제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개요

3.2 외관조사 결과

3.3 콘크리트 내구성 조사

제 3 장 현장조사 및 시험

3.1 개 요

본 과업 대상교량인 백옥포교는 강원도 평창군 용평면 백옥포리(영동선 인천기점 180.45㎞ 지점)에 위치하고 있으며, 1999년도에 준공되어 약 20년 정도의 공용기간이 경과한 상태이며, 왕복 4차로(인천방향 편도 2차로, 강릉방향 편도 2차로) 교량이다.

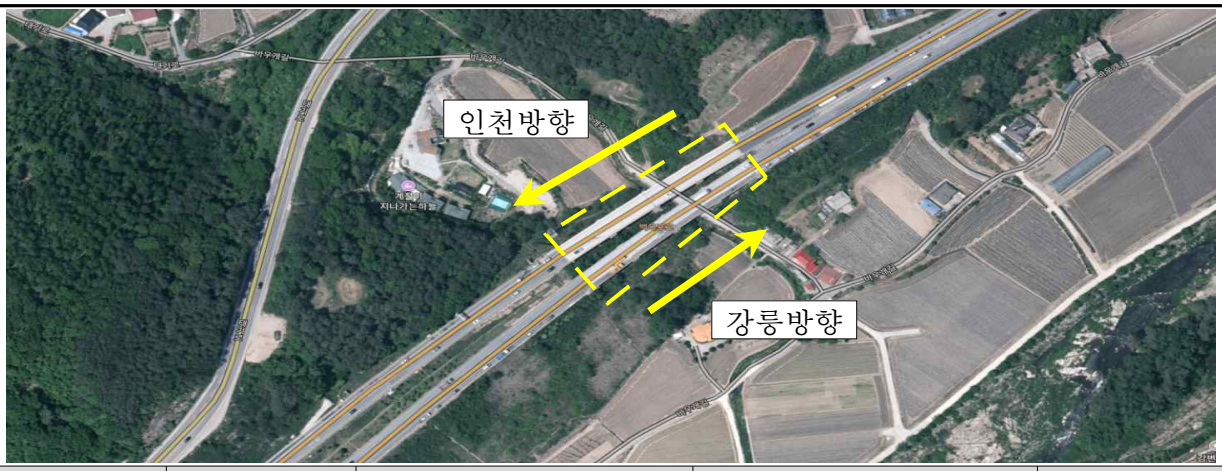
본 교량의 제원은 총연장 120.0m(4@30.0m), 폭 인천방향 12.5m, 강릉방향 12.5m인 교량이며, 상부구조는 3경간 연속 PSCI Girder 형식으로서, 하부구조의 교대는 역T형, 교각은 T형교각식 구조이고 기초는 교대는 전면기초, 교각은 전면기초로 시공되어 있다.

본 과업은 “시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법”(이하 ” 시설물안전법 “이라 한다.) 제11조 및 동법 시행령 제8조에 의한 정밀안전점검(시설물의 물리적·기능적 결함과 손상을 조사·측정하고 원인을 분석하여 신속하고 적절한 보수・보강방법 제시) 및 동법 제40조 및 동법 시행령 제28조에 의한 성능평가(시설물에 내재되어 있는 위험요인이나 시설물 기능 및 성능저하, 상태 등을 신속・정확하게 조사・평가하고, 그에 대한 적절한 성능확보를 취하여 재해 및 재난을 예방하며, 시설물의 안전성능 및 내구성능, 사용성능을 보완・보전케 함으로써 시설물의 효용성을 증진)의 시행을 통한 공공의 안전을 확보하는데 그 목적이 있다.

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

현장조사 및 시험에서는 무엇보다 각 부재의 접근방법이 중요하며, 본 교량에서는 다음과 같은 방법으로 전 부재에 대한 근접조사를 수행하였다.

【표 3.1】 현장조사시 근접조사 방법 및 접근성



경간번호	지점번호	조사방법 및 접근성	조사기간	비고
S1～S4	A1, A2, P1~3	도보, 점검차	2019.05.27.～12.27	

교면포장

바닥판하면 전경

점검차를 이용한 근접조사

점검차를 이용한 근접조사

【사진 3.1】 근접조사를 위한 장비 사용 전경

3.2 외관조사 결과

3.2.1 인천방향

가. 바닥판하면

1) 부재의 개요

- 백옥포교(인천) 총 4경간으로 이루어져 있으며, 연장은 L=120.0m 폭 12.5m로 바닥판은 철근콘크리트로 시공되어있다.
- 바닥판 하면에 대한 현장조사는 근접조사를 위해 점검차를 이용하였으며, 균열자를 이용한 균열폭 측정, 손상부에 대한 타격조사 등을 병행하였다.

바닥판 하면 전경#1	바닥판 하면 전경#2

【사진 3.2】 바닥판 하면 전경

2) 현장조사 결과

- 바닥판 하면은 기존 손상인 백태, 재료분리, 철근노출 등의 손상이 확인되었다.
- 금회 근접점검으로 박리, 박락, 재료분리 등 일부 손상이 추가 조사되었다.

【표 3.2】 바닥판 현장조사 결과

구분	백태 (㎡/개소)		박리 (㎡/개소)		재료분리 (㎡/개소)		박락 (㎡/개소)		철근노출 (㎡/개소)	
S1	5.0	1	-	-	-	-	-	-	-	-
S2	15.6	4	3.0	1	2.0	1	-	-	-	-
S3	-	-	-	-	2.0	1	0.08	2	-	-
S4	-	-	-	-	0.06	1	-	-	0.16	1
합계	20.6	5	3	1	4.06	3	0.08	2	0.16	1

S2 바닥판하면 백태(2.0m×5.0m)	S2 바닥판하면 재료분리(1.0m×2.0m)
S2 바닥판하면 박리(0.3m×10.0m)	S3 바닥판하면 철근노출(0.4m×0.4m)

【사진 3.3】 바닥판 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 바닥판 하면에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 2017년 정밀안전점검에서 조사된 손상과 유사하게 조사 되었으며, 박리, 박락, 재료분리가 신규발생된 것으로 확인되었다.
- 철근노출에 대해 보수를 실시하였지만, 재손상이 발생하였다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
백태	㎡	20.6	20.6	-
박리	㎡	-	3.0	▲3.0
재료분리	㎡	0.06	4.06	▲4.0
박락	㎡	-	0.08	▲0.08
철근노출	㎡	0.16	0.16	-

4) 검토의견

- 바닥판하면의 발생된 백태, 재료분리는 시공초기 건조수축 및 온도변화, 워커빌리티 효율성 감소, 관리미흡에 의한 타설불량에 의해 발생된 균열이 신축이음부 및 외부로부터 유입된 우수 침투 및 공용기간 증가에 따른 동결융해 반복 작용으로 인해 열화, 바닥판 콘크리트 철근부식에 의한 팽창현상으로 인한 손상으로 판단되어, 내구성 증진을 위해 방청 및 단면보수를 실시하는 것이 향후 추가손상 방지 등 유지관리에 효율적일 것으로 판단된다.
- 보수를 실시하였던 철근노출은 재손상으로 인해 우수유입 발생시 부식으로 인해 추가손상 발생 가능성이 있으므로 방청 및 단면보수가 필요하다.

나. 거더

1) 부재의 개요

- 백옥포교(인천)의 거더는 PSCI Girder로 1~4경간에 5열로 배치되어 있다.
- 거더의 외관조사는 바닥판과 동일한 방법으로 점검차 점검통로를 이용하여 근접조사를 실시하였다.

거더 전경#1	거더 전경#2

【사진 3.4】 거더 전경

2) 현장조사 결과

- 거더에 대한 현장조사 결과 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않았으며, 국부적인 박리, 박락 및 파손 등의 손상이 확인되었다.

【표 3.3】 거더 외관조사 결과

구분	박리 (㎡/개소)		박락 (㎡/개소)		파손 (㎡/개소)	
S1	0.1	1	0.09	1	0.04	1
S2	0.4	1	-	-	-	-
S3	-	-	-	-	-	-
S4	-	-	-	-	-	-
합계	0.5	2	0.09	1	0.04	1

S1-G3 박락(0.3m×0.3m)

S2-G1 박리(0.2m×2.0m)

【사진 3.6】 거더 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 거더에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 콘크리트 박리, 박락 및 파손 등의 손상이 발생한 것이 확인되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
박리	㎡	-	0.5	▲0.5
박락	㎡	-	0.09	▲0.09
파손	㎡	-	0.04	▲0.04

4) 검토의견

- 거더의 박리, 박락, 파손은 신축이음을 통한 우수유입이 기존 표면 결함의 열화를 진행시켜 발생한 것으로 판단된다. 손상의 정도가 크지는 않으나 콘크리트 내구성 확보를 위한 단면보수가 필요한 상태이다.

다. 가로보

1) 부재의 개요

- 공용기간 중 거더의 횡변형을 방지해주며 상부에 작용하는 하중을 횡분배 시켜주는 역할을 하는 가로보는 철근콘크리트로 시공되어 있다.
- 가로보에 대해서는 거더와 동일한 방법으로 점검차를 이용하여 근접조사를 실시하였다.

가로보 전경	가로보 전경

【사진 3.7】 가로보 전경

2) 현장조사 결과

- 백옥포교(인천) 가로보 현장조사 결과 기존 손상인 균열 외에 박리, 재료분리 등의 손상이 확인되었다.

【표 3.4】 가로보 현장조사 결과

구분	균열 0.3㎜미만 (m/개소)		박리 (㎡/개소)		재료분리 (㎡/개소)	
S1	-	-	-	-	0.25	1
S2	-	-	-	-	-	-
S3	-	-	-	-	-	-
S4	0.3	1	0.5	1	-	-
합계	0.3	1	0.5	1	0.25	1

S1 G2~G3 재료분리(0.5m×0.5m)	S4 G1~G2 균열(0.1㎜/0.3m)
S4 G1~G2 박리(0.5m×1.0m)	전경(양호 부위)

【사진 3.8】 가로보 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 가로보에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 박리, 재료분리에 대해 신규 손상이 조사되었고, 균열은 손상의 진전이 미미한 상태이다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
균열(0.3㎜미만)	m	0.3	0.3	-
박리	㎡	-	0.5	▲0.5
재료분리	㎡	-	0.25	▲0.25

4) 검토의견

- 가로보는 부분적으로 균열 및 박리, 재료분리가 발생하였고, 손상부는 시공초기 건조수축, 동결융해의 반복, 공용기간 증가 등에 의한 열화로 판단되며, 내구성 확보 차원의 보수가 필요하다.
- 재료분리, 박리는 시공관리 미흡으로 인한 손상으로 외부 우수유입에 의한 철근부식을 가속화 시킬 수 있으므로, 단면보수를 실시해야한다.

라. 교대

1) 부재의 개요

- 백옥포교(인천)의 교대는 역T형 형식과 기초는 전면기초로 시공되었으며, 교대에 대한 외관조사는 도보로 근접조사를 실시하였다.

교대 전경(A1)

교대 전경(A2)

【사진 3.10】 교대 전경

2) 현장조사 결과

- 교대 현장조사 결과 들뜸, 재료분리, 법면 토사유실 등의 손상이 발생한 것으로 조사되었다.

【표 3.5】 교대 외관조사 결과

구분	콘크리트 들뜸 (㎡/개소)		재료분리 (㎡/개소)		법면 토사유실 (㎡/개소)	
A1	-	-	1.0	1	-	-
A2	1.0	1	5.0	1	18.0	1
합계	1	1	6	2	18	1

A1 재료분리(0.5m×2.0m)

A2 들뜸(0.5m×2.0m)

A2 재료분리(5.0m×1.0m)

A2 법면 토사유실(3.0m×6.0m)

【사진 3.11】 교대 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 교대에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 일부 보수를 실하였고, 신규 손상으로 들뜸, 재료분리, 법면 토사유실이 확인되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
콘크리트 들뜸	㎡	1.1	1.0	▼0.1
콘크리트 박락	㎡	0.12	-	▼0.12
콘크리트 재료분리	㎡	-	6.0	▲6.0
법면 토사유실	㎡	-	18.0	▲18.0

4) 검토의견

- 교대에 신축이음을 통한 우수유입으로 인한 흔적이 확인되었고, 그로 인한 표면열화 현상이 나타났다.
- 들뜸(파손)에 대해 보수를 실시하였으나, 재손상이 확인되었고 손상의 정도나 범위가 중대한 위험 수준은 아니나 내구성 유지를 위해 단면보수 등의 유지관리가 필요하다.
- 교대 법면은 보호공이 없는 압성토사면을 시공하여 관리가 되고 있으며, 국부적인 표층 유실이 확인되었으나, 유지관리(주의관찰)후 향후 보호블럭 공법 또는 배수로 설치 등의 보호공이 필요할 것으로 판단된다.

마. 교각

1) 부재의 개요

- 백옥포교는 T형 교각식, 전면기초로 구성되어 있으며, 교각에 대한 외관조사는 점검로 및 점검차를 이용하여 근접조사를 실시하였다.

교각 전경#1

교각 전경#2

【사진 3.12】 교각 전경

2) 현장조사 결과

- 교각 현장조사 결과, 기존 손상인 폭 0.3㎜미만 균열, 망상균열, 콘크리트 박리 등의 손상이 조사되었다.

【표 3.6】 교각 외관조사 결과

구분	균열 0.3㎜미만 (m/개소)		망상균열 (㎡/개소)		박리 (㎡/개소)	
P1	-	-	1.0	1	-	-
P2	-	-	-	-	0.5	2
P3	1.2	2	-	-	-	-
합계	1.2	2	1	1	0.5	2

P1 망상균열(1.0m×1.0m)	P2 콘크리트 박리(0.5m×0.5m)
P3 균열(0.2㎜/0.6m)	P3 균열(0.2㎜/0.6m)

【사진 3.13】 교각 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 교각에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 금회 점검시 기 점검에서 발생한 손상을 면밀히 조사하였고, 교각 P1 코핑부에 대해 보수를 실시한 것이 조사되었다. 그로인한 물량의 감소가 확인되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀점검	금회점검	비 고
균열(0.3mm미만)	m	1.2	1.2	-
망상균열	㎡	1.0	1.0	-
박리	㎡	2.75	0.5	▼2.25
박락 및 철근노출	㎡	0.8	-	▼0.8

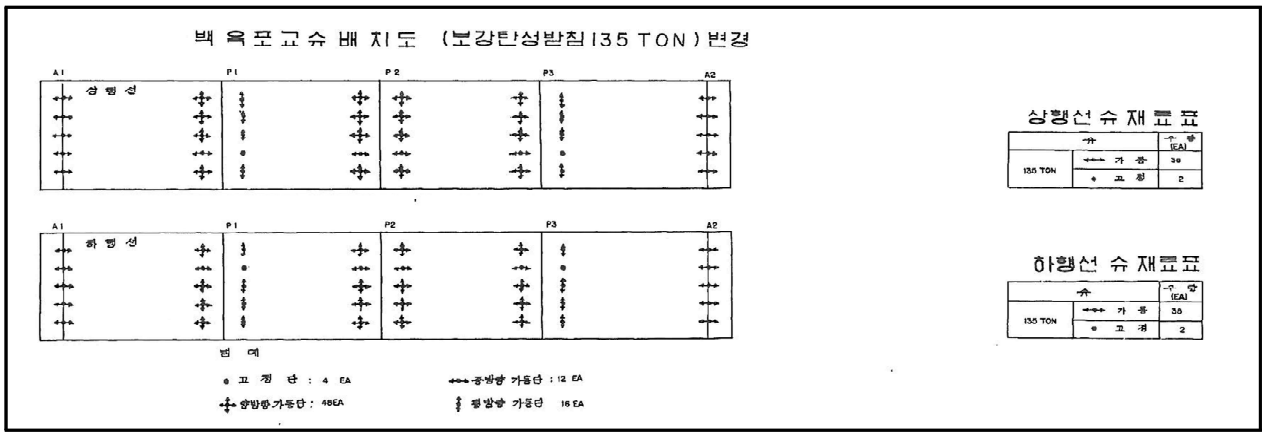
4) 검토의견

- 교각 코핑 및 기둥부에 발생한 균열은 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형 등의 복합적인 원인에 의한 비구조적 소수의 미세균열로서 표면보수를 실시하여 내구성을 확보가 바람직할 것으로 판단된다.
- 교각에 발생한 박리는 보수부 재손상으로 시공불량, 우수유입 및 염화칼슘 유입 등에 의한 콘크리트 열화로 판단되며, 단면보수를 실시하는 유지관리가 필요하다.

바. 교량받침

1) 부재의 개요

- 백옥포교(인천)의 받침은 탄성받침으로 총 40개가 설치되어 있으며, 받침장치의 순번은 한국도로공사 집중점검세부시행 방법에 따라 번호를 부여하여 현장조사를 수행하였다.



【그림 3.1】 교량받침 배치도

탄성받침(일방향) 전경

탄성받침(양방향) 전경

탄성받침(고정) 전경

【사진 3.14】 교량받침 전경

2) 현장조사 결과

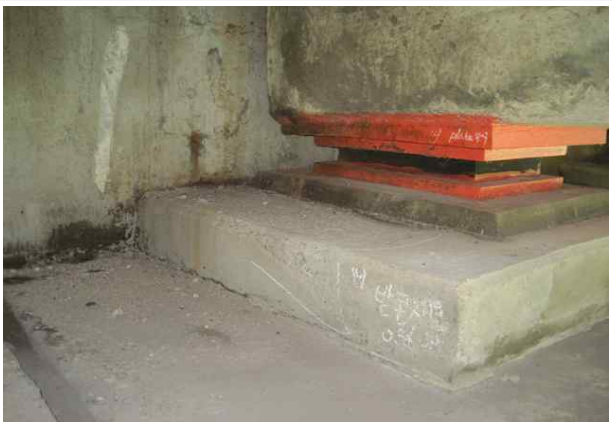
- 교량받침 현장조사 결과 경미한 본체 부식이 조사되었으며, 교량받침 콘크리트 폭 0.3㎜미만 균열이 국부적으로 조사되었다. 일부 받침에서 조사된 콘크리트 박락, 박리는 현재 손상의 진전은 미미하나 내구성 확보를 위해 보수가 필요한 상태이다

【표 3.7】 교량받침 외관조사 결과

구분	몰탈 박락 (㎡/개소)		받침 부식 (㎡/개소)		받침콘크리트 균열 0.3㎜미만 (m/개소)		받침콘크리트 백태 (㎡/개소)		받침콘크리트 박리 (㎡/개소)		받침콘크리트 재료분리 (㎡/개소)	
A1	-	-	1.2	3	-	-	0.04	1	-	-	-	-
P1	0.04	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P2	-	-	4.0	10	-	-	-	-	-	-	-	-
P3	-	-	-	-	2.3	5	-	-	-	-	-	-
A2	-	-	2.0	5	-	-	-	-	0.64	3	0.4	2
합계	0.04	1	7.2	18	2.3	5	0.04	1	0.64	3	0.4	2

A1-Sh1 받침 백태(0.2m×0.2m)

A1-Sh2 받침 부식(0.2m×2.0m)



A2-Sh3 받침 재료분리(0.5m×0.4m)

P3-Sh3 받침 균열(0.2㎜/0.3m)

【사진 3.15】 교량받침 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 교량받침에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 금회 점검시 기 점검에서 발생한 손상을 면밀히 조사하였고, 받침 부식, 몰탈 박락, 받침콘크리트 백태, 박리, 재료분리 등의 손상이 추가 조사되었다.

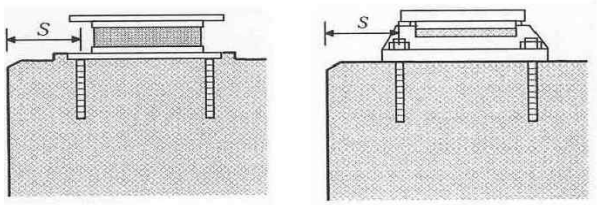
구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
몰탈 박락	㎡	-	0.04	▲0.04
받침 부식	㎡	4.8	7.2	▲2.4
받침콘크리트 균열(0.3mm미만)	m	2.3	2.3	-
받침콘크리트 백태	㎡	-	0.04	▲0.04
받침콘크리트 박리	㎡	-	0.64	▲0.64
받침콘크리트 재료분리	㎡	-	0.4	▲0.4

4) 검토의견

- 받침본체에서 조사된 본체 부식은 신축이음 외측 단부 누수 및 외부 우수유입에 의한 2차 손상으로 판단되며, 신축이음으로 유입되는 우수차단(하부 물받이설치, 외측 차수덮개 또는 조인트설치)이 선행되어야 하고, 손상부는 유지관리를 위하여 재도장이 필요하다.
- 받침콘크리트에서 조사된 균열은 국부적으로 발생된 폭 0.1~0.2㎜의 미세균열로 현 상태에서 별도의 조치보다는 유지관리 후 손상진전 및 추가 손상 발생 시 일괄 보수하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 받침콘크리트에서 조사된 박락, 열화, 박리 등은 국부적으로 발생되었으나, 파손부로 우수유입, 동절기 급격한 온도차에 의한 철근부식에 의해 손상이 진전이 우려되므로, 단면복구가 요망된다.

5) 연단거리 검토

- 교대 및 교각의 교좌면은 상부구조로부터 집중하중을 받는 부위이고, 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 연단거리가 짧으면 고정단에서는 콘크리트 구체 또는 교량받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다.
- 상부구조의 길이에 따라 '도로교설계기준(2009, 국토교통부)'에서는 최소값을 규정하고 있다.



(a) 고무받침 (b) 강재받침

- 거더의 경간길이 100m 이하
  : S(㎜) = 200 + 5L
- 거더의 경간길이 100m 이상
  : S(㎜) = 300 + 4L
  여기서, L은 경간길이(m)

【그림 3.2】 도로교설계기준 연단거리 산출방법

받침장치 연단거리 측정

받침장치 연단거리 측정

【사진 3.16】 교량받침장치 연단거리측정

① 연단거리 산출

- 거더 경간길이(L=30.0m) : 200+5×30.0 = 350(㎜)

【표 3.8】 연단거리 측정 결과

구 분		계산 연단거리 (㎜)	실측 연단거리(㎜)					검토 결과
			Sh1	Sh2	Sh3	Sh4	Sh5	
A1		350	600	610	610	610	610	O.K
P1	A1측	350	550	550	550	550	550	O.K
	A2측	350	400	400	390	390	400	O.K
P2	A1측	350	450	450	450	460	460	O.K
	A2측	350	450	450	450	440	440	O.K
P3	A1측	350	500	500	500	510	510	O.K
	A2측	350	400	400	400	410	410	O.K
A2		350	580	580	590	600	600	O.K

② 연단거리 검토의견

- 연단거리 측정 결과, 전개소 모두 최소연단거리 기준을 만족하는 것으로 나타나 연단거리 부족으로 인한 문제는 없을 것으로 평가되었다.

6) 교량받침 신축거동상태 검토

가동받침은 상부구조의 온도변화, 처짐 콘크리트의 크리프 및 건조수축 등에 의해 생기는 이동량에 대해서 여유를 가져야 한다. 단, 대상교량은 준공 후 약 20년이 경과된 구조물로 콘크리트 건조수축 및 크리프에 대한 고려는 하지 않으며, 공용 중 온도에 의한 가동여유량을 검토하였다.

① 설계기준온도(-15℃ ~ 35℃(한랭지방))에 따른 여유량 검토

교량 받침 가동량 측정(1)

교량 받침 가동량 측정(2)

【사진 3.17】 교량받침 이동량 측정

【표 3.9】 교량받침 이동량(설계기준 온도) 산정

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		비고
	동절기	하절기			동절기	하절기	
A1	-38.9	11.1	0.00001	30.07	11.7	3.3	
P1	고정단						
P2(A1)	-38.9	11.1	0.00001	30.14	11.7	3.3	
P2(A2)	-38.9	11.1	0.00001	30.14	11.7	3.3	
P3	고정단						
A2	-38.9	11.1	0.00001	30.07	11.7	3.3	

1) 조사당시 온도 : 23.9℃(조사일 : 2019년 6월 25일, 평균온도, 강릉)
2) 검토온도 : -15℃ ~ 35℃(한랭지방)

【표 3.10】 교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과

위치		이동량	측정 가동여유량		계산 가동 이동량		허용변위 (mm)
			수축	신장	최대수축	최대신장	
A1	SH1	A1 10	60	40	11.7	3.3	±50
	SH2	A1 10	60	40			±50
	SH3	A1 10	60	40			±50
	SH4	A1 10	60	40			±50
	SH5	A1 10	60	40			±50
P1	고정단						
P2(A1)	SH1	A2 0	50	50	11.7	3.3	±50
	SH2	A2 0	50	50			±50
	SH3	A2 0	50	50			±50
	SH4	A2 0	50	50			±50
	SH5	A2 0	50	50			±50
P2(A2)	SH6	A1 0	50	50	11.7	3.3	±50
	SH7	A1 0	50	50			±50
	SH8	A1 0	50	50			±50
	SH9	A1 0	50	50			±50
	SH10	A1 0	50	50			±50
P3	고정단						
A2	SH1	A2 5	55	45	11.7	3.3	±50
	SH2	A2 5	55	45			±50
	SH3	A2 5	55	45			±50
	SH4	A2 5	55	45			±50
	SH5	A2 5	55	45			±50
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K							

③ 교량받침 이동량 검토의견

- 계산여유량과 실측여유량의 비교·검토결과 가동여유량이 충분한 것으로 조사되었으며, 교량받침의 이탈 가능성은 없는 상태로 판단된다.

사. 신축이음장치

1) 부재의 개요

- 본 교량의 신축이음장치는 A1, P2 레일(Rail) 조인트, A2 핑거 조인트로 시공된 상태이다. 점검차 조사를 위한 부분 통제시 도보를 통해 근접조사를 실시하였다.

EXP.J1(A1) 전경

EXP.J2(P2) 전경

EXP.J3(A2) 전경

【사진 3.18】 신축이음장치 전경

2) 현장조사 결과

- 신축이음 현장조사 결과 후타재 균열(0.3㎜미만), 후타재 박리, 본체 부식, 유간 토사퇴적 등이 조사되었다.

【표 3.11】 신축이음장치 외관조사 결과

구분	후타재 균열 (m/개소)		후타재 박리 (㎡/개소)		본체 부식 (m/개소)		이물질 퇴적 (㎡/개소)	
A1 (EXP J1)	1.6	4	-	-	1.5	1	0.2	1
P2 (EXP J2)	-	-	3.2	2	-	-	0.2	1
A2 (EXP J3)	16.2	54	-	-	3.0	1	0.09	1
합계	17.8	58	3.2	2	4.5	2	0.49	3

A1 본체 부식(1.5m), 이물질 퇴적(0.1m×2.0m)

A2 후타재 균열(0.2㎜,0.3m)

【사진 3.19】 신축이음장치 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 신축이음장치에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 후타재 균열 및 이물질 퇴적이 신규 발생하였다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
후타재 균열	m	-	17.8	▲17.8
후타재 박리	㎡	3.2	3.2	-
본체 부식	m	4.5	4.5	-
이물질 퇴적	㎡	0.29	0.49	▲0.2

4) 검토의견

- 신축이음에 발생한 후타재 균열 및 박리는 차량 통행하중 및 충격, 콘크리트 열화 등으로 인한 손상으로 판단되며, 표면처리 및 단면복구를 실시하는 유지관리가 필요하다. 공용시 본체에서는 차량통행으로 인한 분산먼지, 우수에 의한 갓길측 체수 등에 의한 이물질퇴적, 본체 부식 등의 손상이 추가 발생할 가능성이 있으므로, 주기적인 정비를 통한 유지관리가 필요하다.

5) 신축이음 거동상태 검토

신축이음장치 신축량의 계산은 온도변화, 건조수축, 활하중에 의한 지점의 회전을 고려하여 계산하여야 하나 본 교량은 20년 이상 공용중에 있는 교량으로 가장 신축량이 크게 발생되는 온도변화에 의한 거동만을 고려하여 평가하였다.

① 설계기준온도(-15℃ ~ 35℃(한랭지방))에 따른 여유량 검토

<table>
<tr><th>구분</th><th>계산방법</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>이론
신축량</td><td>• 온도변화에 의한 이동량
▸ ⊿lt = ⊿T · α · L
여기서, ⊿lt : 온도변화에 의한 이동량
⊿T : 온도변화 범위(기상청 자료참조)
α(강재): 1.2×10-5, α(콘크리트): 1.0×10-5
L : 신축보의 길이(㎜)</td><td rowspan="2">

 </td></tr>
<tr><td>소요
신축량</td><td>•소요 가동량 산정
조사일 : 2019. 06. 25. 기온 적용: 23.9℃(일평균)
△T(신장시) : 40.0℃-23.9℃ = 16.1℃
△T(수축시) : -20.0℃-(23.9℃) = -43.9℃
△lt(최소필요유간) : △T× α ×L
•형식별 온도변화범위(℃)
<table>
<tr><th colspan="2">교량형식</th><th>보통지방</th><th>한랭지방</th><th>선팽창계수 α(/℃)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">강교</td><td>상로교</td><td>-10～+40</td><td>-20～+40</td><td>1.2×10-5</td></tr>
<tr><td>하로교,
강바닥판교</td><td>-10～+50</td><td>-20～+40</td><td>1.2×10-5</td></tr>
<tr><td colspan="2">RC, PSC교</td><td>-5～+35</td><td>-15～+35</td><td>1.0×10-5</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

【사진 3.20】 신축이음 유간 측정방법

【표 3.12】 신축이음 신축이동량 산정

구 분	온도변화 (⊿T, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이(L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		비고
	동절기	하절기			동절기	하절기	
A1	-43.9	16.1	0.00001	30.07	11.7	3.3	
P2	-43.9	16.1	0.00001	60.28	26.5	9.7	
A2	-43.9	16.1	0.00001	30.07	11.7	3.3	

1) 조사당시 온도 : 23.4℃(조사일 : 2019년 6월 26일, 평균온도, 강릉)
2) 검토온도 : -20℃ ~ 40℃(한랭지방)

【표 3.13】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과

구 분	계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량(㎜)	신축 여유량(㎜)		검토 결과
	최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 (①+③)	최대 신장시 (③-②)	
A1	11.7	3.3	20	45	31.7	16.7	O.K
P2	26.5	9.7	32	70	58.5	22.3	O.K
A2	11.7	3.3	13	45	24.7	9.7	O.K
주) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K							

5) 신축거동상태 검토의견

- 신축이음장치에 대한 신축유간 측정결과, 측정일 온도는 23.9℃(6월 25일)로써 이때 측정유간은 13.0~32.0㎜ 범위로 나타나 설계온도에 대한 충분한 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

아. 교면포장

1) 부재의 개요

- 백옥포교(인천)는 2차선으로 외측에 갓길이 있으며, 교면은 연장 180.8m의 LMC로 포장으로 시공되어 공용중에 있는 것으로 조사되었다. 금회 외관조사는 2차로 및 갓길 교통통제 후 외관조사를 실시하였다.

교면포장 전경#1	교면포장 전경#2

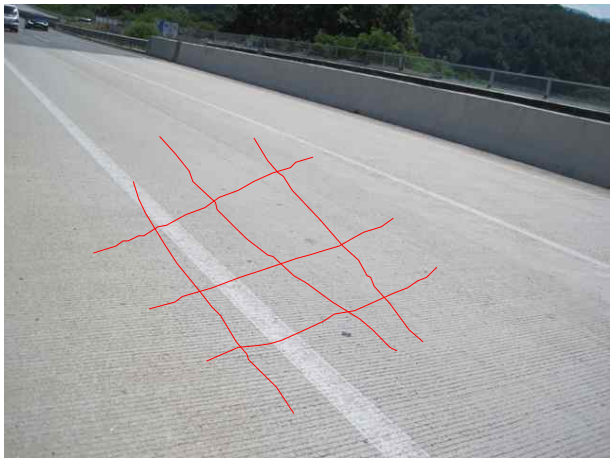
【사진 3.21】 교면포장 전경

2) 현장조사 결과

- 현장조사 결과, LMC 포장에 기존 손상인 균열이 조사되었다.

【표 3.14】 교면포장 외관조사 결과

구분	LMC 망상균열 (㎡/개소)	
S1	-	-
S2	-	-
S3	-	-
S4	20.0	2
합계	20	2

	
S4 교면포장 망상균열(5.0m×2.0m)	S4 교면포장 망상균열(5.0m×2.0m)

【사진 3.22】교면포장 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 교면포장에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 공용기간 증가에 의한 포장부 망상균열이 신규로 조사되어 손상물량이 다소 증가하였다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
LMC 망상균열	㎡	-	20.0	▲20.0

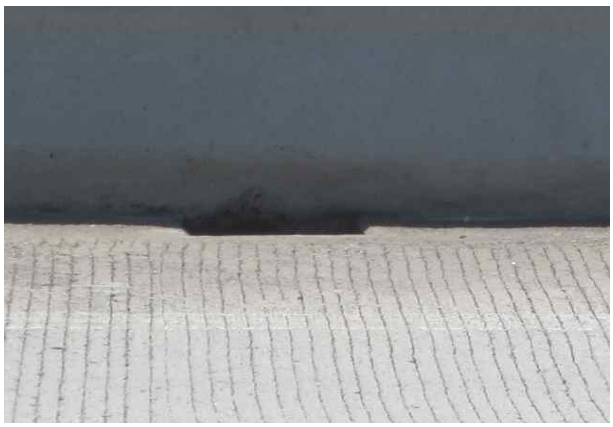
4) 검토의견

- LMC 포장에 전반적인 망상균열이 조사되었으며, 공용기간 증가와 중차량 하중에 의해 발생된 것으로 판단된다. 포장부의 전반적인 균열에 의해 방수층의 기능저하와 바닥판의 2차 손상이 우려되므로 재포장을 실시하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

자. 배수시설

1) 부재의 개요

- 백옥포교(인천)는 교량의 횡단구배 특성에 따라 교량의 좌측에 배수시설이 설치되어 있으며, 바닥판 하면 및 교각에 연결된 배수관을 통해 교량 하부로 우수를 배수하고 있다.

	
배수구 전경	배수관 전경

【사진 3.23】 배수시설 전경

2) 현장조사 결과

- 배수시설에 대한 점검결과 손상이 없는 양호한 상태이다.

【표 3.15】 배수시설 외관조사 결과

구분	상태양호	
S1	-	-
S2	-	-
S3	-	-
S4	-	-
합계	-	-

배수시설 상태 양호	배수시설 상태 양호

【사진 3.24】 배수시설 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 배수시설에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 금회 점검에서 배수관 길이부족 정비가 된 것이 확인되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
배수관 길이부족	EA	1	-	▼1.0

4) 검토의견

- 배수구는 현재 양호한 상태이나, 공용기간 경과 및 추량통행에 의한 비산물퇴적 등의 원인으로 이물질퇴적, 그로인한 체수, 배수관 부식 등의 손상이 발생할 수 있으므로, 주기적인 정비를 통한 유지관리가 필요하다.

차. 방호벽 및 중앙분리대

1) 부재의 개요

- 차량의 차도이탈 방지, 사고시 완충작용 등의 기능을 하는 방호울타리(H=1.1m)는 철근콘크리트 구조로 설치되어있으며, 교량의 좌・우측으로 시공되어 있다.

방호벽 전경#1

방호벽 전경#2

【사진 3.25】 방호벽 및 중앙분리대 전경

2) 현장조사 결과

- 방호벽 및 중앙분리대에 대한 현장조사 결과 기존 손상인 균열이 확인되었고, 금회 철근노출, 박리가 신규 조사되었다.

【표 3.16】 방호벽 및 중앙분리대 외관조사 결과

구분	균열 0.3㎜미만 (m/개소)		콘크리트 박리 (㎡/개소)		철근노출 (㎡/개소)	
S1	7.4	7	-	-	-	-
S2	5.4	5	-	-	0.01	1
S3	4.8	4	0.6	1	-	-
S4	4.8	4	0.45	1	-	-
합계	22.4	20	1.05	2	0.01	1

S1 방호벽 균열(0.1㎜/0.8m)	S2 방호벽 균열(0.1㎜/1.2m)
S2 방호벽 철근노출(0.1m×0.1m)	S3 방호벽 들뜸(박리)(2.0m×0.3m)

【사진 3.26】 방호벽 및 중앙분리대 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 방호벽 및 중앙분리대에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 기존 손상인 콘크리트 균열은 진전이 미미하며, 박락에 대해 보수를 실시하였다. 신규 손상으로 콘크리트 박리, 철근노출이 조사되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
균열(0.3㎜미만)	m	22.0	22.0	-
콘크리트 박락	㎡	0.3	-	▼0.3
콘크리트 박리	㎡	-	1.05	▲1.05
철근노출	㎡	-	0.01	▲0.01

4) 검토의견

- 방호벽에 발생한 균열, 박리, 철근노출은 초기 건조수축, 공용기간 증가, 우수유입 등에 의한 손상으로 내구성확보를 위한 표면보수, 단면보수를 실시하여야 할 것으로 판단된다.

카. 교량 점검시설

1) 부재의 개요

- 백옥포교(인천)의 점검통로는 교량 상면 갓길을 이용하여 출입가능하며, A1, A2, P1~3에 강재+알루미늄 재질의 점검통로가 전·배면 2면에 설치되어 있다.

점검통로 전경#1	점검통로 전경#2

【사진 3.27】 교량 점검시설 전경

2) 현장조사 결과

- 교각에 설치된 점검통로 조사 시 점검발판, 볼트 체결상태, 점검난간, 사다리 등을 중점적으로 조사하였으며 백옥포교(인천)의 점검통로의 전반적인 상태는 양호한 상태로 국부적인 부식이 확인되었다.

【표 3.17】 교량 점검시설 외관조사 결과

구분	발판 부식 (㎡/개소)	
A1	-	-
P1	0.15	1
P2	-	-
P3	0.15	1
A2	-	-
합계	0.3	2

P1 점검로 부식(0.5m×0.3m)	P2 점검로 부식 보수됨

【사진 3.28】 교량 점검시설 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 점검시설에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 기존 손상인 점검로 부식에 대해 발판 보수를 실시하였고, 신규 2개소가 조사되어, 물량이 증가한 상태이다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
발판 부식	㎡	0.15	0.3	▲0.15

4) 검토의견

- 점검시설에 발생한 발판 부식은 정도가 크지 않은 상태로 위험성은 높지 않으나, 점검자의 안전을 위한 정비가 필요할 것으로 판단된다.

3.2.2 강릉방향

가. 바닥판하면

1) 부재의 개요

- 백옥포교(강릉) 바닥판하면은 철근콘크리트 바닥판으로 총 4경간으로 시공되어 있으며, 좌·우 켄틸레버부 하면에는 외부로부터 우수유입을 방지하기 위한 물끊기 홈이 전 경간에 걸쳐 시공되어 있다.
- 바닥판 하면에 대한 현장조사는 근접조사를 위해 점검차를 이용하였으며, 균열자를 이용한 균열폭 측정, 손상부에 대한 타격조사 등을 병행하였다.

바닥판 하면 전경#1

바닥판 하면 전경#2

【사진 3.2】 바닥판 하면 전경

2) 현장조사 결과

- 바닥판 하면은 기존 손상인 균열, 백태, 층분리, 재료분리, 콘크리트 박리, 박락 등의 손상이 확인되었다.
- 금회 근접점검으로 균열, 박리 등 일부 손상이 추가 조사되었다.

【표 3.2】 바닥판 현장조사 결과

구분	균열 0.3㎜미만 (m/개소)		균열 0.3㎜이상 (m/개소)		재균열 0.3㎜미만 (m/개소)		망상균열 (㎡/개소)		균열/백태 0.3㎜미만 (m/개소)		균열/백태 0.3㎜이상 (m/개소)		백태 (㎡/개소)	
S1	8.6	6	2.0	1	1.8	1	8.91	2	8.9	7	-	-	3.81	6
S2	4.4	7	-	-	-	-	-	-	1.6	1	-	-	7.0	2
S3	17.2	17	16.5	4	-	-	14.0	2	-	-	6.5	2	-	-
S4	9.8	6	3.7	2	-	-	16.6	3	0.2	1	1.5	1	0.05	1
합계	40	36	22.2	7	1.8	1	39.51	7	10.7	9	8	3	10.86	9

【표 3.18】 바닥판하면 외관조사 결과(계속)

구분	층분리 (㎡/개소)		재료분리 (㎡/개소)		철근노출 (㎡/개소)		콘크리트 박락 (㎡/개소)		콘크리트 열화, 박리 (㎡/개소)		거푸집 미제거 (㎡/개소)	
S1	0.06	1	-	-	0.48	2	0.04	1	11.06	5	1.6	1
S2	-	-	-	-	-	-	-	-	10.42	5	-	-
S3	-	-	-	-	-	-	0.4	1	14.58	11	0.8	1
S4	-	-	0.06	1	0.99	2	0.57	1	50.94	11	-	-
합계	0.06	1	0.06	1	1.47	4	1.01	3	87	32	2.4	2

S1 바닥판하면 백태(1.2m×1.8m)

S2 바닥판하면 박리(0.3m×30.0m)

S3 바닥판하면 균열(0.3㎜/4.5m)

S3 바닥판하면 열화(0.4m×0.4m)

【사진 3.3】 바닥판 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 바닥판 하면에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 2017년 정밀안전점검에서 조사된 손상과 유사하게 조사 되었으며, 균열 및 박리가 신규발생된 것으로 확인되었다.
- 일부 손상에 대해 보수를 실시한 것이 확인되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
균열(0.3㎜미만)	m	37.7	40.0	▲2.3
균열(0.3㎜이상)	m	14.7	22.2	▲7.5
재균열(0.3㎜미만)	m	1.8	1.8	-
망상균열	㎡	39.51	39.51	-
균열/백태(0.3㎜미만)	m	10.7	10.7	-
균열/백태(0.3㎜이상)	m	8.0	8.0	-
백태	㎡	10.86	10.86	-
보수재 열화	㎡	1.8	-	▼1.8
층분리	㎡	0.06	0.06	-
재료분리	㎡	0.06	0.06	-
철근노출	㎡	1.71	1.47	▼0.24
콘크리트 박락	㎡	1.01	1.01	-
콘크리트 열화, 박리	㎡	88.17	87.0	▼1.17
거푸집 미제거	㎡	2.4	2.4	-

4) 검토의견

- 바닥판하면의 발생된 균열, 백태, 층분리, 재료분리는 시공초기 건조수축 및 온도변화, 워커빌리티 효율성 감소, 관리미흡에 의한 타설불량에 의해 발생된 균열이 신축이음부 및 외부로부터 유입된 우수 침투 및 공용기간 증가에 따른 동결융해 반복 작용으로 인해 열화, 바닥판 콘크리트 철근부식에 의한 팽창현상으로 인한 손상으로 판단되어, 내구성 증진을 위해 방청 및 단면보수를 실시하는 것이 향후 추가손상 방지 등 유지관리에 효율적일 것으로 판단된다.

나. 거더

1) 부재의 개요

- 백옥포교(강릉)의 거더는 PSCI Girder로 1~4경간에 5열로 배치되어 있다.
- 거더의 외관조사는 바닥판과 동일한 방법으로 점검차를 이용하여 근접조사를 실시하였다.

거더 전경#1	거더 전경#2

【사진 3.4】 거더 전경

2) 현장조사 결과

- 백옥포교(강릉) 거더에 대한 현장조사 결과 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 조사되지 않았으며, 기존 손상인 균열, 백태, 박리, 박락 등의 손상이 확인되었다.

【표 3.3】 거더 외관조사 결과

구분	균열 0.3㎜미만 (m/개소)		망상균열 (㎡/개소)		백태 (㎡/개소)		보수재 박리 (㎡/개소)		재료분리 (㎡/개소)		콘크리트 긁힘, 박락 (㎡/개소)		콘크리트 박리 (㎡/개소)	
S1	-	-	-	-	0.12	1	0.14	1	0.03	1	0.15	2	0.42	4
S2	-	-	-	-	0.12	1	-	-	0.02	1	-	-	0.41	2
S3	-	-	-	-	-	-	-	-	0.24	1	-	-	0.95	4
S4	0.9	2	0.18	1	-	-	1.0	1	-	-	0.32	6	0.26	1
합계	0.9	2	0.18	1	0.24	2	1.14	2	0.29	3	0.47	8	2.04	11

S1-G5 백태(0.2m×0.6m)	S2-G4 박리(0.4m×1.2m)
S2-G4 재료분리(0.2m×0.1m)	S4-G5 균열(0.2㎜/0.4m)

【사진 3.6】 거더 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 거더에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과 손상의 진전은 없는 상태이고, 일부 손상에 대해 보수를 실시한 것이 확인되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
균열(0.3㎜미만)	m	0.9	0.9	-
망상균열	㎡	0.18	0.18	-
백태	㎡	0.24	0.24	-
보수재 박리	㎡	1.54	1.14	▼0.4
재료분리	㎡	0.29	0.29	-
콘크리트 긁힘, 박락	㎡	0.47	0.47	-
콘크리트 박리	㎡	2.04	2.04	-

4) 검토의견

- 거더의 박리, 박락, 균열은 신축이음을 통한 우수유입이 기존 균열 및 표면 결함의 열화를 진행시켜 발생한 것으로 판단된다. 균열은 그 정도가 미미하므로 주의관찰을 통한 유지관리가 필요하고, 그 외의 손상에 대해서는 보수가 필요한 상태이다.

다. 가로보

1) 부재의 개요

- 공용기간 중 거더의 횡변형을 방지해주며 상부에 작용하는 하중을 횡분배 시켜주는 역할을 하는 가로보는 철근콘크리트로 시공되어 있다.
- 가로보에 대해서는 거더와 동일한 방법으로 점검차를 이용하여 근접조사를 실시하였다.

가로보 전경#1	가로보 전경#2

【사진 3.7】 가로보 전경

2) 현장조사 결과

- 백옥포교(강릉) 가로보 현장조사 결과 기존 손상인 균열, 백태, 재료분리, 철근노출 등의 손상이 확인되었다.

【표 3.4】 가로보 현장조사 결과

구분	균열 0.3㎜미만 (m/개소)		균열 0.3㎜이상 (m/개소)		백태 (㎡/개소)		재료분리 (㎡/개소)		철근노출 (㎡/개소)		콘크리트 열화, 박리 (㎡/개소)	
S1	15.9	21	3.1	4	1.08	3	0.18	3	0.86	7	-	-
S2	-	-	-	-	-	-	2.03	9	0.42	7	1.2	2
S3	-	-	-	-	-	-	1.64	7	0.95	2	-	-
S4	-	-	-	-	-	-	0.39	4	0.03	1	1.14	2
합계	15.9	21	3.1	4	1.08	3	4.24	23	2.26	17	2.34	4

S2 G3~G4 재료분리(0.4m×0.6m)	S1 G1~G2 균열(0.2㎜/0.8m)
S2 G1~G2 철근노출(0.5m×0.3m)	S4 G3~G4 표면열화(1.9m×0.4m)

【사진 3.8】 가로보 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 가로보에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 재료분리에 대해 신규 손상이 조사되었고, 일부 보수를 실시한 것이 확인되었다. 그로 인해 물량변동은 없는 상태이다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
균열(0.3㎜미만)	m	15.9	15.9	-
균열(0.3㎜이상)	m	3.1	3.1	-
백태	㎡	1.08	1.08	-
재료분리	㎡	4.24	4.24	-
철근노출	㎡	2.26	2.26	-
콘크리트 열화, 박리	㎡	2.34	2.34	-

4) 검토의견

- 가로보는 부분적으로 균열 및 재료분리가 발생하였고, 손상부는 시공초기 건조수축, 동결융해의 반복, 공용기간 증가 등에 의한 열화로 판단되며, 내구성 확보 차원의 보수가 필요하다.
- 재료분리는 시공관리 미흡으로 인한 손상으로 외부 우수유입에 의한 철근부식을 가속화 시킬 수 있으므로, 단면보수를 실시해야한다.

라. 교대

1) 부재의 개요

- 백옥포교(강릉)의 교대는 역T형 형식과 기초는 전면기초로 시공되었으며, 교대에 대한 외관조사는 도보로 근접조사를 실시하였다.

교대 전경(A1)

교대 전경(A2)

【사진 3.10】 교대 전경

2) 현장조사 결과

- 교대 A1, A2 현장조사결과, 균열, 백태, 박리, 박락 등의 손상이 발생한 것으로 조사되었다.

【표 3.5】 교대 외관조사 결과

구분	균열 0.3㎜미만 (m/개소)		균열 0.3㎜이상 (m/개소)		실란트 파손 (m/개소)		백태 (㎡/개소)		재료분리 (㎡/개소)		콘크리트 박락, 파손 (㎡/개소)		콘크리트 열화, 박리 (㎡/개소)		콘크리트 표면오염 (㎡/개소)	
A1	13.35	14	3.5	3	9.0	2	0.08	2	0.48	1	0.45	1	6.12	7	36.21	5
A2	0.7	2	2.2	2	-	-	-	-	1.7	2	0.16	1	0.15	1	4.5	3
합계	14.05	16	5.7	5	9	2	0.08	2	2.18	3	0.61	2	6.27	8	40.71	8

A1 표면열화(0.8m×1.3m)	A1 실란트 파손(5.0m)
A1 균열(0.3㎜/1.2m)	A1 균열(0.2㎜/0.3m)
A2 재료분리(2.0m×0.8m)	A2 보수 전경

【사진 3.34】교대 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 교대에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 신규 손상은 없는 상태이고, 일부 손상에 대해 보수를 실시하여 물량이 감소한 것이 확인되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
균열(0.3㎜미만)	m	14.05	14.05	-
균열(0.3㎜이상)	m	5.7	5.7	-
실란트 파손	m	9.0	9.0	-
백태	㎡	2.47	0.08	▼2.39
보수재 박리, 박락	㎡	6.08	-	▼6.08
재료분리	㎡	5.71	2.18	▼3.53
콘크리트 박락, 파손	㎡	0.99	0.61	▼0.38
콘크리트 열화, 박리	㎡	7.33	6.27	▼1.06
콘크리트 표면오염	㎡	40.89	40.71	▼0.18

4) 검토의견

- 교대에 신축이음을 통한 우수유입으로 인한 흔적이 확인되었고, 그로 인한 백태, 표면오염, 열화 현상이 나타났다. 일부 손상에 대해 보수를 실시하여 수량이 감소하였으며, 신규 손상이 추가 되지 않은 것으로 보아 전회와 비교시 손상의 열화 및 진전은 없는 것으로 판단된다.
- 보수가 미실시된 일부 손상에 대해서는 손상의 정도나 범위가 중대한 위험 수준은 아니나 내구성 유지를 위해 표면보수 및 주입보수 등의 유지관리가 필요하다.
- 교대 법면은 보호공이 없는 압성토사면을 시공하여 관리가 되고 있으며, 국부적인 표층유실이 확인되었으나, 주변 배수로 설치 및 전회와 비교시 진전이 미미한 것으로 보아 유지관리(주의관찰)후 향후 보호블럭 공법 등의 보호공이 필요할 것으로 판단된다.

마. 교각

1) 부재의 개요

- 백옥포교(강릉)는 T형 교각식, 전면기초로 구성되어 있으며, 교각에 대한 외관조사는 점검로 및 점검차를 이용하여 근접조사를 실시하였다.

교각 전경#1	교각 전경#2

【사진 3.12】 교각 전경

2) 현장조사 결과

- 교각에 대한 현장조사 결과 기존 손상인 폭 0.3㎜미만, 이상 균열, 재료분리, 긁힘, 박락, 파손, 콘크리트 열화 및 박리 등의 손상이 조사되었다.

【표 3.6】 교각 외관조사 결과

구분	균열 0.3㎜미만 (m/개소)		균열 0.3㎜이상 (m/개소)		재료분리 (㎡/개소)		콘크리트 긁힘, 박락, 파손 (㎡/개소)		콘크리트 열화, 박리 (㎡/개소)	
P1	18.8	21	-	-	0.66	2	0.24	1	0.18	3
P2	3.64	4	-	-	-	-	0.31	9	1.18	7
P3	23.6	31	2.5	2	-	-	1.34	10	-	-
합계	46.04	56	2.5	2	0.66	2	1.89	20	1.36	10

P1 균열(0.1㎜/0.7m)	P1 콘크리트 박리(0.5m×0.3m)
P3 콘크리트 긁힘(0.6m×0.4m)	P3 콘크리트 박락(1.0m×0.3m)

【사진 3.36】교각 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 교각에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 금회 점검시 기 점검에서 발생한 손상을 면밀히 조사하였고, 교각 P2 코핑부에 대해 보수를 실시한 것이 조사되었다. 그로인한 물량의 감소가 확인되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀점검	금회점검	비 고
균열(0.3mm미만)	m	53.5	46.04	▼7.46
균열(0.3mm이상)	m	2.5	2.5	-
균열/백태	m	1.0	-	▼1.0
보수재 박리	㎡	0.24	-	▼0.24
재료분리, 층분리	㎡	2.78	0.66	▼2.12
철근노출	㎡	0.9	-	▼0.9
콘크리트 긁힘, 박락, 파손	㎡	5.59	1.89	▼3.7
콘크리트 열화, 박리	㎡	17.24	1.36	▼15.88

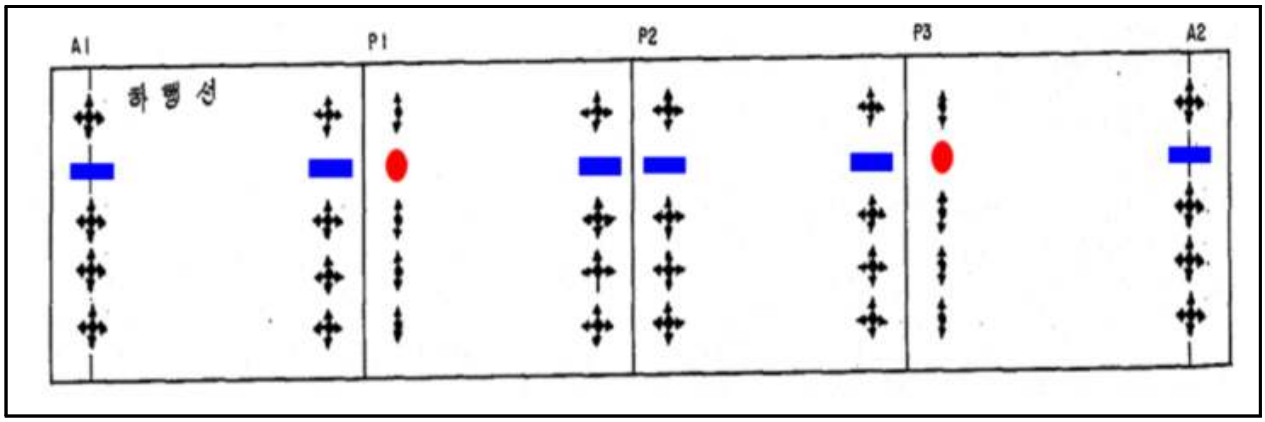
4) 검토의견

- 교각 코핑 및 기둥부에 발생한 균열은 건조수축, 온도변화, 거푸집 조기탈형 등의 복합적인 원인에 의한 비구조적 소수의 미세균열로서 표면보수를 실시하여 내구성을 확보가 바람직할 것으로 판단된다.
- 교각에 발생한 박락, 층분리, 열화 등의 손상은 시공당시 다짐 및 타설불량, 장기공용에 의한 우수유입 및 염화칼슘 유입 등에 의한 콘크리트 열화로 판단되며, 교각 P2 코핑부에 전면적인 보수를 실시한 것이 확인되었다. 그 외 미보수된 일부 손상에 대해서는 단면보수를 실시하는 유지관리가 필요하다.

바. 교량받침

1) 부재의 개요

- 백옥포교(강릉)의 받침은 탄성받침으로 총 40개가 설치되어 있으며, 받침장치의 순번은 한국도로공사 집중점검세부시행 방법에 따라 번호를 부여하여 현장조사를 수행하였다.



【그림 3.1】 교량받침 배치도

탄성받침(일방향) 전경	탄성받침(양방향) 전경	탄성받침(고정) 전경

【사진 3.37】 교량받침 전경

2) 현장조사 결과

- 현장조사 결과 경미한 본체 부식이 조사되었으며, 교량받침 콘크리트 및 받침 몰탈에 폭 0.3㎜안팎 균열이 국부적으로 조사되었다. 일부 받침에서 조사된 콘크리트 박락, 박리는 현재 손상의 진전은 미미하나 내구성 확보를 위해 보수가 필요한 상태이다.

【표 3.7】 교량받침 외관조사 결과

구분	몰탈 균열 0.3㎜미만 (m/개소)		받침 부식 (㎡/개소)		받침콘크리트 균열 0.3㎜미만 (m/개소)		받침콘크리트 균열 0.3㎜이상 (m/개소)		받침콘크리트 보수재 박리 (㎡/개소)		받침콘크리트 박락 (㎡/개소)		받침콘크리트 표면열화, 박리 (㎡/개소)	
A1	0.1	1	2.0	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
P1	1.8	10	1.0	2	5.6	13	-	-	-	-	-	-	-	-
P2	1.8	9	10.0	10	2.8	10	-	-	-	-	-	-	-	-
P3	4.0	12	10.0	10	3.2	12	-	-	-	-	-	-	-	-
A2	-	-	2.1	4	1.0	4	3.4	5	0.15	2	0.16	1	1.39	6
합계	7.7	32	25.1	31	12.6	39	3.4	5	0.15	2	0.16	1	1.39	6

A1-Sh1 몰탈 균열(0.2㎜/0.1m)

A1-Sh5 받침 부식(0.2m×2.0m)

A2-Sh1 받침콘크리트 박리(0.4m×0.5m)

P1-Sh1 받침콘크리트 균열(0.1㎜/0.3m)

【사진 3.15】 교량받침 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 교량받침에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 금회 점검 시 기 점검에서 발생한 손상을 면밀히 조사하였고, 기존 손상의 진전은 없는 상태로 조사되었다. P2 받침콘크리트 균열에 대해 일부 보수가 된 것이 확인되었다.

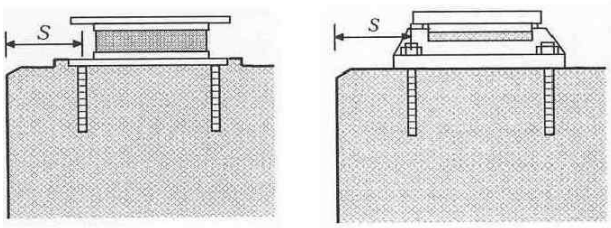
구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
몰탈 균열(0.3mm미만)	m	7.7	7.7	-
받침 부식	㎡	25.1	25.1	-
받침콘크리트 균열(0.3mm미만)	m	14.5	12.6	▼1.9
받침콘크리트 균열(0.3mm이상)	m	3.4	3.4	-
받침콘크리트 보수재 박리	㎡	0.15	0.15	-
받침콘크리트 박락	㎡	0.16	0.16	-
받침콘크리트 표면열화, 박리	㎡	1.39	1.39	-

4) 검토의견

- 받침 본체에서 조사된 본체 부식은 신축이음 외측 단부 누수 및 외부 우수유입에 의한 2차 손상으로 판단되며, 신축이음으로 유입되는 우수차단(하부 물받이설치, 외측 차수덮개 또는 조인트설치)이 선행되어야 하고, 손상부는 유지관리를 위하여 재도장이 필요하다.
- 받침콘크리트 및 받침 몰탈에서 조사된 균열은 국부적으로 발생된 폭 0.1~0.3㎜의 미세균열로 현 상태에서 별도의 조치보다는 유지관리 후 손상진전 및 추가 손상 발생 시 일괄 보수하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.
- 받침콘크리트에서 조사된 박락, 열화, 박리 등은 국부적으로 발생되었으나, 파손부로 우수유입, 동절기 급격한 온도차에 의한 철근부식에 의해 손상이 진전이 우려되므로, 단면복구가 요망된다.

5) 연단거리 검토

- 교대 및 교각의 교좌면은 상부구조로부터 집중하중을 받는 부위이고, 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 연단거리가 짧으면 고정단에서는 콘크리트 구체 또는 교량받침이 파손될 수 있고, 가동단에서는 최악의 경우 받침이 벗어나 거더가 낙하할 수도 있다.
- 상부구조의 길이에 따라 '도로교설계기준(2009, 국토교통부)'에서는 최소값을 규정하고 있다.



(a) 고무받침 (b) 강재받침

- 거더의 경간길이 100m 이하
  : S(㎜) = 200 + 5L
- 거더의 경간길이 100m 이상
  : S(㎜) = 300 + 4L
  여기서, L은 경간길이(m)

【그림 3.2】 도로교설계기준 연단거리 산출방법

받침장치 연단거리 측정

받침장치 연단거리 측정

【사진 3.16】 교량받침장치 연단거리측정

① 연단거리 산출

- 거더 경간길이(L=30.0m) : 200+5×30.0 = 350(㎜)

【표 3.8】 연단거리 측정 결과

구 분		계산 연단거리 (㎜)	실측 연단거리(㎜)					검토 결과
			Sh1	Sh2	Sh3	Sh4	Sh5	
A1		350	580	580	570	580	570	O.K
P1	A1측	350	570	570	590	590	590	O.K
	A2측	350	520	500	560	590	610	O.K
P2	A1측	350	500	520	520	540	560	O.K
	A2측	350	500	490	460	430	400	O.K
P3	A1측	350	530	540	550	590	600	O.K
	A2측	350	520	490	560	590	610	O.K
A2		350	570	600	600	600	570	O.K

② 연단거리 검토의견

- 연단거리 측정 결과, 전개소 모두 최소연단거리 기준을 만족하는 것으로 나타나 연단거리 부족으로 인한 문제는 없을 것으로 평가되었다.

6) 교량받침 신축거동상태 검토

가동받침은 상부구조의 온도변화, 처짐 콘크리트의 크리프 및 건조수축 등에 의해 생기는 이동량에 대해서 여유를 가져야 한다. 단, 대상교량은 준공 후 약 20년이 경과된 구조물로 콘크리트 건조수축 및 크리프에 대한 고려는 하지 않으며, 공용 중 온도에 의한 가동여유량을 검토하였다.

① 설계기준온도(-15℃ ~ 35℃(한랭지방))에 따른 여유량 검토

교량 받침 가동량 측정(1)

교량 받침 가동량 측정(2)

【사진 3.17】 교량받침 이동량 측정

【표 3.9】 교량받침 이동량(설계기준 온도) 산정

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더길이 (L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		비고
	동절기	하절기			동절기	하절기	
A1	-38.9	11.1	0.00001	30.07	11.7	3.3	
P1	고정단						
P2(A1)	-38.9	11.1	0.00001	30.14	11.7	3.3	
P2(A2)	-38.9	11.1	0.00001	30.14	11.7	3.3	
P3	고정단						
A2	-38.9	11.1	0.00001	30.07	11.7	3.3	

1) 조사당시 온도 : 23.9℃(조사일 : 2019년 6월 25일, 평균온도, 강릉)
2) 검토온도 : -15℃ ~ 35℃(한랭지방)

【표 3.10】 교량받침 이동량(설계기준 온도) 검토결과

위치		이동량	측정 가동여유량		계산 가동 이동량		허용변위 (mm)
			수축	신장	최대수축	최대신장	
A1	SH1	A1 15	65	35	11.7	3.3	±50
	SH2	A1 15	65	35			±50
	SH3	A1 15	65	35			±50
	SH4	A1 15	65	35			±50
	SH5	A1 15	65	35			±50
P1	고정단						
P1(A1)	SH1	A2 5	55	45	11.7	3.3	±50
	SH2	A2 5	55	45			±50
	SH3	A2 5	55	45			±50
	SH4	A2 5	55	45			±50
	SH5	A2 5	55	45			±50
P1(A2)	SH6	A1 5	55	45	11.7	3.3	±50
	SH7	A1 5	55	45			±50
	SH8	A1 5	55	45			±50
	SH9	A1 5	55	45			±50
	SH10	A1 5	55	45			±50
P1	고정단						
A2	SH1	A2 10	60	40	11.7	3.3	±50
	SH2	A2 10	60	40			±50
	SH3	A2 10	60	40			±50
	SH4	A2 10	60	40			±50
	SH5	A2 10	60	40			±50
주) 판정 : 최대 받침 이동량 ≤ 실측 받침 가동여유량 ⇒ O.K							

③ 교량받침 이동량 검토의견

- 계산여유량과 실측여유량의 비교·검토결과 가동여유량이 충분한 것으로 조사되었으며, 교량받침의 이탈 가능성은 없는 상태로 판단된다.

사. 신축이음장치

1) 부재의 개요

- 본 교량의 신축이음장치는 A1, P3, A2에 시공되어 있으며, 레일 조인트로 시공된 상태이다. 점검차 조사를 위한 부분 통제시 도보를 통해 근접조사를 실시하였다.

EXP.J1(A1) 전경	EXP.J2(P3) 전경	EXP.J3(A2) 전경

【사진 3.18】 신축이음장치 전경

2) 현장조사 결과

- 신축이음 현장조사 결과 후타재 균열(0.3㎜미만), 후타재 박리, 유간 토사퇴적 등이 조사되었다.

【표 3.11】 신축이음장치 외관조사 결과

구분	후타재 균열 (m/개소)		후타재 박리 (㎡/개소)		이물질 퇴적 (㎡/개소)	
A1 (EXP J1)	6.5	13	0.37	2	0.15	1
P2 (EXP J2)	7.0	14	-	-	0.6	1
A2 (EXP J3)	11.5	23	-	-	0.6	1
합계	25	50	0.37	2	1.35	3

A1 후타재 균열(0.2㎜/0.5m)	A1 후타재 박리(0.4m×0.8m)

【사진 3.19】 신축이음장치 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 신축이음장치에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 기존 손상의 진전 및 신규 손상 발생이 없는 상태이다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
후타재 균열	m	25.0	25.0	-
후타재 박리	㎡	0.37	0.37	-
이물질 퇴적	㎡	1.35	1.35	-

4) 검토의견

- 신축이음에 발생한 후타재 균열 및 박리는 차량 통행하중 및 충격, 콘크리트 열화 등으로 인한 손상으로 판단되며, 표면처리 및 단면복구를 실시하는 유지관리가 필요하다. 공용시 본체에서는 차량통행으로 인한 분산먼지, 우수에 의한 갓길측 체수 등에 의한 이물질퇴적의 추가 발생 가능성이 있으므로, 주기적인 정비를 통한 유지관리가 필요하다.

5) 신축이음 거동상태 검토

신축이음장치 신축량의 계산은 온도변화, 건조수축, 활하중에 의한 지점의 회전을 고려하여 계산하여야 하나 본 교량은 20년 이상 공용중에 있는 교량으로 가장 신축량이 크게 발생되는 온도변화에 의한 거동만을 고려하여 평가하였다.

① 설계기준온도(-15℃ ~ 35℃(한랭지방))에 따른 여유량 검토

<table>
<tr><th>구분</th><th>계산방법</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>이론
신축량</td><td>• 온도변화에 의한 이동량
▸ Δlt = ΔT · α · L
여기서, Δlt : 온도변화에 의한 이동량
ΔT : 온도변화 범위(기상청 자료참조)
α(강재): 1.2×10-5, α(콘크리트): 1.0×10-5
L : 신축보의 길이(㎜)</td><td rowspan="2">

 </td></tr>
<tr><td>소요
신축량</td><td>•소요 가동량 산정
조사일 : 2019. 06. 25. 기온 적용: 23.9℃(일평균)
△T(신장시) : 40.0℃-23.9℃ = 16.1℃
△T(수축시) : -20.0℃-(23.9℃) = -43.9℃
△lt(최소필요유간) : △T× α ×L
•형식별 온도변화범위(℃)
<table>
<tr><th colspan="2">교량형식</th><th>보통지방</th><th>한랭지방</th><th>선팽창계수 α(/℃)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">강교</td><td>상로교</td><td>-10～+40</td><td>-20～+40</td><td>1.2×10-5</td></tr>
<tr><td>하로교,
강바닥판교</td><td>-10～+50</td><td>-20～+40</td><td>1.2×10-5</td></tr>
<tr><td colspan="2">RC, PSC교</td><td>-5～+35</td><td>-15～+35</td><td>1.0×10-5</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

【사진 3.20】 신축이음 유간 측정방법

【표 3.12】 신축이음 신축이동량 산정

구 분	온도변화 (ΔT, ℃)		선팽창 계수 (α)	신축거더 길이(L, m)	온도 변화에 의한 이동량(㎜)		비고
	동절기	하절기			동절기	하절기	
A1	-43.9	16.1	0.00001	30.07	11.7	3.3	
P2	-43.9	16.1	0.00001	60.28	26.5	9.7	
A2	-43.9	16.1	0.00001	30.07	11.7	3.3	

1) 조사당시 온도 : 23.4℃(조사일 : 2019년 6월 26일, 평균온도, 강릉)
2) 검토온도 : -20℃ ~ 40℃(한랭지방)

【표 3.13】 신축이음장치 및 바닥판 단부 가동여유량 검토결과

구 분	계산 이동량(㎜)		점검당시 실측유간(㎜) ③	허용량(㎜)	신축 여유량(㎜)		검토 결과
	최대 수축시 ①	최대 신장시 ②			최대 수축시 (①+③)	최대 신장시 (③-②)	
A1	11.7	3.3	15	45	26.7	11.7	O.K
P2	26.5	9.7	28	70	54.5	18.3	O.K
A2	11.7	3.3	15	45	26.7	11.7	O.K
주) 판정 : 0.0㎜ ≤ 신축 여유량 ≤ 허용량 ⇒ O.K							

5) 신축거동상태 검토의견

- 신축이음장치에 대한 신축유간 측정결과, 측정일 온도는 23.9℃(6월 25일)로써 이때 측정유간은 15.0~28.0㎜ 범위로 나타나 설계온도에 대한 충분한 여유량을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

아. 교면포장

1) 부재의 개요

- 백옥포교(강릉)는 2차선으로 외측에 갓길이 있으며, 교면은 LMC로 포장으로 시공되어 공용중에 있는 것으로 조사되었다. 금회 외관조사는 2차로 및 갓길 교통통제 후 외관조사를 실시하였다.

교면포장 전경#1

교면포장 전경#2

【사진 3.21】 교면포장 전경

2) 현장조사 결과

- 교면포장 현장조사 결과 S1, S6 구간에 균열이 발생되었으나, 전반적으로 양호한 상태로 조사되었다.

【표 3.14】 교면포장 외관조사 결과

구분	LMC 균열 (m/개소)	
S1	7.9	4
S2	-	-
S3	-	-
S4	-	-
합계	7.9	4

S1 교면포장 균열(0.3㎜/2.3m)

교면포장 전경

【사진 3.22】 교면포장 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 교면포장에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 금회 점검에서 손상의 진전은 없는 상태로 조사되어 물량 또한 증가가 없는 상태로 조사되었다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
LMC 균열	m	7.9	7.9	-

4) 검토의견

- 교면포장은 기존 손상인 균열이 확인되었고, 현재까지 손상의 추가 발생이 없는 대체로 양호한 상태이다. 교면포장은 차량의 반복하중, 우수, 장기공용에 의해 열화가 발생할 수 있으므로, 지속적인 점검 및 유지관리가 필요하다.

자. 배수시설

1) 부재의 개요

- 백옥포교(강릉)는 교량의 좌측 갓길에 배수시설이 설치되어 있다.

배수구 전경	배수관 전경

【사진 3.23】 배수시설 전경

2) 현장조사 결과

- 배수시설에 대한 점검결과 배수관 연결상태, 배수상태 등 손상은 조사되지 않은 양호한 상태이다.

차. 방호벽 및 중앙분리대

1) 부재의 개요

- 차량의 차도이탈 방지, 사고시 완충작용 등의 기능을 하는 방호울타리(H=1.1m)는 철근콘크리트 구조로 설치되어있으며, 교량의 좌・우측으로 시공되어 있다.

방호벽 전경#1	방호벽 전경#2

【사진 3.25】 방호벽 및 중앙분리대 전경

2) 현장조사 결과

- 방호벽 및 중앙분리대에 대한 현장조사 결과 기존 손상인 박리, 철근노출이 확인되었고, 금회 보수재 박락이 신규 조사되었다.

【표 3.16】 방호벽 및 중앙분리대 외관조사 결과

구분	콘크리트 박리 (㎡/개소)		철근노출 (㎡/개소)		보수재 박리 (㎡/개소)	
S1	0.09	1	-	-	15.0	1
S2	-	-	0.04	1	15.0	1
S3	-	-	-	-	15.0	1
S4	-	-	-	-	15.0	1
합계	0.09	1	0.04	1	60	4

S1 방호벽 보수재 박락(0.5m×30.0m)

S1 방호벽 박리(0.3m×0.3m)

S2 방호벽 철근노출(0.2m×0.2m)

S4 방호벽 보수재 박락(0.5m×30.0m)

【사진 3.26】 방호벽 및 중앙분리대 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 방호벽에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 내측 보수재 박락 손상이 금회에 발생하였고, 외측의 철근노출은 손상의 증가가 미미한 상태이다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
콘크리트 박리	㎡	0.09	0.09	-
철근노출	㎡	0.04	0.04	-
보수재 박리	㎡	-	60.0	▲60.0

4) 검토의견

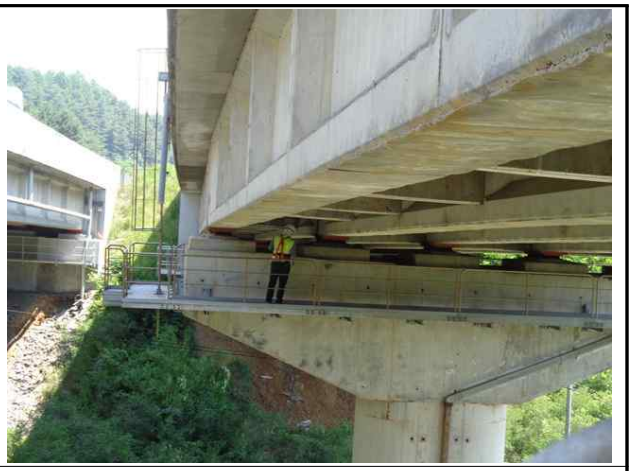
- 방호벽에 발생한 박리, 철근노출은 공용기간 증가, 우수유입 등에 의한 손상으로 내구성확보를 위한 단면보수를 실시하여야 할 것으로 판단된다.
- 금회 신규 조사된 보수재 박락은 콘크리트와의 접착성 불량, 외부 환경(온도, 우수) 등에 의한 손상으로 방호벽 하단에 주로 발생하였다. 보수재 박락에 대해서는 주의관찰하는 유지관리 후 손상의 진전에 따라 보수를 실시하는 것이 바람직하다.

카. 교량 점검시설

1) 부재의 개요

- 백옥포교(강릉)의 점검통로는 교량 상면 갓길을 이용하여 출입가능하며, A1, A2, P1~3에 강재+알루미늄 재질의 점검통로가 전・배면 2면에 설치되어 있다.

점검통로 전경#1



점검통로 전경#1

【사진 3.50】 교량 점검시설 전경

2) 현장조사 결과

- 교각에 설치된 점검통로 조사 시 점검발판, 볼트 체결상태, 점검난간, 사다리 등을 중점적으로 조사하였으며, 전반적인 상태는 양호한 상태로 국부적인 부식이 확인되었다.

【표 3.33】 교량 점검시설 외관조사 결과

구분	발판 부식 (㎡/개소)	
A1	-	-
P1	5.0	1
P2	-	-
P3	-	-
A2	-	-
합계	5	1

P2 점검로 부식 보수됨

교대 점검로 전경

【사진 3.51】 교량 점검시설 손상현황

3) 기 점검 결과 비교

- 점검시설에 대하여 기 점검 결과를 토대로 손상 진전여부를 검토한 결과, 기존 손상인 점검로 부식에 대해 발판 보수를 실시하였고, 양호한 상태이다.

구 분	단 위	2017년 정밀안전점검	금회점검	비 고
발판 부식	㎡	10.0	5.0	▼5.0

4) 검토의견

- 점검시설에 발생한 발판 부식은 정도가 크지 않은 상태로 위험성은 높지 않으나, 점검자의 안전을 위한 정비가 필요할 것으로 판단된다.

3.2.3 외관조사 총괄표

가. 백옥포교 인천방향

【표 3.17】 손상내용 총괄표

구분	손상 내용	단위	물량	개소	비고
바닥판 하면	백태	㎡	20.6	1	
	박리	㎡	3.0	1	
	재료분리	㎡	4.06	3	
	박락	㎡	0.08	2	
	철근노출	㎡	0.16	1	
거더	박리	㎡	0.5	2	
	박락	㎡	0.09	1	
	파손	㎡	0.04	1	
가로보	균열(0.3㎜미만)	m	0.3	1	
	박리	㎡	0.5	1	
	재료분리	㎡	0.25	1	
교대	콘크리트 들뜸	㎡	1.0	1	
	콘크리트 재료분리	㎡	6.0	2	
	법면 토사유실	㎡	18.0	1	
교각	균열(0.3mm미만)	m	1.2	2	
	망상균열	㎡	1.0	1	
	박리	㎡	0.5	2	
교량받침	몰탈 박락	㎡	0.04	1	
	받침 부식	㎡	7.2	18	
	받침콘크리트 균열(0.3mm미만)	m	2.3	5	
	받침콘크리트 백태	㎡	0.04	1	
	받침콘크리트 박리	㎡	0.64	3	
	받침콘크리트 재료분리	㎡	0.4	2	
신축이음	후타재 균열	m	17.8	58	
	후타재 박리	㎡	3.2	2	
	본체 부식	m	4.5	2	
	이물질 퇴적	㎡	0.49	3	
교면포장	LMC 망상균열	㎡	20.0	2	
방호벽 및 중분대	균열(0.3㎜미만)	m	22.0	20	
	콘크리트 박리	㎡	1.05	2	
	철근노출	㎡	0.01	1	
점검시설	발판 부식	㎡	0.3	2	

나. 백옥포교 강릉방향

【표 3.17】 손상내용 총괄표

구분	손상 내용	단위	물량	개소	비고
바닥판 하면	균열(0.3㎜미만)	m	40.0	36	
	균열(0.3㎜이상)	m	22.2	7	
	재균열(0.3㎜미만)	m	1.8	1	
	망상균열	㎡	39.51	7	
	균열/백태(0.3㎜미만)	m	10.7	9	
	균열/백태(0.3㎜이상)	m	8.0	3	
	백태	㎡	10.86	9	
	층분리	㎡	0.06	1	
	재료분리	㎡	0.06	1	
	철근노출	㎡	1.47	4	
	콘크리트 박락	㎡	1.01	3	
	콘크리트 열화, 박리	㎡	87.0	32	
	거푸집 미제거	㎡	2.4	2	
거더	균열(0.3㎜미만)	m	0.9	2	
	망상균열	㎡	0.18	1	
	백태	㎡	0.24	2	
	보수재 박리	㎡	1.14	2	
	재료분리	㎡	0.29	3	
	콘크리트 긁힘, 박락	㎡	0.47	8	
	콘크리트 박리	㎡	2.04	11	
가로보	균열(0.3㎜미만)	m	15.9	21	
	균열(0.3㎜이상)	m	3.1	4	
	백태	㎡	1.08	3	
	재료분리	㎡	4.24	23	
	철근노출	㎡	2.26	17	
	콘크리트 열화, 박리	㎡	2.34	4	

【표 3.35】 손상내용 총괄표(계속)

구분	손상 내용	단위	물량	개소	비고
교대	균열(0.3㎜미만)	m	14.05	16	
	균열(0.3㎜이상)	m	5.7	5	
	실란트 파손	m	9.0	2	
	백태	㎡	0.08	2	
	재료분리	㎡	2.18	3	
	콘크리트 박락, 파손	㎡	0.61	2	
	콘크리트 열화, 박리	㎡	6.27	8	
	콘크리트 표면오염	㎡	40.71	8	
교각	균열(0.3mm미만)	m	46.04	56	
	균열(0.3mm이상)	m	2.5	2	
	재료분리, 층분리	㎡	0.66	2	
	콘크리트 긁힘, 박락, 파손	㎡	1.89	20	
	콘크리트 열화, 박리	㎡	1.36	10	
교량받침	몰탈 균열 (0.3mm미만)	m	7.7	32	
	받침 부식	㎡	25.1	31	
	받침콘크리트 균열 (0.3mm미만)	m	12.6	39	
	받침콘크리트 균열 (0.3mm이상)	m	3.4	5	
	받침콘크리트 보수재 박리	㎡	0.15	2	
	받침콘크리트 박락	㎡	0.16	1	
	받침콘크리트 표면열화, 박리	㎡	1.39	6	
신축이음	후타재 균열	m	25.0	50	
	후타재 박리	㎡	0.37	2	
	이물질 퇴적	㎡	1.35	3	
교면포장	LMC 균열	m	7.9	4	
방호벽 및 중분대	콘크리트 박리	㎡	0.09	1	
	철근노출	㎡	0.04	1	
	보수재 박리	㎡	60.0	4	
점검시설	발판 부식	㎡	5.0	1	

3.2.4 전회차 손상물량 비교

가. 백옥포교 인천방향

【표 3.18】 전회차 손상물량 비교

구분	손상 내용	단위	2017년 물량	금회 물량	증,감 (▲, ▼)	비고
바닥판 하면	백태	㎡	20.6	20.6	-	
	박리	㎡	-	3.0	▲3.0	
	재료분리	㎡	0.06	4.06	▲4.0	
	박락	㎡	-	0.08	▲0.08	
	철근노출	㎡	0.16	0.16	-	
거더	박리	㎡	-	0.5	▲0.5	
	박락	㎡	-	0.09	▲0.09	
	파손	㎡	-	0.04	▲0.04	
가로보	균열(0.3㎜미만)	m	0.3	0.3	-	
	박리	㎡	-	0.5	▲0.5	
	재료분리	㎡	-	0.25	▲0.25	
교대	콘크리트 들뜸	㎡	1.1	1.0	▼0.1	
	콘크리트 박락	㎡	0.12	-	▼0.12	
	콘크리트 재료분리	㎡	-	6.0	▲0.6	
	법면 토사유실	㎡	-	18.0	▲18.0	
교각	균열(0.3mm미만)	m	1.2	1.2	-	
	망상균열	㎡	1.0	1.0	-	
	박리	㎡	2.75	0.5	▼2.25	
	박락 및 철근노출	㎡	0.8	-	▼0.8	
교량받침	몰탈 박락	㎡	-	0.04	▲0.04	
	받침 부식	㎡	4.8	7.2	▲2.4	
	받침콘크리트 균열(0.3mm미만)	m	2.3	2.3	-	
	받침콘크리트 백태	㎡	-	0.04	▲0.04	
	받침콘크리트 박리	㎡	-	0.64	▲0.64	
	받침콘크리트 재료분리	㎡	-	0.4	▲0.4	
신축이음	후타재 균열	m	-	17.8	▲17.8	
	후타재 박리	㎡	3.2	3.2	-	
	본체 부식	m	4.5	4.5	-	
	이물질 퇴적	㎡	0.29	0.49	▲0.2	
교면포장	LMC 망상균열	㎡	-	20.0	▲20.0	
배수시설	배수관 길이부족	EA	1	-	▼1.0	
방호벽 및 중분대	균열(0.3㎜미만)	m	22.0	22.0	-	
	콘크리트 박락	㎡	0.3	-	▼0.3	
	콘크리트 박리	㎡	-	1.05	▲1.05	
	철근노출	㎡	-	0.01	▲0.01	
점검시설	발판 부식	㎡	0.15	0.3	▲0.15	

나. 백옥포교 강릉방향

【표 3.18】 전회차 손상물량 비교

구분	손상 내용	단위	2017년	금회	증,감 (▲, ▼)	비고
			물량	물량		
바닥판 하면	균열(0.3㎜미만)	m	37.7	40.0	▲2.3	
	균열(0.3㎜이상)	m	14.7	22.2	▲7.5	
	재균열(0.3㎜미만)	m	1.8	1.8	-	
	망상균열	㎡	39.51	39.51	-	
	균열/백태(0.3㎜미만)	m	10.7	10.7	-	
	균열/백태(0.3㎜이상)	m	8.0	8.0	-	
	백태	㎡	10.86	10.86	-	
	보수재 열화	㎡	1.8	-	▼1.8	
	층분리	㎡	0.06	0.06	-	
	재료분리	㎡	0.06	0.06	-	
	철근노출	㎡	1.71	1.47	▼0.24	
	콘크리트 박락	㎡	1.01	1.01	-	
	콘크리트 열화, 박리	㎡	88.17	87.0	▼1.17	
	거푸집 미제거	㎡	2.4	2.4	-	
거더	균열(0.3㎜미만)	m	0.9	0.9	-	
	망상균열	㎡	0.18	0.18	-	
	백태	㎡	0.24	0.24	-	
	보수재 박리	㎡	1.54	1.14	▼0.4	
	재료분리	㎡	0.29	0.29	-	
	콘크리트 긁힘, 박락	㎡	0.47	0.47	-	
	콘크리트 박리	㎡	2.04	2.04	-	
가로보	균열(0.3㎜미만)	m	15.9	15.9	-	
	균열(0.3㎜이상)	m	3.1	3.1	-	
	백태	㎡	1.08	1.08	-	
	재료분리	㎡	4.24	4.24	-	
	철근노출	㎡	2.26	2.26	-	
	콘크리트 열화, 박리	㎡	2.34	2.34	-	

【표 3.37】 전회차 손상물량 비교(계속)

구분	손상 내용	단위	2017년	금회	증,감 (▲, ▼)	비고
			물량	물량		
교대	균열(0.3㎜미만)	m	14.05	14.05	-	
	균열(0.3㎜이상)	m	5.7	5.7	-	
	실란트 파손	m	9.0	9.0	-	
	백태	㎡	2.47	0.08	▼2.39	
	보수재 박리, 박락	㎡	6.08	-	▼6.08	
	재료분리	㎡	5.71	2.18	▼3.53	
	콘크리트 박락, 파손	㎡	0.99	0.61	▼0.38	
	콘크리트 열화, 박리	㎡	7.33	6.27	▼1.06	
	콘크리트 표면오염	㎡	40.89	40.71	▼0.18	
교각	균열(0.3mm미만)	m	53.5	46.04	▼7.46	
	균열(0.3mm이상)	m	2.5	2.5	-	
	균열/백태	m	1.0	-	▼1.0	
	보수재 박리	㎡	0.24	-	▼0.24	
	재료분리, 층분리	㎡	2.78	0.66	▼2.12	
	철근노출	㎡	0.9	-	▼0.9	
	콘크리트 긁힘, 박락, 파손	㎡	5.59	1.89	▼3.7	
	콘크리트 열화, 박리	㎡	17.24	1.36	▼15.88	
교량받침	몰탈 균열(0.3mm미만)	m	7.7	7.7	-	
	받침 부식	㎡	25.1	25.1	-	
	받침콘크리트 균열(0.3mm미만)	m	14.5	12.6	▼1.9	
	받침콘크리트 균열(0.3mm이상)	m	3.4	3.4	-	
	받침콘크리트 보수재 박리	㎡	0.15	0.15	-	
	받침콘크리트 박락	㎡	0.16	0.16	-	
	받침콘크리트 표면열화, 박리	㎡	1.39	1.39	-	
신축이음	후타재 균열	m	25.0	25.0	-	
	후타재 박리	㎡	0.37	0.37	-	
	이물질 퇴적	㎡	1.35	1.35	-	
교면포장	LMC 균열	m	7.9	7.9	-	
배수시설	배수구 토사퇴적	㎡	0.72	-	▼0.72	
방호벽 및 중분대	콘크리트 박리	㎡	0.09	0.09	-	
	철근노출	㎡	0.04	0.04	-	
	보수재 박리	㎡	-	60.0	▲60.0	
점검시설	발판 부식	㎡	10.0	5.0	▼5.0	

3.3 콘크리트 내구성 조사

3.3.1 개 요

가. 개 요

콘크리트 내구성조사는 구조물에 열화손상이 이미 현저하게 진행되었을 경우 열화의 정도 및 그 원인 관계를 조사하고 보수·보강 여부를 판정하며, 아직 열화손상이 없거나 경미한 구조물은 내구성조사에 의해서 향후 열화 경향을 예측하고 예방보전을 검토하기 위한 자료를 수집하는 것을 목적으로 한다.

본 과업의 내구성조사는 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2019. 1, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 근거하여 시험방법, 시험빈도 및 평가방법 등을 실시하였다.

나. 조사 현황 및 위치

1) 조사 현황

본 과업에서 콘크리트 내구성조사를 위해 콘크리트 강도시험(반발경도시험), 탄산화깊이 측정을 실시하였으며, 각 부재별 콘크리트 비파괴시험 현황은 다음과 같다.

【표 3.17】 콘크리트 및 강재 비파괴시험 현황(인천)

항 목	기준수량		수 량(개소)				비 고
	상부구조	하부구조	기준		실시		
			상부	하부	상부	하부	
반발경도 시 험	• 철근콘크리트: 1개소/50m	• 철근콘크리트: 1개소/50m	3	3	3	3	
탄산화 깊이 측정	• 5경간 이내: 2~3개소 • 5경간 이상: 3~6개소		2	1	2	1	

【표 3.17】 콘크리트 및 강재 비파괴시험 현황(강릉)

항 목	기준수량		수 량(개소)				비 고
	상부구조	하부구조	기준		실시		
			상부	하부	상부	하부	
반발경도 시 험	• 철근콘크리트: 1개소/50m	• 철근콘크리트: 1개소/50m	3	3	3	3	
탄산화 깊이 측정	• 5경간 이내: 2~3개소 • 5경간 이상: 3~6개소		2	1	2	1	

2) 콘크리트 강도시험 위치 선정사유

상부구조는 외관조사 결과 바닥판은 전경간 노출된 상태로 되어 있으며, 내구성시험의 정확한 결과값을 얻기 위하여 접근성이 용이하고 콘크리트표면의 요철 및 곰보자국 등을 피하여 외관상 양호한 곳을 선정하여 내구성 시험을 실시하였다.

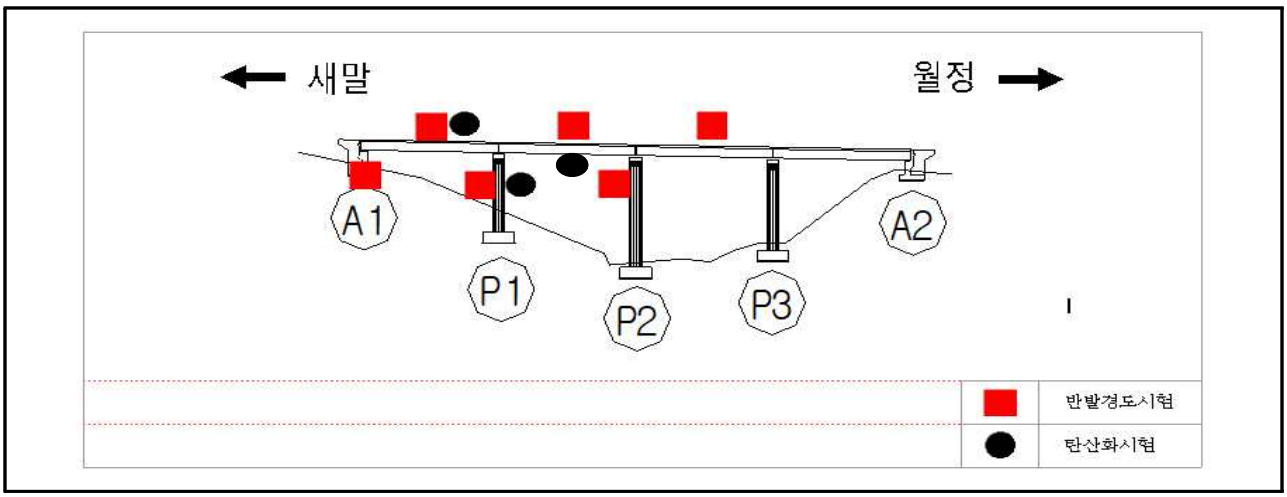
3) 조사 사진

반발경도시험

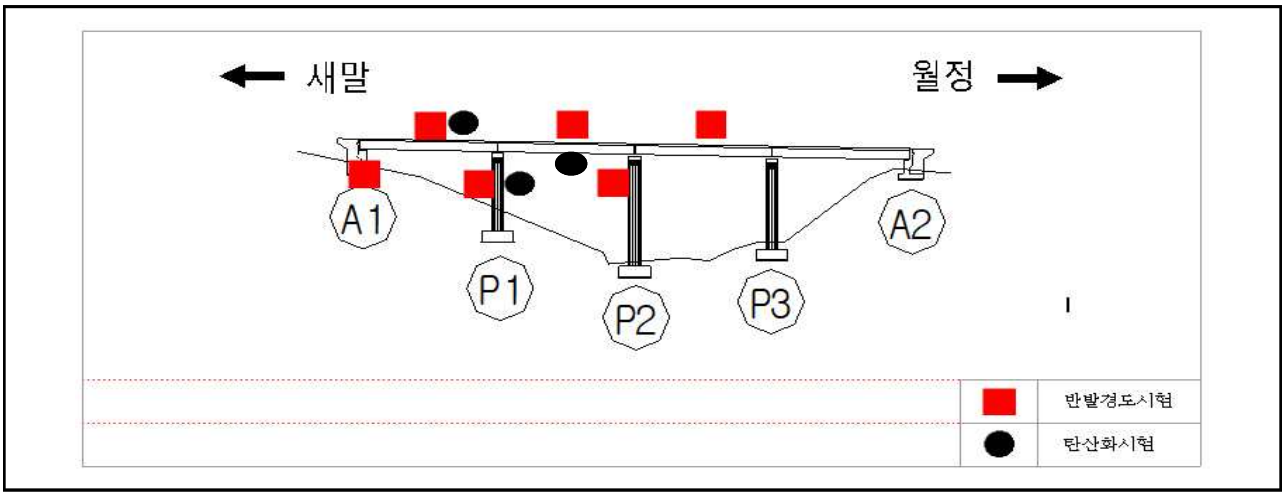
탄산화 깊이 측정

【사진 3.27】 콘크리트 내구성조사 현황

4) 콘크리트 내구성조사 위치도



【그림 3.3】 콘크리트 내구성조사 위치도(인천)



【그림 3.3】 콘크리트 내구성조사 위치도(강릉)

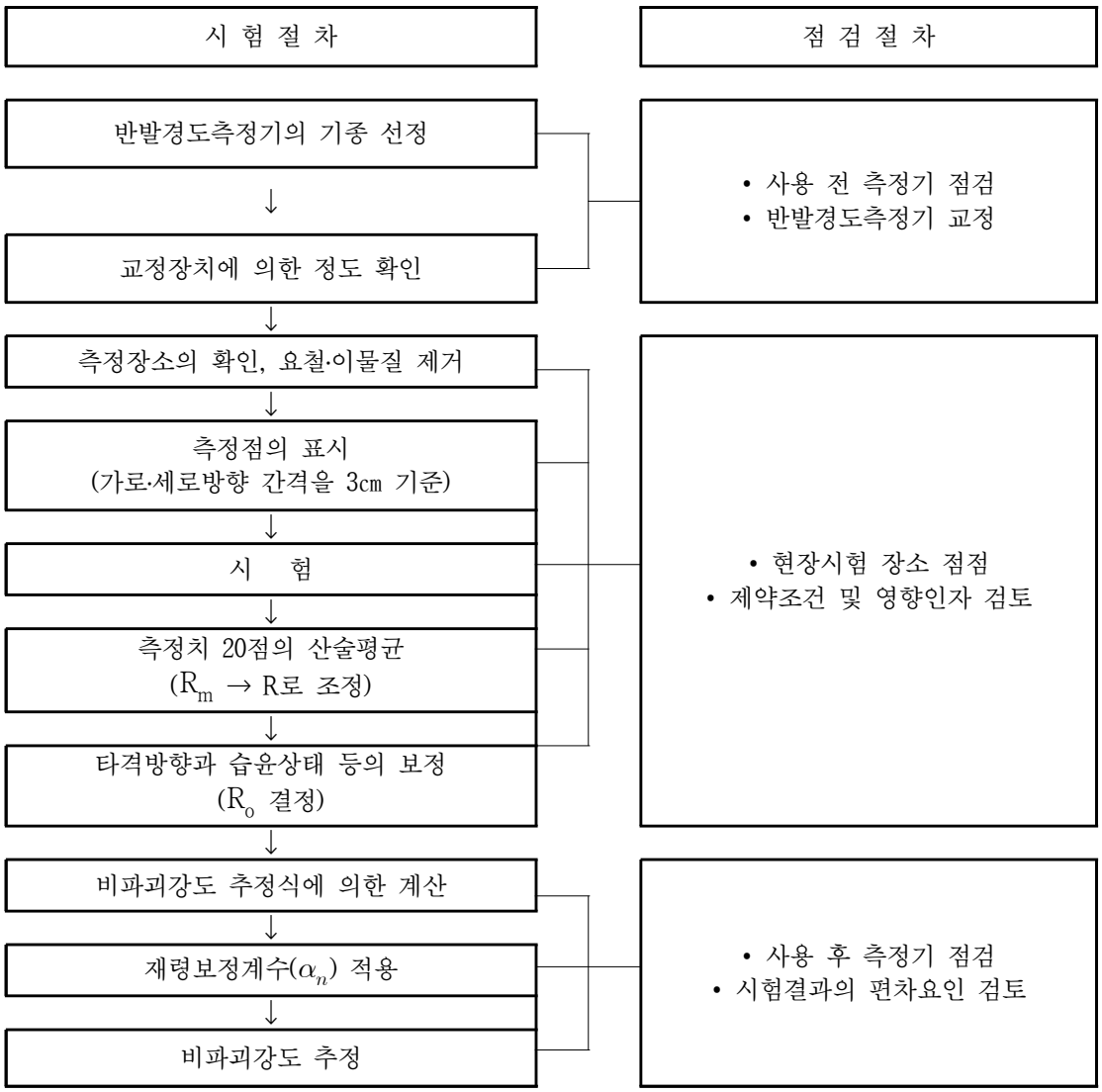
3.3.2 시험내용 및 평가기준

가. 콘크리트 강도시험

1) 반발경도시험

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 타격시, 반발경도(R)와 콘크리트의 압축강도(F_c)와의 사이에 특정 상관관계가 있다는 실험적 경험을 기초로 한다.

① 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차



【그림 3.4】 반발경도시험 및 측정기 점검 등의 절차

외관조사 결과에 의해 결정된 측정개소에 대해서 타격점 상호간의 간격은 3㎝를 표준으로 종으로 5열, 횡으로 4열의 선을 그어 직교되는 20점을 타격하여 반발경도 값의 산술평균값(R_m)을 구한다. 산술평균값(R_m)에 대해서는 릴렘(RILEM) 규정에 따라 각 반발경도의 값이 $R_m \pm 20\%$의 범위를 벗어나는 값들은 제외시키고 나머지 값들을 다시 산술평균하여 반발경도 R을 결정한다.

② 보정반발경도(R_o)

【표 3.18】 보정반발경도(R_o)

◈ 보정반발경도 : $R_o = R + \Delta R_1 + \Delta R_2$

여기서, R : 반발경도

ΔR_1 : 타격방향에 따른 보정값

ΔR_2 : 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값

㉠ 타격방향에 따른 보정값(ΔR_1)

- 수평방향의 타격에 의한 측정치가 안정된 값을 나타내지만 타격방향이 다른 경우에는 반발치를 보정해 주어야 함
  ⇒ 하향 타격(-90°)의 경우 : (+)값으로 보정
  상향 타격(+90°)의 경우 : (-)값으로 보정

R \ α	보 정 값			
	+90°	+45°	-45°	-90°
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	-2.6	+2.0	+2.7
50	-3.1	-2.1	+1.5	+2.2
60	-2.2	-1.6	+1.3	+1.7

㉡ 콘크리트의 습윤상태에 따른 보정값(ΔR_2)

- 콘크리트는 함수율이 증가함에 따라 반발경도가 저하됨
  ⇒ 측정위치가 습하고 타격의 흔적이 보이는 경우 : ΔR_2 = +3으로 보정
  측정위치가 완전히 젖어 있는 경우 : ΔR_2 = +5로 보정

③ 압축강도의 추정

보정반발경도(R_o)로부터 압축강도(F_c)의 상관관계를 도출한 제안식들은 다음과 같으며, 제안식의 적용은 시험방법 및 조건에 맞는 제안식을 선정하는 것이 중요하다.

【표 3.19】 기존의 비파괴강도 추정 제안식(반발경도시험)

구 분	추 정 식(MPa)	비 고
일본재료학회	$F_c = (-184.0 + 13R_o) \times 0.098$	**금회 적용**
일본건축학회	$F_c = (7.3R_o + 100) \times 0.098$	**금회 적용**
한국 시설안전공단	$F_c = (17.2R_o - 241) \times 0.098$	-
과학기술부	$F_c = (-112.8 + 15.2R_o) \times 0.098$	-
※ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(2019. 1, 국토교통부/한국시설안전공단)		

④ 28일 강도의 추정

시일이 경과할수록 콘크리트 구조물은 표면경도가 높아지므로 아래 식과 같이 재령 28일 강도(F_{28}')로 환산하여 압축강도를 추정한다. 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 보정계수 α는 아래 【표 3.20】과 같으며, 3,000일 이상의 재령에 대해서는 0.63을 적용한다.

$$F_{28}' = \alpha \cdot F_c$$

【표 3.20】 재령계수 α값

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

나. 탄산화깊이 측정

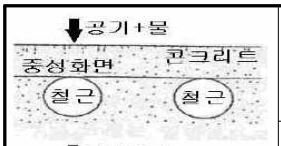
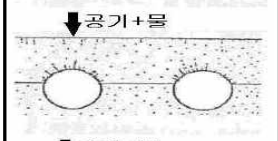
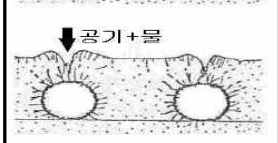
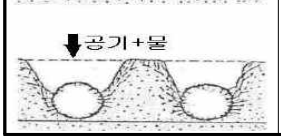
1) 개 요

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

$$\underset{\text{수산화칼슘}}{Ca(OH)_2} + \underset{\text{탄산가스}}{CO_2} \rightarrow \underset{\text{탄산칼슘}}{CaCo_3} + \underset{\text{물}}{H_2O}$$

(pH 12~13) (대기 중에 존재) (pH 8.5~10)

탄산화가 일어나는 메카니즘을 보면 시멘트의 수화반응에서 생성되는 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)은 pH 12~13정도의 강알칼리성을 나타내지만 대기 중에 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 일반환경 하에서도 확실하게 진행되기 때문에 매입된 철근의 부식에 따른 문제가 가장 기본적이며 중요하다. 콘크리트 내부의 pH가 11이상에서 철근은 표면에 1×10^{-6}㎜ 두께의 수산화물($\gamma-Fe_2O_3\cdot nH_2O$) 부동태막을 형성하므로 산소 침입을 막아 철근의 부식을 방지하지만 탄산화에 의하여 pH가 11보다 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 구조물의 내구성면에서 탄산화를 파악하는 것이 중요하다.

	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 팽창함 • 균열이 표면까지 연장되어 공기와 수분의 침입이 격화되어 동해 등의 다른 열화도 유발시키며 녹물이 보임
	STEP 4 • 철근 윗면의 피복이 떨어지고, 철근의 노출이 시작됨 • 철근단면적이 감소함
	STEP 5 • 철근 윗면이 거의 없어지고 철근은 공기 중에 직접 노출됨 • 내구성능은 없음

【그림 3.7】 탄산화에 의한 콘크리트 성능저하

2) 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

탄산화 속도에 영향을 미치는 요인으로는 환경조건(대기 중의 탄산가스 농도, 온도, 습도, 마감재 등)을 주원인으로 하는 외적요인 및 콘크리트 자체의 성능·품질(함수율, 강도, 시멘트의 종류, 배합조건, 시공조건 등)을 주원인으로 하는 내적요인에 의해 복합적인 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 대표적인 원인을 정리하면 다음과 같다.

【표 3.21】 탄산화 속도에 영향을 미치는 요인

구분	영향인자	탄산화 속도
내적 요인	시멘트의 종류	• 수화반응이 느릴수록 탄산화 속도가 빠름 • 조강 포틀랜드시멘트 < 보통 포틀랜드시멘트 < 중용열 포틀랜드시멘트
	골재의 종류	• 투기성이 큰 골재일수록 탄산화 속도가 빠름
	계면활성제 종류	• 동일 물-시멘트비, 동일 슬럼프라면 탄산화 속도와 무관함
	압축강도	• 압축강도가 낮을수록 탄산화 속도가 빠름
	물-시멘트비	• 물-시멘트비가 증가하면 탄산화 속도가 빠름
	시공 정밀도	• 다짐이 불충분할수록 탄산화 속도가 빠름
	콘크리트 결함부	• 균열부위, 이음부, 손상부위 등에서 탄산화 속도가 빠름
외적 요인	온도	• 온도 상승시 탄산화 속도가 빠름 • 20~50 ˚C 사이에서는 영향이 크지 않음
	이산화탄소 농도	• 농도가 클수록 탄산화 속도가 빠름 • 탄산가스 농도 3~10% 사이에서 상승비율이 큼
	습도	• 상대습도 50~70% 에서 탄산화 속도가 최대
	실내, 실외	• 실내의 탄산화 속도가 빠름

3) 탄산화깊이의 측정

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

콘크리트 파단면에 1% 페놀프탈레인 용액을 도포한 후 색의 변화를 관찰하는 방법으로 강알칼리성일수록 짙은 보라색을 띠며 pH 9이하에서는 무색을 나타낸다. 탄산화 진행 깊이의 측정은 콘크리트 표면에서 발색점까지의 깊이를 버니어캘리퍼스 등으로 측정한다.

4) 탄산화를 고려한 잔존수명 예측

탄산화 속도는 경과시간(t)의 평방근에 비례하여 진행한다고 하는 $\sqrt{t}$법으로 표현된다. 탄산화(C)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서, C : 탄산화깊이(㎜)

A : 탄산화 속도계수(㎜/ $\sqrt{년}$)

t : 재령(년)

여기서 구해진 탄산화 속도계수(A)를 실제 탄산화깊이와 경과년수를 이용하여 역추적으로 구한 후 탄산화가 철근에 도달하는 시간을 계산하면 콘크리트의 탄산화에 의한 잔존수명을 예측할 수 있다.

수명예측(년) = (철근피복 / 탄산화 속도계수)2

잔존수명예측(년) = 수명예측년수 - 경과년수

5) 평가기준

탄산화 상태평가 기준은 다음과 같다.

【표 3.22】 탄산화 상태평가 기준

기 준	탄산화 잔여 깊이	철근부식의 가능성
a	• 30㎜이상	• 탄산화에 의한 부식발생 우려 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	-	-

3.3.3 시험결과 및 분석

가. 인천방향

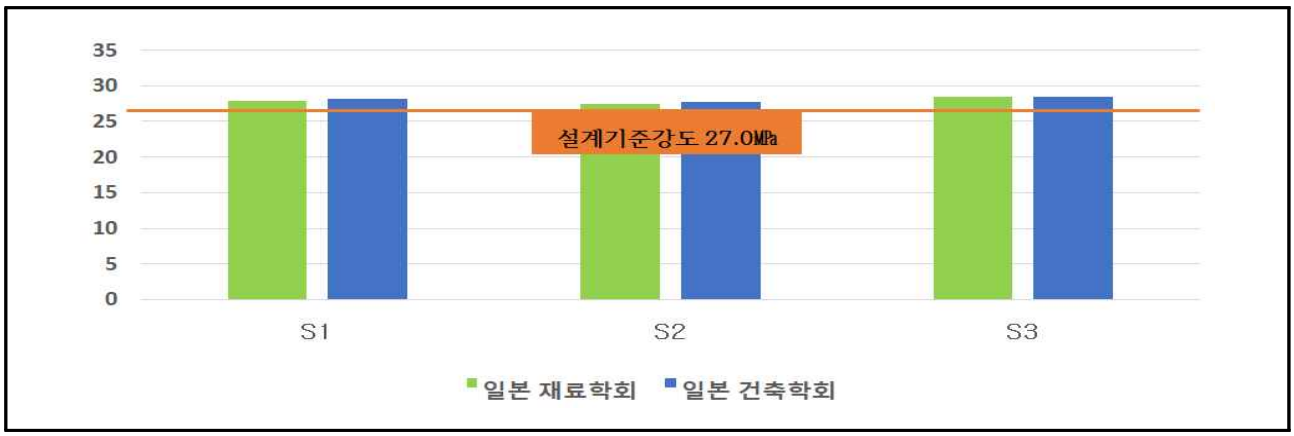
1) 콘크리트 강도시험

백옥포교(인천)의 콘크리트 비파괴강도시험은 상·하부구조에서 반발경도시험(총 6개소)를 실시하였으며, 검토결과는 다음과 같다.

① 비파괴강도 시험결과

【표 3.23】 상부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과(바닥판하면)

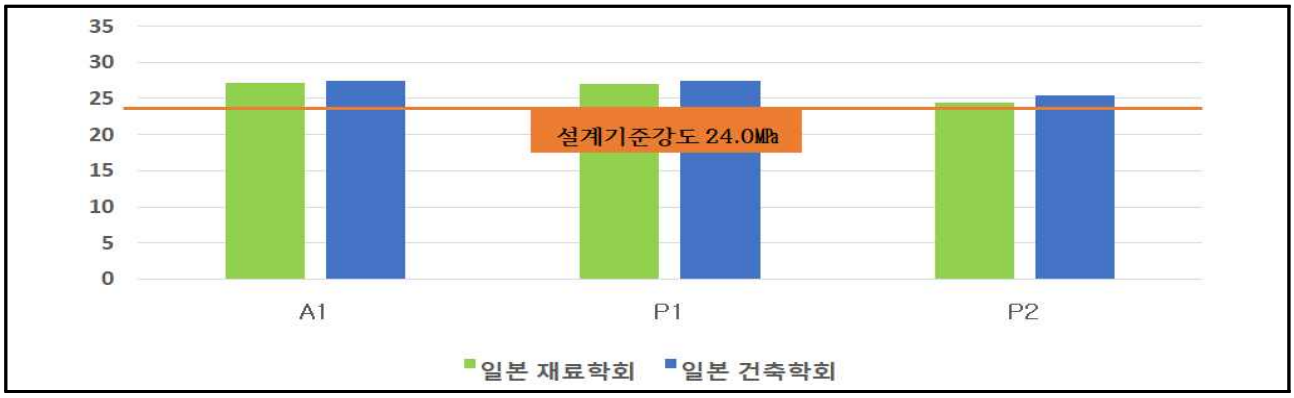
시험위치		반발경도법(MPa)				설계기준 강도 (MPa)	비고
		반발경도 (R_o)	일본재료 학회	일본건축 학회	재령보정 계수		
상부 구조	S1 캔틸레버	48.9	27.9	28.2	0.63	27.0	
	S2 캔틸레버	48.4	27.5	27.7			
	S3 캔틸레버	49.5	28.4	28.4			
	평 균	48.9	27.9	28.1	-		



【그림 3.8】 상부구조 평균압축강도 추정결과(바닥판하면)

【표 3.24】 하부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치		반발경도법(MPa)				설계기준 강도 (MPa)	비고
		반발경도 (R_o)	일본재료 학회	일본건축 학회	재령보정 계수		
하부 구조	A1 벽체	48.1	27.2	27.5	0.63	24.0	
	P1 코핑	47.8	27.0	27.4			
	P2 코핑	44.6	24.4	25.4			
	평 균	46.8	26.2	26.8	-		



【그림 3.9】 하부구조 평균압축강도 추정결과

■ 반발경도법에 의한 압축강도 측정결과 상부구조 27.5~28.4MPa, 하부구조 24.4~27.5MPa 로 측정 되었으며, 설계기준 압축강도(상부: 27.0MPa, 하부: 24.0MPa)를 상회하는 것으로 강도 저하가 없는 것으로 판단된다.

【표 3.25】 비파괴강도 시험결과 분석

구 분	부재	평균강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
상부구조	바닥판 하면	27.9 ~ 28.1	27.0	103.5 ~ 104.1
하부구조	교대 및 교각	26.2 ~ 26.8	24.0	109.2 ~ 111.5

② 기 점검결과와의 비교

【표 3.26】 비파괴강도 기 점검결과와의 비교

구 분		2017년 정밀안전점검	금회 정밀안전점검	설계기준강도
상부구조	바닥판 하면	27.1 ~ 31.5	27.9 ~ 28.1	27.0
하부구조	교대 및 교각	24.3 ~ 25.1	26.2 ~ 26.8	24.0
검토의견		■ 기 정밀안전점검(2017년)과 비교 · 분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 콘크리트 구조물에 강도저하는 없는 것으로 판단됨		

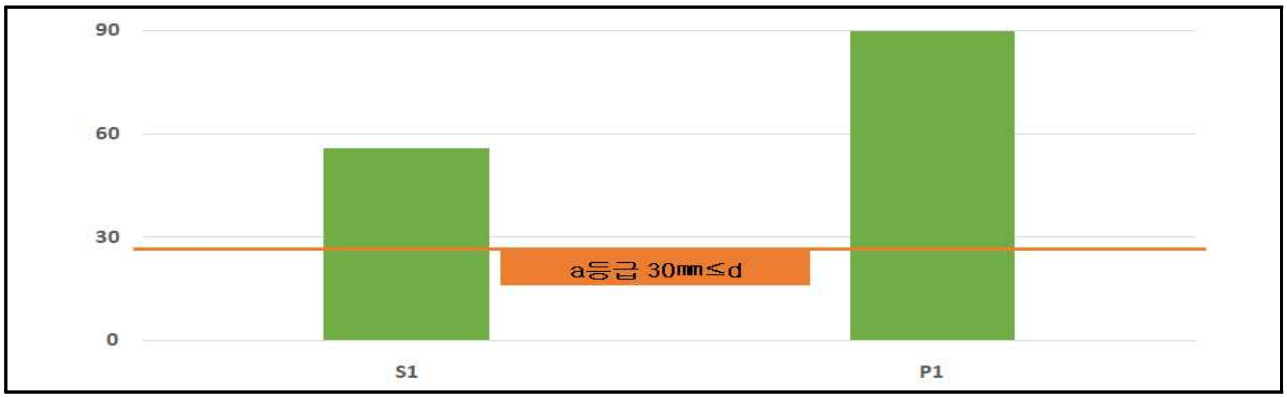
2) 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 총 2개소(상부구조 1개소, 하부구조 1개소)에서 실시하였다. 드릴링을 통한 천공 후 지시약을 사용하여 적색으로 변색되는 시점을 탄산화깊이로 정하였으며, 버니어캘리퍼스를 이용하여 그 깊이를 측정하고 철근탐사기를 이용하여 피복두께를 확인하였다.

① 탄산화 깊이 측정결과

【표 3.31】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		탄산화 깊이 (㎜)	최소 피복두께 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
상부구조	S1 바닥판하면	4.0	50.0	46.0	a	0.89	100년이상	
하부구조	P1 코핑부	5.5	100.0	94.5	a	1.23	100년이상	



【그림 3.10】 탄산화 깊이 측정결과

- 상부구조 탄산화깊이는 4.0㎜, 하부구조 탄산화깊이는 5.5㎜로 측정되었으며, 잔여깊이가 30㎜이상을 확보하고, 세부지침 지침기준 “a“로 평가 되어 탄산화에 따른 철근의 부식발생 영향은 없는 것으로 판단된다.

【표 3.32】 탄산화 시험결과 분석

구 분	탄산화 깊이(㎜)	잔여깊이(㎜)	비고
상부구조	4.0	46.0	
하부구조	5.5	94.5	

② 기 점검결과와의 비교

【표 3.33】 탄산화 깊이 기 점검결과 비교

구 분	2017년 정밀안전점검			금회 정밀안전점검			비 고
	탄산화깊이 (㎜)	잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화깊이 (㎜)	잔여깊이 (㎜)	평가 결과	
상부구조	1.0 ~ 2.0	58.0 ~ 59.0	a	4.0	46.0	a	
하부구조	2.0	98.0	a	5.5	94.5	a	
검토의견	■ 기 정밀안전점검(2017년)과 비교 · 분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 내구성저하는 발생하지 않은 것으로 판단됨						

3) 금회점검 내구성조사 결과요약

【표 3.36】 금회 점검 내구성조사 결과요약

시 험 명	시험부위		시험 결과		비 고
			측정결과	설계기준	
비파괴 강도 (㎫)	상부구조	바닥판 하면	27.9 ~ 28.1	27.0	■ 설계강도 이상(양호)
	하부구조	교대 및 교각	26.2 ~ 26.8	24.0	
탄산화 잔여깊이 (㎜)	상부구조		46.0	a등급	■ 탄산화 잔여깊이 30㎜이상 ■ 탄산화에 의한 내구성저하 없음
	하부구조		94.5	a등급	
종합 평가	• 콘크리트 강도는 설계강도 이상으로 양호한 상태로 평가됨 • 탄산화에 의한 내구성 저하 가능성은 없는 상태임				

4) 기 정밀점검(2017년)결과 비교

【표 3.37】 내구성조사 기 정밀점검(2017년)결과 비교

시 험 명	시험부위		시험 결과				비 고
			2017년 정밀안전점검		금회 정밀안전점검		
비파괴 강도 (㎫)	상부구조	바닥판 하면	27.1 ~ 31.5		27.9 ~ 28.1		■ 강도저하 없음
	하부구조	교대 및 교각	24.3 ~ 25.1		26.2 ~ 26.8		
탄산화 잔여 깊이 (㎜)	상부구조		58.0 ~ 59.0	a	46.0	a	■ 탄산화에 의한 내구성 저하 가능성 없음
	하부구조		98.0	a	94.5	a	
종합 평가	• 기 점검결과와 비교 검토한 결과 공용년수 증가에 의한 구조물의 내구성 저하는 발생하지 않은 상태로 평가됨						

나. 강릉방향

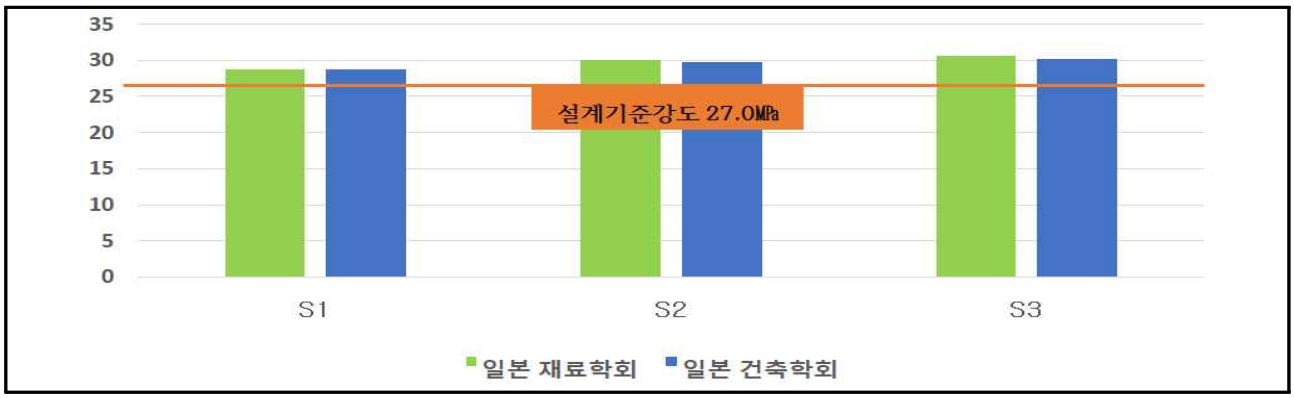
1) 콘크리트 강도시험

백옥포교(강릉)의 콘크리트 비파괴강도시험은 상·하부구조에서 반발경도시험(총 6개소)를 실시하였으며, 검토결과는 다음과 같다.

① 비파괴강도 시험결과

【표 3.23】 상부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과(바닥판하면)

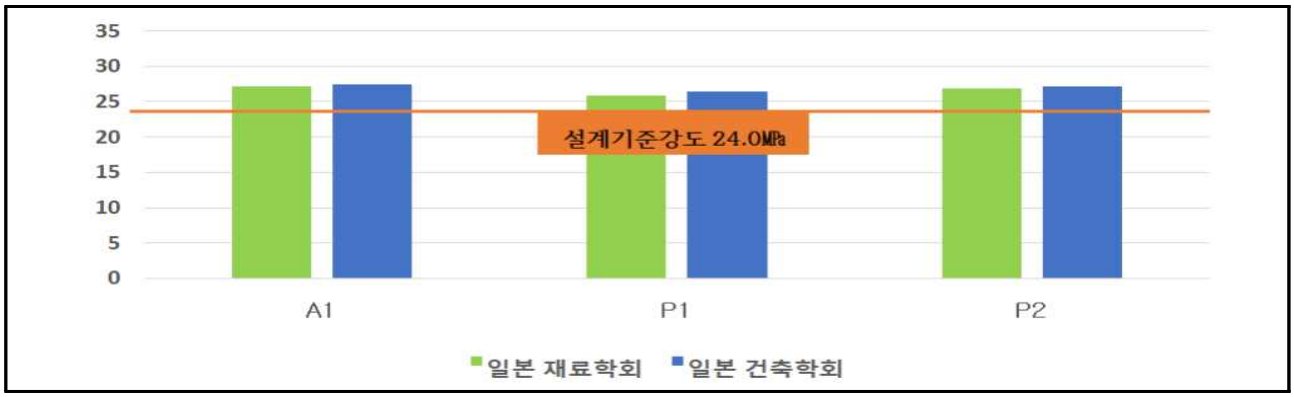
시험위치		반발경도법(MPa)				설계기준 강도 (MPa)	비고
		반발경도 (R_o)	일본재료 학회	일본건축 학회	재령보정 계수		
상부 구조	S1 캔틸레버	50.0	28.8	28.7	0.63	27.0	
	S2 캔틸레버	51.7	30.1	29.8			
	S3 캔틸레버	52.3	30.6	30.2			
	평 균	51.3	29.8	29.6	-		



【그림 3.8】 상부구조 평균압축강도 추정결과(바닥판하면)

【표 3.24】 하부구조 콘크리트 비파괴강도 시험결과

시험위치		반발경도법(MPa)				설계기준 강도 (MPa)	비고
		반발경도 (R_o)	일본재료 학회	일본건축 학회	재령보정 계수		
하부 구조	A1 벽체	48.1	27.2	27.5	0.63	24.0	
	P1 코핑	46.3	25.8	26.4			
	P2 코핑	47.6	26.8	27.2			
	평 균	47.3	26.6	27.0	-		



【그림 3.9】 하부구조 평균압축강도 추정결과

- 반발경도법에 의한 압축강도 측정결과 상부구조 28.7~30.6㎫, 하부구조 25.8~27.5㎫ 로 측정 되었으며, 설계기준 압축강도(상부: 27.0㎫, 하부: 24.0㎫)를 상회하는 것으로 강도 저하가 없는 것으로 판단된다.

【표 3.25】 비파괴강도 시험결과 분석

구 분	부재	평균강도(A)	설계기준강도(B)	A/B×100(%)
상부구조	바닥판 하면	29.6 ~ 29.8	27.0	109.5 ~ 110.5
하부구조	교대 및 교각	26.6 ~ 27.0	24.0	110.8 ~ 112.6

② 기 점검결과와의 비교

【표 3.26】 비파괴강도 기 점검결과와의 비교

구 분		2017년 정밀안전점검	금회 정밀안전점검	설계기준강도
상부구조	바닥판 하면	29.3 ~ 31.6	29.6 ~ 29.8	27.0
하부구조	교대 및 교각	25.7 ~ 28.0	26.6 ~ 27.0	24.0
검토의견		■ 기 정밀안전점검(2017년)과 비교 · 분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 콘크리트 구조물에 강도저하는 없는 것으로 판단됨		

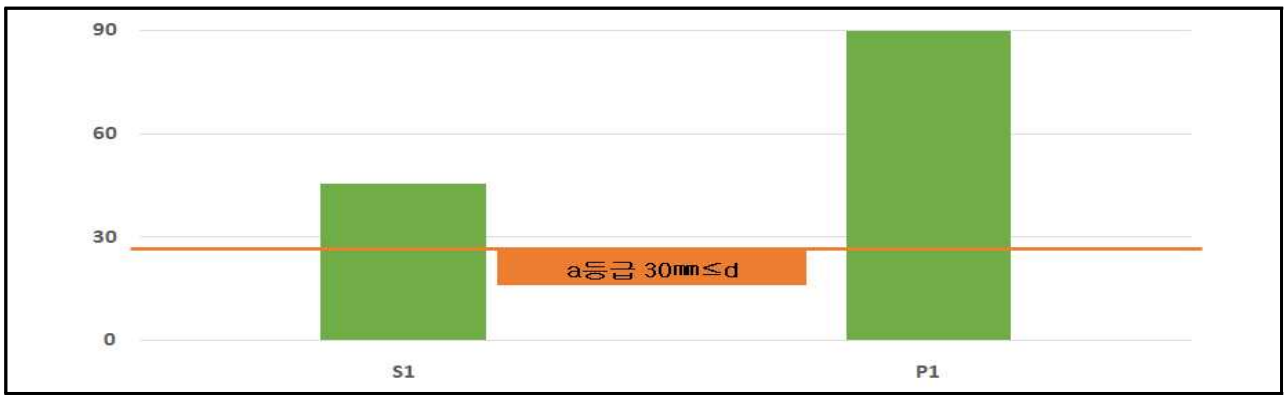
2) 탄산화 깊이 측정

탄산화 깊이 측정은 총 2개소(상부구조 1개소, 하부구조 1개소)에서 실시하였다. 드릴링을 통한 천공 후 지시약을 사용하여 적색으로 변색되는 시점을 탄산화깊이로 정하였으며, 버니어캘리퍼스를 이용하여 그 깊이를 측정하고 철근탐사기를 이용하여 피복두께를 확인하였다.

① 탄산화 깊이 측정결과

【표 3.31】 탄산화 깊이 측정결과 및 평가

시험위치		탄산화 깊이 (㎜)	최소 피복두께 (㎜)	탄산화 잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화 속도계수 (A)	잔존 수명 (년)	비 고
상부구조	S1 바닥판하면	4.5	50.0	45.5	a	1.01	100년이상	
하부구조	P1 코핑부	5.5	100.0	94.5	a	1.23	100년이상	



【그림 3.10】 탄산화 깊이 측정결과

- 상부구조 탄산화깊이는 4.5㎜, 하부구조 탄산화깊이는 5.5㎜로 측정되었으며, 잔여깊이가 30㎜이상을 확보하고, 세부지침 지침기준 “a“로 평가 되어 탄산화에 따른 철근의 부식발생 영향은 없는 것으로 판단된다.

【표 3.32】 탄산화 시험결과 분석

구 분	탄산화 깊이(㎜)	잔여깊이(㎜)	비고
상부구조	4.5	45.5	
하부구조	5.5	94.5	

② 기 점검결과와의 비교

【표 3.33】 탄산화 깊이 기 점검결과 비교

구 분	2017년 정밀안전점검			금회 정밀안전점검			비 고
	탄산화깊이 (㎜)	잔여깊이 (㎜)	평가 결과	탄산화깊이 (㎜)	잔여깊이 (㎜)	평가 결과	
상부구조	2.0 ~ 4.0	46.0 ~ 48.0	a	4.5	45.5	a	
하부구조	3.0 ~ 5.0	95.0 ~ 97.0	a	5.5	94.5	a	
검토의견	■ 기 정밀안전점검(2017년)과 비교 · 분석한 결과, 측정위치에 따른 편차가 일부 존재하나 전반적으로 공용기간 경과에 따른 내구성저하는 발생하지 않은 것으로 판단됨						

3) 금회점검 내구성조사 결과요약

【표 3.36】 금회 점검 내구성조사 결과요약

시 험 명	시험부위		시험 결과		비 고
			측정결과	설계기준	
비파괴 강도 (㎫)	상부구조	바닥판 하면	29.6 ~ 29.8	27.0	■ 설계강도 이상(양호)
	하부구조	교대 및 교각	26.6 ~ 27.0	24.0	
탄산화 잔여깊이 (㎜)	상부구조		45.5	a등급	■ 탄산화 잔여깊이 30㎜이상 ■ 탄산화에 의한 내구성저하 없음
	하부구조		94.5	a등급	
종합 평가	• 콘크리트 강도는 설계강도 이상으로 양호한 상태로 평가됨 • 탄산화에 의한 내구성 저하 가능성은 없는 상태임				

4) 기 정밀점검(2017년)결과 비교

【표 3.37】 내구성조사 기 정밀점검(2017년)결과 비교

시 험 명	시험부위		시험 결과				비 고
			2017년 정밀안전점검		금회 정밀안전점검		
비파괴 강도 (㎫)	상부구조	바닥판 하면	29.3 ~ 31.6		29.6 ~ 29.8		■ 강도저하 없음
	하부구조	교대 및 교각	25.7 ~ 28.0		26.6 ~ 27.0		
탄산화 잔여 깊이 (㎜)	상부구조		46.0 ~ 48.0	a	45.5	a	■ 탄산화에 의한 내구성 저하 가능성 없음
	하부구조		95.0 ~ 97.0	a	94.5	a	
종합 평가	• 기 점검결과와 비교 검토한 결과 공용년수 증가에 의한 구조물의 내구성 저하는 발생하지 않은 상태로 평가됨						