토지주택연구
Land and Housing Review
pISSN: 2093-8829, eISSN: 2234-1765
Land and Housing Review 2025, 16(4):113-125 | https://doi.org/10.5804/LHR.2025.16.4.113

공동주택 철근콘크리트 공사의 시공중 하자 분석과 개선 방안*

Analysis and Improvement of Defects in Reinforced Concrete Construction in Apartment Houses

신우진** · 조성민*** · 장명훈****
Woojin Shin** · Seong-Min Jo*** · Myunghoun Jang****

Abstract

The construction of reinforced concrete structures involves a combination of formwork, reinforcement, and concrete, resulting in various defects both during and after the construction process. While post-construction defects can be managed through repair or reinforcement methods, defects that occur during the construction process must be addressed before the project is completed. This study analyzes the main causes of defects occurring during the construction of reinforced concrete in residential buildings and suggests improvement measures. Given that the causes and solutions can vary based on the characteristics of the construction site, interviews with related field experts were conducted to identify the types of defects. Nine defects were selected for analysis: cold joints, material segregation, settlement cracks, plastic shrinkage cracks, bleeding, construction joint issues, poor concrete filling, insufficient cover thickness, and surface honeycomb. For each defect, 2-3 detailed subcategories were selected, and causes and improvement measures were suggested based on expert opinions. Despite the fact that quality control standards and guidelines for reinforced concrete construction methods are clearly established, most construction sites rely heavily on the experience of field technicians. Since this study reflects the opinions of field experts, different results may be derived depending on the site conditions.

Keywords: Reinforced Concrete, Construction Defect, Site Expert, Cause, Improvement Measure

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

철근콘크리트는 뛰어난 내구성, 비교적 적은 비용, 다양한 설계 요구 사항을 충족시킬 수 있는 유연성 등의 특성으로 현대 건축에서 가장 널리 사용되는 재료이다. 하지만 철근콘크리트 구조물은 시공 과정에서 미흡한 관리와 기술적 오류로 인해 다양한 하자가 발생할 수 있으며 이에 따라 구조물의 안전성과 내구성을 저하시킬 수 있으며 사회적, 경제적 비용 상승과 인명 피해까지 발생할 수도 있다. 이러한 사고는 공공의 안전에 대한 신뢰를 저하시키고, 관

*본 연구는 석사학위 논문(신우진, 철근콘크리트 공사의 시공 중 하자 분석과 개선방안, 2024.08) 결과의 일부이며, 2025학년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 연구되었음.
**HJ중공업 차장, 제주대 공학석사(주저자: hca2210284@hjsc.co.kr)
***가나종합건설 대표, 제주대 박사과정
****제주대 건축공학과 교수(교신저자: jangmh@jejunu.ac.kr)
Received: August 8, 2025 / Revised: September 17, 2025 / Accepted: October 15, 2025

련 기업이나 기관의 사회적 책임 문제로 확대될 가능성이 크다. 또한 하자로 인한 보수나 보강 작업은 상당한 비용을 발생시키며, 건설공사 비용 증가로 이어질 수 있다.

공동주택은 공사 중과 공사 후에 다양한 하자가 발생하고 있다. 이 연구는 공동주택의 철근콘크리트 중 빈도가 높게 발생하는 하자의 원인을 분석하여 개선방안을 제시한다. 공사 과정에서 발생할 수 있는 하자 사례를 유형별로 분류하고, 각 하자의 유형별 발생 원인을 파악하여 개선방안을 제시함으로써 철근콘크리트 공사의 품질향상에 기여하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

이 연구는 공동주택 건설현장의 철근콘크리트 공사에서 시공 중에 발생하는 하자를 대상으로 다음과 같이 연구를 수행한다.

(1) 철근콘크리트 공사의 하자에 대한 분석과 관련 연구를 고찰한다.
(2) 철근콘크리트 공사 중에서 발생하는 하자의 원인을 파악하고 개선방안 제시한다.
(3) 하자의 원인과 개선방안에 대해 전문가 면담을 통해 검증을 시행한다.

2. 철근콘크리트 공사와 하자

2.1 철근콘크리트

철근콘크리트는 콘크리트의 압축력과 철근의 인장력이 일체로 되어 서로의 결점을 보완하며 외력에 대응하는 구조로 설계된다(이남균, 2018). 기둥, 보, 벽 등의 부재 모양의 거푸집에 철근을 미리 조립하여 콘크리트를 부어 넣어 굳으면 철근콘크리트 부재가 만들어진다. 각 부재에 작용하는 각종 힘 가운데 압축력은 콘크리트가 지지하고 철근은 콘크리트의 인장변형력의 약점을 부담한다. 두 재료가 일체로 되어 전단력 등의 외력에도 저항할 수 있다.

철근콘크리트는 재료의 공급이 수월하고 구조물의 형태와 크기가 자유롭다. 콘크리트는 내구성에 강하고 철근은 내진성에 강하며, 장기적인 측면에서 유지관리 비용이 적다. 구조체의 경직성으로 수정 또는 변경이 어려우며, 공사기간 중 외부 여건이나 날씨 등의 영향을 많이 받는 특성이 있다(박재순, 2010).

2.2 철근콘크리트 공사

철근콘크리트 공사는 건축물의 각 부재 형상을 만들기 위하여 콘크리트와 철근을 시공해가는 과정이다. 원하는 형상을 만들기 위해 거푸집이 필요하며 바닥, 기둥, 보, 실내외 벽체 등 부재의 종류와 설치 위치 등에 따라 다양한 거푸집이 사용된다.

공동주택의 철근콘크리트 공사는 콘크리트 바닥 타설 작업이 완료된 후 정확한 위치와 구조물의 정렬을 위한 먹매김 작업부터 시작된다. 바닥에 평면도에 따른 먹줄을 치며 이는 벽체와 기둥의 정확한 위치를 결정하는 데 중요한 역할을 하고, 먹매김 작업 후에는 거푸집을 설치한다. 아파트와 같이 대규모 공사는 외벽에 갱폼과 같은 대형 거푸집을 설치하고 철근을 인양하고 각 부재에 설치한다.

벽체 거푸집 인양과 함께 내벽 형틀 거푸집 작업이 동시에 진행되고 작업 완료 후 동바리와 멍에 장선을 이용하여 슬래브 거푸집을 시공하며, 슬라브 철근 인양 및 배근이 완료되면 상부 청소 후 콘크리트를 타설하게 되는 과정으로 공사가 이루어진다.

2.3 공동주택의 하자

하자는 사전적 의미로 '옥의 얼룩진 흔적이라는 뜻으로, 흠을 이르는 말' 또는 '법률 또는 당사자가 예기한 상태나 성질이 결여되어 있는 일'이다. 하자의 개념은 법률적, 기능적, 경제적 차원에서 포괄적으로 이해되기도 하며, 이는 건축물에 기대되는 기능, 안전성, 미관, 그리고 경제적 가치를 충족하지 못하는

다양한 형태의 불완전함을 의미한다.

공동주택과 관련된 분야에서 사용되는 하자는 「주택법」[1] 제48조의2에서 '공사상 잘못으로 인하여 균열·침하(沈下)·파손·들뜸·누수 등이 발생하여 안전상·기능상 또는 미관상의 지장을 초래할 정도의 결함'이라고 정의하고 있다.

「공동주택관리법 시행령」[2] 제37조에서는 하자의 범위를 내력구조부별 하자와 시설공사별 하자로 구분하고 있다. 내력구조부별 하자는 공동주택 구조체의 일부 또는 전부가 붕괴된 경우 또는 공동주택의 구조안전상 위험을 초래하거나 그 위험을 초래할 우려가 있는 정도의 균열·침하(沈下) 등의 결함이 발생한 경우를 말한다. 시설공사별 하자는 공사상의 잘못으로 인한 균열·처짐·비틀림·들뜸·침하·파손·붕괴·누수·누출·탈락, 작동 또는 기능불량, 부착·접지 또는 전선 연결 불량, 고사(枯死) 및 입상(서 있는 상태) 불량 등이 발생하여 건축물 또는 시설물의 안전상·기능상 또는 미관상의 지장을 초래할 정도의 결함이 발생한 경우이다.

2.4 공동주택 하자 관련 선행 연구

공동주택 공사에서 발생하는 하자에 관한 선행 연구를 살펴보면 주로 하자의 원인, 유형 분석과 개선 방안이 다양한 방법으로 연구가 진행되었음을 알 수 있다.

박용금(2008)은 공동주택에서 발생할 수 있는 공정별 하자의 유형 및 특성을 파악하고, 계속해서 발생하는 하자와 그 원인을 규명하여 반복적으로 하자가 발생하지 않도록 공동주택 하자 예방을 위한 자료를 제안하였다. 이현종(2011)은 공동주택에서 발생하는 주요 공정별 하자의 유형과 특징을 파악하고, 계속해서 발생하는 하자와 그 원인을 규명하여 공동주택 하자 예방을 위한 자료를 제시하였다. 박권식 외(2014)는 아파트 공용 부위의 마감 하자 발생빈도와 유형을 체계적으로 분석하고, 하자 발생의 주요 원인을 파악함으로써 건설업체와 입주민 양측에게 실질적인 해결 방안을 제시하였다.

이민주 외(2020)는 공동주택의 하자에 대한 이해를 높이고, 입주자와 사업주체 간의 하자 여부에 대한 분쟁과 행정력 낭비를 줄이기 위해 주요 시설공사를 중심으로 하자 유형 사례를 도출하였다. 또한, 마감공사, 창호공사, 내력구조부, 단열공사, 방수공사, 전기 및 전력설비공사의 하자 유형 사례를 상세히 알아보며 하자 원인을 구체적으로 분석하여 하자 저감 개선방안을 제시하였다.

이동우(2022)는 하자발생의 분석 자료를 통해 공정별 하자의 유형 및 특징을 파악하여 이를 통해 공급자와 수요자 간의 민원 발생 요소를 줄이기 위해 원인과 분석 자료를 제시하였다. 서정민(2022)은 공동주택의 하자를 건축, 설비, 전기, 통신의 4가지 분야로 나누어 분석하고, 이를 통해 하자의 원인과 처리 비용을 상세히 조사하여 하자 비율이 높게 나타난 공종 및 하자 관리의 주요 요소를 식별하여, 건축 공사 전반에 걸쳐 발생 가능한 하자를 최소화할 수 있는 효과적인 관리 방안을 제시하였다.

공동주택의 하자를 방지위한 방법으로 모듈러 공법을 제안하기도 한다. 김민준(2023)은 생산성을 높이고 공기단축을 높이는 PC코어 시스템을 개발하여 구조성능을 확보하였다. 장수명주택을 위한 이지은 외(2021)의 연구에서는 OSC공법을 활용한 공동주택 모델을 제시하였다. 하지만 공장생산된 모듈러 부분과 현장에서 타설된 구조체와의 결합부위는 하자가 발생할 수 있으므로 품질관리가 중요하다(손정락 외, 2019).

공동주택 하자에 관한 연구들은 주로 시공 후에 발생하는 하자(이하 '시공후 하자'라 함)에 초점을 두

1) 주택법[시행 2024. 7. 17.] [법률 제20048호, 2024. 1. 16., 일부개정]
2) 공동주택관리법 시행령 [시행 2025. 4. 15.] [대통령령 제35451호, 2025. 4. 15., 일부개정]

고 진행되었다. 이는 공동주택의 하자 연구에서 중요한 부분을 차지하지만, 시공 과정에 발생하는 하자(이하 '시공중 하자'라 함)에 대한 연구는 상대적으로 부족한 상황이다. 철근콘크리트 공사는 공동주택 건설에서 가장 기본이 되는 공사로 이 과정에서 발생하는 하자는 건물의 안전성과 직결되므로 철저한 관리가 필요하다. 따라서 이 연구에서는 공동주택 콘크리트 공사의 하자 중 시공중 하자에 초점을 두고 연구를 진행하고자 한다.

3. 시공중 하자의 유형 및 특성

3.1 시공중 하자의 유형

시공중 하자는 공동주택의 원인별, 규모별, 지역별, 구조별로 매우 다양하다. 이 연구에서는 체계적으로 하자의 원인을 분석하고 개선방안을 제시하기 위하여 공동주택 철근콘크리트 공사 시공중 하자의 대표적인 유형을 선정하였다. 선정 방법과 결과는 다음과 같다.

기존 연구(박성욱, 2011; 허우영, 2024; 이의진, 2012)를 기초로 하여 2024년 2월부터 2개월간 공동주택 철근콘크리트 공사 2개 현장의 공사 관계자 20명을 대상으로 집단심층면접조사(Focus Group Interview)를 실시하였고, 현장의 실제 하자 사례를 조사였다. 그 결과 발생빈도가 높고 하자의 특성이 명확하게 구분되는 콜드조인트, 재료분리, 침하균열, 소성수축균열, 블리딩, 시공이음, 콘크리트 채움불량, 피복두께 부족, 표면곰보 등 9개를 공동주택 철근콘크리트 공사 시공중 하자의 대표 유형으로 선정하였다.

3.2 시공중 하자의 유형별 특성

3.2.1 콜드조인트

콜드조인트(cold joint)는 계획된 콘크리트의 타설 중 문제로 인해 이미 타설된 콘크리트가 굳어지기 시작해 신·구 콘크리트가 완전히 일치되지 않는 불연속면이다(김성준, 2015). 대량의 콘크리트 타설시 허용 타설 시간간격이 넘은 경우에 이미 타설한 콘크리트에 표면처리 없이 재타설하는 경우 발생하는 콜드조인트는 구조물의 내구적, 구조적 성능 저하에 영향을 미친다(박명숙, 2001). Fig. 1은 하자 사례 조사 현장의 실제 콜드조인트 사례이다.



Fig. 1. Cases of Cold Joints



Fig. 2. Cases of Material Segregation

3.2.2 재료분리

콘크리트는 이상적인 측면에서 어느 부분의 시료를 채취하더라도 균일하여야 하는 것이 기본이지만, 실무에서는 그렇지 못하고 비균질성을 나타내는 경우가 있으며 균질성이 소실되는 현상이 재료분리이다(쑹위안러우, 2016). Fig. 2는 실제 공동주택 시공현장에서 발생한 재료분리 사례이다.

3.2.3 침하균열

콘크리트를 타설하고 다짐하여 마감 작업을 한 이후에도 콘크리트는 계속하여 압밀되는 특성을 보이는데, 이것은 재료의 비중차이로 인하여 수분이 상승하고 고형물이 침강하는 블리딩 현상 때문에 생기



Fig. 3. Cases of Settlement Cracks



Fig. 4. Cases of Bleeding

는 특성이다. 이러한 압밀 현상이 거푸집이나 철근 배치 등에 영향을 주거나, 콘크리트 경화의 부분적인 차이에 의한 침강의 차이가 생겨서 그 표면에 규칙적인 간격으로 균열이 발생하는데 이것이 침하균열이다(박기봉, 2002). Fig. 3은 실제 사례 조사 현장에서 발생한 침하균열의 사례이다.

3.2.4 소성수축균열

굳지 않은 콘크리트의 건조수축은 일반적으로 노출 면적이 넓은 슬래브와 같은 구조부재에서 타설 직후에 일어난다. 이와 같이 타설 초기의 건조에 의해 발생하는 균열이 소성수축균열이다(박기봉, 2002). 소성수축균열은 굳지 않은 콘크리트에 증발 또는 누수에 따른 수분감소에 따른 수축과 시멘트의 수화반응 후 체적 감소에 따른 수축으로 인해 발생한다.

콘크리트에 포함된 수분은 시멘트의 수화반응과 블리딩으로 인해 누수 발생 시 감소한다. 이때 낮은 습도에서 바람에 영향을 받거나, 고온에서 수분이 급격히 증발해 블리딩 속도를 상회할 정도로 건조를 받게 되면 콘크리트가 수축하게 된다(김정인, 2022).

3.2.5 블리딩

블리딩(bleeding)이란 콘크리트 내부의 잉여수가 콘크리트 표면에 떠오르는 현상이다(황인성, 2003). 레이턴스(laitance)는 블리딩으로 인해 표면에 침전한 미세 입자가 형성된 약한 층을 의미한다. Fig. 4는 사례 조사 현장에서 발생한 블리딩과 레이턴스 사진이다.



Fig. 5. Cases of Construction Joints

3.2.6 시공이음

층간 이음부와 같이 이미 시공된 콘크리트와 이어 타설하는 콘크리트 사이인 신·구 콘크리트 사이에 생기는 이음을 시공이음(construction joint)이라 한다. 이것은 구조물의 강도, 내구성, 수밀성 및 외관을 해치지 않도록 시공계획서에 정해진 위치, 방향 및 시공 방법을 준수하여 설치하는 고의적인 이음이다(이태형, 2018).

구조적 또는 설계상의 제약으로 인해 전단력이 큰 위치에 시공이음을 설치해야 할 상황이 발생할 경우 시공 이음부의 구조적 무결성을 확보하기 위한 추가적인 조치가 필요하다. 이음부에 장부나 홈을 설정하거나, 적절한 강재를 이용하여 보강하는 방법이 있으며, 이는 구조물에 작용하는 하중을 더 효과적으로 분산시키고 전체적인 구조적 안전성을 향상시킨다. Fig. 5는 시공이음부에 청소 불량이나 이물질 등으로 발생한 시공이음 부위 하자 사례를 보여주고 있다.

3.2.7 콘크리트 채움 불량

콘크리트 채움 불량의 원인은 다양하며, 공기구멍의 미설치, 진동 작업의 불충분, 작업자의 숙련도 부



Fig. 6. Cases of Poor Filling

족 등으로 인해 발생한다. 적절한 물-시멘트 비율의 확보, 혼화재료의 적정 사용, 형틀의 정확한 설계와 강도 확보, 충분한 진동을 통한 공기 배출과 콘크리트의 균일한 배치는 콘크리트 채움 불량을 방지하기 위한 필수 요소들이다. 또한, 고온 또는 저온과 같은 극단적인 기후 조건에서의 콘크리트 작업 시에는 특별한 주의가 요구되며, 작업자의 전문성과 경험도 중요한 역할을 한다. Fig. 6은 현장에서 주로 발생하는 패널 뒷면(좌)과 창호 하부(우)의 채움 불량 현상 사례이다.

3.2.8 피복두께 미확보

콘크리트 피복은 철근을 외부 환경으로부터 보호함으로써 부식을 방지한다. 내화성 확보는 철근 피복의 중요한 기능 중 하나이며, 콘크리트는 열전도율이 낮아 화재 발생 시 고온이 철근까지 도달하는 것을 지연시켜 구조물의 붕괴를 방지하는 역할을 한다. 또한, 피복은 철근과 콘크리트 사이의 강한 부착력을 형성하여 두 재료가 함께 작용하게 한다. Fig. 7은 시공 과정에서 발생한 피복두께가 확보되지 않은 모습이다.



Fig. 7. Cases of Cover Thickness



Fig. 8. Cases of Surface Honeycomb

3.2.9 표면곰보

콘크리트 표면에 시멘트 페이스트나 모르터가 새어 나와 기포현상이 발생하는 것이 곰보이다. 거푸집을 2회 사용한 현장에서는 거푸집 2회째 사용 시 거푸집 표면상에 콘크리트 잔해 물을 제대로 제거하지 않아 거푸집 탈형 시 곰보가 형성될 수 있다. 또한 외기의 영향으로 거푸집의 고정상태가 밀실하지 않은 부분에서도 발생한다. 콘크리트 타설 과정에서도 발생하기 때문에 과도한 진동다짐이나 다짐 불량에 주의하여야 한다. Fig. 8은 사례 조사 현장에서 발생한 표면 곰보 사진이다.

4. 시공중 하자 원인분석과 개선방안

4.1 분석개요

공동주택 철근콘크리트 공사의 시공중 하자에 대한 원인 분석과 개선방안 도출을 위해 2024년 5월부터 2개월간 공동주택 4개 현장의 공사 관계자 20명을 대상으로 설문조사를 실시하였다.

1단계로 3장에서 선정한 시공중 하자의 대표유형 9개에 대하여 기존 연구 및 현장조사 결과를 바탕으로 원인 항목과 개선방안 항목을 도출하였다. 2단계로 설문을 통해 하자의 원인 항목과 개선방안 항목이 타당한지에 대한 동의 수준을 조사하였다.

설문 응답자는 남성 19명, 여성 1명으로 연령대는 Fig. 9와 같이 40대가 12명(60%)이며, Fig. 10과 같이 5~10년의 실무경력자도 12명(60%)으로 가장 많다. 기술 등급은 특급 5명(25%), 고급 50명(25%), 중급 8명(40%), 초급 2명(10%)이다.

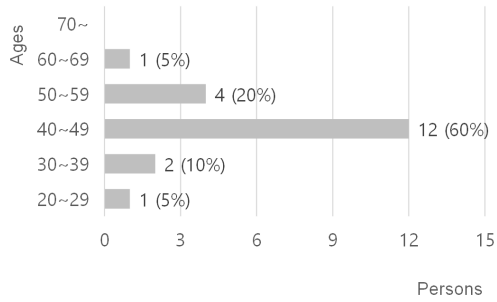

Fig. 9. Ages of Questionnaire Respondents

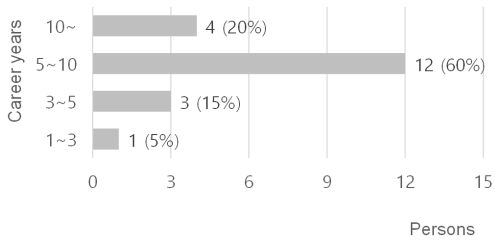

Fig. 10. Career Years of Questionnaire Respondents

4.2 하자 유형별 원인분석

1단계 조사에 따른 공동주택 철근콘크리트 공사 시공중 하자의 대표 유형에 대한 원인으로는 콜드조인트 3개 항목, 재료분리 2개 항목, 침하균열 3개 항목, 소성수축균열 2개 항목, 블리딩 현상 3개 항목, 시공이음 2개 항목, 채움 불량 3개 항목, 피복두께 3개 항목, 표면곰보 2개 항목이 도출되었다. 이에 대해 2단계 설문을 통해 각 하자 유형에 대한 원인 항목이 타당한지에 대한 분석 결과는 다음과 같고 Table 1로 정리하였다.

4.2.1 콜드 조인트

콜드 조인트 발생 원인 항목으로 '레미콘 트럭의 도착시간 지연과 타설시간 지연'(1-C1)에 대해서는 매우 그렇다와 그렇다는 응답이 70%이며, '콘크리트 온도 상승 및 외부 환경'(1-C2)에 대해서는 45%만 그렇다고 응답하였다. '작업자의 휴식'(1-C3)이 원인이라는 질문에는 35% 그렇다고 응답하였다. 따라서 콜드조인트 발생 주요 원인은 레미콘 도착시간 지연 및 이에 따른 타설시간 지연으로 볼 수 있다.

4.2.2 재료분리

재료분리의 원인으로 '굵은 골재의 분리'(2-C1)에 대해서는 매우 그렇다와 그렇다가 30%이며, '시멘트 페이스트 및 물의 분리'(2-C2)에 대해서는 20%만 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. 이와 같이 재료분리의 원인에 대해서는 굵은 골재나 시멘트 페이스트 분리 외의 다른 원인에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

4.2.3 침하균열

침하균열의 원인으로 '대형의 철근 직경'(3-C1)에 대해 매우 그렇다와 그렇다 응답이 40%이며, '높은 슬럼프 값'(3-C2)에 대해서는 75%가 매우 그렇다, 그렇다고 응답하였다. '피복두께가 작다'(3-C3)에 대해서는 20%만 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. 따라서 침하균열의 주요 원인은 높은 슬럼프 값으로 볼 수 있다.

4.2.4 소성수축균열

소성수축 원인 항목인 '건조한 바람'(4-C1)에 대해서는 매우 그렇다와 그렇다는 응답이 20%이며, '고온 저습한 외기'(4-C2)에 대해서는 10%만 그렇다고 응답하였다. 따라서 소성수축의 균열 주요 원인은 건조한 바람 외에도 다양한 원인이 있으며 추가적인 연구가 필요하다.

4.2.5 블리딩

블리딩의 발생 원인 항목으로 '콘크리트 배합'(5-C1)에 대해서는 보통에 응답한 비율이 80%이며, '재료 원인'(5-C2)으로는 매우 그렇다, 그렇다, 보통이다라고 응답한 합계가 75%이다. '시공 환경'(5-C3)이 원인이라는 답변에는 매우 그렇다와 그렇다

Table 1. Survey Results: Respondent Agreement on Causes of Construction Defects

Defects	Code	Causes	Percentage of Respondents (%)*				
			SA	A	N	D	SD
Cold Joints	1-C1	Delay in arrival of ready-mix trucks & delay in pouring time	20	50	15	10	5
	1-C2	Concrete temperature rise & external environmental conditions	5	40	30	15	10
	1-C3	Lack of continuous operation and worker's break	5	30	30	25	10
Segregation	2-C1	Segregation of coarse aggregates	10	20	35	30	5
	2-C2	Separation of cement paste and water from the rest of the concrete mix	5	15	55	15	10
Settlement Crack	3-C1	Diameter of reinforcement bars (rebar)	25	15	45	15	0
	3-C2	High slump value of concrete	15	60	20	5	0
	3-C3	Cover thickness for re-bars	5	15	55	15	10
Shrinkage Crack	4-C1	Dry wind	5	15	55	15	10
	4-C2	Exposure to high temperatures and low humidity conditions	0	10	75	15	0
Bleeding	5-C1	Concrete mixture design	5	5	80	5	5
	5-C2	Concrete materials	5	5	65	15	10
	5-C3	Site conditions and construction environment	5	15	55	20	5
Construction Joint	6-C1	Limitations of the concrete pouring method	10	30	40	20	0
	6-C2	Characteristics of concrete cracking	20	30	40	10	0
	6-C3	Inadequate management at construction joints	0	5	65	15	15
Concrete Poor Filling	7-C1	Absence of air vents	10	30	40	10	10
	7-C2	Insufficient vibration	20	30	35	10	5
	7-C3	Lack of worker proficiency	5	5	55	20	15
Cover Thickness	8-C1	Lack of experience among workers	15	40	25	15	5
	8-C2	Improper installation of spacers	20	40	20	5	15
	8-C3	Dislodgement or movement of spacers	15	30	40	10	5
Surface Honeycomb	9-C1	Presence of foreign materials on the surface of reused formwork	35	20	20	10	15
	9-C2	Improperly secured or non-tight formwork	20	45	20	10	5

Note: * SA: Strongly Agree, A: Agree, N: Neutral, D: Disagree, SD: Strongly disagree

가 20%, 보통이다에 55%가 응답하였다. 블리딩 원인에 대한 답변에는 절대적으로 매우 그렇다와 그렇다에 응답한 비율보다 보통이다에 응답한 비율이 상대적으로 높다. 따라서 블리딩 원인은 콘크리트의 배합, 재료, 환경이 복합적으로 작용한다고 볼 수 있다.

4.2.6 시공이음

시공이음 부위 하자 원인으로 '타설 공법의 한계'(6-C1)에 대해서는 매우 그렇다와 그렇다 40%, 보통이다 40%이며, '콘크리트 균열 특성'(6-C2)에 대해서는 50%가 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. '시공이음 부위 관리 미흡'(6-C3)에는 그렇다 5%, 보통이다 65%로 응답하였다. 따라서 보통이다에 응답한 비율을 고려하면 콘크리트 균열 특성, 타설공법의 한계, 이음부위 관리미흡 순으로 영향이 크다고 판단할 수 있다.

4.2.7 콘크리트 채움 불량

콘크리트 채움 불량 원인으로 '공기구멍 미설치'(7-C1)에 대해서는 매우 그렇다와 그렇다는 응답이 40%이며, '진동 작업 불충분'(7-C2)에 대해서는 50%가 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. '작업자의 숙련도 부족'(7-C3)에는 매우 그렇다와 그렇다에 10%만 응답하였다. 따라서 콘크리트 채움 불량의 주요 원인은 공기구멍 미설치와 진동작업 불충분을 들 수 있다.

4.2.8 피복두께 미확보

피복두께 미확보에 대한 원인으로 '숙련공 경험 부족'(8-C1)에 매우 그렇다와 그렇다는 응답이 55%이며, '스페이서(spacer) 시공 불량'(8-C2)에는 60%가 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. '간격재 이탈'(8-C3)에 대해서는 45%가 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. 따라서 피복두께 부족의 주요 원인은 숙련공 경험 부족과 스페이서 시공 불량으로 볼 수 있다.

4.2.9 표면곰보

표면곰보 원인으로 '이물질 미제거'(9-C1)에 매우 그렇다와 그렇다는 응답이 55%이며, '거푸집 고정상태 밀실 미흡'(9-C2) 원인에 대해서는 65%가 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. 따라서 표면곰보 현상의 주요 원인은 밀실하게 거푸집 고정하지 못한 것이라고 할 수 있다.

4.3 하자 유형별 개선방안 분석

1단계 조사에 따른 공동주택 철근콘크리트 공사 시공중 하자의 대표 유형에 대한 개선방안으로는 콜드조인트 3개 항목, 재료분리 3개 항목, 침하균열 2개 항목, 소성수축균열 2개 항목, 블리딩 현상 2개 항목, 시공이음 2개 항목, 채움 불량 2개 항목, 피복두께 2개 항목, 표면곰보 3개 항목이 도출되었다. 이에 대해 2단계 설문을 통해 각 하자 유형에 대한 개선방안 항목이 타당한지에 대한 분석 결과는 다음과 같고 Table 2로 정리하였다.

4.3.1 콜드조인트

콜드조인트 하자에 대한 개선방안으로 '일일 타설량 계획'(1-R1)에 대해 매우 그렇다와 그렇다는 응답이 60%이며, '식사시간 타설공 교대 타설'(1-R2)에는 25%만 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. '휴식시간으로 인한 진동 누락방지 관리'(1-R3) 질문에는 매우 그렇다와 그렇다의 응답이 40%이다. 따라서 일일 타설량 계획이 주요 개선방안이라고 할 수 있다.

4.3.2 재료분리

재료분리를 개선하는 방안으로 '굵은 골재 최대 치수와 피복 두께, 철근 간격 고려'(2-R1)에 대해 매우

Table 2. Survey Results: Respondent Agreement on Solutions for Construction Defects

Defects	Code	Solutions	Percentage of Respondents (%)*				
			SA	A	N	D	SD
Cold Joint	1-R1	Daily placement volume in the planning of concrete pouring	20	40	25	5	10
	1-R2	Shift system for workers during meal times	10	15	40	20	15
	1-R3	Vibration and compaction process during break times	15	25	50	5	5
Segregation	2-R1	Maximum size of coarse aggregate by considering the cover thickness and the spacing between reinforcement bars	10	20	25	30	15
	2-R2	Watertight formwork to prevent the leakage of cement paste	5	20	55	10	10
	2-R3	Reducing the pour height and avoiding excessive compaction	20	20	45	10	5
Settlement Crack	3-R1	Tamping for improving settlement cracks and concrete quality	0	25	65	5	5
	3-R2	Properly compacting the concrete and managing its settlement	20	20	40	5	15
Plastic Shrinkage Crack	4-R1	Using plastic sheeting or curing blankets to cover concrete after pouring	5	15	60	5	15
	4-R2	Installing formwork securely to prevent settlement and deformation	5	20	55	20	0
Bleeding	5-R1	Managing materials and mixtue design	0	25	65	5	5
	5-R2	Careful construction practices and site management	20	20	40	5	15
Construction Joint	6-R1	Employing waterstop keys and ensuring thorough surface preparation with high-pressure washing	20	20	35	15	10
	6-R2	Using an elastic putty coating as a means of improving construction joints	10	15	40	15	20
Concrete Poor Filling	7-R1	Conducting a thorough investigation to identify potential problem areas for voids or poor filling	20	50	15	5	10
	7-R2	Selecting and using the appropriate vibrator	30	20	35	10	5
Cover Thickness	8-R1	Visual inspection to assess cover thickness	15	40	15	10	20
	8-R2	Installing chairs and spacers at appropriate intervals	10	40	25	15	10
Surface Honeycomb	9-R1	Sufficient pre-compaction	35	20	35	5	5
	9-R2	Respecting the formwork removal period	15	65	10	5	5
	9-R3	Applying form release agents	15	20	20	35	10

Note: * SA: Strongly Agree, A: Agree, N: Neutral, D: Disagree, SD: Strongly disagree

그렇다와 그렇다는 응답은 30%이며, '수밀성 있는 거푸집 사용'(2-R2) 대해서는 25%만 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. '낮은 타설 높이 및 과도한 다짐 방지'(2-R3)에 대해서는 40% 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. 따라서 주요 개선방안은 타설 높이를 낮게 하고 과도한 다짐을 방지하는 것이라고 할 수 있다.

4.3.3 침하균열

침한 균열 개선방안으로 '콘크리트 타설면을 두드리거나 누르는 다짐 방법인 탬핑(tamping) 작업'(3-R1)에 대해서는 그렇다는 응답이 25%이며, '다짐 및 침하 관리'(3-R2)에 대해서는 40%만 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. 따라서 침하균열의 개선을 위해서는 다른 원인에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

4.3.4 소성수축균열

소성수축균열 개선방안으로 '비닐이나 양생포를 이용 보양'(4-R1)에 대해 매우 그렇다와 그렇다는 응답이 20%이며, '견고한 거푸집 설치'(4-R2)에는 25%만 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. 따라서 소성수축균열의 개선을 위해서는 추가적인 연구가 필요하다고 판단된다.

4.3.5 블리딩

블리딩 하자에 대한 개선방안으로 '재료 및 배합 관리'(5-R1)에 대해서는 그렇다는 응답이 25%이며, '시공적 측면 관리'(5-R2)에 대해서는 40%가 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. 따라서 블리딩은 시공적인 측면에서 관리하는 것이 적절하다.

4.3.6 시공이음

시공이음부 개선방안으로 '방수키 사용 및 고압세척기를 이용한 레이턴스 제거'(6-R1)에 대해 매우 그렇다와 그렇다는 응답이 40%이며, '탄성 퍼티 도막 사용'(6-R2)에는 25%만 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. 따라서 시공이음부 개선을 위해서는 고압세척기 이용하여 레이턴스를 제거하는 것이 필요하다.

4.3.7 콘크리트 채움 불량

콘크리트 채움 불량에 대한 개선방안으로 '채움 불량 위치 확인 사전조사'(7-R1)에 대해 매우 그렇다와 그렇다는 응답이 70%이며, '적절한 진동기 사용'(7-R2)에 대해서는 50%가 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. 따라서 채움 불량의 주요 개선방안은 채움 불량 위치 확인과 사전 대책 마련으로 볼 수 있다.

4.3.8 피복두께 미확보

피복두께 미확보에 대한 개선방안에는 '외관 검사를 통해 피복두께 검사'(8-R1)에 대해 매우 그렇다와 그렇다는 응답이 55%이며, '적절한 간격의 고임대 및 간격재 설치'(8-R2)에 50%가 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. 두 방안 모두 피복두께 미확보를 개선하는 방안으로 판단할 수 있다.

4.3.9 표면곰보

표면곰보를 개선하기 위한 방안으로 '충분한 사전 다짐'(9-R1)에 대해 매우 그렇다와 그렇다는 응답이 55%이며, '거푸집 존치기간 준수'(9-R2)는 80%가 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. '거푸집 박리제 도포'(9-R3)에는 35%만 매우 그렇다와 그렇다고 응답하였다. 따라서 충분한 거푸집 존치기간이 주요 개선방안이라고 볼 수 있다.

5. 결 론

철근콘크리트 공사는 대부분의 건축물을 건설하는 과정에서 필요로 하는 공종이다. 거푸집, 철근, 콘

크리트의 조합으로 이루어지는 공사이므로 공사 과정과 공사 후에 다양한 하자가 발생하고 있다. 공사 후에 발생한 하자는 보수나 보강 공법에 의해 관리될 수 있지만, 공사 과정 중의 하자는 최소화해야 한다.

이 연구는 공동주택 공사의 철근콘크리트 시공 중에 발생하는 하자의 주요한 원인을 분석하고 개선방안을 제시하였다. 구체적인 방법으로는 첫째, 시공 중 하자의 대표 유형으로 콜드조인트, 재료분리, 침하균열, 소성수축 균열, 블리딩, 시공이음, 콘크리트 채움 불량, 피복두께 미확보, 표면 곰보 등 9개를 선정하였다. 둘째, 기존 연구 및 현장조사 결과를 바탕으로 각 하자 유형별로 2~3개의 원인 항목과 개선방안 항목을 도출하였다. 셋째, 현장 전문가를 대상으로 한 설문을 통해 하자의 원인 항목과 개선방안 항목이 타당한지에 대한 동의수준을 조사하였다.

건설현장에서는 철근콘크리트 공법의 품질관리 기준이나 지침 등이 명확하게 확립되어 있음에도 불구하고, 대다수의 경우 현장 기술자의 경험에 의존하고 있다. 이 연구도 현장 전문가의 의견을 반영한 것이므로 현장의 상황에 따라 다른 결과가 도출될 수 있다.

이 연구는 실제 철근콘크리트 시공 중에 발생하는 하자의 원인을 분석하고 개선방안을 제시함으로써 실무자들이 참고할 수 있는 유용한 자료가 될 것으로 기대되지만, 새로운 기술 개발을 통해 철근콘크리트 공사 중 발생하는 하자를 더욱 효과적으로 예방하기 위한 노력이 필요하다.

참고문헌

1. 국토교통부(2024.7.17), “주택법” 제48조의2(사전방문 등).
2. 국토교통부(2025.4.15), “공동주택관리법 시행령” 제37조(하자의범위).
3. 김민준(2023), “모듈러주택 적용을 위한 PC코어 시스템 제안”, 「LHI Journal」, 14(1): 115~122.
4. 김성준(2015), “슬래그 및 하중조건을 고려한 콜드조인트 콘크리트의 투수성 평가”, 석사학위논문, 한남대학교.
5. 김정인(2022), “셀룰로우스 섬유 혼입 포장콘크리트의 소성수축균열저항 및 강도특성”, 석사학위논문, 전남대학교.
6. 박권식·정지형·반영운·이태호(2014), “아파트 공용부위 주요 하자 저감방안”, 「한국주거환경학회」, 12(1): 187~195.
7. 박기봉(2002), “철근콘크리트 구조물의 균열에 따른 원인과 대책에 관한 연구”, 석사학위논문, 경일대학교.
8. 박명숙(2001), “콘크리트 구조물의 콜드조인트의 중성화 제어에 관한 연구”, 석사학위논문, 연세대학교.
9. 박성욱(2011), “철근콘크리트 구조물의 하자예방에 관한 연구 : 공동주택 구조하자 실태조사를 중심으로”, 석사학위논문, 건국대학교.
10. 박용금(2008), “공동주택의 공정별 하자발생 및 예방대책에 관한 연구”, 석사학위논문, 서울산업대학교.
11. 박재순(2010), “알미늄 거푸집 사용 콘크리트의 표면마감성 향상에 관한 연구”, 석사학위논문, 청주대학교.
12. 서정민(2022), “공동주택 하자분석: 시공관리 중심으로”, 석사학위논문, 한양대학교.
13. 손정락·이동건·방종대·김진원(2019), “적층식 모듈러주택의 시공 프로세스 분석을 통한 품질관리 중점사항 제안”, 「LHI Journal」, 10(3): 67~75.
14. 쑹위안러우(2016), “슬럼프 플로우 최대 및 최대비에 의한 콘크리트의 재료분리 저항성 평가지수 제안”, 석사학위논문, 청주대학교.
15. 이남균(2018), “공동주택 골조공사 공기지연의 원인과 방지방안에 관한 연구”, 석사학위논문, 한양대학교.
16. 이동우(2022), “사례조사를 통한 공동주택세대 하자유형 관리방안분석”, 석사학위논문, 한양대학교.
17. 이민주·설재윤·박달웅·임진환·정락형(2020), “공동주택 시설공사별 하자유형 사례소개”, 「한국구조물진단유지관리공학회」, 25(2): 150.
18. 이의진(2012), “노출콘크리트 일반 건축물의 시공사례 분석을 통한 개선 방안 도출”, 석사학위논문, 고려대학교.
19. 이지은·노정열·권수혜·김승모(2021), “장수명주택 인증을 고려한 OSC공법 주택의 가변형 평면계획 연구”, 「LHI Journal」, 12(4): 103~117.

20. 이태형(2018), “층간이음부 방수키 성능시험을 통한 합리적인 보수공법 제안”, 석사학위논문, 충북대학교.
21. 이현종(2011), “공동주택 하자원인 분석을 통한 하자 예방에 관한 연구”, 석사학위논문, 한양대학교.
22. 허우영(2024), “철근콘크리트 시공하자 사례분석을 통한 품질개선 방안연구”, 석사학위논문, 한양대학교.
23. 황인성(2003), “콘크리트 블리딩 특성 및 저감제 개발에 관한 연구”, 석사학위논문, 청주대학교.

요 약

철근콘크리트 공사는 거푸집과 철근, 콘크리트의 조합으로 이루어지는 공사로 공사 과정과 공사 후에 다양한 하자가 발생할 수 있다. 공사 후에 발생한 하자는 보수나 보강 공법에 의해 관리될 수 있으나 공사 과정 중의 하자는 공사가 완료되기 전에 하자를 제거하여야 한다. 이 연구는 공동주택 공사의 철근콘크리트 시공 중에 발생하는 주요한 원인을 분석하고 개선 방안을 제시하였다. 건설현장의 특성에 따라 원인과 개선 방안이 달라질 수 있어 관련 현장 전문가의 면담을 통해 하자의 종류를 파악하였다. 분석 대상으로 콜드조인트, 재료 분리, 침하 균열, 소성수축 균열, 블리딩, 시공 이음, 콘크리트 채움 불량, 피복두께 미확보, 표면 곰보의 9개를 선정하고 각 대상별로 2~3개의 세부 항목에 대해 현장 전문가의 의견을 반영하여 원인과 개선방안을 제시하였다. 건설현장에서는 철근콘크리트 공법의 품질관리 기준이나 지침 등이 명확하게 확립되어 있음에도 불구하고, 대다수의 경우 현장 기술자의 경험에 의존하고 있다. 이 연구도 현장 전문가의 의견을 반영한 것이므로 현장의 상황에 따라 다른 결과가 도출될 수 있다.

주제어: 철근콘크리트, 하자, 현장 전문가, 원인 분석, 개선 방안