결과

- 교대 외관조사 결과, 교대 본체의 이동 및 회전의 징후는 발생하지 않은 상태이며, 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 구조적 손상은 조사되지 않았으나, 내구성저하를 유발하는 손상이 일부 발생된 것으로 조사되었다.
- 주요손상으로는 균열, 보수부 재균열, 백태, 보수부 백태, 박리 파손, 이격 등이 조사되었으며, 신축이음부 우수 유입의 영향으로 대부분 흉벽에서 보수부 재손상이 조사된 것으로 확인되었다. 균열은 교대 흉벽(1개소), 및 구체(2개소)에 국한되어 조사되었으며, 균열의 폭은 0.1~0.2㎜인 미세균열로 조사되었다.

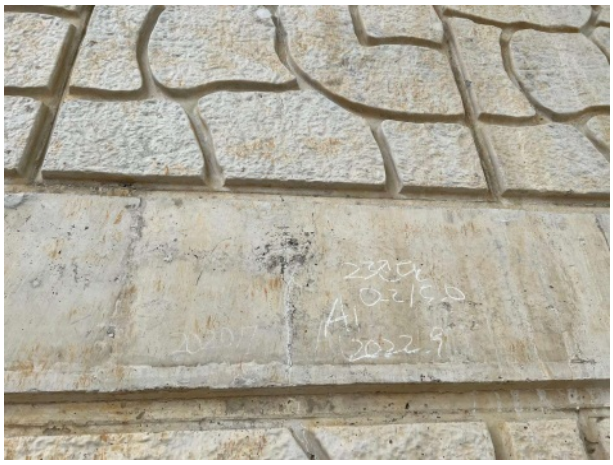
【표 3.14】교대 외관조사 결과(부산)

구 분	균열 (cw=0.3mm미만) (m/개소)	보수부 재균열 (cw=0.3mm미만) (m/개소)	백태 (㎡/개소)	보수부 백태 (㎡/개소)	박리 (㎡/개소)	비고
A1	5.60/2	1.00/1	0.12/1	0.41/2	0.24/1	
A2	0.80/1	-	0.40/2	-	-	
합 계	**6.40/3**	**1.00/1**	**0.52/3**	**0.41/2**	**0.24/1**	
구 분	**보수부 박리 (㎡/개소)**	**파손 (㎡/개소)**	**이격 (m/개소)**	**실링재 열화 (m/개소)**	**-**	**비고**
A1	1.20/1	0.02/1	0.07/1	-	-	
A2	0.12/2	-	-	6.00/1	-	
합 계	**1.32./3**	**0.02/1**	**0.07/1**	**6.00/1**	**-**	

A1 흉벽 균열(Cw=0.1㎜/L=0.6m)

A1 구체 균열(Cw=0.1㎜/L=0.8m)

【사진 3.13】교대 손상현황(부산)

	
A1 구체 균열(Cw=0.2㎜/L=5.0m)	A1 보수부 재균열(Cw=0.1㎜/L=1.0m)
A1 백태(A=0.2×0.6=0.12㎡)	A2 백태(A=0.2×1.5=0.30㎡)
A1 보수부 백태(A=0.1×0.1=0.01㎡)	A1 보수부 백태(A=0.2×2.0=0.40㎡)

【사진 3.13】교대 손상현황(부산)(계속)

A1 박리(A=0.2×1.2=0.24㎡)	A1 보수부 박리(A=1.2×1.0=1.20㎡)
A1 보수부 박리(A=0.3×0.4=0.12㎡)	A1 파손(A=0.1×0.1=0.01㎡)
A1 이격(L=70mm)	A2 실링재 열화(L=6.0m)

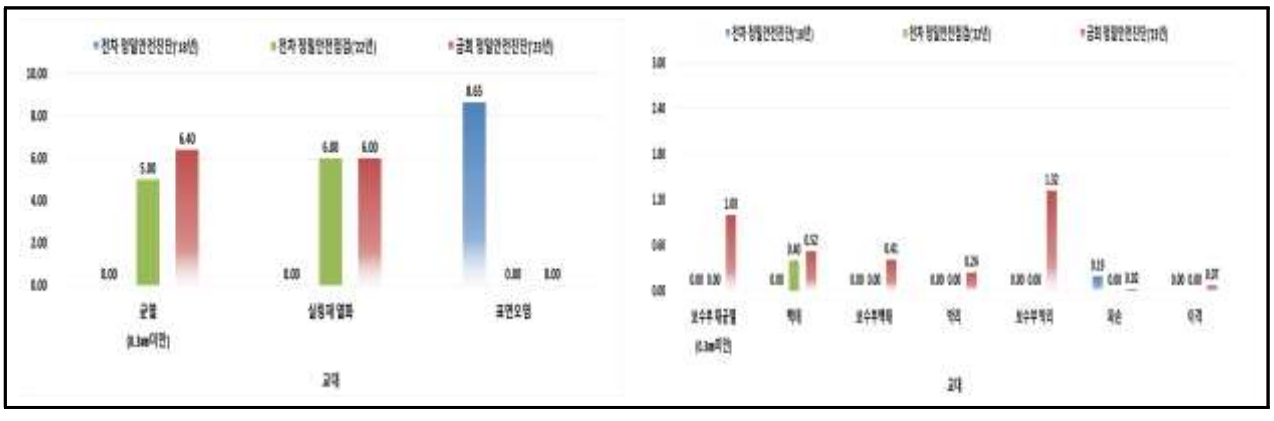
【사진 3.13】 교대 손상현황(부산)(계속)

3) 기 진단(2018년) 결과와 비교, 분석

- 보수·보강 이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 “구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사, 2019.09.18.~12.31”를 통해 일부 부재에 대해 보수를 실시한 것으로 조사되었으며, 비교적 보수부의 상태는 양호하나, 우수유입 및 공용년수 증가에 따른 접착력 저하 등에 의해 보수부 재손상이 일부 발생한 것으로 확인되었다.
- 기 진단(18년) 비교·분석결과, 손상물량은 상세조사로 인해 대부분의 손상이 추가 조사되었으며, 파손과 표면오염이 일부 보수된 것으로 확인되었다. 이로인해 만화교(부산) 교대 손상물량은 증·감한 것으로 분석되었다.
- 손상물량의 증가는 신축이음부의 노면수 유입과 공용년수 증가, 재료의 경년열화 등의 손상이 주요 요인으로 판단된다.

【표 3.15】교대 기 진단 결과와의 비교(부산)

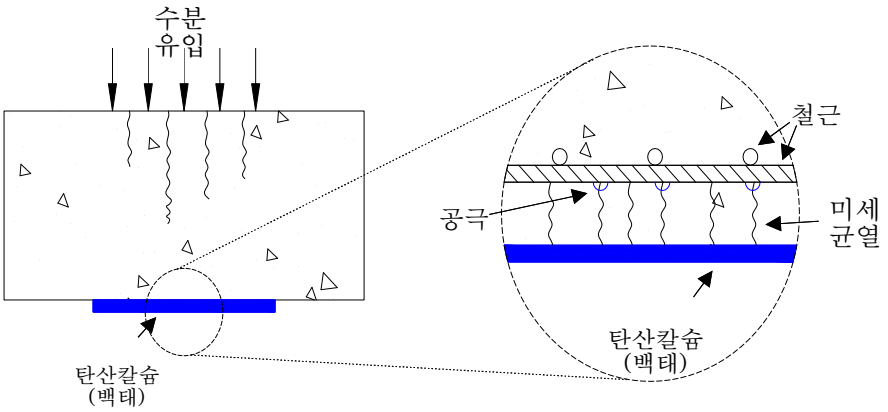
구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
균열(cw=0.3mm미만)	m	-	5.00	6.40	▲ 6.40
보수부 재균열 (cw=0.3mm미만)	m	-	-	1.00	▲ 1.00
백태	㎡	-	0.40	0.52	▲ 0.52
보수부백태	㎡	-	-	0.41	▲ 0.41
박리	㎡	-	-	0.24	▲ 0.24
보수부 박리	㎡	-	-	1.32	▲ 1.32
파손	㎡	0.19	-	0.02	▼ 0.17
이격	m	-	-	0.07	▲ 0.07
실링재 열화	m	-	6.00	6.00	▲ 6.00
표면오염	㎡	8.65	-	-	▼ 8.65



【그림 3.6】교대 기 점검 결과와의 비교(부산)

4) 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 교대의 발생된 균열은 수직의 형태를 나타내고 있으며, 흉벽 전면 및 구체 전면에서 발생하였다. 손상규모, 형상, 위치 등을 고려해 볼 때 구조적 원인에 의해 발생된 손상이라기보다 건조수축, 수화열 등에 발생된 미세균열로 추정된다.
- 백태 및 보수부 백태는 우수유입에 의한 손상으로 흉벽에서 5개소(백태:3개소, 보수부 백태 2개소) 조사되었으며, 박리 및 보수부 박리는 시공시 품질관리 미흡과 경년열화, 품질미흡 등에 의해 발생한 것으로 판단된다. 또한 교대 상단부에서 외부 충격에 의한 파손이 1개소 조사되었으며, 해당 손상들의 손상발생 규모는 비교적 경미한 것으로 확인되었다.



백태의 발생경로

- 위에서 서술한 상기 손상은 신축이음부에 인접한 부재로 방수성, 손상진전 방지를 위한 보수가 필요하며, 흉벽 및 교대 전체의 콘크리트 열화 방지를 위해 전면의 표면보호제(중성화 및 염해방지)도포가 필요할 것으로 판단된다.
- 이격은 교대 A1 날개벽과 블록 접속부에서 발생하였으며, 이격은 금회 신규조사된 손상으로 확인되었다. 기존부터 관리중인 손상으로 시공초기 성토 블록 다짐불량에 의해 발생한 공극으로 우수가 유입되고, 공용년수가 경과하면서 채움재 겉표면 몰탈박락에 의해 미소량의 토사유실이 발생하여 생긴 손상으로 판단된다. 발생규모는 비교적 경미한 수준으로 급격한 손상변화는 없을 것으로 보이나, 추후 점검/진단까지 추적관찰을 실시한 후 손상진전 시 실링처리, 그라우팅 등의 보수가 필요할 것으로 판단된다.
- 실링재 열화는 교대 A2 시공이음부에서 조사되었으며, 경년열화에 의한 실링재 노후화 손상으로 실링보수가 필요하다.

5) 교대 직립도 측정

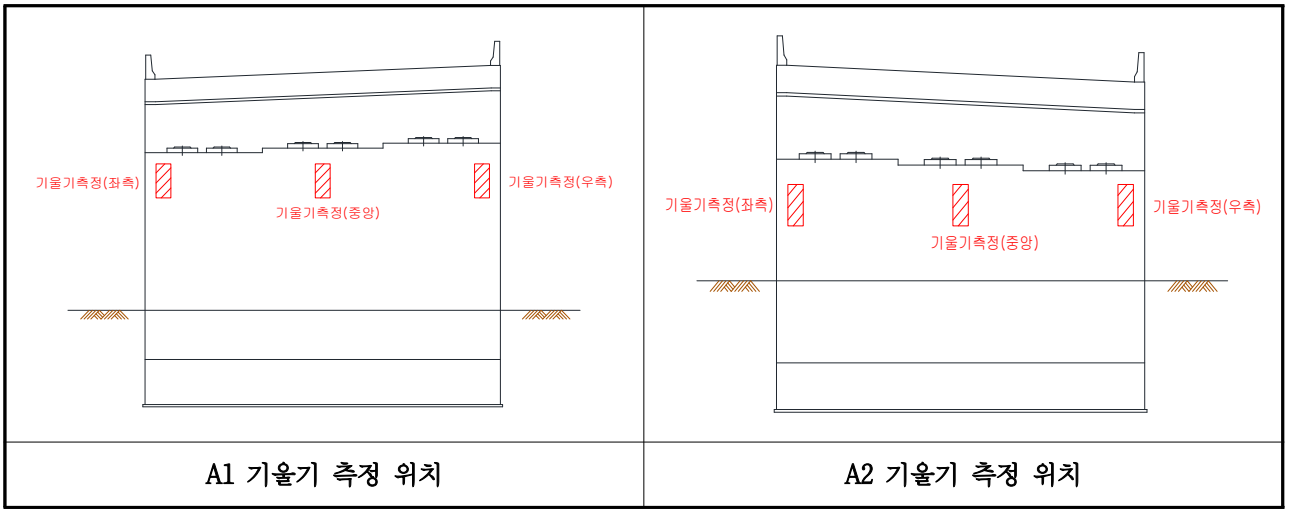
- 교대는 상부구조로부터의 하중과 하부구조 본체의 자중을 기초지반으로 전달하여 지지하기 위한 구조물로 큰 수직하중이 작용하는 곳이며 교각의 기울음 및 전도, 교대의 측방유동은 교량의 안전성에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2022.12. 국토교통부/국토안전관리원)에 따라 교대 및 교각의 직립도를 측정하였다. 금회 과업에서는 교각 및 교대의 기울기를 전면, 우측면 측정하여 교축방향, 교축직각방향으로의 변위여부를 조사하였다.

【표 3.16】 각종 기준에 따른 허용각 변위(부산)

구 분	구조형식	허용각변위	구 분	구조형식	허용각변위
Skempton	단독기초	1/300	Meyerhof	철근콘크리트구조(라멘)	1/300
	전면기초		Moulton (미 교통국)	연속교	1/250
MacDonald& Skempton	독립기초	1/300		단순교	1/200
	확대기초		Bjerrum	칸막이벽, 고가크레인	1/300
Sowers	철근콘크리트 뼈대구조	1/300		균열 허용 않는 빌딩	1/500
	빌딩의 벽돌벽체	1/200~1/500	-	-	-

※금회 적용 허용각 범위는 약 1/300(0.19°) ~ 1/250(0.23°)

① 디지털경사계(막대형)을 이용한 측정



A1 기울기 측정 위치 | A2 기울기 측정 위치

【그림 3.7】 교대 변위(직립도) 측정 모식도(부산)

교대 직립도 측정 전경(A1)	교대 직립도 측정 전경(A2)

【사진 3.14】교대 변위(직립도) 측정 전경(부산)

【표 3.17】변위(직립도) 측정 결과(부산)

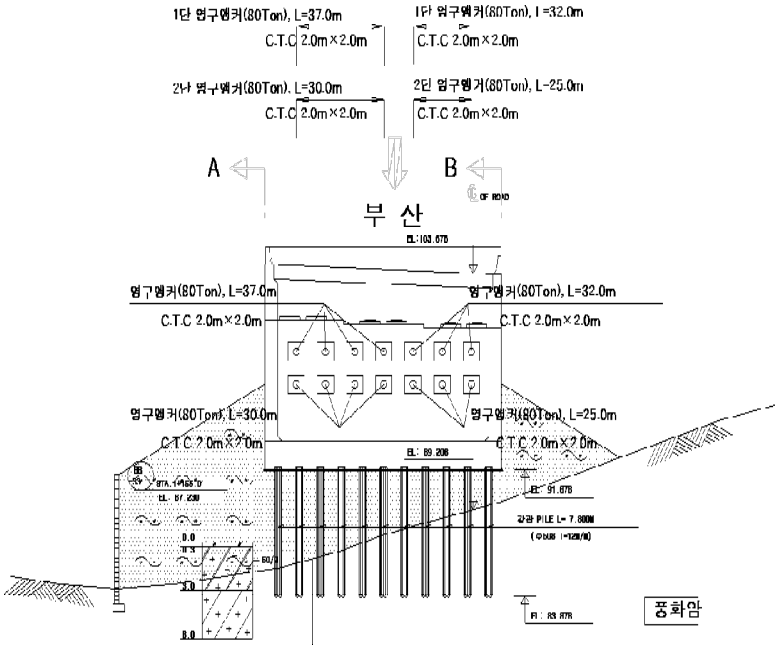
구 분	설 계 기울기(°)	측정 기울기(°)		각 변위(°)	
		측정점1(좌측)	측정점2(우측)	측정점1(좌측)	측정점2(우측)
A1	90	89.85	89.82	0.15	0.18
A2	90	89.82	89.84	0.18	0.16

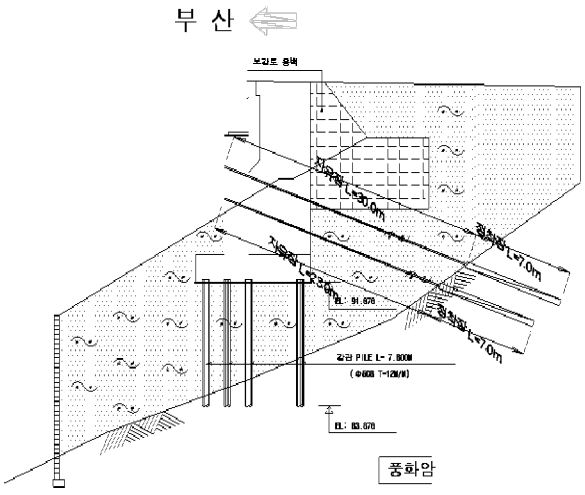
- 각 교대 및 교각에 대하여 변위(직립도) 조사를 실시하였으며, 앞서 제시한 기준 중 본 교량의 형식에 맞는 기준 값인 1/300(0.19°) ~ 1/200(0.23°)을 적용하여 평가하였다.
- 금회 측정 결과, 0.15° ~ 0.18° 로 측정되었으며, 측정결과는 허용범위를 만족하는 상태로 교대의 직립도는 양호한 것으로 분석되었다. 다만 측정위치, 측정자의 오차에 따라 측정결과가 상이할 수 있으므로 점검시마다 재측정을 실시한 후 결과값을 지속적으로 참고하여 유지관리함이 바람직할 것으로 판단된다.

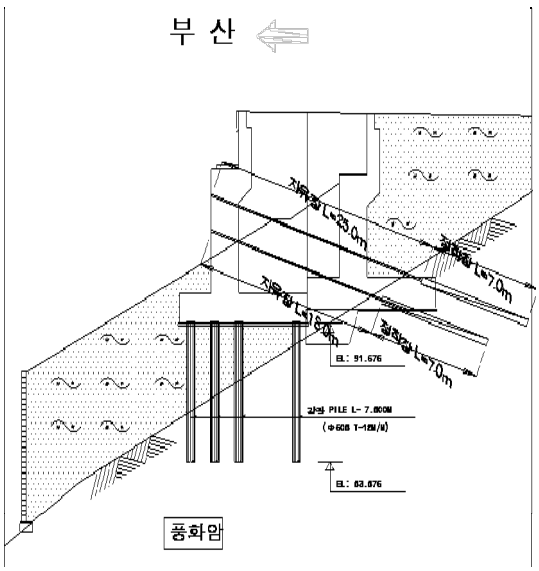
② 측량기를 이용한 교대변위 측정

- 만화교(부산)는 2018년 기 정밀안전진단 결과 교대 A1, A2에서 측방유동 가능성이 검토되어 보강방안으로 제시된 어스앵커 공법을 적용하여 보강을 실시하였으며, 해당 공법은 부산울산고속도로는 많은 차량이 통행중에 있어, 차선 통제후 보강작업이 용이하지 않은 현장 여건을 고려하여 시공가능한 공법으로 제시되었다.
- 교대에 대한 보강공법 적용시 상세 검토결과는 다음과 같으며, 현장조사 결과(외관) 제시된 보강공법과 동일하게 보강된 것으로 판단된다.

상세보강내용	앵커제원			
	자유장(m)	정착장(m)	C.T.C(m)	단
교대 A1	1단, 2단: 40	6	3	2
교대 A2	1단: 14, 2단: 13	7	2	2







교대 어스앵커 보강도

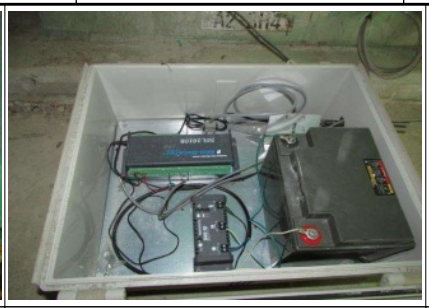
교대 어스앵커보강 현황(A1)

교대 어스앵커보강 현황(A2)

【사진 3.15】교대 어스앵커보강 현황(부산)

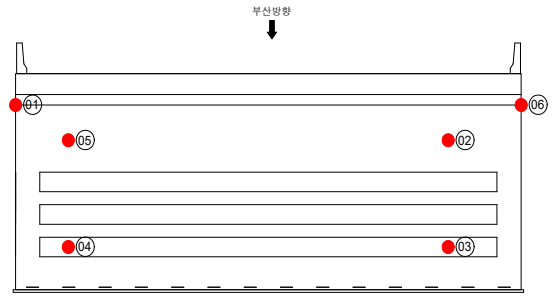
- 또한 보강을 실시한 후 주기적인 변위를 확인하기 위해 계측기기를 설치하였으나, 금회 현장조사결과 일부는 파손 등에 의해 제 기능을 못하고 있는 것으로 확인되었으며, 설치현황은 다음과 같다.

구 분	하중계	경사계	자동 계측기	비고
만화교(부산)	A1, A2	A1, A2	A1, A2, P3(2개소)	
	2개소	2개소	4개소	



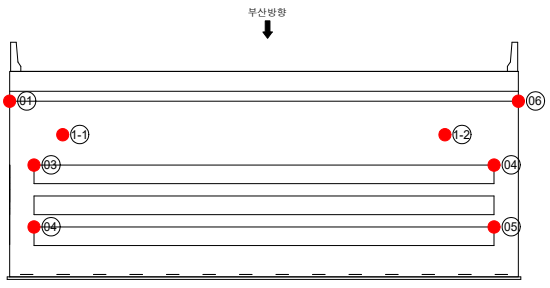
- 보강후 금회 정밀안전진단시 교대의 변위 유·무 및 변화를 측정하기 위해 광파기를 이용한 좌표측량을 실시하였으며, 동일 위치에서 일정기간을 두고 1차~3차까지 총 3회에 걸쳐 측량을 실시하였고, 그 결과는 다음과 같다.

구분	측정치(mm)				
	측점	1차	2차	3차	4차
		변위	변위	변위	변위
교대 A1	1	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00	0.00
교대 A2	1	0.00	0.00	0.00	0.00
	1-1	0.00	0.00	0.00	0.00
	1-2	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00	0.00



A1

만화교 부산A1					정면방향
NO.	X	Y	E.L	위 치	비고
1	218556.812	294959.868	102.02	헌치하단	우
2	218556.008	294961.523	98.349	표식	우
3	218554.689	294961.483	96.002	어스앵커2단밑	우
4	218392.432	294993.118	102.614	헌치하단	좌
5	218394.124	294994.351	98.351	표식	좌
6	218395.123	294993.518	96.043	어스앵커2단밑	좌



A2

만화교 부산A2					정면방향
NO.	X	Y	E.L	위 치	비고
1	218572.374	295268.487	106.293	헌치하단	좌
1-1	218572.187	295266.826	104.014	표식	좌
1-2	218557.162	295268.99	104.47	표식	우
2	218571.726	295266.826	102.373	문양거푸집곡점	좌
3	218557.809	295268.909	102.393	문양거푸집곡점	우
4	218571.759	295266.829	98.778	문양거푸집곡점	좌
5	218557.68	295268.925	98.801	문양거푸집곡점	우
6	218562.792	295268.223	106.976	헌치하단	우

만화교(부산) 교대 측량결과

- 만화교(부산)의 교대 변위를 확인하기 위해 측량기기를 이용한 측정결과 교대 변위는 없는 것으로 검토되었으며, 현장 상세조사결과 또한 교대 변화에 대한 이상징후는 조사되지 않은 상태로 확인되었다. 다만, 기 진단시 측방유동검토를 실시한 이력과 보강의 이력이 있고, 신축이음장치가 교체 이후에도 온도변화에 따라 협착현상을 보이는 등 지속적인 관리가 필요한 교량이다.

교대 A1 전경

교대 A2 전경

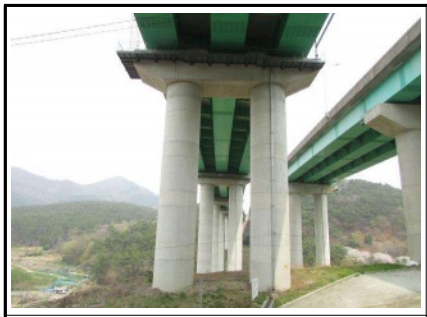
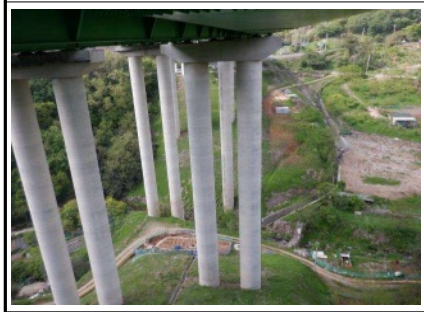
【사진 3.16】교대 전경(부산)

- 따라서, 교대의 변위를 파악하기 위해 금회 측정된 값을 초기치로 활용하여 점검시마다 주기적인 측정이 필요하며, 나아가 만화교(부산)의 보다 상세한 교대 변화를 확인하기 위해 별도의 계측과업 실시하는 방안도 효율적일 것으로 판단된다.

나. 교각

1) 개요

- 교각은 교량 상부구조의 하중을 지반으로 전달하며, 교량 전체 구조의 안전성을 위해 아주 중요한 역할을 수행하는 구조부재로서 만화교(부산)의 교각은 Π형 구조형식이며, 기초는 직접기초 및 강관말뚝기초로 시공되어 있는 것으로 확인되었다.
- 또한 점검시설이 전 교각에 설치되어 있어 최대한 도보를 이용한 근접 외관조사를 실시하였으며, 도보접근이 어려운 코핑부 하단, 기둥부 상단은 교량점검차 및 고소작업차, 드론을 이용하여 근접외관조사를 실시하였다.

<table>
<tr><td>  </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>교각 전경(P1)</td><td>교각 전경(P2)</td><td>교각 전경(P3)</td></tr>
<tr><td>  </td><td> </td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>교각 전경(P4)</td><td>교각 전경(P5)</td></tr>
</table>

【사진 3.17】 교각 전경(부산)

2) 외관조사 결과

- 만화교(부산) 교각에 대한 외관조사 결과, 구조물 안전성에 미칠만한 중대한 손상은 발생하지 않은 것으로 조사되었다.
- 주요손상으로 기둥부 및 코핑부에서 균열 폭 0.1~0.2㎜ 수준의 수직균열이 국부적으로 조사되었으며, 코핑부 보수부 박리(1개소), 코핑부 철근노출(11개소), 기둥부 및 코핑부 파손(12개소)이 조사되었다. 또한, 교각 P3 코핑부 상면 중앙부에서 우기의 영향에 의한 소량의 체수가 1개소 확인되었다.

【표 3.18】교각 외관조사 결과(부산)

구 분	균열(cw=0.3mm미만) (m/개소)	망상균열 (㎡/개소)	보수부 박리 (㎡/개소)	철근노출 (㎡/개소)	파손 (㎡/개소)	체수 (㎡/개소)	비고
P1	6.80/5	2.60/2	-	-	0.02/2	-	
P2	5.00/2	-	-	0.02/2	0.01/1	-	
P3	-	-	0.04/1	0.02/2	0.10/2	0.40/1	
P4	4.50/5	-	-	0.07/7	0.10/5	-	
P5	16.30/6	-	-	-	0.03/2	-	
합 계	**32.60/18**	**2.60/2**	**0.04/1**	**0.11/11**	**0.26/12**	**0.40/1**	

P1 코핑부 균열(Cw=0.1㎜/L=0.3m)

P1 코핑부 균열(Cw=0.1㎜/L=0.4m)

P5 코핑부 균열(Cw=0.2㎜/L=6.0m)

P1 코핑부 망상균열(A=1.0×0.6=0.60㎡)

【사진 3.18】교각 손상현황(부산)

P3 코핑부 보수부 박리(A=0.2×0.2=0.04㎡)	P2 코핑부 철근노출(A=0.1×0.1=0.01㎡)
P3 코핑부 철근노출(A=0.1×0.1=0.01㎡)	P3 기둥부 파손(A=0.3×0.3=0.09㎡)
P3 코핑부 파손(A=0.1×0.1=0.01㎡)	P3 코핑부 체수(A=0.4×1.0=0.40㎡)

【사진 3.18】 교각 손상현황(부산)(계속)

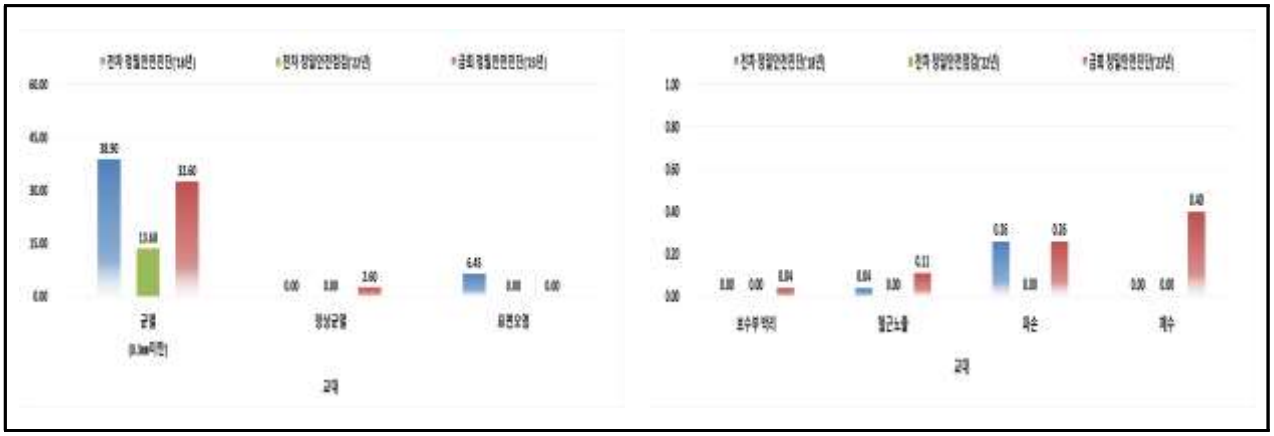
3) 기 진단(2018년) 결과와 비교, 분석

- 기 진단(18년) 비교·분석결과, 기 진단 이후 보수로 인해 균열(cw=0.3mm미만)과 표면오염 손상이 감소한 것으로 확인되었다. 이 밖에 보수부 박리, 철근노출, 체수에 대한 손상물량은 금회 외관조사 시 해당손상이 추가 조사되어 소폭 증가한 것으로 분석되었다.
- 기 진단 대비 손상물량 감소는 보수에 의한 것이며, 증가의 원인은 단기적인 물량 증가가 아닌 금회 상세외관조사 및 경년열화 등에 의해 조사된 것으로 판단된다.
- 보수·보강 이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 “구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사, 2019.09.18.~12.31”를 통해 일부 부재에 대해 보수를 실시한 것으로 조사되었으며, 현장조사 결과 보수불량에 따른 재균열 등 보수미흡 현상이 발생하지 않은 비교적 양호한 상태로 확인되었다.

P1 코핑부 균열(Cw=0.1㎜/L=0.4m)

【표 3.19】교각 기 진단 결과와의 비교(부산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
균열(cw=0.3mm미만)	m	38.90	13.60	32.60	▼ 6.30
망상균열	㎡	-	-	2.60	▲ 2.60
보수부 박리	㎡	-	-	0.04	▲ 0.04
철근노출	㎡	0.04	-	0.11	▲ 0.07
파손	㎡	0.26	-	0.26	- -
체수	㎡	-	-	0.40	▲ 0.40
표면오염	㎡	6.45	-	-	▼ 6.45



【그림 3.8】교각 기 진단 결과와의 비교(부산)

4) 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 교각의 균열 발생패턴을 분석한 결과, 코핑부 수직균열이 대부분으로 단면변화부위(우각부)에 단속적으로 발생하였으며, 건조수축 및 온도변화 등에 의한 인장력 발생시 단면변화부위나 천공부위에서는 일반단면부위 보다 큰 인장력이 집중되어 발생하게 되는데 상기 균열은 해당원인에 의해 발생된 균열로 판단된다. 또한 코핑부 전면으로 수평균열이 국부적으로 조사되었으며, 건조수축 및 점검로 설치시 앵커홀 주변으로 응력이 집중되어 발생된 균열로 판단된다. 상기 균열들은 재료적 특성에 의한 비구조적 균열로 판단되므로 내구성 확보를 위한 표면보수가 필요하다.
- 보수부 박리는 코핑부 상단에서 1개소 조사되었으며, 우수접촉 및 보수미흡에 의해 발생한 것으로 발생규모는 경미하나, 내구성 확보를 위해 재보수가 필요할 것으로 판단된다.
- 철근노출은 금회 전개소 신규조사된 것으로 확인되었으며, 받침콘크리트 인접부 코핑부 상단에서 조사되었다. 콘크리트 피복두께 미확보에 의한 것으로 방청후 탄산화방지제 도포 등의 표면보수를 실시하여 관리함이 바람직할 것으로 판단된다.
- 파손은 기둥부 및 코핑부에서 국부적으로 조사되었으며, 공용중 외부충격 등으로 인해 발생된 손상으로 판단된다. 파손은 손상규모가 대부분 소규모이며 전차 점검 대비 손상의 진행성이나 우수 유입에 따른 추가손상 발생 가능성이 적을 것으로 판단되나, 내구성 저하 방지를 위해 보수계획에 맞춰 일괄보수를 실시하는 것이 바람직하다.
- 체수는 공용년수 증가에 따라 우기시 신축이음부로 침투한 소량의 우수로 인해 발생된 것으로, 내구성에 미치는 영향은 미미한 수준이나, 내구성 저하 방지를 위해 차후 보수계획에 맞춰 일괄보수를 실시함이 바람직할 것으로 판단된다.

3.2.3 기초부

가. 개요

- 만화교(부산)의 교대 기초는 강관말뚝기초(A1, A2), 교각 기초는 직접기초(P3~P5) 및 강관말뚝기초(P1, P2)로 시공된 것으로 확인되었으며, 교대 및 교각의 기초는 지중에 매립되어 외관조사는 불가한 것으로 조사되었다.

교대(A1) 기초부 전경

교대(A2) 기초부 전경

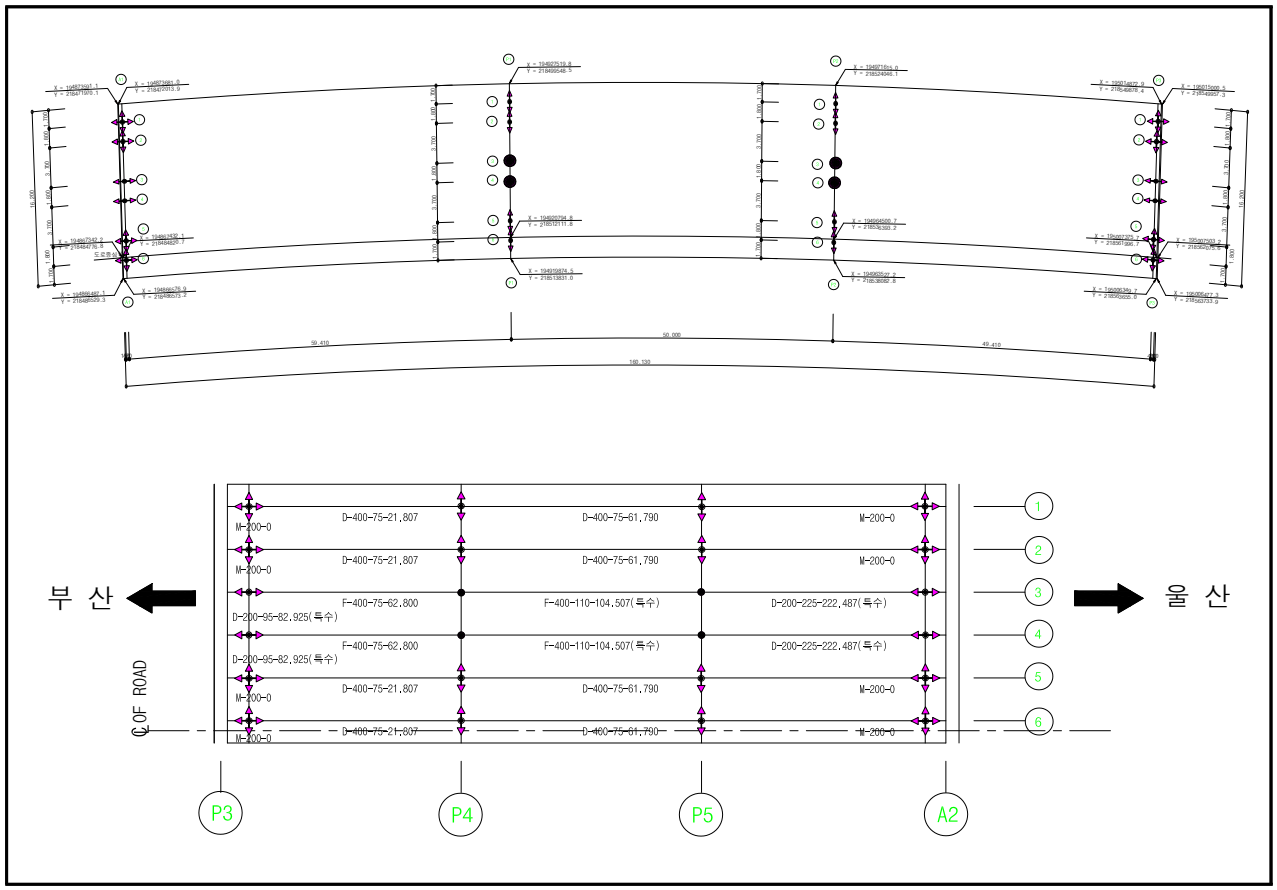
교각 기초부 전경

【사진 3.19】 기초부 외관조사 현황(부산)

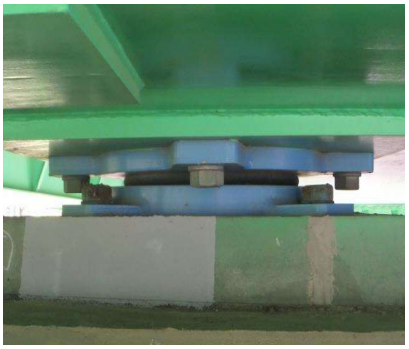
3.2.4 교량받침

가. 개요

- 교량받침은 상부구조에서 발생된 하중을 하부구조로 전달하고 상부구조의 신축 및 회전에 능동적으로 대응하는 부재이며, 본 조사에서는 온도변화 및 활하중에 의한 신축거동 여부뿐만 아니라 강재부식, 콘크리트 손상 여부 등에 대해 주안점을 두고 현장조사를 실시하였다.
- 본 교량의 교량받침은 포트받침으로 교대(A1, A2)에 각 6개소, 교각 P1, P2, P4, P5에 각 6개소, 교각P3에 12개소 총 48개의 포트받침이 시공되어 있으며, 교량받침 설치현황은 다음과 같다.



【그림 3.9】교량받침 배치도(부산)

		
포트받침 전경(양방향)	포트받침 전경(일방향)	포트받침 전경(고정단)

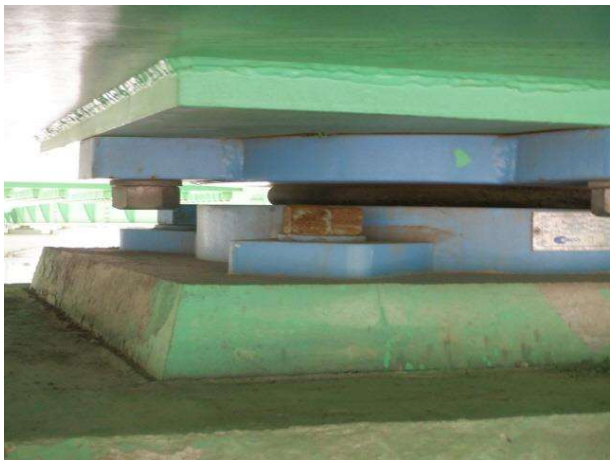
【사진 3.20】교량받침 설치전경(부산)

나. 외관조사 결과

- 교량받침 점검결과, 주요손상으로 앵커볼트 부식, 받침 콘크리트 파손, 받침 콘크리트 들뜸이 조사되었다. 금회 신규손상으로 받침 콘크리트 파손 및 앵커볼트 부식이 추가조사된 것으로 확인되었다.

【표 3.20】교량받침 외관조사 결과(부산)

구 분	앵커볼트 부식 (개소/개소)	받침 콘크리트 파손 (㎡/개소)	받침 콘크리트 들뜸 (㎡/개소)	비고
A1	-	-	-	
P1	1/1	-	-	
P2	8/8	-	-	
P3	-	0.01/1	0.04/1	
P4	24/24	-	-	
P5	8/8	-	-	
A2	-	-	-	
합 계	**41/41**	**0.01/1**	**0.04/1**	



P1 앵커볼트 부식(1개소)

P4 앵커볼트 부식(1개소)

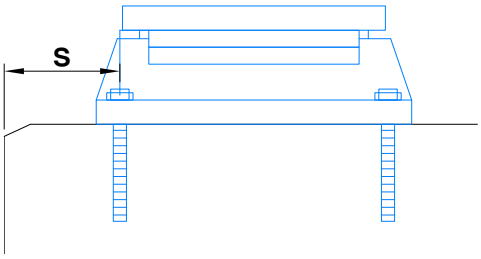
P3 받침 콘크리트 파손(A=0.1×0.1=0.01㎡)

P3 받침 콘크리트 들뜸(A=0.2×0.2=0.04㎡)

【사진 3.21】교량받침 손상현황(부산)

다. 연단거리 검토

- 교대 및 교각의 교좌면은 상부구조로부터 집중하중을 받는 부위이고, 지진 시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 연단거리가 짧으면 고정단에서는 콘크리트 구체 또는 교량받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다.
- 상부구조의 길이에 따라 도로교설계기준(2010, 국토해양부)' 에서는 최소값을 규정하고 있다.



< 모식도 >

- 거더의 경간길이 100m 이하
  : S(㎜) = 200 + 5L
- 거더의 경간길이 100m 이상
  : S(㎜) = 300 + 4L
  여기서, L은 경간길이(m)

【그림 3.10】도로교설계기준 연단거리 산출방법

1) 연단거리 산출

- 거더 경간길이(L=60.0m) : 200+5×60.0 = 500.0(㎜)
- 거더 경간길이(L=50.0m) : 200+5×50.0 = 450.0(㎜)

2) 연단거리 측정 결과

- 연단거리 측정 결과, 실측 연단거리가 계산 연단거리를 상회하고 있는 것으로 측정되어 시방규정을 만족하고 있는 것으로 검토되었다.

연단거리 측정 전경 ①

연단거리 측정 전경 ②

【사진 3.22】연단거리 측정 전경(부산)

【표 3.21】 연단거리 측정 결과(부산)

구 분		계산 연단거리 (㎜)	연단거리						판 정
			Sh1	Sh2	Sh3	Sh4	Sh5	Sh6	
A1		500	900	890	860	850	930	930	O.K
P1	A1측	500	1,430	1,430	1,360	1,400	1,440	1,440	O.K
	A2측	500	1,400	1,400	1,380	1,380	1,400	1,400	O.K
P2	A1측	500	1,650	1,660	1,640	1,660	1,660	1,600	O.K
	A2측	500	1,620	1,620	1,680	1,680	1,620	1,620	O.K
P3	A1측	500	1,120	1,170	1,120	1,120	1,200	1,150	O.K
	A2측	500	1,120	1,100	1,060	1,030	1,1150	1,070	O.K
P4	A1측	500	1,700	1,710	1,700	1,710	1,740	1,740	O.K
	A2측	500	1,700	1,700	1,720	1,720	1,700	1,700	O.K
P5	A1측	500	1,730	1,730	1,730	1,730	1,720	1,720	O.K
	A2측	450	1,730	1,730	1,720	1,720	1,730	1,730	O.K
A2		450	720	730	660	660	780	780	O.K

라. 교량받침 신축거동상태 검토

1) 온도변화에 따른 가동상태 검토

- 교량받침은 포트받침으로 현재 여유량을 실측함으로써 온도 변화와 활하중에 의한 거더의 처짐에 따른 신축시 이동량 부족으로 인한 받침의 기능 저하 여부를 검토하고자 하였다.
- 교량받침 가동상태의 적정성을 평가하기 위해 2회(1차:15.2℃(4월 27일), 2차:29.6℃(8월 2일))에 걸쳐 측정하였으며, 온도 변화에 따른 변동량 측정결과 이론 변동량과 유사한 것으로 나타나 전반적으로 양호한 거동상태를 보이고 있는 것으로 평가되었다.

【표 3.22】교량받침 가동상태 검토결과(부산)

구 분		실측 이동량(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	40(A2)	50(A2)	10.0	10.4	1차 : 15.2℃ 2차 : 29.6℃ 온도차 : 14.4℃
	Sh2	30(A2)	50(A2)	20.0		
	Sh3	40(A2)	50(A2)	10.0		
	Sh4	40(A2)	50(A2)	10.0		
	Sh5	35(A2)	58(A2)	23.0		
	Sh6	40(A2)	50(A2)	10.0		
P1	고 정 단					
P2	고 정 단					
P3(A1)	Sh1	50(A1)	35(A1)	15.0	8.6	
	Sh2	50(A1)	30(A1)	20.0		
	Sh3	50(A1)	38(A1)	12.0		
	Sh4	49(A1)	38(A1)	11.0		
	Sh5	50(A1)	40(A1)	10.0		
	Sh6	50(A1)	40(A1)	10.0		
P3(A2)	Sh1	15(A2)	15(A2)	0.0	8.6	
	Sh2	15(A2)	15(A2)	0.0		
	Sh3	13(A2)	20(A2)	7.0		
	Sh4	25(A2)	20(A2)	5.0		
	Sh5	17(A2)	15(A2)	2.0		
	Sh6	15(A2)	15(A2)	0.0		
P4	고 정 단					
P5	고 정 단					
A2	Sh1	20(A2)	30(A2)	10.0	8.6	
	Sh2	10(A2)	40(A2)	30.0		
	Sh3	11(A2)	30(A2)	19.0		
	Sh4	22(A2)	20(A2)	2.0		
	Sh5	15(A2)	10(A2)	5.0		
	Sh6	22(A2)	30(A2)	8.0		

2) 설계기준 온도(-10℃ ~ 40℃(보통지방))에 따른 여유량 검토(1차 조사)

- 가동여유량 검토한 결과, 전반적으로 설계기준에서 제시되는 최대 및 최소 온도에 대하여 충분한 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었으며, 전반적으로 거동상태는 양호한 것으로 검토되었다.

【표 3.23】교량받침 이동량(설계기준 온도) 산정(1차 조사)(부산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	최대 받침 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	25.2	24.8	1.2×10^{-5}	60.0	18.1	17.9	-	18.1	17.9
P1	고 정 단								
P2	고 정 단								
P3(A1)	25.2	24.8	1.2×10^{-5}	50.0	15.1	14.9	-	15.1	14.9
P3(A2)	25.2	24.8	1.2×10^{-5}	50.0	15.1	14.9	-	15.1	14.9
P4	고 정 단								
P5	고 정 단								
A2	25.2	24.8	1.2×10^{-5}	50.0	15.1	14.9	-	15.1	14.9

1) 1차조사 당시 온도 : 15.2℃(조사일 : 2023년 4월 27일, 평균온도)
2) 검토온도 : -10℃ ~ 40℃(보통지방/강교)
3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(신장시에만 고려)

【표 3.24】교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과(1차 조사)(부산)

구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	40(A2)	18.1	17.9	115.0	35.0	±75	O.K
	Sh2	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh3	40(A2)			115.0	35.0	±75	O.K
	Sh4	40(A2)			115.0	35.0	±75	O.K
	Sh5	35(A2)			110.0	40.0	±75	O.K
	Sh6	40(A2)			115.0	35.0	±75	O.K
P1		고 정 단						
P2		고 정 단						
P3 (A1)	Sh1	50(A1)	15.1	14.9	125.0	25.0	±75	O.K
	Sh2	50(A1)			125.0	25.0	±75	O.K
	Sh3	50(A1)			125.0	25.0	±75	O.K
	Sh4	49(A1)			124.0	26.0	±75	O.K
	Sh5	50(A1)			125.0	25.0	±75	O.K
	Sh6	50(A1)			125.0	25.0	±75	O.K
P3 (A2)	Sh1	15(A2)	15.1	14.9	90.0	60.0	±75	O.K
	Sh2	15(A2)			90.0	60.0	±75	O.K
	Sh3	13(A2)			88.0	62.0	±75	O.K
	Sh4	25(A2)			100.0	50.0	±75	O.K
	Sh5	17(A2)			92.0	58.0	±75	O.K
	Sh6	15(A2)			90.0	60.0	±75	O.K
P4		고 정 단						
P5		고 정 단						
A2	Sh1	20(A1)	15.1	14.9	95.0	55.0	±75	O.K
	Sh2	10(A1)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh3	11(A1)			91.0	59.0	±75	O.K
	Sh4	22(A1)			97.0	53.0	±75	O.K
	Sh5	15(A1)			90.0	60.0	±75	O.K
	Sh6	22(A1)			97.0	53.0	±75	O.K

주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K

3) 기상청 통계자료에 따른 이동량 검토(1차 조사)

기상청 통계자료	• 최근 10년간 부산(기상관측소) 자료 참조 • 최근 10년간 최저기온 : -12.2℃(측정일시 : 2021년 01월 08일) • 최근 10년간 최고기온 : 37.3℃(측정일시 : 2016년 08월 14일)

- 최근 10년간 기상청 통계자료를 이용한 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 상기 설계기준 온도에서 가동여유량을 검토한 교량받침은 기상청 통계자료(10년)에 기록된 최저·최대온도를 기준으로 산정한 이론 이동량을 만족하고 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.25】교량받침 이동량(기상청 통계) 산정(1차 조사)(부산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	최대 받침 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	27.4	22.1	1.2×10^{-5}	60.0	19.7	15.9	-	18.4	17.3
P1	고 정 단								
P2	고 정 단								
P3(A1)	27.4	22.1	1.2×10^{-5}	50.0	16.4	13.3	-	16.4	13.3
P3(A2)	27.4	22.1	1.2×10^{-5}	50.0	16.4	13.3	-	16.4	13.3
P4	고 정 단								
P5	고 정 단								
A2	27.4	22.1	1.2×10^{-5}	50.0	16.4	13.3	-	16.4	13.3

1) 1차조사 당시 온도 : 15.2℃(조사일 : 2023년 4월 27일, 평균온도)
2) 검토온도 : -12.2℃ ~ 37.3℃(기상청 통계자료)
3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(신장시에만 고려)

【표 3.26】교량받침 이동량(기상청 통계자료) 검토결과(1차 조사)(부산)

구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	40(A2)	18.4	17.3	115.0	35.0	±75	O.K
	Sh2	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh3	40(A2)			115.0	35.0	±75	O.K
	Sh4	40(A2)			115.0	35.0	±75	O.K
	Sh5	35(A2)			110.0	40.0	±75	O.K
	Sh6	40(A2)			115.0	35.0	±75	O.K
P1		고 정 단						
P2		고 정 단						
P3 (A1)	Sh1	55(A1)	16.4	13.3	125.0	25.0	±75	O.K
	Sh2	55(A1)			125.0	25.0	±75	O.K
	Sh3	55(A1)			125.0	25.0	±75	O.K
	Sh4	54(A1)			124.0	26.0	±75	O.K
	Sh5	55(A1)			125.0	25.0	±75	O.K
	Sh6	50(A1)			125.0	25.0	±75	O.K
P3 (A2)	Sh1	15(A2)	16.4	13.3	90.0	60.0	±75	O.K
	Sh2	15(A2)			90.0	60.0	±75	O.K
	Sh3	13(A2)			88.0	62.0	±75	O.K
	Sh4	25(A2)			100.0	50.0	±75	O.K
	Sh5	17(A2)			92.0	58.0	±75	O.K
	Sh6	15(A2)			90.0	60.0	±75	O.K
P4		고 정 단						
P5		고 정 단						
A2	Sh1	20(A1)	16.4	13.3	95.0	55.0	±75	O.K
	Sh2	10(A1)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh3	11(A1)			91.0	59.0	±75	O.K
	Sh4	22(A1)			97.0	53.0	±75	O.K
	Sh5	15(A1)			90.0	60.0	±75	O.K
	Sh6	22(A1)			97.0	53.0	±75	O.K
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K								

4) 설계기준 온도(-10℃ ~ 40℃(보통지방))에 따른 여유량 검토(2차 조사)

- 가동여유량 검토한 결과, 전반적으로 설계기준에서 제시되는 최대 및 최소 온도에 대하여 충분한 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었으며, 전반적으로 거동상태는 양호한 것으로 검토되었다.

【표 3.27】 교량받침 이동량(설계기준 온도) 산정(2차 조사)(부산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	최대 받침 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	39.6	10.4	1.2×10^{-5}	60.0	28.5	7.5	-	28.5	7.5
P1	고 정 단								
P2	고 정 단								
P3(A1)	39.6	10.4	1.2×10^{-5}	50.0	23.8	6.2	-	23.8	6.2
P3(A2)	39.6	10.4	1.2×10^{-5}	50.0	23.8	6.2	-	23.8	6.2
P4	고 정 단								
P5	고 정 단								
A2	39.6	10.4	1.2×10^{-5}	50.0	23.8	6.2	-	23.8	6.2

1) 2차조사 당시 온도 : 29.6℃(조사일 : 2023년 8월 2일, 평균온도)
2) 검토온도 : -10℃ ~ 40℃(보통지방/강교)
3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(신장시에만 고려)

【표 3.28】 교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과(2차 조사)(부산)

구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	50(A2)	28.5	7.5	125.0	25.0	±75	O.K
	Sh2	50(A2)			125.0	25.0	±75	O.K
	Sh3	50(A2)			125.0	25.0	±75	O.K
	Sh4	50(A2)			125.0	25.0	±75	O.K
	Sh5	58(A2)			133.0	17.0	±75	O.K
	Sh6	50(A2)			125.0	25.0	±75	O.K
P1		고 정 단						
P2		고 정 단						

【표 3.28】교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과(2차 조사)(부산)(계속)

구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
P3 (A1)	Sh1	35(A1)	23.8	6.2	110.0	40.0	±75	O.K
	Sh2	30(A1)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh3	38(A1)			113.0	37.0	±75	O.K
	Sh4	38(A1)			113.0	37.0	±75	O.K
	Sh5	40(A1)			115.0	35.0	±75	O.K
	Sh6	40(A1)			115.0	35.0	±75	O.K
P3 (A2)	Sh1	15(A2)	23.8	6.2	90.0	60.0	±75	O.K
	Sh2	15(A2)			90.0	60.0	±75	O.K
	Sh3	20(A2)			95.0	55.0	±75	O.K
	Sh4	20(A2)			95.0	55.0	±75	O.K
	Sh5	15(A2)			90.0	60.0	±75	O.K
	Sh6	15(A2)			90.0	60.0	±75	O.K
P4		고 정 단						
P5		고 정 단						
A2	Sh1	30(A2)	23.8	6.2	105.0	45.0	±75	O.K
	Sh2	40(A2)			115.0	35.0	±75	O.K
	Sh3	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh4	20(A2)			95.0	55.0	±75	O.K
	Sh5	10(A2)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh6	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K								

5) 기상청 통계자료에 따른 이동량 검토(2차 조사)

기상청 통계자료	• 최근 10년간 부산(기상관측소) 자료 참조 • 최근 10년간 최저기온 : -12.2℃(측정일시 : 2021년 01월 08일) • 최근 10년간 최고기온 : 37.3℃(측정일시 : 2016년 08월 14일)

- 최근 10년간 기상청 통계자료를 이용한 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 상기 설계기준 온도에서 가동여유량을 검토한 교량받침은 기상청 통계자료(10년)에 기록된 최저·최대온도를 기준으로 산정한 이론 이동량을 만족하고 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.29】교량받침 이동량(기상청 통계) 산정(2차 조사)(부산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창계수 (α)	신축거더길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	최대 받침 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	41.8	7.7	1.2×10^{-5}	60.0	30.1	5.5	-	30.1	5.5
P1	고 정 단								
P2	고 정 단								
P3(A1)	41.8	7.7	1.2×10^{-5}	50.0	25.1	4.6	-	25.1	4.6
P3(A2)	41.8	7.7	1.2×10^{-5}	50.0	25.1	4.6	-	25.1	4.6
P4	고 정 단								
P5	고 정 단								
A2	41.8	7.7	1.2×10^{-5}	50.0	25.1	4.6	-	25.1	4.6

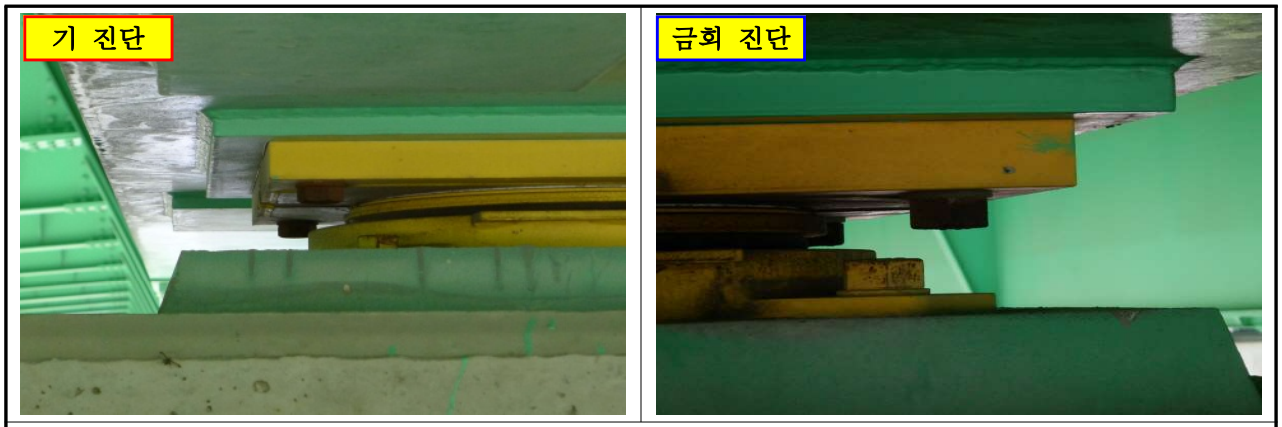
1) 2차조사 당시 온도 : 29.6℃(조사일 : 2023년 8월 2일, 평균온도)
2) 검토온도 : -12.2℃ ~ 37.3℃(기상청 통계자료)
3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(신장시에만 고려)

【표 3.30】교량받침 이동량(기상청 통계자료) 검토결과(2차 조사)(부산)

구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	50(A2)	30.1	5.5	125.0	25.0	±75	O.K
	Sh2	50(A2)			125.0	25.0	±75	O.K
	Sh3	50(A2)			125.0	25.0	±75	O.K
	Sh4	50(A2)			125.0	25.0	±75	O.K
	Sh5	58(A2)			133.0	17.0	±75	O.K
	Sh6	50(A2)			125.0	25.0	±75	O.K
P1		고 정 단						
P2		고 정 단						
P3 (A1)	Sh1	35(A1)	25.1	4.6	110.0	40.0	±75	O.K
	Sh2	30(A1)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh3	38(A1)			113.0	37.0	±75	O.K
	Sh4	38(A1)			113.0	37.0	±75	O.K
	Sh5	40(A1)			115.0	35.0	±75	O.K
	Sh6	40(A1)			115.0	35.0	±75	O.K
P3 (A2)	Sh1	15(A2)	25.1	4.6	90.0	60.0	±75	O.K
	Sh2	15(A2)			90.0	60.0	±75	O.K
	Sh3	20(A2)			95.0	55.0	±75	O.K
	Sh4	20(A2)			95.0	55.0	±75	O.K
	Sh5	15(A2)			90.0	60.0	±75	O.K
	Sh6	15(A2)			90.0	60.0	±75	O.K
P4		고 정 단						
P5		고 정 단						
A2	Sh1	30(A2)	25.1	4.6	105.0	45.0	±75	O.K
	Sh2	40(A2)			115.0	35.0	±75	O.K
	Sh3	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh4	20(A2)			95.0	55.0	±75	O.K
	Sh5	10(A2)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh6	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K								

마. 기 진단(2018년) 결과와 비교・분석

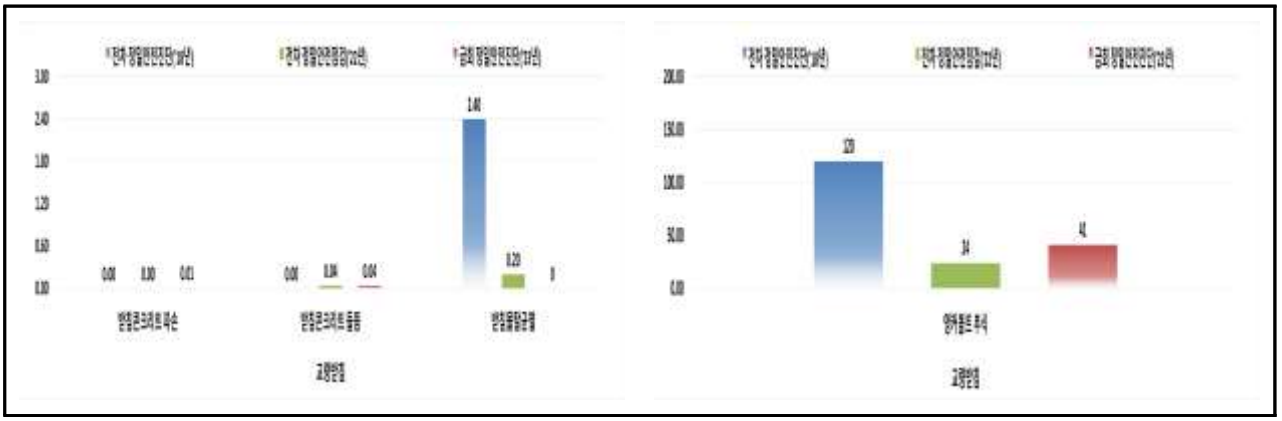
- 기 진단(18년) 점검결과 비교시, 받침콘크리트 파손, 받침콘크리트 들뜸 손상물량이 증가하였으며, 상기 손상은 금회 상세조사에 의해 확인된 것으로 판단된다.
- 보수・보강 이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 “구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사, 2019.09.18.~12.31”를 통해 일부 부재에 대해 보수를 실시한 것으로 조사되었으며, 현장조사 결과 보수불량에 따른 재균열이나, 보수미흡 등이 발생하지 않은 비교적 양호한 상태로 확인되었다. 또한 “2020년 경남본부 관내 교량 내진보강 및 성능개량공사(2020.08.18.~2020.12.04.)”를 통해 교각 P1 교량받침 사이에 콘크리트 전단키가 설치된 것으로 확인되었다.



P2 앵커볼트 부식(1개소)

【표 3.31】교량받침 기 진단과의 결과 비교(부산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
앵커볼트 부식	개소	120	24	41	▼ 79
받침콘크리트 파손	㎡	-	-	0.01	▲ 0.01
받침콘크리트 들뜸	㎡	-	0.04	0.04	▲ 0.04
받침몰탈균열	m	2.40	0.20	-	▼ 2.40



【그림 3.11】교량받침 기 점검 결과와의 비교(부산)

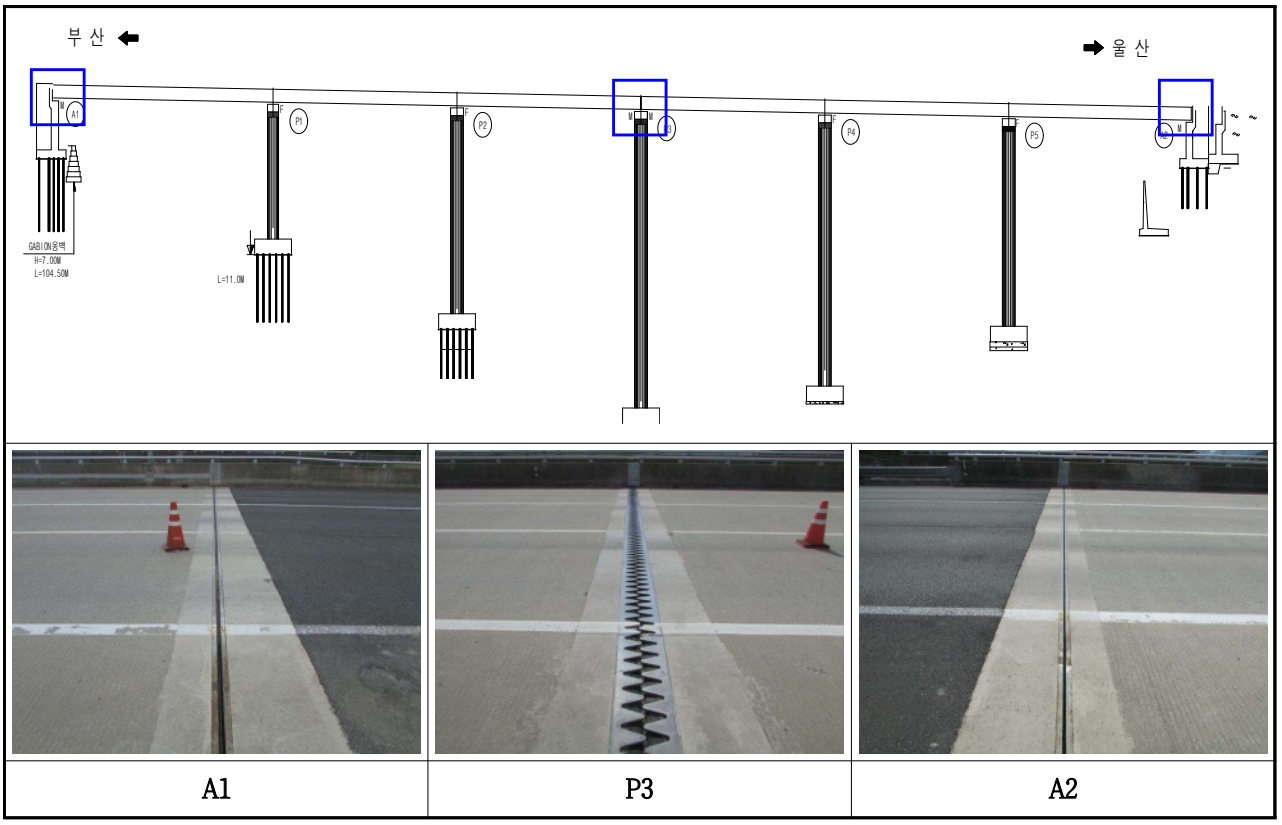
바. 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 앵커볼트 부식은 신축이음 하부 누수 및 우수유입, 공용년수 증가에 따른 노후화 손상으로 대부분의 손상이 부식 정도가 경미하여 부재의 제 기능에는 문제가 없을 것으로 보이나, 지속적인 열화발생시 기능성 저하가 우려됨에 따라 재도장을 통한 보수가 바람직할 것으로 판단된다.
- 받침콘크리트 파손 및 들뜸은 공용중 외부충격 및 품질관리 미흡 등에 의해 발생한 것으로 발생규모는 경미하나 내구성 저하 방지를 위해 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3.2.5 신축이음장치

가. 개요

- 신축이음은 대기 온도변화에 의한 교량 상부구조의 수축과 팽창, 콘크리트의 재령에 의한 CREEP, 건조수축 및 활하중에 의한 이동과 회전등의 변위 및 변형을 원활하게 하여 2차응력을 줄이고 교면의 평탄성을 유지시켜 주는 역할과 교면수와 오물이 교량 하부구조로 흘러들어가는 것을 방지하여 콘크리트가 부식되지 않도록 하는 기능을 수행하는 중요한 부재이다.
- 신축이음장치는 총 3개소(A1, A2, P3)에 설치되어 있으며, Rail Joint(A1, A2), Finger Joint(P3)로 시공되어 있다. 또한 준공도면 및 교체이력을 확인한 결과, 설계유간은 No.50(A1), No.150(P3), No.100(A2)인 것으로 확인되었다.



A1	P3	A2

【그림 3.12】 신축이음장치 전경 및 배치도(부산)

나. 외관조사 결과

- 신축이음장치에 대한 외관조사 결과, 신축이음장치 3개소 모두 유간 토사퇴적이 조사되었고, 후타재는 콘크리트의 경우 주행차량의 충격하중 및 재료적 특성에 의한 균열이 일부 종방향 형태로 발생한 것으로 확인되었으며, 후타재 박락 및 파손 또한 1개소씩 경미한 규모로 발생하였다. 차수판의 경우 신축이음장치 3개소에서 볼트탈락이 조사되었다.

- 온도변화에 따른 신축여유량 검토결과, Exp.J1(A1), J2(P2), J3(A2)는 설계온도(40.0℃)에 대한 신장여유량을 확보하고 있는 것으로 측정되었다.

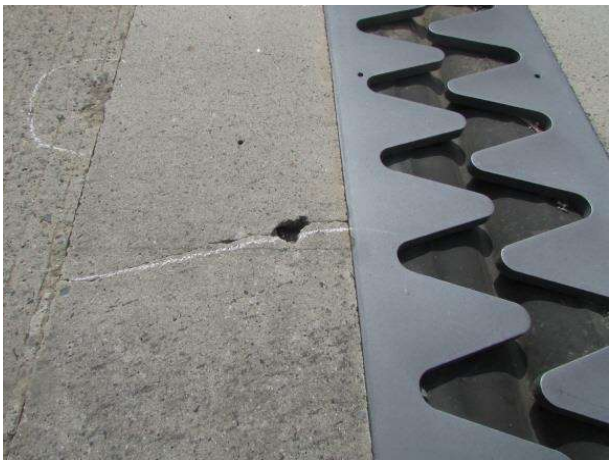
【표 3.32】신축이음장치 외관조사 결과(부산)

구 분	후타재 균열 (m/개소)	후타재 박락 (㎡개소)	후타재 파손 (㎡개소)	유간 토사퇴적 (m/개소)	차수판 볼트탈락 (개소/개소)	비고
A1	23.80/47	-	-	14.00/1	3/3	
P3	6.80/15	-	0.01/1	1.50/1	4/4	
A2	12.60/32	0.18/1	-	14.00/1	1/1	
합 계	**43.20/94**	**0.18/1**	**0.01/1**	**29.50/3**	**8/8**	

EXP.J1(A1) 후타재 균열(Cw=0.2mm/L=0.6m)

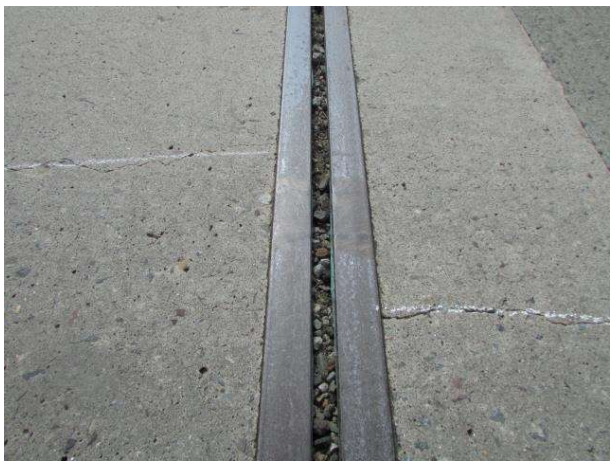
EXP.J3(A2) 후타재 균열(Cw=0.2mm/L=0.3m)

EXP.J3(A2) 후타재 박락(A=0.6m×0.3m=0.18㎡)



EXP.J2(P3) 후타재 파손(A=0.1m×0.1m=0.01㎡)

【사진 3.23】신축이음장치 손상현황(부산)

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>EXP.J1(A1) 유간 토사퇴적(L=14.0m)</td><td>EXP.J2(P3) 유간 토사퇴적(L=1.5m)</td></tr>
<tr><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>EXP.J3(A2) 유간 토사퇴적(L=14.0m)</td><td>EXP.J1(A1) 차수판 볼트탈락(3개소)</td></tr>
<tr><td>
</td><td>
</td></tr>
<tr><td>EXP.J2(P3) 차수판 볼트탈락(2개소)</td><td>EXP.J3(A2) 차수판 볼트탈락(1개소)</td></tr>
</table>

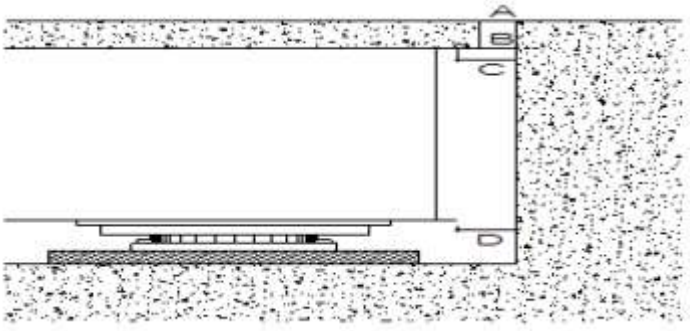
【사진 3.23】 신축이음장치 손상현황(부산)(계속)

다. 신축이음 신축거동상태 검토

1) 온도변화에 따른 가동상태 검토

- 본 교량의 신축거동 상태를 확인하기 위해 2회(1차15.2℃(4월 27일), 2차:29.6℃(8월 2일))에 걸쳐 신축이음장치, 바닥판, 거더 상·하부에 대해서 유간을 측정하였고, 이론 변동량과의 비교를 통해 신축거동 상태를 검토하였다. 또한, 측정된 유간으로부터 최대 온도 상승 시 신장량과 최저 온도 하강 시 수축량을 계산하여 유간확보 여부를 검토하였다.

① 신축이음 유간 측정방법

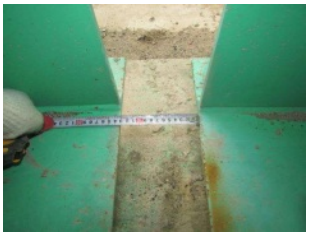


< 측정 개요도 >

신축이음장치 유간 - A

바닥판 슬래브 유간 - B

거더 상부 유간 - C


거더 하부 유간 - D

② 신축이음 유간 측정결과

【표 3.33】 신축이음 유간 측정결과(부산)

측정위치	측 정 값(㎜)								비 고
	신축이음장치(A)		바닥판(B)		거더 상부(C)		거더 하부(D)		
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	
EXP.J1(A1)	40.0	25.0	139.0	135.0	135.0	130.0	128.0	123.0	Rail Joint
EXP.J2(P3)	125.0	115.0	120.0	100.0	180.0	160.0	165.0	130.0	Rail Joint
EXP.J3(A2)	19.0	15.0	95.0	90.0	110.0	100.0	108.0	105.0	Finger Joint

- 4월(15.2℃)과 8월(29.6℃)의 온도 변화에 따른 변동량 측정결과, 신축이음장치 모두 가동량이 이론 변동량과 유사한 경향으로 가동하는 것으로 나타나 원활한 신축거동을 하고 있는 것으로 평가되었다.

【표 3.34】신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과(부산)

측정위치		측정유간(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
EXP.J1(A1)	신축이음장치	40.0	25.0	15.0	10.4	1차 : 15.2℃ 2차 : 29.6℃ 온도차 : 14.4℃
	바닥판 단부	139.0	135.0	4.0		
EXP.J2(P3)	신축이음장치	125.0	115.0	10.0	17.3	
	바닥판 단부	120.0	100.0	20.0		
EXP.J3(A2)	신축이음장치	19.0	15.0	4.0	8.6	
	바닥판 단부	95.0	90.0	5.0		

2) 설계기준온도(-10℃ ~ 40℃)에 따른 여유량 검토(1차 조사)

- 신축이음 및 바닥판의 실측 유간을 계산 이동량과 비교·검토한 결과, EXP.J1(A1), J2(P3), J3(A2) 설계온도 최대(40.0℃:강교)시 신장여유량을 확보하고 있으나, ExpJ2에서 수축여유량(-16.4)을 확보하지 못한 것으로 검토되었다.

【표 3.35】신축이음 신축이동량(설계기준 온도) 산정(1차 조사)(부산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축 거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	계산 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
EXP.J1(A1)	25.2	24.8	1.2×10^{-5}	60.0	18.1	17.9	-	18.1	17.9
EXP.J2(P3)	25.2	24.8	1.2×10^{-5}	100.0	30.2	29.8	11.11	41.4	29.8
EXP.J3(A2)	25.2	24.8	1.2×10^{-5}	50.0	15.1	14.9	-	15.1	14.9
1) 1차조사 당시 온도 : 15.2℃(조사일 : 2023년 4월 27일, 평균온도) 2) 검토온도 : -10℃ ~ 40℃(보통지방/강교) 3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(수축시에만 고려)									

【표 3.36】신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(설계기준 온도) 검토결과(1차 조사)(부산)

구 분		계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량(㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
EXP.J1 (A1)	신축이음장치	18.1	17.9	40.0	100.0	41.9	22.1	O.K
	바닥판 단부			139.0	-	-	121.1	O.K
EXP.J2 (P3)	신축이음장치	41.4	29.8	125.0	150.0	-16.4	95.2	N.G
	바닥판 단부			120.0			90.2	O.K
EXP.J3 (A2)	신축이음장치	15.1	14.9	19.0	100.0	65.9	4.1	O.K
	바닥판 단부			95.0	-	-	80.1	O.K
주1) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K								

3) 기상청 통계자료에 따른 이동량 검토(1차 조사)

기상청 통계자료	• 최근 10년간 부산(기상관측소) 자료 참조 • 최근 10년간 최저기온 : -12.2℃(측정일시 : 2021년 01월 08일) • 최근 10년간 최고기온 : 37.3℃(측정일시 : 2016년 08월 14일)

- 진단주기를 감안하여 최근 10년간 부산(기상관측소)의 최저, 최대온도를 분석하여 이에 따른 신축이음장치의 가동여유량 평가를 실시하였다.
- 최근 10년간 기상청 통계자료를 이용한 신축이음의 이동량을 검토한 결과, EXP.J1(A1), J2(P3), J3(A2) 설계온도 최대(40.0℃:강교)시 신장여유량을 확보하고 있으나, ExpJ2에서 수축여유량(-19.0)을 확보하지 못한 것으로 검토되었다.

【표 3.37】 신축이음 신축이동량(기상청 통계) 산정(1차 조사)(부산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축 거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	계산 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
EXP.J1(A1)	27.4	22.1	1.2×10^{-5}	60.0	19.7	15.9	-	19.7	15.9
EXP.J2(P3)	27.4	22.1	1.2×10^{-5}	100.0	39.5	31.8	11.11	44.0	26.5
EXP.J3(A2)	27.4	22.1	1.2×10^{-5}	50.0	16.4	13.3	-	16.4	13.3

1) 1차조사 당시 온도 : 15.2℃(조사일 : 2023년 4월 27일, 평균온도)
2) 검토온도 : -12.2℃ ~ 37.3℃(기상청 통계자료)
3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(수축시에만 고려)

【표 3.38】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(기상청 통계자료) 검토결과(1차 조사)(부산)

구 분		계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량(㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
EXP.J1 (A1)	신축이음장치	19.7	15.9	40.0	100.0	40.3	24.1	O.K
	바닥판 단부			139.0	-	-	123.1	O.K
EXP.J2 (P3)	신축이음장치	44.0	26.5	125.0	150.0	-19.0	98.5	N.G
	바닥판 단부			120.0	-	-	93.5	O.K
EXP.J3 (A2)	신축이음장치	16.4	13.3	19.0	100.0	64.6	5.7	O.K
	바닥판 단부			95.0	-	-	81.7	O.K

주1) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K

4) 설계기준온도(-10℃ ~ 40℃)에 따른 여유량 검토(2차 조사)

- 신축이음 및 바닥판의 실측 유간을 계산 이동량과 비교·검토한 결과, EXP.J1(A1), J2(P3), J3(A2) 설계온도 최대(40.0℃:강교)시 신장여유량을 확보하고 있으나, ExpJ2에서 수축여유량(-23.6)을 확보하지 못한 것으로 검토되었다.

【표 3.39】 신축이음 신축이동량(설계기준 온도) 산정(2차 조사)(부산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축 거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	계산 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
EXP.J1(A1)	39.6	10.4	1.2×10^{-5}	60.0	28.5	7.5	-	28.5	7.5
EXP.J2(P3)	39.6	10.4	1.2×10^{-5}	100.0	47.5	12.5	11.11	58.6	12.5
EXP.J3(A2)	39.6	10.4	1.2×10^{-5}	50.0	23.8	6.2	-	23.8	6.2

1) 2차조사 당시 온도 : 29.6℃(조사일 : 2023년 8월 2일, 평균온도)
2) 검토온도 : -10℃ ~ 40℃(보통지방/강교)
3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(수축시에만 고려)

【표 3.40】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(설계기준 온도) 검토결과(2차 조사)(부산)

구 분		계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량(㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
EXP.J1 (A1)	신축이음장치	28.5	7.5	25.0	100.0	46.5	17.5	O.K
	바닥판 단부			135.0	-	-	127.5	O.K
EXP.J2 (P3)	신축이음장치	58.6	12.5	115.0	150.0	-23.6	102.5	N.G
	바닥판 단부			100.0	-	-	87.5	O.K
EXP.J3 (A2)	신축이음장치	23.8	6.2	15.0	100.0	61.2	8.8	O.K
	바닥판 단부			90.0	-	-	83.8	O.K

주1) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K

5) 기상청 통계자료에 따른 이동량 검토(2차 조사)

기상청 통계자료	• 최근 10년간 부산(기상관측소) 자료 참조 • 최근 10년간 최저기온 : -12.2℃(측정일시 : 2021년 01월 08일) • 최근 10년간 최고기온 : 37.3℃(측정일시 : 2016년 08월 14일)

- 진단주기를 감안하여 최근 10년간 부산(기상관측소)의 최저, 최대온도를 분석하여 이에 따른 신축이음장치의 가동여유량 평가를 실시하였다.
- 최근 10년간 기상청 통계자료를 이용한 신축이음의 이동량을 검토한 결과, EXP.J1(A1), J2(A2) 설계온도 최대(40.0℃:강교)시 신장여유량을 확보하고 있으나, ExpJ1에서 수축여유량(-36.3)을 확보하지 못한 것으로 검토되었다.

【표 3.41】 신축이음 신축이동량(기상청 통계) 산정(2차 조사)(부산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창계수 (α)	신축 거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	계산 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
EXP.J1(A1)	41.8	7.7	1.2×10^{-5}	60.0	30.1	5.5	-	30.1	5.5
EXP.J2(P3)	41.8	7.7	1.2×10^{-5}	100.0	50.2	9.2	11.11	61.3	9.2
EXP.J3(A2)	41.8	7.7	1.2×10^{-5}	50.0	25.1	4.6	-	25.1	4.6

1) 2차조사 당시 온도 : 29.6℃(조사일 : 2023년 8월 2일, 평균온도)
2) 검토온도 : -12.2℃ ~ 37.3℃(기상청 통계자료)
3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(수축시에만 고려)

【표 3.42】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(기상청 통계자료) 검토결과(2차 조사)(부산)

구 분		계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량(㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
EXP.J1 (A1)	신축이음장치	30.1	5.5	25.0	100.0	44.9	19.5	O.K
	바닥판 단부			135.0	-	-	129.5	O.K
EXP.J2 (P3)	신축이음장치	71.3	11.1	115.0	150.0	-36.3	103.9	N.G
	바닥판 단부			100.0	-	-	88.9	O.K
EXP.J3 (A2)	신축이음장치	25.1	4.6	15.0	100.0	59.9	10.4	O.K
	바닥판 단부			90.0	-	-	85.4	O.K

주1) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K

라. 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석

- 기 진단(18년) 진단 이후 “구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사(2019.09.18.~2019.12.31.)” 차수판이 재설치된 것으로 확인되었으며, ExpJ1(A1), ExpJ3(A2) 신축이음장치도 모노셀Joint에서 레일Joint로 교체시공 되었다. 금회 후타재 균열 및 후타재 박락, 후타재 파손, 유간 토사퇴적, 차수판 볼트탈락이 추가로 조사되었으며, 차수판 유실 및 후타재 이격이 보수되어 신축이음장치에 전반적인 손상물량의 증・감이 발생한 것으로 분석되었다.

> 만화교(부산)

시설물관리대장 | 유지관리계획 | 중대결함실적 | 유지관리실적 | 시설물비용정보 | 점검진단대가산정

점검진단실적 (1) | 보수보강실적 | 사용제한 등 조치 | 중대결함등사후관리 | 총괄표(승인요청)

승인된 보수보강실적은 취합기관에 수정요청을 통해서만 수정할 수 있습니다.

공사명	구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사		
공사구분	보수	공사기간	2019년 09월 18일 ~ 2019년 12월 31일
관련점검진단	정밀안전진단(2018-08-16 ~ 2018-12-31)	계약방법	제한경쟁
설계자	이효찬	시공자	CS청산건설㈜
책임기술자	이건수	공사감독	이효찬
부위	거더, 교량받침, 신축이음장치, 교대, 교각, 난간방호벽		
공사내역	볼트 재체결, 표면처리, 재도장, 주입보수, 차수판설치		
공사비	4,567천원(VAT포함)	내진보강	미실시
관련증빙	파일첨부		
작성자	손동영	작성일	2020-04-08
승인상태	승인완료		

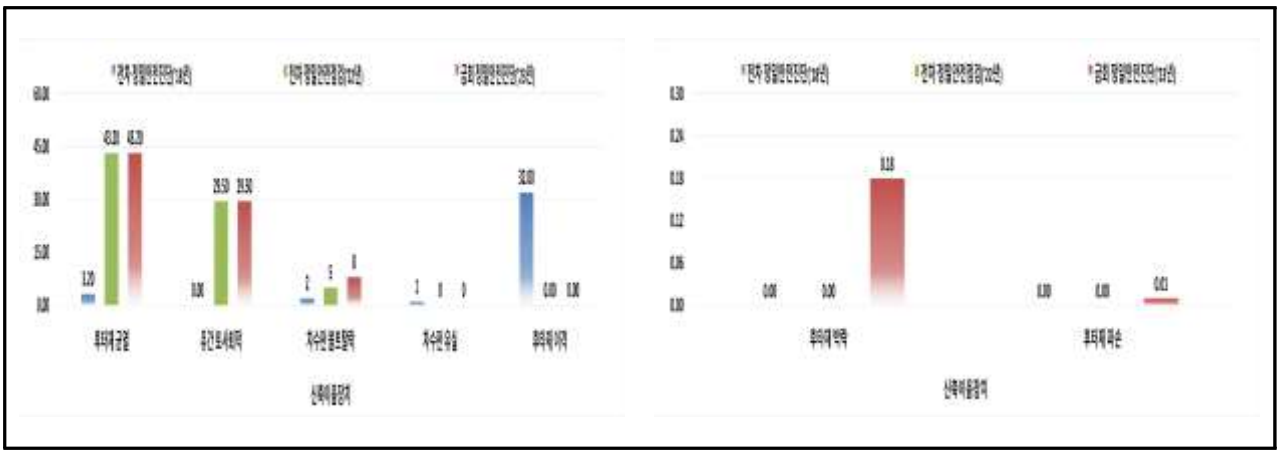
공사세부내역

공사부위/부재	세부위치	보수보강공법	수량	단위	공사비(천원)
거더	내부	볼트 재체결	3	EA	17
교량받침		표면처리공법	0.6	m²	30
교량받침		재도장(부분, 전면 등)	0.36	m²	24
교량받침		주입보수	0.02	m²	7
신축이음		차수판설치	1	EA	733
교대		표면처리공법	8.65	m²	444
교대		주입보수	0.19	m²	75
교각		표면처리공법	6.45	m²	368
방호벽		표면처리공법	55.8	m²	2,869

EXP.J3(A2) 차수판 볼트탈락(1개소)

【표 3.43】 신축이음장치 기 진단 결과와의 비교(부산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
후타재 균열	m	3.20	43.20	43.20	▲ 40.00
후타재 박락	㎡	-	-	0.18	▲ 0.18
후타재 파손	㎡	-	-	0.01	▲ 0.01
유간 토사퇴적	m	-	29.50	29.50	▲ 29.50
차수판 볼트탈락	개소	2	5	8	▲ 6
차수판 유실	개소	1	-	-	▼ 1
후타재 이격	m	32.00	-	-	▼ 32.00



【그림 3.13】 신축이음장치 기 진단 결과와의 비교

마. 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 후타재 콘크리트에서 발생된 균열은 차량반복하중에 의한 피로균열로서 신축이음장치 ExpJ1(A1), ExpJ2(P3), ExpJ3(A2)에 전개소 일부 구간에 걸쳐 발생된 것으로 확인되었다. 해당 손상에 의한 차량 주행성에는 이상이 없는 것으로 판단되며, 대부분 폭 0.2㎜ 이내의 미세균열로 즉각적인 보수조치 보다는 지속적인 관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다. 다만 손상확대 및 진전 시 보수가 필요하며, 진전없는 유사한 형태를 유지할 시 향후 신축이음장치 보수 및 교체 시 함께 보수를 실시하는 것이 효율적인 것으로 판단된다.
- 후타재 박락 및 파손은 각각 1개소씩 조사되었으며, 후타재 시공시 품질관리 미흡과 차량반복하중 등에 의해 발생한 것으로 발생규모는 경미한 것으로 확인되었다. 해당손상 또한 균열과 마찬가지로 즉각적인 보수조치 보다는 지속적인 관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단되며, 진전시에는 보수를, 진전없는 유사한 형태를 유지할 시 향후 신축이음장치 보수 및 교체 시 함께 보수를 실시하는 것이 효율적일 것이다.

- 신축이음장치에 발생한 유간 토사퇴적은 신축이음장치 전 개소(3개소) 일부구간에 걸쳐 발생하였으며, 공용년수 증가에 따른 이물질 유입이 주원인으로 현재 신축이음장치에 기능을 상실한 상태는 아니나, 원활한 유지관리를 위해 청소를 실시하여 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 차수판 볼트탈락은 체결미흡 및 반복적인 차량진동에 의해 발생한 것으로 판단되며, 차수판이 제 기능을 상실한 상태는 아니나, 차수판의 고정을 위해 보수계획에 맞춰 재체결을 실시하는 것이 바람직한 유지관리 방안일 것으로 판단된다.
- Exp. J1(A1), J2(P3), J3(A2)의 설계온도에 따른 신축거동여유량 검토결과, 전 개소 신장거동 여유량을 확보하는 것으로 분석되었다. 금회 가동여유량 검토결과, Exp. J1(A1), J3(A2)은 설계온도 및 기상청 통계에 따른 가동여유량이 확보되어있는 것으로 확인되었으나, Exp. J2(P3)의 경우 설계온도 및 기상청 통계에따른 가동여유량이 부족한 것으로 검토되었다. 해당 부재는 강재형 신축이음장치로서 내구연한이 약 15년 정도로 현 시점(공용년수 20년)으로 보았을 때 주의관찰 후 신축이음장치 보수 및 교체가 필요할 것으로 판단된다.
- 만화교(부산) 교대 A2의 신축이음 협착은 2013년 05월 정기 하자검사시 최초확인 되었으며, 이후 2016년까지 9차의 하자보수를 거쳐 2018년 11월에 교대 A1, A2 어스앵커 보강 및 거더절단, 신축이음교체, 교좌장치 수정을 시행한 상태이다. 따라서 매회 점검시 온도변화에 따른 신장시 유간협착에 대한 주의를 각별히 기울여야 하며, 신축이음교체 후에도 지속적인 집중 주의관찰이 필요하다.

구분	신축이음 평가현황											
	2018년 정밀안전진단			2020년 정밀안전점검			2022년 정밀안전점검			금회		
	A1	A2	P3	A1	A2	P3	A1	A2	P3	A1	A2	P3
만화교 (부산)	NG (신장)	OK	OK	NG (수축)	OK	OK	NG (수축)	NG (수축)	NG (신장)	OK	OK	NG (수축)

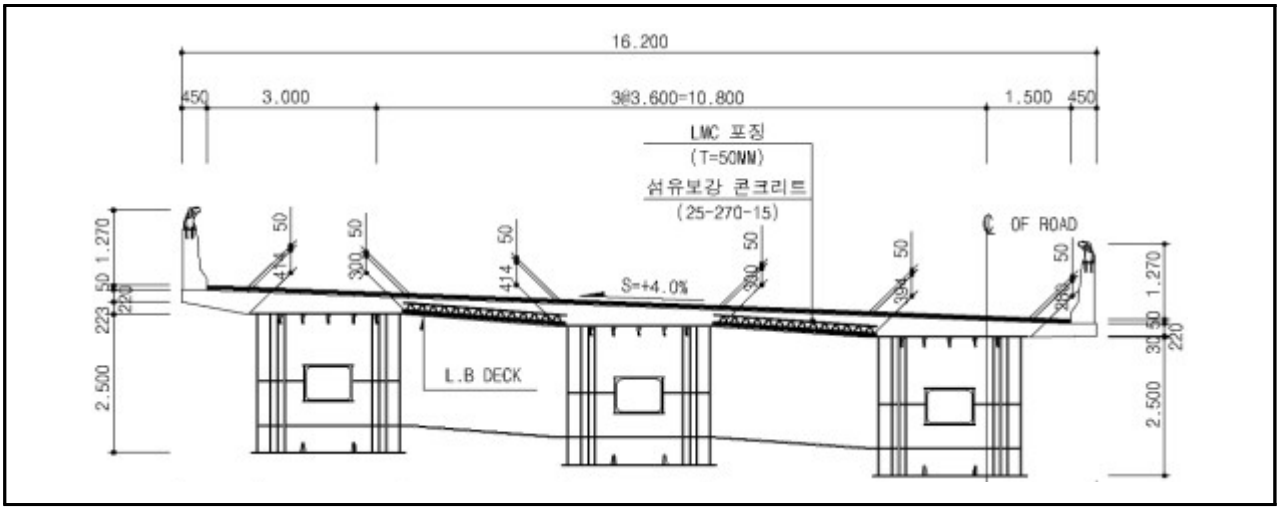
구분	만화교(부산)				
	신축이음 교체현황				
	2018년 기진단 완료 이전	2018년 정밀안전진단	2020년 정밀안전점검	2022년 정밀안전점검	금회
A1	-	monocell Joint	**Rail Joint(교체)**	Rail Joint	Rail Joint
A2	-	monocell Joint	**Rail Joint(교체)**	Rail Joint	Rail Joint
P3	monocell → **Steel Finger Joint(2회교체)**	Steel Finger Joint	Steel Finger Joint	Steel Finger Joint	Steel Finger Joint

※ 교체이력 표시 기준은 다음회차 외관점검 기준이며, 실제로 교체된 일시는 “자료수집 및 분석” 편 및 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석 참고

3.2.6 교면포장

가. 개요

- 교면포장은 차량하중과 운행 중 발생되는 충격과 진동을 흡수·분산하고 외부의 불리한 환경조건으로부터 바닥판을 보호하며 주행차량의 안전운행 및 쾌적한 주행성을 제공하는 부재로서, 대상교량의 폭은 16.2m, 편도 3차로 교량으로 LMC(T=50mm) 포장이 시공된 상태이며, 현장조사 결과, 공용중 주기적인 유지관리를 실시한 것으로 확인되었다. 금회 만화교(부산)의 교면포장은 차량이 운행중인 상태에서 최대한 접근이 가능한 범위까지 근접 육안조사를 상세히 실시하였다.



【그림 3.14】교면포장 단면도(부산)

교면포장 전경(시점부)

교면포장 전경(종점부)

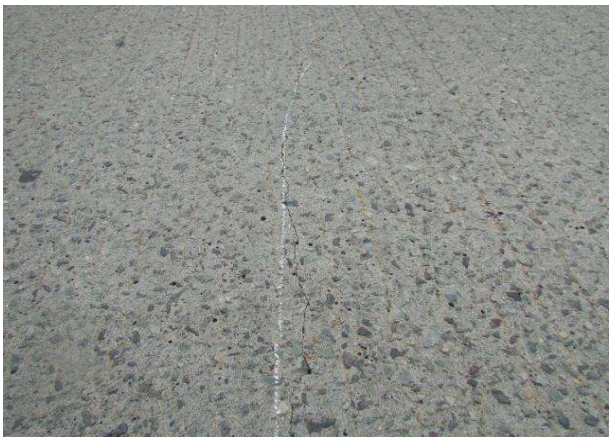
【사진 3.24】교면포장 전경(부산)

나. 외관조사 결과

- 교면포장에 대한 외관조사 결과, 통행차량의 운행성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않은 전반적으로 양호한 상태이며, 주요손상으로 포장균열 및 LMC포장 패임이 국부적으로 조사되었다.

【표 3.44】교면포장 외관조사 결과(부산)

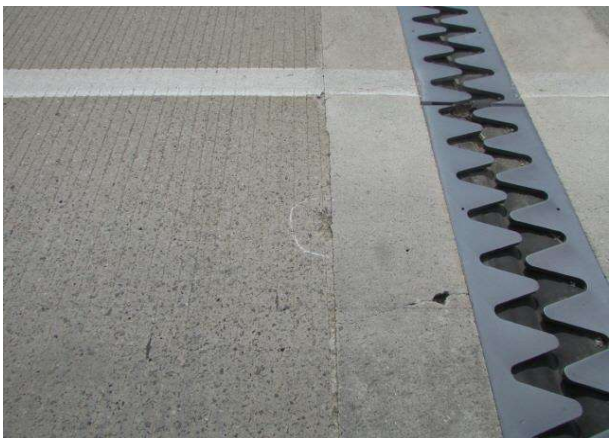
구 분	포장균열 (m/개소)	LMC패임 (㎡/개소)	비고
S1	-	-	
S2	1.50/1	-	
S3	-	0.05/1	
S4	-	0.04/2	
S5	-	-	
S6	-	-	
합 계	**1.50/1**	**0.09/3**	



S2 포장균열(Cw=0.3mm/L=1.5m, 1개소)

S3 LMC패임(A=0.1m×0.5m=0.05㎡)

S4 LMC패임(A=0.1m×0.2m=0.02㎡)



S4 LMC패임(A=0.1m×0.2m=0.02㎡)

【사진 3.25】교면포장 손상현황(부산)

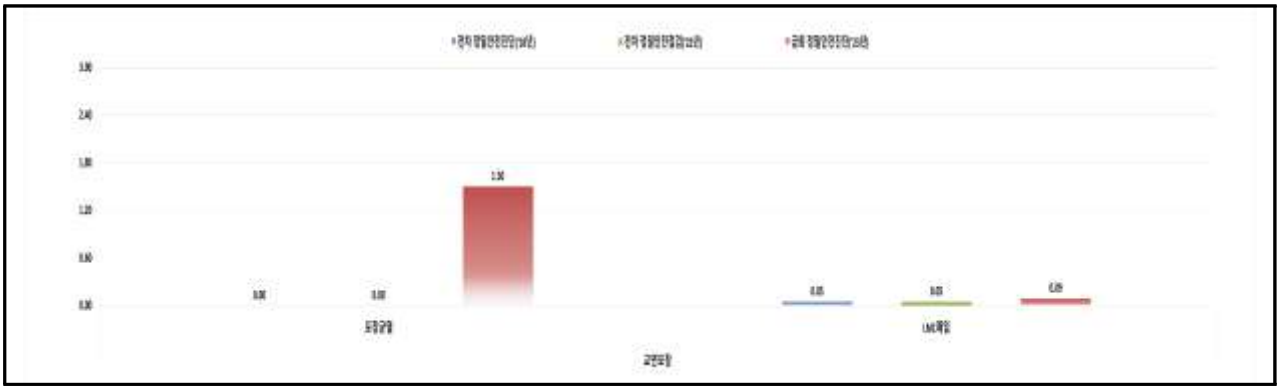
다. 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석

- 교면포장에 대한 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석 결과, 금회 교면차로에서 조사된 포장균열 및 LMC패임에 신규 손상으로 인해 교면포장에 대한 손상물량이 전반적으로 소폭 증가한 것으로 분석되었다.

S3 LMC패임(A=0.1m×0.5m=0.05㎡)

【표 3.45】교면포장 기 진단 결과와의 비교(부산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
포장균열	m	-	-	1.50	▲ 1.50
LMC패임	㎡	0.05	0.05	0.09	▲ 0.04



【그림 3.15】교면포장 기 진단 결과와의 비교(부산)

라. 손상발생 원인분석 및 검토의견

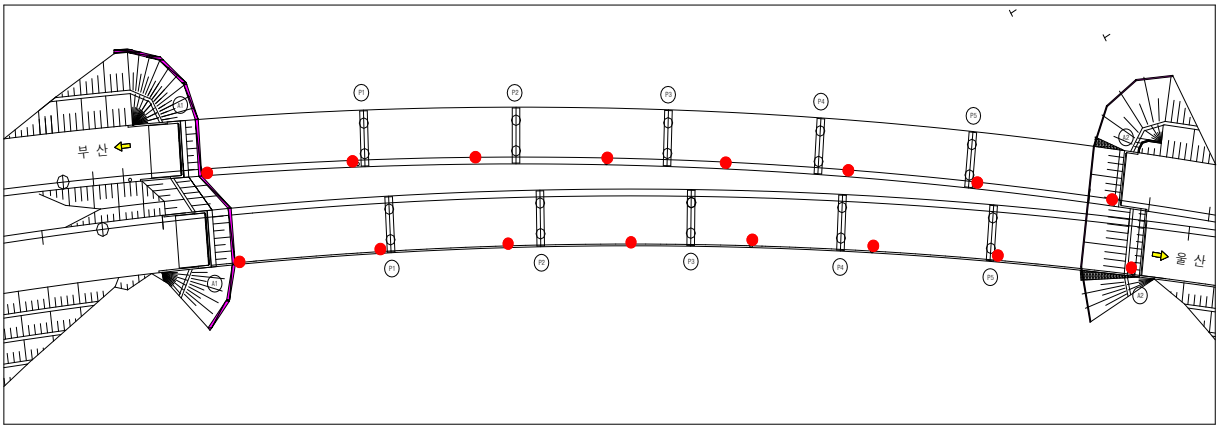
- LMC포장의 균열 및 패임은 시공초기 건조수축 및 온도변화, 공용중 통행 차량의 반복하중에 의해 빈번하게 발생되며, 균열의 경우, 차량의 주행에 미치는 영향 및 균열보수 시 보수효과가 작은 점, 동일위치로 바닥판 하면의 누수, 백태와 같은 2차 손상이 없는 점, 패임이 경미하여 차량통행의 지장이 거의 없는 점 등을 고려해 볼 때, 당장의 부분적 보수는 비효율적이라 판단된다. 따라서, 정기적인 점검을 통한 주의관찰을 실시하고, 향후 마모, 균열, 소성변형 등의 손상 확대 및 진전 시 일괄 보수를 실시함이 효율적일 것으로 판단된다.

3.2.7 기타부재

가. 배수시설

1) 개요

- 배수시설은 우수 유입에 따른 교면의 체수 및 열화를 예방하기 위해 종단구배 -1.3923%, 횡단구배 -4.000%～+4.000%로 물흐름에 의거하여 경간별 1～2개소씩 총 8개소가 교면포장의 우측(A1기준)에 시공되어 있다. 각각의 경간 상부에 설치된 집수구를 통하여 STEEL Pipe(φ150㎜) 배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있으며, 배수구 상단에는 관내의 이물질 유입을 방지하기 위한 그레이팅 덮개가 설치되어 있다.
- STEEL Pipe(φ150) 배수관은 바람 등에 의해 이동, 탈락되는 것을 방지하기 위하여 상·하부구조에 고정하여 설치되어 있고 배수관은 교대 및 교각 하면에 위치한 배수로까지 연장하여 배수관을 통한 우수유출로 인해 발생될 수 있는 침식 및 세굴을 방지하였다.

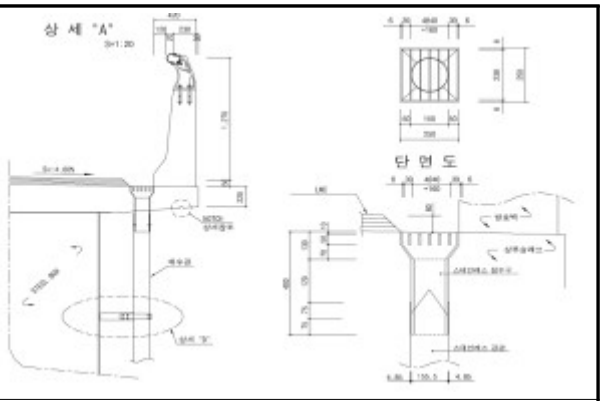


배수구 전경

상부 배수관 전경

【사진 3.26】배수시설 위치도 및 전경(부산)

하부 배수관 전경



배수구 및 배수관 상세도

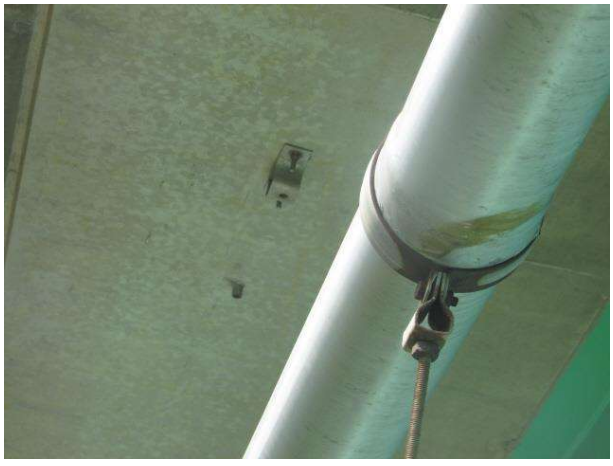
【사진 3.26】 배수시설 위치도 및 전경(부산)(계속)

2) 외관조사 결과

- 배수시설에 대한 외관조사 결과, 육교형 배수관의 지지 및 체결상태는 전반적으로 양호한 것으로 확인되었으나, S5경간에서 배수관 고정대 탈락이 1개소 조사되었다.
- 또한 교면부에 설치된 배수구는 정상적으로 설치되어 있는 것으로 조사되었으며, 배수구 막힘, 노면체수 등의 손상이 발생하지 않은 비교적 양호한 상태이다.

【표 3.46】 배수시설 외관조사 결과(부산)

구 분	배수관 고정대 탈락 (개소/개소)	비고
S1	-	
S2	-	
S3	-	
S4	-	
S5	1/1	
S6	-	
합 계	**1/1**	



S5 배수관 고정대 탈락(1개소)

【사진 3.27】 배수시설 손상현황(부산)

3) 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석

- 기 진단(18년) 실시이후, 배수시설에 대한 별도의 보수는 실시되지 않은 것으로 확인되었으며, 금회 배수관 고정대 탈락이 조사되어 배수시설에 전반적인 손상물량이 소폭 증가한 것으로 분석되었다.

【표 3.47】배수시설 기 진단 결과와의 비교(부산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
배수관 고정대 탈락	개소	-	-	1	▲ 1

【그림 3.16】배수시설 기 진단 결과와의 비교(부산)

4) 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 배수관 고정대 탈락 손상은 S5경간 육교형 배수관에서 조사되었으며, 공용중 노후화 및 설치미흡에 의해 탈락된 것으로 판단된다. 향후 반복적인 차량통행에 의한 차량진동, 풍향 등의 영향으로 배수관 고정이 불량해질 수 있으므로 보수계획에 맞춰 배수관 고정대 재설치가 필요할 것으로 판단된다.

나. 난간 및 연석(방호벽)

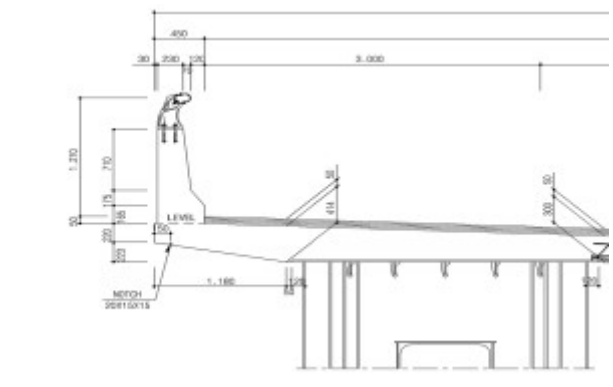
1) 개요

- 교면상부 좌・우측에 통행차량의 차도 이탈방지, 사고 시 완충작용 등을 위하여 철근콘크리트 방호벽(h=1.08m)이 시공되어 있으며, 좌측 방호벽 상단은 알루미늄 난간(H=0.27m)이 설치되어 있는 것으로 확인되었다. 또한, 차량충돌에 의한 파손 및 재료적인 열화가 발생될 경우 주행차량의 불안감 및 차량충돌시 안전성 미확보가 우려되므로 주의깊게 점검을 실시하였다.

시점부 방호벽 전경

시점부 안전난간 전경

종점부 방호벽 전경



방호벽 단면도

【사진 3.28】 난간 및 연석(방호벽) 전경 및 단면도(부산)

2) 외관조사 결과

- 난간 및 연석(방호벽)에 대한 외관조사 결과, 사용성과 기능성 및 급격한 내구성을 저하시키는 손상은 발생하지 않은 것으로 확인되었으며, 방호벽 전면부에 0.3㎜미만의 표면균열과 망상균열, 표면열화, 이격이 조사되었고, 방호벽 상단에 설치되어 있는 안전난간에서 변형이 1개소 국부적으로 조사되었다.

【표 3.48】 난간 및 연석(방호벽) 외관조사 결과(부산)

구 분	균열 (cw=0.3㎜미만) (m/개소)	망상균열 (㎡/개소)	표면열화 (㎡/개소)	이격 (m/개소)	난간변형 (m/개소)	비고
S1	16.80/9	-	30.00/1	0.02/1	-	
S2	7.40/12	1.00/1	25.00/1	-	-	
S3	3.70/3	-	-	-	0.40/1	
S4	30.30/4	-	-	-	-	
S5	12.20/5	-	-	-	-	
S6	24.90/8	-	3.00/1	-	-	
합 계	**95.30/41**	**1.00/1**	**58.00/3**	**1/1**	**0.40/1**	

S1 균열(Cw=0.2mm/L=0.6m)	S1 균열(Cw=0.2mm/L=12.0m)
S4 균열(Cw=0.1mm/L=1.3m)	S1 망상균열(Cw=0.1mm/A=1.0m×1.0m=1.00㎡)
S1 중앙분리대 표면열화(A=60.0×0.5=30.00㎡)	S2 중앙분리대 표면열화(A=50.0×0.5=25.00㎡)

【사진 3.29】 난간 및 연석(방호벽) 손상현황(부산)

S1 방호벽 이격(L=0.02m)

S3 난간 변형(L=0.40m)

【사진 3.29】 난간 및 연석(방호벽) 손상현황(부산)(계속)

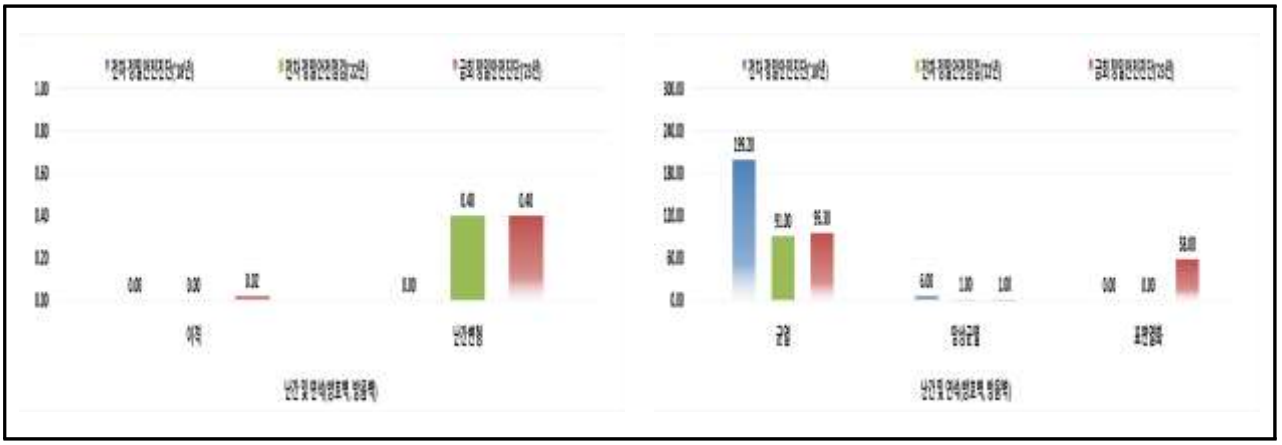
3) 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석

- 기 진단(18년) 실시이후, 난간 및 연석(방호벽)에 대한 일부 보수가 실시된 것으로 확인되었으며, 보수로 인해 균열 및 망상균열 손상이 감소된 것으로 분석되었다.
- 금회 공용기간 증가에 따른 표면열화 손상이 추가 조사되었으며, 차량 충돌 및 외부 충격에 따른 난간변형이 확인되었다. 또한 공용기간 중 외기에 지속적으로 노출되어 중앙분리대 하단부 일부구간에 걸쳐 표면열화가 발생하였으며, 해당 손상의 추가조사로 인해 난간 및 연석(방호벽)에 손상물량의 증・감이 발생한 것으로 분석되었다.
- 보수・보강 이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 “구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사, 2019.09.18.~12.31”를 통해 일부 부재에 대해 보수를 실시한 것으로 조사되었으며, 현장조사 결과 보수불량에 따른 재균열이나, 보수미흡 등이 발생하지 않은 비교적 양호한 상태로 확인되었다.

S1 균열(Cw=0.2mm/L=0.6m)

【표 3.49】 난간 및 연석(방호벽) 기 진단 결과와의 비교(부산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
균열(cw=0.3mm미만)	m	199.20	91.00	95.30	▼ 103.90
망상균열	㎡	6.00	1.00	1.00	▼ 5.00
표면열화	㎡	-	-	58.00	▲ 58.00
이격	m	-	-	0.02	▲ 0.02
난간변형	m	-	0.40	0.40	▲ 0.40



【그림 3.17】 난간 및 연석(방호벽) 기 진단 결과와의 비교(부산)

4) 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 난간 및 연석(방호벽, 방음벽)에 발생한 균열은 콘크리트 타설 후 재료적 특성 및 온도변화에 따른 수축·팽창 등에 의해 발생된 비구조적 손상으로 현재로써는 지속관찰이 요구되며, 향후 표면보호제 도포 등의 일괄보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 중앙분리대 하단부에서 발생한 표면열화 손상의 경우, 지속적인 우수접촉과 습윤환경 등에 노출되어 발생된 손상으로 조사 당시 콘크리트 표면에 박리, 박락 현상은 발생하지는 않았으나, 향후 지속적인 외기노출과 우수접촉으로 인하여 손상이 진전될 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 지속적인 주의관찰을 실시하고 손상 진전시 탄산화방지제 도포 등의 적절한 보수를 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다.
- 난간 부재에서 조사된 변형은 차량 충돌 및 외부충격에 의해 발생된 것으로 규모는 비교적 경미한 손상으로서 구조물 사용성 및 내구성에 미치는 영향은 적을 것으로 판단된다. 따라서 단기적 보수가 필요치 않을 것으로 않으나, 안전난간의 제 기능 확보에 대한 문제가 발생할 수 있으므로 지속적인 주의관찰을 실시한 후, 손상진전 및 2차 추가 손상 발생 시 보수계획에 맞춰 교체하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 그 외 부착시설물은 양호한 것으로 조사되었다.

3.2.8 공중이 이용하는 부위

가. 개요

- 세부지침 개정('21. 12)으로 인해 "공중이 이용하는 부위"가 진단대상에 포함되었으며, 추락방지시설, 도로포장, 도로부 신축이음부, 환기구 등의 덮개가 공중이 이용하는 부위에 속한다. 추락방지시설(난간 및 연석), 도로포장, 도로부 신축이음부, 환기구 등의 덮개는 교량의 부재와 중복되어 해당부재에 조사결과를 기술하였고 추락방지시설 중에서 점검시설에 대한 조사결과는 본 절에 수록하였다.

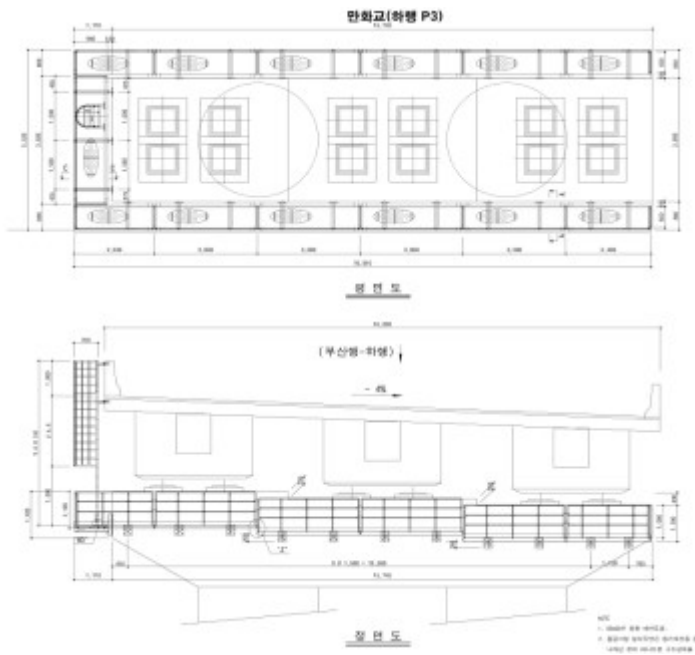
나. 추락방지시설(점검시설)

1) 개요

- 만화교(부산)의 고정식 점검시설은 교대 A1, A2, 교각 P1~P5에 총 7개소가 설치되어 있으며 출입시설은 일반적인 수직형이 설치되어 있는 것으로 확인되었다. 또한, 교각에 설치된 점검통로는 지지브라켓으로 고정되어 있으며, 각 브라켓 당 Φ19 Set앵커 6개씩이 설치된 것으로 설계·시공된 것으로 확인되었다.
- 본 구조물의 추락방지시설은 난간 및 연석(방호벽), 점검시설이 해당되며, 전술한 바와 같이 방호벽은 교량부재의 중복으로 인해 해당내용은 상위절에 수록하였으므로, 본 장에는 점검시설에 대한 외관조사 결과를 수록하였다.
- 점검시설의 출입시설은 수직형 점검사다리가 설치되어 있으며, 금회 앵커매입 깊이, 용접상태 등 안전성과 결부된 손상발생 유무를 주안점으로 조사하였다.

【표 3.50】 고정식 점검시설 설치현황(부산)

구 분	점검시설 설치여부	점검시설 현황
A1	○	고정식 점검시설(점검통로)
P1	○	고정식 점검시설(점검통로)
P2	○	고정식 점검시설(점검통로)
P3	○	고정식 점검시설(점검통로)
P4	○	고정식 점검시설(점검통로)
P5	○	고정식 점검시설(점검통로)
A2	○	고정식 점검시설(점검통로)

<table>
<tr><td colspan="3"> 
</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>점검시설 전경</td><td>점검시설 전경</td><td>점검시설 제원 측정 전경</td></tr>
</table>

2) 외관조사 결과

- 점검시설 외관조사결과 구조물과의 결속상태, 부재간의 체결상태 등은 누락구간 없이 견고하게 설치된 것으로 조사되었으며, 공용중 외부충격에 의한 강재변형, 파손 등이 발생되지 않은 전반적으로 양호한 상태를 유지하고 있는 것으로 확인되었다.

3) 검토의견

- 금회진단결과 점검시설의 관리는 적절하게 이루어지고 있는 것으로 판단되며, 시설물 유지관리에 있어 작업자의 편의 및 안전사고 방지를 위해서는 해당시설물에 대한 주기적인 점검 및 일상적인 관리가 요구된다.

다. 도로포장

- 도로포장은 “교면포장”에 기술하였으며, 포장균열이 일부구간에 걸쳐 발생한 것으로 확인되었다. 전반적으로 주행성에 영향을 미칠만한 손상정도는 아니나, 지속적인 주의관찰이 필요한 상태이다.

라. 도로부 신축이음부

- 도로부 신축이음부는 “신축이음장치”에 결과를 기술하였으며, 전반적으로 양호한 상태이나, 후타재 균열, 후타재 박락, 후타재 파손, 유간 토사퇴적의 손상이 발생한 상태로, 지속적인 주의관찰과 유간청소가 필요한 상태이다.

마. 환기구 등의 덮개

- 환기구 등의 덮개는 시설물의 출입구, 환기와 같은 시설물 유지관리 목적으로 보행자 또는 차량구간에 설치된 덮개를 말하며, 본 교량은 거더내부 출입문, 신축이음부 차수덮개판이 이에 해당된다. 따라서, 시설물의 출입문은“상부구조”에 기술하였으며, 차수덮개판은 “신축이음장치”에 결과를 기술하였다. 금회 외관조사 결과, 출입문 손상 및 차수덮개판 손상이 조사되지 않았으나, 차수판에서 볼트탈락이 국부적으로 조사되었다. 볼트탈락은 체결미흡 및 차량통행에 따른 지속적인 진동발생에 의해 발생한 것으로 보수계획에 맞춰 재체결을 실시한 후 지속적인 주의관찰이 필요할 것으로 판단된다.

3.2.9 교량의 공중이용시설 유해・위험요인(10대) 위험요소 점검결과

가. 개요

- 공중이용시설의 중대시민재해 유발 가능성이 높은 유해・위험요소를 선정하여 집중관리함으로써 국민의 안전을 도모한다.

【표 3.51】공중이용시설 10대 위험요소(부산)

구분	유해・위험요인	비고
낙하물	① 교각 코핑 콘크리트 탈락 ② 중분대 하면 콘크리트 낙하 ③ 배수관 낙하사고 ④ 고드름 낙하사고	
화재	⑤ 주유소 및 충전소 화재사고	
교량접속부 파손	⑥ 신축이음장치 솟음(Blow-up)	
포장불량	⑦ 교면포장 부분보수부 파손	
배수시설 기능저하	⑧ 교량 집수구 막힘(미끄럼・결빙)	
사면붕괴	⑨ 절토사면・옹벽 표면 손상	
콘크리트 열화	⑩ 터널 배수구 뚜껑파손	

나. 외관조사 결과

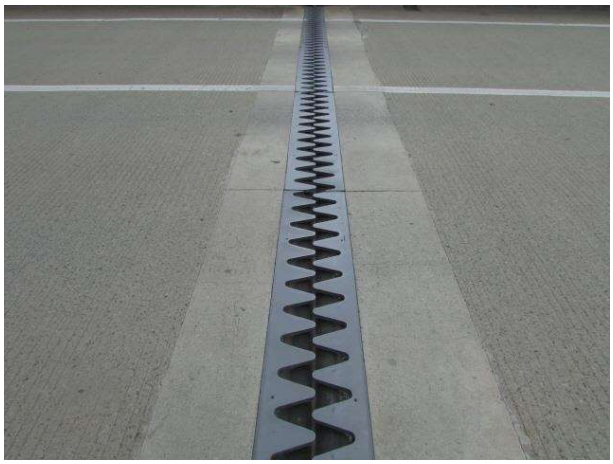
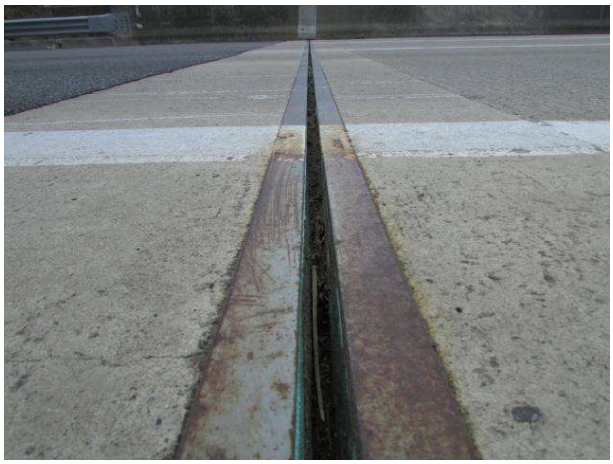
- 본 과업대상 만화교(부산)은 시점부 인접구간으로 기장2터널이 위치하고 있으며, S1(국도14호선) 및 S6(배산로 19번길)은 도로를 횡단하는 교량이다.
- 중대시민재해를 유발할 수 있는 위험요소로 낙하물, 교량접속부 파손, 포장불량, 배수시설 기능저하 등 항목이 해당된다.
- 공중이용시설 10대 위험요소 중 교량에 해당하는 항목에 대한 점검결과, 배수시설에서 배수관 고정대 탈락(S2)이 조사되었으나, 통행차량 및 통행인 이용하지 않는 나대지로 중대시민재해 사고가 우려되는 이상징후는 발견되지 않아 중대한 결함은 없는 것으로 조사되었다.
- 점검일 현재는 중대결함이 없는 비교적 양호한 상태이지만 향후, 소형결함으로도 재해발생 가능성이 있으므로 유해·위험요인이 있는 취약시설물에 대한 중점관리 및 예방차원의 보수·보강 등의 유지관리가 필요하다.

구분	유해·위험요인	점검결과	내용	보수방안	비고
1	교량 교각 코핑 콘크리트 탈락	□유, ■무	이상없음	-	
2	중분대 하면 콘크리트 탈락	□유, ■무	이상없음	-	
3	배수관 낙하사고	□유, ■무	이상없음	-	
4	신축이음장치 솟음(Blow-up)	□유, ■무	이상없음	-	
5	교면포장 부분 보수부 파손	□유, ■무	이상없음	-	
6	교량 집수구 막힘(미끄럼·결빙)	□유, ■무	배수구 막힘(경미)	청소	

교각 코핑부 상태 양호

중분대 상태 양호

배수관 고정상태 양호

신축이음 상태양호

교면포장 상태양호

교량 집수구 상태양호

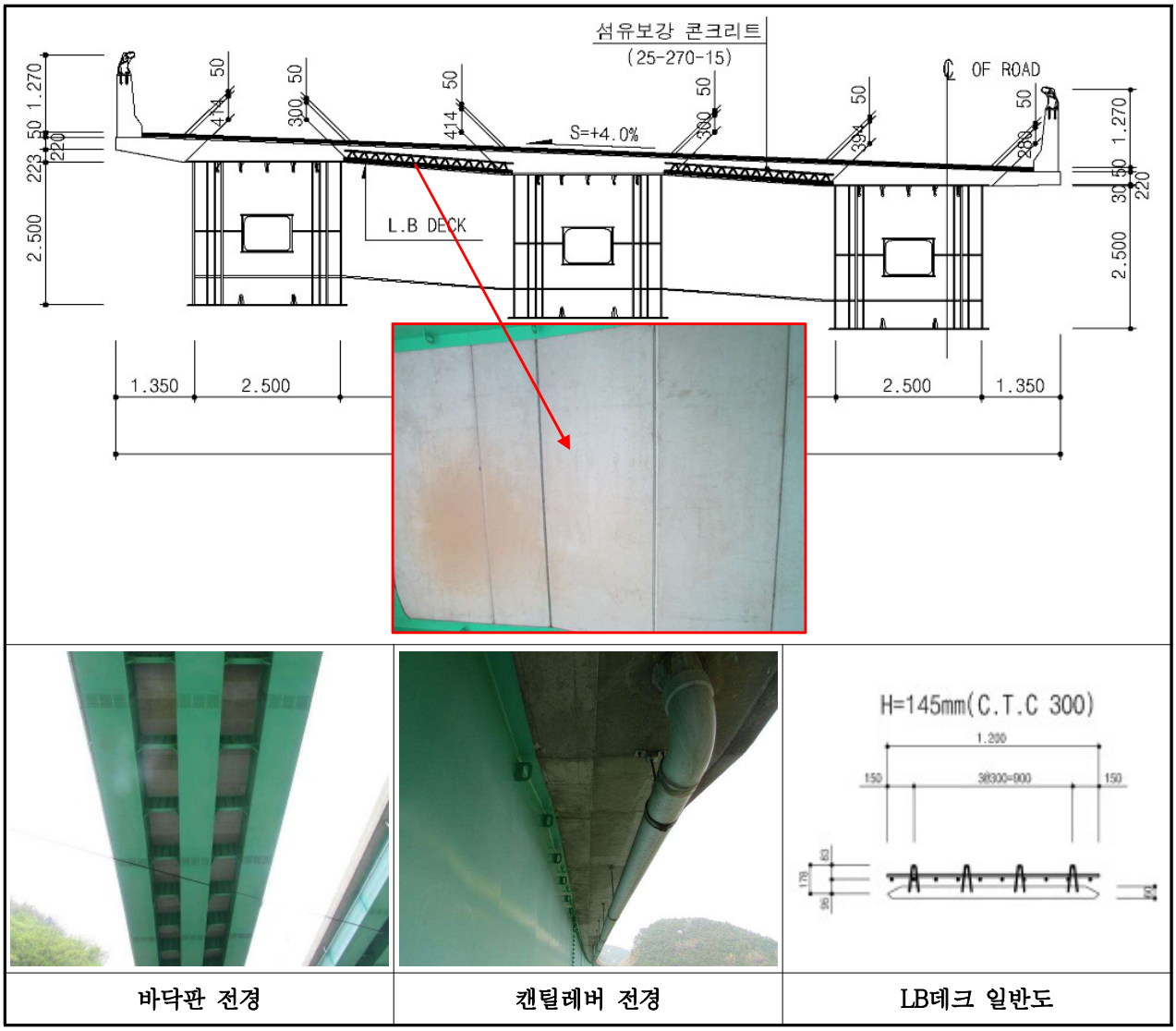
3.3 외관조사(울산)

3.3.1 상부구조

가. 바닥판

1) 개요

- 바닥판은 활하중을 지지하고 하중을 거더로 전달하는 역할을 하며, 거더와 결합하여 구조물의 강성을 확보하는 기능을 한다.
- 만화교(울산)의 바닥판은 6경간으로 철근콘크리트 구조로 시공되어 있으며, LB-DECK로 마감된 것으로 확인되었다. 또한 바닥판 하면 좌·우측으로는 외부로부터의 우수유입 방지를 위한 물끊기홈이 전 구간에 걸쳐 시공되어 있는 것으로 조사되었다.
- 바닥판 하면에 대한 조사는 근접장비(교량점검차) 및 교각 점검로를 이용하여 실시하였다.



바닥판 전경	캔틸레버 전경	LB데크 일반도

【사진 3.30】 바닥판 전경(울산)

2) 외관조사 결과

- 바닥판 하면에 대한 외관조사 결과, 하중의 증가 및 내하력 저하에 따른 구조적 손상은 발생하지 않은 것으로 조사되었으며, 금회 상세조사를 통해 조사된 손상은 재료적 특성, 환경요인에 의해 발생된 비구조적 손상이 대부분인 것으로 확인되었다.
- 주요손상으로는 균열(cw=0.3mm미만), 박락, 철근노출 손상이 조사되었으며, 바닥판 하면에는 폭 0.1㎜ 내·외의 균열이 S1경간에서 1개소 확인되었다.
- 또한 S3경간 단부에서 신축이음 설치시 발생한 것으로 추정되는 박락이 1개소 조사되었으며, 비교적 경미한 철근노출이 국부적으로 4개소 확인되었다.

【표 3.52】바닥판 외관조사 결과

구 분	균열 (cw=0.3mm미만)(m/개소)	박락 (㎡/개소)	철근노출 (㎡/개소)	비고
S1	0.50/1	-	0.40/1	
S2	-	-	-	
S3	-	0.26/1	-	
S4	-	-	-	
S5	-	-	-	
S6	-	-	0.42/3	
합 계	**0.50/1**	**0.26/1**	**0.82/4**	

S1 균열(Cw=0.1mm/L=0.5m)

S3 박락(A=0.2×1.3=0.26 ㎡)

【사진 3.31】바닥판 손상현황(울산)

S1 철근노출(A=4.0×0.1=0.40㎡)	S6 철근노출(A=1.2×0.1=0.12㎡)
S6 철근노출(A=1.8×0.1=0.18㎡)	S6 철근노출(A=1.2×0.1=0.12㎡)

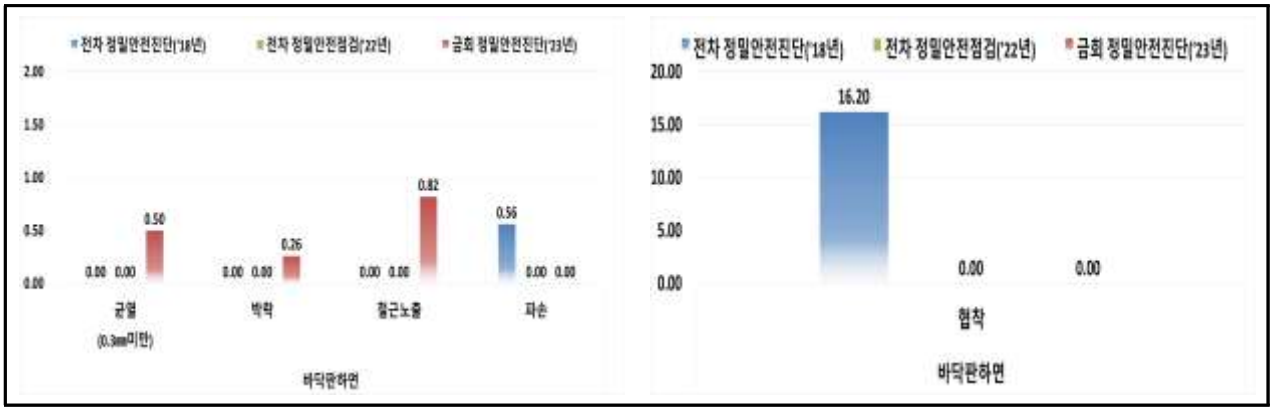
【사진 3.31】바닥판 손상현황(울산)(계속)

3) 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석

- 바닥판에 대한 기 진단 결과와의 비교 결과, 현장조사 결과 금회 신규 손상이 조사되었으나, 파손 및 협착(단부 절단) 손상이 보수되어 기 진단 대비 손상물량의 증・감이 있는 것으로 분석되었다.
- 균열 및 박락, 철근노출의 경우 기 진단 대비 소폭 증가하였으며, 금회 조사된 손상은 전 개소 신규 조사된 것으로 확인되었다.

【표 3.53】바닥판 하면 기 진단 결과와의 비교(울산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
균열(cw=0.3mm미만)	m	-	-	0.50	▲ 0.50
박락	m	-	-	0.26	▲ 0.26
철근노출	㎡	-	-	0.82	▲ 0.82
파손	㎡	0.56	-	-	▼ 0.56
협착	m	16.20	-	-	▼ 16.20



【그림 3.18】 바닥판 하면 기 진단 결과와의 비교(울산)

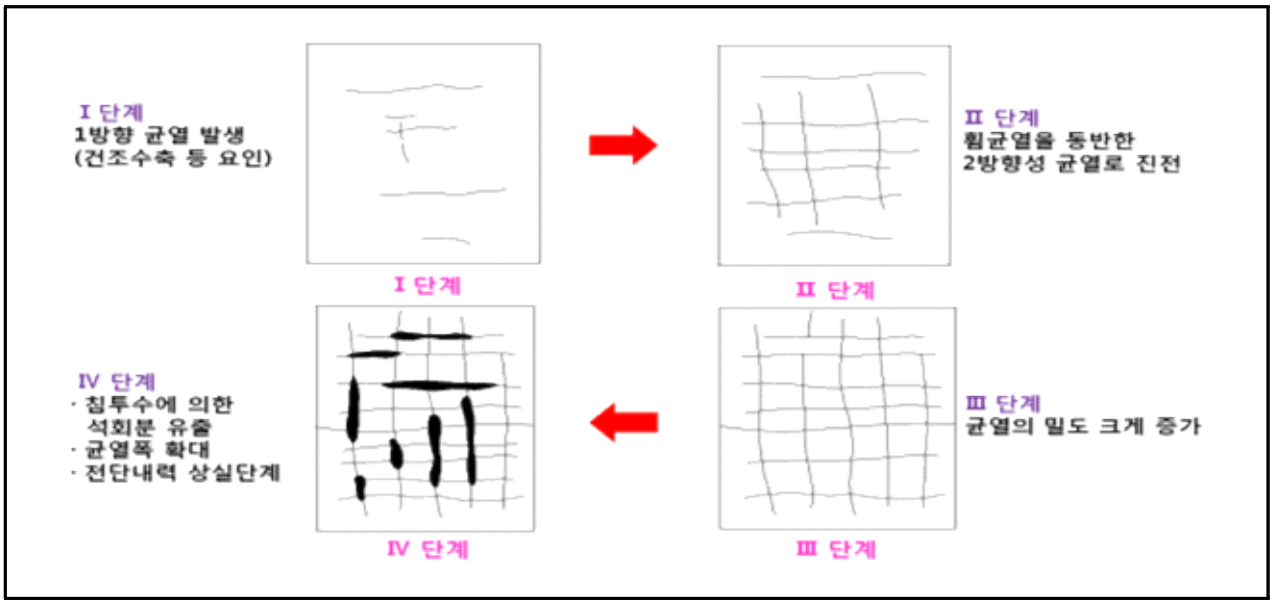
4) 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 일반적으로 콘크리트 바닥판에서 발생하는 균열은 교량 시공시 강박스 거더 상부에 철근콘크리트 바닥판을 타설하여 합성거동을 하는데, 바닥판 타설 후 크리프와 건조수축으로 인해 콘크리트의 수축변형을 강박스 거더가 구속하기 때문에 바닥판 내부와 캔틸레버에 횡방향 균열이 발생하고, 2차적으로 활하중의 반복작용으로 휨균열인 종방향의 균열이 발생함으로써 격자형(망상, 2방향)균열로 발전하는 것이 일반적이다. 금회 조사된 바닥판 균열은 종방향의 형태를 띄고 있으며, 건조수축 등의 콘크리트 성질에 기인해 발생한 비구조적 손상으로 판단된다. 따라서, 내구성 저하 방지를 위해 표면보수를 실시한다면 구조물의 안전성 및 사용성에는 지장이 없을 것으로 판단된다.

【표 3.54】 시간경과에 따른 균열 발생도(울산)

원인 \ 발생시기	타설후 수시간	수시간~1일	타설후수일	타설후 수10일	시공후 수개월	수년~
하중·외력의 작용			하중작용의 재하조건에 의한 균열			
수 축	소성수축균열					
		경화수축균열				
			단기건조수축균열			
					장기건조수축균열	
온 도 변 화		온도균열(시멘트의 수화열)				
					온도균열 (자연조건에 따른 온도변화)	
콘크리트의 분리	침하균열					
철근의 부식 화학반응						환경조건에 의함

주1) 소성수축균열 : 타설직후 물증발 속도가 블리딩 속도보다 빠른 경우에 발생되는 균열
주2) 경화수축균열 : 수화반응에 의해 체적이 감소되어 발생되는 균열
주3) 단기건조수축균열 : 양생초기 콘크리트내 수분의 빠른 증발로 발생되는 균열
주4) 장기건조수축균열 : 콘크리트 구조물의 장기적인 수분증발에 의해 발생되는 균열(보통 10년 이상 진행되며, 콘크리트 탄산화에 의해서도 건조수축과 마찬가지로 탄산수축이 발생됨)
주5) 불규칙한 그물형태의 표면 망상균열은 콘크리트의 소성수축·경화수축·단기건조수축 모두에서 발생될 수 있음.



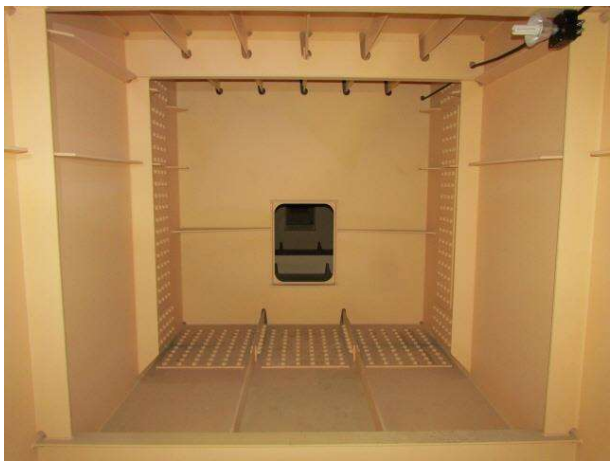
【그림 3.19】 콘크리트 바닥판의 균열진전 개요도(울산)

- 박락은 S3경간 캔틸레버 단부 신축이음판 인접부에 발생한 것으로 작업중 인위적 충격에 의해 발생한 것으로 보여진다. 캔틸레버 단부로 단면보수가 필요하나, 단면보수 시 콘크리트의 탈락우려가 있으므로 탄산화방지제 도포 등의 표면보수 또한 함께 고려해야 할 것으로 판단된다.
- 본 교량의 발생한 철근노출은 대부분 교대 단부 상단에서 조사되었으며, 철근노출은 콘크리트 피복두께 미확보에 의해 발생한 것으로 내구성 저하 방지를 위해 단면보수가 필요하나, 단면보수 시 콘크리트의 탈락우려가 있으므로 방청 후 탄산화방지제 도포 등의 표면보수 또한 함께 고려해야 할 것으로 판단된다.

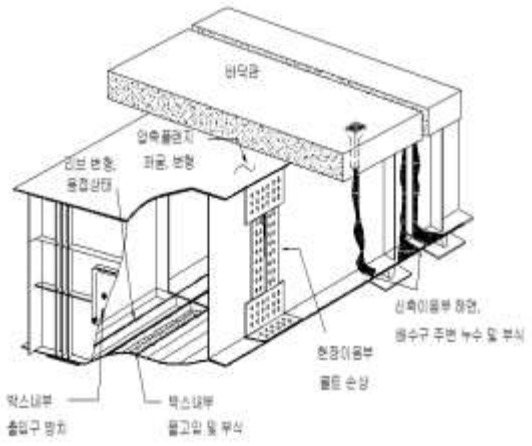
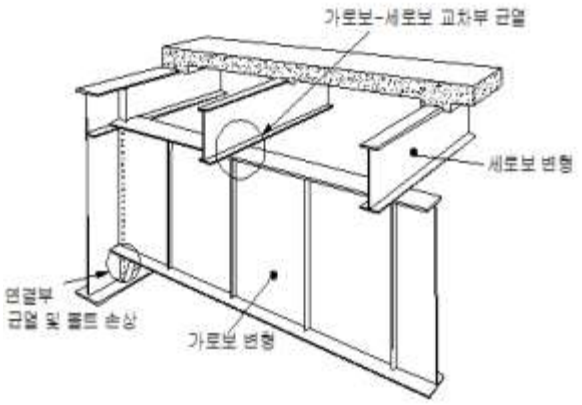
나. 강박스 거더

1) 개요

- 만화교(울산)는 3열의 Steel Box Girder형식에 총연장 310.0m(60.0+2@50.0+3@50.0)로 시공되어 있으며, 거더의 좌·우측에는 바닥판 지지를 위한 가로보(Cross Beam)가 설치되어 있다.
- 강박스 거더 내·외부에 대한 점검은 붕괴유발부재(F.C.M)에 대한 점검을 중점적으로 시행하였으며, 특히 피로균열 발생 부재, 부식에 의한 단면감소, 구조적인 변형 여부, 도장 손상 등 안전성, 내구성 및 사용성에 영향을 미치는 결함발생 유·무 대하여 외관조사를 상세히 수행하였다.
- STB Girder 외부는 바닥판과 동일한 교량점검차 및 점검로, 드론을 이용한 방법으로, 내부에 대해서는 도보를 이용한 외관조사를 실시하였다.

박스 외부 전경	박스 외부 조사 전경
	
박스 내부 전경	박스 내부 조사 전경

【사진 3.32】 강박스 거더 전경(울산)

	
강재거더	2차부재

【그림 3.20】 강박스 거더의 일반적인 손상(울산)

2) 강박스 거더 내부

① 외관조사 결과

- 강박스 거더 내부에 대한 외관조사 결과, 응력의 집중이나 과하중으로 인한 수직, 수평 보강재(Rib)의 변형, 파손 등의 구조적인 손상은 발생하지 않은 것으로 확인되었다. 다만, 관리 및 경년열화, 시공적 요인 등에 의한 도장박리, 부식 등의 손상이 일부구간에 걸쳐 국부적으로 조사되었다.
- 조사된 대부분의 손상은 경미한 정도로서 구조적 안전성 저하와 관련한 이상징후 및 특이 손상은 발생되지 않은 것으로 나타났다.

【표 3.55】 강박스 거더 내부 외관조사 결과(울산)

구 분	도장박리 (㎡/개소)	부식 (㎡/개소)	전등미설치 (개소/개소)	환풍구망 탈락 (개소/개소)	비고
S1	-	-	1/1	1/1	
S2	-	-	-	-	
S3	-	-	-	-	
S4	-	-	-	-	
S5	-	0.04/1	-	-	
S6	0.04/1	-	1/1	-	
합 계	**0.04/1**	**0.04/1**	**2/2**	**1/1**	

S6-G3 도장박리(A=0.4×0.1=0.04㎡)

S5-G2 부식(A=0.1×0.4=0.04㎡)

【사진 3.33】 강박스 거더 내부 손상현황(울산)

S1-G1 환풍구망 탈락(1개소)

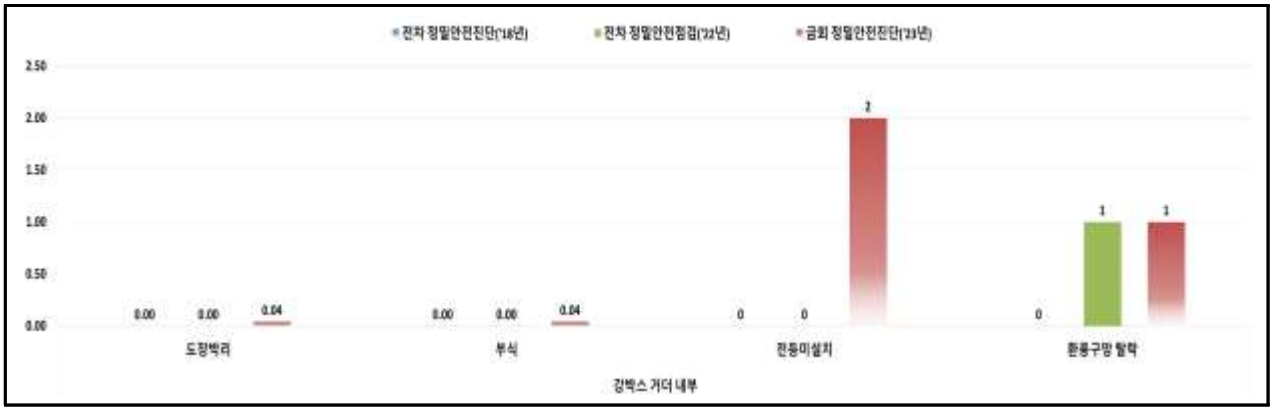
【사진 3.33】 강박스 거더 내부 손상현황(울산)(계속)

② 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석

- 금회 거더 내부에 대해 기 진단 결과와 비교・분석한 결과 환풍구망 탈락을 제외한 도장박리, 부식 등의 손상 전개소가 금회 신규 조사된 것으로 확인되었으며, 이로인해 기 진단 대비 손상물량이 소폭 증가한 것으로 분석되었다. 금회 조사된 손상은 상세 외관조사 및 공용기간 증가 등에 의한 것으로 판단된다.

【표 3.56】 강박스 거더 내부 기 진단 결과와의 비교(울산)

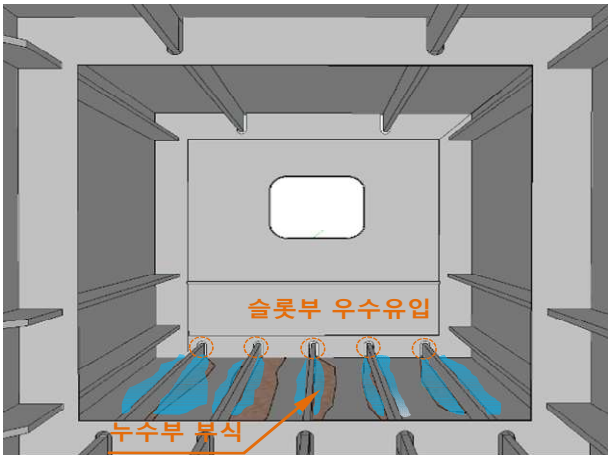
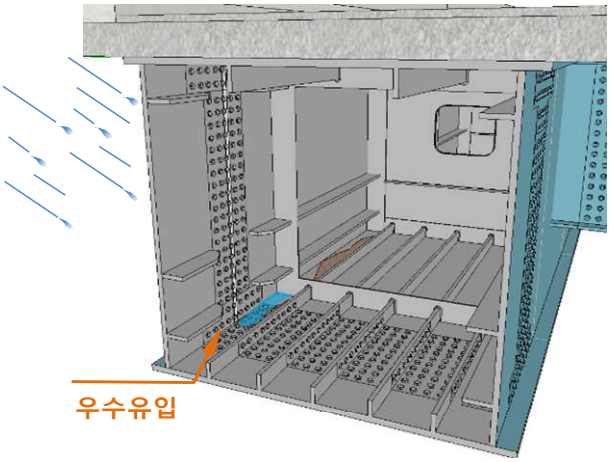
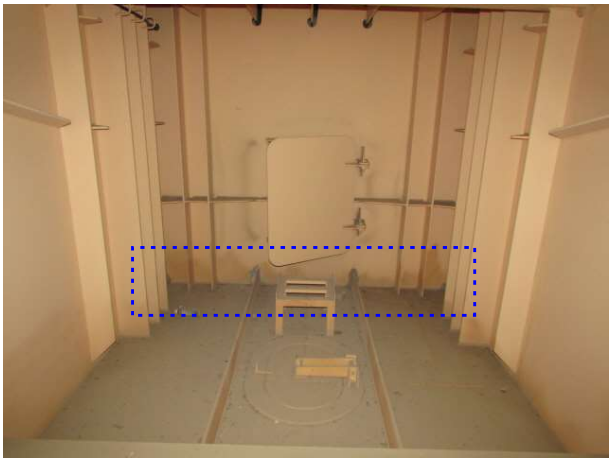
구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
도장박리	㎡	-	-	0.04	▲ 0.04
부식	㎡	-	-	0.04	▲ 0.04
전등미설치	개소	-	-	2	▲ 2
환풍구망 탈락	개소	-	1	1	▲ 1



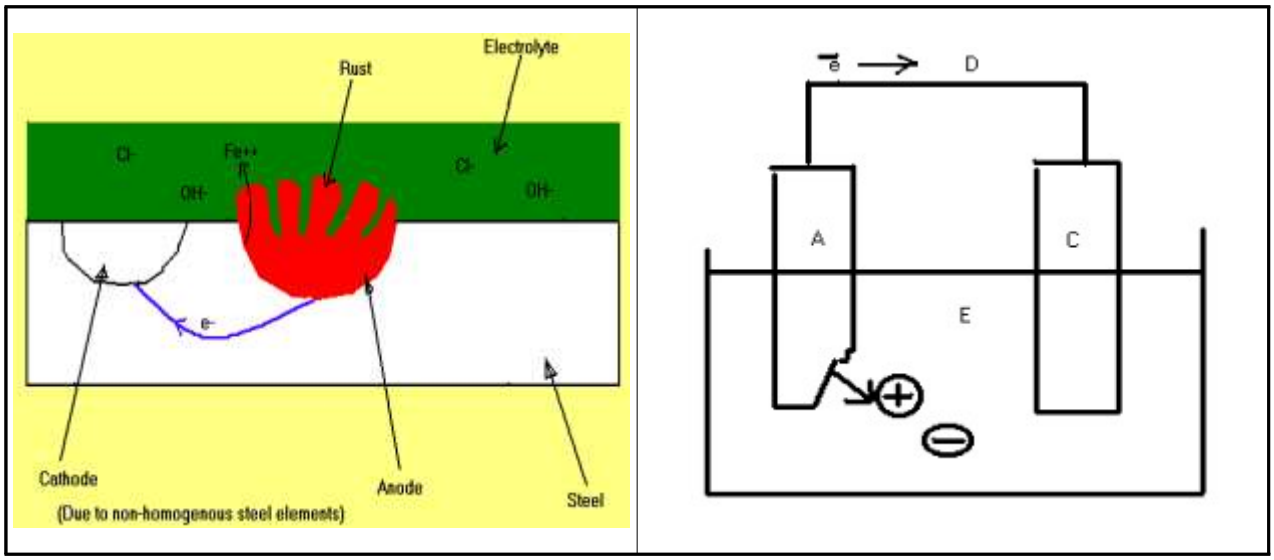
【그림 3.21】 거더 내부 기 진단 결과와의 비교(울산)

③ 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 도장박리는 시공불량(전처리 미흡) 및 공용기간 증가로 노후화(부착강도 저하)에 의해 발생된 손상이다. 도장박리부위 대부분은 도장의 상도층(마감층)만이 떨어져 나간 상태로서 강재에 미치는 영향은 적으로 것으로 판단되나, 구조물의 장기적인 내구성 확보를 위해서는 재도장을 통한 유지관리가 요구된다.
- 부식손상은 시점부 스캘럽(Scallop) 및 현장이음부(Splice) 틈을 통해 유입된 우수가 배수되지 못하고 거더 내부에서 부식환경을 초래하여 공용중 발생된 손상으로 판단되며, 점검일 현재, 바닥판 상면(상부 Splice)으로 부터의 우수유입에 의한 누수 및 체수 흔적 등은 조사되지 않은 상태이다. 또한 금회 현장조사 시 스캘럽 및 슬롯, 현장이음부로 실링처리되어 있어, 단기간 누수 및 체수는 발생하지 않을 것으로 판단되므로 해당 손상에 대해 내구성 저하방지를 위한 재도장 보수가 필요하다.

<table>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>신축이음부 노면수 유입 경로</td><td>현장이음부 유입 경로</td></tr>
<tr><td>  </td><td> </td></tr>
<tr><td>S5-G2 출입구 슬롯 및 스캘럽 전경</td><td>S5-G2 출입구 유도배수 전경</td></tr>
</table>

【사진 3.34】 강박스 거더 내부 우수 유입경로(울산)



【그림 3.22】 강재의 부식과정 및 원리(울산)

- 전등미설치 및 환풍구망 탈락은 거더내부에 설치되어 있는 부속시설로, 환풍구망 탈락의 경우 조류진입 및 서식 등의 흔적은 발생하지 않은 상태이다. 재설치를 통한 보수를 실시한다면, 제 기능에는 문제가 없으므로 보수계획에 맞춰 재보수가 필요하다.

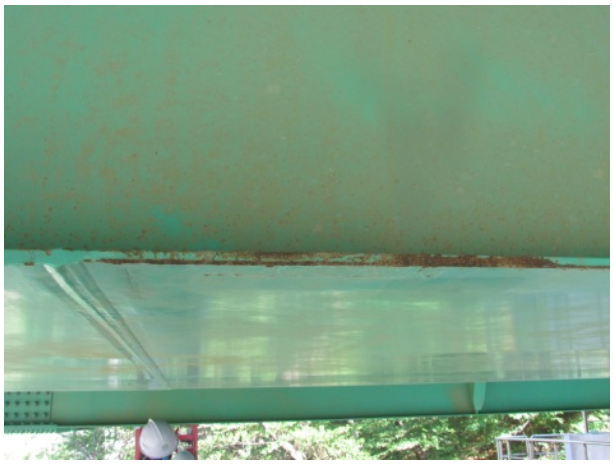
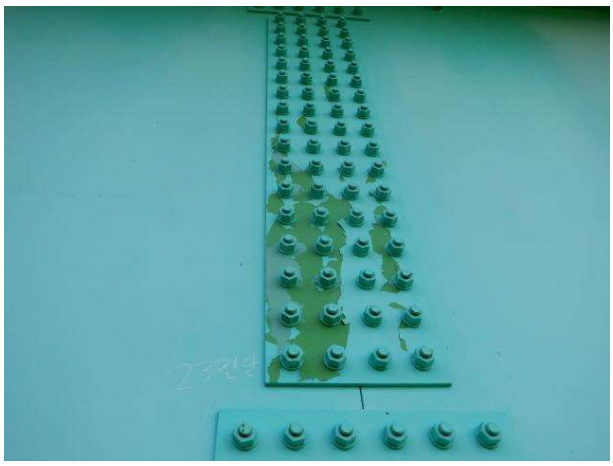
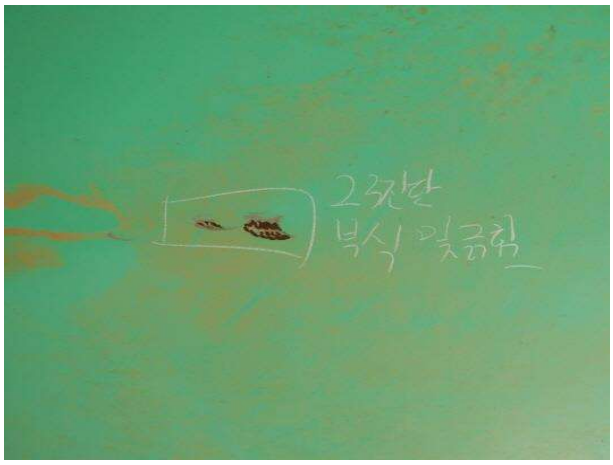
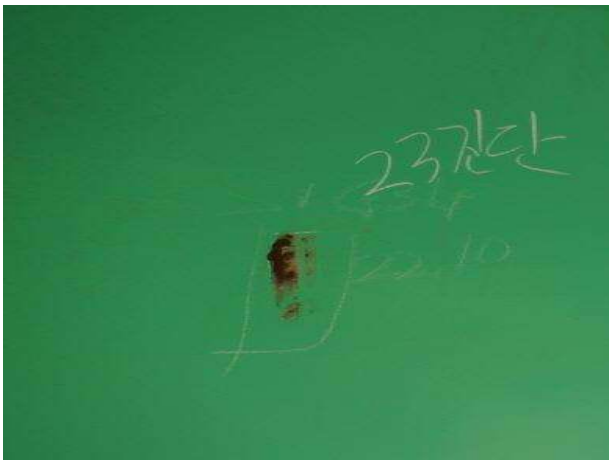
3) 강박스 거더 외부

① 외관조사 결과

- 만화교(울산) 강박스 거더 외부에 대한 외관조사 결과, 전반적인 외관상태는 특이한 손상이 없는 상태인 것으로 조사되었으며, 도장박리, 도장열화, 긁힘 및 부식이 국부적으로 발생한 것으로 확인되었다.
- 금회 조사된 손상들은 대부분 하면 접합부 및 현장이음부에서 지속적인 우수 및 외기노출에 의해서 주로 발생된 것으로 조사되었다.

【표 3.57】 강박스 거더 외부 외관조사 결과(울산)

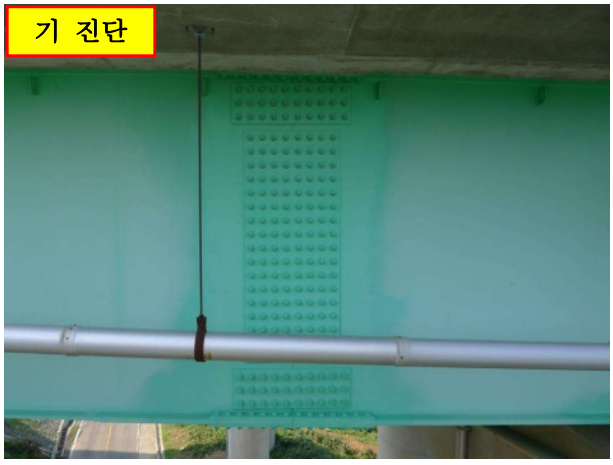
구 분	도장박리 (㎡/개소)	도장열화 (㎡/개소)	긁힘 및 부식 (㎡/개소)	비고
S1	0.06/2	276.00/2	0.04/2	
S2	0.75/1	230.00/2	-	
S3	-	230.00/2	-	
S4	-	230.00/2	-	
S5	-	230.00/2	-	
S6	-	230.00/2	-	
합 계	**0.81/3**	**1,426.00/12**	**0.04/2**	

	
S1-G2 도장박리(A=0.1×0.5=0.05㎡)	S1-G2 도장박리(A=0.1×0.1=0.01㎡)
	
S2-G3 도장박리(A=0.5×1.5=0.75㎡)	S6-G3 도장열화(백아화)(A=2.3×50.0=115.00㎡)
	
S1-G3 긁힘 및 부식(A=0.2×0.1=0.02㎡)	S1-G3 긁힘 및 부식(A=0.2×0.1=0.02㎡)

【사진 3.35】 강박스 거더 외부 손상현황(울산)

② 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석

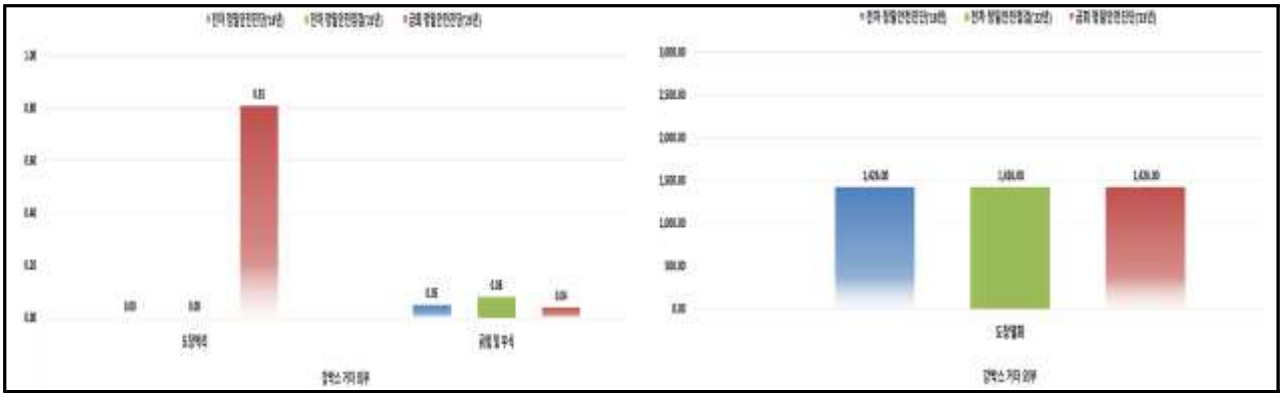
- 금회 거더 외부에 대해 기 진단 결과와 비교・분석한 결과, 도장박리의 신규조사로 인해 기 진단 대비 소폭 증가한 것으로 나타났으며, 금회 조사된 손상은 상세 외관조사에 및 공용중 외기노출 및 우수유입, 도장부 부착력 저하 등에 의한 것으로 확인되었다. 또한 긁힘 및 부식 손상의 경우 기존부터 관리중인 손상이나, 조사자 판단에 의한 면적재산정 등으로 손상물량이 소폭 감소한 것으로 확인되었다. 이에 따라 만화교(울산) 거더외부 손상물량은 증・감한 것으로 분석되었다.
- 기존부터 관리중인 도장열화손상은 면적의 변화는 없으나, 백아화가 진행중인 상태로 도장의 내구연한이 도래되고 있는 것으로 판단된다.



S1-G3 도장열화(A=2.3×60.0=138.00㎡)

【표 3.58】 강박스 거더 외부 기 진단 결과와의 비교(울산)

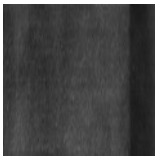
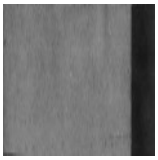
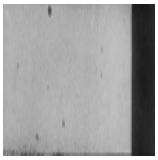
구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
도장박리	㎡	-	-	0.81	▲ 0.81
도장열화	㎡	1,426.00	1,426.00	1,426.00	- -
긁힘 및 부식	㎡	0.05	0.08	0.04	▼ 0.01



【그림 3.23】 강박스 거더 외부 기 진단 결과와의 비교(울산)

③ 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 금회 조사된 도장박리 및 부식은 상대적으로 우수 및 수분접촉이 쉬운 위치인 하부플랜지와 외측 복부에서, 현장이음부에서 주로 발생되었으며, 공용년수 증가로 인한 부착력 저하 및 경년열화가 복합적으로 작용하여 발생한 것으로 판단된다. 현재 도장박리와 부식의 발생 상태는 비교적 경미하나, 도장박리는 부식으로 진전될 가능성 있으며, 부식은 손상진전으로 인한 강재의 모재두께감소 등을 유발하므로 재도장 보수를 통한 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.
- 도장열화 손상인 백아화는 도장이 대기중의 수분, 자외선, 산소 등의 환경적인 요인에 의해 분해되어 안료입자가 표면으로 묻어나는 현상을 말하며, 도장재료 경년열화의 대표적인 손상 중 하나이다. 금회 보수·보강 이력 분석결과, 전체 강박스 거더에 대한 재도장은 실시되지 않은 상태로 도장의 내구연한이 도래된 것으로 판단된다.[표준사진3] 다만, 도장의 전반적인 상태가 건전하여 현재 보수의 시급성을 요하지 않으며, 향후 도장결함의 진전 여부에 따라 전면 재도장을 고려하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

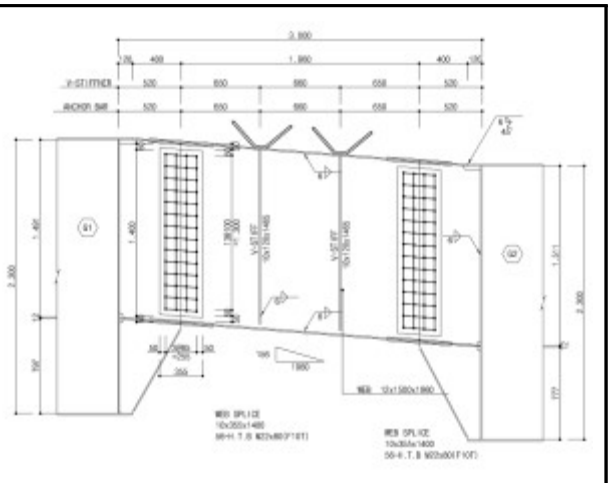
· 도장변색 및 백아화 평가기준(교량 및 터널 성능평가 편, 2022. 12)			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4
			
표준사진 1	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착없음		
표준사진 2	초기에 비해 미소하게 하얗게 되어 있음 이탈분말이 미소하게 부착		
표준사진 3	초기에 비해 상당히 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착		
표준사진 4	현저하게 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착 많음		

다. 2차부재(가로보)

1) 개요

- 본 교량은 강박스 거더의 좌굴방지 및 상부 하중을 횡분배 시켜주는 가로보가 교축 직각방향으로 설치되어 있다.
- 가로보에 대한 외관조사는 강박스 거더 외부와 동일한 방법으로 외관조사를 실시하였으며, 용접결함, 연결불량, 변형 등의 발생여부를 주안점으로 두고 조사하였다.

가로보 전경



가로보 일반도

【사진 3.36】 2차부재(가로보) 전경(울산)

2) 외관조사 결과

- 2차부재(가로보) 에 대한 외관조사결과, 비틀림에 의한 좌굴이나 구조물에 안전성에 영향을 미칠만한 중요손상은 발생하지 않은 상태로 확인되었으나, S2경간에서 경미한 부식이 1개소 조사되었다.

【표 3.59】 2차부재(가로보) 외관조사 결과(울산)

구 분	부식 (㎡/개소)	
S1	-	
S2	0.04/1	
S3	-	
S4	-	
S5	-	
S6	-	
합 계	**0.04/1**	

S2- G2-3 CB4 긁힘 및 부식(A=0.2m×0.2m=0.04㎡)	가로보 상태양호

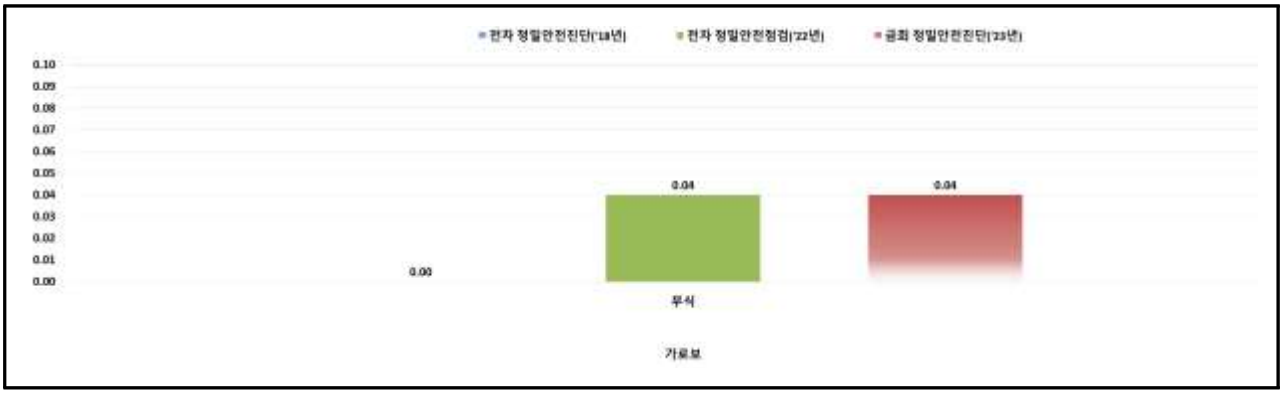
【사진 3.37】2차부재(가로보) 손상현황(울산)

3) 기 진단(2018년) 결과와 비교, 분석

- 2차부재(가로보)에 대한 기 진단 결과와의 비교·분석결과 부식은 기 진단시에는 조사되지 않았으나, 기 진단이후 실시된 정밀점검시 조사된 손상으로 확인되었으며, 부식의 진전정도는 경미한 것으로 확인되었고, 이로인해 손상물량이 소폭 증가한 것으로 분석되었다

【표 3.60】2차부재(가로보) 기 진단 결과와의 비교(울산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
부식	-	-	0.04	0.04	▲ 0.04



【그림 3.24】가로보 기 진단 결과와의 비교(울산)

4) 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 2차부재(가로보)에 발생된 부식은 우수의 취약부재이며 직접적인 영향을 받는 하면부에서 조사되었으며, 부식부위 확인결과 강재표면에 국한되어 발생한 것으로 확인되었다.
- 현재 2차부재(가로보)에 발생한 부식 손상은 비교적 경미하나, 부식 진전에 따라 내구성저하 방지를 위한 재도장(방청)이 필요할 것으로 판단된다.

3.3.2 하부구조

가. 교대

1) 개요

- 교대는 교량 상부구조의 하중을 지반으로 전달하며, 교량 전체 구조의 안전성을 위해 아주 중요한 역할을 수행하는 구조부재로서 외관조사 시 최대한 근접하여 외관조사를 상세히 실시하였다.
- 만화교(울산)의 교대는 역T형의 철근콘크리트 구조로서 기초는 강관말뚝기초 형식으로 시공되어 있으며, A1 전면에는 법면 보호블럭 및 옹벽이, A2 전면에는 법면 보호블럭이 설치되어 있는 것으로 확인되었다. 또한, 교대(A1)는 측방유동에 의한 협착 가능성이 검토되어 2018년에 어스앵커 보강 등을 실시한 것으로 확인되었으며, 향후 추가적인 변위 여부를 확인하기 위한 계측기(경사계, 신축이음계 등)가 설치되어 있으나, 일부 제 기능을 하지 못하고 있는 것으로 조사되었다.

교대 전경(A1)

교대 전경(A2)

【사진 3.38】 교대 전경(울산)

2) 외관조사 결과

- 교대 외관조사 결과, 교대 본체의 이동 및 회전의 징후는 발생하지 않은 상태이며, 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 구조적 손상은 조사되지 않았으나, 내구성저하를 유발하는 손상이 일부 발생된 것으로 조사되었다.
- 주요손상으로는 균열, 보수부 재균열, 균열부 백태, 망상균열, 백태, 보수부 백태, 철근노출 등이 조사되었으며, 신축이음부 우수 유입의 영향으로 대부분 흉벽에서 보수부 재손상 및 백태 등의 손상이 조사된 것으로 확인되었다. 균열은 교대 A2에서 흉벽(9개소)에서 국한되어 조사되었으며, 균열의 폭은 0.2mm(4개소)~0.3mm(5개소)로 조사되었다.

【표 3.61】교대 외관조사 결과(울산)

구 분	균열 (cw=0.3mm미만) (m/개소)	균열 (cw=0.3mm이상) (m/개소)	보수부 재균열 (cw=0.3mm미만) (m/개소)	균열부 백태 (m/개소)	망상균열 (㎡/개소)	비고
A1	-	-	-	-	-	
A2	4.00/4	7.70/5	0.80/1	2.00/1	0.80/1	
합 계	4.00/4	7.70/5	0.80/1	2.00/1	0.80/1	
구 분	백태 (㎡/개소)	보수부 백태 (㎡/개소)	철근노출 (㎡/개소)	이격 (m/개소)	-	비고
A1	-	-	-	3.00/1	-	
A2	0.83/11	0.08/1	0.02/1	-	-	
합 계	0.83/11	0.08/1	0.02/1	3.00/1	-	

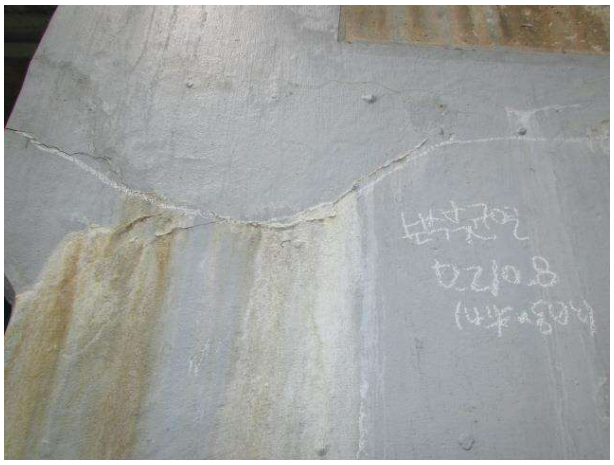
A2 흉벽 균열(Cw=0.3㎜/L=1.5m)

A2 흉벽 균열(Cw=0.3㎜/L=2.0m)

A2 흉벽 균열(Cw=0.3㎜/L=1.5m)

A2 흉벽 균열(Cw=0.3㎜/L=1.2m)

【사진 3.39】교대 손상현황(울산)

A2 흉벽 균열(Cw=0.2㎜/L=1.0m)	A2 흉벽 균열(Cw=0.2㎜/L=1.0m)
A2 흉벽 균열부 백태(Cw=0.2㎜/L=2.0m)	A2 흉벽 망상균열(Cw=0.1㎜/A=0.8m×1.0m=0.80㎡)
	
A2 날개벽 보수부 재균열(Cw=0.2㎜/L=0.8m)	A2 백태(A=0.2m×1.5m=0.30㎡)

【사진 3.39】교대 손상현황(울산)(계속)

A2 백태(A=0.2m×0.4m=0.08㎡)	A2 백태(A=0.2m×1.5m=0.30㎡)
A2 백태(A=0.2m×0.2m=0.04㎡)	A2 보수부 백태(A=0.1m×0.8m=0.08㎡)
A2 철근노출(A=0.2m×0.1m=0.02㎡)	A1 이격(H=3.0m, L=20mm)

【사진 3.39】교대 손상현황(울산)(계속)

3) 기 진단(2018년) 결과와 비교, 분석

- 보수·보강 이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 “구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사, 2019.09.18.~12.31”를 통해 표면보수를 일부 실시한 것으로 조사되었으며, 비교적 보수부의 상태는 양호하나, 우수유입 및 공용년수 증가에 따른 보수부 백태가 발생한 것으로 확인되었다.

공사세부내역

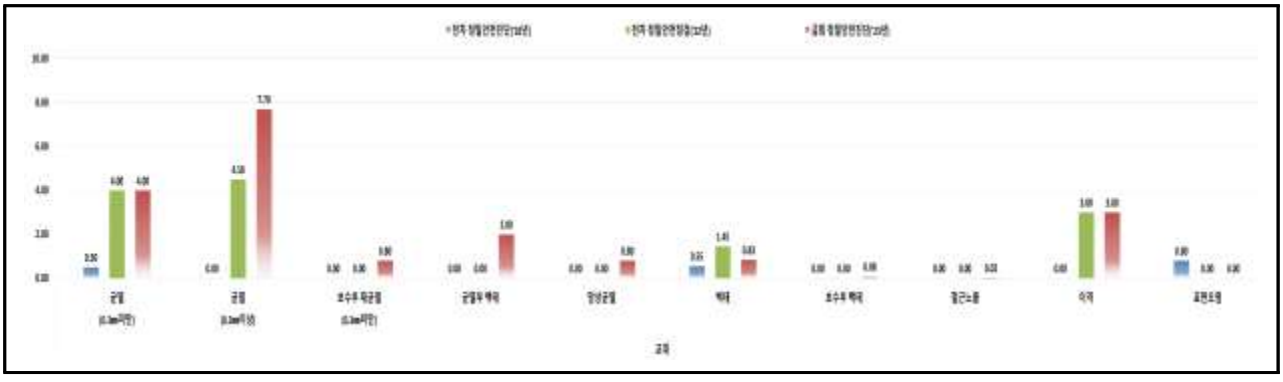
공사부위/부재	세부위치	보수보강공법	수량	단위	공사비(천원)
거더	내부	볼트 재체결	6	EA	36
교량받침		표면처리공법	0.73	㎡	37
교량받침		재도장(부분, 전면 등)	3.49	㎡	235
교대		표면처리공법	0.8	㎡	41
교각		표면처리공법	2.5	㎡	142
교각		주입보수	0.3	㎡	118

수정요청 결재이력 목록

- 기 진단(18년) 비교·분석결과, 손상물량은 상세조사로 인해 대부분의 신규손상이 조사되어 소폭 증가한 것으로 확인되었으며, 보수된 포면오염을 제외하고 전 개소에서 손상물량의 증가가 있는 것으로 분석되었다. 손상물량의 증가는 신축이음부의 노면수 유입과 공용년수 증가, 재료의 경년열화 등의 손상이 주요 요인으로 판단된다.

【표 3.62】교대 기 진단 결과와의 비교(울산)

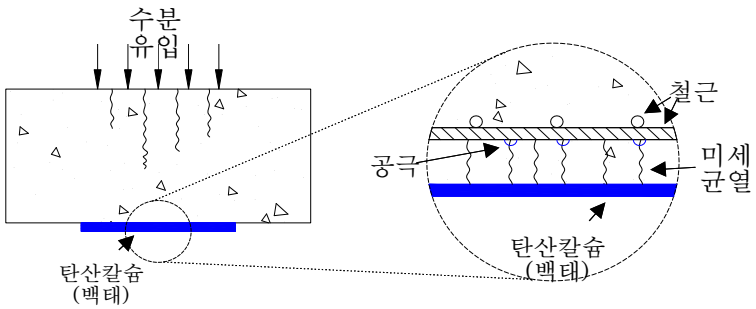
구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
균열(cw=0.3mm미만)	m	0.50	4.00	4.00	▲ 3.50
균열(cw=0.3mm이상)	m	-	4.50	7.70	▲ 7.70
보수부 재균열 (cw=0.3mm미만)	m	-	-	0.80	▲ 0.80
균열부 백태	m	-	-	2.00	▲ 2.00
망상균열	㎡	-	-	0.80	▲ 0.80
백태	㎡	0.55	1.45	0.83	▲ 0.28
보수부 백태	㎡	-	-	0.08	▲ 0.08
철근노출	㎡	-	-	0.02	▲ 0.02
이격	m	-	3.00	3.00	▲ 3.00
표면오염	㎡	0.80	-	-	▼ 0.80



【그림 3.25】교대 기 점검 결과와의 비교(울산)

4) 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 교대의 발생된 일방향균열은 교대 A2 우측 날개벽에서 조사된 보수부 재균열 1개소를 제외하고, 전개소 수직의 형태를 나타내고 있으며, 흉벽 전면에서 발생한 것으로 확인되었다. 손상규모, 형상, 위치 등을 고려해 볼 때 구조적 원인에 의해 발생된 손상이라기보다 건조수축, 수화열 등에 발생된 미세균열로 추정된다. 또한 교대 A2 흉벽에서 조사된 망상균열은 온도변화 및 건조수축에 의해 발생된 것으로 손상규모는 경미한 것으로 조사되었다.
- 균열부 백태 및 백태, 보수부 백태는 우수유입에 의한 손상으로 흉벽에서 8개소(균열부백태: 1개소, 백태:6개소, 보수부 백태 1개소) 조사되었으며, 손상발생 규모는 비교적 경미한 것으로 확인되었다.



백태의 발생경로

- 위에서 서술한 상기 손상은 신축이음부에 인접한 부재로 방수성, 손상진전 방지를 위한 보수가 필요하며, 흉벽 및 교대 전체의 콘크리트 열화 방지를 위해 전면의 표면보호제(중성화 및 염해방지)도포가 필요할 것으로 판단된다.
- 이격은 교대 A1 날개벽과 블록 접속부에서 발생하였으며, 이격은 기 진단이후 정밀점검시 조사된 손상으로 기존부터 관리중인 것으로 확인되었다. 시공초기 성토 블록 다짐불량에 의해 발생한 공극으로 우수가 유입되고, 공용년수가 경과하면서 채움재 겉표면 몰탈박락에 의해 미소량의 토사유실이 발생하여 생긴 손상으로 판단된다. 발생규모는 비교적 경미한 수준으로 급격한 손상변화는 없을 것으로 보이나, 추후 점검/진단까지 추적관찰을 실시한 후 손상진전 시 실링처리, 몰탈보수, 그라우팅 등의 보수가 필요할 것으로 판단된다.

5) 교대 직립도 측정

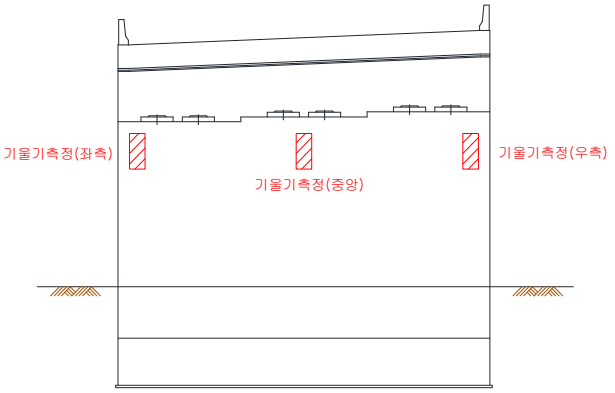
- 교대는 상부구조로부터의 하중과 하부구조 본체의 자중을 기초지반으로 전달하여 지지하기 위한 구조물로 큰 수직하중이 작용하는 곳이며 교각의 기울음 및 전도, 교대의 측방유동은 교량의 안전성에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2022.12. 국토교통부/국토안전관리원)에 따라 교대 및 교각의 직립도를 측정하였다. 금회 과업에서는 교각 및 교대의 기울기를 전면, 우측면 측정하여 교축방향, 교축직각방향으로의 변위여부를 조사하였다.

【표 3.63】 각종 기준에 따른 허용각 변위(울산)

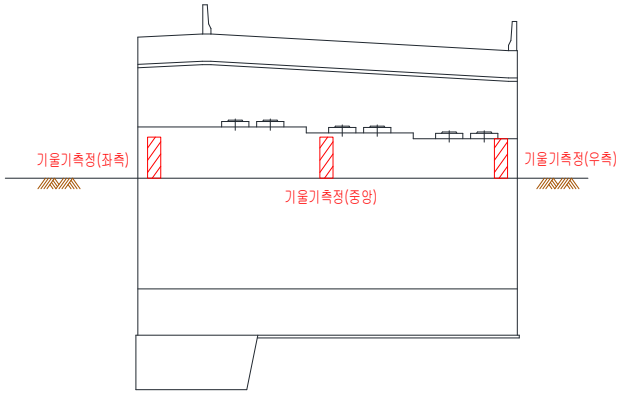
구 분	구조형식	허용각변위	구 분	구조형식	허용각변위
Skempton	단독기초	1/300	Meyerhof	철근콘크리트구조(라멘)	1/300
	전면기초		Moulton (미 교통국)	연속교	1/250
MacDonald& Skempton	독립기초	1/300		단순교	1/200
	확대기초		Bjerrum	칸막이벽, 고가크레인	1/300
Sowers	철근콘크리트 뼈대구조	1/300		균열 허용 않는 빌딩	1/500
	빌딩의 벽돌벽체	1/200~1/500	-	-	-

※금회 적용 허용각 범위는 약 1/300(0.19°) ~ 1/250(0.23°)

① 디지털경사계(막대형)을 이용한 측정



A1 기울기 측정위치



A2 기울기 측정 위치

교대 직립도 측정 전경(A1)

교대 직립도 측정 전경(A2)

【사진 3.40】 교대 변위(직립도) 측정 모식도 및 측정전경(울산)

【표 3.64】 변위(직립도) 측정 결과(울산)

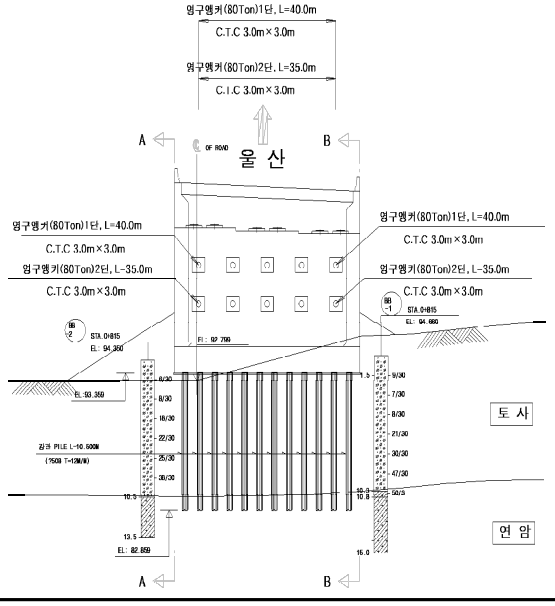
구 분	설 계 기울기(°)	측정 기울기(°)			각 변위(°)		
		측정점1(좌측)	측정점1(중앙)	측정점2(우측)	측정점1(좌측)	측정점1(중앙)	측정점2(우측)
A1	90	89.88	89.85	89.90	0.12	0.15	0.10
A2	90	89.83	89.85	89.82	0.17	0.15	0.18

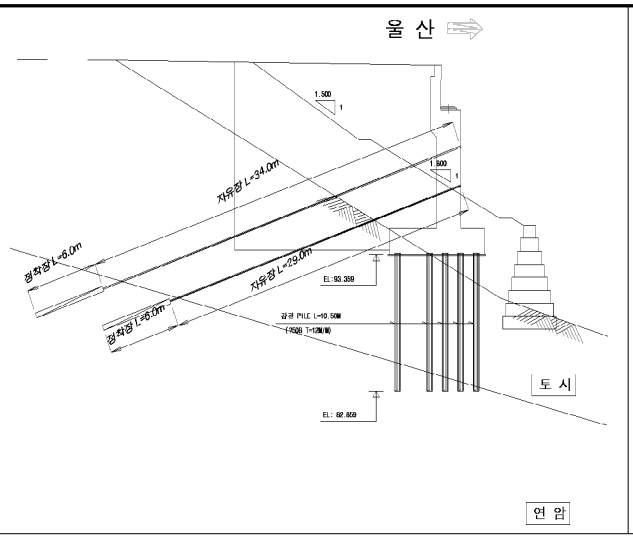
- 각 교대 및 교각에 대하여 변위(직립도) 조사를 실시하였으며, 앞서 제시한 기준 중 본 교량의 형식에 맞는 기준 값인 1/300(0.19°) ~ 1/200(0.23°)을 적용하여 평가하였다.
- 금회 측정 결과, 0.10° ~ 0.18° 로 측정되었으며, 측정결과는 허용범위를 만족하는 상태로 교대의 직립도는 양호한 것으로 분석되었다. 다만 측정위치, 측정자의 오차에 따라 측정결과가 상이할 수 있으므로 점검시마다 재측정을 실시한 후 결과값을 지속적으로 참고하여 유지관리함이 바람직할 것으로 판단된다.

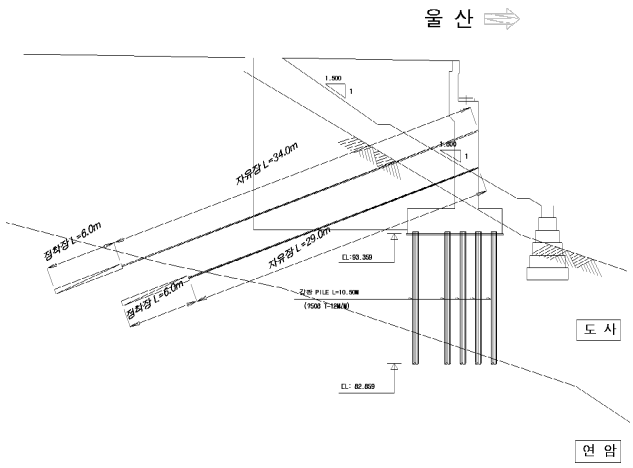
② 측량기를 이용한 교대변위 측정

- 만화교(울산)는 2018년 기 정밀안전진단 결과 교대 A1에서 측방유동 가능성이 검토되어 보강방안으로 제시된 어스앵커 공법을 적용하여 보강을 실시하였으며, 해당 공법은 부산울산고속도로는 많은 차량이 통행중에 있어, 차선 통제후 보강작업이 용이하지 않은 현장 여건을 고려하여 시공가능한 공법으로 제시되었다.
- 교대에 대한 보강공법 적용시 상세 검토결과는 다음과 같으며, 현장조사 결과(외관) 제시된 보강공법과 동일하게 보강된 것으로 판단된다.

상세보강내용	앵커제원			
	자유장(m)	정착장(m)	C.T.C(m)	단
교대 A1	1단: 32 2단: 26	6	3	2





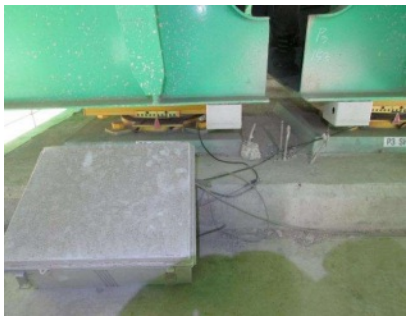


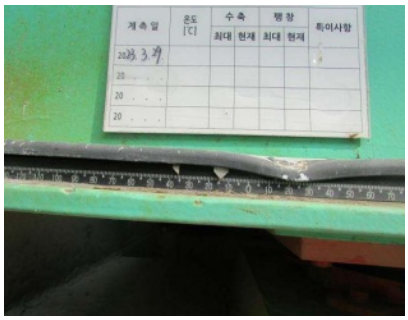
교대 어스앵커 보강도

교대 어스앵커보강 현황(A1)

- 또한 보강을 실시한 후 주기적인 변위를 확인하기 위해 계측기기를 설치하였으나, 금회 현장조사결과 일부는 파손 등에 의해 제 기능을 못하고 있는 것으로 확인되었으며, 설치현황은 다음과 같다.

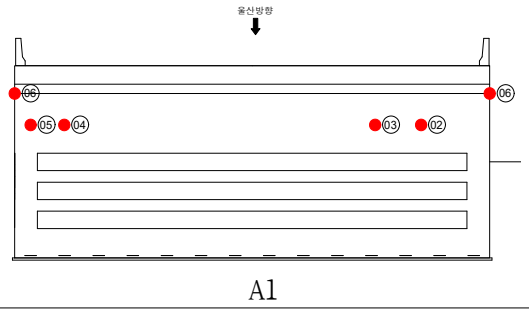
구 분	하중계	경사계	자동 계측기	비고
만화교(울산)	A1	A1	A1, A2, P3(2개소)	
	1개소	1개소	4개소	





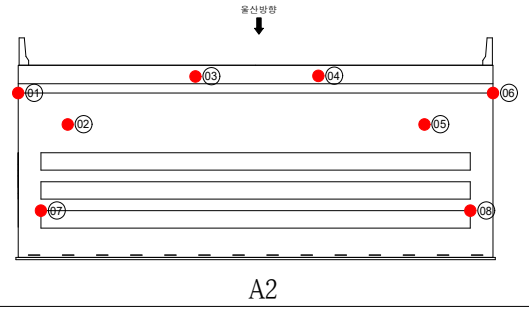
- 보강은 교대 A1에만 실시되었으나, 금회 정밀안전진단시 교대 A1, A2의 변위 유·무 및 변화를 측정하기 위해 광파기를 이용한 좌표측량을 실시하였으며, 동일 위치에서 일정 기간을 두고 1차~3차까지 총 3회에 걸쳐 측량을 실시하였고, 그 결과는 다음과 같다.

구분	측정치(mm)				
	측점	1차	2차	3차	4차
		변위	변위	변위	변위
교대 A1	1	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00	0.00
교대 A2	1	0.00	0.00	0.00	0.00
	2	0.00	0.00	0.00	0.00
	3	0.00	0.00	0.00	0.00
	4	0.00	0.00	0.00	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	0.00
	6	0.00	0.00	0.00	0.00
	7	0.00	0.00	0.00	0.00
	8	0.00	0.00	0.00	0.00



A1

만화교 울산A1					정면방향
NO.	X	Y	E.L	위 치	비고
1	218576.328	294951.319	101.406	헌치하단	우
2	218575.224	294953.001	99.162	표식	우
3	218574.718	294952.978	99.163		우
4	218561.768	294952.621	99.22		좌
5	218560.777	294952.608	99.573	표식	좌
6	218521.968	294950.918	101.998	이음선밑	좌



A2

만화교 울산A2					정면방향
NO.	X	Y	E.L	위 치	비고
1	218597.747	295257.338	105.693	헌치하단	좌
2	218596.574	295255.759	101.088	표식	좌
3	218592.527	295258.202	104.774	표식	강교사이
4	218587.124	295259.089	104.843	표식	강교사이
5	218582.828	295258.022	101.072	표식	우
6	218581.869	295259.961	105.991	헌치하단	우
7	218596.563	295255.764	98.544	문양거푸집	좌
8	218582.488	295258.078	98.539	문양거푸집	우

만화교(울산) 교대 측량결과

- 만화교(울산)의 교대 변위를 확인하기 위해 측량기기를 이용한 측정결과 교대 변위는 없는 것으로 검토되었으며, 현장 상세조사결과 또한 교대 변화에 대한 이상징후는 조사되지 않은 상태로 확인되었다. 다만, 기 진단시 측방유동검토를 실시한 이력과 보강의 이력이 있으므로 지속적인 관리가 필요한 교량이다.

교대 A1 전경

교대 A2 전경

- 따라서, 교대의 변위를 파악하기 위해 금회 측정된 값을 초기치로 활용하여 점검시마다 주기적인 측정이 필요하며, 나아가 만화교(울산)의 보다 상세한 교대 변화를 확인하기 위해 별도의 계측과업 실시하는 방안도 효율적일 것으로 판단된다.

나. 교각

1) 개요

- 교각은 교량 상부구조의 하중을 지반으로 전달하며, 교량 전체 구조의 안전성을 위해 아주 중요한 역할을 수행하는 구조부재로서 만화교(울산)의 교각은 Π형 구조형식이며, 기초는 직접기초 및 강관말뚝기초로 시공되어 있는 것으로 확인되었다.
- 또한 점검시설이 전 교각에 설치되어 있어 최대한 도보를 이용한 근접 외관조사를 실시하였으며, 도보접근이 어려운 코핑부 하단, 기둥부 상단은 교량점검차 및 고소작업차, 드론을 이용하여 근접외관조사를 실시하였다.

교각 전경(P1)	교각 전경(P2)	교각 전경(P3)
교각 전경(P4)	교각 전경(P5)	

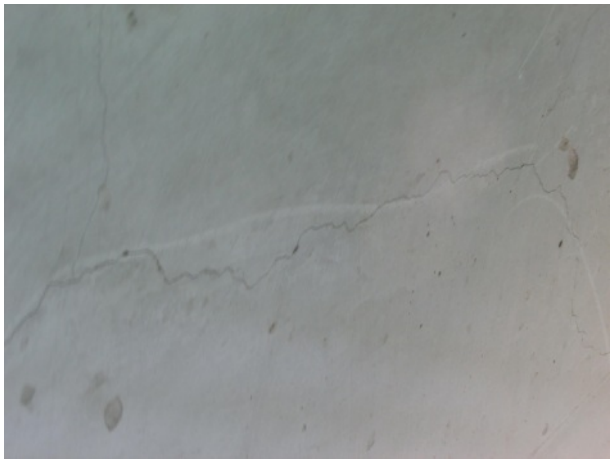
【사진 3.41】교각 전경(울산)

2) 외관조사 결과

- 만화교(울산) 교각에 대한 외관조사 결과, 구조물 안전성에 미칠만한 중대한 손상은 발생하지 않은 것으로 조사되었다.
- 주요손상으로 기둥부 및 코핑부에서 수평 및 수직형상을 띈 균열폭 0.1~0.3㎜ 수준의 균열 및 망상균열(2개소)이 국부적으로 조사되었으며, 코핑부 박리(1개소), 코핑부 철근노출(1개소), 기둥부 및 코핑부 파손(4개소) 등이 확인되었다.

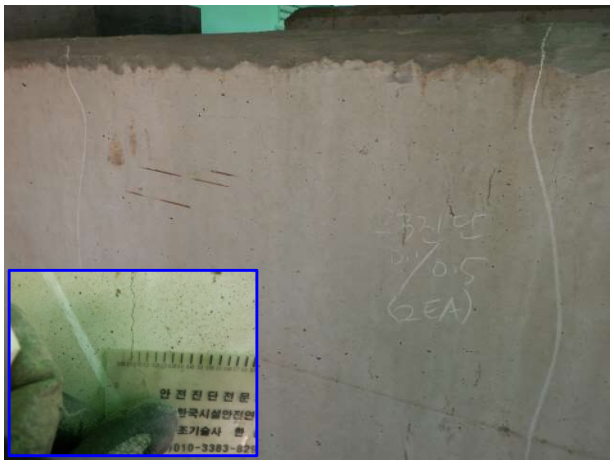
【표 3.65】교각 외관조사 결과(울산)

구 분	균열(cw=0.3mm미만) (m/개소)	균열(cw=0.3mm이상) (m/개소)	망상균열 (㎡/개소)	철근노출 (㎡/개소)	비고
P1	7.50/4	-	2.60/2	-	
P2	9.20/4	-	-	-	
P3	0.20/1	-	1.00/1	0.04/2	
P4	14.00/3	-	-	-	
P5	5.60/6	10.00/1	0.40/1	-	
합 계	**36.50/18**	**10.00/1**	**4.00/3**	**0.04/2**	
구 분	**잡철근 노출 (㎡/개소)**	**파손 (㎡/개소)**	**표면박리 (㎡/개소)**	**표면오염 (㎡/개소)**	**비고**
P1	-	-	-	4.00/1	
P2	-	0.01/1	-	-	
P3	-	-	-	3.30/2	
P4	-	0.02/2	0.15/1	-	
P5	0.01/1	0.01/1	-	-	
합 계	**0.01/1**	**0.04/4**	**0.15/1**	**7.30/3**	



P5 코핑부 균열(Cw=0.3㎜/L=10.0m)

P1 코핑부 균열(Cw=0.2㎜/L=3.5m)



P1 코핑부 균열(Cw=0.1㎜/L=0.5m)

P5 기둥부 균열(Cw=0.2㎜/L=2.0m)

【사진 3.42】교각 손상현황(울산)

P3 기둥부 망상균열(Cw=0.1mm/A=1.0×1.0=1.00㎡)	P5 기둥부 망상균열(Cw=0.1mm/A=0.4×1.0=0.40㎡)
P2 코핑부 파손(A=0.1×0.1=0.01㎡)	P4 기둥부 파손(A=0.1×0.1=0.01㎡)
P4 코핑부 표면박리(A=0.5×0.3=0.15㎡)	P3 코핑부 철근노출(A=0.2×0.1=0.02㎡)

【사진 3.42】교각 손상현황(울산)(계속)

P3 기둥부 표면오염(A=0.6×3.0=0.18㎡)	P3 코핑부 표면오염(A=1.0×1.5=1.50㎡)

【사진 3.42】교각 손상현황(울산)(계속)

3) 기 진단(2018년) 결과와 비교, 분석

- 기 진단(18년) 비교·분석결과, 기 진단 이후 보수 및 면적재산정 등으로 인해 철근노출 및 파손 손상이 소폭 감소한 것으로 확인되었다. 이 밖에 균열(Cw=0.3mm미만/이상), 망상균열, 표면박리, 포면오염 등에 대한 손상물량은 금회 외관조사 시 해당손상이 추가 조사되어 소폭 증가한 것으로 확인되었다. 기 진단 대비 손상물량 감소는 보수 및 면적재산정 등이며, 증가의 원인은 단기적인 물량 증가가 아닌 금회 상세외관조사 및 경년열화 등에 의한 것으로 교각부의 손상물량은 증·감이 있는 것으로 분석되었다.
- 보수·보강 이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 “구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사, 2019.09.18.~12.31”를 통해 교각부에 주입보수 및 표면보수를 실시한 것으로 조사되었으며, 현장조사 결과 재균열 등 보수불량에 따른 재손상이 발생하지 않은 비교적 양호한 상태로 확인되었다.

> 만화교(울산)

시설물관리대장 | 유지관리계획 | 중대결함실적 | 유지관리실적 | 시설물비용정보 | 점검진단대가산정

점검진단실적 (1) | 보수보강실적 | 사용제한 등 조치 | 중대결함등사후관리 | 총괄표(승인요청)

승인된 보수보강실적은 취합기관에 수정요청을 통해서만 수정할 수 있습니다.

공사명	구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사		
공사구분	보수	공사기간	2019년 09월 18일 ~ 2019년 12월 31일
관련점검진단	정밀안전진단(2018-09-16 ~ 2018-12-31)	계약방법	제한경쟁
설계자	이효찬	시공자	CS청산건설㈜
책임기술자	이건수	공사감독	이효찬
부위	거더, 교량받침, 교대, 교각		
공사내역	볼트 재체결, 표면처리, 재도장, 주입보수		
공사비	608천원(VAT포함)	내진보강	미실시
관련증빙	파일첨부		
작성자	손동영	작성일	2020-04-08
승인상태	승인완료		

공사세부내역

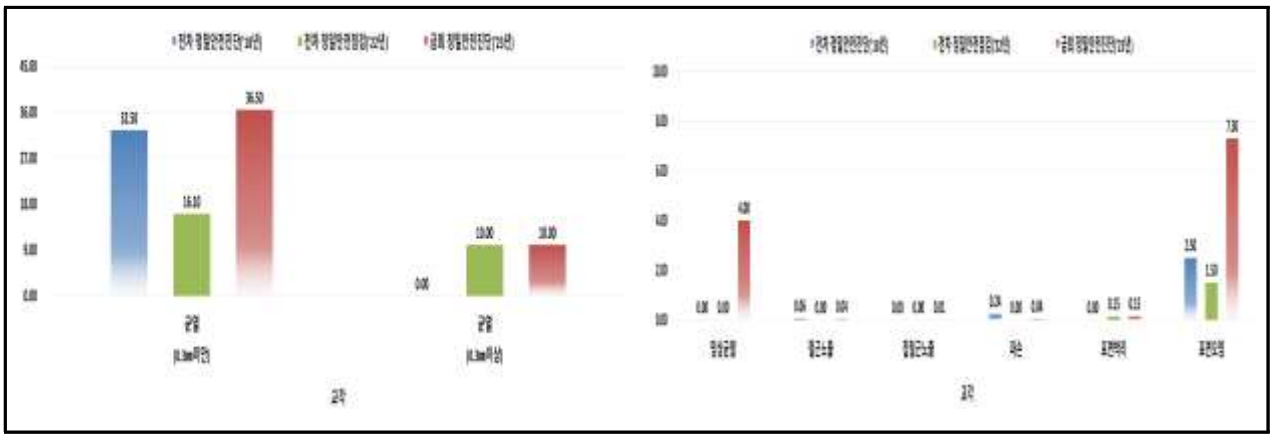
공사부위/부재	세부위치	보수보강공법	수량	단위	공사비(천원)
거더	내부	볼트 재체결	6	EA	35
교량받침		표면처리공법	0.73	㎡	37
교량받침		재도장(부분, 전면 등)	3.49	㎡	235
교대		표면처리공법	0.8	㎡	41
교각		표면처리공법	2.5	㎡	142
교각		주입보수	0.3	㎡	118

수정요청 | 결재이력 | 목록

P3 코핑부 철근노출(A=0.2×0.1=0.02㎡)

【표 3.66】교각 기 진단 결과와의 비교(울산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
균열(cw=0.3mm미만)	m	32.50	16.10	36.50	▲ 4.00
균열(cw=0.3mm이상)	m	-	10.00	10.00	▲ 10.00
망상균열	㎡	-	-	4.00	▲ 4.00
철근노출	㎡	0.06	-	0.04	▼ 0.02
잡철근노출	㎡	-	-	0.01	▲ 0.01
파손	㎡	0.24	-	0.04	▼ 0.20
표면박리	㎡	-	0.15	0.15	▲ 0.15
표면오염	㎡	2.50	1.50	7.30	▲ 4.80



【그림 3.26】교각 기 진단 결과와의 비교(울산)

4) 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 교각의 균열 발생패턴을 분석한 결과, 수직균열 대부분은 단면변화부위(우각부)에 및 타설 이음부에서 단속적으로 발생하였으며, 건조수축 및 온도변화 등에 의한 인장력 발생시 단면변화 부위나 천공부위에서는 일반단면부위 보다 큰 인장력이 집중되어 발생하게 되는데 상기 균열은 해당원인에 의해 발생된 균열로 판단된다.
- 코핑부 전면 및 기둥부로 수평균열이 국부적으로 조사되었으며, 건조수축 및 콘크리트 분할타설에 의한 시간차이로 신·구 콘크리트 간에 구속응력, 점검로 설치시 앵커홀 주변으로 응력이 집중되어 발생된 균열 등으로 판단된다. 기둥부에서 조사된 망상균열(2개소)은 균열의 형상, 방향성, 발생 위치 등을 고려해 볼 때, 수화열에 의한 온도응력 및 건조수축 등 콘크리트의 재료적 특성에 의한 비구조적 균열로 판단된다.
- 상기 균열들은 재료적 특성에 의한 비구조적 균열로 판단되므로 내구성 확보를 위한 표면보수가 필요하다.
- 표면박리는 코핑부 상단에서 1개소 조사되었으며, 우수접촉 공용년수 증가에 따른 외기노출 등에 의해 발생한 것으로 발생규모는 경미하나, 내구성 확보를 위해 표면보수가 필요할 것으로 판단된다.
- 철근노출 및 잡철근노출은 금회 신규조사된 것으로 확인되었으며, 받침콘크리트 인접부 코핑부 상단에서 조사되었다. 콘크리트 피복두께 미확보에 의한 것으로 단면보수가 필요하나, 단면보수 시 콘크리트의 탈락우려가 있으므로 방청 후 탄산화방지제 도포 등의 표면보수 또한 함께 고려해야 할 것으로 판단된다.
- 파손 손상은 기둥부 및 코핑부에서 국부적으로 조사되었으며, 공용중 외부충격 등으로 인해 발생된 손상으로 판단된다. 파손은 손상규모가 대부분 소규모이며 전차 점검 대비 손상의 진행성이나 우수 유입에 따른 추가손상 발생 가능성이 적을 것으로 판단되나, 내구성 저하 방지를 위해 보수계획에 맞춰 일괄보수를 실시하는 것이 바람직하다.
- 코핑부 및 기둥에서 각 1개소씩 조사된 표면오염은 우수접촉에 의해 발생한 것으로 코핑부는 공용년수 증가에 따라 우기시 신축이음부로 침투한 소량의 우수로 인해 발생된 것으로 판단되며, 기둥부는 배수관 길이부족에 의해 발생한 것으로 확인되었다. 내구성에 미치는 영향은 미미한 수준이나, 내구성 저하 방지를 위해 차후 보수계획에 맞춰 일괄보수를 실시함이 바람직할 것으로 판단된다.

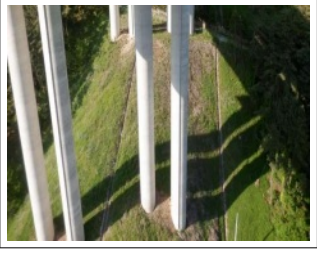
3.3.3 기초부

가. 개요

- 만화교(울산)의 교대 기초는 강관말뚝기초(A1, A2), 교각 기초는 직접기초(P3~P5) 및 강관말뚝기초(P1, P2)로 시공된 것으로 확인되었으며, 교대 및 교각의 기초는 대부분 지중에 매립되어 외관조사는 불가한 상태이나, 교각 P3의 기초부가 일부 노출된 것으로 확인되었다.

교대(A1) 기초부 전경(매립)

교대(A2) 기초부 전경(매립)



교각 기초부 전경(매립)

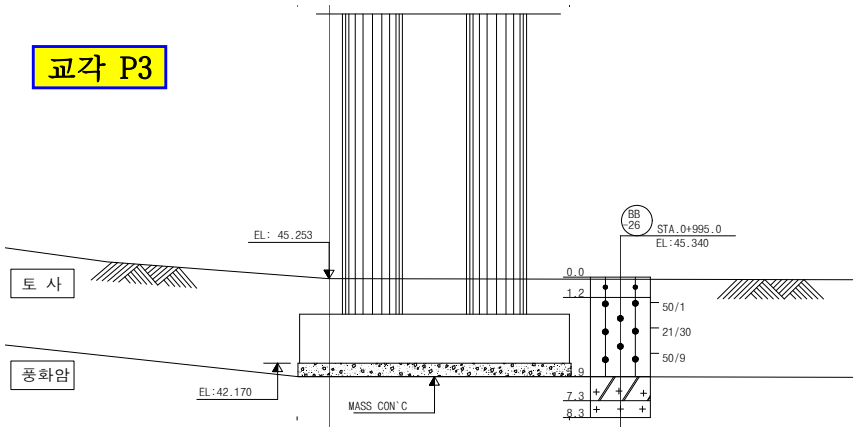
교각(P3) 기초부 전경(노출)

【사진 3.43】 기초부 외관조사 현황(울산)

나. 외관조사 결과

- 기초부 점검결과, 특이손상이 발생하지 않은 비교적 양호한 상태로 조사되었으며, 기초부에 대한 설계도서 및 수리계산서 검토결과 기초의 시공위치는 하천(해상)이 아닌 수로인 접부지 상단으로서, 세굴검토 등의 평가는 생략된 것으로 판단된다. 또한 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침_안전점검·진단편(교량)(2022.12, 국토교통부/국토안전관리원)』에 의거 세굴에 대한 안전성평가는 "하천(해상)을 횡단하는 공용중인 교량"에 대해 평가하며, 해당구간은 일광산에 위치하는 계곡부로서 하천(해상)에 해당하지 않는 것으로 확인되었다. 다만, 해당구간의 평수위는 약 0.1m미만이며, 평시에 유량의 이동이 없어 세굴 및 침식 발생 가능성이 낮을 것으로 판단되나, 우기시 우수의 이동이 있고 항시 우수가 존재하므로 중점유지관리사항으로 선정하여 지속적인 주의관찰을 실시함이 바람직하다.

교각 P3



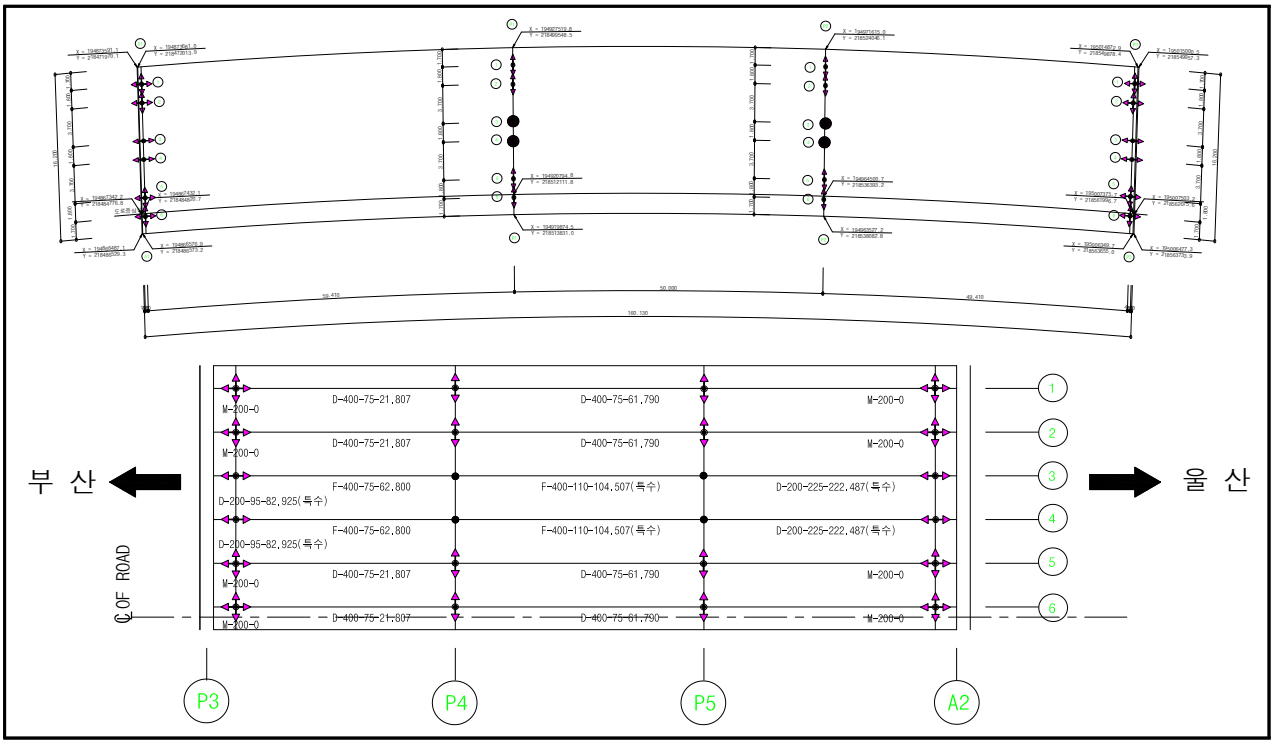
- "부산~울산간 고속도로 민간투자 시설사업 제3공구(서부~화전)" 구조수리계산서 검토결과 배수유역도 내에 없으며, 세굴검토 또한 실시하지 않은 것으로 검토됨. (일광천교의 세굴검토만 실시)

- 만화교(울산) 구조수리계산서에 대한 자료수집 및 분석 결과 교면 배수구에 대한 수리 검토 실시

3.3.4 교량받침

가. 개요

- 교량받침은 상부구조에서 발생된 하중을 하부구조로 전달하고 상부구조의 신축 및 회전에 능동적으로 대응하는 부재이며, 본 조사에서는 온도변화 및 활하중에 의한 신축거동 여부뿐만 아니라 강재부식, 콘크리트 손상 여부 등에 대해 주안점을 두고 현장조사를 실시하였다.
- 본 교량의 교량받침은 포트받침으로 교대(A1, A2)에 각 6개소, 교각 P1, P2, P4, P5에 각 6개소, 교각P3에 12개소 총 48개의 포트받침이 시공되어 있으며, 교량받침 설치현황은 다음과 같다.



【그림 3.27】교량받침 배치도(울산)

포트받침 전경(양방향)	포트받침 전경(일방향)	포트받침 전경(고정단)

【사진 3.44】교량받침 설치전경

나. 외관조사 결과

- 교량받침 점검결과, 주요손상으로 받침콘크리트 박락, 받침콘크리트 재료분리, 볼트부식이 조사되었다. 금회 신규손상으로 받침 콘크리트 박락 및 받침 콘크리트 재료분리가 추가 조사된 것으로 확인되었다.

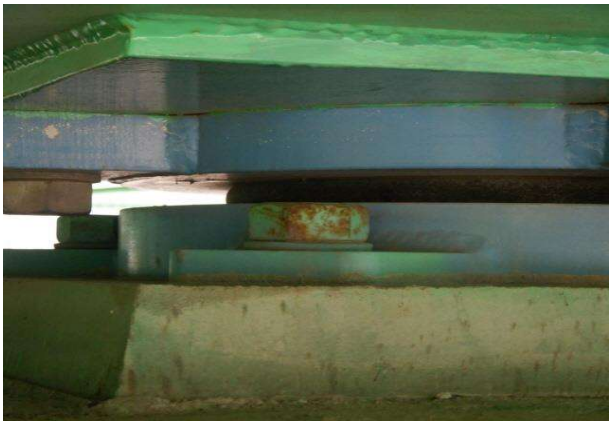
【표 3.67】교량받침 외관조사 결과(울산)

구 분	받침콘크리트 박락 (㎡/개소)	받침 콘크리트 재료분리 (㎡/개소)	볼트부식 (개소/개소)	비고
A1	-	-	-	
P1	-	-	1/1	
P2	-	-	-	
P3	0.27/2	0.04/1	-	
P4	-	-	-	
P5	-	-	-	
A2	-	-	-	
합 계	**0.27/2**	**0.04/1**	**1/1**	

P3 받침 콘크리트 박락(A=1.2m×0.1m=0.12㎡)

P3 받침 콘크리트 박락(A=1.5m×0.1m=0.15㎡)

P3 받침 콘크리트 재료분리(A=0.4m×0.1m=0.04㎡)

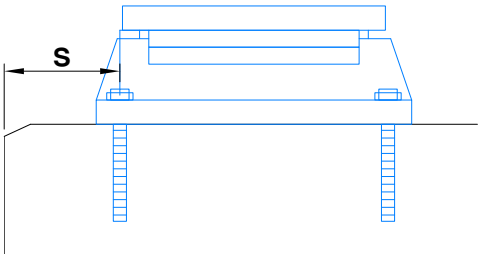


P1 볼트부식(1개소)

【사진 3.45】교량받침 손상현황(울산)

다. 연단거리 검토

- 교대 및 교각의 교좌면은 상부구조로부터 집중하중을 받는 부위이고, 지진 시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 연단거리가 짧으면 고정단에서는 콘크리트 구체 또는 교량받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다.
- 상부구조의 길이에 따라 도로교설계기준(2010, 국토해양부)' 에서는 최소값을 규정하고 있다.



< 모식도 >

- 거더의 경간길이 100m 이하
  : S(㎜) = 200 + 5L
- 거더의 경간길이 100m 이상
  : S(㎜) = 300 + 4L
  여기서, L은 경간길이(m)

【그림 3.28】도로교설계기준 연단거리 산출방법

1) 연단거리 산출

- 거더 경간길이(L=60.0m) : 200+5×60.0 = 500.0(㎜)
- 거더 경간길이(L=50.0m) : 200+5×50.0 = 450.0(㎜)

2) 연단거리 측정 결과

- 연단거리 측정 결과, 실측 연단거리가 계산 연단거리를 상회하고 있는 것으로 측정되어 시방규정을 만족하고 있는 것으로 검토되었다.

연단거리 측정 전경 ①

연단거리 측정 전경 ②

【사진 3.46】연단거리 측정 전경(울산)

【표 3.68】 연단거리 측정 결과(울산)

구 분		계산 연단거리 (㎜)	연단거리						판 정
			Sh1	Sh2	Sh3	Sh4	Sh5	Sh6	
A1		500	770	750	730	720	800	800	O.K
P1	A1측	500	1,420	1,420	1,380	1,380	1,460	1,450	O.K
	A2측	500	1,420	1,420	1,360	1,360	1,420	1,420	O.K
P2	A1측	500	1,740	1,740	1,780	1,750	1,750	1,780	O.K
	A2측	500	1,750	1,750	1,740	1,740	1,750	1,750	O.K
P3	A1측	500	1,120	1,150	1,110	1,110	1,110	1,180	O.K
	A2측	500	1,050	1,050	1,010	1,040	1,020	1,050	O.K
P4	A1측	500	1,620	1,670	1,660	1,660	1,670	1,670	O.K
	A2측	500	1,680	1,680	1,680	1,680	1,680	1,680	O.K
P5	A1측	500	1,670	1,670	1,630	1,630	1,630	1,630	O.K
	A2측	450	1,640	1,640	1,630	1,630	1,640	1,640	O.K
A2		450	800	800	720	700	800	730	O.K

라. 교량받침 신축거동상태 검토

1) 온도변화에 따른 가동상태 검토

- 교량받침은 포트받침으로 현재 여유량을 실측함으로써 온도 변화와 활하중에 의한 거더의 처짐에 따른 신축시 이동량 부족으로 인한 받침의 기능 저하 여부를 검토하고자 하였다.
- 교량받침 가동상태의 적정성을 평가하기 위해 2회(1차:13.3℃(4월 26일), 2차:29.6℃(8월 2일))에 걸쳐 측정하였으며, 온도 변화에 따른 변동량 측정결과 이론 변동량과 유사한 것으로 나타나 전반적으로 양호한 거동상태를 보이고 있는 것으로 평가되었다.

【표 3.69】교량받침 가동상태 검토결과(울산)

구 분		실측 이동량(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
A1	Sh1	30(A1)	42(A1)	12.0	11.7	1차 : 13.3℃ 2차 : 29.6℃ 온도차 : 16.3℃
	Sh2	30(A1)	40(A1)	10.0		
	Sh3	35(A1)	40(A1)	5.0		
	Sh4	35(A1)	42(A1)	7.0		
	Sh5	20(A1)	40(A1)	20.0		
	Sh6	20(A1)	40(A1)	20.0		
P1	고 정 단					
P2	고 정 단					
P3(A1)	Sh1	20(A2)	10(A2)	10.0	9.8	
	Sh2	30(A2)	15(A2)	5.0		
	Sh3	25(A2)	30(A2)	10.0		
	Sh4	30(A2)	30(A2)	10.0		
	Sh5	24(A2)	30(A2)	10.0		
	Sh6	30(A2)	30(A2)	10.0		
P3(A2)	Sh1	2(A1)	15(A2)	13.0	9.8	
	Sh2	5(A1)	10(A2)	5.0		
	Sh3	2(A1)	10(A2)	8.0		
	Sh4	2(A1)	10(A2)	8.0		
	Sh5	5(A1)	10(A2)	5.0		
	Sh6	5(A1)	10(A2)	5.0		
P4	고 정 단					
P5	고 정 단					
A2	Sh1	20(A1)	3(A1)	17.0	9.8	
	Sh2	10(A1)	0(A1)	10.0		
	Sh3	10(A1)	5(A1)	5.0		
	Sh4	5(A1)	0(A1)	5.0		
	Sh5	5(A1)	0(A1)	5.0		
	Sh6	10(A1)	2(A1)	8.0		

2) 설계기준 온도(-10℃ ~ 40℃(보통지방))에 따른 여유량 검토(1차 조사)

- 가동여유량 검토한 결과, 전반적으로 설계기준에서 제시되는 최대 및 최소 온도에 대하여 충분한 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었으며, 전반적으로 거동상태는 양호한 것으로 검토되었다.

【표 3.70】교량받침 이동량(설계기준 온도) 산정(1차 조사)(울산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	최대 받침 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	23.3	26.7	1.2×10^{-5}	60.0	16.8	19.2	-	16.8	19.2
P1	고 정 단								
P2	고 정 단								
P3(A1)	23.3	26.7	1.2×10^{-5}	50.0	14.0	16.0	-	14.0	16.0
P3(A2)	23.3	26.7	1.2×10^{-5}	50.0	14.0	16.0	-	14.0	16.0
P4	고 정 단								
P5	고 정 단								
A2	23.3	26.7	1.2×10^{-5}	50.0	14.0	16.0	-	14.0	16.0

1) 1차조사 당시 온도 : 13.3℃(조사일 : 2023년 4월 26일, 평균온도)
2) 검토온도 : -10℃ ~ 40℃(보통지방/강교)
3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(신장시에만 고려)

【표 3.71】교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과(1차 조사)(울산)

구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	30(A1)	16.8	19.2	105.0	45.0	±75	O.K
	Sh2	30(A1)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh3	35(A1)			110.0	40.0	±75	O.K
	Sh4	35(A1)			110.0	40.0	±75	O.K
	Sh5	20(A1)			95.0	55.0	±75	O.K
	Sh6	20(A1)			95.0	55.0	±75	O.K
P1		고 정 단						
P2		고 정 단						
P3 (A1)	Sh1	20(A2)	14.0	16.0	95.0	55.0	±75	O.K
	Sh2	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh3	25(A2)			100.0	50.0	±75	O.K
	Sh4	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh5	24(A2)			99.0	51.0	±75	O.K
	Sh6	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
P3 (A2)	Sh1	2(A1)	14.0	16.0	77.0	73.0	±75	O.K
	Sh2	5(A1)			80.0	70.0	±75	O.K
	Sh3	2(A1)			77.0	73.0	±75	O.K
	Sh4	2(A1)			77.0	73.0	±75	O.K
	Sh5	5(A1)			80.0	70.0	±75	O.K
	Sh6	5(A1)			80.0	70.0	±75	O.K
P4		고 정 단						
P5		고 정 단						
A2	Sh1	20(A1)	14.0	16.0	95.0	55.0	±75	O.K
	Sh2	10(A1)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh3	10(A1)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh4	5(A1)			80.0	70.0	±75	O.K
	Sh5	5(A1)			80.0	70.0	±75	O.K
	Sh6	10(A1)			85.0	65.0	±75	O.K

주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K

3) 기상청 통계자료에 따른 이동량 검토

기상청 통계자료	• 최근 10년간 부산(기상관측소) 자료 참조 • 최근 10년간 최저기온 : -12.2℃(측정일시 : 2021년 01월 08일) • 최근 10년간 최고기온 : 37.3℃(측정일시 : 2016년 08월 14일)

- 최근 10년간 기상청 통계자료를 이용한 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 상기 설계기준 온도에서 가동여유량을 검토한 교량받침은 기상청 통계자료(10년)에 기록된 최저·최대온도를 기준으로 산정한 이론 이동량을 만족하고 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.72】교량받침 이동량(기상청 통계) 산정(1차 조사)(울산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	최대 받침 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	25.5	24.0	1.2×10^{-5}	60.0	18.4	17.3	-	18.4	17.3
P1	고 정 단								
P2	고 정 단								
P3(A1)	25.5	24.0	1.2×10^{-5}	50.0	15.3	14.4	-	15.3	14.4
P3(A2)	25.5	24.0	1.2×10^{-5}	50.0	15.3	14.4	-	15.3	14.4
P4	고 정 단								
P5	고 정 단								
A2	25.5	24.0	1.2×10^{-5}	50.0	15.3	14.4	-	15.3	14.4

1) 1차조사 당시 온도 : 13.3℃(조사일 : 2023년 4월 26일, 평균온도)
2) 검토온도 : -12.2℃ ~ 37.3℃(기상청 통계자료)
3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(신장시에만 고려)

【표 3.73】 교량받침 이동량(기상청 통계자료) 검토결과(1차 조사)(울산)

구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	30(A1)	18.4	17.3	105.0	45.0	±75	O.K
	Sh2	30(A1)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh3	35(A1)			110.0	40.0	±75	O.K
	Sh4	35(A1)			110.0	40.0	±75	O.K
	Sh5	20(A1)			95.0	55.0	±75	O.K
	Sh6	20(A1)			95.0	55.0	±75	O.K
P1		고 정 단						
P2		고 정 단						
P3 (A1)	Sh1	20(A2)	15.3	14.4	95.0	55.0	±75	O.K
	Sh2	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh3	25(A2)			100.0	50.0	±75	O.K
	Sh4	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh5	24(A2)			99.0	51.0	±75	O.K
	Sh6	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
P3 (A2)	Sh1	2(A1)	15.3	14.4	77.0	73.0	±75	O.K
	Sh2	5(A1)			80.0	70.0	±75	O.K
	Sh3	2(A1)			77.0	73.0	±75	O.K
	Sh4	2(A1)			77.0	73.0	±75	O.K
	Sh5	5(A1)			80.0	70.0	±75	O.K
	Sh6	5(A1)			80.0	70.0	±75	O.K
P4		고 정 단						
P5		고 정 단						
A2	Sh1	20(A1)	15.3	14.4	95.0	55.0	±75	O.K
	Sh2	10(A1)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh3	10(A1)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh4	5(A1)			80.0	70.0	±75	O.K
	Sh5	5(A1)			80.0	70.0	±75	O.K
	Sh6	10(A1)			85.0	65.0	±75	O.K
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K								

4) 설계기준 온도(-10℃ ~ 40℃(보통지방))에 따른 여유량 검토(2차 조사)

- 가동여유량 검토한 결과, 전반적으로 설계기준에서 제시되는 최대 및 최소 온도에 대하여 충분한 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었으며, 전반적으로 거동상태는 양호한 것으로 검토되었다.

【표 3.74】교량받침 이동량(설계기준 온도) 산정(2차 조사)(울산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	최대 받침 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	39.6	10.4	1.2×10^{-5}	60.0	28.5	7.5	-	28.5	7.5
P1	고 정 단								
P2	고 정 단								
P3(A1)	39.6	10.4	1.2×10^{-5}	50.0	23.8	6.2	-	23.8	6.2
P3(A2)	39.6	10.4	1.2×10^{-5}	50.0	23.8	6.2	-	23.8	6.2
P4	고 정 단								
P5	고 정 단								
A2	39.6	10.4	1.2×10^{-5}	50.0	23.8	6.2	-	23.8	6.2

1) 2차조사 당시 온도 : 29.6℃(조사일 : 2023년 8월 2일, 평균온도)
2) 검토온도 : -10℃ ~ 40℃(보통지방/강교)
3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(신장시에만 고려)

【표 3.75】교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과(2차 조사)(울산)

구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	42(A1)	28.5	7.5	117.0	33.0	±75	O.K
	Sh2	40(A1)			115.0	35.0	±75	O.K
	Sh3	40(A1)			115.0	35.0	±75	O.K
	Sh4	42(A1)			117.0	33.0	±75	O.K
	Sh5	40(A1)			115.0	35.0	±75	O.K
	Sh6	40(A1)			115.0	35.0	±75	O.K
P1		고 정 단						
P2		고 정 단						

【표 3.75】교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과(2차 조사)(울산)(계속)

구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
P3 (A1)	Sh1	10(A2)	23.8	6.2	85.0	65.0	±75	O.K
	Sh2	15(A2)			90.0	60.0	±75	O.K
	Sh3	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh4	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh5	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh6	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
P3 (A2)	Sh1	15(A2)	23.8	6.2	90.0	60.0	±75	O.K
	Sh2	10(A2)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh3	10(A2)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh4	10(A2)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh5	10(A2)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh6	10(A2)			85.0	65.0	±75	O.K
P4		고 정 단						
P5		고 정 단						
A2	Sh1	3(A1)	23.8	6.2	78.0	72.0	±75	O.K
	Sh2	0(A1)			75.0	75.0	±75	O.K
	Sh3	5(A1)			80.0	70.0	±75	O.K
	Sh4	0(A1)			75.0	75.0	±75	O.K
	Sh5	0(A1)			75.0	75.0	±75	O.K
	Sh6	2(A1)			77.0	73.0	±75	O.K
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K								

5) 기상청 통계자료에 따른 이동량 검토(2차 조사)

기상청 통계자료	• 최근 10년간 부산(기상관측소) 자료 참조 • 최근 10년간 최저기온 : -12.2℃(측정일시 : 2021년 01월 08일) • 최근 10년간 최고기온 : 37.3℃(측정일시 : 2016년 08월 14일)

- 최근 10년간 기상청 통계자료를 이용한 교량받침의 이동량을 검토한 결과, 상기 설계기준 온도에서 가동여유량을 검토한 교량받침은 기상청 통계자료(10년)에 기록된 최저·최대온도를 기준으로 산정한 이론 이동량을 만족하고 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.76】교량받침 이동량(기상청 통계) 산정(2차 조사)(울산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창계수 (α)	신축거더길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	최대 받침 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1	41.8	7.7	1.2×10^{-5}	60.0	30.1	5.5	-	30.1	5.5
P1	고 정 단								
P2	고 정 단								
P3(A1)	41.8	7.7	1.2×10^{-5}	50.0	25.1	4.6	-	25.1	4.6
P3(A2)	41.8	7.7	1.2×10^{-5}	50.0	25.1	4.6	-	25.1	4.6
P4	고 정 단								
P5	고 정 단								
A2	41.8	7.7	1.2×10^{-5}	50.0	25.1	4.6	-	25.1	4.6

1) 2차조사 당시 온도 : 29.6℃(조사일 : 2023년 8월 2일, 평균온도)
2) 검토온도 : -12.2℃ ~ 37.3℃(기상청 통계자료)
3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(신장시에만 고려)

【표 3.77】교량받침 이동량(기상청 통계자료) 검토결과(2차 조사)(울산)

구 분		점검당시 실측이동량(㎜)	최대 받침 이동량(㎜)		실측 받침 가동여유량(㎜)		받침용량 (㎜)	검토 결과
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량		
A1	Sh1	42(A1)	30.1	5.5	117.0	33.0	±75	O.K
	Sh2	40(A1)			115.0	35.0	±75	O.K
	Sh3	40(A1)			115.0	35.0	±75	O.K
	Sh4	42(A1)			117.0	33.0	±75	O.K
	Sh5	40(A1)			115.0	35.0	±75	O.K
	Sh6	40(A1)			115.0	35.0	±75	O.K
P1		고 정 단						
P2		고 정 단						
P3 (A1)	Sh1	10(A2)	25.1	4.6	85.0	65.0	±75	O.K
	Sh2	15(A2)			90.0	60.0	±75	O.K
	Sh3	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh4	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh5	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
	Sh6	30(A2)			105.0	45.0	±75	O.K
P3 (A2)	Sh1	15(A2)	25.1	4.6	90.0	60.0	±75	O.K
	Sh2	10(A2)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh3	10(A2)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh4	10(A2)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh5	10(A2)			85.0	65.0	±75	O.K
	Sh6	10(A2)			85.0	65.0	±75	O.K
P4		고 정 단						
P5		고 정 단						
A2	Sh1	3(A1)	25.1	4.6	78.0	72.0	±75	O.K
	Sh2	0(A1)			75.0	75.0	±75	O.K
	Sh3	5(A1)			80.0	70.0	±75	O.K
	Sh4	0(A1)			75.0	75.0	±75	O.K
	Sh5	0(A1)			75.0	75.0	±75	O.K
	Sh6	2(A1)			77.0	73.0	±75	O.K
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K								

마. 기 진단(2018년) 결과와 비교・분석

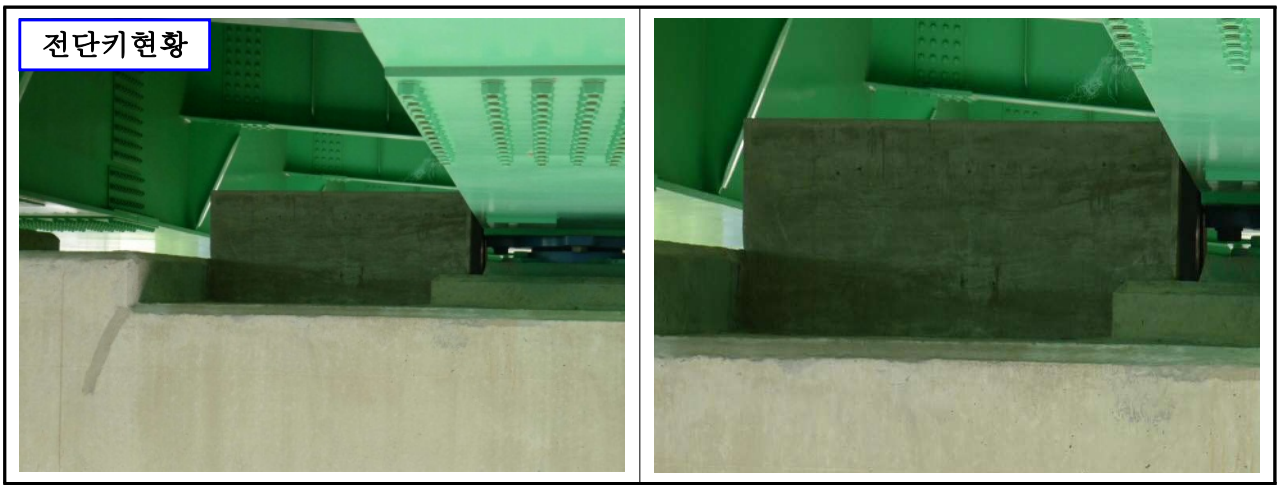
- 기 진단(18년) 점검결과 비교시, 받침콘크리트 박락, 받침콘크리트 재료분리 손상물량이 증가하였으며, 상기 손상은 금회 상세조사에 의해 확인된 것으로 판단된다.
- 보수・보강 이력 및 현장조사 결과, 기 진단 이후 “구조물 정밀안전진단 및 점검 보수공사, 2019.09.18.~12.31”를 통해 교량받침 대해 표면보수 및 재도장 보수를 실시한 것으로 조사되었으며, 현장조사 결과 보수불량에 따른 재손상이 발생하지 않은 비교적 양호한 상태로 확인되었다.

공사세부내역

공사부위/부재	세부위치	보수보강공법	수량	단위	공사비(천원)
거더	내부	볼트 재체결	6	EA	35
교량받침		표면처리공법	0.73	㎡	37
교량받침		재도장(부분, 전면 등)	3.49	㎡	235
교대		표면처리공법	0.8	㎡	41
교각		표면처리공법	2.5	㎡	142
교각		주입보수	0.3	㎡	118

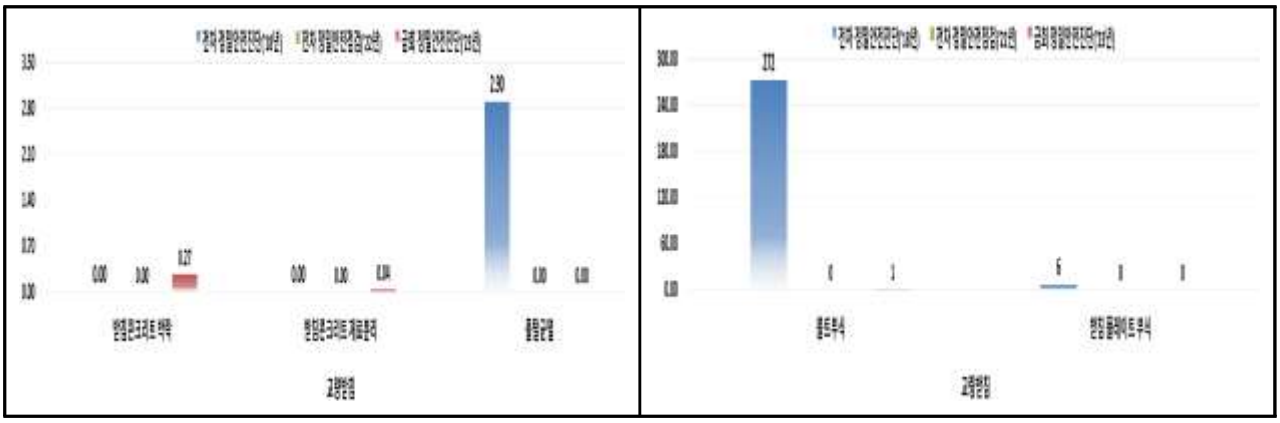
수정요청 결재이력 목록

- 또한 “2020년 경남본부 관내 교량 내진보강 및 성능개량공사를 통해 P1 교량받침 사이에 콘크리트 전단키가 설치된 것으로 확인되었다.



【표 3.78】교량받침 기 진단과의 결과 비교(울산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
받침콘크리트 박락	㎡	-	-	0.27	▲ 0.27
받침콘크리트 재료분리	㎡	-	-	0.04	▲ 0.04
볼트부식	개소	272	-	1	▼ 271
몰탈균열	m	2.90	-	-	▼ 2.90
받침 플레이트 부식	개소	6	-	-	6



【그림 3.29】교량받침 기 점검 결과와의 비교(울산)

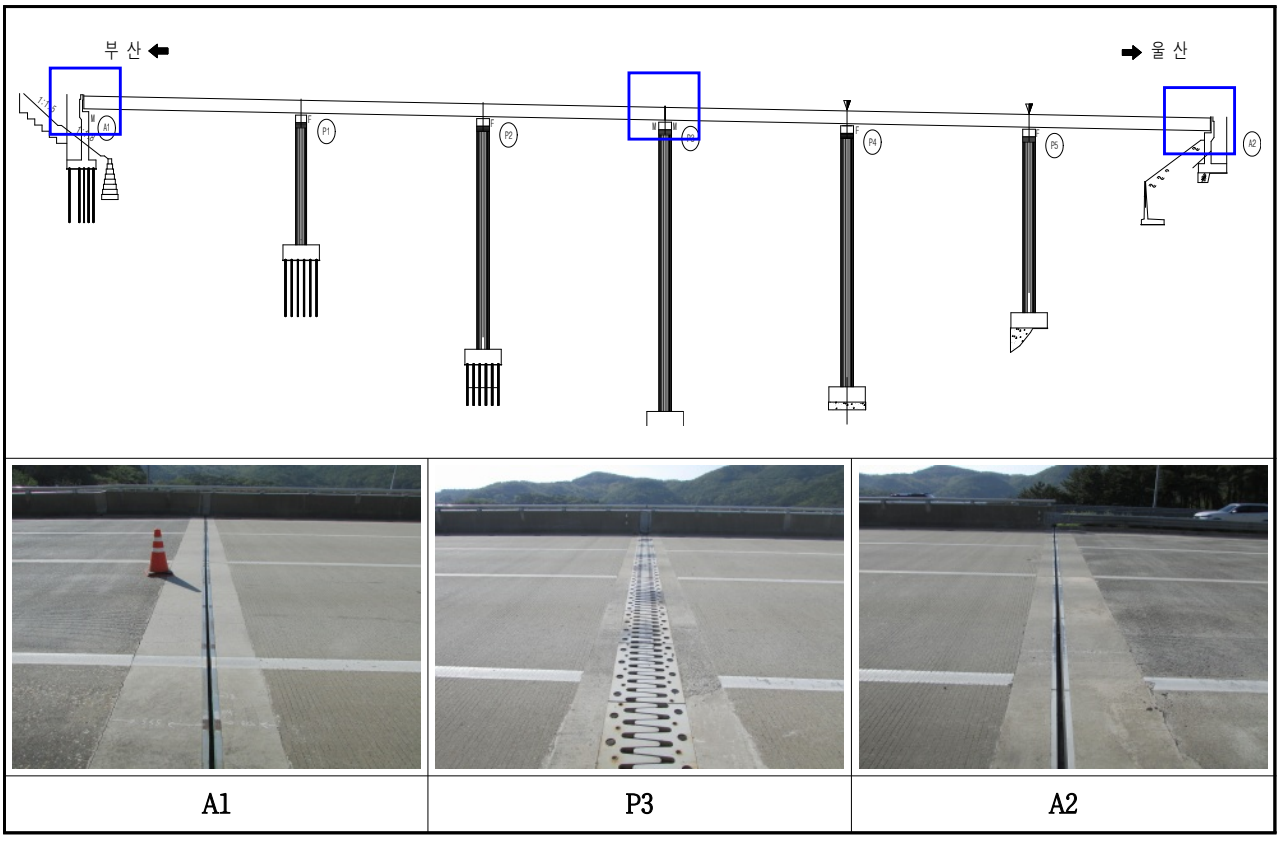
바. 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 앵커볼트 부식은 금회 1개소 신규조사된 것으로 신축이음 하부 누수 및 우수유입, 공용년수 증가에 따른 노후화 손상으로 손상이 부식 정도가 경미하여 부재의 제 기능에는 문제가 없을 것으로 보이나, 지속적인 열화발생시 기능성 저하가 우려됨에 따라 재도장을 통한 보수가 바람직할 것으로 판단된다.
- 받침콘크리트 박락 및 재료분리는 시공시 다짐미흡과 품질관리 미흡, 콘크리트 재료적 성질 등에 의해 발생한 것으로 발생규모는 경미하나 내구성 저하 방지를 위해 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3.3.5 신축이음장치

가. 개요

- 신축이음은 대기 온도변화에 의한 교량 상부구조의 수축과 팽창, 콘크리트의 재령에 의한 CREEP, 건조수축 및 활하중에 의한 이동과 회전등의 변위 및 변형을 원활하게 하여 2차응력을 줄이고 교면의 평탄성을 유지시켜 주는 역할과 교면수와 오물이 교량 하부구조로 흘러들어가는 것을 방지하여 콘크리트가 부식되지 않도록 하는 기능을 수행하는 중요한 부재이다.
- 신축이음장치는 총 3개소(A1, A2, P3)에 설치되어 있으며, Rail Joint(A1, A2), Finger Joint(P3)로 시공되어 있다. 또한 준공도면 및 교체이력을 확인한 결과, 설계유간은 No.100(A1), No.150(P3), No.100(A2)인 것으로 확인되었다.



【그림 3.30】신축이음장치 전경 및 배치도

나. 외관조사 결과

- 신축이음장치에 대한 외관조사 결과, 신축이음장치 3개소 모두 유간 토사퇴적이 조사되었고, 후타재는 콘크리트의 경우 주행차량의 충격하중 및 재료적 특성에 의한 균열이 일부 종방향 형태로 발생한 것으로 확인되었으며, 후타재 마모 또한 경미한 규모로 발생하였다. 차수판의 경우 신축이음장치 3개소에서 볼트탈락과 Exp.J1(A1)에서 차수판 덮개파손이 조사되었다.

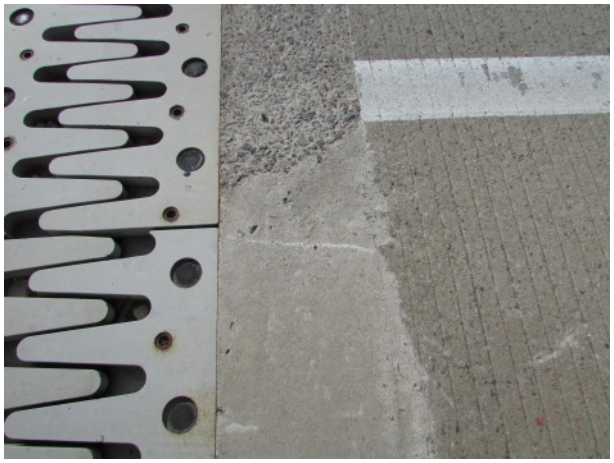
- 온도변화에 따른 신축여유량 검토결과, Exp.J1(A1), J2(P2), J3(A2)는 설계온도(40.0℃)에 대한 신장여유량을 확보하고 있는 것으로 측정되었다.

【표 3.79】신축이음장치 외관조사 결과(울산)

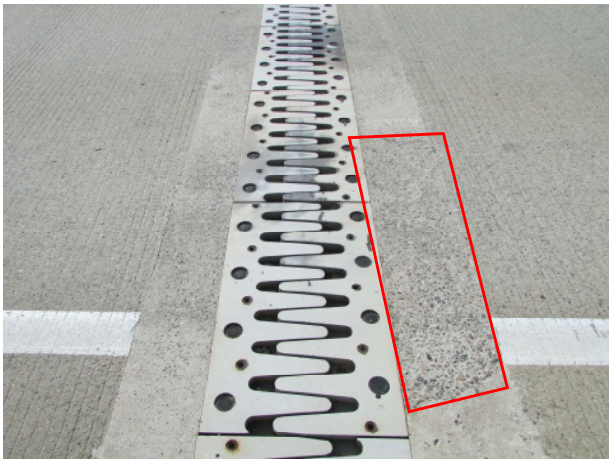
구 분	후타재 균열 (m/개소)	후타재 마모 (㎡/개소)	유간 토사퇴적 (m/개소)	차수판 볼트탈락 (개소/개소)	차수판 덮개파손 (개소/개소)	비고
A1	11.60/23	-	4.50/3	8/8	1/1	
P3	0.70/2	2.10/2	2.20/2	5/5	-	
A2	5.00/10	-	2.00/2	5/5	-	
합 계	**17.30/35**	**2.10/2**	**8.70/7**	**18/18**	**1/1**	

EXP.J1(A1) 후타재 균열(Cw=0.2mm/L=0.6m)

EXP.J3(A2) 후타재 균열(Cw=0.2mm/L=0.5m, 10개소)



EXP.J2(P3) 후타재 균열(Cw=0.2/L=0.4m)



EXP.J3(A2) 후타재 마모(A=0.3m×3.5m=2.10㎡)

【사진 3.47】신축이음장치 손상현황(울산)

EXP.J3(A2) 유간토사퇴적(L=1.0m)	EXP.J2(P3) 유간토사퇴적(L=1.0m)
EXP.J1(A1) 차수판 볼트탈락(4개소)	EXP.J2(P3) 차수판 볼트탈락
EXP.J2(P3) 차수판 볼트탈락	EXP.J1(A1) 차수판 덮개파손(1개소)

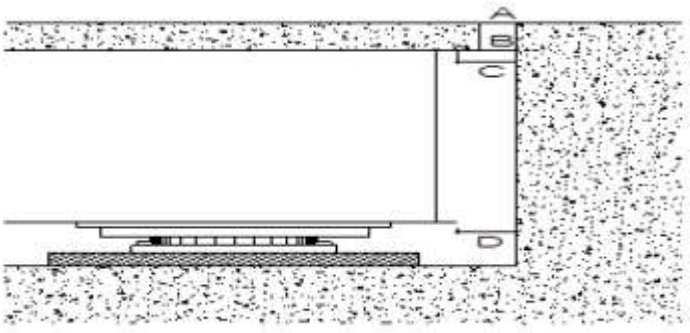
【사진 3.47】 신축이음장치 손상현황(울산)(계속)

다. 신축이음 신축거동상태 검토

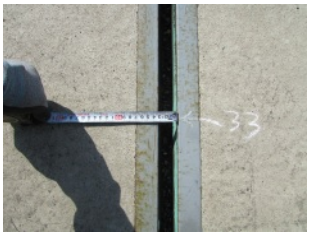
1) 온도변화에 따른 가동상태 검토

- 본 교량의 신축거동 상태를 확인하기 위해 2회(1차13.3℃(4월 26일), 2차:29.6℃(8월 2일))에 걸쳐 신축이음장치, 바닥판, 거더 상·하부에 대해서 유간을 측정하였고, 이론 변동량과의 비교를 통해 신축거동 상태를 검토하였다. 또한, 측정된 유간으로부터 최대 온도 상승 시 신장량과 최저 온도 하강 시 수축량을 계산하여 유간확보 여부를 검토하였다.

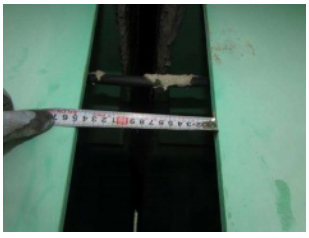
① 신축이음 유간 측정방법



< 측정 개요도 >


신축이음장치 유간 - A

바닥판 슬래브 유간 - B


거더 상부 유간 - C

거더 하부 유간 - D

② 신축이음 유간 측정결과

【표 3.80】 신축이음 유간 측정결과(울산)

측정위치	측 정 값(㎜)								비 고
	신축이음장치(A)		바닥판(B)		거더 상부(C)		거더 하부(D)		
	1차	2차	1차	2차	1차	2차	1차	2차	
EXP.J1(A1)	33.0	20.0	90.0	70.0	120.0	145.0	155.0	90.0	Rail Joint
EXP.J2(P3)	76.0	48.0	57.0	50.0	160.0	155.0	140.0	135.0	Rail Joint
EXP.J3(A2)	57.0	40.0	80.0	45.0	80.0	65.0	165.0	155.0	Finger Joint

- 4월(13.3℃)과 8월(29.6℃)의 온도 변화에 따른 변동량 측정결과, 신축이음장치 모두 가동량이 이론 변동량과 유사한 경향으로 가동하는 것으로 나타나 원활한 신축거동을 하고 있는 것으로 평가되었다.

【표 3.81】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동상태 검토결과(울산)

측정위치		측정유간(㎜)		변동량(㎜)		비 고
		1차	2차	실측치	이론치	
EXP.J1(A1)	신축이음장치	33.0	20.0	13.0	11.7	1차 : 13.3℃ 2차 : 29.6℃ 온도차 : 16.3℃
	바닥판 단부	90.0	70.0	20.0		
EXP.J2(P3)	신축이음장치	76.0	48.0	28.0	19.6	
	바닥판 단부	57.0	50.0	7.0		
EXP.J3(A2)	신축이음장치	57.0	40.0	17.0	9.8	
	바닥판 단부	80.0	45.0	35.0		

2) 설계기준온도(-10℃ ~ 40℃)에 따른 여유량 검토(1차 조사)

- 신축이음 및 바닥판의 실측 유간을 계산 이동량과 비교·검토한 결과, EXP.J1(A1), J2(P3), J3(A2) 설계온도 최대(40.0℃:강교)시 신장여유량을 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.82】 신축이음 신축이동량(설계기준 온도) 산정(1차 조사)(울산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축 거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	계산 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
EXP.J1(A1)	23.3	26.7	1.2×10^{-5}	60.0	16.8	19.2	-	16.8	19.2
EXP.J2(P3)	23.3	26.7	1.2×10^{-5}	100.0	28.0	32.0	11.11	39.1	32.0
EXP.J3(A2)	23.3	26.7	1.2×10^{-5}	50.0	14.0	16.0	-	14.0	16.0

1) 1차조사 당시 온도 : 13.3℃(조사일 : 2023년 4월 26일, 평균온도)
2) 검토온도 : -10℃ ~ 40℃(보통지방/강교)
3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(수축시에만 고려)

【표 3.83】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(설계기준 온도) 검토결과(1차 조사)(울산)

구 분		계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량(㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
EXP.J1 (A1)	신축이음장치	16.8	19.2	33.0	100.0	50.2	13.8	O.K
	바닥판 단부			90.0	-	-	70.8	O.K
EXP.J2 (P3)	신축이음장치	39.1	32.0	76.0	150.0	34.9	44.0	O.K
	바닥판 단부			57.0		-	25.0	O.K
EXP.J3 (A2)	신축이음장치	14.0	16.0	57.0	100.0	29.0	41.0	O.K
	바닥판 단부			80.0	-	-	64.0	O.K

주1) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K

3) 기상청 통계자료에 따른 이동량 검토(1차 조사)

기상청 통계자료	• 최근 10년간 부산(기상관측소) 자료 참조 • 최근 10년간 최저기온 : -12.2℃(측정일시 : 2021년 01월 08일) • 최근 10년간 최고기온 : 37.3℃(측정일시 : 2016년 08월 14일)

- 진단주기를 감안하여 최근 10년간 부산(기상관측소)의 최저, 최대온도를 분석하여 이에 따른 신축이음장치의 가동여유량 평가를 실시하였다.
- 최근 10년간 기상청 통계자료를 이용한 신축이음의 이동량을 검토한 결과, Exp.J1(A1), J2(P3), J3(A2)에서 관측온도 최대시, 신장여유량을 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.84】 신축이음 신축이동량(기상청 통계) 산정(1차 조사)(울산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축 거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	계산 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
EXP.J1(A1)	25.5	24.4	1.2×10^{-5}	60.0	18.4	17.3	-	18.4	17.3
EXP.J2(P3)	25.5	24.4	1.2×10^{-5}	100.0	30.6	28.8	11.11	41.7	28.8
EXP.J3(A2)	25.5	24.4	1.2×10^{-5}	50.0	15.3	14.4	-	15.3	14.4

1) 1차조사 당시 온도 : 13.3℃(조사일 : 2023년 4월 26일, 평균온도)
2) 검토온도 : -12.2℃ ~ 37.3℃(기상청 통계자료)
3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(수축시에만 고려)

【표 3.85】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(기상청 통계자료) 검토결과(1차 조사)(울산)

구 분		계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량(㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
EXP.J1 (A1)	신축이음장치	18.4	17.3	33.0	100.0	48.6	15.7	O.K
	바닥판 단부			90.0	-	-	72.7	O.K
EXP.J2 (P3)	신축이음장치	41.7	28.8	76.0	150.0	32.3	47.2	O.K
	바닥판 단부			57.0		-	28.2	O.K
EXP.J3 (A2)	신축이음장치	15.3	14.4	57.0	100.0	27.7	42.6	O.K
	바닥판 단부			80.0	-	-	65.6	O.K

주1) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K

4) 설계기준온도(-10℃ ~ 40℃)에 따른 여유량 검토(2차 조사)

- 신축이음 및 바닥판의 실측 유간을 계산 이동량과 비교·검토한 결과, EXP.J1(A1), J2(P3), J3(A2) 설계온도 최대(40.0℃:강교)시 신장여유량을 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.86】 신축이음 신축이동량(설계기준 온도) 산정(2차 조사)(울산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축 거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	계산 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
EXP.J1(A1)	39.6	10.4	1.2×10^{-5}	60.0	28.5	7.5	-	28.5	7.5
EXP.J2(P3)	39.6	10.4	1.2×10^{-5}	100.0	47.5	12.5	11.11	58.6	12.5
EXP.J3(A2)	39.6	10.4	1.2×10^{-5}	50.0	23.8	6.2	-	23.8	6.2

1) 2차조사 당시 온도 : 29.6℃(조사일 : 2023년 8월 2일, 평균온도)
2) 검토온도 : -10℃ ~ 40℃(보통지방/강교)
3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(수축시에만 고려)

【표 3.87】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(설계기준 온도) 검토결과(2차 조사)(울산)

구 분		계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량(㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
EXP.J1 (A1)	신축이음장치	28.5	7.5	20.0	100.0	51.5	12.5	O.K
	바닥판 단부			70.0	-	-	62.5	O.K
EXP.J2 (P3)	신축이음장치	58.6	12.5	48.0	150.0	43.4	35.5	O.K
	바닥판 단부			50.0		-	37.5	O.K
EXP.J3 (A2)	신축이음장치	23.8	6.2	40.0	100.0	36.2	33.8	O.K
	바닥판 단부			45.0	-	-	38.8	O.K

주1) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K

5) 기상청 통계자료에 따른 이동량 검토(2차 조사)

기상청 통계자료	• 최근 10년간 부산(기상관측소) 자료 참조 • 최근 10년간 최저기온 : -12.2℃(측정일시 : 2021년 01월 08일) • 최근 10년간 최고기온 : 37.3℃(측정일시 : 2016년 08월 14일)

- 진단주기를 감안하여 최근 10년간 부산(기상관측소)의 최저, 최대온도를 분석하여 이에 따른 신축이음장치의 가동여유량 평가를 실시하였다.
- 최근 10년간 기상청 통계자료를 이용한 신축이음의 이동량을 검토한 결과, Exp.J1(A1), J2(P3), J3(A2)에서 관측온도 최대시, 신장여유량을 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

【표 3.88】 신축이음 신축이동량(기상청 통계) 산정(2차 조사)(울산)

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창계수 (α)	신축거더 길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량 (㎜)	계산 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
EXP.J1(A1)	41.8	7.7	1.2×10^{-5}	60.0	30.1	5.5	-	30.1	5.5
EXP.J2(P3)	41.8	7.7	1.2×10^{-5}	100.0	50.2	9.2	11.11	61.3	9.2
EXP.J3(A2)	41.8	7.7	1.2×10^{-5}	50.0	25.1	4.6	-	25.1	4.6

1) 2차조사 당시 온도 : 29.6℃(조사일 : 2023년 8월 2일, 평균온도)
2) 검토온도 : -12.2℃ ~ 37.3℃(기상청 통계자료)
3) 활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(수축시에만 고려)

【표 3.89】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량(기상청 통계자료) 검토결과(2차 조사)(울산)

구 분		계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량(㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
		최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
EXP.J1 (A1)	신축이음장치	30.1	5.5	20.0	100.0	49.9	14.5	O.K
	바닥판 단부			70.0	-	-	64.5	O.K
EXP.J2 (P3)	신축이음장치	61.3	9.2	48.0	150.0	40.7	38.8	O.K
	바닥판 단부			50.0		-	40.8	O.K
EXP.J3 (A2)	신축이음장치	25.1	4.6	40.0	100.0	34.9	35.4	O.K
	바닥판 단부			45.0	-	-	40.4	O.K

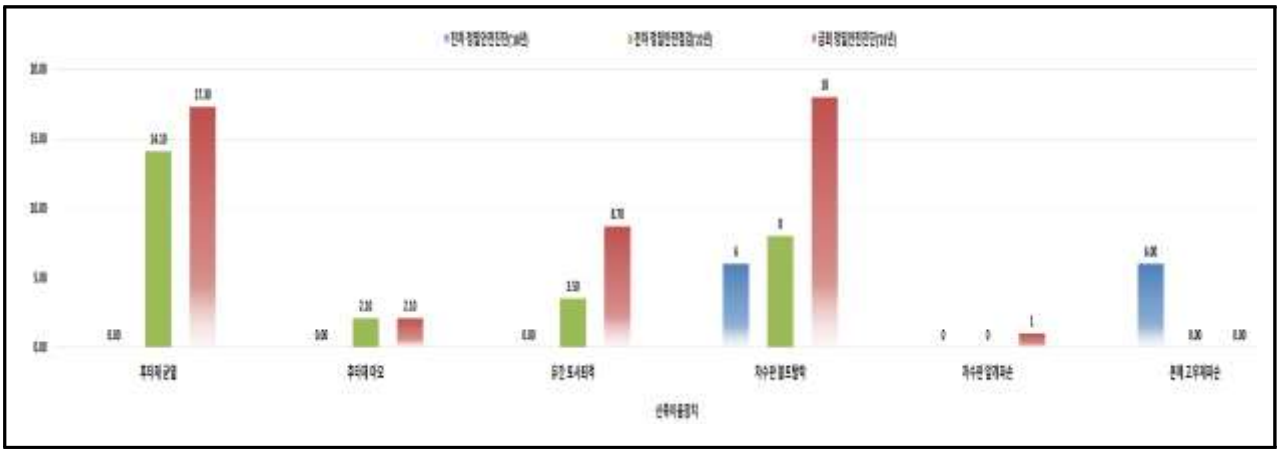
주1) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K

라. 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석

- 기 진단(18년)시 교대 A1, A2의 신축이음장치(ExpJ1, ExpJ3)의 교체 및 차수판이 재설치된 것으로 확인되었으며, 금회 후타재 균열 및 유간 토사퇴적, 차수판 볼트탈락 등이 추가로 조사되었다. 또한 본체 고무재파손이 보수되어 신축이음장치에 전반적인 손상물량의 증・감이 발생한 것으로 분석되었다.

【표 3.90】 신축이음장치 기 진단 결과와의 비교(울산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
후타재 균열	m	-	14.10	17.30	▲ 17.30
후타재 마모	㎡	-	2.10	2.10	▲ 2.10
유간 토사퇴적	m	-	3.50	8.70	▲ 8.70
차수판 볼트탈락	개소	6	8	18	▲ 12
차수판 덮개파손	개소	-	-	1	▲ 1
본체 고무재파손	m	6.00	-	-	▼ 6.00



【그림 3.31】 신축이음장치 기 진단 결과와의 비교(울산)

마. 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 후타재 콘크리트에서 발생된 균열은 차량반복하중에 의한 피로균열로서 신축이음장치 ExpJ1(A1), ExpJ2(P3), ExpJ3(A2)에 전개소 일부 구간에 걸쳐 발생된 것으로 확인되었다.

- 후타재 균열에 의한 차량 주행성에는 이상이 없는 것으로 판단되며, 대부분 폭 0.2㎜ 이내의 미세균열로 즉각적인 보수조치 보다는 지속적인 관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다. 다만 손상확대 및 진전 시 보수가 필요하며, 진전없는 유사한 형태를 유지할 시 향후 신축이음장치 보수 및 교체 시 함께 보수를 실시하는 것이 효율적인 것으로 판단된다.
- 후타재 마모는 ExpJ2(P3)에서 1개소 조사되었으며, 후타재 차량통행에 의한 반복하중, 외기노출, 우수접촉 등에 의해 발생한 것으로 발생규모는 경미한 것으로 확인되었다. 해당 손상 또한 균열과 마찬가지로 즉각적인 보수조치 보다는 지속적인 관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단되며, 진전시에는 보수를, 진전없는 유사한 형태를 유지할 시 향후 신축이음장치 보수 및 교체 시 함께 보수를 실시하는 것이 효율적인 것으로 판단된다.
- 신축이음장치에 발생한 유간 토사퇴적은 신축이음장치 전 개소(3개소) 일부구간에 걸쳐 발생하였으며, 공용년수 증가에 따른 이물질 유입이 주원인으로 현재 신축이음장치에 기능을 상실한 상태는 아니나, 원활한 유지관리를 위해 청소를 실시하여 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- 차수판 볼트탈락 및 차수덮개파손은 체결미흡 및 반복적인 차량진동, 공용년수 증가에 따른 실링재열화 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 차수판이 제 기능을 상실한 상태는 아니나, 차수판의 고정을 위해 보수계획에 맞춰 재체결을 실시하는 것이 바람직한 유지관리 방안일 것으로 판단된다.
- 만화교(울산) 교대 A1은 2018년 11월에 어스앵커 보강 및 거더절단, 신축이음교체, 교좌장치 수정을 시행한 상태이다. 따라서 매회 점검시 온도변화에 따른 신장시 유간협착에 대한 주의를 각별히 기울여야 하며, 지속적인 집중 주의관찰이 필요하다.

구분	신축이음 평가현황											
	2018년 정밀안전진단			2020년 정밀안전점검			2022년 정밀안전점검			금회		
	A1	A2	P3	A1	A2	P3	A1	A2	P3	A1	A2	P3
만화교 (울산)	OK	OK	OK	NG (수축)	OK	NG (수축)	NG (수축)	OK	NG (수축)	OK	OK	OK

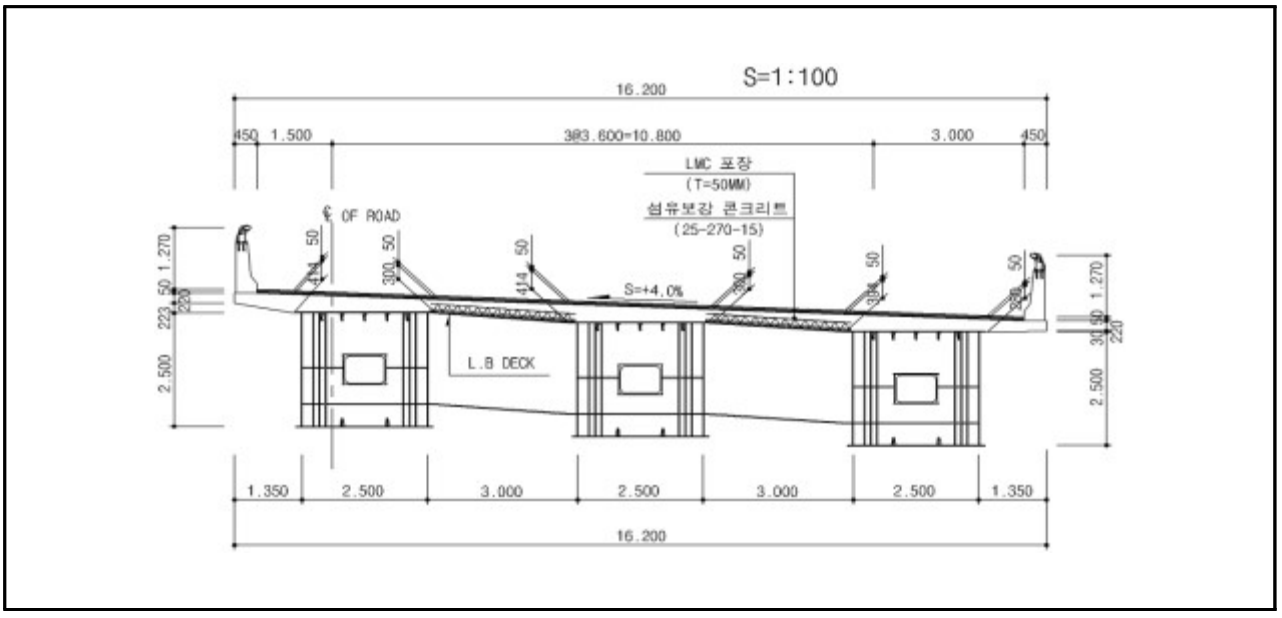
구분	만화교(울산)				
	신축이음 교체현황				
	2018년 기진단 완료 이전	2018년 정밀안전진단	2020년 정밀안전점검	2022년 정밀안전점검	금회
A1	monocell Joint	monocell Joint	Rail Joint(교체)	Rail Joint	Rail Joint
A2	monocell Joint	monocell Joint	Rail Joint(교체)	Rail Joint	Rail Joint
P3	monocell Joint	monocell Joint	Steel Finger Joint (교체)	Steel Finger Joint	Steel Finger Joint

※ 교체이력 표시 기준은 다음회차 외관점검 기준이며, 실제로 교체된 일시는 “자료수집 및 분석” 편 및 기진단(2018년) 결과와의 비교・분석 참고

3.3.6 교면포장

가. 개요

- 교면포장은 차량하중과 운행 중 발생되는 충격과 진동을 흡수・분산하고 외부의 불리한 환경조건으로부터 바닥판을 보호하며 주행차량의 안전운행 및 쾌적한 주행성을 제공하는 부재로서, 대상교량의 폭은 16.2m, 편도 3차로 교량으로 LMC(T=50mm) 포장이 시공된 상태이며, 현장조사 결과, 공용중 주기적인 유지관리를 실시한 것으로 확인되었다. 금회 만화교(울산)의 교면포장은 차량이 운행중인 상태에서 최대한 접근이 가능한 범위까지 근접 육안조사를 상세히 실시하였다.



【사진 3.48】교면포장 전경 및 단면도(울산)

교면포장 전경(시점부)	교면포장 전경(종점부)

【사진 3.48】교면포장 전경 및 단면도(울산)(계속)

나. 외관조사 결과

- 교면포장에 대한 외관조사 결과, 통행차량의 운행성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않은 전반적으로 양호한 상태이며, 주요손상으로 포장균열 및 LMC포장 파손이 국부적으로 조사되었다.

【표 3.91】교면포장 외관조사 결과(울산)

구 분	포장균열 (m/개소)	LMC포장 파손 (㎡/개소)	비고
S1	-	-	
S2	-	-	
S3	-	0.04/1	
S4	-	-	
S5	2.20/1	-	
S6		-	
합 계	2.20/1	0.04/1	

S3 포장균열(Cw=0.3mm/L=2.2m)	S3 LMC 포장파손(A=0.2m×0.2m=0.04㎡)

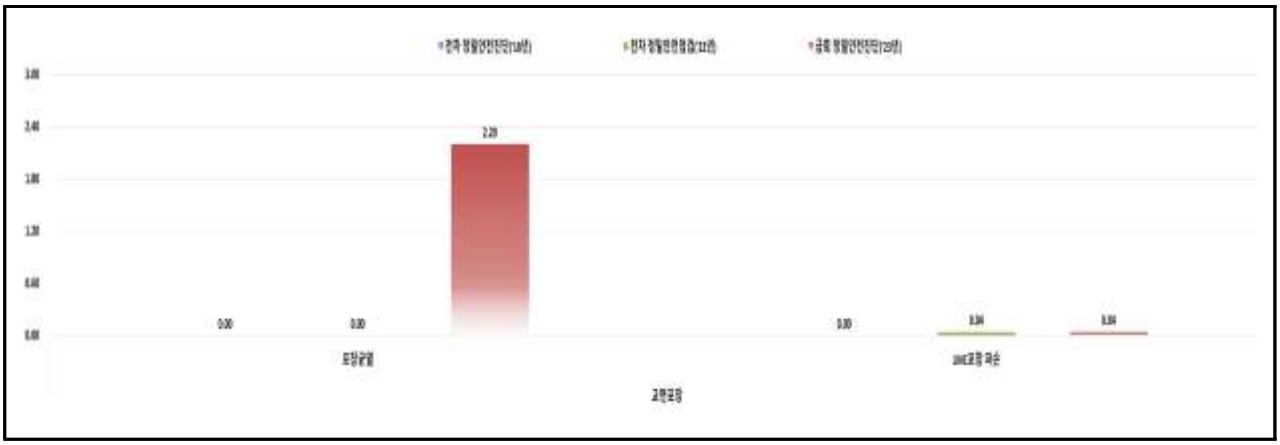
【사진 3.49】교면포장 손상현황(울산)

다. 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석

- 교면포장에 대한 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석 결과, 금회 교면차로에서 조사된 포장균열 및 기 진단이후 정밀점검시 조사된 LMC포장 파손으로 인해 교면포장에 대한 전반적인 손상물량이 소폭 증가한 것으로 분석되었다.

【표 3.92】교면포장 기 진단 결과와의 비교(울산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
포장균열	m	-	-	2.20	▲ 2.20
LMC포장 파손	㎡	-	0.04	0.04	▲ 0.04



【그림 3.32】교면포장 기 진단 결과와의 비교(울산)

라. 손상발생 원인분석 및 검토의견

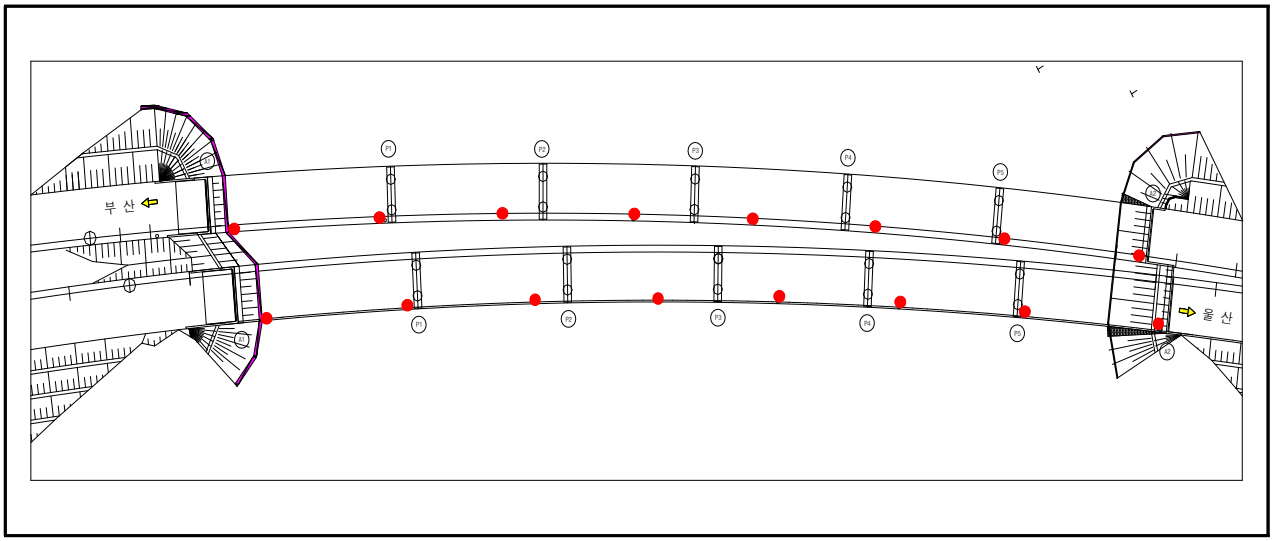
- LMC포장의 균열 및 파손은 시공초기 건조수축 및 온도변화, 공용중 통행 차량의 반복하중에 의해 빈번하게 발생되며, 균열의 경우, 차량의 주행에 미치는 영향 및 균열보수 시 보수효과가 작은 점, 동일위치로 바닥판 하면의 누수, 백태와 같은 2차 손상이 없는 점 등을 고려해 볼 때, 당장의 부분적 보수는 비효율적이라 판단된다. 따라서, 정기적인 점검을 통한 주의관찰을 실시하고, 향후 마모, 균열, 소성변형 등의 손상 확대 및 진전 시 일괄 보수를 실시함이 효율적일 것으로 판단된다.

3.3.7 기타부재

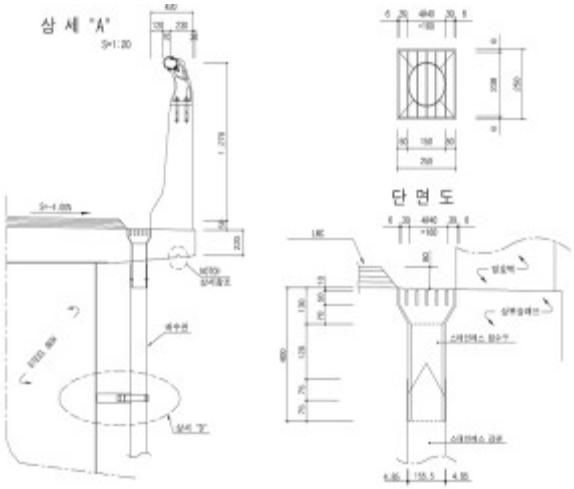
가. 배수시설

1) 개요

- 배수시설은 우수 유입에 따른 교면의 체수 및 열화를 예방하기 위해 종단구배 -1.3923%, 횡단구배 -4.000%~+4.000%로 물흐름에 의거하여 경간별 1~2개소씩 총 8개소가 교면포장의 우측(A1기준)에 시공되어 있다. 각각의 경간 상부에 설치된 집수구를 통하여 STEEL Pipe(φ150㎜) 배수관을 따라 하부로 배수되도록 설치되어 있으며, 배수구 상단에는 관내의 이물질 유입을 방지하기 위한 그레이팅 덮개가 설치되어 있다.
- STEEL Pipe(φ150) 배수관은 바람 등에 의해 이동, 탈락되는 것을 방지하기 위하여 상·하부구조에 고정하여 설치되어 있고 배수관은 교대 및 교각 하면에 위치한 배수로까지 연장하여 배수관을 통한 우수유출로 인해 발생될 수 있는 침식 및 세굴을 방지하였다.



【그림 3.33】 배수시설 위치도(울산)

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>배수구 전경</td><td>상부 배수관 전경</td></tr>
<tr><td> </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>하부 배수관 전경</td><td>배수구 및 배수관 상세도</td></tr>
</table>

【사진 3.50】배수시설 전경(울산)

2) 외관조사 결과

- 배수시설에 대한 외관조사 결과, 육교형 배수관의 지지 및 체결상태는 전반적으로 양호한 것으로 확인되었으나, S3경간에서 배수관 연결고리 부식 1개소, S4경간에서 배수관 고정대 탈락이 1개소 조사되었다.
- 또한 교면부에 설치된 배수구는 정상적으로 설치되어 있는 것으로 조사되었으며, 배수구 막힘이 S1경간에서 1개소 확인되었고, 배수구 막힘에 의해 노면체수 등의 2차손상은 발생하지 않은 상태이다.

【표 3.93】배수시설 외관조사 결과(울산)

구 분	배수구 막힘 (개소/개소)	배수관 연결고리 부식 (개소/개소)	배수관 고정대 탈락 (개소/개소)	비고
S1	1/1	-	-	
S2	-	-	-	
S3	-	5/5	-	
S4	-	-	1/1	
S5	-	-	-	
S6	-	-	-	
합 계	**1/1**	**5/5**	**1/1**	

S1 배수구 박힘(1개소)

S3 배수관 연결고리 부식(1개소)

S4 배수관 고정대 탈락(1개소)

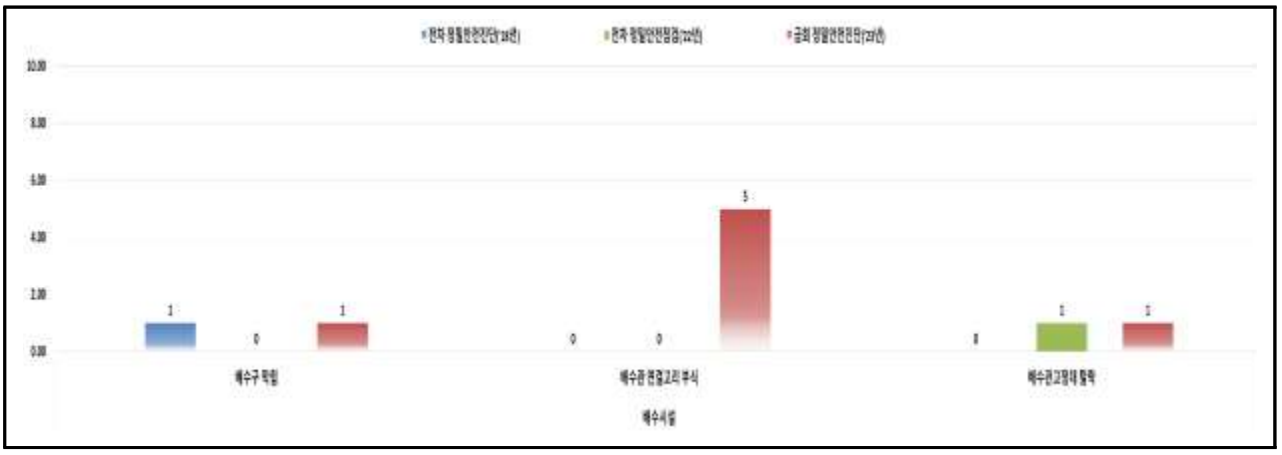
【사진 3.51】배수시설 손상현황(울산)

3) 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석

- 기 진단(18년) 실시이후, 배수시설에 대한 별도의 보수는 실시되지 않은 것으로 확인되었으며, 금회 배수구 막힘 1개소, 배수관 연결고리 부식 5개소, 기 진단이후 배수관 고정대 탈락 1개소가 조사되어 배수시설에 전반적인 손상물량이 소폭 증가한 것으로 분석되었다.

【표 3.94】배수시설 기 진단 결과와의 비교(울산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
배수구 막힘	개소	1	-	1	- -
배수관 연결고리 부식	개소	-	-	5	▲ 5
배수관고정대 탈락	개소	-	1	1	▲ 1



【그림 3.34】배수시설 기 진단 결과와의 비교(울산)

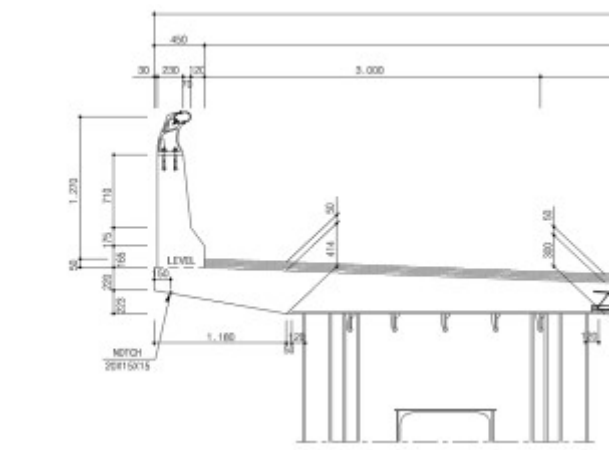
4) 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 배수구 막힘은 배수구 상단부로 차량통행 및 작업 등에 의해 토사를 비롯한 이물질이 쌓여 있는 상태로 조사되었으며, 배수구 막힘에 의해 배수 영향이나, 교면내 체수 등 2차 손상은 발생하지 않은 비교적 경미한 상태이다. 다만, 원활한 배수를 위해 주기적인 청소가 필요할 것으로 판단된다.
- 배수관 연결고리 부식은 S3경간에서 조사되었으며, 외기노출 및 우수접촉 등에 의해 발생한 것으로 연결고리 부식에 의해 배수관 고정상태가 불량한 것은 아닌 것으로 확인되었으나, 부식 진전으로 인한 배수관 고정상태 불량 등을 야기할수 있으므로 배수관 고정을 위해 보수계획에 맞춰 연결고리를 교체하여 유지관리함이 바람직할 것으로 판단된다.
- 배수관 고정대 탈락 손상은 S3경간 육교형 배수관에서 조사되었으며, 공용중 노후화 및 설치미흡에 의해 탈락된 것으로 판단된다. 향후 반복적인 차량통행에 의한 차량진동, 풍향 등의 영향으로 배수관 고정이 불량해질 수 있으므로 보수계획에 맞춰 배수관 고정대 재설치하여 유지관리함이 바람직할 것으로 판단된다.

나. 난간 및 연석(방호벽)

1) 개요

- 교면상부 좌·우측에 통행차량의 차도 이탈방지, 사고 시 완충작용 등을 위하여 철근콘크리트 방호벽(h=1.08m)이 시공되어 있으며, 좌측 방호벽 상단은 알루미늄 난간(H=0.27m)이 설치되어 있는 것으로 확인되었다. 또한, 차량충돌에 의한 파손 및 재료적인 열화가 발생될 경우 주행차량의 불안감 및 차량충돌시 안전성 미확보가 우려되므로 주의깊게 점검을 실시하였다.

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>시점부 방호벽 전경</td><td>종점부 중앙분리대 전경</td></tr>
<tr><td> </td><td>  </td></tr>
<tr><td>종점부 방호벽 전경</td><td>방호벽 단면도</td></tr>
</table>

【사진 3.52】 난간 및 연석(방호벽) 전경(울산)

2) 외관조사 결과

- 난간 및 연석(방호벽)에 대한 외관조사 결과, 사용성과 기능성 및 급격한 내구성을 저하시키는 손상은 발생하지 않은 것으로 확인되었으며, 방호벽 전면부로 경미한 파손이 1개소 조사되었고, 기 진단 이후 정밀점검시 조사된 단차 1개소가 방호벽 상단부에 진전없는 상태로 확인되었다.

【표 3.95】 난간 및 연석(방호벽) 외관조사 결과(울산)

구 분	파손 (㎡/개소)	단차 (개소/개소)	비고
S1	-	1/1	
S2	-	-	
S3	-	-	
S4	-	-	
S5	-	-	
S6	0.09/1	-	
합 계	**0.09/1**	**1/1**	

S6 파손(A=0.3m×0.3m=0.09㎡)

S1 단차(h=55mm)

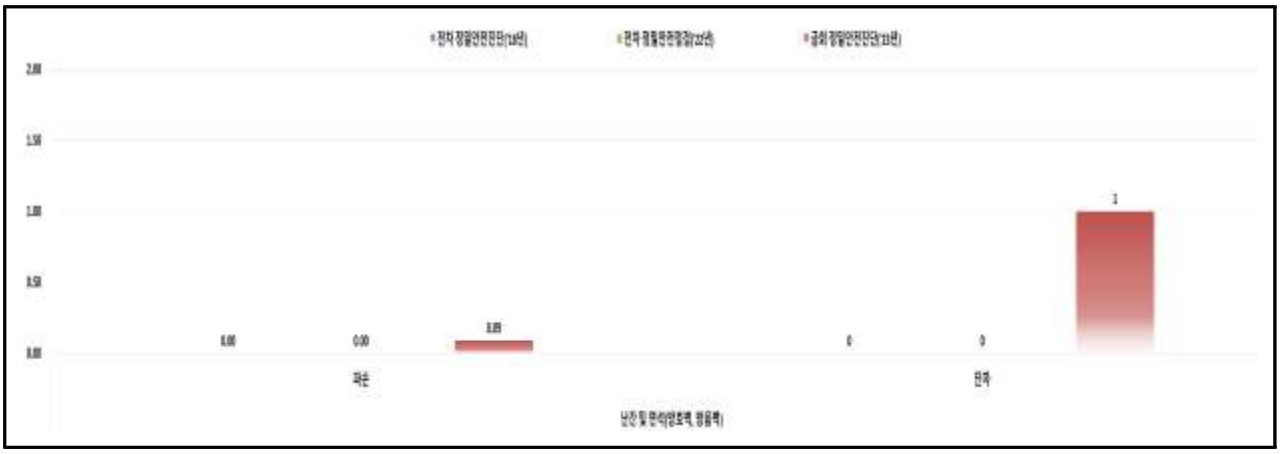
【사진 3.53】 난간 및 연석(방호벽) 손상현황(울산)

3) 기 진단(2018년) 결과와의 비교・분석

- 금회 파손 손상이 추가 조사되었으며, 기 진단이후 손상물량에는 제외되어 있으나, 기 정밀점검시 단차가 1개소 조사된 것으로 확인되었다. 파손 및 단차의 추가조사로 인해 난간 및 연석(방호벽)에 손상물량은 소폭 증가한 것으로 분석되었다.

【표 3.96】 난간 및 연석(방호벽) 기 진단 결과와의 비교(울산)

구 분	단위	2018년 정밀안전진단	2022년 정밀안전점검	금회 정밀안전진단	비고
파손	㎡	-	-	0.09	▲ 0.09
단차	개소	-	-	1	▲ 1



【그림 3.35】 난간 및 연석(방호벽) 기 진단 결과와의 비교(울산)

4) 손상발생 원인분석 및 검토의견

- 난간 및 연석(방호벽)에 발생한 파손은 S6경간 신축이음부에서 발생하였으며, 전기공사 등 주름관 설치에 의한 인위적 손상으로 확인되었다. 손상규모는 비교적 경미하나, 파손에 의해 박락 등 2차손상이 진행되고 있는 점 등을 고려할 때, 탄산화 방지제 도포 등의 표면보수를 통해 유지관리하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.
- S1경간 신축이음부에서 조사된 단차는 접속부 다짐불량 등 공용년수 증가에 의한 우수침투 등에 인해 발생한 것으로 판단된다. 해당 손상에 의해 주변으로 파손, 박락 등의 2차손상이 발생하지 않았으며, 2020년 정밀점검시와 비교해 볼 때 진전 또한 미미한 상태로 확인되었다. 따라서 주기적인 점검을 통한 지속적인 주의관찰을 실시한 후 향후 진전시 보수계획을 세우는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

2020년 정밀점검 당시	금회

- 그 외 부착시설물은 양호한 것으로 조사되었다.

3.3.8 공중이 이용하는 부위

가. 개요

- 세부지침 개정('21. 12)으로 인해 "공중이 이용하는 부위"가 진단대상에 포함되었으며, 추락방지시설, 도로포장, 도로부 신축이음부, 환기구 등의 덮개가 공중이 이용하는 부위에 속한다. 추락방지시설(난간 및 연석), 도로포장, 도로부 신축이음부, 환기구 등의 덮개는 교량의 부재와 중복되어 해당부재에 조사결과를 기술하였고 추락방지시설 중에서 점검시설에 대한 조사결과는 본 절에 수록하였다.

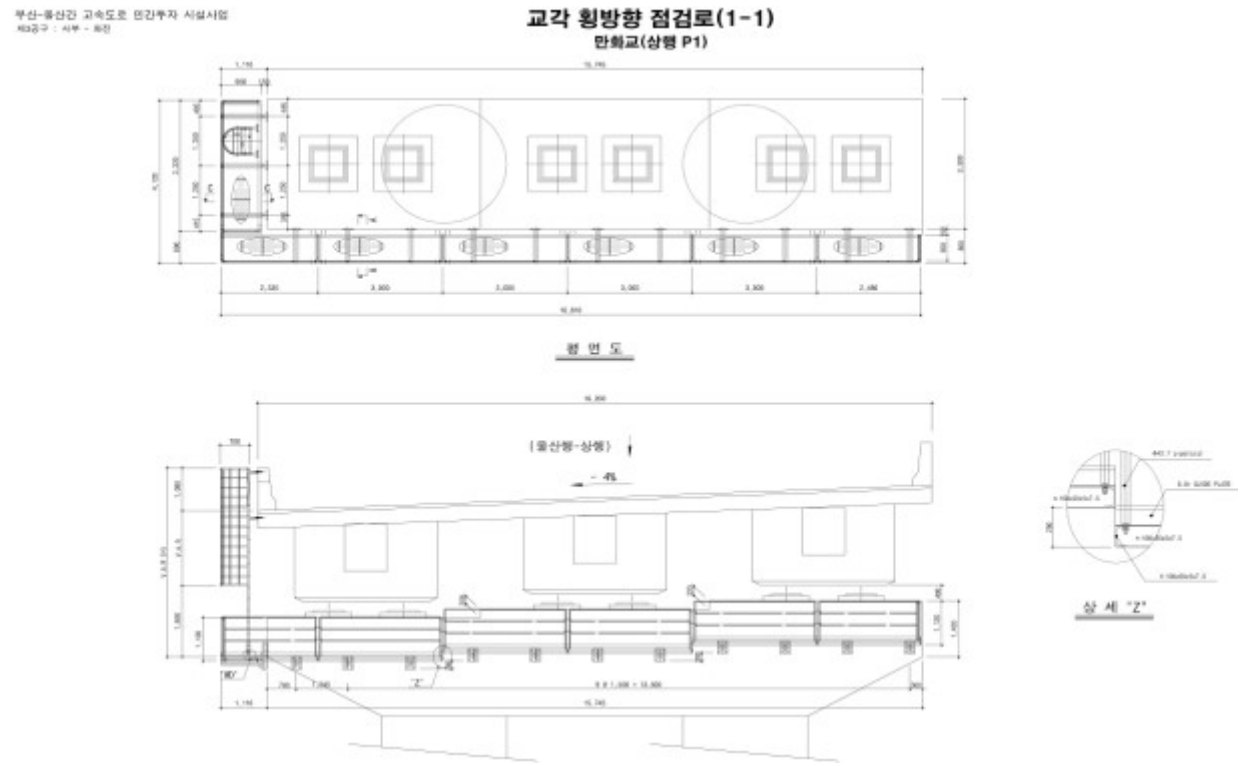
나. 추락방지시설(점검시설)

1) 개요

- 만화교(울산)의 고정식 점검시설은 교대 A1, 교각 P1~P5에 총 6개소가 설치되어 있으며 출입시설은 일반적인 수직형이 설치되어 있는 것으로 확인되었다. 또한, 교각에 설치된 점검통로는 지지브라켓으로 고정되어 있으며, 각 브라켓 당 Φ19 Set앵커 6개씩이 설치된 것으로 설계·시공된 것으로 확인되었다.
- 본 구조물의 추락방지시설은 난간 및 연석(방호벽), 점검시설이 해당되며, 전술한 바와 같이 방호벽은 교량부재의 중복으로 인해 해당내용은 상위절에 수록하였으므로, 본 장에는 점검시설에 대한 외관조사 결과를 수록하였다.
- 점검시설의 출입시설은 수직형 점검사다리가 설치되어 있으며, 금회 앵커매입 깊이, 용접상태 등 안전성과 결부된 손상발생 유무를 주안점으로 조사하였다.

【표 3.97】 고정식 점검시설 설치현황(울산)

구 분	점검시설 설치여부	점검시설 현황
A1	○	고정식 점검시설(점검통로)
P1	○	고정식 점검시설(점검통로)
P2	○	고정식 점검시설(점검통로)
P3	○	고정식 점검시설(점검통로)
P4	○	고정식 점검시설(점검통로)
P5	○	고정식 점검시설(점검통로)



점검시설 전경

점검시설 전경

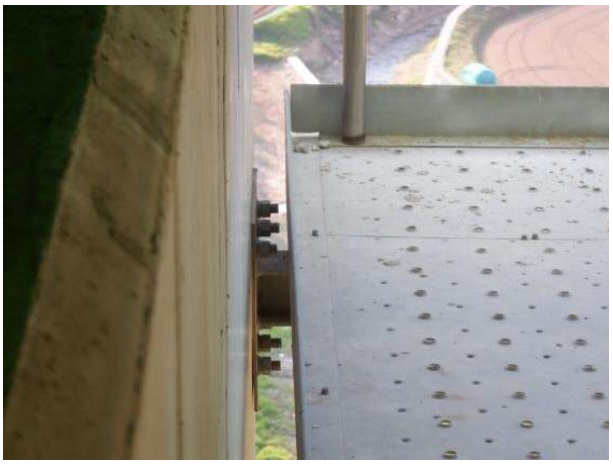
점검시설 볼트체결상태 전경

점검시설 제원 측정 전경

점검시설 제원 측정 전경

2) 외관조사 결과

- 점검시설 외관조사결과 구조물과의 결속상태, 부재간의 체결상태 등은 견고하게 설치된 것으로 조사되었으나, 공용년수 증가에 따른 차량진동 등에 의해 쇄정고리 파손과 너트탈락이 각각 1개소씩 조사되었다.

	
P3 쇄정고리 파손(1개소)	P3 너트탈락(1개소)

【사진 3.54】 점검시설 손상현황(울산)

3) 검토의견

- 금회진단결과 점검시설의 관리는 적절하게 이루어지고 있는 것으로 판단되며, 해당 손상들에 의한 보수가 필요하다.
- 또한 시설물 유지관리에 있어 작업자의 편의 및 안전사고 방지를 위해서는 해당시설물에 대한 주기적인 점검 및 일상적인 관리가 요구된다.

다. 도로포장

- 도로포장은 “교면포장”에 기술하였으며, 포장균열 및 LMC포장 파손이 1개소씩 발생하였다. 전반적으로 주행성에 영향을 미칠만한 손상정도는 아니나, 지속적인 주의관찰이 필요한 상태이다.

라. 도로부 신축이음부

- 도로부 신축이음부는 “신축이음장치”에 결과를 기술하였으며, 전반적으로 양호한 상태이나, 후타재 균열, 후타재 마모, 유간 토사퇴적의 손상이 발생한 상태로, 지속적인 주의관찰과 유간청소가 필요한 상태이다.

마. 환기구 등의 덮개

- 환기구 등의 덮개는 시설물의 출입구, 환기와 같은 시설물 유지관리 목적으로 보행자 또는 차량구간에 설치된 덮개를 말하며, 본 교량은 거더내부 출입문, 신축이음부 차수덮개판이 이에 해당된다. 따라서, 시설물의 출입문은 “상부구조” 에 기술하였으며, 차수덮개판은 “신축이음장치” 에 결과를 기술하였다. 금회 외관조사 결과, 출입문 손상은 조사되지 않았으나, 및 차수판 덮개파손 및 차수판 볼트탈락이 국부적으로 조사되었다. 차수판 덮개파손은 공용년수 증가에 따른 실링재열화 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 볼트 탈락은 체결미흡 및 차량통행에 따른 지속적인 진동발생에 의해 발생한 것으로 판단된다. 해당손상은 보수계획에 맞춰 재설치와 재체결을 실시한 후 지속적인 주의관찰이 필요하다.

3.3.9 교량의 공중이용시설 유해・위험요인(10대) 위험요소 점검결과

가. 개요

- 공중이용시설의 중대시민재해 유발 가능성이 높은 유해・위험요소를 선정하여 집중관리함으로써 국민의 안전을 도모한다.

【표 3.98】공중이용시설 10대 위험요소(울산)

구분	유해・위험요인	비고
낙하물	① 교각 코핑 콘크리트 탈락 ② 중분대 하면 콘크리트 낙하 ③ 배수관 낙하사고 ④ 고드름 낙하사고	
화재	⑤ 주유소 및 충전소 화재사고	
교량접속부 파손	⑥ 신축이음장치 솟음(Blow-up)	
포장불량	⑦ 교면포장 부분보수부 파손	
배수시설 기능저하	⑧ 교량 집수구 막힘(미끄럼・결빙)	
사면붕괴	⑨ 절토사면・옹벽 표면 손상	
콘크리트 열화	⑩ 터널 배수구 뚜껑파손	

나. 외관조사 결과

- 본 과업대상 만화교(울산)은 시점부 인접구간으로 기장2터널이 위치하고 있으며, S1(국도14호선) 및 S6(배산로 19번길)은 도로를 횡단하는 교량이다.
- 중대시민재해를 유발할 수 있는 위험요소로 낙하물, 교량접속부 파손, 포장불량, 배수시설 기능저하 등 항목이 해당된다.
- 공중이용시설 10대 위험요소 중 교량에 해당하는 항목에 대한 점검결과, 배수시설에서 배수관 막힘(S1)이 조사되었으나, 배수시설 기능저하에 따른 미끄럼·결빙이 발생할 정도는 아닌 경미한 정도로 확인되었다. 또한 배수관 고정대 탈락(S2) 및 배수관 연결고리 부식(S3)이 조사되었으나, 통행차량 및 통행인 이용하지 않는 나대지로 중대시민재해 사고가 우려되는 이상징후는 발견되지 않아 중대한 결함은 없는 것으로 확인되었다.
- 점검일 현재는 중대결함이 없는 비교적 양호한 상태이지만 향후, 소형결함으로도 재해발생 가능성이 있으므로 유해·위험요인이 있는 취약시설물에 대한 중점관리 및 예방차원의 보수·보강 등의 유지관리가 필요하다.

구분	유해·위험요인	점검결과	내용	보수방안	비고
1	교량 교각 코핑 콘크리트 탈락	□유, ■무	이상없음	-	
2	중분대 하면 콘크리트 탈락	□유, ■무	이상없음	-	
3	배수관 낙하사고	□유, ■무	이상없음	-	
4	신축이음장치 솟음(Blow-up)	□유, ■무	이상없음	-	
5	교면포장 부분 보수부 파손	□유, ■무	이상없음	-	
6	교량 집수구 막힘(미끄럼·결빙)	□유, ■무	이상없음	-	

교각 코핑부 상태 양호

중분대 상태 양호

배수관 고정상태 양호

신축이음 상태양호

교면포장 상태양호

교량 집수구 상태양호

3.4 콘크리트 내구성조사

3.4.1 개 요

가. 개 요

콘크리트 내구성조사는 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부를 판정하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

본 과업의 내구성조사는 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2022. 12, 국토교통부/국토안전관리원)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

나. 조사 현황 및 위치

1) 조사 현황

본 과업에서 콘크리트 내구성조사를 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험, 초음파전달속도시험), 철근탐사시험, 탄산화깊이 측정시험, 염화물함유량시험(분말) 등을 실시하였으며, 각 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 3.99】콘크리트 내구성조사 현황(부산)

항 목	기준수량		수 량(개소)				비 고
	상부구조(STB)	하부구조	기준		실시		
			상부	하부	상부	하부	
반발경도 시 험	• 철근콘크리트: 2개소/50m • 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	7	7	7	8	
초음파 전달속도시험	• 철근콘크리트: 2개소/50m • 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	7	7	7	7	
철근탐사 시 험	• 철근콘크리트: 2개소/50m • 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	7	7	7	7	
탄산화 깊이 측정	• 5경간 이내: 4~6개소[1)] • 5경간 이상: 6~9개소[2)]		6~9		4	5	
염화물 함유량시험	• 3개소 이상[3)]		3		1	2	
균열깊이 조 사	• 부재의 중요도를 고려하여 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정		-		-		
주[1)] 철근콘크리트 상부구조에서 최소 2개소 이상 실시 주[2)] 철근콘크리트 상부구조에서 최소 3개소 이상 실시 주[3)] 철근콘크리트 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시 ※ 선택과업인 철근부식도시험은 책임기술자의 판단에 따라 제외하였음							

【표 3.100】 콘크리트 내구성조사 현황(울산)

항 목	기준수량		수 량(개소)				비 고
	상부구조(STB)	하부구조	기준		실시		
			상부	하부	상부	하부	
반발경도 시 험	• 철근콘크리트: 2개소/50m • 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	7	7	7	8	
초음파 전달속도시험	• 철근콘크리트: 2개소/50m • 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	7	7	7	7	
철근탐사 시 험	• 철근콘크리트: 2개소/50m • 강합성교: 1개소/50m	• 1개소/연장50m • 교대, 교각 개소수 (경간장 50m 이상)	7	7	7	7	
탄산화 깊이 측정	• 5경간 이내: 4~6개소[1)] • 5경간 이상: 6~9개소[2)]		6~9		4	5	
염화물 함유량시험	• 3개소 이상[3)]		3		1	2	
균열깊이 조 사	• 부재의 중요도를 고려하여 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정		-		-		

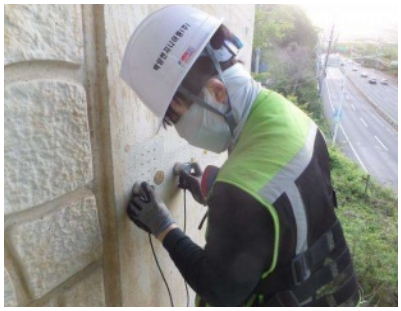
주[1)] 철근콘크리트 상부구조에서 최소 2개소 이상 실시
주[2)] 철근콘크리트 상부구조에서 최소 3개소 이상 실시
주[3)] 철근콘크리트 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시
※ 선택과업인 철근부식도시험은 책임기술자의 판단에 따라 제외하였음

2) 내구성조사 항목별 위치선정 사유

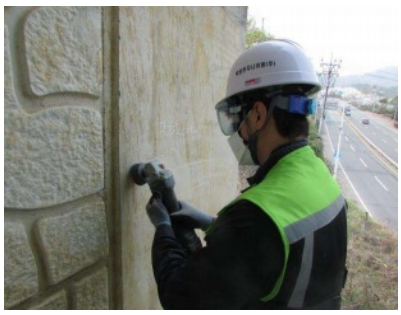
【표 3.101】 콘크리트 내구성조사 위치선정 사유

항목	선 정 사 유		비고
콘크리트 강도 (반발경도시험 및 초음파전달속도시험)	상부 구조	• 좌·우캔틸레버 하면에 일정한 간격으로 임의로 선정하여 측정 • 기 점검과 비교 가능한 위치 선정 : 강도변화 확인 • 외관상 건전부위와 불량부위에 대한 비교평가 실시	
	하부 구조	• 부재에 접근성 고려 • 기 진단과 비교 가능한 위치 선정 : 강도변화 확인 • 외관상 건전부위와 불량부위에 대한 비교평가 실시	
탄산화깊이 측정 및 철근탐사시험	상부 구조	• 캔틸레버 하면에 임의로 선정하여 시험을 실시 • 기 점검과 비교 가능한 위치 선정 : 탄산화진행여부 확인 • 누수로 인한 철근부식의 가능성이 높은 부위 선정	
	하부 구조	• 부재에 접근성 고려 • 기 점검과 비교 가능한 위치 선정 : 탄산화진행여부 확인 • 하천구간 등 열화우려부재 선정	
염화물함유량 시험	상부 구조	• 공용 중 노후화를 유발하는 누수 등의 손상으로 철근부식의 가능성이 높은 곳에 대해 철근깊이까지 시료채취	
	하부 구조	• 열화우려구간(하천인근, 신축이음하부 등)에 대해 철근깊이까지 시료채취	

3) 조사 사진

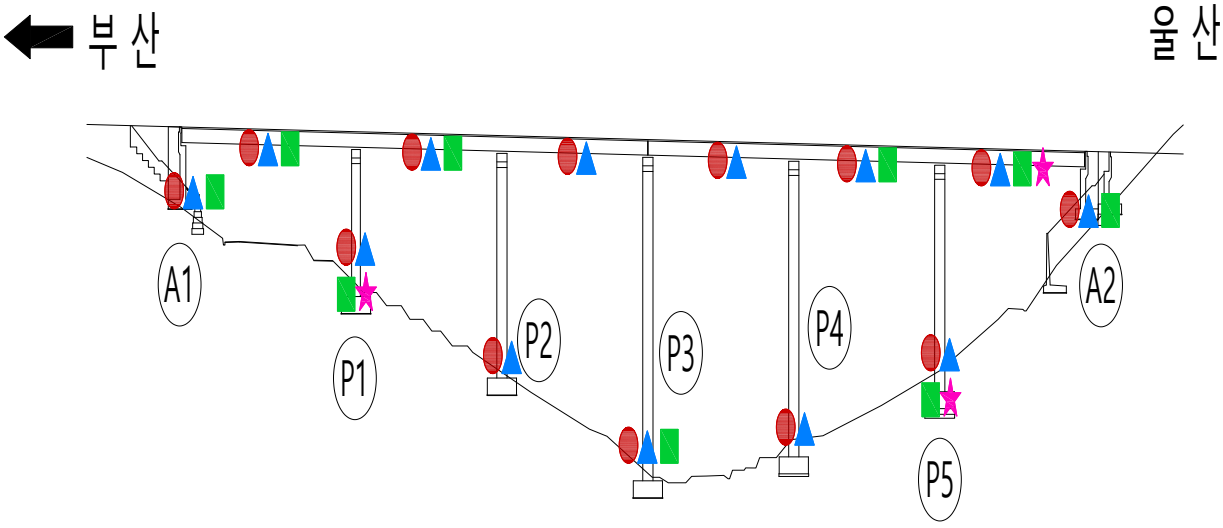
		
표면처리	반발경도시험	초음파 전달속도시험
탄산화 깊이측정	철근탐사 시험	코어 시료 채취(P1 배면)

【사진 3.55】 콘크리트 내구성조사 전경(부산)

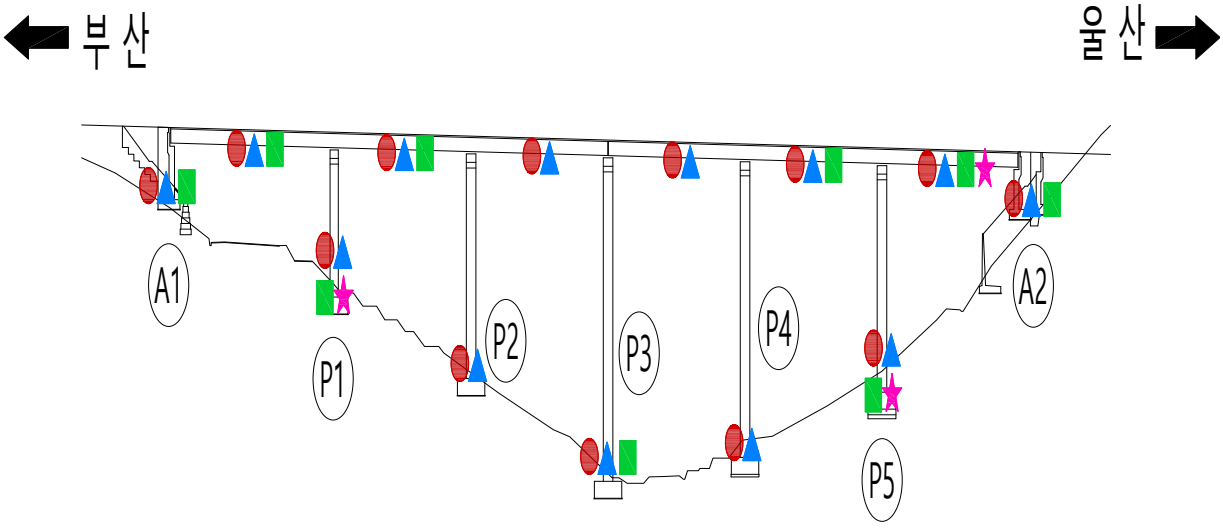
		
표면처리	반발경도시험	초음파 전달속도시험
탄산화 깊이측정	철근탐사 시험	코어 시료 채취

【사진 3.56】 콘크리트 내구성조사 전경(울산)

4) 콘크리트 내구성조사 위치도



<만화교(부산)>



<만화교(울산)>

범례			
●	반발경도시험 / 초음파전달속도시험		
▲	철근탐사시험	■	탄산화깊이측정
★	염화물 함유량 시험	◆	균열깊이측정

【그림 3.36】 콘크리트 내구성조사 위치도

3.4.2 시험내용 및 평가기준

가. 콘크리트 강도시험

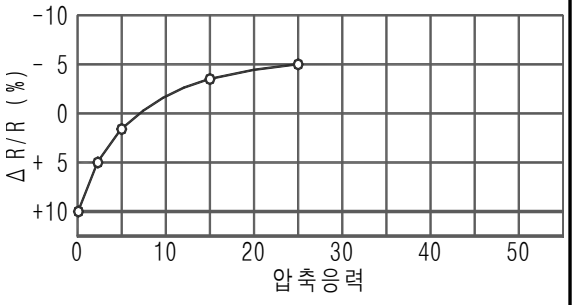
1) 반발경도시험

① 개요

【표 3.102】반발경도시험 시험내용 및 평가기준

<table>
<tr><td>개 요</td><td>☑콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여 비파괴 압축강도를 추정하는 검사방법
☑슈미트해머를 이용해 경화된 콘크리트 표면 타격시의 반발도(R)와 콘크리트 압축강도(f_c')와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 함</td></tr>
<tr><td>시험방법</td><td>☑시험선정 부위의 그라인딩 표면 정리 후 종·횡 간격 30㎜로 직교되는 부위에 20점 이상의 타격점 표기
☑슈미트해머로 타격하여 얻은 반발경도(R)의 산술평균값을 구하고, 평균값의 ±20%를 벗어나는 값 제외 후 나머지 값들을 다시 산술평균하여 보정치를 적용한 수정 반발경도(Ro) 결정
☑보, 기둥 모서리에서 최소 30~60㎜ 이격하여 타격
☑측정부재의 최소두께는 반발도의 영향을 고려하여 100㎜ 이상 선정
☑표면 건조상태 부위 선정, 측정 후 건습 보정 실시
☑측정치는 원칙적으로 정수값 입력
☑압축응력에 따른 반발도/타격 방향/재령에 따른 보정 후 추정압축강도 산정

측정기 기종 선정 ↓ 테스트엔빌 이용 교정 실시 ↓ 시험부위 선정 및 요철 제거 ↓ 타격점 표시(20점 이상) ↓ 반발경도 측정 ↓ 타격 방향/습윤/재령 보정 ↓ 강도추정식에 의한 압축강도 산출 ↓ 압축강도 추정 및 설계값 비교
〈반발경도법에 의한 강도추정 흐름도〉</td></tr>
<tr><td>보정방법</td><td>☑타격방향에 따른 보정(ΔR_1)
<table>
<tr><th rowspan="2">반발경도 (R)</th><th colspan="4">수평과 이루는 각도</th><th rowspan="2">비고</th></tr>
<tr><th>+90°</th><th>+45°</th><th>-45°</th><th>-90°</th></tr>
<tr><td>10</td><td>-</td><td>-</td><td>+2.4</td><td>+3.2</td><td rowspan="6">상향수직 : +90°
하향수직 : -90°</td></tr>
<tr><td>20</td><td>-5.4</td><td>-3.5</td><td>+2.5</td><td>+3.4</td></tr>
<tr><td>30</td><td>-4.7</td><td>-3.1</td><td>+2.3</td><td>+3.1</td></tr>
<tr><td>40</td><td>-3.9</td><td>-2.6</td><td>+2.0</td><td>+2.7</td></tr>
<tr><td>50</td><td>-3.1</td><td>-2.1</td><td>+1.6</td><td>+2.2</td></tr>
<tr><td>60</td><td>-2.3</td><td>-1.6</td><td>+1.3</td><td>+1.7</td></tr>
</table>
☑콘크리트의 습윤상태에 따른 보정(ΔR_3)
기건상태 0~습윤상태 +5

☑압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정(ΔR_2)
압축응력 1.0kgf/㎠인 경우 $\Delta R_2 = -0.015R$
2.5kgf/㎠인 경우 $\Delta R_2 = -0.05R$
 

☑콘크리트 재령에 따른 보정(α)
<table>
<tr><th>구분</th><th>7일</th><th>14일</th><th>21일</th><th>28일</th><th>100일</th><th>500일</th><th>750일</th><th>1000일</th><th>2000일</th><th>3000일</th></tr>
<tr><td>재령(α)</td><td>1.72</td><td>1.36</td><td>1.12</td><td>1.00</td><td>0.78</td><td>0.67</td><td>0.66</td><td>0.65</td><td>0.64</td><td>0.63</td></tr>
</table>
☑수정 반발경도 Ro = R + ΔR, ($\Delta R = \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3$)</td></tr>
<tr><td>압축강도 추정식</td><td>☑일반강도 식① : Fc = -18.0 + 1.27 × Ro (㎫) ⇨ 일본 재료학회 추정식
☑일반강도 식② : Fc = (7.3 × Ro + 100) × 0.098 (㎫) ⇨ 일본건축학회 추정식</td></tr>
</table>

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
※콘크리트 내구성 평가절차 수립(건설교통부, 시설안전기술공단, 1999.12) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단 편)(국토교통부, 국토안전관리원, 2022.12) 참조

【표 3.103】 반발경도시험 시험보고서(부산)

시험보고서 (반발경도시험)	
시험일자, 시간	2023.03.29.~2023.04.27.(09:00~18:00)
구조물에서 시험영역의 위치	각 시험개소별 Data Sheet 및 비파괴시험 위치도에 표기
시험대상 구조물 또는 표본에 대한 설명	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
콘크리트 설계 조건	상부구조(바닥판) : 27.0㎫ 하부구조(교대,교각) : 24.0㎫
시험위치의 표면상태 (마무리 정도, 균열 등)	건전부 : 표면 양호부위 비건전부 : 망상균열, 누수오염 등의 부위
시험시의 온도 및 콘크리트 재령	일평균온도: 12.5 ~ 13.3℃, 재령: 3000일 이상
콘크리트 내부의 함수상태 (습윤상태, 표면 건조상태, 기건상태 등)	기건상태
반발경도 측정기의 종류 및 제품번호	SANYO (NSR형) : 부록의 교정성적서 참조
반발경도 측정기의 타격방향	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
시험 부위별 반발경도의 평균값	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
반발경도시험	

※ 철도안전관리체계 기술기준『12.3.2 유지관리 기준』 및 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부 고시)』에 따라 시설물 콘크리트 반발경도 시험은 적정한 방법으로 시행하고 이에 대한 시험보고서를 작성하도록 관리주체에서 요청하여 면밀하게 조사를 시행하였다.

【표 3.104】 반발경도시험 시험보고서(울산)

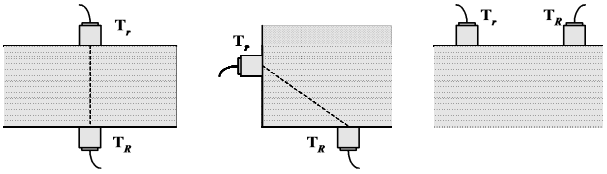
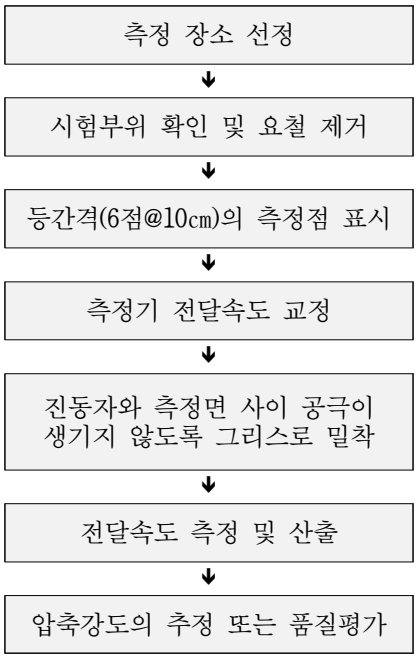
시험보고서 (반발경도시험)	
시험일자, 시간	2023.03.29.~2023.04.26.(09:00~18:00)
구조물에서 시험영역의 위치	각 시험개소별 Data Sheet 및 비파괴시험 위치도에 표기
시험대상 구조물 또는 표본에 대한 설명	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
콘크리트 설계 조건	상부구조(바닥판) : 27.0㎫ 하부구조(교대,교각) : 24.0㎫
시험위치의 표면상태 (마무리 정도, 균열 등)	건전부 : 표면 양호부위 비건전부 : 망상균열, 누수오염 등의 부위
시험시의 온도 및 콘크리트 재령	일평균온도: 12.5 ~ 13.3℃, 재령: 3000일 이상
콘크리트 내부의 함수상태 (습윤상태, 표면 건조상태, 기건상태 등)	기건상태
반발경도 측정기의 종류 및 제품번호	SANYO (NSR형) : 부록의 교정성적서 참조
반발경도 측정기의 타격방향	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
시험 부위별 반발경도의 평균값	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
반발경도시험	

※ 철도안전관리체계 기술기준『12.3.2 유지관리 기준』 및 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부 고시)』에 따라 시설물 콘크리트 반발경도 시험은 적정한 방법으로 시행하고 이에 대한 시험보고서를 작성하도록 관리주체에서 요청하여 면밀하게 조사를 시행하였다.

2) 초음파전달속도시험

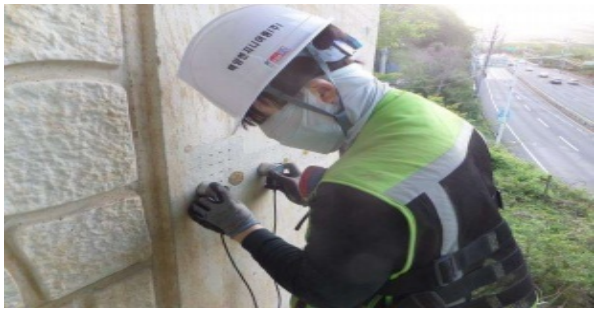
① 개요

【표 3.105】초음파전달속도시험 시험내용 및 평가기준

<table>
<tr><td>개 요</td><td>☑초음파전달속도시험은 초음파(주파수 50 ~ 100 kHz)의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화한다는 것을 이용하여 콘크리트의 강도, 균열상태, 내부결함 등을 조사하는 방법
☑발·수진자의 배치, 콘크리트의 배합비 및 함수율, 내부 철근의 유무 등에 따라 영향을 많이 받기 때문에 강도 추정의 정확도는 비교적 높지 않음.
☑ 초음파전달속도를 이용한 내부 콘크리트 재료의 품질 평가에 활용</td></tr>
<tr><td>시 험
방 법</td><td>☑반발경도법과 동일부재 동일위치에서 측정 후 반발경도법에 의한 결과와 비교, 평가
☑탐촉자 배열방법에 의한 분류
➜직접법, 반직접법, 간접법
☑직접법에서 구한 초음파전달속도(종파)를 강도 추정에 이용
☑현장에서 직접법을 적용할 수 없는 부재는 간접법(표면법)을 통해 속도 측정 후 환산
☑간접법을 직접법으로 환산
Vd ≈ 1.05 Vi
여기서, Vd : 직접법에 의한 초음파속도
Vi : 간접법에 의한 초음파속도
 
직접법 반직접법(사각법) 간접법
 
<초음파법에 의한 강도추정 흐름도></td></tr>
<tr><td>초음파
속 도</td><td>☑ 전달속도$(Velocity,\ mm/\mu sec)$ $=$ $\frac{\text{전달길이}(Path \le ngth,\ L\ :\ mm)}{\text{전달시간}(Transit\,Time,\ T:\ \mu sec)}$</td></tr>
<tr><td>강 도
추정식</td><td>☑식① : Fc’ = (102Vd - 117) × 0.1 (㎫) ⇨ 일본재료학회
☑식② : Fc’ = (215Vp - 620) × 0.1 (㎫) ⇨ 일본건축학회
☑식③ : Fc’ = (33.9Vp - 1107) × 0.1 (㎫) ⇨ 한전기술연구원</td></tr>
<tr><td>품 질
평 가</td><td><초음파속도에 의한 콘크리트 품질등급표(표면법)>
<table>
<tr><th>초음파 속도(m/s)</th><th>등급</th><th>품질상태</th><th>평가</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>4,501 이상</td><td>a</td><td>• 대단히 좋다.</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>3,501 ~ 4,500</td><td>b</td><td>• 좋다.</td><td>• 정기적인 관찰</td><td></td></tr>
<tr><td>3,001 ~ 3,500</td><td>c</td><td>• 검사를 요한다.</td><td>• 지속적인 관찰</td><td></td></tr>
<tr><td>2,000 ~ 3,000</td><td>d</td><td>• 나쁘다.</td><td>• 보강 또는 보수</td><td>• 부분적 내부결함</td></tr>
<tr><td>2,000 미만</td><td>e</td><td>• 대단히 나쁘다</td><td>• 교체 또는 보강</td><td>• 부식, 내부결함 다수</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
※콘크리트 내구성 평가절차 수립(건설교통부, 시설안전기술공단, 1999.12) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단 편)(국토교통부, 국토안전관리원, 2022.12) 참조

【표 3.106】초음파전달속도시험 시험보고서(부산)

시험보고서 (초음파전달속도시험)	
시험일자, 시간	2023.03.29.~2023.04.27.(09:00~18:00)
구조물에서 시험영역의 위치	각 시험개소별 Data Sheet 및 비파괴시험 위치도에 표기
시험대상 구조물 또는 표본에 대한 설명	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
콘크리트 설계 조건	상부구조(바닥판) : 27.0㎫ 하부구조(교대,교각) : 24.0㎫
초음파전달 경로와 탐촉자 위치에 대한 스케치	부록에 탐촉자 위치별 초음파전달속도 기록
시험시의 온도 및 콘크리트 재령	일평균온도: 12.5 ~ 13.3℃, 재령: 3000일 이상
콘크리트 내부의 함수상태 (습윤상태, 표면 건조상태, 기건상태 등)	기건상태
장치의 종류, 신뢰도, 주파수 및 주요특징	Ultracom-170, 장비 검교정 성적서 참조
투과거리, 시험방법 및 결과의 정확도	투과 거리 10㎝×5=50㎝, 간접법
초음파전달속도의 시험값	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
철근간섭으로 보정된 초음파전달속도값	-
	
초음파전달속도시험	

【표 3.107】초음파전달속도시험 시험보고서(울산)

시험보고서 (초음파전달속도시험)	
시험일자, 시간	2023.03.29.~2023.04.26.(09:00~18:00)
구조물에서 시험영역의 위치	각 시험개소별 Data Sheet 및 비파괴시험 위치도에 표기
시험대상 구조물 또는 표본에 대한 설명	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
콘크리트 설계 조건	상부구조(바닥판) : 27.0㎫ 하부구조(교대,교각) : 24.0㎫
초음파전달 경로와 탐촉자 위치에 대한 스케치	부록에 탐촉자 위치별 초음파전달속도 기록
시험시의 온도 및 콘크리트 재령	일평균온도: 12.5 ~ 13.3℃, 재령: 3000일 이상
콘크리트 내부의 함수상태 (습윤상태, 표면 건조상태, 기건상태 등)	기건상태
장치의 종류, 신뢰도, 주파수 및 주요특징	Ultracom-170, 장비 검교정 성적서 참조
투과거리, 시험방법 및 결과의 정확도	투과 거리 10㎝×5=50㎝, 간접법
초음파전달속도의 시험값	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
철근간섭으로 보정된 초음파전달속도값	-
초음파전달속도시험	

3) 코어 압축강도시험

① 개요

【표 3.108】코어 압축강도시험 시험내용 및 평가기준

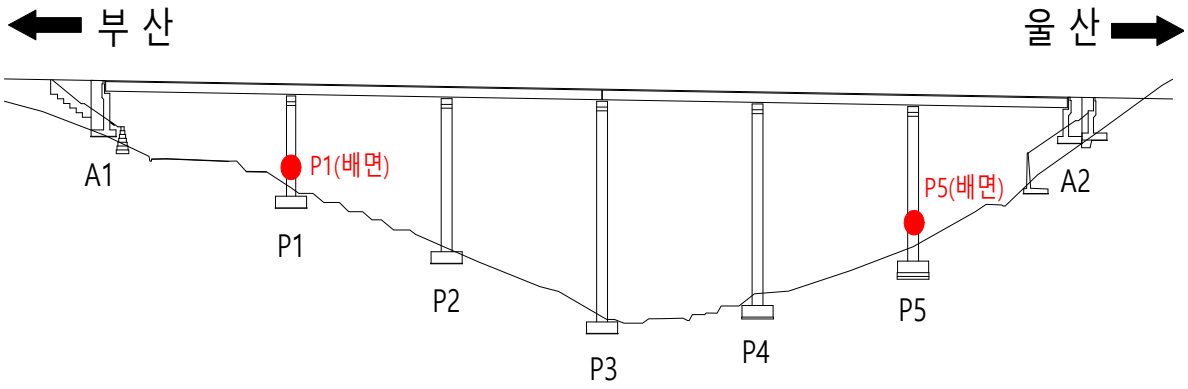
<table>
<tr><td>개요</td><td>☑ 코어 강도시험은 현장에서 코어를 채취하여 압축강도를 추정하는 국부파괴시험으로 비파괴시험과는 구별되지만 구조물의 실제 강도를 추정하는데 가장 신뢰도가 높다. 다만, 현장조사에서 필요한 수량만큼 코어를 채취하는 것이 구조물에 인위적인 손상을 가하는 것이 되므로 비파괴시험에서 도출회귀식과 상관계수 적용에 필요한 수량만을 채취하여 시험하게 된다.
☑ 코어의 수분함유에 있어서 포화 건조상태는 공기 중 건조상태에 비해 10~15% 정도의 낮은 값을 나타낸다. 그러므로 실제 현장의 콘크리트 강도를 결정하는데 있어서 채취한 코어와 현장 콘크리트의 수분 상태를 고려하여 시험하는 것이 중요하다. 그리고 채취한 코어에 대해서 각종 물성과 강도시험을 실시하며, 일반적으로 비파괴 시험에 의한 자료와 비교·분석한다.</td></tr>
<tr><td>시험
방법</td><td>☑ 공시체를 공시체 지름의 1%이내의 오차에서 그 중심축이 가압판의 중심과 일치하도록 놓는다.
☑ 시험기의 가압판과 공시체의 윗면을 밀착시킨다.
☑ 공시체에 충격을 주지 않도록 똑같은 속도로 하중을 가한다.
☑ 하중을 가하는 속도는 압축 응력도의 증가율이 매초 0.6MPa가 되도록 한다.
☑ 공시체에 급변한 변형을 시작한 후에는 하중을 가하는 속도의 조정을 중지하고 하중을 계속 가한다.
☑ 공시체가 파괴될때까지 시험기가 나타내는 최대 하중을 유효숫자 3자리까지 읽는다.

<콘크리트 압축강도시험 예시></td></tr>
<tr><td>비파괴강도
보정계수</td><td>☑ 각종 비파괴강도를 이용하여 구조물의 전반적인 강도를 추정하는 경우, 비파괴 시험위치에서 채취한 코어강도를 이용하여 비파괴강도를 수정하는 것이 원칙이다. 따라서 부재 종류별로 코어 압축강도와 코어에서 또는 코어 채취위치에서 얻은 비파괴강도의 상관관계를 구하기 위하여 RILEM Recommendation Part 2기준에 제시된 식을 사용하여 보정계수 C_t 를 구한다.</td></tr>
<tr><td></td><td>$C_t = \sum_{i=1}^{k}\left\{\left(\frac{R_{pr}}{R_{st}}\right)/k\right\}$
여기서, C_t : 보정계수, R_{pr} : 코어압축강도(MPa)
R_{st} : 비파괴강도 (MPa), k : 시료수</td></tr>
</table>

※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단 편)(국토교통부, 국토안전관리원, 2022.12) 참조

【표 3.109】 코어 압축강도시험 시험보고서(부산)

시험보고서 (코어 압축강도 시험)	
구조물 명칭	만화교(부산)
구조물의 경과 년수	10년 이상
시험일	2023.04.18.
코어를 채취한 위치	보고서 참조
시험 위치의 설계기준 강도	24㎫
사용 골재의 종류(보통골재, 경량골재)	보통골재
채취한 코어 시료의 직경(D), 높이(H)	P1(배면) : D : 68.3㎜0, H : 114.9㎜ P5(배면) : D : 68.3㎜, H : 127.6㎜



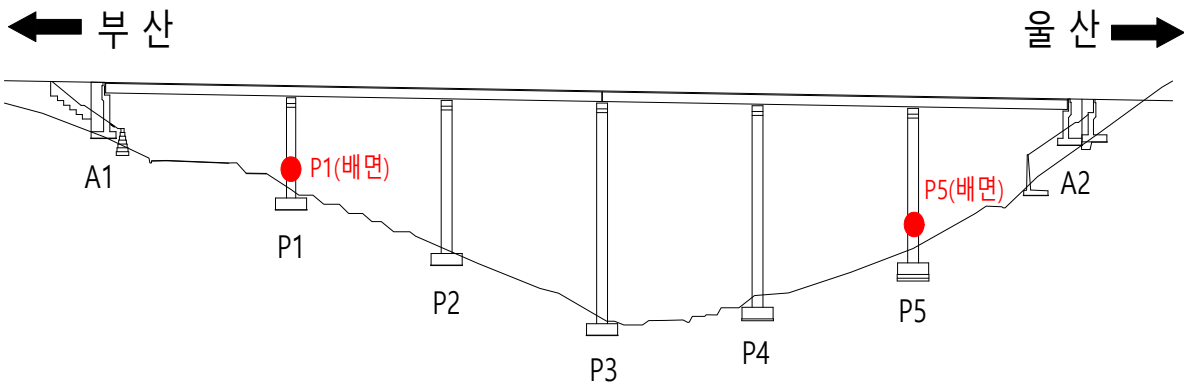
코어 시료 채취(P1, 배면)

코어공 내부 상태 확인(P1, 배면)

코어 상태 확인(P1, 배면)

【표 3.110】 코어 압축강도시험 시험보고서(울산)

시험보고서 (코어 압축강도 시험)	
구조물 명칭	만화교(울산)
구조물의 경과 년수	10년 이상
시험일	2023.04.18.
코어를 채취한 위치	보고서 참조
시험 위치의 설계기준 강도	24㎫a
사용 골재의 종류(보통골재, 경량골재)	보통골재
채취한 코어 시료의 직경(D), 높이(H)	P1(배면) : D : 68.3㎜0, H : 135.2㎜ P5(배면) : D : 68.3㎜, H : 124.9㎜



코어 시료 채취(P1, 배면)

코어공 내부 상태 확인(P1, 배면)

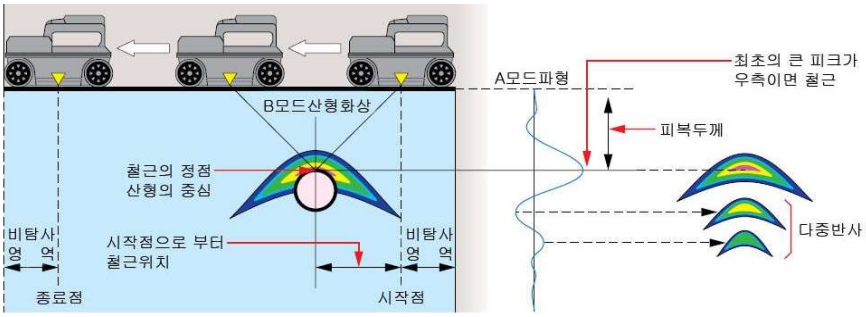
코어 상태 확인(P1, 배면)

나. 철근탐사시험

1) 개요

【표 3.111】철근탐사시험 시험내용 및 평가기준

<table>
<tr><td>개 요</td><td>☑시공 상태 확인을 위하여 설계도서에 기록된 배근간격과의 동일 시공여부를 비교하여 구조체 배근상태의 적정성을 판단하며, 콘크리트 피복두께를 조사하여 탄산화로 인한 구조물의 내구성 평가와 장기적인 내구성 확보를 위한 대책마련을 위해 실시</td></tr>
<tr><td>탐 사
조 건</td><td>☑적용 가능한 조건
•탐사심도 200㎜ 이내
•탐사대상 철근지름이 6㎜ 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
•100㎜ 이하의 피치에서 배근된 경우
•철근이 안테나 진행 방향과 평행한 경우</td></tr>
<tr><td>측 정
방 법</td><td>☑철근탐사장비 STRUCTURE MINI, RC-Radar의 측정원리는 전자파를 콘크리트의 표면에서 내부로 방사하여 콘크리트와 전기적 성질이 다른 철근이나 공동 등의 대상물로부터 반사되는 전파를 다시 안테나에서 수신하여 철근의 배근상태나 공동 등의 위치 및 깊이를 화상으로 기록하는 장비로 레이다 방식(화면 모니터 방식)이며, 측정가능심도는 5~200㎜ 수준임.
 
</td></tr>
<tr><td>평 가
기 준</td><td>☑콘크리트의 피복두께는 콘크리트 표면에서 철근 최외측면까지의 거리
☑콘크리트의 피복두께 및 배근상태를 준공도면과 비교하여 적정성 여부 판단
☑실측된 철근배근 간격과 콘크리트 피복두께는 평균적인 개념으로 판단
☑구조안전성평가의 기초자료로 활용

〈콘크리트의 피복두께 기준〉
<table>
<tr><th>구 분</th><th>조 건</th><th>부재종류</th><th>철근직경/구분</th><th>피복두께(㎜)</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td rowspan="10">현장
타설
콘크리트</td><td rowspan="5">옥외 공기나 흙에 직접 접하지 않는 부위</td><td rowspan="2">슬래브
벽체, 장선</td><td>D35 초과</td><td>40</td><td></td></tr>
<tr><td>D35 이하</td><td>20</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">보
기둥</td><td>fck ≥ 40MPa</td><td>30</td><td>규정값에서 10㎜ 저감 가능</td></tr>
<tr><td>fck < 40MPa</td><td>40</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">쉘, 절판 부재</td><td>20</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">수중에서 타설 되는 콘크리트</td><td>100</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">흙에 영구히 묻혀 있는 콘크리트</td><td>80</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3" colspan="2">흙에 접하거나 옥외공기에 직접 노출되는 콘크리트</td><td>D29 이상 철근</td><td>60</td><td></td></tr>
<tr><td>D25 이하 철근</td><td>50</td><td></td></tr>
<tr><td>D16 이하의 철근</td><td>40</td><td></td></tr>
</table>
※콘크리트 구조설계기준(한국콘크리트학회, 2012) 참조
<table>
<tr><th>유효깊이(d)</th><th>유효깊이의 허용오차</th><th>피복두께의 허용오차</th></tr>
<tr><td>d ≤ 200㎜</td><td>±10㎜</td><td>-10㎜</td></tr>
<tr><td>d > 200㎜</td><td>±13㎜</td><td>-13㎜</td></tr>
</table>
※피복두께의 허용오차는 도면 또는 설계기준에서 요구하는 최소 피복두께의 -1/3로 하여야 함</td></tr>
</table>

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
※진단장비 활용·관리 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단 편)(국토교통부, 국토안전관리원, 2022.12) 참조

【표 3.112】 철근탐사시험 시험보고서(부산)

시험보고서 (철근탐사시험)	
시험일자, 시간	2023.03.29.~2023.04.27.(09:00~18:00)
구조물에서 시험영역의 위치	각 시험개소별 Data Sheet 및 비파괴시험 위치도에 표기
시험대상 구조물 또는 표본에 대한 설명	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
시험한계 (잡음의 원인, 장애물 등등)	양호
시험값과 필터, 안테나 주파수 등의 매개변수 표시	-
시험 대상면에서의 안테나 횡단 위치, 작동방향 및 방위	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
피복두께와 철근의 지름에 대한 실측값과 보정한 값	각 시험개소별 Data Sheet 및 보고서 삽입
정밀도	양호
시험한 철근의 배근상태에 대한 그림	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
참고문헌	진단장비 활용, 관리매뉴얼 개발(2005)
철근탐사 전경	

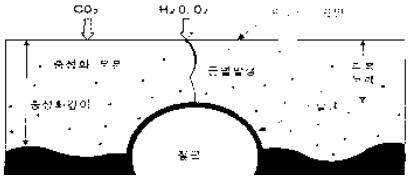
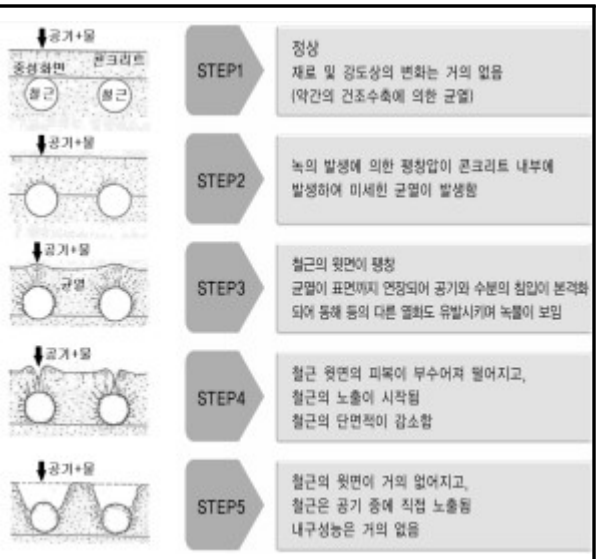
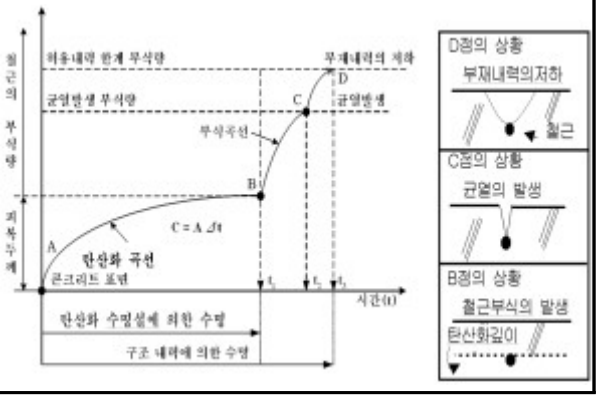
【표 3.113】 철근탐사시험 시험보고서(울산)

시험보고서 (철근탐사시험)	
시험일자, 시간	2023.03.29.~2023.04.26.(09:00~18:00)
구조물에서 시험영역의 위치	각 시험개소별 Data Sheet 및 비파괴시험 위치도에 표기
시험대상 구조물 또는 표본에 대한 설명	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
시험한계 (잡음의 원인, 장애물 등등)	양호
시험값과 필터, 안테나 주파수 등의 매개변수 표시	-
시험 대상면에서의 안테나 횡단 위치, 작동방향 및 방위	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
피복두께와 철근의 지름에 대한 실측값과 보정한 값	각 시험개소별 Data Sheet 및 보고서 삽입
정밀도	양호
시험한 철근의 배근상태에 대한 그림	각 시험개소별 Data Sheet에 표기
참고문헌	진단장비 활용, 관리매뉴얼 개발(2005)
철근탐사 전경	

다. 탄산화 깊이 측정

1) 개요

【표 3.114】탄산화 깊이 측정 시험내용 및 평가기준

<table>
<tr><td>개 요</td><td>☑경화콘크리트는 표면에서 서서히 탄산화하여 pH값이 12~13에서 8~10이하로 감소되는 과정을 콘크리트의 탄산화라고 정의
CaO + H2O → Ca(OH)2
Ca(OH)2 + CO2 → CaCO3 + H2O
 
☑콘크리트는 탄산화에 의한 직접적 성능 저하보다는 탄산화가 콘크리트 피복을 넘어 철근표면에 도달하게 되면 철근표면의 부동태 피막이 파괴되면서 부식 시작
 
</td></tr>
<tr><td>측정위치 및 방법</td><td>①철근배근 위치에서 코어 공시체 표면 또는 햄머드릴 이용 직경 1~2㎝ 정도 천공한 후 페놀프탈레인 용액을 분무하여 색변화를 통해 탄산화 진행깊이 측정
②페놀프탈레인 1% 용액 : 페놀프탈레인 1g+에탄올 90cc(순도 95%) + 증류수 = 100ml</td></tr>
<tr><td>시험순서</td><td>①철근배근 위치에서 철근 깊이까지 코어 채취 또는 천공 후 깨끗이 청소
②페놀프탈레인 1% 용액을 콘크리트 면 분무 후 색변화 관찰
③탄산화되지 않은 부분은 자주색(알칼리성), 탄산화된 부분은 무색(중성 또는 산성)
④콘크리트 표면으로부터 색이 변화되지 않은 깊이(㎜) 측정, 3회 평균값 산정</td></tr>
<tr><td>평가기준</td><td>〈토목분야 콘크리트 탄산화 상태평가 기준〉
<table><tr><td>구분</td><td>a</td><td>b</td><td>c</td><td>d</td><td>e</td></tr><tr><td>탄산화잔여깊이</td><td>30㎜≤깊이</td><td>10㎜≤깊이<30㎜</td><td>0㎜≤깊이<10㎜</td><td>깊이<0㎜</td><td>-</td></tr></table>※일본구조물진단기술협회(비파괴시험을 이용한 토목 콘크리트구조물의 건전도 진단 매뉴얼)
〈건축분야 콘크리트 탄산화 상태평가 기준〉
<table><tr><td>구분</td><td>a</td><td>b</td><td>c</td><td>d</td><td>e</td></tr><tr><td>콘크리트 탄산화</td><td>Ct≤0.25D</td><td>0.25D<Ct≤0.5D</td><td>0.5D<Ct≤0.75D</td><td>0.75D<Ct≤D</td><td>Ct>D</td></tr></table>※Ct : 콘크리트 탄산화깊이(㎜), D : 측정된 콘크리트의 피복두께(㎜)
※상태평가 결과가 “e” 이고, 철근노출의 상태평가 결과가 “d” 이하이면 “중대한 결함” 으로 판단</td></tr>
<tr><td>내구 수명 평 가</td><td>☑t1 : 탄산화가 철근표면에 도달하는 시점
t2 : 철근 부식, 콘크리트 균열 발생 시점
t3 : 부재내력이 한계에 달하는 시점
☑탄산화속도 식 : $C = A\sqrt{t}$
C : 탄산화깊이(㎜)
A : 탄산화속도계수(㎜/√년) t : 재령(년)
☑탄산화가 철근에 도달하는 시간(td) :
td = (D2c/A2) - to
Dc : 철근까지의 콘크리트 피복두께(㎜)
to : 현재의 구조물 경과시간(년)
 
</td></tr>
</table>

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단 편)(국토교통부, 국토안전관리원, 2022.12) 참조

【표 3.115】 탄산화 깊이 측정 시험보고서(부산)

시험보고서 (탄산화깊이)	
구조물 명칭	만화교(부산)
구조물의 경과 년수	10년 이상
시험일	2023.03.29.~2023.04.27.(09:00~18:00)
코어채취 및 떼어냄을 행한 위치 (옥내, 옥외, 부위, 방위, 높이 등)	보고서 참조
사용골재의 종류(보통골재, 경량골재)	보통골재
측정면의 종류 (코어의 측면, 코어의 할렬면, 구조물의 떼어낸 면)	드릴링에 의한 천공, 코어의 측면
시약	페놀프탈레인 1% 용액
측정기구(버니어캘리퍼스, 눈금자 등)	버니어캘리퍼스, 줄자
시약분무로부터 탄산화 길이까지의 시간	즉시
탄산화깊이의 측정 장소의 각 측정값, 평균값, 최대값	보고서 참조
연한 적자색으로 변색된 부분의 유무 (있는 경우 그 상황을 사진 등으로 기록한다)	-

탄산화 깊이 측정 전경

【표 3.116】 탄산화 깊이 측정 시험보고서(울산)

시험보고서 (탄산화깊이)	
구조물 명칭	만화교(울산)
구조물의 경과 년수	10년 이상
시험일	2023.03.29.~2023.04.26.(09:00~18:00)
코어채취 및 떼어냄을 행한 위치 (옥내, 옥외, 부위, 방위, 높이 등)	보고서 참조
사용골재의 종류(보통골재, 경량골재)	보통골재
측정면의 종류 (코어의 측면, 코어의 할렬면, 구조물의 떼어낸 면)	드릴링에 의한 천공, 코어의 측면
시약	페놀프탈레인 1% 용액
측정기구(버니어캘리퍼스, 눈금자 등)	버니어캘리퍼스, 줄자
시약분무로부터 탄산화 길이까지의 시간	즉시
탄산화깊이의 측정 장소의 각 측정값, 평균값, 최대값	보고서 참조
연한 적자색으로 변색된 부분의 유무 (있는 경우 그 상황을 사진 등으로 기록한다)	-

탄산화 깊이 측정 전경

라. 염화물 함유량시험

1) 개요

【표 3.117】염화물 함유량시험 시험내용 및 평가기준

개 요

☑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

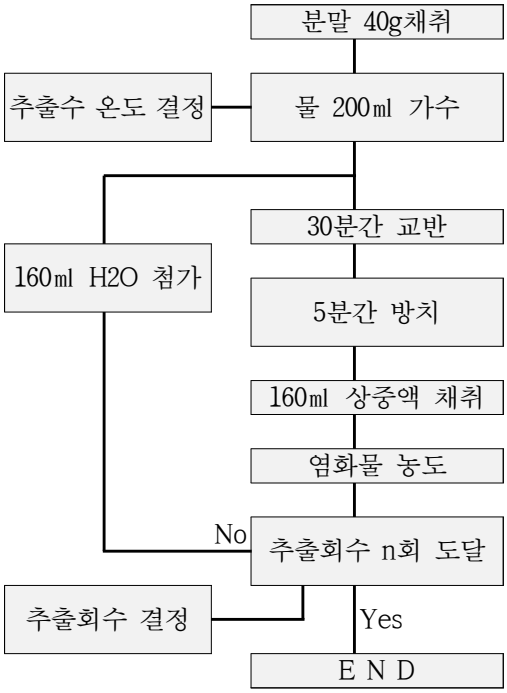
☑굳지 않은 콘크리트의 총 염화물 이온량은 국내의 경우 0.30kg/㎥이하로 제한하고 있으며, 책임기술인의 승인을 받는 경우 0.60kg/㎥ 까지 허용

시 험 방 법

☑대상구조물의 콘크리트 재료 중에 함유된 염화물함유량 정도를 추정하기 위하여 현장에서 채취한 분말시료 또는 코어 공시체를 이용하여 실내시험 실시

☑경화콘크리트 내 염화물함유량 측정은 일본 "건설성 토목연구소"에서 규정한 [콘크리트 중에 포함되어 있는 염화물의 정량 방법에 관한 사안]에 따라 가용성 염분량 분석 실시

☑이미 굳은 콘크리트의 총 염화물 이온량에 대한 검토가 염소이온 농도에 의해 이루어질 경우, 재령 29일 이후의 콘크리트에서 최대 수용성 염화물 이온농도 시험은 KS F 2713(콘크리트 및 콘크리트의 재료의 염화물 분석 시험 방법) 또는 KS F 2715(모르타르 및 콘크리트의 수용성 염화물 시험방법)에 따라 시행하고 콘크리트 구조설계기준(2007년)에 준하여 철근부식 방지를 위한 최대 수용성 염소이온 비율 값으로 검토할 수 있음.



<염화물함유량시험방법>

평 가 기 준

<토목분야 염화물 상태평가 기준>

토목구조물	a	b	c	d	e
전염화물이온량(kg/㎥)	염화물≤0.3	0.3<염화물≤1.2	1.2<염화물≤2.5	2.5≤염화물	-

※일본구조물진단기술협회(비파괴시험을 이용한 토목 콘크리트구조물의 건전도 진단 매뉴얼)

<건축분야 염화물 상태평가 기준>[해당없음]

건축구조물	a	b	c	d	e
전염화물이온량(kg/㎥)	염화물≤0.15	0.15<염화물≤0.3	0.3<염화물≤0.6	0.6<염화물≤1.2	1.2<염화물

※상태평가 결과가 "e" 이고, 철근노출의 상태평가 결과가 "d" 이하면 세부지침의 "중대한 결함" 으로 판단

<철근부식 방지를 위한 최대 수용성 염소이온 비율>

부재의 종류	콘크리트 속의 최대 수용성 염소이온(Cl-), 시멘트의 중량에 대한 비(%)
프리스트레스트 콘크리트	0.06
염화물에 노출된 철근 콘크리트	0.15
건조상태이거나 또는 습기로부터 차단된 철근 콘크리트	1.00
기타 철근 콘크리트	0.30

※콘크리트 내구성 평가절차 수립(건설교통부, 시설안전기술공단, 1999.12) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단 편)(국토교통부, 국토안전관리원, 2022.12) 참조
※염화물함유량시험은 공인시험기관에 의뢰하여 평가

【표 3.118】염화물 함유량시험 시험보고서(부산)

시험보고서 (염화물 함유량 시험)	
구조물 명칭	만화교(부산)
구조물의 경과 년수	10년 이상
시험일	2023.03.29.~2023.04.27.(09:00~18:00)
염화물 시료채취 위치	보고서 및 부록 Data Sheet 참조
사용골재의 종류(보통골재, 경량골재)	보통골재
시료채취 방법	드릴링 및 코어를 통한 분말시료 채취
드릴링에 의한 분말시료 채취	코어 시료 채취

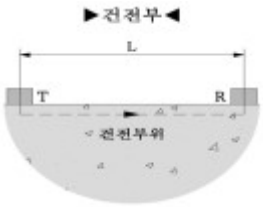
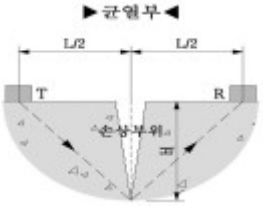
【표 3.119】염화물 함유량시험 시험보고서(울산)

시험보고서 (염화물 함유량 시험)		
구조물 명칭	만화교(울산)	
구조물의 경과 년수	10년 이상	
시험일	2023.03.29.~2023.04.26.(09:00~18:00)	
염화물 시료채취 위치	보고서 및 부록 Data Sheet 참조	
사용골재의 종류(보통골재, 경량골재)	보통골재	
시료채취 방법	드릴링 및 코어를 통한 분말시료 채취	
드릴링에 의한 분말시료 채취	코어 시료 채취	

마. 균열깊이 조사

1) 개요

【표 3.120】균열깊이 조사 시험내용 및 평가기준

개 요	☑초음파속도를 이용한 Tc-To법 적용 ☑Tc-To법은 콘크리트 균열부와 건전부의 초음파속도를 측정 후 데이터 비교에 의해 균열깊이 산출
시 험 방 법	☑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 측정  ☑균열이 없는 부분을 대상으로 동일 방법으로 송신탐촉자와 수신탐촉자의 거리 L과 초음파가 전파하는 시간 To를 구해서 균열깊이(H)를 평가  ☑콘크리트에 균열 있는 경우 초음파의 전달경로가 균열을 따라 진행하기 때문에 초음파의 전달시간이 건전부의 전달시간보다 상대적으로 길어지는 특성을 이용하여 균열 깊이를 계산 $$\text{균열깊이}\,(H) = \frac{L}{2}\sqrt{(\frac{T_c}{T_o})^2 - 1}$$ 여기서, To : 균열이 없는 건전부의 초음파 전달속도 Tc : 균열면 주위의 초음파 전달속도

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
※진단장비 활용·관리 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단 편)(국토교통부, 국토안전관리원, 2022.12) 참조

3.4.3 시험결과 및 분석(부산)

가. 콘크리트 강도시험

- 본 시설물의 콘크리트 비파괴 강도시험은 총 18개소를 실시하였으며, 반발경도 측정은 테스트 앤빌에 의한 교정을 실시하고 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거한 후 실시하였다. 반발경도 값은 각 측정부재에 따라 타격방향, 표면의 건습상태, 재령 등에 의한 보정을 한 후 콘크리트 강도를 추정하였으며, 반발경도에 의한 압축강도 추정은 일본건축학회식과 일본재료학회식을 적용하였다.
- 초음파 전달속도시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스 도포 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 간접법에 의한 초음파전달속도를 측정하였으며, 이를 직접법 속도로 환산하였다.
- 각 측정부재에 따라 타격방향, 재령, 습윤상태 등에 의한 보정 후 콘크리트 강도를 추정하였으며, 반발경도에 의한 비파괴 압축강도 추정시 보통 콘크리트(35.0㎫ 미만)에 해당하는 일본의 재료학회식(식①:Fc=-18.0+1.27×Ro(㎫)), 건축학회식(식②:Fc=(7.3×Ro+100)×0.098(㎫))을 사용하였으며. 초음파 전달속도에 의한 압축강도 추정시 일본건축학회(식①:Fc=(215V_p-620)×0.1(㎫)), 일본재료학회(식①:Fc=(102V_p-117)×0.1(㎫)), 한전기술연구원(식③:Fc=(339.1V_p-1107)×0.1(㎫))을 사용하였다.
- 본 구조물의 설계기준강도는 시설물통합정보시스템(FMS)상의 준공도면 및 구조계산서를 참조하여 상부구조:27.0㎫, 하부구조:24.0㎫로 설정하여 비교・분석을 실시하였다. 또한, 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행될 수 있는 부위로, 표면부의 습윤부를 비건전부로 설정하여 이에 대한 비교를 실시하였다.
- 본 시험에 대한 기초 자료(Law Data)는 별첨 부록에 첨부하였다.

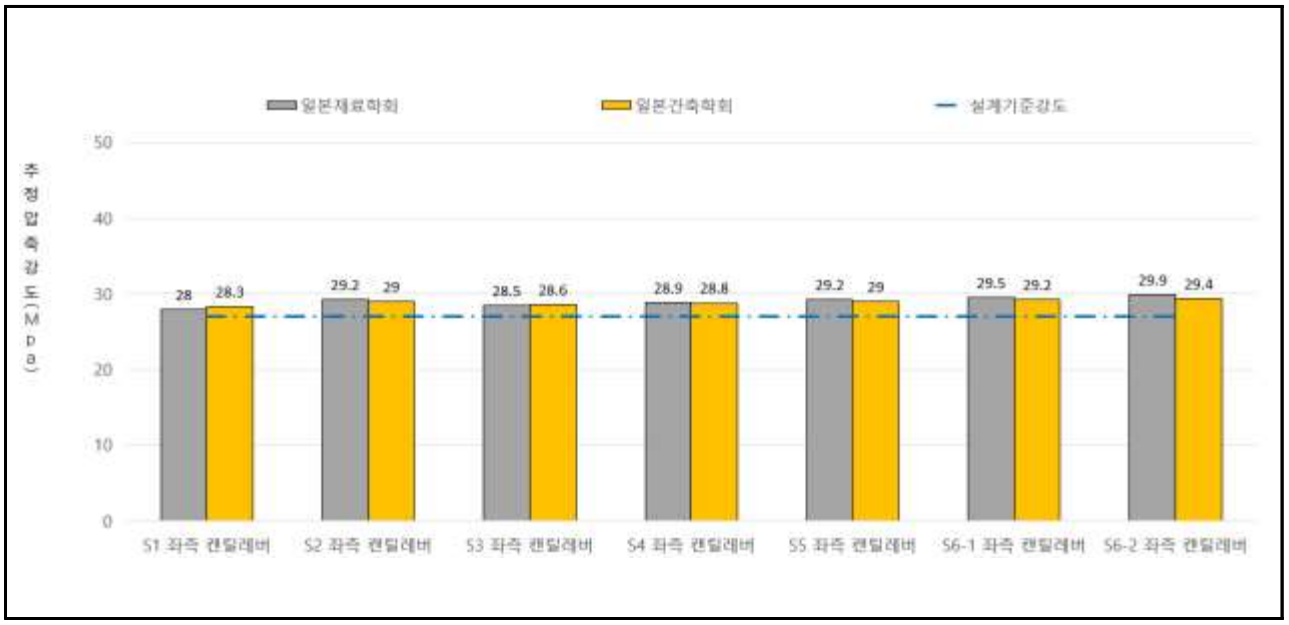
1) 반발경도시험

① 측정결과

- 만화교(부산)에 대하여 콘크리트 추정강도 결과를 분석한 결과, 상부구조는 설계기준강도(보통콘크리트:27.0MPa) 대비 일본재료학회 103.7~110.7%, 일본건축학회 104.8~108.9%, 하부구조는 설계기준강도 (보통콘크리트:24.0MPa) 대비 일본재료학회 105.8~113.3%, 일본건축학회 112.1~116.3%의 분포를 나타내어 전반적으로 설계기준강도를 만족하는 것으로 분석되므로 콘크리트의 강도저하 등의 문제점이 없는 양호한 품질의 상태로 평가되었다.

【표 3.121】 상부구조 반발경도 시험결과(MPa)(부산)

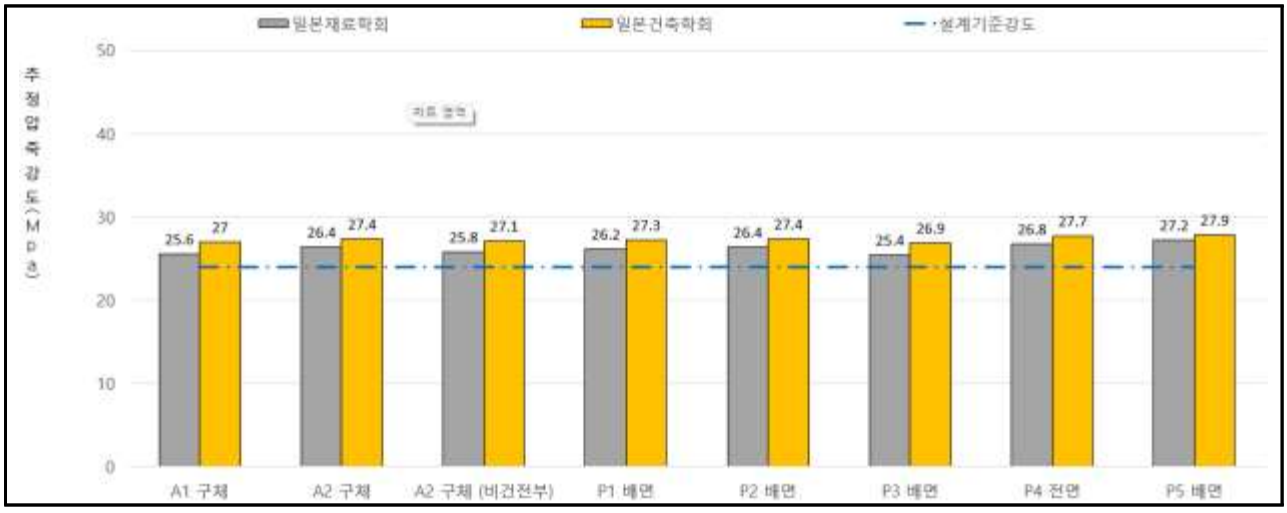
구분	부재	세부위치	반발경도에 의한 콘크리트 강도				설계 기준 강도	비고
			반발경도 (Ro)	재령계수	일본 재료학회	일본 건축학회		
상부구조	바닥판 하면	S1 좌측 캔틸레버	49.1	0.63	28.0	28.3	27.0	건전부
		S2 좌측 캔틸레버	50.6		29.2	29.0		건전부
		S3 좌측 캔틸레버	49.8		28.5	28.6		건전부
		S4 좌측 캔틸레버	50.3		28.9	28.8		건전부
		S5 좌측 캔틸레버	50.7		29.2	29.0		건전부
		S6 좌측 캔틸레버	51.0		29.5	29.2		건전부
			51.5		29.9	29.4		건전부
평균(average)					29.0	28.9	-	-
최대값(max)					29.9	29.4	-	-
최소값(min)					28.0	28.3	-	-
표준편차(standard deviation)					0.63	0.37	-	-
변동계수(coefficient of variation)					2.18	1.28	-	-



【그림 3.37】 상부구조 반발경도 시험결과(부산)

【표 3.122】 하부구조 비파괴강도 시험결과(MPa)(부산)

구분	부재	세부위치	반발경도에 의한 콘크리트 강도				설계기준강도	비고
			반발경도(Ro)	재령계수	일본재료학회	일본건축학회		
하부구조	교대	A1 구체	46.2	0.63	25.6	27.0	24.0	건전부
		A2 구체	47.1		26.4	27.4		건전부
			46.4		25.8	27.1		비건전부
	교각	P1 배면	46.9		26.2	27.3		건전부
		P2 배면	47.1		26.4	27.4		건전부
		P3 배면	45.9		25.4	26.9		건전부
		P4 전면	47.7		26.8	27.7		건전부
		P5 배면	48.1		27.2	27.9		건전부
평균(average)					26.2	27.3	-	-
최대값(max)					27.2	27.9	-	-
최소값(min)					25.4	26.9	-	-
표준편차(standard deviation)					0.61	0.34	-	-
변동계수(coefficient of variation)					2.32	1.25	-	-



【그림 3.38】 하부구조 반발경도 시험결과(부산)

【표 3.123】 반발경도 시험 결과 요약(부산)

구분	부재	설계기준강도(MPa)	반발경도에 의한 콘크리트 강도		비고
			일본재료학회	일본건축학회	
상부구조	바닥판 하면	27.0	28.0~29.9 (103.7~110.7%)	28.3~29.4 (104.8~108.9%)	
하부구조	교대, 교각	24.0	25.4~27.2 (105.8~113.3%)	26.9~27.9 (112.1~116.3%)	
※ 만화교(부산)에 대한 강도평가 결과, 일본재료학회 및 일본건축학회 추정식 모두 설계기준강도를 만족하는 양호한 상태로 평가됨.					

② 건전부/비건전부 강도 비교평가

㉠ 비건전부 반발경도시험 위치 선정

- 구조물에 발생된 손상(경년열화, 우수유입)으로 인한 콘크리트의 강도저하 여부 확인을 위하여 손상부위(비건전부위)와 양호한 부위(건전부)에서 반발경도시험을 각각 실시하였으며, 비건전부의 시험위치는 외관조사시 우기시 수분접촉으로 표면 열화 우려가 있는 교대 A2(구체)으로 선정하였다.

【표 3.124】비건전부 위치선정 현황(부산)

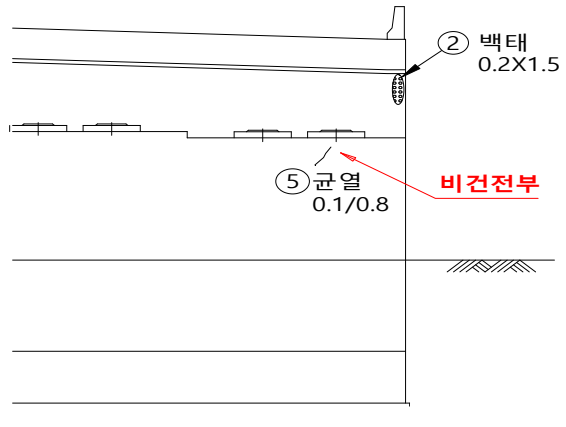
세부 부재명	위 치	위치 선정 사유	비고
교대	A2 (구체)	우기시 수분접촉으로 인한 표면 열화 우려	균열 (Cw=0.3㎜미만)

㉡ 결과분석

- 비건전부의 측정강도는 25.8㎫(일본재료학회)으로 설계기준강도(하부구조: 24.0㎫)를 만족하는 것으로 나타나 해당손상으로 인한 구조물 안전성에 직접적인 영향은 없을 것으로 판단된다. 또한, 건전부와의 비교결과에서 건전부 대비 97.7%로 분석되었으며, 측정위치 및 측정오차 등을 고려할때, 손상에 따른 내구성저하는 경미한 수준인 것으로 사료된다.

【표 3.125】건전부/비건전부 비교 결과(부산)

구분	위치	측정값(MPa)		건전부 대비(%)	설계기준 강도(MPa)	비고
		건전부	비건전부			
하부구조	교대 (A2, 구체)	26.4	25.8	97.7	24.0	



비건전부(A2, 구체) 측정위치도

비건전부(A2, 구체) 표면상태

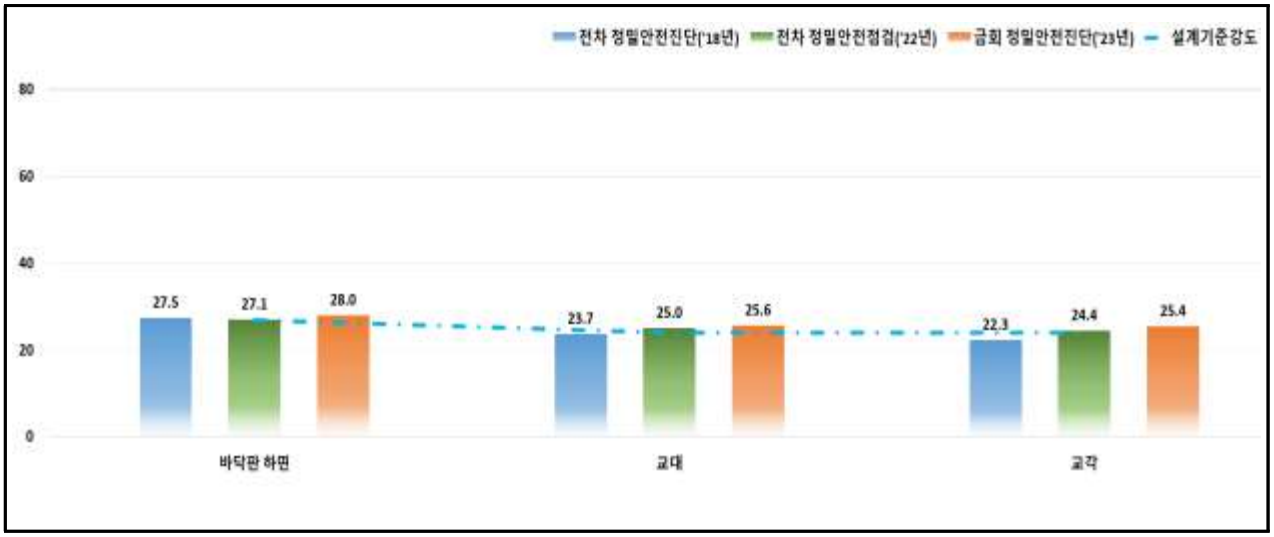
③ 전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검의 반발경도 시험 결과 비교

- 전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검 비교한 결과, 전반적으로 금회 정밀안전진단의 결과와 유사하며, 설계기준강도를 만족하는 것으로 분석되어 콘크리트의 강도저하는 없는 것으로 평가되었다.

【표 3.126】전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검의 반발경도 시험 결과 비교(부산)

구분	부재	반발경도에 의한 콘크리트 강도			설계기준강도 (MPa)	비고
		전차 정밀안전진단 ('18년)	전차 정밀안전점검 ('22년)	금회 정밀안전진단 ('23년)		
상부구조	바닥판 하면	27.5~29.5	27.1~28.3	28.0~29.9	27.0	
하부구조	교대	23.7~24.0	25.0~25.3	25.6~26.4	24.0	
	교각	22.3~24.6	24.4~25.9	25.4~27.2	24.0	

※ 시험 결과 비교 값은 표준편차와 변동계수(강도의 Data 신뢰성)가 큰 값 (상부구조):일본재료학회, (하부구조):일본재료학회을 선정함.
※ 그래프는 (상부구조):일본재료학회, (하부구조):일본재료학회 최소값을 반영함.



【그림 3.39】전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검 결과 비교(부산)

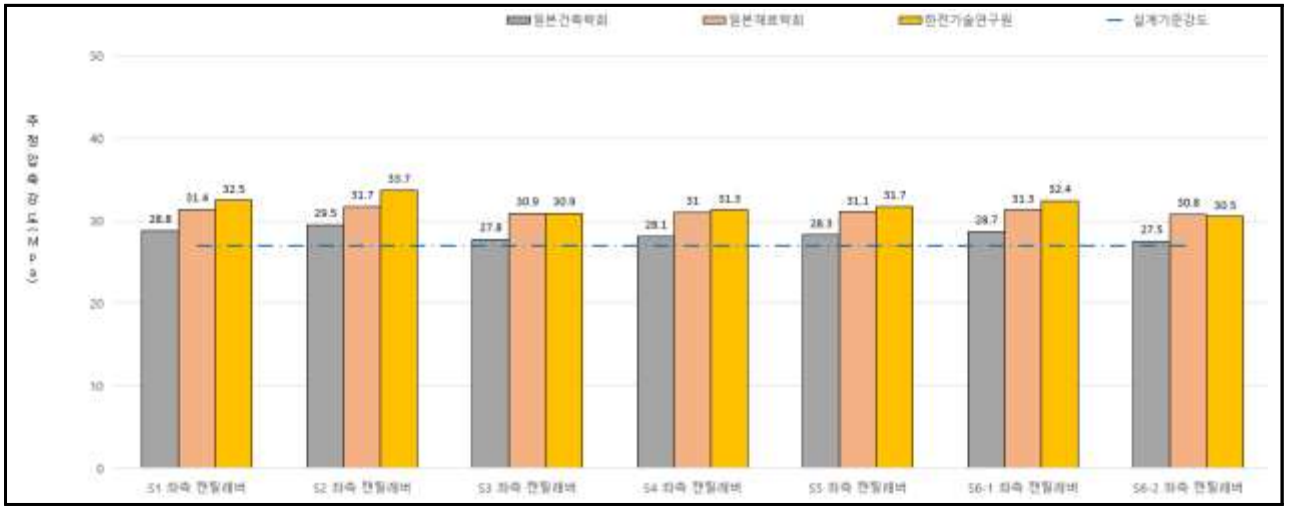
2) 초음파 전달속도 시험

① 측정결과

- 만화교(부산)에 대하여 초음파 전달속도에 의한 콘크리트 추정강도를 분석한 결과, 상부구조는 설계기준강도(보통 콘크리트:27.0MPa) 대비 일본건축학회 101.9~109.3%, 일본재료학회 114.1~117.4%, 한전기술연구원 113.0~124.8% 하부구조는 설계기준강도(보통 콘크리트:24.0MPa), 대비 일본건축학회 104.2~117.1%, 일본재료학회 123.3~129.2%, 한전기술연구원 110.4~130.8%의 분포를 나타내어 전반적으로 설계기준강도를 만족하는 것으로 분석되므로 콘크리트의 강도저하 등의 문제점이 없는 양호한 품질의 상태로 평가되었다.

【표 3.127】 상부구조 초음파 전달속도 시험결과(MPa)(부산)

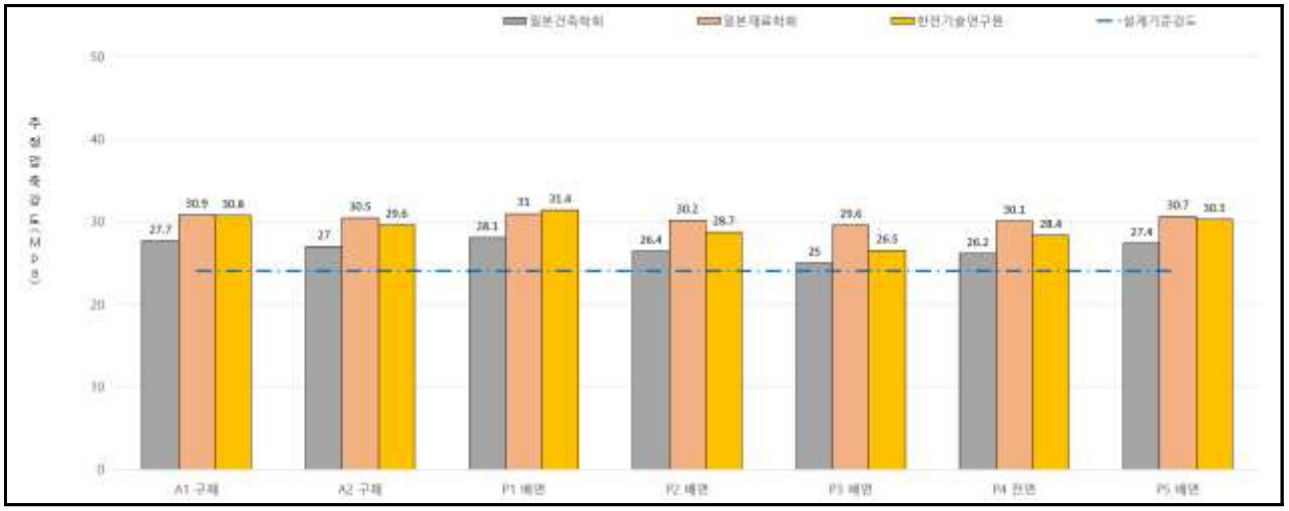
구분	부재	세부위치	초음파 전달속도에 의한 콘크리트 강도				설계기준강도	비고
			표면법 (km/sec)	일본 건축학회	일본 재료학회	한전기술 연구원		
상부구조	바닥판 하면	S1 좌측 캔틸레버	4.022	28.8	31.4	32.5	27.0	건전부
		S2 좌측 캔틸레버	4.055	29.5	31.7	33.7		건전부
		S3 좌측 캔틸레버	3.978	27.8	30.9	30.9		건전부
		S4 좌측 캔틸레버	3.989	28.1	31.0	31.3		건전부
		S5 좌측 캔틸레버	3.999	28.3	31.1	31.7		건전부
		S6 좌측 캔틸레버	4.019	28.7	31.3	32.4		건전부
			3.966	27.5	30.8	30.5		건전부
평균(average)				28.4	31.2	31.9	-	-
최대값(max)				29.5	31.7	33.7	-	-
최소값(min)				27.5	30.8	30.5	-	-
표준편차(standard deviation)				0.67	0.31	1.10	-	-
변동계수(coefficient of variation)				2.38	1.01	3.59	-	-



【그림 3.40】 상부구조 초음파 전달속도 시험결과(부산)

【표 3.128】하부구조 초음파 전달속도 시험결과(MPa)(부산)

구분	부재	세부위치	초음파 전달속도에 의한 콘크리트 강도				설계기준강도	비고
			표면법 (km/sec)	일본 건축학회	일본 재료학회	한전기술 연구원		
하부구조	교대	A1 구체	3.975	27.7	30.9	30.8	24.0	건전부
		A2 구체	3.940	27.0	30.5	29.6		건전부
	교각	P1 배면	3.991	28.1	31.0	31.4		건전부
		P2 배면	3.915	26.4	30.2	28.7		건전부
		P3 배면	3.855	25.0	29.6	26.5		건전부
		P4 전면	3.907	26.2	30.1	28.4		건전부
		P5 배면	3.960	27.4	30.7	30.3		건전부
평균(average)				26.8	30.4	29.4	-	-
최대값(max)				28.1	31.0	31.4	-	-
최소값(min)				25.0	29.6	26.5	-	-
표준편차(standard deviation)				1.05	0.50	1.67	-	-
변동계수(coefficient of variation)				3.93	1.63	6.30	-	-



【그림 3.41】하부구조 초음파 전달속도 시험결과(부산)

【표 3.129】초음파 전달속도 시험 결과 요약(부산)

구분	부재	설계기준강도 (MPa)	초음파 전달속도에 의한 콘크리트 강도			비고
			일본건축학회	일본재료학회	한전기술연구원	
상부구조	바닥판 하면	27.0	27.5~29.5 (101.9~109.3%)	30.8~31.7 (114.1~117.4%)	30.5~33.7 (113.0~124.8%)	
하부구조	교대, 교각	24.0	25.0~28.1 (104.2~117.1%)	29.6~31.0 (123.3~129.2%)	26.5~31.4 (110.4~130.8%)	
※ 만화교(부산)에 대한 강도평가 결과, 일본건축학회, 일본재료학회, 한전기술연구원 추정식 모두 설계기준강도를 만족하는 양호한 상태로 평가됨.						

2) 전차 정밀안전진단 초음파 전달속도시험 결과 비교

- 전차 정밀안전진단 비교한 결과, 전반적으로 금회 정밀안전진단의 결과와 일부 차이는 있으나, 이는 점검 위치 및 점검 장비 등의 차이로 판단되며, 금회 정밀안전진단 설계기준강도를 만족하는 것으로 분석되어 콘크리트의 강도저하는 없는 것으로 평가되었다.

【표 3.130】전차 정밀안전진단 초음파 전달속도시험 결과 비교(부산)

구분	부재	초음파 전달속도에 의한 콘크리트 강도		설계기준강도 (MPa)	비고
		전차 정밀안전진단 ('18년)	금회 정밀안전진단 ('23년)		
상부구조	바닥판 하면	25.5~27.7	30.5~33.7	27.0	
하부구조	교대	24.9~29.3	29.6~31.4	24.0	
	교각	25.9~27.4	26.5~30.3	24.0	
※ 시험 결과 비교 값은 표준편차와 변동계수(강도의 Data 신뢰성)가 큰 값 (상부구조):한전기술연구원, (하부구조):한전기술연구원을 선정함. ※ 그래프는 (상부구조):한전기술연구원, (하부구조):한전기술연구원 최소값을 반영함.					

【그림 3.42】전차 정밀안전진단 결과 비교(부산)

3) 코어 압축강도 시험

① 코어강도를 이용한 비파괴 강도 보정

- 금회 정밀안전진단에서 금회의 반발경도 및 초음파 전달속도 의한 비파괴강도를 이용하여 보정계수를 구하고, 콘크리트의 압축강도를 평가하였다.

㉠ 콘크리트 코어 상태조사

【표 3.131】 콘크리트 코어 상태조사(2023년)(부산)

구 분	위 치	코어 사진	코어 제원	외관 상태	비 고
하부구조	교각 (P1,배면)		D=68.3㎜ L=114.9㎜	◦외관상태 양호 ◦시멘트와 골재의 부착 상태 양호 ◦미세공극 발견되지 않음	 코어채취 전경 (2023년)
	교각 (P5, 배면)		D=68.3㎜ L=127.6㎜	◦외관상태 양호 ◦시멘트와 골재의 부착 상태 양호 ◦미세공극 발견되지 않음	 코어채취 전경 (2023년)

- 콘크리트 상태를 확인하기 위하여 하부구조 2개소에서 코어 채취하여 상태를 분석한 결과 골재의 분포 및 콘크리트의 외관상태는 양호한 것으로 조사되었다.

㉡ 코어 압축강도

【표 3.132】 코어 압축강도시험 결과(MPa)(부산)

구 분	시료 크기 (D×H, mm)	압축강도 (MPa)	설계기준강도	압축강도/ 설계강도(%)	비 고
교각 (P1, 배면)	68.3×114.9	46.0	24.0	191.0%	
교각 (P5, 배면)	68.3×127.6	34.2		142.5%	

- 코어 압축강도시험을 실시한 결과, 콘크리트의 강도는 하부구조 34.2~46.0MPa로 설계기준강도(24.0MPa)를 만족하는 것으로 검토되어 강도 감소로 인한 내구성 저하는 없는 것으로 판단된다.

㉢ 보정계수의 결정

【표 3.133】 보정계수의 결정(부산)

구 분	위치	보정 코어 강도	반발경도법		초음파속도법			비 고
			일본 재료학회	일본 건축학회	일본 재료학회	일본 건축학회	한전 기술연구원	
하부구조	교각 (P1, 배면)	46.0	26.2	27.3	31.0	28.1	31.4	
	보정계수 Ct		1.756	1.685	1.484	1.637	1.465	
	교각 (P5, 배면)	34.2	27.2	27.9	30.7	27.4	30.3	
	보정계수 Ct		1.257	1.226	1.114	1.248	1.129	
보정계수 Ct			1.507	**1.456**	1.299	1.443	**1.297**	
식	비파괴강도 보정계수		$C_t = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left(\frac{R_{pr}}{R_{st}}\right)$		C_t : 보정계수 R_{pr} : 코어 압축강도(MPa) R_{st} : 비파괴강도(MPa) k : 시료수			

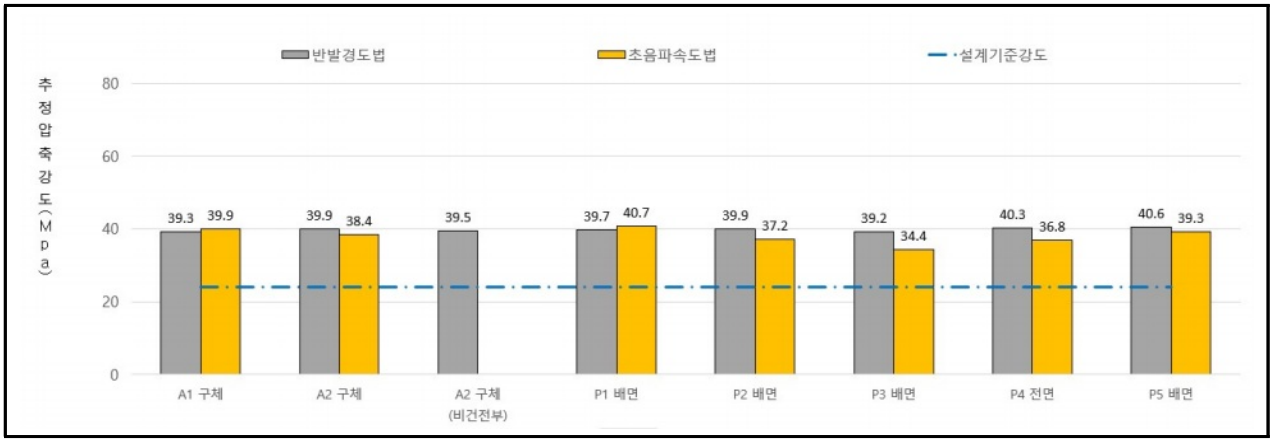
- 위와 같이 비파괴강도 보정계수 식을 활용하여 보정계수를 산정한 결과, 반발경도법(일본건축학회), 초음파속도법(한전기술연구원)을 보정계수로 적용하였다.

【표 3.134】 하부구조(반발경도별) 비파괴 보정계수에 의한 추정비파괴강도(MPa)(부산)

구 분	시험위치		반발경도법 (일본건축학회)	보정 계수	추정 비파괴 강도	설계 기준 강도	비고
하부구조	교대	A1 구체	27.0	1.456	39.3	24.0	건전부
		A2 구체	27.4	1.456	39.9		건전부
			27.1	1.456	39.5		비건전부
	교각	P1 배면	27.3	1.456	39.7		건전부
		P2 배면	27.4	1.456	39.9		건전부
		P3 배면	26.9	1.456	39.2		건전부
		P4 전면	27.7	1.456	40.3		건전부
		P5 배면	27.9	1.456	40.6		건전부
평균(average)			27.3	-	39.8	-	-
최대값(max)			27.9	-	40.6	-	-
최소값(min)			26.9	-	39.2	-	-
표준편차(standard deviation)			0.34	-	0.47	-	-
변동계수(coefficient of variation)			1.25	-	1.17	-	-

【표 3.135】하부구조(초음파속도법) 비파괴 보정계수에 의한 추정비파괴강도(MPa)(부산)

구 분	시험위치		초음파속도법 (한전기술연구원)	보정 계수	추정 비파괴 강도	설계 기준 강도	비고
하부구조	교대	A1 구체	30.8	1.297	39.9	24.0	건전부
		A2 구체	29.6	1.297	38.4		건전부
	교각	P1 배면	31.4	1.297	40.7		건전부
		P2 배면	28.7	1.297	37.2		건전부
		P3 배면	26.5	1.297	34.4		건전부
		P4 전면	28.4	1.297	36.8		건전부
		P5 배면	30.3	1.297	39.3		건전부
평균(average)			29.4	-	38.1	-	-
최대값(max)			31.4	-	40.7	-	-
최소값(min)			26.5	-	34.4	-	-
표준편차(standard deviation)			1.67	-	2.00	-	-
변동계수(coefficient of variation)			6.30	-	5.26	-	-



【그림 3.43】하부구조 추정비파괴강도 결과 그래프(부산)

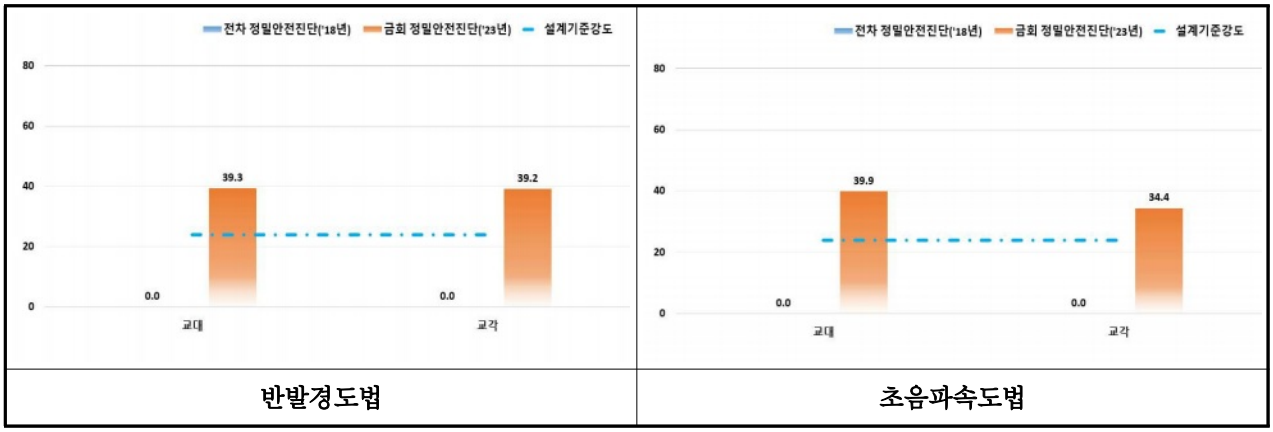
【표 3.136】보정계수 선정에 의한 비파괴강도 결과분석(부산)

형식	부재	설계 기준강도	추정비파괴 강도(MPa)		평가(%)		비고
			반발경도법	초음파속도법	반발경도법	초음파속도법	
하부 구조	교대	24.0	39.3~39.9	39.9~38.4	164~166	160~168	
	교각		39.2~40.6	34.4~40.7	163~169	143~170	

㉣ 전차 정밀안전진단 추정 비파괴강도 시험결과 비교

【표 3.137】전차 정밀안전진단 추정 비파괴강도 결과 비교(부산)

구분	부재	추정 비파괴 강도				설계기준강도 (MPa)	비고
		전차 정밀안전진단('18년)		금회 정밀안전진단('23년)			
		반발경도법	초음파속도법	반발경도법	초음파속도법		
하부 구조	교대	-	-	39.3~39.9	39.9~38.4	24.0	
	교각	-	-	39.2~40.6	34.4~40.7	24.0	
※ 그래프는 반발경도법, 초음파속도법의 최소값을 반영함.							

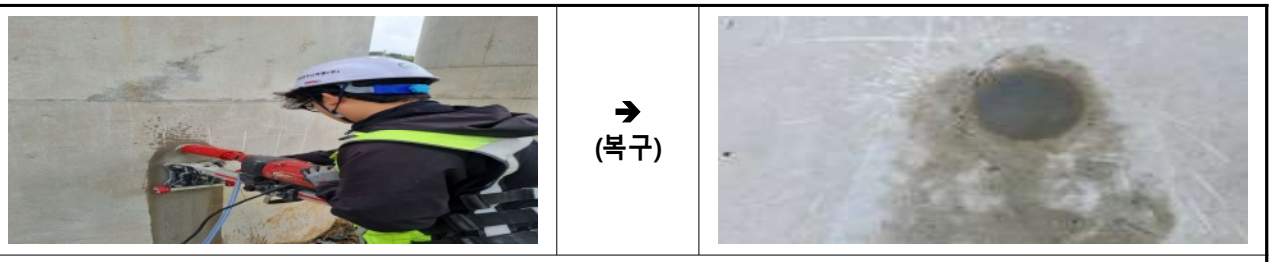


반발경도법 | 초음파속도법

【그림 3.44】전차 정밀안전진단 추정 비파괴 강도 결과와 비교(부산)

- 【그림 3.44】와 같이 전차 정밀안전진단 측정 분석한 결과, 금회 정밀안전진단에서 추정 비파괴 강도는 첫 실시한 상태이며, 향후 진단시 금회 진단 결과와 비교가 필요할 것으로 판단된다.

② 코어 압축강도 시험 복구 현황



교각(P1, 배면) 채취 후 복구 현황

- 금회 정밀안전진단에서 코어 압축강도 시험 진행 후 코어 압축강도 시험 구간에 대한 복구를 실시하였다.

나. 철근탐사시험

1) 측정결과

- 철근탐사기(RC-Radar)를 이용한 철근탐사시험은 총 14개소(상부구조 7개소, 하부구조 7개소)에서 실시하였으며, 철근탐시험 결과, 측정된 배근간격 및 피복두께의 미미한 차이가 있으며, 일부 부재에서 실측값이 설계값과 다소 차이가 나는 것으로 분석되었다. 이는 콘크리트 타설시 철근 유동 등에 의한 것으로 판단된다. 현재 단위길이(1m)당 철근수량을 만족하며 설계피복두께를 충분히 확보하고 있는 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3.138】 상부구조 철근탐사 시험결과(부산)

시험위치		철근종류	측정값(㎜)		설계값(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부구조	S1 좌측 캔틸레버	주철근	205~223	40~54	240.0	32.0	
		배력철근	235~265	40~46	250.0	19.0	
	S2 좌측 캔틸레버	주철근	235~257	42~51	240.0	32.0	
		배력철근	238~255	40~50	250.0	19.0	
	S3 좌측 캔틸레버	주철근	240~276	40~44	240.0	32.0	
		배력철근	218~250	40~44	250.0	19.0	
	S4 좌측 캔틸레버	주철근	110~130	42~54	120.0	32.0	
		배력철근	234~263	40~45	250.0	19.0	
	S5 좌측 캔틸레버	주철근	92~147	40~50	120.0	32.0	
		배력철근	233~237	41~43	250.0	19.0	
	S6 좌측 캔틸레버	주철근	233~242	40~59	240.0	32.0	
		배력철근	252~270	41~48	250.0	19.0	
		주철근	230~245	40~48	240.0	32.0	
		배력철근	250~273	40~48	250.0	19.0	

※상부구조(바닥판) 주철근 설계값 피복두께는 40.0이며, 순피복두께는 H16을 사용하여 32.0으로 표기함.
※상부구조(바닥판) 배력철근 설계값 피복두께는 40.0이며, 순피복두께는 H13을 사용하여 19.0으로 표기함.

【표 3.139】 하부구조 철근탐사 시험결과(부산)

시험위치		철근종류	측정값(㎜)		설계값(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
하부 구조	A1 구체	주철근	192~195	99~103	200.0	85.5	
		배력철근	132~150	99~102	150.0	66.5	
	A2 구체	주철근	242~254	100~104	250.0	85.5	
		배력철근	114~185	99~104	150.0	66.5	
	P1 배면	주철근	120~144	101~107	127.0	85.5	
		배력철근	293~311	99~110	300.0	66.5	
	P2 배면	주철근	100~163	100~111	127.0	85.5	
		배력철근	288~315	100~128	300.0	66.5	
	P3 배면	주철근	126~174	100~104	127.0	85.5	
		배력철근	290~310	100~120	300.0	66.5	
	P4 전면	주철근	130~151	100~107	127.0	85.5	
		배력철근	288~305	99~108	300.0	66.5	
	P5 배면	주철근	130~178	100~107	127.0	85.5	
		배력철근	284~318	99~107	300.0	66.5	

※하부구조(교대, 교각) 주철근 설계값 피복두께는 100.0이며, 순피복두께는 D29을 사용하여 85.5으로 표기함.
※하부구조(교대, 교각) 배력철근 설계값 피복두께는 100.0이며, 순피복두께는 D19을 사용하여 66.5으로 표기함.

【표 3.140】 철근탐사시험 결과 요약(부산)

구분	부재	철근탐사시험				비고
		배근간격		피복두께		
		주철근	배력철근	주철근	배력철근	
상부구조	바닥판 하면	92~276	205~273	40~59	40~54	
하부구조	교대	192~254	114~185	99~104	99~104	
	교각	100~178	284~318	100~111	99~128	

2) 전차 정밀안전진단의 철근탐사시험 결과 비교

- 전차 정밀안전진단 비교한 결과, 상부구조 배근간격은 구간 위치에 따라 다소 차이가 있으나, 이는 설계 간격이며, 일부구간 피복두께 다소 차이를 보이는 것으로 확인되었다.

【표 3.141】 전차 정밀안전진단 철근탐사시험 결과 비교(부산)

형식	부재	철근탐사시험								비고
		전차정밀안전진단 ('18년)				금회정밀안전진단 ('23년)				
		배근간격		피복두께		배근간격		피복두께		
		주철근	배력철근	주철근	배력철근	주철근	배력철근	주철근	배력철근	
상부구조	바닥판 하면	110~135	115~250	37~50	40~52	92~276	205~273	40~59	40~54	
하부구조	교대	185~260	155~165	90~98	95~105	192~254	114~185	99~104	99~104	
	교각	120~135	270~320	90~115	80~100	100~178	284~318	100~111	99~128	
검토의견		• 전차 정밀안전진단(18년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 단위길이당 철근수량을 만족하며 설계피복두께를 충분히 확보하고 있는 양호한 상태로 평가됨.								

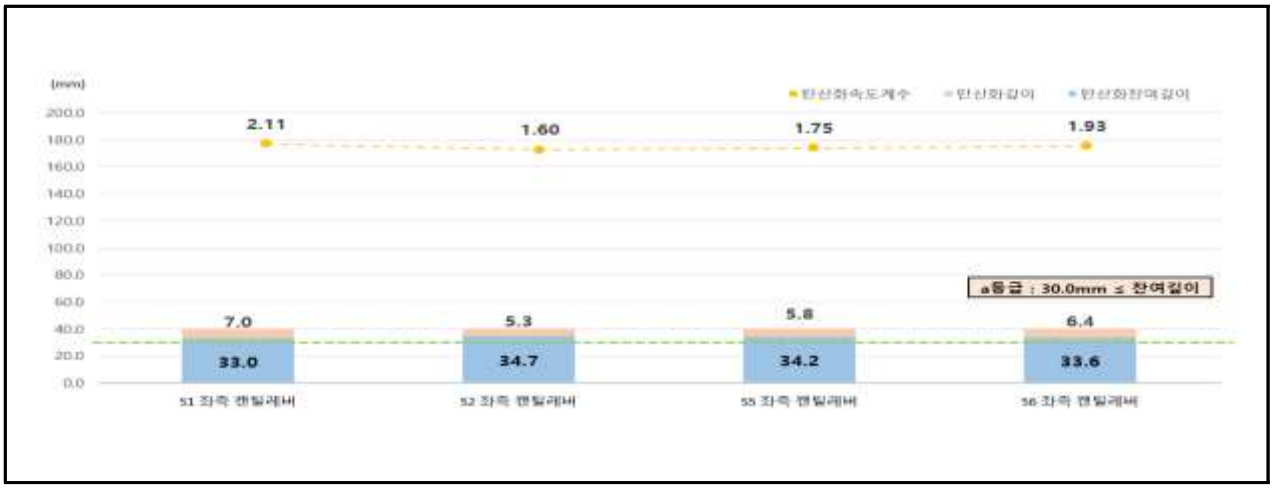
다. 탄산화 깊이 측정

1) 측정결과

- 탄산화 깊이 측정은 총 9개소(상부구조 4개소, 하부구조 5개소)에서 실시하였다. 실측한 최소 피복두께와 탄산화 깊이를 비교한 결과, 전 개소의 탄산화 잔여깊이가 30.0㎜ 이상을 만족한 상태로 측정되어 상태평가 “a” 로 평가되었다. 탄산화 속도계수를 통한 잔존수명 예측결과 전 개소 100년 이상으로 추정되었으며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성이 없는 양호한 상태로 분석되었다.

【표 3.142】 상부구조 탄산화 깊이 측정 결과(부산)

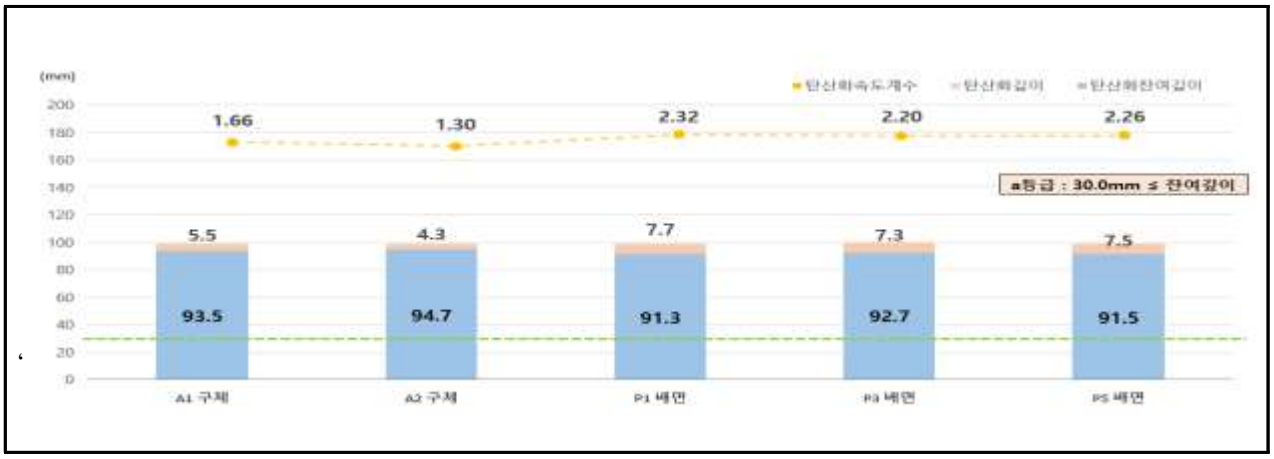
시험위치		탄산화 깊이 (㎜)	최소 피복두께 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
상부 구조	S1 좌측 캔틸레버	7.0	40.0	33.0	a	2.11	100년이상	
	S2 좌측 캔틸레버	5.3	40.0	34.7	a	1.60	100년이상	
	S5 좌측 캔틸레버	5.8	40.0	34.2	a	1.75	100년이상	
	S6 좌측 캔틸레버	6.4	40.0	33.6	a	1.93	100년이상	



【그림 3.45】 상부구조 탄산화 깊이 측정 결과(부산)

【표 3.143】 하부구조 탄산화 깊이 측정 결과(부산)

시험위치		탄산화 깊이 (㎜)	최소 피복두께 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
하부 구조	A1 구체	5.5	99.0	93.5	a	1.66	100년이상	
	A2 구체	4.3	99.0	94.7	a	1.30	100년이상	
	P1 배면	7.7	99.0	91.3	a	2.32	100년이상	
	P3 배면	7.3	100.0	92.7	a	2.20	100년이상	
	P5 배면	7.5	99.0	91.5	a	2.26	100년이상	



【그림 3.46】 하부구조 탄산화 깊이 측정 결과(부산)

【표 3.144】 탄산화 깊이 측정 결과 요약(부산)

구분	부재	탄산화 깊이 측정 (탄산화 깊이)	상태평가	비고
상부구조	바닥판 하면	5.3~7.0	a	
하부구조	교대	4.3~5.5	a	
	교각	7.3~7.7	a	
※ 만화교(부산)에 대한 탄산화 깊이 측정 결과, 측정개소에서 a등급으로 평가되었으며, 탄산화로 인한 철근 부식은 없는 것으로 분석되었다.				

2) 전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검의 탄산화 깊이 측정 결과 비교

- 전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검 비교한 결과, 전반적으로 금회 정밀안전진단의 결과와 유사하며, 탄산화 깊이 측정 결과 잔여깊이가 a등급으로 확보하고 있는 것으로 조사되어 강도저하 및 탄산화에 의한 내구성 저하는 없는 것으로 분석되었다.

【표 3.145】 전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검의 탄산화 깊이 측정 결과 비교(부산)

구분	부재	탄산화 깊이 측정			비고
		전차 정밀안전진단 ('18년)	전차 정밀안전점검 ('22년)	금회 정밀안전진단 ('23년)	
상부구조	바닥판 하면	4.2~6.5	5.5~7.2	5.3~7.0	
하부구조	교대	4.2~4.6	4.6~5.4	4.3~5.5	
	교각	6.3~7.9	7.3	7.3~7.7	

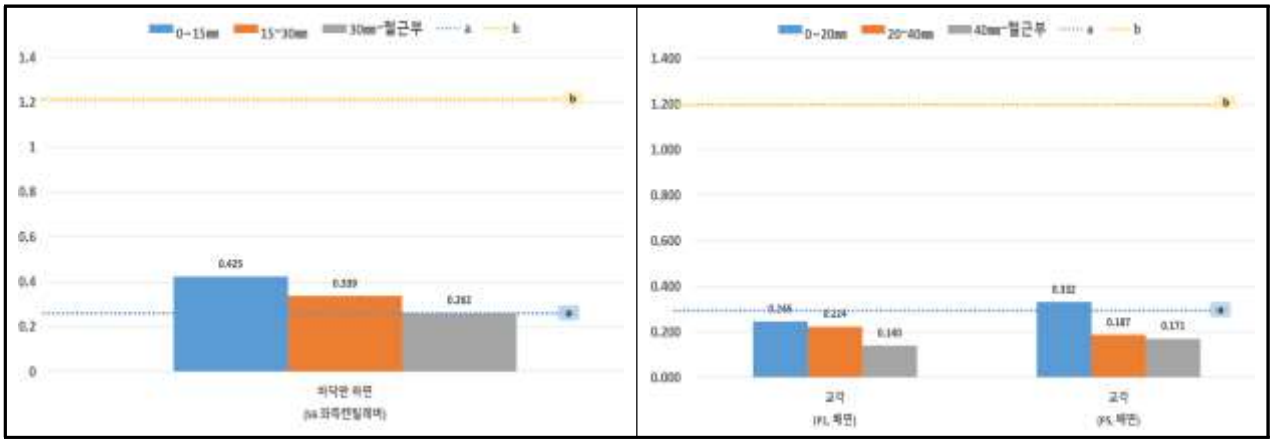
라. 염화물함유량 시험

1) 측정결과

- 염화물함유량 시험은 총 3개소(상부구조 1개소, 하부구조 2개소)에서 실시하여 깊이별 시험을 실시하였다. 염화물함유량 시험은 공인인증 시험기관(KOLAS)에 실내실험을 의뢰하였으며, 측정된 결과 값을 분석·평가 하였다.
- 분석결과, 염화물함유량은 상부구조(S6)에서 0.262kg/㎥, 하부구조(P1, P5)에서 0.140~0.171 kg/㎥으로 확인되어 상부구조(S6), 하부구조(P1, P5)는 염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없는 상태인 “a” 등급으로 분석되었다.

【표 3.146】염화물함유량 시험 결과(부산)

형식	부재	세부위치		Cl- WT(%)	환산 Cl-(kg/㎥)	평가등급	비고
상부구조	바닥판 하면	S6 (좌측캔틸레버)	0~15㎜	0.0188	0.425	b	KS F 2713 - ‘17
			15~30㎜	0.0150	0.339	b	
			30~철근부	0.0116	0.262	a	
하부구조	교각	P1 (배면)	0~20㎜	0.0109	0.246	a	
			20~40㎜	0.0099	0.224	a	
			40~철근부	0.0062	0.140	a	
		P5 (배면)	0~20㎜	0.0147	0.332	b	
			20~40㎜	0.0083	0.187	a	
			40~철근부	0.0076	0.171	a	



【그림 3.47】염화물함유량 시험 결과(부산)

【표 3.147】 염화물함유량 시험 결과 요약(부산)

구분	염화물 함유량 시험 결과		평가등급	비고
	등급(Min)	등급(Max)		
상부구조	0.262	0.262	a	철근부
하부구조	0.140	0.171	a	

- 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검・진단 편, 2022.12, 국토교통부/국토안전관리원)을 참조하였으며, 염화물 함유량 상태평가 적용 시 전염화물 이온량 평가와 철근부식 가능성 평가중 최저값을 산정하는데 상태평가 등급 중 최소값은 상부구조(철근부) 0.262 kg/㎥, 하부구조(철근부) 0.140~0.171kg/㎥으로 산정하여 본 보고서 상태평가에 적용하였다.

2) 전차 정밀안전진단 염화물함유량 결과 비교

- 전차 정밀안전진단 비교한 결과, 하향된 것으로 확인되었으나 상부구조 a등급, 하부구조 a등급이므로 철근부식의 영향은 없는 것으로 분석되며 전차 정밀안전진단에 비해 등급이 하향된 원인은 점검 위치 및 점검 장비 등의 차이 및 공용년수의 증가에 따른 염화물의 침투 및 축적(염해) 등의 외부요인에 의한 것으로 판단된다.

【표 3.148】 전차 정밀안전진단 염화물함유량 결과 비교(부산)

구분	염화물 함유량 시험 결과				비고
	전차 정밀안전진단 ('18년)		금회 정밀안전진단 ('23년)		
	상부구조	하부구조	상부구조	하부구조	
환산 Cl-(kg/㎥)	0.092	0.077~0.083	0.262	0.140~0.171	철근부
상태평가 등급	a	a	a	a	

3.4.4 시험결과 및 분석(울산)

가. 콘크리트 강도시험

- 본 시설물의 콘크리트 비파괴 강도시험은 총 14개소를 실시하였으며, 반발경도 측정은 테스트 앤빌에 의한 교정을 실시하고 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거한 후 실시하였다. 반발경도 값은 각 측정부재에 따라 타격방향, 표면의 건습상태, 재령 등에 의한 보정을 한 후 콘크리트 강도를 추정하였으며, 반발경도에 의한 압축강도 추정은 일본건축학회식과 일본재료학회식을 적용하였다.
- 초음파 전달속도시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스 도포 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10cm간격으로 증가시키면서 간접법에 의한 초음파전달속도를 측정하였으며, 이를 직접법 속도로 환산하였다.
- 각 측정부재에 따라 타격방향, 재령, 습윤상태 등에 의한 보정 후 콘크리트 강도를 추정하였으며, 반발경도에 의한 비파괴 압축강도 추정시 보통 콘크리트(35.0㎫ 미만)에 해당하는 일본의 재료학회식(식①:Fc=-18.0+1.27×Ro(㎫)), 건축학회식(식②:Fc=(7.3×Ro+100)×0.098(㎫))을 사용하였으며. 초음파 전달속도에 의한 압축강도 추정시 일본건축학회(식①:Fc=(215V_p-620)×0.1(㎫)), 일본재료학회(식①:Fc=(102V_p-117)×0.1(㎫)), 한전기술연구원(식③:Fc=(339.1V_p-1107)×0.1(㎫))을 사용하였다.
- 본 구조물의 설계기준강도는 시설물통합정보시스템(FMS)상의 준공도면 및 구조계산서를 참조하여 상부구조:27.0㎫, 하부구조:24.0㎫로 설정하여 비교・분석을 실시하였다. 또한, 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행될 수 있는 부위로, 표면부의 습윤부를 비건전부로 설정하여 이에 대한 비교를 실시하였다.
- 본 시험에 대한 기초 자료(Law Data)는 별첨 부록에 첨부하였다.

1) 반발경도시험

① 측정결과

- 만화교(울산)에 대하여 콘크리트 추정강도 결과를 분석한 결과, 상부구조는 설계기준강도(보통콘크리트:27.0MPa) 대비 일본재료학회 105.9~111.5%, 일본건축학회 106.3~109.3%, 하부구조는 설계기준강도 (보통콘크리트:24.0MPa) 대비 일본재료학회 105.8~113.3%, 일본건축학회 112.1~116.3%의 분포를 나타내어 전반적으로 설계기준강도를 만족하는 것으로 분석되므로 콘크리트의 강도저하 등의 문제점이 없는 양호한 품질의 상태로 평가되었다.

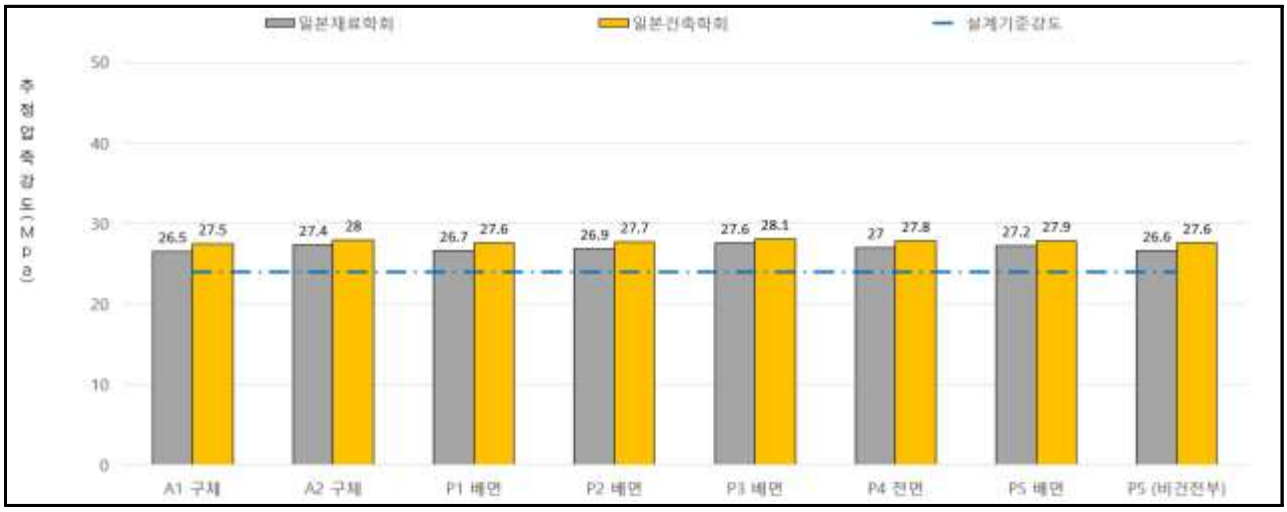
【표 3.149】 상부구조 반발경도 시험결과(MPa)(울산)

구분	부재	세부위치	반발경도에 의한 콘크리트 강도				설계기준강도	비고
			반발경도(Ro)	재령계수	일본 재료학회	일본 건축학회		
상부구조	바닥판 하면	S1 우측 캔틸레버	51.2	0.63	29.6	29.3	27.0	건전부
		S2 우측 캔틸레버	49.9		28.6	28.7		건전부
		S3 우측 캔틸레버	51.0		29.4	29.1		건전부
		S4 우측 캔틸레버	51.3		29.7	29.3		건전부
		S5 우측 캔틸레버	51.4		29.8	29.4		건전부
		S6 우측 캔틸레버	51.8		30.1	29.5		건전부
			51.5		29.9	29.4		건전부
평균(average)					29.6	29.2	-	-
최대값(max)					30.1	29.5	-	-
최소값(min)					28.6	28.7	-	-
표준편차(standard deviation)					0.49	0.27	-	-
변동계수(coefficient of variation)					1.65	0.92	-	-

【그림 3.48】 상부구조 반발경도 시험결과(울산)

【표 3.150】 하부구조 비파괴강도 시험결과(MPa)(울산)

구분	부재	세부위치	반발경도에 의한 콘크리트 강도				설계기준강도	비고
			반발경도(Ro)	재령계수	일본재료학회	일본건축학회		
하부구조	교대	A1 구체	47.3	0.63	26.5	27.5	24.0	건전부
		A2 구체	48.4		27.4	28.0		건전부
	교각	P1 배면	47.5		26.7	27.6		건전부
		P2 배면	47.8		26.9	27.7		건전부
		P3 배면	48.7		27.6	28.1		건전부
		P4 전면	48.0		27.0	27.8		건전부
		P5 배면	48.1		27.2	27.9		건전부
			47.5		26.6	27.6		비건전부
평균(average)					27.0	27.8	-	-
최대값(max)					27.6	28.1	-	-
최소값(min)					26.5	27.5	-	-
표준편차(standard deviation)					0.39	0.21	-	-
변동계수(coefficient of variation)					1.45	0.76	-	-



【그림 3.49】 하부구조 반발경도 시험결과(울산)

【표 3.151】 반발경도 시험 결과 요약(울산)

구분	부재	설계기준강도(MPa)	반발경도에 의한 콘크리트 강도		비고
			일본재료학회	일본건축학회	
상부구조	바닥판 하면	27.0	28.6~30.1 (105.9~111.5%)	28.7~29.5 (106.3~109.3%)	
하부구조	교대, 교각	24.0	26.5~27.6 (110.4~115.0%)	27.5~28.1 (114.6~117.1%)	
※ 만화교(울산)에 대한 강도평가 결과, 일본재료학회 및 일본건축학회 추정식 모두 설계기준강도를 만족하는 양호한 상태로 평가됨.					

② 건전부/비건전부 강도 비교평가

㉠ 비건전부 반발경도시험 위치 선정

- 구조물에 발생된 손상(경년열화, 우수유입)으로 인한 콘크리트의 강도저하 여부 확인을 위하여 손상부위(비건전부위)와 양호한 부위(건전부)에서 반발경도시험을 각각 실시하였으며, 비건전부의 시험위치는 외관조사시 우기시 수분접촉으로 표면 열화 우려가 있는 교각 P5 (우측면)으로 선정하였다.

【표 3.152】비건전부 위치선정 현황(울산)

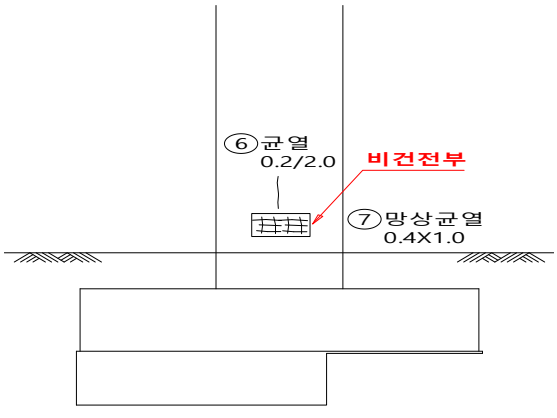
세부 부재명	위 치	위치 선정 사유	비고
교각	교각 P5 (우측면)	우기시 수분접촉으로 인한 표면 열화 우려	망상균열

㉡ 결과분석

- 비건전부의 측정강도는 26.6㎫(일본재료학회)으로 설계기준강도(하부구조: 24.0㎫)를 만족하는 것으로 나타나 해당손상으로 인한 구조물 안전성에 직접적인 영향은 없을 것으로 판단된다. 또한, 건전부와의 비교결과에서 건전부 대비 97.7%로 분석되었으며, 측정위치 및 측정오차 등을 고려할때, 손상에 따른 내구성저하는 경미한 수준인 것으로 사료된다.

【표 3.153】건전부/비건전부 비교 결과(울산)

구분	위치	측정값(MPa)		건전부 대비(%)	설계기준 강도(MPa)	비고
		건전부	비건전부			
하부구조	교대 (P5, 우측면)	27.2	26.6	97.7	24.0	



비건전부(P5, 우측면) 측정위치도

비건전부(P5, 우측면) 표면상태

③ 전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검의 반발경도 시험 결과 비교

- 전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검 비교한 결과, 전반적으로 금회 정밀안전진단의 결과와 유사하며, 설계기준강도를 만족하는 것으로 분석되어 콘크리트의 강도저하는 없는 것으로 평가되었다.

【표 3.154】전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검의 반발경도 시험 결과 비교(울산)

구분	부재	반발경도에 의한 콘크리트 강도			설계기준강도 (MPa)	비고
		전차 정밀안전진단 ('18년)	전차 정밀안전점검 ('22년)	금회 정밀안전진단 ('23년)		
상부구조	바닥판 하면	27.4~30.0	27.1~28.1	28.6~30.1	27.0	
하부구조	교대	22.8~24.7	24.4~24.6	26.5~27.4	24.0	
	교각	22.3~24.0	24.5~25.8	26.6~27.6	24.0	

※ 시험 결과 비교 값은 표준편차와 변동계수(강도의 Data 신뢰성)가 큰 값 (상부구조):일본재료학회, (하부구조):일본재료학회을 선정함.
※ 그래프는 (상부구조):일본재료학회, (하부구조):일본재료학회 최소값을 반영함.

【그림 3.50】전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검 결과 비교(울산)

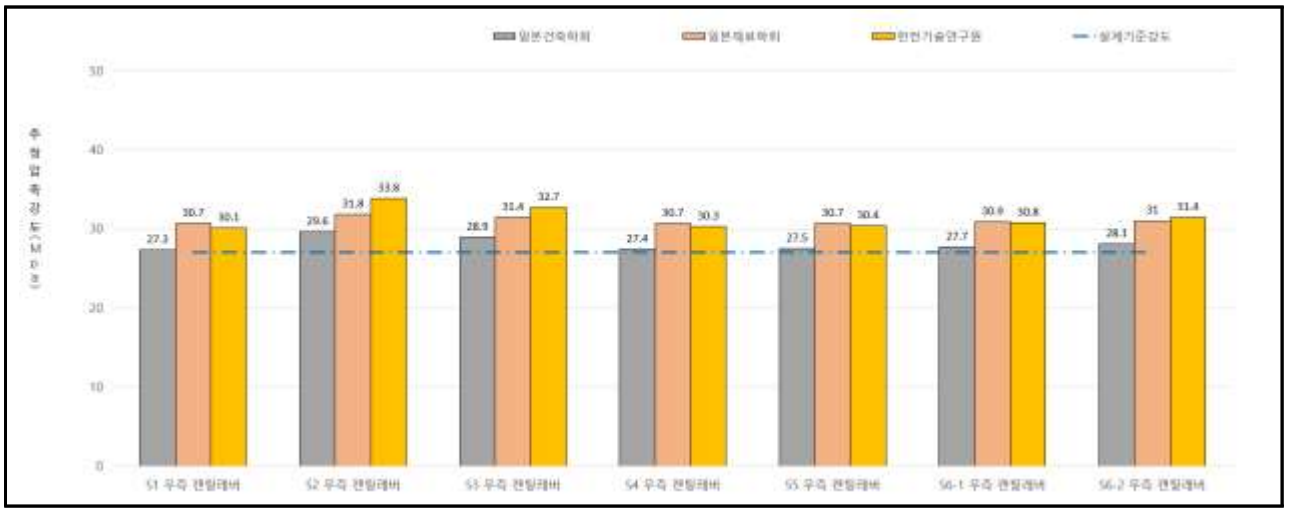
2) 초음파 전달속도 시험

① 측정결과

- 만화교(울산)에 대하여 초음파 전달속도에 의한 콘크리트 추정강도를 분석한 결과, 상부구조는 설계기준강도(보통 콘크리트:27.0MPa) 대비 일본건축학회 101.1~109.6%, 일본재료학회 113.7~117.8%, 한전기술연구원 111.5~125.2% 하부구조는 설계기준강도(보통 콘크리트:24.0MPa), 대비 일본건축학회 106.3~115.4%, 일본재료학회 124.2~128.8%, 한전기술연구원 113.8~128.3%의 분포를 나타내어 전반적으로 설계기준강도를 만족하는 것으로 분석되므로 콘크리트의 강도저하 등의 문제점이 없는 양호한 품질의 상태로 평가되었다.

【표 3.155】 상부구조 초음파 전달속도 시험결과(MPa)(울산)

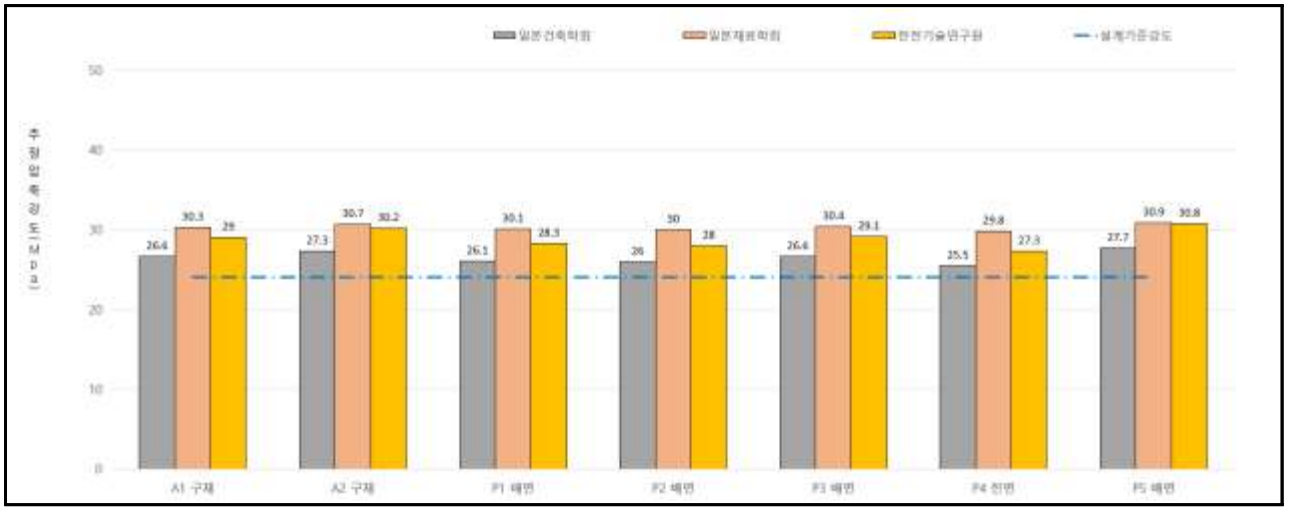
구분	부재	세부위치	초음파 전달속도에 의한 콘크리트 강도				설계기준강도	비고
			표면법 (km/sec)	일본 건축학회	일본 재료학회	한전기술 연구원		
상부구조	바닥판 하면	S1 우측 캔틸레버	3.955	27.3	30.7	30.1	27.0	건전부
		S2 우측 캔틸레버	4.058	29.6	31.8	33.8		건전부
		S3 우측 캔틸레버	4.027	28.9	31.4	32.7		건전부
		S4 우측 캔틸레버	3.960	27.4	30.7	30.3		건전부
		S5 우측 캔틸레버	3.962	27.5	30.7	30.4		건전부
		S6 우측 캔틸레버	3.974	27.7	30.9	30.8		건전부
			3.990	28.1	31.0	31.4		건전부
평균(average)				28.1	31.0	31.4	-	-
최대값(max)				29.6	31.8	33.8	-	-
최소값(min)				27.3	30.7	30.1	-	-
표준편차(standard deviation)				0.87	0.42	1.40	-	-
변동계수(coefficient of variation)				3.10	1.36	4.64	-	-



【그림 3.51】 상부구조 초음파 전달속도 시험결과(울산)

【표 3.156】하부구조 초음파 전달속도 시험결과(MPa)(울산)

구분	부재	세부위치	초음파 전달속도에 의한 콘크리트 강도				설계 기준 강도	비고
			표면법 (km/sec)	일본 건축학회	일본 재료학회	한전기술 연구원		
하부구조	교대	A1 구체	3.924	26.6	30.3	29.0	24.0	건전부
		A2 구체	3.957	27.3	30.7	30.2		건전부
	교각	P1 배면	3.903	26.1	30.1	28.3		건전부
		P2 배면	3.897	26.0	30.0	28.0		건전부
		P3 배면	3.926	26.6	30.4	29.1		건전부
		P4 전면	3.876	25.5	29.8	27.3		건전부
		P5 배면	3.975	27.7	30.9	30.8		건전부
평균(average)				26.5	30.3	29.0	-	-
최대값(max)				27.7	30.9	30.8	-	-
최소값(min)				25.5	29.8	27.3	-	-
표준편차(standard deviation)				0.76	0.39	1.23	-	-
변동계수(coefficient of variation)				2.88	1.28	4.50	-	-



【그림 3.52】하부구조 초음파 전달속도 시험결과(울산)

【표 3.157】초음파 전달속도 시험 결과 요약(울산)

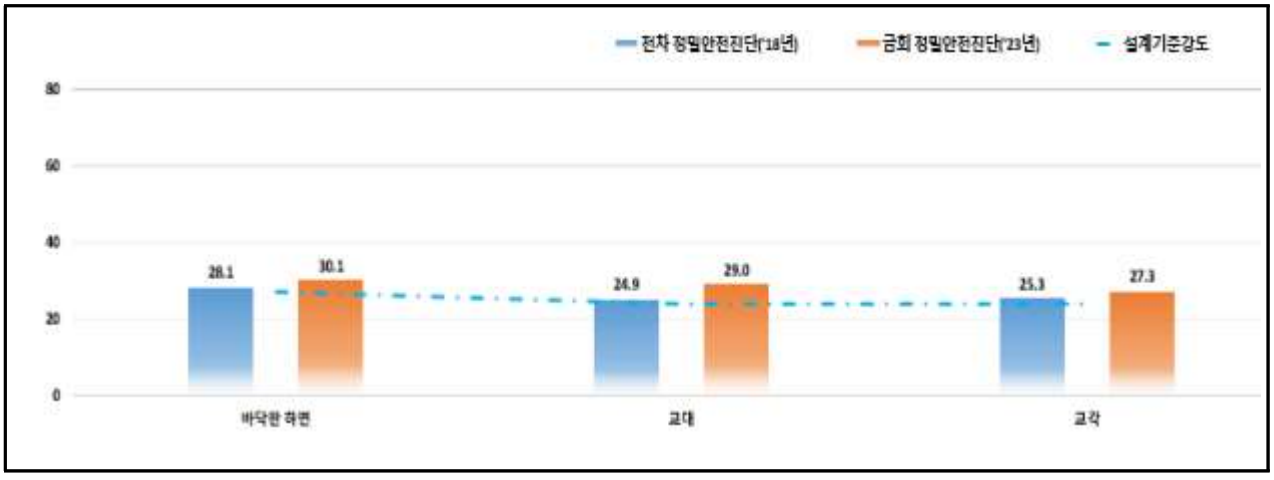
구분	부재	설계기준강도 (MPa)	초음파 전달속도에 의한 콘크리트 강도			비고
			일본건축학회	일본재료학회	한전기술연구원	
상부구조	바닥판 하면	27.0	27.3~29.6 (101.1~109.6%)	30.7~31.8 (113.7~117.8%)	30.1~33.8 (111.5~125.2%)	
하부구조	교대, 교각	24.0	25.5~27.7 (106.3~115.4%)	29.8~30.9 (124.2~128.8%)	27.3~30.8 (113.8~128.3%)	
※ 만화교(울산)에 대한 강도평가 결과, 일본건축학회, 일본재료학회, 한전기술연구원 추정식 모두 설계기준강도를 만족하는 양호한 상태로 평가됨.						

2) 전차 정밀안전진단 초음파 전달속도시험 결과 비교

- 전차 정밀안전진단 비교한 결과, 전반적으로 금회 정밀안전진단의 결과와 일부 차이는 있으나, 이는 점검 위치 및 점검 장비 등의 차이로 판단되며, 금회 정밀안전진단 설계기준강도를 만족하는 것으로 분석되어 콘크리트의 강도저하는 없는 것으로 평가되었다.

【표 3.158】전차 정밀안전진단 초음파 전달속도시험 결과 비교(울산)

구분	부재	초음파 전달속도에 의한 콘크리트 강도		설계기준강도 (MPa)	비고
		전차 정밀안전진단 ('18년)	금회 정밀안전진단 ('23년)		
상부구조	바닥판 하면	28.1~32.9	30.1~33.8	27.0	
하부구조	교대	24.9~27.1	29.0~30.2	24.0	
	교각	25.3~27.4	27.3~30.8	24.0	
※ 시험 결과 비교 값은 표준편차와 변동계수(강도의 Data 신뢰성)가 큰 값 (상부구조):한전기술연구원, (하부구조):한전기술연구원을 선정함. ※ 그래프는 (상부구조):한전기술연구원, (하부구조):한전기술연구원 최소값을 반영함.					



【그림 3.53】전차 정밀안전진단 결과 비교(울산)

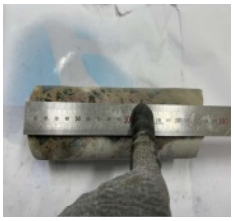
3) 코어 압축강도 시험

① 코어강도를 이용한 비파괴 강도 보정

- 금회 정밀안전진단에서 금회의 반발경도 및 초음파 전달속도 의한 비파괴강도를 이용하여 보정계수를 구하고, 콘크리트의 압축강도를 평가하였다.

㉠ 콘크리트 코어 상태조사

【표 3.159】 콘크리트 코어 상태조사(2023년)(울산)

구 분	위 치	코어 사진	코어 제원	외관 상태	비 고
하부구조	교각 (P1,배면)		D=68.3㎜ L=135.2㎜	◦외관상태 양호 ◦시멘트와 골재의 부착 상태 양호 ◦미세공극 발견되지 않음	 코어채취 전경 (2023년)
	교각 (P5, 배면)		D=68.3㎜ L=124.9㎜	◦외관상태 양호 ◦시멘트와 골재의 부착 상태 양호 ◦미세공극 발견되지 않음	 코어채취 전경 (2023년)

- 콘크리트 상태를 확인하기 위하여 하부구조 2개소에서 코어 채취하여 상태를 분석한 결과 골재의 분포 및 콘크리트의 외관상태는 양호한 것으로 조사되었다.

㉡ 코어 압축강도

【표 3.160】 코어 압축강도시험 결과(MPa)(울산)

구 분	시료 크기 (D×H, mm)	압축강도 (MPa)	설계기준강도	압축강도/ 설계강도(%)	비 고
교각 (P1, 배면)	68.3×135.2	45.2	24.0	188.3%	
교각 (P5, 배면)	68.3×124.9	29.6		123.3%	

- 코어 압축강도시험을 실시한 결과, 콘크리트의 강도는 하부구조 29.6~45.2MPa로 설계기준강도(24.0MPa)를 만족하는 것으로 검토되어 강도 감소로 인한 내구성 저하는 없는 것으로 판단된다.

㉢ 보정계수의 결정

【표 3.161】 보정계수의 결정(울산)

구 분	위치	보정 코어 강도	반발경도법		초음파속도법			비 고
			일본 재료학회	일본 건축학회	일본 재료학회	일본 건축학회	한전 기술연구원	
하부구조	교각 (P1, 배면)	45.2	26.7	27.6	30.1	26.1	28.3	
	보정계수 Ct		1.693	1.638	1.502	1.732	1.597	
	교각 (P5, 배면)	29.6	27.2	27.9	30.9	27.7	30.8	
	보정계수 Ct		1.088	1.061	0.958	1.069	0.961	
보정계수 Ct			1.391	**1.350**	**1.230**	1.401	1.279	
식	비파괴강도 보정계수		$C_t = \frac{1}{k}\sum_{i=1}^{k}\left(\frac{R_{pr}}{R_{st}}\right)$		C_t : 보정계수 R_{pr} : 코어 압축강도(MPa) R_{st} : 비파괴강도(MPa) k : 시료수			

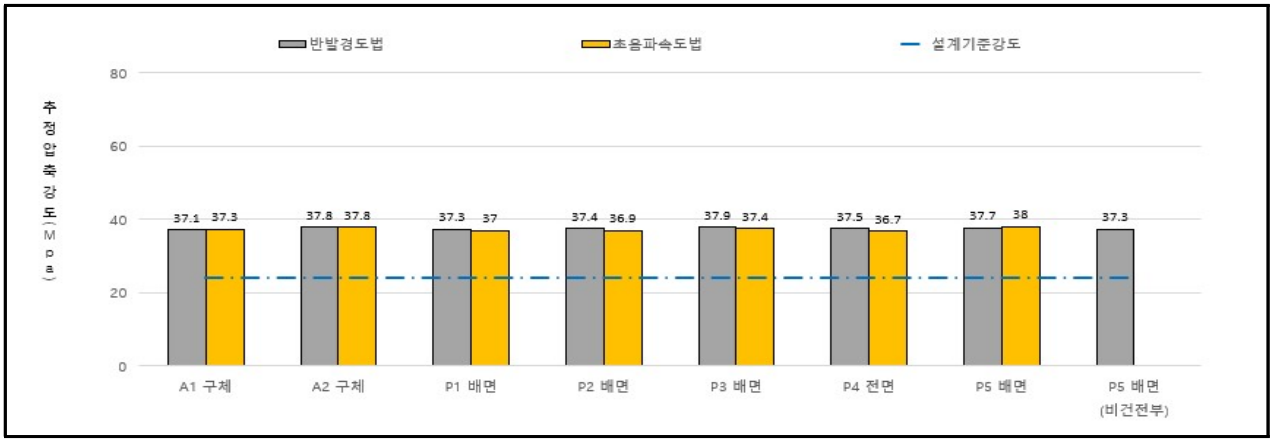
- 위와 같이 비파괴강도 보정계수 식을 활용하여 보정계수를 산정한 결과, 반발경도법(일본건축학회), 초음파속도법(일본재료학회)를 보정계수로 적용하였다.

【표 3.162】 하부구조(반발경도법) 비파괴 보정계수에 의한 추정비파괴강도(MPa)(울산)

구 분	시험위치		초음파속도법 (일본건축학회)	보정 계수	추정 비파괴 강도	설계 기준 강도	비고
하부구조	교대	A1 구체	27.5	1.350	37.1	24.0	건전부
		A2 구체	28.0	1.350	37.8		건전부
	교각	P1 배면	27.6	1.350	37.3		건전부
		P2 배면	27.7	1.350	37.4		건전부
		P3 배면	28.1	1.350	37.9		건전부
		P4 전면	27.8	1.350	37.5		건전부
		P5 배면	27.9	1.350	37.7		건전부
			27.6	1.350	37.3		비건전부
평균(average)			27.8	-	37.5	-	-
최대값(max)			28.1	-	37.9	-	-
최소값(min)			27.5	-	37.1	-	-
표준편차(standard deviation)			0.21	-	0.27	-	-
변동계수(coefficient of variation)			0.76	-	0.71	-	-

【표 3.163】하부구조(초음파속도법) 비파괴 보정계수에 의한 추정비파괴강도(MPa)(울산)

구 분	시험위치		초음파속도법 (일본재료학회)	보정 계수	추정 비파괴 강도	설계 기준 강도	비고
하부구조	교대	A1 구체	30.3	1.230	37.3	24.0	건전부
		A2 구체	30.7	1.230	37.8		건전부
	교각	P1 배면	30.1	1.230	37.0		건전부
		P2 배면	30.0	1.230	36.9		건전부
		P3 배면	30.4	1.230	37.4		건전부
		P4 전면	29.8	1.230	36.7		건전부
		P5 배면	30.9	1.230	38.0		건전부
평균(average)			30.3	-	37.3	-	-
최대값(max)			30.9	-	38.0	-	-
최소값(min)			29.8	-	36.7	-	-
표준편차(standard deviation)			0.39	-	0.44	-	-
변동계수(coefficient of variation)			1.28	-	1.19	-	-



【그림 3.54】하부구조 추정비파괴강도 결과 그래프(울산)

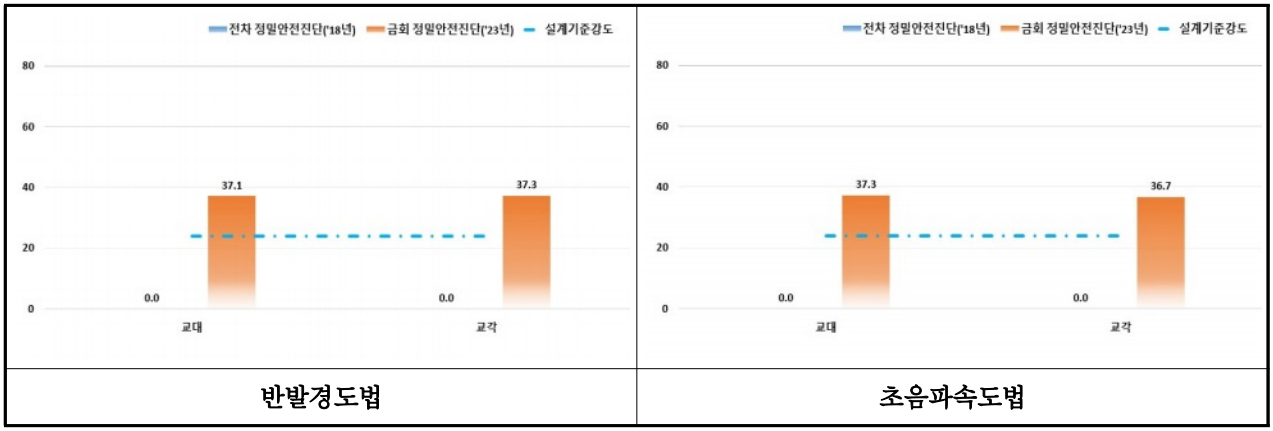
【표 3.164】보정계수 선정에 의한 비파괴강도 결과분석(울산)

형식	부재	설계 기준강도	추정비파괴 강도(MPa)		평가(%)		비고
			반발경도법	초음파속도법	반발경도법	초음파속도법	
하부 구조	교대	24.0	37.1~37.8	37.3~37.8	155~158	155~157	
	교각		37.3~37.9	36.7~38.0	155~158	153~158	

㉣ 전차 정밀안전진단 추정 비파괴강도 시험결과 비교

【표 3.165】전차 정밀안전진단 추정 비파괴강도 결과 비교(울산)

구분	부재	추정 비파괴 강도				설계기준강도 (MPa)	비고
		전차 정밀안전진단('18년)		금회 정밀안전진단('23년)			
		반발경도법	초음파속도법	반발경도법	초음파속도법		
하부 구조	교대	-	-	37.1~37.8	37.3~37.8	24.0	
	교각	-	-	37.3~37.9	36.7~38.0	24.0	
※ 그래프는 반발경도법, 초음파속도법의 최소값을 반영함.							

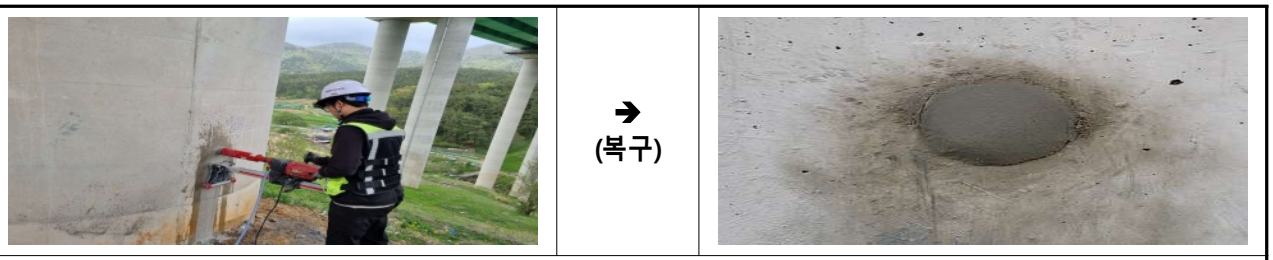


반발경도법 초음파속도법

【그림 3.55】전차 정밀안전진단 추정 비파괴 강도 결과와 비교(울산)

- 【그림 3.55】와 같이 전차 정밀안전진단 측정 분석한 결과, 금회 정밀안전진단에서 추정 비파괴 강도는 첫 실시한 상태이며, 향후 진단시 금회 진단 결과와 비교가 필요할 것으로 판단된다.

② 코어 압축강도 시험 복구 현황



교각(P5, 배면) 채취 후 복구 현황

- 금회 정밀안전진단에서 코어 압축강도 시험 진행 후 코어 압축강도 시험 구간에 대한 복구를 실시하였다.

나. 철근탐사시험

1) 측정결과

- 철근탐사기(RC-Radar)를 이용한 철근탐사시험은 총 14개소(상부구조 7개소, 하부구조 7개소)에서 실시하였으며, 철근탐시험 결과, 측정된 배근간격 및 피복두께의 미미한 차이가 있으며, 일부 부재에서 실측값이 설계값과 다소 차이가 나는 것으로 분석되었다. 이는 콘크리트 타설시 철근 유동 등에 의한 것으로 판단된다. 현재 단위길이(1m)당 철근수량을 만족하며 설계피복두께를 충분히 확보하고 있는 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3.166】 상부구조 철근탐사 시험결과(울산)

시험위치		철근종류	측정값(㎜)		설계값(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
상부구조	S1 좌측 캔틸레버	주철근	215~263	40~43	240.0	32.0	
		배력철근	226~250	39~46	250.0	19.0	
	S2 좌측 캔틸레버	주철근	194~240	40~45	240.0	32.0	
		배력철근	210~251	40~49	250.0	19.0	
	S3 좌측 캔틸레버	주철근	102~153	40~44	120.0	32.0	
		배력철근	250~260	40~42	250.0	19.0	
	S4 좌측 캔틸레버	주철근	225~280	40~42	120.0	32.0	
		배력철근	242~248	39~44	250.0	19.0	
	S5 좌측 캔틸레버	주철근	115~132	40~45	120.0	32.0	
		배력철근	239~253	40~45	250.0	19.0	
	S6 좌측 캔틸레버	주철근	232~242	40~43	240.0	32.0	
		배력철근	248~263	40~41	250.0	19.0	
		주철근	231~253	40~43	240.0	32.0	
		배력철근	241~263	40~43	250.0	19.0	

※상부구조(바닥판) 주철근 설계값 피복두께는 40.0이며, 순피복두께는 H16을 사용하여 32.0으로 표기함.
※상부구조(바닥판) 배력철근 설계값 피복두께는 40.0이며, 순피복두께는 H13을 사용하여 19.0으로 표기함.

【표 3.167】 하부구조 철근탐사 시험결과(울산)

시험위치		철근종류	측정값(㎜)		설계값(㎜)		비 고
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	
하부 구조	A1 구체	주철근	188~202	100~122	200.0	85.5	
		배력철근	130~162	98~101	150.0	66.5	
	A2 구체	주철근	240~273	100~117	250.0	85.5	
		배력철근	126~180	101~106	150.0	66.5	
	P1 배면	주철근	113~137	100~105	127.0	85.5	
		배력철근	274~300	100~104	300.0	66.5	
	P2 배면	주철근	120~135	100~113	127.0	85.5	
		배력철근	278~302	100~103	300.0	66.5	
	P3 배면	주철근	120~132	100~113	127.0	85.5	
		배력철근	295~305	100~105	300.0	66.5	
	P4 전면	주철근	115~130	100~103	127.0	85.5	
		배력철근	290~312	99~103	300.0	66.5	
	P5 배면	주철근	121~170	100~102	127.0	85.5	
		배력철근	269~355	98~106	300.0	66.5	

※하부구조(교대, 교각) 주철근 설계값 피복두께는 100.0이며, 순피복두께는 D29을 사용하여 85.5으로 표기함.
※하부구조(교대, 교각) 배력철근 설계값 피복두께는 100.0이며, 순피복두께는 D19을 사용하여 66.5으로 표기함.

【표 3.168】 철근탐사시험 결과 요약(울산)

구분	부재	철근탐사시험				비고
		배근간격		피복두께		
		주철근	배력철근	주철근	배력철근	
상부구조	바닥판 하면	102~280	210~263	40~45	39~49	
하부구조	교대	188~273	126~180	100~122	98~106	
	교각	113~137	274~355	100~113	98~106	

2) 전차 정밀안전진단의 철근탐사시험 결과 비교

- 전차 정밀안전진단 비교한 결과, 상부구조 배근간격은 구간 위치에 따라 다소 차이가 있으나, 이는 설계 간격이며, 일부구간 피복두께 다소 차이를 보이는 것으로 확인되었다.

【표 3.169】 전차 정밀안전진단 철근탐사시험 결과 비교(울산)

형식	부재	철근탐사시험								비고
		전차정밀안전진단 ('18년)				금회정밀안전진단 ('23년)				
		배근간격		피복두께		배근간격		피복두께		
		주철근	배력철근	주철근	배력철근	주철근	배력철근	주철근	배력철근	
상부구조	바닥판 하면	115~135	230~260	38~46	43~55	102~280	210~263	40~45	39~49	
하부구조	교대	205~260	140~165	95~110	92~100	188~273	126~180	100~122	98~106	
	교각	100~140	280~320	90~115	90~110	113~137	274~355	100~113	98~106	
검토의견		• 전차 정밀안전진단(18년)과 비교·분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 단위길이당 철근수량을 만족하며 설계피복두께를 충분히 확보하고 있는 양호한 상태로 평가됨.								

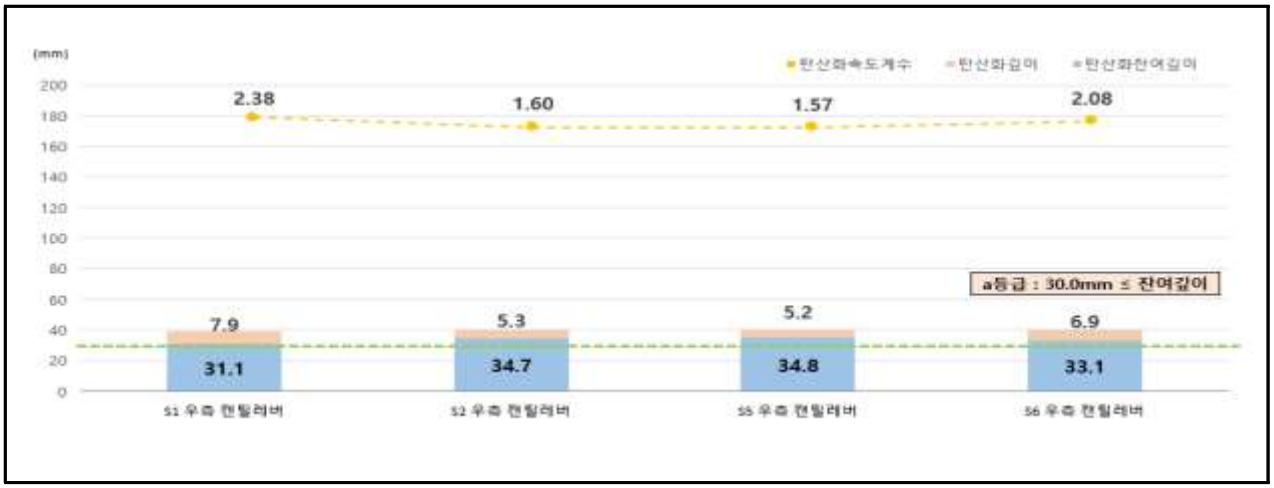
다. 탄산화 깊이 측정

1) 측정결과

- 탄산화 깊이 측정은 총 9개소(상부구조 4개소, 하부구조 5개소)에서 실시하였다. 실측한 최소 피복두께와 탄산화 깊이를 비교한 결과, 전 개소의 탄산화 잔여깊이가 30.0㎜ 이상을 만족한 상태로 측정되어 상태평가 “a” 로 평가되었다. 탄산화 속도계수를 통한 잔존수명 예측결과 전 개소 100년 이상으로 추정되었으며, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성이 없는 양호한 상태로 분석되었다.

【표 3.170】 상부구조 탄산화 깊이 측정 결과(울산)

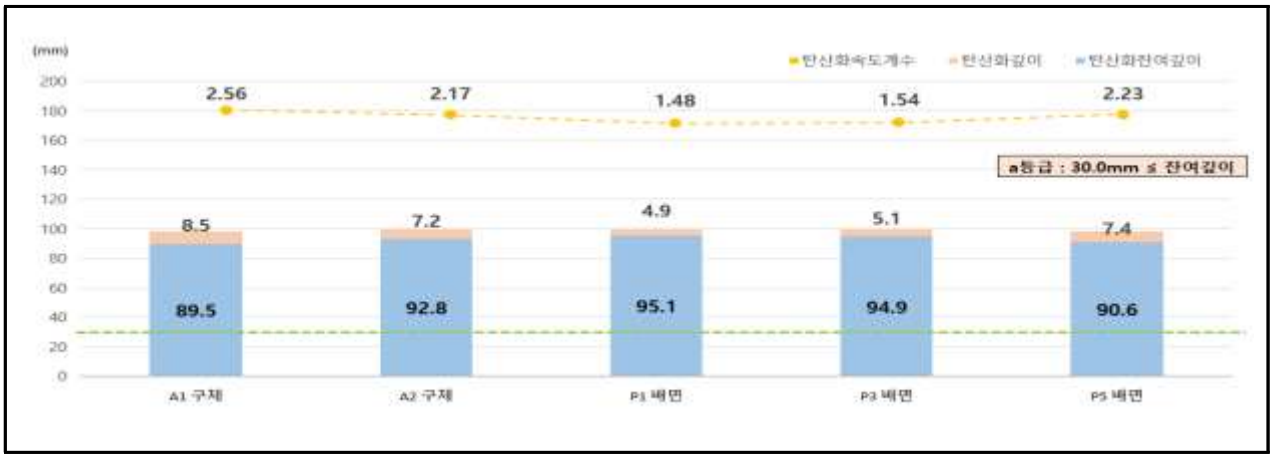
시험위치		탄산화 깊이 (㎜)	최소 피복두께 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
상부 구조	S1 우측 캔틸레버	7.9	39.0	31.1	a	2.38	100년이상	
	S2 우측 캔틸레버	5.3	40.0	34.7	a	1.60	100년이상	
	S5 우측 캔틸레버	5.2	40.0	34.8	a	1.57	100년이상	
	S6 우측 캔틸레버	6.9	40.0	33.1	a	2.08	100년이상	



【그림 3.56】 상부구조 탄산화 깊이 측정 결과(울산)

【표 3.171】 하부구조 탄산화 깊이 측정 결과(울산)

시험위치		탄산화 깊이 (㎜)	최소 피복두께 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
하부 구조	A1 구체	8.5	98.0	89.5	a	2.56	100년이상	
	A2 구체	7.2	100.0	92.8	a	2.17	100년이상	
	P1 배면	4.9	100.0	95.1	a	1.48	100년이상	
	P3 배면	5.1	100.0	94.9	a	1.54	100년이상	
	P5 배면	7.4	98.0	90.6	a	2.23	100년이상	



【그림 3.57】 하부구조 탄산화 깊이 측정 결과(울산)

【표 3.172】 탄산화 깊이 측정 결과 요약(울산)

구분	부재	탄산화 깊이 측정 (탄산화 깊이)	상태평가	비고
상부구조	바닥판 하면	5.2~7.9	a	
하부구조	교대	7.2~8.5	a	
	교각	4.9~7.4	a	
※ 만화교(울산)에 대한 탄산화 깊이 측정 결과, 측정개소에서 a등급으로 평가되었으며, 탄산화로 인한 철근 부식은 없는 것으로 분석되었다.				

2) 전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검의 탄산화 깊이 측정 결과 비교

- 전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검 비교한 결과, 전반적으로 금회 정밀안전진단의 결과와 유사하며, 탄산화 깊이 측정 결과 잔여깊이가 a등급으로 확보하고 있는 것으로 조사되어 강도저하 및 탄산화에 의한 내구성 저하는 없는 것으로 분석되었다.

【표 3.173】 전차 정밀안전진단 및 전차 정밀안전점검의 탄산화 깊이 측정 결과 비교(울산)

구분	부재	탄산화 깊이 측정			비고
		전차 정밀안전진단 ('18년)	전차 정밀안전점검 ('22년)	금회 정밀안전진단 ('23년)	
상부구조	바닥판 하면	4.5~7.2	5.0~7.6	5.2~7.9	
하부구조	교대	6.1~8.3	6.9~8.3	7.2~8.5	
	교각	4.5~7.7	6.1	4.9~7.4	

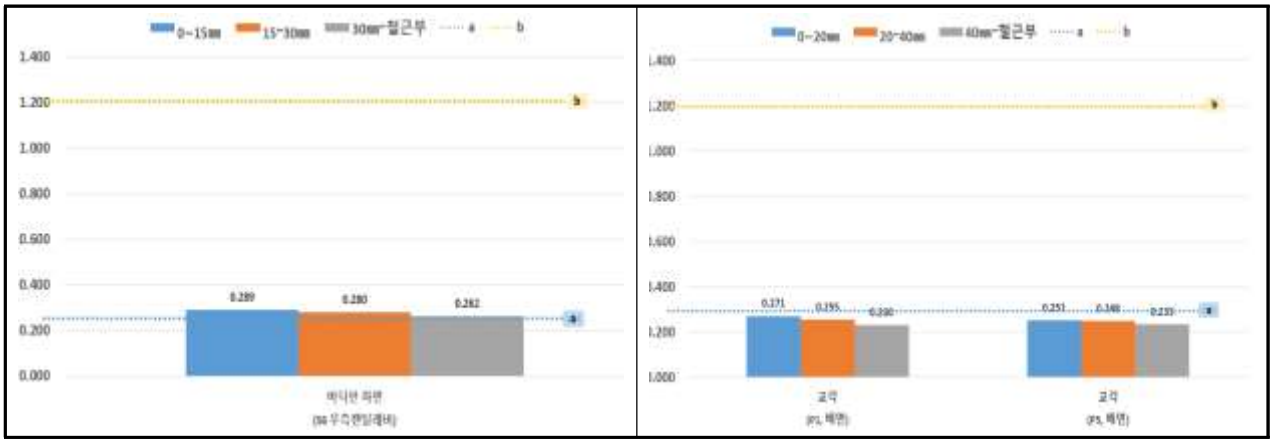
라. 염화물함유량 시험

1) 측정결과

- 염화물함유량 시험은 총 3개소(상부구조 1개소, 하부구조 2개소)에서 실시하여 깊이별 시험을 실시하였다. 염화물함유량 시험은 공인인증 시험기관(KOLAS)에 실내실험을 의뢰하였으며, 측정된 결과 값을 분석·평가 하였다.
- 분석결과, 염화물함유량은 상부구조(S6)에서 0.262kg/㎥, 하부구조(P1, P5)에서 0.230~0.235 kg/㎥으로 확인되어 상부구조(S6), 하부구조(P1, P5)는 염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없는 상태인 “a” 등급으로 분석되었다.

【표 3.174】염화물함유량 시험 결과(울산)

형식	부재	세부위치		Cl- WT(%)	환산 Cl-(kg/㎥)	평가등급	비고
상부구조	바닥판 하면	S6 (우측캔틸레버)	0~15㎜	0.0128	0.289	a	KS F 2713 - ‘17
			15~30㎜	0.0124	0.280	a	
			30~철근부	0.0116	0.262	a	
하부구조	교각	P1 (배면)	0~20㎜	0.0120	0.271	a	
			20~40㎜	0.0113	0.255	a	
			40~철근부	0.0102	0.230	a	
		P5 (배면)	0~20㎜	0.0111	0.251	a	
			20~40㎜	0.0110	0.248	a	
			40~철근부	0.0104	0.235	a	



【그림 3.58】염화물함유량 시험 결과(울산)

【표 3.175】 염화물함유량 시험 결과 요약(울산)

구분	염화물 함유량 시험 결과		평가등급	비고
	등급(Min)	등급(Max)		
상부구조	0.262	0.262	a	철근부
하부구조	0.230	0.235	a	

- 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검・진단 편, 2022.12, 국토교통부/국토안전관리원)을 참조하였으며, 염화물 함유량 상태평가 적용 시 전염화물 이온량 평가와 철근부식 가능성 평가중 최저값을 산정하는데 상태평가 등급 중 최소값은 상부구조(철근부) 0.262 kg/㎥, 하부구조(철근부) 0.230~0.235kg/㎥으로 산정하여 본 보고서 상태평가에 적용하였다.

2) 전차 정밀안전진단 염화물함유량 결과 비교

- 전차 정밀안전진단 비교한 결과, 하향된 것으로 확인되었으나 상부구조 a등급, 하부구조 a등급이므로 철근부식의 영향은 없는 것으로 분석되며 전차 정밀안전진단에 비해 등급이 하향된 원인은 점검 위치 및 점검 장비 등의 차이 및 공용년수의 증가에 따른 염화물의 침투 및 축적(염해) 등의 외부요인에 의한 것으로 판단된다.

【표 3.176】 전차 정밀안전진단 염화물함유량 결과 비교(울산)

구분	염화물 함유량 시험 결과				비고
	전차 정밀안전진단 ('18년)		금회 정밀안전진단 ('23년)		
	상부구조	하부구조	상부구조	하부구조	
환산 Cl-(kg/㎥)	0.086	0.074~0.086	0.262	0.230~0.235	철근부
상태평가 등급	a	a	a	a	

3.5 강재 내구성조사

3.5.1 개 요

- 강재 구조물에 있어서 용접이음부는 설계된 하중에 견디는 강도를 요구되는 것 이외에 사용조건에 따라서 취성파괴, 피로파괴 또는 응력부식파괴에 대한 저항도 요구된다. 이러한 용접부의 성능에 대한 품질정보를 얻는 수단으로서 비파괴시험이 실시된다.

- 현장에서 실시하는 강재 구조물에 대한 주요 조사부위 및 검사방법은 다음과 같다.
  - 주부재의 맞대기용접부 초음파탐상시험
  - 균열이 의심되는 부위에 대한 자분탐상시험

【표 3.177】일반적인 강재 비파괴시험 방법의 개요

검사방법	대상결함	장 점	단 점
육안검사	•표면결함 •수치의 적부 여부	•별도의 특수장비 이용없이 조사 가능	•미세균열 감지 불가능
초음파탐상시험 (UT)	•주로 내부결함 -균열, 용입부족, 융합불량, 기공, Slag 혼입 등 •부재 두께측정 가능	•면상결함 검출 용이 •편면에서 탐상 가능 •시험결과의 응답성 양호 •후판 탐상가능	•표면상태의 영향을 받음 •박판 탐상은 부적합 •결함종류 판별 곤란 •숙련이 필요
방사선투과시험 (RT)	•주로 내부결함 -균열, 용입부족, 융합불량, 기공, Slag 혼입 등 -체적결함검출 용이	•재질, 결정구조에 영향을 받지 않음. •표면층 결함검출 가능 •결함의 종류 및 추정 가능 •기록성이 좋음	•시험체의 양면 접근이 가능한 경우만 탐상 가능 •면상결함의 경우 결함방향에 따라 검출 곤란. •방사선 안전관리 필요
자분탐상시험 (MT)	•표면부의 균열 및 결함	•미세균열 검출 감도 탁월 •작업성이 좋음	•강자성체 시험체만 가능 •시험부위 도장 제거

주) 방사선투과시험(RT)의 경우 관계법령(원자력법, 2014년 01월 시행)의 개정(방사선동위원소 엄격한 관리 및 사용허가 기준 강화)으로 야외현장에서 방사선투과시험(RT)의 시행이 현실적으로 매우 어려운 실정임.

3.5.2 시험현황

가. 시험현황 및 선정사유

- 본 과업에서 강재 비파괴조사를 위해 초음파탐상시험(UT), 도막두께 측정을 실시하였다. 본 교량의 초음파탐상시험은 강재 비파괴시험에 앞서 강재 용접부에 대한 외관조사 결과를 토대로 용접결함 및 결함 의심부위가 없는 경우 타부위에 비해 구조적 취약부위인 맞대기용접부에 대해서 시험을 실시하도록 되어 있다.(과업지시서와『시설물의 안전 및 유지관리 실시세부지침(안전점검, 진단 편)(2022.12, 국토교통부/국토안전관리원)』참조)
- 만화교(부산, 울산)의 상부구조는 강상자형 거더(Steel Box Girder)로 구성되어 있고 2008년에 준공되어 약 15년 정도의 공용기간이 경과한 상태이다. 기 진단(18년) 시 강재 비파괴시험 결과를 토대로 검토한 결과, 배부결함이 없는 것으로 조사되었다. 금회 진단 시 외관조사 및 관련자료 검토결과, 기 진단(18년) 시 조사된 맞대기용접부는 손상이 없는 양호한 것으로 조사되었다. 본 과업에서는 인장부 및 교번부의 맞대기용접부에 대해서 기 진단 시 용접결함 발생부위 및 미실시 부위를 중심으로 강재 초음파탐상시험 위치를 선정하였으며, 외관조사 결과 용접균열이 의심되는 부위는 없는 것으로 조사되어 자분탐상시험은 미실시하였다.

【표 3.178】강재 비파괴시험 기준수량(부산)

항 목		기준수량	수 량(개소)		비 고
			기 준[주]	실 시	
기본 과업	초음파탐상시험 (UT)	•경간별 거더당 2개소 (거더교)	36 (6경간×3거더×2)	36	맞대기용접부 (인장부, 교번부)
선택 과업	자분탐상시험 (MT)	•과업내용에 의해 조사 및 수량 결정	-	-	균열 의심부

주) 초음파탐상시험수량 : 연장별 100% 적용.

【표 3.179】강재 비파괴시험 기준수량(울산)

항 목		기준수량	수 량(개소)		비 고
			기 준[주]	실 시	
기본 과업	초음파탐상시험 (UT)	•경간별 거더당 2개소 (거더교)	36 (6경간×3거더×2)	36	맞대기용접부 (인장부, 교번부)
선택 과업	자분탐상시험 (MT)	•과업내용에 의해 조사 및 수량 결정	-	-	균열 의심부

주) 초음파탐상시험수량 : 연장별 100% 적용.

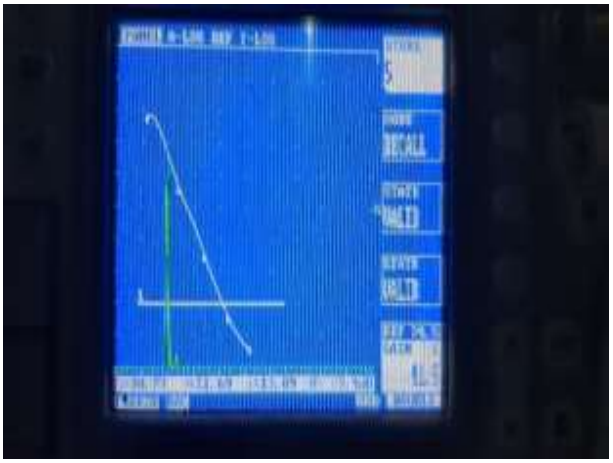
【표 3.180】 강재 비파괴시험 시험현황(부산)

구 분		초음파탐상 시험	도막두께 측정	비 고
S1	G1	2	1	
S2		2	1	
S3		2	1	
S4		2	1	
S5		2	1	
S6		2	1	
S1	G2	2	1	
S2		2	1	
S3		2	1	
S4		2	1	
S5		2	1	
S6		2	1	
S1	G3	2	1	
S2		2	1	
S3		2	1	
S4		2	1	
S5		2	1	
S6		2	1	

【표 3.181】 강재 비파괴시험 시험현황(울산)

구 분		초음파탐상 시험	도막두께 측정	비 고
S1	G1	2	1	
S2		2	1	
S3		2	1	
S4		2	1	
S5		2	1	
S6		2	1	
S1	G2	2	1	
S2		2	1	
S3		2	1	
S4		2	1	
S5		2	1	
S6		2	1	
S1	G3	2	1	
S2		2	1	
S3		2	1	
S4		2	1	
S5		2	1	
S6		2	1	

2) 시험 전경

	
초음파 감도 보정 사진(도막)	초음파 감도 보정
초음파 탐상을 위한 전처리 작업(1)	초음파 탐상을 위한 전처리 작업(2)
초음파 탐상검사를 위한 접촉매질 적용	초음파탐상 검사 실시

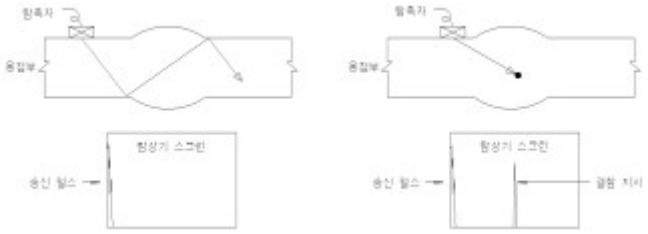
【사진 3.57】 강재 내구성조사 전경

3.5.3 시험내용 및 평가기준

가. 초음파탐상시험(UT : Ultrasonic Testing)

1) 개요

【표 3.182】초음파 탐상시험 시험내용 및 평가기준

<table>
<tr><td>개요</td><td>☑ 초음파를 이용하여 용접부 내부의 결함으로부터 반사한 초음파의 신호를 분석함으로써 시험체 내부의 결함을 검출하는 방법
☑ 공용 중 반복하중에 의하여 발생할 수 있는 피로균열이나 용접내부의 결함 성장여부를 확인하여 구조물의 안전성을 유지하기 위하여 ST.BOX 거더 및 아치리브 하부플랜지 맞대기 용접부에 대하여 조사</td></tr>
<tr><td>시험
방법</td><td>☑ 20000Hz이상의 초음파를 매질내로 전파시켜 매질의 경계면으로부터 반사되어온 초음파를 탐상기 스크린 상에 펄스신호로 나타나게 하여 이 신호를 분석하여 결함유무를 판단
☑ 용접부의 경우 수직탐상법으로는 검출효과가 적으므로 다음과 같은 사각 탐상법 적용
☑ 각 탐상은 초음파가 일정의 각도를 가지고 매질내로 전파되도록 하며 용접부 내부에 결함이 존재하지 않을 경우 계속 일정한 각으로 전파되므로 수신신호가 나타나지 않음. 결함이 존재할 경우 반사된 위치까지의 초음파 진행거리를 탐상기 스크린 상에서 읽은 후 삼각함수를 이용하여 결함 깊이 산출
  </td></tr>
<tr><td>평가
기준</td><td>
〈결함의 등급분류〉
<table>
<tr><td rowspan="2">영 역</td><td colspan="6">결 함 의 크 기 (㎜)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Ⅱ, Ⅲ</td><td colspan="3">Ⅳ</td></tr>
<tr><td>등급 판두께</td><td>18 이하</td><td>18~60</td><td>60 이상</td><td>18 이하</td><td>18~60</td><td>60 이상</td></tr>
<tr><td>1 류</td><td>6 이하</td><td>t/3 이하</td><td>20 이하</td><td>4 이하</td><td>t/4 이하</td><td>15 이하</td></tr>
<tr><td>2 류</td><td>9 이하</td><td>t/2 이하</td><td>30 이하</td><td>6 이하</td><td>t/3 이하</td><td>20 이하</td></tr>
<tr><td>3 류</td><td>18 이하</td><td>t 이하</td><td>60 이하</td><td>9 이하</td><td>t/2 이하</td><td>30 이하</td></tr>
<tr><td>4 류</td><td colspan="6">3류를 초과하는 것</td></tr>
</table>
〈용접부 결함의 합·부 판정기준〉
<table>
<tr><td>검 사 부 위</td><td>합 격 기 준</td><td>비 고</td></tr>
<tr><td>• 압축응력, 전단응력을 받는 완전용입 맞대기 이음부
• T, 모서리 이음부 중 압축응력부</td><td>3 류 이 상</td><td rowspan="2">KS-B-0896</td></tr>
<tr><td>• T, 모서리 이음부 중 인장응력부</td><td>2 류 이 상</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

※ 진단장비 활용·관리 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토교통부, 국토안전관리원, 2022.12) 참조

【표 3.183】초음파 탐상시험 시험보고서(부산)

시험보고서 (초음파 탐상 검사-UT)	
구조물 명칭	만화교(부산)
구조물의 경과 년수	10년 이상
시험일	2023.04.07.(09:00～18:00)
적용 규격	KS -B-0896
시험 부위 청소 여부 및 접촉 매질 종류	청소 시행 / Glycerin(글리세린)
검출 레벨	2류 M Level
탐상 방법	Direct contact(직접 접촉법)
탐상 각도	0° 70°
탐상 기법	Straigt Beam Technique(수직 탐상법), Angle Beam Technique(사각 탐상법)
시험 위치	보고서 참조

시험부 청소

접촉매질 처리

강박스거더 내부 시험

【표 3.184】초음파 탐상시험 시험보고서(울산)

시험보고서 (초음파 탐상 검사-UT)	
구조물 명칭	만화교(울산)
구조물의 경과 년수	10년 이상
시험일	2023.04.07.(09:00～18:00)
적용 규격	KS -B-0896
시험 부위 청소 여부 및 접촉 매질 종류	청소 시행 / Glycerin(글리세린)
검출 레벨	2류 M Level
탐상 방법	Direct contact(직접 접촉법)
탐상 각도	0° 70°
탐상 기법	Straigt Beam Technique(수직 탐상법), Angle Beam Technique(사각 탐상법)
시험 위치	보고서 참조

시험부 청소

접촉매질 처리

강박스거더 내부 시험

나. 도막두께 측정(Dry Film Thickness Measurement)

1) 개요

개요	☑본 측정은 강재의 높은 안전도를 제공하며 강재의 공용수명의 확보 및 도장의 유지관리비용을 감소시키기 위함. 측정결과는 기존의 두께를 기준하여 정상적으로 도장작업이 수행되었는지의 여부 및 감소여부 판단. 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 교정 ☑교정 후 측정부위에 접촉시켜 전자석 또는 영구자석의 자력차를 수치로 나타내어 도막두께 확인

2) 평가기준

일반적으로 강교에 사용되는 도장계열은 일반환경과 특수환경에 따라 다르게 시공되고 있다. 일반환경용 도장은 재래식 도장과 중방식 도장으로 구분되고, 특수환경용 도장도 중방식 도장(우레탄계 마감), 중방식 도장(자연건조형 불소수지 마감), 내부도장(콜탈에폭시 마감), 내부도장(에폭시 마감), 내부도장(후막형 콜탈 에폭시 마감) 등 다양한 재료를 이용한 도장이 실시되고 있다.

대상구조물의 주요 구조부재인 거더는 일반환경용 중방식 도장으로 추정되며, 이에 대한 도장시방으로 시공당시 『도로공사표준시방서(2018)』의 일반환경용 중방식 도장을 평가기준으로 정하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

【표 3.185】일반환경용 중방식 도장(도로공사표준시방서(2018))

구 분	도장 계열	공 정		준공당시 기준		현 시방기준		도장 횟수
				도료명칭 또는 방법	도막두께 (㎛)	도료명칭 또는 방법	도막두께 (㎛)	
교 량 외 부	GEB	1차 표면처리		SSPC - SP10		SSPC - SP10		
		샵 프라이머		무기질 아연말 샵프라이머	20	무기질 아연말 샵프라이머	20	1
		2차 표면처리		SSPC - SP10		SSPC - SP10		
		공장 도장	제1층	무기질 아연말도료	75	무기질 아연말도료	75	1
			제2층	미스트 코트	60	미스트 코트	80	1
			제3층	염화고무계도료		고고분형 에폭시계 도료		1
		공장/ 현장도장	제4층	염화고무계도료	60	우레탄계 도료	30	1
			제5층	-	-	우레탄계 도료	30	1
		계			195		215	
교 량 내 부	GIB	1차 표면처리		SSPC - SP10		SSPC - SP10		
		샵 프라이머		무기질 아연말 샵프라이머	20	무기질 아연말 샵프라이머	20	1
		2차 표면처리		SSPC - SP10		SSPC - SP10		
		공장 도장	제1층	무기질 아연말도료	75	무기질 아연말도료	75	1
			제2층	미스트 코트	75	미스트 코트	100	1
			제3층	역청질계도료		고고분형 에폭시계 도료		1
		계			150		175	

【표 3.186】 도막두께 측정 시험보고서(부산)

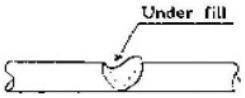
시험 보고서 (도막두께 시험)	
구조물 명칭	만화교(부산)
구조물의 경과 년수	10년 이상
시험일	2023.03.29.~2023.04.27.(09:00~18:00)
도막두께 측정 위치	보고서 및 부록 Data Sheet 참조
도막두께 측정 결과분석	■ 도막두께를 측정한 결과, 시험을 실시한 18개소의 측정두께의 평균 외부(221㎛~245㎛), 내부(182㎛~228㎛)은 도로공사 표준시방서(2018)의 기준 (교량외부:215㎛, 교량내부:175㎛)을 만족하고 있는 것으로 분석되었다.
도막두께 측정 #1	도막두께 측정 #2

【표 3.187】 도막두께 측정 시험보고서(울산)

시험 보고서 (도막두께 시험)	
구조물 명칭	만화교(울산)
구조물의 경과 년수	10년 이상
시험일	2023.03.29.~2023.04.26.(09:00~18:00)
도막두께 측정 위치	보고서 및 부록 Data Sheet 참조
도막두께 측정 결과분석	■ 도막두께를 측정한 결과, 시험을 실시한 18개소의 측정두께의 평균 외부(227㎛~253㎛), 내부(195㎛~208㎛)은 도로공사 표준시방서(2018)의 기준 (교량외부:215㎛, 교량내부:175㎛)을 만족하고 있는 것으로 분석되었다.
도막두께 측정 #1	도막두께 측정 #2

3.5.4 용접부에 발생하는 대표적인 결함

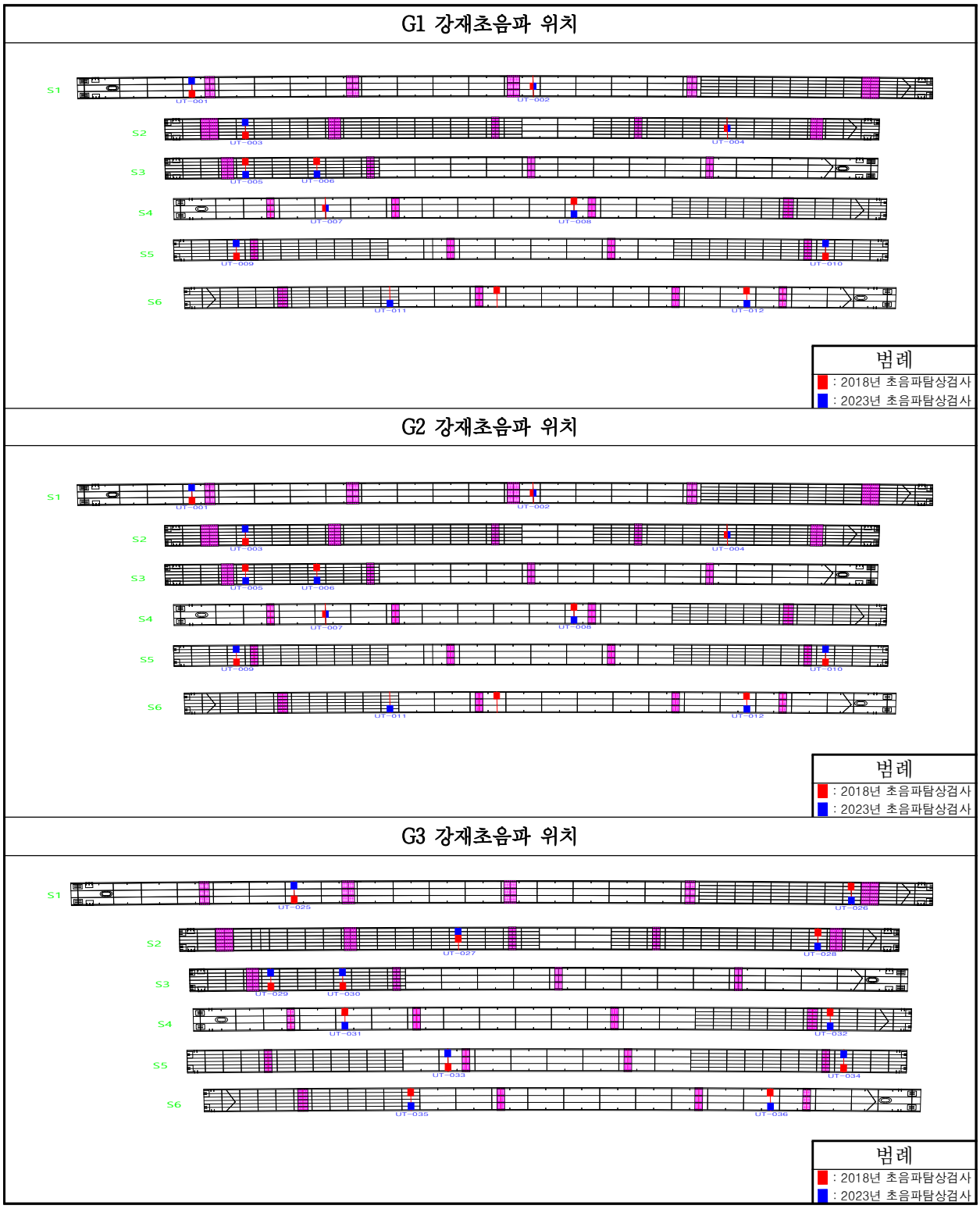
【표 3.188】용접부에 발생하는 대표적인 결함

결 함 내 용	설 명	비 고
• 균열 Crack	• 용접부의 작은 단면에 걸리는 하중이 금속의 응력값을 초과할 때 발생함. 균열은 모재 또는 용접금속에서도 나타나며 다른 결함, Notch 등과 함께 나타나기도 함	
• 융합부족(LF) Lack of fusion	• 그림과 같이 용접금속과 모재 사이가 완전하게 융합이 되지 아니한 상태	
• 용입부족(IP) Incomplete Penetration	• 그림과 같이 용융금속의 두께가 모재두께 보다 적게 용입이 이루어진 상태	
• 언더 컷 Under cut	• 용접사 기량 또는 용접조건 불량 등의 원인에 의하여 그림과 같이 움푹 패인 형상으로, 도로교 표준시방서 15.3.3의 (12)에 의하면 0.3~0.8㎜ 까지 허용됨	
• 언더 필 Under fill	• 용융금속이 덜 채워진 형상 	
• 아크 스트라이크 Arc strike	• 용접을 시작할 때 용접봉을 모재쪽에 대고 Arc를 발생시킴으로 인하여 모재가 움푹 패인 현상으로 응력집중의 원인이 됨	
• 기공 Porosity	• 이물질이나 수분에 의해 용접부 내부에 가스가 발생되어 용접금속 외부로 빠져 나오지 못하고 내부에서 기포를 형성한 상태	
• 블로 홀 Blow hole (Pit)	• 이물질이나 수분에 의해 발생된 가스가 용접비드 표면에 빠져 나오면서 발생된 작은 구멍	
• 용접Bead 상태불량 -과대한 용접 덧붙임 -Bead 표면의 과대한 요철	• 도·시(표 15.3.7)에 의하면 용접 Bead 폭 B에 따라 용접 덧붙임 높이 h값이 규정되어 있으며, 이 규정을 초과하는 덧붙임, 용접 Bead 표면의 과대한 요철 등이 발생	
• 스패터 Spatter	• 용접시 용융 Pool로부터 모재쪽으로 튀겨 나온 조그마한 금속 알갱이	
• 슬래그 혼입 Slag Inclusion	• 용접봉 피복 등이 용접금속 내에 혼입된 상태. 용접 내부의 슬래그는 강도를 저하시키며, 표면의 슬래그는 도장박리의 원인이 됨	

3.5.5 시험결과 및 분석(부산)

가. 강재 초음파 탐상시험(U.T)

1) 위치도



【그림 3.59】 강재 초음파 탐상시험(U.T) 위치도(부산)

2) 측정결과

- 강재 초음파 시험 결과, 전 개소에서 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었고, 용접부 주변으로 피로 균열은 관찰되지 않았으며, 용접상태는 전반적으로 양호한 것으로 판단된다.

【표 3.189】 강재 초음파(U.T) 탐상시험 측정결과(부산)

구 분	시험위치			등 급	결 과	분 석	비 고
만화교(부산)	S1	G1	UT01(D1/2)	I	합격	-	
			UT02(D6/7)	I	합격	-	
		G2	UT13(D1/2)	I	합격	-	
			UT14(D9/10)	I	합격	-	
		G3	UT25(D3/4)	I	합격	-	
			UT26(D10/11)	I	합격	-	
	S2	G1	UT03(D1/2)	I	합격	-	
			UT04(D7/8)	I	합격	-	
		G2	UT15(D2/3)	I	합격	-	
			UT16(D7/8)	I	합격	-	
		G3	UT27(D3/4)	I	합격	-	
			UT28(D8/9)	I	합격	-	
	S3	G1	UT05(D1/2)	I	합격	-	
			UT06(D2/3)	I	합격	-	
		G2	UT17(D1/2)	I	합격	-	
			UT18(D2/3)	I	합격	-	
		G3	UT29(D1/2)	I	합격	-	
			UT30(D2/3)	I	합격	-	
	S4	G1	UT07(D2/3)	I	합격	-	
			UT08(D7/8)	I	합격	-	
		G2	UT19(D7/8)	I	합격	-	
			UT20(D8/9)	I	합격	-	
		G3	UT31(D2/3)	I	합격	-	
			UT32(D8/9)	I	합격	-	
	S5	G1	UT9(D0/1)	I	합격	-	
			UT10(D9/10)	I	합격	-	
		G2	UT21(D0/1)	I	합격	-	
			UT22(D6/7)	I	합격	-	
		G3	UT33(D3/4)	I	합격	-	
			UT34(D9/10)	I	합격	-	
	S6	G1	UT11(D2/3)	I	합격	-	
			UT12(D7/8)	I	합격	-	
		G2	UT23(D1/2)	I	합격	-	
			UT24(D2/3)	I	합격	-	
		G3	UT35(D2/3)	I	합격	-	
			UT36(D7/8)	I	합격	-	
시험개소	36 EA						
합격개소	36 EA						
불합격개소	0 EA						

3) 전차 정밀안전진단 강재 초음파(U.T) 탐상시험 결과 비교

- 전차 정밀안전진단 비교한 결과, 객관적인 자료 획득을 위해 전반적으로 시험위치를 변경하였으며, 금회 결과 합격 36EA, 불합격 0EA인 것으로 확인었으며, 전차와 동일한 전구간 1급으로 합격으로 확인되어 용접부의 상태는 양호한 것으로 판정된다.

【표 3.190】전차 정밀안진단 강재 초음파(U.T) 결과 비교(부산)

구 분		전차 정밀안전진단 ('18년)			금회 정밀안전진단 ('23년)		
		위치	결과		위치	결과	
S1	G1	UT01	O	합격	UT01(D1/2)	O	합격
		UT02	O	합격	UT02(D6/7)	O	합격
	G2	UT13	O	합격	UT13(D1/2)	O	합격
		UT14	O	합격	UT14(D9/10)	O	합격
	G3	UT25	O	합격	UT25(D3/4)	O	합격
		UT26	O	합격	UT26(D10/11)	O	합격
S2	G1	UT03	O	합격	UT03(D1/2)	O	합격
		UT04	O	합격	UT04(D7/8)	O	합격
	G2	UT15	O	합격	UT15(D2/3)	O	합격
		UT16	O	합격	UT16(D7/8)	O	합격
	G3	UT27	O	합격	UT27(D3/4)	O	합격
		UT28	O	합격	UT28(D8/9)	O	합격
S3	G1	UT05	O	합격	UT05(D1/2)	O	합격
		UT06	O	합격	UT06(D2/3)	O	합격
	G2	UT17	O	합격	UT17(D1/2)	O	합격
		UT18	O	합격	UT18(D2/3)	O	합격
	G3	UT29	O	합격	UT29(D1/2)	O	합격
		UT30	O	합격	UT30(D2/3)	O	합격
S4	G1	UT07	O	합격	UT07(D2/3)	O	합격
		UT08	O	합격	UT08(D7/8)	O	합격
	G2	UT19	O	합격	UT19(D7/8)	O	합격
		UT20	O	합격	UT20(D8/9)	O	합격
	G3	UT31	O	합격	UT31(D2/3)	O	합격
		UT32	O	합격	UT32(D8/9)	O	합격
S5	G1	UT9	O	합격	UT9(D0/1)	O	합격
		UT10	O	합격	UT10(D9/10)	O	합격
	G2	UT21	O	합격	UT21(D0/1)	O	합격
		UT22	O	합격	UT22(D6/7)	O	합격
	G3	UT33	O	합격	UT33(D3/4)	O	합격
		UT34	O	합격	UT34(D9/10)	O	합격
S6	G1	UT11	O	합격	UT11(D2/3)	O	합격
		UT12	O	합격	UT12(D7/8)	O	합격
	G2	UT23	O	합격	UT23(D1/2)	O	합격
		UT24	O	합격	UT24(D2/3)	O	합격
	G3	UT35	O	합격	UT35(D2/3)	O	합격
		UT36	O	합격	UT36(D7/8)	O	합격
시험개소		36 EA			36 EA		
합격개소		36 EA			36 EA		
불합격개소		0 EA			0 EA		

나. 도막두께 측정

1) 측정결과

- 만화교(부산)에 대하여 도막두께 시험은 18개소 실시하였으며, 측정치는 거더내부의 경우 182~228㎛(공칭두께 175㎛), 거더외부의 경우 221~245㎛(공칭두께 215㎛)로 기준 두께를 만족하는 것으로 분석되어 도장된 도막두께는 양호한 상태인 것으로 확인되었다.

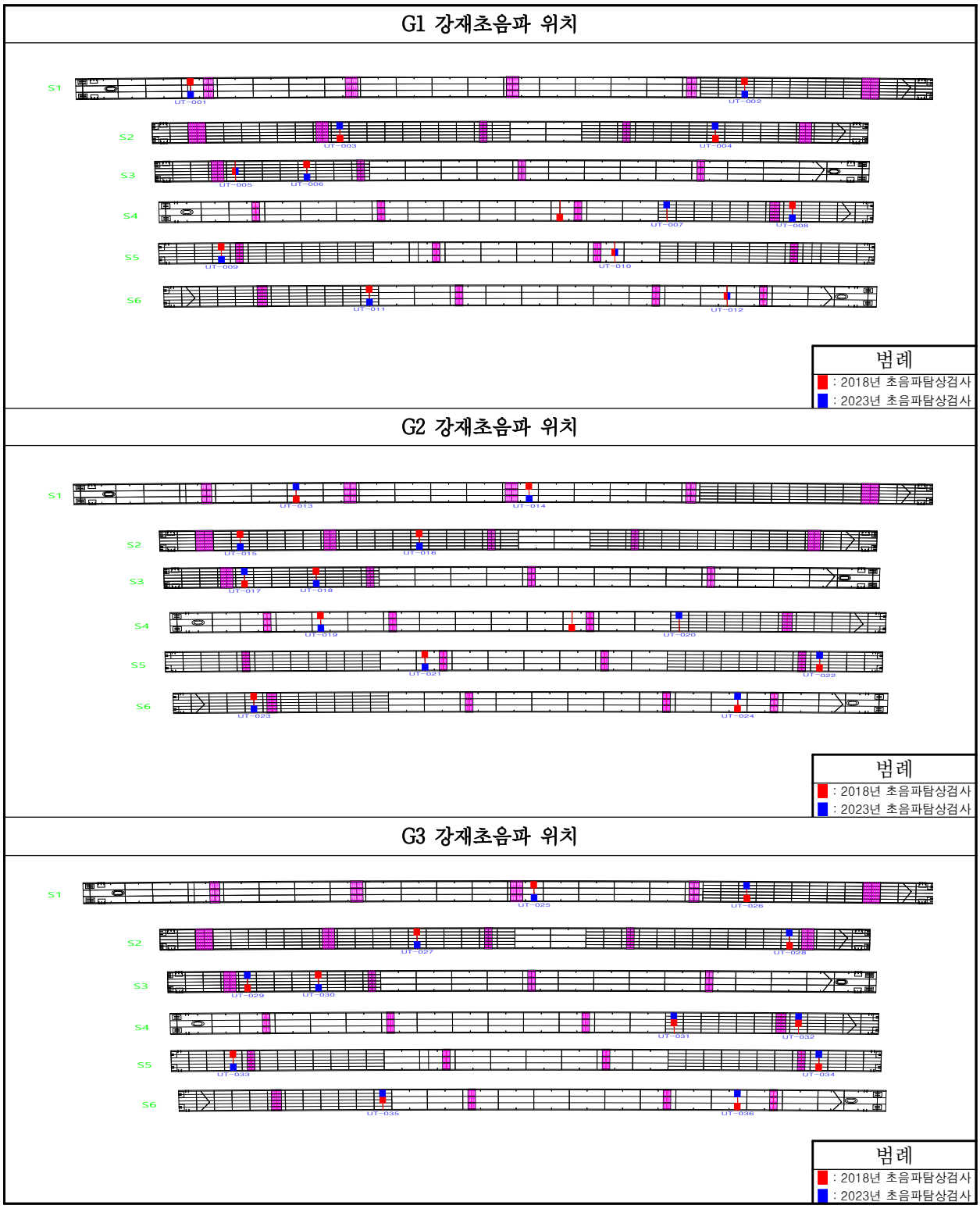
【표 3.191】 도막두께 측정결과(부산)

구 분	세부위치			기준 두께	측정두께					평균	결과치		비고
					1	2	3	4	5		만족	미달	
만화교 (부산)	S1	G1	외부 좌측 복부	215	202	243	253	243	200	228	●		
		G2	외부 우측 복부	215	216	220	230	225	233	225	●		
		G3	내부 우측 복부	175	185	191	186	188	165	183	●		
	S2	G1	내부 좌측 복부	175	195	195	194	186	180	190	●		
		G2	외부 우측 복부	215	217	220	219	225	228	222	●		
		G3	외부 좌측 복부	215	215	227	219	215	230	221	●		
	S3	G1	내부 좌측 복부	175	179	190	176	186	180	182	●		
		G2	외부 우측 복부	215	240	235	230	225	221	230	●		
		G3	외부 좌측 복부	215	217	220	219	225	228	222	●		
	S4	G1	내부 우측 복부	175	176	185	200	205	189	191	●		
		G2	내부 우측 복부	175	183	185	175	190	184	183	●		
		G3	외부 좌측 복부	215	215	216	205	240	239	223	●		
	S5	G1	내부 좌측 복부	175	178	183	189	195	184	186	●		
		G2	외부 우측 복부	215	200	248	310	234	232	245	●		
		G3	내부 우측 복부	175	185	191	199	220	231	205	●		
	S6	G1	외부 좌측 복부	215	225	240	219	236	255	235	●		
		G2	내부 우측 복부	175	178	183	199	202	188	190	●		
		G3	내부 좌측 복부	175	180	189	176	184	180	182	●		
시험개소											18개소		

3.5.6 시험결과 및 분석(울산)

가. 강재 초음파 탐상시험(U.T)

1) 위치도



【그림 3.60】 강재 초음파 탐상시험(U.T) 위치도(울산)

2) 측정결과

- 강재 초음파 시험 결과, 전 개소에서 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었고, 용접부 주변으로 피로 균열은 관찰되지 않았으며, 용접상태는 전반적으로 양호한 것으로 판단된다.

【표 3.192】 강재 초음파(U.T) 탐상시험 측정결과(울산)

구 분	시험위치			등 급	결 과	분 석	비 고
만화교(부산)	S1	G1	UT01(D1/2)	I	합격	-	
			UT02(D9/10)	I	합격	-	
		G2	UT13(D3/4)	I	합격	-	
			UT14(D6/7)	I	합격	-	
		G3	UT25(D6/7)	I	합격	-	
			UT26(D9/10)	I	합격	-	
	S2	G1	UT03(D2/3)	I	합격	-	
			UT04(D7/8)	I	합격	-	
		G2	UT15(D1/2)	I	합격	-	
			UT16(D3/4)	I	합격	-	
		G3	UT27(D3/4)	I	합격	-	
			UT28(D8/9)	I	합격	-	
	S3	G1	UT05(D1/2)	I	합격	-	
			UT06(D2/3)	I	합격	-	
		G2	UT17(D1/2)	I	합격	-	
			UT18(D2/3)	I	합격	-	
		G3	UT29(D1/2)	I	합격	-	
			UT30(D2/3)	I	합격	-	
	S4	G1	UT07(D7/8)	I	합격	-	
			UT08(D8/9)	I	합격	-	
		G2	UT19(D2/3)	I	합격	-	
			UT20(D7/8)	I	합격	-	
		G3	UT31(D7/8)	I	합격	-	
			UT32(D8/9)	I	합격	-	
	S5	G1	UT9(D0/1)	I	합격	-	
			UT10(D6/7)	I	합격	-	
		G2	UT21(D3/4)	I	합격	-	
			UT22(D9/10)	I	합격	-	
		G3	UT33(D0/1)	I	합격	-	
			UT34(D9/10)	I	합격	-	
	S6	G1	UT11(D2/3)	I	합격	-	
			UT12(D7/8)	I	합격	-	
		G2	UT23(D1/2)	I	합격	-	
			UT24(D7/8)	I	합격	-	
		G3	UT35(D2/3)	I	합격	-	
			UT36(D7/8)	I	합격	-	
시험개소	36 EA						
합격개소	36 EA						
불합격개소	0 EA						

3) 전차 정밀안전진단 강재 초음파(U.T) 탐상시험 결과 비교

- 전차 정밀안전진단 비교한 결과, 객관적인 자료 획득을 위해 전반적으로 시험위치를 변경하였으며, 금회 결과 합격 36EA, 불합격 0EA인 것으로 확인었으며, 전차와 동일한 전구간 1급으로 합격으로 확인되어 용접부의 상태는 양호한 것으로 판정된다.

【표 3.193】 전차 정밀안진단 강재 초음파(U.T) 결과 비교(울산)

구 분		전차 정밀안전진단 ('18년)			금회 정밀안전진단 ('23년)		
		위치	결과		위치	결과	
S1	G1	UT01	O	합격	UT01(D1/2)	O	합격
		UT02	O	합격	UT02(D9/10)	O	합격
	G2	UT13	O	합격	UT13(D3/4)	O	합격
		UT14	O	합격	UT14(D6/7)	O	합격
	G3	UT25	O	합격	UT25(D6/7)	O	합격
		UT26	O	합격	UT26(D9/10)	O	합격
S2	G1	UT03	O	합격	UT03(D2/3)	O	합격
		UT04	O	합격	UT04(D7/8)	O	합격
	G2	UT15	O	합격	UT15(D1/2)	O	합격
		UT16	O	합격	UT16(D3/4)	O	합격
	G3	UT27	O	합격	UT27(D3/4)	O	합격
		UT28	O	합격	UT28(D8/9)	O	합격
S3	G1	UT05	O	합격	UT05(D1/2)	O	합격
		UT06	O	합격	UT06(D2/3)	O	합격
	G2	UT17	O	합격	UT17(D1/2)	O	합격
		UT18	O	합격	UT18(D2/3)	O	합격
	G3	UT29	O	합격	UT29(D1/2)	O	합격
		UT30	O	합격	UT30(D2/3)	O	합격
S4	G1	UT07	O	합격	UT07(D7/8)	O	합격
		UT08	O	합격	UT08(D8/9)	O	합격
	G2	UT19	O	합격	UT19(D2/3)	O	합격
		UT20	O	합격	UT20(D7/8)	O	합격
	G3	UT31	O	합격	UT31(D7/8)	O	합격
		UT32	O	합격	UT32(D8/9)	O	합격
S5	G1	UT9	O	합격	UT9(D0/1)	O	합격
		UT10	O	합격	UT10(D6/7)	O	합격
	G2	UT21	O	합격	UT21(D3/4)	O	합격
		UT22	O	합격	UT22(D9/10)	O	합격
	G3	UT33	O	합격	UT33(D0/1)	O	합격
		UT34	O	합격	UT34(D9/10)	O	합격
S6	G1	UT11	O	합격	UT11(D2/3)	O	합격
		UT12	O	합격	UT12(D7/8)	O	합격
	G2	UT23	O	합격	UT23(D1/2)	O	합격
		UT24	O	합격	UT24(D7/8)	O	합격
	G3	UT35	O	합격	UT35(D2/3)	O	합격
		UT36	O	합격	UT36(D7/8)	O	합격
시험개소		36 EA			36 EA		
합격개소		36 EA			36 EA		
불합격개소		0 EA			0 EA		

나. 도막두께 측정

1) 측정결과

- 만화교(울산)에 대하여 도막두께 시험은 18개소 실시하였으며, 측정치는 거더내부의 경우 195~208㎛(공칭두께 175㎛), 거더외부의 경우 227~253㎛(공칭두께 215㎛)로 기준 두께를 만족하는 것으로 분석되어 도장된 도막두께는 양호한 상태인 것으로 확인되었다.

【표 3.194】 도막두께 측정결과(울산)

구 분	세부위치			기준 두께	측정두께					평균	결과치		비고
					1	2	3	4	5		만족	미달	
만화교 (부산)	S1	G1	외부 좌측 복부	215	268	222	249	231	249	244	●		
		G2	내부 우측 복부	175	192	214	184	193	194	195	●		
		G3	외부 우측 복부	215	238	220	228	241	256	237	●		
	S2	G1	외부 좌측 복부	215	226	260	236	250	245	243	●		
		G2	내부 우측 복부	175	182	212	203	207	191	199	●		
		G3	외부 우측 복부	215	224	269	238	234	251	243	●		
	S3	G1	외부 좌측 복부	215	267	244	217	220	224	234	●		
		G2	내부 우측 복부	175	185	198	210	185	192	194	●		
		G3	외부 우측 복부	215	242	265	243	266	216	246	●		
	S4	G1	외부 좌측 복부	215	227	254	226	250	248	241	●		
		G2	내부 우측 복부	175	206	205	214	182	200	201	●		
		G3	외부 우측 복부	215	266	264	236	267	230	253	●		
	S5	G1	외부 좌측 복부	215	217	250	223	219	226	227	●		
		G2	내부 우측 복부	175	183	205	184	195	213	196	●		
		G3	외부 우측 복부	215	248	269	244	225	255	248	●		
	S6	G1	외부 좌측 복부	215	219	240	242	249	219	234	●		
		G2	내부 우측 복부	175	214	192	211	209	212	208	●		
		G3	외부 우측 복부	215	243	268	249	256	228	249	●		
시험개소											18개소		

3.6 현장조사 및 시험 결과요약

3.6.1 외관조사 결과요약(부산)

가. 금회 진단 외관조사 결과요약

【표 3.195】금회 진단 외관조사 결과요약(부산)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판	•주요손상으로는 균열(cw=0.3mm미만), 균열부 백태, 철근노출 손상이 조사됨.	•건조수축 등의 콘크리트 성질에 기인해 발생한 비구조적 손상으로 판단된다. 따라서, 내구성 저하 방지를 위해 표면보수가 필요함. •단면보수 시 콘크리트의 탈락우려가 있으므로 방청 후 탄산화방지제 도포 등의 표면보수 또한 고려해야함.
STB Girder	•도장박리 및 도장열화가 주요손상으로 확인됨.	•도장박리는 시공불량(전처리 미흡) 및 공용기간 증가로 노후화(부착강도 저하)에 의해 발생된 손상으로 재도장을 통한 유지관리가 요구됨. •도장의 전반적인 상태가 건전하여 현재 보수의 시급성을 요하지 않으며, 향후 도장결함의 진전 여부에 따라 전면 재도장을 고려하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.
가로보	•상태양호함.	-
교대	•균열(Cw=0.3㎜ 미만), 망상균열, 백태가 주요손상으로 확인됨.	•균열(Cw=0.3㎜ 미만) 및 망상균열은 건조수축, 수화열 등에 발생된 미세균열임. •백태는 우수유입에 의한 손상으로 날개벽 및 흉벽에서 1개소씩 조사되었으며, 흉벽 전면 단면변화부에서 외부 충격에 의한 파손이 1개소 조사됨. •신축이음부에 인접한 부재로 방수성, 손상진전 방지를 위한 보수가 필요하며, 흉벽 및 교대 전체의 콘크리트 열화 방지를 위해 전면의 표면보호제(중성화 및 염해방지) 도포가 필요할 것으로 판단됨.
교각	•주요손상으로 균열, 보수부 재균열, 백태, 보수부 백태가 조사됨.	•손상규모, 형상, 위치 등을 고려해 볼 때 구조적 원인에 의해 발생된 손상이라기보다 건조수축, 수화열 등에 발생된 미세균열임. 백태 및 보수부 백태는 우수유입에 의한 손상이며, 신축이음부에 인접한 부재로 방수성, 손상진전 방지를 위한 보수가 필요하며, 흉벽 및 교대 전체의 콘크리트 열화 방지를 위해 전면의 표면보호제(중성화 및 염해방지)도포가 필요할 것으로 판단됨.

【표 3.195】금회 진단 외관조사 결과요약(부산)(계속)

구 분		주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
기초부		•교대 및 교각의 기초는 지중에 매립되어 외관조사는 불가한 것으로 조사됨.	-
교량받침		•기둥부 및 코핑부에서 균열 폭 0.1~0.2㎜ 수준의 수직균열이 국부적으로 조사됨. •코핑부 철근노출이 11개소 조사됨.	•건조수축 및 점검로 설치시 앵커홀 주변으로 응력이 집중되어 발생된 균열로 판단된다. 상기 균열들은 재료적 특성에 의한 비구조적 균열로 판단되므로 내구성 확보를 위한 표면보수가 필요함. •받침콘크리트 인접부 코핑부 상단에서 조사되었으며, 콘크리트 피복두께 미확보에 의한 것으로 방청후 탄산화방지제 도포 등의 표면보수를 실시하여 관리함이 바람직할 것으로 판단됨.
신축이음		•후타재 콘크리트의 경우 주행차량의 충격하중 및 재료적 특성에 의한 균열이 일부 종방향 형태로 발생한 것으로 확인됨. •신축이음장치 3개소 모두 유간 토사퇴적이 조사됨.	•차량 주행성에는 이상이 없는 것으로 판단되며, 대부분 폭 0.2㎜ 이내의 미세균열로 즉각적인 보수조치 보다는 지속적인 관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다. 다만 손상확대 및 진전 시 보수가 필요함. •토사퇴적은 공용년수 증가에 따른 이물질 유입이 주원인으로 현재 신축이음장치에 기능을 상실한 상태는 아니나, 원활한 유지관리를 위해 청소를 실시하여 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단됨
기타부재	교면포장	•통행차량의 운행성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않은 전반적으로 양호한 상태이며, 주요손상으로 포장균열이 조사됨.	•균열의 경우, 차량의 주행에 미치는 영향 및 균열보수 시 보수효과가 작은 점, 동일 위치로 바닥판 하면의 누수, 백태와 같은 2차 손상이 없는 점 등을 고려해 볼 때, 당장의 부분적 보수는 비효율적이므로 손상확대 및 진전 시 일괄 보수를 실시함이 효율적일 것으로 판단됨.
	배수시설	•S5경간에서 배수관 고정대 탈락이 1개소 조사됨.	•반복적인 차량통행에 의한 차량진동, 풍향 등의 영향으로 배수관 고정이 불량해질 수 있으므로 보수계획에 맞춰 배수관 고정대 재설치가 필요할 것으로 판단됨.
	난간및연석	•방호벽 전면부에 0.3㎜미만의 표면균열과 망상균열이 조사됨.	•균열은 콘크리트 타설 후 재료적 특성 및 온도변화에 따른 수축·팽창 등에 의해 발생된 비구조적 손상으로 현재로써는 지속관찰이 요구되며, 향후 표면보호제 도포 등의 일괄보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

나. 기 진단(2018년) 결과와의 비교, 분석

【표 3.196】기 진단(2018년) 외관조사 결과 비교(부산)

구분		결함 및 손상내용	단위	2018년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단	물량 증·감
				물량	물량	
바닥판 하면		균열(cw=0.3mm미만)	m	-	23.00	▲ 23.00
		균열부백태	m	-	0.20	▲ 0.20
		철근노출	㎡	-	7.14	▲ 7.14
		박락	㎡	0.14	-	▼ 0.14
STB 거더	내부	도장박리	㎡	-	0.07	▲ 0.07
		누수흔적	㎡	-	3.60	▲ 3.60
		실링미처리	개소	-	2	▲ 2
		그을음	㎡	-	1.12	▲ 1.12
	외부	도장박리	㎡	-	0.13	▲ 0.13
		도장열화	㎡	1,426.00	1,426.00	- -
		볼트부식	개소	-	17	▲ 17
		부식	㎡	0.07	-	▼ 0.07
하부 구조	교대	균열(cw=0.3mm미만)	m	-	6.40	▲ 6.40
		보수부 재균열(cw=0.3mm미만)	m	-	1.00	▲ 1.00
		백태	㎡	-	0.52	▲ 0.52
		보수부백태	㎡	-	0.41	▲ 0.41
		박리	㎡	-	0.24	▲ 0.24
		보수부 박리	㎡	-	1.32	▲ 1.32
		파손	㎡	0.19	0.02	▼ 0.17
		이격	m	-	0.07	▲ 0.07
		실링재 열화	m	-	6.00	▲ 6.00
		표면오염	㎡	8.65	-	▼ 8.65
	교각	균열(cw=0.3mm미만)	m	38.90	32.60	▼ 6.30
		망상균열	㎡	-	2.60	▲ 2.60
		보수부 박리	㎡	-	0.04	▲ 0.04
		철근노출	㎡	0.04	0.11	▲ 0.07
		파손	㎡	0.26	0.26	- -
		체수	㎡	-	0.40	▲ 0.40
		표면오염	㎡	6.45	-	▼ 6.45

【표 3.196】기 진단(2018년) 외관조사 결과 비교(부산)(계속)

구분		결함 및 손상내용	단위	2018년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단	물량 증·감
				물량	물량	
교량받침		앵커볼트 부식	개소	120	41	▼ 79
		받침콘크리트 파손	㎡	-	0.01	▲ 0.01
		받침콘크리트 들뜸	㎡	-	0.04	▲ 0.04
		받침몰탈균열	m	2.40	-	▼ 2.40
신축이음장치		후타재 균열	m	3.20	43.20	▲ 40.00
		후타재 박락	㎡	-	0.18	▲ 0.18
		후타재 파손	㎡	-	0.01	▲ 0.01
		유간 토사퇴적	m	-	29.50	▲ 29.50
		차수판 볼트탈락	개소	2	8	▲ 6
		차수판 유실	개소	1	-	▼ 1
		후타재 이격	m	32.00	-	▼ 32.00
교면포장		포장균열	m	-	1.50	▲ 1.50
		LMC패임	㎡	0.05	0.09	▲ 0.04
기타부재	배수시설	배수관 고정대 탈락	개소	-	1	▲ 1
	난간 및 연석	균열(cw=0.3mm미만)	m	199.20	95.30	▼ 103.90
		망상균열	㎡	6.00	1.00	▼ 5.00
		표면열화	㎡	-	58.00	▲ 58.00
		이격	m	-	0.02	▲ 0.02
		난간변형	m	-	0.40	▲ 0.40
검토의견		•기 진단(18년)과의 비교분석 결과, 구조물의 발생된 손상의 급격한 상태변화는 없는 것으로 확인되었으며, 공용중 실시한 유지보수로 일부 손상물량이 감소한 것으로 조사됨. •금회진단에서 조사된 신규손상은 상세조사 및 경년열화 등에 의하여 추가 확인된 것으로 판단됨.				

3.6.2 외관조사 결과요약(울산)

가. 금회 진단 외관조사 결과요약

【표 3.197】 금회 진단 외관조사 결과요약(울산)

구 분	주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
바닥판	•주요손상으로는 균열(cw=0.3mm미만), 철근 노출 손상이 조사됨.	•건조수축 등의 콘크리트 성질에 기인해 발생한 비구조적 손상으로 판단된다. 따라서, 내구성 저하 방지를 위해 표면보수가 필요함. •단면보수 시 콘크리트의 탈락우려가 있으므로 방청 후 탄산화방지제 도포 등의 표면보수 또한 고려해야함.
STB Girder	•도장박리, 부식이 주요손상으로 확인됨.	•도장박리부위 대부분은 도장의 상도층(마감층)만이 떨어져 나간 상태로서 강재에 미치는 영향은 적으로 것으로 판단되나, 구조물의 장기적인 내구성 확보를 위해서는 재도장을 통한 유지관리가 요구됨. •부식손상은 시점부 스캘럽(Scallop) 및 현장이음부(Splice) 틈을 통해 유입된 우수가 배수되지 못하고 거더 내부에서 부식환경을 초래하여 공용중 발생된 손상으로 판단됨.
가로보	•S2경간에서 경미한 부식이 1개소 조사됨.	•손상은 비교적 경미하나, 부식 진전에 따라 내구성저하 방지를 위한 재도장(방청)이 필요할 것으로 판단됨.
교대	•균열, 보수부 재균열, 균열부 백태, 망상균열, 백태, 보수부 백태가 조사됨.	•균열(Cw=0.3㎜ 미만) 및 망상균열은 건조수축, 수화열 등에 발생된 미세균열임. •백태는 우수유입에 의한 손상으로 날개벽 및 흉벽에서 1개소씩 조사되었으며, 흉벽 전면 단면변화부에서 외부 충격에 의한 파손이 1개소 조사됨. •신축이음부에 인접한 부재로 방수성, 손상진전 방지를 위한 보수가 필요하며, 흉벽 및 교대 전체의 콘크리트 열화 방지를 위해 전면의 표면보호제(중성화 및 염해방지) 도포가 필요할 것으로 판단됨.
교각	•기둥부 및 코핑부에서 수평 및 수직형상을 띈 균열폭 0.1~0.3㎜ 수준의 균열 및 망상균열(2개소)이 국부적으로 조사됨.	•손상규모, 형상, 위치 등을 고려해 볼 때 구조적 원인에 의해 발생된 손상이라기보다 건조수축, 수화열 등에 발생된 미세균열임.

【표 3.197】 금회 진단 외관조사 결과요약(울산)(계속)

구 분		주요결함 및 외관조사 결과	검토의견
기초부		•교대 및 교각의 기초는 지중에 매립되어 외관조사는 불가한 것으로 조사됨.	-
교량받침		•주요손상으로 받침콘크리트 박락, 받침콘크리트 재료분리가 조사됨.	•시공시 다짐미흡과 품질관리 미흡, 콘크리트 재료적 성질 등에 의해 발생한 것으로 발생규모는 경미하나 내구성 저하 방지를 위해 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.
신축이음		•후타재 콘크리트의 경우 주행차량의 충격하중 및 재료적 특성에 의한 균열이 일부 종방향 형태로 발생한 것으로 확인됨. •신축이음장치 3개소 모두 유간 토사퇴적이 조사됨.	•차량 주행성에는 이상이 없는 것으로 판단되며, 대부분 폭 0.2㎜ 이내의 미세균열로 즉각적인 보수조치 보다는 지속적인 관찰을 통한 유지관리가 바람직할 것으로 판단된다. 다만 손상확대 및 진전 시 보수가 필요함. •토사퇴적은 공용년수 증가에 따른 이물질 유입이 주원인으로 현재 신축이음장치에 기능을 상실한 상태는 아니나, 원활한 유지관리를 위해 청소를 실시하여 관리하는 것이 바람직할 것으로 판단됨
기타부재	교면포장	•통행차량의 운행성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않은 전반적으로 양호한 상태이며, 주요손상으로 포장균열이 조사됨.	•균열의 경우, 차량의 주행에 미치는 영향 및 균열보수 시 보수효과가 작은 점, 동일위치로 바닥판 하면의 누수, 백태와 같은 2차 손상이 없는 점 등을 고려해 볼 때, 당장의 부분적 보수는 비효율적이므로 손상확대 및 진전 시 일괄 보수를 실시함이 효율적일 것으로 판단됨.
	배수시설	•S4경간에서 배수관 고정대 탈락이 1개소 조사됨. •배수구 막힘이 S1경간에서 1개소 조사됨.	•반복적인 차량통행에 의한 차량진동, 풍향 등의 영향으로 배수관 고정이 불량해질 수 있으므로 보수계획에 맞춰 배수관 고정대 재설치가 필요할 것으로 판단됨. •배수구 막힘에 의해 배수 영향이나, 교면내 체수 등 2차 손상은 발생하지 않은 비교적 경미한 상태임. 다만 주기적 청소가 필요함.
	난간및연석	•방호벽 전면부로 경미한 파손이 1개소 조사됨.	•손상규모는 비교적 경미하나, 파손에 의해 박락 등 2차손상이 진행되고 있는 점 등을 고려할 때, 탄산화 방지제 도포 등의 표면보수를 통해 유지관리하는 것이 바람직할 것으로 판단됨.

나. 기 진단(2018년) 결과와의 비교, 분석

【표 3.198】기 진단(2018년) 외관조사 결과 비교(울산)

구분		결함 및 손상내용	단위	2018년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단	물량 증·감
				물량	물량	
바닥판 하면		균열(cw=0.3mm미만)	m	-	0.50	▲ 0.50
		박락	㎡	-	0.26	▲ 0.26
		철근노출	㎡	-	0.82	▲ 0.82
		파손	㎡	0.56	-	▼ 0.56
		협착	m	16.20	-	▼ 16.20
STB 거더	내부	도장박리	㎡	-	0.04	▲ 0.04
		부식	㎡	-	0.04	▲ 0.04
		전등미설치	개소	-	2	▲ 2
		환풍구망 탈락	개소	-	1	▲ 1
	외부	도장박리	㎡	-	0.81	▲ 0.81
		도장열화	㎡	1,426.00	1,426.00	- -
		긁힘 및 부식	㎡	0.05	0.04	▼ 0.01
2차부재		부식	㎡	-	0.04	▲ 0.04
하부 구조	교대	균열(cw=0.3mm미만)	m	0.50	4.00	▲ 3.50
		균열(cw=0.3mm이상)	m	-	7.70	▲ 7.70
		보수부 재균열(cw=0.3mm미만)	m	-	0.80	▲ 0.80
		균열부 백태	m	-	2.00	▲ 2.00
		망상균열	㎡	-	0.80	▲ 0.80
		백태	㎡	0.55	0.83	▲ 0.28
		보수부 백태	㎡	-	0.08	▲ 0.08
		철근노출	㎡	-	0.02	▲ 0.02
		이격	m	-	3.00	▲ 3.00
		표면오염	㎡	0.80	-	▼ 0.80
	교각	균열(cw=0.3mm미만)	m	32.50	36.50	▲ 4.00
		균열(cw=0.3mm이상)	m	-	10.00	▲ 10.00
		망상균열	㎡	-	4.00	▲ 4.00
		철근노출	㎡	0.06	0.04	▼ 0.02
		잡철근노출	㎡	-	0.01	▲ 0.01
		파손	㎡	0.24	0.04	▼ 0.20
		표면박리	㎡	-	0.15	▲ 0.15
		표면오염	㎡	2.50	7.30	▲ 4.80

【표 3.198】기 진단(2018년) 외관조사 결과 비교(울산)(계속)

구분		결함 및 손상내용	단위	2018년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단	물량 증·감
				물량	물량	
교량받침		받침콘크리트 박락	㎡	-	0.27	▲ 0.27
		받침콘크리트 재료분리	㎡	-	0.04	▲ 0.04
		볼트부식	개소	272	1	▼ 271
		몰탈균열	m	2.90	-	▼ 2.90
		받침 플레이트 부식	개소	6	-	6
신축이음장치		후타재 균열	m	-	17.30	▲ 17.30
		후타재 마모	㎡	-	2.10	▲ 2.10
		유간 토사퇴적	m	-	8.70	▲ 8.70
		차수판 볼트탈락	개소	6	18	▲ 12
		차수판 덮개파손	개소	-	1	▲ 1
		본체 고무재파손	m	6.00	-	▼ 6.00
교면포장		포장균열	m	-	2.20	▲ 2.20
		LMC포장 파손	㎡	-	0.04	▲ 0.04
기타부재	배수시설	배수구 막힘	개소	1	1	- -
		배수관 연결고리 부식	개소	-	5	▲ 5
		배수관 고정대 탈락	개소	-	1	▲ 1
	난간 및 연석	파손	㎡	-	0.09	▲ 0.09
		단차	개소	-	1	▲ 1
검토의견		•기 진단(18년)과의 비교분석 결과, 구조물의 발생된 손상의 급격한 상태변화는 없는 것으로 확인되었으며, 공용중 실시한 유지보수로 일부 손상물량이 감소한 것으로 조사됨. •금회진단에서 조사된 신규손상은 상세조사 및 경년열화 등에 의하여 추가 확인된 것으로 판단됨.				

3.6.3 콘크리트 내구성 결과요약(부산)

가. 금회 정밀안전진단 콘크리트 내구성조사 결과요약

【표 3.199】 금회 정밀안전진단 내구성조사 결과요약(부산)

<table>
<tr><th>시 험 명</th><th colspan="3">시험부위</th><th colspan="2">시험결과</th><th>평가의견</th></tr>
<tr><td rowspan="6">비파괴
강도
(㎫)</td><td colspan="2" rowspan="2">상부구조
(바닥판)</td><td>반발경도법</td><td colspan="2">28.0～29.9</td><td rowspan="6">•설계기준강도대비 100% 이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
•건전부대비 비건전부의 측정강도가 95%를 상회하여 콘크리트의 표면 품질 저하는 경미한 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td>초음파전달속도법</td><td colspan="2">30.8～31.7</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부
구조</td><td>교대</td><td rowspan="2">반발경도법</td><td colspan="2">25.6～26.4</td></tr>
<tr><td>교각</td><td colspan="2">25.4～27.2</td></tr>
<tr><td>교대</td><td rowspan="2">초음파전달속도법</td><td colspan="2">34.0～34.4</td></tr>
<tr><td>교각</td><td colspan="2">33.0～34.5</td></tr>
<tr><td rowspan="9">철근탐사
(㎜)</td><td colspan="3">구 분</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td rowspan="9">•전반적으로 단위길이당 철근수량을 만족하며 측정피복두께가 설계피복두께 및 배근간격은 일부구간 차이는 있으나, 전반적으로 양호한 것으로 분석됨.</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">상부구조
(바닥판)</td><td>주철근</td><td>92～276</td><td>40～59</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>205～273</td><td>40～54</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부
구조</td><td rowspan="2">교대</td><td>주철근</td><td>192～254</td><td>99～104</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>114～185</td><td>99～104</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td>주철근</td><td>100～178</td><td>100～111</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>284～318</td><td>99～128</td></tr>
<tr><td rowspan="2">탄산화
잔여깊이
(㎜)</td><td colspan="3">상부구조</td><td colspan="2">33.0～34.7</td><td rowspan="2">•전 개소 ‘a등급’ 으로 분석되어, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="3">하부구조</td><td colspan="2">91.3～94.7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">염화물
함유량시험
(kg/㎥)</td><td colspan="3">상부구조</td><td colspan="2">0.262</td><td rowspan="2">•상태평가 기준 “a” 로서, 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="3">하부구조</td><td colspan="2">0.140～0.171</td></tr>
<tr><td>종합
평가</td><td colspan="6">•비파괴강도 측정결과, 전 개소의 측정값이 설계기준강도를 상회하는 것으로 나타났으며, 건전부 대비 비건전부의 측정압축강도가 95%를 상회하여 본 구조물의 콘크리트 품질은 양호한 것으로 판단됨.
•탄산화 깊이 측정결과, 전개소에서 상태평가 “a” 로 검토되어 현 상태에서는 탄산화에 철근부식의 우려가 없는 상태로 판단됨.
•염화물함유량 시험결과 상부구조 1개소, 하부구조 2개소에서 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
</table>

나. 전차 정밀안전진단(2018년)결과 비교, 분석

【표 3.200】 내구성조사 전차 정밀안전진단(2018년)결과와의 비교(부산)

<table>
<tr><th rowspan="2">시 험 명</th><th colspan="2" rowspan="2">시험부위</th><th colspan="4">시험결과</th><th rowspan="2">평가의견</th></tr>
<tr><th colspan="2">2018년 정밀안전진단</th><th colspan="2">금회 정밀안전진단</th></tr>
<tr><td rowspan="4">비파괴 강도 (㎫)</td><td rowspan="2">상부 구조</td><td>반발경도</td><td colspan="2">27.5～29.5</td><td colspan="2">28.0～29.9</td><td rowspan="4">•측정위치의 편차가 존재하나 모든 부재에서 설계기준강도를 상회하여 구조물의 공용년수 증가에 의한 강도저하는 발생하지 않음.</td></tr>
<tr><td>초음파 전달속도</td><td colspan="2">25.5～27.7</td><td colspan="2">30.8～31.7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부 구조</td><td>반발경도</td><td colspan="2">22.3～24.6</td><td colspan="2">25.4～27.2</td></tr>
<tr><td>초음파 전달속도</td><td colspan="2">24.9～29.3</td><td colspan="2">33.0～34.5</td></tr>
<tr><td rowspan="8">철근탐사 (㎜)</td><td colspan="2">구 분</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td rowspan="8">•측정위치에 따른 편차가 일부 존재하며, 상부구조의 경우 설계간격 차이로, 단위길이당 철근수량을 만족하며 측정피복두께가 설계피복두께를 상회하여 철근의 배근상태는 양호함.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">상부 구조</td><td>주철근</td><td>110～135</td><td>37～50</td><td>92～276</td><td>40～59</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>115～250</td><td>40～52</td><td>205～273</td><td>40～54</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교대</td><td>주철근</td><td>185～260</td><td>90～98</td><td>192～254</td><td>99～104</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>155～165</td><td>95～105</td><td>114～185</td><td>99～104</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td>주철근</td><td>120～135</td><td>90～115</td><td>100～178</td><td>100～111</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>270～320</td><td>80～100</td><td>284～318</td><td>99～128</td></tr>
<tr><td rowspan="2">탄산화 잔여깊이 (㎜)</td><td colspan="2">상부 구조</td><td colspan="2">32.3～37.8</td><td colspan="2">33.0～34.7</td><td rowspan="2">•기 진단 결과와 비교하여 전반적으로 잔여피복두께가 감소한 부재가 존재하나, 상태평가등급 “a”로 내구성저하 문제는 발생하지 않음.</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부 구조</td><td colspan="2">72.1～88.8</td><td colspan="2">91.3～94.7</td></tr>
<tr><td rowspan="2">염화물 함유량시험 (kg/㎥)</td><td colspan="2">상부 구조</td><td colspan="2">0.092</td><td colspan="2">0.262</td><td rowspan="2">•시험결과, 염화물에 의한 부식 발생 가능성이 낮은 상태로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부 구조</td><td colspan="2">0.077～0.083</td><td colspan="2">0.140～0.171</td></tr>
<tr><td>종합 평가</td><td colspan="7">•비파괴강도 측정, 탄산화 깊이측정, 염화물함유량 시험 등을 기 진단 결과와 비교 할 때 공용기간 경과에 따른 내구성 저하는 없는 것으로 분석됨.
•철근 배근상태 및 피복두께 측정값이 기 진단 결과와 측정위치별 다소 상이하며, 이는 설계배근 간격 차이이며, 공용기간 경과에 따른 콘크리트 내부의 유동은 없다고 분석됨.</td></tr>
</table>

3.6.4 콘크리트 내구성 결과요약(울산)

가. 금회 정밀안전진단 콘크리트 내구성조사 결과요약

【표 3.201】 금회 정밀안전진단 내구성조사 결과요약(울산)

<table>
<tr><th>시 험 명</th><th colspan="3">시험부위</th><th colspan="2">시험결과</th><th>평가의견</th></tr>
<tr><td rowspan="6">비파괴
강도
(㎫)</td><td colspan="2" rowspan="2">상부구조
(바닥판)</td><td>반발경도법</td><td colspan="2">28.6～30.1</td><td rowspan="6">•설계기준강도대비 100% 이상으로 공용년수 경과에 따른 콘크리트강도 저하는 없는 것으로 판단됨.
•건전부대비 비건전부의 측정강도가 95%를 상회하여 콘크리트의 표면 품질 저하는 경미한 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td>초음파전달속도법</td><td colspan="2">30.1～33.8</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부
구조</td><td>교대</td><td rowspan="2">반발경도법</td><td colspan="2">26.5～27.4</td></tr>
<tr><td>교각</td><td colspan="2">26.6～27.6</td></tr>
<tr><td>교대</td><td rowspan="2">초음파전달속도법</td><td colspan="2">29.0～30.2</td></tr>
<tr><td>교각</td><td colspan="2">27.3～30.8</td></tr>
<tr><td rowspan="7">철근탐사
(㎜)</td><td colspan="3">구 분</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td rowspan="7">•전반적으로 단위길이당 철근수량을 만족하며 측정피복두께가 설계피복두께 및 배근간격은 일부구간 차이는 있으나, 전반적으로 양호한 것으로 분석됨.</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">상부구조
(바닥판)</td><td>주철근</td><td>102～280</td><td>40～45</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>210～263</td><td>39～49</td></tr>
<tr><td rowspan="4">하부
구조</td><td rowspan="2">교대</td><td>주철근</td><td>188～273</td><td>100～122</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>126～180</td><td>98～106</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td>주철근</td><td>113～137</td><td>100～113</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>274～355</td><td>98～106</td></tr>
<tr><td rowspan="2">탄산화
잔여깊이
(㎜)</td><td colspan="3">상부구조</td><td colspan="2">31.1～34.8</td><td rowspan="2">•전 개소 ‘a등급’ 으로 분석되어, 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="3">하부구조</td><td colspan="2">89.5～95.1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">염화물
함유량시험
(kg/㎥)</td><td colspan="3">상부구조</td><td colspan="2">0.262</td><td rowspan="2">•상태평가 기준 “a” 로서, 염화물에 의한 철근 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="3">하부구조</td><td colspan="2">0.230～0.235</td></tr>
<tr><td>종합
평가</td><td colspan="6">•비파괴강도 측정결과, 전 개소의 측정값이 설계기준강도를 상회하는 것으로 나타났으며, 건전부 대비 비건전부의 측정압축강도가 95%를 상회하여 본 구조물의 콘크리트 품질은 양호한 것으로 판단됨.
•탄산화 깊이 측정결과, 전개소에서 상태평가 “a” 로 검토되어 현 상태에서는 탄산화에 철근부식의 우려가 없는 상태로 판단됨.
•염화물함유량 시험결과 상부구조 1개소, 하부구조 2개소에서 부식이 발생할 우려가 없는 것으로 판단됨.</td></tr>
</table>

나. 전차 정밀안전진단(2018년)결과 비교, 분석

【표 3.202】 내구성조사 전차 정밀안전진단(2018년)결과와의 비교(울산)

<table>
<tr><th rowspan="2">시 험 명</th><th colspan="2" rowspan="2">시험부위</th><th colspan="4">시험결과</th><th rowspan="2">평가의견</th></tr>
<tr><th colspan="2">2018년 정밀안전진단</th><th colspan="2">금회 정밀안전진단</th></tr>
<tr><td rowspan="4">비파괴 강도 (㎫)</td><td rowspan="2">상부 구조</td><td>반발경도</td><td colspan="2">27.4～30.0</td><td colspan="2">28.6～30.1</td><td rowspan="4">•측정위치의 편차가 존재하나 모든 부재에서 설계기준강도를 상회하여 구조물의 공용년수 증가에 의한 강도저하는 발생하지 않음.</td></tr>
<tr><td>초음파 전달속도</td><td colspan="2">28.1～32.9</td><td colspan="2">30.1～33.8</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부 구조</td><td>반발경도</td><td colspan="2">22.3～24.7</td><td colspan="2">26.5～27.6</td></tr>
<tr><td>초음파 전달속도</td><td colspan="2">24.9～27.4</td><td colspan="2">27.3～30.8</td></tr>
<tr><td rowspan="9">철근탐사 (㎜)</td><td colspan="2">구 분</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td>배근간격</td><td>피복두께</td><td rowspan="9">•측정위치에 따른 편차가 일부 존재하며, 상부구조의 경우 설계간격 차이로, 단위길이당 철근수량을 만족하며 측정피복두께가 설계피복두께를 상회하여 철근의 배근상태는 양호함.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">상부 구조</td><td>주철근</td><td>115～135</td><td>38～46</td><td>102～280</td><td>40～45</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>230～260</td><td>43～55</td><td>210～263</td><td>39～49</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교대</td><td>주철근</td><td>205～260</td><td>95～110</td><td>188～273</td><td>100～122</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>140～165</td><td>92～100</td><td>126～180</td><td>98～106</td></tr>
<tr><td rowspan="2">교각</td><td>주철근</td><td>100～140</td><td>90～115</td><td>113～137</td><td>100～113</td></tr>
<tr><td>배력철근</td><td>280～320</td><td>90～110</td><td>274～355</td><td>98～106</td></tr>
<tr><td rowspan="2">탄산화 잔여깊이 (㎜)</td><td colspan="2">상부 구조</td><td colspan="2">32.8～34.7</td><td colspan="2">31.1～34.8</td><td rowspan="2">•기 진단 결과와 비교하여 전반적으로 잔여피복두께가 감소한 부재가 존재하나, 상태평가등급 “a”로 내구성저하 문제는 발생하지 않음.</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부 구조</td><td colspan="2">82.3～88.9</td><td colspan="2">89.5～95.1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">염화물 함유량시험 (kg/㎥)</td><td colspan="2">상부 구조</td><td colspan="2">0.086</td><td colspan="2">0.262</td><td rowspan="2">•시험결과, 염화물에 의한 부식 발생 가능성이 낮은 상태로 판단됨.</td></tr>
<tr><td colspan="2">하부 구조</td><td colspan="2">0.074～0,086</td><td colspan="2">0.230～0.235</td></tr>
<tr><td>종합 평가</td><td colspan="7">•비파괴강도 측정, 탄산화 깊이측정, 염화물함유량 시험 등을 기 진단 결과와 비교 할 때 공용기간 경과에 따른 내구성 저하는 없는 것으로 분석됨.
•철근 배근상태 및 피복두께 측정값이 기 진단 결과와 측정위치별 다소 상이하며, 이는 설계 배근 간격 차이이며, 공용기간 경과에 따른 콘크리트 내부의 유동은 없다고 분석됨.</td></tr>
</table>

3.6.5 강재 내구성조사 결과요약(부산)

가. 금회 정밀안전진단 강재 내구성조사 결과요약

【표 3.203】금회 정밀안전진단 강재 내구성조사 결과요약(부산)

시 험 명	시험부위		시험결과	평가의견
강재 초음파탐상	맞대기 용접부		합격(36개소)	• 내부결함이 없는 1급(합격).
도막두께 (μm)	STB Girder	거더 내부	182.0~228.0	• 거더 내·외부 모두 표준도막 두께를 상회하는 양호한 생태인 것으로 측정됨.
		거더 외부	221.0~245.0	
종합 평가	• 강재에 대한 초음파탐상 시험결과, 합격(Ⅰ등급) 판정되어 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타났으며, 도막두께 측정값은 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.			

나. 전차 정밀안전진단(2018년)결과 비교, 분석

【표 3.204】강재 내구성조사 전차 정밀안전진단(2018년)결과와의 비교(부산)

시 험 명	시험부위		시험결과		평가의견
			전차 정밀안전진단 ('18년)	금회 정밀안전진단 ('23년)	
강재 초음파탐상	거더 내부 맞대기 용접부		합격(36개소)	합격(36개소)	• 기 진단 결과와 동일하게 내부결함이 없는 1급(합격)으로 판정됨.
도막두께 (μm)	STB Girder	거더 내부	-	182.0~228.0	• 도막두께가 양호한 상태로 측정됨.
		거더 외부	-	221.0~245.0	
종합 평가	• 기 진단 결과와 비교 시 강재에 대한 초음파탐상 시험은 36개소에서 모두 내부결함이 없는 1급(합격)으로 조사되었고, 도막두께의 경우는 금회 정밀안전진단에서 도막두께 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.				

3.6.6 강재 내구성조사 결과요약(울산)

가. 금회 정밀안전진단 강재 내구성조사 결과요약

【표 3.205】금회 정밀안전진단 강재 내구성조사 결과요약(울산)

시 험 명	시험부위		시험결과	평가의견
강재 초음파탐상	맞대기 용접부		합격(36개소)	• 내부결함이 없는 1급(합격).
도막두께 (μm)	STB Girder	거더 내부	195.0~208.0	• 거더 내·외부 모두 표준도막 두께를 상회하는 양호한 생태인 것으로 측정됨.
		거더 외부	227.0~253.0	
종합 평가	• 강재에 대한 초음파탐상 시험결과, 합격(Ⅰ등급) 판정되어 맞대기이음부의 용접상태는 양호한 것으로 나타났으며, 도막두께 측정값은 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.			

나. 전차 정밀안전진단(2018년)결과 비교, 분석

【표 3.206】강재 내구성조사 전차 정밀안전진단(2018년)결과와의 비교(울산)

시 험 명	시험부위		시험결과		평가의견
			전차 정밀안전진단 ('18년)	금회 정밀안전진단 ('23년)	
강재 초음파탐상	거더 내부 맞대기 용접부		합격(36개소)	합격(36개소)	• 기 진단 결과와 동일하게 내부결함이 없는 1급(합격)으로 판정됨.
도막두께 (μm)	STB Girder	거더 내부	-	195.0~208.0	• 도막두께가 양호한 상태로 측정됨.
		거더 외부	-	227.0~253.0	
종합 평가	• 기 진단 결과와 비교 시 강재에 대한 초음파탐상 시험은 36개소에서 모두 내부결함이 없는 1급(합격)으로 조사되었고, 도막두께의 경우는 금회 정밀안전진단에서 도막두께 기준치를 상회하는 양호한 상태인 것으로 측정됨.				

제 4장 시설물의 상태평가

4.1 개 요

4.2 상태평가 항목 및 기준

4.3 상태평가 결과

제 4장 시설물의 상태평가

4.1 개요

시설물의 상태평가는 재료시험 및 외관조사에 의해 시설물의 각 부재로부터 발견된 상태변화(결함, 손상, 열화)를 근거로 하여 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침_안전점검·진단편(교량)(2022.12, 국토교통부/국토안전관리원)』의 상태평가 기준에 따라 실시하였다.

정밀안전진단의 상태평가 기준은 시설물의 전체 부재에 대하여 외관조사망도를 작성하여 부재별로 상세히 상태평가를 실시하였으며, 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 결정하였다.

4.2 상태평가 항목 및 기준

4.2.1 부재별 상태평가 적용범위

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 받침은 평가기준을 a~e로 범위를 적용하고, 내구성에 영향을 미치는 신축이음, 배수시설, 교면포장과 2차부재인 가로보는 a~d로 범위를 조정하였다.

【표 4.1】부재별 상태평가 적용 범위

부재의 분류		차등 적용범위
상부구조	바닥판, 거더, 케이블	a, b, c, d, e
	2차부재 (가로보)	a, b, c, d
하부구조	교대 및 교각, 기초, 주탑	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 손상수량의 비율에 의해 평가하는 정량적 평가와 시설물의 상태에 대한 점검자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행하며 정성적 평가 시 점검자에 의한 편차를 줄이기 위해 손상수량 및 손상현황에 대한 정도를 정확히 파악하여야 한다.

4.2.2 구조형식에 따른 부재별 가중치

【표 4.2】구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치

<table>
<tr><th rowspan="3">구분</th><th rowspan="3" colspan="2">결함도
평가항목</th><th rowspan="3">슬래브
교량</th><th colspan="8">거더교량</th><th colspan="3">라멘교</th></tr>
<tr><th colspan="3">일반 거더교</th><th colspan="2">바닥판・거더
일체형</th><th colspan="2">아치,트러스</th><th rowspan="2">거더
없음</th><th colspan="2" rowspan="2">거더있음
(복개구조물)</th></tr>
<tr><th>일반</th><th>2차부재
없음</th><th>바닥판
없음</th><th>강
바닥판</th><th>PSC
박스</th><th>콘크리트
바닥판</th><th>강
바닥판</th></tr>
<tr><td rowspan="3">상부</td><td colspan="2">바닥판</td><td>34</td><td>18</td><td>18</td><td>-</td><td>20</td><td>20</td><td colspan="2">15</td><td>34</td><td>20</td><td>21</td></tr>
<tr><td colspan="2">주 형</td><td>-</td><td>20</td><td>25</td><td>37</td><td>18</td><td>20</td><td colspan="2">23</td><td>-</td><td>21</td><td>23</td></tr>
<tr><td colspan="2">2차부재</td><td>-</td><td>5</td><td>-</td><td>11</td><td>5</td><td>3</td><td colspan="2">5</td><td>-</td><td>5</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="2">하부</td><td colspan="2">교대/교각</td><td>20</td><td>13</td><td>13</td><td>18</td><td colspan="2">13</td><td colspan="2">13</td><td>34</td><td>22</td><td>24</td></tr>
<tr><td colspan="2">기초</td><td>7</td><td>7</td><td>7</td><td>7</td><td colspan="2">7</td><td colspan="2">7</td><td>7</td><td>7</td><td>7</td></tr>
<tr><td>받침</td><td colspan="2">교량받침</td><td>10</td><td>9</td><td>9</td><td>14</td><td colspan="2">9</td><td colspan="2">9</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">기타</td><td colspan="2">신축이음</td><td>10</td><td>9</td><td>9</td><td>-</td><td colspan="2">9</td><td colspan="2">9</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="2">교면포장</td><td>7</td><td>7</td><td>7</td><td>-</td><td colspan="2">7</td><td colspan="2">7</td><td>7</td><td>7</td><td>7</td></tr>
<tr><td colspan="2">배수시설</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td><td>-</td><td colspan="2">3</td><td colspan="2">3</td><td>3</td><td>3</td><td>3</td></tr>
<tr><td colspan="2">난간/연석</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td><td>6</td><td colspan="2">2</td><td colspan="2">2</td><td>2</td><td>2</td><td>2</td></tr>
<tr><td rowspan="4">콘크리트</td><td rowspan="2">탄산화</td><td>상부</td><td>2</td><td colspan="2">2</td><td>-</td><td>-</td><td>2</td><td>2</td><td>-</td><td colspan="3" rowspan="2">4</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>2</td><td colspan="2">2</td><td>4</td><td>4</td><td>2</td><td>2</td><td>4</td></tr>
<tr><td rowspan="2">염화물</td><td>상부</td><td>2</td><td colspan="2">2</td><td>-</td><td>-</td><td>2</td><td>2</td><td>-</td><td colspan="3" rowspan="2">3</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>1</td><td colspan="2">1</td><td>3</td><td>3</td><td>1</td><td>1</td><td>3</td></tr>
</table>

<해 설>

- 하부구조물이 무근콘크리트로 시공된 경우, 하부구조물의 탄산화 및 염화물항목에 할당된 가중치를 상부구조물의 탄산화 및 염화물항목의 가중치에 포함시킨다.
- 하부구조물은 무근콘크리트, 상부구조물은 강재로 시공된 경우, 상부구조물의 탄산화 및 염화물 항목에 할당된 가중치는 상부구조물의 상태평가항목(바닥판, 거더)의 가중치에 균등배분하고 하부구조물의 탄산화 및 염화물항목에 할당된 가중치는 하부구조물(교대/교각)의 가중치에 포함시킨다.
- 기타시설물(신축이음, 교면포장, 배수시설, 난간/연석)이 없는 경우, 기타시설물에 할당된 가중치는 바닥판의 가중치에 포함시킨다.
- 기초에 대한평가가 수행되지 않았을 경우, 기초에 할당된 가중치는 교대/교각의 가중치에 포함시킨다.

4.2.3 상태평가 결과 결정

가. 경간(지점)별 부재 상태평가 산정

1) 개별부재에서 발견된 결함 및 손상에 대하여 평가한 후 각 상태평가 결과 중 최적값을 개별부재 상태평가 결과로 산정한다.

2) 한 경간 내에서 여러 부재가 있을 경우는 각 부재의 상태평가 기준 중 최적값을 경간(지점) 상태평가 결과로 산정한다.

3) 복개구조물은 바닥판의 장변방향으로 경간을 구분하고, 1경간의 길이는 약50m 범위 또는 신축이음부를 경계로 경간을 구분하는 것으로 한다.

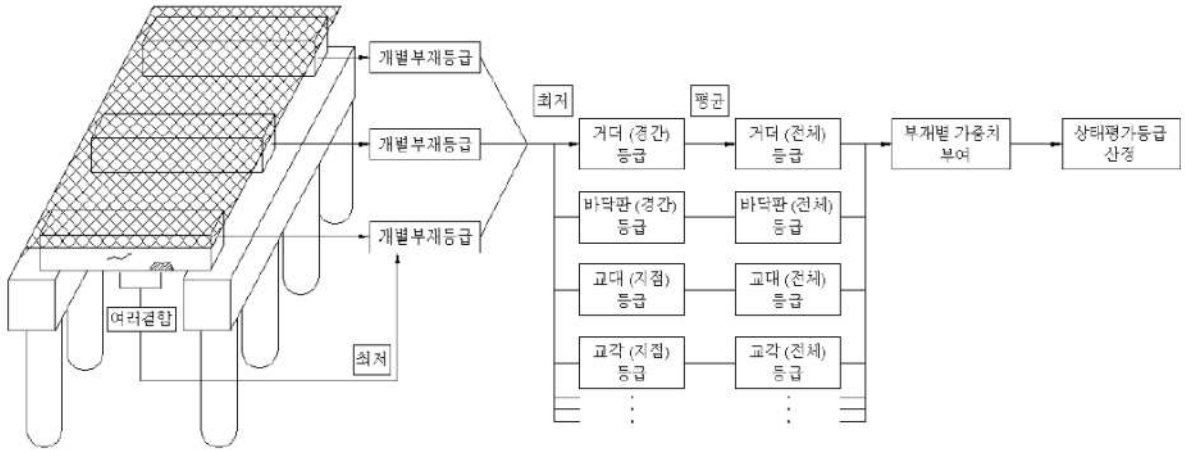
나. 전체 시설물의 상태평가 결과 결정

구조형식이 같은 부재에 대해 부재별로 평균하여 부재 상태평가를 결정한 후 구조형식에 따른 부재별 가중치를 적용하여 환산 결함도 점수를 구한다.

환산 결함도 점수는 시설물 전체의 상태평가 결과를 산정하기 위한 기준 값이며, 【표 4.3】의 결함도 점수 범위에 따른 기준을 적용하여 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 구한다.

【표 4.3】결함도 점수 범위에 따른 기준

기준	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



【그림 4.1】전체 교량의 상태평가 결과 산정 방법

4.3 상태평가 결과

4.3.1 각 부재별 상태평가 결과(부산)

가. 바닥판

- 바닥판에 대한 상태평가 결과, “b” 로 산정되었다.
- 바닥판하면에 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 균열부 백태가 조사되어 “b” 로 평가되었다.
- 그 외 철근노출이 조사되었으며, 상태평가 기준 “b” 로 평가되었다.

【표 4.4】바닥판 상태평가 결과(부산)

구 분	점검 면적 (㎡)	1방향 균열				2방향 균열				열화 및 손상						평가 결과
		균열폭 (㎜)		균열율 (%)		균열폭 (㎜)		균열율 (%)		누수 및 백태 손상면적율(%)		표면손상 면적율(%)		철근부식 손상면적율(%)		
S1	1,085.2	0.2	b	0.161	b	-	a	-	a	-	a	0.050	b	-	a	b
S2	905.2	0.2	b	0.138	b	-	a	-	a	-	a	0.001	b	-	a	b
S3	905.2	0.2	b	0.249	b	-	a	-	a	0.006	b	0.265	b	-	a	b
S4	905.2	0.2	b	0.028	b	-	a	-	a	-	a	0.398	b	-	a	b
S5	905.2	0.2	b	0.028	b	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	b
S6	905.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	0.065	b	-	a	b

나. 거더

- 거더에 대한 상태평가 결과, “b” 로 산정되었다.
- 내부 및 외부에 도장박리 및 도장열화 등이 조사되었으며, 상태평가 기준 “b” 로 평가되었다.

【표 4.5】 거더 상태평가 결과(부산)

구 분	부재 면적 (㎡)	모재 및 연결부 손상								표면열화				평가 결과
		부재 균열		변형, 파단		연결볼트 이완,탈락		용접연결부 결함		도장탈락 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	1,837.5	-	a	-	a	-	a	-	a	25.434	b	-	a	b
S2	1,537.5	-	a	-	a	-	a	-	a	25.409	b	-	a	b
S3	1,537.5	-	a	-	a	-	a	-	a	25.422	b	-	a	b
S4	1,537.5	-	a	-	a	-	a	-	a	25.537	b	-	a	b
S5	1,537.5	-	a	-	a	-	a	-	a	25.412	b	-	a	b
S6	1,537.5	-	a	-	a	-	a	-	a	25.409	b	-	a	b

다. 2차부재(가로보)

- 2차부재(가로보)는 손상이 없는 양호한 상태인 “a” 로 평가되었다.

【표 4.6】 2차부재(가로보) 상태평가 결과(부산)

구 분	부재면적 (㎡)	모재 및 연결부 손상								표면열화				평가 결과
		부재 균열		변형, 파단		연결 볼트 이완, 탈락		용접연결부 결함		도장탈락 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	140.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S2	112.3	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S3	112.3	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S4	112.3	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S5	112.3	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S6	112.3	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a

라. 교대

① 교대

- 교대(A1, A2)에 대한 상태평가 결과, 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 보수부재균열(Cw=0.3㎜미만) 조사되어 “b” 로 평가되었다.
- 그 외 백태 및 박리 등이 조사되었으며, 상태평가 기준 “b” 로 평가되었다.

【표 4.7】교대 상태평가 결과(부산)

구 분	점검 면적 (㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭 (㎜)		변위		표면 손상면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
A1	249.0	0.2	b	-	a	0.799	b	-	a	b
A2	265.0	0.1	b	-	a	0.196	b	-	a	b

마. 교각

- 교각(P1～P5)의 상태평가 결과, “b” 로 산정되었다.
- 교각에 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 망상균열이 발생되어 “b” 로 평가되었다.
- 보수부박리 및 파손이 확인되었으나, 경미한 손상으로 “b” 로 평가되었다.
- 그 외 철근노출이 조사되었으며, 상태평가 기준 “b” 로 평가되었다.

【표 4.8】교각 상태평가 결과(부산)

구 분	부재 면적 (㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭(㎜)		변위		표면 손상면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
P1	415.2	0.2	b	-	a	0.005	b	-	a	b
P2	415.2	0.2	b	-	a	0.007	b	-	a	b
P3	510.9	-	a	-	a	0.031	b	-	a	b
P4	510.9	0.2	b	-	a	0.034	b	-	a	b
P5	446.6	0.2	b	-	a	0.007	b	-	a	b

바. 기초

- 교대 및 교각의 기초는 비노출 상태이므로, 조사불가 상태인 “q” 로 산정되었다.

【표 4.9】기초 상태평가 결과(부산)

구 분	기초(직접, 말뚝, 케이슨) 손상				지반의 안정성				평가 결과
	균열폭 (㎜)		단면손상 (파손, 철근노출 등)		세굴 여부		침하 (㎜)		
A1	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P1	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P3	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P4	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P5	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
A2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q

사. 교량받침

- 본 교량의 교량받침 상태평가 결과 “a~b” 로 산정되었다.
- 본체에 앵커볼트 부식이 조사되어 “b” 로 평가되었다.
- 받침 콘크리트에 파손 및 들뜸이 조사되어 “b” 로 평가되었다.

【표 4.10】교량받침 상태평가 결과(부산)

구 분	받침본체				받침 콘크리트 등				평가 결과
	탄성받침		강재받침		균열폭(㎜)		박리, 박락, 파손 등		
A1	-	-	-	a	-	a	-	a	a
P1	-	-	부식	b	-	a	-	a	b
P2	-	-	부식	b	-	a	-	a	b
P3	-	-	-	a	-	a	파손, 들뜸	b	b
P4	-	-	부식	b	0.2	b	-	a	b
P5	-	-	부식	b	0.2	b	-	a	b
A2	-	-	-	a	-	a	-	a	a

아. 신축이음

- 신축이음의 상태평가 결과, “b~c” 로 산정되었다.
- 신축이음(A1, A2)는 유간토사퇴적 및 후타재의 균열로 인해 “b” 산정되었다.
- 그 외 후타재 파손 및 박락이 조사되었으며, 상태평가 기준 “c” 로 평가되었다.

【표 4.11】 신축이음 상태평가 결과(부산)

구 분	본 체		후타재 콘크리트				평가 결과
			균열		박리, 박락, 파손 등		
A1	유간 토사퇴적	b	0.2	b	-	a	b
P3	유간 토사퇴적	b	0.2	b	파손	c	c
A2	유간 토사퇴적	b	0.2	b	박락	c	c

자. 교면포장

- 교면포장에 대한 상태평가 결과, “a~b” 로 산정되었다.
- 일부 경간에 포장균열이 조사되었다. S2~S3 경간은 포장불량율이 10%미만으로 조사되었고, 통행차량의 주행성에 영향은 없는 상태이다.

【표 4.12】 교면포장 상태평가 결과(부산)

구 분	점검 면적 (㎡)	포장불량				배 수		평가 결과
		포장불량 면적율(%)		주행성 및 통행성				
S1	972.0	-	a	양호	a	양호	a	a
S2	810.0	0.046	b	양호	a	양호	a	b
S3	810.0	0.006	b	양호	a	양호	a	b
S4	810.0	0.005	b	양호	a	양호	a	b
S5	810.0	-	a	양호	a	양호	a	a
S6	810.0	-	a	양호	a	양호	a	a

차. 배수시설

- 배수시설에 대한 상태평가 결과, “a~c” 로 산정되었다.
- 배수관 고정대 탈락이 조사된 구간은 “c” 로 산정되었다.

【표 4.13】배수시설 상태평가 결과(부산)

구 분	배수구/배수관 손상현황		평가 결과
S1	-	a	a
S2	-	a	a
S3	-	a	a
S4	-	a	a
S5	배수관 고정대 탈락	c	c
S6	-	a	a

카. 난간 및 연석

- 난간 및 연석에 대한 상태평가 결과, “b” 로 산정되었다.
- 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 망상균열가 발생된 구간은 상태평가 기준 “b” 로 평가되었다.
- 난간 변형이 조사된 구간은 “b” 로 산정되었다.

【표 4.14】난간 및 연석 상태평가 결과(부산)

구 분	점검길이 (m)	강재		콘크리트						평가 결과
				균열폭(㎜)		박리, 파손, 철근노출(%)		철근부식 손상면적(%)		
S1	60.0	-	a	0.2	b	-	a	-	a	b
S2	50.0	-	a	0.2	b	-	a	-	a	b
S3	50.0	난간변형	b	0.2	b	-	a	-	a	b
S4	50.0	-	a	0.2	b	-	a	-	a	b
S5	50.0	-	a	0.2	b	-	a	-	a	b
S6	50.0	-	a	0.2	b	-	a	-	a	b

타. 탄산화

- 탄산화 깊이 측정은 총 9개소(상부 4개소, 하부 5개소)에서 실시하였으며, 잔여피복두께에 대한 상태평가결과 “a”로 평가되었다.

【표 4.15】탄산화 상태평가 결과(부산)

구 분		탄산화 잔여 깊이(㎜)	평가기준	평가결과
상부구조	S1 좌측 캔틸레버	33.0	< 탄산화 잔여 깊이 > •a : 30㎜이상 •b : 10㎜이상~30㎜미만 •c : 0㎜이상~10㎜미만 •d : 0㎜미만	a
	S2 좌측 캔틸레버	34.7		a
	S5 좌측 캔틸레버	34.2		a
	S6 좌측 캔틸레버	33.6		a
하부구조	A1 구체	93.5		a
	A2 구체	94.7		a
	P1 배면	91.3		a
	P3 배면	92.7		a
	P5 배면	91.5		a

파. 염화물

- 염화물함유량 시험은 총 3개소에서 실시하여 깊이별 시험을 실시하였으며, 측정결과 전개소 “a”로 평가되었다.
- S6 및 P1, P5은 염화물에 의한 철근부식 영향은 거의 없는 것으로 확인 되었고, 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성이 없는 것으로 판단된다.

【표 4.16】염화물 상태평가 결과(부산)

구 분		전염화물 이온량(kg/㎥)	평가기준	평가결과
상부구조	S6 바닥판 하면	0.262	< 염화물 함유량 > •a : 염화물≤0.3kg/㎥ •b : 0.3≤염화물≤1.2kg/㎥ •c : 1.2≤염화물≤2.5kg/㎥ •d : 2.5≤염화물	a
하부구조	P1 배면	0.140		a
	P5 배면	0.171		a

4.3.2 각 부재별 상태평가 결과(울산)

가. 바닥판

- 바닥판에 대한 상태평가 결과, “a~b” 로 산정되었다.
- 바닥판하면에 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 박락이 조사되어 “b” 로 평가되었다.
- 그 외 철근노출이 조사되었으며, 상태평가 기준 “b” 로 평가되었다.

【표 4.17】 바닥판 상태평가 결과(울산)

구 분	점검 면적 (㎡)	1방향 균열				2방향 균열				열화 및 손상						평가 결과
		균열폭 (㎜)		균열율 (%)		균열폭 (㎜)		균열율 (%)		누수 및 백태 손상면적율(%)		표면손상 면적율(%)		철근부식 손상면적율(%)		
S1	1085.2	0.1	b	0.012	b	-	a	-	a	-	a	0.037	b	-	a	b
S2	905.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S3	905.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	0.029	b	-	a	b
S4	905.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S5	905.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S6	905.2	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	0.046	b	-	a	b

나. 거더

- 거더에 대한 상태평가 결과, “b” 로 산정되었다.
- 내부 및 외부에 도장박리 및 도장열화 등이 조사되었으며, 상태평가 기준 “b” 로 평가되었다.

【표 4.18】 거더 상태평가 결과(울산)

구 분	부재 면적 (㎡)	모재 및 연결부 손상								표면열화				평가 결과
		부재 균열		변형, 파단		연결볼트 이완,탈락		용접연결부 결함		도장탈락 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	1837.5	-	a	-	a	-	a	-	a	15.024	b	0.002	b	b
S2	1537.5	-	a	-	a	-	a	-	a	15.008	b	-	a	b
S3	1537.5	-	a	-	a	-	a	-	a	14.959	b	-	a	b
S4	1537.5	-	a	-	a	-	a	-	a	14.959	b	-	a	b
S5	1537.5	-	a	-	a	-	a	-	a	14.959	b	0.003	b	b
S6	1537.5	-	a	-	a	-	a	-	a	14.962	b	-	a	b

다. 2차부재(가로보)

- 2차부재(가로보)에 대한 상태평가 결과, “a~b” 로 산정되었다.
- 가로보에 부식이 조사되어 “b” 로 평가되었다.

【표 4.19】 2차부재(가로보) 상태평가 결과(울산)

구 분	부재면적 (㎡)	모재 및 연결부 손상								표면열화				평가 결과
		부재 균열		변형, 파단		연결 볼트 이완, 탈락		용접연결부 결함		도장탈락 면적(%)		부식발생 면적(%)		
S1	140.4	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S2	112.3	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	0.036	b	b
S3	112.3	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S4	112.3	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S5	112.3	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S6	112.3	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	-	a	a

라. 교대

① 교대

- 교대(A1, A2)에 대한 상태평가 결과, 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 보수부 재균열(Cw=0.3㎜미만) 망상균열, 백태 등이 조사되어 “b” 로 평가되었다.
- 그 외 균열(Cw=0.3㎜이상)이 조사되었으며, 상태평가 기준 “c” 로 평가되었다.

【표 4.20】 교대 상태평가 결과(울산)

구 분	점검 면적 (㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭 (㎜)		변위		표면 손상면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
A1	249.0	-	a	-	a	-	a	-	a	a
A2	265.0	0.3	c	-	a	0.540	b	-	a	c

마. 교각

- 교각(P1~P5)의 상태평가 결과, “b~c” 로 산정되었다.
- 교각에 균열(Cw=0.3㎜미만) 및 망상균열이 발생되어 “b” 로 평가되었다.
- 파손이 확인되었으나, 경미한 손상으로 “b” 로 평가되었다.
- 그 외 균열(Cw=0.3㎜이상)이 조사되었으며, 상태평가 기준 “c” 로 평가되었다.

【표 4.21】교각 상태평가 결과(울산)

구 분	부재 면적 (㎡)	균열, 변위				열화 및 손상				평가 결과
		균열폭(㎜)		변위		표면 손상면적(%)		철근부식 손상면적(%)		
P1	415.2	0.2	b	-	a	-	a	-	a	b
P2	415.2	0.2	b	-	a	0.024	b	-	a	b
P3	510.9	0.1	b	-	a	0.008	a	-	a	b
P4	510.9	0.2	b	-	a	0.033	b	-	a	b
P5	446.6	0.3	c	-	a	0.004	b	-	a	c

바. 기초

- 교대 및 교각의 기초에 대한 상태평가 결과, 교각 P3은 일부 노출된 것으로 확인되었으며, 상태가 양호한 “a” 로 평가되었다.

【표 4.22】기초 상태평가 결과(울산)

구 분	기초(직접, 말뚝, 케이슨) 손상				지반의 안정성				평가 결과
	균열폭 (㎜)		단면손상 (파손, 철근노출 등)		세굴 여부		침하 (㎜)		
A1	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P1	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P3	-	a	-	a	-	a	-	a	a
P4	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
P5	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q
A2	비노출	q	비노출	q	비노출	q	비노출	q	q

사. 교량받침

- 본 교량의 교량받침 상태평가 결과 “a~b” 로 산정되었다.
- 본체에 볼트 부식이 조사되어 “b” 로 평가되었다.
- 받침 콘크리트에 박락 및 재료분리가 조사되어 “b” 로 평가되었다.

【표 4.23】교량받침 상태평가 결과(울산)

구 분	받침본체				받침 콘크리트 등				평가 결과
	탄성받침		강재받침		균열폭(㎜)		박리, 박락, 파손 등		
A1	-	-	-	a	-	a	-	a	a
P1	-	-	부식	b	-	a	-	a	b
P2	-	-	-	a	-	a	-	a	a
P3	-	-	-	a	-	a	박락, 재료분리	b	b
P4	-	-	-	a	-	a	-	a	a
P5	-	-	-	a	-	a	-	a	a
A2	-	-	-	a	-	a	-	a	a

아. 신축이음

- 신축이음의 상태평가 결과, 전 구간 “b” 로 산정되었다.
- 신축이음(A1, A2)는 유간토사퇴적 및 후타재의 균열 등으로 인해 “b” 산정되었다.

【표 4.24】신축이음 상태평가 결과(울산)

구 분	본 체		후타재 콘크리트				평가 결과
			균열		박리, 박락, 파손 등		
A1	유간 토사퇴적	b	0.2	b	-	a	b
P3	유간 토사퇴적	b	0.2	b	마모	b	b
A2	유간 토사퇴적	b	0.2	b	-	a	b

자. 교면포장

- 교면포장에 대한 상태평가 결과, “a~b” 로 산정되었다.
- 일부 경간에 포장균열이 조사되었다. S3, S5 경간은 포장불량율이 10%미만으로 조사되었고, 통행차량의 주행성에 영향은 없는 상태이다.

【표 4.25】교면포장 상태평가 결과(울산)

구 분	점검 면적 (㎡)	포장불량				배 수		평가 결과
		포장불량 면적율(%)		주행성 및 통행성				
S1	972.0	-	a	양호	a	양호	a	a
S2	810.0	-	a	양호	a	양호	a	a
S3	810.0	0.005	b	양호	a	양호	a	b
S4	810.0	-	a	양호	a	양호	a	a
S5	810.0	0.068	b	양호	a	양호	a	b
S6	810.0	-	a	양호	a	양호	a	a

차. 배수시설

- 배수시설에 대한 상태평가 결과, “a~c” 로 산정되었다.
- 배수관 고정대 탈락, 연결고리 부식, 배수구 막힘이 조사된 구간은 “c” 로 산정되었다.

【표 4.26】배수시설 상태평가 결과(울산)

구 분	배수구/배수관 손상현황		평가 결과
S1	배수구 막힘	c	c
S2	-	a	a
S3	배수관 연결고리 부식	c	c
S4	배수관 고정대 탈락	c	c
S5	-	a	a
S6	-	a	a

카. 난간 및 연석

- 난간 및 연석에 대한 상태평가 결과, “a~c” 로 산정되었다.
- 연석 파손이 발생된 구간은 상태평가 기준 “c” 로 평가되었다.
- 연석의 기능성이나 사용성에는 문제가 없는 상태인 것으로 판단된다.

【표 4.27】난간 및 연석 상태평가 결과(울산)

구 분	점검길이 (m)	강재		콘크리트						평가 결과
				균열폭(㎜)		박리, 파손, 철근노출(%)		철근부식 손상면적(%)		
S1	60.0	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S2	50.0	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S3	50.0	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S4	50.0	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S5	50.0	-	a	-	a	-	a	-	a	a
S6	50.0	-	a	-	a	0.011	c	-	a	c

타. 탄산화

- 탄산화 깊이 측정은 총 9개소(상부 4개소, 하부 5개소)에서 실시하였으며, 잔여피복두께에 대한 상태평가결과 “a”로 평가되었다.

【표 4.28】탄산화 상태평가 결과(울산)

구 분		탄산화 잔여 깊이(㎜)	평가기준	평가결과
상부구조	S1 우측 캔틸레버	31.1	< 탄산화 잔여 깊이 > •a : 30㎜이상 •b : 10㎜이상~30㎜미만 •c : 0㎜이상~10㎜미만 •d : 0㎜미만	a
	S2 우측 캔틸레버	34.7		a
	S5 우측 캔틸레버	34.8		a
	S6 우측 캔틸레버	33.1		a
하부구조	A1 구체	89.5		a
	A2 구체	92.8		a
	P1 배면	95.1		a
	P3 배면	94.9		a
	P5 배면	90.6		a

파. 염화물

- 염화물함유량 시험은 총 3개소에서 실시하여 깊이별 시험을 실시하였으며, 측정결과 전개소 “a”로 평가되었다.
- S6 및 P1, P5은 염화물에 의한 철근부식 영향은 거의 없는 것으로 확인 되었고, 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성이 없는 것으로 판단된다.

【표 4.29】염화물 상태평가 결과(울산)

구 분		전염화물 이온량(kg/㎥)	평가기준	평가결과
상부구조	S6 우측 캔틸레버	0.262	< 염화물 함유량 > •a : 염화물≤0.3kg/㎥ •b : 0.3≤염화물≤1.2kg/㎥ •c : 1.2≤염화물≤2.5kg/㎥ •d : 2.5≤염화물	a
하부구조	P1 배면	0.230		a
	P5 배면	0.235		a

4.3.3 시설물 전체 상태평가 결과(부산)

외관조사 및 내구성 시험에 의한 상태평가결과, 만화교(부산)는 구조물의 영향을 미칠만한 손상이 조사되지 않은 상태로서 전반적으로 양호한 상태인 “B”로 산정되었다.

주요손상으로 신축이음 후타재 파손 및 박락이 조사되어 “c”로 산정되었다.

가. 상태평가 결과

【표 4.30】 상태평가 결과표(부산)

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		탄산화		염화물	
번호	구조 형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간/ 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	상부	하부	상부	하부
A1(S1)	STB	b	b	a	a	a	b	b	a	b	-	a	a	-	-
P1(S2)	STB	b	b	a	b	a	b	-	a	b	-	a	a	-	a
P2(S3)	STB	b	b	a	b	a	b	-	a	b	-	-	-	-	-
P3(S4)	STB	b	b	a	b	a	b	c	b	b	-	-	a	-	-
P4(S5)	STB	b	b	a	a	c	b	-	b	b	-	a	-	-	-
P5(S6)	STB	b	b	a	a	a	b	-	b	b	-	a	a	a	a
A2	STB	-	-	-	-	-	-	c	a	b	-		a		-
평균		0.200	0.200	0.100	0.150	0.150	0.200	0.333	0.143	0.200	-	0.100	0.100	0.100	0.100
가중치		18	20	5	7	3	2	9	9	20	-	2	2	2	1
(평균×가중치) /가중치 합		0.036	0.040	0.005	0.011	0.005	0.004	0.030	0.013	0.040	-	0.002	0.002	0.002	0.001
															0.190
															B

나. 교량 전체의 상태평가 결과

【표 4.31】 만화교(부산) 상태평가 결과표(전체)(부산)

구 분	구조형식	환산 결함도점수	상태평가 결과	연장(m)	연장비	환산 결함도 점수 ×연장비
만화교(부산)	Steel Box Girder	0.190	B	310.0	1.000	0.190
						0.190
						B

■ 만화교(부산)의 결함도 점수 범위에 따른 등급

기 준	A	B	C	D	E
결함도 범위	0≤x<0.13	0.13≤x<0.26	0.26≤x<0.49	0.49≤x<0.79	0.79≤x

■ **결함도 범위(부산) : 0.130≤결함도 지수(0.190)<0.260**

다. 공중이 이용하는 부위 상태평가 결과

- 도로포장 및 도로부 신축이음부는 본 교량의 부재랑 동일하게 평가하였으며, 포장균열, 후타재균열, 유간 토사퇴적 등이 발생되어 “b”로 평가되었다.
- 추락방지시설은 점검시설, 난간 및 연석(방호벽)이 해당되며, 점검시설은 대체적으로 양호한 상태이나, 난간 및 연석에서 균열, 표면열화 등이 조사되어 “b”로 평가되었다.
- 환기구 등의 덮개는 시설물 출입문, 신축이음부 차수덮개판 등이 해당되며, 차수덮개판 볼트탈락이 국부적으로 조사되어 “b”로 평가되었다.

【표 4.32】 공중이 이용하는 부위 상태평가 결과(부산)

구 분	평가 기준	평가 설명	비 고
추락방지시설	b	· 추락방지시설에 경미한 결함 및 파손이 발생하였으나, 기능에는 문제가 없으며 결함의 진행여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 상태	
도로포장	b	· 포장상태가 최상으로 차량의 주행에 문제가 없는 상태	
도로부 신축이음부	b	· 신축이음 본체의 유간사이 이물질로 기능불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화가 발생한 상태 또는 후타재의 균열이 50㎝이하의 간격으로 발생하거나, 국부적인 박리, 박락, 파손이 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태	
환기구 등의 덮개	b	· 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능에 일부 문제가 발생하여 보수가 필요한 상태	

4.3.4 시설물 전체 상태평가 결과(울산)

외관조사 및 내구성 시험에 의한 상태평가결과, 만화교(울산)는 구조물의 영향을 미칠만한 손상이 조사되지 않은 상태로서 전반적으로 양호한 상태인 “B” 로 산정되었다.

주요손상으로 배수시설 배수구 막힘, 고정대 탈락 등이 조사되어 “c” 로 산정되었다.

가. 상태평가 결과

【표 4.33】 상태평가 결과표(울산)

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		탄산화		염화물	
번호	구조 형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간/ 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	상부	하부	상부	하부
A1(S1)	STB	b	b	a	a	c	a	b	a	a	-	a	a	-	-
P1(S2)	STB	a	b	b	a	a	a	-	b	b	-	a	a	-	a
P2(S3)	STB	b	b	a	b	c	a	-	a	b	-	-	-	-	-
P3(S4)	STB	a	b	a	a	c	a	b	b	b	a	-	a	-	-
P4(S5)	STB	a	b	a	b	a	a	-	a	b	-	a	-	-	-
P5(S6)	STB	b	b	a	a	a	c	-	a	c	-	a	a	a	a
A2	STB	-	-	-	-	-	-	b	a	c	-		a		-
평균		0.150	0.200	0.117	0.133	0.250	0.150	0.200	0.129	0.243	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
가중치		18	20	5	7	3	2	9	9	13	7	2	2	2	1
(평균×가중치) /가중치 합		0.027	0.040	0.006	0.009	0.008	0.003	0.018	0.012	0.032	0.007	0.002	0.002	0.002	0.001

0.168
B

나. 교량 전체의 상태평가 결과

【표 4.34】 만화교(울산) 상태평가 결과표(전체)(울산)

구 분	구조형식	환산 결함도점수	상태평가 결과	연장(m)	연장비	환산 결함도 점수 ×연장비
만화교(울산)	Steel Box Girder	0.168	B	310.0	1.000	0.168
						0.168
						B

■ 만화교(울산)의 결함도 점수 범위에 따른 등급

기 준	A	B	C	D	E
결함도 범위	0≤x<0.13	0.13≤x<0.26	0.26≤x<0.49	0.49≤x<0.79	0.79≤x

■ **결함도 범위 : 0.130≤결함도 지수(0.168)≤0.260**

다. 공중이 이용하는 부위 상태평가 결과

- 도로포장 및 도로부 신축이음부는 본 교량의 부재랑 동일하게 평가하였으며, LMC포장 파손, 후타재균열, 후타재마모 등이 발생되어 “b” 로 평가되었다.
- 추락방지시설은 점검시설, 난간 및 연석(방호벽)이 해당되며, 점검시설은 쇄정고리 파손, 너트탈락이 조사되었으며, 난간 및 연석에서 파손이 조사되어 “b” 로 평가되었다.
- 환기구 등의 덮개는 시설물 출입문, 신축이음부 차수덮개판 등이 해당되며, 차수덮개판 덮개파손, 볼트탈락이 국부적으로 조사되어 “b” 로 평가되었다.

【표 4.35】공중이 이용하는 부위 상태평가 결과(울산)

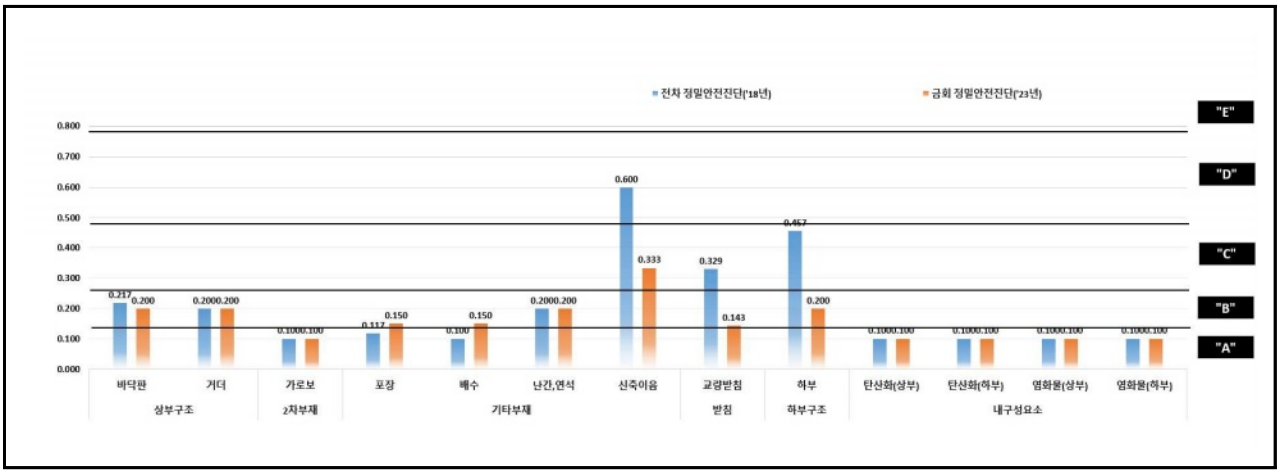
구 분	평가 기준	평가 설명	비 고
추락방지시설	b	· 추락방지시설에 경미한 결함 및 파손이 발생하였으나, 기능에는 문제가 없으며 결함의 진행여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 상태	
도로포장	b	· 포장상태가 최상으로 차량의 주행에 문제가 없는 상태	
도로부 신축이음부	b	· 신축이음 본체의 유간사이 이물질로 기능불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화가 발생한 상태 또는 후타재의 균열이 50㎝이하의 간격으로 발생하거나, 국부적인 박리, 박락, 파손이 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태	
환기구 등의 덮개	b	· 덮개 등(지지구조 철물, 연결재, 걸침턱 등)에 결함 및 파손 등으로 기능에 일부 문제가 발생하여 보수가 필요한 상태	

4.3.5 기 진단결과와의 비교, 분석(부산)

• 기 진단(18년)과의 비교・분석결과, 결함도 지수는 감소(0.281→0.190)하였으며, 상태평가 결과(C→B)로 변화된 것으로 분석되었다.

【표 4.36】기 진단 결과와의 상태평가 결함도 점수 비교(부산)

구 분		18년 진단		금회 진단		결함도지수 변화요인
		평가 결과	결함도 지수	평가 결과	결함도 지수	
상부구조	바닥판	b	0.217	b	0.200	・추가손상(균열, 철근노출 등)
	거더	b	0.200	b	0.200	・변동없음.
2차부재	가로보	a	0.100	a	0.100	・양호한 상태
기타부재	포장	a	0.117	b	0.150	・추가손상(포장균열, 패임 등)
	배수	a	0.100	b	0.150	・추가손상(배수관 고정대 탈락)
	난간, 연석	b	0.200	b	0.200	・변동없음.
	신축이음	d	0.600	c	0.333	・변동없음.
받침	교량받침	c	0.329	b	0.143	・유지보수 실시
하부구조	하부	c	0.457	b	0.200	・유지보수 실시
	기초	q	불가	q	불가	・조사불가
내구성요소	탄산화(상부)	a	0.100	a	0.100	・큰 변화 없음(실시위치 상이)
	탄산화(하부)	a	0.100	a	0.100	
	염화물(상부)	a	0.100	a	0.100	
	염화물(하부)	a	0.100	a	0.100	
상태평가결과 / 결함도지수		**C**	**0.281**	**B**	**0.190**	결함도지수 상승(0.281→0.190)



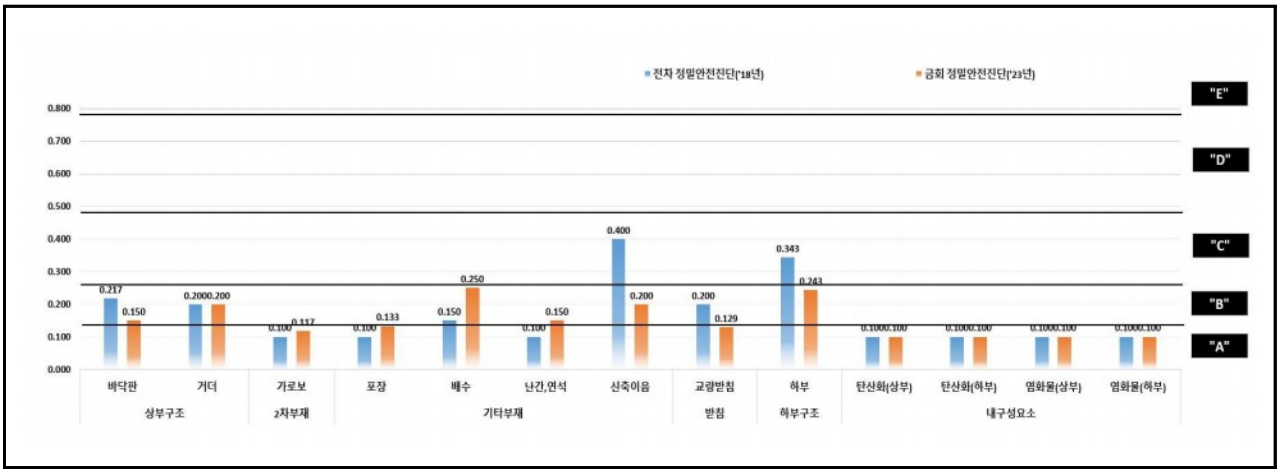
【그림 4.2】기 진단 결과와의 부재별 상태평가 결과 비교(부산)

4.3.6 기 진단결과와의 비교, 분석(울산)

• 기 진단(18년)과의 비교・분석결과, 결함도 지수는 증가(0.227→0.168)하였으나, 상태평가 결과(B)의 변화는 없는 것으로 분석되었다.

【표 4.37】기 진단 결과와의 상태평가 결함도 점수 비교(울산)

구 분		18년 진단		금회 진단		결함도지수 변화요인
		평가 결과	결함도 지수	평가 결과	결함도 지수	
상부구조	바닥판	b	0.217	b	0.150	・유지보수 실시
	거더	b	0.200	b	0.200	・변동없음.
2차부재	가로보	a	0.100	a	0.117	・추가손상(부식)
기타부재	포장	a	0.100	b	0.133	・추가손상(포장균열, 파손)
	배수	b	0.150	b	0.250	・추가손상(배수관 고정대 탈락 등)
	난간, 연석	a	0.100	b	0.150	・추가손상(파손)
	신축이음	c	0.400	b	0.200	・추가손상(후타재 균열 등)
받침	교량받침	b	0.200	b	0.129	・유지보수 실시
하부구조	하부	c	0.343	b	0.243	・유지보수 실시, 가중치 변경
	기초	q	불가	a	0.100	・가중치 변경
내구성요소	탄산화(상부)	a	0.100	a	0.100	・큰 변화 없음(실시위치 상이)
	탄산화(하부)	a	0.100	a	0.100	
	염화물(상부)	a	0.100	a	0.100	
	염화물(하부)	a	0.100	a	0.100	
상태평가결과 / 결함도지수		**B**	**0.227**	**B**	**0.168**	결함도지수 상승(0.227→0.168)



【그림 4.3】기 진단 결과와의 부재별 상태평가 결과 비교(울산)

제 5장 시설물의 안전성평가

5.1 개 요

5.2 상부구조 안전성평가

5.3 내하력평가

5.4 하부구조 안전성평가

5.5 안전성평가 결과

제 5장 시설물의 안전성평가

5.1 개 요

5.1.1 안전성검토

구조물의 안전성평가는 주요 구조부재의 정밀외관조사, 비파괴 현장시험 및 재료시험의 결과를 토대로 종합적으로 이루어져야 한다. 안전성 검토는 대상 교량의 설계개념을 따라 일관성이 유지되도록 평가하는 것을 원칙으로 한다. 안전점검 및 진단은 현 시점의 구조물 상태를 가능한 정확히 반영하여 실 구조물의 거동을 분석하고, 설계기준상의 안전성 여부를 판정하는 과정이므로 가능한 구조물의 손상을 고려하여 판정하여야 한다.

본 과업에서는 준공도서와 공용중인 상태와 비교한 결과, 구조적으로 주목할 만한 추가 손상이 없고, 구조물에 대한 설계기준의 차이가 없는 바 준공도서를 준용하여 안전성평가를 실시하였고, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 검토단면 선정 및 사유

본 진단시 안전성 검토단면은 경간 구성(경간장 및 연속 경간수) 및 구조형식, 단면제원, 하중조건, 구조적 손상 및 결함 발생 여부 등을 고려하여 선정하였으며, 검토단면 선정 및 사유는 다음과 같다.

【표 5.1】 상부구조 검토단면 선정

상부구조 검토단면		관 련 내 용
만화교 (부산,울산)	강합성 상자형교	• 3경간 연속 강박스거더 ⇒ 폭 16.200m, 연장 150.000m • 중대한 용접결함, 강재거더 및 연결판의 균열 및 심한 변형, 바닥판의 구조적 균열, 구조부위의 철근량 부족, 심한 단면손실 등 구조적으로 문제가 될만한 결함은 없는 상태임
	A1	• 교대형식 : 역T형, 기초형식 : 말뚝기초 • 구조적으로 문제가 될 만한 결함은 없는 상태임.
	P2	• 교각형식 : 다주형, 기초형식 : 말뚝기초 • 구조적으로 문제가 될 만한 결함은 없는 상태임.
선 정 사 유		• 만화교(부산, 울산)는 교대는 역T형, 교각은 다주형이고 기초는 말뚝기초로 시공되어져 있으며, 구조적인 결함이 없는 상태이다. 교대 및 교각 형식, 제원 및 하중조건 등을 고려하여 상대적으로 불리한 부재를 선정하였음. - 만화교(부산, 울산) : A1, P2

나. 검토조건

본 구조물은 2008년 준공된 교량으로 준공당시 설계기준과 현행 설계기준이 일부 상이하나, 구조물에 대한 설계기준이 차이가 없는 바 준공도서를 준용하여 검토하였다.

또한, 손상이 발견되어 외관 및 내구성조사를 실시한 결과, 【표 5.2】, 【표 5.3】와 같이 단면제원, 압축강도, 철근배근 등이 준공도면과 거의 일치하였다. 금회 진단에서는 준공도면상의 설계값으로 안전성검토를 실시하고 내하력평가를 실시하였다.

【표 5.2】만화교 설계기준 비교표

구 분		설계적용 설계기준(1997)	현행 설계기준	비 고
설계기준		• 도로교 설계기준(2000) • 콘크리트 구조설계기준(1999)	• 도로교 설계기준(2010) • 콘크리트 구조기준(2012)	
적용 하중	강거더	• 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도차	• 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도차	
	바닥판	• 고정하중, 활하중, 원심하중, 차량충돌하중, 풍하중	• 고정하중, 활하중, 원심하중, 차량충돌하중, 풍하중	
플랜지 및 바닥판 유효폭		• 유효폭 고려	• 유효폭 고려	
활하중 재하		• 상부구조 전폭을 기준으로 3.0m간격으로 하중재하	• 상부구조 전폭을 기준으로 3.0m간격으로 하중재하	

【표 5.3】 구조검토시 적용 물성치 및 하중조건

구 분		설 계 도 서	현 장 측 정	적 용	비고
적용단면		• 강박스거더 : 만화교(부산, 울산)		• 현장조사시 단면제원을 측정한 결과, 준공도면과 일치하므로 준공도면상의 단면제원을 적용	
사용재료	설계강도	• 준공도면/구조계산서 - 상부 : 270kgf/㎠ - 하부 : 240kgf/㎠	• 비파괴강도 - 상부 : 27MPa 이상 - 하부 : 24MPa 이상	• 비파괴강도 측정값이 설계기준강도를 상회하므로 설계기준강도 적용 - 상부 : 27.0MPa - 하부 : 24.0MPa	
	탄성계수	• 콘크리트 - 상부 : 250,000kgf/㎠ - 하부 : 230,000kgf/㎠ • 철근 : 2,040,000kgf/㎠ • 강재 : 2,100,000kgf/㎠	-	• 콘크리트 : 현 설계기준 적용 - 상부 : 27,000MPa - 하부 : 25,800MPa • 철근 : 200,000MPa • 강재 : 205,000MPa	
철근간격 / 피복두께	바닥판	-	• 준공도면과 전반적으로 일치	• 철근배근 및 피복두께는 전반적으로 설계값과 일치하므로 설계값 적용	
	교대	-			
	교각	-			
하중종류	고정하중	• 철근콘크리트 : γ_c=2.50tf/㎥ • 콘크리트 포장 : γ_a=2.35tf/㎥ • 강재 : γ_s=7.85tf/㎥	• 철근콘크리트 : γ_c=25.0kN/㎥ • 콘크리트포장 : γ_a=23.5kN/㎥ • 강재 : γ_s=78.5kN/㎥	• 설계도서 및 현 설계기준이 동일하므로 현 설계기준상의 값 적용	
	활하중	• DB-24, DL-24	• DB-24, DL-24		
	온도차	• 온도차 : ±10 °C • 선팽창계수 : 12×10^{-6}	• 온도차 : ±10 °C • 선팽창계수 : 12×10^{-6}		
	크리프	• 크리프 계수 : 2	• 크리프 계수 : 2		
	건조수축	• 건조수축에 의한 크리프 계수 : 4 • 최종수축율 : 27×10^{-5}	• 건조수축에 의한 크리프 계수 : 4 • 최종수축율 : 27×10^{-5}	• 현 설계기준상의 값 적용	
토질정수		• 지반조사가 과업범위 밖이므로 준공도면상의 N치를 적용			

다. 검토방법

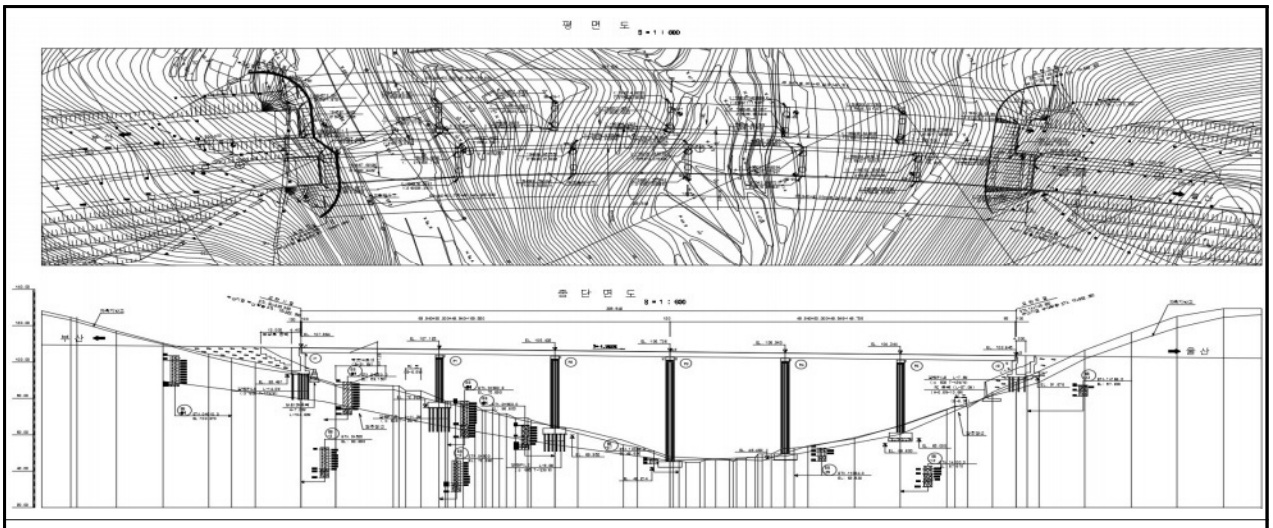
만화교(부산, 울산)는 1등교(DB-24, DL-24)로 설계되어 있으며, 도로교 설계기준(2010)에 따라 강박스거더는 허용응력설계법, 바닥판은 강도설계법을 적용하였다.

금회안전진단에서는 설계시와 전반적으로 관련된 사항이 동일한 것으로 확인되며, 준공시 구조계산서를 준용하여 구조검토를 실시하였다.

금회 구조해석은 3차원 해석과 활하중의 이동재하가 가능한 범용구조해석 프로그램인 MIDAS CIVIL 2017을 이용하였으며, 구조물의 기하학적 특성을 Frame Element로 모델링하였다.

라. 해석단면

만화교(부산, 울산)의 종・평면도, 횡단면도는 다음과 같다.



【그림 5.1】 종・평면도

5.1.2 내하력평가

내하력 평가방법은 구조해석결과를 토대로 기본내하력을 평가하였으며, 구조해석 검토시 사용재료의 재료적 특성은 관련 설계기준 및 현장조사자료 등을 참조하였다.

■ 구조해석 및 검토의 기본가정

① 사용된 해석모델은 Frame Element를 이용한 3차원 격자모델을 적용한다.

② 철근량은 측정값을 기준으로 하며 철근의 종류는 도면을 참조한다. 유효높이는 철근탐사시험 결과 측정된 피복두께를 이용하며 설계피복두께 미만은 단면검토시 안전측으로 설계피복두께를 적용한다.

③ 콘크리트강도는 비파괴강도 시험결과와 설계기준강도의 만족 여부를 고려하여 적용한다.

④ 고정하중은 바닥판, 거더, 방호벽 및 기타하중에 대해서 합성전 및 합성후 고정하중으로 구분하여 고려한다.

⑤ 활하중은 DB하중과 DL하중, 충격하중을 고려하여 산정한다.

⑥ 강도설계법에 의한 단면검토시 하중계수는 도로교설계기준(2010)을 이용한다.

⑦ 구조검토 결과는 도로교설계기준(2010)에 준하여 SI단위계를 사용한다.

5.2 상부구조 안전성평가

5.2.1 만화교(부산)(Steel Box Girder)

만화교(부산)는 준공 이후 교량현황의 변화가 없고 준공도서가 잘 보존되어 있는 것으로 확인되었으며, 이를 활용해서 안전성검토를 실시하였다.

1) 교량 제원

① 교량형식 : 강합성 상자형교

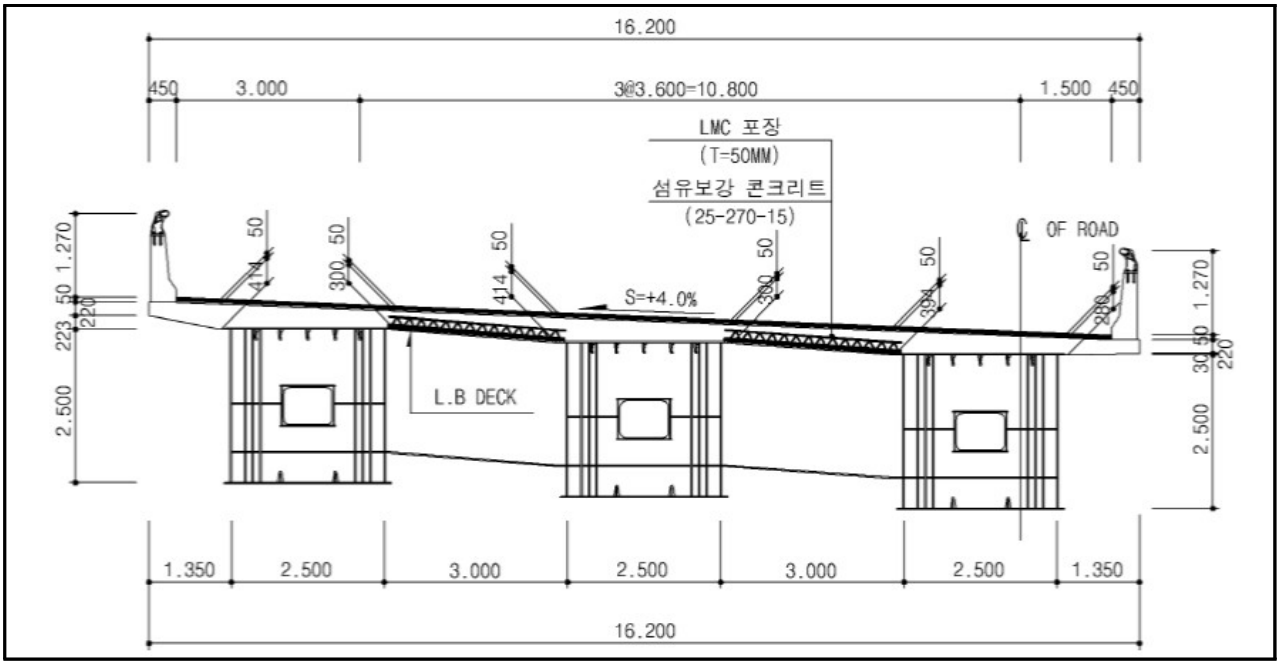
② 교량연장 : L = 150.000m

③ 교량폭원 : 16.200m

④ 사　　각 : 90.0°

⑤ 거더제원 : B = 2.500m ,　H = 2.500m

⑥ 교량등급 : 1등급(DB-24 및 DL-24 적용)



【그림 5.2】 횡단면도(부산)

2) 사용재료

① 콘크리트

- 설계기준강도 : f_{ck} = 27MPa
- 탄성계수 : E_c= 26,681MPa

② 철근(SD400)

- 항복강도 : f_y = 400MPa
- 탄성계수 : E_s = 200,000MPa

③ 강재

㉠ 주부재 : SM490

㉡ 부부재 : SM400

㉢ 탄성계수 : E_{st} = 2.05E+05MPa

㉣ 전단탄성계수 : G_{st} = 78,846MPa

㉤ 허용축방향인장응력 및 허용휨인장응력(MPa)

강 종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40이하	140	190	215	270
40초과 75이하	130	175	200	260
75초과 100이하			195	250

ⓗ 허용축방향압축응력(MPa)

강종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM 570 SMA 570
40이하	$140 : l/r \le 18.6$ $140-0.82(l/r-18.6) :$ $18.6 < l/r \le 92.8$ $\frac{1,200,000}{6,700+(l/r)^2} :$ $92.8 < l/r$	$190 : l/r \le 16.0$ $190-1.29(l/r-16.0):$ $16.0 < l/r \le 80.1$ $\frac{1,200,000}{5,000+(l/r)^2} :$ $80.1 < l/r$	$215 : l/r \le 15.1$ $215-1.55(l/r-15.1):$ $15.1 < l/r \le 75.5$ $\frac{1,200,000}{4,400+(l/r)^2} :$ $75.5 < l/r$	$270 : l/r \le 13.4$ $270-2.19(l/r-13.4):$ $13.4 < l/r \le 67.1$ $\frac{1,200,000}{3,500+(l/r)^2} :$ $67.1 < l/r$
40초과 75이하	$130 : l/r \le 19.4$ $130-0.73(l/r-19.4) :$ $19.4 < l/r \le 97.0$ $\frac{1,200,000}{7,300+(l/r)^2} :$ $97.0 < l/r$	$175 : l/r \le 16.6$ $175-1.15(l/r-16.6) :$ $16.6 < l/r \le 82.8$ $\frac{1,200,000}{5,300+(l/r)^2} :$ $82.8 < l/r$	$200 : l/r \le 15.5$ $200-1.40(l/r-15.5):$ $15.5 < l/r \le 77.7$ $\frac{1,200,000}{4,700+(l/r)^2} :$ $77.7 < l/r$	$260 : l/r \le 13.7$ $260-2.07(l/r-13.7) :$ $13.7 < l/r \le 68.6$ $\frac{1,200,000}{3,600+(l/r)^2} :$ $68.6 < l/r$
75초과 100이하			$195 : l/r \le 15.8$ $195-1.35(l/r-15.8):$ $15.8 < l/r \le 78.9$ $\frac{1,200,000}{4,800+(l/r)^2} :$ $78.9 < l/r$	$250 : l/r \le 13.9$ $250-1.96(l/r-13.9) :$ $13.9 < l/r \le 69.4$ $\frac{1,200,000}{3,700+(l/r)^2} :$ $69.4 < l/r$

여기서, l : 부재의 유효좌굴길이(mm)

r : 부재 총단면의 단면회전반경(mm)

㉤ 허용휨압축응력(MPa)

ⓐ 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 직접 고정되어 있는 경우, 상자형 단면, π형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우

강종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40이하	140	190	215	270
40초과 75이하	130	175	200	260
75초과 100이하			195	250

ⓑ ⓐ에 규정한 이외의 경우

강종 / 판두께(mm)		SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
$\frac{A_w}{A_c} \le 2$	40이하	140 : $l/b \le 4.6$ 140-2.49(l/b-4.6) : $4.6 < l/b \le 30$	190 : $l/b \le 4.0$ 190-3.91(l/b-4.0) : $4.0 < l/b \le 30$	215 : $l/b \le 3.8$ 215-4.69(l/b-3.8): $3.8 < l/b \le 27$	270 : $l/b \le 3.4$ 270-6.64(l/b-3.4): $3.4 < l/b \le 25$
	40초과 75이하	130 : $l/b \le 4.9$	175 : $l/b \le 4.1$	200 : $l/b \le 3.9$ 200-4.24(l/b-3.9): $3.9 < l/b \le 27$	260 : $l/b \le 3.4$ 260-6.25(l/b-3.4): $3.4 < l/b \le 25$
	75초과 100이하	130-2.21(l/b-4.9): $4.9 < l/b \le 30$	175-3.48(l/b-4.1): $4.1 < l/b \le 30$	195 : $l/b \le 3.9$ 195-4.07(l/b-3.9): $3.9 < l/b \le 27$	250 : $l/b \le 3.5$ 250-5.94(l/b-3.5): $3.5 < l/b \le 25$
$\frac{A_w}{A_c} > 2$	40이하	140 : $l/b \le 9.3/K$ 140-1.24(K l/b-9.3): $9.3/K < l/b \le 30$	190 : $l/b \le 8.0/K$ 190-1.95(K l/b-8.0): $8.0/K < l/b \le 30$	215 : $l/b \le 7.5/K$ 215-2.35(K l/b-7.5): $7.5/K < l/b \le 27$	270 : $l/b \le 6.7/K$ 270-3.32(K l/b-6.7): $6.7/K < l/b \le 25$
	40초과 75이하	130 : $l/b \le 9.7/K$	175 : $l/b \le 8.3/K$	200 : $l/b \le 7.8/K$ 200-2.12(K l/b-7.8): $7.8/K < l/b \le 27$	260 : $l/b \le 6.9/K$ 260-3.12(K l/b-6.9): $6.9/K < l/b \le 25$
	75초과 100이하	130-1.10(K l/b-9.7): $9.7/K < l/b \le 30$	175-1.74(K l/b-8.3): $8.3/K < l/b \le 30$	195 : $l/b \le 7.9/K$ 195-2.04(K l/b-7.9): $7.9/K < l/b \le 27$	250 : $l/b \le 6.9/K$ 250-2.97(K l/b-6.9): $6.9/K < l/b \le 25$
비 고		A_w : 복부판의 총 단면적(㎟) A_c : 압축플랜지의 총 단면적(㎟) l : 압축플랜지의 고정점간의 거리(㎜) b : 압축플랜지의 폭(㎜)		$K : \sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$	

ⓞ 허용전단응력(MPa)

강종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40이하	80	110	125	155
40초과 75이하	75	100	115	150
75초과 100이하			115	145

ⓩ 항복응력(MPa)

강종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40이하	235	315	355	450
40초과 75이하	215	295	335	430
75초과 100이하			325	420

ⓩ 강재 주거더의 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+바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15
4	가설시 하중	압축연	25	25
		인장연	25	25

3) 설계방법

① 바닥판 : 강도설계법

② 강박스거더 : 허용응력설계법

4) 적용하중

① 고정하중

고정하중은 합성전 고정하중과 합성후 고정하중으로 구분하여 모델링하였다. 합성전 고정하중은 강재 및 바닥판 자중을 고려하였으며 합성후 고정하중은 방호벽 및 중앙분리대, 포장 등을 고려하여 계산하였다.

② 활하중

본 교량은 1등급 교량으로서 DB-24 및 DL-24 하중을 적용한다.

③ 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차(ΔT) : $\pm 10^\circ$ C
- 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수(α) : 12×10^{-6}

④ 바닥판 콘크리트의 크리프

- 크리프 계수(ϕ_1) : 2
- 크리프 계산을 위한 탄성계수비 : $n_1 = n\ (1 + \phi_1 / 2) = 8 \times (1 + 2/2) = 16$

⑤ 바닥판 콘크리트의 건조수축

- 최종수축율(ε_s) : 18×10^{-5}
- 건조수축 계산을 위한 크리프 계수(ϕ_2) : $\phi_2 = 2\ \phi_1 = 2 \times 2 = 4$
- 건조수축 계산을 위한 탄성계수비 : $n_2 = n\ (1 + \phi_2 / 2) = 8 \times (1 + 4/2) = 24$

⑥ 하중조합

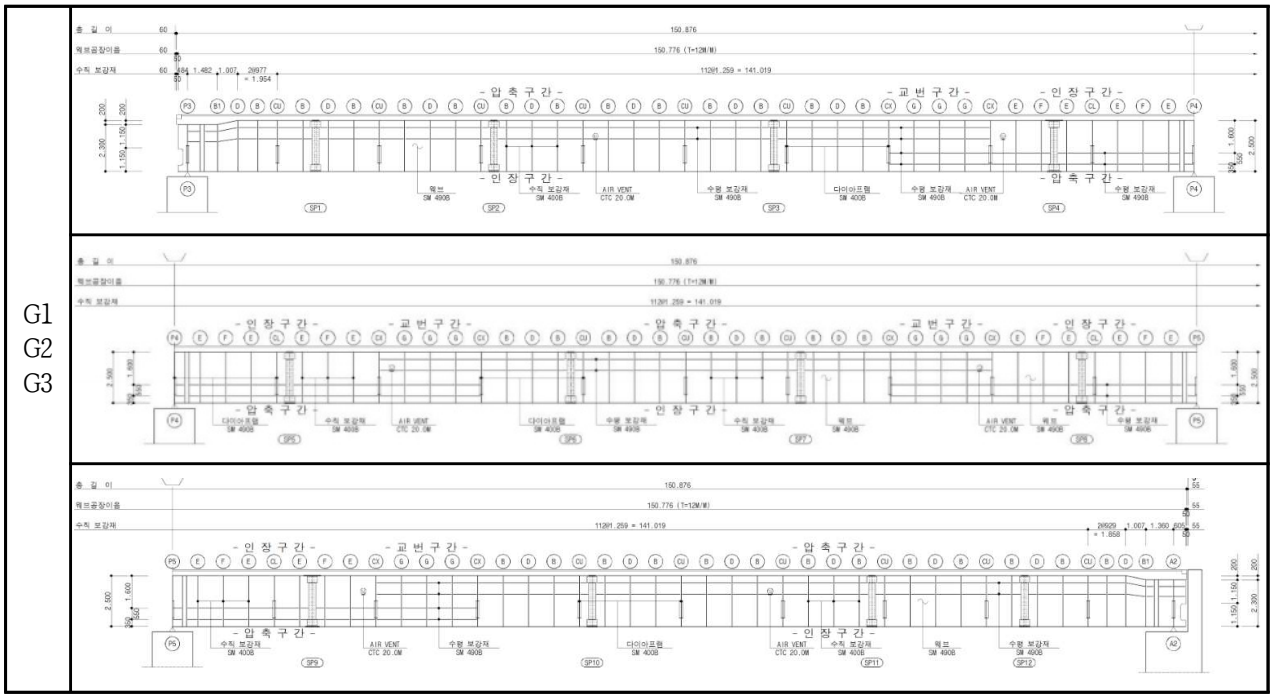
- LCB1 : 합성전 고정하중
- LCB2 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중
- LCB3 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프
- LCB4 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축
- LCB5 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도차
- LCB6 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축-온도차

5) 참고문헌

① 도로교 설계기준(2010)
② 콘크리트 구조설계기준(2012)
③ 도로설계편람(2008)
④ 도로설계요령(2009)
⑤ 강도로교 상세부 설계지침(2006)

가. Steel Box Girder 구조검토

1) 거더 단면구성



【그림 5.3】 단면배치도(부산)

만화교(부산)의 단면은 【그림 5.3】과 같이 배치되어 있으며 각 단면배치에 대해 표로 정리하면 다음과 같다.

【표 5.4】 단면배치(부산)

구 분	상부플랜지(mm)		하플랜지(mm)		복부판		비고
	두께	리브	두께	리브	높이	두께	
단면A	12	5	12	2	2500	12	
단면B	14	5	16	2	2500	12	
단면C	18	5	20	2	2500	12	
단면D	24	2	26	5	2500	12	
단면E	36	2	38	5	2500	16	

2) 하중 산정

① 합성전 고정하중

• 주거더를 가설한 후에 바닥판을 주거더 위에 타설하며 바닥판은 강성을 발휘하지 않는다.

• 강재 자중 : 프로그램 내에서 자동 고려

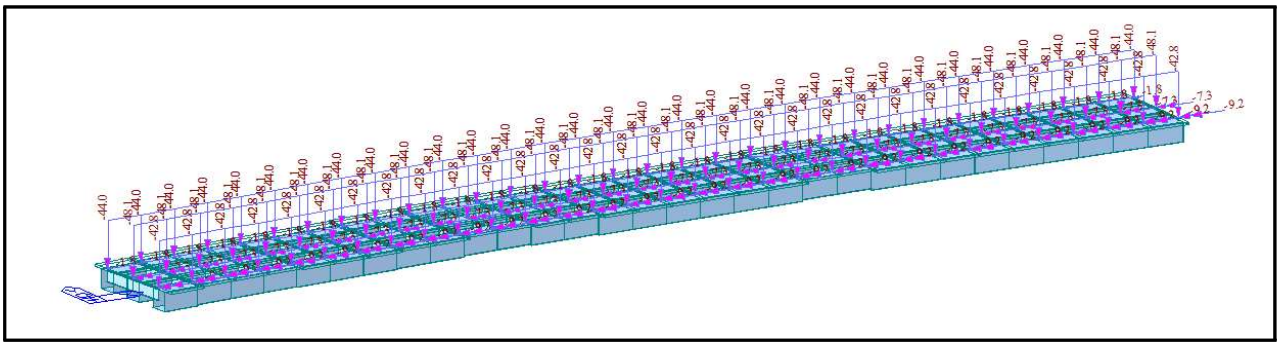
- 각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재 자중을 42.07% 할증 적용

- 총 강재중량 / 모델링 강재중량 = 8,710.256kN / 6,131.055kN = 1.4207

• 슬래브

바닥판 하중은 주거더를 가설한 후 바닥판이 타설되는 단계이므로 바닥판은 강성을 발휘하지 않으며, 안전성평가 시 바닥판 하중에 대해 강재 거더의 강성만으로 응력을 산정하게 된다.

$$w_{slab} = 0.220 \times 25.0 = 5.500 kN/\mathrm{m}^2$$



【그림 5.4】 합성전 고정하중(바닥판 하중) 재하도(부산)

【표 5.5】 합성전 고정하중(바닥판 하중)에 의해 주거더에 작용하는 하중(부산)

구 분	위 치		
	G_1(kN)	G_2(kN)	G_3(kN)
바닥판 자중	44.044	48.138	42.782

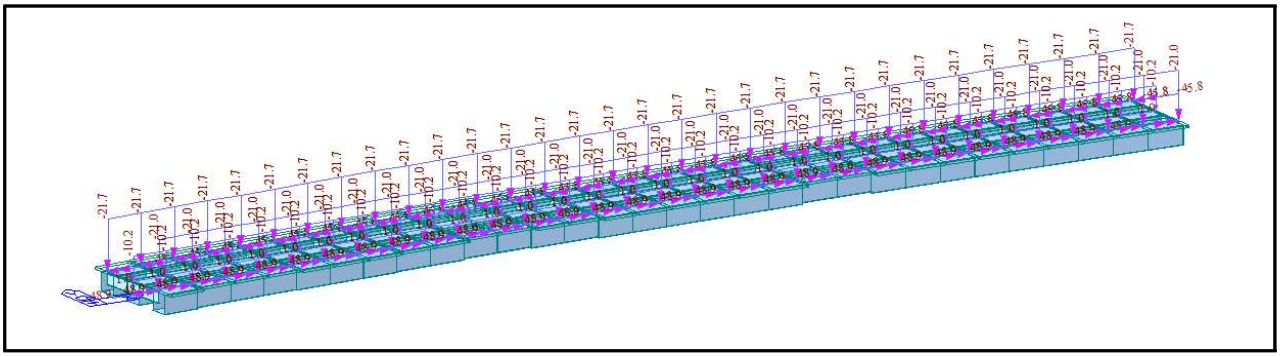
② 합성후 고정하중

• 바닥판 가설이 완료된 후 포장과 방호울타리를 설치하며 이는 주거더에 합성후 고정하중으로 작용한다.

• 좌측연석 : 0.699 × 25.00 = 17.487 kN/m

• 포 장 : 0.050 × 23.50 = 1.175 kN/m^2

• 우측연석 : 0.699 × 25.00 = 17.487 kN/m



【그림 5.5】 합성 후 고정하중 재하도(부산)

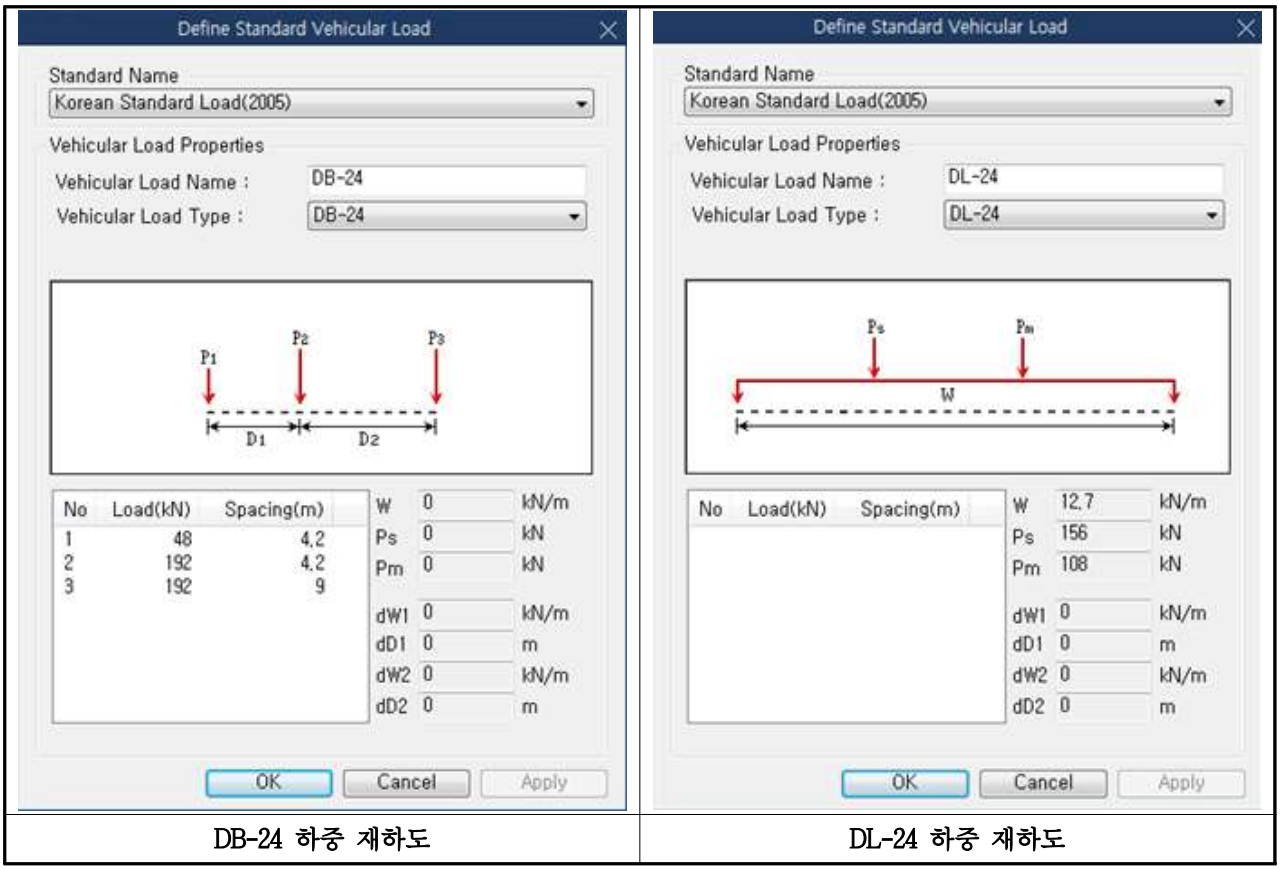
【표 5.6】 합성후 고정하중에 의해 주거더에 작용하는 하중(부산)

구 분	위 치		
	G_1	G_2	G_3
P (kN/m)	21.741	10.208	21.003
M (kN.m/m)	45.809	0.990	48.876

③ 활하중

【표 5.7】활하중(부산)

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="4">활하중</th></tr>
<tr><td>• 교 폭</td><td colspan="4">• 16.200m</td></tr>
<tr><td>• 지간장(L)</td><td colspan="4">• 150.000m</td></tr>
<tr><td>• 연석간 교폭(W_c)</td><td colspan="4">• 15.300m</td></tr>
<tr><td>• 설계 차로수(N)</td><td colspan="4">• 12.8 m < W_c ∴ 4차로 재하</td></tr>
<tr><td>• 설계 차로폭(W)</td><td colspan="4">• 15.300m / 4 = 3.825m > 3.600m, 곡선교이므로 3.000 적용
∴ W = 3.000m</td></tr>
<tr><td rowspan="5">• 충격계수(i)</td><td colspan="4">• 외측지간
15 / (40+50.00) = 0.167 < 0.3 ∴ i = 0.169 적용</td></tr>
<tr><td colspan="4">• 중앙지점
15 / (40+50.00) = 0.167 < 0.3 ∴ i = 0.169 적용</td></tr>
<tr><td colspan="4">• 내측지간
15 / (40+50.00) = 0.167 < 0.3 ∴ i = 0.169 적용</td></tr>
<tr><td colspan="4">• 중앙지점
15 / (40+50.00) = 0.167 < 0.3 ∴ i = 0.169 적용</td></tr>
<tr><td colspan="4">• 외측지간
15 / (40+50.00) = 0.167 < 0.3 ∴ i = 0.169 적용</td></tr>
<tr><td rowspan="4">• 활하중 크기</td><td colspan="2">표준차로하중(DL-24)</td><td colspan="2">표준트럭하중(DB-24)</td></tr>
<tr><td>P_m</td><td>108kN</td><td>P_f</td><td>24 kN</td></tr>
<tr><td>P_s</td><td>156kN</td><td>P_r</td><td>96 kN</td></tr>
<tr><td>W_ℓ</td><td>12.7kN/m</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>• 재하방법</td><td colspan="4">• 해석프로그램의 이동하중해석 기능을 사용
• DB-24, DL-24 재하
• DB-24 또는 DL-24하중에 대하여 독립적으로 1~3개 차로에 경간별로 가장 불리한 부재력이 산출되도록 재하
• 최대 부재력이 3차로 이상의 활하중 동시 재하로 발생하는 경우에는 백분율로 감소
- 3차로 동시 재하 : 90%
- 4차로 이상 동시 재하 : 75%
• 각 CASE별 하중재하도 및 각 거더별 작용하중은 부록 참조.</td></tr>
</table>



DB-24 하중 재하도 | DL-24 하중 재하도

【그림 5.6】 활하중 재하(부산)

③ 기타하중

- 합성 후 단면에 대하여 각 지점 위치별 10 mm의 부등침하를 조합하여 적용한다.
- 온도하중은 바닥판 콘크리트와 강재 거더와의 온도차(10℃)를 적용한다.

④ 하중조합 (도로교 설계기준 2.2.2.2)

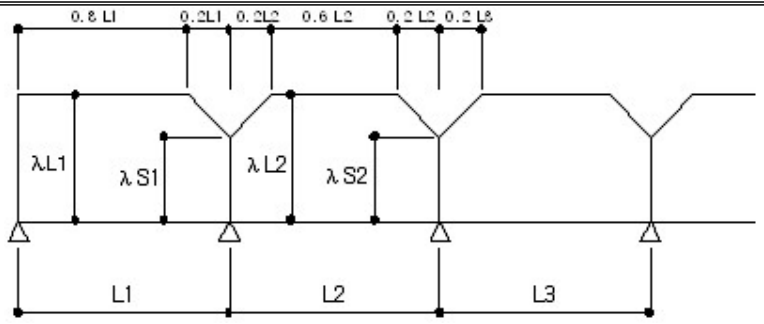
- 하중조합 1 : 합성전·후 고정하중+활하중(증가계수 : 1.00)
- 하중조합 2 : 합성전·후 고정하중+활하중+지점침하(증가계수 : 1.00)
- 하중조합 3 : 합성전·후 고정하중+활하중+지점침하+크리프+건조수축(증가계수 : 1.00)
- 하중조합 4 : 합성전·후 고정하중+활하중+지점침하+크리프+건조수축±온도차(증가계수 : 1.15)

3) 플랜지 및 바닥판의 유효폭 계산

전단지연(Shear Lag) 현상의 영향으로 인한 플랜지 및 바닥판의 유효폭은 다음과 같으며, 단면응력 검토 시 적용하였다.(상세한 계산과정은 부록 참조)

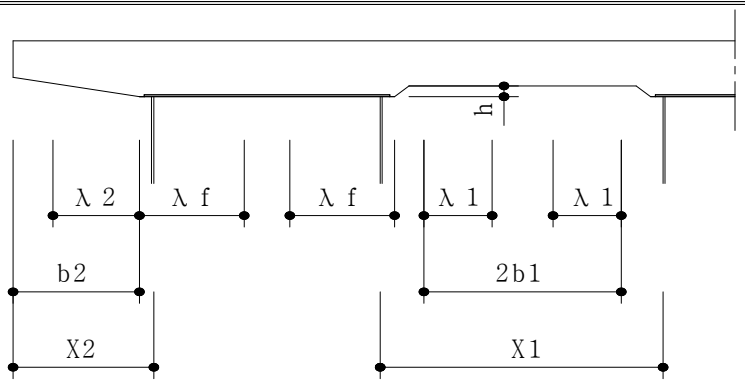
① 플랜지 유효폭

【표 5.8】플랜지의 유효폭 산정(부산)

구 분	플랜지(m)		비 고
	상부	하부	
시점경간 중앙부 (단면C)	2.740	2.740	
시점 지점부 (단면E)	2.430	2.430	
내측경간 중앙부 (단면A)	2.740	2.740	
종점 지점부 (단면D)	2.430	2.430	상부 : 복부간격 b/2 = 1.250m , 플랜지돌출폭 be = 0.120m 하부 : 복부간격 b/2 = 1.250m , 플랜지돌출폭 be = 0.120m L1 = 50.000m, L2 = 50.000m, L3 = 50.000m
종점경간 중앙부 (단면A)	2.740	2.740	

② 바닥판 유효폭

【표 5.9】바닥판의 유효폭 산정(부산)

구 분	바닥판(m)
	G1
개 요	 X_1=3.000m : 인접한 거더의 복부사이의 간격 X_2=1.350m : 외측 거더 복부에서 캔틸레버 끝단까지의 거리 h=0.223m : 헌치 높이 b_e=0.120m : 플랜지의 돌출폭 2b1 = x1 - 2 × (be + h) = 1.157 m b2 = x2 - be = 1.230 m
시점경간 중앙부 (단면C)	5.350m
시점 지점부 (단면E)	4.763m
내측경간 중앙부 (단면A)	5.350m
종점 지점부 (단면D)	4.763m
종점경간 중앙부 (단면A)	5.350m

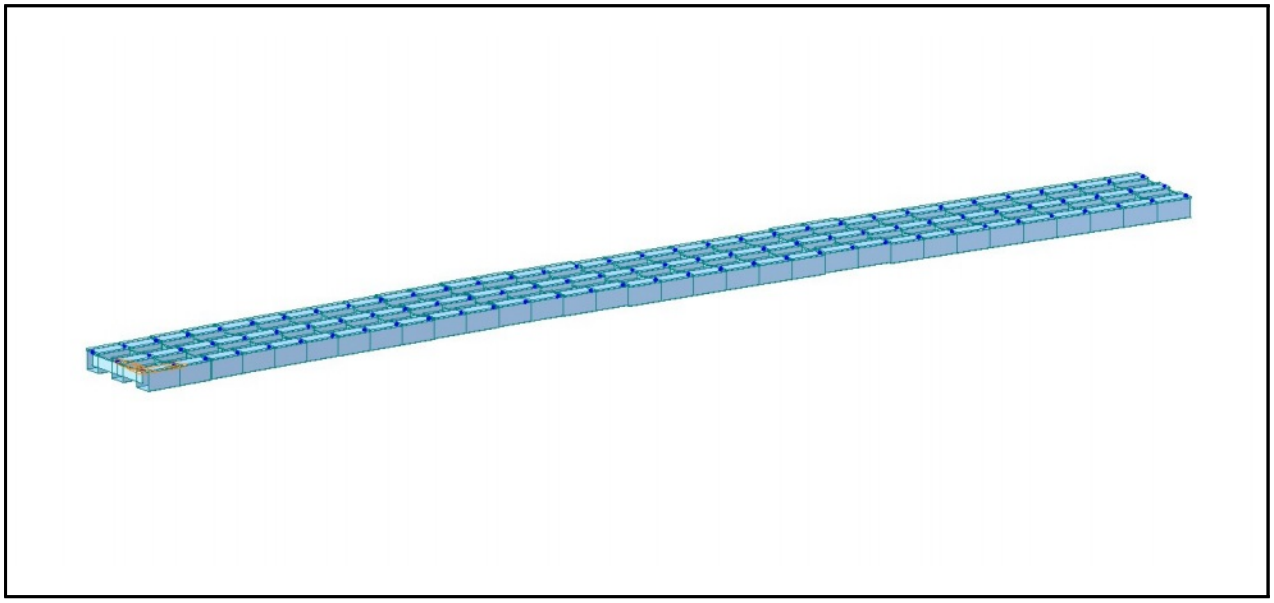
4) 모델링 및 단면제정수

① 모델링

해석모델은 3차원 격자모델을 적용하였으며, 보요소로 이상화된 각 구조요소의 연결은 부재편심(Offset)이 반영되도록 하였다. 또한 시공단계별로 대상교량의 실제 강성과 최대한 근접할 수 있도록 모델링하였으며, 기타 세부내용은 다음과 같다.

• 합성전 모델링시 바닥판은 단면의 강성에 기여하는 바 없이 고정하중만을 추가시키는 역할만을 함으로 바닥판에 의한 횡분배 효과는 고려하지 않았다. 활하중은 해석프로그램 내의 이동하중해석 기능을 사용하였으며 도로교 설계기준을 참조하여 가장 불리한 하중조합이 되도록 설정하였다.

• 경계조건은 각 지점의 가동, 고정상태를 고려하여 설정하였다.



【그림 5.7】 해석모델링(부산)

② 단면제정수

【표 5.10】단면제정수 산정(부산)

구 분			A(cm²)	Izz(cm⁴)	Iyy(cm⁴)	Ixx(cm⁴)	비 고
G1 G2 G3	단면A	합성전	1,405	13,579,453	15,492,218	19,021,298	
		합성후	2,876	48,671,830	32,379,269	23,029,618	
	단면B	합성전	1,569	14,607,994	18,156,319	21,129,345	
		합성후	3,040	49,700,372	37,170,306	25,075,095	
	단면C	합성전	1,788	15,979,382	21,675,146	23,381,484	
		합성후	3,259	51,071,760	41,896,929	26,664,891	
	단면D	합성전	2,117	18,036,465	26,897,396	25,867,299	
		합성후	3,588	53,128,842	50,616,131	28,420,562	
	단면E	합성전	2,975	25,346,024	38,757,668	35,959,107	
		합성후	4,446	60,438,402	65,022,078	38,532,341	

주) A : 합성전·후 단면적(mm^2)

Izz : 합성전· 후 강재단면의 3축방향 단면2차모멘트(mm^4)

Iyy : 합성전· 후 강재단면의 2축방향 단면2차모멘트(mm^4)

Ixx : 합성전·후 강재단면의 비틀림 단면2차모멘트(mm^4)

5) 구조해석 결과

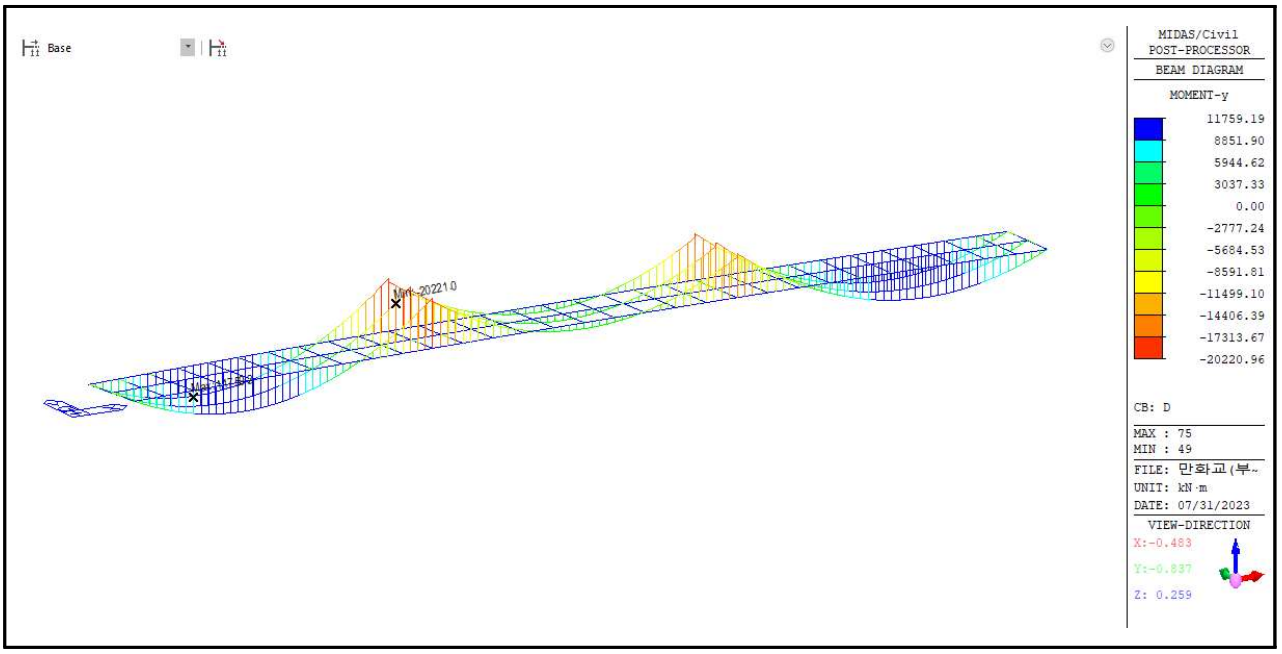
① 2차 부정정력에 대한 영향 검토

콘크리트-강재 합성형 교량에서는 고정하중과 활하중에 의한 응력 이외에 건조수축, 크리프, 강재-콘크리트 온도차에 의한 응력이 발생한다. 특히, 강합성형교가 2경간 이상의 연속교일 경우에는 건조수축, 크리프, 온도차에 의해 부정정력이 추가로 발생되며 이와 같은 하중을 2차 모멘트라고 한다.

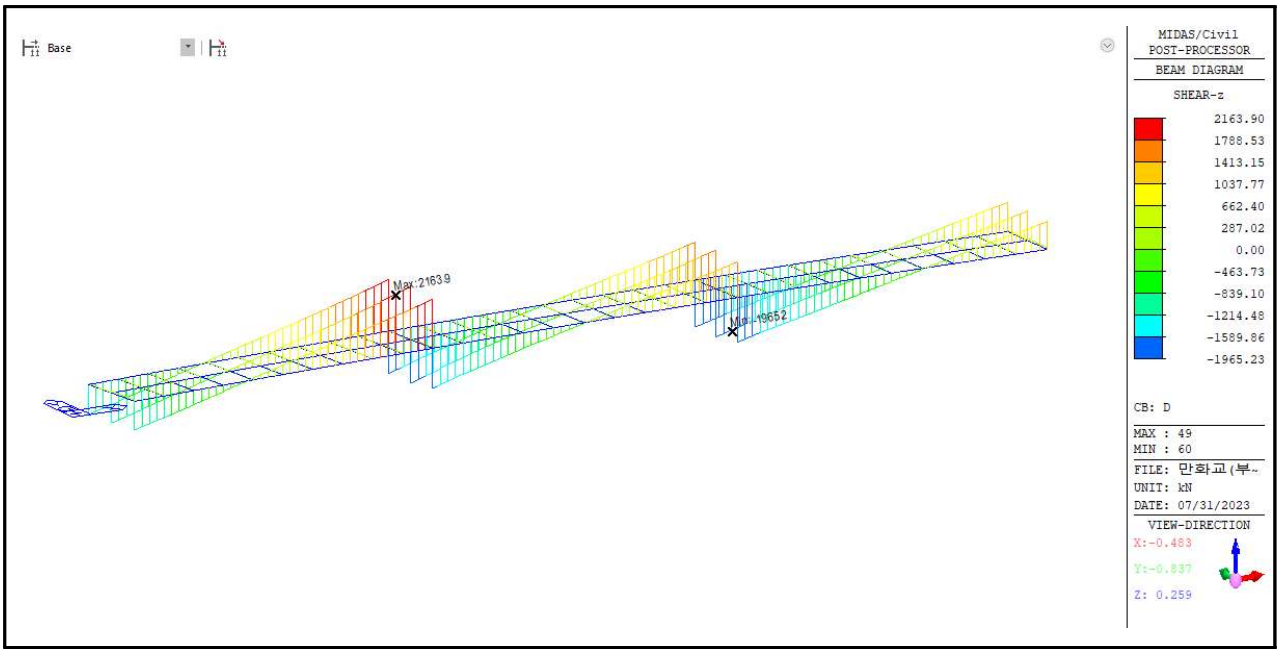
② 단면력도

• 합성전·후 고정하중

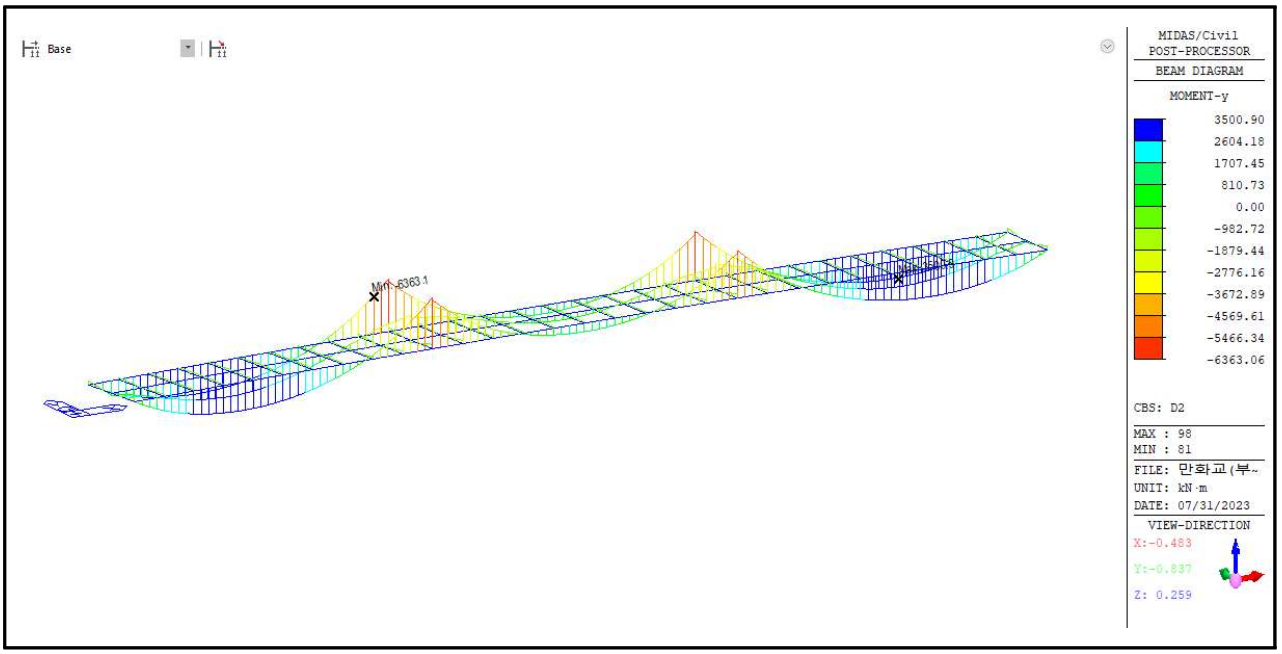
합성전·후 고정하중에 의한 휨모멘트도 및 전단력도를 아래 그림과 같이 나타내었다.



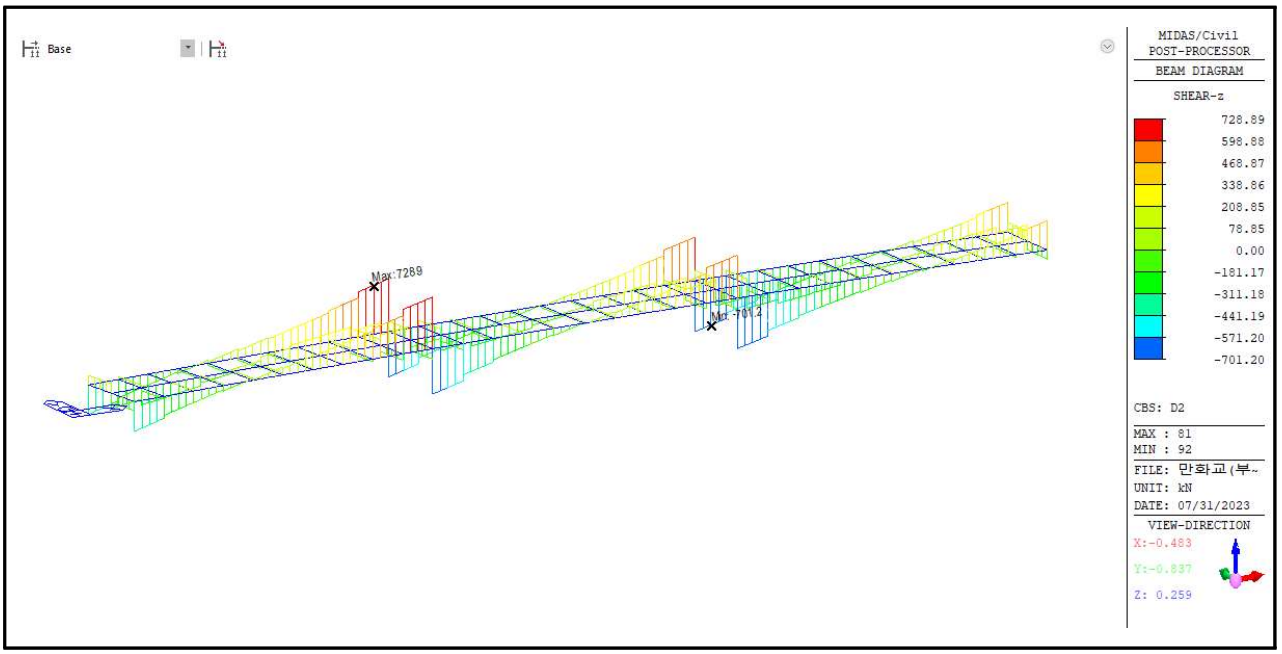
【그림 5.8】 합성전 고정하중에 의한 휨모멘트도(부산)



【그림 5.9】 합성전 고정하중에 의한 전단력도(부산)



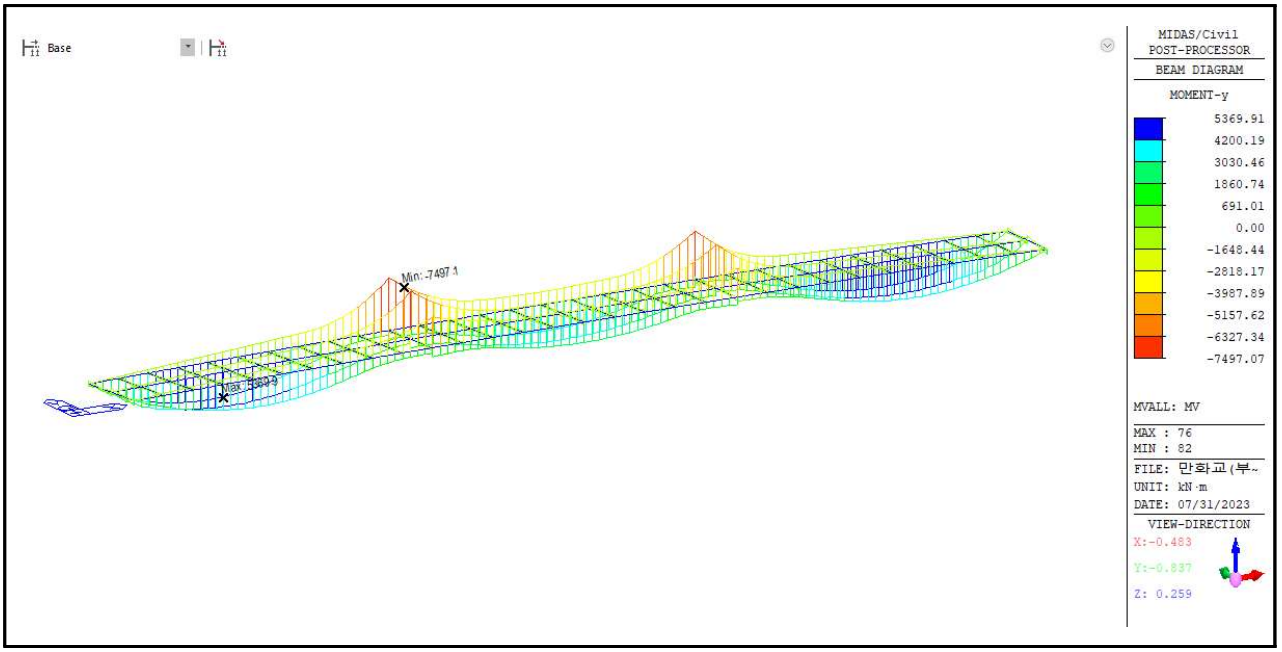
【그림 5.10】 합성후 고정하중에 의한 휨모멘트도(부산)



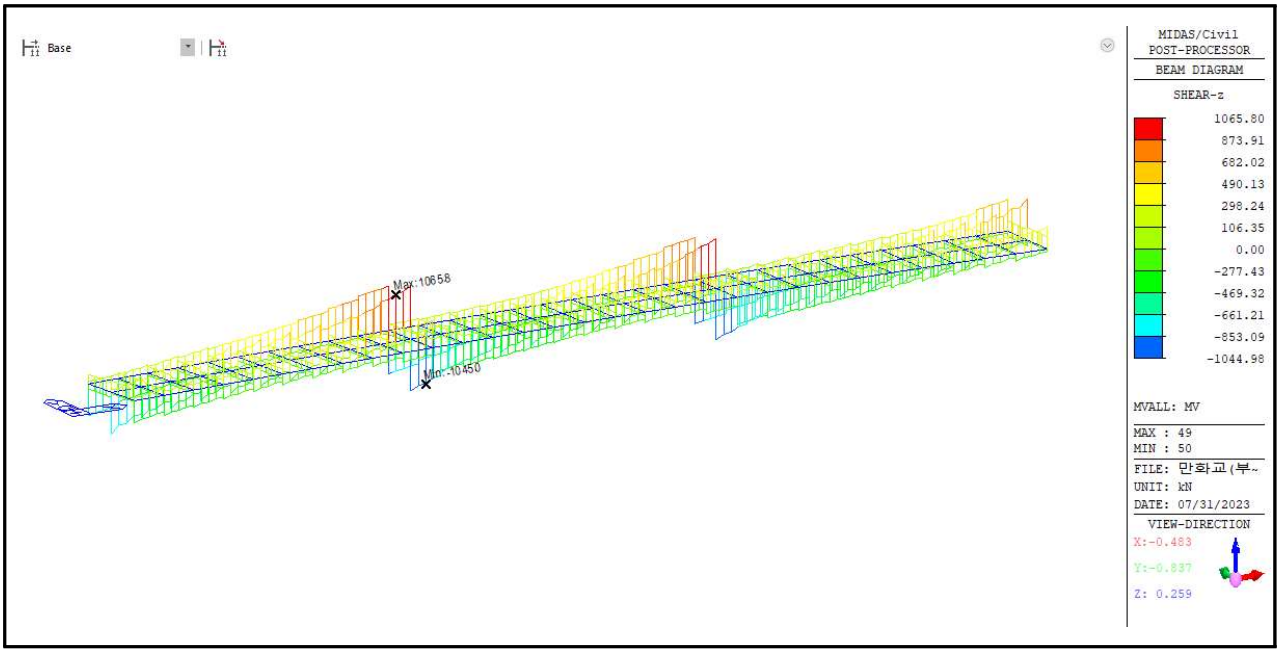
【그림 5.11】 합성후 고정하중에 의한 전단력도(부산)

• 활하중

활하중에 의한 휨모멘트도 및 전단력도를 아래 그림과 같이 나타내었다.



【그림 5.12】활하중에 의한 휨모멘트도(부산)



【그림 5.13】활하중에 의한 전단력도(부산)

② 단면력 산정결과

㉠ 시점경간 중앙 정모멘트부 (단면C)

【표 5.11】 시점경간 중앙 정모멘트부 단면력 산정결과(부산)

구 분	합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
휨모멘트(kN・m)	8,783.440	2,773.660	2,828.240	14,385.340
전단력(kN)	-188.610	221.710	827.090	860.190
비틀림모멘트(kN・m)	-584.490	-157.520	-312.760	-1,054.770

㉡ 시점 지점부 부모멘트부 (단면E)

【표 5.12】 시점 지점부 부모멘트부 단면력 산정결과(부산)

구 분	합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
휨모멘트(kN・m)	-19,166.310	-6,177.430	-4,326.660	-29,670.400
전단력(kN)	209.210	-237.300	1,044.390	1,016.30
비틀림모멘트(kN・m)	2,011.380	714.990	549.720	3,276.090

㉢ 내측경간 중앙 정모멘트부 (단면A)

【표 5.13】 내측경간 중앙 정모멘트부 단면력 산정결과(부산)

구 분	합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
휨모멘트(kN・m)	2,339.240	1,036.930	2,894.480	6,270.650
전단력(kN)	-27.120	-49.510	742.010	665.380
비틀림모멘트(kN・m)	-38.560	3.520	254.930	6,936.030

㉣ 종점 지점부 부모멘트부 (단면D)

【표 5.14】종점 지점부 부모멘트부 단면력 산정결과(부산)

구 분	합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
휨모멘트(kN・m)	-15,451.600	-5,391.140	-4,081.920	-24,924.66
전단력(kN)	5.020	-268.670	925.190	661.540
비틀림모멘트(kN・m)	1,451.300	591.320	518.260	2,560.880

㉤ 종점경간 중앙 정모멘트부 (단면A)

【표 5.15】종점경간 중앙 정모멘트부 단면력 산정결과(부산)

구 분	합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
휨모멘트(kN・m)	11,282.260	3,457.020	4,025.170	18,764.45
전단력(kN)	7.010	-156.860	756.890	607.0400
비틀림모멘트(kN・m)	-47.190	-3.380	260.820	210.250

6) 강박스거더의 응력 검토

강박스거더에 대한 응력검토는 내·외측경간 최대 정모멘트부 및 지점부 최대 부모멘트부 단면에 대하여 실시하였으며, 이에 대한 상세 검토결과는 부록에 첨부하였다.

하중종류1	합성전 고정하중	**하중종류4**	크리프
하중종류2	합성후 고정하중	**하중종류5**	건조수축
하중종류3	활하중	**하중종류6**	온도차

① 주하중에 대한 작용응력 검토

㉠ 시점경간 중앙 정모멘트부 (단면C)

• 휨응력

【표 5.16】시점경간 중앙 정모멘트부 휨응력 검토결과(부산)

하중조합	CONCRETE				STEEL			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.000	0.000	-10.800	-10.800	-55.906	56.650	-190.00	190.00
1+2	-1.826	-1.422	-10.800	-10.800	-64.263	85.626	-190.00	190.00
1+2+3+4	0.036	0.347	1.890	1.890	-88.899	87.663	-218.50	190.00
1+2+3+4+5	1.172	1.641	2.174	2.174	-102.980	88.184	-247.00	218.50
1+2+3+4-5	-1.100	-0.947	-12.420	-12.420	-74.819	87.141	-247.00	218.50

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

• 전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2\,F\,t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2\,F_v\,t_w)$$

$$= 23.244\,\text{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\text{MPa} \quad \therefore \text{ O.K}$$

• 합성응력의 검토

- 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2=\left(\frac{-102.980}{-247.000}\right)^2+\left(\frac{23.244}{110.000}\right)^2=0.174+0.045=0.218\ <\ 1.2\quad\therefore\ O.K$$

- 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2=\left(\frac{87.663}{190.000}\right)^2+\left(\frac{23.244}{110.000}\right)^2=0.213+0.045=0.258\ <\ 1.2\quad\therefore\ O.K$$

• 항복에 대한 안전도 검토

- Σf = 1.3 × (합성전 고정하중 응력 + 합성후 고정하중 응력)

+ 2.15 × 활하중에 의한 응력(충격포함) + (크리프응력 변화량)

+ (건조수축응력 변화량) + (온도차응력 변화량) 의 조합 중에서 가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

- 상부바닥판 철근

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv}\times Y_{vru}=-0.904\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(-1.826)-(-0.904)=-0.922\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$$\sum f=1.3\times(-0.904)+2.1\times(-0.922)+(0.497)+(1.365)+(-1.136)$$

$$=-2.385\,MPa<(3/5)f_{ck}=16.20\,MPa\ \therefore\ O.K$$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$$\sum f=1.3\times(-0.904)+2.1\times(-0.922)+(-1.136)$$

$$=-4.247\,MPa<(3/5)f_{ck}=16.20\,MPa\ \therefore\ O.K$$

- 강재주형 상판

합성전 고정하중 응력 = $-55.906\,MPa$

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vsu} = -4.138\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(-64.263)-(-55.906)-(-4.138)= -4.219\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$\sum f = 1.3 \times (-55.906 + -4.138) + 2.1 \times (-4.219) + (-5.526) + (-19.110) + (-14.080)$

$= -125.634\,MPa < (3/5)f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$\sum f = 1.3 \times (-55.906 + -4.138) + 2.1 \times (-4.219) + (-14.080)$

$= -100.997\,MPa < (3/5)f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$

- 강재주형 하판

합성전 고정하중 응력 = $56.650\,MPa$

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vsl} = 14.347\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(85.626)-(56.650)-(14.347)= 14.629\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$\sum f = 1.3 \times (56.650 + 14.347) + 2.1 \times (14.629) + (0.387) + (1.650) + (0.521)$

$= 125.575\,MPa < (3/5)f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$\sum f = 1.3 \times (56.650 + 14.347) + 2.1 \times (14.629) + (0.521)$

$= 123.538\,MPa < (3/5)f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$

㉡ 내측경간 중앙부 정모멘트부 (단면A)

• 휨응력

【표 5.17】내측경간 중앙부 정모멘트부 휨응력 검토결과(부산)

하중조합	CONCRETE				STEEL			
	작용응력(㎫)		허용응력(㎫)		작용응력(㎫)		허용응력(㎫)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.000	0.000	-10.80	-10.80	-18.260	19.851	-148.18	190.00
1+2	-1.301	-0.967	-10.80	-10.80	-23.437	45.319	-148.18	190.00
1+2+3+4	0.777	1.000	1.89	1.89	-37.482	25.210	-170.41	190.00
1+2+3+4+5	2.345	2.523	2.17	2.17	-51.258	7.311	-192.63	218.50
1+2+3+4-5	-0.791	-0.523	-12.42	-12.42	-23.706	43.109	-192.63	218.50

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

• 전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2\,F\,t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2\,F_v\,t_w)$$

$$= 8.058\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

• 합성응력의 검토

- 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-51.258}{-192.630}\right)^2 + \left(\frac{8.058}{110.000}\right)^2 = 0.071 + 0.005 = 0.076 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

- 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{45.319}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{8.058}{110.000}\right)^2 = 0.057 + 0.005 = 0.062 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

• 항복에 대한 안전도 검토

- Σf = 1.3 × (합성전 고정하중 응력 + 합성후 고정하중 응력)

+ 2.15 × 활하중에 의한 응력(충격포함) + (크리프응력 변화량)

+ (건조수축응력 변화량) + (온도차응력 변화량) 의 조합 중에서 가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

- 상부바닥판 철근

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vru} = -0.343\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(-1.301)-(-0.343) = -0.958\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$\sum f = 1.3\times(-0.343)+2.1\times(-0.958)+(0.256)+(1.822)+(-1.568)$

$= -1.947\,MPa < (3/5)f_{ck} = 16.20\,MPa \therefore O.K$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$\sum f = 1.3\times(-0.343)+2.1\times(-0.958)+(-1.568)$

$= -4.026\,MPa < (3/5)f_{ck} = 16.20\,MPa \therefore O.K$

- 강재주형 상판

합성전 고정하중 응력 = $-18.260\,MPa$

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vsu} = -1.366\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(-23.437)-(-18.260)-(-1.366) = -3.812\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$\sum f = 1.3\times(-18.260+-1.366)+2.1\times(-3.812)+(-1.492)+(-12.552)+(-13.776)$

$= -61.339\,MPa < (3/5)f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$\sum f = 1.3\times(-18.260+-1.366)+2.1\times(-3.812)+(-13.776)$

$= -47.295\,MPa < (3/5)f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$

- 강재주형 하판

합성전 고정하중 응력 = $19.851\,MPa$

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vsl} = 6.717\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(45.319) - (19.851) - (6.717) = 18.751\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$$\sum f = 1.3 \times (19.851 + 6.717) + 2.1 \times (18.751) + (-2.058) + (-18.051) + (17.899)$$

$$= 71.705\,MPa < (3/5)f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$$\sum f = 1.3 \times (19.851 + 6.717) + 2.1 \times (18.751) + (17.899)$$

$$= 91.815\,MPa < (3/5)f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$$

㉢ 시점경간 지점부 부모멘트부 (단면D)

• 휨응력

【표 5.18】시점경간 지점부 부모멘트부 휨응력 검토결과(부산)

하중조합	CONCRETE			STEEL			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연		상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.000	0.000	160.00	73.004	-67.675	190.00	-190.00
1+2	46.550	43.142	160.00	109.701	-104.061	190.00	-190.00
1+2+3+4	44.792	41.269	160.00	107.607	-108.658	190.00	-190.00
1+2+3+4+5	61.844	58.037	160.00	99.238	-123.112	218.50	-218.50
1+2+3+4-5	27.741	24.501	160.00	115.976	-94.203	218.50	-218.50

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

• 전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2F t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2F_v t_w)$$

$$= 46.041\,\text{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\text{MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

• 합성응력의 검토

- 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{109.701}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{46.041}{110.000}\right)^2 = 0.333 + 0.715 = 0.509 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

- 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-108.658}{-190.000}\right)^2 + \left(\frac{46.041}{110.000}\right)^2 = 0.327 + 0.175 = 0.502 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

• 항복에 대한 안전도 검토

- Σf = 1.3 × (합성전 고정하중 응력 + 합성후 고정하중 응력)
+ 2.15 × 활하중에 의한 응력(충격포함) + (크리프응력 변화량)
+ (건조수축응력 변화량) + (온도차응력 변화량) 의 조합 중에서 가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

- 상부바닥판 철근

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vru} = 27.376\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(46.550) - (27.376) = 19.174\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$\sum f = 1.3 \times (27.376) + 2.1 \times (19.174) + (3.106) + (-4.863) + (17.052)$

$= 91.148\,MPa < (3/5)f_{ck} = 400.00\,MPa \therefore O.K$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$\sum f = 1.3 \times (27.376) + 2.1 \times (19.174) + (17.052)$

$= 92.905\,MPa < (3/5)f_{ck} = 400.00\,MPa \therefore O.K$

- 강재주형 상판

합성전 고정하중 응력 = $73.004\,MPa$

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vsu} = 21.582\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(109.701) - (73.004) - (21.582) = 15.116\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$\sum f = 1.3 \times (73.004 + 21.582) + 2.1 \times (15.116) + (3.553) + (-5.648) + (8.369)$

$= 160.979\,MPa < f_y = 315.00\,MPa \therefore O.K$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$\sum f = 1.3 \times (73.004 + 21.582) + 2.1 \times (15.116) + (8.369)$

$= 163.073\,MPa < f_y = 315.00\,MPa \therefore O.K$

- 강재주형 하판

합성전 고정하중 응력 = $-67.675\,MPa$

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vsl} = -21.398\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(-104.061) - (-67.675) - (-21.398) = -14.987\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$\sum f = 1.3 \times (-67.675 + -21.398) + 2.1 \times (-14.987) + (6.868) + (-11.464) + (-14.454)$

$= -166.320\,MPa < f_y = 315.00\,MPa \therefore O.K$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$\sum f = 1.3 \times (-67.675 + -21.398) + 2.1 \times (-14.987) + (-14.454)$

$= -161.724\,MPa < f_y = 315.00\,MPa \therefore O.K$

7) 피로검토

① 허용피로응력범위 및 설계응력반복횟수

대상교량의 경우 피로균열은 발견되지 않았으므로 피로에 대한 검토는 설계활하중에 의한 주형의 피로손상예측을 수행하였다. 도로교설계기준의 허용피로응력범위 및 설계응력반복횟수는 아래의 표와 같으며, 본 피로검토에서는 고속도로 교량이므로 트럭하중 2백만과 차로하중 50만을 적용하였다.

【표 5.19】 허용피로 응력범위(부산)

다재하경로구조[1]				
상세 범주	허용응력범위, fsr(MPa)[2]			
	10만회	50만회	200만회	200만회이상
A	442	260	168	168
B	344	203	126	112
B′	274	161	101	84
C	250	147	91	70 84[3]
D	196	112	70	49
E	154	91	56	31
E′	112	64	40	18

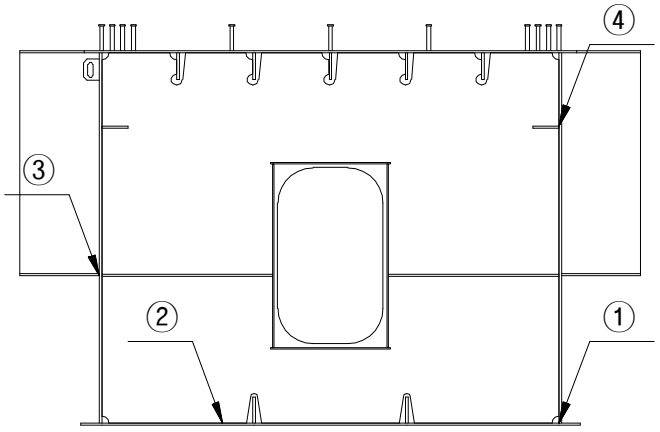
주 : 1) 한 부재의 파괴로 인하여 전체적인 파괴가 일어나지 않도록 한 구조물.
2) 응력범위는 최대응력과 최소응력과의 대수차를 의미한다.
3) 거더 복부판과 플랜지의 수직보강재 용접의 경우.

【표 5.20】 허용피로 응력범위(부산)

구 분	도로종류	트럭하중	차로하중
주부재(종방향)	고속도로, 국도 및 주 간선도로	2백만	50만
	기타도로	10만	10만
횡부재 및 상세부	고속도로, 국도 및 주 간선도로	2백만이상	-
	기타도로	50만	-

② 피로조사위치 및 응력범주의 설정

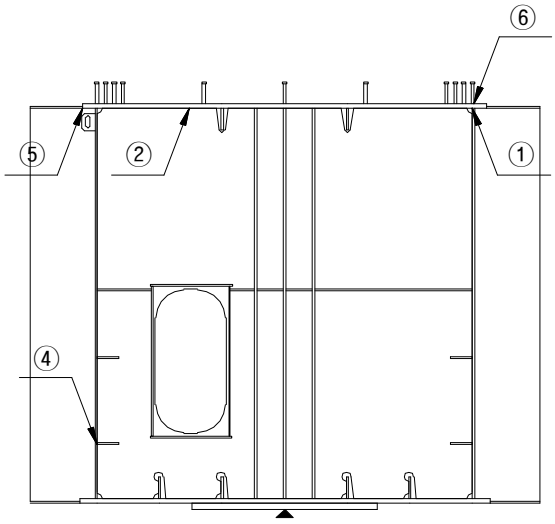
㉠ 정모멘트부



【표 5.21】정모멘트부 검토위치 및 응력범주(부산)

구분	상세	응력범주	fsr(MPa)		비고
			DB하중	DL하중	
①	플랜지와 복부판의 연속 필릿 용접부	B	126	203	
②	인장측 플랜지와 다이어프램의 필릿 용접부	C	91	147	
③	복부판에 부착된 가로보 연결용 거셋판 용접 끝부분	E	56	91	
④	수평보강재 용접 끝부분	E	56	91	

㉡ 부모멘트부



【표 5.22】 부모멘트부 검토위치 및 응력범주(부산)

구분	상세	응력범주	f_{sr}(MPa)		비고
			DB하중	DL하중	
①	플랜지와 복부판의 연속 필릿 용접부	B	126	203	
②	인장측 플랜지와 다이어프램의 필릿 용접부	C	91	147	
③	복부판에 부착된 가로보 연결용 거셋판 용접 끝부분	E	56	91	
④	수평보강재 용접 끝부분	E	56	91	
⑤	인장측 플랜지에 부착된 가로보 거셋판 용접 끝부분	E	56	91	
⑥	스터드에 인접한 인장측 플랜지부	C	91	147	

㉢ 설계피로응력의 검토

- 휨모멘트에 대한 피로검토

$$\triangle f = \frac{\triangle M}{I_v} y$$

여기서, $\triangle f$: 설계피로응력범위 (최대응력과 최소응력의 차)

$\triangle M = M_{\max} - M_{\min}$

I_v : 합성후 단면의 단면2차 모멘트

y : 합성후 단면 도심으로부터의 거리

【표 5.23】 피로검토(부산)

구분		△M (kN·m) DB 하중	△M (kN·m) DL 하중	I_v (m^4)	y (m)	△f (MPa) DB 하중	△f (MPa) DL 하중	응력 범주	f_{sr} (MPa) DB 하중	f_{sr} (MPa) DL 하중	비고
정모멘트부	①	max= 5040.34 min= -2750.54	max= 5369.91 min= -4589.47	0.3808	-1.9499	39.9	51.0	B	126	203	O.K
	②				-1.9499	39.9	51.0	C	91	147	O.K
	③				-1.1543	23.6	30.2	E	56	91	O.K
	④				0.0201	0.40	0.50	E	56	91	O.K
부모멘트부	①	max= 2785.33 min= -3995.70	max= 2523.98 min= -7497.07	0.3700	1.2145	22.26	32.9	B	126	203	O.K
	②				1.2145	22.26	32.9	C	91	147	O.K
	③				-	-	-	E	56	91	O.K
	④				-0.8935	16.38	24.2	E	56	91	O.K
	⑤				1.2325	22.59	33.38	E	56	91	O.K
	⑥				1.2505	22.92	33.87	C	91	147	O.K

8) 강박스거더의 안전성 검토결과

① 휨응력

【표 5.24】 강박스거더의 휨응력 검토결과(부산)

구 분	휨 응 력				안전율		검토결과
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)				
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	
시점경간 중앙 정모멘트부	-102.980	87.663	-247.000	190.000	2.40	2.17	O.K
내측경간 중앙 정모멘트부	-51.258	45.319	-192.630	190.000	3.76	4.19	O.K
시점 지점부 부모멘트부	109.701	-108.658	190.000	-190.000	1.73	1.75	O.K

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

② 전단응력

【표 5.25】 강박스거더의 전단응력 검토결과(부산)

구 분	전 단 응 력		안전율	검토결과
	작용응력(MPa)	허용응력(MPa)		
시점경간 중앙 정모멘트부	23.244	110.000	4.73	O.K
내측경간 중앙 정모멘트부	8.058	110.000	13.65	O.K
시점 지점부 부모멘트부	46.041	110.000	2.39	O.K

허용응력법에 의한 강박스거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생되는 최대응력은 허용응력 이내로 검토되었으며, 강박스거더는 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

③ 합성응력

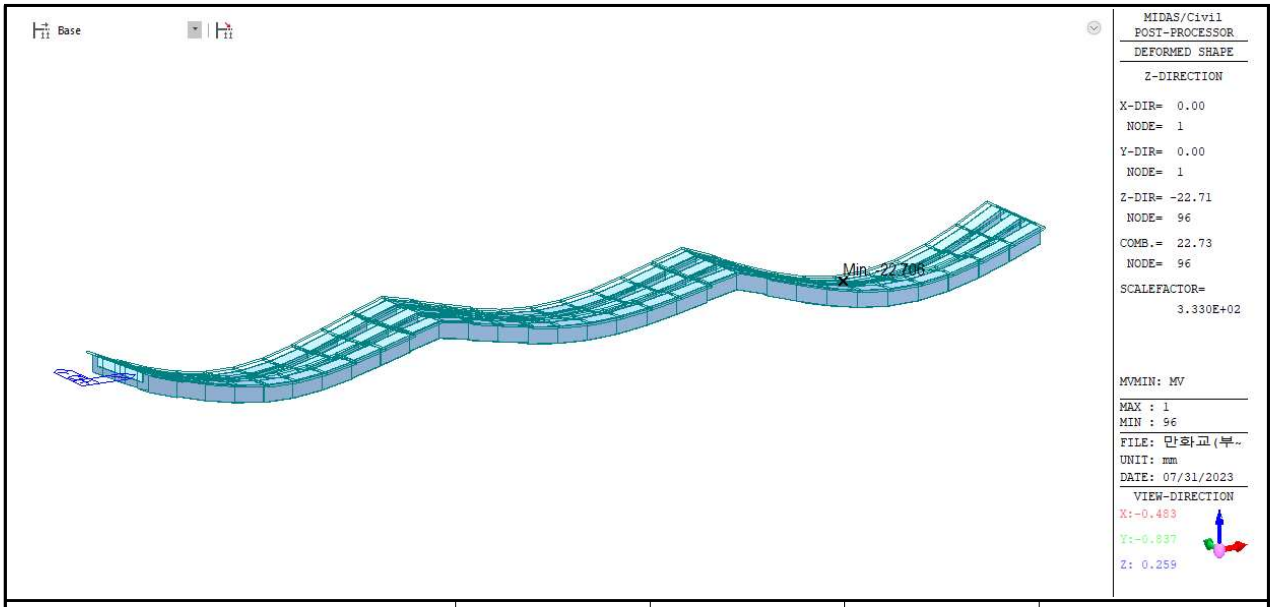
하중조합에 따른 휨응력과 허용응력에 의한 휨응력비와 전단응력비가 최대가 되는 상태에서 합성응력비을 정모멘트 구간과 부모멘트 구간으로 구분하여 합성응력을 검토한 결과, 모든 단면에서는 1.2 이내로 구조적 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

【표 5.26】 강박스거더의 합성응력 검토결과(부산)

구 분		합 성 응 력						합성 응력비	검토 결과
		휨응력(MPa)			전단응력(MPa)				
		휨응력	허용 휨응력	휨 응력비	전단 응력	허용 전단응력	전단 응력비		
시점경간 중앙 정모멘트부	상연	-102.980	-247.000	0.174	23.244	110.000	0.045	0.219	O.K
	하연	87.663	190.000	0.213	23.244	110.000	0.045	0.258	O.K
내측경간 중앙 정모멘트부	상연	-51.258	-192.630	0.071	8.058	110.000	0.005	0.076	O.K
	하연	45.319	190.000	0.057	8.058	110.000	0.005	0.062	O.K
시점 지점부 부모멘트부	상연	109.701	190.000	0.333	46.041	110.000	0.175	0.508	O.K
	하연	-108.658	-190.000	0.327	46.041	110.000	0.175	0.502	O.K
합성응력 산출식		$[\frac{f_b}{f_a}]^2 + [\frac{v_b}{v_a}]^2 \leq 1.2$ (도로교 설계기준 3.8.2.4) f : 하중조합에 의해 발생한 휨응력 f_a : 허용 휨응력 v_b : 휨에 따르는 전단응력 v_a : 허용 전단응력							

8) 처짐 검토

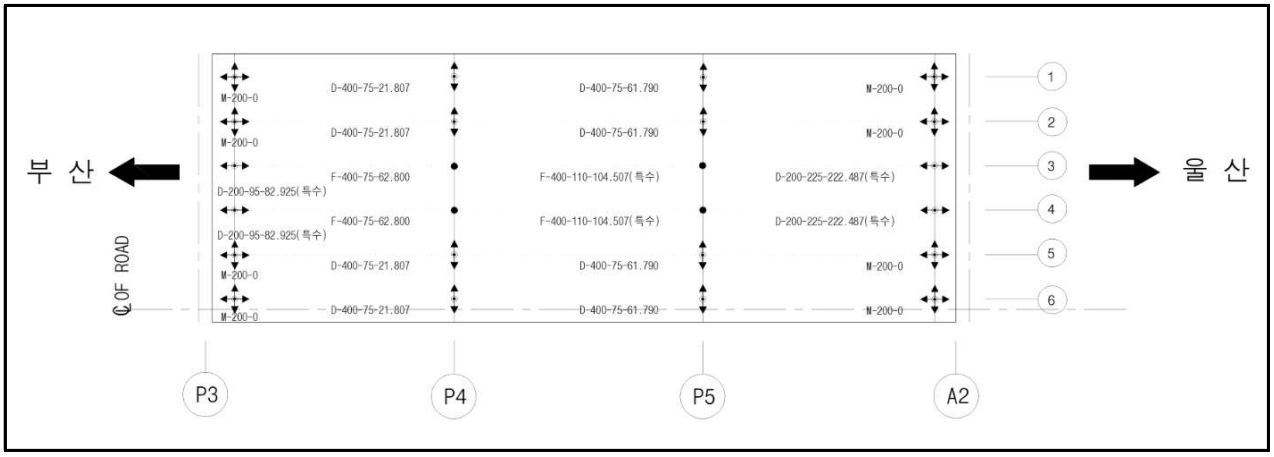
충격하중을 포함한 활하중에 의한 강교 주거더의 처짐검토 결과 다음표의 도로교설계기준에 의한 허용처짐 이내로 검토되었다.



구 분	처짐(mm)	허용처짐(mm)	기준	비고
활하중 (l+i)	22.706	100.0	L/500	O.K.

【그림 5.14】처짐검토 결과(부산)

나. 교량받침용량 검토



【그림 5.15】 받침배치도(부산)

【표 5.27】 교량받침용량 검토(부산)

구 분				합성전 고정하중 (kN)	합성후 고정하중 (kN)	활하중(kN)	합 계(kN)	받침 용량 (kN)	검토 결과
부산 방향	P3	G1	SH1	626.1	268.5	371.8	1,266.4	2,000	O.K
			SH2	643.8	-24.2	479.2	1,098.8	2,000	O.K
		G2	SH3	550.0	264.9	164.2	979.1	2,000	O.K
			SH4	626.1	268.5	371.8	1,266.4	2,000	O.K
		G3	SH5	643.8	-24.2	479.2	1,098.8	2,000	O.K
			SH6	550.0	264.9	164.2	979.1	2,000	O.K
	P4	G1	SH1	1,803.1	741.7	368.1	2,912.9	4,000	O.K
			SH2	2,007.6	2.4	956.2	2,966.2	4,000	O.K
		G2	SH3	1,924.4	747.4	797.2	3,469.0	4,000	O.K
			SH4	1,803.1	741.7	368.1	2,912.9	4,000	O.K
		G3	SH5	2,007.6	2.4	956.2	2,966.2	4,000	O.K
			SH6	1,924.4	747.4	797.2	3,469.0	4,000	O.K

주) 반력 발생방향이 하향을 정(+), 상향을 부(-)로 표기함.

구 분				합성전 고정하중 (kN)	합성후 고정하중 (kN)	활하중(kN)	합 계(kN)	받침 용량 (kN)	검토 결과
부산 방향	P5	G1	SH1	1,620.8	717.4	366.8	2,705.0	4,000	O.K
			SH2	1,809.7	28.2	923.9	2,761.7	4,000	O.K
		G2	SH3	1,737.4	721.9	785.5	3,244.9	4,000	O.K
			SH4	1,620.8	717.4	366.8	2,705.0	4,000	O.K
		G3	SH5	1,809.7	28.2	923.9	2,761.7	4,000	O.K
			SH6	1,737.4	721.9	785.5	3,244.9	4,000	O.K
	A2	G1	SH1	534.5	262.9	164.0	961.4	2,000	O.K
			SH2	628.5	-18.0	479.6	1,090.1	2,000	O.K
		G2	SH3	614.0	272.1	375.2	1,261.3	2,000	O.K
			SH4	534.5	262.9	164.0	961.4	2,000	O.K
		G3	SH5	628.5	-18.0	479.6	1,090.1	2,000	O.K
			SH6	614.0	272.1	164.0	1,050.1	2,000	O.K

주) 반력 발생방향이 하향을 정(+), 상향을 부(-)로 표기함.

다. 바닥판 구조검토

합성형교에서 바닥판으로서 작용할 경우(교축직각방향)에 대하여 도로교설계기준(2010년) 등의 적용기준에 따라 구조검토를 수행하였다.

【표 5.28】콘크리트와 철근의 물성치(부산)

콘크리트 강도	철근의 항복강도	철근량
27.0 MPa	400.0 MPa(SD400)	중 앙 부 : 2,292 ㎟/m (H19@125) 캔틸레버 : 2,292 ㎟/m (H19@125)

1) 지간 중앙부 (경험적 설계조건 검토)

① 지지부재 : 강재주거더 (3개 이상의 강재 주거더와 합성으로 거동하는 경우)
- 3 EA < 3 EA O.K

② 콘크리트가 현장타설되고 습윤양생되어야 함.

③ 주거더 플랜지부의 헌치와 같이 국부적으로 두껍게 한 곳을 제외한

④ 바닥판 두께에 대한 유효지간의 비가 6 이상 15 이하
- 2,860 / 220 = 6 < 13 < 15 O.K

⑤ 바닥판의 상부와 하부에 배근된 철근의 외측면 사이의 두께가 150mm 이상
- 220 - 41 - 21 = 158 > 150 O.K

⑥ 유효지간이 표준차선폭 3.6m 이하
- 2.860 < 3.600 O.K

⑦ 바닥판의 흠집, 마모면, 그리고 보호덮개층을 제외한 바닥판의 최소두께가 240mm
- 220 < 240 N.G

⑧ 캔틸레버부의 길이가 내측바닥판의 두께의 5배이상이거나 캔틸레버부의 길이가 내측바닥판 두께의 3배 이상이고 구조적으로 연속적인 콘크리트 방호책과 합성이 된 경우
- 캔틸레버 길이(방호책 있음) : 1.230 > 0.25 × 3 = 0.66 O.K

⑨ 콘크리트의 28일 압축강도는 27 MPa 이상

⑩ 철근 콘크리트 바닥판은 바닥판을 지지하는 구조부재들과 완전합성거동

⑪ 설계구간에 횡단구성이 일정할 경우

⑫ 철근량 산정

2) 철근배근량

① 경험적 설계법에 의한 설계시 별도의 구조해석 없이 다음과 같이 산정

② 지간방향 : 하부철근량 - 콘크리트 바닥판 단면의 0.4% 이상
상부철근량 - 콘크리트 바닥판 단면의 0.3% 이상

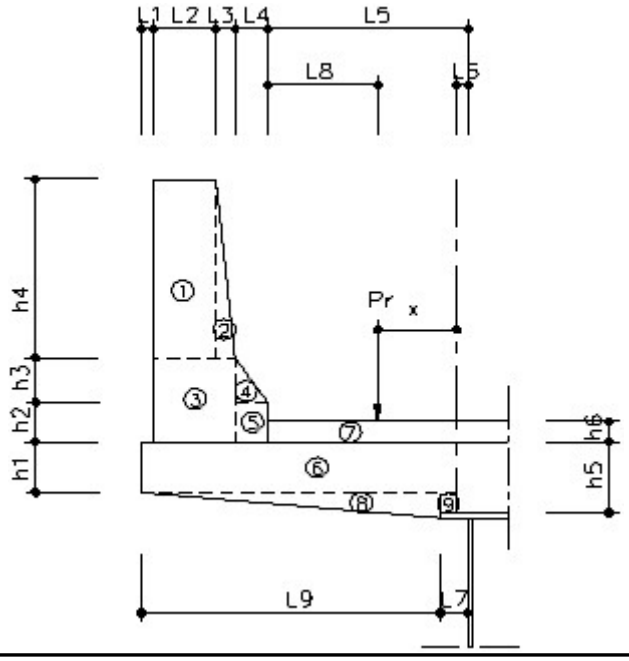
③ 지간방향에 직각방향 : 상부,하부철근량 - 콘크리트 바닥판 단면의 0.3% 이상

1) 우측캔틸레버부 (중분대측)

① 고정하중

NO.	작용하중(kN)		작용거리 (m)	모멘트 (kN·m)	비 고	
①	0.71 × 0.23 ×25	= 4.083	1.145	4.674	H1 = 0.220m	L1 = 0.030m
②	0.71 × 0.07 / 2 × 25	= 0.621	0.983	0.611	H2 = 0.165m	L2 = 0.230m
③	(0.165+0.175) × (0.23+0.07) × 25	= 2.550	1.110	2.831	H3 = 0.175m	L3 = 0.070m
④	0.175 / 2 × 0.12 × 25	= 0.263	0.880	0.231	H4 = 0.710m	L4 = 0.120m
⑤	0.165 × 0.12 × 25	= 0.465	0.900	0.419	H5 = 0.280m	L5 = 0.900m
⑥	(1.23 - 0.12 / 2) × 0.22 × 25	= 6.435	0.585	3.764	H6 = 0.050m	L6 = 0.060m
⑦	0.05 × 0.9 ×23.5	= 1.058	0.390	0.412		L7 = 0.120m
⑧	(0.28-0.22)/2×1.23×25	= 0.923	0.410	0.378		L8 = 0.300m
⑨	(0.28-0.22)×0.12/2×25	= 0.090	0.030	0.003		L9 = 1.230m
방호울타리		1.000	1.145	1.145		
계				14.468		

콘크리트 단위중량 = 25.0kN/㎥
콘크리트포장 단위중량 = 23.5kN/㎥
트럭의 후륜하중(P_r) = 96.0kN
곡선반경(R) = 1,600m
설계속도 = 100km/hr



② 활하중(DB-24 : $P_r = 96\,kN$)

• 윤하중 분포폭

E = 0.8X + 1.14 = 0.8 × 0.540 + 1.14 = 1.572 m

여기서, X = 0.540 m

• 충격계수

$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.540} = 0.370 > 0.300$ $\therefore$ i = 0.300 적용

• 활하중

$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.540 \times (1+0.300)}{1.572}$ = 42.870kN·m/m

③ 차량 충돌하중(도로안전시설설치 및 관리지침 p75)

$P_o = (V/60)^2 \times 7.5 + 2.5 = 23.333$ kN/m

$P_o = 10.000 kN/m$

$\therefore P_o = 23.333 kN/m$

$M_{co1} = 23.333 \times (1.000 + 0.050 + 0.220/2) = 27.067$ kN/m

단, 곡률 반지름 R≤200일 때, P_o값의 2배를 충돌하중으로 적용

④ 풍하중

P_w = 3.000 kN/㎡ × 1.450 m = 4.350 kN/m

M_w = 4.350 × 0.835m = 3.632kN·m/m

⑤ 원심하중

• 교면상 1.0m 높이에 작용하는 것으로 한다.

V = 100km/hr, R = 1,600

CF = 0.79 × V^2 / R = 0.79 × 100^2 / 1,600 = 4.938 %

$P_{cf} = (P_r/E) \times CF/100$ = 3.016 kN · m

$M_{cf} = P_{cf} \times 1.0$ = 3.016 kN · m

⑥ 하중조합

- $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 114.900\,kN\cdot m/m$
- $M_{u2} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 1.3\,M_{co} = 113.647\,kN\cdot m/m$
- $M_{u3} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 0.65\,M_w = 80.821\,kN\cdot m/m$
- $M_{u4} = 1.2\,M_d + 1.2\,M_w + 1.2\,M_{co} = 54.200\,kN\cdot m/m$
- $M_{u5} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_w = 23.530\,kN\cdot m/m$

⑦ 바닥판의 최소두께(X=0.40 > 0.25인 경우)

$h_{min} = (80 \cdot X + 230) = (80 \times 0.540 + 230) = 273\,mm$

$h_{use} = 280mm > h_{req} = 273\,mm \quad \therefore O.K$

⑧ 단면검토

• 검토조건

설계기준강도(f_{ck}) = 27MPa , 인장철근 항복강도(f_y) = 400MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 280mm

철근 피복두께(d_c) = 60mm , 유효깊이(d) = 220mm

사용철근량(A_s) = H19@250 + H19@250 = 2,292.0 ㎟

• 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{2,292.0 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 39.948\ mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\} = 155.876$$

• 휨모멘트 검토

ΦMn = 155.876 kN·m > Mu = 114.900 kN·m ∴ O.K

⑨ 사용성(균열) 검토

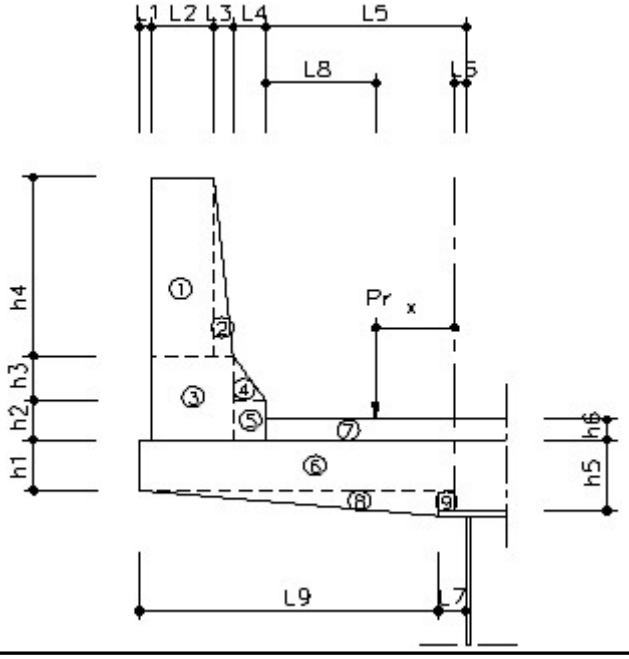
- 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8.0$
- 철근비(ρ) = $A_s / b\,d = 0.010418$
- 중립축(k) = $-n\rho + \sqrt{2n\rho + (n\rho)^2} = 0.333$
- 중립축 거리(j) = $1 \times k/3 = 0.889$
- x = $k \times D = 73.338\,mm$
- 철근응력(f_s) = $M/(A_s \times (d - \chi/3) = 137.088\,\mathrm{MPa}$
- $f_s = 137.088\,MPa \leq 0.6 f_y = 240.000\,MPa$ ∴ O.K
- 철근 소요중심간격(s_a) = $\mathrm{Min}[375(210)/f_{st}) - 2.5C_c, 300(210/f_{st})] = 448.200\,\mathrm{mm}$
- 철근 평균간격 $s = 125.000\,\mathrm{mm} \leq s_a = 448.200\,\mathrm{mm}$이므로, ∴ O.K

2) 좌측캔틸레버부(방호벽측)

① 고정하중

NO.	작용하중(kN)		작용거리 (m)	모멘트 (kN·m)	비 고	
①	0.71 × 0.23 ×25	= 4.083	1.145	4.674	H1 = 0.220m	L1 = 0.030m
②	0.71 × 0.07/2 x 25	= 0.621	0.983	0.611	H2 = 0.165m	L2 = 0.230m
③	(0.165+0.175) × (0.23+0.07) × 25	= 2.550	1.110	2.831	H3 = 0.175m	L3 = 0.070m
④	0.175/2×0.12×25	= 0.263	0.880	0.231	H4 = 0.710m	L4 = 0.120m
⑤	0.165×0.12×25	= 0.465	0.900	0.419	H5 = 0.414m	L5 = 0.900m
⑥	(1.23-0.12/2)×0.22×25	= 6.435	0.585	3.764	H6 = 0.050m	L6 = 0.060m
⑦	0.05 × 0.9 ×23.5	= 1.058	0.390	0.412		L7 = 0.120m
⑧	(0.414-0.22)/2×1.23×25	= 2.983	0.410	1.223		L8 = 0.300m
⑨	(0.414-0.22)×0.12/2×25	= 0.291	0.030	0.009		L9 = 1.230m
방호울타리		= 1.000	1.145	1.145		
계				15.319		

콘크리트 단위중량 = 25.0 kN/㎥
콘크리트포장 단위중량 = 23.5 kN/㎥
트럭의 후륜하중(P_r) = 96.0 kN
곡선반경(R) = 1,600 m
설계속도 = 100 km/hr



② 활하중(DB-24 : P_r = 96 kN)

• 윤하중 분포폭

E = 0.8X + 1.14 = 0.8 × 0.540 + 1.14 = 1.572 m

여기서, X = 0.540m

• 충격계수

$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.540}$ = 0.370 > 0.300 ∴ i = 0.300 적용

• 활하중

$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.540 \times (1+0.300)}{1.572}$ = 42.870 kN·m/m

③ 차량 충돌하중(도로안전시설설치 및 관리지침 p75)

$P_o = (V/60)^2 \times 7.5 + 2.5 = 23.333$ kN/m

$P_o = 10.000 kN/m$

$\therefore P_o = 23.333 kN/m$

$M_{co1} = 23.333 \times (1.000 + 0.050 + 0.220/2) = 27.067$ kN/m

단, 곡률 반지름 R≤200일 때, P_o값의 2배를 충돌하중으로 적용

④ 풍하중

P_w = 3.000kN/㎡ × 1.450 m = 4.350 kN/m

M_w = 4.350× 0.835 m = 3.632 kN·m/m

⑤ 원심하중

• 교면상 1.0m 높이에 작용하는 것으로 한다.

V = 100km/hr, R = 1,600

CF = 0.79 × V^2 / R = 0.79 × 100^2 / 1,600 = 4.938 %

$P_{cf} = (P_r/E) \times CF/100$ = 3.016 kN · m

$M_{cf} = P_{cf} \times 1.000$ = 3.016 kN·m

⑥ 하중조합

- $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 116.006\,kN\cdot m/m$
- $M_{u2} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 1.3\,M_{co} = 114.754\,kN\cdot m/m$
- $M_{u3} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 0.65\,M_w = 81.927\,kN\cdot m/m$
- $M_{u4} = 1.2\,M_d + 1.2\,M_w + 1.2\,M_{co} = 55.222\,kN\cdot m/m$
- $M_{u5} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_w = 24.636\,kN\cdot m/m$

⑦ 바닥판의 최소두께(X=0.40 > 0.25인 경우)

$h_{min} = (280 \cdot X + 230) = (280 \times 0.540 + 230) = 273\,mm$

$h_{use} = 414\,mm > h_{req} = 273\,mm \quad \therefore O.K$

⑧ 단면검토

• 검토조건

설계기준강도(f_{ck}) = 27MPa , 인장철근 항복강도(f_y) = 400MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 414mm

철근 피복두께(d_c) = 60mm , 유효깊이(d) = 354mm

사용철근량(A_s) = H19@250 + H19@250 = 2,292.0 ㎟

• 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{2{,}292.0 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 39.948\ mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\} = 260.300\ kN\cdot m$$

• 휨모멘트 검토

ΦMn = 260.300 kN·m > Mu = 116.006 kN·m ∴ O.K

⑨ 사용성(균열) 검토

- 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8.0$
- 철근비(ρ) = $A_s / b\,d = 0.006475$
- 중립축(k) = $-n\rho + \sqrt{2n\rho + (n\rho)^2} = 0.274$
- 중립축 거리(j) = $1 \times k/3 = 0.909$
- x = $k \times D = 97.068mm$
- 철근응력(f_s) = $M/(A_s \times (d - \chi/3) = 84.501\,MPa$
- $f_s = 84.501\,MPa \leq 0.6 f_y = 240.000\,MPa$ ∴ O.K
- 철근 소요중심간격(s_a) = $Min[375(210)/f_{st}) - 2.5C_c, 300(210/f_{st})] = 745.55\,mm$
- 철근 평균간격 $s = 125.000\,mm \leq s_a = 745.55\,mm$이므로, ∴ O.K

3) 중앙부

① 고정하중

철근콘크리트 : $0.220m \times 25.0kN/m^3 = 5.500kN/m^2$

아스팔트포장 : $0.050m \times 23.5kN/m^3 = 1.175kN/m^2$

$\Sigma w_d = 6.675kN/m^2$

$$M_d = \frac{\Sigma w_d L^2}{10} = \frac{6.675 \times 3.000^2}{10} = 6.008\ kN{\cdot}m/m$$

여기서, 계산지간(L) = 3.000m

② 활하중(DB-24 : $P_r = 96\,kN$)

- 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 3.000} = 0.349 > 0.300$$ ∴ i = 0.300 적용

- 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{(L+0.6)P_r}{9.6}(1+i) = \frac{(3.000+0.6) \times 96}{9.6} \times (1 + 0.300) = 46.800\ kN{\cdot}m/m$$

연속 바닥판이므로, $M_{\ell+i} = 0.8 \times 46.800 = 37.440\ kN{\cdot}m/m$

③ 원심하중

V = 100km/hr, R = 1,600

CF = 0.79 × V^2 / R = 0.79 × 100^2 / 1,600 = 4.938 %

P_{cf} = $(P_r/E) \times CF/100$ = 2.370 kN · m

M_{cf} = P_{cf} × 1.00 = 2.370 kN·m

④ 하중조합

㉠ 계수모멘트

■ $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 91.387\,kN\cdot m/m$

⑤ 바닥판의 최소두께

$h_{min} = (30 \cdot L + 130) = (30 \times 3.000 + 130) = 220\,mm < 250.0\,mm \quad \therefore h_{req} = 220.0\,mm$

$h_{use} = 220.0\,mm \geq h_{req} = 220.0\,mm \quad \therefore$ O.K

⑥ 단면검토

• 검토조건

설계기준강도(f_{ck}) = 27MPa , 인장철근 항복강도(f_y) = 400MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 220mm

철근 피복두께(d_c) = 60mm , 유효깊이(d) = 160mm

사용철근량(A_s) = H19@250 + H19@250 = 2,292.0㎟

• 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{2{,}292.0 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 39.948\ mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\} = 109.120\ kN\cdot m$$

• 휨모멘트 검토

ΦMn = 109.120 kN·m > Mu = 91.387 kN·m ∴ O.K

⑦ 사용성(균열) 검토

- 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8.0$
- 철근비(ρ) = $A_s / b\,d = 0.014325$
- 중립축(k) = $-n\rho + \sqrt{2n\rho + (n\rho)^2} = 0.378$
- 중립축 거리(j) = $1 \times k/3 = 0.874$
- x = $k \times D = 60.428\,mm$
- 철근응력(f_s) = $M/(A_s \times (d - \chi/3) = 142.934\,MPa$
- $f_s = 142.934\,MPa \leq 0.6 f_y = 240.000\,MPa$ ∴ O.K
- 철근 소요중심간격(s_a) = $Min[375(210)/f_{st}) - 2.5C_c, 300(210/f_{st})] = 424.700\,mm$
- 철근 평균간격 $s = 125.000\,mm \leq s_a = 424.700\,mm$이므로, ∴ O.K

4) 바닥판의 구조검토 결과

강도설계법에 의한 바닥판의 단면검토 결과, 휨강도에 대한 계수모멘트의 최소 안전율이 1.194으로 산정되어 바닥판은 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

【표 5.29】바닥판의 단면검토 결과(부산)

구 분	M_u (kN·m)	ΦM_n (kN·m)	안전율 (ΦMn/Mu)	검토 결과
캔틸레버부(우측-중분대측)	114.900	155.876	1.357	O.K
캔틸레버부(좌측-방호벽측)	116.006	260.300	2.244	O.K
중앙부	91.387	109.120	1.194	O.K

5.2.2 만화교(울산)(Steel Box Girder)

만화교(울산)는 준공 이후 교량현황의 변화가 없고 준공도서가 잘 보존되어 있는 것으로 확인되었으며, 이를 활용해서 안전성검토를 실시하였다.

1) 교량 제원

① 교량형식 : 강합성 상자형교

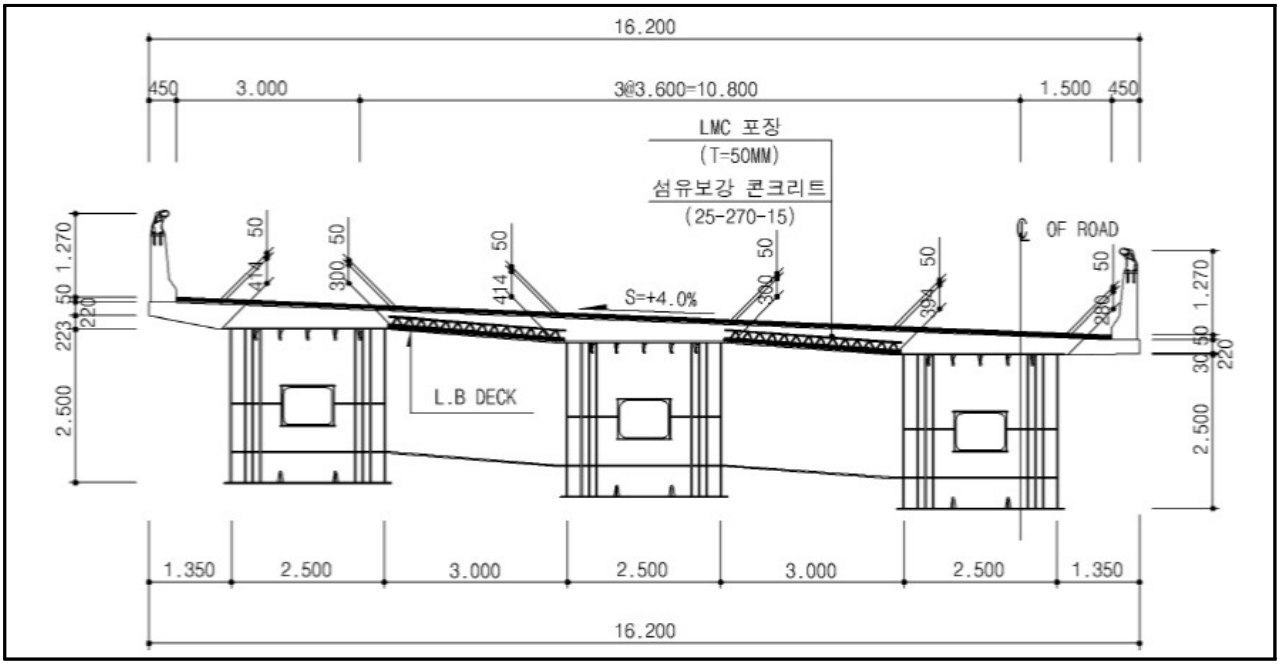
② 교량연장 : L = 150.000m

③ 교량폭원 : 16.200m

④ 사　　각 : 90.0°

⑤ 거더제원 : B = 2.500m ,　H = 2.500m

⑥ 교량등급 : 1등급(DB-24 및 DL-24 적용)



【그림 5.16】 횡단면도(울산)

2) 사용재료

① 콘크리트

- 설계기준강도 : f_{ck} = 27MPa
- 탄 성 계 수 : E_c= 26,681MPa

② 철근(SD400)

- 항복강도 : f_y = 400MPa
- 탄성계수 : E_s = 200,000MPa

③ 강재

㉠ 주부재 : SM490

㉡ 부부재 : SM400

㉢ 탄성계수 : E_{st} = 2.05E+05MPa

㉣ 전단탄성계수 : G_{st} = 78,846MPa

㉤ 허용축방향인장응력 및 허용휨인장응력(MPa)

강 종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40이하	140	190	215	270
40초과 75이하	130	175	200	260
75초과 100이하			195	250

ⓗ 허용축방향압축응력(MPa)

강종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM 570 SMA 570
40이하	$140 : l/r \le 18.6$ $140-0.82(l/r-18.6) :$ $18.6 < l/r \le 92.8$ $\frac{1,200,000}{6,700+(l/r)^2} :$ $92.8 < l/r$	$190 : l/r \le 16.0$ $190-1.29(l/r-16.0):$ $16.0 < l/r \le 80.1$ $\frac{1,200,000}{5,000+(l/r)^2} :$ $80.1 < l/r$	$215 : l/r \le 15.1$ $215-1.55(l/r-15.1):$ $15.1 < l/r \le 75.5$ $\frac{1,200,000}{4,400+(l/r)^2} :$ $75.5 < l/r$	$270 : l/r \le 13.4$ $270-2.19(l/r-13.4):$ $13.4 < l/r \le 67.1$ $\frac{1,200,000}{3,500+(l/r)^2} :$ $67.1 < l/r$
40초과 75이하	$130 : l/r \le 19.4$ $130-0.73(l/r-19.4) :$ $19.4 < l/r \le 97.0$ $\frac{1,200,000}{7,300+(l/r)^2} :$ $97.0 < l/r$	$175 : l/r \le 16.6$ $175-1.15(l/r-16.6) :$ $16.6 < l/r \le 82.8$ $\frac{1,200,000}{5,300+(l/r)^2} :$ $82.8 < l/r$	$200 : l/r \le 15.5$ $200-1.40(l/r-15.5):$ $15.5 < l/r \le 77.7$ $\frac{1,200,000}{4,700+(l/r)^2} :$ $77.7 < l/r$	$260 : l/r \le 13.7$ $260-2.07(l/r-13.7) :$ $13.7 < l/r \le 68.6$ $\frac{1,200,000}{3,600+(l/r)^2} :$ $68.6 < l/r$
75초과 100이하			$195 : l/r \le 15.8$ $195-1.35(l/r-15.8):$ $15.8 < l/r \le 78.9$ $\frac{1,200,000}{4,800+(l/r)^2} :$ $78.9 < l/r$	$250 : l/r \le 13.9$ $250-1.96(l/r-13.9) :$ $13.9 < l/r \le 69.4$ $\frac{1,200,000}{3,700+(l/r)^2} :$ $69.4 < l/r$

여기서, l : 부재의 유효좌굴길이(mm)

r : 부재 총단면의 단면회전반경(mm)

㉤ 허용휨압축응력(MPa)

ⓐ 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 직접 고정되어 있는 경우, 상자형 단면, π형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우

강종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40이하	140	190	215	270
40초과 75이하	130	175	200	260
75초과 100이하			195	250

ⓑ ⓐ에 규정한 이외의 경우

강종 / 판두께(mm)		SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
$\frac{A_w}{A_c} \le 2$	40이하	140 : l/b ≤ 4.6 140-2.49(l/b-4.6) : 4.6 < l/b ≤ 30	190 : l/b ≤ 4.0 190-3.91(l/b-4.0) : 4.0 < l/b ≤ 30	215 : l/b ≤ 3.8 215-4.69(l/b-3.8): 3.8 < l/b ≤ 27	270 : l/b ≤ 3.4 270-6.64(l/b-3.4): 3.4 < l/b ≤ 25
	40초과 75이하	130 : l/b ≤ 4.9	175 : l/b ≤ 4.1	200 : l/b ≤ 3.9 200-4.24(l/b-3.9): 3.9 < l/b ≤ 27	260 : l/b ≤ 3.4 260-6.25(l/b-3.4): 3.4 < l/b ≤ 25
	75초과 100이하	130-2.21(l/b-4.9): 4.9 < l/b ≤ 30	175-3.48(l/b-4.1): 4.1 < l/b ≤ 30	195 : l/b ≤ 3.9 195-4.07(l/b-3.9): 3.9 < l/b ≤ 27	250 : l/b ≤ 3.5 250-5.94(l/b-3.5): 3.5 < l/b ≤ 25
$\frac{A_w}{A_c} > 2$	40이하	140 : l/b ≤ 9.3/K 140-1.24(K l/b-9.3): 9.3/K < l/b ≤ 30	190 : l/b ≤ 8.0/K 190-1.95(K l/b-8.0): 8.0/K < l/b ≤ 30	215 : l/b ≤ 7.5/K 215-2.35(K l/b-7.5): 7.5/K< l/b ≤ 27	270 : l/b ≤ 6.7/K 270-3.32(K l/b-6.7): 6.7/K < l/b ≤ 25
	40초과 75이하	130 : l/b ≤ 9.7/K	175 : l/b ≤ 8.3/K	200 : l/b ≤ 7.8/K 200-2.12(K l/b-7.8): 7.8/K< l/b ≤ 27	260 : l/b ≤ 6.9/K 260-3.12(K l/b-6.9): 6.9/K< l/b ≤ 25
	75초과 100이하	130-1.10(K l/b-9.7): 9.7/K < l/b ≤ 30	175-1.74(K l/b-8.3): 8.3/K < l/b ≤ 30	195 : l/b ≤ 7.9/K 195-2.04(K l/b-7.9): 7.9/K< l/b ≤ 27	250 : l/b ≤ 6.9/K 250-2.97(K l/b-6.9): 6.9/K< l/b ≤ 25
비 고		A_w : 복부판의 총 단면적(㎟) A_c : 압축플랜지의 총 단면적(㎟) l : 압축플랜지의 고정점간의 거리(㎜) b : 압축플랜지의 폭(㎜)		$K : \sqrt{3+\frac{A_w}{2A_c}}$	

ⓞ 허용전단응력(MPa)

강종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40이하	80	110	125	155
40초과 75이하	75	100	115	150
75초과 100이하			115	145

㉶ 항복응력(MPa)

강종 / 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM570 SMA570
40이하	235	315	355	450
40초과 75이하	215	295	335	430
75초과 100이하			325	420

㉷ 강재 주거더의 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+바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15
4	가설시 하중	압축연	25	25
		인장연	25	25

3) 설계방법

① 바닥판 : 강도설계법

② 강박스거더 : 허용응력설계법

4) 적용하중

① 고정하중

고정하중은 합성전 고정하중과 합성후 고정하중으로 구분하여 모델링하였다. 합성전 고정하중은 강재 및 바닥판 자중을 고려하였으며 합성후 고정하중은 방호벽 및 중앙분리대, 포장 등을 고려하여 계산하였다.

② 활하중

본 교량은 1등급 교량으로서 DB-24 및 DL-24 하중을 적용한다.

③ 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차(ΔT) : $\pm 10^\circ$ C
- 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수(α) : 12×10^{-6}

④ 바닥판 콘크리트의 크리프

- 크리프 계수(ϕ_1) : 2
- 크리프 계산을 위한 탄성계수비 : $n_1 = n\ (1 + \phi_1 / 2) = 8 \times (1 + 2/2) = 16$

⑤ 바닥판 콘크리트의 건조수축

- 최종수축율(ε_s) : 18×10^{-5}
- 건조수축 계산을 위한 크리프 계수(ϕ_2) : $\phi_2 = 2\ \phi_1 = 2 \times 2 = 4$
- 건조수축 계산을 위한 탄성계수비 : $n_2 = n\ (1 + \phi_2 / 2) = 8 \times (1 + 4/2) = 24$

⑥ 하중조합

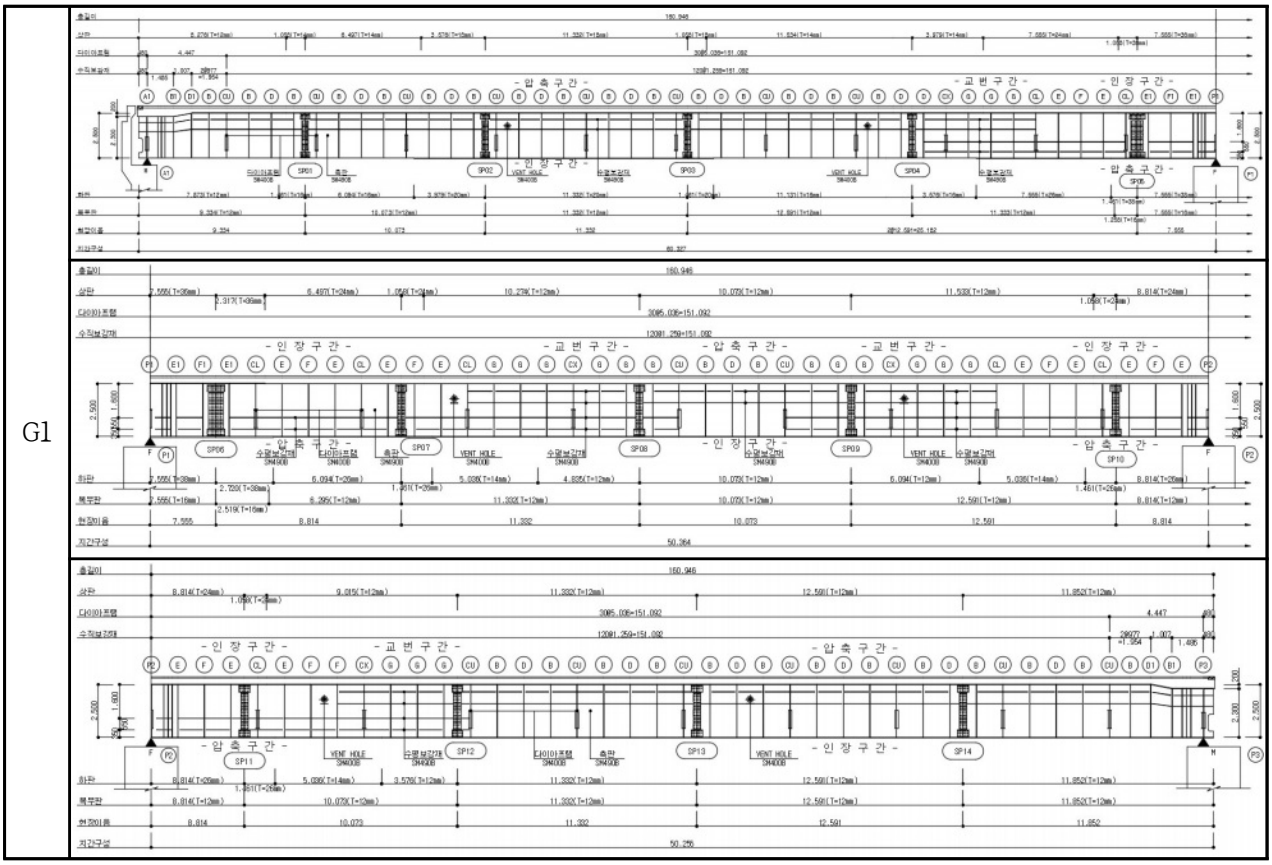
- LCB1 : 합성전 고정하중
- LCB2 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중
- LCB3 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프
- LCB4 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축
- LCB5 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축+온도차
- LCB6 : 합성전 고정하중+합성후 고정하중+활하중+크리프+건조수축-온도차

5) 참고문헌

① 도로교 설계기준(2010)
② 콘크리트 구조설계기준(2012)
③ 도로설계편람(2008)
④ 도로설계요령(2009)
⑤ 강도로교 상세부 설계지침(2006)

가. Steel Box Girder 구조검토

1) 거더 단면구성



【그림 5.17】단면배치도(울산)

만화교(울산)의 단면은 【그림 5.17】과 같이 배치되어 있으며 각 단면배치에 대해 표로 정리하면 다음과 같다.

【표 5.30】단면배치(울산)

구 분	상부플랜지(mm)		하플랜지(mm)		복부판		비고
	두께	리브	두께	리브	높이	두께	
단면A	12	5	12	2	2500	12	
단면B	14	5	16	2	2500	12	
단면C	18	5	20	2	2500	12	
단면D	24	2	26	5	2500	12	
단면E	36	2	38	5	2500	16	

2) 하중 산정

① 합성전 고정하중

• 주거더를 가설한 후에 바닥판을 주거더 위에 타설하며 바닥판은 강성을 발휘하지 않는다.

• 강재 자중 : 프로그램 내에서 자동 고려

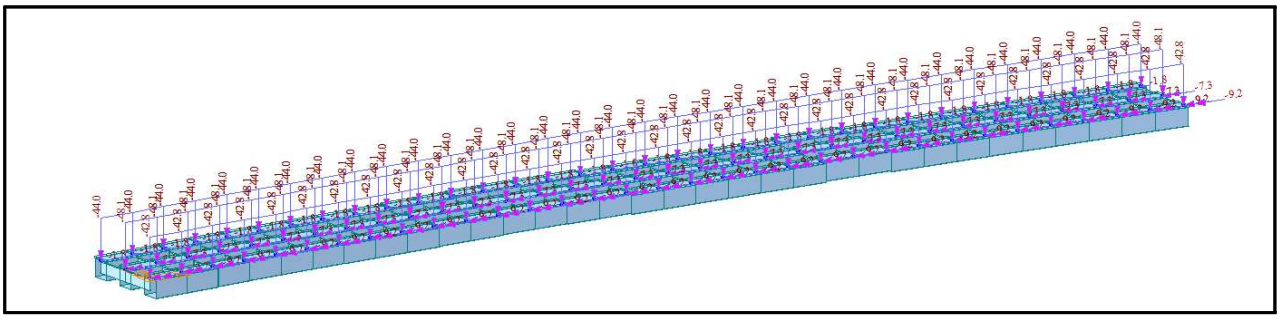
- 각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재 자중을 44.93% 할증 적용

- 총 강재중량 / 모델링 강재중량 = 9,370.780kN / 6,465.724kN = 1.4493

• 슬래브

바닥판 하중은 주거더를 가설한 후 바닥판이 타설되는 단계이므로 바닥판은 강성을 발휘하지 않으며, 안전성평가 시 바닥판 하중에 대해 강재 거더의 강성만으로 응력을 산정하게 된다.

$$w_{slab} = 0.220 \times 25.0 = 5.500 kN/\mathrm{m}^2$$



【그림 5.18】 합성전 고정하중(바닥판 하중) 재하도(울산)

【표 5.31】 합성전 고정하중(바닥판 하중)에 의해 주거더에 작용하는 하중(울산)

구 분	위 치		
	G_1(kN)	G_2(kN)	G_3(kN)
바닥판 자중	44.044	48.138	42.782

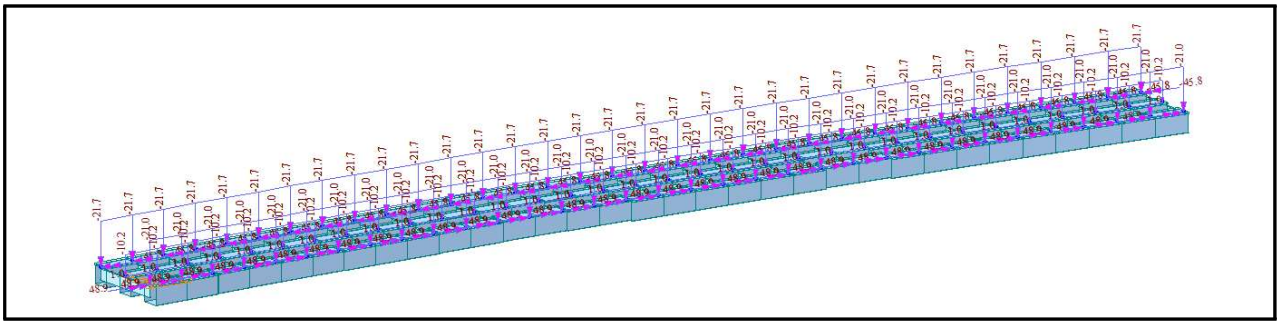
② 합성후 고정하중

• 바닥판 가설이 완료된 후 포장과 방호울타리를 설치하며 이는 주거더에 합성후 고정하중으로 작용한다.

• 좌측연석 : 0.699 × 25.00 = 17.487 kN/m

• 포 장 : 0.050 × 23.50 = 1.175 kN/m^2

• 우측연석 : 0.699 × 25.00 = 17.487 kN/m



【그림 5.19】 합성 후 고정하중 재하도(울산)

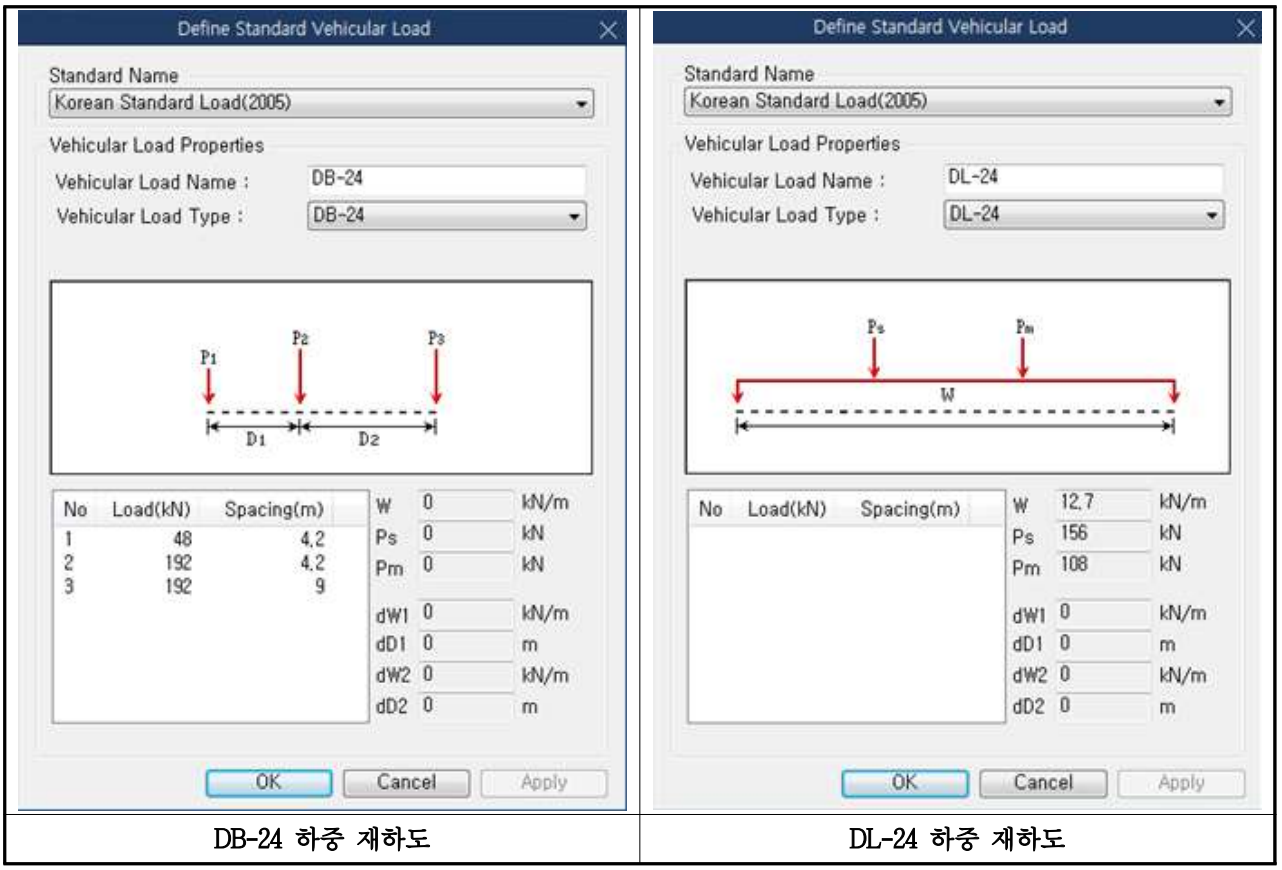
【표 5.32】 합성후 고정하중에 의해 주거더에 작용하는 하중(울산)

구 분	위 치		
	G_1	G_2	G_3
P (kN/m)	21.741	10.208	21.003
M (kN.m/m)	45.809	0.990	48.876

③ 활하중

【표 5.33】 활하중(울산)

구 분	활하중			
• 교 폭	• 16.200m			
• 지간장(L)	• 160.000m			
• 연석간 교폭(W_c)	• 15.300m			
• 설계 차로수(N)	• 9.1m ≤ W_c < 12.8 m ∴ 3차로 재하			
• 설계 차로폭(W)	• 15.300m / 4 = 3.825m > 3.600m, 곡선교이므로 3.000 적용 ∴ W = 3.000m			
• 충격계수(i)	• 외측지간 15 / (40+60.00) = 0.150 < 0.3 ∴ i = 0.169 적용			
	• 중앙지점 15 / (40+55.00) = 0.158 < 0.3 ∴ i = 0.169 적용			
	• 내측지간 15 / (40+50.00) = 0.167 < 0.3 ∴ i = 0.169 적용			
	• 중앙지점 15 / (40+50.00) = 0.167 < 0.3 ∴ i = 0.169 적용			
	• 외측지간 15 / (40+50.00) = 0.167 < 0.3 ∴ i = 0.169 적용			
• 활하중 크기	표준차로하중(DL-24)		표준트럭하중(DB-24)	
	P_m	108kN	P_f	24 kN
	P_s	156kN	P_r	96 kN
	W_ℓ	12.7kN/m		
• 재하방법	• 해석프로그램의 이동하중해석 기능을 사용 • DB-24, DL-24 재하 • DB-24 또는 DL-24하중에 대하여 독립적으로 1~3개 차로에 경간별로 가장 불리한 부재력이 산출되도록 재하 • 최대 부재력이 3차로 이상의 활하중 동시 재하로 발생하는 경우에는 백분율로 감소 - 3차로 동시 재하 : 90% - 4차로 이상 동시 재하 : 75% • 각 CASE별 하중재하도 및 각 거더별 작용하중은 부록 참조.			



DB-24 하중 재하도 | DL-24 하중 재하도

【그림 5.20】 활하중 재하(울산)

③ 기타하중

- 합성 후 단면에 대하여 각 지점 위치별 10 mm의 부등침하를 조합하여 적용한다.
- 온도하중은 바닥판 콘크리트와 강재 거더와의 온도차(10℃)를 적용한다.

④ 하중조합 (도로교 설계기준 2.2.2.2)

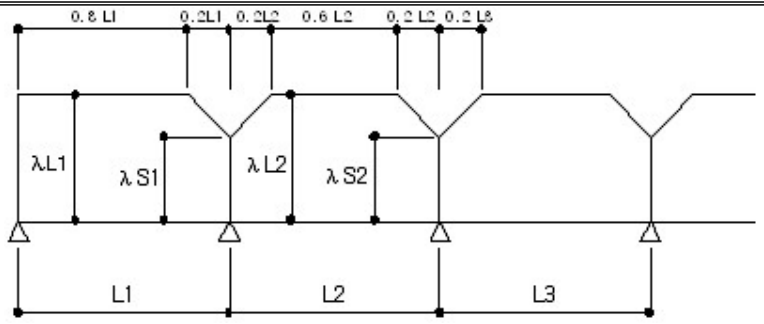
- 하중조합 1 : 합성전·후 고정하중+활하중(증가계수 : 1.00)
- 하중조합 2 : 합성전·후 고정하중+활하중+지점침하(증가계수 : 1.00)
- 하중조합 3 : 합성전·후 고정하중+활하중+지점침하+크리프+건조수축(증가계수 : 1.00)
- 하중조합 4 : 합성전·후 고정하중+활하중+지점침하+크리프+건조수축±온도차(증가계수 : 1.15)

3) 플랜지 및 바닥판의 유효폭 계산

전단지연(Shear Lag) 현상의 영향으로 인한 플랜지 및 바닥판의 유효폭은 다음과 같으며, 단면응력 검토 시 적용하였다.(상세한 계산과정은 부록 참조)

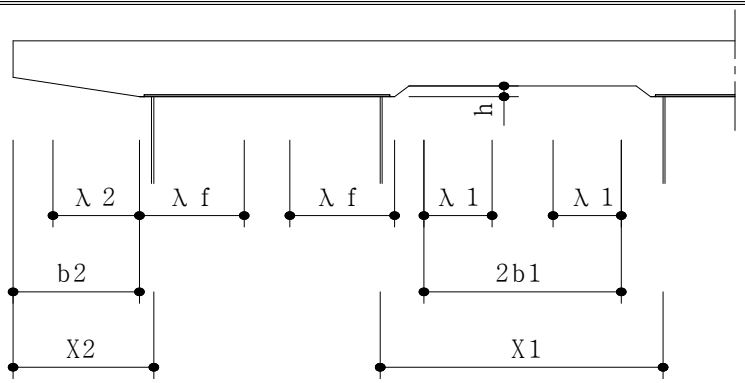
① 플랜지 유효폭

【표 5.34】 플랜지의 유효폭 산정(울산)

구 분	플랜지(m)		비 고
	상부	하부	
시점경간 중앙부 (단면C)	2.740	2.740	
시점 지점부 (단면E)	2.470	2.470	
내측경간 중앙부 (단면A)	2.740	2.740	
종점 지점부 (단면D)	2.430	2.430	상부 : 복부간격 b/2 = 1.250m , 플랜지돌출폭 be = 0.120m 하부 : 복부간격 b/2 = 1.250m , 플랜지돌출폭 be = 0.120m L1 = 60.000m, L2 = 50.000m, L3 = 50.000m
종점경간 중앙부 (단면A)	2.740	2.740	

② 바닥판 유효폭

【표 5.35】바닥판의 유효폭 산정(울산)

구 분	바닥판(m)
	G1
개 요	 X_1=3.000m : 인접한 거더의 복부사이의 간격 X_2=1.350m : 외측 거더 복부에서 캔틸레버 끝단까지의 거리 h=0.223m : 헌치 높이 b_e=0.120m : 플랜지의 돌출폭 2b1 = x1 - 2 × (be + h) = 1.157 m b2 = x2 - be = 1.230 m
시점경간 중앙부 (단면C)	5.350m
시점 지점부 (단면E)	4.839m
내측경간 중앙부 (단면A)	5.350m
종점 지점부 (단면D)	4.763m
종점경간 중앙부 (단면A)	5.350m

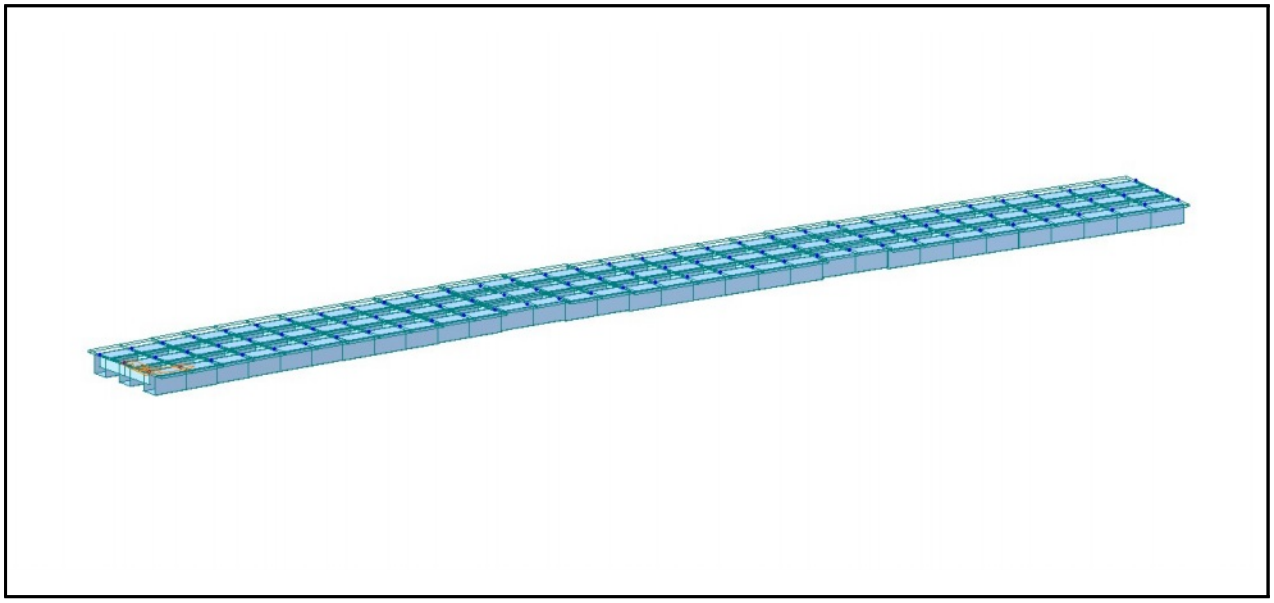
4) 모델링 및 단면제정수

① 모델링

해석모델은 3차원 격자모델을 적용하였으며, 보요소로 이상화된 각 구조요소의 연결은 부재편심(Offset)이 반영되도록 하였다. 또한 시공단계별로 대상교량의 실제 강성과 최대한 근접할 수 있도록 모델링하였으며, 기타 세부내용은 다음과 같다.

• 합성전 모델링시 바닥판은 단면의 강성에 기여하는 바 없이 고정하중만을 추가시키는 역할만을 함으로 바닥판에 의한 횡분배 효과는 고려하지 않았다. 활하중은 해석프로그램 내의 이동하중해석 기능을 사용하였으며 도로교 설계기준을 참조하여 가장 불리한 하중조합이 되도록 설정하였다.

• 경계조건은 각 지점의 가동, 고정상태를 고려하여 설정하였다.



【그림 5.21】 해석모델링(울산)

② 단면제정수

【표 5.36】단면제정수 산정(울산)

구 분			A(cm²)	Izz(cm⁴)	Iyy(cm⁴)	Ixx(cm⁴)	비 고
G1 G2 G3	단면A	합성전	1,405	13,579,453	15,492,218	19,021,298	
		합성후	2,876	48,671,830	32,379,269	23,029,618	
	단면B	합성전	1,569	14,607,994	18,156,319	21,129,345	
		합성후	3,040	49,700,372	37,170,306	25,075,095	
	단면C	합성전	1,788	15,979,382	21,675,146	23,381,484	
		합성후	3,259	51,071,760	41,896,929	26,664,891	
	단면D	합성전	2,117	18,036,465	26,897,396	25,867,299	
		합성후	3,588	53,128,842	50,616,131	28,420,562	
	단면E	합성전	2,975	25,346,024	38,757,668	35,959,107	
		합성후	4,446	60,438,402	65,022,078	38,532,341	

주) A : 합성전·후 단면적(mm^2)

Izz : 합성전· 후 강재단면의 3축방향 단면2차모멘트(mm^4)

Iyy : 합성전· 후 강재단면의 2축방향 단면2차모멘트(mm^4)

Ixx : 합성전·후 강재단면의 비틀림 단면2차모멘트(mm^4)

5) 구조해석 결과

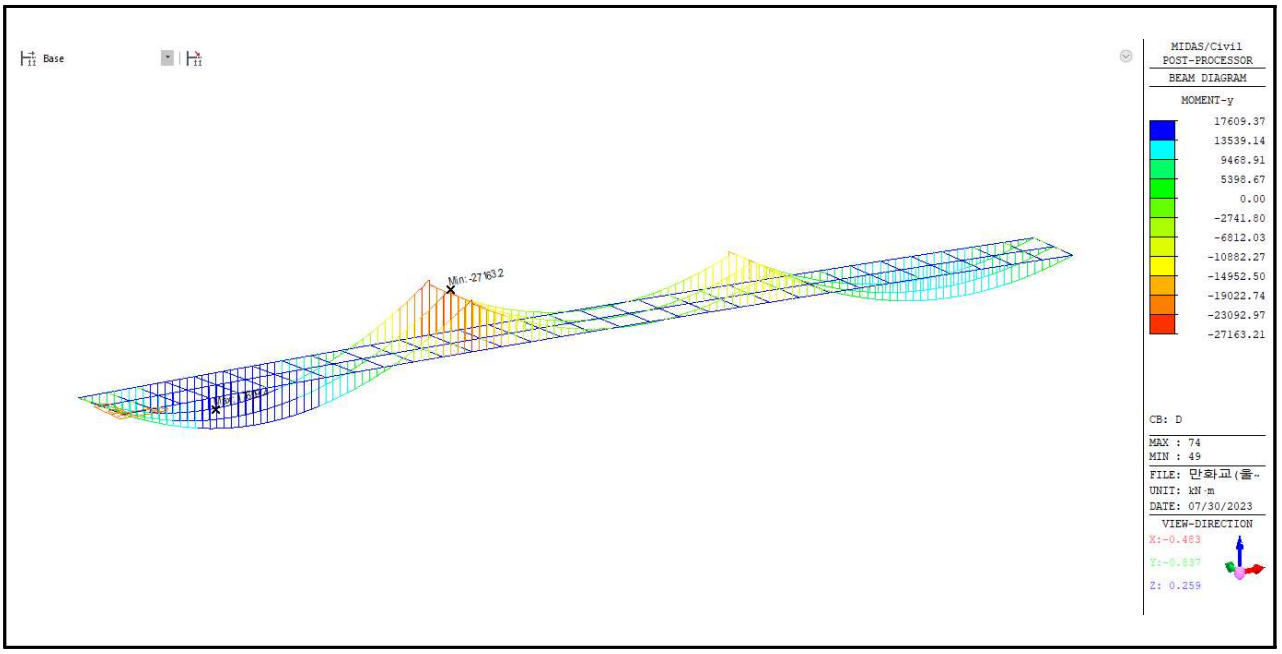
① 2차 부정정력에 대한 영향 검토

콘크리트-강재 합성형 교량에서는 고정하중과 활하중에 의한 응력 이외에 건조수축, 크리프, 강재-콘크리트 온도차에 의한 응력이 발생한다. 특히, 강합성형교가 2경간 이상의 연속교일 경우에는 건조수축, 크리프, 온도차에 의해 부정정력이 추가로 발생되며 이와 같은 하중을 2차 모멘트라고 한다.

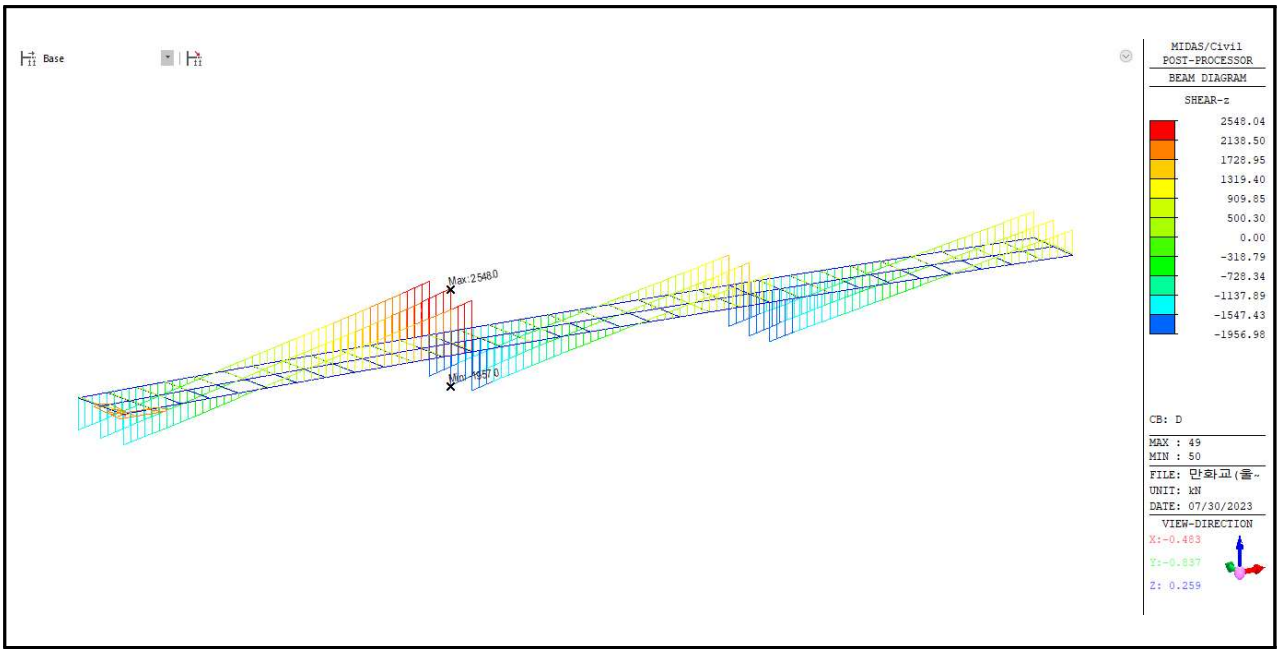
② 단면력도

• 합성전·후 고정하중

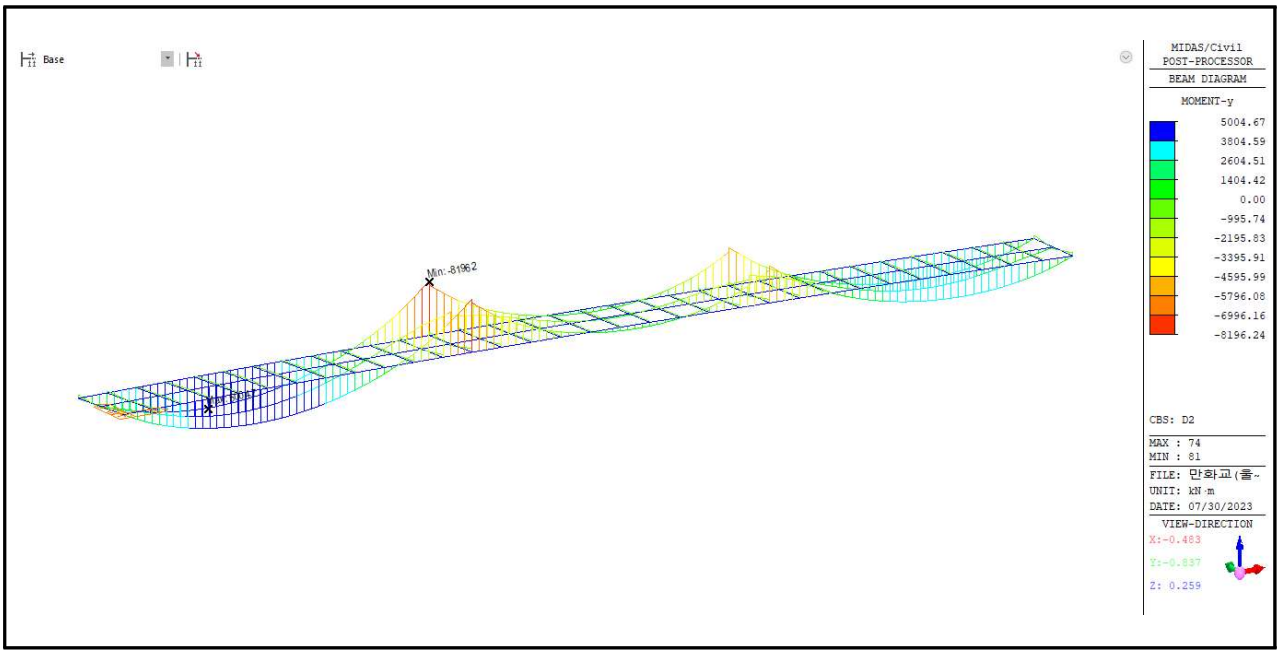
합성전·후 고정하중에 의한 휨모멘트도 및 전단력도를 아래 그림과 같이 나타내었다.



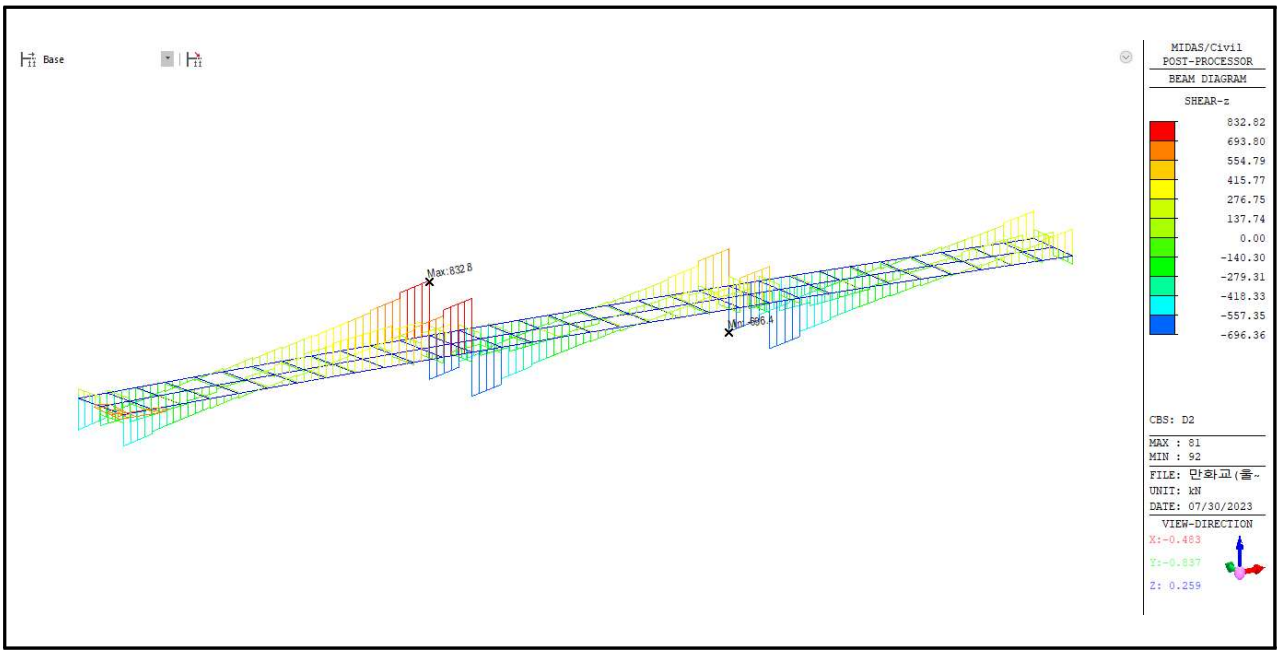
【그림 5.22】 합성전 고정하중에 의한 휨모멘트도(울산)



【그림 5.23】 합성전 고정하중에 의한 전단력도(울산)



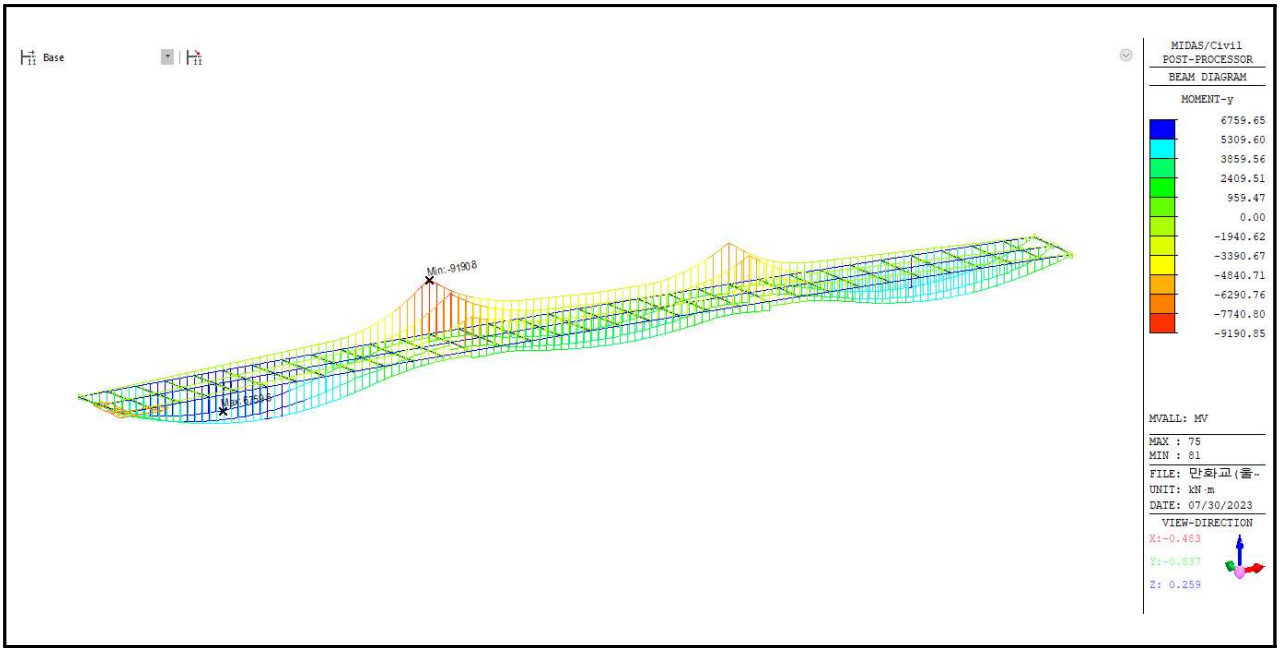
【그림 5.24】 합성후 고정하중에 의한 휨모멘트도(울산)



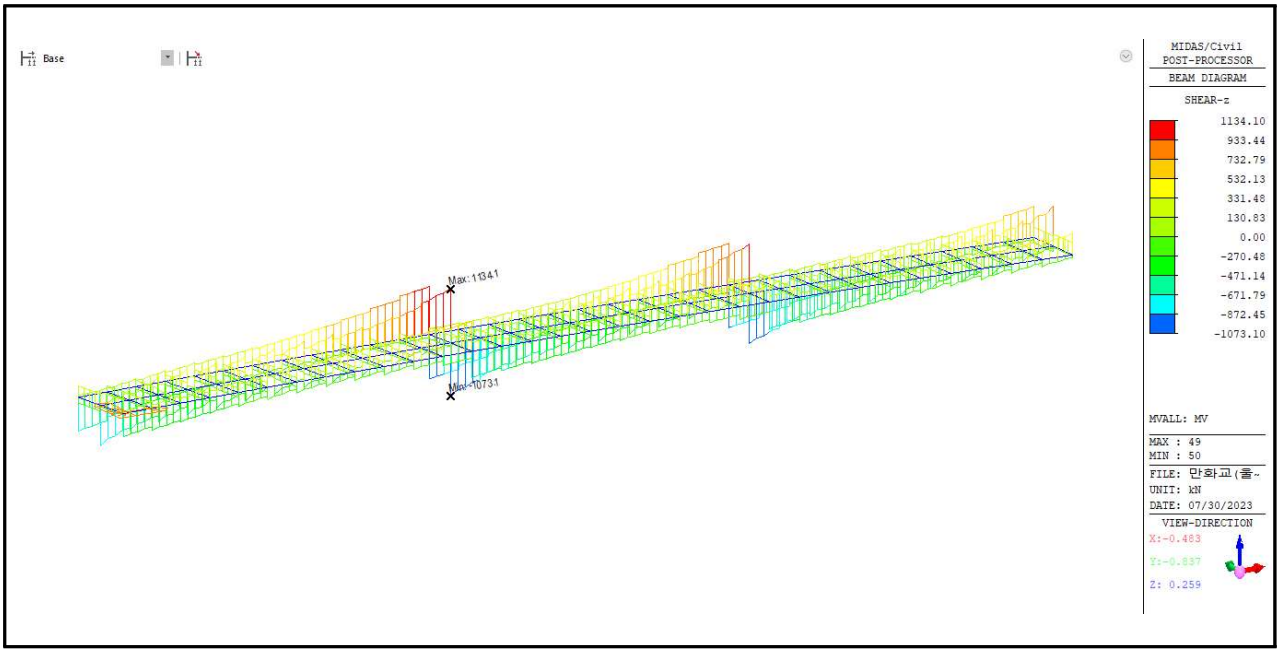
【그림 5.25】 합성후 고정하중에 의한 전단력도(울산)

• 활하중

활하중에 의한 휨모멘트도 및 전단력도를 아래 그림과 같이 나타내었다.



【그림 5.26】활하중에 의한 휨모멘트도(울산)



【그림 5.27】활하중에 의한 전단력도(울산)

② 단면력 산정결과

㉠ 시점경간 중앙 정모멘트부 (단면C)

【표 5.37】 시점경간 중앙 정모멘트부 단면력 산정결과(울산)

구 분	합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
휨모멘트(kN · m)	16,833.460	4,868.370	5,108.460	26,810.290
전단력(kN)	-136.400	67.490	797.100	728.190
비틀림모멘트(kN · m)	-230.360	-45.700	240.820	-35.240

㉡ 시점 지점부 부모멘트부 (단면E)

【표 5.38】 시점 지점부 부모멘트부 단면력 산정결과(울산)

구 분	합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
휨모멘트(kN · m)	-26,014.650	-7,981.480	-5,741.400	-39,737.5300
전단력(kN)	329.890	-244.390	1,196.080	1,281.580
비틀림모멘트(kN · m)	2,391.930	819.590	624.120	3,835.640

㉢ 내측경간 중앙 정모멘트부 (단면A)

【표 5.39】 내측경간 중앙 정모멘트부 단면력 산정결과(울산)

구 분	합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
휨모멘트(kN · m)	521.540	546.760	2,790.080	3,858.380
전단력(kN)	12.090	-172.090	764.420	604.420
비틀림모멘트(kN · m)	108.900	47.590	304.430	4,462.80

㉣ 종점 지점부 부모멘트부 (단면D)

【표 5.40】종점 지점부 부모멘트부 단면력 산정결과(울산)

구 분	합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
휨모멘트(kN・m)	-13,647.930	-4,899.700	-4,116.310	-22,663.94
전단력(kN)	-26.350	-278.500	925.700	620.850
비틀림모멘트(kN・m)	1,304.390	551.700	521.040	2,377.130

㉤ 종점경간 중앙 정모멘트부 (단면A)

【표 5.41】종점경간 중앙 정모멘트부 단면력 산정결과(울산)

구 분	합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
휨모멘트(kN・m)	11,751.260	3,547.830	4,100.760	19,399.85
전단력(kN)	10.730	-155.630	756.930	612.0300
비틀림모멘트(kN・m)	-26.900	1.230	260.910	235.240

6) 강박스거더의 응력 검토

강박스거더에 대한 응력검토는 내·외측경간 최대 정모멘트부 및 지점부 최대 부모멘트부 단면에 대하여 실시하였으며, 이에 대한 상세 검토결과는 부록에 첨부하였다.

하중종류1	합성전 고정하중	**하중종류4**	크리프
하중종류2	합성후 고정하중	**하중종류5**	건조수축
하중종류3	활하중	**하중종류6**	온도차

① 주하중에 대한 작용응력 검토

㉠ 시점경간 중앙 정모멘트부 (단면C)

• 휨응력

【표 5.42】 시점경간 중앙 정모멘트부 휨응력 검토결과(울산)

하중조합	CONCRETE				STEEL			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.000	0.000	-10.800	-10.800	-105.910	107.208	-190.00	190.00
1+2	-3.203	-2.492	-10.800	-10.800	-120.544	158.211	-190.00	190.00
1+2+3+4	-0.792	-0.330	-10.800	-10.800	-146.601	155.528	-218.50	190.00
1+2+3+4+5	0.516	1.098	2.174	2.174	-159.907	153.225	-247.00	218.50
1+2+3+4-5	-2.100	-1.757	-12.420	-12.420	-133.295	157.831	-247.00	218.50

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

• 전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2\,F\,t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2\,F_v\,t_w)$$

$$= 5.382\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

• 합성응력의 검토

- 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2=\left(\frac{-146.601}{-218.500}\right)^2+\left(\frac{5.382}{110.000}\right)^2=0.450+0.002=0.453\ <\ 1.2\quad\therefore\ O.K$$

- 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2+\left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2=\left(\frac{158.211}{190.000}\right)^2+\left(\frac{5.382}{110.000}\right)^2=0.693+0.002=0.696\ <\ 1.2\quad\therefore\ O.K$$

• 항복에 대한 안전도 검토

- Σf = 1.3 × (합성전 고정하중 응력 + 합성후 고정하중 응력)

+ 2.15 × 활하중에 의한 응력(충격포함) + (크리프응력 변화량)

+ (건조수축응력 변화량) + (온도차응력 변화량) 의 조합 중에서 가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

- 상부바닥판 철근

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv}\times Y_{vru}=-1.563\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(-3.203)-(-1.563)=-1.640\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$$\sum f=1.3\times(-1.563)+2.1\times(-1.640)+(0.934)+(1.477)+(-1.308)$$

$$=-4.373\,MPa<(3/5)f_{ck}=16.20\,MPa\ \therefore\ O.K$$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$$\sum f=1.3\times(-1.563)+2.1\times(-1.640)+(-1.308)$$

$$=-6.784\,MPa<(3/5)f_{ck}=16.20\,MPa\ \therefore\ O.K$$

- 강재주형 상판

합성전 고정하중 응력 = $-105.910\,MPa$

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vsu} = -7.141\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(-120.544)-(-105.910)-(-7.141) = -7.493\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$\sum f = 1.3 \times (-105.910 + -7.141) + 2.1 \times (-7.493) + (-8.768) + (-17.289) + (-13.306)$

$= -202.065\,MPa < (3/5)f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$\sum f = 1.3 \times (-105.910 + -7.141) + 2.1 \times (-7.493) + (-13.306)$

$= -176.008\,MPa < (3/5)f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$

- 강재주형 하판

합성전 고정하중 응력 = $107.208\,MPa$

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vsl} = 24.888\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(158.211)-(107.208)-(24.888) = 26.115\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$\sum f = 1.3 \times (107.208 + 24.888) + 2.1 \times (26.115) + (-1.060) + (-1.624) + (2.303)$

$= 226.186\,MPa < (3/5)f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$\sum f = 1.3 \times (107.208 + 24.888) + 2.1 \times (26.115) + (2.303)$

$= 228.870\,MPa < (3/5)f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$

㉡ 내측경간 중앙부 정모멘트부 (단면A)

• 휨응력

【표 5.43】 내측경간 중앙부 정모멘트부 휨응력 검토결과(울산)

하중조합	CONCRETE				STEEL			
	작용응력(㎫)		허용응력(㎫)		작용응력(㎫)		허용응력(㎫)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.000	0.000	-10.80	-10.80	-4.071	4.426	-148.18	190.00
1+2	-1.105	-0.821	-10.80	-10.80	-8.465	26.043	-148.18	190.00
1+2+3+4	0.853	1.068	1.89	1.89	-21.805	6.906	-170.41	190.00
1+2+3+4+5	2.421	2.591	2.17	2.17	-35.581	-10.993	-192.63	218.50
1+2+3+4-5	-0.715	-0.455	-12.42	-12.42	-8.028	24.805	-192.63	218.50

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

• 전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2\,F\,t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2\,F_v\,t_w)$$

$$= 11.673\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

• 합성응력의 검토

- 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-35.581}{-192.630}\right)^2 + \left(\frac{11.673}{110.000}\right)^2 = 0.034 + 0.011 = 0.045 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

- 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{26.043}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{11.673}{110.000}\right)^2 = 0.019 + 0.011 = 0.030 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

• 항복에 대한 안전도 검토

- Σf = 1.3 × (합성전 고정하중 응력 + 합성후 고정하중 응력)

+ 2.15 × 활하중에 의한 응력(충격포함) + (크리프응력 변화량)

+ (건조수축응력 변화량) + (온도차응력 변화량) 의 조합 중에서 가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

- 상부바닥판 철근

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vru} = -0.181\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(-1.105) - (-0.181) = -0.924\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$\sum f = 1.3 \times (-0.181) + 2.1 \times (-0.924) + (0.135) + (1.822) + (-1.568)$

$= -1.785\,MPa < (3/5)f_{ck} = 16.20\,MPa \therefore O.K$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$\sum f = 1.3 \times (-0.181) + 2.1 \times (-0.924) + (-1.568)$

$= -3.742\,MPa < (3/5)f_{ck} = 16.20\,MPa \therefore O.K$

- 강재주형 상판

합성전 고정하중 응력 = $-4.071\,MPa$

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vsu} = -0.720\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(-8.465) - (-4.071) - (-0.720) = -3.674\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$\sum f = 1.3 \times (-4.071 + -0.720) + 2.1 \times (-3.674) + (-0.787) + (-12.552) + (-13.776)$

$= -41.060\,MPa < (3/5)f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$\sum f = 1.3 \times (-4.071 + -0.720) + 2.1 \times (-3.674) + (-13.776)$

$= -27.721\,MPa < (3/5)f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$

- 강재주형 하판

합성전 고정하중 응력 = $4.426\,MPa$

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vsl} = 3.542\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(26.043) - (4.426) - (3.542) = 18.075\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$\sum f = 1.3 \times (4.426 + 3.542) + 2.1 \times (18.075) + (-1.085) + (-18.051) + (17.899)$

$= 47.077\,MPa < (3/5) f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$\sum f = 1.3 \times (4.426 + 3.542) + 2.1 \times (18.075) + (17.899)$

$= 66.214\,MPa < (3/5) f_{ck} = 315.00\,MPa \therefore O.K$

㉢ 시점 지점부 부모멘트부 (단면E)

• 휨응력

【표 5.44】시점경간 지점부 부모멘트부 휨응력 검토결과(울산)

하중조합	CONCRETE			STEEL			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연		상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.000	0.000	160.00	97.751	-90.638	190.00	-190.00
1+2	59.980	55.588	160.00	145.033	-137.546	190.00	-190.00
1+2+3+4	59.207	54.730	160.00	144.013	-140.398	190.00	-190.00
1+2+3+4+5	76.756	71.955	160.00	136.024	-155.345	218.50	-218.50
1+2+3+4-5	41.657	37.505	160.00	152.001	-125.451	218.50	-218.50

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

• 전단 및 비틀림

$$\nu = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2Ft_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2F_v t_w)$$

$$= 54.259\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 110.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

• 합성응력의 검토

- 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{145.033}{190.000}\right)^2 + \left(\frac{54.259}{110.000}\right)^2 = 0.583 + 0.243 = 0.826 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

- 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-140.398}{-190.000}\right)^2 + \left(\frac{54.259}{110.000}\right)^2 = 0.546 + 0.243 = 0.789 \ < \ 1.2 \quad \therefore \ \mathrm{O.K}$$

• 항복에 대한 안전도 검토

- Σf = 1.3 × (합성전 고정하중 응력 + 합성후 고정하중 응력)
+ 2.15 × 활하중에 의한 응력(충격포함) + (크리프응력 변화량)
+ (건조수축응력 변화량) + (온도차응력 변화량) 의 조합 중에서 가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

- 상부바닥판 철근

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vru} = 34.885\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(59.980) - (34.885) = 25.094\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$\sum f = 1.3 \times (34.885) + 2.1 \times (25.094) + (3.599) + (-4.372) + (17.550)$

$= 114.825\,MPa < (3/5)f_{ck} = 400.00\,MPa \therefore O.K$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$\sum f = 1.3 \times (34.885) + 2.1 \times (25.094) + (17.550)$

$= 115.598\,MPa < (3/5)f_{ck} = 400.00\,MPa \therefore O.K$

- 강재주형 상판

합성전 고정하중 응력 = $97.751\,MPa$

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vsu} = 27.500\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(145.033) - (97.751) - (27.500) = -19.782\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$\sum f = 1.3 \times (97.751 + 27.500) + 2.1 \times (19.782) + (4.249) + (-5.269) + (7.988)$

$= 211.336\,MPa < f_y = 315.00\,MPa \therefore O.K$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$\sum f = 1.3 \times (97.751 + 27.500) + 2.1 \times (19.782) + (7.988)$

$= 213.356\,MPa < f_y = 315.00\,MPa \therefore O.K$

- 강재주형 하판

합성전 고정하중 응력 = $-90.638\,MPa$

합성후 고정하중 응력 = $M_{sc}/I_{rv} \times Y_{vsl} = -27.282\,MPa$

합성후 활하중 응력 = $(-137.546) - (-90.638) - (-27.282) = -19.625\,MPa$

▶ 크리프, 건조수축 포함시

$\sum f = 1.3 \times (-90.638 + -27.282) + 2.1 \times (-19.625) + (9.074) + (-11.926) + (-14.947)$

$= -213.308\,MPa < f_y = 315.00\,MPa \therefore O.K$

▶ 크리프, 건조수축 제외시

$\sum f = 1.3 \times (-90.638 + -27.282) + 2.1 \times (-19.625) + (-14.947)$

$= -209.456\,MPa < f_y = 315.00\,MPa \therefore O.K$

7) 피로검토

① 허용피로응력범위 및 설계응력반복횟수

대상교량의 경우 피로균열은 발견되지 않았으므로 피로에 대한 검토는 설계활하중에 의한 주형의 피로손상예측을 수행하였다. 도로교설계기준의 허용피로응력범위 및 설계응력반복횟수는 아래의 표와 같으며, 본 피로검토에서는 고속도로 교량이므로 트럭하중 2백만과 차로하중 50만을 적용하였다.

【표 5.45】 허용피로 응력범위(울산)

다재하경로구조[1]				
상세 범주	허용응력범위, fsr(MPa)[2]			
	10만회	50만회	200만회	200만회이상
A	442	260	168	168
B	344	203	126	112
B′	274	161	101	84
C	250	147	91	70 84[3]
D	196	112	70	49
E	154	91	56	31
E′	112	64	40	18

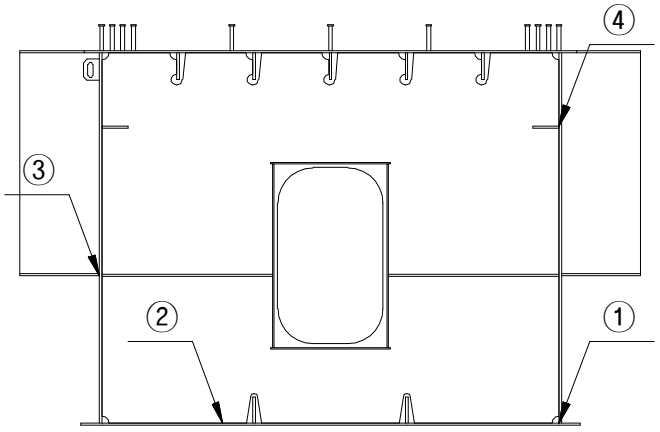
주 : 1) 한 부재의 파괴로 인하여 전체적인 파괴가 일어나지 않도록 한 구조물.
2) 응력범위는 최대응력과 최소응력과의 대수차를 의미한다.
3) 거더 복부판과 플랜지의 수직보강재 용접의 경우.

【표 5.46】 허용피로 응력범위(울산)

구 분	도로종류	트럭하중	차로하중
주부재(종방향)	고속도로, 국도 및 주 간선도로	2백만	50만
	기타도로	10만	10만
횡부재 및 상세부	고속도로, 국도 및 주 간선도로	2백만이상	-
	기타도로	50만	-

② 피로조사위치 및 응력범주의 설정

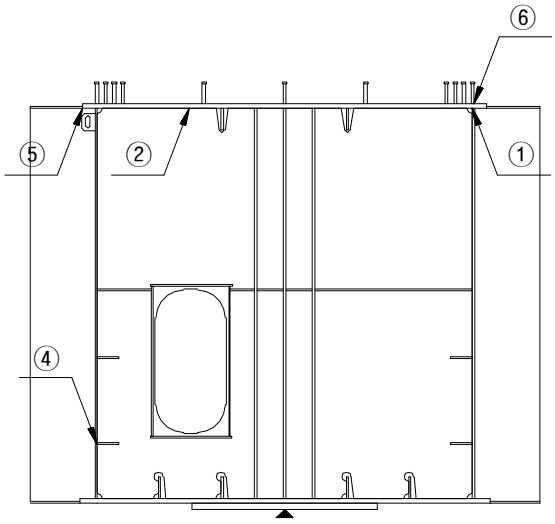
㉠ 정모멘트부



【표 5.47】정모멘트부 검토위치 및 응력범주(울산)

구분	상세	응력범주	fsr(MPa)		비고
			DB하중	DL하중	
①	플랜지와 복부판의 연속 필릿 용접부	B	126	203	
②	인장측 플랜지와 다이어프램의 필릿 용접부	C	91	147	
③	복부판에 부착된 가로보 연결용 거셋판 용접 끝부분	E	56	91	
④	수평보강재 용접 끝부분	E	56	91	

㉡ 부모멘트부



【표 5.48】 부모멘트부 검토위치 및 응력범주(울산)

구분	상세	응력범주	f_{sr}(MPa)		비고
			DB하중	DL하중	
①	플랜지와 복부판의 연속 필릿 용접부	B	126	203	
②	인장측 플랜지와 다이어프램의 필릿 용접부	C	91	147	
③	복부판에 부착된 가로보 연결용 거셋판 용접 끝부분	E	56	91	
④	수평보강재 용접 끝부분	E	56	91	
⑤	인장측 플랜지에 부착된 가로보 거셋판 용접 끝부분	E	56	91	
⑥	스터드에 인접한 인장측 플랜지부	C	91	147	

㉢ 설계피로응력의 검토

- 휨모멘트에 대한 피로검토

$$\triangle f = \frac{\triangle M}{I_v} y$$

여기서, $\triangle f$: 설계피로응력범위 (최대응력과 최소응력의 차)

$\triangle M = M_{\max} - M_{\min}$

I_v : 합성후 단면의 단면2차 모멘트

y : 합성후 단면 도심으로부터의 거리

【표 5.49】 피로검토(울산)

구분		△M (kN·m)		I_v (m^4)	y (m)	△f (MPa)		응력 범주	f_{sr} (MPa)		비고
		DB 하중	DL 하중			DB 하중	DL 하중		DB 하중	DL 하중	
정모멘트부	①	max= 5782.82 min= -3382.17	max= 6759.65 min= -5874.44	0.3808	-1.9499	46.9	64.7	B	126	203	O.K
	②				-1.9499	46.9	64.7	C	91	147	O.K
	③				-1.1543	27.8	38.3	E	56	91	O.K
	④				0.0201	0.48	0.67	E	56	91	O.K
부모멘트부	①	max= 2770.61 min= -4894.28	max= 2832.24 min= -9190.85	0.3700	1.2145	25.16	39.47	B	126	203	O.K
	②				1.2145	25.16	39.47	C	91	147	O.K
	③				-	-	-	E	56	91	O.K
	④				-0.8935	18.51	29.04	E	56	91	O.K
	⑤				1.2325	25.54	40.05	E	56	91	O.K
	⑥				1.2505	25.91	40.64	C	91	147	O.K

8) 강박스거더의 안전성 검토결과

① 휨응력

【표 5.50】 강박스거더의 휨응력 검토결과(울산)

구 분	휨 응 력				안전율		검토결과
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)				
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	
시점경간 중앙 정모멘트부	-146.601	158.211	-218.500	190.000	1.49	1.20	O.K
내측경간 중앙 정모멘트부	-35.581	26.043	-192.630	190.000	5.41	7.30	O.K
시점 지점부 부모멘트부	145.033	-140.398	190.000	-190.000	1.31	1.35	O.K

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

② 전단응력

【표 5.51】 강박스거더의 전단응력 검토결과(울산)

구 분	전 단 응 력		안전율	검토결과
	작용응력(MPa)	허용응력(MPa)		
시점경간 중앙 정모멘트부	5.382	110.000	20.44	O.K
내측경간 중앙 정모멘트부	11.673	110.000	9.42	O.K
시점 지점부 부모멘트부	54.259	110.000	2.03	O.K

허용응력법에 의한 강박스거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생되는 최대응력은 허용응력 이내로 검토되었으며, 강박스거더는 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

③ 합성응력

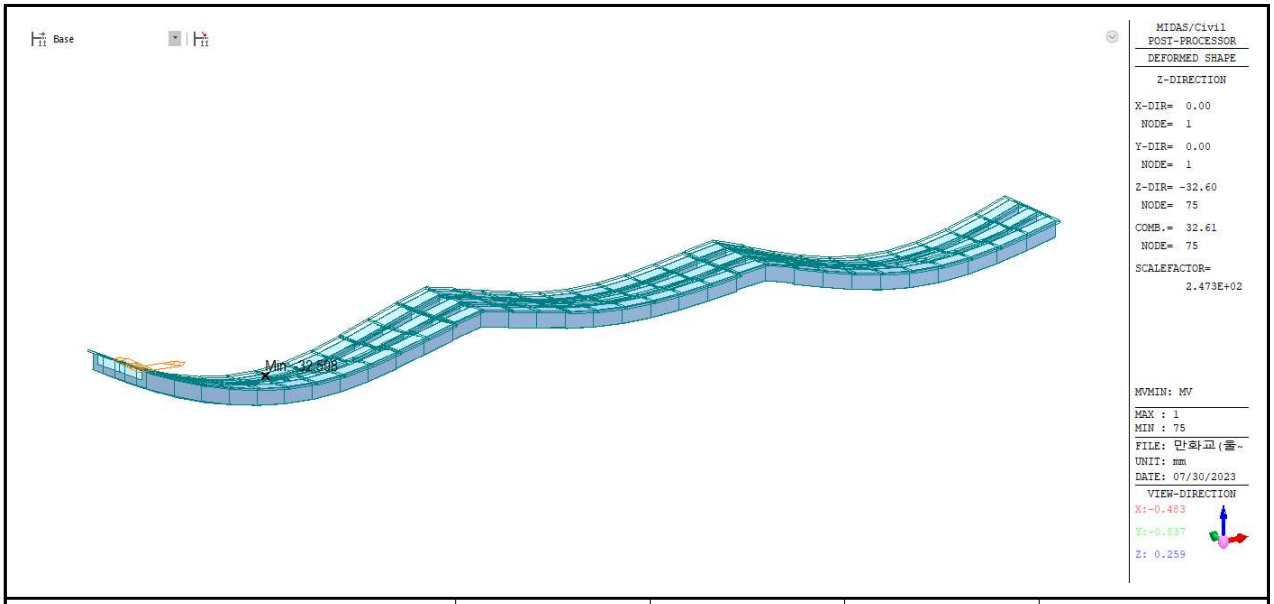
하중조합에 따른 휨응력과 허용응력에 의한 휨응력비와 전단응력비가 최대가 되는 상태에서 합성응력비을 정모멘트 구간과 부모멘트 구간으로 구분하여 합성응력을 검토한 결과, 모든 단면에서는 1.2 이내로 구조적 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

【표 5.52】 강박스거더의 합성응력 검토결과(울산)

구 분		합 성 응 력						합성 응력비	검토 결과
		휨응력(MPa)			전단응력(MPa)				
		휨응력	허용 휨응력	휨 응력비	전단 응력	허용 전단응력	전단 응력비		
시점경간 중앙 정모멘트부	상연	-146.601	218.500	0.450	5.382	110.000	0.002	0.452	O.K
	하연	158.211	190.000	0.693	5.382	110.000	0.002	0.695	O.K
내측경간 중앙 정모멘트부	상연	-35.581	192.630	0.034	11.673	110.000	0.011	0.045	O.K
	하연	26.043	190.000	0.019	11.673	110.000	0.011	0.030	O.K
시점 지점부 부모멘트부	상연	145.033	190.000	0.583	54.259	110.000	0.243	0.826	O.K
	하연	-140.398	-190.000	0.546	54.259	110.000	0.243	0.789	O.K
합성응력 산출식		$[\frac{f_b}{f_a}]^2 + [\frac{v_b}{v_a}]^2 \leq 1.2$ (도로교 설계기준 3.8.2.4) f : 하중조합에 의해 발생한 휨응력 f_a : 허용 휨응력 v_b : 휨에 따르는 전단응력 v_a : 허용 전단응력							

8) 처짐 검토

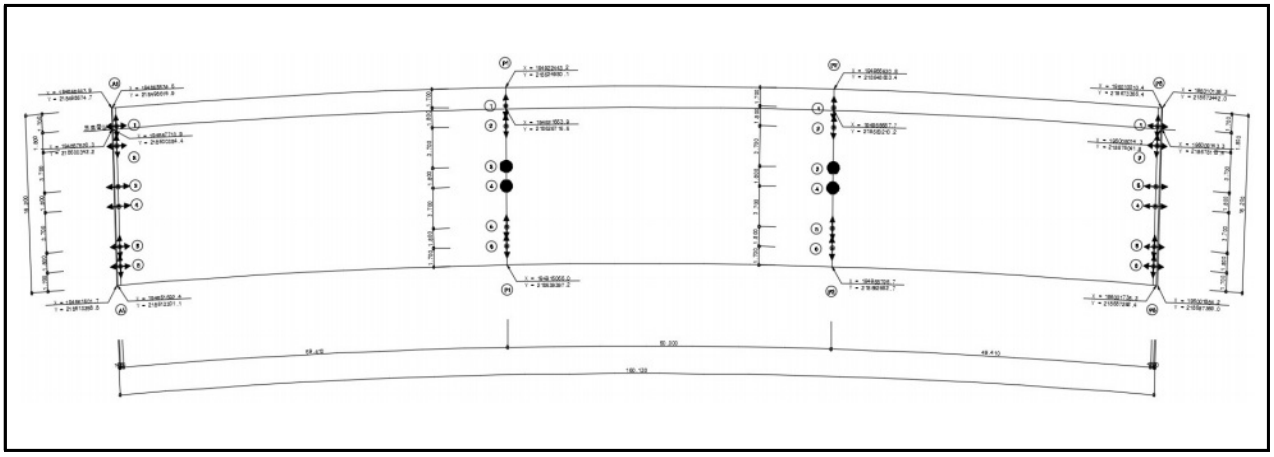
충격하중을 포함한 활하중에 의한 강교 주거더의 처짐검토 결과 다음표의 도로교설계기준에 의한 허용처짐 이내로 검토되었다.



구 분	처짐(mm)	허용처짐(mm)	기준	비고
활하중 (l+i)	32.598	100.0	L/500	O.K.

【그림 5.28】처짐검토 결과(울산)

나. 교량받침용량 검토



【그림 5.29】 받침배치도(울산)

【표 5.53】 교량받침용량 검토(울산)

구 분				합성전 고정하중 (kN)	합성후 고정하중 (kN)	활하중(kN)	합 계(kN)	받침 용량 (kN)	검토 결과
울산 방향	A1	G1	SH1	771.9	311.8	420.9	1,504.6	2,500	O.K
			SH2	774.3	9.6	495.2	1,279.0	2,500	O.K
		G2	SH3	664.3	301.9	184.7	1,150.9	2,500	O.K
			SH4	771.9	311.8	420.9	1,504.6	2,500	O.K
		G3	SH5	774.3	9.6	495.2	1,279.0	2,500	O.K
			SH6	664.3	301.9	184.7	1,150.9	2,500	O.K
	P1	G1	SH1	2,073.3	817.5	413.6	3,304.5	5,000	O.K
			SH2	2,285.2	63.1	1,007.2	3,355.5	5,000	O.K
		G2	SH3	2,202.4	822.9	878.2	3,903.6	5,000	O.K
			SH4	2,073.3	817.5	413.6	3,304.5	5,000	O.K
		G3	SH5	2,285.2	63.1	1,007.2	3,355.5	5,000	O.K
			SH6	2,202.4	822.9	878.2	3,903.6	5,000	O.K

주) 반력 발생방향이 하향을 정(+), 상향을 부(-)로 표기함.

구 분				합성전 고정하중 (kN)	합성후 고정하중 (kN)	활하중(kN)	합 계(kN)	받침 용량 (kN)	검토 결과
울산 방향	P2	G1	SH1	1,544.2	696.0	368.0	2,608.2	4,000	O.K
			SH2	1,731.3	5.3	925.5	2,662.1	4,000	O.K
		G2	SH3	1,656.0	698.8	787.2	3,142.0	4,000	O.K
			SH4	1,544.2	696.0	368.0	2,608.2	4,000	O.K
		G3	SH5	1,731.3	5.3	925.5	2,662.1	4,000	O.K
			SH6	1,656.0	698.8	787.2	3,142.0	4,000	O.K
	P3	G1	SH1	546.8	265.0	165.2	977.0	2,000	O.K
			SH2	642.1	-15.7	479.6	1,106.0	2,000	O.K
		G2	SH3	628.3	274.7	377.3	1,280.2	2,000	O.K
			SH4	546.8	265.0	165.2	977.0	2,000	O.K
		G3	SH5	642.1	-15.7	479.6	1,106.0	2,000	O.K
			SH6	628.3	274.7	165.2	1,068.2	2,000	O.K

주) 반력 발생방향이 하향을 정(+), 상향을 부(-)로 표기함.

다. 바닥판 구조검토

합성형교에서 바닥판으로서 작용할 경우(교축직각방향)에 대하여 도로교설계기준(2010년) 등의 적용기준에 따라 구조검토를 수행하였다.

【표 5.54】콘크리트와 철근의 물성치(울산)

콘크리트 강도	철근의 항복강도	철근량
27.0 MPa	400.0 MPa(SD400)	중 앙 부 : 2,292 ㎟/m (H19@125) 캔틸레버 : 2,292 ㎟/m (H19@125)

1) 지간 중앙부 (경험적 설계조건 검토)

① 지지부재 : 강재주거더 (3개 이상의 강재 주거더와 합성으로 거동하는 경우)
- 3 EA < 3 EA O.K

② 콘크리트가 현장타설되고 습윤양생되어야 함.

③ 주거더 플랜지부의 헌치와 같이 국부적으로 두껍게 한 곳을 제외한

④ 바닥판 두께에 대한 유효지간의 비가 6 이상 15 이하
- 4,860 / 250 = 6 < 13 < 15 O.K

⑤ 바닥판의 상부와 하부에 배근된 철근의 외측면 사이의 두께가 150mm 이상
- 220 - 41 - 21 = 158 > 150 O.K

⑥ 유효지간이 표준차선폭 3.6m 이하
- 2.876 < 3.60 O.K

⑦ 바닥판의 흠집, 마모면, 그리고 보호덮개층을 제외한 바닥판의 최소두께가 240mm
- 220 < 240 N.G

⑧ 캔틸레버부의 길이가 내측바닥판의 두께의 5배이상이거나 캔틸레버부의 길이가 내측바닥판 두께의 3배 이상이고 구조적으로 연속적인 콘크리트 방호책과 합성이 된 경우
- 캔틸레버 길이(방호책 있음) : 1.230 > 0.25 × 3 = 0.66 O.K

⑨ 콘크리트의 28일 압축강도는 27 MPa 이상

⑩ 철근 콘크리트 바닥판은 바닥판을 지지하는 구조부재들과 완전합성거동

⑪ 설계구간에 횡단구성이 일정할 경우

⑫ 철근량 산정

2) 철근배근량

① 경험적 설계법에 의한 설계시 별도의 구조해석 없이 다음과 같이 산정

② 지간방향 : 하부철근량 - 콘크리트 바닥판 단면의 0.4% 이상
상부철근량 - 콘크리트 바닥판 단면의 0.3% 이상

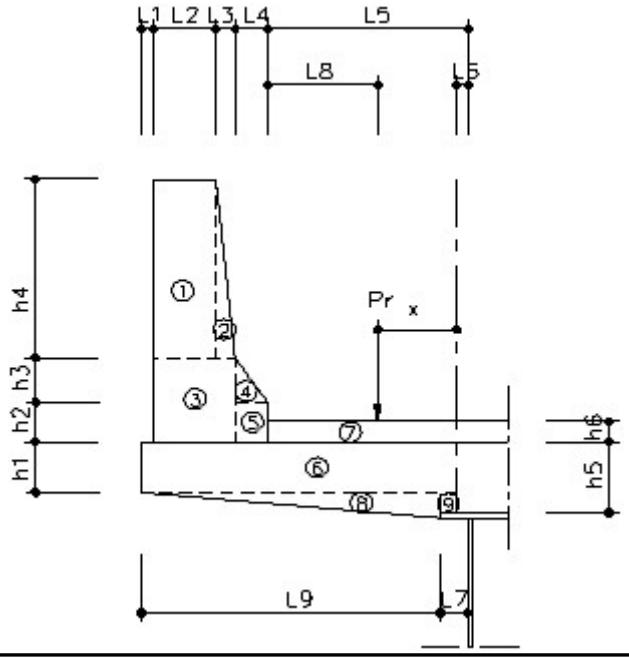
③ 지간방향에 직각방향 : 상부,하부철근량 - 콘크리트 바닥판 단면의 0.3% 이상

1) 우측캔틸레버부 (중분대측)

① 고정하중

NO.	작용하중(kN)		작용거리 (m)	모멘트 (kN·m)	비 고	
①	0.71 × 0.23 ×25	= 4.083	1.145	4.674	H1 = 0.220m	L1 = 0.030m
②	0.71 × 0.07 / 2 × 25	= 0.621	0.983	0.611	H2 = 0.165m	L2 = 0.230m
③	(0.165+0.175) × (0.23+0.07) × 25	= 2.550	1.110	2.831	H3 = 0.175m	L3 = 0.070m
④	0.175 / 2 × 0.12 × 25	= 0.263	0.880	0.231	H4 = 0.710m	L4 = 0.120m
⑤	0.165 × 0.12 × 25	= 0.465	0.900	0.419	H5 = 0.280m	L5 = 0.900m
⑥	(1.23 - 0.12 / 2) × 0.22 × 25	= 6.435	0.585	3.764	H6 = 0.050m	L6 = 0.060m
⑦	0.05 × 0.9 ×23.5	= 1.058	0.390	0.412		L7 = 0.120m
⑧	(0.28-0.22)/2×1.23×25	= 0.923	0.410	0.378		L8 = 0.300m
⑨	(0.28-0.22)×0.12/2×25	= 0.090	0.030	0.003		L9 = 1.230m
방호울타리		1.000	1.145	1.145		
계				14.468		

콘크리트 단위중량 = 25.0kN/㎥
콘크리트포장 단위중량 = 23.5kN/㎥
트럭의 후륜하중(P_r) = 96.0kN
곡선반경(R) = 1,600m
설계속도 = 100km/hr



② 활하중(DB-24 : $P_r = 96\,kN$)

• 윤하중 분포폭

E = 0.8X + 1.14 = 0.8 × 0.540 + 1.14 = 1.572 m

여기서, X = 0.540 m

• 충격계수

$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.540} = 0.370 > 0.300$ ∴ i = 0.300 적용

• 활하중

$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.540 \times (1+0.300)}{1.572} = 42.870 kN{\cdot}m/m$

③ 차량 충돌하중(도로안전시설설치 및 관리지침 p75)

$P_o = (V/60)^2 \times 7.5 + 2.5 = 23.333$ kN/m

$P_o = 10.000 kN/m$

$\therefore P_o = 23.333 kN/m$

$M_{co1} = 23.333 \times (1.000 + 0.050 + 0.220/2) = 27.067$ kN/m

단, 곡률 반지름 R≤200일 때, P_o값의 2배를 충돌하중으로 적용

④ 풍하중

P_w = 3.000 kN/㎡ × 1.450 m = 4.350 kN/m

M_w = 4.350 × 0.835m = 3.632kN·m/m

⑤ 원심하중

• 교면상 1.0m 높이에 작용하는 것으로 한다.

V = 100km/hr, R = 1,600

CF = 0.79 × V^2 / R = 0.79 × 100^2 / 1,600 = 4.938 %

$P_{cf} = (P_r/E) \times CF/100 = 3.016$ kN · m

$M_{cf} = P_{cf} \times 1.0 = 3.016$ kN · m

⑥ 하중조합

- $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 114.900\,kN\cdot m/m$
- $M_{u2} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 1.3\,M_{co} = 113.647\,kN\cdot m/m$
- $M_{u3} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 0.65\,M_w = 80.821\,kN\cdot m/m$
- $M_{u4} = 1.2\,M_d + 1.2\,M_w + 1.2\,M_{co} = 54.200\,kN\cdot m/m$
- $M_{u5} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_w = 23.530\,kN\cdot m/m$

⑦ 바닥판의 최소두께(X=0.540 > 0.25인 경우)

$h_{min} = (80 \cdot X + 230) = (80 \times 0.540 + 230) = 273\,mm$

$h_{use} = 280mm > h_{req} = 273\,mm$ ∴ O.K

⑧ 단면검토

• 검토조건

설계기준강도(f_{ck}) = 27MPa , 인장철근 항복강도(f_y) = 400MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 280mm

철근 피복두께(d_c) = 60mm , 유효깊이(d) = 220mm

사용철근량(A_s) = H19@250 + H19@250 = 2,292.0 ㎟

• 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{2,292.0 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 39.948\ mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\} = 155.876$$

• 휨모멘트 검토

ΦMn = 155.876 kN·m > Mu = 114.900 kN·m ∴ O.K

⑨ 사용성(균열) 검토

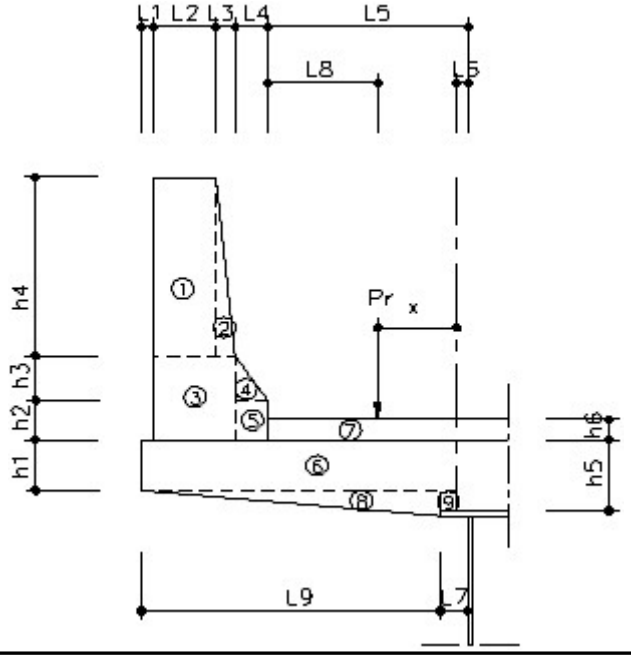
- 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8.0$
- 철근비(ρ) = $A_s / b\,d = 0.010418$
- 중립축(k) = $-n\rho + \sqrt{2n\rho + (n\rho)^2} = 0.333$
- 중립축 거리(j) = $1 \times k/3 = 0.889$
- x = $k \times D = 73.338\,mm$
- 철근응력(f_s) = $M/(A_s \times (d - \chi/3) = 137.088\,\mathrm{MPa}$
- $f_s = 137.088\,MPa \leq 0.6 f_y = 240.000\,MPa$ ∴ O.K
- 철근 소요중심간격(s_a) = $\mathrm{Min}[375(210)/f_{st}) - 2.5C_c, 300(210/f_{st})] = 448.200\,\mathrm{mm}$
- 철근 평균간격 $s = 125.000\,\mathrm{mm} \leq s_a = 448.200\,\mathrm{mm}$이므로, ∴ O.K

2) 좌측캔틸레버부(방호벽측)

① 고정하중

NO.	작용하중(kN)		작용거리 (m)	모멘트 (kN·m)	비 고	
①	0.71 × 0.23 ×25	= 4.083	1.145	4.674	H1 = 0.220m	L1 = 0.030m
②	0.71 × 0.07/2 x 25	= 0.621	0.983	0.611	H2 = 0.165m	L2 = 0.230m
③	(0.165+0.175) × (0.23+0.07) × 25	= 2.550	1.110	2.831	H3 = 0.175m	L3 = 0.070m
④	0.175/2×0.12×25	= 0.263	0.880	0.231	H4 = 0.710m	L4 = 0.120m
⑤	0.165×0.12×25	= 0.465	0.900	0.419	H5 = 0.414m	L5 = 0.900m
⑥	(1.23-0.12/2)×0.22×25	= 6.435	0.585	3.764	H6 = 0.050m	L6 = 0.060m
⑦	0.05 × 0.9 ×23.5	= 1.058	0.390	0.412		L7 = 0.120m
⑧	(0.414-0.22)/2×1.23×25	= 2.983	0.410	1.223		L8 = 0.300m
⑨	(0.414-0.22)×0.12/2×25	= 0.291	0.030	0.009		L9 = 1.230m
방호울타리		= 1.000	1.145	1.145		
계				15.319		

콘크리트 단위중량 = 25.0 kN/㎥
콘크리트포장 단위중량 = 23.5 kN/㎥
트럭의 후륜하중(P_r) = 96.0 kN
곡선반경(R) = 1,600 m
설계속도 = 100 km/hr



② 활하중(DB-24 : P_r = 96 kN)

• 윤하중 분포폭

E = 0.8X + 1.14 = 0.8 × 0.540 + 1.14 = 1.572 m

여기서, X = 0.540m

• 충격계수

$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 0.540}$ = 0.370 > 0.300 ∴ i = 0.300 적용

• 활하중

$M_{\ell+i} = \frac{P_r \cdot X \cdot (1+i)}{E} = \frac{96 \times 0.540 \times (1+0.300)}{1.572}$ = 42.870 kN·m/m

③ 차량 충돌하중(도로안전시설설치 및 관리지침 p75)

$P_o = (V/60)^2 \times 7.5 + 2.5 = 23.333$ kN/m

$P_o = 10.000 kN/m$

$\therefore P_o = 23.333 kN/m$

$M_{co1} = 23.333 \times (1.000 + 0.050 + 0.220/2) = 27.067$ kN/m

단, 곡률 반지름 R≤200일 때, P_o값의 2배를 충돌하중으로 적용

④ 풍하중

P_w = 3.000kN/㎡ × 1.450 m = 4.350 kN/m

M_w = 4.350× 0.835 m = 3.632 kN·m/m

⑤ 원심하중

• 교면상 1.0m 높이에 작용하는 것으로 한다.

V = 100km/hr, R = 1,600

CF = 0.79 × V^2 / R = 0.79 × 100^2 / 1,600 = 4.938 %

$P_{cf} = (P_r/E) \times CF/100$ = 3.016 kN · m

$M_{cf} = P_{cf}$ × 1.000 = 3.016 kN·m

⑥ 하중조합

- $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 116.006\,kN\cdot m/m$
- $M_{u2} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 1.3\,M_{co} = 114.754\,kN\cdot m/m$
- $M_{u3} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} + 0.65\,M_w = 81.927\,kN\cdot m/m$
- $M_{u4} = 1.2\,M_d + 1.2\,M_w + 1.2\,M_{co} = 55.222\,kN\cdot m/m$
- $M_{u5} = 1.3\,M_d + 1.3\,M_w = 24.636\,kN\cdot m/m$

⑦ 바닥판의 최소두께(X=0.540 > 0.25인 경우)

$h_{min} = (280 \cdot X + 230) = (280 \times 0.540 + 230) = 273\,mm$

$h_{use} = 414\,mm > h_{req} = 273\,mm \quad \therefore O.K$

⑧ 단면검토

• 검토조건

설계기준강도(f_{ck}) = 27MPa , 인장철근 항복강도(f_y) = 400MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 414mm

철근 피복두께(d_c) = 60mm , 유효깊이(d) = 354mm

사용철근량(A_s) = H19@250 + H19@250 = 2,292.0 ㎟

• 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{2{,}292.0 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 39.948\ mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\} = 260.300\ kN\cdot m$$

• 휨모멘트 검토

ΦMn = 260.300 kN·m > Mu = 116.006 kN·m ∴ O.K

⑨ 사용성(균열) 검토

- 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8.0$
- 철근비(ρ) = $A_s / b\,d = 0.006475$
- 중립축(k) = $-n\rho + \sqrt{2n\rho + (n\rho)^2} = 0.274$
- 중립축 거리(j) = $1 \times k/3 = 0.909$
- x = $k \times D = 97.068mm$
- 철근응력(f_s) = $M/(A_s \times (d - \chi/3) = 84.501\,MPa$
- $f_s = 84.501\,MPa \leq 0.6 f_y = 240.000\,MPa$ ∴ O.K
- 철근 소요중심간격(s_a) = $Min[375(210)/f_{st}) - 2.5C_c, 300(210/f_{st})] = 745.55\,mm$
- 철근 평균간격 $s = 125.000\,mm \leq s_a = 745.55\,mm$이므로, ∴ O.K

3) 중앙부

① 고정하중

철근콘크리트 : $0.220m \times 25.0kN/m^3 = 5.500kN/m^2$

아스팔트포장 : $0.050m \times 23.5kN/m^3 = 1.175kN/m^2$

$\Sigma w_d = 6.675kN/m^2$

$$M_d = \frac{\Sigma w_d L^2}{10} = \frac{6.675 \times 3.000^2}{10} = 6.008\ kN{\cdot}m/m$$

여기서, 계산지간(L) = 3.000m

② 활하중(DB-24 : $P_r = 96\,kN$)

- 충격계수

$$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 3.00} = 0.349 > 0.300$$ ∴ i = 0.300 적용

- 활하중

$$M_{\ell+i} = \frac{(L+0.6)P_r}{9.6}(1+i) = \frac{(3.000+0.6) \times 96}{9.6} \times (1 + 0.300) = 46.800\ kN{\cdot}m/m$$

연속 바닥판이므로, $M_{\ell+i} = 0.8 \times 46.800 = 37.440\ kN{\cdot}m/m$

③ 원심하중

V = 100km/hr, R = 1,600

CF = 0.79 × V^2 / R = 0.79 × 100^2 / 1,600 = 4.938 %

P_{cf} = $(P_r/E) \times CF/100$ = 2.370 kN · m

M_{cf} = P_{cf} × 1.00 = 2.370 kN·m

④ 하중조합

㉠ 계수모멘트

■ $M_{u1} = 1.3\,M_d + 2.15\,M_{(\ell+i)} + 1.3\,M_{cf} = 91.387\,kN\cdot m/m$

⑤ 바닥판의 최소두께

$h_{min} = (30 \cdot L + 130) = (30 \times 3.00 + 130) = 220\,mm < 250.0\,mm \quad \therefore h_{req} = 220.0\,mm$

$h_{use} = 220.0\,mm \geq h_{req} = 220.0\,mm \quad \therefore$ O.K

⑥ 단면검토

• 검토조건

설계기준강도(f_{ck}) = 27MPa , 인장철근 항복강도(f_y) = 400MPa

단면폭(b) = 1000mm , 단면높이(h) = 220mm

철근 피복두께(d_c) = 60mm , 유효깊이(d) = 160mm

사용철근량(A_s) = H19@250 + H19@250 = 2,292.0㎟

• 설계휨강도 산정

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0.85 \cdot f_{ck} \cdot b} = \frac{2{,}292.0 \times 400.0}{0.85 \times 27.0 \times 1000.0} = 39.948\ mm$$

$$\Phi Mn = \Phi\left\{As \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)\right\} = 109.120\ kN\cdot m$$

• 휨모멘트 검토

ΦMn = 109.120 kN·m > Mu = 91.387 kN·m ∴ O.K

⑦ 사용성(균열) 검토

- 탄성계수비(n) = $E_s / E_c = 8.0$
- 철근비(ρ) = $A_s / b\,d = 0.014325$
- 중립축(k) = $-n\rho + \sqrt{2n\rho + (n\rho)^2} = 0.378$
- 중립축 거리(j) = $1 \times k/3 = 0.874$
- x = $k \times D = 60.428\,mm$
- 철근응력(f_s) = $M/(A_s \times (d - \chi/3) = 142.934\,MPa$
- $f_s = 142.934\,MPa \leq 0.6 f_y = 240.000\,MPa$ ∴ O.K
- 철근 소요중심간격(s_a) = $Min[375(210)/f_{st}) - 2.5C_c, 300(210/f_{st})] = 424.700\,mm$
- 철근 평균간격 $s = 125.000\,mm \leq s_a = 424.700\,mm$이므로, ∴ O.K

4) 바닥판의 구조검토 결과

강도설계법에 의한 바닥판의 단면검토 결과, 휨강도에 대한 계수모멘트의 최소 안전율이 1.194으로 산정되어 바닥판은 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

【표 5.55】바닥판의 단면검토 결과(울산)

구 분	M_u (kN·m)	ΦM_n (kN·m)	안전율 (ΦMn/Mu)	검토 결과
캔틸레버부(우측-중분대측)	114.900	155.876	1.357	O.K
캔틸레버부(좌측-방호벽측)	116.006	260.300	2.244	O.K
중앙부	91.387	109.120	1.194	O.K

5.3 내하력평가

5.3.1 개 요

본 교량의 내하력평가는 주요 구조부재의 정밀 외관조사, 비파괴 현장시험 및 재료시험 결과를 토대로 콘크리트 부재인 바닥판은 강도설계법으로, 강재 부재인 강박스거더는 허용응력법에 의하여 기본 내하력을 평가하였다.

가. 허용응력법에 의한 내하력평가

허용응력법에 의한 교량부재의 내하율 산정 시에 하중조합으로는 D+L(1+i)를 사용하여 하중계수를 각각 1.0으로 하며, 사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력, 콘크리트의 경우 실제 압축강도를 사용하여 도로교 설계기준에 의거 부재종류에 따라 결정한다.

고정하중과 활하중에 의한 응력은 도로교설계기준에 의거하여 계산하였으며, 본 교량에서의 적용 활하중은 DB-24 및 DL-24이다.

허용응력법에 의한 교량부재의 내하력 평가방법은 다음과 같다.

- 내하율(RF) $= \dfrac{f_a - f_d}{f_\ell\ (1+i)}$
- 기본 내하력(P) $= RF \times P_r$

여기서, f_a : 실측 허용응력 P_r : 설계 활하중(DB, DL하중)

f_d : 실측 고정하중에 의한 응력 P : 기본 내하력

f_ℓ : 설계 활하중에 의한 응력

i : 이론 충격계수

이 내하율로부터 산정되는 교량부재의 공용내하력은 다음과 같다.

- 공용내하력$(P) = K_s \times RF \times P_r$

여기서, K_S = 응력보정계수 $= \dfrac{\epsilon_{계산}}{\epsilon_{실측}} \times \dfrac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}}$

$\epsilon_{계산}$ $(\epsilon_{실측})$ = 이론적인 변형률 (실측 변형률)

$i_{계산}$ $(i_{실측})$ = 설계기준에 의한 이론적인 충격계수 (실측 충격계수)

P_r = 설계 활하중

나. 강도설계법에 의한 내하력평가

강도설계법으로 내하율을 산정할 때의 하중조합으로는 $1.3D+2.15L(1+i)$을 사용하므로 하중계수는 각각 1.3, 2.15 가 된다. 단면강도는 단면의 현재상태, 즉 재료강도와 단면손실 등을 고려하여 도로교설계기준의 공칭강도와 강도감소 계수를 적용하여 계산한다.

교량설계시의 부재강도 감소계수는 부재강도의 산정에 있어서 재료강도에 대한 불확실성, 설계와 시공단면의 오차 등을 고려하는 계수이나 내하력 평가 시에는 그러한 불확실성은 상당히 감소하므로 오히려 공용중에 부재단면의 손상정도에 따라 결정되어야 한다. 그러나 부재단면의 손상정도를 정량적으로 평가하기가 어려우므로 공칭강도의 산정시는 교량의 현재상태에 따른 단면감소와 재료강도를 고려하고 강도감소계수는 설계시의 값을 그대로 사용한다. 고정하중과 활하중에 의한 단면력은 현재 작용하고 있는 고정하중과 현행 도로교설계기준의 설계활하중(DB 또는 DL하중) 및 콘크리트 구조설계기준을 사용하여 구조해석을 통하여 구한다.

- 내하율(RF) $= \dfrac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_\ell M_\ell \ (1+i)}$
- 기본 내하력(P) $= RF \times P_r$

여기서, ϕ : 실측 허용응력
M_n : 극한 저항모멘트
M_d : 실측 고정하중에 의한 모멘트
M_ℓ : 설계 활하중에 의한 모멘트
i : 이론 충격계수
γ_d : 고정하중 계수(1.30)
γ_ℓ : 활하중 계수(2.15)
P_r : 설계 활하중(DB, DL하중)
P : 기본 내하력

이 내하율로부터 산정되는 교량부재의 공용내하력은 다음 식으로 계산한다.

- 공용내하력$(P) = K_s \times RF \times P_r$

여기서, K_S = 응력보정계수 $= \dfrac{\epsilon_{계산}}{\epsilon_{실측}} \times \dfrac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}}$

P_r = 설계 활하중

5.3.2 내하력평가 결과(부산)

【표 5.56】 공용내하력(부산)

구 분		기본 내하율	응답 보정계수	기본 내하율	기본 내하력	비 고
거더	시점중앙 상연	$\frac{-190.000 - -60.044}{-4.219} = 30.802$	1.000	30.802	DL-24 이상	허용 응력법
	시점중앙 하연	$\frac{190.000 - 70.977}{14.629} = 8.135$	1.000	8.135	"	"
	내측중앙 상연	$\frac{-192.634 - -47.447}{-3.812} = 38.088$	1.000	38.088	"	"
	내측중앙 하연	$\frac{218.500 - -11.440}{18.751} = 12.263$	1.000	12.263	"	"
	종점중앙 상연	$\frac{-148.180 - -58.809}{-5.055} = 17.679$	1.000	17.679	"	"
	종점중앙 하연	$\frac{190.000 - 72.395}{17.102} = 6.877$	1.000	6.877	"	"
	시점지점 상연	$\frac{190.000-94.586 - -2.094}{15.116} = 6.451$	1.000	6.451	"	"
	시점지점 하연	$\frac{-190.000 - -89.074 - -4.597}{-14.987} = 6.427$	1.000	6.427	"	"
	종점지점 상연	$\frac{190.000 - 111.172 - -3.485}{19.845} = 4.148$	1.000	4.148	"	"
	종점지점 하연	$\frac{-190.000 - -102.216 - -5.521}{-19.607} = 4.196$	1.000	4.196	"	"
바닥판	켄틸레버부	$\frac{155.876 - 1.3 \times 14.468}{2.15 \times 42.870} = 1.487$	1.000	1.487	DB-24 이상	강도 설계법
	연속판부	$\frac{109.120 - 1.3 \times 6.008}{2.15 \times 37.440} = 1.259$	1.000	1.259	"	"

만화교(부산) 구간의 강박스거더 및 바닥판에 대한 기본내하력 평가 결과, 기본내하력이 설계활하중(DB-24, DL-24)을 만족하는 것으로 검토되었다.

5.3.3 내하력평가 결과(울산)

【표 5.57】 공용내하력(울산)

구 분		기본 내하율	응답 보정계수	기본 내하율	기본 내하력	비 고
거더	시점중앙 상연	$\frac{-190.000 - -113.051}{-7.493} = 10.269$	1.000	10.269	DL-24 이상	허용 응력법
	시점중앙 하연	$\frac{190.000 - 132.096}{26.115} = 2.217$	1.000	2.217	"	"
	내측중앙 상연	$\frac{-192.634 - -31.907}{-3.674} = 43.743$	1.000	43.743	"	"
	내측중앙 하연	$\frac{218.500 - -29.067}{18.075} = 13.697$	1.000	13.697	"	"
	종점중앙 상연	$\frac{-148.180 - -61.187}{-5.150} = 16.891$	1.000	16.891	"	"
	종점중앙 하연	$\frac{190.000 - 75.180}{17.423} = 6.590$	1.000	6.590	"	"
	시점지점 상연	$\frac{190.000-125.251 - -1.020}{19.782} = 3.325$	1.000	3.325	"	"
	시점지점 하연	$\frac{-190.000 + 117.920 - -2.852}{-19.625} = 3.527$	1.000	3.527	"	"
	종점지점 상연	$\frac{190.000 -98.865 - -4.100}{20.012} = 4.759$	1.000	4.759	"	"
	종점지점 하연	$\frac{-190.000 - -90.947 - -6.246}{-19.772} = 4.694$	1.000	4.694	"	"
바닥판	켄틸레버부	$\frac{155.876 - 1.3 \times 14.468}{2.15 \times 42.870} = 1.487$	1.000	1.487	DB-24 이상	강도 설계법
	연속판부	$\frac{109.120 - 1.3 \times 6.008}{2.15 \times 37.440} = 1.259$	1.000	1.259	"	"

만화교(울산) 구간의 강박스거더 및 바닥판에 대한 기본내하력 평가 결과, 기본내하력이 설계활하중(DB-24, DL-24)을 만족하는 것으로 검토되었다.

5.4 하부구조 안전성평가

5.4.1 만화교(부산) 교대(A1) 구조검토

가. 검토조건

1) 일반사항

① 하부구조형식 : 역T형 교대
② 상부구조형식 : STEEL BOX
③ 교량등급 : 1등교
④ 교대 총폭 : 16.200m
⑤ 교대 총높이 : 15.022m
⑥ 기초형식 : 말뚝기초
⑦ SKEW : 90.000°

2) 하중

① 철근콘크리트의 단위중량 : $\gamma_c = 25.000\,\mathrm{kN/m^3}$
② 뒷채움재의 단위중량 : $\gamma_{s1} = 20.000\,\mathrm{kN/m^3}$(토사)
③ 기초지반의 단위중량 : $\gamma_{s2} = 19.000\,\mathrm{kN/m^3}$
④ 과재하중 : $q_1 = 10.000\,\mathrm{kN/m}$
⑤ 상부 고정하중 반력 : $R_d = 349.839\,\mathrm{kN/m}$
⑥ 상부 활하중 반력 : $R_l = 135.901\mathrm{kN/m}$
⑦ 교량받침 마찰계수 : $f_s = 0.000$

3) 지반조건

① 뒷채움재의 내부마찰각 : $\Phi_1 = 25.000^\circ$
② 기초지반의 N치 : N = 50.000
③ 기초지반의 내부마찰각 : $\Phi_2 = 42.386^\circ$ $(\Phi_2 = 15 + \sqrt{15\mathrm{N}})$
④ 기초지반의 점착력 : $c = 0.000\,\mathrm{kN/m^2}$

4) 사용재료

① 콘크리트

㉠ 설계기준강도(f_{ck}) : 24MPa

㉡ 탄성계수(E_c) : 26,636MPa

② 철근(SD300)

㉠ 항복강도(f_y) : 300MPa

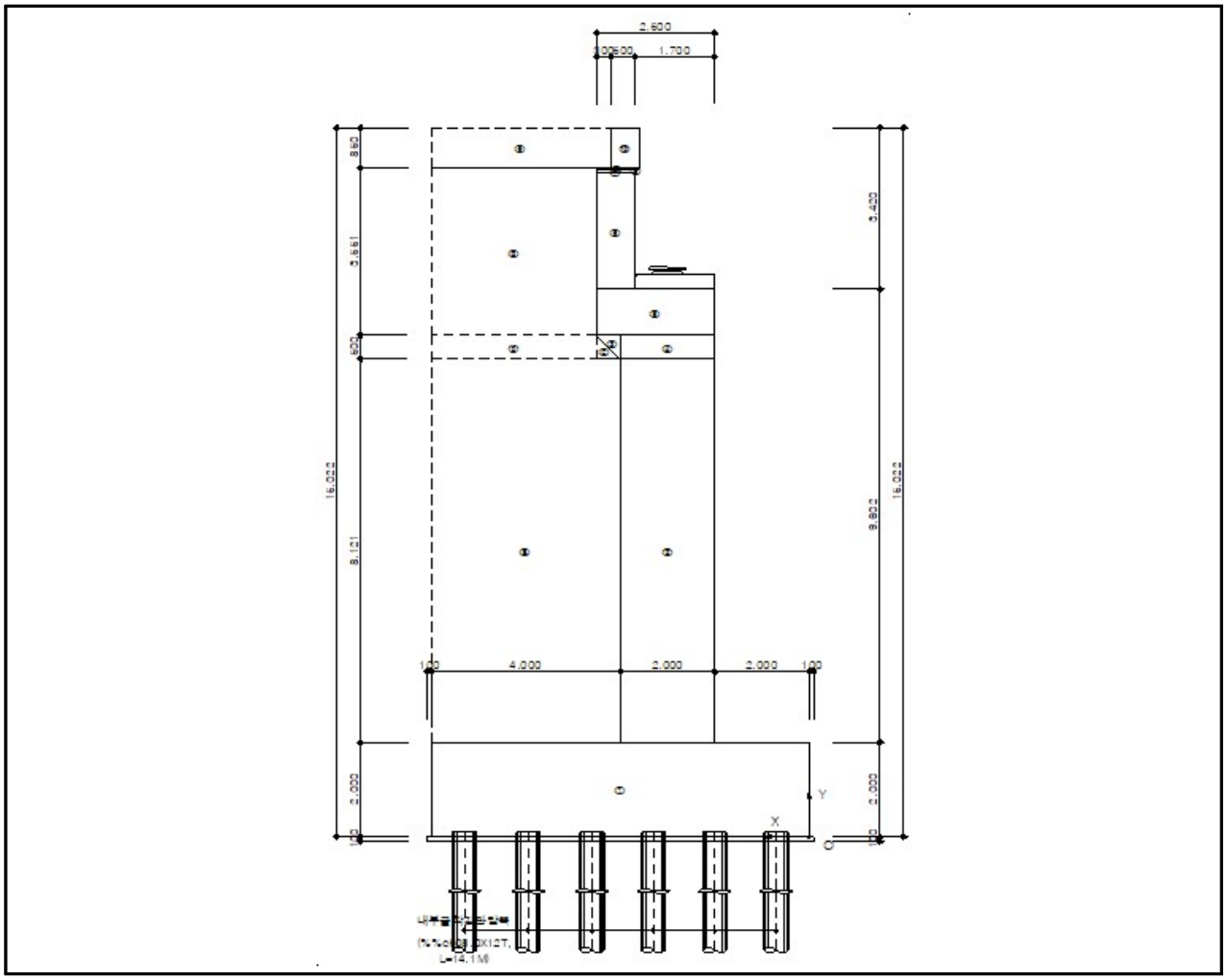
㉡ 탄성계수(E_s) : 200,000MPa

5) 검토방법

① 안정성검토 : 허용응력설계법

② 단면검토 : 극한강도설계법

나. 해석단면



【그림 5.30】 해석단면(A1)(부산)

다. 하중산정

1) 교량받침

구 분	상부반력(kN)						계
	1	2	3	4	5	6	
고정하중	1083.712	783.817	966.169	1083.712	783.817	966.169	5667.396
활하중	420.900	495.200	184.700	420.900	495.200	184.700	2201.600

2) 자중(원점 0을 기준으로)

① 개별하중 산정

구 분	번 호	체적(A_i) (m^3)		단위중량(γ) (kN/m^3)	수직력(V_i) (kN)	수평력(H_i) (kN)
교대구체	①	8.000 × 2.000	= 16.000	25.000	400.000	30.800
	②	2.000 × 8.121	= 16.243	25.000	406.067	31.267
	③	0.500 × 0.500 × 1/2	= 0.125	25.000	3.125	0.241
	④	2.000 × 0.500	= 1.000	25.000	25.000	1.925
	⑤	2.500 × 0.981	= 2.453	25.000	61.317	4.721
	⑥	0.800 × 2.450	= 1.960	25.000	48.992	3.772
	⑦	0.800 × 0.100	= 0.080	25.000	2.000	0.154
	⑧	0.100 × 0.100 × 1/2	= 0.005	25.000	0.125	0.010
	⑨	0.900 × 0.020	= 0.018	25.000	0.450	0.035
	⑩	0.600 × 0.850	= 0.510	25.000	12.750	0.982
	소계		= 38.393		959.826	73.907
뒷채움재	ⓐ	4.000 × 8.121	= 32.485	20.000	649.707	50.027
	ⓑ	3.500 × 0.500	= 1.750	20.000	35.000	2.695
	ⓒ	0.500 × 0.500 × 1/2	= 0.125	20.000	2.500	0.193
	ⓓ	3.500 × 3.552	= 12.427	20.000	248.547	19.138
	ⓔ	3.800 × 0.850	= 3.230	20.000	64.600	4.974
	소계		= 50.018		1000.353	77.027
총 계					1960.179	150.934

② 모멘트 산정

구 분	번 호	팔길이		모멘트	
		수평	수직	M_{xi}	M_{Yi}
		X_i(m)	Y_i(m)	kN·m	kN·m
교대 구체	①	4.000	1.000	1600.000	30.800
	②	3.000	6.061	1218.200	189.500
	③	4.167	10.455	13.021	2.516
	④	3.000	10.371	75.000	19.965
	⑤	3.250	11.112	199.282	52.464
	⑥	4.100	12.827	200.866	48.389
	⑦	4.100	14.102	8.200	2.172
	⑧	3.667	14.119	0.458	0.136
	⑨	4.050	14.162	1.822	0.491
	⑩	3.900	14.597	49.725	14.331
	소 계			3366.574	360.762
뒷채움재	ⓐ	6.000	6.061	3898.240	303.199
	ⓑ	6.250	10.371	218.750	27.951
	ⓒ	4.333	10.288	10.833	1.980
	ⓓ	6.250	12.397	1553.417	237.249
	ⓔ	6.100	14.597	394.060	72.608
	소 계			6075.300	642.988
총 계				9441.874	1003.750

③ 합력의 작용위치 산정

㉠ 교대구체

· X = 3366.574 / 959.826 = 3.507m

· Y = 360.762 / 73.907 = 4.881m

㉡ 뒷채움재

· X = 6075.300 / 1000.353 = 6.073m

· Y = 642.988 / 77.027 = 8.348m

3) 배면토에 의한 토압

① 토압계수 산정

㉠ 평상시 주동토압계수(Rankine) : 안정검토시 적용

$$K_a = \cos\alpha \times \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\Phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\Phi}}$$

㉡ 평상시 주동토압계수(Coulomb) : 단면검토시 적용

$$K_a = \frac{\cos^2(\Phi-\beta)}{\cos^2\beta \times \cos(\beta+\delta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\times\sin(\phi-\alpha)}{\cos(\beta+\delta)\times\cos(\beta-\alpha)}}\right]^2}$$

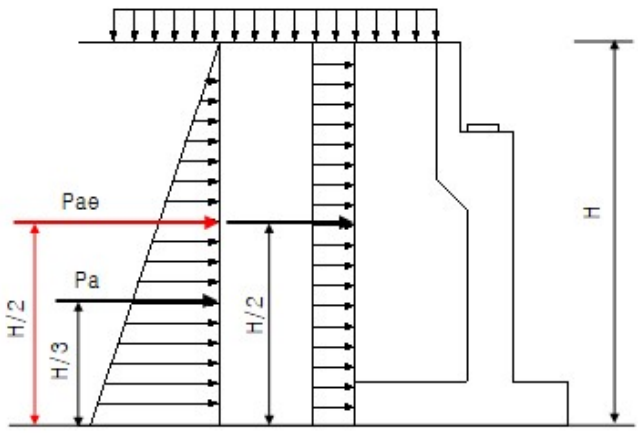
Φ = 뒷채움재의 내부마찰각(도)

α = 지표면과 수평면이 이루는 각(도)

β = 벽배면과 연직면이 이루는 각(도)

δ = 벽배면과 뒷채움재 사이의 벽면마찰각(도)

구 분	안정검토	단면검토
Φ	25.000	25.000
α	0.000	0.000
β	0.000	0.000
δ	0.000	8.333
θ	0.000	0.000
K_h	0.000	0.000
K_a	0.406	0.377



② 안정검토시 토압(H=15.022m)

· $P_a = 1/2 \times K_a \times \gamma \times H^2 \times \cos(\delta)$

$= 1/2 \times 0.406 \times 20.000 \times 15.022^2 \times \cos(0.000)$

$= 751.449\,kN$

· $Y = H/3 = 5.007m$: 작용중심높이

③ 단면검토시 토압(H=13.022m)

· $P_a = 1/2 \times K_a \times \gamma \times H^2 \times \cos(\delta + \beta)$

$= 1/2 \times 0.377 \times 20.000 \times 13.022^2 \times \cos(8.333 + 0.000)$

$= 514.349kN$

· $Y = H/3 = 4.341m$: 작용중심높이

4) 상부구조에 의한 하중

① 상부반력에 의한 하중

- 고정하중 반력

· $R_d = 5667.396 \div 16.200 = 349.839\,kN/m$

- 활하중 반력

· $R_l = 2201.600 \div 16.200 = 135.901kN/m$

② 교량받침 마찰력에 의한 수평력

· $P_h = R_d \times \mu s \times \sin\theta$

$= 349.839 \times 0.000 \times \sin 90.0$

$= 0.000\,kN/m$

5) 뒷채움 지표면의 상재하중

① 상재하중에 의한 수직력

· $P_1 = 10.0000 \times 3.800 = 38.000\,kN$

② 상재하중에 의한 수평력

- 안정검토시 수평토압(H=15.022m)

· $P_{a1} = K_a \times q_l \times H \times \cos(\delta + \beta)$

$= 0.406 \times 10.000 \times 15.022 \times \cos 0.000$

$= 50.023\text{kN}$

· $y = H/2 = 7.511\text{m}$: 작용중심높이

- 단면검토시 수평토압(H=13.022m)

· $P_{a2} = K_a \times q_l \times H \times \cos(\delta + \beta)$

$= 0.377 \times 10.000 \times 13.022 \times \cos 8.333$

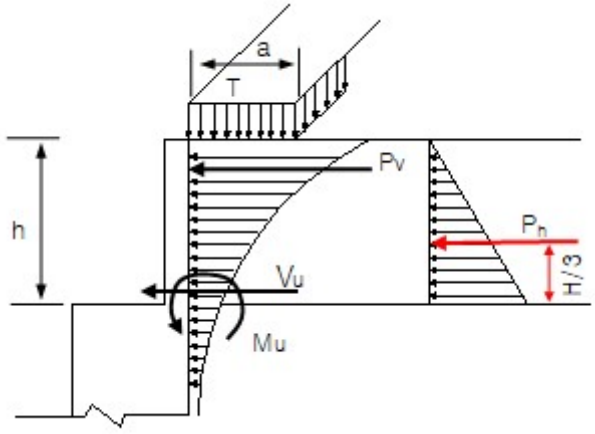
$= 39.498\text{kN}$

· $y = H/2 = 6.511\text{m}$: 작용중심높이

라. 각 부재별 단면검토

1) 각 부재별 단면력 산정

① 흉벽



· 윤하중에 의한 부재력

$P_v = 114.60 \times K_a$

$= 114.60 \times 0.377 = 35.297\text{kN}$

$M_p = 114.60 \times K_a \times (H - 0.36)$

$= 114.60 \times 0.377 \times (3.420 - 0.36) = 107.994\text{kN·m}$

· 토압에 의한 부재력

$$P_h = 1/2 \times K_a \times \gamma \times H^2 \times \cos\delta$$

$$= 1/2 \times 0.377 \times 20.000 \times 3.420^2 \times \cos 8.333 = 35.469\,kN$$

$$M_e = 1/3 \times H \times P_h$$

$$= 1/3 \times 3.420 \times 35.469 = 40.430\,kN\cdot m$$

· 설계 단면력 산정

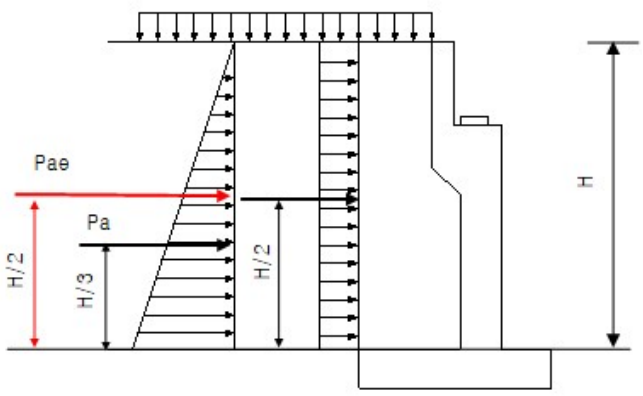
$$V_u = 1.70 \times P_V + 1.70 \times P_h$$

$$= 1.70 \times 35.297 + 1.70 \times 35.469 = 120.302\,kN$$

$$M_u = 1.70 \times M_p + 1.70 \times M_e$$

$$= 1.70 \times 107.994 + 1.70 \times 40.430 = 252.320\,kN\cdot m$$

② 벽체



㉠ 작용하중 집계

구 분	수평력(kN)	작용거리(m)	하중계수	전단력(kN)	모멘트(kN·m)
① 배면토압	514.349	4.341	1.700	874.393	3795.450
② 뒷채움 상재하중	39.498	6.511	1.700	67.147	437.192
③ 교량받침 마찰력	-	10.002	1.300	-	-

㉡ 설계 단면력 산정

구 분	전단력(kN)	모멘트(kN·m)	비 고
설계 단면력(H=5.900m)	941.540	4450.319	

2) 각 부재별 단면검토

【표 5.58】각 부재별 단면검토 결과(A1)(부산)

구 분	d (mm)	필요철근량 (mm^2)	사용철근량 (mm^2)	휨에 대한 검토			전단에 대한 검토		
				M_u (kN·m)	ΦM_n (kN)	안전율	V_u (kN·m)	ΦV_n (kN)	안전율
전면 저판	1850	3231.537	D29@125	1504.90	2374.896	O.K (1.578)	1618.522	1796.271	O.K (1.110)
후면 저판	1850	6689.385	D29@125 D29@125	3071.815	4650.750	O.K (1.514)	1262.890	1796.271	O.K (1.422)
벽체	1855.28	9786.345	D32@125 D29@125	4450.319	5189.554	O.K (1.166)	941.540	1211.866	O.K (1.287)
흉벽	720	1394.141	D16@125	252.320	286.971	O.K (1.137)	120.302	470.302	O.K (3.909)

※ $f_{ck} = 24\,MPa$, $f_y = 300\,MPa$, $k_1 = 0.85$, $\Phi_f = 0.85$, $\Phi_v = 0.80$

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

3) 각 부재별 사용성(균열) 검토

【표 5.59】각 부재별 사용성(균열) 검토결과(A1)(부산)

구 분	인장응력(f_s) (MPa)	허용응력(f_{sa}) (MPa)	최외단 철근 평균간격(s) (㎜)	최외단 철근 최대중심간격(s_q) (㎜)	비고
전면저판	104.118	150	125	417.606	O.K
후면저판	126.867	150	125	406.977	O.K
벽체	132.507	150	125	384.307	O.K
흉벽	137.594	150	125	392.334	O.K

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

마. 말뚝 검토

1) 검토조건

① 말뚝의 제원

말뚝 종류	직경(mm)	두께(mm)	길이(m)
내부굴착 강관말뚝	508	12	14.000

※ 말뚝길이는 기초평면에 묻힌 100mm는 제외한 길이임.

· 말뚝의 탄성계수 : $E = 205{,}000.0\,\mathrm{MPa}$

· 말뚝의 단면2차모멘트 : $I = \pi / 64 \times (0.504^4 - 0.484^4) = 0.0004736\,\mathrm{m}^4$

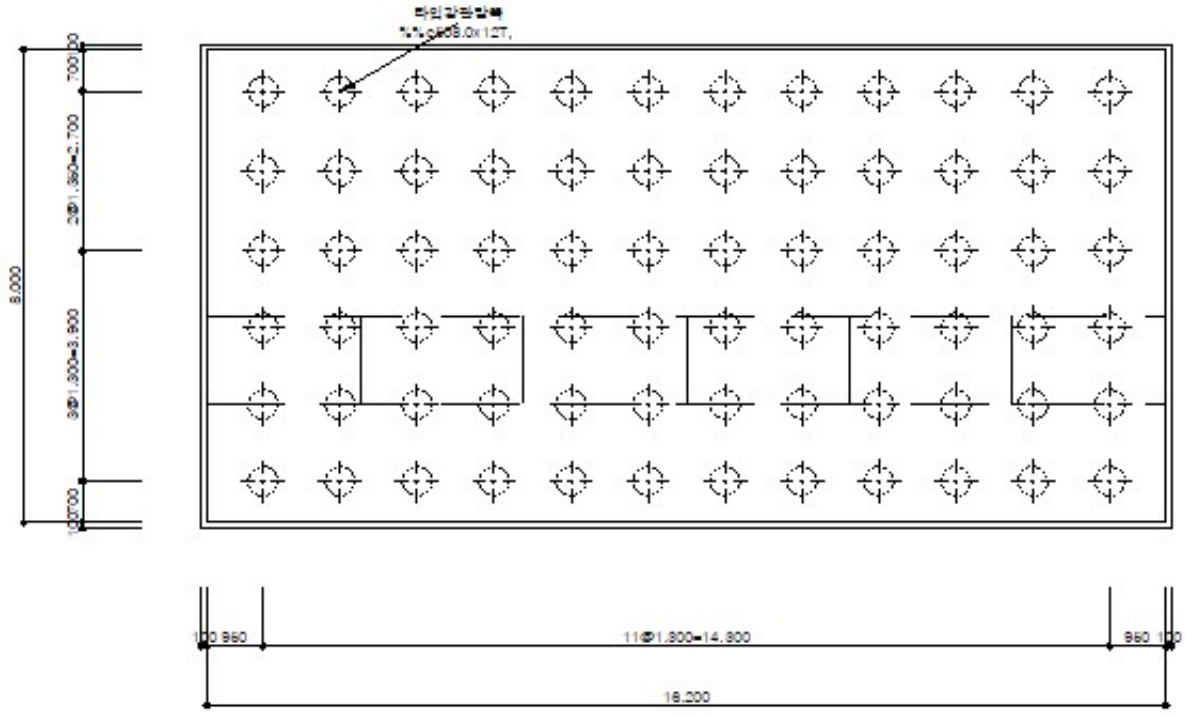
· 말뚝 머리의 평균 N치 : N = 11

· 말뚝 선단의 평균 N치 : N = 40

· 말뚝 선단의 근입깊이 : $D_f = 1.0\,\mathrm{m}$

· 원지반으로부터 돌출된 길이 : $h = 0.0\,\mathrm{m}$

② 말뚝의 배치



2) 말뚝도심에서의 작용하중

① 교축방향

구 분		V_o(kN)	H_o(kN)	M_o(kN·m)	비 고
사용하중	COMBO 1	32370.500	12983.846	39006.452	-
	COMBO 2	32370.500	12983.846	39006.452	-
	COMBO 3	31754.900	16373.340	94153.278	-
	COMBO 4	40239.488	12983.846	46677.806	-
	COMBO 5	40239.488	12983.846	46677.806	-
	COMBO 6	37422.292	16373.340	99655.563	-
계수하중	COMBO 1	42604.910	22072.539	76390.603	-
	COMBO 2	42081.650	22072.539	77514.399	-
	COMBO 3	31754.900	16373.340	94153.278	-
	COMBO 4	54705.951	22072.539	88185.993	-
	COMBO 5	52311.334	22072.539	87516.862	-
	COMBO 6	37422.292	16373.340	99655.563	-

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

3) 말뚝의 안정성 검토

① 말뚝의 지지력 검토

【표 5.60】말뚝의 안전검토 및 응력검토결과(부산)

구 분		허용값	발생값	비 고
교축 방향	허용지지력(kN/EA)	1296.870	1066.794	O.K
	휨응력(MPa)	190.000	142.866	O.K
	전단응력(MPa)	110.000	23.233	O.K
	수평변위(mm)	15.000	8.404	O.K

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

5.4.2 만화교(울산) 교대(A1) 구조검토

가. 검토조건

1) 일반사항

① 하부구조형식 : 역T형 교대

② 상부구조형식 : STEEL BOX

③ 교량등급 : 1등교

④ 교대 총폭 : 16.200m

⑤ 교대 총높이 : 14.530m

⑥ 기초형식 : 말뚝기초

⑦ SKEW : 90.000°

2) 하중

① 철근콘크리트의 단위중량 : $\gamma_c = 25.000\,kN/m^3$

② 뒷채움재의 단위중량 : $\gamma_{s1} = 20.000\,kN/m^3$(토사)

③ 기초지반의 단위중량 : $\gamma_{s2} = 19.000\,kN/m^3$

④ 과재하중 : $q_l = 10.000\,kN/m$

⑤ 상부 고정하중 반력 : $R_d = 349.839\,kN/m$

⑥ 상부 활하중 반력 : $R_l = 135.901\,kN/m$

⑦ 교량받침 마찰계수 : $f_s = 0.000$

3) 지반조건

① 뒷채움재의 내부마찰각 : $\Phi_1 = 25.000^\circ$

② 기초지반의 N치 : N = 50.000

③ 기초지반의 내부마찰각 : $\Phi_2 = 42.386^\circ$ $(\Phi_2 = 15 + \sqrt{15N})$

④ 기초지반의 점착력 : $c = 0.000\,kN/m^2$

4) 사용재료

① 콘크리트

㉠ 설계기준강도(f_{ck}) : 24MPa

㉡ 탄성계수(E_c) : 26,636MPa

② 철근(SD300)

㉠ 항복강도(f_y) : 300MPa

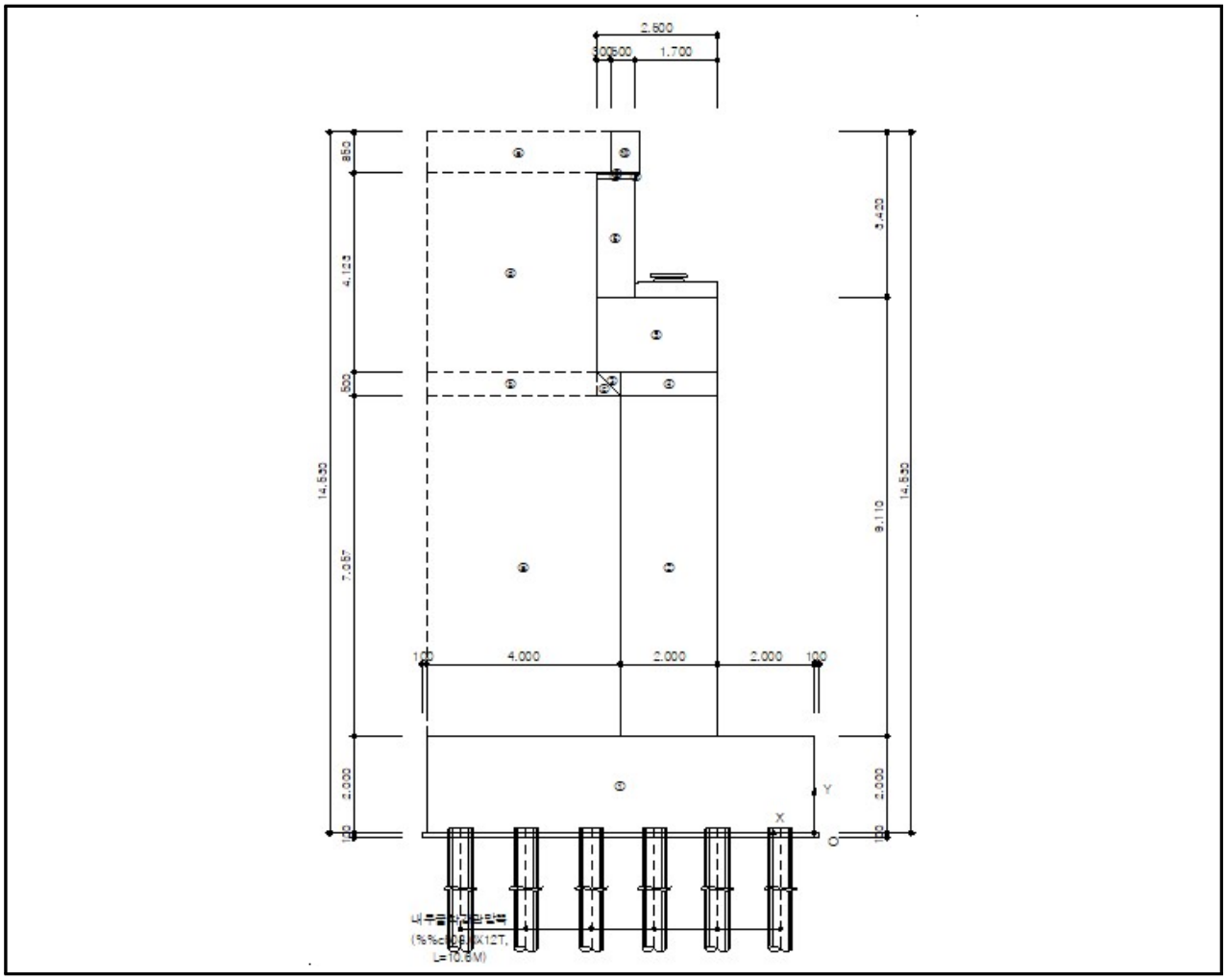
㉡ 탄성계수(E_s) : 200,000MPa

5) 검토방법

① 안정성검토 : 허용응력설계법

② 단면검토 : 극한강도설계법

나. 해석단면



【그림 5.31】 해석단면(A1)(울산)

다. 하중산정

1) 교량받침

구 분	상부반력(kN)						계
	1	2	3	4	5	6	
고정하중	1083.712	783.817	966.169	1083.712	783.817	966.169	5667.396
활하중	420.900	495.200	184.700	420.900	495.200	184.700	2201.600

2) 자중(원점 0을 기준으로)

① 개별하중 산정

구 분	번 호	체적(A_i) (m^3)		단위중량(γ) (kN/m^3)	수직력(V_i) (kN)	수평력(H_i) (kN)
교대구체	①	8.000 × 2.000	= 16.000	25.000	400.000	30.800
	②	2.000 × 7.057	= 14.113	25.000	352.833	27.168
	③	0.500 × 0.500 × 1/2	= 0.125	25.000	3.125	0.241
	④	2.000 × 0.500	= 1.000	25.000	25.000	1.925
	⑤	2.500 × 1.554	= 3.884	25.000	97.106	7.477
	⑥	0.800 × 2.450	= 1.960	25.000	48.993	3.772
	⑦	0.800 × 0.100	= 0.080	25.000	2.000	0.154
	⑧	0.100 × 0.100 × 1/2	= 0.005	25.000	0.125	0.010
	⑨	0.900 × 0.020	= 0.018	25.000	0.450	0.035
	⑩	0.600 × 0.850	= 0.510	25.000	12.750	0.982
	소계		= 37.695		942.382	72.563
뒷채움재	ⓐ	4.000 × 7.057	= 28.227	20.000	564.533	43.469
	ⓑ	3.500 × 0.500	= 1.750	20.000	35.000	2.695
	ⓒ	0.500 × 0.500 × 1/2	= 0.125	20.000	2.500	0.193
	ⓓ	3.500 × 4.123	= 14.432	20.000	288.633	22.225
	ⓔ	3.800 × 0.850	= 3.230	20.000	64.600	4.974
	소계		= 47.763		955.267	73.556
총 계					1897.649	146.119

② 모멘트 산정

구 분	번 호	팔길이		모멘트	
		수평	수직	M_{xi}	M_{Yi}
		X_i(m)	Y_i(m)	kN·m	kN·m
교대 구체	①	4.000	1.000	1600.000	30.800
	②	3.000	5.528	1058.500	150.195
	③	4.167	9.390	13.021	2.259
	④	3.000	9.307	75.000	17.915
	⑤	3.250	10.334	315.594	77.265
	⑥	4.100	12.335	200.870	46.534
	⑦	4.100	13.610	8.200	2.096
	⑧	3.667	13.627	0.458	0.131
	⑨	4.050	13.670	1.822	0.474
	⑩	3.900	14.105	49.725	13.848
	소 계			3323.191	341.517
뒷채움재	ⓐ	6.000	5.528	3387.200	240.311
	ⓑ	6.250	9.307	218.750	25.081
	ⓒ	4.333	9.223	10.833	1.775
	ⓓ	6.250	11.618	1803.958	258.215
	ⓔ	6.100	14.105	394.060	70.161
	소 계			5814.802	595.544
총 계				9137.993	937.061

③ 합력의 작용위치 산정

㉠ 교대구체

· X = 3323.191 / 942.382 = 3.526m

· Y = 341.517 / 72.563 = 4.706m

㉡ 뒷채움재

· X = 5814.802 / 955.267 = 6.087m

· Y = 595.544 / 73.556 = 8.097m

3) 배면토에 의한 토압

① 토압계수 산정

㉠ 평상시 주동토압계수(Rankine) : 안정검토시 적용

$$K_a = \cos\alpha \times \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\Phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\Phi}}$$

㉡ 평상시 주동토압계수(Coulomb) : 단면검토시 적용

$$K_a = \frac{\cos^2(\Phi-\beta)}{\cos^2\beta \times \cos(\beta+\delta)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\times\sin(\phi-\alpha)}{\cos(\beta+\delta)\times\cos(\beta-\alpha)}}\right]^2}$$

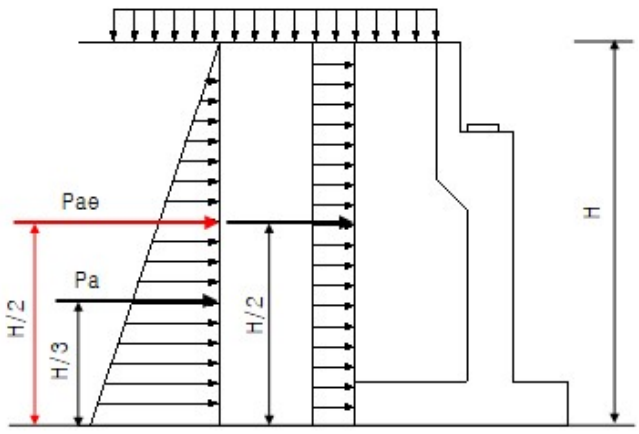
Φ = 뒷채움재의 내부마찰각(도)

α = 지표면과 수평면이 이루는 각(도)

β = 벽배면과 연직면이 이루는 각(도)

δ = 벽배면과 뒷채움재 사이의 벽면마찰각(도)

구 분	안정검토	단면검토
Φ	25.000	25.000
α	0.000	0.000
β	0.000	0.000
δ	0.000	8.333
θ	0.000	0.000
K_h	0.000	0.000
K_a	0.406	0.377



② 안정검토시 토압(H=14.530m)

· $P_a = 1/2 \times K_a \times \gamma \times H^2 \times \cos(\delta)$

$= 1/2 \times 0.406 \times 20.000 \times 14.530^2 \times \cos(0.000)$

$= 703.033\,kN$

· $Y = H/3 = 4.843m$: 작용중심높이

③ 단면검토시 토압(H=12.530m)

· $P_a = 1/2 \times K_a \times \gamma \times H^2 \times \cos(\delta + \beta)$

$= 1/2 \times 0.377 \times 20.000 \times 12.530^2 \times \cos(8.333 + 0.000)$

$= 476.216kN$

· $Y = H/3 = 4.177m$: 작용중심높이

4) 상부구조에 의한 하중

① 상부반력에 의한 하중

- 고정하중 반력

· $R_d = 5667.396 \div 16.200 = 349.839\,kN/m$

- 활하중 반력

· $R_l = 2201.600 \div 16.200 = 135.901kN/m$

② 교량받침 마찰력에 의한 수평력

· $P_h = R_d \times \mu s \times \sin\theta$

$= 349.839 \times 0.000 \times \sin 90.0$

$= 0.000\,kN/m$

5) 뒷채움 지표면의 상재하중

① 상재하중에 의한 수직력

· $P_1 = 10.0000 \times 3.800 = 38.000\,kN$

② 상재하중에 의한 수평력

- 안정검토시 수평토압(H=14.530m)

· $P_{a1} = K_a \times q_l \times H \times \cos(\delta + \beta)$

$= 0.406 \times 10.000 \times 14.530 \times \cos 0.000$

$= 48.385\text{kN}$

· $y = H/2 = 7.265\text{m}$: 작용중심높이

- 단면검토시 수평토압(H=12.530m)

· $P_{a2} = K_a \times q_l \times H \times \cos(\delta + \beta)$

$= 0.377 \times 10.000 \times 12.530 \times \cos 8.333$

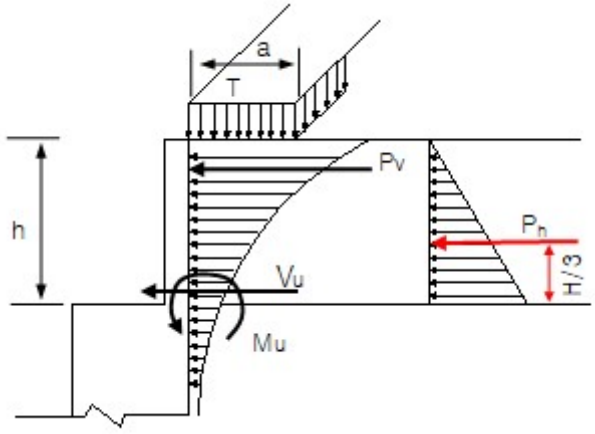
$= 38.006\text{kN}$

· $y = H/2 = 6.265\text{m}$: 작용중심높이

라. 각 부재별 단면검토

1) 각 부재별 단면력 산정

① 흉벽



· 윤하중에 의한 부재력

$P_v = 114.60 \times K_a$

$= 114.60 \times 0.377 = 35.297\text{kN}$

$M_p = 114.60 \times K_a \times (H - 0.36)$

$= 114.60 \times 0.377 \times (3.420 - 0.36) = 107.996\text{kN·m}$

· 토압에 의한 부재력

$$P_h = 1/2 \times K_a \times \gamma \times H^2 \times \cos\delta$$

$$= 1/2 \times 0.377 \times 20.000 \times 3.420^2 \times \cos 8.333 = 35.470\,kN$$

$$M_e = 1/3 \times H \times P_h$$

$$= 1/3 \times 3.420 \times 35.470 = 40.432\,kN\cdot m$$

· 설계 단면력 산정

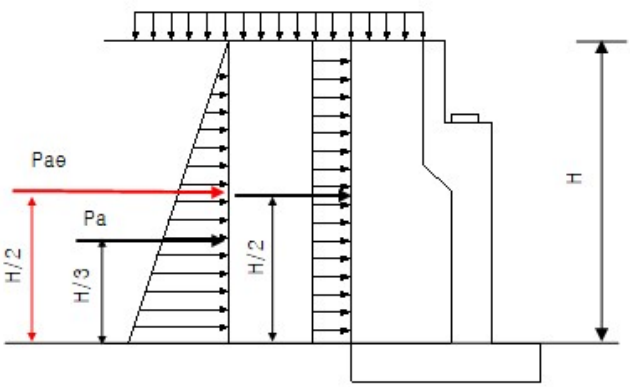
$$V_u = 1.70 \times P_V + 1.70 \times P_h$$

$$= 1.70 \times 35.297 + 1.70 \times 35.470 = 120.304\,kN$$

$$M_u = 1.70 \times M_p + 1.70 \times M_e$$

$$= 1.70 \times 107.996 + 1.70 \times 40.432 = 252.326\,kN\cdot m$$

② 벽체



㉠ 작용하중 집계

구 분	수평력(kN)	작용거리(m)	하중계수	전단력(kN)	모멘트(kN·m)
① 배면토압	476.216	4.177	1.700	809.567	3381.292
② 뒷채움 상재하중	38.006	6.265	1.700	64.610	404.783
③ 교량받침 마찰력	-	9.510	1.300	-	-

㉡ 설계 단면력 산정

구 분	전단력(kN)	모멘트(kN·m)	비 고
설계 단면력(H=5.900m)	874.177	3974.742	

2) 각 부재별 단면검토

【표 5.61】각 부재별 단면검토 결과(A1)(울산)

구분	d (mm)	필요철근량 (mm^2)	사용철근량 (mm^2)	휨에 대한 검토			전단에 대한 검토		
				M_u (kN·m)	ΦM_n (kN)	안전율	V_u (kN·m)	ΦV_n (kN)	안전율
전면저판	1850	3047.842	D29@125	1420.402	2374.896	O.K (1.672)	1531.239	1796.271	O.K (1.173)
후면저판	1850	6382.321	D29@125 D29@125	2934.484	4650.750	O.K (1.585)	1189.736	1208.415	O.K (1.016)
벽체	1855.28	8701.622	D32@125 D29@125	3974.742	5189.554	O.K (1.306)	874.177	1211.866	O.K (1.386)
흉벽	720	1394.176	D16@125	252.326	286.971	O.K (1.137)	120.304	470.302	O.K (3.909)

※ $f_{ck} = 24\,MPa$, $f_y = 300\,MPa$, $k_1 = 0.85$, $\Phi_f = 0.85$, $\Phi_v = 0.80$

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

3) 각 부재별 사용성(균열) 검토

【표 5.62】각 부재별 사용성(균열) 검토결과(A1)(울산)

구 분	인장응력(f_s) (MPa)	허용응력(f_{sa}) (MPa)	최외단 철근 평균간격(s) (㎜)	최외단 철근 최대중심간격(s_q) (㎜)	비고
전면저판	98.298	150	125	462.387	O.K
후면저판	117.455	150	125	456.720	O.K
벽체	118.527	150	125	454.405	O.K
흉벽	137.598	150	125	392.320	O.K

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

마. 말뚝 검토

1) 검토조건

① 말뚝의 제원

말뚝 종류	직경(mm)	두께(mm)	길이(m)
내부굴착 강관말뚝	508	12	10.500

※ 말뚝길이는 기초평면에 묻힌 100mm는 제외한 길이임.

· 말뚝의 탄성계수 : $E = 205{,}000.0\,\mathrm{MPa}$

· 말뚝의 단면2차모멘트 : $I = \pi / 64 \times (0.504^4 - 0.484^4) = 0.0004736\,\mathrm{m}^4$

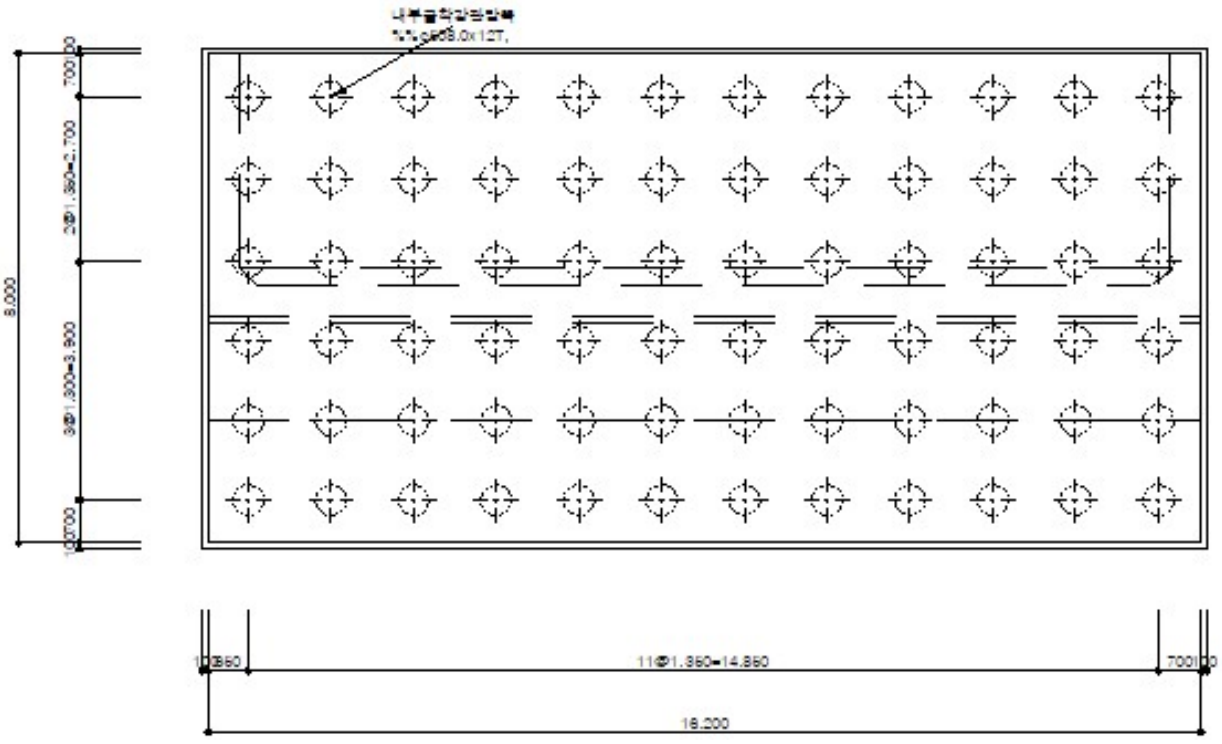
· 말뚝 머리의 평균 N치 : N = 9

· 말뚝 선단의 평균 N치 : N = 40

· 말뚝 선단의 근입깊이 : $D_f = 1.0\,\mathrm{m}$

· 원지반으로부터 돌출된 길이 : $h = 0.0\,\mathrm{m}$

② 말뚝의 배치



2) 말뚝도심에서의 작용하중

① 교축방향

구 분		V_o(kN)	H_o(kN)	M_o(kN·m)	비 고
사용하중	COMBO 1	31357.514	12172.972	33709.327	-
	COMBO 2	31357.514	12172.972	33709.327	-
	COMBO 3	30741.914	15397.938	84017.650	-
	COMBO 4	39226.502	12172.972	41383.959	-
	COMBO 5	39226.502	12172.972	41383.959	-
	COMBO 6	36409.306	15397.938	89530.482	-
계수하중	COMBO 1	41288.028	20694.052	67051.757	-
	COMBO 2	40764.768	20694.052	68158.692	-
	COMBO 3	30741.914	15397.938	84017.650	-
	COMBO 4	53389.069	20694.052	78855.655	-
	COMBO 5	50994.452	20694.052	78123.501	-
	COMBO 6	36409.306	15397.938	89530.482	-

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

3) 말뚝의 안정성 검토

① 말뚝의 지지력 검토

【표 5.63】말뚝의 안전검토 및 응력검토결과(울산)

구 분		허용값	발생값	비 고
교축 방향	허용지지력(kN/EA)	1339.050	1012.968	O.K
	휨응력(MPa)	190.000	145.813	O.K
	전단응력(MPa)	110.000	21.782	O.K
	수평변위(mm)	15.000	9.303	O.K

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

5.4.3 교대 안전성 검토

가. 측방유동현상의 이론

쌓기부 교대의 기초지반은 교대 배면에 쌓기로 인한 편재하중으로 측방토압을 받을 수 있으며, 이러한 경우 말뚝기초는 수평변위가 발생되어 안정성에 영향을 미칠 수 있다.

측방토압은 토립자의 소성화에 의한 수평적인 측방변위를 발생시키며 횡방향 지반반력계수 kh값의 저하로 수평저항력이 감소하게 되며, 이러한 측방토압으로 인한 다음과 같은 문제가 발생한다.

•Shoe의 파손 및 Shoe 받침으로부터의 탈락

교대의 교축방향의 수평변위가 말뚝에 의해서 억제되기 때문에, 그 연결부인 답이 파손되거나 답좌의 콘크리트 파괴 또는 탈락이 발생된다.

•신축 Joint의 기능 저하

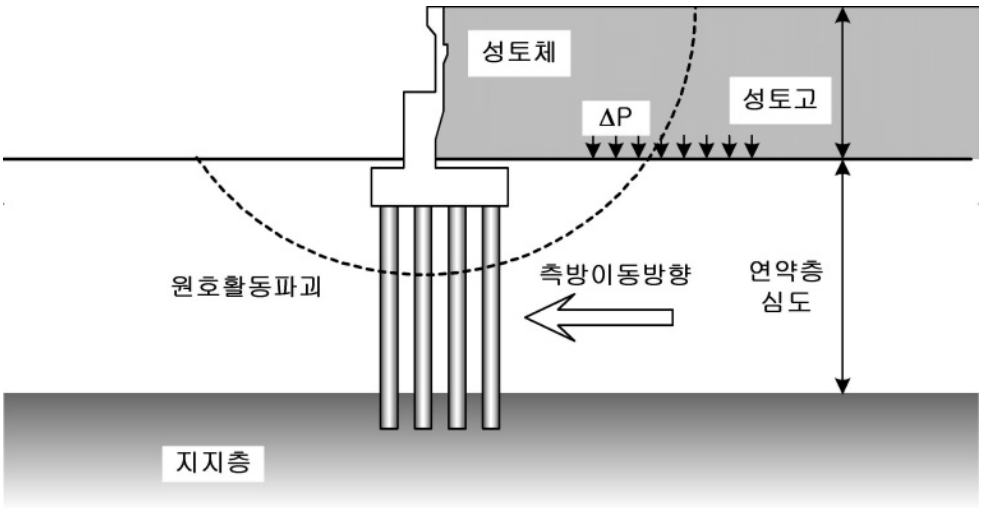
가동 Shoe의 경우나 고정 Shoe의 부분이 파손한 경우에는 신축계수의 유간이 좁아져서 극단적인 경우 완전히 폐합하고, 혹은 유간이 너무 열리는 등 신축 Joint의 기능저하가 생긴다.

•주형과 흉벽의 접합

Beam 단부의 국부좌굴이나 철근 콘크리트의 압축파괴가 발생한다.

•교대기초의 파손

말뚝기초를 이용하는 경우 말뚝두부가 푸팅에 구속되므로 휨모멘트를 발생시키게 되며 이로 인하여 말뚝두부가 파손되는 경우가 있다.

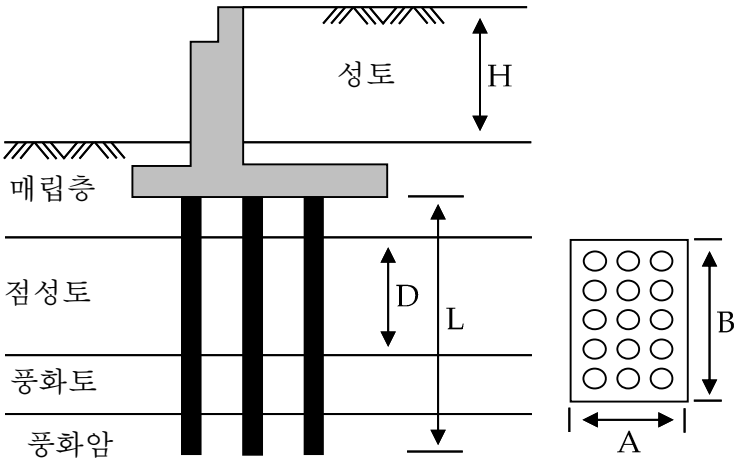


나. 교대의 안정성 평가방법

1) 측방유동의 판정방법

① 측방이동판정지수 (I)에 의한 방법

- 일본 건설성 토목연구소에서 교대의 측방이동에 관한 요인으로서 교대, 기초말뚝, 지반에 관한 각종 요인을 고려하여 제시
- 성토의 안정계수를 기본으로 하여 그 밖의 주요한 요인을 조합한 세 개의 계수로 보정한 I값을 제시하고, 이 값에 기초하여 교대의 이동 유무 판정



$$I = \mu_1 \mu_2 \mu_3 \frac{\gamma_t H}{C_u}$$

여기서, : 측방이동 판정지수 I

μ_1 : 연약층 두께에 대한 보정계수 ($\mu_1 = \frac{D}{L}$)

μ_2 : 말뚝자체의 저항폭에 관한 보정계수 ($\mu_2 = \frac{b}{B}$)

μ_3 : 교대길이에 관한 보정계수 ($\mu_3 = \frac{D}{A}$)

C_u : 연약층의 비배수 전단강도 (tf/m^2)

γ_t : 쌓기체의 단위중량 (tf/m^2)

H : 쌓기높이 (m) D : 연약층 두께 (m)

B : 교대 폭 (m) b : 기초체 폭의 합 (m)

A 교축방향 교대길이 (m) L : 기초의 근입 깊이 (m)

판정기준	I ≥ 1.2 : 측방유동 가능성 있음 I < 1.2 : 측방유동 가능성 없음

② 측방유동지수에 의한 방법

- 일본 도로공단에서 75개 교대 사례를 대상으로 수량화 이론에 의한 요인 분석 실시
- 교대 이동에 상관성이 높은 요인들간의 상관성을 조합한 수식을 통해 측방유동지수(F)를 제시하고 이 값에 기초하여 교대의 이동 유무 판정

$$F = \frac{C_u}{\gamma_t H} \times \frac{1}{D}$$

여기서, F :측방유동 지수
Cu: 연약층의 비배수 전단강도 (tf/m2)　　H : 쌓기높이 (m)
γ_t : 쌓기체의 단위중량 (tf/m3)　　D : 연약층 두께(m)

판정기준	F ≥ 0.04 : 측방유동 가능성 없음 F < 0.04 : 측방유동 가능성 있음

③ Tschebotarioff법에 의한 검토

- 연약지반의 비배수 강도에 대응하여 연약지반상에 쌓기 시킬 수 있는 최대 높이 산정
- 연약층의 두께를 고려하지 못함

$$N_b = \frac{\gamma_t H}{C_u}$$

N_b : 안정계수　　Cu: 연약층의 비배수 전단강도 (tf/m2)
γ_t : 쌓기체의 단위중량 (tf/m3)　　H : 쌓기높이 (m)

판정기준	$N_b > 3$: 측방유동 가능성 있음 $N_b \leq 3$: 측방유동 가능성 없음

④ 사면안정해석에 의한 검토

- 사면의 원호활동 파괴에 대한 안정성 검토를 통하여 측방유동의 발생 가능성을 평가

제안자	판정기준
March	•말뚝효과 미고려시 F.S > 1.4 이면 안정
일본 수도고속도로공단	•말뚝효과 미고려시 F.S> 1.6 이면 안정
홍원표(1994)	•말뚝효과 미고려시 F.S > 1.5 이면 안정 •말뚝효과 고려시 F.S> 1.8 이면 안정

- 본 과업에서는 사면안정해석에 의한 검토방법을 통하여 측방유동에 대한 검토를 수행하였다.(홍원표, 1994)

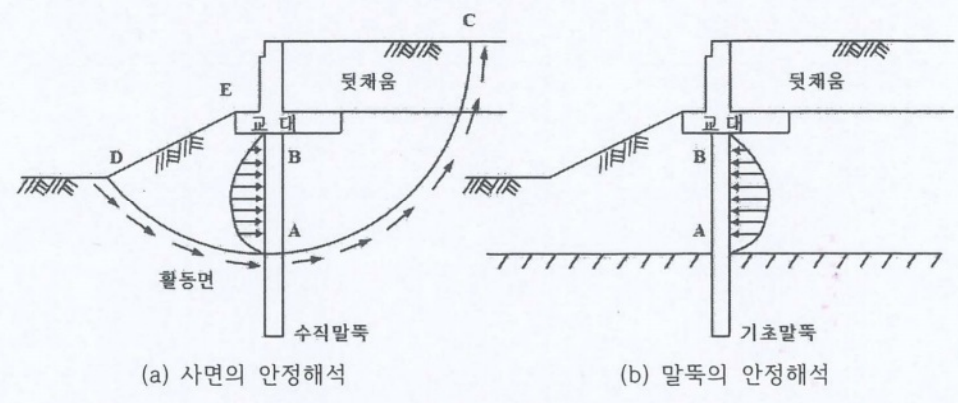
다. 말뚝기초 교대의 안정해석법

1) 기본개념

교대기초말뚝의 설계시에는 교대가 설치되어 있는 사면의 안정검토와 교대기초 말뚝의 안정성 검토가 함께 실시되어야만 한다. 불안한 사면지반에 교대기초말뚝이 일렬로 설치되어 있으면 이 기초말뚝은 사면활동을 억지할 수 있는 역할을 갖게된다. 한편 기초말뚝은 사면활동면 상부의 토괴로부터 측방토압을 받게 된다. 이 문제를 해석하기 위해서는 이 말뚝에 작용하는 측방토압을 정확하게 산정하여 말뚝의 사면활동 억지능력 및 말뚝의 거동에 관한 분석을 정확하게 하여야만 한다. 그러나 말뚝에 작용하는 측방토압의 발생기구는 복잡하기 때문에 정확하게 예측하기가 매우 어렵다. 왜냐하면 이 측방토압은 말뚝과 지반의 상호작용에 의하여 결정되기 때문이다. 따라서 종종 강성벽에 적용하는 고전적 토압론에 의거한 토압산정식을 주로 사용하고 있다.

이러한 교대기초 말뚝의 안정해석에는 일반적인 억지말뚝의 해석법을 수정 적용할 수 있다. 즉, 교대기초말뚝이 설치된 사면의 안정해석에 있어서는 사면의 안정해석과 말뚝의 안정해석에 대한 두가지 해석이 모두 실시되어야 한다. 왜냐하면 말뚝이 설치된 사면의 전체 안정은 사면과 말뚝 모두의 안정이 확보되었을 경우에만 비로서 가능하기 때문이다. 만약, 말뚝에 작용하는 측방토압(혹은 붕괴토괴에 저항하는 말뚝의 저항력)을 정확히 알수 있다면, 먼저 말뚝의 안정해석이 수평하중을 받는 말뚝(주동말뚝)의 해석법을 응용하여 검토될 수 있다. 그러나 주동말뚝의 경우는 수평하중이 말뚝머리 부분에 집중하중으로 작용하나 수동말뚝은 사면파괴면 상부의 측방변형 지반을 통하여 말뚝에 분포하중으로 작용하게 됨에 유의하여야 한다.

말뚝의 안정해석으로부터 말뚝의 안정이 확보되면 사면의 안정해석이 파괴면의 지반전단저항력 및 말뚝의 저항력을 함께 고려하여 실시한다.



<교대 기초말뚝의 안정해석 기본개념>

*측방유동(지반공학시리즈, 홍원표, 중앙대학교 명예교수, 2015.8)

2) 말뚝의 안정해석법

교대기초말뚝의 안정에 관하여는 활동면상의 토괴에 의하여 말뚝이 측방토압을 받는다고 생각하면 수평력을 받는 주동말뚝의 해석법을 적용할 수 있다.

단, 수동말뚝의 경우는 활동면상의 말뚝에 작용하는 측방토압은 분포하중이 된다.

측방토압을 분포하중으로 취급한 경우 말뚝거동에 관한 기본 미분방적식은 사면활동면 상부와 하부의 말뚝에 작용하는 측방토압 및 지반반력으로 표현된다.

$$E_p I_p \frac{d^4 y}{dz^4} = P_m(z) - E_{s1y_1} \quad (0 \le z \le H)$$

$$E_p I_p \frac{d^4 y^2}{dz^4} = -E_{s2y2} \quad (0 \le z \le H)$$

여기서, $P_m(z)$ = 줄말뚝에 작용하는 설계측방토압

z = 지표면에서부터의 깊이

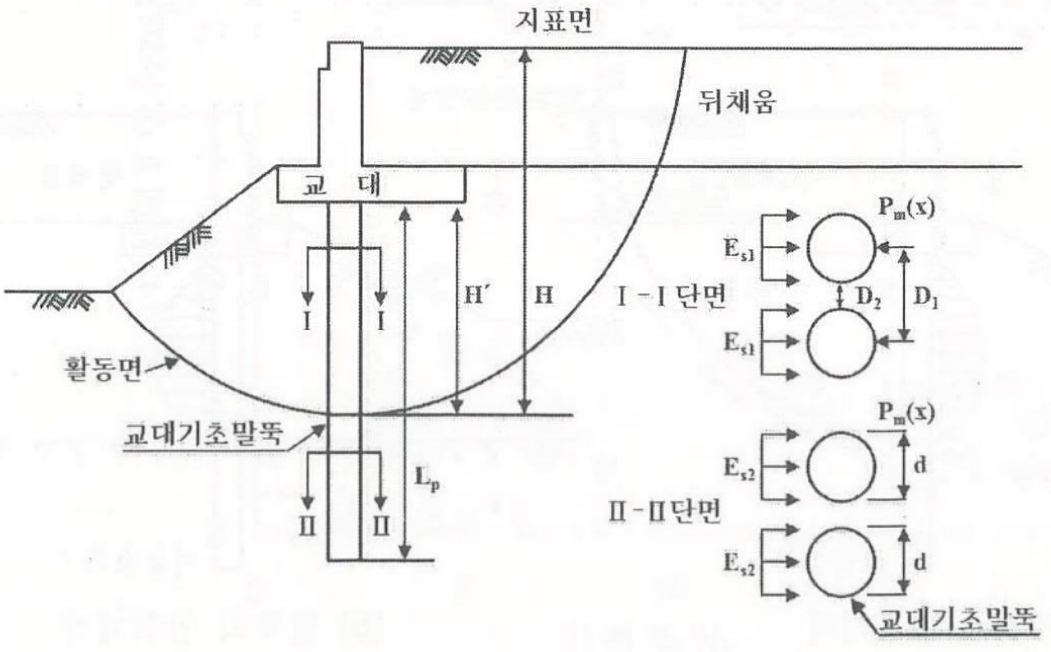
H와 H' = 각각 사면 가상파괴면에서 지표면 및 말뚝머리까지의 길이

y_1과 y_2 = 사면파괴면 상하부의 말뚝변위

E_{s1}과 E_{s2} = 사면파괴면 상하부의 지반계수

$E_p I_p$ = 말뚝강성,

L_p = 말뚝길이



<사면 가상파괴면 상하부 교대기초말뚝에 작용하는 하중도>

사면파괴면 상부의 말뚝의 거동에 관한 기본 방적식으로부터 말뚝의 변위방정식의 일반

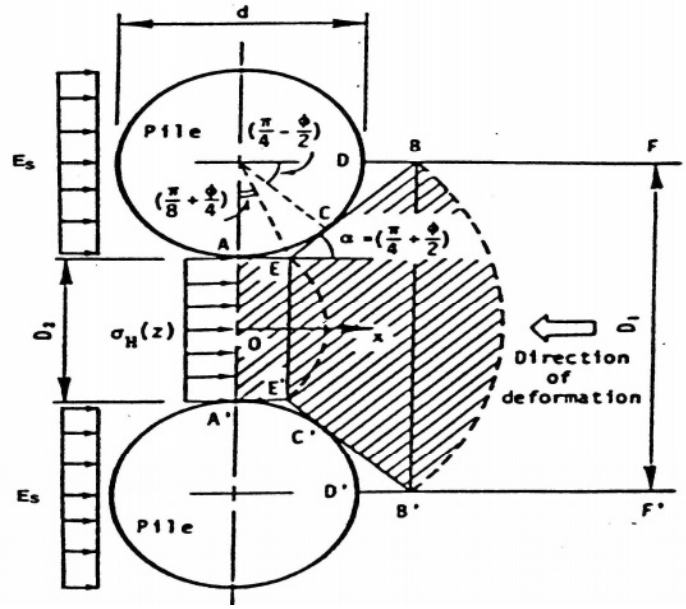
해를 구한후, 사면파괴면 하부의 말뚝의 변위에 대한 일반해를 산정할 수 있다.

한편, 교대의 경우는 수평변위의 크기가 교량전체의 안정에 크게 영향을 미치게 되므로 수평변위의 허용량을 정하여 놓는 경우가 많다. 이 경우의 말뚝의 안정은 말뚝머리의 최대 수평변위와의 비교에 의하여 검토가 가능하다.

쌓기부 교대 구조물은 교대 배면에 성토재로 인한 편재하중으로 측방토압을 받으며, 이때 말뚝기초에 수평변위가 발생되어 교대구조물의 안정성에 영향을 미칠 수 있다.

말뚝기초는 지반파괴에 저항하여 비탈면의 안정성을 증대시키게 되므로 말뚝이 설치된 교대구조물의 안정성은 지반과 말뚝의 상호작용의 문제이며, 따라서 말뚝기초의 안정성과 교대구조물에 대한 전반활동에 대한 안정성을 동시에 고려하는 검토를 수행해야 한다.

말뚝에 작용하는 측방토압을 고려한 해석의 일반적인 개념은 다음과 같다.



- 교대기초 말뚝이 측방 변형지반에 일정한 간격으로 일렬로 설치되어있는 경우 그 지반이 부근의 상재하중 등으로 인하여 말뚝열과 직각방향으로 측방변형되면 말뚝 주변 지반에서는 아칭현상(Arching Effect)에 의하여 그림과 같이 빗금친 부분에서만 소성영역이 발생한다.(홍원표, 1994)
- Slopile 프로그램은 말뚝 주변 지반의 소성상태를 고려한 측방토압을 산정하며, 측방토압 산정시 말뚝의 간격을 고려함으로서 말뚝과 지반의 상호작용을 동시에 고려한 해석이 가능하다.

라. 지층현황(시추조사 결과)

기존 지반조사 결과는 다음과 같다.

1) 충적층

본 층은 GL-0.0~GL-15.6m까지 분포하고 있으며 주로 실트질 모래 및 모래질 실트층으로 구성되어 있고 황갈색을 띠고 있고 있으며 습윤상태로 매우 조밀한 상태를 보이고 있다. N치는 8/30~50/9(회/cm)로 나타났다.

2) 풍화암층

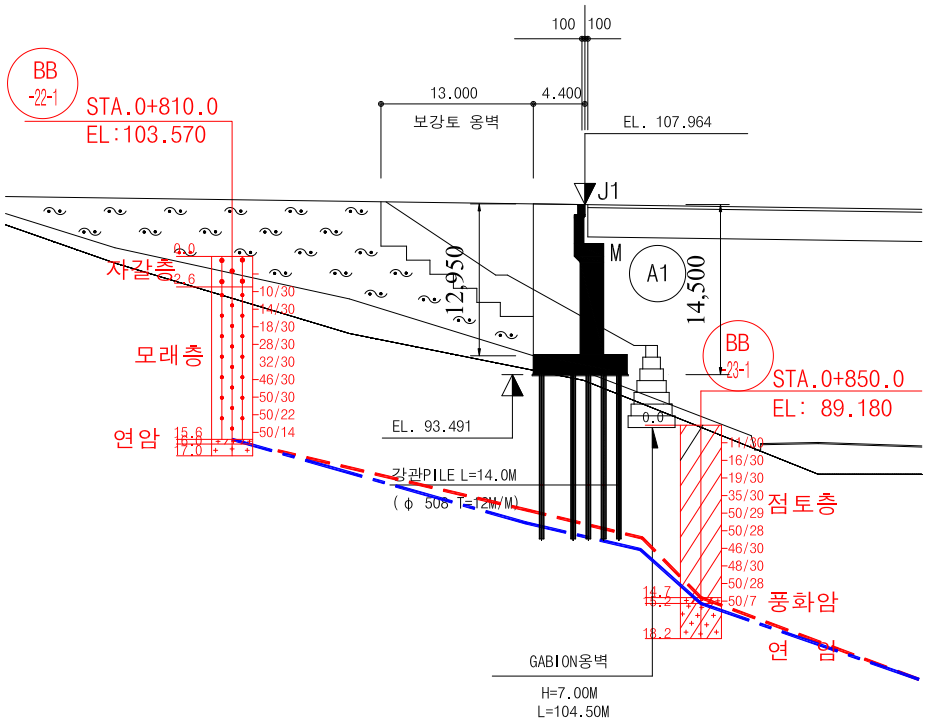
본 층은 기반암인 안산암이 풍화되어 형성된 층으로 모암의 조직과 형태는 보존하고 있으나 역학적 성질 및 화학적 조성이 상실되거나 변질된 상태로 충적층 하부에서 0.5~7.0m의 두께로 분포하며 시추시 시료는 원위치에서는 굳고 단단하나 타격에 의해 암편 및 실트섞인 모래로 분해되며 매우 조밀하고 황갈색을 띠고 있다. N치는 507/~50/1(회/cm)로 나타났다.

3) 연암층

본 층은 기반암인 안산암이 부분적인 풍화를 받아 형성된 층으로서, 연경이 교호되며 균열 및 절리가 발달되어 있고, 부분적으로 풍화가 협재되어 있다. 암회색이나 담회색을 띠며 풍화암층하 0.4~3.0m 두께로 분포하고 있고 조각상의 코아가 채취되었다. T.C.R은 25~90%까지 분포하며 R.Q.D는 0~82%까지 분포하는 것으로 나타났다.

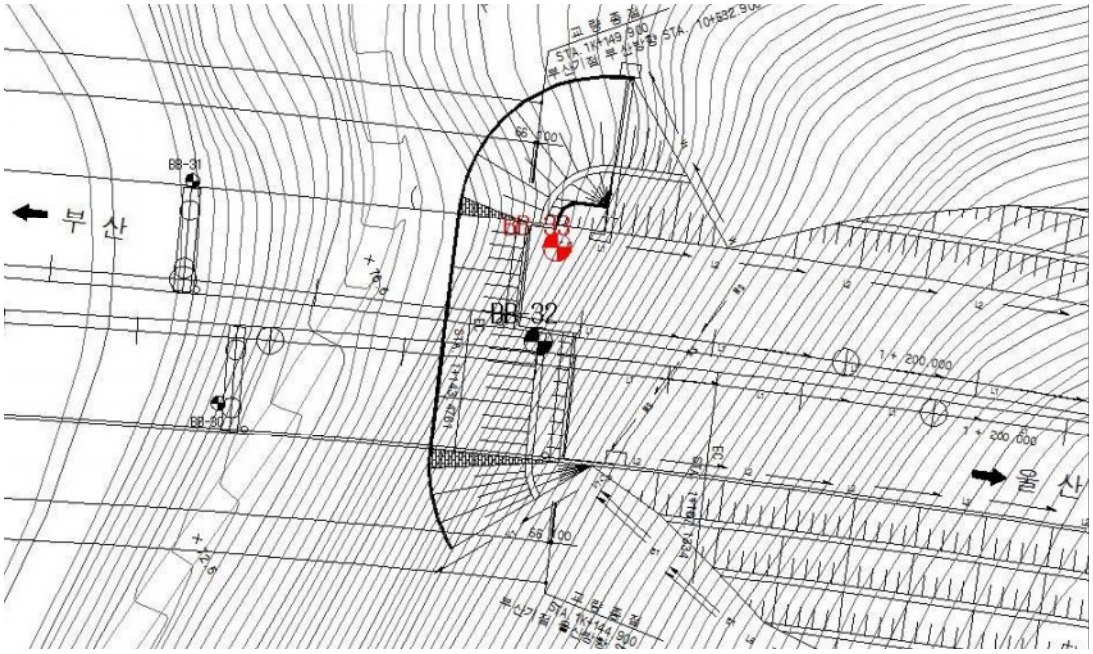
교대 A1(부산)

< 시추위치 (BB-22-1, BB-23-1) >

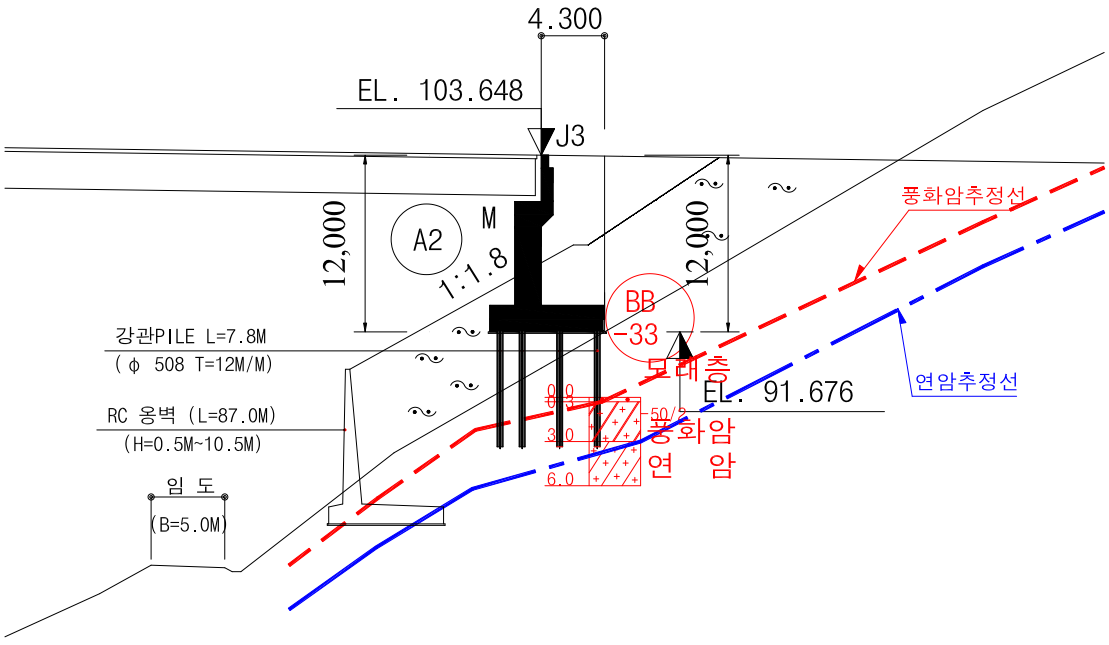


< 지층단면 >

교대 A2(부산)



< 시추위치 (BB-22-1, BB-23-1) >



< 지층단면 >

마. 교대의 안정성 검토

1) 교대 제원

만화교의 교대구조물 현황은 다음과 같다.

구분		기초형식	교대높이(m)	성토높이(m)	강관말뚝길이(m)
부산 방향	A1	말뚝기초	14.5	12.95	14.0
	A2	말뚝기초	12.0	12.00	7.8
울산 방향	A1	말뚝기초	14.5	12.60	10.5
	A2	직접기초	11.0	6.74	-

2) 해석적용 물성치

교대 안정해석에 적용한 지반정수는 원설계 자료를 참고하였으며, 다음과 같다.

구 분		단위중량 γ_t(tf/m^3)	내부마찰각 ϕ(°)	점착력 c(tf/m^3)	비고
성 토 부 (쌓기재)	원설계	1.9	30	1.5	
	적용	1.9	25	1.5	
토사		1.9	30	3	원설계와 동일
연암		2.3	35	15	원설계와 동일

☞ 1. 원설계 자료를 검토한 결과, 만화교(설계시 “기장교”)에 대한 측방유동 검토 자료가 없어 일광IC교(설계시 “일광천교”)에 대한 측방유동 검토 자료를 참고하였음.

2. 쌓기재의 내부마찰각은 “국도건설공사 설계실무요령(2016)”의 흙의 내부마찰각 및 점착력을 참고로 하였음.

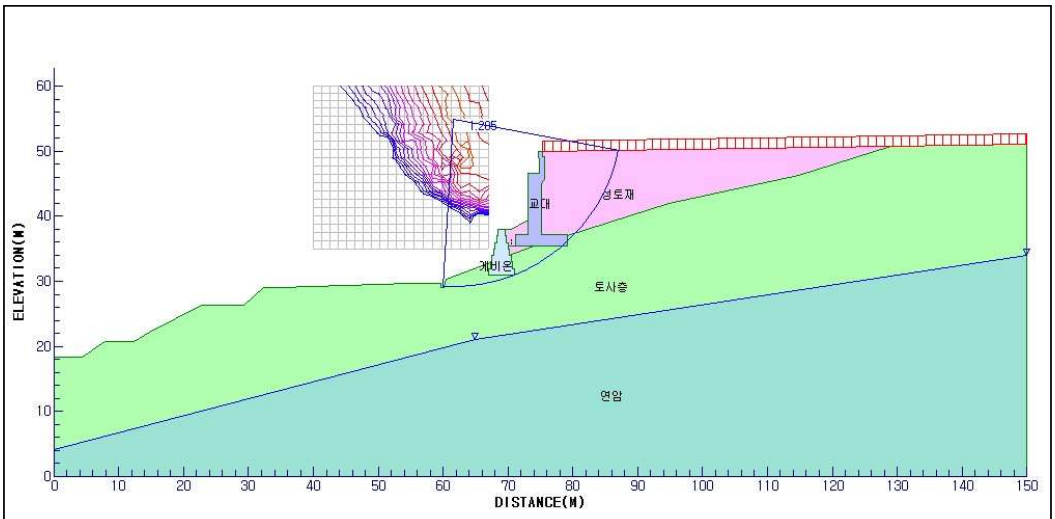
<표. 흙의 내부마찰각 및 점착력>

종 류		재료의 상태		단위체적중량 (kN/m3)	내부마찰각 (°)	점착력 (kN/m2)	분류기호 (통일분류)
흙 쌓 기	자갈, 자갈모래	다진것		20.0	40	0	GW, GP
	모 래	다진 것	입도가 좋은것	20.0	35	0	SW, SP
			입도가 나쁜것	19.0	30	0	
	사 질 토	다진것		19.0	25	30.0이하	SM, SC
	점 성 토	다진것		18.0	15	50.0이하	ML,CL,MH,CH

3) 말뚝효과를 무시한 경우 안정해석

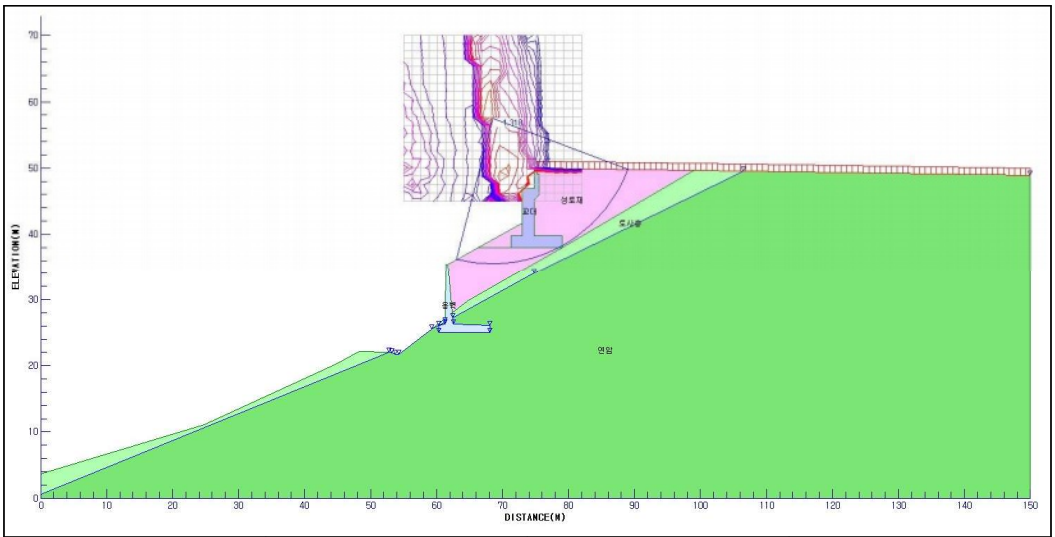
말뚝효과를 무시한 경우, 허용기준 안전율은 1.5이며 이에 대한 교대 안정해석 결과는 다음과 같다.

■ 부산방향 A1



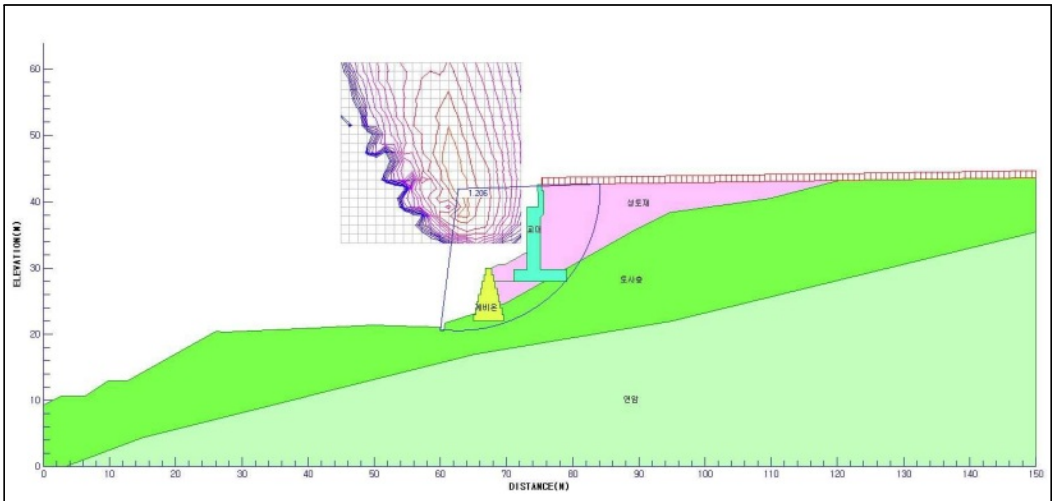
구 분	해석 안전율	기준 안전율	판 정
말뚝 미고려시	1.20	1.50	N.G

■ 부산방향 A2



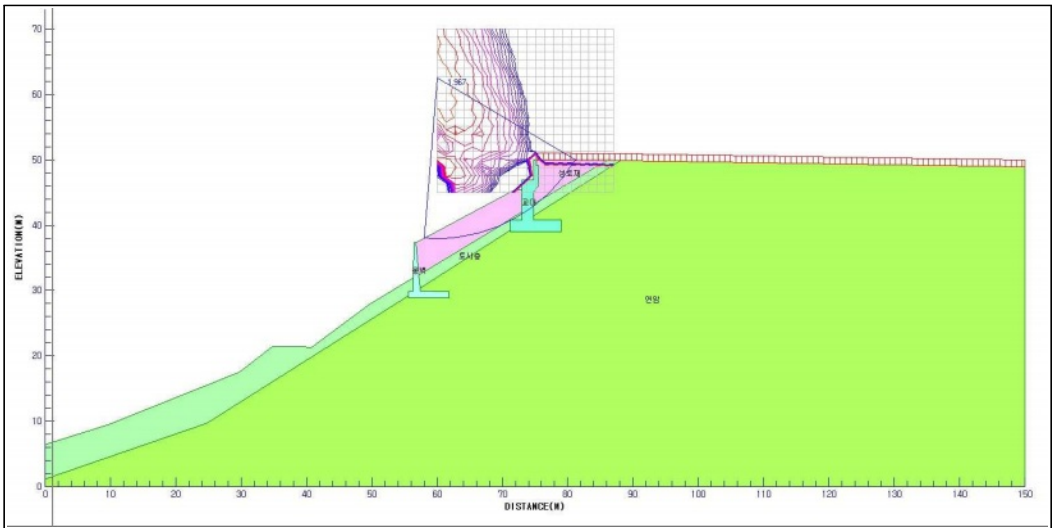
구 분	해석 안전율	기준 안전율	판 정
말뚝 미고려시	1.31	1.50	N.G

■ 울산방향 A1



구 분	해석 안전율	기준 안전율	판 정
말뚝 미고려시	1.20	1.50	N.G

■ 울산방향 A2



구 분	해석 안전율	기준 안전율	판 정
직접기초	1.96	1.50	O.K

■ 검토결과(말뚝 미고려시)

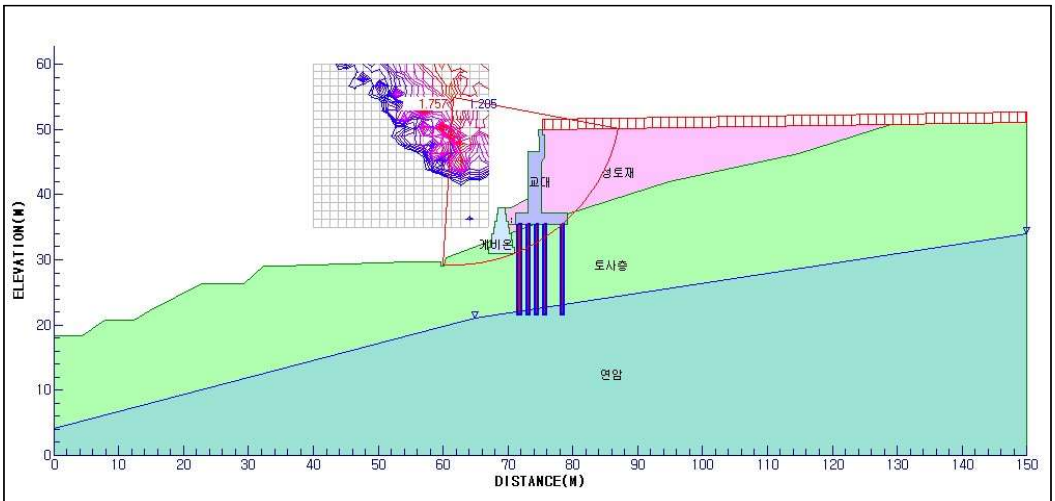
울산방향 A2교대를 제외한 모든 교대에서 기준안전율을 만족하지 못하는 것으로 검토되었다.

구 분		해석 안전율	기준 안전율	판정
부산방향	A1	1.20	1.50	N.G
	A2	1.31	1.50	N.G
울산방향	A1	1.20	1.50	N.G
	A2	1.96	1.50	O.K

4) 말뚝효과를 고려한 안정해석

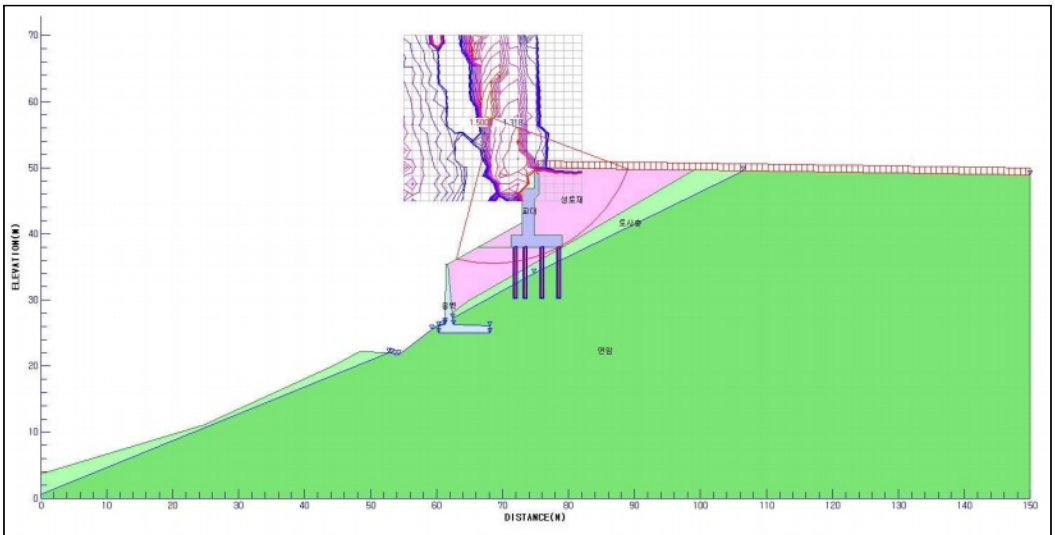
말뚝효과를 고려한 교대구조물 안정성 검토의 경우, 허용기준 안전율은 1.8이며 이에 대한 안정해석 결과는 다음과 같다.

■ 부산방향 A1



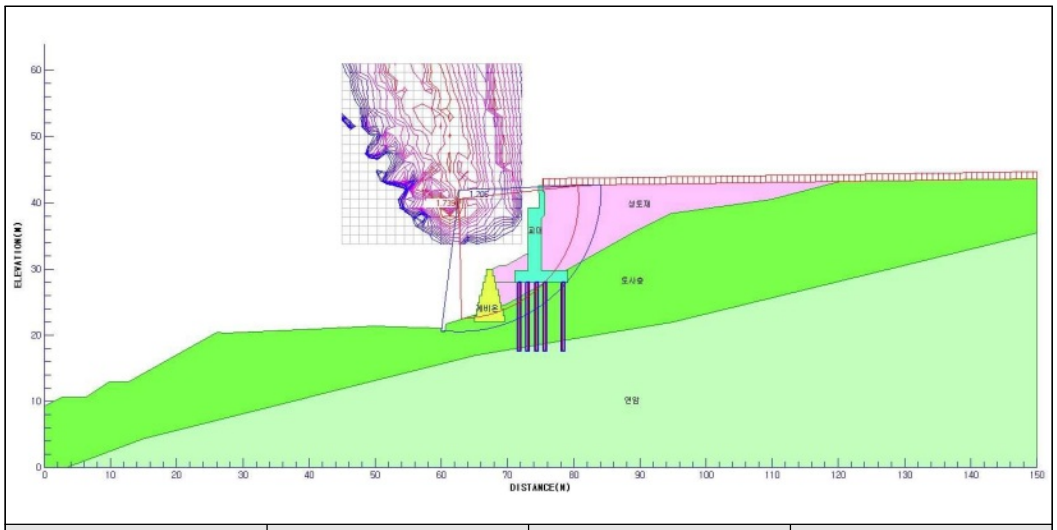
구 분	해석 안전율	기준 안전율	판 정
말뚝 고려시	1.75	1.80	N.G

■ 부산방향 A2



구 분	해석 안전율	기준 안전율	판 정
말뚝 고려시	1.50	1.80	N.G

■ 울산방향 A1



구 분	해석 안전율	기준 안전율	판 정
말뚝 고려시	1.74	1.50	N.G

■ 검토결과(말뚝 고려시)

울산방향 A2교대(직접기초)를 제외한 모든 교대에서 기준안전율을 만족하지 못하는 것으로 검토되었다.

구 분		해석 안전율	기준 안전율	판정
부산방향	A1	1.75	1.80	N.G
	A2	1.50	1.80	N.G
울산방향	A1	1.74	1.80	N.G
	A2	-	-	직접기초

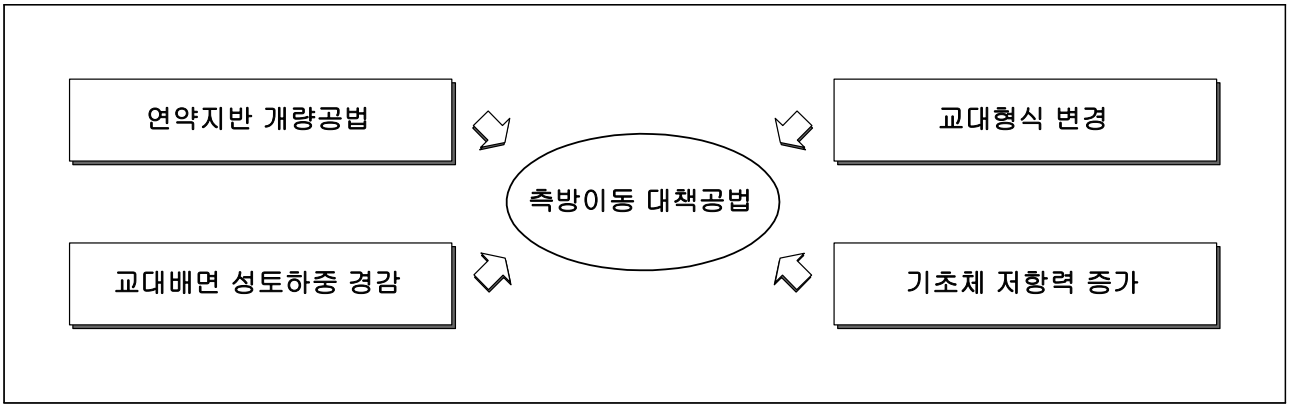
■ 안정해석 검토결과

말뚝 미고려시와 고려시에 대한 만화교 교대구조물의 사면안정 검토를 수행한 결과, 직접기초인 울산방향 A2 교대구조물을 제외한 모든 구조물에서 기준안전율을 만족하지 못하는 것으로 검토되었다. 따라서 현장여건을 고려한 적정의 보강공법의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

바. 교대구조물 변위 억제공법

1) 대책공법 선정

- 교대구조물의 측방이동에 대한 원인으로는 성토고, 성토층의 단위중량, 구조물의 형식 및 치수, 기초의 형식 및 강성 등을 들 수 있다.
- 따라서, 측방이동에 대한 대책공법은 이들 요인을 개선시키는 것을 기본적인 접근 방법으로 하며, 위치별로 구분하여 보면 ①뒤채움 성토부, ② 교대부 ③ 기초부 ④ 연약지반부로 구분할 수 있다.
- 구조물의 측방이동에 영향을 미치는 영향요인은 구조물 위치에 관련된 요인이라 할 수 있으며, 위치에 따라 대책공법을 정리하여 보면 다음과 같다.



대상부분	개 량 원 리	대 책 공 법
뒷채움 성토	편재하중의 경감	•연속 Culvert Box 공법 •파이프 매설공법 •EPS 성토공법 •경량 혼합토 성토 공법
	배면토압의 경감	•소형교대 •Approach Cusion공법 •압성토 공법
교대 구조물	교대형식	•벽식교대 지양 •소형교대 공법 •Approach Cusion공법
	교대치수	•교축방향길이 증대
기 초 체	기초형식	•케이슨 기초 지양
	기초의 강성 증대	•성토지지 말뚝공법 •버팀슬래브 공법 •말뚝본수의 증가

• 본 과업구간인 만화교는 현재 많은 차량이 통행중에 있으며, 차선 통제후 보강작업이 용이하지 않은 현장 여건을 고려하여 적정의 대책공법으로 교대하부에서 시공이 가능한 어스앵커(Earth Anchor)을 선정하였으며 상세 비교내용은 다음과 같다.

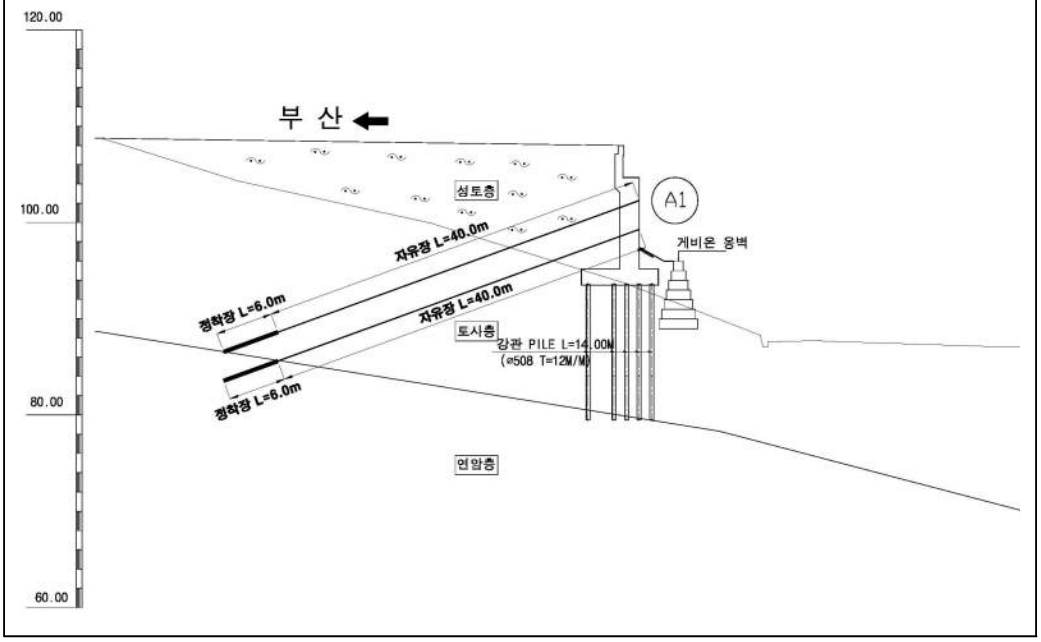
교대구조물 변위억제 대책공법 상세비교			
구 분	경량성토(EPS, 경량혼합토)	Earth Anchor	Grouting
공법 개요	교대배면 토사의 중량 대신 약 1/10~1/100의 단위중량을 지닌 경량재료를 설치하여 배면하중을 경감시켜 토압을 감소시킴.	어스앵커를 단단한 지층까지 설치하여 사면의 안정성을 확보함과 동시에 교대 구조물의 안정성을 확보.	연약지반이나 성토체에 시멘트 밀크를 주입하여 지중벽체나 지반보강을 통해 측방유동에 대한 저항 할 수 있도록 함.
공법의 장점	• 초경량성, 자립성, 내수성 우수 • 소음, 진동에 대한 영향이 적음 • 국내 실적 많음.	• 추가적인 용지매입 필요 없음. • 확실한 구조물 형성이 가능. • 국내외에 실적 많음. • 교통통제가 필요없음.	• 추가적인 용지 매입 필요 없음. • 외부적으로 보강공법이 보이지 않으므로 거부감 없음.
공법의 단점	• 홍수위(부력에 취약)에 따라 사용성 한계.	• 구조물 설치를 위한 장비 설치 어려움.	• 보강효과에 대한 신뢰도 떨어짐. • 공사비 고가.
현장내 적용성	• 통행중인 3차로중 2차로를 차단해야 하므로 공사의 어려움. • 본선에서 시공이 이루어지므로교통처리 계획 복잡.	• 교량하부로 장비의 진입이 곤란하나 가설 비계 설치 후 작업 가능. • Ancho 정착장을 성토층이 아닌 원지반에 구근 설치가능.	• 통행중인 3차로중 2차로를 차단해야 하므로 공사의 어려움. • 성토층 층후가 매우 두터워 Grouting 보강 효과를 기대하기 어려우므로 비합리적임.
선택안		●	

2) 검토단면

• 어스앵커 공법을 적용하여 교대구조물이 소요의 안전율을 만족하도록 보강후 안정해석을 실시하였으며, 검토 단면은 다음과 같다.

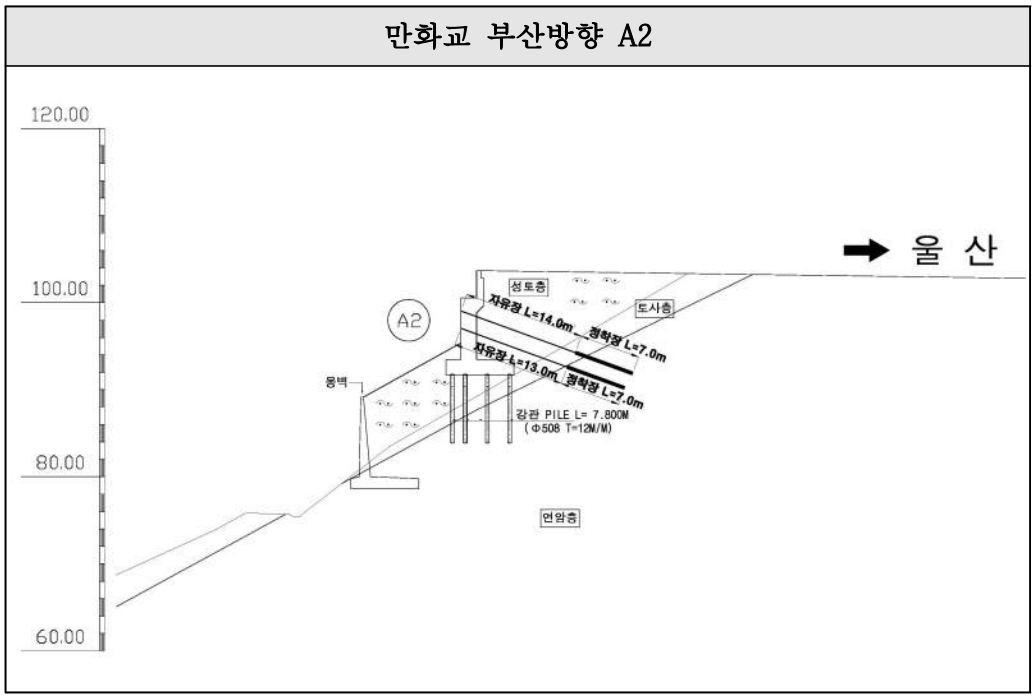
■ 부산방향 A1

만화교 부산방향 A1



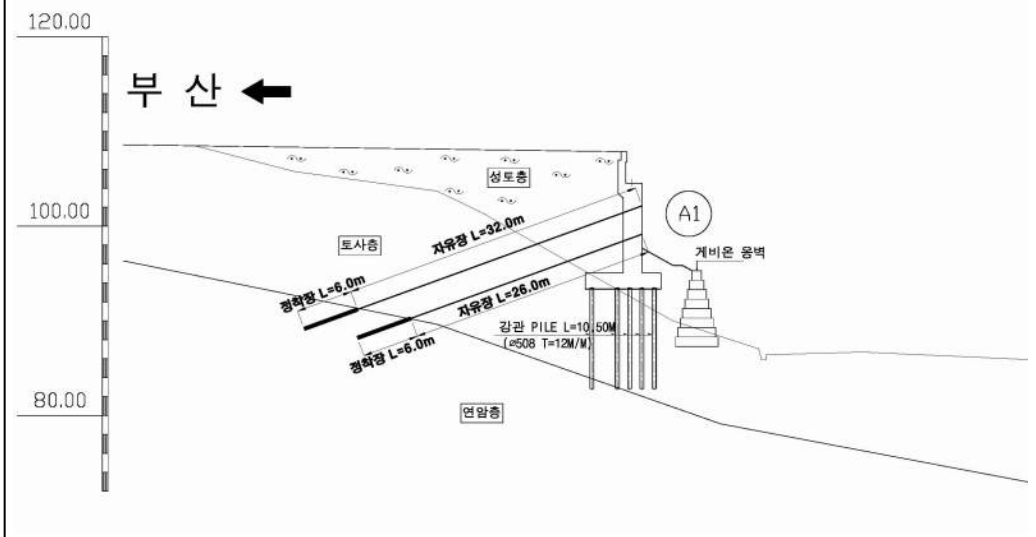
■ 부산방향 A2

만화교 부산방향 A2



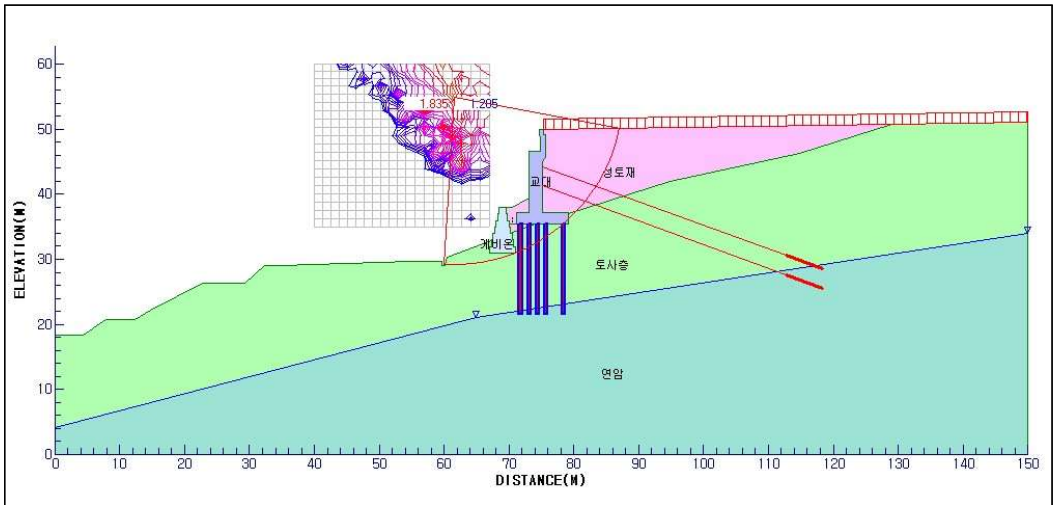
■ 울산방향 A1

만화교 울산방향 A1



3) 보강후 안정해석

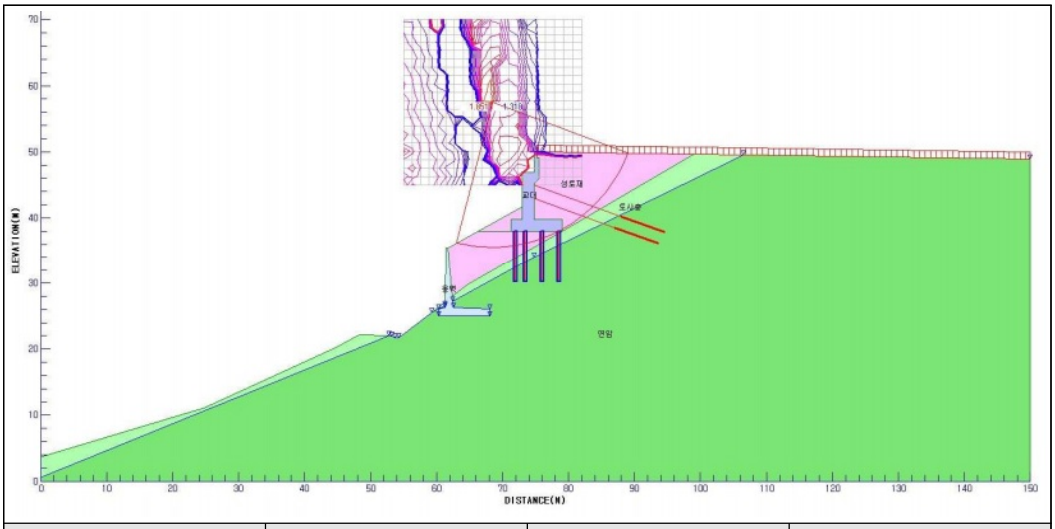
■ 부산방향 A1



구 분	해석 안전율	기준 안전율	판 정
보강후	1.83	1.80	O.K

상세 보강 내용	앵커제원			
	자유장(m)	정착장(m)	C.T.C(m)	단
	1단, 2단: 40	6	3	2

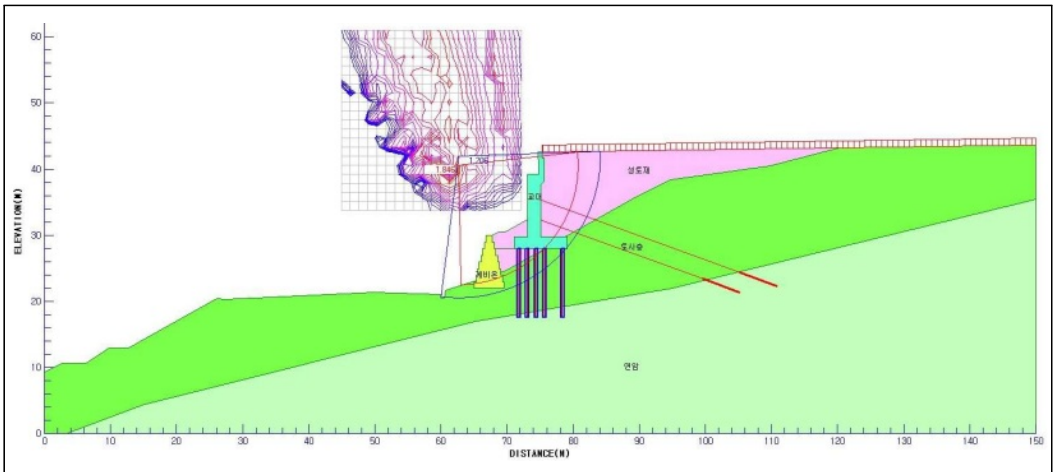
■ 부산방향 A2



구 분	해석 안전율	기준 안전율	판 정
보강후	1.85	1.80	O.K

상세 보강내용	앵커제원			
	자유장(m)	정착장(m)	C.T.C(m)	단
	1단:14, 2단:13	7	2	2

■ 울산방향 A1



구 분	해석 안전율	기준 안전율	판 정
보강후	1.84	1.80	O.K

상세 보강내용	앵커제원			
	자유장(m)	정착장(m)	C.T.C(m)	단
	1단:32, 2단:26	6	3	2

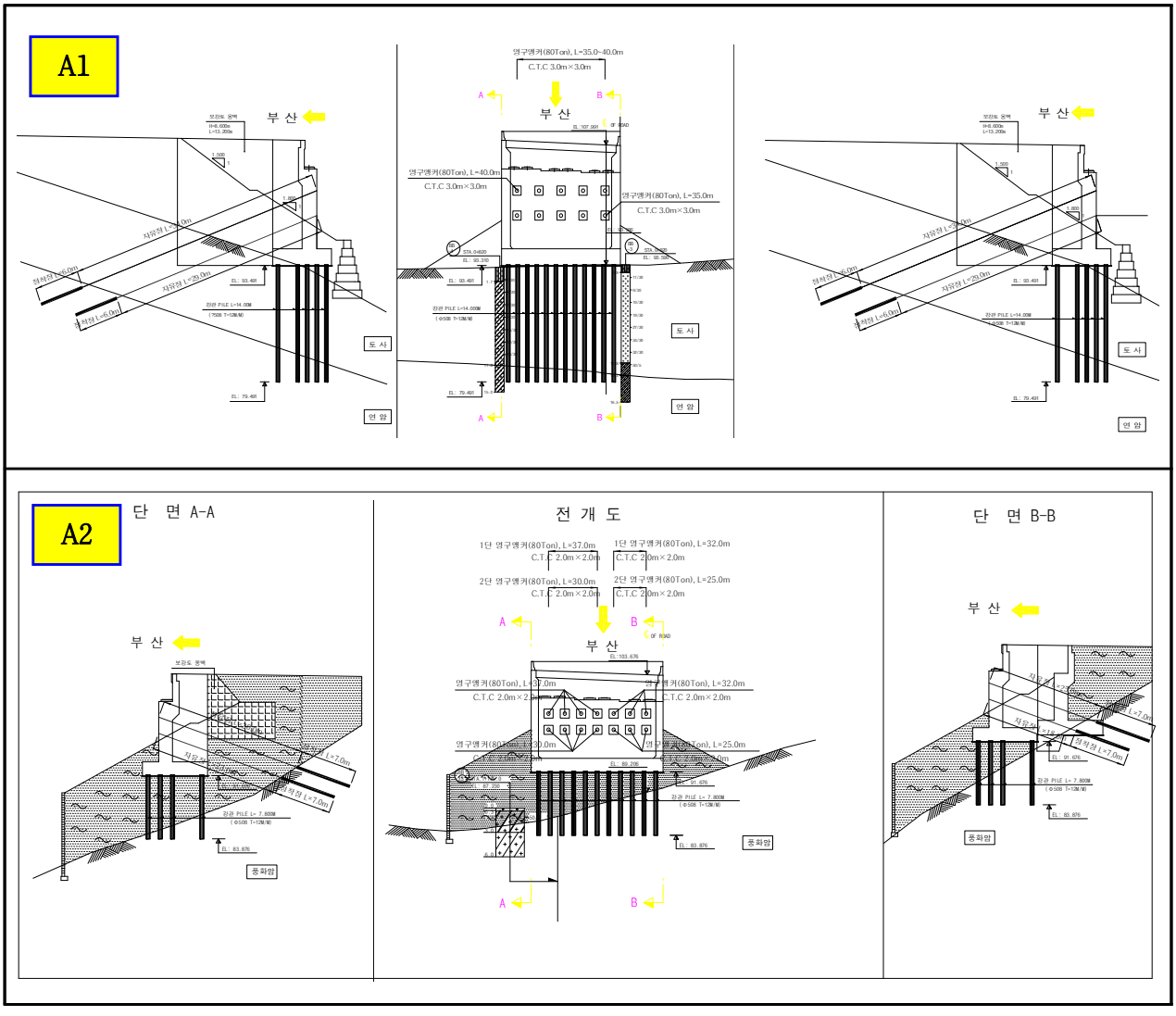
4) 검토결과

- 상기와 같이 어스앵커 공법을 적용할 경우, 사면 활동 및 말뚝에 대한 소요의 안전율을 만족하는 것으로 나타났으며, 향후 지속적인 유지관리 계측을 통하여 교대 구조물의 거동을 면밀히 분석하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

사. 보강현황

교대에 대한 보강공법에 대한 상세현황 및 보강도는 다음과 같다.

상세보강내용	앵커제원			
	자유장(m)	정착장(m)	C.T.C(m)	단
부산방향 A1	1단, 2단: 40	6	3	2
부산방향 A2	1단:14, 2단:13	7	2	2
울산방향 A1	1단:32, 2단:26	6	3	2



5.4.4 만화교(부산) 교각(P2) 구조검토

가. 검토조건

1) 일반사항

① 하부구조형식 : 다주식 교각

② 상부구조형식 : STEEL BOX

③ 교량등급 : 1등교

④ 기초형식 : 말뚝기초

2) 하중

① 철근콘크리트의 단위중량 : $\gamma_c = 25.0 kN/m^3$

② 기초지반의 단위중량 : $\gamma_{s2} = 20.0 kN/m^3$

③ 교량받침 마찰계수 : $f_s = 0.15$

3) 사용재료

① 콘크리트

㉠ 설계기준강도(f_{ck}) : 24MPa(코핑부, 기둥, 기초)

㉡ 탄성계수(E_c) : 26,636MPa(코핑부, 기둥, 기초)

② 철근(SD300)

㉠ 항복강도(f_y) : 300MPa(코핑부, 기둥, 기초)

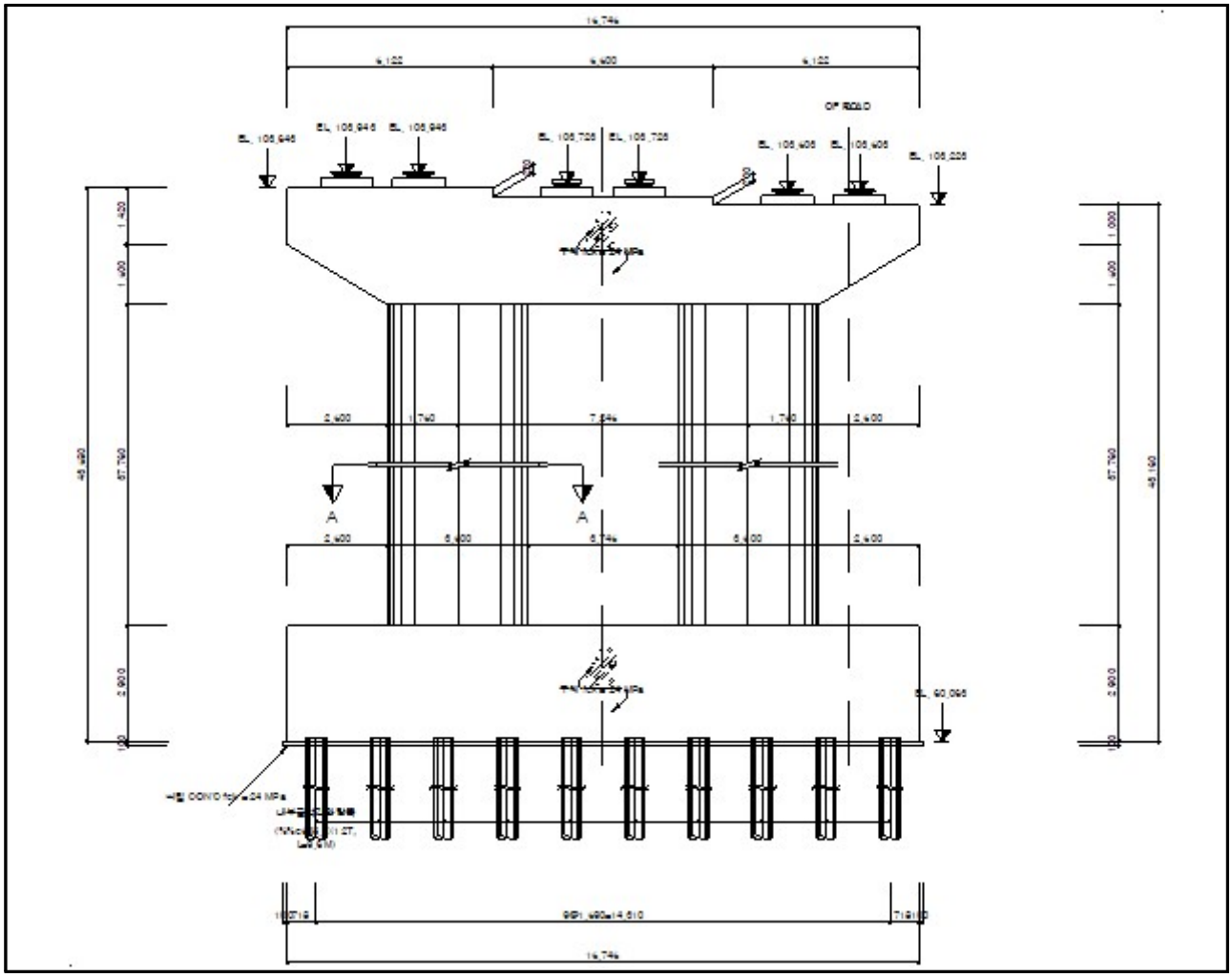
㉡ 탄성계수(E_s) : 200,000MPa

4) 검토방법

① 안정성검토 : 허용응력 설계법

② 단면검토 : 극한강도 설계법

나. 해석단면



【그림 5.32】해석단면(P2)(부산)

다. 하중산정

1) 상부반력 및 교각 자중

교좌번호	고정하중(D)	활하중(L)		
		만재하시(L1)	좌측 편재하시(L2)	우측 편재하시(L3)
1	2240.240	368.000	-	-
2	1736.595	925.500	-	-
3	2354.828	787.200	-	-
4	2240.240	368.000	-	-
5	1736.595	925.500	-	-
6	2354.828	787.200	-	-
계	12663.326	4161.400	-	-

※ 교각 자중은 25.0kN/m^3의 값을 프로그램에서 자동 재하

2) 풍하중

① 교축직각방향(W-TR)

㉠ 상부구조에 작용하는 풍하중

· B/D = 16.200 / 4.263 = 3.800 [1 ≤ B/D < 8]

· W = [4.0 − 0.2 × (16.200 / 4.263)] ×4.263 = 13.812kN/m ≥ 6.0이므로

= 13.812kN/m

· P_{w1} = 13.812 × (50.000 + 50.000) / 2 × sin90.0

=690.6kN

· 작용위치 h = 4.263 / 2 + 0.400 + 0.710 = 3.241m

· 작용모멘트 $M_{w1} = P_{w1} \times h$ = 690.600 ×3.241 = 2238.580kN·m

㉡ 하부구조에 작용하는 풍하중

· W′copping = 3.000 × 2.920 × 3.800 = 33.288kN

· W′column = 1.500 × 3.500 = 5.250kN/m(풍상측)

· W′column = 1.500 × 3.500 / 22.625 = 0.232kN/m(풍하측)

※ 기둥간의 순간격이 기둥단면의 2배미만일 경우는 풍하측으로 재하 1/2를 적용한다.

※ 활하중 재하시에는 계산된 하중의 1/2을 적용한다.

② 교축방향(W-LO)㉠ 하부구조에 작용하는 풍하중

· W′copping = 116.101kN(Copping 높이에 따라 재하)

· W′column = 1.500 ×3.500 = 5.250kN/m

※ 활하중 재하시에는 계산된 하중의 1/2을 적용한다.

3) 활하중에 작용하는 풍하중

활하중에 재하되는 풍하중에 대하여는 교면상 1.5m 위치에서 1500.000N/m의 풍하중이 재하되는 것으로 한다.

· P_h = 1.500 × (50.000 + 50.000) / 2 × sin90.0 = 75.000kN

· 작용위치 h = 3.041 + 1.500 +0.710 = 5.251m

· 작용모멘트 $M_y = P_{w2} \times h$ = 75.000 ×5.251 = 393.81kN·m

4) 온도하중

㉠ 교축직각방향(G-TR)

· 연평균 온도변화차 ΔT = 10℃ 적용

㉡ 교축방향(G-LO)

· 고정단이므로 교량받침 마찰력에 의한 수평력은 고려하지 않는다.

: 일반적으로 고정단에서도 교량받침의 마찰력보다는 지진시의 상부구조에 의한 수평력이 크기 때문에 지진시의 수평력을 고려한다.

라. 하중조합

1) 사용하중 검토시

구분	D	L1	L2	L3	W	WL	G	GS
SVB01	1.00	1.00						
SVB02	1.00		1.00					
SVB03	1.00			1.00				
SVB04	1.00				1.00			
SVB05	1.00	1.00			0.50	1.00		
SVB06	1.00		1.00		0.50	1.00		
SVB07	1.00			1.00	0.50	1.00		
SVB08	1.00	1.00					1.00	1.00
SVB09	1.00	1.00					-1.00	1.00
SVB10	1.00		1.00				1.00	1.00
SVB11	1.00		1.00				-1.00	1.00
SVB12	1.00			1.00			1.00	1.00
SVB13	1.00			1.00			-1.00	1.00
SVB14	1.00				1.00		1.00	1.00
SVB15	1.00				1.00		-1.00	1.00
SVB16	1.00	1.00			0.50	1.00	1.00	1.00
SVB17	1.00	1.00			0.50	1.00	-1.00	1.00
SVB18	1.00		1.00		0.50	1.00	1.00	1.00
SVB19	1.00		1.00		0.50	1.00	-1.00	1.00
SVB20	1.00			1.00	0.50	1.00	1.00	1.00
SVB21	1.00			1.00	0.50	1.00	-1.00	1.00
SVB22	1.00							

※ D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력

L : 활하중 또는 이에 따른 단면력

W : 풍하중 또는 이에 따른 단면력

WL : 차량활하중에 작용하는 풍하중 또는 이에 따른 단면력

CO : 충돌하중 또는 이에 따른 단면력

G : 부등침하, 크리프, 건조수축, 제작 또는 시공시 치수 착오, 습도변화 또는 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력

2) 계수하중 검토시

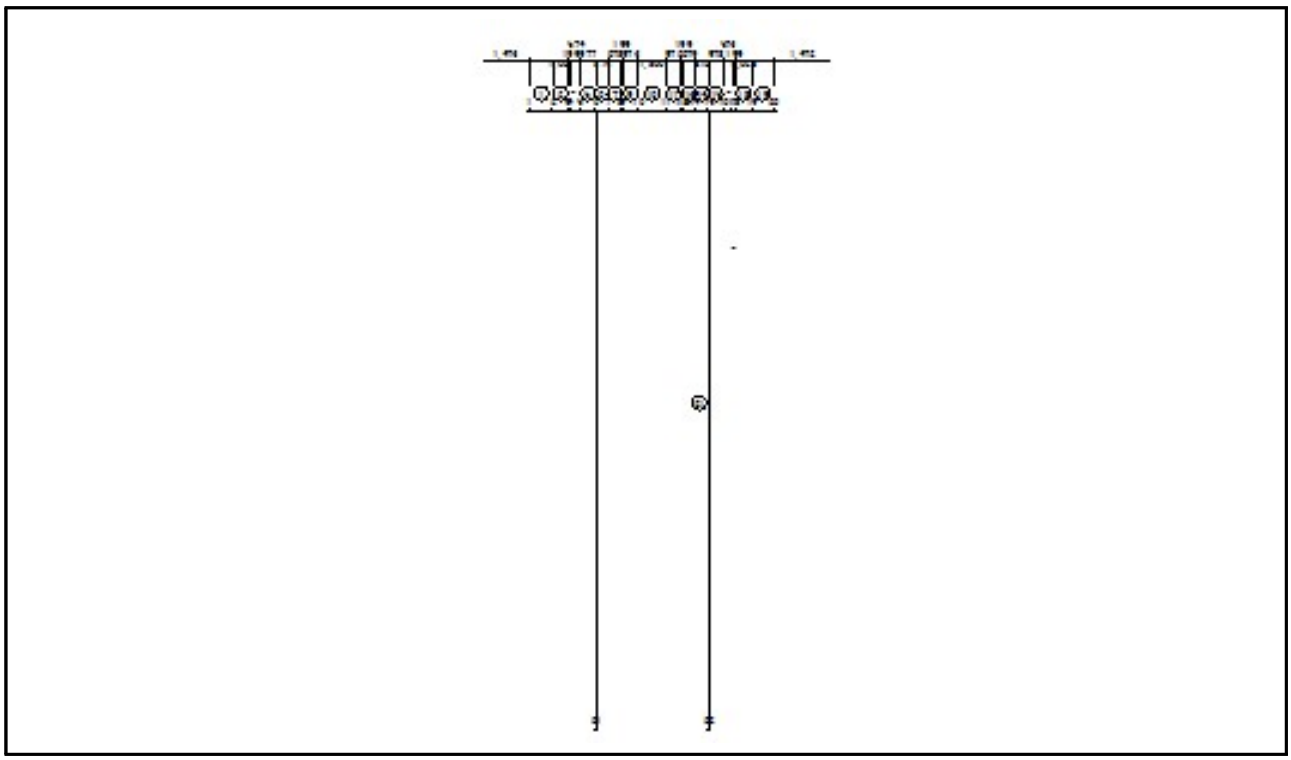
구분	D	L1	L2	L3	W	WL	G	GS
ULB01	1.30	2.15						
ULB02	1.30		2.15					
ULB03	1.30			2.15				
ULB04	1.30				1.30			
ULB05	1.30	1.30			0.65	1.30		
ULB06	1.30		1.30		0.65	1.30		
ULB07	1.30			1.30	0.65	1.30		
ULB08	1.30	1.30					1.30	1.30
ULB09	1.30	1.30					-1.30	1.30
ULB10	1.30		1.30				1.30	1.30
ULB11	1.30		1.30				-1.30	1.30
ULB12	1.30			1.30			1.30	1.30
ULB13	1.30			1.30			-1.30	1.30
ULB14	1.25				1.25		1.25	1.25
ULB15	1.25				1.25		-1.25	1.25
ULB16	1.25	1.25			0.63	1.25	1.25	1.25
ULB17	1.25	1.25			0.63	1.25	-1.25	1.25
ULB18	1.25		1.25		0.63	1.25	1.25	1.25
ULB19	1.25		1.25		0.63	1.25	-1.25	1.25
ULB20	1.25			1.25	0.63	1.25	1.25	1.25
ULB21	1.25			1.25	0.63	1.25	-1.25	1.25
ULB22	1.00							
ULB23	1.30	1.30						
ULB24	1.30		1.30					
ULB25	1.30			1.30				
ULB26	1.20				1.20			

3) 계수하중 검토시(최대편심)

구분	D	L1	L2	L3	W	WL	G	GS
UEB01	1.00	2.15						
UEB02	1.00		2.15					
UEB03	1.00			2.15				
UEB04	1.00				1.30			
UEB05	1.00	1.30			0.65	1.30		
UEB06	1.00		1.30		0.65	1.30		
UEB07	1.00			1.30	0.65	1.30		
UEB08	1.00	1.30					1.30	1.30
UEB09	1.00	1.30					-1.30	1.30
UEB10	1.00		1.30				1.30	1.30
UEB11	1.00		1.30				-1.30	1.30
UEB12	1.00			1.30			1.30	1.30
UEB13	1.00			1.30			-1.30	1.30
UEB14	0.95				1.25		1.25	1.25
UEB15	0.95				1.25		-1.25	1.25
UEB16	0.95	1.25			0.63	1.25	1.25	1.25
UEB17	0.95	1.25			0.63	1.25	-1.25	1.25
UEB18	0.95		1.25		0.63	1.25	1.25	1.25
UEB19	0.95		1.25		0.63	1.25	-1.25	1.25
UEB20	0.95			1.25	0.63	1.25	1.25	1.25
UEB21	0.95			1.25	0.63	1.25	-1.25	1.25
UEB22	1.00							
UEB23	1.00	1.30						
UEB24	1.00		1.30					
UEB25	1.00			1.30				
UEB26	0.90				1.20			

마. 구조해석

1) 해석모델링



【그림 5.33】 해석모델링(P2)(부산)

2) 절점 좌표

절점	X	Z	절점	X	Z	절점	X	Z	절점	X	Z
1	0.000	39.970	7	5.123	39.970	13	9.944	39.970	19	14.273	39.970
2	1.473	39.970	8	5.801	39.970	14	10.623	39.970	20	15.745	39.970
3	2.500	39.970	9	6.000	39.970	15	11.495	39.970	21	4.250	0.000
4	2.699	39.970	10	6.973	39.970	16	12.473	39.970	22	11.495	0.000
5	3.273	39.970	11	8.773	39.970	17	13.046	39.970			
6	4.250	39.970	12	9.745	39.970	18	13.245	39.970			

3) 단면 제원

【표 5.64】 단면 제원(P2)(부산)

구 분	B(m)	H(m)	A(m^2)	I22(m^4)	I33(m^4)	적용 절점
①	3.800	1.000	3.800	1.600433	0.110833	20
②	3.800	1.420	5.396	2.272615	0.317348	1
③	3.800	1.883	7.155	3.013616	0.739982	19
④	3.800	2.304	8.755	3.687398	1.355557	2
⑤	3.800	2.500	9.500	4.001083	1.731771	14~18
⑥	3.800	2.700	10.260	4.321170	2.181533	7~13
⑦	3.800	2.920	11.096	4.673265	2.759427	3~6
⑧	3.500	0.000	9.621	5.156323	5.156323	기둥상단
⑨	3.500	0.000	9.621	5.156323	5.156323	기둥하단

바. 기둥 단면검토

1) 부재력 집계 : 기둥 하단

【표 5.65】부재력 집계(P2)(부산)

구 분		P_e(kN)	P_u(kN)	M1(kN·m)	M2(kN·m)	V(kN)	Δ(m)	비 고
교축 직각 방향	ULO01	-23022.997	-28115.912	-2187.809	4941.074	188.795	0.00174	축력최대
	ULO04	-23215.001	-20133.926	-11792.515	14834.579	-834.023	0.02742	모멘트최대
	UEO26	-16071.924	-13227.855	-10201.987	13304.701	-741.473	0.02523	편심최대
교축 방향	ULB01	-23022.997	-28115.912	-	-	-	-	축력최대
	ULB04	-23215.001	-23215.000	-159.322	-7890.742	333.608	0.02540	모멘트최대
	UEB26	-15938.998	-15938.998	-160.832	-7267.380	307.147	0.02341	편심최대

※ P_e : 장기지속축력(= 고정하중에 의한 축력 × 고정하중 계수)

P_u : 전체 축력 , M1 , M2 : 기둥 상단, 하단 모멘트

V_u : 전단력 , △ : 기둥 상단의 변위량

2) 기둥 단면검토

【표 5.66】기둥 단면검토 결과(P2)(부산)

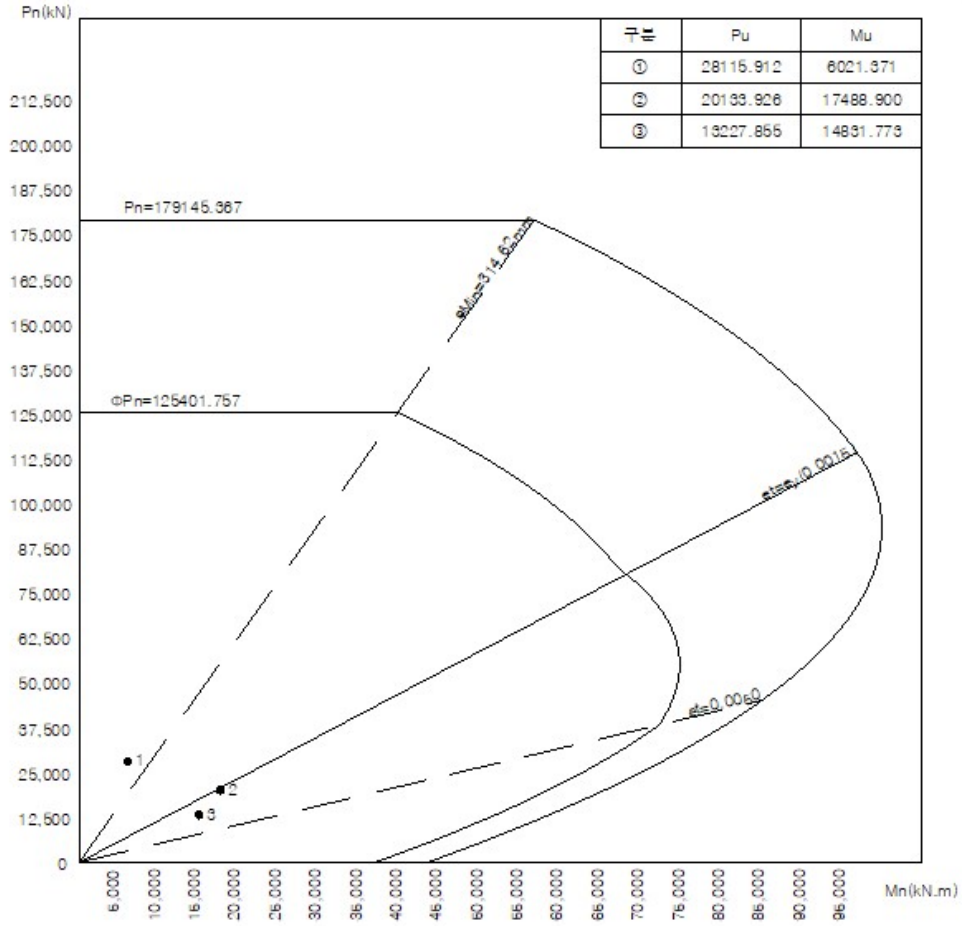
구 분		P_u(kN)	ΦP_n(kN)	M_u(kN·m)	ΦM_n(kN·m)	안전율	비 고
교축 직각 방향	축력최대	28115.912	125401.762	6021.371	26856.339	4.460	O.K
	모멘트최대	20133.926	78927.894	17488.900	68559.012	3.920	O.K
	편심최대	13227.855	65448.250	14831.773	73384.052	4.948	O.K
교축 방향	축력최대	28115.912	125401.762	-	-	4.460	O.K
	모멘트최대	23215.000	116512.416	9425.024	47302.706	5.019	O.K
	편심최대	15938.998	106463.373	8181.843	54650.024	6.679	O.K
- f_{ck} = 24MPa, f_y = 300MPa, k_1 = 0.85, Φ_c = 0.70							

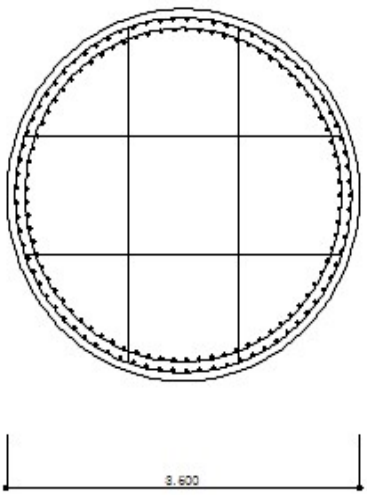
※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

3) P-M 상관도

① 교축직각방향

교축직각방향





▣ 단면제원

$R = 1750.000\,mm$

$A_g = 9621127.502\,mm^2$

▣ 사용철근

$A_{st} = 98929.600\,mm^2$

$P_{use} = 0.01028$

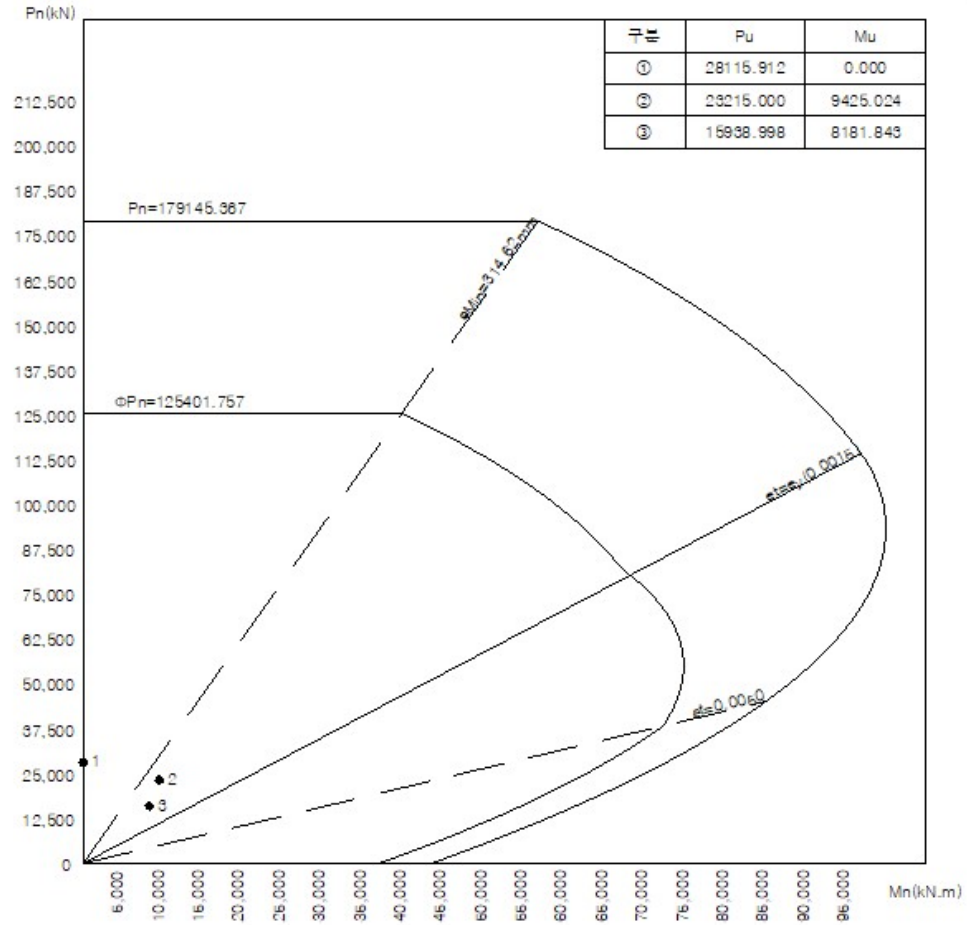
1단 : D29 − 77EA

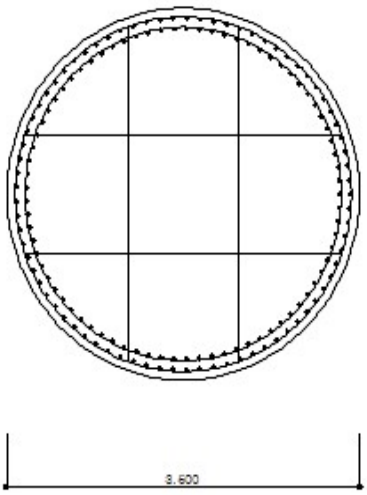
2단 : D29 − 77EA

【그림 5.34】 교축직각방향 P-M상관도(P2)(부산)

② 교축방향

교축방향





▣ 단면제원

$R = 1750.000\,\mathrm{mm}$

$A_g = 9621127.502\,\mathrm{mm}^2$

▣ 사용철근

$A_{st} = 98929.600\,\mathrm{mm}^2$

$P_{use} = 0.01028$

1단 : D29 − 77EA

2단 : D29 − 77EA

【그림 5.35】교축방향 P-M상관도(P2)(부산)

사. 두부보, 기초 단면검토

1) 각 부재별 단면검토

【표 5.67】각 부재별 단면검토 결과(P2)(부산)

구 분		d (mm)	피복 (mm)	필요철근량 (mm^2)	사용철근량 (mm^2)	휨에 대한 검토		
						M_u (kN·m)	ΦM_n (kN)	안전율
두부보	좌측내민보	2500	100	29792.000	D25@100 D25@100	-	-	O.K (2.869)
	우측내민보	2500	100	29792.000	D25@100 D25@100	-	-	O.K (2.380)
	좌측지점부	2500	100	6934.054	D25@100 D25@100	4308.326	22731.783	O.K (5.276)
	중앙부	2700	100	5557.122	D25@100	3669.134	12256.428	O.K (3.340)
	우측지점부	2500	100	14729.137	D25@100 D25@100	9094.982	27731.783	O.K (2.499)
기초	교축방향	2900	150	45510.997	D32@126	31667.931	68442.944	O.K (2.161)
	교직방향 지점부	2900	150	19395.555	D32@127	13530.598	43259.587	O.K (3.197)
	교직방향 중앙부	2900	150	24900.048	D32@127	17344.906	43259.587	O.K (2.494)

※ $f_{ck} = 24\,MPa$, $f_y = 300\,MPa$, $k_1 = 0.85$, $\Phi_f = 0.85$, $\Phi_v = 0.80$

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

2) 각 부재별 사용성(균열) 검토

【표 5.68】각 부재별 사용성(균열) 검토결과(P2)(부산)

구 분		인장응력(f_s) (MPa)	허용응력(f_{sa}) (MPa)	최외단 철근 평균간격(s) (㎜)	최외단 철근 최대중심간격(s_q) (㎜)	비고
두부보	좌측내민보	44.391	150	102.703	1419.218	O.K
	우측내민보	53.145	150	102.703	1185.434	O.K
	좌측지점부	35.910	150	102.703	1754.371	O.K
	중앙부	63.553	150	102.703	991.305	O.K
	우측지점부	81.385	150	102.703	774.101	O.K
기초	교축방향	95.807	150	125.960	486.963	O.K
	교직방향 지점부	71.567	150	126.582	765.375	O.K
	교직방향 중앙부	90.250	150	126.582	537.577	O.K

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

아. 말뚝 검토

1) 검토조건

① 말뚝의 제원

말뚝 종류	직경(mm)	두께(mm)	길이(m)
내부굴착 강관말뚝	508	12	9.500

※ 말뚝길이는 기초평면에 묻힌 100mm는 제외한 길이임.

· 말뚝의 탄성계수 : $E = 205{,}000.0\,\mathrm{MPa}$

· 말뚝의 단면2차모멘트 : $I = \pi / 64 \times (0.504^4 - 0.484^4) = 0.0004736\,\mathrm{m}^4$

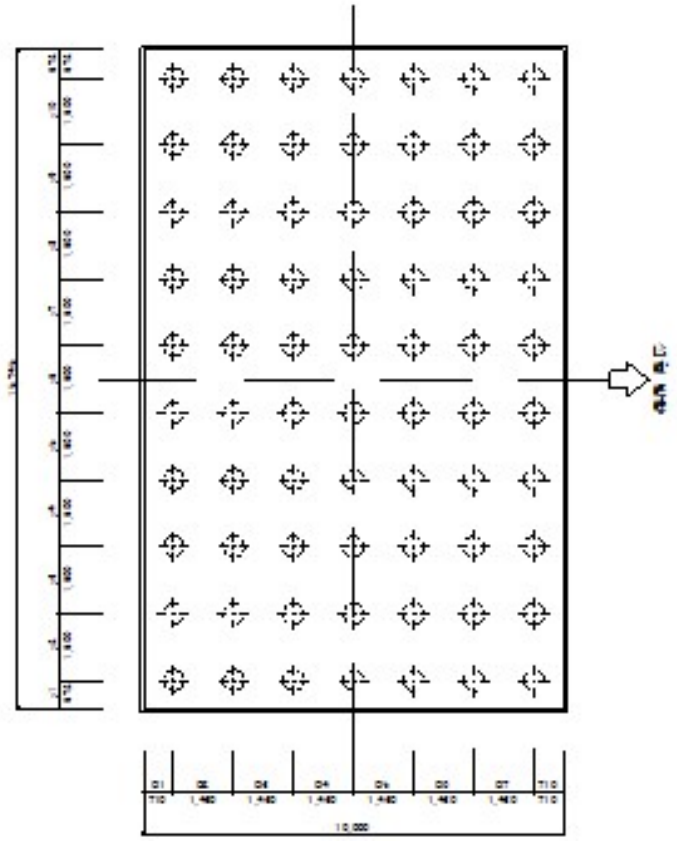
· 말뚝 머리의 평균 N치 : N = 13

· 말뚝 선단의 평균 N치 : N = 40

· 말뚝 선단의 근입깊이 : $D_f = 1.0\,\mathrm{m}$

· 원지반으로부터 돌출된 길이 : $h = 0.0\,\mathrm{m}$

② 말뚝의 배치



2) 말뚝도심에서의 작용하중

① 교직방향

구 분		V_o(kN)	H_o(kN)	M_o(kN·m)	비 고
사용하중	COMBO 1	51144.215	585.623	25372.795	SVO16
	COMBO 2	46982.816	1021.245	39328.000	SVO04
	COMBO 3	46982.815	1021.245	39328.002	SVO14
	COMBO 4	46982.815	1021.245	39328.002	SVO14
계수하중	COMBO 1	70024.669	-	4419.919	ULO01
	COMBO 2	46982.815	1327.619	51252.418	UEO04
	COMBO 3	42284.533	1225.494	47319.615	UEO26
	COMBO 4	42284.533	1225.494	47319.615	UEO26

② 교축방향

구 분		V_o(kN)	H_o(kN)	M_o(kN·m)	비 고
사용하중	COMBO 1	51144.215	256.289	6806.213	SVB05
	COMBO 2	46982.816	512.577	13612.425	SVB04
	COMBO 3	46982.816	512.577	13612.425	SVB15
	COMBO 4	46982.816	512.577	13612.425	SVB14
계수하중	COMBO 1	70024.669	-	-	ULB01
	COMBO 2	61077.660	666.350	17696.154	ULB04
	COMBO 3	42284.534	615.093	16334.910	UEB26
	COMBO 4	42284.534	615.093	16334.910	UEB26

3) 말뚝의 안정성 검토

① 말뚝의 지지력 검토

【표 5.69】 말뚝의 지지력 검토결과(부산)

구 분		허용값	발생값	비 고
교직 방향	허용지지력(kN/EA)	1233.170	866.463	O.K
	휨 응력(MPa)	140.000	60.687	O.K
	전단응력(MPa)	80.000	1.880	O.K
	수평변위(mm)	15.000	0.592	O.K
교축 방향	허용지지력(kN/EA)	1233.170	781.906	O.K
	휨 응력(MPa)	140.000	52.339	O.K
	전단응력(MPa)	80.000	0.943	O.K
	수평변위(mm)	15.000	0.297	O.K

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

5.4.5 만화교(울산) 교각(P2) 구조검토

가. 검토조건

1) 일반사항

① 하부구조형식 : 다주식 교각

② 상부구조형식 : STEEL BOX

③ 교량등급 : 1등교

④ 기초형식 : 말뚝기초

2) 하중

① 철근콘크리트의 단위중량 : $\gamma_c = 25.0 kN/m^3$

② 기초지반의 단위중량 : $\gamma_{s2} = 20.0 kN/m^3$

③ 교량받침 마찰계수 : $f_s = 0.15$

3) 사용재료

① 콘크리트

㉠ 설계기준강도(f_{ck}) : 24MPa(코핑부, 기둥, 기초)

㉡ 탄성계수(E_c) : 26,636MPa(코핑부, 기둥, 기초)

② 철근(SD300)

㉠ 항복강도(f_y) : 300MPa(코핑부, 기둥, 기초)

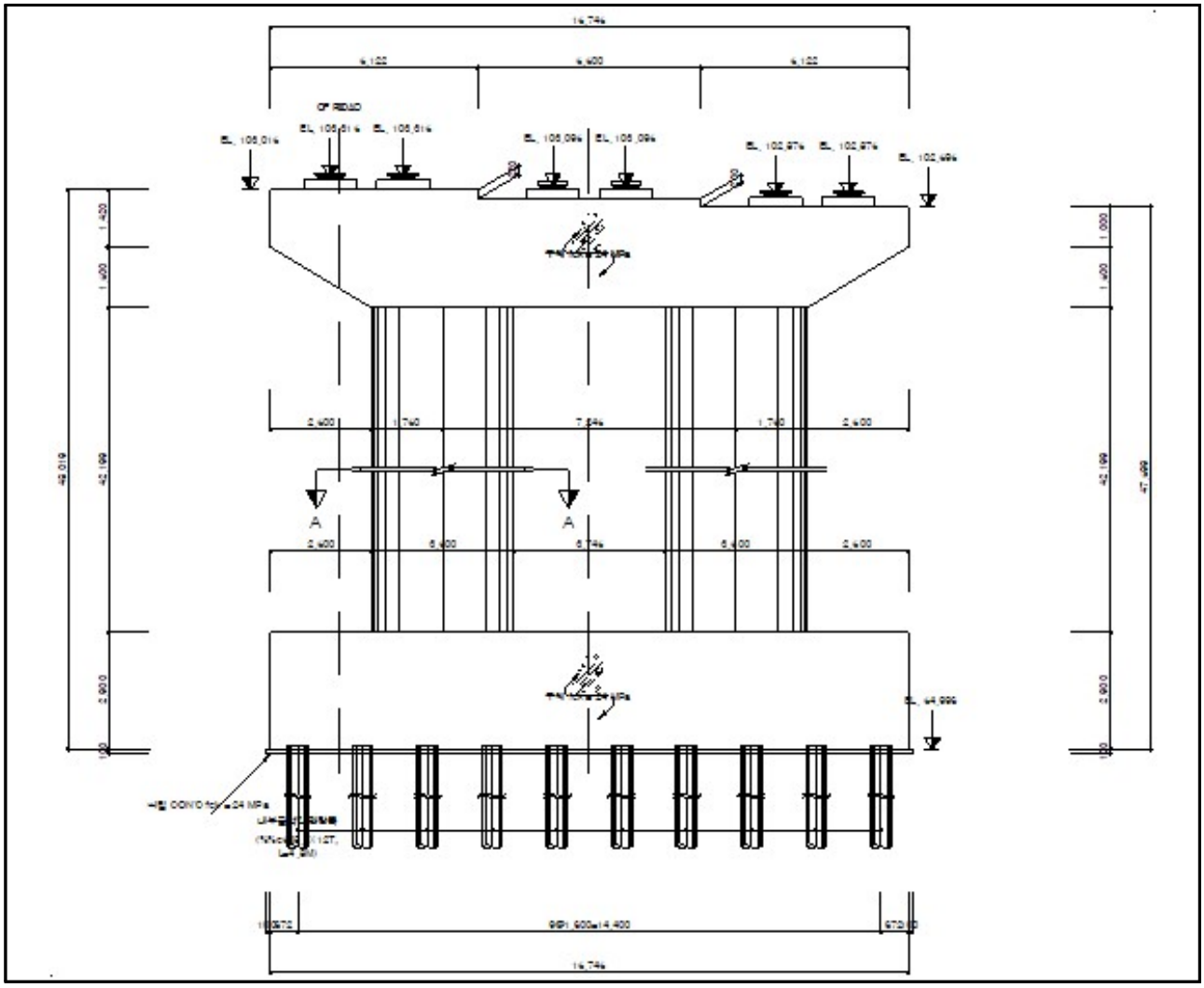
㉡ 탄성계수(E_s) : 200,000MPa

4) 검토방법

① 안정성검토 : 허용응력 설계법

② 단면검토 : 극한강도 설계법

나. 해석단면



【그림 5.36】 해석단면(P2)(울산)

다. 하중산정

1) 상부반력 및 교각 자중

교좌번호	고정하중(D)	활하중(L)		
		만재하시(L1)	좌측 편재하시(L2)	우측 편재하시(L3)
1	2240.240	368.000	-	-
2	1736.595	925.500	-	-
3	2354.828	787.200	-	-
4	2240.240	368.000	-	-
5	1736.595	925.500	-	-
6	2354.828	787.200	-	-
계	12663.326	4161.400	-	-

※ 교각 자중은 25.0kN/m^3의 값을 프로그램에서 자동 재하

2) 풍하중

① 교축직각방향(W-TR)

㉠ 상부구조에 작용하는 풍하중

· $B/D = 16.200 / 4.263 = 3.800\ [1 \leq B/D < 8]$

· $W = [4.0 - 0.2 \times (16.200 / 4.263)] \times 4.263 = 13.812 kN/m \geq 6.0$이므로

$= 13.812 kN/m$

· $P_{w1} = 13.812 \times (50.000 + 50.000) / 2 \times \sin 90.0$

$= 690.6 kN$

· 작용위치 $h = 4.263 / 2 + 0.400 + 0.710 = 3.241 m$

· 작용모멘트 $M_{w1} = P_{w1} \times h = 690.600 \times 3.241 = 2238.580 kN \cdot m$

㉡ 하부구조에 작용하는 풍하중

· $W'copping = 3.000 \times 2.920 \times 3.800 = 33.288 kN$

· $W'column = 1.500 \times 3.500 = 5.250 kN/m$(풍상측)

· $W'column = 1.500 \times 3.500 / 22.625 = 0.232 kN/m$(풍하측)

※ 기둥간의 순간격이 기둥단면의 2배미만일 경우는 풍하측으로 재하 1/2를 적용한다.

※ 활하중 재하시에는 계산된 하중의 1/2을 적용한다.

② 교축방향(W-LO)

㉠ 하부구조에 작용하는 풍하중

· $W'copping = 116.101 kN$(Copping 높이에 따라 재하)

· $W'column = 1.500 \times 3.500 = 5.250 kN/m$

※ 활하중 재하시에는 계산된 하중의 1/2을 적용한다.

3) 활하중에 작용하는 풍하중

활하중에 재하되는 풍하중에 대하여는 교면상 1.5m 위치에서 1500.000N/m의 풍하중이 재하되는 것으로 한다.

· $P_h = 1.500 \times (50.000 + 50.000) / 2 \times \sin 90.0 = 75.000 kN$

· 작용위치 $h = 3.291 + 1.500 + 0.710 = 5.501 m$

· 작용모멘트 $M_y = P_{w2} \times h = 75.000 \times 5.501 = 412.56 kN \cdot m$

4) 온도하중

㉠ 교축직각방향(G-TR)

· 연평균 온도변화차 $\Delta T = 10℃$ 적용

㉡ 교축방향(G-LO)

· 고정단이므로 교량받침 마찰력에 의한 수평력은 고려하지 않는다.

: 일반적으로 고정단에서도 교량받침의 마찰력보다는 지진시의 상부구조에 의한 수평력이 크기 때문에 지진시의 수평력을 고려한다.

라. 하중조합

1) 사용하중 검토시

구분	D	L1	L2	L3	W	WL	G	GS
SVB01	1.00	1.00						
SVB02	1.00		1.00					
SVB03	1.00			1.00				
SVB04	1.00				1.00			
SVB05	1.00	1.00			0.50	1.00		
SVB06	1.00		1.00		0.50	1.00		
SVB07	1.00			1.00	0.50	1.00		
SVB08	1.00	1.00					1.00	1.00
SVB09	1.00	1.00					-1.00	1.00
SVB10	1.00		1.00				1.00	1.00
SVB11	1.00		1.00				-1.00	1.00
SVB12	1.00			1.00			1.00	1.00
SVB13	1.00			1.00			-1.00	1.00
SVB14	1.00				1.00		1.00	1.00
SVB15	1.00				1.00		-1.00	1.00
SVB16	1.00	1.00			0.50	1.00	1.00	1.00
SVB17	1.00	1.00			0.50	1.00	-1.00	1.00
SVB18	1.00		1.00		0.50	1.00	1.00	1.00
SVB19	1.00		1.00		0.50	1.00	-1.00	1.00
SVB20	1.00			1.00	0.50	1.00	1.00	1.00
SVB21	1.00			1.00	0.50	1.00	-1.00	1.00
SVB22	1.00							

※ D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력

L : 활하중 또는 이에 따른 단면력

W : 풍하중 또는 이에 따른 단면력

WL : 차량활하중에 작용하는 풍하중 또는 이에 따른 단면력

CO : 충돌하중 또는 이에 따른 단면력

G : 부등침하, 크리프, 건조수축, 제작 또는 시공시 치수 착오, 습도변화 또는 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력

2) 계수하중 검토시

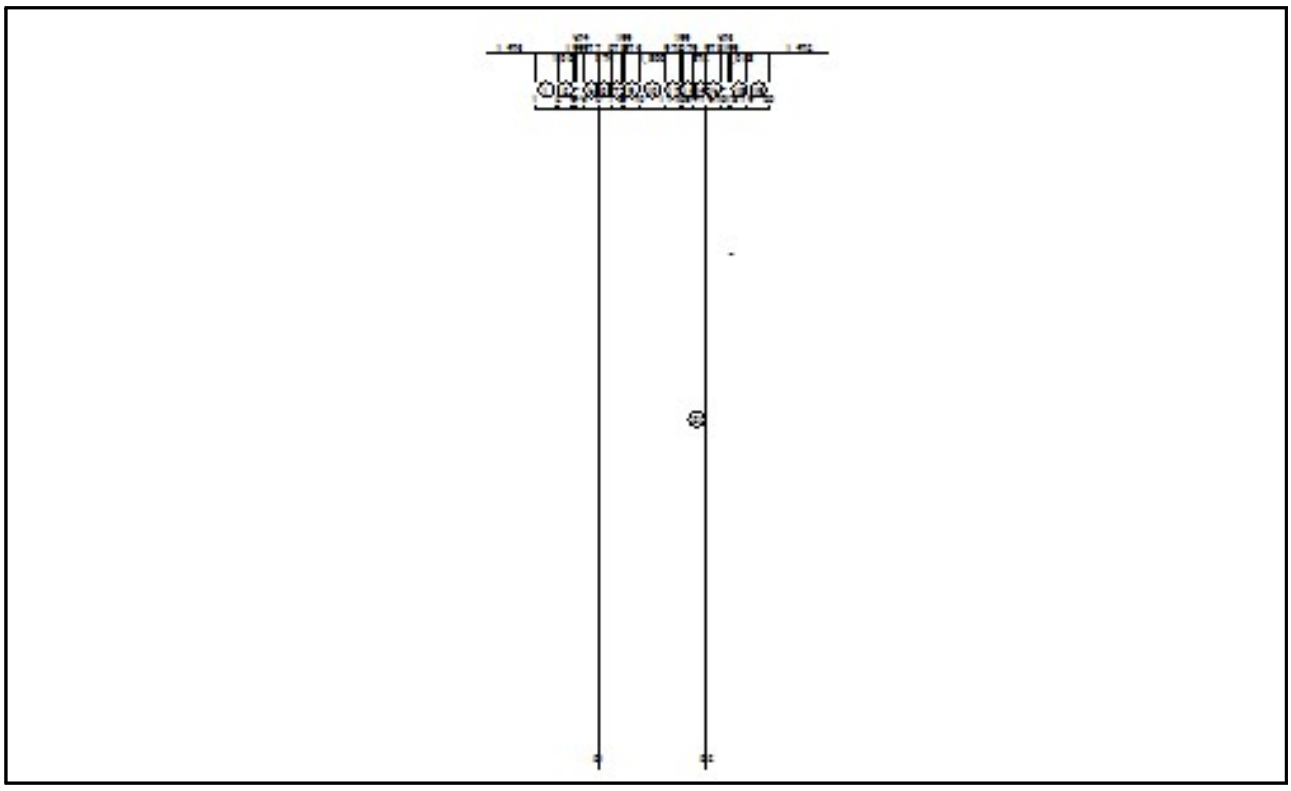
구분	D	L1	L2	L3	W	WL	G	GS
ULB01	1.30	2.15						
ULB02	1.30		2.15					
ULB03	1.30			2.15				
ULB04	1.30				1.30			
ULB05	1.30	1.30			0.65	1.30		
ULB06	1.30		1.30		0.65	1.30		
ULB07	1.30			1.30	0.65	1.30		
ULB08	1.30	1.30					1.30	1.30
ULB09	1.30	1.30					-1.30	1.30
ULB10	1.30		1.30				1.30	1.30
ULB11	1.30		1.30				-1.30	1.30
ULB12	1.30			1.30			1.30	1.30
ULB13	1.30			1.30			-1.30	1.30
ULB14	1.25				1.25		1.25	1.25
ULB15	1.25				1.25		-1.25	1.25
ULB16	1.25	1.25			0.63	1.25	1.25	1.25
ULB17	1.25	1.25			0.63	1.25	-1.25	1.25
ULB18	1.25		1.25		0.63	1.25	1.25	1.25
ULB19	1.25		1.25		0.63	1.25	-1.25	1.25
ULB20	1.25			1.25	0.63	1.25	1.25	1.25
ULB21	1.25			1.25	0.63	1.25	-1.25	1.25
ULB22	1.00							
ULB23	1.30	1.30						
ULB24	1.30		1.30					
ULB25	1.30			1.30				
ULB26	1.20				1.20			

3) 계수하중 검토시(최대편심)

구분	D	L1	L2	L3	W	WL	G	GS
UEB01	1.00	2.15						
UEB02	1.00		2.15					
UEB03	1.00			2.15				
UEB04	1.00				1.30			
UEB05	1.00	1.30			0.65	1.30		
UEB06	1.00		1.30		0.65	1.30		
UEB07	1.00			1.30	0.65	1.30		
UEB08	1.00	1.30					1.30	1.30
UEB09	1.00	1.30					-1.30	1.30
UEB10	1.00		1.30				1.30	1.30
UEB11	1.00		1.30				-1.30	1.30
UEB12	1.00			1.30			1.30	1.30
UEB13	1.00			1.30			-1.30	1.30
UEB14	0.95				1.25		1.25	1.25
UEB15	0.95				1.25		-1.25	1.25
UEB16	0.95	1.25			0.63	1.25	1.25	1.25
UEB17	0.95	1.25			0.63	1.25	-1.25	1.25
UEB18	0.95		1.25		0.63	1.25	1.25	1.25
UEB19	0.95		1.25		0.63	1.25	-1.25	1.25
UEB20	0.95			1.25	0.63	1.25	1.25	1.25
UEB21	0.95			1.25	0.63	1.25	-1.25	1.25
UEB22	1.00							
UEB23	1.00	1.30						
UEB24	1.00		1.30					
UEB25	1.00			1.30				
UEB26	0.90				1.20			

마. 구조해석

1) 해석모델링



【그림 5.37】 해석모델링(P2)(울산)

2) 절점 좌표

절점	X	Z	절점	X	Z	절점	X	Z	절점	X	Z
1	0.000	44.409	7	5.123	44.409	13	9.944	44.409	19	14.273	44.409
2	1.473	44.409	8	5.801	44.409	14	10.623	44.409	20	15.745	44.409
3	2.500	44.409	9	6.000	44.409	15	11.495	44.409	21	4.250	0.000
4	2.699	44.409	10	6.973	44.409	16	12.473	44.409	22	11.495	0.000
5	3.273	44.409	11	8.773	44.409	17	13.046	44.409			
6	4.250	44.409	12	9.745	44.409	18	13.245	44.409			

3) 단면 제원

【표 5.70】 단면 제원(P2)(울산)

구 분	B(m)	H(m)	A(m^2)	I22(m^4)	I33(m^4)	적용 절점
①	3.800	1.000	3.800	1.600433	0.110833	20
②	3.800	1.420	5.396	2.272615	0.317348	1
③	3.800	1.883	7.155	3.013616	0.739982	19
④	3.800	2.304	8.755	3.687398	1.355557	2
⑤	3.800	2.500	9.500	4.001083	1.731771	14~18
⑥	3.800	2.700	10.260	4.321170	2.181533	7~13
⑦	3.800	2.920	11.096	4.673265	2.759427	3~6
⑧	3.500	0.000	9.621	5.156323	5.156323	기둥상단
⑨	3.500	0.000	9.621	5.156323	5.156323	기둥하단

바. 기둥 단면검토

1) 부재력 집계 : 기둥 하단

【표 5.71】 부재력 집계(P2)(울산)

구 분		P_e(kN)	P_u(kN)	M1(kN·m)	M2(kN·m)	V(kN)	Δ(m)	비 고
교축 직각 방향	ULO05	-24412.539	-29559.988	-1774.587	6327.833	-228.006	0.02333	축력최대
	ULO04	-24601.491	-21164.293	-12914.876	16510.326	-841.300	0.03771	모멘트최대
	UEO26	-17031.802	-13859.003	-11273.102	14874.361	-752.550	0.03472	편심최대
교축 방향	ULB01	-24412.539	-29508.956	-	-	-	-	축력최대
	ULB04	-24601.491	-24601.492	-159.820	-9435.848	363.820	0.03722	모멘트최대
	UEB26	-16900.988	-16900.988	-160.373	-8695.012	335.174	0.03432	편심최대

※ P_e : 장기지속축력(= 고정하중에 의한 축력 × 고정하중 계수)

P_u : 전체 축력 , M1 , M2 : 기둥 상단, 하단 모멘트

V_u : 전단력 , △ : 기둥 상단의 변위량

2) 기둥 단면검토

【표 5.72】 기둥 단면검토 결과(P2)(울산)

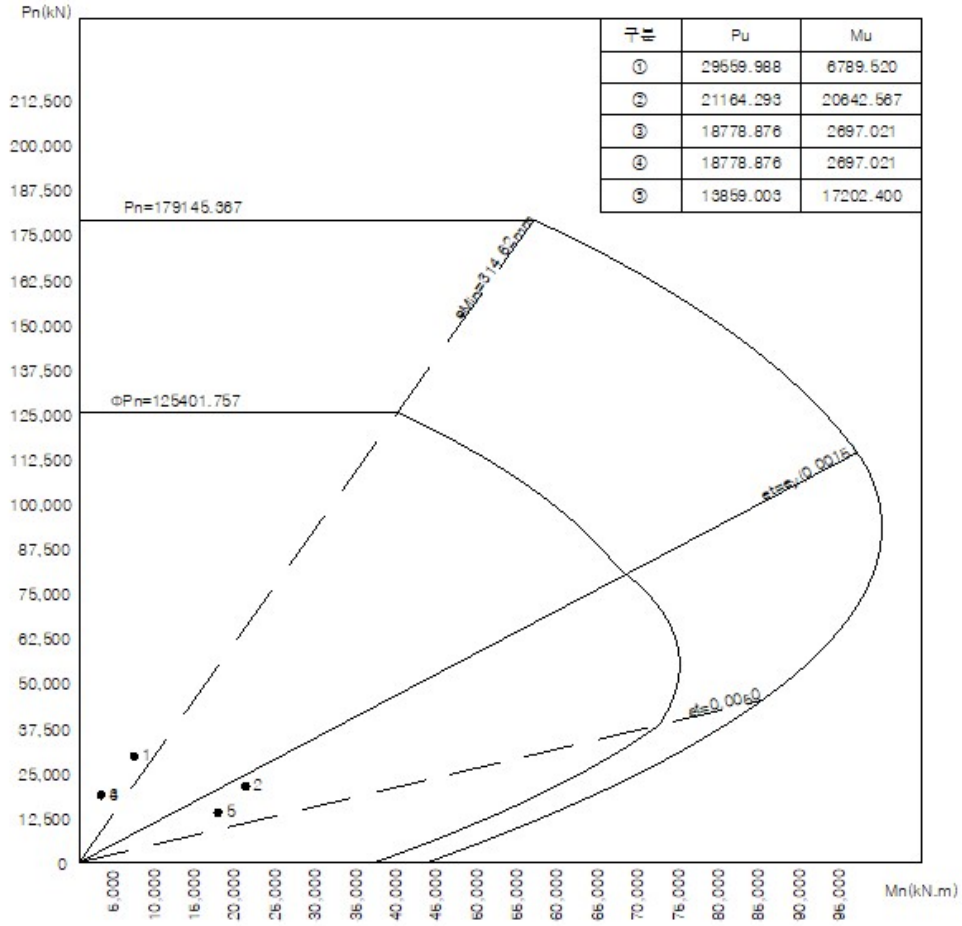
구 분		P_u(kN)	ΦP_n(kN)	M_u(kN·m)	ΦM_n(kN·m)	안전율	비 고
교축 직각 방향	축력최대	29559.988	125401.7962	6789.520	28803.050	4.242	O.K
	모멘트최대	21164.293	73007.084	20642.567	71207.369	3.450	O.K
	편심최대	13859.003	59789.099	17202.400	74212.843	4.314	O.K
교축 방향	축력최대	29508.956	125401.762	-	-	4.250	O.K
	모멘트최대	24601.492	116441.702	10006.201	47360.507	4.733	O.K
	편심최대	16900.988	98463.675	10205.596	59456.908	5.826	O.K
- f_{ck} = 24MPa, f_y = 300MPa, k_1 = 0.85, Φ_c = 0.70							

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

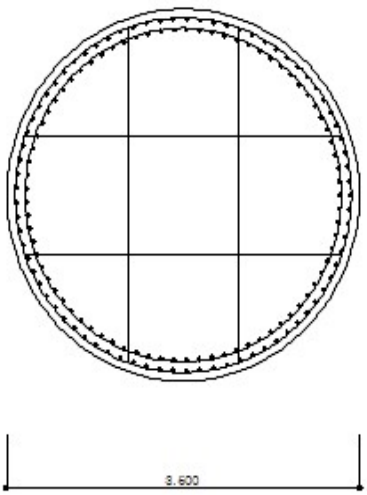
3) P-M 상관도

① 교축직각방향

교축직각방향



구분	Pu	Mu
①	29659.988	6789.520
②	21164.293	20642.567
③	18778.876	2697.021
④	18778.876	2697.021
⑤	13859.003	17202.400



▣ 단면제원

$R = 1750.000\,mm$

$A_g = 9621127.502\,mm^2$

▣ 사용철근

$A_{st} = 98929.600\,mm^2$

$P_{use} = 0.01028$

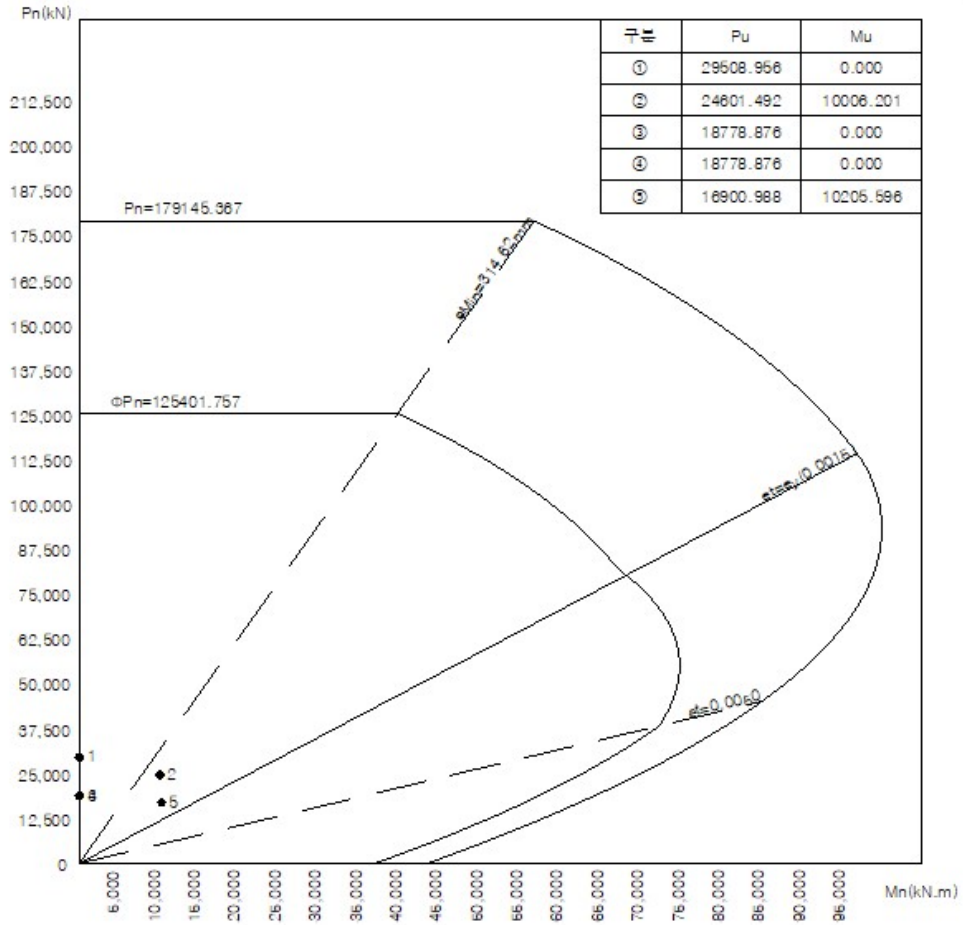
1단 : D29 − 77EA

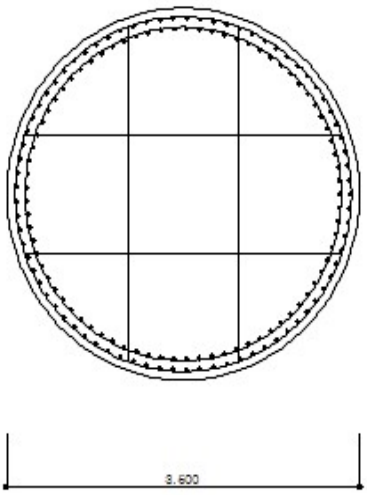
2단 : D29 − 77EA

【그림 5.38】 교축직각방향 P-M상관도(P2)(울산)

② 교축방향

교축방향





▣ 단면제원

$R = 1750.000\,\mathrm{mm}$

$A_g = 9621127.502\,\mathrm{mm}^2$

▣ 사용철근

$A_{st} = 98929.600\,\mathrm{mm}^2$

$P_{use} = 0.01028$

1단 : D29 − 77EA

2단 : D29 − 77EA

【그림 5.39】교축방향 P-M상관도(P2)(울산)

사. 두부보, 기초 단면검토

1) 각 부재별 단면검토

【표 5.73】 각 부재별 단면검토 결과(P2)(울산)

구 분		d (mm)	피복 (mm)	필요철근량 (mm^2)	사용철근량 (mm^2)	휨에 대한 검토		
						M_u (kN·m)	ΦM_n (kN)	안전율
두부보	좌측내민보	2500	100	28576.000	D25@100 D25@100	-	-	O.K (2.750)
	우측내민보	2500	100	28576.000	D25@100 D25@100	-	-	O.K (2.281)
	좌측지점부	2500	100	7731.381	D25@100 D25@100	4603.536	21775.640	O.K (4.730)
	중앙부	2700	100	5705.618	D25@100	3766.762	12256.428	O.K (3.254)
	우측지점부	2500	100	17026.235	D25@100 D25@100	10059.932	21775.640	O.K (2.165)
기초	교축방향	2900	150	50037.311	D32@126	34790.506	68442.944	O.K (1.967)
	교직방향 지점부	2900	150	21197.643	D32@127	14780.596	43259.587	O.K (2.927)
	교직방향 중앙부	2900	150	27390.556	D32@127	19066.957	43259.587	O.K (2.269)

※ $f_{ck} = 24\,MPa$, $f_y = 300\,MPa$, $k_1 = 0.85$, $\Phi_f = 0.85$, $\Phi_v = 0.80$

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

2) 각 부재별 사용성(균열) 검토

【표 5.74】 각 부재별 사용성(균열) 검토결과(P2)(울산)

구 분		인장응력(f_s) (MPa)	허용응력(f_{sa}) (MPa)	최외단 철근 평균간격(s) (㎜)	최외단 철근 최대중심간격(s_q) (㎜)	비고
두부보	좌측내민보	48.911	150	102.703	1288.057	O.K
	우측내민보	58.596	150	102.703	1075.155	O.K
	좌측지점부	41.837	150	102.703	1505.838	O.K
	중앙부	64.812	150	102.703	972.047	O.K
	우측지점부	98.827	150	102.703	578.095	O.K
기초	교축방향	105.011	150	125.960	414.923	O.K
	교직방향 지점부	79.925	150	126.582	650.300	O.K
	교직방향 중앙부	100.917	150	126.582	445.344	O.K

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

아. 말뚝 검토

1) 검토조건

① 말뚝의 제원

말뚝 종류	직경(mm)	두께(mm)	길이(m)
내부굴착 강관말뚝	508	12	4.600

※ 말뚝길이는 기초평면에 묻힌 100mm는 제외한 길이임.

· 말뚝의 탄성계수 : $E = 205{,}000.0\,\mathrm{MPa}$

· 말뚝의 단면2차모멘트 : $I = \pi / 64 \times (0.504^4 - 0.484^4) = 0.0004736\,\mathrm{m}^4$

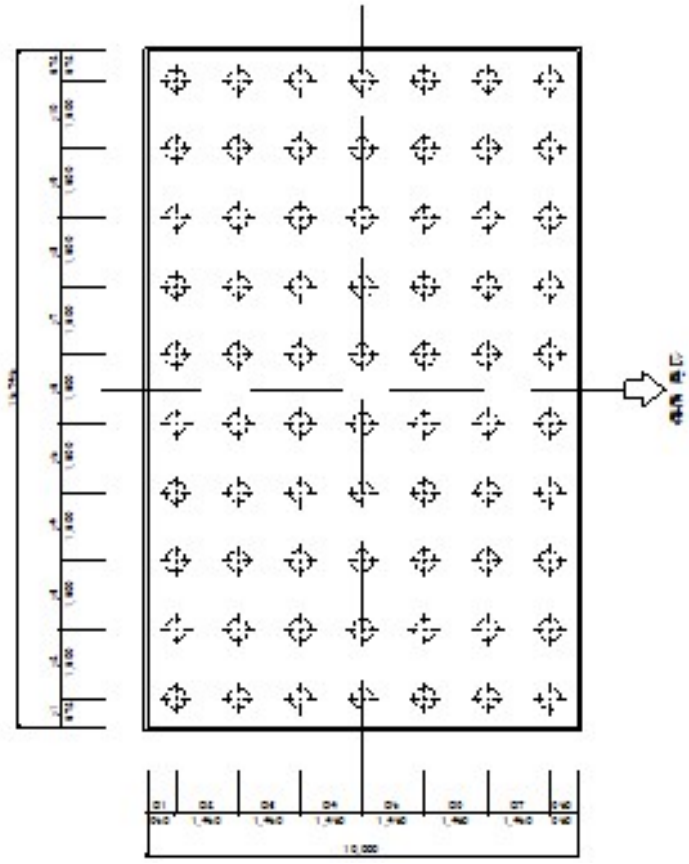
· 말뚝 머리의 평균 N치 : N = 22

· 말뚝 선단의 평균 N치 : N = 40

· 말뚝 선단의 근입깊이 : $D_f = 1.0\,\mathrm{m}$

· 원지반으로부터 돌출된 길이 : $h = 0.0\,\mathrm{m}$

② 말뚝의 배치



2) 말뚝도심에서의 작용하중

① 교직방향

구 분		V_o(kN)	H_o(kN)	M_o(kN·m)	비 고
사용하중	COMBO 1	53279.625	603.096	28081.460	SVO17
	COMBO 2	49118.225	1056.193	44040.905	SVO04
	COMBO 3	49118.225	1056.193	44040.906	SVO14
	COMBO 4	49118.225	-	596.363	SVO22
계수하중	COMBO 1	72800.702	-	4421.311	ULO01
	COMBO 2	49118.225	1373.051	57378.867	UEO04
	COMBO 3	44206.402	1267.431	52974.779	UEO26
	COMBO 4	49118.225	-	596.363	ULO22

② 교축방향

구 분		V_o(kN)	H_o(kN)	M_o(kN·m)	비 고
사용하중	COMBO 1	53279.625	279.587	8062.896	SVB05
	COMBO 2	49118.225	559.174	16125.792	SVB04
	COMBO 3	49118.225	559.174	16125.792	SVB15
	COMBO 4	49118.225	-	-	SVB22
계수하중	COMBO 1	72800.702	-	-	ULB01
	COMBO 2	63853.692	726.926	20963.529	ULB04
	COMBO 3	44206.402	671.008	19350.950	UEB26
	COMBO 4	49118.225	-	-	UEB22

3) 말뚝의 안정성 검토

① 말뚝의 지지력 검토

【표 5.75】 말뚝의 지지력 검토결과(울산)

구 분		허용값	발생값	비 고
교직 방향	허용지지력(kN/EA)	1233.170	918.793	O.K
	휨 응력(MPa)	140.000	63.524	O.K
	전단응력(MPa)	80.000	1.944	O.K
	수평변위(mm)	15.000	0.396	O.K
교축 방향	허용지지력(kN/EA)	1233.170	821.888	O.K
	휨 응력(MPa)	140.000	55.269	O.K
	전단응력(MPa)	80.000	1.029	O.K
	수평변위(mm)	15.000	0.210	O.K

※ 자세한 계산과정은 부록. 참조

5.5 안전성평가 결과

5.5.1 안전성평가 결과

1) 상부구조

【표 5.76】 상부구조 안전성 평가결과(부산)

구 분				계산식	판정	비고
만화교 (부산)	시점경간 중앙 정모멘트부	휨응력		$\frac{f_a}{f} = \frac{190.000}{87.663} = 2.170$	O.K	MPa
		전단응력		$\frac{v_a}{v} = \frac{110.000}{23.244} = 4.73$	O.K	MPa
	내측경간 중앙 정모멘트부	휨응력		$\frac{f_a}{f} = \frac{-192.630}{-51.258} = 3.760$	O.K	MPa
		전단응력		$\frac{v_a}{v} = \frac{110.000}{8.058} = 13.65$	O.K	MPa
	시점경간 부모멘트부	휨응력		$\frac{f_a}{f} = \frac{190.000}{109.701} = 1.730$	O.K	MPa
		전단응력		$\frac{v_a}{v} = \frac{110.000}{46.041} = 2.39$	O.K	MPa
	바닥판	단면 검토	캔틸레버부	$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{155.876}{114.900} = 1.357$	O.K	kN·m
			중앙부	$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{109.120}{91.387} = 1.194$	O.K	kN·m

【표 5.77】 상부구조 안전성 평가결과(울산)

구 분				계산식	판정	비고
만화교 (울산)	시점경간 중앙 정모멘트부	휨응력		$\frac{f_a}{f} = \frac{190.000}{158.211} = 1.200$	O.K	MPa
		전단응력		$\frac{v_a}{v} = \frac{110.000}{5.382} = 20.44$	O.K	MPa
	내측경간 중앙 정모멘트부	휨응력		$\frac{f_a}{f} = \frac{-192.630}{-35.581} = 5.410$	O.K	MPa
		전단응력		$\frac{v_a}{v} = \frac{110.000}{11.673} = 9.42$	O.K	MPa
	시점경간 부모멘트부	휨응력		$\frac{f_a}{f} = \frac{190.000}{145.033} = 1.310$	O.K	MPa
		전단응력		$\frac{v_a}{v} = \frac{110.000}{54.259} = 2.03$	O.K	MPa
	바닥판	단면 검토	캔틸레버부	$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{155.876}{114.900} = 1.357$	O.K	kN·m
			중앙부	$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{109.120}{91.387} = 1.194$	O.K	kN·m

2) 하부구조

【표 5.78】 하부구조 안전성 평가결과(부산)

구 분				계산식	판정	비고
A1	단면 검토	전면 저판	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{2374.896}{1504.90}=1.578$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u}=\frac{1796.271}{1618.522}=1.110$	O.K	kN
		후면 저판	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{4650.750}{3071.815}=1.514$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u}=\frac{1796.271}{1262.890}=1.422$	O.K	kN
		벽체	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{5189.554}{4450.319}=1.166$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u}=\frac{1211.866}{941.540}=1.287$	O.K	kN
		흉벽	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{286.971}{252.320}=1.137$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u}=\frac{470.320}{120.302}=3.909$	O.K	kN
	말뚝검토	지지력		$V_{\max}(=1066.794)<R_a(=1296.870)$	O.K	kN/EA
		응력		$\frac{f_a}{M_u}=\frac{190.000}{142.866}=1.330>1$	O.K	MPa
		변위		$\delta(=8.404)<\delta_a(=15.000)$	O.K	㎜
P2	기둥 검토	교축직각방향		$\frac{\Phi P_n}{P_u}=\frac{125401.762}{28115.912}=4.460>1$(축력최대) $\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{68559.012}{17488.900}=3.920>1$(모멘트최대)	O.K	kN kN·m
		교축방향		$\frac{\Phi P_n}{P_u}=\frac{125401.762}{28115.912}=4.460>1$(축력최대) $\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{47302.706}{9425.024}=5.019>1$(모멘트최대)	O.K	kN kN·m
	두부보	좌측내민보		$2.869>1$	O.K	kN·m
		우측내민보		$2.380>1$	O.K	kN·m
		좌측지점부		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{22731.783}{4308.326}=5.276>1$	O.K	kN·m
		중앙부		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{12256.428}{3669.134}=3.340>1$	O.K	kN·m
		우측지점부		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{27731.783}{9094.982}=2.499>1$	O.K	kN·m

【표 5.78】 하부구조 안전성 평가결과(부산)(계속)

구 분				계산식	판정	비고
P2	기초	교축방향		$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{68442.944}{31667.931} = 2.161 > 1$	O.K	kN·m
		교직방향 지점부		$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{43259.587}{13530.598} = 3.197 > 1$	O.K	kN·m
		교직방향 중앙부		$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{43259.587}{17344.906} = 2.494 > 1$	O.K	kN·m
	말뚝 검토	교직 방향	지지력	$V_{\max}(=866.463) < R_a(=1233.170)$	O.K	kN/EA
			응력	$\frac{f_a}{M_u} = \frac{140.000}{60.687} = 2.307 > 1$	O.K	MPa
			변위	$\delta(=0.592) < \delta_a(=15.000)$	O.K	㎜
		교축 방향	지지력	$V_{\max}(=781.906) < R_a(=1233.170)$	O.K	kN/EA
			응력	$\frac{f_a}{M_u} = \frac{140.000}{52.339} = 2.675 > 1$	O.K	MPa
			변위	$\delta(=0.297) < \delta_a(=15.000)$	O.K	㎜

【표 5.79】 하부구조 안전성 평가결과(울산)

구 분				계산식	판정	비고
A1	단면 검토	전면 저판	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{2374.896}{1420.402}=1.672$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u}=\frac{1796.271}{1531.239}=1.173$	O.K	kN
		후면 저판	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{4650.750}{2934.484}=1.585$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u}=\frac{1208.415}{1189.736}=1.016$	O.K	kN
		벽체	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{5189.554}{3974.742}=1.306$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u}=\frac{1211.866}{874.177}=1.386$	O.K	kN
		흉벽	휨모멘트	$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{286.971}{252.326}=1.137$	O.K	kN·m
			전단	$\frac{\Phi V_n}{V_u}=\frac{470.302}{120.304}=3.909$	O.K	kN
	말뚝검토	지지력		$V_{\max}(=1012.968)<R_a(=1339.050)$	O.K	kN/EA
		응력		$\frac{f_a}{M_u}=\frac{190.000}{145.813}=1.303>1$	O.K	MPa
		변위		$\delta(=9.303)<\delta_a(=15.000)$	O.K	㎜
P2	기둥 검토	교축직각방향		$\frac{\Phi P_n}{P_u}=\frac{125401.762}{29559.988}=4.242>1$(축력최대) $\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{71207.369}{20642.567}=3.450>1$(모멘트최대)	O.K	kN kN·m
		교축방향		$\frac{\Phi P_n}{P_u}=\frac{125401.762}{29508.956}=4.250>1$(축력최대) $\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{47360.507}{10006.201}=4.733>1$(모멘트최대)	O.K	kN kN·m
	두부보	좌측내민보		$2.750>1$	O.K	kN·m
		우측내민보		$2.281>1$	O.K	kN·m
		좌측지점부		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{21775.640}{4603.536}=4.730>1$	O.K	kN·m
		중앙부		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{12256.428}{3766.762}=3.254>1$	O.K	kN·m
		우측지점부		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{21775.640}{10059.932}=2.165>1$	O.K	kN·m

【표 5.79】 하부구조 안전성 평가결과(울산)(계속)

구 분				계산식	판정	비고
P2	기초	교축방향		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{68442.944}{34790.506}=1.967>1$	O.K	kN·m
		교직방향 지점부		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{43259.587}{14780.596}=2.927>1$	O.K	kN·m
		교직방향 중앙부		$\frac{\Phi M_n}{M_u}=\frac{43259.587}{19066.957}=2.269>1$	O.K	kN·m
	말뚝 검토	교직 방향	지지력	$V_{\max}(=918.793)<R_a(=1233.170)$	O.K	kN/EA
			응력	$\frac{f_a}{M_u}=\frac{140.000}{63.524}=2.204>1$	O.K	MPa
			변위	$\delta(=0.396)<\delta_a(=15.000)$	O.K	㎜
		교축 방향	지지력	$V_{\max}(=821.888)<R_a(=1233.170)$	O.K	kN/EA
			응력	$\frac{f_a}{M_u}=\frac{140.000}{55.269}=2.533>1$	O.K	MPa
			변위	$\delta(=0.210)<\delta_a(=15.000)$	O.K	㎜

5.5.2 안전성평가 종합결론

○ 구조검토를 통한 안전성 검토결과, Steel Box Girder와 바닥판의 최소안전율이 1.0 이상으로 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

○ 하부구조의 경우 교대 및 교각(기둥부, 기초)의 모든 부재에서 최소안전율 1.0 이상으로 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

5.5.3 전차 정밀안전진단과의 결과비교

【표 5.80】 전차 정밀안전진단과의 결과비교(부산)

구 분			전차 정밀안전진단('18년)	금회 정밀안전진단('23년)
바닥판	캔틸레버부(중분대측)		1.357	1.357
	캔틸레버부(방호벽측)		1.357	2.244
	중앙부		1.194	1.194
강박스 거더 (휨응력)	시점경간 중앙 정모멘트부	상연	1.860	2.400
		하연	1.430	2.170
	내측경간 중앙 정모멘트부	상연	8.440	3.760
		하연	5.700	4.190
	시점경간 부모멘트부	상연	2.740	1.730
		하연	2.590	1.750

【표 5.80】 전차 정밀안전진단과의 결과비교(부산)

구 분		전차 정밀안전진단('18년)	금회 정밀안전진단('23년)
강박스 거더 (전단응력)	시점경간 중앙 정모멘트부	22.590	4.730
	내측경간 중앙 정모멘트부	19.410	13.650
	시점경간 부모멘트부	21.260	2.390
최소 내하율	바닥판	1.259	1.259
	거더	2.848	4.148
총평	• 금회 및 기 진단시 내하력 평가 결과 만화교(부산)의 기본 내하력은 DB-24(DL-24) 이상으로 나타나 설계활하중에 대한 안전성을 확보한 것으로 평가됨. • 기 진단과 안전율의 차이는 해석 모델링 상이 및 하중변동, 검토위치 상이 등 복합적인 원인에 의한 것으로 판단됨.		

【표 5.81】 전차 정밀안전진단과의 결과비교(울산)

구 분			전차 정밀안전진단('18년)	금회 정밀안전진단('23년)
바닥판	캔틸레버부(중분대측)		1.357	1.357
	캔틸레버부(방호벽측)		1.357	2.244
	중앙부		1.194	1.194
강박스 거더 (휨응력)	시점경간 중앙 정모멘트부	상연	1.880	1.490
		하연	1.440	1.200
	내측경간 중앙 정모멘트부	상연	23.660	5.410
		하연	9.980	7.300
	시점경간 부모멘트부	상연	2.640	1.310
		하연	2.500	1.350
강박스 거더 (전단응력)	시점경간 중앙 정모멘트부		22.620	20.440
	내측경간 중앙 정모멘트부		21.340	9.420
	시점경간 부모멘트부		19.570	2.030
최소 내하율	바닥판		1.259	1.259
	거더		2.976	2.217
총평	• 금회 및 기 진단시 내하력 평가 결과 만화교(울산)의 기본 내하력은 DB-24(DL-24) 이상으로 나타나 설계활하중에 대한 안전성을 확보한 것으로 평가됨. • 기 진단과 안전율의 차이는 해석 모델링 상이 및 하중변동, 검토위치 상이 등 복합적인 원인에 의한 것으로 판단됨.			

제 6장 종합평가 및 안전등급의 지정

6.1 종합평가 결과 산정절차

6.2 종합평가 결과

6.3 안전등급 지정

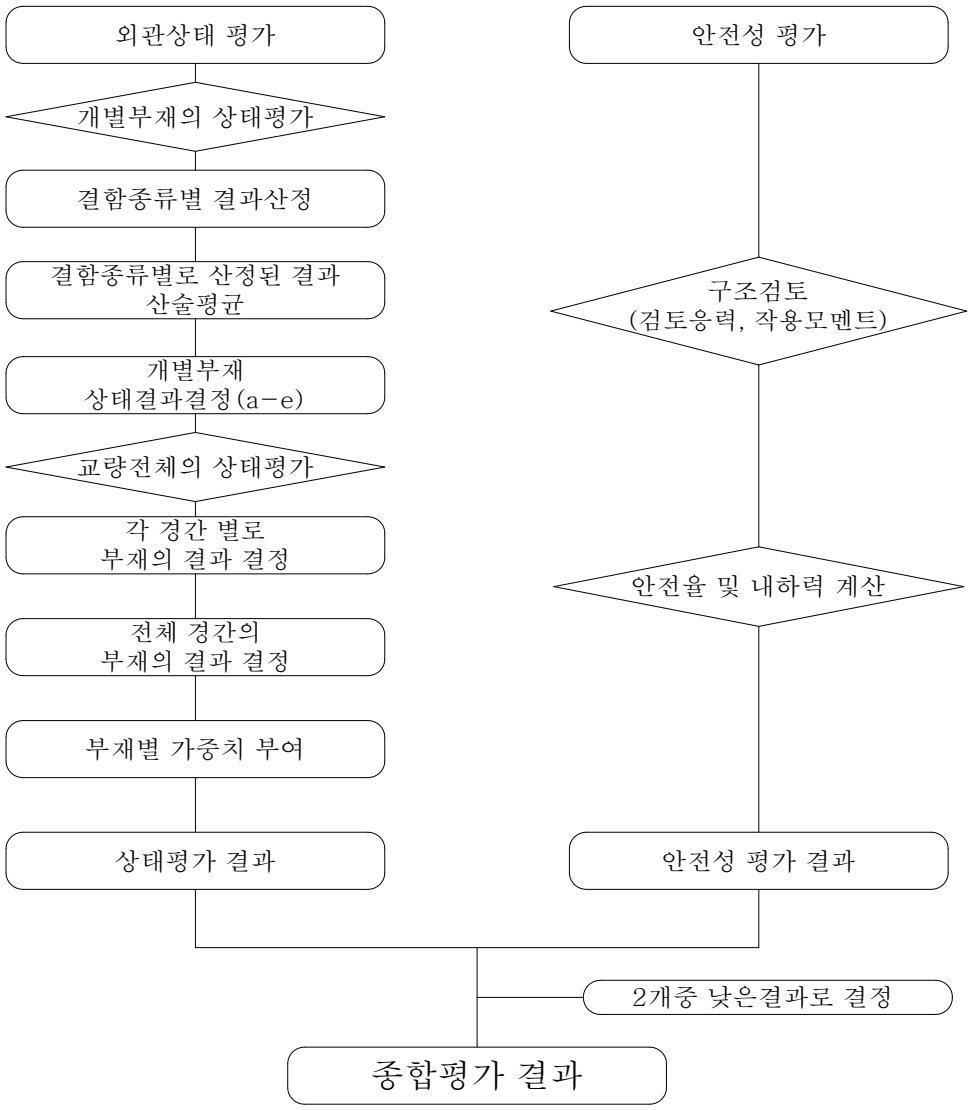
제 6장 종합평가 및 안전등급의 지정

6.1 종합평가 결과 산정절차

6.1.1 종합평가 결과 산정방법

외관조사에 따른 상태평가등급과 안전성 검토에 근거한 안전성평가등급 중 낮은 등급을 시설물의 종합평가등급으로 결정한다.

■ **종합평가 등급=MIN(상태평가 결과, 안전성 평가 결과)**



【그림 6.1】 종합평가 결과 산정절차

6.2 종합평가 결과

6.2.1 종합평가 결과(부산)

외관조사 및 시험에 의한 상태평가 결과와 구조검토에 의한 안전성평가 결과를 종합하여 검토한 결과, 만화교(부산)의 종합평가 결과는 “B” 로 평가되었다.

【표 6.1】종합평가 결과(부산)

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과			종합평가 결과
	환산결함도점수	기준	S·F		기준	
만화교(부산)	0.190	B	상부구조	1.0 이상	A	B
			하부구조	1.0 이상	A	
종합평가	•만화교(부산)의 외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 내구성확보를 위해 일부 보수가 필요한 “B” 로 평가됨 •안전성평가 결과 모두 최소 안전율 1.0이상으로 “A” 로 평가됨 •상태평가 및 안전성평가 결과를 통한 종합평가 결과 만화교(부산)는 “B” 로 평가됨					

6.2.2 종합평가 결과(울산)

외관조사 및 시험에 의한 상태평가 결과와 구조검토에 의한 안전성평가 결과를 종합하여 검토한 결과, 만화교(울산)의 종합평가 결과는 “B” 로 평가되었다.

【표 6.2】종합평가 결과(울산)

구조물명	상태평가 결과		안전성평가 결과			종합평가 결과
	환산결함도점수	기준	S·F		기준	
만화교(울산)	0.168	B	상부구조	1.0 이상	A	B
			하부구조	1.0 이상	A	
종합평가	•만화교(울산)의 외관조사 및 내구성조사에 의한 상태평가 결과는 내구성확보를 위해 일부 보수가 필요한 “B” 로 평가됨 •안전성평가 결과 모두 최소 안전율 1.0이상으로 “A” 로 평가됨 •상태평가 및 안전성평가 결과를 통한 종합평가 결과 만화교(울산)는 “B” 로 평가됨					

6.3 안전등급 지정

6.3.1 안전등급 기준

정밀안전진단을 실시하는 경우 상태평가 및 안전성평가 등을 종합적으로 평가하여「법」제16조 및 「영」제12조에 따라서 당해 시설물의 안전등급을 지정하여야 하고, 책임기술자는 당해 시설물에 대한 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정하여야 하며, 안전등급에 따른 시설물의 상태는 다음과 같다.

【표 6.3】시설물의 안전등급

안전등급	시설물의 상태 및 안전성
A(우수)	•문제점이 없는 최상의 상태
B(양호)	•보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 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 저하방지를 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 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

6.3.2 안전등급 지정

만화교(부산, 울산)에 대한 상태평가 및 안전성평가 결과 시설물의 상태는『보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태』로 안전등급 B등급으로 평가되었다.

【표 6.4】안전등급 지정

	구조물명	안전등급
안전등급	만화교(부산)	B등급(양호)
	만화교(울산)	B등급(양호)

6.3.3 기 진단결과와의 비교, 분석

만화교(부산)에 대한 기 진단결과와의 종합평가 비교·분석한 결과, 공용년수 증가에 따라 일부 부재에서 신규 손상이 발생하였으나, 공용 중 하부구조, 교량받침의 유지보수 실시로 결함도지수는 하락되었으며, 상태등급은 “B”로 상향평가되었다.

만화교(울산)에 대한 기 진단결과와의 종합평가 비교·분석한 결과, 공용년수 증가에 따른 신규 손상이 발생하였으나, 교량받침, 하부구조의 유지보수 실시, 기초부 가중치 산정 등의 요인으로 결함도지수는 경미하게 하락하였으며, 상태등급은 동일하게 “B”로 평가되었다.

안전성평가 결과, 기 진단 및 금회진단 모두 Steel Box Girder와 바닥판, 하부구조 모두 최소안전율 1.0 이상으로 안전성을 확보하고 있는 상태로 평가되었다.

따라서, 상태평가 결함도지수는 하락하여 평가등급은 “B”로 상향평가되었으며, 안전성평가는 동일하게 “A”로 평가되어, 기 진단 대비 금회 진단의 종합평가는 “B등급”으로 상향평가된 것으로 분석되었다.

【표 6.5】기 진단 결과와의 종합평가 결과 비교

구 분	18년 진단			금회 진단		
	상태평가	안전성평가	종합평가	상태평가	안전성평가	종합평가
만화교(부산)	0.281	A	C	0.190	A	B
만화교(울산)	0.227	A	B	0.168	A	B

제 7장 보수·보강 및 유지관리방안

7.1 개 요

7.2 보수·보강 방안

7.3 보수·보강 개략공사비

7.4 유지관리방안

제 7장 보수·보강 및 유지관리방안

7.1 개요

만화교(부산, 울산)는 부산광역시 기장군 기장읍에 위치한 부산울산선 상 (10.2㎞)의 고속도로 교량이며, 2008년 12월에 준공되었다. 시공사는 경남기업(주)이며, 설계하중은 DB-24(DL-24)로 확인되었다.

본 교량의 연장은 310.0m(6경간)이며, 폭은 16.2m(편도3차로)이다. 구조형식으로 상부구조는 Steel Box Girder(S1～S6경간)로 시공되었으며, 하부구조는 역T형 교대와 Π형 교각으로 시공되었다. 또한 기초형식은 직접기초(교각) 및 강관말뚝기초(교대, 교각)로 시공되어 있다.

본 교량은 준공 이후 구조물 시설물 유지보수공사 등을 통하여 공용 중 발생한 손상에 대한 지속적인 유지관리가 시행되고 있는 시설물이다.

본 교량의 점검결과, 구조적인 원인에 의하여 발생된 손상은 없는 것으로 조사되었으며, 대부분의 손상이 콘크리트의 재료적 특성 및 공용기간 증가에 의한 노후화 손상으로 일상적 유지보수를 실시한다면, 구조물의 사용성 및 기능성 확보에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

교량의 구조안전성평가 결과, 전 경간에서 상부구조가 1등교(DB-24)로서의 내하력을 충분히 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

본 장에서는 정밀안전진단 결과에 의한 결함 및 손상에 대한 원인을 검토하고 그 결과를 토대로 교량의 안전성과 건전성을 유지하기 위한 보수·보강방법을 제안하고자 한다. 이러한 보수·보강방법의 기본방향은 장기적으로 설계 내하력을 유지시키고 내구성 저하를 방지하는데 그 목적이 있다.

만화교(부산)의 보수·보강방안에 대한 검토사항은 기존자료의 검토를 통한 보수·보강 이력을 조사하고 진단 결과에 따른 보수·보강 범위를 선정하며, 이에 따른 공법선정, 재료의 선정 등을 검토하여 보수·보강 긴급우선순위에 따른 보수시기를 결정하여야 한다. 【표 7.1】, 【표 7.2】은 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 일반적인 검토사항을 언급하였다.

【표 7.1】 시설물의 보수·보강방안 수립에 따른 검토사항

검 토 순 서	내 용
기존자료분석	기존 점검 및 진단자료 분석, 설계도서 조사
보수·보강 이력검토	사용기간중 시설물의 보수·보강이력검토
보수·보강의 범위 선정	손상규모에 따른 보수여부 결정 구조물의 사용년한을 고려한 보수·보강 범위 산정
공법의 선정	구조물의 기능에 따른 공법선정 구조물의 주변환경 및 형식을 고려하여 공법선정 공법의 시공성 및 경제성 고려하여 결정
보수재료의 선정	기존의 재료와 물성이 같은 보수재 선택 구조물의 종류 및 환경조건 고려 구조물의 사용년한을 고려한 보수재 선택
보수시기 결정	구조적인 안전성, 내구성, 사용성, 결함, 열화의 중요도에 따라 우선순위 부여

7.2 보수·보강 방안

7.2.1 보수·보강 추진방향 및 우선순위의 결정

가. 보수·보강 우선순위의 결정 기준

본 교량에 대해 정밀안전진단을 수행한 결과, 본 구조물은 시공 시 시공 정밀도의 저하로 인하여 발생된 구조물의 결함(Defect)과 공용 중 시간의 경과와 주변의 환경인자에 의한 재료의 열화에 의한 손상(Damage)이 발생하여 있는 것으로 조사되었다.

진단 시 조사된 신축이음의 공용 중 손상, 콘크리트의 균열, 박리, 박락 등의 손상 및 결함에 대해서는 가능한 한 조속한 보수·보강을 실시하는 것이 원칙이나, 경제적이고 효율적인 보수·보강 작업을 위해 손상 및 결함이 구조물의 안전성에 미치는 영향을 고려하여 다음과 같이 우선순위를 부여하였다.

【표 7.2】보수·보강 우선순위 결정 기준

구분	순위	내 용
단기	1순위	•『시설물의 안전관리에 관한 특별법』제12조(중대한 결함)의 **"대통령이 정하는 중대한 결함"**에 포함되는 손상 - 철근콘크리트 시설물의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실 등 •**주요부재**에 발생된 결함 및 손상이 커 **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	•기능발휘에는 지장이 없으나, 방치시 규모가 증대될 수 있는 손상 및 사용성 증진을 위해 보수가 필요한 손상
지속관찰		•1~3순위를 제외한 손상으로서 지속적인 관찰을 통해 향후 열화 진전여부에 따라 보수보강 여부를 판단할 수 있는 정도의 손상 - 콘크리트의 0.3㎜미만의 비구조적 미세균열(단, 균열집중구간은 제외) - 경미한 강재의 변형 및 용접결함 - 후타재 등의 보조부재에서의 주행에 지장을 주지 않는 균열 등의 손상(빈번한 차량통행으로 인한 보수효과가 없는 경우, 향후 교체가 시행될 부재 등) - 기타 경미한 손상으로서 내구성 및 사용성에 지장을 주지 않은 경우

나. 중대결함의 유무

‘시설물의 안전관리에 관한 특별법’ 제11조 ①항, 동법 시행령 제12조에서는 “대통령령이 정하는 중대한 결함”을 다음 【표 7.3】과 같이 명시하고 있다. 이들 결함(손상·열화 포함)들은 단순히 존재여부만으로 중대결함으로 분류하기에는 무리가 있으며 구조물의 안전성과 사용성에 미치는 영향, 발생원인 및 시기, 진행성과 비진행성 등이 고려되어야 한다.

현장조사 결과 본 구조물은 조사결과 시특법 시행령에 명시된 주요결함은 없는 것으로 조사되었다. 따라서, 시급한 보수와 함께 결함의 진행유무를 관찰하여 적극적인 보수 또는 개선을 필요로 할 만한 손상은 없는 것으로 판단된다.

【표 7.3】시특법 시행령 제12조에 의한 “대통령령이 정하는 중대한 결함” 유무(교량)

구 분	대통령령이 정하는 중대한 결함	해당유무
결함의 종류	1. 시설물기초의 세굴	없음.
	2. 교량교각의 부등침하	없음.
	3. 교량 받침장치의 파손	없음.
	4. 시설물의 철근콘크리트의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실	내력손실없음
	5. 시설물의 구조안전에 영향을 주는 결함으로서 국토교통부령으로 정하는 결함 - 주요 구조부위 철근량 부족 - 거더의 균열 심화 - 철근콘크리트 부재의 심한 재료분리 - 철강재 용접부의 불량용접 - 교대·교각의 균열발생	없음.

다. 보수·보강 필요성 판단기준

보수의 필요성 판단기준은 「시설물의 보수·보강 방법 및 수준결정에 관한연구, 2011.12, 한국시설안전공단」,「시설물(교량, 터널 등) 의 보수·보강 요령(안) 작성연구), 2019.12, 한국시설안전공단」를 준용하여 기준을 선정하였으며 그 외 내하력, 내구성, 기능성 등에 구조물에 영향을 미치는 손상은 점검자 및 책임기술자 판단에 의견에 따라 순위를 조정하였다.

1) 균 열

【표 7.4】균열 보수 필요성 판단기준

구 분	균열폭(C, ㎜)				
	0.1미만	0.1≤C<0.2	0.2≤C<0.3	0.3≤C<0.5	0.5≤C
콘크리트 바닥판	보수 불필요	보수 불필요, 지속관찰	보수 불필요, 지속관찰	보수필요	즉각보수 필요 (필요시 구조검토)
프리스트레스 거더	-	보수 불필요, 지속관찰	보수필요	보수필요	즉각보수 필요 (필요시 구조검토)
콘크리트 가로보	보수 불필요	보수 불필요, 지속관찰	보수 불필요, 지속관찰	선택적 보수	보수필요
교대, 교각 등	보수 불필요	선택적 보수	선택적 보수	보수필요	즉각보수 필요 (필요시 구조검토)

주1) 균열은 구조적, 내구성, 방수성, 부재의 중요도 등을 종합적으로 고려하여 보수 및 우선순위의 조정이 가능함.

2) 박 리

【표 7.5】박리 보수 필요성 판단기준

박리 깊이(㎜) 및 면적율(%)	보수 판단기준
0.5미만, 면적율 10%미만	보수 불필요
0.5~1.0, 면적율 10%미만	선택적 보수
0.5미만, 면적율 10%이상	
1.0~25, 면적율 10%미만	보수 필요
0.5~1.0, 면적율 10%이상	
1.0~25, 면적율 10%이상	즉각적인 보수
25이상, 조골재 손실	

주1) 박리에 관한 보수 필요성 판단기준은 모든 부재에 적용함

3) 박 락

【표 7.6】박락 보수 필요성 판단기준

박락 깊이(㎜) 및 면적율(%)	보수 판단기준
15미만, 면적율 10%미만	보수 불필요
15~20, 면적율 10%미만	선택적 보수
15미만, 면적율 10%이상	
20~25, 면적율 10%미만	보수 필요
15~20, 면적율 10%이상	
20~25, 면적율 10%이상	즉각적인 보수(필요시 보강)
25이상, 조골재 손실	

주1) 박락에 관한 보수 필요성 판단기준은 모든 부재에 적용함
주2) 박락에 의한 철근노출 발생시 철근부식이 가속화 되므로 철근의 부식여부를 확인후 즉각적인 보수 실시

4) 누수/백태

【표 7.7】누수/백태 보수 필요성 판단기준

누수	백태	보수 판단기준
없음	없음	보수 불필요
경미한 누수흔적	면적율 5% 미만	선택적 보수
현저한 누수흔적	면적율 5~10%	보수 필요
누수진행 관찰 가능	면적율 10~20%	즉각적인 보수필요
누수의 진행이 확연	면적율 20% 이상	즉각적인 보수필요

주1) 누수/백태에 관한 보수 필요성 판단기준은 모든 부재에 적용함
주2) 누수의 경우 철근부식의 대표적인 원인으로 누수원인에 따른 적절한 보수가 요구됨

5) 철근부식

【표 7.8】철근부식 보수 필요성 판단기준

자연전위 E(mV)	육안관찰	철근부식	보수 판단기준
E>0	10%이하 공극	약간의 점녹 발생	보수 불필요
-200<E≤0	10%이하 공극	광범위한 점녹 발생	보수 불필요
-350<E≤-200	0.4㎜이하 미세균열	면녹 발생, 부분적인 들뜬 녹 발생	선택적 보수필요
-500<E≤-350	0.4~1.0㎜이상 균열	광범위한 들뜬 녹 발생 (20%미만 단면결손)	보수 필요
E≤-500	3.0㎜이상 균열 및 박리	광범위한 두꺼운 층상 녹 발생 (20%이상 단면결손)	즉각적인 보수필요

라. 보수·보강 우선순위의 결정 및 추진방향

1) 본 교량의 보수 1순위 손상으로는 바닥판, 교각에 발생한 철근노출을 선정하였으며 바닥판 및 교각에 대한 추가손상 및 안전성 저하의 원인으로 판단되어 구조물의 안전성 확보를 위해 우선적인 보수가 요구된다.

2) 보수 2순위 손상으로는 강박스거더의 도장박리, 실링미처리 등이 조사되었으며, 그 외 콘크리트 표면에 발생된 단면손상(파손, 박리), 균열(Cw=0.3㎜미만) 등은 “주부재의 경미한 보수를 요하는 손상”으로 평가하여 2순위로 선정하였다.

만화교(부산) 정밀안전진단 결과

상태평가결과

- **상태평가결과 → “B” (0.190)**
- 바 닥 판
  : 균열(Cw=0.3㎜미만),균열부 백태, 철근노출
- 강박스거더
  : 도장박리, 실링미처리, 그을림, 도장열화 등
- 2차부재
  : 상태양호
- 하부구조
  : 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열, 백태, 보수부백태, 박리, 보수부 박리, 파손, 철근노출 등
- 교량받침
  : 앵커볼트 부식, 받침콘크리트 파손, 들뜸
- 신축이음
  : 후타재 균열, 후타재 박락, 유간 토사퇴적 등
- 교면포장
  : 포장 균열, LMC 패임
- 배수시설
  : 배수관 고정대 탈락
- 난간 및 연석
  : 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열, 표면열화, 이격 등

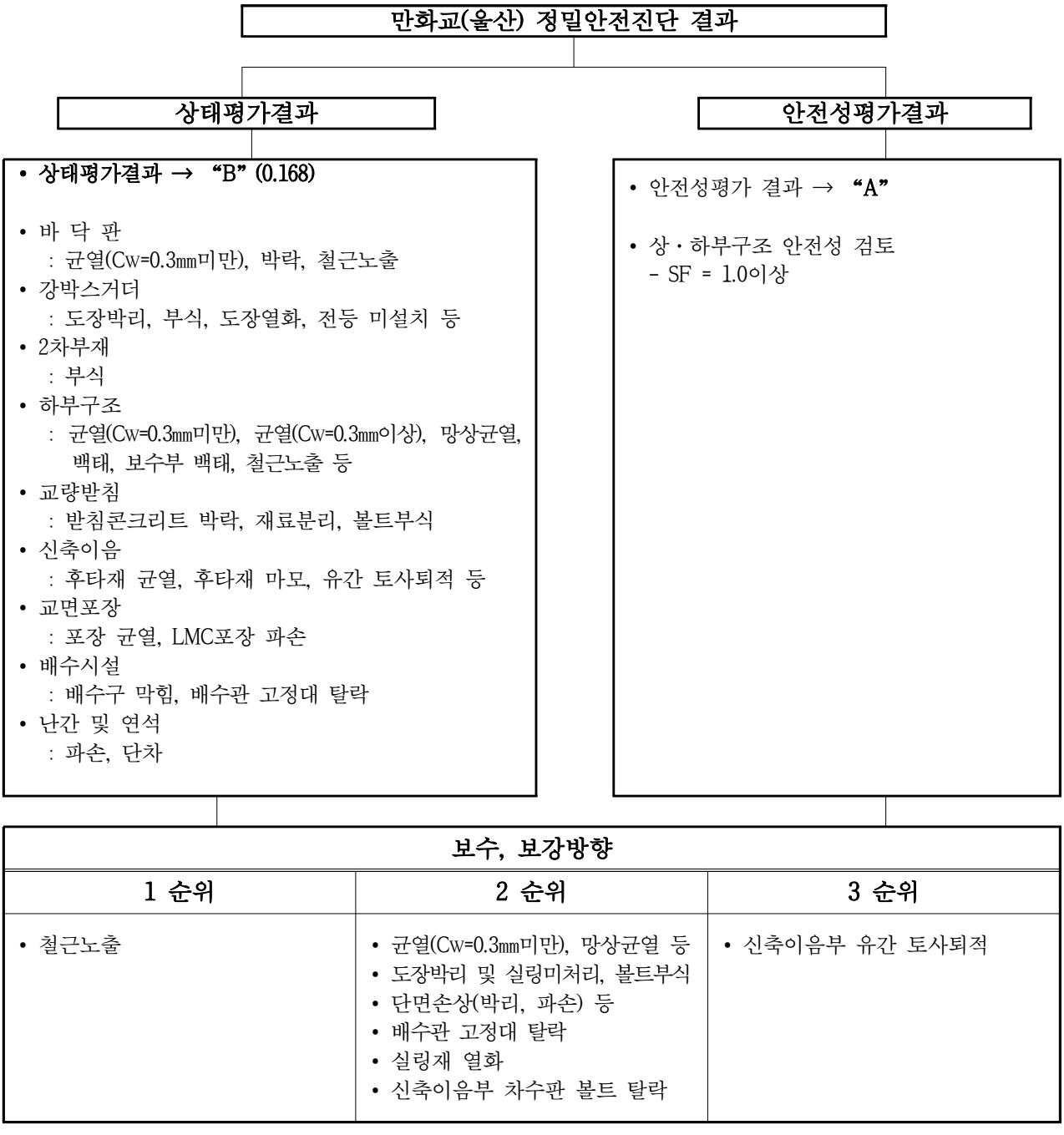
안전성평가결과

- 안전성평가 결과 → **“A”**
- 상·하부구조 안전성 검토
  - SF = 1.0이상

보수, 보강방향

1 순위	2 순위	3 순위
• 철근노출	• 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열 등 • 도장박리 및 실링미처리, 볼트부식 • 단면손상(박리, 파손) 등 • 배수관 고정대 탈락 • 실링재 열화 • 신축이음부 차수판 볼트 탈락	• 신축이음부 유간 토사퇴적

【그림 7.1】 보수·보강방안 추진방향(부산)



【그림 7.2】 보수·보강방안 추진방향(울산)

7.2.2 결함내용별 보수·보강방안

【표 7.9】보수·보강 일람표(부산)

구 분		손상내용	손상물량	단위	보수방안	우선순위
바닥판 하면		균열(cw=0.3mm미만)	23.00	m	표면보수	2
		균열부 백태	0.20	m	표면보수	2
		철근노출	7.14	㎡	표면보수(방청)	1
STB 거더	내부	도장박리	0.07	㎡	재도장	2
		누수흔적	3.60	㎡	실링처리	2
		실링미처리	2	개소	실링처리	2
		그을음	1.12	㎡	재도장	2
	외부	도장박리	0.13	㎡	재도장	2
		도장열화	1,426.00	㎡	주의관찰	-
		볼트부식	17	개소	재도장	2
하부 구조	교대	균열(cw=0.3mm미만)	6.40	m	표면보수	2
		보수부 재균열(cw=0.3mm미만)	1.00	m	표면보수	2
		백태	0.52	㎡	표면보수	2
		보수부백태	0.41	㎡	표면보수	2
		박리	0.24	㎡	단면보수	2
		보수부 박리	1.32	㎡	단면보수	2
		파손	0.02	㎡	단면보수	2
		이격	0.07	m	주의관찰	-
		실링재 열화	6.00	m	실링처리	2
	교각	균열(cw=0.3mm미만)	32.60	m	표면보수	2
		망상균열	2.60	㎡	표면보수	2
		보수부 박리	0.04	㎡	단면보수	2
		철근노출	0.11	㎡	표면보수(방청)	1
		파손	0.26	㎡	단면보수	2
		체수	0.40	㎡	주의관찰	-

【표 7.9】 보수·보강 일람표(부산)(계속)

구 분		손상내용	손상물량	단위	보수방안	우선순위
교량받침		앵커볼트 부식	41	개소	재도장	2
		받침콘크리트 파손	0.01	㎡	단면보수	2
		받침콘크리트 들뜸	0.04	㎡	단면보수	2
신축이음장치		후타재 균열	43.20	m	주의관찰	-
		후타재 박락	0.18	㎡	주의관찰	-
		후타재 파손	0.01	㎡	주의관찰	-
		유간 토사퇴적	29.50	m	청소	3
		차수판 볼트탈락	8	개소	재체결	2
교면포장		포장균열	1.50	m	주의관찰	-
		LMC패임	0.09	㎡	주의관찰	-
기타부재	배수시설	배수관 고정대 탈락	1	개소	재설치	2
	난간 및 연석	균열(cw=0.3mm미만)	95.30	m	주의관찰	-
		망상균열	1.00	㎡	주의관찰	-
		표면열화	58.00	㎡	주의관찰	-
		이격	0.02	m	주의관찰	-
		난간변형	0.40	m	주의관찰	-

【표 7.10】보수·보강 일람표(울산)

구 분		손상내용	손상물량	단위	보수방안	우선순위
바닥판 하면		균열(cw=0.3mm미만)	0.50	m	표면보수	2
		박락	0.26	㎡	표면보수(방청)	1
		철근노출	0.82	㎡	표면보수(방청)	1
STB 거더	내부	도장박리	0.04	㎡	재도장	2
		부식	0.04	㎡	재도장	2
		전등미설치	2	개소	재설치	3
		환풍구망 탈락	1	개소	재설치	3
	외부	도장박리	0.81	㎡	재도장	2
		도장열화	1,426.00	㎡	주의관찰	-
		긁힘 및 부식	0.04	㎡	재도장	2
2차부재		부식	0.04	㎡	재도장(방청)	2
하부 구조	교대	균열(cw=0.3mm미만)	4.00	m	표면보수	2
		균열(cw=0.3mm이상)	7.70	m	주입보수	1
		보수부 재균열(cw=0.3mm미만)	0.80	m	표면보수	2
		균열부 백태	2.00	m	표면보수	2
		망상균열	0.80	㎡	표면보수	2
		백태	0.83	㎡	표면보수	2
		보수부 백태	0.08	㎡	표면보수	2
		철근노출	0.02	㎡	표면보수(방청)	1
		이격	3.00	m	주의관찰	-
	교각	균열(cw=0.3mm미만)	36.50	m	표면보수	2
		균열(cw=0.3mm이상)	10.00	m	주입보수	1
		망상균열	4.00	㎡	표면보수	2
		철근노출	0.04	㎡	단면보수(방청)	1
		잡철근노출	0.01	㎡	단면보수(방청)	1
		파손	0.04	㎡	주의관찰	-
		표면박리	0.15	㎡	표면보수	2
		표면오염	7.30	㎡	주의관찰	-

【표 7.10】 보수·보강 일람표(울산)(계속)

구 분		손상내용	손상물량	단위	보수방안	우선순위
교량받침		받침콘크리트 박락	0.27	㎡	단면보수	2
		받침콘크리트 재료분리	0.04	㎡	단면보수	2
		볼트부식	1	개소	재도장	2
신축이음장치		후타재 균열	17.30	m	주의관찰	-
		후타재 마모	2.10	㎡	주의관찰	-
		유간 토사퇴적	8.70	m	청소	3
		차수판 볼트탈락	18	개소	재체결	2
		차수판 덮개파손	1	개소	재체결	2
교면포장		포장균열	2.20	m	주의관찰	-
		LMC포장 파손	0.04	㎡	주의관찰	-
기타부재	배수시설	배수구 막힘	1	개소	청소	2
		배수관 연결고리 부식	5	개소	재설치	3
		배수관 고정대 탈락	1	개소	재설치	2
	난간 및 연석	파손	0.09	㎡	표면보수(방청)	1
		단차	1	개소	주의관찰	-

7.2.3 주요결함 및 손상에 대한 보수·보강 방법

가. 콘크리트 균열보수 방안

1) 콘크리트 표면처리공법(Cw=0.3㎜미만)

① 공법 개요

콘크리트 표면이 노후 및 열화된 부위에 대해서 그라인더를 이용하여 열화부위를 제거하고 표면보호제를 도포하여 보수하는 방법이며 표면백태, 0.2㎜ 이하의 미세균열의 발생 부위에 적용한다. 또한, 보수 효과는 콘크리트 표면의 보수에 그치므로 본 공법 적용시 균열 등의 결함발생 여부에 대한 주기적인 관찰이 요구된다.

② 시공방법 및 유의사항

균열의 성장이 정지된 상태에서는 균열선 및 백태를 따라 폭 50~100㎜를 와이어 브러쉬로 닦아 내거나 심한 경우 치핑을 실시한 후 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터로 균일하게 도포한다.

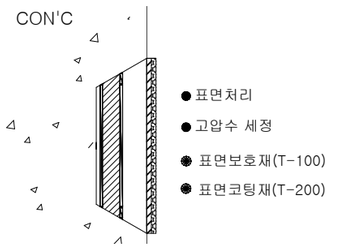
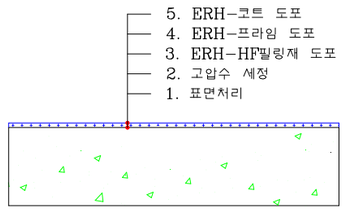
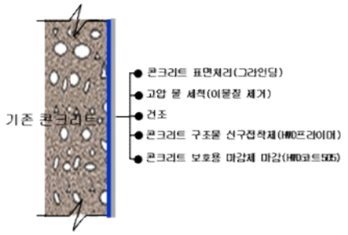
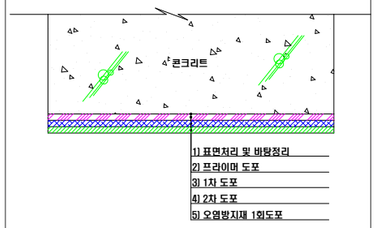
균열폭의 변동이 큰 경우에는 경화후의 재질이 단단한 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터로 보수할 경우 보수부위에 다시 균열이 발생하므로 균열면을 와이어 브러쉬로 완전히 청소한 후 균열선을 중심으로 폭 10~15㎜ 절연재를 부착하고, 절연재를 중심으로 폭 30~50㎜, 두께 2~4㎜의 변형성 및 신장성이 큰 씰링재를 도포하여 바닥의 변형을 이 테이프사이에서 흡수할 수 있도록 한다.

시공순서도

표 면 처 리	콘크리트 열화부위, 백태발생 부위를 그라인더 등을 이용하여 표면처리 한다.
↓	
표 면 청 소	콘크리트 표면처리후 고압살수기를 이용하여 표면을 고압세척한다. 고압세척의 압력은 노즐 TIP에서 5,000 PSI (350kg/㎠)의 압력으로 한다.
↓	
표면보호제 도포	표면보호를 위하여 표면 보호제를 도포한다. 제품 선정 후 제품의 시방규정에 의한 표준 도포량을 확인한다.

【그림 7.3】콘크리트 표면처리 시공순서도

【표 7.11】표면처리공법 공법비교안

구 분	T-CON공법 (특허 제 10-0913255호)	에코플래시공법 (특허 제10-0814915호, 특허 제10-0814962호, 신기술 제577호)	HWD공법 (특허 제10-0995244호)	금속 혼합물 함유 조성물 및 이를 이용한 피막접착공법 (특허 제10-0385115호)	리코시스템공법 (특허 제10-0757104호)	콘크리트의 열화방지 공법 (특허 제10-0454409호)
공 법 개 요	· RC구조물에 표면보호재 및 표면코팅재를 도포하여 구조물의 염해 및 중성화 방지를 목정으로하는 도막 보수공법	· 중성화, 염해, 동해 및 화학적 부식 등의 열화원인에 대응하여 천연광물을 함유한 모르타르와 특수건식스프레이를 이용하여 화학적 물리적으로 개보수 하는 공법	· HWD코트505재료를 사용하여 구조물의 중성화방지 기능, 내산성, 내오염성, 내화학성, 침식방지, 외관정비, 방식 보호제 보수공법	· 금속혼합물(A1,Mn,Zn,Si,Cr,Li 등)과 강력접착제를 교반한 피막재료(CORUSEAL)를 70℃ 범위내에서 용융시켜 콘크리트 구조물에 분사하는 염해 및 중성화 방지시공기술	· 탄성 폴리머+수용성 세라믹이 결합되어 구조물 표면에 방호막을 형성하여, 구조물의 내구성증진 및 오염방지 기능이 우수한 친환경 표면보호 공법	· 비닐계, 아크릴계, 에폭시계, 아크릴우레탄 수지군과 수경성세라믹계열의 이중접착구조를 이용한 콘크리트 구조물의 부식방지를 위한도막형 표면처리공법
시 공 순 서				· 표면처리 · 고압물세척 · 프라이머 1차 피막 접착 · 금속피막 2차 피막 접착 · 금속피막 3차 피막 접착		· 표면처리 · 고압물세척 · 에폭시계 1차코팅(EW) · 탄성퍼티재 처리 · 에폭시계 OR 아크릴우레탄계 2차코팅 · 에폭시계 OR 아크릴우레탄계 3차코팅
특 징	· 화학적 부식에 저항성 및 중성화 저항성이 우수함. · 별도의 표면 보호재 도포가 필요없음. · 부착강도가 우수함. · 염해, 중성화, 동결융해, 화학적 침식등 모든 열화요인에 대하여 우수함. · 시공절차가 간단하며, 경제성이 우수	· 화학적 부식에 저항성 및 중성화 저항성이 우수함. · 내약품성 및 내화학성이 우수하며, 인체에 무해함 · 중성화 방지 및 알칼리 성능 회복 기능. · 무기코트재료에 의한 표면피복(음용수 부위적합). · 리튬실리케이트를 이용한 내구성 회복 효과. · 습윤한 상태의 부착강도 우수함. · 표면 보호재는 다양한 색상을 창출함 · 공정이 다소 복잡하여 시공전문가 필요함.	· 고수밀성으로 유해성분이나 이산화탄소, 수분등의 침투방지. · 고내구성으로 콘크리트 모체의 열화 진행 방지 및 내구연한 증진 · 콘크리트 모체와의 높은 부착성으로 모체와의 일체성 확보 · 용도에 따른 다양한 보조공법과 호환성 우수 · 시공전문가 필요 · 최근공법으로 실적이 다소 적음	· 내약품성, 부착력우수 · 내충격성 및 진동(내진)에 강함 · 방식기능과 염해 환경에 강함 · 적용실적이 많음 · 내구성이 우수 · 휘발성 유기용제 사용으로 환경문제 및 작업자 위험요소 내포(화재 위험) · 작업 시, 공사에 대한 기초지식이 필요함	· 환경유해물질(VOC/VAC/중금속등)불검출(친환경인증제품) · 시공 공정이 간단(수용성, 속건형, 일액형 타입) · 염해, 중성화방지 성능 우수 · 촉진내후성, 내약품성, 내충격성, 내구성 우수 · 오염방지 기능으로 미관개선 효과 우수 · 난연성 1급 시험 통과 · 시공에 대한 기초 지식이 필요함 · 무기질 세라믹 필러 함양이 높아 충분히 교반을 해야 함	· 내약품성 및 내화학성이 우수 · 적용실적이 많음 · 휘발성 유기용제 사용으로 환경문제 및 작업자 위험요소 내포(화재 위험) · 균열에 대한 대응력이 적어 도막 박락현상 발생 · 초기접착력은 우수하나 다른 재질로 층간 박리 현상이 나타나며, 접착력이 점차 저하

※상기 표는 보수공법 비교를 위한 참고자료임. 향후 보수공사 시에는 시공성, 경제성, 보수성, 시공환경 등을 고려한 공법의 선정이 필요함.

나. 콘크리트 단면보수 방안

1) 단면복구(보수)공법 개요

콘크리트 단면 결손부중 박락(파손) 및 철근 노출부는 내구성 저하방지를 위하여 단면복구(보수)공법을 사용하여 보수를 실시하는데, 콘크리트 표면을 피복하여 철근부식 등의 내구성 저하의 원인이 되는 물질의 침투를 억제함으로서 구조물의 내구성 저하를 방지하는 공법으로서 침투막제, 접착제, 단면 보수재, 철근방청재의 조합에 의한 공법으로 본 교량에서는 상기한 결함 중 콘크리트 파손부 및 철근노출, 부식부에 대한 보수방법으로 사용한다.

2) 단면복구(보수) 시 털어내기 작업

단면복구(보수) 시 털어내기 작업은 콘크리트 표면의 상황을 봐서 판단하는 것이 아니고 다음의 항목 및 【그림 7.4】을 참고하여 털어내기 범위나 형상을 결정하는 것이 좋다.

① 열화부분을 고려한 털어내기 범위

보수 개소의 콘크리트를 털어낼 때에 탄산화 등에 의한 취약한 부분을 남기면, 기설 콘크리트와 복구재료와의 충분한 부착강도를 얻을 수 없을 뿐 아니라, 균열이나 철근부식 재발의 원인이 된다. 따라서, 부재 내력에 영향을 미칠 수 없는 범위에서 열화부분을 모두 제거할 필요가 있다. 열화부분을 효과적으로 확인하기 위해서는 탄산화깊이나 알칼리 반응성 생성물의 측정 등 열화요인과 관련된 시험을 실시하는 것이 바람직하다.

② 철근의 녹을 고려한 털어내기 범위

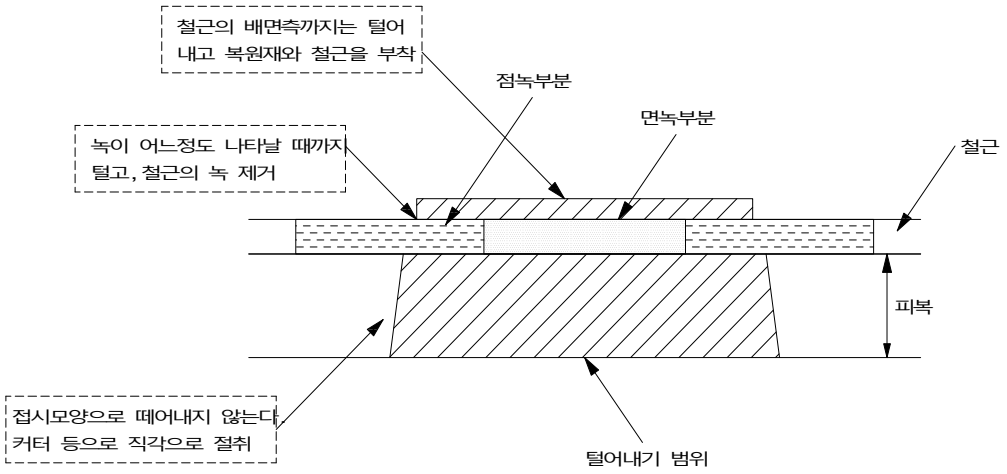
콘크리트의 열화부분을 충분하게 제거하여도 철근의 부식범위는 이 부위보다 넓은 경우가 대부분이다. 이 경우는 박락되어 노출된 부분의 철근 청소를 실시하여도 그 전후는 녹이 잔존한 채 남아있게 된다. 이 상태에서 단면복구(보수)를 실시하면 보수된 범위는 마이너스(-), 그 전후는 플러스(+)의 macro cell 부식이 생겨서 철근부식이 주위로 확산되어 보수효과가 적어지는 결과를 나타내는 경우가 많다.

따라서, 녹 제거를 확실하게 할 수 있도록 철근표면의 전면에 녹이 나오고 있는 부분(면녹의 부분)뿐만 아니라, 이것과 인접하면서 녹이 점상으로 나타나는 비교적 건전한 부분(점녹의 부분)이 드러나는 범위까지 털어낼 필요가 있다. 한편, 털어내기 전에 면 녹의 범위를 파악하기 위해서는 자연전위 보정법에 근거하고 보정자연전위에서 -350mV보다 낮은 전위를 가리키는 부분이 이것에 해당한다.

또한 같은 이유로 녹의 제거는 철근의 전 주변에 대하여 실시하여야 하고, 철근은 박락된 부분(면)에서부터 뒷부분까지 파취할 필요가 있다. 이것은 단면복구(보수)재가 철근을 둘러싸는 것에 의한 부착성 향상에도 유효하다.

③ 털어내기 형상

콘크리트와 단면복구(보수)재와는 일반적으로 열팽창율이 다르기 때문에 복구재의 단부가 접시형상으로 되어 있으면, 온도신축에 의해 그 부분으로부터 박리현상을 보이는 우려가 있다. 이것을 방지하기 위해 털어내기 시 단부가 접시형상으로 되는 것을 피하고, 될 수 있는 한 수직에 가까운 각도로 깊이 털어내는 것이 중요하다.



【그림 7.4】 단면복구(보수) 상세도

3) 철근의 방청 처리

털어내기에 의해 노출된 철근의 녹 제거는 특히 정성껏 실시할 필요가 있다. 일반적으로 와이어 브러시를 이용할 수 있는 것이 많지만, 보다 확실한 녹제거 방법은 샌드 블라스트, 워트제트 등을 쓰는 것이 좋다.

녹을 제거한 후는 철근에 방청재를 도포한다. 방청재에는 녹방지 도료, 아질산염계 방청재, 염분흡착제를 사용한 시멘트계 방청형 보수재가 있다. 일반적으로 철근부식의 억제는 철근부식효과가 있는 아질산염 이온이 함유된 것이 효과적이다.

액산의 아질산칼륨이나 아질산리튬을 철근이나 박락면에 직접 도포하여 아질산염이온을 같이 배합한 아질산염계 방청재가 있다. 염화물에 의한 부식의 경우 유효한 도포량은 아질산 이온량과 염화물량의 비율을 관리하여야 하며 많은 양의 충전이 필요한 경우 Paste나 모르터 등을 혼합하여 사용하는 등의 검토가 필요하다. 또한 최근 개발된 염분흡착재를 이용한 방청재는 해수성분을 함유한 수분이 있는 개소의 철근부식에 대응하여 아질산 이온을 도입 또는 함유한 염화물량의 저감효과가 있다.

염분흡착재는 콘크리트 제체중의 유해한 염화물이 흡착되어 저감되어지는 동시에 염분흡착제 자신이 기다리고 있는 아질산 이온을 방출하는 것에 의해 높은 방식재 효과를 얻을 수 있다.

4) 단면복구(보수) 재료

복구재의 선정은 열화의 요인, 손상 상황, 누수 상황 등을 감안하고, 기설의 철근이나 콘크리트와의 부착성, 시공성, 재료특성 등을 평가하고 시공개소에 적합한 것을 채용 할 필요가 있다. 특히 사용실적이나 적절한 시험방법 등에 의해 품질, 성능을 확인할 수 있는 복구재를 사용하는 것이 바람직하다. 단면복구(보수)재는 저수축성이 요구되며, 복구재 충전 후 경화전에 우려할만한 차량진동을 받는 부위는 조강형을 사용하고, 아치부나 슬래브 하면 등 시공성을 중시할 경우는 경량형을 사용하고, 거푸집을 설치해서 충전할 경우는 고유동형을 사용하는 방안을 검토하여야 한다.

일반적으로 단면복구(보수)재를 충전하기 전에 프라이머를 도포하는 경우가 많다. 프라이머는 기설 콘크리트와 복구재의 부착성 향상을 목적으로 한 에폭시 수지계, 복구재의 수분이 기설 콘크리트에 흡수되어 경화에 필요한 수분이 결핍하는 「드라이 아웃」 방지를 목적으로 한 수성 에멀션을 주재로 하는 재료 등이 있다.

【표 7.12】 일반적인 단면 복구(보수)재의 분류

분 류		개 요
유기계	수지모르터 (에폭시수지 등)	• 에폭시 등의 수지와 잔골재를 이용한 모르터로 고강도, 수밀, 경량, 접착성이 뛰어나고 섞어쓰기 용이하나 고가임
무기계	폴리머 시멘트 모르터	• 시멘트에 SBR, 포키시 등의 수지를 첨가한 모르터로 고강도, 수밀성 양호
	무수축 모르터	• 팽창재가 함유된 건조수축을 보상하는 것에 의해 억제하는 모르터

5) 단면복구(보수)시 유의 사항

① Lath 철망이나 Wire Mesh를 끼울 경우는 박리현상이 발생되지 않게 충분히 고정한 뒤 단면복구(보수)재를 충전한다.

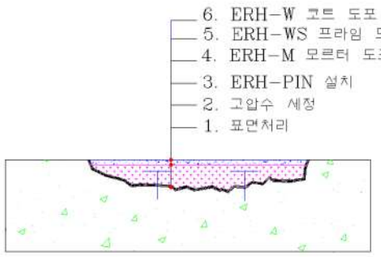
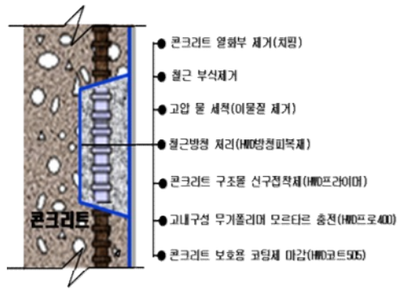
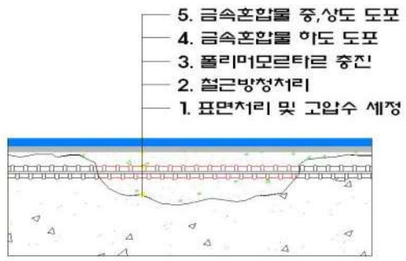
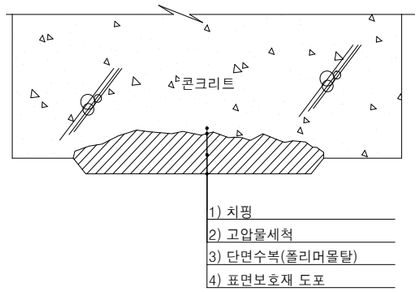
② 철근방청재, 프라이머, 단면복구(보수)재는 동일 제작사의 제품을 사용하거나 서로 양호한 조합의 물건을 이용한다.

③ 보수 깊이가 깊은 개소의 충전은 여러층으로 시공할 경우 경계부위가 부착상의 약점이 되기 쉬우므로 정확한 작업이 요구된다.

④ 보수한 단면복구(보수)재가 낙하할 가능성이 있는 부위는 중점적으로 검사 및 점검을 실시한다. 또한, 재료의 선택에 따라 신구콘크리트접착재의 도포가 필요할 경우에는 도포 후 단면복구(보수)를 실시한다.

⑤ 털어내기 작업시 콘크리트 분진으로 인한 대기오염을 방지하기 위해 집진시설이나 물분사 등을 실시하여 도로주변의 환경오염에 주의하여야 한다.

【표 7.13】 단면복구(보수) 공법비교안

구 분	에코플래시공법 (특허 제10-0814915호, 특허 제10-0814962호,신기술 제577호)	HWD공법 (특허 제 0995244호)	코러실 공법 (특허 제10-0385115호)	리코시스템 공법 (특허 제10-0841892호)	크로스 공법 (특허 제10-0415168호)
공 법 개 요	· 중성화, 염해, 동해 및 화학적 부식 등의 열화원인에 대응하여 천연광물을 함유한 모르타르와 특수건식스프레이를 이용하여 화학적 물리적으로 개보수 하고 접착보강핀을 추가하여 장기부착강도를 증진시킨 보수공법.	· 고수밀성의 콘크리트 단면복구재를 이용하여 대기 중의 유해 성분이나 이산화탄소, 수분 등이 콘크리트 속으로 침투하는 것을 근본적으로 차단하여 콘크리트의 내구성을 증진시키는 콘크리트 단면복구 보수공법	· 친수성폴리머와 특수미립시멘트로 구성되고, 특히 습윤면에 대한 부착성능이 우수한 무기질단면피복재 및 항균성개질재와의 복합에 의한 열화된 RC구조물 방식 및 보수하는 공법	· 몰탈 미세 기공에 1㎛이하의 칼슘실리케이트 수화물 형성으로 조직을 치밀하게 하며, 유리 전이온도가 낮은 에멀젼을 사용하여 유연성과 탄성을 유지하여, 장기 내구성을 유지하는 열화 콘크리트 보수공법	· 방청성이 있는 복합 알칼리 회복제를 사용하여 염해, 중성화 또는 철근부식의 우려가 있는 철근콘크리트 구조물의 보수 공법
시 공 순 서					
특 징	· 화학적 부식에 저항성 및 중성화 저항성 우수 · 내약품성 및 내화학성이 우수하며, 인체에 무해함 · 소단면 대단면에 이르는 기계화 시공을 통한 우수한 품질과 공기단축 · 물리적 접착 보강핀을 통한 장기부착강도 확보 · 무기코트재료에 의한 표면피복 · 리튬실리케이트를 이용한 내구성 회복 효과 · 습윤한 상태의 부착강도 우수	· 고수밀성으로 유해성분이나 이산화탄소, 수분등의 침투방지 · 고내구성으로 콘크리트 모체의 열화진행 방지 및 내구연한 증진 · 콘크리트 모체와의 높은 부착성으로 모체와의 일체성 확보 · 용도에 따른 다양한 보조공법과 호환성 우수 · 최근공법으로 실적이 다소 적다	· 중성화 방지 우수 · 화학약품에 저항성 우수 · 표면보호재 배합에 숙련도 필요 · 습윤면에서 부착력 저하	· 동절기에도 유연성과 탄성을 지녀, 내구성 유지 · 동결 융해의 피해 최소화 및 부착강도 우수 · 몰탈 경량화로 자재량 절감 · 친환경 표면보호재(친환경 인증) · 표면보호재는 수용성이므로 동절기 시공 유의	· 열화부의 알칼리 회복 효과 우수 · 공정이 복잡하여, 작업성 및 경제성 저하 · 기능이 서로 다른 소재를 단계별로 사용하여 층간 분리의 우려 · 강 알칼리성 소재의 사용으로, 건전 콘크리트 부위의 알칼리 침식의 우려

※상기 표는 보수공법 비교를 위한 참고자료임. 향후 보수공사 시에는 시공성, 경제성, 보수성, 시공환경 등을 고려한 공법의 선정이 필요함.

다. 강재 재도장

1) 개요.

강교에 대한 도장은 보수범위 선정의 정확도가 부족하며 부분적인 재도장으로 인한 도막 두께의 불균형이 발생하므로 기존도장이 비교적 양호한 부분을 제외하며 재도장부와의 Final Color를 고려하여 점착력이 우수한 도료로 재도장 할 것을 건의한다.

2) 시공과정

① 도장을 위한 표면처리

- 보수도장을 위한 손상부위의 처리는 손상부위가 녹발생이 되었을 시는 Power Tool Cleaning으로 손상부위 및 근처의 녹, 먼지, 오염물, 유기물질 등을 완전히 제거하고, 도장공정을 진행한다.
- Power Tool Cleaning으로 표면처리시에 사용하는 컵브러쉬(환형브러쉬)는 항상 유기물질 및 구리스 등에 오염되지 않은 깨끗한 것을 사용한다.
- 표면처리가 완료되면 빠른 시간(2시간 정도)내에 보수도장을 수행한다. 표면처리 2시간 이내에 보수도장을 수행하지 못한 부분은 재처리후 도장한다.
- Power Tool Cleaning직후 표면처리 상태 및 보수도장 공정별(표면처리, 하도Touch-up, 상도)로 전문검사원에게 검사를 받아야 한다.

【표 7.14】보수도장의 표면처리

도막손상도	표면처리방법	표면처리의 개요
손상도 1	·파워툴 처리 (또는 블라스트 처리)	·파워툴 처리를 원칙으로 하나, 공장보수시에 무기질페인트의 보수가 필요한 경우는 블라스트처리로 표면처리를 실시한다.
손상도 2	·파워툴 처리	·손상부 주변 도막과의 부착성 향상을 도모하기 위함과 기존 도막과의 단차를 없에기 위해 주변부를 페이퍼 처리 한다.
손상도 3	·페이퍼 처리	·도막손상이 큰면적에 걸쳐 발생한 경우는 파워툴처리를 실시한다.

② 도장작업

- Power Tool Cleaning후 강재표면과 하도페인트의 부착력이 저하될 수 있으므로 하도페인트는 부착력이 뛰어난 도료를 선택하여 하도도료로 사용한다.
- 현장도장은 Airless 스프레이로 시행하며, 스프레이가 불가능한 부분은 붓(단, 나일론 계통)으로 도장한다.
- 현장도장은 시방서의 도막두께 합계에 준하여 도장한다.
- 받침도장시 상부플레이트 하면의 미끄럼판에 대한 도장이 되지 않도록 하여야 한다.

3) 시공순서

【그림 7.4】 강재 재도장 시공순서도

4) 시공상세 및 유의사항

① 동력공구 및 수공구(와이어브러쉬, 샌드 페이퍼)로 표면처리한다.

② 표면처리 후 분무기 또는 붓을 이용하여 재도장 실시한다.

③ 표면처리 후 같은 날 하지도장을 실시한다(결로 및 이물질 등의 영향).

④ 도료의 칠 중복은 충분히 건조한 후에 실시하고 대기온도 및 칠표면의 온도가 5℃ 이상이어야 한다.

⑤ 표면처리 후 당일 도장을 수행하지 못한 부분은 다시 표면처리 후 도장한다.

⑥ 폐쇄된 개소에서의 작업시에는 통풍 및 조명등의 환경여건과 안전작업에 대한 대책을 수립한 후에 실시한다.

5) 전처리 비교안

【표 7.15】 강재도장 전처리공법 비교표

공 법	숏 블라스팅	습식 샌드 블라스팅	건식 샌드 블라스팅
특 징	•숏 또는 그릿이라고 하는 금속 비금속의 미세한 입자를 매분 약 2,000회전의 고속으로 회전시켜 표면을 처리하는 기술	•물에 젖은 모래를 물+에어를 혼합한 기기를 이용하여 분사시켜 표면을 처리하는 기술 (수압식)	•건조된 모래를 에어(공기)를 이용하여 분사시켜 표면을 처리하는 기술(압축공기식)
시 공 순 서	•사전 준비 •steel ball(grit)을 탱크안에 넣고 고속 회전시킴 •매분 약 2,000회전으로 원심력을 이용하여 분사	•사전준비 •습식 샌드를 탱크안에 넣고 물을 채움 •8:2로 섞여져 있는 물과 샌드의 혼합물을 분사	•사전준비 •건식 샌드를 탱크안에 넣고 물을 채움 •8:2로 섞여져 있는 공기와 샌드의 혼합물을 분사
장 점	•샌드 블라스팅에 비해 작업 시간이 짧음 •시공성이 좋음 •내구성이 좋음 •Rebound성이 높으며 가공 시간이 단축됨	•건식 샌드 블라스팅에 비해 먼지 및 분진이 거의 발생되지 않음 •샌드 소모량을 줄여줌 •규격 샌드가 별도로 필요하지 않음	•공사비가 저렴함 •강인한 전처리 가능
단 점	•공사비 고가 •공정이 복잡하여 시공 전문가가 필요함	•건식 샌드 블라스팅에 비해 미관성이 좋지 않음 •공사비 다소 고가 •공정이 다소 복잡하여 시공 전문가가 필요함	•규격 샌드를 준비해야함 •샌드재가 젖지 않도록 별도의 보관소 필요 •작업지역 지독한 먼지 및 분진 발생

6) 강재도장 공법비교표

【표 7.16】강재도장 공법비교표

공 법	일반중방식 도장	금속혼합물 도료 도장	수용성도료 도장	세라믹 코팅 도장	실 리 우 레 탄	불 소 수 지 계
개요	◦교량구조물의 방청력,내후성,내염수성 및 내마모성이 우수한 무기질 징크,염화고무,아크릴 염화고무수지를 하도,중도,상도로 활용한 도료공법	◦철재구조물의 부식 방지 및 내구성 증진을 위한 도료, 조성물 및 이를 이용한 산화알루미늄 피막접착공법.	◦유·무기복합하이브리드수지를 매탈컴플렉스 시켜 수분,산소 자외선등을 차단하여 고방식성과 고내구성을 가진 친화경 오염방지 하이브리드 공법	◦세라믹분말, 폴리머주원료를 이용 강구조물 취약부를 보수 성형하는 처리기술. 세라믹코팅제로 방식처리함으로써 시설물 내구연한 증대 공법.	◦교량,해상구조물,각종플랜트설비등의 심한부식 환경하에 놓여있는 기타 철구조물을 부식으로부터 방지하기 위해 제조된 도료로써 약 5~10년정도의 내구년한을 목적으로 만들어진 도료	◦내수성,내약품성,내후성등 우수한 자연건조형 불소수지를 주성분으로 한 2액형 도료로서 철재면에 사용하는 도료
적용범위	◦내부 및 외부 철재 구조물	◦교량·수문, 하천교량, 철재시설물 해상구조물	◦상·하수도, 교량, 터널 등	◦해상파일, 해상수중구조물, 선박용 접선 보강, 기타 철구조물 등	◦상·하수도, 교량, 해상·수중구조물, 빌딩, 건물, 터널 등	◦외부 노출 철골 마감공사 및 제철소, 해양교량 등
장점	◦재료를 구하기 쉬우며 시공이 용이함. ◦기존 강교도장과 일치 ◦내수성,내염성 우수	◦염수분무시험 5,000시간 통과로 염분에 강함 ◦내오염성이 우수하여 유지관리에 탁월함. ◦방청성, 부착력, 내충격, 내마모성, 내약품성, 외관 유지보수성, 균열 추종성 우수. ◦국내 대형 적용실적이 많다.(한강철교C선등) ◦난연성 시험 통과로 화재에 대한 안전확보 ◦금속혼합물도료로 강재의신율과 동일거동 ◦희생양극 방식 우수, 강한 장기적 부착력 ◦색상이 다양하다. ◦촉진내후성 시험 통과 (1200시간)	◦환경적 측면 유리 ◦냄새가 거의 없거나 적다. ◦낮은 VOC(대부분 물) ◦시공과 세척이 쉽다.	◦내약품성 우수. ◦내충격성이 우수하여 철재파일 및 선박보수에 적합. ◦내구성과 내마모성 우수. ◦인장, 전단, 접착강도 높다.	◦녹 및 부착산화물 안정화 ◦녹 및 구도막 침투력 우수. ◦모든 소재와의 부착력 우수. ◦내염성, 내산성, 내열성 우수.	◦자외선에 의한 황변형상이 없음 ◦균열저항성이 우수함 ◦내약품성,부착성,내구성이 우수 ◦방식성 및 내후성이 우수
단점	◦ 강교 등의 주요구조물보다는 일반철재 적용에 적합 ◦ 내구연한이 짧음	◦정밀시공을 요함. ◦적용전 피막물성에 대한 전문시공교육 필요	◦수용성으로 광택이 떨어지며 내구성이 약하다. ◦수용성도료이므로 경화를 위해 낮은습도가 필요하다. ◦구도막과 이질적인 용제로 박리나 벗겨짐의 원인이 된다.	◦자외선에 의한 변색이 우려됨. ◦수축팽창에 대한 유연성이 없다. ◦도장 층간 분리 현상 우려	◦자외선에 의한 변색이 우려됨. ◦실적이 없음. ◦근거 자료가 미진함. ◦내구연한 짧음.	◦재도장이 불가능해 보수시 어려움 ◦불소함유량에 의해 물성차이가 큼. ◦가격이 고가이다 ◦색상이 제한적임.
주요소재	◦아연말+염화고무계	◦무기질계 금속혼합물 + 고강도 마이크로 혼합물 + 금속혼합물 함유 표면 보호제	◦수용성+수용성+수용성	◦고내후성 무기안료(세라믹)	◦무기징크 + 에폭시 + 우레탄	◦고내후성 무기안료(불소+탄소)
시공순서	◦아연말도료→ 1차 염화고무도료 → 2차 염화고무도료	◦1차도포(방청제) → 2차도포(접착제+금속 혼합물) → 3차도포(금속혼합물+표면보호제)	◦XPEED-Z1→ XPEED-X2→ CRYSTAL-C	◦무기징크 → 세라믹 → 세라믹계 우레탄 마감	◦무기징크 → 에폭시 → 우레탄 2회마감	◦무기징크→ 에폭시→ 불소마감(2회)
내구연한	5~7년	20 년 이상(RS KCL 2008 신뢰성 품질 인증)	5 ~ 10 년	15 ~ 20년	5 ~ 10 년	10~15년
도막두께	195 ㎛(보수 외부3회)	215 ㎛(보수 외부3회)	195㎛	200㎛	255㎛	225㎛

※상기 표는 보수공법 비교를 위한 참고자료임. 향후 보수공사 시에는 시공성, 경제성, 보수성, 시공환경 등을 고려한 공법의 선정이 필요함.

7) 사용도료 및 건조도막 두께

① 전면 재도장시

㉠ 일반적인 부식환경

【표 7.17】일반적인 부식환경 도막두께

도장부위		바탕처리 정도	도장층별	도료종류	건조도막 두께(㎛)
강교부위		거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 중 도 상 도	무기질징크계 염화 고무계 염화 고무계	50 60 60
강교 내부	1안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 상 도	무기질징크계 역청질계	75 75
	2안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 상 도	무기질징크계 타르에폭시계	75 75
	3안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 상 도	무기질징크계 에폭시계	75 75

㉡ 가혹한 부식 환경

【표 7.18】가혹한 부식환경 도막두께

도장부위		바탕처리 정 도	도 장 층 별	도 료 종 류	건조도막 두께(㎛)
외 부	1안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 중 도 상 도	무기질징크계 에폭시계 우레탄계	75 100 80
	2안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 중 도 상 도	에폭시계(알미늄) 에폭시계 우레탄계	100 100 80
내 부	1안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 상 도	무기질계징크계 타르에폭시계	75 100
	2안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 상 도	무기질계징크계 에폭시계	75 100
	3안	거의 완전한 브라스트 (Sa 2 1/2)	하 도 상 도	에폭시계(알미늄) 에폭시계	100 100

② 부분 재도장시

【표 7.19】부분 재도장시 도막두께

도장부위		바탕처리 정 도	도 장 층 별	도 료 종 류	건조도막 두께(㎛)
외부	염화고무계, 알키드 조합페인트	•거의완전한 브라스트 (Sa 2 1/2) •동력공구시공 (St3)	T/U 하 도 상 도	에폭시계(알미늄) 에폭시계(마스틱) 우레탄계	(80) 100 50
	우레탄계		T/U 하 도 상 도	에폭시계(알미늄) 에폭시계(마스틱) 우레탄계	(80) 80 50
내부	역청질계		T/U 상 도	에폭시계(알미늄) 역청질계	(80) 75
	광명단페인트		T/U 상 도	에폭시계(알미늄) 에폭시계(마스틱)	(80) 100

■ 전면보수시의 환경은 대기 오염 및 염화칼슘의 영향 등을 고려하여 가급적 가혹한 부식 환경을 적용한다.

■ 도료의 종류와 건조 도막두께는 공사 및 도료의 특성에 따라 변경될 수도 있다.

■ 무기질 징크위에 도장 전에는 반드시 미스트 코트를 실시한다.

■ 전면 재도장은 도장면적 전체를 바탕 처리하는 경우를 말하며 부분 재도장은 녹발생 등으로 도장이 손상된 부분만을 바탕 처리하여 터치업 도장후 하도, 상도는 필요 면적만을 도장하거나 또는 전면적을 도장 하는 것이다.

③ 바탕처리의 정도

① 전면 재도장시 : SIS(스웨덴 규격협회)규정에 의한 Sa 2 1/2

② 부분 재도장시 : SIS규정에 의한 Sa 2 1/2, 또는 St 3

④ 특수부위의 도장

① 모재와 연결판 접촉면은 후막형 무기징크리치 페인트로 도장한다.

② 강상판, 강재료와 콘크리트의 접촉면, 방수층면은 브라스팅 처리를 하여 녹·흑피 등을 제거한 후 무기징크리치 페인트로 도장한다.

③ 받침장치·앵커볼트부위는 특별히 규정한 경우를 제외하고는 제청작업을 한 후 무기질 징크리치 도료나 에폭시계 (알루미늄 또는 마스틱)도료로 도장한다.

⑤ 검사

㉠ 검사항목

【표 7.20】도장 전·후 검사항목

검사시기	검사항목	검사방법
도장 전	•도료 •피도체 바탕처리 상태	•시험성적표심사 •시료채취시험실시(KSM5000) •시방서 기준
도장 후	•도료 사용량 •외관조사 •도막두께 •도막부착시험	•전수조사 •육안조사 •측정기에 의함 •테이프 테스트

㉡ 검사항목

■ 제조업체 시험 성적표(규격에 적합한지 확인)

■ 용기의 규격번호 및 명칭이 표시되었는지 확인하여야 한다.

■ 도료의 수량은 설계 소요량이 반입되었는지 확인하여야 한다.

■ 현장시료 채취시험은 반드시 공인된 시험기간에 의뢰검사를 실시하여야 한다. 도장 후 도막의 부착성 시험도 필요시에는 의뢰검사를 실시할 수 있다.

■ 시험에 불합격한 도료는 즉시 현장 외로 반출하고 반출을 증빙할 수 있도록 반품과정의 사진을 촬영하여 반출송장과 함께 제출한다.

㉢ 도장 후 검사

■ 도막의 변·퇴색이나, 광택의 감퇴, 백염화, 오손, 균열, 벗겨짐, 부풀음 및 녹 등의 이상유무 및 발생정도를 판정한다.

■ 층별 도장이 건조된 후 도막측정기에 의하여 도막 두께를 측정한다.

■ 도막의 부착성 실험.

라. 볼트체결 불량(이완, 탈락 등)

1) 볼트 교체 방법

볼트교체는 1개씩 수행해 나가는 것이 원칙이지만 현장에서의 작업 효율상 여러 개를 동시에 수행할 필요가 생긴다. 이러한 경우에는 구조적 안정성에 대한 충분한 검토가 선행되어야 한다.

① 볼트의 해체는 안전성을 위해서 볼트이음부에 대해 1개씩 실시해야하며, 볼트체결이 완료되면 다음의 볼트이음부로 이동하여 반복 시행토록 한다.

② 볼트교환은 1개를 풀고 1개를 체결하는 순서로 행한다.

③ 볼트가 접하는 이음판은 신설 교량과 같은 면의 상태에서 체결되어야 한다. 따라서, 볼트를 해체한 다음 볼트 접합면의 도장을 벗겨내고 연마를 실시한 후 볼트구멍 내에 발생된 녹, 이물질 등을 소형 전동브러쉬 등을 이용하여 깨끗이 제거한다.

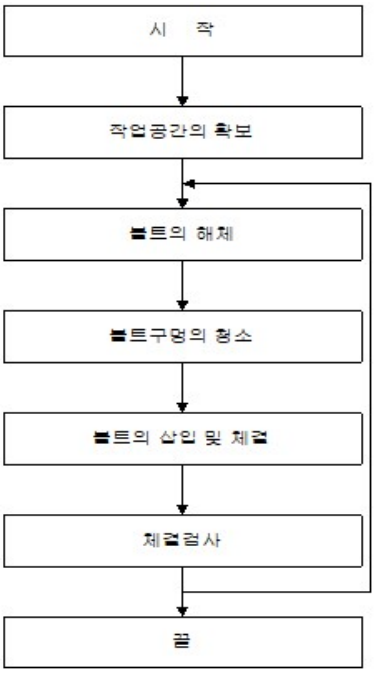
④ 공용중인 교량의 볼트는 상당한 볼트장력을 이미 받았기 때문에 재사용하지 않고 신규 볼트 사용한다.

⑤ 볼트의 체결은 1차 체결 후 2차로 완전히 체결하는 시공방법을 기준으로 한다.

⑥ 볼트구멍의 크기가 작거나, 어긋나서 볼트의 삽입이 불가능한 경우에는 볼트구멍을 다시 천공하도록 한다.

⑦ 체결이 완료된 볼트의 그룹은 토크렌치의 시험기준에 따라 볼트의 장력을 측정하고 허용범위 내에 들어오는 가를 검측한다.

2) 시공 순서도



【그림 7.5】 볼트재체결 시공순서도

3) 교체 볼트의 방식처리

볼트교체시 교체볼트는 부식저항성을 가지도록 해야 한다. 그러나 일반적으로 볼트와 연결판은 도장시 일정하게 도막두께를 형성하기 어려워 쉽게 부식이 발생하게 된다.

따라서 본 교량에서는 일반 고장력볼트보다는 방식처리가 된 다크로 처리 고장력볼트를 사용하는 것으로 한다.

다크로 처리의 방청시스템의 특징은 다음과 같다.

- 아연입자의 자기희생보호 작용

- 무기화합물에 의한 금속소재의 부동태화작용

- 아연플레이크와 무기화합물의 장벽작용

4) 볼트의 체결검사

① 볼트규격 및 볼트길이 등을 토크점검 전 확인하고 토크값의 기준범위를 미리 확인한다. 토크시험을 완료한 볼트는 검사 가 완료되었음을 확인할 수 있도록 식별표시를 하고 점검양식에 토크값을 기록한다.

② 체결볼트 검사수는 각 볼트군에서 10%를 표준으로 하고 검사시기는 볼트를 조인 후 즉시하는 것이 좋다.
다만 육안상 볼트체결이 불량해 보이는 곳에 대해서는 감독자가 무작위로 선택하여 실시한다.

③ 체결된 볼트는 토크계수치의 토크값의 범위를 기준으로 하되 적정성 유무를 검측하여 범위내를 벗어나는 경우에, 즉 체결력이 부족한 경우에는 더 조이고 초과시에는 볼트·너트를 교환하여 재체결토록 한다.

5) 볼트 풀림의 방지공법

① 개요

강교 볼트 이음부는 다양한 원인에 의해 볼트의 풀림이 발생된다. 따라서 볼트의 풀림을 방지하기 위한 다양한 방법을 제시하고자 한다.

② 풀림의 원인

㉠ 이완

볼트 길이의 영구적인 변화가 축 방향으로 발생하거나 와셔를 끼운 표면상태에서 모재나 연결개 자체가 이완되거나 또는 온도의 변화가 발생할 경우에 나사부 조립이 이완된다. 이러한 현상은 볼트 장력 및 잔존 고정력을 감소시킨다. 길이의 영구적인 변화는 다음 현상에 의해 발생할 수 있다.

- 눌림 : 인접한 부품(너트, 와셔)의 거친 면은 볼트 장력의 압력으로 인해 매끄러워지게 된다.
- 크립 : 볼트나 너트의 표면 압력이 소재의 압축 강도를 초과한다.

㉡ 자체 풀림

조임 과정을 거친 후에 볼트의 장력에 의해 모재와 연결제 사이의 마찰력이 유지된다. 이것은 볼트가 스프링처럼 늘어나고 장력에 의해 너트가 헤드 방향으로 당겨져 고정된 부품을 압축시키므로 발생하게 된다. 그런데 조임 토크가 제거되면, 장력이 발생하여 볼트에 너트를 풀게 된다. 나사 부외와 볼트 머리와 너트 사이 에 작용하는 마찰은 이러한 힘을 막고 볼트에 발생하는 장력을 유지하게 된다.

고정 방식이 하중이나 진동의 영향을 받을 경우, 마찰에 의한 효과가 감소하여 너트가 나사 주위를 회전하게 되며 이때 장력이 풀려진다. 진동은 수평방향, 또는 야자의 복합적 방향에서 발생할 수 있다. 수평 하중에 의한 수직 방향의 힘은 풀림의 정도가 훨씬 덜하다.

㉢ 자체 풀림방지

· 헬리컬 와셔와 이붙이 로크와셔

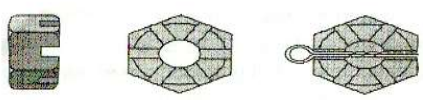
상대 금속표면에 맞물리도록 뾰족한 돌출부를 평평하게 만드는 원리에 의해 작동되며, “쐐기” 작용으로 풀림에 저항한다.

헬리컬 와셔

이붙이 로크와셔

· 홈붙이 너트나 캐슬너트

볼트의 구멍을 통과하고, 직경방향의 슬롯에 끼워 맞춰지는 코터 핀이나 와이어와 함께 사용된다. 이것은 확실한 잠김을 제공하지만, 볼트구멍과 슬롯을 정열시키기 위해 과도하게 조이거나 덜 조여야 할 필요성이 있다.



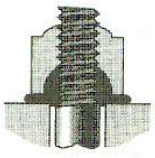
홈붙이 너트

캐슬 너트

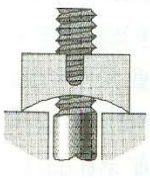
· 로크너트

일반적으로 두가지 형태(자유회전식, 토크식)가 있다. 이들은 안착될 때까지 자유회전하고, 상대볼트를 고정시키도록 조여질 때 처짐이 발생한다.

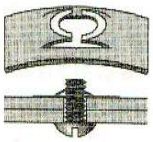
이들은 나사가 완전히 맞물리게 되면 마찰토크를 발생한다. 따라서 최종위치까지 렌치로 조여야 하고, 완전히 조여지지 않았을 때에도 이들은 제 위치에 머물러 있으려는 경향을 갖는다. 토크 로크 너트나 체결요소는 위험한 적용, 특히 진동이 클 때 가장 좋은 효과를 제공한다.



<Insert nut>

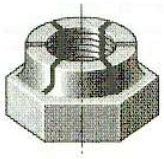


<Spring nut>

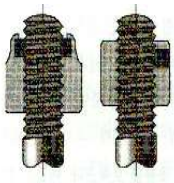


<Single thread nut>

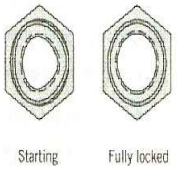
< 자유회전 로크 너트의 예 >



<Spring-top nut>



<Nylon-insert nut>



<Distorted nut>

< 토크 로크 너트의 예 >

㉣ 접착제 도포

접착제는 금속표면에서 금속 이온과 반응하여 경화되고, 부착강도 및 압축강도가 매우 큰 접착제로 현재 기계부품, 특히 자동차 엔진의 나사고정부에 사용되고 있으며, 강교의 볼트 이음부에도 적용 가능할 것이다.

접착제를 도포하면 볼트풀림 방지가 되고, 접착제의 윤할작용으로 목표장력 도입을 위한 조임 토크가 접착제를 도포하지 않은 경우에 비해 작은 반면 파괴토크는 크다. 또한 접착제를 사용하면 미끄러짐 발생 후에도 볼트풀림을 억제하는 탈출토크라는 것이 발생된다.

7.3 보수·보강 개략공사비

【표 7.21】보수·보강 개략공사비(부산)

구 분		손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
바닥판하면		균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	23.00	8.63	㎡	65	561	2
		균열부 백태	표면보수	0.20	0.08	㎡	65	5	2
		철근노출	표면보수(방청)	7.14	10.71	㎡	340	3,641	1
STB 거더	내부	도장박리	재도장	0.07	0.11	㎡	80	8	2
		누수흔적	실링처리	3.60	5.40	㎡	50	270	2
		실링미처리	실링처리	2	2	개소	50	100	2
		그을음	재도장	1.12	1.68	㎡	80	134	2
	외부	도장박리	재도장	0.13	0.20	㎡	80	16	2
		볼트부식	재도장	17	17	개소	80	1,360	2
하부 구조	교대	균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	6.40	2.40	㎡	65	156	2
		보수부 재균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	1.00	0.38	㎡	65	24	2
		백태	표면보수	0.52	0.78	㎡	65	51	2
		보수부백태	표면보수	0.41	0.62	㎡	65	40	2
		박리	단면보수	0.24	0.36	㎡	240	86	2
		보수부 박리	단면보수	1.32	1.98	㎡	240	475	2
		파손	단면보수	0.02	0.03	㎡	240	7	2
		실링재 열화	실링처리	6.00	9.00	m	46	414	2

【표 7.21】보수·보강 개략공사비(부산)(계속)

구 분		손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
하부 구조	교각	균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	32.60	12.23	㎡	65	795	2
		망상균열	표면보수	2.60	3.90	㎡	65	254	2
		보수부 박리	단면보수	0.04	0.06	㎡	240	14	2
		철근노출	표면보수(방청)	0.11	0.17	㎡	340	56	1
		파손	단면보수	0.26	0.39	㎡	240	94	2
교량받침		앵커볼트 부식	재도장	41	41	개소	80	3,280	2
		받침콘크리트 파손	단면보수	0.01	0.02	㎡	240	4	2
		받침콘크리트 들뜸	단면보수	0.04	0.06	㎡	240	14	2
신축이음장치		유간 토사퇴적	청소	29.50	44.3	m	18	797	3
		차수판 볼트탈락	재체결	8	8	개소	10	80	2
기타 부재	배수 시설	배수관 고정대 탈락	재설치	1	1	개소	500	500	3
순공사비 합계(천원)									13,236
제경비(순공사비×50%)									6,618
부대공사비(순공사비×20%)									2,647
순위별 공사비 (제경비, 부대공사비 포함)			1순위						6,286
			2순위						14,861
			3순위						1,354
개략공사비 총계(≒)									**22,501**

※ 순공사비는 부대공(교통통제 및 고소장비 등)을 제외한 개략공사비 합산금액이며, 부대비용은 현장여건에 따라 금액이 변경될 수 있음.
※ 부대공사비는 교통통제, 고소장비, 안전관리자 선임 등을 포함한 금액으로, 순공사비의 20%로 산정하였음.
※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였음.
※ 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영.
※ 일부 손상은 보수물량 산정 시 보수단가 및 방법을 고려하여 단위 및 물량 변경.
※ 상기 개략공사비는 금회 현장조사 시 확인한 물량으로 산정하였으며, 이후의 실시설계시 공법선정, 단가 변동 및 현장여건상 부대공의 추가 등으로 변동될 수 있음.(2023년 도로공사 유지보수 공종별 단가집 참조)

【표 7.22】보수·보강 개략공사비(울산)

구 분		손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
바닥판하면		균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	0.50	0.19	㎡	65	12	2
		박락	표면보수(방청)	0.26	0.39	㎡	340	133	1
		철근노출	표면보수(방청)	0.82	1.23	㎡	340	418	1
STB 거더	내부	도장박리	재도장	0.04	0.06	㎡	80	5	2
		부식	재도장	0.04	0.06	㎡	80	5	2
		전등미설치	재설치	2	2	개소	10	20	3
		환풍구망 탈락	재설치	1	1	개소	200	200	3
	외부	도장박리	재도장	0.81	1.22	㎡	80	97	2
		긁힘 및 부식	재도장	0.04	0.06	㎡	80	5	2
2차부재		부식	재도장(방청)	0.04	0.06	㎡	290	17	2
하부 구조	교대	균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	4.00	1.50	㎡	65	98	2
		균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	7.70	11.6	m	80	924	1
		보수부 재균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	0.80	0.30	㎡	65	20	2
		균열부 백태	표면보수	2.00	3.00	㎡	65	195	2
		망상균열	표면보수	0.80	1.20	㎡	65	78	2
		백태	표면보수	0.83	1.25	㎡	65	81	2
		보수부 백태	표면보수	0.08	0.12	㎡	65	8	2
		철근노출	표면보수(방청)	0.02	0.03	㎡	340	10	1
	교각	균열(cw=0.3mm미만)	표면보수	36.50	13.69	㎡	65	890	2
		균열(cw=0.3mm이상)	주입보수	10.00	15.0	m	80	1,200	1
		망상균열	표면보수	4.00	6.00	㎡	65	390	2
		철근노출	단면보수(방청)	0.04	0.06	㎡	277	17	1
		잡철근노출	단면보수(방청)	0.01	0.02	㎡	277	4	1
		표면박리	표면보수	0.15	0.23	㎡	65	15	2

【표 7.22】 보수·보강 개략공사비(울산)(계속)

구 분		손상내용	보수방안	손상 물량	보수 물량	단위	단가 (천원)	개략 공사비 (천원)	우선 순위
교량받침		받침콘크리트 박락	단면보수	0.27	0.41	㎡	240	97	2
		받침콘크리트 재료분리	단면보수	0.04	0.06	㎡	240	14	2
		볼트부식	재도장	1	6	개소	80	480	2
신축이음장치		유간 토사퇴적	청소	8.70	13.05	m	18	235	3
		차수판 볼트탈락	재체결	18	18	개소	10	180	2
		차수판 덮개파손	재체결	1	1	개소	50	50	2
기타 부재	배수 시설	배수구 막힘	청소	1	1	개소	20	20	2
		배수관 연결고리 부식	재설치	5	5	개소	20	100	3
		배수관고정대 탈락	재설치	1	1	개소	500	500	2
	난간 및 연석	파손	표면보수(방청)	0.09	0.14	㎡	65	9	1
순공사비 합계(천원)									6,525
제경비(순공사비×50%)									3,263
부대공사비(순공사비×20%)									1,305
순위별 공사비 (제경비 포함)			1순위						4,608
			2순위						5,542
			3순위						943
개략공사비 총계(≒)									**11,093**

※ 순공사비는 부대공(교통통제 및 고소장비 등)을 제외한 개략공사비 합산금액이며, 부대비용은 현장여건에 따라 금액이 변경될 수 있음.
※ 부대공사비는 교통통제, 고소장비, 안전관리자 선임 등을 포함한 금액으로, 순공사비의 20%로 산정하였음.
※ 보수물량은 확실한 보수효과를 얻기 위하여 손상물량의 50%를 할증하였음.
※ 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영.
※ 일부 손상은 보수물량 산정 시 보수단가 및 방법을 고려하여 단위 및 물량 변경.
※ 상기 개략공사비는 금회 현장조사 시 확인한 물량으로 산정하였으며, 이후의 실시설계시 공법선정, 단가 변동 및 현장여건상 부대공의 추가 등으로 변동될 수 있음.(2023년 도로공사 유지보수 공종별 단가집 참조)

7.4 유지관리 방안

교량 유지관리는 교량의 공용수명 동안 교량의 안전성과 기능성을 유지하기 위하여 행하는 행위로써 손상발생의 징후 또는 그 원인을 사전에 발견해 조치를 취하는 예방 유지관리와 손상발생 후 조치를 취하는 사후 유지관리로 나눌 수 있으나 유지관리의 주안점은 구조적 특성이나 손상유형을 고려하여 사전에 각 부위별로 발생 가능한 손상에 대하여 주의 깊게 점검하며 그 원인을 미리 해소하는 예방 활동에 목표를 두어야 한다.

7.4.1 진단결과에 따른 중점유지관리 사항(부산)

가. 중점유지관리 개요

금회 정밀안전진단 현장조사결과, 만화교(부산)에 발생된 주요손상들 중 바닥판 하면의 경우, 파손, 철근노출이 발생되고 있는 상태이며, 파손, 철근노출으로 인한 철근의 부식으로 인한 손상 면적이 확대될 우려가 있으므로 이에 대한 중점관리가 요구된다.

나. 바닥판 철근노출

바닥판 발생한 철근노출은 대부분 교대 단부 상단에서 조사되었으며, 캔틸레버부 배수관 인접부에서 1개소가 확인되었다. 철근노출은 콘크리트 피복두께 미확보에 의해 발생한 것으로 내구성 저하 방지를 위해 보수가 필요하나, 단면보수 시 콘크리트의 탈락우려가 있어 방청 후 탄산화방지제 도포 등의 표면보수 또한 함께 고려함이 바람직할 것으로 판단된다.

S2 철근노출(A=5.5×0.1=0.55㎡)	S2 철근노출(A=0.4×0.1=0.04㎡)

다. 교대 어스앵커(Earth Anchor)

공용중 교대(A1, A2) 변위 억제공법으로 어스앵커(Earth Anchor)가 시공된 것으로 조사되었다. 금회 외관조사결과, 어스앵커 정착단 체결상태, 교대 콘크리트 상태 등은 대체적으로 양호한 것으로 조사되었으며, 『그라운드 앵커 설계·시공 및 유지관리 매뉴얼, 국토교통부, 2021』에 의거하여 작성된 아래의 체크리스트에 따라 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

항 목		주요한 사항	점검 결과
앵커	앵커의 돌출	앵커의 돌출유무	무
	앵커 긴장력	-	-
앵커두부	두부콘크리트	돌출·박리	무
		파손·낙하	무
		성능저하·균열	무
		유리석회(Free CaO)	무
		용수 유무	무
	두부캡	파손·변형·낙하	무
		재료성능저하	무
		씰부 성능저하	무
		용수 유무	무
	방청유	기름누출	무
	지압판	돌출	무
		용수 유무	무
수압판·수압구조물	변형·침하	이음부의 벌어짐, 어긋남 등	무
	콘크리트 성능저하		무
	유리석회(Free CaO)		무
	파손·낙하		무
	균열		무
	배면지반으로부터의 돌출		무
그 외	용수	용수량/용수개소	무
	지반전체의 변형된 상태	변위량, 침하량, 천단, 외벽과 바깥쪽 도랑사이의 균열 등	무
	주변구조물의 변형된 상태	침하, 변위 등	무

7.4.2 진단결과에 따른 중점유지관리 사항(울산)

가. 중점유지관리 개요

금회 정밀안전진단 현장조사결과, 만화교(울산)에 발생된 주요손상들 중 교대의 경우, 균열(Cw=0.3㎜이상)이 발생되고 있는 상태이며, 균열부 우수유입 등 2차 손상 등 손상 면적이 확대될 우려가 있으므로 이에 대한 중점관리가 요구된다.

나. 교대 균열(Cw=0.3㎜이상)

교대의 발생된 일방향균열은 수직의 형태를 나타내고 있으며, 흉벽 전면에서 발생한 것으로 확인되었다. 손상규모, 형상, 위치 등을 고려해 볼 때 구조적 원인에 의해 발생된 손상이라기보다 건조수축, 수화열 등에 발생된 미세균열로 추정되며, 내구성 확보를 위해 주입보수가 필요할 것으로 판단된다.

A2 흉벽 균열(Cw=0.3㎜/L=1.5m)

다. 교대 어스앵커(Earth Anchor)

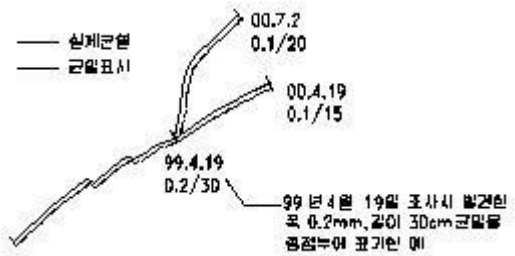
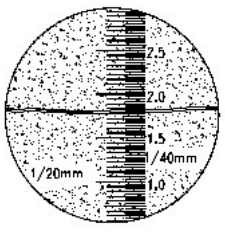
공용중 교대(A1, A2) 변위 억제공법으로 어스앵커(Earth Anchor)가 시공된 것으로 조사되었다. 금회 외관조사결과, 어스앵커 정착단 체결상태, 교대 콘크리트 상태 등은 대체적으로 양호한 것으로 조사되었으며, 『그라운드 앵커 설계·시공 및 유지관리 매뉴얼, 국토교통부, 2021』에 의거하여 작성된 아래의 체크리스트에 따라 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

항 목		주요한 사항	점검 결과
앵커	앵커의 돌출	앵커의 돌출유무	무
	앵커 긴장력	-	-
앵커두부	두부콘크리트	돌출·박리	무
		파손·낙하	무
		성능저하·균열	무
		유리석회(Free CaO)	무
		용수 유무	무
	두부캡	파손·변형·낙하	무
		재료성능저하	무
		씰부 성능저하	무
		용수 유무	무
	방청유	기름누출	무
	지압판	돌출	무
		용수 유무	무
수압판·수압구조물	변형·침하	이음부의 벌어짐, 어긋남 등	무
	콘크리트 성능저하		무
	유리석회(Free CaO)		무
	파손·낙하		무
	균열		무
	배면지반으로부터의 돌출		무
그 외	용수	용수량/용수개소	무
	지반전체의 변형된 상태	변위량, 침하량, 천단, 외벽과 바깥쪽 도랑사이의 균열 등	무
	주변구조물의 변형된 상태	침하, 변위 등	무

7.4.3 유지관리 시 점검요령

교량의 안전성과 기능성, 사용성 및 노후화 정도 등을 파악하여 재해를 사전에 예방하기 위해서 주기적이고 체계적인 정기점검, 정밀점검, 정밀안전진단 등을 통한 유지관리가 무엇보다도 중요하다. 따라서, 정밀안전진단 결과를 바탕으로 부재별 결함부위에 대한 원인분석과 사전에 예방하자는 유지관리차원에서 중점적으로 점검해야 하는 사항을 제시하고 필요한 점검항목 및 점검요령을 기술하였다.

가. 바닥판

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 공통</td><td>• 박리, 박락, 층분리, 철근노출(피복두께 부족), 파손
• 백태(유리석회), 오염
• 재료분리</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 거더교</td><td>• 균열(거더사이, 헌치부 종방향 균열)
• 망상균열</td></tr>
<tr><td rowspan="2">▷ 슬래브, 라멘교 상부</td><td>단부</td><td>• 부스러짐
• 사인장균열</td></tr>
<tr><td>중앙부</td><td>• 휨균열</td></tr>
<tr><td>주요
부위</td><td colspan="2">
〈바닥판 전경〉
〈캔틸레버 전경〉</td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="2">• 점검방법
- 도보접근이 불가능한 구간은 점검장비를 이용 근접 점검
- 균열의 진행상황을 파악하기 위하여 균열의 시·종점을 표시해 두는 것이 필요하며, 정기적으로 진행여부를 관찰
 
(a) 균열표시 예 
(b) 균열경 조사 예</td></tr>
</table>

(계속)

점검요령	- 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. • 점검시 유의사항 - 공통적인 손상은 대부분 구조적인 결함이므로 발생원인을 규명하고 보수·보강 등 적절한 조치방법을 수립할 수 있도록 주의 깊게 조사 - 큰 균열일지라도 상당히 오래전에 발생하여 안정된 것이 있는 반면에 미세균열일지라도 하중의 반복재하에 의해 점차 커지는 균열이 있으므로 점검 시 특별히 큰 균열에만 주목하지 말고 미세한 균열에도 주의 - 환경적 요인에 의하여 열화가 심한 부분은 철근의 부식환경을 확인하기 위하여 탄산화시험을 실시
점검도구	• 사진기 • 균열자 • 점검용 망치 • 확대경 • 줄자 • 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) • 점검야장 • 필요시 반발경도 및 탄산화 시험기기

나. 강박스 거더

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷공통</td><td>• 변형, 균열, 파손
• 표면(도장)상태 오염, 부식
• 이상처짐
• 연결부 볼트 이완, 파손, 이상음</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷받침부</td><td>• 복부판 부식 및 국부좌굴
• 박스내부 출입구 개폐
• 거더와 받침연결부 부식</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷중앙부</td><td>• 맞대기 용접부 균열
• 플랜지 변형 및 처짐
• 다이아프램 연결부 균열</td></tr>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷2차부재</td><td>• 거더와의 연결부 균열</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷보수부위</td><td>• 용접부 및 용접부 주변 균열</td></tr>
<tr><td>주요
부위</td><td colspan="2">
<강박스 거더 외부>

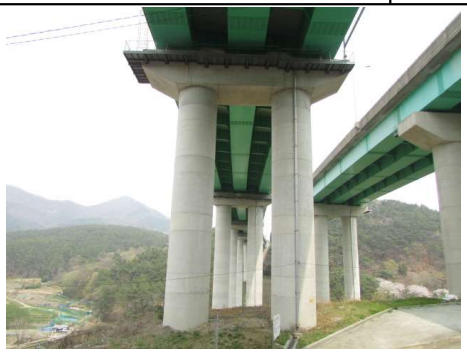
<강박스 거더 내부></td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="2">• 점검방법
- 교량점검차, 점검로, 도보를 이용한 근접조사
- 중앙부 처짐은 점검로에서 하부플랜지 정도로 눈높이를 낮추어 점검하거나 교대 옆 혹은 교량에서 조금 떨어진 거리에서 하부플랜지의 전체적인 선형 점검
- 누수에 취약한 신축이음 하부, 배수구 주변 혹은 외측거더의 도장손상 및 녹발생 조사
- 차량통과시 삐걱거리는 소리 등 이상음이 들리면 소음발생 부위를 추정하여 기록 유지
• 손상발생시 조치
- 눈에 띌 정도의 처짐이나 충돌에 의한 손상으로 추가손상이 우려되거나 주행안전성에 지장을 초래할 경우 즉시 보고하여 대책을 수립
• 점검시 유의사항
- 박스내부 출입구 잠금장치가 망가져 있는 경우 부랑인들이 거주하고 있는 경우가 있으므로 2인 이상이 1조가 되어 내부점검
- 박스내부에 환기부족으로 유해가스가 있을 수 있으므로 환기를 시킨후 점검하고 인화성 물질을 휴대하지 않도록 하며 특히 흡연은 삼가하여야 함</td></tr>
<tr><td>점검
도구</td><td colspan="2">• 사진기(망원렌즈)
• 줄자(5m자)
• 점검야장
• 점검용 망치
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)</td></tr>
</table>

다. 교대

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 공통</td><td>• 균열(시공이음부 횡방향 균열)
• 박리, 박락, 층분리, 백태(유리석회), 파손, 철근노출
• 교대 회전(기울음), 침하(연직이동)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 두부</td><td>• 두부 물고임
• 두부와 흉벽 경계부 균열(후면으로 기울음)
• 거더와 흉벽 신축유간 부족</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 벽체</td><td>• 균열(수직균열)
• 벽체와 날개벽 분리(이동)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 날개벽</td><td>• 날개벽 이동, 전도</td></tr>
<tr><td>주 요
부 위</td><td colspan="2">
〈교 대 A1〉

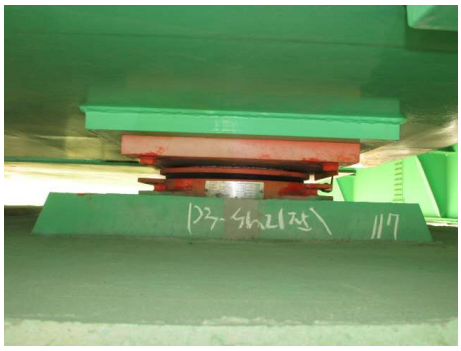
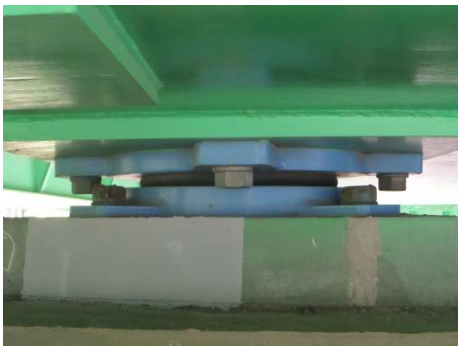
〈교 대 A2〉</td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="2">• 점검방법
- 도보를 이용한 근접조사.
- 교대 입지조건이 성토부 혹은 연약지반에 위치한 경우 전후방으로 교대 벽체가 기울었는지 확인하고 의심스러울 경우 실을 매단 점검추를 늘어뜨리거나 측량기로 확인(날개벽, 옹벽 포함)
- 신축이음 하면에 위치하므로 누수 및 화학물질 등에 대한 열화 취약부위이므로 탄산화 시험에 의한 탄산화 깊이 확인
• 점검시 유의사항
- 신축이음 유간이 벌어져 충격음이 발생하거나 닫혀 있을 경우 거더 상·하부와 흉벽 사이 간격이 서로 차이가 나는지 점검하고 교대 전도 여부도 확인
- 연약지반상의 교대는 뒷채움부의 침하로 인하여 접속슬래브 하부에 공동이 발생하여 흉벽이 교대 뒤쪽으로 전도되어 균열이 발생하기도 함
- 교대 뒷면과 날개벽 사이에 공동이 발생했거나 흙이 침하된 경우 날개벽의 전도를 의심하여 점검
- 벽체에 수직으로 발생하는 균열은 건조수축에 의한 비구조적 균열이므로 우려할 바는 아니지만 폭이 넓은 교대에서 균열폭이 1㎜ 이상이면 교대기초의 부등침하도 의심하여야 함</td></tr>
<tr><td>점검
도구</td><td>• 사진기
• 균열자
• 줄자(5m자)
• 점검용 망치</td><td>• 점검추 - 기울음 측정
• 탄산화 시험기
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

라. 교각

<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, 박리, 철근노출, 파손
• 침하</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷두부</td><td>• 두부 물고임
• 받침 하부 균열 및 파손(박리, 박락)</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷구체</td><td>• 수직균열
• 이동 또는 기울음</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷수면접촉부</td><td>• 수중구간의 경우 침식</td></tr>
<tr><td>주요
부위</td><td colspan="2"> 
〈교각(P1) 전경〉

〈교각(P3) 전경〉</td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="2">• 점검방법
- 교량점검차, 고소작업차 및 점검로를 이용한 근접조사
- 신축이음의 유간이 비정상적(크게 벌어짐 또는 닫힘)이거나 방호울타리선형이 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="2">• 사진기
• 균열자
• 줄자(5m자)
• 점검용 망치
• 점검추 - 기울음 측정
• 탄산화 시험기
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

마. 교량받침

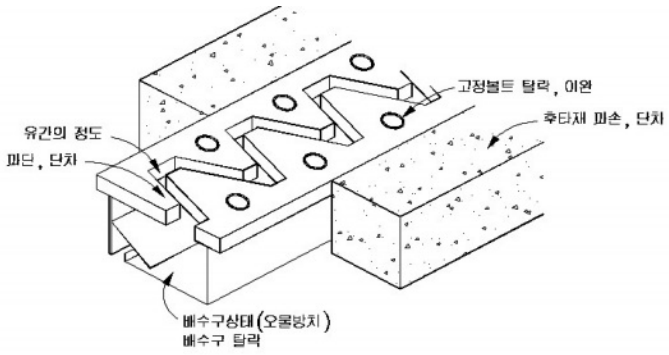
<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td rowspan="3">▷본체</td><td>- 공통</td><td>• 부식(오물퇴적), 변형
• 균열, 파손(균열발생으로 파손진행)
• 가동받침의 유간부족 및 가동 장애요소
• 받침과 거더의 밀착상태(분리)
• 앵커볼트 파손(절단)
• 가동방향 오류, 편기설치</td></tr>
<tr><td>- 강재받침</td><td>•가동면 부식
•부속물 파손</td></tr>
<tr><td>- 고무받침</td><td>• 고무재 부풀음 및 갈라짐
• 고무판의 과도한 변형</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷받침대</td><td>• 균열, 파손(하부공동)
• 부분 침하</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷이동제한장치</td><td>• 용접부 균열
• 파손</td></tr>
<tr><td>주요
부위</td><td colspan="2"> 
<받침장치(양방향>
 
<받침장치(고정단)></td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="2">• 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 내측 단부 혹은 사교의 예각부 단부의 부반력으로 인한 받침과 거더의 들뜸 상태 점검
- 경사교에서 받침 경사설치로 인한 상부가동받침과 하부받침 접촉 및 받침 부속품과의 접촉으로 인한 가동장애요소 점검
- 수직보강재와 받침이 10cm 이상 편기시 하부플랜지의 국부변형이나 거더 복부판의 좌굴 여부 확인</td></tr>
</table>

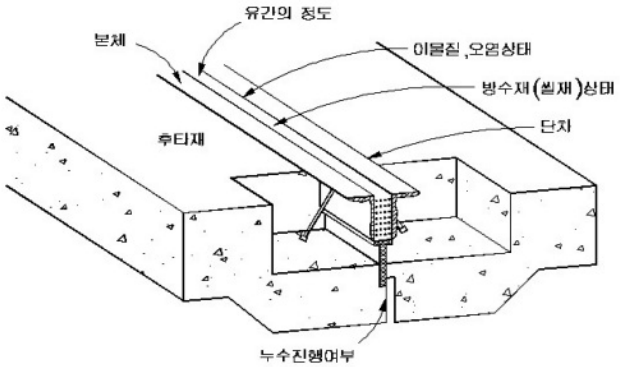
(계속)

점검 요령	- 받침하부에 공동이 의심되면 긴드라이버 혹은 철사로 찔러서 확인하고, 침하흔적은 앵커볼트의 체결상태 및 인접받침의 상태를 참고하여 확인 - 받침부의 물고임 부분은 누수부위의 확인 및 물고임 원인분석 • 손상발생시 조치 - 받침하부 교각 두부에 폭 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 • 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) • 점검야장

바. 신축이음장치

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td rowspan="3">▷ 본체</td><td>- 공통</td><td>• 누수, 오염(배수시설 누락, 유간의 오물퇴적)
• 유간(부족 및 과다)
• 이상진동(충격음)
• 본체 유동 및 파손(충격음, 흔들림)</td></tr>
<tr><td>- 고무재</td><td>• 고무판 마모, 강판노출 및 부식</td></tr>
<tr><td>- 강재</td><td>• 방수재(실링재) 파손 - 노면수 유입</td></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 후타재</td><td>• 균열, 파손(패임 및 요철)</td></tr>
<tr><td>주요
부위</td><td colspan="2">
<신축이음장치(A1)>

<신축이음장치(A2)></td></tr>
<tr><td>주요
내용</td><td colspan="2"> 


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

(계속)

점검 요령	· 점검시 유의사항 - 차량 진행방향과 반대방향으로 점검을 진행하며 2인 1조로 점검수행 - 신축유간 점검시 차량에 유의 · 점검방법 - 보도에서 점검 - 신축이음 본체의 유동, 단차, 파손으로 인한 충격음 발생 여부 점검 - 고무재의 마모, 파손, 충진 씰링재 노출로 차량운행 저해 및 방수기능 저하상태를 점검하며 교각, 교대 위에서 신축이음 하부의 방수성 및 단부보강 슬래브상태 점검 - 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
점검 도구	• 사진기 • 줄자 • 점검용 망치 • 드라이버(driver) - 유간오물 확인 • 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) • 점검야장

사. 교면포장

점 검 부 위	점 검 항 목
▷ 공통	• 균열, 요철, 단차, 포트홀, 소성변형
▷ 신축이음 전후, 구조물 경계부	• 단차, 침하
▷ 배수구 주변	• 물고임, 이물질 퇴적

주요 부위

<교면포장(시점부)>

<교면포장(종점부)>

점검 요령

- 점검방법
  - 방호벽측 갓길에서 도보점검
  - 중차량 통행이 많은 차선, 곡선부 외측, 급정지 구간 주변의 손상 점검
  - 신축이음 전후 및 경계부의 단차 점검
  - 교면위 물고임 및 포트홀 점검(가급적 비온 직후 점검)
  - 포장의 노후화에 따른 종방향균열의 진전여부, 망상균열의 진전여부
- 손상발생시 조치
  - 손상이 확연한 부분은 위치, 규모에 대하여 기록 후 사진 촬영
  - 포트홀의 직경이 20cm이상 혹은 종방향 단차가 30㎜이상 발생하여 추가손상이 우려되거나 주행안전성에 지장을 초래할 경우 즉시 보고하여 대책을 수립
- 점검시 유의사항
  - 갓길은 교통사고의 위험이 높으므로 2인 1조로 하여 차량 진행방향과 반대방향으로 걸어가면서 점검

점검 도구

- 사진기
- 줄자(5m)
- 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필) 및 점검야장

아. 배수시설

<table>
<tr><th colspan="2">점 검 부 위</th><th>점 검 항 목</th></tr>
<tr><td colspan="2">▷ 배수시설</td><td>• 파손(연결 고정부 탈락)
• 배수관 길이 부족(거더에 물 떨어짐)
• 유출구 위치 부적절
(도로상이나 구조물 위에 위치)</td></tr>
<tr><td>주요
부위</td><td colspan="2">
〈배수시설 전경〉

〈상부 배수관 전경〉</td></tr>
<tr><td>점검
요령</td><td colspan="2">• 점검방법
- 배수관
① 갓길 측에서 점검하며 접근이 어려운 부분은 접근장비를 이용
② 교량이 도로 위를 통과할 경우 배수관에서 유출된 물이 통행인이나 통행차량 위로 떨어지지 않는지 점검
③ 배수관의 물이 구조물의 부식을 유발할 수 있는 위치로 배수되는지 점검
④ 경사가 완만한 배수관은 점검용 망치로 두들겨 내부에 쓰레기로 막혀있는지 점검
⑤ 배수관 지지장치 및 연결부 상태는 흔들어 보거나 망치로 두들겨서 점검
• 손상발생시 조치
- 배수구에 휴지나 나뭇잎 등으로 막혀있는 경우는 드라이버를 사용하여 제거
• 점검시 유의사항
- 2인 1조로 하여 차량진행 방향과 반대방향으로 걸어가면서 점검하며 차량운행에 주의
- 접근장비 사용시 차량운행 및 안전에 유의</td></tr>
<tr><td>점검
도구</td><td colspan="2">• 사진기
• 줄자
• 점검용 망치
• 드라이버(driver) - 유간오물 확인
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장</td></tr>
</table>

자. 난간(방호벽)

점 검 부 위		점 검 항 목
▷ 난간, 방음벽	- 강재, 알루미늄	• 변형 • 파손
▷ 보도		• 신축이음 접촉부 부스러짐(파손) • 표면 부스러짐(동결융해)
▷ 연석	- 철근콘크리트	• 박리, 박락, 부스러짐, 파손

주요 부위

〈방호벽 전경〉

〈안전난간 전경〉

점검 요령

• 점검방법
- 교량 한쪽에서 눈을 난간높이 정도로 낮추어 난간의 전체 선형에 급격한 변화 부분이 있는지 점검
- 안전난간 및 방음벽의 경우 안전난간 및 방음벽의 기둥과 바닥판 접촉면의 부식 혹은 볼트 손상에 의해 전도 우려가 있는지 힘을 주어 밀거나 당겨서 흔들림 정도를 확인
- 연속 받침부 연석 및 자갈막이는 콘크리트의 경우 부모멘트에 의한 균열(일반적으로 폭 0.3㎜이상)을 점검

• 손상발생시 조치
- 난간의 전체 선형에 급격한 변화부분이 있는 경우 받침이나 하부구조의 침하가 있을 수 있으므로 해당부재 점검시 참고할 수 있도록 기록 유지
- 외부의 강한 하중에 의한 손상일 경우 바닥판에도 영향을 줄 수 있으므로 바닥판 점검시 고려

• 점검시 유의사항
- 난간의 큰 변형이나 파손된 부분으로 통행인 추락 위험이 있을 시 즉시 연락하여 추락 방지시설 등의 응급조치 필요

점검 도구

• 사진기
• 솔(브러쉬)
• 강재 부식부위 등 상세확인
• 줄자
• 필기도구(소형 보드판, 매직, 분필)
• 점검야장

7.4.4 중점 유지관리사항 및 유지관리 시 점검방향

만화교(부산) 중점유지관리사항

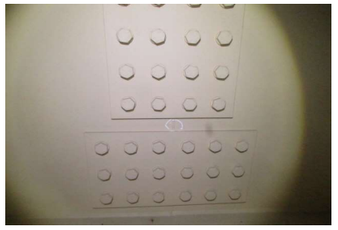
▣ 중점유지관리 사항

▣ 점검방향 : ① 바닥판 S2 철근노출 ⇨ ② 거더 내부 실링미처리 ⇨ ③ 거더 외부 도장박리 ⇨ ④ 교대 손상(백태) 및 변위 ⇨ ⑤ 교량받침 앵커볼트 부식 ⇨ ⑥ 배수시설 S5 배수관 고정대 탈락

◎ 교량의 현황
- 구조물명 : 만화교(부산)
- 노 선 명 : 부산울산선(10.2km)
- 제 원 : L=310m / B=16.2m
- 상부형식 : STB
- 하부형식 : 교대 - 역T형
  교각 - Ⅱ형

바닥판 S2 철근노출

거더 내부 S1-G1 실링미처리



거더 내부 S2-G1 실링미처리

거더 외부 S3-G3 도장박리

① 바닥판 S2 철근노출
- 철근노출으로 인한 2차손상 발생여부 지속관찰
- 보수 후 재손상 발생여부 확인

② 거더 내부 실링미처리
- 실링 미처리로 인한 2차 손상 발생여부 지속관찰
- 보수 후 지속적 관리

③ 거더 외부 도장박리
- 도장박리 추가손상 발생여부

④ 교대 손상(백태) 및 변위
- 백태 추가손상 발생여부 확인
- 보수 후 백태 발생 여부 및 지속적 관리
- 교대 A1, A2 보강부 측방유동 등 변위 발생 여부

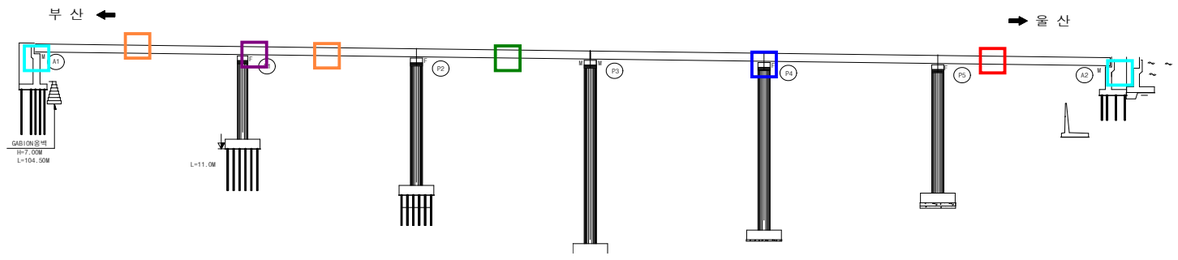
⑤ 교량받침 앵커볼트 부식
- 부식 추가손상 발생여부
- 보수 후 부식 재발생 여부 확인

⑥ 배수시설 S5 배수관 고정대 탈락
- 배수시설 제기능 여부 확인
- 2차손상 발생여부 및 보수 후 지속관찰

① 바닥판 S2 철근노출
→ 손상 진전, 2차 손상 발생 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부

② 거더 내부 실링미처리
→ 2차손상 발생 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부

③ 거더 외부 S3-G3 도장박리
→ 손상 진전 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부



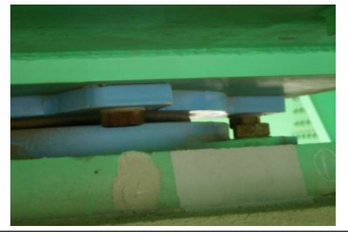
④ 교대 A1, A2 백태 및 변위
→ 손상 진전 여부
→ 변위 발생 여부

⑤ 교량받침 P4 앵커볼트 부식
→ 손상 진전 발생 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부

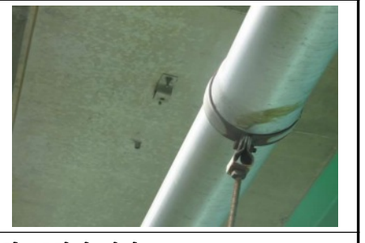
⑥ 배수시설 S5 배수관 고정대 탈락
→ 2차 손상 발생 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부

교대 A2 백태

교대 A1 보강 전경



교량받침 P4 앵커볼트 부식



배수시설 S5 배수관 고정대 탈락

만화교(울산) 중점유지관리사항

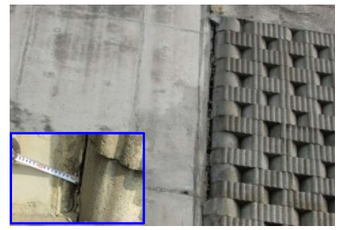
▣ 중점유지관리 사항

▣ 점검방향 : ① 바닥판 S6 철근노출 ⇨ ② 교대 A2 흉벽 균열(Cw=0.3㎜이상) ⇨ ③ 교대 A1 이격 및 변위 ⇨
④ 교각 P5 코핑 균열(Cw=0.3㎜이상) ⇨ ⑤ 교량받침 P3 받침콘크리트 박락 ⇨ ⑥ 배수시설 S4 배수관 고정대 탈락

◎ 교량의 현황
- 구조물명 : 만화교(울산)
- 노 선 명 : 부산울산선(10.2km)
- 제 원 : L=310m / B=16.2m
- 상부형식 : STB
- 하부형식 : 교대 - 역T형
  교각 - Ⅱ형

바닥판 S6 철근노출

교대 A2 흉벽 균열(Cw=0.3㎜이상)


교대 A1 이격

교대 A1 보강 및 측면 전경

① 바닥판 S6 철근노출
- 철근노출으로 인한 2차손상 발생여부 지속관찰
- 보수 후 재손상 발생여부 확인

② 교대 A2 흉벽 균열(Cw=0.3㎜이상)
- 신규 균열 발생여부
- 균열의 진전여부 확인
- 보수 후 재균열 발생 여부 및 지속적 관리

③ 교대 A1 이격 및 변위
- 이격 진전 여부 및 추가손상 여부 확인
- 교대 A1 보강부 측방유동 등 변위 발생 여부

④ 교각 P5 코핑 균열(Cw=0.3㎜이상)
- 신규 균열 발생여부
- 균열의 진전여부 확인
- 보수 후 재균열 발생 여부 및 지속적 관리

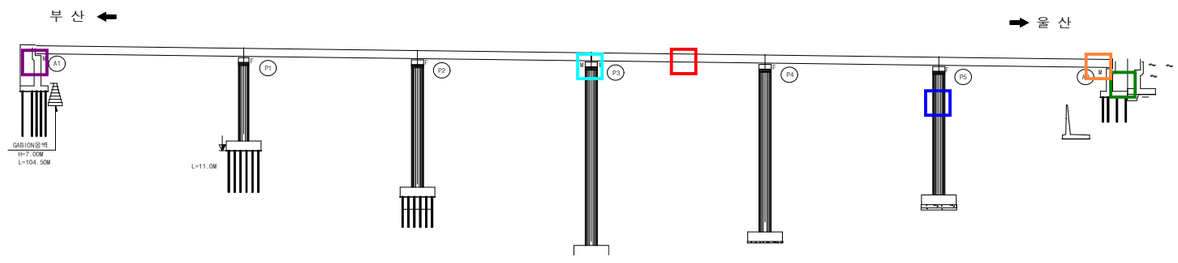
⑤ 교량받침 P3 받침콘크리트 박락
- 손상진전 및 추가손상 발생여부 확인
- 보수 후 박락 추가발생 여부 확인

⑥ 배수시설 S4 배수관 고정대 탈락
- 배수시설 제기능 여부 확인
- 2차손상 발생여부 및 보수 후 지속관찰

③ 교대 A1 이격 및 변위
→ 손상 진전 발생 여부
→ 변위 발생 여부

① 바닥판 S6 철근노출
→ 손상 진전 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부

② 교대 A2 흉벽 균열(Cw=0.3㎜이상)
→ 손상 진전 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부



⑤ 교량받침 P3 받침콘크리트 박락
→ 손상 진전 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부

④ 교각 P5 코핑 균열(Cw=0.3㎜이상)
→ 손상 진전 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부

⑥ 배수시설 S4 배수관 고정대 탈락
→ 2차 손상 발생 여부
→ 보수 후 재손상 발생 여부

교각 P5 코핑 균열(Cw=0.3㎜이상)

교량받침 P3 받침콘크리트 박락

배수시설 S4 배수관 고정대 탈락

제 8장 종합결론

8.1 현장조사, 시험 및 상태평가 결과

8.2 안전성평가 결과

8.3 종합결언

제 8장 종합결론

만화교(부산, 울산)는 부산광역시 기장군 기장읍에 위치한 부산울산선 상 (10.2㎞)의 고속도로 교량이며, 2008년 12월에 준공되었다. 시공사는 경남기업(주)이며, 설계하중은 DB-24(DL-24)로 확인되었다.

본 교량의 연장은 310.0m(6경간)이며, 폭은 16.2m(편도3차로)이다. 구조형식으로 상부구조는 Steel Box Girder(S1~S6경간)로 시공되었으며, 하부구조는 역T형 교대와 Π형 교각으로 시공되었다. 또한 기초형식은 직접기초(교각) 및 강관말뚝기초(교대, 교각)로 시공되어 있다.

본 과업은 만화교(부산, 울산)의 준공 이후 2회차 시행하는 정밀안전진단이며, 시공자료 분석을 포함하여 외관조사, 각종시험 및 구조안전성평가 등을 통한 종합결론을 요약하면 다음과 같다.

8.1 현장조사, 시험 및 상태평가 결과

○ 바닥판하면에 대한 외관조사 결과, 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열, 박락 등이 조사되었으며, 하중의 증가 및 내하력 저하에 따른 구조적 손상은 발생하지 않은 것으로 확인되었으며, 금회 상세조사를 통해 조사된 손상은 재료적 특성, 환경요인에 의해 발생된 비구조적 손상이 대부분인 것으로 확인되었다.

○ 거더에 대한 외관조사 결과, 응력의 집중이나 과하중으로 인한 수직, 수평 보강재(Rib)의 변형, 파손 등의 구조적인 손상은 발생하지 않은 것으로 확인되었다. 다만, 관리 및 경년열화, 시공적 요인 등에 의한 도장박리, 누수흔적, 실링미처리, 그을음이 일부구간에 걸쳐 국부적으로 조사되었다.

○ 2차부재(가로보) 에 대한 외관조사결과, 비틀림에 의한 좌굴이나 구조물에 안전성에 영향을 미칠만한 중요손상은 발생하지 않은 상태로 확인되었으나, 만화교(울산) S2경간에서 경미한 부식이 1개소 조사되었다.

○ 교대에 대한 외관조사결과, 균열, 망상균열, 보수부 재균열, 백태, 보수부 백태, 박리 파손, 철근노출, 이격 등이 조사되었으며, 신축이음부 우수 유입의 영향으로 대부분 흉벽에서 보수부 재손상이 조사된 것으로 확인되었다.

○ 만화교(부산) 교각에 대한 외관조사결과, 기둥부 및 코핑부에서 균열 폭 0.1~0.2㎜ 수준의 수직균열이 국부적으로 조사되었으며, 코핑부 보수부 박리(1개소), 코핑부 철근노출(11개소), 기둥부 및 코핑부 파손(12개소)이 조사되었다. 또한, 교각 P3 코핑부 상면 중앙부에서 우기의 영향에 의한 소량의 체수가 1개소 확인되었다.

○ 만화교(울산) 교각에 대한 외관조사결과, 기둥부 및 코핑부에서 수평 및 수직형상을 띈 균열폭 0.1~0.3㎜ 수준의 균열 및 망상균열(2개소)이 국부적으로 조사되었으며, 코핑부 박리(1개소), 코핑부 철근노출(1개소), 기둥부 및 코핑부 파손(4개소) 등이 확인되었다.

○ 교량받침은 온도변화에 따른 여유량 확인결과, 전개소에서 가동여유량이 양호한 것으로 조사되었으며, 그 외 방호벽 균열, 백태, 배수시설 고정대 탈락 등 일부 손상에 대해서 보수가 요구된다.

○ 콘크리트의 내구성조사결과 콘크리트의 강도, 철근배근상태, 탄산화 등의 시험항목에 대해서 설계기준을 만족하는 양호한 품질을 유지하고 있는 상태로 평가되었으며, 철근 깊이에서 염화물함유량 시험결과는 염화물에 의한 부식이 발생할 우려가 없는 상태인 “a” 이상으로 평가되었다.

○ 상태평가결과, 구조물의 영향을 미칠만한 손상이 조사되지 않은 상태로서 전반적으로 양호한 상태인 “B(부산=0.190, 울산=0.168)”로 산정되었다.

8.2 안전성평가 결과

○ 구조검토를 통한 안전성 검토결과, 상부구조(거더 및 바닥판) 및 하부구조(교대 및 교각)은 최소안전율이 1.0이상으로 나타나 안전성을 확보하고 있으며, 내하율도 1.0이상으로 설계하중 DB(DL)-24이상의 내하력을 보유하고 있는 상태로 평가되었다.

8.3. 종합결언

○ 만화교(부산)는 2008년에 준공되어 15년 이상의 공용기간이 경과한 교량시설물로서. 금회 진단결과, 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 중대결함 등은 발생되지 않은 것으로 조사되었다.

주요 손상으로 상부구조는 철근노출, 도장박리가 조사되었고, 철근노출, 도장박리 손상에 대해서는 표면보수(방청) 및 재도장이 필요한 것으로 판단된다.

하부구조는 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열, 단면손상(박리, 파손 등)이 조사되었고, 조사

된 손상에 대해서는 표면보수 및 단면보수 등이 필요한 것으로 판단된다.

교량받침의 온도변화에 따른 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었으며, 전반적으로 거동상태는 양호한 것으로 검토되었다.

포장균열, LMC패임은 주의관찰을 실시하며, 향후 마모, 균열, 소성변형 등의 손상 확대 및 진전 시 일괄 보수를 실시하고, 배수시설 고정대 탈락은 재설치가 요구된다.

공용중 유지보수를 실시하고 있으나, 국부적인 추가손상이 확인되고 있는 것으로 조사되었으며, 구조물의 내구성 확보를 위해서는 손상의 진전여부, 추가손상 발생여부 확인 등의 중점관리가 요구된다.

○ 만화교(울산)는 2008년에 준공되어 15년 이상의 공용기간이 경과한 교량시설물로서. 금회 진단결과, 구조물의 안전성에 영향을 미칠만한 중대결함 등은 발생되지 않은 것으로 조사되었다.

주요 손상으로 상부구조는 철근노출, 도장박리가 조사되었고, 철근노출, 도장박리 손상에 대해서는 표면보수(방청) 및 재도장이 필요한 것으로 판단된다.

하부구조는 균열(Cw=0.3㎜미만), 균열(Cw=0.3㎜이상), 철근노출 등이 조사되었고, 조사된 손상에 대해서는 표면보수, 주입보수, 표면보수(방청) 등이 필요한 것으로 판단된다.

교량받침의 온도변화에 따른 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 확인되었으며, 전반적으로 거동상태는 양호한 것으로 검토되었다.

포장균열, LMC파손은 주의관찰을 실시하며, 향후 마모, 균열, 소성변형 등의 손상 확대 및 진전 시 일괄 보수를 실시하고, 배수시설 고정대 탈락은 재설치가 요구된다.

공용중 유지보수를 실시하고 있으나, 국부적인 추가손상이 확인되고 있는 것으로 조사되었으며, 구조물의 내구성 확보를 위해서는 손상의 진전여부, 추가손상 발생여부 확인 등의 중점관리가 요구된다.

○ 본 교량의 상태평가 및 안전성평가 결과를 토대로 안전등급을 산정하면 『B등급(양호)』로 평가되었으며, 결함 및 손상 부위에 대하여 금회 진단 보고서에 제시된 보수를 시행하고 중점유지관리로 지정된 바닥판 철근노출(부산), 교대 균열(0.3㎜이상)(울산)에 대한 지속적인 유지관리가 수행된다면 1등교(DB-24)로서의 기능을 유지할 수 있을 것으로 판단된다.