

KR C-08060

Rev.0, 5. December 2012



# 내구성 설계



2012. 12. 5



한국철도시설공단



## 경 과 조 치

이 “철도설계지침 및 편람” 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 “철도설계지침 및 편람”을 그대로 사용할 수 있습니다.

## 일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 “철도설계지침” 및 “편람”을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다. 또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 총칭한 것입니다.

# 목 차

1. 용어의 정의 .....	1
2. 일반사항 .....	1
3. 강구조물 강재부재의 내구성 설계 .....	1
4. 콘크리트 구조물의 내구성 설계 .....	2
4.1 설계 일반 .....	2
4.2 내구성 설계기준 .....	2
4.3 내구성 평가 .....	4
<b>해설 1. 내구성 설계 .....</b>	<b>7</b>
1. 일반사항 .....	7
2. 적용범위 .....	7
3. 관련기준 .....	8
<b>해설 2. 내구성 설계방법 .....</b>	<b>9</b>
1.1 내구성을 고려한 설계를 위한 노출 환경의 구분 .....	9
1.2 노출환경에 대한 콘크리트 요구사항 .....	9
2. 내구성 설계 평가의 원칙 .....	11
2.1 일반사항 .....	11
2.2 내구성 평가의 원칙 .....	12
3. 콘크리트 구조물의 내구성 평가 .....	15
3.1 일반사항 .....	15
3.2 염해에 관한 내구성 평가 .....	15
3.3 콘크리트 구조물의 염해 내구성 평가 .....	16
3.4 탄산화에 관한 내구성 평가 .....	18
3.5 동결융해의 내구성 평가 .....	20
3.6 화학적 침식에 관한 내구성 평가 .....	21
3.7 알칼리 골재반응에 관한 내구성 평가 .....	22
4. 배합단계에서 콘크리트 내구성 평가 .....	22
4.1 일반사항 .....	23
4.2 염해에 대한 평가 .....	23
4.3 탄산화의 평가 .....	23

4.4 동결융해에 대한 평가 .....	24
4.5 화학적 침식성의 평가 .....	24
4.6 알칼리 골재반응성의 평가 .....	25
<b>RECORD HISTORY .....</b>	<b>27</b>



## 1. 용어의 정의

- (1) 강도감소계수(Strength Reduction Factor) : 재료의 공칭강도와 실제강도 간의 불가피한 차이, 제작 또는 시공, 저항의 추정 및 해석 모형 등에 관련된 불확실성 등을 고려하기 위한 안전계수.
- (2) 경간(Span) : 교량에서 교대와 교각, 또는 교각과 교각사이 공간을 말함. 연속교인 경우 그 위치에 따라 측경간, 중앙경간 등으로 부르고, 경간 수에 따라 3경간, 5경간 연속교 등으로 부름.
- (3) 설계강도(Design Strength) : 공칭강도에 강도감소계수( $\phi$ )를 곱한 강도.
- (4) 설계기준강도(Specific Compressive Strength) : 콘크리트부재의 설계에 있어 기준으로 한 압축강도. 일반적으로 재령 28일의 압축강도를 기준으로 함.
- (5) 설계사용기간 : 구조물 또는 부재가 그 사용에 있어서 목적하는 기능을 완수하도록 설계상에 고려하는 기간.
- (6) 설계하중 : 부재를 설계할 때 사용되는 적용 가능한 모든 하중으로서, 강도설계법에 의한 설계에서는 하중계수를 곱한 하중(계수하중)이고 허용응력설계법에 의한 설계에서는 하중계수를 곱하지 않은 하중(사용하중)이 설계하중이 됨.
- (7) 사용하중(Service Load) : 고정하중 및 표준열차하중으로서 하중계수를 곱하지 않은 것이며, 작용하중이라고도 함.
- (8) 순경간(Clear Span) : 교대와 교각, 또는 교각과 교각사이 전면간의 거리.

## 2. 일반사항

- (1) 철도교량은 주어진 주변 환경조건하에서 목표내구수명 동안에 안전성, 사용성, 미관, 내구성을 갖도록 설계, 시공, 유지관리 되어야 한다.
- (2) 설계 착수 전에 발주자와 설계자는 구조물의 목표내구수명과 환경조건을 결정해야 한다. 결정시에는 구조의 환경조건, 구조거동, 중요도, 유지관리방법 등을 고려하여 선정해야 한다.
- (3) 배수시설, 줄눈, 신축이음장치, 받침부, 난간 및 방호책, 부재연결부, 조명시설, 계측기 및 기타 부속물들은 구조의 수명보다 공용기간이 짧으므로 별도의 방법에 의하여 내구성이 검토되어야 한다.

## 3. 강구조물 강재부재의 내구성 설계

- (1) 강구조물의 부재에는 부식에 의한 기능상의 저하를 방지하기 위해 방청, 방식 대책을 세워야 한다.
- (2) 강재의 방청, 방식법을 선정하기 위해서는 구조물 가설 지점의 환경, 부재 및 규모, 부재 형상 및 경제성 등을 종합적으로 고려해야 한다.



- (3) 강구조물 설계시 방청, 방식법을 선정할 때는 세부구조의 형상 및 재료 조합 등을 고려해야 한다.

표 1. 강구조물의 대표적인 방청방식법

구분	주된 방청방식원리	성능저하 형태	성능 상실시의 보수방법
도장	도막에 의한 대기환경 차단	도막의 열화	재도장
내후성 강재	치밀한 녹발생에 의한 부식억제	층상박리 녹의 발생과 이에 의한 단면 감소	도장
아연용융도금	아연화합물에 의한 보호 피막 및 아연에 의한 희생방식	아연층의 감소	용사 혹은 도장
금속용사	용사금속의 보호피막 및 용사금속에 의한 희생방식	용사금속층의 감소	용사 혹은 도장

#### 4. 콘크리트 구조물의 내구성 설계

##### 4.1 설계 일반

- (1) 콘크리트 구조는 주어진 주변환경 조건에서 설계 공용기간 동안에 안전성, 사용성, 내구성, 미관을 갖도록 설계, 시공, 유지관리해야 한다.
- (2) 설계착수 전에 구조물 발주자와 설계자는 구조물의 중요도, 환경조건, 구조거동, 유지관리방법 등을 고려해야 한다.
- (3) 콘크리트 구조물의 손상이 우려되는 노출 환경에 시공될 경우, 내구수명을 확보할 수 있도록, 콘크리트 재료 및 설계기법을 선정해야 한다.
- (4) 설계사항이 내구수명을 확보하는지의 여부를 내구성 평가를 실시하여 확인해야 한다. 다만, 설계할 때 사용재료, 환경 등이 파악되거나 내구성 문제가 중요한 구조물인 경우 설계단계에서 검토한다.
- (5) 내구성 검토 시 콘크리트 재료, 피복두께 등으로 내구수명을 만족하지 못할 경우, 표면 보호, 방식 성능을 갖는 재료 등을 비롯한 부가적인 방법으로 내구성능을 증진시키지 않으면 안 된다.

##### 4.2 내구성 설계기준

- (1) 콘크리트 구조물의 손상이 우려되는 환경에 시공될 경우, 노출환경을 고려하여 본 항목에서 규정한 요구사항을 만족하는 콘크리트를 사용해야 한다.
- (2) 내구성을 고려한 설계를 위한 노출 환경의 구분

설계자는 콘크리트 구조물 부재가 건설되는 위치의 노출환경 정도를 고려해 설계해야 한다. 구조물 성능에 영향을 미치는 노출환경의 정도는 <표 2>를 참조한다.

표 2. 구조물의 노출 환경 구분

노출환경	정도	구분	설명	
F (동결융해 <sup>1)</sup> )	무시	F0	동결융해 사이클에 노출되어 있지 않음	
	보통	F1	동결융해 사이클에 노출되어 있고 때때로 수분에 접촉하고 있음 <sup>2)</sup>	
	심함	F2	동결융해 사이클에 노출되어 있고 항상 수분에 접촉하고 있음 <sup>2)</sup>	
	매우 심함	F3	동결융해 사이클에 노출되어 있고 항상 수분에 접촉하고 있으며, 동결방지제에 노출되어 있음	
C (강재부식)	무시	C0	기건 상태에 있거나 수분으로부터 차단되어 있음	
	보통	C1	수분에 노출되어 있으나 염화물 <sup>3)</sup> 에 노출되어 있지 않음	
	심함	C2	수분에 노출되어 있고 염화물에 노출되어 있음 해수중부, 해안선으로부터 250미터 이내 지역	
	매우 심함	C3	수분에 노출되어 있고 염화물에 노출되어 있음 해상의 간만대, 비탈대	
S (황산염)			토양 중의 수용성 황산염(SO <sub>4</sub> )농도 (wt%)	수중에서의 황산염(SO <sub>4</sub> )농도 (ppm)
	무시	S0	SO <sub>4</sub> < 0.10	SO <sub>4</sub> < 150
	보통	S1	0.10 ≤ SO <sub>4</sub> < 0.20	150 ≤ SO <sub>4</sub> < 1500
	심함	S2	0.20 ≤ SO <sub>4</sub> ≤ 2.00	1500 ≤ SO <sub>4</sub> ≤ 10,000
	매우 심함	S3	SO <sub>4</sub> > 2.00	SO <sub>4</sub> > 10,000

주1) 우리나라는 겨울철 평균기온이 대부분 영하로 내려가므로, 동결융해 사이클에 노출되어 있다고 볼 수 있다.

주2) 교각 받침대, 교각, 옹벽, 터널 복공 등과 같이 수면 가까이에서 포화된 부분 및 이러한 구조물 외에도 수면에서 떨어져 있지만 용설, 유수, 물방울 등의 영향을 받는 부분 등이 포함된다.

주3) 바닷물, 염화물계 동결방지제 등

### (3) 노출환경에 대한 콘크리트 요구사항

콘크리트 구조물이 내구성을 필요로 하는 위치에 놓일 경우, <표 3>~<표 5>의 노출환경에 따른 요구사항을 만족시켜 설계해야 하고, 노출환경이 복합적일 경우, 안전적인 측면에서 보다 엄격한 기준을 만족시키도록 해야 한다.

표 3. 강제부식 환경에 노출된 콘크리트에 대한 요구사항

환경구분	최대 물-결합재비	최소 설계기준강도(MPa)
C0	-	18
C1	-	18
C2	0.45	30
C3	0.40	35



표 4. 동결융해 환경에 노출된 콘크리트에 대한 요구사항

환경 구분	최대 물-결합재비	최소설계 기준강도 (MPa)	공기량(%)			사용결합재																			
F0	-	18	-			-																			
F1	0.45	30	<table border="1"> <tr> <th>최대 골재 치수 (mm)</th> <th>F1</th> <th>F2, F3</th> </tr> <tr> <td>10</td> <td>6</td> <td>7.5</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>5.5</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>4.5</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>4.5</td> <td>5.5</td> </tr> </table>			최대 골재 치수 (mm)	F1	F2, F3	10	6	7.5	15	5.5	7	20	5	6	25	4.5	6	40	4.5	5.5	-	
최대 골재 치수 (mm)	F1	F2, F3																							
10	6	7.5																							
15	5.5	7																							
20	5	6																							
25	4.5	6																							
40	4.5	5.5																							
F2	0.45	30	-																						
F3	0.45	30			<table border="1"> <thead> <tr> <th>광물성 혼화재</th> <th>최대 혼합량 (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>플라이애시</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>고로슬래그</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>실리카폼</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>플라이애시+고로슬래그+실리카폼 사용시</td> <td>50</td> </tr> <tr> <td>플라이애시+실리카폼 사용시</td> <td>35</td> </tr> </tbody> </table>		광물성 혼화재	최대 혼합량 (%)	플라이애시	25	고로슬래그	50	실리카폼	10	플라이애시+고로슬래그+실리카폼 사용시	50	플라이애시+실리카폼 사용시	35							
광물성 혼화재	최대 혼합량 (%)																								
플라이애시	25																								
고로슬래그	50																								
실리카폼	10																								
플라이애시+고로슬래그+실리카폼 사용시	50																								
플라이애시+실리카폼 사용시	35																								

표 5. 황산염 환경에 노출된 콘크리트에 대한 요구사항

환경 구분	최대 물-결합재비	최소설계기준강도 (MPa)	사용결합재
S0	-	18	
S1	0.50	27	보통포틀랜드시멘트(1종)+포졸란 <sup>1)</sup> 플라이애시시멘트(KS L 5211) 중용열포틀랜드시멘트(2종) (KS L 5201) 고로슬래그시멘트(KS L 5210)
S2	0.45	30	내황산염포틀랜드시멘트(5종) (KS L 5201)
S3	0.45	30	내황산염포틀랜드시멘트(5종) (KS L 5201)+포졸란 <sup>2)</sup>

주1) 1종 시멘트가 포함된 콘크리트에 사용될 때, 황산염에 대한 저항을 개선시킨 실적이 있거나 또는 실험에 의해 증명된 포졸란

주2) 5종 시멘트가 포함된 콘크리트에 사용될 때, 황산염에 대한 저항을 개선시킨 실적이 있거나 또는 실험에 의해 증명된 포졸란

### 4.3 내구성 평가

#### (1) 일반사항

- ① 콘크리트 구조물의 내구성이 요구되는 경우, 「4.(2)항」규정에 따라 콘크리트를 선정하여 설계를 실시하고, 시공 착수 전 시공계획 단계에서 목표 내구수명 동안 내구성을 확보하도록 내구성 평가를 실시한다. 다만, 설계할 때 사용재료, 환경 등이

파악되거나 내구성 문제가 중요한 구조물인 경우 설계단계에서 검토한다.

- ② 내구성 평가는 염해, 탄산화, 동결융해, 황산염 손상을 포함하는 화학적 침식, 알칼리 골재반응 등을 주된 열화원인으로 고려하며, 시공할 구조물이 갖게 될 열화환경을 조사하여 이에 따라 열화원인별 내구성 평가 항목을 선정해야 한다.
- ③ 콘크리트 구조물이 복합열화가 지배적인 특수한 환경에 시공되는 경우는 각각의 열화인자에 대하여 내구성 평가를 수행하여 가장 지배적인 열화인자에 대한 내구성 평가결과를 적용해야 한다.
- ④ 콘크리트 구조물의 목표 내구수명은 구조물을 특별한 유지관리 없이 일상적으로 유지관리할 때 내구적 한계상태에 도달하기까지의 기간으로 정한다. 시공될 콘크리트 구조물의 내구등급 결정은 구조물을 설계할 때 설정된 콘크리트 구조물의 목표 내구수명에 따라 정해야 한다. 구조물의 내구등급은 <표 6>에 따라 결정한다.

표 6. 콘크리트 구조물의 목표내구수명에 따른 내구등급

구조물 내구등급	구조물의 내용	목표 내구수명
1등급	특별히 높은 내구성이 요구되는 구조물	100년
2등급	높은 내구성이 요구되는 구조물	65년
3등급	비교적 낮은 내구성이 요구되는 구조물	30년

## (2) 내구성 평가의 원칙

- ① 시공될 콘크리트 구조물에 사용될 콘크리트에 대한 내구성 평가는 내구성능 예측값에 환경계수를 적용한 소요 내구성값을 내구성능 특성값에 내구성 감소계수를 적용한 설계 내구성값과 비교함으로써 <식 (1)>에 따라 수행한다. 염해의 경우 염화물 이온농도, 탄산화의 경우 탄산화 깊이, 동해의 경우 상대동탄성계수 등과 같이 각 열화요인에 대해 내구성능 특성값과 내구성능 예측값을 비교하여 수행한다.

$$\gamma_P A_P \leq \phi_K A_K \quad (1)$$

여기서,  $\gamma_P$  : 콘크리트 구조물에 관한 환경계수

$\phi_K$  : 콘크리트 구조물에 관한 내구성 감소계수

$A_P$  : 콘크리트 구조물의 내구성능 예측값

$A_K$  : 콘크리트 구조물의 내구성능 특성값

- ② 배합콘크리트의 내구성 평가는 <식 (2)>와 같이 콘크리트의 내구성능 예측값에 환경계수를 적용한 소요 내구성값을 내구성능 특성값에 내구성 감소계수를 적용한 설계 내구성값과 비교함으로써 수행하고, 내구성 평가결과에 따라 사용재료 및 배합을 선택한다.

$$\gamma_p B_p \leq \phi_k B_k \quad (2)$$



여기서,  $\gamma_p$  : 콘크리트에 관한 환경계수

$\phi_k$  : 콘크리트에 관한 내구성 감소계수

$B_p$  : 콘크리트의 내구성능 예측값

$B_k$  : 콘크리트의 내구성능 특성값

- ③ 환경계수는 시공될 콘크리트 구조물과 콘크리트 재료의 열화 환경조건에 대한 안전율로서 적용하고, 내구성 감소계수는 내구성능 특성값 및 내구성능 예측값의 정밀도에 대한 안전율로서 적용한다. 각 열화별로 설정된 환경계수, 내구성 감소계수, 안전율은 <표 7>과 같다.

표 7. 각 열화별 환경계수, 내구성 감소계수와 안전율의 설정

열화	콘크리트 구조물			콘크리트		
	$\gamma_p$ (환경계수)	$\phi_k$ (내구성 감소계수)	$\alpha$ (안전율)	$\gamma_p$ (환경계수)	$\phi_k$ (내구성 감소계수)	$\alpha$ (안전율)
염해	1.11	0.86	1.3	1.11	0.86	1.3
탄산화	1.1	0.92	1.2	1.1	0.92	1.2
동결융해	1.0	1.0 ~ 0.8	1.0 ~ 1.25	1.0	1.0 ~ 0.8	1.0 ~ 1.25
화학적침식	1.1	0.92	1.2	1.1	0.92	1.2
알칼리골재반응	1.1	0.92	1.2	1.1	0.92	1.2

(3) 내구성 평가의 실시

내구성 평가는 구조물 성능에 영향을 미치는 환경 영향 중 필요한 인자에 대해서 실시하고, 평가 방법은 「콘크리트 표준시방서 부록 2 내구성 평가(2009년)」, 「해설1, 해설2」를 참조하도록 한다.

(4) 내구성 평가 결과의 반영

콘크리트 구조물의 내구성 평가를 실시한 후, 구조물 설계 내용이 내구수명을 확보하지 못하였을 경우, 설계 내용을 변경해 재검토하여 내구수명을 확보할 수 있도록 한다. 이 때 1차적으로는 콘크리트 재료, 피복두께 등의 변경을 우선적으로 실시하고, 이를 만족하지 못할 경우, 표면 보호, 비부식성 보강재 등의 부가적인 대책의 실시를 검토해야 한다.

## 해설 1. 내구성 설계

### 1. 일반사항

- (1) 본 항목은 철도 콘크리트 구조물의 내구성 설계에 대하여 규정한 것이다.
- (2) 일반적으로 내구성 설계는 설계 열화 인자에 대해 계획 내구 수명 기간 내에 구조물이 허용 열화 상태를 넘지 않도록 하는 것을 목표로 하며, 가능한 한 열화 현상이 발생하지 않도록 설계, 시공하는 것이 기본이다.

### 2. 적용범위

- (1) 콘크리트 구조물을 설계할 때 내구성에 관련된 사항은 「KR C-08060 내구성 설계」의 해당 규정을 따르고, 목표 내구수명기간 동안 목표내구성능을 확보하는지의 여부를 판단하기 위해, 설계에 대한 내구성 평가를 시공착수단계인 시공계획단계에서 수행하여, 내구성 평가 결과에 따라 시공단계에서 시공방법의 변경, 배합의 변경에 따른 재료의 수정, 설계의 수정에 따른 재평가 등을 결정한다. 다만, 설계할 때 사용 재료, 환경 등이 파악되거나 내구성 문제가 중요한 구조물인 경우, 내구성 평가를 설계단계에서부터 검토할 수 있다.

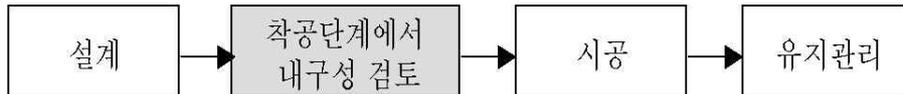


그림 1. 내구성 검토를 요하는 콘크리트 구조물의 공사 순서

- (2) <그림 2>와 같이 시공단계에서는 콘크리트 구조물 및 콘크리트의 내구성 평가 결과에 따라 배합하고 시공계획에 따라 시공될 경우에 대하여 초기재령단계에서 콘크리트의 균열발생 여부를 평가해야 한다. 왜냐하면 내구성 평가는 균열 평가에 따른 콘크리트 구조물이 시공 직후에 균열이 발생되지 않는 것을 전제로 하고 있기 때문이다. 따라서 결정된 시공방법 및 배합에 따른 시공된 구조물에 사용성 및 수밀성 측면에서 허용균열폭 이내의 균열폭이 발생하는 것으로 평가되는 경우라도 이를 고려하여 내구성 평가를 수행해야 한다.

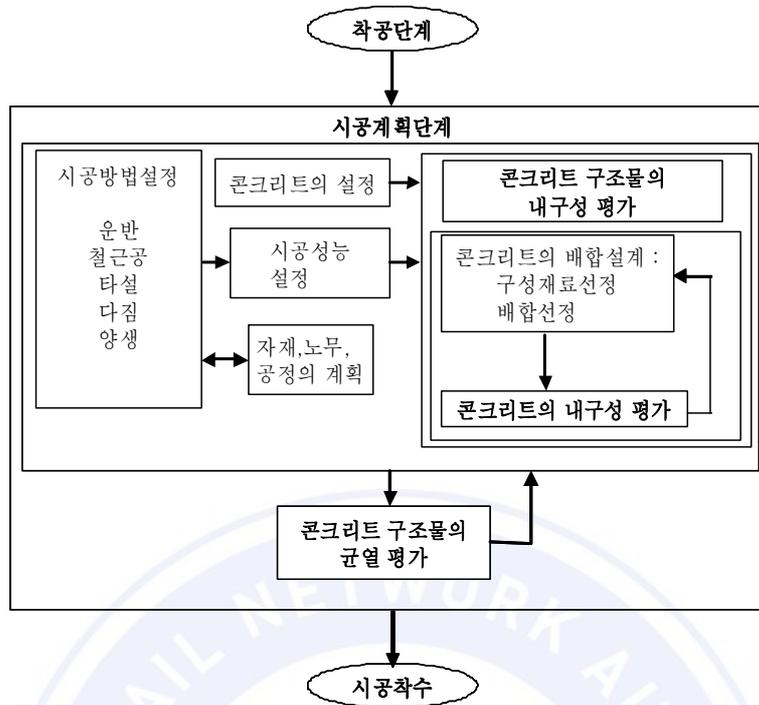


그림 2. 시공계획단계의 주요 내용

- ① 콘크리트 구조물의 내구성을 저해하는 요인으로서 강재의 부식과 콘크리트의 열화가 있고, 콘크리트의 열화는 열화 후에 강재의 부식을 일으킬 가능성을 내포하고 있다. 강재를 부식시키는 열화요인으로는 염해, 탄산화, 콘크리트 조직자체를 손상시키는 열화요인으로는 동결융해, 화학적 침식, 알칼리골재반응 등이 대표적이다.
- ② 콘크리트 구조물의 내구성 평가는 염해, 탄산화, 동결융해, 화학적 침식, 알칼리 골재반응 등을 주된 성능저하원인으로 고려하며, 시공할 구조물이 갖게 될 성능저하 환경을 조사하여 이에 따라 성능저하원인별 내구성 평가 항목을 선정해야 한다.
- ③ 설계 내용 기간이 특히 짧은 구조물, 가설 구조물 등에 대해서는 일반적으로 내구성 검토를 생략해도 된다.

### 3. 관련 기준

- (1) 콘크리트 구조설계기준(2007년)
- (2) 콘크리트 표준시방서(2009년)
- (3) 염해 및 탄산화에 대한 철근콘크리트 구조물의 내구성 지침, 건설교통부(2003년)
- (4) 콘크리트 내구성 평가절차수립, 건설교통부(1999년)

## 해설 2. 내구성 설계방법

### 1. 내구성 설계기준

「KR C-08060 내구성 설계」와 「콘크리트 구조설계기준 제4장 4.5 내구성 설계 및 제5장 5.4 최소피복두께」에 따라 내구성 설계를 실시한다. 즉, 구조물의 노출 환경을 구분하고, 노출환경에 대한 요구사항을 만족하는 콘크리트 재료와 철근피복두께를 설계하도록 한다.

#### 1.1 내구성을 고려한 설계를 위한 노출 환경의 구분

설계자는 콘크리트 구조물 부재가 건설되는 위치의 노출환경 정도를 고려해 설계해야 한다. 구조물 성능에 영향을 미치는 노출환경의 정도는 <표 8>을 참조한다.

#### 1.2 노출환경에 대한 콘크리트 요구사항

- (1) 콘크리트 구조물이 내구성을 필요로 하는 위치에 놓일 경우, 다음의 노출환경에 따른 요구사항을 만족시켜 설계해야 하고, 노출환경이 복합적일 경우, 안전적인 측면에서 보다 엄격한 기준을 만족시키도록 해야 한다.
- (2) 고내구성이 요구되는 구조체의 경우, 해안에서 250m 이내에 위치하는 구조체로서 추가의 표면처리 공사를 수행하지 않고 직접 외부에 노출되어 염해를 받는 경우, 유수 등에 의한 심한 침식 또는 화학작용을 받는 경우, 피복두께를 다음 값 이상으로 확보해야 한다.



표 8. 구조물의 노출 환경 구분

노출환경	정도	구분	설명	
F (동결 융해 <sup>1)</sup> )	무시	F0	동결융해 사이클에 노출되어 있지 않음	
	보통	F1	동결융해 사이클에 노출되어 있고 때때로 수분에 접촉하고 있음 <sup>2)</sup>	
	심함	F2	동결융해 사이클에 노출되어 있고 항상 수분에 접촉하고 있음 <sup>2)</sup>	
	매우 심함	F3	동결융해 사이클에 노출되어 있고 항상 수분에 접촉하고 있으며, 동결방지제에 노출되어 있음	
C (강재 부식)	무시	C0	기건 상태에 있거나 수분으로부터 차단되어 있음	
	보통	C1	수분에 노출되어 있으나 염화물 <sup>3)</sup> 에 노출되어 있지 않음	
	심함	C2	수분에 노출되어 있고 염화물에 노출되어 있음 해수중부, 해안선으로부터 250m 이내 지역	
	매우 심함	C3	수분에 노출되어 있고 염화물에 노출되어 있음 해상의 간만대, 비말대	
S (황산염)			토양 중의 수용성 황산염(SO <sub>4</sub> )농도 (wt%)	수중에서의 황산염(SO <sub>4</sub> )농도 (ppm)
	무시	S0	SO <sub>4</sub> < 0.10	SO <sub>4</sub> < 150
	보통	S1	0.10 ≤ SO <sub>4</sub> < 0.20	150 ≤ SO <sub>4</sub> < 1500
	심함	S2	0.20 ≤ SO <sub>4</sub> ≤ 2.00	1500 ≤ SO <sub>4</sub> ≤ 10,000
	매우 심함	S3	SO <sub>4</sub> > 2.00	SO <sub>4</sub> > 10,000

주1) 우리나라는 겨울철 평균기온이 대부분 영하로 내려가므로, 동결융해 사이클에 노출되어 있다고 볼 수 있다.

주2) 교각 받침대, 교각, 옹벽, 터널 복공 등과 같이 수면 가까이에서 포화된 부분 및 이러한 구조물에도 수면에서 떨어져 있지만 용설, 유수, 물방울 등의 영향을 받는 부분 등이 포함된다.

주3) 바닷물, 염화물계 동결방지제 등

표 9. 동결융해 환경에 노출된 콘크리트에 대한 요구사항

환경 구분	최대 물-결합재비	최소설계 기준강도 (MPa)	공기량(%)			사용결합재	
			최대 클래치수 (mm)	F1	F2,F3	광물성 혼화재	최대 혼합량 (%)
F0	-	18	-			-	
F1	0.45	30	-			-	
F2	0.45	30	-			-	
F3	0.45	30	10	6	7.5	플라이애시	25
			15	5.5	7	고로슬래그	50
			20	5	6	실리카폼	10
			25	4.5	6	플라이애시+ 고로슬래그+ 실리카폼 사용시	50
			40	4.5	5.5	플라이애시+ 실리카폼 사용시	35

표 10. 강제부식 환경에 노출된 콘크리트에 대한 요구사항

환경구분	최대 물-결합재비	최소 설계기준강도 (MPa)
C0	-	18
C1	-	18
C2	0.45	30
C3	0.40	35

표 11. 황산염 환경에 노출된 콘크리트에 대한 요구사항

환경구분	최대 물-결합재비	최소설계 기준강도 (MPa)	사용결합재
S0	-	18	
S1	0.50	27	보통포틀랜드시멘트(1종)+포졸란 <sup>1)</sup> 플라이애시시멘트(KS L 5211) 중용열포틀랜드시멘트(2종) (KS L 5201) 고로슬래그시멘트(KS L 5210)
S2	0.45	30	내황산염포틀랜드시멘트(5종) (KS L 5201)
S3	0.45	30	내황산염포틀랜드시멘트(5종) (KS L 5201)±포졸란 <sup>2)</sup>

주1) 1종 시멘트가 포함된 콘크리트에 사용될 때, 황산염에 대한 저항을 개선시킨 실적이 있거나 또는 실험에 의해 증명된 포졸란

주2) 5종 시멘트가 포함된 콘크리트에 사용될 때, 황산염에 대한 저항을 개선시킨 실적이 있거나 또는 실험에 의해 증명된 포졸란

표 12. 특수환경에 노출된 콘크리트의 최소피복두께

구분	부재	최소피복두께(mm)
현장치기 콘크리트	D16 이하의 철근을 사용한 벽체, 슬래브	50
	위 외의 모든 부재	80
프리캐스트 콘크리트	벽체, 슬래브	40
	기타 부재	50

## 2. 내구성 설계 평가의 원칙

### 2.1 일반사항



- (1) 콘크리트 구조물의 내구성이 요구되는 경우, 「해설 2의 1항」의 규정에 따라 콘크리트를 선정하여 설계를 실시하고, 시공착수전 시공계획 단계에서 목표 내구수명 동안 내구성을 확보하도록 내구성 평가를 실시한다. 다만, 설계할 때 사용재료, 환경 등이 파악되거나 내구성 문제가 중요한 구조물인 경우 설계단계에서 검토한다.
- (2) 내구성 평가는 염해, 탄산화, 동결융해, 황산염 손상을 포함하는 화학적 침식, 알칼리 골재반응 등을 주된 열화원인으로 고려하며, 시공할 구조물이 갖게 될 열화환경을 조사하여 이에 따라 열화원인별 내구성 평가 항목을 선정해야 한다.
- (3) 콘크리트 구조물이 복합열화가 지배적인 특수한 환경에 시공되는 경우는 각각의 열화인자에 대하여 내구성 평가를 수행하여 가장 지배적인 열화인자에 대한 내구성 평가결과를 적용해야 한다.
- (4) 콘크리트 구조물의 목표 내구수명은 구조물을 특별한 유지관리 없이 일상적으로 유지관리 할 때 내구적 한계상태에 도달하기까지의 기간으로 정한다. 시공될 콘크리트 구조물의 내구등급 결정은 구조물을 설계할 때 설정된 콘크리트 구조물의 목표 내구수명에 따라 정해야 한다. 구조물의 내구등급은 <표 13>에 따라 결정한다.

표 13. 콘크리트 구조물의 목표내구수명에 따른 내구등급

구조물 내구등급	구조물의 내용	목표 내구수명
1등급	특별히 높은 내구성이 요구되는 구조물	100년
2등급	높은 내구성이 요구되는 구조물	65년
3등급	비교적 낮은 내구성이 요구되는 구조물	30년

## 2.2 내구성 평가의 원칙

- (1) 시공될 콘크리트 구조물에 사용될 콘크리트에 대한 내구성 평가는 내구성능 예측값에 환경계수를 적용한 소요 내구성값을 내구성능 특성값에 내구성 감소계수를 적용한 설계 내구성값과 비교함으로써 <식 (3)>에 따라 수행한다. 염해의 경우 염화물 이온농도, 탄산화의 경우 탄산화 깊이, 동결융해의 경우 상대동탄성계수 등과 같이 각 열화요인에 대해 내구성능 특성값과 내구성능 예측값을 비교하여 수행한다(<그림 3> 참조).

$$\gamma_P A_P \leq \phi_K A_K \quad (3)$$

여기서,  $\gamma_P$  : 콘크리트 구조물에 관한 환경계수

$\phi_K$  : 콘크리트 구조물에 관한 내구성 감소계수

$A_P$  : 콘크리트 구조물의 내구성능 예측값

$A_K$  : 콘크리트 구조물의 내구성능 특성값

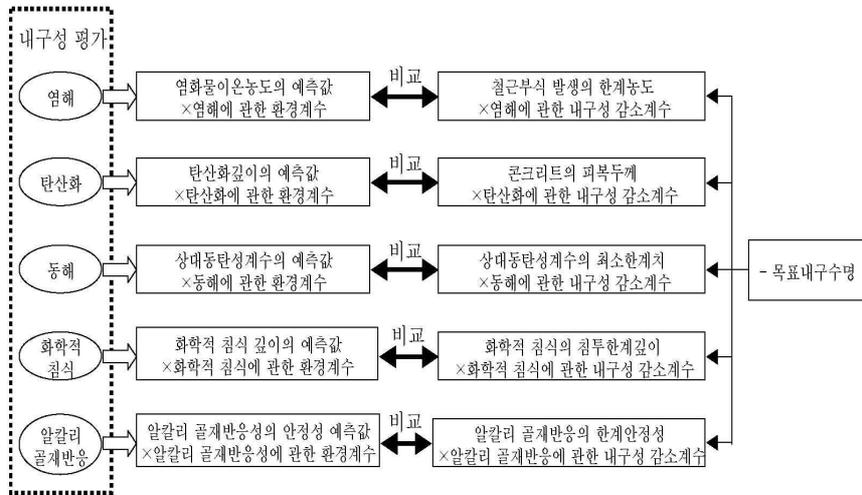


그림 3. 콘크리트 구조물의 내구성 평가의 개념도

(2) 배합콘크리트의 내구성 평가는 <식 (4)>와 같이 콘크리트의 내구성능 예측값에 환경계수를 적용한 소요 내구성값을 내구성능 특성값에 내구성 감소계수를 적용한 설계 내구성값과 비교함으로써 수행하고, 내구성 평가결과에 따라 사용재료 및 배합을 선택한다. 염해의 경우 염화물이온 확산계수, 탄산화의 경우 탄산화속도계수, 동결융해의 경우 상대동탄성계수 등과 같이 각 성능저하요인에 대해 내구성능 특성값과 내구성능 예측값을 비교하여 수행한다(<그림 4> 참조).

$$\gamma_p B_p \leq \phi_k B_k \quad (4)$$

여기서,  $\gamma_p$  : 콘크리트에 관한 환경계수

$\phi_k$  : 콘크리트에 관한 내구성 감소계수

$B_p$  : 콘크리트의 내구성능 예측값

$B_k$  : 콘크리트의 내구성능 특성값

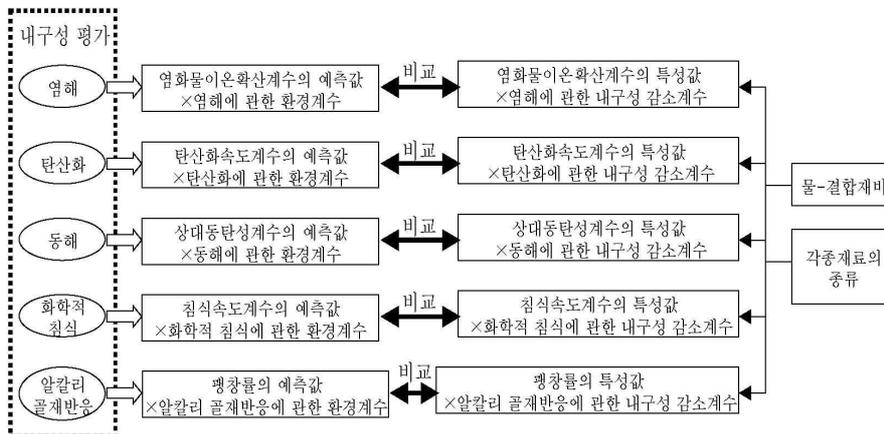


그림 4. 배합 콘크리트의 내구성 평가의 개념도



- (3) 환경계수는 시공될 콘크리트 구조물과 콘크리트 재료의 열화 환경조건에 대한 안전율로서 적용하고, 내구성 감소계수는 내구성능 특성값 및 내구성능 예측값의 정밀도에 대한 안전율로서 적용한다. 각 열화별로 설정된 환경계수, 내구성 감소계수, 안전율은 <표 14>와 같다.
- (4) 내구성 평가 개념에 도입된 환경계수와 내구성감소계수 등의 안전계수는 콘크리트 구조설계기준의 설계개념인 강도설계법의 개념을 따른 것이다(<그림 5> 참조). 내구성 안전율  $\alpha$ 는 내구성감소계수와 환경계수의 비( $\gamma_P/\phi_K$ )로 정의된다. 각 성능저하요인에 대하여 환경계수와 내구성 감소계수는 독립적으로 적용해야 한다.

표 14. 각 열화별 환경계수, 내구성 감소계수와 안전율의 설정

열화	콘크리트 구조물			콘크리트		
	$\gamma_P$ (환경계수)	$\phi_K$ (내구성 감소계수)	$\alpha$ (안전율)	$\gamma_P$ (환경계수)	$\phi_K$ (내구성 감소계수)	$\alpha$ (안전율)
염해	1.11	0.86	1.3	1.11	0.86	1.3
탄산화	1.1	0.92	1.2	1.1	0.92	1.2
동결융해	1.0	1.0 ~ 0.8	1.0 ~ 1.25	1.0	1.0 ~ 0.8	1.0 ~ 1.25
화학적침식	1.1	0.92	1.2	1.1	0.92	1.2
알칼리골재반응	1.1	0.92	1.2	1.1	0.92	1.2

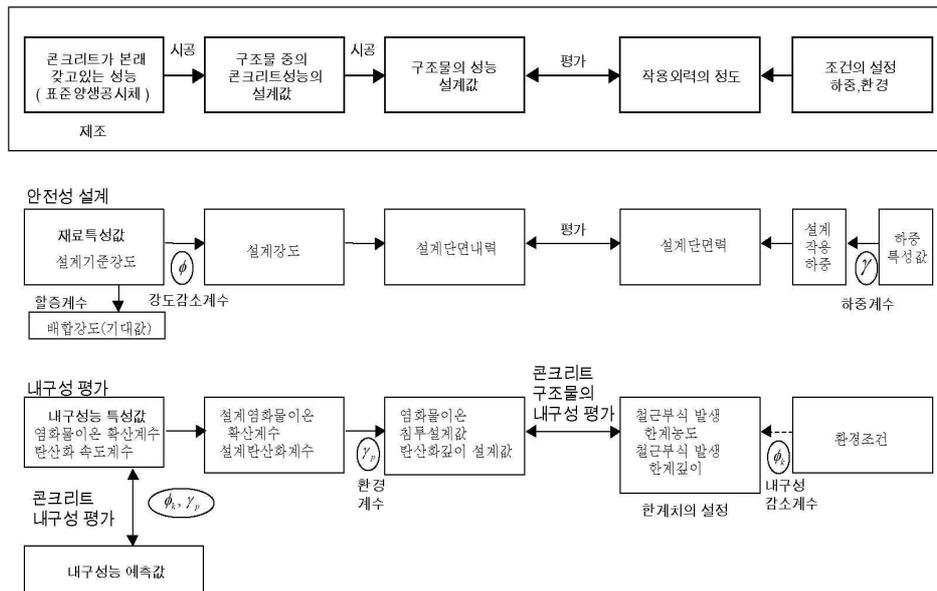


그림 5. 내구성 평가에 도입된 환경계수와 내구성감소계수의 개념

### 3. 콘크리트 구조물의 내구성 평가

#### 3.1 일반사항

- (1) 본 항은 내구성이 특별히 요구되지 않는 콘크리트 구조물이나, 특수한 공법 및 재료를 사용한 콘크리트 구조물을 제외한 일반적인 콘크리트 구조물에 대해 성능저하요인별로 시공 전 콘크리트 구조물의 내구성을 평가하고 이에 따른 내구성의 확보를 위해 적용한다.
- (2) 성능저하환경에 놓여있는 콘크리트 구조물의 주된 성능저하인자인 염해, 탄산화, 동결융해, 화학적 침식, 알칼리 골재반응에 대하여 검토해야 한다. 콘크리트 구조물에 여러 성능저하 인자가 복합적으로 작용하는 경우에는 각각의 성능저하인자가 독립적으로 작용한다고 가정하여 콘크리트 구조물의 내구성을 평가하며, 가장 지배적인 성능저하 인자에 대한 내구성 평가 결과를 적용할 수 있다.
- (3) 콘크리트 구조물이 목표내구수명 동안에 지배적인 성능저하 인자에 따라 요구되는 내구성능을 평가해야 한다.

#### 3.2 염해에 관한 내구성 평가

##### (1) 해당구조물의 염해 환경 설정

###### ① 표면염화물이온농도 설정

염해를 받을 수 있는 환경에 놓인 콘크리트 구조물의 환경조건은 국내 해안선으로부터 거리에 따라 계측한 콘크리트 표면의 염화물이온 농도  $C_s$ (kg/m<sup>3</sup>)를 설정해야 한다. 실측한 표면염화물이온농도 데이터가 없는 경우에는 <표 15>를 참고한다.

표 15. 콘크리트 표면의 염화물이온 농도  $C_s$  (kg/m<sup>3</sup>)

해안환경 <sup>1)</sup>	간만대	비말대	해안선으로부터 거리(km) <sup>2)</sup>				
			해안선 근처	0.1	0.25	0.5	1.0
동해안	-	13.0	9.0	6.5	2.5	1.5	1.0
서·남해안	20.0	5.0	2.5	2.0	1.5	-	-

주1) 동해안과 서·남해안의 구분은 부산을 경계로 한다. 다만, 부산지역은 동해안으로 규정한다.

주2) 수평방향의 거리가 아닌 연직높이의 영향을 고려할 때는 해발 1m의 차이가 해안선으로부터 거리 25m의 차이와 같다고 간주한다.

###### ② 철근부식 임계염화물이온 농도 설정

철근부식을 일으키는 임계염화물이온 농도  $C_{lim}$ 는 다음의 식을 사용하여 구한다.

$$C_{lim} = 0.004 C_{bind} \quad (5)$$



여기서,  $C_{bind}$  : 단위결합재량(kg/m<sup>3</sup>)

### 3.3 콘크리트 구조물의 염해 내구성 평가

(1) 염화물이온 침투에 의한 콘크리트 구조물의 내구성은 <식 6>에 의해 평가한다.

$$\gamma_P C_d \leq \phi_K C_{lim} \quad (6)$$

여기서,  $\gamma_P$  : 염해에 대한 환경계수로서 일반적으로 1.11

$\phi_K$  : 염해에 대한 내구성 감소계수로서 일반적으로 0.86

$C_{lim}$  : 철근부식이 시작될 때의 임계염화물이온 농도(kg/m<sup>3</sup>)

$C_d$  : 철근 위치에서 염화물이온 농도의 예측값(kg/m<sup>3</sup>)

(2) 염해에 대한 콘크리트 구조물의 내구성 평가를 위한 염화물이온 농도는 콘크리트 중의 염화물이온의 확산에 관한 기초방정식인 피크(Fick)의 제2법칙을 유한요소법 또는 유한차분법을 사용하여 구하거나, <식 (7)>을 사용하여 구할 수 있다.

$$C_d - C_i = (C_s - C_i) \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_d t}} \right) \right) \quad (7)$$

여기서,  $C_d$  : 위치  $x$ (cm), 시간( $t$ ), 년(y) 또는 초(s)에서 염화물이온 농도의 설계값(kg/m<sup>3</sup>)

$C_i$  : 초기 염화물이온 농도로서 최대값으로 0.3kg/m<sup>3</sup>

$C_s$  : 표면 염화물이온 농도

$\operatorname{erf}$  : 오차함수

$$\operatorname{erf}(s) = \frac{2}{\pi^{1/2}} \int_0^s e^{-\lambda^2} d\lambda$$

$$D_d = \gamma_c D_k$$

$D_d$  : 염화물이온의 유효확산계수(m<sup>2</sup>/y 또는 m<sup>2</sup>/s)

$\gamma_c$  : 콘크리트의 재료계수로서 일반적으로 1.0이 사용되며, 구조물의 최상부에는 1.3

$D_k$  : 콘크리트 염화물이온 확산계수의 특성값(m<sup>2</sup>/y, 또는 m<sup>2</sup> /s)

(다만,  $1.0 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s} = 0.31536 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{y}$ )

(3) 콘크리트 염화물이온 확산계수 특성값  $D_k$ 는 염화물 이온 확산계수 예측값  $D_p$ 에 1.3 배하여 구한다.

(4) 콘크리트의 염화물이온 확산계수의 예측값  $D_p$ 는 평가 대상 콘크리트에 대해 재령  $t_R$ 에서 실제 실험이나 실측된 자료를 통해 구한 확산계수  $D_R$ 에 물-결합재비에 따른 보정을 한 <식 (8)>, <식 (9)>에 따라 계산한다.

-  $t < t_c = 30$ 년에 대하여,

$$D_p = \frac{D_R}{1-m} \left( \frac{t_R}{t} \right)^m \quad (8)$$

-  $t \geq t_c = 30$ 년에 대하여,

$$D_p = \frac{D_R}{1-m} \left[ (1-m) + m \frac{t_c}{t} \right] \left( \frac{t_R}{t_c} \right)^m \quad (9)$$

여기서,  $D_R$  : 기준 시간( $t_R$ )에서 염화물이온 확산계수

$t_R$  : 기준 시간(일반적으로 28일  $\approx$  0.077년)

$t_c$  : 확산계수 감소한계(일반적으로 30년)

$m$  : 재령계수로서, 재령에 대한 영향을 나타내는 상수

- (5) 콘크리트 염화물이온 확산계수 예측식에서 재령계수  $m$ 은 실제 실험이나 실측 결과로부터 구하는 것이 바람직하다. 다만 신뢰할 만한 실험값을 확보하지 못했을 경우 다음 <식 (10)>을 사용해도 좋다.

$$m = 0.2 + 0.4 (FA(\%)/50 + SG(\%)/70) \quad (10)$$

여기서,  $FA(\%)$  : 총 결합재 중량에 대한 플라이애시 함유율(%), 다만  $FA(\%) \leq 50\%$

$SG(\%)$  : 총 결합재 중량에 대한 고로 슬래그 함유율(%), 다만  $SG(\%) \leq 70\%$

- (6) 기준 조건에서 측정된 확산계수  $D_R$ 은 구조물에 사용될 콘크리트에 대해 실제 실험이나 실측된 자료를 통해 구할 수 있으며, 이 경우에는 물-결합재비에 따른 확산계수 예측값을 다음의 <식 (11)>로 나타낼 수 있다.

$$\log D_R = a + b(W/B) \quad (11)$$

여기서,  $a$  : 실험으로부터 정해지는 상수

$b$  :  $W/B$  : 물-결합재비

- (7) 위의 식에서  $a$ ,  $b$ 는 실험을 통해 결정하는 것이 바람직하다. 다만 신뢰할 만한 데이터를 확보하지 못하였을 경우에 물-결합재비에 따른 확산계수의 변화를 고려한 확산계수 예측식은 다음의 값을 참조할 수 있다.

- 포틀랜드 시멘트 또는 포틀랜드 시멘트와 플라이 애시, 고로슬래그 미분말을 혼합한 경우

$$D_R = 10^{-12.06 + 2.40(W/B)} \quad (12)$$

- 포틀랜드 시멘트와 실리카 폼을 혼합한 경우

$$D_R = e^{-16.5 a_{SF}} 10^{-12.06 + 2.40(W/B)} \quad (13)$$

여기서,  $W/B$  : 물-결합재비

$a_{SF}$  : 총 결합재 중량에 대한 실리카 폼 중량비( $0 \leq a_{SF} \leq 0.15$ )



- (8) 확산계수의 온도 의존성을 고려하는 경우에는 미국 콘크리트학회 365위원회(ACI-365)에 제안한 식 등을 참고하도록 한다.
- (9) 콘크리트 구조물의 시공전 균열평가에 따라 사용성 및 수밀성의 관점에서 허용 균열폭 이내의 균열이 예측되는 경우에는 염화물이온의 유효확산계수  $D_d$ 는 <식 (14)>와 <식 (15)>를 사용한다. 즉, 시공에 따라 예상되는 균열폭의 영향을 반영한 염화물이온의 유효확산계수는 <식 (14)>와 같다.

$$D_d = \gamma_c D_k + \left(\frac{w}{l}\right) \left(\frac{w}{w_a}\right)^2 D_0 \quad (14)$$

여기서,  $D_0$  : 콘크리트내의 염화물이온의 확산에 영향을 미치는 균열계수 ; 일반적으로 200(m<sup>2</sup>/y, 또는 m<sup>2</sup>/s)

$w$  : 콘크리트 구조물의 균열평가에 따른 예상 균열폭(mm)

$w_a$  : 허용균열폭(mm)

$\frac{w}{l}$  : 균열폭과 균열간격의 비

한편, 콘크리트 내의 균열이 허용균열폭 이하이며 <식 (14)>의 적용이 어려운 경우에는 다음 <식 (15)>를 사용해도 좋다.

$$D_d = \gamma_c D_k \beta_d \quad (15)$$

여기서,  $\beta_d$  : 콘크리트 확산계수의 균열보정계수로서 균열이 존재하지 않으면 1.0, 허용균열폭 이내의 균열이 존재하면 1.5

### 3.4 탄산화에 관한 내구성 평가

#### (1) 탄산화 내구성능

- ① 콘크리트 구조물의 시공계획단계에서 탄산화에 대한 내구성 평가는 구조물 설계 당시의 내구성 조건과 콘크리트의 재료, 배합, 시공방법 등에 따라 대상구조물의 탄산화에 관한 환경조건을 고려한 내구성 평가를 통하여 대상 구조물의 목표내구수명 내에서 탄산화에 대한 요구내구성능을 확보하고 있는지 여부를 수행해야 한다.
- ② 탄산화에 대한 허용 성능저하 한도는 탄산화 침투깊이가 철근의 깊이까지 도달한 상태를 탄산화에 대한 허용 성능저하 한계상태로 정하도록 한다.

#### (2) 콘크리트 구조물의 탄산화 내구성 평가

- ① 콘크리트 구조물의 탄산화에 대한 내구성 평가는 목표내구수명에 도달하였을 때의 철근부식이 발생하는 탄산화 한계깊이  $y_{lim}$ 와 구조물의 열화에 따른 예측 탄산화 깊이  $y_p$ 에 각각 내구성 감소계수와 환경계수를 곱하여 비교함으로써, 즉 다음 평가 기본식 <식 (16)>에 따라 계산할 수 있다.

$$\gamma_P y_p \leq \phi_K y_{lim} \quad (16)$$

- 여기서,  $\gamma_p$  : 탄산화에 대한 환경계수로서 일반적으로 1.1  
 $\phi_K$  : 탄산화에 대한 내구성 감소계수로서 일반적으로 0.92  
 $y_{lim}$  : 철근부식이 발생할 수 있는 탄산화 한계깊이(mm)  
 $y_{lim} = c - c_k$   
 $c$  : 설계피복두께(mm)  
 $c_k$  : 한계 탄산화 깊이 여유값으로서, 자연환경에서는 10, 심한 염해 환경에서는 25mm  
 $y_p$  : 탄산화 깊이의 예측값(mm)

② 예측 탄산화 깊이  $y_p$ 는 <식 (17)>에 따라 계산할 수 있다.

$$y_p = \gamma_{cb} \alpha_d \sqrt{t} \quad (17)$$

- 여기서,  $\gamma_{cb}$  : 탄산화 깊이 예측식의 변동성을 고려한 안전계수로서 일반적으로 1.15, 고유동화 콘크리트의 경우는 1.1  
 $\alpha_d$  : 설계 탄산화 속도계수(mm /  $\sqrt{y}$ )  
 $\alpha_d = \alpha_k \beta_e \gamma_c$   
 $\alpha_k$  : 특성 탄산화 속도계수(mm /  $\sqrt{y}$ )  
 $\beta_e$  : 환경작용의 정도를 나타내는 방향계수로서 건조되기 어려운 환경, 경인 북향면에서는 1.0, 건조되기 쉬운 환경, 남향면에서는 1.6  
 $\gamma_c$  : 콘크리트의 재료계수로서 일반적으로 1.0이고, 구조물의 상면 부위에서는 1.3으로 하나, 구조물의 콘크리트와 표준양생공시체 간에 품질의 차이가 생기지 않는 경우에는 1.0  
 $t$  : 재령(y)

③ 특성 탄산화 속도계수  $\alpha_k$ 는 예측 탄산화 속도계수  $\alpha_p$ 에 1.2배를 사용하도록 한다. 예측탄산화 속도계수  $\alpha_p$ 는 평가대상 콘크리트에 대해 실제 실험이나 실측자료를 통해 구하는데, 실험이나 실측자료를 통해 구하기 어려운 경우에 다음의 예측식을 사용해도 좋다.

$$\alpha_p = -3.57 + 9.0(W/B) \quad (18)$$

- 여기서,  $W/B$  : 유효 물-결합재비  
 $W/B = W / (C_p + k A_d)$   
 $W$  : 단위체적당 물의 질량  
 $B$  : 단위체적당 유효 결합재의 질량  
 $C_p$  : 단위체적당 포틀랜드 시멘트의 질량  
 $A_d$  : 단위체적당 혼화재의 질량  
 $k$  : 재료상수(플라이 애시쉬는  $k = 0$ 이고, 고로 슬래그 미분말의 경우는  $k = 0.7$ )



### 3.5 동결융해의 내구성 평가

#### (1) 동결융해의 내구성능

콘크리트 구조물의 시공계획단계에서 동결융해에 대한 내구성 평가는 구조물 설계 당시의 내구성 조건과 콘크리트의 재료, 배합, 시공방법 등에 따라 대상구조물의 동결융해에 관한 환경조건을 고려한 내구성 평가를 통하여 대상 구조물의 목표내구수명 내에서 동결융해에 대한 요구내구성능을 확보하고 있는지 여부를 수행해야 한다.

#### (2) 동결융해의 내구성 평가

- ① 동결융해 저항성 시험을 통하여 얻어지는 상대동탄성계수와 콘크리트의 질량 감소율을 지표로 동해에 한 내구성을 평가한다. 이 때 동결융해에 대한 콘크리트 구조물의 내구성 평가는<식 (19)>에 의해 수행할 수 있다.

$$\gamma_P F_d \leq \phi_K F_{lim} \quad (19)$$

여기서,  $\gamma_P$  : 동결융해에 대한 환경계수로서 일반적으로 1.0

$\phi_K$  : 동결융해에 대한 내구성감소계수, 구조물의 종류와 위치에 따라 <표 16>의 값을 사용

$F_d$  : 상대동탄성계수의 예측값의 역수

$$F_d = \frac{1}{E_d}$$

$E_d$  : 상대동탄성계수의 예측값(%)

$F_{lim}$  : 상대동탄성계수의 최소값의 역수

$$F_{lim} = \frac{1}{E_{min}}$$

$E_{min}$  : 동결융해작용에 대하여 소요 성능을 만족하기 위한 상대동탄성계수의 최소 한계값(%)으로서 일반적으로 <표 8>에 따름

표 16. 구조물의 종류와 위치에 따른 동해에 관한 내구성 감소계수

구 분	보통부위	구조물의 상부
일반 구조물	1.0	0.8
중요 구조물	0.9	0.7

- ② KS F 2456 급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항 시험방법에서의 수중동결융해(A)법에 의해 나온 시험결과가 <표 8>에 나타난 값 이상이고, <표 9>의 물-결합재 조건을 만족하며, <표 9>에서 정한 공기량을 만족하도록 설정한다면 앞 항의 동결융해 저항성 평가를 생략해도 좋다.

표 17. 동결융해에 의해서 열화가 발생하지 않는 최대 물-결합재비(%)와  
상대동탄성계수의 최소한계치  $E_{min}$  (%)

기상조건		기상작용이 심하고 동결융해가 자주 반복될 때	기상작용이 심하지 않고 온도가 동결점 이하로 떨어지는 경우가 드물 때			
			얇은 경우 <sup>2)</sup>	보통의 경우	얇은 경우	보통의 경우
구조물의 노출 상태	(1) 연속해서 또는 반복해서 물에 포 화되는 경우 <sup>1)</sup>	최대 물- 결합재비(%)	45	50	50	55
		$E_{min}$ (%)	85	70	85	60
	(2) 일반적인 노출 상태로 (1)에 속하 지 않는 경우	최대 물- 결합재비(%)	50	55	55	60
		$E_{min}$ (%)	70	60	70	60

주1) 수로, 물탱크, 교각의 받침대, 교각, 옹벽, 터널 복공등과 같이 수면 가까이에서 포화된 부분 및 이 구조물들 외에 보, 슬래브 등 수면에서 떨어져 있지만 용설, 유수, 물방울 때문에 물에 포화된 부분 등

주2) 단면의 두께가 0.2m 이하인 부위

### 3.6 화학적 침식에 관한 내구성 평가

#### (1) 화학적 침식의 내구성능

① 화학적 침식은 침식성 물질과 콘크리트와의 접촉에 의해 콘크리트 혹은 철근의 손상을 일으키는 현상으로, 현 단계에서는 침식성 물질의 접촉 및 침투에 의한 콘크리트의 열화가 구조물의 성능저하에 미치는 영향에 대해 정량적으로 평가할 수 있을 정도의 데이터가 축적되어 있지 못하다. 따라서 구조물의 요구성능, 구조형식, 중요도, 유지관리 용이도, 외부환경 등을 고려하여, 침식성 물질의 접촉 및 침투에 의한 콘크리트 손상이 나타나지 않게 하거나, 그 영향이 철근위치까지 미치지 않게 하는 등의 상태를 한계상태로 정하는 것이 타당하다고 보는 것이 현실적이다.

② 콘크리트의 화학적 침식에는 다음과 같은 여러 요인이 있으며, 이에 대해 평가해야 한다.

- 산에 의한 침식
- 황산염에 의한 침식
- 염류에 의한 침식
- 강알칼리에 의한 침식
- 동·식물성 기름에 의한 침식
- 당류에 의한 침식
- 부식성 가스에 의한 침식



(2) 화학적 침식의 내구성 평가

화학적 침식에 의한 콘크리트 구조물의 내구성은 <식 (20)>에 의해 평가할 수 있다.

$$\gamma_P Z_p \leq \phi_K Z_{lim} \quad (20)$$

여기서,  $\gamma_P$  : 화학적 침식에 대한 환경계수로서 일반적으로 1.1

$\phi_K$  : 화학적 침식에 대한 내구성감소계수로서 일반적으로 0.92

$Z_{lim}$  : 화학적 침식의 침투 한계깊이(mm)

$$Z_{lim} = c - c_k$$

$c$  : 설계피복두께(mm)

한계 화학적 침식 깊이 여유값으로서, 일반적으로 철근의 지름을

$c_k$  : 사용함

$Z_p$  : 화학적 침식 깊이의 예측값(mm)

3.7 알칼리 골재반응에 관한 내구성 평가

(1) 알칼리 골재반응의 내구성능

- ① 구조물의 요구성능이 콘크리트의 알칼리 골재반응에 의해 손상 받지 않아야 한다.
- ② 콘크리트 표면을 피복함으로써 알칼리 골재반응에 관한 구조물의 성능을 확보할 수 있으며, 이런 경우에는 유지관리계획을 고려하여 표면피복에 의한 방수 효과를 적절한 방법으로 평가해야 한다.
- ③ 알칼리 골재반응에 의한 피해를 방지하기 위해서 외부로부터 알칼리금속이온 및 염화물이온 등이 침투되지 않도록 시공해야 한다.
- ④ 알칼리 골재반응에 의한 피해를 감소시키기 위하여 콘크리트 구조물의 외부를 방수 처리하거나 배수를 용이하게 해야 한다.

(2) 알칼리 골재반응의 내구성 평가

알칼리 골재반응에 대한 콘크리트 구조물의 내구성은 <식 (21)>에 의해 평가할 수 있다.

$$\gamma_P R_p \leq \phi_K R_{lim} \quad (21)$$

여기서,  $\gamma_P$  : 알칼리 골재반응에 대한 환경계수로서 일반적으로 1.1

$\phi_K$  : 알칼리 골재반응에 대한 내구성감소계수로서 일반적으로 0.92

$R_{lim}$  : 알칼리 골재반응의 화학적 한계 안정성

$R_p$  : 알칼리 골재반응의 화학적 안정성 예측값

## 4. 배합단계에서 콘크리트 내구성 평가

### 4.1 일반사항

- (1) 이 해설에서는 배합계획 단계에서 콘크리트의 배합설계에 따라 제조될 콘크리트가 지배적인 열화인자에 대해 요구되는 내구성을 만족하는지를 평가하는 절차를 규정하고 있다.
- (2) 이 해설은 내구성이 특별히 요구되지 않는 콘크리트나, 특수한 공법 및 재료를 사용한 콘크리트를 제외한 일반적인 콘크리트에 대해 시공 전 열화 요인에 따른 배합 단계의 콘크리트 내구성을 평가하고 이에 따른 내구성의 확보를 위해 적용한다.
- (3) 설정된 콘크리트의 성능이 평가조건을 만약 만족하지 못한다면, 콘크리트에 대한 내구성능의 확보를 위해 배합 또는 재료를 변경하여 콘크리트의 내구성을 재평가해야 한다.
- (4) 열화환경에 놓여있는 콘크리트의 주된 열화인자는 염해, 탄산화, 동결융해, 화학적 침식, 알칼리 골재반응으로 하여 평가해야 한다.
- (5) 콘크리트 구조물이 복합열화가 지배적인 특수한 환경에 시공되는 경우에는 각각의 열화인자에 대하여 배합 설계된 콘크리트에 대해 내구성 평가를 수행하여 가장 지배적인 열화인자에 대한 내구성 평가결과를 적용할 수 있다.

### 4.2 염해에 대한 평가

- (1) 염화물이온의 확산계수에 대한 평가

콘크리트의 염해에 대한 내구성을 평가하기 위해 <식 (22)>와 같이 염화물이온의 확산계수를 평가한다.

$$\gamma_p D_p \leq \phi_k D_k \quad (22)$$

여기서,  $\gamma_p$  : 염해에 대한 환경계수로서 일반적으로 1.11

$\phi_k$  : 염해에 대한 내구성감소계수로서 일반적으로 0.86

$D_k$  : 콘크리트의 염화물이온 확산계수의 특성값(m<sup>2</sup>/y, 또는 m<sup>2</sup>/s)

$D_p$  : 콘크리트의 염화물이온 확산계수의 예측값(m<sup>2</sup>/y, 또는 m<sup>2</sup>/s),  
(다만,  $1.0 \times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s} = 0.31536 \times 10^{-4} \text{m}^2/\text{y}$ )

- (2) 앞의 「① 항」 염해에 의한 내구성 평가 항목에서 염화물이온의 확산계수 예측치를 구하는 방법에 의해 확산계수 예측값  $D_p$ 를 구하여, 확산계수 특성값  $D_k$ 의 1.3배 보다 작음의 여부를 평가한다.

### 4.3 탄산화의 평가

- (1) 탄산화 속도계수의 평가



콘크리트의 탄산화에 대한 내구성을 평가하기 위해 <식 (23)>과 같이 탄산화 속도 계수를 평가한다.

$$\gamma_p \alpha_p \leq \phi_k \alpha_k \quad (23)$$

여기서,  $\gamma_p$  : 탄산화를 고려한 환경계수로서 일반적으로 1.1

$\phi_k$  : 탄산화를 고려한 내구성감소계수로서 일반적으로 0.92

$\alpha_p$  : 콘크리트 탄산화 속도계수의 예측값(mm/√y)

$\alpha_k$  : 콘크리트의 특성 탄산화 속도계수(mm/√y)

#### (2) 탄산화 속도계수의 예측식

앞의 「해설 2. (3) ③」 탄산화에 의한 내구성 평가 항목에서 탄산화속도 계수 예측치를 구하는 방법에 의해 속도계수 예측값  $\alpha_p$ 를 구하여, 탄산화 속도계수 특성값  $\alpha_k$ 의 1.2배 보다 작음의 여부를 평가 한다.

### 4.4 동결융해에 대한 평가

#### (1) 상대동탄성계수의 평가

콘크리트의 동해에 대한 내구성을 평가하기 위해 <식 (24)>와 같이 콘크리트의 상대동탄성계수를 평가한다.

$$\gamma_p F_d \leq \phi_k F_{lim} \quad (24)$$

여기서,  $\gamma_p$  : 동해에 대한 환경계수로서 일반적으로 1.0

$\phi_k$  : 동해에 대한 내구성감소계수

$F_d$  : 상대동탄성계수의 예측값의 역수

$$F_d = \frac{1}{E_d}$$

$F_d$  : 상대동탄성계수의 예측값의 역수

$$F_d = \frac{1}{E_d}$$

$E_d$  : 상대동탄성계수의 예측값(%)

$F_{lim}$  : 상대동탄성계수의 최소값의 역수

$$F_{lim} = \frac{1}{E_{min}}$$

$E_{min}$  : 동결융해작용에 대하여 소요 성능을 만족하기 위한 상대동탄성계수의 최소 한계값(%)

### 4.5 화학적 침식성의 평가

(1) 콘크리트의 화학적 침식에 대한 내구성을 평가하기 위해 <식 (25)>과 같이 침식속도계수를 평가할 수 있다.

$$\gamma_p S_p \leq \phi_k S_k \quad (25)$$

여기서,  $\gamma_p$  : 화학적 침식을 고려한 환경계수로서 일반적으로 1.1

$\phi_k$  : 화학적 침식을 고려한 내구성 감소 계수로서 일반적으로 0.92

$S_p$  : 콘크리트 침식 속도계수의 예측값

$S_k$  : 콘크리트의 특성 침식속도계수

- (2) 화학적 침식에 의한 콘크리트 침식속도계수의 예측값  $S_p$ 에 대한 신뢰할 만한 자료가 없을 때에는 축진 침식시험에 따른 시험결과 및 검증된 실험결과로부터 제시된 예측식으로부터 추정할 수 있다. 이 때 화학적 침식에 대한 환경계수는 1.0으로 한다.
- (3) 내화학적 침식성의 평가는 대상이 되는 콘크리트의 침식 작용과 정도를 고려한다. 콘크리트 공시체의 축진 시험 및 폭로시험 또는 그 밖의 적절한 시험을 통해 콘크리트의 열화 발생 여부나 이러한 열화로 인해 구조물의 요구성능에 어느 정도 영향을 미치는지 파악해야 한다.
- (4) 내화학적 침식으로 인한 콘크리트의 열화가 구조물의 요구성능에 영향을 미치지 않도록 하기 위해서 이 시방서에서 규정한 콘크리트 재료를 선정하고 이에 적합한 물-결합재비를 사용해야 한다.

#### 4.6 알칼리 골재반응성의 평가

- (1) 알칼리 골재반응성에 관한 평가는 <식 (26)>과 같이 알칼리 골재반응에 따른 콘크리트의 팽창량으로 평가한다.

$$\gamma_p L_p \leq \phi_k L_{\max} \quad (26)$$

여기서,  $\gamma_p$  : 알칼리 골재반응에 대한 환경계수로서 일반적으로 1.1

$\phi_k$  : 알칼리 골재반응에 대한 내구성 감소계수로서 일반적으로 0.92

$L_p$  : 알칼리 골재반응에 의한 콘크리트 팽창량 예측값(%)

$L_{\max}$  : 콘크리트가 소요의 내알칼리 골재반응성을 만족하기 위한 팽창량 최대 한계값(%)으로서 일반적으로 0.05%

- (2) 알칼리 골재반응에 의한 콘크리트 팽창률의 예측값  $L_p$ 에 대한 신뢰할 만한 자료가 없을 때에는 KS F 2585의 6개월 재령에서 길이 변화로부터 구할 수 있다. 이 때 알칼리 골재반응에 대한 환경계수는 1.0으로 한다.
- (3) 아래에 나타내는 조건 중 하나를 만족하는 경우에는 내알칼리 골재반응성 평가를 생략할 수 있다.
  - ① KS F 2545, KS F 2546 중에서 해당실험을 통해 ‘무해’ 혹은 ‘반응성이 없음’으로 판명된 골재만을 사용하는 경우
  - ② 알칼리 금속 이온이 혼입할 염려가 없는 환경으로 위의 기준을 만족하지 않거나 또



는 이 시험을 하지 않은 골재를 사용하지만, 다음과 같은 알칼리 골재반응 억제 대책 중 하나를 행하는 경우

- 가. 시멘트의 등가알칼리량이 0.6% 이하의 저알칼리형 포틀랜드시멘트를 사용
- 나. 알칼리 골재반응 억제 효과를 가진 혼합시멘트를 사용
- 다. 콘크리트 중의 알칼리 이온 총량을  $3\text{kg/m}^3$  이하로 규제



## RECORD HISTORY

Rev.0('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.

