

Research Paper

학교시설 내진보강공사 시 발생하는 하자 유형 및 하자 발생 요인 연구

Investigating Defect Types and Causative Factors in the Seismic Retrofitting of Educational Facilities

김문식¹ · 정대교¹ · 박현정² · 김대영^{3*}

Kim, Moon Sik¹ · Jung, Dae Gyo¹ · Park, Hyun Jung² · Kim, Dae Young^{3*}

¹Master's Course, Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Geumjung-Gu, Busan, 46241, Korea

²Professor, Department of Architectural Engineering, Silla University, Sasang-Gu, Busan, 46958, Korea

³Professor, Department of Architectural Engineering, Pusan National University, Geumjung-Gu, Busan, 46241, Korea

*Corresponding author

Kim, Dae Young
Tel : 82-51-510-8129
E-mail :
dykim2017@pusan.ac.kr

Received : November 27, 2023

Revised : January 8, 2024

Accepted : February 5, 2024

ABSTRACT

This research addresses the types and causes of defects in seismic retrofitting projects of school facilities, which, following the Gyeongju and Pohang earthquakes in September 2016 and November 2017 respectively, have been identified as having comparatively lower seismic resilience among public buildings. The incidence of seismic retrofitting has notably increased in the subsequent years, raising concerns about the potential for defects arising from these efforts. The government has committed to enhancing the seismic resilience of all public facilities by 2035, with a specific focus on completing upgrades for educational establishments by 2029. Although prior investigations have explored construction defects in school facilities, there exists a gap in research specifically targeting defects within seismic retrofitting processes. Thus, this study aims to catalog the defects associated with seismic retrofitting efforts and analyze their underlying causes to identify crucial management strategies for defect mitigation. Furthermore, by examining the interplay between defect types and their causative factors, the study seeks to pinpoint essential management practices that could preempt defects during the construction phase, ultimately aiding in the reduction of future maintenance expenditures.

Keywords : seismic retrofit, defect analysis, defect type, defect factor, key management factor

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

정부는 2011년부터 내진보강계획을 수립하여 내진 설계가 의무화 이전에 지어진 건축물의 내진 성능을 보강하고 있다. 2022년 기준, 전국 공공시설의 내진보급률은 75.1%로 확인되었다. 정부는 오는 2035년까지 모든 공공시설에 내진성능보강공사를 완료하고 학교시설의 경우 2029년까지 내진성능보급을 완료하는 것으로 확인되었다[1]. 2016년 9월 경주지진, 2017년 11월 발생한 포항지진 이후 공공시설중 상대적으로 내진성능 보급이 부진하였던 학교시설의 경우 2017년~2019년 사이 2배 이상 보급되었다[2]. 학교시설의 내진성능 확보를 위해 내진보강공법에 관련한 연구는 활발히 진행되고 있다. 그 결과 내력벽 보강, 제진댐퍼, 탄소섬유보강 등 다양한 공법들과 SRC 날개벽과 같이 기존 내진보강공법을 개량, 개선한 공법들도 개발되었다[3,4]. 이처럼 내진성능보강과 관련한 공법들이 개발됨과 더불어 성능 및 경제성에 관련한 연구도 많이 증



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.

가하였다[5]. 내진성능이 적용되지 않은 학교 건축물의 내진보강과 내진성능 특성에 관한 연구 역시 양적으로 많은 증가를 가져왔다[6,7]. 하지만 내진보강공사가 공급됨으로 늘어난 비중에 하자가 발생할 가능성이 존재한다. 2017년 이후 지속적인 내진보강공사가 진행되었음에도 불구하고 학교시설의 내진보강공사 하자에 대한 실증적 자료 및 데이터가 부족한 만큼 추가적인 연구가 필요한 실정이다. 증가한 내진보강공사로 인하여 전국 각 교육청에도 해당 공사로 인해 발생한 하자 접수 내용은 5개년간 76건이 접수되었다. 내진보강공사로 발생할 수 있는 하자를 미리 점검하여 학교시설을 이용하는 학생들과 교직원들의 안정성을 확보할 필요가 있기에 내진보강공사의 하자연구는 더욱 필요한 것으로 확인된다. 따라서 본 연구는 내진보강공사에서 발생한 하자 유형을 분석 한 후, 하자 원인별 중요도를 분석하여 시공단계에서 고려해야 하는 중점관리요소를 도출한다. 더 나아가 하자가 저감될 수 있도록 내진보강공사에서 발생할 수 있는 하자 유형 및 원인을 파악해 나타내고자 한다. 이를 통해 학교시설 내진보강공사 하자 사전예방을 위한 기초자료를 마련하는 것을 목적으로 한다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구의 진행을 위해 전국 교육청 및 교육지원청에 접수된 2019년~2023년까지 5년간 내진보강공사로 접수된 하자 및 유지보수자료를 62건을 수집하였다. 수집한 데이터를 바탕으로 내진보강공사에서 발생하는 하자의 중점관리요소를 도출하기 위해 하자 유형 및 하자 빈도를 분석하였으며 연구 방법과 흐름은 Figure 1과 같다.

첫째, 학교시설 내진보강공사에서 발생하는 하자의 원인 및 기존 연구 동향을 파악하기 위해 문헌연구를 실시하였다.

둘째, 수집한 하자 데이터를 활용하여 내진보강공사의 하자 유형을 분석한 후 5가지의 하자 유형을 선정하였다.

셋째, 수집한 하자 데이터를 바탕으로 내진보강공사에서 발생하는 하자의 원인을 도출하였다. 이후 자문하여 하자발생요인을 관리상 요인, 재료상 요인, 시공상 요인 세가지 항목으로 분류하였고, 항목별 하자발생의 세부적 요인을 분석하였다.

넷째, 분석한 자료를 바탕으로 내진보강공사 하자 유형과 발생 요인이 하자발생에 영향을 끼치는지의 결과확인을 위해 시공사, CM단, 전문건설업체, 교육시설 관계자를 대상으로 설문을 실시하였다. 설문조사 결과를 바탕으로 RII(Relative Important Index) 분석기법을 활용하여 내진보강공사에서 하자발생에 영향을 끼치는 주요 요인별 상대적 중요도와 발생 가능성을 도출하였다.

다섯째, RII 분석결과값을 활용하여 내진보강공사에서 발생하는 하자 유형에 따른 중점관리항목을 선정하였다. 이를 토대로 하자유형별 예방대책을 제시하였다.

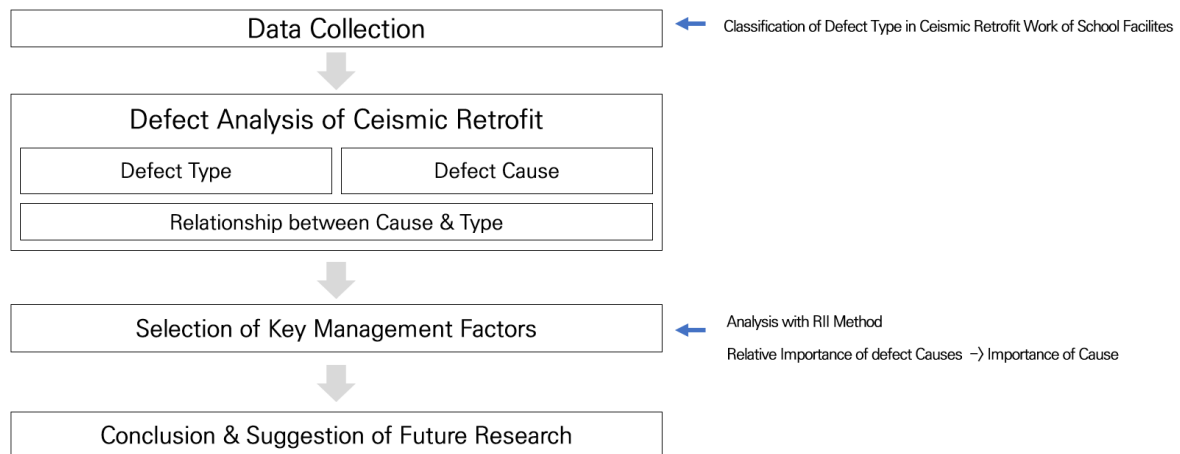


Figure 1. Research methodology framework

2. 내진보강공사 문헌고찰

2.1 국내 문헌고찰

내진보강이란, 건축물 구조가 지진력에 대항하기 위한 내진 능력이 떨어질 때 경제성 및 효율성을 고려한 비용을 투입하여 기존 건축물의 구조를 보강하는 것을 의미한다. 내진보강을 위한 구조체계는 구조체의 수평내력의 증대방안과 연성능력의 향상방안 두가지를 복합적으로 적용하여 성능을 향상시키는 것으로 확인되었다[8]. 이러한 내진성능을 보강하는 기법은 Table 1과 같이 분류할 수 있었다[7].

Table 1. Overview seismic Reinforcement techniques

Seismic Retrofit		Purpose of Retrofit	
Enhancing the strength and ductility of existing structures	Expansion of seismic walls	On-site wall Precast Wall Concrete block wall	Increased strength and ductility
	Extension of the wing wall	Steel Plate On-site Wing wall Precast wing wall	Increased strength
	Extension of the Buttress frame	Buttress Wall Extension	Increased strength
	Retrofit of columns	Rahmen extension Welding & Wired Wrapping iron plate	Increased strength and ductility
	Brace Extension	Overlapping Steel and RC Braces	Increased strength and ductility
	Retrofit of foundation	Extended Foundation An extension of Pile Reinforcement of piles	An improvement in support
	Using Seismic Isolation and Earthquake Resistance Devices	Retrofit of vibration control Retrofit of seismic isolation	Damper installation Seismic Structure

내진보강공사에는 보강방법에 따라 일반적으로 일반공법과 특수공법, 신재료공법, 감쇠장치, 면진장치등을 이용한 내진보강 공법이 활발히 연구되고 있었다[6-8]. Kang[2]은 학교건축물의 87%에 해당하는 건축물이 내진보강이 필요하다는 것을 강조하며 성능평가 수치해석 모델링을 통하여 내진보강기법별 장단점의 결과를 제시하였다. 하지만 보강기법별로 공사비나 공사기간에 따른 비교가 이루어지지 못하여 시공성 평가에 따른 장단점 분석이 이루어지지 못한 한계가 있었다. 한편 Na et al.[3]의 연구는 교육시설물을 구조체와 비구조체로 구분하여 국내와 해외의 내진보강 가이드라인에 대하여 분석을 실시하였다. 국내 교육시설물 구조체의 보강전략의 결함요소를 보완하는 방향성을 제시하였고, 비구조체의 사례조사와 분석도 필요함을 제언하였다. Song et al.[8]은 준공 30년이 경과되어 내진성능확보가 반영되지 않은 학교건축물에 노후도 수치를 고려하여 내진성능을 평가하는 방안을 제시하였다. 이는 기존 기술자의 판단에 의존하였던 노후도 평가 방식을 수치적으로 분석하여 내진성능평가에 활용함으로써 기존의 내진성능평가방법을 개선하였다. Song et al.[7]은 국내 대학교 건축물 중 내진설계기준이 적용되지 않은 저층 건물들의 내진보강을 위한 구조물내진보강기법들의 비교분석을 실시하였다. 일반적인 — 자형, L자형의 저층 건물에 대하여 내진설계가 이뤄지지 않은 건축물들의 안정성과 사용성을 고려한 내진성능 보강기법에 대한 비교는 이루어졌으나 보강기법별 시공성 및 비용의 비교분석이 이루어지지 못한 한계가 존재하였다. 이밖에도 학교 내진보강공사 중 시공관리와 관련된 연구도 진행되고 있었다. 이와 관련하여 국내에서 이루어지고 있는 연구 현황은 Table 2에 정리하였다.

Table 2. Trend in seismic retrofit defect research

Author	Year	Topic	Main issue
Kang Jong	2012	A study on the Seismic Retrofit Techniques of School Buildings Constructed in Accordance with Standard Design in 1980s	After deriving the causes of defects in the construction of window's hardware, the distribution according to the size of the designer and the contractor and the effect on the construction quality were checked.
Na Young Ju	2019	A Study on Comparing and Analyzing Seismic Retrofit Method Guideline of the Existing Education Facilities between South-Korea and Overseas	By analyzing the cases of condensation defects that adversely affect psychologically and physically, the anti-condensation performance of windows and doors in the household was checked, and improvement measures were derived and the improvement effect was evaluated.
Song Jin-Kyu	2010	Seismic Performance Evaluation and Seismic Retrofit of School Building Considering Deterioration.	By numerically analyzing the selection of seismic reinforcement buildings that relied on the judgment of existing engineers, seismic performance evaluation was proposed in consideration of the degree of aging.
Song Woo Young	2011	A Comparative Study on Seismic Retrofit Technique for Seismic Retrofit of Existing Low-Rise Building	Through the analysis of defects in the aluminum window construction, improvement measures were suggested to reduce the occurrence of defects.

Bae et al.[9]는 공동주택 마감공사에서 발생하는 하자를 공중, 유형별, 시점별로 분석하였으며 정량적 수치와 정성적 데이터를 활용하여 하자예방을 위한 중점적 관리요인을 선정하였다. Lee et al.[10]는 서울시의 19개의 초·중학교의 주요 누수 현황을 분석하여 누수원인 및 경로를 분석하여 적절한 방수 및 보수재료와 공법을 제시하여 장기적인 학교건축물의 유지관리대책과 보수방안을 제언하였다. Ryu and Park[11]는 교육시설에서 발생하는 품질하자를 분석하여 16개 공중으로 분류하였다. 하자보수비용과 품질하자 발생 빈도를 분석하여 공사비와 하자 발생의 관계성을 연구하였다. 또한 주요공중 하자의 집중적 관리 필요성을 강조하였고, 사전예방의 필요성을 시사하였다. Ahn[12]는 건설 플랜트 하자분쟁의 주요쟁점과 개선방안을 대법원 판례와 FIDIC 계약조건을 중심으로 과실판단과 하자보수 사이의 우선순위 분쟁에 대해 고증하였다. 이는 하자에 대해 이론적, 실증적인 고찰을 하였으며, 건설산업기본법 및 행정규칙 관련 규정의 개정 혹은 신설을 제언했으며, 실무자들이 공사계약 및 하자관련 절차서의 실무적 대응방안을 제시하였다. 국내 하자관련 연구현황은 Table 3에 정리하였다.

Table 3. Trend in general construction defect research

Author	Year	Topic	Main issue
Bae Seong In	2013	The Study on the Selection of Primary Management Objects for Defect Prevention of Finishing Works on Apartment House	A study was conducted on the selection of major management targets for the prevention of defects in the finishing construction of apartment houses, and the main causes were analyzed.
Lee Jae Bum	2004	An example of repair works and leakage analysis for school facility	By analyzing the main leakage status of middle schools, the cause and path of leakage were analyzed, and appropriate waterproof and repair materials and construction methods were proposed to maintain and repair long-term school buildings.
Ryoo Jong Hyuk	2008	Analysis on Quality Defect Status in the Construction Site of Domestic Educational Facilities	Basic data for the establishment of an efficient quality management system in the future are presented by investigating the current status of quality defects at the domestic educational facility construction site.
Ahn Sang Hyo	2022	Major Issues and Improvement Measures in the Construction Plant Defect Dispute	The main issues and improvement measures of the construction plant defect dispute were examined on the priority dispute between negligence judgment and defect repair, focusing on the Supreme Court precedent and FIDIC contract conditions, and theoretical and empirical consideration was conducted on defects

해당 선행연구들은 종합하면 내진보강공법에 관한 연구와 하자저감을 위한 연구는 활발히 진행되는 것으로 확인되었다. 하지만 내진보강공사 연구는 공법을 개선하고 내진성능을 향상시키는 연구가 주류를 이루고 있었다. 하자저감을 위한 연구는 공동주택의 자료를 중심으로 특정 해당되는 측면만 집중하여 다양한 시설공사 유형들을 고려하지 못하는 실정이었다[13].

따라서 본 연구에서는 교육환경개선공사가 활발히 진행되고 있는 학교시설에서 발생하는 하자 중 내진보강공사에서 발생하는 하자를 분류하고 발생 빈도와 객관적 자료로 활용하는 정량적 평가법과, 전문가들의 자문을 활용한 정성적 평가법을 함께 사용할 것이다. 그 후 해당 하자가 발생하는 원인에 대해 분석하여 하자 예방을 위한 중점관리요소를 선정한다. 또한 시공중 발생하는 하자의 원인별 중요도를 함께 고려하여 실무에서의 활용도를 갖출 수 있도록 할 것이다. 하자유형과 원인간의 관계를 분석하여 중점관리요소를 선정함으로써 실효성있는 하자예방을 위한 방안을 제시하여 선행되었던 연구와 차별성을 둔다.

3. 내진보강공사 하자유형 및 요인분석

3.1 내진보강공사 하자 유형 및 요인분석

학교시설에서 발생한 하자 현황을 조사하기 위하여 2019~2023년까지 5년간 21개소의 내진보강공사를 실시한 초,중,고등학교에서 각 교육지원청으로 접수된 하자처리 공문을 정보공개포탈을 통해 조사하였으며, 62건의 하자내용을 유형별로 정리하였다. 해당 자료는 교육환경개선 공사 및 내진보강공사를 실시하고 난 후 하자보수보증 기간내에 발생한 하자 처리를 요청하는 공문 및 첨부자료를 활용하였다. 수집된 데이터를 분석하여 내진보강공사에서 발생한 하자를 유형별로 분석하였다. 선행연구를 참고하며 각 교육지원청으로 접수된 하자처리 공문을 바탕으로 하자를 총 11가지 유형으로 구분하였으나, 도장 들뜸, 탈락, 변색 등과 같은 포괄할 수 있는 유형들을 종합 한 결과 최종적으로 5가지 유형으로 분류하였다. 5가지 항목으로 균열하자, 누수하자, 도장하자, 지반침하 하자, 마감재 탈락 하자로 구분하였으며 내용은 Table 4와 같다.

Table 4. Frequency of defect types in in seismic retrofit project

Number	Defect type	Count	Ratio
①	Crack Defect	8	12.90%
②	Leack Defect	35	56.45%
③	Painting Defect	3	4.83%
④	Subsidence Defect	9	14.51%
⑤	Finishing Material Loss Defect	7	11.29%

선정된 5가지 유형의 하자를 확인하고 선행되었던 연구 Lee et al.[14], Jeong et al.[15]를 참고하였을때 하자발생의 원인을 12가지로 선정하였다. 전문가의 자문을 바탕으로 이를 크게 인적요인, 물적요인 두가지로 분류할 수 있었고, 하자발생의 인적요인은 해당 작업상 관리요인과 시공상 요인으로 분류할 수 있다. 분석한 하자발생 요인을 관리상의 요인, 재료상의 요인, 시공상의 요인으로 구분하였으며, 하자 유형과 하자발생 요인의 인과관계를 분석하였을 때 Table 5과 같이 나타났다.

Table 5. Identified causes of defects in seismic retrofit

Defect category	Defect cause	①	②	③	④	⑤
Construction management factors	Unreasonable shortening of the construction period	√	√	√	√	√
	Poor management of the preceding process	√	√	√	√	√
	Interference of other processes	√	√	√	√	√
	Lack of defect education	√	√	√	√	√
Consturction material factors	Poor management of construction materials	√	√	√	√	√
	Insufficient material specification review	√	√	√	√	√
	Lack of material performance review	√	√	√	√	√
	Insufficient care transporting and lifting materials	√	√	√	√	√
Factors of construction	Poor connection between new and existing structures	√	√	√	√	√
	Lack of construction capacity of worker	√	√	√	√	√
	Insufficient maintenance after construction	√	√	√	√	√
	Non-compliance with work specifications	√	√	√	√	√

4. 내진보강공사 중점관리요인 분석

4.1 설문 개요

내진보강공사의 하자유형별로 발생에 영향을 미치는 요인과 하자발생 가능성을 확인하기 위해, 하자 유형과 시공 중 하자를 유발할 수 있는 요인간의 인과관계 분석을 바탕으로 설문을 진행하였다. 대상자로는 건설사 관리감독자, CM사 소속 관리감독자, 전문건설업체 관리자, 근로자, 교육시설 관계자 등 40명을 대상으로, 2023년 09월 01일부터 2023년 10월 30일까지 2개월간 데이터 수집하였다. 그중에 34명의 응답을 확인하였다. 이 중 10년 이상 경력자의 응답을 전체 설문 인원의 70.58%를 확보하여 설문내용의 신뢰성 확보를 확인하였다. 해당 설문지의 구성으로는 관리적 요인, 재료적 요인, 시공적 요인의 3가지 대분류 항목과 해당 분류를 구성하는 12가지 요인의 내진보강공사 유형별 하자발생에 영향을 미치는 정도와 하자의 발생 가능성 확인을 위하여 각각 5점 척도 기반 설문을 실시하였으며, 내용은 Table 6와 같다.

Table 6. Survey methodology summary

Category	Component
Period	2023.09.01.~2023.10.30.(2 month)
The number of people	Survey personnel : 40 / Number of respondents : 34
Target	Managers, supervisors, and functional workers in construction sites
Respondent	CM : 6 / Construction : 18 / Contractor : 6 / Office of Education : 4
Method	Survey, Interview

4.2 분석 방법

설문으로 수집한 자료를 근거하여 내진보강공사의 하자관리 중점관리요인을 도출을 위해 요인간의 상대적인 중요도를 분석할 필요성이 있다. 이에 따라 설문에 활용된 중점관리요인 간의 상대적 중요도 지수 분석을 위해 RII(Relative Important Index) 분석방법을 활용하였고, 식 (1)을 활용하였다.

$$RII = \frac{\Sigma(Wn) \times 100\%}{A \times N} \tag{1}$$

W : Constant expressing the weight given each response(1~5점)

n : Frequency of responses

A : Highest weighting

N : Total Number in the responses

4.3 내진보강공사 하자유형별 원인의 상대적 중요도

하자 원인과 이를 범주화하는 항목이 하자 발생에 영향을 미치는 정도에 대한 설문조사내용을 바탕으로 RII 분석을 실시하였다. 그 결과 하자 요인의 RII(A)와 세부요인 RII(B) 값을 도출하였다. 이후 하자의 세부 요인인 RII(B) 값을 보정하기 위해 해당요인이 속한 관리적 요인, 재료적 요인, 시공적 요인의 RII(A) 값을 가중하여 하자 요인의 상대적 중요도(α)를 산출하였다.

4.4 내진보강공사 균열 하자 원인의 상대적 중요도

균열하자 발생의 상대적 중요도가 높은 상위 2가지 원인은 기존 구조체와 신축부재와의 접합불량(0.5153)과 작업자의 숙련도 부족(0.4092)으로, 관리적 요인과, 재료적 요인에 비하여 상대적으로 시공적 요인이 하자 발생에 기인하는 것으로 판단된다. 기존 노후화 된 구조체에 보강부재를 추가하는 내진보강공사의 특성상 기존부재와 신축건축물의 접합 불량은 모든 영역에 영향을 미치는 원인이므로 중요도가 가장 높게 산출된 것으로 판단되며 내용은 Table 7과 같다.

Table 7. Relative importance of defect factors

Defect factor category	RII (A)	Defect cause	RII (B)	Relative Importance (A×B=α)	Rank
Construction management factors	0.5647	Unreasonable shortening of the construction period	0.5647	0.3189	6
		Poor management of the preceding process	0.5412	0.3056	8
		Interference of other processes	0.5529	0.3122	7
		Lack of defect education	0.6000	0.3388	5
Consturction material factors	0.5324	Poor management of construction materials	0.5176	0.2756	11
		Insufficient material specification review	0.5647	0.3006	10
		Lack of material performance review	0.5765	0.3069	9
		Insufficient care transporting and lifting materials	0.4706	0.2505	12
Factors of construction	0.6441	Poor connection between new and existing structures	0.8000	0.5153	1
		Lack of construction capacity of worker	0.6353	0.4092	2
		Insufficient maintenance after construction	0.5882	0.3789	3
		Non-compliance with work specifications	0.5529	0.3562	4

4.5 내진보강공사 누수 하자 원인의 상대적 중요도

누수 하자 발생의 상대적 중요도가 높은 원인으로는 작업자의 숙련도 부족과(0.4665) 기존 구조체와 신축부재와의 접합 불량 순서로 확인되었다. 다음으로는 작업 시방서 미준수(0.3900), 시공 후 보양작업 미흡(0.3747)로 누수하자 발생에 원인으로 확인되었다. 누수하자의 발생부위는 시공부위의 균열이 발생하여 해당 균열로 우수가 침투하여 발생한다. 내진보강공사에서 발생하는 누수하자는 신설된 새로운 벽체에 후속공정으로 설치되는 창호 주변부에서 발생하여 건물 내부로 물이 침투하는 경우와, 외벽으로 흐르는 것으로 확인되었다. 이는 해당 구간 작업 시 작업자의 숙련도 미숙으로 접합부위 코킹 시공이 불량이 많아, 해당 구간 코킹 재시공을 하여 보수한 것으로 확인되었다. 이후로는 하자 관련 교육 미비(0.2976), 선행공종 관리 불량(0.2976) 순으로 관리 요인의 중요도 지수가 높게 산출되었으며 내용은 Table 8과 같다.

Table 8. Relative importance of defect factors

Defect factor category	RII (A)	Defect cause	RII (B)	Relative Importance (A×B=α)	Rank
Construction management factors	0.5382	Unreasonable shortening of the construction period	0.5294	0.2849	7
		Poor management of the preceding process	0.5529	0.2976	5
		Interference of other processes	0.5176	0.2786	8
		Lack of defect education	0.5529	0.2976	5
Consturction material factors	0.5265	Poor management of construction materials	0.4824	0.2539	12
		Insufficient material specification review	0.5529	0.2911	9
		Lack of material performance review	0.5529	0.2911	9
		Insufficient care transporting and lifting materials	0.5176	0.2725	11
Factors of construction	0.6500	Poor connection between new and existing structures	0.7059	0.4588	2
		Lack of construction capacity of worker	0.7176	0.4665	1
		Insufficient maintenance after construction	0.5765	0.3747	4
		Non-compliance with work specifications	0.6000	0.3900	3

4.6 내진보강공사 도장탈락 하자 원인의 상대적 중요도

도장탈락 하자의 상대적 중요도가 가장 높은 요인은 시공 후 보양작업 미흡(0.4644)과 공사기간의 무리한 단축(0.4443)으로, 무리한 공기 단축은 모든 영역에 영향을 미치는 원인이므로 보양작업 미흡과 함께 중요도가 가장 높게 산출된 것으로 판단된다. 방학기간의 한정된 시간속에서 실시되는 학교공사의 특성상 신축부재의 시공전 선행공정의 관리 불량 원인(0.4295)도 중요도가 높은 것으로 분석되었다. 다음은 작업 시방서 미준수(0.4111)로 내진보강공사 도장탈락 하자발생에 간접적인 영향을 미치기 때문에 중요도가 높았고 내용은 Table 9와 같다.

Table 9. Relative importance of defect factors

Defect factor category	RII (A)	Defect cause	RII (B)	Relative Importance (A×B=α)	Rank
Construction management factors	0.6294	Unreasonable shortening of the construction period	0.7059	0.4443	2
		Poor management of the preceding process	0.6824	0.4295	4
		Interference of other processes	0.5882	0.3702	6
		Lack of defect education	0.5412	0.3406	8
Consturction material factors	0.5265	Poor management of construction materials	0.4706	0.2478	12
		Insufficient material specification review	0.5529	0.2911	10
		Lack of material performance review	0.5647	0.2973	9
		Insufficient care transporting and lifting materials	0.5176	0.2725	11
Factors of construction	0.6471	Poor connection between new and existing structures	0.5529	0.3578	7
		Lack of construction capacity of worker	0.6824	0.4415	3
		Insufficient maintenance after construction	0.7176	0.4644	1
		Non-compliance with work specifications	0.6353	0.4111	5

4.7 내진보강공사 지반침하 하자 원인의 상대적 중요도

지반침하 하자 발생의 상대적 중요도가 높은 요인은 시공적요인의 4가지 항목으로 확인되었다. 기존 부재와 신축부재의 접합불량(0.3779)과 작업시방서 미준수(0.3441)로 해당 하자가 발생하는 원인은 마이크로파일 보강으로 인한 부분 굴착인 것으로 확인되었다. 해당 공종으로 되메우기 실시한 구간에서 부분 침하가 일어난 것으로 확인되었다. 기존의 다짐되어있던 지반과 부분굴착으로 인하여 되메우기 한 구간의 밀도 차이로 인하여 부분 침하가 일어나는 것이 가장 큰 원인이므로 중요도가 가장 높게 산출된 것으로 판단된다. 그리고 해체 공정 이후에 시공되는 내진보강공사의 특성은 신축부재의 시공전 선행공정의 관리 불량 원인도 중요도가 가장 높은 것으로 분석되었으며 내용은 Table 10와 같다.

Table 10. Relative importance of defect factors

Defect factor category	RII (A)	Defect cause	RII (B)	Relative Importance (A×B=α)	Rank
Construction management factors	0.4529	Unreasonable shortening of the construction period	0.5412	0.2451	5
		Poor management of the preceding process	0.4706	0.2131	6
		Interference of other processes	0.4000	0.1812	7
		Lack of defect education	0.4000	0.1812	7
Consturction material factors	0.3676	Poor management of construction materials	0.3412	0.1254	12
		Insufficient material specification review	0.3647	0.1341	11
		Lack of material performance review	0.3882	0.1427	9
		Insufficient care transporting and lifting materials	0.3765	0.1384	10
Factors of construction	0.5735	Poor connection between new and existing structures	0.6588	0.3779	1
		Lack of construction capacity of worker	0.5647	0.3239	3
		Insufficient maintenance after construction	0.4706	0.2699	4
		Non-compliance with work specifications	0.6000	0.3441	2

4.8 내진보강공사 마감재 탈락 하자 원인의 상대적 중요도

마감재 탈락 하자 원인의 상대적 중요도가 가장 높은 원인은 타 공종과의 간섭(0.4369)과 시공 후 보양 미흡(0.4221)으로, 공사 기간에 큰 영향을 받는 내진보강공사의 특성상 높게 산출된 것으로 판단된다. 이는 내진보강공사와 시설물 유지보수 공사가 같은 기간내에 실시되는 학교공사의 특성으로 인하여 타 공종간의 간섭이 빈번하게 일어난다. 신축부재의 시공 이후 마감공사가 진행되었을 때 충분한 보양시간이 확보되지 못하고 사용된 것이 2차적 사유로 확인되었다. 다음은 기존 부재와 신축 부재간의 결합 불량(0.4147), 선행공종의 관리부족(0.4011), 작업자의 숙련도 부족(0.3925)로 내진보강공사의 시공 과정과 관련된 요소로써 하자발생에 직접적인 영향을 미치기 때문에 중요도가 높았다. 상대적으로 자재 및 재료와 관련된 원인들은 낮게 나타났다. 이는 시공전 자재 성능 및 상태를 확인하는 감리자와 관리자의 현장시험으로 인하여 불량률이 떨어지는 것으로 확인되었으며 내용은 Table 11과 같다.

Table 11. Relative importance of defect factors

Defect factor category	RII (A)	Defect cause	RII (B)	Relative Importance (A×B=α)	Rank
Construction management factors	0.6088	Unreasonable shortening of the construction period	0.5647	0.3438	7
		Poor management of the preceding process	0.6588	0.4011	4
		Interference of other processes	0.7176	0.4369	1
		Lack of defect education	0.4941	0.3008	8
Consturction material factors	0.4735	Poor management of construction materials	0.4471	0.2117	12
		Insufficient material specification review	0.4588	0.2173	11
		Lack of material performance review	0.5176	0.2451	9
		Insufficient care transporting and lifting materials	0.4706	0.2228	10
Factors of construction	0.6294	Poor connection between new and existing structures	0.6588	0.4147	3
		Lack of construction capacity of worker	0.6235	0.3925	5
		Insufficient maintenance after construction	0.6706	0.4221	2
		Non-compliance with work specifications	0.5647	0.3554	6

4.9 내진보강공사 하자발생 유형별 중점관리요소 선정

내진보강공사의 하자 유형별 중점관리요소를 선정하기 위해 RII 분석을 통하여 RII(A), RII(B) 값을 도출하였다. 하자 발생 세부요인의 RII(B) 값 보정을 위하여 하자유형별 세부요인이 종속된 관리적 요인, 재료적 요인, 시공적 요인의 대분류 RII(A) 값을 가중함으로 하자 유형별 요인의 상대적 중요도(α)을 산출하였다. 이후 하자유형별 발생요인의 상대적 중요도가 해당 유형의 평균값 이상 발생 요인에 대하여 중점관리요인으로 선정하였고 선정된 내진보강공사의 하자 유형별 중점관리요인은 Table 12와 같다.

하자의 비중이 가장 높았던 누수하자의 중점관리요소는 기존 부재와 신축부재의 접합 불량(0.3702), 작업자의 숙련도 미숙(0.4415), 시공 후 보양작업 미흡(0.3747), 설계도서의 미준수(0.3900) 4가지 원인이 선정되었다. 누수 하자를 예방하기 위해서는 가장 먼저 내진보강평가 당시 건축물의 현장 실사를 통해 기존 건축물의 현황을 파악하는 것이 가장 중요하다. 이를 바탕으로 내진보강공사 시 기존 건축물과 신축부재의 수직수평상태를 철저히 검토하고, 시공을 실시할 필요가 있다. 그리고 누수하자는 시공구간에 균열이 발생하여 해당 균열로 우수가 침투하여 발생하고, 신설된 벽체에 새롭게 시공되는 창호 주위에서 발생한다. 이를 예방하기 위해서는 작업자들은 이질재료의 접합구간에 코킹시공을 밀실히 할 필요가 있다.

다음으로 균열 하자의 경우 기존 건축물과 신축 부재의 접합 불량(0.5153), 작업자의 숙련도 미숙(0.4092), 시공 후 보양작업 미흡(0.3789), 설계도서의 미준수(0.3562) 4가지 원인이 선정되었다. 해당 하자를 예방하기 위해서는 기존 건축물과 신축 부재 연결 시 시방서를 준수하여 작업을 수행하여야 한다. 또한 해당 작업에 숙련도 있는 작업자를 배치하여 접합 부재간 연

Table 12. Consolidation of principal factors affecting in seismic retrofitting

Defect factor	Importance factors considering Defect of Seismic Retrofit($A \times B = \alpha$)					Rank
	①	②	③	④	⑤	
Unreasonable shortening of the construction period	0.3189	0.2849	0.4443	0.2451	0.3438	6
Poor management of the preceding process	0.3056	0.2976	0.4295	0.2131	0.4011	5
Interference of other processes	0.3122	0.2786	0.3702	0.1812	0.4369	7
Lack of defect education	0.3388	0.2976	0.3406	0.1812	0.3008	8
poor management of construction materials	0.2756	0.2539	0.2478	0.1254	0.2117	12
Insufficient material specification review	0.3006	0.2911	0.2911	0.1341	0.2173	10
Lack of material performance review	0.3069	0.2911	0.2973	0.1427	0.2451	9
Insufficient care transporting and lifting materials	0.2505	0.2725	0.2725	0.1384	0.2228	11
Poor connection between new and existing structures	0.5153	0.4588	0.3578	0.3779	0.4147	1
Lack of construction capacity of worker	0.4092	0.4665	0.4415	0.3239	0.3925	2
Insufficient maintenance after construction	0.3789	0.3747	0.4644	0.2699	0.4221	3
Non-compliance with work specifications	0.3562	0.3900	0.4111	0.3441	0.3554	4
Average	0.3391	0.3298	0.3640	0.2231	0.3304	

: Key management factors

결 이음부를 밀실히 시공해야한다. 추가적으로 시공구간에 있는 기존 건축물의 균열 보수가 사전에 이루어져야 균열예방에 더욱 효과적임을 인터뷰를 통해 확인할 수 있었다.

도장탈락 하자는 무리한 공사기간 단축(0.4443), 선행공종 관리불량(0.4295), 타 공종간의 간섭(0.3702), 작업자의 숙련도 미숙(0.4415), 시공 후 보양 작업 미흡(0.4644), 작업 시방서 미준수(0.4111) 가 중점관리요소로 분석되었다. 초벌 과정시 바탕면 처리를 충분히 하여 도장면이 탈락하지 않도록 관리하는 것이 중요하다. 하지만 내진보강공사의 특성 상 방학기간 중 실시하는 공사이기 때문에 동절기 기간에도 부득이하게 작업을 실시해야 하는경우가 발생한다. 업체와의 협의과정을 거쳐 내부 온도를 유지시키며 보양작업을 실시하여 하자를 예방할 필요가 있다.

지반침하의 중점관리요소는 공사 기간의 무리한 단축(0.2451)과 기존 부재와 신축부재의 접합 불량(0.3779), 작업자의 숙련도 미숙(0.3239), 시공 후 보양작업 미흡(0.2699), 설계도서의 미준수(0.3441) 5가지 원인이 선정되었다 지반침하의 경우 내진보강공사 시 마이크로파일 보강하기 위해 부분굴착을 실시하기한다. 해당 구간을 되메우기할 때 충분한 다짐을 실시하여 해당 구간으로 인하여 주변부의 침하가 일어나는 것을 방지할 필요가 있다.

마감재 탈락 하자 유형의 중점관리대상은 무리한 공사기간 단축(0.3438), 선행공정 관리 불량(0.4011), 공종간의 간섭(0.4369), 시공 후 충분한 보양 부족(0.4221)이 선정되었다. 내진보강공사의 신축 구조체 보양 및 심미적 효과를 위해 철판브레이스 외부에 마감재를 부착한다. 해당 하자의 대부분은 마감재를 지지하고 있는 하지재 설치의 불량으로 인하여 발생한다. 시공적 요인 및 관리적 요인이 복합적으로 작용하여 발생하는 하자이기 때문에 작업자들의 완성도 있는 작업을 관리하는 관리자들의 검측이 중요하다. 또한 마감재의 탈락은 주변 보행자들의 안전사고와도 밀접한 관련이 있기 때문에 미연에 방지할 필요가 있다.

5. 결론

본 연구에서는 내진보강공사에서 발생하는 하자 유형별 중점관리요소를 선정하기 위해 각 시도 교육청에서 발생한 하자 접수공문 64건의 데이터를 분석하였고, 결과를 다음과 같이 정리한다.

첫째, 수집된 하자 데이터의 분류 기준을 제정하여 통합한 후 하자를 유형별로 분석하였다. 이를 통해 내진보강공사의 하자는 복합적인 원인이 작용하여 하자가 발생하고 있음을 확인할 수 있었다.

둘째, 내진보강공사에서 발생하는 하자의 원인의 상대적 중요도를 종합하였을 때, 시공적 요인의 중요도 값이 가장 높게 산출되었다. 내진보강공사의 특성상 기존건축물의 상태에 따라 보강공사의 규모가 결정되므로 기존 건축물에 신축부재를 연결

하므로 간접적 요인인 관리적 요인과 재료적 요인보다 직접적 요인인 시공적 요인의 중요도가 더 높게 산출됨을 확인하였다.

셋째, 내진보강공사 하자 데이터 및 설문분석 결과를 토대로 내진보강공사에서 발생하는 하자 유형별로 영향을 미치는 12가지의 요인 중 총 7가지의 요인을 중점관리요인으로 선정하였다. 한정된 공사기간으로 이루어지는 공사이기 때문에 공정간의 간섭을 고려하여 효율적인 공정계획을 통해 공사 품질을 확보해야 한다. 내진보강공사의 특성상 기존 건축물과 신축부재간의 접합부위 관리가 중요하다. 해당 구간의 작업 불량은 균열, 누수의 근본적인 원인이므로 시공 후 충분한 보양시간이 확보되어야만 한다.

학교시설의 내진보강공사는 교육시설환경개선에 있어서 최우선적으로 이루어져야만 하는 과제이고 정부에서도 지속적인 관심을 가지고 공급이 이루어지고 있다. 해당 연구에서는 관리항목을 관리적, 재료적, 시공적 요인이라는 3가지 범주로 정리하였다. 세부적으로는 하자가 발생할 수 있는 요인을 12가지로 분류하여 중점관리요인을 선정하였다. 해당 중점관리항목들을 활용한다면 학교시설의 내진보강공사에서 하자 예방이 가능한 기본적인 자료로 활용가능할 것으로 사료된다. 또한 시공 관리 시 현장관리자의 업무를 경감하고, 협력업체와의 소통을 강화시켜 소정의 품질을 확보할 수 있다. 궁극적으로 내진보강공사에서 발생 가능성 있는 하자유형별 대책에 관한 연구를 진행해 안전한 교육환경을 제공하고, 학교시설물 하자관리 프로세스의 완성도를 높일 수 있을 것을 기대한다. 하지만 내진보강공법 별 발생할 수 있는 하자를 분류하지 못한 한계점이 존재한다. 전체 학교 내진보강공사에서 적용 공법별 하자 발생요인들을 분류하지 못하였다는 한계점이 존재하여 후속적으로 이어지는 연구에서는 공법별 발생하자를 세분화하는 사례조사와 분석이 필요한 것으로 사료된다.

요약

2016년 9월 경주지진, 2017년 11월 발생한 포항지진 이후 공공시설중 상대적으로 내진성능 보급이 부진하였던 학교시설의 경우 2017년~2019년 사이 2배 이상 보급되었다. 내진보강공사가 공급됨으로 늘어난 비중에 하자가 발생할 가능성이 존재한다. 정부는 오는 2035년까지 모든 공공시설에 내진성능보강공사를 완료하고 학교시설의 경우 2029년까지 내진성능보급을 완료하는 것으로 확인되었다. 이에 따라 선행연구를 고찰해보았고 학교시설공사에서 발생하는 하자에 관련한 연구가 진행되는 것으로 확인되었다. 하지만 마감공사에서 발생하는 하자 예방에 대한 연구가 진행되고 있었으며, 학교시설의 내진보강공사에서 발생하는 하자에 관련한 연구는 부족한 실정이었다. 따라서 본 연구는 내진보강공사에서 발생하는 하자 유형들을 조사하고 해당 원인들을 분석하여 하자예방의 중점관리요소를 도출할 것이다. 또한 궁극적으로 하자 유형과 원인간의 관계를 분석하여 중점관리요소를 선정함으로써 향후 내진보강공사를 진행함에 있어 시공단계에서 하자를 예방할 수 있고, 보수비용을 저감하는데 기여할 것이다.

키워드 : 내진보강공사, 하자 분석, 하자 유형, 하자 요인, 중점관리요인


Funding


Not applicable


Acknowledgement


This study was conducted with the support of the Korea Research Foundation and funded by the Ministry of Science and Technology Information and Communication in 2019(No. NRF-2022R1F1A1069875).

ORCID

Moon Sik Kim,  <https://orcid.org/0009-0009-7024-8443>

Dae Gyo Jung,  <https://orcid.org/0000-0002-5851-6291>

Hyun Jung Park,  <https://orcid.org/0000-0002-2929-4597>

Dae Young Kim,  <https://orcid.org/0000-0003-3186-826X>

References

1. Park YP. Earthquake-proofing rate of public facilities 75.1%, School buildings will be reinforced by 2029[Internet]. Seoul (Korea): The Kyung Hyang Shinmun; 2023 Apr 27. Available from: https://www.khan.co.kr/national/national-general/article/202304271201001?utm_source=urlCopy&utm_medium=social&utm_campaign=sharing
2. Kang J. A study on the seismic retrofit techniques of school buildings constructed in accordance with standard design in 1980s. Journal of Korean Society of Hazard Mitigation. 2012 Feb;12(1):1-7. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2012.12.1.001>
3. Na YJ, Ha SG, Son SH, Son KY, Lee J. A study on comparing and analyzing seismic retrofit method guideline of the existing education facilities between south-korea and overseas. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2019 Apr;19(2):157-65. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2019.19.2.157>
4. Park JH, Kim YJ, Ahn TS. Seismic evaluation and rehabilitation methods of school buildings. Journal of the Korean Institute of Educational Facilities. 2012 Mar;19(2):26-9.
5. Youn GH, Kim SH, Kim YC, Yun HY. Seismic retrofit of an existing school building using cip-infilled shear walls and steel braces. Journal of the Korean Institute of Educational Facilities. 2012 Jul;19(4):21-8. <https://doi.org/10.7859/kief.2012.19.4.021>
6. Kang SB, Kwak JM, Shin DW, Son, KY. Economic analysis of a 5-story RC OMRF retrofitted with modified epoxy mortar for improving seismic performance. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2014 Jun;14(3):207-15. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2014.14.3.207>
7. Song WY, An JH, Park CS. A comparative study on seismic retrofit technique for seismic retrofit of existing low-rise building in university. Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea. 2011 Jun;13(2):175-82.
8. Song JK, Hwang JS, Kim GW, Song HB, Lee JH. Seismic performance evaluation and seismic retrofit of school building considering deterioration. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction. 2010 Aug;26(8):3-10.
9. Bae SI, Shim UJ, Ahn YS. The study on the selection of primary management objects for defect prevention of finishing works on apartment house. Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea. 2013 Jan;15(3):179-86.
10. Lee JB, Kwon SW, Kwak KS, Oh SK. An example of repair works and leakage analysis for school facility. Proceedings of the Korean Institute of Building Construction Conference. 2004 May 15; Seoul, Korea. Seoul (Korea): The Korean Institute of Building Construction; 2004. p. 105-8.
11. Ryou CH, Park YK. Analysis on quality defect status in the construction site of domestic educational facilities. Journal of the Korean Institute of Educational Facilities. 2008 Jan;15(1):44-52.
12. Ahn SH. Major issues and countermeasures for defect disputes in construction plant : focusing on supreme court precedents and FIDIC contract conditions [dissertation]. Seoul (Korea): Kwangwoon University. 2022. p. 12-8.
13. Lee DH, Shin UJ, Suh HS, Ahn YS. A study on the selection of primary management objects in Life-Cycle phases through analyzing the case of defect in constructing Apartment house. Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design. 2012 Jun;14(2):201-8.
14. Lee GH, Lim HC, Han DK. Improvement of defect management of apartment houses through analysis of influencing factors. Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea. 2012 Sep;14(3):247-54.
15. Jeong UJ, Kim DY, Lim JY, Park HJ. Analysis of major factors of window work in construction phase considering recurrence of defects in the maintenance phase. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2021 Dec;21(6):653-64. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2021.21.6.653>