제3장 외관조사

3.1 개요
3.2 외관조사 방법
3.3 외관조사 결과
3.4 기 진단 결과와 비교·분석

제3장 외관조사

3.1 개요

1) 장암교는 충청남도 공주시 석장리에 위치하며 1995년 12월 30일에 준공되어 현재까지 약 26년간 공용중에 있다.

2) 장암교의 상부구조 형식은 강박스거더(Steel Box Girder)로 되어있고, 교면포장은 아스팔트 콘크리트, 신축이음은 굴절조인트(A1, Refraction Joint) 및 핑거조인트(Finger Joint), 교량받침은 포트받침으로 구성되어 있으며, 교각은 Ⅱ형식(5기), 교대는 역T-형(2기)으로 시공되었다.

3) 본 과업은 교량의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단함을 목적으로 교량부재 전체에 대하여 가능한 근접 상태에서 외관조사를 실시함을 원칙으로 하였다. 사전 현장답사를 통해 주변여건을 파악하여 현장접근에 필요한 교량점검차, 굴절차 등의 접근방법, 장비동원과 일정계획을 수립하여 교량의 외관조사를 실시하였다.

4) 외관조사는 주요 구조부재와 부속 시설물로서 구분하여 조사하였고, 특히 교량의 안전성을 저해할 만한 구조적인 결함의 유무를 확인코자 하였다.

5) 본문에서는 교량의 구성부재별로 외관조사 결과를 중심으로 수록하였으며 외관조사시 기존의 정밀안전진단(2016년), 정밀안전점검 및 성능평가(2020년) 결과를 참고하여 각종 부재의 보수·보강상태, 기존손상의 진전여부, 신규결함 및 열화의 발생 여부에 중점을 두어 상세하게 조사하였다.

6) 외관조사 전경



점검로를 이용한 조사



거더내부 조사



사다리를 이용한 조사



고소작업차를 이용한 조사



고소작업차를 이용한 조사

【그림 3-1】 외관조사 전경

【표 3-1】 외관조사 기간

구 분	일 시	조사내용
예비조사	2021. 06. 03 ~ 06. 04	자료수집, 구조물 현황조사, 현장답사
1차조사	2021. 06. 14 ~ 06. 16	외관조사
2차조사	2021. 07. 05 ~ 07. 07	2차 외관조사 및 비파괴시험
3차조사	2021. 09. 08 ~ 09. 10	재하시험

3.2 외관조사 방법

3.2.1 조사항목

가. 주요 조사항목

【표 3-2】 주요 조사항목

구 분	조사부재	주요 조사항목	비 고
상부구조	• Steel Box(내외부) • 바닥판(데크플레이트 및 캔틸레버) • 가로보 및 세로보 • 신축 및 배수구(관) • 포장 및 연석 • 방호벽 및 난간	• 부재별 제원 확인 • 균열, 누수, 백태, 도장박리 • 부식, 탈락, 파손, 변형 • 볼트 탈락, 파손 • 보수보강부위	손상종류별 상태 및 등급표기
하부구조 (콘크리트)	• 교대, 교각	• 균열, 누수, 백태 • 열화, 탈락, 파손, 변형	
받침		• 받침 설치상태, 작동유무, 가동량 •· 받침 및 받침몰탈 외관상태	

나. 부위별 외관조사 방법

1) 강 바닥판

【표 3-3】 바닥판 외관조사 방법

바 닥 판
• 차량하중을 직접 지지하며, 하중을 바닥틀(가로보 및 세로보) 및 박스거더에 전달하는 구조

점 검 부 위	점 검 항 목
공 통	• 도장손상 및 부식 • 볼트 탈락 • 이상음 발생
받 침 부	• 복부판 부식 및 국부좌굴 • 거더와 받침연결부 부식 • 지점보강재 하단 용접부 균열
중 앙 부	• 부식 • 플랜지 변형 및 처짐 • 맞대기 용접부, 덮개판 덧댐부 끝부분 균열
2차부재	• 가로보, 세로보 변형 • 용접부 균열

주) 강박스 구간(데크플레이트)은 강재거더와 동일한 방법으로 조사함

2) 교량받침

【표 3-4】 교량받침 외관조사 방법

교 량 받 침
• 교량 상부구조에 작용하는 하중을 하부구조에 전달하기 위해 교량의 상·하부구조의 접점에 설치하는 구조부재

점 검 부 위		점 검 항 목
본 체	공 통	• 가동받침의 신축유간 부족 • 받침 물고임 및 부식 • 받침과 주형의 밀착상태 • 수직보강재와 받침 편기상태 • 가동받침 전·후방의 가동장애 요소
	강재받침	• 가동면 부식 • 부속물 파손(이동제한장치)
받침콘크리트		• 앵커볼트 절단, 파손 • 교각 두부 균열 • 콘크리트 파손, 하부공동 및 침하

3) 강박스거더

【표 3-5】 강박스거더 외관조사 방법

강박스거더
• 강재거더는 압연 또는 강재 후판으로 제작된 주형을 의미하며, 제작방법 및 단면형상에 따라 압연 I형, 용접 또는 리벳 플레이트거더, 강박스거더로 구분한다. 강교의 점검은 주부재 또는 보조부재에 발생한 균열 및 변형, 연결부위의 결함, 강재표면의 상태 등을 조사하고 부재에 발생한 결함 및 손상을 조기에 발견하여야 한다.

점 검 부 위	점 검 항 목
공 통	• 도장손상 • 볼트 탈락 • 이상음 발생
받 침 부	• 복부판 부식 및 국부좌굴 • 거더와 받침연결부 부식 • 지점보강재 하단 용접부 균열 • 박스내부의 출입구 방치 • 박스내부 바닥 물고임 및 부식
중 앙 부	• 플랜지 부식 •플랜지 변형 및 처짐 • 맞대기 용접부, 덮개판 덧댐부 끝부분 균열

4) 교대 및 교각

【표 3-6】 교각 외관조사 방법

교대 및 교각
• 상부구조를 지지하는 구조로 교폭, 지간장, 상부구조 형식에 따라 등 다양한 형태로 나누어지며 교량 전체구조의 안전성을 위해 아주 중요한 역할을 수행하는 구조물이다.

점 검 부 위	점 검 항 목
공 통	• 균열, 박락, 층분리, 철근노출, 재료분리, 백태
두 부(Coping)	• 두부 물고임 • 받침부 하부 균열 및 파손 • 거더와 흉벽 신축유간 부족
구 체	• 시공이음부 균열 •이동 또는 기울음 • 수면접촉부 침식

5) 신축이음

【표 3-7】 신축이음 외관조사 방법

신축이음
• 신축이음은 바닥판의 연결부에 설치되어 교량의 온도변화로 인한 신축, 콘크리트의 재령에 따른 크리프와 건조수축, 활하중에 의한 처짐 등 상부구조의 이동과 회전을 원활하게 수용하고 단부의 변위에 대해 주행성에 지장이 없도록 하는 장치이다.

점 검 부 위	점 검 항 목
공 통	• 충격음, 본체유동 및 파손 • 누수 • 유간부족 및 유간과다 • 유간 오물퇴적
강 재	• 강재 연결부 이완 및 파손
후 타 재	• 단차(본체, 교면포장, 접속슬래브) • 균열 및 파손

6) 교면포장

【표 3-8】 교면포장 외관조사 방법

교 면 포 장
• 교면포장은 바닥판 상면에 위치하여 차량으로부터 진동을 흡수 · 분산시키고 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 장치이다.

점 검 부 위	점 검 항 목
아스팔트	• 균열, 함몰, 단차 및 요철, 블리딩, 마모
신축이음 전후, 구조물 경계부	• 단차, 파손
곡선부, 중차량 통행자로	• 마모, 바퀴자국
배수구 주변	• 물고임

7) 난간 및 연석, 점검로

【표 3-9】 난간 및 연석, 점검로 외관조사방법

배 수 시 설		
• 상부의 물고임에 따른 차량 사고방지 및 물유입에 따른 부식방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설물		
점 검 부 위	**점 검 항 목**	
강재, 알루미늄	• 도장손상 및 부식	• 연결부 결함, 파손
철근 콘크리트	• 균열, 박리 파손	• 철근노출, 부식
점검로	• 고정철물 부착상태	

8) 배수시설

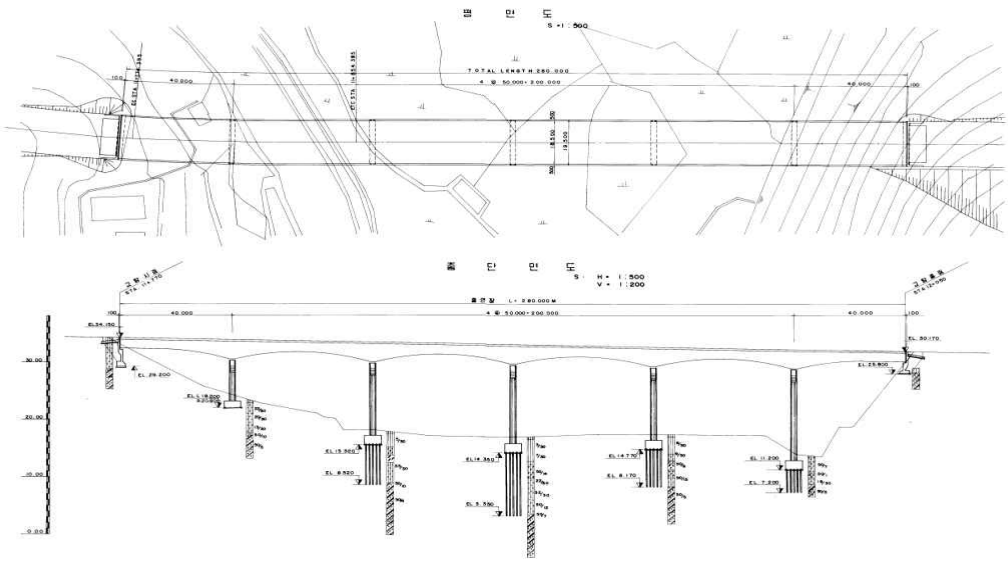
【표 3-10】 배수시설 외관조사 방법

배 수 시 설		
• 상부의 물고임에 따른 차량 사고방지 및 물유입에 따른 부식방지를 위해 일정한 곳으로 물을 배출하기 위한 시설물		
점 검 부 위	**점 검 항 목**	
배 수 관	• 관의 연결부 어긋남, 파손 • 배수관 길이부족 (짧음)	• 이물질에 의한 막힘 • 유출구 위치 부적절

3.3 외관조사 결과

3.3.1 형하공간 이용현황 조사

【표 3-11】 장암교 본교 형하공간 이용현황

<table>
<tr><th>구 분</th><th>세 부 내 용</th></tr>
<tr><td>위치도</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>형하공간
이용현황</td><td> 
<table>
<tr><td>구분</td><td>S1,S4</td><td>S2, S3, S5, S6</td></tr>
<tr><td>이용현황</td><td>국도32호→석장리박물관,석장리 연결도로</td><td>–</td></tr>
</table>

S1, S4

S2, S3, S5, S6</td></tr>
<tr><td>검토결과</td><td>1) 본교의 교량하부는 석장리 박물관 및 석장리동과 이어진 도로가 위치함
2) S1,S5,S6는 고소점검차, 나머지는 고소점검차+교량점검차를 이용한 조사
3) 위험물 적재는 없으나 교량관리(조사)에 방해가 되는 적치물이 조사되었음.</td></tr>
</table>

3.3.2 바닥판하면

바닥판은 상부로부터 전달되는 교통하중(활하중)을 직접 지지하며, 상부하중을 거더에 전달하는 부재이다. 바닥판은 거더와 거더 사이의 내측바닥판과 캔틸레버 구조인 외측바닥판으로 구분된다. 바닥판하면에 대한 외관조사는 하부 여건에 따라 고소점검차+교량점검차, 교량점검로를 이용하여 최대한 근접하여 실시하였다. 장암교의 상부구조형식은 스틸박스거더로 구성되며, 내측바닥판은 데크플레이트가 적용되어 있다. 외측바닥판의 경우 대전방향은 콘크리트 부재가 노출되어 있고, 공주방향은 보호덮개(강판)가 덮여있다.

금회 외관조사시 강교에서 나타나는 일반적인 결함인 용접상태, 볼트 체결상태, 부식, 도장박리, 박락 등의 손상에 대해서 집중 점검을 실시하였다.

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>바닥판하면 전경</td><td>바닥판하면 외관조사</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>대전방향 캔틸레버부</td><td>공주방향 캔틸레버부(보호덮개)</td></tr>
</table>

1) 손상발생 현황

【표 3-12】 바닥판하면 손상발생 현황

구분	균열 (0.3mm미만) (m)		망상균열 (㎡)		박락 (㎡)		Deck plate 부식 (㎡)		철근노출 (㎡)		보호덮개 파손 (m)		재료분리 (㎡)	
	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량
S1	1	1.00	–	–	1	0.01	–	–	–	–	–	–	–	–
S2	2	21.00	1	1	–	–	5	0.06	1	0.02	–	–	1	0.06
S3	–	–	–	–	–	–	8	0.08	–	–	–	–	–	–
S4	1	0.30	–	–	–	–	7	0.07	–	–	1	0.5	–	–
S5	–	–	1	5.00	–	–	2	0.14	–	–	–	–	–	–
S6	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1	–	–
합 계	**4**	**22.30**	**2**	**6.00**	**1**	**0.01**	**22**	**0.35**	**1**	**0.02**	**2**	**1.50**	**1**	**0.06**

2) 손상사진



현 황	◦S2 바닥판하면 균열(0.5m×2EA)
원 인	◦건조수축
대 책	◦표면처리보수



현 황	◦S2 바닥판하면 망상균열(1.00㎡)
원 인	◦건조수축
대 책	◦표면처리보수



현 황	◦S1 박락(0.01㎡)
원 인	◦환경요인
대 책	◦단면보수



현 황	◦S2 철근노출(0.02㎡)
원 인	◦우수침투, 제설제 침투 등
대 책	◦방청 및 단면보수

			
현 황	◦S5 바닥판하면 부식(0.12㎡)	**현 황**	◦S4 바닥판하면 부식(0.01㎡)
원 인	◦환경요인	**원 인**	◦우수침투, 제설제 침투 등
대 책	◦녹제거 및 재도장	**대 책**	◦녹제거 및 재도장

3) 주요손상 발생원인 분석 및 대책방안

① 균열, 망상균열

균열 및 망상균열은 켄틸레버 하부에서 균열폭 0.2mm로 조사되었으며 균열의 형태, 손상규모를 고려할 때 비구조적인 균열로 건조수축 및 온도변화에 의한 균열로 판단된다. 구조물의 내구성에 미치는 영향은 적으나 구조물의 내구성 향상을 위해 표면처리보수가 필요할 것으로 판단된다.

② 보호재 부식 및 파손

보호재에 조사된 부식 및 파손은 장기공용에 따른 열화와 우수침투 등에 따른 결함으로 조사결과 비교적 경미한 상태이나 미관 및 내구성 향상을 위해 재도장을 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

③ 단면손상

캔틸레버부 외측 바닥판에서 박락, 재료분리, 철근노출이 조사되었으며, 이는 타설불량, 피복두께 부족 등이 원인이다. 손상 정도가 경미하고 수량도 각각 1개소 씩으로 내구성에 영향을 미칠 정도는 아니므로 주의관찰 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

④ Deck Plate 부식

Deck Plate에 발생한 부식은 대부분 거더 또는 보와 인접한 부분에서 조사되고 있으며, 점부식 형태로서 손상 원인은 도장 미흡과 환경적 영향으로 판단된다. 손상의 정도는 경미하나 교량 전반에 걸쳐 나타나고 있음으로 재도장을 실시한다면 교량의 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

3.3.3 거더

거더는 바닥판으로부터 전달되는 하중을 지지하고 교량받침을 통하여 하부구조로 하중을 전달해 주는 주부재로 장암교는 S1~S6 총 6경간으로 강박스 구조형식으로 시공되어 있으며, 부재로는 거더, 가로보 및 세로보로 시공되어 있다.

금회 외관조사 결과는 거더외부, 거더내부, 가로보 및 세로보 순으로 기술하였으며, 손상발생현황, 손상별 원인분석, 손상원인분석 및 대책방안을 정리하였다.

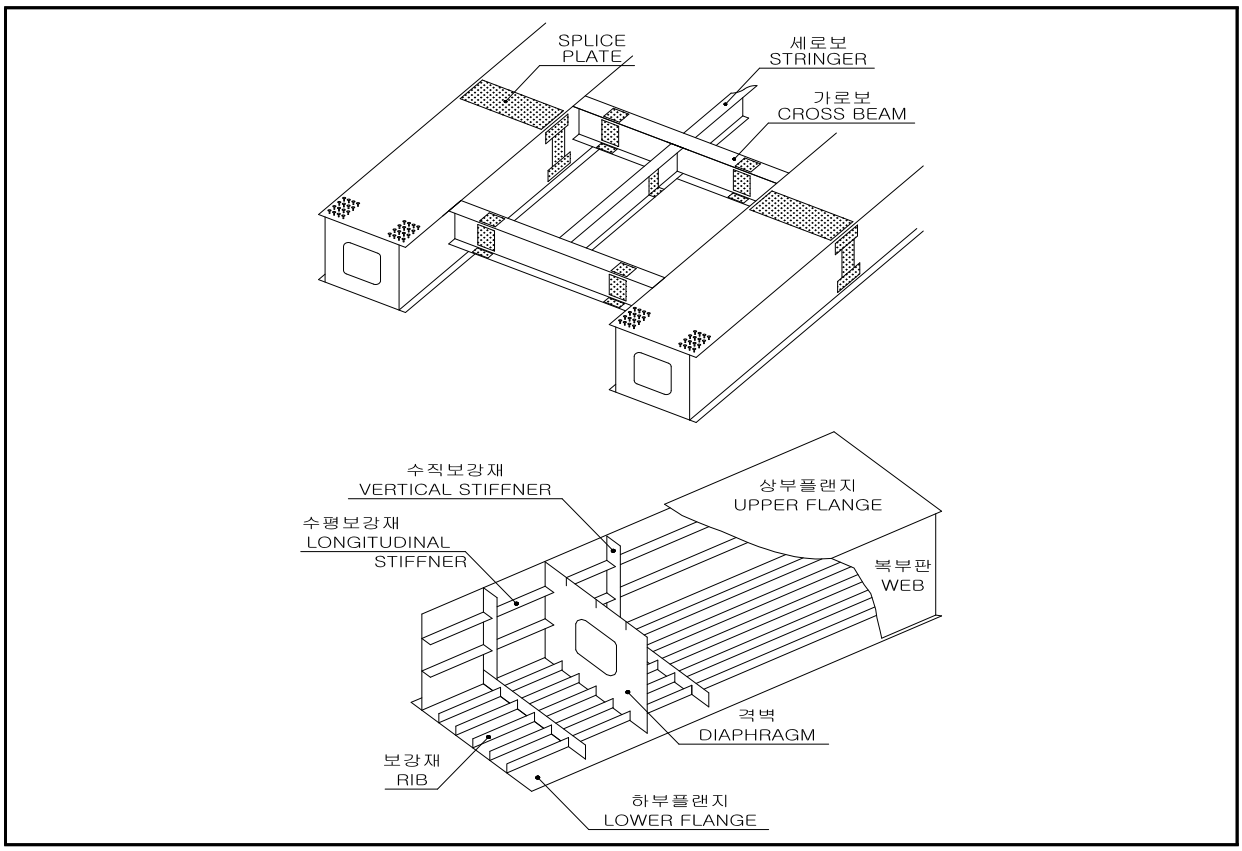


강박스거더 전경



강박스거더 내부 전경

【그림 3-2】 강박스거더 구간 전경



【그림 3-3】 강박스거더 주요 점검사항

가. 거더외부

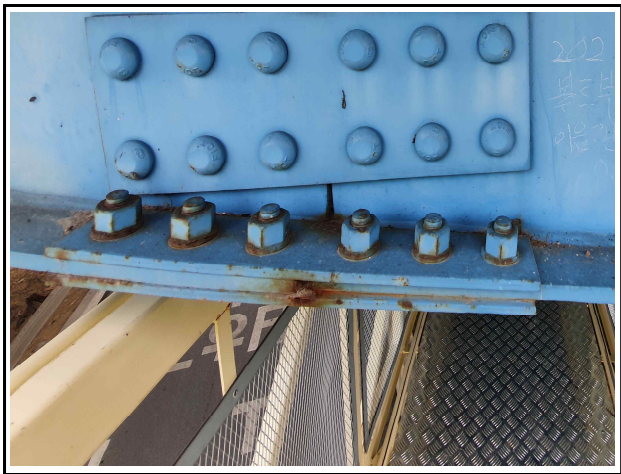
1) 손상발생 현황

【표 3-13】 강박스거더(외부) 손상발생 현황

구분	부식(㎡)		볼트부식(EA)		도장박리(㎡)		강재변형(m)		탈색(㎡)	
	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량
S1	1	0.30	–	–	–	–	–	–	–	–
S2	3	1.64	29	29	1	0.04	–	–	1	50
S3	2	0.15	25	25	–	–	–	–	–	–
S4	2	0.04	1	1	–	–	–	–	–	–
S5	1	0.01	16	16	–	–	2	0.3	–	–
S6	3	0.30	6	6	1	0.04	–	–	–	–
합 계	**12**	**2.44**	**77**	**77**	**2**	**0.08**	**2**	**0.3**	**1**	**50**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S5 G1 강제변형(0.2m) 및 부식</td><td>현 황</td><td>◦S2 G2(하부) 부식(0.1m×0.1m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공불량, 충격 등</td><td>원 인</td><td>◦도장불량, 공용기간 증가 등</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦녹제거+재도장</td><td>대 책</td><td>◦녹제거+재도장</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S2 G1(좌측) 탈색(1.0m×50.0m)</td><td>현 황</td><td>◦S3 G1 볼트(머리)부식(7EA)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦주변환경, 공용기간 증가 등</td><td>원 인</td><td>◦신축이음하면 우수유입, 공용기간 증가 등</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦재도장</td><td>대 책</td><td>◦녹제거+재도장</td></tr>
</table>

			
현 황	◦S3 G1 볼트부식(6EA)	**현 황**	◦S2 G3 볼트부식(6EA)
원 인	◦도장불량, 우수유입, 공용기간 증가 등	**원 인**	◦도장불량, 우수유입, 공용기간 증가 등
대 책	◦녹제거+재도장	**대 책**	◦녹제거+재도장

3) 주요손상 발생원인 분석 및 대책방안

① 부식 및 도장상태

강박스거더 외부의 전반적인 도장상태는 양호한 것으로 조사되었으나 부식, 탈색 등이 조사되었다. 이는 공용 중 노후화 및 환경적 영향 등이 원인으로 판단되며 구조물의 안전성에 직접적인 영향은 크지 않을 것으로 판단된다. 주의관찰을 통해 손상의 진전여부를 판단하여 보수하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

② 볼트 및 연결부 상태

강박스거더의 부재 연결은 볼트로 체결된 상태로 공용년수가 증가함에 따라 통행차량에 의한 진동 및 충격하중이 작용하여 연결부가 헐거워지고, 우수 등의 유입으로 볼트부식이 발생하게 된다. 외관조사 결과 연결부 볼트체결 및 연결상태는 양호하였으나 다수의 볼트 부식이 조사되었다. 그러나 대부분 볼트 전체부식이 아닌 이음매 부분에 발생한 부식으로 주기적인 점검을 통해 풀림여부 등을 확인하는 것이 교량이 유지관리 및 안전성 확보 차원에서 바람직할 것으로 판단된다.

③ 부재변형

강박스거더에 국부적인 부재변형이 조사되었고, 이로인해 부식 및 도장박리가 발생였으나, 전반적인 부재의 외관상태는 양호한 것으로 조사되었다. 발생한 부재변형은 시공당시 충격, 공용중 충격 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 교량의 사용성 및 안전성에는 문제가 없을 것으로 판단되므로 주기적인 점검 및 관찰이 바람직 할 것으로 판단된다.

④ 거더와 배수관 연결부(용접부)

			
현 황	◦거더 및 배수관 연결 전경	**현 황**	◦용접부

강박스거더(G1)에 연결된 배수관은 위 사진과 같이 강박스 복부판에 직접적으로 연결되어 있으며, 이 연결부에 대부분 녹이 발생한 상태이다. 부속 시설물의 추가설치로 인해 주요 부재인 박스거더의 복부판에 추가적인 하중이 발생되어 복부판에 손상을 유발시킬 수 있으므로 연결부위에 대해서는 지속적인 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다.

나. 거더내부

1) 손상발생 현황

【표 3-14】 강박스거더(내부) 손상발생 현황

구분		부식 (㎡)		도장박리/박락/들뜸 (㎡)		실링재탈락 (EA)		용접불량 (EA)		강재변형 (m)	
		개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량
S1	G1	1	0.36	9	0.39	3	3.00	–	–	–	–
	G2	1	0.05	1	0.01	–	–	–	–	–	–
	G3	–	–	1	0.04	3	3.00	–	–	–	–
S2	G1	7	1.63	–	–	4	4.00	–	–	1	2.50
	G2	–	–	18	0.19	–	–	1	1.00	2	2.00
	G3	2	0.64	3	0.16	4	4.00	–	–	4	3.50
S3	G1	5	0.57	1	1	4	4.00	–	–	3	2.60
	G2	1	0.15	6	0.47	–	–	–	–	3	0.70
	G3	2	0.64	–	–	4	4.00	–	–	3	1.50
S4	G1	4	0.35	4	0.15	4	4.00	22	22.00	1	1.50
	G2	–	–	1	0.01	–	–	–	–	1	1.30
	G3	2	0.63	7	0.30	4	4.00	1	1.00	2	1.50
S5	G1	5	0.67	4	1.30	4	4.00	–	–	–	–
	G2	1	0.75	–	–	–	–	–	–	1	1.50
	G3	2	0.40	4	0.18	4	4.00	–	–	3	2.80
S6	G1	–	–	6	4.73	4	4.00	–	–	1	0.10
	G2	2	1.02	–	–	–	–	–	–	–	–
	G3	4	4.50	4	0.17	4	4.00	–	–	–	–
합 계		39	12.36	69	9.1	46	46	24	24	25	21.5

【표 3-14】 강박스거더(내부) 손상발생 현황(계속)

구분		조명파손 (EA)		볼트부식 (EA)		볼트체결불량 (EA)		이물질퇴적 (㎡)		체수 (㎡)	
		개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량
S1	G1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	G2	–	–	–	–	–	–	1	1.25	–	–
	G3	2	2.00	–	–	–	–	1	6.00	–	–
S2	G1	1	1.00	–	–	–	–	–	–	–	–
	G2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	G3	3	3.00	–	–	–	–	–	–	–	–
S3	G1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	G2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	G3	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
S4	G1	–	–	–	–	1	1.00	–	–	–	–
	G2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	G3	3	3.00	–	–	–	–	–	–	–	–
S5	G1	2	2.00	3	3.00	–	–	–	–	–	–
	G2	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1.50
	G3	2	2.00	–	–	–	–	–	–	1	3.00
S6	G1	1	1.00	1	1.00	–	–	–	–	–	–
	G2	–	–	47	47.00	–	–	1	20.00	1	1.00
	G3	3	3.00	–	–	–	–	1	5.00	–	–
합 계		17	17	51	51	1	1	4	32.25	3	5.5

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S5 G1 부식(0.2m×0.2m)</td><td>현 황</td><td>◦S5 G1 도장박리&부식</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공불량</td><td>원 인</td><td>◦도장불량, 우수유입, 공용기간 증가 등</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦녹제거+재도장</td><td>대 책</td><td>◦녹제거+재도장</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S4 G1 용접누락(2EA)</td><td>현 황</td><td>◦S3 G2 도장박리(0.2m×0.4m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공불량</td><td>원 인</td><td>◦도장불량, 우수유입, 공용기간 증가 등</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦재용접</td><td>대 책</td><td>◦재도장</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S5 G1 볼트부식(2EA)</td><td>현 황</td><td>◦S6 G2 볼트부식(9EA)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦우수유입, 환경영향 등</td><td>원 인</td><td>◦우수유입, 환경영향 등</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦재도장</td><td>대 책</td><td>◦재도장</td></tr>
</table>



현 황	◦S5 G1 리브변형(1.5m)
원 인	◦시공불량
대 책	◦주의관찰



현 황	◦S6 G1 부식(0.2m×0.2m)
원 인	◦도장불량, 공용기간 증가 등
대 책	◦녹제거+재도장



현 황	◦S6 G2 볼트길이부족(1EA)
원 인	◦도장불량, 우수유입, 공용기간 증가 등
대 책	◦주의관찰



현 황	◦S6 G3 실링탈락(1EA)
원 인	◦공용중 노후화 등
대 책	◦실링재 주입



현 황	◦S5 G1 체수(1m×3m)
원 인	◦우수유입 등
대 책	◦청소 및 실런트 주입



현 황	◦S1 G3 조명파손(1EA)
원 인	◦외부충격
대 책	◦교체

3) 주요손상 발생원인 분석 및 대책방안

① 부식 및 도장상태

강박스거더 내부의 전반적인 도장상태는 일부 보수가 시행되어 전반적으로 양호한 것으로 조사되었으나 도장박리, 들뜸, 부식 등이 조사되었다. 이는 도장불량, 공용 중 노후화 및 실링재 탈락에 의한 환경적 영향 등이 원인으로 판단되며 구조물의 안전성에 직접적인 영향은 크지 않을 것으로 판단된다. 주의관찰을 통해 손상의 진전여부를 판단하여 보수하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

② 볼트 및 연결부 상태

강박스거더의 부재 연결은 볼트로 체결된 상태로 공용년수가 증가함에 따라 통행차량에 의한 진동 및 충격하중이 작용하여 연결부가 헐거워지고, 우수 등의 유입으로 볼트부식이 발생하게 된다. 외관조사 결과 연결부 볼트체결 및 연결상태는 양호하였으나 볼트부식이 조사되었고, 아래 사진과 같이 이음 및 너트 길이 부족이 조사되었다. 볼트부식은 전체부식이 아닌 이음매 부분에 발생한 부식이고 아래 사진에서 조사된 것은 시공불량으로 주기적인 점검을 통해 풀림여부 등을 확인하는 것이 교량이 유지관리 및 안전성 확보 차원에서 바람직할 것으로 판단된다.



현 황	◦S2 G1 이음부 시공불량



현 황	◦S6 G2 볼트길이부족(1EA)

③ 부재변형

거더내부 리브에 국부적인 부재변형이 조사되었고, 이로 인해 부식 및 도장박리가 발생한 부분도 있으나 이 부재변형은 비진행형 손상으로 판단되며 전반적인 부재의 외관상태는 양호한 것으로 조사되었다. 발생한 부재변형은 시공당시 충격, 공용중 충격, 재료불량 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 교량의 사용성 및 안전성에는 문제가 없을 것으로 판단되므로 주기적인 점검 및 관찰이 바람직 할 것으로 판단된다.

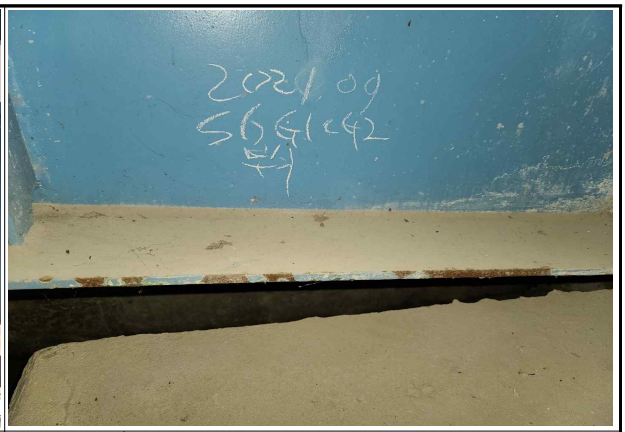
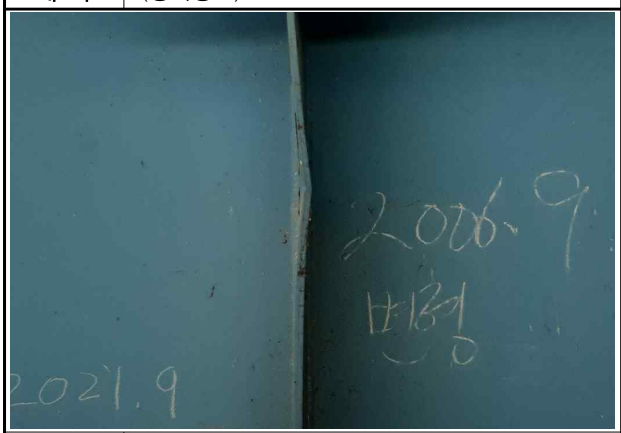
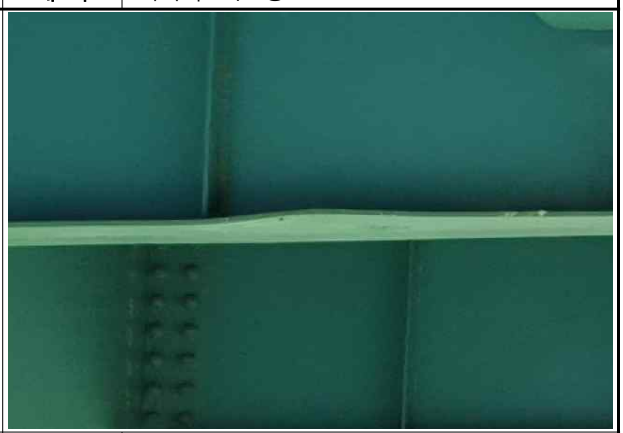
다. 가로보 및 세로보

1) 손상발생 현황

【표 3-15】 가로보 손상발생 현황

구분	가로보 변형 (m)		세로보 변형 (m)		가로보 부식 (㎡)		세로보 부식 (㎡)	
	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량
S1	–	–	–	–	–	–	–	–
S2	2	0.80	–	–	–	–	–	–
S3	1	0.30	1	0.50	–	–	–	–
S4	1	0.30	–	–	–	–	–	–
S5	–	–	–	–	–	–	–	–
S6	–	–	–	–	3	2.10	–	–
합 계	**4**	**1.4**	**1**	**0.50**	**3**	**2.1**	**0**	**0**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦가로보 및 세로보 전경</td><td>현 황</td><td>◦S6 가로보 부식(0.1m×1.0m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦(상태양호)</td><td>원 인</td><td>◦신축이음하면 우수유입, 공용기간 증가 등</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦(상태양호)</td><td>대 책</td><td>◦녹제거+재도장</td></tr>
<tr><td colspan="2">  </td><td colspan="2">  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S5 가로보 리브변형(0.2m)</td><td>현 황</td><td>◦S3 세로보 변형(0.5m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦외부충격, 시공 중 충격 등</td><td>원 인</td><td>◦외부충격, 시공 중 충격 등</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦주의관찰</td><td>대 책</td><td>◦주의관찰</td></tr>
</table>

3) 주요손상 발생원인 분석 및 대책방안

① 부재변형

전반적인 부재의 외관상태는 양호한 것으로 조사되었으나 가로보 4개소 및 세로보 1개소에서 부재변형이 조사되었다. 조사된 부재변형은 대부분 시공당시 외부충격 등 외력에 의해 발생된 것으로서 기 점검 및 진단 결과와 동일하게 나타났다. 손상정도는 경미한 상태이며, 교량의 사용성 및 안전성에는 문제가 없을 것으로 판단되므로 주기적인 점검 및 관찰을 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

② 부식

가로보 및 세로보의 전반적인 도장상태는 매우 양호한 것으로 조사되었으며 S6의 교대 하부 가로보 부식이 조사되었다. 이는 A2 신축하부 누수로 인한 것으로 판단되며 이 부식 손상 자체는 크게 문제가 되지 않으나 아래 그림과 같이 A2 하부가 파손된 상태로 지속된다면 진전될 가능성이 있으므로, 신축이음부 하면 접속부에 선보수 후 주의관찰을 통해 손상의 진전여부를 판단하여 보수하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

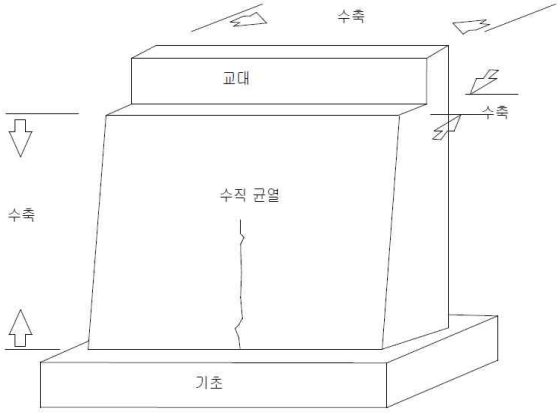


현 황	◦A2 신축이음 하부상태

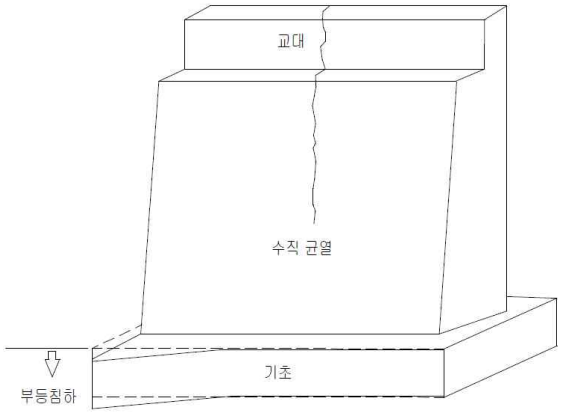
3.3.4 교대 및 교각

교대·교각은 교량 상부구조의 하중을 지반으로 전달하며, 교량 전체구조의 안전성을 위해 아주 중요한 역할을 수행하는 구조부재로서 외관조사시 교량점검차 및 고소작업차, 사다리 등을 이용하여 최대한 근접하여 외관조사를 실시하였다. 본 교량의 교대 형식은 역T형식 2기, 교각 형식은 Ⅱ형식 5기로 구성되어 있으며, 교대의 기초는 직접기초, 교각의 기초는 강관파일기초(P1~P4) 및 직접기초(P5)로 시공되어 있다.

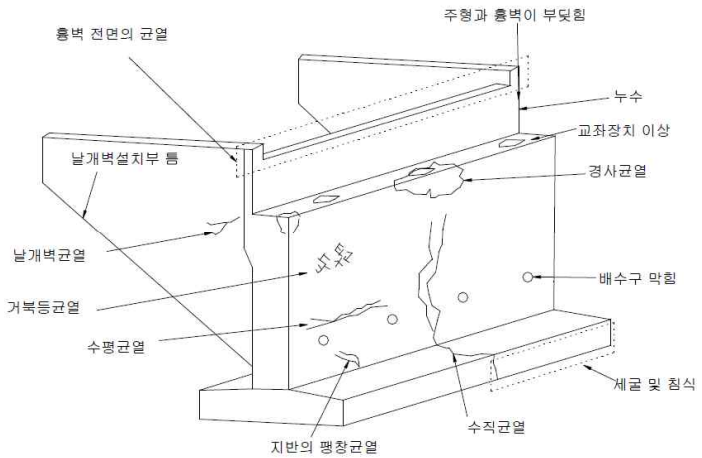
<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>교대(A1) 전경</td><td>교각 P1 전경</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>교각 P5 전경</td><td>교대(A2) 전경</td></tr>
</table>



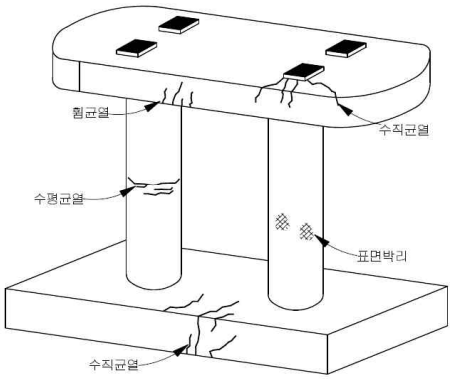
[온도 및 건조수축에 의한 수직균열]



[부등침하에 의한 수직균열]



[기타 손상]



[균열 및 기타손상]

【그림 3-4】 교대 및 교각 주요 점검사항

1) 손상발생 현황

【표 3-16】 교대 손상발생 현황

구분	균열(0.3mm미만) (m)		균열부백태 (m)		망상균열 (㎡)		박리, 박락 (㎡)	
	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량
A1	4	2.70	1	0.60	1	2.00	3	0.23
A2	2	3.00	4	4.0	–	–	–	–
합 계	**6**	**5.70**	**5**	**4.60**	**1**	**2.00**	**3**	**0.23**

【표 3-17】 교대 손상발생 현황(계속)

구분	백태 (㎡)		철근노출 (㎡)		누수흔적 (㎡)		보수부 들뜸 (㎡)		이물질 퇴적 (㎡)	
	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량
A1	1	0.12	–	–	5	11.25	1	0.18	3	6.95
A2	4	1.37	1	0.06	–	–	1	2.25	5	3.66
합 계	**5**	**1.49**	**1**	**0.06**	**5**	**11.25**	**2**	**2.43**	**8**	**10.61**

【표 3-18】 교각 손상발생 현황

구분	균열 (0.3mm미만) (m)		재료분리 (㎡)		보수부 들뜸 (㎡)		보강부 부식 (㎡)		콘크리트 박락/긁힘 (㎡)		스토퍼 고무패드 탈락 (EA)		표면오염 (㎡)	
	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량
P1	10	11.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1.00
P2	2	3.00	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1.00	1	1.20
P3	6	5.50	1	0.08	1	0.08	4	41.40	–	–	2	2.00	–	–
P4	3	4.10	–	–	–	–	–	–	1	0.02	–	–	–	–
P5	5	4.00	–	–	–	–	–	–	1	0.06	–	–	–	–
합 계	**26**	**27.60**	**1**	**0.08**	**1**	**0.08**	**12**	**41.40**	**2**	**0.08**	**3**	**3**	**12**	**2.20**

2) 손상별 원인분석

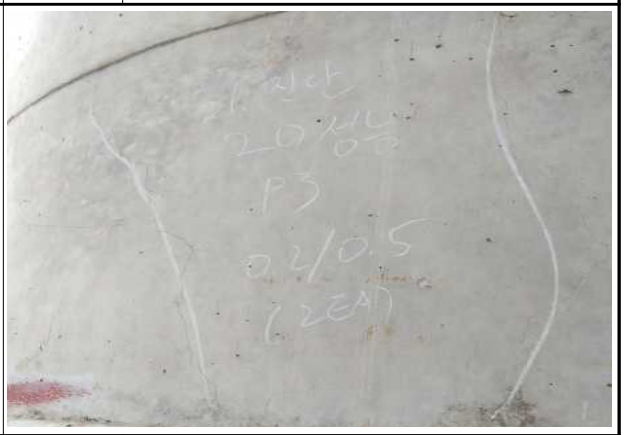
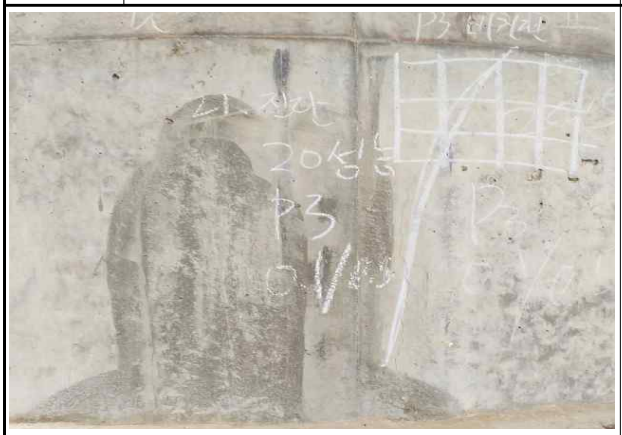


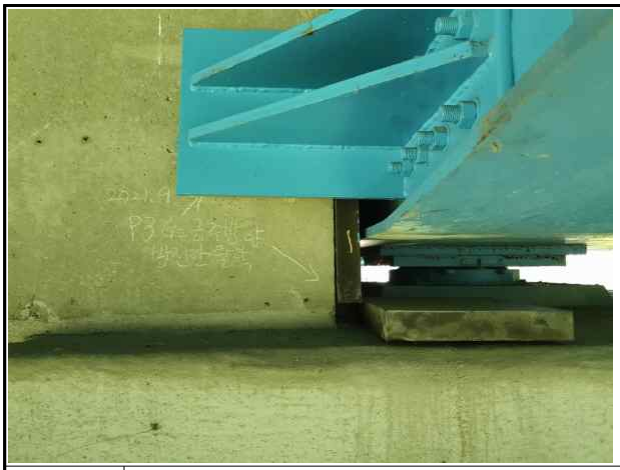
현 황	◦A2 균열부백태(0.2㎜ / 0.7m)
원 인	◦건조수축 및 수분침투
대 책	◦표면처리보수



현 황	◦A2 보수부 들뜸(1.5m×1.5m)
원 인	◦건조수축 및 수분침투
대 책	◦표면처리보수

3) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦A2 폐콘크리트 퇴적(0.1m×2.8m)</td><td>현 황</td><td>◦A1 폐콘크리트 퇴적(5.5m×0.6m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공 또는 보수 후 적치, 상부유입</td><td>원 인</td><td>◦시공 또는 보수 후 적치</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦콘크리트 깨기 및 청소</td><td>대 책</td><td>◦콘크리트 깨기 및 청소</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦P1(좌정면) 균열(0.1㎜ / 1.0m)</td><td>현 황</td><td>◦P3(좌측면) 균열(0.2m/ 1.0m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦온도변화 및 건조수축</td><td>원 인</td><td>◦온도변화 및 건조수축</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦표면처리보수</td><td>대 책</td><td>◦표면처리보수</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦P3 (좌정면) 박락(0.1m×0.6m)</td><td>현 황</td><td>◦P5 (좌정면) 박락(0.1m×0.6m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦온도변화 및 건조수축</td><td>원 인</td><td>◦외부충격</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦단면보수</td><td>대 책</td><td>◦단면보수</td></tr>
</table>

			
현 황	◦P3 G2(배면) 스토퍼 탈락(1EA)	**현 황**	◦P3 강판부식(41.40㎡/4EA)
원 인	◦교량진동 및 신축	**원 인**	◦주변환경 영향
대 책	◦재설치	**대 책**	◦주의관찰

4) 주요손상 발생원인 분석 및 대책방안

① 균열 및 망상균열

교대 및 교각에서 온도변화와 건조수축 등 환경적 요인, 보수불량에 의한 균열 및 망상균열, 보수부재균열이 일부 조사되었다. 폭 0.3mm 미만 균열은 표면처리보수, 폭 0.3mm 이상 균열은 주입보수가 필요할 것으로 판단된다.

② 균열부백태, 백태

균열부 우수유입 등에 의한 균열부 백태, 백태가 조사되어 내구성 향상을 위해 표면처리보수가 필요하다.

③ 박리, 박락, 파손, 재료분리, 들뜸, 철근노출 등 단면손상

기 점검 및 진단시 조사된 단면손상은 금회 미보수되어 대부분 재조사되었으며 교각 하부 재료분리가 신규 조사되었다. 조사된 손상은 열화부 우수침투(동절기 제설제 영향), 외부충격, 유수흐름, 다짐부족 등에 의해 발생된 것으로 구조물의 내구성 향상을 위해 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.

④ 교대상면 이물질퇴적

A1, A2 교대상면 받침장치 배면에 폐콘크리트 및 토사퇴적이 조사되어 받침장치 및 거더의 가동에 지장을 초래할 수 있으므로, 콘크리트 깨기 및 청소를 통한 보수가 필요할 것으로 판단된다.

⑤ 교대 및 교각 주변 개인 사물 적치

교량하부 S5~6 주변에 인근주민의 개인 사물이 다량으로 적치되어 있으며, 이는 교량 점검에 방해될 뿐 아니라 미관 저해 및 배수로 막힘이 유발될 수 있다. 또한 S2~S4경간 하부에는 인근주민의 밭과 같은 용도로 작물을 심어 운용되고 있어 점검시 또는 유지관리 시 손쉬운 접근이 어려워 지장을 초래하고 있으므로 이에 대한 대책도 필요한 것으로 판단된다.

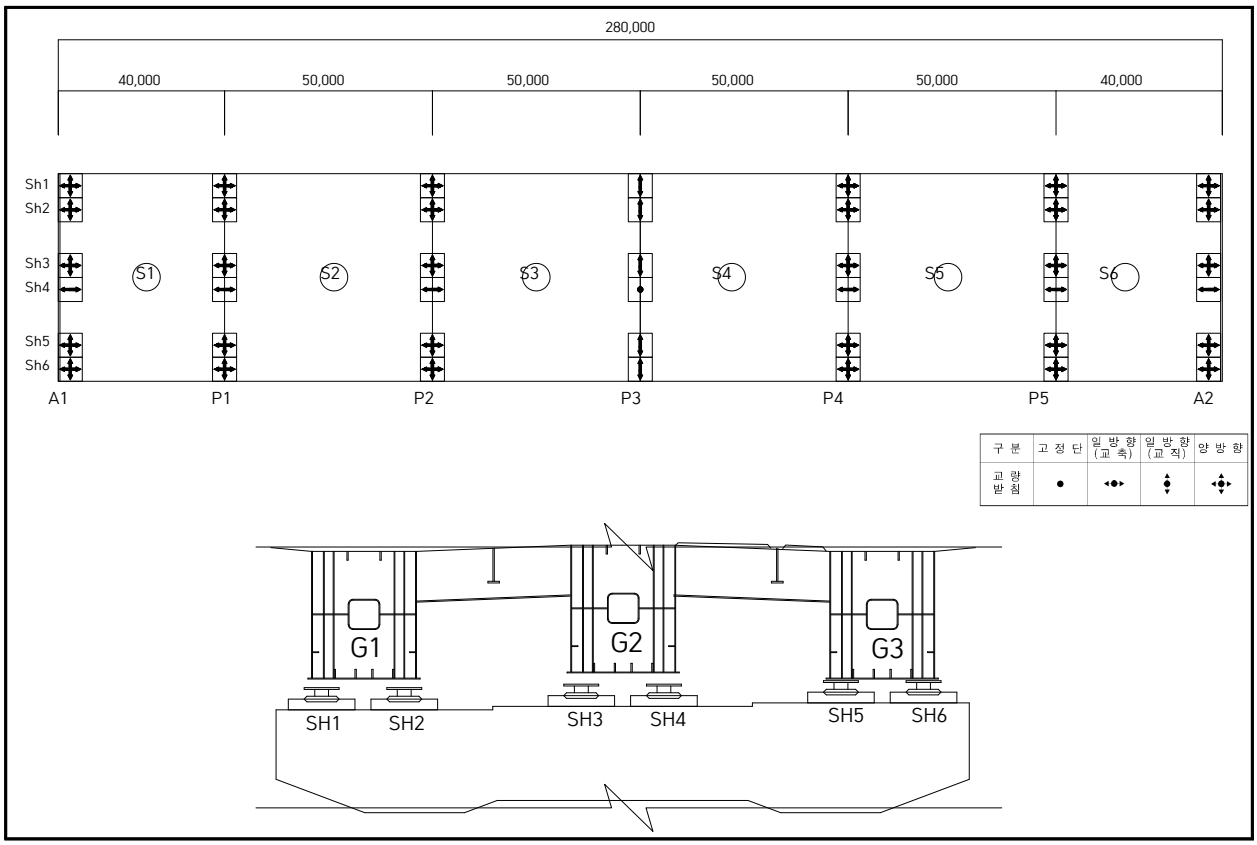
<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦P4(하) 하부상태</td><td>현 황 ◦P5(우) 하부상태</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황 ◦S2 하부상태</td><td>현 황 ◦P2 하부상태</td></tr>
</table>

3.3.5 받침장치

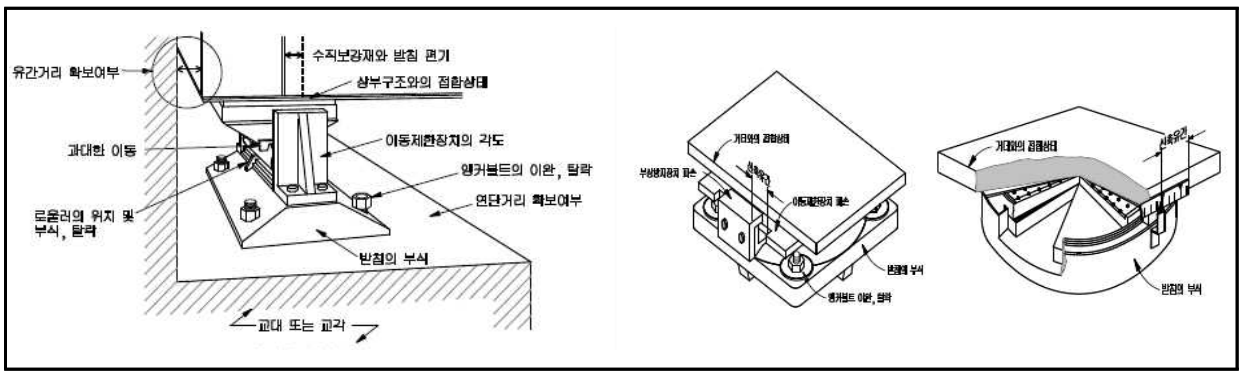
교량받침은 교량의 구조요소중 기계적인 성격이 강하며 상·하부구조의 연결부에 위치하여 상부구조에 작용하는 하중을 하부구조에 전달함과 동시에 완충의 역할을 할 뿐만 아니라 상부구조의 이동을 자유롭게 허용함으로써 교량 전체의 안전성에 크게 기여한다.

장암교의 교량받침은 포트받침으로 시공되어 있으며, 교대 2기 및 교각 5기 각각에 6개소씩 총 42개소가 설치되어 있다.

금회 교량받침에 대한 외관조사 시 받침 본체 외관상태 및 가동상태, 받침콘크리트 외관상태(볼트 및 너트 손상, 받침몰탈, 콘크리트 파손, 균열)에 대해 중점적으로 조사하였다.

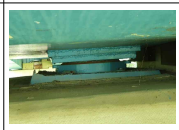


【그림 3-5】 교량받침 배치도



【그림 3-6】 받침장치 점검사항

가. 받침장치 전경사진

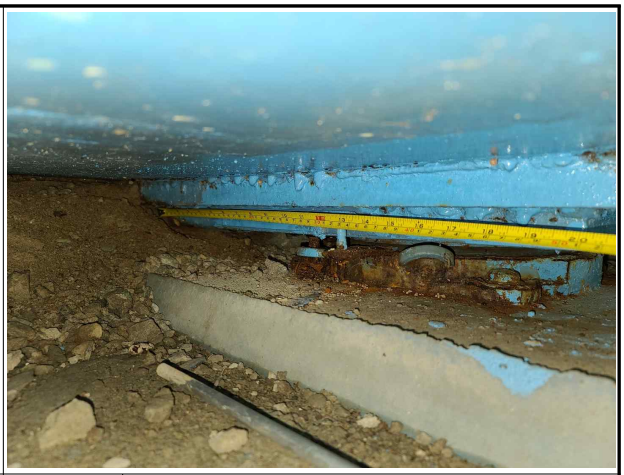
구분	SH1	SH2	SH3	SH4	SH5	SH6
A1						
P1						
P2						
P3						
P4						
P5						
A2						

1) 손상발생 현황

【표 3-18】 받침장치 손상발생 현황

구분	받침몰탈 균열 (0.3mm미만) (m)		받침몰탈 균열 (0.3mm이상) (m)		받침몰탈 망상균열 (㎡)		받침장치 부식 (EA)		받침몰탈 파손 (㎡)		먼지막이링 탈락 (EA)	
	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량
A1	–	–	–	–	–	–	6	6.00	1	0.02	–	–
P1	9	1.80	–	–	–	–	–	–	1	0.01	1	1.00
P2	1	0.20	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1.00
P3	1	0.10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
P4	3	0.50	–	–	1	0.05	3	3.00	–	–	2	2.00
P5	4	0.40	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
A2	–	–	1	0.1	–	–	6	6.00	–	–	–	–
합 계	**18**	**3.00**	**1**	**0.10**	**1**	**0.05**	**15**	**15.00**	**2**	**0.03**	**4**	**4**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦A1 SH4 받침장치 부식</td><td>현 황</td><td>◦A1 SH6 받침장치 및 볼트 부식+이물질퇴적</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦우수유입 및 환경영향</td><td>원 인</td><td>◦우수유입 및 환경영향</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦녹제거 및 재도장</td><td>대 책</td><td>◦녹제거 및 재도장</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦A2 SH5 받침장치 부식 및 도장박리</td><td>현 황</td><td>◦A2 SH4 받침콘크리트 균열(0.5㎜ / 0.1m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦우수유입 및 환경영향</td><td>원 인</td><td>◦온도변화 및 건조수축</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦녹제거 및 재도장</td><td>대 책</td><td>◦주입보수</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦P5 SH2 받침장치 부식(볼트)</td><td>현 황</td><td>◦P1 SH1 먼지막이링 탈락</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦공용 기간 증가 및 수분침투</td><td>원 인</td><td>◦재료 및 설치 불량, 공용기간증가</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦녹제거 및 재도장</td><td>대 책</td><td>◦재설치</td></tr>
</table>

3) 주요손상 발생원인 분석 및 대책방안

① 받침몰탈 균열 및 망상균열

받침몰탈에 온도변화 및 건조수축에 의한 균열 및 망상균열이 발생하였다. 폭 0.3㎜ 미만 균열 및 망상균열은 표면처리보수, 폭 0.3㎜이상 균열은 주입보수가 필요하다.

② 받침콘크리트 박리, 들뜸, 파손

시공시 다짐부족, 열화부 우수침투 등에 의해 받침몰탈 박리, 들뜸, 파손이 발생되어 단면보수가 필요하다.

③ 받침플레이트 부식

받침본체에 대한 외관조사 결과 공용기간 증가, 우수유입에 의한 받침부식이 조사되어 녹제거 및 재도장이 필요할 것으로 판단된다. 또한 먼지막이링이 탈락 혹은 이탈된 곳은 재설치가 필요하다.

4) 교량받침 이동량 측정

온도변화에 따른 받침 가동상태 및 가동여유량 확보 여부를 검토한 결과는 다음과 같다.

$$\Delta \ell = \alpha \cdot \Delta T \cdot \ell$$

여기서, α : 선팽창계수(강교 : 1.2×10^{-5})

ΔT : 온도변화(℃)

ℓ : 신축 거더길이(m)



받침장치 가동량 측정

【표 3-19】 받침장치 가동량 산정시 온도변화 및 선팽창계수

교량종류	온도변화		선팽창계수
	보통지방	한랭지방	
강 교(상로교)	−10℃ ~ +40℃	−20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}
강 교(하로교)	−10℃ ~ +50℃	−20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}

주) 측정 시 온도 : 23.0℃ (2021.07.05.)

【표 3-20】 설계이동량

위 치	온도변화량(℃) (ΔT)		선팽창계수 (α)	신축길이(m) (L)	온도에 의한 이동량(mm)		활하중에 의한 이동량(mm) (β)	최대 받침 이동량(mm) ($\alpha \times \Delta T \times L \pm \beta$)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기	하절기
A1	33.0	17.0	1.2×10^{-5}	140	55.4	28.6	10	65.4	38.6
P1	33.0	17.0	1.2×10^{-5}	100	39.6	20.4	10	49.6	30.4
P2	33.0	17.0	1.2×10^{-5}	50	19.8	10.2	10	29.8	20.2
P3	고 정 단(FIX)								
P4	33.0	17.0	1.2×10^{-5}	50	19.8	10.2	10	29.8	20.2
P5	33.0	17.0	1.2×10^{-5}	100	39.6	20.4	10	49.6	30.4
A2	33.0	17.0	1.2×10^{-5}	140	55.4	28.6	10	65.4	38.6

① 받침 가동량 측정결과

【표 3-21】 장암교 받침장치 가동량 측정결과

구	실측 받침 가동 여유량(mm)		최대 받침 이동량(mm)		검토결과	
	수축 여유량	신장 여유량	최대 수축 여유량	최대 신장 여유량	수축시	신장시
A1	170	30	68.8	35.2	OK	N.G
P1	165	35	31.0	49.0	OK	OK
P2	90	10	20.5	29.5	OK	N.G
P3	고 정 단(FIX)					
P4	80	20	29.5	20.5	OK	N.G
P5	120	80	49.0	31.0	OK	OK
A2	110	90	64.6	39.4	OK	OK

② 받침장치 가동량 검토결과

교량받침 가동량의 실측값과 계산값을 비교·검토한 결과, 장암교 받침장치는 P1, P5, A2에서 온도변화에 따른 가동여유량을 확보하고 있는 것으로 분석되었으나, A1, P2, P4에서 여유량이 부족한 것으로 나타났다. 이는 시공단계에서 오류로 판단되며, 현재 가동량 부족으로 인한 손상은 조사되지 않았으나 지속적인 주의관찰이 필요하며, 2018년도에 실시한 내진성능평가를 고려하여 종합적인 보수보강 계획 수립이 필요하다.

5) 연단거리 검토

교좌면은 받침을 통해서 상부구조로부터 하중을 받는 곳이고 또한 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부 연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연해서 콘크리트 구체 또는 받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다. 따라서 본 과업에서는 실제 시공된 연단거리와 설계 연단거리를 비교·검토하였다.



연단거리 측정①



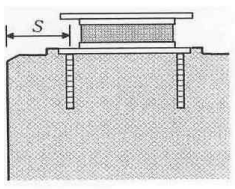
연단거리 측정②

【표 3-22】 연단거리 설계기준

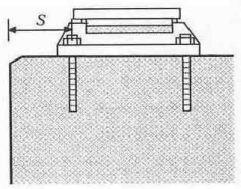
각 경간별 최소연단거리 산정방법

① 거더의 경간길이 100m 이하 :
S = 200 + 0.5L (L=경간길이(m))

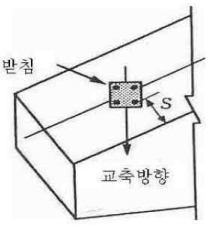
② 거더의 경간길이 100m 이상 :
S = 300 + 0.4L (L=경간길이(m))



(a) 고무받침



(b) 강재받침



(c) 사교, 곡선교

① 연단거리 측정결과

【표 3-23】 연단거리 측정결과

구분	받침형식	경간길이(m)		계산 연단거리(mm)		실측 최소 연단거리(mm)		검토결과
		전면	후면	전면	후면	전면	후면	
A1	포트받침	-	40.0	-	40.0	-	550.0	OK
P1	포트받침	40.0	50.0	40.0	45.0	750.0	770.0	OK
P2	포트받침	50.0	50.0	45.0	45.0	790.0	790.0	OK
P3	포트받침	50.0	50.0	45.0	45.0	800.0	750.0	OK
P4	포트받침	50.0	50.0	45.0	45.0	790.0	750.0	OK
P5	포트받침	50.0	40.0	45.0	40.0	760.0	770.0	OK
A2	포트받침	67.0	-	40.0	-	560.0	-	OK

② 연단거리 검토결과

연단거리 검토결과 모든 교량받침에서 소요연단거리 이상을 확보하는 것으로 조사되었다.

6) 거더 유간거리 측정

온도변화에 따라 교량이 원활한 거동을 하기 위해서는 거더의 유간도 확보되어야 한다. 따라서 거더의 실제 이동여유량을 측정하고, 혹서기 및 혹한기까지 소요되는 추가 이동량을 계산하여 현재 실측된 이동여유량이 혹서기 또는 혹한기에서 요구되는 추가 이동량을 만족시키는지 검토하고자 하며, 그 결과는 다음과 같다.



거더유간 측정①



거더유간 측정②

【표 3-24】 거더 유간거리 측정시 온도변화 및 선팽창계수

교량종류	온도변화		선팽창계수
	보통지방	한랭지방	
강박스 거더교	-10℃ ~ +40℃	-20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}

주) 측정 시 온도 : 23.0℃ (2021.07.05.)

【표 3-25】 최소필요유간

위 치	온도변화량(℃) (⊿T)		선팽창계수 (α)	신축길이(m) (L)	온도에 의한 이동량(mm)		활하중에 의한 이동량(mm) (β)	최소 필요 유간(mm) ($\alpha \times \Delta T \times L + \beta$)
	동절기	하절기			동절기	하절기		최대신장시
EXP.J1-A1	31.0	19.0	0.000012	140.0	55.4	28.6	-	28.6
EXP.J2-A2	31.0	29.0	0.000012	140.0	55.4	28.6	-	28.6

① 거더유간 측정결과

【표 3-26】 신축유간 측정 결과

구분	종류	측정유간(mm)	이론적 필요유간(mm)	잔여유간(mm)	검토결과
EXP.J1-A1	Refraction Joint	88	28.6	59.4	OK
EXP.J2-A2	Finger Joint	86	28.6	61.4	OK

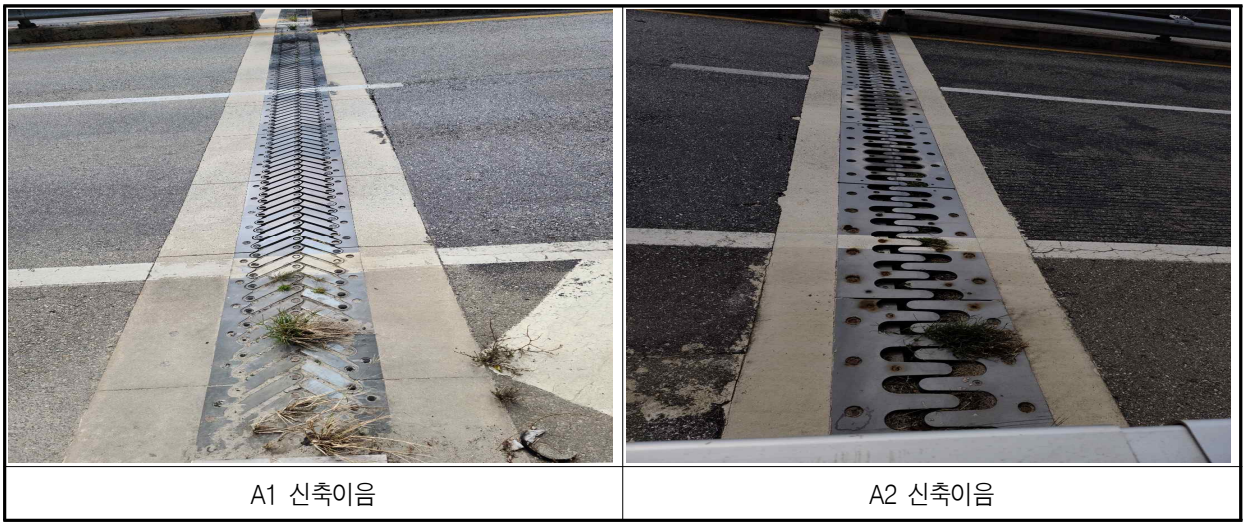
② 거더유간 검토결과

유간거리 측정결과 측정일 당시의 일평균 온도를 기준으로 온도변화에 따른 구조물 신장량을 구하여 신축유간 여유량을 평가한 결과 전반적인 신축부는 여유량을 확보하고 있는 것으로 검토되어 양호한 상태인 것으로 평가되었다.

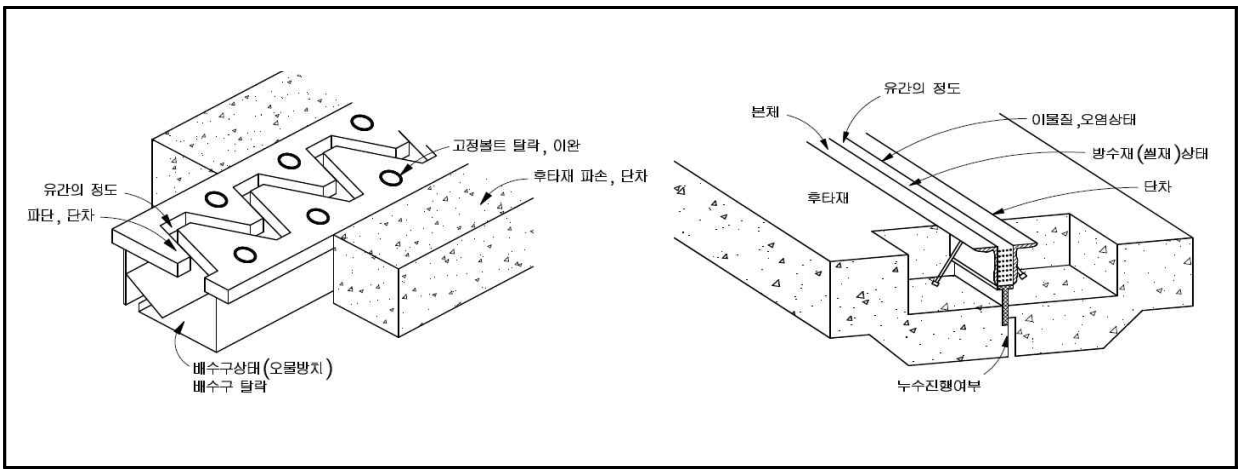
3.3.6 신축이음

신축이음은 바닥판의 연결부에 설치되어 교량의 온도변화로 인한 신축, 콘크리트의 재령에 따른 크리프와 건조수축, 활하중에 의한 처짐 등 상부구조의 이동과 회전을 원활하게 수용하고 단부의 변위에 대해 주행성에 지장이 없도록 하는 장치이며, 교면수 및 오물의 교량 하부 유입방지 기능도 한다.

본 교량의 신축이음은 굴절조인트(Refraction Joint, A1)와 핑거조인트(Finger Type Joint, A2) 총 2개소가 설치되어 있으며 점검사항은 아래 그림과 같다.



A1 신축이음 | A2 신축이음



【그림 3-7】 신축이음 점검사항

1) 손상발생 현황

【표 3-27】 신축이음 손상발생 현황

구분	후타재균열 (0.3mm미만) (m)		후타재균열 (0.3mm이상) (m)		후타재 접합부 이격 (m)		유간토사 최적 (m)		차수판 부식 (EA)		차수판 탈락 (EA)	
	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량
Exp.J1(A1)	40	12.00	–	–	1	18.50	3	3.50	2	2.00	–	–
Exp.J2(A2)	13	3.10	1	0.30	–	–	3	4.00	–	–	1	1.00
합 계	**53**	**15.10**	**1**	**0.30**	**1**	**18.50**	**6**	**7.50**	**2**	**2.00**	**1**	**1.00**

2) 손상별 원인분석



현 황	◦A2(J2)후타재 균열(0.5㎜ / 0.3m)	**현 황**	◦A1(J1)후타재 균열(0.2㎜ / 0.3m)
원 인	◦건조수축 및 외부충격 등	**원 인**	◦청소불량, 외기노출 등 환경적 영향 등
대 책	◦주입보수	**대 책**	◦청소



현 황	◦A2(J2)차수판 탈락/부식(1EA)	**현 황**	◦A1(J1)유간토사퇴적(1.0m) / 차수판부식(1EA)
원 인	◦외부충격, 시공불량	**원 인**	◦청소불량, 외기노출 등 환경적 영향 등
대 책	◦차수판 재설치	**대 책**	◦차수판 재설치, 청소

3) 주요손상 발생원인 분석 및 대책방안

① 후타재 균열, 박리, 이격

후타재의 균열, 박리는 공용 중 반복적인 건조수축 및 온도변화, 차량하중, 동절기 제설제 등 기타 환경적 요인에 의해 발생된 손상으로 후타재 균열은 손상확대 방지를 위해 표면처리보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단되며, 후타재 박리 및 이격은 손상정도가 경미하여 주의관찰 후 손상진전시 단면보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

② 차수판 부식 및 설치불량

대부분의 차수판이 부식 또는 탈락, 설치불량 상태로, 이 구간을 통해 우수가 교량 하부로 유입되어 인접된 강박스 거더의 부식, 교대의 백태 및 콘크리트 열화, 받침장치 주변의 손상 등을 초래할 수 있으므로 정밀하게 재설치하는 것이 바람할 것으로 판단된다.

③ 이물질퇴적

외부에 노출된 환경적 영향 및 공용년수 증가에 따른 이물질의 유입으로 유간부 토사퇴적이 발생하고 있는 것으로 조사되었다. 장기간 방치시 신축거동의 저하 및 본체 부식, 지수재 열화 등의 원인이 되므로 주기적인 청소를 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4) 신축여유량 조사

온도변화에 따라 교량이 원활한 거동을 하기 위해서는 신축이음의 유간뿐만 아니라 바닥판하면 및 거더 단부의 유간도 확보되어야 한다. 따라서 신축이음, 바닥판하면 및 거더 단부의 실제 이동여유량을 측정하고, 혹서기 및 혹한기까지 소요되는 추가 이동량을 계산하여 현재 실측된 이동여유량이 혹서기 또는 혹한기에서 요구되는 추가 이동량을 만족시키는지 검토하고자 하며, 그 결과는 다음과 같다.



신축이음 유간거리 측정①



신축이음 유간거리 측정②

【표 3-28】 신축이음 유간거리 측정시 온도변화 및 선팽창계수

교량종류	온도변화		선팽창계수
	보통지방	한랭지방	
강박스 거더교	-10℃ ~ +40℃	-20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}

주) 측정 시 온도 : 23.0℃ (2021.07.05.)

【표 3-29】 설계이동량

위 치	온도변화량(℃) (⊿T)		선팽창계수 (α)	신축길이(m) (L)	온도에 의한 이동량(mm)		활하중에 의한 이동량(mm) (β)	최대 신축 이동량(mm) (α×⊿T×L±β)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기	하절기
EXP.J1-A1	33.0	17.0	0.000012	140.0	55.4	28.6	-	55.4	28.6
EXP.J2-A2	33.0	17.0	0.000012	140.0	55.4	28.6	-	55.4	28.6

① 신축이음 측정결과

【표 3-30】 신축이음 가동여유량 측정결과

구분	계산이동량(mm)		실측유간 (mm) (③)	허용량 (mm) (④)	신축여유량(mm)		검토결과	
	최대수축시 (①)	최대신장시 (②)			최대수축시 (④-(①+③))	최대신장시 (③-②)	수축시	신장시
EXP.J1-A1	55.4	28.6	98.0	160	6.6	69.4	OK	OK
EXP.J2-A2	55.4	28.6	100.0	160	4.6	71.4	OK	OK

※ 신축여유량 > 0인 경우 양호

② 신축여유량 검토 결과

장암교 신축이음장치 신축여유량 측정결과, 신장 및 신축 시 전반적으로 여유량 이상의 유간을 확보한 양호한 상태로 조사되었다.

3.3.7 교면포장

교면포장은 바닥판 상면에 위치하여 차량으로부터 진동을 흡수·분산시키고 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판을 보호하는 역할을 한다. 또한 교면포장은 직접 윤하중과 접촉하는 상태이므로 결함발생 빈도가 높으며 국부적인 포장의 결함이 많이 나타난다.

장암교의 교면포장은 아스팔트 포장으로 시공되어 있으며, 교면포장에 대해서 아스팔트 균열, 함몰, 마모, 신축이음 전후 단차 및 파손, 물고임 등을 중점적으로 조사하였다.



교면포장 전경-1(공주방향)



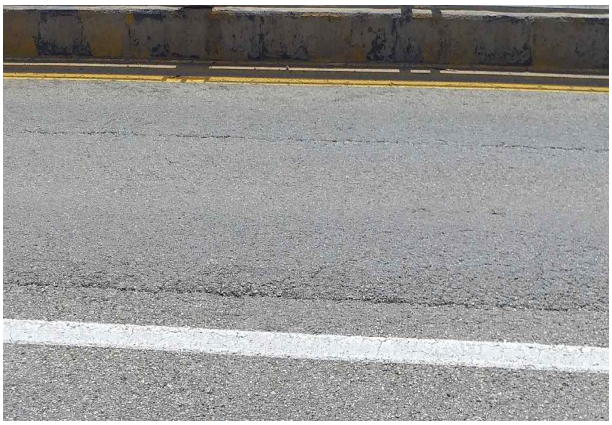
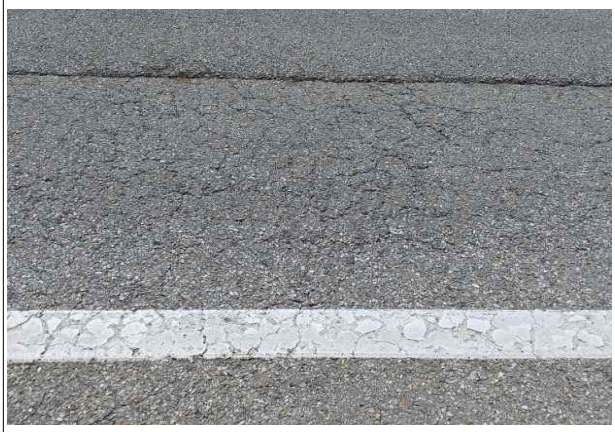
교면포장 전경-2(대전방향)

1) 손상발생 현황

【표 3-31】 교면포장 손상발생 현황

구분	아스콘 포장균열 (m)		아스콘 망상변형 (㎡)		아스콘 마모, 패임 (㎡)		포트홀 (㎡)	
	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량
S1	3	45.00	2	27.50	-	-	12	0.12
S2	-	-	3	322.50	1	0.03	16	0.16
S3	3	65.00	2	200.00	-	-	28	0.28
S4	4	31.00	3	32.90	1	12.50	28	0.28
S5	1	5.00	-	-	-	-	29	0.32
S6	2	25.00	-	-	-	-	24	0.24
합 계	**13**	**161.00**	**10**	**582.90**	**2**	**12.53**	**137**	**1.40**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1 ASP균열(L=35m, 2EA)</td><td>현 황</td><td>◦S3 ASP균열(L=20m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦공용기간 증가, 차량하중 등</td><td>원 인</td><td>◦공용기간 증가, 차량하중 등</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦전면재포장</td><td>대 책</td><td>◦전면재포장</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S3 아스콘 망상균열(2.5m×10.0m)</td><td>현 황</td><td>◦S4 아스콘 망상균열(5.0m×2.5m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦공용기간 증가, 차량하중 등</td><td>원 인</td><td>◦공용기간 증가, 차량하중 등</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦전면재포장</td><td>대 책</td><td>◦전면재포장</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S2 패임/마모(0.1m×0.3m)</td><td>현 황</td><td>◦S3 포트홀(14EA)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦공용기간 증가, 차량하중 등</td><td>원 인</td><td>◦보수 공사시 발생</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦전면재포장</td><td>대 책</td><td>◦전면재포장</td></tr>
</table>

3) 주요손상 발생원인 분석 및 대책방안

① 아스콘 포장균열

교면포장부에 대한 외관조사결과 기 점검 및 진단시 조사된 손상에 추가적인 아스콘균열이 조사되었으며, 손상물량이 다수이므로 부분적인 재포장 및 국부적 팻칭 등의 보수보다는 전면재포장 보수를 실시하는 것이 유지관리에 효율적이라고 판단된다.

② 아스콘 소성변형, 마모, 패임, 포트홀

기 점검에서 조사된 손상이 대부분 조사되었으며, 포트홀이 추가적으로 조사되었다. 이는 기 점검 이후 발생한 것이 아닌 기 점검시 누락으로 판단되며, 동일간격 및 동일 모양으로 발생된 것을 보았을 때 아스팔트 보수공사시 발생된 것으로 판단된다. 마찬가지로 별도의 손상별 보수보다는 전면 재포장 보수가 유리할 것으로 판단된다.

3.3.8 배수시설

본 교량의 배수시설은 총 31개의 배수구가 측면에 설치되어 있으며(대전방향 18개소, 공주방향 13개소), 유도배수관이 교량하부 측면으로부터 교각을 따라 시공되어 있다.



배수시설 설치 현황①



배수시설 설치 현황②

【그림 3-8】 배수시설 설치 현황

1) 손상발생 현황

【표 3-32】 배수시설 손상발생 현황

구분	배수구 막힘 (EA)		배수관 부식 (㎡)		집수정 막힘/설치불량 (EA)	
	개소	물량	개소	물량	개소	물량
S1	5	5	–	–	–	–
S2	–	–	–	–	–	–
S3	1	1	1	0.03	1	1
S4	1	1	1	0.05	–	–
S5	1	1	–	–	–	–
S6	1	1	–	–	–	–
합 계	**9**	**9**	**2**	**0.08**	**1**	**1**

2) 손상별 원인분석



현 황	◦S1 배수구막힘(1EA)
원 인	◦청소불량 등
대 책	◦청소



현 황	◦S3 집수구 막힘/설치불량 (1EA)
원 인	◦주변 토사 유입
대 책	◦청소 및 연결부 추가설치, 주변 토사 제거



현 황	◦S3 배수관 부식(0.1m×0.3m)
원 인	◦도장불량, 누수 등
대 책	◦녹제거 및 재도장



현 황	◦S4 배수관 부식(0.1m×0.5m)
원 인	◦도장불량, 환경영향 등
대 책	◦녹제거 및 재도장

3) 주요손상 발생원인 분석 및 대책방안

① 배수구 막힘

배수구는 대부분 토사퇴적 및 식생의 자생으로 발생한 막힘으로 기 점검보다 6개소가 감소하였다. 교면수의 원활한 배수를 위하여 최소 분기당 1회 정도의 청소를 하는 것이 바람직하다.

② 배수관 부식

대부분의 배수관의 상태가 양호한 것으로 조사되었으며, 교각에서 발생한 배수관 부식은 누수 및 공용년수 증가에 따라 발생된 것으로 판단되며, 녹제거 및 재도장 전에 설치(누수) 상태 확인이 필요하다. 거더 측면에 설치된 배수관의 부식은 도장불량 및 주변환경과 공용 년수 증가에 따른 것으로 판단되며 이들 모두 경미한 손상으로 주기적인 관찰을 통한 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

③ 집수구 막힘

S3 P2 배면하부에 위치한 집수구에서 토사유입으로 인한 막힘이 조사되었으며, 상부 배수관과의 각도 어긋나 있다. 이는 주변의 토사로 인한 집수구 이동 또는 설치불량으로 판단되며 주변 토사 제거 및 집수구 연결부의 추가설치가 필요하다.

3.3.9 난간 및 연석, 점검시설

난간은 보행자, 자전거 및 자동차의 차도이탈방지, 사고시 완충작용 등의 기능을 하며 차도 및 보도 외측에 설치되는 구조물이고 연석은 보차도의 경계부나 교량의 최외측 단부에 자동차의 시선유도 및 자동차의 이탈방지를 위해서 설치하는 구조물이다.

장암교의 차량방호시설은 콘크리트 연석 및 강재난간이 교량 측면부에 시공되어 있으며, 중앙부에는 콘크리트 연석 및 가드레일로 시공되어 있다. 금회 외관조사시 연석의 균열, 파손 등과 난간의 부식, 파손, 변형 등을 중점 조사하였다.

점검시설은 교량점검시 점검자의 안전성, 작업효율성 등을 확보하기 위하여 설치하는 시설물로, 장암교의 점검시설은 P2, P4에 교각하부에서부터 이어지는 점검사다리와 점검통로로 이루어져 있다. 점검로는 부식, 변형, 파손, 볼트체결 등을 조사하였으며 기 점검결과와 같이 손상이 없는 양호한 상태로 확인되었다.



난간 및 연석 현황(중앙)



난간 및 연석 현황(측면)

【그림 3-9】 난간 및 연석 현황



점검로 전경(P2)



점검로 상태양호

【그림 3-10】 점검로 현황

1) 손상발생 현황

【표 3-33】 난간 및 연석, 점검로 손상발생 현황

구분	균열 (0.3mm미만) (m)		균열 (0.3mm이상) (m)		망상균열 (㎡)		파손/ 철근노출 (㎡)		볼트 미체결/변형 (EA)		교명주 파손 (㎡)		교명주 기초파손 (㎡)		델리네이트 파손 (EA)	
	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량	개소	물량
S1	1	40.0	–	–	3	12.1	–	–	–	–	1	0.20	–	–	–	–
S2	1	44.5	1	5.5	–	–	–	–	1	1.00	–	–	–	–	–	–
S3	1	50.0	–	–	–	–	–	–	3	3.00	–	–	–	–	1	1.00
S4	1	50.0	1	1.0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
S5	1	47.0	1	3.0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
S6	1	40.0	1	0.4	4	13.0	1	0.10	–	–	–	–	1	0.04	–	–
합계	**6**	**271.5**	**4**	**9.9**	**7**	**25.1**	**1**	**0.1**	**4**	**4**	**1**	**0.2**	**1**	**0.04**	**1**	**1.00**

2) 손상별 원인분석

<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S1 연석 망상균열(0.5m×5.0m)</td><td>현 황</td><td>◦A2상부 연석(중앙) 횡단균열(0.5㎜ / 0.4m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 온도변화 등</td><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 온도변화 등</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦주의관찰</td><td>대 책</td><td>◦단면복구</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S3 볼트고정불량(2EA)</td><td>현 황</td><td>◦S1 연석 균열(0.2㎜ / 0.3m, 2EA)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦차량충격, 시공불량 등</td><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 온도변화 등</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦볼트교체</td><td>대 책</td><td>◦표면처리보수</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>현 황</td><td>◦S6 파손 및 철근노출(0.5m×0.2m)</td><td>현 황</td><td>◦S6 교명주 기초파손(0.1m×0.2m)</td></tr>
<tr><td>원 인</td><td>◦시공불량, 차량충격 등</td><td>원 인</td><td>◦건조수축 및 온도변화, 충격 등</td></tr>
<tr><td>대 책</td><td>◦단면보수 및 차수판 설치</td><td>대 책</td><td>◦단면보수</td></tr>
</table>

			
현 황	◦S3 볼트강재변형(1EA)	**현 황**	◦S3 델리네이트 파손(1EA)
원 인	◦차량충격, 시공불량 등	**원 인**	◦차량충격, 시공불량 등
대 책	◦볼트교체	**대 책**	◦재설치

3) 주요손상 발생원인 분석 및 대책방안

① 난간 변형, 고정불량

난간에 대한 외관조사 결과 난간의 전반적인 상태는 양호하였고, 고정불량 손상이 조사되었다. 조사결과 손상 정도는 4개의 지주볼트 중에 1개가 손상된 상태로 시급한 교체는 필요치 않으나 지주고정불량은 통행차량 및 통행인들의 안전을 위해 보수가 필요할 것으로 판단된다.

② 연석 균열

연석 균열 기 점검 및 진단시 조사된 손상과 추가 손상이 금회 재조사되었다. 건조수축 및 온도변화, 균열부 우수침투 등 환경적 영향으로 발생된 것으로 시급한 보수를 요하지는 않으나 장기적인 구조물의 내구성 확보 차원의 표면처리보수가 필요하다. 특히 대전방향 연석에 발생한 종방향 균열은 향후 점검시 주의관찰이 필요하다.

기 점검에서 대전방향 연석 외측에 대량의 망상균열이 조사되었으나 금회 점검결과 이 손상들은 보수가 된 것으로 조사되어 손상에서 제외하였다.

	
연석 상부 종방향 균열(대전방향)	연석 측면 망상균열 보수흔적(대전방향)

③ 연석 박리, 박락, 파손, 재료분리

차량충격, 동절기 제설제 영향 등으로 발생된 연석 박리, 파손, 재료분리 등 단면손상은 손상규모가 미미한 상태이나 S6 A2 신축이음 하부에 발생한 파손 및 철근노출은 손상정도가 높은 것으로 조사되었다. 신축 하부 교대부분에 이물질 퇴적도 이로 인한 것으로 판단되며 구조물의 내구성 향상을 위해 단면보수가 필요하다.

④ 교각 점검시설 미설치

대상 교량 교각에 설치된 점검시설은 P2, P4에 설치된 점검사다리와 점검통로로서, P1, P3, P5에는 점검시설이 설치되지 않아 상시 점검 시나 유지관리하기에 어려움이 있으며, 기 설치된 점검통로 또한 공주방향측 한면만 설치되어 있으므로 4면 모두를 조사할 수 있도록 연장 설치하는 것이 향후 지속적인 유지관리를 위하여 반드시 필요한 것으로 판단된다.

3.3.10 손상물량 총괄표

【표 3-34】 손상물량 총괄표

부위	손상명	손상물량			조치방안	비 고
		개소	물량	단위		
바닥판하면	균열(0.3mm미만)	4	22.30	m	표면처리보수	
	망상균열	2	6.00	㎡	표면처리보수	
	박락	1	0.01	㎡	단면보수	
	재료분리	1	0.06	㎡	단면보수	
	철근노출	1	0.02	㎡	방청 및 단면보수	
	데크플레이트 부식	22	0.35	㎡	녹제거+강재도장보수	
	보호덮개 파손	2	1.50	㎡	주의관찰	
거더	부식	51	14.80	㎡	녹제거+강재도장보수	
	도장박리/박락/들뜸	71	9.28	㎡	강재도장보수	
	실링재 탈락	46	46.00	EA	주의관찰	
	용접불량	24	24.00	EA	재용접	
	용입불량	1	1	EA	재용접+검측	
	강재변형	27	21.80	m	주의관찰	
	조명파손	17	17.00	EA	주의관찰	
	볼트부식	128	128.00	EA	강재도장보수	
	볼트체결 불량	1	1.00	EA	주의관찰	
	이물질 퇴적	4	32.25	㎡	청소	
	체수	3	5.50	㎡	주의관찰	
	탈색	1	50.00	㎡	강재도장보수	
가로보 및 세로보	가로보 부식	3	2.1	㎡	녹제거+강재도장보수	
	가로보/세로보 변형	6	2.1	m	주의관찰	
교대 및 교각	균열(0.3mm미만)	32	33.3	m	표면처리보수	
	균열/백태(0.3mm미만)	5	4.6	m	표면처리보수	
	망상균열	1	2	㎡	표면처리보수	
	재료분리/철근노출	2	0.14	㎡	방청 및 단면보수	
	박리, 박락, 콘크리트 긁힘	5	0.31	㎡	단면보수	
	백태	5	1.49	㎡	표면처리보수	
	누수흔적	5	11.25	㎡	유도배수로 설치	
	보수부 들뜸	3	2.51	㎡	단면보수	
	강판보강부 부식	4	41.4	㎡	주의관찰	
	이물질/폐콘크리트/토사퇴적	8	10.61	㎡	청소	
	스토퍼 고무패드 탈락	3	3	EA	주의관찰	

【표 3-34】 손상물량 총괄표(계속)

부위	손상명	손상물량			조치방안	비 고
		개소	물량	단위		
받침장치	받침장치 부식	15	15.00	EA	녹제거+강재도장보수	
	몰탈 균열(0.3mm미만)	18	3.00	m	표면처리보수	
	몰탈 균열(0.3mm이상)	1	0.10	m	주입보수	
	몰탈 망상균열	1	0.05	㎡	표면처리보수	
	몰탈파손	2	0.03	㎡	단면보수	
	먼지막이링 탈락	4	4	EA	주의관찰	
신축이음	후타재 균열(0.3mm미만)	53	15.10	m	표면처리보수	
	후타재 균열(0.3mm이상)	1	0.30	m	주입보수	
	후타재 접합부 이격	1	18.50	m	주의관찰	
	유간토사 퇴적	6	7.50	m	청소	
	차수판 부식	2	2.00	EA	차수판 재설치	
	차수판 탈락	1	1.00	EA	차수판 재설치	
교면포장	아스팔트 균열	13	161.00	m	전면 재포장 (방수층 포함)	
	아스팔트 망상균열	10	582.90	㎡		
	아스팔트 패임/마모	2	12.53	㎡		
	아스팔트 포트홀	137	1.40	㎡		
배수시설	배수구막힘	9	9	EA	청소	
	배수관 부식	2	0.08	㎡	배수관 재설치	
	집수정 막힘/설치불량	1	1	EA	청소	
난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	6	271.5	m	표면처리보수	
	균열(0.3mm이상)	4	9.9	m	주입보수	
	망상균열	7	25.1	㎡	표면처리보수	
	파손/철근노출	1	0.1	㎡	방청 및 단면보수	
	볼트 미체결/변형	4	4	EA	재체결	
	교명주 파손	1	0.20	㎡	단면보수	
	교명주 기초 파손	1	0.04	㎡	단면보수	
	델리네이트 파손	1	1	EA	주의관찰	

3.4 기 점검 결과와 비교·분석

【표 3-35】 손상물량비교표

부위	손상명	2020년 손상물량		2021년 손상물량		증감
		물량	단위	물량	단위	
바닥판하면	균열(0.3mm미만)	22.30	m	22.30	m	–
	망상균열	5.00	㎡	6.00	㎡	1
	박락	0.01	㎡	0.01	㎡	–
	재료분리	0.06	㎡	0.06	㎡	–
	철근노출	0.02	㎡	0.02	㎡	–
	데크플레이트 부식	0.32	㎡	0.35	㎡	▲0.03
	보호덮개 파손	–	㎡	1.50	㎡	▲1.50
거더	부식	14.21	㎡	14.80	㎡	▲0.59
	도장박리/박락/들뜸	8.92	㎡	9.18	㎡	▲0.26
	실링재 탈락	44.00	EA	46.00	EA	▲2.00
	용접불량	23.00	EA	24.00	EA	▲1.00
	용입불량	–	EA	1	EA	▲1.00
	강재변형	21.30	m	21.80	m	▲0.50
	조명파손	16.00	EA	17.00	EA	▲1.00
	볼트부식	85.00	EA	128.00	EA	▲43.00
	볼트체결 불량	1.00	EA	1.00	EA	–
	이물질 퇴적	–	㎡	32.25	㎡	▲32.25
	체수	–	㎡	5.50	㎡	▲5.50
	탈색	–	㎡	50.00	㎡	▲50.00
가로보 및 세로보	가로보 부식	2.10	㎡	2.10	㎡	–
	가로보/세로보 변형	1.90	m	2.10	m	▲0.20
교대 및 교각	균열(0.3mm미만)	32.8	m	33.3	m	▲0.50
	균열/백태(0.3mm미만)	4.60	m	4.60	m	–
	망상균열	2.00	㎡	2.00	㎡	–
	재료분리/철근노출	0.16	㎡	0.14	㎡	▼0.02
	박리, 박락, 콘크리트 긁힘	0.25	㎡	0.31	㎡	▲0.06
	백태	0.99	㎡	1.49	㎡	▲0.50
	누수흔적	11.25	㎡	11.25	㎡	–
	보수부 들뜸	0.26	㎡	2.51	㎡	▲2.25
	강판보강부 부식	41.40	㎡	41.40	㎡	–
	이물질/폐콘크리트/토사퇴적	10.61	㎡	10.61	㎡	–
	스토퍼 고무패드 탈락	2.00	EA	3.00	EA	▲1.00

【표 3-35】 손상물량비교표(계속)

부위	손상명	2020년 손상물량		2021년 손상물량		증감
		물량	단위	물량	단위	
받침장치	받침장치 부식	12.00	EA	15.00	EA	▲3.00
	몰탈 균열(0.3mm미만)	1.90	m	3.00	m	▲1.10
	몰탈 균열(0.3mm이상)	–	m	0.10	m	▲0.10
	몰탈 망상균열	0.05	㎡	0.05	㎡	–
	몰탈파손	0.03	㎡	0.03	㎡	–
	먼지막이링 탈락	4.00	EA	4.00	EA	–
신축이음	후타재 균열(0.3mm미만)	13.60	m	15.10	m	▲1.50
	후타재 균열(0.3mm이상)	–	m	0.30	m	▲0.30
	후타재 접합부 이격	18.50	m	18.50	m	–
	유간토사 퇴적	6.50	m	7.50	m	▲1.00
	차수판 부식	2.00	EA	2.00	EA	–
	차수판 탈락	1.00	EA	1.00	EA	–
교면포장	아스팔트 균열	33.50	m	161.00	m	▲127.50
	아스팔트 망상균열	2008.90	㎡	582.90	㎡	▼1,426
	아스팔트 패임/마모	12.55	㎡	12.53	㎡	▼0.02
	아스팔트 포트홀	0.96	㎡	1.40	㎡	▲0.44
배수시설	배수구막힘	15.00	EA	9.00	EA	▼6.00
	배수관 부식	–	㎡	0.08	㎡	▲0.08
	집수정 막힘/설치불량	–	EA	1.00	EA	▲1.00
난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	20.00	m	271.50	m	▲251.50
	균열(0.3mm이상)	9.50	m	9.90	m	▲0.40
	망상균열	22.60	㎡	25.10	㎡	▲2.50
	파손/철근노출	0.05	㎡	0.10	㎡	▲0.05
	볼트 미체결/변형	1.70	EA	4.00	EA	▲2.30
	교명주 파손	0.04	㎡	0.20	㎡	▲0.16
	교명주 기초 파손	0.20	㎡	0.04	㎡	▼0.16
	델리네이트 파손	1.00	EA	1.00	EA	–

3.4.1 손상물량 증감원인 분석

전차 점검 대비 금번 조사된 손상물량이 전반적으로 증가되었으며 특히 교각 재료분리, 신축이음하면 누수 등의 손상물량이 증가된 것으로 분석되었다. 손상물량 증감원인은 아래와 같다.

① 고소점검차, 교량점검차, 보트 등 근접육안조사에 의한 신규손상 증가

② 기 진단시 누락(손상정도가 경미)된 손상 추가 조사로 인한 증가

③ 보수부 재손상에 따른 물량증가

④ 공용년수 증가에 따른 노후화

⑤ 일부 손상에 대한 보수실시로 인한 손상물량 감소

제4장 내구성 조사

4.1 현장시험

제4장 내구성 조사

4.1 현장시험

4.1.1 개 요

가. 비파괴 시험별 적용 기준 및 근거

본 구조물에 대한 현장시험은 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 [안전점검·진단편](국토교통부, 2019. 09)”에 근거하여 조사 위치 및 수량을 결정하였다.

금회 시험 수량은 산출 수량보다 많은 개소에서 수행하였으며 구체적인 비파괴시험 실시 수량은 다음과 같다.

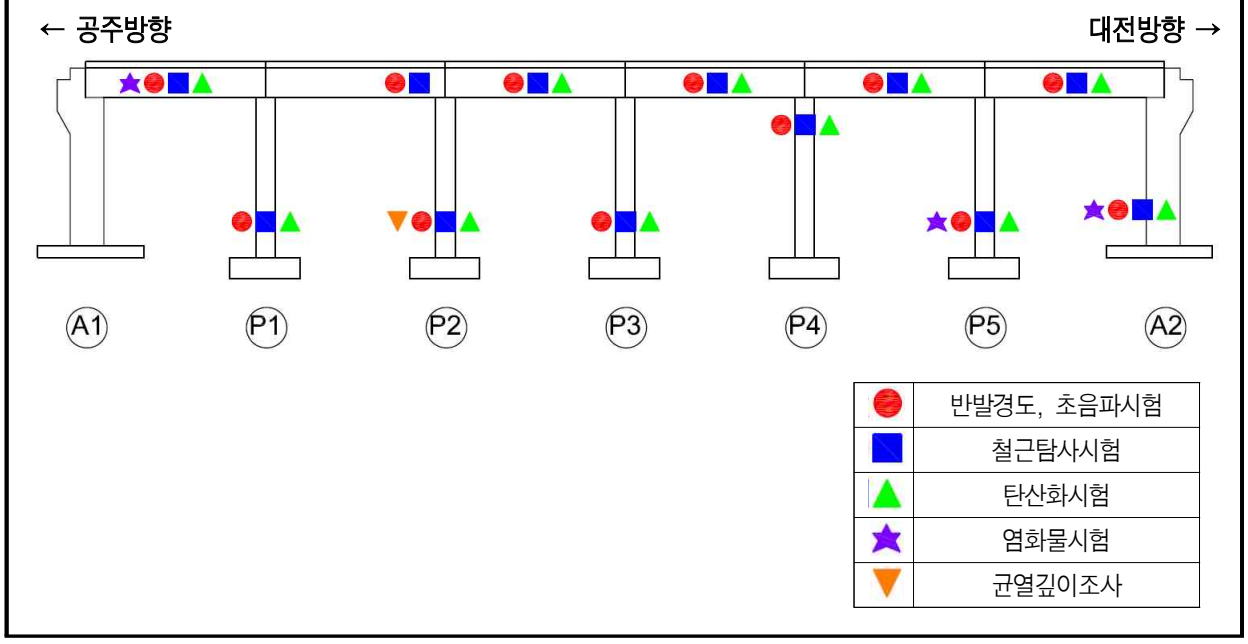
【표 4-1】 비파괴시험 실시 수량

구 분		세부지침 기준				금회수량	
		상부구조	하부구조	산출수량			
				상부	하부	상부	하부
장암교	반발경도시험	◦ 강합성교 : 1개소/연장50m	◦ 1개소/연장50m ◦ 교대, 교각 개소 (경간장 50m이상)	6	6	6	6
	초음파 전달속도시험			6	6	6	6
	철근탐사시험			6	6	6	6
	탄산화 깊이측정	◦ 5경간 이상 : 6~9개소 ◦ 5경간 이내 : 4~6개소		6~9		5	6
	염화물 함유량시험	◦ 3개소 이상		3		1	2
	균열깊이 조사	◦ 책임기술자의 판단		–	–	–	1
	강재용접부 초음파탐상시험	◦ 2개소/경간별 거더		36	–	36	–

▸ 계획수량은 “시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2019.09)”을 참조하여 결정하였으며, 세부지침 기준수량 이상 실시

나. 비파괴 시험 위치도

장암교 비파괴 시험 위치도



※강재초음파탐상 시험위치는 각 경간별 거더당 2개소씩 실시하였음(부록 참조)

다. 비파괴 시험 사진

		
시험 전경	반발경도시험	초음파 전달속도시험
		
철근탐사시험	도막두께 측정	탄산화 깊이 측정

4.1.2 콘크리트 압축강도

가. 콘크리트 압축강도 시험내용 및 평가기준

1) 반발경도시험

개 요

■ 콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여, 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사방법임

■ 슈미트해머는 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(f_c')와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 적용함

시험 방법

■ 반발경도 측정은 선정된 부위에 그라인딩 작업으로 표면 정리를 한 다음 타격점 상호간의 종·횡 간격을 30㎜ 기준으로 그어 직교되는 부위에 20점 이상을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균값을 구하고, 각 반발경도 값이 평균값의 ±20%범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도를 결정

■ 측정점간의 최소간격은 보, 기둥 등 모서리로부터 30~60㎜ 이상 떨어진 장소에서 측정하고, 측정부재의 최소두께는 반발도의 영향을 고려하여 100㎜이상을 원칙으로 함

■ 측정치는 원칙적으로 정수값을 읽고, 표면 건조상태의 부위를 선정, 측정하여 건습에 따른 보정, 압축응력에 따른 반발도의 보정과 타격 방향에 대한 보정 및 재령에 따른 보정을 적용함



<반발경도법에 의한 강도추정 흐름도>

보정 방법

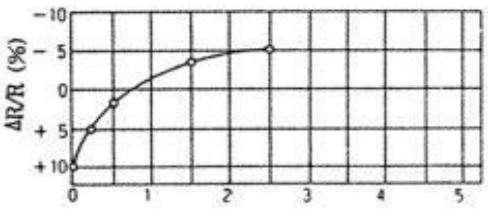
■타격방향에 따른 보정(⊿R1)

반발경도 (R)	수평과 이루는 각도				비고
	+90°	+45°	−45°	−90°	
10	−	−	+2.4	+3.2	상향수직 : +90° 하향수직 : −90°
20	−5.4	−3.5	+2.5	+3.4	
30	−4.7	−3.1	+2.3	+3.1	
40	−3.9	−2.6	+2.0	+2.7	
50	−3.1	−2.1	+1.6	+2.2	
60	−2.3	−1.6	+1.3	+1.7	

■콘크리트의 습윤상태에 따른 보정(⊿R3)

기건상태 : ⊿R3 = 0, 습윤상태 ⊿R3 = +5

■압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정(⊿R2) 압축응력 1.0kgf/㎠ 인 경우 ⊿R2 = −0.015R, 2.5kgf/㎠ 인 경우 ⊿R2 = −0.05R 정도임



<압축응력에 따른 반발경도 보정곡선>

■콘크리트 재령에 따른 보정(α)

구분	7일	14일	21일	28일	100일	500일	750일	1000일	2000일	3000일
재령(α)	1.72	1.36	1.12	1.00	0.78	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63

■Ro = R + ⊿R (⇒ ⊿R = ⊿R1 + ⊿R2 + ⊿R3)

여기서, ⊿R1 : 타격방향에 따른 보정값

⊿R2 : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값

⊿R3 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

압축 강도 추정식

■일반 콘크리트

− 방법 1 : Fc = −18.0+1.27×Ro (MPa) ⇒ 일본 재료학회 추정식

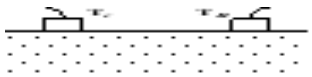
− 방법 2 : Fc = (7.3Ro + 100)×0.098 (MPa) ⇒ 일본 건축학회 추정식

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조

※콘크리트 내구성 평가절차 수립(건설교통부, 시설안전기술공단, 1999.12) 참조

※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2019.09) 참조

2) 초음파전달속도시험

<table>
<tr><td>개 요</td><td>■ 초음파법은 초음파 (주파수 50~100 kHz 정도)의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화한다는 것을 이용하여 이 투과속도로부터 콘크리트의 강도, 균열상태, 내부결함 등을 조사하는 방법이다.
■ 그러나 발·수진자의 배치, 콘크리트의 배합비 및 함수율, 내부 철근의 유무 등에 따라 영향을 많이 받기 때문에 강도 추정의 정확도는 높지 않으므로 이 방법을 단독으로 사용하지 않고 반발경도법과 조합법으로 이용하는 것이 일반적이다.</td></tr>
<tr><td>시험
방법</td><td>■ 초음파속도를 측정하기 위한 탐촉자의 배열은 직접법, 반직접법 및 간접법이 있음
■ 직접법에서 구한 초음파 전달속도(종파)를 강도 추정에 이용하나 보통 현장에서 직접법으로 적용할 수 없는 측정부분들에 대해서는 간접법(표면법)으로 초음파속도를 측정함
■ 타격법과 동일부재 동일위치에서 측정하는 것을 원칙으로 하여 초음파속도를 측정
■간접법을 직접법으로 환산
Vd ≈ 1.05 Vi
여기서, Vd : 직접법에 의한 초음파속도
Vi : 간접법에 의한 초음파속도
 
측정 장소의 선정
↓
측정 장소의 확인, 요철제거
↓
Marker 등에 의한 측정점의 표시
↓
측정기의 영점 조정
↓
진동자와 측정면 사이 공극이 생기지 않도록 그리스로 밀착
↓
전달속도 측정 및 산출
↓
압축강도의 추정 또는 품질평가
〈초음파법에 의한 강도추정 흐름도〉</td></tr>
<tr><td>초음파
전달
속도</td><td>■ 전달속도(Velocity, mm/μsec) = $\frac{\text{전달길이}(Path\,Length,\ L:\ mm)}{\text{전달시간}(Transit\,Time,\ T:\ \mu sec)}$</td></tr>
<tr><td>압축
강도
추정식</td><td>■방법 3 : Fc = (21.5Vd - 62.0) x 0.098 (MPa) ⇒ 일본건축학회 강도 추정식
■방법 4 : Fc = (102Vd - 117) x 0.098 (MPa) ⇒ 일본재료학회 강도 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(국토교통부, 한국시설안전공단, 2019.09) 참조

나. 시험결과 및 분석

1) 콘크리트 강도시험 개요

반발경도 측정은 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거하고 실시하였으며, 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외했다. 또한, 반발경도 값은 각 측정 부재에 따라 타격 방향, 재령 등에 의한 보정을 한 후, 일본재료학회와 일본건축학회 강도 계산식을 사용하여 압축강도를 산정하였다.

초음파전달속도시험은 반발경도시험을 수행한 동일부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 그리스를 도포한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10㎝ 간격으로 증가시키면서 간접법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 이를 직접법 속도로 환산하였다.

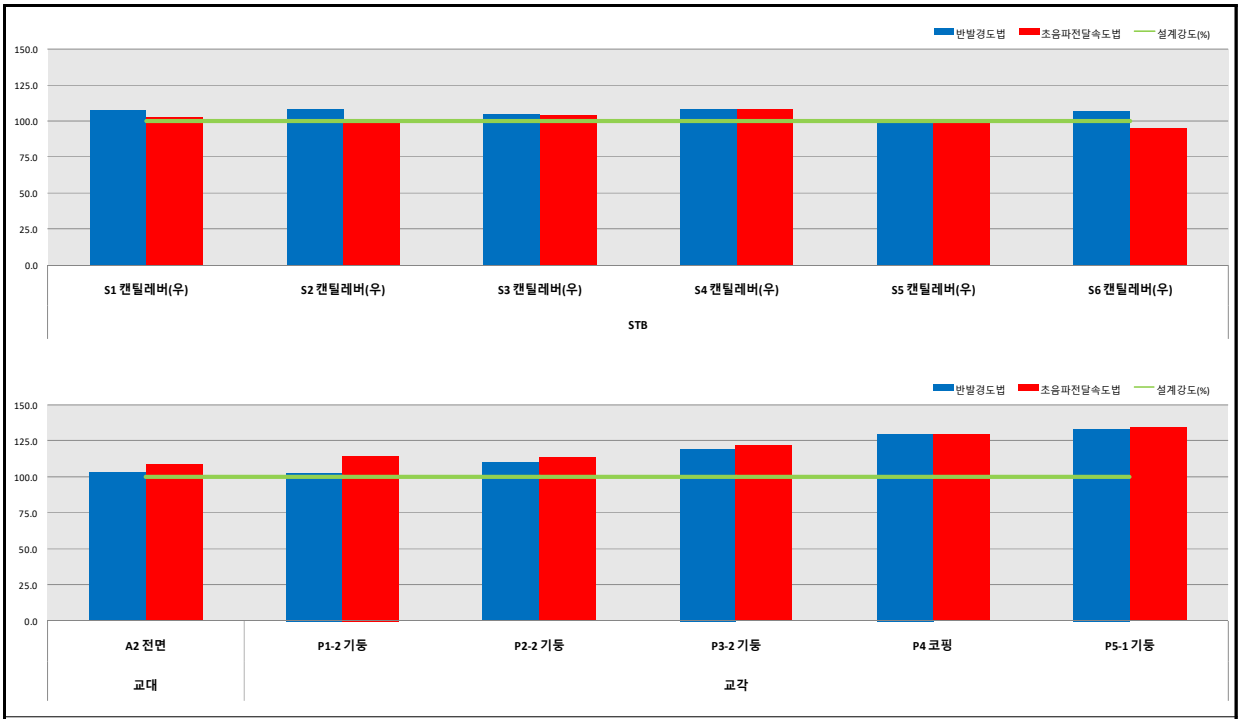
본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 비파괴강도를 평가하기 위하여 반발경도법, 초음파전달속도법의 시험 결과를 비교하였고, 각 시험방법에 의한 비파괴강도 결과는 아래와 같다.

2) 측정결과

【표 4-2】 콘크리트 비파괴 강도시험 결과

구 분			추정 설계 기준 강도 (MPa)	반발경도법 측정강도(MPa)			초음파전달속도법 측정강도(MPa)			강도비(%) (MIN[③,⑥]/ 설계기준강도)	비고
				① 일본 건축 학회	② 일본 재료 학회	③ 최소 강도	④ 일본 건축 학회	⑤ 일본 재료 학회	⑥ 최소 강도		
상부 구조	바닥판	S1 캔틸레버(우)	27.0	29.0	29.2	29.0	27.8	30.6	27.8	103.0	
		S2 캔틸레버(우)	27.0	29.3	29.7	29.3	26.8	30.1	26.8	99.3	
		S3 캔틸레버(우)	27.0	28.5	28.3	28.3	28.2	30.7	28.2	104.4	
		S4 캔틸레버(우)	27.0	29.3	29.6	29.3	29.4	31.3	29.4	108.5	
		S5 캔틸레버(우)	27.0	27.6	26.8	26.8	27.0	30.1	27.0	99.3	
		S6 캔틸레버(우)	27.0	28.9	29.0	28.9	25.6	29.5	25.6	94.8	
하부 구조	교대	A2 전면	21.0	27.5	26.5	26.5	21.6	27.6	21.6	102.9	
	교각	P1 기둥	24.0	27.9	27.1	27.1	25.6	29.5	25.6	106.7	
		P2 기둥	24.0	31.0	32.7	31.0	23.4	28.4	23.4	97.5	
		P3 기둥	24.0	28.8	28.8	28.8	24.7	29.1	24.7	102.9	
		P4 코핑부	24.0	29.0	29.2	29.0	23.9	28.7	23.9	99.6	
		P5 기둥	24.0	29.2	29.5	29.2	25.2	29.3	25.2	105.0	

※장암교는 1995년 준공되었으며, 재령 3000일 이상이므로 재령계수 0.63을 적용함



장암교 콘크리트 비파괴 압축강도 그래프

3) 측정결과 분석

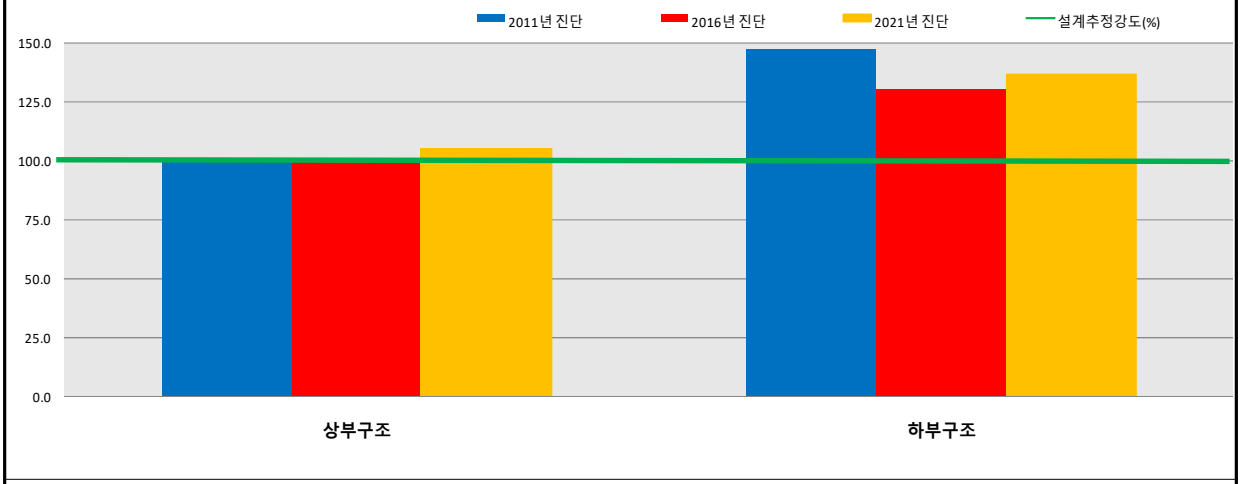
반발경도법과 초음파전달속도법을 사용하여 콘크리트 압축강도를 추정한 결과, 상부구조는 설계기준강도의 94.8%~108.5%, 하부구조는 설계추정강도의 97.5%~106.7%정도로 측정값이 설계치와 유사하므로 손상으로 인한 내구성저하는 없는 것으로 판단된다.

국부적으로 반발경도가 적게 나오는 부위는 있으나, 전반적으로는 설계기준강도(상부:27.0MPa, 교대:21.0MPa, 기둥:24.0MPa)를 상회하였으므로 콘크리트 강도는 비교적 양호한 상태로 판단할 수 있으며, 강도 저하로 인한 손상 및 구조적인 문제점은 조사 시 발견되지 않았다.

4) 기 진단 결과비교

【표 4-3】 콘크리트 비파괴 강도시험 기 진단결과 비교표

구 분		2011년 진단(MPa)	2016년 진단(MPa)	2021년 진단(금회)(MPa)	설계기준강도(MPa)
상부구조		24.3 ~ 29.7	25.4 ~ 29.1	25.6 ~ 31.3	27.0
하부구조	교대	26.3 ~ 28.7	22.4 ~ 24.5	21.6 ~ 27.6	21.0
	교각	24.9 ~ 28.2	22.5 ~ 26.4	23.4 ~ 32.7	24.0



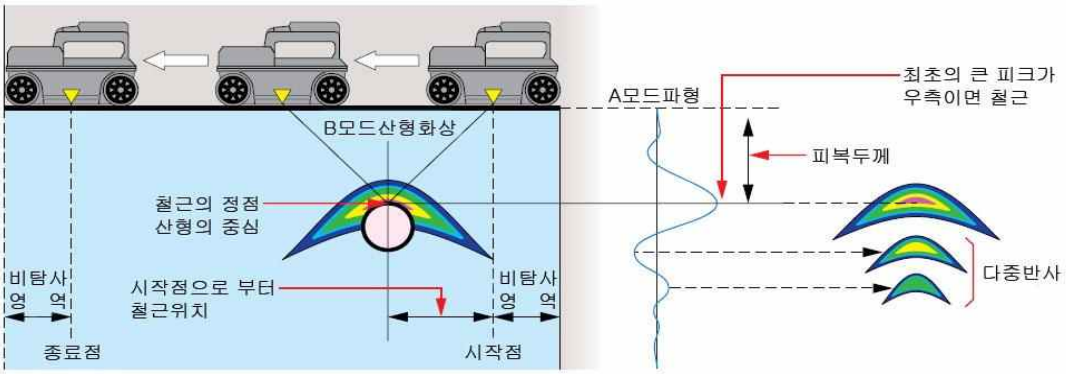
기 진단과의 압축강도 비교 그래프

2011년, 2016년 진단 및 2021년 금회진단 측정결과를 비교·분석한 결과, 상부구조물의 경우 전차 진단에 비하여 전반적으로 비교적 편차가 적으며, 전반적으로 유사한 경향을 나타내고 있는 것으로 평가되었으며, 하부구조물의 경우는 일부 개소에서 강도가 높게 나왔으나 이는 측정오차 범위 내에 있는 것으로 판단되며 전차 진단과 시험위치가 같은 경우 유사한 값을 띄고 있다. 따라서 장암교는 시간경과에 따른 강도 저하는 없는 것으로 판단된다.

4.1.3 철근탐사시험

가. 철근탐사시험내용 및 평가기준

<table>
<tr><td>개 요</td><td>■ 본 탐사는 시공 상태평가를 위하여 설계도서에 기록된 배근간격과의 동일 시공여부를 비교하여 구조체 배근상태의 적정성을 판단하며, 철근피복두께를 조사하여 탄산화로 인한 구조물의 내구성 평가와 장기적인 내구성 확보를 위한 대책마련을 위해 실시한다.</td></tr>
<tr><td>탐사
조건</td><td>■적용 가능한 조건
◦탐사심도 200㎜ 이내
◦탐사대상 철근지름이 6㎜ 이상
◦콘크리트의 질이 균일한 곳
◦철근이 안테나 진행 방향에 직교한 곳

■적용 곤란한 조건
◦표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑에 철근이 위치한 경우
◦100㎜ 이하의 피치에서 배근된 경우
◦철근이 안테나 진행 방향과 평행한 경우</td></tr>
<tr><td>측정
방법</td><td>■ 철근탐사장비 RC-Radar의 측정원리는 전자파를 콘크리트의 표면에서 내부로 방사하여 콘크리트와 전기적 성질이 다른 철근이나 공동 등의 대상물로부터 반사되는 전파를 다시 안테나에서 수신하여 철근의 배근상태나 공동 등의 위치 및 깊이를 화상으로 기록하는 장비로 레이다 방식(화면 모니터 방식)이며, 측정가능심도는 5~200㎜이다.
 

〈RC-Radar 측정원리〉</td></tr>
<tr><td>평가
기준</td><td>■철근의 피복두께는 콘크리트 표면에서 철근 최외측면까지의 거리로 함
■철근의 피복두께 및 배근상태를 준공도면과 비교하여 적정성 여부를 판단
■실측된 철근배근간격과 피복두께는 평균적인 개념으로 판단함이 바람직함
〈철근의 피복두께 기준〉</td></tr>
</table>

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

※콘크리트 구조기준(한국콘크리트학회, 2012) 참조

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

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

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
※진단장비 활용·관리 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2019.09) 참조

나. 시험결과 및 분석

1) 철근탐사시험 개요

철근탐사 시험은 전자파 레이더를 이용한 RC-Radar를 사용하여 철근 배근상태 및 피복두께를 확인하는 시험으로 철근 배근간격이 설계도서와 다를 경우 구조물의 안전성에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 또한 피복두께가 부족할 경우 콘크리트의 탄산화에 의한 철근의 부식, 파괴가 일어날 가능성이 있으므로 탄산화시험과 균열깊이측정을 연계하여 내부 철근상태를 판단하는데 중요 자료로 활용하였다.

2) 시험결과

【표 4-4】 철근탐사 결과

구 분		주철근				배력철근			
		피복두께(㎜)		철근간격(㎜)		피복두께(㎜)		철근간격(㎜)	
		실측	설계	실측	설계	실측	설계	실측	설계
바닥판 하면	S1 중앙부	76	32	248	250	89	48	323	300
	S2 단부	72	32	121	125	85	48	325	300
	S3 중앙부	71	32	245	250	85	48	325	300
	S4 중앙부	71	32	257	250	54	48	220	205
	S5 중앙부	44	32	256	250	62	48	213	205
	S6 중앙부	70	32	243	250	53	48	203	205
하부 구조	A2 전면	79	87.5	303	300	104	112.5	284	300
	P1 기둥	115	111	141	100	69	89	290	300
	P2 기둥	131	111	98	100	103	89	315	300
	P3 기둥	146	111	108	100	119	89	285	300
	P4 코핑	154	115	111	150	64	85	153	100
	P5 기둥	148	111	130	100	119	89	311	300

※장암교 바닥판하면은 데크플레이트로 마감되어 있어 우측 캔틸레버 철근을 측정함(좌측면은 철근 측정불가)
※피복두께의 측정값은 최소피복두께를 적용함
※배근간격의 측정값은 평균배근간격을 적용하였고, S4~S6구간의 배력철근 배근간격은 조사된 위치에 한정함

3) 시험결과 분석

콘크리트 부재에 대하여 철근탐사를 측정한 결과, 철근 피복두께는 설계도면보다 다소 크게 조사되었으나, 배근간격은 설계도면과 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다. 현재 해당 구간의 철근으로 인한 문제점 및 특이사항은 없는 것으로 조사되어 주기적인 관찰 및 점검을 실시한다면 문제는 없을 것으로 판단된다.

4) 기 진단 결과비교

【표 4-5】 철근탐사 기 진단결과 비교표

구 분			설계도면		2011년 진단		2016년 진단		2021년 진단(금회)	
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	배근간격	피복두께	배근간격	피복두께
바닥판하면	단부	주철근	125	32	209~258	47~77	110~140	44~75	121	72
		배력철근	300	48	163~304	56~96	220~300	76~155	325	85
	중앙부	주철근	250	32	209~258	47~77	230~260	75~98	243~257	44~76
		배력철근	300	48	163~304	56~96	220~295	90~128	323~325	53~89
교대	주철근		300	87.5	300~302	80~82	305~335	62~66	303	79
	배력철근		300	112.5	296~298	102~103	285~330	81~96	284	104
교각	주철근		100	111	97~104	115~120	90~125	102~170	98~141	115~148
	배력철근		300	89	296~306	68~103	275~330	63~155	285~315	69~119

기 진단결과와 비교검토한 결과, 철근배근간격과 피복두께 모두 유사한 결과를 보이고 있으며, 철근탐사 장비에 따라 결과가 다소 차이가 있을 수 있는 점을 감안하면 이 결과는 비교적 설계도면에 준하여 시공된 것으로 판단된다.

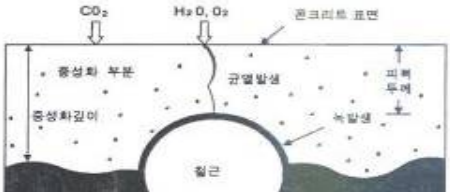
4.1.4 탄산화 깊이 측정 시험

가. 탄산화 깊이 측정 시험내용 및 평가기준

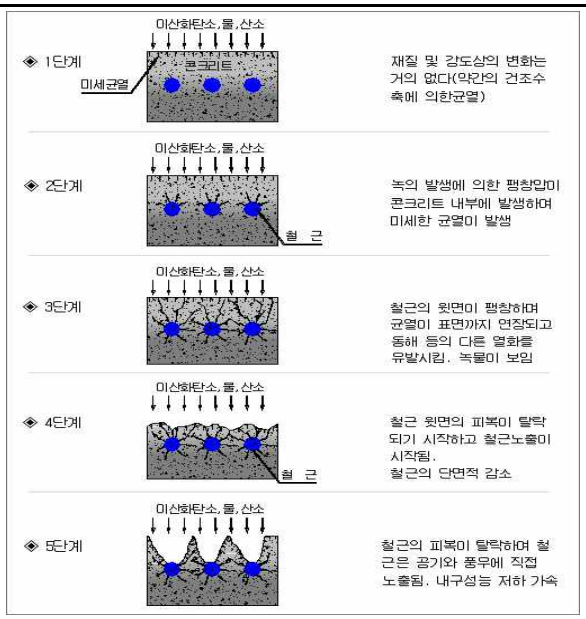
개 요

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

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$
$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$



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



〈탄산화에 의한 콘크리트 성능저하 과정〉

측정위치 및 방법

① 코어 공시체 표면 또는 햄머드릴을 이용하여 직경 1~2㎝ 정도의 구멍을 뚫고 청소 후에 페놀프탈레인 용액을 분무하여 탄산화 깊이를 측정 또는 채취된 코어에 시험
② 페놀프탈레인 1% 용액 : 페놀프탈레인 1g + 에탄올 90cc(순도 95%) + 증류수 = 100ml로 제조

시험 순서

① 햄머드릴을 이용 콘크리트 구조체의 철근 위치까지 콘크리트를 긁어냄
② 콘크리트를 긁어낸 면을 붓, 솔 등으로 깨끗이 청소
③ 페놀프탈레인 1% 용액을 콘크리트를 벗겨낸 면에 분무기로 분무
④ 탄산화되지 않은 부분은 자주색으로 변하며, 탄산화된 부분은 착색되지 않음
⑤ 콘크리트 표면으로부터 색이 변화되지 않은 깊이(㎜)를 측정, 평균값 산정

평가 기준

〈탄산화 상태평가 기준〉

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

내구 수명 평가

■ t_1 : 탄산화가 철근표면에 도달하는 시점
t_2 : 철근 부식, 콘크리트 균열 발생 시점
t_3 : 부재내력이 한계에 달하는 시점

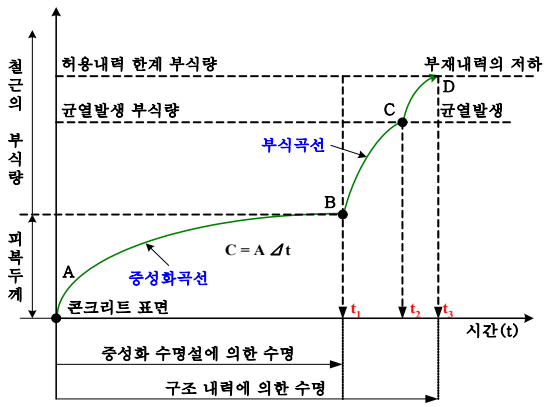
■탄산화속도 식 : $C = A\sqrt{t}$

여기서, C : 탄산화깊이(㎜)
t : 경과년수(년)
A : 탄산화 속도계수(㎜/$\sqrt{년}$)

■탄산화가 철근에 도달하는 시간(t_d) :

$$t_d = \frac{D_c^2}{A^2} - t_0$$

여기서, D_c : 철근까지의 피복두께(㎜)
t_0 : 현재의 구조물 경과시간(년)



〈콘크리트 내부에서 철근부식의 개념〉

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2019.09) 참조

나. 시험결과 및 분석

1) 개요

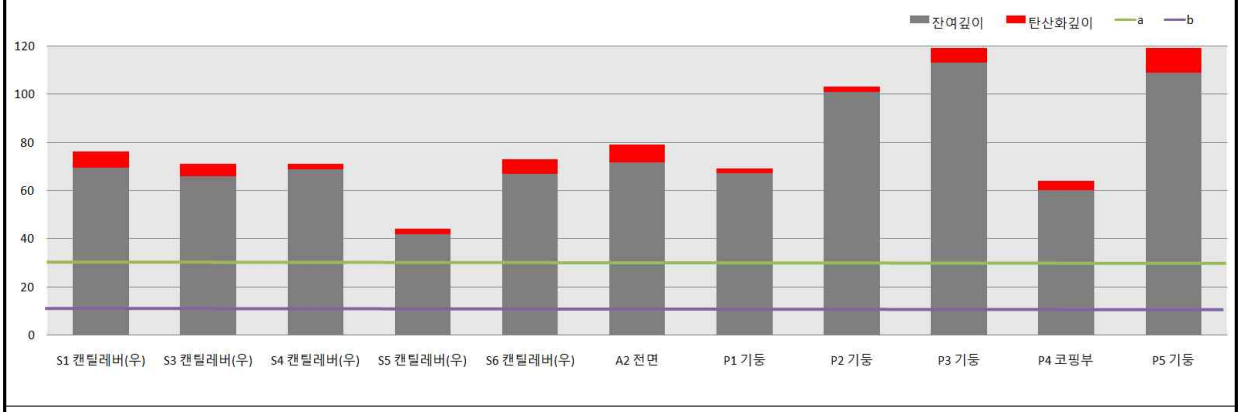
탄산화 시험은 구조물에 매입된 철근을 부식시킬 수 있는 탄산화의 영향을 파악하기 위한 시험으로, 페놀프탈레인용액을 이용하여 콘크리트의 탄산화 진행 깊이를 측정한 후 실측한 피복두께 대비 잔여피복두께를 파악하여 구조물의 내구성을 판단하고 상태평가 및 유지관리방안의 기초자료로 활용하였다.

2) 시험결과

【표 4-6】 탄산화 깊이 측정 결과

구 분		탄산화깊이 (㎜)	측정 피복두께(㎜)	탄산화 속도계수(A)	잔존수명 예측(년)	잔여깊이 (㎜)	평가 결과
상부 구조	S1 캔틸레버(우)	6.7	76.0	1.307	∞	69.3	a
	S3 캔틸레버(우)	5.0	71.0	0.981	∞	66.0	a
	S4 캔틸레버(우)	2.3	54.0	0.458	∞	51.7	a
	S5 캔틸레버(우)	2.0	44.0	0.392	∞	42.0	a
	S6 캔틸레버(우)	6.0	62.0	1.177	∞	56.0	a
하부 구조	A2 전면	7.3	79.0	1.438	∞	71.7	a
	P1 기둥	1.7	69.0	0.327	∞	67.3	a
	P2 기둥	2.3	103.0	0.458	∞	100.7	a
	P3 기둥	6.0	119.0	1.177	∞	113.0	a
	P4 코핑부	4.0	64.0	0.784	∞	60.0	a
	P5 기둥	10.0	119.0	1.961	∞	109.0	a

※탄산화깊이측정 구간에 철근탐사장비(RC-Radar)를 사용하여 최소피복두께를 활용함(측정 데이터는 부록에 수록)
※측정된 예상수명과 잔존수명이 100년 이상일 경우 “∞”로 표기
※탄산화 속도계수(A) = 탄산화깊이 / $\sqrt{\text{재령(년)}}$
※잔존수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화 속도계수)^2 - 경과년수
※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12)참조
※안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 교량편(국토교통부, 한국시설안전공단, 2019.09)참조
※하부구조는 기존 준공년도 1932년을 사용하였고 상부구조는 교량 교체시기인 2001년을 준공년도로 사용하였다.



장암교 탄산화 시험결과 그래프

3) 시험결과 분석

탄산화 깊이 측정은 상부구조 6개소, 하부구조 6개소에서 실시하였으며, 측정위치에서 철근의 피복두께 측정을 실시하였다.

측정 결과, 탄산화 깊이는 상부구조 2.0~6.7㎜, 하부구조 1.7~10.0㎜로 나타나 측정위치에서의 철근피복두께를 고려할 때, “a”의 상태로 평가되어 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 가능성은 낮은 것으로 분석되어 전 구간에서 탄산화에 의한 철근부식 및 콘크리트 내구성 저하의 영향은 적을 것으로 판단된다.

4) 기 진단 결과비교

【표 4-7】 탄산화 깊이 측정 기 진단결과 비교표

구 분	2011년 진단 탄산화 깊이(mm)	2016년 진단 탄산화 깊이(mm)	2021년 진단(금회) 탄산화 깊이(mm)
상부구조	1.8~3.96	3.0~7.3	**2.0~6.7**
하부구조	5.08~7.84	4.5~7.8	**1.7~10.0**

2011년, 2016년 진단 및 2021년 금회진단 측정결과를 비교·분석한 결과, 전차 진단과 유사한 결과를 보이고 있으며, 철근피복두께를 감안할 때 충분히 여유가 있으므로 철근부식 등의 문제는 없을 것으로 판단된다.

4.1.5 염화물 함유량 시험

가. 염화물 함유량 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 있다.

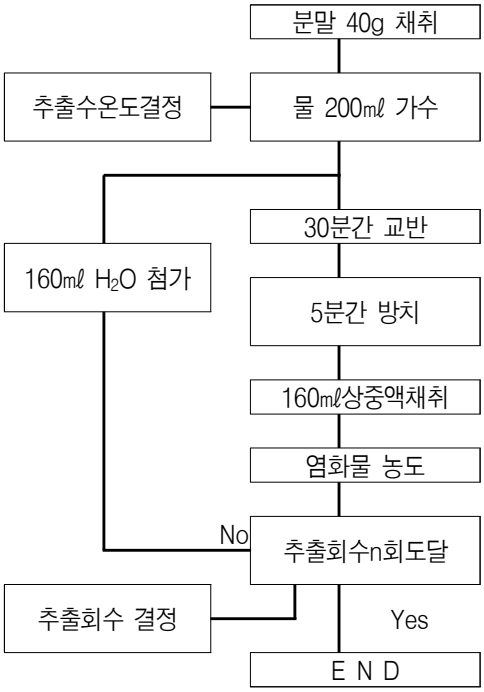
■ 굳지 않은 콘크리트의 총 염화물 이온량은 국내의 경우 0.30㎏/㎥이하로 제한하고 있으며, 책임기술자의 승인을 받는 경우 0.60㎏/㎥까지 허용될 수 있다.

시험방법

■ 본 진단 대상구조물의 콘크리트 재료 중에 함유된 염화물 함유량 정도를 추정하기 위하여 현장에서 채취한 분말시료를 이용하여 실내시험을 실시하였다.

■ 경화콘크리트는 염분을 증류수로 용출하여 시험을 하며, 경화콘크리트에 대한 염분함량 측정은 일본 "건설성 토목연구소" 에서 규정한 [콘크리트 중에 포함되어 있는 염화물의 정량 방법에 관한 사안]에 따라 가용성 염분량의 분석을 실시하였다.

■ 그러나 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 철근부식방지를 위한 최대 수용성 염소이온 비율 값으로 검토할 수 있다.



〈염화물함유량 시험방법〉

평가기준

〈염화물 상태평가 기준〉

구분 \ 등급	a	b	c	d	e
전염화물 이온량(㎏/㎥)	염화물≤0.3	0.3<염화물<1.2	1.2≤염화물<2.5	염화물≥2.5	–
철근부식의 가능성	염화물에 의한 부식발생 우려 없음	염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음	향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음	철근부식 발생	–

〈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(국토교통부, 한국시설안전공단, 2019.09) 참조

나. 시험결과 및 분석

1) 개요

염화물함유량 시험의 목적으로 구조물의 대표부재를 선정하여 드릴링을 통해 시험에 필요한 시료를 RC-Radar로 측정한 철근 근입깊이 근처까지 깊이별로 나누어 채취하여 염화물 함유량을 시험하였으며 그 결과는 다음과 같다.

2) 시험결과

【표 4-8】 염화물 함유량 시험 측정결과

시험 위치			전 염화물함유량 (%)	환산 염화물함유량 (kg/m³)	측정피복두께 (㎜)	등급
상부 구조	S1 캔틸레버(우)	0~20㎜	0.0184	0.416	76	a
		20~40㎜	0.0179	0.405		
		40~60㎜	0.0133	0.300		
하부 구조	A2	0~20㎜	0.1272	2.878	79	c
		20~40㎜	0.1221	2.763		
		40~60㎜	0.1036	2.344		
	P5 기둥	0~20㎜	0.0180	0.407	148	b
		20~40㎜	0.0178	0.402		
		40~60㎜	0.0173	0.391		

3) 측정결과 분석

전염화물 이온함량 조사결과, 염화물 함유량이 측정된 최대깊이에서 0.300~2.344kg/㎥로 측정되었으며, 상부구조는 철근부식발생 우려가 없는 “a” 등급, 교각은 염화물이 함유되어 있으나 부식발생 가능성이 낮은 “b” 등급, 교대는 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성이 높은 “c” 등급으로 평가되어 상부구조와 교각은 염화물에 의한 내구성 저하는 없는 것으로 판단되나, 교대는 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다.

4) 기 진단 결과비교

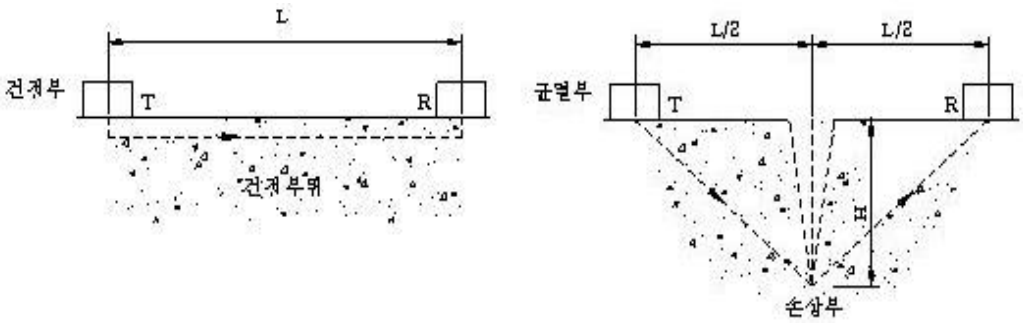
【표 4-9】 염화물 함유량 측정 기 진단결과 비교표

구 분		2011년 정밀안전진단(kg/m³)	2016년 정밀안전진단(kg/m³)	2020년 성능평가(kg/m³)	2021년 정밀안전진단(금회)(kg/m³)
상부구조 염화물 함유량		0.418 ~ 0.812	0.35	2.173	0.300
하부구조 염화물 함유량	교대	0.687	0.18	5.413	2.344
	교각	-	0.27	-	0.391

2011년, 2016년 진단, 2020년 성능평가 및 2021년 금회진단 측정결과를 비교·분석한 결과, 기존 진단결과와는 교대에서 등급하향이 되었고 성능평가와는 측정위치의 차이로 인해 등급상향이 된 것으로 보이며, 교대의 등급하향의 원인은 도로교 바닥판 상면 동절기 제설재의 영향때문인 것으로 판단된다. 교대는 지속적인 변화추이를 확인할 필요가 있다.

4.1.6 균열깊이 조사

가. 균열깊이 조사 내용 및 평가기준

개 요	■본 과업에서는 외관조사를 바탕으로 대표적인 균열부를 선정하였으며, 초음파를 이용한 Tc-To법을 적용하여 측정하였다 ■Tc-To법은 측정대상인 콘크리트 부재에서 균열부와 건전부에서 각각 측정하고, 양자의 데이터 비교에 의해 균열깊이를 산출한다.
시험방법	■균열부분을 중심으로 송신탐촉자(T_X)와 수신탐촉자(T_R)를 등간격으로 배치하고, 송신탐촉자로부터 발신된 종파초음파가 그림 중의 점선과 같이 콘크리트 내를 전파하고, 균열선단부를 경유해서 수신탐촉자에 도달하기까지의 시간 Tc를 구한다. ■균열이 없는 부분을 대상으로 동일 방법으로 송신탐촉자와 수신탐촉자의 거리 L과 초음파가 전파하는 시간 To를 구해서 균열깊이(H)를 평가한다. ■콘크리트에 균열 있는 경우 그림과 같이 초음파의 전달경로가 균열을 따라 진행하기 때문에 초음파의 전달시간이 건전부의 전달시간보다 상대적으로 길어지게 된다. 이러한 특성을 이용하여 균열 깊이를 측정할 수 있다.  $$균열깊이(H) = \frac{L}{2}\sqrt{(\frac{T_c}{T_o})^2 - 1}$$ 여기서, To : 균열이 없는 건전부의 초음파 전달속도 Tc : 균열면 주위의 초음파 전달속도

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
※콘크리트 내구성 평가절차 수립(건설교통부, 시설안전기술공단, 1999.12) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2019.09) 참조

나. 시험결과 및 분석

1) 개요

콘크리트 구조물에 발생된 균열의 깊이를 측정하기 위한 방법은 초음파전달속도법에 의하여 비파괴시험 방법으로 측정한다. 균열이 발생하지 않은 건전부(To)와 균열이 발생한 부위(Tc)의 초음파 전달시간을 이용하여 균열깊이를 측정하는 To-Tc법으로 균열깊이를 측정하였으며, 균열 틈 사이의 다른 매질이 있을 경우(균열 및 백태, 균열 및 누수 등)를 제외한 건식 균열부에서 조사하였다.

2) 측정결과

【표 4-10】 균열깊이 측정 결과

시험 위치		균열폭/길이 (㎜/m)	발·수신자 거리 (㎜)	초음파 전달시간 ($\times10^{-6}$sec)		균열심도 (㎜)	철근피복 (㎜)	비고
				건전부 To	균열부 Tc			
하부구조	P2 기둥(좌)	0.2/1.5	200	44.8	51.9	58.5	103.0	(설계:89.0)

※ 피복두께는 철근탐사를 통한 실제 조사 피복두께이며 측정데이터는 부록에 수록하였음.

3) 측정결과 분석

본 구조물에 대하여 P2 기둥 1개소에서 균열깊이 측정결과, 실제 철근피복두께 까지는 아직 여유가 있으나 외기노출로 인한 탄산화 및 우수의 유입으로 인한 철근의 부식 등 내구성 저하가 우려되므로 내구성 확보를 위한 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

4.1.7 강재비파괴 시험

가. 강재초음파탐상시험

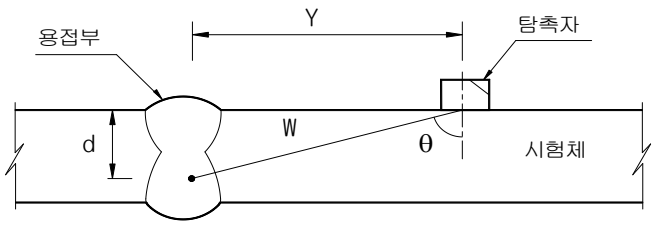
개 요

■ 가청 주파수 이상의 주파수를 갖는 초음파(20,000Hz이상)를 시험체 내에 전달하여 초음파 진행경로 상에 존재하는 결함부로부터 반사하는 초음파 신호를 수신하여 탐상기 CRT 스크린상에서 에코파형을 확인함으로써 결함의 존재여부 및 결함정보를 알아내는 검사 방법이다.

■ 초음파법의 종류는 크게 수직법과 사각법으로 대별되며, 수직법은 탐측자를 시험체에 접촉하여 시험체에 수직으로 전달하는 방법으로 통상적으로 판재 및 봉재, 주·단강품 결함 검사와 부재의 부식두께 측정 등에 이용되며, 사각법은 시험체에 임의의 일정각으로 초음파를 전파시켜 검사하는 방법으로 주로 강구조물 용접부 검사에 적용된다.

시험방법

■ 일반적으로 강교 용접부의 사각탐상에는 주로 용접부 내부에 존재하는 기공,슬래그,융합블량,용입부족 등의 결함과 균열에 대한 조사가 실시되고 있으며, 각각의 결함부로부터 반사한 에코파형의 펄스형태(펄스폭&높이), 반사체(결함)까지의 진행거리, 초음파 입사각도, 에코의 반사패턴 등을 종합적으로 분석하여 결함의 입체적인 위치를 산출하고 결함 종류 및 길이 등을 측정한다. 본시험에서는 70° 로 초음파를 입사하였다.



계산식 $Y = W \cdot Sin\ominus$ 여기서 Y : 입사점-결함거리

$d = W \cdot Cos\ominus$ d : 결함깊이

w : 초음파 이동거리

θ ° : 입사각(70°)

평가기준

〈균열깊이의 손상도 판정기준〉

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

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조
※콘크리트 내구성 평가절차 수립(건설교통부, 시설안전기술공단, 1999.12) 참조
※강구조공사 표준시방서(국토교통부, 2016) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2019.09) 참조

1) 시험결과 및 분석

① 강재초음파탐상시험 개요

강재 내부의 결함(흠)을 찾아내기 위하여 강재 맞대기 이음부의 용접부 내부결함, 면상결함, 균열, 용입불량 등을 초음파 파동 특성을 이용하여 조사하는 초음파탐상시험을 세부지침 기준인 2개소/경간별 거더 총 36개소에서 측정을 실시하였으며, 전차용역시 양호한 상태로 조사된 바 금번 시험에서는 전차용역에서 실시한 부위와 중복되지 않는 인접부위에서 시험을 실시하였다.

② 측정결과

【표 4-11】 강재 초음파시험 결과

측정위치		Ident. No	Q'ty	Acc'	Rej'	Location	Length	Width	Depth	DAC(max)	Remarks	Grade
경간	거더	확인번호	수량	합	불	위치	길이	폭	깊이	보정곡선	비 고	등급
S6	G1	UT1	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S6		UT2	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S5		UT3	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S5		UT4	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S4		UT5	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S4		UT6	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S3		UT7	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S3		UT8	1P		✓	Xo:55 Yo:0	130	1	6~8	0dB		4류
S2		UT9	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S2		UT10	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S1		UT11	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S1		UT12	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S6	G2	UT1	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S6		UT2	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S5		UT3	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S5		UT4	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S4		UT5	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S4		UT6	1P	✓		No Recordable Indication						1류

【표 4-11】 강재 초음파시험 결과(계속)

측정위치		Ident. No	Q'ty	Acc'	Rej'	Location	Length	Width	Depth	DAC(max)	Remarks	Grade
경간	거더	확인번호	수량	합	불	위치	길이	폭	깊이	보정곡선	비 고	등급
S3	G2	UT7	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S3		UT8	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S2		UT9	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S2		UT10	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S1		UT11	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S1		UT12	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S6	G3	UT1	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S6		UT2	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S5		UT3	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S5		UT4	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S4		UT5	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S4		UT6	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S3		UT7	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S3		UT8	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S2		UT9	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S2		UT10	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S1		UT11	1P	✓		No Recordable Indication						1류
S1		UT12	1P	✓		No Recordable Indication						1류

③ 측정결과 분석

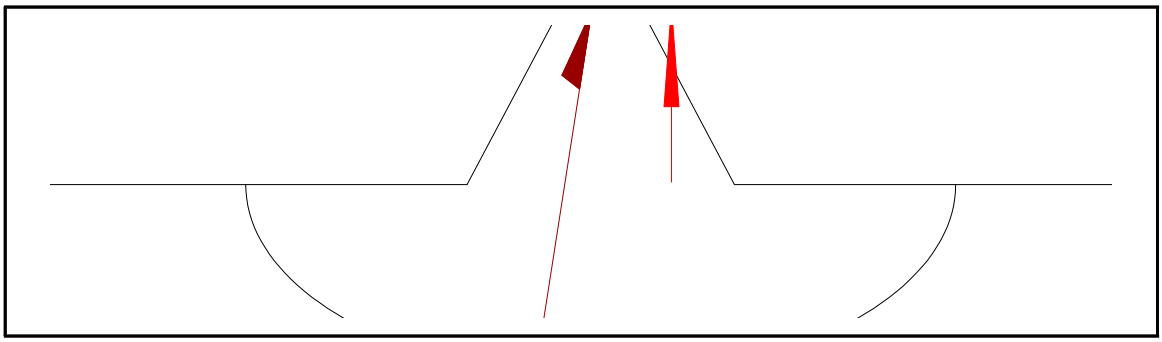
강재 초음파탐상시험 결과 1개소를 제외하고는 35개소 모두 내부결함, 면상결함, 균열 및 용접불량 등의 손상이 없는 양호한 것으로 확인되었으나, S3-G1-UT8 측점구간에서 용입불량이 검측되었다. 해당 검사 결과는 부록에 수록되었다.

④ 기 진단 결과비교

【표 4-12】 강재초음파탐상시험 기 진단결과 비교표

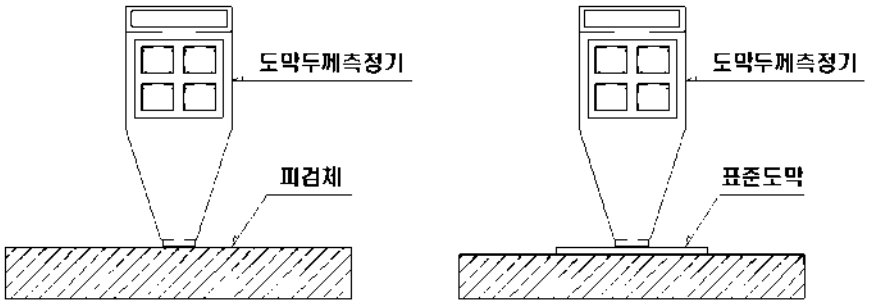
구 분	2011년 정밀안전진단			2016년 정밀안전진단			2021년 정밀안전진단(금회)			비고
	시험 개소	판정		시험 개소	판정		시험 개소	판정		
		합격	불합격		합격	불합격		합격	불합격	
G1	12	12	-	12	12	-	12	11	1	
G2	12	12	-	12	12	-	12	12	-	
G3	12	12	-	12	12	-	12	12	-	
합계	36	36	-	36	36	-	36	35	1	

기 진단 초음파탐상시험 결과와 비교한 결과 모두 1개소를 제외하고는 용접상태는 양호한 것으로 판단되나 불량구간에 대해서는 수정 후 재검사가 이루어지는게 바람직하다고 판단된다.



금번 조사는 전차용역에서 조사된 구간과 중복되지 않는 인접구간에 대해 조사된 것으로서 대상교량의 전반적인 맞대기 이음부의 용접상태를 파악하는 의미도 부여하였다. 따라서 다음 회차의 시험에서는 이러한 현황을 잘 파악하여 구간선정을 하여야 할 것이다.

나. 강재도막두께측정

<table>
<tr><td>개요</td><td>■강재에 도장과 같은 방청에 대한 대책이 없다면 외적환경에 의해 쉽게 부식이 될 수 있으며 이로 인해 단면 결손 및 응력감소로 부재수명과 안전에 많은 영향이 가해진다. 이런 외기의 영향을 막고 수명연장을 위해 강재에 규정된 두께로 도장을 실시해야 한다. 측정결과는 기존에 적용한 두께를 기준하여 정상적으로 도장작업이 수행되었는지의 여부 및 감소여부를 판단한다. 방청방식 도장에서는 절대적으로 필요한 요소이며, 도장상태가 구조물에 미치게 될 영향에 대해 평가할 필요가 있다.</td></tr>
<tr><td>시험
방법</td><td>■도막두께 측정은 전자석 또는 영구자석을 이용하여 피검체(자성체)에 도포된 도막의 두께를 측정하는 검사방법으로 페인트 도막 및 기타 코팅에 적용된다.
■도막이 도포되지 않은 피검체(자성체)에 전자석 또는 영구자석을 접촉시켜 지시계의 눈금을 영점(Zero) 조정한다.
■영점 조정 후 확인하고자 하는 두께와 유사한 표준도막을 이용하여 각 도막의 두께에 따른 자력차를 이용하여 검사하는 방법이다.
 

■도막두께를 교정 후 측정부위에 접촉시켜 전자석 또는 영구자석의 자력차를 수치로 나타내어 측정부위의 도막두께를 확인한다.</td></tr>
<tr><td>평가
기준</td><td>〈강구조공사 표준시방서 도막두께 허용오차 〉
<table>
<tr><th>기준 도막 두께
[㎛(mils)]</th><th>최소(Spot)
[㎛(mils)]</th><th>최대(평균)
[㎛(mils)]</th><th>최대(Spot)
[㎛(mils)]</th></tr>
<tr><td>25(1.0)</td><td>20(0.8)</td><td>50(2.0)</td><td>75(3.0)</td></tr>
<tr><td>50(2.0)</td><td>40(1.6)</td><td>100(4.0)</td><td>125(5.0)</td></tr>
<tr><td>75(3.0)</td><td>60(2.4)</td><td>150(6.0)</td><td>175(7.0)</td></tr>
<tr><td>100(4.0)</td><td>80(3.2)</td><td>175(7.0)</td><td>213(8.5)</td></tr>
<tr><td>125(5.0)</td><td>100(4.0)</td><td>200(8.0)</td><td>238(9.5)</td></tr>
<tr><td>150(6.0)</td><td>120(4.8)</td><td>225(9.0)</td><td>263(10.5)</td></tr>
<tr><td>175(7.0)</td><td>140(5.6)</td><td>250(10.0)</td><td>288(11.5)</td></tr>
<tr><td>200(8.0)</td><td>160(6.4)</td><td>275(11.0)</td><td>313(12.5)</td></tr>
<tr><td>250(10.0)</td><td>200(8.0)</td><td>325(13.0)</td><td>363(14.5)</td></tr>
<tr><td>275(15.0)</td><td>300(12.0)</td><td>500(20.0)</td><td>575(23.0)</td></tr>
<tr><td>500(20.0)</td><td>400(16.0)</td><td>650(26.0)</td><td>725(29.0)</td></tr>
<tr><td>625(25.0)</td><td>500(20.0)</td><td>800(32.0)</td><td>900(36.0)</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(국토교통부, 한국시설안전공단, 2019.09) 참조
※강구조공사 표준시방서(국토교통부, 2016) 참조

1) 시험결과 및 분석

① 강재도막두께측정 개요

강재도장부의 도막두께부족에 의한 열화가능 위치 파악 및 유지관리를 위해 경간별 박스 내외부 각 1개소씩 총 12개소에서 도막두께 측정을 실시하였다.

② 측정결과

【표 4-13】 도막두께 측정 결과

측 정 위 치		측정두께 (㎛)						기준 두께 (㎛)
		측정No.					평균	
		1	2	3	4	5		
박스 내부	S1 G1 좌측	201	225	203	208	222	212	175
	S2 G1 우측	198	192	201	197	209	199	
	S3 G2 좌측	203	223	217	201	195	208	
	S4 G2 우측	210	196	198	201	199	201	
	S5 G3 좌측	191	201	197	190	194	195	
	S6 G3 우측	209	218	196	193	181	199	
박스 외부	S1 G1 우측	235	238	255	272	264	253	215
	S2 G1 우측	228	277	275	298	278	271	
	S3 G3 우측	371	367	351	364	354	362	
	S4 G3 우측	335	273	312	325	283	306	
	S5 G3 우측	260	270	265	269	261	265	
	S6 G3 우측	372	383	374	332	380	368	

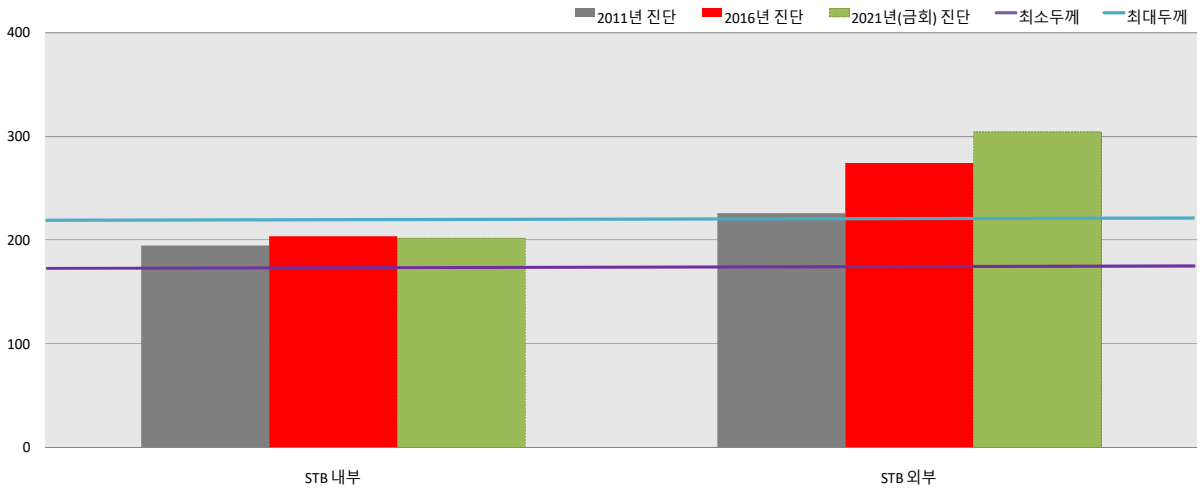
③ 측정결과 분석

강재 도막두께 측정 결과 박스내부는 195~212㎛로 강구조공사표준시방서 기준범위를 모두 만족하는 것으로 측정되었으나, 강박스외부는 253~368㎛로 측정되어 부분적으로 기준범위를 초과하였으나 기능상에 문제는 없다고 판단된다.

④ 기 진단 결과비교

【표 4-14】 도막두께측정 기 진단결과 비교표

구 분	내 부(평균)	외 부(평균)	기준 두께
2011년	195㎛	226㎛	내부 : 175㎛ 외부 : 215㎛
2016년	204㎛	274㎛	
2021년(금회)	202㎛	304㎛	



기 진단 도막두께 측정결과와 비교한 결과 내부는 유사한 결과를 보이고, 외부는 다소의 편차가 발생되었으나 교량의 내구성에 영향을 줄 정도는 아닌 것으로 판단된다.

4.1.8 현장시험 결과

【표 4-15】 현장시험 결과

시 험 명		시험결과	평 가
콘크리트 강도시험	비파괴 시험	■ 상부구조는 설계기준강도의 94.8%~108.5%, 하부구조는 설계추정강도의 97.5%~106.7%정도로 측정값이 설계치와 유사하므로 손상으로 인한 내구성저하는 없는 것으로 판단된다.	대체로 양호
철근탐사시험		■ 철근 피복두께는 설계도면보다 다소 크게 조사되었으나, 배근간격은 설계도면과 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다. 현재 해당 구간의 철근으로 인한 문제점 및 특이사항은 없는 것으로 조사됨.	대체로 양호
탄산화 깊이 측정		■ 탄산화 잔여깊이 42.0~113.0㎜, 콘크리트 잔존수명 100년 이상으로 조사됨.	“a” 등급으로 양호한 상태
염화물함유량 시험		■ 철근 부근위치 전염화물량 : 0.300 ~ 2.344㎏/㎥ (철근부식발생 우려가 없는 “a” 등급부터 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성이 높은 “c” 등급까지 존재함)	바닥판 : “a” 등급 교대 : “c” 등급 교각 : “b” 등급
균열깊이 측정		■ 측정결과 철근피복까지는 아직 여유가 있음	Cw=0.3㎜이상 균열 적절한 보수 필요
강재 비파괴 시험	강재초음파 탐상 시험	■ 측정결과 총 36개소 중 1개소에서 용입불량구간이 측정되었으며, 나머지 개소는 양호한 것으로 평가됨.	조사된 용입불량구간에 대해서는 수정 후 재검측 필요
	강재도막 두께 측정	■ 강재 도막두께 측정 결과 박스내부는 195~212㎛로 강구조공사표준시방서 기준범위를 모두 만족하는 것으로 측정되었으나, 강박스외부는 253~368㎛로 측정되어 부분적으로 기준범위를 초과하였으나 기능상에 문제는 없다고 판단됨.	양호

현장시험 결과, 콘크리트 강도, 철근배근상태, 탄산화 및 염화물 함유량시험, 강재도막두께 측정결과는 큰 문제가 없는 상태이나, 강재초음파탐상 시험 결과 용입불량개소가 조사되어 이 부위는 수정 후 재검사를 실시하는 것이 바람직하다고 판단되며 특히 금회 강재초음파탐상시험은 전차용역에서 조사된 구간과 중복되지 않는 인접구간에 대해 조사된 것으로서 대상교량의 전반적인 맞대기 이음부의 용접상태를 파악하는 의미도 부여한 것으로서 다음 회차의 진단에서는 이러한 현황을 잘 파악하여 구간선정을 하여야 할 것으로 판단된다. 또한 균열깊이 측정결과 균열심도가 아직 여유는 있으나 구조물의 내구성 및 사용성 확보를 위해서는 균열에 대해서는 주입보수를 실시하고 Cw=0.3㎜미만 균열에 대해서는 진전여부를 지속적으로 관찰하여 유지관리 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

제5장
시설물의 상태평가

5.1 상태평가 기준
5.2 상태평가 결과 산정 방법
5.3 상태평가 결과

제5장 시설물의 상태평가

5.1 상태평가 기준

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](2019.09, 국토교통부/한국시설안전공단)』의 상태평가 기준에 따라 실시한다.

5.1.1 부재별 상태평가 적용 범위

부재별 상태평가 기준은 교량의 거더와 가로보를 분리하고, 콘크리트의 탄산화와 염화물에 대한 평가항목을 포함하여 세분화하였으며, 아래의 표와 같이 부재별 상태평가 기준을 부재의 중요도를 감안하여 차등화 함으로써 가능한 한 전체 상태평가 기준과 부합하도록 조정 하였다.

교량의 안전에 직접적인 영향을 미치는 바닥판, 거더, 하부구조 및 교량받침은 평가기준을 a~e로 범위를 적용하고, 내구성에 영향을 미치는 신축이음, 배수시설, 교면포장과 2차부재인 가로보와 세로보는 a~d로 범위를 조정하였다.

【표 5-1】 부재별 상태평가 적용 범위

부재의 분류		차등 적용범위
상부구조	바닥판, 거더, 케이블	a, b, c, d, e
	2차부재(가로보, 세로보)	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 손상 수량의 비율에 의해 평가하는 정량적 평가와 시설물의 상태에 대한 점검자의 주관적인 의견에 의한 정성적 평가를 동시에 수행하며 정성적 평가시 점검자에 의한 편차를 줄이기 위해 손상수량 및 손상현황에 대한 정도를 정확히 파악하여야 한다.

5.1.2 부재별 상태평가 기준

가. 콘크리트 바닥판

【표 5-2】 콘크리트 바닥판 상태평가 기준

기준	균 열		열화 및 손상
	1방향 균열	2방향 균열	
a	■균열폭 0.1㎜미만	■망상균열폭 0.1㎜미만	■없음
b	■균열폭 0.1㎜이상~0.3㎜미만 ■균열율 2%미만	■망상균열폭 0.1㎜이상~0.3㎜미만	■표면 손상면적 2%미만
c	■균열폭 0.3㎜이상~0.5㎜미만 ■균열율 2%이상~10% 미만	■망상균열폭 0.3㎜이상	■표면 손상면적 2%이상~10%미만 ■철근부식 손상면적 2%미만 ■데크플레이트 박리 및 누수 발생
d	■균열폭 0.5㎜이상~1.0㎜미만 ■균열율 10%이상~20%미만	■망상균열의 진전으로 인한 콘크리트 박리 발생	■표면 손상면적 10%이상 ■철근부식 손상면적 2%이상 ■데크플레이트 박리가 심하고 누수로 인한 부식 발생
e	■균열폭 1.0㎜이상 ■균열율 20%이상	■망상균열에 인한 박리가 심하여 펀칭파괴 발생 가능성 있음	■부식으로 인한 철근의 단면감소가 심하여 바닥판의 안전성이 저하되는 경우

나. 강 바닥판, 강거더, 강 교각(강 주탑) 상태평가 기준

【표 5-3】 강 바닥판, 강 거더, 강 교각(강 주탑) 상태평가 기준

기준	모재 및 연결부 손상				표면열화
	부재의 균열	변형, 파단	연결 볼트 이완, 탈락	용접연결부 결함	
a	■없음	■없음	■없음	■없음	■없음
b	■보조부재의 국부적 균열	■보조부재의 국부적 변형	■보조부재 2%미만	■부분적 용접불량(기공, 슬래그, 언더컷)	■도장탈락 면적 10%미만 ■부식발생 면적 2%미만
c	■보조부재의 전반적 균열 ■주부재의 국부적 균열	■보조부재의 전반적 변형 및 파단 ■주부재의 국부적 변형 ■주탑하단부 볼트 부식	■보조부재 2%이상~10%미만 ■주부재 2% 미만	■주부재의 심한 용접불량(기공, 슬래그, 언더컷) ■부분적 용입부족, 용접누락	■도장탈락 면적 10%이상 ■부식발생 면적 2%이상~10%미만
d	■주부재의 전반적 균열	■주부재의 전반적 변형 및 파단 ■좌굴에 의한 주부재 변형 ■주탑하단부 연결볼트 파단	■보조부재 10%이상 ■주부재 2%이상~10%미만	■인장플랜지 접연결부 용입부족 및 용접 누락으로 인한 안전성저하	■부식발생 면적 10%이상 ■부식에 의한 단면손상 면적 10%미만
e	■균열이 주부재 단면의 20% 이상 진전	■좌굴에 의한 과대변형 및 파단으로 주부재의 안전성 저하	■주부재 10%이상	■인장플랜지 용접 연결부 균열진전으로 인해 연결기능 상실	■부식에 의한 단면손상 면적 10%이상

다. 강 가로보와 세로보

【표 5-4】 강 가로보와 세로보 상태평가 기준

기준	모재 및 연결부 손상				표면열화
	부재의 균열	변형, 파단	연결 볼트 이완, 탈락	용접연결부 결함	
a	■없음	■없음	■없음	■없음	■없음
b	■보조부재의 국부적 균열	■보조부재의 국부적 변형	■보조부재 2%미만	■부분적 용접불량 (기공, 슬래그, 언더컷)	■도장탈락 면적 10%미만 ■부식발생 면적 2%미만
c	■보조부재의 전반적 균열 ■주부재의 국부적 균열	■주부재의 국부적 변형 ■변형 및 충격에 의한 손상발생	■보조부재 2%이상~10%미만 ■주부재 2% 미만	■주부재의 심한 용접불량 (기공, 슬래그, 언더컷) ■부분적 용입부족, 용접누락	■도장탈락 면적 10%이상 ■부식발생 면적 2%이상~10%미만 ■부식에 의한 단면 손상 면적 2%미만
d	■주부재의 전반적 균열	■주부재의 압축부 좌굴에 의한 변형 ■부재의 파단 발생	■보조부재 10%이상 ■주부재 2%이상	■인장플랜지 용접 연결부 용입부족 및 용접누락으로 인한 안전성저하	■부식발생 면적 10%이상 ■부식에 의한 단면 손상 면적 2%이상
e	-	-	-	-	-

라. 교대

【표 5-5】 교대 상태평가 기준

기준	균열, 변위	열화 및 손상
a	■구체 균열폭 0.1㎜미만	■없음
b	■구체 균열폭 0.1㎜이상~0.3㎜미만	■표면 손상면적 2%미만 ■앵커블록 내부 결로 발생
c	■구체 균열폭 0.3㎜이상~0.5㎜미만 ■교대와 날개벽사이에 폭 1.0㎜이상의 균열발생	■표면 손상면적 2%이상~10%미만 ■철근부식 손상면적 2%미만 ■앵커블록 내부 결로에 의한 체수
d	■구체 균열폭 0.5㎜이상~1.0㎜미만 ■날개벽 기울음 및 손상 심화(배면토 유출) ■기초의 부등침하로 인한 구체 기울음	■표면 손상면적 10%이상 ■철근부식 손상면적 2%이상
e	■구체 균열폭 1.0㎜이상 ■날개벽 전도 위험 있음 ■부등침하로 인한 교대 안전성 저하	■코핑부 파손으로 인하여 거더의 탈락 가능성이 있음 ■심한 철근부식으로 인하여 교대의 안전성이 저하됨

마. 콘크리트 교각

【표 5-6】 콘크리트 교각 상태평가 기준

기준	균열, 변위	열화 및 손상
a	■균열폭 0.1㎜미만	■없음
b	■균열폭 0.1㎜이상~0.3㎜미만	■표면 손상면적 2%미만
c	■균열폭 0.3㎜이상~0.5㎜미만	■표면 손상면적 2%이상~10%미만 ■철근부식 손상면적 2%미만
d	■균열폭 0.5㎜이상~1.0㎜미만 ■기초의 부등침하로 인한 구체 기울음	■표면 손상면적 10%이상 ■철근부식 손상면적 2%이상
e	■균열폭 1.0㎜이상 ■부등침하로 인한 교각 안전성 저하	■코핑부 파손으로 인하여 거더 탈락 가능성 있음 ■심한 철근부식으로 인하여 교각의 안전성이 저하됨

바. 기초

【표 5-7】 기초 상태평가 기준

기준	균열, 변위	열화 및 손상
a	■없음	■없음
b	■직접기초(확대기초)에 폭 0.3㎜미만의 균열 발생	■매립된 직접기초(확대기초)의 상부가 세굴 등에 의해 노출됨
c	■직접기초(확대기초)에 폭 0.3㎜이상의 균열 및 단면손상 발생 ■침식, 충돌 등에 의한 말뚝 및 케이슨 기초의 단면손상 발생	■세굴이 직접기초(확대기초)의 하단까지 진행되어 말뚝 및 케이슨기초가 부분적으로 노출됨
d	■직접기초(확대기초)의 파손으로 인한 철근노출 발생 ■침식, 충돌 등에 의한 말뚝 및 케이슨 기초의 철근노출 발생	■세굴에 의해 말뚝 및 케이슨기초가 전반적으로 노출됨 ■기초의 부등침하 및 측방유동에 의해 교대/교각이 기울음
e	■기초의 파손 및 침식으로 인한 하부구조물의 안전성 저하	■기초의 부등침하 및 측방유동에 의한 교대/교각의 기울음으로 인해 상부구조의 단차 및 파손 발생

사. 교량받침

【표 5-8】 교량받침 상태평가 기준

기준	받침본체		받침 콘크리트
	탄성받침	강재받침	
a	■양호	■양호	■양호
b	■미세균열, 갈라짐 등 경미한 열화	■외부 도장탈락 및 부식 ■도장탈색, 먼지 쌓임	■부분적 박리, 탈락 등 손상
c	■측면 부풀음 ■받침두께의 0.3배 미만의 전단변형	■미끄럼판 부식 발생 ■부분적 변형, 고정장치 파손 및 이완	■받침 콘크리트에 0.3㎜이상 균열 발생 ■박리, 탈락 등 손상으로 지지단면 감소, 기능상 장애
d	■고무재 파손 및 단차, 균열 심화 ■받침두께의 0.3배 이상의 전단변형 ■받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 미만 ■받침의 신축기능 불량	■받침 본체 부식으로 인한 받침 신축거동 장애발생 ■받침 본체 파손 ■받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 미만	■받침 콘크리트 파손 및 하부공동으로 받침의 탈락 및 침하 발생 가능성 있음
e	■받침 신축기능 불량으로 인하여 받침본체 및 거더(바닥판)의 파손 발생 ■받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 이상	■받침 신축기능 불량 인하여 거더 등 주부재의 파손 발생 ■받침이 밀착되지 않고 떠있는 부분이 전체면적의 1/2 이상 ■작동불능 상태	-

아. 신축이음

【표 5-9】 신축이음 상태평가 기준

기준	본 체	후타재
a	■없음	■양호
b	■토사, 이물질 퇴적 ■고무판 노후화	■미세균열이 발생
c	■물받이 미설치 또는 파손으로 인한 누수 ■유간사이 이물질로 기능불량, 고무판 마모, 국부적인 부식 등의 열화 ■고무판 균열, 볼트 또는 너트의 부분 탈락 ■누수로 인하여 신축이음 하부의 받침 및 코핑부에 이물질 퇴적 및 부식발생	■균열이 50㎝이하의 간격으로 발생 ■국부적인 박리, 박락, 파손
d	■강판유동 및 연결불량으로 이상음 발생 ■신축유간 밀착으로 인한 거동 불량 ■신축유간이 넓어 차량통행에 지장 초래 ■신축이음 본체 탈락, 파손 및 작동 불능	■신축이음의 심한 파손 및 단차로 인하여 차량통행시 충격발생 ■파손 범위가 후타재 폭 이상으로 큼
e	-	-

자. 교면포장

【표 5-10】 교면포장 상태평가 기준

기준	포장불량		배 수
a	■미세균열	■없음	■없음
b	■포장불량율 2%미만	■포장손상이 미미하여 주행에 영향 없음	■배수구배 및 배수시설 불량에 의한 부분적 물고임
c	■포장불량율 2%이상~10%미만	■포장손상으로 인하여 차량의 통행에 영향 있음	■배수구배 및 배수시설 불량에 의한 물고임 발생으로 주행성 저하
d	■포장불량율 10%이상	■전반적인 재포장이 필요한 상태	■배수불량에 의한 물고임으로 통행차량의 안전성 저하
e	-	-	-

차. 배수시설

【표 5-11】 배수시설 상태평가 기준

기준	상태기준 설명
a	■양호
b	■다소의 퇴적물이 있으나 배수에는 이상 없음
c	■배수시설의 상태불량, 길이부족 ■많은 퇴적물, 누수 ■누수로 인하여 구조물 부식 발생 ■배수관 유출구 위치가 부적절하여 하부통행에 따른 위험 초래
d	■파손이나 노후화로 인하여 재설치가 필요한 상태
e	-

카. 난간 및 연석(방호벽)

【표 5-12】 난간 및 연석(방호벽) 상태평가 기준

기준	강재		콘크리트
a	■양호	■양호	■양호
b	■도장 불량 10%미만	■고정장치 및 연결재의 이완이 국부적으로 발생	■경미한 손상, 0.3㎜이하 균열
c	■도장불량 10%이상 ■부식으로 인한 단면손상 10%미만	■파손 및 탈락 10%미만	■0.3㎜이상 균열 ■박리, 파손, 철근노출, 10%미만 ■철근부식손상 길이 2%미만
d	■부식으로 인한 단면손상 10%이상	■파손 및 탈락 10%이상 ■낙석으로 인한 손상발생 ■고정부 열화 및 손상으로 인한 전도의 위험이 있음(방음벽)	■박리, 파손, 철근노출 10%이상 ■철근부식손상 길이 2%이상
e	-	-	-

타. 탄산화

【표 5-13】 탄산화 상태평가 기준

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

파. 염화물

【표 5-14】 염화물 상태평가 기준

기준	전염화물 이온량	철근부식의 가능성
a	■염화물 ≤ 0.3kg/㎥	■염화물에 의한 부식발생 우려 없음
b	■0.3kg/㎥ < 염화물 < 1.2kg/㎥	■염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	■1.2kg/㎥ ≤ 염화물 < 2.5kg/㎥	■향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음
d	■염화물 ≥ 2.5kg/㎥	■철근부식 발생
e	-	-

5.1.3 구조형식에 따른 부재별 가중치

【표 5-15】 구조형식에 따른 일반교량의 부재별 가중치

구분	결함도 평가항목		슬래브 교량	거더교량							라멘교		
				일반거더교			바닥판·거더 일체형		아치,트러스		거더 없음	거더있음 (복개구조물)	
				일반	2차부재 없음	바닥판 없음	강 바닥판	PSC 박스	콘크리트 바닥판	강 바닥판			
상부	바닥판		34	**18**	18	–	20	20	15		34	20	21
	거 더		–	**20**	25	37	18	20	23		–	21	23
	2차부재		–	**5**	–	11	5	3	5		–	5	–
하부	교대/교각		20	**13**	13	18	13		13		34	22	24
	기초		7	**7**	7	7	7		7		7	7	7
받침	교량받침		10	**9**	9	14	9		9		3	3	3
기타	신축이음		10	**9**	9	–	9		9		3	3	3
	교면포장		7	**7**	7	–	7		7		7	7	7
	배수시설		3	**3**	3	–	3		3		3	3	3
	난간/연석		2	**2**	2	6	2		2		2	2	2
콘크리트	탄산화	상부	2(4)	**2(4)**		–	–	2(4)	2(4)	–	4(7)		
		하부	2(3)	**2(3)**		4(7)	4(7)	2(3)	2(3)	4(7)			
	염화물	상부	2(0)	**2(0)**		–	–	2(0)	2(0)	–	3(0)		
		하부	1(0)	**1(0)**		3(0)	3(0)	1(0)	1(0)	3(0)			

가. 가중치 변동사항

1) STB교

① 기초(7)는 조사불가로 교대/교각(13)에 포함

5.2 상태평가 결과 산정 방법

5.2.1 경간(지점)별 부재 상태평가 산정

- 개별부재에서 발견된 결함 및 손상에 대하여 평가한 후 각 상태평가 결과 중 최저값을 개별부재 상태평가 결과로 산정한다.
- 한 경간 내에서 여러 부재가 있을 경우는 각 부재의 상태평가 기준 중 최젓값을 경간(지점) 상태평가 결과로 산정한다.

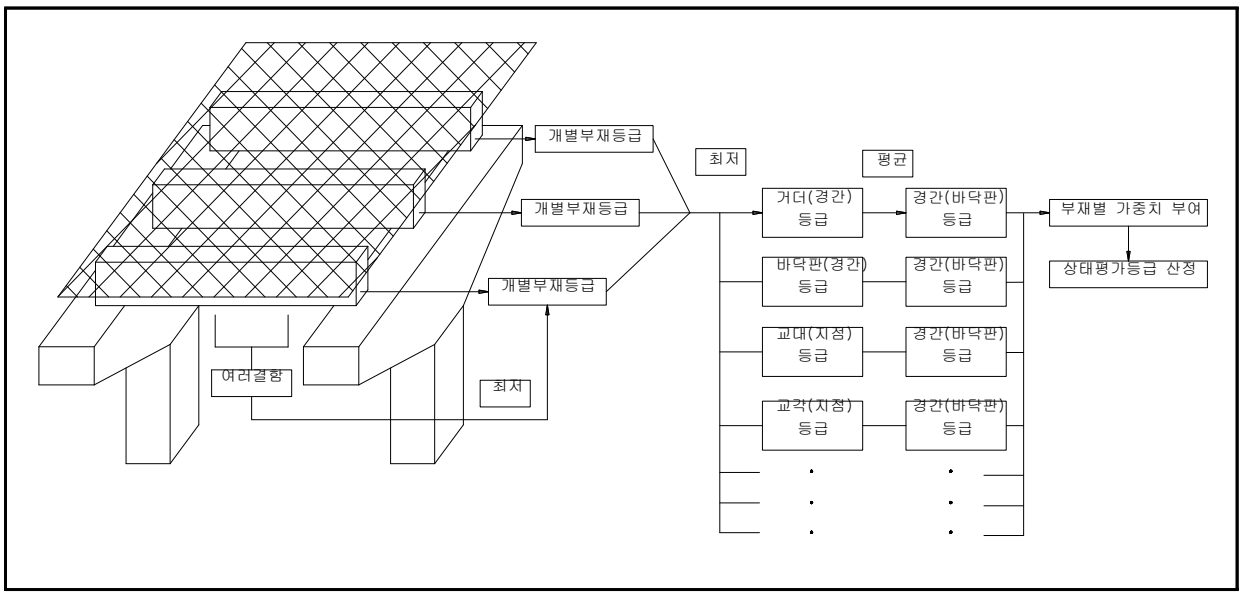
5.2.2 전체 시설물의 상태평가 결과 결정

구조형식이 같은 부재별로 평균하여 부재 상태평가를 결정한 후 구조형식에 따른 부재별 가중치를 적용하여 환산 결함도 점수를 구한다. 환산 결함도 점수는 시설물 전체의 상태평가 결과를 산정하기 위한 기준값이며, 아래의 결함도 점수 범위에 따른 기준을 적용하여 시설물 전체에 대한 상태평가 결과를 구한다.

【표 5-16】 결함도 점수 범위에 따른 기준

기 준	A	B	C	D	E
결함도 지수	0.10	0.20	0.40	0.70	1.00
결함도 범위	0 ≤ X < 0.13	0.13 ≤ X < 0.26	0.26 ≤ X < 0.49	0.49 ≤ X < 0.79	0.79 ≤ X

5.2.3 상태평가 결과 산정 방법



【그림 5-1】 전체 교량의 상태평가 결과 산정 방법 예

5.3 상태평가 결과

5.3.1 구조물별 상태평가 결과

【표 5-17】 장암교 구조물별 상태평가 결과

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		탄산화		염화물	
번호	구조형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간/연석	신축이음	교량받침	하부	기초	상부	하부	상부	하부
A1/S1	STB	b	b	a	c	b	c	c	b	b	q	a	–	a	–
P1/S2	STB	c	b	b	c	b	c	–	b	b	q	–	a	–	–
P2/S3	STB	b	c	b	c	b	b	–	b	b	q	a	a	–	–
P3/S4	STB	b	c	b	c	b	c	–	b	b	q	a	a	–	–
P4/S5	STB	b	b	b	b	b	c	–	b	b	q	a	a	–	–
P5/S6	STB	b	b	b	b	b	c	–	b	b	q	a	a	–	b
A2	–	–	–	–	–	–	–	c	b	c	q	–	–		c
평균		0.233	0.267	0.183	0.333	0.200	0.367	0.400	0.200	0.229	N/A	0.100	0.100	0.100	0.300
가중치		18	20	5	7	3	2	9	9	20	N/A	2	2	2	1
(평균X가중치)/ 가중치 합		0.036	0.047	0.009	0.023	0.006	0.007	0.036	0.018	0.046	N/A	0.002	0.002	0.002	0.003

결함도 환산점수	0.250
상태평가결과	B

5.3.2 개별교량 상태평가 결과

【표 5-18】 장암교 개별구간 상태평가 결과

구분	구조형식	환산 결함도점수	상태평가 결과	연장(m)	연장비	환산결함도점수 ×연장비
STB	STB	0.250	B	280.0	1.000	0.250
합계(Σ)				280.0	1.000	0.250

결함도 환산점수	0.250
상태평가결과	B

5.3.3 전체 교량 상태평가 결과 분석

본 대상시설물인 장암교(STB교)에 대한 육안조사에 의한 외관상태 항목과 내구성 요소인 탄산화 및 염화물 항목, 그리고 강재초음파탐상 시험결과를 포함한 전체 교량의 상태평가를 실시한 결과 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 **「B」(평가지수 : 0.250)**으로 평가되었다.

【표 5-19】 장암교 상태평가 결과

구조물명	환산 결함도점수	상태평가 등급	연장(m)	차선	길이×차선	연장비	환산결함도점수 ×연장비
장암교	0.250	B	280.0	4	1,120	1.000	0.250
합계(Σ)			280.0		1,120	1	0.250
					평가지수		**0.250**
					상태평가결과		**B**

5.3.4 상태평가 결과분석

【표 5-20】 강박스거더 구간 상태평가 결과분석

외관조사 결과분석	▪ 금회 상태평가 결과에 영향을 미친 손상은 포장부 포트홀 및 상태불량 (c) 신축이음 하부누수(c) 으로 나타남. 강재초음파탐상 시험 결과 S3-G1-UT8에서 용입불량으로(c) 이 1개소 조사되었음.
시험 및 측정 결과분석	▪ 상 · 하부구조에 대해 탄산화 깊이 측정을 실시한 결과, 잔여피복 깊이가 30㎜이상으로 상태등급 a로 평가되었으며 탄산화에 의한 철근의 부식 발생 우려는 없는 것으로 평가됨 ▪ 염화물함유량 시험을 실시한 결과, 상부구조(S1)는 철근부식발생 우려가 없는 'a', 교각(P5)는 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성이 낮은 'b', 교대(A2)는 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성이 높은 'c' 로 평가되어 상부구조는와 교각은 염화물에 의한 내구성 저하는 없는 것으로 판단되나, 교대는 주의관찰이 필요한 것으로 판단됨



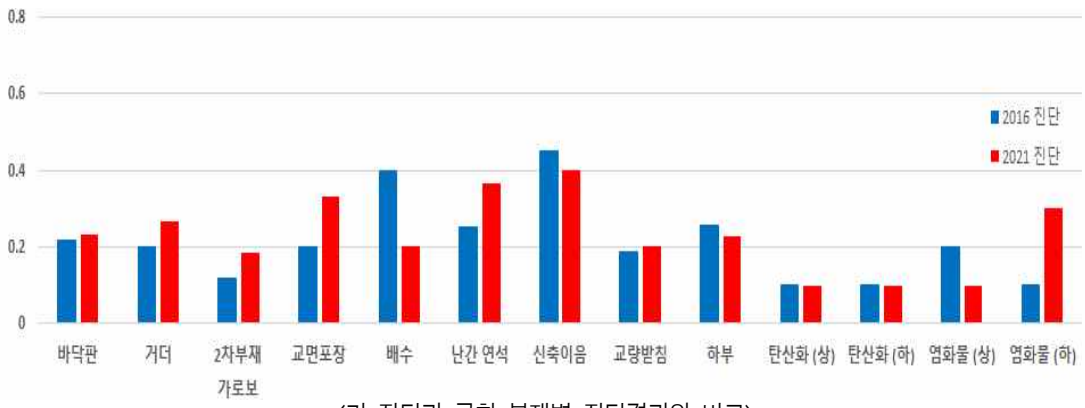
❶ 거더 강재변형 및 부식



❷ 볼트 부식

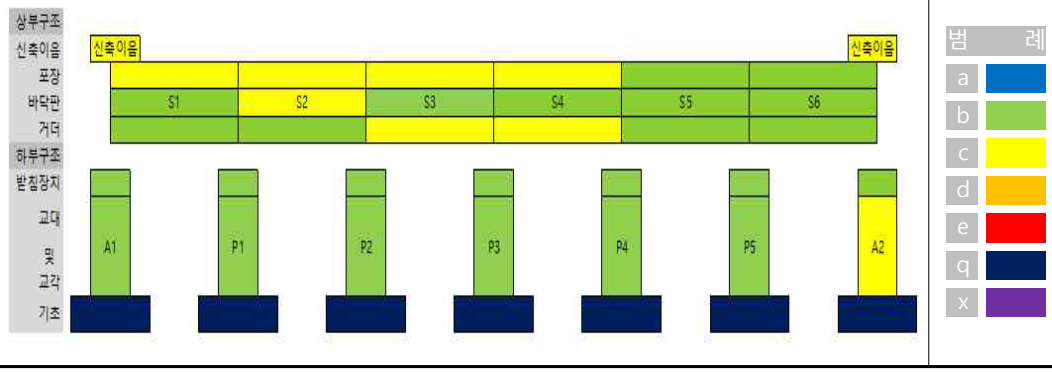


❸ 거더내부 부식 및 도장박리

구 분	상태평가 결과 분석
상태평가 결과분석	 〈기 진단과 금회 부재별 진단결과와 비교〉 ▪ 기 상태평가 자료 분석결과 금회 2016년 진단 0.233 (b), 2020년 정밀점검 0.239(b), 금회 진단 0.250 (b)로 기 점검과 비교시 미미한 정도의 결함지수가 하향조정이 되었으나 비교적 양호한 상태로 조사되었다.

가. 전체교량 상태평가 현황도

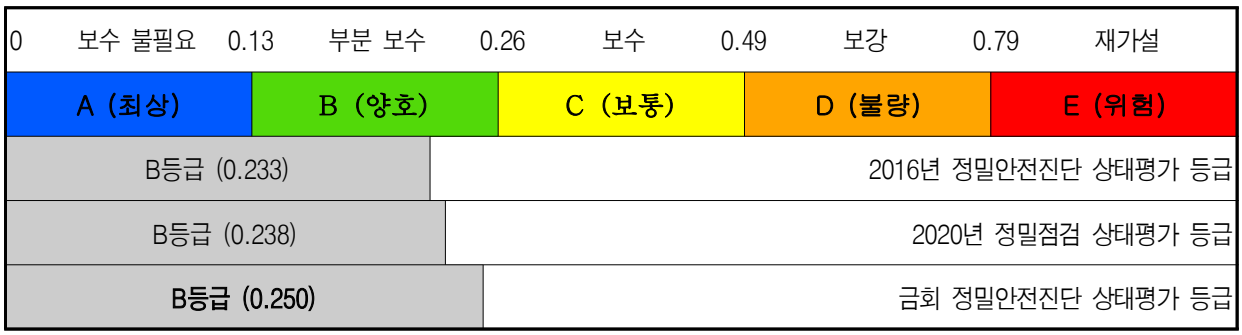
【표 5-21】 장암교 상태평가 현황도

구 분	상태평가 결과 분석
장암교	

나. 기 점검결과 비교 · 분석

【표 5-22】 기 진단시 상태등급 결과표

구 분	2016년 정밀안전진단	2020년 정밀점검	2021년 정밀안전진단(금회)
상태평가 결과	0.233 (B)	0.238 (B)	**0.250** **(B)**



기 진단 상태평가 결과자료와 비교, 분석결과 장암교의 상태평가에 따른 결함지수는 0.250으로 금회 진단의 상태평가 결함지수는 조금씩 하향조정이 되고 있음을 알 수 있으며, 현재까지는 비교적 양호한 상태로서 상태평가 결과는 'B등급' 을 유지하고 있는 것으로 분석되었다.

이는 공용기간 경과에 따른 열화에 의해 콘크리트 부재 단면손상, 강재 부식, 신축이음 하부누수 등의 손상으로 인해 상태평가 저하요인이 되고 있으며, 염화물함유량 시험에서 교대에서 'c' 등급이 평가되고 또한 강재초음파탐상 시험에서 용입불량이 조사되어 이러한 결과도 상태평가 시 저하요인이 되었을 것으로 판단되므로 보수 조치가 시행되면 결함지수는 상향될 수 있을 것이다.

제6장
현장 재하시험

6.1 개요
6.2 정적 재하시험 및 분석
6.3 동적 재하시험 및 분석
6.4 기 진단결과와의 비교

제6장 현장 재하시험

6.1 개요

6.1.1 재하시험의 목적

재하시험은 대상구조물의 활하중에 대한 실제적인 정·동적 거동을 파악, 응답특성을 규명하여 구조해석상 이론적인 응답과 비교함으로서 구조물의 안전도 및 내하력을 평가하기 위한 자료를 획득할 목적으로 실시한다.

6.1.2 재하시험 대상경간 선정

재하시험의 위치는 구조물의 심각한 손상부위가 발생된 경간 및 접근성 등을 종합적으로 고려하여 선정하여야 한다. 대상 교량인 장암교에 대한 재하시험 대상경간은 아래와 같이 과거 안전성평가 이력 및 경간특성 등을 고려하여 Steel Box Girder 구간의 S5경간 및 S6경간을 대상구간으로 선정하였다.

가. 과거 이력조사

・2016년 정밀안전진단 : Steel Box Girder교 S5, S6

나. 경간선정 및 사유

대상경간은 Steel Box Girder교 S5, S6경간으로 선정하였으며 사유는 아래와 같다.

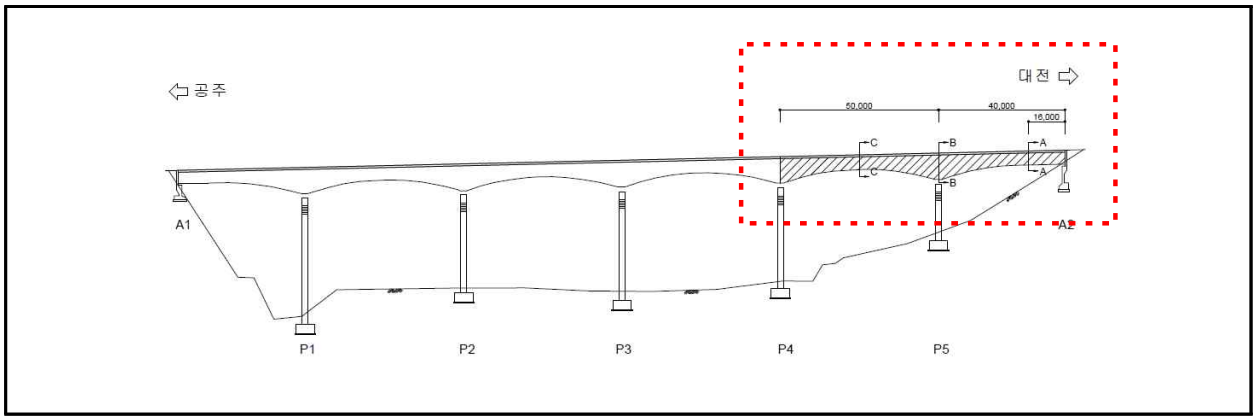
① 과거 정밀안전진단시 S5경간 및 S6경간에서 재하시험을 수행하였으며, 동일한 경간구성으로 되어 있는 경간의 거동특성 분석 및 내하력 확보 여부에 대한 검증이 필요하다고 판단됨.

② 재하시험 실시를 위한 현장 접근성, 작업여건 등이 양호함.

6.1.3 재하시험 실시

가. 시험일시

2021년 9월 4~9일 시험준비 및 9월 10일 재하시험 실시



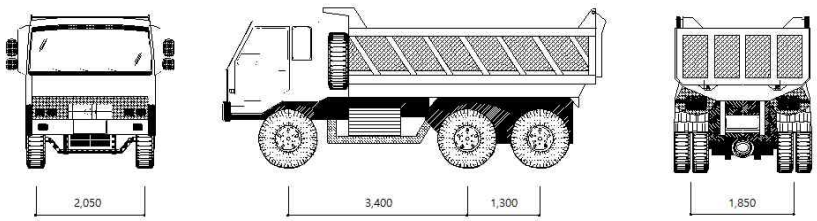
【그림 6-1】 장암교 재하시험 대상경간

나. 시험차량의 제원 및 축중

재하시험에 사용된 시험차량은 15톤 덤프 트럭 2대를 이용하였으며 토사를 적재하여 총중량이 559.80kN이 되도록 하였다. 이는 본 교량의 설계하중인 DB-24(총 중량 423kN)의 약 66%에 해당된다. 재하차량의 제원 및 하중은 아래 그림과 표에 나타내었다.

재하차량 차륜 축중(kN)	
총 중 량	279.9
1축(전륜)	69.98
2축(중륜)	104.96
3축(후륜)	104.96

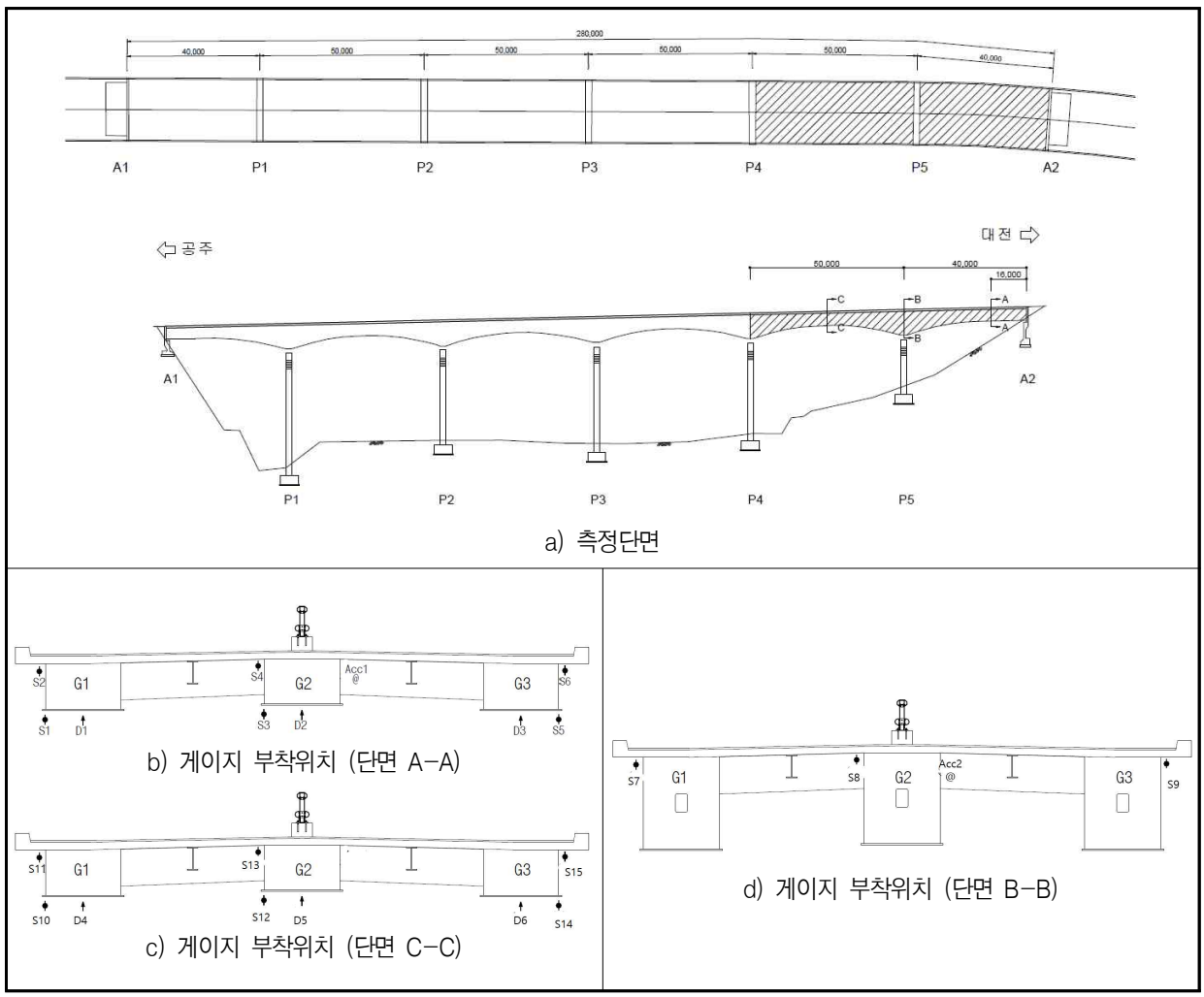




【그림 6-2】 시험차량의 제원 및 축중

다. 게이지 부착위치 및 사진대지

현장 재하시험에 사용한 측정용 게이지는 변위계, 변형률계, 가속도계이며 대상교량에 사용된 측정 게이지의 부착위치 및 사진대지는 아래와 같다.



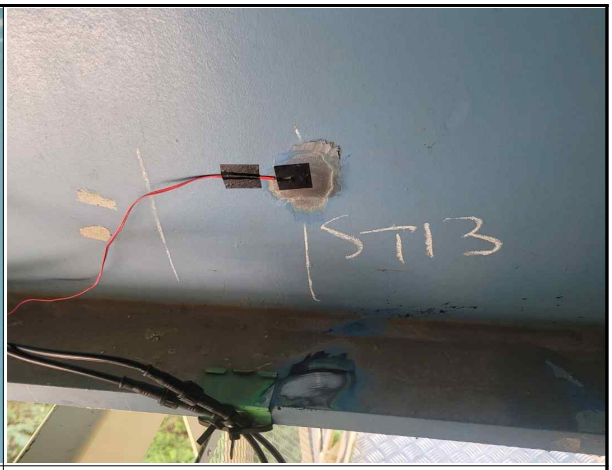
【그림 6-3】 Steel Box Girder 구간 측정단면 및 계측 센서 부착위치

【표 6-1】 센서 부착 현황

기호	기호설명	설치개소	비고
↟	변위 게이지	6	
ϕ	변형률 게이지	15	
@	가속도 게이지	2	



변형률 게이지 부착현황(거더 상연)



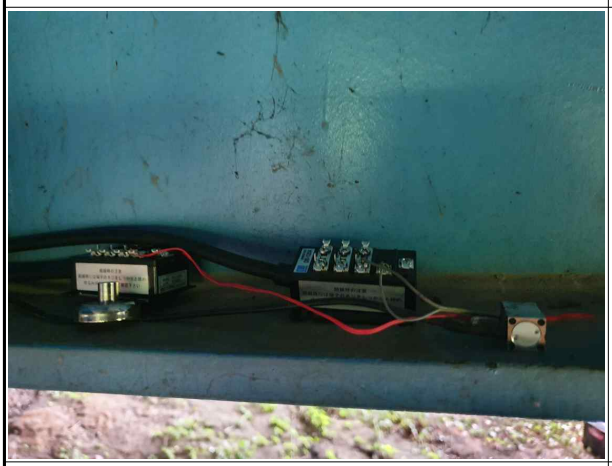
변형률 게이지 설치현황(거더 하연)



변위계 설치 현황(dt1)



변위계 설치 현황(dt2)



가속도계 설치 현황



계측장비 설치 현황

【그림 6-4】 Steel Box Girder 구간 게이지 설치 현황

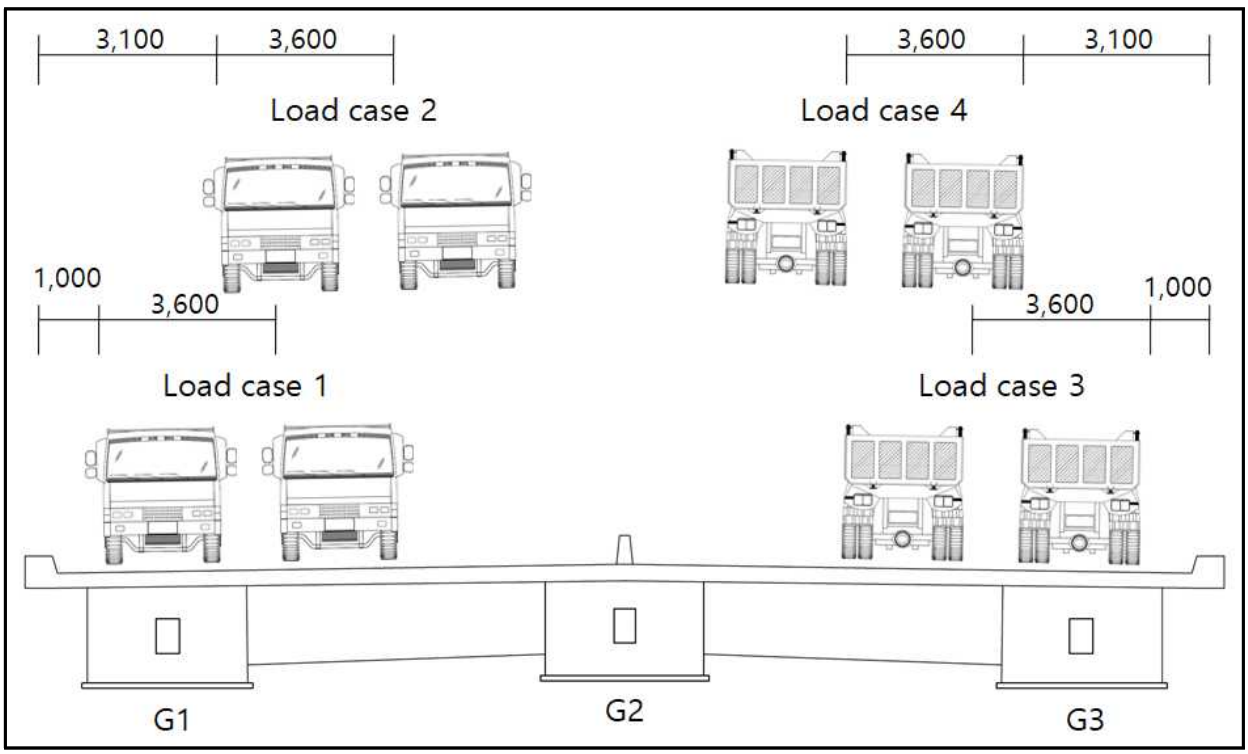
6.2 정적 재하시험 및 분석

현장 여건상 교통통제의 어려움이 존재하여 정적재하시험을 생략하고 10km/h 속도로 주행한 결과치를 의사정적시험으로 대체하여 시험을 실시하였다.

가. 의사정적재하시험 재하 경우

10km/h 주행시 우측차선 끝에 트럭2대를 나란히 붙여서 주행, 좌측차선 끝에 트럭2대를 나란히 붙여서 주행하여 최대 정모멘트 및 부모멘트 발생시의 측정값을 획득하고자 하였으며, 이는 A2(대전방향) → A1(공주방향)의 거더 G1, G2의 최대값, A1(공주방향) → A2(대전방향)의 거더 G3, G2의 최대값을 얻고자 왕복주행하였다.

기호	진행방향	차량배치	비고
Load Case 1	A2→A1(공주방향)	우측차선 나란히	
Load Case 2	A2→A1(공주방향)	좌측차선 나란히	
Load Case 3	A1→A2(대전방향)	우측차선 나란히	
Load Case 4	A1→A2(대전방향)	좌측차선 나란히	

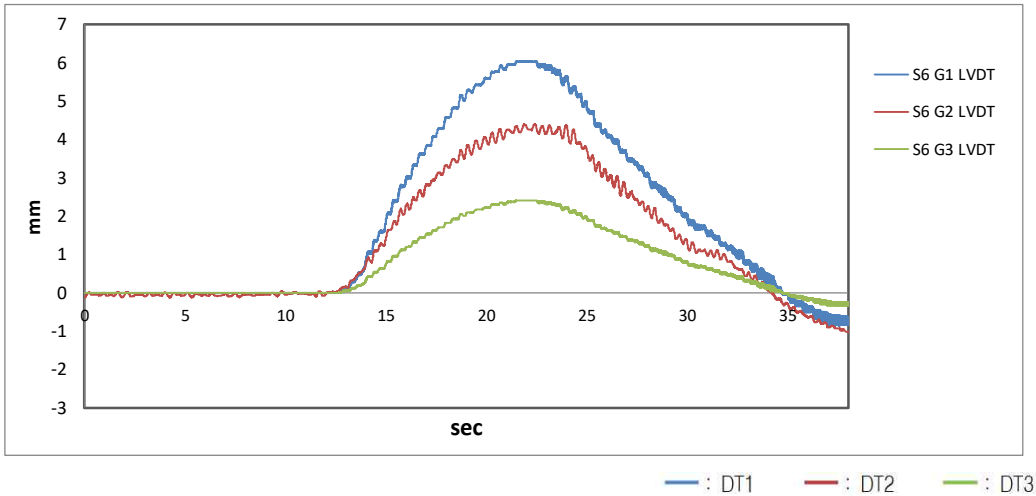
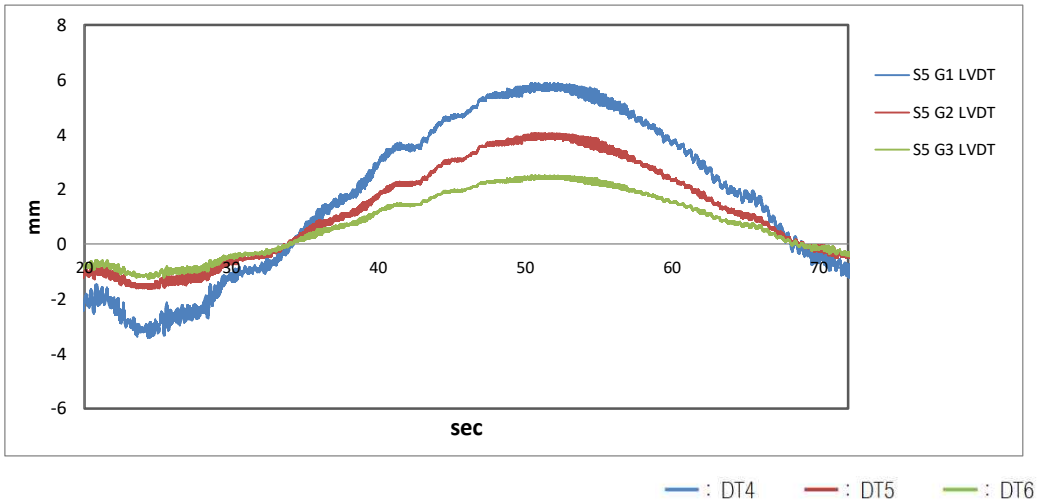


【그림 6-5】 Steel Box Girder 구간 정적재하시험 하중 재하 경우

나. 의사정적 재하시험 결과

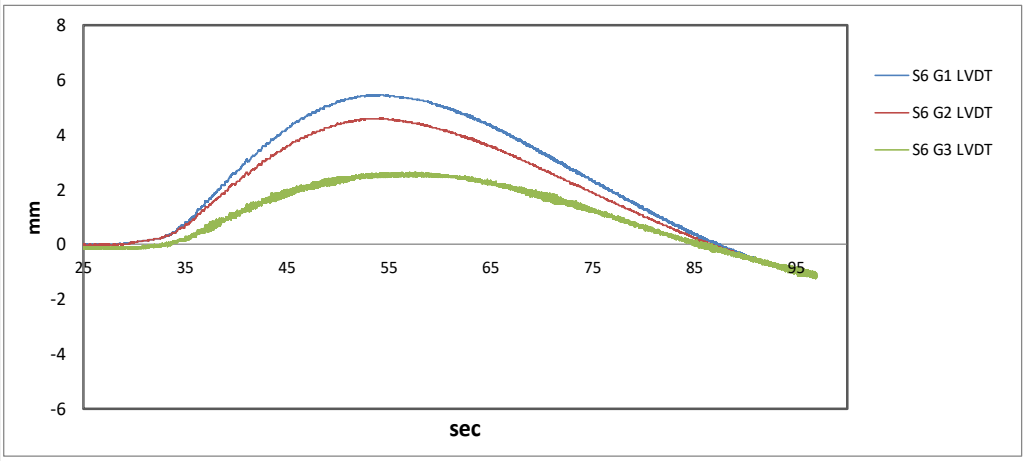
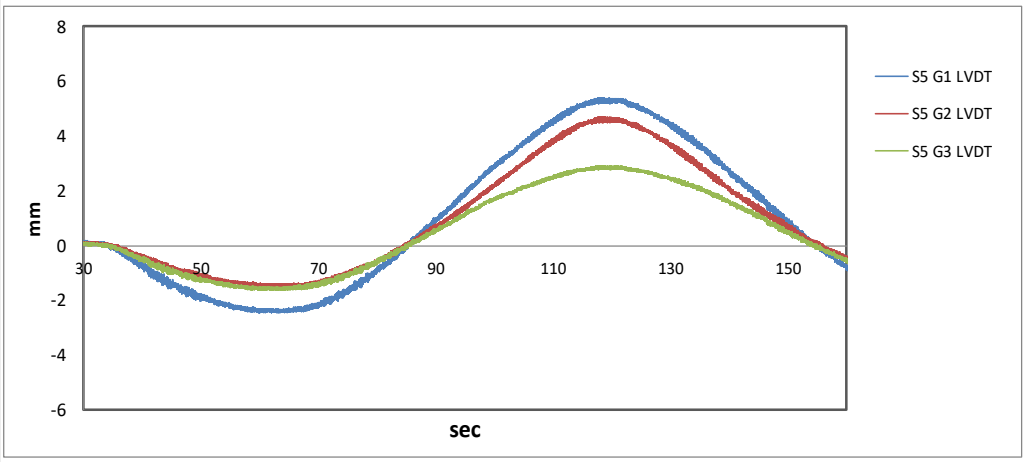
1) Steel Box Girder구간 의사정적재하시험 결과(10km/hr 주행)

【표 6-2】 장암교 Steel Box Girder 정적재하시험 결과(LVDT-L.C 1&2)

구 분	Load Case 1	Load Case 2
DT1	6.042	5.454
DT2	4.393	4.602
DT3	2.407	2.625
DT4	5.249	5.413
DT5	4.044	4.692
DT6	2.496	2.922
처짐 DATA (L.C 1)		
처짐 DATA (L.C 1)		

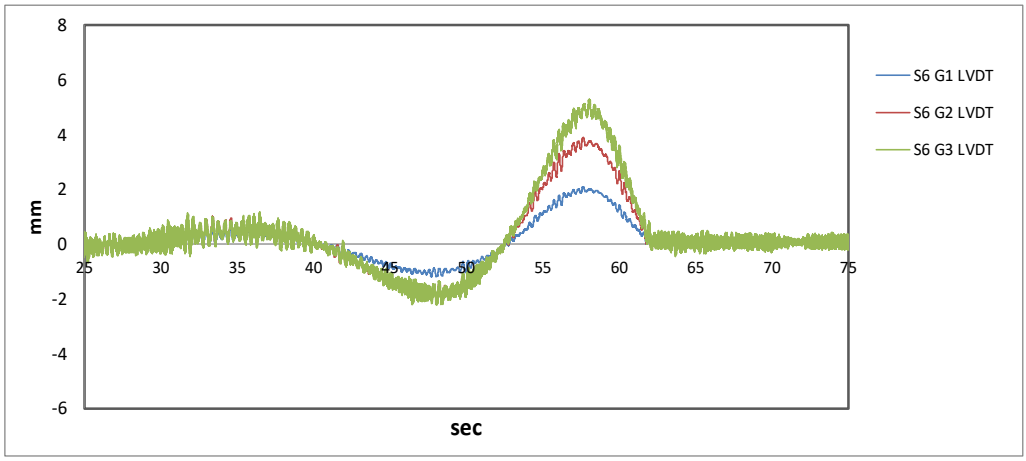
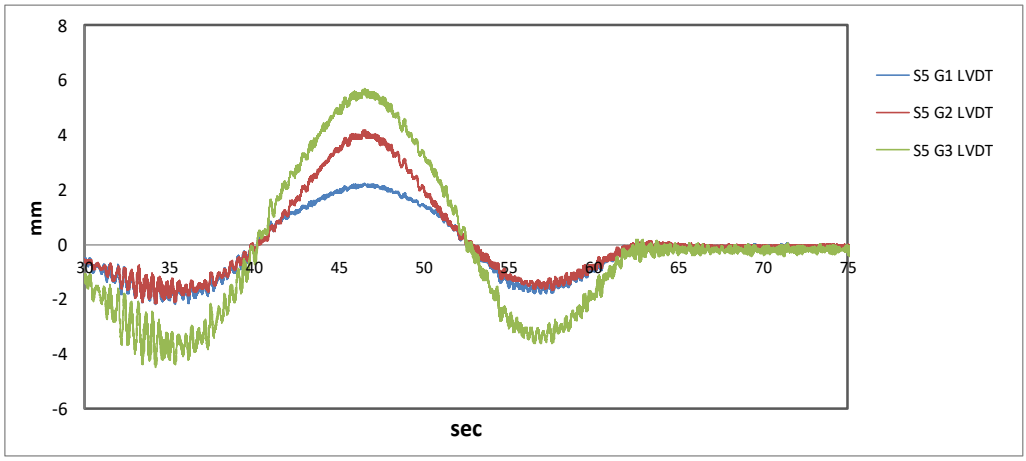
－ : 솟음, + : 처짐

【표 6-2】 장암교 Steel Box Girder 정적재하시험 결과(LVDT-L.C 1&2) (계속)

구 분	Load Case 1	Load Case 2
DT1	6.042	5.454
DT2	4.393	4.602
DT3	2.407	2.625
DT4	5.249	5.413
DT5	4.044	4.692
DT6	2.496	2.922
처짐 DATA (L.C 2)	 : DT1 : DT2 : DT3	
처짐 DATA (L.C 2)	 : DT4 : DT5 : DT6	

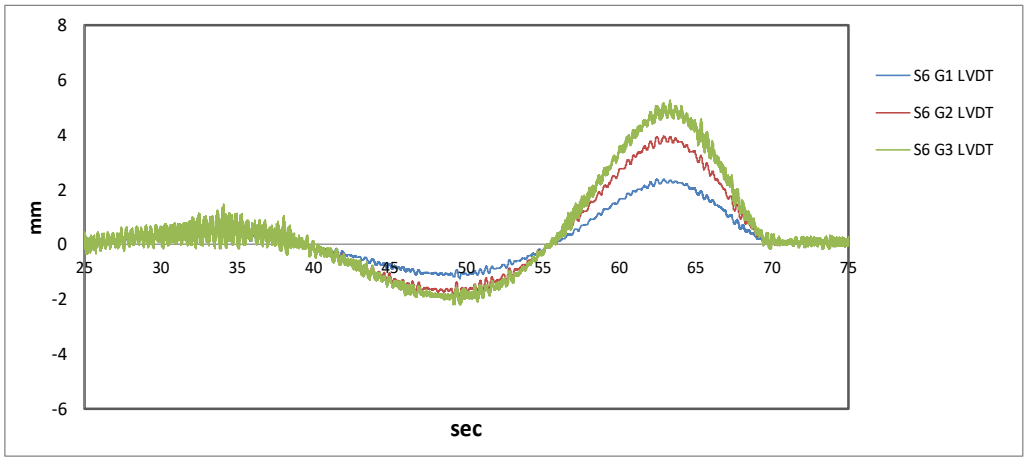
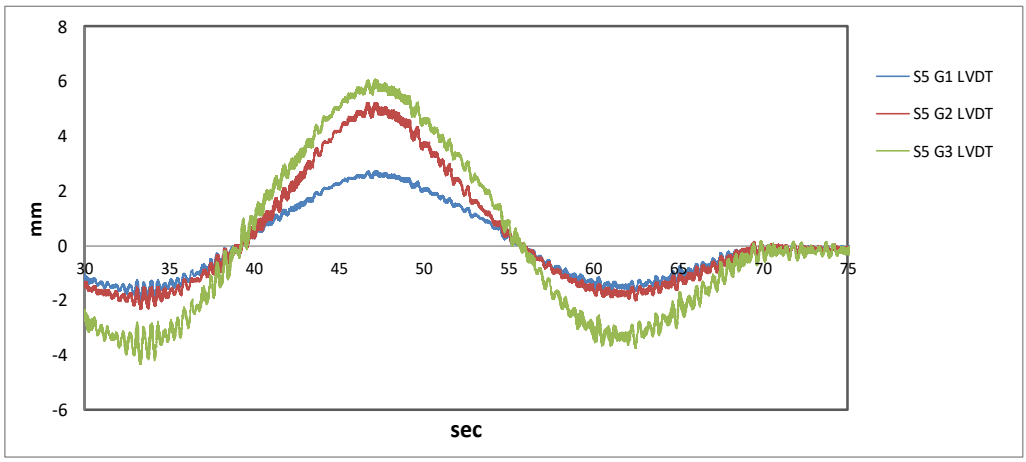
－ : 솟음, + : 처짐

【표 6-3】 장암교 Steel Box Girder 정적재하시험 결과(LVDT-L.C 3&4)

구 분	Load Case 3	Load Case 4
DT1	2.077	2.366
DT2	3.882	3.944
DT3	5.305	5.263
DT4	2.214	2.721
DT5	4.173	5.220
DT6	5.680	6.073
처짐 DATA (L.C 3)	 : DT1 : DT2 : DT3	
변형률 DATA (L.C 3)	 : DT4 : DT5 : DT6	

－ : 솟음, + : 처짐

【표 6-3】 장암교 (Steel Box Girder) 정적재하시험 결과(LVDT-L.C 3&4) (계속)

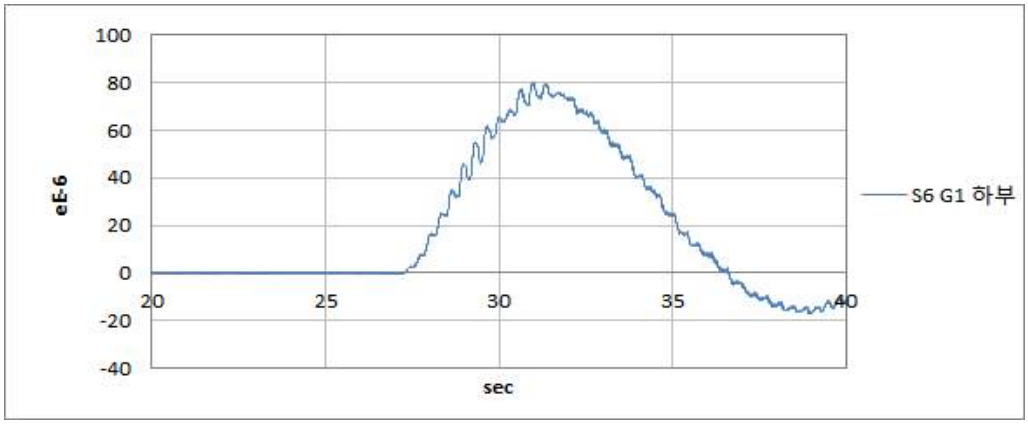
구 분	Load Case 3	Load Case 4
DT1	2.077	2.366
DT2	3.882	3.944
DT3	5.305	5.263
DT4	2.214	2.721
DT5	4.173	5.220
DT6	5.680	6.073
처짐 DATA (L.C 4)		
변형률 DATA (L.C 4)		

－ : 솟음, + : 처짐

【표 6-4】 장암교 S5경간(Steel Box Girder) 정·동적재하시험 결과(ST)

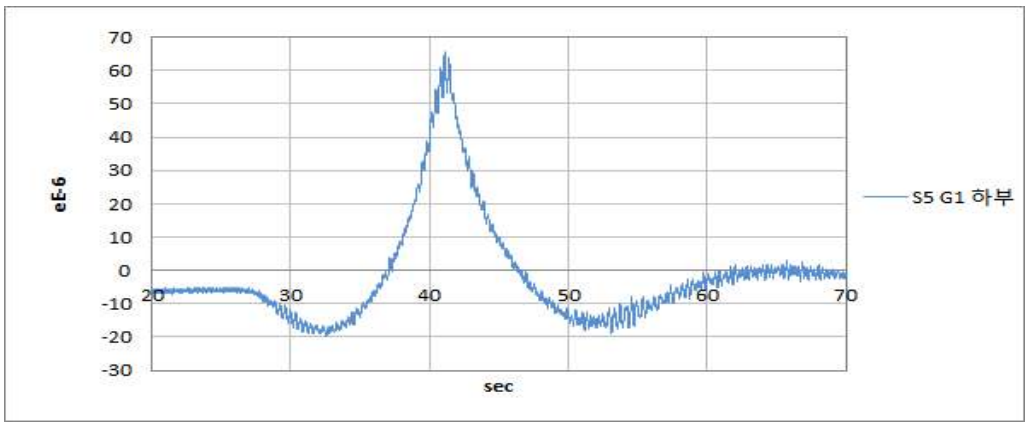
구 분	LC 1	LC 2	LC 5	LC 6	LC 7	LC 8	LC 9
ST1	**80.628**	66.867	79.922	72.059	72.738	74.877	73.229
ST2	47.276	55.15	48.751	53.047	54.526	55.428	51.595
ST3	26.364	26.901	26.426	26.943	27.659	27.846	27.199
ST4	68.936	60.251	65.672	60.794	62.839	65.361	59.983
ST5	36.562	43.763	34.244	36.869	38.328	35.473	37.147
ST6	21.21	17.036	20.351	18.521	18.968	18.741	20.001
구 분	**LC 3**	**LC 4**	**LC 10**	**LC 11**	**LC 12**	**LC 13**	**LC 14**
ST1	16.951	22.437	16.62	20.484	19.727	23.453	21.172
ST2	36.469	31.869	40.039	35.558	38.657	35.189	40.555
ST3	50.901	56.544	50.698	54.044	53.609	55.504	54.145
ST4	19.092	21.361	20.505	19.291	13.184	9.496	7.259
ST5	40.173	45.722	40.513	43.113	41.931	41.757	40.089
ST6	**69.683**	57.733	69.175	61.39	62.865	59.777	60.31

변형율 DATA (L.C 1)



: ST1

변형율 DATA (L.C 1)



: ST6

－ : 솟음, ＋ : 처짐

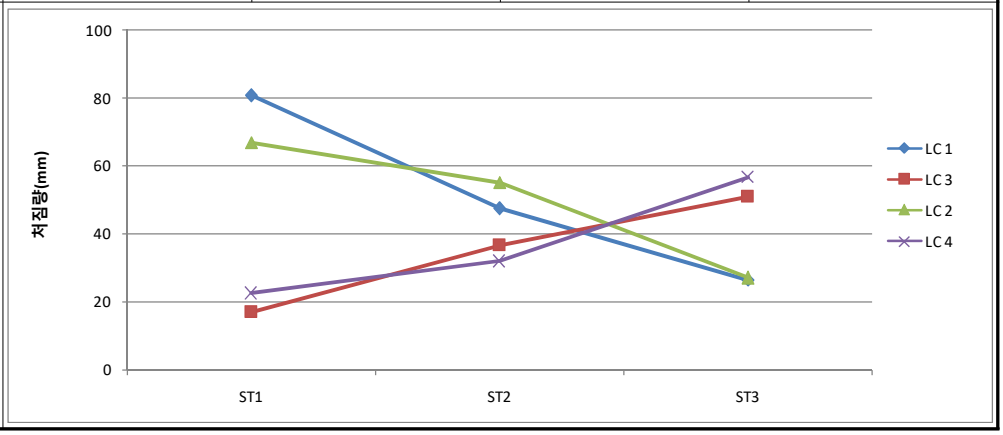
2) 대칭성분석

대칭구조의 교량부재에 하중이 작용할 때 교량거동의 건전성 여부를 판단하기 위해 통상적으로 변형률 또는 처짐 측정자료를 이용하여 대칭성 분석을 실시한다.

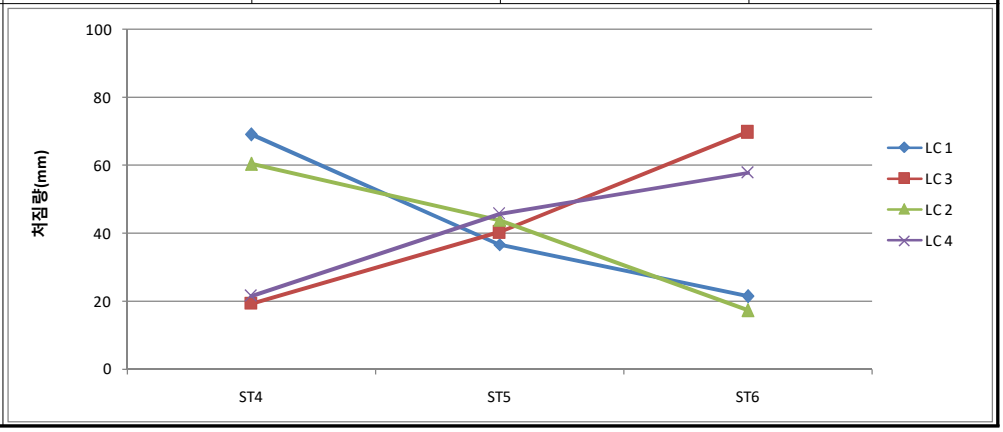
금번 재하시험에서는 의사정적으로 측정된 자료를 토대로 5경간 및 6경간 거더에 대해 변형률 및 처짐 측정결과를 이용하여 장암교의 대칭성 분석을 실시하였다.

① 변형률 대칭성

【표 6-5】 장암교 S6경간(Steel Box Girder) 변형률 대칭성 분석

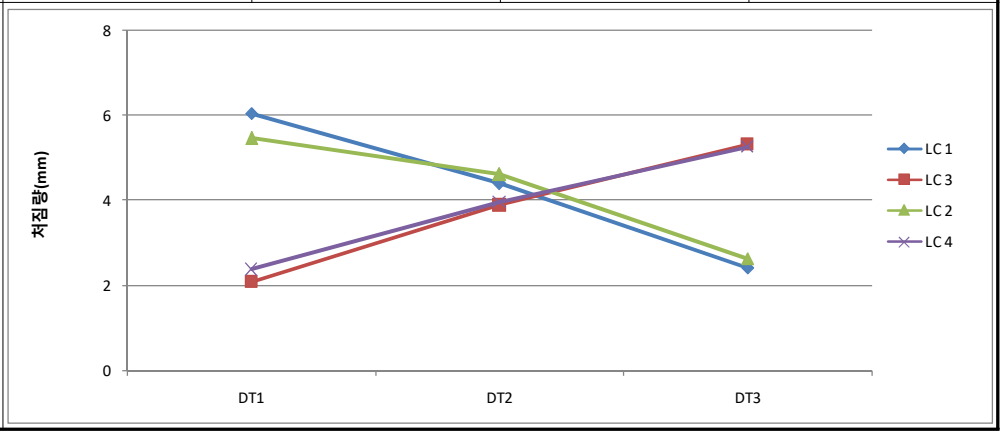
구 분	LC 1	LC 3	LC 2	LC 4
ST1	80.628	16.951	66.867	22.437
ST2	47.276	36.469	55.15	31.869
ST3	26.364	50.901	26.901	56.544
장암교 6경간 대칭성 분석 (변형률)				

【표 6-6】 장암교 S5경간(Steel Box Girder) 변형률 대칭성 분석

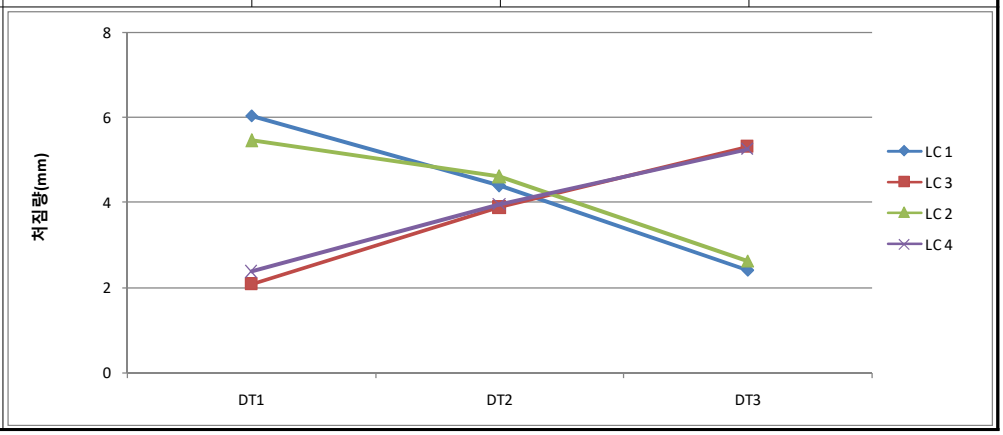
구 분	LC 1	LC 3	LC 2	LC 4
ST4	68.936	19.092	60.251	21.361
ST5	36.562	40.173	43.763	45.722
ST6	21.21	69.683	17.036	57.733
장암교 5경간 대칭성 분석 (변형률)				

② 처짐 대칭성

【표 6-7】 장암교 S6경간(Steel Box Girder) 처짐 대칭성 분석

구 분	LC 1	LC 3	LC 2	LC 4
DT1	6.042	2.077	5.454	2.366
DT2	4.393	3.882	4.602	3.944
DT3	2.407	5.305	2.625	5.263
장암교 6경간 대칭성 분석 (처짐)				

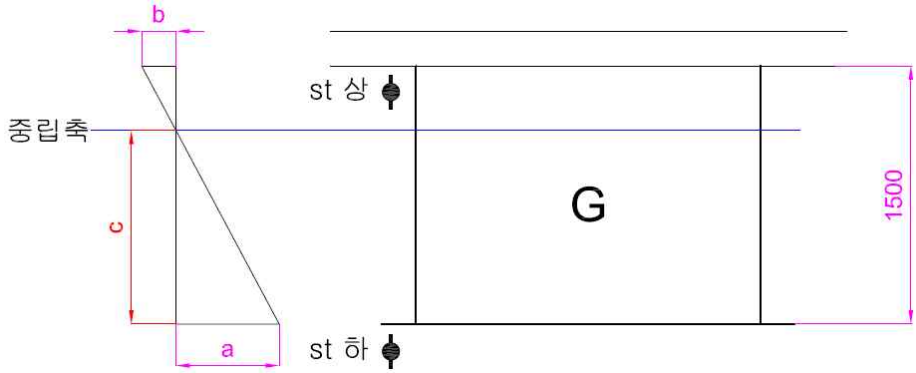
【표 6-8】 장암교 S5경간(Steel Box Girder) 처짐 대칭성 분석

구 분	LC 1	LC 3	LC 2	LC 4
DT4	5.249	2.214	5.413	2.721
DT5	4.044	4.173	4.692	5.22
DT6	2.496	5.68	2.922	6.073
장암교 5경간 대칭성 분석 (처짐)				

처짐과 변형률에 대한 대칭성 분석결과, 6경간 G1의 변형률 및 처짐 측정값이 G3의 측정값 보다 다소 크게 나온 것을 제외하고는 비교적 좌우 대칭성을 유지하고 있다고 판단되며, G1에서의 값이 다소 크게 나온 것은, 의사정적(10km/hr 주행)으로 시험을 실시한 결과 다소 차량의 주행시 재하위치를 벗어나 발생된 것으로 판단되며 나머지 결과치들은 비교적 정상적인 거동을 보이고 있으므로 크게 문제시될 정도는 아닌 것으로 판단된다.

3) 중립축 분석

거더에 대하여 상부와 하부에 각각의 변형률 게이지를 부착하여 거더 및 바닥판 합성 상태파악을 위해 재하시험에서 수집한 변형률 데이터를 아래 그림과 같이 중립축 검토를 실시하였으며 LC1과 LC3에 대하여 각 경간별로 분석하였다.



【표 6-9】 장암교 S6경간 중립축 분석

구 분	LC 1			LC 3		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3
변형률(하) (a)	81.779	64.330	17.101	16.838	55.442	76.913
변형률(상) (b)	−8.749	−6.155	−2.321	−1.965	−4.767	−8.209
중립축 (c)	1355	1369	1321	1343	1381	1355
전차용역	1322	1330	1323	1322	1330	1323
%	102%	103%	100%	102%	104%	102%

【표 6-10】 장암교 S5경간 중립축 분석

구 분	LC 1			LC 3		
	G1	G2	G3	G1	G2	G3
변형률(하) (a)	76.052	67.270	18.718	15.813	59.529	68.374
변형률(상) (b)	−7.918	−6.248	−2.307	−3.508	−7.953	−7.127
중립축 (c)	1359	1373	1335	1228	1323	1358
전차용역	1322	1330	1323	1322	1330	1323
%	103%	103%	101%	93%	99%	103%

장암교 S6, S5 경간의 중립축 분석 결과, 전차용역 및 이론치와 매우 유사하게 나타났으며 5경간 LC3 G1에서 다소 차이를 보였으나 이론치(G1,G3 : 1,260㎜, G2 : 1,307㎜)와는 대체로 차이가 발생되었다. 이는 전차용역에서 언급된 바와 같이 연석, 포장, 난간 등이 상부구조와 일체로 작용해서 이론치보다 상향의 값이 산출된 것으로 추정되며 중립축의 전반적인 경향은 양호한 것으로 판단된다.

6.3 동적 재하시험 및 분석

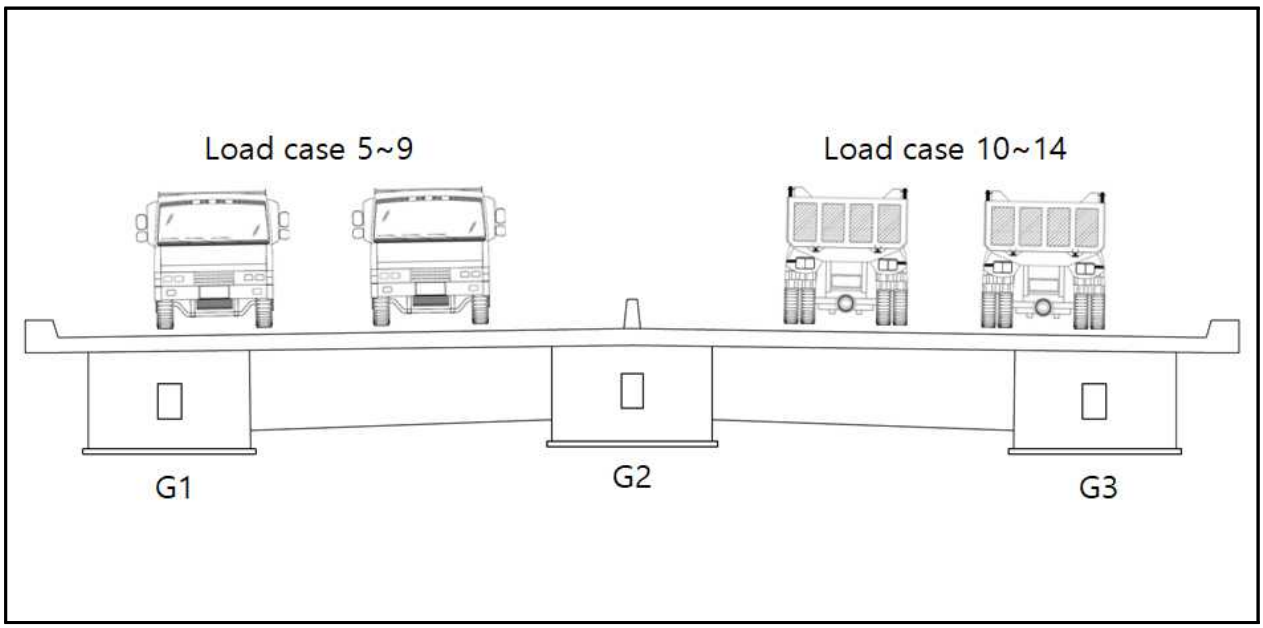
가. 시험경간 및 측정방법

동적재하시험의 시험경간은 S5, S6경간에 대하여 실시하였으며, 변위계와 가속도게이지를 부착하여 측정을 실시하였다.

재하차량은 15톤 덤프트럭 2대를 이용하여 시점(공주방향)에서 종점(대전방향) 및 종점에서 시점방향으로 왕복주행을 하였으며, 주행속도는 20km/h에서 최대속도 60km/h까지 10km/h씩 변화시키면서 주행시험을 실시하였다.

【표 6-11】 동적재하시험의 재하경우

재하 경우 (Load Case)	주행방향 (A1:공주방향, A2:대전방향)	주행속도 (km/hr)	비 고
L.C 1~2	A2 → A1	10	의사정적재하시험
L.C 3~4	A1 → A2	10	의사정적재하시험
L.C 5	A2 → A1	20	동적재하시험
L.C 6	A2 → A1	30	동적재하시험
L.C 7	A2 → A1	40	동적재하시험
L.C 8	A2 → A1	50	동적재하시험
L.C 9	A2 → A1	60	동적재하시험
L.C 10	A1 → A2	20	동적재하시험
L.C 11	A1 → A2	30	동적재하시험
L.C 12	A1 → A2	40	동적재하시험
L.C 13	A1 → A2	50	동적재하시험
L.C 14	A1 → A2	60	동적재하시험



【그림 6-6】 동적재하시험 시 차량의 주행방향 및 위치

나. 동적 재하시험 결과

1) 충격계수 분석

- 실측 충격계수 산정식

$$충격계수(i) = D.L.F - 1 \qquad D.L.F\ (동적증폭률) = \frac{D_{dyn}(\max)}{D_{sta}(\max)}$$

【표 6-12】 장암교 이론충격계수

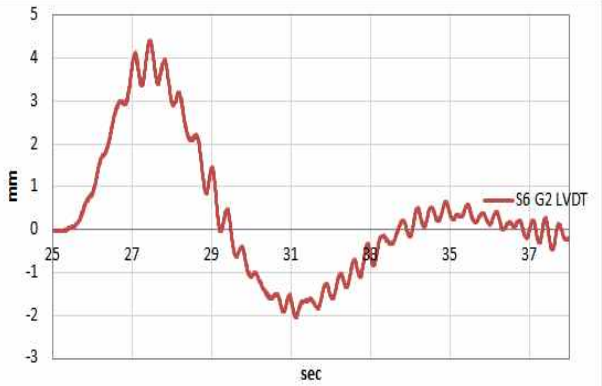
구분	경간 위치	적용식	경간장(L)	이론충격계수
SBG 구간	S6	$i(\%) = \frac{15}{40+L}$	40.0m	0.188
	S5		50.0m	0.167

충격계수를 산정하는 경우 10km/hr 이하의 서행시 발생하는 응답을 정적응답치로 간주하고 이 값을 기준으로 속도별 응답치를 이용하여 산정하는 것이 일반적이다. 서행시에는 차량의 현가장치, 레일의 마찰 등으로 인한 동적효과가 포함되므로 정확한 응답치로 볼 수 없고, 매 속도 마다 운전자의 숙달, 습관 등으로 동적응답치가 달라질 수 있으므로, 동적재하시험의 각 속도별 동적응답 곡선을 0.7~1.0Hz의 Low Pass Filtering를 실시한 후 최대정적응답(Dsta(max)) 곡선을 기준으로 계측 최대동적응답치(Ddyn(max))와 비교하여 실측충격계수를 산정하였다.

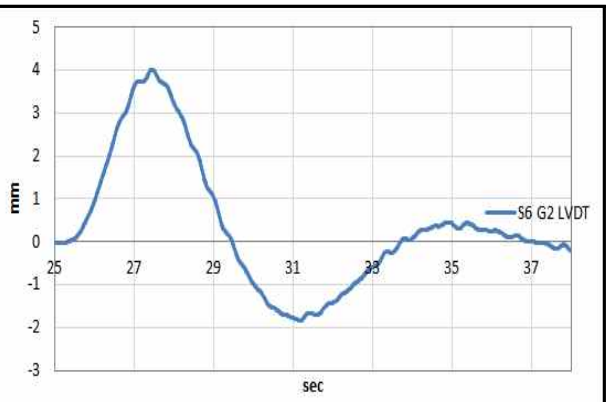
【표 6-13】 충격계수 분석결과

구 분			20km/hr	30km/hr	40km/hr	50km/hr	60km/hr
Steel Box Girder S6 구간	DT1	Ddyn	5.651	5.874	5.995	5.995	5.874
		Dsta	5.471	5.658	5.713	5.512	5.730
		D.L.F	1.033	1.038	1.049	1.088	1.025
		i	0.033	0.038	0.049	0.088	0.025
	DT2	Ddyn	4.196	4.227	4.051	4.183	4.095
		Dsta	4.051	4.065	3.845	3.825	3.941
		D.L.F	1.036	1.040	1.054	1.094	1.039
		i	0.036	0.040	0.054	**0.094**	0.039
Steel Box Girder S5 구간	DT4	Ddyn	5.377	5.771	5.477	5.888	5.771
		Dsta	5.224	5.627	5.379	5.620	5.464
		D.L.F	1.029	1.025	1.018	1.048	1.056
		i	0.029	0.025	0.018	0.048	0.056
	D5	Ddyn	3.661	3.932	3.972	3.810	3.729
		Dsta	3.559	3.840	3.900	3.613	3.558
		D.L.F	1.028	1.024	1.019	1.055	1.048
		i	0.028	0.024	0.019	**0.055**	0.048

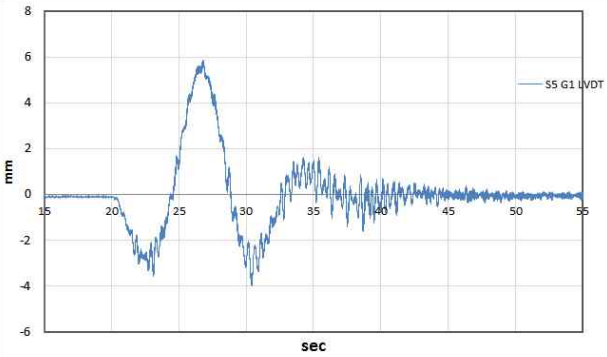
실측 충격계수의 분석결과 50km/hr로 주행 시 S6 구간 DT2에서 0.094, S5 구간 DT5에서 0.055으로 이론적 충격계수인 0.188(S6), 0.167(S5)보다 작게 측정되었다.



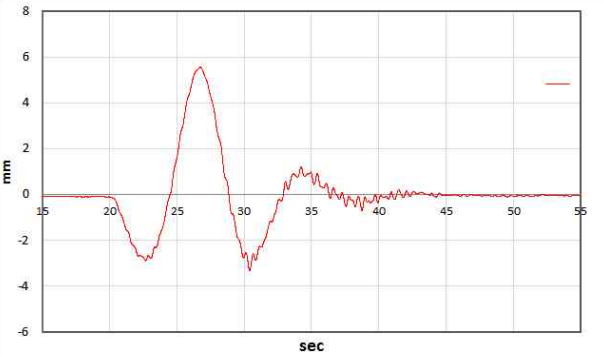
ST.Box 6구간 50km/hr 주행 시 DT1 필터링 전



ST.Box 6구간 50km/hr 주행 시 DT1 필터링 후



ST.Box 6구간 60km/hr 주행 시 DT4 필터링 전

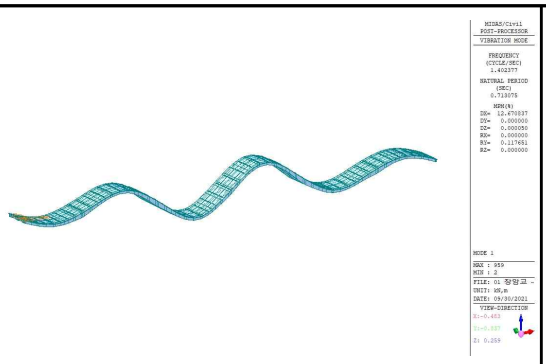
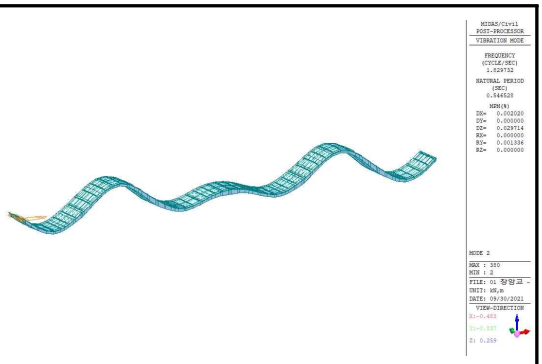
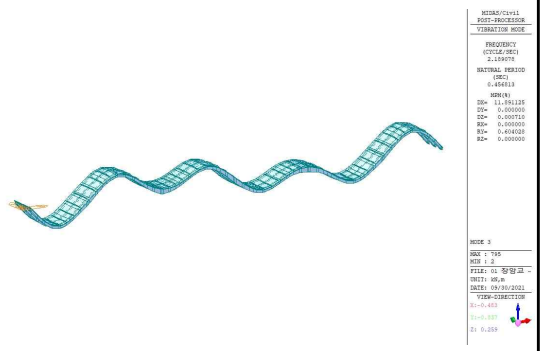
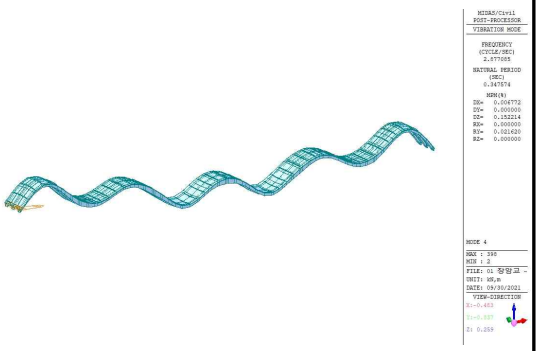
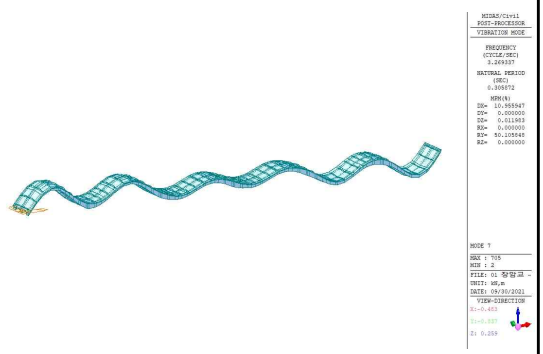
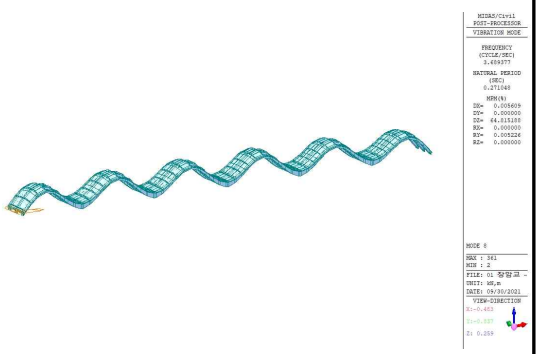


ST.Box 6구간 60km/hr 주행 시 DT4 필터링 후

2) 고유진동수

① 구조해석에 의한 고유진동수

본 교량의 구조적인 동적응답특성 파악을 위한 이론 고유진동수 해석을 시행하였으며, 주요 모드별 이론 고유진동수는 다음과 같이 분석되었다.

			
Mode 1	1.4024Hz(0.7131sec)	Mode 2	1.8297Hz(0.5465sec)
TRAN-Z(%)	0.00	TRAN-Z(%)	0.03
			
Mode 3	2.1891Hz(0.4568sec)	Mode 4	2.8771Hz(0.3476sec)
TRAN-Z(%)	0.00	TRAN-Z(%)	0.15
			
Mode 7	3.2693Hz(0.3059sec)	Mode 8	3.6894Hz(0.2710sec)
TRAN-Z(%)	0.01	TRAN-Z(%)	64.82

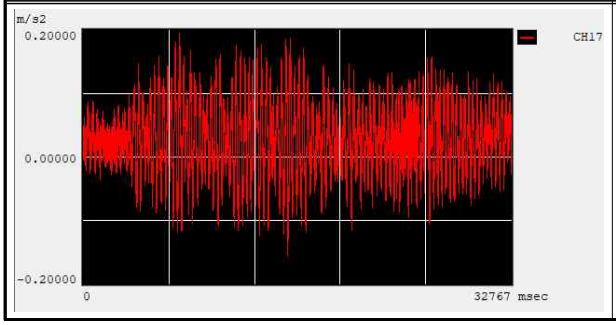
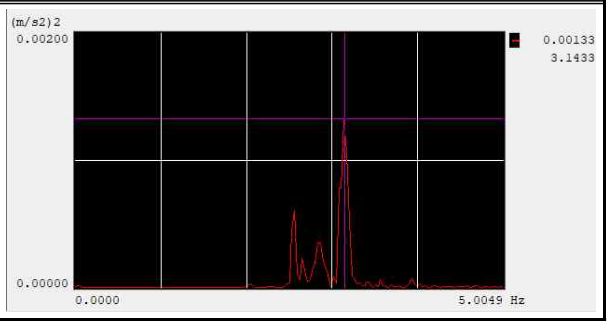
【그림 6-7】 주요 고유진동 모드

② 측정값

교량의 고유진동수는 강성의 변화시 그에 따라 진동수가 변하므로 교량의 강성변화여부 검토를 위하여 측정경간 정모멘트부에 처짐계 및 가속도계를 설치하고 동적특성을 계측하였으며, 차량통과후 잔여진동부분에 대한 FFT 분석을 통해 다음과 같이 실측 고유진동수를 산출하였다.

【표 6-14】 속도별 실측 고유진동수 분석결과

주행속도(km/hr)	실측 고유진동수(Hz)	비 고
	STP 구간	
20	3.1043	
30	**3.1433**	
40	**3.1433**	
50	3.1654	
60	3.1738	

시간에 따른 처짐 및 가속도 이력곡선	FFT 분석결과
	

【그림 6-8】 장암교 가속도에 의한 FFT분석

장암교의 실측고유진동수는 3.1043~3.1738Hz로 분석되었으며, 이론 고유진동수 중 Z방향 질량참여율이 가장 큰 Mode 8의 3.6894Hz로 약 0.5Hz정도로 다소 차이가 크게 나타났다. 이는 본 교량이 4차선(도로폭19.5m) 6경간 연속교(연장 380m)로 폭이 비교적 넓어 횡진동의 영향을 받으며, 연속거더에서 교량받침에 대한 경계조건에서 진동시 상향력에 대한 구속력이 없으나 해석모델에서는 이들을 구속되므로 교량의 강성이 크게되어 진동수가 다소 높게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 기 정밀안전진단 이후 강성저하는 크게 없는 것으로 판단된다.

6.4 기 진단결과와의 비교

2016년에 실시한 “장암교 정밀안전진단” 시의 재하시험경간과 동일한 경간에 실시한 값을 비교 분석하였으며, 비교 결과는 아래와 같다.

【표 6-15】 기 진단 결과와의 비교

<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th colspan="2">항목</th><th>2016년
정밀안전진단</th><th>2021년
정밀안전진단</th><th>비고</th></tr>
<tr><td colspan="2">시험차량</td><td colspan="2">총중량</td><td>546.80kN</td><td>559.80kN</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">시험경간</td><td colspan="2">-</td><td>S5, S6 경간</td><td>S5, S6 경간</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">정적
재하</td><td rowspan="3">시험
결과</td><td>최대 처짐</td><td>S6 경간</td><td>-5.991㎜</td><td>-6.073㎜</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">최대
변형률</td><td>S6 중앙부</td><td>70.761$\mu\varepsilon$</td><td>80.628$\mu\varepsilon$</td><td></td></tr>
<tr><td>S5 중앙부</td><td>66.615$\mu\varepsilon$</td><td>69.683$\mu\varepsilon$</td><td></td></tr>
<tr><td>검토
결과</td><td colspan="5">• 기 진단 결과 대비 금회 진단시 측정된 변위(처짐)은 유사하나, 변형률은 다소 크게 측정되었다. 이는 시험차량 하중의 차이, 센서의 부착위치 차이, 재하위치 및 측정오차 등에 의한 영향으로 판단되며, 향후 지속적인 관리를 통한 교량의 계측관리가 요구됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">동적
재하</td><td rowspan="2">시험
결과</td><td>최대 충격계수</td><td>STB 구간</td><td>0.163</td><td>0.094</td><td></td></tr>
<tr><td>고유진동수</td><td>STB 구간</td><td>3.223Hz</td><td>3.104~3.174Hz</td><td></td></tr>
<tr><td>검토
결과</td><td colspan="5">• 충격계수 분석결과, 기 진단 및 금회 진단에서 실측된 최대 충격계수는 다소 편차가 있는 것으로 측정되었으며, 이는 시험차량의 중량차이, 교량 포장의 상태변화, 운전자의 운전습관 등에 따른 결과로 판단되며, 도로교 설계기준에서 제시하는 이론충격계수보다 작게 평가되어 이동하중에 대한 충격의 영향은 양호한 상태로 판단됨.
• 고유진동수 분석결과, 기 진단 및 금회 진단에서 실측된 속도별 고유진동수는 소폭 감소하였으며, 이론고유진동수(3.6894Hz)에서 약 0.5Hz 정도 높은 수치를 보이는데 이는 해석모델에서 교량받침에 대한 경제조건의 구속조건과 실제거동에서의 차이로 인해 진동수가 다소 높게 나타난 것으로 판단된다. 따라서 기 정밀안전진단 이후 강성저하는 크게 없는 것으로 판단된다.</td></tr>
</table>

제7장
시설물의 안전성평가

7.1 개요
7.2 구조해석 및 안전성 검토
7.3 내하력평가
7.4 안전성평가
7.5 기 정밀안전진단 결과와의 비교

제7장 시설물의 안전성평가

7.1 개요

7.1.1 안전성평가

구조물의 안전성평가는 그 기능과 역할을 유지할 수 있는 구조적 및 사용상의 안전성에 대한 확보여부를 평가하는 것이므로 설계자료 검토, 시공방법과 사용재료에 대한 검토, 보수·보강이력 분석, 부재별 상태평가 결과 및 각종 계측·측정·조사·시험 등을 통한 기초자료를 확보하여 이를 바탕으로 구조검토를 실시하고 안전성 여부를 판단하여야 한다.

가. 검토구간 선정 및 사유

본 과업대상 교량인 장암교는 충청남도 공주시 석장리동에 위치한 교량으로 총연장 280.0m의 도로교이며, 상부구조형식은 Steel Box Girder로 구성되어 있다.

장암교의 설계 활하중은 DB-24이며, 구조안전성 및 내하력 평가를 위한 구조검토 시 현재의 통행 여건을 감안하여 구조해석을 실시하고 재하시험 결과를 적용하였다.

나. 검토방법

안전성평가를 위해 구조해석은 Midas Civil 프로그램을 사용하여 해석을 실시하였다.

7.1.2 내하력평가

내하력평가는 구조해석 결과를 토대로 기본내하력을 평가하고, 재하시험 결과를 토대로 보정계수를 산정하여 공용내하력을 평가하였다.

7.2 구조해석 및 안전성 검토

7.2.1 검토조건

가. 일반조건

- 교량형식 : Steel Box Girder
- 교량연장 : 280.0m (40 + 4@50 + 40 = 280.0m)
- 교량폭원 : 19.5m
- 곡선반경 : R = ∞(직선교)
- 교량등급 : 1등교(DB-24, DL-24)

나. 재료의 역학적 특성

【표 7-1】 검토 구간 재료특성

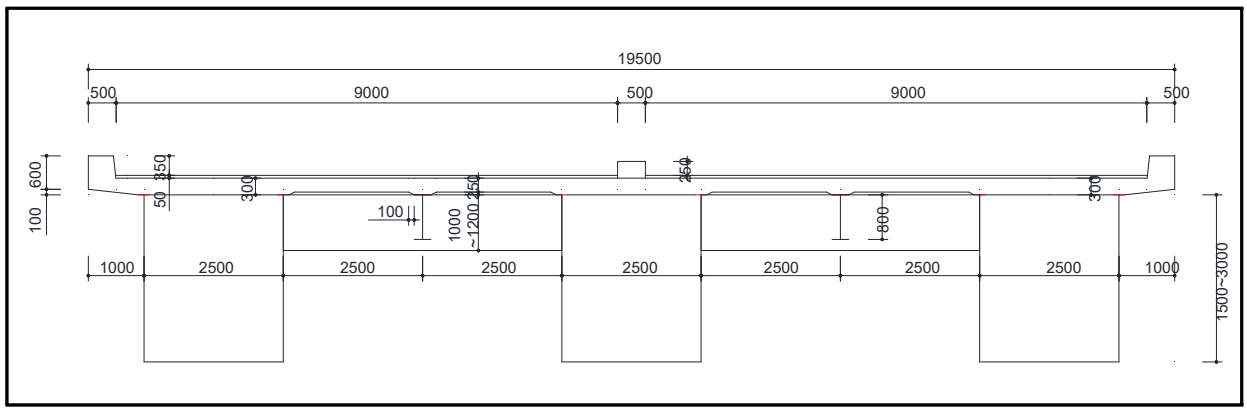
구분		2011년 정밀안전진단	2016년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단	비고
강도	콘크리트 (슬래브)	27.0MPa	27.0MPa	25.6MPa	• 최소강도 적용
		☞ 금회 정밀안전진단 결과, 슬래브 최소압축강도는 반발경도법 26.9MPa, 초음파속도법 25.6MPa로 추정되었으며, 이는 설계기준강도인 27.0MPa 보다 작음. ☞ 따라서, 금회 콘크리트 압축강도는 최소압축강도인 25.6MPa를 적용하였음.			
	철근	400MPa	400MPa	400MPa	• 설계도서
탄성계수	콘크리트	25,500MPa	$8{,}500\sqrt[3]{f_{cu}}$ (MPa) $(f_{cu}=f_{ck}+4)$	$8{,}500\sqrt[3]{f_{cu}}$ (MPa) $(f_{cu}=f_{ck}+4)$	• 최신 기준 적용
	철근	200,000MPa	200,000MPa	200,000MPa	• 최신 기준 적용
강재	허용 휨응력	190MPa	190MPa	190MPa	• 도로교설계기준(2010)
	허용 전단응력	110MPa	110MPa	110MPa	• 도로교설계기준(2010)

다. 하중조건

【표 7-2】 검토 구간 하중조건

구분		2011년 정밀안전진단	2016년 정밀안전진단	금회 정밀안전진단	비고
하중	포장두께	50mm	50mm	50mm	• 현장 실측 및 설계도면 참고
	강재 할증률	28.0%	30%	21.5%	• 설계도면(재료표)와 구조해석 모델링 고려
	활하중 재하	4차로 재하	양방향 4차로 재하	양방향 4차로 재하 (각 방향별 2차로)	• 각 방향별 연석간 교폭(9.0m)를 고려

라. 검토 구간 단면도

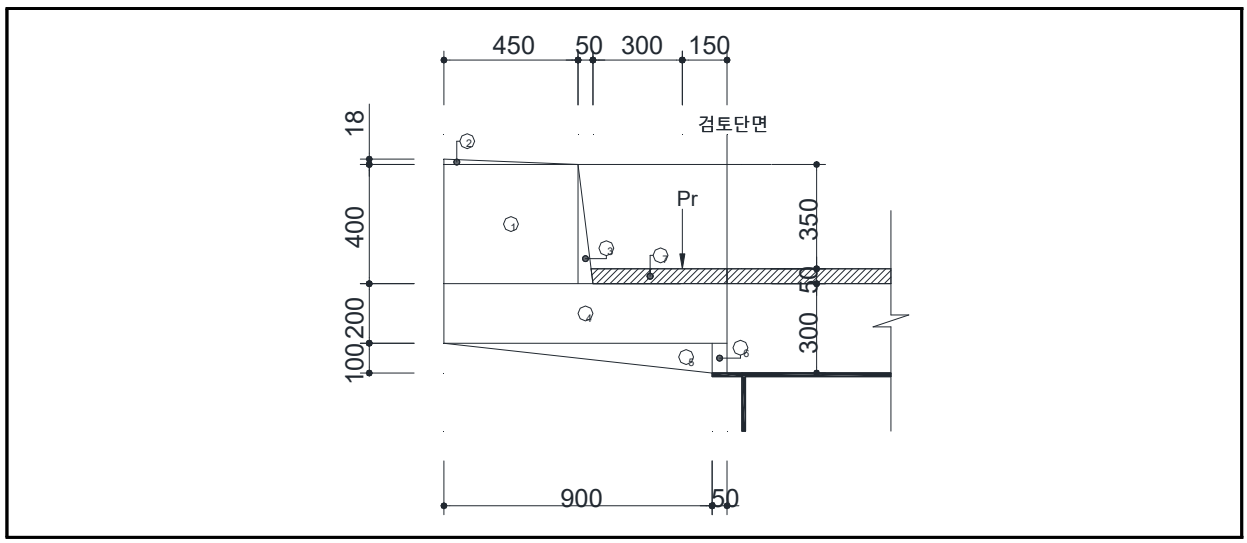


【그림 7-1】 검토 구간 단면도

7.2.2 바닥판 검토

가. 캔틸레버부 단면력 검토

1) 고정하중에 의한 모멘트(M_d)



【그림 7-2】 캔틸레버부 검토 단면(mm)

【표 7-3】 고정하중에 의한 모멘트

단면번호	고정하중(kN)			거리(m)	모멘트(kN · m)
①	0.450 × 0.400 × 25.0	=	4.500	0.725	3.263
②	1/2 × 0.450 × 0.018 × 25.0	=	0.101	0.800	0.081
③	1/2 × 0.050 × 0.400 × 25.0	=	0.250	0.483	0.121
④	0.950 × 0.200 × 25.0	=	4.750	0.475	2.256
⑤	1/2 × 0.900 × 0.100 × 25.0	=	1.125	0.350	0.394
⑥	0.050 × 0.100 × 25.0	=	0.125	0.025	0.003
⑦	0.450 × 0.050 × 23.0	=	0.518	0.225	0.116
-	난간	=	1.000	0.725	0.725
계		**=**	12.369		**6.959**

2) 활하중에 의한 모멘트(M_{l+i})

- 윤하중 분포폭

  E = 0.8X + 1.14 = 0.8 × 0.15 + 1.14 = 1.260m

- 충격계수

  $i = \frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+0.15} = 0.374 > 0.300 \quad \therefore i = 0.300$

- 활하중 모멘트(M_{l+i})

  1등급 교량 : Pr = 96.0kN

  $\therefore M_{\ell+i} = \frac{P_r}{E} X(1+i) = \frac{96}{1.26} \times 0.15 \times (1+0.3) = 14.857 kN \cdot m$

3) 차량 충돌하중(M_{co})

- M_{co} = 21.375kN · m

4) 풍하중(M_w)

- M_w = 0.424kN · m

5) 극한강도(M_u)

- $M_u = 1.3M_d + 1.3M_{l+i} + 1.3M_{co}$

  = 1.3 × 6.959 + 1.3 × 14.857 + 1.3 × 21.375 = 56.148kN · m

6) 설계강도(M_d)

- 사용철근량 : A_s = 1,588.8mm^2 (H16@125)

- $a = \frac{A_s\ f_y}{0.85 f_{ck} b} = \frac{1{,}588.8 \times 400}{0.85 \times 25.6 \times 1000}$ = 29.206mm

$\therefore\ M_d = \phi M_n = \phi A_s f_y (d - \frac{a}{2}) = 0.85 \times 1{,}588.8 \times 400 \times (210 - \frac{29.206}{2})$

= 105.552kN · m > M_u = 56.148kN · m ∴ O.K

7) 바닥판 최소 두께 검토

- h_{min} = Max {280L + 180 = 280 ×0.15 + 180 = 222mm, 220mm}

= 222mm < h_{ues} = 250mm ∴ O.K

나. 중앙부 단면력 검토

1) 고정하중에 의한 모멘트(M_d)

【표 7-4】 중앙부 바닥판 검토 고정하중

구분	하중		단위
바닥판	0.250 × 25.0	= 6.250	kN/m^2
포 장	0.050 × 23.0	= 1.150	kN/m^2
Wd		= 7.400	kN/m^2

- 바닥판 지간 : L = 2.50m

- 작용 고정하중 모멘트 : $M_d = \frac{w_d \times L^2}{10}$ = 4.625kN · m

2) 활하중에 의한 모멘트(M_{l+i})

- 충격계수 : $i = \frac{15}{40+L} = \frac{15}{40+2.5} = 0.353 > 0.3$ ∴ i = 0.300

1등급 교량 : Pr = 96.0kN, 연속 바닥판(바닥판 지점수 n = 8)

$\therefore\ M_{\ell+i} = \frac{L+0.6}{9.6} P_r (1+i) \times 0.8 = \frac{2.5+0.6}{9.6} \times 96 \times (1+0.3) \times 0.8$ = 32.240kN · m

3) 극한강도(M_u)

- M_u = 1.3M_d + 2.15M_{l+i}

= 1.3 × 4.625 + 2.15 × 32.240 = 75.329kN · m

4) 설계강도(M_d)

- 사용철근량 : A_s = 1,588.8mm^2 (H16@125)

- $a = \frac{A_s\ f_y}{0.85 f_{ck} b} = \frac{1{,}588.8 \times 400}{0.85 \times 25.6 \times 1000}$ = 29.206mm

$\therefore\ M_d = \phi M_n = \phi A_s f_y (d - \frac{a}{2}) = 0.85 \times 1{,}588.8 \times 400 \times (210 - \frac{29.206}{2})$

= 105.552kN · m > M_u = 75.329kN · m ∴ O.K

5) 바닥판 최소 두께 검토

- h_{min} = Max {30L + 130 = 30 × 2.5 + 130 = 205mm, 220mm}

= 220mm < h_{ues} = 250mm ∴ O.K

【표 7-5】 바닥판 안전성검토 결과

구분	극한강도(M_u) (kN · m)	설계강도(M_d) (kN · m)	안전율	바닥판 최소두께	비고
캔틸레버부	56.148	105.552	1.880	만족	O.K
중앙부	75.329	105.552	1.401	만족	O.K

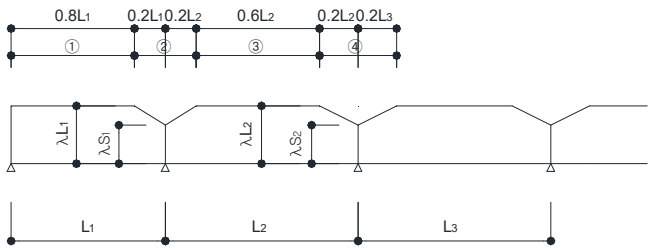
7.2.3 Steel Box Girder 검토

가. 유효폭 산정

Steel Box Girder의 검토를 위하여 강재 플랜지의 유효폭과 철근콘크리트 바닥판의 유효폭을 도로교설계기준에 따라 각각 산정하였다.

1) 플랜지 유효폭

【표 7-6】 플랜지 유효폭 산정 조건



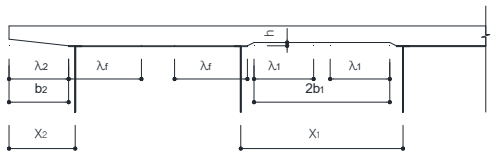
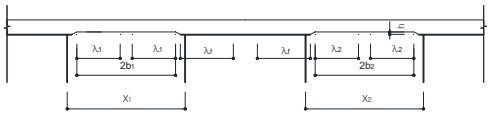
구분	복부간격	플랜지 돌출폭	지간					
			L1	L2	L3	L4	L5	L6
상부	2.500m	0.100m	39.600m	50.000m	50.000m	50.000m	50.000m	39.600m
하부	2.500m	0.100m						

【표 7-7】 플랜지 유효폭 산정 결과

구분		플랜지 유효폭(상 · 하부)(m)
중앙부	외측 경간	2.700
	내측 경간	2.700
지점부	외측 경간	2.347
	내측 경간	2.394

2) 바닥판 유효폭

【표 7-8】 바닥판 유효폭 산정 조건

구분	Girder - 1, 3	Girder - 2
기호		
X1(m)	5.000	5.000
X2(m)	1.000	5.000
h(m)	0.050	0.050
b2, be(m)	0.100	0.100

【표 7-9】 바닥판 유효폭 산정 결과

구분		바닥판 유효폭(m)	
		Grider - 1, 3	Grider - 2
중앙부	외측 경간	5.886	7.272
	내측 경간	5.867	7.234
지점부	외측 경간	4.904	5.821
	내측 경간	5.030	6.000

나. 하중산정

1) 고정하중

① 강재의 자중

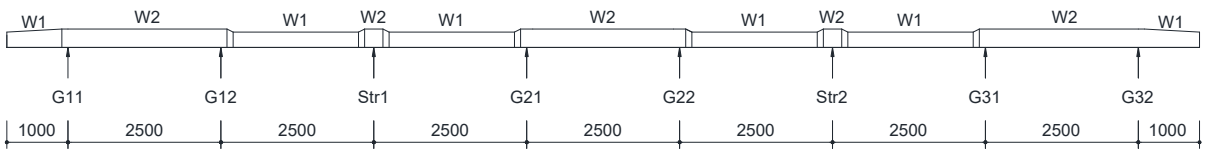
각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중을 고려하기 위하여, 설계도면의 재료표와 구조해석 모델링의 자중 비교 후 21.533%의 할증을 적용하였다.

② 바닥판 및 2차 고정하중

바닥판 및 2차 고정하중은 횡분배를 통하여 거더 및 가로보에 재하하였다.

㉠ 바닥판 하중(합성 전)

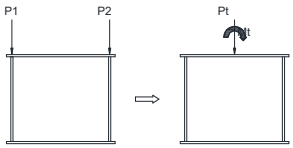
【표 7-10】 바닥판 하중 산정



w1 = 0.250 × 25.0 = 6.250kN/m^2	w2 = 0.300 × 25.0 = 7.500kN/m

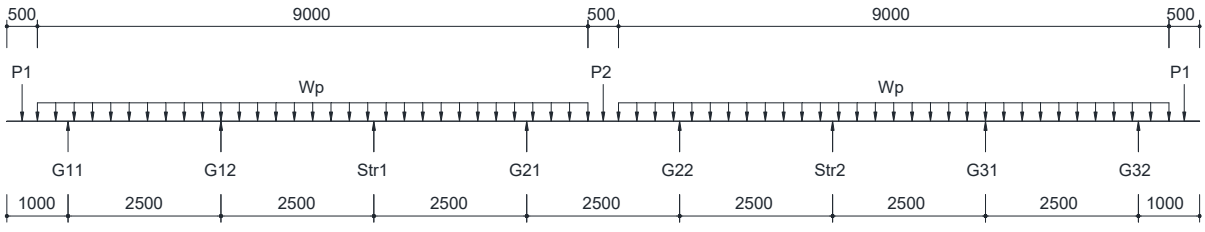
【표 7-11】 바닥판 하중 횡분배

구분		G1	G2	G3	Str1	Str2	비고	기호
거더폭		2.500	2.500	2.500	–	–	m	
합성전	P1	16.313	17.377	17.377	16.121	16.121	kN/m	
	P2	17.377	17.377	16.313	–	–	kN/m	
	Pt	33.690	34.754	33.690	16.121	16.121	kN/m	
	Mt	1.330	0.000	−1.330	–	–	kN · m/m	



㉡ 2차 고정하중(합성 후)

【표 7-12】 2차 고정하중 산정



연석(난간 포함)	P1 = 0.50 × 0.45 × 25.0 + 1.00 = 6.625kN/m
방호벽(가드레일, 차광판 포함)	P2 = 0.50 × 0.30 × 25.0 + 1.00 = 4.750kN/m
포장	Wp = 0.50 × 23.0 = 1.15kN/m

【표 7-13】 2차 고정하중 횡분배

구분		G1	G2	G3	Str1	Str2	비고	기호
거더폭		2.500	2.500	2.500	–	–	m	
합성후	P1	8.638	4.962	2.875	2.875	2.875	kN/m	
	P2	2.875	4.962	8.638	–	–	kN/m	
	Pt	11.513	9.924	11.513	2.875	2.875	kN/m	
	Mt	−7.204	0.000	7.204	–	–	kN · m/m	

2) 활하중

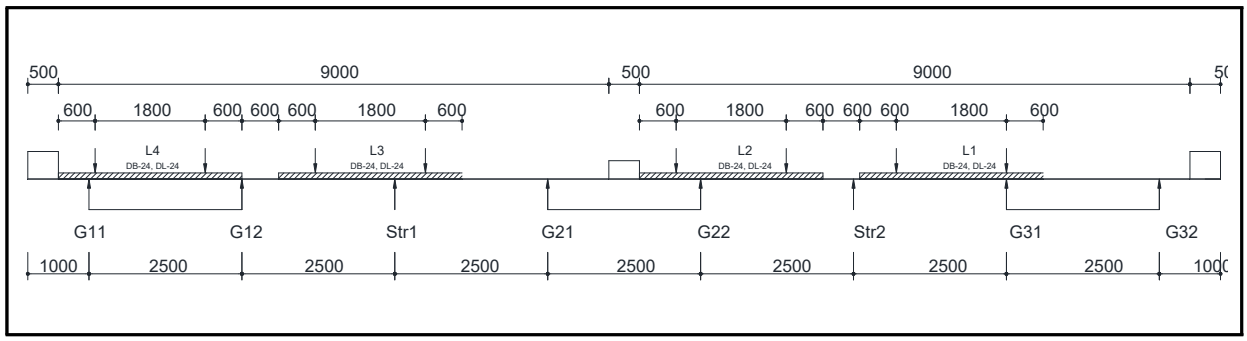
본 교량의 설계하중인 DB−24(DL−24) 하중은 구조해석 프로그램 내 이동하중을 활용하여 지간중앙부 및 지점부에 최대 정 · 부모멘트가 발생하도록 재하하였다.

− 연석간 교폭 : W_c = 9.000m (중앙분리대가 있으므로 일방향 기준)

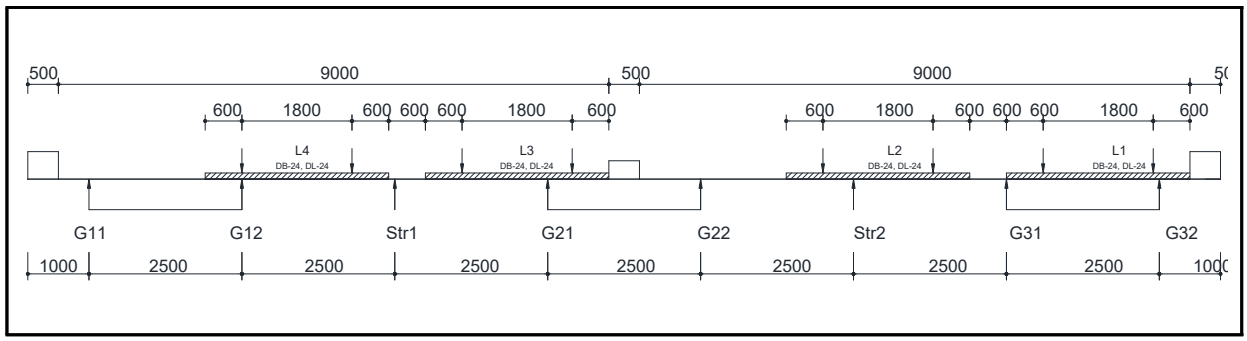
∴ 6.0 ≤ W_c < 9.1 이므로, 일방향 2차로 재하(양방향 4차로 재하)

− 충격계수(i = $\frac{15}{40+L}$ ≤ 0.3)는 각 지간장에 따라 산정 후 적용

∴ L = 40m, i = $\frac{15}{40+40}$ = 0.1875, L = 50m, i = $\frac{15}{40+50}$ = 0.1666



【그림 7-3】 활하중 재하도(좌측 편재하)



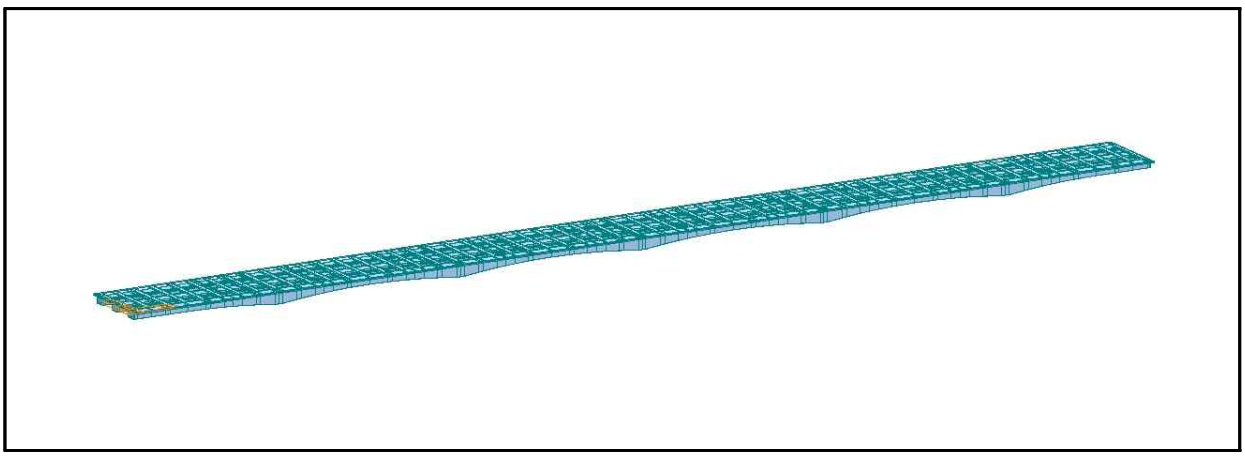
【그림 7-4】 활하중 재하도(우측 편재하)

3) 지점침하

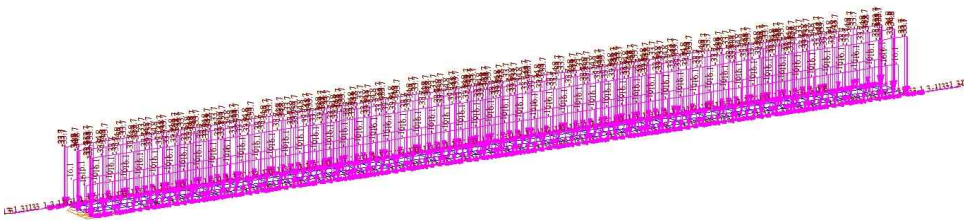
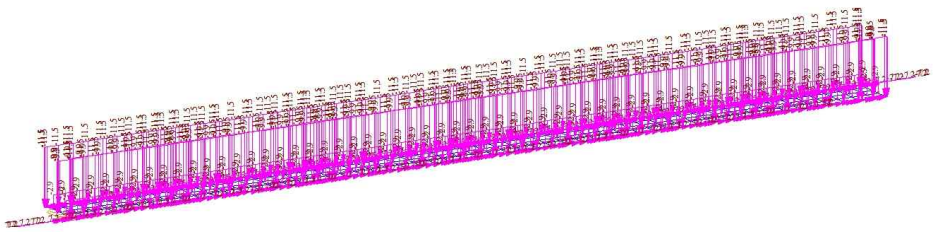
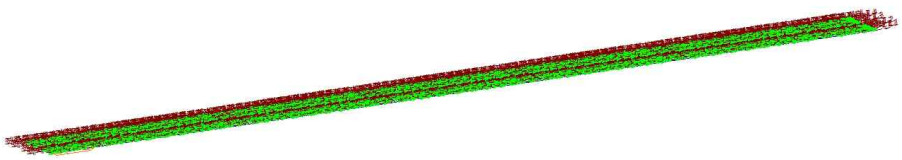
지점별 부등침하량 : δ = 10.0mm 적용

다. 해석모델

구조해석을 위한 각 부재는 대상 교량의 형식 및 설계도면, 현장조사 결과를 반영하여 3차원 Frame 요소로 모델링 하였으며, 교량받침은 실제 거동특성과 일치하도록 Elastic Link를 사용하여 모델링 하였다.



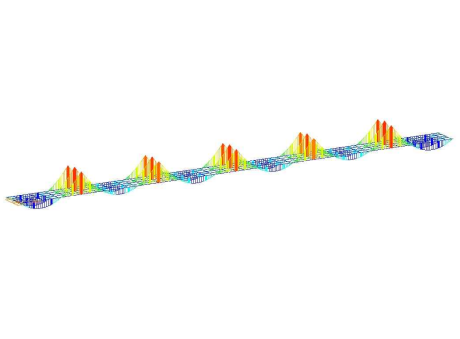
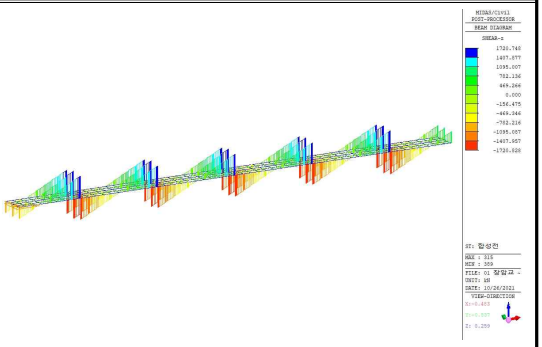
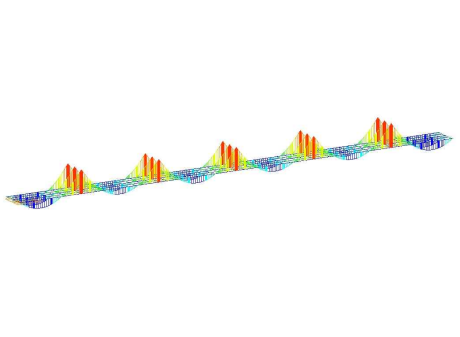
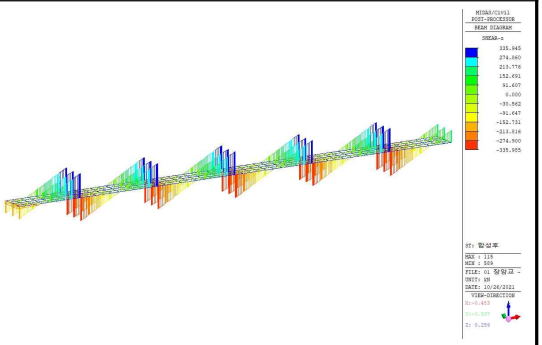
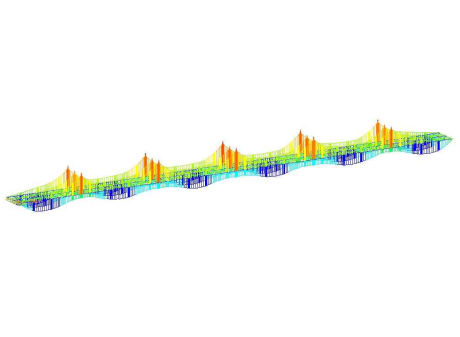
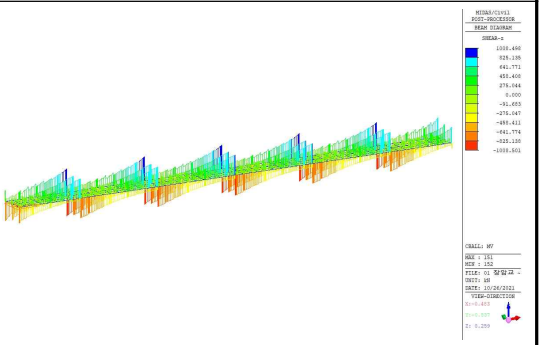
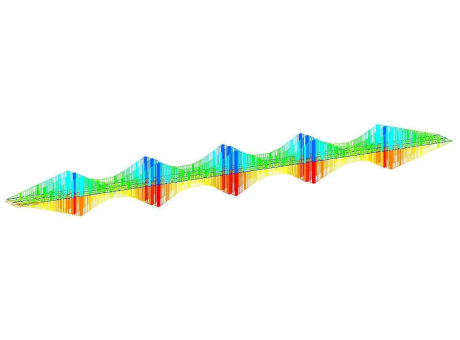
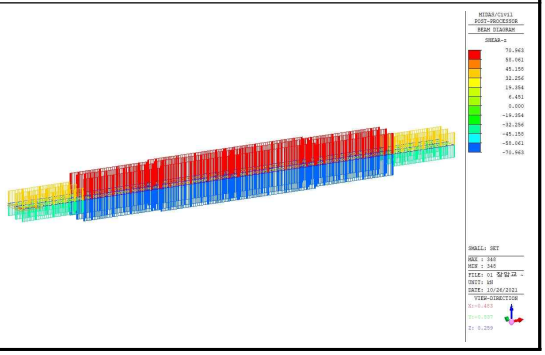
【그림 7-5】 구조해석 모델링

구분	하중재하도
합성전(바닥판 하중)	
합성후(2차 고정하중)	
활하중	

【그림 7-6】 하중재하도

라. 구조해석 결과

1) 단면력도

구분	모멘트도	전단력도
합성전		
합성후		
활하중		
지점침하		

【그림 7-7】 단면력도

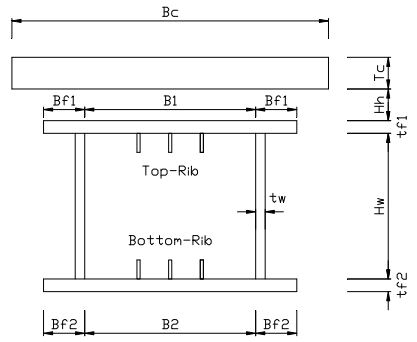
2) Steel Box Girder 안전성 검토(허용응력법)

① 정모멘트부

㉠ G1 - 외측경간

■ 단면제원

【표 7-14】 G1 - 외측경간 단면제원

검토단면	제원			
	Bc(m)	5.886	tc(m)	0.250
	Hh(m)	0.050	–	–
	Hw(m)	1.500	tw(m)	0.012
	B1(m)	2.500	B2(m)	2.500
	Bf1(m)	0.100	Bf2(m)	0.100
	tf1(m)	0.020	tf2(m)	0.022
	Top-Rib	4 - 200 × 14		
	Bottom-Rib	2 - 200 × 14		
	단면2차 모멘트	합성전	79,496,734,899mm^4	
		합성후	155,728,291,739mm^4	
	중립축 (하단기준)	합성전	768.851mm	
		합성후	1,256.811mm	

■ 부재력 요약

【표 7-15】 G1 - 외측경간 부재력 요약

구분	고정하중		활하중	지점침하	합계	Elment No.
	합성전	합성후				
휨모멘트(kN · m)	5424.250	1130.030	4181.450	528.070	11263.800	197j
전단력(kN)	-107.170	-19.110	458.890	36.310	368.920	197j
비틀림모멘트(kN · m)	11.490	15.640	-1006.150	-0.060	-979.080	197j

■ 조합응력 검토

【표 7-16】 G1 - 외측경간 조합응력 검토

구분	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		비고
	상연	하연	상연	하연	
1	52.754	-52.461	186.100	190.000	O.K
1+2+3	63.448	-99.589	186.100	190.000	O.K
1+2+3+4	66.307	-98.756	214.015	190.000	O.K
1+2+3+4+5	86.709	-93.408	214.015	190.000	O.K
1+2+3+4+5+6	101.791	-88.242	241.930	218.500	O.K
1+2+3+4+5-6	71.626	-98.575	241.930	218.500	O.K

※ 작용응력의 기호는 압축응력 (+), 인장응력 (-)

■ 전단응력 검토

$$v = \frac{V}{A_w} + \frac{M_t}{2FT_w} + \frac{M_{sct} + M_{vt}}{2F_v T_w} = 20.815\text{MPa} < 110.0\text{MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

■ 합성응력 검토

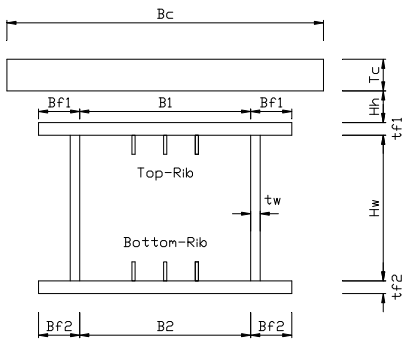
- 상연 : $(\frac{101.791}{241.930})^2 + (\frac{20.815}{110.000})^2 = 0.213 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

- 하연 : $(\frac{-99.589}{190.000})^2 + (\frac{20.815}{110.000})^2 = 0.311 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

㉡ G2 - 외측경간

■ 단면제원

【표 7-17】 G2 - 외측경간 단면제원

검토단면	제원			
	Bc(m)	7.272	tc(m)	0.250
	Hh(m)	0.050	–	–
	Hw(m)	1.500	tw(m)	0.012
	B1(m)	2.500	B2(m)	2.500
	Bf1(m)	0.100	Bf2(m)	0.100
	tf1(m)	0.020	tf2(m)	0.022
	Top-Rib	4 - 200 × 14		
	Bottom-Rib	2 - 200 × 14		
	단면2차 모멘트	합성전	79,496,734,899mm^4	
		합성후	163,434,385,261mm^4	
	중립축 (하단기준)	합성전	768.851mm	
		합성후	1,305.302mm	

■ 부재력 요약

【표 7-18】 G2 - 외측경간 부재력 요약

구분	고정하중		활하중	지점침하	합계	Elment No.
	합성전	합성후				
휨모멘트(kN · m)	5631.820	1140.760	3701.770	551.610	11025.960	397j
전단력(kN)	-110.230	-23.780	313.630	38.410	218.030	397j
비틀림모멘트(kN · m)	0.000	0.000	626.460	0.000	626.460	397j

■ 조합응력 검토

【표 7-19】 G2 - 외측경간 조합응력 검토

구분	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		비고
	상연	하연	상연	하연	
1	54.773	-54.468	186.100	190.000	O.K
1+2+3	62.585	-97.549	186.100	190.000	O.K
1+2+3+4	65.308	-96.776	214.015	190.000	O.K
1+2+3+4+5	88.483	-90.880	214.015	190.000	O.K
1+2+3+4+5+6	104.708	-85.467	241.930	218.500	O.K
1+2+3+4+5-6	72.259	-96.293	241.930	218.500	O.K

※ 작용응력의 기호는 압축응력 (+), 인장응력 (-)

■ 전단응력 검토

$$v = \frac{V}{A_w} + \frac{M_t}{2FT_w} + \frac{M_{sct} + M_{vt}}{2F_v T_w} = 12.819\text{MPa} < 110.0\text{MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

■ 합성응력 검토

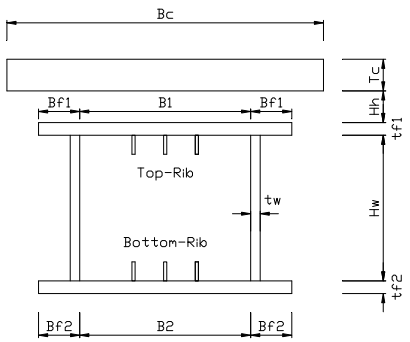
- 상연 : $(\frac{104.708}{241.930})^2 + (\frac{12.819}{110.000})^2 = 0.201 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

- 하연 : $(\frac{-97.549}{190.000})^2 + (\frac{12.819}{110.000})^2 = 0.277 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

㉢ G3 - 외측경간

■ 단면제원

【표 7-20】 G3 - 외측경간 단면제원

검토단면	제원			
	Bc(m)	5.886	tc(m)	0.250
	Hh(m)	0.050	–	–
	Hw(m)	1.500	tw(m)	0.012
	B1(m)	2.500	B2(m)	2.500
	Bf1(m)	0.100	Bf2(m)	0.100
	tf1(m)	0.020	tf2(m)	0.022
	Top-Rib	4 - 200 × 14		
	Bottom-Rib	2 - 200 × 14		
	단면2차 모멘트	합성전	79,496,734,899mm^4	
		합성후	155,728,291,739mm^4	
	중립축 (하단기준)	합성전	768.851mm	
		합성후	1,256.811mm	

■ 부재력 요약

【표 7-21】 G3 - 외측경간 부재력 요약

구분	고정하중		활하중	지점침하	합계	Elment No.
	합성전	합성후				
휨모멘트(kN · m)	5424.250	1130.030	3997.780	528.070	11080.130	597j
전단력(kN)	-107.170	-19.110	301.980	36.310	212.010	597j
비틀림모멘트(kN · m)	-11.490	-15.640	-280.910	-0.060	-308.100	597j

■ 조합응력 검토

【표 7-22】 G3 - 외측경간 조합응력 검토

구분	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		비고
	상연	하연	상연	하연	
1	52.754	-52.461	186.100	190.000	O.K
1+2+3	63.112	-98.107	186.100	190.000	O.K
1+2+3+4	65.971	-97.274	214.015	190.000	O.K
1+2+3+4+5	86.372	-91.926	214.015	190.000	O.K
1+2+3+4+5+6	101.455	-86.760	241.930	218.500	O.K
1+2+3+4+5-6	71.290	-97.093	241.930	218.500	O.K

※ 작용응력의 기호는 압축응력 (+), 인장응력 (-)

■ 전단응력 검토

$$v = \frac{V}{A_w} + \frac{M_t}{2FT_w} + \frac{M_{sct} + M_{vt}}{2F_v T_w} = 9.216\text{MPa} < 110.0\text{MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

■ 합성응력 검토

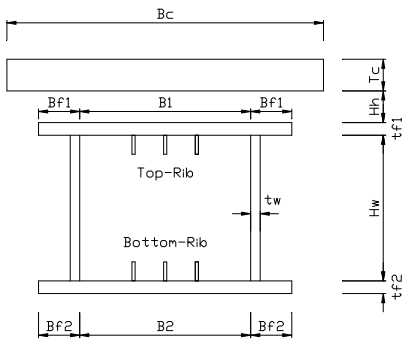
- 상연 : $(\frac{101.455}{241.930})^2 + (\frac{9.216}{110.000})^2 = 0.183 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

- 하연 : $(\frac{-98.107}{190.000})^2 + (\frac{9.216}{110.000})^2 = 0.274 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

㉣ G1 - 내측경간

■ 단면제원

【표 7-23】 G1 - 내측경간 단면제원

검토단면	제원			
	Bc(m)	5.867	tc(m)	0.250
	Hh(m)	0.050	–	–
	Hw(m)	1.500	tw(m)	0.012
	B1(m)	2.500	B2(m)	2.500
	Bf1(m)	0.100	Bf2(m)	0.100
	tf1(m)	0.020	tf2(m)	0.022
	Top-Rib	4 - 200 × 14		
	Bottom-Rib	2 - 200 × 14		
	단면2차 모멘트	합성전	79,496,734,899mm^4	
		합성후	155,609,762,421mm^4	
	중립축 (하단기준)	합성전	768.851mm	
		합성후	1,256.063mm	

■ 부재력 요약

【표 7-24】 G1 - 내측경간 부재력 요약

구분	고정하중		활하중	지점침하	합계	Elment No.
	합성전	합성후				
휨모멘트(kN · m)	4128.480	878.500	4097.590	512.180	9616.750	160j
전단력(kN)	-36.930	-4.800	459.620	66.360	484.250	160j
비틀림모멘트(kN · m)	49.510	11.340	-1047.120	-0.120	-986.390	160j

■ 조합응력 검토

【표 7-25】 G1 - 내측경간 조합응력 검토

구분	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		비고
	상연	하연	상연	하연	
1	40.152	-39.928	186.100	190.000	O.K
1+2+3	50.237	-84.229	186.100	190.000	O.K
1+2+3+4	52.036	-82.526	214.015	190.000	O.K
1+2+3+4+5	67.611	-67.872	214.015	190.000	O.K
1+2+3+4+5+6	80.951	-55.138	241.930	218.500	O.K
1+2+3+4+5-6	54.270	-80.606	241.930	218.500	O.K

※ 작용응력의 기호는 압축응력 (+), 인장응력 (-)

■ 전단응력 검토

$$v = \frac{V}{A_w} + \frac{M_t}{2FT_w} + \frac{M_{sct} + M_{vt}}{2F_v T_w} = 24.093\text{MPa} < 110.0\text{MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

■ 합성응력 검토

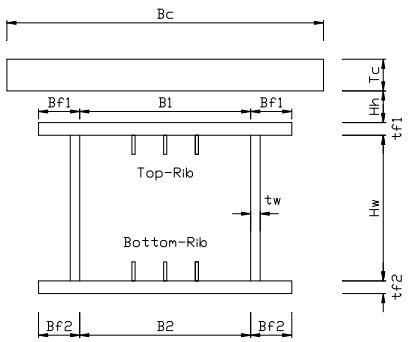
- 상연 : $(\frac{80.951}{241.930})^2 + (\frac{24.093}{110.000})^2 = 0.160 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

- 하연 : $(\frac{-84.229}{190.000})^2 + (\frac{24.093}{110.000})^2 = 0.244 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

㉤ G2 - 내측경간

■ 단면제원

【표 7-26】 G2 - 내측경간 단면제원

검토단면	제원			
	Bc(m)	7.234	tc(m)	0.250
	Hh(m)	0.050	–	–
	Hw(m)	1.500	tw(m)	0.012
	B1(m)	2.500	B2(m)	2.500
	Bf1(m)	0.100	Bf2(m)	0.100
	tf1(m)	0.020	tf2(m)	0.022
	Top-Rib	4 - 200 × 14		
	Bottom-Rib	2 - 200 × 14		
	단면2차 모멘트	합성전	79,496,734,899mm^4	
		합성후	163,245,146,108mm^4	
	중립축 (하단기준)	합성전	768.851mm	
		합성후	1,304.116mm	

■ 부재력 요약

【표 7-27】 G2 - 내측경간 부재력 요약

구분	고정하중		활하중	지점침하	합계	Elment No.
	합성전	합성후				
휨모멘트(kN · m)	4303.000	884.650	3882.910	538.070	9608.630	360j
전단력(kN)	-36.050	-9.420	322.680	69.700	346.910	360j
비틀림모멘트(kN · m)	0.000	0.000	660.080	0.000	660.080	360j

■ 조합응력 검토

【표 7-28】 G2 - 내측경간 조합응력 검토

구분	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		비고
	상연	하연	상연	하연	
1	41.849	-41.616	186.100	190.000	O.K
1+2+3	49.581	-84.001	186.100	190.000	O.K
1+2+3+4	51.329	-82.342	214.015	190.000	O.K
1+2+3+4+5	69.354	-65.331	214.015	190.000	O.K
1+2+3+4+5+6	83.985	-51.335	241.930	218.500	O.K
1+2+3+4+5-6	54.723	-79.326	241.930	218.500	O.K

※ 작용응력의 기호는 압축응력 (+), 인장응력 (-)

■ 전단응력 검토

$$v = \frac{V}{A_w} + \frac{M_t}{2FT_w} + \frac{M_{sct} + M_{vt}}{2F_v T_w} = 16.761\text{MPa} < 110.0\text{MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

■ 합성응력 검토

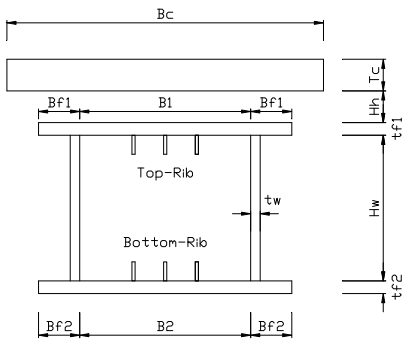
- 상연 : $(\frac{83.985}{241.930})^2 + (\frac{16.761}{110.000})^2 = 0.144 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

- 하연 : $(\frac{-84.001}{190.000})^2 + (\frac{16.761}{110.000})^2 = 0.219 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

ⓗ G3 - 내측경간

■ 단면제원

【표 7-29】 G3 - 내측경간 단면제원

검토단면				
	Bc(m)	5.867	tc(m)	0.250
	Hh(m)	0.050	–	–
	Hw(m)	1.500	tw(m)	0.012
	B1(m)	2.500	B2(m)	2.500
	Bf1(m)	0.100	Bf2(m)	0.100
	tf1(m)	0.020	tf2(m)	0.022
	Top-Rib	4 - 200 × 14		
	Bottom-Rib	2 - 200 × 14		
	단면2차 모멘트	합성전	79,496,734,899mm^4	
		합성후	155,609,762,421mm^4	
	중립축 (하단기준)	합성전	768.851mm	
		합성후	1,256.063mm	

■ 부재력 요약

【표 7-30】 G3 - 내측경간 부재력 요약

구분	고정하중		활하중	지점침하	합계	Elment No.
	합성전	합성후				
휨모멘트(kN · m)	4128.480	878.500	4008.570	512.180	9527.730	560j
전단력(kN)	-36.930	-4.800	-331.030	-66.360	-439.120	560j
비틀림모멘트(kN · m)	-49.510	-11.340	322.490	0.120	261.760	560j

■ 조합응력 검토

【표 7-31】 G3 - 내측경간 조합응력 검토

구분	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		비고
	상연	하연	상연	하연	
1	40.152	-39.928	186.100	190.000	O.K
1+2+3	50.073	-83.511	186.100	190.000	O.K
1+2+3+4	51.872	-81.808	214.015	190.000	O.K
1+2+3+4+5	67.447	-67.153	214.015	190.000	O.K
1+2+3+4+5+6	80.788	-54.419	241.930	218.500	O.K
1+2+3+4+5-6	54.106	-79.887	241.930	218.500	O.K

※ 작용응력의 기호는 압축응력 (+), 인장응력 (-)

■ 전단응력 검토

$$v = \frac{V}{A_w} + \frac{M_t}{2FT_w} + \frac{M_{sct} + M_{vt}}{2F_v T_w} = 15.018\text{MPa} < 110.0\text{MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

■ 합성응력 검토

- 상연 : $(\frac{80.788}{241.930})^2 + (\frac{15.018}{110.000})^2 = 0.130 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

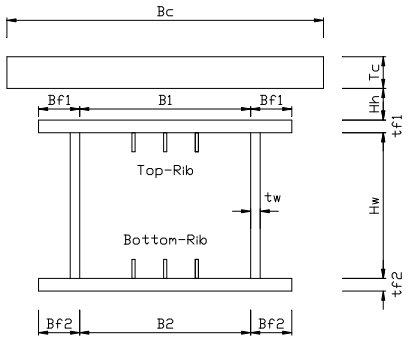
- 하연 : $(\frac{-83.511}{190.000})^2 + (\frac{15.018}{110.000})^2 = 0.212 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

② 부모멘트부

㉠ G1 - 지점부

■ 단면제원

【표 7-32】 G1 - 지점부 단면제원

검토단면				
	Bc(m)	6.000	tc(m)	0.250
	Hh(m)	0.050	-	-
	Hw(m)	3.000	tw(m)	0.014
	B1(m)	2.500	B2(m)	2.500
	Bf1(m)	0.100	Bf2(m)	0.100
	tf1(m)	0.020	tf2(m)	0.020
	Top-Rib	2 - 200 × 14		
	Bottom-Rib	4 - 200 × 14		
	단면2차 모멘트	합성전	314,016,861,447mm^4	
		합성후	433,827,001,813mm^4	
	중립축 (하단기준)	합성전	1,480.114mm	
		합성후	1,835.551mm	

■ 부재력 요약

【표 7-33】 G1 - 지점부 부재력 요약

구분	고정하중		활하중	지점침하	합계	Elment No.
	합성전	합성후				
휨모멘트(kN · m)	-14946.560	-3191.650	-8688.750	-1683.810	-28510.770	152i
전단력(kN)	-1501.110	-321.910	-1008.500	-66.410	-2897.930	152i
비틀림모멘트(kN · m)	449.770	-73.360	1721.140	0.480	2098.030	152i

■ 조합응력 검토

【표 7-34】 G1 - 지점부 조합응력 검토

구분	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		비고
	상연	하연	상연	하연	
1	-74.247	70.450	190.000	186.100	O.K
1+2+3	-111.906	127.841	190.000	186.100	O.K
1+2+3+4	-115.200	123.904	190.000	186.100	O.K
1+2+3+4+5	-102.038	139.977	190.000	186.100	O.K
1+2+3+4+5+6	-83.988	160.645	218.500	214.015	O.K
1+2+3+4+5-6	-120.088	119.310	218.500	214.015	O.K

※ 작용응력의 기호는 압축응력 (+), 인장응력 (-)

■ 전단응력 검토

$$v = \frac{V}{A_w} + \frac{M_t}{2FT_w} + \frac{M_{sct} + M_{vt}}{2F_v T_w} = 44.328\text{MPa} < 110.0\text{MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

■ 합성응력 검토

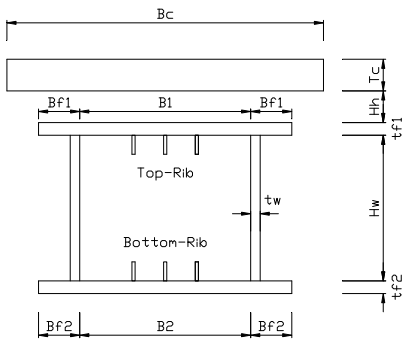
- 상연 : $(\frac{-115.200}{190.000})^2 + (\frac{44.328}{110.000})^2 = 0.530 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

- 하연 : $(\frac{139.977}{186.100})^2 + (\frac{44.328}{110.000})^2 = 0.728 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

㉡ G2 - 지점부

■ 단면제원

【표 7-35】 G2 - 지점부 단면제원

검토단면	제원			
	Bc(m)	5.821	tc(m)	0.250
	Hh(m)	0.050	–	–
	Hw(m)	3.000	tw(m)	0.014
	B1(m)	2.500	B2(m)	2.500
	Bf1(m)	0.100	Bf2(m)	0.100
	tf1(m)	0.020	tf2(m)	0.020
	Top-Rib	2 - 200 × 14		
	Bottom-Rib	4 - 200 × 14		
	단면2차 모멘트	합성전	309,727,191,013mm^4	
		합성후	426,510,564,986mm^4	
	중립축 (하단기준)	합성전	1,479.729mm	
		합성후	1,829.454mm	

■ 부재력 요약

【표 7-36】 G2 - 지점부 부재력 요약

구분	고정하중		활하중	지점침하	합계	Elment No.
	합성전	합성후				
휨모멘트(kN · m)	-16575.500	-3271.790	-7317.870	-1516.060	-28681.220	389i
전단력(kN)	-1720.830	-327.430	-797.010	-38.700	-2883.970	389i
비틀림모멘트(kN · m)	0.000	0.000	1350.420	0.000	1350.420	389i

■ 조합응력 검토

【표 7-37】 G2 - 지점부 조합응력 검토

구분	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		비고
	상연	하연	상연	하연	
1	-83.500	79.190	190.000	186.100	O.K
1+2+3	-117.859	131.116	190.000	186.100	O.K
1+2+3+4	-120.432	125.773	190.000	186.100	O.K
1+2+3+4+5	-111.078	147.000	190.000	186.100	O.K
1+2+3+4+5+6	-96.574	172.233	218.500	214.015	O.K
1+2+3+4+5-6	-125.582	121.767	218.500	214.015	O.K

※ 작용응력의 기호는 압축응력 (+), 인장응력 (-)

■ 전단응력 검토

$$v = \frac{V}{A_w} + \frac{M_t}{2FT_w} + \frac{M_{sct} + M_{vt}}{2F_v T_w} = 35.062\text{MPa} < 110.0\text{MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

■ 합성응력 검토

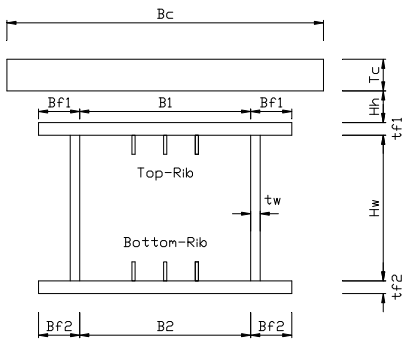
- 상연 : $(\frac{-120.432}{190.000})^2 + (\frac{35.062}{110.000})^2 = 0.503 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

- 하연 : $(\frac{172.233}{214.015})^2 + (\frac{35.062}{110.000})^2 = 0.749 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

㉢ G3 - 지점부

■ 단면제원

【표 7-38】 G3 - 지점부 단면제원

검토단면	제원			
	Bc(m)	4.904	tc(m)	0.250
	Hh(m)	0.050	–	–
	Hw(m)	3.000	tw(m)	0.014
	B1(m)	2.500	B2(m)	2.500
	Bf1(m)	0.100	Bf2(m)	0.100
	tf1(m)	0.020	tf2(m)	0.020
	Top-Rib	2 - 200 × 14		
	Bottom-Rib	4 - 200 × 14		
	단면2차 모멘트	합성전	309,727,191,013mm^4	
		합성후	411,378,281,535mm^4	
	중립축 (하단기준)	합성전	1,479.729mm	
		합성후	1,784.138mm	

■ 부재력 요약

【표 7-39】 G3 - 지점부 부재력 요약

구분	고정하중		활하중	지점침하	합계	Elment No.
	합성전	합성후				
휨모멘트(kN · m)	-14946.560	-3191.650	-8359.050	-1683.810	-28181.070	552i
전단력(kN)	-1501.110	-321.910	-838.090	-66.410	-2727.520	552i
비틀림모멘트(kN · m)	-449.770	73.360	-935.960	-0.480	-1312.850	552i

■ 조합응력 검토

【표 7-40】 G3 - 지점부 조합응력 검토

구분	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		비고
	상연	하연	상연	하연	
1	-75.294	71.408	190.000	186.100	O.K
1+2+3	-115.697	128.805	190.000	186.100	O.K
1+2+3+4	-118.941	124.879	190.000	186.100	O.K
1+2+3+4+5	-107.766	138.674	190.000	186.100	O.K
1+2+3+4+5+6	-92.442	156.466	218.500	214.015	O.K
1+2+3+4+5-6	-123.090	120.883	218.500	214.015	O.K

※ 작용응력의 기호는 압축응력 (+), 인장응력 (-)

■ 전단응력 검토

$$v = \frac{V}{A_w} + \frac{M_t}{2FT_w} + \frac{M_{sct} + M_{vt}}{2F_v T_w} = 38.625\text{MPa} < 110.0\text{MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

■ 합성응력 검토

- 상연 : $(\frac{-118.941}{190.000})^2 + (\frac{38.625}{110.000})^2 = 0.515 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

- 하연 : $(\frac{138.674}{186.100})^2 + (\frac{38.625}{110.000})^2 = 0.679 < 1.2 \quad \therefore$ O.K

3) 검토결과

본 교량의 Steel Box Girder에 대한 안전성 검토 결과, 전 검토 부재에서 안전율 1.0 이상 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

【표 7-41】 Steel Box Girder 단면검토 결과

구분			휨응력(MPa)			전단응력(MPa)			비고
			작용응력	허용응력	안전율	작용응력	허용응력	안전율	
외측경간	G1	상연	101.791	241.930	2.377	20.815	110.000	5.285	O.K
		하연	99.589	190.000	1.908				O.K
	G2	상연	104.708	241.930	2.311	12.819	110.000	8.581	O.K
		하연	97.549	190.000	1.948				O.K
	G3	상연	101.455	241.930	2.385	9.216	110.000	11.936	O.K
		하연	98.107	190.000	1.937				O.K
내측경간	G1	상연	80.951	241.930	2.989	24.093	110.000	4.566	O.K
		하연	84.229	190.000	2.256				O.K
	G2	상연	83.985	241.930	2.881	16.761	110.000	6.563	O.K
		하연	84.001	190.000	2.262				O.K
	G3	상연	80.788	241.930	2.995	15.018	110.000	7.325	O.K
		하연	83.511	190.000	2.275				O.K
지점부	G1	상연	115.200	190.000	1.649	44.328	110.000	2.481	O.K
		하연	139.977	186.100	1.329				O.K
	G2	상연	120.432	190.000	1.578	35.062	110.000	3.137	O.K
		하연	172.233	214.015	1.243				O.K
	G3	상연	118.941	190.000	1.597	38.625	110.000	2.848	O.K
		하연	138.674	186.100	1.342				O.K

7.3 내하력평가

7.3.1 내하율 산정 방법

1) 허용응력 설계법

허용응력설계법에 의한 교량부재의 내하율 산정 시에 하중조합으로는 D+L(1.0+i)를 사용하므로 하중계수는 각각 1.0이 된다. 사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력을 사용하여 도로교 설계기준 규정에 의거 부재종류에 따라 결정한다.

고정하중과 활하중에 의한 응력은 대상 부재단면에 있어서 철근 및 강재부식, 콘크리트의 탄산화, 염해, 동해 등에 의한 강도저하와 단면손실 등을 고려하여 계산하며, 이때 고정하중은 현재 교량에 작용하고 있는 모든 고정하중을 가능한 한 정확히 고려하며, 활하중은 현재 현행 도로교 설계기준의 설계활하중을 사용한다.

허용응력설계법에 의한 내하율은 강 부재의 내하력 산정 시 적용하는 것이 바람직하며, 허용응력설계법에 의한 교량부재의 내하율은 다음 식으로 계산한다.

$$\text{내하율(RF)} = \frac{f_a - f_d}{f_l(1+i)}$$

여기서, f_a = 실측 허용응력

f_d = 실측 고정하중에 의한 응력

f_l = 설계 활하중 (도로교의 경우 DB 또는 DL하중)에 의한 응력

i = 충격계수는 도로교 설계기준에서 제시한 설계 충격계수를 적용한다.

2) 강도설계법

강도설계법에 의한 교량부재의 내하율 산정 시 하중조합으로는 1.3D+2.15L(1.0+i)를 사용하므로 하중계수는 각각 1.3, 2.15가 된다. 단면강도는 단면의 현재 상태, 즉 재료강도와 단면손실 등을 고려하여 도로교 설계기준의 공칭강도와 강도감소 계수에 따라 계산한다. 교량 설계시의 부재강도 감소계수는 부재강도의 산정에 있어서 재료강도에 대한 불확실성, 설계와 시공단면의 오차 등을 고려하는 계수이나 내하력 평가 시에는 그러한 불확실성은 상당히 감소하므로 오히려 공용 중에 부재단면의 손상정도에 따라 결정한다.

그러나 부재단면의 손상정도를 정량적으로 평가하기가 어려우므로 공칭강도의 산정 시는 교량의 현재 상태에 따른 단면감소와 비파괴 강도시험에 따른 재료강도를 고려하고 강도감소계수는 설계시의 값을 그대로 사용한다. 고정하중과 활하중에 의한 단면력은 현재 작용하고 있는 고정하중과 현행 도로교 설계기준의 설계활하중(DB 또는 DL하중)을 사용하여 구조해석을 통하여 구한다. 강도설계법에 의한 내하율은 콘크리트 부재의 내하력 산

정에 적용하는 것이 바람직하다.

내하율(RF) = $RF = \dfrac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l (1+i)}$

여기서, ϕM_n = 극한 저항모멘트(강구조물 ϕ = 1, RC · PC구조물의 휨부재 ϕ = 0.85)

M_d = 실측 고정하중모멘트

M_l = 설계 활하중에 의한 모멘트 (도로교의 경우 DB 또는 DL하중)

γ_l = 활하중 계수 = 2.15

γ_d = 고정하중 계수 = 1.30

i = 도로교 설계기준에서 제시한 설계 충격계수를 적용한다.

7.3.2 내하력평가

가. 내하율 산정

1) Steel Box Girder

【표 7-42】 Steel Box Girder 내하율 산정

구분			응력(MPa)				내하율(RF)
			고정하중		활하중	허용응력	
			합성전	합성후			
외측경간	G1	상연	52.754	2.069	7.658	186.100	17.142
		하연	52.461	9.120	33.747	190.000	3.805
	G2	상연	54.773	1.652	5.361	186.100	24.189
		하연	54.468	9.111	29.565	190.000	4.276
	G3	상연	52.754	2.069	7.321	186.100	17.932
		하연	52.461	9.120	32.264	190.000	3.980
내측경간	G1	상연	40.152	1.614	7.529	186.100	19.170
		하연	39.928	7.091	33.075	190.000	4.323
	G2	상연	41.849	1.289	5.658	186.100	25.267
		하연	41.616	7.067	31.019	190.000	4.556
	G3	상연	40.152	1.614	7.366	186.100	19.595
		하연	39.928	7.091	32.357	190.000	4.419
지점부	G1	상연	74.247	8.861	24.123	190.000	4.431
		하연	70.450	13.504	36.763	186.100	2.779
	G2	상연	83.500	9.286	20.770	190.000	4.681
		하연	79.190	14.034	31.389	186.100	2.959
	G3	상연	75.294	9.744	25.519	190.000	4.113
		하연	71.408	13.842	36.253	186.100	2.782

2) 바닥판

【표 7-43】 바닥판 내하율 산정

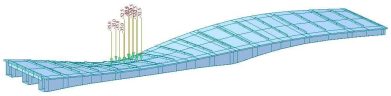
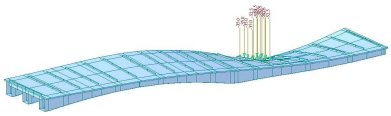
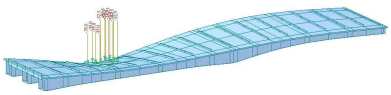
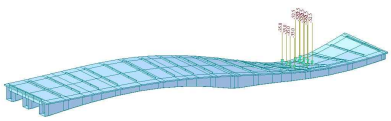
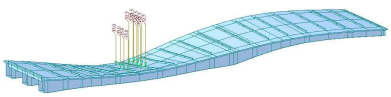
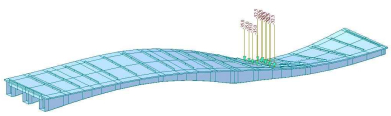
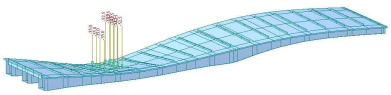
구 분	설계강도(kN · m)	고정하중모멘트(kN · m)	활하중모멘트(kN · m)	내하율(RF)
캔틸레버부	105.552	6.959	14.857	3.021
중앙부	105.552	4.625	32.240	1.436

나. 응답비 산정

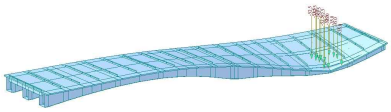
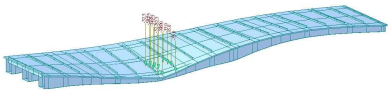
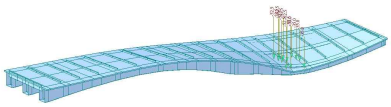
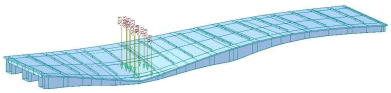
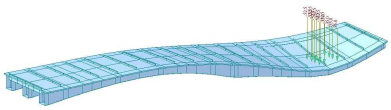
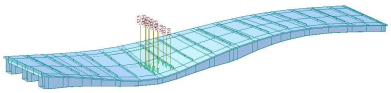
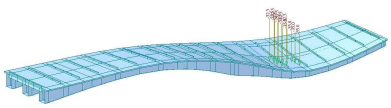
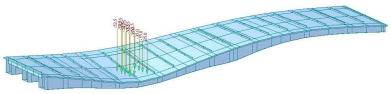
응답비는 재하시험에 의한 결과와 해석결과에 의한 결과를 비교하여 산정하며, 처짐과 변형률에 의한 값 중 내하력 평가에 불리하게 작용하는 최소 응답비를 적용한다.

1) Load Case별 시험차량 재하도

【표 7-44】 구조해석 시험차량 재하도

구분		하중재하도	재하위치
Load Case 1	S6 최대 정모멘트 (단면 A-A)		S6 경간 – A2 기준 3L/8 (L=40.000m, 3L/8=15.000m)
	P5 최대 부모멘트 (단면 B-B)		S5 경간 – P5 기준 3L/8 (L=50.000m, 3L/8=18.750m)
			S6 경간 – P5 기준 3L/8 (L=40.000m, 3L/8=15.000m)
	S5 최대 정모멘트 (단면 C-C)		S5 경간 - P5 기준 L/2 위치 (L=50.000m, L/2=25.000m)
Load Case 2	S6 최대 정모멘트 (단면 A-A)		S6 경간 – A2 기준 3L/8 (L=40.000m, 3L/8=15.000m)
	P5 최대 부모멘트 (단면 B-B)		S5 경간 – P5 기준 3L/8 (L=50.000m, 3L/8=18.750m)
			S6 경간 – P5 기준 3L/8 (L=40.000m, 3L/8=15.000m)
	S5 최대 정모멘트 (단면 C-C)		S5 경간 - P5 기준 L/2 위치 (L=50.000m, L/2=25.000m)

【표 7-44】 구조해석 시험차량 재하도(계속)

구분		하중재하도	재하위치
Load Case 3	S6 최대 정모멘트 (단면 A-A)		S6 경간 - A2 기준 3L/8 (L=40.000m, 3L/8=15.000m)
	P5 최대 부모멘트 (단면 B-B)		S5 경간 - P5 기준 3L/8 (L=50.000m, 3L/8=18.750m)
			S6 경간 - P5 기준 3L/8 (L=40.000m, 3L/8=15.000m)
	S5 최대 정모멘트 (단면 C-C)		S5 경간 - P5 기준 L/2 위치 (L=50.000m, L/2=25.000m)
Load Case 4	S6 최대 정모멘트 (단면 A-A)		S6 경간 - A2 기준 3L/8 (L=40.000m, 3L/8=15.000m)
	P5 최대 부모멘트 (단면 B-B)		S5 경간 - P5 기준 3L/8 (L=50.000m, 3L/8=18.750m)
			S6 경간 - P5 기준 3L/8 (L=40.000m, 3L/8=15.000m)
	S5 최대 정모멘트 (단면 C-C)		S5 경간 - P5 기준 L/2 위치 (L=50.000m, L/2=25.000m)

2) 재하시험에 대한 구조해석 결과

【표 7-45】 재하시험 구조해석 결과

단면	게이지 번호	Load Case 1		Load Case 2		Load Case 3		Load Case 4	
		변형률	처짐	변형률	처짐	변형률	처짐	변형률	처짐
A-A	DT1	-	-7.961	-	-6.655	-	-1.943	-	-2.649
	DT2	-	-4.520	-	-5.075	-	-4.461	-	-5.013
	DT3	-	-1.978	-	-2.693	-	-7.874	-	-6.579
	S1	95.111	-	73.850	-	13.628	-	20.198	-
	S2	-27.172	-	-24.755	-	-8.620	-	-11.195	-
	S3	52.619	-	60.658	-	40.151	-	51.905	-
	S4	-9.638	-	-15.448	-	-20.963	-	-22.620	-
	S5	13.873	-	20.505	-	94.465	-	73.279	-
	S6	-8.798	-	-11.450	-	-25.431	-	-23.464	-
B-B	S7	7.819	-	8.026	-	3.153	-	4.582	-
	S8	2.097	-	3.914	-	7.741	-	7.804	-
	S9	3.016	-	4.424	-	7.782	-	8.051	-
C-C	DT4	-	-9.700	-	-8.277	-	-3.077	-	-3.898
	DT5	-	-5.928	-	-6.493	-	-5.928	-	-6.493
	DT6	-	-3.076	-	-3.899	-	-9.699	-	-8.278
	S10	94.125	-	73.661	-	16.969	-	23.003	-
	S11	-28.805	-	-25.661	-	-7.984	-	-10.570	-
	S12	53.506	-	61.559	-	42.036	-	53.558	-
	S13	-9.924	-	-16.217	-	-20.574	-	-22.935	-
	S14	16.977	-	23.033	-	93.827	-	73.434	-
	S15	-8.128	-	-10.805	-	-27.066	-	-24.369	-

※ 변형률 : 인장 (+), 압축 (-), 단위 $\mu\varepsilon$
※ 처짐 : 하향 처짐 (-), 상향 처짐 (+), 단위 mm

3) 응답비 산정

응답비 산정 시 Steel Box Girder 상연 변형률은 슬래브 및 가로보 등의 복합적인 영향을 받기 때문에 응답비 산정에는 제외하였다.

① 처짐에 대한 응답비

【표 7-46】 처짐에 대한 응답비 산정

단면	게이지 번호	Load Case 1			Load Case 2			Load Case 3			Load Case 4		
		이론값	실측값	응답비	이론값	실측값	응답비	이론값	실측값	응답비	이론값	실측값	응답비
A-A	DT1	-7.961	-6.042	1.318	-6.655	-5.454	1.220	-1.943	-2.077	0.935	-2.649	-2.366	1.120
	DT2	-4.520	-4.393	1.029	-5.075	-4.602	1.103	-4.461	-3.882	1.149	-5.013	-3.944	1.271
	DT3	-1.978	-2.407	**0.822**	-2.693	-2.625	1.026	-7.874	-5.305	1.484	-6.579	-5.263	1.250
C-C	DT4	-9.700	-5.249	1.848	-8.277	-5.413	1.529	-3.077	-2.214	1.390	-3.898	-2.721	1.433
	DT5	-5.928	-4.044	1.466	-6.493	-4.692	1.384	-5.928	-4.173	1.421	-6.493	-5.220	1.244
	DT6	-3.076	-2.496	**1.232**	-3.899	-2.922	1.334	-9.699	-5.680	1.708	-8.278	-6.073	1.363

※ 처짐 : 하향 처짐 (-), 상향 처짐 (+), 단위 mm

② 변형률에 대한 응답비

【표 7-47】 변형률에 대한 응답비 산정

단면	게이지 번호	Load Case 1			Load Case 2			Load Case 3			Load Case 4		
		이론값	실측값	응답비	이론값	실측값	응답비	이론값	실측값	응답비	이론값	실측값	응답비
A-A	ST1	95.111	80.628	1.180	73.850	66.867	1.104	13.628	16.951	**0.804**	20.198	22.437	0.900
	ST3	52.619	47.276	1.113	60.658	55.150	1.100	40.151	36.469	1.101	51.905	31.869	1.629
	ST5	13.873	26.364	0.526	20.505	26.901	0.762	94.465	50.901	1.856	73.279	56.544	1.296
C-C	ST11	94.125	68.936	1.365	73.661	60.251	1.223	16.969	19.092	0.889	23.003	21.361	1.077
	ST13	53.506	36.562	1.463	61.559	43.763	1.407	42.036	40.173	1.046	53.558	45.722	1.171
	ST15	16.977	21.210	**0.800**	23.033	17.036	1.352	93.827	69.683	1.346	73.434	57.733	1.272

※ 변형률 : 인장 (+), 압축 (-), 단위 $\mu\varepsilon$

③ 응답보정계수 산정

Steel Box Girder에 대한 응답보정계수는 시험경간 내 최소 응답보정계수인 0.872를 적용하였으며, 바닥판의 경우는 응답비를 측정하지 않았으므로 기본내하력만 평가하였다.

【표 7-48】 응답보정계수

구 분		최소 응답비		적용 응답비	$\frac{1+i_{이론}}{1+i_{실측}}$	응답보정계수 (Ks)	적용 응답보정계수(Ks)
		처짐	변형률				
Steel Box Girder	외측경간	0.822	0.804	0.804	1.086	0.873	**0.873**
	내측경간	1.232	0.800	0.800	1.106	0.885	
	지점부	-	-	-	-	-	
바닥판	캔틸레버부	-	-	-	-	-	-
	중앙부	-	-	-	-	-	

다. 내하력 평가

1) Steel Box Girder

【표 7-49】 Steel Box Girder 공용내하력 평가결과

구분			내하율(RF)	응답보정계수(Ks)	공용내하력
외측경간	G1	상연	17.142	0.873	DB-24 이상
		하연	3.805	0.873	DB-24 이상
	G2	상연	24.189	0.873	DB-24 이상
		하연	4.276	0.873	DB-24 이상
	G3	상연	17.932	0.873	DB-24 이상
		하연	3.980	0.873	DB-24 이상
내측경간	G1	상연	19.170	0.873	DB-24 이상
		하연	4.323	0.873	DB-24 이상
	G2	상연	25.267	0.873	DB-24 이상
		하연	4.556	0.873	DB-24 이상
	G3	상연	19.595	0.873	DB-24 이상
		하연	4.419	0.873	DB-24 이상
지점부	G1	상연	4.431	0.873	DB-24 이상
		하연	2.779	0.873	DB-24 이상
	G2	상연	4.681	0.873	DB-24 이상
		하연	2.959	0.873	DB-24 이상
	G3	상연	4.113	0.873	DB-24 이상
		하연	2.782	0.873	DB-24 이상

2) 바닥판

【표 7-50】 바닥판 기본내하력 평가결과

구분		내하율(RF)	기본내하력
바닥판	캔틸레버부	3.021	DB-24 이상
	중앙부	1.436	DB-24 이상

3) 평가결과

금회 장암교에 대한 공용 및 기본내하력 산정 결과, 전 부재에서 DB-24 이상으로 설계하중에 대해 양호한 상태로 확인되었다.

7.4 안전성평가

7.4.1 안전성평가 기준

【표 7-51】 안전성평가 기준

등 급	안전성평가 기준	비 고
A	SF > 1.0	◦허용응력설계법 $SF(안전율) = \frac{허용응력}{발생응력} = \frac{f_a}{f_{d+l}}$ ◦강도설계법 $SF(안전율) = \frac{설계강도}{소요강도} = \frac{\phi Mn}{Mu}$
B	0.9 ≤ SF < 1 이나, 공용내하력이 설계하중보다 크게 평가된 경우	
C	0.9 ≤ SF < 1	
D	0.75 ≤ SF < 0.9	
E	SF < 0.75	

※ 안전성평가결과는 통합시설물까지는 소문자(a, b, c, d, e)로 표기하고 전체시설물에 대해서만 대문자(A, B, C, D, E)로 표기함.

7.4.2 안전성평가 결과

1) Steel Box Girder

【표 7-52】 Steel Box Girder 안전성평가 결과

구분			안전율		등급
			휨응력	전단응력	
외측경간	G1	상연	2.377	5.285	A
		하연	1.908		A
	G2	상연	2.311	8.581	A
		하연	1.948		A
	G3	상연	2.385	11.936	A
		하연	1.937		A

【표 7-52】 Steel Box Girder 안전성평가 결과(계속)

구분			안전율		등급
			휨응력	전단응력	
내측경간	G1	상연	2.989	4.566	A
		하연	2.256		A
	G2	상연	2.881	6.563	A
		하연	2.262		A
	G3	상연	2.995	7.325	A
		하연	2.275		A
지점부	G1	상연	1.649	2.481	A
		하연	1.329		A
	G2	상연	1.578	3.137	A
		하연	1.243		A
	G3	상연	1.597	2.848	A
		하연	1.342		A

2) 바닥판

【표 7-53】 바닥판 안전성평가 결과

구분	안전율	등급
캔틸레버부	1.880	A
중앙부	1.401	A

7.5 기 정밀안전진단 결과와의 비교

2016년 정밀안전진단과 금회 실시한 정밀안전진단의 안전성평가에 대한 비교분석 결과는 다음과 같다.

7.5.1 안전성평가 결과비교

1) Steel Box Girder

【표 7-54】 Steel Box Girder 기 정밀안전진단과 결과비교(휨응력)

구분			2016년 정밀안전진단			금회 정밀안전진단		
			작용응력 (MPa)	허용응력 (MPa)	안전율(SF)	작용응력 (MPa)	허용응력 (MPa)	안전율(SF)
외측경간	G1	상연	72.308	241.930	3.346	101.791	241.930	2.377
		하연	70.402	190.000	2.699	99.589	190.000	1.908
	G2	상연	80.950	241.930	2.989	104.708	241.930	2.311
		하연	80.277	190.000	2.367	97.549	190.000	1.948
	G3	상연	72.089	241.930	3.356	101.455	241.930	2.385
		하연	74.133	190.000	2.563	98.107	190.000	1.937
내측경간	G1	상연	71.239	241.930	3.396	80.951	241.930	2.989
		하연	69.998	190.000	2.714	84.229	190.000	2.256
	G2	상연	77.718	241.930	3.113	83.985	241.930	2.881
		하연	79.486	190.000	2.390	84.001	190.000	2.262
	G3	상연	71.077	241.930	3.404	80.788	241.930	2.995
		하연	73.737	190.000	2.577	83.511	190.000	2.275
지점부	G1	상연	104.822	190.000	1.813	115.200	190.000	1.649
		하연	140.433	214.015	1.524	139.977	186.100	1.329
	G2	상연	129.645	190.000	1.466	120.432	190.000	1.578
		하연	177.234	214.015	1.208	172.233	214.015	1.243
	G3	상연	104.860	190.000	1.812	118.941	190.000	1.597
		하연	140.459	214.015	1.524	138.674	186.100	1.342

2) 바닥판

【표 7-55】 바닥판 기 정밀안전진단과 결과비교

구분	2016년 정밀안전진단			금회 정밀안전진단		
	극한강도 (kN · m)	설계강도 (kN · m)	안전율(SF)	극한강도 (kN · m)	설계강도 (kN · m)	안전율(SF)
캔틸레버부	66.390	105.961	1.685	56.148	105.552	1.880
중앙부	75.329	105.961	1.407	75.329	105.552	1.401

7.5.2 분석결과

기 정밀안전진단과 금회 정밀안전진단의 안전성 평가에 대한 분석결과 일부 검토단면에서 약간의 차이를 보이고 있으나, 이는 구조해석 모델링의 방법, 하중재하 조건 등에 의한 것으로 판단되며, 모두 최소 안전율 1.0 이상, 공용내하력 DB-24를 만족하고 있는 상태이다.

제8장 종합평가 및 안전등급 지정

8.1 종합평가

8.2 안전등급 지정

제8장 종합평가 및 안전등급 지정

8.1 종합평가

8.1.1 종합평가 기준

가. 개 요

시설물의 종합평가는 구조물 부재의 결함 및 손상에 대하여 평가기준 및 상태평가기법에 따라 수행한 상태평가 결과와 시설물의 안전성평가 결과를 고려하여 개별시설물의 종합평가 결과를 결정한다.

교량 등 각 시설물에 대한 종합평가는 상태평가만 실시하거나 또는 상태평가와 안전성평가를 각각 실시한 후 이들 결과를 기초로 종합하여 이루어진다.

즉, 상태평가만 실시하는 경우에는 상태평가 결과를 종합평가 결과로 갈음하여 상태평가 결과가 종합평가 결과로 결정되지만 상태평가와 안전성평가가 동시에 실시한 경우에는 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 비교·검토하여 최종적인 종합평가 결과를 부여하게 된다.

따라서 본 장에서는 상태평가와 안전성평가가 동시에 실시되는 경우에 대하여 객관적이고 정량적이며, 통일성 있는 종합평가가 이루어지고 합리적인 종합평가 결과가 결정될 수 있도록 종합평가 기준을 설정하고 그 평가방법 및 절차를 수립한다.

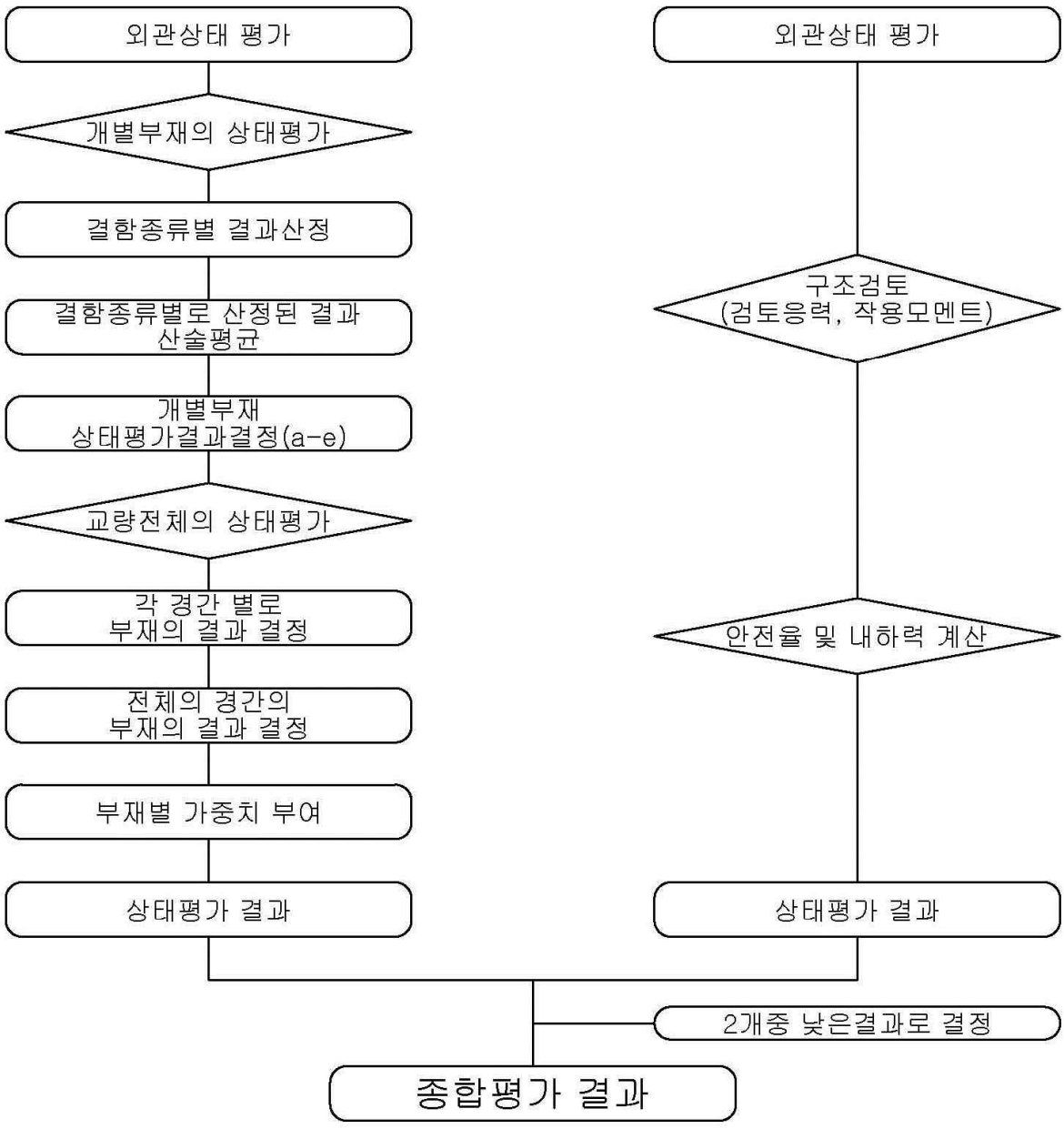
나. 종합평가 기준

시설물의 상태평가와 안전성평가를 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 종합적으로 비교・검토하여 그 시설물에 대한 종합평가를 결정한다.

다. 종합평가 결과 산정절차

외관조사에 따른 상태평가 결과와 안전성 검토에 근거한 안전성평가 결과 중 낮은 결과를 시설물의 종합평가 결과로 결정한다.

종합평가 결과의 산정절차는 아래에 나타내었다.



【그림 8-1】 종합평가 결과 산정 흐름도

8.1.2 종합평가 결과

대상 구조물의 종합평가는『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검・진단 편)(국토교통부, 2019.09.)』에 의거 상태평가 결과와 안전성평가 결과를 비교하여 낮은 결과를 시설물의 종합평가 결과로 결정하였다.

장암교 상태평가 결과는 “B”, 안전성평가 결과는 “A”로 평가되어 본 시설물의 종합평가 결과는 이중 낮은 결과인 “B”로 평가되었다.

【표 8-1】 장암교 종합평가 결과

평가구분	결함도	평가결과	비 고
상태평가	F=0.250	B	
안전성평가	SF=1.0이상	A	SF=1.243
종합평가	**B등급(양호)**		

가. 기 점검 결과와 비교・분석

기 정밀점검 및 정밀안전진단 종합평가 결과와 금회 종합평가 결과를 비교・분석한 결과, 2018년 까지의 점검 및 진단결과는 금회 진단결과와 동일한 B로 평가되었으나, 2020년 정밀안전점검 및 성능평가에서는 점밀안전점검은 B, 종합성능평가는 C로 하향조정하여 평가되었다. 이는 평가기준의 차이에서 발생된 것으로 콘크리트 내구성능평가에서 낮은 등급이 산출되어 있어 이 수치가 반영된 것으로서, 금회 진단의 내구성조사 결과 중 염화물함유량 측정결과에서 차이가 발생된 것이다. 이는 측정 위치가 서로 달라 이러한 차이가 발생된 것으로 판단된다.

8.2 안전등급 지정

8.2.1 안전등급 기준

정밀안전진단을 실시하는 사람은 상태평가 및 안전성평가 등을 종합적으로 평가하여 「법」 제10조의2 및 「영」 제11조의5에 따라서 당해 시설물의 안전등급을 지정하여야 하며, 정밀안전진단을 실시한 책임기술자는 당해 시설물에 대한 종합적으로 평가한 결과로부터 안전등급을 지정한다.

다만, 정밀안전진단 실시결과 기존의 안전등급보다 상향하여 조정할 경우에는 해당 시설물에 대한 보수·보강 조치 등 그 사유가 분명하여야 한다.

【표 8-2】 안전등급 기준

안전등급	시설물의 상태	비 고
A (우수)	■ 문제점이 없는 최상의 상태	
B (양호)	■ 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능발휘에 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태	
C (보통)	■ 주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태	
D (미흡)	■ 주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태	
E (불량)	■ 주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태	

8.2.2 안전등급 지정

【표 8-3】 안전등급 지정

구 분	상태평가		안전성평가	
	결함도 점수	평가기준	최소 안전율	평가기준
평가결과	0.250	B	1.0이상	A
안전등급 지 정	▶ 장암교 안전등급은 양호한 상태인 B등급으로 지정함 상태평가 B　　안전성평가 A 안전등급 B			

제9장 보수·보강 및 유지관리 방안

9.1 개 요
9.2 보수 · 보강 방안
9.3 개략공사비
9.4 유지관리 방안

제9장 보수·보강 및 유지관리 방안

9.1 개 요

모든 구조물은 시간이 경과함에 따라 여러가지 원인에 의해 손상이나 결함이 발생하게 되고, 작은 결함이라도 그대로 방치해 두면 점진적으로 발전하여 대형사고의 원인이 될 수도 있다. 따라서 구조물의 기능성 및 안전성을 유지하고 필요에 따라 그 기능의 향상을 위해 보수·보강을 실시하여야 한다.

9.2 보수·보강 방안

9.2.1 보수·보강 방안 수립에 따른 검토사항

외관조사, 내구성조사, 구조검토, 상태평가 및 안전성평가 결과 등을 종합적으로 분석 및 검토하고 적합한 재료와 보수·보강공법을 선정하였으며, 그에 따라 보수·보강의 우선순위는 결함, 손상, 열화의 상태에 따라서 구조적 안전성, 사용성 및 내구성 등을 종합적으로 고려하여 결정하였다.

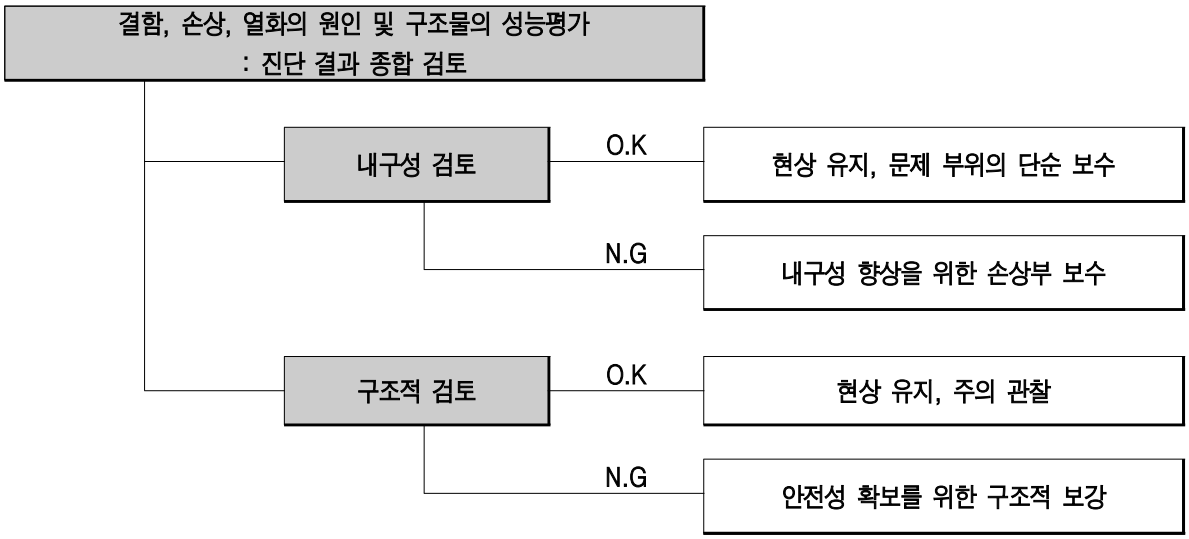
【표 9-1】 보수·보강 방안 수립에 따른 검토사항

검 토 항 목	검 토 내 용
보수보강 필요성 판단	■ 외관조사, 내구성조사, 구조검토, 상태 및 안전성평가 ⇒ 진단 결과 종합 분석 후 보수보강 여부 판단
보수보강 공법의 선정	■ 구조물의 기능 및 중요도 ■ 구조물의 형식과 환경조건 ■ 보수 후의 요구 내용년수 ■ 공법의 시공성과 경제성
보수보강 수준 결정	■ 국부적인 보수 또는 전반적 보수여부 결정 ■ 구조물 수명과 장·단기 대책을 고려한 보수보강 범위 산정
보수보강 재료의 선정	■ 용도 및 목적에 적합한 품질을 가진 재료 선정 ■ 품질과 성능이 확인된 것을 사용 ⇒ 적절한 시험방법, 사용 실적 또는 신뢰할 만한 자료 근거
보수보강 우선순위 결정	■ 결함, 손상, 열화의 중요도 ■ 구조적 안전성, 사용성, 내구성

가. 보수 · 보강 필요성 판단

보수의 필요성은 발생된 손상(균열 등)이 어느 정도까지 허용되는가의 판단에 의하여야 하며, 이를 위해 정밀안전진단 세부지침 및 각종 기준(표준시방서 등)을 참조한다.

보강의 경우는 부재안전율을 각종 기준에서 정하는 수치이상으로 하기 위하여 어느 정도까지 부재단면 등을 증가하여야 하는지를 판단하여야 한다.



【그림 9-1】 보수 · 보강 범위의 결정

나. 보수·보강 공법 선정 및 수준 결정

1) 보수·보강 공법의 선정

우수한 성능의 보수·보강 공법도 적용구조물의 형식과 환경조건에 따라서 그 성능이 충분히 발휘되지 않는 경우가 있다. 따라서 보수·보강 공법 선정시에는 구조물의 중요도, 형식, 기능, 환경조건 혹은 보수 후의 공용년수 등을 고려하고 공법이 그 성능을 충분하게 발휘할 수 있는지 확인하여야 한다.

2) 보수·보강의 수준 결정

조사 및 시험을 통하여 얻은 결과를 기초자료로 종합적인 평가를 실시한 후 보수·보강의 수준을 결정하게 된다. 손상 및 열화에 대하여 분포면적, 분포유형, 시설물의 안전성, 현 상태의 내구성능, 보수 후의 회복목표수준 등을 고려하여 보수·보강 여부 및 수준을 아래의 경우 중에서 결정한다.

■ 현상유지(진행억제) ■ 실용상 지장이 없는 성능까지 회복

■ 초기 수준이상으로 개선 ■ 개축

본 구조물은 내구성 확보를 위한 일부 보수가 필요한 상태로 실용상 지장이 없는 성능까지 회복 수준으로 보수 · 보강의 수준을 결정한다.

다. 보수·보강 재료의 선정

보수재료는 보수공법의 사용목적에 부합하고 시공하기에 적절한 기본적인 성능을 만족하여야 한다.

1) 보수재료의 기본 특성 설정

보수재료의 선정을 위한 기본은 구조물의 종류 및 기능, 보수재료의 종류 및 성능 규격치, 환경조건, 시공조건 및 보수부위의 내용년수 등을 설정한다.

2) 보수재료의 요구 성능 설정

보수재료의 요구 성능은 보호성능, 내구성능, 시공성능 및 기본적인 성능을 고려하여 설정한다. 일반적으로 보수재료에 요구되는 성능은 시공성능과 내구성능이다. 보수재료는 재료 자체의 특성을 충분하게 발휘할 수 있도록 시공되어야 한다. 즉, 시공환경에서 간단하면서도 균일하게 시공이 되는 것이 중요하다.

내구성능은 보수재료의 원래의 목적이 되는 성능이지만 보수 후의 공용기간 중 소정의 수준을 만족시키는 것을 나타내는 성능으로 재료 자체의 열화에 대한 저항성과 밀접한 관계가 있다. 부착성과 수축성 등은 보수재료가 구조물과 일체화해서 거동하는 것에 기본이 되는 성능이고, 이것이 불충분한 경우에 이들 재료는 그 본래의 목적을 달성할 수 없다.

3) 적용 가능한 보수재료의 선정

구체적인 요구 성능 및 그 요구수준이 결정되면 그것을 만족시키는 재료의 후보를 선정한다. 단, 재료를 새로 설계하는 것이 곤란한 경우에는 시판 재료 중에서 요구 성능을 만족시키는 것으로 생각되는 것을 선택하거나, 혹은 요구 성능을 만족하도록 복수의 시판재료를 조합한 재료시스템을 구축해도 좋다. 재료를 조합해서 사용하는 경우에는 고려방법과 조합의 가능성, 문제점 등에 관해서 명확히 해둘 필요가 있다.

4) 보수재료의 성능조사

보수재료가 요구 성능을 만족하고 있는가를 적당한 방법을 통해서 조사해야 한다. 이 조사는 설계된 재료의 성능 평가값이 요구 성능의 수준 이상인 것을 확인하는 것으로 성능조사의 구체적인 방법은 다음과 같다.

첫 번째 방법으로는 재료의 다양한 특성 값을 사용해서 요구 성능을 직접 평가하고 그 결과를 요구수준과 비교하는 것이다.

또 다른 방법으로는 공공기관이 정한 규격시험을 통해 얻어진 재료시험 결과를 공공기관이 설정한 규격치와 비교하는 것이다.

라. 보수·보강 우선순위 결정

본 구조물에 필요한 보수·보강의 우선순위는 손상 및 결함의 종류, 성상, 원인, 구조적 안전성 등을 고려하여 보수의 시급을 판단하여 다음과 같이 정하였다.

【표 9-2】 보수·보강 방안 및 우선순위 개요

순 위	보수·보강 우선순위	비 고
단 기 (즉 시)	■부재의 손상·열화 상태가 전체구조물의 안전에 즉각적인 영향을 주거나 (FCM포함) 시민의 안전에 위해를 줄 위험이 있다고 판단되는 경우 ■하부 차량과 통행인의 안전에 유해를 일으킬 수 있는 손상 ■『시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법』 제18조(시설물의 중대한 결함) "시설물 기초의 세굴, 부등침하등 대통통령으로 정하는 중대한 결함" 에 포함되는 손상 ■초기 수준 이상으로 개선 또는 개축 ■방치시 교량의 안전성에 영향을 미치는 손상 ■즉시 보수설계 착수, 익년도 보수 완료	중대결함
단 기	■부재의 손상도가 심각한 상태(D·E급)로 방치시 전체구조물의 안전에 영향을 주는 경우 ■위험도(Risk)가 크거나, 주요 노선상 시설물의 주요 손상 ■하부 차량과 통행인의 안전에 유해를 일으킬 가능성이 있는 손상 ■현재 2차적인 손상을 유발하고 있는 손상 ■익년도 보수설계착수, 2년 이내 보수완료	1순위
중 기	■부재가 손상·열화된 상태로 당장은 위험하지 않지만 중·장기간 방치시 손상·열화가 진전되어 보수·보강 비용의 급증, 안전등급(D·E)으로의 상태 악화가 예상되는 경우 ■내하력 저하가 우려되거나 철근부식 가능성이 있는 손상 ■실용상에 지장이 없는 수준이상으로 개선 ■많은 예산이 소요되지 않고, 수시 시행분에 해당하며, 저비용으로 일상적인 보수가 가능한 손상 ■3년이내 보수설계 착수, 4년이내 보수 완료	2순위
장 기	■기능발휘에는 지장이 없으나 내구성 증진을 위해 연차보수가 필요 ■방치시 규모가 증대 및 2차적인 손상을 유발할 수 있는 손상 및 사용성을 위해 보수가 필요한 상태 ■현상유지(진행억제)를 위해 필요로 하는 대책	3순위
주의관찰	■발생된 손상이 경미하나 진행상황 점검이 필요한 경우	

※교량 보수·보강사업 투자 우선순위 결정기준 보완(방침서) 서울특별시 도시안전본부, 2015. 06
※도로시설물 보수·보강 우선순위 선정기준 서울특별시 도시안전실, 2014. 09

현장조사 및 시험	안전성평가 결과
■부재별 현장조사 결과 – 바닥판하면 : 균열, 망상균열, 박락, 재료분리, 철근노출, 데크플레이트 부식, 보호덮개파손 – 거더 : 부식, 도장박리/박락/들뜸, 실링재 탈락, 용접불량, 강재변형, 조명파손, 볼트부식, 볼트체결 불량, 이물질 퇴적, 체수, 탈색 – 가로보 및 세로보 : 부식, 변형 – 교대 및 교각 : 균열, 균열/백태, 망상균열, 재료분리, 철근노출, 박리, 박락, 콘크리트긁힘, 백태, 누수흔적, 보수부 들뜸, 강판보강부 부식, 이물질/폐콘크리트/토사퇴적, 스토퍼 고무패드 탈락 – 받침장치 : 부식, 몰탈(균열,망상균열, 파손) – 신축이음 : 후타재균열, 후타재 접합부 이격, 유간토사퇴적, 차수판 부식 및 탈락 – 교면포장 : 아스팔트(균열, 망상균열, 패임, 마모, 포트홀) – 배수시설 : 배수구막힘, 배수관 부식, 집수정막힘/ 설치불량 – 난간 및 연석 : 균열, 망상균열, 파손,철근노출, 볼트 미체결/변형, 교명주 파손, 교명주기초파손, 델리네이트 파손 ■현장시험 결과 : 전반적으로 양호한 상태임 ■상태평가 결과 : B (0.250)	■안전성검토 – 최소안전율(SF)=1.243 **■안전성평가 결과 : A**

1순위	2순위	3순위
■강재부식 ■STB 거더 볼트 및 너트 부식, 탈락 ■볼트체결불량 ■신축이음 누수 ■배수불량 ■철근노출 ■균열(Cw=0.3㎜이상)	■도장박리, 도장탈락 ■박리, 박락, 파손, 재료분리 ■교명주 파손, 교명주 기초파손 ■아스콘 포장균열, 소성변형, 패임	■백태, 균열(Cw=0.3㎜미만), 망상균열 ■이물질퇴적, 토사퇴적 ■용접불량, 변형 ■차수판 부식, 탈락 ■후타재 접합부 이격 ■집수정 막힘/설치불량 ■난간 및 연석 볼트 미체결/변형 ■배수구막힘

【그림 9-2】 보수·보강 우선순위 결정

9.2.2 결함내용별 보수·보강 방안

가. 결함내용별 보수·보강 방안 및 우선순위

【표 9-3】 결함내용별 보수·보강 방안 및 우선순위

부위	손상명	손상물량			조치방안	비 고
		개소	물량	단위		
바닥판하면	균열(0.3mm미만)	4	22.30	m	표면처리보수	
	망상균열	2	6.00	㎡	표면처리보수	
	박락	1	0.01	㎡	단면보수	
	재료분리	1	0.06	㎡	단면보수	
	철근노출	1	0.02	㎡	방청 및 단면보수	
	데크플레이트 부식	22	0.35	㎡	녹제거+강재도장보수	
	보호덮개 파손	2	1.50	㎡	주의관찰	
거더	부식	51	14.80	㎡	녹제거+강재도장보수	
	도장박리/박락/들뜸	71	9.28	㎡	강재도장보수	
	실링재 탈락	46	46.00	EA	주의관찰	
	용접불량	24	24.00	EA	재용접	
	용입불량	1	1	EA	재용접+검측	
	강재변형	27	21.80	m	주의관찰	
	조명파손	17	17.00	EA	주의관찰	
	볼트부식	128	128.00	EA	강재도장보수	
	볼트체결 불량	1	1.00	EA	주의관찰	
	이물질 퇴적	4	32.25	㎡	청소	
	체수	3	5.50	㎡	주의관찰	
	탈색	1	50.00	㎡	강재도장보수	
가로보 및 세로보	가로보 부식	3	2.1	㎡	녹제거+강재도장보수	
	가로보/세로보 변형	6	2.1	m	주의관찰	
교대 및 교각	균열(0.3mm미만)	32	33.3	m	표면처리보수	
	균열/백태(0.3mm미만)	5	4.6	m	표면처리보수	
	망상균열	1	2	㎡	표면처리보수	
	재료분리/철근노출	2	0.14	㎡	방청 및 단면보수	
	박리, 박락, 콘크리트 긁힘	5	0.31	㎡	단면보수	
	백태	5	1.49	㎡	표면처리보수	
	누수흔적	5	11.25	㎡	유도배수로 설치	
	보수부 들뜸	3	2.51	㎡	단면보수	
	강판보강부 부식	4	41.4	㎡	녹제거+강재도장보수	
	이물질/폐콘크리트/토사퇴적	8	10.61	㎡	청소	
	스토퍼 고무패드 탈락	3	3	EA	주의관찰	

【표 9-3】 결함내용별 보수·보강 방안 및 우선순위(계속)

부위	손상명	손상물량			조치방안	비 고
		개소	물량	단위		
받침장치	받침장치 부식	15	15.00	EA	녹제거+강재도장보수	
	몰탈 균열(0.3mm미만)	18	3.00	m	표면처리보수	
	몰탈 균열(0.3mm이상)	1	0.10	m	주입보수	
	몰탈 망상균열	1	0.05	㎡	표면처리보수	
	몰탈파손	2	0.03	㎡	단면보수	
	먼지막이링 탈락	4	4	EA	주의관찰	
신축이음	후타재 균열(0.3mm미만)	53	15.10	m	표면처리보수	
	후타재 균열(0.3mm이상)	1	0.30	m	주입보수	
	후타재 접합부 이격	1	18.50	m	주의관찰	
	유간토사 퇴적	6	7.50	m	청소	
	차수판 부식	2	2.00	EA	차수판 재설치	
	차수판 탈락	1	1.00	EA	차수판 재설치	
교면포장	아스팔트 균열	13	161.00	m	전면 재포장 (방수층 포함)	
	아스팔트 망상균열	10	582.90	㎡		
	아스팔트 패임/마모	2	12.53	㎡		
	아스팔트 포트홀	137	1.40	㎡		
배수시설	배수구막힘	9	9	EA	청소	
	배수관 부식	2	0.08	㎡	배수관 재설치	
	집수정 막힘/설치불량	1	1	EA	청소	
난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	6	271.5	m	표면처리보수	
	균열(0.3mm이상)	4	9.9	m	주입보수	
	망상균열	7	25.1	㎡	표면처리보수	
	파손/철근노출	1	0.1	㎡	방청 및 단면보수	
	볼트 미체결/변형	4	4	EA	재체결	
	교명주 파손	1	0.20	㎡	단면보수	
	교명주 기초 파손	1	0.04	㎡	단면보수	
	델리네이트 파손	1	1	EA	주의관찰	

9.2.3 주요결함 및 손상에 대한 보수·보강 방법

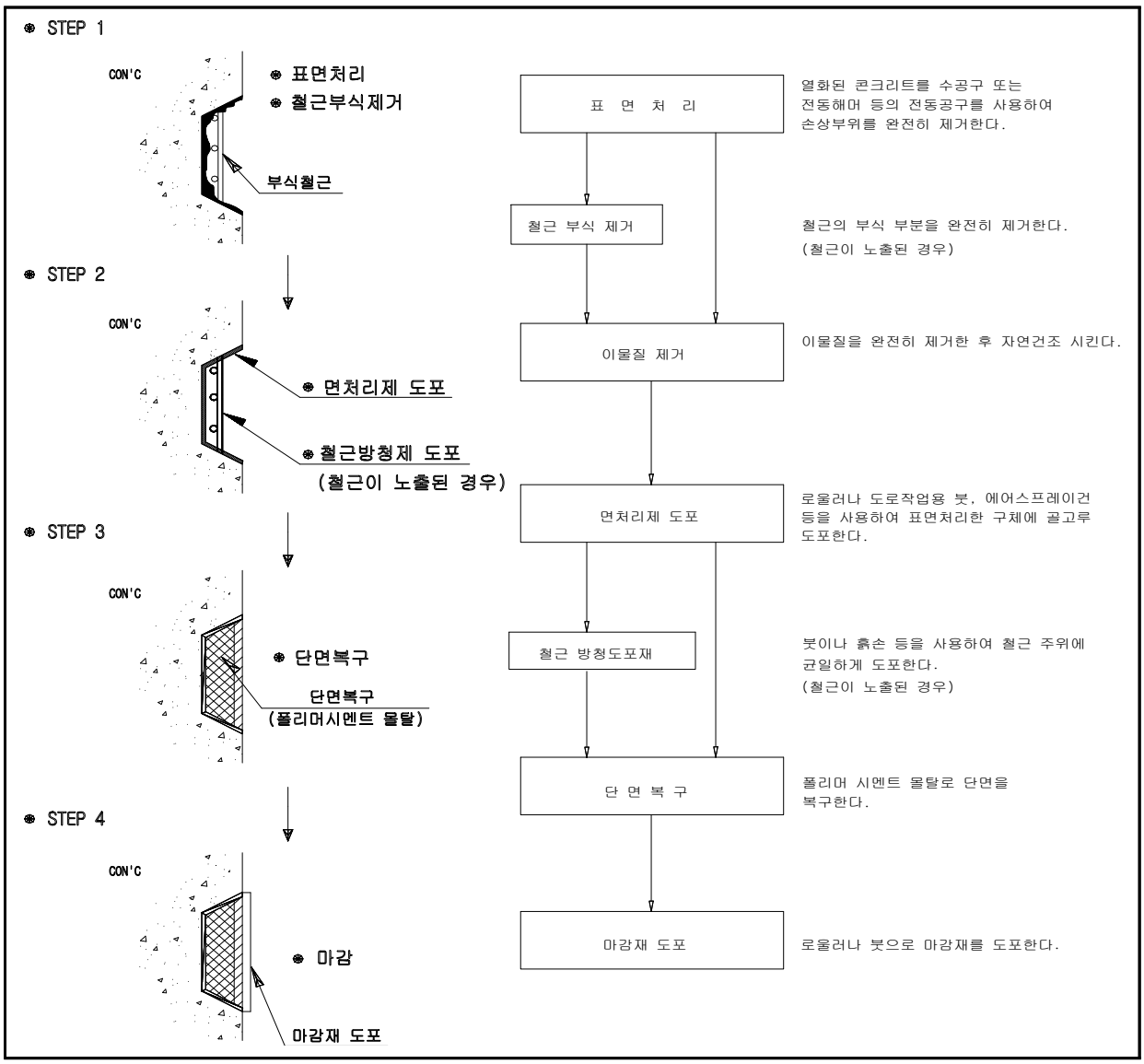
가. 단면보수

1) 개 요

단면보수는 철근부식으로 인한 철근노출, 박리, 박락 및 균열 등의 손상된 부위를 치핑한 후 철근노출 부위는 방청처리와 구체강화를 시킨 후 단면을 보수 모르타르로 충진 후 손상된 콘크리트를 신규 상태로 회복시키는 공법이다.

외관조사 결과 부분적인 피복두께 부족으로 인한 철근노출, 박리, 박락 등이 발생된 상태로 향후 철근 부식에 따른 콘크리트 및 철근단면손실 우려가 있으므로, 내구성 및 사용성 확보를 위해 단면보수를 실시하여야 한다.

2) 시공순서 및 개요도



【그림 9-3】 단면보수 시공순서 및 개요도

① 표면처리

- 콘크리트 표면에 탈락되려고 하거나 심한 균열로 약간의 물리적 충격으로도 탈락이 예상되는 부분은 모두 철거해야 한다.
- 철근이 노출되어 있는 경우에는 철근 후면 약 2~3㎝까지 콘크리트를 제거하여 완전 노출시키며 와이어 브러쉬(Wire Brush) 또는 전기 브러쉬 등으로 녹을 완전히 제거한다.

② 표면청소

- 콘크리트 표면처리 후 고압 살수기를 이용하여 표면을 고압 세척한다.
  (고압세척의 압력은 노즐 TIP에서 5,000 psi(350kgf/㎠)의 압력으로 한다.)

③ 철근부식방지

- 철근부식 방지를 위해 방청제를 도포하며 철근의 방식성, 단면보수재 및 철근과의 부착성이 좋은 재료를 사용하여야 한다.
- 노출된 철근은 가능한 건조상태에 붓을 사용하여 도포한다.
- 도포 시 철근 표면에 과다하게 칠하지 말아야한다.
- 철근방청제 도포는 2~3회 시공한다.

④ 접착력 강화

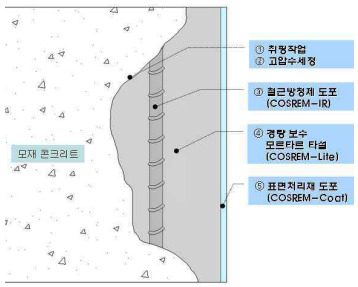
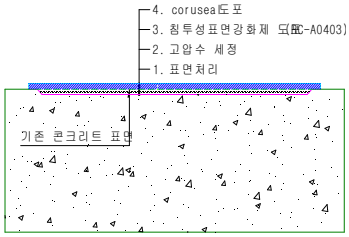
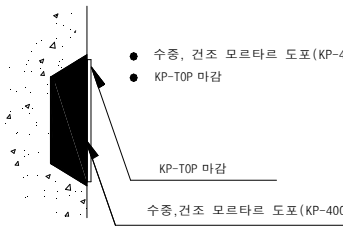
- 신·구 재료의 접착력 강화를 위하여 붓이나 에어 스프레이 건을 사용하여 접착제를 균일하게 도포한다. 콘크리트면과 밀착성이 뛰어나고 탄성계수, 열팽창계수, PH 등이 비슷한 규산염계, 폴리머 계통 접착제 등 사용한다.

⑤ 단면 보수재

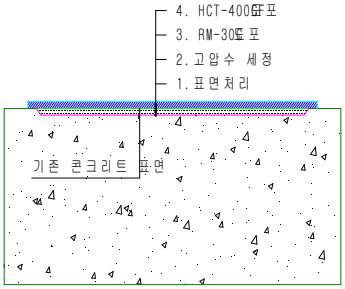
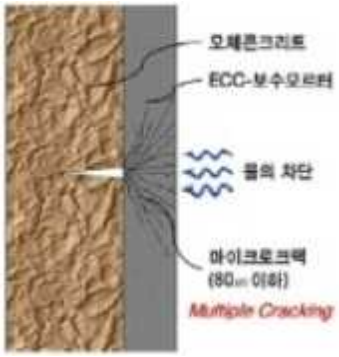
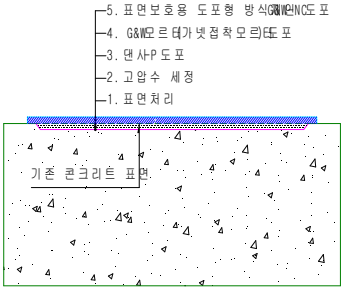
- 깨끗한 담수를 사용해서 폴리머 시멘트 모르타르를 혼합한다.
- 시공 전에 콘크리트 표면을 물로 약간 적신 후 폴리머 시멘트 모르타르를 타설한다.
- 타설은 흙손이나 스프레이로 가능하다.

3) 단면보수 비교안

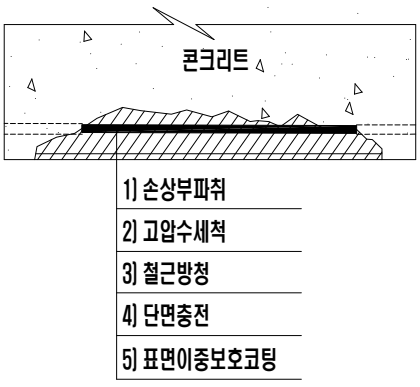
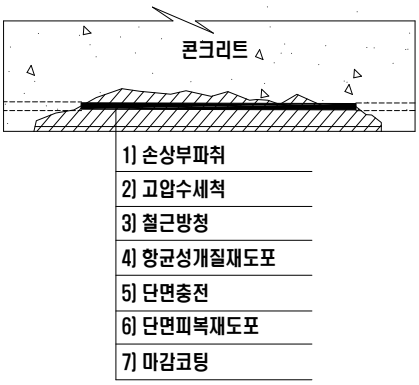
【표 9-4】 콘크리트 단면보수 비교표

구 분	COSREM 공법 (신기술 제596호)	코러실 공법 (신기술 제345호)	프리벤션 공법 (특허 제10-0592458호)
개요도			
공법 개요	■경량 골재를 사용하여 기존 폴리머모르타르의 특성을 유지하며 초기 부착력향상 및 진동에 영향을 받지 않아 항구적인 부착력을 발휘 장기 내구성이 우수 단면보수공법	■금속혼합물(산화알루미늄+망간+아연+규소+리듐+티타늄)을 이용하여 강력한 금속피막을 형성하여 외부의 열화인자로부터 구조물보호하며, 내마모성, 내화학성, 차수성이 뛰어나 염해·중성화 방지에 탁월한 효과를 가지는 공법	■열화요인별(중성화, 염해, 화학적 부식)로 대응하여 개발된 공법으로, 내오염성이 우수하며, 콘크리트 보호 효과가 매우 우수하고, 건조면과 습윤면 모두 시공이 가능하여 경제성과 보수효과 우수한 공법
공법특징	■경량화로 인하여 단위 면적당 1,500kg/㎥소요 ■콘크리트와 열팽창계수가 거의 동일 ■자중감소로 리바운드율이 매우 적음 ■진동에 의한 영향을 받지 않아 부착력이 우수함 ■경량화로 인하여 작업성 우수 및 경제성 실현 ■시공실적이 적음	■부착력 및 내화학성, 중성화 방지 기능이 우수하여 기존구조물과의 일체성이 뛰어나 내구성 우수함 ■국내 및 해외 적용 실적 다수 ■구조물의 내구성 증대 및 유지 비용 최소화 ■촉진내후성(800시간), 염수분무시험(4,000시간)등 국내 최고의 내후성 및 내염성 시험을 통과하여 내구성이 뛰어남 ■염해·중성화방지 효과 성능 우수함 ■높은 내화학성이 요구되는 열화된 구조물에서도 완벽한 콘크리트 보호막 형성됨 ■어떠한 환경 변화에도 적응할 수 있는 유연성과 강력한 접착성 유지로 20년이상의 내구성이 보장됨 ■공정이 다소 복잡하여 숙련된 전문 기능공 필요함 ■공정별 철저한 품질관리를 요함	■내구성 및 내화학성 우수 ■인력 및 기계화 시공이 용이하여 현장여건(습윤/건조)에 따라 적용성 우수 ■공정을 단순화하여 시공성 양호 ■최신 공법으로 품질 우수 ■온도에 민감(4 ° C 이하 관리필요함) ■신공법으로 시공실적이 적음

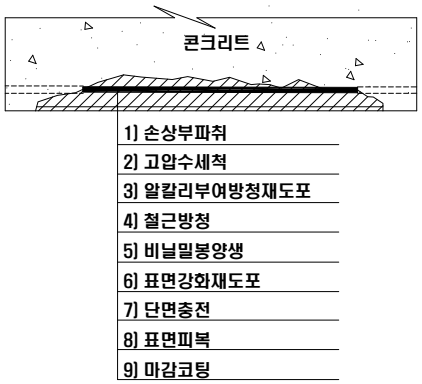
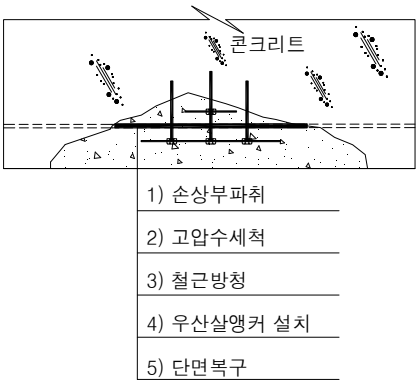
【표 9-4】 콘크리트 단면보수 비교표(계속)

구 분	리노시스템 공법 (신기술 제363호)	ECC 공법 (신기술 제563호)	리폼시스템 공법 (신기술 제477호)
개요도			
공법 개요	■ 알콕시 실란계 무기질 폴리머가 혼합된 표면처리제(세라탑)와 표면개질처리된 섬유 및 3원계 폴리머가 함유된 난용성 충정용 모르터(리노몰탈)를 이용하여 손상된 RC구조물을 보수하는 공법	■ 아크릴계 고분자를 바인더로 하여 세라믹 성분이 함유된 1액형의 도료로 외부에서 침투하는 유해원소를 초기에 차단하여 내탄산화, 내오염, 내화학성, 내염성 등 우수한 내구성능을 부여하는 공법	■ 구상형 용융슬래그 골재와 CORE-CELL 중합반응 수성아크릴계 폴리머를 사용하는 고성능 폴리머 시멘트를 이용하여 손상된 RC구조물을 보수하는 공법
공법 특징	■ 내화학성, 내약품성, 내충격성이 우수 ■ 비교적 공정이 단순 시공성, 작업성 우수 ■ 투습성 및 통기성 확보 ■ 무기계 재료로 모체 일체거동 ■ 5℃이하 작업에 어려움 ■ 습윤면의 부착이 어려움 ■ 발수성 계면처리재에 의해 충전 모르타르의 부착력 감소	■ 균열 저항성이 크므로 윤하중 받는 구조물에 적합함 ■ 화재발생시 폭렬방지 및 수열온도 저감 등의 내화성능 탁월하여 모체콘크리트 화염으로부터 보호 ■ 평상시에는 물질투과저항성이 우수하여 열화인자의 침투를 방지하고 구조물의 내구성을 향상 ■ 모체콘크리트와의 부착성능이 우수하여 일체화되고, 수축·팽창에 대한 치수안정성이 높음 ■ 5℃이하에서는 작업곤란하다. ■ 재료 특성상 전면시공 필요함 ■ 최근 공법으로 시공실적이 적음 ■ 습윤면 부착이 다소 어려움 ■ 스프레이 시공이므로 강풍일 때 방풍조치 필요함	■ 습윤면 부착강도 매우 우수 ■ 준기계화시공으로 공기단축 (시공성, 작업성 우수) ■ 기존 Con'c 물성치와 유사 ■ 환경친화적임 ■ 수밀성, 내화학성, 내마모성 우수 ■ 투습성 및 통기성 확보 ■ 균열발생 억제 가능 ■ 하수관거 시공실적 많음 ■ 5℃이하 작업에 어려움 ■ 전문시공 필요

【표 9-5】 콘크리트 단면보수(철근방청) 비교표

구 분	리코시스템 공법	리플래쉬 공법
공법 설명	■탄성 고분자 복합 소재를 이용한 콘크리트 및 강구조물의 염해, 중성화방지 및 방수, 방식 기능의 친환경표면보호공법	■무기질단면피복재(RH방식피복재) 및 향균성개질재(RH프라임) 와의 복합에 의한 RC 구조물의 방식, 보수공법
개요도		
공법 특징	■모르타르 미세 기공에 1㎛이하의 칼슘실리 케이트 수화물 형성으로 조직이 치밀함 ■유리 전이 온도가 낮은 에멀젼 사용으로, 동절기에도 유연성과 탄성유지 ■환경마크 인증제품(제4992호) 적용됨	■향균성 개질 프라이머 사용 ■습윤면에 부착 가능한 친수성 에폭시와 시멘트계의 혼합사용 ■다수의 공정
장점	■조직이 치밀하여 내구성 및 강도 우수 ■동절기에도 유연성과 탄성을 보유, 장기 내구성 유지 ■동결 융해 피해 최소화 ■부착강도가 우수 ■모르타르의 경량화로 자재량이 절감됨 ■작업 공정이 간단함 ■염해/중성화방지 및 방식/방수성 우수 ■공사기간이 단축	■열화 요인별로 프라이머 사용 ■친수성 에폭시 사용으로 피복재의초기 부착 강도 높음
단점	■시공에 대한 기초 지식이 필요함 ■표면보호재는 속경형 재료이므로, 교반 후 건조가 빨라, 60분 이내에 사용할 수 있는 양 만큼 소분해서 사용해야 함	■프라이머의 습윤면 시공 불가함 ■마감 코트의 통기성 부족으로 인해 마감재의 들뜸, 박리, 동해 등 발생우려 ■정확한 현장 배합이 요구됨 ■공정이 복잡함

【표 9-5】 콘크리트 단면보수(철근방청) 비교표(계속)

구 분	크로스 공법	URA공법
공법 설명	■방청알칼리회복제 및 아질산계 분말방청제가 혼입된 폴리머시멘트를 이용한 손상된 RC 구조물의 보수공법	■우산살앵커와 단위 강화 FRP판넬을 조립하여 손상된 RC구조물의 보수보강공법
개요도		
공법 특징	■공정 단계별 기능이 다른 소재 사용 ■방청 복합 알칼리 회복재 사용 ■비닐 밀봉 양생 ■수성 페인트로 표면보호 ■다수의 공정	■수중콘크리트 구조물의 보수부위에 우산살앵커를 장착시킨 다영구적인 Form을 설치 공기 주입으로 물을 배출 시킨 후 그라우트재를 충진하여 보수하는 공법
장점	■노후화부의 알칼리회복, 염분제어 기능 부여	■물을 배출한 후 주입하므로 육상에서와 같은 강도 발현 ■우산살앵커를 설치하여 그라우트재와 일치화를 극대화 ■보수부위의 두께와 관계없이 시공
단점	■강알칼리성 소재 사용으로 기존 콘크리트의 알칼리 침식 우려됨 ■기능이 서로 다른 소재를 단계별로 사용함으로 인해 시공성저하, 품질관리 어렵고, 고비용발생 ■공정이 복잡함	■특수시공공법이므로 특수시공자가 시공 시 품질 확보 ■접착제, 철근방청제, 탄산화방지제, 보수모르타르의 수중용 자재 요구됨 ■수중공사에 사용됨

나. 균열보수

1) 개 요

구조물에 발생된 폭 0.3㎜이상의 균열은 콘크리트 재료적 특징인 건조수축 및 외적(환경)인 요인 등에 의해 발생한 것으로, 이를 그대로 방치할 경우 철근부식 등 내구성 저하가 우려되므로 다음과 같은 보수가 필요하다.

균열보수는 내구성 측면에서 폭 0.3㎜이상 균열에 대해 주입보수, 폭 0.3㎜미만의 균열은 표면보수를 실시하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

① 균열폭(Cw) 0.3㎜ 이상의 경우

【표 9-6】 보수공법 재료 선정시 유의사항(균열폭 0.3㎜ 이상의 경우)

균열 유형			적용공법	보수공법(재료)선정시 유의사항	비 고
비구조적 균열	진행성 (변화)	건식	탄성씰링 주입보수	신축성을 고려하여 균열 재발 방지	
		습식	탄성씰링 그라우팅	신축성, 차수성 고려하여 균열, 누수 차단	
	고정	건식	주입보수	-	
		습식	탄성씰링 그라우팅	차수성을 고려한 보수재료 선택	
구조적 균열			탄성씰링 그라우팅	해당사항 없음	

주) 누수를 동반한 습식 균열의 경우, 수밀성을 확보할 수 있는 주입보수(습식)을 적용한다.

② 균열폭(Cw) 0.3㎜ 미만인 경우

【표 9-7】 보수공법 재료 선정시 유의사항(균열폭 0.3㎜ 미만의 경우)

균열 유형		적용공법	보수공법(재료)선정시 유의사항	비 고
균열 폭 0.1㎜	건식	표면처리	신축성을 고려하여 균열 재발 방지	
균열 폭 0.2㎜	건식		신축성을 고려하여 균열 재발 방지	
균열부 백태	습식	주입보수	차수성을 고려한 보수재료 선택	

2) 균열 보수재료의 선정기준

균열 보수재료의 선정기준은 현재 각 기관에서 적용되고 있는 기준과 “콘크리트 구조물의 균열, 누수 보수·보강 전문시방서”(한국시설안전공단, 1999.12)를 적용하였다.

일반적으로 균열 보수재료는 수지계 재료(폴리머 모르터, 에폭시수지, 가요성 에폭시수지, 탄성씰링제, 도막탄성방수재 등), 시멘트계 재료(폴리머시멘트슬러리, 폴리머시멘트페이스트, 폴리머시멘트모르터, 시멘트충전재, 팽창시멘트주입재 등)가 있다.

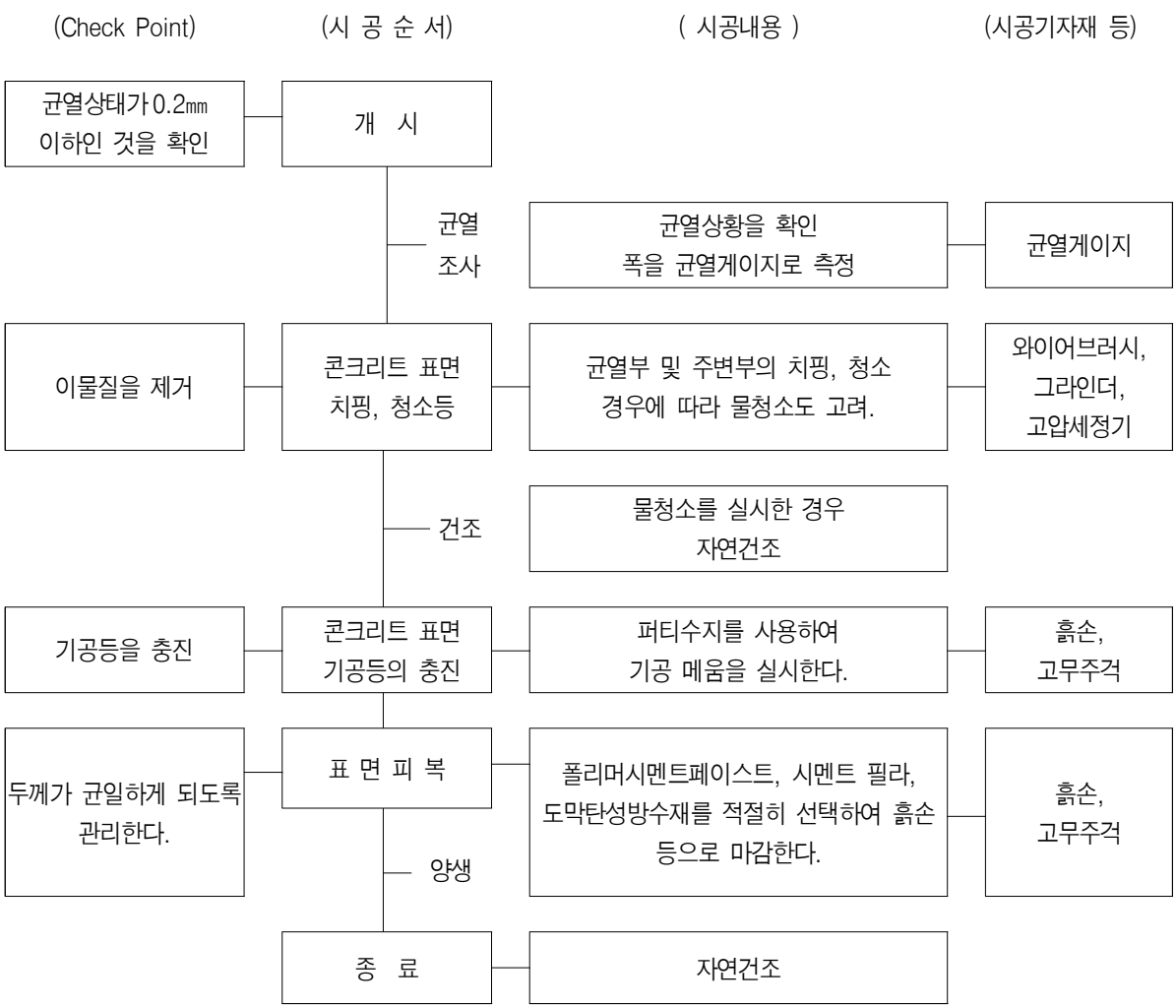
균열 보수공법에는 일반적으로 표면처리보수, 주입보수, 충전보수, 기타의 공법이 있고 공법에 따라 사용재료가 상이하게 된다. 균열보수에 사용되는 재료의 종류와 보수 공법 사이의 관계는 아래와 같다.

【표 9-8】 균열보수 재료의 종류와 보수공법

구 분	보수재료의 종류	표면처리보수	주입보수	충전보수
수 지 계 재료	폴리머 모르터			○
	에폭시 수지		○	○
	가요성에폭시수지		○	○
	탄성씰링재	○		○
	도막탄성방수재	○		
시멘트계 재료	폴리머시멘트슬러리		○	
	폴리머시멘트페이스트	○		
	폴리머시멘트모르터			○
	시멘트충전재	○		
	팽창시멘트주입재		○	

3) 표면처리보수

표면처리보수의 적용은 선상 및 면상백태가 발생한 경우에 적용하는 것으로 하며 표면을 피복하여 방수성, 내구성을 지니도록 하는 것으로 그 효과는 콘크리트 표면의 보수에 그치므로 본 공법 적용 시 균열 등의 결함발생 여부에 대한 주기적인 관찰이 요구된다. 공법의 흐름도 및 공법 개요도는 다음과 같다.



【그림 9-4】 표면처리보수 시공 흐름도

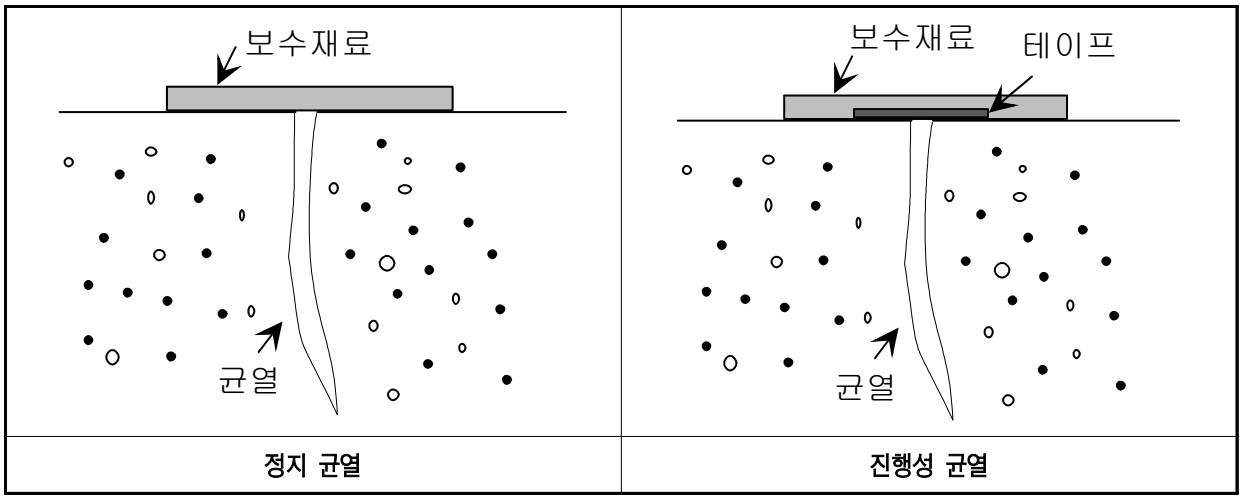
균열의 성장이 정지된 상태에서는【그림 9-5】와 같이 균열선 및 백태를 따라 폭 50~100 ㎜를 와이어 브러쉬로 닦아내거나 심한 경우 치핑을 실시한 후 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터로 균일하게 도포한다. 콘크리트 표면에 0.3㎜이하의 미세한 균열이 많이 분포해 있는 경우도 같은 방법으로 도포할 수 있으며, 재료를 기계로 분무하여 도포할 수도 있다.

균열폭의 변동이 큰 경우 경화후의 재질이 단단한 폴리머 시멘트 페이스트나 모르터로 보수할 경우 보수부위에 다시 균열이 발생하므로【그림 9-5】와 같이 균열면을 와이어브러쉬로 완전히 청소한 후 균열선을 중심으로 폭 10~15㎜ 절연재를 부착하고, 절연재를 중심으로 폭 30~50㎜, 두께 2~4㎜의 변형성 및 신장성이 큰 씰링재를 도포하여 바닥의 변형을 이 테이프 사이에서 흡수할 수 있도록 한다.

[사용재료]

① 폴리머시멘트 페이스트 ② 시멘트 필라

③ 도막탄성방수재 (아크릴 수지계) ④ 도막탄성방수재 (우레탄 수지계)



【그림 9-5】 균열부 표면처리보수 개요도

4) 주입보수

균열부에 수지를 주입하면 콘크리트와 일체를 이루어 콘크리트의 방수성을 향상시켜서 내부 철근의 부식방지 및 콘크리트의 열화방지에 효과적이다.

균열보수는 균열 폭 및 균열깊이, 균열의 형태, 구조적 안전성 여부 등을 종합적으로 판단하여 보수 목적에 따라 가장 유리한 보수 대책을 선정하여야 한다. 또한, 균열보수는 균열 폭과 균열깊이를 고려하여 이에 적합한 주입속도, 점도 및 양생 속도를 갖는 수지재료를 사용한다.

【표 9-9】 수지주입 공법의 종류

종 류	특 징
압입식	■수동식 주입 : 인력 ■기계식 주입 : 공기압식, 유압식, 기어식 ■저압·저속식 주입 : 고무, 용수철, 공기 등의 압력
흡입식	■균열의 양단에 흡기구와 충전재 주입구를 설치하여 흡입펌프로 충전재를 흡입주입

① 주입보수의 선정

균열 주입보수에는 압입식과 흡입식이 있다. 압입식 주입보수에는 수동식, 기계식 및 저압·저속식 주입 방법이 있으며, 【표 9-9】 은 주입보수의 종류별 특징이다.

지금까지 수동식 기계주입 방법이 많이 이용되고 있으나, 이 방법은 주입량을 정확하게 파악할 수 없으며, 관통하지 않은 균열은 구석까지 보수재료를 주입하기가 곤란하다. 또한, 주입압력이 너무 높으면 균열을 넓혀 주는 등의 문제점이 있다. 따라서, 【표 9-10】의 저압·저속 주입의 압입식 공법이 주요하며, 저압·저속의 주입보수는 주입량 파악이 쉬우며, 균열 구석까지 주입할 수 있는 특징이 있다.

② 압입식 주입보수 선정

이 공법은 균열 위에 주입수지가 들어 있는 용기를 설치하여 고무, 용수철, 공기압 등으로 서서히 수지를 주입하는 방식으로 압입방식은 아래와 같다.

【표 9-10】 저압·저속식 주입방법

압 입 방 식	용기의 형태
■ 압축용기에서의 압축공기로 주입	■ 플라스틱제의 실린더
■ 압력탱크내의 압축된 압력으로 주입	■ 플라스틱제의 압력탱크
■ 고무시트의 복원력으로 주입	■ 플라스틱제 틀에 고무시트를 고정
■ 고무밴드의 복원력으로 주입	■ 플라스틱제 실린더와 피스톤
■ 캡슐내의 용수철로 주입	■ 플라스틱제 캡슐 탱크

이 공법을 적용함에 있어서는 시공위치, 시공시기에 맞는 작업시간 및 균열폭에 대응한 점도의 재료를 선정하는 것이 중요하고, 균열 폭에 알맞은 수지의 점성도는【표 9-11】와 같으며, 일반적인 주입 파이프의 간격과 설치 개요는【표 9-12】,【그림 9-6】과 같다.

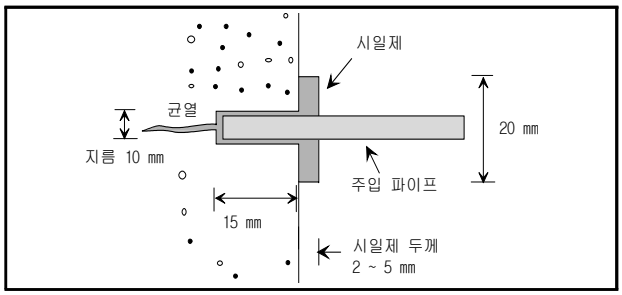
【표 9-11】 균열폭에 알맞은 수지의 점성도

형 상		점성도(20℃, cp)	주입 가능한 균열폭
액 상	저점성도	500±200	0.1㎜ 전후
	고점성도	1,500±500	0.2㎜ 전후
겔 상태		6,000±1,000	0.5~5㎜ 전후

【표 9-12】 균열폭에 따른 주입파이프의 간격

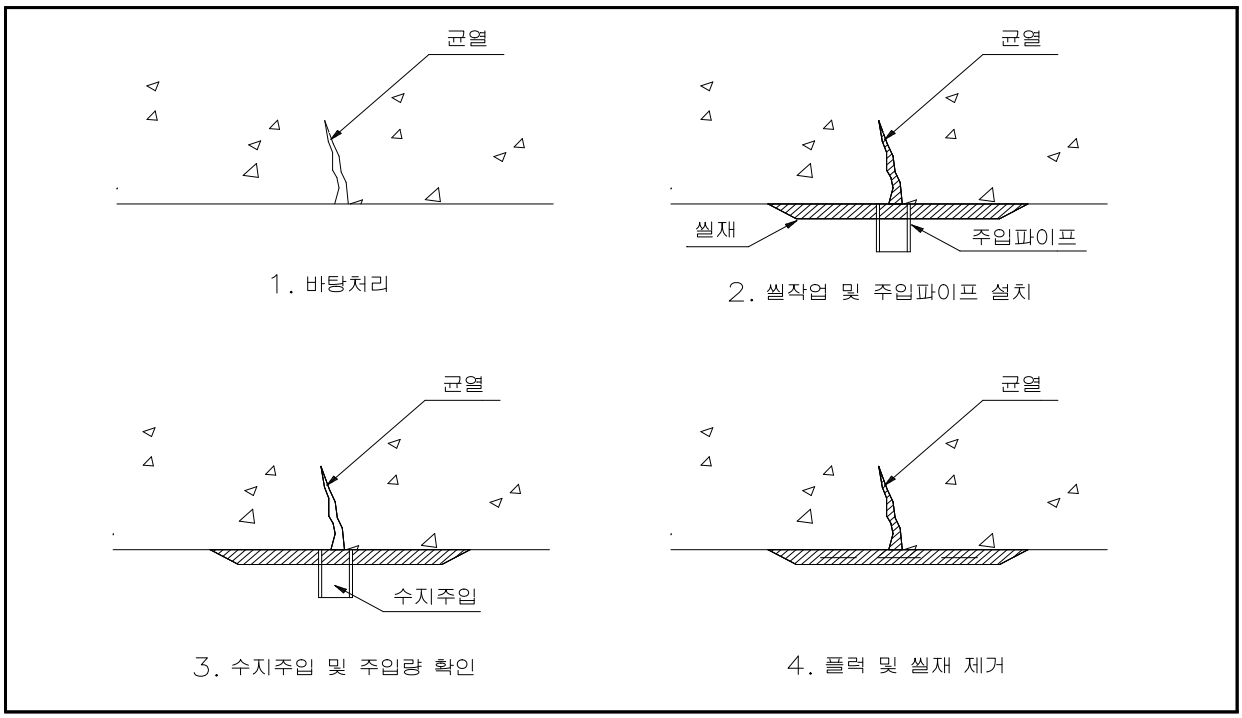
균열폭	주입파이프 간격(㎜)
0.3 이하	50 ~ 100
0.3 ~ 0.5	100 ~ 200
0.5 ~ 1.0	150 ~ 250
1.0 이상	200 ~ 300

【그림 9-6】 주입파이프 설치도

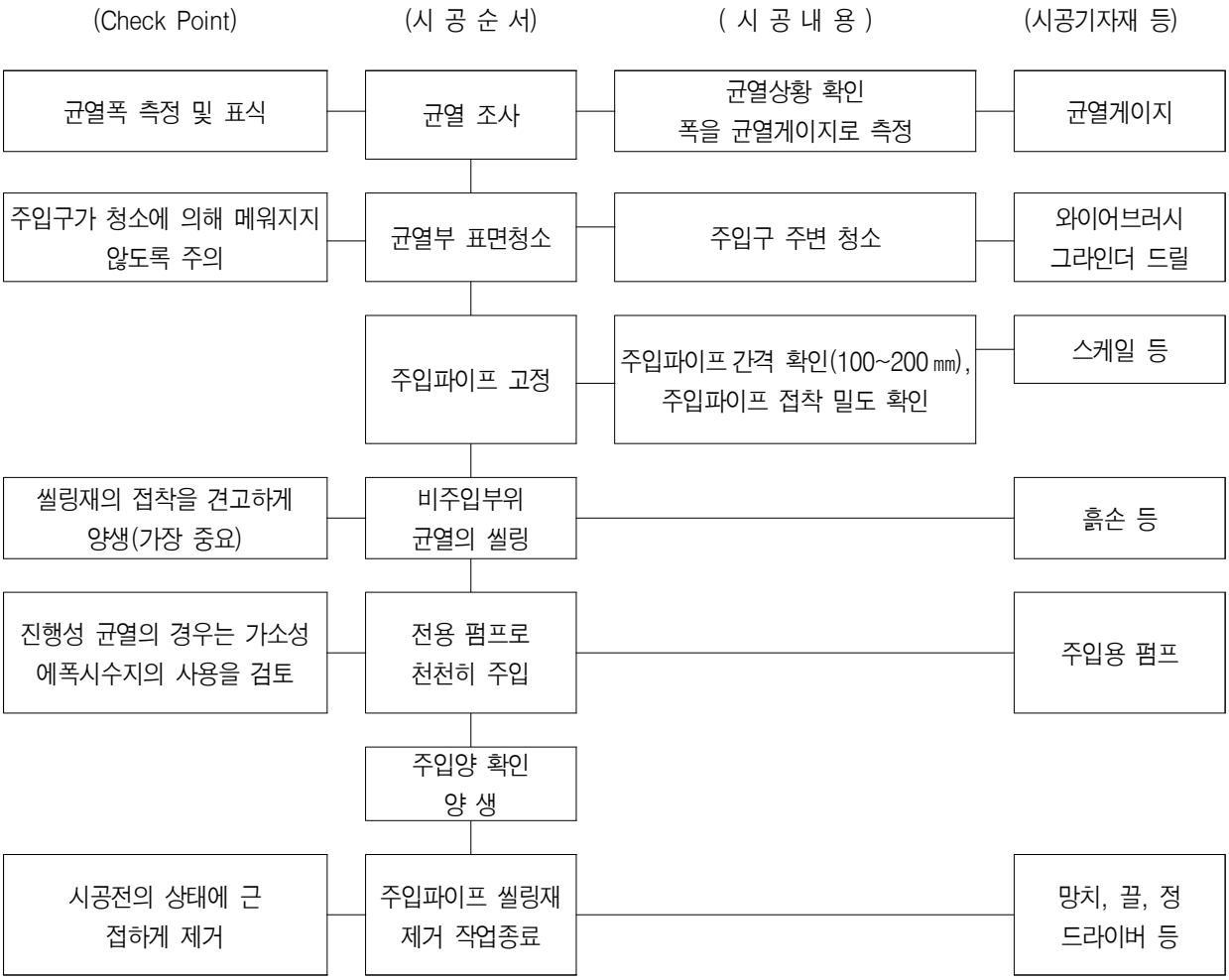


③ 압입식 주입보수 특징

수지가 들어 있는 용기를 균열 위에 설치하므로 사람의 손을 필요로 하지 않고, 용기 높이의 저압력에 의해 자동으로 주입되므로 압력에 의한 씰링부의 파손도 적어 시공관리가 용이하다. 그리고, 주입되는 수지의 거동은 동심원상으로 확대되므로 주입압력에 의한 균열이나 들뜸이 발생되지 않는다.



【그림 9-7】 주입보수 시공상세도



【그림 9-8】 주입보수 시공 흐름도

주입압력은 4kgf/㎠ 이하로 규정되어 있으나 실제로는 1kgf/㎠ 전후가 사용된다. 주입제는 에폭시수지 이외에도 무기질계의 슬러리도 사용할 수 있으며, 무기질계 슬러리는 습윤환경하에서도 사용이 가능하다. 반면에 주입기에 여분의 주입재료가 남아 재료의 손실이 큰 단점이 있다. 수지주입보수 공법의 시공상세도 및 흐름도는【그림 9-7】,【그림 9-8】과 같고, 수지계 주입재의 특징은 아래과 같다.

【표 9-13】 수지계 주입재의 특징

재료명	주요 성분	특징·용도
에폭시 수지계 균열주입재	에폭시수지	■균열, 추종성이 양호 ■적용가능 균열 폭은 0.3~2.0㎜
	유연형 에폭시수지	■경화물의 유연성이 풍부하여 진행성 균열에 적합 ■균열 및 알칼리골재반응의 성능저하 보수에 적합
	자기유화형 에폭시수지	■수중경화, 콘크리트 중의 수분과 반응 ■강도특성이 뛰어남 ■균열 폭 0.15㎜ 이상에 적용
	에폭시수지, 포틀랜드 시멘트	■수중경화형 에폭시수지와 시멘트의 반응으로 발포 ■적용 균열 폭 1㎜~10㎜
실런트계 충전재	우레탄수지	■단일성분으로 작업성이 뛰어남 ■탄성계수가 작아 균열 추종성이 양호 ■구조물의 신축 줄눈부에 사용
폴리머 시멘트계 주입재	에폭시수지계 에밀젼 미분말충전재 조강시멘트	■균열 폭 5.0㎜ 이상에 적용 ■습윤면에 대하여 접착성이 우수 ■알칼리골재반응에 의한 성능저하의 보수에 적합

④ 시공시 주의사항

대기온도가 10~30℃일 때 시공 가능하며, 우천시는 중지한다. 보수부 콘크리트의 표면온도는 10℃이상을 표준으로 하고 있으므로 기온차가 심한 경우에는 기온의 변화에 대응하는 에폭시계 수지의 성상을 조사하여 두고 겨울철 부득이 시공하는 경우에는 가열양생 등의 조치를 생각할 필요가 있다.

에폭시계 수지는 사용에 앞서 현장에서 시공시의 기온에 대응하는 경화시간을 설정하여 균열 주입 효과를 높이도록 한다. 일반적으로 에폭시계 수지의 경화시간이란 접착제를 혼합해서 충분한 접착강도가 보증되는 작업 가능시까지의 시간을 말하나 기온, 혼합량의 대소 등에 따라서도 다르므로 주의해야 한다.

사용하는 에폭시계 수지는 적당한 롯트마다 시험을 실시하여 품질의 확인이 필요하다.

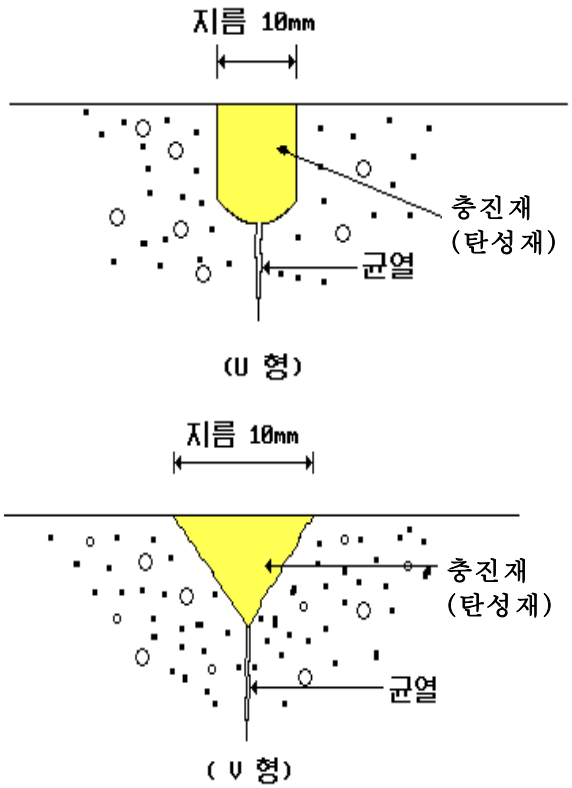
씰링 및 표면 마감면은 주입압에 견디도록 충분히 양생한다.

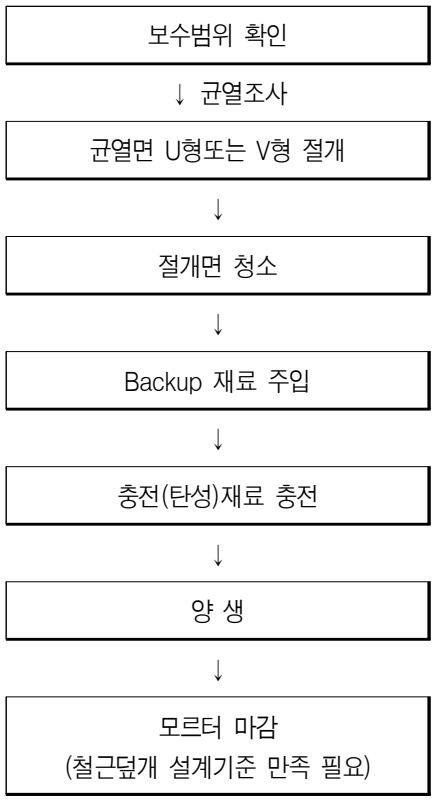
주입된 에폭시계 수지가 경화한 후에는 주입 파이프를 절단하고 씰링재와 함께 그라인더로 갈아 평탄하게 마무리한다.

5) 충전보수

충전보수는 균열의 폭이 0.5㎜이상으로 비교적 큰 경우의 보수에 적합한 공법으로, 균열을 따라 모르터 마감 또는 콘크리트를 절단하여, 그 부분에 보수재를 충전하는 방법이다. 이 공법은 철근이 부식되어 있는 경우와 부식되지 않은 경우에 따라 보수방법이 다르다. 충전보수에는 철근이 부식되지 않은 경우, 철근이 부식되어 있는 경우, U커트 씰링재 충전보수, 결함부위 에폭시수지 모르터 충전보수 그리고 결함부위 폴리머 시멘트 모르터 충전보수 등이 있다.

① 철근이 부식되지 않은 경우





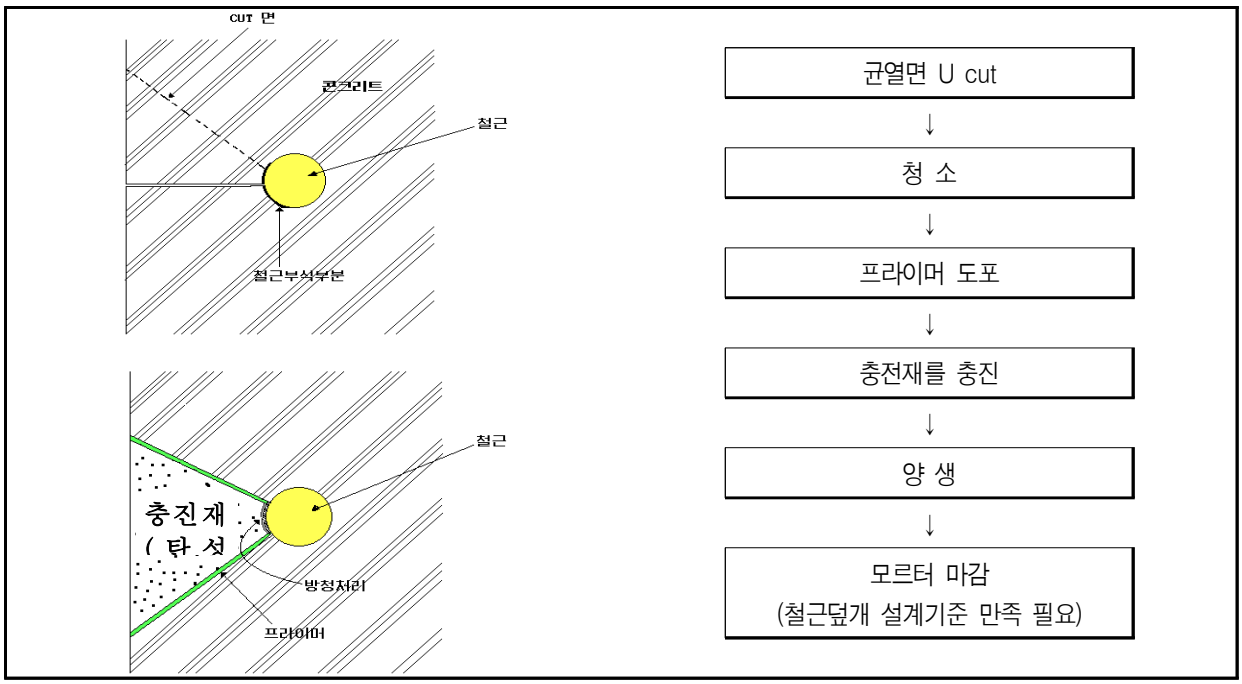
【그림 9-9】 철근이 부식되지 않는 경우의 충전보수 및 시공흐름

철근이 부식되지 않은 경우는【그림 9-9】와 같이 균열을 따라 약 10㎜ 폭으로 콘크리트를 U형 또는 V형으로 절개한 후, 이 부위에 씰링재·유연성 에폭시수지 또는 폴리머 시멘트 모르터 등을 충전하여 보수한다. V형으로 절개하는 방법은 간편하지만 폴리머 시멘트 모르터를 충전하는 경우 충전한 모르터의 박리가 발생하기 쉽기 때문에 U형으로 절개하는 방법이 보다 효과적이다.

② 철근이 부식된 경우

철근이 부식된 경우의 충전보수는【그림 9-10】과 같이 부식된 철근부위까지 콘크리트를 깨내고 철근의 녹을 완전히 제거한다. 철근에 대한 방청처리와 콘크리트면에 대한 프라이머 도포후 폴리머 시멘트 모르터나 에폭시수지 모르터 등의 재료로 충전하는 순서로 시공하며 보수 순서는【그림 9-10】과 같다.

이 방법은 철근이 부식된 경우 철근콘크리트 구조물의 내구성 회복을 목표로 하는 균열 보수의 주된 방법으로 환경조건에 따라 여러 가지의 재료 및 공법이 사용될 수 있다. 철근이 부식된 경우의 충전보수는 크게 보수재료에 의해 물리적으로 부식을 방지하는 방법, 콘크리트에 알카리성을 부가하여 화학적으로 부식을 방지하는 방법 및 이 두 가지의 혼용방법 등 3가지로 분류될 수 있다.



【그림 9-10】 철근이 부식된 경우의 충전보수 및 시공흐름

철근이 부식된 경우의 보수에는 다음 사항을 고려해야 한다. 첫째, 부식된 철근의 녹을 완전히 제거하는 것을 원칙으로 한다. 둘째, 균열이 발생되지 않은 부분의 철근도 부식하는 경우가 많기 때문에 그 부분을 포함하여 보수한다. 셋째, 균열이 진행성이면 균열폭이 증가되는 경우가 많이 있기 때문에 변형에 대한 유연성이 큰 보수재료를 사용한다.

이상에서 언급한 공법에 사용하는 재료로서는 일반적으로 콘크리트는 타설 후 수년이 지나도 수분을 함유하는 재료이므로 균열면은 항상 습윤 상태로 있는 것이 많다. 이같은 경우는 습윤 균열 전용으로 개발된 에폭시 수지계 보수재료를 이용하는 것이 바람직하다. 시멘트계 보수재료는 현재 주입성능이 합성수지계에 비해 떨어지나 수경성이므로 습윤면의 시공에 적합하고 내구성, 내화성이 우수하여 화재 발생시 등에 유리하다.

③ 균열보수의 검사

균열보수 검사는 보수 공사 전·중·후로 구분하여 보수 공사가 설계, 시방서 내용대로 적합하게 시공되고 있는지 여부를 단계별로 중점 시공관리 사항을 정하여 검사한다.

㉠ 작업전의 검사 항목

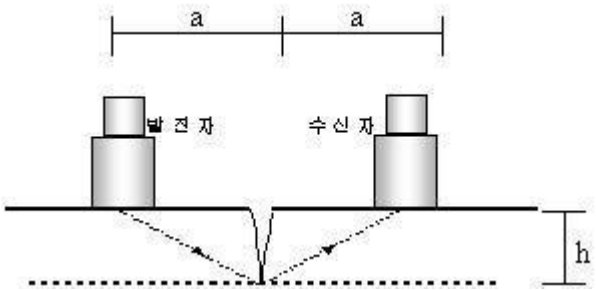
- 표면정리 및 균열 확인

㉡ 작업중의 검사 항목

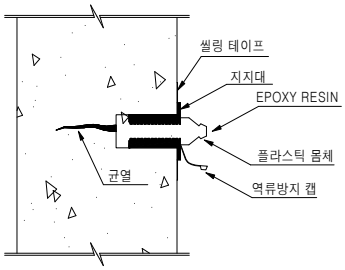
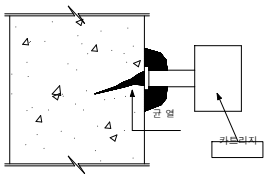
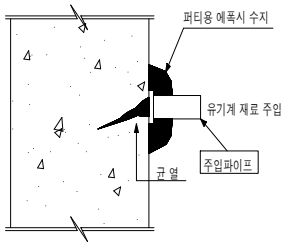
- 주입량 체크 : 주입 보수 실시 전에 주입기에 있는 주입재의 양과 보수 완료 후 주입기 제거 전에 주입재의 양을 체크하여 주입 정도를 판단한다.

㉢ 작업 종료 후의 검사 항목

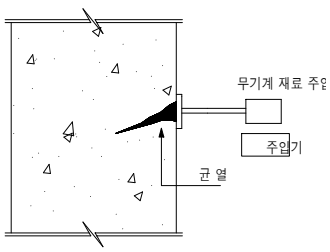
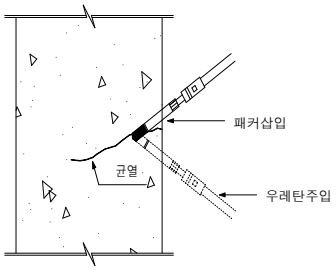
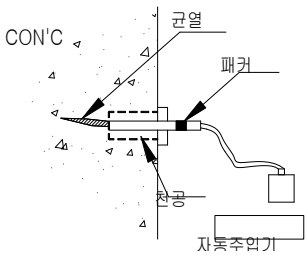
【표 9-14】 주입보수 작업 종료 후의 검사 항목

구 분	적 용 방 법
초음파시험	■ 초음파신호 속도시험을 사용하여 개별 균열에서 접착 재료의 침투깊이를 측정하는 것은 매우 어렵다. 이 방법은 크랙이 전부 채워졌든지 부분적으로 채워졌든지, 상당히 채워졌든지 간에 보수의 전체적인 품질을 평가하는데 유용하다. 효과적인 시험을 위해서는 시험이 보수 직전과 직후에 수행되어져야 한다.  ■ 균열깊이 h는 다음 식으로부터 계산된다. $$h = a\sqrt{(T_c/T_o)^2 - 1}$$
충격음법	■ 충격음법에서 콘크리트 표면은 응력을 만들기 위해 작은 충격기로 기계적인 방법으로 충격을 준다. 충격음법은 균열이 분리되어 있을 때 접착재료의 침투 정도를 결정하기 위해서 사용된다. 만약 균열이 많거나 균열을 관통하여 철근이 보강되어 있다면 충격음법을 사용하여 스며든 정도를 평가하는 것은 어렵거나 거의 불가능하다.
코어채취	■ 주입 및 부착재료의 침투깊이 및 주입효과 등은 균열의 보수부를 포함하는 코어 시료의 채취에 의해 평가한다. 사후 보수 평가의 책임기술자는 코어 채취 위치나 시편의 수를 결정해야 한다. 고려해야할 사항으로는 구조물 유형(보, 슬래브, 벽체 등), 구조부재의 크기, 보수의 성격(구조적, 비구조적), 품질의 보증 정도 등이 있다.

【표 9-15】 주입보수 비교표

구 분	SKI 균열보수 공법	BICS 균열보수 공법	패카 에폭시 공법(일반공법)
개요도			
공 법 개 요	■플라스틱 마이크로 패커와 중공형 코아비트을 이용한 균열보수 공법	■에폭시수지를 고무압주입기로 주입시키는 공법	■균열부위를 컷팅하고 균열부를 씰링한 후에 유기계 재료인 에폭시를 패커를 이용하여 주입하는 공법
시 공 방 법	1.함마드릴천공(1차천공) 2.중공형 코아비트 드릴천공 (2차천공) 3.균열부 주위 표면청소 4.확인창 부착, 균열부 씰링 5.에폭시 주입 6.마감처리	1.표면처리 2.받침파이프 접착 3.씰링작업 4.에폭시 주입 5.주입량 확인 6.주입기구, 씰 제거 7.표면정리	1.표면처리 2.천공 3.패커설치 4.씰링작업 5.에폭시주입 6.씰링재, 패커 제거 7.표면정리
공 법 특 징	■다양한 보수액 주입가능 ■주입압력 조절 우수 ■주입량 조절 우수 ■단기간 작업완료 ■시공부위 무제한 ■신공법에 대한 인지도 미흡 ■콘크리트 깨짐없이 균열심부까지 밀실한 주입가능 ■시공시 전력이 필요	■습윤면 시공가능 ■숙련된 기술 필요없음 ■하중변화에 의한 재균열 발생 우려 ■물성의 차이에 의해 시간의 경과 후 접착면 균열 발생	■인장, 휨강도가 우수함 ■건조한 환경에 유리함 ■시공실적 다수 ■경화시간이 빠름 ■주입량 점검이 용이하고, 균열 속 깊이까지 주입 가능 ■가장 일반적으로 쓰이는 공법 ■시공이 간단

【표 9-15】 주입보수 비교표(계속)

구 분	슬러리 시멘트 주입공법	우레탄 주입공법	이소시아네이트수지 주입공법
개요도			
공 법 개 요	■균열부위를 컷팅하고 균열부를 씰링한 후에 무기계재료인 폴리머 슬러리시멘트를 주입기를 통하여 주입하는 공법	■콘크리트 균열 부위에 지그재그 방향으로 패커를 삽입하고 우레탄을 주입하는 공법	■콘크리트 균열 부위에 이소시아네이트 수지를 패커를 이용 자동주입기를 통하여 주입하는 공법
시 공 방 법	1.표면처리 2.주입기설치 3.씰링작업 4.폴리머슬러리시멘트주입 5.단면복구	1.표면처리 2.지그재그 천공 3.패커설치 4.지수용 우레탄 발포제 주입 5.표면정리	1.표면처리 2.V컷팅 3.격자천공 4.균열부 실링 5.이소시아네이트수지 주입 6.패커제거 7.표면정리
공 법 특 징	■품질관리가 용이, 재균열 발생 우려 없음 ■표면처리의 일괄적인 공정에 대한 재료 및 시방확보 ■콘크리트 모체와 동등한 탄성계수, 열팽창 계수, 투수성 확보 ■수용성인 무기계 재료의 사용으로 습윤지역 시공이 가능함 ■경화시간이 늦고 공기가 길어짐 ■공정이 다소 복잡, 시공전문가가 필요 ■유기계에 비해 접착강도 떨어짐 ■시멘트 사용으로 균열폭이 작으면 주입이 되지 않음	■접착력 우수 ■탄성이 뛰어나고 인장강도 우수함 ■저점도 이므로 미세균열에도 침투 ■주입량 점검이 용이하고, 균열 속 깊이까지 주입할 수 있음 ■주입압력이 크면 균열 확대되므로 주의 ■탄성계수, 열팽창계수 콘크리트와 다름 ■다소 유해 ■마감재에 별도 기능이 없어 보수후 균열의 진행을 방지할 수 없음	■건조면, 습윤면, 누수면 모두 시공가능 ■자체 압력으로 누수면 및 추종 봉합 가능 ■패커에 의한 주입으로 균열부 완전충진 가능과 약품이 역류되지 않음 ■모체와 일체화 가능 ■재균열 발생 없음 ■시공성 우수, 시공비 저렴 ■주입압력이 크면 균열 확대되므로 주의 ■탄성계수, 열팽창계수 콘크리트와 다름 ■마감재에 별도 기능이 없어 보수후 균열의 진행을 방지할 수 없음

다. 콘크리트 표면처리공법

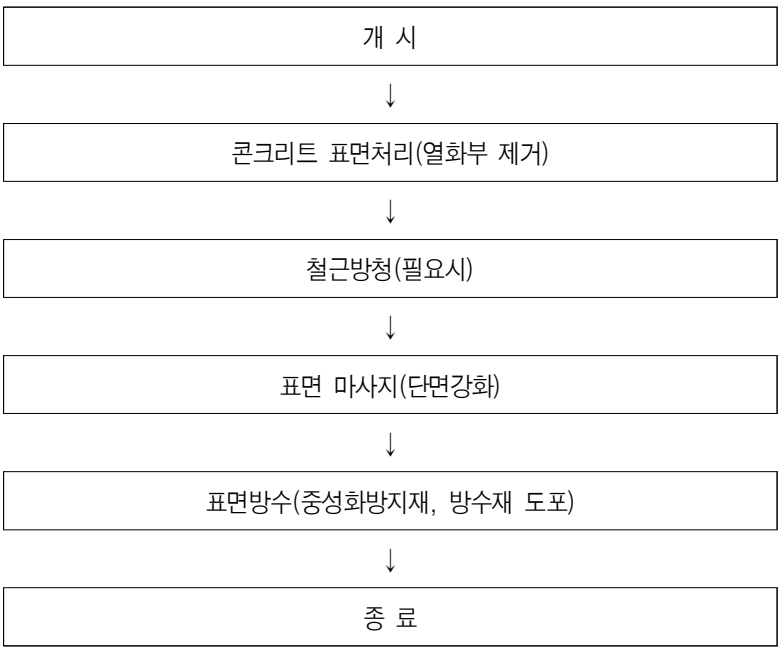
1) 표면처리(열화부)

① 개 요

콘크리트 구조물 표면에 발생된 균열 및 백태 등의 콘크리트 표면 열화는 구조물의 미관을 저하시킬 뿐만 아니라 장기적으로 방치 시 구조물의 내구성에도 영향을 미칠 수 있으므로 열화부를 제거 한 후 내구성 확보를 위한 보수를 시행하여야 한다. 따라서, 콘크리트 구조물 표면에 발생된 백태 및 표면 열화 등은 콘크리트의 내구성 저하를 촉진시켜 장기적인 안전성에도 영향을 미칠 수 있으므로 보수가 필요한 상태이다.

② 시공방법

누수에 의한 백태 및 오염이 발생하여 열화 발생부를 제거한 후 중성화 방지 및 방수재를 도포하여 표면처리에 의한 보수를 시행하며, 열화가 표면까지 진행되었거나 철근이 부식되었을 경우 철근이 노출되도록 완전히 치핑한 후 철근방청작업을 시행한 후 중성화 방지재 및 방수재를 도포한다.

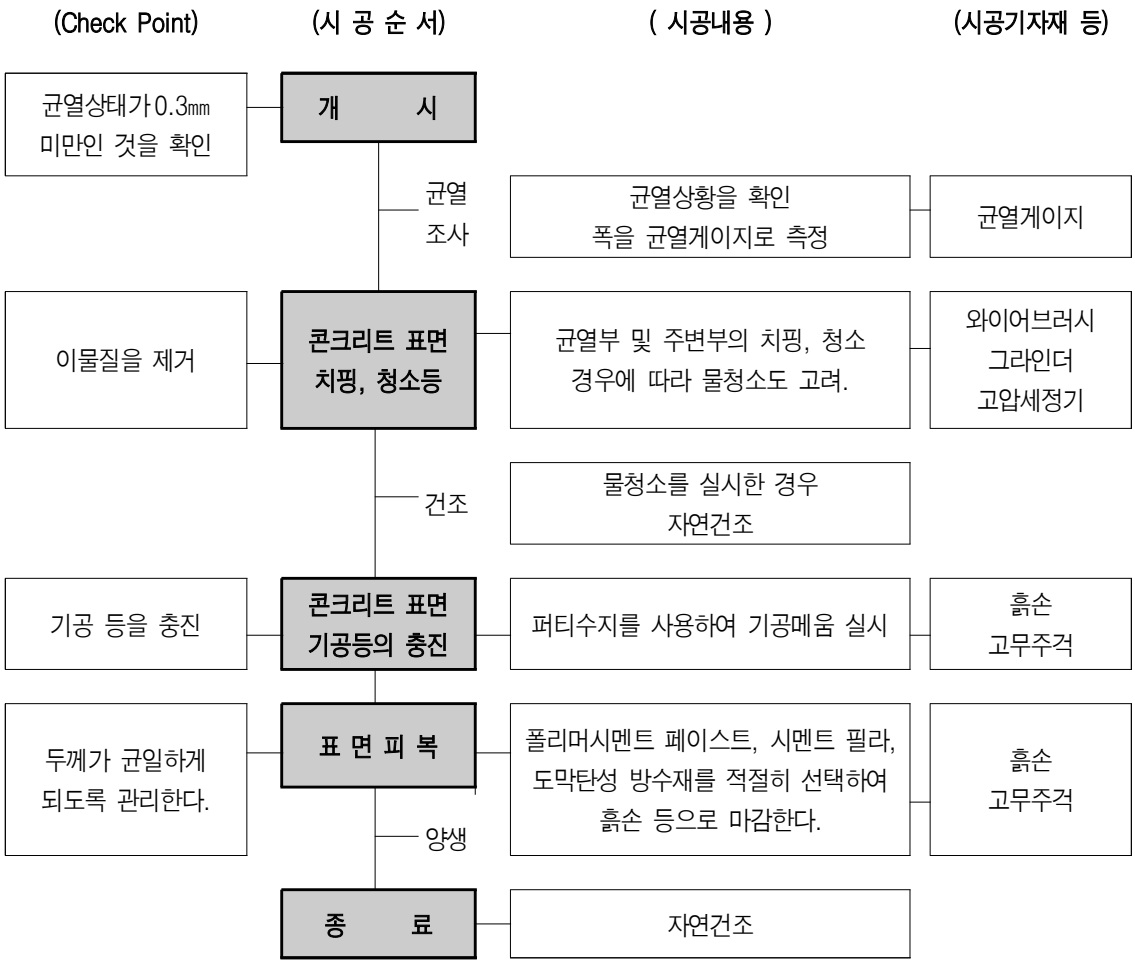


【그림 9-11】 표면처리공법 시공순서도

2) 표면처리(균열부)

① 개 요

본 교량에서의 표면처리공법의 적용은 백태, 균열(0.3㎜미만) 및 망상균열이 백태를 동반하는 경우에 표면을 피복하여 방수성, 내구성을 지니도록 하는 것으로 그 효과는 콘크리트 표면의 보수에 그치므로 본 공법 적용 시 균열 등의 결함발생 여부에 대한 주기적인 관찰이 요구된다. 공법의 흐름도 및 공법 개요도는 다음과 같다.

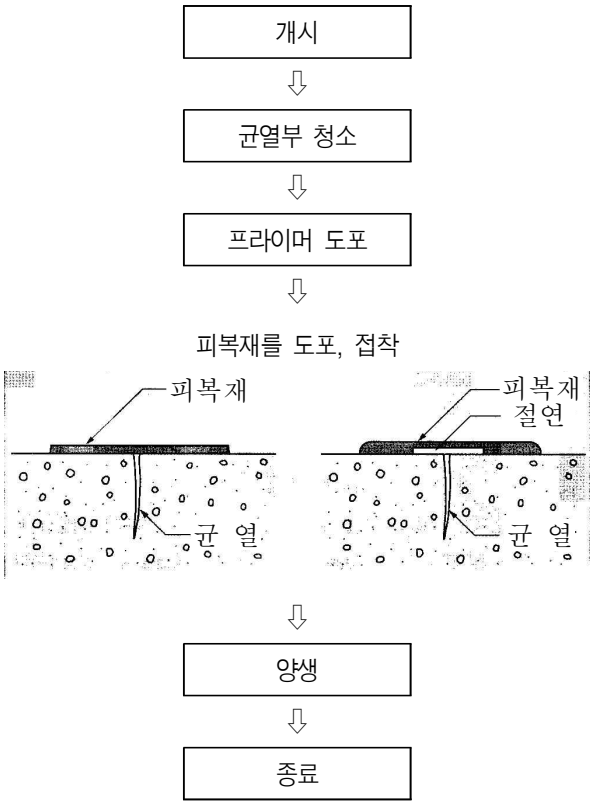


【그림 9-12】 표면처리 공법 시공 흐름도

② 시공방법

균열의 성장이 정지된 상태에서는 균열선 및 백태를 따라 폭 50~100㎜를 와이어 브러쉬로 닦아내거나 심한 경우 치핑을 실시한 후 폴리머 시멘트 페이스트나 모르타르로 균일하게 도포한다. 콘크리트 표면에 0.3㎜미만의 균열이 많이 분포해 있는 경우도 같은 방법으로 도포할 수 있으며, 재료를 기계로 분무하여 도포할 수도 있다. 균열 폭의 변동이 큰 경우 경화후의 재질이 단단한 폴리머 시멘트 페이스트나 모르타르로 보수할 경우 보수부위에 다시 균열이 발생하므로 균열 면을 와이어 브러쉬로 완전히 청소한 후 균열 선을

중심으로 폭 10~15㎜ 절연재를 부착하고, 절연재를 중심으로 폭 30~50㎜, 두께 2~4㎜의 변형성 및 신장성이 큰 실링재를 도포하여 바닥의 변형을 이 테이프 사이에서 흡수할 수 있도록 한다. 망상균열이 발생한 경우 균열부 전체에 표면처리를 실시하는 것으로 한다.



【그림 9-13】 표면처리공법 개요도

이 공법은 예전에는 균열부분의 폭이 작은 경우에 사용하는 경우가 대부분이었다. 그러나, 최근에는 균열 폭의 확대를 제어하거나, 부식된 철근의 결손부분을 보충하는 등의 목적으로, 탄소섬유시트나 아라미드섬유시트, 유리섬유시트라고 하는 연속섬유시트를 구조물의 표면에 붙이는 방법이 실용화되고 있다.

이러한 연속섬유 시트 접착공법은 콘크리트 구조물의 휨 내력과 전단내력성을 향상시킬 목적으로 개발된 보수·보강공법이지만, 이용방법의 하나로서 균열부분의 보수가 제안되고 실용화되고 있다. 균열의 보수공법으로서 생각하는 경우에는 표면 피복공법과 위치가 결정된다.

표면처리공법에 사용하는 보수재료를, 보수목적과 관련되게 만들어 정리한 것이 다음 표이다. 여기서는 방수제 등의 침투성도포 방수제에 의한 보수도 표면피복 공법의 침투성 도포방수제는 주로 외부에서의 물의 침투방지를 목적으로 한 방법으로, 폭이 0.3㎜ 정도 미만의 균열부의 보수에 사용된다. 균열폭이 큰 경우에는 부적당하다.

연속섬유시트 접착공법으로 균열부를 보수할 때, 균열폭이 비교적 큰 경우나 균열부에서의 누수가 확인된 경우에는 하지 처리로서 균열부를 주입공법으로 보수해 놓아야 한다. 이 하자처리가 불충분하면, 연속섬유시트와 구조물과의 접착면이 파괴되어 시트의 박리 등의 불량이 일어난다.

이처럼 균열부가 변동하는 경우에는 균열부를 가로지르는 연속섬유의 파단을 막기 위해서 균열부와 피복재와의 사이에 비닐시트 등의 절연재료를 끼우는 것 같은 조치를 마련해 두는 것이 중요하다.

【표 9-16】 표면처리공법 보수목적과 재료

보수목적 / 보수재료	방수성 향상	내구성 향상	균열 제어	내하성 향상
도막탄성방수재	◎	○	×	×
침투성방수제	○	○	×	×
폴리머시멘트모르타르	○	○	×	×
시멘트필라	○	○	×	×
탄소섬유시트	◎	◎	◎	◎
아라미드섬유시트	◎	○	◎	◎
유리섬유시트	◎	○	○	○
◎: 우수, ○:양호, ×:불가				

【표 9-17】 표면처리보수 비교표

구 분	RECOH-SYSTEM (특허 제10-0757104호)	ESC공법 (건설신기술 365호)	코러실공법 (건설신기술 345호)
공 법 설 명	■탄성고분자 복합소재를 이용한 콘크리트 및 강구조물 염해, 중성화방지 및 방수, 방식기능의 친환경 표면보호공법	■기능성수지의 복합과 수경성 세라믹계열의 이중접착구조를 이용한 콘크리트 구조물의 중성화,염해 및 화학적 침해에 의한 표면 열화방지 도막공법	■금속혼합물도료를 이용한 콘크리트 염해 중성화방지기술
공 법 개 요	■수계 친환경 하이브리드 복합 바인더와 특수 코팅된 기능성 마이크로 세라믹 필러의 1차 피막을 통하여 피도면의 내, 외부 열화인자를 해결하고 나노 고분자 합성 신소재의 오염방지의 2차 피막을 형성하여 구조물의 내구성(중성화,염해,방수,방식) 증진 및 오염방지기능을 향상시킨 피막형성공법(리코시스템 공법)	■비닐계수지와 아크릴계수지 및 유연성 에폭시계수지, 아크릴우레탄수지의 기능성을 이용한 수지군과 수경성세라믹계열의 이중접착구조를 이용한 콘크리트 구조물의 부식방지를 위한 도막형 표면처리공법	■금속혼합물(A1,Mn,Zn,Si,Cr, Li 등)과 강력접착제를 교반한 피막재료(CORUSEAL)를 70℃범위내에서 용융시켜 콘크리트 구조물에 분사하는 염해 및 중성화 방지시공기술
시 공 방 법	1.표면처리(그라인딩, 고압물세척) 2.바탕정리(공극메움) (RECOH-PUTTY200) 3.프라이머 도포(RECOH-PM) 4.RECOH SEAL 1차 도포 5.RECOH SEAL 2차 도포 6.RECOH SUPER TOP(오염방지/선택)	1.표면처리(그라인딩,고압물세척) 2.에폭시계 1차코팅(EW) 3.공극부위퍼티 4.에폭시계 또는 아크릴우레탄계 2차코팅(EW or USB) 5.에폭시계 또는 아크릴우레탄계 3차코팅(EW or USB)	1.표면처리(그라인딩,고압물세척) 2.공극부위 퍼티 3.프라이머 1차 피막접착 4.금속피막 2차 피막접착 5.금속피막 3차 피막접착
공 법 특 징	■시공 공정이 간단(수용성, 속건형, 일액형 타입) ■염해, 중성화방지 및 강재 방식성능 우수 ■촉진내후성/내약품성/내충격성/통기성/내구성우수 ■공사기간 단축, 공사비 저렴 ■오염방지 기능, 미관개선 우수 ■내굴곡성과 균열추종기능이 우수하며, 미세균열 자가치유 ■자외선차단(99.795%)으로 색상 변색이 없으며, 다양한 색상 적용가능 ■유지보수가 용이하며, 기존 시공업자 시공가능 ■시공에 대한 기초 지식 필요함 ■재료 혼합후 재료가 빨리 건조되어 60분 이내에 사용할 수 있는 양만큼 소분해서 사용해야함	■내약품성 및 내화학성이 우수함 ■적용실적이 많음 ■휘발성 유기용제 사용으로 환경문제 및 작업자 위험요소 내포(화재 위험) ■균열에 대한 대응력이 적어 도막 박락 현상 발생됨 ■초기접착력은 우수하나 다른 재질로 층간 박리 현상이 나타나며, 접착력이 점차 저하됨	■내약품성, 부착력우수 ■내충격성 및 진동(내진)에 강함 ■방식기능과 염해 환경에 강함 ■적용실적이 많음 ■내구성이 우수함 ■휘발성 유기용제 사용으로 환경문제 및 작업자 위험요소 내포(화재 위험) ■초기공사비가 많이 듦 ■작업시 공사에 대한 기초지식이 필요함

【표 9-17】 표면처리보수 비교표(계속)

구 분	한일레미가드공법 (특허 4005955430000호)	HECA공법 (신기술 274호)	COSREM System (건설신기술 345호)
공 법 설 명	■아질산계 하이드로탈사이드를 혼입한 단면복구모르타르 및 밀폐형 건·습식 복합 분체이송 ■압송장치에 의한 콘크리트 구조물의 보수공법	■수성에폭시수지, 도포재, 도료를 이용한 콘크리트구조물의 성능저하 방지 도막공법	■침투성 알칼리회복 및 표면처리를 이용한 콘크리트 구조물의 재 알카리화, 염해, 중성화 방지 및 외부 유해환경의 방지 보호 공법
공 법 개 요	■아질산계 하이드로탈사이트를 혼입하여 철근부식억제 기능을 지닌 단면복구모르타르르를 건식방식과 습식방식이 자동화 시스템으로 연결된 밀폐형 건, 습식 복합 분체이송, 압송장치에 의하여 시공하는 콘크리트 구조물의 보수공법	■콘크리트 구조물의 성능저하(염해, 중성화 등)를 방지하기 위하여 표면에 수성 에폭시수지와 액화특수시멘트 및 세라믹 소재로 조성된 알카리성의 도포재를 콘크리트 표면에 소지조정 및 바탕조정용으로 각각 도포하고, 상도용으로 무황변 아크릴폴리에스테르우레탄수지도료로 도포 마감하는 도막공법	■염해, 중성화, 열화 등으로 인하여 손상된 구조물에 대하여 침투성알칼리회복(COSREM-Care), 표면처리제(COSREM-Coat)를 도포하여 손상된 표면에 재 알카리화,염해, 중성화 방지 및 외부 유해환경으로부터 구조물을 보호하는 공법
시 공 방 법	1.표면처리 2.RG-CIRA(A) 도포(1회) 3.REMIGRARD-SCP(A) 요철등 결함부위 도포 4.REMIGRARD-SCP(B) 콘크리트표면 도포 5.RG-TOP(A) 도포(2회)	1.표면처리 2.공극부위 퍼티 3.상도재, 전용희석제 도포(1차) 4.상도재, 전용희석제 도포(2차) 5.표면바탕조정제 도포 6.침투성 소지조정제 도포	1.바탕처리 2.알칼리회복재도포(COSREM CARE) 3.중성화 및 염해방지용 표면처리재 도포(COSREM COAT)
공 법 특 징	■시멘트제조 회사로써 품질확보 및 신뢰도 우수 ■바탕콘크리트와의 일체화에 의한 장기부착성능 향상 ■물리 화학적 복합장벽을 형성함으로써 구조물의 장기 내구성·내화학성 향상 ■시스템의 자동화, 기계화에 의한 인력 및 공사비절감 ■섬유질 혼입으로 균열억제력을 지님 ■습윤면 시공이 용이 ■시공장소에 제약을 받지 않음(시공가능 호스길이 L=150m) ■시공전 장비설치 필요 ■국소면적 시공시 비용 증가	■특수시멘트세라믹으로 부착력과 내구성이 우수함 ■공종에 따라 재료의 알카리화가 가능함 ■화재발생시 화재확산억제기능이 있음 ■실리콘세라믹 소재를 응용적용하여 표면의 오물과 먼지가 쉽게 제거됨 ■재료의 유기용제 사용을 최소화하여 작업안전성을 개선함 ■사용실적이 적고 공사비가 비교적 고가임	■친환경적 무기계 수용성 ■시공 후 침투 및 이온 확산 작용으로 인하여 중성화된 콘크리트 구조물의 내부까지 알카리성을 환원시켜 노후 콘크리트를 재생 ■내약품성이 확보되어 철근의 부식방지 및 내후성이 뛰어남 ■시공 후 실리게이트 입자 침투에 의한 밀도증가로 압축강도가 증가 ■일액형 및 2액형으로 현장 적용성이 우수 ■수용성 제품으로 환경오염 없음 ■통기성이 우수 ■자외선에 대한 뛰어난 저항성으로 내구성이 우수 ■오염에 대한 저항성이 큼 ■최신 기술 적용공법으로 정밀시공요함

라. 강재 구조물 도장 보수

1) 개요

금강교의 도장상태는 공용기간 중 전반적인 점부식 및 국부적인 도장박리, 부식 등이 발생된 상태로 대기부식 및 우수노출로 인한 손상으로 판단되며, 현재 부식의 경우 가속화 양상을 띠고 있어, 강재의 내구성 확보 및 미관을 고려한 도장보수가 필요한 것으로 판단된다. 또한 시공당시 도장은 하도(ZINC T=50㎛), 중도(염화고무계 또는 에폭시계 T=60㎛), 상도(염화고무계 또는 우레탄계 T=100㎛)로 시공되어 있어 재도장 보수시 인접된 기존 도장두께와 상이할 경우 또다른 하자 원인이 될 수 있으므로 시공당시 도장두께에 유의하여 시공이 필요할 것으로 판단된다.

2) 시공방법

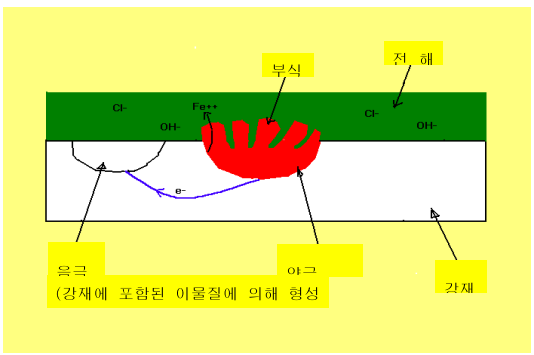
강재 구조물에 발생한 결함은 오랜 공용기간 증가, 부착력 약화에 따른 도장박리/열화 등 발생결함의 진행속도가 시간에 비례하여 가속화되고 있는 것으로 판단되므로 내구성 유지를 위한 재도장 보수가 필요한 것으로 판단된다.

한편, 향후 부식이 심하게 발생된 부위의 재 도장은 기존 부식에 의한 단면 감소가 발생하지 않도록 표면처리(블라스팅)를 충분히 실시하는 것이 중요하므로 이를 숙지하여야 한다.

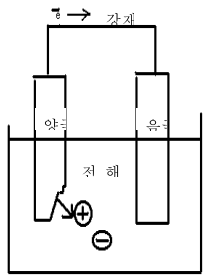
① 부식발생의 매카니즘

일반적으로 강교에서 부식문제는 상당한 부분을 차지하므로 부식에 대한 이해를 돕기 위하여 부식의 발생 매카니즘을 제시하고자 한다.

부식 및 발청의 원인은 아래그림과 같이 부식 환경하에서 강재표면에 부착된 수분과 이물질 등이 전해질 용액이 되고, 강재의 제작시 포함된 이물질이 양극이 되며, 강재가 음극과 도체의 역할을 함으로써 전해질액, 이물질, 강재를 잇는 전류의 흐름이 형성된다. 여기서 양극의 철 입자(Fe++)가 전해질액 속으로 녹아 들어감으로써 부식이 진행되며, 대부분의 부식방지법은 이러한 전류의 흐름을 차단하는데 주안점을 두고 있다.



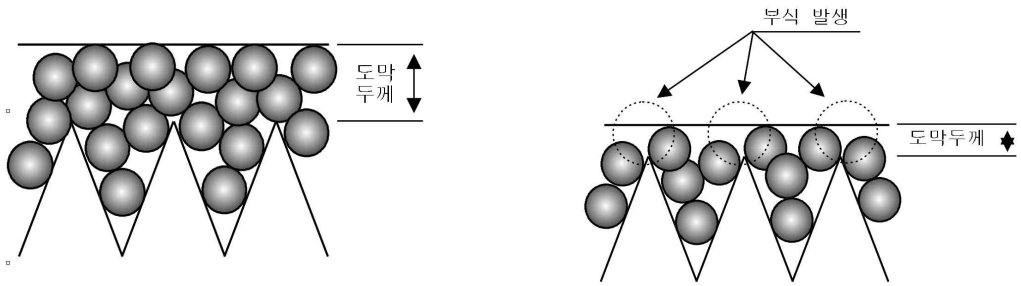
(a) 강재의 부식과정



(b) 부식원리

【그림 9-14】 강재의 부식과정 및 원리

상시 부식 환경이 조성된 경우에는 계속적인 입자의 손실로 인하여 도막두께가 감소하는 결과를 초래할 수도 있으며, 모서리부는 입자의 부착이 어려우므로 부식이 다른 부위보다 먼저 발생할 수도 있다. 이러한 도막두께 부족에 따른 부식은 <그림 9.15>와 같이 도막이 부족한 경우에 부식이 우선적으로 발생하고 그 범위가 점차 전체 구조물로 확대되는 것이다.



(a) 정상적인 도막두께 (b) 도막두께가 부족한 경우

【그림 9-15】 도막두께 부족으로 인한 부식발생

② 보수방안

보수도장의 선택은 표면처리방법에 따라 2가지 방법으로 구분된다. 즉, 표면처리방법으로써 전면적인 브라스팅 세정기에 의한 도장시스템과 부분적인 표면처리인 동력공구세정에 의한 도장시스템 등에서 그 방법을 선정한다.

본 교량의 경우 부분적인 보수예정이므로 동력공구 세정으로 표면처리를 하는 것으로 한다.

③ 보수용 도료의 선택(동력공구 세정실시)

㉠ 보수용 하도(발청부분, 보수도장)의 선정기준

- 동력공구 세정(SSPC SP3)후에 도장하므로 불충분하게 표면처리한 부분도 부착이 우수하여야 한다.
- 기존도막을 녹이는 문제가 발생되지 않아야 한다.
- 방청력이 우수하여야 한다.
- 작업방법(스프레이, 롤러, 붓)이 용이해야 한다.

㉡ 중도(전면도장)의 선정기준

- 부분 보수 도장된 후에 전면에 도장될 도료이므로 기존도막을 녹이는 데에 문제가 없어야 한다.
- 기존도막 및 보수도장 하도와의 부착력이 우수하여야 한다.
- 내수성 및 내구성이 우수하여야 한다.

㉢ 상도(전면도장)의 선정기준

중도의 요구조건에 만족하고 추가적으로 내후성(자외선에 대한 내구성이 우수하여 장기간 햇빛에 폭로되어도 변색 및 광택의 손실이 적은 것)이 우수하여야 한다.

④ 보수도장 작업공정

보수도장 작업공정 흐름도는 다음과 같다.



⑤ 보수도장 시 유의사항

㉠ 표면처리는 녹발생 부위와 도막내부에 녹이 발생하여 도막이 부풀은 부위에 대해 동력공구 세정으로 녹을 제거하여야 하며, 또 구 도막이 원판에 양호하게 부착된 부위에 대해서는 도막 표면에 먼지, 기름등의 이물질을 제거하여야 한다. 하도에서는 표면처리면(녹 발생 제거부위) 및 주위에 대한 부분 보수도장을 실시한다. 이때에는 녹 제거 부분만이 아니라 주위 도막에 대해서도 충분히 중첩하여 도장하여야 한다. 중도 및 상도에서는 전면에 걸쳐 도장한다.

㉡ 에폭시계 중도와 우레탄계 상도는 재도장 간격이 길어질 경우에는 부착력이 떨어질 수 있으므로 중도 도장 건조후 가능한 한 빨리 상도 도장을 실시하여야 한다. 하도 및 중도는 스프레이를 사용하면 1회에 규정도막으로 도장이 가능하나, 로울러 또는 붓으로 도장하는 경우에는 2회 도장을 실시하여야 한다.

㉢ 도막두께의 측정시 구 도막의 도막두께를 사전에 파악하여 이를 감안한 도막두께의 측정 및 확인이 있어야 한다. 또 보수도장 작업시에는 오염방지를 위한 시설을 설치하거나 도료가 비산되지 않도록 대책을 세운 후에 작업을 실시하여야 한다.

⑥ 재도장 작업

재도장 작업 관리의 주된 항목은 표면처리의 상태, 겹칠 간격, 시공 후의 도막외관, 도막두께, 도료의 사용량 등이다. 그러나 도막두께의 평가는 신설 도장시와는 다르며 적용하는 표면처리의 종류에 따라 평가방법을 다르게 해야 한다. 재도장에 있어서 품질관리는 도막면의 상태, 은폐력, 작업성, 도료의 사용량 등에 따라 행하지만, 도장계에 따라서는 도장두께가 두껍게 되면 도막이 갈라질 염려가 있다.

재도장 작업시 다음과 같은 기상조건에 유의하면서 실시하여야 한다.

㉠ 도장에 필요한 최저 기온은 5℃이고, 도장하는 표면에 습기와 서리가 없도록 해야 한다.

- 표면온도, 도료온도, 도장 및 경화가 5℃ 이상 60℃ 이하에서 시공
- 상대습도 85% 이하
- 표면온도는 이슬점 온도보다 2.7℃ 이상에서 시공

㉡ 경화되는 순간에 온도가 최저치보다 내려가면 도막이 손상된다.

㉢ 온도와 관련된 도막 손상 문제는 온도를 측정하지 않는데서 기인하기 때문에 계속적인 온도 계측이 필요하다.

㉣ 습기 있는 곳에서의 2층 도장은 1층 도막이 반드시 건조되어 있어야 한다.

㉤ 스프레이 할 때 풍향과 풍속이 근처의 자동차, 보트, 다른 구조물에 피해를 주는가를 반드시 고려해야 한다.

㉥ 강한 바람은 도료 입자들의 과도한 건조를 초래하며 건조분사를 발생시켜 도장의 부착력이나 다음 층 도장될 도료의 부착력을 저하시킨다.

기타 시공조건은 도료 제조회사가 제공한 각 도료의 도장지시서에 따르며 도장완료 후 감독관으로부터 품질관리기준에 의한 각종 검사를 득하여야 한다.

또한, 보수도장을 실시한 후 3~5년 이후에는 반드시 발청 상태를 재확인하는 것이 필요하므로 전문가에 의한 현장조사를 실시하여야 한다.

⑦ 강재도장 시 고려사항

강재 부식부에는 재도장을 실시하여 부식을 방지하는 것이 원칙이며, 본 교량의 경우에도 기존의 발청 부위의 부식을 제거하고, 재도장으로 방식처리를 하는 것이 필요하다.

재도장시에는 다음의 사항을 고려하여 시행하는 것이 바람직하다.

【표 9-18】 재도장 시 고려사항

■ 도장 대상면 물청소	■ 현재 도장면에는 공기중의 이물질이 고형화하여 부착되어 있다. 재도장을 위한 표면처리 시 이러한 이물질을 제거하지 않으면 블라스팅할 때 이물질이 강재에 부착되어 도장하부 부식의 원인이 되므로 먼저 기존의 도장면을 깨끗이 물청소한다.
■ 가벼운 블라스팅	■ 부식이 심한 부위는 동력공구와 수동공구를 이용하여 부식을 제거하고, 발청부위는 가볍게 블라스팅한다. 화이트 블라스팅은 비용과다 및 환경오염을 가중시킬 우려가 있으므로, 기존의 부식부위를 가볍게 블라스팅하여 기존의 녹을 제거한다.
■ 도장보수 작업	■ 도장 대상면의 표면처리 후에 재도장을 실시하며, 시공때와 같이 강재면 위에 도장을 하는 것이 아니라 기존의 도장면 위에 도장작업을 수행하므로, 도장작업 시 이러한 특성을 고려하여 선택하도록 한다. 도장작업 시 주의해야 할 사항을 아래에 정리하였다.
–도막두께 불량 (Thickness)	■ 얇은 도막은 점녹의 발생 원인이 될 수가 있고, 도막이 두꺼우면 내부 용융상태에서 표면이 경화함으로 인해 균열이 발생할 수 있다.
–핀홀 (Pinholes)	■ 기존 도장면의 핀홀 위에 스프레이 도장을 할 경우에는 도장 후 핀홀내부의 공기가 빠져나오면서 구멍이 발생한다(gassing 효과). 따라서, 도장작업 시 핀홀이 발생하면 이를 먼저 제거하는 것이 바람직하다.
–건조스프레이 (Dry spray)	■ 건조스프레이는 용제의 빠른 증발로 인하여 페인트 입자가 건조한 상태로 분사되는 것을 말하며, 이러한 현상이 발견되면 즉시 제거한 후 재도장한다.
–불연속	■ 부분적으로 도장이 누락되거나, 오버랩이 되지 않아 도막두께가 얇은 것을 불연속(discontinuities) 또는 휴일(holiday)이라고 한다.
–분화구 (Cratering)	■ 도장 후에 부분적으로 분화구 모양의 구멍이 형성되는 경우가 있는데, 이를 분화구(Cratering) 또는 어안(Fisheyes)라고 한다. 이것은 도장면 또는 페인트 분무공기에 함유되어 있던 기름에 의한 것으로, 이러한 현상이 발생하면 표면을 거칠게 한 후 브러쉬로 재도장 한다.
–점토상 균열 (Mud Cracking)	■ 점토상 균열은 두터운 도장면(특히 아연이 많은 도장)에서 발생하며, 두터운 수용성 도장면에서 용제나 수분이 빠르게 증발할 때 발생한다. 따라서, 빠른 건조가 예상되는 곳에서는 고비율 수용성 도장재료의 적용을 가능하면 피하는 것이 바람직하다.
–점녹 (Pin Point Rusting)	■ 점녹은 도막두께가 적절하지 않을 경우 방식효과가 감소함으로써 발생한다. 이러한 결함을 방지하기 위해서는 적절한 함량의 도장재료를 사용하고, 도막두께가 충분해야 한다.

3) 도장검사

① 검사측정기구

㉠ 표면조도 측정기

㉡ 대기온도 측정기

㉢ 철표면 온도측정기

㉣ 습도계 및 이슬점 계산기

㉤ 습도막 측정기

㉥ 건조도막 측정기

㉦ 부착력 측정기

② 도료검사 및 육안검사

검사항목	검사기준	조치사항
도료규격	– 특별시방서에 따름 – 제조업체 시험성적서에 의함 – 최초 입고시는 공인기관 시험성적서	사용불가
도료보관	– 10~38℃ 보관온도(단 도료제조원의 지침서에 따름) – 직사광전을 받지 않는 곳	사용불가
사용가능기간	– 제조일로부터 1년(단 도료제조원의 지침서에 따름)	사용불가
대기조건	– 대기온도 및 철 표면온도 10℃(5℃) 이상 – 상대습도 80%(85%) 이하 – 이슬점온도 : 대기, 철 표면온도가 이슬점 온도보다 3℃ 이상 – 안개, 서리 비가 오는날 작업불가	– 대기조건이 검사기준에 맞도록 시설 보완 조치하거나 전문검사 요원과 협의하여 대책수립 (철 표면 가열, 도장면 가열등) – 도료제조원의 지침서 준수
피도장물상태	– 결로가 생성시 – 흙, 모래 등 이물질 오염시 – 도막 건조기간 동안 이물질이 부착될 경우 – 오일, 구리스 등 유기오염물질로 오염시 – 규정된 표면처리 불량시	– 핫 에어블로우 – 스위핑 혹은 샌드페이퍼링 으로 이물질 완전 제거 – 덮개로 이물질 부착 방지 – 블라스팅, 파워툴 등으로 유기오염물 완전제거 – 재 표면 처리
도막표면상태	– 균열의 생성이 없을 것(진흙균열포함) – 고기눈 생성이 없을 것 – 박리된 곳이 없을 것 – 흐름현상이 없을 것 – 홀리데이 스폿이 없을 것	– 동력공구나 샌드페이퍼로 처리후 재도장 시행
모서리, 절단면 도막두께	– 모서리, 가장자리로부터 2.5cm 이내 및 절단면의 도막두께를 일반부위 도막두께로 맞추려고 여러번 스프레이를 할 경우 이는 과 도막이 형성되어 균열이 발생되는 하자를 야기하므로 일반부위의 도막두께 75% 이상을 기준으로 검사	– 모서리부위 및 절단면을 도장할 때는 주위의 과도막 형성(200㎛ 이상)에 각별히 주의하여야 하며, 과도막형성에 의해 균열 발생우려가 있다고 판단시에는 전문검사용원이 제시하는 방법을 따름

③ 도막측정

㉠ 측정시기 및 방법

■ 도막측정은 도장막이 완전히 건조된 상태에서 실시하며 하도, 중도, 상도 등 각 스테이지(STAGE)별로 실시한다.

■ 코너부위, 홀부위, 용접선으로부터 2.5cm 이내에서는 도막측정을 하지 않는다.

■ 단위부재당 20~30개소(1개소당 5점측정 평균)를 측정한다.

㉡ 판정기준

■ 측정 단위의 각각의 평균값이 시방서의 규정 도막두께 보다 커야 하며, 각각의 측정 평균값은 시방서 상의 규정 도막 두께의 90% 이상이여야 하며, 각 측정점의 최소치는 규정 도막의 75% 이상이여야 한다.

■ 샵 프라이머(SHOP PRIMER)(1회, 20μ)는 도막두께 계산외서 제외시킨다.

④ 도막 부착력 측정방법

㉠ 테이프 테스트(TAPE TEST)에 의한 부착력 측정방법

■ 장비명 : 칼(KNIFE), 크로스 커트 테스터(CROSS CUT TESTER)

■ 용 도 : 도막을 절단(CUTTING)하여 그 위에 테이프를 붙였다가 떼어냄으로써 금속 표면에 대한 도막 및 도료 층간의 부착력을 측정하는데 사용.

"A" 방법 : 현장에서 실행하기에 적당

"B" 방법 : 실험실에서 실행하기에 적당

■ 측정방법

"A" 방법 : X-절단 테이프 테스트(도막 두께가 125㎛ 초과인 경우)

철 표면의 도막위에 X-절단을 한 후 그 절단부위에 대해 압에 민감한 테이프를 붙였다가 떼는 방법

"B" 방법 : 크로스 절단 테스트(CROSS CUT TEST)

(도막 두께가 125㎛ 미만인 경우)

철 표면의 도막위에 격자상으로 6~11번 절단 한 후 그 부위에 대해 압에 민감한 테이프를 붙였다가 떼는 방법이며 격자상의 도막이 어느 정도 떨어지는가를 측정한다.

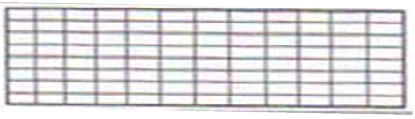
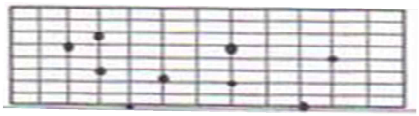
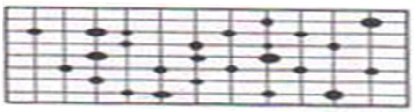
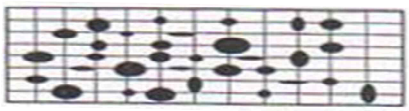
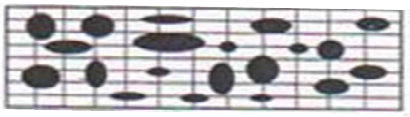
- 건조도막 0 ~ 50 ㎛ 일 때 : 1mm 간격

50 ~ 125 ㎛ 일 때 : 2mm 간격

㉡ 판정기준

■ 크로스 절단 테스트인 경우

: 육안 또는 확대경으로 보아 3B 등급 이상이 되어야 한다.

등 급	상 태	내 용
5B		격자가 깨끗함
4B		격자면적의 5% 이내 영향
3B		격자면적의 5~15% 영향 한격자도 완전히 박리 되는것이 없는 상태
2B		격자면적의 15~35% 영향
1B		격자면적의 35~65% 영향
0B		대부분 벗겨지거나 떨어짐(65% 이상)

■ X-절단 테이프 테스트인 경우

: 육안 또는 확대경으로 보아 3A 등급 이상이 되어야 한다.

등 급	상 태
5A	벗겨짐이나 떨어짐이 없을것
4A	흠집면을 따라 벗겨짐이나 떨어짐의 흔적이 있음
3A	양쪽에 1.6mm까지 흡집면을 따라 톱니모양의 떨어짐 있음
2A	양쪽에 3.2mm까지 흡집면을 따라 톱니모양의 떨어짐 있음
1A	테이프 밑의 X 가 대부분 떨어짐
0A	X 자 지역을 넘어서도 떨어짐

⑤ 돌리 테스트(DOLLY TEST)에 의한 부착력 측정방법

㉠ 장비명 : 돌리 테스터(DOLLY TESTER)

㉡ 용도 : 도막을 절단 하지 않고 장비를 사용하여 금속 표면에 대한 도막의 부착력을 측정하는데 사용

㉢ 측정방법

- 강력한 부착력을 가진 본드(BOND)를 사용하여 시험용 PIN과 도막에 완전하게 부착후 본드의 완전 건조여부를 확인한다.
- 시험용 핀 둘레를 커터를 사용하여 절단한다.

- 돌리 테스터의 후크(HOOK)를 도면에 부착된 시험용 핀에 완전하게 건다.
- 돌리 테스터의 본체에 부착되어 있는 핸들을 돌리면 본체에 표시된 눈금으로 바늘이 움직이는데 도료의 부착력 이상으로 핸들을 돌리면 떨어지는데 떨어질때의 눈금이 (파운드 혹은 PSI로 표기됨) 도료의 부착력임.

㉣ 판정 기준

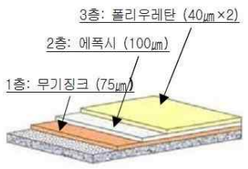
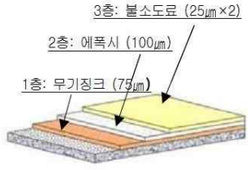
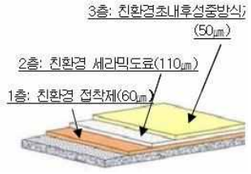
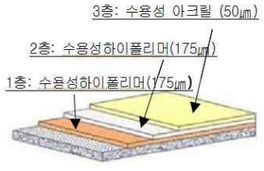
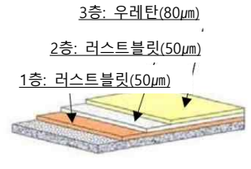
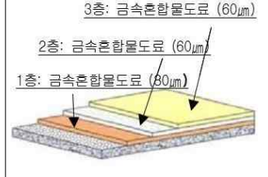
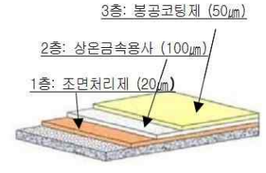
- 도료 제조원의 지침서에 따른다.(일반적인 부착력 기준은 200PSI 이상임.)

⑥ 외관 검사

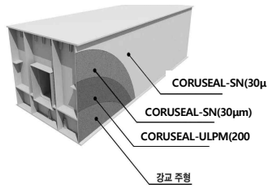
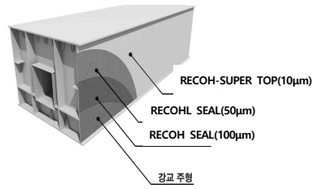
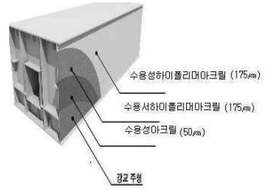
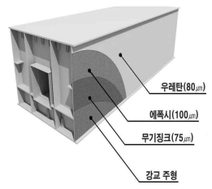
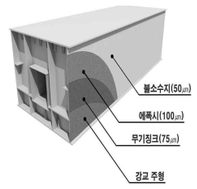
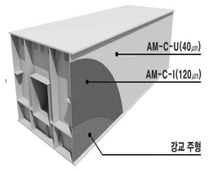
종 류	현 상	발 생 원 인	방 지 대 책
1. 갈라짐, 깨어짐 균열 ① Cracking ② Checking ③ Crazing	건조 도막이 노화되어 갈라진 현상	1. 하도 도료가 너무 두껍게 도장 2. 하도 도막의 건조 불충분 3. 하도와 상도의 공정 부적합 4. 상도 도료의 후도막(특히 보수도료 경우) 5. 가소제의 함량이 적을 때 6. 연속적인 냉기와 강한 자외선이 작용할 때 7. 피도물에 함수율이나 흡입이 많은 소재 8. 도료와 팽창율이 상이한 소재	1. 규정의 도막으로 도장 2. 규정의 건조온도, 시간준수 3. 도장 사양 재검토 4. 규정의 두께로 도장 5. 규정의 도료 사용 6. 특수설계의 도료 사용 7. 충분한 검토후 사용 8. 사전 검토후 사용
2. 벗겨짐, 박리 (Flaking, Chipping, Peeling)	도막이 피도물에서 벗겨지는 현상 자연적으로 벗겨지는 경우도 있고 후가공이나 점착테이프 사용시 벗겨지는 수도 있다.	1. 피도물에 왁스, 실리콘, 오일, 물 등이 잔존 2. 도료가 흡수성이 클 때 3. 건조 불충분 또는 과도막 4. 너무 평활한 금속면(도료 선정 잘못) 5. 도료 도장시 너무 저온일 경우 6. 신나의 휘발이 너무 빠른 경우	1. 소지처리를 충분히 청결하게 2. 도장실 조건 개선 3. 규정의 조건대로 개선 4. 샌딩 등 소지처리 5. 규정의 온도에서 작업 6. 규정의 신나 사용
3. 발청	금속 표면에 녹이 발생하는 것	1. 금속면에 생성된 산화물, 수산화물이 녹 발생의 주체	1. 금속이 안정된 화합물이 되도록 처리
4. 오염	도면에 얼룩이 지거나 먼지등이 부착한 것	1. 먼지, 시멘트분진, 산성성분, 그을음(매연분진), 화학약품등이 도막에 부착	1. 규정의 도료 사용 2. 오염이 쉬운 장소를 피할 것
5. 층간 박리 (Flaking, Chipping, Peeling)	중복 도장시 도막과 도막 사이에서 쉽게 박리가 일어나는 현상	1. 하도 도막이 과잉 2. 하도 도막에 실리콘 유분등의 불순물이 부착되어 있을 때 3. 자연 건조형 도료의 경우 하도후 도장 간격이 너무 오래 경과했을 때 4. 도장시 고온 다습으로 잔류 수분이 도막에 농축	1. 과열을 피하고 상도전에 내수 연마지로 수연마 2. 도장전에 휘발유로서 세정하고 내연마 수지로 수연마 3. 규정의 도장간격을 지킬 것 4. 도장실 관리를 철저히

종 류	현 상	발 생 원 인	방 지 대 책
6. 부풀음 (Blister)	도막의 일부가 하지로부터 부풀어 지름이 10mm 되는 것부터 좁쌀알 크기, 또는 분산불량과 같이 미세한 수포를 발생하는 것	1. 고온다습 상태에서 장기 방치 2. 도막 아래의 부식에 의하여 부풀음 발생 3. 수연마 후의 수세 불충분 4. 도면에 땀, 지문 등의 오염 5. 건조부족으로 도막이 미 건조되었을 때 6. 금속표면 처리에 덩어리 부착 7. 염류를 함유한 물방울 부착 8. 화성처리후 수세 불충분	1. 도장물의 보관상태에 유의 2. 규정의 도료 사용 3. 충분히 수세 4. 생지나 오염된 장갑등 접촉 금지 5. 규정의 온도를 가열 건조 6. 온수 및 청수를 깨끗이 수세 7. 탈이온수를 이용 8. 화성처리액 성분이 도막잔류 금지
7. 변퇴색	도막이 주로 외계의 영향에 의하여 다른색으로 변하거나 유채색 안료의 색이 감퇴하여 본래의 색을 잃는 것	1. 햇빛, 화학약품, 대기오염에 의하여 안료가 변질 2. 열이나 자외선에 의하여 수지가 변질(초화면 락카, 어유알키드, 페놀 우레탄계 등이 잘 변한다.)	1. 내후성이 좋은 안료 사용 및 용도에 적합한 도료 선택 2. 변색이 잘 되지 않는 수지 도료
8. 곰팡이 발생	도막이 고온다습의 장소에 칠해진 때 곰팡이가 발생하고 변색한다.	1. 도막에 균열이 생긴 부분, 소지와 하도의 경계면, 일단 한번 발생했던 곳에 발생하기 쉽다.	1. 고온다습의 장소에는 방균 방미도료의 사용 2. 통풍이 잘 되도록 할 것
9. 변퇴색		1. 피도면의 화학성분과 안료의 반응(콩코레드+감청, 크롬그린, 크롬옐로) 2. 건조제의 과잉사용으로 황변	1. 피도면의 성분과 반응 않는 안료 선택 2. 규정의 도료 사용
10. 백아화 (Chalking)	옥외 폭로된 도막에 표면 노화가 일어나 손으로 문지르면 가루상이 되어 묻어나는 현상	1. 도막이 대기중의 수분, 자외선, 산소등에 의하여 분해됨으로써 안료입자만 표면에 존재, 이것이 문지를 때 손에 묻어남.	1. 도료의 선정에 유의 2. 수세, 연마를 실시

【표 9-19】 강재도장공법 비교표

구 분	내후성중방식 (우레탄도료)	초내후성중방식 (불소수지도료)	친환경 하이브리드 수용성 세라믹(KNIX)	수용성 하이폴리머 (수성 아크릴도료)	러스트브릿 (산화알루미늄)	금속혼합물계 (CORUSEAL)	상온금속용사 (KMS방식공법)
공법 개요	■내후성에 약한 에폭시를 보호하기 위하여 마감도장으로 내후성 우레탄 도료를 이용한 도장공법 ■산소 및 수분의 침투 억제	■내후성에 약한 에폭시를 보호하기위하여 마감도장으로 초내후성 불소수지 도료를 이용한 도장공법 ■산소 및 수분의 침투 억제	■수용성, 초내후성 중방식용도료와 오염방지 나노코팅제를 이용한 도장공법 ■산소 및 수분의 침투 억제	■부식에 대하여 도막의 갈라짐을 방지하는 수용성 아크릴 탄성도료를 이용한 도장공법 ■산소 및 수분의 침투 억제	■철재 구조물 보호효과가 뛰어난 산화 알미늄계의 친환경 초내후성 정방식용일액형도료를 사용 ■성능저하를 방지하는 공법	■부식 방지 및 내구성 증진을 위하여 금속혼합물을 이용한 산화알루미늄피막 도장공법 ■산소 및 수분차단	■Zn/Al 금속을 전기 Arc를 이용 마그마 상태로 녹여 강재 표면에 코팅하는 Metal Spray방식 공법 ■희생양극 방식
공정 개요							
도막 두께	255㎛	225㎛	220㎛	400㎛	180㎛	200㎛	170㎛
환경영향평가	VOC(휘발성 유기화합물) 배출	VOC(휘발성 유기화합물) 배출	비교적 친환경	비교적 친환경	비교적 친환경	VOC(휘발성 유기화합물) 배출	비교적 친환경
장 점	■사용연대가 길어 도료의 규격이 안정됨	■사용연대가 비교적 길어 도료의 규격이 안정화됨	■빗물 세척에 의한 내오염성 ■VOC, 중금속 불검출	■고탄성 후도막 방청기능 ■워터젯팅으로 바탕처리 가능	■녹구멍으로 금속의 하부에 침투 ■녹을 건조시키고 수지가 고형화 되면서 막강한 접착력으로 코팅막을 형성	■방식기능과 염해에 강함 ■상도층 손상 중도층이 보강	■아연/알루미늄 금속피막형성 ■무보수(Repair-free)방식기술
단 점	■신나를 희석제로 사용하므로 작업환경 주의 필요 ■2액형 도료로 작업성이 난이하며 온도에 따라 경화건조 시간제한이 있음	■신나를 희석제로 사용하므로 작업환경 주의 필요 ■2액형 도료로 작업성이 난이하며 온도에 따라 경화건조 시간제한이 있음	■도장 후 빨리 건조되어 수작업시 소분해서 사용 ■도료개발 연대가 짧고 장대교량 시공실적 적음	■워터젯팅 오염누수로 환경영향 ■탄성이 높아 보수 도장시 구도막과의 층간 부착이 나쁨 ■표면이 매끄럽지 못함 ■유제에 의한 변형 발생	■일단 경화되면 지우거나 파괴 할 수 없음. ■표면 색상이 단색(회색)으로 되어 있어 별도의 색상을 요구시 표면 도장을 해야 함.	■신나를 희석제로 사용하므로 작업환경 주의 필요 ■정밀시공을 요함	■도장비가 다소 고가
내구수명	10~12년	15~20년	25년 이상	25년 이상	30년 이상	25년 이상	65~100년
특허/신기술			특허 제10-0764081호	수입제품	수입제품	건설 신기술 345호	건설 신기술 416호
시공사례	• 돌산대교 • 대부분의 한강교량	• 서해대교 • 서강대교 • 창선대교 • 영종도 연육교	• 반포북단교(보수) • 노들남단교(보수)	• 동작대교(보수) • 동호대교(보수)	• 목동교(보수)	• 한강철교(보수) • 공단C교 외2개소 (보수)	• 동작대교북단 • 인천대교 • 성산대교(보수) • 천호대교

【표 9-20】 강교 중방식도장 공법 비교표

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">구 분</th><th rowspan="2">금속혼합물계</th><th rowspan="2">수성용 하이브리드
복합 바인더계</th><th rowspan="2">수용성하이폴리머 아크릴계</th><th rowspan="2">우레탄계</th><th rowspan="2">불소수지계</th><th colspan="2">세라믹코팅</th></tr>
<tr><th>일반 환경</th><th>특수 환경</th></tr>
<tr><td colspan="2">개요도</td><td> 
</td><td> 
</td><td> 
</td><td> 
</td><td> 
</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="4">도장공정</td><td>전처리
프라이머</td><td>–</td><td>RECOH STRONG
(60㎛)</td><td>–</td><td>무기징크 (20㎛)</td><td>무기징크 (20㎛)</td><td colspan="2">무기징크 (20㎛)</td></tr>
<tr><td>하 도</td><td>CORUSEAL-ULPM
(200㎛)</td><td>RECOH SEAL
(100㎛)</td><td>수용성하이폴리머아크릴 (175㎛)</td><td>무기징크 (75㎛)</td><td>무기징크 (75㎛)</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>중 도</td><td>CORUSEAL-SN
(30㎛)</td><td>RECOH SEAL
(50㎛)</td><td>수용성하이폴리머아크릴 (175㎛)</td><td>에폭시 (100㎛)</td><td>에폭시 (100㎛)</td><td colspan="2">AM-C-I (세라믹 코팅)</td></tr>
<tr><td>상 도</td><td>CORUSEAL-SN
(30㎛)</td><td>RECOH SUPER TOP
(10㎛)</td><td>수용성아크릴 (50㎛)</td><td>1회 : 우레탄(40㎛)</td><td>1회 : 불소도료(25㎛)</td><td colspan="2">AM-C-U (세라믹우레탄)</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="3"></td><td>2회 : 우레탄(40㎛)</td><td>2회 : 불소도료(25㎛)</td><td>40㎛</td><td>60㎛</td></tr>
<tr><td colspan="2">도막두께</td><td>260㎛</td><td>220㎛</td><td>400㎛</td><td>275㎛</td><td>245㎛</td><td>180㎛</td><td>220㎛</td></tr>
<tr><td colspan="2">보수도장성</td><td>양 호</td><td>양 호</td><td>양 호</td><td>양 호</td><td>불 량</td><td colspan="2">양 호</td></tr>
<tr><td colspan="2">특 징</td><td>■염해 및 중성화 방지
■방수기능
■공정 단순/시공 용이</td><td>■염해 방식성능 우수
■친환경공법
■시공 공정이 간단</td><td>■방수기능
■방청기능탁월
■친환경공법
■작업효율성 양호
■협소공간에서 인체안전</td><td>■내식성 광택양호
■내열성 약함
■내구연한이 짧아 유지보수비 소요 과다</td><td>■내약품성 양호
■내후성 양호
■재도장성 불량</td><td colspan="2">■접착력 및 내식성 우수
■내후성/내약품 양호
■내염/내해수성 탁월
■환경 친화성
(비스페놀 무검출)
■공정 단순 / 시공 용이</td></tr>
</table>

마. 받침장치 본체부식 및 강재도장박리 보수공법

1) 개 요

교량받침 본체 및 가동면에 점부식 및 표면부식이 발생되면 부식으로 인해 단면이 감소하거나 가동에 문제가 발생될 수 있으므로 부식을 제거하고, 가동면은 윤활제를 도포하여 장기적인 내구성을 확보하고 원활한 거동 상태를 유지할 수 있도록 하여야 한다.

2) 재도장 작업

재도장 작업 관리의 주된 항목은 표면처리의 상태, 겹칠 간격, 시공 후의 도막외관, 도막두께, 도료의 사용량 등이다. 그러나 도막두께의 평가는 신설 도장시와는 다르며 적용하는 표면처리의 종류에 따라 평가방법을 다르게 해야한다. 재도장에 있어서 품질관리는 도막면의 상태, 은폐력, 작업성, 도료의 사용량 등에 따라 행하지만, 도장계에 따라서는 도장두께가 두껍게 되면 도막이 갈라질 염려가 있다.

재도장 작업시 다음과 같은 기상조건에 유의하면서 실시하여야 한다.

① 도장에 필요한 최저 기온은 5℃이고, 도장하는 표면에 습기와 서리가 없도록 한다.
- 표면온도, 도료온도, 도장 및 경화가 5℃ 이상 43℃ 이하에서 시공
- 상대습도 85% 이하
- 표면온도는 이슬점 온도보다 3℃ 이상에서 시공

② 경화되는 순간에 온도가 최저치보다 내려가면 도막이 손상된다.

③ 온도와 관련된 도막 손상 문제는 온도를 측정하지 않는데서 기인하기 때문에 계속적인 온도 계측이 필요하다.

④ 습기 있는 곳에서의 2층 도장은 1층 도막이 반드시 건조되어 있어야 한다.

⑤ 스프레이 할 때 풍향과 풍속이 근처의 자동차, 다른 구조물에 피해를 주는가를 반드시 고려해야 한다.

⑥ 강한 바람은 도료 입자들의 과도한 건조를 초래하며 건조분사를 발생시켜 도장의 부착력이나 다음 층 도장될 도료의 부착력을 저하시킨다.

기타 시공조건은 도료 제조회사가 제공한 각 도료의 도장지시서에 따르며 도장완료 후 감독관으로부터 품질관리기준에 의한 각종 검사를 득하여야 한다.

또한, 보수도장을 실시한 후 3~5년 이후에는 반드시 발청 상태를 재확인하는 것이 필요하므로 전문가에 의한 현장조사를 실시하여야 한다.

3) 시공방법

보수 부위 선정	
↓	
표면 전처리	보수 부위의 녹·페인트 등 이물질을 완전히 제거한다. (Wire Brush, Sand Paper, Paint Remover)
↓	
표면 검사	소지면의 조도 평탄성 등을 검사하여 도료와 소지면의 밀착성 및 친화력을 향상시킨다.
↓	
도장 방법의 선택	현장여건 및 사용도료에 따라 브러시 코팅, 로울러 코팅, 에어 스프레이 코팅중 가장 적절한 도장방법을 선정한다.
↓	
재 도 장	부착성, 방청성, 내수성 등이 뛰어난 중방식도료로 하도를 한 다음 광택, 색상, 보유력, 부착력 등이 우수한 열화고무 변성 아크릴계로 상도 도장을 시행한다.
↓	
검사	육안 및 도막두께 측정기(D.F.T.M)를 이용하여 도장 상태 및 도장두께 등을 검사한다.
↓합 격	
완 료	

4) 주의사항

① 교량받침에 발생된 녹 및 표면부식부는 반드시 완전히 제거되어야 한다.

② 윤활제 도포는 장기간 동안 원활한 거동을 할 수 있도록 충분히 도포되어야 한다.

③ 재도장시 받침의 원활한 신축 거동을 위하여 가동면에는 도장을 해서는 안된다.

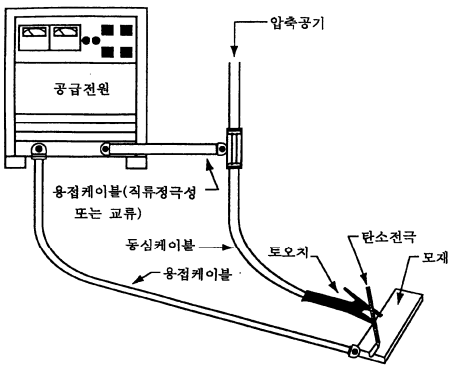
바. 용접 보수

1) 개요

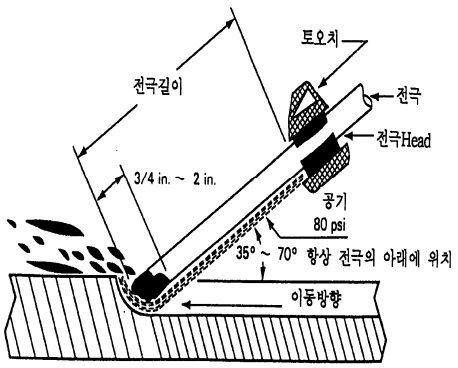
용접결함으로 인한 주변부재의 추가손상은 조사 되지 않은 상태이나 내구성확보 차원의 용접불량 및 누락부에 대한 용접보수가 필요할 것으로 판단된다. 다만 가우징에 의한 방법은 시공된 면이 조잡하거나 지저분할 수 있으므로, 그라인딩 후 재용접의 방법도 고려할 수 있으며 용접부의 강도증가를 위하여 용접을 티그용접으로 하면 용접부의 강성증대 효과도 기대할 수 있다. 가우징 후 재용접은 다음과 같은 방법에 따라 수행하되 교량의 안전성을 위해서 동일 단면에서 동시 작업은 불가하며 1개소 보수 후 다른 위치로 이동/반복 시행토록 한다.

【표 9-21】 보수용접 순서도

보수용접 준비	■보수위치의 결함상태 확인 ■보수위치의 작업조건 확인 ■안정된 용접자세를 취하기 위한 제반시설 설치
가 우 징	■절단부를 모재쪽으로 가우징 연마 ■가우징 후 남아있는 부재 두께는 2㎜이상이 되어야 한다. ■가우징면은 매끄러운 곡면을 가져야 한다.
용 접	■육성용접을 실시한다. ■용접 후 그라인딩으로 마무리 한다.
용접 검사	■검사자는 충분한 경험과 기량을 보유하여야 한다. ■제3자에 의한 외관검사를 실시한다. ■홈용접, 필렛용접부 비파괴검사(UT, RT, MT, PT)를 실시한다.
용접 후 재도장	■용접검사 후 이상이 없으면 용접부에 재도장을 실시한다.



【그림 9-16】 탄소 아아크 가우징 장치도



【그림 9-17】 탄소 아아크 가우징 보수 상세도

2) 보수방법

① 용접보수 일반

피로손상부나 직각교차부 등에서 손상사례가 많은 균열에서 손상정도가 경미한 경우에는 균열 발생부를 가우징으로 처리하여 보수용접을 하는 경우가 많다. 그러나 이러한 경우는 균열이 재차 발생될 염려가 있다. 그러므로 용접이음부의 피로손상을 향상시키기 위해서는 여러 가지 다른 방법과 병용하는 경우가 많다. 즉 단부를 그라인딩 처리하거나 TIG처리에 의해 이음부 강도를 높이는 방법 등이 있다. 그래도 작용응력이 큰 경우는 개선효과가 적으므로 판 보강이나 구조세부의 개량, 전체구조의 개량 등에 의해 응력작용범의를 낮추는 대책이 필요하다. 직각부분 용접의 루트부분에서 전단방향으로 균열이 발생하는 경우도 있다. 이것은 루트의 응력집중, 노도두께(throat depth)의 부족이 원인이 되기도 하므로 이러한 경우에는 노도두께를 증가시켜야 할 것이다. 대표적인 직각부분 용접의 피로손상 사례로는 지점부의 Sole Plate가 있는데 이러한 단면에서는 다양한 형태의 균열이 발생된다. Sole Plate 지단부의 단면급변에 의한 응력집중 지승기능의 열화에 의한 거더 단부의 회전, 수평이동의 구속에 의한 판의 휨과 막응력의 발생이 원인이 된다.

② 결함제거

용접부를 보수하기로 결정하고 난 후에는 결함재발을 방지하기 위하여 초기결함의 원인을 찾아내는 것이 중요하다. 이는 또한 적절한 보수절차를 설정하는데도 도움이 된다. 만약 기공을 제거하기로 했다면 용융부의 오염원인 또는 부적절한 용융지 보호원인을 찾아야 한다. 슬래그 혼입이 문제가 된다면 비이드 형상, 전극의 위치 및 용접 중 청소상태에서 그 발생 원인을 찾아야 한다. 언더컷을 방지하기 위해서는 전극의 위치를 변경시켜야 하고 용접부의 크기가 작은 경우에는 일반적으로 용접속도를 낮추어야 한다. 비이드 단면형상의 경우 통상 표면 청결도, 아아크 전압 또는 용접속도 등을 조정해야 한다.

결함의 위치 및 그 원인은 기록해 두어야 하고 일반적인 보수용접은 우선적으로 불연속을 제거해야 하는데 이 불연속의 제거는 연삭(Grinding), 가우징, 홈파기(Chipping)로 수행한다. 이 때 불연속의 제거는 전체 불연속을 제거하도록 해야 한다. 용접부 보수를 하는 많은 경우 처음 용접부의 불연속제거에만 몰두하게 되는데 후속 용접을 하기 전에 하기 위해 새로 만드는 이음부는 용접이 잘될 수 있도록 준비를 해야 한다. 이 용접보수파내기 작업을 한 부분이 균열 없이 건전한지를 먼저 관찰해야 한다. 이 처럼 용접보수를 이음부의 형상은 사전인증 용접이음부의 일반적인 단면형상을 갖도록 해야 한다. 용접보수 시에는 용접금속이 비이드 중앙(Centerline)균열이 발생하지 않는 비이드 형태를 갖도록 해야 한다. 공기 아아크 가우징 토오치를 사용하면 허용되지 않는 단면형태가 만들어져 균열이 발생할 가능성이 있다. 가우징한 금속면은 맑은 면이 나올 때까지 연삭해야한

다. 파내기를 깊게 해야 하는 보수부는 충분한 길이를 파내어 보수용접 작업시 용착금속을 원활히 용착시킬 수 있도록 가장 자리부를 완만한 경사가 지게 해야 한다. 이음부 준비작업을 하여 보수용접 준비가 완료되면 이음부에 대해 액체침투탐상이나 자분탐상을 하는 것이 좋다. 액체염색침투탐상을 한 경우에는 탐상 후 용접을 시작하기 전에 탐상잔류물을 깨끗이 제거해야 한다.

③ 예열

위의 비파괴검사가 종료되면 그 다음 단계로 예열을 해야 한다. 용접 보수시 예열은 다음의 세 가지 이유 때문에 최초 용접시의 예열보다 높게 해야 한다.

첫째, 용접 보수할 이음부는 초기 용접시보다 더 많이 구속이 되어있다.

둘째, 강재의 화학성분이 필요한 것보다 작다든지 하는 예상되지 않았던 조건들 때문에 보수가 필요하게 되었다. 따라서 좋은 용접을 하기 위해서는 추가 예열을 하는 것이 좋다.

셋째, 용접보수절차는 초기용접에 사용되었던 절차에 비해 용접열이 상당히 낮을 수 있다. 이것은 특히 직경이 작은 용접봉을 써서 SMAW로 보수용접을 하는 경우가 그렇다.

④ 용접보수 절차

용접보수에 사용되는 용접방법은 초기 용접시의 방법과는 다른 경우가 흔하다. 보수를 많이 해야 할 경우에는 생산성이 높은 용접방법을 사용하는 것이 아주 바람직하다. 그러나 용접보수는 저수소계 SMAW 용접봉으로 하는 경우가 많다. SAW를 적용하기는 어려운데 그 이유는 용접보수 할 이음부의 불규칙성을 잘 볼 수 없기 때문이다. 어떤 용접방법을 선택하든 용접절차와 기법은 각 보수상황에 적합한 것이어야 한다는 것이 중요하다. 어떤 규격에서는 서면상의 보수용접 절차서를 요구하기도 한다. 각 보수용접은 경우마다 상황이 다르기 때문에 정확한 용접절차, 그 중에서도 특히 용접속도를 예측하는 것은 거의 불가능하다. 그러나 대략적인 값은 예측할 수 있다. 품질이 좋은 훌륭한 보수 용접부를 만들기 위해서는 실제 구조물의 보수를 하기 전에 별도의 소재에 동일한 이음부를 만들어 용접공이 용접보수 기법으로 사전 시험작업을 해볼 수 있도록 하는 것이 좋다. 첫 번째 비이드가 만들어지고 나면 주의 깊은 육안점검을 해야 한다. 때로는 자분탐상을 하기도 한다. 이 경우 이음부가 아직 고온이기 때문에 액체염색침투탐상은 적합하지 않다. 첫 번째 비이드의 시작점과 종료 점에서 발생할 수도 있는 불연속을 제거하기 위하여 비이드를 약간 연삭하는 것이 좋다. 이 첫 번째 비이드가 건전할 경우에는 Pass간 온도가 허용범위 내에 있으면 후속용접을 계속한다. 용접부의 잔류응력을 제거하고, 용접균열의 발생가능성을 줄이기 위하여 작은 특수 햄머로 용착부를 두드리는 작업인 피이닝(Peening)을 할 수도 있다.

⑤ 용접 후 열처리 (PWHT : Post Weld Heat Treatment)

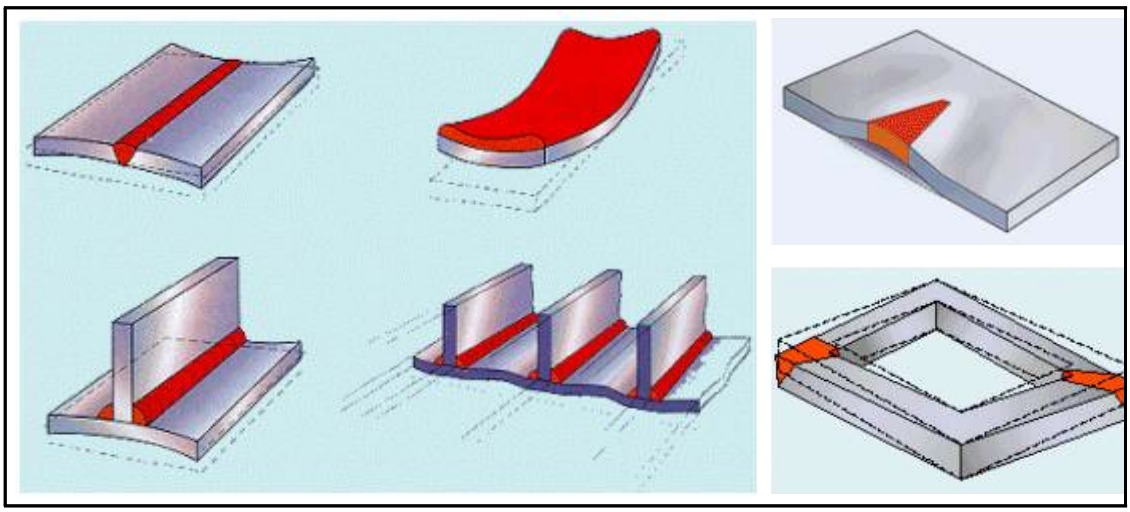
용접보수가 완료되면 용접부를 후열처리 하는 것이 좋을 수도 있다. 후열처리 시에는 용접부가 상온으로 떨어지지 않게 한다. 이렇게 하면 산소가 용접금속으로부터 대기 중으로 방출하게 되어 수소의 열영향부 확산에 의한 균열 발생을 피할 수 있고, 용저부의 냉각속도를 감소시켜 경도가 높고 취성이 있는 금속조직이 생성되는 것을 방지하게 된다.

⑥ 재검사(Reinspection)

용접부가 상온까지 냉각하고 나면 재검사를 해야 한다. 보수용접부에 대해서는 보다 광범위한 검사와 그 검사결과의 주의 깊은 검토가 필요하다.

⑦ 용접 변형 방지대책

용접부의 변형은 근본적으로 용접 과정에서 발생하는 용융금속의 수축에 의한 인장 응력에 기인한다. 이 인장응력은 용착량, 용접 방법, 용접 속도 등의 용접 조건에 따라 큰 차이를 보인다.



【그림 9-18】 용접부 변형의 대표적인 예

㉠ 용접부 변형의 원인

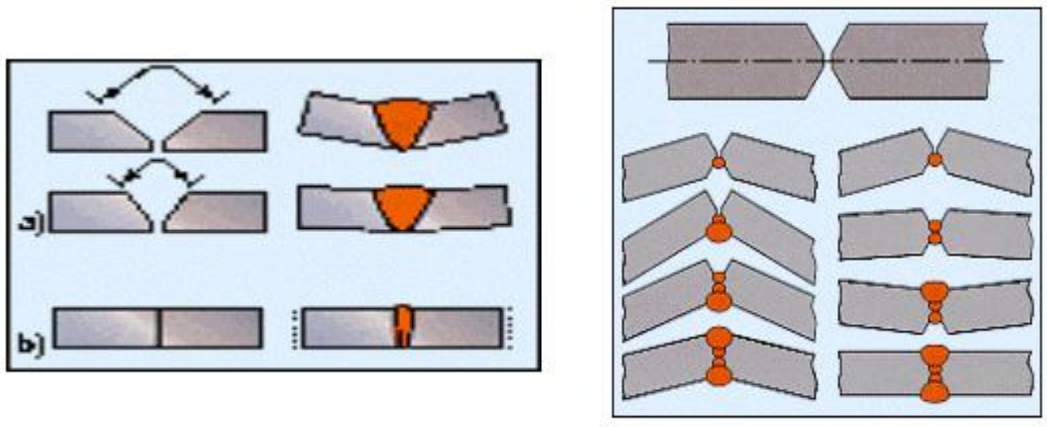
■ 모재의 영향

모재의 열팽창 계수가 크고, 열전달이 잘되는 재료 일수록 용접부 변형이 발생하기 쉬운 경향이 있다. 이러한 차이점은 Carbon Steel과 Stainless Steel의 용접부에서 쉽게 발견할 수 있는 현상으로, 열팽창이 큰 Stainless Steel 용접부는 Carbon Steel에 비해 더 큰 용접부 변형을 나타낸다.

■ 용접 형상의 영향

V형 이음에서는 각 변화가 한 방향에서만 일어나지만 X형 이음부에서는 뒷면 용접 시 발생하는 각 변화가 반대 방향이므로 앞면 용접의 각 변화와 상쇄되어 전체적인 각 변형이 작게 된다. V형 이음의 경우에 대구경 용접봉을 쓰는 것이 각 변형이 오

히려 적으며 X형의 경우에는 양면의 상하 개선 비율(대칭도)을 적절하게 조절하면 각 변형을 거의 없게 할 수 있다. 가장 일반적인 상하 개선 비율은 6:4 혹은 7:3 정도 이다.



【그림 9-19】 용접부 형상에 따른 변형 차이점

■ 용접 속도의 영향

용접 Arc가 이음선을 따라 진행하면 그 용접 지점으로부터 열이 사방으로 확산하게 되고 용접 지점보다 앞서 진행하게 되는 열은 아직 용접이 이루어 지지 않은 부분에 변형을 초래하게 된다. 따라서, 용접 속도를 빠르게 하는 것이 각 변형 방지 유효하다.□용접 진행 속도가 느릴수록 앞서 전파되는 용접열이 많아지고, 속도가 빠를수록 적어지니까 진행이 빠를수록 변형이 적어진다. 또한 용접 Pass수가 적을수록 각 변형 및 세로 방향 뒤틀림이 적어진다.

■ 용접 방법의 영향

고능률의 대입열 용접일수록 많은 용융금속이 발생하게 되면서 응고 수축에 의한 응력이 크게 작용한다. 따라서 용접부 변형을 최소화하기 위해서는 가능한 저입열의 용접 방법으로 용접하는 것이 좋다.

㉡ 용접부 변형 방지책

용접부 변형을 방지하기 위한 방법은 변형의 원인을 정확하게 파악하고 있다면 쉽게 여러 가지 대안이 제시될 수 있다.

■ 이음의 모양이 가능한 한 용접부 단면이 대칭이 되도록 한다.

앞에서 설명한 바와 같이 V보다는 X-Groove를 사용하는 것이 용접부 변형 방지에 유리하다.

■ 이음의 크기가 요구되는 강도 이상이 되지 않도록 하여 용착량이 과다하지 않도록 설계한다.

용융금속이 많다는 것은 그만큼 많은 응고 응력이 발생한다는 것을 의미한다. □

■ 가능한 용접 Pass수를 적게 한다.

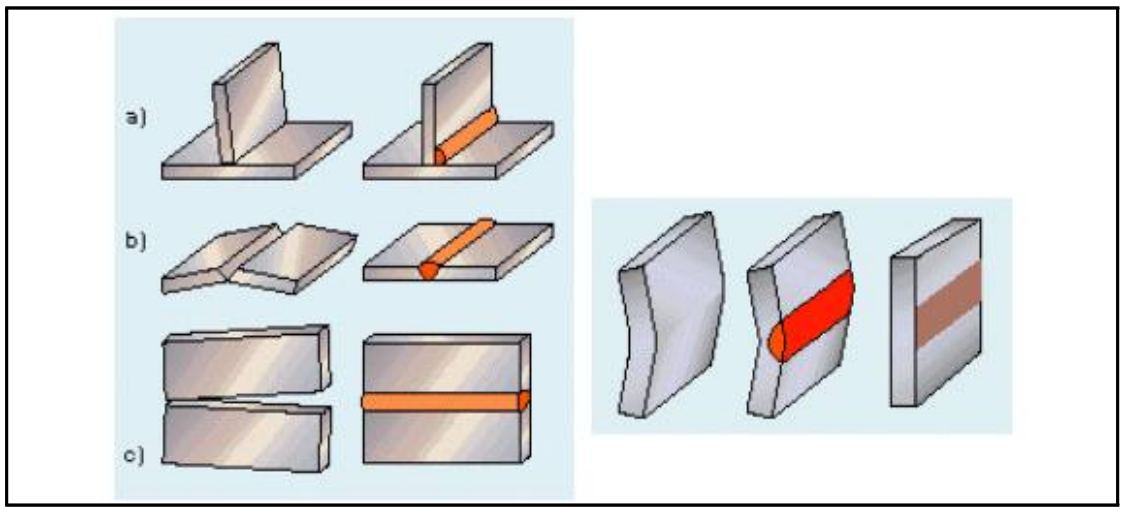
앞의 내용과 상반되는 의미로 해석될 수도 있다. 용접 금속이 Multi-Layer로 깔릴수록 용접부 변형은 심해진다.

■ 용접속도를 빠르게 한다.

용접 속도가 느리면 그만큼 용융금속의 응고가 늦어지고, 많은 용융 금속이 발생한다는 것을 의미한다. 용착량을 적게 하는 것이 변형 방지에 유리하다.

■ 미리 용접 이음부에 예상 변형의 반대로 변형각을 주어준다.

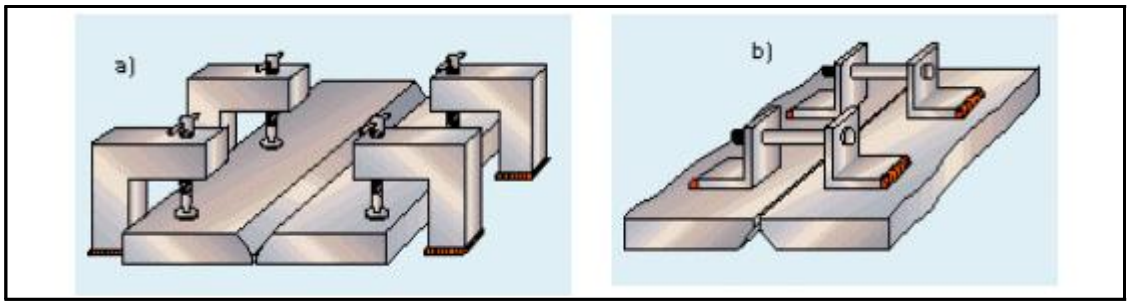
용접부에 미리 예상되는 용접 변형을 상쇄할 만큼의 변형을 주어 용접시 발생하는 변형을 흡수한다. 다음 그림은 용접 이음에 미리 각변형을 주어 용접을 실시한 예이다.



【그림 9-20】 미리 변형을 준 용접 이음부의 형상

■ 튼튼한 JIG로 견고하게 고정한다.

예상되는 변형의 반대 방향으로 미리 JIG를 설치하여 변형을 억지로 방지한다. 변형 방지에는 효과가 있지만, 용접부 잔류 응력 측면에서는 매우 불리한 용접 시공 방법이다.



【그림 9-21】 변형 방지 JIG를 사용한 용접부의 강제 구속

■ Water / Copper Cooling방법

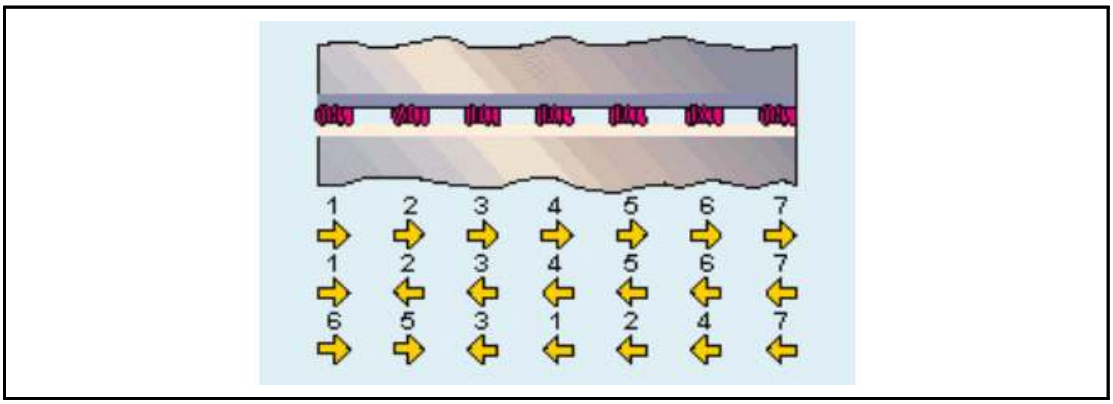
용접선을 따라 용접부 이면에 물로써 강제 냉각시켜 변형을 최소화 하는 방법이다. Cu-Cooling방법과 마찬가지 이다.

■ Peening 유, 무

Peening은 Hammer 등으로 용접 부위를 타격하는 방법으로 일종의 Plastic Deformation (소성 변형)을 부여하여 잔류 응력을 완화하는 방법이다. 용접 금속은 응고하면서 내부적으로 수축에 따른 Tensile Strength가 걸리는데 외부에서 인위적인 Compressive Deformation으로 이를 상쇄해 주면 그만큼 잔류 응력(변형)은 감소하게 된다. 이때 초층 및 최종 층의 Bead는 가공 경화를 받아 균열의 위험성이 있으므로 피하여야 한다. Slag 제거를 위한 Chipping은 Peening으로 간주하지 않는다.

■ 열 분포를 고르게 하기위해 용접 순서를 조절한다.(후퇴법, 대칭 등)

용접과정에서 발생하는 열로 인한 용접부변형을 최소화하기 위해 용접을 일률적으로 한 방향에서 실시하지 않고 부분적으로 실시하여 용접열의 분포를 고르게 하도록 용접 순서를 조절한다. 용접 변형을 방지하기 위한 측면에서는 유효하지만, 용접부의 품질로 볼 때는 불리하다.



【그림 9-22】 용접부 변형 방지를 위한 용접 순서

⑧ 용접부 검사

용접부의 검사는 비파괴 검사를 적용하여야 하며 KS기준에 맞아야한다. 비파괴 검사의 종류는 다음과 같다.

■ 방사선 투과검사 (R.T: KS B 0845) : 홈 용접부

■ 초음파 탐상검사 (U.T: KS B 0896) : 홈 용접부

■ 자분 탐상검사 (M.T: KS D 0213) : 홈 또는 필렛용접부

■ 침투액 탐상검사 (P.T: KS B 0816) : 필렛용접부

■ 육안검사 : 비파괴 검사의 시기는 용접 완료 후 24시간 경과 후로 한다.

㉠ 일반사항 : 시공자는 비파괴검사 전문회사에 검사를 의뢰하며 검사회사의 장비, 능력 및 검사자의 자격 등에 대하여 감독원의 승인을 받아야 한다.

- 시공자는 검사자로 하여금 본 시방기준을 적용토록 주지시켜야 하며 검사의 과정 및 판정 등에 대해서는 검사자 고유의 권한으로 침해할 수 없다.
- 검사자는 검사기록, 검사결과 등 검사관련자료 일체(육안 검사포함)를 서명 날인하여 원본을 감독원에게 제출하여야 한다.
- 모든 검사는 취약부의 및 육안검사 의심부위를 우선적으로 실시하여야하며 검사부위 지정에 대한 권한은 감독원에게 있다.
- 시공자는 모든 부재에 대하여 육안검사를 시행하며 주요부재에 대해서는 검사기록을 유지하고 의심부위는 자체적으로 비파괴검사로 확인할 의무가 있다.
- 시공자는 관련분야에 5년 이상 종사한 자를 육안검사자로 지정하여 현장에 상주 배치하여야 하며 검사결과를 감독원에게 수시로 보고할 수 있도록 조치한다.
- 감독원은 검사자가 검사업무를 성실히 이행치 않는다고 판단될 경우 검사자의 변경을 시공자에게 요구할 수 있으며 이 경우 시공자는 즉시 감독원의 요구를 수용하여야 한다.
- 검사결과에 대한 신뢰성에 문제가 있다고 판단될 경우 감독원은 검사결과중 일부에 대해 재검사를 요구할 수 있으며 시공자는 이를 수용하여야 한다.

㉡ 검사방법 및 검사기준

- 공장용접 : 공장용접검사는 아래표에 따른다.

【표 9-22】 공장용접검사

구분	부 재	검사방법	검사기준	비고
이음부전체		육안검사	용접부위 100%	
맞대기 이음 완전용입 홈 용접	I형 보, 박스형 보, 멘보등의 인장플렌지 트러스, 아치 인장부재	R.T 또는 U.T	한이음에 대해 1장(클레이터 측)	
	상기부재의 압축측	"	5개이음에 대해 1장	
	I형보, 박스형보의 복부판	"	2개이음에 대해 1장 (인장측)	
	강상판 복부판의 수평이음	"	한이음에 대해 1장 (클레이터 측)	
모서리 이음 및 T이음의 완전용입부	인장부재	U.T	용접장의 20% 비율	
	압축측	U.T	용접장의 5% 비율	
필렛용접	주요부재	MT 또는 P.T	용접장의 5% 비율	

■ 현장용접 : 현장용접검사는 아래표에 따른다.

【표 9-23】 현장용접검사

구분	부 재	검사방법	검사기준
이음부 전체		육안검사	용접부위 100%
맞대기이음	강상판	R.T 또는 U.T	용접의 시작, 끝단 및 교차부를 촬영, 그 중간부는 m당 1개소
필렛 용접	주요부재	M.T 또는 P.T	용접길이의 10%
강관말뚝 용 접	직경 600㎜이하	U.T	20이음당 1이음(전주변장)
	직경 600㎜초과	U.T	10이음당 1이음(전주변장)

㉣ 판정기준(내부결함 및 균열 검사)

용접부 검사 판정기준은 아래표에 따른다.

【표 9-24】 용접검사 판정기준

검 사 방 법	부 위	판 정 기 준	비 고
방사선 검사(R.T)	인 장 측	2급 이상	KS B 0845
	압 축 측	3급 이상	
초음파 탐상검사(U.T)	인 장 측	2급 이상	KS B 0896
	압 축 측	3급 이상	
자분 탐상검사(M.T) 침투 탐상검사(P.T)	모든부재	2급 이상	KS D 0213 KS B 0816

주) 단, U.T의 검출 Level은 L Level

㉤ 용접 시공 시 주의사항

■ 하중이 작용하고 있는 기존 부재에 열에 의한 영향을 최소화하기 위하여 CO2 용접을 실시하는 것으로 한다.

■ 공용중인 구조물의 Box 내부 보수용접은 작업자의 안전을 위하여 통풍 시설을 필히 설치하여야 한다.

■ 대단면 용접보수 시 열에 의한 영향을 최소화하기 위하여 중차량의 통행제한, 연속용접 지향 등 조치를 취한 후 실시한다.

■ 작업오류로 인한 기존 부재 절취 시 원상복구함을 원칙으로 한다.

■ 필렛 및 맞대기용접부 용접 후 표면처리 후 재도장을 실시한다.

⑨ 용접의 품질관리

㉠ 용접 정밀도 기준은 다음과 같다.

【표 9-25】 용접 정밀도 기준

종 류		기 준
홈용접	루우트 간격의 오차	규정치 ±1.0㎜ 이하
	판두께 방향의 재편의 편심	얇은쪽 판두께의 1/10 이하
	뒷받침판을 사용할때의 밀착도	0.5㎜ 이하
	홈경사 각도	규정치 ±10°
필렛용접	재편의 밀착도	0.1㎜ 이하

㉡ 가붙임 용접시 허용기준은 다음과 같다.

【표 9-26】 가붙임 용접 허용기준

종 류	기 준
가붙임 필렛용접의 길이	80㎜ 이상
변의 길이	4㎜ 이상

㉢ 용접기준은 다음과 같다.

【표 9-27】 용접기준

종 류	기 준
용접의 시단 및 종단	엔드탭상 50㎜ 이상의 크레이터가 들어가지 않는 범위
서브머지드 아크용접법에서 수평 필렛용접을 할 때 1층 치수	8㎜ 이하

㉣ 용접시 비이드 표면의 요철 (비이드 길이 25㎜ 범위에서의 고저차)은 3㎜이하로 한다.

㉤ 언더컷 (Under cut) 깊이의 허용오차는 다음과 같다.

【표 9-28】 언더컷 깊이 허용오차

언더컷의 위치	허용오차 (㎜)
주요부재의 재편에 작용하는 1차응력에 직교하는 비이드의 종단부	0.3
주요부재의 재편에 작용하는 1차응력에 직교하는 비이드의 종단부	0.5
2차 부재의 비이드 종단부	0.8

㉥ 필렛용접은 변의 길이 및 두께에 대하여 지정 필렛치수 및 그것에 상당하는 목두께 이상 (단, 한 용접선 양단의 각각 50㎜를 제외한 부분에서는 용접길이의 10%까지의 범위에서 −1.0㎜의 오차를 인정함.)

⑩ 스터드 용접

㉠ 스터드 용접의 시공은 스터드 용접부에 용입불량 부분이 없어야 한다.

㉡ 용접보조재는 동일 공사중에 사양을 변경해서는 안된다. 부득이하여 변경하는 경우에는 아크 스터드 용접시험을 하여야 하며 시험결과는 감독원의 승인을 받아야 한다.

㉢ 스터드 용접, 전류, 전압, 아크타임, 예열 등의 용접조건 및 보조재 등은 용접시공시험의 결과를 바탕으로 결정하여야 한다.

㉣ 스터드 용접은 하향자세로 하여야 한다.

㉤ 스터드 용접에서 아크타임의 허용차는 목표값에 대해 ±5% 이내로 한다.

㉥ 용접부가 파손된 경우, 스터드는 플랜지면에서 5㎜ 이상 떨어져 가스절단을 해야하고 그라인더로 모재면 까지 마무리하고 동일 개소에 재용접 해야 한다.

⑪ 기 타

㉠ 용접에 의한 변형의 제거

■ 용접으로 생긴 변형은 기계적방법이나 가열방법으로 교정하여야 한다.

■ 가열변형 교정을 할 경우 온도는 900℃ 이하로 하지만 공냉으로 실시하며 650℃ 이하의 경우는 수냉도 가능하다.

㉡ 고리, 가설용 공구의 붙이기

■ 공장내 운반, 가설 등의 사용에 쓰이는 고리, 공구 등을 붙일 때의 용접은 공장내에서 하고 조건은 공장용접과 동등 이상이라야 한다.

■ 고리, 공구 등의 제거는 모재에 유해한 결함을 나기지 않도록 주의하여야 한다.

사. 볼트교체(재체결)

1) 개요

외관조사 결과 현장연결이음부 등에 설치된 볼트 중 일부 개소에서 차량통행에 따른 진동에 의해 이완 및 풀림이 발생하여, 체결이 미흡한 부위가 조사되었으므로 이에 따른 볼트의 재체결이 요구된다.

공용중인 교량의 볼트상태 점검 시 육안조사, 망치 타격에 의한 조사 외에 종종 토오크렌치에 의한 검사가 실시되는 경우가 있다. 그러나 볼트 이음부는 신설 교량과는 볼트의 체결상태가 여러 가지의 원인으로 달라져서 토크렌치에 의해 볼트장력을 측정하는 것은 곤란하다.

미국 연방도로국(FHWA)에서 발간된 Bridge Inspector's Training Manual에 의하면 신설 교량의 볼트장력은 토크렌치를 이용하여 측정할 수 있으나 공용중인 볼트의 장력을 측정 하는데는 공용조건의 여러 가지 요인에 의해서 다른 값을 나타낸다고 한다.

Bridge Inspector's Training Manual의 공용중인 교량의 볼트장력 점검에 대한 내용은 다음과 같다.

신설교량의 볼트장력은 토크렌치를 이용하여 측정할 수 있으나 공용중인 볼트 장력의 측정은 다음과 같은 여러 가지 요인에 의해서 다른 값을 나타내게 된다.

가) 볼트의 직경 및 길이(Bolt Diameter and Length)
나) 연결 상세도(Connection Design)
다) 와셔의 사용 여부(Use of Washers)
라) 페인트의 사용여부(Use of Paint)
마) 이음부재의 방향(Parallelism of Connected Parts)
바) 먼지, 녹 또는 부식(Dirt, Rust or Corrosion)

위와 같은 요소들을 감안한다면 볼트의 장력을 산정하는데 사용되는 공식과 도표가 더 이상 유용하지 않으며, 점검자가 발견한 느슨해진 볼트를 토크렌치로 조이는 방법으로는 감각적으로 꽉 조여졌다는 느낌을 가질 뿐이지 볼트의 장력을 측정할 수는 없다.

대상교량은 거더 Splice부, 현장연결부, 가로보 및 세로보, 브레이싱의 거셋판 연결부 등에서 볼트누락 및 볼트체결불량이 조사되었다. 이러한 결함의 원인은 대부분 시공시 작업자의 오류에 의한 것으로, 육안조사 및 볼트 부식부 타격에 의한 조사 결과이다.

2) 보수 방법

① 시공방법

볼트체결 불량에 대한 보수방법은 신설 교량의 볼트체결 시공시와 거의 동일한 조건을 갖춘 상태에서 보수를 실시하여 체결 후 도입된 볼트의 장력을 명확히 알 수 있도록 해야 할 필요성이 있다. 신설교량과 동일조건 수준이란 볼트체결의 형태가 마찰볼트로서 역할을 발휘함을 의미한다. 따라서 결함볼트의 보수에 있어서는 다음과 같은 조건이 만족되는 것을 기본으로 한다.

㉠ 볼트체결 불량, 풀림 등의 결함이 발생한 볼트는 상당한 볼트장력을 이미 받았기 때문에 재사용해서는 안되며 신규의 규격볼트를 사용토록 한다.

㉡ 볼트가 접하는 거셋판은 신설교량과 같은 면의 상태에서 체결되어야 한다. 따라서 볼트를 해체한 다음 볼트 접합면의 도장을 벗겨내고 연마를 실시한 후 볼트구멍 내에 발생된 녹, 이물질 등을 소형 전동 브러쉬 등을 이용하여 깨끗이 제거한다.

㉢ 볼트의 체결은 1차의 가 체결 후 2차의 본 체결을 실시하여 시공하도록 한다.

㉣ 볼트구멍의 크기가 작거나 어긋나서 볼트의 삽입이 불가능한 경우에는 볼트구멍을 다시 천공하도록 한다.

㉤ 볼트 재체결 시공순서는 다음을 따른다.

- 한 개의 볼트해체
- 페인트 제거 및 구멍내부 청소
- 표면연마 및 표면 거칠기 확보
- 신규 볼트체결
- 다른 볼트에 대해서 ①~④반복시행
- 볼트군의 10%에 대해서 장력측정

이미 작용하고 있는 하중의 이완을 방지하기 위해서 볼트의 해체 및 체결은 1개씩 실시해야하며 1개의 볼트체결이 완료되면 다음 대상볼트로 이동하여 반복 시행토록 한다. 체결이 완료된 볼트의 그룹은 토크렌치의 시험기준에 따라 볼트의 장력을 측정하고 허용범위 내에 들어오는가를 검측 한다.

② 볼트의 체결검사(도로교설계기준에 의한 설계볼트장력)

도로교 표준시방서에서 설계볼트장력은 다음식으로 표시하고 있다.

$$\text{설계볼트장력}(N) = \alpha \cdot f_y A_e$$

여기서, α : 항복점 인장응력에 대한 볼트의 파괴응력 비율

σ_y : 항복점 인장응력

A_e : 볼트 나사부의 유효단면적

또한, 설계볼트장력에 대한 볼트 1개당 허용전단응력은 다음과 같이 표시된다.

$$\text{허용전단응력}(\tau_a) = \frac{\mu N}{A_o} \cdot \frac{1}{S}$$

여기서, μ : 마찰계수로서 0.4

A_o : 볼트의 바깥지름으로 계산한 단면적

N : 설계볼트장력

S : 이음의 미끄럼에 대한 안전율로서 1.7

위의 설계볼트장력(N)과 허용전단응력으로부터 F10T M22의 설계볼트장력 및 허용전단응력을 계산하면 다음과 같다.

【표 9-29】 설계볼트장력 및 허용전단응력

볼트의 종류	나사의 호칭	S	μ	설계볼트장력(N)				허용전단응력(τa)	
				α	fy (Mpa)	Ae (mm2)	N (tf)	Ao (mm2)	τa (Mpa)
F8T	M20	1.7	0.4	0.85	640	244.8	13.32	314.2	100
F10T	M20	1.7	0.4	0.75	900	244.8	16.52	314.2	125
	M22	1.7	0.4	0.75	900	303.4	20.48	380.1	125
	M24	1.7	0.4	0.75	900	352.5	23.79	452.4	125

너트를 회전시켜 볼트를 체결하면 볼트는 비틀림을 받기 때문에 장력과 비틀림을 동시에 받는 볼트의 항복하중은 볼트를 단순히 인장한 경우의 항복하중보다 낮은 값을 나타내게 되며 그 저하율은 5~15% 정도이다. 따라서 단순 인장항복하중에 대해서 F8T의 경우에는 85%, F10T의 경우에는 75%를 적용하여 설계볼트장력을 규정하고 있으며【표 9-29】의 α값에 해당한다.

이음부에서는 모든 볼트에 설계볼트장력이상의 볼트장력이 가능한 한 균등하게 도입되도록 하기 위해서 고장력볼트는【표 9-30】과 같이 설계볼트장력보다 큰 표준볼트장력을 목표로 장력을 도입한다. 표준볼트장력은 설계볼트장력에 10%를 할증한 값으로서 인장항복하중에 대해서 F8T의 경우에는 93.5%, F10T의 경우에는 82.5%에 해당하는 값이다.

【표 9-30】 설계볼트장력 및 표준볼트장력

볼트의 등급	호 칭	설계볼트장력(tf)	표준볼트장력(tf)
F8T	M 20	13.32	14.6
F10T	M 20	16.52	18.2
	M 22	20.48	22.6
	M 24	23.79	26.2

③ 토크시험법에 의한 볼트장력의 검사

토크시험법은 볼트가 탄성범위 내에 있다고 가정하여 토크(Torque)와 볼트의 축력이 비례한다는 것을 이용한 방법으로서 다음과 같이 표시된다.

$$T = k \cdot d \cdot N$$

여기서, T : Torque(kg·cm)

k : 토크 계수치

N : 볼트 축력

d : 볼트나사 바깥지름의 기준치수(cm)

토크계수치는 너트와 와셔의 표면처리상태에 따른 세트의 종류에 따라 다르며 A종 고장력 볼트는 일반적으로 너트에 표면 윤활처리를 하여 토크계수치를 낮게 안정시킨 것이고 B종 고장력볼트는 방청처리만 하고 표면 윤활처리는 하지 않은 것이다. A종과 B종에 대한 토크 계수치의 범위를 나타내면 다음과 같다.

【표 9-31】 토크계수치

구분	토크계수치에 의한 세트의 종류	
	A	B
토크계수치의 평균값	0.110~0.150	0.150~0.19
토크계수치의 표준편차	0.010이하	0.013이하

한편 표준 및 설계볼트장력에 대한 고장력볼트의 토크값은【표 9-32】와 같다.

【표 9-32】 표준볼트장력 및 설계볼트장력에 대한 볼트 셋트의 토크값

볼트의 등급	나사의 호칭	나사의 지름d (cm)	설계 볼트 장력 (kg)	표준 볼트 장력 (kg)	토크(Torque), (kg-cm)			
					설계볼트장력 기준		표준볼트장력 기준	
					A	B	A	B
F8T	M20	2.0	13,320	14,600	2,930~3,400	3,400~5,060	3,210~4,380	4,380~5,550
F10T	M20	2.0	16,520	18,200	3,634~4,956	4,956~6,278	5,436~6,916	6,916~6,884
	M22	2.2	20,480	22,600	4,960~6,760	6,760~8,560	5,470~7,460	7,460~9,450
	M24	2.4	23,790	26,200	6,281~8,564	8,564~10,848	6,917~9,432	9,432~11,947

체결된 볼트의 확인은【표 9-32】토크값의 범위를 표면처리 B종으로 기준하여 참조하되 설계볼트장력이상의 균등한 볼트장력이 도입되도록 실제 사용한 해당볼트의 토크계수치를 이용하여 볼트장력을 계산하고 그 계산된 값의 -10%, +10%를 적용하여 합부 판정의 기준으로 하며 볼트의 체결검사는 다음과 같은 방법에 의해서 실시한다.

㉠ 설계도면상 볼트규격 및 볼트길이 등을 토크점검 전 확인하고 토크값의 기준범위를 미리 확인한다. 토크시험을 완료한 볼트는 검사가 완료되었음을 확인할 수 있도록 식별표시를 하고 점검양식에 토크값을 기록한다.

㉡ 체결볼트 검사수는 각 볼트군에서 10%를 표준으로 하고 검사 시기는 볼트를 조인 후 즉시 하는 것이 좋다. 다만 육안상 볼트체결이 불량해 보이는 곳에 대해서는 감독자가 무작위로 선택하여 실시한다.

㉢ 체결된 볼트는 위 합부판정 기준에 의거 적정성 유무를 검측하여 범위를 벗어나는 경우 즉, 체결력이 부족한 경우는 더 조이고 초과시는 볼트·너트를 교환하여 재체결토록 한다.

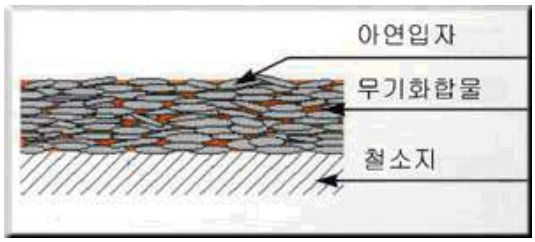
④ 교체볼트의 방식처리

볼트교체시 교체볼트는 부식저항성을 가지도록 해야 한다. 그러나 일반적으로 볼트부는 도장시 일정하게 도막두께를 형성하기 어려워 쉽게 부식이 발생하게 된다.

따라서 본 교량에서는 일반 고장력 볼트보다는 방식처리가 된 다크로 처리 고장력 볼트를 사용하는 것으로 한다.

다크로 처리의 방청시스템의 특징은 다음과 같다.

- 아연입자의 자기희생보호작용
- 무기화합물에 의한 금속소재의 부동태화 작용
- 아연플레이크와 무기화합물의 장벽 작용



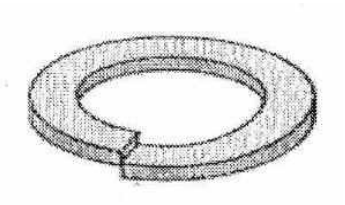
다크로 피막구조

⑤ 교체볼트의 풀림방지

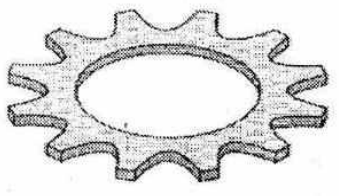
㉠ 역학적인 방법 (Mechanical Method)

풀림을 방지할 목적으로 볼트나 너트의 형상을 변형하거나 또는 새로운 중간 장치를 끼워서 모재와 연결재 사이의 마찰력을 증대시키는 방법이다.

■ 헬리컬 와셔와 이붙이 로크와셔 : 상대 금속표면에 맞물리도록 뾰족한 돌출부를 평평하게 만드는 원리에 의해 작동되며, “쐐기” 작용으로 풀림에 저항한다.

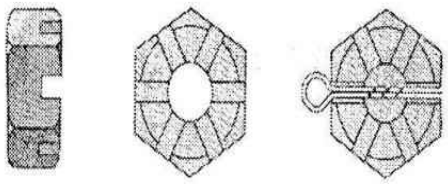


햘리컬 와셔

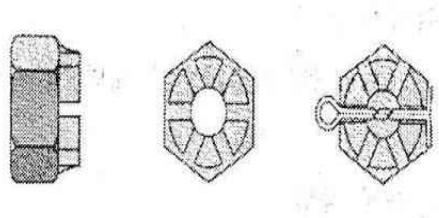


이붙이 로크와셔

■ 홈붙이 너트나 캐슬너트 : 볼트의 구멍을 통과하고, 직경방향의 슬롯에 끼워 맞춰지는 코터 핀이나 와이어와 함께 사용된다. 이것은 확실한 잠김을 제공하지만, 볼트구멍과 슬롯을 정렬시키기 위해 과도하게 조이거나 덜 조여야 할 필요성이 있다.



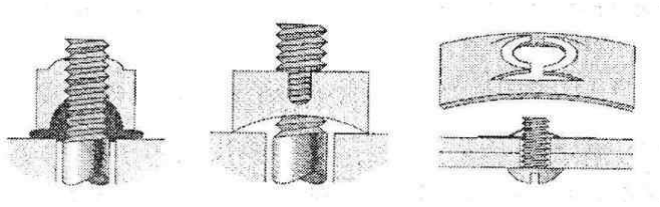
홈붙이 너트



캐슬 너트

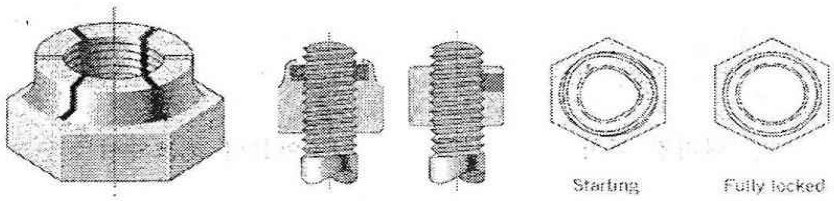
■ 로크너트 : 일반적으로 두가지 형태(자유회전식, 토크식)가 있다. 이들은 안착될 때까지 자유회전하고, 상대볼트를 고정시키도록 조여질 때 처짐이 발생한다. 이들은 나사가 완전히 맞물리게 되면 마찰토크를 발생한다. 따라서 최종위치까지 렌치로 조여야 하고, 완전히 조여지지 않았을 때에도 이들은 제 위치에 머물러 있으려는 경향을

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

㉡ 화학적인 방법 (Chemical Method)

맞닿게 되는 면 사이에 화학적인 반응을 일으키는 접착제를 도포 함으로써 면사이의 마찰을 증대시키거나 풀림을 방지하는 방법

○ 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 적용된다. 접착제를 도포하면 볼트풀림 방지가 되고, 접착제의 윤활작용으로 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.

볼트와 너트의 나사산의 공극에 접착제를 충진하여 경화시킴으로써 볼트와 너트가 일체 거동 할 수 있게 하여 볼트풀림을 방지하는 방법이다.



【그림 9-23】 접착제 적용

■ 볼트풀림 방지 원리(1차고정 : 나사산 접착)

나사산 사이에 도포된 접착제는 볼트와 너트의 나사산이 결합되면서부터 화학적 반응에 의해 경화된다. 경화된 접착제는 볼트와 너트의 나사산을 접착하여 외부적인 충격 및 진동으로부터 볼트의 풀림을 방지한다.

■ 볼트풀림 방지 원리(2차고정 : 나사산 공극 체움)

볼트체결부의 볼트와 너트의 나사산은 서로 접한 부분 반대편 나사산 사이에 공극이 존재한다. 이 공극은 풀릴 때 좁혀지는데 압축강도가 큰 접착제가 침투되어 경화되어 있으므로 좁혀 질 수가 없게 됨으로 볼트풀림이 방지된다.

아. 배수관교체

전 구간에 설치된 배수관로의 이음부 누수로 인해 강재부식 및 하부 통행로로 누수가 되어 민원발생이 우려되므로 보수가 필요하다.

【표 9-33】 배수관 재질에 따른 특성

구 분	강관	플라스틱관
특 징	■ 가장 많이 사용 ■ 연관이나 주철관 대비 가볍고 인장강도가 크다 ■ 충격에 강하고 굴곡성이 좋다 ■ 관의 접합도 쉽다 ■ 주철관에 비해 부식되기 쉽다 ■ 내구년수도 짧다	■ 종류는 많지만 실용성 한정 ■ 경질염화비닐관 80% 이상 사용 ■ 가볍고 강하고, 내식성이 우수 ■ 마찰손실이 적다 ·충격에 약하다 ■ 열에 약하고 유기용제에 침식되기 쉽다

또한 관의 주요 사용목적이 배수이므로 부식에 강한 강관 선택이 필요하며 가장 많이 사용되는 강관 종류로는 아연도금강관 및 스테인레스관이다. 그러나 경제성 및 내구성을 고려할 때 스테인레스관의 경우 아연도금강관에 비해 3~4배이상의 단가차이를 보이며 금액대비 아연도금강관의 내부식성도 뛰어나기 때문에 향후 배수관 교체 시 아연도금강관으로의 교체를 제안한다.

9.3 개략공사비

9.3.1 보수・보강 수량산정

보수·보강은 조사 완료 시점 직후에 실시하지는 않으며, 통상적으로 1~2년 후에 이루어지므로 이 기간동안 손상이 진전 될 가능성이 있고, 확실한 보수효과를 얻기 위해서는 양호한 콘크리트 부재의 일부구간까지 파취하여 보수를 실시해야 할 것으로 판단되므로 다음과 같이 손상별로 할증한 후 수량을 산정하였다.

【표 9-34】 주요 보수・보강 수량 산정

보수방안	손 상		보 수	
	손상명	단위	수량(할증)	단위
강재도장보수	강재부식, 도장박리 및 박락	㎡	면적 × 50% 할증	㎡
강재도장보수	볼트 및 너트 부식, 도장박리	EA	개소수	EA
볼트 재체결	볼트체결불량, 볼트 미체결/변형	EA	개소수	EA
재용접	용접부 균열, 용입불량	EA	개소수	EA
청소	이물질 퇴적	㎡	면적 × 50% 할증	m
표면처리보수	균열(Cw<0.3㎜)	m	(균열길이 × 0.25) × 50% 할증	㎡
	백태, 망상균열	㎡	면적 × 50% 할증	㎡
단면보수	박리, 박락, 파손, 재료분리 등	㎡	면적 × 50% 할증	㎡
배수관 재설치	배수관 부식	EA	개소수	EA
유도배수관 설치	배수관 부식	m	19.5m (교폭) + 2.0m (여유량) x 2(A1, A2) = 43.0m	m
전면 재포장	포장균열, 패임, 포트홀, 망상균열 등	㎡	18.5m(도로폭) x 280.0m(총 연장) = 5180.00㎡	㎡
점검통로 부분설치 및 미설치	미설치(3면), 미설치(4면)	m	점검통로 추가설치 3면x2EA +4면x3EA	m
점검사다리 미설치	미설치(P1,P3,P5)	EA	점검사다리(L=6m, 3EA) 설치	EA

※ 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영

9.3.2 보수 · 보강 개략공사비

가. 전체 개략공사비

【표 9-35】 전체 보수·보강 개략공사비

부재	손상명	보수 · 보강방안	손상물량	보수물량 (할증50%)	단위	단가 (천원)	공사비 (천원)	우선 순위
바닥판하면	균열(0.3mm미만)	표면처리	22.30	8.36	m	39	326	3순위
	망상균열	표면처리	6.00	9.00	㎡	39	351	3순위
	박락	단면보수	0.01	0.02	㎡	161	2	2순위
	재료분리	단면보수	0.06	0.09	㎡	161	14	2순위
	철근노출	방청 및 단면보수	0.02	0.03	㎡	217	7	1순위
	데크플레이트 부식	녹제거+재도장	0.35	0.53	㎡	136	71	1순위
	보호덮개 파손	주의관찰	1.50	2.25	㎡	0	0	3순위
거더	부식	녹제거+재도장	14.80	22.20	㎡	136	3019	1순위
	도장박리/박락/들뜸	재도장	9.18	13.77	㎡	62	854	2순위
	실링재 탈락	주의관찰	46.00	46.00	EA	0	0	3순위
	용접불량	재용접	24.00	24.00	EA	25	600	3순위
	용입불량(맞대기 이음부)	재용접+검측	1.00	1.00	EA	2000	2000	1순위
	강재변형	주의관찰	21.80	8.18	m	–	–	3순위
	조명파손	주의관찰	17.00	17.00	EA	–	–	3순위
	볼트부식	강재도장보수	128.00	128.00	EA	62	7936	2순위
	이물질 퇴적	청소	32.25	48.38	㎡	7	339	3순위
	체수	주의관찰	5.50	8.25	㎡	0	0	3순위
	탈색	강재도장보수	50.00	75.00	㎡	62	4650	2순위
가로보 및 세로보	가로보 부식	녹제거+강재도장보수	2.10	3.15	㎡	136	428	1순위
	가로보/세로보 변형	주의관찰	2.10	0.79	m	0	0	3순위
교대 및 교각	균열(0.3mm미만)	표면처리보수	33.30	12.49	m	39	487	3순위
	균열/백태(0.3mm미만)	표면처리보수	4.60	1.73	m	39	67	3순위
	망상균열	표면처리보수	2.00	2.00	EA	39	78	3순위
	재료분리/철근노출	방청 및 단면보수	0.14	0.21	㎡	217	46	1순위
	박리, 박락, 콘크리트 긁힘	단면보수	0.31	0.47	㎡	161	75	2순위
	백태	표면처리보수	1.49	2.24	㎡	39	87	3순위
	누수흔적	유도배수로 설치	11.25	43.00	m	70	3010	1순위
	보수부 들뜸	단면보수	2.51	3.77	㎡	161	606	2순위
	강판보강부 부식	녹제거+강재도장보수	41.40	62.10	㎡	136	8446	1순위
	이물질/폐콘크리트/토사퇴적	콘크리트 깨기 및 청소	10.61	15.92	㎡	30	477	1순위
	스토퍼 고무패드 탈락	주의관찰	3.00	3.00	EA	–	–	3순위

【표 9-35】 전체 보수·보강 개략공사비(계속)

부재	손상명	보수·보강방안	손상물량	보수물량 (할증50%)	단위	단가 (천원)	공사비 (천원)	우선 순위
받침장치	받침장치 부식	녹제거+강재도장보수	15.00	15.00	EA	14	210	1순위
	몰탈 균열(0.3mm미만)	표면처리보수	3.00	1.13	m	39	44	3순위
	몰탈 균열(0.3mm이상)	주입보수	0.10	0.04	m	30	1	1순위
	몰탈 망상균열	표면처리보수	0.05	0.08	㎡	39	3	3순위
	몰탈파손	단면보수	0.03	0.05	㎡	161	7	2순위
	먼지막이링 탈락	주의관찰	4.00	4.00	EA	0	0	3순위
신축이음	후타재 균열(0.3mm미만)	표면처리보수	15.10	5.66	m	39	221	3순위
	후타재 균열(0.3mm이상)	주입보수	0.30	0.11	m	30	3	1순위
	후타재 접합부 이격	주의관찰	18.50	6.94	m	0	0	3순위
	유간토사 퇴적	청소	7.50	2.81	m	7	20	3순위
	차수판 부식	차수판 재설치	2.00	2.00	EA	20	40	1순위
	차수판 탈락	차수판 재설치	1.00	1.00	EA	20	20	1순위
교면포장	아스팔트 균열	전면 재포장 (방수층포함)	161.00	5180.00	㎡	80	414400	2순위
	아스팔트 망상균열		582.90					
	아스팔트 패임/마모		12.53					
	아스팔트 포트홀		1.40					
배수시설	배수구막힘	청소	9.00	9.00	EA	7	63	3순위
	배수관 부식	배수관 재설치	0.08	0.12	㎡	200	400	3순위
	집수정 막힘/설치불량	청소	1.00	1.00	EA	7	7	3순위
난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	표면처리보수	271.50	101.81	m	39	3971	3순위
	균열(0.3mm이상)	주입보수	9.90	3.71	m	30	111	1순위
	망상균열	표면처리보수	25.10	37.65	㎡	39	1468	3순위
	파손/철근노출	방청 및 단면보수	0.10	0.15	㎡	217	33	1순위
	볼트 미체결/변형	재체결	4.00	4.00	EA	5	20	3순위
	교명주 파손	단면보수	0.20	0.30	㎡	161	48	2순위
	교명주 기초 파손	단면보수	0.04	0.06	㎡	161	10	2순위
	델리네이트 파손	주의관찰	1.00	1.00	EA	-	-	3순위
점검로	점검통로 부분설치 및 미설치	점검통로 추가설치 3면x2EA +4면x3EA	172.0	172.0	m	1,095	188,461	3순위
	점검사다리 미설치	점검사다리(6m) 설치	3	3	EA	1,295	3,886	3순위

주) 1. 상기 개략공사비는 가시설비 등의 부대비용이 제외된 금액이며, 실시설계시 공법선정, 단가변동 및 현장 여건상 변동될 수 있음
2. 단가는 서울시 도로 및 시설물 유지보수공사 설계가이드를 참조하였음
3. 보수물량 = 손상물량×1.5, 정확한 수량산출이 가능한 공종은 할증 미반영
4. 전면 재 포장 면적 산정 → 18.5m(도로폭) x 280.0m(총 연장) = 5180.00㎡
5. 점검통로 길이 산정 : 4면 (19.0(코핑횡폭)+2.0(코핑종폭))x2×3(P1,P3,P5) = 126.0m
3면 (19.0(코핑횡폭)+2.0(코핑종폭)x2)×2(P2,P4) = 46.0m ∴총합 =172.0m

나. 순위별 개략공사비

【표 9-36】 순위별 보수·보강 개략공사비

순위	구 분	금액(천원)
1순위	순공사비 합계(천원)	17,923
	제경비(천원, 순공사비×50%)	8,961
	총 개략공사비(천원)	26,884
2순위	순공사비 합계(천원)	428,603
	제경비(천원, 순공사비×50%)	214,301
	총 개략공사비(천원)	642,904
3순위	순공사비 합계(천원)	83,659
	제경비(천원, 순공사비×50%)	41,829
	총 개략공사비(천원)	125,488
총공사비	순공사비 합계(천원)	530,184
	제경비(천원, 순공사비×50%)	265,092
	총 개략공사비(천원)	**795,276**

9.4 유지관리 방안

가. 개요

교량의 유지관리는 시설물의 기능성과 안전성을 유지하기 위하여 일상점검 및 정기안전점검을 통하여 구조물의 손상여부를 확인할 수 있고 특히, 결함발생 초기에 발견하여 손상 정도에 따라 적정한 보수공법의 선정, 보수시기 등을 판단하여 신속한 보수가 실시되어야 한다. 결함발생 초기에서 보수시기를 놓치면 장기에는 보수하기 어려울 뿐만 아니라 많은 보수비와 보수기간의 장기화로 통행차량의 불편과 동시에 물류비 증액의 원인이 된다.

따라서, 유지관리를 통하여 손상된 부분을 원상복구하며, 경과시간에 따라 시설물의 개량, 보수·보강에 필요한 활동을 하는 것으로 교량의 각 부위별로 발생 가능한 손상에 대하여 주의 깊게 점검하여 그 원인을 미리 해소하는 예방활동에 목표를 두어야 한다.

본 장에서는 장암교의 기존 점검 및 진단 결과와 금회 진단 결과를 비교, 분석하여 보수·보강 방안을 제시하였고 이러한 정밀안전진단 결과를 바탕으로 교량의 유지관리에 도움이 되는 몇 가지 사항을 제안하고자 한다.

나. 유지관리 업무

유지관리가 효율적으로 수행되기 위하여 가장 중요한 사항은 예방적 차원에서 일상적인 유지관리가 적기에 이루어져야 하며, 발견된 손상 부분은 대규모의 보수·보강에 이르지 않도록 조속한 조치가 필요하다. 그러므로 대상교량에 대한 일련의 유지관리 운영방침이 수립되어야 한다.

- ○ 교량에 대한 지속적인 점검과 사전 정비를 체계적으로 실시하여 시설물의 기능을 보존하고 이용자의 안전과 편의를 도모한다.
- ○ 주 시설물의 관리를 최우선으로 하고 부속시설물도 예방정비를 철저히 시행하여 시설물의 피해가 확대되는 것을 방지한다.
- ○ 예방적 유지관리가 필요한 부재를 선정하여 주기적인 청소 및 관리를 실시한다.
- ○ 교량 구조물에서 흔히 발견되는 기본적인 손상에 대한 조치방법을 체계적으로 적용시킬 수 있도록 보수방법을 표준화한다.
- ○ 정밀한 보수를 요구하거나 구조의 변경 또는 부분적 교체를 통하여 원래 이상으로 기능을 향상시키는 보강은 안전성, 사용성, 내구성 측면을 충분히 고려하여 적정한 공법을 선택한다.

1) 장암교 중점 유지관리 항목

【표 9-37】 중점 유지관리 항목 일람표

구 분	손 상 내 용	유 지 관 리 항 목
거 더	•도장박리, 부식 •볼트부식 •볼트탈락, 볼트체결불량 •용접불량, 용접누락 •맞대기 이음부 용입불량	- 단면결손 발생 여부 - 부식 및 열화 여부 - 볼트의 진동풀림, 볼트파단 여부 - 보수 후 재손상 발생 여부 - 수정 후 재검측
가로보, 세로보	•도장박리, 부식 •강재변형	- 단면결손 발생 여부 - 손상진행 여부 주의관찰
바닥판	•균열, 망상균열 •철근노출, 파손, 재료분리, 박락	- 균열확대 진전 여부 - 철근의 부식발생, 내구성 저하 등 확인
신축이음	•후타재 균열 •차수판 부식, 탈락	- 균열확대 진전 여부 - 접속부 누수 및 토사유입 여부
하 부 구 조	•교대부 콘크리트적체 •균열, 균열부백태, 백태 •철근노출, 파손, 재료분리, 박락	- 보수후 적체상태 지속적 관찰 - 균열확대 및 콘크리트의 열화 진전 여부 - 철근의 부식발생, 내구성 저하 등 확인
교 량 받 침	•받침콘크리트 균열, 망상균열 •받침콘크리트 파손 •받침부식	- 균열확대 여부 - 철근의 부식발생, 내구성 저하 등 확인 - 단면결손 발생 여부
배 수 시 설	•집수정 이물질 적체 •배수관 부식	- 청소 및 추가적체 주의관찰 - 강재로의 누수 여부, 단면결손 발생 여부
난간 및 연석 점검시설	•균열, 망상균열 •점검로 부분설치 및 미설치 •교량 형하공간 인근 주민 점용 사용	- 균열확대 진전 여부 - 점검로 추가설치 - 교량조사에 지장초래여부 검토(주민 협조)

2) 일반

효과적인 교량관리를 위하여 설계 도서를 포함한 필요한 자료를 보관하여야 한다.

① 설계도

㉠ 시공도서 : 시공도면, 보수・보강도면, 준공내역서, 구조계산서

㉡ 제작 및 작업도면 : 붕괴유발부재를 포함한 교량부재의 상세도면

㉢ 준공도면 : 최종도면

② 시방서

표준시방서 및 전문시방서(보수・보강공사 포함)

③ 사진

전경, 정면, 측면, 주요 결함부, 주요 공정사진

④ 재료시험

㉠ 시공재료 종류, 등급, 품질을 기록한 공장 재료증명서

㉡ 품질관리(선정 및 관리시험)기록

㉢ 비파괴 시험자료(재료의 강도 등)

⑤ 보수이력

보수기간, 보수위치, 공법, 물량 및 손상종류, 시공회사, 공사비, 참여기술자

⑥ 사고기록

사고일시, 경위, 부재의 손상 및 보수・보강현황, 인명이나 장비 등 손상정도

⑦ 교량관리대장

㉠ 교량에 관한 손상과 보수・보강을 포함한 연도별 점검기록이 포함된 교량관리기록으로서 관리항목에는 다음과 관련된 사항이 포함된다.

■ 교량구분

교량명, 교량 일련번호, 관리주체, 위치, 이정, 교차코드, 확장구분

■ 교량형식 및 사용재료

경간수, 상부구조 형식, 하부구조 형식, 부착시설 형식

■ 연령 및 공용성

착수・준공 년, 월, 일, 상・하행 차로수, 우회로 연장・경로, 일평균 교통량 등 교통관련기록

■ 교량제원

교장, 총 폭원, 유효 폭원, 최대 경간장, 교고, 통과높이, 곡선반경, 보도 폭, 접속도로 폭, 곡선반경

■ 교량분류, 내하력 및 통행제한

교량등급, 설계하중, 내하력 평가방법 및 계산 기록, 기본 내하력, 공용하중, 교량 안전도, 허용통과하중 및 통행제한여부, 붕괴유발부재 표시도면, 재하시험 수행시 고유진동수, 충격계수

■ 교량상태 평가

바닥판, 상부구조, 하부구조, 수로에 관한 관찰 상태, 유지관리활동 또는 제한사항 등을 포함한 교량상태 점검결과

■ 기타

교각보호시설 여부, 세굴위험 여부, 통행제한사항(하중, 속도), 부대시설물, 기타 구조물에 피해를 주는 환경조건

㉡ 교량관리대장의 변경 작성

■ 확폭이나 확장의 경우

■ 유지보수나 개량작업으로 부재의 강도나 사하중의 변화가 구조물의 상태 또는 내하력을 변화시키는 경우 그에 따른 내하력 계산을 한다.

■ 사고일시, 경위(원인 및 대책포함), 부재의 손상 및 보수・보강현황

■ 부착시설 현황(상수도관, 가스관, 통신케이블 등)

■ 전면 개수시는 기존교량 대장은 보존하고 재작성

3) 점검 및 진단 자료

① 점검 및 진단 이력

점검 종류 및 일시, 점검자, 관리주체, 점검결과 등 모든 점검, 진단활동 관련사항

② 점검시 필요조치사항

㉠ 현장점검을 원활히 수행하기 위한 각 교량의 특성과 부위, 특수 장비 목록, 접근방법 등

㉡ 점검자나 공공 안전 확보를 위한 점검시 교통운용계획을 포함한 특별한 사항

㉢ 기 실시한 점검 및 진단보고서

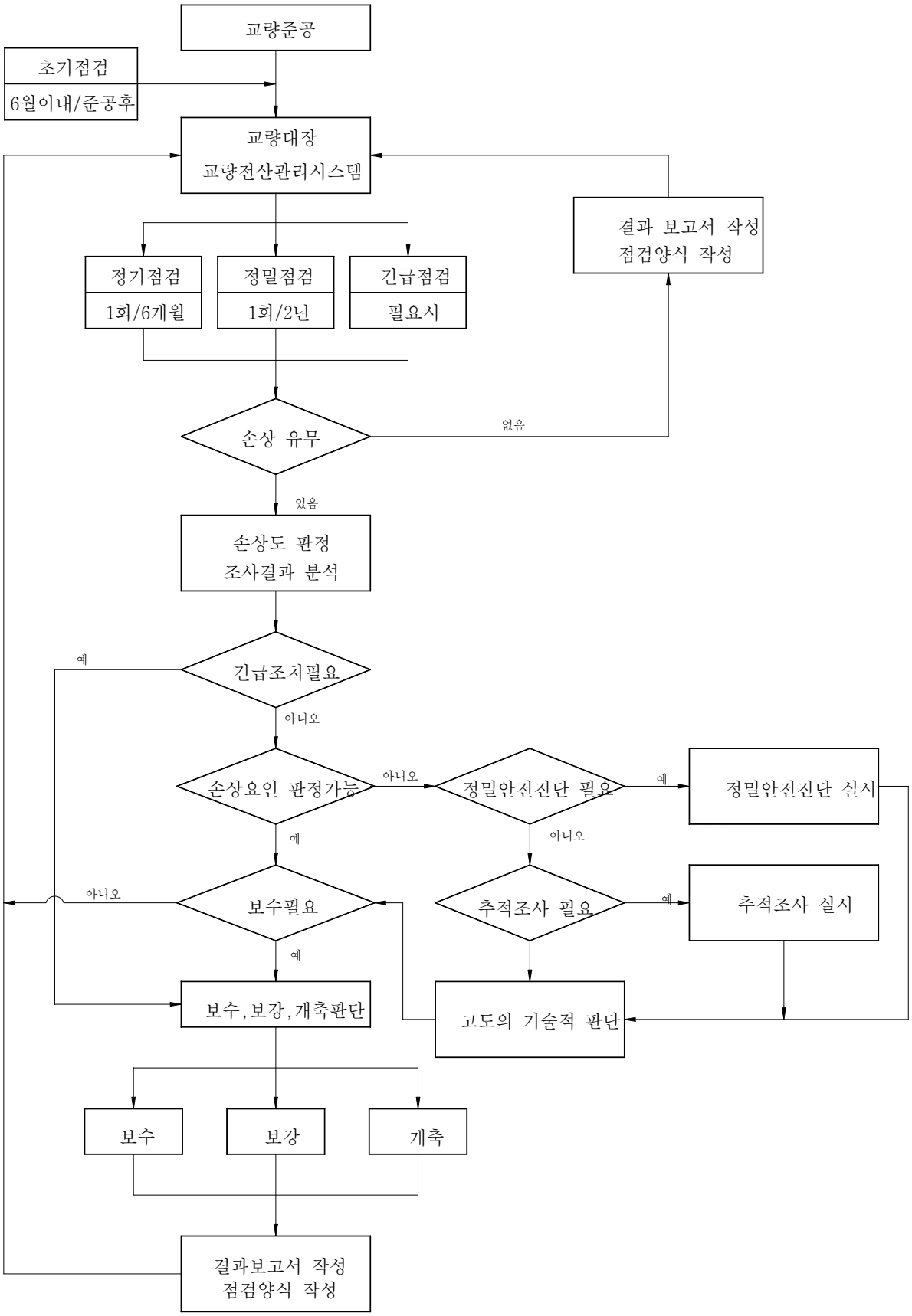
㉣ 준공도면 등 건설 관련 기록

㉤ 보수・보강 기록이나 사고이력

③ 점검 자료의 갱신

㉠ 교량관리대장에는 현장조사일시를 명시하며 최종 점검 이후 교량에서 수행된 주요작업에 대하여 기록한다.

㉡ 유지관리와 개량작업으로 인하여 구조물의 규격이 변경된 경우에도 변경된 치수를 기록한다.



【그림 9-24】 유지관리 흐름도

4) 상태 및 안전성 평가 자료

① 내하력 평가기록

관리주체는 내하력 평가방법과 종류 및 해석결과, 사용된 계수 등 내하력 결정에 관련된 제반기록을 보관한다.

② 계측기록

계측이 필요하다고 판단되는 구간에는 중요한 구조부위를 선정하여 정기적으로 계측을 시행하고 그 기록을 보존한다. 계측을 실시한 경우에는 시설물에 계측지점을 표시·보존함으로서 연계성 있는 계측을 할 수 있도록 도상(圖上)과 계측지점을 일치시켜 기록·보존한다.

5) 유지관리업무 종류와 방법

안전점검은 정기안전점검, 정밀안전점검, 초기점검, 긴급안전점검이 있다.

① 정기안전점검

손상을 미리 발견하기 위하여 반기별 1회 이상 실시하는 순찰과 유사한 성격의 점검으로 도보로 접근이 가능한 부재에 대하여 전반적인 외관 상태를 관찰하는 수준으로 실시한다.

② 정밀안전점검

시설물의 수명을 연장하기 위하여 2년에 1회 이상 정기적으로 실시하는 점검으로 도보접근이 가능한 부재를 육안이나 간단한 점검 장비를 이용하여 실시하되 전반적인 외관 상태를 대상으로 한다.

점검은 육안검사와 정기점검에 사용되는 보조기구 외에 카메라, 반발경도 측정기, 균열자, 줄자 등의 간단한 측정 기구를 사용하여 영구작업대, 점검통로 또는 점검차를 사용하여 거더 및 바닥판 하부 등 정기점검 시 접근이 불가능한 부위까지 점검한다. 손상상태평가는 경간별 지점별로 행하되 문제부위에 대하여는 외관조사망도를 구성하여 등급을 매기는 것으로 한다. 구조 혹은 하중상태가 변화된 경우에는 구조계산을 통한 내하력 평가를 시행한다.

③ 초기점검

공용개시 전에 교량전체에 대한 육안검사와 콘크리트 강도조사, 철근 배근상태조사, 재료시험 등의 현장시험을 실시하여 시공 상태를 평가하고, 구조물에 손상을 주지 않는 범위 내에서 재하시험을 시행, 처짐과 공용 내하력의 초기치를 설정하여 향후 교량의 점검 및 진단 시에 기초자료로 활용하도록 하기 위한 점검으로서 정밀안전진단 수준으로 실시한다.

구조형태가 변화되었을 때에도 초기치를 결정하기 위하여 초기점검을 실시하고 비파괴 현장시험 및 재료시험의 종류는 기존자료 및 교량상태를 고려하여 선정한다. 육안검사 시 결함이 있는 경우에는 도면으로 기록하며, 교량전체 부재에 대한 안전성 조사 및 상태 평가, 현장시험 등 각종 점검 자료를 보존토록 한다.

④ 긴급안전점검

㉠ 손상점검

재해가 발생한 경우나 발생우려가 있는 경우, 일상점검에서 이상이 발견된 경우 시설물 안전성을 확보하기 위하여 실시한다.

점검의 범위는 긴급한 사용제한이나 사용금지의 필요성이 있는지의 판단과 보수를 수행하는 데 있어 필요한 작업량의 정도를 결정할 수 있어야 한다. 손상점검은 정밀안전점검의 보완수단으로 손상의 정도와 보수의 긴급성 그리고 보수작업의 규모를 파악할 수 있어야 하며 시험장비에 의한 현장측정 및 사용제한기간에 대한 판단이 필요하다.

㉡ 특별점검

관리주체가 판단하여 행하는 정밀안전점검 수준의 점검으로 기초의 침하 또는 세굴, 부재변형 등 결함이 의심되는 경우나, 하중제한중인 시설물의 지속적인 사용여부를 판단하기 위한 점검이다.

6) 정밀안전진단

점검으로는 발견할 수 없는 결함부위를 찾기 위하여 행하여지는 정밀한 육안검사 및 장비에 의한 근접점검이다. 필요한 경우 점검차, 비계, 작업선 등의 특수 장비와 잠수부와 같은 특수기술자가 필요하며 결함의 존재 및 범위를 파악하기 위한 내구성측면의 비파괴 현장시험 및 기타 재료시험을 병행한다.

손상상태 평가는 전체경간, 전체지점에 대하여 외관조사망도를 구성하여 손상표기 범례에 따라 상세히 작성하고 수중부분은 잠수부를 동원하여 정밀한 점검을 행한다. 외관상태 평가시의 착안사항은 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침에 따른다.

교량의 안전성 평가는 대상교량의 활하중 지지능력을 평가하는 것으로서 교량 구조부재의 저항능력을 정확히 산정하는 것이 중요하다. 진단은 교량에 대한 안전성 평가를 포함하며 내하력 평가시 필요할 경우 재하시험을 실시한다.

교량부재의 저항능력은 정밀 육안검사 및 비파괴시험을 통해 파악된 부재의 상태와 교량의 현 상황을 고려한 구조해석 결과와 필요시 재하시험을 실시하여 산정하며, 제반기준은 현행 도로교표준시방서 및 철도건설공사표준시방서의 기준에 의하여 산정한다. 정밀안전진단 결과 보수·보강이 필요할 경우에는 그 방법을 제시한다.

7) 교체

교량의 부대 장치나 시설 중에서 교량전체의 사용연한보다 연한이 짧은 것에 대하여 교체, 치환 또는 복원하는 작업을 말한다. 이는 각 대상별로 정해진 주기에 따라 실시하거나 관리책임자의 판단에 따라 필요한 경우 실시한다. 작업 중 안전성, 내구성, 사용성에 미치는 영향에 대하여 해당 기술자의 검토가 선행되어야 한다.

8) 보수

교량의 구조에 영향을 주는 부재(교량받침, 콘크리트부재, 강재부재, 교각, 교대 등)가 손상되어 안전성, 내구성, 사용성에 장애가 있다고 판단되고 단순한 기능 환원공사에 의하여 그 장애가 제거될 수 있는 경우에 실시한다. 보수는 보강과는 달리 기능 및 강도의 강화를 꾀하는 것은 아니며 손상전의 상태로 복원하는 것을 의미한다. 모든 보수공정은 전문 기술자가 교량 전체의 안전성, 내구성, 사용성의 영향을 검토하여 계획을 수립하여야 한다.

9) 보강

손상의 정도가 심각하여 보수의 효과가 의심스럽거나 사회, 정책적인 필요에 의해 강도 증진 또는 기능강화가 필요한 경우 실시한다. 이는 원 설계자가 의도한 구조의 변경을 의미하므로 일부부재의 보강이 다른 구조요소에 미치는 영향을 반드시 검토하여야하며 보강의 효과를 보증할 수 있는 방법으로 설계, 시공되어야 한다.

10) 폐쇄

교량의 손상이 극도로 심화되고 교량의 내구연한에 달하여 보수나 보강의 효과가 극히 의심스럽거나 비경제적인 경우, 또는 사회, 정책적인 필요에 의해 더 이상의 교량 사용 요구가 없을 경우 실시한다. 폐쇄는 보수, 보강비용과 폐쇄 후 파급비용을 대비하여 비용-이득 간 분석(cost-benefit analysis)을 행한 후 결정하는 것이 바람직하다. 폐쇄 후 신설을 고려해야 할 경우에는 보수, 보강기술의 발전 속도를 고려하여 성급히 결정하기보다는 교량의 등급을 하향 조정하여 사용제한 하거나 시한부 폐쇄 후 가능한 보강방법을 모색할 수도 있다.

11) 점검 장비 운용

점검에 사용하는 점검 장비는 일상적 휴대장비, 접근장비, 비파괴 점검 장비로 구분되며 다음 표와 같이 분류한다. 각 점검 장비에 대한 상세한 사용법은 해당 장비의 사용설명서

등 관련문헌을 참조하여 장비특성 및 시험법을 숙지하여야 한다.

㉠ 정기안전점검

일상적 휴대장비, 간단한 접근장비

㉡ 정밀안전점검

일상적 휴대장비, 근접 접근장비, 간단한 비파괴 점검 장비

㉢ 긴급안전점검

정밀안전점검과 동일한 수준으로 점검목적에 따라 선별, 시험장비에 의한 현장측정

㉣ 정밀안전진단

일상적 휴대장비, 근접 접근장비, 비파괴 점검 장비, 정·동적 재하시험장비 등

【표 9-38】 점검 장비 종류

구 분			점 검 장 비
휴대장비			망원경, 확대경, 손전등, 카메라, 필기도구(흑판, 분필, 매직펜), 줄자, 균열경, 교통규제 기구 등
접근장비			사다리, 점검차(고소작업차, 스카이), 점검보트
시험장비	콘크리트탐사장비	콘크리트 강도측정	슈미트해머, 테스트 엔빌, 초음파탐사기, 탄성파탐사기
		콘크리트 균열 및 결함탐사	초음파탐사기, 탄성파탐사기(AE법), 레이저탐사기, 적외선카메라, 스틸카메라, 레이더 탐사기
		철근탐지	페코미터, 방사선투과기
		철근부식탐지	레이더탐사기, 부식측정기
		콘크리트열화도 탐사	탄산화시험, 알칼리 골재반응시험
		염해 탐사	재료시편에 대한 염해시험
	강재탐사장비	표면균열탐지	자기입자탐사기, 초음파탐사기, 염료침투법, 와동전류법
		내부결함탐지	초음파탐사기, AE장비. 방사선투과기
		용접부 결함	방사선 투과기, 초음파탐사기
		피로균열탐사	자기입자탐사기, 초음파탐사기, 염료침투법
		응력부식탐사	자기입자탐사기, 염료침투법
		두께검사	초음파탐사기, 방사선 탐사기

12) 점검인원의 구성

정기안전점검은 교량 담당요원이 수행하는 것으로 보고, 정밀안전점검은 정기 점검팀 혹은 별도의 점검팀을 구성하여 실시하는 것으로 한다. 정기안전점검은 정기점검 자격을 갖춘 책임기술자 1인을 포함하여 총 2인이 한 조가 되어 도보로 접근 가능한 전체부위를 정해 놓은 일정에 따라서 점검한다.

정밀안전점검은 정기 점검시 근접점검이 어려운 부위를 위주로 시행하며 정밀안전점검 자격을 갖춘 책임기술자 1인을 포함하여 별도의 점검팀을 구성하여야 한다.

9.4.2 진단결과에 따른 중점 유지관리 사항

이 절에서 언급하는 내용은 본 구조물에서 외관조사 결과 조사된 결함에 대해 보수·보강을 실시한 부재나 결함의 진전여부와 발생유무를 주기적으로 관찰함으로서 후에 더 크게 발전할 가능성이 있는 결함부위에 대해 사전에 예방하는 유지관리차원에서 중점적으로 점검하여야 할 사항들 및 접근방법, 기타 유의사항들이다.

가. 주요 손상별 중점 유지관리 사항

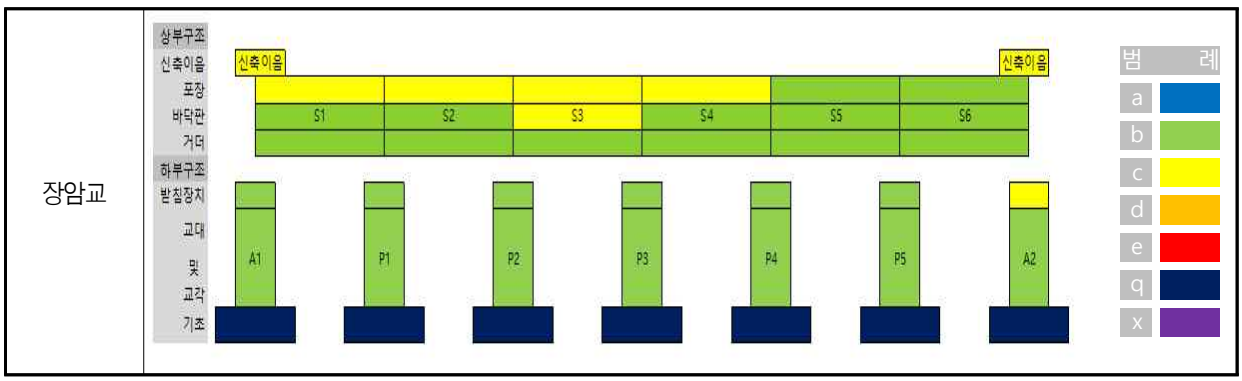
향후 장암교 공용년수 증가시 내구성 및 사용성을 저하시킬 수 있는 다음 주요 손상들에 대해서는 결함의 진전여부 및 재발생 여부를 주기적으로 관찰하는 등 중점유지관리 항목으로 선정하여 구조물의 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

【표 9-39】 장암교 중점 유지관리 사항

구 분	중점 유지관리 사항	비 고
장암교	신축이음부 기능 확인 및 차수 여부 확인(누수 및 이물질 퇴적 등)	
	강재부식 진전여부 및 용접불량 추가발생 여부	
	교대 및 교각의 보수확인, 백태 및 재료분리 추가 발생여부 확인	
	받침장치 이동량 - 주의관찰 및 교각별 점검통로 설치 필요	

나. 상태평가 현황도 및 주요손상 위치도

장암교 공용년수 증가시 내구성 및 사용성을 저하시킬 수 있는 손상들에 대해서는 결함의 진전여부 및 재발생 여부를 주기적으로 관찰하는 등 중점유지관리 항목으로 선정하여 구조물의 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.



【그림 9-25】 상태평가 현황도 및 주요손상 위치도

제10장
종합결론

10.1 개 요
10.2 정밀안전진단 결과
10.3 종합결론
10.4 유지관리시 특별한 관리가
요구되는 사항

제10장 종합결론

10.1 개 요

본 과업대상 시설물인 장암교는 충청남도 공주시 석장리에 위치하여 1995년 12월 30일에 준공되어 약 26년간 공용 중에 있는 교량이다. '안전점검 및 정밀안전진단 세부지침' 및 과업지시서에 따라 교량의 안전성, 사용성, 내구성을 종합적으로 평가하고, 물리적, 기능적 결함의 원인분석 및 안전성평가를 실시하여 보수·보강대책을 수립함으로써 시설물의 효율적인 관리 및 재해, 재난을 예방하는데 그 목적을 두고 정밀안전진단을 실시하였으며, 외관조사 및 내구성조사를 통한 시설물의 상태평가, 안전성평가 등 과업의 결과를 종합한 결론은 다음과 같다.

10.2 정밀안전진단 결과

10.2.1 현장조사 결과

가. 상부구조

1) 바닥판하면

균열 및 망상균열은 켄틸레버 하부에서 균열폭 0.2mm로 조사되었으며 균열의 형태, 손상규모를 고려할 때 비구조적인 균열로 건조수축 및 온도변화에 의한 균열로 판단된다. 구조물의 내구성에 미치는 영향은 적으나 구조물의 내구성 향상을 위해 표면처리보수가 필요할 것으로 판단된다.

통신관로 보호재에 조사된 부식 및 파손은 장기공용에 따른 열화와 우수침투 등에 따른 결함으로 조사결과 비교적 경미한 상태이나 미관 및 내구성 향상을 위해 재도장을 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

캔틸레버부 외측 바닥판에서 박락, 재료분리, 철근노출이 조사되었으며, 이는 타설불량, 피복두께 부족 등이 원인이다. 손상 정도가 경미하고 수량도 각각 1개소 씩으로 내구성에 영향을 미칠 정도는 아니므로 주의관찰 하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

Deck Plate에 발생한 부식은 대부분 거더 또는 보와 인접한 부분에서 조사되고 있으며, 점부식 형태로서 손상 원인은 도장 미흡과 환경적 영향으로 판단된다. 손상의 정도는 경미하나 교량 전반에 걸쳐 나타나고 있음으로 재도장을 실시한다면 교량의 내구성에는 문

제가 없을 것으로 판단된다.

2) 강박스 거더 외부

강박스거더 외부의 전반적인 도장상태는 양호한 것으로 조사되었으나 부식, 탈색 등이 조사되었다. 이는 공용 중 노후화 및 환경적 영향 등이 원인으로 판단되며 구조물의 안전성에 직접적인 영향은 크지 않을 것으로 판단된다. 주의관찰을 통해 손상의 진전여부를 판단하여 보수하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

강박스거더의 부재 연결은 볼트로 체결된 상태로 공용년수가 증가함에 따라 통행차량에 의한 진동 및 충격하중이 작용하여 연결부가 헐거워지고, 우수 등의 유입으로 볼트부식이 발생하게 된다. 외관조사 결과 연결부 볼트체결 및 연결상태는 양호하였으나 다수의 볼트 부식이 조사되었다. 그러나 대부분 볼트 전체부식이 아닌 이음매 부분에 발생한 부식으로 주기적인 점검을 통해 풀림여부 등을 확인하는 것이 교량이 유지관리 및 안전성 확보 차원에서 바람직할 것으로 판단된다.

강박스거더에 국부적인 부재변형이 조사되었고, 이로인해 부식 및 도장박리가 발생였으나, 전반적인 부재의 외관상태는 양호한 것으로 조사되었다. 발생한 부재변형은 시공당시 충격, 공용중 충격 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 교량의 사용성 및 안전성에는 문제가 없을 것으로 판단되므로 주기적인 점검 및 관찰이 바람직 할 것으로 판단된다.

강박스거더(G1)에 연결된 배수관이 강박스 복부판에 직접적으로 연결되어 있으며, 이 연결부에 대부분 녹이 발생한 상태이다. 부속 시설물의 추가설치로 인해 주요 부재인 박스거더의 복부판에 추가적인 하중이 발생되어 복부판에 손상을 유발시킬 수 있으므로 연결부위에 대해서는 지속적인 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다.

3) 강박스 거더 내부

강박스거더 내부의 전반적인 도장상태는 일부 보수가 시행되어 전반적으로 양호한 것으로 조사되었으나 도장박리, 들뜸, 부식 등이 조사되었다. 이는 도장불량, 공용 중 노후화 및 실링재 탈락에 의한 환경적 영향 등이 원인으로 판단되며 구조물의 안전성에 직접적인 영향은 크지 않을 것으로 판단된다. 주의관찰을 통해 손상의 진전여부를 판단하여 보수하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

강박스거더의 부재 연결은 볼트로 체결된 상태로 공용년수가 증가함에 따라 통행차량에 의한 진동 및 충격하중이 작용하여 연결부가 헐거워지고, 우수 등의 유입으로 볼트부식이 발생하게 된다. 외관조사 결과 연결부 볼트체결 및 연결상태는 양호하였으나 볼트부식이

조사되었고, 이음 및 너트 길이 부족이 조사되었다. 볼트부식은 전체부식이 아닌 이음매 부분에 발생한 부식이고 길이 부족의 경우 주기적인 점검을 통해 풀림여부 등을 확인하는 것이 교량이 유지관리 및 안전성 확보 차원에서 바람직할 것으로 판단된다.

거더내부 리브에 국부적인 부재변형이 조사되었고, 이로 인해 부식 및 도장박리가 발생한 부분도 있으나 이 부재변형은 비진행형 손상으로 판단되며 전반적인 부재의 외관상태는 양호한 것으로 조사되었다. 발생한 부재변형은 시공당시 충격, 공용중 충격, 재료불량 등에 의해 발생한 것으로 판단되며, 교량의 사용성 및 안전성에는 문제가 없을 것으로 판단되므로 주기적인 점검 및 관찰이 바람직 할 것으로 판단된다.

4) 가로보 및 세로보

전반적인 부재의 외관상태는 양호한 것으로 조사되었으나 가로보 4개소 및 세로보 1개소에서 부재변형이 조사되었다. 조사된 부재변형은 대부분 시공당시 외부충격 등 외력에 의해 발생된 것으로서 기 점검 및 진단 결과와 동일하게 나타났다. 손상정도는 경미한 상태이며, 교량의 사용성 및 안전성에는 문제가 없을 것으로 판단되므로 주기적인 점검 및 관찰을 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

가로보 및 세로보의 전반적인 도장상태는 매우 양호한 것으로 조사되었으며 S6의 교대 하부 가로보 부식이 조사되었다. 이는 A2 신축하부 누수로 인한 것으로 판단되며 이 부식 손상 자체는 크게 문제가 되지 않으나 A2 하부가 파손된 상태로 지속된다면 진전될 가능성이 있으므로, 신축이음부 하면 접속부에 선보수 후 주의관찰을 통해 손상의 진전여부를 판단하여 보수하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

나. 하부구조

1) 교대 및 교각

교대 및 교각에서 온도변화와 건조수축 등 환경적 요인, 보수불량에 의한 균열 및 망상균열, 보수부재균열이 일부 조사되었다. 폭 0.3mm 미만 균열은 표면처리보수, 폭 0.3mm 이상 균열은 주입보수가 필요할 것으로 판단된다.

균열부 우수유입 등에 의한 균열부 백태, 백태가 조사되어 내구성 향상을 위해 표면처리보수가 필요하다.

기 점검 및 진단시 조사된 단면손상은 금회 미보수되어 대부분 재조사되었으며 교각 하부 재료분리가 신규 조사되었다. 조사된 손상은 열화부 우수침투(동절기 제설제 영향), 외부충격, 유수흐름, 다짐부족 등에 의해 발생된 것으로 구조물의 내구성 향상을 위해 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.

A1, A2 교대상면 받침장치 배면에 폐콘크리트 및 토사퇴적이 조사되어 받침장치 및 거더의 가동에 지장을 초래할 수 있으므로, 콘크리트 깨기 및 청소를 통한 보수가 필요할 것으로 판단된다.

교량하부 S5~6 주변에 인근주민의 개인 사물이 다량으로 적치되어 있으며, 이는 교량 점검에 방해될 뿐 아니라 미관 저해 및 배수로 막힘이 유발될 수 있다. 또한 S2~S4경간 하부에는 인근주민의 밭과 같은 용도로 작물을 심어 운용되고 있어 점검시 또는 유지관리시 손쉬운 접근이 어려워 지장을 초래하고 있으므로 이에 대한 대책도 필요한 것으로 판단된다.

2) 기초

장암교의 기초부는 지중에 매립되어 있어 조사가 불가하였다.

다. 받침장치

받침몰탈에 온도변화 및 건조수축에 의한 균열 및 망상균열이 발생하였다. 폭 0.3㎜ 미만 균열 및 망상균열은 표면처리보수, 폭 0.3㎜이상 균열은 주입보수가 필요하다.

시공시 다짐부족, 열화부 우수침투 등에 의해 받침몰탈 박리, 들뜸, 파손이 발생되어 단면보수가 필요하다.

받침본체에 대한 외관조사 결과 공용기간 증가, 우수유입에 의한 받침부식이 조사되어 녹제거 및 재도장이 필요할 것으로 판단된다. 또한 먼지막이링이 탈락 혹은 이탈된 곳은 재설치가 필요하다.

라. 신축이음

후타재의 균열, 박리는 공용 중 반복적인 건조수축 및 온도변화, 차량하중, 동절기 제설제 등 기타 환경적 요인에 의해 발생된 손상으로 후타재 균열은 손상확대 방지를 위해 표면처리보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단되며, 후타재 박리 및 이격은 손상정도가 경미하여 주의관찰 후 손상진전시 단면보수를 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

대부분의 차수판이 부식 또는 탈락, 설치불량 상태로, 이 구간을 통해 우수가 교량 하부로 유입되어 인접된 강박스 거더의 부식, 교대의 백태 및 콘크리트 열화, 받침장치 주변의 손상 등을 초래할 수 있으므로 정밀하게 재설치하는 것이 바람할 것으로 판단된다.

외부에 노출된 환경적 영향 및 공용년수 증가에 따른 이물질의 유입으로 유간부 토사퇴

적이 발생하고 있는 것으로 조사되었다. 장기간 방치시 신축거동의 저하 및 본체 부식, 지수재 열화 등의 원인이 되므로 주기적인 청소를 통한 유지관리를 실시하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

마. 교면포장

교면포장부의 아스콘 포장균열에 대한 외관조사결과 기 점검 및 진단시 조사된 손상에 추가적인 아스콘균열이 조사되었으며, 손상물량이 다수이므로 부분적인 재포장 및 국부적 팻칭 등의 보수 보다는 전면재포장 보수를 실시하는 것이 유지관리에 효율적이라고 판단된다.

아스콘 소성변형, 마모, 패임, 포트홀 등에 대한 조사결과, 기 점검에서 조사된 손상이 대부분 조사되었으며, 포트홀이 추가적으로 조사되었다. 이는 기 점검 이후 발생한 것이 아닌 기 점검시 누락으로 판단되며, 동일간격 및 동일 모양으로 발생된 것을 보았을 때 아스팔트 보수공사시 발생된 것으로 판단된다. 마찬가지로 별도의 손상별 보수보다는 전면 재포장 보수가 유리할 것으로 판단된다.

바. 배수시설

배수구는 대부분 토사퇴적 및 식생의 자생으로 발생한 막힘으로 기 점검보다 6개소가 감소하였다. 교면수의 원활한 배수를 위하여 최소 분기당 1회 정도의 청소를 하는 것이 바람직하다.

대부분의 배수관의 상태가 양호한 것으로 조사되었으며, 교각에서 발생한 배수관 부식은 누수 및 공용년수 증가에 따라 발생된 것으로 판단되며, 녹제거 및 재도장 전에 설치(누수) 상태 확인이 필요하다. 거더 측면에 설치된 배수관의 부식은 도장불량 및 주변환경과 공용 년수 증가에 따른 것으로 판단되며 이들 모두 경미한 손상으로 주기적인 관찰을 통한 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

S3 P2 배면하부에 위치한 집수구에서 토사유입으로 인한 막힘이 조사되었으며, 상부 배수관과의 각도 어긋나 있다. 이는 주변의 토사로 인한 집수구 이동 또는 설치불량으로 판단되며 주변 토사 제거 및 집수구 연결부의 추가설치가 필요하다.

사. 난간 및 연석, 점검시설

1) 난간 및 연석

난간에 대한 외관조사 결과 난간의 전반적인 상태는 양호하였고, 고정불량 손상이 조사되었다. 조사결과 손상 정도는 4개의 지주볼트 중에 1개가 손상된 상태로 시급한 교체는 필요치 않으나 지주고정불량은 통행차량 및 통행인들의 안전을 위해 보수가 필요할 것으로 판단된다.

연석 균열은 기 점검 및 진단시 조사된 손상과 추가 손상이 금회 재조사되었다. 건조수축 및 온도변화, 균열부 우수침투 등 환경적 영향으로 발생된 것으로 시급한 보수를 요하지는 않으나 장기적인 구조물의 내구성 확보 차원의 표면처리보수가 필요하다. 특히 대전방향 연석에 발생한 종방향 균열은 향후 점검시 주의관찰이 필요하다.

차량충격, 동절기 제설제 영향 등으로 발생된 연석 박리, 파손, 재료분리 등 단면손상은 손상규모가 미미한 상태이나 S6 A2 신축이음 하부에 발생한 파손 및 철근노출은 손상정도가 높은 것으로 조사되었다. 신축 하부 교대부분에 이물질 퇴적도 이로 인한 것으로 판단되며 구조물의 내구성 향상을 위해 단면보수가 필요하다.

2) 점검시설

대상 교량 교각에 설치된 점검시설은 P2, P4에 설치된 점검사다리와 점검통로로서, P1, P3, P5에는 점검시설이 설치되지 않아 상시 점검 시나 유지관리하기에 어려움이 있으며, 기 설치된 점검통로 또한 공주방향측 한면만 설치되어 있으므로 4면 모두를 조사할 수 있도록 연장설치하는 것이 향후 지속적인 유지관리를 위하여 반드시 필요한 것으로 판단된다.

10.2.2 현장시험 결과

시 험 명		시험결과	평 가
콘크리트 강도시험	비파괴 시험	■ 상부구조는 설계기준강도의 94.8%~108.5%, 하부구조는 설계추정강도의 97.5%~106.7%정도로 측정값이 설계치와 유사하므로 손상으로 인한 내구성저하는 없는 것으로 판단된다.	대체로 양호
철근탐사시험		■ 철근 피복두께는 설계도면보다 다소 크게 조사되었으나, 배근간격은 설계도면과 큰 차이가 없는 것으로 조사되었다. 현재 해당 구간의 철근으로 인한 문제점 및 특이사항은 없는 것으로 조사됨.	대체로 양호
탄산화 깊이 측정		■ 탄산화 잔여깊이 42.0~113.0㎜, 콘크리트 잔존수명 100년 이상으로 조사됨.	“a” 등급으로 양호한 상태
염화물함유량 시험		■ 철근 부근위치 전염화물량 : 0.300 ~ 2.344㎏/㎥ (철근부식발생 우려가 없는 “a” 등급부터 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성이 높은 “c” 등급까지 존재함)	바닥판 : “a” 등급 교대 : “c” 등급 교각 : “b” 등급
균열깊이 측정		■ 측정결과 철근피복까지는 아직 여유가 있음	Cw=0.3㎜이상 균열 적절한 보수 필요
강재 비파괴 시험	강재초음파 탐상 시험	■ 측정결과 총 36개소 중 1개소에서 용입불량구간이 측정되었으며, 나머지 개소는 양호한 것으로 평가됨	조사된 용입불량구간에 대해서는 수정 후 재검측 필요
	강재도막 두께 측정	■ 강재 도막두께 측정 결과 박스내부는 195~212㎛로 강구조공사표준시방서 기준범위를 모두 만족하는 것으로 측정되었으나, 강박스외부는 253~368㎛로 측정되어 부분적으로 기준범위를 초과하였으나 기능상에 문제는 없다고 판단됨	양호

10.2.3 상태평가 결과

본 대상시설물인 장암교에 대한 육안조사에 의한 외관상태 항목과 내구성 요소인 탄산화 및 염화물 항목, 그리고 강재초음파탐상 시험결과를 포함한 전체 교량의 상태평가를 실시한 결과 보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태인 **「B」(평가지수 : 0.250)**으로 평가되었다.

10.2.4 재하시험

본교(S5, S6)에 대한 변형률, 처짐, 가속도 등을 계측하여 이론치와 비교, 분석한 결과 정적·동적 거동특성은 비교적 양호한 것으로 판단된다.

충격계수 분석결과, 기진단 결과 및 도로교 설계기준에서 제시하는 이론충격계수보다 작게 평가되어 이동하중에 대한 충격의 영향은 양호한 상태로 판단되었다.

고유진동수 분석결과, 장암교의 실측고유진동수는 3.1043~3.1738Hz로 분석되었으며, 기진단결과보다는 다소 작은 값이나 이론 고유진동수 중 Z방향 질량참여율이 가장 큰 Mode의 3.6894Hz와 유사한 것으로 확인되었다.

10.2.5 안전성평가 및 내하력 평가 결과

안전성 검토결과 최소 SF=1.243로 모두 허용응력 범위 내에 존재하므로 적용하중에 대해서는 구조적으로 안전성을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

재하시험 결과를 반영한 공용내하력 평가 결과, 장암교의 내하력은 설계하중인 DB-24 이상으로 평가되어 설계내하력 이상을 확보하는 것으로 판단된다.

10.2.6 종합평가 및 안전등급 지정

장암교 상태평가 결과는 “B”, 안전성평가 결과는 “A”로 평가되어 본 시설물의 종합평가 결과는 이중 낮은 결과인 “B”로 평가되었다.

평가구분	결함지수	평 가	비 고
상태평가	F=0.250	B	
안전성평가	SF=1.0이상	A	
종합평가 등급	B등급(양호)		

10.3 종합결론

장암교에 대하여 현장조사, 시험 및 측정, 시설물의 상태평가 및 안전성평가를 실시한 결과, 일부 발생한 손상을 제외한 대부분 특별한 문제점이 없는 양호한 상태로 확인되었다.

주요손상에 해당되는 Cw=0.3mm이상 균열과 철근노출, 강재부식, 신축이음부 덮개판 탈락 등에 대한 우선적인 보수가 필요하며, 손상 재발생 여부에 대한 중점유지관리가 필요하다. 또한 맞대기 용접부 강재초음파탐상 시험결과 용입불량이 조사된 곳은 우선적으로 수정보수하여 재검측하는 것이 필요한 것으로 판단된다.

따라서 조사된 결함에 대해서 제안한 공법대로 보수실시 및 지속적인 점검을 실시하고, 금회 실시한 재하시험 결과와 안전성평가 결과를 토대로 하여 유지관리 한다면 시설물의 구조적 안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

10.4 유지관리시 특별한 관리가 요구되는 사항

장암교의 강재부식, 신축이음부 덮개판 탈락부, Cw=0.3mm 이상 균열 등 주요 손상에 대해서는 「제 8장 보수·보강 및 유지관리방안」에 별도로 수록하였으며, 수록된 내용을 참조하여 유지관리를 실시한다면 효율적인 구조물 관리를 실시할 수 있을 것으로 판단된다.

한편, '2018년 금강교 및 장암교 내진성능평가 용역' 결과 장암교의 교각은 설계지진력 작용시 지진하중에 대한 내진성능을 확보하지 못한 것으로 평가되어 장기적인 측면에서 기존의 포트받침을 면진받침으로 교체하여 내진성능을 확보할 수 있도록 제시된 바 있으므로, 향후 구조물의 장기적인 유지관리 측면에서 다각적인 검토 및 관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.