

## **제5장 내구성능평가**

---

### **5.1 개요**

### **5.2 콘크리트 내구성능 평가항목 및 기준**

### **5.3 강재 내구성능 평가 기준 및 기준**

### **5.4 내구성능 평가 결과산정 방법**



## 제5장 내구성능평가

### 5.1. 개요

옹벽의 내구성능 평가는 크게 강재 내구성능 평가 및 콘크리트 내구성능 평가 분야로 구성된다. 옹벽(콘크리트 옹벽/보강토 옹벽) 시설의 경우 전면부를 중심으로 콘크리트와 관련된 내구성능을 평가하며, 석축의 경우 건치돌의 내구성능을 평가한다. 각 평가분야에서 부재별 평가 및 가중치를 적용한 등급산정을 하고, 각 등급산정 결과에 중요도를 고려한 가중치를 적용하여 옹벽 시설물 내구성능에 대한 최종등급을 결정한다.

### 5.2. 콘크리트 내구성능 평가항목 및 기준

#### 5.2.1 개요

5.2.2 콘크리트의 내구성능 평가항목은 크게 열화진전평가와 열화환경평가로 구분되며, 열화진전평가로는 탄산화 깊이, 염화물 침투량, 피복(표면부) 콘크리트 품질을 평가하며, 열화환경평가로는 제설제에 의한 염해환경, 비래염분에 의한 염해환경 및 동해환경에 대해 평가한다. 석축은 일반 콘크리트 옹벽과는 달리 건치돌 추정강도 및 건치돌 풍화도로 내구성능을 평가한다.

열화진전평가와 열화환경평가는 독립적으로 실시하며, 대상 시설물의 내구성능 등급에는 열화진전평가 결과만을 사용한다. 열화환경평가 결과는 내구성능 등급 산정 시에는 직접적으로 적용하지 않으며 옹벽의 유지관리 계획 수립 시 참고한다.

【표 5.1】 콘크리트/석축 내구성능 평가항목의 구분

| 구분               |          | 평가항목            |
|------------------|----------|-----------------|
| 콘크리트, 보강토<br>옹벽※ | 열화진전평가   | 탄산화 깊이          |
|                  |          | 염화물 침투량         |
|                  |          | 피복(표면부) 콘크리트 품질 |
|                  | 열화환경평가요소 | 염해환경            |
|                  |          | 동해환경            |
| 석축               |          | 건čit돌 추정강도      |
|                  |          | 건čit돌 풍화도       |

<해 설>

- 평가대상 부재에 철근이 포함되지 않은 경우, 염화물 침투량, 탄산화 깊이, 염해환경에 대한 평가 제외

### 5.2.3 평가대상 부재

콘크리트(콘크리트 옹벽과 보강토 옹벽), 석축에 대해 내구성능 평가를 수행하며, 부재별 가중치를 고려하지 않고 단일 구조물 형식으로 적용한다.

【표 5.2】 콘크리트 내구성능 평가대상

| 구분   | 평가대상 부재 | 비고     |
|------|---------|--------|
| 콘크리트 | 콘크리트 옹벽 | -      |
|      | 보강토 옹벽  | 전면판 대상 |
| 석축   | 건čit돌   | -      |

### 5.2.4 콘크리트 내구성능 평가 기준

#### 가. 염화물 침투량

【표 5.3】 염화물 침투량 평가등급

| 평가 기준 | 평가내용                                       |                            |
|-------|--------------------------------------------|----------------------------|
|       | 철근부 전염화물 침투량 $C_r$ 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 | 철근부 전염화물 침투량 $C_r(kg/m^3)$ |
| 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                             | $1.2 < C_r < 2.5$          |
| e     | 5년 이하                                      | 2.5 이상                     |

<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  $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”을 각각 평가하여 열악한 등급을 염화물량 평가등급으로 설정한다.
- “철근부의 전염화물이  $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점”의 경우, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 전염화물량이  $2.5 kg/m^3$ 가 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.
- 전염화물량이  $2.5 kg/m^3$ 를 넘어서는 시점이 5년 이하로 남은 경우 e등급을 설정한 것은 차기 점검 시점을 약 5년을 가정하고 이 시점 이전에 전염화물량이  $2.5 kg/m^3$ 를 넘어설 가능성이 있기 때문이다.
- 한편, b, c, d등급의 경우 전염화물량이  $2.5 kg/m^3$ 이 되는 시점이 30년 이하인 경우 염해가 진전되고 있다고 판정한 것이며, 철근부의 전염화물량이  $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수가 짧을수록 낮은 등급을 부여한다.
- 책임기술자는 염해가 어떻게 진전될 것인지에 대한 예측을 위하여 철근부의 전염화물량이  $2.5 kg/m^3$ 에 도달하는 연수를 산정할 때 철근의 부식이 개시될 가능성이 있는  $1.2kg/m^3$ 에 도달하는 연수도 산정하고 평가 보고서에 별도로 기재하여 유지관리 책임자들이 참고한다.

## 나. 탄산화 깊이

【표 5.4】 탄산화 깊이에 따른 평가기준

| 평가 기준 | 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T | 비고                                                                                                                                                                                    |
|-------|------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| a     | 30년 초과                 | 점검결과로부터 탄산화 속도계수를 산정 후 T계산<br>탄산화 속도계수 $A = \frac{D}{\sqrt{t}}$<br>$T = \left[ \frac{\text{설계 피복두께}}{\text{탄산화속도계수}} \right]^2 - t$<br>(T : 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간, D: 탄산화 깊이, t: 공용연수) |
| b     | 20년 < T ≤ 30년          |                                                                                                                                                                                       |
| c     | 10년 < T ≤ 20년          |                                                                                                                                                                                       |
| d     | 5년 < T ≤ 10년           |                                                                                                                                                                                       |
| e     | 5년 이하                  |                                                                                                                                                                                       |

## &lt;해설&gt;

- 공용연수와 이에 따른 탄산화 속도계수를 고려하여 잔여피복두께가 모두 탄산화되는 시간 T를 구하는 시간적 개념을 포함한다.
- e등급을 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시간 T가 5년 이하로 남은 경우로 설정한 것은 차기 조사시점을 약 5년 후로 가정할 때 이 시점 이전에 잔여피복이 모두 탄산화될 가능성을 고려한 것이다.
- 또한, 30년 초과를 a등급으로 설정한 것은 일반적으로 콘크리트 구조물의 최소 수명을 30년으로 가정하고, 잔여피복두께가 모두 탄산화 되는 시점이 이보다 오래 걸리는 경우를 고려한 것이다.

## 다. 피복(표면부) 콘크리트 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. 피복(표면부) 콘크리트 품질의 경우 반발정도 측정 결과를 활용하여 평가를 수행한다.

## 1) 설계강도값과 비교할 경우

【표 5.5】 피복(표면부) 콘크리트 품질에 따른 평가기준

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

<해 설>

- 피복(표면부) 콘크리트 품질은 슈미트해머를 이용해 반발경도를 측정하여 표면부 콘크리트의 내구성능 저하상태를 평가한다.
- a등급은 강도 추정값이 설계값 대비 100% 이상으로 피복(표면부) 콘크리트의 내구성능이 양호한 상태이며, b등급은 약 10% 정도까지 설계값을 밑도는 것으로 동해나 기타 요인에 의해 피복(표면부) 콘크리트의 내구성능이 저하되었을 가능성이 있다.
- c등급은 강도 추정값이 설계값 대비 10% 이상 저하되었을 경우이며, 동해나 기타 요인에 의해 피복(표면부) 콘크리트의 내구성능이 저하가 진전된 상태이다.

2) 건전부/비건전부를 비교할 경우

【표 5.6】 건전부/비건전부의 상대적 비교에 따른 평가기준

| 평가 기준 | 상세                                 | 비고                                     |
|-------|------------------------------------|----------------------------------------|
| a     | 반발경도값이 건전부 대비 95% 이상               | 건전부 대비 큰 차이를 보이지 않음                    |
| b     | $85\% \leq$ 반발경도값이 건전부 대비 $< 95\%$ | 동해 등에 의해 피복(표면부) 콘크리트의 내구성능이 저하되기 시작함  |
| c     | 반발경도값이 건전부 대비 85% 미만               | 동해 등에 의해 피복(표면부) 콘크리트의 내구성능 저하가 진전된 상태 |
| d     | -                                  | -                                      |
| e     | -                                  | -                                      |

<해 설>

- 건전부와 비건전부를 상대적으로 비교하는 방법으로 측정된 반발경도값을 통하여, 반발경도값을 직접 비교하여 판정하는 방법을 적용한다.
- 동일한 건전부끼리 상호비교하더라도 두 지점간에 일부 편차가 있을 수 있다는 가정 하에 약 5% 정도의 편차를 반영하여 95% 이상일 경우 a등급으로 설정하며, 85% 미만일 경우 c등급으로 설정한다.
- 여기서 비건전부는 누수 등으로 자주 습윤상태가 되거나, 우수에 노출된 부재 및 기타 표면부의 열화가 진행될 수 있는 부위로, 해당 구간 중 상대비교하여 가장 취약한 부분을 비건전부로 구분한다.

## 라. 염해환경

【표 5.7】 염해환경의 평가기준(해안거리)

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

&lt;해 설&gt;

- 여기서 비말대는 해수가 직접 닿지 않는 지역을 일컫음

【표 5.8】 염해환경의 평가기준(제설제)

| 평가항목        | 등급 | 강설일수(일)              |
|-------------|----|----------------------|
| 제설제<br>염해환경 | a  | 강설일수 $< 7$           |
|             | b  | $7 \leq$ 강설일수 $< 14$ |
|             | c  | $14 \leq$ 강설일수       |

&lt;해 설&gt;

- 염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설에 따른 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 구분한다.
- 상기 항목은 각각 해안인접성과 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.
- 강설일수는 동절기 제설제 환경에 노출된 콘크리트 시설물의 내구성능 저하를 고려하기 위한 평가항목으로, 강설 시 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.

마. 동해환경

【표 5.9】 동해환경의 평가기준

| 평가<br>기준 | 평가내용            | 비고                                     |
|----------|-----------------|----------------------------------------|
| a        | $X < 3$         | ※ 기상청 데이터를 기반으로 동결융해 반복일수를 계산하여 평가에 사용 |
| b        | $3 \leq X < 50$ |                                        |
| c        | $50 \leq X$     |                                        |
| d        | -               |                                        |
| e        | -               |                                        |

<해 설>

- 수분 접촉 여부로 구분하여 계산한다.
- 수분과 지속적으로 접촉하지 않는 일반 부재의 경우  $X_{값} =$   
 $\{ \text{일 최저기온} < -2.2^{\circ}\text{C} \} \& \{ \text{일 최고기온} > 0^{\circ}\text{C} \} \& \{ \text{강수량} > 0 \}$  인 연평균 일수
- 수분과 지속적으로 접촉하는 부재의 경우  $X_{값}$   
 $\{ \text{일 최저기온} < -2.2^{\circ}\text{C} \} \& \{ \text{일 최고기온} > 0^{\circ}\text{C} \}$  인 연평균 일수
- 상기 수분 접촉 여부에 따른 구분에 있어 수분과의 직접적인 접촉이 없는 경우는 동결융해 싸이클이 있었다고 동해를 입지 않기 때문에 강수로 인하여 상대습도가 매우 높은 상태에서만 동해를 받는다고 가정한 것에 따른 것이다.
- 지난 10년간 동절기 기상청 데이터 기준  
 동절기 기간 : 11월 1일 ~ 3월 31일
- 수분과의 접촉 여부는 점검자가 판단하여, 동일 부재 내에서 위치별 수분 접촉 정도가 다를 경우 ‘열악한 조건’ 을 기준으로 판단한다.



## 5.2.5 라. 콘크리트 내구성능 평가 방법

### 가. 개요

내구성능 평가 결과 산정방법은 내구성능 평가지표별 결과 중 가장 낮은 등급인 최저등급을 반영한다. 웅벽의 경우 단일부재로 간주하기 때문에 다른 시설물과 달리 부재별 평가를 별도로 실시하지 않는다. 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 활용한다.

### 나. 결과산정절차 일반

#### 1) 열화환경 평가(전체 시설물 대상)

내구성능 평가에 있어 열화환경 평가는 제설제 염해환경, 비래염분 염해환경, 동해환경의 3개 열화환경평가 지표로 이루어진다. 열화환경평가는 3가지 환경지표를 독립적으로 평가하여 도출하며, 평가 결과는 열화진전평가와는 별도로 관리하여 대상 구조물의 유지관리 활동에 활용한다. 열화환경평가는 전체 시설물을 대상으로 판정하며, 각 등급별 열화환경의 상태는 아래와 같다.

【표 5.10】 열화환경 평가등급

| 평가등급 | 열화 환경 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    | -                                   |

#### (가) 염해환경

염해환경은 해안으로부터 날아들어 오는 대기중의 비래염분에 의한 염해환경과 겨울철 강설로 인하여 도로위의 눈을 제설하기 위해 뿌려지는 제설제에 포함되어 있는 염화물에 의한 염해환경으로 나누어서 평가한다.

#### (나) 동해환경

대상 웅벽이 위치한 지역의 10년간 동절기 기상청 데이터를 기준으로 동해환경을 파악하여 동결융해 반복지수를 도출하고, 동결융해 환경등급을 평가한다.

동일한 동결융해 사이클에 노출되어 있더라도 동결융해에 대한 위험도는 부재별 수분공급 환경에 따라 다르며, 열화환경 등급으로 반영되는 동결융해 환경은 수분에 노출되는 부재의 동결융해 사이클 수가 되며, 수분에 노출되지 않는 부재의 동결융해 사이클 수(강수가 있을 때만 해당됨)는 비록 수분에 직접 노출되지 않더라도 동결융해에 대하여 취약할 수 있음에 대한 참고자료로서 활용한다.

2) 열화진전 평가(부재수준의 평가)

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

각 내구성능 평가함에 있어 가중치를 적용하지 않고, 각각의 평가항목에 대하여 가장 낮은 등급을 받은 지표의 평가결과를 준용하는 최저등급제를 적용한다.

-탄산화 깊이, 염화물 침투량 및 피복(표면부) 콘크리트 품질 중 가장 낮은 평가등급이 대상 부재의 내구성능 등급이 된다.

-최저등급제를 적용하는 것은 염해 혹은 탄산화 등 어느 한 가지 지표에 의해서만 피해가 발생하여도 심각한 결과가 발생할 수 있으며 대책을 강구하여야 하기 때문이다.

-다만, 피복 콘크리트 품질은 측정된 개소별 각각의 평가점수를 산술평균한다.

옹벽은 단일 부재로 구성된 것으로 내구성능 항목들의 평가 결과는 옹벽의 내구성능 평가 등급이 된다.

옹벽의 환경에 따른 열화진전평가에 대한 내구성능 평가지표는 아래와 같다.

(가) 콘크리트 옹벽(철근콘크리트가 사용된 경우)

【표 5.11】 열화진전평가에 대한 내구성능 평가지표

| 염해환경 - 도로시설물 |                    | 그 외 환경 - 기타 시설물 |                    |
|--------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| 열화진전평가       | 염화물 침투량            | 열화진전평가          | 탄산화 깊이             |
|              | 탄산화 깊이             |                 | 피복(표면부)<br>콘크리트 품질 |
|              | 피복(표면부)<br>콘크리트 품질 |                 |                    |

<해 설>

- 옹벽의 경우, 구조물의 환경조건에 따라 평가지표항목을 구분하여 적용함.

## 옹벽 시설물

(최저등급 적용)

탄산화 깊이

염화물 침투량

피복 콘크리트의 품질

측정결과별  
최저등급 적용측정결과별  
최저등급 적용측정결과 등급  
점수 산술 평균

【그림 5.1】 내구성능 항목별 세부 평가방법

(나) 등급별 평가점수 및 지수범위

부재별 등급에 따른 평가점수 및 최종 등급 산정을 위한 평가지수 범위는 다음과 같다.

【표 5.12】 평가등급에 따른 결함도 지수

| a등급  | b등급  | c등급  | d등급  | e등급  |
|------|------|------|------|------|
| 0.08 | 0.23 | 0.43 | 0.65 | 0.88 |

【표 5.13】 등급 산정을 위한 결함도 지수 범위

| A등급               | B등급                  | C등급                  | D등급                  | E등급           |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------|
| $0 \leq X < 0.15$ | $0.15 \leq X < 0.30$ | $0.30 \leq X < 0.55$ | $0.55 \leq X < 0.75$ | $0.75 \leq X$ |

3) 시설물 전체 등급 산정

옹벽의 경우, 단일 구조물로 부재별 가중치가 없기 때문에 단계 2)의 부재평가 결과가 옹벽 시설물의 열화진전평가 결과로 적용된다. 옹벽의 콘크리트 내구성능 평가 등급은 최종적으로 아래와 같이 나타낸다.

【표 5.14】 옹벽의 열화진전 평가

| 시설명  | 평가등급 | 지표명             | 평가등급 |
|------|------|-----------------|------|
| OO옹벽 | a~e  | 염화물 침투량         | a~e  |
|      |      | 탄산화 깊이          | a~e  |
|      |      | 피복(표면부) 콘크리트 품질 | a~c  |

【표 5.15】 열화환경 평가

| 열화환경지표    | 평가등급        | 주요 대상 부재                                                           |
|-----------|-------------|--------------------------------------------------------------------|
| 제설제 염해환경  | A or B or C | 옹벽의 경우 구조물의 높이에 따라 제설제 염해환경에 대한 노출정도가 다를 수 있으며, 하단부가 상대적으로 열악한 환경임 |
| 비래염분 염해환경 | A or B or C | 비래염분이 발생하는 해안쪽의 부재가 상대적으로 열악한 환경에 놓이게 됨                            |
| 동해환경      | A or B or C | 전체 시설물에서 국부적으로 수분의 공급이 있는 부재부분에 해당                                 |

- <해 설>
- 제설제 염해환경이나 비래염분 염해환경에 있지 않은 경우 제설제와 비래염분의 염해환경은 A등급으로 평가한다.

다. 결과산정 예

1) 대상 옹벽

【표 5.16】 대상 옹벽 예시

| 옹벽형식      | 역L형 콘크리트 옹벽    |
|-----------|----------------|
| 지역        | 서울             |
| 공용연수      | 20년            |
| 연장        | 150.0m         |
| 역L형 옹벽    | 20m            |
| 지면노출높이(m) | H= 2.0 ~ 13.0m |
| 피복 두께     | 50mm           |

(가) 열화환경 평가

대상 옹벽이 위치한 서울지역의 비래염분 염해환경은 A등급이 된다.

서울시의 평균 강설일수는 12.3일로 제설제 염해환경 또한 B등급이 된다.

또한 해당 지역의 동결융해 반복지수 X는 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우 8.6회, 수분과 직접 접촉하는 부재의 경우 45.8회로서 동결융해 환경은 B등급으로 평가되며, 수분과 직접 접촉하지 않는 부재의 경우도 동결융해 사이클이 연평균 8.6회로서 동결융해의 피해를 입을 수 있음을 확인한다.

(나) 열화진전 평가 - 염화물 침투량

염화물 침투량 시험은 2개소에서 실시한다.

대상 옹벽의 피복두께는 50mm이며, 코어 시편을 채취하여 15mm 간격으로 절단하여 각 코어별로 4개의 깊이별 측정결과를 확보한다.

【표 5.17】 염화물 침투량 평가

| 열화진전 평가 항목 | 용벽   | 깊이별 염화물 침투량 ( $kg/m^3$ ) |           |            |            | 평가등급 |
|------------|------|--------------------------|-----------|------------|------------|------|
|            |      | 표면부 (0-2mm)              | 2-15 (mm) | 15-30 (mm) | 30-45 (mm) |      |
| 염화물 침투량    | No.1 | 1.5                      | 1.05      | 0.4        | 0.1        | a    |
|            | No.2 | 4.5                      | 3.5       | 1.8        | 0.8        | c    |

【표 5.18】 염화물 확산계수 산출

| 계산 항목    | 용벽   | 깊이별 염화물 확산계수 ( $cm^2/year$ ) |           |            |            |
|----------|------|------------------------------|-----------|------------|------------|
|          |      | 표면부 (0-2mm)                  | 2-15 (mm) | 15-30 (mm) | 30-45 (mm) |
| 염화물 확산계수 | No.1 | -                            | -         | 0.103      | -          |
|          | No.2 | -                            | -         | -          | 0.194      |

<해 설>

- 확산계수는 깊이별로 산출할 수도 있다.

【표 5.19】 철근부의 전염화물 침투량이  $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가

| 열화진전 평가 항목                                 | 용벽   | 계산 결과 (year) | 평가등급 |
|--------------------------------------------|------|--------------|------|
| 철근부 전염화물 침투량 $C_r$ 가 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 | No.1 | 30년 초과       | a    |
|                                            | No.2 | 30년 초과       | a    |

【표 5.20】 염화물 침투량 최종 평가등급

| 시설물 | 염화물 침투량 평가       | 철근부의 전염화물 침투량이 $2.5(kg/m^3)$ 가 되는 시점 평가 |
|-----|------------------|-----------------------------------------|
| 용벽  | c                | a                                       |
|     | 염화물 침투량 평가등급 : c |                                         |

(다) 열화진전 평가 - 탄산화 깊이

탄산화 깊이는 2개소에서 측정하였다.

2개소 측정결과 중 최저등급을 대상부재의 탄산화 깊이에 대한 평가등급으로 한다.

【표 5.21】 탄산화 깊이 평가

| 열화진전<br>평가 항목 | 용벽   | 탄산화<br>깊이 (mm) | 탄산화<br>속도계수 | 잔여피복두께가 모두<br>탄산화 되는 시간 T(년) | 개별<br>평가등급 | 평가<br>등급 |
|---------------|------|----------------|-------------|------------------------------|------------|----------|
| 탄산화 깊이        | No.1 | 9              | 2.0         | 30년 초과                       | a          | b        |
|               | No.2 | 32             | 7.2         | 19                           | b          |          |

(라) 열화진전 평가 - 피복콘크리트 품질

피복콘크리트 품질은 2개소에서 측정하였다.

【표 5.22】 피복콘크리트 품질 평가

| 열화진전<br>평가 항목 | 시설물 | 세부<br>부재명 | 설계값 대비<br>강도추정값(%) | 비건전부/<br>건전부<br>비율(%) | 개별<br>평가등급  |             | 평가<br>등급 |
|---------------|-----|-----------|--------------------|-----------------------|-------------|-------------|----------|
| 피복 콘크리트<br>품질 | 용벽  | No.1      | 105                | 95                    | a<br>(0.08) | a<br>(0.08) | a        |
|               |     | No.2      | 99                 | 98                    | b<br>(0.23) | a<br>(0.08) |          |
|               |     | 평균값       |                    |                       | a<br>(0.16) | a<br>(0.08) |          |

(마) 콘크리트 내구성능 평가 요약

【표 5.23】 용벽의 콘크리트 내구성능 평가

| 대상 시설물 | 항목별 평가결과 |        |           |             |
|--------|----------|--------|-----------|-------------|
|        | 염화물 침투량  | 탄산화 깊이 | 피복콘크리트 품질 | 평가등급        |
| 용벽     | c        | b      | a         | c<br>(0.43) |
|        | 최저등급제    |        |           |             |

【표 5.24】 열화환경지표의 평가

| 열화환경지표    | 평가등급 |
|-----------|------|
| 제설제 염해환경  | B    |
| 비래염분 염해환경 | A    |
| 동해환경      | B    |

### 5.3. 강재 내구성능 평가 기준 및 기준

#### 5.3.1 개요

보강토 옹벽에서 지반을 보강하기 위하여 사용되는 보강재에는 강재 띠형 및 그리드형 보강재, 토목섬유 보강재 등이 있다. 보강재의 내구성능 평가 대상으로는 시간에 따라 부식이 발생함으로써 보강성능이 저하될 수 있는 강재 보강재를 대상으로 한다.

강재 보강재에는 일반적으로 금속재료의 부식을 방지하기 위하여 표면에 아연도금 처리가 되어 있다. 방식에서 있어서 주된 역할을 하게 되며, 제작 및 설계 시 부재 수명을 고려하여 도막(도금) 및 부재두께를 결정하여야 한다. 이와 같은 점을 고려하여 보강토 옹벽의 보강재에 대해서는 발청, 박리, 균열, 부풀음, 변색 등 주요 열화현상 중 발청, 변색 및 도막(도금)두께를 평가한다.

점검 및 조사 시 사전 구조해석 및 주변 지형물/구조물의 영향을 면밀히 검토하여 반드시 구조 안전성이 확보될 수 있는 경우에 한하여 조사하며, 조사범위는 옹벽의 최상단 보강재로 한정하고 (필요시) 선택과업으로서 수행한다.

#### 5.3.2 평가대상 부재

【표 5.25】 평가대상 부재

| 구 분       |                          | 평가지표                                                                                     |
|-----------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 보강토<br>옹벽 | 강재 띠형 보강재<br>강재 그리드형 보강재 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 발청</li> <li>• 변색</li> <li>• 도막(도금)두께</li> </ul> |

#### 5.3.3 다. 강재 내구성능 평가기준

##### 가. 발청

【표 5.26】 보강재 발청 평가기준

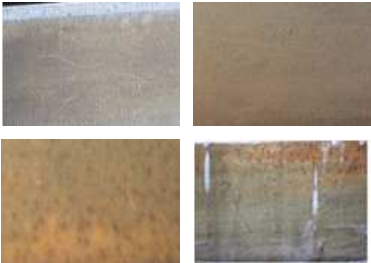
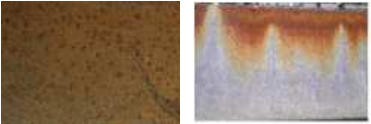
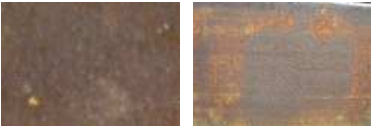
| 평가<br>기준 | 녹 길이                            |
|----------|---------------------------------|
| a        | 점녹 발생 없음                        |
| b        | 점녹 발생 길이 10% 미만                 |
| c        | 점녹 발생 길이 10% 이상, 부식 발생 길이 2% 미만 |
| d        | 부식 발생 길이 2% 이상                  |
| e        | -                               |

나. 변색

【표 5.27】 보강재 변색 평가기준

| 평가 기준 | 부재 표면색        |
|-------|---------------|
| a     | 변색 없음(백녹)     |
| b     | 황, 적색 변색 발생   |
| c     | 적색, 검정 변색 발생  |
| d     | 광범위의 검정 변색 발생 |
| e     | -             |

【표 5.28】 열화상태별 표면색 및 표준사진

| 표면색           | 표준사진                                                                                 |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 변색 없음(백녹)     |   |
| 황, 적색 변색 발생   |  |
| 적색, 검정 변색 발생  |  |
| 광범위의 검정 변색 발생 |  |

다. 도막(도금)두께

【표 5.29】 도막(도금)두께 평가기준

| 기준 | 도막(도금) 두께( $\mu\text{m}$ ) |
|----|----------------------------|
| a  | 85 이상                      |
| b  | 75 이상 85 미만                |
| c  | 65 이상 75 미만                |
| d  | 65 미만                      |
| e  | -                          |



### 5.3.4 강재 내구성능 평가 방법

#### 가. 개요

옹벽에서 지반을 보강하기 위하여 사용되는 보강재에는 강재 띠형 및 그리드형 보강재, 토목섬유 보강재 등이 있다. 보강재의 내구성능 평가 대상으로는 시간에 따라 부식이 발생함으로써 보강성능이 저하될 수 있는 강재 보강재를 대상으로 한다. 강재 보강재의 내구성능 평가는 평가항목별 가중치를 적용하는 방식으로 산정한다.

#### 나. 결과산정절차 일반

옹벽의 보강재에 대한 평가항목으로는 발청, 변색, 도막(도금)두께로서 각 평가항목에 대해 등급분류기준에 따라 평가한 후, 아래의 가중치를 적용하여 최종 등급을 산정한다. 조사수량은 옹벽 총연장이 100m 미만일 경우 1개소, 100m 이상일 경우 최소 1개소에 100m 당 1개소를 추가한다.

(가) 보강재 열화에 대한 가중치

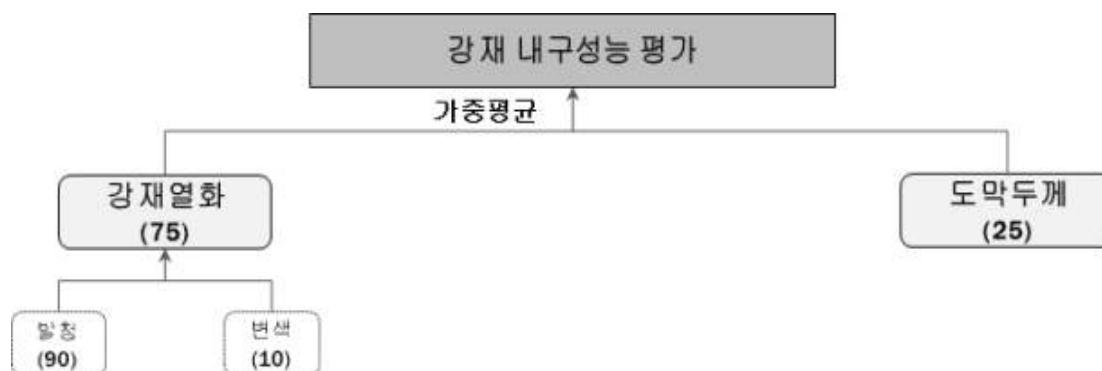
【표 5.30】 보강재 열화에 대한 가중치

| 구분               |       | 결함도 평가항목 | 가중치(%) |
|------------------|-------|----------|--------|
| 보강토 옹벽<br>강재 보강재 | 강재 열화 | 발청       | 90     |
|                  |       | 변색       | 10     |

(나) 보강재 강재 내구성능 종합평가 가중치

【표 5.31】 보강재 강재 내구성능 종합평가 가중치

| 구분               |         | 결함도 평가항목     | 가중치(%) |
|------------------|---------|--------------|--------|
| 보강토 옹벽<br>강재 보강재 | 강재 내구성능 | 강재 열화(발청/변색) | 75     |
|                  |         | 도막(도금)두께     | 25     |



【표 5.32】 강재 내구성능 항목별 세부 평가방법

다. 결과산정 예

1) 대상 보강재

【표 5.33】 대상 보강재

| 용벽 연장   | 250 m      |
|---------|------------|
| 보강재 형식  | 스트립 보강재    |
| 설치갯수    | 300        |
| 설치길이(m) | 2.0 ~ 10.0 |
| 연직간격(m) | 1.5        |
| 수평간격(m) | 1.3        |

2) 발청 평가결과

【표 5.34】 보강재 발청 평가 예

| 보강재 번호  | 조사결과          | 등급 | 등급점수 |
|---------|---------------|----|------|
| S-1     | 점녹 발생 길이 6%   | b  | 0.23 |
| S-2     | 점녹 발생 길이 4.8% | b  | 0.23 |
| S-3     | 점녹 발생길이 3.5%  | b  | 0.23 |
| 등급점수 평균 |               | b  | 0.23 |

3) 변색 평가결과

【표 5.35】 보강재 변색 평가 예

| 보강재 번호  | 조사결과         | 등급 | 등급점수 |
|---------|--------------|----|------|
| S-1     | 적색, 검정 변색 발생 | c  | 0.43 |
| S-2     | 황, 적색 변색 발생  | b  | 0.23 |
| S-3     | 황, 적색 변색 발생  | b  | 0.23 |
| 등급점수 평균 |              | c  | 0.30 |

4) 도막(도금)두께 평가결과

【표 5.36】 보강재 도막(도금)두께 평가 예

| 보강재 번호  | 조사결과<br>(5개소 평균값) | 등급 | 등급점수 |
|---------|-------------------|----|------|
| S-1     | 66                | c  | 0.43 |
| S-2     | 77                | b  | 0.23 |
| S-3     | 80                | b  | 0.23 |
| 등급점수 평균 |                   | c  | 0.30 |

## 5) 보강재 열화수준 평가

앞에서는 보강재의 발청과 변색을 각각 평가하였으며, 두 결과를 종합하여 보강재의 열화수준에 대해 평가한다.

【표 5.37】 보강재 열화수준 평가 예

| 평가항목 | 평가결과 | 가중치 | 평점   |
|------|------|-----|------|
| 발청   | 0.23 | 90  | 0.21 |
| 변색   | 0.30 | 10  | 0.03 |
| 합계   |      |     | 0.24 |

## 6) 강재 내구성능 종합평가

보강재의 열화수준 평가결과 및 도막(도금)두께 평가결과를 종합적으로 고려하여 보강재 내구성능을 종합평가한다.

【표 5.38】 강재 내구성능 평가 예

| 평가항목               | 항목별 평점 | 가중치 | 평점   |
|--------------------|--------|-----|------|
| 강재 열화수준<br>(발청/변색) | 0.24   | 75  | 0.18 |
| 강재 도막두께            | 0.30   | 25  | 0.08 |
| 합계                 |        |     | 0.26 |
| 강재 내구성능 등급         |        |     | b    |

## 5.4. 내구성능 평가 결과산정 방법

### 5.4.1 콘크리트 용벽/석축 내구성능 평가 결과산정 방법

콘크리트 용벽/석축의 내구성능 평가 결과산정 방법은 앞의 【표 5-10】 ~ 【표 5-24】을 참조한다.

### 5.4.2 보강토 용벽 내구성능 평가 결과산정 방법

보강토 용벽의 보강재에 대한 내구성능 평가를 실시한 경우, 강재에 대한 내구성능 평가 후, 콘크리트 : 강재 = 60 : 40의 가중치를 적용하여 종합 내구성능 평가를 수행한다.

【표 5.39】 보강토 용벽의 종합 내구성능 평가 결과(예시)

| 내구성능 평가 결과 산정표 |                                                                                   |          |     |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|-----|
| 평가항목구분         | 시설물명                                                                              | 보강토 용벽   | 표번호 |
| 콘크리트 내구성평가     |                                                                                   | c (0.43) | -   |
| 강재 내구성평가       |                                                                                   | b (0.26) | -   |
| 내구성능<br>평가 결과  | ◦ 내구성능 평가 결과<br>$= 0.43 \times 0.60 + 0.26 \times 0.40 = 0.36$<br>◦ 내구성능 등급 : c등급 |          |     |