KDS 14 20 40 : 2016

콘크리트구조 내구성 설계기준

2016년 6월 30일 제정
http://www.kcsc.re.kr

KC CODE

국토교통부

건설기준 제정 또는 개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

건설기준 연혁

• 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서) 간 중복·상충을 비교 검토하여 코드로 통합 정비하였다.

• 이 기준은 기존의 콘크리트 설계기준에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제정 또는 개정 (년.월)
콘크리트구조설계기준	• 콘크리트(토목, 건축)에서 다르게 적용하는 설계규정, 기술용어 및 기호 등을 통일	제정 (1999.5)
콘크리트구조설계기준	• 콘크리트 허용균열폭, 피복두께, 인장철근 정착길이 관련 내용수정 • 벽체의 부재 적용범위 구체화	개정 (2003.4)
콘크리트구조설계기준	• 국제표준규격에 따라 단위 수정 • 경제성과 안정성을 고려하여 하중계수, 하중조합 및 강도감소계수 등을 개정	개정 (2007.10)
콘크리트구조기준	• 콘크리트의 사용성 및 내구성 관련 연구결과 반영 • 성능기반설계의 기본적인 고려사항을 수록하여 성능기반설계의 도입	개정 (2012.10)
KDS 14 20 40 : 2016	• 건설기준 코드체계 전환에 따라 코드화로 통합 정비함	제정 (2016.6)
KDS 14 20 40 : 2016	• 한국산업표준과 건설기준 부합화에 따라 수정함	수정 (2018.7)

제　　정 : 2016년 6월 30일　　개　　정 :　　년　　월　　일
심　　의 : 중앙건설기술심의위원회　　자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회
소관부서 : 국토교통부 기술기준과
관련단체 : 한국콘크리트학회　　작성기관 : 한국콘크리트학회

목 차

1. 일반사항 ····· 1
1.1 적용범위 ····· 1
1.2 기호정의 ····· 1
1.3 용어정의 ····· 1
2. 조사 및 계획 ····· 2
3. 재료 ····· 2
4. 설계 ····· 2
4.1 내구성 설계 ····· 2
4.1.1 설계 일반 ····· 2
4.1.2 내구성 설계기준 ····· 2
4.1.3 노출 범주 및 등급 ····· 2
4.1.4 내구성 허용기준 ····· 3
4.2 보수·보강 및 유지관리 ····· 5
4.2.1 설계 일반 ····· 5
4.2.2 보수·보강 설계 ····· 6

부록. 콘크리트의 내구성 평가 ····· 7
1. 일반사항 ····· 7
1.1 적용범위 ····· 7
1.2 일반사항 ····· 7
1.3 관련 기준 ····· 7
1.4 참조 표준 ····· 7
1.5 용어의 정의 ····· 8
1.6 제출물 ····· 10
2. 내구성 평가 원칙 ····· 10
2.1 일반사항 ····· 10
2.2 콘크리트 구조물의 내구성 평가 원칙 ····· 11
2.3 배합 콘크리트의 내구성 평가 원칙 ····· 11
2.4 환경계수와 내구성 감소계수 ····· 11

3. 콘크리트 구조물의 내구성 평가 ····· 11
3.1 일반사항 ····· 11
3.2 염해에 관한 내구성 평가 ····· 12
3.2.1 해당구조물의 염해 환경 설정 ····· 12
3.2.2 철근부식 임계염소이온 농도 설정 ····· 12
3.2.3 콘크리트 구조물의 염해 내구성 평가 ····· 12
3.3 탄산화에 관한 내구성 평가 ····· 13
3.3.1 탄산화 내구성능 ····· 13
3.3.2 콘크리트 구조물의 탄산화 내구성 평가 ····· 13
3.4 동해에 관한 내구성 평가 ····· 14
3.4.1 동해의 내구성능 ····· 14
3.4.2 동해의 내구성 평가 ····· 14
3.5 화학적 침식에 관한 내구성 평가 ····· 15
3.5.1 화학적 침식의 내구성능 ····· 15
3.5.2 화학적 침식의 내구성 평가 ····· 15
3.6 알칼리 골재반응에 관한 내구성 평가 ····· 16
3.6.1 알칼리 골재반응의 내구성능 ····· 16
3.6.2 알칼리 골재반응의 내구성 평가 ····· 16
4. 배합단계에서 콘크리트 내구성 평가 ····· 16
4.1 일반사항 ····· 16
4.2 염소이온 확산계수의 평가 ····· 17
4.2.1 염소이온의 확산계수에 대한 평가 ····· 17
4.2.2 염소이온의 확산계수 예측식 ····· 17
4.3 탄산화 속도계수의 평가 ····· 18
4.3.1 탄산화 속도계수의 평가 ····· 18
4.3.2 탄산화 속도계수의 예측식 ····· 18
4.4 상대동탄성계수의 평가 ····· 18
4.4.1 상대동탄성계수의 평가 ····· 18
4.4.2 동해에 따른 물-결합재비 ····· 19
4.5 화학적 침식성의 평가 ····· 20
4.6 알칼리 골재반응성의 평가 ····· 21

1. 일반사항

1.1 적용범위

(1) 구조물 또는 부재가 사용기간 중 충분한 기능과 성능을 유지하기 위하여 사용하중을 받을 때 내구성을 검토하여야 한다.

1.2 기호정의

E_c : 콘크리트의 탄성계수, MPa
h : 부재의 최소 두께, ㎜
I_{cr} : 균열 단면의 단면2차모멘트
I_e : 유효단면2차모멘트
I_g : 철근을 무시한 콘크리트 전체 단면의 중심축에 대한 단면2차모멘트
f_{ck} : 콘크리트의 설계기준압축강도, MPa
f_r : 콘크리트의 파괴계수, MPa
f_y : 인장철근의 설계기준항복강도, MPa
f_{sp} : 콘크리트의 쪼갬인장강도, MPa
L : 활하중
l : 부재의 길이, ㎜
l_n : 보 부재의 순경간, 2방향 슬래브의 긴 변의 순경간
M_a : 처짐을 계산할 때 부재의 최대 휨모멘트
M_{cr} : 외력에 의해 단면에서 휨균열을 일으키는 휨모멘트
m_c : 콘크리트의 단위체적질량, ㎏/㎥
y_t : 철근을 무시한 전체 단면의 중심축에서 인장연단까지 거리
α : 보 양쪽의 슬래브 판의 중앙선에 의하여 구획되는 슬래브의 휨강성에 대한 보 휨강성의 비
α_m : 한 슬래브 주변의 모든 보의 α값의 평균값
β : 2방향 슬래브에서 단변 방향에 대한 장변 방향의 순경간비
λ : 경량콘크리트계수(KDS 14 20 10(4.4) 참고)
λ_Δ : 장기 추가처짐에 대한 계수
ξ : 지속하중에 대한 시간경과계수
ρ' : 압축철근비

1.3 용어정의

KDS 14 20 01(1.3)에 따른다.

2. 조사 및 계획

내용 없음.

3. 재료

KDS 14 20 01(3)에 따른다.

4. 설계

4.1 내구성 설계

4.1.1 설계 일반

(1) 콘크리트 구조는 주어진 주변 환경조건에서 설계 공용기간 동안에 안전성, 사용성, 내구성, 미관을 갖도록 설계, 시공, 유지관리하여야 한다.
(2) 설계 착수 전에 구조물 발주자와 설계자는 구조물의 중요도, 환경조건, 구조거동, 유지관리방법 등을 고려하여야 한다.

4.1.2 내구성 설계기준

(1) 해풍, 해수, 황산염 및 기타 유해물질에 노출된 콘크리트는 4.1.4의 조건을 만족하는 콘크리트를 사용하여야 한다.
(2) 설계자는 구조물의 내구성을 확보할 수 있는 적절한 설계기법을 결정하여야 한다.
(3) 설계 초기단계에서 구조적으로 환경에 민감한 구조 배치를 피하고, 유지관리 및 점검을 위하여 접근이 용이한 구조 형상을 선정하여야 한다.
(4) 구조물이나 부재의 외측 표면에 있는 콘크리트의 품질이 보장될 수 있도록 하여야 한다. 다지기와 양생이 적절하여 밀도가 크고, 강도가 높고, 투수성이 낮은 콘크리트를 시공하고 피복 두께를 확보하여야 한다.
(5) 구조물의 모서리나 부재 연결부 등의 건전성 확보를 위한 철근콘크리트 및 프리스트레스트콘크리트 구조요소의 구조 상세가 적절하여야 한다.
(6) 고부식성 환경조건에 있는 구조는 표면을 보호하여 내구성을 증진시켜야 한다.
(7) 설계자는 내구성에 관련된 콘크리트 재료, 피복 두께, 철근과 긴장재, 처짐, 균열, 피로 및 기타 사항에 대한 제반 규정을 모두 검토하여야 한다.

4.1.3 노출 범주 및 등급

(1) 책임구조기술자는 구조용 콘크리트 부재에 대해 예측되는 노출 정도를 고려하여 표 4.1-1에 따라 노출등급을 정하여야 한다.

표 4.1-1 노출 범주 및 등급

범주	등급		조건	
F (동결 융해)	무시	F0	동결융해의 반복작용에 노출되지 않는 콘크리트	
	보통	F1	간혹 수분과 접촉하고 동결융해의 반복작용에 노출되는 콘크리트	
	심함	F2	지속적으로 수분과 접촉하고 동결융해의 반복작용에 노출되는 콘크리트	
	매우심함	F3	제빙화학제에 노출되며 지속적으로 수분과 접촉하고 동결융해의 반복작용에 노출되는 콘크리트	
S (황산염)			토양 내의 수용성 황산염(SO_4)의 질량비(%)	물속에 용해된 황산염(SO_4) (ppm)
	무시	S0	SO4＜0.10	SO4＜150
	보통	S1	0.10≤SO4＜0.20	150≤SO4＜1,500, 해수
	심함	S2	0.20≤SO4＜2.00	1,500≤SO4≤10,000
	매우심함	S3	SO4＞2.00	SO4＞10,000
P (낮은 투수성 요구)	무시	P0	낮은 투수성이 요구되지 않고 수분과 접촉되는 경우	
	적용	P1	낮은 투수성이 요구되고 수분과 접촉되는 경우	
C (철근 방식)	무시	C0	건조하거나 또는 수분으로부터 보호되는 콘크리트	
	보통	C1	수분에 노출되지만 외부의 염화물에 노출되지 않는 콘크리트	
	심함	C2	제빙화학제, 소금, 염수, 해수 또는 해수 물보라 등과 같은 염화물에 직접적으로 노출되는 콘크리트	

4.1.4 내구성 허용기준

(1) 표 4.1-1에 따라 노출등급이 결정된 경우의 콘크리트 배합은 표 4.1-2에 규정된 가장 엄격한 요구 조건을 따라야 한다.

표 4.1-2 노출등급에 따른 내구성 허용기준

노출 등급	최대 물-결합재비	최소 설계기준 압축강도 f_{ck}(MPa)	추가적인 최소 요구 사항		
			공기량		결합재 사용제한
F0	-	21	없음		없음
F1	0.45	30	표 4.1-3		없음
F2	0.45	30	표 4.1-3		없음
F3	0.45	30	표 4.1-3		표 4.1-4
			시멘트의 종류		염화칼슘 혼화제 사용 유무
S0	-	21	제한 없음		제한 없음
S1	0.5	27	보통포틀랜드시멘트(1종)+포졸란 혹은 슬래그[1] 플라이애시시멘트(KS L 5211) 포틀랜드시멘트(2종)(KS L 5201) 고로슬래그시멘트(KS L 5210)		제한 없음
S2	0.45	30	내황산염포틀랜드시멘트(5종) (KS L 5201) 고로슬래그시멘트(KS L 5210)+플라이애쉬		허용 안 됨
S3	0.45	30	내황산염포틀랜드시멘트(5종) (KS L 5201)+포졸란 혹은 슬래그[2]		허용 안 됨
P0	-	21	해당사항 없음		
P1	0.50	27	해당사항 없음		
			콘크리트 내 최대 수용성 염소 이온(Cl-)량 (시멘트 질량에 대한 %)		관련 규정
			철근콘크리트	프리스트레스트콘크리트	
C0	-	21	1.00	0.06	없음
C1	-	21	0.30	0.06	
C2	0.40	35	0.15	0.06	KDS 14 20 50(4.3)

주 1) 1종시멘트가 포함된 콘크리트에 사용될 때, 황산염에 대한 저항을 개선시킨 실적이 있거나 또는 실험에 의해 증명된 포졸란 또는 슬래그
2) 5종시멘트가 포함된 콘크리트에 사용될 때, 황산염에 대한 저항을 개선시킨 실적이 있거나 또는 실험에 의해 증명된 포졸란 또는 슬래그

(2) 노출등급 F1, F2, F3에 해당하는 보통중량 콘크리트나 경량콘크리트는 표 4.1-3에 제시된 공기량을 확보하여야 한다. 이때 연행 공기량의 허용편차는 ±1.5%이다. 설계기준압축강도가 35 MPa을 초과하는 콘크리트는 표 4.1-3에 제시된 공기량에서 1%를 감소시킬 수 있다.

표 4.1-3 동해 저항 콘크리트에 대한 전체 공기량

굵은골재의 최대 치수(mm)	공기량(%)	
	노출등급 F1	노출등급 F2, F3
10.0	6.0	7.5
15.0	5.5	7.0
20.0	5.0	6.0
25.0	4.5	6.0
40.0	4.5	5.5

(3) 철근의 부식 방지를 위해서 굳지 않은 콘크리트의 전체 염소이온량은 원칙적으로 0.30 kg/m³ 이하로 하여야 한다. 다만 책임구조기술자의 승인을 받는 경우 0.60 kg/m³ 까지 허용될 수 있다. 그러나 이미 굳은 콘크리트의 전체 염소이온량에 대한 검토가 염소이온 농도에 의해 이루어질 경우, 재령 28일 이후의 콘크리트에서 최대 수용성 염소이온농도 시험은 KS F 2713 또는 KS F 2715에 따라 시행하고 표 4.1-2의 값으로 검토할 수 있다.

(4) 노출등급 C2의 경우 표 4.1-2의 최대 물-결합재비 및 콘크리트의 최소 설계기준압축강도 조건과 KDS 14 20 50(4.3)의 최소 콘크리트 피복조건을 만족하여야 한다.

(5) 노출등급 F3의 경우 콘크리트 배합에 사용되는 플라이 애쉬, 실리카 퓸, 슬래그, 포졸란의 결합재의 전 질량에 대한 비율이 표 4.1-4의 요건에 적합하도록 하여야 한다.

표 4.1-4 노출등급 F3의 콘크리트에 대한 최대 혼화재 비율

결합재	결합재 전 질량에 대한 백분율(%)
KS L 5405에 따르는 플라이애쉬 또는 기타 포졸란	25
KS F 2563에 따르는 고로슬래그 미분말	50
실리카퓸	10
플라이 애쉬 또는 기타 포졸란, 고로슬래그 미분말 및 실리카퓸의 합	50[1)]
플라이 애쉬 또는 기타 포졸란과 실리카 퓸의 합	35[1)]

주 1) 플라이애쉬 또는 기타 포졸란의 합은 25 % 이하, 실리카퓸은 10% 이하이어야 한다.

4.2 보수·보강 및 유지관리

4.2.1 설계 일반

(1) 콘크리트 구조물은 주어진 주변 환경조건에서 목표 수명기간 동안에 안전성, 사용성, 내구성, 미관을 갖도록 유지관리하여야 한다. 완공된 콘크리트 구조물은 정기적인 점검과 필요할 때 보수·보강을 통하여 본래의 기능을 유지하고 사용자의 편의와 안전을 도모할 수 있도록 관리하여야 한다.

(2) 균열이 발생한 구조물에 대하여 균열 발생의 원인 및 그 유해성에 관한 검토가 필요할 때에는 KDS 14 20 30(부록)에서 제시하고 있는 방법에 따라 검토하여 제반 조치를 강구하여야 한다.
(3) 기존 구조물의 안전성 평가는 KDS 14 20 90에 따라 수행하여야 한다.
(4) 구조물의 안전을 점검하기 위한 안전진단과 보수·보강 설계는 책임구조기술자에 의해 수행되어야 한다.

4.2.2 보수·보강 설계

(1) 손상된 콘크리트 구조물에서 안전성, 사용성, 내구성, 미관 등의 기능을 회복시키기 위한 보수는 타당한 보수설계에 근거하여야 한다.
(2) 기존 구조물에서 내하력을 회복 또는 증가시키기 위한 보강은 타당한 보강설계에 근거하여야 한다.
(3) 보수·보강 설계를 할 때는 구조체를 조사하여 손상 원인, 손상 정도, 저항내력 정도를 파악하고 구조물이 처한 환경조건, 하중조건, 필요한 내력, 보수·보강의 범위와 규모를 정하며, 보수·보강재료를 선정하여 단면 및 부재를 설계하고 적절한 보수·보강시공법을 검토하여야 한다.
(4) 보강설계를 할 때에는 보강 후의 구조내하력 증가 외에 사용성과 내구성 등의 성능 향상을 고려하여야 한다.
(5) 책임구조기술자는 보수·보강 공사에서 품질을 확보하기 위하여 공정별로 품질관리검사를 시행하여야 한다.

부록. 콘크리트의 내구성 평가

1. 일반사항

1.1 적용범위

(1) 이 기준의 부록은 시공에 착수할 콘크리트 구조물이 목표내구수명 동안에 내구성을 확보하도록 시공 착수 전 시공계획단계에서 내구성을 평가하는 데 적용한다. 그러나 내구성이 특별히 요구되지 않는 구조물, 또는 성능저하환경에 따른 내구성에 대해 검증된 공법 및 재료를 사용하여 시공될 구조물은 이 기준의 부록을 따르지 않을 수 있다.

(2) 내구성 평가에는 염해, 탄산화, 동결융해, 화학적 침식, 알칼리 골재반응 등을 주된 성능저하원인으로 고려하며, 시공할 구조물이 갖게 될 성능저하환경을 조사하여 이에 따라 성능저하원인별 내구성 평가 항목을 선정하여야 한다.

(3) 콘크리트 구조물이 복합성능저하가 지배적인 특수한 환경에 시공되는 경우는 각각의 성능저하인자에 대하여 내구성 평가를 수행하여 가장 지배적인 성능저하인자에 대한 내구성 평가결과를 적용하여야 한다.

1.2 일반사항

(1) 이 부록은 콘크리트 구조물의 공사 착공단계에서 내구성을 평가하기 위한 것으로서 내구성 평가 원칙, 설계에 따라 시공될 콘크리트 구조물에 대한 내구성 평가 방법, 시공에 사용되기 위해 배합 설계된 콘크리트의 재료자체에 대한 내구성 평가 방법에 대한 일반적이고 기본적인 표준을 규정하고 있다.

(2) 콘크리트 구조물의 목표내구수명은 구조물을 특별한 유지관리 없이 일상적으로 유지관리 할 때 내구적 한계상태에 도달하기까지의 기간으로 정하여야 한다. 시공될 콘크리트 구조물의 내구등급 결정은 구조물을 설계할 때 설정된 콘크리트 구조물의 목표내구수명에 따라 정하여야 한다.

1.3 관련 기준

KCS 14 20 10 일반콘크리트
KCS 14 20 42 매스콘크리트
KCS 14 20 44 해양콘크리트
염해 및 탄산화에 대한 철근콘크리트 구조물의 내구성 지침, 건설교통부, 2003
콘크리트 내구성 평가절차수립, 건설교통부, 1999

1.4 참조 표준

KS F 2456 급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법
KS F 2545 골재의 알칼리 잠재 반응 시험 방법(화학적 방법)

KS F 2546 골재의 알칼리 잠재 반응 시험 방법(모르타르봉 방법)
KS F 2585 콘크리트의 알칼리 실리카 반응성 판정 시험방법

1.5 용어의 정의

- 강도설계법(strength design method): 하중과 부재강도의 불확실성, 예기치 않은 초과하중 등의 변동성을 고려하기 위하여 하중 및 강도에 안전계수를 적용하여 구조물의 안전성에 대해서 설계하는 방법
- 공기량(air content): 굳지 않은 콘크리트에 포함되어 있는 공기량을 용적백분율로 표시한 것
- 급식성(rapid disintegration): 콘크리트의 화학적 침식정도가 빠르게 일어나는 성질
- 내구성(durability): 콘크리트가 설계조건에서 시간경과에 따른 내구적 성능저하로부터 요구되는 성능의 수준을 지속시킬 수 있는 성질
- 내구성 설계(durability design): 구조물 또는 부재의 목표내구수명에 따라 소요의 내구성능이 얻어지도록 내구성을 고려하여 실시하는 설계
- 내구성 감소계수(durability reduction factor): 내구성을 평가할 때 콘크리트 및 콘크리트 구조물이 보유하고 있는 내구성능에 대한 불확실성을 고려하기 위하여 내구성능 특성값에 곱해 주는 계수
- 내구성능(durability performance): 구조물의 성능을 사용기간 내에 요구수준 이상으로 유지하는 성능
- 내구성능 예측값(prediction value of durability): 콘크리트 및 콘크리트 구조물의 내구성능에 대한 예측값
- 내구성능 특성값(characteristic value of durability): 콘크리트 및 콘크리트 구조물이 보유해야 하는 내구성능의 요구특성값
- 내구성 평가(durability evaluation): 구조물의 목표내구수명기간 동안에 내구성능을 확보하는가를 판단하기 위하여 수행하는 평가
- 노후도(decrepit degree): 콘크리트 구조물의 사용기간이 증가함에 따라 성능저하로 인해 성능이 저하된 정도
- 동결방지제(freezing resistant admixture): 콘크리트의 동결을 방지하기 위한 혼화재료; 대표적인 것은 염화칼슘이 있음
- 동결융해(freeze-thaw): 외부의 기온의 변화에 의해 수분이 얼었다가 녹는 과정 ; 콘크리트는 내부에 수분을 갖고 있는데 외부기온의 변화에 의해 내부 수분이 얼었다가 녹는 과정을 반복하게 되는 현상
- 동결융해시험(test of freezing and thawing): 콘크리트의 내동해성을 평가하기 위하여 단기간에 동결과 융해를 반복해서 성능저하 정도를 평가하는 시험 ; 이는 KS F 2456에 시험방법이 규정되어 있음
- 동결융해 저항성(freeze-thaw resistance): 동결융해의 되풀이 작용에 대하여 본래의 성능을 유지하기 위한 저항성을 말함

- 동해(frost damage): 외부 기온의 변화에 의하여 재료 내부에 함유된 수분의 동결융해가 반복되면서 피해를 입게 되는 현상
- 목표내구수명(intended service life): 해당 콘크리트 구조물의 중요도, 규모, 종류, 사용기간, 유지관리수준 및 경제성 등을 고려하여 설정된 구조물이 내구성능을 유지해야 하는 기간
- 방식조치(protective treatment): 콘크리트의 침식을 방지하기 위하여 콘크리트 피복에 코팅(coating)재료를 씌우는 행위
- 비말대(splash belt): 주기적으로 혹은 간헐적으로 해수 또는 여러 다른 입경의 해수 방울에 의하여 영향을 받는 부위
- 상대동탄성계수(relative dynamic modulus of elasticity): 내동해성을 판정하는 기준으로 동결융해를 받기 전의 동탄성계수에 대한 동결융해를 받은 후의 동탄성계수의 비를 백분율로 나타낸 것
- 서식성(slow disintegration): 콘크리트의 화학적 침식 정도가 천천히 일어나는 성질
- 설계내구수명(designed service life): 콘크리트 구조물이 한계성능저하상태에 이르기까지의 기간
- 설계 내구성값(design durability value): 내구성능 특성값에 내구성 감소계수를 곱한 값
- 소요 내구성값(required durability value): 내구성능 예측값에 환경 불확실성을 고려한 환경계수를 곱한 값
- 스케일링(scaling): 동결융해작용에 의하여 표면 모르타르나 페이스트가 작은 조각상으로 떨어져 나가는 현상
- 신뢰성지수(reliability index): 내구성 평가에 일반적으로 파괴확률 대신에 사용되는 내구성 감소계수와 환경계수의 신뢰도 척도
- 안전율(factor of safety): 구조물의 안전성을 보장하는 계수로서, 내구성감소계수에 대한 환경계수의 비
- 성능저하(deterioration): 구조물의 재료적 성질 또는 물리, 화학, 기후적 혹은 환경적인 요인에 의하여 주로 시공 이후에 장기적으로 발생하는 내구성능 저하 현상
- 염해(chloride attack): 콘크리트 혹은 콘크리트 구조물에 있어 염소이온의 침투로 인해 철근이 부식되는 현상
- 유지관리(maintenance): 철근콘크리트 구조물의 성능을 적정한 상태로 유지할 목적으로 실시하는 제반 활동
- 임계염소이온 농도(steel corrosion generating limit concentration): 염소이온의 침투로 인해 콘크리트 내부의 철근에서 부식이 발생하기 시작하는 염소이온 농도
- 침식(erosion): 콘크리트가 빗물, 유수, 바람 등의 외력에 의하여 물리적으로 깍이는 작용 및 빗물이나 지하수로 인해 화학적으로 용해되는 현상
- 탄산화(carbonation): 이산화탄소에 의하여 시멘트 경화체 내의 수산화칼슘이 탄산칼슘으로 변화되어 콘크리트의 알칼리성이 저하되는 현상

- 탄산화 속도계수(carbonation rate coefficient): 이산화탄소에 의하여 콘크리트의 알칼리성이 저하되는 속도 보통 ㎜/$\sqrt{\text{y}}$으로 표시함
- 팝아웃(pop-out): 내동해성이 작은 골재를 콘크리트에 사용하는 경우 동결융해 작용에 의해 골재가 팽창하여 파괴되어 떨어져 나가거나 그 위치의 콘크리트 표면이 떨어져 나가는 현상
- 한계깊이(limit depth): 콘크리트가 성능저하될 때, 구조물의 내구성능 저하를 일으키기 시작하는 콘크리트 표면으로부터 성능저하침투깊이
- 한계성능저하 상태(limit deterioration state): 구조물이 여러 성능저하요인에 대해서 성능저하가 발생하는 기준점에 도달한 상태
- 화학적 침식(chemical corrosion): 침식성 물질과 콘크리트의 용식이나 성능저하 또는 콘크리트에 침입한 침식성 물질이 시멘트 조성물질이나 강재와 반응하여, 체적팽창에 의한 콘크리트의 균열이나 표면의 박리 등을 일으키는 성능저하현상
- 확산계수(diffusion coefficient): 임의의 물질이 위치에 따른 농도차이로 인해 콘크리트 내부로 침투하는 속도를 나타내는 계수
- 환경계수(environmental factor): 내구성을 평가할 때 콘크리트 및 콘크리트 구조물의 내구성에 영향을 미치는 외부 환경작용의 불확실성을 고려하기 위하여 내구성능의 예측값에 곱해주는 안전계수

1.6 제출물

(1) 재료 시험 자료
(2) 환경 노출 조사 자료
(3) 그 밖의 사항은 KCS 14 20 10(1.6)의 해당요건에 따른다.

2. 내구성 평가 원칙

2.1 일반사항

(1) 내구성 평가는 내구성에 영향을 미치는 각종 성능저하원인에 대해서 시공될 콘크리트 구조물과 시공에 사용될 콘크리트에 대하여 수행하여야 한다.
(2) 시공될 콘크리트 구조물 및 콘크리트가 내구성 평가를 통과한 경우에는 결정된 시공방법 및 배합 설계된 콘크리트를 사용하여 시공될 구조물에 대해 시공 직후 초기재령 상태의 콘크리트에 균열이 발생하는지를 평가하여야 한다. 이 때 시공될 구조물의 균열발생이 제어되지 않는 균열저항성 평가 결과를 얻는 경우에는 균열 제어시공이 되도록 시공방법을 수정하여야 하고, 시공방법의 수정만으로 균열제어가 되지 않는 경우에는 평가에 통과하는 결과를 얻도록 콘크리트 배합을 수정하여야 한다.

2.2 콘크리트 구조물의 내구성 평가 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 (2.2-1)에 따라 수행한다.

$$\gamma_P A_P \leqq \phi_K A_K \qquad (2.2\text{-}1)$$

여기서, γ_P : 콘크리트 구조물에 관한 환경계수
ϕ_K : 콘크리트 구조물에 관한 내구성 감소계수
A_P : 콘크리트 구조물의 내구성능 예측값
A_K : 콘크리트 구조물의 내구성능 특성값

2.3 배합 콘크리트의 내구성 평가 원칙

(1) 배합콘크리트의 내구성 평가는 식 (2.3-1)과 같이 콘크리트의 내구성능 예측값에 환경계수를 적용한 소요 내구성값을 내구성능 특성값에 내구성 감소계수를 적용한 설계 내구성값과 비교함으로써 수행한다.

$$\gamma_p \ B_p \leqq \phi_k \ B_k \qquad (2.3\text{-}1)$$

여기서, γ_p : 콘크리트에 관한 환경계수
ϕ_k : 콘크리트에 관한 내구성 감소계수
B_p : 콘크리트의 내구성능 예측값
B_k : 콘크리트의 내구성능 특성값

2.4 환경계수와 내구성 감소계수

(1) 환경계수는 시공될 콘크리트 구조물과 콘크리트 재료의 성능저하 환경조건에 대한 안전율로서 적용한다.

(2) 내구성 감소계수는 내구성능 특성값 및 내구성능 예측값의 정밀도에 대한 안전율로서 적용한다.

(3) 각 성능저하요인에 대하여 내구성을 평가할 때 사용되는 환경계수와 내구성 감소계수는 각 성능저하요인에 대해 독립적으로 적용하여야 한다.

3. 콘크리트 구조물의 내구성 평가

3.1 일반사항

(1) 이 부록은 내구성이 특별히 요구되지 않는 콘크리트 구조물이나, 특수한 공법 및 재료를 사용한 콘크리트 구조물을 제외한 일반적인 콘크리트 구조물에 대해 성능저하요인별 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 검토하여야 한다.
(3) 콘크리트 구조물이 목표내구수명 동안에 지배적인 성능저하인자에 따라 요구되는 내구성능을 평가하여야 한다.
(4) 콘크리트 구조물에 여러 성능저하인자가 복합적으로 작용하는 경우에는 각각의 성능저하인자가 독립적으로 작용한다고 가정하여 콘크리트 구조물의 내구성을 평가하며, 가장 지배적인 성능저하인자에 대한 내구성 평가 결과를 적용할 수 있다.

3.2 염해에 관한 내구성 평가

3.2.1 해당구조물의 염해 환경 설정

(1) 염해를 받을 수 있는 환경에 놓인 콘크리트 구조물의 환경조건은 국내 해안선으로부터의 거리에 따라 계측한 콘크리트 표면의 염소이온 농도 C_S (kg/m3)를 설정하여야 한다.

3.2.2 철근부식 임계염소이온 농도 설정

(1) 철근부식을 일으키는 임계 염소이온농도 $C_{\lim}$는 식 (3.2-1)을 사용하여 구할 수 있다.

$$C_{\lim} = 0.004\, C_{\text{bind}} \qquad (3.2\text{-}1)$$

여기서, C_{bind} : 단위결합재량(kg/㎥)

3.2.3 콘크리트 구조물의 염해 내구성 평가

(1) 염소이온 침투에 의한 콘크리트 구조물의 내구성은 식 (3.2-2)에 의해 평가한다.

$$\gamma_P\, C_d \leqq \phi_K\, C_{\lim} \qquad (3.2\text{-}2)$$

여기서, γ_P : 염해에 대한 환경계수 로서 일반적으로 1.11
ϕ_K : 염해에 대한 내구성 감소계수로서 일반적으로 0.86
$C_{\lim}$: 철근부식이 시작될 때의 임계염소이온 농도
C_d : 철근 위치에서 염소이온 농도의 예측값

(2) 염해에 대한 콘크리트 구조물의 내구성 평가를 위한 염소이온 농도는 콘크리트 중의 염소이온의 확산에 관한 기초방정식인 피크(Fick)의 제2법칙을 유한요소법 또는 유한차분법을 사용하여 구하거나, 식 (3.2-3)을 사용하여 구할 수 있다.

$$C_d - C_i = (C_S - C_i)\left(1 - erf\left(\frac{x}{2\sqrt{D_d\, t}}\right)\right) \qquad (3.2\text{-}3)$$

여기서, C_d : 위치 x(㎝), 시간 t(년(y), 또는 초(s))에서 염소이온 농도의 설계값 (kg/㎥)
C_i : 초기 염소이온 농도로서 최댓값으로 0.3 kg/㎥
C_S : 표면 염소이온 농도

erf : 오차함수,

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

D_d : 염소이온의 유효확산계수(㎡/y, 또는 ㎡/s)

$$D_d = \gamma_c D_k$$

γ_c : 콘크리트의 재료계수로서 일반적으로 1.0이 사용되며, 구조물의 최상부에는 1.3

D_k : 콘크리트 염소이온 확산계수의 특성값(㎡/y, 또는 ㎡/s)

(다만, 1.0×10-12 ㎡/s = 0.31536×10-4 ㎡/y)

3.3 탄산화에 관한 내구성 평가

3.3.1 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 수행하여야 한다.

(2) 탄산화에 대한 허용 성능저하 한도는 탄산화 침투깊이가 철근의 깊이까지 도달한 상태를 탄산화에 대한 허용 성능저하 한계상태로 정하도록 한다.

3.3.2 콘크리트 구조물의 탄산화 내구성 평가

(1) 콘크리트 구조물의 탄산화에 대한 내구성 평가는 목표내구수명에 도달하였을 때의 철근부식이 발생하는 탄산화 한계깊이와 구조물의 성능저하에 따른 예측 탄산화 깊이에 각각 내구성 감소계수와 환경계수를 곱하여 비교함으로써, 즉 다음 평가 기본식 식 (3.3-1)에 따라 계산할 수 있다.

$$\gamma_P \ y_p \le \phi_K \ y_{\lim} \qquad (3.3\text{-}1)$$

여기서, γ_P : 탄산화에 대한 환경계수로서 일반적으로 1.1

ϕ_K : 탄산화에 대한 내구성 감소계수로서 일반적으로 0.92

$y_{\lim}$: 철근부식이 발생할 수 있는 탄산화 한계깊이(㎜)

$$y_{\lim} = c - c_k$$

c : 설계피복두께(㎜)

c_k : 한계 탄산화 깊이 여유값으로서, 자연환경에서는 10 ㎜, 심한 염해환경에서는 25 ㎜

y_p : 탄산화 깊이의 예측값 (㎜)

(2) 예측 탄산화 깊이는 식 (3.3-2)에 따라 계산할 수 있다.

$$y_p = \gamma_{cb} \ \alpha_d \ \sqrt{t} \qquad (3.3\text{-}2)$$

여기서, γ_{cb} : 탄산화 깊이 예측식의 변동성을 고려한 안전계수로서 일반적으로 1.15, 그러나, 고유동화 콘크리트의 경우는 1.1

α_d : 설계 탄산화 속도계수(㎜/$\sqrt{\text{y}}$)

$$\alpha_d = \alpha_k \ \beta_e \ \gamma_c$$

α_k : 특성 탄산화 속도계수(㎜/$\sqrt{\text{y}}$)

β_e : 환경작용의 정도를 나타내는 방향계수로서 건조되기 어려운 환경인 북향한 면에서는 1.0, 건조되기 쉬운 환경, 남향면에서는 1.6

γ_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)

3.4 동해에 관한 내구성 평가

3.4.1 동해의 내구성능

(1) 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 목표내구수명내에서 동결융해에 대한 요구내구성능을 확보하고 있는지 여부를 수행하여야 한다.

3.4.2 동해의 내구성 평가

(1) 동결융해 저항성 시험을 통하여 얻어지는 상대동탄성계수와 콘크리트의 질량감소율을 지표로 동해에 관한 내구성을 평가한다. 이 때 동해에 대한 콘크리트 구조물의 내구성 평가는 식 (3.4-1)에 의해 수행할 수 있다.

$$\gamma_P \ F_d \leqq \phi_K \ F_{\lim} \qquad (3.4\text{-}1)$$

여기서, γ_P : 동해에 대한 환경계수로서 일반적으로 1.0

ϕ_K : 동해에 대한 내구성 감소계수, 구조물의 종류와 위치에 따라 아래 표 3.4-1의 값을 사용

표 3.4-1 구조물의 종류와 위치에 따른 동해에 관한 내구성 감소계수

구분	보통부위	구조물의 상부
일반 구조물	1.0	0.8
중요 구조물	0.9	0.7

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

F_d : 상대동탄성계수의 예측값의 역수

E_d : 상대동탄성계수의 예측값(%)

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

$F_{\lim}$: 상대동탄성계수의 최솟값의 역수

$E_{\min}$: 동결융해작용에 대하여 소요 성능을 만족하기 위한 상대동탄성계수의 최소 한계값(%)로서 일반적으로 표 3.4-2에 따름.

표 3.4-2 동결융해작용에 대하여 구조물의 성능을 만족하기 위한 상대동탄성계수의 최소한계값 (%)

기상조건		기상작용이 심하고 동결융해가 자주 반복될 때		기상작용이 심하지 않고 온도가 동결점 이하로 지는 경우가 드물 때	
단면		얇은 경우[2]	보통의 경우	얇은 경우	보통의 경우
구조물의 노출상태	(1) 연속해서 또는 반복해서 물에 포화되는 경우[1]	85	70	85	60
	(2) 일반적인 노출상태로 (1)에 속하지 않는 경우	70	60	70	60

주 1) 수로, 물탱크, 교각의 받침대, 교각, 옹벽, 터널 복공등과 같이 수면 가까이에서 포화된 부분 및 이 구조물들 외에 보, 슬래브 등에 수면에서 떨어져 있지만 융설, 유수, 물방울 때문에 물에 포화된 부분 등
2) 단면의 두께가 0.2 m 이하인 구조물

3.5 화학적 침식에 관한 내구성 평가

3.5.1 화학적 침식의 내구성능

(1) 콘크리트의 화학적 침식에서 다음과 같은 여러 요인에 대해 평가하여야 한다.

① 산에 의한 침식
② 황산염에 의한 침식
③ 염류에 의한 침식
④ 강알칼리에 의한 침식
⑤ 동·식물성 기름에 의한 침식
⑥ 당류에 의한 침식
⑦ 부식성 가스에 의한 침식

3.5.2 화학적 침식의 내구성 평가

(1) 화학적 침식에 의한 콘크리트 구조물의 내구성은 식 (3.5-1)에 의해 평가할 수 있다.

$$\gamma_P \ Z_p \leq \phi_K \ Z_{\lim} \qquad (3.5\text{-}1)$$

여기서, γ_P : 화학적 침식에 대한 환경계수로서 일반적으로 1.1

ϕ_K : 화학적 침식에 대한 내구성감소계수로서 일반적으로 0.92

$Z_{\lim}$: 화학적 침식의 침투 한계깊이(㎜)

$Z_{\lim} = c - c_k$

c : 설계피복두께(㎜)

c_k : 한계 화학적 침식 깊이 여유값으로서, 일반적으로 철근의 직경을 사용함

Z_p : 화학적 침식 깊이의 예측값(㎜)

3.6 알칼리 골재반응에 관한 내구성 평가

3.6.1 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 평가하여야 한다.

(3) 알칼리 골재반응에 의한 피해를 방지하기 위해서는 외부로부터 알칼리금속이온 및 염소이온 등이 침투되지 않도록 시공하여야 한다.

(4) 알칼리 골재반응에 의한 피해를 감소시키기 위하여 콘크리트 구조물의 외부를 방수처리하거나 배수를 용이하게 하여야 한다.

3.6.2 알칼리 골재반응의 내구성 평가

(1) 알칼리 골재반응에 대한 콘크리트 구조물의 내구성은 식 (3.6-1)에 의해 평가할 수 있다.

$$\gamma_P \ R_p \le \phi_K \ R_{\lim} \qquad (3.6\text{-}1)$$

여기서, γ_P : 알칼리 골재반응에 대한 환경계수로서 일반적으로 1.1

ϕ_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 기준에서는 배합계획 단계에서 콘크리트의 배합설계에 따라 제조될 콘크리트가 지배적인 성능저하인자에 대해 요구되는 내구성을 만족하는지를 평가하는 절차를 규정하고 있다.

(2) 이 기준은 내구성이 특별히 요구되지 않는 콘크리트나, 특수한 공법 및 재료를 사용한 콘크리트를 제외한 일반적인 콘크리트에 대해 시공 전 성능저하 요인에 따른 배합단계의 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 재평가하여야 한다.
(4) 성능저하환경에 놓여있는 콘크리트의 주된 성능저하인자는 염해, 탄산화, 동결융해, 화학적 침식, 알칼리 골재반응으로 하여 평가하여야 한다.
(5) 콘크리트 구조물이 복합성능저하가 지배적인 특수한 환경에 시공되는 경우에는 각각의 성능저하인자에 대하여 배합 설계된 콘크리트에 대해 내구성 평가를 수행하여 가장 지배적인 성능저하인자에 대한 내구성 평가결과를 적용할 수 있다.

4.2 염소이온 확산계수의 평가

4.2.1 염소이온의 확산계수에 대한 평가

(1) 콘크리트의 염해에 대한 내구성을 평가하기 위해 식 (4.2-1)과 같이 염소이온의 확산계수를 평가한다.

$$\gamma_p \ D_p \leqq \phi_k \ D_k \qquad (4.2\text{-}1)$$

여기서, γ_p : 염해에 대한 환경계수로서 일반적으로 1.11
ϕ_k : 염해에 대한 내구성감소계수로서 일반적으로 0.86
D_k : 콘크리트의 염소이온 확산계수의 특성값(㎡/y, 또는 ㎡/s)
D_p : 콘크리트의 염소이온 확산계수의 예측값(㎡/y, 또는 ㎡/s)
(다만, 1.0×10-12 ㎡/s=0.31536×10-4 ㎡/y)

4.2.2 염소이온의 확산계수 예측식

(1) 콘크리트의 염소이온 확산계수의 예측값 D_p 는 평가 대상 콘크리트에 대해 실제 실험이나 실측된 자료를 통해 구한 확산계수 D_R 에 물-결합재비 또는 PS 강재비에 따른 보정을 한 식 (4.2-2)와 식(4.2-3)에 따라 계산할 수 있다.

① $t < t_c$=30년에 대하여,

$$D_p = \frac{D_R}{1-m}\left(\frac{t_R}{t}\right)^m \qquad (4.2\text{-}2)$$

② $t \geq t_c$=30년에 대하여,

$$D_p = \frac{D_R}{1-m}\left[(1-m)+m\frac{t_c}{t}\right]\left(\frac{t_R}{t_c}\right)^m \qquad (4.2\text{-}3)$$

여기서, D_R : 기준 시간(t_R)에서 염소이온 확산계수
t_R : 기준 시간(일반적으로 28일≒0.077년)
t_c : 확산계수 감소한계(일반적으로 30년)
m : 재령계수로서, 재령에 대한 영향을 나타내는 상수

(2) 콘크리트의 염소이온 확산계수 예측식에서 재령계수 m은 평가대상 콘크리트에 대해 실제 실험이나 실측 재료들을 통해 구하여야 한다.

(3) 기준 조건에서 측정된 확산계수 D_R은 구조물에 사용될 콘크리트에 대해 실제 실험이나 실측된 자료를 통해 구할 수 있으며, 실험을 통해 확산계수를 도출하는 경우에는 물-결합재비에 따른 확산계수 예측값을 다음의 식 (4.2-4)로 나타낼 수 있다.

$$\log D_R = a + b(W/B) \qquad (4.2\text{-}4)$$

여기서, a, b : 실험으로부터 정해지는 상수

W/B : 물-결합재비

4.3 탄산화 속도계수의 평가

4.3.1 탄산화 속도계수의 평가

(1) 콘크리트의 탄산화에 대한 내구성을 평가하기 위해 식 (4.3-1)과 같이 탄산화 속도계수를 평가한다.

$$\gamma_p \ \alpha_p \le \phi_k \ \alpha_k \qquad (4.3\text{-}1)$$

여기서, γ_p : 탄산화를 고려한 환경계수로서 일반적으로 1.1

ϕ_k : 탄산화를 고려한 내구성감소계수로서 일반적으로 0.92

α_p : 콘크리트 탄산화 속도계수의 예측값($\text{㎜}/\sqrt{\text{y}}$) ; 식 (4.3-2)에 의한 값

α_k : 콘크리트의 특성 탄산화 속도계수($\text{㎜}/\sqrt{\text{y}}$) ; 식 (3.3-2)에서 사용한 값

4.3.2 탄산화 속도계수의 예측식

(1) 탄산화 속도계수의 예측값 α_p는 평가대상 콘크리트에 대해 실제 실험이나 실측자료를 통해 구하며, 실험을 통해 탄산화 속도계수를 도출하는 경우에는 유효 PS 강재비에 따른 탄산화 속도계수는 다음 식 (4.3-2)로 구할 수 있다.

$$\alpha_p = a + b\ (W/B) \qquad (4.3\text{-}2)$$

여기서, W/B : 유효 물-결합재비

a, b : 시멘트(결합재)의 종류에 따라 정해지는 상수

(2) 콘크리트의 탄산화 속도계수 예측식에서 계수 α, β는 평가대상 콘크리트에 대해 실제 실험이나 실측 자료들을 통해 구하여야 한다.

4.4 상대동탄성계수의 평가

4.4.1 상대동탄성계수의 평가

(1) 콘크리트의 동해에 대한 내구성을 평가하기 위해 식 (4.4-1)과 같이 콘크리트의 상대동탄성계수를 평가한다.

$$\gamma_p \ F_d \leqq \phi_k \ F_{\lim} \qquad (4.4\text{-}1)$$

여기서, γ_p : 동해에 대한 환경계수로서 일반적으로 1.0

ϕ_k : 동해에 대한 내구성 감소계수로서 일반적으로 0.8 ~ 1.0을 사용하고, KS F 2456(A법)에 따라서 콘크리트의 상대동탄성계수를 구하는 경우에는 일반적으로 1.0

F_d : 상대동탄성계수의 예측값의 역수

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

E_d : 콘크리트의 상대동탄성계수의 예측값 혹은 설계값(%) ; 일반적으로 콘크리트의 동결융해시험(수중 동결융해 시험법) KS F 2456(A법)으로 구함. 다만 실제의 동결융해 작용조건이 KS F 2456(A법)에 따라 설정된 조건보다도 엄격한 경우나 설계수명기간을 특히 길게 설정하는 경우에는 동결융해 반복 사이클, 동결융해온도 및 1사이클의 소요시간을 실제의 조건에 맞추어 엄격하게 정할 수 있음.

$F_{\lim}$: 동탄성계수의 최소한계값의 역수

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

$E_{\min}$: 동결융해 작용에 대하여 구조물 소요 성능을 만족하기 위한 상대동탄성계수의 최소 한계값(%)으로서 일반적으로 표 4.4-1에 따름

표 4.4-1 동결융해작용에 대하여 구조물의 성능을 만족하기 위한 상대동탄성계수의 최소 한계값(%)

기상조건		기상작용이 심하고 동결융해가 자주 반복될 때		기상작용이 심하지 않고 온도가 동결점 이하로 떨어지는 경우가 드물 때	
단면		얇은 경우[2]	보통의 경우	얇은 경우	보통의 경우
구조물의 노출상태	(1) 연속해서 또는 반복해서 물에 포화되는 경우[1]	85	70	85	60
	(2) 일반적인 노출상태로 (1)에 속하지 않는 경우	70	60	70	60

주 1) 수로, 물탱크, 교각의 받침대, 교각, 옹벽, 터널 복공등과 같이 수면 가까이에서 포화된 부분 및 이 구조물들 외에 보, 슬래브 등에 수면에서 떨어져 있지만 융설, 유수, 물방울 때문에 물에 포화된 부분 등
2) 단면의 두께가 0.2 m 이하인 구조물

4.4.2 동해에 따른 물-결합재비

(1) 콘크리트의 상대동탄성계수는 양생상태 또는 골재의 표면수율의 변동, 재료의 계량오차 등에 의하여 크게 영향을 받기 때문에 콘크리트의 배합설계를 하는 경우의 물-결합재비는 표 4.4-2의 값보다 작아야 한다.

표 4.4-2 콘크리트의 소요 상대동탄성계수를 만족하기 위한 최대 물-결합재비 (%)

기상조건		기상작용이 심하고 동결융해가 자주 반복될 때		기상작용이 심하지 않고 온도가 동결점 이하로 떨어지는 경우가 드물 때	
단면		얇은 경우[2]	보통의 경우	얇은 경우	보통의 경우
구조물의 노출상태	(1) 연속해서 또는 반복해서 물에 포화되는 경우[1]	45 (85)	50 (70)	50 (85)	55 (60)
	(2) 일반적인 노출상태로 (1)에 속하지 않는 경우	50 (70)	55 (60)	55 (70)	60 (60)

주 1) 수로, 물탱크, 교각의 받침대, 교각, 옹벽, 터널 복공등과 같이 수면 가까이에서 포화된 부분 및 이 구조물들 외에 보, 슬래브 등 수면에서 떨어져 있지만 융설, 유수, 물방울 때문에 물에 포화된 부분 등
2) 단면의 두께가 0.2 m 이하인 부위
3) ( )는 표 4.4-1에서 제시한 콘크리트의 소요 상대동탄성계수 (%)

(2) 동결융해 작용 조건이 KS F 2456(A법)에 의하여 설정된 조건과 같은 정도의 범위 내에 있으며 표준 콘크리트 재료를 선정한 경우에는 콘크리트의 물-결합재비가 표 4.4-2의 값 이하이고, 공기량이 4~7%인 것을 확인함으로써 상대동탄성계수의 평가를 대신할 수 있다.

(3) 동결방지제나 해수 등의 염화물의 영향을 받는 콘크리트에 있어서는 구조물에 스케일링이 발생할 염려가 있으므로 예상 환경을 고려하여 미리 그 영향을 파악한 후 콘크리트의 배합을 결정하여야 한다.

4.5 화학적 침식성의 평가

(1) 콘크리트의 화학적 침식에 대한 내구성을 평가하기 위해 식 (4.5-1)과 같이 침식속도계수를 평가할 수 있다.

$$\gamma_p \ S_p \le \phi_k \ S_k \qquad (4.5\text{-}1)$$

여기서, γ_p : 화학적 침식을 고려한 환경계수로서 일반적으로 1.1
ϕ_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_p에 대한 신뢰할 만한 자료가 없을 때에는 촉진 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 촉진 시험 및 폭로시험 또는 그 밖의 적절한 시험을 통해 콘크리트의 성능저하 발생 여부나 이러한 성능저하로 인해 구조물의 요구성능에 어느 정도 영향을 미치는지 파악하여야 한다.

(4) 내화학적 침식으로 인한 콘크리트의 성능저하가 구조물의 요구성능에 영향을 미치지 않도록 하기 위해서 이 시방서에서 규정한 콘크리트 재료를 선정하고 이에 적합한 물-결합재비를 사용하여야 한다.

4.6 알칼리 골재반응성의 평가

(1) 알칼리 골재반응성에 관한 평가는 식 (4.6-1)과 같이 알칼리 골재반응에 따른 콘크리트의 팽창량으로 평가한다.

$$\gamma_p \ L_p \leqq \phi_k \ L_{\max} \qquad (4.6\text{-}1)$$

여기서, γ_p : 알칼리 골재반응에 대한 환경계수로서 일반적으로 1.1

ϕ_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_p에 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 ①의 기준을 만족하지 않거나 또는 이 시험을 하지 않은 골재를 사용하지만, 다음과 같은 알칼리 골재반응 억제 대책 중 하나를 행하는 경우

가. 시멘트의 등가알칼리량이 0.6% 이하의 저알칼리형 포틀랜드 시멘트를 사용

나. 알칼리 골재반응 억제 효과를 가진 혼합시멘트를 사용

다. 콘크리트 중의 알칼리 이온 총량을 3 kg/㎥ 이하로 규제

집필위원

성 명	소 속	성 명	소 속
윤상천	가천대학교	이광명	성균관대학교
이한승	한양대학교	차수원	울산대학교
김성수	대진대학교		

자문위원

성 명	소 속	성 명	소 속
김종호	창민우컨설턴트	김 우	전남대학교
김진근	한국과학기술원	박홍기	태조엔지니어링
오명석	서영엔지니어링	변윤주	수성엔지니어링
전봉수	전우구조	신현목	성균관대학교
정 란	단국대학교	정영수	중앙대학교
정하선	전)콘크리트학회공학연구소장	한록희	효명엔지니어링
최완철	숭실대학교		

건설기준위원회

성 명	소 속	성 명	소 속
구찬모	한국토지주택공사	이재훈	영남대학교
김태진	㈜창민우구조컨설턴트	이태현	한국도로공사
박동욱	서울시	장종진	한국토지주택공사
백인열	가천대학교	최용규	경성대학교
서석구	㈜서영엔지니어링	최정환	한국철도시설공단

중앙건설기술심의위원회

성 명	소 속	성 명	소 속
구자흡	삼영엠텍㈜	이근하	㈜포스코엔지니어링
김현길	㈜정림이앤씨	차철준	한국시설안전공단
박구병	한국시설안전공단	최상식	㈜다음기술단

국토교통부

성 명	소 속	성 명	소 속
정선우	**국토교통부 기술기준과**	김병채	국토교통부 기술기준과
김광진	국토교통부 기술기준과	박찬현	국토교통부 원주지방국토관리청
김남철	국토교통부 기술기준과	이선영	국토교통부 기획총괄과

(분야별 가나다순)

설계기준
KDS 14 20 40 : 2016

콘크리트구조 내구성 설계기준

2016년 6월 30일 제정

소관부서 국토교통부 기술기준과

관련단체 한국콘크리트학회
06130 서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22 한국과학기술회관 신관 1009호
Tel : 02-568-5985 E-mail : kci@kci.or.kr
http://www.kci.or.kr

작성기관 한국콘크리트학회
06130 서울특별시 강남구 테헤란로 7길 22 한국과학기술회관 신관 1009호
Tel : 02-568-5985 E-mail : kci@kci.or.kr
http://www.kci.or.kr

국가건설기준센터
10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)
Tel : 031-910-0444 E-mail : kcsc@kict.re.kr
http://www.kcsc.re.kr