제 5장 시설물의 내구성능 평가

5.1 강재 내구성능 평가

5.2 콘크리트 내구성능 평가

5.3 내구성능평가 결과

5.1 강재 내구성능 평가

5.1.1 강재 내구성능 평가 기준

가. 발청 및 도장열화

1) 발청(표면부식, 녹)

【표 5.1】 발청 평가기준

평가기준	평가내용		비 고
	발청 면적	외관 상태	
a	0.05% 미만	외관상 부식이 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도	
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 부식이 확인되지만 부식부분 이외의 도장방식성능은 유지되고 있는 상태	
c	0.5 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 부식되어 있는 상태	
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 부식되어 있는 상태	
e	-	-	

2) 도장 박리

【표 5.2】 도장박리 평가기준

평가기준	평가내용		비 고
	도장 박리 면적	외관 상태	
a	0.1% 미만	외관상 박리가 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도	
b	0.1 이상 ~ 0.3% 미만	미소하게 박리가 확인되지만 박리된 이외의 도장방식성능은 유지되고 있는 상태	
c	0.3 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 박리가 보이는 상태	
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 박리가 발생되어 있는 상태	
e	-	-	

3) 도장 균열

【표 5.3】 도장 균열 평가기준

평가기준	평가내용		비 고
	도장 균열 면적	외관 상태	
a	0.0.5% 미만	외관상 균열이 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도	
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 균열이 확인되지만 박리된 이외의 도장방식성능은 유지되고 있는 상태	
c	0.5 이상 ~ 10.0% 미만	확실하게 균열이 보이는 상태	
d	10.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 균열이 발생되어 있는 상태	
e	-	-	

4) 도장 부풂

【표 5.4】 도장 부풂 평가기준

발생면적 / 부풂 크기	0 이상 ~ 0.05% 미만	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	0.5 이상 ~ 5.0% 미만	5.0% 이상
정상적인 교정시력으로 겨우 보이는 정도 이하	a	a	b	c
정상적인 교정시력으로 확실하게 보이는 정도(0.5㎜ 이하)	a	b	c	d
0.5~5㎜의 범위	b	c	c	d
5㎜ 초과	c	d	d	d

5) 도장 변색 및 백아화

【표 5.5】 도장 변색 및 백아화

평가 기준	평가내용		비 고
	도장 변색	도장 백아화	
a	초기에 비해 거의 변화가 없음	초기에 비해 변화 없음 이탈분말 부착 없음	
b	초기에 비해 변색되어 있음	초기에 비해 미소하게 하얗게 되어있음 이탈분말이 미소하게 부착	
c	초기에 비해 현저하게 변색되어 있음	초기에 비해 미소하게 하얗게 되어있음 이탈분말 부착	
d	초기의 색이 거의 남아 있지 않음	현저하게 하얗게 되어 있음 이탈분말 부착 많음	
e	-	-	

6) 도장두께

【표 5.6】 도장두께 평가기준

평가기준	평가내용 시방서 및 시공기준 대비 허용두께 미달 비율	비 고
a	5% 미만	
b	5% 이상 ~ 30% 미만	
c	30% 이상 ~ 70% 미만	
d	70% 이상	
e	-	

7) 대기환경(해안 이격거리/이산화황 농도/습도)

【표 5.7】 대기환경의 평가기준

연간 젖음 시간 (일)	해안이격거리 (m) / 이산화황 (ppm)	동해안	서해안		남해안		동해안	서해안		남해안		동해안	서해안		남해안		비 고
		전지역	고창 태안	그외	사천 거제	그외	전지역	고창 태안	그외	사천 거제	그외	전지역	고창 태안	그외	사천 거제	그외	
		500 초과	1000 초과	300 초과	100 초과	20초과	250 초과 ~1000 이하	500 초과 ~1000 이하	120 초과 ~300 이하	50 초과 ~100 이하	10 초과 ~20 이하	비말대 초과~ 250 이하	비말대 초과~ 500 이하	비말대 초과~1 20 이하	비말대 초과~ 50이하	비말대 초과~ 10이하	
		MDD ≤ 1.5					1.5 < MDD ≤ 2.0					2.0 < MDD ≤ 비말대					
100 초과	0.01 이하	a					b					c					
	0.01 이하 0.02 초과	b					b					c					
	0.02 초과	c					c					c					
10 이상 ~ 100 이하	0.01 이하	a					b					b					
	0.01 이하 0.02 초과	b					b					c					
	0.02 초과	b					c					c					
10 미만	0.01 이하	a					a					b					
	0.01 이하 0.02 초과																
	0.02 초과																

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

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

<해설>

■ 대기환경에 대한 평가기준은 KS D ISO 9223~9226에 제시된 영향인자별 부식속도를 참고하여 설정하였다.

■ 부식속도가 높음 및 매우 높은 경우 이에 대해 각각 b등급 및 c등급 적용한다.

8) 강설횟수(제설제 살포빈도)

【표 5.8】 강설횟수의 평가기준

강설일수(x)	x < 5	5≤x<15	15≤x
등급	a	b	c

<해설>

■ 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 설정한다.

5.1.2 강재 내구성능 평가 결과 산정 방법

가. 개요

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

나. 평가항목별 가중치

1) 발청 및 도장열화 가중치

강재의 발청, 도장의 박리, 균열, 부풂, 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 5.9】 강재 발청 및 도장열화의 각 세부지표에 대한 등급별 점수

세부지표등급	발청	박리	균열	부풂	변색 및 백아화	종합점수
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

<해설>

■ 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 도장열화'에 대한 종합점수는 다음과 같다.

【표 5.10】 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준

등급	종합점수 범위	등급 정의	비고
a	13 미만	부식 및 도장열화로 인한 내구성능 저하를 무시할 수준의 단계	차기도래시기에는 전번평가결과를 참고하여 평가 위치 및 수량을 결정함
b	13 이상 ~ 26 미만	경미한 결함이 있으나 그 이외의 부분에 대해서는 전반적으로 양호한 단계	
c	26 이상 ~ 49 미만	결함이 발생된 부재에 대해 일부 보수가 필요한 단계	
d	49 이상	광범위한 보수를 시행해야 하는 단계	

<해설>

■ 대상경간에 해당하는 강재부재는 조사방법 및 수량에 맞게 열화수준(낮음/보통/높음)이 고루 분포되도록 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 3개 이상 25% 이상을 만족해야 하므로 열화수준(낮음/보통/높음)에 맞는 총 3개 경간을 선정하고 나머지 7개 거더는 선정된 3개 거더와 유사한 경간으로 지정하여 배열한다.

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.

① 도장 최소두께 및 최대두께

- 시방서 및 도장 제조업체에서는 요구 최소두께 및 최대두께를 제시하고 있다.

도장종류에 따라 최소 또는 최댓값이 명시되어 있지 않은 경우 일반적으로 규정두께의 80%를 최소두께, 120% 최대두께로 할 수 있다.

② 도장 허용두께(SSPC-PA2 참고)

측정 1개소 내의 3개 지점값(직경 40㎜의 1개소에서 3번의 측정 실시)은 값에 제한이 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.

③ 도장 허용두께 미달 비율

대상 조사구역은 일정 단위면적으로 나눠질 수 있으며, 이러한 일정 단위면적을 조사단위면적으로 정의한다.

등급분류기준표에 제시된 '허용두께 미달 비율'은 대상 조사구역 내의 도장 허용두께 미달 비율로 정의한다.(조사구역 내 몇 %의 조사단위면적에서 허용두께를 미달하였는지에 대한 비율)

【표 5.11】 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준

구분	평가지표		가중치
내부요인	발청 및 열화	발청	60 (66)
		박리	
		균열	
		부풂	
		변색	
	도장두께		20 (22)
외부환경요인	대기환경 (해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도)		10 (12)
	강설횟수 (제설제 살포빈도)		10 (0)

＜해설＞

■ 강재에 대한 평가항목별 가중치로서 일반적으로 상부구조 및 하부구조에 강 부재가 사용되지 않는 교량형식에 대해서는 가중치 설정에서 제외한다.

■ 발청/박리/균열/부풂/변색·백아화 등은 직접적인 열화현상이고, 도장두께 기준치 미달은 열화가 발생하기 쉬운 조건으로 이 두가지를 내부요인으로 분류한다. 또한, 해안 이격거리, 이산화황 농도, 습도와 같은 대기환경과 제설제 살포빈도는 열화를 유발시키는 환경적 요인으로 분류한다.

■ 열화가 시작되는 단계에서는 환경요인에 의해 열화가 촉진되므로 이에 대한 가중치를 부여함.

■ 철도교의 경우는 제설제의 영향이 없으므로 외부 환경요인 중 대기환경에 대해서만 평가(괄호 안의 가중치 적용)

■ 부재의 형식, 구조 및 재료적인 특성에 의해(케이블 등) 내부요인(발청 및 도장열화, 도장두께)이 평가가 불가능한 경우, 해당부재는 강재내구성능 평가에서 제외한다.

다. 부재 종류별 가중치

교량을 구성하는 부재는 교량 형식에 따라 바닥판, 거더, 케이블, 2차부재, 교각(주탑)이 강부재로 구성될 수 있으며 최종적으로 수행하는 종합평가에서는 각 부재별 구성 재료의 중요도를 반영하는 것이 필요하다.

1) 일반교량

구분	평가부재		거더교량				라멘교	
			강거더교			바닥판·거더 일체형	거더있음	
			일반	2차부재없음	바닥판없음	강바닥판	2차부재있음	2차부재없음
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)
		2차부재	14 (18)	-	16 (23)	14 (18)	14 (18)	-
	하부	교대/교각	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

구분	평가부재		아치교/트러스교		현수교			사장교			엑스트라도즈드교	
			바닥판	바닥판 없음	일반 거더형	보강형	PSC 거더형	일반 거더형	보강형	PSC 거더형	일반 거더형	PSC 거더형
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)	-	-	-	-	-	-	-	-
		2차부재	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)
		보조주탑	-	-	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)	6 (0)
		교대/교각	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 균등분배한다.

■ 보조주탑이 없는 경우, 보조주탑에 부여된 가중치는 주탑의 가중치에 합산한다.

■ 콘크리트 아치리브의 경우, 아치리브의 가중치를 상부, 하부구조에 균등하게 분배한다.

■ ( ) 안의 값은 콘크리트 교각이 사용된 교량이다.

라. 결함도 지수

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

【표 5.12】 평가등급에 따른 결함도 지수

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0.10	0.20	0.40	0.70	1.00

【표 5.13】 등급 산정을 위한 결함도 지수 범위

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

5.1.3 강재 내구성능 평가 결과

1) 대상교량의 결과 산정

교량형식		강박스거더교(STB)(도로교)
경간장 및 경간수		1@47.5m+1@55.0+1@47.5m = 150.0m
교폭		10.49m
거더	거더 갯수	2
	강박스 폭/높이	2.84m/2.4m
2차부재		L= 2.9m, 교축방향 5m 간격 설치
바닥판		일반 RC
교각		일반 RC
도장 공용연수(신규 또는 재도장 이후)		10 년
환경조건	해안 이격거리	서해안으로부터 70.6km
	연간 젖음 시간(일)	89일
	이산화황 농도	0.0032 ppm
	제설제(강설횟수)	1.5 회

2) 발청 및 도장열화 평가

① 거더

【표 5.14】 거더 발청 및 도장열화 평가

평가지표	조사경간	발생 부분	면적 (㎡)	유사 경간 개수	부재면적 (㎡)	면적률 (%)	등급
발청	S1	좌측, 하면	1.06	1	995.6	0.11%	b
	S2	좌측, 하면	0.80	1	1152.8	0.07%	b
	S3	우측	0.07	1	995.6	0.01%	a
	평균					0.06%	b
박리	S1	좌측	0.01	1	995.6	0.06%	a
	S2	-	-	-	1152.8	-	a
	S3	하면	0.34	1	995.6	0.06%	a
	평균					0.04%	a
균열	S1	-	-	-	995.6	-	a
	S2	-	-	-	1152.8	-	a
	S3	-	-	-	995.6	-	a
	평균					-	a
부품	S1	-	-	-	995.6	-	a
	S2	-	-	-	1152.8	-	a
	S3	-	-	-	995.6	-	a
	평균					-	a
변색	S1	-	-	-	995.6	-	a
	S2	-	-	-	1152.8	-	a
	S3	-	-	-	995.6	-	a
	평균					-	a

【표 5.15】 거더 발청 및 도장열화 평가 점수

평가지표	발청	박리	균열	부품	변색/백아화	평가점수
등급	b	a	a	a	a	12
점수	10	2	0	0	0	
발청 및 도장열화 등급						a

② 2차부재

【표 5.16】 2차부재 발청 및 도장열화 평가

평가지표	조사경간	발생 부분	면적 (㎡)	유사 경간 개수	부재면적 (㎡)	면적률 (%)	등급
발청	S1	-	-	1	127.6	-	a
	S2	-	-	1	139.2	-	a
	S3	-	-	1	127.6	-	a
	평균					-	a
박리	S1	-	-	1	127.6	-	a
	S2	-	-	1	139.2	-	a
	S3	-	-	1	127.6	-	a
	평균					-	a
균열	S1	-	-	1	127.6	-	a
	S2	-	-	1	139.2	-	a
	S3	-	-	1	127.6	-	a
	평균					-	a
부품	S1	-	-	1	127.6	-	a
	S2	-	-	1	139.2	-	a
	S3	-	-	1	127.6	-	a
	평균					-	a
변색	S1	-	-	1	127.6	-	a
	S2	-	-	1	139.2	-	a
	S3	-	-	1	127.6	-	a
	평균					-	a

【표 5.17】 2차부재 발청 및 도장열화 평가 점수

평가지표	발청	박리	균열	부품	변색/백아화	평가점수
등급	a	a	a	a	a	0
점수	0	0	0	0	0	
발청 및 도장열화 등급						a

3) 도장두께 평가

① 거더

【표 5.18】 거더 도장두께 평가

조사경간	조사거더번호	5개소 평균에 대한 기준 불만족 여부	판정
S1	G1	만족	만족
	G2	만족	만족
	G3	만족	만족
S2	G1	만족	만족
	G2	만족	만족
	G3	만족	만족
S3	G1	만족	만족
	G2	만족	만족
	G3	만족	만족
거더 도장두께 불만족 비율 =(불만족 거더 개수)/(조사 대상 거더 개수)×100 = 0%(a등급)			

4) 환경요인 평가

【표 5.19】 환경요인 평가

구분	평가지표	측정값	등급
대기 환경	해안 이격거리	67.3km	a
	연간 젖음시간(일)	89일	
	이산화황 농도	0.0032 ppm	
제설제(강설횟수)		1.5 회	a

<해설>

■ 해안 이격거리 : 시설물의 위치로 지도 및 인터넷 정보를 이용하여 최단거리 측정

■ 연간 젖음시간(일) : 기상청 기상연보에서 0°C 이상, 상대습도 80% 이상인 관측일 산정

■ 이산화황 농도 : 에어코리아(http://www.airkorea.or.kr)에서 제공하는 지역별 10년 평균 농도

■ 강설횟수 : 시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 상의 동결융해 싸이클 수 참조

5) 강재 내구성능 최종 평가

【표 5.20】 평가항목별 가중치에 따른 거더의 내구성능

평가지표	등급	점수	가중치	평점/100
발청 및 도장열화	a	0.1	60	0.06
도장두께	a	0.1	20	0.02
대기 환경	a	0.1	10	0.01
강설 횟수	a	0.1	10	0.01
평점				0.10

【표 5.21】 평가항목별 가중치에 따른 2차부재의 내구성능

평가지표	등급	점수	가중치	평점/100
발청 및 도장열화	a	0.1	80	0.08
도장두께	-	-	-	-
대기 환경	a	0.1	10	0.01
강설 횟수	a	0.1	10	0.01
평점				0.10

【표 5.22】 부재별 가중치에 따른 강재 내구성능 평가

결함도 평가부재		부재별 평점	가중치	평점/100
상부	바닥판	-	-	-
	거더	0.10	77	0.077
	2차 부재	0.10	23	0.023
하부	교각	-	-	-
합계				0.10
시설물 강재 내구성능 등급				A

5.2 콘크리트 내구성능 평가

5.2.1 일반

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

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 종합등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용한다.

【표 5.23】 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

열화진전항목	열화환경항목
염화물 함유량 탄산화 깊이 피복(표면부) 콘크리트 품질	염해환경 동해환경

5.2.2 평가대상 부재

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

【표 5.24】교량 강재 내구성능 평가 대상 부재

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

5.2.3 콘크리트 내구성능 평가기준

가. 염화물 함유량

【표 5.25】 염화물 함유량 평가등급

평가기준	평가내용		비고
	철근부 전염화물 함유량 C_r가 2.5(kg/㎥)가 되는 시점	철근부 전염화물 함유량 C_r(kg/㎥)	
a	30년 초과	0.3 이하	
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	$1.2 < C_r \leq 2.5$	
e	5년 이하	2.5 이상	

나. 탄산화 깊이

【표 5.26】 탄산화 깊이에 따른 평가기준

평가기준	평가내용	비고
a	30년 이상	평가결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후 탄산화속도계수 $A = \frac{D}{\sqrt{t}}$ $T = [\frac{\text{설계피복두께}}{\text{탄산화속도계수}}]^2 - t$ T : 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간, D : 탄산화깊이 t : 공용연수
b	20년 < T ≤ 30년	
c	10년 < T ≤ 20년	
d	5년 < T ≤ 10년	
e	5년 이하	

다. 피복(표면부) 콘크리트의 품질

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

1) 설계강도값과 비교할 경우

【표 5.27】 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	-	

2) 건전부/비건전부를 비교할 경우

【표 5.28】 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	-	

라. 염해환경

【표 5.29】 염해환경의 평가기준(해안거리)

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

※ 비말대는 해수가 직접 닿지 않는 지역을 일컬음

【표 5.30】 염해환경의 평가기준(제설제)

항목	등급	비고
제설제 염해환경	a	강설일수 < 7
	b	7 ≤ 강설일수 < 14
	c	14 ≤ 강설일수

마. 동해환경

【표 5.31】 동해환경의 평가기준

평가기준	평가내용	비고
a	X < 3	
b	3 ≤ X < 50	
c	50 ≤ X	
d	-	
e	-	

5.2.4 콘크리트 내구성능 평가 결과 산정 방법

가. 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, 대상 시설물의 내구성능 등급에는 열화진전평가만이 사용되며, 열화환경평가는 종합등급 산정에는 활용하지 않으며 기타 구조물의 유지관리 업무에 활용된다.

나. 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 유지관리 활동에 활용한다.
- 열화환경평가는 전체 시설물의 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

【표 5.32】 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 함유량, 피복 콘크리트의 품질의 3개 열화진전평가 지표로 이루어진다.
- 내구성능 평가에 있어 열화진전 평가는 탄산화 깊이, 염화물 함유량, 피복 콘크리트 품질의 3개 열화진전평가 지표이다.
- 세부 부재는 바닥판, 거더(2차부재), 교각/교대, 주탑으로 분류하며, 도로와 철도교량 및 해안인근과 내륙지역으로 구분한다.
- 각 내구성능을 평가함에 있어 가중치를 적용하지 않고, 각각의 평가항목에 대하여 가장 낮은 등급을 받은 지표의 평가결과를 준용하는 최젓값을 적용한다.

  : 탄산화 깊이, 염화물 함유량 및 피복 콘크리트의 품질 중 가장 낮은 평가 등급이 대상 부재의 내구성능 등급이 된다.

  : 최젓값을 적용하는 것은 염해 혹은 탄산화 등 어느 한 가지 지표에 의해서만 피해가 발생하여도 심각한 결과가 발생할 수 있다.
- 산출된 각 세부부재(ex. 바닥판, 거더, 2차부재, 교각/교대/주탁 등)의 내구성능 등급은 각 부재별 가중치를 고려하여 상위부재(ex. 상부, 하부)의 내구성능 등급을 도출하여 최종적으로 교량 시설물의 내구성능 평가등급을 도출한다.

다. 결함도 지수

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

【표 5.33】 평가등급에 따른 결함도 지수

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0.10	0.20	0.40	0.70	1.00

【표 5.34】 등급 산정을 위한 결함도 지수 범위

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

라. 부재 종류별 가중치

교량을 구성하는 부재는 교량 형식에 따라 바닥판, 거더, 케이블, 2차부재, 교각(주탑)이 강부재로 구성될 수 있으며 최종적으로 수행하는 종합평가에서는 각 부재별 구성 재료의 중요도를 반영하는 것이 필요하다.

1) 일반교량

구분	평가부재		슬래브 교량	거더교량					라멘교		
				일반거더교			바닥판·거더 일체형		거더 없음	거더있음	
				일반	2차부재 없음	바닥판 없음	강바닥판	PSC 박스		2차 부재	2차부재 없음
콘크리트	상부	바닥판	50	33	31	-	-		50	30	30
		거더	-	35	44	55	55	35	-	30	35
		2차 부재	-	7	-	10	10	5	-	7	-
	하부	교대/ 교각	50	25	25	35	35	25	50	33	35

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

마. 세부부재 등급 산정에 따라 시설물 전체 등급 산정

교량 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타낸다.

【표 5.35】 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 5.36】 열화환경 평가

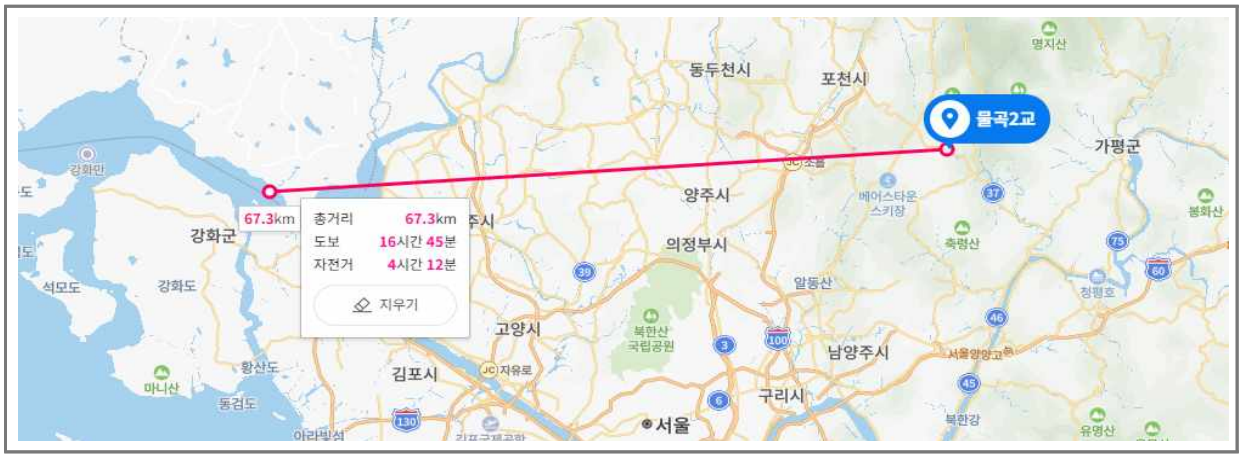
열화환경지표		평가등급	교량의 주요 대상 부재
제설제 염해환경		A or B or C	주로 교량의 바닥판 및 기타 상부부재가 해당되며, 바닥판에 관통균열이 있을 경우 하부의 거더에도 영향을 미칠 수 있으며, 신축이음부에 누수가 있을 경우 교좌, 교대 등으로 확대될 수 있음
비래염분 염해환경	해안거리에 따른 비래염분 염해환경	A or B or C	전체 시설물 대상이지만, 비래염분이 발생하는 해안쪽의 부재가 상대적으로 열악한 환경
동해환경		A or B or C	전체 시설물에서 국부적으로 수분의 공급이 있는 부재부분에 해당

5.2.5 콘크리트 내구성능 평가 결과

1) 염해환경 평가

① 해안거리에 따른 비래염분 염해환경

서해안으로부터 약 67.3㎞ 떨어진 위치에 시공된 것으로 확인되었다.



[그림 51] 위치도

해안거리에 따른 비래염분 염해환경 평가결과, 서해안으로부터 교량까지의 거리가 500m를 초과하여 평가등급은 A등급으로 분석되었다.

【표 5.37】 해안거리에 따른 비래염분 염해환경 평가결과

평가항목	해안	적용지역	해안으로부터 거리 X(m)	평가 등급
해안거리에 따른 비래염분 염해환경	동해안	전지역	500초과	a등급

② 제설제 염해환경

강설일수는 기상청 기후자료를 참조하였으며, 기상관측소는 대상구조물의 가장 가까운 관측소인 양평 관측소에서 측정된 최근 10년간 최심신적설 데이터를 활용하여 평가하였다. 연평균 강설 일수는 1.5일로 확인되었고, 평가등급은 a등급으로 분석되었다.

【표 5.38】 제설제 염해환경 평가결과(연평균 강설일수)

해당지역		양평							
분석기간		2011년 01월 01일 ~ 2020년 12월 31일 (10년)							
2011년	0일	2012년	0일	2013년	0일	2014년	0일	2015년	4.0일
2016년	11.0일	2017년	0일	2018년	0일	2019년	0일	2020년	0일
평균 강설일수								1.5일	

주) 강설일수는 최근 10년간 최심신적설이 발생한 일수의 연간 평균값, *참고 : 기상자료개방포털(https://data.kma.go.kr/)

2) 동해환경 평가

동결융해 반복일수에 따른 동해환경 평가는 대상구조물의 가장 가까운 관측소인 양평 관측소에서 측정된 최근 10년간의 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량 데이터를 수집하여 평가하였으며, 동해환경 평가는 다음과 같다.

- 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재일 경우

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

- 수분과 지속적으로 접촉하는 부재일 경우

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

수분과 미접촉하는 부재의 경우 회, 수분과 직접 접촉하는 부재의 경우 71.8일로써 동결융해 환경은 c등급으로 평가되며, 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우도 동결융해 싸이클이 연평균 7.8일로 동결융해의 피해를 입을 수 있음이 확인된다.

【표 5.39】 동해환경 평가결과 - 일반부재(수분접촉))

해당지역	양평				
분석기간	2011년 01월 01일 ~ 2020년 12월 31일 (10년)				
2011년	70일	**2012년**	71일	**2013년**	72일
2014년	79일	**2015년**	75일	**2016년**	70일
2017년	81일	**2018년**	60일	**2019년**	84일
2020년	56일	**동결융해 횟수 (수분접촉)**			**71.8일**

【표 5.40】 동해환경 평가결과 - 일반부재(수분미접촉))

해당지역	양평				
분석기간	2011년 01월 01일 ~ 2020년 12월 31일 (10년)				
2011년	3일	**2012년**	7일	**2013년**	12일
2014년	8일	**2015년**	7일	**2016년**	9일
2017년	12일	**2018년**	6일	**2019년**	6일
2020년	8일	**동결융해 횟수 (수분미접촉)**			**7.8일**

2) 열화진전 평가

① 염화물 함유량

【표 5.41】 염화물 함유량 평가

열화진전 평가항목	세부 부재명		깊이별 염화물 함유량 (kg/㎥)			평가등급
			0-10mm	10-20mm	20-30mm	
염화물 함유량	바닥판	S2	0.177	0.093	0.048	a
	교대	A1	0.079	0.075	0.066	a
	교각	P2	0.192	0.095	0.093	a

【표 5.42】 염화물 확산계수 산출

계산항목	세부 부재명		깊이별 염화물 확산계수 (㎠/year)		
			0-10mm	10-20mm	20-30mm
염화물 확산계수	바닥판	S2	-	2.446	3.182
	교대	A1	-	2.928	3.182
	교각	P2	-	3.182	3.182

【표 5.43】 철근부의 전염화물 함유량이 2.5(kg/㎥)가 되는 시점 평가

열화진전 평가항목	세부 부재명		계산결과(year)	평가등급
철근부 전염화물 함유량 C_r가 2.5(kg/㎥)가 되는 시점	바닥판	S2	30년 초과	a
	교대	A1	30년 초과	a
	교각	P2	30년 초과	a

【표 5.44】 염화물량 최종 평가등급

세부 부재명		염화물 함유량 평가 결과	철근부 전염화물 함유량 C_r가 2.5(kg/㎥)가 되는 시점	염화물 함유량 최종 평가 등급
바닥판	S2	a	a	a
교대	A1	a	a	a
교각	P2	a	a	a

② 탄산화 깊이

【표 5.45】 탄산화 깊이 평가

열화진전 평가항목	세부 부재명		탄산화 깊이 (mm)	탄산화 속도계수	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T(년)	개별 평가등급	평가 등급
탄산화 깊이	바닥판	S2	6.0	1.90	100년 이상	a	a
		S3	6.5	2.06	100년 이상	a	
	교대	A1	10.0	3.16	100년 이상	a	a
		A2	7.6	2.40	100년 이상	a	
	교각	P1	11.5	3.64	100년 이상	a	
		P2	10.0	3.16	100년 이상	a	

③ 피복 콘크리트의 품질

【표 5.46】 피복 콘크리트의 품질 평가

열화진전 평가항목	부재 그룹명	세부 부재명		설계값 대비 강도추정값(%)	비건전부/ 건전부비율(%)	개별 평가등급	평균	평가 등급
피복 콘크리트의 품질	상부	바닥판	S1	104.4	-	a	0.10	a
			S2	101.9	-	a		
			S3	100.7	-	a		
	하부	교대	A1	105.0	-	a	0.10	a
			A2	106.3	-	a		
		교대	P1	111.3	-	a		
			P2	109.2	-	a		

④ 콘크리트 내구성능 평가

【표 5.47】 콘크리트 내구성능 평가

부재 그룹명	세부 부재명 (가중치, %)	항목별 평가결과				
		염화물 함유량	탄산화 깊이	피복콘크리트의 품질	부재	비고
상부	바닥판(54)	a	a	a	a	0.1
하부	교대/교각(46)	a	a	a	a	0.1
		결함도지수	(0.1×54+0.1×46)/100 = 0.100			
		등급	A			

【표 5.48】 열화환경지표의 평가

열화환경지표		평가결과	평가등급
제설제 염해환경		1.5일	a
비래염분염해환경	해안거리에 따른 비래염분 염해환경	서해안에서 67.3km	a
동해환경	일반부재(수분미접촉)	71.8회/연	c
	취약부재(수분접촉)	7.8회/연	

5.3 내구성능 평가 결과

본 과업에서 콘크리트 내구성능 평가항목은 열화진전평가와 열화환경평가를 실시하였다. 콘크리트 내구성능 종합등급 평가시, 연화진전평가결과만을 반영하며, 열화환경평가는 교량의 유지관리를 위한 참고자료로 업무에 활용한다.

5.3.1 내구성능 평가 결과

콘크리트 내구성능평가, 강재 내구성능평가를 통한 내구성능 평가결과, 결함도점수 0.100이며, 등급은 A등급으로 평가되었다.

구분	결함도지수	평가등급	가중치	결함도지수×가중치
콘크리트내구성능평가 결과	0.100	a	0.6	0.060
강재내구성능평가 결과	0.100	a	0.4	0.040
결함도점수				0.100
내구성능평가 결과				A