

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

3.2 외관조사

3.3 콘크리트 내구성조사

3.4 현장조사 및 시험결과 요약

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개요

본 과업 대상 교량은 고속국도 15호선(서해안고속도로, 이점 314.78km)상의 경기도 화성시 매송면 야목리에 위치하고 있으며, 확장 1차로의 9경간으로 이루어진 총연장 273.654m (3@[3@30.0m]), 확장폭원 3.645m이고 지방도 84호선을 횡단하는 교량으로서 2010년 준공 후 7년이 경과된 PSCI GIRDER교이다.

대상 교량의 현장조사 및 시험은 본 조사를 실시하기 이전에 현장을 답사하여 교량의 주변 환경과 현 상태를 파악하고, 교량접근방법 및 관련 자료를 검토 후 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수립하였다.

물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 교면포장, 방호벽, 바닥판, 거더, 신축이음장치, 받침장치, 교대, 교각, 부속시설물 등 주요 구조부재의 현 상태와 교량의 안전성을 저해할 만한 결함 및 손상의 유무를 확인하였다.

교량의 구성부재별로 외관조사 결과를 외관조사망도와 외관조사 총괄표, 사진을 중심으로 수록하였으며, 향후 교량점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

3.1.1 근접조사를 위한 접근방안

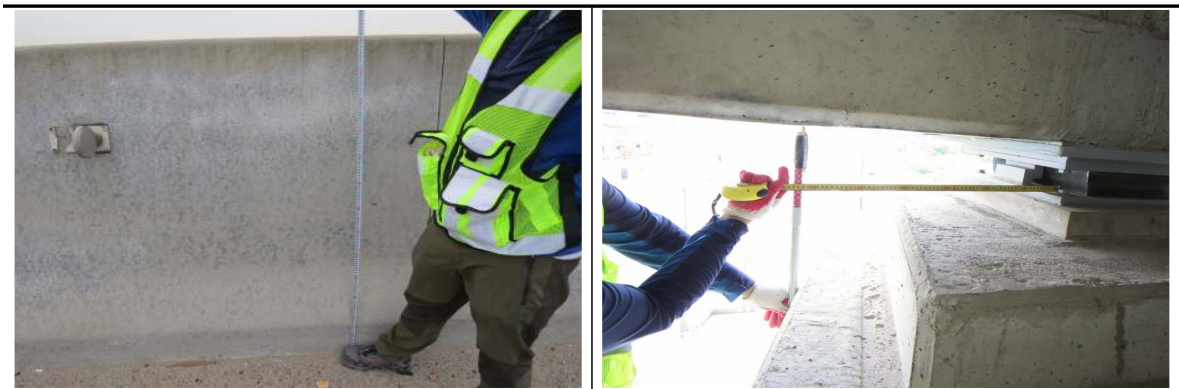
과업대상 교량은 지방도 84호선을 횡단하는 교량으로서 접근방안으로 횡단시설과 교각 지점부 형고 등 현장여건을 충분히 고려하였으며, 고소차를 이용하여 작업원의 안전성을 확보한 상태에서 근접조사를 <그림 3.1.1>과 같이 실시하였다.



〈그림 3.1.1〉 근접장비를 이용한 현장조사 현황

3.1.2 제원조사

과업대상 교량의 제원조사는 발주처로부터 제공받은 자료를 토대로 교량의 연장, 폭, 각 부재의 규격 등 주요부분을 실측하고 비교·검토한 결과 전반적으로 준공도면의 주요제원과 일치하는 것으로 〈그림 3.1.2〉와 같이 조사되었다.



〈그림 3.1.2〉 제원조사 현황

3.1.3 교량주변 현황조사

과업대상 교량의 주변시설물 또는 구조물에 대한 현장 확인조사 결과 〈그림 3.1.3〉과 같이 교량 하부 S2 경간에서 지방도 84호선을 횡단하는 것으로 확인되었다. 구간내의 교각부 기초는 노출흔적이 없으며, 국부세굴, 하상변동 등은 없는 전반적으로 양호한 상태로 조사되었다.



〈그림 3.1.3〉 교량주변 현황조사

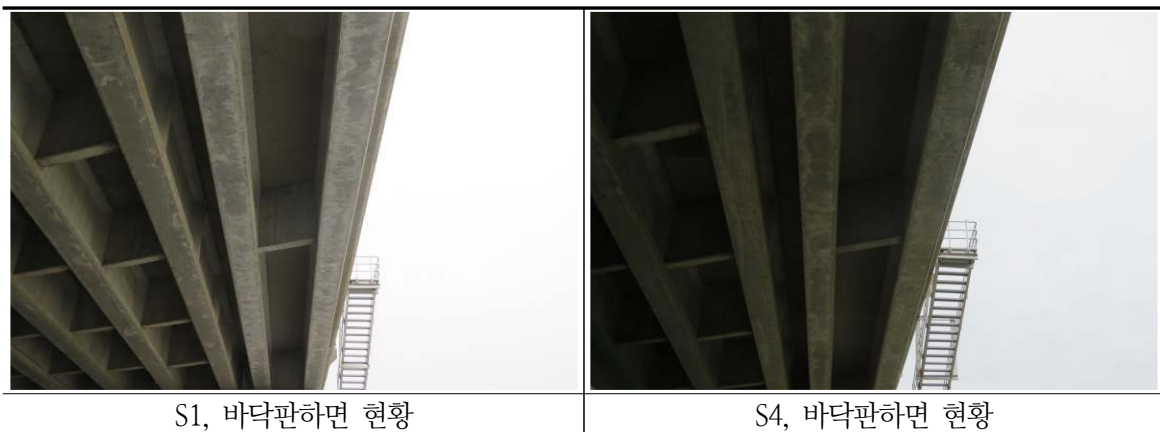
3.2 외관조사

3.2.1 상부구조

가. 바닥판

1) 개요

대상 교량은 9경간으로 총연장 273.654m (3@[3@30.0m])인 PSCI Girder교로서 이력자료 검토 및 현장조사 결과 공용기간 중 바닥판에 대한 유지보수 이력은 없는 것으로 확인되었다.



〈그림 3.2.1〉 바닥판하면 시공현황

2) 외관조사 결과

바닥판 하면에 대한 점검결과 <그림 3.2.2>에서 조사된 바와 같이 일부구간에서 균열 및 이 관측되었으며, 박리 및 재료분리, 철근노출 등의 단면결함이 국부적으로 조사되었다.



<그림 3.2.2> 바닥판하면 주요결함 및 손상현황

〈표 3.2.1〉 바닥판 외관조사 결과

구분	균 열	열화 및 손상			
	균열(개소/m)	거푸집 미제거 (개소/m ²)	균열부 백태 (개소/m)	마감처리 미흡 (개소/EA)	박리 (개소/m ²)
	cw=0.3mm미만				
S1	-	-	-	-	-
S2	-	-	-	5/5	-
S3	5/3.5	1/0.04	-	5/5	1/0.12
S4	5/3.4	-	-	5/5	-
S5	36/22.8	-	1/0.7	5/5	-
S6	16/10.5	-	-	6/6	-
S7	16/10.3	-	-	2/2	-
S8	22/13.4	-	-	5/5	-
S9	6/4.0	-	2/1.3	6/6	-
합계	106/67.9	1/0.04	3/2.0	39/39	1/0.12

구분	열화 및 손상					
	백태 (개소/m ²)	시공결함, 표면결함 (개소/m ²)	재료분리 (개소/m ²)	철물노출 (개소/EA)	파손 (개소/m ²)	파손, 철근노출 (개소/m ²)
S1	-	-	-	20/20	-	-
S2	-	-	-	20/20	-	-
S3	-	-	-	20/20	-	-
S4	-	-	1/0.04	20/20	-	-
S5	-	-	1/0.56	20/20	1/0.04	-
S6	-	-	1/0.9	20/20	-	1/0.03
S7	-	-	1/0.45	20/20	-	-
S8	1/0.01	-	5/0.73	20/20	-	-
S9	-	1/3.6	1/0.36	20/20	-	-
합계	1/0.01	1/3.6	10/3.04	180/180	1/0.04	1/0.03

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

바닥판하면에서 관측된 균열의 경우 균열주변 추가결함 또는 상부 거더의 이상 처짐이 없는 점을 감안할 때 건조수축 등의 재료적 특성요인에 의해 발생된 비구조적 균열로 추정된다. 또한, 시공초기 결함인 마감처리 미흡 및 철물노출이 전반적으로 조사가 되었으며, 좌·우 측 내민보하면에 재료분리 및 박리가 다짐불량 및 시공결함에 의해서 발생되었다.

바닥판의 효율적인 장기 내구성 확보를 위한 적절한 보수조치가 필요한 것으로 판단된다.

나. 거더 및 가로보

1) 개요

대상 교량의 상부구조 형식은 9경간(3@[3@30.0m], 2열)의 PSCI GIRDER교로 거더의 높이(h=2.0m)는 전 구간 위치별로 동일한 것으로 확인되었다. 또한, 이력자료 검토 및 현장조사 결과 공용기간 중 거더 및 가로보에 대한 유지보수 이력은 없는 것으로 확인되었다.

2) 외관조사 결과

거더 및 가로보에 대한 외관조사 시 근접조사를 위해 고소차를 이용하여 외관조사를 실시한 결과 점검일 현재 거더의 처짐, 변형에 따른 균열과 받침장치 기능불량에 따른 단부파손 등과 같은 특이할만한 결함은 없는 상태이나, 일부구간에서 균열 및 박리, 파손, 재료분리, 등이 국부적으로 발생된 것으로 조사되었다.



S1, G1 P1 지점부 하면 박리



S3, G2 P2 지점부 우측면 하단 재료분리



S4, G2 P3 지점부 우측면 인상홀 파손



S7, G2 P6 지점부 단부 철물노출



〈그림 3.2.3〉 거더 및 가로보 주요결함 및 손상현황

〈표 3.2.2〉 거더 및 가로보 외관조사 결과

구분		균열	열화 및 손상				
		균열(개소/m)	박리 (개소/m ²)	재료분리 (개소/m ²)	철물노출 (개소/EA)	파손 (개소/m ²)	시공미흡 (개소/EA)
		cw=0.3mm미만					
거더	S1	3/1.5	8/0.08	3/0.1	9/9	2/0.02	—
	S2	1/0.5	8/0.08	6/0.27	2/2	2/0.02	—
	S3	2/1.0	—	2/0.22	9/9	3/0.03	—
	S4	—	17/0.2	3/0.22	11/11	2/0.02	—
	S5	2/1.0	16/0.16	2/0.1	1/1	2/0.02	—
	S6	—	16/0.16	3/0.06	12/12	3/0.03	—
	S7	—	16/0.16	1/0.02	10/10	3/0.03	—
	S8	—	16/0.16	—	1/1	4/0.04	—
	S9	—	8/0.08	1/0.05	1/1	1/0.01	—
합계		8/4.0	105/1.08	21/1.04	56/56	22/0.22	—
가로보	S1	3/0.6	—	—	—	—	6/6
	S2	1/0.8	2/0.31	—	—	—	—
	S3	3/1.2	—	—	—	—	—
	S4	—	—	—	—	—	—
	S5	2/0.8	1/0.02	—	—	—	—
	S6	—	—	—	—	—	—
	S7	2/0.9	—	—	1/1	—	—
	S8	3/1.1	1/0.04	—	—	—	—
	S9	—	2/0.3	—	—	—	—
합계		14/5.4	6/0.67	—	1/1	—	6/6

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

대상부재에서 관측된 균열은 건조수축 등의 재료적 특성에 의한 비구조적 균열로 추정되며, 파손 및 박리 등은 시공과정 중 외적인 충격하중, 마감처리에 의한 것으로 판단된다. 또한, 국부적인 재료분리는 콘크리트 타설시 다짐불량 등 시공결함 요인에 의해 발생한 초기결함으로써 교량의 환경영향 등을 종합적으로 감안할 때 장기내구성확보를 위해서는 적절한 보수조치와 공용기간동안 주기적인 점검을 통해 체계적인 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.

3.2.2 하부구조

가. 교대

1) 개요

본 과업대상 교량은 역T형 교대 2기로 시공되어 있으며, 기초형식은 강관 말뚝기초로서 풍화암 및 연암상에 지지된 것으로 설계도면에서 확인되었다.

기초는 지반 매설된 상태로 육안조사가 불가하나, 상부구조 및 받침장치 등 주요구조부재에 대한 점검결과 지반침하를 판단할 만한 이상결함이 없는 점을 감안할 때 교대의 기초상태는 특이할만한 문제점이 없는 것으로 사료된다.

2) 외관조사 결과

교대에 대한 외관조사결과 <그림 3.2.4>에서 조사된 바와 같이 구체 일부구간에서 $cw=0.1\sim0.2mm$ 수준의 균열 및 불규칙균열, $cw=0.3mm$ 이상의 균열 1개소 및 굽힘, 박리 등이 관측되었다. 또한, 교대보호공 침하 및 이격 및 점검계단 유동 및 파손이 국부적으로 조사되었다.



A1, 홍벽 수직균열

A1, 벽체 재료분리



〈그림 3.2.4〉 교대 주요결함 및 손상현황

〈표 3.2.3〉 교대 외관조사 결과

구분	균열			열화 및 손상				
	균열 (개소/m)	균열 (개소/m)	불규칙균열 (개소/m²)	긁힘 (개소/m²)	박리 (개소/m²)	교대보호블럭 침하 및 이격 (개소/m²)	점검계단 유동 (개소/EA)	점검계단 몰탈파손 (개소/m²)
	cw=0.3mm미만	cw=0.3mm이상	cw=0.3mm미만					
A1	5/1.5	1/1.5	—	—	—	1/27.0	12/12	—
A2	4/3.0	—	3/4.61	1/0.02	3/0.22	1/27.0	2/2	12/0.72
합계	9/4.5	1/1.5	3/4.61	1/0.02	3/0.22	2/54.0	14/14	12/0.72

구분	열화 및 손상						
	보수재들뜸 (개소/m²)	사공미흡 (개소/m²)	실런트탈락 (개소/m²)	실런트파손 (개소/m²)	재료분리 (개소/m²)	철물노출 (개소/EA)	층분리 (개소/m²)
A1	1/0.3	2/1.0	—	—	1/0.55	37/37	3/0.6
A2	—	2/1.54	1/2.5	2/0.4	3/0.64	20/20	4/0.8
합계	1/0.3	4/2.54	1/2.5	2/0.4	4/1.19	57/57	7/1.4

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

교대에서 관측된 균열은 발생형태 및 위치 등의 균열 특성을 감안할 때 하부구속 조건과 건조수축 등의 재료특성이 주요 원인으로 사료되며, 그 외에 국부적인 결함의 경우 공용기간 중대 및 환경적인 외적요인, 시공결함에 의한 것으로 추정된다.

점검일 현재 대상 부재에서 관측된 손상에 대해서는 내구성저하 방지를 위하여 손상정도에 따른 적절한 보수조치 및 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.

나. 교각

1) 개요

본 과업대상 교량은 T형 교각 8기로 시공되어 있으며, 기초형식은 강관 말뚝기초로서 풍화암 및 연암상에 지지된 것으로 설계도면에서 확인되었다.

기초는 지반 매설된 상태로 육안조사가 불가하나, 상부구조 및 받침장치 등 주요구조부재에 대한 점검결과 지반침하를 판단할 만한 이상결함이 없는 점을 감안할 때 교각의 기초상태는 특이할만한 문제점이 없는 것으로 사료된다.

2) 외관조사 결과

교각에 대한 외관조사결과 <그림 3.2.5>에서 조사된 바와 같이 일부구간에서 $cw=0.1 \sim 0.2mm$ 수준의 균열 및 불규칙균열, 굽힘, 재료분리, 파손, 철물노출, 시공미흡 등이 관측되었다.





〈그림 3.2.5〉 교각 주요결함 및 손상현황

〈표 3.2.4〉 교각 외관조사 결과

구분	균열		열화 및 손상				
	균열 (개소/m)	불규칙균열 (개소/m ²)	긁힘 (개소/m ²)	시공미흡 (개소/m ²)	재료분리 (개소/m ²)	철물노출 (개소/EA)	파손 (개소/m ²)
	cw=0.3mm미만	cw=0.3mm미만					
P1	17/22.2	3/7.8	5/0.1	—	—	8/8	—
P2	19/25.4	1/4.8	—	1/0.24	—	—	—
P3	23/25.1	—	4/0.09	2/0.43	1/0.9	8/8	1/0.01
P4	22/25.3	3/6.0	—	2/0.24	—	13/13	—
P5	29/27.0	3/10.0	5/0.16	1/0.16	3/0.42	10/10	2/0.02
P6	16/18.9	1/4.8	3/0.25	1/0.45	—	11/11	—
P7	17/13.4	3/20.1	7/0.28	—	3/0.79	10/10	1/0.01
P8	7/5.2	3/19.64	—	2/0.44	1/0.3	12/12	—
합계	150/162.5	17/73.14	24/0.88	9/1.96	8/2.41	72/72	4/0.04

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

교각에서 관측된 균열은 발생형태 및 위치 등의 균열 특성을 감안할 때 건조수축 등의 재료특성이 주요 원인으로 사료되며, 그 외에 국부적인 결함의 경우 공용기간 증대 및 환경적인 외적요인, 시공결함에 의한 것으로 추정된다.

점검일 현재 대상 부재에서 관측된 손상에 대해서는 내구성저하 방지를 위하여 손상정도에 따른 적절한 보수조치 및 유지관리가 필요한 것으로 판단된다.

3.2.3 교량받침

가. 개요

대상교량의 받침장치는 탄성받침으로서 교대는 2개소씩, 교각은 4개소씩 설치되어 있으며, 기존교량 고정단 위치에 확장교량 교축직각방향 일방향 가동단이 <그림 3.2.6>과 같이 P1, P4, P7에 설치되어 있는 것으로 확인되었다. 발주처에서 제공받은 보수·보강 이력자료 검토결과 공용기간동안 받침장치에 대한 유지보수 이력은 없는 것으로 확인되었다.



<그림 3.2.6> 받침장치 배치도

나. 외관조사 결과

교대 및 교각에 설치되어 있는 받침장치 본체에 대한 외관조사 결과 이상변위 및 고무재 파손과 같은 특이할만한 결함은 발생되지 않은 상태이나, 받침 Plate 및 볼트에서 녹발생이 관측되었다.

점검일 현재 전반적으로 전단변형에 따른 고무재의 들뜸 및 편기, 파손 등과 지점구간의 거더 단부, 받침콘크리트 등 받침장치 주변 부재에서 특이할만한 이상결함 또는 추가적인 손상은 없는 것으로 확인되었으나, P3 전열의 교량받침에서 전단변형에 따른 고무재의 들뜸이 발생하였다. 또한, 받침물탈 및 받침콘크리트 일부구간에서 균열($cw=0.2mm$ 이하) 및 재료분리, 철물노출, 박리 등이 조사되었다.



〈그림 3.2.7〉 받침장치 주요결합 및 손상현황

〈표 3.2.5〉 받침장치 외관조사 결과

구분	받침 몰탈 균열 (개소/m)	받침 콘크리트 균열 (개소/m)	받침 콘크리트 불규칙균열 (개소/m ²)	받침 콘크리트 박리 (개소/m ²)	받침 콘크리트 재료분리 (개소/m ²)	받침 콘크리트 철물노출 (개소/EA)	Plate 녹발생 (개소/m ²)	볼트 녹발생 (개소/EA)
	cw=0.3mm미만	cw=0.3mm미만	cw=0.3mm미만					
A1	5/0.5	2/0.6	—	—	—	—	—	—
P1	14/1.4	2/1.3	—	4/0.04	—	5/5	—	—
P2	7/0.7	—	—	—	4/0.9	—	—	—
P3	4/0.4	—	—	—	2/0.26	6/6	—	—
P4	4/0.4	4/1.2	—	—	4/0.68	—	—	—
P5	4/0.4	2/0.5	—	—	—	1/1	—	—
P6	4/0.4	1/0.4	—	—	2/0.26	6/6	—	—
P7	3/0.3	1/0.4	—	1/0.01	1/0.2	1/1	8/2.32	32/32
P8	2/0.4	—	1/0.12	—	3/0.33	1/1	8/2.32	24/24
A2	6/0.6	1/0.4	—	—	1/0.02	—	—	—
합계	53/5.5	13/4.8	1/0.12	5/0.05	17/2.65	20/20	16/4.64	56/56

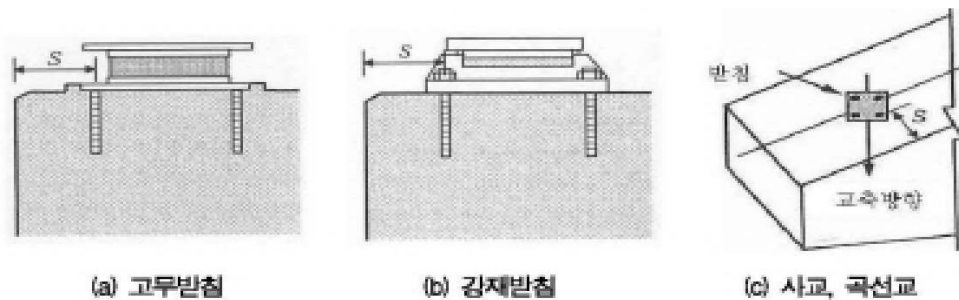
다. 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

받침몰탈 및 받침콘크리트에서 조사된 국부적인 균열은 시공초기 건조수축 및 재료적인 특성에 기인한 초기결함으로 사료되며, Plate 녹발생과 그 외에 발생된 국부적인 결함의 경우 공용기간중대 및 환경적인 외적요인, 시공결함에 의한 것으로 추정된다.

대상 구간에서 발생된 결함 및 손상부에 대해서는 적절한 보수조치 후 주의관찰을 통한 유지관리가 바람직한 것으로 판단된다.

라. 연단거리 검토

교대 및 교각 상부의 받침면은 상부구조로부터 집중하중을 받는 부위이며, 지진시 등에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 연단거리가 짧으면 고정단에서 콘크리트가 파손되거나 받침이 파손되고 심한 경우 가동단에서 받침이 벗어나 낙교 등 구조물에 불리한 영향을 미칠 수 있으므로 하부구조 정상부에서는 내진상 충분한 연단거리를 확보하여 상부구조의 낙교시 붕괴되지 않도록 아래와 같이 최소기준을 두고 있다.



〈그림 3.2.8〉 받침의 연단거리(S) 측정

받침연단 시방기준	소요연단거리(mm)
▶ 거더의 경간장이 100m 이하 $S(\text{연단거리, mm}) = 200 + 5 L$ ($L=\text{지간길이(m)}$)	▶ $L=30.0\text{m}$ 기준, $S=200+(5 \times 30.0) = 350.0\text{mm}$



P1 Sh2(A1) 받침 연단거리 측정

〈그림 3.2.9〉 연단거리 측정현황

대상교량의 받침연단거리를 측정한 결과 〈표 3.2.6〉과 같이 설계기준상의 연단거리를 확보하고 있는 것으로 조사되었다.

〈표 3.2.6〉 연단거리 측정 결과

구분		계산연단거리(mm)	실측 연단거리(mm)		검토결과
			Sh1	Sh2	
A1		350.0	420	410	O.K
P1	A1측		590	580	O.K
	A2측		520	530	O.K
P2	A1측		520	540	O.K
	A1측		520	580	O.K
P3	A2측		610	600	O.K
	A2측		570	550	O.K
P4	A1측		610	600	O.K
	A2측		540	530	O.K
P5	A1측		610	600	O.K
	A2측		500	500	O.K
P6	A1측		530	540	O.K
	A2측		560	580	O.K
P7	A1측		550	530	O.K
	A2측		580	600	O.K
P8	A1측		480	500	O.K
	A2측		540	570	O.K
A2			490	520	O.K

마. 교량받침 신축거동상태 검토

대상 교량 받침장치의 대기온도 변화를 고려하여 상부 주거터의 신축 변화량을 산정하고 각 지점에서 측정된 받침장치 가동량을 측정 비교·검토하였다.

1) 가동 여유량 검토

설계시 받침의 이동량은 온도변화, 활하중, 크리프 및 건조수축 그리고 부가여유량 및 설치여유량을 고려하여 산정한다. 여기서 부가여유량 및 설치여유량은 시공을 위해 고려되는 것이므로 시공이 완료된 현 시점에서 여유량 검토 시 이는 고려하지 않는다.

현재 교량이 준공 후 약 7년이 경과한 교량이므로 크리프 및 건조수축에 의한 변화는 거의 종결된 상태로 판단되며, 연속화된 거터구조의 회전변위 또한 경미하여 예상 이동량 계산 시 온도변화 만을 고려하고 온도는 설계 시 교량에 적용되는 온도 범위인 $-15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ (한랭지방)를 적용한다.

이동여유량은 향후 각 교량받침에 예상되는 거터의 최대 이동량과 측정일 기준으로 교량 받침이 부담할 수 있는 이동량을 비교하여 평가한다.

▷ 온도변화

- ① 검토위치 : 가동단(A1,P2,P3,P5,P6,P8,A2)
- ② 신축유간 측정기준
(2017.08.10. 대기온도 24.5°C)
- ③ 검토온도 : $-15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ (한랭지방)
- ④ 신축들보의 길이 : 30m, 60m
- ⑤ 기본신축량 : 온도신축

온도변화에 의한 이동량
$\Delta L_t = \Delta T \cdot \alpha \cdot L$ 여기서 ΔT = 온도변화 - 최대 수축시($24.5 - (-15^{\circ}\text{C}) = 39.5^{\circ}\text{C}$) - 최대 팽창시($35^{\circ}\text{C} - 24.5^{\circ}\text{C} = 10.5^{\circ}\text{C}$) α = 선팽창계수 (1.0×10^{-5}) L = 신축들보의 길이

〈표 3.2.7〉 교량받침 이동량 산정

구 분		온도변화 (ΔT , $^{\circ}\text{C}$)		선팽창 계수(α)	신축거더 길이(L)	온도 변화에 의한 이동량(mm)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(mm)	최대 받침 이동량(mm)	
		동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
A1		39.5	10.5	1.0×10^{-5}	30	11.9	3.2	-	11.9	3.2
P1		교 축 고 정								
P2	(A1)	39.5	10.5	1.0×10^{-5}	30	11.9	3.2	-	11.9	3.2
	(A2)	39.5	10.5	1.0×10^{-5}	30	11.9	3.2	-	11.9	3.2
P3	(A1)	39.5	10.5	1.0×10^{-5}	60	23.7	6.3	-	23.7	6.3
	(A2)	39.5	10.5	1.0×10^{-5}	30	11.9	3.2	-	11.9	3.2
P4		교 축 고 정								
P5	(A1)	39.5	10.5	1.0×10^{-5}	30	11.9	3.2	-	11.9	3.2
	(A2)	39.5	10.5	1.0×10^{-5}	30	11.9	3.2	-	11.9	3.2
P6	(A1)	39.5	10.5	1.0×10^{-5}	60	23.7	6.3	-	23.7	6.3
	(A2)	39.5	10.5	1.0×10^{-5}	30	11.9	3.2	-	11.9	3.2
P7		교 축 고 정								
P8	(A1)	39.5	10.5	1.0×10^{-5}	30	11.9	3.2	-	11.9	3.2
	(A2)	39.5	10.5	1.0×10^{-5}	30	11.9	3.2	-	11.9	3.2
A2		39.5	10.5	1.0×10^{-5}	60	23.7	6.3	-	23.7	6.3

2) 검토결과

받침장치의 신축 여유량을 <표 3.2.8>과 같이 검토한 결과 상부구조의 온도신축에 따른 받침장치 가동 여유량은 확보하고 있는 것으로 검토되었다.

<표 3.2.8> 교량받침 가동여유량 검토결과

구 분		점검당시 실측이동량(mm)	최대 받침 이동량(mm)		실측 받침 가동여유량(mm)		받침이동 허용량 (mm)	검토결과	
			최대 수축 이동량	최대 신장 이동량	수축 여유량	신장 여유량			
A1	Sh1	5.0 (A2)	11.9	3.2	28.0	38.0	±33	O.K	
	Sh2	5.0 (A2)			28.0	38.0	±33	O.K	
P1		교 축 고 정							
P2	(A1측)	Sh1	20.0 (A2)	11.9	3.2	53.0	13.0	±33	O.K
		Sh2	20.0 (A2)			53.0	13.0	±33	O.K
	(A2측)	Sh1	22.0 (A2)	11.9	3.2	55.0	11.0	±33	O.K
		Sh2	23.0 (A2)			56.0	10.0	±33	O.K
P3	(A1측)	Sh1	30.0 (A2)	23.7	6.3	63.0	3.0	±33	N.G
		Sh2	30.0 (A2)			63.0	3.0	±33	N.G
	(A2측)	Sh1	5.0 (A1)	11.9	3.2	38.0	28.0	±33	O.K
		Sh2	5.0 (A1)			38.0	28.0	±33	O.K
P4		교 축 고 정							
P5	(A1측)	Sh1	3.0 (A2)	11.9	3.2	36.0	30.0	±33	O.K
		Sh2	3.0 (A2)			36.0	30.0	±33	O.K
	(A2측)	Sh1	4.0 (A2)	11.9	3.2	37.0	29.0	±33	O.K
		Sh2	5.0 (A2)			38.0	28.0	±33	O.K
P6	(A1측)	Sh1	6.0 (A2)	23.7	6.3	39.0	27.0	±33	O.K
		Sh2	5.0 (A2)			38.0	28.0	±33	O.K
	(A2측)	Sh1	3.0 (A1)	11.9	3.2	36.0	30.0	±33	O.K
		Sh2	3.0 (A1)			36.0	30.0	±33	O.K
P7		교 축 고 정							
P8	(A1측)	Sh1	3.0 (A2)	11.9	3.2	36.0	30.0	±33	O.K
		Sh2	3.0 (A2)			36.0	30.0	±33	O.K
	(A2측)	Sh1	3.0 (A2)	11.9	3.2	36.0	30.0	±33	O.K
		Sh2	3.0 (A2)			36.0	30.0	±33	O.K
A2		Sh1	3.0 (A2)	23.7	6.3	36.0	30.0	±33	O.K
		Sh2	3.0 (A2)			36.0	30.0	±33	O.K



〈그림 3.2.10〉 받침장치 가동 여유량 측정현황

3.2.4 신축이음장치

가. 개요

대상 교량의 신축이음장치는 총 4개소(A1, P3, P6, A2)가 설치되어 있으며, 이력자료 검토결과 공용기간 중 후타재를 포함한 신축이음장치에 대한 유지보수 이력은 없는 것으로 확인되었다.

점검일 현재 각 구간별 신축이음장치 설치현황은 다음과 같다.

〈표 3.2.9〉 신축이음 설치현황

구 분	신축이음 형식	설계신축유간(mm)	구분	신축이음 형식	설계신축유간(mm)	비고
A1	Monocell Type	50	P3	Finger Type	120	
A2	Monocell Type	80	P6	Finger Type	120	

나. 외관조사 결과

신축이음장치 본체에 대한 점검결과 <그림 3.2.11>에서 조사된 바와 같이 부분적인 녹발생이 발생한 상태이며, 국부적으로 유간부 토사퇴적이 조사되었다. 또한, 후타재 콘크리트의 경우 균열폭 $cw=0.2\sim0.3\text{mm}$ 정도의 균열 및 경계부 틈발생이 일부구간에서 관측되었다.



<그림 3.2.11> 신축이음장치 주요결합 및 손상현황

<표 3.2.10> 신축이음장치 외관조사 결과

구분	후타재 균열 (개소/m)	후타재 불규칙균열 (개소/m ²)	녹발생 (개소/m ²)	토사퇴적 (개소/m ²)	덮개판 볼트 탈락 (개소/EA)	덮개판 볼트 풀림 (개소/EA)
	$cw=0.2\text{mm}$ 이하	$cw=0.2\text{mm}$ 이하				
A1	2/0.86	-	1/0.05	1/0.2	-	-
P3	-	2/3.2	1/0.6	1/0.1	3/3	-
P6	-	-	1/0.6	1/0.2	3/3	3/3
A2	10/5.0	-	1/0.6	1/0.3	-	-
합계	12/5.86	2/3.2	4/1.75	4/0.8	6/6	3/3

다. 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

점검일 현재 신축이음장치 본체의 차수기능, 주행성 확보 상에 특이할만한 문제는 없는 상태이나 강재 녹 발생은 결빙방지용 화학제 살포와 차륜 접지환경이 주된 원인으로 사료되며, 유간부 토사퇴적의 경우 주행 차량의 영향에 따른 것으로 추정된다.

후타재에서 관측된 균열의 경우 발생간격, 형태, 균열폭 등을 감안할 때 후타재의 충분한 양생부족, 건조수축 등에 의한 균열로 추정된다.

점검일 현재 주행 차량의 안전성을 저해할만한 손상 및 결함은 없는 것으로 판단되므로 단기적인 보수대책보다는 주의관찰을 통한 유지관리가 바람직한 것으로 판단되며, 유간부에 대한 주기적인 청소가 이루어져야할 것으로 판단된다.

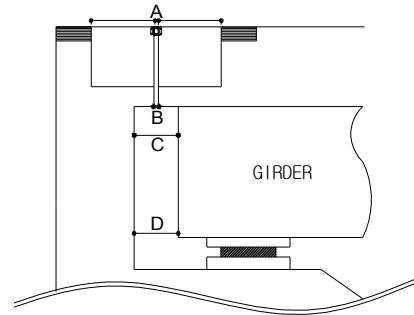
라. 신축이음 신축거동상태 검토

A1, P3, P6, A2 구간의 신축유간을 측정하고 온도변화를 고려한 상부구조의 신축량을 산정하여 대상 교량의 신축 여유량을 검토하였다.

1) 검토조건

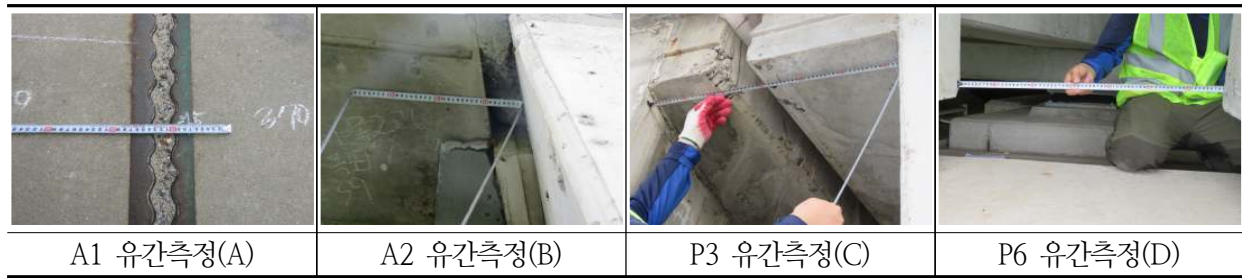
▷ 온도변화

- ① 검토위치 : 가동단(A1,P3,P6,A2)
- ② 신축유간 측정기준
(2017.09.05. 대기온도 21.7℃)
- ③ 검토온도 : -15℃~35℃(한랭지방)
- ④ 신축들보의 길이 : 30m, 60m, 90m
- ⑤ 기본신축량 : 온도신축



〈표 3.2.11〉 신축이음 유간 측정 결과

측정 위치	측정값(mm)				비고
	신축이음장치(A)	바닥판(B)	거더상부(C)	거더하부(D)	
Exp. J1(A1)	45.0	85.0	250.0	260.0	Monocell Joint(NO.50)
Exp. J2(P3)	30.0	70.0	600.0	630.0	Finger Joint(NO.120)
Exp. J3(P6)	36.0	95.0	650.0	660.0	Finger Joint(NO.120)
Exp. J4(A2)	20.0	80.0	200.0	205.0	Monocell Joint(NO.80)



〈표 3.2.12〉 신축이음 신축이동량 산정

구 분	온도변화(ΔT , °C)		선팅창 계수(α)	신축거더 길이(L)	온도 변화에 의한 이동량(mm)		활하중에 의한 거더의 처짐에 의한 이동량(mm)	계산 이동량(mm)	
	동절기	하절기			동절기	하절기		동절기 (최대 수축시)	하절기 (최대 신장시)
Exp. J1(A1)	36.7	13.3	1.0×10^{-5}	30.0	11.0	4.0	-	11.0	4.0
Exp. J2(P3)	36.7	13.3	1.0×10^{-5}	90.0	33.0	12.0	-	33.0	12.0
Exp. J3(P6)	36.7	13.3	1.0×10^{-5}	90.0	33.0	12.0	-	33.0	12.0
Exp. J4(A2)	36.7	13.3	1.0×10^{-5}	60.0	22.0	8.0	-	22.0	8.0

2) 검토결과

A1, P3, P6, A2 구간의 측정 신축유간 대비 신축 여유량을 〈표 3.2.13〉과 같이 검토한 결과 전반적으로 상부구조의 온도상승 시 신축 여유량을 만족하는 것으로 분석되었으며, 교대 홍벽 구간에서 신축유간 부족에 따른 파손, 균열, 변형 등의 손상이 관측되지 않은 점 등을 감안할 때 점검일 현재 대상 교량의 신축유간은 적절한 것으로 판단된다.

〈표 3.2.13〉 신축이음 가동여유량 검토결과

구 분		계산 이동량(mm)		점검당시 실측유간(mm) ③	허용량(mm) ④	신축 여유량(mm)		검토결과
		최대 수축시①	최대 신장시②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
EXP. J1 (A1)	신축이음	11.0	4.0	35.0	50.0	4.0	31.0	O.K
	바닥판			85.0			81.0	O.K
	거더 상부			250.0			246.0	O.K
	거더 하부			260.0			256.0	O.K

〈표 3.2.13〉 신축이음 가동여유량 검토결과-계속

구 분		계산 이동량(mm)		점검당시 실측유간(mm) ③	허용량(mm) ④	신축 여유량(mm)		검토결과
		최대 수축시①	최대 신장시②			최대 수축시 ④-(①+③)	최대 신장시 ③-②	
EXP. J2 (P3)	신축이음	33.0	12.0	30.0	120.0	57.0	18.0	O.K
	바닥판			70.0			58.0	O.K
	거더 상부			600.0			588.0	O.K
	거더 하부			630.0			618.0	O.K
EXP. J3 (P6)	신축이음	33.0	12.0	36.0	120.0	51.0	24.0	O.K
	바닥판			95.0			83.0	O.K
	거더 상부			650.0			638.0	O.K
	거더 하부			660.0			648.0	O.K
EXP. J4 (A2)	신축이음	22.0	8.0	20.0	80.0	38.0	12.0	O.K
	바닥판			80.0			72.0	O.K
	거더 상부			200.0			192.0	O.K
	거더 하부			205.0			197.0	O.K

3.2.5 교면포장

가. 개요

과업대상 교량은 차량에서 발생하는 진동을 흡수·분산시키고 외부의 불리한 환경조건에 대해서 바닥판 보호 목적으로 아스팔트포장이 적용되어 있으며, 준공 도면상의 종단구배는 시점 측에서 종점측으로 (-)1.2500%, 횡단구배는 기존교량의 강결부에서 방호벽측으로 (+)2.00%인 것으로 확인되었다. 관리주체에서 제공받은 보수·보강 이력자료 검토결과 교면포장에 대한 별도의 유지보수 이력은 없는 것으로 확인되었다.

나. 외관조사 결과

대상교량의 교면포장은 2010년 준공이후 특이할만한 보수 이력은 없는 상태이며, 외관조사 결과 전반적인 소성변형, 일부구간에서 이방향균열, 포트홀, 이물질퇴적 등이 조사되었다. 또한, 기존구간과 확장구간 포장 이음부에서 일방향균열 및 패임이 일부구간 관측되었다.



〈그림 3.2.12〉 교면포장 주요결함 및 손상현황

〈표 3.2.14〉 교면포장 외관조사 결과

구분	일방향균열 (개소/m)	이방향균열 (개소/m ²)	이물질퇴적 (개소/m ²)	소성변형 (개소/m ²)	패임 (개소/m ²)	포트홀 (개소/m ²)
접속포장(시점)	-	-	-	-	-	-
S1	-	-	-	1/3.0	-	2/0.02
S2	-	-	-	1/3.0	-	3/0.09
S3	-	-	-	1/3.0	-	2/0.08
S4	-	-	-	1/3.0	-	-
S5	-	-	-	1/3.0	-	-
S6	-	-	-	-	-	-
S7	-	-	-	-	-	-
S8	1/23.0	1/5.5	1/15.0	1/6.0	-	-
S9	4/8.5	2/7.7	1/15.0	1/6.0	1/0.3	1/0.01
접속포장(종점)	-	1/16.0	1/4.0	-	-	-
합계	5/31.5	5/29.2	3/34.0	7/27.0	1/0.3	8/0.2

다. 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

교면포장에서 관측된 손상은 혹서기 중차량 통행비율 과다, 배합설계 불량, 혼합물의 다짐 불량 및 부적절한 공극율 등이 손상의 원인으로 복합적 요인에 의해 표층재료의 마모, 유동화로 요철을 형성한 것으로 판단된다.

외관조사 시 관측된 손상부에 대하여 바닥판하면과 연계하여 검토한 결과 바닥판 하면으로의 누수, 균열부 백태와 같은 손상은 발생되지 않은 상태로 방수성능은 확보된 것으로 사료되며, 점검일 현재 주행차량의 안전성 및 사용성은 확보된 것으로 판단되나, 결함의 추가진전 발생을 미연에 방지하기 위한 보수조치는 필요한 것으로 판단되며, 갓길부에 전반적으로 발생한 소성변형의 경우 손상의 정도가 경미한 점을 감안하여 즉각적인 보수조치보다는 주의관찰을 통한 유지관리가 바람직한 것으로 판단된다.

3.2.6 기타부재

가. 방호벽

1) 시공현황 및 이력사항

본 교량은 주행 중인 차량이 정상적인 경로를 벗어나는 것을 방지함과 동시에 탑승자와 차량의 피해를 최소화시킬 목적으로 콘크리트 형식의 방호벽이 우측에 설치되어 있다.

발주처에서 제공받은 보수·보강 이력자료를 검토한 결과 공용기간 중 방호벽에 대한 별도의 유지보수 이력은 없는 것으로 확인되었다.

2) 외관조사 결과

방호벽에 대한 점검결과 위치별로 발생개소의 차이는 있으나, $cw=0.1\sim0.3\text{mm}$ 정도의 균열 및 불규칙균열이 조사되었다. 또한, 일부구간에서 박리, 백태, 긁힘 등이 조사되었다.





〈그림 3.2.13〉 방호벽 주요결함 및 손상현황

〈표 3.2.15〉 방호벽 외관조사 결과

구분	균열 (개소/m)	균열 (개소/m)	불규칙균열 (개소/m²)	파손 (개소/m²)	박리 (개소/m²)	백태 (개소/m²)	들뜸 (개소/m²)
	cw=0.3mm미만	cw=0.3mm이상	cw=0.3mm미만				
접속포장	-	-	-	1/0.06	-	-	-
S1	21/7.8	-	2/7.2	-	3/0.06	-	-
S2	34/13.2	-	1/12.0	-	1/0.14	-	-
S3	20/7.1	-	-	-	-	-	-
S4	17/6.5	1/1.3	4/4.96	2/0.08	1/0.12	1/0.08	-
S5	32/11.9	8/4.8	3/0.67	1/0.01	-	-	-
S6	18/6.8	2/1.8	3/0.67	-	2/0.05	-	-
S7	18/6.2	2/1.0	-	-	1/0.02	-	-
S8	15/6.2	9/6.5	-	-	1/0.01	-	-
S9	20/8.8	-	1/0.36	-	-	-	3/0.51
접속포장	-	-	-	-	-	-	-
합계	195/74.5	22/15.4	14/25.85	4/0.15	9/0.4	1/0.08	3/0.51

구분	균열부백태 (개소/m)	균힘 (개소/m ²)	재료분리 (개소/m ²)	철물노출 (개소/EA)	충분리 (개소/m)	델리네이트 파손 (개소/EA)
접속포장	-	-	-	7/7	-	-
S1	15/11.5	-	2/5.45	82/82	4/2.1	-
S2	16/14.4	1/0.05	-	4/4	-	-
S3	16/22.7	-	-	8/8	-	-
S4	14/8.3	-	1/8.5	-	-	-
S5	-	-	-	-	-	-
S6	1/0.5	-	-	-	-	-
S7	-	1/0.85	-	-	-	1/1
S8	5/6.1	1/0.3	-	-	-	-
S9	14/10.6	-	-	-	-	-
접속포장	-	-	-	-	-	-
합계	81/74.1	3/1.2	3/13.95	101/101	4/2.1	1/1

3) 주요손상 발생원인 분석 및 검토의견

방호벽에서 관측된 수직균열의 경우 균열발생형태 및 위치 등의 균열 특성을 감안할 때 하부구속조건과 건조수축 등의 재료특성에 기인한 초기결함으로 사료되며, 횡방향균열은 기계타설 방식의 방호벽에서 일반적으로 나타나는 침하 균열의 형태로 추정된다.

대상 부재는 교량 전체 구조계에서 중요 부재가 아닌 점을 감안할 때 단기적인 보수대책은 필요치 않은 것으로 판단되나, 공용 중 환경적인 요인에 의해 직접적으로 노출되는 부재로서 사용성 및 내구성, 미관성 확보를 위한 보수조치는 필요한 것으로 판단된다.

3.3 콘크리트 내구성조사

3.3.1 개 요

교량의 점검은 교량유지관리의 가장 핵심적인 사항이지만 지금까지는 주로 육안조사에 의한 방법에 의존해 왔다. 이로 인해 조사자 마다 각기 다른 결과를 나타내게 되므로, 그 해결 방안 중 하나가 장비를 이용한 조사법이다. 장비를 이용한 조사방법은 점검의 객관화를 향상시킬 뿐만 아니라 점검시간까지도 단축할 수 있는 효과적 방법으로서 점검대상 교량의 주요 구조부재 별로 콘크리트 비파괴 압축강도 측정, 탄산화정도, 철근배근상태 등을 파악하기 위해 착수 단계에서 조사·시험계획을 사전에 수립하고 각각 조사결과에 대해서는 진단세부지침 및 설계기준과 비교·분석하여 정밀점검평가에 반영하였다.

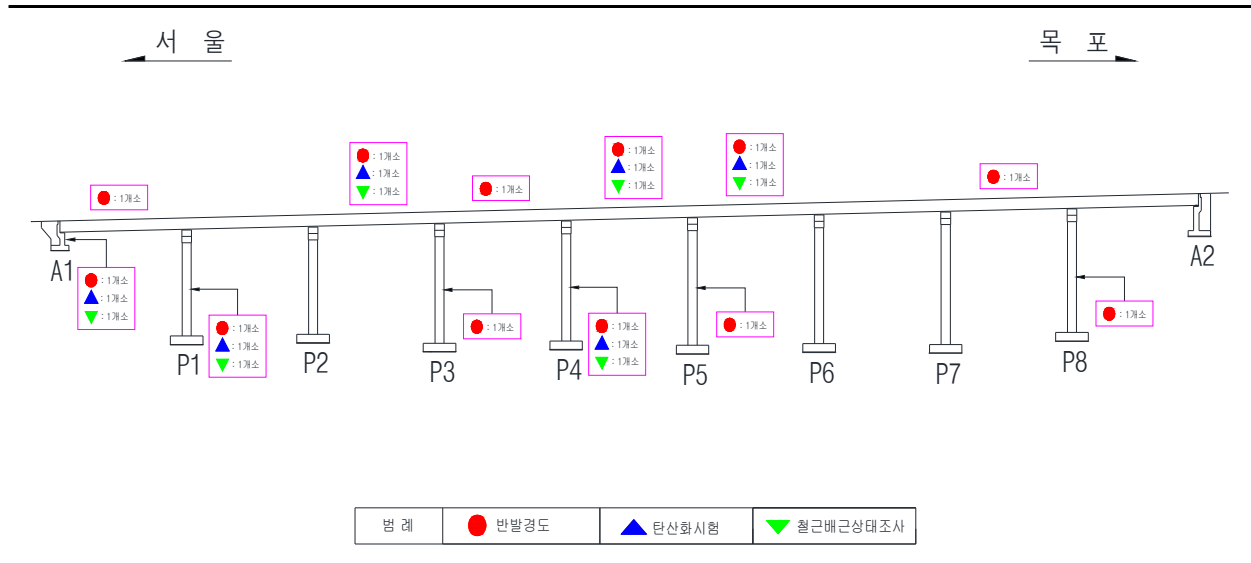
가. 조사 및 측정위치

본 과업에서는 대상 구조물의 구조부재에 대한 재료의 품질상태와 강도 등을 파악하기 위하여 <표 3.3.1>, <그림 3.3.1>과 같이 각종시험을 수행하였다.

각 항목별 시험위치 및 측정개소는 외관조사를 실시한 후에 부재의 구조적인 안전성과 구조부재의 외관상태, 접근성 등을 고려하여 선정하였다.

<표 3.3.1> 부재별 콘크리트 비파괴시험 수량

구 분	조 사 지 침		설계수량(개소)		적용수량(개소)	
	상부구조	하부구조	상부	하부	상부	하부
반발경도시험	50m 마다	50m 마다	6	6	6	6
철근탐사시험	-	-	-	-	3	3
탄산화 깊이 측정	5경간 이내 : 2~3개소 5경간 이상 : 3~6개소		2	2	3	3



〈그림 3.3.1〉 비파괴시험 위치도

3.3.2 시험내용 및 평가기준

내구성 조사를 위해 실시한 파괴 및 비파괴검사 시험 항목은 다음과 같으며, 각각의 시험 방법 및 평가절차는 “안전점검 및 정밀점검 세부지침(국토교통부 한국시설안전공단, 2017.01)”의 기준에 따라 실시하였다.

- 반발경도시험법에 의한 콘크리트 압축강도
- 철근탐사시험에 의한 철근배근 및 철근덮개조사(필요시)
- 탄산화 깊이조사

가. 반발경도법에 의한 압축강도 측정

본 과업에서 콘크리트의 강도를 평가하기 위하여 비파괴강도시험인 반발경도법에 의한 압축강도를 수행하였다.

〈표 3.3.2〉 반발경도법을 이용한 콘크리트 강도 측정 방법

시험 개요	- 콘크리트 표면의 반발경도를 측정하여, 콘크리트의 압축강도를 추정하는 검사 방법 - 슈미트해머는 경화된 콘크리트 표면을 타격시, 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(f_c')와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 함																																										
시험 방법	- 반발경도 측정은 선정된 부위에 그라인딩 작업으로 표면정리를 한 다음 타격점 상호간의 종·횡 간격을 30mm기준으로 그어 직교되는 부위에 20점 이상을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균 값을 구하고, 각 반발경도 값이 평균값의 ± 7의 범위(또는 $\pm 15 \sim 20\%$)를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도를 결정 - 측정점간의 최소간격은 30~60mm로 하고, 측정부재의 최소두께는 반발도의 영향을 고려하여 100mm이상을 원칙으로 함 - 측정치는 원칙적으로 정수값을 읽고, 표면 건조상태의 부위를 선정, 측정하여 건조에 따른 보정, 압축응력에 따른 반발도의 보정과 타격 방향에 대한 보정 및 재령에 따른 보정을 적용함	측정기의 기종 선정 ↓ 점검기에 의한 정도확인 ↓ 측정 장소의 확인, 요철제거 ↓ Marker 등에 의한 측정점의 표시 ↓ 측정, 20점 이상의 평균 ↓ 타격방향, 습윤 및 재령의 보정 ↓ 강도추정식에 의한 압축강도 산출 ↓ 압축강도의 추정 〈반발경도법에 의한 강도추정 흐름도〉																																									
보정 방법	- 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 $\Delta R_3=+5$	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	압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정(ΔR_2) 압축응력 1.0kgf/cm²인 경우 $\Delta R_2=-0.015R$, 2.5kgf/cm²인 경우 $\Delta R_2=-0.05R$ 정도임 〈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																																							
	콘크리트 재령에 따른(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> $R_o = R + \Delta R$ ($\Rightarrow \Delta R = \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3$) 여기서 ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값 ΔR_2 : 압축부재의 고정하중 응력에 따른 보정값 ΔR_3 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값 〈식 3.3.1〉		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																			
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																																	
압축 강도 추정식	$F_c = -18.0 + 1.27 \cdot R_o$ $F_c = (7.3 R_o + 100) \times 0.098$ $F_c = (10 R_o - 110) \times 0.098$ $F_c = (-120.6 + 8.0 R_o + 0.0932 R_o^2) \times 0.098$ $F_c = (9.37 \times (0.987)^t R_o + (1.3t - 109)) \times 0.098$ (t=재령(년)) $\Rightarrow$ 일본재료학회 $\Rightarrow$ 일본건축학회 $\Rightarrow$ 건축재료 검사소 $\Rightarrow$ U.S Army $\Rightarrow$ 木村 〈식 3.3.2〉 〈식 3.3.3〉 〈식 3.3.4〉 〈식 3.3.5〉 〈식 3.3.6〉																																										

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

※ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전공단(2006.12) 참조

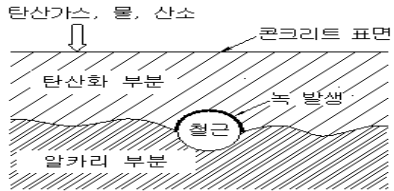
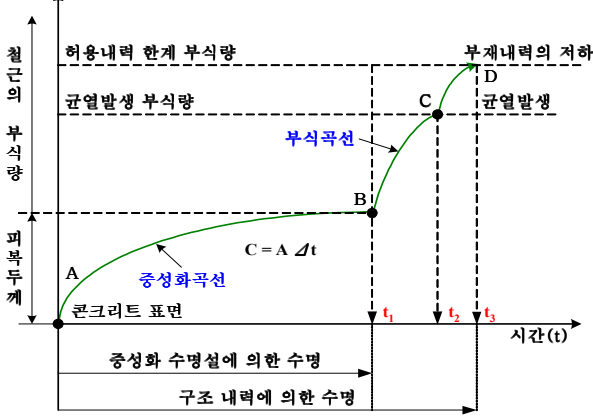
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(교량 및 터널 편, 국토교통부, 한국시설안전공단, 2017. 01) 참조

※ 본 과업에서는 압축강도 추정식 〈식 3.3.2〉, 〈식 3.3.3〉 적용

나. 탄산화 시험

콘크리트 탄산화시험에 대한 일반적인 사항은 <표 3.3.3>과 같다

<표 3.3.3> 탄산화 깊이 측정 시험방법

탄산화 개요	- 경화콘크리트는 표면에서 서서히 탄산화하여 pH값은 12~13에서 8~10 이하로 감소한다. 이 과정을 콘크리트의 중성화라고 한다. $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$ $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ - 콘크리트는 탄산화에 의해 직접적으로 성능이 저하되는 것은 아니며, 단지 탄산화가 문제가 되는 이유는 탄산화가 파복두께를 넘어서 철근의 표면에 도달하게 되면 철근표면을 감싸고 있던 부동태피막이 파괴되면서 철근표면에 부식이 시작되기 때문이다.	 <탄산화에 의한 철근부식 매커니즘>																		
시험 방법	- 바닥판 상면 및 하면에서 햄머드릴을 이용하여 직경 10~20mm 정도의 구멍을 뚫으면서 페놀프탈레인 용액을 바른 원형시험지에 떨어뜨려 적자색으로 변할 때 탄산화 깊이 측정 - 페놀프탈레인 1% 용액 : 페놀프탈레인 1g+에탄올 90cc(순도 95%) + 증류수 = 100ml로 제조																			
시험 순서	① 햄머드릴을 이용 콘크리트 구조체에 구멍을 뚫음 ② 드릴된 삭공가루가 1% 페놀프탈레인 용액을 바른 원형시험지에 떨어뜨려 적자색으로 변함 ③ 중성화되지 않은 부분은 적자색으로 변하며, 중성화된 부분은 착색되지 않음 ④ 콘크리트 표면으로부터 색이 변화되지 않은 깊이(mm)를 측정, 평균값 산정																			
탄산화 평가 기준	탄산화 깊이에 대한 평가는 철근으로부터 탄산화의 남은 깊이를 지표로 하여 탄산화에 의한 강재부식 가능성을 나타낸 것으로 탄산화에 의한 단독 열화에 대하여 적용함 <탄산화 상태평가 기준> <table border="1" data-bbox="300 1099 1422 1312"> <thead> <tr> <th>등 급</th><th>탄산화 잔여 깊이</th><th>철근부식의 가능성</th></tr> </thead> <tbody> <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> </tbody> </table>	등 급	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	-	-	
등 급	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	-	-																		
내구 수명 평가	t_1 : 탄산화가 철근표면에 도달하는 시점 t_2 : 철근 부식, 콘크리트 균열 발생 시점 t_3 : 부재내력이 한계에 달하는 시점 - 탄산화속도 식 : $C = A\sqrt{t}$ 여기서, C : 탄산화깊이(mm) t : 경과년수(년) A : 탄산화 속도계수($\text{mm}/\sqrt{\text{년}}$) - 탄산화가 철근에 도달하는 시간(td) : $t_d = \frac{D_c^2}{A^2} - t_o$ 여기서, D_c : 철근까지의 파복두께(mm) t_o : 현재의 구조물 경과시간(년)	 <콘크리트 내부에서 철근부식의 개념>																		

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

※ 진단장비 활용·관리 매뉴얼 : 한국시설안전공단(2006.12) 참조

※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(교량 및 터널 편, 국토교통부, 한국시설안전공단, 2017. 01) 참조

3.3.3 시험결과 및 분석

가. 야목2교(목포1)

1) 콘크리트 강도시험

콘크리트 압축강도는 반발경도법을 이용하여 시험을 실시하였으며, 측정위치는 상부구조와 하부구조로 구분하여 <그림 3.3.2>와 같이 실시하였다.



<그림 3.3.2> 반발경도법을 이용한 비파괴시험 현황

각 부재에 대한 압축강도 측정결과를 정리하면 <표 3.3.4>와 같다.

<표 3.3.4> 비파괴압축강도 측정결과

구 분	위 치	비파괴시험 (반발강도 Ro)	반발경도법(MPa)		추정강도 (MPa)	추정 설계기준강도 (MPa)
			식(1)	식(2)		
상부 구조	S1 바닥판하면	47.9	27.4	28.2	27.8	27.0
	S3 바닥판하면	48.6	28.0	28.5	28.3	
	S4 바닥판하면	47.7	27.3	28.1	27.7	
	S5 바닥판하면	48.4	27.8	28.4	28.1	
	S6 바닥판하면	47.7	27.2	28.1	27.7	
	S8 바닥판하면	48.0	27.5	28.3	27.9	
하부 구조	A1 벽체	45.6	25.5	27.1	26.3	24.0
	P1 교각	49.3	28.6	28.8	28.7	
	P3 교각	45.5	25.5	27.1	26.3	
	P4 교각	44.6	24.7	26.7	25.7	
	P5 교각	49.0	28.3	28.7	28.5	
	P8 교각	45.5	25.4	27.1	26.3	

점검대상 교량의 부재별 콘크리트 설계압축강도는 상부슬래브:27.0MPa, 교대 및 교각: 24.0MPa로서 각각의 부재를 대상으로 <표 3.3.4>와 같이 압축강도를 측정·분석한 결과 조사대상 전 개소에서 측정강도가 설계기준강도를 만족하는 것으로 분석되어 콘크리트의 재료적인 품질상태는 전반적으로 양호한 것으로 판단된다.

2) 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이측정은 상부 슬래브와 교대, 교각을 대상으로 실시하였고, 각각의 측정 위치별 탄산화 깊이측정 결과는 <표 3.3.5>와 같다.

<표 3.3.5> 탄산화 깊이측정 결과

위 치		조사방법	측정치의 탄산화깊이(mm)	철근피복두께(mm)		최소 잔여깊이(mm)	상태 평가
				설계	측정		
상부 구조	S3 바닥판하면	드릴	2.0	40	46	44.0	a
	S5 바닥판하면	드릴	3.3	40	45	41.7	a
	S6 바닥판하면	드릴	3.5	40	42	38.5	a
하부 구조	A1 벽체	드릴	5.2	100	105	99.8	a
	P1 교각	드릴	4.8	100	98	93.2	a
	P4 교각	드릴	5.5	100	95	89.5	a

대상 교량의 상·하부 콘크리트 주요 구조부재를 대상으로 탄산화깊이를 측정하여 탄산화가 구조물에 미칠 수 있는 영향정도를 ‘안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토교통부, 2017. 01)-탄산화 상태평가 기준’에 준하여 평가한 결과 상·하 구조는 ‘a’ 등급으로 평가되었다.



<그림 3.3.3> 탄산화 깊이 및 측정위치별 철근탐사 조사 현황

3.4 현장조사 및 시험 결과요약

3.4.1 외관조사 결과요약

본 과업 대상교량 야목2교(목포1)은 총연장 273.654m (3@[3@30.0m])인 PSCI Girder교량으로, 하부구조는 역T형(강관 말뚝기초) 교대 및 T형(강관 말뚝기초) 교각으로 시공되어있다. 현장조사는 교량 전 부재에 대하여 접근 가능한 범위 내에서 근접육안조사를 실시하였다.

대상교량은 외관조사를 토대로 점검 및 보수이력자료와 비교·분석한 결과 현재 수준에서의 급격한 사용성 저하 및 안전성에 문제를 유발할 만 한 손상 또는 이상결함은 없는 상태이다. 다만, 3.2, 3.3절 외관조사결과에서 제시된 일부 초기결함 및 손상개소에 대해서는 내구성, 사용성 저하방지를 위한 부분적인 유지보수는 필요한 것으로 판단된다.

금회 점검결과에서 나타난 부재별 외관조사결과를 요약하면 <표 3.4.1>, <표 3.4.2>와 같다.

<표 3.4.1> 외관조사 결과 요약

위치	손상내용	개소	손상물량	단위	조치필요사항	비고
바닥판 하면	균열(cw=0.2mm이하)	106	67.9	m	표면처리	하자
	거푸집 미제거	1	0.04	m ²	제거	
	균열부 백태	3	2	m	표면처리	
	마감처리 미흡	39	39	EA	주의관찰	-
	박리	1	0.12	m ²	단면보수	하자
	백태	1	0.01	m ²	표면처리	
	시공결함 및 표면결함	1	3.6	m ²	단면보수	
	재료분리	10	3.04	m ²	단면보수	
	철물노출	180	180	EA	표면처리	
	파손	1	0.04	m ²	단면보수	
	파손 및 철근노출	1	0.03	m ²	철근방청+단면보수	
거더	균열(cw=0.2mm이하)	8	4	m	표면처리	하자
	박리	105	1.08	m ²	단면보수	
	재료분리	21	1.04	m ²	단면보수	
	철물노출	56	56	EA	표면처리	
	파손	22	0.22	m ²	단면보수	
가로보	균열(cw=0.2mm이하)	14	5.4	m	표면처리	하자
	박리	6	0.67	m ²	단면보수	
	철물노출	1	1	EA	표면처리	
	시공미흡	6	6	EA	주의관찰	-

위치		손상내용	개소	손상물량	단위	조치필요사항	비고
하 부 구 조	교대	균열(cw=0.2mm이하)	9	4.5	m	표면처리	하자
		균열(cw=0.3mm이상)	1	1.5	m	주입보수	
		불규칙균열(cw=0.2mm이하)	3	4.61	m ²	표면처리	
		긁힘	1	0.02	m ²	단면보수	
		박리	3	0.22	m ²	단면보수	
		보수재들뜸	1	0.3	m ²	표면처리	
		재료분리	4	1.19	m ²	단면보수	
		철물노출	57	57	EA	표면처리	
		층분리	7	1.4	m ²	표면처리	
		실런트탈락	1	2.5	m ²	실런트 주입	
		실런트파손	2	0.4	m ²	실런트 주입	
		시공미흡	4	2.54	m ²	단면보수	
	교대보호블럭 침하 및 이격	2	54	m ²	재정비	3순위	
	점검계단 유동	14	14	EA	재정비		
	점검계단 몰탈파손	12	0.72	m ²	재정비		
하 부 구 조	교각	균열(cw=0.2mm이하)	150	162.5	m	표면처리	하자
		불규칙균열(cw=0.2mm이하)	17	73.14	m ²	표면처리	
		긁힘	24	0.88	m ²	단면보수	
		시공미흡	9	1.96	m ²	단면보수	
		재료분리	8	2.41	m ²	단면보수	
		철물노출	72	72	EA	표면처리	
		파손	4	0.04	m ²	단면보수	
받침장치	받침 몰탈 균열	53	5.5	m	표면처리	3순위	
	받침 콘크리트 균열	13	4.8	m	표면처리	하자	
	받침 콘크리트 불규칙균열	1	0.12	m ²	표면처리		
	받침 콘크리트 박리	5	0.05	m ²	단면보수		
	받침 콘크리트 재료분리	17	2.65	m ²	단면보수		
	받침 콘크리트 철물노출	20	20	EA	표면처리		
	Plate녹발생	16	4.64	m ²	재도장	2순위	
	볼트 녹발생	56	56	EA	재도장		

위치	손상내용	개소	손상물량	단위	조치필요사항	비고
신축이음	후타재 균열	12	5.86	m	주의관찰	-
	후타재 불규칙균열	2	3.2	m ²	주의관찰	
	녹발생	4	1.75	m ²	주의관찰	
	토사퇴적	4	0.8	m ²	청소	1순위
	덮개판 볼트 탈락	6	6	EA	볼트 재설치	3순위
	덮개판 볼트 풀림	3	3	EA	볼트 재설치	
교면포장	일방향균열	5	31.5	m	주의관찰	-
	이방향균열	5	29.2	m ²	주의관찰	
	소성변형	7	27	m ²	주의관찰	
	이물질퇴적	3	34	m ²	청소	3순위
	패임	1	0.3	m ²	패칭보수	
	포트홀	8	0.2	m ²	패칭보수	
방호벽	균열(cw=0.2mm이하)	195	74.5	m	표면처리	3순위
	균열(cw=0.3mm이상)	22	15.4	m	주입보수	
	불규칙균열(cw=0.2mm이하)	14	25.85	m ²	표면처리	
	파손	4	0.15	m ²	단면보수	
	박리	9	0.4	m ²	단면보수	
	백태	1	0.08	m ²	표면처리	
	들뜸	3	0.51	m ²	단면보수	
	균열부백태	81	74.1	m	표면처리	
	긁힘	3	1.2	m ²	단면보수	
	재료분리	3	13.95	m ²	단면보수	
	철물노출	101	101	EA	표면처리	
	층분리	4	2.1	m	표면처리	
	텔리네이트 파손	1	1	EA	주의관찰	-

3.4.2 기 점검 결과와의 비교

〈표 3.4.2〉 기 점검 및 금회점검 손상물량 비교

위치		손상내용	손상물량/개소		손상 증감량	
			2016년 정밀점검	2017년 정밀점검		
바닥판 하면	균열(cw=0.2mm이하)	1.6/4 (m/개소)	67.9/106 (m/개소)	▲	66.3	
	균열(cw=0.3mm이상)	0.5/1 (m/개소)	-	▼	0.5	
	거푸집 미제거	-	0.04/1 (㎡/개소)	▲	0.04	
	균열부 백태	-	2/3 (m/개소)	▲	2	
	마감처리 미흡	-	39 (개소)	▲	39	
	박리	-	0.12/1 (㎡/개소)	▲	0.12	
	백태	0.1/1 (㎡/개소)	0.01/1 (㎡/개소)	-	-	
	시공결함 및 표면결함	-	3.6/1 (㎡/개소)	▲	3.6	
	재료분리	-	3.04/10 (㎡/개소)	▲	3.04	
	철물노출	-	180 (개소)	▲	180	
	파손	-	0.04/1 (㎡/개소)	▲	0.04	
	파손 및 철근노출	-	0.03/1 (㎡/개소)	▲	0.03	
거더	균열(cw=0.2mm이하)	-	4/8 (m/개소)	▲	4	
	박리	-	1.08/105 (㎡/개소)	▲	1.08	
	재료분리	-	1.04/21 (㎡/개소)	▲	1.04	
	철물노출	-	56 (개소)	▲	56	
	파손	-	0.22/22 (㎡/개소)	▲	0.22	
가로보	균열(cw=0.2mm이하)	-	5.4/14 (m/개소)	▲	5.4	
	균열(cw=0.3mm이상)	1.0/1 (m/개소)	-	▼	1.0	
	박리	-	0.67/6 (㎡/개소)	▲	0.67	
	철물노출	-	1 (개소)	▲	1	
	시공미흡	-	6 (개소)	▲	6	
하 부 구 조	교대	균열(cw=0.2mm이하)	4.5/3 (m/개소)	4.5/9 (m/개소)	-	-
		균열(cw=0.3mm이상)	-	1.5/1 (m/개소)	▲	1.5
		불규칙균열(cw=0.2mm이하)	-	4.61/3 (㎡/개소)	▲	4.61
		긁힘	-	0.02/1 (㎡/개소)	▲	0.02
		박리	-	0.22/3 (㎡/개소)	▲	0.22
		보수재들뜸	-	0.3/1 (㎡/개소)	▲	0.3
		재료분리	-	1.19/4 (㎡/개소)	▲	1.19
		철물노출	-	57 (개소)	▲	57
		층분리	-	1.4/7 (㎡/개소)	▲	1.4
		실런트탈락	-	2.5/1 (㎡/개소)	▲	2.5
		실런트파손	-	0.4/2 (㎡/개소)	▲	0.4
		시공미흡	-	2.54/4 (㎡/개소)	▲	2.54
		교대보호블럭 침하 및 이격	-	54/2 (㎡/개소)	▲	54
		점검계단 유동	-	14 (개소)	▲	14
		점검계단 몰탈파손	-	0.72/12 (㎡/개소)	▲	0.72

위치		손상내용	손상물량/개소		손상 증감량	
			2016년 정밀점검	2017년 정밀점검		
하 부 구 조	교각	균열(cw=0.2mm이하)	23.9/14 (m/개소)	162.5/150 (m/개소)	▲	138.6
		불규칙균열(cw=0.2mm이하)	1.0/1 (m²/개소)	73.14/17 (m²/개소)	▲	72.14
		굵힘	-	0.88/24 (m²/개소)	▲	0.88
		시공미흡	-	1.96/9 (m²/개소)	▲	1.96
		재료분리	-	2.41/8 (m²/개소)	▲	2.41
		철물노출	-	72 (개소)	▲	72
		파손	-	0.04/4 (m²/개소)	▲	0.04
받침장치		받침 몰탈 균열	1.6/16 (m/개소)	5.5/53 (m/개소)	▲	4.9
		받침 콘크리트 균열	-	4.8/13 (m/개소)	▲	4.8
		받침 콘크리트 불규칙균열	-	0.12/1 (m²/개소)	▲	0.12
		받침 콘크리트 박리	-	0.05/5 (m²/개소)	▲	0.05
		받침 콘크리트 재료분리	-	2.65/17 (m²/개소)	▲	2.65
		받침 콘크리트 철물노출	-	20 (개소)	▲	20
		Plate녹발생	1.6/8 (m²/개소)	4.64/16 (m²/개소)	▲	3.04
신축이음		볼트 녹발생	-	56 (개소)	▲	56
		후타재 균열	2.3/2 (m/개소)	5.86/12 (m/개소)	▲	3.56
		후타재 불규칙균열	-	3.2/2 (m²/개소)	▲	3.2
		녹발생	-	1.75/4 (m²/개소)	▲	1.75
		토사퇴적	-	0.8/4 (m²/개소)	▲	0.8
		덮개판 볼트 탈락	-	6 (개소)	▲	6
		덮개판 볼트 풀림	-	3 (개소)	▲	3
교면포장		단차	1 (개소)	-	▼	1
		일방향균열	-	31.5/5 (m/개소)	▲	31.5
		이방향균열	-	29.2/5 (m²/개소)	▲	29.2
		소성변형	810/9 (m²/개소)	27/7 (m²/개소)	▼	783
		이물질퇴적	-	34/3 (m²/개소)	▲	34
		패임	-	0.3/1 (m²/개소)	▲	0.3
		포트홀	-	0.2/8 (m²/개소)	▲	0.2
방호벽		균열(cw=0.2mm이하)	65.3/20 (m/개소)	74.5/195 (m/개소)	▲	9.2
		균열(cw=0.3mm이상)	-	15.4/22 (m/개소)	▲	15.4
		불규칙균열(cw=0.2mm이하)	-	25.85/14 (m²/개소)	▲	25.85
		파손	-	0.15/4 (m²/개소)	▲	0.15
		박리	-	0.4/9 (m²/개소)	▲	0.4
		백태	15.5/8 (m²/개소)	0.08/1 (m²/개소)	▼	15.42
		들뜸	-	0.51/3 (m²/개소)	▲	0.51
		균열부백태	-	74.1/81 (m/개소)	▲	74.1
		굵힘	0.5/1 (m²/개소)	1.2/3 (m²/개소)	▲	0.7
		재료분리	-	13.95/3 (m²/개소)	▲	13.95
		철물노출	-	101 (개소)	▲	101
		충분리	-	2.1/4 (m/개소)	▲	2.1
		델리네이트 파손	-	1 (개소)	▲	1

3.4.3 내구성조사 결과요약

〈표 3.4.3〉 내구성조사 결과 요약

시험명	시험 부위	시험결과	책임기술자 의견
콘크리트 강도시험	상부구조 (바닥판)	27.7~28.3MPa	· 상·하부구조의 콘크리트 측정 압축강도는 전반적으로 설계기 준강도를 상회하는 것으로 측정 됨. · 콘크리트의 재료적인 품질상태 는 전반적으로 양호한 것으로 판단된다.
	하부구조 (교대, 교각)	25.7~28.7MPa	
콘크리트 탄산화 깊이측정	바닥판	잔여깊이 : 38.5~44.0mm	측정철근 덮개 대비 탄산화에 대 한 내구성확보 상의 문제는 없는 것으로 판단됨.
	교대, 교각	잔여깊이 : 89.5~99.8mm	

〈표 3.4.4〉 기 점검 및 금회점검 내구성조사 비교

시험명	시험 부위	시험결과		책임기술자 의견
		2016년 정밀점검	2017년 정밀점검	
콘크리트 강도시험	상부구조 (바닥판)	29.7~31.1MPa	27.7~28.3MPa	· 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나, 전반적으로 설계기준강 도를 상회하는 것으로 측정됨.
	하부구조 (교대, 교각)	29.3~30.2MPa	25.7~28.7MPa	
콘크리트 탄산화 깊이측정 (잔여깊이)	상부구조 (바닥판)	48.1~48.6mm	38.5~44.0mm	· 기 점검 결과와 유사한 잔여깊 이로 측정되어 공용기간 동안의 탄산화 진전은 없음.
	하부구조 (교대, 교각)	97.9mm	89.5~99.8mm	

