Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection
Vol. 22, No. 3, May 2018, pp.060-068
https://doi.org/10.11112/jksmi.2018.22.3.060
pISSN 2234-6937
eISSN 2287-6979

공동주택의 증축형 리모델링 안전진단 내구성 평가의 표본 수 최적화 방안 연구

신희철[1], 최기봉[2], 윤상천[3]*

A Study on the Optimization of Field Sampling Number of the Durability Evaluation Method for the Extension Remodeling of the Apartment Housing

Shin, Heechul[1], Choi, Kibong[2], Yoon, Sangchun[3]*

Abstract: The Housing Act amended allows vertical extension up to three floors and increases the units of housing (or total floor area) to site up to 15%. Currently, the feasibility of performing vertical extension is evaluated based on safety diagnosis provisions and manuals with preliminary investigations on slope, uneven settlement, load-bearing capacity, and durability. However, a need for more reasonable evaluation methodology for the preliminary investigation is still required because the current procedures are borrowed from safety diagnosis provisions and manuals for reconstruction without detailed examinations on evaluation criteria and sampling methods. Accordingly, this study is intended to suggest a method to obtain feasible sampling size for durability assessment by statistically analyzing the safety evaluation data sets on concrete carbonation and steel corrosion obtained from apartment complexes. The results of this study are expected to be beneficial for establishing more reasonable field sampling size, and in turn, more reliable durability assessment protocol for vertical extension.

Keywords: Durability evaluation, Standards for extension remodeling, Concrete durability, Carbonation, Chloride content, Steel corrosion

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 문제점

2013년 12월 주택법, 2014년 4월 주택법 시행령 및 시행규칙에 의거하여 Table 1과 같이 리모델링 시 최대 3개 층의 수직증축이 가능하고, 증축 가능 면적이 기존 세대수의 15%까지 확대되었다.

수직증축 리모델링 가능 여부는 증축형 리모델링 안전진단 기준(제2014-343호)을 바탕으로 구조안정성 평가 결과로 판정한다. 수직증축 리모델링은 대상 건축물의 1차 안전진단 결과 모든 평가 항목이 B등급 이상일 때 가능하다.

증축형 리모델링 안전진단은 Table 2와 같이 조사항목, 표본선정, 표본수 등에 대하여_ 재건축 안전진단 기준을 근거로 구조안전성 평가를 위한 조사항목의 표본 수 강화 위주로 제정되었다.

[1]정회원, 가천대학교 건축공학과
[2]정회원, 가천대학교 건축공학과 교수
[3]정회원, 가천대학교 건축공학과 교수, 교신저자
***Corresponding author:** scyoon@gachon.ac.kr
Department of Architectural Engineering, Gachon University,
1342, Seongnam-daero, Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do, Republic of Korea
•본 논문에 대한 토의를 2018년 6월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 The Housing Act Related to Remodeling

Classification	Jan. 2012 ~ Dec. 2013	Dec. 2013~
Extension (# of Unit)	Within 10%	Within 15%
Type of Extension	Horizontal Exension	Horizontal & Vertical Extension
Vertical Extension	N/A	Maximun Three Floors

또한 재건축 안전진단의 개선방안을 연구하기 위해 조사한 총 148건의 재건축 안전진단 보고서의 실시결과는 전체 148건 중 '조건부 재건축'(D등급)이 90건으로 전체의 60.8%, '재건축'(E등급)이 58건으로 전체의 39.2%를 차지하고 있다. 이는 안전진단을 실시한 모든 대상 공동주택은 결과적으로 신청자들의 최종 목표인 재건축으로 진행되고 있어, '안전진단 실시'는 재건축 사업 추진을 승인하는 형식적인 절차로 퇴색되었음을 보여주고 있다(Kim, 2007).

국내 공동주택 안전진단 관련 '주택 재건축사업의 안전진단'은 정기적인 개정과 다양한 연구를 바탕으로 한 합리화 방안이 검토되었으나, '증축형 리모델링 안전진단'의 경우 연구를 위한 증축형 리모델링 사례와 진행된 연구가 없다.

Copyright Ⓒ 2018 by The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0)which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Table 2 Comparison of Selection Guideline for the Durability Investigation between Reconstruction and Remodeling (Required floor and Minimum number of Samples)

Evaluation Item	Safety Inspection for Reconstruction		Safety Inspection for Expansion Remodeling(Primary)	
	Minimum # of floors	Minimum # of Samples	Minimum # of floors	Minimum # of Samples
Carbonation	-Basement: 1 Floor -Base Floor: 1 Floor (or 2 Floors) -Top Floor: 1 Floor	- Slab: 3 locations for each floor - Wall: 3 locations for external wall and bearing wall	-Basement: 1 floor -Base Floor: 2 floors -Top Floor	- Slab (Beam) : Maximum (3 locations for each floor or 1 location for each household) - Wall(Column) : Maximum (5 locations for each floor or 2 locations for each household - Inspection area : 2 area per member (edge or core)
Chloride Ion Content				- 1 household per 4 households - Inspection area: At least of one member of Slab (Beam) and Wall (Column)
Steel Corrosion				
Cracking				- Public section : Entire area including stairway - Residential section : 1 household per 4 households
Surface Defects				

따라서 본 연구에서는 증축형 리모델링 안전진단 기준의 내구성 평가 현황을 분석하여 내구성 평가 부문의 공학적 근거 마련과 내구성 평가 최적화 방안 도출을 목표로 한다.

1.2 연구 범위 및 방법

연구 방법으로 국내 관련 기준 및 지침을 비교·분석하여 현행 기준 현황 검토 및 증축형 리모델링 안전진단 사례의 결과 등을 통계 분석하여 내구성 평가 부문의 평가 항목별 표본수에 대한 최적화 방안 도출을 모색하고자 한다.

2. 안전진단 관련 기준 검토

2.1 안전점검 및 정밀안전진단 지침

시설물의 안전관리에 관한 특별법(이하 "시특법") 및 시행령에 따라 '시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 등에 관한 지침(국토교통부 고시)'에서 정하는 안전점검 및 정밀안전진단의 실시방법・절차 등에 관한 필요사항을 시설물별로 보다 상세히 제시하고 그 실시요령을 정하여 시설물의 안전성 및 기능성을 보완・보전 및 과학적 유지관리를 체계화하고자 1996년 3월 세부지침을 제정되어 현재까지 사용되고 있다.

제정 이후 콘크리트 구조물의 안전진단 시 내구성 평가 결과가 수행기관별 신뢰성 저하를 방지하고자 IDEF0기법을 활용하여 내구성 평가 방법을 분석하여, 분석 결과를 토대로 한 활용방안을 제안하였고(Lee, 2005), 정밀안전진단 시 수행하는 비파괴시험의 정밀도 개선을 위해 철근탐사, 균열 깊이 측정, 반발경도법, 탄산화 깊이 등의 시험에서 현장조건을 고려한 정밀도 향상 방안을 연구하였고(Kim, 2008), 정밀안전진단 시 관련 전문기술자 부족에 따른 신뢰성 저하 문제를 개선하기 위해 안전진단의 실태 파악, 문제점 도출, 개선방안을 제시하였고(Hwang, 2009), 정밀안전진단 대상이 되는 시특법상 1·2종시설물 외의 중소규모 건축물에도 적용가능한 안전진단의 개선을 위해 퍼지이론을 활용하여 안전진단 평가 모델의 개선 방안을 제시(Jo, 2010) 등의 연구하였다.

2.2 주택 재건축 안전진단 기준

도시 및 주거환경정비법에 따라 '주택 재건축 판정을 위한 안전진단 기준(국토교통부 고시)'에 의거 주택재건축사업의 안전진단의 실시방법 및 절차에 필요한 평가항목, 평가방법 등 구체적인사항을 정하여 재건축 안전진단을 수행함에 있어 객관적이고, 공정한 평가를 유도하고자 관련 매뉴얼을 2009년 8월 제정되어 현재까지 사용되고 있다.

제정 이후 내하력 평가 시 적용되는 층별가중치는 실제 대상 건축물에 기여하는 중요도와 상이하게 설정되어 있는 점을 개선하고자 정밀안전진단 기준에 설정된 층별 가중치와의 비교·분석 연구(Woo, 2015)를 진행하였다.

2.3 증축형 리모델링 안전진단 기준

개정된 주택법에 따라 '증축형 리모델링 안전진단 기준(국토교통부 고시)항에 의거 증축형 리모델링을 위한 안전진단의 방법 및 실시요령에 필요한 평가항목별 조사할 표본 및 수량, 평가등급 및 기준 등 구체적인 사항을 정하여 증축 안전진단을 수행함에 있어 객관적이고, 공정한 평가를 유도하고자 관련 매뉴얼을 2014년 6월 제정되어 현재까지 사용되고 있다.

현행 기준은 수직증축형 리모델링의 구조적 안전성을 확보할 수 있도록 기존 리모델링 절차를 바탕으로 개정되었다. 기존의 리모델링 안전진단은 자체 시행하였었지만, 현행 절차상 안전진단은 전문기관을 통해 의무적으로 2회 수행해야한

다. 이때 건축구조기술사가 참여하도록 하고, 건축심의 신청 시와 허가 신청 시에 안전진단 및 구조설계에 대한 안전성 검토를 한국시설안전공단, 한국건설기술연구원 등의 전문기관에서 받도록 의무화하였다.

1차 안전진단은 대상 건축물의 기울기 및 침하, 내하력, 내구성의 3개 평가부문으로 구성되어 있으며, 총 6가지의 평가항목별 5단계 등급 평가를 하고 있으며, 이 중 수직증축 리모델링은 6개의 평가항목 모두 B등급 이상일 시 가능한 것으로 판정하고 있다.

2차 안전진단은 1차 안전진단 시 평가한 대산 건축물의 구조안전성을 상세확인하기 위함이 가장 주된 목적으로, 1차 안전진단과 동일한 현장조사를 재실시 및 추가조사를 하여 평가결과 동일 및 설계도서 변경 필요 여부를 판정하고 있다.

3. 조사개요

3.1 조사대상 건축물

수도권에 위치한 22~25년 경과된 공동주택을 대상으로 증축형 리모델링 1차 안전진단을 진행하였다. 대상 건축물별 개요는 Table 3과 같다.

3.2 조사 항목

3.2.1 탄산화

탄산화의 시험방법은 KS F 2596을 따라 조사 대상 부재의 시험부위에 콘크리트용 드릴로 철근깊이까지 뚫어 생긴 구멍 내부에 페놀프탈레인 용액을 분무하여 탄산화 깊이를 측정한다.

3.2.2 염분 함유량

염분 함유량의 시험방법은 콘크리트 부재에서 드릴로 시료를 채취하여 분말시료로 정제한 후 KS F 2713에 따라 공인시험기관에 의뢰하여 염분함유량을 측정한다.

3.2.3 철근 부식

철근부식의 조사는 육안조사(콘크리트 파쇄 후 부식 여부를 육안으로 확인하는 것)을 기본적으로 한다. 조사 결과 D, E 등급 부재의 경우 KS F 2712에 의한 시험을 실시한다.

3.2.4 균열

균열 조사방법은 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침을 참고하여 균열자, 균열현미경 등을 사용한 균열폭 측정과 비파괴시험에 의한 균열깊이를 측정하고 있다. 또한 단순히 최대 균열폭에만 주목하는 것이 아니라 전 구간에 걸친 균열폭의 분포에도 유의하여 조사한다.

3.2.5 표면노후화(기타 결함)

기타 결함을 포함한 표면노후화의 조사방법은 육안으로 실시하여 확보된 도면에 표기하는 것을 원칙으로 한다.

Table 3 Case study of Preliminary Investigation for Extension Type of Remodeling

Outline of the Complex \ Complex		A	B	C	D	E
Summary of Complex		12 Bldgs, 1,156 Households, 81,416m^3	12 Bldgs, 770 Households, 68,292m^3	2 Bldgs, 270 Households, 10,137m^3	16 Bldgs, 1,006 Households 89,501m^3	5 Bldgs, 563 Households 43,628m^3
Structural System		Reinforced Concrete Bearing-Wall Type				
Floors		B1~ F15, 25	B1~ F10, 15, 20, 25	B1~F15	B1~ F10, 15, 20, 25	B1~ F15, 25
Year Completed		1994	1994 / 1995	1992	1994 / 1995	1995
Age of structures		23 yrs	23 / 22 yrs	25 yrs	23 / 22 yrs	22 yrs
Result of Safety Inspection for Expansion Remodeling(Primary)		Total Grade B, Vertical Extension Possible				
# of Samples (Unit: Number)	Carbonation	2,509	1,783	684	2,400	1,296
	Chloride Content	150	76	30	98	60
	Steel Corrosion	92	72	30	98	72
	Cracking and Surface Defects	1,076	1,170	587	2,563	(Unkown)
	Sum	3,827	3,101	1,331	5,159	(Unkown)

4. 조사항목 표본수의 최적화 방안

4.1 조사항목별 표본수 분석

재건축 안전진단과 증축형 리모델링 1차 안전진단의 표본수를 비교해보았다. 비교에 앞서 정량적 비교가 어려운 균열 및 표면노후화 항목은 제외하고 탄산화, 염분함유량, 철근부식 항목을 바탕으로 표본수 산출 및 비교하였다.

지하 1층~지상 15층 규모의 전체 59세대(층별 4세대) 건축물 1개동을 기준으로 표본 수를 산출한 결과는 다음과 같다. 재건축 안전진단의 경우, 3개층을 대상으로 3가지 항목 모두 20개의 표본(슬래브 12개, 벽 8개)산출되었다. 증축형 리모델링 안전진단의 경우 6개층을 대상으로 층당 탄산화 12개, 염분함유량과 철근부식은 1개씩 총 156개의 표본이 산출되었다. 수가 재건축 안전진단 기준에 비해 2.6배 많음을 알 수 있다. 탄산화의 경우 증축형 리모델링 안전진단 표본 수가 재건축 안전진단에 비해 약 7배 많아졌으나, 염분 함유량과 철근부식의 경우 오히려 재건축 안전진단 기준에 비해 30% 수준인 것으로 나타났다.

이는 탄산화 항목의 표본수 단순 강화하였기 때문이며, 효과적인 내구성평가 부문의 조사항목별 최적화 방안 도출을 위해 탄산화를 중심으로 최적화 방안 도출하는 것이 타당할 것이다.

4.1.1 탄산화

증축형 리모델링 1차 안전진단 사례를 분석한 결과 Table 4와 같이 내구성 평가 조사 항목의 표본 수 중 콘크리트 탄산화가 약 45% 이상을 차지하는 것으로 나타났다.

이는 콘크리트 탄산화의 표본 수 기준 증 조사부위를 각 부재별 단부, 중앙부 2개소를 조사하도록 설정되어 있기 때문으로 판단된다. 그러나 콘크리트 탄산화의 진행 정도가 각 구조부재의 단부, 중앙부별 상이한 경향이 나타난다는 기존 연구결과나 이론에 기이한 기준 설정이 아닌 단순 표본 수 강화 위주의 결과로 사료된다.

각 대상 건축물별 콘크리트 탄산화를 단부와 중앙부로 구분하여 비교해보았다. 비교를 위해 각 대상 건축물별 콘크리트 탄산화 항목의 단부와 중앙부값을 히스토그램화하여 비교한 결과는 Table 5, 6과 Fig.1 (a), (b), (c), (d), (e)와 같다.

Table 4 Comparision of Sampling Number

(Unit : Number(%))

Classification \ Complex	A	B	C	D	E
Carbonation	2,540(67)	1,855(59)	684(51)	2,400(47)	1,296(-)
Chloride Content	148(4)	76(2)	30(2)	98(2)	60(-)
Steel Corrosion	23(1)	24(1)	30(2)	98(2)	72(-)
Cracking and Surface Defects	1,076(28)	1,170(37)	587(44)	2,563(50)	(Unkown)
Sum	3,787	3,125	1,331	5,159	(Unkown)

Table 5 Comparision of Sample Number of Carbonation Depth (Except 0mm)

(Unit : Number(%))

Complex	Classification	Edge	Core	Basement	Ground	Horizontal	Vertical
A	Above Avg.	291 (44%)	312 (69%)	247 (69%)	356 (35%)	245 (44%)	358 (44%)
	Below Avg.	372 (56%)	406 (31%)	110 (31%)	668 (65%)	318 (56%)	460 (56%)
	Sum	663	718	357	1,024	563	818
B	Above Avg.	152 (40%)	166 (43%)	91 (70%)	227 (36%)	130 (43%)	188 (41%)
	Below Avg.	230 (60%)	218 (57%)	39 (30%)	409 (64%)	172 (57%)	276 (59%)
	Sum	382	384	130	636	302	464
C	Above Avg.	118 (46%)	191 (45%)	65 (63%)	244 (42%)	84 (38%)	225 (48%)
	Below Avg.	139 (54%)	236 (55%)	39 (38%)	336 (58%)	136 (62%)	239 (52%)
	Sum	257	427	104	580	220	464
D	Above Avg.	536 (45%)	487 (41%)	187 (49%)	836 (41%)	475 (58%)	548 (35%)
	Below Avg.	664 (55%)	713 (59%)	197 (51%)	1,180 (59%)	337 (42%)	1040 (65%)
	Sum	1,200	1,200	384	2,016	812	1,58
E	Above Avg.	314 (47%)	304 (48%)	73 (41%)	545 (49%)	196 (45%)	422 (49%)
	Below Avg.	354 (53%)	324 (52%)	107 (59%)	571 (51%)	236 (55%)	442 (51%)
	Sum	668	628	180	1,116	432	864

Table 6 Comparision of Average and Standard Deviation of Carbonation and Cover Depth (Except 0mm) (Unit : mm)

Complex	Classification	Average	Standard Deviation	Number
A	Edge (Cover Depth)	9.41 (37.08)	5.18 (11.97)	663
	Core (Cover Depth)	9.28 (37.04)	5.30 (11.60)	718
	Sum	9.35 (37.06)	5.25 (11.77)	1,381
B	Edge (Cover Depth)	7.44 (31.59)	4.43 (12.15)	382
	Core (Cover Depth)	7.88 (32.50)	4.87 (12.16)	384
	Sum	7.66 (32.04)	4.66 (12.16)	766
C	Edge (Cover Depth)	13.54 (38.32)	6.45 (9.63)	257
	Core (Cover Depth)	14.23 (37.37)	6.83 (8.45)	427
	Sum	13.97 (37.73)	6.69 (8.92)	684
D	Edge (Cover Depth)	3.83 (25.17)	2.45 (1.83)	1,200
	Core (Cover Depth)	3.66 (25.16)	2.42 (1.80)	1,200
	Sum	3.70 (25.20)	2.40 (1.80)	2,400
E	Edge (Cover Depth)	10.89 (37.14)	5.04 (15.51)	668
	Core (Cover Depth)	10.94 (37.54)	5.27 (15.61)	628
	Sum	10.90 (37.30)	5.15 (15.55)	1,296

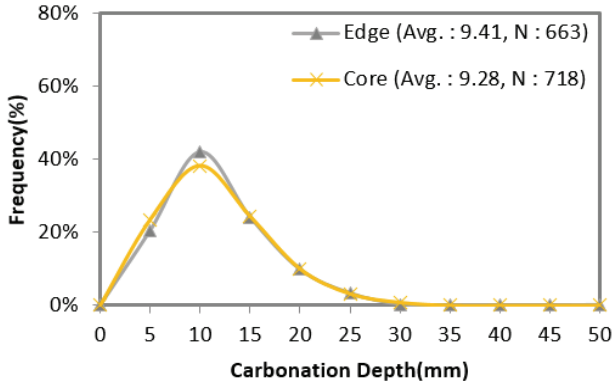

Fig. 1 (a) Comparison of Carbonation Depth Between the Edge and Core of Complex A

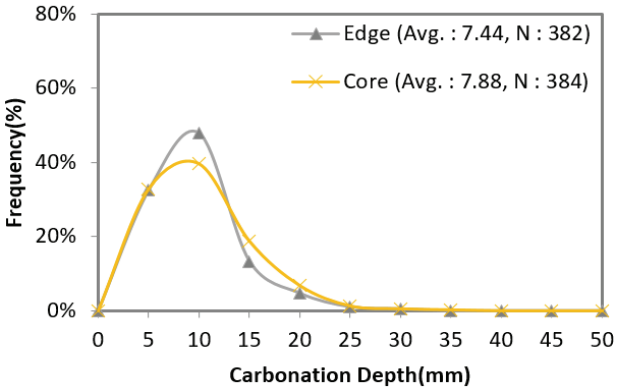

Fig. 1 (b) Comparison of Carbonation Depth Between the Edge and Core of Complex B

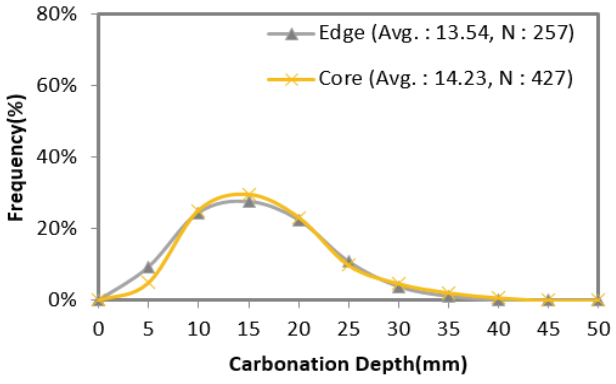

Fig. 1 (c) Comparison of Carbonation Depth Between the Edge and Core of Complex C

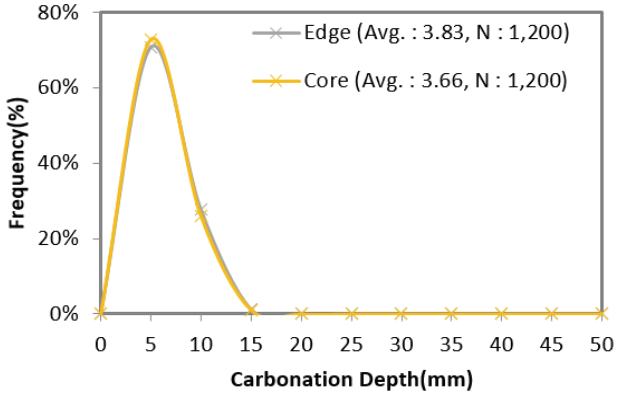

Fig. 1 (d) Comparison of carbonation depth Between the edge and core of Complex D

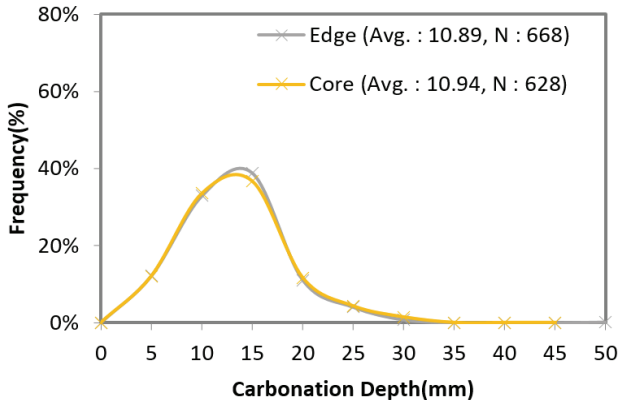

Fig. 1 (e) Comparison of Carbonation Depth Between the Edge and Core of Complex E

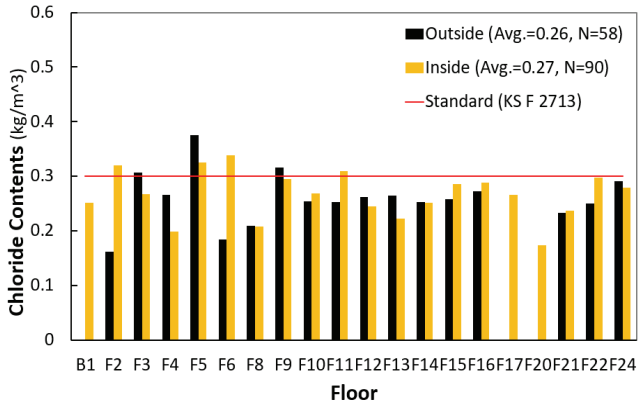

Fig. 2 Chloride Contents of Complex A

A단지의 경우 단부를 측정한 부재의 평균 깊이는 5.34mm, 개수는 총 1,170개이다. 중앙부의 평균 깊이는 4.86mm, 총 1,370개이다. 단부와 중앙부의 평균 깊이 차이는 0.48mm이다.

B단지의 경우 단부를 측정한 부재의 평균 깊이는 3.07mm, 개수는 총 926개이다. 중앙부의 평균 깊이는 3.26mm, 총 929개이다. 단부와 중앙부의 평균 깊이 차이는 0.19m이다.

C단지의 경우 단부를 측정한 부재의 평균 깊이는 13.54mm, 개수는 총 257개이다. 중앙부의 평균 깊이는 14.23mm, 총 427개이다. 단부와 중앙부의 평균 깊이 차이는 0.69mm이다.

D단지의 경우 단부를 측정한 부재의 평균 깊이는 3.97mm, 개수는 총 396개이다. 중앙부의 평균 깊이는 3.86mm, 총 396개이다. 단부와 중앙부의 평균 깊이 차이는 0.11mm이다.

E단지의 경우 단부를 측정한 부재의 평균 깊이는 10.91mm, 개수는 총 282개이다. 중앙부의 평균 깊이는 10.90mm, 총 258개이다. 단부와 중앙부의 평균 깊이 차이는 0.01mm이다.

비교 결과 모든 대상 건축물의 콘크리트 탄산화 단부, 중앙부 측정결과가 거의 유사한 것으로 나타났다.

다만 A와 C단지의 경우, 단부와 중앙부의 표본 수가 각각 170개, 200개의 차이가 발생했다. 이는 해당 대상 건축물별 지하 1층에 위치한 벽 부재의 콘크리트 탄산화 측정 시 조사의 어려움으로 인해 중앙부만 측정한 것으로 판단된다.

또한 A와 B단지의 경우, 전체적으로 콘크리트 탄산화 깊이의 평균값보다 표준편차가 값이 더 큰 것으로 나타난다. 해당 대상건축물의 실제 데이터 중 탄산화가 일어나지 않은 0mm인 데이터가 대부분이기 때문에 표준편차 값이 평균값보다 더 크게 나타났다.

4.1.2 염분 함유량

Fig. 2는 A단지 전체동에 대한 부재별 주거 공간과 공용 공간의 구분에 따른 염분 함유량을 표시하고 있다.

비교 결과 대부분의 층, 주거 공간, 공용 구간의 부재 모두 환산 염화물량의 기준치인 0.3kg/m^3을 넘지 않고 있다. 이는 모든 층의 주거, 공용 구간 부재의 염분 함유량은 거의 유사하며 현행 기준의 평가 등급 상 대부분 A~B등급에 해당한다. 한A단지 구조 부재들의 염분 함유량은 주변 환경의 영향을 크게 받지 않았던 것으로 판단되며, 추후 연구 통해 염분 함유량의 합리적인 평가 기준을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

4.1.3 철근 부식

Fig. 3은 A단지의 철근 부식 결과를 자연전위 측정결과(%)로 동, 층, 부재별로 구분하여 표시하고 있다. 전체 표본 수는 23개이며. 대부분의 자연전위 측정결과 0mV 보다 큰 전위 값을 가지고 있으며, 이는 현행 기준 상 조사 부재에서 약간의 점녹이 발생한 상태로 간주한 A등급에 해당한다. 철근 부식 역시 마찬 가지로 해당 건축물의 시공 당시 대부분의 철근 배근 시점과 제조회사가 일치하여 나온 결과라 판단된다.

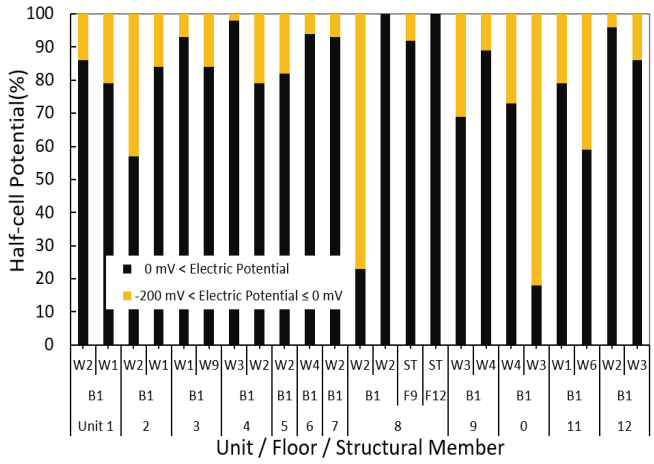

Fig. 3 Half-cell Potential of Steel Corrosion of Complex A

현행 기준의 의거한 철근 부식은 기준층의 4세대 당 1개소에서 현장 조사가 이뤄져야 하지만, 대부분의 현장 조사는 지하층에서 이루어졌다. 이는 철근 샘플 채취를 해야 하는 과정에서 주거 공간 조사 부재의 손상을 피할 수 없으므로 해당 입주자의 비협조 등 민원이 발생하므로 이에 대한 민원 최소화 방안으로 해당 건축물의 모든 지하층 부재에서 철근 샘플 채취한 것으로 판단된다. 그러므로 추가적인 사례 분석과 연구를 통해 이러한 실정을 반영한 현행 기준의 합리적인 개선을 기대할 수 있을 것이다.

4.1.4 균열 및 표면노후화

균열 및 표면노후화의 경우 나머지 조사항목과는 다르게 표본수 최적화 방안 도출에 한계가 있다. 균열 및 표면노후화 항목은 안전진단 작업자의 육안검사에 의해 발견된 부위의 균열 폭을 측정하거나, 박리, 박락, 누수 흔적 등을 도면에 표기하는 방식에 의해 정량화된 표본 수 설정이 되어 있는 것이 아닌 Table 2와 조사대상을 전체를 조사하는 공용구간과 4세대 당 1세대만 조사하는 전용구간으로 구분하여 조사하도록 설정되어 있으므로 표본수 정량화에 어려움이 있다.

4.2 탄산화 항목 표본의 통계분석

대상 건축물별 탄산화 항목의 표본을 분석한 결과 4.1.1항과 같이 측정위치 단부와 중앙부로 구분한 표본은 큰 차이가 없었다. 이에 따라 증축형 리모델링 1차 안전진단의 사례를 바탕으로 탄산화 항목의 최소 표본크기를 구하여 실제 표본과 비교하고, F-검정과 T-검정을 통해 단부와 중앙부의 통계적 차이가 얼마나 발생하는 지 확인하였다.

4.2.1 표준편차에 의한 최소 표본크기(n)

표본의 표준편차에 의해 최소 표본크기를 구하는 식은 아래 (1)과 같다.

$$n = (\frac{Z_\alpha \times e}{\sigma})^2 \quad (1)$$

여기서, n은 최소 표본크기, Z_α는 오차가 발생하지 않을 특정 확률(%)을 뜻하며, 95% 확률일 때는 1.96, 99% 확률일 때는 2.57을 사용하며, 여기서는 1.96을 사용하였다. e는 오차를 뜻하며, 여기서는 0.5를 사용하였다. σ는 표준편차를 뜻하며, 여기서는 0mm를 제외한 대상 건축물별 탄산화 깊이의 전체 표본 표준편차(mm)값을 사용하였다. 대상 건축물별 표준편차(σ), 표본수(N) 및 최소 표본크기(n)는 Table 7과 같다.

대상 건축물별 표준편차에 의한 95% 확률로 오차 0.5를 벗어나지 않을 최소 표본 크기(n)는 C단지를 제외하고는 실제 표본수보다 작게 나왔다.

Table 7 Standard Deviation(mm), Number of Samples(N), Minimum Samples Size(n)

Classification \ Complex	A	B	C	D	E
σ(mm)	5.25	4.66	6.69	2.40	5.15
N(Number)	1,381	766	684	2,400	1,296
n(Number)	424	334	688	89	408

※ : Values with a carbonation depth of 0 mm are excluded

4.2.2 독립표본 F-검정 및 T-검정

독립표본 F-검정이란 두 집단의 분산을 비교하는 것이다. 검정 결과로 P값-양측 검정(유의확률)값이 도출되며, 이 값을 0.05와 비교한다. 비교 결과 P값이 클 경우 비교한 두 집단의 분산은 같은 것으로 간주하고 등분산 가정 T-검정을 실시한다. P값이 0.05보다 작을 경우 두 집단의 분산은 다른 것으로 간주하고 이분산 가정 T-검정을 실시한다.

각 대상 건축물별 단부와 중앙부의 탄산화 깊이 측정 표본을 구분하여 F-검정을 실시한 결과는 Table 8과 같다.

Table 8 Result of F-test

Classification \ Complex	A	B	C	D	E
P-Value Two-Sided Test	0.55	0.06	0.31	0.64	0.25

분석결과 대상 건축물별 단부와 중앙부로 구분한 표본들의 분산은 모두 같은 것으로 나왔으며, 이를 바탕으로 Table 9와 같이 등분산 가정 T-검정을 실시하였다.

T-검정이란 두 집단의 평균을 비교하는 것이다. 검정 결과로 P값-양측 검정(유의확률)값이 도출되며, 이를 0.05와 비교하여 클 경우 평균 차이는 무의미하고 귀무가설이 성립되는 것으로 간주하고, 0.05보다 작을 경우 평균 차이는 유의미하고 귀무가설을 기각하고 대립가설이 간주한다. 여기서의 귀무가설은 '단부와 중앙부의 탄산화 깊이(mm) 평균값은 같다.'라고 설정하였다.

분석 결과 대상 건축물별 단부와 중앙부로 구분한 표본들의 평균 차이는 모두 무의미하며, 귀무가설이 성립하는 것으로 나타났다.

Table 9 Result of Constant Variance Assumption T-test

Classification \ Complex	A	B	C	D	E
P-Value Two-Sided Test	0.63	0.18	0.19	0.08	0.85

따라서 단부와 중앙부의 탄산화 깊이(mm) 표준편차와 평균값은 통계적으로 차이가 없으며, 같다고 볼 수 있다.

4.3 최적화 방안 제안

증축형 리모델링 안전진단 내구성 평가의 전체 표본수 중 50% 이상을 차지하는 탄산화 항목의 표본수 최적화를 위해 현행 기준 중 측정위치를 단부와 중앙부로 구분하여 조사방식에서 작업 환경과 조사 난이도를 고려한 안전진단 수행자의 판단에 의해 측정위치 중 한 부위만 조사하는 것을 제안한다. 이러한 방안을 적용할 시, B단지의 경우 조사된 1,858개 표본들 중 탄산화 항목의 표본 수는 약 930여개, 50%의 절감이 가능하며, 콘크리트 탄산화 평가 등급도 큰 변화는 없을 것으로 나타났다. 또한 총 3,128개의 기존 표본 수에서 약 2,200여개로 약 30% 절감이 가능한 것으로 나타났다.

5. 결 론

(1) 탄산화의 경우 전체 내구성 평가 조사항목 표본수의 45% 이상을 차지하고 있으며, 탄산화 조사 대상 부재의 단부와 중앙부에서의 탄산화 진행 정도를 확인한 결과, 단부와 중앙부의 탄산화 진행 정도는 거의 동일하였다.

(2) 염분 함유량의 층별 구분과 전용 공간, 주거 공간 부재의 구분으로 나누어 비교한 결과 대부분의 층과 부재 구분 없이 환산 염화물량의 기준치인 0.3kg/m^3을 넘지 않았다.

(3) 철근 부식의 동별 비교 결과, 대부분은 0mV보다 큰 전위 값으로 현행 기준 상 대상 건축물의 대부분의 철근들은 약간의 점녹이 발생한 상태로 평가되었다.

(4) 표면 노후화 및 균열의 경우, 현행 안전진단 매뉴얼에서 규정하고 있는 육안 검사에 의한 조사방식의 특성 상 표본 수 정량화 및 최적화 방안 도출에 한계가 있다.

(5) 대상 건축물별 탄산화 항목의 표본에 대하여 통계분석한 결과 표준편차를 이용한 최소 표본크기(n)를 구했다. 또한 단부와 중앙부의 표본을 검정한 결과 통계적으로 차이가 없는 동일한 표본으로 나타났다.

(6) 증축형 리모델링 안전진단 내구성 평가 부문의 조사항목 표본수 최적화를 위해 콘크리트 탄산화 조사 시 단부 및 중앙부로 구분되어 있는 조사부위 중, 임의의 한 부위를 조사하는 것을 제안하며, 이의 적용 시 전체 표본 수의 약 30% 절감 효과가 나타날 것으로 판단된다.

본 연구는 증축형 리모델링 안전진단 내구성 평가 부문의 조사항목별 표본수 최적화 방안을 제시하고자 하였으며, 추가 사례 분석 및 연구를 통해 현행 기준보다 합리적인 내구성 평가 방법을 도출할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 주거환경연구개발사업의 연구비지원(과제번호 15RERP-B099826-01)에 의해 수행되었습니다.

References

Hwang, S. W. (2009). A Study on the Improvement of Safety Diagnosis in Reinforced Concrete Structures(Ph.D. Thesis). Dogguk University, Seoul, Korea.

Jo, H. W., Jeong, J. S., Jung, I.S., Lee, C. S.(2009), Fuzzy Based Condition Assessment Model of Middle and Small-Size Buildings, Korean Journal of Construction Engineering and Management, Construction Engineering and Management, 13(5), 35-44.

Kim, B. Y, Suh. M. K., Oh, J. S., Kim. S. J. (2007), The improvement method in the current system of pre-qualification and safety diagnoses for the reconstruction decision of residential buildings, Journal of the Architectural Institute of Korea, Architectural Institute of Korea, 23(9), 39-46.

Kim, J. H. (2008). A Study on Improving Precision for Nondestructive Testings of RC Structures considered Field Conditions(Ph.D. Thesis). Chungnam National University, Daejon, Korea.

Korea Infrastructure Safety Corporation (2014), Safety Inspection for Expansion Remodeling Manuals.

Lee, D. H., Lee, S. B., Lim, N. G. (2005), A Study on the Analysis of Concrete Indurance Inspections Processes, Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, The Korea Institute For Structural Maintenance and Inspection, 9(2), 113-120.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2013), Housing Act.

Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2014), Safety Inspection for Expansion Remodeling Guidelines.

Woo, H. S. (2015). A Study on Weighting calculation on each story for Evaluation of Load carrying capacity and case study of Safety Diagnosis for Reconstruction(Master's Thesis). Seoul National University of Science and Technology, Seoul, Korea.

Received : 12/29/2017
Revised : 04/24/2018
Accepted : 04/30/2018

요 지 : 주택법에 근거하여 철근콘크리트 공동주택의 리모델링 시 최대 3개층의 수직증축 및 기존 세대수의 15%까지 증축이 가능하게 되었다. 수직증축 리모델링 가능 여부는 안전진단 기준 및 매뉴얼을 바탕으로 기울기 및 침하, 내하력, 내구성 평가 부문에 대한 조사를 통하여 평가하고 판정하도록 되어 있다. 그러나 현행 증축형 리모델링 안전진단 기준 및 매뉴얼은 재건축 안전진단 기준과 비교하여 조사대상표본 수를 증대시키는 등 보수적인 것으로 평가되고 있으며, 특히 내구성 평가 부문에 검토 및 개선이 필요한 것으로 생각된다. 따라서 본 연구에서는 수도권 지역 공동주택의 증축형 리모델링 안전진단 조사 사례에 대한 내구성 조사 항목 중 콘크리트 탄산화를 대상으로 통계적인 수법에 의해 표본 수 합리화 방안을 제시하였다.

핵심용어 : 증축형 리모델링, 안전진단, 철근콘크리트 내구성, 콘크리트 탄산화, 염분 함유량, 철근 부식