제5장 시설물의 내구성능 평가

5.1 개요

5.2 관련자료 분석 및 결과

5.3 내구성능 분석 및 결과

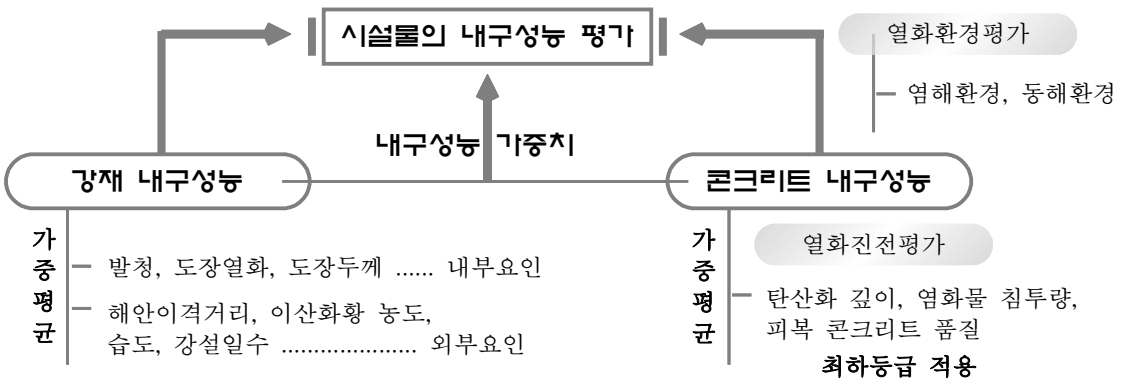
5.4 시설물의 내구성능 평가 결과

제5장 시설물의 내구성능 평가

5.1 개 요

시설물의 내구안전성능 평가는 시설물의 재료적 내구성능을 확인하기 위한 시험결과와 외부환경에 대한 내구성능 저하인자 등을 종합적으로 검토하는 것으로 구성 재료에 따라 강재 내구성능과 콘크리트 내구성능 평가로 구분되며 세부적인 방법 및 기준 등은「성능평가 세부지침」의 "1.5 내구성능 평가 기준 및 방법"을 준용하였다.

강 부재는 가중치를 고려한 평균값이, 콘크리트 부재는 최하등급과 가중평균이 혼용되어 평가되며 두 부재가 혼용된 부재에서는 구성 재료별 가중치를 적용하여 내구성능등급을 산정한다.



【그림 5-1】 시설물의 내구성능 평가 흐름도

【표 5-1】 내구성능 등급

구분	안전성능 수준
A (우수)	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능수준
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 성능수준
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 성능 수준

※ 안전성능, 내구성능, 사용성능 평가 결과 중 최소등급 ------→ 종합성능등급 결정

5.1.1 강재 내구성능 평가 방법

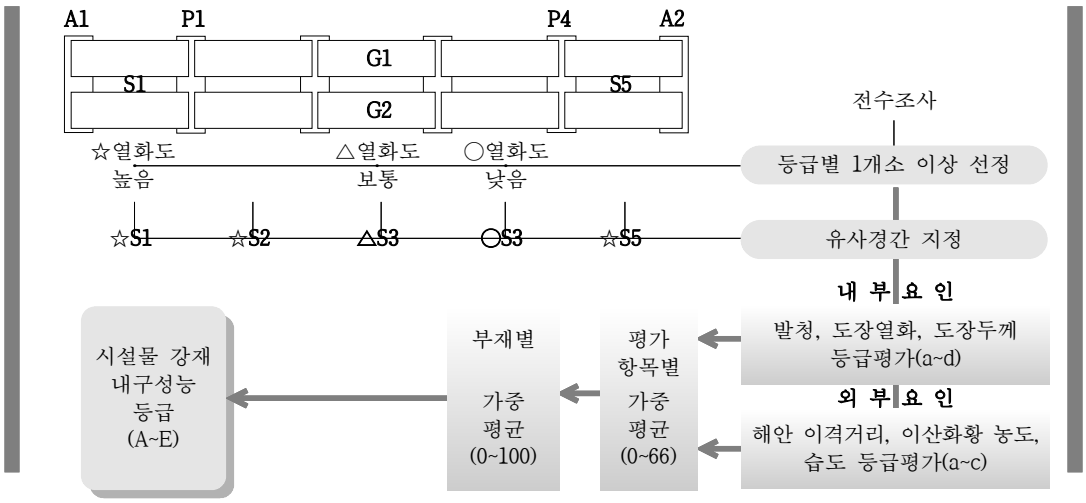
강재의 내구성능 평가는 항목별, 부재별 가중치에 따라 등급을 산정하며 평가 항목은 내부적 요소와 외부적 요소로 구분된다.

내부적 요소로는

- 발청
- 도장열화(박리, 균열, 부풂, 변색 • 백아화)
- 도장두께이며

외부적 요소로는

- 대기 환경(해안으로부터의 거리, 이산화 농도, 습도)과
- 강설일수로써 외부적 요소는 인터넷 포털사이트를 활용해야 한다.



【그림 5-2】 강재 내구성능 평가 흐름도

가. 현장조사 요령

1) 발청 및 도장열화에 대한 유사경간 지정

전수조사를 통하여 열화도가 낮음, 보통, 높음을 등급별 1개소 이상씩 선정한 후 이를 기준으로 유사경간(평가경간 포함)을 지정하되 전체 경간의 25% 또는 최소 3개 경간 이상을 만족시켜야 한다.

2) 대기환경

대기환경에 대한 항목은

- 해안 이격 거리에 따른 비래염분 농도(MDD, mg/100cm^2/day)
- 시골, 도시, 산업 해기(害氣)를 구분하는 대표적 부식인자인 이산화황 농도(ppm)
- 습도(0℃ 이상의 온도에서 상대습도가 80% 이상인 연간 젖음 시간, day) 등과

같은 대기조건이 복합적으로 작용하는 환경에서 강의 부식 속도등급에 근거하여 산정하고 이러한 자료는 인터넷 포털사이트에서 수집한다.

【표 5-2】 대기환경 평가 기초 자료

구 분	수집자료	비 고
대기환경의 평가기준	해안이격 거리에 따른 해안별 비래염분량(MDD, mg/100cm^2/day)	-
에어코리아(http://www.airkorea.or.kr/)	이산화황 농도(ppm)	10년 치 평균
인터넷 지도	해안이격 거리(최단거리, m)	-
기상자료개방포털(http://data.kma.go.kr)	습도(연간 젖음 시간, day) 강설 횟수(제설제 살포 빈도) 염해환경, 동해환경	회원가입 要 10년 치 평균

※ 대기환경의 평가기준: 성능평가 세부지침 1-104 페이지 참조
※ 염해환경의 강설 일수는 최심신적설(일 강설 중 최대로 깊었던 적설양)일로 한다.
※ 동해환경의 X= 동결융해 반복지수이다.

나. 강재 내구성능 평가 요령

1) 평가 항목별 가중 평균

발청 및 도장열화, 도막두께, 대기환경, 강설 횟수 등 평가 항목별 세부지표 등급에 따른 평점의 합인 평가점수로 등급(a~d)을 산정하고 등급에 따른 점수에 항목별 가중치(0~66)를 곱하여 평가 항목별 가중 평균 평점을 산출한다.

2) 부재별 가중 평균

평가 항목별 가중 평균한 평점에 다시 부재별 가중치(0~100)를 곱하여 부재별 가중 평균 평점을 산출한다.

3) 강재 내구성능 등급

부재별 가중 평균 평점의 합으로 강재 내구성 등급(A~E)을 평가한다.

【표 5-3】 평가 등급에 따른 결함도 지수

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0.10	0.20	0.40	0.70	1.00

【표 5-4】 등급 산정을 위한 결함도 지수 범위

기준	A	B	C	D	E
결함도 범위	$0 \le X < 0.13$	$0.13 \le X < 0.26$	$0.26 \le X < 0.49$	$0.49 \le X < 0.79$	$0.79 \le X$

세부 내용은 성능평가 세부지침 1-100~1-114페이지 내용을 따른다.

5.1.2 콘크리트 내구성능 평가 방법

콘크리트 내구성능 평가 항목은 크게 열화진전 평가와 열화환경 평가로 구분되며 독립적으로 실시하고 열화환경 평가는 유지관리 시 참고자료로만 활용할 뿐 종합등급 산정에는 활용하지 않는다.

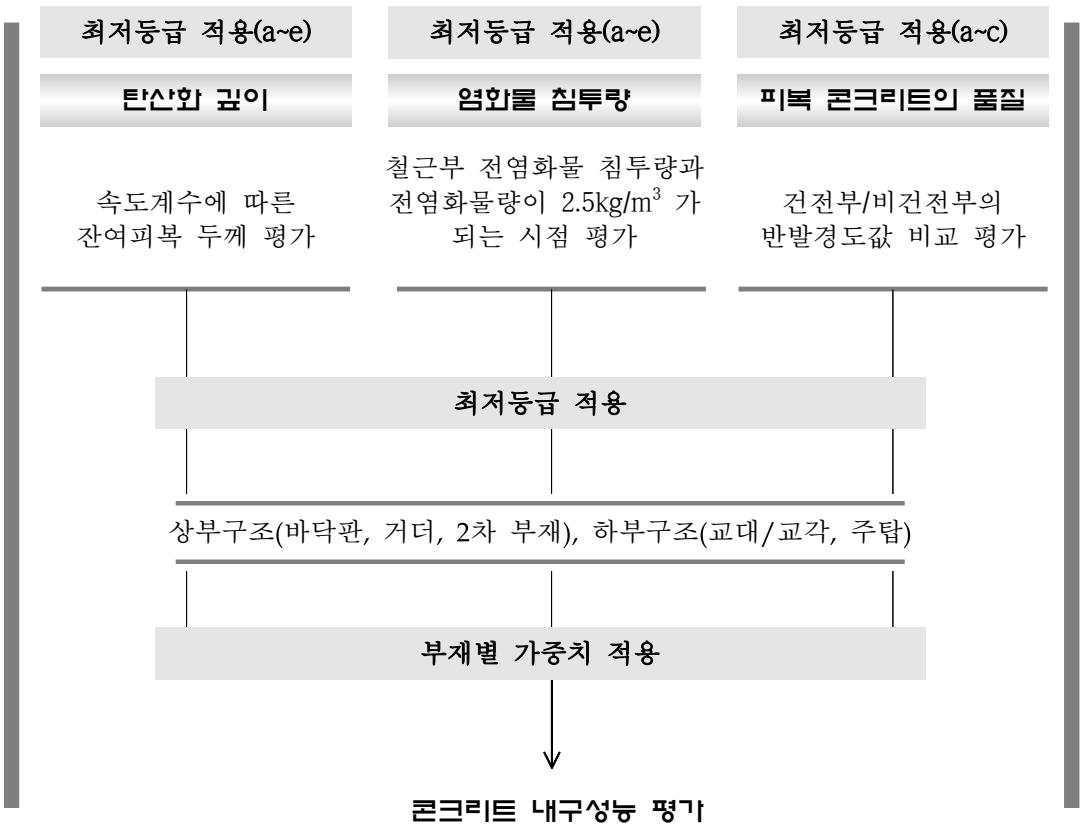
열화진전 평가(a~e)로는

- 탄산화 깊이
- 염화물 침투량
- 피복 콘크리트 품질이며

열화환경 평가(a~c)로는

- 염해환경(제설제, 비래염분)과
- 동해환경(동결융해)이 있다.

염해, 동해환경에 따른 열화환경 평가 결과는 유지관리 시 참고 자료로만 활용



【그림 5-3】 콘크리트 내구성능 평가 흐름도

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

【표 5-5】 평가 등급에 따른 결함도 지수

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0.10	0.20	0.40	0.70	1.00

【표 5-6】 등급 산정을 위한 결함도 지수 범위

기준	A	B	C	D	E
결함도 범위	0≤X<0.13	0.13≤X<0.26	0.26≤X<0.49	0.49≤X<0.79	0.79≤X

세부 내용은 성능평가 세부지침 1-110페이지 내용을 따른다.

가. 열화진전 평가 항목

콘크리트 내구성능 평가에 필요한 열화진전 평가 항목과 수량은 KS기준에 따라 현장에서 수집하여 필요 시 품질시험공인기관에 의뢰, 기초 데이터를 확보한 후 “성능평가 세부지침” 1-115~1-128페이지의 세부 내용에 따라 평가한다.

1) 탄산화 깊이 측정 ---------- KS F 2596

전동공구로 콘크리트를 국부 천공, 페놀프탈레인 1%용액을 이용하여 탄산화 깊이를 측정한 후 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T를 구하는 시간적 개념이 적용된 평가 기준(a~e)을 적용한다.

2) 염화물 침투량 ---------- KS F 2713, 2714, 2717:2013

코어장비를 이용하여 상, 하부 최소 1개소씩 철근 깊이까지 코어를 채취한 후 품질시험 공인기관에 의뢰, 깊이별(0~15mm, 15~30mm.....)전염화물 함유량을 측정한 후

- 철근부까지 전염화물 침투량 2.5kg/m^3가 되는 시점(5~30년)과
- 철근부 전염화물 침투량(0.3~2.5kg/m^3)을 평가 하여 최젓값을 적용한다.

3) 피복(표면부) 콘크리트의 품질 --- KS F 2730:2008

초기 시공불량의 경우, 피복(표면부) 콘크리트에 전반적인 내구성능 저하가 나타날 수 도 있으며, 공용 중의 동해에 의한 품질저하 등과 같은 열화요인에 의하여 국부적으로 나타나는 경우가 있으므로 이를 평가하기 위하여

- 반발 경도법을 이용하여 설계 강도 값과의 비교 평가
- 건전부/비건전부의 상대적인 비교 평가를 통하여 산술평균한 값을 피복(표면부) 콘크리트의 품질로 평가한다.

나. 열화환경 평가 항목

유지관리 시 참고자료로만 활용하는 열화환경 평가 항목은 제설제(강설일수)에 의한 염해환경과 비래염분에 의한 염해 및 동결융해 반복에 의한 동해환경으로 구분되며 이러한 항목을 평가하기 위한 해안까지의 최단 거리나 강설 횟수 등의 기초 자료는 [표 5-11] 대기환경 평가 기초자료의 인터넷 포털사이트에서 수집한다.

1) 염해환경(a~c)

해안에서 이격거리와 제설제(강설일수)의 영향에 따른 평가로서 해안까지의 최단거리 중 해안선은 만조 때를 기준으로 하며 강설 자료의 기상관측소는 대상시설물에서 가장 가까운 관측소로 한다.

2) 동해환경(a~c)

평가기준이 되는 동결융해 반복지수(X)는 ① 수분과 지속적으로 접하지 않는 일반부재의 경우와 ② 수분과 지속적으로 접하는 부재의 경우로 구분된다.

- ①의 경우 X= (일 최저기온<-2.2℃) & (일 최고기온>0℃ & (강수량>0)인 연평균 일 수
- ②의 경우 X= (일 최저기온<-2.2℃) & (일 최고기온>0℃)인 연평균 일 수

5.2 관련자료 분석 및 결과

내구성능 평가를 위한 시설물의 개요와 기존자료, 현장조사 자료 등 관련 자료의 분석 내용과 결과를 요약하였다.

5.2.1 시설물의 기본자료

설계 도서를 이용하여 대상시설물의 위치, 공용 년 수, 재료의 강도 등 내구성능 평가를 위한 내구성능 평가를 위한 기본 자료를 정리하였다.

가. 시설물 개요

【표 5-7】 대상 시설물 현황 및 개요

<table>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>장암교</td><td>관리주체</td><td colspan="2">공주시청</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월일</td><td>1995년 12월 30일</td><td>시설물번호</td><td colspan="2">BR1995-0000209</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물종류</td><td>도로교량</td><td>시설물종별</td><td colspan="2">1종</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">충청남도 공주시 석장리동</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB-24/DL-24</td><td>노선명</td><td colspan="2">국도 32호선</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L = 5@50+30 / 40+4@50+40 = 280.0m(6경간)</td></tr>
<tr><td>교폭</td><td colspan="4">B = 18.0m(왕복 4차선)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조형식</td><td>상부</td><td>강박스거더교(STB)</td><td rowspan="2">기초형식</td><td>교대</td><td>직접기초</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교대 : 역T형, 교각 : π형</td><td>교각</td><td>강관파일기초(P1~P4)
직접기초(P5)</td></tr>
<tr><td colspan="2">신축이음</td><td>A1 : 굴절형 조인트
A2 : Finger Type Joint</td><td>교량받침</td><td colspan="2">포트받침</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>석장리길 횡단</td><td>통과높이</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설</td><td colspan="4">통신관로</td></tr>
</table>

※ 설계도서에서 발췌 및 현장확인

5.2.2 열화진전 항목 자료

열화진전 항목자료는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복 콘크리트의 품질로서 현장에서 열화조사·시험, 시료채취 후 품질시험공인기관에 의뢰하여 확보한 결과이다.

가. 염화물 침투량

내구성능 평가에 있어 염화물에 대한 평가는 염화물이 철근부식에 미치는 영향 정도를 파악하는 시험으로서 염화물 양에 대한 것과 전염화물 침투량이 2.5kg/m^{3}가 되는 시점에 대한 것 중 최솟값을 적용하며 현장에서 채취한 분말시료를 공인품질시험 기관에 의뢰함으로 전염화물량을 확보하고 시험방법은 “KS F 2713-경화된 콘크리트의 염화물 함유량 측정 방법“에 따른다.

【표 5-8】 깊이별 전염화물 침투량 시험결과

구 분	깊이별 염화물 침투량(kg/m^3)				
	0~15mm	15~30mm	30~45mm	45~60mm	60~75mm
바닥판 S6	6.778	5.621	4.243	3.711	2.173
교대 A2	7.755	5.848	5.606	5.413	-

※ 부록참조

나. 탄산화 깊이

콘크리트의 탄산화 깊이는 탄산화에 따른 철근부식의 영향 정도를 파악하는 시험으로서 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여 피복두께가 모두 탄산화 되는 시간(30년 초과~5년 이하)을 산출, 평가하며 “KS F 2596-콘크리트 탄산화 깊이 측정 방법“에 따라 실시하였다.

【표 5-9】 콘크리트 탄산화 깊이 측정결과(단위:mm)

위치	탄산화깊이(mm)	실측 피복두께(mm)	잔여 피복두께(mm)
S1 우측 캔틸레버	14.0	83.0	69.0
S3 우측 캔틸레버	11.0	67.0	56.0
S6 좌측 캔틸레버	5.2	75.0	69.8
S6 좌측 캔틸레버(비건전)	8.2	72.0	63.8
A2 교대 구체	5.5	72.0	66.5
A2 교대 구체(비건전)	7.0	57.0	50.0
P3 교각 기둥	8.3	75.0	66.7
P5 교각 기둥	12.1	130.0	117.9
P5 교각 기둥(비건전)	12.3	133.0	120.7

※ 부록참조

다. 피복(표면부)콘크리트의 품질

“KS F 2730:2008-압축강도 추정을 위한 반발 경도 시험방법”을 이용하여 콘크리트 비파괴 강도를 산출하였다. 상, 하부구조에서 성능평가 세부지침에 따라 초기 내구성저하와 동해에 따른 품질저하를 고려하여 건전부와 상대적으로 표면이 다소 불량한 비건전부를 구분하여 측정하였다.

【표 5-10】 콘크리트 비파괴 강도결과(단위:MPa)

구 분	건전부	비 건전부	설계강도
바닥판	29.3(S1-우)	28.3(S1-우)	27
	30.1(S2-우)	27.8(S2-우)	27
	27.7(S3-우)	27.5(S3-우)	27
	28.3(S4-우)	27.5(S4-우)	27
	27.7(S5-우)	27.5(S5-우)	27
	30.8(S6-좌)	29.1(S6-좌)	27
교대	27.2(A2)	26.6(A2)	21
교각	29.4(P1)	27.4(P1)	24
	29.9(P2)	29.8(P2)	24
	30.7(P3)	29.7(P3)	24
	29.3(P4)	27.5(P4)	24
	30.7(P5)	29.8(P5)	24

5.2.3 열화환경 항목 자료

열화환경 항목자료는 염해환경과 동해환경으로서 인터넷 포털사이트의 지도와 기상자료개방포털(http://data.kma.go.kr)사이트를 이용하여 확보하였다.

가. 염해환경

대상시설물이 위치한 곳에서 해안선(동, 서, 남해안)까지의 최단거리로 평가하는 염해환경과 강설일 수에 따른 제설제의 염해환경 평가에 필요한 자료는 인터넷 포털사이트의 지도와 기상자료개방포털(http://data.kma.go.kr)사이트를 이용하였다.

1) 해안선까지의 최단거리 .. 57,600m(충청남도 공주시 석장리동 → 서해안)

【그림 5-4】 해안으로부터 최단거리(서해안)

2) 강설일수 15.4일

【표 5-11】 일 최심신적설(10년 평균)

구 분	2010 ~ 2019(일)										10년 평균(일)
기상관측소 "대전(133)"	22	13	22	17	16	7	15	15	17	0	15.4
※ http://data.kma.go.kr 로그인 ☞ 데이터 ☞ 기상관측 ☞ 종관기상관측 ☞ 자료조회 자료형태→ 일자료, 기간→ 월단위, 지점→ 해당 지역 설정, 요소→ 일 최심신적설 ☞ 조회 및 다운로드											

해안거리와 제설제의 영향에 따른 염해환경평가는 "성능평가 세부지침"

- 1-119페이지 "[표 1.103] 염해환경의 평가기준(해안거리)" 과

- "[표 1.104] 염해환경의 평가기준(제설제)" 를 적용하였으며 열화환경 평가 등급은 아래와 같다.

【표 5-12】 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	-

나. 동해환경

기상자료개방포털(http://data.kma.go.kr)사이트를 이용하여

- 동절기의 일 최고기온과
- 일 최저기온
- 강수량 관측 자료를 가지고

아래 방법에 따라 동결융해반복지수 “X” 값을 산출한다.

http://data.kma.go.kr 로그인 ☞ 데이터 ☞ 기상관측 ☞ 종관기상관측 ☞ 자료조회
자료형태→ 일자료, 기간→ 월단위, 지점→ 해당 지역 설정, 요소→ 최고, 최저기온, 일강수량, ☞ 다운로드

• 동결융해반복지수(X) 계산식
① 수분과 지속적으로 접하지 않는 일반 부재의 경우
X= (일 최저기온<-2.2℃) & (일 최고기온>0℃ & (강수량>0)인 연평균 일 수
② 수분과 지속적으로 접하는 부재의 경우
X= (일 최저기온<-2.2℃) & (일 최고기온>0℃)인 연평균 일 수

※ 최근 10년 간 동절기간의 일 최고, 최저, 강수량으로 산출
※ 동절기간은 11월 1일 ~ 3월 31일

다만, 본 용역에서는 아래표와 같이 “성능평가 세부지침” 105~107페이지에 수록되어 있다.

【표 5-13】 동결융해반복지수(X)

구 분	주 소	지점번호	동결융해 반복지수(회/연평균): X	
			일반부재 (수분 미 접촉)	취약부재 (수분 접촉)
기상관측소 “대전지점”	충청남도 공주시 신관동	133	11.4	61.3

5.3 내구성능 분석 및 결과

5.3.1 콘크리트 내구성능 평가 및 분석 결과

대상시설물은 상, 하부구조 모두 콘크리트로 구성된 교량으로서 콘크리트 내구성능 분석만을 실시하였으며 콘크리트의 내구성능 평가는 전술한 바와 같이

- 탄산화, 염화물, 콘크리트 품질에 따른 열화진전 평가와
- 염해환경, 동해환경에 따른 열화환경 평가로 구분되며 평가, 분석 결과 a~e로 나타났다.

가. 염화물 침투량 평가 결과

염화물 침투량 평가는

① 철근부의 전염화물량에 의한 것과

② 염화물 확산계수를 이용, 철근부에서 전염화물량이 2.5kg/m^{3}가 되는 시점을 평가하여 낮은 등급을 대표로 하며, 염화물화물 확산계수 산정 방법은 "성능평가 세부지침" 100~102페이지에 수록되어있는 "2.6.3 염화물 침투량 측정"을 활용하여 1-116페이지 "[표 1.99] 염화물 침투량 평가등급"을 가지고 평가하였다.

평가 결과 a~b로 나타났다.

• 염화물 확산계수 공식

$$C_d - C_i = (C_S - C_i)(1 - erf(\frac{x}{2 \times \sqrt[2]{D_d \cdot t}}))$$

여기서, C_d : 깊이 x(cm), 시간 t년에서 염소이온 농도(kg/m^3)
C_i : 초기 염소이온 농도(kg/m^3)
C_s : 표면 염소이온 농도(kg/m^3)
erf : 오차함수, $erf(s)=\frac{2}{\pi^{1/2}}\int_0^s e^{-\lambda^2}d\lambda$
D_d : 염소이온의 유효확산계수(cm^2/년)

【표 5-14】 해상부에 놓인 콘크리트 구조물의 해수접촉 부위별 표면염화물 이온 농도 제안 값

해안구분	해수접촉 부위	표면염화물 이온농도(kg/m^3)
서, 남해안 (동해안)	간만대	18.0(13.0)
	물보라 지역	7.5(13.0)
	해상대기중	5.0(7.0)

【표 5-15】 해안 지역에서의 표면염화물 이온 농도 제안 값

해안구분	해안선에서 거리(m)	표면염화물 이온농도(kg/m^3)
서, 남해안 (동해안)	해안선 부근	5.0(7.0)
	100	2.0(4.5)
	250	1.5(3.0)
	(500, 1000)	(2.5, 1.5)

【표 5-16】 염화물 침투량 평가 결과

① 철근부의 전염화물량에 의한 평가

세부 부재명	깊이별 염화물 침투량(kg/m^3)					평가결과
	0~15mm	15~30mm	30~45mm	45~60mm	60~75mm	
바닥판 S6	6.778	5.621	4.243	3.711	2.173	e
교대 A2	7.755	5.848	5.606	5.413	-	e

※바닥판하면 S6 및 교대 A2 측정위치가 구조물의 상부 차수판 탈락, 상·하행 신축이음 연결부 누수로 인한 우천 시 우수 유입 및 겨울철 제설재의 영향으로 d등급으로 평가되었으나, 그 외 콘크리트 내구성평가 시험 결과가 a~b로 평가되었으며, 해안선까지의 최단거리가 57,600m인 것을 고려할 때 구조물의 콘크리트 상태는 양호한 상태인 것으로 판단된다.

② 철근부에서 전염화물량이 2.5kg/m^{3}가 되는 시점 평가

세부 부재명	깊이별 염화물 확산계수(cm^2/year)					평가결과
	0~15mm	15~30mm	30~45mm	45~60mm	60~75mm	
바닥판 S6	0.255	2.176	2.866	65.533	65.533	e
교대 A2	0.255	1.031	65.533	65.533	-	e

①+② 중 최저 등급적용

세부 부재명	염화물 침투량 평가 등급		평가결과
	①	②	
바닥판 S1	e	e	e
교대 A2	e	e	e

나. 탄산화 깊이 평가 결과

콘크리트 탄산화 깊이 평가는 “탄산화속도는 경과시간(t)의 평방근에 비례 한다”는 $\sqrt{t}$법의 속도계수(A)에 따라 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간(년)으로 평가하며, 산정 방법은 “성능평가 세부지침” 1-117페이지에 수록되어있는 “2.6.4 탄산화속도계수 산정”절의 내용을 적용하여 1-117페이지 “[표 1.100] 탄산화 깊이에 따른 평가기준”을 가지고 평가하였다.

평가결과 전 개소에서 30년 이상 초과하는 a 등급으로 나타나 현재 탄산화에 의한 내구성 저하는 미미할 것으로 판단된다.

• 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간(T, 년)

$$\text{탄산화속도계수 } A = \frac{D}{\sqrt{t}}$$

$$T = \left[\frac{\text{설계(실측)피복두께}}{\text{탄산화속도계수}}\right]^2 - t$$

여기서, D : 탄산화 깊이(mm)
t : 공용 년 수(년)

【표 5-17】 콘크리트 탄산화 깊이 평가결과

구 분		탄산화 깊이(mm)	탄산화 속도계수	잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간(년)	개별 평가등급	평가 결과
바닥판	S1 우측 캔틸레버	14.0	2.80	854	a	a
	S3 우측 캔틸레버	11.0	2.20	902	a	
	S6 좌측 캔틸레버	5.2	1.04	5,176	a	
	S6 좌측 캔틸레버(비건전)	8.2	1.64	1,902	a	
교대 및 교각	A2 교대 구체	5.5	1.10	4,259	a	a
	A2 교대 구체(비건전)	7.0	1.40	1,633	a	
	P3 교각 기둥	8.3	1.66	2,016	a	
	P5 교각 기둥	12.1	2.42	2,861	a	
	P5 교각 기둥(비건전)	12.3	2.46	2,898	a	

※ [표 5-9] 콘크리트 탄산화 깊이 측정결과 참조

다. 피복(표면부)콘크리트의 품질 평가 결과

피복 콘크리트의 품질 평가는 초기 시공불량의 경우와 공용 중 품질저하의 경우를 평가하고자 당초 설계기준압축강도의 비교와 건전부/비건전부의 비교 내용으로 평가하였으며 평가 방법은 “성능평가 세부지침” 1-117페이지 “[표 1.101] 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준”과 1-118페이지 “[표 1.102] 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준”을 적용하였다.

평가결과 상부구조 및 하부구조의 최소 등급이 b 등급으로 나타났다. b등급의 경우 비건전부의 강도가 설계강도를 상회하고 있으므로 강도저하에 따른 내구성 저하는 미미할 것으로 판단된다.(건전부의 강도가 큰 경우 ②의 등급이 낮게나오게됨.)

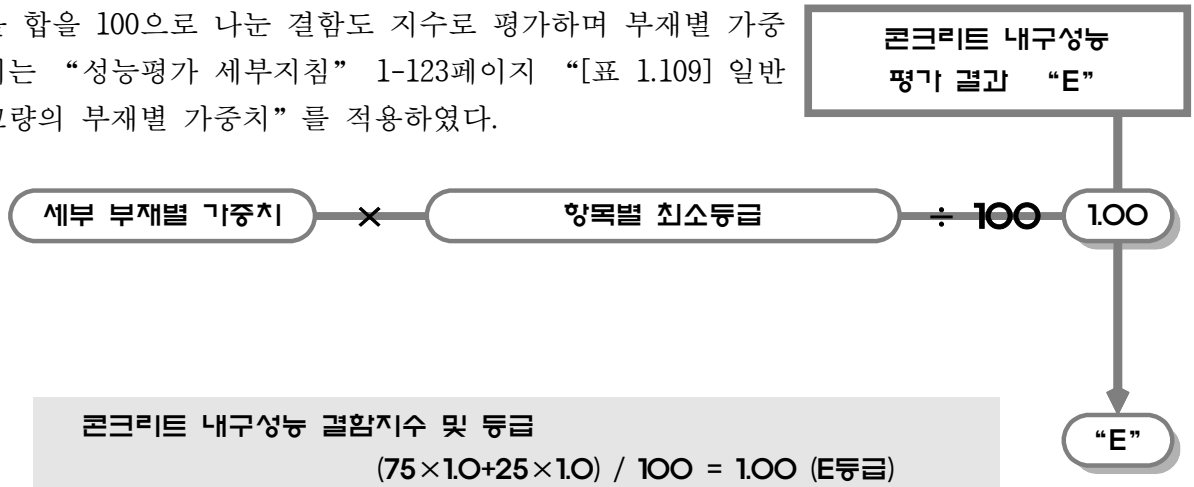
【표 5-18】 콘크리트 품질 평가결과(단위:MPa)

구 분	① 측정강도/설계강도 (%)	② 비건전부/건전부 (%)	개별평가 등급		평가결과
			①	②	
바닥판	100%이상(S1-우)	96.6	a	a	b
	100%이상(S2-우)	92.4	a	a	
	100%이상(S3-우)	99.3	a	a	
	100%이상(S4-우)	97.2	a	a	
	100%이상(S5-우)	99.3	a	a	
	100%이상(S6-좌)	94.5	a	b	
교대	100%이상(A2)	97.8	a	a	a
교각	100%이상(P1)	93.2	a	b	b
	100%이상(P2)	99.7	a	a	
	100%이상(P3)	96.7	a	a	
	100%이상(P4)	93.9	a	b	
	100%이상(P5)	97.1	a	a	

※ [표 5-10] 콘크리트 비파괴 강도결과 참조

5.3.2 콘크리트 내구성능 평가 결과

콘크리트 내구성능 평가는 항목별 최젓값으로 평가한 결과에 부재별 가중치를 곱한 값을 합을 100으로 나눈 결함도 지수로 평가하며 부재별 가중치는 “성능평가 세부지침” 1-123페이지 “[표 1.109] 일반 교량의 부재별 가중치”를 적용하였다.



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

(성능평가 세부지침 1-123 내용)

콘크리트 내구성능 평가

부재 그룹	세부 부재 가중치	항목별 평가				
		염화물 침투량	탄산화 깊이	콘크리트 품질	부재 등급	점수
상부	바닥판 (33)	e	a	b	e	1.0
	거더 (35)	-	-	-	-	-
	2차 부재 (7)	-	-	-	-	-
하부	교대/교각 (25)	e	a	b	e	1.0
결함도 지수		평가가 수행되지 않은 부재의 가중치를 균등 배분 33, 35, 7, 25 → 75(바닥판), 25(교대/교각) (75×1.0+25×1.0) / 100 = 1.000				
등 급		E				

※바닥판하면 S6 및 교대 A2 측정위치가 구조물의 상부 차수판 탈락, 상·하행 신축이음 연결부 누수로 인한 우천 시 우수 유입 및 겨울철 제설재의 영향으로 d등급으로 평가되었으나, 그 외 콘크리트 내구성평가 시험 결과가 a~b로 평가되었으며, 해안선까지의 최단거리가 57,600m인 것을 고려할 때 구조물의 콘크리트 상태는 양호한 상태인 것으로 판단된다.

유지관리 시 참고자료로 활용할 수 있도록

- 염해환경(제설제, 비래염분)과

- 동해환경(동결융해)에 대한 열화환경 평가 결과를 “성능평가 세부지침” 1-119~1-121 페이지에 따라 평가하였으며 종합등급 산정에는 활용하지 않는다.

【표 5-19】 열화환경 지표의 평가

열화환경지표		평가등급
제설제 염해환경		강설일수가 3일, 강설일수<7 이므로 ... c
비례염분 염해환경	해안거리에 따른 비례염분 염해환경	서해안에서 1000m이상 이격되어 ... a
동해환경		수분 접촉 X가 61.3 , 50≤X 이므로 ... c

5.3.3 강재 내구성능 평가 및 분석 결과

강재의 내구성능 평가는 전술한 바와 같이

내부적 요소의

- 발청
- 도장열화(박리, 균열, 부풂, 변색・백아화)
- 도장두께와

외부적 요소의

- 대기 환경(해안으로부터의 거리, 이산화 농도, 습도)
- 강설일수로 구분된다.

가. 내부적 요소 평가 결과

내부적 요소인 발청과 도장열화(박리, 균열, 부풂, 변색) 및 도장두께의 평가는 “성능평가 세부지침” 1-54~1-56페이지 내용과 “1.5.2 강재 내구성능 평가 기준 및 방법”을 가지고 평가한 결과 a~d로 나타났다.

1) 발청 및 도장열화 평가 결과

대상 시설물은 총 연장 280m의 6경간 교량(STB)이며, 거더 6경간 중 6경간에 손상이 조사되어 낮음 4경간, 보통 2경간, 높음 1경간으로 평가하였다.

유사경간 = 4개(낮음) 2개(보통), 1개(높음)

【표 5-20】 거더의 발청 조사 결과

조사경간	발청 발생 부분	열화수준	발청 면적 (m^2)	발청 면적율 (%)	유사 경간 개수	발청 면적율 평균(%)	등급	평점
S6	거더 내부	높음	5.50	0.0397	1	0.0108	a	5
S2	거더 외부	보통	1.64	0.0118	2			
S4	거더 외부	낮음	0.04	0.0003	4			

- 부재면적 = 거더 내, 외부 면적 = {((1.5+3.0)/2×2+2.5)+((1.5+3.0)/2×2+2.5×2)}×280.0×3 = 13,860m^2
- 발청 면적율 평균 = [Σ(조사경간 발청 면적율 × 유사경간 개수)] / 전체 경간수
  = [(0.0397 × 1) + (0.0118 × 2) + (0.0003 × 4)] / 6
  ≒ 0.0108%

【표 5-21】 2차부재의 발청 조사 결과

조사경간	발청 발생 부분	열화수준	발청 면적 (m^2)	발청 면적율 (%)	유사 경간 개수	발청 면적율 평균(%)	등급	평점
S1	가로보	낮음	0	0	5	0.0108	a	5
S6	가로보	보통	2.10	0.077	1		b	10

- 부재면적 = 가로보 면적 = (1.2×5.0×2)×228 = 2,736m^2
- 발청 면적율 평균 = [Σ(조사경간 발청 면적율 × 유사경간 개수)] / 전체 경간수
  = (0.077 × 1) / 6
  ≒ 0.012%

【표 5-22】 바닥판의 발청 조사 결과

조사경간	발청 발생 부분	열화수준	발청 면적 (m^2)	발청 면적율 (%)	유사 경간 개수	발청 면적율 평균(%)	등급	평점
S1	데크플레이트	낮음	0	0	2	0.0007	a	5
S5	데크플레이트	보통	0.12	0.004	4		a	5

- 부재면적 = 데크플레이트 면적 = $(2.5\times5.0)\times224 = 2{,}800m^2$
- 발청 면적율 평균 = [Σ(조사경간 발청 면적율 × 유사경간 개수)] / 전체 경간수
  = (0.004 × 1) / 6
  ≒ 0.0007%

【표 5-23】 거더의 도장박리 조사 결과

조사경간	도장박리 발생 부분	열화수준	도장박리 면적 (m^2)	도장박리 면적율 (%)	유사 경간 개수	도장박리 면적율평균(%)	등급	평점
S5	거더 내부	보통	1.46	0.0105	2	0.0093	a	2
S6	거더 내부	높음	4.76	0.0343	1			
S2	거더 외부	낮음	0.04	0.0003	3			

- 부재면적 = 거더 내, 외부 면적 = $\{((1.5+3.0)/2*2+2.5)+((1.5+3.0)/2*2+2.5*2)\}\times280.0\times3 = 13{,}860m^2$
- 도장박리 면적율 평균 = [Σ(조사경간 도장박리 면적율 × 유사경간 개수)] / 전체 경간수
  = [(0.0105 × 2) + (0.0343 × 1) + (0.0003 × 3)] / 6
  ≒ 0.0093%

균열, 부품, 변색 등에 대한 도장열화와는 기존 보고서 검토결과, 조사되지 않은 양호한 상태이다. 평가 결과 거더의 발청 및 도장열화는 “부식 및 도장열화로 인한 내구성능 저하를 무시할 수준의 단계”인 a 등급으로 평가되었다.

【표 5-24】 거더의 발청 및 도장열화 산정결과

거 더						
평가지표	**발청**	**박리**	**균열**	**부풂**	**변색/백아화**	**평가점수**
등급	a	a	a	a	a	12
점수	10	2	0	0	0	
발청 및 열화등급				종합점수 범위 13미만 --- a		

※ 성능평가 세부지침 1-105페이지 [표 1.79] 발청 및 도장열화 종합평가 등급분류 기준 참조

2) 도장두께 평가 결과

대상 시설물은 6경간의 STB교량(3개 거더)으로 거더 내부에서 3경간, 5Poinr씩 12개소, 외부에서 3경간, 5Point씩 9개소, 2차 부재 1개소에 대한 도장두께 실시하였다.

도로공사 표준시방서에서 확인한 거더와 2차부재의 내부 도장두께가 150㎛, 외부 도장두께가 195㎛임을 감안할 때 허용두께 범위는 내부 120~180㎛, 외부 156~234㎛이고, 평가 경과 불만족 비율이 66.7%로 조사되어 c등급으로 평가되었다.

【표 5-25】 도장두께 산정결과

거더 및 2차부재												
조사경간	거더번호	기준(㎛)	측정 도장두께(㎛)						평균(㎛)	불만족 비율	판정
S1	G2-외부	외부 195 (156~234)	1개소	223	250	227	271	271	249.7 (불만족)	35.6%	불만족 c 등급
			2개소	252	248	260	254	239			
			3개소	247	249	262	247	246			
S4	G3-외부		1개소	222	234	224	226	242	227.2 (만족)		
			2개소	235	245	229	224	231			
			3개소	215	222	223	219	218			
S6	G1-외부		1개소	217	215	215	221	223	221.1 (만족)		
			2개소	232	234	229	223	228			
			3개소	215	213	211	209	234			
S1	G2-내부	내부 150 (120~180)	1개소	245	229	215	221	215	226.4 (불만족)	100%	불만족 d 등급
			2개소	222	223	229	223	234			
			3개소	235	245	217	215	213			
			4개소	215	222	232	234	245			
S4	G3-내부		1개소	215	222	210	214	219	210.4 (불만족)		
			2개소	208	201	198	211	210			
			3개소	201	206	211	215	201			
			4개소	219	215	216	211	206			
S6	G1-내부		1개소	208	206	206	213	211	214.2 (불만족)		
			2개소	211	210	208	201	198			
			3개소	214	235	245	206	211			
			4개소	211	215	222	222	232			
S4	2차부재	외부 195 (156~234)	1개소	222	234	224	226	242	230.0 (만족)	20.0%	불만족 b 등급
			2개소	215	215	247	249	245			
			3개소	234	229	222	234	222			

- 거더 도장두께 불만족 비율
  = (불만족 거더 개수) / (조사대상 거더 개수) × 100
  = (4 / 6) × 100 = 66.7% ---------- c등급
- 2차부재 도장두께 불만족 비율
  = (미달 2차부재 개수) / (조사 대상 2차부재 개수) × 100
  = (0 / 3) × 100 = 0.0% ---------- b등급

도장 기준 내부 150㎛ --- 허용 범위 120~180㎛

도장 기준 외부 195㎛ --- 허용 범위 156~234㎛

※ 기준(㎛)의 ()의 숫자는 만족범위, 기준의 80%~120%의 범위이다.

나. 외부적 요소 평가 결과

외부적 요소인 대기환경과 강설횟수 평가는 “성능평가 세부지침” 1-56~1-57페이지 내용과 “1.5.2 강재 내구성능 평가 기준 및 방법”을 가지고 평가한 결과 a~b로 나타났다.

1) 대기환경 평가 결과

대기환경의 평가는

① 해안 이격거리

② 이산화황 농도

③ 습도의 3가지 대기조건을 따라 강재의 등급을 평가하며, “성능평가 세부지침” 103페이지에 수록되어있는 “3.1 대기환경”절의 방법을 적용하여 1-105페이지 “대기환경의 평가기준”을 가지고 평가하였다. 평가 결과 a~c로 나타났다.

대기환경의 평가 결과 해안 이격거리57,600m, 이산화황 농도 0.003(ppm), 습도(연간젖음시간:상대습도 80%이상 일) 15.1(일)으로 a등급으로 나타났고, 등급산정은 아래 표와 같다.

연간 젖음 시간 (일)	해안 이격 거리 (m) / 이산 화황 (ppm)	동해안	서해안		남해안		동해안	서해안		남해안		동해안	서해안		남해안	
		전지역	고창·태안	그외 지역	사천·거제	그외 지역	전지역	고창·태안	그외 지역	사천·거제	그외 지역	전지역	고창·태안	그외 지역	사천·거제	그외 지역
		500 초과	1000 초과	300 초과	120 초과	20 초과	250 초과 ~ 500 이하	500 초과 ~ 1000 이하	120 초과 ~ 100 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
		MDD ≤ 1.5					1.5 < MDD ≤ 2.0					2.0 < MDD ≤ 비말대				
100초과	0.01 이하	a					b					c				
	0.01 초과 0.02 이하	b					b					c				
	0.02 초과	c					c					c				
10 이상 ~ 100이하	0.01 이하	a					b					b				
	0.01 초과 0.02 이하	b					b					c				
	0.02 초과	b					c					c				
10 미만	0.01 이하	a					a					b				
	0.01 초과 0.02 이하															
	0.02 초과															

※ 해안 이격거리는 【그림 5-4】 해안으로부터 최단거리 참조

※ 이산화황 농도는 에어코리아(http://www.airkorea.or.kr/)에서 발췌 : 2017.07~2020.05

-공주시의 경우 2017년 07월부터 이산화황 농도를 측정하여 2017.07~2020.05까지의 평균을 산정하였다.

※ 습도는 기상자료개방포털(http://data.kma.go.kr)에서 발췌 : 2010.12~2019.12

2) 강설횟수 평가 결과

강설횟수의 평가는 겨울철 도로상에 살포되는 제설제에 의한 강재 부식 및 이에 의한 내구성능 저하를 고려하기 위한 평가 항목이며, “성능평가 세부지침” 104~107페이지에 수록되어있는 “3.1.4 염해환경” 절의 방법을 적용하여 1-105페이지 “강설횟수의 평가기준” 을 가지고 평가하였다.

평가결과 “<표 5.2.5> 일 최심신적설” 과 같이 강설횟수 15.4일로 c등급으로 나타났다.

5.3.4 강재 내구성능 평가 결과

강재 내구성능 평가는 항목별 최젓값으로 평가한 결과에 부재별 가중치를 곱한 값을 합을 100으로 나눈 결함도 지수로 평가하며 부재별 가중치는 “성능평가 세부지침” 1-109 페이지 “[표 1.81] 일반교량의 부재별 가중치” 를 적용하였다.

콘크리트 내구성능 평가 결과 “B”

세부 부재별 가중치 × 항목별 최소등급 ÷ 100 = 0.153

강재 내구성능 결함지수 및 등급

(55×0.19+18×0.12+27×0.1) / 100 = 0.153 (B등급)

“B”

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

(성능평가 세부지침 1-123 내용)

【표 5-26】 평가항목별 가중치에 따른 거더의 내구성능평가

평가지표	등급	점수	가중치	평점/100
발청 및 도장열화	a	0.1	60	0.06
도장두께	c	0.4	20	0.08
대기 환경	a	0.1	10	0.01
강설 횟수	c	0.4	10	0.04
합계				0.19
계산법	• 각 평가지표의 등급에 해당하는 점수와 가중치를 곱하여 평점을 산정 {(0.1 × 60) + (0.4 × 20) + (0.1 × 10) + (0.4 × 10)} / 100 = 19 / 100 = 0.19 ---------- b등급			

【표 5-27】 평가항목별 가중치에 따른 2차부재의 내구성능평가

평가지표	등급	점수	가중치	평점/100
발청 및 도장열화	a	0.1	60	0.06
도장두께	b	0.2	20	0.04
대기 환경	a	0.1	10	0.01
강설 횟수	c	0.4	10	0.04
합계				0.15
계산법	• 각 평가지표의 등급에 해당하는 점수와 가중치를 곱하여 평점을 산정 {(0.1 × 60) + (0.2 × 20) + (0.1 × 10) + (0.4 × 10)} / 100 = 12 / 100 = 0.12 ---------- b등급			

【표 5-28】 평가항목별 가중치에 따른 바닥판의 내구성능평가

평가지표	등급	점수	가중치	평점/100
발청 및 도장열화	a	0.1	60	0.06
대기 환경	a	0.1	10	0.01
강설 횟수	c	0.4	10	0.04
합계				0.11
계산법	• 각 평가지표의 등급에 해당하는 점수와 가중치를 곱하여 평점을 산정 {(0.1 × 60) + (0.1 × 10) + (0.4 × 10)} / 100 = 10 / 100 = 0.1 ---------- a등급			

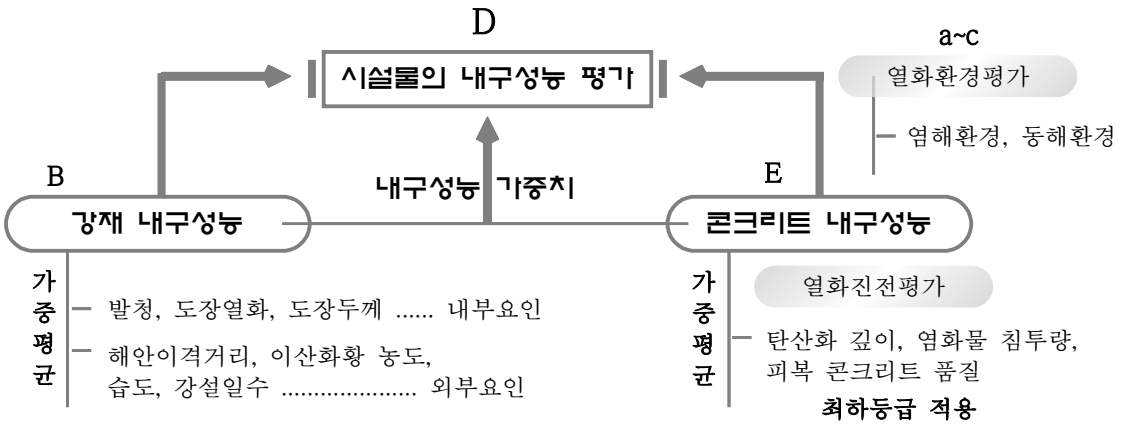
※데크플레이트는 도장이 되있지 않은 상태로 가중치를 발청 및 도장열화으로 분배하여 산정하였다.

【표 5-29】 일반 거더형 강재 내구성능 평가

부재 그룹	세부 부재	부재별 평점	가중치	평점/100
상부	거더	0.19	55	0.10
	2차 부재	0.15	18	0.03
	바닥판	0.11	27	0.03
결함도 지수 계산		55(거더), 18(2차 부재), 27(바닥판) (55×0.19+18×0.12+27×0.1) / 100 = 0.161		
등 급		B		

5.4 시설물의 내구성능 평가 결정

강재내구성능과 콘크리트내구성능 평가 결과에 내구성능 가중치를 적용하여 평가하는 시설물의 내구성능 평가 결과는 아래표와 같이 “D”로 평가하였으며 내구성능 가중치는 “성능평가 세부지침” 1-129페이지 “[표 1.123] 일반교량 종합내구성능 평가를 위한 가중치”를 적용하였다.



【표 5-30】 시설물의 내구성능 평가결과

구분	콘크리트 내구성능		강재 내구성능		가중치 적용	시설물의 내구성능 평가 결과
	기준	결함지수	기준	결함지수		
장암교	E	1.000	B	0.161	(0.6×1.000) + (0.4×0.161) = 0.664	D(0.664)
시설물의 내구성능 평가 결과 소견	구성 재료에 대한 시설물의 내구성능은 “광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능수준”의 D등급으로 판정되었으나, 염화물 침투량시험 시 바닥판하면 S6 및 교대 A2 측정위치가 구조물의 상부 차수판 탈락, 상·하행 신축이음 연결부 누수로 인한 우천 시 우수 유입 및 겨울철 제설재의 영향으로 e등급으로 평가되었으나, 그 외 콘크리트 내구성평가 시험 결과가 a~b로 평가되었으며, 해안선까지의 최단거리가 57,600m인 것을 고려할 때 구조물의 콘크리트 상태는 양호한 상태인 것으로 판단된다.					