

국내 학교시설 천장재의 내진성능 분석

Analysis on the Seismic Performance of Ceiling System in School Buildings

박 성 철* 조 진 일** 정 태 환***
Park, Sung-Chul Cho, Jin-Il Jung, Tae-Hwan

Abstract

The purpose of this study is to develop the evaluation model of school facilities in terms of seismic performance during safety education in the school field.

This study is composed of four stages with a view to developing user oriented evaluation models that can be utilized during earthquake safety education on ceiling system. and . First stage analyze the evaluation guidelines to find evaluation methods and items. Based on the items, site survey was conducted to derive the characteristics of seismic performance of domestic school buildings in terms of ceiling system. Third stage analyzes the seismic performance of ceiling system. Final stage is to derive recommendations based on the results.

키워드 : 학교안전, 내진성능평가, 안전교육, 지진

Keywords : School Safety, Seismic Evaluation Model, Safety Education, Earthquake

1. 서론

1-1. 연구의 필요성 및 목적

학교건물의 붕괴로 1만 7천명의 학생이 사망한 파키스탄 지진(2005년), 약 3천개의 학교가 붕괴하면서 약 4천 7백명의 학생이 희생당한 중국 쓰촨성 지진(2008년), 그리고 2015년 두 차례의 지진으로 인해 3개 주요지역의 약 90% 학교가 붕괴된 네팔 지진에 이르기까지 지진에 의한 학교시설 및 학생들의 피해는 국가적인 차원에서 관리되어야 할 중대한 재해에 속한다. 이에 정부에서는 2013년 『국민안전 종합대책』을 마련하여 지진을 3대 유형 중 가장 위험성이 높은 C유형(대규모·복합적 사고 발

생 우려)에 포함시킨바 있다.

최근 세월호 사고 이후 교육부에서는 학생들의 안전사고에 대한 대처능력을 향상시키기 위하여 체험중심의 안전교육을 강조하고 『7대 안전교육 표준안』을 마련하였다. 특히 지진분야 안전교육은 표준안의 재난안전에 포함되어 있으며 모든 학교급에서 지진 발생 시 대처요령을 제시하고 있다. 지진피해 사례들을 보면 기둥과 같은 구조재의 파손과 천장재, 가구 등과 같은 비구조재의 파손으로 분류할 수 있다. 구조재와 달리 비구조재는 사용자가 일상 점검을 통하여 위험을 최소화할 수 있기 때문에 교사, 학생 등 학교 사용자가 지진 발생 전 자체적인 사전점검을 통하여 해당 학교시설의 내진성능을 이해하고 최소화하는 것이 필요하다.

이에 본 연구에서는 안전교육 시 비구조재 중 탈락으로 인한 위험성이 가장 높은 천장재에 대하여 학교 사용자가 손쉽게 내진성능을 점검할 수 있는 평가도구를 개발하여 제시함으로써 지진 안전교육에 대한 보다 체계적인 현장수행이 가능하도록 하고자 한다.

*한국교육개발원 교육시설·환경연구센터 부연구위원, 공학박사
**한국교육개발원 교육시설·환경연구센터 연구위원, 공학박사(교신저자 : chojinil@kedi.re.kr)

***한국교육개발원 교육시설·환경연구센터 연구원, 공학석사
※ 이 연구는 2014년도 한국교육개발원 연구보고서(RR2014-37)의 일부 내용을 논문 형식으로 재구성함.

1-2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 다음의 단계를 통하여 수행하고자 한다.

첫째, 국내·외 내진성능 평가에 관한 선행연구 중 천장재에 대한 내용을 집중적으로 분석하여 피해 유형과 권장내용을 도출한다.

둘째, 선행연구 분석에서 도출된 내용들을 기반으로 사례대상 학교들의 천장재를 조사하여 국내 학교시설 천장재의 특성을 도출한다.

셋째, 천장재의 내진성능을 정량적으로 분석하기 위하여 시뮬레이션을 실시하고, 국내 학교시설 특성을 고려한 평가도구를 학교 사용자가 활용할 수 있도록 개발한다.

II. 이론적 고찰

II-1. 국내

국내에서는 2009년 제시된 『학교시설 내진설계 기준고시(제2009-13호)』를 기점으로 내진설계에 대한 국가수준의 지침이 제시되었다. 이 기준에는 구조재뿐만 아니라 비구조재에 대한 내진보강사례들이 제시되어 있다. 천장재와 관련해서는 천장재, 조명기구, 에어컨, TV 등이 제시되었다. 그림 1은 천장재에 대한 사례로 천장재의 수평하중으로 인한 거동 시 벽체와의 충돌 또는 수평 거동을 최소화하기 위한 가새보강이 제시되어 있다.

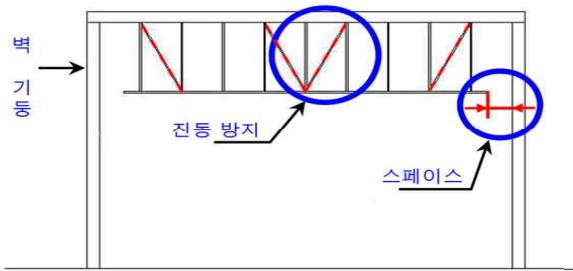


그림 1. 천장재 지진대책 사례(교육부 2009)

2012년 교육부에서 수행한 『학교시설 비구조부재 내진진단 및 보수방법 가이드라인』에서는 단순한 권장사항을 벗어나 비구조재의 내진성능을 개략적으로 평가할 수 있는 도구를 제시하였다. 표 1은 일반교실의 천장재와 조명의 평가 부분으로 구성하고 있는 공법 및 재료로 구분하고, 평가등급을 크게 “개선을 요함”, “개선계획을 요함”, “현상유지”, 그

리고 “미확인” 등 4단계로 구분하였다. 예를 들어, 시스템 천장의 경우 “탈락방지 장치가 없음”은 보강이 필요한 “개선을 요함”으로 분류하였으며, 각 부재의 접촉 불량은 “개선계획을 요함”으로 분류하였다. 조명의 경우도 “흔들림 방지장치 없음”에 해당하는 경우를 “개선을 요함”으로 분류하고 접촉 불량은 “개선계획을 요함”으로 분류하였다.

표 1. 천장재 평가사례(교육부 2012)

부위	공법·재료·기타	개선을 요함	개선계획을 요함	현상유지	미확인
천장	<input type="checkbox"/> 모르타르	<input type="checkbox"/> 부재불안정	<input type="checkbox"/> 균열	<input type="checkbox"/> 이상없음	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> 보드	<input type="checkbox"/> 흔들림방지장치없음 <input type="checkbox"/> 직접부착	<input type="checkbox"/> 매단볼트미비 <input type="checkbox"/> 비즈고정미비 <input type="checkbox"/> 비틀림형상	<input type="checkbox"/> 이상없음	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> 시스템천장	<input type="checkbox"/> 탈락방지장치없음	<input type="checkbox"/> 접착부불량 <input type="checkbox"/> 매단볼트미비 <input type="checkbox"/> 주변마감미비	<input type="checkbox"/> 이상없음	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> 기타()	<input type="checkbox"/> 부재불안정(낙하가능성)	<input type="checkbox"/> 흔들림,헐거움(손상가능성)	<input type="checkbox"/> 이상없음	<input type="checkbox"/>
조명기구	<input type="checkbox"/> 매다는형 <input type="checkbox"/> 직접부착 <input type="checkbox"/> 내장형 <input type="checkbox"/> 백면부착형	<input type="checkbox"/> 흔들림방지장치없음 <input type="checkbox"/> 부식,균열	<input type="checkbox"/> 고정비즈의헐거움 <input type="checkbox"/> 커버류의헐거움	<input type="checkbox"/> 이상없음	<input type="checkbox"/>

특히 표 2와 같이 천장과 관련된 항목의 경우 내진보강이 되어 있으면 안전하고, 내진보강이 되어 있지 않다면 점검이 불량하면 수선계획을 수립하며, 마지막으로 내진보강이 안되어 있을 경우 즉각적인 보강작업이 필요한 것으로 평가하고 있다.

표 2. 판정별 대응방안(교육부 2012)

판정표기	판정의 구체적 내용과 대응	
개선을 요함	판정내용	-내진성 없음 혹은 내진성이 지극히 낮음
	대응	-내진보수 실시
개선계획을 요함	판정내용	-어느 정도의 내진성은 있으나 지진규모에 따라 내진성의 확보가 염려되는 것 혹은 해당 진단장소의 상태를 방지해줄 경우 내진성의 저하 염려
	대응	-경미한 보수만으로 가능한 곳은 내진보수실시요령을 참고하여 개선 -상기 이외의 것은 내진보수계획(목표성능, 우선도 등의 결정등) 수행 -전문가 등에 의한 정밀 내진진단 실시
현상유지	판정내용	-진단결과에서는 내진성에 문제가 없음
	대응	-현상유지
미확인	판정내용	-진단장소가 육안으로 확인 되지 않은 경우
	대응	-다시 진단방법을 검토하고, 재진단 실시

II-2. 국외

일본의 경우 여러 지진으로 천장재 낙하 등 비구조재로 인한 피해가 발생하자 문부과학성에서 2010년 학교 교직원 및 학교 설치자인 교육위원회와 지자체에게 비구조재에 대한 내진 대책의 중요성과 함께 점검 및 대책방법을 알리고자 “학교시설 비구조재 내진 가이드북-지진에 의한 낙하물이나 전도물에서 아이들을 보호하기 위해(2010)”을 개발하였다. 이어 2015년에는 “학교시설 비구조재 내진 가이드북”이라는 제목으로 최근 개정본을 발간하였다. 천장재와 관련해서는 천장과 조명기구, 천장형 TV에 대한 점검사항이 제시되어 있으며, 평가는 이상이 있으면 C, 없으면 A로 평가된다. 평가기준은 탈락, 변형, 박리, 균열/파손, 변질 등 5가지로 제시되어 있으며, 최종적으로는 집계표를 통하여 공간별로 이상 유무를 정리하도록 되어 있다.

점검 체크리스트 (학교용)		점검자		총일수					
점검항목 (담당자명)		건물명	분관	층	3층				
<점검결과> A : 이상없음, 내진대책 시행 후 B : 이상없음, 결단불가, 결판됨 C : 이상있음		실내체육관 옥도		일반교실 일부	기타				
실명(교실명)		1-3반							
구분	점검항목	점검유형	목적사항 (해당항목에 표시)					점검결과 (A-B-C) (해당항목에 표시)	특기사항 (구체적 이상, 유무, 상태 등)
			탈락	변형	박리	균열/파손	변질		
I. 천장	천장(천장 마루의 보드, 콘크리트 등)에 어긋나고 갈라지고 일부분의 이상은 보이지 않은가?	일차						A	

그림 2. 점검체크리스트-학교용(일부)

한편, 미국에서는 미국연방재난관리국(FEMA)에서 2012년에 제시한 『Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage』에서 주요 비구조재의 사고사례와 함께 보강사례를 동시에 제시함으로써 보다 현실적이고 구체적인 대안들을 제시하고 있다. 그림 3은 천장재의 탈락사례를 보여 주고 있으며, 그림 4는 천장재를 와이어를 활용하여 구조물에 고정하는 방식을 제시하고 있다.



그림 3. 천장재 탈락사례



그림 4. 천장재 보강사례

그리고 표 3에서 보듯이 주요 품목별로 내진보강 적용여부를 체크할 수 있는 세부사항들을 제시하고 있다.

표 3. 천장재 체크리스트

내 용	네	아니오	모름
매달려 있는 천장이 독립적인 측방 지지재들을 가지고 있지 않은 천장 격자 및 모든 레이인 품목들로부터의 지진 하중들을 지지할 적절한 대각선 가새 와이어들 및 압축 지주들을 가지고 있는가?			
천장이 레이 인 조명이나 취출구들을 지지할 경우 레이 인 품목들이 모두 적어도 2개의 대각선으로 마주보는 모서리들에 있는 와이어들로 구성된 독립적인 수직적 지지재들을 가지고 있는가?			
무게가 50 파운드를 초과하는 레이 인 기구들이 4개 모서리들 모두에 추가적으로 독립적인 측방 가새 와이어들을 가지고 있는가?			
높은 지진 지역에 있을 경우, 매달려 있는 천장이 적절한 용량이 있는 튼튼한 천장 격자로 지지되고 격자가 조명 기구들이나 기타 기계적 품목들에 보조적인 걸고리 와이어들을 포함하는가?			

II-3. 소결

국내·외의 가이드라인으로부터 천장재에 대한 내용들을 조사·분석해 본 결과, 다음과 같이 요약해 볼 수 있다.

첫째, 천장재에서 고려되어야 할 품목은 천장마감을 포함한 천장틀, 조명기구, 선풍기, 천장형 에어컨, 천장형 TV로 정리할 수 있다.

둘째, 구성품목, 평가등급 등이 국내 학교시설에 적합하게 적용될 수 있는지를 검토할 필요가 있다.

셋째, 점검 내용이 학교 사용자가 이해하기 다소 어려워 쉽게 수정, 보완될 필요가 있다.

III. 실태조사

III-1. 조사내용 및 대상학교 선정

한국교육개발원 통계자료(2014)를 활용하여 전국 17개 시·도의 학교급별 재난위험시설(D, E등급)에 속하는 학교시설 분포를 분석한 결과 E등급이 많이 분포해 있는 지역은 충북 112동(15.98%), 경북 95동(13.55%), 서울 86동(12.27%), 경기 68동(9.70%), 부산 68동(9.70%) 순으로 나타났다. 이를 바탕으로 서울, 경기, 충북, 부산 지역에 위치한 E등급의 학교들 중 3층 규모 이상의 학교들을 대상으로 경기 2교, 서울 2교, 충북 2교, 부산 2교 등 총 8개교를 표 4와 같이 임의 선정하였다.

표 4. 실태조사 대상학교 현황

학교명	지역	건축년도	건물동	층수	안전등급
A초	경기	1987	본관	3	E
B초	경기	1971	본관	3	E
		1998	별관	5	E
C중	서울	1993	본관	6	E
D중	서울	1982	본관	5	E
		1983	별관	4	E
E중	충북	1985	본관	5	E
		1994	별관(과학관)	4	E
G중	부산	1979	본관	3	E
		1981	본관	3	E
H중	부산	1981	별관(생활관)	2	E
		1981	별관(후관동)	4	E
		1978	본관	3	E
I고	충북	1980	별관(후관)	2	E
		1984	별관(생활관)	1	E

III-2. 천장재 실태 조사

학교시설의 비구조재 중 하나인 천장재의 내진성을 파악하기 위하여 구조고정, 설비배치, 관리실태를 중심으로 표 5와 같이 파악하였다.

표 5. 조사 대상학교의 천장재 실태

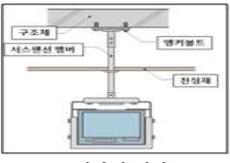
구분	실태 현황	
구조 고정	 텍스/전산볼트고정	 SMC판넬/전산볼트고정
	 설비혼합형	 설비기기 없음
관리 실태	 천장재 파손	 천장재 누수
	 천장재 탈락	-

조사 대상학교의 천장 구조고정 상태를 살펴보면 실내에는 대부분 전산볼트를 사용하여 경량 철골천정틀에 텍스를 고정하였으며, 실외는 SMC판넬로

마감한 사례가 대부분이었다. 천장재의 설비배치는 대개 시스템 에어컨, 선풍기, 빔프로젝터 등이 함께 있는 '설비혼합형'과 조명기구만 설치되어 있는 사례로 나뉜다. 또한 관리실태는 '천장재 탈락', '천장재 파손', '천장재 누수'의 형태로 파악할 수 있다.

한편, 지진 발생 시 많은 피해를 줄 수 있는 설비기기의 설치현황을 세부적으로 조사, 분석한 결과 다음의 표 6과 같다.

표 6. 조사 대상학교의 천장 설비기기 실태

구분	실태 현황	
에어컨	 천장매입형	-
선풍기	 마감재(천장)고정	 고정불량
	 구조체고정 및 커버(有)	 마감재고정 및 커버(無)
조명 기기	 구조체 고정	 고정상태(예시)
	 구조체 고정 천장매입	 구조체 고정 기기노출

에어컨은 천장형과 스탠드형 두 종류가 있으며 공간 활용을 위하여 천장형 에어컨의 비율이 높았다. 천장형 에어컨은 학교건축물 구조체에 10mm 전산볼트 3개 이상으로 고정되어 있어 매우 안정적인 것으로 조사되었다. 선풍기는 벽걸이형과 천장형이 있으며 천장형은 대부분 구조체가 아닌 경량 철

골천정들에 고정되어 있어 구조적인 검토가 필요한 것으로 판단되었다. 조명기기도 선풍기와 유사하게 경량 철골천정들에 고정된 경우가 많았으며, 지진 발생 시 형광등 탈락으로 인한 피해를 감소시킬 수 있는 보호 커버가 있는 경우와 없는 경우로 분류되었다. TV의 경우 벽면형과 천장형 설치로 나뉘며 천장형 설치의 경우 대부분 구조체에 고정되어 있었다. 빔프로젝터의 경우 TV와 마찬가지로 천장 구조체에 고정되어 있으며 F학교 제외한 나머지 조상 대상학교의 빔프로젝터는 외부에 노출되어 설치되어 있었다.

III-3. 소결

실태조사 결과, 모든 조사대상학교가 경량 철골천정들에 텍스 또는 SMC판넬로 마감되어 있으며, 다양한 설비기기가 함께 설치되어 있었다. 그러나 구조체에 고정되어 있는 에어컨, TV, 빔프로젝터와 달리 선풍기, 조명기기는 경량 철골천정들에 고정되어 있어 구조성능 검토 및 내진성능의 평가항목으로 고려되어야 할 것으로 조사되었다.

IV. 학교시설 천장재 내진성능 평가모델

실태조사 소결에서 언급한 것처럼 천장재의 내진 성능은 설비기기(TV, 에어컨, 선풍기, 조명기기)가 직·간접적으로 영향을 미치지만, 천정형 TV와 에어컨은 앵커를 통하여 구조체에 단단히 고정되어 있기 때문에 영향을 크게 미치지 않으므로 제외하고, 다만 경량 철골천정들에 선풍기와 조명기기가 설치되어 있는 경우를 고려하여 내진성능을 검토하고자 한다.

IV-1. 개요

천장재는 일반적으로 텍스가 부착되어 있는 경량 철골(M-Bar 등)에 일정한 간격으로 설치된 전산볼트가 천장 슬라브에 매입된 너트에 고정된 형식(그림 5)이다. 즉 전산볼트 및 콘크리트의 보유내력이 천장재의 요구내력보다 높을 경우 구조적으로 안전하다고 볼 수 있으므로 본 연구에서는 지반의 유형에 따른 내진 요구 성능과 볼트 및 콘크리트의 보유성능을 비교할 필요가 있다. 또한 볼트파괴는 전단파괴와 휨파괴로 분류될 수 있으므로 최종적으로 그림 6과 같이 ①볼트의 전단파괴, ②볼트의 휨파

괴, ③콘크리트 파괴에 대한 보유내력을 산출하고자 한다.

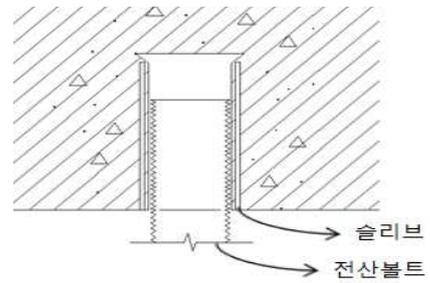


그림 5. 천장 전산볼트 고정형식

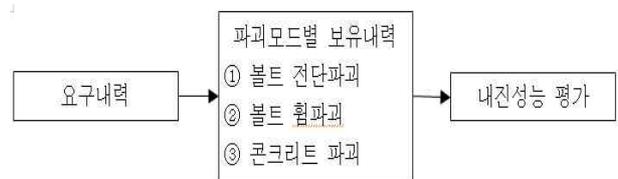


그림 6. 천장재 내진성능평가 절차

IV-2. 요구내력 산정

지진에 대한 요구내력¹⁾은 식 1에 의해서 산정되며, 기대하는 요구의 수준이 생명안전(Life Safety, LS)인지 즉시거주(Immediately Occupation, IO)에 따라 중요도계수(IP,LS, IP,IO)와 요구내력(FP,LS, FP,IO)이 달리 산정된다²⁾.

$$F_p = \frac{0.4 \times I_p \times \alpha_p \times S_{DS} \times (1 + \frac{2\chi}{h}) \times W_p}{R_p} \quad \dots \text{식 1}$$

α_p = 1.0~2.5 사이의 값을 갖는 증폭계수

S_{DS} = 단주기에서 설계스펙트럼가속도

I_p = 중요도 계수

χ = 대상 비구조재의 설치높이

h = 건물전체의 높이

R_p = 비구조요소의 반응수정계수

W_p = 뉴턴단위의 품목무게(kg×9.8)

1) ASCE/SEI 41-06: Seismic Rehabilitation of Existing Buildings

2) P,LS=인명안전 및 재해저감 비구조 성능수준에서 비구조품목의 중요도계수, IP,IO=즉시거주 비구조 성능수준에서 비구조품목의 중요도계수,FP,LS=인명안전 및 재해저감 비구조 성능수준에서 비구조품목의 요구내력, FP,IO=즉시거주 비구조 성능수준에서 비구조품목의 요구내력

실태조사 결과에서 도출된 천장재의 유형을 고려하여 ①조명기구와 선풍기가 함께 설치된 경우(case I), ②조명기구만 부착된 경우(case II), ③조명기구와 선풍기가 설치되지 않은 경우(case III) 등 3가지로 구분³⁾하여 표 7과 같이 내진성능을 검토하였다.

중요도계수, 설계스펙트럼 가속도, 증폭계수 등은 국내 건축구조기준을 준용하였으며, 건물높이에 대한 설치높이는 가장 높은 곳에 설치된 것으로 가정하여 “1”을 적용하였다.

표 7. 요구내력 산정변수

구분	case I	case II	case III	
I_{PLS}	1			
I_{PIO}	1.50			
α_p	1			
S_{DS}^J	A지반	0.3		
	B지반	0.37		
	C지반	0.44		
	D지반	0.56		
	E지반	0.83		
χ/h	1			
W_p	235.2	166.60	117.60	
F_{PLS}	A지반	33.87	23.99	16.93
	B지반	41.77	29.59	20.89
	C지반	49.67	35.19	24.84
	D지반	63.22	44.78	31.61
	E지반	93.70	66.37	46.85
F_{PIO}	A지반	50.80	35.99	25.40
	B지반	62.66	44.38	31.33
	C지반	74.51	52.78	37.26
	D지반	94.83	67.17	47.42
	E지반	140.56	99.56	70.28

3) 텍스무게: 7kg/m², 연결철물: 5kg/m², 등기구: 5kg/m², 천정형선풍기: 7kg/m²(관련 제품들의 제조사 홈페이지를 참조한 무게로 제품들에 따라 일부 차이가 발생할 수 있음)

IV-3. 보유내력 산정

볼트 전단파괴에 대한 보유내력(NS)은 식 2에서 보듯이 볼트의 단면적, 최소인장강도, 볼트의 개수와 비례하여 결정되어진다.

$$N_s = 0.6A_b\sigma_u N \cdots \text{식 2}$$

A_b = 볼트의 호칭유효단면적(mm²)

σ_u = 볼트의 최소인장강도 (MPa)

N = 볼트의 개수(개)

ISO 898-1⁴⁾의 내용을 기반으로 A_b 는 36.60(M8), σ_u 은 330, N은 1개를 적용하여 전단파괴에 대하여 전산볼트 1개가 지탱할 수 있는 보유내력을 산정한 결과 7,246.80N이 산정되었다.

볼트 휨파괴에 대한 보유내력($N_{u,b}$)은 식 3으로 산정되며, 볼트의 유효직경이 가장 많은 영향을 미치고 항복강도 및 유효단면적에 비례하여 증가하는 것을 볼 수 있다.

$$N_{u,b} = \frac{1}{2}A_b\sigma_y \frac{4d_b}{3\pi} \frac{4}{L} \cdots \text{식 3}$$

A_b = 볼트의 호칭유효단면적(mm²)

σ_y = 볼트의 항복강도(MPa)

d_b = 볼트의 유효직경(mm)

L = 콘크리트 바닥면에서 품목 무게중심까지 거리(mm)

ISO 898-1의 내용을 기반으로 A_b 는 36.60(M8), σ_y 은 300, d_b 은 6.75, L은 300을 적용한 결과 전산 볼트의 휨파괴 보유내력은 52.45N이 산정되었다.

콘크리트 파괴에 대한 보유내력⁵⁾은 볼트 휨파괴와 유사하게 볼트의 유효직경이 증가할수록 기하급수적으로 증가하며 콘크리트의 압축강도도 많은 영향을 미친다. 즉 식 4에서 보듯이 고정하고 있는 콘크리트의 노후화가 심할수록 주변 콘크리트의 파괴 가능성이 높음을 의미한다.

4) ISO 898-1: Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel-Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes-Coarse thread and fine pitch thread

5) ACI 318-14 and ACI 318 R-14: Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary (ACI-318R-14)

$$N_{CR} = \frac{d_b^3}{2d_b + L} (0.17\sigma_y + 4.5f_c')N \quad \dots \text{식 4}$$

d_b = 볼트의 유효직경(mm)

L = 콘크리트 바닥면에서 품목 무게중심까지 거리(mm)

σ_y = 볼트의 항복강도(MPa)

f_c' = 콘크리트 압축강도(MPa)

d_b 은 6.75, L 은 300, σ_y 은 300, 그리고 콘크리트의 압축강도는 노후도를 감안하여 18로 적용한 결과 129.49N으로 산정되었다.

산정된 보유내력은 시공 정확성, 재료품질 등의 변수를 고려하지 않은 것이므로 건축구조기준을 참고하여 표 8과 같이 강도저감계수를 적용한 수정보유내력을 산정한 결과 휨파괴에 의한 보유내력이 가장 적은 것으로 산정되었다.

표 8. 강도저감계수를 적용한 수정보유내력

구분	Φ_c (N)	$\Phi_c N_c$ (N)
전단파괴 보유내력	0.65	4,710.42
휨파괴 보유내력	0.75	39.34
콘크리트파괴 보유내력	0.45	58.27

표 7에서 휨파괴에 의한 보유내력 52.45N이하에 해당하는 인명안전 요구내력(FP,LS)을 보면 표 9에서 보듯이 등기구만이 함께 설치된 case I과 case II가 해당되는 것을 알 수 있다.

표 9. 요구내력 산정변수

구분	case I		case II		case III	
	52.45	39.34	52.45	39.34	52.45	39.34
F_{PLS}	A지반	▽	▽	▽	▽	▽
	B지반	▽	▲	▽	▽	▽
	C지반	▽	▲	▽	▽	▽
	D지반	▲	▲	▽	▲	▽
	E지반	▲	▲	▲	▲	▽
F_{PIO}	A지반	▽	▲	▽	▽	▽
	B지반	▲	▲	▽	▲	▽
	C지반	▲	▲	▲	▲	▽
	D지반	▲	▲	▲	▲	▽
	E지반	▲	▲	▲	▲	▲

또한 즉시거주 요구내력(FP,IO)을 보면 case I과 case II의 A 및 B지반이 보유내력 이하의 내력을 요구하는 것으로 분석되었다.

그러나 수정보유내력 39.34N과 비교하면 인명안전 요구내력(FP,LS)의 경우 모든 품목이 설치된 case I의 A지반을 제외한 모든 지반에서 보유내력 이상의 내력을 요구하는 것으로 조사되었다. 또한 즉시거주 요구내력(FP,IO)을 보면 case II를 제외한 대부분의 경우들이 지진발생 시 위험도가 높은 것으로 분석되었다.

V. 결론

본 연구는 국내 학교시설 천장재의 내진성능을 보다 구체적으로 분석하여 향후 내진보강사업에서 천장재의 내진성능 확보를 위한 기초자료를 개발함에 목적이 있다.

이를 위하여 국내·외의 학교시설 내진성능평가 가이드라인을 분석한 결과 정량적인 평가도구가 개발되어 있지 않았다. 그러나 가이드라인의 분석과정에서 천장재 내진성능 확보의 중요성과 천장마감을 포함한 천장틀, 조명기구, 선풍기, 천장형 에어컨, 천장형 TV 등 천장재와 관련한 주요 품목을 선정할 수 있었다.

선정된 주요 품목을 기반으로 전국 8개교의 천장재 내진성능 확보실태를 실시한 결과 독립적으로 구조재와 연결된 천장형 에어컨, 천장형 TV 외에 조명기구, 선풍기는 경량 철골천정틀에 주로 고정되어 있어 추가적인 내진성능 검토가 필요한 것으로 조사되었다.

기존의 관련문헌을 기반으로 ①조명기구와 선풍기가 함께 설치된 경우(case I), ②조명기지만 부착된 경우(case II), ③조명기구와 선풍기가 설치되지 않은 경우(case III) 등 3가지 경우(case)로 구분하여 내진성능을 검토한 결과 조명기구와 선풍기가 모두 설치된 case I의 경우 인명안전과 즉시거주 측면에서 모두 위험도가 높은 것으로 조사되었다.

그러나 수정보유내력 39.34N과 비교하면 인명안전 요구내력(FP,LS)의 경우 모든 품목이 설치된 case I의 A지반을 제외한 모든 지반에서 보유내력 이상의 내력을 요구하는 것으로 조사되었다.

또한 즉시거주 요구내력(FP,IO)을 보면 case II를 제외한 대부분의 경우들이 지진발생 시 위험도가

높은 것으로 분석되었다.

이와 같이 상기의 조사 결과를 바탕으로 학교시설 천장재의 내진성능확보를 위하여 다음과 같은 기준을 제시하고자 한다.

첫째, M-Bar에 일반적으로 고정되는 선풍기, 조명기기는 구조체에 직접 고정(그림 7).

둘째, 구조체 연결 불가의 경우 주변 연결보강하여 흔들림 방지 및 낙하 위험 최소화(그림 8).

셋째, 흔들림 감소를 위하여 천장재 가새보강을 실시(그림 9).

넷째, 흔들림 발생 시 벽체와의 충돌로 인한 파괴가 발생하지 않도록 일정 간격을 이격(그림 10).



그림 7. 조명기기 직접고정

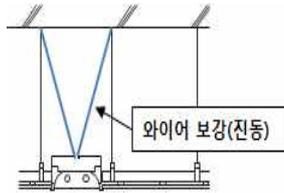


그림 8. 조명기기 연결보강



그림 9. 천장가새보강

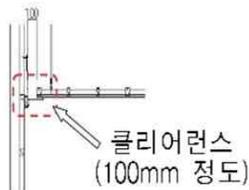


그림 10. 천장 이격

향후 본 연구의 결과를 활용하여 학교현장에서 내진보강사업 또는 시설개선사업 시 절감된 비용과 공사기간으로 보다 수준 높은 내진환경을 구축하기를 기대한다.

국문초록

본 연구는 학교현장의 안전교육 과정에서 학교시설 비구조재 중 위험도가 상대적으로 높은 천장재의 내진성능을 평가하고 대책방안을 제시하는 것이다.

평가도구의 개발을 위하여 본 연구는 다음과 같은 4단계로 진행되었다. 첫 단계에서는 국내·외의 내진성능평가 가이드라인들을 분석하여 주요 천장재의 구성품목과 각 품목별 평가방법들을 조사하고,

두 번째 단계에서는 문헌조사의 결과를 기반으로 주요 품목들의 내진성능 실태를 면밀하게 조사하였다. 세 번째 단계에서는 조사된 천장재 구조를 정량적으로 평가하여 지반 및 지진의 유형에 따른 적정성을 평가하였다. 마지막으로 국내 학교시설 천장재에서 우선적으로 고려되어야 할 내진성능보강 대책방안을 제시하였다.

참고문헌

1. 교육부(2014). 2015 교육분야 안전종합 대책
2. 교육부(2014). 2014년 국가 안전관리 집행계획
3. 김석구 외(2008). 학교시설 내진설계기준 연구. 한국교육개발원
4. 국제표준화기구(ISO). ISO 898-1: 2013 - Mechanical properties of fasteners made of carbon steel and alloy steel - Part 1: Bolts, screws and studs with specified property classes.
5. 미국연방재난관리국(2012). E-74 Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage.
6. 미국토목기술자학회(2014). ASCE SEI 41 : Seismic Evaluation And Retrofit Of Existing Buildings
7. 미국토목기술자학회(2014). ACI 318-14, ACI 318 R-14: Building Code Requirements for Structural Concrete
8. 이강석(2012). 학교시설 비구조부재 내진진단 및 보수방법 가이드라인개발. 교육부
9. 일본문부과학성(2015, 2010), 학교시설 비구조재 내진 가이드 북
10. 일본문부과학성(2012). 학교시설 비구조요소 내진대책 사례집
11. 한국교육개발원(2014), 교육통계 데이터베이스

(논문투고일 : 2016.02.29, 심사완료일 : 2016.04.14, 게재확정일 : 2016.04.20.)