제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개요

3.2 현장조사

3.3 재료시험

제 3장 현장조사 및 시험

3.1 개요

본 시설물에 대한 외관조사는 대상 시설물의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단함을 목적으로 구조물 전체에 대하여 가능한 한 근접한 상태에서 육안조사(교량점검차 사용)를 실시함을 원칙으로 하였다.

따라서 사전 현장답사를 통해 주변여건을 파악하여 현장접근에 필요한 접근방법 및 장비 동원과 그에 따른 일정계획을 수립하고, 기초자료의 수집 및 분석을 통한 주요 손상을 파악하는 등의 사전검토를 통하여 주요 손상들을 파악한 후 『시설물의 안전 및 유지관리 실시세부지침(2024. 12, 국토교통부/한국시설안전공단)』의 실시요령에 따라 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물의 기능 및 성능 저하, 상태 등을 신속·정확하게 검사·평가하는데 주안점을 두고 외관조사 방향을 결정하였다. 또한, 구조물 전체에 대하여 외관조사망도를 작성 및 부록에 수록하고 내구성 조사자료 등과 함께 시설물의 종합성능평가에 활용하였으며, 유지관리의 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

3.2 현장조사

3.2.1 시설물의 성능항목별 조사항목

【표 3.2.1】 교량 조사항목

구분			평가항목			비고
안전성능	상태안전성능	공통	콘크리트	•구조 균열(휨, 전단 등) •박리(박락 포함) •재료분리(철근노출 포함)	•비구조 균열(건조수축 등) •열화(백태, 철근부식 등)	
			강재(앵커볼트 포함)	•균열(피로 등) •변형 •볼트부 결함	•열화(부식, 도장탈락 등) •용접부 결함	
			•체수/누수			
			•시공불량(설치결함 등)			
		교면포장	•함몰(포트홀) •단차, 요철			

【표 3.2.2】 교량 조사항목(계속)

구분			평가항목	비고
안전성능	상태안전성능	배수시설	•막힘 •파손(배수관 또는 뚜껑)	
		보호시설	•난간, 연석, 방호·방음·방풍벽 관련 손상	
		신축이음	•고무재 파손(노화, 누수 포함) •유간 정도(부족 또는 과다) •이물질 퇴적 및 오염상태 •후타재 손상(마모, 단차 등) •본체 손상	
		받침	•가동장애(이동량 부족 포함), •편기 •받침 손상(고무판 포함) •용량 부족 •받침콘크리트 손상	
		교대	•변위(침하, 뒷채움, 측방유동 등)	
		교각	•침식, 세굴, 변형(기울음 등)	
		케이블	•케이블 손상(단선 등), 정착구 손상, 행어밴드, 새들 손상	
		텐던	•강연선, 보호관	
	구조안전성능	상부구조	•공용내하력 •주행안전성(철도교량에 적용)	
		하부구조	o 세굴을 포함한 기초안전성(하천교량만 적용)	
내구성능	콘크리트		•탄산화 깊이 •염화물 침투량 •피복(표면부) 콘크리트의 품질 •대기환경(염해환경, 동해환경)	
	강재		•도장열화(발청, 박리, 균열, 부풂, 백아화) •도장두께 •대기환경(해안 이격거리, 이산화항 농도, 습도) •강설횟수(제설제 살포)	
사용성능	사용성		•포장상태 •교량조명 •진동사용성능 •승차감(철도교량에 적용)	
	기능성		•수요 및 용량(교통량, 통행량) •유지관리성(점검시설)	

3.2.2 현장조사 요령

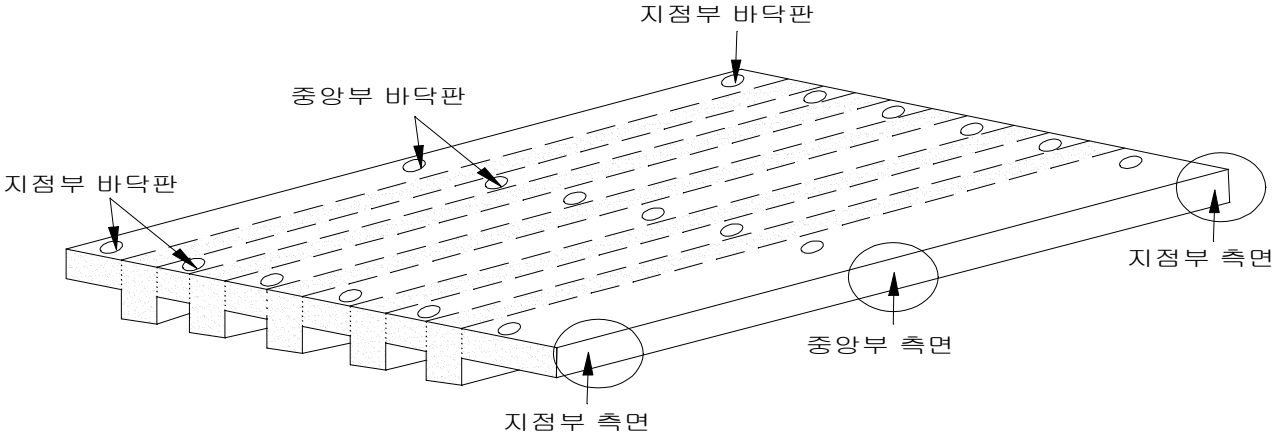
가. 안전성능 평가

1) 상태안전성능

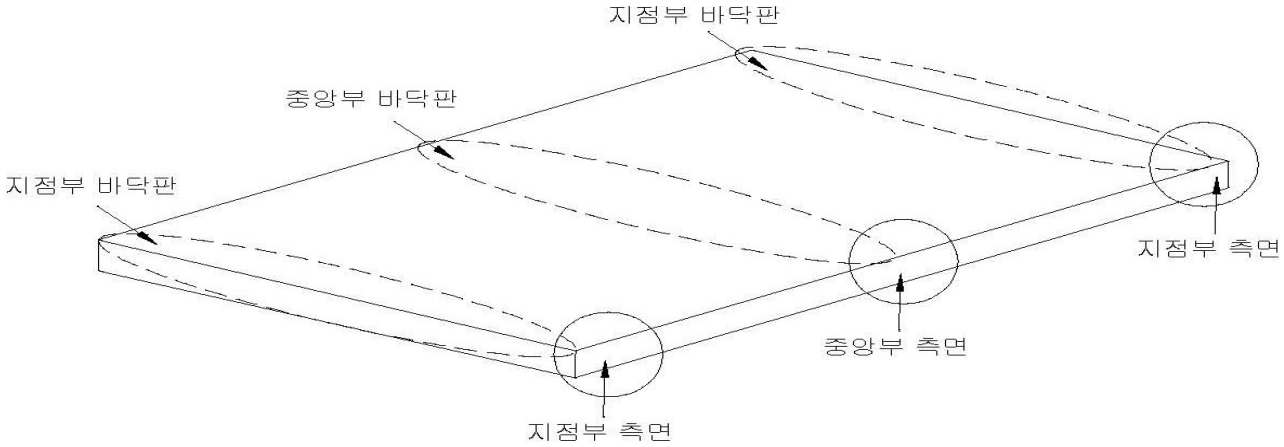
① 콘코리트 바닥판

【표 3.2.3】 콘크리트 바닥판 조사부위에 따른 손상종류

조 사 부 위		손 상 종 류
▷공통		•균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출 •재료분리(공동, 공극) •누수 및 백태(유리석회)
▷거더교		•균열, 망상균열
▷슬래브, 라멘상부	– 받침부(단부)	•부스러짐 •사인장균열
	– 중앙부	•휨균열



【그림 3.2.1】 거더가 있는 경우의 바닥판 조사부위

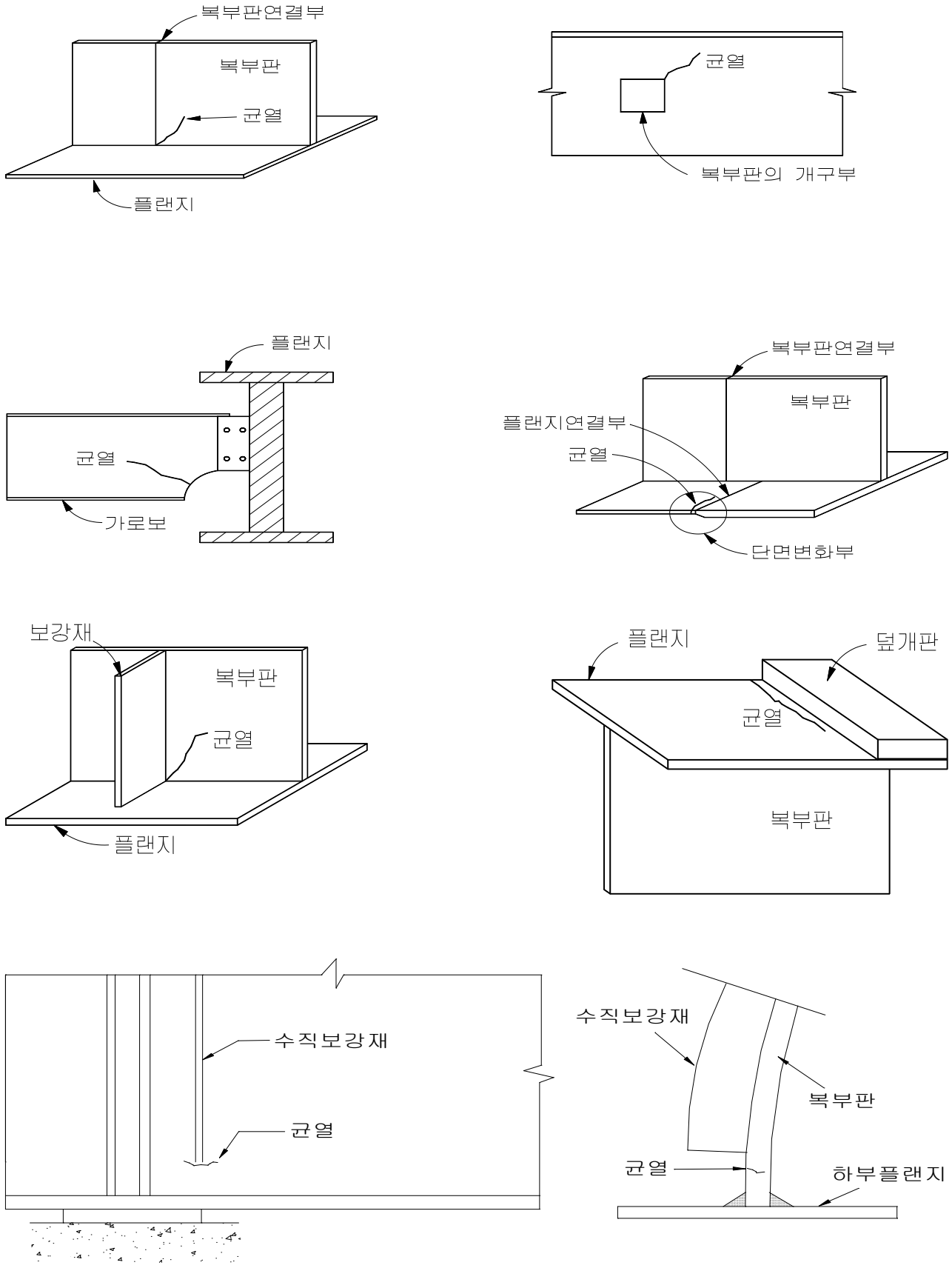


【그림 3.2.2】 거더가 없는 경우의 바닥판 조사부위

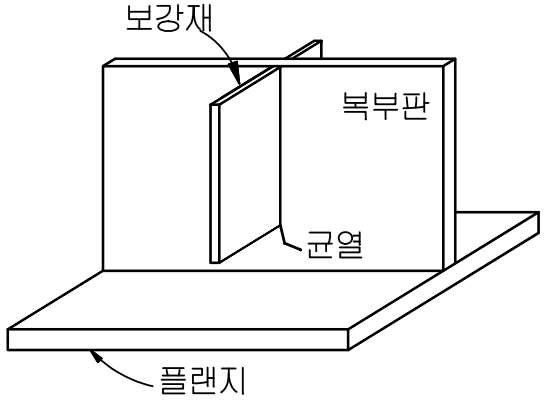
② 강 바닥판, 강 거더 및 강 교각(강 주탑, 아치리브, 트러스)

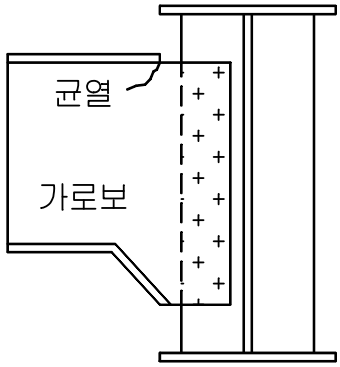
【표 3.2.4】 강 바닥판, 강 거더 및 강 교각 조사부위에 따른 손상종류

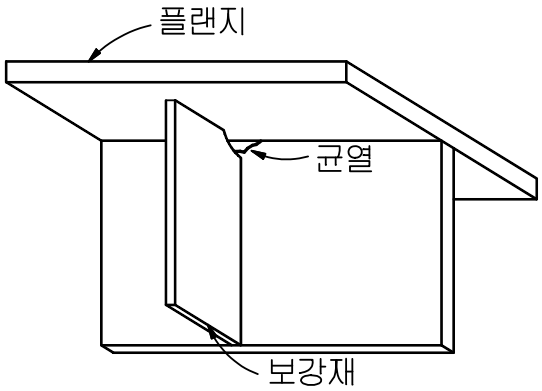
조 사 부 위	손 상 종 류
▷공통	•도장 열화 및 부식 •현장이음부 볼트손상, 누수 •신축이음부 하면, 배수구 주변, 난간하면 누수, 부식 •이상음 발생
▷피로강도등급 낮은 용접상세부(D, E급)	•피로균열
▷받침부	•복부판 부식 및 국부좌굴 •거더와 받침연결부 부식 •게르버교의 경우 핀 연결부 부식 •지점보강재 하단 용접부 균열 •박스내부 출입구 방치 •박스내부 바닥 물고임 및 부식
▷중앙부	•부식 •플랜지 변형 및 처짐 •맞대기 용접부, 덮개판 덧댐부 끝부분 균열
▷주탑	•주탑하단부 연결볼트 부식 및 파단
▷보수부위	•용접부 및 연결부 주변 균열
▷부재연결판	•트러스교, 아치교의 현재, 사재, 수직재 연결관의 부식, 균열 및 변형 •사장교, 현수교의 케이블 정착부 연결관의 부식, 균열 및 변형

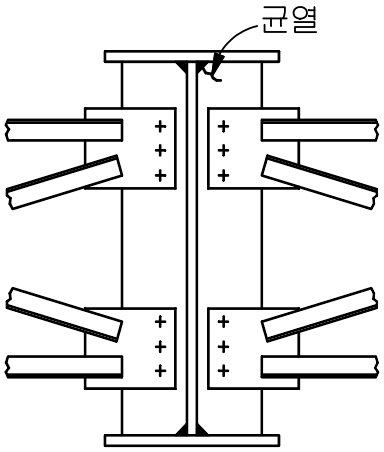


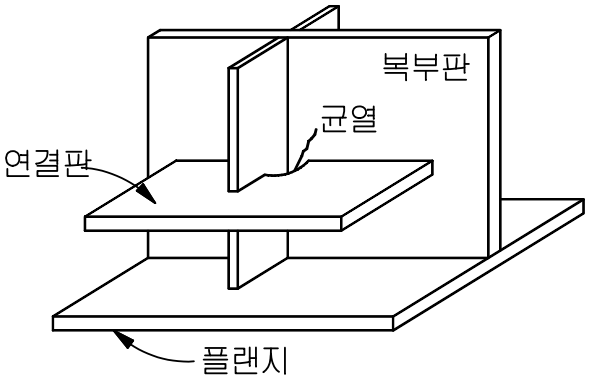
【그림 3.2.3】 피로균열이 발생하기 쉬운 구조상세-1

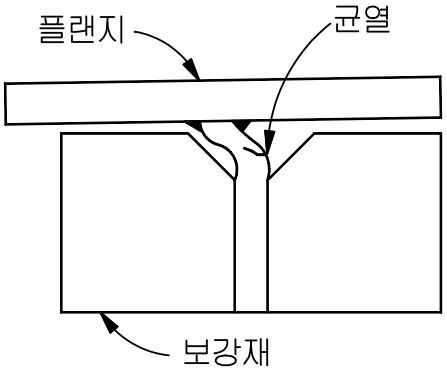












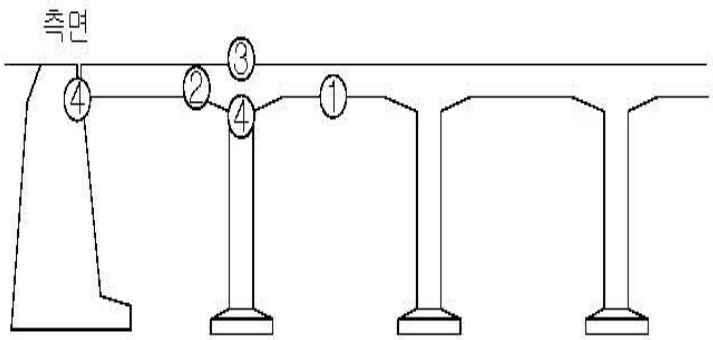
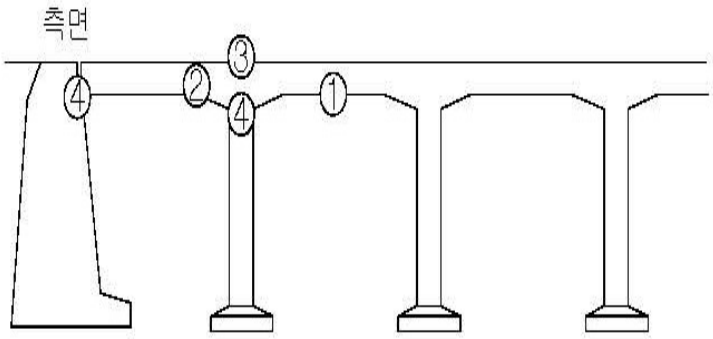
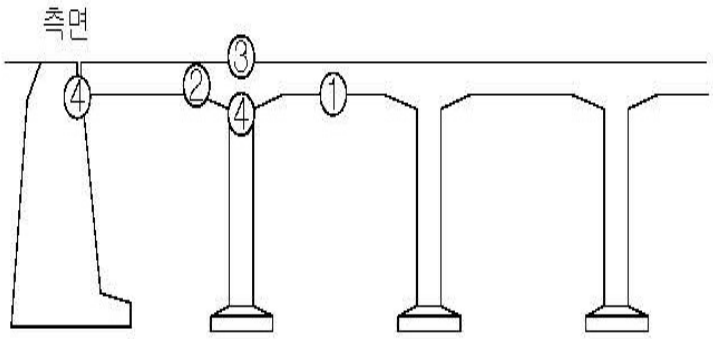
【그림 3.2.4】 피로균열이 발생하기 쉬운 구조상세-2

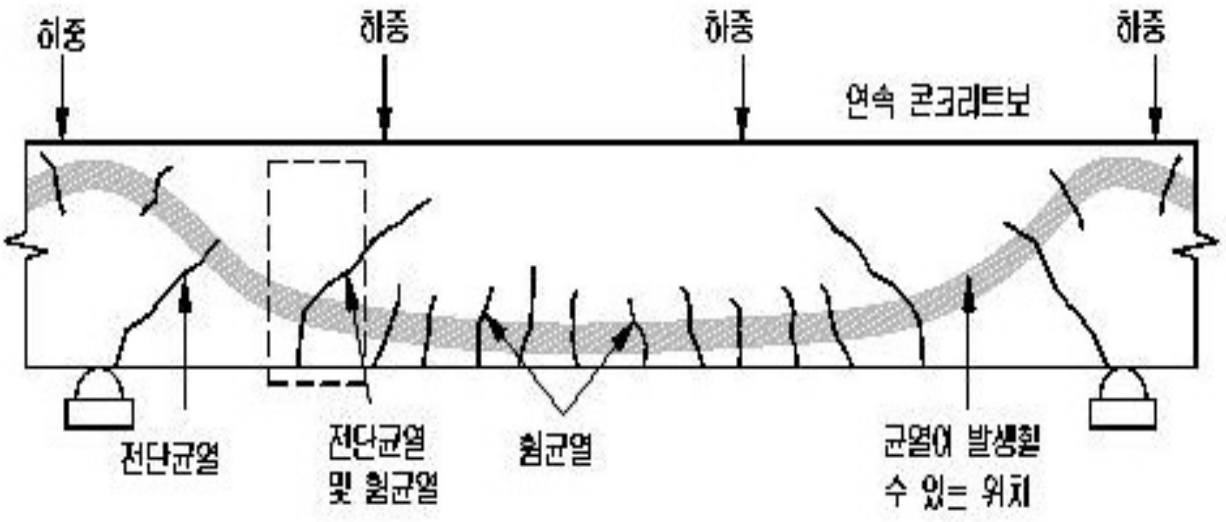
③ 철근콘크리트 거더

【표 3.2.5】 철근콘크리트 거더의 조사부위와 손상종류

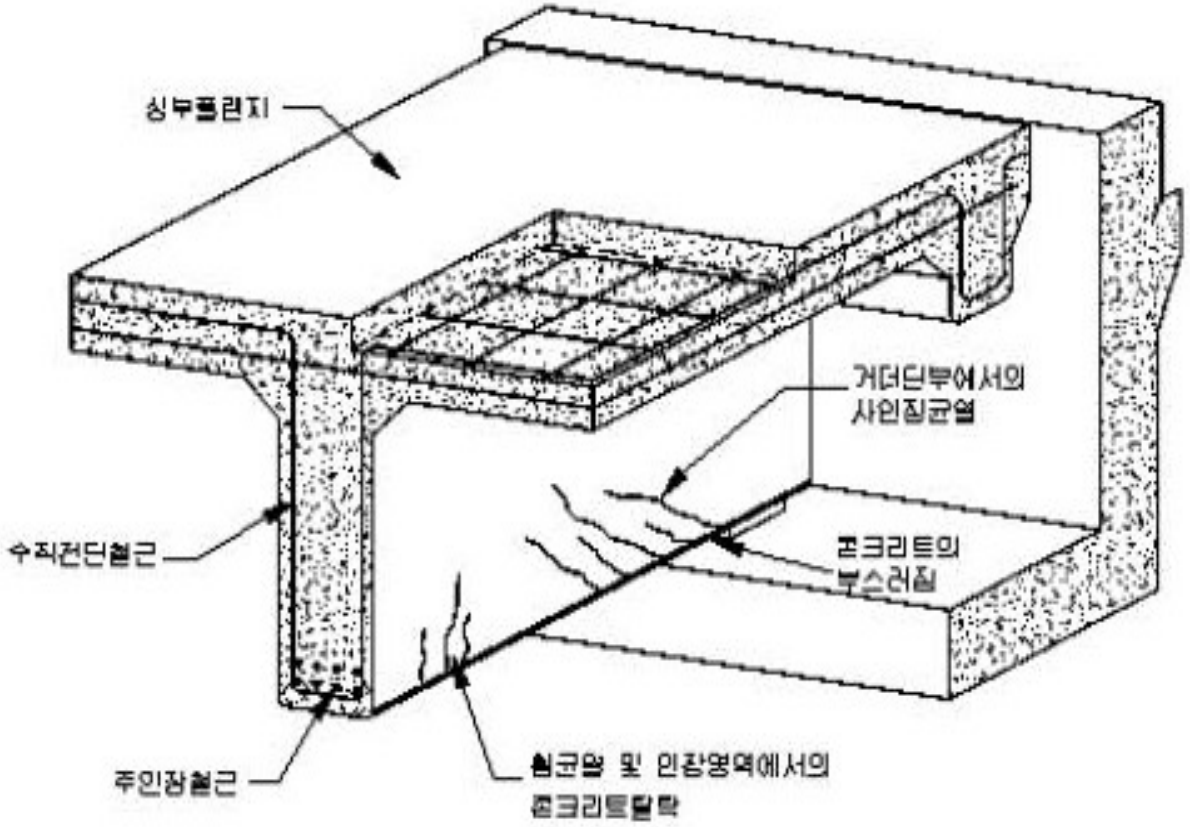
조 사 부 위	손 상 종 류
▷공통	•박리, 박락, 층분리, 파손, 철근노출, 백태(유리서회)
▷거더교	•부스러짐 •복부 사인장 균열
▷슬래브, 라멘상부	•횡방향 균열

【표 3.2.6】 철근콘크리트 거더의 구조형식에 따른 조사부위

구 조 형 식	조 사 부 위	비고
단순보		① 지간중앙부 ② 지간 1/4부 ③ 받침부
연속보 게르버보		① 지간중앙부 ② 변곡점부(약 L/4) ③ 교각상부 ④ 받침부
라멘보		① 지간중앙부 ② 우각부 ③ 교각부



【그림 3.2.5】 콘크리트 거더에 발생하는 균열의 유형과 위치

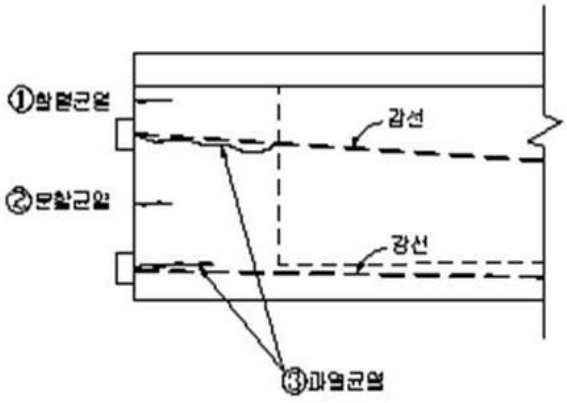


【그림 3.2.6】 철근콘크리트 거더의 조사부위

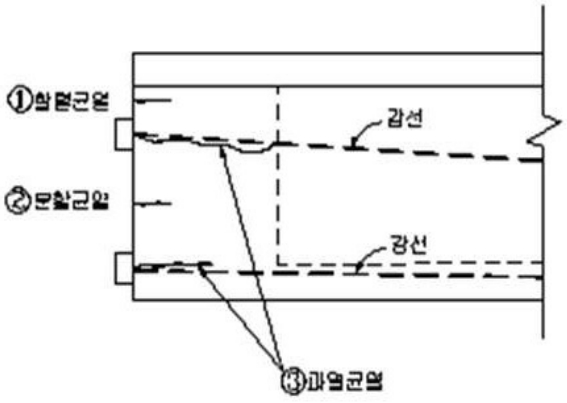
④ 프리스트레스트 콘크리트 거더

【표 3.2.7】 프리스트레스트 콘크리트 거더의 조사부위에 따른 손상종류

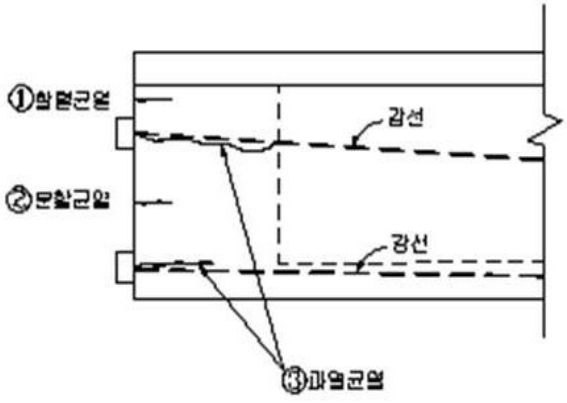
조 사 부 위	손 상 종 류
▷공통	•박리, 박락(파손), 철근노출, 백태
▷받침부	•부스러짐 •복부 사인장균열 •연속교 상단 휨균열 •격벽 개구부 모서리 균열
▷중앙부	•휨균열, 거더처짐 •쉬스관 노출 및 파손 •박스내부 플랜지 및 복부의 강선방향 균열 •시공이음부 균열 및 누수
▷강선정착부	•정착부 균열 및 파손



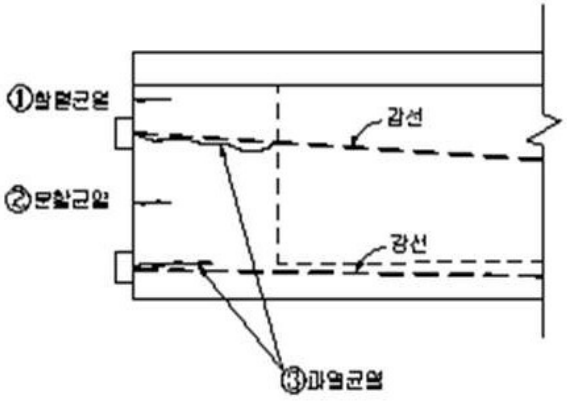
<PSC I빔의 조사부위>



<정착구역의 국부균열>



<PSC 박스거더의 균열>

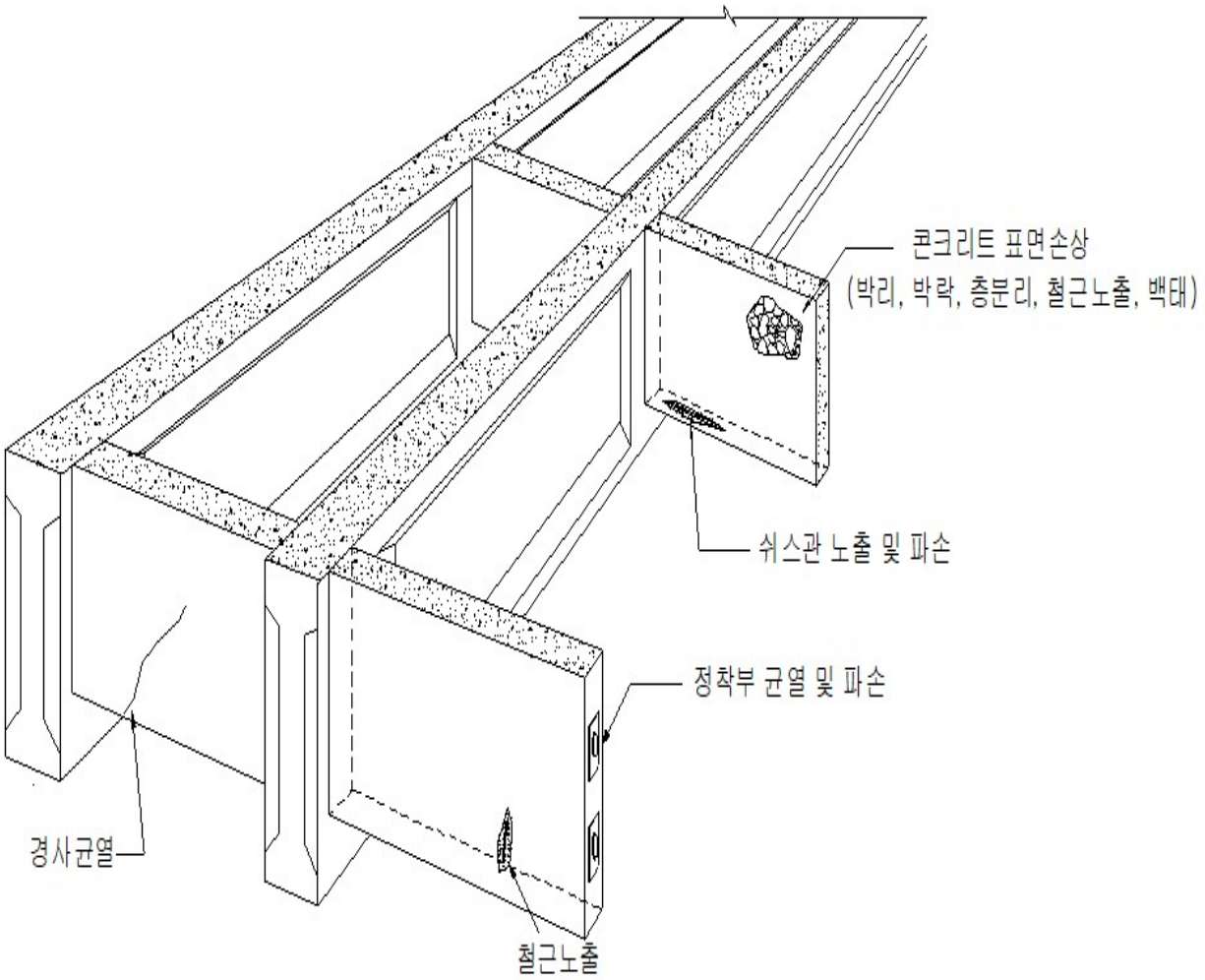


<PSC 박스거더의 균열>

⑤ 콘크리트 가로보

【표 3.2.8】 콘크리트 가로보의 조사부위와 손상종류

조 사 부 위	손 상 종 류
▷공통	•박리, 박락, 층분리, 파손, 철근노출, 백태(유리석회)
▷철근콘크리트 가로보	•박락(파손), 철근노출 •경사균열(거더의 상대처짐 의심)
▷프리스트레스트 콘크리트 가로보	•쉬스관 노출 및 파손 •정착부 균열 및 파손

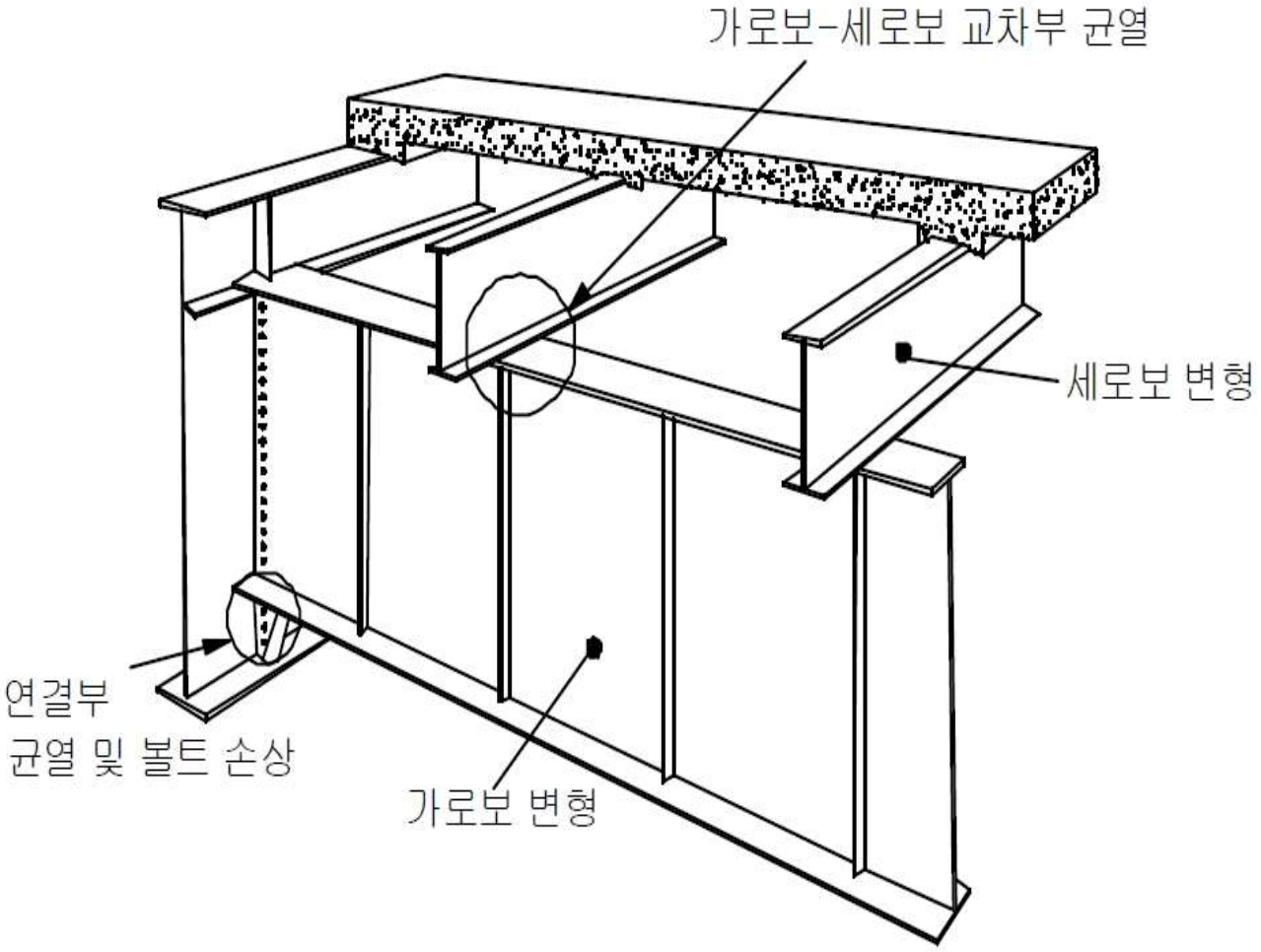


【그림 3.2.7】 콘크리트 가로보 조사부위 및 조사사항

⑥ 강 가로보와 세로보

【표 3.2.9】 강 가로보의 조사부위와 손상종류

조 사 부 위	손 상 종 류
▷공통	•도장 열화 및 부식 •현장이음부 볼트손상, 누수 •이상음 발생
▷피로강도등급 낮은 용접상세부 (D,E급)	•피로균열
▷2차부재	•가로보, 세로보, 브라켓 및 브레이싱 변형 •하중집중점, 가로보와 세로부 교차부 균열 •거세트판 용접부 끝부분 균열
▷보수부위	•용접부 및 용접부 주변 균열



【그림 3.2.8】 강가로보, 강세로보의 조사부위 및 조사항목

⑦ 케이블

【표 3.2.10】 케이블 조사부위와 손상종류

조 사 부 위	손 상 종 류
▷케이블 부재	•도장 손상 및 부식 •부식으로 인한 케이블 단면 손상 •케이블 변형 및 꺾임 •외부 및 내부 소선 단선
▷보호관	•보호관의 파손
▷정착구	•강재 정착구의 도장손상 및 부식 •콘크리트 정착구의 파손, 누수, 누유 및 체수 •정착구 댐퍼 파손
▷행어밴드, 새들	•도장 열화 및 부식 •고정볼트 이완, 탈락 •변형 및 파손

⑧ 긴장재

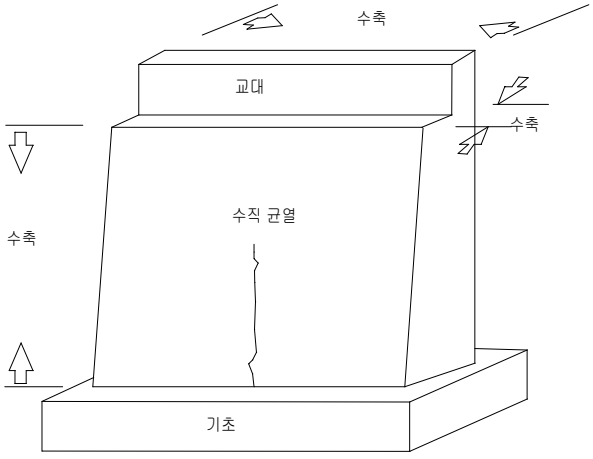
【표 3.2.11】 긴장재 조사부위와 손상종류

조 사 부 위		손 상 종 류
▷강연선		•녹, 부식, 파단
▷보호관	공통	•파손, 공극(충전결함), 누수, 백태
	PE관	•접합불량, 변형
	강관	•녹, 부식, 변형

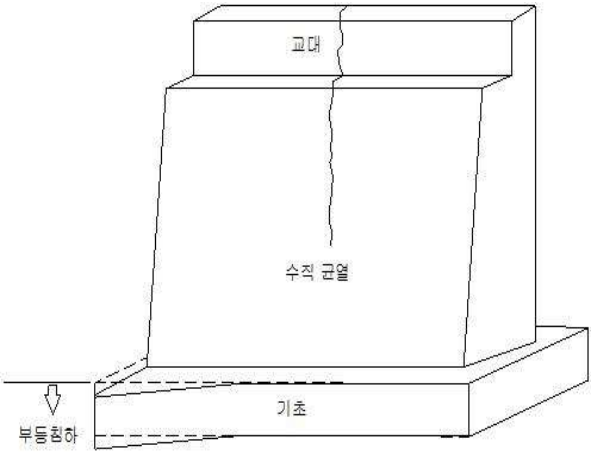
⑨ 교대

【표 3.2.12】 교대 조사부위와 손상종류

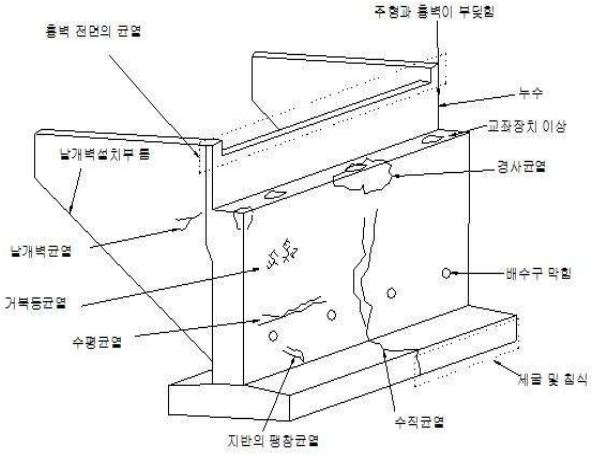
조 사 부 위	손 상 종 류
▷공통	•교대 기울음, 전도 •균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 백태(유리석회)
▷두부(Coping)	•두부 물고임 •받침부 균열 및 파손 •두부와 흉벽 경계부 균열 •거더와 흉벽 신축유간 부족
▷벽체	•수직균열 및 침하 •구체와 날개벽 분리 •구체부 배수구 막힘 •수면접촉부 침식
▷날개벽(옹벽 포함)	•날개벽 이동, 전도 •석축이 있는 경우 사면붕괴



<온도응력, 건조수축에 의한 교대의 수직균열>



<부등침하로 인한 교대의 수직균열>

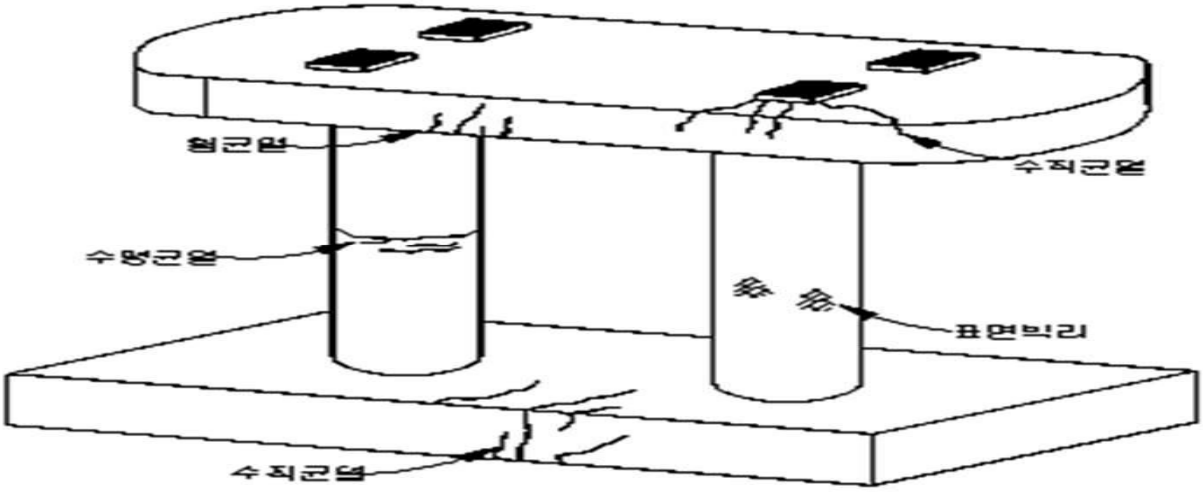


<교대의 조사부위>

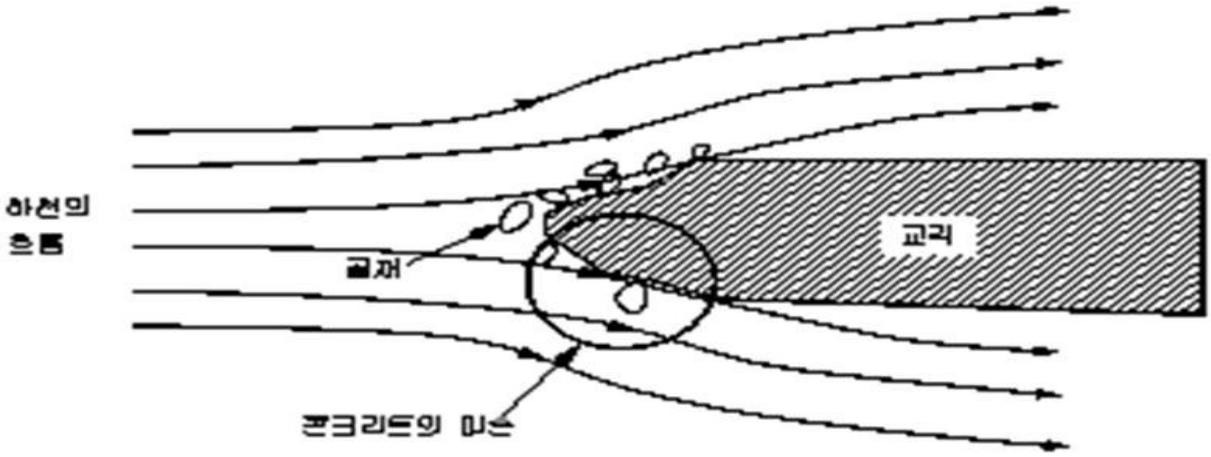
⑩ 콘크리트 교각

【표 3.2.13】 콘크리트 교각의 조사부위와 손상종류

조 사 부 위	손 상 종 류
▷공통	•교각 기울음 및 전도 •균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 백태(유리석회)
▷두부(Coping)	•두부 물고임 •받침부 하부 균열 및 파손
▷벽체	•시공이음부 균열 •이동 또는 기울음 •수면접촉부 침식



【그림 3.2.9】 콘크리트 교각의 조사부위

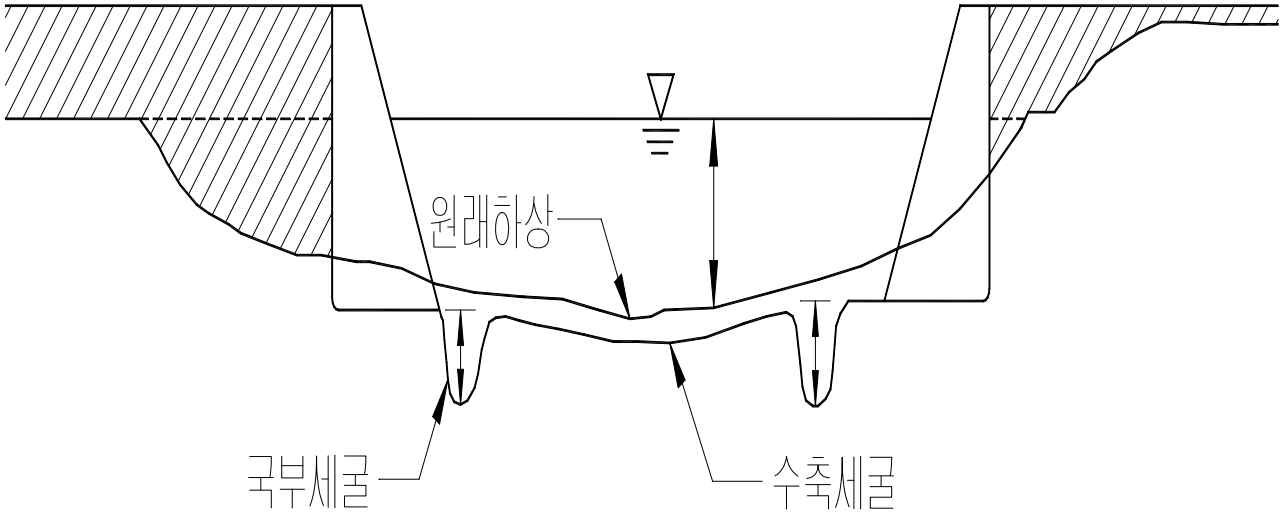


【그림 3.2.10】 유수에 의한 콘크리트 교각의 침식

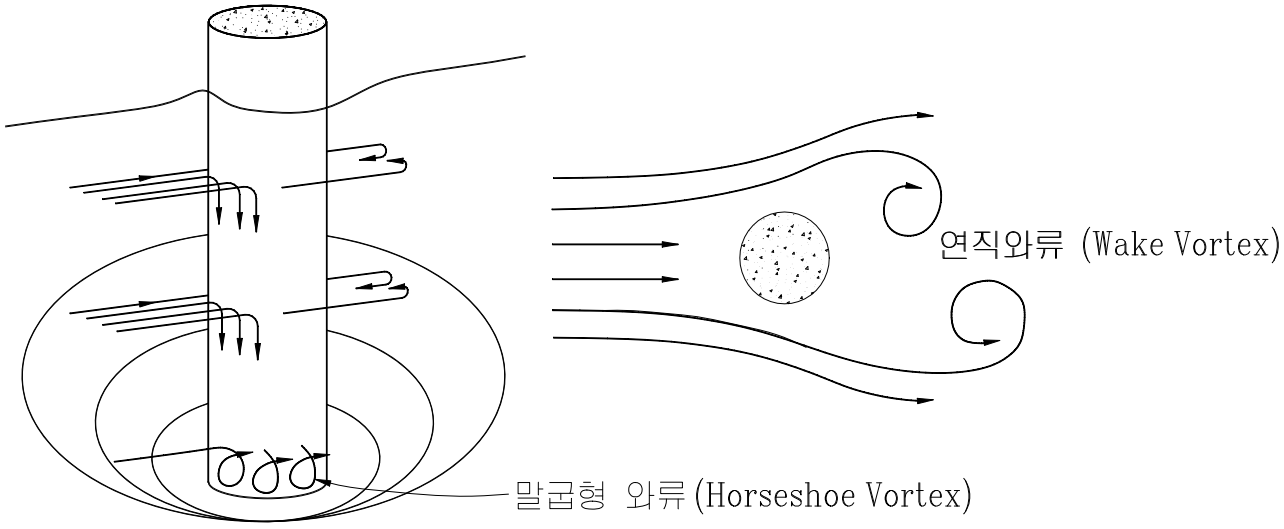
⑪ 기초

【표 3.2.14】 기초의 조사부위와 손상종류

조 사 부 위	손 상 종 류
▷공통	•박리, 박락, 철근노출, 백태 •침식, 세굴, 측방유동, 침하 •하부구조물 기울음 및 전도
▷직접기초	•콘크리트 균열 및 파손
▷말뚝기초	•말뚝 노출 및 침식
▷케이슨기초	•케이슨 노출 및 침식 •충돌파손



【그림 3.2.11】 수축세굴과 국부세굴

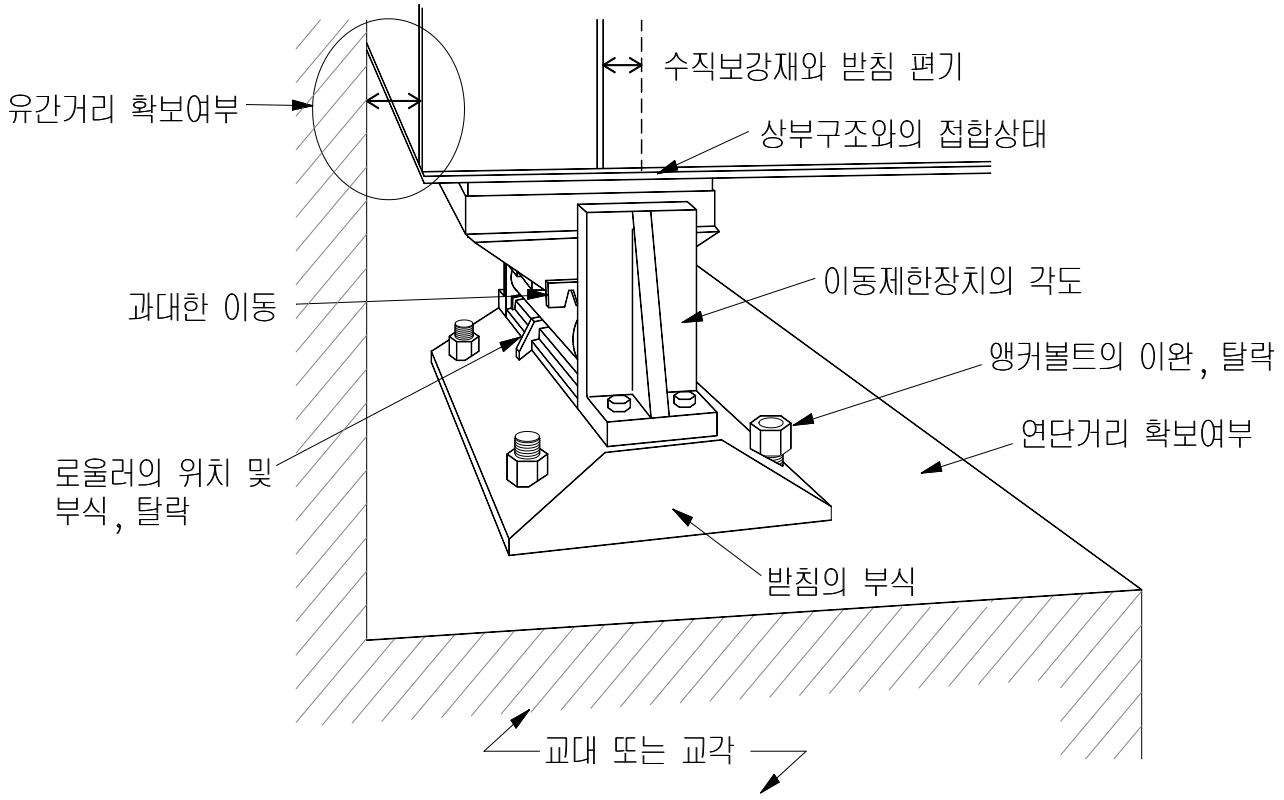


【그림 3.2.12】 원형기초의 국부세굴

⑫ 교량받침

【표 3.2.15】 교량받침의 조사부위와 손상종류

조 사 부 위		손 상 종 류
▷본체	– 공통	•가동받침의 신축유간 부족 •가동받침 전·후방의 가동장애 요소 •받침과 주형의 밀착상태 •수직보강재와 받침 편기상태 •받침 물고임 및 부식
	– 강재받침	•가동면 부식 •부속물 파손(부상방지장치 및 이동제한장치)
	– 탄성받침	•부풂 및 갈라짐 •고무판의 과도한 변형
▷받침콘크리트		•앵커볼트 파손, 절단 •콘크리트 파손, 하부공동 및 침하 •교각두부 균열

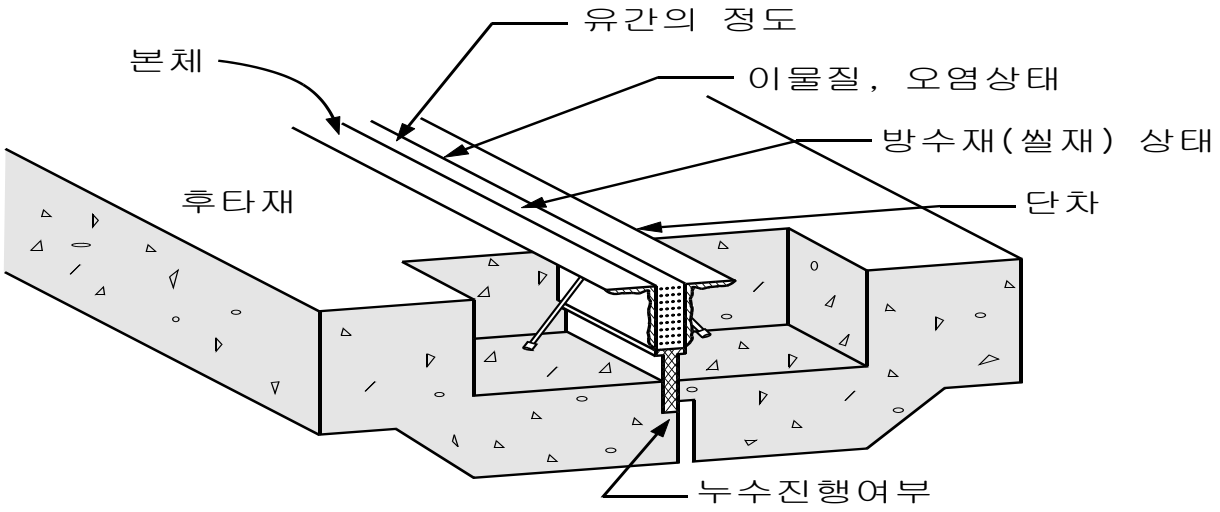


【그림 3.2.13】 교량받침 조사부위

⑬ 신축이음

【표 3.2.16】 신축이음의 조사부위와 손상종류

조 사 부 위		손 상 종 류
▷본체	– 공통	•충격음, 본체유동 및 파손 •누수 •유간부족 및 유간과다 •유간 오물퇴적
	– 고무재	•고무판 마모, 강판노출 및 부식
	– 강재	•강재 연결부 이완 및 파손
▷후타재		•단차(본체, 교면포장, 접속슬래브) •균열 및 파손



【그림 3.2.14】 신축이음 조사부위

⑭ 교면포장

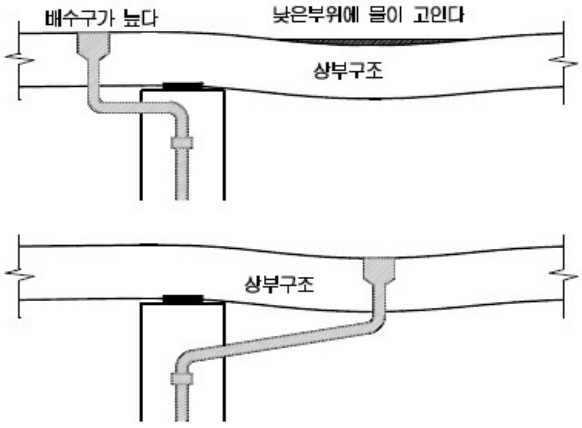
【표 3.2.17】 교면포장의 조사부위와 손상종류

조 사 부 위		손 상 종 류
▷공통	▷아스팔트	•균열, 함몰, 단차 및 요철, 블리딩, 마모, 평탄성
	▷콘크리트	•균열, 마모, 박리, 파손, 평탄성
▷신축이음 전후, 구조물 경계부		•단차, 파손
▷곡선부, 중차량 통행차로		•마모, 바퀴자국
▷배수구 주변		•물고임

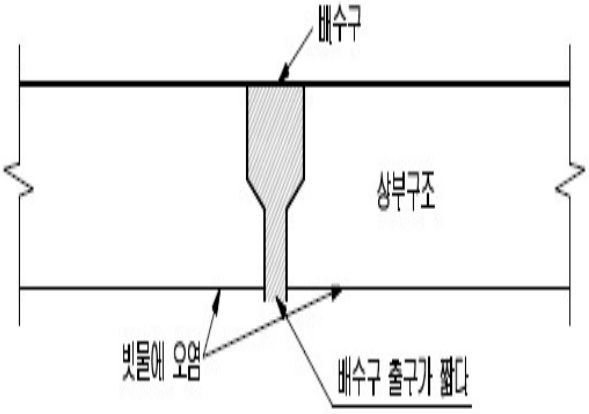
⑮ 배수시설

【표 3.2.18】 배수시설의 조사부위와 손상종류

조 사 부 위	손 상 종 류
▷배수구(유입구) – 뚜껑(그레이팅)	•뚜껑파손 및 주변파손, 누락 •오물퇴적, 막힘 •배수구의 설치높이가 높음 •배수구 설치위치 불량 •배수구 설치간격 넓음
▷배수관	•관의 연결부 어긋남, 파손 •이물질에 의한 막힘 •지지철물의 이완 및 파손 •배수관 길이 부족(짧음) •유출구 위치 부적절(도로구간)



<배수구 물고임>



<배수구 길이부족>

⑯ 보호시설

【표 3.2.19】 보호시설의 조사부위와 손상종류

조 사 부 위		손 상 종 류
▷보호시설	강재, 알루미늄	•강재의 경우 도장 손상 및 부식 •난간과 바닥판 연결부의 결함, 파손 •전체적인 처짐 및 선형불량 •변형, 볼트부 결함, 용접부 결함 등
	철근 콘크리트	•균열, 박리, 파손 •철근노출 및 부식 •전체적인 처짐 및 선형불량

2) 구조안전성능

① 재하시험

㉠ 일반

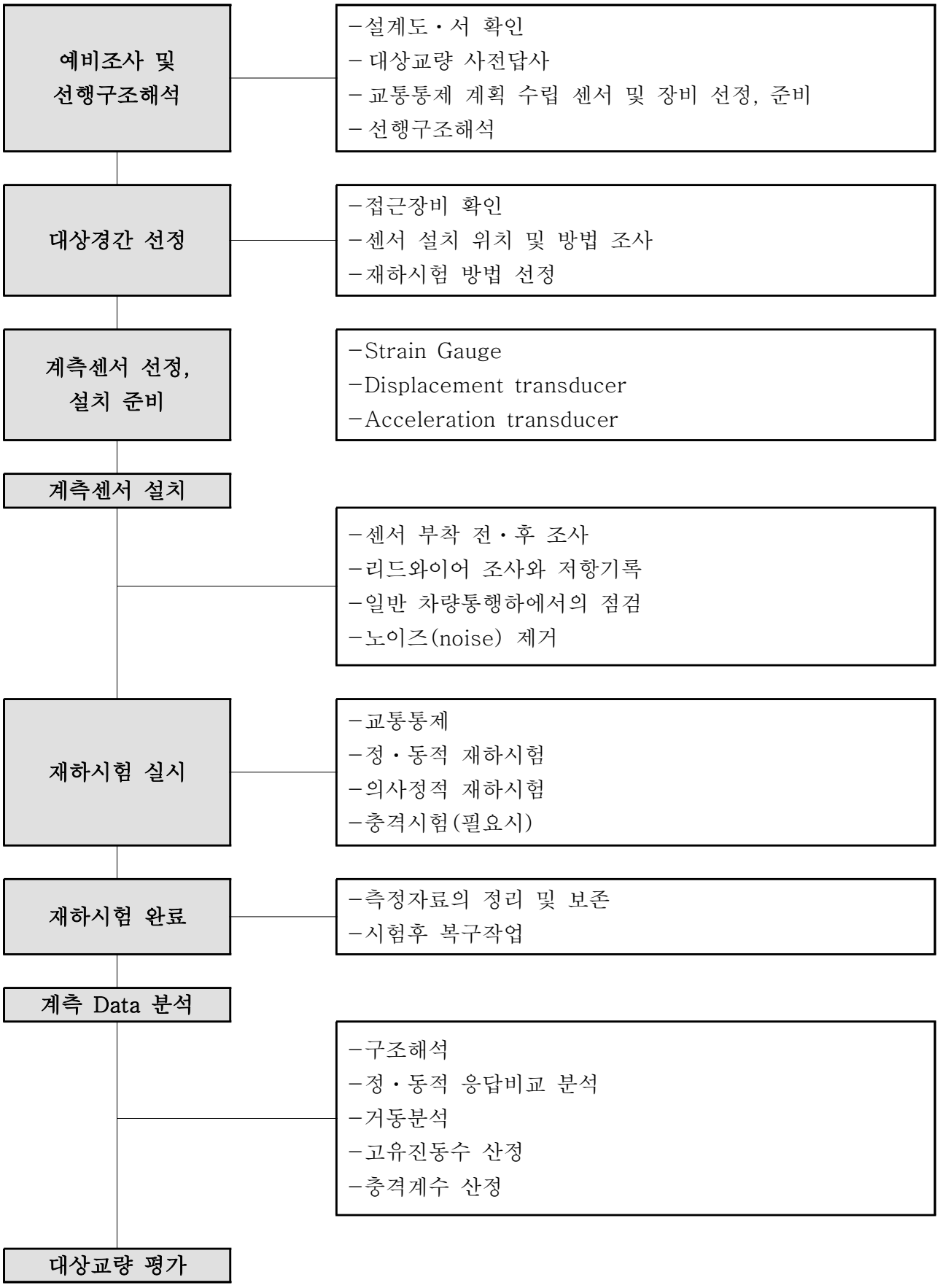
- 재하시험은 실험적인 방법으로 교량의 거동을 해석하는 방법으로서. 정해진 규정에 따라 교량의 탄성거동에 영향을 주지 않는 크기로 결정된 기지의 하중을 교량의 특정부위에 직접 재하하여 교량을 구성하는 주요 부재들의 실제거동을 관찰 및 계측하는 시험이다.

- 재하시험의 목적은 교량의 실제 내하력을 정량화시키기 위함이며, 재하시험의 결과는 이론적인 방법으로 평가된 교량의 내하력을 보완하는데 적용된다.

- 재하시험은 정적 및 동적재하시험으로 구분하여 실시하되 의사정적재하시험을 실시하는 경우에는 정적재하시험을 생략할 수 있다. 재하시험을 시행할 경우에는 시험방법, 시험하중, 계측기기의 운영, 시험원의 자격요건 및 안전조치계획 등을 포함한 신중한 계획이 이루어져야 한다.

- 내하력평가에서 재하시험의 세부목적은 다음과 같다.

· 교량의 실제 정적 및 동적거동 평가
· 처짐, 진동 등에 대한 사용성능 검토
· 새로운 해석방법 및 설계기법의 검증
· 교량의 결함원인의 분석 및 규명
· 해석에 의한 내하력이 작은 경우 실제거동을 반영한 내하력을 결정하여 교량 유지관리의 경제성 향상
· 보수·보강 효과 확인
· 교량의 동특성(진동수, 진동모드 및 감쇠비 및 충격계수)평가
· 설계도서 및 보수·보강 이력자료가 미비한 교량의 내하력평가



【그림 3.2.15】 재하시험 흐름도

㉡ 재하시험 대상교량 선정

- 내하력평가 과정에서 재하시험 대상교량은 내하력평가 목적, 교량상태안전성능 및 선행 구조해석 결과와 다음에 기술한 사항을 종합적으로 고려하여 선정하여야 한다.

(1) 재하시험이 필요한 경우

- 설계도서가 충분치 않아 교량의 내하력 및 거동을 이론적인 방법만으로 평가할 수 없는 경우
- 교량의 구조계에 변경이 있는 보강을 실시하였거나 일부 부재가 원 설계와 다른 부재로 교체되어 교량의 전체적인 거동을 이론적인 방법만으로 해석하기 어려운 사유가 있는 경우
- 이론적인 방법으로 평가한 교량의 내하력이 관리주체가 정한 관리수준 목표 이하여서 교량의 실제 여유 내하력을 평가하고자 하는 경우
- 교량의 노후화, 구성 재료의 전반적인 열화와 주요 부재의 손상 등의 사유로 인하여 이론적인 방법으로만 교량의 정확한 내하력평가가 불가능하다고 판단되는 경우
- ‘18년 1월 18일 이후에 준공된 교량의 최초 성능평가 시 교량의 초기 동적특성 등 초기치 확보측면에서 재하시험을 실시할 경우(단, 초기점검에서 실시한 경우는 제외)
- 기타 교량의 동적 특성을 평가하고자 하는 경우

(2) 재하시험이 적합하지 않은 경우

- 상태안전성능 결과가 양호하고, 이론적인 방법으로 평가한 내하력이 관리수준 목표를 상당히 초과하는 경우(단, 초기점검에서 실시하는 재하시험은 예외)
- 교량의 심각한 노후화 또는 손상이 진행되어 긴급한 보강이 필요한 경우(단, 보강 후에 보강효과 확인이 필요한 경우 필요시 재하시험을 실시)
- 책임기술자가 판단할 때 내하력 평가에서 재하시험이 불필요한 경우

㉢ 재하시험 계획

(1) 시험경간 선정

- 시험경간은 주형의 손상상태, 신축이음의 상태, 받침상태, 보수 및 보강이력 등을 고려하여 종합적으로 가장 취약하고 최대응답이 발생할 것으로 예측되는 경간을 선택함을 원칙으로 하되 교량 총 연장에 따라 시험경간 개소를 증가시킬 수 있다.

- 상부구조가 2개 이상의 형식으로 구성되었거나 연속교와 단순교의 조합으로 구성된 경우, 형식별로 1개 경간을 선정하여 재하시험을 실시하는 것이 바람직하다.(단, 주 형식 이외의 나머지 형식이 주 형식의 일부로 분류 가능하거나 손상 및 노후상태, 하부구조상태, 구성비율, 보강이력 등을 고려할 때 재하시험의 필요성이 없는 경우는 예외로 한다.)
- 국부적 충돌사고 및 손상, 일부 경간의 보강효과 검증 등 특수한 목적을 위한 재하시험은 예외로 한다.

(2) 계측기 및 센서의 부착

- 대상교량의 구조형식 및 계측 목적에 따라 센서 및 계측기의 종류, 부착위치 및 개소수, 재하하중, 시험횟수 등을 결정한다.
- 계측기와 센서는 압축 인장 휨변형률, 전단변형률, 최대처짐, 진동 및 동적특성, 균열거동 등을 계측하기 위하여 부착한다.
- 4차선 이하 교량의 경우 계측기와 센서의 부착 위치는 시험경간 내 전 거더를 대상으로 하며 4차선 이상의 경우는 예외로 한다.
- 슬래브교의 경우 시험트럭의 축간거리 간격만큼 이격시켜 전폭에 대하여 계측기와 센서를 부착함을 원칙으로 하며, 특수교량이나 박스교의 경우는 시험목적에 맞게 결정한다.
- 연속교의 경우 하중 영향범위를 고려하여 정 부 모멘트부에 공히 계측기와 센서를 부착하는 것을 원칙으로 한다.
- 센서를 부착할 경우 직사광선, 습기, 이물질에 의한 손상 및 간섭을 받지 않도록 방습 및 보호처리를 한다.

(3) 재하하중 선택

- 재하하중은 교량의 형식과 설계활하중 및 노후정도를 고려하여 하중재하로 인한 계측효과를 충분히 얻을 수 있도록 재하하중을 정하여야 한다. 그리고 전륜/후륜의 축중은 현행법상 과적기준을 초과하지 않으며, 건설기준코드(구 도로교설계기준)의 규정을 벗어나지 않는 범위 내에서 시험 중 중량의 변화가 없는 토사를 적재한 덤프트럭을 사용한다.(단, 교량의 노후 및 손상정도가 심하여 재하시험으로 추가적인 손상이 우려되는 경우는 선행 구조해석을 통하여 시험차량의 중량을 결정하는 것이 바람직하다.)

- 시험차량은 성능이 양호한 차량을 선택하며, 차량에 대한 제원과 축중을 정확히 파악한다. 3차선 이상의 교량은 2대 이상을 교폭 또는 교축방향으로 동시에 재하시켜 시험하는 것이 바람직하며, 이때 트럭간 총중량의 차이는 최소화하고 가급적 같은 모델의 차량을 사용하는 것이 좋다.
- 우천시에는 우수로 인한 적재물의 중량 증가를 방지할 수 있도록 덮개를 씌우고, 시험 종료후 하중증가가 우려되는 경우 축중을 재측정한다.
- 철도교량의 경우 실제 열차를 사용한다.(무궁화 기관차, KTX, KTX-산천 등)

(4) 재하시험 계획

- 재하시험 시기는 교량의 주변여건, 교통량, 보행자의 안전 등 경제적, 사회적 손실을 고려하여 교통통제의 영향이 적은 시간대를 선정한다.
- 우천 시나 대기온도가 계측기의 작동범위를 벗어날 때는 적절한 대책을 마련하지 않는 한 재하시험을 실시하지 않는다.

(5) 안전계획

- 재하시험원 및 교통통제원은 주 야간 모두 육안으로 식별이 가능한 복장을 착용한다.
- 차량의 안전운행을 위하여 각종 교통통제용 안전간판, 비상조명등, 보조장비를 설치하여 운영한다.
- 재하시험 종료 후 부분적으로 훼손된 교량표면을 원상 복구한다.

㉣ 정적재하시험

- 정적재하시험은 센서의 부착, 측정장비와 센서의 연결, 측정장비 및 센서의 점검, 시험차량의 중량 및 제원확인, 재하위치 표시, 교통통제 등이 완료되면 시작하도록 한다.
- 정적재하시험은 다음과 같은 목적에 따라 정적처짐 또는 정적변형률을 측정한다.

· 중립축 위치 판단
· 하중의 횡분배
· 주형과 바닥판과의 합성 작용
· 부재의 강성
· 응력 및 처짐의 영향선
· 계산응력과 측정응력의 비교

(1) 시험방법

- 재하시험은 재하차량 이외에 일반차량이 완전히 통제된 상태에서 실시한다.
- 재하경우별로 시험경간에 재하차량을 포함한 활하중이 전혀 재하되지 않은 상태에서 매 재하경우마다 영점 조정을 실시하여 시험결과를 정리할 때 반영토록 한다.
- 상부구조의 진동, 소음, 충격 등을 측정한다.
- 이 측정결과에 영향을 미칠 수 있으므로 시험차량은 시동을 끈 후 구조체의 응답시간을 고려하여 약 1분 정도의 측정대기 시간을 가진 후 측정하는 것이 좋다.
- 재하경우별로 2회 이상 반복측정을 실시하는 것이 바람직하다.
- 활하중 재하위치는 설계조건, 차선조건을 고려하여 계측 대상부재에 최대응답이 발생하도록 결정하고, 대칭성과 중첩성을 확인할 수 있는 재하조건을 적어도 1회이상 실시하는 것으로 한다.
- 전면 교통통제에 따른 차량지체가 예상되고, 교통사고의 가능성이 높은 경우에는 재하횟수를 합리적으로 줄여서 시행할 수 있으며, 재하차량을 차선별로 주행시켜 시험하는 의사정적 재하시험을 수행할 수 있다.

(2) 정적처짐

- 정적처짐의 측정위치는 대상교량의 규모와 재하시험의 목적에 따라 결정한다.
- 각 주형의 지간 중앙부에는 반드시 측점을 설치하고 필요에 따라 경간의 1/4지점, 3/4지점 (또는 1/3지점, 2/3지점) 등 측점수를 증가 시킨다.

(3) 정적변형률

- 정적변형률의 측정위치는 대상교량의 구조적 특성과 재하시험의 목적에 따라 결정한다.

㉤ 동적재하시험

- 교량의 동적재하시험은 크게 두 가지로 분류할 수 있다.
- 시험차의 주행에 따른 동적응답 으로부터 실제 교량의 충격계수 및 진동평가를 위한 시험과 교량의 동적 특성을 구하기 위한 시험이 있다.

(1) 차량 주행시험

- 특수한 목적을 제외하고 동적재하시험은 재하차량 이외에 일반차량이 완전히 통제

된 상태에서 실시한다(철도교량의 경우 실제 열차를 활용).

- 정적재하시험용 계측기와 동적재하시험용 계측기가 상이한 경우 계측기의 측정오차를 검정하기 위하여 동적재하시험용 계측기를 사용하여 정적재하시험과 동일한 1개 재하 경우를 선택하여 정적재하시험을 실시한다.
- 시험차량의 주행속도는 상행차선과 하행차선에서 각각 최저 10km/h에서부터 현장여건상 가능한 최대 주행속도까지 10km/h 간격으로 속도를 증가시키면서 교량의 동적응답신호를 측정한다.
- 측정결과를 이용하여 교량의 충격계수, 동적변형률, 가속도, 진동주기, 고유진동수에 따라 사용성능 측면에서의 교량진동 특성을 분석한다.

(2) 동적특성 시험

- 교량의 동적특성 즉 고유진동수, 감쇠율, 모드형상을 구하는 시험으로써 상시미진동, 주행차량에 의한 진동, 가진기에 의한 진동 등을 가속도계 및 변위계로 측정하는 시험이다.
- 장대교의 경우 내진안전도, 내풍안전도를 평가함에 있어 대상교량의 동특성이 기본자료로 활용되며 공용중인 교량에서 기간 경과에 따른 동특성의 차이는 교량의 손상정도를 평가하는데 사용될 수 있다.

ⓑ 의사정적재하시험(도로교량에 적용)

- 의사정적재하시험은 동적재하시험과 마찬가지로 차량주행시험을 실시하여 계측된 응답파형으로부터 정적응답을 간접적으로 유추하는 재하시험 방법으로서 동적 측정장비를 이용할 수 있고 정적재하시험에 비하여 차량통제가 용이하기 때문에 재하시험 시간을 단축할 수 있는 장점이 있다.
- 따라서 의사정적재하시험은 평가대상 교량의 현장여건, 교통량 등을 감안하여 차량의 전면교통 통제를 실시하는 것이 바람직하지 않다고 판단될 때 실시하도록 한다.
- 의사정적재하시험은 다음과 같은 요령으로 실시한다.
  - · 시험대상 교량에 정적재하시험과 같은 요령으로 재하경우별로 재하위치를 표시한다.
  - · 시험대상 교량 전후방에 신호 및 교통통제요원을 배치하고 차량의 통행이 없는 시기에 시험차량을 교량으로 유도하여 재하위치를 통과하도록 한다.
  - · 차량의 통행이 없는 시기를 확보하기 곤란한 경우에는 시험차량의 전후방에 주행유도 차량을 운행하여, 시험차량이 평가대상교량을 통과할 때까지 다른 차량의 교량진

입을 통제한다.

· 의사정적재하시험에서 시험차량의 속도는 약 10km/h 이내의 속도를 유지하도록 한다.

· 의사정적시험에서 계측된 데이터에서 동적효과를 제거하여 정적효과를 구한다.

② 세굴을 포함한 기초안전성

㉠ 일반

- 교량 세굴은 유수에 의한 침식유발능력과 지반의 침식저항능력의 상호관계에 따라 발생하는 현상이므로 수리학과 지반공학적인 측면을 모두 고려하여 주의 깊게 평가하여야 한다. 특히, 교량의 하상변화에 영향을 주는 구조물이 영향권 내에 설치될 경우 기존교량의 세굴취약성을 평가하여야 한다. 또한 1단계 평가(세굴심 평가) 후 세굴이 발생할 수 있을 경우 2단계 평가(기초안전성) 여부를 결정하여야 하며, 기초의 변위량은 허용변위량을 초과하지 않아야 한다.

㉡ 대상교량 선정

- 하천을 횡단하는 교량은 수중조사, 교량상태, 유속의 흐름, 주변 환경 변화 등을 고려하여 1단계 세굴심 검토를 통해 평가할 수 있으며, 필요시 2단계 기초안전성 전도, 활동, 지지력, 변위 등을 평가한다. 단, 수중조사 및 시추는 다음에 기술한 사항을 종합적으로 고려하여 결정한다.
- 그 외 교량의 경우 필요시 책임기술자 판단에 따라 세굴심 검토를 제외한 기초안전성만을 수행할 수 있다.

(1) 수중조사, 시추 등이 필요한 경우(해상교량 포함)

- 1단계 세굴심 검토 및 2단계 기초안전성 검토를 위한 자료가 불충분하여 이론적인 방법만으로 평가가 불가능할 경우
- 구조계의 변동이 있는 보강을 실시하였거나 일부 부재가 원 설계와 다른 부재로 교체되어 교량의 전체적인 거동을 이론적인 방법만으로 해석하기 어려운 사유가 있는 경우
- 우물통과 교각기초 사이의 거동, 기초가 암반에 근입된 상태, 교대의 부등침하, 전방이동 등 최소한의 안전성능을 확보하지 못한 상태
- 하상정비계획 또는 준설 등에 의하여 교량주변에 하상변동이 발생했을 경우
- 교량이 위치한 하천에서 계획홍수량 이상의 홍수가 발생했을 경우

- 교량에 인접하여 교량확장, 철도 복선화 공사 등으로 인한 기초공사가 시행되었을 경우

(2) 수중조사, 시추 등이 필요없는 경우

- 상태안전성능 결과가 양호하고, 인접한 부근의 기초공사, 하상의 변동 및 유속의 변화 등이 없는 경우
- 책임기술자가 판단할 때 세굴을 포함한 기초안전성에 필요한 최소한의 안전성능을 확보하고 있으며, 자료가 충분하여 수중조사가 불필요한 경우

㉢ 평가 일반

- 평가구간의 홍수 시 유량 및 유속, 하천의 흐름(수로의 이동, 흐름 유입각 등), 교각의 형상, 하상의 입자 등을 고려하여 종합적으로 가장 취약하고 세굴심이 많이 발생할 것으로 예측되는 구간을 선택함을 원칙으로 하되 교각 수에 따라 시험경간 개소를 증가시킬 수 있다.

(1) 홍수사상 선정

- 교량설치에 따른 세굴 검토를 위한 빈도는 홍수량에 따른다. 만약 500년 빈도 홍수량을 결정하기 어려운 경우에는 100년 빈도 홍수량의 1.7배 유량을 500년 빈도 홍수량으로 사용할 수 있다.

(2) 수면형 결정

- 최대세굴을 발생시킨다고 판단되는 유량에 대한 수면형을 결정한다.
- 수치모형을 사용할 경우 국내·외에서 널리 이용되는 모형을 선택하는 것이 바람직하며 특정하천에 이용하려면 활용 가능한 검증자료의 유무를 확인하고, 검증자료가 있는 경우라면 검증을 거친 후 사용하도록 한다.

(3) 세굴량 산정 및 평가

- 세굴량은 하상상승 및 하상저하, 수축세굴, 국부세굴로 구분하여 산정하고 이를 합한 것으로 한다.
- 설치되는 교각의 폭이 3m 이상이고 홍수시의 수심이 9m 이상이거나 홍수 시 유속이 3m/s 이상일 경우에는 세굴 실험을 통하여 세굴량을 산정하여야 한다. 또한, 공식을 사용하는 경우일지라도 공식적용상 어려움이 있거나 계산 결과에 대하여 불확실성이 큰 경우에는 세굴 실험을 통하여 세굴량을 산정하여야 한다.
- 수축세굴의 경우 Laursen의 공식을 사용하여 세굴량을 산정한다.
- 국부세굴공식을 이용하여 교각주위내 세굴량을 산정하는 경우 CSU 공식을 적용하여 산정하되, 불확실성을 감안하여 CSU 공식 이외에 Froehlich 공식, Laursen 공식, Neil 공식 중 최소한 2개 이상을 택하여 세굴량을 산출하고 세굴깊이와 세굴폭에 대한 평가를 실시한 후 세굴량을 결정하도록 한다. 각 공식으로 구한 세굴량의 차이가 큰 경우 산술 평균값을 적용할 수 있다.
- 세굴량을 산정하기 위한 기준, 절차 등은 건설기준코드(구 하천설계기준, 하천설계기준 · 해설)를 참조한다.

(4) 기초안전성 평가

- 기초지반에 발생하는 응력은 지반의 전단강도와 비교할 때 소요의 안전율을 확보하는 응력이하가 되도록 한다.
- 기초의 전체침하량과 부등침하량은 구조물의 안전성능과 사용성능에 영향이 없어야 한다.
- 기초는 구조물의 전도, 활동, 회전, 부상에 대하여 안전하여야 한다.
- 허용침하량은 균등침하, 부등침하, 각변위 등으로 규정할 수 있으며 구조물의 종류, 형태, 기능에 따라 정한다. 별도의 기준이 없는 경우에는 국제적으로 통용되는 기준을 준용할 수 있다.
- 기초안정성 평가는 도로설계편람 제5편(2008), 건설기준코드(구 구조물기초 설계기준)를 참조한다.

【표 3.2.20】 기초형식별 안정검사 항목

기초형식 \ 검사항목		지지력		전도	활동	연직 변위량	수평 변위량
		연직	수평				
직접기초		○	(○)	○	○	○	–
케이슨 기초	$\beta l < 1$	○	○	–	○	○	–
	$< 1 \beta l < 2$	○	○	–	○	○	○
강관널말뚝기초		○	–	–	–	○	○
말뚝 기초	유한장 말뚝	○	(○)	–	–	○	○
	반무한장 말뚝	○	(○)	–	–	○	○

주) ()는 교대구조물과 같이 수평력이 크게 발생하는 기초구조물 및 연약한 지반과 같이 수평력에 취약한 구간에 대해 적용한다.

l : 기초의 유효근입깊이(m)

EI : 기초의 휨강성(kNm^2)

K_h : 수평방향 지반반력 계수(kNm^2)

β : 기초의특성값(m^{-1}), $\beta = \sqrt[4]{\frac{K_h \times D}{4EI}}$

D : 기초폭 또는 지름(m)

【표 3.2.21】 기초형식별 안정검사 내용

기초형식		검 사 내 용				
		전도	연직지지		수평지지, 활동, 수평변위량	
		전도항목	검사면	검사항목	검사항목	검사항목
직접 기초		하중합력의 작용위치	저면	지지력	저면 (전면)[1]	전단저항력 (수동저항력)[1]
케이슨 기초			저면	지지력	저면 전면 (설계지반력)[2]	전단저항력 수동저항력 (수평변위량)[2]
강관널말뚝기초			저면	지지력	설계지반력	수평변위량
말뚝 기초	유한장 말뚝		저면	지지력	설계지반력	수평변위량
	반무한장 말뚝					

주1) () : 전면지반의 수평저항을 기대하는 경우에 대해서만 검사를 한다.

주2) () : $1<\beta l<2$의 케이슨기초에 대해서는 기초이 강성을 평가하고 수평변위량에 대해서도 검사를 한다.

㉣ 1단계 평가(세굴심 평가)에 필요한 자료

- 세굴심 평가에 필요한 자료 목록은 다음과 같다.

(1) 조사 시점에 세굴 관련 유지관리 자료가 확보되어 있는 경우

- 조사대상 교각부 설계도면
- 조사대상 교각부 주변 계획 하상고
- 유속 및 세굴심 관련 유지관리 이력 자료
- 하천정비 계획서

(2) 조사 시점에 세굴 관련 유지관리자료가 확보되어 있지 않은 경우

- 조사대상 교각 직상류뷰 수심
- 조사대상 교각 직상류부 평균유속
- 조사대상 교각의 형상, 폭 및 길이
- 흐름의 입사각
- 하상조건
- 하상재료의 입경

㉤ 2단계 평가(기초안전성 평가)에 필요한 자료

- 기초안전성 평가에 필요한 자료 목록은 다음과 같다.
  - · 조사대상 교각부 설계도면(교각과 기초의 형상 및 제원)
  - · 세굴 후 하상고(1단계 평가 결과 이용)
  - · 수심 및 최대유속
  - · 지질주상도(지층별 단위중량, 내부마찰각, N치 등)
  - · 기초하부에 작용하는 연직하중, 수평하중, 모멘트하중

③ 구조안전성능의 고려사항

㉠ 상부구조의 고려사항

- 상부구조의 구조안전성능 시 다음 사항을 충분히 고려하여 엄밀한 판정이 되도록 한다.
  - · 콘크리트 및 강재 등 재료의 실제강도
  - · 균열, 박리, 박락, 층분리
  - · 강재, 철근, 프리스트레싱 긴장재의 부식

· 구조부재의 실제단면적과 철근의 위치
· 처짐
· 볼트, 리벳, 용접 등 연결부위의 상태
· 신축 이음부와 받침부의 구속력

- 강교의 경우, 교량에 발생하는 결함 및 손상의 대부분이 용접부 및 절취부 등의 불연속면에 작용하는 응력집중에 의한 국부적인 추가손상 및 피로파손에 기인하므로 피로응력에 대한 평가를 필요로 하는 경우가 있다.
- 특히 철도교는 도로교와 달리 설계하중에 가까운 큰 하중이 통과하는 횟수가 많은 것이 특징으로 실동응력 범위가 커짐으로 인해 피로에 대한 고려가 필수요건이다.

㉡ 여유도가 없는 구조물 (Nonredundant Structure)

- 구조물에는 부분적인 부재의 파괴가 교량 전체의 붕괴를 일으킬 것으로 예상되는 주요구조부재가 존재한다. 이러한 구조물의 구조안전성능 평가시에는 이들 여유도가 없는 부재에 특별히 유의해야 한다.

㉢ 복잡한 구조물

- 「세부지침」은 국내에 일반적으로 사용되는 교량형식의 평가에 이용함을 목적으로 하기 때문에 현수교, 사장교, 곡선 거더교, 아치, 연속트러스 및 변단면 거더교량과 같이 복잡한 구조물의 안전성능검토에는 특별한 해석법 및 절차를 필요로 하며, 사교의 경우에는 부반력도 검토해야 한다.

㉣ 내진안전성 평가

- 관리주체의 요구에 따라 내진안전성 평가를 실시할 경우 “기존 시설물의 내진성능 평가 및 향상요령(국토교통부, 2012.12)”의 절차에 따라 내진 안전성평가 과업을 수행하도록 한다.

㉤ 추가하중 검토

- 관리주체의 요구에 따라 책임기술자 판단하에 내풍, 내피로 등의 평가를 실시할 경우 실험 및 구조해석 등을 통하여 구조안전성능을 검토한다.

나. 내구성능 평가

1) 일반

- 시설물의 내구성능 평가는 콘크리트 내구성능 평가 및 강재 내구성능 평가로 구성된다.

2) 콘크리트 내구성능

- 콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전 평가로는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복(표면부) 콘크리트의 품질이며, 열화환경 평가는 제설제에 의한 염해환경, 비래염분에 의한 염해환경 및 동결융해의 반복에 의한 동해환경이다.
- 열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

① 조사 구분

㉠ 열화진전평가

- 피복(표면부) 콘크리트 품질
- 콘크리트 탄산화 깊이
- 콘크리트 염화물 침투량

㉡ 열화환경평가

- 염해환경
- 동해환경

② 조사 방법

㉠ 현장조사 요령

(1) 피복(표면부) 콘크리트 품질

- 슈미트해머를 활용한 비파괴강도의 측정은 KS F 2730:2008 콘크리트 압축강도 추정을 위한 반발경도 시험방법을 따른다.

(2) 콘크리트 탄산화 깊이

- 탄산화 깊이 측정은 KS F 2596 콘크리트의 탄산화 깊이 측정 방법을 따른다.

(3) 콘크리트 염화물 침투량(염화물 함유량)

- 염화물 침투량(염화물 함유량)은 KS F 2713(콘크리트 및 콘크리트 재료의 염화물 분석 시험방법), KS F 2714(모르타르 및 콘크리트의 산-가용성 염화물 시험방법) 및 KS F 2717:2013 경화된 콘크리트의 염화물 함유량 측정 방법을 따른다.

㉡ 자료 조사

(1) 염해환경

- 대상 시설물의 위치(지번이나 주소)를 파악한다.
- 인터넷 포털사이트 지도를 이용하여 해안까지의 최단 거리(직선거리)를 측정하며, 해안선의 기준은 만조를 기준으로 한다.
- 강설횟수는 기상청 기후자료를 참조하며, 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정한다.

㉢ 동해환경

- 기상재료개방포털에 접속하여 기상관측 자료를 통한 동절기의 일 최고기온, 일최저기온, 강수량을 조사한다.
- 대상지점의 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소를 설정하며, 관측지점에 따라 다소 큰 차이가 있으므로 가까운 관측소를 기점으로 반영한다.
- 단, 군소단위의 관측소가 없다면 시 관측소를 활용한다.
- 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우 X 값 =: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃} & {강수량 > 0}인 연평균 일수 수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우 X 값 =: {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃}인 연평균 일수

3) 강재 내구성능

- 강재 내구성능 평가항목은 크게 내부적 요소와 외부적 요소로 구분된다.
- 내부적 요소는 '발청 및 도장열화' 및 '도장두께'이며, 외부적 요소는 '해안 이격거리', '이산화황 농도', '습도' 등을 포함하는 '대기환경', 그리고 '강설횟수(제설제 살포빈도)'로 평가한다.
- 발청 및 도장열화는 발청, 박리, 균열, 부풂, 변색·백아화 등 5가지 열화요인에 대해 각각 평가하고 중요도에 따라 가중평균을 한다.

① 조사 구분

㉠ 내부적 요인

- 발청 및 도장열화
- 도장두께

㉡ 외부적 요인

- 대기환경
- 강설횟수

② 조사 방법

㉠ 현장조사 요령

(1) 발청 및 도장열화

- 발청 및 도장열화 기록(사진촬영): 발청/박리/균열/부풂/변색·백아화 등 열화요인별로 구분하여 기록하며, 각 열화요인에 대해 열화수준별(열화도 높음, 보통, 낮음) 대표되는 부위는 반드시 기록한다.
- 전체 경간에 대해 전수조사를 실시하여 열화도가 낮음, 보통, 높음을 구분하고, 각 등급별로 1개소 이상씩을 선정한다.
- 선정된 평가경간은 전체 경간의 25%, 최소 3개 경간 이상을 만족하여야 하며, 평가경간을 포함하여 유사경간으로 지정한다.

【표 3.2.22】 도장열화 조사 방법

평가지표	조사항목	구분	현장조사 구간 선정	비고
발청 및 도장열화	열화형태 열화면적	상부 구조	•전체 경강의 25% •최소 3개 경간 이상 •대상 경간에 대한 전수조사	•대상경간(교각/주탑)은 열화수준(낮음/보통/높음)이 고루 분포되도록 전수조사에 의해 선정
		하부 구조	•전체 교각(주탑)의 25% •최소 3개 이상 •대상 교각(주탑)에 대한 전수조사	

- 발청/박리/균열/부풂은 육안조사 방법을 적용한다(대상경간 근접 접근 → 사진촬영 → 열화면적 측정 및 표준사진과 비교 → 등급 평가).
- 백아화 평가는 접착테이프를 사용하여 시험하려는 도장의 표면에서 백아를 떼어 낸 후 테이프에 붙어 있는 백아를 대조용 바탕(검은색이나 흰색이나 대조가 뚜렷하게 나타날 수 있는 것)과 비교하여 측정하고 표준 등급 척도를 사용하여 백아화 정도를 평가한다.

(2) 도장두께

- 도장두께 측정기기는 공인기관에서 교정된 측정 장비를 사용하며 매번 측정 전 시편에 영점조정 후 측정하여야 한다.
- 영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정할 수 있다.
- 작거나 곡면을 측정할 때에는 필히 영점조정을 하여야 하며, 조정은 코팅되지 않은 피 측정물의 기하학적으로 도형에 비슷한 상태에서 조정한다.
- 거친 표면에서의 영점을 얻기 위해서는 여러 점에서 조정해야 하고, 본체는 자동적으로 평균값을 계산한다.
- Probe는 측정 후 다른 곳으로 옮길 때 끌지 말아야 한다.
- 본체는 매우 민감한 장비이므로 취급 시 주의해야 된다.
- Probe의 접촉면은 항시 깨끗하게 유지하고, 먼지나 철편 가루로부터 멀리해야 한다.

㉡ 자료 조사

(1) 대기환경

- 해안 이격거리에 따른 비래염분 농도(MDD, mg/dm2/day), 이산화황 농도(ppm), 습도(연간젖음시간, day) 등과 같은 대기조건이 복합적으로 작용하는 환경에서 강의 부식 속도등급에 근거하여 산정된다.
- 대기환경에 대한 평가기준은 KS D ISO 9223~9226에 제시된 영향인자별 부식속도를 참고한다.
- 해안인근의 이격거리에 따른 비래염분 분포, 이산화황 농도, 연간 젖음시간 등 3가지 대기조건에 따라 강재의 등급을 분류한 것이다.

· 해안으로부터의 거리

– 평가대상 교량의 위치(지번이나 주소)를 파악하고 지도 및 인터넷 정보를 이용하여 해안까지의 최단거리(직선거리)를 측정한다.

· 이산화황 농도(ppm)

– 이산화황에 의한 오염은 시골, 도시, 산업해기를 구분하는 대표적인 부식인자이며 지역별 10년 동안의 평균 농도를 사용한다.

· 습도

– 기상청에서 제공하는 '기상연보'를 통한 해당지역의 10년 동안 평균 젖음시간 (γ, 0℃ 이상의 온도에서 상대 습도가 80% 이상인 경우) 관측일을 산정하여 사용한다.

(2) 강설횟수

– 겨울철 도로상에 살포되는 제설제에 의한 강재 부식 및 이에 의한 내구성능 저하를 고려하기 위한 평가항목이다.

– 강재 부식은 제설제 살포량보다 살포빈도와 상관관계가 더 높으며, 살포빈도는 강설횟수(빈도)와 상관성이 있다.

– 강설일수는 최근 10년간 최심신적설이 발생한 일수의 연간 평균값으로 산정한다.

– 기상청(www.kma.go.kr) 기후자료를 통한 최근 10년간 강설횟수 조사한다.

다. 사용성능 평가

1) 일반

- 시설물의 예상수요를 고려하여 공용연수 동안 확보해야할 사용자 편의성 및 계획당시의 설계기준에 근거한 사용목적을 만족하기 위한 성능으로 정의한다.
- 시설물의 사용성능평가는 사용성과 기능성으로 구분되며, 사용성은 사용자의 편의를 도모하는 시설물의 성능으로 시설물에 대한 이용자의 만족도로 평가하며, 기능성은 시설물이 계획 당시의 목적대로 서비스를 제공할 수 있는 역량과 이를 유지할 수 있는 조건의 충족여부로 평가한다.

① 조사 구분

㉠ 도로교량

- 포장상태
- 교량조명
- 진동사용성
- 점검시설
- 교통량

㉡ 철도교량

- 승차감
- 점검시설
- 통행량

② 조사 방법

㉠ 현장조사 방법

(1) 포장상태

- 고속도로의 포장상태지수(HPCI)의 관리기준을 적용하고 일반국도는 포장 상태지수(NHPCI)의 관리기준을 적용한다.
- 고속국도, 일반국도의 PCI 지수를 자료를 활용하여 평가를 수행하며, 평가된 자료가 없을 시에는 책임기술자의 판단하에 장비를 활용하여 평가를 수행할 수 있다.

(2) 교량조명

- 해당 교량에서 가로등과 가로등 중간의 위치에서 측정하며, 중앙차선과 가장 외곽차선에서의 노면 휘도를 측정하여 최젓값을 기준으로 등급을 평가한다.
- 중앙차선 또는 가장 외곽차선의 노면 휘도 측정 시 일몰 후 야간에 자동차가 지나다니지 않는 시점에 해당 차선을 향하여 차량 진행방향으로 휘도계를 측정자의 허리위치에서 45° 각도로 10회 측정하고 측정된 값 중 최젓값과 최댓값을 제외한 평균값을 사용한다.
- 단, 교량 조명이 설치어 있지 않을 경우 해당 지표를 제외한다.

(3) 진동사용성

- 도로교량 이용자가 교량 통과시 진동으로 인하여 느끼는 감각정도를 평가하기 위한 시험으로써 교량 이용차량 통과시 교량 거더의 진동수(Frequency, Hz)와 변위(Displacement, mm)를 측정하여 평가한다.

(4) 점검시설(도로교량, 철도교량 공통 적용)

- 육안조사를 통하여 점검로의 설치유무 및 설치된 점검로의 상태를 평가한다.
- 특수교량(케이블교량 등)의 유지관리를 위하여 가장 필수적인 점검로와 레일의 설치유무 및 설치된 점검로와 레일의 상태를 육안조사를 통하여 평가한다.
- 단, 교량의 구조형식에 따라 점검로 설치가 불가한 경우는 해당 지표를 제외 한다.

(5) 교통량

- 교량의 사후평가서를 참고하여 수요실제 값 대비 수요예측 값의 비율을 분석하고 해당 등급에 따라 평가를 수행한다.
- 건설사업정보화시스템(www.calspia.go.kr)의 건설공사사후평가에 입력하도록 되어 있으며, 사업효율성 분석을 위하여 수요실제와 수요예측 값을 활용한다.
- 수요실제는 시설물의 신설 이후 사후평가단계에서 실측된 수요이며, 수요예측은 예비타당성조사 또는 타당성조사 당시의 수요 추정 값인 예측치를 나타낸다.
- 도로교량은 수요실제 값 및 수요예측 값에 대한 단위는 대/일을 사용한다.

(6) 승차감

- 승객의 승차감 만족을 위해서, 실 열차하중에 의한 속도별 동적해석 응답의 최댓값

과 충격계수를 고려한 표준열차하중 단선재하에 의한 최댓값 중 불리한 값이 건설기준코드(구 철도설계기준)에 제시된 제한 기준을 만족해야한다.

(7) 통행량

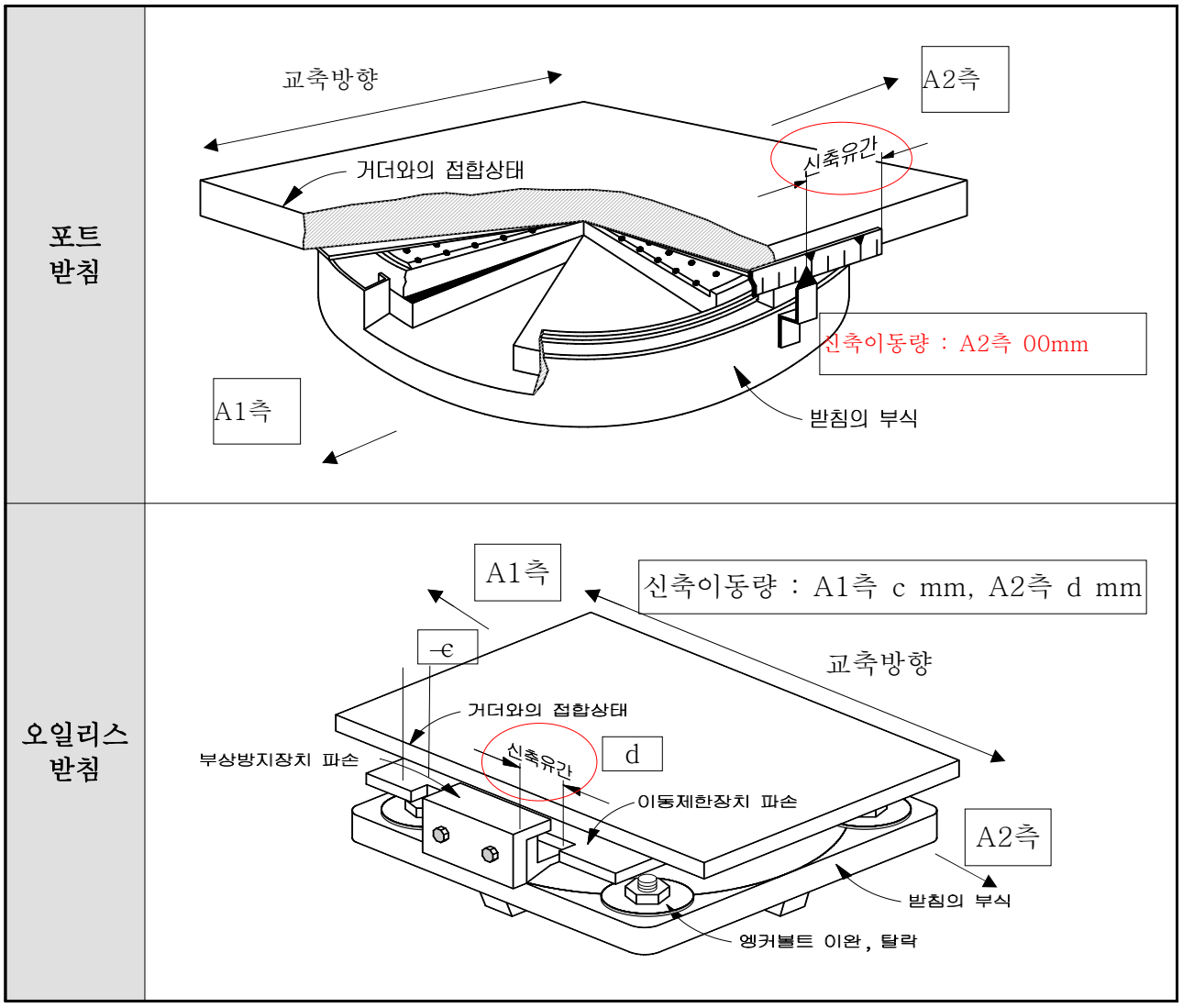
- 교량의 사후평가서를 참고하여 수요실제 값 대비 수요예측 값의 비율을 분석하고 해당 등급에 따라 평가를 수행한다.
- 건설사업정보화시스템의 건설공사사후평가에 입력하도록 되어 있으며, 사업 효율성 분석을 위하여 수요실제와 수요예측 값을 활용한다.
- 해당 건설공사에 대한 건설공사사후평가서가 없을 경우 일일 통행 횟수로 등급을 산정한다.
- 단, 통행횟수는 일반철도 교량과 고속철도 교량을 구분하여 적용한다.
- 한국철도공사의 여객열차 일 통행 횟수의 경우, 코레일 홈페이지 ➜ 사업분야 ➜ 여객사업 ➜ 열차운행현황에 의거하여 조사하고, SRT의 일통행횟수는 SRT홈페이지에서 확인 가능하다.

(8) 기타 책임기술자가 필요하다고 판단하는 사항

3.2.3 교량받침 조사

가. 교량받침 이동량조사

1) 받침장치 이동량 조사방법



【그림 3.2.16】 받침장치 이동량 조사방법

2) 이동량 산출 근거

【표 3.2.23】 받침장치 이동량 산출

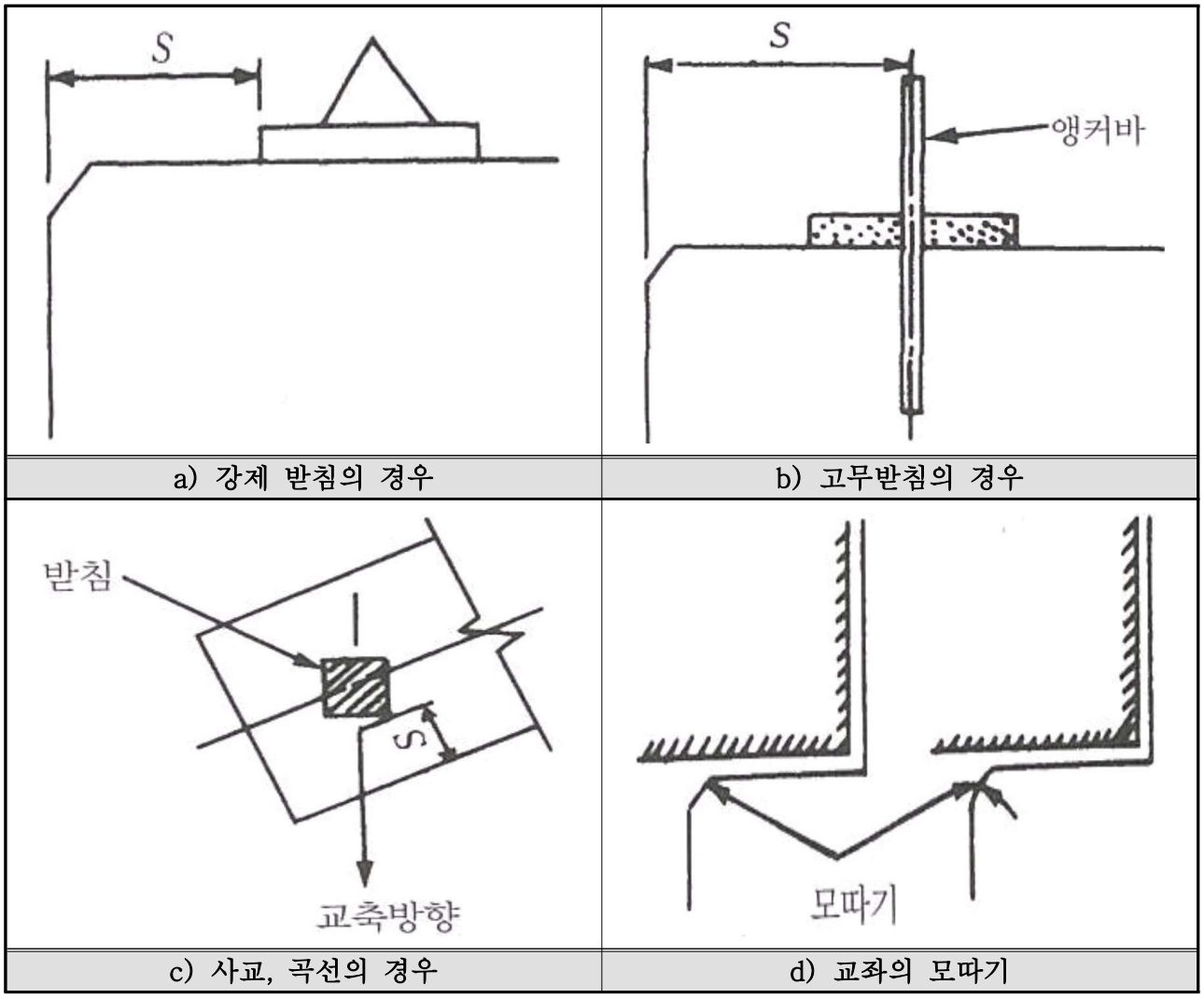
구분	신축장 100m 미만의 교량	신축장 100m 이상 초과 교량	비고
기본 신축량	•온도신축+건조수축+크리프	•온도신축+건조수축+크리프+빔의 회전	

※ 출처 : 도로설계요령 - 한국도로공사

나. 교량받침 연단거리 조사

1) 교량받침 연단거리 조사 방법

- 받침연단거리 S는 콘크리트 교좌에 강제받침을 설치하는 경우와 고무받침을 설치하는 경우에 대하여 a, b항과 같이 정의된다. 고무받침의 경우에는 앵커 중심과 하부구조 정부 연단과의 거리를 S로 정의하는데, 이것은 상부구조의 신축과 회전이 고무받침 자체의 변형에 의해 흡수되어 교좌의 파괴는 앵커로부터 발생하기 때문이다. 사교 혹은 곡선교의 경우 받침 연단거리 S는 c항과 같이 하부구조 정부연단의 최단거리 방향으로 확보하여야 한다.
- 받침을 사용하지 않는 경우에는 정면의 연단부근에 구배를 주거나 모따기를 하여 정면 연단의 손상을 방지하여야 한다.



a) 강제 받침의 경우 | b) 고무받침의 경우

c) 사교, 곡선의 경우 | d) 교좌의 모따기

【그림 3.2.17】 받침장치 형식에 따른 연단거리 조사 방법

2) 교량받침 연단거리 산출근거

- 교축방향의 받침연단과 하부구조 정부연단 사이의 거리 S(㎝)는 다음의 값 이상으로 한 다.(도로설계요령 - 한국도로공사)

① 들보의 지간길이 100m 이하인 경우

S = 20 + 0.5L ····· <식 3.1>

② 들보의 지간길이 100m 이상인 경우

S = 30 + 0.4L ····· <식 3.2>

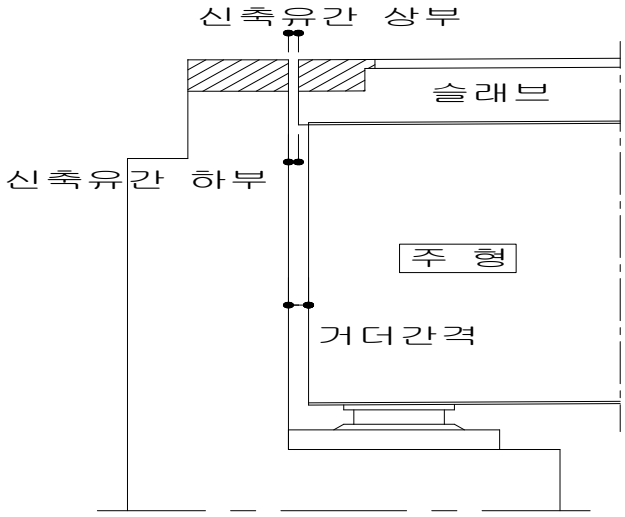
여기서, S : 받침연단거리(cm), L : 거더의 지간길이(m)

3.2.4 신축이음 유간조사

상부구조는 고정단을 중심으로 하절기시 교축방향으로 신장하게 된다. 슬래브 및 거더 단부의 유간이 부족할 경우 단부 파손, 기타 손상이 발생될 수 있으므로 점검시 슬래브 및 거더의 유간거리를 측정하여 계산치와 비교검토 함으로서 슬래브 유간의 적정성을 판단한다.

가. 측정방법

유간거리 실측은 다음 그림과 같이 측정하였다.



【그림 3.2.18】 유간거리 측정방법

나. 설계신축량 검토

항목 \ 종류		강 교		PSC 교	RC 교
		상로교	하로, 강상판교		
온도변화		(−20 ~ +40℃) −10 ~ +40℃	(−20 ~ +50℃) −10 ~ +50℃	(−15 ~ +35℃) −5 ~ +35℃	(−15 ~ +35℃) −5 ~ +35℃
신축량	온도변화	(0.6 × 1.2l) 0.5 × 1.2l	(0.7 × 1.2l) 0.6 × 1.2l	(0.5l) 0.4l	(0.5l) 0.4l
	건조수축	−	−	0.1l	0.1l
	크 리 프	−	−	0.2l	−
	기본수축량 소 계	(0.72l) 0.6l	(0.84l) 0.72l	(0.8l) 0.7l	(0.6l) 0.5l
	신축여유량	(0.14l + 10) 0.2l + 10	(0.17l + 10) 0.14l + 10	(0.16l + 10) 0.14l + 10	(0.12l + 10) 0.10l + 10
	합 계	(0.86l + 10) 0.72l + 10	(01.01l + 10) 0.86l + 10	(0.96l + 10) 0.84l + 10	(0.72l + 10) 0.60l + 10

※ ( ) : 한랭지방에 적용.

※ l : 신축하는 거더의 길이(m).

※ 출처 : 도로설계요령 − 한국도로공사

경과기간	2개월	6개월	12개월	18개월	24개월	5년경과
건조수축	0.1l	0.06l	0.04l	0.03l	0.02l	0
크리프	0.2l	0.12l	0.08l	0.06l	0.04l	0
계	0.3l	0.18l	0.12l	0.09l	0.06l	0

다. 온도변화

1) 신축장 100m 미만 교량의 신축량

$$\Delta_l = \Delta l_t + \Delta l_s + \Delta l_c + \text{여유량}$$

여기서, Δl : 신축량

Δl_t : 온도변화에 의한 이동량

Δl_s : 콘크리트의 건조수축에 의한 이동량

Δl_c : 콘크리트의 크리프에 의한 이동량

} 기본 신축량

여유량 : 설치여유량(기본신축량× 20%)+부가여유량(10mm)

2) 신축장 100m이상의 경우

$$\Delta_l = \Delta l_t + \Delta l_s + \Delta l_c + \Delta l_r + \text{여유량}$$

여기서, Δl : 신축량
Δl_t : 온도변화에 의한 이동량
Δl_s : 콘크리트의 건조수축에 의한 이동량
Δl_c : 콘크리트의 크리프에 의한 이동량
Δl_r : 활하중에 의한 거더의 처짐으로 발생하는 이동량
여유량 : 설치여유량(10mm)+부가여유량(20mm)

3) 온도변화에 의한 이동량 (Δl_t)

$$\Delta l_t = \Delta T \cdot \alpha \cdot L$$

여기서, ΔT : 온도변화
α : 선팽창계수
L : 신축거더 길이(m)

【표 3.2.24】 온도변화 및 선팽창계수

교량 종류		온도변화		선팽창계수
		보통지방	한랭한 지방	
PSC교, RC교		−5℃ ~ +35℃	−15℃ ~ +35℃	1.0×10^{-5}
강 교	상로교	−10℃ ~ +40℃	−20℃ ~ +40℃	1.2×10^{-5}
	하로교 강바닥판교	−10℃ ~ +50℃	−20℃ ~ +50℃	1.2×10^{-5}
지 역		•대천, 구미, 대구, 부산, 강릉, 논산, 전주, 광주, 순천, 진주, 마산, 창녕, 고령, 동서울	•인천, 수원, 천안, 영동, 이천, 원주, 대관령, 경안, 진천	

※ 출처 : 도로설계요령 - 한국도로공사

4) 콘크리트의 건조수축에 의한 이동량(Δl_s)

$$\Delta l_s = \Delta T \cdot \alpha \cdot L \cdot \beta$$

여기서, ΔT : 온도변화
α : 선팽창계수
L : 신축거더 길이
β : 저감계수

【표 3.2.25】 건조수축, 크리프의 저감계수, β

콘크리트의 재령(월)	0.25	0.5	1	3	6	12	24
건조수축, 크리프의 저감계수(β)	0.8	0.7	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1

【표 3.2.26】 콘크리트의 크리프 계수와 건조수축량

콘크리트의 건조수축	20℃ 하강상당
콘크리트의 크리프계수	φ= 2.0

5) 콘크리트의 크리프에 의한 이동량(Δl_c)

$$\Delta \ell_c = \frac{P_i}{E_c \cdot A_c} \cdot \varphi \cdot \beta \cdot L$$

여기서, P_i : Prestressing 직후의 PSC 강재의 작용하는 인장력
E_c : Concrete 탄성계수
A_c : Concrete 단면적
φ : Concrete Creep 계수
β : 저감계수
L : 신축거더 길이

6) 활하중에 의한 거더의 처짐으로 발생하는 이동량(Δl_r)

- 일반적으로 거더교의 경우 거더의 처짐에 의한 영향은 거더 단부의 회전에 의한 이동량에 대해서만 고려한다.

※ 단순교에서는 보의 처짐에 의한 이동량을 2배로 계산

$$\Delta l_r = \sum (h_i \cdot \Theta_i)$$

여기서, h : 보의 중립축에서 받침의 회전중심까지의 거리 (통상 거더 높이의 2/3)

Θ_i : 받침 상부의 거더의 회전각 (강교:1/150, 콘크리트교:1/300)

3.2.5 현장조사 결과

가. 대상구조물의 개요

본 과업 대상시설물인 장암교는 충청남도 공주시 석장리동 110-1번지 일원에 위치하고 있으며, 1995년 12월 30일에 준공되어 약 30년간 공용 되어온 교량이다.

장암교의 상부구조형식은 강박스 거더교(6경간)으로 구성되어 있으며, 하부구조 교대는 역T형 2기와 교각은 라멘식 5기로 시공되어 있다. 총연장은 280.0m로 최대경간장이 50m이며, 설계하중 DB(DL)-24(1등교)로 설계되었다.

본 시설물에 대한 외관조사는 대상교량의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단함을 목적으로 교량부재 전체에 대하여 가능한 한 근접한 상태에서 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였다. 따라서, 사전 현장답사를 통해 주변 여건을 파악하여 현장 접근에 필요한 접근방법 및 장비 동원과 그에 따른 일정계획을 수립하고, 기초자료의 수집 및 분석을 통한 주요 손상을 파악하는 등의 사전검토를 통하여 주요 손상을 파악한 후 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단편, 교량(2024.12, 국토교통부/국토안전관리원)』의 실시요령에 따라 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물의 기능 및 성능 저하, 상태 등을 신속·정확하게 검사·평가하는 데 주안점을 두고 외관조사 방향을 결정하였다.

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

장암교의 조사 방법은 도보를 통한 1차 외관조사 실시 후 접근장비를 이용한 2차 조사를 실시하였으며, 도보를 통한 3차조사(추가조사)을 실시하였다. 접근장비는 교량점검차를 이용하여 최대한 접근 후 조사를 실시하였다.

1) 현장조사 개요

- 외관조사는 손상현황 및 결함의 상태를 파악하여 시설물의 건전성을 저해시키는 위험요인을 사전에 발견하여 보다 적절한 보수대책 수립을 위한 기본자료를 얻기 위함이며, 현장조사는 도보를 이용한 정밀 육안조사를 기본으로 하되 접근이 어려운 구간에 대해서는 점검차량 등 접근장비를 이용하여 대상 부위에 가능한 근접하여 조사를 실시하였다.

- 재료시험은 Schmidt Hammer, 콘크리트 초음파시험기, RC-RADAR(철근탐사기) 등의 비파괴 장비를 이용하여 측정부위에 유해한 영향이나 파괴를 최소화 하는 범위 내에서 충분한 물리적 특성자료를 확보할 수 있도록 실시하였다.
- 외관조사 시 손상 또는 결함의 정도에 대한 조사자의 주관적인 판단에 의한 차이를 최소화하기 위하여 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침(국토부 제 2018-45호)」, 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침, 해설서(국토교통부, 한국시설안전공단, 2018. 6.)」를 기준으로 수행하였으며, 손상 정도는 “a” ~ “e” 5단계로 분류하고, 점검항목의 체계화를 위하여 부재별로 평가를 실시하였다.

2) 현장조사 진행방향

- 본 과업의 현장조사 진행방향은 다음과 같다.

【표 3.2.27】 사전조사를 통한 외관조사방향

구분	외관조사 방향
현장답사 및 예비조사	•시설물 현황 확인, 부재별 조사방법 및 접근장비 계획 •주변 상태변화 파악 •이력사항 검토를 통하여 부재별 주요 결함, 보수·보강 부재, 부위 파악 •설계 및 시공자료 검토를 통해 중점점검 부재 등 조사방향 결정 •조사인원 구성, 진단장비, 교통통제 계획 및 유관기관 협의, 기타 일정 계획
본 조사	•Steel Box, 교대, 교각 등 주부재 손상 보수여부, 균열, 열화 및 손상 •교량받침, 신축이음장치 이동여유량 확보여부 검토, 외관 및 기능상태 육안점검, 측정 •교면 콘크리트포장 균열, 열화 및 손상 발생여부 •콘크리트 부재 재료시험 -상기사항을 중점 점검하여 손상의 원인을 판단하고, 원인에 따른 적정한 보수·보강방안 및 범위, 효율적인 유지관리방안 제시

【표 3.2.28】 각 부재 별 조사방법 및 기간

구분	경간	조사방법	조사기간	비고
1차 조사	S1~S6	도보	2025.11.17. ~ 11.21	
2차 조사	S1~S6	교량점검차	2025.12.08. ~ 12.09	
3차 조사	S1~S6	도보	2025.12.10 ~ 12.12	

【표 3.2.29】 현장조사 방법 및 전경

조사내용 및 전경			
내용	교량점검차 이용 현황	내용	교량점검차 이용 현황
내용	교면상부 조사 현황	내용	거더 내부 조사 현황

나. 장암교 외관조사 결과

1) 상부구조

- 상부구조에 대한 외관조사는 바닥판과 거더(내부, 외부)로 구분하여 실시하였으며, 강상형거더에 대한 내부 및 외부 외관조사(항목: 도장상태, 박스내부 물고임 및 강재부식 및 변형여부, 볼트연결부, 용접부 상태, 보강재 하단 용접부 균열, 복부판 부식 및 국부좌굴, 박스내부 출입구 방치, 플랜지변형 및 처짐, 현장이음부 볼트손상, 누수 등)를 고려하여 분석 및 평가를 수행하였다.

① 바닥판

- 장암교의 바닥판은 Steel Box Girder교로 거더와 거더사이는 Deck Plate로 좌우측 캔틸레버는 콘크리트로 구성되어 있다. 바닥판의 근접 외관조사는 교량점검차 및 도보를 이용하여 실시하였다.

바닥판 하면 전경(중앙부)	**바닥판 하면 전경(캔틸레버부)**

㉠ 외관조사 결과

-바닥판은 중앙부, 캔틸레버부에 대하여 조사하였다.

-외관조사 결과 중앙부 deck plate 도장박리, 부식, 볼트부식, 신축이음 하부 누수, 캔틸레버부 균열(폭0.3㎜미만), 균열부 백태, 망상균열, 박락, 재료분리, 지장물 덮개파손 및 부식 등의 손상이 발생된 것으로 조사되었다.

【표 3.2.30】 바닥판 외관조사 결과

구분	균열		열화 및 손상			
	균열 (0.3㎜ 미만)	균열부 백태	망상균열	덮개부식	덮개파손/부식	도장박리
	(m/EA)	(m/EA)	(㎡/EA)	(m/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)
S1	1.80/2	-	-	-	-	-
S2	18.80/19	-	1.00/1	-	-	-
S3	0.60/1	-	4.00/1	-	-	0.02/2
S4	0.30/1	-	-	1.50/1	0.50/1	-
S5	6.00/1	1.60/4	35.00/2	-	-	-
S6	-	-		-	1.00/1	0.10/1
합계	27.50/24	1.60/4	40.00/4	1.50/1	1.50/2	0.12/3

구분	열화 및 손상					
	박락	볼트부식	부식	신축하부누수	재료분리	점부식
	(㎡/EA)	(EA)	(㎡/EA)	(m/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)
S1	0.01/1	-	-	-	-	-
S2	-	5	0.09/5	-	0.06/1	-
S3	0.06/1	-	0.08/8	-	-	0.26/1
S4	-	-	0.09/9	-	-	-
S5	-	-	0.03/2	-	-	-
S6	-	-	0.02/2	0.40/2	-	-
합계	0.07/2	5	0.31/26	0.40/2	0.06/1	0.26/1

【표 3.2.31】 바닥판 기 점검 결과 비교

구 분		단위	손 상 물 량				손상물량변화 (⇧:증, ⇩:감)		비고
			2023년 정밀안전점검		2025년 정밀안전진단				
			물량	개소	물량	개소			
바닥판	균열(0.3mm미만)	m	19.3	20	27.50	24	⇧	8.2	
	균열부백태	m	0.32	4	1.60	4	⇧	1.28	
	덮개부식	m	1.5	1	1.50	1	-	-	
	덮개파손/부식	㎡	1.5	2	1.50	2	-	-	
	도장박리	㎡	-	-	0.12	3	⇧	0.12	
	망상균열	㎡	36.0	3	40.00	4	⇧	4	
	박락	㎡	0.07	2	0.07	2	-	-	
	볼트부식	ea	-	-	5.00	5	⇧	5	
	부식	㎡	0.36	20	0.31	26	⇩	0.05	
	신축하부누수	m	0.4	2	0.40	2	-	-	
	재료분리	㎡	0.06	1	0.06	1	-	-	
	점부식	㎡	-	-	0.26	1	⇧	0.26	

S1 캔틸레버부 박락	S2 캔틸레버부 균열(cw:0.3mm미만)
S3 캔틸레버부 망상균열	S4 캔틸레버부 보호덮개 파손, 부식
S5 캔틸레버부 균열	S5 캔틸레버부 망상균열

S5 캔틸레버부 균열, 백태	S5 캔틸레버부 보호덮개 부식
S2 바닥판 데크플레이트 부식	S3 바닥판 데크플레이트 부식
S4 바닥판 데크플레이트 부식	S5 바닥판 데크플레이트 부식

㉡ 주요 손상발생 원인 및 검토의견

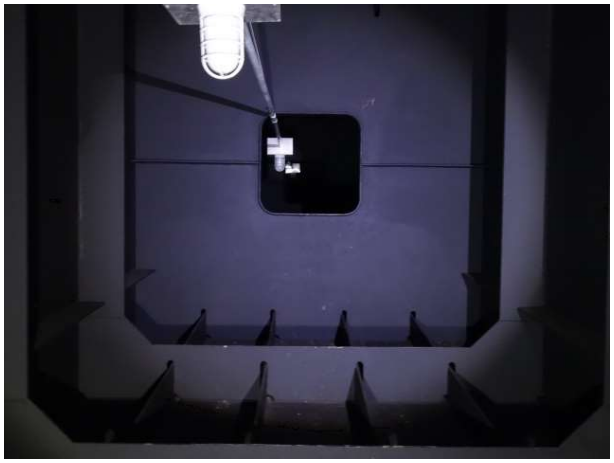
- 캔틸레버부에 발생된 균열(cw:0.1~0.3㎜), 균열(cw:0.3㎜미만), 망상균열 손상은 시공초기 건조수축, 중차량 통행에 따른 반복하중 등에 의한 것으로 비구조적 손상으로 판단되며, 폭 0.1~0.2㎜ 균열, 망상균열은 내구성 유지 및 손상 진전 방지 차원의 표면보수를 실시하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.
- 균열부 백태 손상은 균열부를 통한 수분유입 등에 의해 발생된 것으로 판단되며, 손상 방치시 내구성 및 내하력 저하가 발생 될 수 있으므로, 균열부 보수를 통한 내구성 확보가 필요할 것으로 판단된다.
- 박락, 재료분리 등의 단면손상은 콘크리트 타설불량, 피복덮개 부족 등에 의해 발생된 손상으로 손상정도가 경미하여 주의관찰 후 손상부 확대시 단면보수 등으로 통한 내구성 확보가 필요할 것으로 판단된다.
- 바닥판 중앙부 데크플레이트 부식은 점부식 형태로 손상정도는 경미한 상태로 도장시 건조미흡, 하지처리 미흡, 습윤환경 등에 의해 발생된 것으로 판돤되며, 재도장을 통한 보수가 필요할 것으로 판단된다.
- 신축이음부 하면 누수 손상은 신축이음장치 파손에 따른 손상으로 금회 점검시 신축이음교체보수가 실시되어 추후 점검을 통한 지속적인 주의관찰이 필요할 것으로 판단된다.
- 보호덮개 부식 및 파손 손상은 공용기간 경과에 따른 열화 및 수분침투 등에 의한 손상으로 재도장 및 재설치를 통한 보수가 요구된다.
- 금번 점검시 기 점검결과와 비교하여 추가 손상 및 손상부 진전 등 공용년수 증가에 따른 손상들이 지속적으로 발생되고 있는 것으로 조사되어 내구성 확보, 기능성 저하 방지를 위한 적절한 보수가 필요하며 지속적인 주의관찰을 통한 유지관리가 요구된다.

㉢ 기 점검결과와의 비교 · 분석

전차 점검과 비교하여 전반적으로 기존손상을 유지하고 있으며, 일부 손상이 다소 증가한 것으로 조사되었다. 조사된 손상은 내구성 확보, 손상 진전억제, 기능성 향상 및 향후 유지관리를 위한 적절한 보수가 요구되며 정기적인 점검을 통한 지속적인 손상부 주의관찰이 필요하다.

② 거더

- 장암교 강박스 거더는 경간단 3개의 거더가 설치되어 있으며, 거더와 거더 사이에는 가로보 및 세로보가 시공되어 있고, 내부에는 격벽이 설치되어 있다.
- 강박스 거더 내·외부에 대한 점검은 피로균열 발생 부재, 부식에 의한 단면감소, 구조적인 변형 여부, 도장손상 등 안전성, 내구성 및 사용성에 영향을 미치는 결함에 대하여 조사를 수행하였다.
- 강박스 거더 외부에 대해서는 바닥판과 동일한 방법으로, 내부에 대해서는 도보에 의해 외관조사를 실시하였다.

	
강박스 거더 내부 전경	강박스 거더 외부 전경

㉠ 외관조사 결과

- 강박스 거더 내부에 대한 외관조사 결과 강재도장 박리, 부식, 들뜸, 리브변형, 볼트부식, 실링재 탈락, 이물질퇴적, 조명파손, 볼트체결불량, 볼트탈락, 조명등덮개탈락, 출입문 탈락 등의 손상이 조사되었다.
- 강박스 거더 외부에 대한 외관조사 결과 강재도장 박리, 부식 및 점부식, 강재변형, 볼트부식, 탈색 등의 손상이 조사되었다.

【표 3.2.32】 강박스 거더 내부 외관조사 결과

구분	거더내부								
	도장들뜸	도장박리	도장불량	리브변형	볼트부식	볼트체결불량	볼트탈락	부식	부식/체수
	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(m/EA)	(EA)	(EA)	(EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)
S1	–	2.68/23	–	–	–	–	3	0.56/2	–
S2	–	2.52/18	0.17/16	8.00/7	–	–	–	2.04/6	–
S3	–	2.24/28	–	4.90/8	–	–	–	1.45/5	–
S4	0.11/3	2.71/36	–	4.30/4	–	1	–	1.46/5	–
S5	–	3.58/28	–	3.80/4	12	–	–	2.47/8	0.50/1
S6	–	6.57/14	–	–	26	–	–	19.21/8	–
합계	0.11/3	20.3/147	0.17/16	21.00/23	38	1	3	27.19/34	0.50/1

구분	거더내부							
	실링재 탈락	용접누락	용접부 부식	용접불량	이물질 퇴적	조명덮개 탈락	조명파손	출입문 탈락
	(EA)	(EA)	(m/EA)	(EA)	(㎡/EA)	(EA)	(EA)	(EA)
S1	1	–	–	–	2.25/3	3	1	1
S2	1	–	0.20/1	–	–	2	4	–
S3	5	–	–	–	–	–	5	–
S4	4	22	–	1	–	–	2	–
S5	2	–	–	–	–	3	6	–
S6	3	–	–	–	20.00/1	–	9	–
합계	16	22	0.20/1	1	22.25/4	8	27	1

【표 3.2.33】 강박스 거더 외부 외관조사 결과

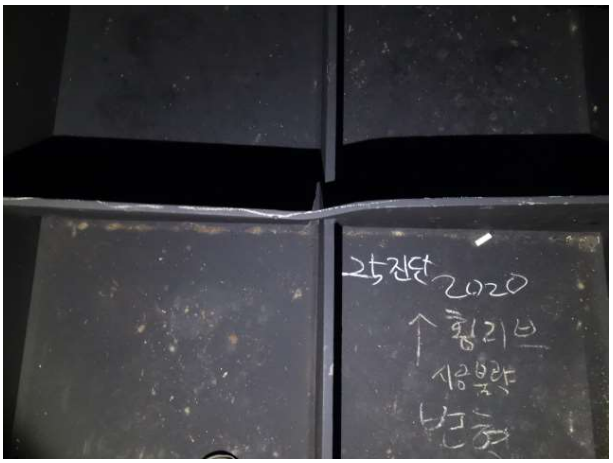
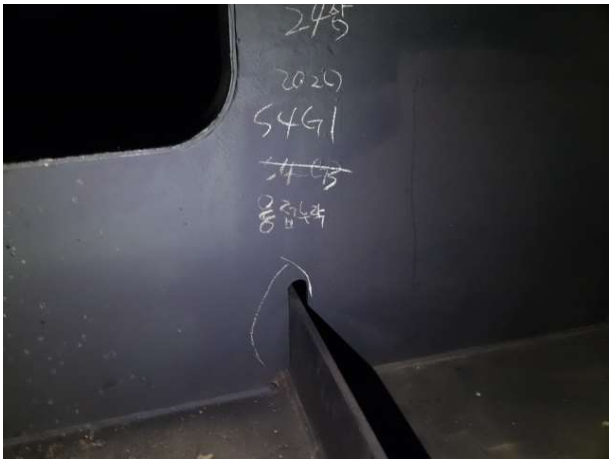
구분	거더외부							
	도장박리	도장박리/부식	도장박리/박락	부식	점부식	강재변형	볼트부식	탈색
	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(m/EA)	(EA)	(㎡/EA)
S1	–	0.03/1	–	0.31/2	–	–	–	–
S2	–	–	0.04/1	0.07/2	0.42/3	–	35	50.00/1
S3	–	–	–	0.61/4	–	–	28	–
S4	0.01/1	–	–	0.04/2	–	–	1	–
S5	–	–	–	0.02/1	0.01/1	0.40/3	16	–
S6	–	–	0.04/1	0.56/6	–	–	24	–
합계	0.01/1	0.03/1	0.08/2	1.61/17	0.43/4	0.40/3	104	50.00/1

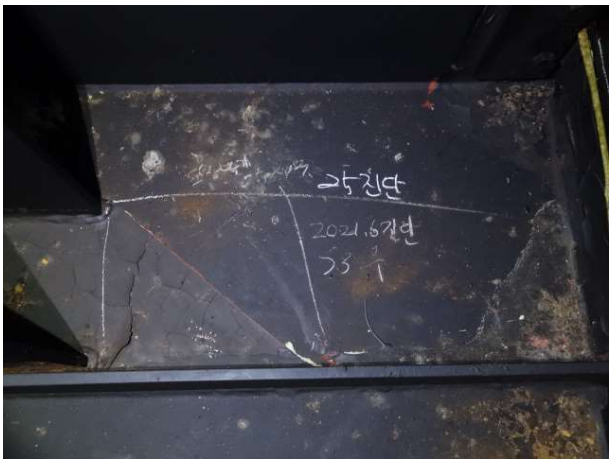
【표 3.2.34】 강박스 거더 내부 기 점검 결과 비교

구 분			단위	손 상 물 량				손상물량변화 (⇧:증, ⇩:감)		비고
				2023년 정밀안전점검		2025년 정밀안전진단				
				물량	개소	물량	개소			
Steel Box Girder	내부	도장들뜸	㎡	0.11	3	0.11	3	–	–	
		도장박리	㎡	9.08	55	20.30	147	⇧	11.22	
		도장불량	㎡	0.17	16	0.17	16	–	–	
		리브변형	m	20.7	22	21.00	23	⇧	0.3	
		볼트부식	EA	20	20	38.00	38	⇧	18	
		볼트체결불량	EA	1	1	1.00	1	–	–	
		볼트탈락	EA	–	–	3	3	⇧	3	
		부식	㎡	12.42	33	27.19	34	⇧	14.77	
		부식/체수	㎡	–	–	0.50	1	⇧	0.5	
		실링재탈락	EA	44	44	16.00	16	⇩	28	
		용접누락	EA	22	22	22.00	22	–	–	
		용접부부식	m	0.2	1	0.20	1	–	–	
		용접불량	EA	1	1	1.00	1	–	–	
		이물질퇴적	㎡	32.25	4	22.25	4	⇩	10.00	
		조명덮개탈락	EA	4	4	8.00	8	⇧	4	
		조명파손	EA	13	13	27.00	27	⇧	14	
		출입문탈락	EA	–	–	1	1	⇧	1	

【표 3.2.35】 강박스 거더 내부 기 점검 결과 비교

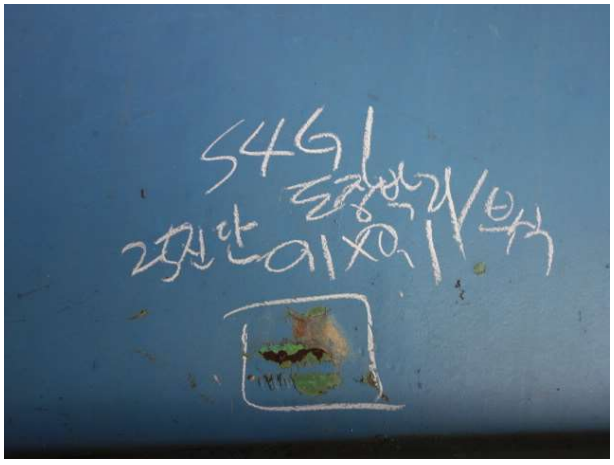
구 분			단위	손 상 물 량				손상물량변화 (⇧:증, ⇩:감)		비고
				2023년 정밀안전점검		2025년 정밀안전진단				
				물량	개소	물량	개소			
Steel Box Girder	외부	탈색	㎡	50	1	50.00	1	–	–	
		도장박리	㎡	–	–	0.01	1	⇧	0.01	
		도장박리 및 부식	㎡	0.09	1	0.03	1	⇩	0.06	
		도장박리 / 박락	㎡	0.08	2	0.08	2	–	–	
		도장박락	㎡	0.09	1	–	–	⇩	0.09	
		부식	㎡	1.3	11	1.61	17	⇧	0.31	
		점부식	㎡	0.19	3	0.43	4	⇧	0.24	
		강재변형	m	0.4	3	0.40	3	–	–	
		볼트부식	EA	83	83	104.00	104	⇧	21	

	
S1G1 LF(i) 부식	S1G1 LF(i) 리브변형
	
S1G1 UF(i) 조명등 파손	S4G1 LF(i) 용접누락
S6G1 RW(i) 볼트 부식	S1G2 LF(i) 이물질 퇴적

	
S1G2 LF(i) 볼트 탈락	S3G2 LF(i) 도장박리 및 부식
S5G2 LF(i) 체수	S6G2 LF(i) 부식
S1G2 LW(e) 부식	S2G2 LF(e) 점부식

S3G2 LF(e) 부식

S2G1 LW(e) 탈색



S4G1 LF(e) 도장박리/부식

S4G1 LF(e) 볼트부식

S5G2 LF(e) 부식

S6G1 LW(e) 볼트 부식

S6G2 LF(e) 부식	S6G3 LF(e) 부식

㉡ 주요 손상발생 원인 및 검토의견

(1) 강박스 거더 내부

- 거더 내부에 발생된 종리브 용접부 탈락은 2013년 정밀안전진단 시에는 조사되지 않았으며, 2017년 정밀안전점검 시 최초로 조사되었다. 금번 정밀안전진단 결과 2017년 당시 상태를 유지하고 있는 것으로 나타났다. 종리브는 단절됨이 없이 연속성이 있어야 하나 현재 상태에서 손상부를 제거 후 재용접을 실시하게 되면 손상규모에 비해 비경제적인 보수가 되므로 주의관찰이 요구된다. 또한 거더 외부의 하부플랜지 변형은 시공당시 충격에 의한 것으로 이 또한 즉각적인 보수보다는 주의관찰이 요구된다.
- 강박스 거더 내부에 발생한 도장박리, 들뜸, 부식 손상은 도장시 건조미흡, 하지처리 미흡 및 공용기간 경과에 따른 노후화에 의한 것으로 판단되며 주의관찰후 재도장 등으로 통한 보수가 필요할 것으로 판단된다.
- Splice 이음부로 유입된 우수에 의한 이음부 부식, 누수흔적, 실링제탈락 손상부에 대해서는 추가 우수유입 및 거더의 부식 발생 방지를 위한 실링재 마감을 실시하는 것이 바람직하다.
- 볼트부식, 볼트체결불량, 볼트탈락 등의 볼트 및 연결부 손상은 공용기간 경과에 따른 통행차량의 진동 및 충격 등에 의한 볼트체결부 손상으로 전반적으로 체결상태는 양호하나 국부적으로 발생된 손상으로 주기적인 점검 등을 통해 볼트체결부 확인이 필요하며, 재체결 및 재도장 등이 요구된다.
- 거더내부 리브에 발생된 국부적인 변형 손상은 시공시 충격 또는 공용중 충격에 의해 발생된 손상으로 구조적 영향은 없는 것으로 사료되며 정기적인 점검을 통한 주

의관찰이 요구된다.

- 거더 내부 외관 조사 결과 발생된 손상부는 전차와 비교하여 비교적 동일한 손상상태를 유지하고 있으며, 일부 부식, 조명시설 파손 등의 손상이 다소 증가한 것으로 조사되어, 즉각적인 보수는 필요치 않으나 추후 점검 등을 통해 손상의 진행 여부 확인이 필요할 것으로 판단된다.

(2) 강박스 거더 외부

- 강박스 거더 외부에 발생한 도장박리, 부식, 탈색 등의 도장손상은 공용기간 증가, 도장 노후, 부칙력 저하 및 온도변화에 따른 결로에 의한 것으로 판단되며 부식 증가에 의한 강재 단면 감소 등이 우려되므로 사용성 확보, 손상 진전 억제를 위한 재도장이 필요하다.
- 강재 변형, 긁힘 손상은 시공당시 또는 공용중 장비 등에 의한 추돌 등 외부충격에 의한 것으로 구조적 안전성에 영향은 없는 것으로 판단되므로 정기적인 점검을 통한 손상부 주의관찰이 요구된다.
- 볼트부식 손상은 공용기간 증가, 도장 노후, 부칙력 저하 및 온도변화에 따른 결로 및 이음부를 통한 우수유입에 의한 것으로 판단되어 사용성 확보, 손상 진전 억제를 위한 재도장이 필요하며, 볼트체결 및 연결상태는 양호한 것으로 판단되어 지속적인 주의관찰이 요구된다.
- 외관 조사 결과 용접불량, 강재균열, 보강재 변형 등의 구조적 손상은 없는 것으로 조사되어 안전성에는 문제가 없는 것으로 사료된다.

㉢ 기 점검결과와의 비교 · 분석

전차 점검과 비교하여 전반적으로 기존손상을 유지하고 있으며, 일부 손상이 다소 증가한 것으로 조사되었다. 조사된 손상은 내구성 확보, 손상 진전억제, 기능성 향상 및 향후 유지관리를 위한 적절한 보수가 요구되며 정기적인 점검을 통한 지속적인 손상부 주의관찰이 필요하다.

③ 가로보 및 세로보

가로보 및 세로보 전경	가로보 및 세로보 전경

㉠ 외관조사 결과

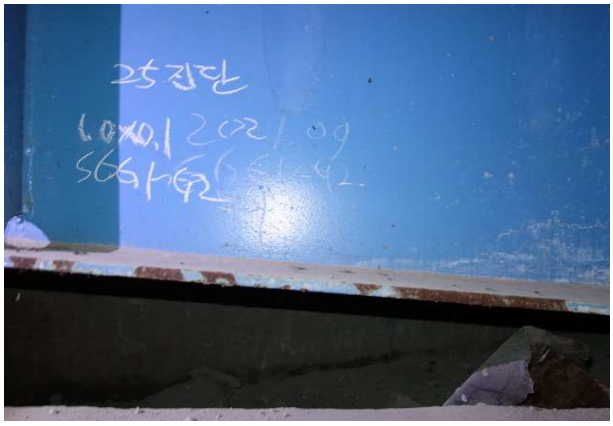
- 강박스 거더 가로보 및 세로보에 대한 외관조사 결과 국부적인 강재변형, 부식 등의 손상이 조사되었다.

【표 3.2.36】 강박스 거더 가로보, 세로보 외관조사 결과

구분	가로보/세로보		
	가로보 변형	세로보 변형	가로보 부식
	(m/EA)		(㎡/EA)
S1	–	–	–
S2	0.80/2	–	–
S3	0.30/1	0.50/1	–
S4	0.30/1	–	–
S5	–	–	–
S6	–	–	3.15/5
합계	1.40/4	0.50/1	3.15/5

【표 3.2.37】 강박스 거더 가로보, 세로보 기 점검 결과 비교

구 분		손 상 물 량					손상물량변화 (⇧:증, ⇩:감)		비고
		단위	2023년 정밀안전점검		2025년 정밀안전진단				
			물량	개소	물량	개소			
가로보/세로보	가로보 변형	m	1.4	4	1.40	4	–	–	
	세로보 변형	m	0.5	1	0.50	1	–	–	
	가로보 부식	㎡	2.1	3	3.15	5	⇧	1.05	

S2 G2~G3 가로보 변형	S5 가로보 리브변형
	–
S6 G1~G2 가로보 부식	–

㉡ 주요 손상발생 원인 및 검토의견

- 가로보에 발생된 도장 박리는 대부분 최근 실시한 도장공사시 샌드블라스팅 과정에서 발생된 것으로 판단되므로 금번 공사로 인해 발생된 도장 손상은 즉시 재보수가 필요하다.
- 신축이음부 가로보에 발생된 부식 손상은 신축이음부 우수유입에 의한 손상으로 판단되며, 부식 증가에 의한 강재 단면 감소 등이 우려되므로 사용성 확보, 손상 진전 억제를 위한 재도장이 필요하다.

㉢ 기 점검결과와의 비교 · 분석

전차 점검과 비교하여 가로보 부식 손상이 다소 증가된 것으로 조사되어 내구성 확보, 손상 진전억제, 기능성 향상 및 향후 유지관리를 위한 적절한 보수가 요구되며 정기적인 점검을 통한 지속적인 손상부 주의관찰이 필요하다.

2) 하부구조

- 장암교의 하부구조인 교대는 역T형, 기초 형식은 직접기초로 2기가 시공되어 있으며, 교각은 Π형 라멘식, 기초 형식은 강관파일기초(P1~P4) 및 직접기초(P5)로 5기가 시공되 있다.

① 교대 및 교각

A1 전경	A2 전경

㉠ 외관조사 결과

- 교대에 대한 외관조사 결과 균열(cw:0.3㎜미만, cw:0.3㎜이상), 균열부백태, 망상균열, 누수흔적, 백태, 박리, 보수부들뜸, 철근노출, 토사퇴적, 폐콘크리트적치 등의 손상이 발생되었다.
- 교각에 대한 외관조사 결과 균열(cw:0.3㎜미만), 망상균열, 박리, 박락, 긁힘, 철근노출, 보수재들뜸, 재료분리, 박리, 파손, 표면오염, 강판보강부부식 등의 손상이 발생되었다.

【표 3.2.38】 교대 외관조사 결과

구분	균열			열화 및 손상		
	균열 (0.3mm미만)	균열 (0.3mm이상)	균열부백태	망상균열	누수흔적	백태
	(m/EA)	(m/EA)	(m/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)
A1	0.90/2	1.00/1	0.60/1	4.28/3	11.25/5	0.12/1
A2	3.00/2	–	8.40/7	–	–	1.00/2
합계	3.90/4	1.00/1	9.00/8	4.28/3	11.25/5	1.12/3

구분	열화 및 손상						
	박리	표면박리	보수부들뜸	스토퍼고무패드 탈락	철근노출	토사퇴적	폐콘크리트 적치
	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)
A1	0.32/2	2.35/2	0.18/1	1	–	0.90/1	6.05/2
A2	–	–	2.25/1	–	0.06/1	3.00/2	16.06/4
합계	0.32/2	2.35/2	2.43/2	1	0.06/1	3.90/3	22.11/6

【표 3.2.39】 교각 외관조사 결과

구분	균열	열화 및 손상					
	균열 (0.3mm미만)	망상균열	긁힘	박리	박락	박락/철근노출	보수재 들뜸
	(m/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)
P1	9.60/9	1.80/1	–	–	–	–	–
P2	12.00/12	4.00/1	0.03/1	0.45/1	–	–	–
P3	7.40/9	7.50/2	–	–	–	–	0.08/1
P4	6.10/4	–	0.02/1	–	–	–	–
P5	6.40/7	–	–	–	0.04/1	0.20/1	–
합계	41.50/41	13.30/4	0.05/2	0.45/1	0.04/1	0.20/1	0.08/1

구분	열화 및 손상						
	스토퍼고무패드 탈락	재료분리	재료분리/박리	점검로 지지볼트 탈락	파손	표면오염	강판보강부 부식
	(EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)
P1	–	–	–	–	–	1.00/1	–
P2	1	–	–	1	0.02/1	0.40/1	–
P3	2	0.20/1	1.50/1	–	–	–	41.40/2
P4	–		–	–	–	–	–
P5	–	0.50/1	–	–	–	–	–
합계	3	0.70/2	1.50/1	1	0.02/1	1.40/2	41.40/2

【표 3.2.40】 교대, 교각 기 점검 결과 비교

구 분		단위	손상물량 2023년 정밀안전점검 물량	개소	2025년 정밀안전진단 물량	개소	손상물량변화 (⇧:증, ⇩:감)		비고
교대	균열(0.3mm미만)	m	4.9	5	3.90	4	⇩	1	
	균열(0.3mm이상)	m	–	–	1.00	1	⇧	1	
	균열부백태	m	6.8	5	9.00	8	⇧	2.2	
	망상균열	㎡	3.0	2	4.28	3	⇧	1.28	
	누수흔적	㎡	11.25	5	11.25	5	–	–	
	백태	㎡	1.49	5	1.12	3	⇩	0.37	
	박리	㎡	0.13	2	0.32	2	⇧	0.19	
	표면박리	㎡	–	–	2.35	2	⇧	2.35	
	보수부들뜸	㎡	2.43	2	2.43	2	–	–	
	스토퍼 고무패드 탈락	EA	–	–	1.00	1	⇧	1	
	철근노출	㎡	0.06	1	0.06	1	–	–	
	토사퇴적	㎡	3.90	3	3.90	3	–	–	
	폐콘크리트적치	㎡	6.71	5	22.11	6	⇧	15.4	
교각	균열(0.3mm미만)	m	30.9	31	41.50	41	⇧	10.6	
	망상균열	㎡	–	–	13.30	4	⇧	13.3	
	긁힘	㎡	0.5	2	0.05	2	⇩	0.45	
	박리	㎡	–	–	0.45	1	⇧	0.45	
	박락	㎡	0.04	1	0.04	1	–	–	
	박락/철근노출	㎡	0.06	1	0.20	1	⇧	0.14	
	보수재들뜸	㎡	0.08	1	0.08	1	–	–	
	스토퍼 고무패드 탈락	EA	3	3	3.00	3	–	–	
	재료분리	㎡	0.7	2	0.70	2	–	–	
	재료분리/박리	㎡	–	–	1.50	1	⇧	1.5	
	점검로 지지볼트 탈락	EA	–	–	1.00	1	⇧	1	
	파손	㎡	–	–	0.02	1	⇧	0.02	
	표면오염	㎡	1.4	2	1.40	2	–	–	
	강판보강부부식	㎡	41.4	2	41.40	2	–	–	

교대 A1 균열(cw:0.3mm)

교대 A1 망상균열

교대 A2 폐콘크리트 적치	교대A2 균열부백태
교대 A1 표면박리	P1 균열(cw:0.1mm)
P2 코핑하면 박리	P2 긁힘

P3 망상균열	P3 강판보강부 부식
P3 스토퍼 고무재 탈락	P4 균열(cw:0.1mm)
P5 균열(cw:0.1mm)	P5 박락, 철근노출

㉡ 주요 손상발생 원인 및 검토의견

- 균열(cw:0.1~0.3㎜), 균열(cw:0.3㎜미만), 망상균열 손상은 시공초기 건조수축, 중차량 통행에 따른 반복하중, 보수 미흡 등에 의한 것으로 비구조적 손상으로 판단되며 일부 발생된 균열폭 0.3㎜이상 균열은 국부적으로 발생된 균열로 내구성 확보 차원의 주입보수 등의 유지관리가 요구되며, 폭 0.1~0.2㎜ 균열, 망상균열은 내구성 유지 및 손상 진전 방지 차원의 표면보수를 실시하는 것이 바람직한 것으로 사료된다. 또한, 균열부를 통한 표면수유입에 따른 백태 및 균열부백태 손상부에 대해서는 내구성 확보를 위한 표면보수가 필요하다.
- 누수흔적, 표면오염 손상은 공용기간 증가, 우수시 신축이음 통한 수분유입 등에 의한 것으로 겨울철 동해에 의한 박리 등으로 진전될 우려가 있으므로 내구성 및 손상 진전 방지를 위한 표면보수가 필요하다.
- 철근노출, 박리, 파손, 재료분리, 들뜸 등 단면손상은 공용기간 증가, 외부 충격, 시공시 피복두께 부족, 탄산화 진전, 콘크리트 다짐 불량에 의한 시공미흡 손상으로 현재 주변 박리, 박락 및 골재노출 등 2차 손상으로 진전되고 있으므로 내구성 확보를 위한 단면보수, 단면보수(방청)가 필요한 것으로 판단된다.
- 교대상면 폐콘크리트 퇴적물에 대해서는 받침장치 및 거더의 가동에 지장을 주고있어 콘크리트 철거 및 청소 등을 통한 조속한 보수가 필요한 것으로 판단된다.
- 금번 점검시 기 점검결과와 비교하여 추가 손상 및 손상부 진전 등 공용년수 증가에 따른 손상들이 지속적으로 발생되고 있는 것으로 조사되어 내구성 확보, 기능성 저하 방지를 위한 적절한 보수가 필요하며 지속적인 주의관찰을 통한 유지관리가 요구된다.

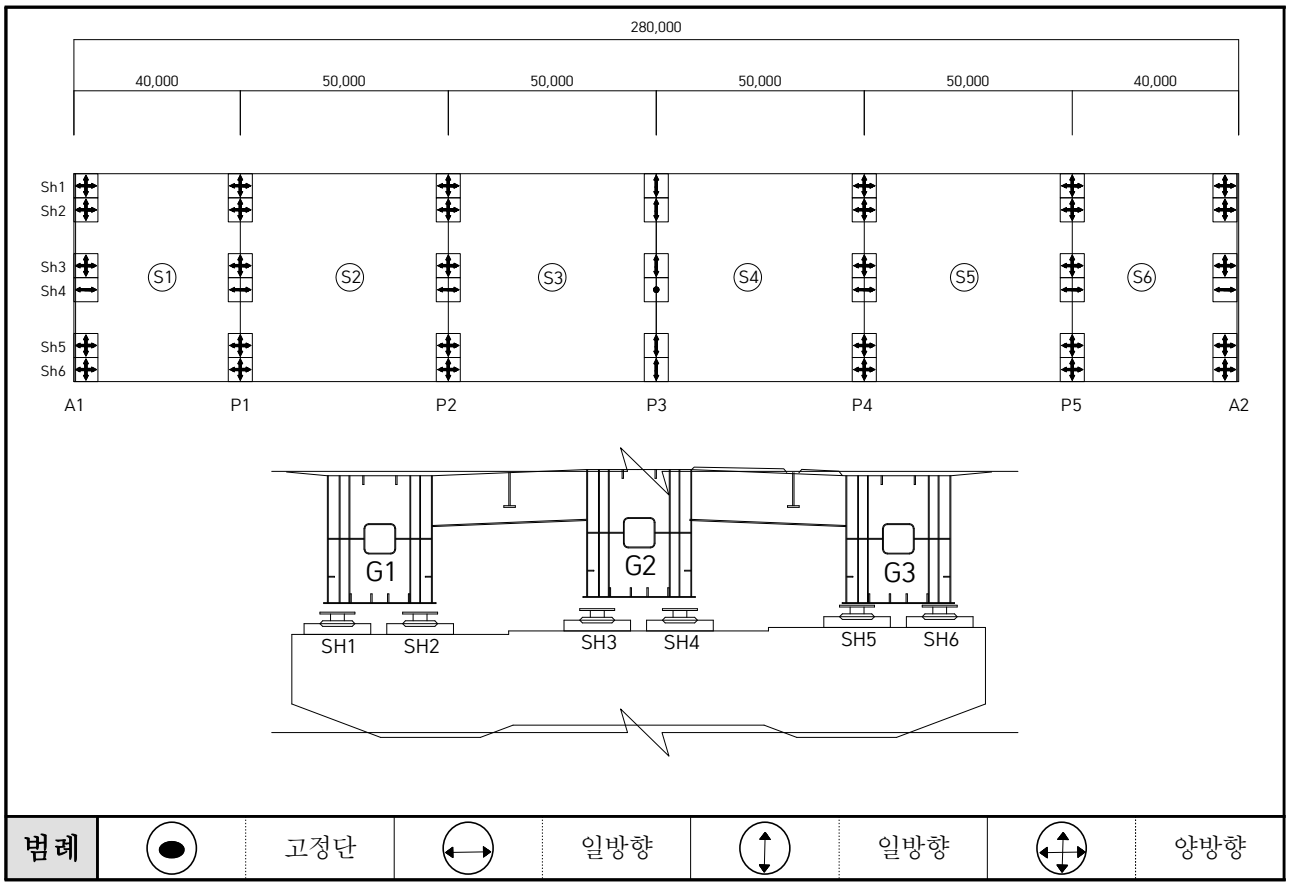
㉢ 기 점검결과와의 비교 · 분석

전차 점검과 비교하여 대부분 손상에서 다소 증가된 상태로 조사되었고, 일부 균열, 백태, 긁힘 등의 손상부는 손상진전, 수량산출 오류 등에 의해 감소된 것으로 조사되어 내구성 확보, 손상 진전억제, 기능성 향상 및 향후 유지관리를 위한 적절한 보수가 요구되며 정기적인 점검을 통한 지속적인 손상부 주의관찰이 필요하다.

2) 교량받침

- 장암교의 교량받침 형식은 교대(A1, A2) 및 교각(P1~P5)에 포트받침으로 시공되어 있으며, P3교각에 고정단이 설치되어 있다. 교량받침은 교대 2기 및 교각 5기에 각각 6개씩 총 42개소가 설치되어 있다.
- 교량받침은 상부구조에 작용하는 하중을 하부에 전달하는 기능을 수행하는 부재로서 상부 온도변화에 따른 거동, 상부 활하중에 의한 변위에 대한 흡수, 저항하는 부재로 온도변화, 활하중에 의한 신축기능 여부뿐만 아니라 표면부식, 받침콘크리트 손상여부 등을 점검하여야 한다.

① 외관조사



받침장치 현황(A1-SH4)	받침장치 현황(P4-SH2)

㉠ 외관조사 결과

- 교량받침은 포트받침으로 시공되었으며, 외관조사결과 일부 받침콘크리트에 균열, 망상균열, 국부적인 박락 및 파손이 발생된 것으로 나타났다.

【표 3.2.41】 교량받침 외관조사 결과

구분	균열		열화 및 손상						
	받침몰탈 균열 (0.3mm 미만)	받침몰탈 균열 (0.3mm 이상)	받침플레이트 부식	받침 장치 부식	받침 몰탈 망상 균열	받침 몰탈 파손	받침 볼트 이격	거푸집 미제거	먼지 막이 링 탈락
	(m/EA)	(m/EA)	(EA)	(EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(EA)	(EA)	(EA)
A1	-	-	-	6	-	-	-	-	-
P1	1.10/8	-	-	-	-	0.01/1	-	-	2
P2	-	-	-	-	-	-	-	-	2
P3	0.30/2	-	1	-	-	-	-	-	1
P4	0.50/3	-	-	-	0.05/1	-	1	-	2
P5	0.40/4	-	-	-	-	-	-	-	1
A2	-	0.10/1	-	6	-	0.02/1	-	3	-
합계	2.30/17	0.10/1	1	12	0.05/1	0.03/2	1	3	8

【표 3.2.42】 교량받침 기 점검 결과 비교

구 분		단위	손 상 물 량				손상물량변화 (⇧:증, ⇩:감)		비고
			2023년 정밀안전점검		2025년 정밀안전진단				
			물량	개소	물량	개소			
교량받침	받침장치 부식	㎡	12ea	12ea	12	12	–	–	
	받침플레이트부식	㎡	5	5	1	1	⇩	4	
	받침몰탈균열(0.3mm미만)	㎡	1.9	15	2.30	17	⇧	0.4	
	받침몰탈균열(0.3mm이상)	㎡	0.10	1	0.10	1	–	–	
	받침몰탈 파손	ea	0.03	2	0.03	2	–	–	
	받침몰탈망상균열	㎡	0.05	1	0.05	1	–	–	
	받침볼트이격	ea	1	1	1	1	–	–	
	거푸집미제거	ea	–	–	3	3	⇧	3	
	먼지막이링탈락	ea	4	4	8	8	⇧	4	

A1 SH1 받침장치 부식

A1 SH4 받침몰탈 파손

A2 SH5 거푸집미제거 및 받침장치 부식

A2 SH6 받침장치 부식

P1 SH1 받침몰탈 균열(cw:0.3㎜미만)	P1 SH1 받침몰탈 파손
P2 SH1 먼지막이링 탈락	P3 SH3 받침플레이트 부식
P4 SH6 받침몰탈 망상균열	P4 SH6 받침볼트 이격

P4 SH6 받침몰탈 균열(cw:0.3㎜미만)	P5 SH1 먼지막이링 탈락

㉡ 주요 손상발생 원인 및 검토의견

- 받침몰탈 균열 및 망상균열 손상은 초기 건조수축 균열, 상부 중차량 통행에 의한 피로진동 등에 의한 것으로 추정되며 현재 손상은 경미하므로 손상의 진전 및 확대 시 균열보수가 필요할 것으로 판단된다.
- 받침몰탈 박리, 파손 손상은 시공시 콘크리트 타설 및 다짐불량, 상부 중차량 통행에 의한 피로진동, 외부충격 등에 의한 것으로 추정되며 손상부에 대한 내구성 및 사용성 확보 차원의 단면보수가 필요할 것으로 판단된다.
- 받침부식 손상은 공용기간 증가, 신축이음부를 통한 우수유입, 도장노후, 도장 부착력 저하, 온도 차이에 의한 결로 등에 의한 것으로 판단되며 손상 진전 억제를 위한 재도장이 필요한 것으로 사료된다.
- 2018년 장암교 내진성능평가 결과 내진성능을 확보하지 못하고 있는 것으로 검토되었고, 진단결과 전단키 보강을 실시하였지만, 받침장치에 대한 내진은 확보하지 못하고 있는 것으로 조사되어 추후 내진성능확보를 위한 받침교체가 필요할 것으로 사료된다.

㉢ 기 점검결과와의 비교·분석

전차 점검과 비교하여 특별한 진전은 없는 것으로 조사되었으나, 받침몰탈 균열 등의 일부 증가되어 내구성 확보, 손상 진전억제, 기능성 향상 및 향후 유지관리를 위한 적절한 보수가 요구되며 정기적인 점검을 통한 지속적인 손상부 주의관찰이 필요하다.

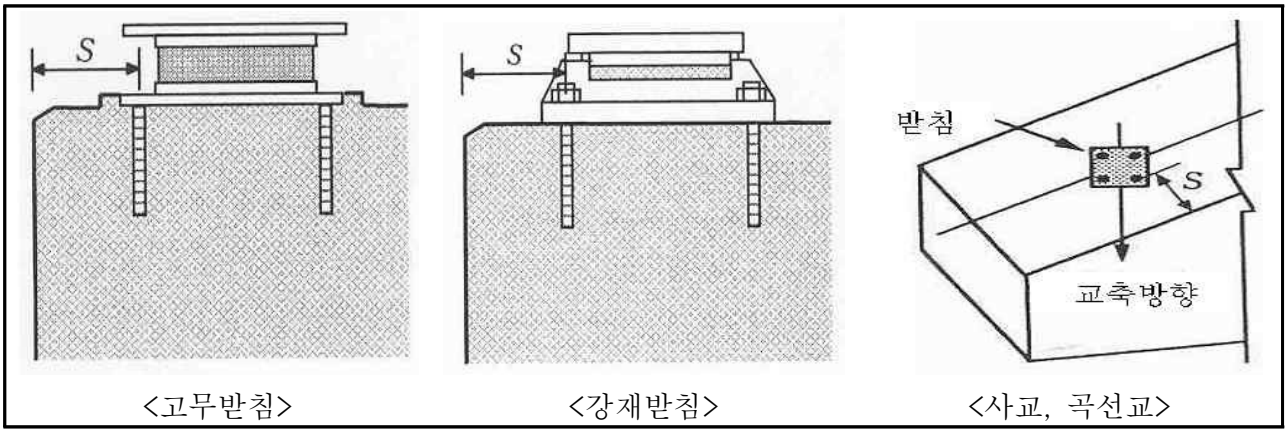
② 설치 및 공용상태 검토

㉠ 연단거리 검토

(1) 검토 개요

- 교각 및 교대 상부의 교좌면은 상부구조로부터 집중하중을 받는 부위로 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서, 연단거리가 짧으면 고정단에서는 교각 및 교대의 전면에서 콘크리트가 파손되거나 받침이 파손되는 손상이 발생될 수 있으며 가동단에서는 받침이 벗어나 심한 경우 거더가 낙하할 수도 있다. 교량의 교축방향의 받침연단과 하부구조 정부(頂部)연단 사이의 거리는 다음 값(S) 이상이어야 한다. 교량의 받침부 연단거리 측정은 다음과 같이 측정한다.
- 거더의 경간길이 100m이하 : S = 200 + 5L 「도로교설계기준; 국토해양부 2010.9」
- 거더의 경간길이 100m이상 : S = 300 + 4L 「도로교설계기준; 국토해양부 2010.9」

여기서, S : 받침연단거리(㎜), L : 거더의 경간길이(m)



<고무받침> <강재받침> <사교, 곡선교>

【그림 3.2.19】 교량받침의 연단거리 측정방법

P1 연단거리 측정 현황	A2 연단거리 측정 현황

【그림 3.2.20】 연단거리 측정전경

(2) 필요 연단거리 산출

- 대상교량인 장암교는 경간이 40.0m, 50.0m로, 경간장에 따른 필요연단거리는 다음과 같다.
- 경간장 : 40.0M, 연단거리 S = 200 + 5 L = 200 + 5 × 40.0 = 400㎜
  50.0M, 연단거리 S = 200 + 5 L = 200 + 5 × 50.0 = 450㎜

(3) 연단거리 검토결과

- 기준에 따라 산출된 필요 연단거리와 현장 실측 연단거리를 비교한 결과, 최소 연단거리를 만족하는 것으로 조사되었다.

【표 3.2.43】 교량받침 연단거리 측정결과

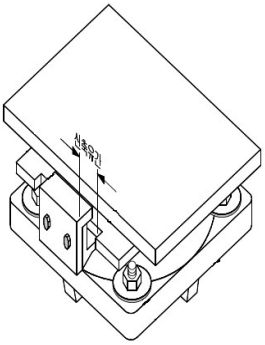
구 분		경간장 L (m)		설계기준 S (㎜)		실측 연단거리 (㎜)		평가
		시점측	종점측	시점측	종점측	시점측	종점측	
A1	포트받침	-	40.0	-	400	-	550	O.K
P1	포트받침	40.0	50.0	400	450	760	760	O.K
P2	포트받침	50.0	50.0	450	450	780	790	O.K
P3	포트받침	50.0	50.0	450	450	790	760	O.K
P4	포트받침	50.0	50.0	450	450	790	760	O.K
P5	포트받침	50.0	40.0	450	400	770	760	O.K
A2	포트받침	40.0	-	400	-	560	-	O.K

검 토 의 견	
	•교량받침에 대한 연단거리 측정결과 시방기준 이상을 확보하고 있는 것으로 조사되어 연단거리 부족에 의한 낙교의 위험은 없는 양호한 상태로 확인되었다. •시방기준 : 거더의 경간길이 100m이하 : S = 200 + 5.0L (도로교설계기준) 여기서, S : 받침연단거리(㎜), L : 거더의 경간길이(m)

㉡ 교량받침 이동여유량 검토

(1) 교량받침 가동량 산정 방법

평가 기준



▣ 온도에 의한 가동량

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

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5}) → 강교 : 강박스 거더교

$\triangle T$ = 온도변화(−10℃~+40℃) → 강교(보통지방) : 강박스 거더교

※ 한랭지방 적용근거

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

▣ 활하중에 의한 보의 처짐에 의한 가동량

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

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

θ_i : 보의 회전각(강교 1/150)

▣ 계산 가동량 산정

온도변화 범위	−10℃~+40℃	선팽창 계수(α)	강재:1.2×10^{-5}
점검시 기온(℃)	2025. 11. 24	11.3℃	
온도에 의한 가동량($\triangle l_t$)	$\triangle l_t = \alpha \times \triangle T \times L$		
보의 중립축까지 높이2h/3(h_i)	$\frac{2}{3} \times 3{,}500$		
보의 회전각(θ_i)	1/150(강합성교)		
보의 처짐에 의한 가동량($\triangle l_r$)	$\triangle l_r = \sum(h_i \times \theta_i) = 2/3 \times 3500 \times 1/150 = 15.6\,mm$		

신축거더길이 (L)(m)	A1	P1	P2	P3	P4	P5	A2
	140	100	50	−	50	100	140

※ 처짐에 의한 신축량은 팽창시만 고려하여 계산

⑵ 교량받침 가동량 검토 결과

- 조사일 : 2025년11월24일, 일평균 기온 11.3℃

【표 3.2.44】 계산 가동량 산정 결과

위치	측정시 온도 (℃)	온도변화(⊿T)		선팽창 계수	신축거더 길이 (m)	온도에 의한 이동량(㎜)		비고
		동절기 (℃)	하절기 (℃)			동절기	하절기	
A1	11.3	51.3	4.4	1.2×10^{-5}	140	86.18	7.39	-
P1	11.3	51.3	4.4	1.2×10^{-5}	100	61.56	5.28	-
P2	11.3	51.3	4.4	1.2×10^{-5}	50	30.78	2.64	-
P3	고정단							
P4	11.3	51.3	4.4	1.2×10^{-5}	50	30.78	2.64	-
P5	11.3	51.3	4.4	1.2×10^{-5}	100	61.56	5.28	-
A2	11.3	51.3	4.4	1.2×10^{-5}	140	86.18	7.39	-

【표 3.2.45】 교량받침 이동량 측정결과

지점 위치	받침 NO.	이동 허용 변위량 (mm)	실측 이동량 (mm)	계산 신축량(㎜)		실측 여유량(㎜)		평가
				동절기 (수축)	하절기 (신장)	동절기 (수축)	하절기 (신장)	
A1	Sh1	±100	120	86.18	7.39	220	−20	부족
	Sh2		110			210	−10	부족
	Sh3		110			210	−10	부족
	Sh4		120			220	−20	부족
	Sh5		120			220	−20	부족
	Sh6		120			220	−20	부족
P1	Sh1	±100	65	61.56	5.28	165	35	양호
	Sh2		60			160	40	양호
	Sh3		65			165	35	양호
	Sh4		65			165	35	양호
	Sh5		60			160	40	양호
	Sh6		65			165	35	양호
P2	Sh1	±50	40	30.78	2.64	140	60	양호
	Sh2		45			145	55	양호
	Sh3		40			140	60	양호
	Sh4		45			145	55	양호
	Sh5		45			145	55	양호
	Sh6		40			140	60	양호
P3	고정단							
P4	Sh1	±50	35	30.78	2.64	135	65	양호
	Sh2		40			140	60	양호
	Sh3		45			145	55	양호
	Sh4		40			140	60	양호
	Sh5		45			145	55	양호
	Sh6		40			140	60	양호
P5	Sh1	±100	70	61.56	5.28	170	30	양호
	Sh2		60			160	40	양호
	Sh3		60			160	40	양호
	Sh4		65			165	35	양호
	Sh5		70			170	30	양호
	Sh6		65			165	35	양호
A2	Sh1	±100	120	86.18	7.39	220	−20	부족
	Sh2		120			220	−20	부족
	Sh3		120			220	−20	부족
	Sh4		110			210	−10	부족
	Sh5		120			220	−20	부족
	Sh6		130			230	−30	부족

검 토 결 과	•교량받침 이동여유량 검토 결과, A1, A2에서 실측 여유량이 부족한 것으로 조사되었으나, 교량의 신축에 따른 받침장치의 기능에 문제가 없는 것으로 평가되었다.

3) 신축이음장치

- 장암교에 설치된 신축이음 장치는 강재 Finger Type Joint(A1, A2)형식으로 2개소에 설치되어 있는 것으로 조사되었으며, 금번 진단 직전에 신축이음장치 교체가 실시되었다.

① 외관조사

A1 신축이음 전경(교체전)	A1 신축이음 전경(현재)
A2 신축이음 전경(교체전)	A2 신축이음 전경(현재)

㉠ 외관조사 결과

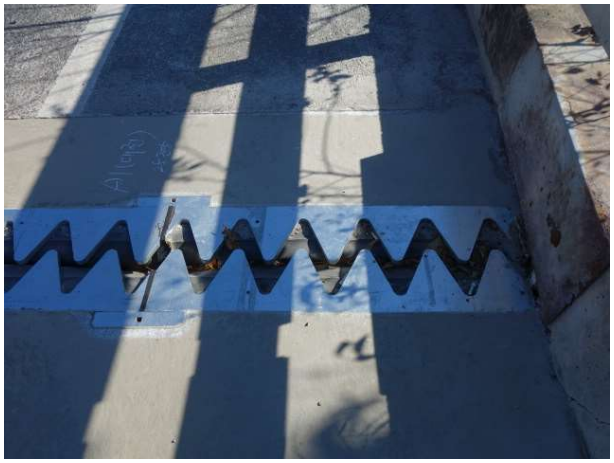
- 신축이음장치의 외관조사 결과 신축이음장치 교체가 실시되어 전반적으로 양호한 상태이나 일부 유간토사퇴적, 차수판 부식 등의 손상이 조사되었다.

【표 3.2.46】 신축이음장치 외관조사 결과

구분	열화 및 손상	
	유간토사퇴적	차수판 부식
	(m/EA)	(EA)
A1	1.00/1	2
A2	–	–
합계	1.00/1	2

【표 3.2.47】 신축이음장치 기 점검 결과 비교

구 분		단위	손 상 물 량				손상물량변화 (⇧:증, ⇩:감)		비고
			2023년 정밀안전점검		2025년 정밀안전진단				
			물량	개소	물량	개소			
신축이음	유간토사퇴적	m	7.5	6	1.00	1	⇩	6.5	
	차수판부식	EA	2	2	2	2	–	–	
	후타재균열	m	15.8	55	–	–	⇩	15.8	
	후타재 접합부 이격	m	18.5	1	–	–	⇩	18.5	
	차수판 탈락	EA	1	1	–	–	⇩	1	



신축이음 J1 유간토사퇴적

신축이음 J1 차수판 부식

㉡ 주요 손상발생 원인 및 검토의견

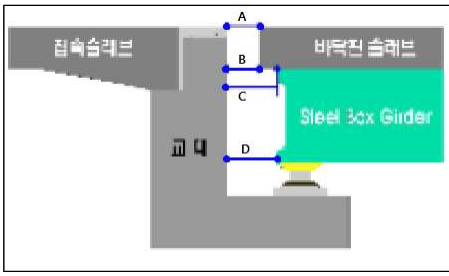
- 유간토사퇴적은 교면포장부 토사유입에 의한 것으로 신축거동, 우수시 배수 등에 악영향을 미칠 수 있고 추후 고무재 파손 등의 원인이 되므로 주기적인 청소가 필요한 것으로 판단된다.
- 차수판 부식 손상은 공용기간 경과에 따른 노후화 등에 의한 손상으로 재설치를 통한 보수가 요구된다.

㉢ 기 점검결과와의 비교 · 분석

전차 점검과 비교하여 신축이음장치 교체가 실시되어 손상은 감소된 것으로 조사되었으며, 유간토사퇴적, 차수판부식 손상은 전회와 동일한 상태로 조사되어 내구성 확보, 손상진전억제, 기능성 향상 및 향후 유지관리를 위한 적절한 보수가 요구되며 정기적인 점검을 통한 지속적인 손상부 주의관찰이 필요하다.

② 설치 및 공용상태 검토

㉠ 신축이음 신축량 산정 방법

	A1, A2	2025년 11월 24일	11.3℃

평가 기준

▣ 온도에 의한 신축량

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

$\triangle T$ = 온도변화(−10℃~+40℃) → 강박스거더교(보통지방)

α = 선팽창계수(1.2×10^{-5}) → 강박스거더교

※ 한랭지방 적용근거

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

▣ 계산 신축량 산정

온도변화 범위	−10℃~+40℃	선팽창 계수(α)	1.2×10^{-5}
점검시 기온(℃)	2025.11.24	11.3℃	
온도에 의한 신축량($\triangle l_t$)	$\triangle l_t = \alpha \times \triangle T \times L$		

▣ 처짐에 의한 신축량(신축장 100m 이상 적용)

$\Delta L_t = \sum(h_i \times \theta_i)$ = (3,500mm × 2/3 × 1/150) = 15.6mm

여기서, h_i : 거더의 중립으로부터 받침의 회전중심까지의 거리(거더높이의 2/3)

θ_i : 받침상부의 거더의 회전각(강교 : 1/150)

※ 공용기간이 10년이상인 교량이므로 건조수축 및 크리프의 영향은 고려하지 않음

※ 처짐에 의한 신축량은 팽창시만 고려하여 계산

㉡ 신축이음 신축량 검토 결과

- 조사일 : 2025년 11월 24일, 일평균 기온 11.3℃

– 계산 신축량 산정 결과

【표 3.2.48】 신축이음장치 외관조사 결과

구 분	온도변화(⊿T, ℃)		선팽창계수 (α)	신축 거더길이 (L, m)	온도변화에 의한 이동량(mm)		활하중에 의한 거더의 처짐에 이동량(mm)	계산이동량 (mm)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기	하절기
Exp.J1(A1)	51.3	4.4	1.2×10−5	140.0	86.18	7.39	–	86.18	7.39
Exp.J2(A2)	51.3	4.4	1.2×10−5	140.0	86.18	7.39	–	86.18	7.39
1) 조사당시 온도 : 11.3℃(조사일: 2025년 11월 24일, 평균온도)									

【표 3.2.49】 신축이음 유간 측정결과

측정위치	측정값(mm)				비고
	신축이음장치(A)	바닥판(B)	거더상부(C)	거더하부(D)	
Exp.J1(A1)	110	120	90	80	
Exp.J5(A2)	120	110	110	100	
※ 측정시 온도 : 25년 11월 24일(11.3℃, 평균온도)					

【표 3.2.50】 신축이음 유간거리 검토결과

구 분		측정유간 (mm) (③)	계산 신축량(㎜) 동절기 (수축) (①)	계산 신축량(㎜) 하절기 (신장) (②)	허용신장량 (mm) (④)	실측 여유량(㎜) 동절기 (수축) (④-(①+③))	실측 여유량(㎜) 하절기 (신장) (③−②)	평가
Exp.J1(A1)	신축이음	110	7.39	86.18	160	42.61	23.82	O.K
	바닥판	120						
	거더상부	90						
	거더하부	80						
Exp.J2(P3)	신축이음	120	86.18	7.39	160	32.61	33.82	O.K
	바닥판	110						
	거더상부	110						
	거더하부	100						

※ 신축여유량 > 0인 경우 양호

※신축여유량(팽창)=측정유간−계산신축량(팽창), 신축여유량(수축)=허용신장량−측정유간−계산신축량(수축)
※신축여유량 > 0인 경우 양호 ※ A : 신축이음장치, B : 바닥판, C : 거더(상단), D : 거더(하단)

검 토 결 과	•신축이음의 장치의 상부, 하부 실측 유간과 신축 이동량을 비교 검토한 결과 전 구간 신축 이동량을 만족하는 것으로 측정되었다.

4) 교면포장

- 장암교는 왕복4차로이며, 교면포장은 아스팔트포장으로 시공되어 있다. 교면포장에 대해서 아스팔트 균열, 함몰, 마모, 신축이음 전후 단차 및 파손, 물고임 등을 중점적으로 조사하였다.

포장 현황-1

포장 현황-2

㉠ 외관조사 결과

- 본 교량의 교면포장에 대한 외관조사 결과 전반적인 포장균열, 망상균열. 부분적인 포장파손, 패임, 포트홀 등이 발생된 것으로 조사되었다.

【표 3.2.51】 교면포장 외관조사 결과

구분	균열	열화 및 손상					
	포장균열	포장 망상균열	포장 파손	포장 패임	포장 패임/마모	포트홀	포트홀/철근노출
	(m/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)
S1	-	357.50/2	-	-	-	0.14/14	-
S2	-	597.50/6	-	10.00/1	-	0.41/21	0.09/1
S3	65.00/3	565.00/4	-	-	-	0.28/28	-
S4	5.00/1	510.00/2	-	-	12.50/1	0.52/32	-
S5	55.00/2	200.00/1	3.00/1	-	-	0.45/31	-
S6	30.00/2	356.00/2	-	0.01/1	-	0.27/25	-
합계	155.00/8	2586.00/17	3.00/1	10.01/2	12.50/1	2.07/151	0.09/1

【표 3.2.52】 교면포장 기 점검 결과 비교

구 분		단위	손 상 물 량				손상물량변화 (⇧:증, ⇩:감)		비고
			2023년 정밀안전점검		2025년 정밀안전진단				
			물량	개소	물량	개소			
교면포장	포장 망상균열	㎡	828.00	10	2586.00	17	⇧	1758	
	포장균열	m	285.00	14	155.00	8	⇩	130	
	포장파손	㎡	-	-	3.00	1	⇧	3	
	포장패임	㎡	0.08	3	10.01	2	⇧	9.93	
	포장패임/마모	㎡	12.5	1	12.50	1	-	-	
	포트홀	㎡	1.43	140	2.07	151	⇧	0.64	
	포트홀/철근노출	㎡	-	-	0.09	1	⇧	0.09	

S1 망상균열

S2 망상균열

S2 포트홀, 철근노출	S3 망상균열
S4 포장파손, 마모	S4 포장파손, 망상균열
S5 망상균열	S5 포장파손

S6 망상균열	S6 망상균열

㉡ 주요 손상발생 원인 및 검토의견

- 교면포장부 아스콘포장 균열, 망상균열 손상은 건조수축, 차량통행에 의한 반복하중, 충격 및 공용년수 증가에 기인한 손상으로써, 차량 주행성 저하가 우려되므로 전면재포장 +교면방수를 실시함이 적정할 것으로 판단된다.
- 포장파손. 포트홀, 마모 등은 차량통행에 의한 반복하중, 충격, 시공재료 불량, 공용기간 경과에 따른 손상으로 일부 부분보수를 실시하였으나 재손상이 발생되고 있어 전면재포장을 실시함이 적정할 것으로 판단된다.

㉢ 기 점검결과와의 비교 · 분석

전차 점검과 비교하여 포장망상균열 및 포장손상이 증가된 것으로 조사되어 손상 진전 억제, 기능성 향상 및 향후 유지관리를 위한 적절한 보수가 요구되며 정기적인 점검을 통한 지속적인 손상부 주의관찰이 필요하다.

5) 배수시설

- 배수시설은 우수시 교면수를 원활히 배수시킴으로서 시설물의 안전성, 사용성 및 차량 주행 성능 확보하고 교면수 체수를 방지하도록 설치되어야 하며 현재 장암교는 교면부의 상부에는 31개소(대전방향 18개소, 공주방향 13개소)의 배수구가 설치되어 있으며, 교량하부에 유도배수관이 측면으로부터 교각을 따라 시공되어 있다.

배수구 현황	배수관 현황

㉠ 외관조사 결과

- 배수시설 외관조사 결과 전반적으로 배수구막힘이 조사되었으며, 국부적인 집수구 덮개(Grating) 파손, 배수관 부식, 배수관 파손, 배수관 연결볼트 탈락 등의 손상이 발생된 것으로 조사되었다.

【표 3.2.53】 배수시설 외관조사 결과

구분	배수시설					
	그레이팅 파손	배수구 막힘	배수관 부식	배수관 파손	배수관 연결볼트 탈락	집수구 막힘
	(EA)	(EA)	(EA)	(EA)	(EA)	(EA)
S1	–	3	–	–	–	–
S2	–	2	1	–	–	1
S3	–	4	–	1	1	–
S4	1	5	2	–	–	–
S5	–	3	1	–	–	–
S6	–	1	–	–	–	–
합계	1	18	4	1	1	1

【표 3.2.54】 배수시설 기 점검 결과 비교

구 분		단위	손 상 물 량				손상물량변화 (⇧:증, ⇩:감)		비고
			2023년 정밀안전점검		2025년 정밀안전진단				
			물량	개소	물량	개소			
배수시설	그레이팅파손	EA	–	–	1	1	⇧	1	
	배수구막힘	EA	3	3	18	18	⇧	15	
	배수관부식	EA	3	3	4	4	⇧	1	
	배수관파손	EA	–	–	1	1	⇧	1	
	배수관 연결볼트 탈락	EA	–	–	1	1	⇧	1	
	집수구막힘	EA	1	1	1	1	–	–	

S1 배수구막힘	S5 배수구막힘
S3 배수관 부식	S3 집수구 막힘
S4 배수관 부식	S4 배수관 연결볼트 탈락

㉡ 주요 손상발생 원인 및 검토의견

- 배수구 막힘 손상은 우수시 토사유입에 의한 것으로 판단되며 우수시 교면 상부 체수 및 하부 누수 등의 원인이 되므로 정기적인 청소가 필요하다.
- 배수관 부식 손상은 공용기간 경과에 따른 노후화에 따른 손상으로 방청 및 재도장이 필요할 것으로 판단된다.
- 집수구 막힘 손상은 P2교각 배면하부에 발생된 손상으로 집수구 토사유입으로 인한 막힘이 발생된 상태로 주변 토사제거 및 청소, 집수구 연결부 재설치가 필요하다.

㉢ 기 점검결과와의 비교 · 분석

배수시설에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과 배수구막힘 손상이 다수 증가하였으며, 기타 손상부도 소폭 증가한 것으로 조사되었다. 발생된 손상부에 대한 보수를 실시하고 정기적인 점검을 통한 지속적인 주의관찰이 요구된다.

6) 배수시설난간, 연석, 보도부

- 본 교량의 차량방호시설은 차량충돌시 탑승자의 보호, 충돌로부터 인접주행차량의 보호, 교면 상부나 하부의 인명 및 재물의 보호 등을 위하여 콘크리트 연석 및 강재난간이 교량측면에 설치되어 있으며, 중앙부에는 콘크리트 연석 및 중앙분리대로 시공되어 있다.

연석 및 난간 전경	중앙분리대 전경

㉠ 외관조사 결과

- 난간 및 연석부에 대한 외관조사 결과 연석 균열(폭0.3㎜미만), 균열(폭0.3㎜이상), 보수부재균열, 망상균열, 파손, 철근노출, 긁힘, 박락, 보수재표면박리 등이 조사되었

으며, 난간 변형 및 파손, 지주볼트변형, 중앙분리대 변형 등이 조사되었다. 또한 시종점부 교명주 파손 및 기초파손이 조사되었다.

【표 3.2.55】 난간, 연석, 보도부 외관조사 결과

구분	균열			열화 및 손상				
	연석 균열 (0.3mm미만)	연석 균열 (0.3mm이상)	보수부재균열 (0.3mm이상)	연석 망상균열	연석보수부 망상균열	연석 긁힘	난간변형	난간지주 볼트변형
	(m/EA)	(m/EA)	(m/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(m/EA)	(EA)
S1	43.00/2	–	5.00/1	9.60/2	–	–	–	–
S2	49.50/2	5.50/1	8.00/1	–	–	–	–	1
S3	56.00/2	–	–	–	–	–	3.00/2	3
S4	65.50/4	1.00/1	–	–	–	0.40/2	–	–
S5	59.50/4	3.00/1	–	–	–	–	2.00/1	–
S6	40.00/6	–	–	8.50/3	4.50/1	–	–	–
합계	313.50/20	9.90/4	13.00/2	18.10/5	4.50/1	0.40/2	5.00/3	4

구분	열화 및 손상								
	델리네이터 파손	연석 박락	연석보수재 표면박리	난간파손	중분대 변형	연석 파손	연석파손/ 철근노출	교명주 기초파손	교명주 파손
	(EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(m/EA)	(m/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)	(㎡/EA)
S1	1	–	–	–	1.00/1	–	–	–	0.04/1
S2	4	–	13.60/1	4.00/2	–	–	–	–	–
S3	–	0.05/1	20.00/1	2.00/1	–	0.04/1	–	–	–
S4	–	–	–	–	2.00/1	–	–	–	–
S5	1	–	–	2.00/1	–	–	–	–	–
S6	–	–	–	–	–	–	0.10/1	0.02/1	–
합계	6	0.05/1	33.60/2	8.00/4	3.00/2	0.04/1	0.10/1	0.02/1	0.04/1

【표 3.2.56】 난간, 연석 기 점검 결과 비교

구 분		단위	손상물량 2023년 정밀안전점검 물량	2023년 정밀안전점검 개소	2025년 정밀안전진단 물량	2025년 정밀안전진단 개소	손상물량변화 (⇧:증, ⇩:감)		비고
난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	m	287.5	17	313.50	20	⇧	26	
	균열(0.3mm이상)	m	9.5	3	9.90	4	⇧	0.4	
	보수부재균열(0.3mm이상)	m	5.0	1	13.00	2	⇧	8	
	망상균열	㎡	22.6	6	18.10	5	⇩	4.5	
	보수부망상균열	㎡	–	–	4.50	1	⇧	4.5	
	긁힘	㎡	0.40	2	0.40	2	–	–	
	난간변형	m	1.0	1	5.0	3	⇧	4	
	난간지주볼트변형	EA	4	4	4	4	–	–	
	델리네이터 파손	EA	6	6	6	6	–	–	
	박락	㎡	0.05	1	0.05	1	–	–	
	보수재표면박리	㎡	–	–	33.60	2	⇧	33.6	
	안전난간 파손	m	8.00	1	8.00	4	–	–	
	중분대변형	m	–	–	3.00	2	⇧	3	
	파손	㎡	–	–	0.04	1	⇧	0.04	
	파손/철근노출	㎡	0.1	1	0.10	1	–	–	
	교명주기초파손	㎡	1.0	1	0.02	1	⇩	0.98	
	교명주파손	㎡	0.04	1	0.04	1	–	–	

S1 상면 연석 균열(폭0.3mm미만)	S1 상면 교명주 파손
S1 상면 중앙분리대 변형	S2 상면 연석 균열(폭0.3mm이상)
S2 상면 연석 보수재 표면박리	S3 상면 연석 균열(폭0.3mm미만)

S3 상면 난간 지주 볼트 체결 불량	S4 상면 중앙분리대 변형
S5 상면 난간 변형	S6 상면 연석 망상균열
S6 상면 연석 파손 및 철근노출	S6 상면 연석 망상균열

㉡ 주요 손상발생 원인 및 검토의견

- 균열(cw:0.1~0.3㎜) 손상은 시공초기 건조수축, 중차량 통행에 따른 반복하중, 보수 미흡 등에 의한 것으로 비구조적 손상으로 판단되며 일부 발생된 균열폭 0.3㎜ 이상 균열은 국부적으로 발생된 균열로 내구성 확보 차원의 주입보수 등의 유지관리가 요구되며, 폭 0.1~0.2㎜ 균열, 보수부 재균열은 내구성 유지 및 손상 진전 방지 차원의 표면보수를 실시하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.
- 연석 및 중앙분리대 파손, 박리, 박락, 철근노출 손상은 외부충격 및 공용기간 증가, 겨울철 동결융해, 염화칼슘 도포에 의한 염화물 침투 등에 의한 것으로 현재 주변으로 손상이 진전되고 있는 것으로 조사되어 내구성 확보 및 기능성 향상을 위한 단면보수, 단면보수(방청)가 필요하다.
- 난간변형, 고정불량 손상은 외부충격에 의한 변형으로 사용성 및 안전상에는 문제가 없는 것으로 판단되며, 적절한 시기에 난간 손상부 재설치가 요구된다.

㉢ 기 점검결과와의 비교 · 분석

난간 및 연석부에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과 부분적인 추가 손상이 확인되었고, 발생된 손상부에 대해서는 보수 후 정기적인 점검을 통한 지속적인 주의관찰이 요구된다.

7) 기타시설(점검로)

- 점검로는 시설물의 점검 및 보수 등을 원활하고 안전하게 시행할 수 있도록 설치 목적이 있으며, 대상 시설물인 장암교에는 P2, P4에 점검사다리와 점검로가 공주방향 측으로 한면에만 설치되어 있으며, P1, P3, P5에는 별도의 점검시설은 없는 것으로 확인되었다.

P2 교각 점검로 및 점검사다리 전경	P4 교각 점검로 및 점검사다리 전경
P1 교각 점검로 미설치 전경	P5 교각 점검로 미설치 전경

㉠ 외관조사 결과

- 기타시설인 점검로에 대한 외관조사 결과 교대 및 교각(P1, P3, P5)에 점검시설 미설치된 상태로 하부시설 점검시 접근성이 부족하여 교량의 효율적인 유지관리를 위하여 점검시설 설치가 필요한 것으로 판단된다.

8) 공중이 이용하는 부위

- 금회 과업대상 시설물의 공중이 이용하는 부위는 난간 및 연석, 중앙분리대의 추락방지시설, 도로포장, 도로부 신축이음부 등이며 해당 시설의 조사결과는 다음과 같다.

【표 3.2.57】 공중이 이용하는 부위 조사결과

구분	해당시설물	조사 결과	비고
추락방지시설	난간 및 연석	연석 균열(0.3mm이상), 망상균열, 박락, 보수재 박리 등 난간 변형, 중앙분리대 변형 등	c
		추락방지시설에 결함 및 파손으로 인하여 기능에 일부 문제가 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태	
도로포장	교면포장	전반적인 아스콘 균열, 망상균열, 부분적인 포장 파손, 포트홀, 마모 등	c
		포장의 결함 및 파손이 차량에 직접적인 파손을 유발할 정도는 아니나 차량 운전자에게 불쾌감을 유발할 수 있어 간단한 보수가 필요한 상태	
도로부 신축이음부	신축이음	신축이음 교체 완료	a
		신축이음부에 손상이 없는 상태	
환기구 등 덮개	-	-	-
		-	

추락방지시설 전경	도로포장 망상균열
도로포장 파손, 패임, 마모	도로부신축이음부 신축이음장치 교체 전경

㉠ 공중이 이용하는 부위 조사결과

- 추락방지시설은 난간 및 연석, 중앙부리대 시설물로 조사결과 추락방지시설에 결함 및 파손으로 인하여 기능에 일부 문제가 발생하여 간단한 보수가 필요한 상태인 c등급으로 지정하였다.
- 도로포장은 포장의 결함 및 파손이 차량에 직접적인 파손을 유발할 정도는 아니나 차량 운전자에게 불쾌감을 유발할 수 있어 간단한 보수가 필요한 상태인 c등급으로 지정하였다.
- 도로부신축이음부는 신축이음장치 교체가 실시되어 신축이음부에 손상이 없는 상태인 a등급 으로 지정하였다.

9) 손상물량 총괄표

【표 3.2.58】 손상물량 총괄표

구 분			단위	손 상 물 량				손상물량변화 (⇧:증, ⇩:감)		비고
				2023년 정밀안전점검		2025년 정밀안전진단				
				물량	개소	물량	개소			
바닥판	균열(0.3mm미만)		m	19.3	20	27.50	24	⇧	8.2	
	균열부백태		m	0.32	4	1.60	4	⇧	1.28	
	덮개부식		m	1.5	1	1.50	1	–	–	
	덮개파손/부식		㎡	1.5	2	1.50	2	–	–	
	도장박리		㎡	–	–	0.12	3	⇧	0.12	
	망상균열		㎡	36.0	3	40.00	4	⇧	4	
	박락		㎡	0.07	2	0.07	2	–	–	
	볼트부식		ea	–	–	5.00	5	⇧	5	
	부식		㎡	0.36	20	0.31	26	⇩	0.05	
	신축하부누수		m	0.4	2	0.40	2	–	–	
	재료분리		㎡	0.06	1	0.06	1	–	–	
	점부식		㎡	–	–	0.26	1	⇧	0.26	
Steel Box Girder	내부	도장들뜸	㎡	0.11	3	0.11	3	–	–	
		도장박리	㎡	9.08	55	20.30	147	⇧	11.22	
		도장불량	㎡	0.17	16	0.17	16	–	–	
		리브변형	m	20.7	22	21.00	23	⇧	0.3	
		볼트부식	EA	20	20	38.00	38	⇧	18	
		볼트체결불량	EA	1	1	1.00	1	–	–	
		볼트탈락	EA	–	–	3	3	⇧	3	
		부식	㎡	12.42	33	27.19	34	⇧	14.77	
		부식/체수	㎡	–	–	0.50	1	⇧	0.5	
		실링재탈락	EA	44	44	16.00	16	⇩	28	
		용접누락	EA	22	22	22.00	22	–	–	
		용접부부식	m	0.2	1	0.20	1	–	–	
		용접불량	EA	1	1	1.00	1	–	–	
		이물질퇴적	㎡	32.25	4	22.25	4	⇩	10.00	
		조명덮개탈락	EA	4	4	8.00	8	⇧	4	
		조명파손	EA	13	13	27.00	27	⇧	14	
		출입문탈락	EA	–	–	1	1	⇧	1	
	외부	탈색	㎡	50	1	50.00	1	–	–	
		도장박리	㎡	–	–	0.01	1	⇧	0.01	
		도장박리 및 부식	㎡	0.09	1	0.03	1	⇩	0.06	
		도장박리 / 박락	㎡	0.08	2	0.08	2	–	–	
		도장박락	㎡	0.09	1	–	–	⇩	0.09	
		부식	㎡	1.3	11	1.61	17	⇧	0.31	
		점부식	㎡	0.19	3	0.43	4	⇧	0.24	
		강재변형	m	0.4	3	0.40	3	–	–	
		볼트부식	EA	83	83	104.00	104	⇧	21	

【표 3.2.58】 손상물량 총괄표(계속)

구 분		단위	손 상 물 량				손상물량변화 (⇧:증, ⇩:감)		비고
			2023년 정밀안전점검		2025년 정밀안전진단				
			물량	개소	물량	개소			
가로보/세로보	가로보 변형	m	1.4	4	1.40	4	–	–	
	세로보 변형	m	0.5	1	0.50	1	–	–	
	가로보 부식	㎡	2.1	3	3.15	5	⇧	1.05	
교대	균열(0.3mm미만)	m	4.9	5	3.90	4	⇩	1	
	균열(0.3mm이상)	m	–	–	1.00	1	⇧	1	
	균열부백태	m	6.8	5	9.00	8	⇧	2.2	
	망상균열	㎡	3.0	2	4.28	3	⇧	1.28	
	누수흔적	㎡	11.25	5	11.25	5	–	–	
	백태	㎡	1.49	5	1.12	3	⇩	0.37	
	박리	㎡	0.13	2	0.32	2	⇧	0.19	
	표면박리	㎡	–	–	2.35	2	⇧	2.35	
	보수부들뜸	㎡	2.43	2	2.43	2	–	–	
	스토퍼 고무패드 탈락	EA	–	–	1.00	1	⇧	1	
	철근노출	㎡	0.06	1	0.06	1	–	–	
	토사퇴적	㎡	3.90	3	3.90	3	–	–	
	폐콘크리트적치	㎡	6.71	5	22.11	6	⇧	15.4	
교각	균열(0.3mm미만)	m	30.9	31	41.50	41	⇧	10.6	
	망상균열	㎡	–	–	13.30	4	⇧	13.3	
	긁힘	㎡	0.5	2	0.05	2	⇩	0.45	
	박리	㎡	–	–	0.45	1	⇧	0.45	
	박락	㎡	0.04	1	0.04	1	–	–	
	박락/철근노출	㎡	0.06	1	0.20	1	⇧	0.14	
	보수재들뜸	㎡	0.08	1	0.08	1	–	–	
	스토퍼 고무패드 탈락	EA	3	3	3.00	3	–	–	
	재료분리	㎡	0.7	2	0.70	2	–	–	
	재료분리/박리	㎡	–	–	1.50	1	⇧	1.5	
	점검로 지지볼트 탈락	EA	–	–	1.00	1	⇧	1	
	파손	㎡	–	–	0.02	1	⇧	0.02	
	표면오염	㎡	1.4	2	1.40	2	–	–	
	강판보강부부식	㎡	41.4	2	41.40	2	–	–	

【표 3.2.58】 손상물량 총괄표(계속)

구 분		단위	손 상 물 량				손상물량변화 (⇧:증, ⇩:감)		비고
			2023년 정밀안전점검		2025년 정밀안전진단				
			물량	개소	물량	개소			
교량받침	받침장치 부식	㎡	12ea	12ea	12	12	–	–	
	받침플레이트부식	㎡	5	5	1	1	⇩	4	
	받침몰탈균열(0.3mm미만)	㎡	1.9	15	2.30	17	⇧	0.4	
	받침몰탈균열(0.3mm이상)	㎡	0.10	1	0.10	1	–	–	
	받침몰탈 파손	ea	0.03	2	0.03	2	–	–	
	받침몰탈망상균열	㎡	0.05	1	0.05	1	–	–	
	받침볼트이격	ea	1	1	1	1	–	–	
	거푸집미제거	ea	–	–	3	3	⇧	3	
	먼지막이링탈락	ea	4	4	8	8	⇧	4	
신축이음	유간토사퇴적	m	7.5	6	1.00	1	⇩	6.5	
	차수판부식	EA	2	2	2	2	–	–	
	후타재균열	m	15.8	55	–	–	⇩	15.8	
	후타재 접합부 이격	m	18.5	1	–	–	⇩	18.5	
	차수판 탈락	EA	1	1	–	–	⇩	1	
교면포장	포장 망상균열	㎡	828.00	10	2586.00	17	⇧	1758	
	포장균열	m	285.00	14	155.00	8	⇩	130	
	포장파손	㎡	–	–	3.00	1	⇧	3	
	포장패임	㎡	0.08	3	10.01	2	⇧	9.93	
	포장패임/마모	㎡	12.5	1	12.50	1	–	–	
	포트홀	㎡	1.43	140	2.07	151	⇧	0.64	
	포트홀/철근노출	㎡	–	–	0.09	1	⇧	0.09	
배수시설	그레이팅파손	EA	–	–	1	1	⇧	1	
	배수구막힘	EA	3	3	18	18	⇧	15	
	배수관부식	EA	3	3	4	4	⇧	1	
	배수관파손	EA	–	–	1	1	⇧	1	
	배수관 연결볼트 탈락	EA	–	–	1	1	⇧	1	
	집수구막힘	EA	1	1	1	1	–	–	

【표 3.2.58】 손상물량 총괄표(계속)

구 분		단위	손 상 물 량				손상물량변화 (⇧:증, ⇩:감)		비고
			2023년 정밀안전점검		2025년 정밀안전진단				
			물량	개소	물량	개소			
난간 및 연석	균열(0.3mm미만)	m	287.5	17	313.50	20	⇧	26	
	균열(0.3mm이상)	m	9.5	3	9.90	4	⇧	0.4	
	보수부재균열(0.3mm이상)	m	5.0	1	13.00	2	⇧	8	
	망상균열	㎡	22.6	6	18.10	5	⇩	4.5	
	보수부망상균열	㎡	-	-	4.50	1	⇧	4.5	
	긁힘	㎡	0.40	2	0.40	2	-	-	
	난간변형	m	1.0	1	5.0	3	⇧	4	
	난간지주볼트변형	EA	4	4	4	4	-	-	
	델리네이터 파손	EA	6	6	6	6	-	-	
	박락	㎡	0.05	1	0.05	1	-	-	
	보수재표면박리	㎡	-	-	33.60	2	⇧	33.6	
	안전난간 파손	m	8.00	1	8.00	4	-	-	
	중분대변형	m	-	-	3.00	2	⇧	3	
	파손	㎡	-	-	0.04	1	⇧	0.04	
	파손/철근노출	㎡	0.1	1	0.10	1	-	-	
	교명주기초파손	㎡	1.0	1	0.02	1	⇩	0.98	
	교명주파손	㎡	0.04	1	0.04	1	-	-	

3.3 재료시험

3.3.1 개요

시설물의 평가를 적절히 수행하기 위하여 성능평가의 목적에 부합하는 현장 재료시험 및 실내시험을 실시하여야 하며 이를 위해 사전 현장조사, 도면 및 이전의 결과보고 서 검토 등을 통하여 필요한 시험항목 및 시험횟수를 산정하여야 한다.

성능평가를 실시함에 있어 시설물별로 필요한 재료시험의 최소시험 항목과 기준수량은 「시설물의 안전 및 유지관리의 실시 등에 관한 지침」을 따르며, 시설물의 특성과 성능평가의 목적에 따라 이를 조정할 경우에는 결과보고서에 그 사유를 명시하여야 한다.

가. 현장 재료시험

현장 재료시험은 시설물이 위치하는 현장에서 시설물에 손상을 입히지 않고 강도 및 결함 등을 측정하는 것으로 이에 대한 세부사항은 세부지침 「재료시험 요령」에 따른다.

재료시험 방법은 시설물의 특성을 간접적으로 측정하는 시험방법으로 시험장비 및 측정방법의 특징, 적용한계 등을 고려하여 측정하여야 한다. 또한 시험을 실시하는 자는 시험장비의 사용법을 숙지하고 있는 충분한 경험을 갖춘 자이어야 하며 검·교정을 필한 장비를 사용하여야 한다.

나. 실내시험

시설물로부터 재료의 일부를 채취하여 시험실에서 실시하는 실내시험은 시설물에 손상을 주기 때문에 특정부분에 대한 자료가 필요할 경우 실시하며, 가능한 전체적인 시설물의 평가에 유용하다고 판단되는 경우에 실시하여야 한다. 또한 재료채취에 의해 손상을 입은 부위는 원래 상태로 복구를 해야 한다.

실내시험은 KS규격을 기준으로 실시하고 KS규격에 없는 시험은 ASTM이나 AASHTO 등의 외국기준에 의해 실시할 수 있다.

1) 콘크리트 시험

- 강도, 수분함량, 공기량, 염화물침투량, 탄산화깊이 시험 등

2) 강재 시험

- 강도 등

3) 토질재료 시험

- 입도, 함수비, Atterberg한계, 투수, 다짐, 압밀, 압축시험 등

다. 재료시험 요령

1) 일반

- 재료시험 항목 및 수량은 성능평가 실시결과에 의한 시설물의 안전성능 또는 내구성능, 사용성능 평가가 객관적이며, 보편타당하게 이루어지고 이를 위한 기초자료를 충분히 확보할 수 있도록 결정하여야 한다.
- 선택과업 재료시험의 실시여부는 과업의 내용에 의거하여 실시하는 것을 원칙으로 하며, 과업의 내용에는 해당 재료시험의 기준수량이 명시되어야 한다. 다만 선택과업 재료시험에서 기준수량이 정해져 있는 경우에는 해당 재료시험의 목적을 달성하기 위한 최소수량으로 이를 준수하여야 한다.
- 「시설물의 안전 및 유지관리의 실시 등에 관한 지침」및 「시설물편」에서 제시되는 내용을 원칙으로 하되 시설물 특성 및 제반여건을 고려하여 적절히 응용할 수 있다.

2) 재료시험 항목 및 기준수량

① 재료시험 항목 및 평가방법

- 성능평가는 현장조사 및 재료시험 결과에 의해 해당 시설물에 대한 안전성능 및 내구성능, 사용성능을 실시하는 것으로 이에 필요한 재료시험 항목에 대하여 기본과업 및 선택과업 등의 내용으로 구분되며, 기본과업에 의한 재료시험은 필수적으로 실시한다. 다만, 선택과업의 재료시험 실시 여부는 성능평가 범위 및 내용 등을 고려한 과업의 내용에 따른다.

㉠ 재료시험 항목

【표 3.3.1】 제1종 성능평가 재료시험 항목

구분		안전성능	내구성능
기본 과업	콘크리트	•콘크리트 강도 – 비파괴시험 : 반발경도, 초음파 전달속도 •철근탐사시험[1)] 철근배근탐사, 철근 피복두께 •균열깊이 조사	•피복 콘크리트 품질 – 반발경도시험
			•탄산화 깊이
			•염화물 침투량
	강재	•용접부 결함탐사 – 초음파 탐상	•도장두께
	기타	•외부긴장재 타음조사[2)]	–
선택 과업	공통	•수중조사[3)] •비파괴 재하시험 •주행안전성[4)]	–
	콘크리트	•콘크리트 강도 – 국부파괴법 : 코어강도 •철근부식도 조사 •콘크리트 물성 및 미세구조	–
	강재	•용접부 결함탐사 – 방사선투과시험 – 자분탐상시험	–
	기타	•국부변형시험 •천공시험 •내시경조사 •장력시험 •기타 필요한 조사 및 시험	–

주1) 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 대상 구간은 철근탐사시험을 필수적으로 실시하여 실제 콘크리트의 피복두께를 측정하도록 한다.

주2) 격벽상단 변곡부(크라운부) 및 방향전환블럭 전·후 1.5m 구간에 대해 실시한다.

주3) 하천교량은 수중조사를 실시하여 1단계 세굴심 검토를 할 수 있으며, 2단계 기초안전성을 수행하는 자료로 활용할 수 있다.

주4) 주행안전성은 철도교량에 실시하며, 상시 실시 계측 및 구조해석을 통해 검토 할 수 있다.

【표 3.3.2】 제2종 성능평가 재료시험 항목

구분		안전성능	내구성능
기본 과업	콘크리트	•콘크리트 강도 – 반발경도시험 •철근탐사시험[1)] – 철근 배근상태 – 철근 피복두께	•피복(표면부) 콘크리트 품질 – 반발경도시험
			•탄산화 깊이
			•염화물 침투량
	강재	–	•도장두께
	기타	•외부긴장재 타음조사[2)]	–
선택 과업	콘크리트	•콘크리트 강도 – 국부파괴시험법 : 코어강도 – 비파괴시험 : 초음파전달속도	–
	강재	•강재용접부 결함조사 – 자분탐상시험 및 초음파탐상	–
	기타	•기타 필요한 조사 및 시험	–

주1) 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 대상 구간은 철근탐사시험을 필수적으로 실시하여 실제 콘크리트의 피복두께를 측정하도록 한다.

주2) 격벽상단 변곡부(크라운부) 및 방향전환블럭 전·후 1.5m 구간에 대해 실시한다.

㉡ 재료시험 평가 방법

【표 3.3.3】 제1종 성능평가 재료시험 평가방법

구분		재료시험 항목	평가 방법
기본과업	콘크리트	•콘크리트 강도 – 반발경도시험[1], 초음파 전달속도 •피복두께 콘크리트 품질 – 반발경도시험1)	•외관상 건전부와 불량부위에 대한 비교평가 실시
		•철근탐사시험 – 철근 배근상태 – 철근 피복두께	•구조검토를 위한 철근조사 •콘크리트의 강도 및 물성시험 등을 위한 철근 위치 탐사
		•균열깊이 조사	•발생균열의 철근깊이 이상 발전 또는 관통여부 등 평가 •허용균열폭과의 비교・검토
		•탄산화 깊이	•현장측정 •탄산화속도계수 산정
		•염화물 침투량	•시료채취 및 평가
	강재	•도장두께	•영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정
		•용접부 비피괴 시험 – 맞대기 용접부 : 초음파탐상시험	•필요시 방사선투과시험
	기타	•외부긴장재 타음조사	•강구타격법
선택과업	공통	•수중조사	•하천(해상)에 위치한 교량의 기초조사
		•비파괴 재하시험	•구조물 실 거동(변형, 처짐) 평가
		•주행안전성	•구조물 실 거동(변위, 처짐, 단차 등) 평가
	콘크리트	•콘크리트 강도 – 국부파괴법 : 코어강도	•콘크리트강도 평가의 기준 •필요시 콘크리트 물성시험 등
		•철근부식도 조사	•주요부재의 철근 대상 •철근부식확률 평가
		•콘크리트 물성 및 미세구조	•강도, 수분함량 등
	강재	•용접부 결함탐사 – 방사선투과시험, 자분탐상시험	•균열의심부 필요시 염료침투탐상시험 실시
	기타	•국부변형시험	•긴장재 변형량 측정시험
		•천공시험	•긴장재 내 그라우트재 탄산화, 염화물 시험, 강연선 부식정도 조사
		•내시경조사	•강연선 부식정도 조사 •육안조사 불가 부위 조사
		•장력시험	•진동법에 의한 케이블, 긴장재 부재 등의 장력 계측 조사

주1) 반발경도시험 결과를 활용하여 콘크리트 강도와 피복콘크리트품질을 평가한다. 피복콘크리트 품질 평가는 비건전부를 위주로 평가하되 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 평가를 수행하여 결과를 활용하여야 한다.

【표 3.3.4】 제2종 성능평가 재료시험 평가방법

구분		재료시험 항목	평가 방법
기본 과업	콘크리트	•콘크리트 강도 – 반발경도시험[1)] •피복두께 콘크리트 품질 – 반발경도시험[1)]	•외관상 건전부와 불량부위에 대한 비교평가 실시
		•철근탐사시험 – 철근 배근상태 – 철근 피복두께	•구조검토를 위한 철근조사 •콘크리트의 강도 및 물성시험 등을 위한 철근 위치 탐사
		•탄산화 깊이	•현장측정 •탄산화속도계수 산정
		•염화물 침투량	•시료채취 및 평가
	강재	•도장두께	•영구자석식 측정기 또는 전자식 측정기를 이용해 측정
	기타	•외부긴장재 타음조사	•강구타격법
선택 과업	콘크리트	•콘크리트 강도 – 국부파괴법 : 코어강도	•콘크리트강도 평가의 기준 •필요시 콘크리트 물성시험 등
		– 비파괴시험 : 초음파전달속도시험	•외관상 건전부와 불량부위에 대한 비교평가 실시
	강재	•강재용접부 결함탐사 – 자분탐사 및 초음파탐상	•강재용접부 결함 탐상

주1) 반발경도시험 결과를 활용하여 콘크리트 강도와 피복콘크리트품질을 평가한다. 피복콘크리트 품질 평가는 비건전부를 위주로 평가하되 책임기술자의 판단에 따라 수량을 조정할 수 있다. 단, 비건전부는 최소 1개소 이상 평가를 수행하여 결과를 활용하여야 한다.

② 재료시험 기준수량

- 안전성능 및 내구성능, 사용성능 평가를 위한 기본과업 및 선택과업의 기준수량은 「시설물편」의 재료시험 항목 및 수량에 따라 실시한다. 이외의 재료시험 항목 및 수량에 대하여는 과업의 내용에 따른다.

㉠ 기본과업 재료시험 기준수량

【표 3.3.5】 제1종 성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	교 량		비고
	상부구조	하부구조	
반발경도시험[1]	•철근콘크리트 - 2개소/50m •강합성교 - 1개소/50m	•1개소/연장50m •교대, 교각 개소수 (경간장50m이상)	•동일부위에 시험
초음파 전달속도시험	•철근콘크리트 - 2개소/50m •강합성교 - 1개소/50m	•1개소/연장50m •교대, 교각 개소수 (경간장50m이상)	
철근탐사시험	•철근콘크리트 - 2개소/50m •강합성교 - 1개소/50m	•1개소/연장50m •교대, 교각 개소수 (경간장50m이상)	-
탄산화 깊이 측정[2]	•5경간 이내 : 4~6개소 •5경간 이상 : 6~9개소		-
염화물[3] 침투량 시험	•3개소 이상		•간만대 또는 비말대 포함
균열깊이조사	•부재의 중요도를 고려 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정		•Cw=0.3mm 이상 균열
강재용접부 초음파탐상시험	•플레이트거더교 : 1개소/경간별 거더 •박스거더교 : 2개소/경간별 거더		•맞대기 용접부
도장두께[4]	•강 부재 : 5개소/대상경간		•바닥판, 거더, 2차부재, 교각(주탑), 케이블

주1) 각 부재별(바닥판, 거더, 2차부재, 교각/교대) 최소 1개소 이상 포함하여 실시한다.

주2) 상부구조, 하부구조 최소 1개소 이상 포함하여 실시한다.

주3) 상부구조, 하부구조 최소 1개소 이상 실시하며 시료(코어) 채취위치는 철근콘크리트 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시하고, 염해에 취약한 해상교량과 하천교량 중 염해의 영향이 있을 것으로 판단되는 하천과 바다가 만나는 합류부 부근 교량의 경우에는 교량 하부 수중부(간만대 또는 비말대)를 대상으로 1곳 이상의 시료를 채취하여 염화물 침투 및 염해 여부를 확인해야 한다.

주4) 도장두께 측정 대상경간은 책임기술자가 선정한다. 상부구조는 전체경간에 25%, 최소 3개 경간 이상을 만족해야 하며, 하부구조는 전개소를 원칙으로 하고 케이블은 형식, 재료에 따라 조사수량을 선택적으로 평가하도록 한다.

【표 3.3.6】 제2종 성능평가 기본과업 재료시험 기준수량

구분	교 량		비고
	상부구조	하부구조	
반발경도시험[1]	•50m 마다	•연장 50m 마다	–
철근탐사시험[2]	•책임기술자 판단에 따라 수량 결정		–
탄산화[3] 깊이 측정	•5경간 이내 : 2~3개소 •5경간 이상 : 3~6개소		–
염화물[4] 침투량 시험	•책임기술자 판단에 따라 수량 결정		•간만대 또는 비말대 포함
도장두께[5]	•강 부재 : 2~3개소/대상경간		•바닥판, 거더, 2차부재, 교각(주탑), 케이블

주1) 각 부재별(바닥판, 거더, 2차부재, 교각/교대) 최소 1개소 이상 포함하여 실시한다.
주2) 최소 탄산화 깊이, 염화물 침투량 시험 수량 이상 실시한다.
주2) 상부구조, 하부구조 최소 1개소 이상 포함하여 실시한다.
주4) 상부구조, 하부구조 최소 1개소 이상 실시하며 시료(코어) 채취위치는 철근콘크리트 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시하고, 염해에 취약한 해상교량과 하천교량 중 염해의 영향이 있을 것으로 판단되는 하천과 바다가 만나는 합류부 부근 교량의 경우에는 교량 하부 수중부(간만대 또는 비말대)를 대상으로 1곳 이상의 시료를 채취하여 염화물 침투 및 염해 여부를 확인해야 한다.
주4) 도장두께 측정 대상경간은 책임기술자가 선정한다. 상부구조는 전체경간에 25%, 최소 3개 경간 이상을 만족해야 하며, 하부구조는 전개소를 원칙으로 하고 케이블은 형식, 재료에 따라 조사수량을 선택적으로 평가하도록 한다.

㉡ 선택과업 재료시험 기준수량

【표 3.3.7】 제1종 성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	교 량		비고
	상부구조	하부구조	
코어채취[1]	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		–
수중조사	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		•하천(해상)에 위치한 기초조사
비파괴 재하시험	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		–
주행안전성	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		•철도교량
콘크리트 물성 및 미세구조	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		–
철근부식도시험	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		–
강재용접부 자분탐상시험	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		•균열의 심부
방사선투과시험	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		•맞대기 용접부
국부변형시험	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		–
천공시험	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		–
내시경 조사[2]	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		–
장력시험[3]	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		–

주1) 콘크리트 코어를 채취할 경우 그 채취 지점은 구조물에 영향이 최소화되는 지점을 선정토록 하며, 이전에 수행한 성능평가에서 코어채취 및 실내시험에 대한 자료가 충분하고 평가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있다.

주2) 천공시험 결과 PSC교량의 긴장재내 강연선의 부식이 우려되는 경우 실시한다.

주3) ‘18년 1월 18일 이후에 준공된 교량의 최초 성능평가 시에 긴장재의 장력값(초기치) 확보를 위한 장력시험을 실시할 수 있으며, 강연선 상태안전성능 기준이 “e”인 경우에는 책임기술자의 기술적 판단에 따라 관리주체와 협의하여 실시할 수 있다.

【표 3.3.8】 제2종 성능평가 선택과업 재료시험 기준수량

구분	교 량		비고
	상부구조	하부구조	
코어채취[1]	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		•강도 및 염화물량 시험 등
초음파전달속도시험	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		–
자분탐상시험 (초음파탐상시험)	•과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정		–

주) 책임기술자 판단에 따라 필요시 수중조사, 비파괴재하시험, 주행안전성(철도교량), 긴장재(국부변형시험, 천공시험, 내시경시험, 장력시험) 평가를 할 수 있다.

주1) 콘크리트 코어를 채취할 경우 그 채취 지점은 구조물에 영향이 최소화되는 지점을 선정토록 하며, 이전에 수행한 성능평가에서 코어채취 및 실내시험에 대한 자료가 충분하고 평가 기준에 적합한 경우에는 기존의 자료를 이용할 수 있다.

㉢ 재료시험 기준수량의 조정

(1) 연장별 조정비

- 교량의 제1종, 제2종 성능평가에서 재료시험 항목은 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침_성능평가 편(2024.12)」을 근거로 수량을 산정하였으므로, 연장별 조정비는 성능평가에도 적용한다.
- 경간당, 거더당 비율에 따라 기준 수량을 규정한 항목은 연장 300m 미만의 교량을 기준으로 한 것이므로 300m 이상일 경우 연장별 조정비에 따라 기본 재료시험의 기준 수량을 책임기술자의 판단에 따라 관리주체와 협의하여 조정할 수 있다.

【표 3.3.9】 연장별 재료시험 기준수량 조정비

연장별 조정3	500m	1,000m	2,000m	4,000m이상
	80%	60%	40%	30~20%

(2) 재료시험 기준수량의 조정

- 교량의 제1종성능평가 및 제2종성능평가 시 하부구조에 대한 콘크리트의 조사·시험은 교대, 교각 개소수를 기준으로 재료시험 기준수량을 정하고 있으나, 라멘식과 같이 한 경간에 교각의 기둥이 다수로 존재하는 하부구조에서의 콘크리트 재료시험 기준수량은 상부구조의 경간수를 기준으로 실시한다.

라. 시험결과의 해석 및 평가

현장 재료시험 및 실내시험 결과는 그 분야에 경험이 있는 자에 의하여 해석되고 평가되어야 하며 이전에 같은 시험이 실시된 경우에는 시험결과를 비교하여 차이점을 분석 평가하여야 한다. 또한 같은 재료 특성을 평가하는데 다른 형식의 시험방법이 사용되는 경우에는 각 시험결과를 비교하여 차이점을 파악하여야 한다.

필요한 경우 기존자료와 현장 계측자료를 토대로 예상되는 문제점을 분석하기 위하여 모델링을 통하여 이론적 해석을 실시할 수 있다.

마. 시험 보고서

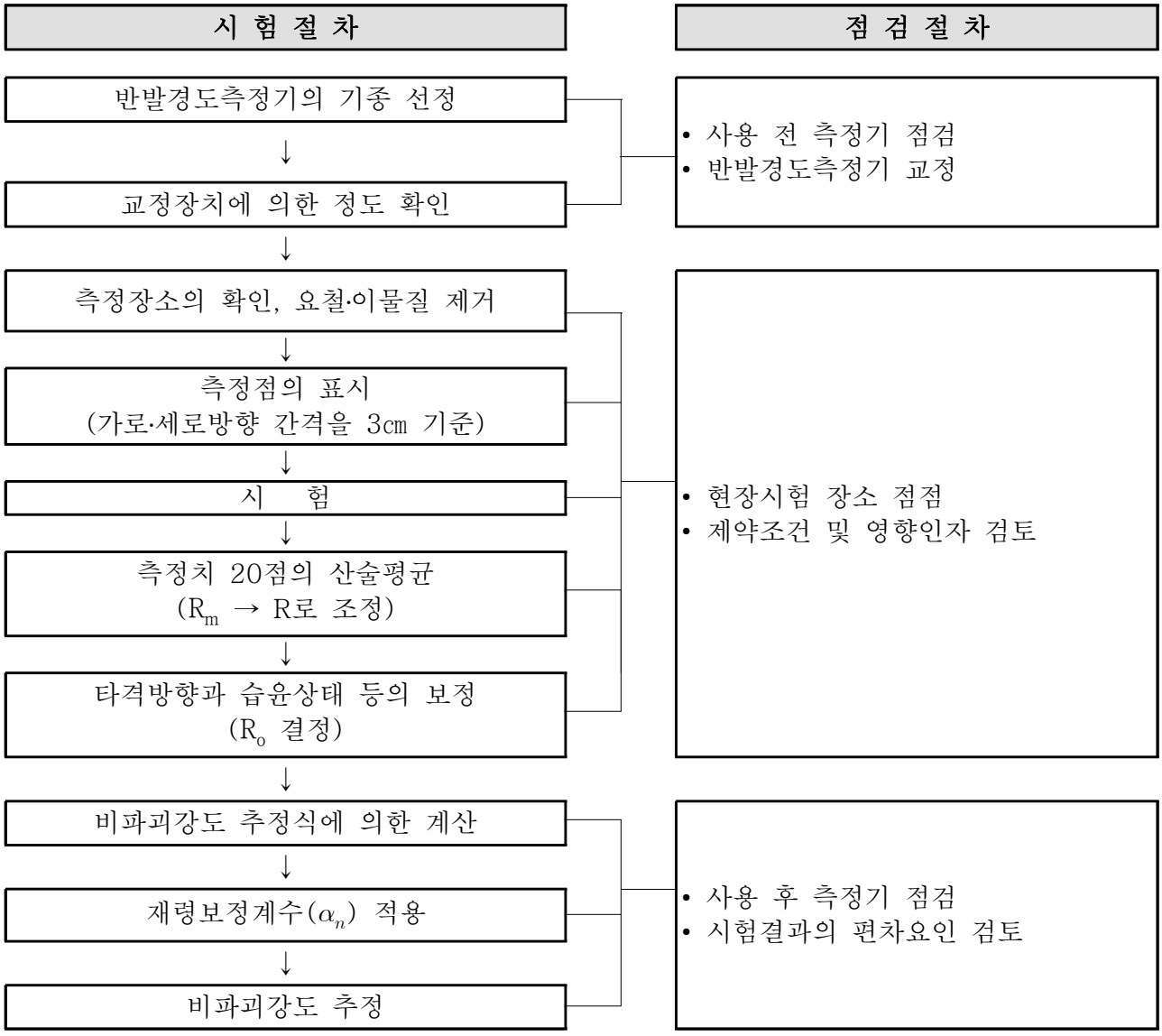
모든 현장 재료시험 및 실내시험 결과는 시험 보고서의 형태로 성능평가 결과보고서에 수록하여 시설물관리에 필요한 자료의 일부로 사용하여야 한다.

바. 콘크리트 재료시험

1) 반발경도 시험

- 콘크리트의 표면 경도를 측정하여, 이 측정치로부터 콘크리트의 압축강도를 비파괴로 추정하는 검사방법이다. 반발경도를 구하는 방법으로는 슈미트 해머(Schmidt Hammer)법이 가장 널리 사용된다. 슈미트 해머로 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발경도(R)와 콘크리트의 압축강도(F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

① 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차



【그림 3.3.1】 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차

- 외관조사 결과에 의해 결정된 측정개소에 대해서 타격점 상호간의 간격은 3㎝를 표준으로 종으로 5열, 횡으로 4열의 선을 그어 직교되는 20점을 타격하여 반발경도 값의 산술평균값(R_m)을 구한다. 산술평균값(R_m)에 대해서는 릴렘(RILEM) 규정에 따라 각 반발경도의 값이 $R_m \pm 20\%$의 범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도 R을 결정한다.

② 보정반발경도(R_o)

【표 3.3.10】 보정반발경도(R_o)

◈ 보정반발경도 : $R_o = R + \Delta R_1 + \Delta R_2$

여기서, R : 반발경도

ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR_2 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

㉠ 타격방향에 따른 보정값(ΔR_1)

- 수평방향의 타격에 의한 측정치가 안정된 값을 나타내지만 타격방향이 다른 경우에는 반발치를 보정해 주어야 함
  - ⇒ 하향 타격(−90°)의 경우 : (+)값으로 보정
    상향 타격(+90°)의 경우 : (−)값으로 보정

R \ α	보 정 값			
	+90°	+45°	−45°	−90°
10	−	−	+2.4	+3.2
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	+1.5	+2.2
60	−2.2	−1.6	+1.3	+1.7

㉡ 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값(ΔR_2)

- 콘크리트는 함수율이 증가함에 따라 반발경도가 저하됨
  - ⇒ 측정위치가 습하고 타격의 흔적이 보이는 경우 : ΔR_2 = + 3으로 보정
    측정위치가 완전히 젖어 있는 경우 : ΔR_2 = + 5로 보정

③ 압축강도의 추정

- 보정반발경도(R_o)로부터 압축강도(F_c)의 상관관계를 도출한 제안식들은 다음과 같으며, 제안식의 적용은 시험방법 및 조건에 맞는 제안식을 선정하는 것이 중요하다.

【표 3.3.11】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)

구분	추 정 식(MPa)	비고
일본재료학회	$F_c = -18.0 + 1.27R_o$	금회 적용(식①)
동경 건축재료 검사소	$F_c = (10R_o - 110) \times 0.098$	−
일본건축학회	$F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098$	금회 적용(식②)
U.S Army	$F_c = (-120.6 + 8.0R_o + 0.0932R_o^2) \times 0.098$	−

※ 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2024. 12, 국토교통부/한국시설안전공단)

④ 28일 강도의 추정

- 시일이 경과할수록 콘크리트 구조물은 표면경도가 높아지므로 아래 식과 같이 재령 28일 강도(F_{28}')로 환산하여 압축강도를 추정한다. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α는 아래와 같으며, 3,000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

$$F_{28}' = \alpha \cdot F_c$$

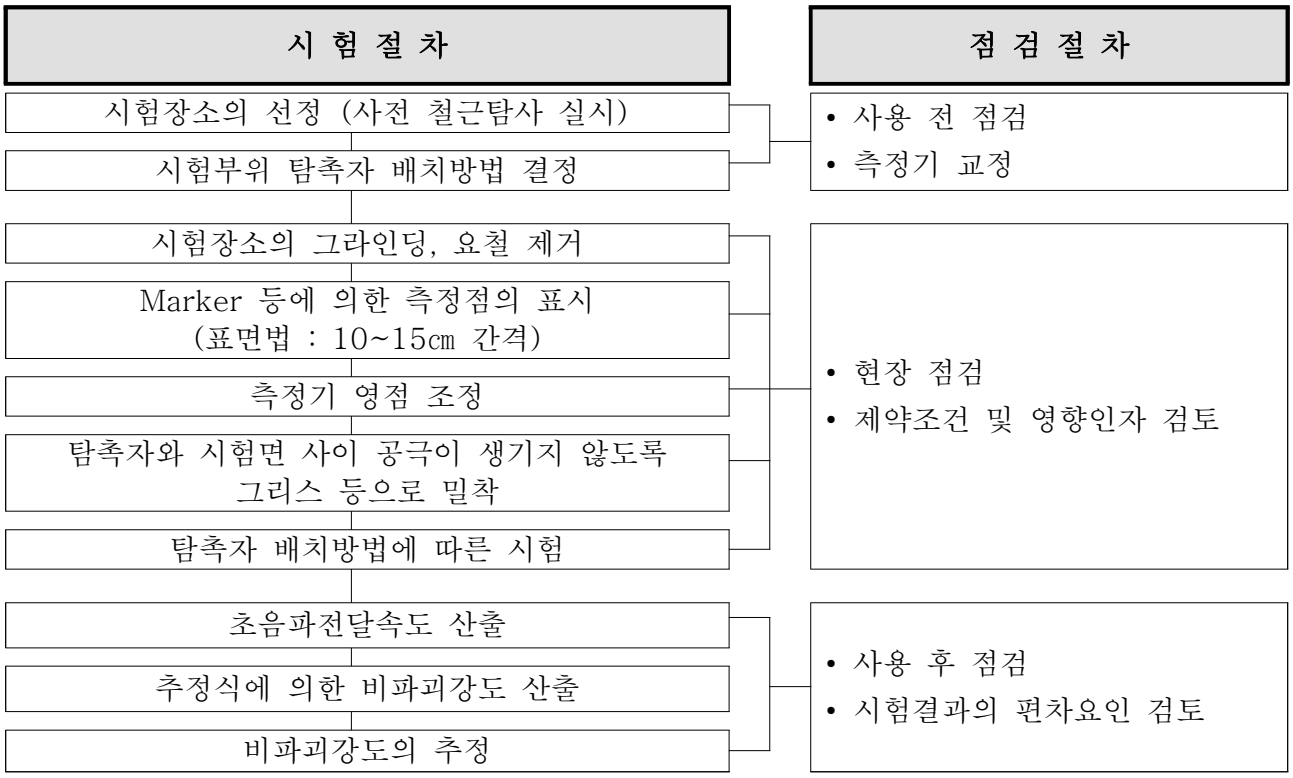
【표 3.3.12】 재령계수 α값

재령(일)	10	20	28	50	100	150	200	300	500	1000	3000
α	1.55	1.12	1.00	0.87	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.63

2) 초음파전달속도시험

- 초음파의 투과속도가 콘크리트의 밀도 및 탄성계수에 따라서 변화하는 것을 이용하며, 이 투과속도로부터 콘크리트의 동적 특성, 강도, 균열상태 등을 추정하는 방법이다. 그러나, 강도 추정의 정확도는 높지 않으며, 일반적으로 콘크리트의 강도 및 품질 비교 또는 균열깊이를 판정하는 수단으로서 이 방법을 사용하고 있다.

① 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차



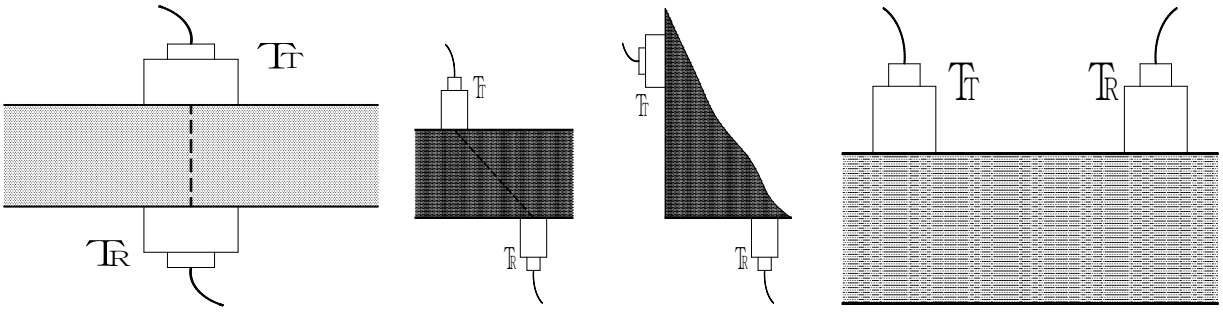
【그림 3.3.2】 초음파전달속도시험 및 측정기 점검 등의 절차

② 초음파전달속도시험에 의한 전달속도 분석

- 초음파전달속도를 결정하기 위해서는 재료에서 초음파가 전달되는 거리를 미리 측정하고 장비상에 나타난 초음파 전달시간을 측정한 후 아래 식에 의해서 구한다.

$$\text{전달속도(Velocity)} = \frac{\text{전달길이(Path Length)}}{\text{전달시간(Transit Time)}}$$

- 초음파전달속도시험을 위한 탐촉자의 배치방법으로는 직접법, 간접법 및 표면법이 있다.



(a)직접법 (b)간접법 (c)표면법

【그림 3.3.3】 초음파전달속도시험을 위한 탐촉자 배치방법

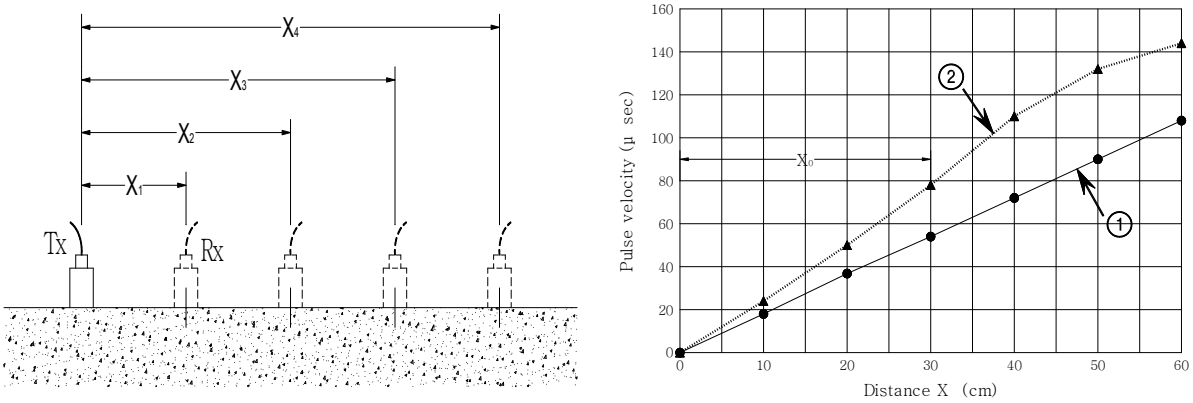
- 표면법과 직접법에서 구한 초음파전달속도는 근사적으로 아래 식과 같은 관계가 있다.

$$V_d \approx 1.05 V_i$$

여기서, V_d : 직접법에 의한 초음파 속도

V_i : 표면법에 의한 초음파 속도

- 직접법과 표면법의 초음파전달속도는 재료의 종류, 배합, 함수율 등 여러 가지 원인으로 변동을 나타내고 있으며, 보편적으로 현장 콘크리트의 초음파전달속도 관계는 $V_d \approx 1.05 \sim 1.15 V_i$의 사이에 있다고 경험적으로 보고되고 있다.
- 보다 정확한 직접법과 표면법의 초음파전달속도의 관계를 파악하기 위해서는 표면법을 수행한 동일 조건의 구조물이나, 동일한 부위에서 채취한 코어의 종파(직접법) 속도를 측정하여 상관관계에 의해 환산하여 이용하는 방법이 바람직하다.
- 표면법은 등간격(100~150㎜)으로 5점 이상의 측점을 정하고 초음파의 전달거리(X_i)에 따른 전달시간(T_i)을 측정하고, 최소자승법에 의해서 회귀직선식을 구하여 그 기울기를 전달속도(V_i)로 한다.



【그림 3.3.4】 표면법에 의한 초음파전달속도의 측정

- 회귀직선의 적정성 여부를 판단하기 위해서 회귀직선의 유의성(有意性)검정에 사용되는 결정계수(Coefficient of determination)를 다음 식에 의해서 계산한다.

$$- \quad r^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{(\Sigma(X_i - \overline{X})(T_i - \overline{T}))^2}{\Sigma(X_i - \overline{X})^2 \, \Sigma(T_i - \overline{T})^2}$$

여기서, $\overline{X}$, $\overline{T}$는 거리 및 전달시간의 평균값

③ 비파괴강도의 추정

- 본 과업에서는 r^2값이 99% 이상이 되는 회귀직선식만을 사용하여 전달속도 V_i를 계산하였다. 전달속도에 따른 콘크리트 압축강도의 추정을 위하여 초음파전달속도와 압축강도의 상관관계를 도출한 다음 식을 사용하였다.

【표 3.3.13】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(초음파전달속도시험)

구분	추 정 식(㎫)	비고
일본재료학회	$F_c = (102\,V_d - 117) \times 0.098$	금회 적용(식③)
일본건축학회	$F_c = (215\,V_d - 620) \times 0.098$	금회 적용(식④)
한전기술연구원	$F_c = (339.1\,V_d - 1107) \times 0.098$	–
谷川의 제안식	$F_c = (172.5\,V_d - 499.6) \times 0.098$	–

※ V_d : 직접법에 의한 초음파전달속도(㎞/s)

※ 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2024. 12, 국토교통부/한국시설안전공단) 참조

※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(2006. 12, 한국시설안전기술공단) 참조

3) 코어 압축강도

- 이 방법은 현장에서 코어를 채취하여 이로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 국부파괴시험으로 비파괴시험과는 구별되지만 구조물의 실제강도를 추정하는데 신뢰도가 가장 높다. 콘크리트의 각종 물성적, 역학적시험을 실시하며, 통상 비파괴시험에 의한 강도와 비교 분석한다.

① 평가방벅

① 코어 크기의 영향

- 콘크리트구조설계기준(한국콘크리트학회 2003)에 의하면 콘크리트의 압축강도용 공시체는 ϕ150×300mm를 기준으로 하므로 ϕ100×200mm 코어를 채취한 경우에는 강도보정계수 0.97을 곱하여 보정한다.

② 높이/직경비의 영향

- 채취된 코어 공시체로 KS F 2422에 준하여 압축강도시험을 한다.
- 코어 공시체의 높이/직경비(h/d)가 작아질수록 겉보기 압축강도는 커진다. 공시체 높이가 직경의 2배보다 작을 경우에는 시험으로부터 얻은 압축강도에 높이 보정계수를 곱하여 공시체의 높이가 직경의 2배가 되는 코어 공시체의 압축강도로 환산한다.

【표 3.3.14】 압축강도의 보정계수

높이와 직경의 비(h/d)	보정계수(KS F 2422)	비 고
2.00	1.00	·h/d가 중간값일 경우 직선 보간법을 이용하여 보정계수를 구한다.
1.75	0.98	
1.50	0.96	
1.25	0.93	
1.00	0.89	

※콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전공단, 2006.12) 참조
※도로교표준시방서(건설교통부, (사)한국도로교통협회, 2005) 참조
※시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(한국시설안전공단, 2018.6) 참조

③ 매입철근 지름의 영향

- 코어를 가로지르는 철근이 있는 경우에는 시험결과, 5~10% 정도의 압축강도가 감소된다고 보고되고 있다. 코어 비트에 따라 약간의 차이가 있으나, 철근의 직경이 증가함에 따라 코어강도는 저하된다.

③ 코어 채취위치와 방향의 영향

- 코어는 일반적으로 수평방향으로 코어를 채취하면 수직으로 채취한 경우보다 전향적으로 8%가량 강도가 감소되는 것으로 보고되고 있어, 이를 고려할 필요가 있다. 따라서, 본 과업에서도 수평방향으로 채취한 코어에 대해서는 8%의 압축강도 감소의 영향을 고려한다.

4) 철근탐사시험

- 본 시험은 전자파레이더를 이용한 철근탐사 시험기(RC Radar)를 활용하여 철근콘크리트 구조물에 배근된 철근간격, 콘크리트 피복을 측정하기 위해 실시한다.
- 철근콘크리트 구조물의 부재 내부에 배근되어 있는 철근의 피복두께가 지나치게 작은 경우에는 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있으므로 철근탐사는 설계 당시와 같이 콘크리트 내에 배근되어 있는 철근의 배근상태 및 피복두께를 파악하기 위하여 실시한다.

① 측정원리

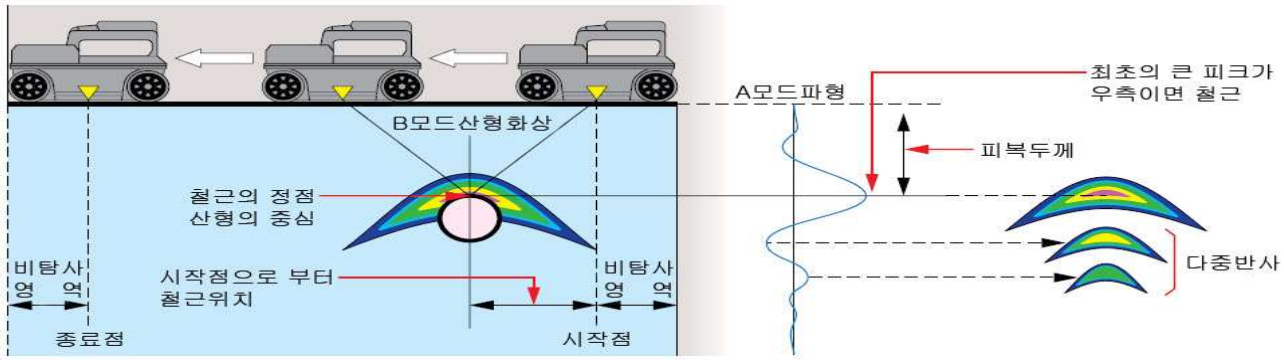
- 전자파레이더의 원리는 현재 널리 사용되고 있는 레이더와 동일하다. 즉, 콘크리트용 전자파레이더는 임펄스 상의 전자파를 송신안테나로부터 콘크리트 내로 방사하면 그 전자파가 콘크리트와 전기적 성질(비유전율, 도전율)이 다른 물체(철근, 매설관, 공동 등)와의 경계에서 반사한다. 이를 수신안테나로 수신하고, 그에 소요되는 왕복전파시간으로부터 반사물체까지의 거리를 계산하면 그 위치를 구할 수 있다. 원리를 아래에 나타내었고, 콘크리트 중의 전자파 속도는 다음 식과 같다.

$$V = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon_r}} \quad (m/sec)$$

여기서, C : 진공 중에서 전자파의 속도(3×10^8 m/sec), ε_r : 콘크리트의 상대유전율(6~10)

- 또한, 반사물체까지의 거리(D)는 송신 시각으로부터 수신 시각까지의 시간차(T)의 측정치와 콘크리트 내부의 전파속도(V)로부터 구할 수 있다.

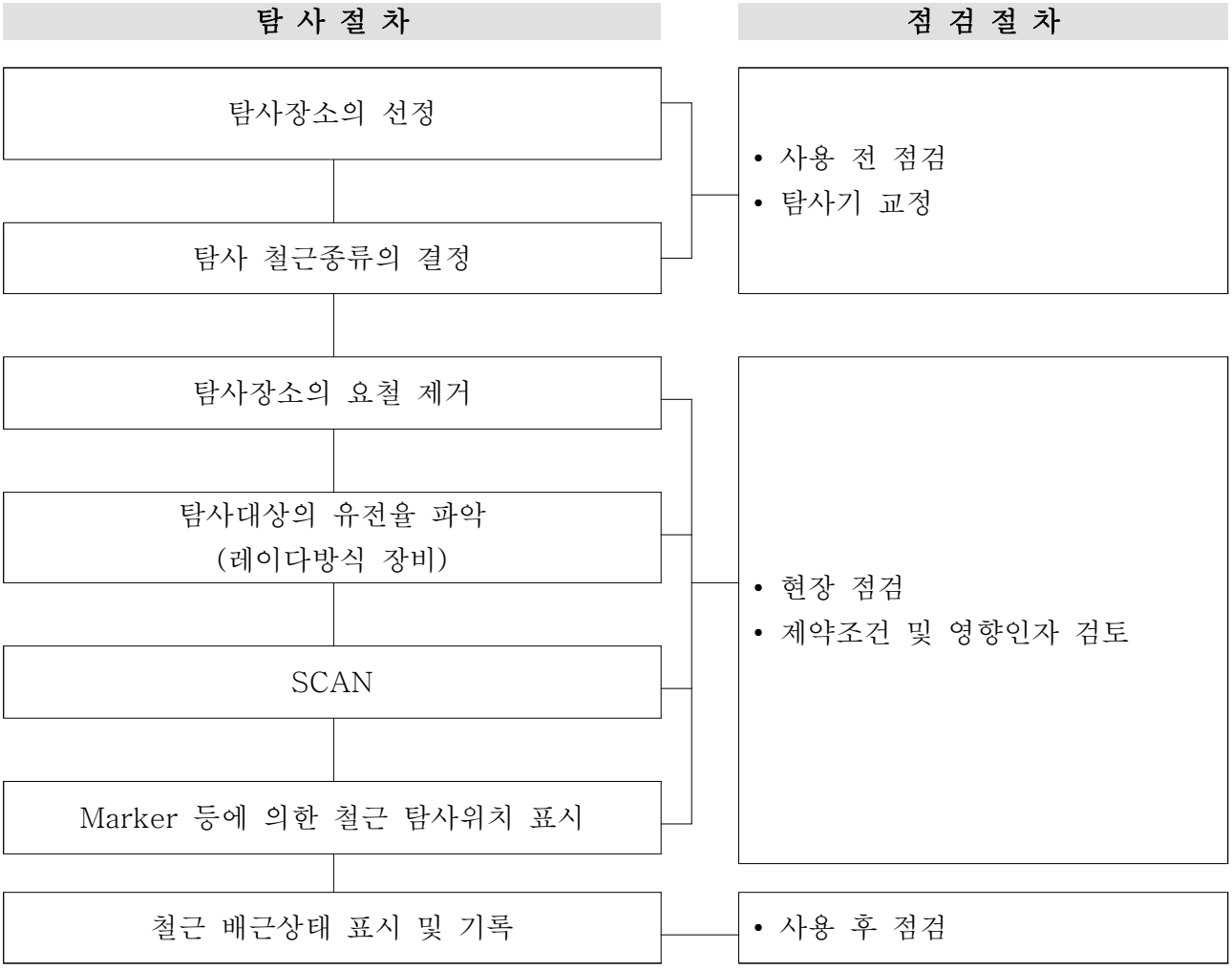
$$D = \frac{1}{2} V T \quad (m)$$



【그림 3.3.5】 철근탐사 측정원리

② 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

- 철근탐사시험 방법에 대한 절차는 KS F 2734 및 KS F 2735의 규정에 준한다.



【그림 3.3.6】 철근탐사시험 및 장비 점검 등의 절차

③ 탐사조건 및 적용한계(RC Radar의 경우)

㉠ 탐사조건

- 적용 가능한 조건
  - 탐사심도 200㎜이내
  - 탐사대상 철근지름이 ϕ6㎜이상
  - 콘크리트의 질이 균일한 곳
  - 철근이 안테나 진행방향과 직교인 경우
- 적용 곤란한 조건
  - 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑의 철근 등을 탐사하는 경우
  - 100㎜이하의 피치로 배근되어 있는 경우
  - 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우

㉡ 적용한계

- 탐사대상 물체의 표면에 금속 등 전파를 반사하는 것이 있고, 그 밑의 철근 등을 탐사하는 경우
- 철근이 안테나의 진행방향과 평행인 경우
- 비유전율에 따라 피복두께의 차이가 있으므로 탐사 대상물의 비유전율을 추정하기 어려움
- 철근직경과 복철근 및 경사철근의 판독 불가능
- 탐사대상 표면에 요철이 많은 장소는 탐사결과의 신뢰성 저하
- 안테나의 사용으로 좁고, 짧은 위치의 탐사 불편

④ 평가기준

- 철근의 피복두께 및 배근상태를 준공도면과 비교하여 적정성 여부를 판단한다.
- 실측된 철근배근 간격과 피복두께는 평균적인 개념으로 판단함이 바람직하다.

【표 3.3.15】 콘크리트 구조설계 기준(2010)의 최소 피복두께 및 허용오차

부 위			피복두께(㎜)
수중에서 타설하는 콘크리트			100
흙에 접하여 콘크리트를 친 후 영구히 흙에 묻혀있는 콘크리트			80
흙에 접하거나 옥외의 공기에 직접 노출되는 콘크리트	D29 이상의 철근		60
	D25 이하의 철근		50
	D16 이하의 철근, 지름 16㎜ 이하의 철선		40
옥외의 공기나 흙에 직접 접하지 않는 콘크리트	바닥판, 벽체, 장선	D35 초과하는 철근	40
		D35 이하인 철근	20
	보, 기둥		40
	쉘, 절판부재		20

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

4) 탄산화깊이 측정

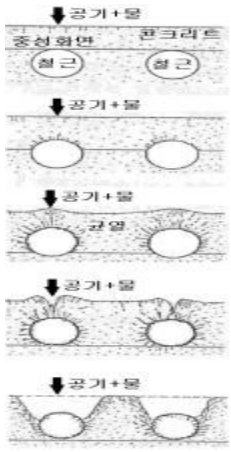
① 개요

- 탄산화란 콘크리트의 탄산화(Carbonation) 과정에서 나타나는 현상으로 탄산화에 의해서 문제가 발생되는 것은 콘크리트 자체에서 생기는 것이 아니고, 콘크리트 중의 철근에 녹이 발생함으로써 문제를 일으키는 것이다.

$$\underset{\text{수산화칼슘}}{Ca(OH)_2} + \underset{\text{탄산가스}}{CO_2} \rightarrow \underset{\text{탄산칼슘}}{CaCo_3} + \underset{\text{물}}{H_2O}$$

(pH 12~13) (대기 중에 존재) (pH 8.5~10)

- 탄산화가 일어나는 메카니즘을 보면 시멘트의 수화반응에서 생성되는 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)은 pH 12~13정도의 강알칼리성을 나타내지만 대기 중에 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(약 0.03%)와 접촉하면 탄산칼슘과 물로 변화하고 탄산칼슘으로 변화한 부분의 pH가 8.5~10 정도로 낮아지게 된다. 따라서, 콘크리트의 탄산화는 일반환경 하에서도 확실하게 진행되기 때문에 매입된 철근의 부식에 따른 문제가 가장 기본적이며 중요하다. 콘크리트 내부의 pH가 11이상에서 철근은 표면에 1×10^{-6}㎜ 두께의 수산화물($\gamma-Fe_2O_3 \cdot nH_2O$) 부동태막을 형성하므로 산소 침입을 막아 철근의 부식을 방지하지만 탄산화에 의하여 pH가 11보다 낮아지면 부동태막이 파괴되면서 철근에 녹이 발생하게 된다. 이러한 녹은 원래 부피의 약 2.5배에서 최대 7배까지 팽창하고 녹의 팽창압력에 의해 콘크리트 내부에는 균열이 발생하게 되며 철근의 부착강도 저하, 피복 콘크리트의 탈락, 철근 단면적의 감소 등 구조물의 내구성 저하를 초래하게 된다. 이러한 원인으로 녹의 진행과 함께 콘크리트 구조물의 내구성면에서 탄산화를 파악하는 것이 중요하다.

	STEP 1 • 정상, 재료 및 강도상의 변화는 거의 없음 (약간의 건조수축에 의한 균열)
	STEP 2 • 녹의 발생에 의한 팽창압이 콘크리트 내부에 발생하여 미세한 균열이 발생
	STEP 3 • 철근의 윗면이 팽창함 • 균열이 표면까지 연장되어 공기와 수분의 침입이 격화되어 동해 등의 다른 열화도 유발시키며 녹물이 보임
	STEP 4 • 철근 윗면의 피복이 떨어지고, 철근의 노출이 시작됨. 철근단면적이 감소함
	STEP 5 • 철근 윗면이 거의 없어지고 철근은 공기 중에 직접 노출됨 • 내구성능은 없음

【그림 3.3.7】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하

② 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

- 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인으로는 환경조건(대기 중의 탄산가스 농도, 온도, 습도, 마감재 등)을 주원인으로 하는 외적요인 및 콘크리트 자체의 성능·품질(함수율, 강도, 시멘트의 종류, 배합조건, 시공조건 등)을 주원인으로 하는 내적요인에 의해 복합적인 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 대표적인 원인을 정리하면 다음과 같다.

【표 3.3.16】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

구분	영향인자	탄산화 속도
내적 요인	시멘트의 종류	• 수화반응이 느릴수록 탄산화 속도가 빠름 • 조강 포틀랜드시멘트 < 보통 포틀랜드시멘트 < 중용열 포틀랜드시멘트
	골재의 종류	• 투기성이 큰 골재일수록 탄산화 속도가 빠름
	계면활성제 종류	• 동일 물-시멘트비, 동일 슬럼프라면 탄산화 속도와 무관함
	압축강도	• 압축강도가 낮을수록 탄산화 속도가 빠름
	물-시멘트비	• 물-시멘트비가 증가하면 탄산화 속도가 빠름
	시공 정밀도	• 다짐이 불충분할수록 탄산화 속도가 빠름
	콘크리트 결함부	• 균열부위, 이음부, 손상부위 등에서 탄산화 속도가 빠름
외적 요인	온도	• 온도 상승시 탄산화 속도가 빠름 • 20~50 ˚C 사이에서는 영향이 크지 않음
	이산화탄소 농도	• 농도가 클수록 탄산화 속도가 빠름 • 탄산가스 농도 3~10% 사이에서 상승비율이 큼
	습도	• 상대습도 50~70% 에서 탄산화 속도가 최대
	실내, 실외	• 실내의 탄산화 속도가 빠름

③ 탄산화깊이의 측정

- 본 과업에서는 일반적으로 현장에서 간편하게 이용되는 페놀프탈레인법(페놀프탈레인은 pH 지시약의 일종으로 1% 알칼리용액)을 이용하여 콘크리트의 탄산화 진행 정도를 측정한다.
- 콘크리트 파단면에 1% 페놀프탈레인 용액을 도포한 후 색의 변화를 관찰하는 방법으로 강알칼리성일수록 짙은 보라색을 띠며 pH 9이하에서는 무색을 나타낸다. 탄산화 진행 깊이의 측정은 콘크리트 표면에서 발색점 까지의 깊이를 버니어캘리퍼스 등으로 측정한다.

㉠ 탄산화를 고려한 잔존수명 예측

- 탄산화 속도는 경과시간(t)의 평방근에 비례하여 진행한다고 하는 $\sqrt{t}$법으로 표현된다. 탄산화(C)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서, C : 탄산화깊이(㎜)

A : 탄산화 속도계수(㎜/ $\sqrt{년}$)

t : 재령(년)

- 여기서, 구해진 탄산화 속도계수(A)를 실제 탄산화깊이와 경과년수를 이용하여 역추적으로 구한 후 탄산화가 철근에 도달하는 시간을 계산하면 콘크리트의 탄산화에 의한 잔존수명을 예측할 수 있다.

- 수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화 속도계수)

- 잔존수명예측(년) = 수명예측년수 - 경과년수

㉡ 평가기준

- 탄산화 상태평가 기준은 다음과 같다.

【표 3.3.17】 탄산화 상태평가 기준

기 준	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	-	-

5) 염화물함유량시험

① 콘크리트 속의 염분에 대한 일반적 사항

- 염화물의 콘크리트 침투를 구분해 보면 일반적으로 두가지로 크게 구분할 수 있다.
- 하나는 이미 건립된 구조물에 해풍, 해수 및 염화물을 함유한 외부 환경조건에 의해 염화물이 침투 축적되는 경우이고, 다른 하나는 방동대책으로서 염화칼슘($CaCl_2$)과 염화나트륨(NaCl)의 살포에 의해 염화물이 침투하는 경우이다.
- 다음은 콘크리트 제조시에 배합재료로부터 직접 콘크리트에 침투하는 경우, 특히 아직 굳지 않은 프레쉬 상태일 때 혼입하는 경우인데 이의 예로서는 ① 깨끗이 세척하지 않은 바다 모래의 사용, ② 경화 촉진제로서 염화칼슘($CaCl_2$)의 사용, ③ 염화칼슘($CaCl_2$)을 주체로 한 조강형 AE제의 사용, ④ 혼화수로서 해수의 사용 등을 들 수 있다. 이 중 미세정 바다모래에 의한 염분(염화나트륨(NaCl)을 주로 함유한 것)의 혼입에 의한 것이 염해 원인의 대부분을 차지하고 있다.
- 콘크리트 중에 함유하는 염화물은 ① 가용성 염화물(수용성 염화물), ② 전 염화물(산 용해성 염화물)의 2종류로 분류할 수 있다. ①의 가용성 염화물로는 콘크리트에서 물에 의해 유출되는 염화물이고, ②의 전 염화물은 콘크리트를 강한 산으로 용해함으로써 유출되는 염화물이다. 가용성 염화물의 측정은 콘크리트의 세공용액 속에 용해되어 있는 유리 염화물의 양을 구하는 경우로 측정할 수 있고 유출온도 등 시험방법의 자세한 내용은 제안되고 있는 각 방법에 따라 약간 차이가 있다. 일본 콘크리트공학협회(JCI)에서는 가용성 염화물을 「경화콘크리트 중에 함유된 50℃의 온수에 녹는 염화물」이라 정의하여 측정방법을 정하고 있다.
- 전 염화물량과 가용성 염화물량과의 차이는 시멘트 수화물에 고정되어 있는 염화물로써 판정되어진다.
- 강재 위치에 대한 염화물 이온의 강재 부식발생 한계농도는 콘크리트 단위용적당 양으로서 0.3~1.2kg/m^3 정도이고 이 값은 구조물의 설치 환경조건이나 강재부식 허용량 등의 조건에 따라서 다르다. 예를 들면, 미리 염화물을 혼입한 공시체에 의한 촉진시험 등에서는 0.3~0.6kg/m^3 정도이고 실제 환경의 노출실험에서는 1.2~2.4kg/m^3 정도로 되어 있다. 촉진시험과 실제 환경에서 얻어지는 한계농도의 차이는 시험 공시체와 실제 구조물의 덮개나 물-시멘트비의 차이 그리고 촉진시험 시에 설정되는 고온환경 등 온도의 영향이라고 생각된다.
- 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2024.12) 및 콘크리트 표준시방서 내구성

조사편에서는 경화콘크리트의 경우 전염화물 기준으로 실제 환경의 노출실험 결과 하한치인 1.2kg/m³ 을 강재 부식발생 한계농도로서 정하고 있다. 비록, 부식환경에 따른 전염화물량이 1.2kg/m³ 를 넘더라도 부식이 발생하지 않을 가능성이 있지만 잠재적으로 부식 가능성이 높을 것으로 평가되므로 부식방지를 위한 조치가 검토되어야 할 것이다.

② 평가기준

㉠ 국내 콘크리트 표준시방서 기준

- 굳지않은 콘크리트의 경우는 철근의 부식을 방지하기 위하여 0.3kg/㎥이하로 규정하며, 책임기술자의 승인이 있는 경우 0.6kg/㎥까지 허용

㉡ 콘크리트 구조설계기준(2007년)

【표 3.3.18】 염화물 평가기준(콘크리트 구조설계기준(2007))

부재의 종류	최대 수용성 염소이온(Cl−), 시멘트의 중량에 대한 비(%)
프리스트레스트 콘크리트	0.06
염화물에 노출된 철근콘크리트	0.15
건조상태 또는 습기로부터 차단된 철근콘크리트	1.00
기타 철근콘크리트	0.30

㉢ 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2024. 12)

【표 3.3.19】 염화물 상태평가 기준(시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(2024.12))

기 준	전염화물 이온량(kg/m³)	철근부식의 가능성
a	• 염화물 < 0.3kg/m³	• 염화물에 의한 부식이 발생할 우려 없음
b	• 0.3kg/m³ < 염화물 ≤ 1.2kg/m³	• 염화물이 함유되어 있으나, 부식발생 가능성 낮음
c	• 1.2kg/m³ < 염화물 ≤ 2.5kg/m³	• 향후 염화물에 의한 부식발생 가능성 높음
d	• 염화물 ≥ 2.5kg/m³	• 철근 부식발생
e	−	−

사. 강재 내구성조사

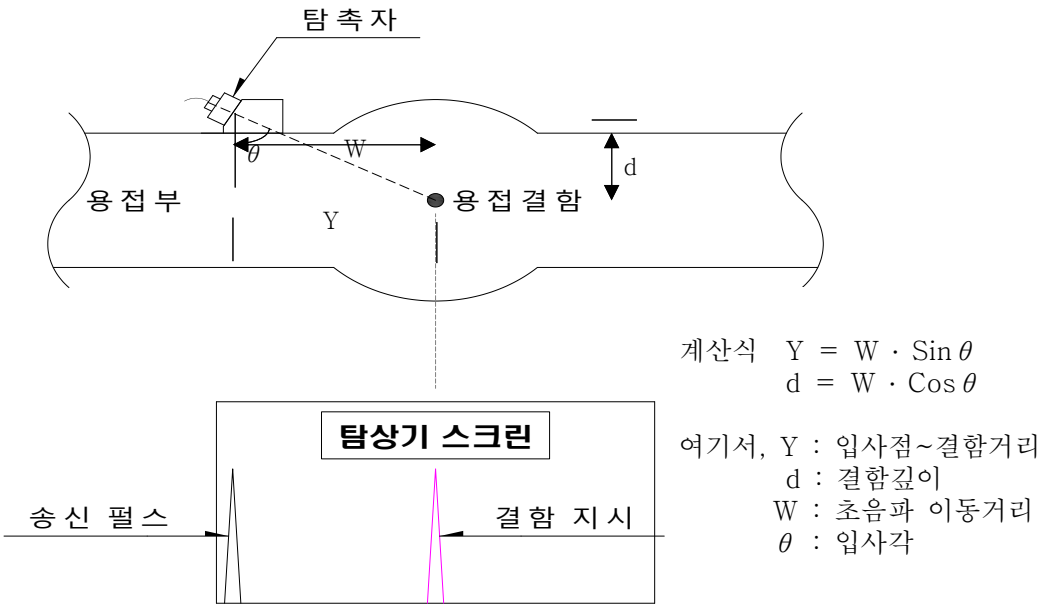
1) 초음파탐사시험 (UT : Ultrasonic Testing)

① 개요

- 가청 주파수 이상의 주파수를 갖는 초음파(20,000㎐이상)를 시험체 내에 전달하여 초음파 진행경로 상에 존재하는 결함부로부터 반사하는 초음파 신호를 수신하여 탐상기 CRT 스크린 상에서 에코파형을 확인함으로써 결함의 존재 여부 및 결함 정보를 알아내는 검사방법이다.
- 초음파의 종류는 크게 수직법과 사각법으로 대별되며, 수직법은 탐촉자를 시험체에 접촉하여 시험체에 수직으로 초음파를 전파시켜 검사하는 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.

② 방법(사각법)

- 일반적으로 강교 용접부의 사각탐상에서는 주로 용접부 내부에 존재하는 기공, 슬래그, 융합불량, 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 결함종류 및 길이 등을 측정한다.



【그림 3.3.8】 초음파탐상(사각법)시험 개요도

③ 특성

- 시험체가 두꺼워도 검사가 가능하다.
- 불연속의 위치를 정확히 알 수 있다.
- 검사 결과를 바로 알 수 있다.
- 균열 등의 면상 결함의 검출에는 방사선투과검사 보다 유리하다.
- 시험체 한면에서의 탐상이 가능하다.
- 결함의 종류 및 형상, 크기를 식별하기 어렵다.
- 금속 조직의 영향을 많이 받는다.
- 검사자의 기량에 의해 검사 결과가 영향을 받는다.
- 검사 결과의 기록 보존이 어렵다.

④ 평가기준

- 검출결함에 대한 등급분류는 한국산업규격 KS B 0896(강 용접부의 초음파탐상 시험방법 및 시험결과의 등급분류 방법)에 의거하여 실시하고, 각각의 결함에 대해 1급~4급을 분류한다. 등급분류 기준은 아래의 표와 같으며 시험체의 두께에 대한 결함길이의 비로 구분한다.

【표 3.3.20】 결함의 등급 분류

영 역	M검출 레벨은 Ⅲ L검출 레벨은 Ⅱ와 Ⅲ			Ⅳ		
판두께(㎜) 등급	18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과	18 이하	18 초과 ~ 60 이하	60 초과
1급	6㎜ 이하	t/3 이하	20㎜ 이하	4㎜ 이하	t/4 이하	15㎜ 이하
2급	9㎜ 이하	t/2 이하	30㎜ 이하	6㎜ 이하	t/3 이하	20㎜ 이하
3급	18㎜ 이하	t 이하	60㎜ 이하	9㎜ 이하	t/2 이하	30㎜ 이하
4급	3급을 초과하는 것					

※ 강도로교 용접 및 도장요령(1998, 국토교통부) 참조

※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(2006. 12, 한국시설안전공단) 참조

【표 3.3.21】 결함의 등급 분류

검 사 부 위	합 격 기 준	비고
인장 및 교번하중이 작용하는 부재의 용접부	2급 이상	KS-B-0896
압축 및 전단응력이 작용하는 부재의 용접부	3급 이상	

2) 도막두께 측정

① 개요

- 강재에 도장과 같은 방청에 대한 대책이 없다면 외적환경에 의해 쉽게 부식이 될 수 있으며 이로 인해 단면결손 및 응력감소로 부재수명과 안전에 많은 영향이 가해진다. 이런 외기의 영향을 막고 수명연장을 위해 강재에 규정된 두께로 도장을 실시해야 한다. 강재 도막두께 측정결과는 기존에 적용한 두께를 기준하여 정상적으로 도장작업이 수행되 여부 및 감소여부를 판단한다. 방청방식 도장에서는 절대적으로 필요한 요소이며, 도장상태가 구조물에 미치게 될 영향에 대해 평가할 필요가 있다.
- 도장손상의 원인은 크게 내적요인과 외적요인으로 나눌 수 있으며 전자는 안료나 수지의 화학구조 등에 의한 것이며 후자는 자외선, 온도, 습도 염분 등에 의한 것이다. 도장막 손상의 현상과 원인 손상은 아래의 표와 같다.

【표 3.3.22】 도장막의 현상과 원인

손 상	현 상	주요원인
변 색	•도장막의 색이 다른 색상으로 변화됨	•안료의 종류 •적외선, 산, 열, 알칼리, 오염물질의 영향 •납성분의 방청도료가 황화수소가스에 노출되면 검은색으로 변함
퇴 색	•도장막에 희석된 색안료가 얇아져 본래의 색이 없어지는 상태	•적색유기안료와 자외선의 영향 •황화수소 가스(담채색에 많음)
백 화	•도장막의 표면을 구성하고 있는 전색제가 풍화되어 안료의 접착하는 힘이 약해져 표면에 흰색의 가루가 생기는 상태	•안료, 수지의 종류 •자외선, 열, 비, 바람의 영향
터 짐	•도장막의 연약화를 수반한 충격에 의해 발생되는 도장막의 갈라진 상태	•도장두께가 두꺼움 •건조 불충분 •도장막의 경도가 부족한 도료계 사용
박 리	•도장막의 부착성이 저하되어 바탕과 도장막 혹은 도장막층간이 박리한 상태	•도장계 •도장층의 중첩간격(장기간의 방치) •대기오염물질(SO2) •풍향·온도 습도 결로의 영향 •알칼리성의 잔류
도장막 성 능 저 하	•콘크리트와의 접촉면으로부터 누수에 의해 도장막이 국부적으로 박리되어 녹이 발생한 상태	•콘크리트와 접촉부의 콘크리트 알칼리성 •도료의 부착성 •바탕의 불량

② 시험방법

- 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.
- 도막두께를 교정 후 측정부위에 접촉시켜 전자석 또는 영구자석의 자력차를 수치로 나타내어 측정부위의 도막두께를 확인한다. 이러한 원리를 이용하여 검사하는 것이 도막두께 측정의 원리이다. 이러한 측정방법은 자성체에 한하며 피검체가 비자성체일 경우는 측정이 불가능하므로 다른 측정법이 요구된다. 도막두께는 도막두께 Gauge를 사용하여 일정의 Standard 두께를 가진 필름에 교정한 후 강재에 기 도장된 부위의 두께를 측정하는 것이다.

<도막 영점조정> <표준도막 두께 측정>

【그림 3.3.9】 도막두께 측정 원리

③ 평가기준

- 일반적으로 강교에 사용되는 도장계열은 일반환경과 특수환경에 따라 다르게 시공되고 있다. 일반환경용 도장은 재래식 도장과 중방식 도장으로 구분되고, 특수환경용 도장도 중방식 도장(우레탄계 마감), 중방식 도장(자연건조형 불소수지 마감), 내부도장(콜탈에폭시 마감), 내부도장(에폭시 마감), 내부도장(후막형 콜탈 에폭시 마감) 등 다양한 재료를 이용한 도장이 실시되고 있다. 대상구조물의 주요 구조부재인 거더는 일반환경용 중방식 도장으로 도로교 표준시방서의 일반환경용 중방식 도장(우레탄계 마감 Type Ⅰ)을 평가기준으로 정하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

【표 3.3.23】 일반 중방식 도장(우레탄계 마감 Type Ⅰ)

구분	공정		도료명칭 또는 방법	추천 도막두께 (㎛)	도장 횟수	비고
교량 외부	1차 표면처리		SSPC-SP10			
	샵 프라이머		무기질 아연말 샵프라이머	20	1	
	2차 표면처리		SSPC-SP10			
	공장 도장	제1층	무기질 아연말도료	75	1	
		제2층	미스트 코트	80	1	
		제3층	고고형분 에폭시계 도료		1	
		제4층	우레탄계 도료	30	1	
	공장/현장도장	제5층	우레탄계 도료	30	1	
	계			215		
교량 내부	1차 표면처리		SSPC-SP10			
	샵 프라이머		무기질 아연말 샵프라이머	20	1	
	2차 표면처리		SSPC-SP10			
	공장 도장	제1층	무기질 아연말도료	75	1	
		제2층	미스트 코트	100	1	
		제3층	고고형분 에폭시계도료		1	
	계			175		
연결판 (내·외부)	표면처리		SSPC-SP10			
	공장도장	제1층	무기질 아연말도료	50	1	
	계			50		
교량외부 볼트 및 연결판	표면처리	연결판	SSPC-SP3			
		볼트	아연알루미늄 피막처리			
	현장도장	제1층	에폭시계 방청도료	75	1	
		제2층	고고형분 에폭시계 도료	80	1	
		제3층	우레탄계 도료	30	1	
		제4층	우레탄계 도료	30	1	
	계			215		
교량내부 볼트 및 연결판	표면처리	연결판	SSPC-SP3			
		볼트	아연알루미늄 피막처리			
	현장도장	제1층	에폭시계 방청도료	75	1	
		제2층	고고형분 에폭시계 도료	100	1	
	계			175		

※ 도로교표준시방서(p361, 2013) 참조.

3) 도막 부착력시험(Cross-Cut Test)

① 개요

- 강교량의 도장에서 가장 중요한 방청효과는 도막의 물성에 좌우되는데, 이 방청효과는 도막이 강재면에 밀착되어야 한다는 전제하에 도막성능이 발휘된다. 또한 도장면과 도막사이에 녹, 흑피, 기타 이물질 등이 있는 경우는 충분한 방청효과를 기대할 수 없으며 부식이 촉진된다.
- 도막의 부착력을 테스트하는 것은 구조물의 수명과도 직결되는 문제이기 때문에 ISO나 ASTM등의 국제표준에서도 이러한 부착력에 대한 시험 기준을 정해놓고 있다. 국제표준에 따른 부착력 시험에는 Cross-Cut Test, Scrape Adhesion Test, Pull-Off Test등이 있으며 금번 조사에서는 Cross-Cut Test를 적용하였다.

② 시험방법

- Cross-Cut Test는 Cross Cutter Guide를 이용하여 도막면을 직각의 격자모양으로 절단한 후 소재로부터 떨어지는 정고를 확인하는 방식이다. 이방식은 적합/부적합을 빠르게 확인할 수 있고, 다중 도막에서 각각의 도막층이 분리되는 정도를 확인할 수 있다.

<시험전경>

<Cross Cutter Guide>

③ 평가기준

【표 3.3.24】 도막의 부착력 기준

ASTM 등급	Description	표면상태
5B	절단면이 깨끗하고 격자의 사각형이 분리되지 않은 상태.	
4B	도막의 작은 조각이 교차점에서 분리된 상태, 격자면적의 5% 미만	
3B	도막의 작은 조각이 모서리를 따라 그리고 절단 부분 교차점에서 분리된 상태, 격자면적의 5 ~ 15%	
2B	도막의 절단면 가장자리와 사각형 일부가 분리된 상태, 격자면적의 15 ~ 30%	
1B	도막이 절단면 가장자리를 따라 크게 벗겨졌고 사각형이 분리된 상태, 격자면적의 35 ~ 65%	
0B	1B 보다 더 박리되고 분리된 상태, 격자면적의 65% 이상	

3.3.2 재료시험 결과

가. 콘크리트 재료시험

콘크리트 구조물은 공용기간이 증가함에 따라 주변 환경 및 사용여건의 영향으로 강도, 내구성, 사용성 등이 저하되고 이에 따라 균열, 누수, 백태, 표면 노후화, 부재변형, 동해, 철근부식 등의 손상이 발생한다. 본 과업에서는 현장조사 결과를 기초로 각종 검사기구 및 시험장비를 사용하여 콘크리트 재료시험을 실시하여, 대상구조물의 내구성과 구조안전성 평가의 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

1) 시험항목 및 수량

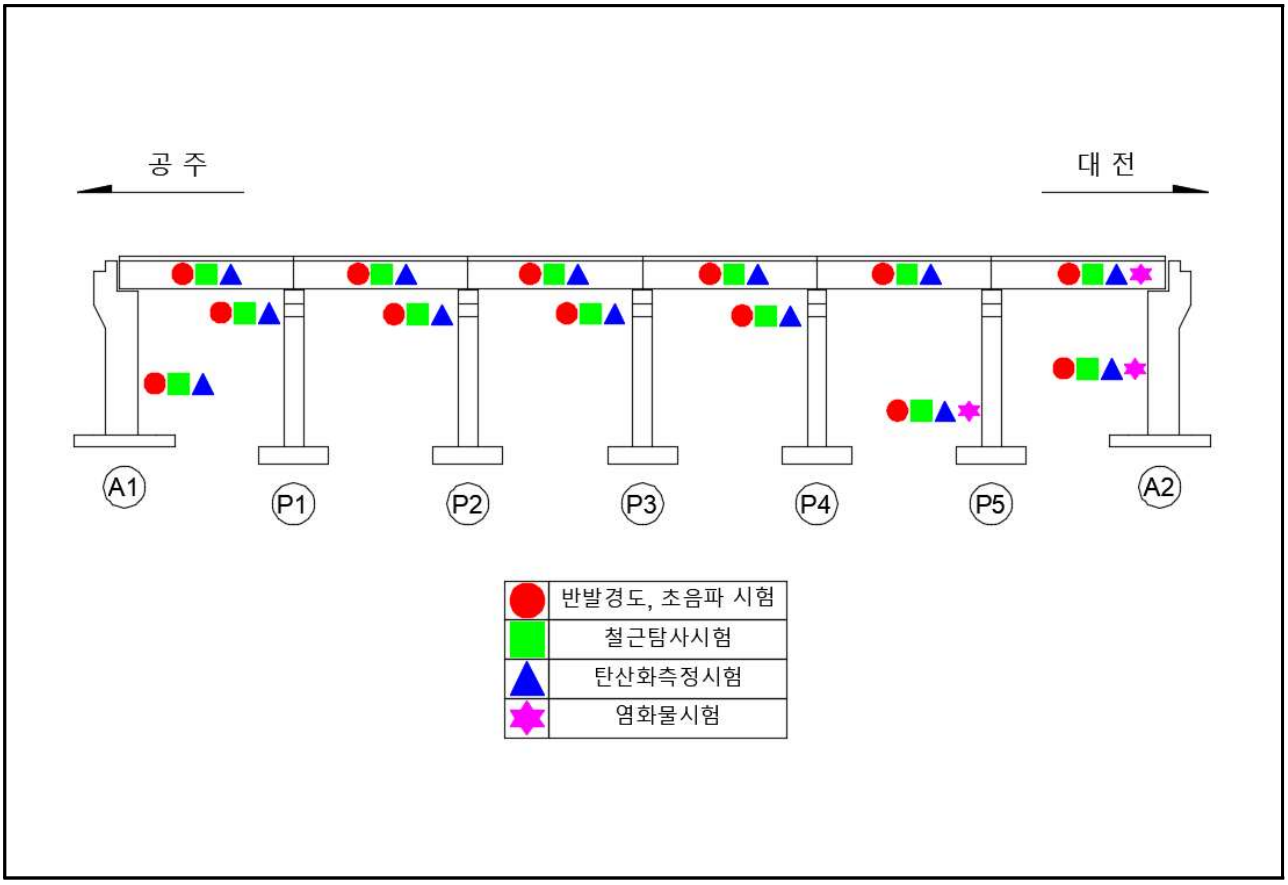
【표 3.3.25】 시험항목 및 수량

<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th colspan="2">세부지침 기준</th><th colspan="2">기준수량</th><th colspan="2">금회 시험 수량</th></tr>
<tr><th>상부구조</th><th>하부구조</th><th>상부구조</th><th>하부구조</th><th>상부구조</th><th>하부구조</th></tr>
<tr><td>반발경도 시험</td><td rowspan="3">■ 강합성교
: 1개소/50m</td><td rowspan="3">■ 1개소/50m
■ 교대, 교각 개소수</td><td>6개소</td><td>6개소</td><td>7개소</td><td>8개소</td></tr>
<tr><td>초음파
전달속도 시험</td><td>6개소</td><td>6개소</td><td>6개소</td><td>7개소</td></tr>
<tr><td>철근탐사 시험</td><td>6개소</td><td>6개소</td><td>6개소</td><td>7개소</td></tr>
<tr><td>탄산화 깊이 측정</td><td colspan="2">■ 5경간 이상 6~9개소
(상부구조에서 최소 3개소 이상 실시)</td><td colspan="2">6개소~9개소</td><td>6개소</td><td>7개소</td></tr>
<tr><td>염화물함유량 시험</td><td colspan="2">■ 3개소 이상
(상부구조에서 최소 1개소 이상 실시)</td><td colspan="2">3개소 이상</td><td>1개소</td><td>2개소</td></tr>
<tr><td>균열깊이 조사</td><td colspan="2">■ 과업 내용에 의해 조사 및 수량 결정</td><td colspan="2">-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>도막두께 측정</td><td colspan="2">■ 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정</td><td colspan="2">-</td><td>12개소</td><td>-</td></tr>
<tr><td>강재용접부 초음파</td><td colspan="2">■ 박스거더교 : 2개소/경간별거더</td><td colspan="2">36개소</td><td colspan="2">36개소</td></tr>
</table>

내 용	반발경도시험	내 용	철근탐사시험

내 용	초음파전달속도 시험	내 용	강재용접부 초음파탐상시험

내 용	염화물시료 채취	내 용	탄산화깊이측정



【그림 3.3.10】 내구성조사 위치도

【표 3.3.26】 조사위치 선정사유

구분	항목		조사위치 선정사유		비고
			상부 구조	하부 구조	
콘크리트 구조물	기본과업	반발경도시험 초음파시험 철근탐사시험	•전 경간 및 지점부의 손상발행 현황이 유사하며, 구조적 원인에 의한 손상발생이 없는 상태로서 지침 상 기준수량에 따라 상부구조 경간별 2개소, 하부구조 지점별 1개소를 기준으로 시험위치를 선정하였다.		세부지침 수량 이상 실시
		탄산화시험	•부재별 탄산화 진행양상을 확인하기 위해 경간 및 지점별로 시험위치를 선정하였다.		
		염화물함유량 시험	•내부철근에 근접하여 20㎜간격으로 분할하여 시료를 채취하고 실내시험을 실시하였으며, 채취 후 콘크리트표면은 폐공처리하였다.		
		도막두께시험	•측정은 건조면을 대상을 하였으며, 측정할 부위에 무작위로 5개소를 선정하였다.		

2) 재료시험결과 및 분석

① 콘크리트 강도시험

- 반발경도 측정은 R.C Radar로 철근의 위치를 조사하여 철근이 없는 부위를 선정한 후, 콘크리트 표면의 요철, 부착물, 분말 등을 그라인딩으로 제거하고 실시하였으며, 표면에 곰보, 공극, 노출된 자갈 등이 있는 부위들은 측정위치에서 제외했다. 또한, 반발경도 값은 각 측정부재에 따라 타격방향, 표면의 건습상태, 재령 등에 의한 보정을 한 후 콘크리트 강도를 추정하였다. 또한 반발경도에 의한 압축강도 추정은 일본 재료학회(식3.2)와 일본 건축학회 CDNT 소위원회 강도 계산식(식3.3)을 사용하여 2개의 수치로 나타내었다.
- 초음파 탐사 시험은 반발경도시험을 수행한 동일 부위를 선정하여 그라인딩을 실시하고 구리스 도포를 한 후, 발신자와 수신자의 측정거리를 10㎝ 간격으로 증가시키면서 표면법에 의한 초음파 전달속도를 측정하였으며, 이를 직접법 속도로 환산하였다. 본 과업에서 대상 구조물의 콘크리트 비파괴 강도를 평가하기 위하여 반발경도법, 초음파 속도법의 시험 결과를 비교하였고, 각 시험 방법에 의한 비파괴 강도를 【표 3.3.29】, 【표 3.3.30】, 【표 3.3.31】에 나타내었다.

【표 3.3.27】 반발경도 시험 보고서

구 분	상부구조	하부구조
시험 일자, 시간	2025. 11. 24. ~ 11. 25. (09:00~17:00)	
시험 영역의 위치	바닥판	교대, 교각
시험 대상 구조물(표본)	7개소	8개소
콘크리트 설계 조건(㎫)	바닥판 : 27.0	교대 : 21.0 교각 : 24.0
시험 위치의 표면 상태	건전부 : 표면양호, 비건전부 : 콘크리트 열화부	
시험시의 온도 및 콘크리트의 재령	평균 5.0~18.0℃	
콘크리트 내부 함수상태	건전부 : 기건상태, 비건전부 : 습윤상태	
시험기기 종류 및 제품번호	Proceq NR-Ype, 37285	
타격 방향	90°, 0°	0°
부위별 반발경도의 평균값(㎫)	바닥판 : 27.1~31.4	교대 : 21.9~26.3 교각 : 27.2~31.3
버린 발발경도의 값	평균값에서 ±20% 이상 벗어나는 값	
버린 발발경도의 값 위치	없음	없음

【표 3.3.28】 초음파 전달 속도 시험 보고서

구 분	상부구조	하부구조
시험 일자, 시간	2025. 11. 24. ~ 11. 25. (09:00~17:00)	
시험 영역의 위치	바닥판, 거더	교대, 교각
시험 대상 구조물(표본)	6개소	7개소
콘크리트 설계 조건(㎫)	바닥판 : 27.0	교대 : 21.0 교각 : 24.0
초음파 전달 경로와 탐촉자 위치에 대한 스케치	본문에 수록	
시험위치 표면상태	표면 상태 양호	
시험시의 온도 및 콘크리트의 재령	평균 5.0~18.0℃	
콘크리트 내부 함수상태	기건상태	
시험기기 종류 및 제품번호	TS-5000, 1381	
투과거리, 시험방법 및 결과의 정확도	간접법(10㎝ 씩 5점), 오차 ±0.25㎲	
초음파 전달속도 시험값(㎞/s)	보고서에 수록	
철근 간섭으로 보정된 초음파 전달속도 값	없음	

⑴ 비파괴 압축강도 측정결과

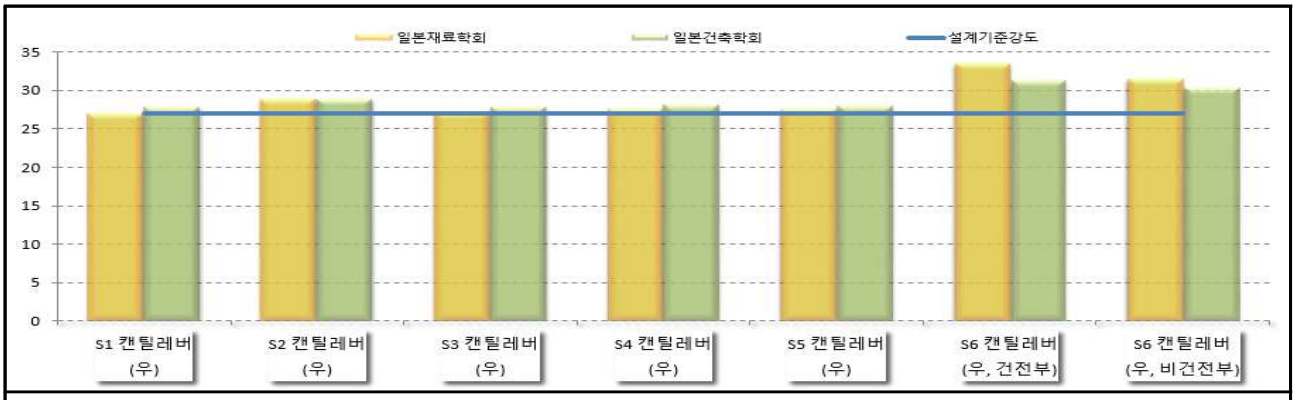
- 상부구조는 비파괴추정식을 이용하여 압축강도를 추정하였으며, 부재별 추정압축강도 측정결과는 다음과 같다.

【표 3.3.29】 상부구조 비파괴 추정압축강도 측정결과

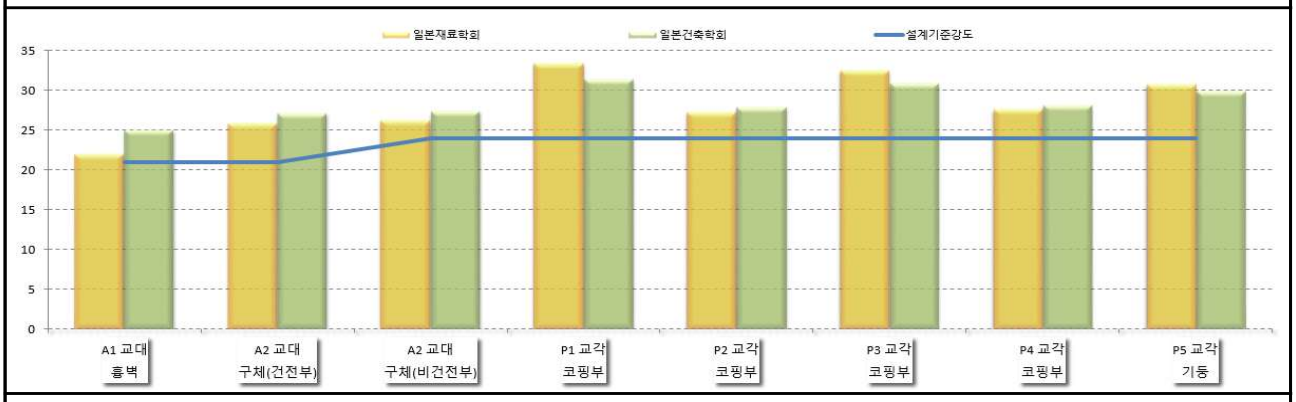
시험위치		반발경도법(㎫)				초음파속도법(㎫)				설계 기준 강도 (㎫)
		반발도 (Ro)	일본 재료 학회	일본 건축 학회	최소값	초음파 속도 (Vd)	일본 재료 학회	일본 건축 학회	최소값	
상부구조	S1 캔틸레버(우)	48.0	27.1	27.8	27.1	4.149	26.7	30.0	26.7	27.0
	S2 캔틸레버(우)	50.3	28.9	28.8	28.8	4.233	28.4	30.8	28.4	
	S3 캔틸레버(우)	48.2	27.2	27.9	27.2	4.125	26.2	29.8	26.2	
	S4 캔틸레버(우)	48.7	27.6	28.1	27.6	4.184	27.4	30.4	27.4	
	S5 캔틸레버(우)	48.6	27.5	28.1	27.5	4.191	27.5	30.4	27.5	
	S6 캔틸레버(우) _건전부	56.0	33.5	31.4	31.4	4.358	31.1	32.1	31.1	
	S6 캔틸레버(우) _비건전부	53.5	31.5	30.3	30.3	-	-	-	-	

【표 3.3.30】 하부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치		반발경도법(MPa)				초음파속도법(MPa)				설계기준강도(MPa)
		반발도(Ro)	일본재료학회	일본건축학회	최소값	초음파속도(Vd)	일본재료학회	일본건축학회	최소값	
하부구조	A1 교대 흉벽	41.6	21.9	24.9	21.9	3.918	21.8	27.7	21.8	21.0
	A2 교대 구체(건전부)	46.5	25.9	27.1	25.9	4.096	25.5	29.5	25.5	
	A2 교대 구체(비건전부)	47.0	26.3	27.4	26.3	–	–	–	–	24.0
	P1 교각 코핑부	55.8	33.3	31.3	31.3	4.326	30.4	31.8	30.4	
	P2 교각 코핑부	48.2	27.2	27.9	27.2	4.212	28.0	30.6	28.0	
	P3 교각 코핑부	54.8	32.5	30.9	30.9	4.287	29.6	31.4	29.6	
	P4 교각 코핑부	48.7	27.6	28.1	27.6	4.093	25.5	29.4	25.5	
	P5 교각 기둥부	52.5	30.7	29.8	29.8	4.233	28.4	30.8	28.4	



상부구조



하부구조

【그림 3.3.11】 콘크리트 압축강도 추정결과

(2) 결과분석

- 반발경도 및 초음파에 의한 부재별 강도 측정 결과 설계기준강도(바닥판:27.0MPa, 교대:21.0MPa, 교각:24.0MPa)를 상회하고 있는 것으로 조사되어 전반적인 콘크리트의 품질상태는 양호한 것으로 나타났다.
- 초음파속도시험의 경우 일부 강도가 설계기준강도에 미치치 않으나 95% 수준으로 측정오차로 판단되며 전반적인 콘크리트 품질은 양호한 것으로 나타났다.

【표 3.3.31】 추정압축강도 측정결과 분석

구분	시험방법		평균강도(A)㎫	설계기준강도(B)㎫	A/B×100(%)
상부구조	반발경도시험	바닥판	27.1~31.4	27.0	100.2~116.3
	초음파 전달속도시험	바닥판	26.2~31.1		96.9~115.0
하부구조	교대	반발경도시험	21.9~26.3	21.0	104.5~125.0
		초음파전달속도시험	21.8~25.5		103.8~121.6
	교각	반발경도시험	27.2~31.3	24.0	113.4~130.5
		초음파전달속도시험	25.5~30.4		106.2~126.6

(3) 기 진단 추정압축강도와의 비교 · 분석

- 기 점검에서 실시한 추정 압축강도를 금회 측정치와 비교·분석한 결과, 콘크리트 강도의 변동은 없으며 설계이상의 강도를 보이고 있으므로, 콘크리트 강도로 인한 내구성 저하 가능성은 없는 것으로 조사되었다.

【표 3.3.32】 기 진단 추정압축강도 결과비교

구분			설계 기준 강도 (㎫)	평균 측정강도(㎫)		
				2021년 정밀안전진단	2023년 정밀안전점검	2025년 성능평가
반발경도시험	상부구조	바닥판	27.0	26.8~29.3	27.1~28.2	27.1~31.4
	하부구조	교대	21.0	26.5	21.1~21.6	21.9~26.3
		교각	24.0	27.1~31.0	24.4~26.3	27.2~31.3

【표 3.3.33】 기 진단 추정압축강도 결과비교(초음파 속도 시험)

구분			설계 기준 강도 (㎫)	평균 측정강도(㎫)		
				2021년 정밀안전진단	2023년 정밀안전점검	2025년 정밀안전진단
초음파속도시험	상부구조	바닥판	27.0	25.6~31.3	-	26.2~31.1
	하부구조	교대	21.0	21.6~27.6	-	21.8~25.5
		교각	24.0	23.4~32.7	-	25.5~30.4

② 철근탐사시험

- 철근의 피복두께가 부족할 경우에서는 콘크리트의 탄산화 등에 따른 열화 손상에 대한 저항성이 저하되어 내구성이 감소할 가능성이 있으며, 피복두께가 지나치게 큰 경우에는 강도감소 등을 수반할 우려가 있다. 철근탐사 시험은 콘크리트 내에 배근되어 있는 실제 철근의 배근상태 및 피복두께를 비교·검토하기 위하여 실시하였으며, 본 시험에서는 RC -Radar를 이용한 전자파레이더법을 사용하여 각 구조부재에 대하여 시험을 수행하였다. 그 결과는 아래와 같다.

【표 3.3.34】 철근탐사 시험 보고서

구 분	내 용	
시험 일자, 시간, 기온, 습도	2025. 11. 24. ~ 11. 25. (09:00~17:00) 평균 5.0~18.0℃, 습도	
시험 대상 구조물	준공된지 30년이 경과된 교량	
시험 위치	바닥판	교대, 교각
시험 개소	6개소	7개소
시험 한계(잡음원 원인, 장애물 등)	특이사항 없음	
안테나 주파수	1GHz	
조사 방향	수직방향, 수평방향 / 횡방향, 종방향	
보정법/정밀도	실측에 의한 보정, ±5%	
시험한 철근의 배근상태에 대한 그림	보고서 및 부록 참조	
참고문헌	안전점검 및 정밀안전진단 세부지침	

(1) 철근탐사 시험결과

【표 3.3.35】 철근탐사 시험결과

구분		주철근				배력철근(전단철근/띠철근)				비고
		철근간격(㎜)		피복두께(㎜)		철근간격(㎜)		피복두께(㎜)		
		측정치	설계치	측정치	설계치	측정치	설계치	측정치	설계치	
상부구조	S1 캔틸레버(우)	242~290	@250	85~91	32	212~306	@300	84~109	48	
	S2 캔틸레버(우)	221~263	@250	75~82	32	221~285	@300	72~98	48	
	S3 캔틸레버(우)	235~258	@250	81~92	32	203~270	@300	59~136	48	
	S4 캔틸레버(우)	232~261	@250	77~90	32	256~318	@300	59~108	48	
	S5 캔틸레버(우)	222~267	@250	85~98	32	180~206	@205	42~87	48	
	S6 캔틸레버(우)	243~251	@250	87~88	32	202~252	@205	72~136	48	
하부구조	A1 교대 흉벽	123~151	@150	61~72	87.5	257~285	@300	98~116	112.5	
	A2 교대 구체	281~282	@300	94~102	89	285~323	@300	126~147	111	
	P1 교각 코핑부	123~171	@150	71~104	115	92~112	@100	64~75	85	
	P2 교각 코핑부	151~245	@150	97~112	115	100~108	@100	70~74	85	
	P3 교각 코핑부	143~171	@150	70~85	115	78~120	@100	62~77	85	
	P4 교각 코핑부	130~146	@150	122~136	115	91~95	@100	57~72	85	
	P5 교각 기둥부	103~122	@100	67~85	111	302~325	@300	36~54	89	

(2) 결과 분석

- 철근탐사 시험 결과, 철근의 배근 간격 및 피복두께는 설계도면과 미세한 차이는 있으나, 유사한 것으로 조사되었다. 일부 부재에서 차이가 발생한 것은 시공오차와 콘크리트 타설시 철근 유동 등에 의한 것으로 판단되며 주기적인 관찰 및 점검을 실시한다면 문제는 없을 것으로 판단된다. 안전성 검토를 위한 구조해석은 철근 배근 간격이 철근 개소마다 간격차이가 있으나 단위m당 철근량이 실측 결과와 준공도면이 동일하므로 준공도면 상의 철근배근을 적용하였다.

⑶ 기 진단 결과와의 비교 · 분석

- 검토결과, 2021년 정밀안전진단과의 철근탐사 시험 결과를 비교하였을 때, 철근 배근간격 및 피복두께는 대체로 비슷한 상태로 분석되었으며, 측정위치가 다소 상이한 결과 기 진단결과와 비교시 다소 차이가 발생된 것으로 판단된다.

【표 3.3.36】 기 진단결과와의 시험결과 비교 · 분석

구분			2021년 정밀안전진단	2025년 성능평가	비고
바닥판 (㎜)	주철근	배근간격	@121~257	@221~290	
		피복두께	44~76	75~98	
	배력철근	배근간격	@203~325	@180~318	
		피복두께	53~89	42~136	
하부구조 (㎜)	주철근	배근간격	@98~303	@108~282	
		피복두께	79~154	61~136	
	띠철근	배근간격	@153~315	@78~325	
		피복두께	64~119	36~147	

④ 탄산화 깊이측정

- 본 구조물의 탄산화 진행 정도를 파악하기 위하여 주요 구조 부재에 대해 드릴로 천공하거나 채취한 코어를 이용하여 국부적으로 파손시킨 면에 페놀프탈레인 용액을 지시약으로 사용하는데, 이는 알카리성 콘크리트의 탄산화가 진행된 면에서는 무색으로, 변화가 없는 무색의 깊이가 곧 탄산화 진행 깊이가 된다. 탄산화 측정 결과를 정리하면 아래와 같다.

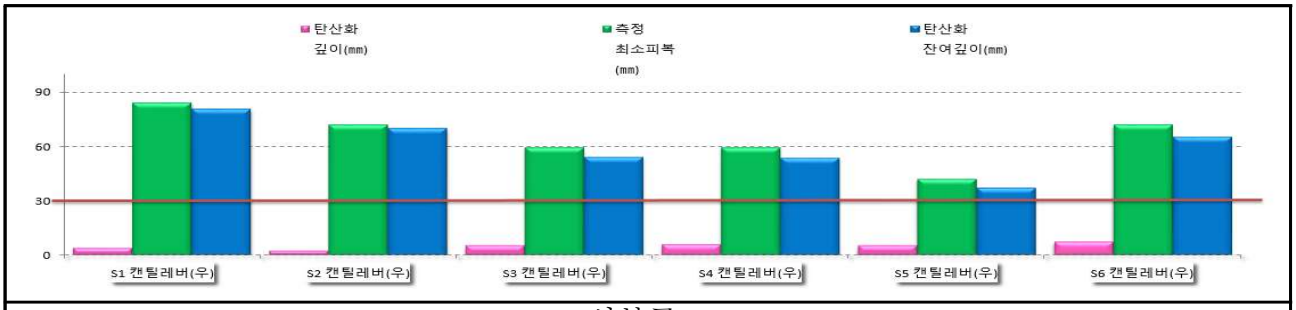
【표 3.3.37】 탄산화 깊이 측정 시험 보고서

구 분	내 용
구조물의 명칭	장암교
구조물의 경과 연수	30년
시험 일자	2025. 11. 24. ~ 11. 25. (09:00~17:00)
시험 위치	바닥판, 교대, 교각
시험 개소	바닥판 : 6개소, 교대 및 교각 : 7개소
사용골재의 종류	확인되지 않음
측정면 종류	드릴링(때어낸 면)
시 약	페놀프탈레인 용액
측정 기구	버니어 캘리퍼스
분무후 경과시간	본무 후 변색되는 시점
측정값	보고서에 수록
연한 적자색 유무	없음

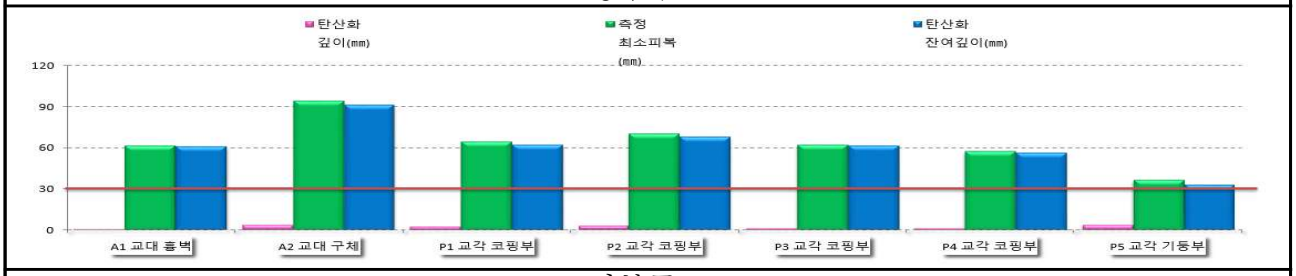
(1) 탄산화 깊이 측정결과

【표 3.3.38】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		실측 피복두께 (㎜)	탄산화 깊이 (㎜)	잔여 피복두께 (㎜)	탄산화 속도계수 (A)	상태 평가 결과	잔존수명 (년)	비고
상부구조	S1 캔틸레버(우)	84.0	3.5	80.5	0.639	a	100년이상	
	S2 캔틸레버(우)	72.0	2.0	70.0	0.365	a	100년이상	
	S3 캔틸레버(우)	59.0	5.0	54.0	0.913	a	100년이상	
	S4 캔틸레버(우)	59.0	5.5	53.5	1.004	a	100년이상	
	S5 캔틸레버(우)	42.0	5.0	37.0	0.913	a	100년이상	
	S6 캔틸레버(우)	72.0	7.0	65.0	1.278	a	100년이상	
하부구조	A1 교대 흉벽	61.0	0.5	60.5	0.091	a	100년이상	
	A2 교대 구체	94.0	3.0	91.0	0.548	a	100년이상	
	P1 교각 코핑부	64.0	2.0	62.0	0.365	a	100년이상	
	P2 교각 코핑부	70.0	2.5	67.5	0.456	a	100년이상	
	P3 교각 코핑부	62.0	1.0	61.0	0.183	a	100년이상	
	P4 교각 코핑부	57.0	1.0	56.0	0.183	a	100년이상	
	P5 교각 기둥부	36.0	3.0	33.0	0.548	a	100년이상	



상부구조



하부구조

【그림 3.3.12】 콘크리트 압축강도 추정결과

⑵ 결과 분석

- 탄산화 깊이 측정 분석결과, 측정된 탄산화 깊이는 상부구조 : 2.0~7.0㎜, 하부구조 : 0.5~3.0㎜이고 탄산화 잔여깊이는 상부구조 : 37.0～80.5㎜, 하부구조 : 33.0～91.0㎜로 전 구간에서 “a” 로 평가되어 탄산화에 의한 철근부식의 가능성은 없는 것으로 판단된다.

⑶ 기 진단 탄산화깊이 측정 결과와의 비교 · 분석

- 검토결과, 2023년 정밀안전점검과 탄산화 깊이를 비교하였을 때 탄산화 깊이는 상부구조 : 3.0~8.0㎜ → 2.0~7.0㎜, 하부구조 : 2.0~8.0㎜ → 0.5~3.0㎜로 대부분의 부재에서 탄산화 깊이가 감소한 것으로 분석되었다. 이는 조사자의 위치 차이 및 내용연수 증가로 인한 탄산화 진행으로 검토되었다. 금회 탄산화 시험 결과 모든 개소에서 잔여 피복 두께가 30㎜ 이상으로 “a” 로 평가되었으며, 잔존수명은 100년 이상으로 측정되어 탄산화에 의한 철근부식의 우려는 없는 것으로 판단된다.

【표 3.3.39】 기 점검결과와의 시험결과 비교 · 분석

구 분		2021년 정밀안전진단	2023년 정밀안전점검	금회 성능평가
상부구조		2.0~6.7㎜	3.0~8.0㎜	2.0~7.0㎜
하부구조	교대	7.3㎜	4.0~5.0㎜	0.5~3.0㎜
	교각	1.7~10.0㎜	2.0~8.0㎜	1.0~3.0㎜

⑤ 염화물함유량 시험

- 염화물 이온이 콘크리트에 일정량 이상이 되면, 철근의 부식과 콘크리트의 중성화를 촉진시키므로 일정량 이하가 되도록 하여야 한다. 본 교량의 염화물 함유량에 대한 측정 및 분석을 위해, 상부구조 1개소와 하부구조 2개소 시료를 채취하였으며, 그 시험 결과는 아래와 같다.

⑴ 염화물 함유량 시험결과

【표 3.3.40】 염화물 함유량 시험결과 및 평가

시험위치			염화물 함유량		평가 결과	비 고
			Cl^- (%)	Cl^- (kg/㎥)		
상부 구조	S6 슬래브	0~25㎜	0.0202	0.457	b	<상태평가 기준> a : 염화물 ≤ 0.3kg/㎥ b : 0.3kg/㎥ ≤염화물 < 1.2kg/㎥ c : 1.2kg/㎥ ≤염화물 < 2.5kg/㎥ d : 염화물 ≥ 2.5kg/㎥
		25~50㎜	0.0182	0.411	b	
		50~70㎜	0.0159	0.359	b	
하부 구조	A2 교대	0~30㎜	0.0643	1.455	c	
		30~60㎜	0.0436	0.987	b	
		60~90㎜	0.0260	0.589	b	
	P5 교각	0~15㎜	0.0145	0.329	b	
		15~30㎜	0.0125	0.284	a	
		30~50㎜	0.0117	0.265	a	

※ 콘크리트 환산 염화물 함유량(kg/㎥) = 전 염화물 함유량(Cl^-)% / 100 × 콘크리트 단위중량(2,263kg/㎥)

(2) 결과분석

- 깊이별로 나누어 측정을 실시한 염화물 함유량은 콘크리트 표면에서는 0.329~1.455 kg/㎥, 철근 깊이에서의 염화물 함유량은 0.265~0.589kg/㎥으로 측정되어 표면에서 염화물 함유량이 많다는 것을 알 수 있으며, 전체적인 평가는 a~c등급으로 염화물에 의한 철근 부식발생 가능성이 낮은 상태로 조사되었다.

(3) 기 진단 염화물 함유량 시험 결과와의 비교 · 분석

- 검토결과, 바닥판 및 하부구조의 염화물 함유량은 기 정밀안전진단과 염화물 함유량이 감소 및 증가한 것으로 분석되었다. 이는 공용년수 증가 및 신축이음부의 누수, 물받이 토사퇴적으로 인한 우수유입으로 하부구조에 측정값의 편차가 발생된 것으로 판단된다. 염해피해 방지를 위하여 지속적인 물받이 청소를 통한 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.

【표 3.3.41】 기 진단결과와의 시험결과 비교 · 분석

시험위치		염화물 함유량		평가 결과	비 고
		Cl^- (%)	Cl^- (kg/㎥)		
2021년 정밀안전진단	S1 슬래브(우)	0.0133~0.0184	0.300~0.416	b	
	A2 벽체	0.1036~0.1272	2.344~2.878	c	
	P5 기둥	0.0173~0.0180	0.391~0.407	b	
금회 성능평가	S6 슬래브(우)	0.0159~0.0202	0.359~0.457	b	
	A2 교대	0.0260~0.0643	0.589~1.455	c	
	P5 교각	0.0117~0.0145	0.265~0.329	b	

나. 강재 내구성조사

강재 구조물은 유지관리 측면에서 내구성 확보를 위하여 도장을 통해서 부식에 대한 구조물의 성능을 확보하고 있으나, 대기 부식 환경하의 도막열화로 인하여 그 수명이 저하되고 이에 따라 도장박리, 부식 등의 손상이 발생한다. 본 과업에서는 현장조사 결과를 기초로 각종 검사기구 및 시험장비를 사용하여 강재시험을 실시하여, 대상구조물의 내구성과 구조안전성 평가의 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

1) 시험항목 및 수량

【표 3.3.42】 시험항목 및 수량

구분	항 목		세부지침 기준수량	조사수량	비고
			상부 구조	상부구조	
강재 구조물	기본 과업	초음파 탐상시험	책임기술자판단	36	
	선택 과업	도막 두께측정	책임기술자판단	12	

G1－S1－P1	G1－S3－P6
G2－S2－P4	G3-S2-P4

【표 3.3.43】 조사위치 선정사유

구분	항 목		조사위치 선정사유 상부 구조	비고
강재 구조물	기본 과업	초음파 탐상시험	•거더 용접부내부의 결함유무를 판정하기 위하여, 거더의 하부플랜지 맞대기 용접부에 대하여 측정	
	선택 과업	도막두께시험	•도막두께를 측정할 부위에 건조면을 대상으로 하여, 무작위로 5개소를 선정하였으며, 1구역안에서 5Spot을 지정하여 측정하였다.	

2) 시험결과 및 분석

① 초음파탐상 시험결과

【표 3.3.44】 초음파탐상 시험결과

시험위치	시험개소	결함길이	등급	합격여부		비 고
				합격	불합격	
G1-S1-P1	1개소	결함지시 없음	1	V		
G1-S1-P2	1개소	결함지시 없음	1	V		
G1-S2-P3	1개소	결함지시 없음	1	V		
G1-S2-P4	1개소	결함지시 없음	1	V		
G1-S3-P5	1개소	결함지시 없음	1	V		
G1-S3-P6	1개소	결함지시 없음	4		V	
G1-S4-P7	1개소	결함지시 없음	1	V		
G1-S4-P8	1개소	결함지시 없음	1	V		
G1-S5-P9	1개소	결함지시 없음	1	V		
G1-S5-P10	1개소	결함지시 없음	1	V		
G1-S6-P11	1개소	결함지시 없음	1	V		
G1-S6-P12	1개소	결함지시 없음	1	V		
G2-S1-P1	1개소	결함지시 없음	1	V		
G2-S1-P2	1개소	결함지시 없음	1	V		
G2-S2-P3	1개소	결함지시 없음	1	V		
G2-S2-P4	1개소	결함지시 없음	1	V		
G2-S3-P5	1개소	결함지시 없음	1	V		
G2-S3-P6	1개소	결함지시 없음	1	V		
G2-S4-P7	1개소	결함지시 없음	1	V		
G2-S4-P8	1개소	결함지시 없음	1	V		
G2-S5-P9	1개소	결함지시 없음	1	V		
G2-S5-P10	1개소	결함지시 없음	1	V		
G2-S6-P11	1개소	결함지시 없음	1	V		
G2-S6-P12	1개소	결함지시 없음	1	V		
주) 합격기준 : 2급 이상(인장 및 교번하중 작용부재), 3급 이상(압축 및 전단응력 작용부재)						

【표 3.3.44】 초음파탐상 시험결과(계속)

시험위치	시험개소	결함길이	등급	합격여부		비 고
				합격	불합격	
G3-S1-P1	1개소	결함지시 없음	1	V		
G3-S1-P2	1개소	결함지시 없음	1	V		
G3-S2-P3	1개소	결함지시 없음	1	V		
G3-S2-P4	1개소	결함지시 없음	1	V		
G3-S3-P5	1개소	결함지시 없음	1	V		
G3-S3-P6	1개소	결함지시 없음	1	V		
G3-S4-P7	1개소	결함지시 없음	1	V		
G3-S4-P8	1개소	결함지시 없음	1	V		
G3-S5-P9	1개소	결함지시 없음	1	V		
G3-S5-P10	1개소	결함지시 없음	1	V		
G3-S6-P11	1개소	결함지시 없음	1	V		
G3-S6-P12	1개소	결함지시 없음	1	V		
주) 합격기준 : 2급 이상(인장 및 교번하중 작용부재), 3급 이상(압축 및 전단응력 작용부재)						

㉠ 시험 결과 분석

- 초음파탐상시험으로 강박스 거더의 맞대기 용접부 36개소에 대해 용접상태를 검사한 결과 1개소를 제외하고는 35개소 모두 내부결함, 면상결함, 균열 및 용접불량 등의 손상이 없는 양호한 것으로 확인되었으며, S3-G1-P6 측정구간에서 용입불량이 검측되었다. 해당 검사 결과는 부록에 수록하였다.

㉡ 기 진단 초음파탐상시험 결과와의 비교·분석

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

【표 3.3.45】 초음파탐상(UT) 시험 기진단결과 비교표

구 분	2016년 정밀안전진단			2021년 정밀안전진단			2025년 성능평가(금회)			비고
	시험개소	판정		시험개소	판정		시험개소	판정		
		합격	불합격		합격	불합격		합격	불합격	
G1	12	12	-	12	11	1	12	11	1	
G2	12	12	-	12	12	-	12	12	-	
G3	12	12	-	12	12	-	12	12	-	
합계	36	36	-	36	35	1	36	35	1	

② 도막두께 측정결과

【표 3.3.46】 강재 도막두께 측정결과

시험위치			실측 도막두께(㎛)			평균 (㎛)	기준치 (㎛)	평 가
			1회	2회	3회			
박스 내부	S1	G1-LW	230	220	218	223	175	양호
	S2	G1-RW	187	204	225	205		양호
	S3	G2-RW	178	195	192	188		양호
	S4	G2-LW	196	208	206	203		양호
	S5	G3-LW	252	230	208	230		양호
	S6	G3-RW	188	202	186	192		양호
박스 외부	S1	G1-RW	228	235	236	233	215	양호
	S2	G1-LW	280	264	256	267		양호
	S3	G2-RW	242	254	252	249		양호
	S4	G2-LW	233	294	264	264		양호
	S5	G3-LW	240	228	225	231		양호
	S6	G3-RW	307	286	290	294		양호

㉠ 시험 결과 분석

- 도막두께 측정은 도장 상태가 양호한 부재에서 측정하였으며, 도막두께 측정결과, 실측도막두께(S1~S6 외부 225~307㎛, 내부 178~252㎛)가 표준도막두께(외부 215㎛, 내부 175㎛)를 모두 상회하는 것으로 조사되어 도장손상부를 제외한 부분은 도장상태가 양호한 상태로 측정되었다.

㉡ 기 진단 도막두께측정 결과와의 비교·분석

- 기 진단 강재 도막두께 측정결과와 비교하여 내부는 유사한 상태를 유지하고 있으며, 외부에서는 다소 편차가 발생되었으나 측정 위치에 따른 차이로 판단되며, 교량의 내구성에 영향을 주는 정도는 아닌 것으로 판단된다.

【표 3.3.47】 강재 도막두께측정 기진단결과 비교표

구 분	내 부(평균)	외 부(평균)	기준 두께
2016년	204㎛	274㎛	내부 : 175㎛ 외부 : 215㎛
2021년	202㎛	304㎛	
2025년 (금회)	206㎛	256㎛	