

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개요

3.2 외관조사 결과

3.3 전회 진단 외관조사 결과와의 비교

3.4 재료시험

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개요

도림천복개 3구간은 서울특별시 동작구 대림로에 위치하며 하부로는 도림천이 상부로는 고가로 신대방역(서울 지하철 2호선)이 통과하고 있다. 도림천을 횡단하여 대림로와 난곡로를 연결하는 RC 라멘구조의 복개구조물로 연장은 L=64.7m, 폭 B=46.4m로 되어있다.

【표 3.1.1】 도림천복개 3구간 현황

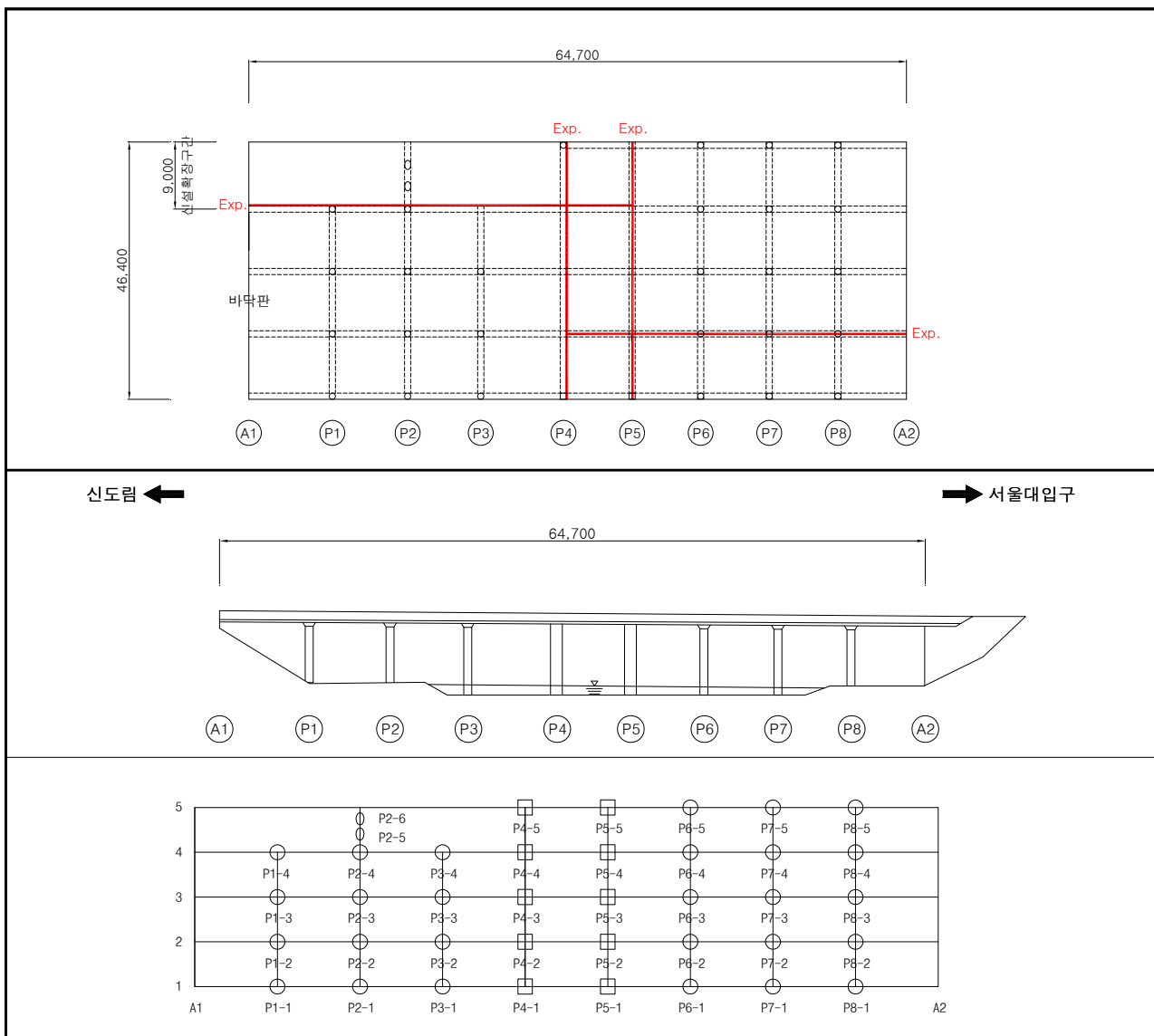
구 분		내 용		구 분		내 용	
시설물명		도림천복개 3구간		시설물번호		-	
준공년월일		1984년, 1992년(확장)		시 공 사		-	
시설물위치		서울특별시 동작구 대림로 (신대방역사)					
설계하중		DB-24		노선명(이정)		대림로, 난곡로	
제 원	연 장	L = 64.7m					
	폭	B = 37.4m + 9.0m(확장구간) = 46.4m					
구 조 형 식	상부	RC 라멘		기 초 형 식	교대	-	
	하부	-			교각	-	
교량받침		-		신축이음장치		모노셀	
교차시설물 (도로, 철도, 하천)		하부 : 도림천, 상부 : 지하철2호선		통과높이		-	



상부 전경



측면 전경



【그림 3.1.1】 도림천복개 3구간 현황도

외관조사는“교량 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2010.12, 국토해양부, 한국시설안전공단)”의 실시요령에 따라 시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물 기능 및 성능저하, 상태 등을 신속·정확하게 검사·평가하는데 주안점을 두고 수행하였다.

본 장에서는 구조물의 구성부재별로 외관조사 결과에 대한 주요 내용을 관련사진과 함께 수록하였으며, 세부적인 조사내용은 외관조사망도 내에 손상물량표와 함께 별권으로 작성하여 향후 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있도록 하였다.



도보를 이용한 근접조사(상부)



사다리를 이용한 근접조사(하부)



도보를 이용한 근접조사(하천구간)



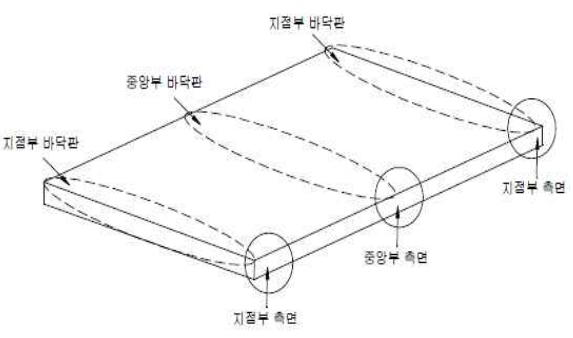
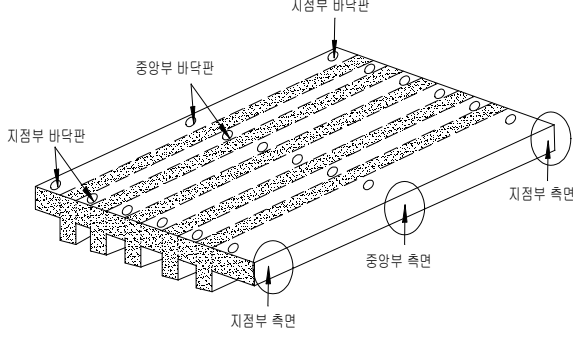
사다리를 이용한 근접조사(비파괴시험)

3.1.1 과업의 범위 및 내용

외관조사 시 구조물의 형식 및 특성에 따라 점검 부위 및 손상의 종류가 다르며, 본 구조물의 점검사항은 다음과 같다.

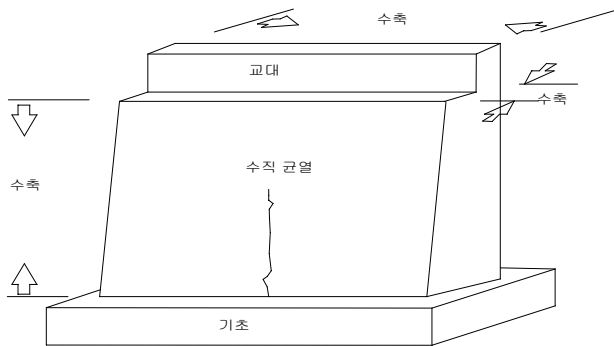
가. 콘크리트 바닥판

점 검 부 위		손 상 종 류
▷공통		• 균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출 • 재료분리(공동, 공극) • 누수 및 백태(유리석회)
▷슬래브, 라멘상부	- 받침부(단부)	• 부스러짐 • 사인장균열
	- 중앙부	• 힘균열

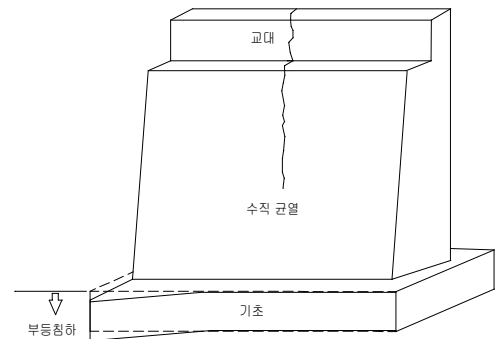
	
<거더가 없는 경우의 바닥판 점검부위>	<거더가 있는 경우의 바닥판 점검부위>

나. 교대

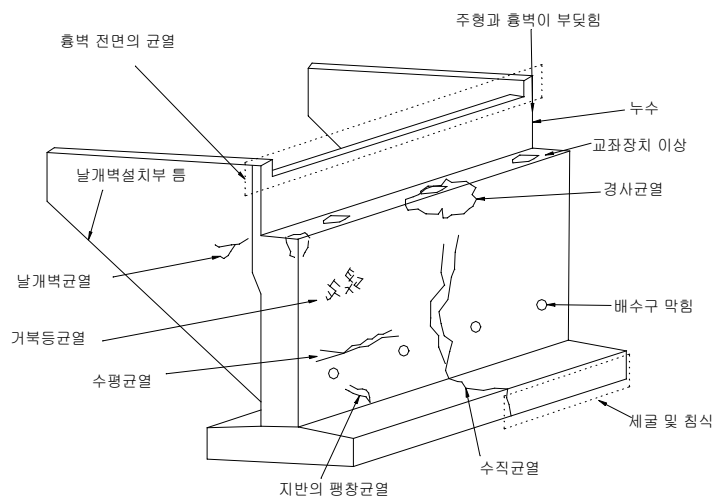
점 검 부 위	손 상 종 류
▷공통	○교대 기울음 및 전도 ○균열, 박리, 박락, 층분리, 철근노출, 백태(유리석회)
▷두부(Coping)	○두부 물고임 ○받침부 균열 및 파손 ○두부와 홍벽 경계부 균열 ○거더와 홍벽 신축유간 부족
▷벽체	○수직균열 및 침하 ○구체와 날개벽 분리 ○구체부 배수구 막힘 ○수면접촉부 침식
▷날개벽(옹벽 포함)	○날개벽 이동, 전도



< 온도응력, 건조수축에 의한 교대의 수직균열 >



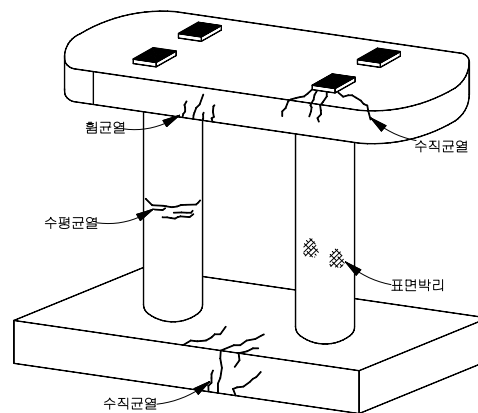
< 부등침하로 인한 교대의 수평균열 >



< 교대의 점검부위 >

다. 콘크리트 교각

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

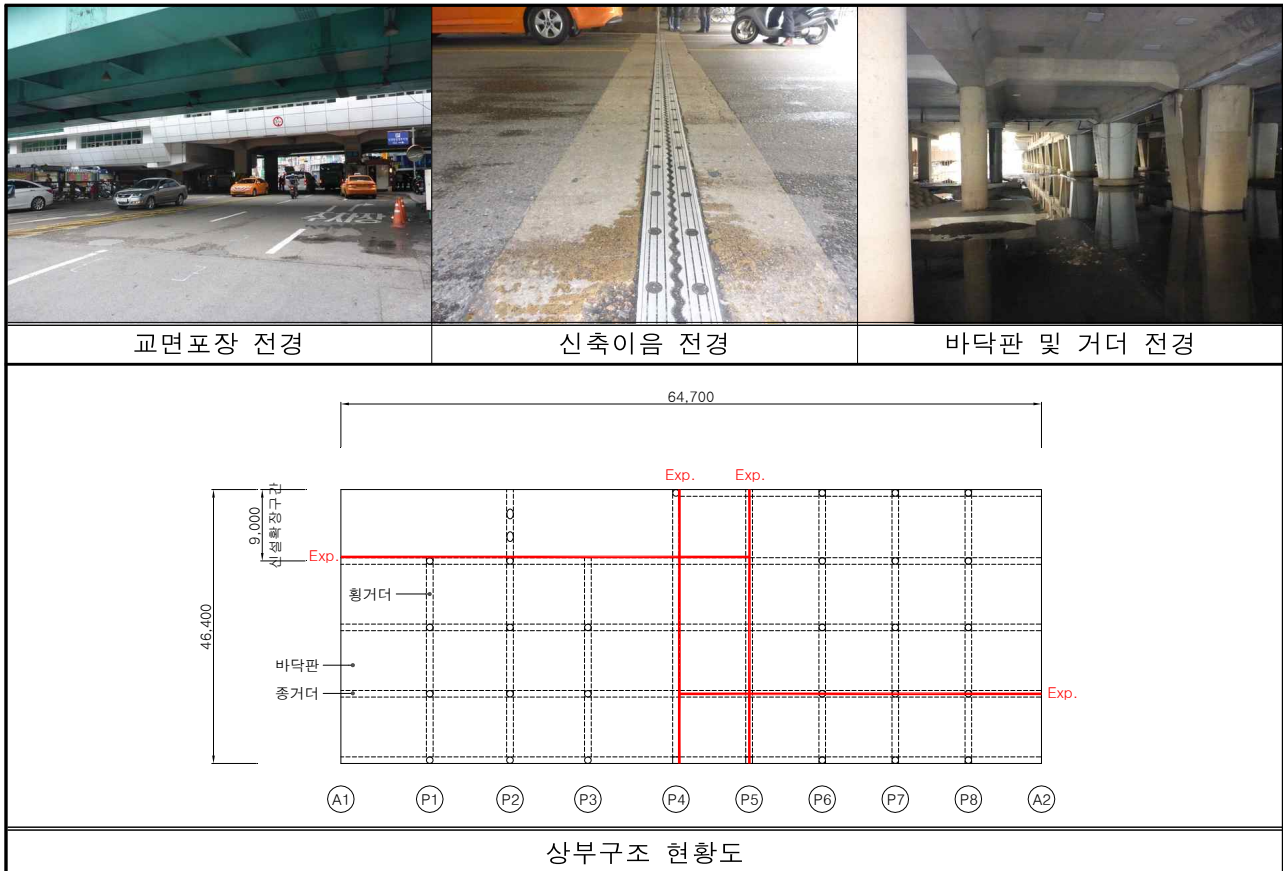


< 콘크리트 교각의 점검부위 >

3.2 외관조사 결과

3.2.1 상부구조

도림천복개 3구간 상부구조는 바닥판과 거더로 구성되어 있으며 바닥판은 9개 경간, 거더는 종방향 5열 횡방향 8열로 되어있다.



가. 교면포장

교면 좌·우측면은 보도로 보도블럭으로 되어있고 중간부는 4차로 도로로 아스콘 포장으로 되어있다.

【표 3.2.1】 교면포장구간 주요손상 점검결과 비교표

구 분		아스콘 균열(m)	아스콘 패임(m²)	아스콘 마모,변형(m²)	물탈파손 (m²)	체수 (m²)	비고
'13년 정밀점검	수량	80.00	3.19	16.34	0.30	3.00	
	개소	2	7	4	1	2	
'15년 정밀점검	수량	80.00	3.15	25.34	0.30	3.00	
	개소	2	6	6	1	2	

- 비교결과 전회보다 손상의 수량이 증가되었고 기 손상과 함께 추가적인 망상균열, 마모 등의 손상이 조사되어 교면포장의 열화가 진전된 것으로 판단된다.

1) 외관조사 현황

- 구조물 시·종점부에 포장 균열, 패임, 망상균열이 집중되어 발생되었고, 도로 양 측면에는 부분적인 체수도 조사되었다. 보도부는 전반적으로 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.



2) 원인 및 대책

- 시·종점부에 발생한 균열, 패임, 등의 손상은 신축이음장치가 설치되지 않아 구조물의 신축거동에 따른 포장균열이 반복적인 차량하중에 의해 포장면이 열화 되어 발생한 손상들이다. 점점일 현재 주행에 미치는 영향이 경미한 상태로 별도의 보수는 필요치 않으나 주의관찰이 요구된다.
- 부분적으로 발생한 포장마모, 패임, 망상균열 등은 공용증가에 의한 열화에 의한 것으로 손상의 정도가 전차보다 발전된 것으로 조사 되었고 일부 구간에는 체수도 발생 되어 손상부에 대한 아스팔트 팻칭 보수가 필요할 것으로 판단된다.

3) 검토의견

점검일 현재 포장면 손상 상태는 보통으로 주행에 미치는 영향은 경미한 상태이나 전차

점검보다 손상이 진전된 것으로 조사되었고 바닥판하면에도 균열부 백태가 신규 조사되어 교면방수층도 손상이 진행되고 있는 것으로 판단된다. 따라서 장기적인 포장계획을 수립하여 재포장(교면방수 포함)을 할 필요가 있을 것으로 판단되며 부분적으로 손상이 심한개소에 대해서는 아스팔트 패칭 보수가 필요할 것으로 판단된다.

나. 신축이음장치

신축이음부는 종방향 2개소, 횡방향 2개소로 종방향 신축이음부는 보도블럭에 매립되어 상면 외관조사가 곤란하여 하부에서만 조사를 하였고, 횡방향 2개소는 상·하면에서 모두 외관조사를 실시하였다.

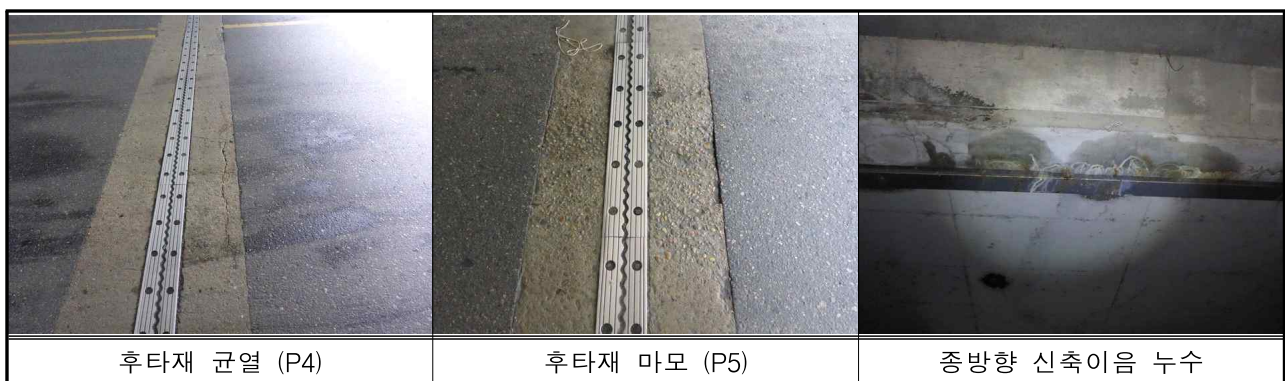
【표 3.2.2】 신축이음 주요손상 점검결과 비교표

구 분		균 열(m) (0.3mm미만)	후타재 파손(㎡)	후타재 재료분리,마모(㎡)	신축이음누수 (m)	비고
'13년 정밀점검	수량	3.60	0.18	28.20	-	
	개소	8	3	4	-	
'15년 정밀점검	수량	1.50	0.14	28.20	15.00	
	개소	1	2	4	3	

- 비교결과 전차 수량과 유사하게 조사되었으나 일부 신규 손상이 조사되었고 손상의 정도도 발달하고 있는 것으로 조사되었다.

1) 외관조사 현황

- 횡방향 신축이음 2개소에서는 후타재 균열과 국부적인 마모, 파손 등이 조사되었고 일누수가 1개소 조사되었다. 종방향 신축이음부도 누수가 2개소 조사되었다.



2) 원인 및 대책

- 후타재 균열 및 마모는 공용중 지속적인 차량하중에 의한 것으로 현재 손상 상태가 경미하여 보수보다는 주의관찰을 통한 유지관리가 적정할 것으로 판단된다.
- 신축이음부 누수는 지수재 열화에 의한 것으로 현재 유도배수를 하고 있는 상태이나

유도배수관 결함으로 누수가 발생하는 것으로 조사되었다. 신축이음장치의 지수재 보수는 공사가 어려워 유도배수시설 보수를 통한 유지관리가 적정할 것으로 판단된다.

3) 검토의견

신축이음부 상태는 대체적으로 양호한 상태이나 일부구간 누수가 발생되어 하부구조열화를 가중시키고 있다. 하부구조 내구성확보를 위해 유도배수시설 보수, 유도배수시설 신설 등이 필요한 상태이다.

4) 신축이음 유간거리 측정

- 신축이음은 상부구조의 온도신축과 하부구조의 예상 밖의 변위에 대한 여유량 등을 고려하여 유간거리가 확보되어야 한다. 본 점검에서는 온도변화에 따른 신축유간의 상시 거동에 대하여 검토를 실시하였다.
- 본 신축이음장치의 온도변화에 따른 유간거리 확보여부를 판정하기 위하여 도로교 설계기준에서 제시한 온도변화에 따른 신축량 산정식에 따라 이론값을 계산하였으며, 산정식 및 선팡창계수는 다음과 같다.

$$\text{온도변화에 의한 신축량}(\Delta L_t) = a \times \Delta t \times L$$

여기서, a : 선팡창계수 (콘크리트교 : 1.0×10^{-5})

Δt : 온도변화 (콘크리트교 : 측정시 온도 $\sim 35^{\circ}\text{C}$)

L : 신축장(m) (고정점간 거리)

- 조사일 온도 : 2015년 6월 26일 21.0°C

【표 3.2.3】 신축유간 검토

위치	구 분	신축장 (m)	유간 측정량 (mm)	예상 신장 (mm)	예상 수축 (mm)	여유량(mm)		설계 유간 (mm)	검 토
						신장	수축		
J1 (P4)	RC교 (횡방향)	7.2	23	1.00	1.87	26.0	25.1	50	양호
J2 (P5)	RC교 (횡방향)	14.4	25	2.01	3.74	21.3	21.3	50	양호

- 온도변화에 의한 신축이음장치 여유량은 조사일(2015년 6월 26일) 평균기온 21.0°C 을 기준으로 하였으며, 하절기 최고온도(RC교: 35°C)와 동절기 최저온도(RC교: -15°C)까지의 온도를 적용하여 산정하였다. 신축이음장치의 예상 신축량과 실측유간을 비교·검토한 결과, 실측유간이 예상 신장량 및 수축량에 비해 여유가 있는 것으로 검토되어 신축이음장치의 유간확보에는 문제가 없는 것으로 평가되었다.

다. 난간 및 배수시설

본 구조물에는 보도와 차도 경계부와 구조물 외측에 난간이 각각 설치되어 있으며 배수 시설은 도로 양 측면에 설치되어있다.

1) 외관조사 현황

- 외측난간의 상태는 양호하나 내부난간에는 부식이 일부 조사되었다. 배수구는 막힘은 없으나 입구주변에는 이물질이 퇴적되어 있으며, 바닥판 하면 배수구 주변에는 누수, 백태가 조사되었다.



2) 원인 및 대책

- 난간부식은 경년열화에 의한 도장박리에 의한 것으로 내구성확보를 위한 재도장이 필요하다.
- 배수구 입구주변 이물질퇴적은 배수장애에 의한 노면 체수의 우려가 있으므로 주기적인 관리를 통한 청소가 필요하며 배수관주변 누수, 백태는 배수관 주변 지수재 손상에 의한 것으로 지속적인 누수로 하부구조가 열화 되어 내구성저하의 우려가 있으므로 장기적으로는 배수관 주변 지수보수가 필요하다.

마. 바닥판 및 거더

【표 3.2.4】 바닥판 및 거더 점검결과 비교표

구 분		균열(m) (0.3mm 미만)	균열부 백태(m) (0.3mm 미만)	망상 균열 (㎡)	보수재 박리,박락 (㎡)	누수,백태 오염,열화 (㎡)	재료분리 및 철근노출 (㎡)	층분리 (㎡)	비고
'13년 정밀점검	수량	-	0.20	1.00	7.22	18.54	0.35	-	
	개소	-	1	1	14	18	8	-	
'15년 정밀점검	수량	6.00	2.20	1.00	7.22	14.24	0.22	0.24	
	개소	3	5	1	14	15	6	1	

- 비교결과 전회보다 일부 손상 물량이 다소 증가되었고 기 손상과 함께 추가적인 손상도 조사되었다.

1) 외관조사 현황

- 바닥판 하면에는 균열부 백태, 보수재 박리, 백태, 배수구 주변 누수 및 백태 등이 조사되었다.
- 거더에는 보수재 박리, 균열 및 백태, 유도배수관 파손, 망상균열이 조사되었고 일부에는 들뜸이 조사되었다.



2) 원인 및 대책

- 바닥판 및 거더는 대체적으로 양호하나 신축이음부 주변은 누수에 의해 구체열화가 발달되어 있다. 현재 신축이음 누수부에는 유도배수시설이 설치되어 있으나 여러 개소에서 누수가 발생하는 것으로 조사되었다. 구체 열화부 보수와 함께 신축이음 누수 보수도 필요한 상태이다.
- 균열부 누수, 백태는 교면방수 손상에 따른 교면수 유입에 의한 것으로 단기적으로는 주입보수가 적정하나 장기적으로는 교면방수 보수가 필요하다. 따라서 교면 재포장 공사 시기와 맞추어 교면방수공사도 함께할 필요가 있다.
- 보수재 박리는 환경적 요인과 경년열화에 의한 요인이 복합적으로 작용하여 발생하며

특히 거더에서 발생된 박리는 신축이음부 누수에 의한 보수재 내구성 저하에 의한 원인이 크므로 표면보수와 더불어 신축이음부 지수 보수가 반드시 필요하다.

3.2.2 하부구조

하부구조는 라멘구조로 받침이 없으며 시·종점 교대와 39기의 교각이 설치되어있다. 교대는 벽식으로 교각은 원형, 사각형 과 일부가 트랙형으로 되어있다. 기초는 지중에 매립되어 있고 관련 자료도 미흡하여 확인하지 못하였다.



【표 3.2.6】 하부구조 교각위치 및 형상

구 분	교 각 번 호	형상	비고
단부 교각	P1-1, P1-4, P2-1, P2-4, P3-1, P3-4, P6-1, P7-1, P8-1	원형	
	P4-1~P4-5, P5-1~P5-5	사각형	
연속부 교각	P1-2, P1-3, P2-2, P2-3, P3-2, P3-3, P6-3, P6-4, P6-5, P7-3, P7-4, P7-5, P8-3, P8-4, P8-5	원형	
	P2-5, P2-6	트랙형	

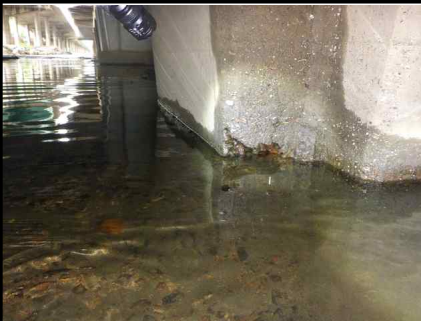
【표 3.2.7】 하부구조 주요손상 점검결과 비교표

구 분		균 열(m)		보수부 재균열(m) (0.3mm 미만)	망상균열, 누수, 백태 (㎡)	들뜸, 파손 (㎡)	충분리 (㎡)	박락 및 철근노출 (㎡)	비고
		0.3mm 미만	0.3mm 이상						
'13년 정밀점검	수량	1.90	0.50	0.40	4.34	0.56	-	-	
	개소	5	1	1	14	4	-	-	
'15년 정밀점검	수량	1.30	1.10	3.30	30.74	0.88	1.36	0.24	
	개소	4	2	4	25	8	3	2	

- 비교결과 전회보다 일부 손상 물량이 다소 증가되었고 기 손상과 함께 추가적인 손상도 조사되었다.

1) 외관조사 현황

- 교대는 양호한 상태로 조사되었고 교각도 대부분 양호한 상태이나 단부 거더에 위치하는 교각에는 손상들이 집중되어 기둥 박락 및 철근노출, 코핑부 들뜸, 균열 등의 손상이 조사되었다.
- 단부 교각(P1-4)의 기둥은 박락으로 철근이 노출되어 부식이 발생한 상태이고 P3-4번 교각은 전체가 표면보수 된 상태이나 코핑에는 들뜸과 함께 녹물이 조사되었고 기둥에는 균열도 조사되었다. 2013년 긴급 보강이 이루어진 교각 P8-1의 상태는 양호한 것으로 조사되었다.

		
교대 상태양호 (A1)	기둥 박락 및 철근노출 (P1-4)	코핑부 들뜸 (P3-4)
		
박락 및 철근노출 (P4-3)	균열, 누수 (P6-2)	보수상태 양호 (P8-1)

2) 원인 및 대책

- 거더 단부에 위치하는 교각에 발생한 손상은 신축이음부 누수에 의한 것으로 손상에 대한 직접적인 보수와 함께 누수에 대한 보수도 필요하다. 현재 신축이음부중 일부는 유도배수시설이 설치되어 있는 상태이나 유도배수시설 손상으로 부분적으로 누수가 발생하고 있으며 미설치 구간에도 일부 누수가 조사되었다. 따라서, 유도배수시설 손상부는 재 설치보수가, 신규 누수 부는 유도배수시설을 추가하여 누수에 의한 열화손상을 방지할 필요가 있다.
- 들뜸, 박락, 균열 등이 조사된 P1-4, P3-4, P6-2는 재 손상이 발생되고 누수가 지속적으로 발생되고 있어 부분적인 단면복구보다는 교각 두부 전체에 대해 단면을 증설하는 보수가 적절할 것으로 판단된다.

3) 검토의견

대부분의 손상이 신축이음 인근 교각에서 발생되고 있어 누수에 대한 대책이 선행되어야 하며 단면손상부에 대한 보수도 국부적인 단면복구보수보다는 전체적인 단면증설 등을 통한 보수가 적절할 것으로 판단된다.

3.3 전회 점검 외관조사 결과와의 비교

전차 점검의 외관조사 결과와 금회 점검 시 손상의 조치상태 및 진전여부 등에 대하여 비교·검토하였으며, 주요 손상에 대하여 요약·정리 하였다.

【표 3.3.1】 전회 점검 외관조사 결과와의 비교

구분	손상	단위	2015 금회점검		2013 전회점검		검토결과
			물량	개소	물량	개소	
교면포장	아스콘 균열	m	80.0	2	80.0	2	· 공용기간 증가에 따라 손상 규모와 정도가 증가되고 있는 것으로 조사되어 부분적으로 아스팔트 패칭 보수가 필요 할 것으로 판단된다.
	아스콘 패임	m²	3.20	6	2.35	5	
	아스콘 마모, 보수부 변형, 소성변형	m²	25.34	6	16.34	4	
	망상균열	m²	1.00	1	-	-	
	체수	m²	3.00	2	3.0	2	
신축이음	후타재 균열 (0.2mm이하)	m	1.50	1	3.6	8	· 신축이음부 누수로 인해 하부구조가 열화 되고 있어 신축이음보수가 필요하나 현실적으로 보수가 어려우므로 유도배수를 통한 지수가 적정 할 것으로 판단된다.
	신축이음 누수	m	10.00	2	-	-	
	후타재 파손	m²	0.14	2	0.18	3	
	후타재 재료분리, 마모	m²	28.20	4	28.2	4	
배수시설	배수구 막힘	개소	1	1	1.00	1	· 배수구에 대한 정기적인 청소가 필요하며 신축이음부 유도배수관 파손으로 누수가 발생되고 있어 유도배수관 교체가 필요하다. 배수공 주변 누수/백태는 장기적으로 교면재포장 시 배수공주변 지수보수가 필요할 것으로 판단된다.
	유도배수관 누수	m	5.00	1	-	-	
	배수관 파손	개소	1	1	1.00	1	
	배수관 길이부족	개소	1	1	-	-	
	덮개파손	개소	1	1	1.00	1	
	유도배수관 파손	개소	1	1	1.00	1	
	배수관 부식	m²	0.60	1	-	-	
	배수공 주변 누수,백태	m²	1.75	3	1.50	2	

【표 3.3.1】 전회 점검 외관조사 결과와의 비교 - 계속

구분	손상	단위	2015 금회점검		2013 전회점검		검토결과
			물량	개소	물량	개소	
바닥판 하면 / 거더	균열 (0.3mm미만)	m	6.00	3	-	-	· 공용기간 증가함에 따라 보수재 열화가 발달하고 있는 것으로 판단되며 손상물량은 전차조사결과와 유사한 것으로 조사되었다.
	균열부 백태 (0.2mm이하)	m	2.20	5	0.20	1	
	망상균열	m²	1.00	1	1.00	1	
	보수재 박리, 박락	m²	7.22	14	7.22	14	
	누수, 백태, 오염, 열화	m²	14.24	15	18.54	18	
	재료분리, 철근노출	m²	0.22	6	0.35	8	
	거푸집 미제거	개소	8	8	8	8	
	층분리	m²	0.24	1	-	-	
	재료분리	m²	0.37	3	0.37	3	
교각	균열 (0.3mm미만)	m	1.30	4	1.90	5	· 보강된 기둥의 상태는 양호한 것으로 조사되었으나 표면 보수가 된 교각 중 일부는 상부에서 유입되는 우수에 의해 재 손상과 함께 손상이 진전된 것으로 조사되어 상부로부터 유입되는 우수 차단과 함께 단면보수를 통한 내구성 확보가 필요할 것으로 판단된다.
	균열 (0.3mm이상)	m	1.10	2	0.50	1	
	보수부 재균열 (0.3mm미만)	m	3.30	4	0.40	1	
	망상균열, 누수, 백태	m²	30.74	25	4.34	14	
	들뜸, 파손	m²	0.88	8	0.56	4	
	층분리	m²	1.36	3	-	-	
	박락 및 철근노출	m²	0.24	2	-	-	
기초	파손	m²	0.55	3	0.55	3	-

3.4 재료시험

3.4.1 개 요

본 과업에서는 대상구조물에 대하여 콘크리트 재료시험을 실시하여 콘크리트의 품질 및 물리·화학적 특성을 측정하고 주요부재의 안전성 및 결함원인 등의 분석을 위한 자료로 활용하였으며, “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침-교량” 및 과업내용서에 따라 시험방법 및 수량을 선정하여 실시하였다.

【표 3.4.1】 시험종류 및 수량 선정

구 분			반발경도시험 (개소)		탄산화깊이측정 (개소)	
			산출수량	금회수량	산출수량	금회수량
과업 교량	노들남고가	상부구조	9	10	3	4
		하부구조	9	10	3	4
	대방지하차도	상부구조	1	4	1	1
		하부구조	1	4	1	3
	도림천복개2구간	상부구조	8	10	3	3
		하부구조	8	10	3	4
	도림천복개3구간	상부구조	2	4	1	3
		하부구조	2	4	2	3
	시흥천복개2구간	BOX구간	1	2	2	2
		교량구간	1	2	3	2
	이수교	상부구조	1	2	3	2
		하부구조	1	2		2
	신림1교	상부구조	1	2	2	2
		하부구조	1	2		-
세부지침 기준수량		반발경도시험	상부구조, 하부구조 : 50m마다			
		탄산화깊이측정	5경간 이내 : 2~3개소, 5경간 이상 : 3~6개소			
연장별 조정비		•연장 300m 미만의 교량을 기준으로 함. •기본 재료시험의 기준 수량을 책임기술자의 판단으로 조정할 수 있음. •연장별 조정비 - 500m : 80%, 1,000m : 60%, 2,000m : 40%, 4,000m이상 : 30~20%				
		•금회 과업에서는 연장별 조정비를 반영하지 아니함.				

내구성 조사는 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.

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.

3.4.2 반발경도시험

콘크리트 강도시험은 경화된 콘크리트 표면을 타격할 때 측정 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(F_c)와의 사이에 특정 상관관계를 구하는 반발경도시험을 수행하였다.

반발경도시험은 콘크리트의 표면 경도를 측정하여 이 측정치로부터 콘크리트의 압축강도를 비파괴로 추정하는 검사방법이다.

반발경도를 구하는 방법으로는 슈미트 해머(Schmidt Hammer)법이 가장 널리 사용된다. 슈미트 해머로 경화된 콘크리트 표면을 타격하여 반발도(R)와 콘크리트의 압축강도(F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

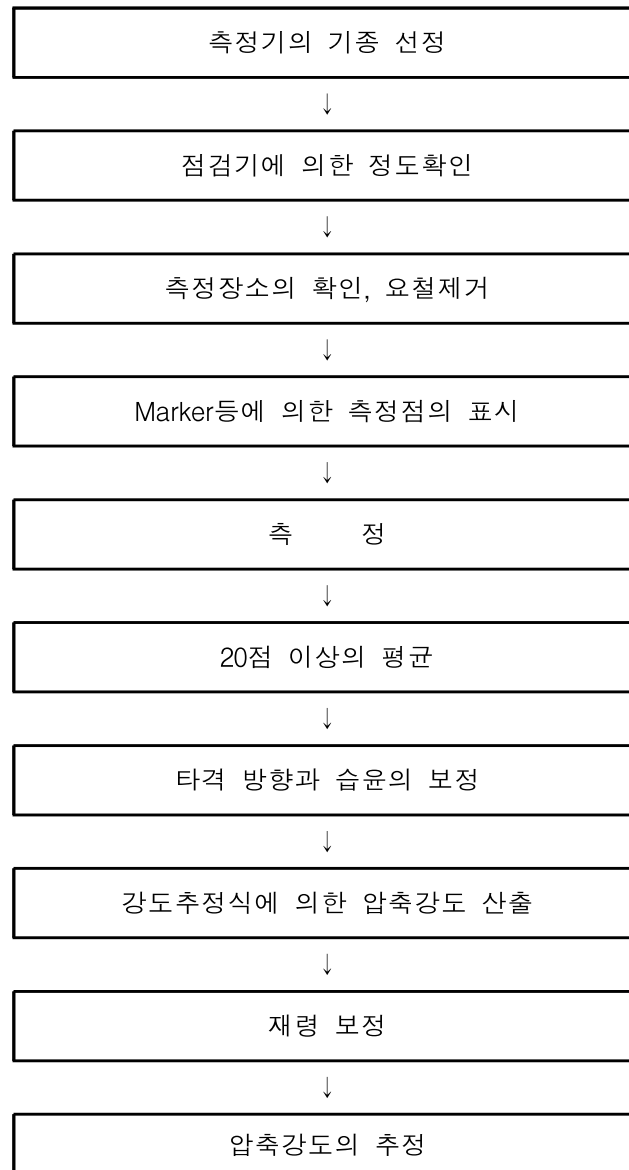
가. 반발경도(R)

슈미트 해머로 경화된 콘크리트 표면의 타격시 내부에 중추의 반동량을 반발도(R)로 표시하며, 이 반발도의 크기에 따라 콘크리트의 압축강도를 추정한다.

외관조사 결과에 의해서 결정된 측정개소에 대해서 표면 평활작업을 하여 타격점 상호간의 간격은 3cm를 표준으로 종으로 5열, 횡으로 4열의 선을 그어 직교되는 20점을 타격하여 반발경도 값의 산술 평균값(R_m)을 구한다.

산술평균값 R_m 에 대해 RILEM Recommendation에 따라 각 반발경도의 값이 $R_m \pm 20\%$ 의 범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도 R을 결정한다. 제외된 반발치가 4개 이상일 때는 측정지점의 반발경도값(R)은 버린다. 여기서

측정된 반발치의 값들이 많은 편차를 보이고 있으면 보편적으로 콘크리트의 품질이 불균질하다고 평가될 수 있을 것이다.



【그림 3.4.1】 반발경도법에 의한 압축강도 추정도

나. 보정 반발경도(R_0)

보정 반발경도 R_0 은 다음 식(3.7.1)과 같이 측정경도 R 에 보정값 ΔR_1 , ΔR_2 , ΔR_3 를 더한 값으로 한다.

$$R_0 = R + \Delta R_1 + \Delta R_2 + \Delta R_3 \quad \dots\dots\dots (3.4.1)$$

여기서, ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR_2 : 압축부재의 사하중 응력에 따른 보정값

ΔR_3 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

다. 타격 방향에 따른 반발경도의 보정(ΔR_1)

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

하향 타격(-90°)의 경우에는 Schmidt Hammer 내부의 해머중량에 의해서 실제보다 반동량이 작아지므로 +값으로 수정해 주고, 상향의 타격($+90^\circ$)의 경우에는 반대현상에 의해서 -값으로 수정해 주어야 한다.

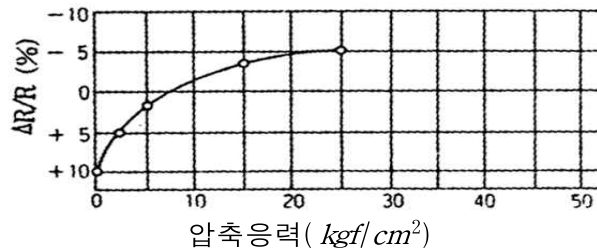
【표 3.4.2】 반발경도 보정값

반발경도	보 정 값				비 고
	$+90^\circ$	$+45^\circ$	-45°	-90°	
10			+2.4	+3.2	상향수직타격 $+90^\circ$
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	하향수직타격 -90°
60	-2.3	-1.6	+1.3	+1.7	

주) 관련자료 : 정밀안전진단 기술자 교육자료 “교량 및 터널” (한국시설안전공단, 2010)

라. 압축응력에 따른 반발경도 보정(ΔR_2)

타격방향과 직각방향으로 압축응력을 받는 부재는 압축응력이 커짐에 따라 반발경도에 의한 압축강도가 실제보다 커진다는 사실이 시험결과 입증되었다. 그 크기는 대략 압축응력이 10 kgf/cm^2 인 경우 $\Delta R_2 = -0.015R$, 25 kgf/cm^2 인 경우 $\Delta R_2 = -0.05R$ 이다.



【그림 3.4.2】 압축응력에 따른 반발경도의 보정곡선

바. 콘크리트 습윤상태에 따른 보정(ΔR_3)

콘크리트 표면이 습윤상태에 있으면 기건상태 보다 반발도가 작게 나오게 된다. 따라서, 완전 습윤상태에서는 기건상태를 기준으로 $\Delta R_3 = +5$ 로 보정한다.

사. 압축강도의 추정

보정반발경도 R_o 로 부터 압축강도(F_c) 의 상관관계를 도출한 제안식은 다음과 같다.

- 일본재료학회 (보통콘크리트)

$$F_c = -18.0 + 1.27 R_o \text{ (MPa)} \quad \text{..... (3.4.2)}$$

- 일본건축학회 CNDT 소위원회 강도계산식

$$F_c = (7.3 R_o + 100) \times 0.1 \text{ (MPa)} \quad \text{..... (3.4.3)}$$

아. 콘크리트 재령에 따른 압축강도의 보정

콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α 는 【표 3.4.3】 과 같으며, 3000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

$$F_{28}' = \alpha \cdot F_c \quad \text{..... (3.4.4)}$$

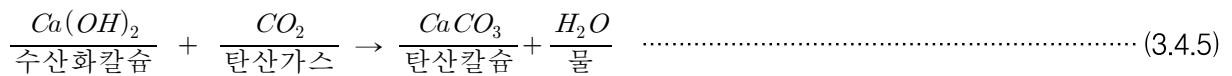
【표 3.4.3】 재령계수 α 값

재령(일)	10	20	28	50	100	150	200	300	500	1000	2000	3000
α	1.55	1.12	1.00	0.87	0.78	0.74	0.72	0.70	0.67	0.65	0.64	0.63

3.4.3 탄산화 시험

가. 개요

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



(pH 12~13) (대기중에 존재) (pH 8.5~10)

탄산화가 일어나는 메카니즘을 보면 식(3.7.13)에서 시멘트의 수화 반응에서 생성되는 수산화칼슘 $[Ca(OH)_2]$ 은 pH 12~13정도의 강 알칼리성을 나타내지만 대기중에 포함되어 있는 약산성의 탄산가스(약 0.03%)와 접촉하면 탄산칼슘과 물로 변화하고 탄산칼슘으로 변화한 부분의 pH가 8.5~10 정도로 낮아지게 된다. 따라서, 콘크리트의 탄산화는 일반 환경 하에서도 확실하게 진행되기 때문에 매입된 철근의 부식에 따른 문제가 가장 기본적이며 중요하다.

콘크리트 내부의 pH가 10 이상에서 철근은 표면에 $1 \times 10^{-6} \text{ mm}$ 두께의 수산화물 ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) 부동태막을 형성하므로 산소 침입을 막아 철근의 부식을 방지하지만 탄산화에 의하여 pH가 10 보다 낮아지면 부동태막이 파괴되면서 철근에 녹이 발생하게 된다. 이러한 녹은 원래 부피의 약 2.5배에서 최대 7배까지 팽창하고 녹의 팽창압력에 의해 콘크리트 내부에는 균열이 발생하게 되며 철근의 부착강도 저하, 피복 콘크리트의 탈락, 철근 단면적의 감소 등 구조물의 내구성 저하를 초래하게 된다. 이러한 원인으로 녹의 진행과 함께 콘크리트 표면에 균열, 박리, 박락 등을 초래하기 때문에 콘크리트 구조물의 내구성면에서 탄산화를 파악하는 것이 중요하다.

【표 3.4.4】 pH값의 변화에 따른 철근부식의 영향

pH값	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	녹슬기 쉬움										녹슬지 않음		

나. 탄산화깊이의 측정

콘크리트의 탄산화는 일반적으로 현장에서 간편하게 이용되는 페놀프탈레인법 (페놀프탈레인은 pH 지시약의 일종으로 1% 알칼리용액) 을 이용하여 진행 정도를 측정한다.

콘크리트 구조물에서의 탄산화 시험은 구조체에서 채취한 코어 또는 구조체 안전(내하력 등)에 영향을 미치지 않는 부위를 선정 일부분을 파손하여 노출된 대상 측정면에 가능한 빨리 분무하여 탄산화 깊이를 측정하며, pH 8.2~10.0 이상의 알칼리측에서 홍색으로 발색하며 중성측에서는 무색으로 나타나게 되는데, 탄산화 진행 깊이의 측정은 콘크리트 표면에서 발색점까지의 깊이를 깊이계, 버어니어캘리퍼스 등으로 측정한다.

다. 평가

경화콘크리트의 탄산화평가는 시멘트의 종류, 콘크리트의 품질, 환경조건에 따라 다르지만 일반적으로 철근 피복두께 수치와 함께 【표 3.4.5】에 의한 기준(안전점검 및 정밀안전진단 세부지침)으로 나타낸다.

【표 3.4.5】 탄산화 상태평가 기준

평가기준	탄산화 잔여깊이	탄산화 부식의 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

라. 탄산화에 의한 수명 평가

탄산화에 의한 수명 평가는 경과년수와 탄산화깊이와의 관계를 통해 탄산화 속도계수를 역추적하여 탄산화가 철근에 도달하는 시간을 계산하였다. 탄산화 속도계수식 $C = A\sqrt{t}$ 에서 준공 후 현재까지의 경과년수 t 는 기존자료로부터 구할 수 있고, 현재까지 진행된 탄산화 깊이 C 는 현장조사를 통하여 얻을 수 있으므로 탄산화 속도계수 A 를 계산할 수 있다. 이에 따라 다음과 같은 식을 통하여 현재로부터 탄산화가 철근에 도달하는데 걸리는 시간을 추정할 수 있다.

$$A = \frac{C_0}{\sqrt{t_0}} \dots\dots\dots (3.4.6)$$

$$t_d = \frac{C_c^2}{A^2} - t_0 \quad \dots\dots\dots (3.4.7)$$

여기서, t_d : 현재부터 탄산화가 진행되어 철근에 도달하는데 걸리는 시간

C_c : 현장조사로부터 얻어진 철근까지의 피복두께(mm)

C_0 : 현재 탄산화 깊이 측정치(mm)

A : 탄산화시험으로부터 계산된 계수(탄산화 속도계수)

t_0 : 현재까지 구조물 경과시간

3.4.4 콘크리트 내구성 시험현황

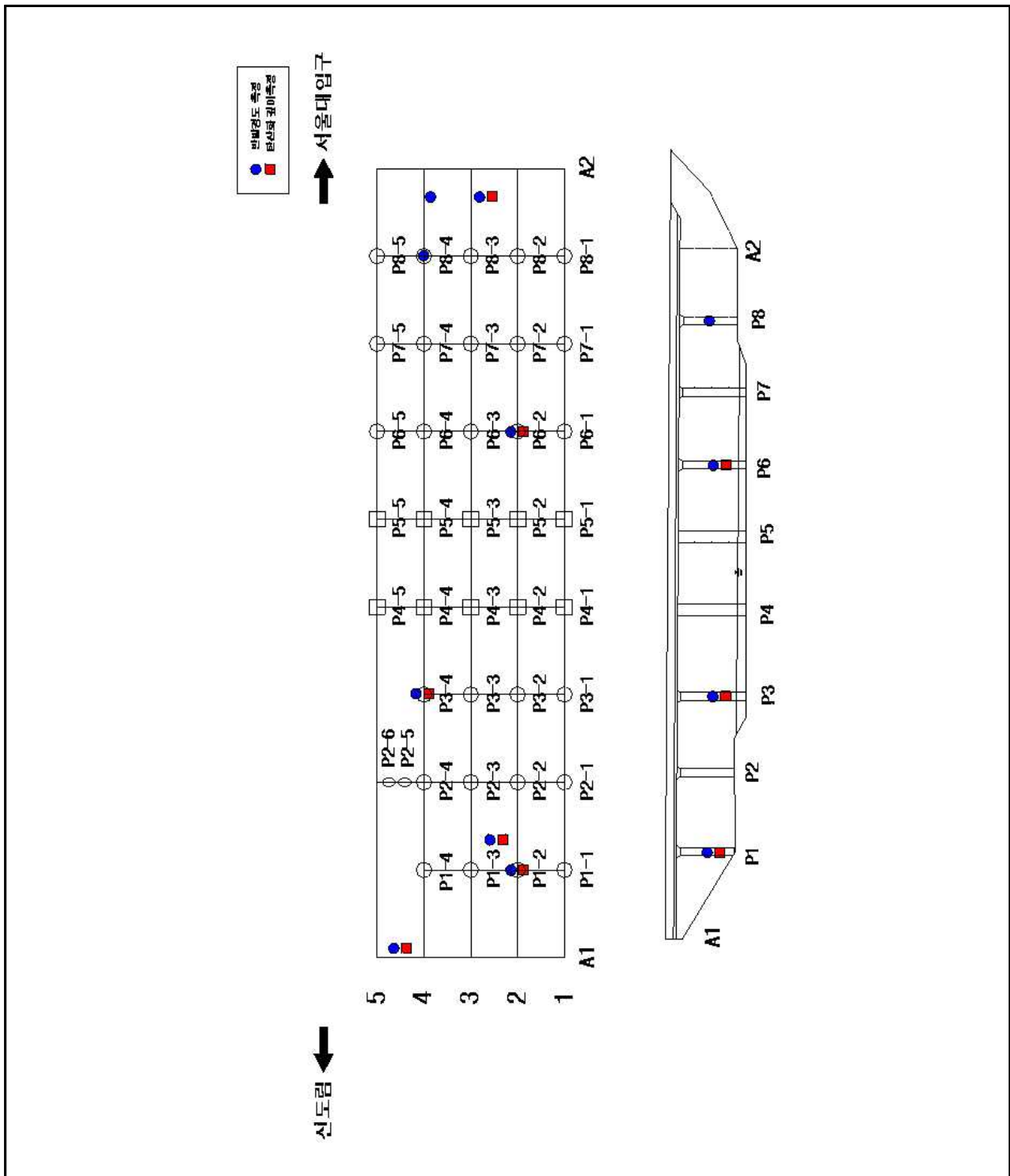
대상 구조물에 대한 콘크리트의 품질상태, 강도 등을 파악하기 위하여 필요한 현장시험을 수행하였고, 내구성 조사를 위한 시험은 콘크리트 강도평가를 위한 반발경도 시험, 탄산화 시험을 수행하였다.

시험 수량은 과업수행 계획 수립 시 작성한 사전검토 보고서의 예정 수량과 동일하게 실시하였으며, 탄산화 시험의 경우, 시험 후 파취면을 복구하여 구조물의 손상을 최소화 하였다. 금회 실시한 재료시험의 부재별 시험 수량은 다음과 같다.

【표 3.4.6】 부재별 콘크리트 재료시험 총괄표

구 분		반발경도시험 (개소)		탄산화깊이측정 (개소)	
		지침	금회수량	지침	금회수량
도림천 복개3구간	상부구조	2	4	1	3
	하부구조	2	4	2	3





【그림 3.4.3】 콘크리트 재료시험 위치도

3.7.5 재료시험 결과 및 분석

가. 반발경도시험

1) 반발경도시험 결과

【표 3.4.7】 반발경도 시험에 의한 추정압축강도

구 분	위 치			추정 압축강도(MPa)		
				일본재료학회식	일본건축학회식	평 균
상부 구조	바닥판	S1-5	바닥판 하면	33.7	31.5	32.6
		S2-2	바닥판 하면	33.1	31.2	32.1
		S9-3	바닥판 하면	22.1	25.0	23.5
		S9-4	바닥판 하면	25.3	26.8	26.0
하부 구조	교각	P1-2	기둥부 전면	26.5	27.5	27.0
		P3-4	기둥부 우측	25.7	27.0	26.3
		P6-2	기둥부 전면	25.3	26.8	26.1
		P8-4	기둥부 후면	23.8	26.0	24.9

2) 반발경도시험 결과 분석

【표 3.4.8】 반발경도 시험에 의한 추정압축강도 시험결과 분석

구 분			추정 압축강도(MPa)			설계기준 강도(MPa)
			일본재료학회식	일본건축학회식	평 균	
상부 구조	바닥판	최대	33.7	31.5	32.6	24.0
		최소	22.1	25.0	23.5	
		평균	28.6	28.6	28.6	
하부 구조	교각	최대	26.5	27.5	27.0	24.0
		최소	23.8	26.0	24.9	
		평균	25.3	26.8	26.1	

【표 3.4.9】 반발경도법에 의한 비파괴강도와 설계기준압축강도의 비교



<상부구조>



<하부구조>

본 교량 상부구조의 설계기준강도는 24.0MPa, 하부구조의 설계기준강도는 21.0MPa이며, 반발경도법에 의한 강도측정결과 상·하부 모두 기준강도를 상회하는 것으로 분석되었다.

3) 반발경도시험보고서

【표 3.4.10】 반발경도 시험보고서

구 분	상부구조	하부구조
시험일자	2015.07.14	2015.07.14
시험시간	09:00~18:00	09:00~18:00
구조물에서 시험 영역의 위치	바닥판 하면	교각
시험 대상 구조물 또는 표본에 대한 설명	각 시험개소별 Data sheet에 표기	
콘크리트의 설계 조건 (MPa)	바닥판하면:24.0	교각:24.0
시험 위치의 표면 상태	양호	양호
시험시의 온도	23.0℃~31.0℃	23.0℃~31.0℃
콘크리트의 재령	재령:3000일 이상	재령:3000일 이상
콘크리트 내부 함수 상태	기건 상태	기건 상태
반발경도측정기의 종류 및 제품 번호	NR-10 제품번호: 59102	NR-10 제품번호: 59102
반발경도측정기의 타격 방향	90°	0°
시험 부위별 반발경도의 평균값	바닥판하면:28.2	교각:26.0

4) 반발경도시험 - 전회 진단 결과와의 비교

【표 3.4.11】 반발경도 시험에 의한 추정압축강도 시험결과 비교표

구 분			추정압축강도(MPa)	
			'13 점검	'15 점검
상부구조	바닥판	최대	29.8	32.6
		최소	26.1	23.5
		평균	27.6	28.6
하부구조	교대 교각	최대	24.8	27.0
		최소	22.1	24.9
		평균	23.4	26.1

전회 진단의 콘트리트 압축강도 시험 결과 중 반발경도법을 비교자료로 활용하였으며, 금회 반발경도시험과 비교한 결과 전반적으로 설계기준 강도를 상회하고, 강도 범위가 유사한 수준으로 분석되었다.

나. 탄산화시험

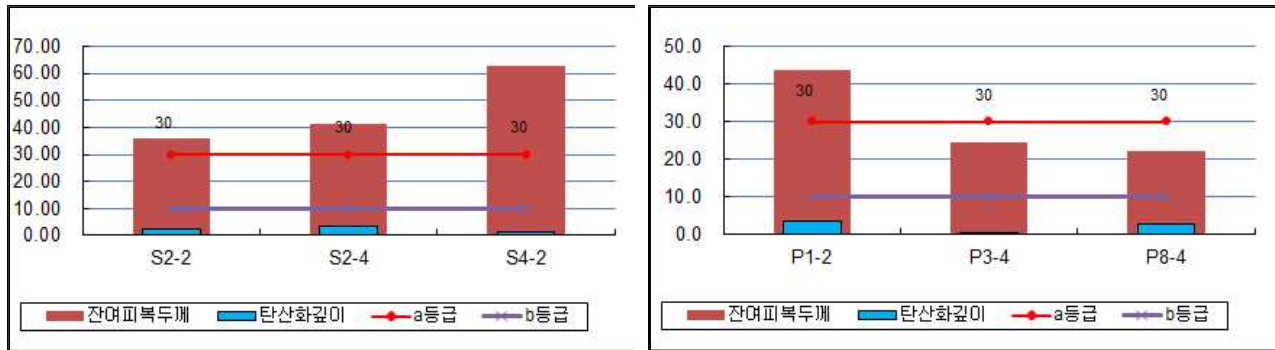
1) 탄산화시험 결과

피복두께 값은 전회 진단 철근탐사 결과를 활용하였다.

【표 3.4.12】 탄산화시험 결과

구 분	시험위치		탄산화 깊이 (mm)	피복 두께 (mm)	잔여 깊이 (mm)	등급	탄산화 속도계수	잔여 연한
도림천복개 3구간	바닥판	S1-5	2.26	38.0	35.7	a	0.41	100년 이상
		S2-2	3.58	45.0	41.4	a	0.64	
		S9-3	1.40	64.0	62.6	a	0.25	
	교각	P3-4	3.52	47.0	43.5	a	0.63	
		P6-2	0.59	25.0	24.4	b	0.11	
		P8-4	2.92	25.0	22.1	b	0.52	

【표 3.4.13】 탄산화 깊이와 실측 철근피복 비교



<상부구조>

<하부구조>

2) 탄산화시험 결과 분석

탄산화시험 결과 상부구조의 피복두께를 고려한 탄산화 잔여깊이는 30mm이상으로 나타나 상태평가 기준 상의 a등급에 속하며, 탄산화에 의한 내부 철근의 부식 가능성은 없는 것으로 분석되었고, 하부구조의 피복두께를 고려한 탄산화 잔여깊이는 10mm이상 30mm미만으로 나타나 상태평가 기준 상의 b등급에 속하며, 탄산화로 인한 철근 부식 등의 내구성 저하는 없는 것으로 판단된다.

3) 탄산화시험보고서

【표 3.4.14】 탄산화시험 보고서

구 분		상부구조	하부구조
구조물의 명칭		도침천복개 3구간	도침천복개 3구간
구조물의 경과 연수		31년	31년
코어채취 및 떼어냄을 행한 연월일 및 시험일		2015.07.14	2015.07.14
코어 채취 및 떼어냄을 행한 위치		-	-
사용 골재의 종류		확인되지 않음	확인되지 않음
측정면의 종류		드릴링	드릴링
시약		페놀프탈레인 1%용액	페놀프탈레인 1%용액
측정기구		버니어 캘리퍼스	버니어 캘리퍼스
시약 분무로부터 탄산화 깊이까지의 시간		직 후	직 후
탄산화 깊이	측정값	1.40~3.58	0.59~3.52
	평균값	2.41	2.34
	최대값	3.58	3.52
연한 적자색으로 변색된 부분의 유무		무	무