

Research Paper

개정 콘크리트 탄산화 내구성 설계기준의 적용상 문제점 분석

Examining and Refining the Code for Durability Design Criteria of Concrete Carbonation

임남기*

Lim, Nam-Gi*

Professor, Department of Architectural Engineering, TongMyong University, Nam-Gu, Pusan, 48520, Korea

*Corresponding author

Lim, Nam-Gi

Tel : 82-51-629-2463

E-mail : ing@tu.ac.kr

Received : February 19, 2023

Revised : April 19, 2023

Accepted : May 14, 2023

ABSTRACT

In this research, we embarked on a meticulous analysis of the challenges inherent in real-world scenarios relating to the durability design standards of engineered concrete structures and the assessment of carbonation durability in concrete guidelines. Our investigation brought to light substantial issues concerning constructability and quality assurance. The genesis of these problems is the exclusive application of prescribed strength to exterior walls, neglecting other elements to facilitate smoother licensing procedures. While this methodology aims to mitigate financial constraints in alignment with enhanced standards, it invariably invites complications. Furthermore, it is imperative to resolve the uncertainty surrounding durability evaluations by establishing a clear and definitive objective. Alongside this, actionable steps must be formulated to forestall the emergence of fissures between the floors of residential buildings, particularly apartment complexes. It is equally essential to tackle issues connected to application by devising a comprehensive management strategy for potential cracking during the phase of maintenance.

Keywords : carbonation, durability design criteria, durability evaluation, coefficient of carbonation velocity

1. 서론

우리나라의 2007년까지의 콘크리트 설계기준에서는 사용성과 내구성이라는 개념이 존재하였다가 내구성설계가 도입된 것은 2012년이었으며, 이때부터 동결융해, 황산염, 낮은 투수성요구, 철근방식이라는 노출범주와 등급이 도입되었다. 그리고 2016년에는 콘크리트 구조 내구성 설계기준(KDS 14 20 40 : 2016)[1]이 제정되면서 2012년 기준에서와 동일한 노출범주와 등급을 운영하였으나 부록에서 염소이온, 탄산화, 동해, 화학적 침식, 알칼리골재반응 등에 대한 현재와 유사한 평가식이 나타나고 있다. 그 후 2021년 2월 18일 현재의 기준(KDS 14 20 40 : 2021)[2]으로 개정되면서 기존의 기준에서 노출범주와 등급에서 탄산화(EC) 분야가 추가되었고, 해양환경 및 제빙화학제 등 염화물(ES)와 황산염(EA) 분야가 독립적으로 제시되었다. 하지만 주무관청인 국토교통부에서 제도 도입과정에서 충분한 공청회를 통하여 의견을 수렴하는 과정이나 홍보 등의 부족으로 실무자들조차도 개정된 기준에 대한 이해도가 부족하여 다양한 혼란이 지속되면서 콘크리트학회의 전문위원회에서 기준의 개정안내서[3]를 발간하였고, 최근에는 국토교통부에서도 콘크리트구조물 내구성 설계 및 시공기준 적용 가이드라인[4]을 발간하여 관련 기술자들에게 공급하기에 이르렀다.

이에 본 논문에서는 변경된 콘크리트 구조 내구성 설계기준과 콘크리트공사표준시방서(KCS 14 20 00)[5]에 규정된 탄산



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

화에 대한 내구성평가 및 설계를 적용한 사례를 조사하여 콘크리트구조물의 탄산화 내구성평가와 사용될 레미콘의 배합단계에서의 콘크리트 내구성평가에 대해 관련 규정을 분석하고, 허가단계, 시공단계, 유지관리단계에서 각각 어떤 실무적인 어려움이 존재하는지에 대한 문제점을 도출하여 제도개선을 위한 실무적이고 현실성 있는 대안을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 콘크리트 구조의 탄산화 내구성평가에 관한 이론적 고찰

2.1 탄산화에 관한 내구성 평가[2]

2.1.1 탄산화 내구성

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 요구내구성을 확보하고 있는지 여부를 수행하여야 한다. 이때 탄산화에 대한 허용 성능저하 한도는 탄산화 침투깊이가 철근의 깊이까지 도달한 상태를 한계상태로 정하고 있다.

2.1.2 콘크리트 구조물의 탄산화 내구성 평가

콘크리트 구조물의 탄산화에 대한 내구성 평가는 목표내구수명에 도달하였을 때의 철근부식이 발생하는 탄산화 한계깊이와 구조물의 성능저하에 따른 예측 탄산화 깊이에 각각 내구성 감소계수와 환경계수를 고려한 값을 비교하는 평가기본 식 (1)에 따른다.

$$\gamma_P y_p \leq \phi_K y_{lim} \tag{1}$$

여기서, γ_P : 탄산화에 대한 환경계수(1.1)

ϕ_K : 탄산화에 대한 내구성 감소계수(0.92)

y_{lim} : 철근부식이 발생할 수 있는 탄산화 한계깊이(mm) $y_{lim} = c - c_k$

c : 설계피복두께(mm)

c_k : 한계 탄산화 깊이 여유값(자연환경 10mm, 심한 염해환경 25mm)

y_p : 탄산화 깊이의 예측값(mm)

한편, 예측 탄산화 깊이는 식 (2), 설계탄산화속도계수는 식 (3)에 따른다.

$$y_p = \gamma_{cb} \alpha_d \sqrt{t} \tag{2}$$

$$\alpha_d = \alpha_k \beta_e \gamma_c \tag{3}$$

여기서, γ_{cb} : 탄산화 깊이 예측식의 변동성 고려 안전계수

일반적으로 1.15, 고유동화 콘크리트의 경우는 1.10

α_d : 설계탄산화속도계수(mm/\sqrt{y}), 여기서, y 는 재령(년)

α_k : 특성 탄산화 속도계수(mm/\sqrt{y}), 여기서, y 는 재령(년)

β_e : 환경작용의 정도를 나타내는 방향계수

건조되기 어려운 환경의 북향 면 1.0, 건조되기 쉬운 환경의 남향 면 1.6

γ_c : 콘크리트의 재료계수, 일반적으로 1.0, 구조물의 상면 부위 1.3,

구조물의 콘크리트와 표준양생공시체 간 품질의 차이가 생기지 않는 경우 1.0

t : 재령(y)

이상의 산식에 따르면 콘크리트 구조물의 탄산화에 대한 내구성과 관련한 변수는 피복두께가 유일하므로 이 값의 관리가 중요 변수가 될 것으로 판단된다.

2.1.3 탄산화 속도계수의 평가

콘크리트의 탄산화에 대한 내구성 평가는 탄산화 속도계수 평가식 (4)와 같이 콘크리트에 대한 내구성능 예측 값에 환경계수를 적용한 소요내구성능 값과 대비하여 구조물의 내구성능 특성값에 내구성 감소계수를 적용한 설계내구성 값이 더 높게 설계되도록 실시하여야 한다.

$$\gamma_p \alpha_p \leq \phi_k \alpha_k \quad (4)$$

여기서, γ_p : 탄산화를 고려한 환경계수(1.1)

ϕ_k : 탄산화를 고려한 내구성감소계수(0.92)

α_p : 콘크리트 탄산화 속도계수의 예측값(mm/\sqrt{y}); 식 (5)에 의한 값

α_k : 콘크리트의 특성 탄산화 속도계수(mm/\sqrt{y}); 식 (3)과 (4)에서 사용한 값

2.1.4 탄산화 속도계수의 예측식

탄산화 속도계수의 예측값 α_p 는 평가대상 콘크리트에 대해 실제실험이나 실측자료를 통해 구하며, 실험을 통해 탄산화 속도계수를 도출할 수 없는 경우의 탄산화 속도계수는 식 (5)에 따른다.

$$\alpha_p = a + b (W/B) \quad (5)$$

여기서, W/B : 유효 물-결합재비

a, b : 시멘트(결합재)의 종류에 따라 정해지는 상수

이상에서 탄산화 속도계수 예측값 α_p 는 유효물결합재비를 고려하여 계산하거나 실험을 통하여 도출하는데 유효물결합재비 계산과정에서 시멘트는 사용량의 100%가 고려되고, 탄산화에 불리한 슬래그는 70%만 사용량이 고려되는 변수이나 플라이애쉬는 무시되는 점에 유의할 필요가 있다[6].

2.2 일반콘크리트의 내구성 확보를 위한 요구조건(KCS 14 20 10)[5]

2.2.1 일반사항

사용하는 콘크리트는 구조물의 사용기간 중 물리화학적 작용에 대해 충분한 내구성을 가지고, 사용재료는 콘크리트의 소요 내구성에 불리하지 않아야 하며, 내부강재가 사용기간 중 기능발휘 상 문제없이 강재보호 성능을 가지고, 물-결합재비는 60% 이하, 단위수량은 185kg/m³ 미만이며, 원칙적으로 공기연행이 필요하다.

침하, 소성수축, 건조수축, 자기수축 혹은 온도에 의한 균열폭은 허용치 이내여야 하며, 탄산화 환경에 노출되는 구조물에 대한 노출범주 및 등급은 Table 1을 만족하여야 하며, 시공단계에서 압축강도와 내구성이 충분히 확보될 수 있도록 피복 두께를 확보와 다지기와 양생 등에 주의하고, 책임기술자는 설계시 정해진 구조물의 노출범주 및 등급과 내구성 확보를 위한 요구조건에 따른 적용 및 이행 여부를 확인하여야 한다.

2.2.2 내구성 확보를 위한 요구조건

콘크리트 배합은 Table 1 구조물의 노출범주 및 등급에 따라 Table 2 내구성 확보를 위한 요구조건에서 규정된 내구성기 준압축강도, 물-결합재비, 결합재량, 결합재 종류, 연행공기량, 염화물함유량 등을 만족하여야 한다. 다만, 별도의 내구성 설 계를 통해 입증된 경우나 성능이 확인된 별도의 보호 조치를 취하는 경우에는 표에서 규정하는 값보다 낮은 강도를 적용할 수 있다. 이를 위해서는 Figure 1의 탄산화 내구성관련 기준의 구성에 따라 재료와 배합의 요구사항, 콘크리트 최소강도, 최 소피복두께, 균열폭 검증 등을 구조계산서와 연계하여 검토하여야 한다.

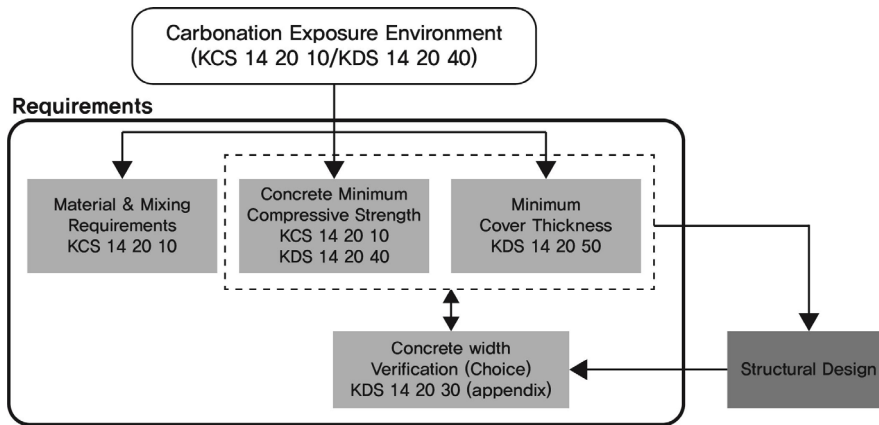


Figure 1. Criteria pertaining to concrete durability

이때 옥외의 공기에 직접 노출되는 현장치기콘크리트에서 철근의 최소 피복 두께는 KDS 14 20 50 콘크리트구조 철근상 세기준 4.3 피복두께에 따라 D19 이상일 경우 50mm, D16 이하일 경우 40mm로 정하고 있다. 이 기준은 우리나라 공동주택 에 많이 적용되는 내력벽처럼 저층부에서 사용되는 굵은 직경의 철근이 고층부로 갈수록 가늘어질 경우 피복두께를 고층부 에서 줄일 필요 없이 50mm로 적용하는 방안이 내구성상으로는 유리할 것으로 판단된다.

Table 1. Categorization and classification of exposure

Category	Grade	Condition	Case
General	E0	No risk of damage to physicochemical concrete and corrosion of rebars or internal metals.	• Concrete inside buildings with very low humidity in the air
	EC1	Dry, moisture-proof or permanently moist concrete	• Concrete inside buildings with low humidity in the air • Concrete that remains submerged in water
EC (Carbonation)	EC2	Risk of carbonation is moderate with wet and rarely dried concrete.	• Concrete surface in contact with water for a long period • Foundation exposed to outside air
	EC3	Concrete exposed to moderate humidity has a relatively high risk of carbonation.	• Concrete inside a building with moderate humidity ¹ • Non-Rainy Exterior Concrete
	EC4	High risk of carbonation due to repeated dry-wet concrete	• Concrete that does not fall under EC2 grade and is in contact with water(Concrete exterior walls, handrails, etc. in the rain ²)

Remark 1) The interior of the hollow structure can be regarded as an exposure class EC3. However, surfaces that may be affected by penetration or exposure to water from the outside should be considered EC4.

2) Waterproof surfaces may be considered exposure class EC3 in accordance with the regulations, even for external concrete subjected to rain.

Table 2. Exposure category and grade prerequisites for durability assurance

Item	General	EC(Carbonation)			
	E0	EC1	EC2	EC3	EC4
Durability standard compression strength f_{cd} (MPa)	21	21	24	27	30
Max. Water-Binder Ratio ¹	-	0.60	0.55	0.50	0.45
Water solubility chloride ion content ² (kg/m ³)	Reinforced concrete	1.00		0.30	

Remark 1) It does not apply to lightweight aggregate concrete and can be increased by 5% if performance confirmation or research results are available.

2) KS F 2715 Application, Binder weight ratio between 28 and 42 days of age %

3. 변경기준에 따른 단계별 문제점

3.1 인허가 단계

인허가 단계에서 외벽과 발코니에 대해서는 반드시 EC4를 적용하여 압축강도를 30MPa을 사용하도록 하고 있어 다양한 문제가 발생하고 있다.

첫째, 압축강도를 30MPa을 사용할 것인지 내구성 평가를 통하여 27MPa을 채용할 것인지에 대해 다양한 시각차가 존재하여 심사통과를 목적으로 거의 대부분의 사업에서는 30MPa을 채용하고 있다. 이에 반해 일부의 건설사에서는 학회 등의 공인기관의 내구성 평가를 받거나 방수성이 있는 유효마감재를 개발하여 관련학회의 인증을 받아 현장에 적용[6]하고 있지만 기준에서는 공인기관의 명확한 정의를 하지 않고 있어 일부 제한이 발생하고 있다. 심지어 일부 지자체에서는 심의에서 단서조항을 적용할 수 없도록 “주요 구조부재의 설계기준강도 산정의 적정성-EC4(탄산화: 30MPa 이상)[7]”으로 규정하고 있어 입법취지와 다르게 편법운영 되고 있으므로 주무기관인 국토교통부에서 조속히 해결책을 제시하여야 할 것으로 판단된다.

둘째, 내구성설계 대상에서 규모에 대한 제한을 두지 않아 저층의 소규모 건축물에도 적용할 것인지에 대한 의견일치가 어렵다. 특히 적용여부를 발주자가 결정할 수 있게 되어 있는 점에서 공동주택처럼 건축주와 허가권자, 그리고 입주예정자

등이 혼재할 경우 결정권이 어디에 있는지를 확실하게 해 두어야 할 것으로 판단된다. 심지어는 국토교통부의 산하기관인 토지주택공사에서도 외벽의 콘크리트 압축강도를 EC3를 적용하여 27MPa를 채용하고 있어 공공 공사에는 적용하지 않으면서 민간공사에만 강제한다는 논란이 발생하는 실정이다[8].

3.2 시공단계

시공단계에서는 이어지기 발생을 최소화 하고, 층 레벨에서의 이어지기 불량에 따른 하자외벽 균열을 최소화 하는 등의 노력이 경주되어야 한다.

첫째, 레미콘 가격 급등으로 인한 경제성 부담으로 외벽과 발코니만 30MPa를 채용하고 나머지 벽체와 슬래브는 강도를 낮춰 채용하려는 시도가 나타나고 있다. 하지만 외벽만 압축강도 30MPa를 채용하려면 레미콘을 외부 거푸집에만 돌려치기를 하는 동안 전체적으로 거푸집의 안정성이 흔들리는 등으로 인한 사고 위험이 높으며, 내벽과 외벽이 연결되어 있는 경우 구획이 곤란하고, 수평재와 수직재의 강도가 다르므로 Figure 2처럼 세대 외곽의 슬래브를 내부로 내밀게 수직재 강도로 선 타설하여야 한다.

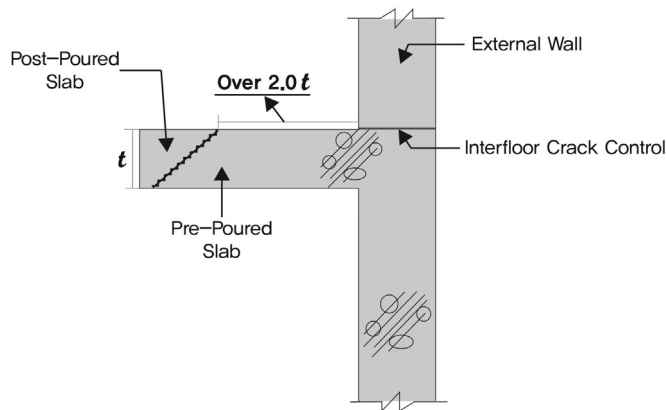


Figure 2. Detailing of external wall-slab connection

Table 3. Volume of concrete per unit plan(National Housing Scale)

unit : m³(%)

External wall				Internal wall			Slab		
Front wall	Rear wall	Outer wall	Core	Core	Interior	Wall total	Around external wall	Internal	Total
6.71 (12.3)	10.83 (19.9)	11.24 (20.6)	4.71 (8.6)	11.76 (21.6)	9.24 (17.0)	54.49	5.40 (18.0)	24.58 (82.0)	29.98

이처럼 압축강도를 30 및 27MPa로 구분하여 타설할 경우의 예는 Table 3과 같다. 표의 사례는 국민주택규모의 일반적인 2세대 조합 평면에 대해 콘크리트 량을 계산한 결과로서 외벽에 해당하는 부위는 벽체의 61.2%, 외벽과 동시에 타설하는 슬래브의 외곽부가 슬래브의 18% 정도를 차지하고 있었지만 외벽과 내벽이 연결되는 부위에 대해서는 거푸집 내부에서 구획되는 것으로 보고 계산한 결과이다. 하지만 강도가 다른 두 종류의 레미콘을 소규모 레미콘 공장에서는 납품할 수 없으므로 다른 공장의 레미콘이 혼용될 경우 콘크리트에 대한 문제발생시 책임소재를 구분하기 어려운 문제가 발생할 것이라고 엔지

니어들은 고민을 토로하고 있었다. 이외에도 외부의 갱폼 관리 및 타설과 관련된 공사계획을 철저히 수립하고 강도가 다른 콘크리트의 연결부에서 콜드조인트가 발생하지 않도록 다짐에 특히 유의하여야 한다. 이에 비해 대기업들이 주로 채용하는 내외부 벽체와 슬래브 전체를 30MPa로 채용하는 경우 재료가 다소 증가하지만 그에 따른 내구성 증대는 물론 이어치기량 감소 등 품질관리상 유리한 것으로 나타났다

둘째, 시공과정에서 벽체의 경우 모든 층 레벨에서 이어치기를 하는데 이곳의 레이턴스 제거를 하지 않아 일체성을 확보할 수 없으므로 콘크리트의 강도를 높이더라도 내구성 향상효과가 저하될 수 있으므로 반드시 이를 시방에 반영하여 확실한 일체성을 확보하여야 한다.

셋째, 공동주택 벽체에서의 콘크리트 타설의 경우 다짐작업이 어려워 거푸집의 철거직후에 대부분의 벽체는 상부위치에 양생 중의 자연침하에 의한 다수의 횡균열인 침하균열이 발생하였다가 상층의 공사진행에 따라 소멸되는 경우가 다반사인데 내구성 향상을 위해서는 콘크리트의 밀도가 크고, 강도는 높고, 투수성이 낮아야 하므로 현재의 기준처럼 콘크리트 압축강도 상향만으로는 이를 완전히 해결할 수 없을 것으로 판단된다.

넷째, 철근표면을 도막으로 처리하거나 스텐레스 철근이나 화이버를 철근으로 사용하는 경우에 대해서는 세밀한 처리방법이나 그에 따른 내구성을 고려하는 기준이 제시되지 않았으므로 추가의 규정이 필요하다.

다섯째, 발코니 난간의 경우는 OSC(Off Site Construction)를 미리 도입한다는 취지로 PC구조체로 대체하는 방안이 유효할 것으로 판단된다.

여섯째, 피복두께는 내구성에서 아주 유효하고 중요하므로 스페이서를 이용하여 충분한 피복두께를 철저히 확보하여야 할 것이며, 우리나라처럼 내력벽식 구조에서는 약축방향 철근의 피복두께 조정은 기준상 제약이 거의 없으므로 이를 적극 활용할 필요가 있다고 판단된다. 특히 저층부처럼 직경이 큰 19D이상에서 50mm로 처리하는 피복두께를 상층에서는 줄이는 관행은 시공성상 효과가 낮으므로 공동주택의 벽체에서만이라도 철근의 피복두께를 전체적으로 50mm로 통일하여 내구성 향상에 유효하게 활용하면서 준공후 건물의 사용자들이 필요에 따라 못을 박을 때 간섭도 감소될 수 있도록 개정이 필요하다.

일곱째, 아무리 압축강도를 높이더라도 균열이 발생할 경우 그 부위의 취약화로 인하여 구조물의 내구성이 저하될 것이므로 균열저항성이 높은 콘크리트를 채용하고, 균열제어 시공법을 적용할 수 있도록 더 많은 재료 및 공법적 노력이 필요하다.

여덟째, 내구성이 중요한 구조물 벽체의 측면 거푸집 탈형시의 압축강도는 10MPa이상이어야 하는데 이는 3-Day나 4-Day Cycle을 지향하는 수많은 공동주택의 공사에서 갱폼의 운용에 큰 차질을 줄 것이며, 특히 동계에는 그 영향이 클 것이므로 단열갱폼 등의 건설신기술의 적극적 활용이 필요할 것으로 판단된다.

3.3 유지관리단계

유지관리단계 또한 균열발생 최소화가 대단히 중요하므로 지속적인 유지관리가 필요하다.

첫째, 공동주택 측벽을 비롯한 외벽의 경우 여름철과 겨울철 내외부 공간의 온도차로 인하여 수직의 관통균열 발생이 거의 필연적인데 이를 방지한 상태로는 압축강도의 상향을 통한 내구성향상 효과를 담보할 수 없다. 따라서 외벽에 대해서는 외단열의 도입을 적극 권장하며, 외단열 방식을 도입할 때 적절한 탄산화 방지 효과가 인정될 경우 이를 적극 활용할 수 있도록 인센티브를 제공할 필요가 있다.

둘째, 균열발생으로 인한 내구성 저하를 방지하기 위해 주기적인 점검을 통하여 보수와 관리가 철저히 이루어져야 할 것으로 판단된다.

셋째, 외단열의 외부에 마감재의 시공을 통하여 EC3로 적용하는 경우 단열재나 마감재의 교체주기가 구조물의 내구수명보다 짧은 경우 내구성저하에 대비할 방법상 문제가 발생할 수 있으므로 규정의 명확화가 필요하다.

4. 결론

변경된 콘크리트 구조 내구성 설계기준과 콘크리트공사표준시방서에 규정된 탄산화에 대한 내구성평가와 관련된 설계 사례를 조사하여 분석하고 허가단계, 시공단계, 유지관리단계에서 각각 어떤 실무적인 어려움이 존재하는지에 대한 문제점을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 갑작스런 기준의 강화에 따른 경제적 부담이 높아졌음에도 인허가심의 과정에서 발생할 수 있는 다양한 우려로 외벽만 규정된 압축강도를 적용하고 나머지 구간에는 기존의 강도를 적용함으로써 시공성이 불량해지고, 품질관리상 부담이 될 가능성이 상존하게 되었다.

둘째, 철근콘크리트 구조물의 내구성평가기준이 모호하여 적극적으로 적용할 수 없는 한계를 극복할 수 있도록 명쾌한 사례를 제공하여 원자재 낭비를 줄이면서 내구성을 확보할 수 있도록 보완이 필요하다.

셋째, 100년 이상의 내구성을 확보해야 할 규모나 용도 등을 명확히 규정하여 혼돈을 해소하여야 하며, 우리나라 공동주택에서는 관행으로 취급되는 층간 균열의 발생을 원천적으로 차단할 시방을 제시하여 준수하게 하는 것은 물론 유지관리단계의 균열관리 또한 규정에 반영하여야 할 것으로 판단된다.

이상과 같이 약 2년간의 적용상의 문제점을 종합적으로 분석하여 관련 기술자들이 누구나 적용상의 어려움이 없도록 기준의 개정보완이 필요하다.

요약

변경된 콘크리트 구조 내구성 설계기준과 콘크리트공사표준시방서에 규정된 탄산화에 대한 내구성평가와 관련된 사례를 조사하여 분석하고 실무적인 문제점을 분석한 결과 갑작스런 기준의 강화에 따른 경제적 부담이 높아졌음에도 인허가심의 과정에서의 우려로 외벽만 규정된 압축강도를 적용하고 나머지 구간에는 기존의 강도를 적용함으로써 시공성이 아주 불량해지고, 품질관리상 큰 부담이 있으며, 내구성평가기준이 모호한 한계를 극복할 수 있도록 사례를 제공하여야 할 것이며, 내구성을 확보대상을 명확히 하며, 공동주택에서 관행적인 층간 균열의 발생을 원천적으로 차단할 대책과 함께 유지관리단계의 균열관리 또한 규정에 반영하는 등 지난 2년간의 적용상 문제점을 종합적으로 분석하여 개정보완이 필요하다.

키워드 : 탄산화, 내구성설계기준, 내구성평가, 탄산화속도계수


Funding

Not applicable

Acknowledgement

This Research was supported by the Tongmyong University Research Grants 2021(Project Number 2021A052)

ORCID

Nam-Gi Lim,  <http://orcid.org/0000-0002-2419-0537>

References

1. KDS 14 20 40. Reinforced concrete structure durability design. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2016.
2. KDS 14 20 40. Reinforced concrete structure durability design. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2021.
3. Korea concrete institute. Revision guidebook of reinforced concrete structure durability design code. Seoul (Korea): Korea concrete institute; 2021. 3-10 p.
4. Korea construction standard center. Reinforced concrete structure durability design and guideline for application of construction criteria. Goyang (Korea): Korea construction standard center; 2023. 7-35 p.
5. KCS 14 20 10 1.9. Designation on the durability of concrete structures. Sejong (Korea): Ministry of Land, Infrastructure and Transport; 2022.
6. Kim YR, Ko HJ, Park JS, Kim DB, Lee SO. A study on the crack response and waterproof properties of high-functional water-based acrylic paints for exterior walls. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2021 Dec;21(6):593-604. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2021.21.6.593>
7. Busan metropolitan city architectural committee. Operational rules general building deliberation criteria 2-8 term. Busan (Korea): Busan Metropolitan City; 2023 Feb 21. Available from: <https://www.busan.go.kr/depart/abnotice08/1556566?curPage>
8. Applied according to the strength of the concrete, the damage is the responsibility of the people [Internet]. Jinju (Korea): Korea Land and Housing Corporation. 2022 Mar 15. Available from: <https://www.munhwa.com>