

제 4 장 내구성능평가

4.1 내구성능 평가 기준 및 방법

4.2 콘크리트 내구성능 평가

4.3 내구성능 평가 결과

제 4 장 내구성능평가

4.1 내구성능 평가 기준 및 방법

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.

4.1.1 강재 내구성능 평가 기준 및 방법

가. 개요

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

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

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

<표 4.1.1> 교량 평가지표 및 세부 평가지표

구분	평가지표	세부 평가지표
강 부재	발청(표면부식)	-
	도장 열화	박리, 균열, 부풀, 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 4.1.2> 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 4.1.3> 발청 평가기준

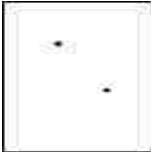
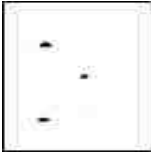
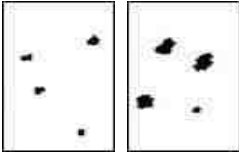
평가 기준	평가내용		비고
	발청 면적	외관 상태	
a	0.05% 미만	외관상 부식이 확인되지 않거나 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 등급 1)	
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 부식이 확인되지만 부식부분 이외의 도장방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 등급 2)	
c	0.5 이상 ~ 5.0% 미만	확실하게 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 3)	
d	5.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 부식되어 있는 상태(표준사진 등급 4/5)	
e	-	-	

발청			
표준사진 등급 1	표준사진 등급 2	표준사진 등급 3	표준사진 등급 4/5
			

(2) 도장 박리

<표 4.1.4> 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 있는상태(표준사진 5)	
e	-	-	

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

(3) 도장 균열

<표 4.1.5> 도장 균열 평가기준

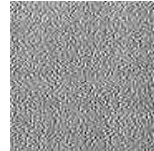
평가 기준	평가내용		비고
	도장 균열 면적	외관 상태	
a	0.05% 미만	외관상 균열이 확인되지 않거나, 있어도 무시할 수 있을 정도의 상태(표준사진 1)	
b	0.05 이상 ~ 0.5% 미만	미소하게 균열이 확인되지만, 균열부분 이외의 도장 방식성능은 유지되고 있는 상태(표준사진 2)	
c	0.5% 이상 ~ 10.0% 미만	확실하게 균열이 보이는 상태(표준사진 3)	
d	10.0% 이상	외관상 거의 전면에 걸쳐 균열이 발생되어 있는 상태(표준사진 4/5)	
e	-	-	

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

(4) 도장 부품

<표 4.1.6> 도장 부품 평가기준

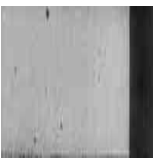
발생면적 부품 크기	0 ~ 0.05% 미만 (표준사진 밀도 2 이하)	0.05 이상 ~ 0.5% 미만 (표준사진 밀도 3)	0.5 이상 ~ 5.0% 미만 (표준사진 밀도 4)	5.0% 이상 (표준사진 밀도 5 이상)
정상적인 교정시력으로 겨우 보이는 정도 이하 (크기등급 2)	a	a	b	c
정상적인 교정시력으로 확실하게 보이는 정도 (0.5mm이하) (크기등급 3)	a	b	c	d
0.5~5mm의 범위 (크기등급 4)	b	c	c	d
5mm 초과 (크기등급 5)	c	d	d	d

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

(5) 도장 변색 및 백아화

<표 4.1.7> 도장 변색 및 백아화

평가 기준	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	표준사진 4
			

2) 대기환경 (해안 이격거리/이산화황 농도/습도)

2) 도장두께

<표 4.1.8> 도장두께 평가기준

평가 기준	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) 강선흯수(제설제 살포빈도)

<표 4.1.9> 강선흯수의 평가기준

강선흯수(x)	$x < 5$	$5 \leq x < 15$	$15 \leq x$
등급	a	b	c

< 해 설 >

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

4) 대기환경 (해안 이격거리/이산화황 농도/습도)

<표 4.1.10> 대기환경의 평가기준

연간 젖음 시간2) (일)	해안 이격거리 (m)	동해안		서해안		남해안		동해안		서해안		남해안		동해안		서해안		남해안	
		전지역		고창·태안 그외지역		사천·거제 그외지역		전지역		고창·태안 그외지역		사천·거제 그외지역		전지역		고창·태안 그외지역		사천·거제 그외지역	
		500 초과	100 초과	300 초과	100 초과	20 초과	250 초과 ~ 500 이하	500 초과 ~ 100 이하	120 초과 ~ 300 이하	50 초과 ~ 100 이하	10 초과 ~ 20 이하	비말대 초과 ~ 250 이하	비말대 초과 ~ 500 이하	비말대 초과 ~ 120 이하	비말대 초과 ~ 50 이하	비말대 초과 ~ 10 이하	비말대 초과 ~ 10 이하	비말대 초과 ~ 10 이하	비말대 초과 ~ 10 이하
100 초과	0.01 이하	a					b					c							
	0.01 초과	b					b					c							
10 이상 ~ 100 이하	0.01 이하	a					b					b							
	0.01 초과	b					b					c							
10 미만	0.01 이하	a					a					b							
	0.01 초과																		

주1) 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

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.

<표 4.1.11> 강재 발청 및 도장열화의 각 세부지표에 대한 등급별 점수

세부지표 등급	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

- 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

<표 4.1.12> 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준

등급	종합점수 범위	등급 정의	비고
a	13 미만	부식 및 도장열화로 인한 내구성능 저하를 무시할 수준의 단계	차기 도래시기에는 전차 평가결과를 참고하여 평가 위치 및 수량을 결정함
b	3 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	

(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 않는 경우 일반적으로 규정두께의 80%를 최소두께, 120%를 최대두께로 할 수 있다.

② 도장 허용두께(SSPC-PA2 참고)

- 측정 1개소내의 3개 지점값(직경 40mm의 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 불만족 비율

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

<표 4.1.13> 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)

- 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 만족여부는 열화가 발생하기 쉬운 조건으로 이 두 가지를 내부요인으로 분류한다. 또한, 해안이격거리, 이산화황 농도, 습도와 같은 대기환경과 제설제 살포빈도는 열화를 유발시키는 외부요인으로 분류한다.
- 열화가 시작되는 단계에서는 외부요인에 의해 열화가 촉진되므로 이에 대한 가중치를 부여한다.
- 부재의 형식, 구조 및 재료적인 특성에 의해(케이블 등) 내부요인(발청 및 도장열화, 도장두께)이 평가가 불가능한 경우, 해당부재는 강재내구성능 평가에서 제외한다.

3) 부재 종류별 가중치

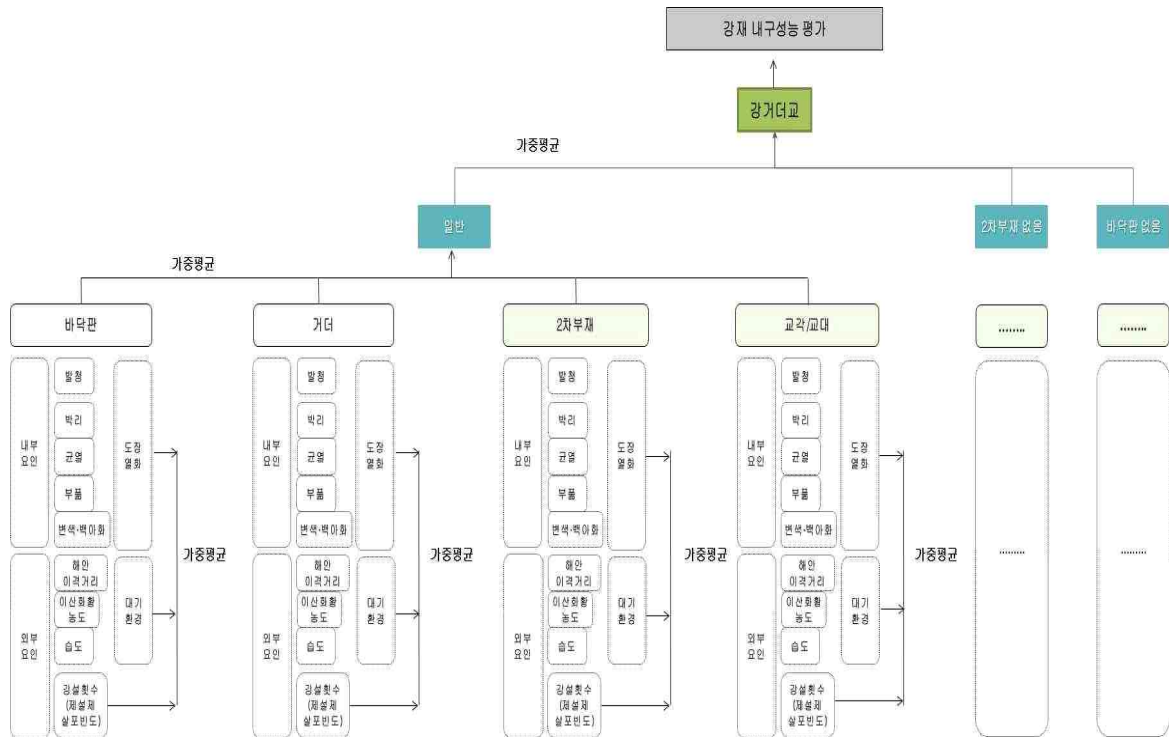
교량을 구성하는 부재는 교량 형식에 따라 바닥판, 거더, 케이블, 2차부재, 교각(주탑)이 강부재로 구성될 수 있으며 강재 내구성능평가에서는 각 부재별 구성 재료의 중요도를 반영하여 평가한다.

(1) 일반교량

<표 4.1.14> 일반교량의 부재별 가중치

구분	평가부재		강거더교량				라멘교	
			강거더교			바닥판 · 거더 일체형	거더있음	
			일반	2차 부재 없음	바닥판 없음	강바닥판	2차부재 있음	2차 부재 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)

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



<그림 4.1.1> 강재 내구성능 항목별 세부 평가방법

4) 결함도 지수

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

<표 4.1.15> 평가등급에 따른 결함도 지수

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0.10	0.20	0.40	0.70	1.00

<표 4.1.16> 등급 산정을 위한 결함도 지수 범위

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

4.1.2 콘크리트 내구성능 평가 기준 및 방법

가. 개요

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

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

<표 4.1.17> 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

열화진전 항목	열화환경 항목
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 4.1.18> 교량 콘크리트 내구성능 평가 대상부재

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

다. 콘크리트 내구성능 평가기준

1) 염화물 침투량

<표 4.1.19> 염화물 침투량 평가등급

평가 기준	평가내용		비고
	철근부 전염화물 침투량 Cr 가 2.5(kg/m³)가 되는 시점	철근부 전염화물 침투량 Cr (kg/m³)	
a	30년 초과	0.3 이하	
b	20년 초과 ~ 30년 이하	$0.3 < Cr \leq 0.6$	
c	10년 초과 ~ 20년 이하	$0.6 < Cr \leq 1.2$	
d	5년 초과 ~ 10년 이하	$1.2 < Cr < 2.5$	
e	5년 이하	2.5 이상	

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

2) 탄산화 깊이

<표 4.1.20> 탄산화 깊이에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	30년 초과	평가결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후 $A = \frac{D}{\sqrt{t}}$ 탄산화 속도계수 $T = \left[\frac{\text{설계피복두께}}{\text{탄산화속도계수}} \right]^2 - t$ (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	

- 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 4.1.21> 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상	피복콘크리트의 내구성능이 양호한 상태
b	90% ≤ 강도 추정값이 설계값 대비 <100%	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	강도 추정값이 설계값 대비 90% 미만	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	-	-
e	-	-

(2) 건전부/비건전부를 비교할 경우

<표 4.1.22> 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

평가 기준	평가내용	비교
a	반발경도값이 건전부 대비 95% 이상	건전부 대비 큰 차이를 보이지 않음
b	$85\% \leq$ 반발경도값이 건전부 대비 $< 95\%$	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함
c	반발경도값이 건전부 대비 85% 미만	동해 등에 의해 피복콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태
d	-	-
e	-	-

4) 염해환경

<표 4.1.23> 염해환경의 평가기준(해안거리)

평가 기준	해안	적용지역	해안으로부터 거리 X(m)	비교
a	동해안	전지역	500 초과	
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	1,000 초과 300 초과	
	남해안	사천, 거제 그 외 지역	100 초과 20 초과	
b	동해안	전지역	$250 < X \leq 500$	
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	$500 < X \leq 1000$ $120 < X \leq 300$	
	남해안	사천, 거제 그 외 지역	$50 < X \leq 100$ $10 < X \leq 20$	
c	동해안	전지역	비말대1) $< X \leq 250$	
	서해안	고창, 태안 그 외 지역	비말대 $< X \leq 500$ 비말대 $< X \leq 120$	
	남해안	사천, 거제 그 외 지역	비말대 $< X \leq 50$ 비말대 $< X \leq 10$	
d	-	-	-	
e	-	-	-	

주1) 여기서 비말대는 해수가 직접 닿지는 않으나 파도가 칠 때 튀어오르는 물방울이 미치는 범위

<표 4.1.24> 염해환경의 평가기준(제설제)

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

- 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 4.1.25> 동해환경의 평가기준

평가 기준	평가내용	비고
a	$X < 3$	
b	$3 \leq X < 50$	
c	$50 \leq X$	
d	-	
e	-	

- 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 상태에서 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 열화 진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리에 활용한다. 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

<표 4.1.26> 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 평가 등급이 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.

3) 결함도 지수

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

<표 4.1.27> 평가등급에 따른 결함도 지수

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0.10	0.20	0.40	0.70	1.00

<표 4.1.28> 등급 산정을 위한 결함도 지수 범위

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

4) 부재 종류별 가중치

(1) 일반교량

<표 4.1.29> 일반교량의 부재별 가중치

구분	평가부재		슬래브 교량	거더교량					라멘교		
				일반 거더교			바닥판 · 거더 일체형		거더없음	거더	
				일반	2차 부재 없음	바닥판 없음	강바닥판	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
		2차 부재	-	7	-	10	10	5	-	7	-
	하부	교각/ 교대	50	25	25	35	35	25	50	33	35

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

(2) 특수교량

<표 4.1.30> 케이블 교량의 부재별 가중치

구분	결함도 평가부재		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
		2차 부재	8	15	10	-	10	-	15	-
	하부	주탑	-	-	45	45	40	40	15	15
		보조 주탑	-	-	15	15	10	10	10	10
		교각/ 교대	25	35	-	-	10	10	10	10

5) 세부부재 등급 산정에 따라 시설물 전체 등급 산정

교량 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타낸다.

<표 4.1.31> 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 4.1.32> 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 4.1.33> 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

4.1.3 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 <표 4.1.34> 및 <표 4.1.35>의 등급산정을 위한 결함도 지수 범위를 활용한다.

<표 4.1.34> 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	-
		강합성 거더	2차부재 있음	0.65	0.35
			2차부재 없음	0.69	0.31

- ()의 수치는 교각이 강재로 된 경우

<표 4.1.35> 특수교량 종합내구성능 평가를 위한 가중치

구분			내구성능 가중치	
			콘크리트	강재
아치/트러스	콘크리트 바닥판		0.55 (0.35)	0.45 (0.65)
	강바닥판			
현수교	일반 거더형	강상관형 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	강상관형 거더	0.40 (0.13)	0.60 (0.87)
		강합성형 거더	0.52 (0.25)	0.48 (0.75)
	보강형		0.40 (0.13)	0.60 (0.87)
	PSC 거더		0.69 (0.43)	0.31 (0.57)
엑스트라 도즈드교	일반거더형	강상관형 거더	0.40 (0.13)	0.60 (0.87)
		강합성형 거더	0.53 (0.27)	0.47 (0.73)
	PSC 거더		0.73 (0.47)	0.27 (0.53)

- ()의 수치는 하부구조(주탑/교각)이 강재로 된 경우

4.2 내구성능 평가

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

<표 4.2.1> 콘크리트 내구성능 평가항목의 구분

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

4.2.1 대상교량 현황

<표 4.2.1> 대상교량 현황

교량형식	콘크리트 거더교(도로교)
경간장 및 경간수	L = 120.049m (25.949m+25.0m+34.5m+34.6m)
교폭	B = 3.740m, 편도 1차선
바닥판의 높이	4.7m
거더 개수	2
2차부재	가로보(L=0.8m) 교축방향 경간당 3개소 설치
바닥판	일반 RC
교각	일반 RC
피복 두께	상부 40mm, 하부 100mm
공용년수	7년
환경조건	해안 이격거리
	연간 젖음 시간(일)
	이산화황 농도
	제설제(강설횟수)



<해안에서 이격거리>

4.2.2 염화물 침투량 평가

<표 4.2.2> 염화물 함유량

열화진전 평가 항목	세부 부재명	깊이별 염화물 함유량 (kg/m ³)				비고
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)	
염화물 침투량	바닥판 S1	0.071	0.048	0.042	0.024	
	세부 부재명	깊이별 염화물 함유량 (kg/m ³)				비고
		표면부 (0-2mm)	2-30 (mm)	30-60 (mm)	60-100 (mm)	
	교각 P2	0.290	0.209	0.200	0.137	

<표 4.2.3> 염화물 확산계수 산출

열화진전 평가 항목	세부 부재명	깊이별 염화물 확산계수 (cm ² /year)				비고
		표면부 (0-2mm)	2-15 (mm)	15-30 (mm)	30-45 (mm)	
염화물 침투량	바닥판 S1	-	-	-	1.11	
	세부 부재명	깊이별 염화물 확산계수 (cm ² /year)				비고
		표면부 (0-2mm)	2-30 (mm)	30-60 (mm)	60-100 (mm)	
	교각 P2	-	-	-	1.75	

<표 4.2.4> 철근부의 전염화물 침투량이 2.5kg/m³이 되는 시점

열화진전 평가 항목	세부 부재명	계산 결과 (year)	평가결과
철근부 전염화물 침투량 2.5(kg/m ³)가 되는 시점	바닥판 (S1)	30년 초과	a
	교각 (P2)	30년 초과	a

<표 4.2.5> 염화물량 평가등급

세부 부재명	염화물 침투량 평가 등급
바닥판(S1)	a
교각(P2)	a

바닥판, 교각에서 채취한 염화물시료의 철근부 전염화물 침투량이 2.5kg/m³이 되는 시점이 현재로부터 30년을 초과하여 모두 a등급으로 평가되었다.



a. 염화물시료채취 현황(상부)



b. 염화물시료채취 현황(하부)

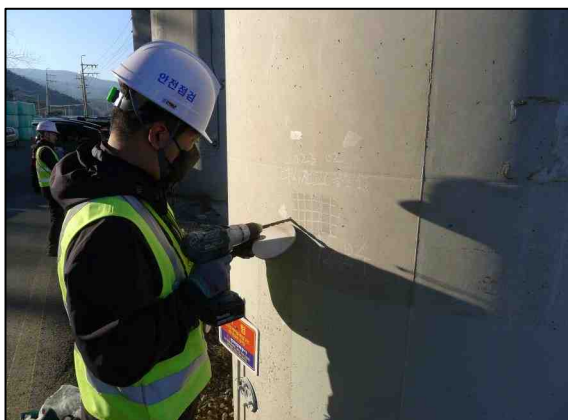
<사진 4.2.1> 염화물 시료채취 현황

4.2.3 탄산화 깊이

상부/하부에서 총 2~3개소를 측정 하도록 규정됨에 따라 3개소에서 측정하였으며, 각 부재별로 탄산화 깊이를 평가하여 1개 세부부재 내에서는 개별 평가등급 중 최저등급을 대상부재의 탄산화 깊이에 대한 평가등급으로 한다.

<표 4.2.6> 탄산화 깊이 평가

시험위치		탄산화 깊이(mm) (C)	공용년수 (t)	탄산화 속도계수 (A)	잔여피복 두께가 모두 탄산화 되는 시간 (td)	개별 평가등급	상태평가 등급
바닥판	S2	5.5	7	2.08	30년 초과	a	a
	S4	6.8	7	2.57	30년 초과	a	
교대	A2	8.3	7	3.14	30년 초과	a	a
교각	P2	7.4	7	2.80	30년 초과	a	a



a. 탄산화시험부 부재 천공



b. 탄산화시험부 변색확인

<사진 4.2.2> 탄산화시험 현황



c. 탄산화 시험부 깊이측정



d. 철근탐사 측정

<사진 4.2.2> 탄산화시험 현황(계속)

4.2.4 피복 콘크리트의 품질

<표 4.2.7> 피복(표면부) 콘크리트의 품질 평가

열화진전 평가 항목	부재 그룹명	세부 부재명		설계값 대비 강도추정값 (%)	비건전부/ 건전부 비율(%)	개별 평가등급		평가 결과
피복 콘크리트의 품질	상부	바닥판	S1	106	-	a	-	a
			S2	104	102	-	a	
			S3	105	-	a	-	a
			S4	103	-	a	-	a
	하부	교대	A1	110	-	a	-	a
			A2	109	-	a	-	a
		교각	P1	106	99.6	-	a	a
			P2	104	-	a	-	a
			P3	106	-	a	-	a



a. 표면요철제거



b. 반발경도시험 현황

<사진 4.2.3> 반발경도시험 현황

4.2.5 열화환경지표 평가

<표 4.2.8> 열화환경지표 평가

열화환경지표		측정값	등급
비래염분 염해환경	해안거리에 따른 비래염분 염해환경	남해안으로부터 1.5 km	a
제설제 염해환경 (강설횟수)		0.4 회	a
동해환경		동결융해 반복지수 0.4	a

- 염해환경(해안거리) : 당사천교(울산1)는 부산 기장군 기장읍에 위치하여 남해안에서 최단 이격거리를 적용
- 제설제(강설횟수) : 부산지역 최근 10년간(2012.11~2022.03)의 최심신적설 0mm이상인 일수의 평균값 적용
부산지역 최근 10년간(2013.01~2022.12)의 0℃ 이상 온도에서 상대습도 80%이상인 일수 평균값 적용
- 동해환경 : 부산지역 최근 10년간(2012.11~2022.03)의 일 최고기온, 일 최저기온, 강수량 자료를 바탕으로 동결융해 반복지수를 산정하여 활용

4.2.5 콘크리트 내구성능 평가

<표 4.2.9> 콘크리트의 내구성능 평가

부재 그룹	세부 부재명 (가중치, %)	항목별 평가결과				
		염화물 침투량	탄산화 깊이	피복 콘크리트의 품질	부재	비고
상부	바닥판 (54)	a	a	a	a	0.1
하부	교각/교대 (46)	a	a	a	a	0.1
		결함도 지수	$(0.1 \times 54 + 0.1 \times 46) / 100 = 0.100$			
		등급	A			

<표 4.2.10> 열화환경지표 평가

열화환경지표	평가 등급
제설제 염해환경	A
해안거리에 따른 비래염분 염해환경	A
동해환경	A

4.3 내구성능 평가 결과

강재 내구성능 및 콘크리트 내구성능의 평가결과에 본 교량의 해당형식에 따른 내구성능 가중치를 고려하여 내구성능 평가 결과는 다음과 같다.

<표 4.3.1> 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	-
		강합성 거더	2차부재 있음	0.65	0.35
			2차부재 없음	0.69	0.31

<표 4.3.2> 내구성능 평가 결과

구분	콘크리트 내구성능 평가결과	비고
결함도 지수	0.10	
가중치	1.00	
가중치를 고려한 결함도 지수	1.00	
내구성능 평가 등급	0.100	A

본 교량의 콘크리트 부재에 대한 내구성능 평가 결과 외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준인 “A(우수)”로 평가 되었다.

<표 4.3.3> 내구성능 등급

등급	내구성능 수준
A (우수)	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능수준
E (불량)	광범위한 부재에서 내구성능의 저하가 심각하게 진행되어 즉각 사용을 금지하고 보수 또는 교체가 필요한 성능수준