내진성능 미확보 학교시설의 보강 우선순위 결정 연구

Determining the Seismic-Retrofit Priority for School Facilities

이영재* · 김재영**

Lee, Young-Jai*, and Kim, Jae-Young**

Abstract

This study aims to identify the influencing factors determining the seismic-retrofit priority before implementing seismic-reinforcement projects for elementary, middle, and high schools in South Korea. Seismic reinforcement factors of school facilities are classified into evacuation, user, facility, and local risks. The factors that affect the evacuation risks are mechanical/electrical equipment, building fire performance (fire grade), evacuation obstacles, hazardous installations, spatial distance, transportation, and playgrounds. The user-risk factors are urban and other areas, number of classes, number of students, and school ranking. The facility risks include structural factors, construction materials, building types, number of floors, and building-scale factors. The local-risk factors are the presence of fault zones and past seismic areas. The risk types and weights of the influencing factors are calculated based on a hierarchical structural model of seismic-retrofit priority. Facility risk accounts for the highest weight followed by user, evacuation, and local risks. To determine the seismic-retrofit priorities, the influencing factors are used to evaluate school facilities. This study provides the scope, index, five-point scale, and decision-making criteria for school-facility evaluation before implementation of seismic-retrofit projects.

Key words : School Facilities, Seismic Retrofit, Priority, Influenced Factor, Weight

요 지

이 연구에서는 내진성능확보가 요구되는 국내 초, 중, 고등학교를 대상으로 내진보강사업 착수 이전에 효율적인 사업 추진 우선순위를 결정하기 위한 영향요인을 도출하고, 이를 통해 우선순위를 결정하는 방안을 제안한다. 학교시설 내진보강 대상 인자 그룹은 피난위험, 이용자위험, 시설위험, 지역위험으로 구분한다. 피난위험에 영향을 미치는 인자들은 기계/전기설비, 건물내화성능(화재등급), 피난 장애물, 위험 시설, 공지거리, 교통, 운동장이다. 이용자위험 인자들은 도시지역/ 그 외의 지역, 학급 수/ 학생 수, 그리고 학교 급별이다. 시설위험에는 구조요소, 건설재료, 건물형태, 건물층수, 건물규모 인자들이 포함된다. 지역위험 인자는 단층대와 과거 지진발생 지역이다. 내진보강 우선순위결정 계층적 구조 모형에 따라 위험유형과 영향인자의 가중치를 산정하였다. 시설위험 가중치가 제일 높으며, 다음으로 이용자위험, 피난위험 순으로 지역위험 가중치가 제일 낮다. 내진보강 우선순위를 결정하기 위한 영향인자들을 가지고 학교시설을 평가하기 위해 평가영역, 평가지표, 5점 척도 그리고 판단기준으로 구성된 평가표를 제시한다.

핵심용어 : 학교시설, 내진보강, 우선순위, 영향인자, 가중치

1. 서 론

지진 발생이 빈번한 일본의 경우, 1995년 효고현 남부지진, 2003년 미야기현 지진, 2004년 니가타현 지진 등 과거 대규모

지진으로 인해 수많은 학교시설 피해가 발생하였지만, 지진에 대한 철저한 사전대비와 학교에 학생이 없는 시간대에 주로 지진이 발생하여 학생이 사망하는 등의 큰 인명피해는 발생하지 않았다. 중국은 2008년 쓰촨성 대지진으로 인하여

*정회원, 동국대학교 경영정보학과 교수(E-mail: yjlee@dgu.edu)

Member, Professor, Department of MIS, Business School, Dongguk University

**교신저자, 정회원, 교육시설재난공제회 안전관리본부 과장(Tel: +82-2-781-0139, Fax: +82-2-736-6098, E-mail: kjkjy222@edufa.or.kr)

Corresponding Author, Member, Manager, Research & Development Team, Education Facility Disaster Association

수백 명의 학생 목숨을 앗아간 참혹한 지진피해가 발생하였으며, 파키스탄에서 발생한 2005년 카슈미르 지진 때에는 엄청난 수의 학교시설이 붕괴하여 약 17,000명의 어린 학생들이 사망하였다(Lee and Kim, 2012).

이와 같이 전 세계적으로 지진으로 인한 학교시설 피해가 빈번한 가운데, 최근 국내에서도 경주 9.12 지진과 포항 11.15 지진과 같이 큰 규모의 지진발생 빈도가 증가하는 추세이며, 지진으로 인한 사회적, 경제적 피해가 과거의 예상과는 다르게 크게 나타나고 있다. 기상청(KMA) 자료에 의하면, 1978년 이후 한반도에 발생한 규모 2.0 이상의 지진은 총 1,687회였으며, 그 중 사람이 체감할 수 있는 유감지진은 424회이며, 규모 4.0 이상의 지진은 49회 발생하였다. 규모 5.0 이상으로 시설물의 피해를 유발하는 지진은 총 10회 발생하였으며, 9회가 우리나라에서 발생한 지진이고, 7회가 2000년 이후에 발생하여 최근 지진재해에 관한 국민적 불안감이 증대되고 있다. 이 중 2016년 9월 규모 5.8의 경주지진과 2017년 11월 규모 5.4의 포항지진으로 인해 학교시설과 같은 저층 건축물에 상당한 피해가 발생하였다.

이에 따라 시설물의 내진성능을 높이고 방재기능을 확보하는 등의 내진설계 및 내진보강에 대한 관심 또한 증대되고 있으며, 특히 재해 대응능력이 떨어지는 미성년 학생들이 주로 이용하는 초, 중, 고 학교시설의 내진보강 문제가 대두되면서 최근 전국적으로 학교시설의 내진보강사업이 활발히 추진 중에 있다.

국내 시설물의 내진설계기준은 1988년 내진설계 도입 당시에는 모든 건축물이 아닌 주로 대형 건축물만 해당되도록 규정되었고, 따라서 2005년 기준 개정(3층 이상, 연면적 1,000 m² 이상) 이전에 완공된 학교시설은 대부분 내진설계 적용대상에서 제외되면서 내진성능을 확보하지 못한 실정이다(Lee, 2016).

국내 약 6만 1천동에 이르는 수많은 초·중·고 학교시설 중 내진성능을 확보한 시설은 약 24%에 불과한 실정이며, 특히 학교시설은 재해 대응능력이 떨어지는 미성년 학생들이 주로 이용하는 공간이기에 내진성능확보가 시급히 요구되고 있다.

이에 최근 정부는 지진재해 대비 안전한 교육환경 조성을 위해 지진위험지역에 위치하는 초, 중, 고등학교의 경우 2024년까지, 그 외 지역의 학교시설은 2029년까지 내진보강을 완료하는 안전강화 조치를 마련하였고(Heo, 2018), 학교시설 내진보강을 위한 투자 확대계획을 발표(KEDI, 2018)하는 등 학교시설의 안전을 구현하기 위한 정책을 추진하고 있다.

다만, 전국 학교시설의 내진보강을 완료하는데 20년 이상 소요된 일본의 경우를 보더라도 단기간 내에 효율적으로 학교시설 전체에 대한 내진보강을 완료하기 위해서는 충분한 예산만으로는 한계가 있으므로, 내진보강이 요구되는 대상 학교시설 중 우선적으로 내진성능을 확보해야 하는

사업 추진 우선순위를 구조적, 사회적 영향요인 등을 통하여 결정하는 연구가 필요하다.

건축물이 구조적으로 안전성이 부족하거나, 내진보강의 효율성 또는 경제성 등을 종합적으로 고려하여 내진보강이 시급히 요구되는 학교시설을 우선적으로 선정하여 사업을 수행할 수 있는 방안 마련이 요구된다. 특히, 학교시설의 경우 설립연도, 시설노후화 정도, 학교의 종류, 적용 설계기준 등이 다양하기 때문에 우선적으로 적절한 내진보강 사업 방식(개축, 리모델링, 내진보강 등)을 결정하여 효율적으로 사업추진 할 필요가 있다.

이 연구에서는 내진성능확보가 필요한 국내 초, 중, 고등학교를 대상으로 내진보강사업 첫 단계인 내진성능평가를 수행하기 전에 대상학교들의 우선순위를 결정하기 위한 영향요인을 도출하고, 이를 통해 우선순위를 결정하는 방안을 제안하고자 한다.

국내 모든 교육시설의 내진성능을 확보하는 것이 가장 중요하지만, 시간, 비용, 사회·환경적인 한계가 있기 때문에 모든 교육시설의 내진성능을 확보하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 「학교시설사업 촉진법」에 따라 내진설계기준 적용대상인면서 지진 발생 시 자의적인 판단에 따라 적절히 대피하기 어려운 지진재해 대응능력이 상대적으로 떨어지는 미성년 학생들이 주 이용자인 초, 중, 고 및 특수 학교시설을 대상으로 범위를 한정한다. 학교시설 내진보강·개축 평가 영향요인을 도출하기 위해 통계요인분석기법을 적용하였으며, 학교시설 내진보강 우선순위 선정을 위해 Analytical Hierarchy Process (AHP) 모델을 활용하여 평가표를 개발한다.

2. 문헌연구

2.1 학교시설 내진보강 관련 법·제도

내진보강에 관한 관련 법·제도는 크게 「지진·화산재해대책법」과 「건축법」으로 구분한다. 「지진·화산재해대책법」제15조에는 학교를 포함한 기존 시설물의 내진보강기본계획 수립에 대한 내용을 정하고 있으며, 동법 시행령 제10조에 교사동, 급식실, 강당, 기숙사 및 체육관과 같은 특정용도에 대한 내진설계기준을 정하고 있다.

현재 학교시설 내진설계기준은 2층 이상, 200 m² 이상, 지진구역1 내 학교로 제정되어 있지만, 건축물의 중요도가 1등급 이상인 경우에는 면적에 관계없이 내진설계를 적용하도록 규정하고 있어 학교 건축물은 중요도 특 또는 중요도 1에 해당하며, 따라서 학교 건축물은 내진 특등급 또는 1등급으로 내진설계를 의무 적용해야 한다(Lee, 2018).

2.2 학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인 개발

우리나라는 1978~2008년 총 31년간 816회의 지진이 관측

되어 인명 및 재산피해를 줄 수 있는 지진이 발생할 가능성이 있으며, 이러한 대규모의 지진에 대한 대책의 중요성이 점차 고조되고 있다. 그러나 1987년 기준 전국의 학교 수는 12,860 개교에서 2006년 14,681개교로 1988년 내진설계법(건축법 시행령 제 16조) 적용 이후에 건립된 학교는 전체 학교 수의 약 14%에 해당하여 약 86%의 학교는 내진기준 제정 전에 설립되어 내진설계가 되어 있지 않고 기존 국내 학교건물에 적합한 내진성능평가법 및 내진보강에 대한 구체적인 지침이 없는 실정이다(Lee and Kim, 2012).

이에 따라 교육부는 내진성능평가방법 개발, 내진성능판정지표 구축 및 효율적이며 경제적인 내진보강 기본계획을 위한 “학교시설 내진성능평가 및 보강 가이드라인”을 개발하였다. 이 가이드라인에서 학교시설은 내진1등급 또는 내진특등급 시설물로서 최대고려지진(2400년 재현주기)에 대하여 붕괴방지(내진1등급) 또는 인명보호(내진특등급) 요건을 만족하도록 정하고 있으며, 이를 통해 내진성능 미확보 학교시설의 내진성능평가 및 내진보강 계획을 수립하는데 활용되고 있다.

2.3 학교시설 안전관리 선진화 시스템 구축 연구

경기도교육청의 「학교시설 안전관리 선진화 시스템 구축 연구(Chung, 2009)」는 국내 내진보강 우선순위 관련 선행연구로서, 지방교육자치단체 등의 학교 설치자가 어느 학교시설부터 우선적으로 내진성능평가 또는 내력도 조사를 실시해야 하는가에 대한 우선도 검토를 주된 목적으로 하고 있다.

우선도 평가 방법으로는 내진보강 우선도 영향요인을 도출하여 영향요인별 가중치를 부여하고, 학교현황 조사를 실시하여 건물별 우선도 평가 기준을 정한 후 학교별 우선순위를 결정하는 방식을 제시하고 있다. 우선도 평가항목은 주로 건축연도/층수, 연면적, 학교 급별, 지역, 안전점검, 건물형태, 지하실 유무로 설정하고 평가요소를 점수화하여 우선순위를 측정한다.

2.4 해외 학교시설 내진사업 현황

미국은 1933년 Long Beach에서 발생한 지진으로 70개의 학교가 심한 피해를 입어 완전 파괴되었고, 120개의 학교가 손상을 입게 되었다. 이에 따라 캘리포니아 주는 기존 공립학교의 내진성능을 확보를 의무화하기 위한 The Field Act (1993)를 제정하였고, 이 법에 따른 내진설계기준 작성과 내진보강 사업관리·감독을 위하여 Division of the State Architect (DSA)를 설립하였다.

미국 연방재난관리청(FEMA)은 내진설계기준 작성과 내진보강 사업관리·감독을 위한 지침으로 “Guidelines and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 273/274)”을 제시하였다. 이 지침은 기존 건축물의 내진 평가 프로세스를 제공하여 건축물이 지진의 힘에 저항

할 수 있도록 적절하게 설계되고 구성되었는지를 판단하는 방법이다.

일본은 1981년 이전에 건축된 건물의 내진진단 및 보강을 추진하기 위하여, 1995년 일본의 문부과학성은 「지진방재대책특별법」을 시행하여 학교시설 내진보강 사업을 강화하였고, 동년 12월에 국토교통성은 내진보강 국고보조 비율을 확대하기 위하여 「내진보강촉진법」을 시행하였다.

「내진보강촉진법」에서는 내진보강 우선순위를 건물의 연면적, 용도에 따라 S, A, B등급으로 나누었으며, S등급의 건축물은 내진진단 및 보강을 의무화하고, A등급의 건축물은 내진진단 및 보강을 강력하게 권장하였으며, B등급의 건축물은 내진진단 및 보강을 권장하였다.

2.5 지진위험 영향인자 분석

일본(UDB, 2018) 및 국내 선행연구(Chung et al., 2002)에서 구분한 건물 붕괴 위험도의 경우 지진재해 사례 분석을 통해 고찰해 볼 때, 비구조요소의 위험이 반영되어 있지 않고, 건물 붕괴 위험이 지역적 요인, 즉 단층, 과거 지진발생 지 등과 밀접한 관련성이 있어 건물 붕괴 위험도를 지역과 건물 위험도로 구분하고 학교시설 지진재해 위험도를 (1) 지역위험도 (2) 건물 위험도, (3) 화재 위험도, (4) 이용자 위험도, (5) 피난 위험도로 세부적으로 분류하였다.

지역위험도는 지역/지구, 도시/비도시 지역 인자를 포함한다. 건물위험도에는 지반/지형, 건물의 용도건물의 규모(연면적)건물의 층수 건축연도, 건물의 구조 및 내진성능, 건물의 비구조 요소, 시설물의 안전점검 결과, 건설재료의 노후도, 건물형태, 지하실 유무, 설계도서 인자가 포함된다. 화재 위험도에는 건물의 내화성능, 위험물/위험시설(전기, 유류, 가스, 폭발시설 등) 연소의 위험 인자를 제시한다. 피난 위험도에는 학교 급, 학급 수/총 학생 수, 교통, 피난장애물 인자가 있다.

3. 내진보강 우선순위 영향인자 도출

3.1 영향인자 도출 모형

다수의 내진보강 대상 학교시설들에 대한 체계적인 사업 우선순위를 결정하기 위해, 지진재해 위험도를 지역 위험, 건물 위험, 화재 위험, 이용자 위험, 피난 위험 등 총 5가지 요소로 분류하고, 분류한 항목별로 지진위험에 영향을 주는 인자를 도출하였다(Education Facility Disaster Association, 2018). 지진재해 위험도에 영향을 주는 각종 영향인자와 그 세부내용을 Table 1과 같이 제시한다.

Table 1을 내진보강 우선순위 영향인자 도출 모형으로 설계한다. Fig. 1의 연구모형은 학교시설의 내진보강에 영향을 주는 각종 영향인자(Table 2 참조)를 지역위험(RA), 건물 위험(BR), 화재위험(FR), 이용자위험(UR), 피난위험(ER)으로 분류하여 인과관계를 분석하는 요인분석 모형이다.

Table 1. Impact Factor for Earthquake Risk Analysis

category	influence factor		details	AR	BR	FR	ER
area risk	earthquake zone coefficient		grades 1~2	○			
	areas of past earthquakes		9.12 earthquake/ 11.15 earthquake	○			
	fault		mass production fault, additional age fault	○			
	surrounding areas		highlands, lowlands, steep slopes, coast	○			○
	urban/other areas		urban/non-urban areas	○			○
building risk	geo-technical		$S_A \sim S_E$ or $S_1 \sim S_6$		○		
	establishment year		seismic design application, construction quality, etc.		○		
	building size (gross size)		total area		○		○
	presence of underground		presence of basement and underground structures		○		○
	presence of blueprint		structural design		○		
	number of floors		1 Fl./2 Fl./3 Fl./4 Fl. or exceeds 5Fl.		○		○
	safety grading		safety grading (A, B, C, D, E grades)		○		
	construction material		rebar, concrete strength		○		
	building form		orthopedic/atypical		○		○
	building purpose		teacher/dormitory/gym/meal facilities		○	○	○
	structural elements		steel/ R/ C/masonry /light steel/stone/ wood		○	○	○
	non-structural factors (seismic performance)	construction	enclosed walls, exterior finishes, windshields, heavy ceiling lights and roof elements, emergency stairs or canopies on escape routes		○	○	○
		M/E equipment	air-conditioning and heating, broadcasting and communication facilities, spare power facilities, sanitary facilities		○	○	○
fire risk	building fire resistance performance (fire rating)		column, beam, floor, roof, outer wall material			○	○
	risk facility		gas pipes, dangerous goods, fire hydrants and sprinklers, induction lamps			○	○
	spatial distance		level 1~4				○
user risk	school type		elementary, middle, high, special				○
	# of classes/students		class size and number of students				○
evacuation risk	playground		playground presence				○
	transportation		road accessibility (more than 6 m)				○
	evacuation obstacles		stairs, stonework and retaining walls				○

Note: AR=area risk, BR=building risk, FR=fire risk, ER=evacuation risk

3.2 영향인자 진단 설문조사 및 분석

Fig. 1 연구모형은 확인적 요인분석과 탐색적 요인분석을 할 수가 있다. 우선 요인분석 모형 통계분석을 실행하기 위해 교육청 시설담당자들의 의견수렴 및 자료를 수집하기 위한 설문 26개 문항을 지역위험(R), 건물위험(B), 화재위험(F), 이용자위험(U), 피난위험(E) 5개 그룹으로 나누어 개발하여 설문을 실시하였다. 지역위험에 5개 문항, 건물위험에 13개 문항, 화재위험에 3개 문항, 이용자위험에 2개 문항, 그리고 피난위험에 3개 문항으로 설문지를 구성하였고, 구체적인 설문인자는 Table 2와 같다. 교육청 실무 담당자

100명이 참여하였는데, 무응답을 제외하고 90부를 회수하여 분석을 진행하였다.

설문자들이 담당하는 지역의 비내진설계 학교시설들을 대상으로 효율적인 내진보강사업 추진을 위한 사업 우선순위 결정(의사결정)에 도움을 주고자 설문한다. 따라서 설문 결과는 설문자들(교육청 내진사업 담당자)의 업무(시설관리) 특성상, 내진분야에 대한 전문적인 지식보다는 재난 발생 시 실제 해당시설의 피해사례(주로, 비구조요소 피해) 및 이에 따른 중요도가 반영된 결과다.

Fig. 1. Factor Analysis Model for Determining Seismic Retrofit Priority

Table 2. Survey Factor Configuration

variables		1st R^2	2nd R^2	3rd R^2	4th R^2
r1	earthquake zone coefficient	0.37	-	-	-
r2	areas of past earthquake	0.52	0.35	-	-
r3	fault	0.44	-	-	-
r4	surrounding area	0.55	0.69	0.81	0.81
r5	urban/other areas	0.35	-	-	-
b1	geo-technical	0.26	-	-	-
b2	established year	0.48	-	-	-
b3	building size (gross area)	0.27	-	-	-
b4	building floors	0.51	0.23	-	-
b5	presence of underground	0.38	0.41	-	-
b6	presence of blueprint	0.60	-	-	-
b7	safety grading	0.52	0.18	-	-
b8	construction materials	0.54	0.57	0.81	0.81
b9	building form	0.40	-	-	-
b10	building use	0.27	-	-	-
b11	structural elements	0.59	1.07	-	-
b12	construction facility (enclosed walls, canopies, etc.)	0.45	-	-	-
b13	M/E equipment	0.42	-	-	-
f1	building fire resistance performance (fire rating)	0.62	0.64	0.64	0.61
f2	risk facility	0.58	0.55	0.57	0.58
f3	spatial distance	0.49	0.50	0.48	-
u1	school type	0.69	0.70	0.69	0.67
u2	# of classes/students	0.55	0.55	0.56	0.57
e1	playground	0.70	0.70	0.70	0.70
e2	transportation (roads)	0.74	0.75	0.74	0.73
e3	evacuation obstacles	0.73	0.72	0.73	0.75

3.2.1 전체 변수 기준의 확인적 요인분석

내진보강 우선순위 영향인자(R, B, F, U, E) 그룹에 대한 확인적 요인분석(리즈렐 분석)을 우선 실시한다. Table 2는 4차까지 분석 후 각 그룹에서 남은 변수를 보여준다. 지역위험에서는 주변 환경, 건물위험에서는 건설재료, 화재위험에서는 건물내화성능, 위험시설, 이용자 위험에서는 학교 급별, 학급 수(학생 수), 피난위험에서는 운동장, 교통(도로), 피난 장애물이 R^2 값 0.49 이상으로 나타났다.

그러나 각 변수는 해당 요인(그룹)을 나타내는 특성인데 반해 R(지역위험) 그룹과 B(건물위험) 그룹은 변수가 1개씩만 살아남았으며, 제거된 항목이 살아남은 항목을 모두 포괄할 수 있다고는 보기 어렵다. 이에 따라 B그룹이 타 그룹보다 분석 변수가 많기 때문에 건물위험에 대한 변수들을 ‘SPSS를 통해 탐색적 요인분석’ 재 실시한다.

3.2.2 건물위험 재분류를 위한 탐색적 요인분석

SPSS 통계프로그램을 이용하여 건물위험에 영향을 미치는 13개 인자에 대한 탐색적 요인 분석을 하려면 변수들이

연속형데이터(등간척도 또는 비율척도)여야하고, 변수들 간에는 어느 정도의 상관관계가 있어야 한다. 변수들 간의 상관관계는 KMO 지수와 Bartlett의 구형성 검정으로 확인한다(Choi and You, 2017). 처음에 KMO 지수가 0.749로 건물용도 공통성 값이 너무 낮아(0.441) 이 인자를 정제하고 나머지 9개 인자들을 가지고 다시 주성분 분석(principal component analysis)하였다. 그 결과 KMO 지수가 0.761로 향상되었으며 Bartlett의 구형성 검정 유의확률은 $p < 0.05$ 보다 낮아 변수들 간에 상관관계가 있어 사용된 변수들이 요인분석을 하기에 적절하다는 것을 의미한다. 그리고 집중타당도를 나타내는 요인 적재값(factor loading)이 0.5 이상으로 주성분분석을 종료한다. 결론적으로 1 그룹은 4개 인자(건설재료 등), 2 그룹은 3개 인자(건물형태 등), 3그룹은 2개 인자(건물규모 등)로 분류한다.

3.2.3 건물위험 2개버전 기반의 확인적요인분석

B(건물위험) 그룹을 Table 3과 같이 2개 버전 (즉 1 버전은 13개 변수 모두 살리고 그룹만 3개로 분류한 것이고, 2

Table 3. Confirmatory Factor Analysis of Two Versions of Building Risk

variables		ver1	ver2
		1st R^2	1st R^2
r1	earthquake zone coefficient	0.26	0.25
r2	areas of past earthquake	0.40	0.41
r3	fault	0.42	0.41
r4	surrounding area	0.44	0.45
r5	urban/other areas	0.27	0.27
ba1(b11)	geo-technical	0.51	0.31
ba2(b12)	established year	0.33	0.44
ba3(b1)	building size (gross area)	0.067	0.55
ba4(b8)	building floors	0.53	0.36
ba5(b5)	presence of underground	0.014	
ba6(b6)	presence of blueprint	0.38	
ba7(b2)	safety grading	0.24	
bb1(b3)	construction materials	0.12	0.21
bb2(b7)	building form	0.33	0.43
bb3(b13)	building use	0.56	0.44
bc1(b10)	structural elements	0.16	0.35
bc2(b9)	construction facility (enclosed walls, canopies, etc.)	0.28	0.69
bc3(b4)	M/E equipment	0.24	
f1	building fire resistance performance (fire rating)	0.48	0.51
f2	risk facility	0.53	0.51
f3	spatial distance	0.47	0.47
u1	school type	0.64	0.64
u2	# of classes/students	0.53	0.52
e1	playground	0.66	0.67
e2	transportation (roads)	0.71	0.72
e3	evacuation obstacles	0.72	0.71

버전은 요인적재량이 0.5 이상인 변수 9개를 3개 그룹으로 분류)으로 그룹화하여 분석한다. B그룹을 2개 버전으로 나누어 확인적 요인분석을 실시하면, 기존에 B그룹을 분류하지 않았을 경우 대비 R(지역위험)은 모두 삭제되었고, F(화재 위험)에 대한 변수 채택 변화가 일부 있다. 기존에 B그룹을 나누지 않았을 때는 모든 F그룹의 변수가 살아남았다. 즉, B를 재분류하여 분석하면 B 변수를 더 많이 채택할 수는 있으나, 해당 세부그룹(ba, bb, bc) 내에서 1개씩만 살아남아 ‘그룹’의 의미를 가지기는 어렵다. 따라서 확인적 요인분석 대신 탐색적 요인분석을 전체 변수에 대해 실시하는 것으로 분석방향을 변경한다.

Kaiser-Meyer-Olkin Index		.738
Bartlett Sphericity Test	Chi Square	567.438
	Freedom	136
	Probability	.000

(a) KMO and Bartlett Test

3.2.4 전체변수 그룹화 탐색적 요인분석

전체 변수를 대상으로 처음부터 그룹을 다시 묶는 과정을 진행한다. 첫 번째 회전된 성분행렬에서 영향인자 지하층유무 및 안전등급의 값, 건물용도 인자 값이 0.6 이하가 된다. 따라서 이러한 인자들은 탈락시키고 다시 그룹화하기 위하여 회전시킨다. 두 번째 회전된 성분행렬을 살펴보면 다섯 개 그룹에 포함되는 영향인자 값이 모두 0.6이상이 되어 Fig. 2에서 탐색적 요인분석 결과를 보여준다. 이때 KMO 지수가 0.738이고 Bartlett의 구형성 검정 유의확률은 $p < 0.05$ 보다 낮고, 공통성 값과 집중타당도를 나타내는 요인적재값이 0.5 이상으로 주성분분석을 종료한다.

	Beginning	Sampling
r2	1.000	.802
r3	1.000	.863
r5	1.000	.613
b3	1.000	.762
b4	1.000	.795
b8	1.000	.774
b9	1.000	.718
b11	1.000	.847
b13	1.000	.793
f1	1.000	.719
f2	1.000	.728
f3	1.000	.739
u1	1.000	.687
u2	1.000	.645
e1	1.000	.718
e2	1.000	.718
e3	1.000	.750

(b) Commonality

		Component					Average	Standard Deviation
		1	2	3	4	5		
equipment/ICT	b13	.844	.054	.220	.013	.173	3.95	1.578
building fire res. perfor. (fire rating)	f1	.818	.032	-.036	.044	.213	4.08	1.660
fault	e3	.817	.203	.198	-.046	.003	4.33	1.782
risk facility	f2	.758	.170	-.023	.160	.312	3.07	1.755
spatial distance	f3	.704	.467	.037	.010	.155	3.62	1.552
geo-technical	e2	.613	.573	.072	-.091	.034	3.90	1.570
presence of underground	e1	.610	.544	.072	-.049	-.207	3.87	1.799
urban/other areas	r5	-.069	.767	.112	.076	.038	4.23	1.731
# of classes/students	u2	.318	.721	-.088	-.013	.124	3.52	1.846
school type	u1	.450	.688	.033	.095	.045	3.68	1.799
structural factors	b11	.128	-.028	.854	.318	.002	5.98	1.081
construction materials	b8	.509	-.062	.702	-.041	.127	5.87	1.142
building type	b9	-.144	.394	.657	.151	.294	4.42	1.788
earthquake zone coefficient	r3	.107	.136	.124	.903	.028	5.77	1.184
areas of past earthquake	r2	-.052	-.044	.162	.878	.010	5.13	1.578
building floors	b4	.205	-.120	.238	.137	.814	5.37	1.414
building size (gross area)	b3	.260	.321	.013	-.123	.759	5.83	1.167

(c) Rotated Components for the Matrix Plot a. 7 recursive calculation

Fig. 2. The Result of Exploratory Factor Analysis

탐색적 요인 분석 결과 전체 영향인자를 5개로 그룹화하였다. 첫 번째 그룹에 포함되는 인자는 기계/전기설비, 건물내화성능, 피난장애물, 위험시설, 공지거리, 교통, 운동장이다. 이 그룹 명칭을 피난위험이라 명명한다. 두 번째 그룹에 속하는 인자는 지역, 학급 수/학생 수, 학교 급별이다. 이 그룹 명칭은 이용자위험이라 한다. 세 번째 그룹이 가지는 인자는 구조요소, 건설재료, 건물형태이다. 그룹 명칭은 건축구조위험이라 한다. 네 번째 그룹을 형성하는 인자는 단층대와 과거 지진발생지역이다. 이 그룹 명칭을 지역위험이라 한다. 다섯 번째 그룹은 건물층수와 건물규모인자를 지니고 있으며 그룹 명칭은 건축규모라 한다.

4. 내진보강 우선순위 영향인자 가중치 설정

4.1 내진보강 우선순위결정 AHP모형

탐색적 요인 분석 결과 5개 그룹을 계층적 구조모형으로 가시화하여 건축 전공 교수 4명과 교육시설재난공제회 3명들로부터 모형에 대한 의견을 수렴하였다. 우선 피난위험, 이용자위험, 건축구조위험, 지역위험, 건축규모 그룹 명칭을 피난위험, 이용자위험, 시설위험, 지역위험으로 구분한다. 그리고 건축규모는 시설위험에 포함시킨다. 따라서 내진보강 대상 인자 그룹은 4개 그룹으로 16개 인자로 한다. Fig. 3은 수정된 내진보강 우선순위결정 계층적 구조 모형이다. 내진보강 우선순위 16개 영향인자의 의미는 다음과 같다.

(1) 피난위험

- 기계/전기설비: 냉난방, 방송 및 통신시설, 예비 전원설비, 위생설비 등
- 건물내화성능(화재등급): 기둥, 보, 바닥, 지붕, 외벽 재료 뜻함
- 피난 장애물: 담장, 옹벽, 석축, 계단 등을 말함
- 위험 시설: 가스관, 위험물, 소화전, 스프링클러, 유도등을 말함
- 공지거리: 1급부터 4급
- 교통: 도로 접근성 6 m 이상
- 운동장: 운동장 유무를 뜻함

(2) 이용자위험

- 도시지역/ 그 외의 지역: 도시지역 혹은 비도시 지역을 말함
- 학급 수/ 학생 수: 학교 학급 수 및 학생 수
- 학교 급별: 초등학교, 중학교, 고등학교, 특수학교 가리킴

(3) 시설위험

- 구조요소: 철골, RC, 조적, 경량철골, 석조, 목조 등을 말함
- 건설재료: 건설재료 철근 및 콘크리트 강도를 말함

- 건물형태: 정형 혹은 비정형을 말함
- 건물층수: 1층, 2층, 3층, 4층, 5층, 5층 초과를 가리킴
- 건물규모(연면적): 연면적 합계 뜻함

(4) 지역위험

- 단층대: 양산단층, 추가령 단층 뜻함
- 과거 지진발생 지역: 9.12 지진 혹은 11.15 지진 등을 말함

4.2 내진보강 우선순위 영향인자 가중치 산정결과

내진보강 우선순위결정 계층적 구조 모형에 따라 영향인자의 가중치를 산정하기 위해 웹기반 AHP분석 프로그램을 활용한다. 가중치 산정을 위해 경력이 있는 교육청 시설담당자 12명이 전문가로서 참여하였다. 영향인자 각 쌍체비교할 때 각 전문가의 의견을 입력하며 일관성지수가 0.1 이하로 나타날 때 전문가의 판단이 일관성 있다고 보여주어 가중치 산정에 반영된다. 교육청 시설담당자들의 판단을 근거로 각 기준항목(그룹 명칭)에 대한 가중치 그리고 기준항목에 포함되는 세부 기준항목(영향인자)에 대한 가중치 산정결과는 Fig. 3과 같다. 시설위험 가중치가 0.4525로서 제일 높으며, 지역위험 가중치가 제일 낮다. 시설위험 기준항목에서 구조요소 영향인자의 가중치가 0.1195로 제일 높다는 것을 보여준다.

Fig. 3. Seismic Retrofit Priority Influence Factor Weighting Calculation

5. 내진보강 우선순위 결정을 위한 평가표

내진보강 우선순위를 결정하기 위한 영향인자들을 가지고 학교시설을 평가해야 한다. 따라서 개발된 평가표는 평가영역, 평가지표, 5점 척도 그리고 판단기준으로 구성된다. 평가지표는 한국교육개발원의 연구보고서(KEDI, 2012, 2016, 2018) 등을 참조로 도출하였다. 교육청 시설담당자들은 내진보강이 필요한 학교시설에 대한 우선순위를 결정하기 위해 평가표를 토대로 학교시설을 평가한다. Table 4는 전체 평가표의 일부 시설위험 평가표를 보여준다. 내진보강 우선순위

Table 4. An Evaluation Criteria of Facility Risk

evaluation criteria			assessment index	very appropriate	appropriate	moderate	not appropriate	very not appropriate	decision-making standard
large	medium	small		1	2	3	4	5	
Facility risks	structure risks	iron frame RC masonry Lightweight steel frame Stonework woodcarving	Stable: Reinforced concrete, steel frame, steel reinforced concrete structure Danger: Brick/Block, Masonry, Wooden, Other Structured Buildings						
	construction materials	Construction material rebar	Yield strength of rebar before 1969, 1970-1988, 1989-2000, post 2001						
		Concrete strength	Concrete compressive strength before 1969, 1970-1988, 1989-2000, post 2001						
	building type	Orthopedic Atypical	Orthopedic type Atypical form (high risk) Piloti-structure (vulnerable)						Seismic Design for School Facilities (2009)
	building floor	> 1~5 floors	categorized into > 5 floor 4 floor < 3 floor						Chung (2009)
	building scale (area)	total area	Gross Area Adequacy per Student						Securing Ratio
			Net Area Adequacy per Student						
			Total floor area adequacy per class						
			Net Area Adequacy per Class						

ref) 1: very severe 2: severe 3: moderate 4: no concern 5: no concern at all

를 결정하기 위한 피난위험, 이용자위험, 시설위험, 지역위험의 영향인자들의 평가지표에 따른 점수산정과 가중치를 가지고 개별 학교시설을 평가한다. 우선순위 결정 절차는 다음과 같다.

- Step 1. 내진보강 우선순위를 결정하기 위한 평가표를 개발한다. 교육청 시설 담당자들은 각 지역의 학교시설 특성에 맞게 Table 4와 같이 제시된 평가표를 토대로 평가영역의 세부항목("small"에 해당되는 항목)을 선택해서 평가표를 만든다. 아울러 평가지표에 대해서도 수정 및 보완을 한다.
- Step 2. 개발된 평가표를 가지고 학교시설을 평가한다. 각 세부항목의 평가지표와 판단기준을 가지고 5점 등간 척도를 기준으로 점수를 부여한다.
- Step 3. 평가영역에서 4개 각 위험("large")의 기준항목("medium")에 대한 각 세부 기준항목("small")의 부여된 점수를 합하여 평균을 계산해서 평균값을 기준항목("medium")의 가중치 값에 곱하여 기준항목 별로

결과 값을 도출한다. 세부 기준항목의 가중치는 Fig. 3을 참조로 한다.

- Step 4. 평가영역에서 4개 각 위험("large")의 기준항목("medium")에 대한 결과 값(Step3의 결과)을 모두 합해서 위험("large")의 가중치 값에 곱하여 각 위험별로 결과 값을 도출한다.
- Step 5. 학교별로 피난위험, 이용자위험, 시설위험, 지역위험의 결과 값을 합산한다. 그리고 학교별로 내림차순으로 정리하여 우선순위를 부여한다.

6. 연구결론

국내 약 6만 1천동의 초·중·고 학교시설 중 내진성능을 확보한 시설은 약 24%에 불과한 실정으로 초, 중, 고 학교시설 내진보강의 문제가 대두되고 있다. 단기간에 학교시설 전체에 대한 내진 보수보강을 수행하기에는 예산, 시간 등의 한계가 있으므로, 내진성능에 영향을 미치는 영향요인을 기반으로 내진 보수보강 필요 대상시설을 선정 및 관리할

수 있는 우선순위 결정에 대한 연구가 필요하다. 그러므로 국내 초, 중, 고 학교시설에 대한 내진성능 확보를 위하여 내진성능평가 전에 사업대상 우선순위를 결정하기 위한 영향요인을 도출하고 내진보강 우선순위 결정 방안을 제안하는 것이 연구목적이다.

학교시설 내진보강 대상 인자 그룹은 피난위험, 이용자위험, 시설위험, 지역위험으로 구분한다. 피난위험에 영향을 미치는 인자들은 기계/ 전기설비, 건물내화성능(화재등급), 피난 장애물, 위험 시설, 공지거리, 교통, 운동장이다. 이용자위험 인자들은 도시지역/ 그 외의 지역, 학급 수/ 학생 수, 그리고 학교 급별이다. 시설위험에는 구조요소, 건설재료, 건물형태, 건물층수, 건물규모 인자들이 포함된다. 지역위험 인자는 단층대와 과거 지진발생 지역이다. 내진보강 우선순위결정 계층적 구조 모형에 따라 영향인자의 가중치를 산정하였다. 시설위험 가중치가 제일 높으며, 다음으로 이용자위험, 피난위험 순으로 지역위험 가중치가 제일 낮다. 시설위험 기준항목에서 구조요소 영향인자의 가중치가 제일 높다는 것을 보여준다. 내진보강 우선순위를 결정하기 위한 영향인자들을 가지고 학교시설을 평가하기 위해 개발된 평가표는 평가영역, 평가지표, 5점 척도 그리고 판단기준으로 구성된다.

향후 연구로는 한 지역을 담당하는 교육청 산하의 학교시설들을 평가표를 토대로 평가실험을 하여 대상 학교시설 우선순위를 부여할 때 나타나는 미흡한 평가지표, 모호한 평가점수 부여 등을 도출하여 수정 및 보완하여 보다 사용 편리하기 위한 평가표를 제시해야 한다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 특별교부금 재원으로 서울특별시교육청의 지원을 받아 수행된 「학교시설 내진보강 관리사업」에 포함된 연구입니다. 연구 지원에 감사드립니다.

References

- Choi, C.H., and You, Y.Y. (2017). The study on the comparative analysis of EFA and CFA. *Journal of Digital Convergence*, Vol. 15, No. 10, pp. 103-111.
- Chung, G.H., Kim, H.J., and Park, B.C. (2002). *A study on the assessment of the regional vulnerability to earthquake disaster*. Research Report NIDP-2002-10, National Institute for Disaster Prevention.
- Chung, R. (2009). *A study on establishing advanced safety management systems for school facility*. Korea Institute of Sustainable Design and Educational Environment.
- Education Facility Disaster Association. (2018). *A research report for seismic retrofit of school facilities by considering life cycle*.
- Heo, C. (2018). Government to increase investment in seismic reinforcement for school facilities ... completed by 2029 (January 11, 2018). *Joongboo Ilbo*. Retrieved from <http://www.joongboo.com/news/articleView.html?idxno=1221413>
- Japan Urban Development Bureau (UDB). (2018). *Regional risk measurement report on earthquakes*. Bureau of Urban Development Tokyo Metropolitan Government.
- Korea Meteorological Administration (KMA). Retrieved from <http://www.weather.go.kr>
- Korean Educational Development Institute (KEDI). (2012). *A study on judgment criteria for school building reconstruction and remodeling for effective investment*.
- Korean Educational Development Institute (KEDI). (2016). *A study on the improvement plan of elementary and secondary school's obsolete facility*.
- Korean Educational Development Institute (KEDI). (2018). *Study on utilization of school facility status data to improve educational environment*.
- Lee, B.H. (2018). *A study on the factors influencing the priority of seismic retrofit for existing school facilities*. Ph.D. dissertation, Incheon University.
- Lee, J.S. (2016). *Creating resilient communities from earthquakes*. Daegu Gyeongbuk Development Institute.
- Lee, K.S., and Kim, H.J. (2012). Guideline on seismic evaluation and upgrading of school buildings. *Review of the Korean Institute of Educational Facilities*, Vol. 19, No. 2, pp. 22-25.

Received	September 18, 2019
Revised	September 18, 2019
Accepted	November 6, 2019