

제3장

현장조사 및 시험

3.1 개 요

3.2 외관조사

3.3 내구성 조사

3.4 내구성 조사 결과 요약

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

본 과업 대상 구조물인 발산1교(서울)는 서울춘천선 43.64km(이정) 지점의 강원도 홍천군 서면 마곡리 산129에 위치하며, 상부구조는 10경간 P.S.C BOX으로 구성되어 있다. 연장 535.0m (45.0+2@55.0+60.0+5@55.0+45.0m), 폭 12.6m로서 하부구조는 역T형 교대 및 중공트랙형 교각으로 모두 직접+말뚝기초로 시공된 상태이다.

과업은 대상 교량의 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단함을 목적으로 교량 부재 전체에 대하여 가능한 한 근접한 상태에서 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였고, 사전 현장답사를 통해 주변여건을 파악하여 교통통제에 따른 외관조사 일정계획을 수립하고, 기존 자료조사를 통하여 주요 손상을 파악한 후 외관조사 방향을 결정하여 교량의 외관상태를 조사하였다. 외관조사 시 교량 상부는 교통통제 후 교량점검차를 이용하여 가능한 근접하여 육안조사를 실시하였다.

【표 3.1】 외관조사 기간 및 조사현황

일 자	조사 내용	비 고
2016. 06. 22 ~ 2016. 07. 08	외관조사 실시	
교통통제 후 이동조사 및 점검차를 이용한 현장조사		
		

외관조사 범위는 주요 구조부재와 부부재로서 바닥판, 강재거더, 하부구조(교대 및 교각), 교량받침, 교면포장, 신축이음장치, 방호벽 및 중앙분리대, 배수시설 등의 현 상태를 조사하였고, “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2010. 12)”의 평가기준에 근거하여 구조물에 발생한 손상정도에 따라 등급 a~e의 5단계로 구분하여 판정하였다.

본문에서는 부재별로 외관조사 결과를 중심으로 수록하였으며, 비파괴 조사자료 등과 함께 구조물 안전성 평가 및 유지관리의 기초자료로 활용할 수 있도록 수행하였고, 외관조사망도는 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2010. 12)에 따라 작성하여 부록에 수록하였다.

【표 3.2】 자료검토 등을 통한 외관조사 방향

구 분	외관조사 방향
예비조사 및 자료검토 결과	• 바닥판 균열, 철근노출, 누수·백태 등의 발생 현황 • 하부구조의 균열, 망상균열, 박락, 오염 등의 발생 현황 • 교량받침의 이동량 측정, 받침물탈·블록 균열, 부식 등의 발생 현황 • 교면포장 균열, 패임, 포트홀, 소성변형, 마모 등 발생 현황 • 신축이음장치의 부식, 누수, 후타재 균열 등의 발생 현황 • 방호벽 균열 및 망상균열 등의 발생 현황

3.1.1 부재별 외관조사 항목

【표 3.3】 부재별 조사내용

부재구분		진단부위		진단방법
상부구조	상판부	교면포장(아스팔트, 콘크리트)		육안
		배수시설(배수구, 배수관)		육안
		방호벽(강재, 콘크리트) 및 연석		육안
		바닥판 (철근콘크리트, 강바닥판)	손상(균열, 탈락)	비파괴장비 및 육안
			열화(누수, 백태)	육안
		신축이음 (고무형, 강재형)	본체(강재, 고무재)	간단한 공기구, 육안
			후타재(콘크리트)	간단한 공기구, 육안
		교량받침 (강재, 고무재)	기능, 손상, 열화	간단한 공기구, 육안
	거더	철근콘크리트	중양부 손상, 결함, 열화	비파괴장비 및 육안
			받침부 손상, 결함, 열화	비파괴장비 및 육안
		프리스트레스트	중양부 손상, 결함, 열화	비파괴장비 및 육안
			받침부 손상, 결함, 열화	비파괴장비 및 육안
		강재	손상(균열, 처짐, 변형)	계측장비, 육안
			연결부 상태	육안
			열화(부식, 오염)	육안
			브레이싱, 가로보	육안
하부구조		교대 및 교각		비파괴장비 및 육안
		기초		육안, 설계·시공자료

가. 바닥판 및 하부구조 조사방향

【표 3.4】 바닥판·하부구조 조사방향

손상내용		발생원인	조사방향
바닥판 하 면	횡방향 균열	- 건조수축에 의한 균열 - 횡 균열, 간격재를 잇는 수축균열	- 균열폭, 방향 및 연속성 - 균열부 누수, 백태 유무
	망상균열	- 양생 중 진동유입 - 바닥판 열화 진행	- 균열폭, 방향 및 연속성 - 균열부 누수, 백태 유무
	누수, 백태	- 포장하부 바닥판 균열부 우수침투 - 상대적 습도가 높은 하천 직상부 수분유입	- 포장손상 상관성 - 유출 백태 진행성
교대 및 교각	균열 박락	- 건조수축, 수화열에 의한 균열 - 시공이음부 균열, 횡전단 균열 - 지압응력에 의한 손상	- 균열폭, 방향 및 연속성 - 균열의 사·종점 - 연단거리 확보 유무

나. 교면포장 등 상면 조사방향

【표 3.5】 상면 조사방향

손상내용	발생원인	조사방향
균열, 망상균열 등	- 포장 노후화 및 내구성 저하 - 국부적 응력집중 - 거더 직상부 휨응력 - 시공이음부	- 규모 및 위치 - 차량주행성 - 바닥판의 누수, 백태 발생
들뜸	- 노후화 및 내구성 저하 - 품질불량 및 전압부족, 동결융해, 염해	- 규모 - 바닥판의 누수, 백태 발생
소성변형	- 중차량 통행	- 규모
포트홀	- 아스콘혼합물 품질불량 및 전압부족 - 패칭 보수부위 접착력 부족	- 바닥판의 누수, 백태 발생
체수, 배수시설	- 청소불량(배수구 막힘) - 배수관 유실 및 길이부족	- 체수발생 위치 및 규모
신축이음 누수	- 고무재 손상	- 발생위치 및 규모 - 누수 발생 유무 - 하단 부재 부식 여부
신축이음 후타재 균열, 파손 등	- 중차량 통과 - 노후화 및 시공불량	- 발생위치 및 규모

다. 단면결함(박리, 박락, 철근노출, 재료분리) 조사방향

【표 3.6】 단면결함 조사방향

손상내용	발생원인	조사방향
철근 비노출 손상 재료분리, 박리, 박락, 들뜸 등	- 다짐불량 - 인위적인 손상 - 탄산화로 인한 내부철근 부식	- 발생 규모 및 위치 - 청음조사
철근 노출 손상 재료분리 파손, 박락 등	- 피복두께 부족 - 내부철근 부식으로 인한 피복박리 - 인위적인 큰 단면 손상	- 발생 규모 및 위치 - 청음조사 - 부식으로 인한 철근단면 감소 여부

라. 주형 조사방향

【표 3.7】 주형 조사방향

손상내용		발생원인	조사방향
부재	변 형 단면손상	- 기 변형된 부재 사용 - 인위적인 절단, 충격(하중)	- 발생위치 및 규모 - 2차적인 손상발생 유무
용접부	용접누락	- 피복두께 부족, 철근노출, 부식	- 발생위치 및 규모 - 2차적인 손상발생 유무
	기공발생 언더컷 용접불량	- 용접전류, 용접속도 불량 - 미숙련자의 용접 - 용접자세 불량	
	균 열	- 용접불량 및 응력집중	
연결 볼트	누락 미조임 체결불량 길이부족 천공불량	- 연결부 제작오차로 인한 단차 발생 - 볼트 구멍 어긋남(불일치) - 다른 규격 볼트 사용 유무	- 발생위치 및 규모 - 2차적인 손상발생 유무
강재부식 및 도장박리		- 오랜 공용기간으로 인한 도장 열화 - 도막두께 부족 - 신축이음부 누수 및 빗물 유입	- 발생위치 및 규모 - 2차적인 손상발생 유무

마. 교량받침 조사방향

【표 3.8】 교량받침 조사방향

손상내용	발생원인	조사방향
가동 여유량 부족 및 밀착 발생 등	- 프리셋팅 불량 - 신축이음부 협착(교대 변위 등)	- 현 가동여유량 조사 - 발생 위치 및 개소 - 2차손상 발생 유무
연단부 및 받침 콘크리트 파손	- 받침장치 가동불량에 따른 전단파괴	- 교각 연단부 균열발생 여부 및 받침부 강재 변형 여부 관찰
고정앵커 볼트 미조임 및 길이부족 설치불량 등	- 볼트 나사선 청소불량 - 앵커 볼트 편심 시공 - 제작오차로 인한 조임시 하답과 밀착	- 발생 위치 및 개소 - 2차손상 발생 유무
녹 및 부식	- 오랜 공용기간으로 인한 도장열화 - 신축이음부 누수	- 발생 위치 및 개소
무수축 몰탈 균열 및 들뜸	- 신축이음부 누수에 의한 염해 - 건조수축, 이질재료간 온도차	- 발생 규모 및 위치 - 청음조사

3.1.2 상부구조

가. P.S.C BOX외부

P.S.C BOX외부 대한 외관조사 결과 일부 건조수축으로 인한 균열(c.w=0.3mm미만), 받침장치 결합시 거더의 수평이동의 구속 및 압출시공시 마찰에 의한 수평력, 불균등한 지압응력 등에 의한 박락이 조사되었다. 발생한 손상은 구조물의 내구성 및 사용성 확보를 위해 표면처리, 단면복구 등의 조치 후 지속적인 점검을 통한 유지관리를 실시해야 할 것으로 판단된다.

【표 3.9】 P.S.C BOX외부 손상현황

내 용	위치	원인	수 량	대책	비 고
박락	S1	시공미흡	0.20㎡	단면복구	
백태	S10	배수관 이음부 누수	0.16㎡	표면처리	
균열(cw=0.3mm미만)	S10	건조수축, 온도변화	4.0m	표면처리	

	
P.S.C BOX외부 전경	S1 P.S.C BOX외부 박락
	
S10 P.S.C BOX외부 균열(C.W=0.3mm미만)	S10 P.S.C BOX외부 백태

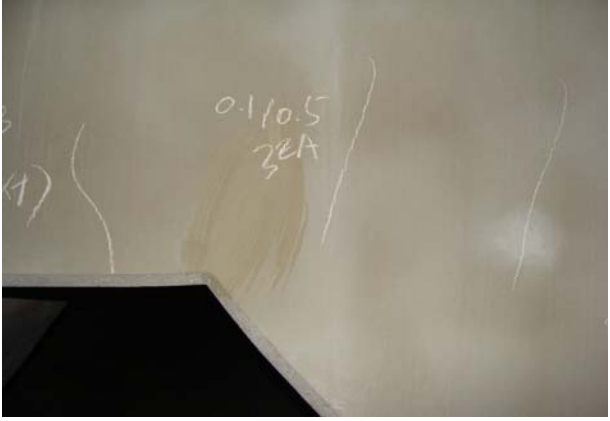
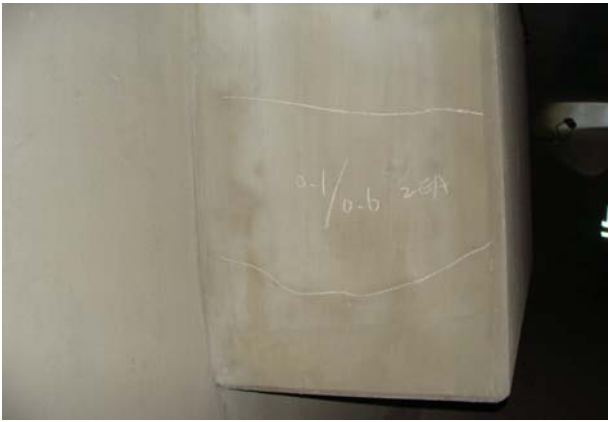
【사진 3.1】 P.S.C BOX외부 손상현황

나. P.S.C BOX내부

P.S.C BOX내부에 대한 외관조사 결과 정착구 마감부에 국부적으로 균열, 백태가 발생되었으며, 내부격벽에는 개구부 응력집중 및 높은 온도의 내부 수화열에 의한 수축작용으로 판단되는 균열이 조사되었다. 또한, 공용기간 증가로 인해 정착구 보강판 부식이 확인되었으나, 단기적은 보수조치를 요하는 손상들은 아닌 것으로 판단되어 지속적인 점검 및 관찰을 실시한 후 일괄 보수를 실시하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

【표 3.10】 P.S.C BOX내부 손상현황

내 용	위 치	원 인	수 량	대 책	비 고
균열	정착구 마감부, 내부격벽	건조수축	60.8m	주의관찰	
균열부 백태	정착구 마감부	시공미흡	1.2m	주의관찰	
백태	정착구 마감부	시공미흡	0.64㎡	주의관찰	
망상균열	내부 간벽	건조수축	3.0㎡	주의관찰	
부식	정착구 보강판	공용기간 증가	72EA	주의관찰	

	
P.S.C BOX내부 전경	내부격벽 균열(c.w=0.3mm미만)
	
정착구 보강판 부식	정착구 마감부 균열

【사진 3.2】 P.S.C BOX내부 손상현황

3.1.3 하부구조

가. 교대

발산1교(서울)의 교대는 역T형 구조로 기초형식은 강관말뚝+직접기초로 시공되어 있으며, 금번 외관조사 시 교대 구체 및 흙벽, 날개벽, 블록사면 등에 대한 조사를 실시하였다.

외관조사 결과, 교대 기울음 및 전도 부등침하 등 구조적 결함이 조사되지 않아 기초 상태는 큰 문제점이 없을 것으로 판단된다. 기 점검시 조사된 손상들의 보수가 시행된 상태이며, 교대 구체 및 흙벽에서 건조수축으로 인한 균열(c.w=0.3mm미만), 외측부의 우수유입으로 인한 표면열화 및 누수흔적, 구체 파손의 손상이 발생되어 표면처리 등의 보수를 실시하여 구조물의 내구성 및 안전성 확보해야 할 것으로 사료된다.

【표 3.11】 교대 손상현황

내 용	위 치	원 인	수 량	대 책	비 고
균열(cw=0.3mm미만)	구체 및 흙벽	건조수축	4.00m	표면처리	
파손	구체 및 흙벽	우수유입, 동결융해	0.20㎡	단면복구	
누수흔적, 표면열화	흙벽, 구체	우수유입	2.00㎡	표면처리	



【사진 3.3】 교대 손상현황

나. 교각

발산1교(서울)의 교각은 중공트랙형 구조로 기초형식은 직접기초로 시공되어 있으며, 교량 하부로는 국지도 86호선 및 위성골천이 횡단하고 있는 교량으로, 금번 외관조사 시 도보 및 굴절차를 이용하여 외관조사를 실시하였다.

교각에 대한 외관조사 결과, 건조수축 및 코핑 횡전단 작용에 의한 균열(c.w=0.3mm미만)이 전반적으로 코핑부에 발생되었으며, 기둥부에 시공초기 양생시 진동에 의한 망상균열이 조사되어 표면처리 등의 보수를 실시해야 할 것으로 판단된다.

【표 3.12】 교각 손상현황

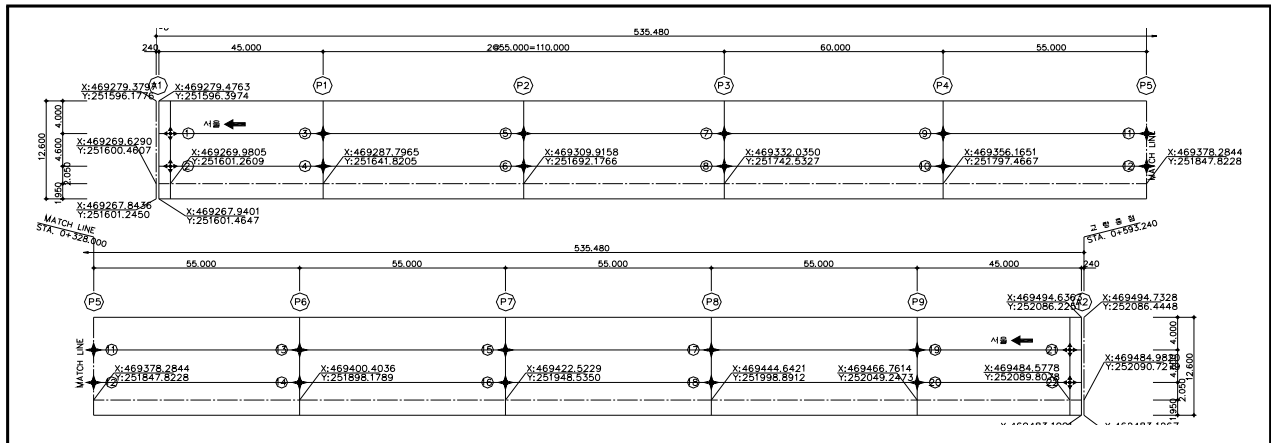
내 용	위 치	원 인	수 량	대 책	비 고
균열(cw=0.3mm미만)	기둥부	건조수축	15.1m	표면처리	
균열(cw=0.3mm이상)	P1, P4 기둥부	건조수축, 온도변화	1.4m	주입보수	
균열부 백태	P9 기둥부	균열부 우수유입	0.2m	표면처리	
백태	P9 기둥부	우수접촉	0.04㎡	표면처리	
파손	P2 기둥부	외부통격	0.04㎡	단면복구	
망상균열	P9 기둥부	건조수축, 온도변화	0.80㎡	표면처리	



【사진 3.4】 교각 손상현황

3.1.4 받침장치

본 발산1교(서울)의 교대는 ILM포트받침으로 이루어져 있으며 교각은 납면진 LRB받침으로 총 22개소가 시공되었으며, 받침장치 배치현황은 【그림 3.1】와 같다.



【그림 3.1】 받침장치 배치현황

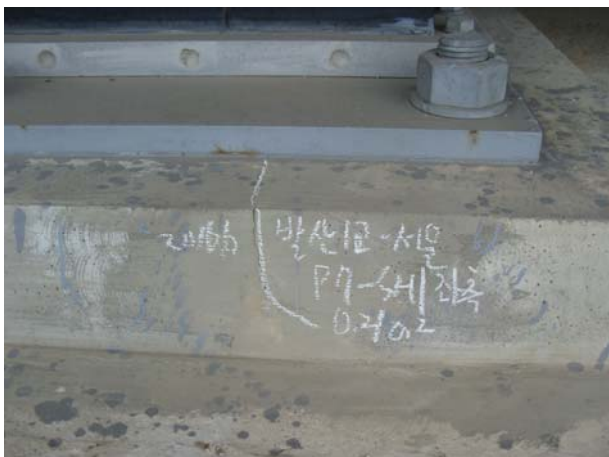
가. 외관조사 결과

교량 받침장치는 상부구조에 작용하는 하중을 하부구조에 전달하는 기능을 갖는 교량의 부속 장치로서 하중에 의해서 상부구조에 발생하는 변위와 온도변화 및 처짐에 의해 발생하는 교량의 변위, 변형에 대해서도 흡수 또는 저항하는 구조 요소이므로, 받침 본체의 기능상태, 신축유간, 편기상태 및 부식과 무수축몰탈 및 받침 콘크리트의 균열, 파손 등에 대해서도 정밀하게 조사를 시행 하였다.

외관조사 결과, 시공 초기 건조수축 및 시공오류로 인한 받침 콘크리트, 몰탈 균열, 볼트체결불량의 손상이 조사되었다. 발생한 결함은 수량이 미소하며, 받침장치의 기능상의 문제는 없는 것으로 판단되어, 주기적인 점검 및 관찰을 실시 후 손상의 진전여부를 확인 하여 보수해야 할 것으로 사료된다.

【표 3.13】 받침장치 손상현황

내 용	위 치	원 인	수 량	대 책	비 고
받침 콘크리트, 몰탈 균열	A2-SH1, 2	건조수축	3.25m	주의관찰	
볼트체결 불량	P6-SH1	시공오류	1EA	주의관찰	

	
P1 -SH 받침 전경	P5 - SH2 받침 전경
	
A2 -SH2 받침콘크리트 균열	P3 -SH1 받침몰탈 균열
	
P7 -SH1 받침몰탈 균열	P6 - SH1 볼트 체결 불량

【사진 3.5】 받침장치 손상현황

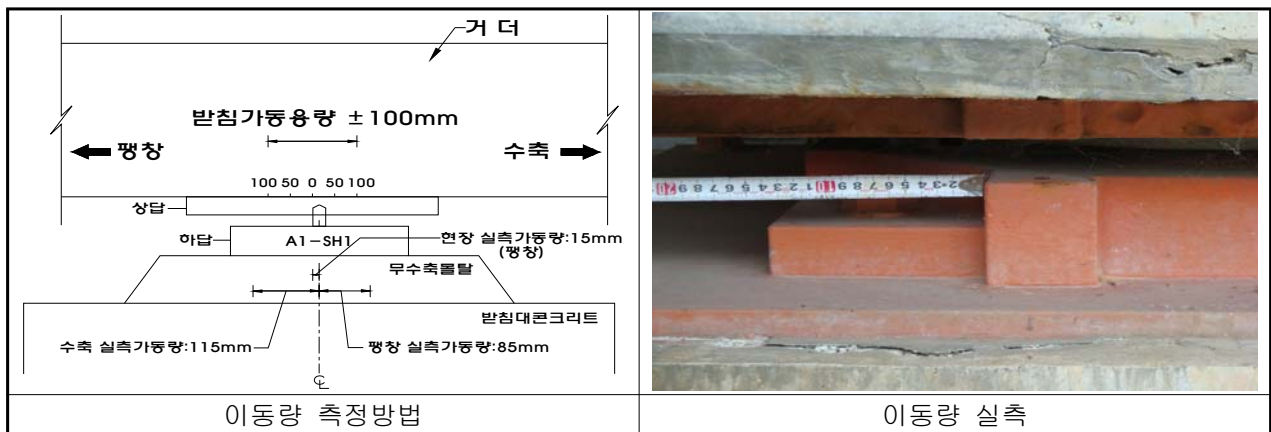
【표 3.14】 받침장치의 전경사진

A1	P1	P2	P3
			
SH1	SH1	SH1	SH1
			
SH2	SH2	SH2	SH2
P4	P5	P6	P7
			
SH1	SH1	SH1	SH1
			
SH2	SH2	SH2	SH2
P8	P9	A2	-
			
SH1	SH1	SH1	-
			
SH2	SH2	SH2	-

나. 받침장치 이동량 검토

발산1교의 받침장치에 대해 현재의 이동량을 실측하여 검토함으로써 이동량 부족으로 인한 받침장치의 기능저하를 방지하고자 하였다.

본 교량은 준공 후 7년 정도 공용 중인 PSCB 교량으로 각 받침장치에 대한 점검일 당시의 실측 이동량에 따른 신장 및 수축 여유량을 산정 하였으며, 그 결과 다음과 같다.



【사진 3.6】 받침장치 이동량 측정방법

【표 3.15】 받침장치 이동량 측정결과

단위(mm)

구 분		이동량		실측이동량		여유량		검토	비고
		교축	교축직각	교축	교축직각	교축	교축직각		
A1	SH1	±150	±50	15.0	0.0	135.0	50	양호	
	SH2	±150	±50	13.0	0.0	137.0	50	양호	
P1	SH1	-	-	5.0	0.0	-	-	양호	
	SH2	-	-	7.0	0.0	-	-	양호	
P2	SH1	-	-	3.0	0.0	-	-	양호	
	SH2	-	-	6.0	0.0	-	-	양호	
P3	SH1	-	-	3.0	0.0	-	-	양호	
	SH2	-	-	4.0	0.0	-	-	양호	

*이동량은 본 교량 설계도서에서 발체한 내용임.

【표 3.15】 받침장치 이동량 측정결과(계속)

단위(mm)

구 분		이동량		실측이동량		여유량		검토	비고
		교축	교축직각	교축	교축직각	교축	교축직각		
P4	SH1	-	-	5.0	0.0	-	-	양호	
	SH2	-	-	6.0	0.0	-	-	양호	
P5	SH1	-	-	33.0	0.0	-	-	양호	
	SH2	-	-	32.0	0.0	-	-	양호	
P6	SH1	-	-	10.0	0.0	-	-	양호	
	SH2	-	-	13.0	0.0	-	-	양호	
P7	SH1	-	-	18.0	0.0	-	-	양호	
	SH2	-	-	15.0	0.0	-	-	양호	
P8	SH1	-	-	3.0	0.0	-	-	양호	
	SH2	-	-	5.0	0.0	-	-	양호	
P9	SH1	-	-	2.0	0.0	-	-	양호	
	SH2	-	-	6.0	0.0	-	-	양호	
A2	SH1	±150	±50	5.5	0.0	144.5	50	양호	
	SH2	±150	±50	5.0	0.0	145.0	50	양호	

* 이동량은 본 교량 설계도서에서 발췌한 내용임.

1) 받침장치 이동량 측정결과

받침장치 이동량의 실측값과 계산값을 비교·검토한 결과, 현재 받침장치의 가동상태는 양호한 것으로 검토되었다. 추후 주기적으로 받침장치의 이동량을 측정하는 것은 교량의 유지관리에 도움이 될 것이다.

다. 받침장치 연단거리에 대한 조사

하부구조의 받침면은 상부구조로부터 집중하중을 받는 부위로 연단거리가 짧으면 구체 콘크리트가 파손되거나 심한 경우 주형이 낙교할 수도 있다. 따라서 상부구조의 길이에 따라 도로교설계기준에서는 최소값을 정해놓았으며 그 값은 다음과 같다.

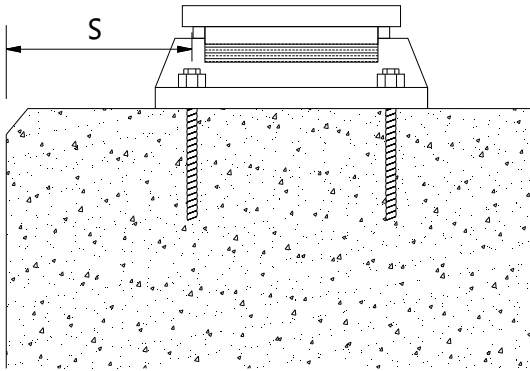
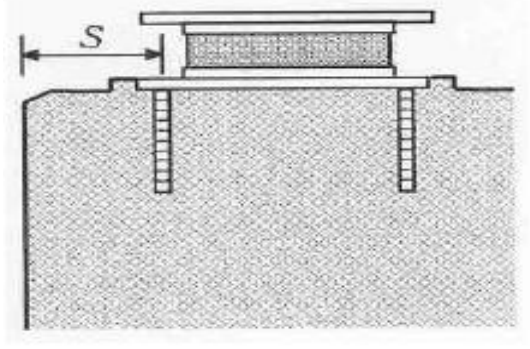
- 거더의 공간길이 100m 이하 : $S(\text{mm}) = 200 + 5 L$
- 거더의 공간길이 100m 이상 : $S(\text{mm}) = 300 + 4 L$

소요 연단거리 산출

$$S1, S10 (L=45.0) = 200 + 5 \times 45.0 = 425\text{mm}$$

$$S4 (L=60.0) = 200 + 5 \times 60.0 = 500\text{mm}$$

$$S2, S3, S5 \sim S9 (L=55.0) = 200 + 5 \times 55.0 = 475\text{mm}$$

	
연단거리 측정방법	연단거리 측정현황(A2)
	
연단거리 측정방법	연단거리 측정현황(P1)

【표 3.16】연단거리 측정결과

부 재	계산 연단 거리 (mm)	실측연단거리(mm)				비고
		SH1		SH2		
		서울	춘천	서울	춘천	
A1	425	-	570	-	560	양호
P1	475	1,090	1,200	1100	1180	양호
P2	475	1110	1180	1110	1190	양호
P3	500	1130	1150	1110	1190	양호
P4	475	1120	1200	1100	1180	양호
P5	475	1120	1180	1130	1160	양호
P6	475	1060	1170	1090	1180	양호
P7	475	1160	1120	1110	1160	양호
P8	475	1080	1200	1090	1190	양호
P9	475	1090	1200	1100	1170	양호
A2	425	600	-	580	-	양호

1) 연단거리 측정결과

연단거리 측정 결과 실측 연단거리가 계산 연단거리를 전체적으로 상회하고 있는 것으로 측정되어 도로교 설계기준을 만족하고 있는 것으로 검토되었다.

3.1.5 기타부재

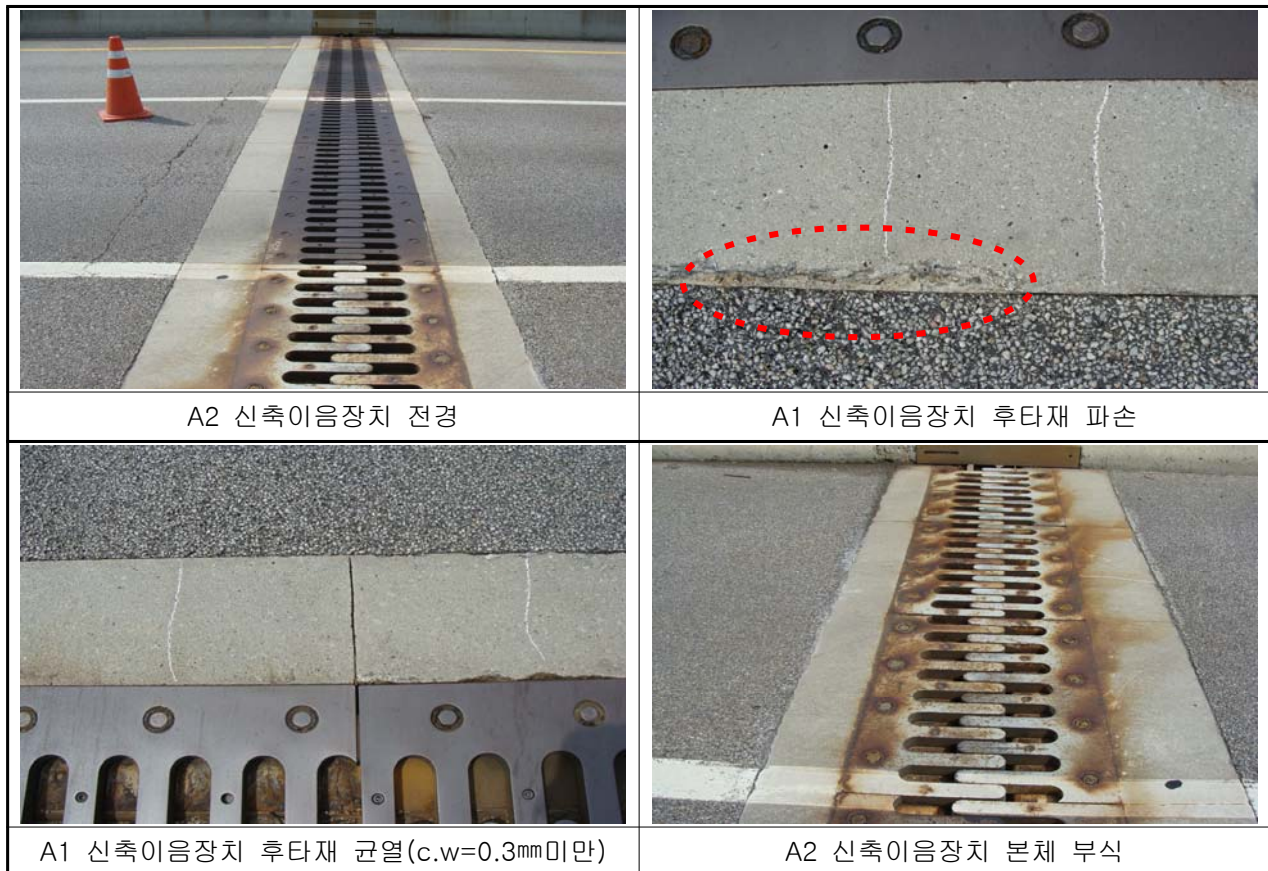
가. 신축이음장치

1) 외관조사 결과

신축이음 장치는 온도변화, 크리프, 건조수축 및 처짐 등에 의한 상부구조의 신축 또는 이동량을 흡수하고 교면의 평탄성을 유지하여 차량의 주행성을 확보하기 위한 부속장치로서 현장조사 시에 이러한 기능 저하여부, 내구성 측면, 차량 주행 안전성 등에 대해 중점적으로 조사하였다. 외관조사 결과, 공용기간 증가 및 지속적인 차량통행으로 인한 후타재 균열, 국부적인 후타재 파손, 신축이음 본체부식이 발생되었다.

【표 3.17】 신축이음장치 외관조사 결과

내 용	위 치	원 인	수 량	대 책	비 고
후타재 균열	A1, A2	장기공용 및 차륜하중	5.89m	주의관찰	
후타재 파손	A1	차륜하중	0.21㎡	주의관찰	
본체 부식	A1, A2	공용기간 증가	8.0m	주의관찰	



【사진 3.7】 신축이음장치 손상 현황

2) 신축이음장치 유간측정

본 조사는 외기온도차 및 처짐에 의해 발생하는 교량신축량이 신축이음장치 가동여유량 이내인가를 조사하기 위함으로 받침장치 가동량 계산, 가동량 조사방법 및 조사결과는 다음과 같다.

- 신축이음장치의 설계신축량은 기본신축량(온도신축+건조수축+크리프)과 여유량의 합계
- 신축량이라 함은 보의 가동단에서 움직임을 나타내는 용어로서, 신축이음 장치의 설계 시(설치)를 기준으로 한다. 본 교량은 신축이음장치가 설치된 상태이며 콘크리트 건조수축이 끝난 것으로 가정하고 신축량 계산은 건조수축, 크리프 값을 제외하고 단순히 온도수축량, 설치여유량, 보의 처짐에 의한 이동량, 부가 여유량만을 계산하였다.



【사진 3.8】 유간 측정 현황

① 온도에 의한 가동량

$$\text{콘크리트교 온도에 의한 수축가동량} = \Delta l_t = \Delta T \cdot \alpha \cdot l$$

여기서, ΔT = 온도변화(한랭지방 : 콘크리트교 $-15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$)

$$\alpha = \text{선팽창계수 } 1.0 \times 10^{-5}, l = \text{수축들보 길이}$$

$$\text{강교 온도에 의한 가동량} = \Delta l_t = \Delta T \cdot \alpha \cdot l$$

$$\alpha = \text{선팽창계수 } 1.2 \times 10^{-5}, l = \text{수축들보 길이}$$

여기서, ΔT = 온도변화(한랭지방 : 강교 $-20^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$)

② 여유량

$$\text{신축장 } 100\text{m 미만} = (\Delta l_t + \Delta l_r) \times 0.2 + 10$$

$$\text{설치여유량}(10\text{mm}) + \text{부가여유량}(20\text{mm}) + \text{처짐에 의한 가동량}(\Delta l_t)$$

$\Delta l_t = h_i \times \theta_i$ 여기서

h_i = 받침의 회전중심에서 보의 중립축까지의 높이(2h/3)

θ_i = 보의 회전각 (콘크리트교 : 1/300, 강교 : 1/150)

발산1교(서울) 거더 높이 22.56m

$$\Delta l_t = (5.12/3) \times (1/300) \times 1,000$$

$$\therefore \text{여유량 계산(신축장 길이 100m 이상)} = 10 + 20 + 5.69 = 35.69\text{mm}$$

③ 온도에 의한 신축량 계산

- 측정날짜 : 2016년 06월 21일

- 측정시 온도 : 24.6℃

【표 3.18】 온도에 의한 신장량

구 분	신 장 량
A1	$\Delta l_t = \Delta T \cdot \alpha \cdot l = 10.4 \times 1.0 \times 10^{-5} \times 535,000 = 55.64\text{mm}$
A2	$\Delta l_t = \Delta T \cdot \alpha \cdot l = 10.4 \times 1.0 \times 10^{-5} \times 535,000 = 55.64\text{mm}$

【표 3.19】 온도에 의한 수축량

구 분	수 축 량
A1	$\Delta l_t = \Delta T \cdot \alpha \cdot l = 39.6 \times 1.0 \times 10^{-5} \times 535,000 = 211.86\text{mm}$
A2	$\Delta l_t = \Delta T \cdot \alpha \cdot l = 39.6 \times 1.0 \times 10^{-5} \times 535,000 = 211.86\text{mm}$

④ 여유량 계산

【표 3.20】 신장량에 따른 여유량

구 분	신 장 량
A1(100m이상)	여유량 = $(2.56 \times 2/3) \times (1/300) \times 1,000 = (5.69) + 10 + 20 = 35.69\text{mm}$
A2(100m이상)	여유량 = $(2.56 \times 2/3) \times (1/300) \times 1,000 = (5.69) + 10 + 20 = 35.69\text{mm}$

【표 3.21】 수축량에 따른 여유량

구 분	수 축 량
A1(100m이상)	여유량 = $(2.56 \times 2/3) \times (1/300) \times 1,000 = (5.69) + 10 + 20 = 35.69\text{mm}$
A2(100m이상)	여유량 = $(2.56 \times 2/3) \times (1/300) \times 1,000 = (5.69) + 10 + 20 = 35.69\text{mm}$

⑤ 신축이음장치 유간 검토

【표 3.22】 신축이음장치 유간거리(A1)

구분	온도에 의한 가동량 (mm)		처짐에 의한 가동량 (mm)	설치 여유량 (mm)	부가 여유량 (mm)	총가동량 (mm)		측정치 (mm)		비고
	신장량	수축량				신장량	수축량	측정 위치	잔여 여유량	
A1	55.64	211.86	5.69	10.00	20.00	91.33	247.55	교면	140.0	
	55.64	211.86	5.69	10.00	20.00	91.33	247.55	슬래브	295.0	
	55.64	211.86	5.69	10.00	20.00	91.33	247.55	거더	760.0	

【표 3.23】 신축이음장치 유간거리(A2)

구분	온도에 의한 가동량 (mm)		처짐에 의한 가동량 (mm)	설치 여유량 (mm)	부가 여유량 (mm)	총가동량 (mm)		측정치 (mm)		비고
	신장량	수축량				신장량	수축량	측정 위치	잔여 여유량	
A2	55.64	211.86	5.69	10.00	20.00	91.33	247.55	교면	148.0	
	55.64	211.86	5.69	10.00	20.00	91.33	247.55	슬래브	310.0	
	55.64	211.86	5.69	10.00	20.00	91.33	247.55	거더	620.0	

신축이음장치(A1, A2)의 유간은 140.0~760.0mm(신축이음장치 기준)의 여유량을 확보하고 있는 양호한 상태인 것으로 측정되었다.

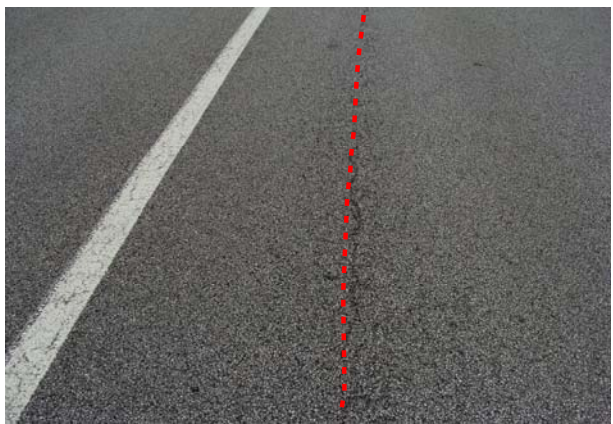
나. 교면포장

발산1교(서울)의 교면포장은 아스콘으로 시공되어 있으며, 차량이 운행중인 상태에서 최대한 접근이 가능한 범위까지 근접 육안조사를 통한 외관조사를 실시하였다.

외관조사 결과, 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되었으나, 공용기간 증가 및 차륜하중으로 인한 콘크리트 포장 균열, 마모, 포트홀이 발생한 상태이며, 팻칭(HPC)보수 등에 의한 보수조치가 요구된다.

【표 3.24】 교면포장 외관조사 결과

내 용	위 치	원 인	수 량	대 책	비 고
콘크리트 포장 균열	교면	건조수축 및 차륜하중	464.00m	팻칭(HPC)보수	
콘크리트 포장 마모	S6	건조수축 및 차륜하중	10.00㎡	팻칭(HPC)보수	
포트홀	S6~8, S10	건조수축 및 차륜하중	0.04㎡	팻칭(HPC)보수	

	
S9 콘크리트 포장 전경	S6 콘크리트 포장 마모
	
S7 콘크리트 포장 포트홀	S6 콘크리트 포장 균열

【사진 3.9】 교면포장 손상 현황

다. 배수시설

본 교량의 배수시설은 교면 배수구가 좌측 방호벽에 인접하여 총 28개소 설치되어 있으며, 배수파이프로 연결되어 하부로 배수되도록 시공되어 있다. 배수시설 조사 시 배수구 막힘과 배수파이프 길이부족, 곡관설치 여부 등에 대해 중점적으로 조사를 실시하였다.

외관조사 결과, 이물질 퇴적으로 인한 배수구 막힘이 1개소 조사되었으며, 교면의 물고임 등의 2차 손상을 방지하기 위하여 청소 등의 조치가 필요할 것으로 판단된다.

【표 3.25】 배수시설 외관조사 결과

내 용	위 치	원 인	수 량	대 책	비 고
배수구 막힘	S5	이물질 퇴적	1EA	청소	



【사진 3.10】 배수시설 손상 현황

라. 방호벽

방호벽은 사고 발생 시 차량의 낙하 및 추락을 방지하는 부재로서, 방호벽에 대한 현장조사 결과, 전반적으로 건조수축 및 온도변화 등에 의한 균열, 외부충격으로 인한 굽힘이 발생되었다. 조사된 손상들에 대하여 표면처리 등의 적절한 보수를 실시한다면 안전성 및 사용성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

【표 3.26】 방호벽 외관조사 결과

내 용	위 치	원 인	수 량	대 책	비 고
균열(c.w=0.3mm미만)	방호벽	건조수축	128.10m	표면처리	
긁힘	S8	외부충격	0.80㎡	주의관찰	

	
S6 방호벽 전경	S1 방호벽 균열(c.w=0.3mm미만)
	
S6 방호벽 균열(c.w=0.3mm미만)	S8 방호벽 긁힘

【사진 3.11】 방호벽 손상 현황

3.1.6 손상 수량 집계

【표 3.27】 손상수량 집계표

구 분		손상내용	손상수량	단위	비고
상부구조	P.S.C BOX 외부	· 박락 · 균열(cw=0.3mm미만) · 백태	0.20 0.16 4.00	m ² m m ²	
	P.S.C BOX 내부	· 균열(cw=0.3mm미만) · 균열부 백태 · 백태 · 망상균열 · 부식	60.80 1.20 0.64 3.00 72	m m m ² m ² EA	
하부구조	교대	· 균열(cw=0.3mm미만) · 파손 · 누수흔적, 표면열화	4.00 0.20 2.00	m m ² m ²	
	교각	· 균열(cw=0.3mm미만) · 균열(cw=0.3mm이상) · 균열부 백태 · 백태 · 파손 · 망상균열	15.10 1.40 0.20 0.04 0.04 0.80	m m m ² m ² m ² m ²	
받침장치		· 받침 콘크리트, 몰탈 균열 · 볼트체결 불량	3.25 1	m EA	
신축이음		· 후타재 균열 · 후타재 파손 · 본체부식	5.89 0.21 8.00	m m ² m	
교면포장		· 콘크리트 포장 균열 · 콘크리트 포장 마모 · 포트홀	464.00 10.00 0.04	m m ² m ²	
난간 및 방호벽		· 균열(cw=0.3mm미만) · 굽힘	128.10 0.80	m m ²	
배수시설		· 배수구 막힘	1	EA	

3.1.6 기존 점검 결과와 비교 · 분석

【표 3.28】 외관조사 결과 비교 · 분석

구 분	2014년 정밀점검	2016년 정밀점검
PSC BOX 외부	·백태 : 0.18㎡ ·균열(cw=0.2mm이하) : 8.5m ·박리 : 0.72㎡	·박락 : 0.20㎡ ·균열(cw=0.3mm미만) : 0.16m ·백태 : 4.00㎡
PSC BOX 내부	·정착구 보강판 부식 : 72개소 ·균열(cw=0.2mm이하) : 5.5m ·박리 : 0.6㎡ ·균열 및 백태 : 6.0m ·백태 : 2.18㎡	·균열(cw=0.3mm미만) : 60.80m ·균열부 백태 : 1.20m ·백태 : 0.64㎡ ·망상균열 : 3.00㎡ ·부식 : 72 EA
교대	·균열(cw=0.2mm이하) : 22.2m ·균열(cw=0.3mm이상) : 2.15m ·파손 : 0.24㎡ ·표면열화 : 3.71㎡	·균열(cw=0.3mm미만) : 4.00m ·파손 : 0.20㎡ ·누수흔적, 표면열화 : 2.00㎡
교각	·균열(cw=0.2mm이하) : 40.00m ·균열(cw=0.3mm이상) : 3.00m	·균열(cw=0.3mm미만) : 15.10m ·균열(cw=0.3mm이상) : 1.40m ·균열부 백태 : 0.20m ·백태 : 0.04㎡ ·파손 : 0.04㎡ ·망상균열 : 0.80㎡
받침장치	·받침콘크리트 균열 및 백태 : 0.05㎡	·받침 콘크리트, 몰탈 균열 : 3.25m ·볼트체결 불량 : 1EA
신축이음	·후타재 균열(cw=0.2mm이하) : 2.7m ·후타재 파손 : 0.21㎡	·후타재 균열 : 5.89m ·후타재 파손 : 0.21㎡ ·본체부식 : 8.00m
교면포장	·포트홀 : 0.13㎡	·콘크리트 포장 균열 : 464.00m ·콘크리트 포장 마모 : 10.00㎡ ·포트홀 : 0.04㎡
난간 및 방호벽	·철근노출 : 0.10m ·파손 : 0.05㎡	·균열(cw=0.3mm미만) : 128.10m ·굽힘 : 0.80㎡
배수시설	·배수구 막힘 : 2개소 ·배수관 이음부 이격 : 1개소	·배수구 막힘 : 1 EA
총 평	■ 정밀점검 결과 ‘2014년 정밀점검 결과와 비교시 일부 보수가 진행 되었으나 일부 손상물량이 증가된 것으로 조사되었다. 이는 기 점검 시 간과된 손상 반영 및 공용년 수 증가에 따라 나타난 결과로 검토되었다.	

3.2 내구성 조사

3.2.1 개요

내구성 평가는 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부의 판정을 하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성 조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

내구성 조사의 적용 범위는 다음과 같다.

- 내구성 조사는 구조체를 중심으로 수행한다.
- 내구성 조사는 조사 시점의 열화상태 뿐만 아니라 구조물의 이력, 주변환경, 열화원인을 조사하여 향후 열화손상 진행정도를 예측하고, 내용 년 수 관련하여 종합적인 안전진단을 수행한다.

구조물은 하중을 안전하게 지지하고 그 기능을 원활히 발휘하여야 하며, 역학적으로 충분한 강도와 강성을 갖는 것이 필요하다. 따라서 구조의 각 부분이 균형 잡힌 안전도를 가지며, 내구성을 갖는 것이 요구된다.

과업 대상 시설물은 콘크리트와 강재 부재로 구성되어 있으므로 각 재료의 역학적, 물리·화학적 특성을 평가하기 위해 내구성 조사를 실시하였다.

콘크리트 비파괴 조사는 교량의 안전성 평가를 위한 시험과 내구성 평가를 위한 시험으로 구분하여 실시하였으며, 외관조사 내용과 함께 구조물의 상태평가, 보수·보강공법 및 유지관리 방안 제시의 기초 자료로 활용할 수 있도록 하였다.

가. 시험내용 및 평가기준

1) 콘크리트 (비)파괴 시험

① 시험내용, 방법 및 개소

【표 3.29】 재료시험 및 조사 내용

구 분	조사 항목		내 용	비고
내구상태 평가	콘크리트 강도	반발경도법	슈미트 해머를 이용하여 콘크리트 강도 조사	○
		초음파 전달속도법	초음파 측정기를 이용하여 콘크리트 품질상태조사	-
		조합법	반발경도법과 초음파 전달속도법을 조합하여 콘크리트 강도 조사	-
	철근배근 조사		RC-RADAR를 이용하여 철근배근상태, 피복두께조사	○
	탄산화 시험		탄산화시험기를 이용하여 콘크리트 구조물의 탄산화 깊이 조사	○
	염화물 함유량 시험		콘크리트 시료를 이용하여 염화물 함유량 실내 시험 실시	-

【표 3.30】재료시험 측정 기준 및 실시 수량

구 분		세부지침 기준 수량		실시수량	비고
		기 준	수량		
반발경도시험	상부	535m/50m = 10.7	11	11	개소
	하부	535m/50m = 10.7	11	11	
탄산화	상부	5경간이상 3~6개소	최소1개소이상	2	개소
	하부		3~6	3	

※ 조사 기준수량 : 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침 적용
 ⇒ 세부지침 기준수량 이상 실시, 상세위치는 부록 시험위치도 수록

3.2.2 시험내용 및 평가기준

가. 반발경도법

1) 개 요

반발경도 시험법은 콘크리트 구조물의 압축강도를 비파괴 검사로 추정하는 방법으로, Schmidt Hammer를 이용하여 콘크리트 표면의 반발경도를 측정, 이 결과로부터 압축강도를 추정한다.

반발경도 측정은 방법이 비교적 용이하고 간편하며, 시험대상 구조물의 형상 및 크기에 관계없이 적용이 가능하다. 그러나 콘크리트 표면 상태에 국한되고 콘크리트 내부의 강도를 추정할 수 없다는 단점을 가지고 있다.

또한, 콘크리트와 같은 비 균질 재료는 Schmidt Hammer를 이용하여 표면에서 국부적인 타격을 하는 경우에 반발치(R)가 타격면에 존재하는 굽은골재의 유무, 표면요철, 먼지, 습윤상태 등에 따라 영향을 받아 측정 위치별로 결과치의 차이가 발생할 수 있다.

이러한 단점에도 불구하고 간편하면서 신속하고 구조물 전체에 대한 압축강도 추정이 가능하여, 국제적으로 표준화된 장점이 있다.

반발경도 측정은 측정위치로 선정된 부위를 그라인딩으로 표면을 매끈하게 정리한 후 3cm의 격자간격으로 평균 20회 이상 타격한다. 반발경도 측정 후에는 측정값을 산술 평균한 다음 평균값에서 $\pm 20\%$ 이상 되는 값은 버리고 나머지 값들에 대하여 다시 산술 평균치를 구하여 측정 지점의 반발치로 한다. 다만, 반발치가 분산되어 제외시킨 측정값이 4개 이상일 때는 측정 지점의 반발치는 버린다. 여기서, 측정된 반발치 값들이 많은 편차를 보이면 보편적으로 콘크리트 표면의 품질상태가 불균질한 것으로 판단될 수 있을 것이다.

2) 반발경도(R) 보정

측정된 반발치(R)를 이용하여 콘크리트의 압축강도(F_c)를 추정하는 기법은 다음과 같다.

① 기준경도 R_0 의 보정

기준경도 R_0 은 다음식과 같이 측정된 반발경도 R 에 보정치 ΔR 을 더하여 구한다.

$$R_0 = R + \Delta R$$

② 타격방향에 따른 보정

수평방향의 타격에 의한 측정치가 안정된 값을 나타내지만 타격방향이 다른 경우에는 반발치를 보정해 주어야 한다.

하향타격(-90°)의 경우에는 내부의 해머 중량에 의해서 실제보다 반발값이 작아지므로 (+)값으로 수정해 주어야 하며, 상향타격($+90^\circ$)의 경우에는 반대 현상에 의해서 (-)값으로 수정해 주어야 한다. 타격방향에 따른 보정계수는 【표 3.31】과 같으며, 실제 적용된 각도 보정은 아래 표에 대한 $R-\Delta R$ 상관 관계식으로부터 적용하였다.

【표 3.31】 타격방향에 따른 반발경도 보정값(ΔR)

반발경도 (R)	수평과 이루는 각도			
	$+90^\circ$ (상향수직)	$+45^\circ$ (상향경사)	-45° (하향경사)	-90° (하향수직)
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	-2.0	+2.0	+2.7
50	-3.1	-2.7	+1.6	+2.2
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7

③ 콘크리트 습윤 상태에 대한 보정

콘크리트 표면이 습윤 상태에 있으면 기건 상태보다 반발치가 적게 나타나므로 완전 습윤 상태에서는 기건 상태를 기준으로 $\Delta R = +5$ 로 보정한다.

④ 콘크리트 재령에 대한 보정

수년이 경과한 콘크리트 구조물은 표면의 강도가 높기 때문에 재령 28일 압축강도로 환산수정하여 콘크리트의 압축강도를 추정한다. 콘크리트 재령에 따른 압축강도의 보정계수 n 은 【표 3.32】과 같고 3,000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

【표 3.32】 재령에 따른 시간경과계수

재 령 (일)	5	10	14	20	28	30	40	60	80
시간경과계수(n)	1.84	1.55	1.37	1.15	1.00	0.99	0.93	0.86	0.82
재 령 (일)	100	150	200	400	500	750	1000	2000	3000
시간경과계수(n)	0.78	0.74	0.72	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63

3) 압축강도의 추정

기준경도 R_0 를 이용하여 압축강도(F_c)를 추정하는 식은 일반적으로 널리 사용되고 있는 일본재료학회, 일본건축학회식을 사용한다.

$$F_c = 1.27 \cdot R_0 - 18.0 \quad [\text{일본재료학회}]$$

$$F_c = (7.3 \cdot R_0 + 100) \times 0.0098 \quad [\text{일본건축학회}]$$

$$F_c = 0.098(15.2 \cdot R_0 - 112.8) \quad [\text{한국과학기술부}] : \text{고강도 콘크리트 적용}$$

여기서, F_c : 콘크리트 추정압축강도(MPa)

R_0 : 기준경도

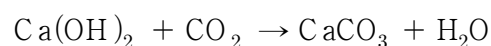
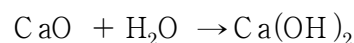
4) 압축강도의 판정

반발경도법에 의한 콘크리트 압축강도 측정치는 콘크리트의 표면을 타격하여 반발에너지로부터 얻어지는 결과 값이므로 타격면 콘크리트 표면 상태에 따라 영향을 받기 때문에 이러한 오차요인을 감안하여 『일본 국토개발기술연구센터』에서 제안된 판정기준을 적용하였다. [판정 기준 : 측정강도 / 기준강도 ≥ 0.90]

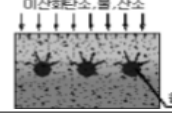
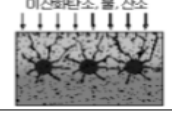
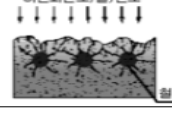
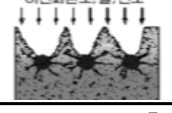
다. 탄산화 시험

1) 개 요

탄산화란 경화콘크리트와 공기 중의 탄산가스가 반응하면서 알칼리성을 잃게 되는 현상을 말한다. 즉 건전한 콘크리트는 경화 시멘트풀의 수산화 화합물중 약 25%를 차지하는 수산화칼슘($\text{Ca}(\text{OH})_2$)의 영향으로 pH가 12~13인 강알칼리성을 나타내나 탄산가스가 수산화칼슘과 반응하면 탄산칼슘($\text{Ca}(\text{CO}_3)$)으로 환원되면서 표면부터 콘크리트의 pH가 서서히 10 이하로 낮아지는 현상이다.



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.

◆ 1단계		재질 및 강도상의 변화는 거의 없다. (약간의 건조수축에 의한 균열)
◆ 2단계		녹의 발생에 의한 팽창압이 콘크리트 내부에 발생하여 미세한 균열이 발생한다.
◆ 3단계		철근의 윗면이 팽창하며 균열이 표면까지 연장되고 동해 등의 다른 열화를 유발시키며 녹물이 보인다.
◆ 4단계		철근 윗면의 피복이 탈락되기 시작하고 철근노출이 시작된다. 철근의 단면적이 감소한다.
◆ 5단계		철근 윗면이 거의 없어지고 철근은 공기 중에 직접 노출된다. 내구성능 저하가 가속된다.

【그림 3.2】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하 과정

2) 시험 방법

금번 시험은 콘크리트의 미소구간을 핸드그라인더를 이용하여 시편을 채취하거나, 시편이 부스러져 채취가 곤란하였던 경우에는 그라인딩 면에 직접 시험을 시행하였다.

- ① 시험 위치를 결정한 후 핸드그라인더로 측정 면 상·하 또는 좌·우로 컷팅한다.
- ② 컷팅 후 시료를 꺼낸 후 현장 또는 시험실에서 페놀프탈레인 용액을 분무하여 변색 위치를 계측한다.
- ③ 그라인딩으로 손상된 면에 에폭시 혼합재를 교반하여 충전 시킨 후 헤라를 이용하여 표면을 정리한다.

3) 탄산화 깊이 측정

① 시험면 현장 측정

- ㉠ 채취 시료가 부스러져 표면 시점이 모호하거나, 골재 등으로 인하여 조각이 많은 상태인 경우 채취면을 그라인더로 정리한 후 물이 든 분무기로 측정면에 분사하여 미세 석분을 제거 한다.

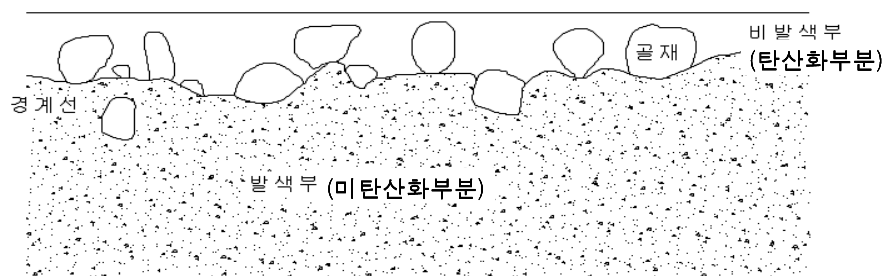
- ㉠ 표면이 건조된 후 면봉에 시약을 분무한 후 가장 최 외측면에서부터 내측방향으로 면봉을 찍어 변색 위치를 확인하여 버니어측정기를 이용하여 거리를 측정한다.
- ㉡ 그라인딩 후 물청소 없이 직접 시약을 분무하면 탄산화 영역이 명확하게 나타나며, 즉시 그 깊이를 측정할 수 있으나, 수초 후에는 잔류 석분 영향을 경계가 모호해지는 경향을 보이지만 재차 시약을 분무하면 선명한 경계를 확인할 수 있다.

② 시험실 측정

- ㉢ 채취 시료는 약 2~3mm의 두께이므로 손으로 쪼갠 후 면봉에 시약을 묻혀 쪼개진 면에 바른다.
- ㉣ 시약에 의하여 탄산화 경계가 나타나면 버니어측정기를 이용하여 거리를 측정후 사진을 촬영한다.

③ 탄산화깊이 결정

- ㉤ 콘크리트 표면으로부터 적자색으로 변색한 부분까지의 거리를 측정한다.
- ㉥ 선명한 적자색으로 변색된 부분보다 얇은 부분에 흐린 적자색의 부분이 나타나는 경우 선명한 적자색 단면까지의 거리를 탄산화 깊이로서 측정함과 동시에 연한적자색 부분까지의 거리도 함께 측정한다.
- ㉦ 평균 탄산화깊이는 측정값의 합계를 측정 개수로 나누어 구하고, 반올림하여 소수점 이하 한 자리까지 구한다.



【그림 3.3】 페놀프탈레인법에 의한 탄산화부분과 미탄산화 부분의 경계

4) 탄산화 진행에 따른 상태평가 기준

탄산화 진행상태는 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 따른 상

태평가 등급은 다음과 같다.

【표 3.33】 탄산화 상태평가 기준

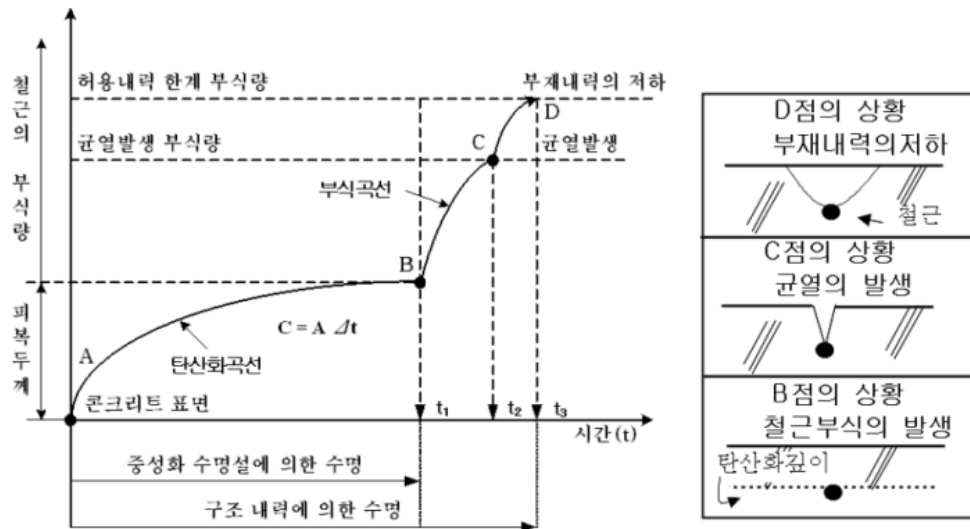
기 준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	·30mm이상	·탄산화에 의한 부식발생 우려 없음
b	·10mm이상 ~ 30mm미만	·향후 탄산화에 의한 부식발생 가능성 있음
c	·0mm이상 ~ 10mm미만	·탄산화에 의한 부식발생 가능성 높음
d	·0mm미만	·철근부식 발생
e	-	-

5) 내구수명 평가

콘크리트의 탄산화가 진행하여 철근에 다다르게 되면 철근의 부식이 시작된다. 그러나 철근주변까지 콘크리트가 탄산화 되었다고 해서 바로 부식이 발생하여 철근의 단면 결손이 발생하는 것은 아니다. 또한 실내외의 환경조건에 따라 철근 부식 조건이 달라진다. 宗英雄 등의 연구에 따르면 실외에서는 탄산화영역이 철근위치에 도달하면 급속하게 철근의 부식이 발생하는 반면, 실내의 경우는 탄산화영역이 철근에 도달해도 급속하게 부식하는 경우는 없고, 탄산화영역이 피복두께를 20~30mm 지나치는 시점에서 부식이 시작된다.

콘크리트가 탄산화 되어 철근의 부식이 시작되고, 수명에 이르는 개념을 【그림 3.4】에 나타내었다. 즉 t1은 탄산화영역이 철근표면에 도달하는 시점, t2는 그 결과 철근이 부식되고 콘크리트에 균열을 발생시키는 시점, t3은 부재내력이 한계에 달하는 시점을 의미한다.

지금까지 철근콘크리트 구조물의 수명은 t1의 시점이라고 판단되어 왔으나 실제 구조물에 적용할 경우 많은 문제점이 나타나게 된다. 전문가에 따라서는 t1의 시점이 반드시 철근의 유해한 부식량의 시점이라고는 생각되지 않기 때문에, t2의 시점을 수명으로 산정하는 것이 적절하다는 의견이 있으므로 아직까지는 명확한 수명을 판단하기가 어렵다. 또한 다양한 환경조건에 따라 t1에서 t2 도달까지의 시간이 다르기 때문에 본 과업에서는 탄산화에 대한 내구수명으로서 t1에 도달할 때까지의 시간으로 결정하고 내구수명을 산정하였다.



【그림 3.4】 콘크리트 내부에서의 철근부식의 개념

대기 중의 탄산가스에 의한 콘크리트 표면으로부터의 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, $\sqrt{t}$ 법으로 불리며, 가장 일반적으로 사용되고 있다.

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

위의 식에서 계수 A 는 탄산화속도 계수라고 하며, A 의 수치가 큰 만큼 탄산화 속도가 크게 된다. 계수 A 는 콘크리트의 재료적 요인 및 환경조건에 의해 정해지는 복잡한 함수이다.

본 과업에서 탄산화에 의한 수명 평가는 경과년수와 탄산화깊이와의 관계를 통해 탄산화 속도계수를 역추적하여 탄산화가 철근에 도달하는 시간을 계산하였다. 앞서 언급한 식 $C = A\sqrt{t}$ 에서 준공 후 현재까지의 경과년수 t 는 설계도로부터 구할 수 있고 탄산화 깊이 C 는 현장조사를 통하여 얻을 수 있으므로 탄산화 속도계수 A 를 계산할 수 있다. 이에 따라 다음 식을 통하여 현재로부터 탄산화가 철근에 도달하는데 걸리는 시간을 추정할 수 있다.

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

여기서, t_d 는 현재로부터 탄산화가 철근에 도달하는데 걸리는 시간, D_c 는 현장조사로부터 얻어진 철근까지의 피복두께(mm), A 는 탄산화시험으로부터 계산된 계수, t_0 는 현재의 구조물 경과시간이다.

3.2.3 시험결과 및 분석

1) 콘크리트 강도시험

본 교량의 콘크리트 비파괴강도시험(반발경도시험)은 총 22개소(상부구조 11개소, 하부구조 11개소)에서 실시하였으며 검토결과, 상부구조는 평균강도가 45.4MPa로 설계기준 강도(40.0MPa)의 113.5%, 하부구조는 평균강도가 25.7MPa로 설계기준강도(24.0MPa)의 107.1%로 나타나 허용기준치(JICE, 설계기준강도의 90% 이상)를 만족하는 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3.34】 부재별 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치		비파괴시험	반발경도법			설계기준강도
		반발경도 (R_0)	① 식	② 식	평균	
상부구조	S1-RW	55.8	46.8	46.1	46.5	40.0
	S2-LW	57.2	48.3	47.5	47.9	
	S3-RW	54.6	45.5	45.0	45.3	
	S4-LW	54.3	45.1	44.7	44.9	
	S5-캔틸레버	51.4	42.1	42.0	42.1	
	S5-RW	54.9	45.8	45.3	45.6	
	S6-거더하면	53.4	44.3	43.9	44.1	
	S7-거더하면	56.7	47.8	47.0	47.4	
	S8-거더하면	56.8	47.9	47.1	47.5	
	S9-캔틸레버	54.6	45.5	45.0	45.3	
	S10-거더하면	52.8	43.6	43.3	43.5	
하부구조	교대(A1)	45.4	25.3	27.1	26.2	24.0
	교각(P1)	43.2	23.6	26.1	24.9	
	교각(P2)	44.5	24.6	26.7	25.7	
	교각(P3)	44.0	24.2	26.4	25.3	
	교각(P4)	45.7	25.6	27.2	26.4	
	교각(P5)	43.5	23.8	26.2	25.0	
	교각(P6)	44.5	24.6	26.7	25.7	
	교각(P7)	44.3	24.4	26.6	25.5	
	교각(P8)	46.2	26.0	27.4	26.7	
	교각(P9)	44.7	24.8	26.7	25.8	
	교대(A2)	45.4	25.3	27.1	26.2	

【표 3.35】 비파괴강도 시험결과 분석

구 분	부 재	평균강도(A) (MPa)	설계기준강도(B) (MPa)	A/B ×100(%)
상부구조	바닥판	45.4	40.0	113.5%
하부구조	교대, 교각	25.7	24.0	107.1%

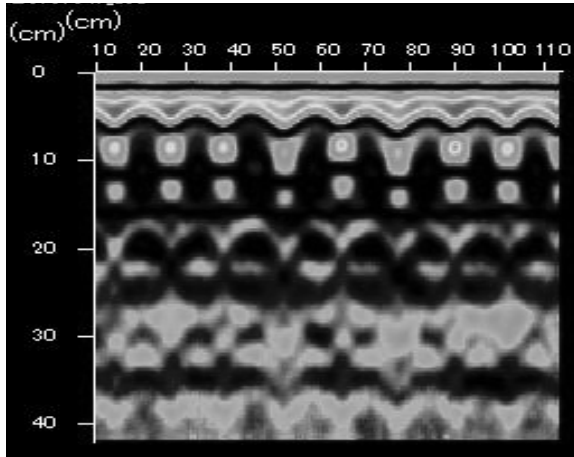


2) 탄산화시험결과

탄산화 깊이 측정은 총 5개소(상부구조 2개소, 하부구조 3개소)에서 실시하였다. 실측한 최소 피복두께와 탄산화 깊이를 비교한 결과, 전 부재 모두 탄산화 잔여깊이가 30.0 mm이상으로 측정되어 상태등급은 “a”로 평가되었다. 철근까지의 탄산화 도달시간은 시험개소 모두 100년 이상으로 측정되어 탄산화로 인한 내구성 저하 가능성이 없는 양호한 상태로 분석되었다.

【표 3.36】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

부재명		탄산화 깊이 (mm)	실측 피복두께 (mm)	탄산화 잔여깊이 (mm)	평가결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존수명 (년)	비고
상부 구조	거더 하면(S5)	3.6	65.0	61.4	a	1.36	>100	
	거더 하면(S9)	2.4	55.0	52.6	a	0.91	>100	
하부 구조	교대(A1)	3.7	59.0	55.3	a	1.40	>100	
	교각(P1)	3.5	100.0	96.5	a	1.32	>100	
	교각(P7)	4.7	110.0	105.3	a	1.78	>100	

부 재	탄산화 깊이 측정	철근탐사 결과
거 더 하 면 (S5)		

3) 고 찰

비파괴강도는 전반적으로 설계강도 이상을 확보하고 있는 것으로 평가되었고, 콘크리트 탄산화에 의한 콘크리트 내구성은 대체로 양호한 것으로 판단된다.

금회 점검결과, 비파괴 강도, 탄산화 깊이 시험결과, 모두 양호한 수준으로 측정되었다.

3.3 내구성 조사 결과 요약

【표 3.37】 내구성조사 결과 요약

시 험 명		시험부위		시험 결과		비 고
				‘16 정밀점검	설계값	
콘크리트	비파괴 강도 (MPa)	상부구조	반발경도	42.1~47.9	40.0	·설계기준강도 이상을 만족하는 양호한 상태임
		하부구조	반발경도	24.9~26.7	24.0	
	탄산화 깊이(mm)	상부구조		2.4~3.6	잔여깊이 30mm이상	·상태등급 a등급
		하부구조		3.5~4.7		
종합 평가	- 비파괴강도는 전반적으로 설계강도 이상을 확보하고 있는 것으로 평가됨. - 탄산화깊이 측정은 최소 100년 이상의 잔존수명을 확보하고 있는 상태로 탄산화에 의한 철근의 부식은 없을 것으로 판단됨. - 금회 점검결과, 비파괴 강도, 탄산화 깊이 시험결과, 대부분 양호한 수준으로 측정됨.					