

제 5 장 시설물의 내구성능 평가

5.1 개요

5.2 콘크리트 내구성능 평가

5.3 강재 내구성능 평가

5.4 내구성능 평가 결과

제 5장 시설물의 내구성능 평가

5.1 개요

교량 내구성능 평가는 강재 내구성능 평가 및 콘크리트 내구성능 평가로 구성된다. 콘크리트 교의 경우에는 콘크리트 내구성능 평가를 실시하고, 강재 및 콘크리트 부재로 구성된 교량의 경우 각 부재의 가중평균을 적용하여 내구성능등급을 산정한다.

5.1.1 강재 내구성능 평가 기준 및 방법

가. 개요

강재 내구성능 평가 항목은 크게 내부적 요소(열화진전 요소)와 외부적 요소(열화환경요소)로 구분되며, 내부적 요소는 ‘발청’, ‘도장열화’, ‘도장두께’ 외부적 요소는 ‘해안 이격거리’, ‘이산화황 농도’, ‘습도’ 등을 포함하는 ‘대기환경’ 으로 구성된다.

여기서, 도장열화는 박리, 균열, 부품, 변색·백아화 등 4가지 열화요인에 대해 각각 평가한다. 발청을 포함하여 도장열화에 대한 세부지표 간의 중요도에 따라 합산 및 등급산정을 한다.

평가대상 부재에 대해 내부적 요소와 외부적 요소에 대해 강재 내구성능을 평가한다.

【표 5.1】 교량 평가지표 및 세부평가지표

구분	평가지표	세부 평가지표
강 부재	발청(표면부식)	—
	도장 열화	박리, 균열, 부품, 백아화
	도장 두께	—
	대기환경	해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도

나. 평가대상 부재

교량의 강재 내구성능 평가 대상 부재를 부재별로 분류하고, 대상부재는 강재가 적용된 부재에 한정한다.

【표 5.2】 교량 강재 내구성능 평가 대상 부재

부재 분류	
상부구조	바닥판, 거더, 케이블
	2차부재(가로보 및 세로보)
하부구조	교각, 주탑

다. 강재 내구성능 평가 기준

1) 발청 및 도장열화

① 발청(표면부식, 녹)

【표 5.3】 발청 평가기준

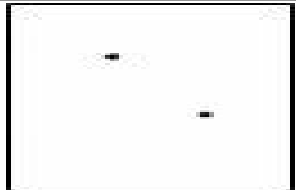
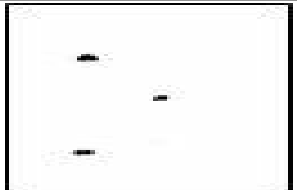
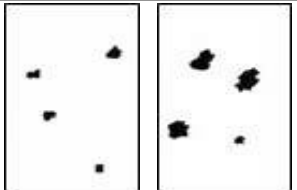
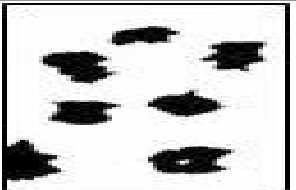
평가 기준	평가내용		비고
	발청 면적	외관 상태	
a	0.05%미만	•외관상 부식이 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 등급 1)	
b	0.05%이상~0.5%미만	•미소하게 부식이 확인되지만 부식부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 등급 2)	
c	0.5%이상~5.0%미만	•확실하게 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 3)	
d	5.0%이상	•외관상 거의 전면에 걸쳐 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 4/5)	
e	—	—	

발청			
표준사진등급 1	표준사진등급 2	표준사진등급 3	표준사진등급 4/5
			

② 도장 박리

【표 5.4】 도장 박리 평가기준

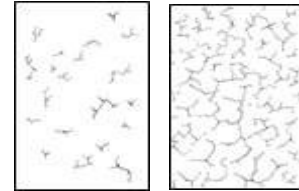
평가 기준	평가내용		비고
	도장 박리 면적	외관 상태	
a	0.1%미만	•외관상 박리가 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1)	
b	0.1%이상~0.3%미만	•미소하게 박리가 확인되지만, 박리된 부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2)	
c	0.3%이상~5.0%미만	•확실하게 박리가 보이는 상태(표준사진 3/4)	
d	5.0%이상	•외관상 거의 전면에 걸쳐 박리가 발생되어 있는 상태(표준사진 5)	
e	—	—	

도장박리			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3/4	표준사진 5
			

③ 도장 균열

【표 5.5】 도장 균열 평가기준

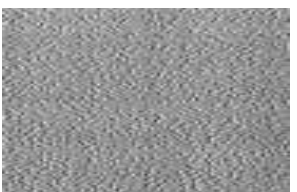
평가 기준	평가내용		비고
	도장 균열 면적	외관 상태	
a	0.05%미만	•외관상 균열이 확인되지 않거나, 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1)	
b	0.05%이상~0.5%미만	•미소하게 균열이 확인되지만, 균열부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2)	
c	0.5%이상~10.0%미만	•확실하게 균열이 보이는 상태(표준사진 3)	
d	10.0%이상	•외관상 거의 전면에 걸쳐 균열이 발생되어 있는 상태(표준사진 4/5)	
e	—	—	

도장 균열			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3	표준사진 4/5
			

④ 도장 부품

【표 5.6】 도장 부품 평가기준

부품크기 \ 발생면적	0 ~ 0.05% 미만 (표준사진 밀도 2이하)	0.05 이상~0.5% 미만 (표준사진 밀도 3)	0.5 이상 ~ 5.0% 미만 (표준사진 밀도 4)	5.0% 이상 (표준사진 밀도 5이상)
정상적인 교정시력으로 겨우 보이는 정도 이하 (크기등급 2)	a	a	b	c
정상적인 교정시력으로 확실하게 보이는 정도 (0.5mm이하)(크기등급 3)	a	b	c	d
0.5~5mm의 범위 (크기등급 4)	b	c	c	d
5mm 초과(크기등급 5)	c	d	d	d

도장부품(크기등급 3: 0.5mm 부품에 대한 예)			
표준사진 밀도 2이하	표준사진 밀도 3	표준사진 밀도 4	표준사진 밀도 5이상
			

⑤ 도장 변색 및 백아화

【표 5.7】 도장 변색 및 백아화

평가기준	평가내용		비고
	도장 변색	도장 백아화	
a	•초기에 비해 거의 변화 없음	•초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착 없음(표준사진 1)	
b	•초기에 비해 변색되어 있음	•초기에 비해 미소하게 하얗게 되어 있음 이탈분말이 미소하게 부착(표준사진 2)	
c	•초기에 비해 현저하게 변색되어 있음	•초기에 비해 상당히 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착(표준사진 3)	
d	•초기의 색이 거의 남아 있지 않음	•현저하게 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착 많음(표준사진 4)	
e	—	—	

백아화			
표준사진 1	표준사진 2	표준사진 3/4	표준사진 5
			

<해 설>

- 각 표준사진에서 최우측단의 색상이 도장 본래의 색에 해당하며, 좌측의 색상은 도장 열화수준에 따라 구분됨.

2) 도장두께

【표 5.8】 도장두께 평가기준

평가기준	평가내용
	시방서 및 시공기준 대비 허용두께 불만족 비율
a	5% 미만
b	5% 이상 ~ 30% 미만
c	30% 이상 ~ 70% 미만
d	70% 이상
e	—

3) 대기환경 (해안 이격거리/이산화황 농도/습도)

【표 5.9】 대기환경의 평가기준

연간 젖음 시간 ²⁾ (일)	해안 이격거리 (m) 이산화황 (ppm)	동해안		서해안		남해안		동해안		서해안		남해안		동해안		서해안		남해안	
		전지역		고창 · 태안 그 외 지역		사천 · 거제 그 외 지역		전지역		고창 · 태안 그 외 지역		사천 · 거제 그 외 지역		전지역		고창 · 태안 그 외 지역		사천 · 거제 그 외 지역	
		500 초과		1000 초과	300 초과	100 초과	20 초과	250 초과 ~ 500 이하		500 초과 ~ 1000 이하	120 초과 ~ 300 이하	50 초과 ~ 100 이하	10 초과 ~ 20 이하	비탈대 초과 ~ 250 이하		비탈대 초과 ~ 500 이하		비탈대 초과 ~ 120 이하	
		MDD ¹⁾ ≤ 1.5						1.5 < MDD ¹⁾ ≤ 2.0						2.0 < MDD ¹⁾ ≤ 비탈대					
100 초과	0.01 이하	a						b						c					
	0.01 초과																		
	0.02 이하	b						b						c					
	0.02 초과	c						c						c					
10 이상 ~ 100 이하	0.01 이하	a						b						b					
	0.01 초과	b						b						c					
	0.02 이하																		
	0.02 초과	b						c						c					
10 미만	0.01 이하																		
	0.01 초과	a						a						b					
	0.02 이하																		
	0.02 초과																		

주1) 비래염분량(mg/100cm² /day, MDD) : 10cm × 10cm의 면적에서 1일간 측정되는 염분량을 NaCl량으로 나타낸 값

주2) 연간 젖음 시간 : 0도씨 이상의 온도에서 상대습도 80% 이상이 지속되는 시간

<해 설>

- 대기환경에 대한 평가기준은 KS D ISO 9223~9226에 제시된 영향인자별 부식속도를 참고하여 설정하였다.
- 부식속도가 높음 및 매우 높은 경우 이에 대해 각각 “b” 등급 및 “c” 등급 적용한다.

4) 강설횟수(제설제 살포빈도)

【표 5.10】 강설횟수의 평가기준

강설일수(x)	x < 5	5 ≤ x < 15	15 ≤ x
등급	a	b	c

<해 설>

- 겨울철 도로상에 살포되는 제설제에 의한 강재 부식 및 이에 의한 내구성능 저하를 고려하기 위한 평가항목이다.
- 강설횟수의 등급은 ASTM G85 Annex 5-Dilute electrolyte cycle fog/dry test에 따라 강재시편의 부식량을 측정하는 염수분무시험을 근거로 국내 지역별 기상조건을 고려하여 3등급 체계로 설정하였다.

라. 강재 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

- 강재 내구성능 평가 결과 산정방법은 평가항목별 가중치 및 부재별 가중치에 따라 내구성능을 평가하는 방법을 활용하여 등급을 산정하는 절차를 따른다.

2) 평가항목별 가중치

① 발청 및 도장열화 가중치

- 강재의 발청, 도장의 박리, 균열, 부품, 변색 및 백아화 등 각 지표별 평가결과에 의한 열화정도를 등급별 점수화하고, 가중치 적용 및 합산하여 ‘발청 및 도장열화’에 대한 종합점수를 산정한다.
- 각 세부지표의 등급별 점수는 아래의 표와 같다.

【표 5.11】 강재 발청 및 도장열화의 각 세부지표에 대한 등급별 점수

세부지표등급	발청	박리	균열	부품	변색 및 백아화	종합점수 (세부지표별 등급점수의 합계)
a	5 (0)	2 (0)	1 (0)	1.5 (0)	0.5 (0)	10
b	10	4	2	3	1	20
c	20	8	4	6	2	40
d	35	14	7	10.5	3.5	70

<해 설>

- 시설물 상태안전성능 결함도 점수표의 점수배분율을 참고하여 ‘발청 및 도장열화’ 전체의 종합등급 배점은 A등급 10점, B등급 20점, C등급 40점, D등급 70점으로 한다.
- a등급에 대한 점수는 어떠한 열화도 발견되지 않았다면 0점을 부여한다.

② 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준

- 발청 및 도장열화에 대한 종합점수는 다음과 같다.

【표 5.12】 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준

등급	종합점수 범위	등급 정의	비고
a	13미만	•부식 및 도장열화로 인하내구성능 저하를 무시할 수준의 단계	•차기 도래시기에는 전차 평가결과를 참고하여 평가위치 및 수량을 결정함
b	13이상~26미만	•경미한 결함이 있으나 그이외의 부분에 대해서는 전반적으로 양호한 단계	
c	26이상~49미만	•결함이 발생한 부재에 대해 일부 보수가 필요한 단계	
d	49이상	•광범위한 보수를 시행해야 하는 단계	

<해 설>

- 대상경간에 해당하는 강재부재는 조사방법 및 수량에 맞게 열화수준(낮음/보통/높음)이 고루 분포 되도록 사전 육안조사에 의해 선정한다.
- 선정된 부재는 평가기준에 따라 발청 및 도장열화를 조사하여 등급별 점수를 계산하고 그 외의 부재는 유사경간으로 지정하여 책임기술자의 판단하에 열화수준(낮음/보통/높음)에 맞는 구역으로 배분한다.
- 열화수준에 따라 배열된 부재는 최종적으로 등급의 대푯값에 유사경간 수를 곱하고 평균값을 취하여 최종 등급을 산정한다.
(예) 거더수가 10개라고 가정하면, 최소 3개이상, 25%이상을 만족해야 하므로 열화수준(낮음/보통/높음)에 맞는 총 3개 경간을 선정하며, 나머지 7개 거더는 열화의 수준을 고려하여 선정된 3개 거더의 유사한 경간으로 지정한 후 평가한다.

③ 도장두께

- 도장 두께가 허용기준을 만족하지 못하는 경우, 균열 및 박리 또는 충격에 의한 깨짐 등과 같은 결함으로 이어질 수 있고, 이는 강재 내구성능 저하를 유발시킨다.

㉠ 도장 최소두께 및 최대두께

- 지방서 및 도장 제조업체에서는 요구 최소두께 및 최대두께를 제시하고 있다.
- 도장종류에 따라 최소 또는 최댓값이 명시되어 있지 않는 경우 일반적으로 규정두께의 80%를 최소두께, 120%를 최대두께로 할 수 있다.

㉡ 도장 허용두께(SSPC-PA2 참고)

- 측정 1개소내의 3개 지점값(직경 40mm의 1개소에서 3번의 측정 실시)은 값에 제

한이 없으나, 3개 지점의 평균값 즉, 1개소의 평균값은 시방서 최솟값의 80% 이상이어야 하며, 최댓값의 120% 이내여야 한다.

- 조사단위면적 내 5개소의 최종 평균값은 시방서 최솟값 및 최댓값의 범위에 있어야 한다.

㉔ 도장 허용두께 불만족 비율

- 대상 조사구역은 일정 단위면적으로 나뉘질 수 있으며, 이러한 일정 단위면적을 조사 단위면적으로 정의한다.
- ‘허용두께 불만족 비율’은 대상 조사구역 내의 도장 허용두께 불만족 비율로 정의한다. (조사구역내 몇 %의 조사단위면적에서 허용두께가 불만족하였는지에 대한 비율)

【표 5.13】 평가항목별 가중치

구분	평가지표		가중치
내부 요인	발청 및 도장열화	발청	60 (66)
		박리	
		균열	
		부품	
		변색	
	도장두께		20 (22)
외부 요인	대기 환경(해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도)		10 (12)
	강설횟수(제설제 살포빈도)		10 (0)

<해 설>

- 강재에 대한 평가항목별 가중치로서 일반적으로 상부구조 및 하부구조에 강 부재가 사용되지 않는 교량 형식에 대해서는 가중치 설정에서 제외한다.
- 발청/박리/균열/부품/변색/백아화 등은 직접적인 열화현상이고, 도장두께 기준치의 만족 여부는 열화가 발생하기 쉬운 조건으로 이 두 가지를 내부요인으로 분류한다. 또한, 해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도와 같은 대기환경과 제설제 살포빈도는 열화를 유발시키는 외부요인으로 분류한다.
- 열화가 시작되는 단계에서는 외부요인에 의해 열화가 촉진되므로 이에 대한 가중치를 부여한다.
- 철도교의 경우는 제설제의 영향이 없으므로 외부요인 중 대기환경에 대해서만 평가(괄호안의 가중치 적용)한다.
- 부재의 형식, 구조 및 재료적인 특성에 의해(케이블 등) 내부요인(발청 및 도장열화, 도장두께)이 평가가 불가능한 경우, 해당부재는 강제내구성능 평가에서 제외한다.

3) 부재 종류별 가중치

- 교량을 구성하는 부재는 교량 형식에 따라 바닥판, 거더, 케이블, 2차부재, 교각(주탑)이 강부재로 구성될 수 있으며 강재 내구성능평가에서는 각 부재별 구성 재료의 중요도를 반영하여 평가한다.

① 일반교량

【표 5.14】 일반교량의 부재별 가중치

구분	평가부재		강거더교량				라멘교	
			강거더교			바닥판·거더 일체형	거더있음	
			일반	2차부재 없음	바닥판 없음	강바닥판	2차부재 있음	2차부재 없음
강재	상부	바닥판	16 (27)	18 (24)	—	16 (27)	16 (27)	18 (24)
		거더	48 (55)	56 (76)	55 (77)	48 (55)	48 (55)	56 (76)
		2차 부재	14 (18)	—	16 (23)	14 (18)	14 (18)	—
	하부	교각/교대	22 (0)	26 (0)	29 (0)	22 (0)	22 (0)	26 (0)

<해설>

- 강거더교(일반/2차부재없음), 라멘교 형식에서 강바닥판이 사용되지 않는 경우 바닥판에 부여된 가중치를 거더/2차부재 등 상부구조에 균등 분배한다.
- ()안의 값은 콘크리트 교각이 사용된 교량이다.

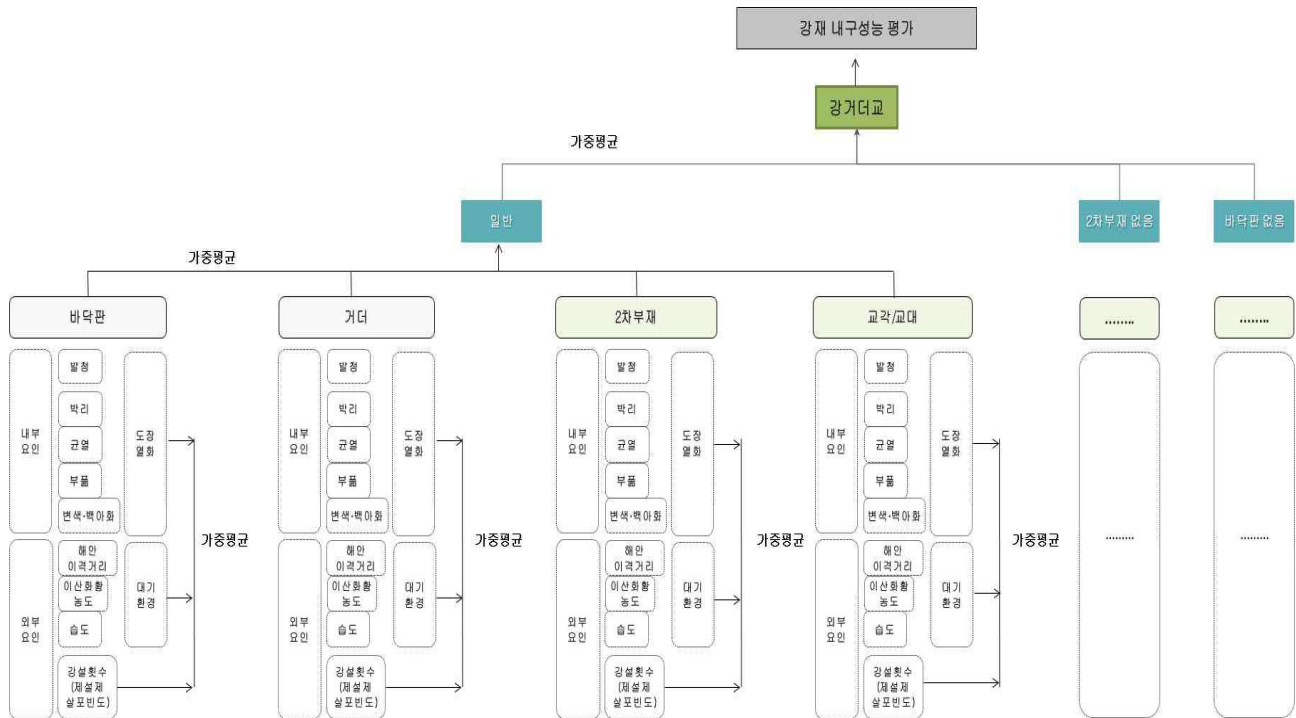
② 특수교량

【표 5.15】 케이블 교량의 부재별 가중치

구분	평가부재		아치교/ 트러스교		현수교			사장교			엑스트라도 즈드교	
			바닥 판	바닥 판 없음	일반 거더 형	보강 형	PSC 거더 형	일반 거더 형	보강 형	PSC 거더 형	일반 거더 형	PSC 거더 형
강재	상부	케이블	21 (27)	23 (31)	40 (53)	40 (53)	76 (100)	33 (50)	33 (50)	65 (100)	33 (50)	33 (50)
		바닥판	7 (9)	—	8 (10)	—	—	7 (11)	—	—	7 (11)	—
		거더	19 (25)	20 (27)	23 (30)	36 (47)	—	20 (31)	32 (50)	—	20 (31)	32 (50)
		아치리브 / 트러스	26 (34)	28 (37)	—	—	—	—	—	—	—	—
		2차 부재	4 (5)	4 (5)	5 (7)	—	—	5 (8)	—	—	5 (8)	—
	하부	주탑	—	—	18 (0)	18 (0)	18 (0)	15 (0)	15 (0)	15 (0)	15 (0)	15 (0)
		보조 주탑	—	—	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)
		교각/ 교대	23 (0)	25 (0)	—	—	—	14 (0)	14 (0)	14 (0)	14 (0)	14 (0)

<해설>

- 일반거더형식에서 강바닥판이 사용되지 않는 경우 바닥판에 부여된 가중치를 케이블/거더/2차부재 등 상부구조에 균등 분배한다.
- 케이블 평가가 수행되지 않을 경우, 가중치를 상부, 하부구조로 균등분해 한다.
- 보조주탑이 없는 경우, 보조주탑에 부여된 가중치는 주탑의 가중치에 합산한다.
- 콘크리트 아치리브의 경우, 아치리브의 가중치를 상부, 하부구조에 균등하게 분배한다.
- ()안의 값은 콘크리트 교각이 사용된 교량이다.



【그림 5.1】 강재 내구성능 항목별 세부 평가방법

- 위 그림은 강 재료로 부재가 구성된 교량 중 강거더교의 평가 흐름도를 도식화한 그림이다.
- 강재 부재로 구성된 교량의 경우, 교량 형식별 ‘부재별 가중치’를 참조하여 강재 내구성능평가 결과를 도출한다.

4) 결함도 지수

- 부재 수준의 내구성능 점수 산정 결과에 부재별 가중치를 곱하여 평가점수를 산정하고 아래의 점수범위에 따라 시설물에 대한 내구성능등급 산정한다.

【표 5.16】 평가등급에 따른 결함도 지수

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0.10	0.20	0.40	0.70	1.00

【표 5.17】 등급 산정을 위한 결함도 지수 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
$0 \leq X < 0.13$	$0.13 \leq X < 0.26$	$0.26 \leq X < 0.49$	$0.49 \leq X < 0.79$	$0.79 \leq X$

5.1.2 콘크리트 내구성능 평가 항목 및 기준

가. 일반

콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전 평가로는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트의 품질이며, 열화환경평가는 비래염분에 의한 염해환경 및 동결융해의 반복에 의한 동해환경이다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 콘크리트 내구성능 평가시 열화진전 평가만이 사용되며, 열화환경평가는 평가에 영향을 미치지 않으며 교량의 유지관리를 위한 참고자료로 업무에 활용한다.

【표 5.18】 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

열화진전항목	열화환경항목
염화물 침투량 탄산화 깊이 피복(표면부) 콘크리트의 품질	염해환경 동해환경

나. 평가대상 부재

교량의 콘크리트 내구성능 평가 대상 부재를 부재별로 분류하고, 대상부재는 콘크리트가 적용된 부재에 한정한다.

【표 5.19】 교량 콘크리트 내구성능 평가 대상 부재

부재 분류	
상부구조	•바닥판, 거더
	•2차부재(가로보 및 세로보)
하부구조	•교대 및 교각, 주탑, 보조주탑

다. 콘크리트 내구성능 평가기준

1) 염화물 침투량

【표 5.20】 염화물 침투량 평가등급

평가기준	평가내용		비고
	철근부 전염화물 침투량 Cr가 2.5(km/m³)가 되는 시점	철근부 전염화물 침투량 Cr(km/m³)	
a	•30년 초과	•0.3이하	
b	•20년 초과~30년 이하	• $0.3 < C_d \leq 0.6$	
c	•10년 초과~20년 이하	• $0.6 < C_d \leq 1.2$	
d	•5년 초과~10년 이하	• $1.2 < C_d \leq 2.5$	
e	•5년 이하	• $2.5 < C_d$	

<해 설>

- 염화물 확산계수를 산정하고 표면부 염분량을 고려하여 대상 구조물의 염해 수명을 평가하는 것은 반드시 필요한 사항이라고 판단되지만, 평가결과 값이 여러 가지 조건에 따라 달라질 수 있는 여지가 있기 때문에 “철근부의 전염화물 침투량”과 “철근부의 전염화물이 2.5(km/m³)가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 침투량 평가등급으로 설정한다.
- “철근부의 전염화물이 2.5(km/m³)가 되는 시점”의 경우, 30년 초과를 “a” 등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 전염화물량이 2.5km/m³가 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.
- 전염화물량이 2.5km/m³를 넘어서는 시점이 5년 이하로 남은 경우 “e” 등급을 설정한 것은 차기 평가시점을 약 5년을 가정하고 이 시점 이전에 전염화물량이 2.5km/m³를 넘어설 가능성이 있기 때문이다.
- 한편, “b”, “c”, “d” 등급의 경우 전염화물량이 2.5km/m³이 되는 시점이 30년 이하인 경우 염해가 진전되고 있다고 판정한 것이며, 철근부의 전염화물량이 2.5km/m³에 도달하는 연수가 짧을수록 낮은 등급을 부여한다.
- 책임기술자는 염해가 어떻게 진전될 것인지에 대한 예측을 위하여 철근부의 전염화물량이 2.5km/m³에 도달하는 연수를 산정할 때 철근의 부식이 개시될 가능성이 있는 1.2km/m³에 도달하는 연수도 산정하고 평가 보고서에 별도로 기재하여 유지관리 책임자들이 참고 한다.
- 철근부 전염화물 침투량 Cr가 2.5(km/m³)가 되는 시점과 철근부 전염화물 침투량 Cr를 평가하여 두 기준 등급 중 최솟값을 평가등급으로 한다.

2) 탄산화 깊이

【표 5.21】 탄산화 깊이에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	•30년 초과	평가결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후 $A = \frac{D}{\sqrt[2]{T}}$ $T = \left(\frac{\text{설계피복두께}}{\text{탄산화속도계수}} \right)^2 - t$ (T: 잔여피복두께가 모든 탄산화되는 시간, D: 탄산화 깊이, t: 공용연수)
b	•20년<T≤30년	
c	•10년<T≤20년	
d	•5년<T≤10년	
e	•5년 이하	

<해설>

- 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T를 구하는 시간적 개념을 도입한다.
- “e” 등급을 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T가 5년 이하로 남은 경우로 설정한 것은 차기 평가시점을 약 5년을 가정한다.
- 또한, 30년 초과를 “a” 등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다

3) 피복(표면부) 콘크리트의 품질

- 초기 시공불량의 경우, 피복(표면부) 콘크리트에 전반적인 내구성능 저하가 나타날 수도 있으며, 공용 중의 품질저하는 동해(수분의 공급과 동결융해 사이클이 필요) 등과 같은 열화요인에 의하여 국부적으로 나타나는 경우가 많을 것이다.

① 설계강도값과 비교할 경우

【표 5.22】 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준

평가기준	평가내용	비고
a	•강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상	
b	•90% ≤ 강도 추정값이 설계값 대비 < 100%	
c	•강도 추정값이 설계값 대비 90% 미만	
d	—	
e	—	

<해설>

- 피복(표면부) 콘크리트의 품질은 슈미트해머를 이용해 반발경도를 측정하여 표면부 콘크리트의 내구성능 저하상태를 평가한다.
- “a” 등급은 강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상으로 피복 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태이며, “b” 등급은 설계값의 10% 정도로 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하될 가능성이 있다.
- “c” 등급은 강도 추정값이 설계값 대비 10% 이상 저하되었을 경우이며, 동해나 기타 요인에 의해 피복 콘크리트의 내구성능이 저하가 진전된 상태이다.

② 건전부/비건전부를 비교할 경우

【표 5.23】 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

평가기준	평가내용	비고
a	•반발경도값이 건전부 대비 95% 이상	
b	•85% ≤ 반발경도값이 건전부 대비 < 95%	
c	• 반발경도값이 건전부 대비 85% 미만	
d	—	
e	—	

<해 설>

- 건전부와 비건전부를 상대적으로 비교하는 방법으로서 측정된 반발경도값을 통하여, 반발경도값을 직접 비교하여 판정하는 방법을 적용한다.
- 동일한 건전부끼리 상호비교하더라도 두 지점간에 일부 편차를 있을 수 있다는 가정하에 약 5% 정도의 편차를 반영하여 95% 이상일 경우 “a” 등급으로 설정하며, 85% 미만일 경우 “c” 등급으로 설정한다.
- 여기서 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행될 수 있는 부위이다.
- 따라서, 지속적으로 수분에 노출되는 부재, 간헐적으로 수분에 노출되는 부재 및 수분에 노출되지 않는 부재로 구분한다.

4) 염해환경

【표 5.24】 염해환경의 평가기준(해안거리)

평가기준	해안	적용지역	해안으로부터 거리 X(m)	비고
a	동해안	전지역	500초과	
	서해안	고창, 태안, 그 외 지역	1,000초과, 300 초과	
	남해안	서천, 거제, 그 외 지역	100 초과, 20초과	
b	동해안	전지역	250 < X ≤ 500	
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	500 < X ≤ 1000 120 < X ≤ 300	
	남해안	서천, 거제 그 외 지역	50 < X ≤ 100 10 < X ≤ 20	
c	동해안	전지역	비말대1) < X ≤ 250	
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	비말대 < X ≤ 500 비말대 < X ≤ 120	
	남해안	서천, 거제 그 외 지역	비말대 < X ≤ 50 비말대 < X ≤ 10	
d	—	—	—	
e	—	—	—	

주1) 여기서 비말대는 해수가 직접 닿지 않는 지역을 일컫는다.

【표 5.25】염해환경의 평가기준(제설제)

평가항목	평가등급	강설일수(일)
제설제 염해환경	a	강설일수 < 7
	b	7 < 강설일수 < 14
	c	14 < 강설일수

<해 설>

- 염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설에 따른 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 구분한다.
- 상기 2개 항목은 각각 해안인접성, 강설일수를 기본 항목으로 정하고 등급을 설정한다.
- 해안 인접성의 경우 동해와 서해를 동일한 조건으로 고려하고, 해안의 형상, 구조 및 환경에 따라 다른 해역에 비해 비교적 비래염분이 적은 남해는 동해 및 서해와 달리 완화된 등급을 부여함을 원칙으로 하였다.
- 대상 시설물의 위치(해상, 해안인근 내륙 등)에 따라 해안거리에 따른 비래염분 환경에 따른 비래염분 환경을 선별적으로 적용한다.
- 강설일수는 동절기 제설제 환경에 노출된 콘크리트 시설물의 내구성능 저하를 고려하기 위한 평가항목으로, 강설시 무조건 제설제를 살포하는 것으로 가정하되, 당일 추가살포는 고려하지 않으며 강설일수가 14일 이상이면 “c” 등급을 부여한다.
- 강설일수는 최심신적설(하루동안 내린 눈이 최대로 깊었던 적설량)이 발생한 일수의 최근 10년간 평균값으로 취한다.

5) 동해환경

【표 5.26】동해환경의 평가기준

평가기준	평가내용	비고
a	$X < 3$	
b	$3 \leq X < 50$	
c	$50 \leq X$	
d	—	
e	—	

<해 설>

- X : 동결융해 반복지수(수분접촉 시)이다.
- 상기 수분 접촉 여부에 따른 구분에 있어 수분과의 직접적인 접촉이 없는 경우는 동결 융해 사이클이 있더라도 동해를 입지 않기 때문에 강수로 인하여 상대습도가 매우 높은 상태에서만 동해를 평가한다.
- 수분과의 접촉 여부는 책임기술자가 판단하여, 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 ‘열악한 조건’을 기준으로 판단한다.

라. 콘크리트 내구성능 평가 결과 산정 방법

1) 개요

- 콘크리트 내구성능 평가 결과 산정방법은 내구성능 평가 지표별 결과 중 가장 낮은 등급인 최저등급을 반영한다.
- 열화진전평가는 각 세부부재별로 정해진 시험수량과 개소에서 실시하며, 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 실시한다.
- 열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 콘크리트 내구성능 평가시 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 평가에 영향을 미치지 않으며 교량의 유지관리를 위한 참고자료로 업무에 활용한다.

2) 결과산정절차 일반

① 열화환경평가(전체 시설물 대상)

- 열화환경 평가는 제설제 염해환경, 비래염분 염해환경, 동해환경의 3개 항목에 대한 지표로 이루어진다.
- 열화환경평가는 해당 환경지표를 독립적으로 평가하여 도출하며, 평가 결과는 열화진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리에 활용한다.
- 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

【표 5.27】 열화환경 평가등급

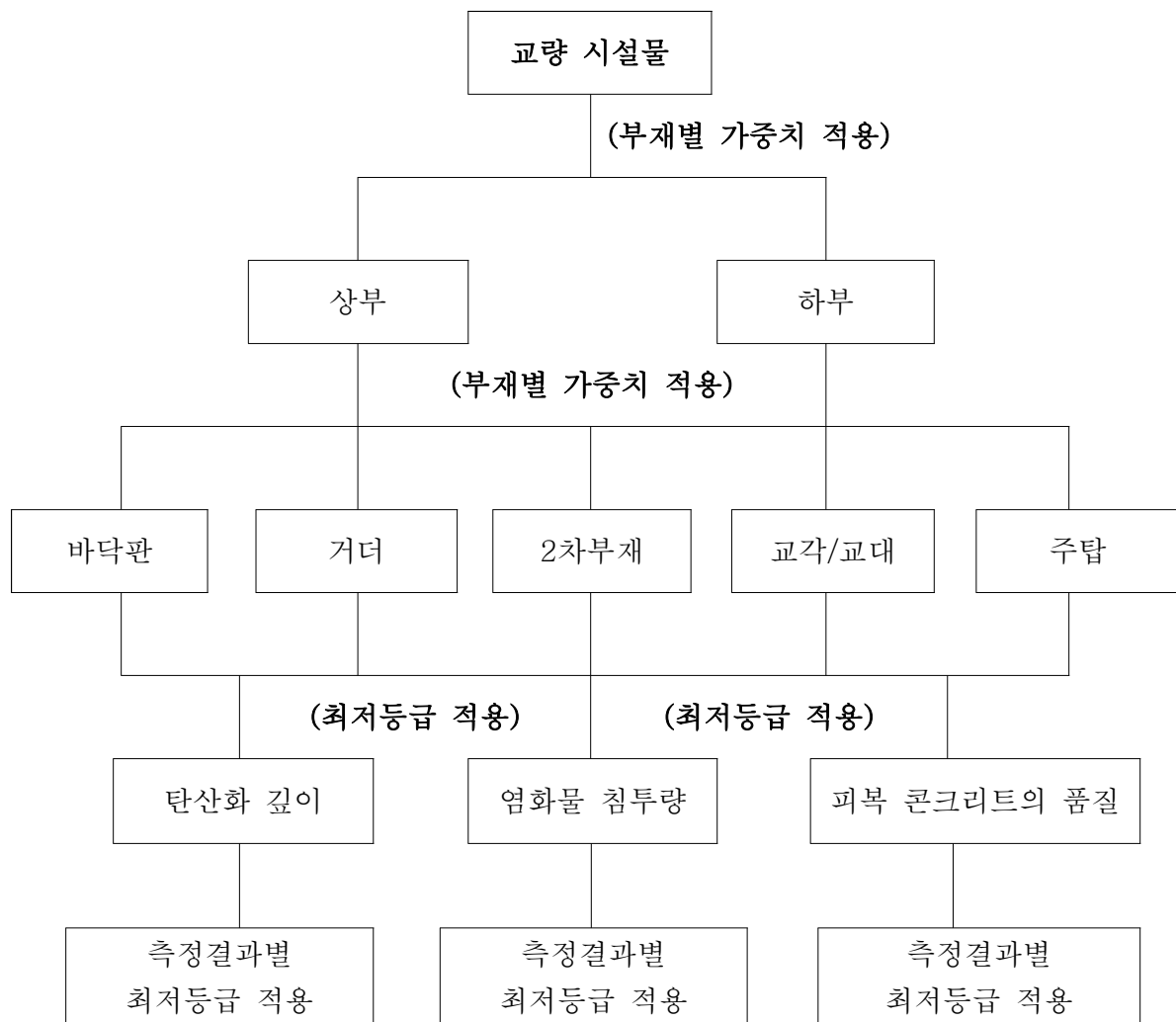
평가기준	열화환경 상태
a	•양호한 열화환경으로서 내구성능 저하의 가속요인이 거의 없는 상태
b	•대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 생길 수 있는 상태
c	•대상 열화환경에 의하여 내구성능 저하가 가속될 수 있는 상태
d	—
e	—

② 열화진전평가(부재수준의 평가)

- 콘크리트 내구성능 평가에 있어 열화진전평가는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복(표면부) 콘크리트의 품질의 3개 열화진전평가 지표로 이루어진다.
- 내구성능 평가에 있어 열화진전 평가는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 (표면부)

콘크리트 품질의 3개 열화진전평가 지표이다.

- 세부 부재는 바닥판, 거더(2차부재), 교각/교대, 주탑으로 분류하며, 해안인근과 내륙 지역으로 구분한다.
- 각 내구성능 평가항에 있어 가중치를 적용하지 않고, 각각의 평가항목에 대하여 가장 낮은 등급을 받은 지표의 평가결과를 준용하는 최저값을 적용한다.
- 탄산화 깊이, 염화물 침투량 및 피복(표면부) 콘크리트의 품질 중 가장 낮은 평가등급이 대상 부재의 내구성능 등급이 된다.
- 다만, 피복 콘크리트의 품질은 측정된 개소별 각각의 평가점수를 산술평균한다.
- 산출된 각 세부부재(예. 바닥판, 거더, 2차부재, 교각/교대/ 주탑 등)의 내구성능 등급은 각 부재별 가중치를 고려하여 상위부재(예. 상부, 하부)의 내구성능 등급으로 도출하여 최종적으로 교량 시설물의 내구성능 평가등급을 도출한다.



【표 5.28】 콘크리트 내구성능 항목별 세부 평가방법

3) 결함도 지수

- － 각 내구성능 등급별 결함도 지수와 등급산정을 위한 결함도 지수 범위는 아래와 같다.

【표 5.29】 평가등급에 따른 결함도 지수

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
0.10	0.20	0.40	0.70	1.00

【표 5.30】 등급 산정을 위한 결함도 지수 범위

A등급	B등급	C등급	D등급	E등급
$0 \leq X < 0.13$	$0.13 \leq X < 0.26$	$0.26 \leq X < 0.49$	$0.49 \leq X < 0.79$	$0.79 \leq X$

① 부재 종류별 가중치

㉠ 일반교량

【표 5.31】 일반교량의 부재별 가중치

구분	평가부재		슬래브 교량	거더교량					라멘교		
				일반 거더교			바닥판·거더 일체형		거 더 없 음	거 더	
				일반	2차 부재 없음	바닥판 없음	강바닥 판	PSC 박스		2차 부재	2차 부재 없음
콘크리트	상부	바닥판	50	33	31	－	－	35	50	30	30
		거더	－	35	44	55	55	35	－	30	35
		2차부재	－	7	－	10	10	5	－	7	－
	하부	교대/교각	50	25	25	35	35	25	50	33	35

<해설>

- 부재가 없는 경우, 평가가 수행되지 않았을 경우, 해당하는 부재의 가중치는 조사가 수행된 부재에 균등하게 배분한다.

㉠ 특수교량

【표 5.32】 특수교량의 부재별 가중치

구분	결함도평가 부재		아치교/트러스교		현수교		사장교		엑스트라도즈드교	
			바닥판	바닥판 없음	일반 거더형	보강형, PSC 거더형	일반 거더형	보강형, PSC 거더형	일반 거더형	PSC 거더형
콘크리트	상부	바닥판	26	—	15	—	15	—	25	—
		거더	41	50	15	40	15	40	25	65
		2차부재	8	15	10	—	10	—	15	—
	하부	주탑	—	—	45	45	40	40	15	15
		보조주탑	—	—	15	15	10	10	10	10
		교각/교대	25	35	—	—	10	10	10	10

<해설>

- 보조주탑이 없는 경우, 보조주탑에 부여된 가중치는 주탑의 가중치에 합산한다.
- 부재가 없는 경우, 평가가 수행되지 않았을 경우, 해당하는 부재의 가중치는 조사가 수행된 부재에 균등하게 배분한다.

③ 세부부재 등급 산정에 따라 시설물 전체 등급 산정

- 교량 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타낸다.

【표 5.33】 일반교량의 열화진전 평가

시설명	평가등급	형식	부재명	평가등급
일반교량	A~E	상부	바닥판	a~e
			거더	a~e
			2차부재	a~e
		하부	바닥판	a~e

【표 5.34】 특수교량의 열화진전 평가

시설명	평가등급	형식	부재명	평가등급
특수교량	A~E	상부	바닥판	a~e
			거더	a~e
			2차부재	a~e
		하부	주탑	a~e
			보조주탑	a~e
			교각/교대	a~e

【표 5.35】 열화환경 평가

열화환경지표		평가등급	교량의 주요 대상 부재
제설제 염해환경		A or B or C	• 주로 교량의 바닥판 및 기타 상부부재가 해당되며, 바닥판에 관통균열이 있을 경우 하부의 거더에도 영향을 미칠 수 있으며, 신축이음부에 누수가 있을 경우 교좌, 교대 등으로 확대될 수 있음
비래염분 염해환경	해안거리에 따른 비래염분 염해환경	A or B or C	• 전체 시설물 대상이지만, 비래염분이 발생하는 해안쪽의 부재가 상대적으로 열악한 환경에 놓이게 됨
동해환경		A or B or C	• 전체 시설물에서 국부적으로 수분의 공급이 있는 부재부분에 해당

5.1.3 내구성능 평가 결과산정방법

재료적으로 강재 및 콘크리트 부재가 함께 사용된 교량의 경우 각 부재의 강재 내구성능 및 콘크리트 내구성능을 평가하고, 종합 내구등급을 산정한다.

강재 및 콘크리트 내구성능 결함도 지수를 적용하며, 내구성능등급은 등급산정을 위한 결함도 지수 범위를 활용한다.

【표 5.36】 일반교량 종합내구성능 평가를 위한 가중치

구분				내구성능 가중치	
				콘크리트	강재
슬래브교				1.0	—
일반거더교	일반	콘크리트 거더교		1.0	—
		강거더교		0.60 (0.40)	0.40 (0.60)
	2차부재 없음	콘크리트 거더교		1.0	—
		강거더교		0.60 (0.40)	0.40 (0.60)
	바닥판 없음	강거더교		0.34 (0.10)	0.66 (0.90)
	바닥판·거더 일체형	강바닥판		0.32 (0.11)	0.68 (0.89)
PSC 박스거더		1.0	—		
라멘교	거더 없음			1.0	—
	거더 있음	콘크리트 거더		1.0	—
		강합성거더	2차부재있음	0.65	0.35
			2차부재없음	0.69	0.31

<해설>

- ()의 수치는 교각이 강재로 된 경우

【표 5.37】 특수교량 종합내구성능 평가를 위한 가중치

구분			내구성능 가중치	
			콘크리트	강재
아치/ 트러스교	콘크리트 바닥판		0.55	0.45
	강바닥판		(0.35)	(0.65)
현수교	일반 거더형	강상판형 거더	0.40 (0.16)	0.60 (0.84)
		강합성형 거더	0.51 (0.27)	0.49 (0.73)
	보강형		0.40 (0.16)	0.60 (0.84)
	PSC 거더		0.67 (0.43)	0.33 (0.57)
사장교	일반 거더형	강상판형 거더	0.40 (0.13)	0.60 (0.87)
		강합성형 거더	0.51 (0.25)	0.49 (0.75)
	보강형		0.40 (0.13)	0.60 (0.87)
	PSC 거더		0.67 (0.43)	0.33 (0.57)
엑스트라 도즈드교	일반 거더형	강상판형 거더	0.40 (0.13)	0.60 (0.87)
		강합성형 거더	0.51 (0.27)	0.49 (0.73)
	PSC 거더		0.73 (0.47)	0.27 (0.53)

<해 설>

- ()의 수치는 하부구조(주탑/교각)이 강재로 된 경우

5.2 콘크리트 내구성능 평가

본 과업에서 콘크리트 내구성능 평가항목은 아래 표와 같이, 크게 열화진전 항목 및 열화환경 항목 등 2가지를 평가하였다.

【표 5.38】 콘크리트 내구성능 평가항목

열화진전 항목	열화환경 항목
염화물 침투량 탄산화 깊이 피복(표면부) 콘크리트의 품질	염해환경 동해환경

5.2.1 열화진전 평가

1) 염화물 침투량

① 깊이별 염화물 침투량

【표 5.39】 깊이별 염화물 침투량

시험위치			실측 피복두께 (mm)	염화물 함유량		평가결과		비 고
				Cl-(%)	Cl-(kg/m³)	세부지침	콘크리트 구조기준 (2012)	
상부 구조	S6바닥판 하면	0~25mm	72	0.0202	0.457	b	적정	
		25~50mm		0.0182	0.411	b	적정	
		50~70mm		0.0159	0.359	b	적정	
하부 구조	A2 교대	0~30mm	94	0.0643	1.455	c	적정	
		30~60mm		0.0436	0.987	b	적정	
		60~90mm		0.0260	0.589	b	적정	
	P5 교각	0~15mm	36	0.0145	0.329	b	적정	
		15~30mm		0.0125	0.284	a	적정	
		30~50mm		0.0117	0.265	a	적정	

② 깊이별 염화물 확산계수

【표 5.40】 깊이별 염화물 확산계수

세부 부재명	위치	깊이별 염화물 확산계수($cm^2/year$)		비 고
상부구조	S6 바닥판	72mm	0.7160	
하부구조	A2 교대	94mm	3.2280	
	P5 교각	36mm	0.2190	

주) 염화물 확산계수 : $C_d - C_i = (C_s - C_i)(1 - \operatorname{erf}(\frac{x}{2 \times \sqrt{D_d \times t}}))$

③ 철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점【표 5.41】 철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점

열화진전 평가항목	세부 부재명	계산결과(Year)	평가등급
철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	S6 바닥판	30년 초과	a
	A2 교대	30년 초과	a
	P5 교각	30년 초과	a

④ 염화물 침투량 평가 등급

- 철근부 전염화물 침투량의 평가 결과는 상부구조 b등급, 하부구조 교대 b등급, 교각 a등급으로 분석되었으며, 철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점에 대한 조사 결과 전개소 a등급으로 산정되어, 염화물 침투량 평가등급은 상부구조 b등급, 하부구조 교대 b등급, 교각 a등급으로 판정되었다.

【표 5.42】 염화물 침투량 평가등급

세부 부재명	위치	철근부 전염화물 침투량 $C_r(kg/m^3)$	철근부 전염화물 침투량 C_r 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점	염화물 침투량 최종평가 등급
상부구조	S6 바닥판	b	a	b
하부구조	A2 교대	b	a	b
	P5 교각	a	a	a

2) 탄산화 깊이

- － 대상 시설물에 대한 탄산화 깊이에 따른 구조물의 공용연수를 고려하여 탄산화속도계수를 도출하고, 이에 따라 잔여 피복두께가 모두 탄산화 되는 시간을 산정하여 탄산화 깊이 평가를 분석한 결과 a등급으로 평가되었다.

【표 5.43】 탄산화 깊이 평가 결과

세부 부재명		피복두께 (mm)	탄산화 깊이(mm)	탄산화속도 계수(A)	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T(년)	개별 평가등급	평가 결과
상 부 구 조	S1	84	3.5	0.639	30년 초과	a	a
	S2	72	2.0	0.365	30년 초과	a	
	S3	59	5.0	0.913	30년 초과	a	
	S4	59	5.5	1.004	30년 초과	a	
	S5	42	5.0	0.913	30년 초과	a	
	S6	72	7.0	1.278	30년 초과	a	
하 부 구 조	A1	61	0.5	0.091	30년 초과	a	a
	A2	94	3.0	0.548	30년 초과	a	
	P1	64	2.0	0.365	30년 초과	a	
	P2	70	2.5	0.456	30년 초과	a	
	P3	62	1.0	0.183	30년 초과	a	
	P4	57	1.0	0.183	30년 초과	a	

주) 탄산화 속도계수 : $A = \frac{D}{\sqrt{t}}$, (D=탄산화 깊이, t=공용연수)

주) $T = (\frac{\text{설계피복두께}}{\text{탄산화속도계수}})^2 - t$

3) 피복 콘크리트의 품질

① 설계기준 비교

【표 5.44】설계기준 비교(상부구조)

세부 부재명	위치	측정치 (MPa)	평균치 (MPa)	설계기준 (MPa)	설계값 대비 (%)		개별 평가등급	전체 평가등급
상 부 구 조	S1 캔틸레버(우)	27.1	28.3	27.0	100.4		a	a
	S2 캔틸레버(우)	28.8			106.7		a	
	S3 캔틸레버(우)	27.2			100.7		a	
	S4 캔틸레버(우)	27.6			102.2		a	
	S5 캔틸레버(우)	27.5			101.9		a	
	S6 캔틸레버(우)	31.4			116.3		a	

주) $100\% \leq \text{설계값 대비} = a$, $90\% \leq \text{설계값 대비} < 100\% = b$, $90\% > \text{설계값 대비} = c$

【표 5.44】설계기준 비교(하부구조)

세부 부재명	위치	측정치 (MPa)	평균치 (MPa)	설계기준 (MPa)	설계값 대비 (%)		개별 평가등급	전체 평가등급
하 부 구 조	A1 홍벽	21.9	27.8	21.0	104.3		a	a
	A2 구체	25.9			123.3		a	
	P1 코핑부	31.3		24.0	130.4		a	
	P2 코핑부	27.2			113.3		a	
	P3 코핑부	30.9			128.8		a	
	P4 코핑부	27.6			115.0		a	
	P5 코핑부	29.8			124.2		a	

주) $100\% \leq \text{설계값 대비} = a$, $90\% \leq \text{설계값 대비} < 100\% = b$, $90\% > \text{설계값 대비} = c$

② 건전부/비건전부 비교

【표 5.45】 건전부/비건전부 비교(상부구조)

구분	위치	건전부 (MPa)	비건전부 (MPa)	건전부 대비 (%)	평가등급
상 부 구 조	S1 캔틸레버(우)	27.1		107.2	a
	S2 캔틸레버(우)	28.8			
	S3 캔틸레버(우)	27.2			
	S4 캔틸레버(우)	27.6			
	S5 캔틸레버(우)	27.5			
	S6 캔틸레버(우)	31.4	30.3		

주) $95\% \leq \text{건전부 대비} = a$, $85\% \leq \text{건전부 대비} < 95\% = b$, $85\% > \text{건전부 대비} = c$

【표 5.45】 건전부/비건전부 비교(하부구조)

구분	위치	건전부 (MPa)	비건전부 (MPa)	건전부 대비 (%)	평가등급
하 부 구 조	A1 흥벽	21.9		94.6	b
	A2 구체	25.9	26.3		
	P1 코핑부	31.3			
	P2 코핑부	27.2			
	P3 코핑부	30.9			
	P4 코핑부	27.6			
	P5 코핑부	29.8			

주) $95\% \leq \text{건전부 대비} = a$, $85\% \leq \text{건전부 대비} < 95\% = b$, $85\% > \text{건전부 대비} = c$

③ 피복 콘크리트 품질 평가 결과

- 대상 시설물에 대한 반발경도 측정치에 따라 각 부재의 콘크리트 강도를 측정하여 설계기준 및 건전부/비건전부에 대한 피복 콘크리트 품질을 분석한 결과, 상부구조 a등급, 하부구조 b등급으로 평가되었다.

【표 5.46】 피복 콘크리트 품질 평가

세부 부재명	설계기준 대비 평가 등급	건전부/비건전부 대비 평가 등급	최종평가 등급
상부구조	a	a	A
하부구조	a	b	B

5.2.2 열화환경 평가

가. 염해환경

과업 대상 구조물은 충청남도 공주시 석장리동에 위치하여 서해안으로부터 58,200m 떨어진 위치에 시공된 것으로 확인되었다.

【표 5.47】 염해환경 평가결과



나. 강설일수

기상청 자료를 통한 장암교가 위치한 대전지역의 2016년 01월~2025년 12월까지의 최심 신적설 자료를 평가하였으며, 연평균 강설 일수는 13.4일인 것으로 확인되었다. 이는 제설제 살포에 따른 염해환경 b등급(강설일수<14일)에 해당하는 것으로 분석되었다.

【표 5.48】 기상청 연평균 강설일수

년도	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	합계
일수	16	17	17	2	8	16	14	10	14	20	134
평균(일)	13.4					평가등급		b			

주1) 강설일수는 최근 10년간 최심신적설이 발생한 일수의 연간 평균값

주2) 기상자료포털개방(<https://data.kma.go.kr/>) 참조

다. 동해환경

동결융해 반복일수에 따른 동해 환경 평가는 다음과 같이 구분되며, 수분과의 접촉 여부는 점검자가 판단하고, 동일 부재 내에서 우치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 열악한 조건을 기준으로 판단한다.

1) 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재일 경우

- {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃} & {강수량 > 0}인 연평균 일수

2) 수분과 지속적으로 접촉하는 부재일 경우

- {일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃}인 연평균 일수

3) 동해환경 평가결과

- 과업대상 구조물은 하부에 하천이 횡단함으로 수분과 지속적으로 접촉하는 부재로써, 최근 10년간(2015~2024년) 기상청에서 제공하는 관측 데이터를 분석한 결과 동결융해 반복 일수는 555일로 분석되었으며, 이에 따른 동해환경 평가 등급은 c로 판정되었다.

【표 5.49】 동결융해 평가결과(수분과 지속적으로 접촉)

년도	{일 최저기온 < -2.2℃} & {일 최고기온 > 0℃}인 연평균 일수	동결융해반복 지수(X)	최종 등급
2015	52	X=555/10 =55.5	c
2016	67		
2017	61		
2018	59		
2019	45		
2020	41		
2021	66		
2022	64		
2023	43		
2024	57		

주1) 기상자료포털개방(<https://data.kma.go.kr/>) 참조

5.2.3 콘크리트 내구성능 평가 결과

본 과업에서 콘크리트 내구성능 평가항목은 열화진전 항목 및 열화환경 항목 2가지를 평가하였다. 다만, 열화환경 평가는 별도로 관리하며, 콘크리트 내구성능 종합등급에 반영하지 않는다.

【표 5.50】 콘크리트 내구성능 평가결과

구분	부재	세부 부재명 (가중치,%)	항목별 평가 결과				
			염화물 침투량	탄산화 깊이	피복 콘크리트의 품질	부재 등급	비고
장암교	상부	바닥판(54)	a	a	a	a	0.10
	하부	교대/교각(46)	a	a	b	b	0.20
	결함도 지수		$(0.1 \times 54 + 0.2 \times 46) / 100 = 0.146$				
	등 급		B				

【표 5.51】 열화환경지표 평가결과

구분	열화 환경지표	평가등급	비고
장암교	해안거리에 따른 비래염분 염해환경	A	—
	제설재 염화환경	B	
	동해환경	C	

5.3 강재 내구성능 평가

본 과업에서 강재 내구성능 평가항목은 아래 표와 같이, 크게 열화진전 항목 및 열화환경 항목 등 2가지를 평가하였다.

【표 5.52】 강재 내구성능 평가항목

내부적 요소(열화진전 요소)	외부적 요소(열화환경 요소)
발청(표면부식) 도장 열화(박리, 균열, 부품, 백아화) 도장 두께	대기환경 (해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도) 강설횟수(제설제 살포빈도)

5.3.1 내부적 요소평가

1) 대상경간 선정

- 과업대상 구조물의 강재 내구성능 평가에 대한 경간 선정은 열화도가 낮음, 보통, 높음으로 구분하여 1개소 이상씩 선정을 기준으로 하였으나, 대상 현장은 열화도가 전반적으로 낮은상태로 확인되었고 대상경간 외 구간은 열화도의 정도에 따라 유사경간에 포함하였다.
- 금회 대상경간 선정시 기존 자료를 확인한 결과 총 6경간 중 3경간(낮음), 2경간(보통), 1경간(높음)으로 3경간을 대상경간으로 선정하였으며, 거더에 대한 발청조사 시 S1, S5, S6을 대상경간으로 하였다. 거더에 대한 도장박리조사 시에는 S1, S5, S6을 대상경간으로 하여 조사를 실시하였다.

【표 5.53】 대상경간 선정

시설물	기준수량	금회 실시 수량		비고
		수량	대상경간	
장암교 총6경간	- 전체경간의 25%이상 - 최소 3개 경간 이상	6×0.25 = 3경간	- 높음 : 1경간 - 보통 : 2경간 - 낮음 : 3경간	

2) 강 거더

① 발청 및 도장열화

㉠ 발청(표면부식, 녹)

(1) 발청(표면부식, 녹) 발생현황

【표 5.54】 발청 발생현황

대상경간	발청 발생 부분	발청 면적 (m ²)	유사 경간 개수	비고
S1	거더 내·외부	0.90	3	열화도 낮음
S5	거더 내·외부	2.50	2	열화도 보통
S6	거더 내·외부	19.81	1	열화도 높음

(2) 발청(표면부식, 녹) 면적율

【표 5.55】 발청 면적율

대상경간	발청 발생 면적 (m ²)	부재 면적 (m ²)	발청 면적율(%)	등급
S1	0.90	1,648	0.055	b
S5	2.50	2,060	0.121	b
S6	19.81	1,648	1.202	c

주) 발청 면적율 = (발청 면적 / 부재 면적) × 100

(3) 발청(표면부식, 녹) 등급 산정

【표 5.56】 발청 등급 산정

대상경간	발청 면적율 (%)	유사 경간 개수	발청 면적율 평균 (%)	등급	평점	비고
S1	0.055	3	0.290	b	10	
S5	0.121	2				
S6	1.202	1				

주) 발청 면적율 평균 = { ∑ (조사경간 발청 면적율 × 유사경간 개수) } / 전체 경간수

㉔ 도장 박리

(1) 도장 박리 발생현황

【표 5.57】 도장 박리 발생현황

대상경간	도장 박리 발생 부분	도장 박리 면적 (㎡)	유사 경간 개수	비고
S1	거더 내·외부	2.7	3	
S5	거더 내·외부	3.6	2	
S6	거더 내·외부	6.6	1	

(2) 도장 박리 면적율

【표 5.58】 도장 박리 면적율

대상경간	도장 박리 발생 면적 (㎡)	부재 면적 (㎡)	도장 박리 면적율 (%)	등급
S1	2.7	1,648	0.163	b
S5	3.6	2,060	0.174	b
S6	6.6	1,648	0.401	c

주) 도장 박리 면적율 = (도장 박리 면적 / 부재 면적) × 100

(3) 도장 박리 등급 산정

【표 5.59】 도장박리 등급 산정

대상경간	도장 박리 면적율 (%)	유사 경간 개수	도장 박리 면적율 평균 (%)	등급	평점	비고
S1	0.163	3	0.206	b	4	
S5	0.174	2				
S6	0.401	1				

주) 도장 박리 면적율 평균 = { ∑ (조사경간 도장 박리 면적율 × 유사경간 개수) } / 전체 경간수

㉔ 도장 균열

(1) 도장 균열 발생현황

【표 5.60】 도장 균열 발생현황

대상경간	도장 균열 발생 부분	도장 균열 면적 (m ²)	유사 경간 개수	비고
S1	—	—	6	
S5	—	—		
S6	—	—		

(2) 도장 균열 면적율

【표 5.61】 도장 균열 면적율

대상경간	도장 균열 발생 면적 (m ²)	부재 면적 (m ²)	도장 균열 면적율 (%)	등급
S1	—	1,648	—	a
S5	—	2,060	—	a
S6	—	1,648	—	a

주) 도장 균열 면적율 = (도장 균열 면적 / 부재 면적) × 100

(3) 도장 균열 등급 산정

【표 5.62】 도장 균열 등급 산정

대상경간	도장 균열 면적율 (%)	유사 경간 개수	도장 균열 면적율 평균 (%)	등급	평점	비고
S1	—	6	—	a	1	
S5	—					
S6	—					

주) 도장 균열 면적율 평균 = { ∑ (조사경간 도장 균열 면적율 × 유사경간 개수) } / 전체 경간수

㉔ 도장 부품

(1) 도장 부품 발생현황

【표 5.63】 도장 부품 발생현황

대상경간	도장 부품 발생 부분	도장 부품 면적 (cm ²)	유사 경간 개수	비고
S1	—	—	6	
S5	—	—		
S6	—	—		

(2) 도장 부품 면적율

【표 5.64】 도장 부품 면적율

대상경간	도장 부품 발생 면적 (cm ²)	부재 면적 (cm ²)	도장 부품 면적율 (%)	등급
S1	—	1,648	—	a
S5	—	2,060	—	a
S6	—	1,648	—	a

주) 도장 부품 면적율 = (도장 부품 면적 / 부재 면적) × 100

(3) 도장 부품 등급 산정

【표 5.65】 도장 부품 등급 산정

대상경간	도장 부품 면적율 (%)	유사 경간 개수	도장 부품 면적율 평균 (%)	등급	평점	비고
S1	—	6	—	a	1.5	
S5	—					
S6	—					

주) 도장 부품 면적율 평균 = { ∑ (조사경간 도장 부품 면적율 × 유사경간 개수) } / 전체 경간수

㉮ 도장 변색 및 백아화

(1) 도장 변색 및 백아화 발생현황

【표 5.66】 도장 변색 및 백아화 발생현황

대상 경간	도장 변색	도장 백아화	유사 경간 개수	등급	결함도 지수
S1	초기에 비해 거의 변화 없음	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착 없음	6	a	0.10
S2	초기에 비해 변색되어 있음	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착 없음		b	0.20
S6	초기에 비해 거의 변화 없음	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착 없음		a	0.10

(2) 도장 변색 및 백아화 등급 산정

【표 5.67】 도장 변색 및 백아화 등급 산정

평가 지수	등급	평점	비고
0.13	a	0.5	

주) 도장변색 및 백아화 = { $\sum$ (조사경간 평가등급 결함도 지수 $\times$ 유사경간 개수) } / 전체 경간수

㉮ 거더의 발청 및 도장열화에 대한 평가결과

－ 거더의 발청 및 도장열화에 대한 종합 평가 등급은 b등급(평가점수 16.0)으로 판정되었다.

【표 5.68】 거더의 발청 및 도장열화에 대한 평가결과

거 더						
평가지표	발청	박리	균열	부품	변색/백아화	평가점수
등급	b	b	a	a	a	17
점수	10	4	1	1.5	0.5	
발청 및 도장열화 등급						b

② 도장 두께

㉠ 도장 두께 측정결과

【표 5.69】 도막두께 측정결과

구 분			측정값(μm)				비고
			1	2	3	평균	
거더 외부	기존 도장 부	S1-G1 우측 복부	228	235	236	233	양호
		S2-G1 좌측 복부	280	264	256	267	양호
		S3-G2 우측 복부	242	254	252	249	양호
		S4-G2 좌측 복부	233	294	264	264	양호
		S5-G3 좌측 복부	240	228	225	231	양호
		S6-G3 우측 복부	307	286	290	294	양호
거더 내부	기존 도장 부	S1-G1 좌측 복부	230	220	218	223	양호
		S2-G1 우측 복부	187	204	225	205	양호
		S3-G2 우측 복부	178	195	192	188	양호
		S4-G2 좌측 복부	196	208	206	203	양호
		S5-G3 좌측 복부	252	230	208	230	양호
		S6-G3 우측 복부	188	202	186	192	양호

㉔ 도장 두께 평가 결과

- － 도장두께 판정결과, 전 개소에서 시방서 및 시공기준 대비 허용두께 만족 비율은 100%(a등급)으로 평가되었다.

【표 5.70】 도장두께 평가결과

조사경간	조사 거더 번호	5개소 평균에 대한 기준 불만족 여부	비고
S1	G1	양호	a
S2	G1	양호	a
S3	G2	양호	a
S4	G2	양호	a
S5	G3	양호	a
S6	G3	양호	a
S1	G1	양호	a
S2	G1	양호	a
S3	G2	양호	a
S4	G2	양호	a
S5	G3	양호	a
S6	G3	양호	a
거더 도장두께 불만족 비율 $= (\text{불만족 거더 개수}) / (\text{조사 대상 거더 개수}) \times 100 = 0/12 \times 100 = 0.0\% (\text{a등급})$			

3) 2차부재

① 발청 및 도장열화

㉠ 발청(표면부식, 녹)

(1) 발청(표면부식, 녹) 발생현황

【표 5.71】 발청 발생현황

대상경간	발청 발생 부분	발청 면적 (m ²)	유사 경간 개수	비고
S1	—	0.00	2	
S3	—	0.00	3	
S6	—	3.15	1	

(2) 발청(표면부식, 녹) 면적율

【표 5.72】 발청 면적율

대상경간	발청 발생 면적 (m ²)	부재 면적 (m ²)	발청 면적율(%)	등급
S1	0.00	183.8	0.000	a
S3	0.00	230.0	0.000	a
S6	3.15	183.8	1.714	c

주) 발청 면적율 = (발청 면적 / 부재 면적) × 100

(3) 발청(표면부식, 녹) 등급 산정

【표 5.73】 발청 등급 산정

대상경간	발청 면적율 (%)	유사 경간 개수	발청 면적율 평균 (%)	등급	평점	비고
S1	0.000	2	0.286	b	10	
S3	0.000	3				
S6	1.714	1				

주) 발청 면적율 평균 = { ∑ (조사경간 발청 면적율 × 유사경간 개수) } / 전체 경간수

㉠ 도장 박리

(1) 도장 박리 발생현황

【표 5.74】 도장 박리 발생현황

대상경간	도장 박리 발생 부분	도장 박리 면적 (m ²)	유사 경간 개수	비고
S1	—	—	2	
S3	—	—	3	
S6	—	—	1	

(2) 도장 박리 면적율

【표 5.75】 도장 박리 면적율

대상경간	도장 박리 발생 면적 (m ²)	부재 면적 (m ²)	도장 박리 면적율 (%)	등급
S1	—	183.8	—	a
S3	—	230.0	—	a
S6	—	183.8	—	a

주) 도장 박리 면적율 = (도장 박리 면적 / 부재 면적) × 100

(3) 도장 박리 등급 산정

【표 5.76】 도장박리 등급 산정

대상경간	도장 박리 면적율 (%)	유사 경간 개수	도장 박리 면적율 평균 (%)	등급	평점	비고
S1	—	2	0.000	a	2	
S3	—	3				
S6	—	1				

주) 도장 박리 면적율 평균 = { ∑ (조사경간 도장 박리 면적율 × 유사경간 개수) } / 전체 경간수

㉔ 도장 균열

(1) 도장 균열 발생현황

【표 5.77】 도장 균열 발생현황

대상경간	도장 균열 발생 부분	도장 균열 면적 (m ²)	유사 경간 개수	비고
S1	—	—	6	
S3	—	—		
S6	—	—		

(2) 도장 균열 면적율

【표 5.78】 도장 균열 면적율

대상경간	도장 균열 발생 면적 (m ²)	부재 면적 (m ²)	도장 균열 면적율 (%)	등급
S1	—	183.8	—	a
S3	—	230.0	—	a
S6	—	183.8	—	a

주) 도장 균열 면적율 = (도장 균열 면적 / 부재 면적) × 100

(3) 도장 균열 등급 산정

【표 5.79】 도장 균열 등급 산정

대상경간	도장 균열 면적율 (%)	유사 경간 개수	도장 균열 면적율 평균 (%)	등급	평점	비고
S1	—	6	—	a	1	
S3	—					
S6	—					

주) 도장 균열 면적율 평균 = { ∑ (조사경간 도장 균열 면적율 × 유사경간 개수) } / 전체 경간수

㉔ 도장 부품

(1) 도장 부품 발생현황

【표 5.80】 도장 부품 발생현황

대상경간	도장 부품 발생 부분	도장 부품 면적 (m ²)	유사 경간 개수	비고
S1	—	—	6	
S3	—	—		
S6	—	—		

(2) 도장 부품 면적율

【표 5.81】 도장 부품 면적율

대상경간	도장 부품 발생 면적 (m ²)	부재 면적 (m ²)	도장 부품 면적율(%)	등급
S1	—	183.8	—	a
S3	—	230.0	—	a
S6	—	183.8	—	a

주) 도장 부품 면적율 = (도장 부품 면적 / 부재 면적) × 100

(3) 도장 부품 등급 산정

【표 5.82】 도장 부품 등급 산정

대상경간	도장 부품 발생 면적 (m ²)	부재 면적 (m ²)	도장 부품 면적율(%)	등급
S1	—	183.8	—	a
S3	—	230.0	—	a
S6	—	183.8	—	a

주) 도장 부품 면적율 평균 = { ∑ (조사경간 도장 부품 면적율 × 유사경간 개수) } / 전체 경간수

㉠ 도장 변색 및 백아화

(1) 도장 변색 및 백아화 발생현황

【표 5.83】 도장 변색 및 백아화 발생현황

대상 경간	도장 변색	도장 백아화	유사 경간 개수	등급	결함도 지수
S1	초기에 비해 거의 변화 없음	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착 없음	6	a	0.10
S3	초기에 비해 거의 변화 없음	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착 없음		a	0.10
S6	초기에 비해 거의 변화 없음	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착 없음		a	0.10

(2) 도장 변색 및 백아화 등급 산정

【표 5.84】 도장 변색 및 백아화 등급 산정

평가지수	등급	평점	비고
0.1	a	0.5	

주) 도장변색 및 백아화 = { 2(조사경간 평가등급 결함도 지수 × 유사경간 개수) } / 전체 경간수

㉠ 2차부재의 발청 및 도장열화에 대한 평가결과

－ 2차부재의 발청 및 도장열화에 대한 종합 평가 등급은 a등급(평가점수 10)으로 판정되었다.

【표 5.85】 2차부재의 발청 및 도장열화에 대한 평가결과

2차부재						
평가지표	발청	박리	균열	부품	변색/백아화	평가점수
등급	b	a	a	a	a	15
점수	10	22	1	1.5	0.5	
발청 및 도장열화 등급						b

5.3.2 외부적 요소평가

가. 대기환경

1) 해안 이격거리

- 과업 대상 구조물은 충청남도 공주시 석장리동에 위치하여 서해안으로부터 58,200m 떨어진 위치에 시공된 것으로 확인되었다.

【표 5.86】 해안 이격거리 평가결과



2) 이산화황 농도

- 환경부 자료를 통한 장암교의 이산화황 농도를 확인한 결과, 공주 지역의 이산화황 농도 측정은 2017년부터 시작되어 최근 8년(2017~2024년)간의 연 평균 자료를 활용하였으며, 그 결과 이산화황 연 평균 농도는 0.003ppm인 것으로 확인되었다.

【표 5.87】 이산화황 농도

구분	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	비고
이산화황 농도 평균 값(ppm)	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.0031	
8년 연 평균 이산화황 농도 평균 = 총 0.0261ppm / 8년 = 0.003 ppm									

주1) 에어코리아(<http://www.airkorea.or.kr/>) 참조

3) 습도

- 기상청 자료를 통한 장암교의 연간 젖음 시간(일)은 10년(2016~2025년)동안 평균 74.8일인 것으로 확인되었다.

【표 5.88】연간 젖음 시간 분석

구분	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	비고
상대습도 80%이상(일)	78	80	72	3	104	110	34	59	70	68	
10년 연 평균 젖음 시간 일수 = 총 748일 / 10년 = 74.8일											

주1) 연간 젖음 시간 : 0℃ 이상의 온도에서 상대습도 80% 이상이 지속된 시간

주2) 기상청 국내기후자료, 연월보자료 (<http://www.weather.go.kr>) 참조

나. 강설횟수(제설제 살포빈도)

기상청 자료를 통한 장암교가 위치한 대전지역의 2016년 01월~2025년 12월까지의 최심 신적설 자료를 평가하였으며, 연평균 강설 일수는 13.4일인 것으로 확인되었다. 이는 제설제 살포에 따른 염해환경 b등급(7일<강설일수<14일)에 해당하는 것으로 분석되었다.

【표 5.89】기상청 연평균 강설횟수

년도	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	합계
일수	16	17	17	2	8	16	14	10	14	20	134
평균(일)	13.4					평가등급		b			

주1) 강설일수는 최근 10년간 최심신적설이 발생한 일수의 연간 평균값

주2) 기상자료포털개방(<https://data.kma.go.kr/>) 참조

다. 환경요인 평가 결과

해안 이격거리, 이산화황 농도, 연간 젖음시간(일) 등을 이용하여 환경요인 평가 결과, 장암교는 서해안으로부터 300m이상 이격되어 있고, 연간 젖음시간이 74.8일이하, 이산화황 농도가 0.01이하, 강설횟수는 13.4일로 평가되었다.

【표 5.90】환경요인 평가

평가지표		측 정 값	등급
대기 환경	해안 이격거리	서해안으로부터 58.20km	a
	연간 젖음 시간(일)	74.8일	
	이산화황 농도	0.003ppm	
강설횟수(제설제 살포빈도)		13.4일	b

5.3.3 강재 내구성능 평가 결과

가. 거더

【표 5.91】 강재 내구성능 평가 결과-거더

구분	평가지표	등급	점수	가중치	평점/100
장암교	발청 및 도장열화	b	0.20	60	0.12
	도장 두께	a	0.10	20	0.02
	대기 환경	a	0.10	10	0.01
	강설 횡수	b	0.20	10	0.02
	평 점				0.17

나. 2차부재

【표 5.92】 강재 내구성능 평가 결과-2차부재

구분	평가지표	등급	점수	가중치	평점/100
장암교	발청 및 도장열화	b	0.20	60	0.12
	도장 두께	a	0.10	20	0.02
	대기 환경	a	0.10	10	0.01
	강설 횡수	b	0.20	10	0.02
	평 점				0.17

다. 부재별 가중치에 따른 시설물 최종 내구성능 평가

【표 5.93】 부재별 가중치에 따른 내구성능 평가

구분	결함도 평가부재		부재별 평점	가중치	평점/100
장암교	상부	바닥판	—	—	—
		거 더	0.17	68.5	0.12
		2차 부재	0.17	31.5	0.05
	하부	교대/교각	—	—	—
	합계				0.17
	시설물 강재 내구성능 등급				B

5.4 내구성능 평가 결과

대상 구조물의 안전성능 평가는 『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(성능평가편, 2024. 12, 국토교통부/한국시설안전공단)』에 의거 콘크리트 내구성능 평가결과와 강재 내구성능 평가결과를 실시하여, 각 부재의 가중평균을 적용하여 전체 내구성능 결과로 결정하였다.

외관조사 및 시험에 의한 콘크리트 내구성능 평가결과와 강재 내구성능 평가결과를 종합하여 검토한 결과, 장암교의 내구성능 평가 결과는 “B등급”으로 평가되었다.

【표 5.94】 내구성능평가 결과

구조물명	콘크리트 내구성능		강재 내구성능		비고
	평가지수	가중치	평가지수	가중치	
장암교	0.146	0.6	0.17	0.4	
합계	$(0.146 \times 0.6) + (0.170 \times 0.4) = 0.156$				
내구성능 등급	B				
내구성능평가 결과	- 콘크리트 내구성능 평가결과, “b”로 평가됨. - 강재 내구성능 평가결과, “b”로 평가됨. - 콘크리트 내구성능평가 및 강재 내구성능평가 결과를 통한 장암교의 내구성능 평가 결과는 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 “B등급”으로 평가됨				

