제3장 현장조사 및 시험

3.1 개요

3.2 현장조사 결과(범물방향)

3.3 현장조사 결과(안심방향)

3.4 외관조사 총괄표

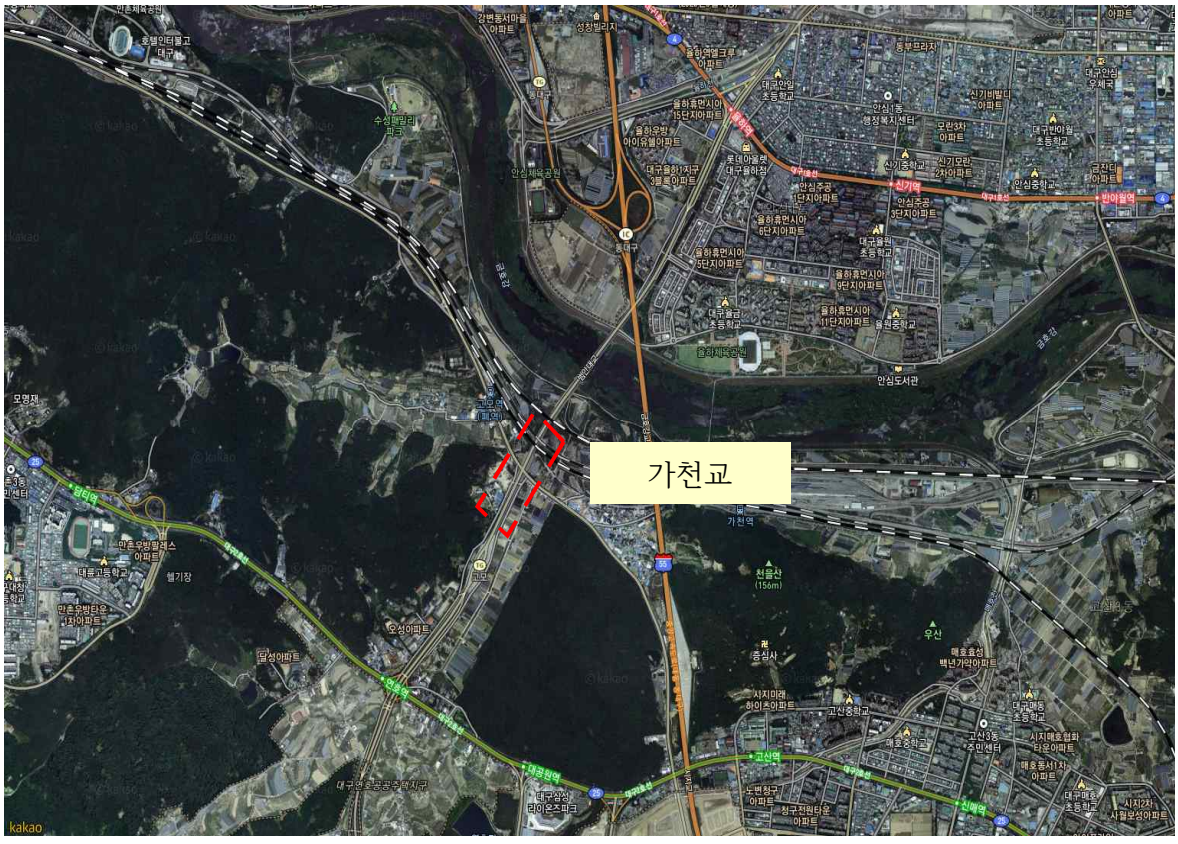
3.5 시험 및 측정

제3장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

본 시설물에 대한 현장조사 및 시험은 본 용역 착수 후 현지답사를 통해 구조특성을 파악하고, 점검방향은 과업수행계획서와 사전검토보고서를 작성하여 세부수행 계획을 수립하였다.

본 과업의 대상교량인 가천교는 대구광역시 수성구 가천동에 위치하며, 경부선 철도를 횡단하는 도로교량으로 총 5경간의 연장 L=290.0m, 형식은 Steel Box Girder교로 시공되어 현재 공용 중에 있다.



굴절차를 이용한 점검	고소점검차를 이용한 점검

☞ **현장 외관조사**

외관조사는 사전에 중점점검사항 및 접근방법, 외관조사망도 등을 충분히 숙지한 후 손상내용 확인 및 보수부 확인, 새로운 결함 발생 여부에 중점을 두고 조사하였다. 특히, 교량의 안전성에 영향을 미치는 구조적인 결함의 유무와 하부 손상에 대해 중점적으로 확인하였다.

점검대상 시설물의 정밀조사를 위해 굴절차 및 고소차, 사다리 등의 접근장비를 이용한 근접조사를 원칙으로 시행하였으며, Crack 스케일을 사용하여 균열폭을 측정하고, 점검 망치를 이용한 타격조사를 실시하여 공동, 보수부 박리, 층분리 발생여부를 확인하였다.

☞ **현장 재료시험**

현장 재료시험 및 실내시험은 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(국토교통부 2018)』 및 발주기관에서 제공된 설계서에 의거하여 수행하였으며, 교량의 상태평가 및 보수·보강방안을 제시하는데 필요한 기초자료로 사용하였다.

구분	세부지침 기준		비고
	상부구조	하부구조	
반발경도시험	◦ 50m마다	◦ 50m마다	
탄산화 깊이 측정	◦ 5경간 이내 : 2~3개소[주1)] ◦ 5경간 이상 : 3~6개소[주2)]		

주1) 교량 상부구조에서 최소 1개소 이상실시
주2) 교량 상부구조에서 최소 2개소 이상실시

3.1.1 현장조사 수행현황

가. 현장조사 일자 및 내용

<표 3.1.1> 현장조사 일자 및 내용

조사일자	조사내용	조사방법	비고
현장답사	외관조사 계획수립	도보	
2019.05.07 ~ 05.11	외관조사 및 내구성 조사	도보조사	
2018.05.14 ~ 05.15	외관조사 및 내구성 조사	굴절차, 고소점검차	

나. 현장조사 방법

외관조사시 발견된 손상이나 결함은 구조물 외관 및 외관조사망도에 위치, 크기, 종류, 형태, 보수부 상태 등을 체크하여 상세히 기록하였으며, 주요 결함 및 손상에 대해서는 현장에서 진행여부를 판단할 수 있도록 시·종점 및 폭을 분필을 이용하여 표시하여 보수·보강 및 점검 등 유지관리에 활용토록 하였다.

굴절차를 활용한 근접조사	고소점검차를 활용한 근접조사

구 분	과업수행 내용	비고
현장조사 방법	· 포장부 : 도보 조사(싸인보드가 배치) · 바닥판, 교대, 교각, 받침장치 : 고소점검차 + 사다리	
장비	교량점검차, 사다리, 비파괴 장비 등	

3.1.2 주요 조사항목

가. 부재별 조사방법 및 손상종류

<표 3.1.2> 부재별 조사방법 및 손상종류

구분	점검부위	손상종류	비고
강 바닥판, 강 거더	공통	· 도장 손상 및 부식 · 현장이음부 볼트손상, 누수 · 신축이음 하면, 배수구 주변, 난간하면 누수, 부식 · 이상음발생	
	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 · 맛대기 용접부, 덮개판 덧댐부 끝부분 균열	
교대	공통	· 교대 기울음 및 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	
교각	공통	· 교각 기울음 및 전도 · 균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 백태(유리석회)	
	두부(Coping)	· 두부 물고임 · 받침부 하부 균열 및 파손	
	구체	· 시공이음부 균열 · 이동 또는 기울음 · 수면접촉부 침식	

<표 3.1.2> 부재별 조사방법 및 손상종류(계속)

구분	점검부위		손상종류	비고
받침장치	본체	공통	· 가동받침의 신축유간 부족 · 가동받침 전·후방의 가동장애 요소 · 받침과 거더의 밀착상태 · 수직보강재와 받침 편기상태 · 받침 물고임 및 부식	
		탄성받침	· 부풀음 및 갈라짐 · 고무판의 과도한 변형	
	받침 콘크리트		· 앵커볼트 파손, 절단 · 콘크리트 파손, 하부공동 및 침하 · 교각두부 균열	
신축이음	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	
교면포장	공통	아스팔트	· 균열, 함몰, 단차 및 요철, 블리딩, 마모	
		콘크리트	· 균열, 마모, 박리, 파손	
	신축이음 전후 구조물 경계부		· 단차, 파손	
	곡선부, 중차량 통행차로		· 마모, 바퀴자국	
	배수구 주변		· 물고임	
배수시설	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)	
난간 및 연석	강재, 알루미늄		· 강재의 경우 도장 손상 및 부식 · 난간과 상판연결부의 결함, 파손 · 전체적인 처짐 및 선형불량	
	철근 콘크리트		· 균열, 박리, 파손 · 철근노출 및 부식 · 전체적인 처짐 및 선형불량	

나. 기 진단결과 주요 손상에 따른 조사방향

구분	주요 손상에 따른 조사방향	기 진단 현황사진
교면 포장	·균열, 파손 추가 발생 유무 ▶손상부 차량 주행성 영향 확인(보수 필요시 발주처 즉시보고) ·소성변형, 포트홀 등 발생유무	 [아스콘 망상균열]
바닥판, 강 거더	·바닥판하면 균열 및 백태 진전여부 확인 ·현장이음부 볼트손상, 누수 발생유무	 [바닥판 상태]
하부 구조	·균열 및 균열보수 후 균열진전 및 추가 손상발생 유무 ·교각 기둥부 침식 및 세굴 등의 발생유무	 [교대 균열]
신축이음	·신축이음 하면, 배수구 주변, 난간하면 누수, 부식 ·후타재 균열 추가 발생 유무 ·유간부 토사퇴적, 후타재 균열, 이상음 발생 유무	 [후타재 균열]
발주처 확인사항	-	

3.2 현장조사 결과(범물방향)

3.2.1 교면포장

가천교 범물방향의 총 폭은 14.45~25.95m이며, 3차선으로 구성되어 있고, 아스콘 포장으로 시공되어 있다.

교면포장 전경	교명판 전경

가. 손상현황

· 외관조사 결과, 2017년 하반기 재포장이 실시되어 균열, 패임 등의 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

· 기 진단과 비교 검토 결과 전회 점검시 조사된 포장면 균열, 패임 등은 재포장을 실시하여 손상이 없는 것으로 확인되었다.

교면포장 전경

<표 3.2.1> 교면포장 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소
교면포장	상태 양호	-	-	-

나. 원인 및 대책

· 범물방향 교면포장은 손상이 없는 양호한 상태로 확인되었으며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여부 확인 등 유지관리가 요구된다.

3.2.2 방호벽 및 중앙분리대

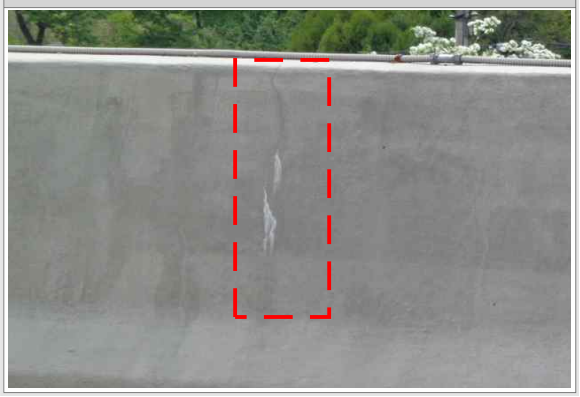
방호벽 전경

가. 손상현황

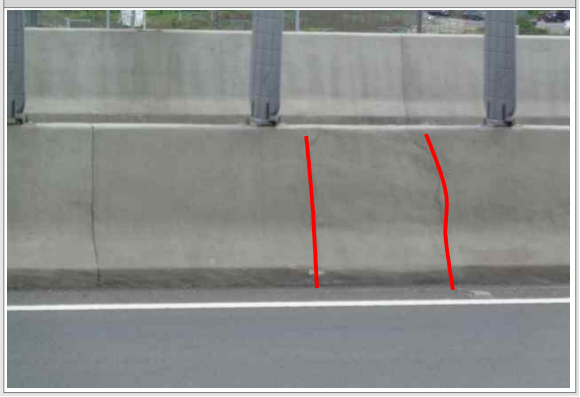
· 방호벽 및 중앙분리대의 외관조사 결과, 전반적으로 보수를 실시하여 양호한 상태이나, 일부 구간 보수부위 CW=0.3mm미만 균열 및 백태 등의 손상이 조사되었다.

· 금회 조사된 손상과 기 진단과 비교 검토 결과 균열 및 백태 등에 대해 보수를 실시하여 손상이 다소 감소한 것으로 확인되었다.

<S3> 방호벽 콘크리트 백태

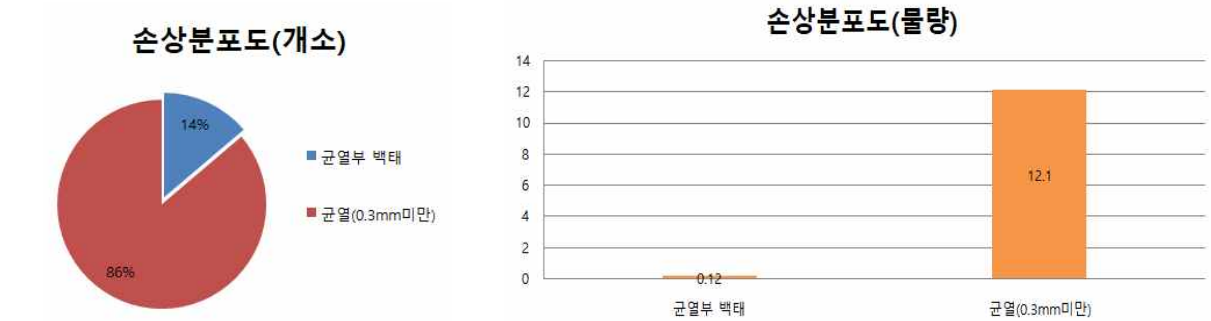


<S4> 중앙분리대 균열



<표 3.2.2> 난간 및 방호벽 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소	비고
방호벽	균열부 백태	㎡	0.12	4	
	균열 (CW=0.3mm 미만)	m	12.1	25	



<그림 3.2.1> 방호벽 손상분포도

나. 원인 및 대책

· 방호벽 및 중앙분리대에 발생한 균열 및 백태는 경미한 수준으로 기 실시된 보수부위에 손상이 발생한 것이며, 교량 안전성 및 차량 주행의 안전성에 영향을 미치는 손상은 아니나, 부재의 내구성 확보를 위해 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직하다.

3.2.3 배수시설

본 교량의 배수시설은 육교형식으로 교량 상면에 총 16개소가 방호벽 측에 설치되어 있으며, 상면 배수구를 통해 하부구조로 유도되는 형식으로 설치되어 있다

배수관 전경	배수구 전경

가. 손상현황

· 배수시설에 대한 조사결과, 일부구간 배수관 막힘, 연결부 누수 등으로 인해 하부 낙수 등 바닥판 물고임이 조사되었다.

· 금회 조사된 손상과 기 진단과 비교 검토 결과 배수관 막힘이 추가 발생한 것으로 확인되었다.

<표 3.2.3> 배수시설 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소	비고
배수시설	배수관 누수	EA	-	3	
	배수관 막힘	EA	-	2	

<그림 3.2.2> 배수시설 손상분포도

<S3> 배수관 막힘

<S3> 배수관 막힘 및 누수에 의한 하부 물고임

나. 원인 및 대책

· 배수관 막힘은 공용중 교면 배수구를 통한 이물질이 배수관에 유입됨에 따라 배수기능이 상실되어, 슬래브와 배수관 연결부 틈새를 통한 낙수로 인해 하부 바닥판 물고임이 발생한 것으로 확인되었다. 기 손상들에 대해서는 주기적인 청소 및 연결부 재용접 등 정비를 실시하여 원활한 배수기능 확보 등 유지관리가 필요한 상태이다.

3.2.4 신축이음

가천교 범물방향의 신축이음은 Rail Joint로 A1, P3, A2 3개소 설치되어 있는 것으로 확인되었다.

A1 신축이음 전경	P3 신축이음 전경

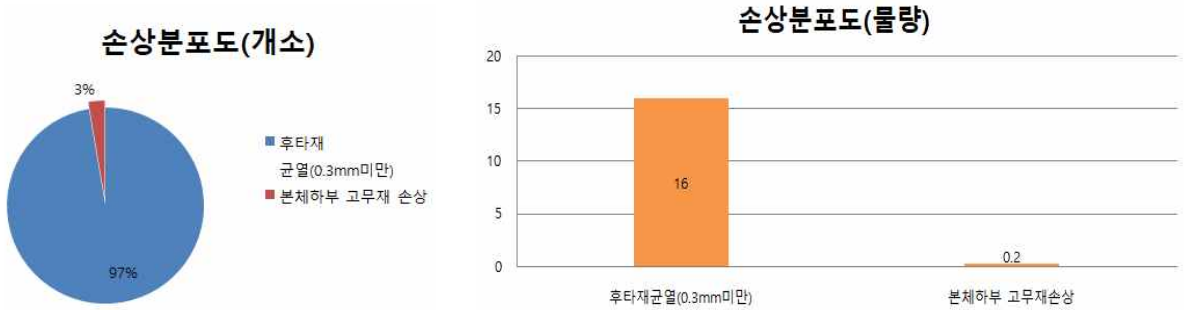
가. 손상현황

· 신축이음 조사결과 본체 가동상태는 양호한 것으로 확인되었다. 다만 본체 하부 고무재 손상이 조사되었으며, 후타재의 경우 기존 손상인 폭 0.3mm미만의 균열이 조사되었다.

· 기 진단과 비교 검토 결과 후타재 균열에 대해 일부 보수를 실시함에 따라 균열 손상이 다소 감소한 반면, 본체 하부 고무재 손상의 경우 금회 조사시 추가 발생한 것으로 확인되었다.

<표 3.2.4> 신축이음 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소
신축이음	후타재 균열(0.3mm미만)	m	16.0	36
	본체 하부 고무재 손상(P3)	m	0.2	1



<그림 3.2.3> 신축이음부 손상분포도

나. 원인 및 대책

· 본체 하부 고무재 손상은 공용중 노후화로 인해 발생한 것으로 현재 손상부를 통해 우수유입에 따른 하부구조 체수, 받침 녹발생 등 2차 손상이 발생되는 만큼, 하부 고무재 교체를 실시하는 것이 바람직하다고 판단된다.

· 후타재 균열은 건조수축 및 온도변화에 의한 폭 0.3㎜ 미만의 미세균열로 주의관찰을 통한 유지관리가 필요하며 손상의 진전 및 추가 발생시 표면처리 등 보수가 요구된다.

다. 신축이음 신축거동상태 검토

· 본 교량의 신축거동상태를 확인하기 위해 22.7℃(5월15일) 신축이음장치에 대한 유간을 측정하였고, 이론 변동량과의 비교를 통해 신축거동상태를 검토하였다. 또한, 측정된 유간으로부터 최대 온도 상승시 신장량과 최저 온도 하강시 수축량을 계산하여 유간확보 여부를 검토하였다.

1) 신축이음 유간 측정결과

<표 3.2.5> 신축이음 유간 측정결과

측정위치	측 정 값(㎜)	비 고
	2019.05.15	
EXP.J1(A1)	30.0	레일조인트(No.100)
EXP.J2(P3)	35.0	레일조인트(No.100)
EXP.J3(A2)	20.0	레일조인트(No.100)

측정전경(A1)	측정전경(P3)

2) 검토결과

가천교 범물방향의 유간거리 측정결과, 유간거리 측정결과, 최대 신장시 여유량을 확보한 것으로 측정되었고, 지속적인 관찰을 통한 유지관리가 필요 할 것으로 사료된다.

<표 3.2.6> 신축이음장치 가동상태 검토결과

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더길이 (L, m)	계산 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기 (최대수축시)	하절기 (최대신장시)
EXP.J1(A1)	32.7	17.3	1.2×10^{-5}	110	43.2	22.8
EXP.J2(P3)	32.7	17.3	1.2×10^{-5}	120	47.1	24.9
EXP.J3(A2)	32.7	17.3	1.2×10^{-5}	60	23.5	12.5

1) 조사당시 온도 : 22.7℃(조사일 : 2019년 5월 15일, 평균온도)
2) 검토온도 : -10℃ ~ 40℃(보통지방)

※ P2, P4 를 고정단으로 산정

<표 3.2.7> 신축이음장치 가동여유량 검토결과

구 분	계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간 (㎜) ③	허용량 (㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
	최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
EXP.J1(A1)	43.2	22.8	30.0	100.0	26.8	7.2	O.K
EXP.J2(P4)	47.1	24.9	35.0	100.0	17.9	10.1	O.K
EXP.J3(A2)	23.5	12.5	20.0	100.0	56.5	7.5	O.K

3.2.5 바닥판하면

바닥판하면은 거더와 거더사이에 Deck Plate로 설치되어 있으며, 캔틸레버 구간은 콘크리트로 시공되어져 있다. 콘크리트 바닥판하면의 상세조사를 위해 굴절차 및 고소작업차를 이용하여 근접조사를 실시하였다..

바닥판 하면 전경	바닥판 하면 전경(2)

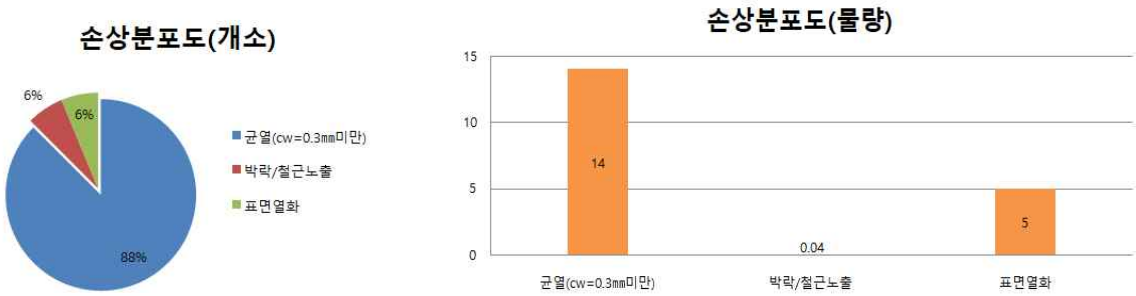
가. 손상현황

· 바닥판하면에 대한 조사결과 데크플레이트 부위는 전반적으로 양호한 상태이다. 반면 캔틸레버 부위에 폭 0.3mm미만 균열 및 백태, 콘크리트 박락, 철근노출, 표면열화 등의 손상이 조사되었다.

· 기 진단과 비교 검토 결과 금회 조사시 균열, 콘크리트 박락 및 철근노출 등의 손상이 추가 발생한 것으로 확인되었다.

<표 3.2.8> 바닥판하면 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소	비고
바닥판	균열(0.3mm미만)	m	14.0	14	
	박락 및 철근노출	㎡	0.04	1	
	표면열화	㎡	5.0	1	



<그림 3.2.4> 바닥판하면 손상분포도

<S3> 캔틸레버 균열 (cw=0.3㎜미만)

<S5> 캔틸레버 콘크리트 박락 및 철근노출

나. 원인 및 대책

· 바닥판하면 외관조사 결과, 균열, 박락 및 철근노출, 표면열화 등이 조사되었다. 균열의 경우 건조수축, 온도변화 등에 의해 발생한 것이며, 박락 및 철근노출의 경우 시공미흡에 의한 것으로 판단된다.

· 손상부에 대해서는 현재 경미한 수준이나 내구성 확보를 위해 표면처리, 단면복구 등의 보수가 요구된다.

3.2.6 거더 (Steel Box)

가천교의 거더는 Steel Box Girder로 총 6련 Box로 시공되어있다.

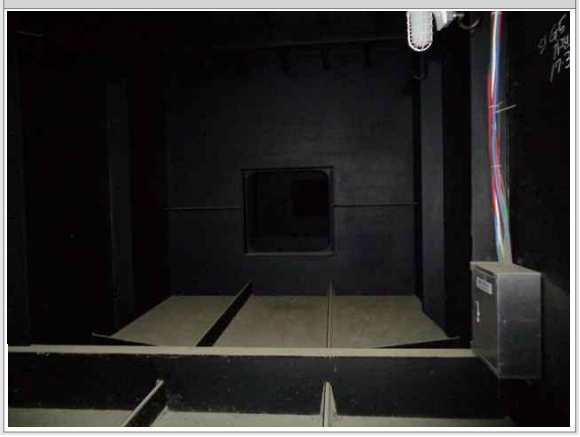
거더외부 전경	거더내부 전경

가. 손상현황

· 거더에 대한 외관조사 결과, 기존 손상들에 대해 보수 및 정비를 실시하여 현재 내·외부에 특기할 만한 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

<표 3.2.9> 거더 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소	비고
거더 외부	상태양호	-	-	-	
거더 내부	상태양호	-	-	-	

거더 외부 전경	거더 내부 전경
	

나. 원인 및 대책

· 거더 내·외부는 현재 구조적 손상이 없는 양호한 상태이다. 향후 공용기간 증가 및 노후화에 따른 도장손상, 부식, 내부 우수유입 등 신규손상이 발생될 우려가 있는 만큼 주기적인 점검 등을 통해 현상태를 유지할 수 있도록 유지관리가 필요하다.

3.2.7 받침장치

가천교 범물방향의 받침장치는 포트받침으로 고정단 7기, 가동단 18기 총 25기가 설치되어 있다.

받침장치 전경(고정단)	받침장치 전경(가동단)

가. 손상현황

· 교량받침에 대한 조사 결과, 가동상태는 양호한 상태이다. 다만 폭 0.3mm미만의 받침콘크리트 균열, 플레이트 도장박리 및 들뜸이 국부적으로 발생한 것으로 조사되었다.

<표 3.2.10> 교량받침 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소	비고
교량받침	받침콘크리트균열(cw=0.3㎜미만)	m	1.3	5	
	Plate 도장박리/들뜸	㎡	0.01	1	

<그림 3.2.5> 교량받침 손상분포도

<P1-SH1> 받침콘크리트 균열(cw=0.3㎜미만)

<P1-SH4> 받침콘크리트 균열(cw=0.3㎜미만)

<P3-SH4> 받침콘크리트 균열(cw=0.3㎜미만)

<P4-SH2> Plate 도장 박리

나. 원인 및 대책

· 교량받침의 주요손상은 받침콘크리트 균열, Plate 도장 박리 등이 조사되었고, 손상부는 장기공용에 의한 열화 및 건조수축에 의한 손상으로 추정되며, 손상부는 현재 경미한 상태로 주기적인 점검 및 주의관찰을 통한 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

다. 연단거리 검토

· 교량 받침은 상부구조로부터 하중 등의 집중하중을 받는 곳이고 또한 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침장치 앵커볼트에서 정부(楨部)연단까지의 거리가 작으면, 고정단에서는 전단면에서 받침면이 파손되는 경우가 있고, 또한 가동단에서는 받침이 벗어나 거더가 낙교 할 수도 있다. 따라서 본 과업에서는 도로교 설계기준에 준하여 실제 연단거리와 설계 연단거리를 비교.검토하였다.

- 거더의 경간길이 100m이하 : 연단거리(S) = 200 + 5 × L
- 거더의 경간길이 100m이상 : 연단거리(S) = 300 + 4 × L

여기서, L : 지간길이 (m)

- S1 : L = 50.0m → S = 200 + 5 × 50.0cm = 450mm
- S2∽S5 : L = 60.0m → S = 200 + 5 × 60.0cm = 500mm

<표 3.2.11> 받침장치 연단거리 측정결과

구분	연단거리(㎝)							지간길이 (m)	최소연단거리 (㎜)	비고
	SH1	SH2	SH3	SH4	SH5	SH6	SH7			
A1	600	600	550	590				50	450	O.K
P1	1000	1050	1000	1050				60	500	O.K
P2	1050	1000	1000	1050				60	500	O.K
P3	750	700	700	750	740	670	730	60	500	O.K
P4	850	760	820					60	500	O.K
A2	610	605	650					60	500	O.K

라. 받침장치 가동 여유량 검토

· 설계시 받침의 이동량은 온도변화, 활하중, 크리프, 건조수축, 부가여유량 및 설치여유량 등을 고려하여 산정하나, 금회 조사에서는 교량의 공용년수가 20년 이상 경과되었으므로 크리프 및 건조수축 의한 변화는 거의 종결된 것으로 간주하여 온도변화에 의한 이동량을 검토하였다. 받침장치 가동여유량에 대한 검토는『도로교설계기준』에 따라 측정일 온도에서 설계검토 최저, 최고온도까지 수축 및 신장거동에 대한 받침장치의 부가여유량을 검토하였다.

<표 3.2.12> 받침장치의 이동량 산정시 온도변화 및 선팽창 계수

교량의 종류	온도변화		선팽창계수
	보통지방	한랭 지방	
PSC교, RC교	- 5℃ ~ + 35℃	- 15℃ ~ + 35℃	1.0×10^{-5}
강교(상로교)	**- 10℃ ~ + 40℃**	- 20℃ ~ + 40℃	1.2×10^{-5}
강교(하로교 및 강바닥판교)	- 10℃ ~ + 50℃	- 20℃ ~ + 40℃	1.2×10^{-5}

- 조사시 온도 : 2019년 05월 15일 가동량 측정시 외기온도 ⇒ 22.7℃
- 검토 온도 : -10℃ ~ +40℃ (강교일 경우)

◎ 받침장치 여유량 산정

- 온도에 의한 이동량 : $\Delta \ell t = \alpha \times \Delta T \times \ell$
- 선팽창계수(강교) : $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}$
- 온도범위 : ΔT = 22.7℃ - (-10℃) = 32.7℃ (최대 수축시, 동절기)
  40.0℃ - 22.7℃ = 17.3℃ (최대 신장시, 하절기)
- 적용 경간 길이 (ℓ) = 50.0m(S1), 60.0m(S2∽S5)

<표 3.2.13> 받침장치의 이동량 검토결과

위 치	구 분	설계 이동량 (㎜)	실측 이동량 (㎜)	여유량(㎜)		온도변화에 의한 이동량		판 정
				신장	수축	신장	수축	
A1	SH1	±100	10.0	90.0	110.0	22.8	43.2	O.K
	SH2		5.0	95.0	105.0	22.8	43.2	O.K
	SH3		5.0	95.0	105.0	22.8	43.2	O.K
	SH4		25.0	75.0	125.0	22.8	43.2	O.K
P1	SH1	±75	-20.0	95.0	55.0	12.5	23.5	O.K
	SH2		-10.0	85.0	65.0	12.5	23.5	O.K
	SH3		-20.0	95.0	55.0	12.5	23.5	O.K
	SH4		0	75.0	75.0	12.5	23.5	O.K
P2	SH1	고정단	-	-	-	-	-	-
	SH2		-	-	-	-	-	-
	SH3		-	-	-	-	-	-
	SH4		-	-	-	-	-	-
P3(전)	SH1	±75	20.0	55.0	95.0	12.5	23.5	O.K
	SH2		15.0	60.0	90.0	12.5	23.5	O.K
	SH3		15.0	60.0	90.0	12.5	23.5	O.K
	SH4		0	75.0	75.0	12.5	23.5	O.K
P3(후)	SH5	±75	-5.0	80.0	70.0	12.5	23.5	O.K
	SH6		-5.0	80.0	70.0	12.5	23.5	O.K
	SH7		0	75.0	75.0	12.5	23.5	O.K
P4	SH1	고정단	-	-	-	-	-	-
	SH2		-	-	-	-	-	-
	SH3		-	-	-	-	-	-
A2	SH1	±75	30.0	45.0	105.0	12.5	23.5	O.K
	SH2		40.0	35.0	115.0	12.5	23.5	O.K
	SH3		40.0	35.0	115.0	12.5	23.5	O.K

※ 실측 이동량은 고정단(P2, P4)을 기준으로 신장시(+), 수축시(-)로 명기.

· 받침장치의 이동량 검토결과, 모든 받침에서 여유량을 확보하고 있는 것으로 검토되었으며, 주기적인 점검 및 주의관찰을 통한 유지관리가 필요할 것으로 사료된다.

3.2.8 교대 및 교각

가천교의 교대 기초 형식은 강관말뚝기초와 구체는 역T형 구조이며, 교각기초는 말뚝기초+직접기초이며, 다주식 라멘형으로 시공되어있다.

교대 전경	교각 전경

가. 손상현황

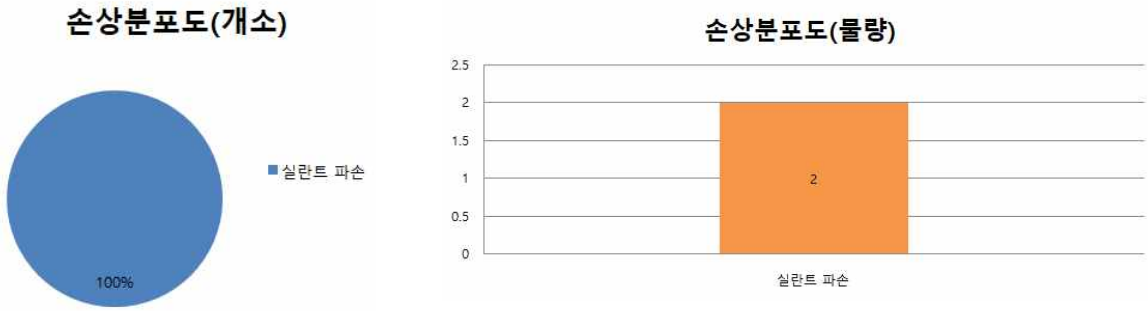
· 교대 조사결과, Joint부 실란트 파손, 성토부 법면 보호블럭 침하 등 경미한 손상이 조사되었다.

· 교각 조사결과, 균열(cw=0.3mm미만) 및 망상균열, 긁힘에 의한 손상, 누수로 인한 체수흔적, 조류배설물 퇴적, 표면열화 등의 손상이 조사되었다.

· 기 진단과 비교시 균열에 대해 일부 보수를 실시하여 다소 감소하였으나, 교각 망상균열의 경우 금회 조사시 추가 발생한 것으로 확인되었다.

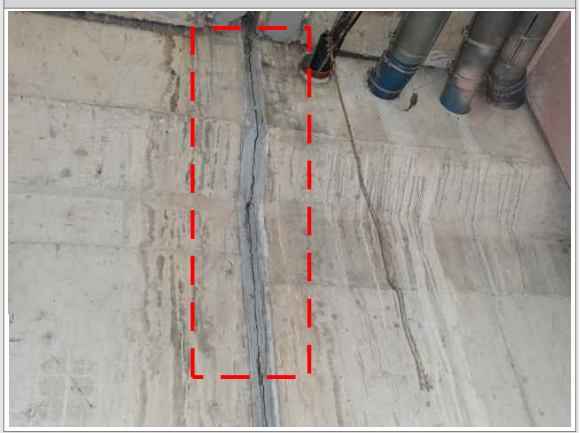
<표 3.2.14> 교대 및 교각 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소	비고
교대	실란트 파손	m	2.0	1	
교각	균열(cw=0.3mm미만)	m	15.0	9	
	망상균열	㎡	11.0	5	
	긁힘	㎡	0.1	1	
	누수 및 체수흔적	㎡	8.0	3	
	조류배설물 퇴적	㎡	3.0	1	
	표면열화	㎡	20.0	1	



<그림 3.2.6> 교대 손상분포도

<그림 3.2.7> 교각 손상분포도

A2 Joint부 실란트 파손	P2 코핑부 균열 (cw=0.3㎜미만)
	

P3 코핑부 망상균열	P3 코핑부 조류배설물 퇴적

나. 원인 및 대책

· 교각에 발생한 균열 및 망상균열은 건조수축에 의한 비 구조적인 손상으로 경미한 수준이나 내구성 확보를 위해 표면처리가 필요하며, 체수흔적은 상부 신축이음 누수에 의한 2차 손상으로 상부구조와 연계한 정비 등이 요구된다. 이 외 손상인 긁힘, 조류배설물 퇴적, 표면열화 등에 대해서도 적절한 보수 및 정비가 필요하다.

3.3 현장조사 결과(안심방향)

3.3.1 교면포장

가천교 교면포장 안심방향의 총 폭은 14.45~25.95m이며, 3차선이며 으로 구성되어 있고, 아스콘 포장으로 시공되어 있다.

교면포장 전경	교명판 전경

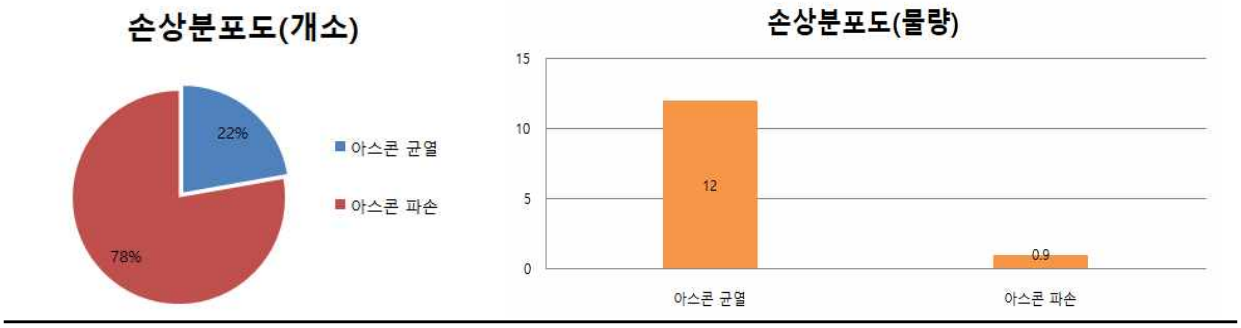
가. 손상현황

· 교면포장 안심방향 외관조사 결과 2017년 하반기 재포장이 실시되어 양호한 상태이나, 재포장 실시가 안된 갓길측에서 아스콘 균열, 파손 등의 손상이 조사되었으며, 기 진단과 비교시 재포장으로 인해 손상이 감소한 것으로 확인되었다.

<S1> 교면포장 아스콘 균열	<S3> 교면포장 아스콘 균열

<표 3.3.1> 교면포장 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소
교면포장	아스콘 균열	m	12.0	2
	아스콘 파손	㎡	0.9	7



<그림 3.3.1> 교량포장 손상분포도

나. 원인 및 대책

· 안심방향 교면포장에 발생한 아스콘 균열 및 파손은 공용기간 증가에 따른 노후화 및 중차량 반복통행에 의한 것으로 판단되며 아스콘 씰링 및 패칭 등 적절한 보수가 필요하다.

3.3.2 방호벽 및 중앙분리대

방호벽 전경

가. 손상현황

· 방호벽 및 중앙분리대의 외관조사 결과, 전반적으로 보수를 실시하여 양호한 상태이나, 일부 구간 보수부에 CW=0.3mm미만 균열 및 백태와 A1측 접속도로부 방호벽 단차 등의 손상이 조사되었다.

· 금회 조사된 손상과 기 진단과 비교 검토 결과 균열 및 백태 등에 대해 보수를 실시하여 손상이 다소 감소한 것으로 확인되었다.

<A1측 접속도로> 방호벽 단차

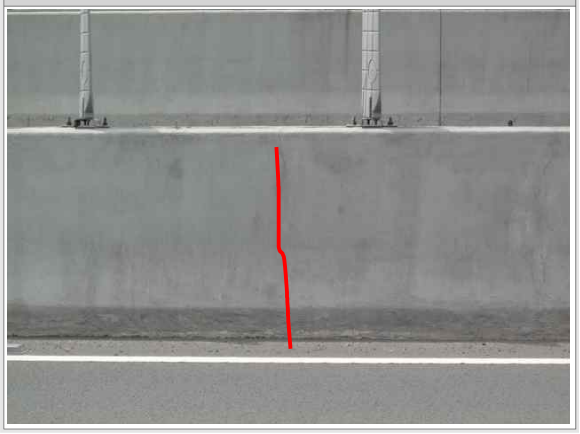
<A1측 접속도로> 방호벽 단차

<A1측 접속도로> 방호벽 단차

<A1측 접속도로> 방호벽 단차

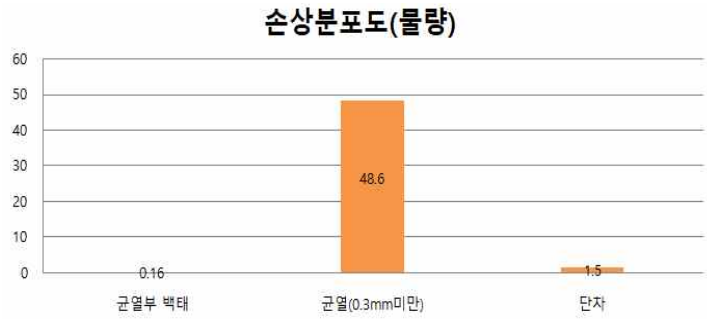
<S3> 중앙분리대 백태

<S3> 중앙분리대 균열



<표 3.3.2> 난간 및 방호벽 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소	비고
방호벽	균열부 백태	㎡	0.16	4	
	균열 (CW=0.3mm 미만)	m	48.6	98	
	단차	m	1.5	1	



<그림 3.3.2> 방호벽 손상분포도

나. 원인 및 대책

· 방호벽 및 중앙분리대에 발생한 균열 및 백태는 경미한 수준으로 기 실시된 보수부위에 손상이 발생한 것이며, 내구성 확보를 위해 적절한 보수를 실시하는 것이 바람직하다. 단차 구간의 경우 시공당시 초기 침하에 의한 것으로 판단되며 주기적인 점검을 통한 계측관리를 실시하는 것이 바람직하다.

3.3.3 배수시설

본 교량의 배수시설은 육교형식으로 교량 상면에 총 16개소가 방호벽 측에 설치되어 있으며, 상면 배수구를 통해 하부구조로 유도되는 형식으로 설치되어 있다

배수관 전경	배수구 전경

가. 손상현황

· 배수시설에 대한 조사결과, 일부구간 배수관 탈락, 막힘, 연결부 누수 등의 손상이 금회 점검시 추가 발생한 것으로 조사되었다.

<표 3.3.3> 배수시설 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소	비고
배수시설	배수관 누수	EA	-	2	
	배수관 탈락	EA	-	1	
	배수구 막힘	EA	-	2	

<그림 3.3.3> 배수시설 손상분포도

<S2> 배수관 탈락	<S3> 배수관 누수

나. 원인 및 대책

· 배수관 막힘은 공용중 교면 배수구를 통한 이물질이 배수관에 유입됨에 따라 배수기능이 상실되어, 슬래브와 배수관 연결부 틈새를 통한 낙수로 인해 하부 구조에 물고임이 발생한 것으로 확인되었다. 기 손상들에 대해서는 주기적인 청소, 배수관 재연결 등 정비를 실시하여 원활한 배수기능 확보 등 유지관리가 필요한 상태이다.

3.3.4 신축이음

가천교 안심방향의 신축이음은 Rail Joint로 A1, P3, A2 3개소 설치되어 있는 것으로 확인되었다.

A1 신축이음 전경	P3 신축이음 전경

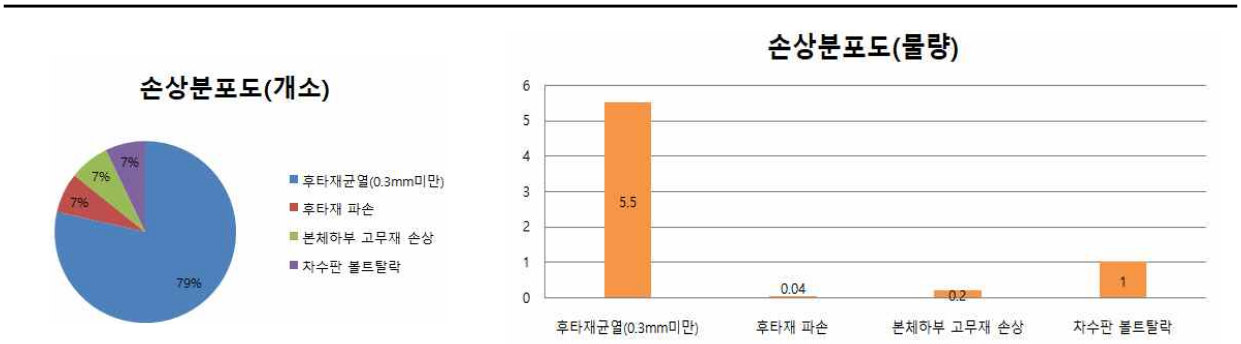
가. 손상현황

· 신축이음 조사결과 본체 가동상태는 양호한 것으로 확인되었다. 다만 본체 하부 고무재 손상이 조사되었으며, 후타재의 경우 폭 0.3mm미만 균열 및 파손과 차수판 볼타 탈락이 조사되었다.

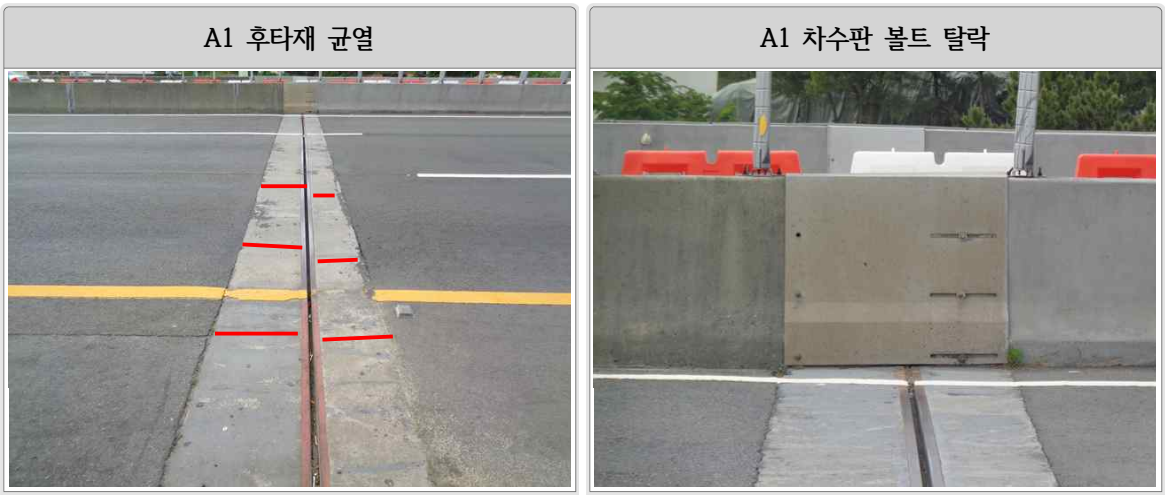
· 기 진단과 비교 검토 결과 후타재 균열에 대해 일부 보수를 실시함에 따라 균열 손상이 다소 감소한 반면, 본체 하부 고무재 손상의 경우 금회 조사시 추가 발생한 것으로 확인되었다.

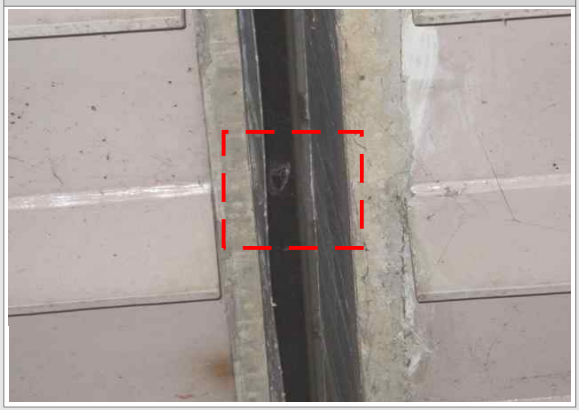
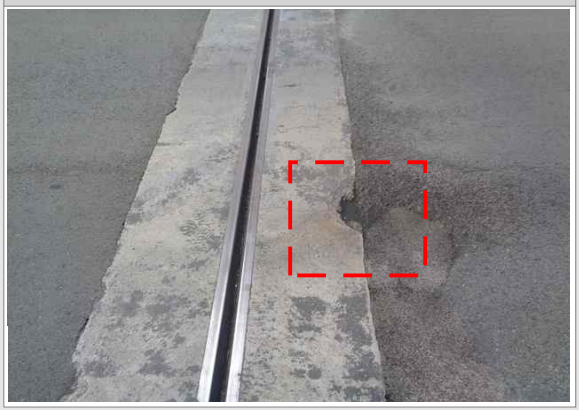
<표 3.3.4> 신축이음 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소
신축이음	후타재 균열(0.3mm미만)	m	5.5	11
	후타재 파손	m^2	0.04	1
	본체 하부 고무재 손상(P3)	m	0.2	1
	차수판 볼트 탈락	EA	1	1



<그림 3.3.4> 신축이음부 손상분포도



P3 본체 하부 고무재 파손	P3 후타재 파손
	

나. 원인 및 대책

· 본체 하부 고무재 손상은 공용중 노후화로 인해 발생한 것으로 현재 손상부를 통해 우수유입에 따른 하부구조 체수, 받침 녹발생 등 2차 손상이 발생되는 만큼, 하부 고무재 교체를 실시하는 것이 바람직하다고 판단된다.

· 후타재 균열은 건조수축 및 온도변화에 의한 폭 0.3㎜ 미만의 미세균열로 주의관찰을 통한 유지관리와 손상의 진전시 표면처리가 필요하며, 후타재 파손에 대해서는 내구성 확보를 위해 단면복구 등 보수를 실시하는 것이 바람직하다.

다. 신축이음 신축거동상태 검토

· 본 교량의 신축거동상태를 확인하기 위해 22.7℃(5월15일) 신축이음장치에 대한 유간을 측정하였고, 이론 변동량과의 비교를 통해 신축거동상태를 검토하였다. 또한, 측정된 유간으로부터 최대 온도 상승시 신장량과 최저 온도 하강시 수축량을 계산하여 유간확보 여부를 검토하였다.

1) 신축이음 유간 측정결과

<표 3.3.5> 신축이음 유간 측정결과

측정위치	측 정 값(㎜)	비 고
	2019.05.15	
EXP.J1(A1)	32.0	레일조인트(No.100)
EXP.J2(P3)	38.0	레일조인트(No.100)
EXP.J3(A2)	20.0	레일조인트(No.100)

측정전경(A1)	측정전경(P3)

2) 검토결과

가천교 범물방향의 유간거리 측정결과, 유간거리 측정결과, 최대 신장시 여유량을 확보한 것으로 측정되었고, 지속적인 관찰을 통한 유지관리가 필요 할 것으로 사료된다.

<표 3.3.6> 신축이음장치 가동상태 검토결과

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더길이 (L, m)	계산 이동량(㎜)	
	동절기	하절기			동절기 (최대수축시)	하절기 (최대신장시)
EXP.J1(A1)	32.7	17.3	1.2×10^{-5}	110	43.2	22.8
EXP.J2(P3)	32.7	17.3	1.2×10^{-5}	120	47.1	24.9
EXP.J3(A2)	32.7	17.3	1.2×10^{-5}	60	23.5	12.5

1) 조사당시 온도 : 22.7℃(조사일 : 2019년 5월 15일, 평균온도)
2) 검토온도 : -10℃ ~ 40℃(보통지방)

※ P2, P4 를 고정단으로 산정

<표 3.3.7> 신축이음장치 가동여유량 검토결과

구 분	계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간 (㎜) ③	허용량 (㎜) ④	신축 여유량(㎜)		검토 결과
	최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
EXP.J1(A1)	43.2	22.8	32.0	100.0	24.8	9.2	O.K
EXP.J2(P4)	47.1	24.9	38.0	100.0	14.9	13.1	O.K
EXP.J3(A2)	23.5	12.5	20.0	100.0	56.5	7.5	O.K

3.3.5 바닥판하면

바닥판하면은 거더사이에 Deck Plate로 설치되어 있으며, 캔틸레버 구간은 콘크리트로 시공되어져 있다. 콘크리트 바닥판하면의 상세조사를 위해 굴절차 및 고소작업차를 이용하여 근접조사를 실시하였다..

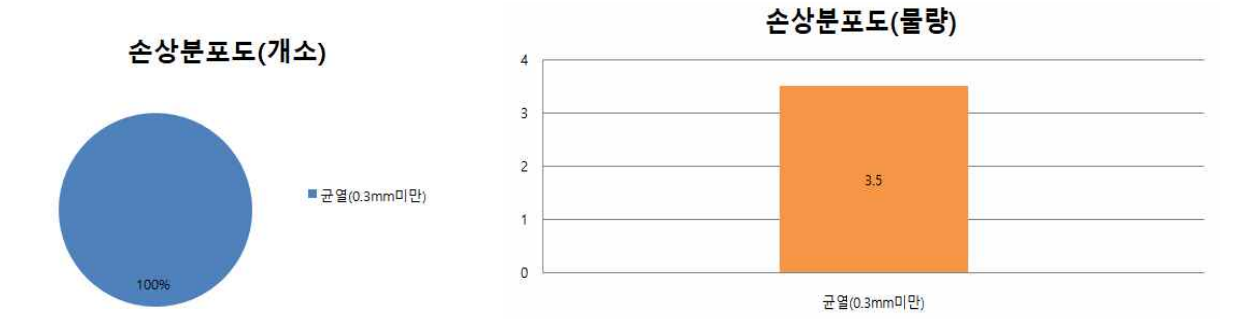
바닥판 하면 전경	바닥판 하면 전경(2)

가. 손상현황

· 바닥판하면에 대한 조사결과 데크플레이트 부위는 전반적으로 양호한 상태이다. 반면 캔틸레버 부위에 폭 0.3mm미만 균열 등의 손상이 조사되었으며, 기 진단과 비교시 다소 감소한 것으로 확인되었다.

<표 3.3.8> 바닥판하면 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소	비고
바닥판	균열(0.3mm미만)	m	3.5	5	



<그림 3.3.5> 바닥판하면 손상분포도

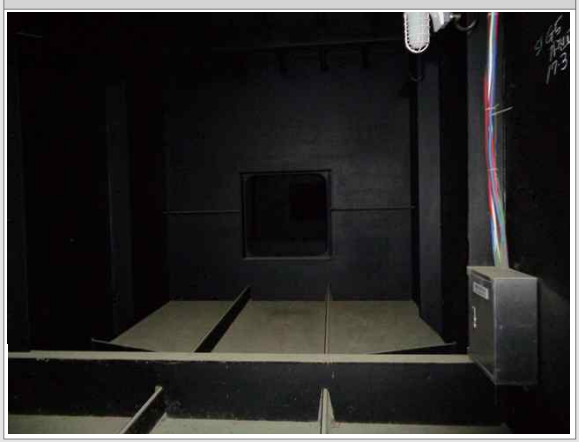
<S3> 캔틸레버 균열 (cw=0.3㎜미만)	<S4> 캔틸레버 균열 (cw=0.3㎜미만)

나. 원인 및 대책

· 바닥판하면에 발생된 균열은 건조수축, 온도변화 등에 의해 발생한 것으로 판단되는 경미한 수준이나 내구성 확보를 위해 표면처리 등의 보수가 요구된다.

3.3.6 거더 (Steel Box)

가천교의 안심방향의 거더는 Steel Box Girder로 총 6련 Box로 시공되어있다.

거더외부 전경	거더내부 전경
	

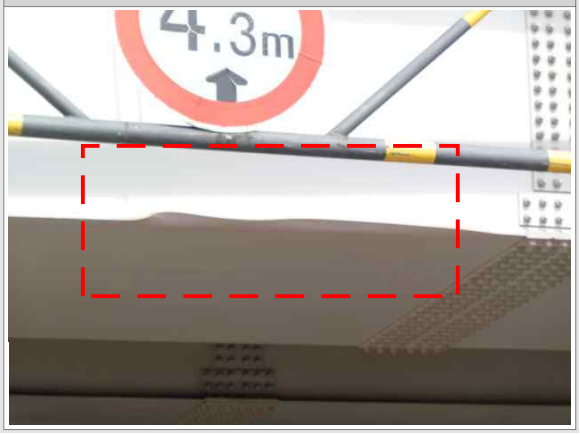
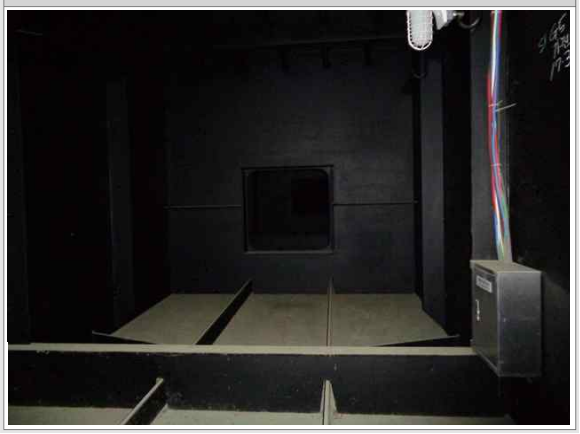
가. 손상현황

· 거더에 대한 외관조사 결과 기존 손상들에 대해 보수 및 정비를 실시하여 양호한 상태이나, 거더 외부 일부구간에서 국부적인 변형이 조사되었다.

<표 3.3.9> 거더 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소	비고
거더 외부	변형	m	2.0	1	
거더 내부	상태양호	-	-	-	

<그림 3.3.6> 거더 손상분포도

<S1 G4> 거더 외부 변형	거더 내부 전경
	

나. 원인 및 대책

· 거더 외부에 발생한 강재변형은 공용중 하부 통행차량 충돌에 의해 발생한 것으로 판단되며, 주기적인 점검 등을 통한 주의관찰이 필요한 것으로 판단된다.

3.3.7 받침장치

가천교 안심방향의 받침장치는 포트받침으로 고정단 7기, 가동단 18기 총 25기가 설치되어 있다.

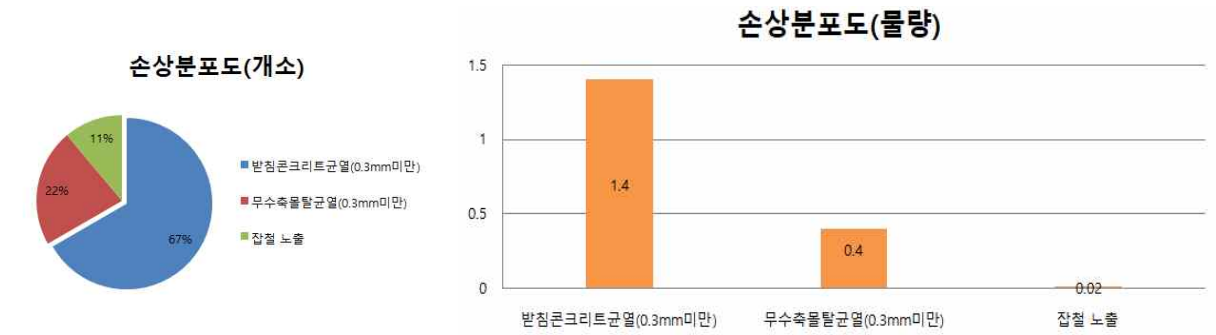
받침장치 전경(고정단)	받침장치 전경(가동단)

가. 손상현황

· 교량받침에 대한 조사 결과, 가동상태는 양호한 상태이다. 다만 폭 0.3mm미만의 받침 콘크리트 균열, 플레이트 도장박리 및 들뜸이 국부적으로 발생한 것으로 조사되었다.

<표 3.3.10> 교량받침 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소	비고
교량받침	받침콘크리트균열(cw=0.3㎜미만)	m	1.4	6	
	무수축몰탈균열(cw=0.3㎜미만)	m	0.4	2	
	잡철 노출	㎡	0.02	1	



<그림 3.3.7> 교량받침 손상분포도

<A2-SH3> 잡철 노출

<P1-SH4> 받침콘크리트 균열(cw=0.3㎜미만)

<P3-SH6> 무수축몰탈 균열(cw=0.3㎜미만)

<P3-SH7> 받침콘크리트 균열(cw=0.3㎜미만)

나. 원인 및 대책

· 교량받침의 주요손상은 받침콘크리트 및 무수축몰탈 균열, 잡철 노출 등이 조사되었고, 손상부는 장기공용에 의한 열화 및 건조수축에 의한 손상으로 추정되며, 현재 경미한 상태로 주기적인 점검 및 주의관찰을 통한 유지관리가 필요할 것으로 판단된다.

다. 연단거리 검토

· 교량 받침은 상부구조로부터 하중 등의 집중하중을 받는 곳이고 또한 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침장치 앵커볼트에서 정부(楨部)연단까지의 거리가 작으면, 고정단에서는 전단면에서 받침면이 파손되는 경우가 있고, 또한 가동단에서는 받침이 벗어나 거더가 낙교 할 수도 있다. 따라서 본 과업에서는 도로교 설계기준에 준하여 실제 연단거리와 설계 연단거리를 비교.검토하였다.

- 거더의 경간길이 100m이하 : 연단거리(S) = 200 + 5 × L
- 거더의 경간길이 100m이상 : 연단거리(S) = 300 + 4 × L

여기서, L : 지간길이 (m)

- S1 : L = 50.0m → S = 200 + 5 × 50.0cm = 450mm
- S2∽S5 : L = 60.0m → S = 200 + 5 × 60.0cm = 500mm

<표 3.3.11> 받침장치 연단거리 측정결과

구분	연단거리(㎝)							지간길이 (m)	최소연단거리 (㎜)	비고
	SH1	SH2	SH3	SH4	SH5	SH6	SH7			
A1	600	550	595	595				50	450	O.K
P1	1050	1050	1050	1000				60	500	O.K
P2	1010	950	960	960				60	500	O.K
P3	700	710	700	710	750	805	780	60	500	O.K
P4	850	770	850					60	500	O.K
A2	650	600	680					60	500	O.K

라. 받침장치 가동 여유량 검토

· 설계시 받침의 이동량은 온도변화, 활하중, 크리프, 건조수축, 부가여유량 및 설치여유량 등을 고려하여 산정하나, 금회 조사에서는 교량의 공용년수가 20년 이상 경과되었으므로 크리프 및 건조수축 의한 변화는 거의 종결된 것으로 간주하여 온도변화에 의한 이동량을 검토하였다. 받침장치 가동여유량에 대한 검토는『도로교설계기준』에 따라 측정일 온도에서 설계검토 최저, 최고온도까지 수축 및 신장거동에 대한 받침장치의 부가여유량을 검토하였다.

<표 3.3.12> 받침장치의 이동량 산정시 온도변화 및 선팽창 계수

교량의 종류	온도변화		선팽창계수
	보통지방	한랭 지방	
PSC교, RC교	- 5℃ ~ + 35℃	- 15℃ ~ + 35℃	1.0×10^{-5}
강교(상로교)	**- 10**℃ ~ **+ 40**℃	- 20℃ ~ + 40℃	1.2×10^{-5}
강교(하로교 및 강바닥판교)	- 10℃ ~ + 50℃	- 20℃ ~ + 40℃	1.2×10^{-5}

- 조사시 온도 : 2019년 05월 15일 가동량 측정시 외기온도 ⇒ 22.7℃
- 검토 온도 : -10℃ ~ +40℃ (강교일 경우)

◎ 받침장치 여유량 산정

- 온도에 의한 이동량 : $\Delta \ell t = \alpha \times \Delta T \times \ell$
- 선팽창계수(강교) : $\alpha = 1.2 \times 10^{-5}$
- 온도범위 : ΔT = 22.7℃ - (-10℃) = 32.7℃ (최대 수축시, 동절기)
  40.0℃ - 22.7℃ = 17.3℃ (최대 신장시, 하절기)
- 적용 경간 길이 (ℓ) = 50.0m(S1), 60.0m(S2~S5)

<표 3.3.13> 받침장치의 이동량 검토결과

위 치	구 분	설계 이동량 (㎜)	실측 이동량 (㎜)	여유량(㎜)		온도변화에 의한 이동량		판 정
				신장	수축	신장	수축	
A1	SH1	±100	0	100.0	100.0	22.8	43.2	O.K
	SH2		0	100.0	100.0	22.8	43.2	O.K
	SH3		0	100.0	100.0	22.8	43.2	O.K
	SH4		0	100.0	100.0	22.8	43.2	O.K
P1	SH1	±75	0	75.0	75.0	12.5	23.5	O.K
	SH2		0	75.0	75.0	12.5	23.5	O.K
	SH3		-5.0	80.0	70.0	12.5	23.5	O.K
	SH4		-5.0	80.0	70.0	12.5	23.5	O.K
P2	SH1	고정단	-	-	-	-	-	-
	SH2		-	-	-	-	-	-
	SH3		-	-	-	-	-	-
	SH4		-	-	-	-	-	-
P3(전)	SH1	±75	30.0	45.0	105.0	12.5	23.5	O.K
	SH2		20.0	55.0	95.0	12.5	23.5	O.K
	SH3		35.0	40.0	110.0	12.5	23.5	O.K
	SH4		40.0	35.0	115.0	12.5	23.5	O.K
P3(후)	SH5	±75	0	75.0	75.0	12.5	23.5	O.K
	SH6		0	75.0	75.0	12.5	23.5	O.K
	SH7		0	75.0	75.0	12.5	23.5	O.K
P4	SH1	고정단	-	-	-	-	-	-
	SH2		-	-	-	-	-	-
	SH3		-	-	-	-	-	-
A2	SH1	±75	45.0	30.0	120.0	12.5	23.5	O.K
	SH2		40.0	35.0	115.0	12.5	23.5	O.K
	SH3		40.0	35.0	115.0	12.5	23.5	O.K

※ 실측 이동량은 고정단(P2, P4)을 기준으로 신장시(+), 수축시(-)로 명기.

· 받침장치의 이동량 검토결과, 모든 받침에서 여유량을 확보하고 있는 것으로 검토되었으며, 주기적인 점검 및 주의관찰을 통한 유지관리가 필요할 것으로 사료된다.

3.3.8 교대 및 교각

가천교 안심방향의 교대 기초 형식은 강관말뚝기초와 구체는 역T형 구조이며, 교각기초는 말뚝기초+직접기초이며, 다주식 라멘형으로 시공되어있다.

교대 전경	교각 전경

가. 손상현황

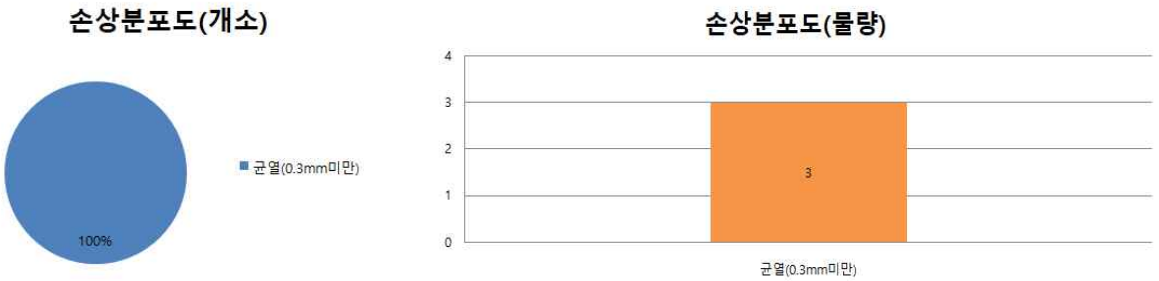
· 교대 조사결과 균열(cw=0.3mm미만) 등의 손상이 조사되었다.

· 교각 조사결과, 균열(cw=0.3mm미만) 및 망상균열, 긁힘에 의한 손상, 누수로 인한 체수흔적, 조류배설물 퇴적, 표면열화 등의 손상이 조사되었다.

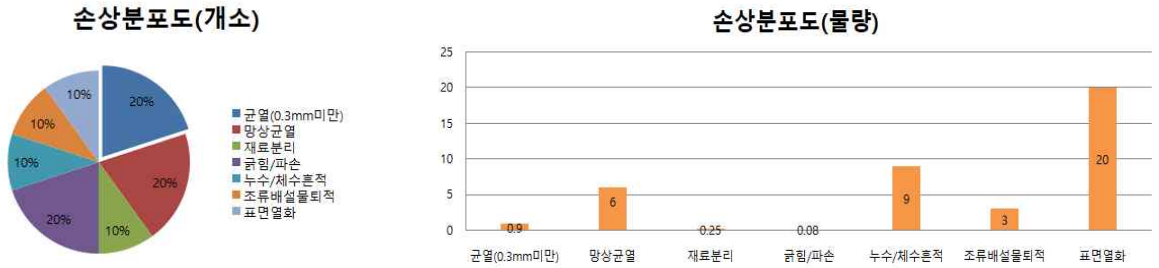
· 기 진단과 비교시 균열에 대해 일부 보수를 실시하여 다소 감소하였으나, 교각 망상균열의 경우 금회 조사시 추가 발생한 것으로 확인되었다.

<표 3.3.14> 교대 및 교각 손상물량표

구분	손상내용	단위	물량	개소	비고
교대	균열(cw=0.3mm미만)	m	3.0	4	
교각	균열(cw=0.3mm미만)	m	0.9	2	
	망상균열	㎡	6.0	2	
	재료분리	㎡	0.25	1	
	긁힘 및 파손	㎡	0.08	2	
	누수 및 체수흔적	㎡	9.0	1	
	조류배설물 퇴적	㎡	3.0	1	
	표면열화	㎡	20	1	



<그림 3.3.8> 교대 손상분포도



<그림 3.3.9> 교각 손상분포도

A1 균열 (cw=0.3㎜미만)	P1 코핑부 균열 (cw=0.3㎜미만)

P2 기둥부 망상균열	P2 기둥부 긁힘

나. 원인 및 대책

· 교대 및 교각에 발생한 균열, 망상균열은 건조수축에 의한 비 구조적인 손상으로 경미한 수준이나 내구성 확보를 위해 표면처리가 필요하며, 체수흔적은 상부 신축이음 누수에 의한 2차 손상으로 상부구조와 연계한 정비 등이 요구된다. 이 외 손상인 긁힘, 조류 배설물 퇴적, 재료분리, 표면열화 등에 대해서도 적절한 보수 및 정비가 필요하다.

3.4 외관조사 총괄표

3.4.1 손상현황표(범물방향)

<표 3.4.1> 외관조사 손상현황 총괄표(범물방향)

구분		손상 내용	단위	물량	개소	비고
교면포장		상태양호	-	-	-	
방호벽 및 중앙분리대		균열부 백태	㎡	0.12	4	
		균열 (CW=0.3mm 미만)	m	12.1	25	
배수시설		배수관 누수	EA	-	3	
		배수관 막힘	EA	-	2	
신축이음		후타재 균열(0.3mm미만)	m	16.0	36	
		본체 하부 고무재 손상(P3)	m	0.2	1	
바닥판		균열(0.3mm미만)	m	14.0	14	
		박락 및 철근노출	㎡	0.04	1	
		표면열화	㎡	5.0	1	
거더	외부	상태양호	-	-	-	
	내부	상태양호	-	-	-	
교량받침		받침콘크리트균열(cw=0.3㎜미만)	m	1.3	5	
		Plate 도장박리/들뜸	㎡	0.01	1	
교대		실란트 파손	m	2.0	1	
교각		균열(cw=0.3mm미만)	m	15.0	9	
		망상균열	㎡	11.0	5	
		긁힘	㎡	0.1	1	
		누수 및 체수흔적	㎡	8.0	3	
		조류배설물 퇴적	㎡	3.0	1	
		표면열화	㎡	20.0	1	

3.4.2 이전 점검과의 비교(범물방향)

가. 손상물량 비교표

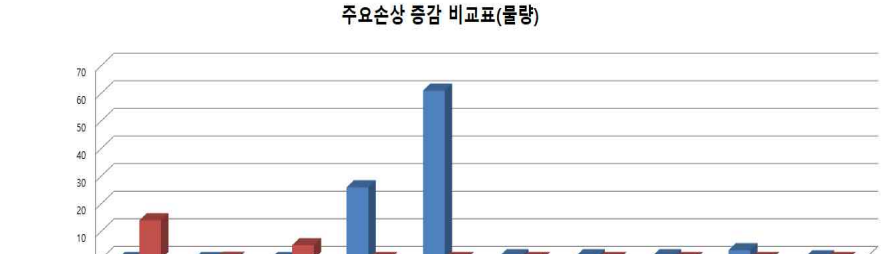
<표 3.4.2> 이전 점검과의 손상물량 비교표(범물방향)

구분		손상내용	단위	2017년 진단		금회		증,감 (🡅,🡇)	비고
				물량	개소	물량	개소		
교면포장		포장균열	m	4.0	1	-	-	4.0 🡇	감소(보수)
		패임	㎡	0.3	1	-	-	0.3 🡇	감소(보수)
난간 및 방호벽		균열(CW=0.3mm 이상)	m	18.0	9	-	-	18.0 🡇	감소(보수)
		균열(CW=0.3mm 미만)	m	41.8	36	12.1	25	29.74 🡇	감소(보수)
		균열부 백태	㎡	0.9	3	0.12	4	0.78 🡇	감소(보수)
		백태	㎡	0.86	10	-	-	0.86 🡇	감소(보수)
배수시설		배수관 누수	EA	-	1	-	3	🡅 2	증가(신규)
		배수관 막힘	EA	-	-	-	2	🡅 2	증가(신규)
신축이음		후타재 균열(0.3mm미만)	m	43.4	66	16.0	36	27.4 🡇	감소(보수)
		하부 고무재손상(P3)	m	0.2	1	0.2	1	-	감소(보수)
		토사퇴적	m	3.5	3	-	-	3.5 🡇	감소(보수)
		차수판 볼트 탈락	EA	-	3	-	-	3 🡇	감소(보수)
바닥판		균열 (CW=0.3mm 미만)	m	-	-	14.0	14	🡅 14.0	증가(신규)
		박락 및 철근노출	㎡	-	-	0.04	1	🡅 0.04	증가(신규)
		표면열화	㎡	-	-	5.0	1	🡅 5.0	증가(신규)
		백태	㎡	26.0	3	-	-	26.0 🡇	감소(보수)
거더	외부	상태양호	-	-	-	-	-	-	감소(보수)
	내부	실링처리 미흡	m	61.0	61	-	-	61.0 🡇	감소(보수)
		점검등 덮개 탈락	EA	-	1	-	-	1 🡇	감소(보수)
		점검등 없음	EA	-	1	-	-	1 🡇	감소(보수)
		점검등 파손	EA	-	1	-	-	1 🡇	감소(보수)
		체수/부식	㎡	3.2	2.0	-	-	3.2 🡇	감소(보수)
		체수 흔적	㎡	0.6	1.0	-	-	0.6 🡇	감소(보수)
교량받침		받침콘크리트 균열 (cw=0.3㎜미만)	m	-	-	1.3	5	🡅 1.3	증가(신규)
		Plate 도장박리/들뜸	㎡	-	-	0.01	1	🡅 0.01	증가(신규)
		부식	㎡	0.02	2	-	-	0.02 🡇	감소(보수)
교대		실란트 파손	m	-	-	2.0	1	🡅 2.0	증가(신규)
		균열(cw=0.3㎜미만)	m	1.25	1	-	-	1.25 🡇	감소(보수)
		부착물 덮개탈락	EA	-	4	-	-	4 🡇	감소(보수)
교각		균열(cw=0.3mm미만)	m	24.8	17	15.0	9	9.8 🡇	감소(보수)
		망상균열	㎡	-	-	11.0	5	🡅 11.0	증가(신규)
		긁힘	㎡	-	-	0.1	1	🡅 0.1	증가(신규)
		누수 및 체수흔적	㎡	23.75	4	8.0	3	15.75 🡇	감소(보수)
		조류배설물 퇴적	㎡	6.0	1	3.0	1	3.0 🡇	감소(보수)
		표면열화	㎡	-	-	20.0	1	🡅 20.0	증가(신규)

나. 결과분석

<표 3.4.3> 정밀점검에 따른 기점검과의 결과분석(범물방향)

<table>
<tr><th>구분</th><th>내 용</th><th>비고</th></tr>
<tr><td rowspan="3">주요
손상
증감
비교표</td><td>

<table>
<tr><th></th><th>교면포장 균열</th><th>교면포장 파임</th><th>방호벽 균열(CW=0.3 mm 이상)</th><th>방호벽 균열(CW=0.3 mm 미만)</th><th>방호벽 균열부 백태</th><th>방호벽 백태</th><th>배수관 누수</th><th>배수관 막힘</th><th>신축이음 후타재 균열(0.3mm 미만)</th><th>신축이음 하부 고무재손상</th><th>신축이음 토사퇴적</th><th>자수판 볼트 탈락</th></tr>
<tr><td>17년 정밀안전진단</td><td>4</td><td>0.3</td><td>18</td><td>41.8</td><td>0.9</td><td>0.86</td><td>1</td><td>0</td><td>43.4</td><td>0.2</td><td>3.5</td><td>3</td></tr>
<tr><td>19년 정밀점검</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>12.1</td><td>0.12</td><td>0</td><td>3</td><td>2</td><td>16</td><td>0.2</td><td>0</td><td>0</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td>


<table>
<tr><th></th><th>바닥판 균열 (CW=0.3mm 미만)</th><th>바닥판 박락 및 철근노출</th><th>바닥판 표면열화</th><th>바닥판 백태</th><th>거더내부 실링처리 미흡</th><th>거더내부 점검등 멸개 탈락</th><th>거더내부 점검등 없음</th><th>거더내부 점검등 파손</th><th>거더내부 체수/부식</th><th>거더내부 체수 흔적</th></tr>
<tr><td>17년 정밀안전진단</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>26</td><td>61</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>3.2</td><td>0.6</td></tr>
<tr><td>19년 정밀점검</td><td>14</td><td>0.04</td><td>5</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td>

<table>
<tr><th></th><th>받침콘크리트 균열 (cw=0.3mm미만)</th><th>받침 Plate 도장박리/들뜸</th><th>받침 부식</th><th>교대 실란트 파손</th><th>교대 균열(cw=0.3 mm미만)</th><th>교대 부착물 멸개탈락</th><th>교각 균열(cw=0.3 mm미만)</th><th>교각 망상균열</th><th>교각 균팀</th><th>교각 누수 및 체수흔적</th><th>교각 조류배설물 퇴적</th><th>교각 표면열화</th></tr>
<tr><td>17년 정밀안전진단</td><td>0</td><td>0</td><td>0.02</td><td>0</td><td>1.25</td><td>4</td><td>24.8</td><td>0</td><td>0</td><td>23.75</td><td>6</td><td>0</td></tr>
<tr><td>19년 정밀점검</td><td>1.3</td><td>0.01</td><td>0</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>15</td><td>11</td><td>0.1</td><td>8</td><td>3</td><td>20</td></tr>
</table>
</td><td></td></tr>
<tr><td>결과분석</td><td>• 기 진단대비 손상이 대부분 감소한 반면 일부 손상인 바닥판 균열, 받침콘크리트 균열 등은 증가하였다. 현재 구조적 손상은 발생되지 않았으며, 장기공용에 의한 열화 및 기점검시 조사누락 등에 따른 비구조적 손상이 추가 조사됨
• 기 조사된 손상들은 다소 경미한 수준이며 보수 및 보강 후 주기적인 점검을 통한 손상의 진전여부 확인 등 지속적인 주의관찰이 필요할 것으로 사료됨</td><td></td></tr>
</table>

3.4.3 손상현황표(안심방향)

<표 3.4.4> 외관조사 손상현황 총괄표(안심방향)

구분		손상 내용	단위	물량	개소	비고
교면포장		아스콘 균열	m	12.0	2	
		아스콘 파손	㎡	0.9	7	
난간 및 방호벽		균열부 백태	㎡	0.16	4	
		균열 (CW=0.3mm 미만)	m	48.6	98	
		단차	m	1.5	1	
배수시설		배수관 누수	EA	-	2	
		배수관 탈락	EA	-	1	
		배수구 막힘	EA	-	2	
신축이음		후타재 균열(0.3mm미만)	m	5.5	11	
		후타재 파손	㎡	0.04	1	
		본체 하부 고무재 손상(P3)	m	0.2	1	
		차수판 볼트 탈락	EA	1	1	
바닥판		균열 (CW=0.3mm 미만)	m	3.5	5	
거더	외부	변형	m	2.0	1	
	내부	상태양호	-	-	-	
교량받침		받침콘크리트균열(cw=0.3㎜미만)	m	1.4	6	
		무수축몰탈균열(cw=0.3㎜미만)	m	0.4	2	
		잡철 노출	㎡	0.02	1	
교대		균열 (cw=0.3mm미만)	m	3.0	4	
교각		균열(cw=0.3mm미만)	m	0.9	2	
		망상균열	㎡	6.0	2	
		재료분리	㎡	0.25	1	
		긁힘 및 파손	㎡	0.08	2	
		누수 및 체수흔적	㎡	9.0	1	
		조류배설물 퇴적	㎡	3.0	1	
		표면열화	㎡	20	1	

3.4.4 이전 점검과의 비교(안심방향)

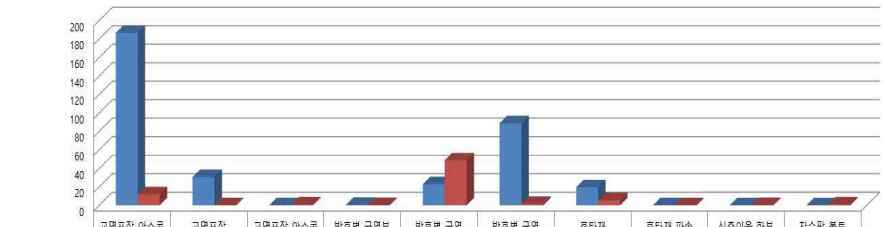
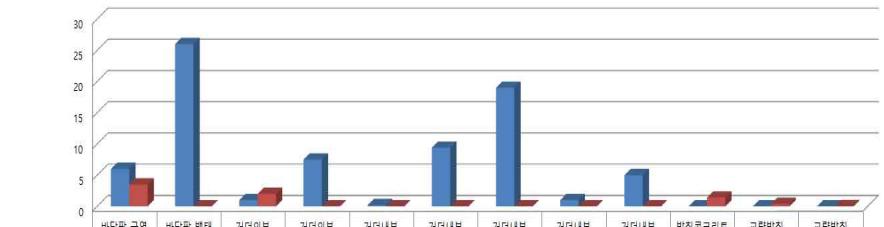
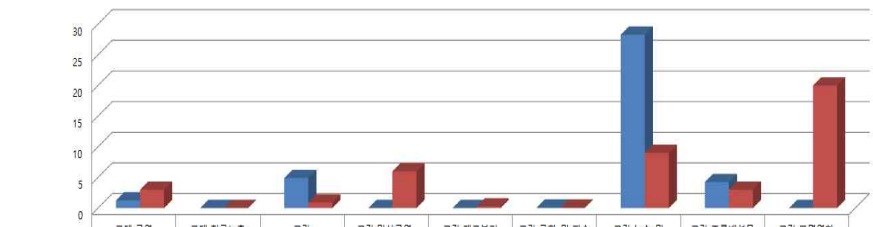
가. 손상물량 비교표

<표 3.4.5> 이전 점검과의 손상물량 비교표(안심방향)

구분		손상내용	단위	2017년 진단		금회		증,감 (⬆,⬇)	비고
				물량	개소	물량	개소		
교면포장		아스콘 균열	m	186.5	13	12.0	2	174.5 ⬇	감소(보수)
		망상균열	㎡	30.5	2	-	-	30.5 ⬇	감소(보수)
		아스콘 파손	㎡	-	-	0.9	7	⬆ 0.9	증가(미보수)
난간 및 방호벽		균열부 백태	㎡	0.5	5	0.16	4	0.34 ⬇	감소(보수)
		균열(CW=0.3mm 미만)	m	22.8	19	48.6	98	⬆ 25.8	증가(신규)
		균열(CW=0.3mm 이상)	m	88.7	58	1.5	1	87.2 ⬇	감소(보수)
배수시설		상태양호	-	-	-	-	-	-	감소(보수)
신축이음		후타재균열(0.3mm미만)	m	19.5	39	5.5	11	14.0 ⬇	감소(보수)
		후타재 파손	㎡	-	-	0.04	1	⬆ 0.04	증가(신규)
		하부 고무재 손상(P3)	m	-	-	0.2	1	⬆ 0.2	증가(신규)
		차수판 볼트 탈락	EA	-	-	1	1	⬆ 1	증가(신규)
바닥판		균열 (CW=0.3mm 미만)	m	6.0	6	3.5	5	⬆ 2.5	증가(신규)
		백태	㎡	26.0	3	-	-	26.0 ⬇	감소(보수)
거더	외부	변형	m	1.0	1	2.0	1	⬆ 1.0	증가(기존)
		도장긁힘	㎡	7.5	2	-	-	7.5 ⬇	감소(보수)
	내부	도장박락, 부식	㎡	0.2	1	-	-	0.2 ⬇	감소(보수)
		조류배설물	㎡	9.4	4	-	-	9.4 ⬇	감소(보수)
		실링처리 미흡	m	19.0	19	-	-	19.0 ⬇	감소(보수)
		점검등 덮개파손	EA	1.0	1	-	-	1.0 ⬇	감소(보수)
		점검등 파손	EA	5.0	5	-	-	5.0 ⬇	감소(보수)
교량받침		받침콘크리트균열 (cw=0.3㎜미만)	m	-	-	1.4	6	⬆ 1.4	증가(신규)
		몰탈균열(cw=0.3㎜미만)	m	-	-	0.4	2	⬆ 0.4	증가(신규)
		잡철 노출	㎡	-	-	0.02	1	⬆ 0.02	증가(신규)
교대		균열 (cw=0.3mm미만)	m	1.25	3	3.0	4	⬆ 1.75	증가(신규)
		철근노출	㎡	0.01	1	-	-	0.01 ⬇	감소(보수)
교각		균열(cw=0.3mm미만)	m	4.9	4	0.9	2	4.0 ⬇	감소(보수)
		망상균열	㎡	-	-	6.0	2	⬆ 6.0	증가(신규)
		재료분리	㎡	-	-	0.25	1	⬆ 0.25	증가(신규)
		긁힘 및 파손	㎡	0.09	1	0.08	2	0.01 ⬇	감소(보수)
		누수 및 체수흔적	㎡	28.29	6	9.0	1	19.29 ⬇	감소(보수)
		조류배설물 퇴적	㎡	4.25	2	3.0	1	1.25 ⬇	감소(보수)
		표면열화	㎡	-	-	20	1	⬆ 2.0	증가(신규)

나. 결과분석

<표 3.4.6> 정밀점검에 따른 기점검과의 결과분석(안심방향)

구분	내 용	비고
주요 손상 증감 비교표	주요손상 증감 비교표(물량)  교면포장 아스콘 균열 / 교면포장 망상균열 / 교면포장 아스콘 파손 / 방호벽 균열부 백태 / 방호벽 균열 (CW=0.3mm 미만) / 방호벽 균열 (CW=0.3mm 이상) / 후타재 균열(0.3mm미만) / 후타재 파손 / 신축이음 하부 고무재 손상 / 차수판 볼트 탈락 17년 정밀안전진단: 186.5 / 30.5 / 0 / 0.5 / 22.8 / 88.7 / 19.5 / 0 / 0 / 0 19년 정밀점검: 12 / 0 / 0.9 / 0.16 / 48.6 / 1.5 / 5.5 / 0.04 / 0.2 / 1	
	주요손상 증감 비교표(물량)  바닥판 균열 (CW=0.3mm 미만) / 바닥판 백태 / 거더외부 변형 / 거더외부 도장균열 / 거더내부 도장박락, 부식 / 거더내부 조류배설물 / 거더내부 실링처리 미흡 / 거더내부 점검등 덮개파손 / 거더내부 점검등 파손 / 받침콘크리트 균열(cw=0.3mm미만) / 교량받침 몰탈균열(cw=0.3mm미만) / 교량받침 접철 노출 17년 정밀안전진단: 6 / 26 / 1 / 7.5 / 0.2 / 9.4 / 19 / 1 / 5 / 0 / 0 / 0 19년 정밀점검: 3.5 / 0 / 2 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0 / 0 / 1.4 / 0.4 / 0.02	
	주요손상 증감 비교표(물량)  교대 균열 (cw=0.3mm미만) / 교대 철근노출 / 교각 균열(cw=0.3mm 미만) / 교각 망상균열 / 교각 재료분리 / 교각 균열 및 파손 / 교각 누수 및 체수흔적 / 교각 조류배설물 퇴적 / 교각 표면열화 17년 정밀안전진단: 1.25 / 0.01 / 4.9 / 0 / 0 / 0.09 / 28.29 / 4.25 / 0 19년 정밀점검: 3 / 0 / 0.9 / 6 / 0.25 / 0.08 / 9 / 3 / 20	
결과분석	• 기 진단대비 손상이 대부분 감소한 반면 일부 손상인 교대 및 교각 균열 등은 증가하였다. 현재 구조적 손상은 발생되지 않았으며, 장기공용에 의한 열화 및 기점검시 조사누락 등에 따른 비구조적 손상이 추가 조사됨 • 기 조사된 손상들은 다소 경미한 수준이며 보수 및 보강 후 주기적인 점검을 통한 손상의 진전여부 확인 등 지속적인 주의관찰이 필요할 것으로 사료됨	

3.5 시험 및 측정

3.5.1 개요

교량 구조물의 내구성 저하의 대표적인 현상은 콘크리트 탄산화, 철근부식, 균열, 강도저하, 표면 노후화, 부재의 큰 변형, 동결융해, 누수 등의 현상으로 분류된다. 철근의 부식과 콘크리트의 균열은 독립된 원인에 의해 나타나는 것이 아니고, 그 밖의 열화 현상을 일으키는 원인과도 복합적으로 관계되고 있다.

재료시험은 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강의 판정을 하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물의 재료시험에 의해서 향후 열화 경향을 예측 및 예방하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

재료시험의 범위는 다음과 같다.

- 재료시험을 대상으로 하는 구조물은 콘크리트 구조물에 한한다.
- 재료시험은 구조체를 중심으로 수행한다.
- 재료시험은 조사 시점의 열화상태 뿐만 아니라 구조물의 이력, 주요환경, 열화원인을 조사하여 향후 열화손상 진행정도를 예측하고, 내용년수와 관련하여 종합적인 안전진단을 수행한다.
- 본 구조물의 재료시험 내용은 안전성평가를 위한 내구성 저하 유무를 확인하기 위한 조사 및 시험을 실시하였다.
- 향후 유지관리시 금회 재료시험 위치에서의 결과치를 활용하여 비교·분석할 수 있도록 재료시험 위치도를 수록하였다.

본 장에서는 콘크리트의 재료시험을 실시하여 외관조사 내용과 함께 구조물의 내구성과 사용성을 검토하고 상태평가, 보수·보강공법 및 유지관리 방안을 제시하기 위한 기초 자료로 활용할 수 있도록 하였으며, 재료시험의 주요 시험내용은 <표 3.4.1>～<표 3.4.3>에 정리하였다.

가. 재료시험 측정일자 및 조사위치

<표 3.5.1> 재료시험 측정일자 및 조사위치

구 분	일 자	조 사 위 치	사용장비
재료시험 및 측정	2019.05.7.~2019.05.09	하부구조 내구성 조사	도보조사
	2019.05.14.~2019.05.15	상부구조 내구성 조사	굴절점검차, 고소점검차

나. 재료시험 내용

<표 3.5.2> 재료시험 내용

구 분	조사 및 시험내용
1. 콘크리트 강도조사	• 비파괴 시험 장비와 코어채취를 이용하여 콘크리트 강도조사 • 슈미트 해머 사용 직전에 실내에서 테스트앤빌에 의해 교정한 후 반발경도 측정(테스트햄머의 반발경도 R은 80±2 범위에 측정됨)
2. 탄산화깊이측정	• 탄산화시험기를 이용하여 콘크리트 구조물의 탄산화 깊이를 측정 • 탄산화 속도계수를 산정

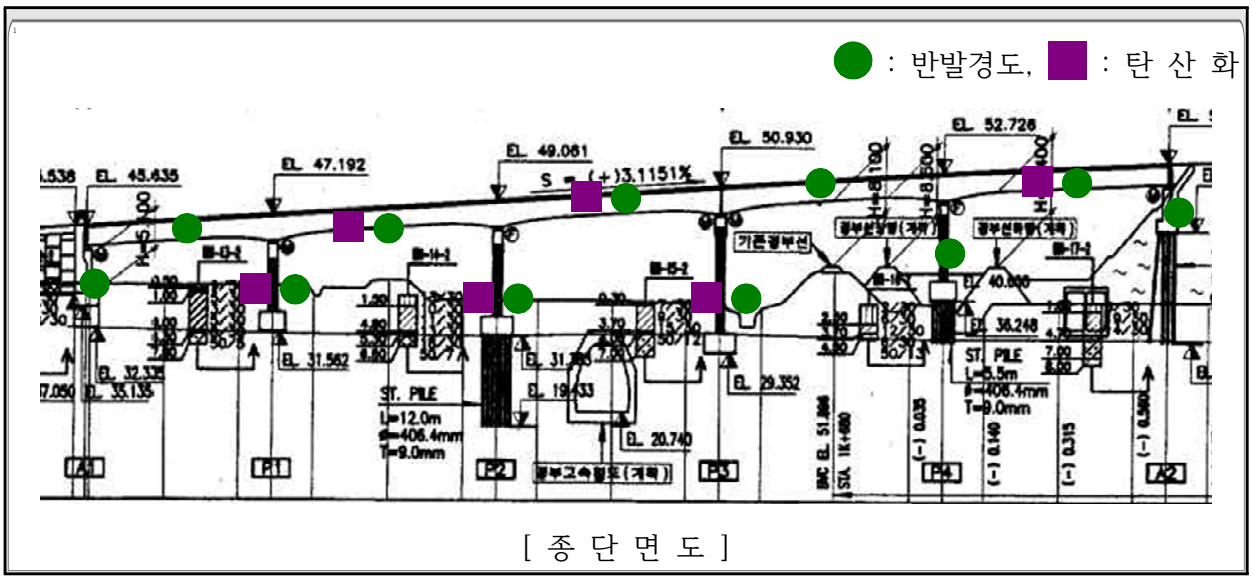
<표 3.5.3> 재료시험 기준 및 실시수량 (총연장 : 290.0m)

구분	세부지침 기준		기준수량	실시수량	비고
	상부구조	하부구조			
반발경도	◦ 50m마다	◦ 50m마다	상부 : 6개소 하부 : 6개소	상부 : 6개소 하부 : 6개소	
탄산화깊이	◦5경간 이내 : 2~3개소[주1)] ◦5경간 이상 : 3~6개소[주2)]		6개소	상부 : 3개소 하부 : 3개소	

주1) 교량 상부구조에서 최소 1개소 이상 실시
주2) 교량 상부구조에서 최소 2개소 이상 실시

반발경도

탄산화깊이



<그림 3.5.1> 콘크리트 재료시험 위치도

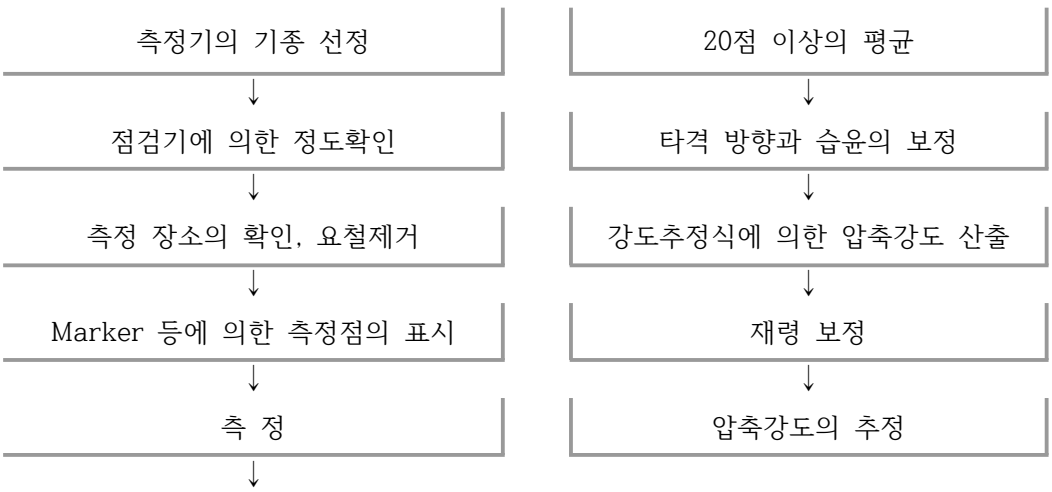
3.5.2 콘크리트 재료시험

가. 콘크리트 강도시험

1) 반발경도법

가) 개 요

콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여 이 측정치로부터 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사방법이다. 반발경도를 구하는 방법으로는 슈미트 해머(Schmidt Hammer)법이 가장 널리 사용되는데, 슈미트 해머는 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(f_c')와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.



<그림 3.5.2> 반발경도법에 의한 압축강도 추정 흐름도

나) 반발경도(R)

측정개소에 대해서 타격점 상호간의 간격 3cm를 표준으로 종, 횡으로 선을 그어 직교되는 20점을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균값을 구한다. 산술평균값에 대해 각 반발경도의 값이 ±20%의 범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도 R을 결정한다.

다) 보정반발경도(Ro)

보정반발경도 Ro은 다음과 같이 측정경도 R에 보정 값을 더한 값으로 한다.

◦ Ro = R + ΔR1 + ΔR2 + ΔR3 식 (3.4.1)

여기서, ΔR1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR2 : 압축응력에 따른 보정값

ΔR3 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

(1) 타격방향에 따른 보정값

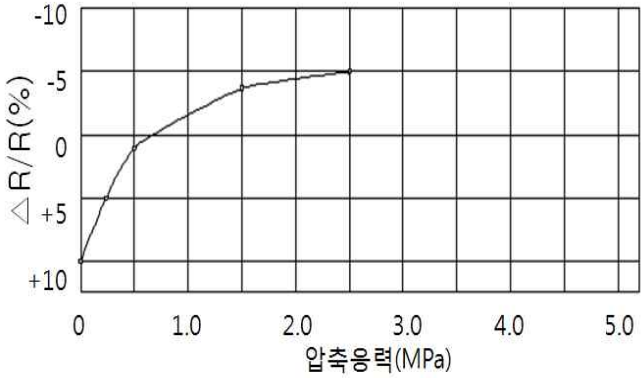
수평방향의 타격에 의한 측정치가 안정된 값을 나타내지만 타격방향이 다른 경우에는 반발치를 보정해 주어야 한다. 하향타격(-90°)의 경우에는 슈미트해머 내부의 해머중량에 의해서 실제보다 반동량이 작아지므로 (+)값으로 수정해 주고, 상향의 타격(+90°)의 경우에는 반대현상에 의해서 (-)값으로 수정해 주어야 한다. 타격방향에 따른 보정계수는 다음과 같다.

<표 3.5.4> 타격방향에 따른 보정계수

반발경도	보정값				비고
	+90°	+45°	-45°	-90°	
10			+2.4	+3.2	상향수직타격 +90° 하향수직타격 -90°
20	-5.4	-3.5	+2.5	+3.4	
30	-4.7	-3.1	+2.3	+3.1	
40	-3.4	-2.6	+2.0	+2.7	
50	-3.1	-2.1	+1.5	+2.2	
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	

(2) 압축응력에 따른 반발경도의 보정

타격방향과 직각방향으로 압축응력을 받는 부재는 압축응력이 커짐에 따라 반발경도에 의한 압축강도가 실제보다 커진다는 사실이 시험결과 입증되었다. 그 크기는 대략 압축응력이 0.1㎫인 경우 ΔR2 = -0.015R, 0.25㎫인 경우 ΔR2 = -0.05R이다.



<그림 3.5.3> 압축응력에 따른 반발경도의 보정곡선

(3) 콘크리트 습윤상태에 따른 보정

콘크리트 표면이 습윤상태에 있으면 건조상태 보다 반발도가 작게 나오게 된다. 따라서, 습하고 타격의 흔적이 있는 경우를 기준으로 ΔR3 = +3, 완전 습윤상태에서는 건조상태를 기준으로 ΔR3 = +5를 적용한다.

라) 압축강도의 추정

보정반발경도 R_0로부터 압축강도(F_c)의 상관관계를 도출한 다음 식을 사용하였다. 적용된 제안식들은 다음과 같다.

(가) 보통콘크리트(fck=40㎫미만)

◦ 일본재료학회 (보통콘크리트)

$$F_C = -18.0 + 1.27R_o\,(\text{MPa})$$ 식 (3.4.2)

◦ 일본건축학회 (보통콘크리트)

$$F_C = (7.3R_o + 100)\times 0.1\,(\text{MPa})$$ 식 (3.4.3)

(나) 고강도콘크리트(fck=40㎫이상)

◦ 과학기술부(고강도콘크리트)

$$F_C = (15.2R_0 - 112.8)\times 0.1\,(\text{MPa})$$ 식 (3.4.4)

여기서, 과학기술부의 Ro = R × α

(α = 6.36 / t + 0.7) t : 28일보다 큰 재령일수

마) 28일 강도의 추정

수년이 경과한 콘크리트 구조물은 표면경도가 높기 때문에 식(3.4.5)과 같이 재령계수를 곱하여 압축강도를 추정한다. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α는 <표 3.4.5>과 같으며, 3,000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

◦ Fn = α.Fc 식 (3.4.5)

여기서, α 는 재령계수

<표 3.5.5> 재령계수 α 의 값

재령일	7	15	28	30	60	100	300	500	1000	3000
α	1.67	1.32	1.00	0.99	0.86	0.78	0.70	0.67	0.65	0.63

2) 반발경도시험 보고서

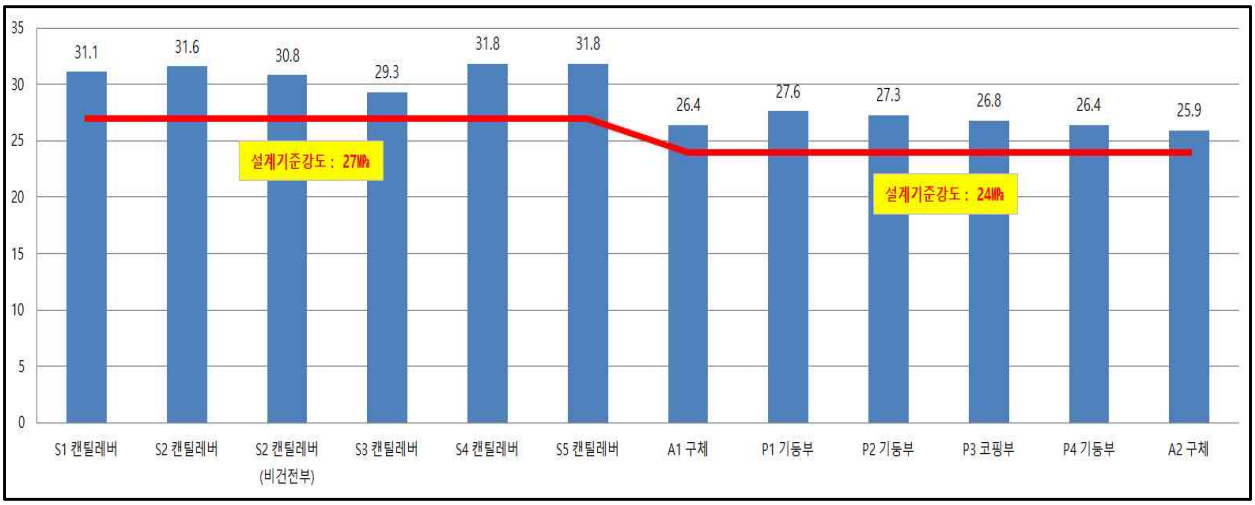
구 분	내 용
시험 일자, 시간	- 2019년 05월 07일 ~ 05월 09일, 09:00~17:00 - 2019년 05월 14일 ~ 05월 15일, 09:00~17:00
구조물에서 시험 영역의 위치	- 상·하부구조 교대 및 교각, 바닥판하면
시험 대상 구조물 또는 표본에 대한 설명	- 각 시험개소별 Data Sheet에 표기
콘크리트의 설계 조건	- 상부 : f_{ck}=27.0MPa - 하부 : f_{ck}=24.0MPa
시험 위치의 표면 상태	- 건전부 : 콘크리트의 표면상태는 균열/박리/화재 피해가 거의 없는 건전한 상태를 유지하고 있음 - 비건전부 : 콘크리트의 표면상태는 균열/누수/재료분리/박리/박락 등의 표면불량 상태임
시험시의 온도 및 콘크리트의 재령	- 20.2℃~22.7℃, 3,000일 이상
타격방향	- 바닥판하면 90˚ - 하부구조 0˚
콘크리트 내부 함수 상태	-콘크리트 표면은 표면건조상태이나 그라인딩을 통해 표면부를 제거하고 시험하였음
반발경도측정기 종류	-Proceq NR-Type

3) 비파괴 강도시험 결과

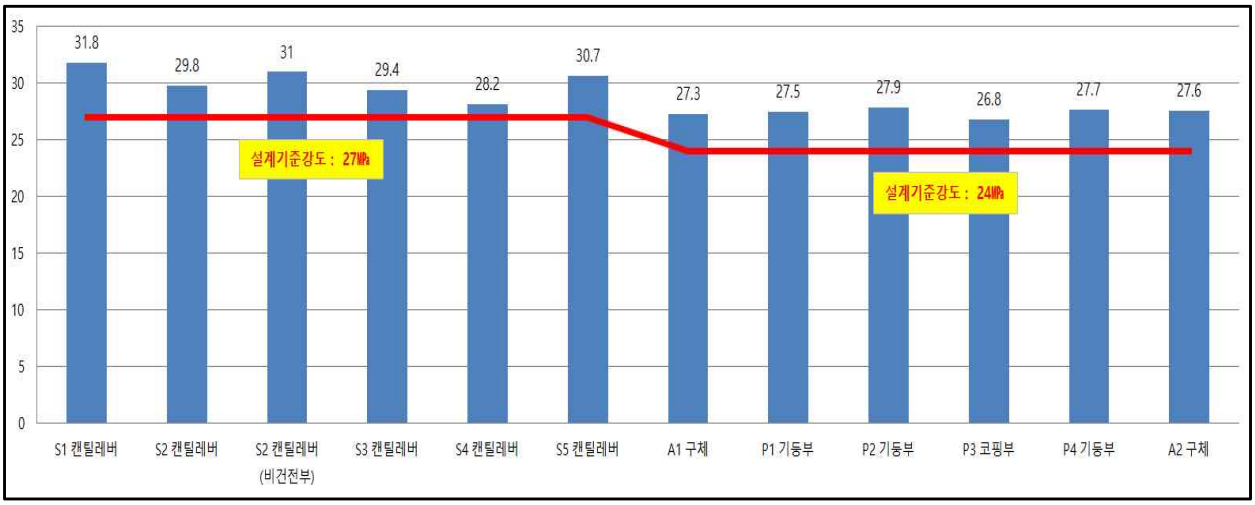
<표 3.5.6> 비파괴 강도시험 결과

시험위치			반발경도 (R0)	반발경도(㎫)		평균강도 (MPa)	설계강도 (㎫)	비고
				일본 재료학회	일본 건축학회			
범물 방향	상부 구조	S1 캔틸레버	53.70	31.7	30.4	31.1	27.0	115.2 %
		S2 캔틸레버	54.57	32.4	30.8	31.6		117.0 %
		S2 캔틸레버 (비건전부)	53.27	31.4	30.2	30.8		114.1 %
		S3 캔틸레버	50.90	29.5	29.1	29.3		108.5 %
		S4 캔틸레버	54.89	32.7	30.9	31.8		117.8 %
		S5 캔틸레버	54.89	32.7	30.9	31.8		117.8 %
	하부 구조	A1 구체	46.30	25.8	27.0	26.4	24.0	110.0 %
		P1 기둥부	48.20	27.3	27.9	27.6		115.0 %
		P2 기둥부	47.70	26.9	27.7	27.3		113.8 %
		P3 코핑부	46.80	26.2	27.3	26.8		111.7 %
		P4 기둥부	46.20	25.7	27.0	26.4		110.0 %
		A2 구체	45.40	25.1	26.6	25.9		107.9 %
안심 방향	상부 구조	S1 캔틸레버	54.78	32.6	30.9	31.8	27.0	117.8 %
		S2 캔틸레버	51.65	30.1	29.5	29.8		110.4 %
		S2 캔틸레버 (비건전부)	53.49	31.6	30.3	31.0		114.8 %
		S3 캔틸레버	51.00	29.6	29.2	29.4		108.9 %
		S4 캔틸레버	49.17	28.1	28.3	28.2		104.4 %
		S5 캔틸레버	53.16	31.3	30.1	30.7		113.7 %
	하부 구조	A1 구체	47.70	26.9	27.7	27.3	24.0	113.8 %
		P1 기둥부	47.90	27.1	27.8	27.5		114.6 %
		P2 기둥부	48.60	27.6	28.1	27.9		116.2 %
		P3 코핑부	46.90	26.3	27.3	26.8		111.7 %
		P4 기둥부	48.30	27.4	27.9	27.7		115.4 %
		A2 구체	48.20	27.3	27.9	27.6		115.0 %

4) 비파괴 강도시험 결과 분석



<그림 3.5.4> 범물방향 비파괴 시험결과



<그림 3.5.5> 안심방향 비파괴 시험결과

비파괴 강도시험 결과, 범물방향은 상부구조 29.3~31.8MPa, 하부구조 25.9~27.6MPa이며, 안심방향은 상부구조 28.2~31.8MPa 하부구조 26.8~27.9MPa로 측정되었다. 설계기준강도인 상부구조 27.0MPa, 하부구조 24.0 MPa과 비교시 설계기준강도 이상으로 측정되었다.

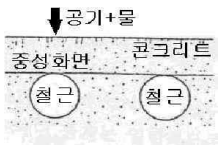
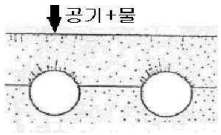
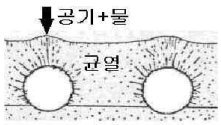
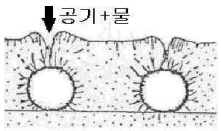
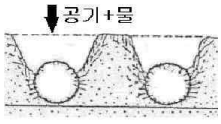
나. 탄산화 깊이 측정

1) 개요

탄산화는 굳은 콘크리트와 공기 중의 탄산가스가 반응하면서 알칼리성을 잃게 되는 현상을 일컫는다. 즉 건전한 콘크리트는 경화 시멘트풀의 수산화 화합물 중 약 25%를 차지하는 수산화칼슘(Ca(OH)2)의 영향으로 pH가 12~13인 강알칼리성을 나타내나 탄산가스가 수산화칼슘과 반응하면 탄산칼슘(CaCO3)으로 환원되면서 표면부터 콘크리트의 pH가 서서히 10 이하로 낮아지는 현상이다.

◦ $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$ 식 (3.4.6)

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

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 팽창한다. 균열이 표면까지 연장되어 공기와 수분의 침입이 격화되어 동해 등의 다른 열화도 유발시키며 녹물이 보임
STEP 4		철근 윗면의 피복이 부수어져 떨어지고, 철근의 노출이 시작 철근단면적이 감소
STEP 5		철근 윗면이 거의 없어지고 철근은 공기 중에 직접 노출 내구성능은 없음

<그림 3.5.6> 탄산화에 의한 철근부식 메커니즘

2) 탄산화 깊이 산정방법

대기 중의 탄산가스에 의한 콘크리트 표면으로부터 탄산화 진행을 경과시간의 함수로서 표현한 것이 탄산화 속도식이다. 탄산화가 정상상태에서 탄산가스의 콘크리트내부 확산에 따라 생긴다고 가정하면, 탄산화깊이(C)는 경과시간(t)의 평방근에 비례한다고 하는 식이 도출된다. 이것은 통상, √t 법으로 불리며, 가장 일반적으로 사용되고 있다.

◦ $C = A\sqrt{t}$ 식 (3.4.7)

위 식에서 계수 A는 탄산화속도 계수라고 하며, A의 수치가 큰 만큼 탄산화 속도가 크게 된다. 계수 A는 콘크리트의 재료적 요인 및 환경조건에 의해 정해지는 복잡한 함수이다. 지금까지 제안되고 있는 실용적인 제안식을 요약하면 다음과 같다.

<표 3.5.7> 탄산화 속도식 비교

구분	탄산화 속도식	비고
하마다식 (浜田式)	$t = \frac{0.3(1.15+3x)/(x-0.25)^2}{R} C^2$	x : 물-시멘트 비 R : 탄산화비율(시멘트, 골재, 활성제의 종류에 따른 계수)
키시타니식 (岸谷式)	$t = \frac{0.3(1.15+3x)}{R^2(x-0.25)^2} C^2 \quad (x \geq 0.6)$ $t = \frac{(7.2)}{R^2(4.6x-1.76)^2} C^2 \quad (x \leq 0.6)$	x : 물-시멘트 비 R : 탄산화비율(시멘트, 골재, 활성제의 종류에 따른 계수)
시로야마식 (白山式)	$t = \alpha\beta\gamma\delta\epsilon \frac{5000}{(x-38)^2} C^2$	x : 물-시멘트 비 $\alpha\beta\gamma\delta\epsilon$: 골재, 혼화제, 시멘트, 시공정도, 마감재, 실내외 등에 따른 계수
요다식 (依田式)	$t = \alpha\beta\gamma \frac{262}{(100x-18)^2} \times C^2$ (실내) $t = \alpha\beta\gamma \frac{155}{(100x-36)^2} \times C^2$ (실외)	x : 물-시멘트 비 α : 콘크리트 품질계수 β : 탄산화지연 효과 계수 γ : 환경조건(일반의 경우 1.0)

3) 경과년수에 따른 수명평가

탄산화에 의한 수명평가는 경과년수와 탄산화깊이와의 관계를 통해 탄산화속도 계수를 역추적하여 탄산화가 철근에 도달하는 시간을 수명으로 계산하였다. 앞서 언급한 식 $C = A\sqrt{t}$ 에서 준공 후 현재까지의 경과년수 t는 설계도로부터 구할 수 있고 탄산화깊이 C는 현장조사를 통하여 얻을 수 있으므로 탄산화속도 계수 A를 계산할 수 있다. 이에 따라 다음 식을 통하여 현재로부터 탄산화가 철근에 도달하는데 걸리는 시간을 추정할 수 있다.

◦ $t_d = \frac{D_c^2}{A^2} - t_0$ 식 (3.4.8)

여기서, t_d는 현재로부터 탄산화가 철근에 도달하는데 걸리는 시간, D_c는 현장조사로부터 얻어진 철근까지의 피복두께(㎜), A는 탄산화시험으로부터 계산된 계수, t_0는 현재의 구조물 경과시간이다.

4) 탄산화 진행상태에 따른 상태평가 기준

탄산화 진행 상태는 피복두께의 절대값이 클수록 탄산화 잔여 절대값이 커지므로 피복두께가 클수록 일반적으로 철근부식까지의 탄산화 도달시간에 대한 여유가 크다. 피복두께와 탄산화 측정 깊이를 고려한 철근 콘크리트 구조물에서의 탄산화 진행 상태에 대한 평가 기준은 다음과 같다.

<표 3.5.8> 탄산화 상태평가 기준

기준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	30㎜ 이상	탄산화에 의한 부식 발생우려 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) 탄산화시험 보고서

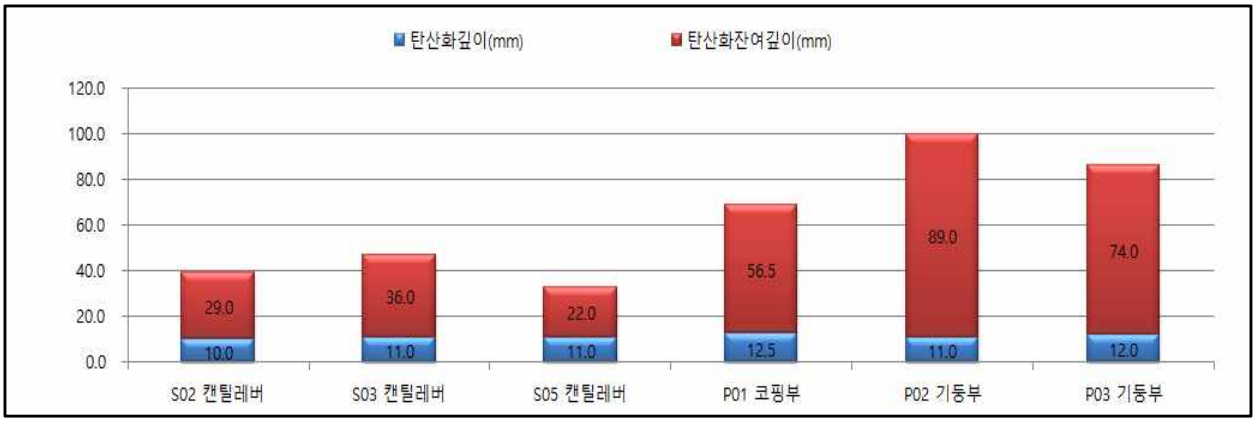
구 분	내 용
시험 일자, 시간	- 2019년 05월 07일 ~ 05월 09일, 09:00~17:00 - 2019년 05월 14일 ~ 05월 15일, 09:00~17:00
구조물에서 시험 영역의 위치	- 상·하부구조 교대 및 교각, 바닥판하면
시험 대상 구조물 또는 표본에 대한 설명	- 각 시험개소별 Data Sheet에 표기
시험면 종류	- 콘크리트 드릴링
시약	- 페놀프탈레인 용액
시험시의 온도	- 20.2℃ ~ 22.7℃
측정기구	- 버니어캘리퍼스
탄산화깊이측정 시험값	- 측정, 시험, 계측 성과표 참조

6) 탄산화 시험 결과

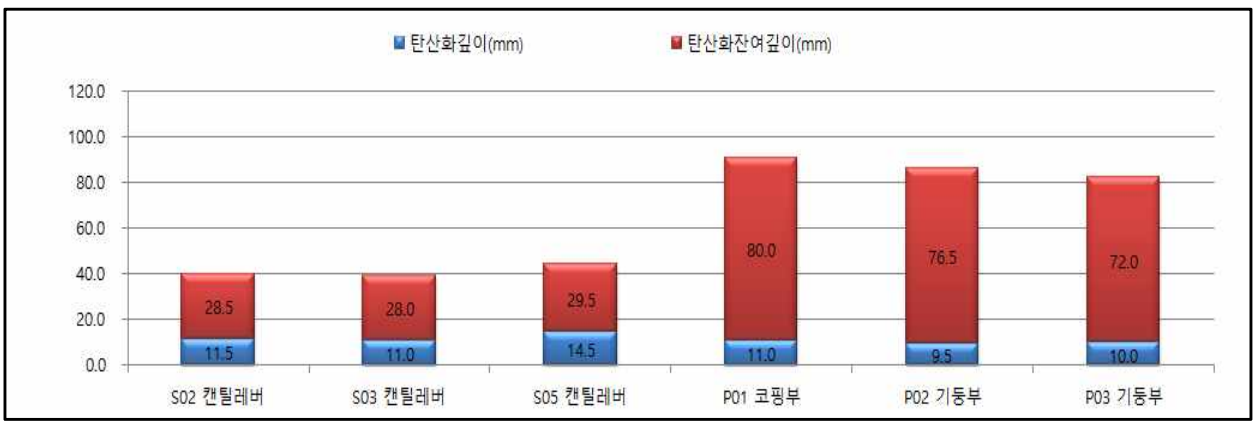
<표 3.5.9> 탄산화 시험 결과

시험위치			탄산화깊이 (㎜)	실측피복 (㎜)	잔여깊이 (㎜)	탄산화 속도계수(A)	잔존수명 예측(년)	상태 등급	비고
범물 방향	상부 구조	S2 켄틸레버	10.0	39.0	29.0	2.43	143.0	b	
		S3 켄틸레버	11.0	47.0	36.0	2.67	182.1	a	
		S5 켄틸레버	11.0	33.0	22.0	2.67	68.0	b	
	하부 구조	P1 코핑부	12.5	69.0	56.5	3.03	347.3	a	
		P2 기둥부	11.0	100.0	89.0	2.67	1,112.9	a	
		P3 기둥부	12.0	86.0	74.0	2.91	646.5	a	
안심 방향	상부 구조	S2 켄틸레버	11.5	40.0	28.5	2.79	104.4	b	
		S3 켄틸레버	11.0	39.0	28.0	2.67	110.1	b	
		S5 켄틸레버	14.5	44.0	29.5	3.52	70.4	b	
	하부 구조	P1 코핑부	11.0	91.0	80.0	2.67	899.2	a	
		P2 기둥부	9.5	86.0	76.5	2.30	1,102.4	a	
		P3 기둥부	10.0	82.0	72.0	2.43	881.3	a	

7) 탄산화 시험 결과 분석



<그림 3.5.7> 범물방향 탄산화 깊이 측정결과



<그림 3.5.8> 안심방향 탄산화 깊이 측정결과

금회 점검시 피복 두께는 철근탐사기를 사용하여 실측 피복두께를 측정하였고, 결과값은 부록에 첨부하였다. 탄산화 깊이에 대한 평가는 철근으로부터 탄산화의 남은 깊이를 지표로 하여 탄산화에 의한 강재부식 가능성을 나타낸 것으로 상부구조의 탄산화깊이는 범물방향 10.0~11.0㎜, 안심방향 11.0~14.5㎜로 측정되었으며, 잔여깊이가 20㎜이상, 하부구조의 탄산화 깊이는 범물방향 11.0~12.5㎜, 안심방향 9.5~11.0㎜로 잔여깊이가 20㎜이상으로 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있는 세부지침 기준 "b"등급으로 평가되었다.

3.5.3 내구성 평가 결과

가. 콘크리트 품질조사 및 시험 결과

1) 반발경도 강도

· 반발경도에 의한 비파괴 강도시험 결과, 상부구조 압축강도 28.2~31.8㎫, 하부구조 압축강도 25.9~27.9㎫로 측정되어, 가천교의 콘크리트압축강도는 양호한 것으로 판단된다.

2) 탄산화시험

· 탄산화깊이는 9.5~14.5㎜로 측정되었으며, 잔여깊이가 10㎜~30㎜미만으로 향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있는 세부지침 기준 "b"등급으로 평가되었다.

나. 전회차(2017년) 시험결과와의 비교 분석

1) 전회차 시험결과 비교

시험항목		2017년 정밀안전진단	2019년 정밀점검
반발경도법	범물 방향	·상부구조 : 26.6~30.1(MPa) ·하부구조 : 24.4~28.(MPa)	·상부구조 : 29.3~31.8(MPa) ·하부구조 : 25.9~27.6(MPa)
	안심 방향		·상부구조 : 28.2~31.8(MPa) ·하부구조 : 26.8~27.9(MPa)
탄산화 깊이	범물 방향	·측정 범위 : 8.5~14.8㎜ ·잔여깊이 : 20.0~30.0㎜	·측정 범위 : 10.0~12.5㎜ ·잔여깊이 : 22.0~89.0㎜
	안심 방향		·측정 범위 : 9.5~14.5㎜ ·잔여깊이 : 28.0~91.0㎜

2) 전회차 시험결과와의 비교 분석

· 전회차 정밀안전진단과 비교해본 콘크리트 압축강도시험 결과, 측정위치에 따른 편차가 존재하나 설계기준강도 비교시 내구성에는 문제가 없을 것으로 사료된다.

· 탄산화 시험의 전회차 비교결과, 측정위치에 따른 측정값의 차이는 있으나 전반적으로 탄산화에 의한 철근부식의 영향은 미미한 것으로 판단된다.