

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 현장조사 개요

3.2 내구성조사

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 현장조사 개요

본 과업 대상구조물에 대한 외관조사는 대상 시설물의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단함을 목적으로 구조물 전체에 대하여 가능한 한 근접한 상태에서 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였다. 따라서, 사전 현장답사를 통해 주변여건을 파악하여 현장접근에 필요한 접근방법 및 장비동원과 그에 따른 일정계획을 수립하고, 기초자료의 수집 및 분석을 통한 주요 손상을 파악하는 등의 사전검토를 통하여 주요 손상들을 파악한 후 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단 편, 2019.01, 국토교통부/한국시설안전공단)』의 실시요령에 따라 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물의 기능 및 성능 저하, 상태 등을 신속·정확하게 검사·평가하는 데 주안점을 두고 외관조사 방향을 결정하였다.

또한, 외관조사 시 교량 하부여건 및 교고를 고려하여 교량하부에 고소작업차 및 점검로 등을 활용하여 현장조사를 실시하였고, 작업 전 모든 작업자 안전교육 및 안전 보호구 착용 여부 등을 확인하여 작업을 실시하였으며, 작업구간 전·후방에는 열차 감시원을 배치하여 점검자의 안전에 최대한 주의하며 현장점검을 실시하여 사고 발생을 미연에 방지하였다.

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

3.1.1 외관조사방법

본 과업에서 외관조사는 교량부재 전체에 대하여 근접한 상태에서 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였으며, 거더 및 가로보, 바닥판 중심으로 실시하였다. 공통사항으로는 신축이음, 교량받침, 교대·교각, 교면상태, 배수시설, 난간 등 주요 구조부재와 부속 구조물 각각에 대하여 현 상태를 조사하였고, 특히 교량의 안전성을 저해할 만한 구조적인 결함의 유무를 확인코자 하였다.

본 장에서는 확인된 결함과 손상 상태를 설명하고 발생원인을 추정하여 보수·보강 및 유지관리 방안을 마련하는데 참고토록 하였으며 손상에 대한 외관망도를 작성하여 부록에 수록하였다.

외관조사 시 바닥판 상면은 감독관 및 관제와의 협의 후 도보로 진행하였으며, 바닥판 하면, 교대, 교각, 방음벽 등과 같이 고소차를 이용한 점검은 해당 구청 및 경찰서와 교통통제 협의후 진행되었다.



【사진 I -3.1】외관조사 전경

3.1.2 시설물의 점검사항

가. 콘크리트 바닥판

바닥판은 교면포장으로부터 전달되는 차량의 운하중을 거더로 직접 전달하는 역할을 한다. 바닥판은 차량의 운하중이 직접 작용하므로 교량 구성부재 중 손상이 가장 많이 발생하는 부재로서 한번 손상이 생기면 급속히 악화되므로 조기에 조치를 취하는 것이 중요하다.

조사시에는 가능한 한 바닥판 밑면에 근접하여 점검하여야 하며, 표면에 경미한 손상이 발생한 경우라도 바닥판 내부 혹은 상부에 심각한 손상이 진행될 가능성이 있다는 것을 염두에 두고 점검하여야 한다. 또한 넓은 범위의 단면결손, 누수 또는 콘크리트 탈락이 의심스러운 경우 해머로 여러 부위를 타격하여 소리를 들음으로서 건전성 여부를 판단하고 원인을 분석하여야 한다.

점 검 부 위		손 상 종 류
■ 공통		• 균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출 • 재료분리(공동, 공극) • 누수 및 백태(유리석회)
■ 거더교		• 종방향 균열, 망상균열
■ 바닥판, 라멘상부	-받침부(단부)	• 부스러짐 • 사인장균열
	-중양부	• 휨균열

나. 강거더

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

점 검 부 위	손 상 종 류
■ 공통	· 도장 손상 · 스프라이스 볼트 탈락 · 이상음 발생
■ 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	· 플랜지 부식 · 플랜지 변형 및 처짐 · 맞대기 용접부, 덮개판 덧댐부 끝부분 균열
■ 2차부재	· 가로보, 세로보, 브레이트 및 브레이싱 변형 · 하중 집중점(가로보, 브레이싱 설치부), 가로보와 세로부 교차부 균열 · 거세트판 용접부 끝부분 균열
■ 보수부위	· 용접부 및 용접부 주변 균열

다. 철근콘크리트 거더

T형 단면을 2개 이상 연결하여 고정하중 및 차량하중을 지지하고 받침부를 통하여 교대나 교각으로 하중을 전달하는 교량의 내하성능과 직접적으로 관련되는 주요부재이다.

점 검 부 위	손 상 종 류
■ 공통	· 박리, 박락, 층분리, 파손, 철근노출, 백태(유리석회)
■ 받침부	· 부스러짐 · 복부 사인장 균열
■ 중앙부	· 횡방향 균열

라. 프리스트레스 콘크리트 거더

PSC(프리스트레스 콘크리트)거더는 고정하중과 작용하중으로 인해 부재에 발생하는 주인장응력을 상쇄시키기 위하여 PS강선(또는 강재)과 같은 긴장재로 콘크리트에 압축응력을 주도록 제작하는 교량부재이다. 점검시 주의할 부위는 부재응력 및 변형이 크게 작용하는 지간의 중앙부, 단부, 연속지점부, 받침부 등이며 이러한 부재에서의 손상이 부재 전체의 파손으로 이어질 위험이 크다.

PSC거더는 콘크리트 거더와 마찬가지로 균열이 가장 중요한 손상의 요인이며, 균열의 크기 및 형태로 손상정도를 구분한다.

점 검 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

마. 콘크리트 가로보

점 검 부 위	손 상 종 류
■ 공통	· 박리, 박락, 층분리, 파손, 철근노출, 백태(유리석회)
■ 철근콘크리트 가로보	· 박락(파손), 철근노출 · 경사균열(거더의 상대처짐 의심)
■ 프리스트레스 콘크리트 가로보	· 쉬스관 노출 및 파손 · 정착부 균열 및 파손

바. 강 가로보와 세로보

점 검 부 위	손 상 종 류
■ 공통	· 도장 손상 및 부식 · 현장이음부 볼트손상, 누수 · 이상음 발생
■ 피로강도등급 낮은 용접상세부 (D, E급)	· 피로균열
■ 2차부재	· 가로보, 세로보, 브라켓 및 브레이싱 변형 · 하중집중점, 가로보와 세로보 교차부 균열 · 거세트판 용접부 끝부분 균열
■ 보수부위	· 용접부 및 용접부 주변 균열

사. 교대

교량 맨 끝단에 위치하여 상부구조물로부터의 하중을 기초에 전달하고, 교량에 접속되는 도로 및 성토재의 유실을 막아 교량 및 접속도로의 안전을 유지하는 구조물이다.

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

아. 콘크리트 교각

상부구조를 지지하는 구조물로서 교폭, 지간장, 상부구조 형식에 따라 단주식, 2주식, 다주식, 벽식 등 다양한 형태로 가설된다.

점 검 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

자. 기초

상대나 교각의 구체로부터 하중을 지반에 전달하는 구조물로서 수중에 위치하고 있을 경우 기초주변의 세굴현상은 교량의 안전에 크게 영향을 줄 수 있다.

점 검 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

차. 교량받침

받침은 상·하부구조 접속부에 있는 교량 부속물로서 교량의 구조 중 기계적 요소가 가장 강하며, 응력의 전달과 완충의 기능을 갖고 있어 응력전달을 위해 견고하게 연결되어야 한다. 받침을 점검할 때에는 받침이 설계시나 시공시 의도한 대로 작동하고 있는가에 유의하여야 하며, 재료에 따라 손상 특성이 다르므로 강재, 고무재 받침에 대한 특성을 고려하여 점검한다.

점 검 부 위		손 상 종 류
■ 본체	-공동	· 가동받침의 신축유간 부족 · 가동받침 전·후방의 가동장애 요소 · 받침과 거더의 밀착상태 · 수직보강재와 받침 편기상태 · 받침 물고임 및 부식
	-강재받침	· 가동면 부식 · 부속물 파손(부상방지장치 및 이동제한장치)
	-탄성받침	· 부풀음 및 갈라짐 · 고무판의 과도한 변형
■ 받침콘크리트		· 앵커볼트 파손, 절단 · 콘크리트 파손, 하부공동 및 침하 · 교각두부 균열

카. 신축이음

교량의 신축이음은 온도변화, 건조수축, 활하중에 따른 상부구조의 신축을 원활하게 수용하고 상부구조 이음부에서 차량의 주행성을 확보하기 위한 중요한 부속시설이다. 신축이음은 교면에서 차량하중을 직접 받고 외부에 노출되어 있어서 변형 및 파손되기 쉽다.

신축이음의 점검에서는 재료적인 열화, 방수재의 기능, 신축유간의 확보, 외부충격에 의한 파손 등을 중점적으로 점검하여야 한다.

점 검 부 위		손 상 종 류
■ 본체	-공동	· 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

다. 선로

점 검 부 위		손 상 종 류
■ 선로	-균열	· 선상균열, 격자상 균열
	-물고임(체수)	· 횡단 및 종단구배 불량 · 배수구 설치간격 부적절 및 유출구 크기 작음

파. 배수시설

배수시설은 교면의 빗물을 배수하는 교량의 부속시설로서 배수시설의 상태가 불량하게 되면 교량을 주행하는 차량의 안전성을 위협하며, 누수로 인하여 구조물의 열화를 발생시키는 주요원인을 제공하게 된다.

점 검 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)

하. 방호벽, 방음벽, 전철주

점 검 부 위		손 상 종 류
■ 강재	-부식, 볼트이완	· 고정볼트 이완 및 지주부 하단 부식
	-변형, 파손	· 외부 충돌, 파손
■ 콘크리트	-균열	· 부모멘트 균열, 종방향 콘크리트 침하균열
	-철근노출, 파손	· 콘크리트 방호벽 파손 및 철근노출 · 외부 충돌, 파손

3.1.3 중점점검 및 검토사항

【표 I -3.1】 중점점검 및 검토사항

구 간	중점 점검사항	비 고
공통 사항	• 고가 성능개선공사구간 방음벽 외관조사 철저 및 외관망도 개선 필요 -방음벽 개선구간 조인트 이상유무 검토 -방음벽 형식변경(경량투명방음판)에 따른 훼손 및 기초부 조사 필요 • 교각부 외관조사 철저 및 외관조사망도 개선필요 -교각 코핑부 중점점검 필요 • 고가 상면 콘크리트 도상구간 외관조사 필요 -배수관련 구배, 물고임 등 조사	
군자기지방향선	• 상부중공형 슬래브 바닥판 하면 횡방향 균열 안전상태 점검(전체적)	
용담~성수	• 전주 기초부 열화(망상균열 및 박리 등) 상태 및 중앙흡음벽 안전상태	

3.1.4 주요한 결함(손상)의 발생원인 분석

가. 중대한 결함의 분류

시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법 제22조에 의한 “대통령령으로 정하는 중대한 결함”은 구조물의 안전에 직접 영향을 미치는 중대한 사항들에 대한 것으로, 이러한 중대 결함들은 시행령 제18조에 명시되어 있으며 그 내용은 다음과 같다.

- ① 시설물기초의 세굴
- ② 교량 교각의 부등침하
- ③ 교량받침의 파손
- ④ 시설물의 철근콘크리트의 염해 또는 중성화(탄산화)에 따른 내력손실

기타 시설물의 구조안전에 영향을 주는 결함은 다음과 같다.

【표 I -3.2】 주요부위의 중대한 결함 분류

시 설 물 명	주요부위의 중대한 결함
교 량	· 주요 구조부위 철근량 부족 · 주형(거더)의 균열 심화 · 철근콘크리트의 부재의 심한 재료분리 · 철강재 용접부의 불량용접 · 교대·교각의 균열발생

나. 중대한 결함의 정도

시설물에서 대통령령이 정하는 중대한 결함의 적용 범위는 다음과 같다. 다만, 시설물의 전반적인 상태 및 환경 여건에 따라 책임기술자가 조정할 수 있다.

- 1) 시설물 기초의 세굴
 - 기초세굴에 대한 상태평가 기준이 “d” 이하의 경우.
- 2) 교량 교각의 부등침하
 - 기초의 부등침하로 인한 구체 기울음이 발생하여 상태등급 “d” 이하로 판정되는 경우
- 3) 교량 교좌장치(받침장치)의 파손
 - 강재받침 신축거동 장애, 본체 파손, 받침들뜸(1/2이상), 받침탈락 또는 침하발생 가능성이 있어 상태등급 “d” 이하로 판정되는 경우.
- 4) 시설물의 철근콘크리트의 염해 또는 탄산화에 따른 내력손실
 - 콘크리트 탄산화 잔여 깊이 또는 콘크리트 전염화물 이온량 등에 대한 상태평가 기준이 “d” 판정으로 철근노출에 대한 상태평가 기준이 “e”를 포함하는 경우.

3.2 내구성 조사

3.2.1 개 요

내구성조사는 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인여부의 판정을 하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성 조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

내구성 조사의 적용범위는 다음과 같다.

- 내구성 조사를 대상으로 하는 구조물은 콘크리트 구조물에 적용 한다.
- 내구성 조사는 구조체를 중심으로 수행한다.
- 내구성 조사는 조사 시점의 열화상태 뿐만 아니라 구조물의 이력, 주변환경, 열화원인을 조사하여 향후 열화손상 진행정도를 예측하고, 내용년수와 관련하여 종합적인 정밀점검을 수행한다.

3.2.2 재료시험 항목 및 평가방법

가. 재료시험 항목

구 분	기본과업	선택과업
콘크리트 구조물	• 콘크리트 강도 - 비파괴시험 : 반발경도, 초음파속도 • 철근탐사 - 철근 배근상태, 철근 피복두께 • 콘크리트 탄산화 깊이 • 콘크리트 염화물함유량 • 균열깊이 조사	• 콘크리트강도 - 국부파괴법 : 코어강도 • 콘크리트 물성 - 탄성계수, 탄성파속도, 시멘트함유량, 염화물함유량, 단위중량 • 재하시험
강재구조물	• 용접부 결함탐사 - 초음파탐상	

나. 평가방법

구 분	재료시험 항목	평가 방법
기본 과업	• 콘크리트강도(비파괴시험법) - 반발경도, 초음파전달속도	• 외관상 건전부위와 불량부위에 대 한 비 교평가 필요함
	• 철근탐사시험 - 철근배근상태, 피복두께	• 구조검토를 위한 철근조사 • 콘크리트의 강도 및 물성시험 등을 위한 철근 위치 탐사
	• 콘크리트 탄산화 깊이 측정	• 현장측정 • 탄산화속도계수 산정
	• 콘크리트 염화물함유량 시험	• 주철근까지 깊이별(10mm ~ 20mm) 시료채 취 및 평가
	• 균열깊이 조사	• 발생균열의 철근깊이 이상 발전 또는 관 통 여부 등 평가 • 허용 균열폭과의 비교 · 검토
선택 과업	• 강재 용접부 비파괴시험 - 맞대기용접부 : 초음파탐상시험	• 필요시 방사선투과시험
	• 콘크리트강도(국부파괴법) - 코어채취	• 콘크리트강도 평가의 기준 • 필요시 콘크리트 물성시험 등
	• 콘크리트 물성 및 미세구조 • 재하시험	• 강도, 탄성계수 등 • 구조물 실 거동(변형, 처짐) 평가

3.2.3 재료시험 수량

【표 I -3.3】 정밀안전점검의 기본과업 재료시험 기준수량

기본과업	세부지침 기준		비고
	상부구조	하부구조	
반발경도 시험	• 50m 마다	• 50m 마다	동일부위 시험
탄산화 깊이측정	• 5경간 이내: 2~3개소 ¹⁾ • 5경간 이상: 3~6개소 ²⁾		-
균열깊이조사	부재의 중요도를 고려 책임기술자의 판단에 따라 수량 결정		cw:0.3mm 이상 균열

주¹⁾ 교량 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시주²⁾ 교량 상부구조에서 최소 2개소 이상 실시

		
반발경도 시험전경	탄산화 깊이측정 전경	철근탐사 전경(철근 피복두께)

【사진 I -3.2】 재료시험 측정 전경

3.2.4 콘크리트 압축강도 시험

가. 반발경도시험

개 요	- 콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여, 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사방법이다. - 슈미트해머는 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(f_c')와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.																																																																
시험방법	- 반발경도 측정은 선정된 부위에 그라인딩 작업으로 표면 정리를 한 다음 타격점 상호간의 중·형 간격을 30mm기준으로 그어 직교되는 부위에 20점 이상을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균값을 구하고, 각 반발경도 값이 평균값의 $\pm 20\%$ 범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들의 평균값을 산출함. 이때의 평균값에서 $\pm 20\%$ 범위를 벗어나는 시험값이 4개 이상인 경우 그 부위의 측정값은 버림. - 측정점간의 최소간격은 단부로부터 30mm ~ 60mm 이상 떨어진 장소에서 측정하고, 측정부재의 최소두께는 반발도의 영향을 고려하여 100mm이상을 원칙으로 함. - 측정치는 원칙적으로 정수값을 읽고, 표면 건조상태의 부위를 선정, 측정하여 건습에 따른 보정, 압축응력에 따른 반발도의 보정과 타격 방향에 대한 보정 및 재령에 따른 보정을 적용함.	측정기의 기종 선정 ↓ Test Anvil에 의한 초기값 보정 ↓ 측정 위치의 확인, 요철, 열화부제거 ↓ 측정점 표시 ↓ 측정(20점 타격) ↓ 타격 방향, 습윤 및 재령의 보정 ↓ 강도추정식에 의한 압축강도 산출 ↓ 압축강도의 추정 <반발경도법에 의한 강도추정 흐름도>																																																															
보정방법	- 타격방향에 따른 보정(ΔR_1) <table><tr><th rowspan="2">반발경도 (R)</th><th colspan="4">수평과 이루는 각도</th><th rowspan="2">비고</th></tr><tr><th>+90°</th><th>+45°</th><th>-45°</th><th>-90°</th></tr><tr><td>10</td><td>-</td><td>-</td><td>+2.4</td><td>+3.2</td><td rowspan="6">상향수직 : +90° 하향수직 : -90°</td></tr><tr><td>20</td><td>-5.4</td><td>-3.5</td><td>+2.5</td><td>+3.4</td></tr><tr><td>30</td><td>-4.7</td><td>-3.1</td><td>+2.3</td><td>+3.1</td></tr><tr><td>40</td><td>-3.9</td><td>-2.6</td><td>+2.0</td><td>+2.7</td></tr><tr><td>50</td><td>-3.1</td><td>-2.1</td><td>+1.6</td><td>+2.2</td></tr><tr><td>60</td><td>-2.3</td><td>-1.6</td><td>+1.3</td><td>+1.7</td></tr></table> - 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정(ΔR_3) 기건상태 : $\Delta R_3 = 0$, 습윤상태 $\Delta R_3 = +5$ - 콘크리트 재령에 따른 보정(α) <table><tr><th>구분</th><th>7일</th><th>14일</th><th>21일</th><th>28일</th><th>100일</th><th>500일</th><th>750일</th><th>1000일</th><th>2000일</th><th>3000일</th></tr><tr><td>재령(α)</td><td>1.72</td><td>1.36</td><td>1.12</td><td>1.00</td><td>0.78</td><td>0.67</td><td>0.66</td><td>0.65</td><td>0.64</td><td>0.63</td></tr></table> $R_o = R + \Delta R \quad (\Rightarrow \Delta R = \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3)$ 여기서 ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값 ΔR_2 : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값 ΔR_3 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값	반발경도 (R)	수평과 이루는 각도				비고	+90°	+45°	-45°	-90°	10	-	-	+2.4	+3.2	상향수직 : +90° 하향수직 : -90°	20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4	30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1	40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7	50	-3.1	-2.1	+1.6	+2.2	60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	구분	7일	14일	21일	28일	100일	500일	750일	1000일	2000일	3000일	재령(α)	1.72	1.36	1.12	1.00	0.78	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정(ΔR_2) 압축응력 1.0kgf/cm² 인 경우 $\Delta R_2 = -0.015R$, 2.5kgf/cm² 인 경우 $\Delta R_2 = -0.05R$ 정도임. ΔR/R (%) 0 10 20 30 40 50 10 5 0 5 10 <압축응력에 따른 반발경도의 보정곡선>
반발경도 (R)	수평과 이루는 각도				비고																																																												
	+90°	+45°	-45°	-90°																																																													
10	-	-	+2.4	+3.2	상향수직 : +90° 하향수직 : -90°																																																												
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4																																																													
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1																																																													
40	-3.9	-2.6	+2.0	+2.7																																																													
50	-3.1	-2.1	+1.6	+2.2																																																													
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7																																																													
구분	7일	14일	21일	28일	100일	500일	750일	1000일	2000일	3000일																																																							
재령(α)	1.72	1.36	1.12	1.00	0.78	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63																																																							
압축강도 추정식	$F_c = 1.27R_o - 18.0$ (MPa) $\Rightarrow$ 일본재료학회 강도 추정식 $F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098$ (MPa) $\Rightarrow$ 일본건축학회 강도 추정식 - 고강도콘크리트 : $F_c = (15.2R_o - 112.8) \times 0.098$(MPa) $\Rightarrow$ 과학기술부 강도 추정식 $F_c = (17.2R_o - 214) \times 0.098$(MPa) $\Rightarrow$ 경부고속철도 강도 추정식																																																																
※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조 ※ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전공단(2006.12) 참조 ※ 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(공통편 제4장, 국토교통부, 한국시설안전공단, 2018.06) 참조																																																																	

3.2.5 탄산화깊이 측정

개 요	- 콘크리트 탄산화 조사 원리는 페놀프탈레인 1% 용액이 알칼리성에서는 붉은 색을 띠고, 탄산 및 산성에서는 무색을 띠는 화학적 이론에 기초한다. - φ10mm의 드릴링에 의해 채취되는 콘크리트가루를 이용하여 탄산화깊이를 시험하는 방법으로 드릴링에 의해 발생하는 콘크리트가루가 페놀프탈레인용액을 적신 원형시험지에 떨어져 변색되는 시점을 탄산화깊이로 한다.																								
시험방법	- 콘크리트 표면으로부터 적자색으로 변색한 부분까지의 거리를 0.5mm단위로 측정한다. - 선명한 적자색으로 변색된 부분보다 옅은 부분에 흐린 적자색의 부분이 나타나는 경우 - 선명한 적자색 단면까지의 거리를 탄산화 깊이로서 측정함과 동시에 연한 적자색 부분까지의 거리도 함께 측정한다.																								
	<table><tr><td>변색범위(pH)</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td></tr><tr><td>페놀프탈레인 1%용액</td><td colspan="6">백색(무색)</td><td colspan="4">적색변화</td></tr></table>			변색범위(pH)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	페놀프탈레인 1%용액	백색(무색)						적색변화			
	변색범위(pH)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13														
페놀프탈레인 1%용액	백색(무색)						적색변화																		
콘크리트용 드릴날 전동드릴 드릴된 삭공가루 - 1% 페놀프탈레인 용액을 바른 시험지 - 가루가늘 새로운 곳에 떨어지도록 돌린다 드릴에 의한 탄산화깊이 측정																									
평가방법	- 탄산화 속도에 미치는 영향인자(내적요인) - 시멘트의 종류 - 골재의 종류 - 계면활성제 종류 - 콘크리트 결함부 - 압축강도 - 물-시멘트비 - 시공 정밀도 - 탄산화 속도에 미치는 영향인자(환경조건) - 온도 - 이산화탄소 농도 - 습도 - 실내, 실외																								
	탄산화 속도식(√t법) $C=A\sqrt{t}$ 여기에서, C : 탄산화깊이(mm) A : 탄산화속도 계수(mm/√년) t : 경과시간(년) 수명예측(년) = (철근피복/탄산화속도계수)² 잔존수명예측(년) = 수명예측년수-경과년수 콘크리트 탄산화 속도식 비교 <table><tr><th>식</th><th>탄산화 속도식 t=경과년수(년),C=탄산화깊이(cm)</th><th>비고</th></tr><tr><td>하마다식</td><td>$t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}$</td><td></td></tr><tr><td>키시타니식</td><td>$t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}(x\geq0.6)$ $t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}(x<0.6)$</td><td></td></tr><tr><td>시로야마식</td><td>$t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}$</td><td></td></tr><tr><td>요다식</td><td>$t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}$ (실내) $t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}$ (실외)</td><td></td></tr></table>			식	탄산화 속도식 t=경과년수(년),C=탄산화깊이(cm)	비고	하마다식	$t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}$		키시타니식	$t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}(x\geq0.6)$ $t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}(x<0.6)$		시로야마식	$t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}$		요다식	$t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}$ (실내) $t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}$ (실외)								
식	탄산화 속도식 t=경과년수(년),C=탄산화깊이(cm)	비고																							
하마다식	$t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}$																								
키시타니식	$t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}(x\geq0.6)$ $t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}(x<0.6)$																								
시로야마식	$t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}$																								
요다식	$t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}$ (실내) $t=\frac{0.3(1.15+3x)}{R}\frac{(x-0.25)^2}{C^2}$ (실외)																								
평가기준	<table><tr><th>기 준</th><th>탄산화 잔여 깊이</th><th>철근부식의 가능성</th></tr><tr><td>a</td><td>· 30mm이상</td><td>· 탄산화에 의한 부식발생 우려 없음</td></tr><tr><td>b</td><td>· 10mm이상 ~ 30mm미만</td><td>· 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음</td></tr><tr><td>c</td><td>· 0mm이상 ~ 10mm미만</td><td>· 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음</td></tr><tr><td>d</td><td>· 0mm미만</td><td>· 철근부식 발생</td></tr><tr><td>e</td><td>-</td><td>-</td></tr></table>			기 준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성	a	· 30mm이상	· 탄산화에 의한 부식발생 우려 없음	b	· 10mm이상 ~ 30mm미만	· 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음	c	· 0mm이상 ~ 10mm미만	· 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음	d	· 0mm미만	· 철근부식 발생	e	-	-				
기 준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성																							
a	· 30mm이상	· 탄산화에 의한 부식발생 우려 없음																							
b	· 10mm이상 ~ 30mm미만	· 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음																							
c	· 0mm이상 ~ 10mm미만	· 탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음																							
d	· 0mm미만	· 철근부식 발생																							
e	-	-																							
※ 콘크리트 및 강재 비파괴시험 매뉴얼(한국시설안전기술공단, 2006.12) 참조 ※ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전공단(2006.12) 참조 ※ 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2019.01) 참조																									

3.2.6 균열깊이 측정

개 요	콘크리트 내부의 균열이나 공극이 있는 경우 초음파의 전달경로가 균열 또는 내부공극 주위를 따라 진행하기 때문에 초음파의 전달시간이 건전부의 전달시간보다 상대적으로 길어지게 된다. 이러한 특성을 이용하여 균열 깊이나 내부 공극을 탐지할 수 있다.
탐사원리	· 전달시간을 기초로 균열깊이를 추정하는 방법은 일반적으로 Tc-To법, T법, BS법이 주로 이용된다. · 측정 시 발·수신자의 거리를 200mm로 하여 초음파를 이용한 Tc-To법을 적용하여 실시하였다. $C = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{(T_c^2)}{(T_0^2)} - 1} (\text{mm})$ 여기서, C : 균열깊이 L : 발·수신자의 거리(L=2X) Tc : 균열 선단부를 회절한 초음파의 전달시간(μsec) T0 : 균열이 없는 건전부의 초음파의 전달시간(μsec) 탐사 장소의 선정 ↓ 탐사 장비 및 방법의 결정 ↓ 탐사 장소의 요철 제거 ↓ 탐사위치로부터 측정간격 결정 ↓ 실시(점성재료를 이용한 접착) ↓ 초음파 전달시간 기록 〈철근탐사 흐름도〉 〈균열깊이 측정의 원리〉
적용조건	① 전파시간이 정확하게 측정 가능할 것 ② 균열깊이를 추정할 때 가정한 전파경로를 따라 초음파를 포착하는 것을 만족할 것

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

※ 진단장비 활용관리 매뉴얼 : 한국시설안전공단(2006.12) 참조

※ 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(공통편 제4장, 국토교통부, 한국시설안전공단, 2018.06) 참조