

## 수직 증축형 리모델링 안전진단 내구성 평가기준 합리화에 관한 연구

윤상천<sup>1</sup>, 신동철<sup>2\*</sup>

# A Study on the Durability Evaluation Criteria for the Vertical Extension Remodeling of Apartment

Sang-Chun Yoon<sup>1</sup>, Dong-Cheol Shin<sup>2\*</sup>

**Abstract:** In 2014, The Housing Act amended to allows vertical extension and increases the units of housing (or total floor area) to site. Currently, the feasibility of performing vertical extension is evaluated based on safety diagnosis provisions and manuals with 1<sup>st</sup> investigation stage on slope, uneven settlement, load-bearing capacity, and durability. However, a need for more reasonable evaluation criteria for the investigation is still required because there had not been any other case study on the diagnosis for the vertical extension, and the engineering basis on evaluation criteria were not suggested. Accordingly, this study is intended to suggest feasible evaluation criteria on the carbonation, chloride ion contents, corrosion of reinforcements, crack and surface deterioration of concrete for durability assessment by codes and standards of domestic and foreign countries. The results of this study are expected to be beneficial for establishing more reasonable durability evaluation criteria, and in turn, more reliable assessment protocol for vertical extension.

**Keywords:** Extension remodeling, Durability of concrete, evaluation criteria, carbonation, Steel corrosion, Crack, Surface deterioration of concrete

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

2013년 기준으로 15년 이상 경과된 국내 공동주택 세대수는 전국 약 440 만호, 2018년 보도자료에 의하면 20년 이상 4,287천호(전체의 39.6%), 30년 이상인 공동주택은 779천호(전체의 7.2%)로 노후 공동주택의 세대 수는 점차 증가되고 있는 실정이다.

이와 같은 공동주택은 주차장 부족, 설비 노후화 등 거주자 생활과 관련된 불편 사항이 제기되고 있으며 이의 개선을 위한 리모델링에 대한 요구가 증대되고 있다. 이에 정부는 주택법(제42조의3 제5항) 및 증축형 리모델링 안전진단 기준(국토교통부 고시 제2014-000)에 의거하고 공동주택 안전성 확보를 전제로 세대수 증가형(15% 이내) 또는 수직 증축형(최대 3개층) 리모델링이 가능하도록 하였다.

수직 증축형 리모델링에서 구조안전성 확보 방안으로 기존

재건축 안전진단 기준 및 매뉴얼을 기반으로 평가기준을 강화하고 안전진단 및 구조설계에 대한 전문기관의 안전성 검토를 의무화하였다.

안전진단은 해당 건물의 증축 가능 여부를 확인하기 위한 1차 진단과 리모델링 허가 후 해당 건물의 구조안정성에 대한 상세 확인을 위한 2차 안전진단으로 구분하고, 건물 기울기 및 침하, 내하력(내력비, 기초 내력비, 처짐), 내구성(콘크리트 탄산화, 염분함유량, 철근부식, 균열, 표면노후화) 등을 조사 항목으로 설정하고 있다.

1차 안전진단에서는 조사결과를 종합하여 대표성능 점수 90이상 및 성능점수 80이상인 B등급 이상일 때 수직증축 리모델링이 가능하고, 2차 안전진단에서는 상세 확인을 통하여 각 항목별 평가등급이 모두 B등급 이상인 경우, 수직증축 리모델링이 가능한 것으로 판정하고 있다.

증축형 리모델링 기준 및 매뉴얼 제정 당시, 국내에서 수직 증축 리모델링 안전진단에 대한 사례가 전무하여 표본선정, 평가기준 등에 대한 공학적 근거 제시에 한계가 있었으며, 이후 안전진단 데이터에 대한 통계분석을 통하여 조사항목별 최소 표본부재 샘플수 등의 개선 등 증축형 리모델링 안전진단 매뉴얼(2019)을 개정한 바 있다.

그러나 내구성 부분의 경우, 평가항목 및 조사항목이 구조 안전성에 미치는 영향에 대한 공학적 근거가 제시되어 있지

<sup>1</sup>정회원, 가천대학교 건축공학과 교수

<sup>2</sup>정회원, 가천대학교 건축공학과 교수, 교신저자

\*Corresponding author: sdc@gachon.ac.kr

Department of Architectural Engineering, Gachon University, Seongnam, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2021년 1월 31일까지 학회로 보내주시면 2021년 2월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

않아 관련 전문가들에 의한 개선의 필요성이 제기되고 있다.

본 연구에서는 철근콘크리트조 건축물의 내구성과 관련된 국내외 관련 코드 및 기준 등에 대하여 검토하고, 증축형 리모델링 안전진단 매뉴얼의 내구성 조사항목별 허용치 등에 의한 내구성 평가기준 및 등급의 합리화 방안을 마련하고자 한다.

## 1.2 연구 방법 및 범위

수직증축 리모델링 안전진단 절차는 1차 및 2차로 구분하여, 6개 항목(건물 기울기 및 침하, 내력비, 기초 내력비, 처짐, 내구성)에 대하여 평가하도록 하고 있으며, 내구성의 경우 콘크리트 탄산화, 염분함유량, 철근부식, 균열, 표면노후화의 5개 조사항목을 A-E 등급으로 평가하도록 규정하고 있다.

평가 결과는 평가등급에 의거하여 모두 B 등급 이상인 경우 수직증축 리모델링 가능, 평가항목 중 어느 하나가 D 등급 이하인 경우는 증축형 리모델링 불가, 이외는 수평증축 리모델링 가능으로 판정하고 있다. 본 연구에서는 수직증축형 안전진단 매뉴얼에서 설정한 철근콘크리트조 공동주택의 내구성 평가항목인 콘크리트 탄산화, 염분함유량, 철근부식, 균열, 표면노후화에 대한 국내외 관련 코드 및 기준에서의 평가기준을 검토하여, 이에 대한 공학적 근거자료를 마련하고, 수직증축형 리모델링 안전진단에서의 내구성 평가기준의 합리화를 가능하게 하고자 한다.

**Table 1** Codes and Standards on the Durability of Concrete Structures

Country	Codes and Guidelines
Korea	KCI Concrete Specification(2009) KCI Code(2012)
	Manual on the Safety diagnosis for the reconstruction of apartment (2018. 5.)
	Manual on the Safety diagnosis for the vertical extension remodeling of apartments(2014. 06., 2019.04)
ISO	ISO 16311-2 Maintenance and Repair of Concrete Structures
	ISO 13822(2010), ISO 13823(2008), ISO 16204 (2012)
Europe	fib Model code (2010)
	fib model code for service life design (06, 10)
U.S.A.	ACI Building code 318
	SEI/ASCE 11-99 Guideline for Structural Condition Assessment of Existing Buildings
	ACI 365.1R:2017 (Report on service life prediction)
Japan	AIJ(2004), Recommendations for Durability Design and Construction Practice of Reinforced Concrete Buildings
	AIJ(2008), Principal Guide to Performance Survey and Diagnosis for Buildings,
	JCI(2014), Guideline on the performance evaluation of existing concrete structure

## 2. 철근콘크리트 내구성

내구성에 대한 용어의 개념으로 KCI(2012)에서는 구조물이 요구 내구수명 동안 최소한의 유지보수로 기능을 유지하는 것, 건축구조기준(2016)에서는 건축구조물의 안전성을 일정한 수준으로 유지하기 위해 필요한 것으로 장기간에 걸친 외부의 물리적, 화학적, 기계적 작용에 저항하여 변질되거나 변형되지 않고 처음의 설계조건과 같이 오래 사용할 수 있는 구조물의 성능이라고 정의하고 있다.

또한 일본의 기존 콘크리트 구조물의 성능평가지침(2014)에서는 구조물이 주위의 환경작용을 받은 결과 보유성능이 저하되는 것에 대하여 잔존 공용기간 중에 얼마만큼 저항할 수 있는지를 나타내는 능력을 의미하는 것으로 정의하고 있다.

KCI Code(2012) 기존구조물의 안전성 평가에서는 내구성과 관련된 성능저하 인자로 염해, 탄산화, 동해, 황산염 침식 등에 대한 검증 방안을 제시하고 있으며, 유럽, 미국, 일본 등에서는 탄산화, 염해, 염분침투 저항성, 동해, 산 또는 황산염에 의한 화학적 침식, 알칼리 골재 반응, 건조수축, 크리프, 강도저하 등을 내구성과 관련된 조사항목으로 설정하고 있다.

본 연구에서는 안전진단 매뉴얼에서의 내구성 조사항목인 콘크리트 탄산화, 염분함유량, 철근부식, 균열, 표면노후화의 5개 항목에 대하여 국내외 코드 및 지침과 비교 검토한다 (Table 1).

## 3. 내구성 관련 기준 고찰

### 3.1 한국

콘크리트의 구조설계기준(1999년)은 콘크리트 표준시방서 설계편과 철근콘크리트 구조계산 규준을 통합하고, 사용성, 내구성 등에 대한 요구사항을 반영하여 제정되었다. 2012년에는 설계뿐만 아니라 시공 및 유지관리 단계에서도 설계 의도를 반영한다는 의미에서 콘크리트 구조기준으로 명칭을 변경하고 성능기반 설계의 고려사항과 기존 구조물에 대한 안전성 평가 방법을 포함하였다.

콘크리트표준시방서(2009), 부록 II의 내구성 평가방법에서 염해, 탄산화, 동결융해, 화학적 침식, 알칼리 골재반응이 콘크리트 구조체의 주된 성능저하 원인이며 이를 내구성 평가 항목으로 규정하였다.

최근의 콘크리트구조 학회기준(2017)에서는 ACI 318에 기반을 둔 기존 기준의 문제점을 개선하기 위해 유럽과 일본 등에서 진행되고 있는 성능기반 내구성 설계 도입이라는 목표를 염두에 두고, 일반(E0), 탄산화(ECb), 염화물(EC), 동결융

해(EF), 황산염(ES)으로 노출환경 구분체계를 재정립하고, 목표 내구성을 달성할 수 있는 요구사항 등을 콘크리트 표준 시방서 기준과 통합하여 통일성을 갖도록 하였다.

노후 공동주택에 대한 유지관리와 관련하여 시설물의 안전 관리에 관한 특별법 및 시행령 제정 이후, 시설물 안전점검 및 정밀안전진단 실시 등에 관한 지침(국토교통부 고시), 도시 및 주거환경정비법에 근거한 주택 재건축 판정을 위한 안전 진단 기준 및 매뉴얼, 주택법에 근거한 증축형 리모델링 안전 진단 기준 및 매뉴얼 등이 있으며, 노후 공동주택에 대한 안전 진단 절차 및 방법을 규정하고 있다.

이외에도 주택법 제38조 및 주택법 제15조에 의거 건설하는 1,000세대 이상의 공동주택에 적용되는 장수명주택 건설·인증제도(2014. 12. 제정)에서는 내구성을 건축물 또는 그 부위의 열화에 대한 저항성으로 정의하고 평가 기준은 철근 피복두께, 콘크리트 품질(설계기준강도, 슬럼프, 단위결합재량, 물결합제비, 공기량, 염화물량), 평가는 설계도서에 의한 방법으로 규정하고 있다.

### 3.2 외국

외국의 코드 및 지침은 Table 1에서와 같이 유럽 및 국제규격, 미국, 일본의 기준을 검토하였다.

유럽의 경우 1998년 콘크리트 구조체의 보수비 증대 및 내구성에 대한 사회적인 관심이 집중됨에 따라 Duranet(Steinar Helland, 2013)라는 네트워크를 구성하고 ISO TC-71 전문 위원회와의 공조 시스템을 구축하였다. 이후 유럽, 북미 및 남미, 일본 등으로 구성된 전문가 그룹을 통하여 fib Model code for service life Design (bulletin No. 34), ISO 2394 (General principles on reliability for structures)를 “parent document”로 한계상태 및 신뢰성 개념에 근거한 fib Model Code(2010), ISO 16204 “Durability- Service life design of concrete structures”를 제정하였다. 이에 의해 실구조물의 환경조건별 한계상태에 의한 내용연수 평가 및 신뢰성 확보 등이 가능하게 되었다.

또한 국제 규격(ISO)의 경우 2014년 한일 공동제안에 의해 설치되고 운영된 ISO 제71 전문위원회 7 분과회에서 ISO 16311 Maintenance and Repair of Concrete Structures를 발간(武若 耕司, 2015)하였다. 이것이 콘크리트 구조물의 유지관리와 보수에 관한 최초의 국제 표준이라 할 수 있으며, 유럽을 포함하여 각국 지역의 유지관리나 보수 현상을 포함하여 논의가 이루어지고, 제정되기까지 약 10년이라는 기간이 소요되었다.

ISO 16311은 Part 1~Part 4로 구성되어 있으며, Part 2: Assessment of existing concrete structures에서 재료의 열화 상태의 평가(Condition assessment)에 구조성능 평가(Performance

assessment)를 포함시켜 최초의 기존 구조물 평가법을 제시하고 있다.

평가절차는 Fig. 1에서와 같이 예비 평가(Preliminary assessment)와 상세 평가(Detailed assessment)의 2 단계로 되어 있으나, 주로 개념이나 절차를 제시하는 측면이 강하고 실무 적용을 위한 구체적인 방법은 제한적으로 기술되어 있다.

미국의 경우 ACI 318 Building Code, ASCE (American Society of Civil Engineers) 11-99 등 구조 안전성에 중점을 둔 설계기준 및 관련 시방이 주류를 이루고 있었으나, 최근에는 구조 안전성을 포함한 사용성, 내구성 등에 관심이 증대되고 있으며, ACI 365-1R-00에서 성능에 근거한 시방으로 전환되는 것으로 평가된다.

일본의 경우 건축학회에서 2008년 위원회를 구성하고 기존 건축물의 보전을 위한 건축물의 조사·진단 지침(안)(2014)을 발간하여, 각종 설계, 시공 시의 조사·진단에 대한 접근방법을 목적에 따라 명확하게 하였다. 2004년에는 성능검증형 설계법을 채용한 철근콘크리트 건축물의 내구설계 시공지침을 발간하고, 2016년에는 철근콘크리트·마감재와 관련된 열화예측 모델을 고도화시키고 새로운 검사방법 등을 지침에 반영하여 개정(안)을 제시하였다.

또한 일본 콘크리트공학회에서는 성능평가 시, 건축 구조물과 토목 구조물에서 다르게 적용되는 기준에 대하여 통일적인 성능평가 수법을 수립하여 기존 콘크리트 구조물의 성능평가지침(JCI, 2014)을 발간하였다.

### 3.3 소결

국내외 콘크리트 내구성 및 공동주택의 안전진단 기준에 대한 검토 결과, 한국에서는 건축 및 토목 분야에서 철근콘크리트 구조물에 대한 설계, 시공, 유지관리를 위한 KCI 학회기준(2017)을 제안하였다. 여기에서는 노출환경 조건을 일반, 탄산화, 염화물, 동결융해, 황산염으로 구분하고, 유럽과 일본 등에서 진행되어 온 성능기반 내구성 설계기반을 구축하였다.

외국의 경우 유럽, 미국, 일본 등에서 한계상태 및 신뢰성에 개념에 근거한 성능기반 내구성 관련 기준이 제안되어 활용되고 있다. 이와 같은 기준은 향후 우리나라에서도 데이터 축적을 통하여, 현행 기준 및 지침 개정을 위한 자료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

안전진단의 경우 우리나라에서는 진단 목적에 따라 1차 안전진단과 2차 안전진단, 대부분의 외국에서는 예비(preliminary) 조사와 상세(Detailed) 조사로 구분하고 있다.

안전진단에서 내구성 조사항목의 경우 한국은 콘크리트 탄산화, 염분함유량, 철근부식, 균열, 표면노후화의 5개 항목으로 설정하고 있으며, 외국에서는 건축물의 환경조건 고려하고 책임기술자의 판단에 의거하여 각각의 조사단계에서 다양

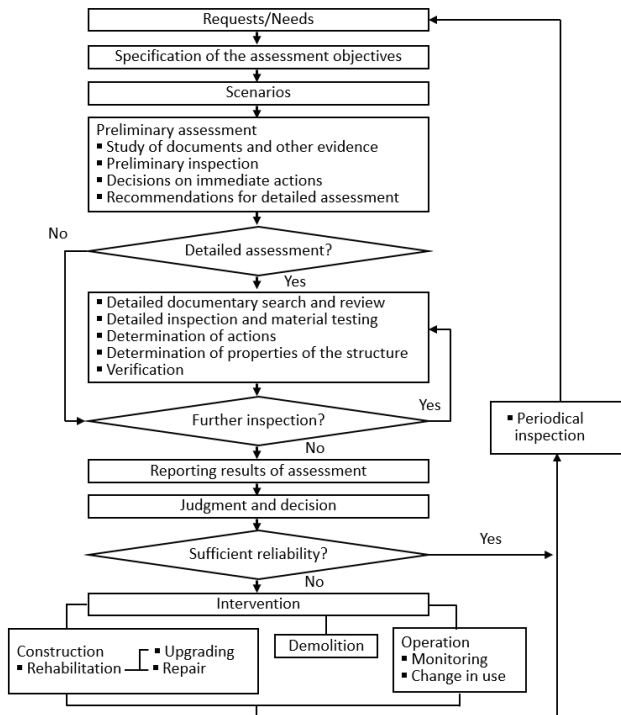


Fig. 1 General flowchart for assessment of existing structures (Adapted from ISO 13822 - Annex)

한 항목을 선정하는 것으로 되어 있다.

특히 외국의 경우 실구조물에서의 성능평가 데이터에 근거하여 열화 예측을 위한 수치 해석모델을 적용한 상세 성능평가 가능하고, 내용연수 설정을 위한 한계상태 개념 및 신뢰성 분석을 통한 성능평가치침이 마련되어 있다는 점이 주목할 만한 점이라 판단된다.

## 4. 리모델링 안전진단 내구성 평가기준

### 4.1 콘크리트 탄산화

콘크리트 탄산화는 탄산화 자체보다 이에 의한 철근 주변에서의 pH 저하, 부동태피막 파괴 및 콘크리트 내부철근의 부식 개시 등에 의한 구조성능의 저하가 문제로 된다.

탄산화에 영향을 미치는 인자(Czamecki and P. Woyciechowski, 2015)에는 환경에 의한 외적 요인(대기 중 CO<sub>2</sub> 농도, 온도 및 상대 습도), 시공에 의한 요인(양생기간 및 양생온도), 콘크리트 물성과 관련한 내적 요인(물시멘트비, 단위시멘트량, 혼화재료 종류, 공기량) 등이 있다. 탄산화 조사위치(JCI, 2014)는 부재 또는 부위의 방위, 우수 노출여부, 실내 및 실외 위치, 마감재 종류 및 품질, 결합부(균열부, 이음부, 콜드조인트부, 허니컴부, 철근콘크리트 부식부분, 균열·박리 부분 등) 등을 고려하여 선정하도록 권장하고 있다.

탄산화 한계상태 관련 국내의 기준은 Table 2와 같다. 대부분의 국가에서 환경에 따라 철근 최소피복두께 기준을 중요한 항목으로 고려하고, 탄산화 깊이가 최외측 철근 표면(피복 두께)에 도달했을 때를 한계값으로 적용하고 있는 것으로 나타났다.

일본 건축학회 내구성 설계지침에서는 습도, CO<sub>2</sub> 농도, 온도 조건 등에 의해 실내에서의 탄산화 속도가 빠름에도 불구하고 철근의 부식속도가 느리다는 조사 결과를 감안하여 실외 및 실내를 구분하고, 물과의 접촉 여부 등 부위 또는 부재의 종류에 따라 한계값을 구분하여 적용하고 있다. 또한 일본 토목학회 콘크리트 표준시방서(설계편)에서는 탄산화 깊이 측정에 사용되는 페놀프탈레인 용액의 분무시 변색 경계는 pH=8~9, 수산화칼슘의 포화 용액은 pH=12.5 이상, 철근의 부동태가 손상되는 경우 pH=11.5 정도인 점을 고려하여 피복두께 -10 mm 로 설정하고 있다.

검토결과 현행 리모델링 안전진단 기준의 탄산화 평가기준에서와 같이 철근 표면 최외측까지 탄산화가 진행된 시점을 허용치로 설정하는 것이 합리적인 것으로 판단된다. 단지 일본 토목학회 조사결과에서와 같이 페놀프탈레인 시약에 의한 변색 경계 및 pH 범위 등 탄산화 깊이가 조사 및 시험방법의 특성과 철근 표면까지의 탄산화가 철근에서의 부동태피막 파괴 또는 철근부식 개시 시점과 직결되지 않고 환경조건에 영향을 받게 된다는 점을 고려해야 할 것으로 생각된다.

또한 증축형 리모델링 안전진단에서의 조사항목인 피복두께는 현재 코어 채취 부위를 대상으로 측정하는 직접적인 방법과 철근위치의 추정을 위한 비파괴적인 수법으로 전자파 레이더법, 전자파유도법, X선 투과법 등이 통용되고 있으나 비파괴 시험의 경우 이에 대한 오차를 고려할 필요가 있다.

따라서 콘크리트 탄산화 깊이에 대한 허용치는 현행의 기준으로 통용되는 “탄산화 깊이가 최외측 철근 표면에 도달했을 때”로 유지하되, 최소 피복두께가 구조성능과 직결되며 탄산화 깊이가 측정과 관련된 시험의 오차특성 등을 고려하여 피

Table 2 Allowable Carbonation Depth in Different Codes

Code (Country)	Limit value (mm)		
KCI 2012	Carbonated at the surface level of the reinforcement		
AIJ (Japan)	Outdoor	Exposed to moisture	Cover depth
		Dry	Cover (+) 20
	Indoor	Exposed to moisture	Cover depth
		Dry	Cover (+) 20
JSCE (Japan)	Normal exposure	Cover (-)10mm	
	Corrosive exposure	Cover (-)10~25mm	

**Table 3** Revised Grades on Carbonation Assessment

Carbonated Depth(mm)	Cover(mm)			
	D ≥ Dm	Dm > D ≥ 0.25Dm	0.25Dm > D ≥ 0.5Dm	D < 0.5Dm
Ct ≤ 0.25D	A	B	C	D
0.25D < Ct ≤ 0.5D	B	C	D	E
0.5D < Ct ≤ 0.75D	C	D	E	E
0.75D < Ct ≤ D	D	E	E	E
Ct > D	E	E	E	E

Ct : Carbonated Depth, D : Cover, Dm : Allowable Cover Depth

복두계를 4등급을 세분화하여 Table 3과 같이 하는 것이 합리적이라고 생각된다.

**4.2 염분 함유량**

콘크리트 내부 염분함유량은 시멘트, 잔골재, 혼합수, 혼합재료 등 사용재료에 의해 포함되는 경우와 해안 지역에서 환경조건에 의해 염화물이 외부에서 콘크리트 내부로 침투하는 경우로 구분할 수 있다.

염화물 이온은 콘크리트 내부 철근의 부식을 초래하고 구조안전성에 영향을 미치게 된다.

염분 함유량 측정은 콘크리트 내부 철근의 부식 가능성에 대해 간접적으로 조사하는 방법으로 사용재료나 배합비 등으로부터 추정하는 방법과 코어, 드릴에 의한 채취 시료에 대한 함유량을 측정하는 방법이 있다.

염분함유량 허용치는 일반적으로 콘크리트 내부 염화물 이온량의 설계 허용치로 규정하는 방법과 철근 위치에서 염화물 이온에 의해 부식이 시작될 때의 염화물 이온량으로 설정하는 방법이 있으며, 염분함유량 허용치에 대한 국내외 기준에 대한 검토결과는 Table 4와 같다. Table에 의하면 염화물 이온을 수용성과 산용해성으로 구분하여 콘크리트 내부에 포함된 염분함유량을 단위시멘트량에 대한 백분율(%) 또는 염화물이온 총량(kg/m³) 등으로 규정하고 있다. ( )에 표기한 염분함유량은 우리나라 기준과의 비교를 위하여 단위시멘트량을 350kg/m³으로 가정하고 염화물 총량으로 환산하여 나타낸 것이다.

콘크리트 구조기준(2012) 및 KS F 4009에서는 철근의 부식방지를 위해서 염소 이온(Cl⁻)량으로 0.3kg/m³ 이하, 다만 구입자의 승인을 얻은 경우 0.6kg/m³ 이하로 할 수 있다고 규정하고 있다.

일본건축학회 철근콘크리트 내구성 설계 및 시공지침에서는 한국과 동일하게 0.3 및 0.6kg/m³를 허용치로 규정하고 있다. 여기서 허용치와 관련된 자료(Jibaotang, 1991)에 의하면

**Table 4** Maximum Chloride ion Content for corrosion Protection in different codes

Code (Country)	Max. Chloride Content % (kg/m³)		
Korea	KCI 2012	0.15~1.00 [Water Soluble Cl⁻ content by mass of cement]	
	KS F 4009	Chloride content, 0.3~0.6 (kg/m³)	
Japan	AIJ	Total Chloride content, 0.3~0.6 (kg/m³)	
	JSCE	1.9 (kg/m³) [-3.0(W/C) + 3.4, W/C=0.5]	
USA	ASTM C 1152	Acid soluble	0.10~0.20 (0.35~0.70)
	ASTM C 1218	Water Soluble	0.08 ~0.15 (0.28~0.53)
	ACI 222.1		0.08~0.15 (0.28~0.53)
	ACI 318-02	0.15 ~ 1.0 [Cl⁻ content by mass of cement] (0.53 [exposed to chloride], 3.5 [dry or protected fr. moisture], 1.06 kg/m³ [other])	
EN 206-1	0.2 ~ 0.4% [Cl⁻ content by mass of cement] (0.7~1.4)		

염화물 총량(NaCl)이 0.3 kg/m³인 경우 물시멘트비 65%에서도 부식면적이 적고, 0.75 kg/m³인 경우, 물시멘트비 55%에서 부식면적이 매우 적고, 1.50 kg/m³인 경우, 물시멘트비를 50%로 하고 방청제를 사용하면 부식되지 않는 것으로 보고하고 있다. 일본토목학회에서는 보통포틀랜드 시멘트 사용 시 1.9 kg/m³까지 허용하고 있는 것으로 나타났다.

또한 유럽, 미국(ACI 224R-01), 일본 등에서는 콘크리트 내부철근의 부식 영향요인을 체계화시키고, 철근부식 개시시점은 철근에 접하는 위치에서 콘크리트 세공 용액 중의 수산이온 [OH⁻]에 대한 염소이온 농도 [Cl⁻]의 비인 [Cl⁻]/[OH⁻]에 의해 결정되고, 이 값은 콘크리트 중의 염소이온 농도분포의 예측결과로 철근부식 발생시기를 예측하는 경우에도 효과적으로 활용되고 있다. 또한 철근 주변의 pH, 철근으로의 산소 공급량, 콘크리트의 함수상태 등의 영향도 고려해야 한다.

이상에서의 검토결과, 염분 함유량은 콘크리트 내부 철근의 부식 가능성을 간접적으로 평가하기 위한 것으로 설계 허용값으로 규정하는 방법이 일반적인 것으로 나타났다. 또한 수산이온 [OH⁻]에 대한 염소이온 농도 [Cl⁻]의 비인 [Cl⁻]/[OH⁻]로 규정하는 보다 과학적인 방법이 보고되고 있으나 이에 의한 한계값을 규정하기 위해서는 진단 장비 및 기술의 보완이 필요할 것으로 생각된다. 따라서 염분함유량 허용치는 우리나라 및 일본 등에서 통용되는 설계 허용값인 0.6kg/m³으로 하고, 리모델링 안전진단 기준에서의 염분함유량 평가 등급은 기존의 것을 준용하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

### 4.3 철근부식

철근부식은 철근의 단면 감소 또는 콘크리트와의 부착성능 저하를 초래하며, 내구성 평가항목 중 구조 안전성에 직접적으로 영향을 미치는 주요 요인으로 평가되고 있다. 즉 콘크리트 내부 철근의 부식(S. Helland, 2013)은 콘크리트 내부로의 CO<sub>2</sub> 확산 또는 염화물 이온의 이동(Initiation period 1, 잠복기-A), 철근 표면에서 부동태 피막 파괴 및 철근부식 개시(Initiation period 2, 진전기), 부식 생성물의 생성 및 팽압에 의한 콘크리트 표면에서의 균열발생(Propagation period 1, 가속기, C), 콘크리트의 박리·박락(Propagation period 2, 열화기 D), 철근과 콘크리트 사이의 부착강도 감소, 철근 및 콘크리트 단면결손(Propagation period 3, 열화기, E) 등의 과정으로 구조체의 내하력을 저하시키고, 구조적 안전성에 영향을 미치게 된다.(Fig. 2)

또한 JSCE 표준시방서(유지관리편)에서는 철근의 부식상태를 잠복기(외관상의 변화가 없음. 탄산화 여분이 부식한계 이상), 진전기(외관상의 변화 없음. 탄산화 여분이 부식한계 미만, 부식 시작), 가속기 전기(부식 균열 발생, 가속기 후기(부식 균열 진전, 박리·박락이 나타남. 강재 단면결함 없음), 열화기(부식 균열, 박리·박락, 강재 단면 결함발생)의 5단계로 규정하고 있다.

철근부식 조사방법에는 전기화학적 수법에 의해 자연전위를 측정하는 비파괴적인 방법, 육안조사 방법, 할석 후 철근의 부식면적 또는 질량감소율을 측정하는 방법 등이 있다.

자연전위법에 의한 철근부식 판정은 콘크리트 표면에서 철근부식에 의해 손상이 나타나기 이전의 단계의 철근의 부식 가능성을 판단하기 위한 비파괴시험 방법으로 권장되고 있으며, Table 5는 KS, ASTM, BS 규격, Table 6, Table 7은 일본 건설성(MLIT, 1988)과 구조물 진단기술협회(NSI)의 부식판정 기준을 나타낸 것이다.

일본 건설성 보고서(1988)에 의하면 자연전위는 매크로셀 부식에 의한 분극의 영향을 받고, 환경조건 또는 방법에 따라 자연전위값이 변화되므로, 측정값과 육안조사를 병행하여 부식여부를 판단하도록 권장하고 있다.

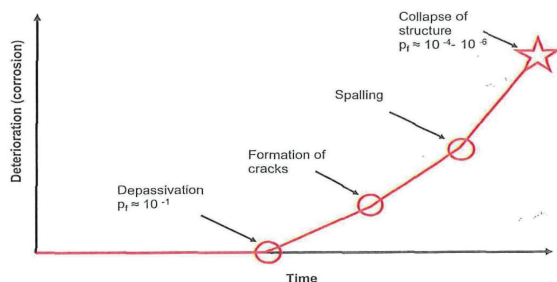


Fig. 2 Limit States and Durability Levels for Corrosion Reinforcement

AIJ 철근콘크리트조 건축물의 내구성조사 진단 및 보수지침(안)의 철근부식도 평가기준에서는 Table 8에서와 같이 육안조사에 의해 콘크리트 내부 철근부식도 평가기준을 5단계로 설정하여 제시하고 있다. Table에서 등급 1은 철근 표면에 흑색의 산화피막이 존재하여 부식이 없는 상태, 등급 3은 철근 표면에서 면 방향뿐만 아니라 깊이 방향으로의 부식이 진행되는 상태, 등급 4-5는 콘크리트 표면에 균열이 발생되고 균열 부위에서 녹물(부식 생성물)이 유출되는 상태라고 설명하고 있다.

우리나라 안전진단 매뉴얼의 경우, 자연전위 최대값을 -500mV로 하고, 철근의 부식상태에 대한 육안 조사결과에 따라 A~E의 5개 등급으로 규정하고 있다. 여기서 천연전위 허용치는 KS F 2712 및 ASTM C 876에서 제시한 -350mV인 것으로 추론할 수 있으며, 육안 조사에 의한 등급은 A~C 등급은 일본 건축학회의 기준과 유사하였으나, D~E 등급에서 우리나라는 단면결손 20%, 일본은 부식면적 20%를 기준으로 적용하고 있었다.

열화성능 저하과정 및 부식 평가와 관련된 국내외 기준에

Table 5 Probability of Corrosion (ASTM C876 and BS 7361)

Potentials, E(V <sub>CSE</sub> )	Probability of corrosion(%)	
	KS F 2712, ASTM C 876	BS 7361
E > -0.20	greater than 90 % that no reinforcing steel corrosion is occurring	5 %
-0.20 ≥ E > -0.35	corrosion activity in that area is uncertain.	50 %
E ≥ -0.35	greater than 90 % that reinforcing steel corrosion is occurring	95 %

Table 6 Standard for Corrosion Potentials of Reinforcing Steel(MLIT)

Potentials, E(mVCSE)	Significance Level
E ≥ -200	no corrosion
-200 ≥ E > -300	uncertain (no corrosion, or corrosion)
E ≥ -300	corrosion

Table 7 Significance level of corrosion potentials of reinforcing(NSI)

Potentials, E(mVCSE)	Significance Level
E > -150	0
-150 ≥ E > -250	not significant
-250 ≥ E > -350	significant
E ≥ -350	very significant

**Table 8** Evaluation Criteria\* for the Degree of Corrosion

Grade	Evaluation criteria
I	No corrosion or only dotted rust
II	Extensive-dotted rust on surface
III	Dotted rust becomes surface rust, some rust floats
IV	Rust floats extensively and product from corrosion of reinforcing steel bars is attached to concrete; corroded area of reinforcing steel is less than 20 %
V	Extensive thick-layered rust; corroded area of reinforcing steel exceeds 20 %

\* : AIJ(1997), Recommendations for Practice of Survey, Diagnosis and Repair for Deterioration of Reinforced Concrete Buildings, p. 44

**Table 9** Evaluation Grade of Reinforcement Corrosion(Revision)

A	B	C	D	E
$E > 0$	$-150 < E \leq 0$	$-200 < E \leq -350$	$-500 < E \leq -350$	$E \leq -500$
Only dotted rust	Extensive-dotted rust on surface	Dotted rust becomes surface rust, some rust floats	Rust floats extensively (corroded area of reinforcing steel is less than 20 %)	Extensive thick-layered rust (corroded area of reinforcing steel exceeds 20 %)

대한 검토 결과, 자연전위 허용치는 부식이 진행될 확률이 90%가 넘는 시점인 -350mV, 육안조사에서는 “점녹이 면녹으로 확대되고 부분적으로 들뜬 녹이 있는 상태”로 설정하는 것이 합리적이라 판단된다.(Table 9) 다만 D~E 등급에서 20%의 단면결손이라는 용어는 수정되어야 할 것으로 생각된다.

**4.4 균열**

철근 콘크리트 구조에서 발생하는 균열은 (1) 부재의 강성이나 내력, (2) 철근 부착강도 또는 응력, (3) 철근 부식촉진에 의한 내구성, (4) 누수 등에 영향을 미치며, 구조물의 성능을 저하시킬 수 있다.

Table 10에 허용 균열폭에 대한 각국의 기준을 나타냈으며, 다양한 환경조건을 고려하여 0.3~0.5mm 정도를 허용치로 한다는 점에서 공통성이 있는 것으로 나타났다. 즉 허용 균열 폭은 상기 (3)의 내구성을 고려하고 (1) 부재의 강성이나 내력, (2) 철근의 부착강도 또는 응력을 고려하여 설정하고 있는 것으로 파악된다.

한국의 안전진단 매뉴얼에서는 환경조건에 따라 일반환경 조건에서는 0.5mm, 누수환경 조건에서는 0.2mm를 한계치로 설정하고 있는 것으로 추론된다.

이상의 콘크리트에서의 균열 폭 허용치에 설정과 관련된 국내외 기준 검토결과, 균열 폭 허용치를 습윤 환경에서는

**Table 10** Limiting Crack Width in Different Codes

Code (Country)	Exposure Class	Crack Widths(mm)
KCI (Korea)	Dry	0.4, 0.006Cc
	Wet	0.3, 0.005Cc
	Corrosive	0.3, 0.004Cc
	High Corrosive	0.3, 0.0035Cc
AIJ(2006) (Japan)	Indoor locations	0.5
	Outdoor locations	0.3
ACI 318-95	Interior exposure	0.41 (0.016in)
	Exterior exposure	0.3 (0.013in)
ACI 318-02	No limiting crack width Crack control with the well distributed reinforcement	
ACI 224	0.10 ~ 0.41	
Eurocode 2	XO, XC1	0.4
	XC1, XC1, XC1	0.3
	XD1, XD2, XS1~XS3	

**Table 11** Evaluation Grades of Crack Assessment(Revision)

Grades exposure condition	A	B	C	D	E
	protected from moisture	$Cw < 0.2$	$0.2 \leq Cw < 0.3$	$0.3 \leq Cw < 0.5$	$0.5 \leq Cw < 0.8$
moisture	$Cw < 0.1$	$0.1 \leq Cw < 0.2$	$0.2 \leq Cw < 0.3$	$0.3 \leq Cw < 0.5$	$Cw \geq 0.5$

**Table 12** Evaluation grades of Surface deteriorations

Surface Deterioration	Surface area				
	Good	Less than 10%	10~30%	Exceeds 30%	
Delamination, Spalling	$SD \leq 0.5D$	A	B	C	D
	$0.5D < SD \leq D$	A	C	D	E
	$SD > D$	A	D	E	E
Exposed reinforcement		A	D	E	E

\* SD : depth of surface deterioration (mm), D : cover (mm)

0.3mm, 건조환경에서는 0.5mm로 설정하는 것이 바람직하다고 판단된다. 또한 내구성에 미치는 균열 폭 평가등급을 Table 11에 나타냈다.

**4.5 표면 노후화**

콘크리트 표면 노후화는 장기간의 환경작용이나 직·간접 작용에 의해 박리, 박락, 용해, 취약화, 마모 등과 같이 본래의 모습에서 변화되는 것(변상)으로 면적 · 깊이 · 취약화 정도,

변색정도 등을 조사하는 것이 일반적이다.

박리·박락, 용해·취약화, 철근의 부식에 의한 녹물 발생 등은 경우에 따라 구조물 성능에 영향을 미치는 항목으로 긴급한 보수가 필요하며, 박리·박락 정도가 커지면 일상 안전성에 영향을 미치게 된다.

특히 철근 위치에서 부식 균열과 녹물이 동시에 발생하는 경우에는 상당한 위험성을 내포하게 되며, 용해·취약화는 콘크리트의 단면결손에 해당된다.

표면노후화 조사는 안전진단 수행자가 육안 조사에 의해 균열 폭을 측정하거나, 박리, 박락, 누수 흔적 등의 상태를 도면에 표기하는 방식으로 진행되며, 노후화 원인 추정 시에는 신뢰할 만한 자료나 전문가의 의견 등을 참고로 책임기술자가 추정하는 것이 중요하다.

표면노후화에 대한 허용치는 노후화 면적 또는 깊이 등으로 설정하는 것이 일반적이며, JCI(2014) 기준 콘크리트구조물의 성능평가 지침에서는 표면 노후화에 대한 상태구분의 예와 마모, 용해, 취약화 등의 조사항목에 대한 허용치를 5mm의 깊이로 제한하고 있다. 또한 우리나라 안전진단 매뉴얼의 경우 Table 12에서와 같이 허용치를 박리, 박락, 파손의 조사항목에 대해 발생면적과 깊이에 대하여 각각 10%, 피복두께의 0.5배, 철근노출의 경우 발생면적에 대하여 10%로 설정하고 있다.

표면노후화에 대한 국내외 조사항목 및 허용치 검토 결과, 현행 안전진단 매뉴얼의 표면노후화 허용치 및 등급은 적절한 것으로 판단되며, 조사항목에 대한 원인은 전문가의 의견 등으로 참고로 책임기술자가 추정하는 것이 중요하다고 판단된다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 증축형 리모델링 안전진단 매뉴얼의 내구성 조사항목인 콘크리트 탄산화, 염분함유량, 철근부식, 균열, 표면 노후화의 5개 항목에 대하여 국내외 내구성 및 철근콘크리트 구조 상태 또는 성능평가 관련 코드 및 기준을 검토하였으며 결론은 다음과 같다.

- (1) 콘크리트 탄산화 깊이에 대한 허용치는 KCI(2012) 등에서 현행의 기준으로 통용되는 탄산화 깊이가 최외측 철근 표면에 도달했을 때를 유지하고, 최소 피복두께가 구조성과 직결되며 탄산화 깊이 측정과 관련된 시험의 오차 특성을 고려하여 현행 3등급의 피복두께를 4등급으로 세분화하는 것이 합리적이라고 생각된다.
- (2) 염분 함유량은 콘크리트 내부 철근의 부식 가능성을 간

접적으로 평가할 수 있는 방법으로 염분 함유량 허용치는 KCI(2012) 등에서 통용되는  $0.6\text{kg/m}^3$ 가 적합할 것으로 판단된다. 또한 안전진단 매뉴얼에서는 기존의 평가 등급을 준용하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

- (3) 철근부식 조사방법에는 자연전위를 측정하는 비파괴적인 방법, 육안조사 방법, 할석 후 철근의 부식면적을 측정하는 방법 등이 있다. 철근부식에 의한 열화성능 저하 과정 및 부식 평가와 관련된 기준에 대한 검토 결과, 자연전위 허용치는  $-350\text{mV}$ , 육안 조사에서는 “점녹이 면 녹으로 확대되고 부분적으로 들뜬 녹이 있는 상태”로 설정하는 것이 합리적이라 판단된다. 다만 현행 D-E 등급에서 20% 단면결손은 20% 부식면적으로 수정되어야 할 것으로 생각된다.
- (4) 콘크리트에서의 균열 폭의 균열 폭 허용치는 습윤 환경에서는  $0.3\text{mm}$ , 건조환경에서는  $0.5\text{mm}$ 로 설정하는 것이 일반적이며, 습윤 환경에서의 허용치 변경에 따른 평가등급이 수정이 필요하다.
- (5) 표면노후화 판정은 발생면적(10%)과 깊이(피복두께의 0.5배)에 의한 허용치와 등급 구분은 적절한 것으로 판단된다. 단지 조사항목에 대한 원인은 전문가의 의견 등으로 참고로 책임기술자가 추정하는 것이 중요하다고 판단된다.

이상에서 국내외 내구성 관련 코드 및 기준을 검토하여, 조사항목별 허용 허용치와 평가등급의 합리화를 위한 대안을 제시하였다. 향후 성능에 근거한 내구성 평가지침으로 활용하기 위해서는 실구조물에 서의 내구성에 대한 데이터 축적과 검증, 국내 환경조건에 적합한 열화예측 모델과 수치해석 모델의 수립을 위한 연구가 지속되어야 할 것으로 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 국토교통부 주거환경연구개발사업의 연구비지원(과제번호 20RERP-B099826-06)에 의해 수행되었습니다.

## References

- 1. KCI (2012), Standard Specifications for Concrete
- 2. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013), Housing Act
- 3. Korea Infrastructure Safety Corporation (2014), Safety Inspection for Extension Remodeling Manuals
- 4. Shin, Heechul (2018.5), Sampling Number of the Durability Evaluation Method for the Extension Remodeling of the Apartment



- Housing, J. Korea Inst. Struct. Maint. Insp, KSMI 22(3), 60-68.
5. ISO 13822 (2010), Bases for design of structures-Assessment of existing structures.
  6. S. Helland (2013), Design for service life implementation of fib Model Code 2010 rules in the operational code ISO 16204, Structural Concrete 14(1).
  7. L. Czarnecki and P. Woyciechowski (2015), Modelling of concrete carbonation; is it a process unlimited in time and restricted in space?, Bulletin of The Polish Academy of Sciences Technical Sciences, 63(1).
  8. ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02).
  9. ACI 224R-01: Control of Cracking in Concrete Structures (Reapproved 2008).
  10. ACI 224R-01: Control of Cracking in Concrete Structures.
  11. AIJ (2016), Recommendations for Durability and Construction Practice of Reinforced Concrete Buildings.
  12. AIJ (1997), Recommendations for Practice of Survey, Diagnosis and Repair for Deterioration of Reinforced Concrete Buildings.
  13. AIJ (2008), Principal Guide to Performance Survey and Diagnosis for Buildings.
  14. JCI (2014), Guideline on the performance evaluation of existing concrete structure.
  15. JSCE (2013), Standard Specifications for Concrete Structures (Maintenance).
  16. JSCE (2017), Standard Specifications for Concrete Structures (Design).
  17. Nobuaki Ohsumi (1991), Durability series of concrete structures (Salt Damage II), Jibaotang.
  18. Takewaka Koji (2015), ISO 16311 Maintenance and Repair of Concrete, Journal of JCI, 53(6).

Received : 12/14/2020

Revised : 12/17/2020

Accepted : 12/21/2020

---

**요 지 :** 주택법(2014년)에 근거하여 철근콘크리트 공동주택의 리모델링 시 수직 및 세대수 증축이 가능하게 되었다. 수직증축 리모델링 가능 여부는 안전진단 기준 및 매뉴얼을 바탕으로 기울기 및 침하, 내하력, 내구성 평가 부문에 대한 평가를 통하여 판정하도록 되어 있다. 그러나 증축형 리모델링 기준 및 매뉴얼 제정 당시, 국내에서는 수직증축 리모델링 안전진단 사례가 전무하여 평가기준 등에 대한 공학적 근거 제시에 한계가 있었으며, 특히 내구성 평가 기준에 대한 합리화 및 관련 기준과의 부합을 위한 개선이 필요한 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 국내외 내구성 관련 기준을 근거로 콘크리트 탄산화, 염분함유량, 균열, 철근부식, 표면노후도의 허용치와 평가기준에 대한 검토·분석을 통하여 수직증축형 리모델링 안전진단 내구성 평가방법의 합리화 방안을 제시하였다.

**핵심용어 :** 수직 증축형 리모델링, 콘크리트 내구성, 평가기준, 콘크리트 탄산화, 철근 부식, 균열, 표면열화

---