

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

• 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건 을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer 🖃





工學碩士學位論文

- 국내 교육시설물 내진보강 가이드라인 분석 및 개선방안에 관한 연구 - 국내외 가이드라인을 중심으로 -
 - A Study on the Seismic Retrofit Guidelines for Educational Facilities in South Korea
 Focused on the Guidelines in Domestic and Overseas -

蔚山大學校 大學院 建築學科 李周炯

국내 교육시설물 내진보강 가이드라인 분석 및 개선방안에 관한 연구 - 국내외 가이드라인을 중심으로 -

- A Study on the Seismic Retrofit Guidelines for Educational Facilities in South Korea
- Focused on the Guidelines in Domestic and
 Overseas -

指導教授孫基榮

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出함 2021 年 02 月

> 蔚山大學校 大學院 建築學科 李周炯

李周炯의 工學碩士學位 論文을 認准함

審查委員 金起漢



審査委員 李東勳



審查委員 孫基榮



蔚山大學教 大學原

2021年 2月

국문 요약

국내에서는 경주지진(진도 5.4)과 포항지진(진도 5.8)이 발생하였으며, 지진으로 인해 내진설계가 미흡한 건축물이 피해를 받게 되었다. 이에 따라 지진의 위험성과 내진에 대한 관심이 높아져 있는 실정이다. 특히, 포항지진의 경우, 학생들이 주로 밀집되는 시설물인 교육시설물이 가장 많은 피해를 받았다. 이러한 원인은 교육시설물의 내진율은 36.7%로서, 전체 공공시설물의 내진율 62.3%와 대조하였을 경우, 낮은 수치를 보이고 있다. 이는 교육시설물이 충분한 내진성능을 갖추지 못하였다는 뜻으로 추가적인 지진이 발생할 경우, 교육시설물 내 학생과 교직원의 안전이 위협받게 된다. 따라서, 교육시설물의 내진 보급을 원활하게 하기 위한 연구가 필요하다.

이에 본 연구에서는 내진보강 피해현황 및 연구동향을 고려하여, 국 내외 기존 내진보강 가이드라인을 비교·분석하고 개선방안 제안을 목 표로 한다. 이를 위해, 첫째, 국내 지진동향 및 선행연구를 조사한다. 둘째, 교육시설물과 내진보강에 대한 국내의 실정을 분석한다. 이를 통해, 교육시설물과 내진보강의 개념을 정의한다. 셋째, 국내외 내진 보강 가이드라인을 조사한다. 이때, 한국의 경우, 학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인 개발, 학교안전강화를 위한 내진성능통 합 평가 모형 개발, 학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼. 미국의 경우, FEMA-547, FEMA E74. 일본의 경우, 학교시설 비구조요소 내 진 가이드북 개정판을 조사하였다. 넷째, 국내외 내진보강 가이드라인 을 구조요소와 비구조요소로 분류하여 비교·분석한다. 마지막으로 국 내외 내진보강 가이드라인 비교분석 결과를 통해, 국내 교육시설물 내진보강 가이드라인의 개선방안을 제안하였다. 본 연구의 결과는 다 음과 같다. 1) 구조요소 내진보강전략 세분화, 2) 비구조요소 분류체 계에 대한 추가적인 사례조사 및 분석, 3) 사용자/전문가용 비구조요 소 위험평가 체크리스트 개발연구를 국내 교육시설물 내진보강 가이 드라인 개선방안으로 제시하였다.

향후, 본 연구의 결과는 국내의 노후화되거나 내진성능이 부족한 교육시설물의 내진보강에 도움이 될 것으로 사료된다. 또한, 국내 교육시설물 내진화 사업과 정부 정책에 의미 있는 정보를 전달할 것으로 기대된다.

<목 차>

국문요약 i
목 차iii
표 목 차 ··································
그림목차 ·······vii
I. 서 론
1.1 연구배경 및 목적1
1.2 연구범위 및 방법
1.3 기존 연구 고찰
II. 이론적 고찰
2.1 국내 지진 개요6
2.2 교육시설물의 개요9
2.2.1 교육시설물의 정의9
2.2.2 교육시설물의 내진적용기준10
2.3 내진보강 개요
2.3.1 내진보강의 개념11
2.3.2 내진보강 종류12
2.3.3 교육시설물 내진보강 사업14
III. 국내외 교육시설물 내진보강 가이드라인 ··············· 16
3.1 국내 교육시설물 내진보강 가이드라인16

3.2 국외 교육시설물 내진보강 가이드라인24
3.3 국내외 교육시설물 내진보강 가이드라인 요약32
IV. 교육시설물 내진보강 가이드라인 비교분석33
4.1 구조요소
4.1.1 시설물 구조유형 분류 기준33
4.1.2 내진보강전략35
4.1.3 내진보강 공법 선정38
4.2 비구조요소 39
4.2.1 비구조요소 분류체계 39
4.2.2 비구조요소 평가방법43
4.2.3 비구조요소 위험평가 체크리스트 44
V. 교육시설물 내진보강 가이드라인 개선방안 제시 ·········· 48
5.1 구조요소 개선방안48
5.2 비구조요소 개선방안48
VI. 결론50
참고문헌 52
Abstract 55

<표 목차>

丑	1.1	기존 공공시설물 내진보강 보급률 현황2
丑	2.1	국내 지진 규모별 순위7
丑	2.2	교육시설의 시설물9
丑	2.3	내진보강공법 장단점12
丑	2.4	연도별 공공시설물(전체)와 교육시설물 내진율 비교15
丑	3.1	학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인 개발의 구성 18
丑	3.2	학교 안전강화를 위한 내진성능통합 평가 모형 개발의 구성…20
丑	3.3	학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼의 구성23
丑	3.4	미국 FEMA E-547 구성26
丑	3.5	미국 FEMA E-74 구성28
丑	3.6	일본 학교시설 비구조요소 내진 가이드북 구성31
丑	3.7	국내외 내진보강 가이드라인 요약32
丑	4.1	구조요소 및 비구조요소 정의
丑	4.2	시설물 구조유형 분류 기준 비교34
丑	4.3	한국의 내진보강전략
		미국의 내진보강전략
丑	4.5	한국 비구조요소 분류체계40
丑	4.6	미국 비구조요소 분류체계41
丑	4.7	일본 비구조요소 분류체계42
丑	4.8	한국 비구조요소 지진 위험평가 해석기준44

<그림 목차>

그림	1.1	연구 수행 절차 및 방법3
그림	2.1	국내지진 발생추이
그림	2.2	내진설계 의무대상 변화10
그림	2.3	교육시설물 1동당 평균 연면적10
그림	2.4	내진보강공법 구조유형11
그림	3.1	학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인 개발 16
그림	3.2	학교안전강화를 위한 내진성능통합 평가 모형 개발19
그림	3.3	학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼21
그림	3.4	FEMA-547
그림	3.5	FEMA E-74
그림	3.5	일본 학교시설 내진 비구조요소 내진 가이드북 개정판 29
그림	4.1	한국 비구조요소 위험평가 체크리스트44
그림	4.2	미국 비구조요소 위험평가 체크리스트46
그림	4.3	일본 사용자용 비구조요소 위험평가 체크리스트47
그림	4.4	일본 설립자·전문가용 비구조요소 위험평가 체크리스트 47

I. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

최근에 국내에서 발생한 진도 5.0 이상의 지진은 경주지진과 포항지진이다. 각각 진도 5.4의 포항지진, 진도 5.8의 경주지진은 지역 내외로 공공시설물뿐만 아니라 사유 시설물에도 큰 피해를 입혔다(김광희, 2018). 이에 따라, 내진에 대한 사회적으로 국민들의 관심과 시설물의 내진에 대한 중요성도 높아졌다. 특히, 2017년에 발생한 포항지진의 경우, 피해를 본 공공시설물 중에서 가장 많은 피해가 발생한 시설물은 교육시설물이다(행정안전부, 2018).

교육시설물은 재난 발생 시 인근 주민 혹은 학생들의 지진 대피소 및 실내 구호소로 활용되어 진다. 하지만 지진 피해로 인해 역할에 대한 수행 가능 여부와 시설물 안전에 대한 의구심이 생겼다. 교육시설물이 지진 대피소로 원활한 역할수행을 위해서는 내진설계 혹은 내진보강이 적용된 시설물이어야 한다. 하지만 행정안전부의 내진보강대책 추진 결과에 따르면 2019년 기준, 교육시설물은 총 32,896개의 시설물 중 12,070개만 내진보강이 적용되었다.

즉, 교육시설물의 내진율은 36.7%이다. 이 수치는 공공시설물 전체 내진율 수치인 62.3%에 못 미치는 낮은 수치이다(행정안전부, 2019). 지진 발생 시, 내진설계 혹은 내진보강이 되어있지 않은 교육시설물은 대피소 혹은 실내 구호소 역할을 하지 못하고 국내에 있는 초·중·고 교육시설물의 54.5%가 대규모 피해를 받을 것으로 예측된다(안희, 2011).

내진성능을 갖추지 못한 교육시설물들의 지진피해를 사전에 방지하기 위하여, 기존 교육시설물을 대상으로 적용 가능한 내진보강 공법 개발연구가 진행되었다. 그 결과, 개발된 공법은 섬유, 철판 등의 소재를 이용하거나 프레임 사이에 가새를 설치하여 내진성능을 향상시키는 개념이다(고훈범 2002, 권혁진 2018). 이처럼 기존 교육시설물에 적용할 수 있는 내진보강 공법에 대한 새로운 개념을 제시하거나 성능, 경제성을 평가하는 연구는 양적인 측면에서 매우 증가하였다(강석봉, 2014). 또한, 최근 포항지진과 경주지진의 영향으로 내진 관련 연구들이 내진 가이드라인이라는 주제로 변화하고 있다. 이에 따라, 국내에서는 연구를 통해 「학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼」,「학교시설물 내진설계 기준」등을 통해기준을 마련하였다.

국내 연구 동향을 살펴보면 구조요소에 대한 내진보강 공법개발에 집중되어

있다. 비구조요소에 대한 내진보강과 가이드라인에 대한 연구는 아직 부족한 실정이다. 특히, 비구조요소 피해는 구조요소의 피해 만큼 인적, 물적 피해를 입힌다. 하지만 국내에서는 여전히 비구조요소에 대한 내진보급율을 조차 조사되지않고 있어, 비구조요소 내진보강에 대한 중요성을 인식하지 못하는 것으로 판단된다. 특히, 포항지진으로 인해서 비구조요소가 많은 피해를 입었다(박홍근, 2018).

따라서, 본 연구의 목표는 국내외 기존 내진보강 가이드라인을 비교분석을 통해, 국내 교육시설물 내진보강 가이드라인의 개선방안을 제안하는 것이다. 본 연구의 결과를 통해, 교육시설물 내진보강 사업과 정색 선정에 도움이 되고자 한다.

표 1.1 기존 공공시설물 내진보강 보급률 현황(행정안전부, 2019)

NAU AH	시설물 수	내진보강 적용	-11 -1 0 (04)
시설물 구분	(개소)	시설물 수(개소)	내진율(%)
1. 공공시설물	56,023	19,675	35.1
2. 배수갑문	117	83	70.9
3. 공항시설물	516	417	80.8
4. 수문	143	92	64.3
5. 농업생산기반시설	1,214	903	74.4
6. 다목적댐	20	20	100.0
7. 일반댐	52	41	78.8
8. 도로시설물	35,121	26,648	75.9
9. 가스공급/액화천연가스 저장시설	837	778	93.0
10. 도시철도	1,478	1,270	85.9
11. 압력용기	54	53	98.1
12. 크레인	234	230	98.3
13. 리프트	2	2	100.0
14. 석유정제비축 및 저장시설	94	90	95.7
15. 송유관	7	7	100.0
16. 산업단지폐수종말처리시설	114	77	67.5
17. 수도시설	2,873	1,726	60.1
18. 어항시설	1,378	744	54.0
19. 원자로 및 관계시설	298	293	98.3
20. 전력시설	44,932	44,504	99.0
21. 철도시설	4,061	3,681	90.6
22. 폐기물 매립시설	387	188	48.6
23. 공공하수처리시설	1,977	1,333	67.4
24. 고속철도	380	379	99.7
25. 항만시설	792	675	85.2
26. 공동구	35	29	82.9
27. 학교시설	32,896	12,070	36.7
28. 궤도	14	8	57.1
29. 유기시설	62	2	3.2
30. 병원시설	1,755	1,107	63.1
31. 전기통신설비	84	40	47.6
총계	187,950	117,165	62.3

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구는 최근 국내에서 발생한 경주, 포항지진의 피해상황을 고려해서 공공 시설물 중 내진율이 가장 낮은 교육시설물로 범위를 한정하였다. 따라서, 국내 교육시설물 내진보강 가이드라인을 중점으로 연구를 진행하며, 내진에 대한 경험 이 많은 미국, 일본의 가이드라인을 비교대상으로 선정하였다.

본 연구의 목적은 교육시설물의 가이드라인 개선방안 제안이다. 따라서, 본 연구는 <그림 1.1>과 같이 진행되었다.

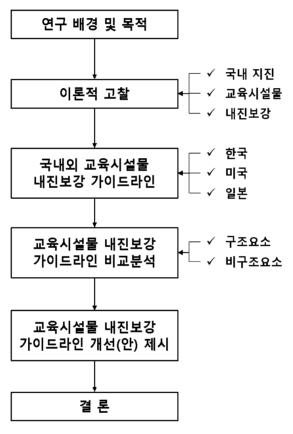


그림 1.1 연구 수행 절차 및 방법

첫째, 국내의 지진 발생 현황을 조사하여 포항지진과 경주지진 전후 한반도의 지진에 대한 위험성을 조사한다. 이후, 본 연구의 교육시설물을 정의하고 지진 발생 추이에 따라 변화된 내진설계 기준과 내진보강에 대한 공법 및 사업을 조 사한다.

둘째, 기존에 국내외로 사용되는 교육시설물 내진보강 공법과 가이드라인을 조

사한다. 본 연구에서는 한국, 미국, 일본의 교육시설물 내진보강 가이드라인을 조사한다.

셋째, 기존 국내의 교육시설물 내진보강 가이드라인을 개선점을 도출하기 위해, 국내외 교육시설물 내진보강 가이드라인을 구조요소와 비구조요소로 구분하여 비교분석을 실시한다.

넷째, 한국, 미국, 일본의 내진보강 가이드라인의 비교분석 결과에 따라, 한국 의 교육시설물 내진보강 가이드라인 개선방안을 제안한다.

1.3 기존 연구 고찰

교육시설물 내진보강 가이드라인 개선방안 제시 및 신(新)공법 개발에 앞서 국내 기존 내진 가이드라인의 선행문헌을 고찰하였다.

이강석 외 1명(2012)은 2400년 재현주기의 2/3 레벨을 견딜 수 있으며, KBC2009와의 일관성도 유지할 수 있는 가이드라인을 개정(안)을 연구하였다. 연구결과, 국내의 목표내진성능수준의 재정립이 필요하였으며, 내진성능수준은 대부분 미국과 일본의 기준을 그대로 채용한 부분 있단 문제점을 제시하였다. 따라서, 국내 실정에 맞는 가이드라인 연구가 필요하다고 주장하고 있다.

최재성(2014)는 지진 피해의 비중이 높은 비구조요소에 대한 내진대책이 전무한 국내의 실정을 지적하며, 비구조요소의 내진성능을 갖추어 경제적피해를 줄여국가 발전에 기여해야 한다 하며 비구조요소 내진설계 접근방법을 제시하고 있다. 또한, 지진 발생의 위험성이 높은 시설의 경우 별도의 기준을 제시가 필요하다고 주장하였다.

김선웅(2019)은 건축물의 내진보강 관련 규정 및 지침의 현장적용 실태를 통해 문제점을 파악하고 개선방안을 제시하였다. 연구에서 비교분석된 가이드라인은 건축구조기준(KBC 2016), FEMA 172, FEMA 547/P-547, FEMA E-74, 기존건 축물 내진성능향상지침, 학교시설 내진설계기준, 학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼, ASCE 41-17, 총 7가지로서 구조요소와 비구조요소를 종합적으로 비교 분석하였다. 이를 통해, 통일된 가이드라인 확보, 신뢰성 높은 시설물별 위험도 평가 매뉴얼 제작, 내진보강공법 적용의 체계화 및 합리적인 내진보강비용 도출 등을 개선방안으로 도출하였다.

가이드라인 선행연구 고찰 결과, 기존 시설물의 내진설계에 대한 미흡 대책과 가이드라인에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 주장하고 있다.

II. 이론적 고찰

2.1 국내 지진 개요

2.1.1 지진 현황

한국은 태평양판, 필리핀판, 북아메리카판과 마주하고 있는 유라시아판에 위치하고 있다. 지각이 약한 단층이 많은 한반도 특성에 따라, 최근 지진 발생 빈도가 높아진 실정이다. <그림 2.1>은 2020년 기상청에서 발표한 국내지진 발생추이 현황이다. 지진 발생추이를 살펴보면 진도 5.8의 경주지진이 발생한 2016년과진도 5.4의 포항지진이 발생한 2017년에 지진 발생횟수가 급격하게 증가한 것을확인할 수 있다. 2000년부터 2015년까지 평균 지진발생 횟수가 48.1회로 나타났다. 하지만 경주지진과 포항지진이 발생한 2016년 이후의 평균 지진 발생횟수는 169.5회로 약 3.53배 높은 수치로 나타났다. 특히 2016년과 2017년은 252회, 223회로 2000년대 가장 많은 지진이 발생하였다(기상청, 2020).

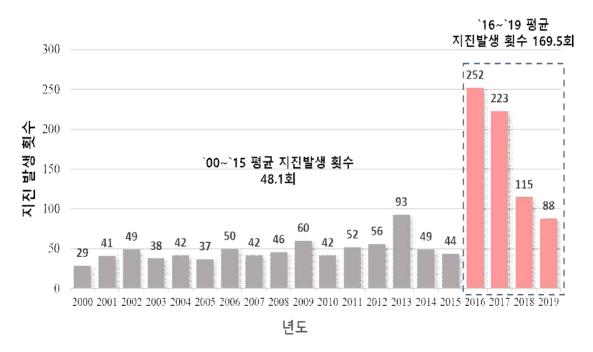


그림 2.1 국내지진 발생추이(기상청, 2020)

또한, 1987~2019년의 국내지진 규모별 순위는 다음 <표 2.1>와 같다. <표 2.1>을 살펴보면 지진의 규모가 큰 대표적인 지진 14회를 나타내고 있다. 여기서

1900년대에 발생한 지진은 4회, 2000년대에 발생한 지진은 10회로 최근에 규모가 높은 지진이 많이 발생했다는 것을 알 수 있다. 비록 2016년부터 지진 발생횟수가 감소되면서 안정화 되고 있다. 하지만 여전히 2000년대 이후로 지진 횟수 증가와 큰 규모의 지진의 발생 빈도는 높은 실정이다. 즉, 한국도 앞으로는 지진에 안전할 수 없다는 것을 알 수 있다.

표 2.1 국내 지진 규모별 순위(기상청, 2020)

	, , , , , , , , , , , , , , , , , , ,		
순위	규모(MI)	발생년도	발생지역
1	5.8	2016	경북 경주시 남남서쪽 8.7km 지역
2	5.4	2017	경북 포항시 북구 북쪽 8km 지역
3	5.3	1980	평북 서부 의주-삭주-귀성 지역
4	5.2	2004	경북 울진군 동남동쪽 74km 해역
4	5.2	1978	충북 속리산 부근지역
6	5.1	2016	경북 경주시 남남서쪽 8.2km 지역
6	5.1	2014	충남 태안군 서격렬비도 서북서쪽 100km 해역
8	5.0	2016	울산 동구 동쪽 52km 해역
8	5.0	2003	인천 백령도 서남서쪽 88km 해역
8	5.0	1978	충남 홍성군 동쪽 3km 지역
11	4.9	2013	인천 백령도 남쪽 31km 해역
11	4.9	2013	전남 신안군 흑산면 북서쪽 101km 해역
11	4.9	2003	전남 신안군 흑산면 서북서쪽 88km 해역
11	4.9	1994	전남 신안군 흑산면 서북서쪽 128km 해역

(1) 경주지진

경주지진은 2016년 9월 12일 20시 32분경에 경북 경주시 남남서쪽 8km 지역에서 발생한 규모 5.8의 지진이다. 경주지진은 주변 지역인 경주, 대구, 부산, 울

산, 창원에서도 진동을 느낄 수 있는 수준의 지진이었다. 이는 1980년 1월에 평북지역에서 발생한 규모 5.3 지진보다 높은 수치이며, 기상청에서 지진관측을 실시한 이례로 가장 큰 규모의 지진이였다. 경주시에서 집계한 직접피해 현황은 인적피해로 부상 23건과 이재민 54세대 111명이 발생하였다. 물적피해로는 시설물총 5,868동이 피해를 입었다. 이에 대해 재산피해 금액은 110.2억원에 달한다. 이때 시설물의 피해는 사유시설 피해와 공공시설물 피해로 나뉘게 된다. 사유시설의 주된 피해는 주택전파, 반파, 기와파손 및 벽체균열이었으며, 공공시설물은 문화재에서 59건으로 약 50억원의 피해를 받아 공공시설물 피해의 대부분을 차지하고 있다. 또한, 문화재 외에 교육시설물의 벽체가 손상되는 피해가 발생하기도하였다(오상훈, 2018, 행정안전부, 2018).

(2) 포항지진

기상청에 따르면 포항지진은 경주지진 이후 지각변동이 안정화되는 과정에서 발생한 지진이다. 포항지진은 2017년 11월 15일 14시 29분경에 발생한 규모 5.4 의 지진이다. 최대 진도는 VI로 기록되어 있으며, 포항 외 지역인 강원, 경남, 대 구, 부산, 울산, 충북 지역에서도 진도 IV의 진동이 감지된 것으로 기록되어 있 다(기상청, 2018). 지진으로 인한 인적 피해로 부상 135명, 이재민 1,797명으로 집 계되었다. 시설물 피해는 총 57,039건이며 피해 금액은 850.2억 원이다. 경주지진 보다 지진 규모는 작았지만 약 6배 많은 인명피해가 발생하였고 시설물 피해 규 모는 약 10배에 달한다. 이때 사유시설은 27,000개소가 피해를 입었으나 대부분 주택의 소파인 것으로 나타났다. 이에 반해 공공시설물은 317개소가 피해를 입었 다. 사유시설에 비해 피해 수량은 많이 않았으나. 피해액은 256억원으로 사유시 설 피해액인 294억과 비슷한 액수로 집계되었다. 피해액 차이가 크지 않은 이유 는 공공시설물의 경우, 사유시설에 비해 시설물 규모가 크기 때문이다. 공공시설 물 피해 중 가장 많은 피해를 입은 시설은 교육시설물이다. 교육시설물의 피해 수량은 103개소로 피해액만 약 126억 원이다. 대표적인 피해 유형은 구조 측면에 서 기둥 파괴, 보 균열, 지반침하 등이 있었고, 비구조 측면에서는 타일 탈락, 외 장 마감재 탈락, 조적치장벽의 면외 변형, 외부 치장벽돌벽체 탈락 및 붕괴 위험 이 있었다(행정안전부, 2018).

2.2 교육시설물의 개요

2.2.1 교육시설물의 정의

「학교시설사업 촉진법」에 따르면 교육시설물이란 교사대지·체육장 및 실습지, 교사·체육관·기숙사 및 급식시설, 이외 학습 지원을 목적으로 대통령령에 따르는 시설로 정의하고 있다. 세부적인 교육시설물에 대한 설명은 <표 2.2>와 같다(국민안전처, 2016).

표 2.2 교육시설의 시설물

분 류	세 부 설 명		
교사	교직원 혹은 교육활동에 직·간접적으로 필요한 시설물로서		
	각급의 교실, 도서실 등이 있다.		
교사용 대지	교육시설에 필요한 대지로서 건축 관련 법령의 건폐율과		
	용적율을 따른다.		
체육장	교육시설의 체육장은 배수가 용이하거나 배수시설을 갖춰야		
세탁경	한다.		
	교지란 교사용 대지와 체육장 면접을 합한 대지이다. 교사의		
교지	안전·방음·환기·채광·배수를 갖추고 학생들의 통학에 지장이		
	없는 위치로 설정해야 한다.		
교 구	교육을 위해 필ㄹ요한 도서ㆍ기계ㆍ기구 등을 교구라 칭한다.		
ш Т	교구의 종류와 기준은 교육감이 정한 고시에 따른다.		
급수, 온수시설	교육시설은 급수시설과 온수시설을 갖추어야 한다.		

교육시설물은 교육목적을 달성하기 위해서 제공되는 물리적 환경으로 정의된다면 설비는 교육시설물에 부대하는 장비를 의미한다. 일반적으로 교육 시설이란 개념에는 시설물뿐만 아니라 기계, 전기, 냉난방, 기구들도 포함하게 된다. 이에따라, 교육시설물 유지관리를 위해서는 다양한 요소를 고려해야 한다(신재철, 2009). 하지만 학생들이 사용하는 공간인 교육 시설의 특성상 다양한 요소를 고려하기 위해서 필요한 시간과 예산이 한정적이다(이수길, 2017).

2.2.2 교육시설물 내진적용기준

2.1장의 지진현황에 따르면 국내 지진발생은 일정하지 않다. 따라서, 국내에서는 내진설계기준에 변화를 통해 지진에 대한 위험을 대비가 필요하다고 판단하였다. 이에 따라, 1988년 최초로 국내 내진규저을 제정하게 되었다(주창길, 2014). 이때, 최초로 내진설계 의무대상이 지정되었다. 이후, 내진설계 의무대상은 <그림 2.2>와 같이 지속적으로 변화되어 왔다. 이때 1995년대의 기준으로는 교육시설물이 내진설계 의무대상에 포함되기 어려운 측면이 있었다. 2014년 조사된 유치원, 초/중/고/특수, 기관, 기타 교육기관의 건물동수는 33,303동이었다. 이때 1동당 평균 연면적은 2743.0㎡로 기준인 10,000㎡를 밑도는 수치이다. 즉, 6층 이하의 교육시설물 대부분은 내진설계 의무대상에 포함되지 못하였다(한국교육개발원, 2014). 하지만 2005년에 3층 이상 또는 연면적 1,000㎡, 2015년에는 3층 이상 또는 연면적 500㎡ 이상의 건축물로 내진설계 의무대상이 확대되었다. 이후, 2016년 경주에서 발생한 규모 5.8 지진으로 인한 피해를 조사하였을 때, 피해를 받은 시설물은 고층 건축물이 아닌 중·저층 건축물들 위주인 것으로 확인되었다(국민안전처, 2017). 이에 따라, 2017년 내진 설계 의무대상은 모든 신규주택과 2층 이상 또는 연면적 200㎡ 이상의 건축물로 확대하였다.



그림 2.2 내진설계 의무대상 변화

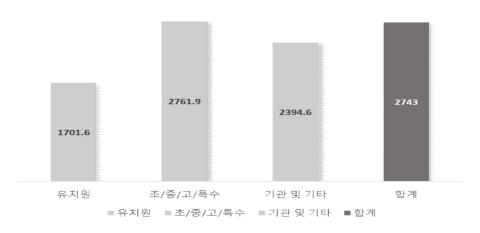


그림 2.3 교육시설물 1동당 평균 연면적(한국교육개발원, 2014)

2.3 내진보강 개요

2.3.1 내진보강의 개념

내진보강은 건축물이 지진에 저항하기 부족하다고 판단될 경우, 건축물 일부혹은 전체의 피해를 방지하기 위해서 실시하는 방법이다. 규모 8.0의 쓰환성 지진, 규모 7.0의 아이티 지진 등으로 발생했던 지진피해에 의한 사회적 비용이 많이 소요되는 발생되었다. 이에 따라, 기존의 내진설계 기준에 의해 내진성능이 부족한 건축물, 증축 혹은 개축에 의해 내진성능이 부족한 건축물, 구조적인 피해를 입어 내진성능이 하락된 건축물 등이 주요 대상이다(소방방재청, 2009).

내진성능을 향상시키기 위해서 필요한 주요 요소는 연성능력과 수평내력이다. 두 요소를 통해 내진구조, 제진구조, 면진구조를 구분하게 된다. 이때, 내진구조는 건축물의 내력을 향상시켜, 지진력을 흡수 혹은 저항하는 방식이다. 이에 따라, 건축물의 붕괴를 방지할 수 있으나, 지진 피해 이후 복구를 위해서는 많은비용이 필요하다. 제진구조는 지진력을 흡수하기 위한 장치를 설치한다. 내진구조와는 다르게, 지진 발생 시 제진장치가 지진력을 부담하기 때문에 장치가 소성화되면서 하중을 흡수하게 된다. 이에 따라, 복구작업 측면에서 편리성과 경제성을 갖출수 있다는 특징이 있다. 면진구조는 건축물의 하부에 고무 재질과 같은연성능력이 뛰어난 재료로 면진층을 설치하는 방식이다. 면진구조는 건축물과 면진층의 고유진동이 다르게 형성되어 공진을 방지할 수 있다. 이를 통해, 지진하중을 피할 수는 있으나, 면진층을 설치하는 과정이 상대적으로 어려움이 있다. 이 중, 제진구조가 설치 과정뿐만 아니라, 지진 발생 이후의 복구작업도 용이하다. 또한, 공사기간이 상대적으로 짧기 때문에 시간의 제약을 많이 받는 교육시설물에 주로 사용된다(조도빈, 2019).

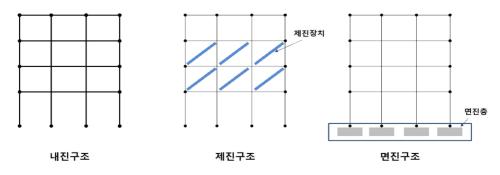


그림 2.4 내진보강공법 구조유형

2.3.2 내진보강 종류

건축물의 내진 성능을 향상하기 위한 내진공법은 여러 가지 제시되고 있다. 내진공법의 개념은 2.3.1장에서 언급한 것과 같이, 내진구조, 제진구조, 면진구조로나뉘게 된다. 각 구조 유형에 따라 내력향상, 연성능력, 응답제어를 위한 공법이사용되고 있다. 공법을 정리하면 <표 2.3>과 같다.

표 2.3 내진보강공법 장단점(교육부 2019, 이성열 2009)

공법 개요					
공법 종류	공법 명	공법 특징			
он оп	он о	장점	단점		
	철근콘크리트 벽 증설	 비용이 저렴하다 강도 중대 변형 능력 증대 좁은 작업 공간에서 작업 가능 현장 마감이 용이 	- 콘크리트 타설이 필요(습식 공법) - 약축 방향으로 RC(조적)벽의 파괴로 인한 2차 피해 우려 - 기초 하중 증가에 따른 재설계 필요 - 기초 내력이 부족할 경우 사용 불가 - 기초보강이 필요한 경우 시공비 증가 시공 기간이 오래 걸림 중량 증가 개구부 크기에 제한이 있음		
내력향상형	철골브레이스 증설	 - 횡하중 보강에 가장 많이 적용 - 강도 증대 - 변형능력 약간 증가 - 채광 및 통풍 확보가 용이 - 외부 시공에 적용 용이 - RC,조적벽 대비 공기 단축 - 경량 공법 	 반입 크기에 제한이 있음 내부 공간에 활용 부적절 넓은 작업 공간이 필요 RC,조적벽 대비 고비용 		
	철판벽증설	- RC,조적벽 대비 공기 단축	 반입 크기에 제한이 있음 마감이 어려움 개구부 크기에 제한이 있음 RC,조적벽 대비 고비용 		
	벽개구부폐쇄	- 적은 보강량	RC,조적벽 대비 고비용거실 공간에 영향을 끼침시공 기간이 오래 걸림		
	PC벽판 증설	- 설치가 간단하다 - 시공성이 매우 좋음 - RC,조적벽 대비 공기 단축	- 개구부 크기에 제한이 있음		
	기둥철판보강	- 현장 마감이 용이	- 개구부 크기에 제한이 있음 - 콘크리트 타설이 필요(습식공법)		
연성 향상형	기둥섬유보강	 채광 및 통풍 확보가 용이 외부 시공에 적용이 용이 비용이 매우 저렴 공기 단축	- 반입 크기에 제한이 있음		
응답제어	제진 보강	- 시공성이 매우 좋음 - 현장 마감이 용이	- 개구부 크기에 제한이 있음 - 콘크리트 타설이 필요(습식공법)		
중합세어 및 입력저감형 	면진 보강	시공성이 매우 좋음외부 시공에 적용이 용이채광 및 통풍 확보가 용이	- 고비용 - 반입 크기에 제한이 있음		

교육시설물에서의 내진보강공법은 교육환경, 문화적인 특성과 학생들의 교육 (수업)과 관련된 채광, 수업시간, 실내공기 등의 환경요인 영향을 최소화해야 한다. 이에, 최인학 외 2명(2009)은 철근콘크리트 벽 증설, 탄소섬유시트 및 철판보강, 철골가새증설, 제진 댐퍼 4가지 공법을 교육시설물의 내진보강공법으로 다루었다.

(1) 철근콘크리트 벽 증설

기존 구조물 프레임 사이 혹은 기존 비내력벽을 철거한 이후, 구조내력을 갖는 철근콘크리트 벽을 증설하는 방법이다. 내력을 향상시켜, 내진 성능을 보강하는 원리이며, 내진보강 효과가 확실하게 나타난다. 또한, 시공성이 우수하다. 하지만 실내에서 작업이 이뤄지기 때문에 방학기간 중에만 공사를 진행해야 하며, 기존 건축물에서 구조내력벽이 증설되는 만큼 추가적인 검사가 필요하게 된다(송우영, 2011).

(2) 탄소섬유시트 및 철판 보강

탄소섬유시트 및 철판 보강은 주로 기둥 부재에 보강이 이뤄지는 공법이다. 내 력향상 수준은 낮지만, 연성능력이 증가하기 때문에 내진 성능에 효과가 있다. 공법 시공은 탄소섬유시트의 경우, 에폭시 수지, 프라이머 등이 사용되고 철판은 강판을 앵커를 활용해 부착한다. 이에 따라, 현장 시공이 용이하고 기둥 부재 뿐 만 아니라 보, 슬라브 부재에도 적용이 가능하다. 하지만 철판의 경우, 보강부재 의 크기에 따라 자재 반입에 문제가 발생할 수 있다. 또한, 기존 마감재를 제거 해야하기 때문에 실내 교실 사용에 영향을 주게 된다(송성휘, 2020).

(3) 철골브레이스공법

철골브레이스증설은 기존 건축물의 프레임 내에 철골브레이스를 설치하는 공법으로 내력과 연성능력을 함께 증가시킬 수 있는 내진보강 공법이다. 이에 따라, 하중을 전달하는 부위인 접합부에 대한 시공을 중요시해야 한다. 접합부 시공이 제대로 되지 않는 경우, 철골브레이스와 건축물이 함께 거동하지 않아 추가적인 피해를 입을 가능성이 있다(윤길호, 2012). 하지만 벽 증설, 탄소섬유시트·철판 보강과는 다르게 외부에서도 시공이 가능한 공법이기 때문에 주로 사용되는 내진보강공법이다(이화정, 2020).

(4) 제진 댐퍼

제진 댐퍼는 내진 성능 향상을 위해서 건축물에 국부적으로 설치하는 장치이다. 내력향상은 낮지만, 연성능력이 많이 증가하여 전체적인 내진성능향상이 이뤄지는 공법으로 지진하중을 상당 부분 상쇄시키는 개념이다. 건축물 외·내부에적용이 가능한 공법이며, 시공성과 경제성이 우수하고 수업에 영향을 적게 미치기 때문에 교육시설물에서 자주 사용되었다(이동훈, 2012). 댐퍼의 종류는 강재댐퍼, 토글 가새 댐퍼, 점탄성 제진, 슬릿 댐퍼 등 다양한 댐퍼들이 연구되고 있다.

2.3.3 교육시설물 내진보강 사업

국내에서는 1995년 풍수해책법을 지진 관련 조항이 포함된 자연재해대책법으로 개정하여 건축물과 도로 등 16개 시설과 기타 대통령령으로 지정한 시설의 내진설계기준을 설정하였다. 이러한 내진설계기준은 신설되는 시설은 적용 범위에 포함되지 않는다는 문제점이 있다. 내진설계기준 제정 이전의 시설물은 대부분 지진을 고려하지 않은 설계, 시공, 유지관리가 되고 있다. 또한, 시설물에 대한 노후화도 함께 진행되고 있기 때문에 지진 발생 시 기존 시설물 피해발생에 대한 우려가 있다. 이에, 2008년 지진재해대책법을 제정・공포하여 기존 공공시설물의 내진 성능 향상을 위해 5년 주기로 기존 공공시설물 내진보강 기본계획을 수립하도록 하고 있다. '1단계 기존 공공시설물 내진보강 기본계획(소방방재청, 2009)'은 2009년에 수립되었으며, 현재는 '2단계 기존 공공시설물 내진보강기본계획(국민안전처, 2016)'이 2020년까지 수립되어 있다.

<표 2.4>는 국민안전처(현 행정안전부)의 2단계 기존 공공시설물 내진보강 기본계획(국민안전처, 2016)과 행정안전부의 자료(행정안전부 2018, 행정안전부 2019)를 고찰하여 내진율을 나타낸 것이다. 2009년과 2014년은 1단계 기존 공공시설물 내진보강 전, 후 시점으로 교육시설물의 수가 상이한 것으로 나타났다. 이는 1단계 내진보강 기본계획의 전수조사 당시, 기존 교육시설물 약 7,800동이집계에서 누락되었고 2010년에서 2014년 사이 약 5,000동의 시설물이 신축되었기때문이다. 즉, 내진율이 13.5%에서 23.7%로 10.2% 상승한 것은 정확한 상승률로판단 내리기 어려움이 있다. 2단계 내진보강 기본계획의 중간단계인 2017년에는 1.2% 상승한 24.9%의 교육시설물이 내진 성능을 확보한 것으로 나타났다. 그리고 최근 2019년 11.8% 상승한 36.7%로 나타났으나, 여전히 전체 공공시설물의내진율 62.3%에 못 미치는 수준이다. 즉, 교육시설물은 공공시설물 전체 대비 내

진보강 진행속도가 느리며, 절반 이상인 63.3%의 교육시설물이 지진에 취약한 상태라는 것을 나타내고 있다. 따라서, 본 연구에서는 공공시설물 중 교육시설물 을 대상으로 연구 범위를 한정하였다.

표 2.4 연도별 공공시설물(전체)와 교육시설물 내진율 비교

대상 시설	시설물 구분	2009	2014	2017	2019
	전제 시설물	123,201	116,768	184,560	187,950
공공시설물 (전체)	내진성능을 확보한 시설물	45,905	53,206	107,563	117,165
	내진율(%) 37.3%	27.20/	45.6%	58.3%	62.3%
		(8.3%p)	(12.7%p)	(4.0%p)	
	전체 시설물	18,329	31,900	32,846	32,896
	내진성능을	0.417	0.075	0.100	10.070
교육시설물	확보한 시설물	2,417	6,975	8,163	12,070
	1]] 7] \$.(0/)	·]] 구] () (0/) 12 E0/	23.7%	24.9%	36.7%
	내진율(%) 13.5%		(10.2%p)	(1.2%p)	(11.8%p)

III. 국내외 교육시설물 내진보강 가이드라인 3.1 국내 교육시설물 내진보강 가이드라인

국내의 교육시설물 내진보강 관련 가이드라인 현황을 분석하기 위해 한국교육 개발원인 2011년 "학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인 개발"과 2015년 "학교안전강화를 위한 내진성능통합 평가 모형 개발", 교육부의 2018년 "학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼"을 조사대상으로 선정하였다.

(1) 학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인 개발 (한국교육개발원, 2011)



그림 3.1 학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인 개발

1995년 일본에서 발생한 고베지진에 의한 피해 중 약 30%가 학교시설 피해로 나타났다. 또한 2008년 중국 쓰찬성 지진으로 학교 시설이 붕괴되는 피해가 발생하였다. 이와 같이 1995년 ~ 2008년 일본과 중국 등 한반도 주변 국가뿐만 아니라 세계 각지에서는 지진이 빈번하게 발생하였다. 지진 피해로 인해 경제적 손실과 인명 손실이 발생하게 되었고 국내에서는 이에 대한 지진재해대책이 필요성을 제기하였다.

이때, 해외 지진사례의 피해 중 상당 부분이 학교시설의 피해에서 발생하였다. 이에 따라, 2011년 국내에서는 '학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인 개발'(이하 2011년 가이드라인)을 통해 대책을 수립하고자 하였다. 하지만 국내의 학교시설 현황에 적합한 내진성능평가법과 내진보강 연구가 진행되지 않고 국외 기준을 그대로 차용해왔기 때문에 학교 내진성능 및 보강 가이드라인은 국내 실 정에 적합한 가이드라인을 제안하고 있다.

이를 위해, 기존 국외 내진가이드라인의 문제점을 파악하고 국내에 적합할 수 있는 내진성능 평가 지침 및 실용예제와 내진보강 기본계획 가이드라인을 개발하였다. 개발된 내용은 내진성능 예비 및 상세평가법과 시트, 이를 이용해서 기존 학교 시설물을 평가한 사례들이다.

'학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인 개발'의 구성은 <표 3.1>과 같다. 서론, 지침 본문 및 해설, 내진성능 예비평가의 연구자료, 내진성능 상세평가의 연구자료, 결론 총 5개의 장과 참고문헌, 부록으로 되어있다.

표 3.1 '학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인 개발'의 구성

구분	내용			
발행년도	2011			
발행기관	한국교	육개발원 - 이강석		
		연구의 필요성 및 목적		
	서론	기대효과		
		연구 내용 및 범위		
		총칙		
		내진 성능 수준 및 내진성능 등급		
	지침 본문 및 해설	내진성능 예비평가		
		내진성능 상세		
		내진보강 기본계획		
구성	내진성능 예비평가의 연구자료	저층 RC 건물의 간이 내진성능 평가법 제안		
		실제 지진에서 피해를 받은 건물과의 비교		
		예제 건물에 의한 간이 내진성능 평가법 타당성 검증		
		소결		
		저층 R/C 건물의 내진성능 평가법의 제안		
	내진성능 상세평가의 연구자료	지진손상도 평가법 평가예제		
		제안된 평가법의 타당성 및 적용가능성 검증		
	결론	-		
	참고문헌	-		
	내진성능 예비평가 시트			
부록	내진성능 상세평가 시트			
1 7	내진성능 예비평가 예제			
	내진성능 상세평가 예제			

(2) 학교안전강화를 위한 내진성능통합 평가 모형 개발 (한국교육개발원, 2015)



그림 3.2 학교안전강화를 위한 내진성능통합 평가 모형 개발

기상청에 따르면 국내에서는 지진 발생이 증가하는 추세이다. 이에, 2013년 행정안전부(구 안전행정부)를 중심으로 재난에 대응하기 위한 대책을 수립하였다. 일본은 1981년부터 학교시설 내진에 관한 중요성을 인식하여 내진설계와 기존학교의 내진보강사업을 꾸준히 실천해 왔다. 하지만 중국, 네팔, 파키스탄 등 일본을 제외한 많은 국가에서는 지진에 영향을 크게 받은 조적식 구조 학교나 내진설계를 하지 않은 학교에서 지진 피해를 받게 되었다. 지진은 가장 위험성이 높은 재해 유형으로 분류되어 있을 만큼 위험성이 높은 재해이다. 재해 발생 시 학교 피해를 최소화하기 위해 가이드라인이 제시될 필요성을 제기하였다.

'학교 안전강화를 위한 내진성능통합 평가 모형 개발'(2015년 가이드라인)은 새로운 가이드라인 제시를 위해 국내외 학교시설 내진관련 정책현황을 분석을 통해 시사점을 도출하였다. 이후, 국내외 내진 가이드라인을 비교분석하고 국내 학교시설 내진성능 실태를 조사하여 개선 사항을 파악하였다. 이를 통해, 비전문가인 학교사용자가 학교시설의 위험을 파악하고 내진성능을 평가할 수 있도록 내진성능 통합평가 모형, 내진성능 평가 체계 그리고 정책적 제안을 하였다.

2015년 가이드라인의 구성은 <표 3.2>와 같다. 서론, 문헌고찰, 학교시설 내진 환경조성 실태조사, 학교시설 구조재 내진성능평가 모형 개발, 학교시설 비구조재 내진성능평가 모형 개발, 사용자 참여를 통한 내진성능 통합평가 프로세스, 결론 총 7개의 장과 참고문헌, Abstract, 부록으로 구성되어있다.

표 3.2 '학교 안전강화를 위한 내진성능통합 평가 모형 개발'의 구성

구분	내용				
발행년도 발행기관	2015 한국교육개발원 - 박성철				
_ 월 87 1년 _	안 수 표 *	파게일천 - 덕경절 - 연구의 필요성 및 목적			
	서론				
		연구의 내용 및 방법			
	문헌고찰	국내외 학교시설 내진성능확보 관련 정책분석			
	는 한 보설 	국내외 학교시설 내진성능평가 가이드라인 비교분석			
		개요			
	학교시설 내진환경조성 실태조사	구조재 내진성능조사			
		비구조재 내진성능조사			
		소결			
		일반사항			
구성		목표 내진성능 수준 및 내진성능 등급			
	학교시설 구조재 내진성능평가 모형 개발	내구성능을 고려한 내진성능 약산법 제 1수준			
		내구성능을 고려한 내진성능 약산법 제 2수준			
		소결			
	학교시설 비구조재 내진성능평가 모형 개발	저층 R/C 건물의 내진성능 평가법의 제안			
		지진손상도 평가법 평가예제			
	T 0 / 11 E	제안된 평가법의 타당성 및 적용가능성 검증			
	사용자 참여를 통한 내진성능 통합평가 프로세스	-			
	참고문헌	-			
	Abstract - 내진성능 약산법 평가시트(구조재)				
	내진성능 약산법 평가예제(구조재)				
부록	사용자 중심의 학교시설 내진성능평가 가이드라인				
구축	내진성능 평가를 위한 사전교육자료				
	사용자 중심의 학교시설 내진성능평가 작성양식				
	지진 피해예방을 위한 항목별 대처방안(비구조요소)				

(3) 학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼(교육부, 2019)

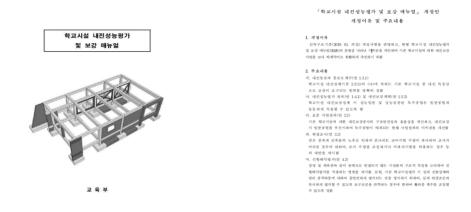


그림 3.3 학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼

국내에서는 학교시설에 대한 내진보강을 2016년 경주지진과 2017년 포항지진으로 시설물의 피해가 발생하였고 이로 인해 인명 및 경제적 손실이 발생하였다. 특히, 포항지진으로 발생한 공공시설물 피해 317개소 중 103개소가 교육시설로서이는 전체 공공시설물 피해 중 32.49%에 달하는 수치이다. 즉, 기존 내진관련 가이드라인은 존재하였으나, 개선의 필요성이 있었다. 또한, 교육시설물의 내진성능평가는 시설안전공단에서 제공한 '기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령'에 따라 수행되어왔고 평가 난이도가 높은 수준이기에 평가 수행이 빠른 시일내에 진행되기 어려운 부분이 있다. 이에, 교육부는 2018년 교육시설의 내진율을 상승시키고 내진성능평가 기간을 단축시키기 위해 '학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼'을 제안하였다.

'학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼'(이하 2019년 가이드라인)은 2018년 개정된 '학교시설 내진설계기준'에 개시되지 않은 부분을 보충하기 위한 내용을 다루고 있다. 또한, 기존 2011년, 2015년 내진 가이드라인과는 다르게 비전문가보단전문가에게 초점이 맞춰져 있다. 학교 내진 매뉴얼은 교육시설의 내진성능평가법과 기존 시설에 대한 내진보강설계법에 관한 내용을 다루고 있기 때문에 기존교육시설물의 내진성능 평가 및 내진보강설계, 신축되는 교육시설의 내진설계의성능평가에 적용할 수 있다. 이를 통해, 달성하고자 하는 내진성능목표는 행정안전부(구 국민안전처)에서 제시한 '내진설계기준 공통적용사항'의 최소 기준을 만족하는 것이다.

2019년 가이드라인의 구성은 <표 3.3>과 같다. 총칙, 학교시설 내진성능평가, 학교시설 내진보강 총 3편과 하위항목으로 일반사항, 내진보강 사업절차 및 유지관리, 사전조사, 평가절차, 철근콘크리트 구조, 조적채움벽, 강구조, 기초 및 지반, 비구조요소의 내진성능평가, 내진보강공법의 선정, 시스템보강 일반공법, 기존 철근콘크리트부재의 보강, 기존 비보강 조적조 및 조적채움벽의 보강, 기존 강구조및 합성구조의 보강, 기존 구조-보강재 연결부, 기초 및 지반의 보강, 비구조요소의 내진보강, 특수공법으로 총 18장으로 구성되어 있다. 부록은 학교시설 내진성능평가 용역 과업지시서(예시)와 학교시설 내진보강설계 용역 과업지시서(예시)가 있다.

표 3.3 '학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼'의 구성

반행년도 2019 발행기관 교육부 일반사항 응착 내진보강 사업절차 및 유지관리 사건조사 평가전차 생근콘크리트 구조	구분	भ 8		
응최 내진보강 사업절차 및 유지관리 사진조사 평가절차 철근콘크리트 구조 조직채용벽 강구조 기초 및 지반 비구조요소의 내진성능평가 내진보강공법의 선정 시스텐보강 일반공법 기존 철근콘크리트 부재의 보강 기존 비보강 조직조 및 조직채움벽의 보강 기존 가로 및 집반의 보강 기존 및 지반의 보강 비구조요소의 내진보강 투수공법	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·			
응착 내진보강 사업절차 및 유지관리 사건조사 평가절차 청근콘크리트 구조 조적체음벽 강구조 기초 및 지반 비구조요소의 내진성능평가 내진보강공법의 선정 시스템보강 일반공법 기존 철근콘크리트 부재의 보강 기존 비보강 조직조 및 조직체음벽의 보강 기존 가고도 및 합성구조의 보강 기존 가고도 및 합성구조의 보강 기존 구조-보강재 연결부 기초 및 지반의 보강 비구조요소의 내진보강 특수공법	 발행기관			
학교시설 내진성능평가 조작채움벽 장구조 기초 및 지반 비구조요소의 내진성능평가 내진보강공법의 선정 시스템보강 일반공법 기존 철근콘크리트 부재의 보강 기존 비보강 조적조 및 조작채움벽의 보강 기존 강구조 및 합성구조의 보강 기존 강구조 및 합성구조의 보강 기존 구조-보강재 연결부 기초 및 지반의 보강 비구조요소의 내진보강 특수공법		총칙		
학교시설 내진성능평가 조적채움벽 강구조 기초 및 지반 비구조요소의 내진성능평가 내진보강공법의 선정 시스템보강 일반공법 기존 철근콘크리트 부재의 보강 기존 비보강 조적조 및 조적채움벽의 보강 기존 강구조 및 합성구조의 보강 기존 구조-보강재 연결부 기초 및 지반의 보강 비구조요소의 내진보강 특수공법			사전조사	
구성			평가절차	
구성 기초 및 지반 비구조요소의 내진성능평가 내진보강공법의 선정 시스템보강 일반공법 기존 철근콘크리트 부재의 보강 기존 비보강 조적조 및 조적채움벽의 보강 기존 강구조 및 합성구조의 보강 기존 구조-보강재 연결부 기초 및 지반의 보강 비구조요소의 내진보강 특수공법			철근콘크리트 구조	
기초 및 지반 비구조요소의 내진성능평가 내진보강공법의 선정 시스템보강 일반공법 기존 철근콘크리트 부재의 보강 기존 비보강 조적조 및 조적채움벽의 보강 기존 강구조 및 합성구조의 보강 기존 구조-보강재 연결부 기초 및 지반의 보강 비구조요소의 내진보강 특수공법		내진성능평가	조적채움벽	
지조 보고			강구조	
비구조요소의 내진성능평가 내전보강공법의 선정 시스템보강 일반공법 기존 철근콘크리트 부재의 보강 기존 비보강 조적조 및 조적채움벽의 보강 기존 강구조 및 합성구조의 보강 기존 구조-보강재 연결부 기초 및 지반의 보강 비구조요소의 내진보강 특수공법	-7 z.J		기초 및 지반	
지스템보강 일반공법 기존 철근콘크리트 부재의 보강 기존 비보강 조적조 및 조적채움벽의 보강 기존 강구조 및 합성구조의 보강 기존 구조-보강재 연결부 기초 및 지반의 보강 비구조요소의 내진보강 특수공법	イタ		비구조요소의 내진성능평가	
기존 철근콘크리트 부재의 보강 기존 비보강 조적조 및 조적채움벽의 보강 기존 강구조 및 합성구조의 보강 기존 구조-보강재 연결부 기초 및 지반의 보강 비구조요소의 내진보강 특수공법			내진보강공법의 선정	
기존 비보강 조적조 및 조적채움벽의 보강 기존 강구조 및 합성구조의 보강 기존 구조-보강재 연결부 기초 및 지반의 보강 비구조요소의 내진보강 특수공법			시스템보강 일반공법	
학교시설 내진보강 기존 강구조 및 합성구조의 보강 기존 구조-보강재 연결부 기초 및 지반의 보강 비구조요소의 내진보강 특수공법			기존 철근콘크리트 부재의 보강	
기존 상구조 및 합성구조의 보상 기존 구조-보강재 연결부 기초 및 지반의 보강 비구조요소의 내진보강 특수공법			기존 비보강 조적조 및 조적채움벽의 보강	
기초 및 지반의 보강 비구조요소의 내진보강 특수공법			기존 강구조 및 합성구조의 보강	
비구조요소의 내진보강 특수공법			기존 구조-보강재 연결부	
특수공법			기초 및 지반의 보강	
			비구조요소의 내진보강	
하교시설 내지서는펴가 용역 과어지시서(에서)			특수공법	
H = [기쓰기된 베란 0 0 5/1 0 기 취임시기기(케기)	нэ	학교시설 내진성	능평가 용역 과업지시서(예시)	
부록 학교시설 내진보강설계 용역 과업지시서(예시)	부독 	학교시설 내진보	강설계 용역 과업지시서(예시)	

3.2 국외 교육시설물 내진보강 가이드라인

미국, 일본, 중국 등의 국외 국가도 비구조요소 관련 내진보강 가이드라인을 마련하고 있다. 특히, 일본과 미국은 내진관련 정책, 연구, 지원이 체계적 정비가되어있어 일본과 미국을 중점적으로 조사하였다. 미국은 미국연방재난관리국의 "FEMA 547 Techniques for the Seismic Rehabilitation", "FEMA E-74 Reducing the Risks of Nonstructural Earthqauke Damage", 일본은 문부과학성의 "Gudiebook for Earthquake Protection for Nonstructural Members of School Facilities-Revised Edition"을 조사대상으로 선정하였다.

(1) 미국 연방재난관리국의 FEMA 547 (Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings)



그림 3.4 FEMA-547

FEMA 547은 FEMA에서 정의한 건축물 유형의 내진보강을 위한 가이드라인으로 앞서 발행되었던 FEMA 172를 대체하는 가이드라인이기도 하다. 내진설계의 기준이 없었거나 내진설계기준이 미비한 경우, 혹은 원래 품질에서 변한 경우 등이 존재하며, 이는 곧 건축물의 성능저하로 이어지게 되었다. 내진보강은 새로운 건축물을 짓는 것보다 제약이 많고 새로운 하중경로를 제작하기 위해선특별한 기술의 필요성을 느끼고 미국 연방재난관리국은 FEMA 547을 제작하게

되었다.

FEMA 547에는 건축물들의 지진에 대한 취약성을 언급하며, 내진보강의 필요성을 설명하고 있다. 이때, FEMA에서 정의한 건축물 유형 17가지를 설명하며, 각 유형별에서 발생가능한 지진피해와 성능저하요인을 통해 도출 가능한 내진보강공법을 전략적으로 선택할 수 있도록 명시되어 있다. 이러한 내진보강전략의포맷은 이후 추가적으로 미래에 개발될 기술들을 추가하기 용이하게 되어있다. 각 건축물 유형별 내진기술 이외에도 공통적으로 발생 가능한 결함을 위해 다이어프램 및 기초의 내진보강, 지진요구 저감기술을 설명하며, 지진 발생 시 피해를 최소화하기위해 노력하고 있다.

FEMA 547의 구성은 개요, FEMA 기준의 시설물 유형별 적용 가능한 내진보 강기술, 여러 시설물 유형에서 공통적으로 발생하는 결함을 위한 내진보강기술, 총 3개의 장이 있으며, 세부목록은 24개로 되어있다.

표 3.4 미국 'FEMA 547' 구성

구분	내용	
 발행년도	2006	
 발행기관	미국연방재난관리국	
구성	개요	보고서 소개
		지진 취약성
		내진보강
	FEMA 기준의 시설물 유형별 적용 가능한 내진보강기술	FEMA 모형의 시설물 유형들
		W1 : 경량목구조
		W1A : 다층, 다세대 주거용 목구조
		W2 : 상업 혹은 산업 시설의 목구조
		S1 : 철골 모멘트 구조
		S2/S2A : 철골 가새 구조
		S4 : 콘크리트 전단벽을 갖는 철골 구조
		S5/S5A : 조적 전단벽을 갖는 철골 구조
		C1 : 콘크리트 모멘트 구조
		C2b : 콘크리트 전단벽 구조(내력벽)
		C2f : 콘크리트 전단벽 구조(라멘구조)
		C3/C3A : 조적전단벽을 갖는 콘크리트 구조
		PC1 : Tilt-up 콘크리트 전단벽 구조
		PC2 : 전단벽을 갖는 프리캐스트 콘크리트 구조
		RM1 : 보강 조적내력벽구조 (PC1과 유사한 형태)
		RM1u : 보강 조적내력벽구조 (URM와 유사한 형태)
		RM2 : 철근보강 조적내력벽구조 (C2b와 유사한 형태)
		URM : 비보강 조적내력벽구조
	여러 시설물 유형에서 공통적으로 발생하는 결함을 위한 내진보강기술	다이어프램 보강 기술
		기초 보강 기술
		지진요구 저감
부록	용어집	
	약어	
	참여자	
	1	

(2) 미국 연방재난관리국의 FEMA E-74 (Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damag)



그림 3.5 FEMA E-74

Charleson(2008)은 1994년 Northridge 지진 피해를 받은 시설물 약 66,000개소를 조사한 결과, 3/4 정도의 시설물이 비구조요소에서만 피해를 받은 것을 확인하였다. 미국 내 발생한 지진 피해의 상당부분이 비구조요소에 집중된 것을 확인하였고 비구조요소에 대한 내진방안과 인식을 높이기 위해 미국연방재난관리국에서 FEMA E-74를 제작하게 되었다. FEMA E-74는 시설물의 건축, 기계, 전기 및 배관 시스템과 가구, 설비, 장비 등 모든 요소 비구조요소를 고려하고 있으며, 지진 피해의 원인과 위험을 감소시킬 방법을 평가자가 이해하기 쉽게 설명하고 있다. 평가자는 건축주, 시설관리자, 내진설계전문가 등을 포함하고 있고 비전문가들도 유용하게 사용할 수 있도록 구성되어있다. 이를 통해, 학교, 사무실, 병원 등 다양한 건축물에 FEMA E-74를 적용하여 비구조요소의 내진 피해를 최소화 하는 목적이다. 비전문가뿐만 아니라 비구조요소 세부사항을 파악할 필요가 있는 전문가들에게는 부록 A, B의 사양과 책임 매트릭스를 통해 업무 범위와역할 분담을 명확하게 하여 업무자를 배치할 수 있다.

구성은 개요, 비구조요소의 거동, 기존시설물에 대한 조사 및 평가 절차, 기존시설물의 비구조요소 위험 저감방안, 신축 시설물의 비구조요소 위험 저감방안, 내진방법, 지진 발생 후 데이터 수집으로 총 7개의 장과 8개의 부록으로 제작되었다. FEMA E-74의 상세 구성은 <표 3.5>와 같다.

표 3.5 미국 'FEMA E-74' 구성

구분	내 용		
 발행년도	2012		
발행기관	미국연방재난관리국		
	개요	목적 대상자 지역별 적용 가능성 제한사항 감사의 글	
	비구조요소의 거동	정의 비구조요소 피해 원인 비구조요소 피해 정도 비구조요소 피해 영향 비구조요소 피해 유형	
	기존 시설물에 대한 조사 및 평가 절차	비구조요소 항목 조사 지진 위험 추정	
구성	기존 시설물의 비구조요소 위험 저감방안 신축 시설물의 비구조요소 위험	사업 목표 및 범위 설계 고려사항 사업 계획 및 실행 전략 책임 및 사업 관리 비용 사례 사업 목표 및 범위	
	저감방안	설계 고려사항 법률적 고려사항 책임 및 사업 관리	
	내진 방법	보호조치 비구조요소 예시 건축 구성요소 기계, 전기 및 배관 요소 가구, 설비, 장비 및 내용물 설치 참고사항,	
		안전 경고 및 추가지침	
	지진 발생 후 사양	드 데이터 수집	
부록	책임 매트릭스 비구조요소 항목 양식 비구조요소 지진 위험 체크리스트 비구조요소 위험 등급 지진 발생 후 데이터 수집 양식 비구조요소 항목과 관련 재료 용어집 참고문헌		
	연구 프로젝트 참가자		

(3) 2015년 일본문부과학성의 학교시설 비구조요소 내진 가이드북 개정판 (Guidebook for Earthquake Protection for Nonstructural Members of School Facilities-Revised Edition)

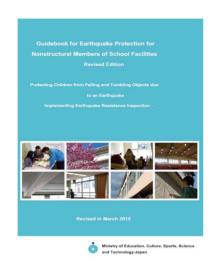




그림 3.6 일본 학교시설 비구조요소 내진 가이드북 개정판

학교시설 비구조요소 내진 가이드북은 일본 문부과학성에서 개발한 가이드라인이다. 일본은 학교시설을 학생들을 가르치는 교육시설 용도와 재난 발생시 주민들이 대피할 수 있는 대피소 용도로 사용한다. 이에 따라, 문부과학성은 교육시설의 내진설계를 중요시하였고 초, 중학교의 내진율은 90%를 넘는다. 하지만지진 피해는 시설물 균열, 붕괴 같은 구조요소 피해보다 천장재, 외부마감재 탈락과 같은 비구조요소의 피해가 발생하였음을 확인했다. 이에, 2010년 학교설치자와 교직원에게 비구조요소 내진대책의 중요성과 점검 및 대책방법에 대해 알리고자 "지진으로 인한 낙하 및 전도물로부터의 어린이 보호 - 학교시설 비구조요소 내진 가이드북"(이하 내진 가이드북)을 제작했다. 그러나 2011년 동일본대지진에 의해 비구조요소의 피해가 다시 발생하면서 비구조요소 내진의 중요성이 다시 부각되었다. 2014년 문부과학성은 비구조요소에 대한 지진피해 현황 파악과 구체적인 피해 원인을 분석하였고 2010년 제작하였던 가이드북을 개정하였다. 가이드북은 학교 교직원과 학교설치자의 역할을 정의하고 구체적인 점검항목과 대책방향을 대상자가 이해하기 쉽게 제시하여 효율적인 지진대처를 한다는 취지로 개정되었다.

학교시설 비구조요소 내진 가이드북은 비구조요소의 피해를 최소화하기 위해

녹, 균열 및 기타 열화현상 등을 학교 교직원과 학교 설치자가 점검 할 수 있도록 제작되었다. 또한, 관련 정보를 전문가에게 제공할 수 있다. 점검 주기는 주기적 점검과 지속적 점검이 있으며, 역할을 맡은 인원들이 책임을 분담하도록 되어있고 원활한 점검을 위해 체크리스트를 제시하고 있다. 일본의 학교시설 비구조요소 내진 가이드북의 구성은 <표 3.6>과 같다. 총 7장으로 구성되어 있으며 각장 별 제목은 비구조요소란?, 점검에 대한 접근 방식, 점검 방법과 점검 내용에대한 대응방안, 학교 교직원용 점검 체크리스트, 학교 설치자용 점검 체크리스트, 구체적인 점검 예시, 참고문헌으로 되어있다.

비전문가인 학교 교직원과 학교 설치자가 가이드북을 활용 할 수 있도록 구체적인 예시 사진을 명시하고 있으며, 별도로 점검 예시를 하나의 장으로 따로 분류를 시켜두어 학교 교직원 및 학교 설치자가 보다 손쉽게 평가할 수 있도록 구성되어있다.

표 3.6 일본 '학교시설 비구조요소 내진 가이드북' 구성

,,,, -n - 1		내용	
발행년도	2015		
발행기관	일본 문부과학성		
		비구조요소 범위	
	비구조요소란?	지진 발생 시 비구조요소 피해 원인	
		근년도 대규모 지진 현황 및 대책	
		비구조요소로부터 기대되는 실적	
	점검에 대한 접근 방식	계획적이고 지속적이며 효율적인 점검	
	심심에 내한 집는 방식	점검 및 역할분담 체계 구축	
		우선순위 고려	
		점검 체크리스트의 활용	
	점검 방법과 점검내용에 대한 대응방안	점검 종류	
구성		점검내용에 따른 대응방안	
	학교 교직원용 점검 체크리스트	점검 체크리스트	
		점검 항목	
	학교 설치자용 점검 체크리스트	점검 체크리스트	
		점검 항목	
	구체적인 점검 예시	점검 예시 1	
		점검 예시 2	
		점검 예시 3	
	학교 시설의 비구조요소 지진방호대책 추진에 대한 연구 및 조사		
부록	참고문헌 목록		

3.3 국내외 교육시설물 내진보강 가이드라인 요약

3장에서는 국내외 교육시설물 내진보강 가이드라인 현황을 조사하였으며, 조사된 가이드라인은 국내 3개, 국외 3개 총 6개이며, 각 가이드라들을 정리하면 <표 3.7>과 같다.

국내외 공통적으로 내진보강을 구조요소와 비구조요소로 구분하고 있었으며, 그에 따른 내진성능평가 및 내진보강 체크리스트, 내진보강공법 선정전략 등의 내용을 다루고 있는 것을 알 수 있었다.

표 3.7 국내외 내진보강 가이드라인 요약

연 도	구 분	내 용
2011	학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인 개발 (2011)	✓ 저층 RC 구조물 위주의 내진성능평가✓ 내진성능평가에 대한 예비평가・상세평가법 제안 및 관련예시 명시
2015	학교 안전강화를 위한 내진성능통합 평가 모형 개발(2015)	✓ 국내외 가이드라인 비교분석을 통한 차별성✓ 학교시설의 구조・비구조요소 내진성능평가 모형 개발✓ 전문가와 사용자를 위한 체크리스트 제시
2019	내진성능평가 및	✓ 역할분담 및 각 역할에 따른 체크리스트 제시✓ 전문가들이 사용 가능한 내진설계기준 명시✓ 시설물 성능 및 피해에 따른 내진보강전략 제시
2006	FEMA-547 (2006)	✓ 구조요소에 대한 내진보강을 중점으로 설명✓ 시설물 성능 및 피해에 따른 내진보강전략 제시✓ FEMA 172에서 발전된 내진보강공법 제시
2012	FEMA E-74 (2012)	✓ 역할분담 및 각 역할별 체크리스트 제시✓ 비구조요소 내진피해원인 및 사례 설명✓ 기존/신축 시설물에 대한 비구조요소 내진보강방안 제시
2015	학교시설 비구조요소 내진 가이드북 (2015)	✓ 비구조요소의 내진을 내용이 중심✓ 내진 점검방법 및 대응방안을 제시✓ 비전문가/전문가를 위한 체크리스트를 별도로 설명하며, 구체적인 점검 예시를 제시함

IV. 교육시설물 내진보강 가이드라인 비교분석

3장에서 국내외 교육시설물 내진보강 가이드라인 비교결과, 내진보강은 공통적으로 구조요소와 비구조요소로 분류할 수 있었다. 또한, 가이드라인 구성에서 큰 차이점을 발견하지 못하였다. 따라서, 본 장에서는 구조요소와 비구조요소의 내용을 분류 및 분석을 통해 내진보강 가이드라인의 개선방안을 제시하고자 한다. 이때, 구조요소는 구조내력을 부담하는 건축물 구성요소이고 비구조요소는 구조내력을 부담하지 않는 건축물의 구성요소로 정의된다. 각 구성요소의 정의는 <표 4.1>과 같다.

표 4.1 구조요소 및 비구조요소 정의(교육부, 2019)

구분	정의
구조요소	구조내력을 부담하는 건축물의 구성요소
비구조요소	구조내력을 부담하지 않는 건축물의 구성요소

4.1 구조요소

국내의 내진 가이드라인은 미국의 선행연구와 가이드라인을 기반으로 하고 있기 때문에 구조요소의 내진보강 가이드라인을 국내와 미국을 중심으로 비교하였다(한상환, 2011). 가이드라인 비교분석은 구조요소 내진보강 진행 순서를 고려하여 시설물 구조유형 분류 기준, 내진보강전략, 내진보강 공법 선정 3가지를 기준으로 분석하였다.

4.1.1 시설물 구조유형 분류 기준

내진성능평가 및 내진보강 진행을 위해 시설물의 구조유형을 파악하게 된다. 이때, 국내의 내진보강 가이드라인의 개선 수준을 분석하기 위하여 2011년 가이드라인과 2019년 가이드라인, FEMA-547을 비교하였다. 다음 <표 4.2>는 시설물 구조유형 분류 기준을 정리하였다.

표 4.2 시설물 구조유형 분류 기준 비교

구분	구조유형
학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인 개발 (2011)	-
학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼 (2019)	철근콘크리트 모멘트 골조 철근콘크리트 전단벽 구조 조적채움벽 골조 조적조 철골모멘트 골조 철골 중심가새골조
FEMA-547 (2006)	경량 목구조 다층, 다세대 주거용 목구조 상업 혹은 산업 시설의 목구조 철골 모멘트 골조 철골 가새 구조 콘크리트 전단벽을 갖는 철골 구조 조적 전단벽을 갖는 철골 구조 콘크리트 모멘트 구조 콘크리트 전단벽 구조 존크리트 전단벽 구조 전단벽을 갖는 콘크리트 구조 Tilt-Up 콘크리트 전단벽 구조 선단벽을 갖는 PC 구조 보강 조적내력벽 구조(PC1과 유사한 형태) 보강 조적내력벽 구조(URM과 유사한 형태) 철근보강 조적내력벽 구조

2011년 가이드라인에서는 구조유형을 크게 고려하지 않고 철근콘크리트 구조유형에 집중되어 있는 경향이 있다. 하지만 시설물의 구조유형에 따라, 건축물의 거동이 다르게 나타난다. 이에 따라, 2019년 학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼 에서는 철근콘크리트 모멘트 골조, 조적채움벽 골조, 철골모멘트 골조 등 6가지 유형으로 분류하였다. 분류된 구조유형에 따라서 일반사항, 강도 및 강성, 구조물 해석방법, 재료강도 등의 평가 기준을 제시하고 있다. 미국의 FEMA-547경우, 경량 목구조, 다층・다세대 주거용 목구조, 상업 혹은 산업 시설의 목구조, 철골 모멘트 골조, 철골가새 구조, 콘크리트 전단벽을 갖는 철골 구조, 콘크리트 모멘트 구조, 콘크리트 전단벽 구조, 조적전단벽을 갖는 콘크리트 구조, Tilt-Up 콘크리트 전단벽 구조, 전단벽을 갖는 PC구조, 보강 조적내력벽 구조(PC1과 유사한 형태), 보강 조적내력벽 구조(URM과 유사한 형태), 철근보강 조적내력벽

구조, 비보강 조적내력벽 구조 총 16가지로 분류하고 있다. 국내와 유사하게 일 반사항, 구조물 해석방법을 제시하고 있다. 또한, 해당 구조유형 내에서 함께 사 용되는 다이어프램, 단주, 전단벽들에 대한 개념도 제시하고 있다.

내진보강전략의 측면에서는 미국은 국내보다 많은 시설물 구조 유형을 고려하는 있었다. 국내보다 많은 16개의 구조유형에 대한 내진성능평가 방법, 강도, 구조물 거동 등을 제시하고 있어, 더욱 많은 유형의 교육시설물이 지진 발생에 대응할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 국내의 교육시설물 유형이 대부분이 철근콘크리트 구조유형이기 때문에 국내의 실정을 고려해 가이드라인을 제작한 것으로 해석된다(류승현, 2011).

4.1.2 내진보강전략

국내에서 내진설계가 적용되기 이전과 이후의 교육시설물은 대부분 철근콘크리트 모멘트 골조로 이뤄져 있다(류승현, 2011). 이를 고려하여 철근콘크리트 모멘트 골조 구조유형에 대한 내진보강전략을 분석하는 것으로 비교분석 범위를 한정하였다.

한국의 내진보강전략은 시스템, 시스템 형상, 하중경로, 부재, 기초 5가지 항목으로 구분하였으며, 각 항목에 대한 세부항목을 11개로 분류하였다. 시스템 항목은 강도, 강성, 연성 및 에너지 소산능력, 시스템 형상은 약층, 비틀림, 하중경로는 수직하중경로, 수평하중경로, 부재는 단면 접합부, 기초는 기초판과 지반으로분류하였다. 각 항목을 정리하면 <표 4.3>과 같다.

표 4.3 한국의 내진보강전략

한국		
구분	세부항목	
	강도	
시스템	강성	
	연성 및 에너지소산 능력	
시스템 형상	약층	
	비틀림	

한국		
하중경로	수직하중경로	
0.8.9.7	수평하중경로	
부재	단면	
구 세	접합부	
기초	기초판	
	지반	

미국은 강도, 강성, 형상, 하중경로, 부재, 기초, 다이어프램 7개의 항목으로 내 진보강전략을 구분하였다. 이때, 세부항목은 부족한 골조 수, 골조의 성능저하, 골조의 강성 부족, 약층, 비틀림, 부수적인 벽으로 인한 결함 혹은 비틀림, 부족 한 콜렉터, 연성부족(일반사항), 연성부족(강한 기둥과 약한 보), 연성부족(전단 강도가 약한 기둥 혹은 보), 연성부족(이음, 인장부분), 보충판(기초판, 지반), 평 면 전단 용량 부족, 부적절한 코드 용량, 개구부에서의 과도한 응력 및 불규칙성 으로 15개로 분류하였다. 미국의 내진보강전략을 정리하면 <표 4.4>와 같다.

두 국가의 구성은 유사하며, 내진보강전략 항목에 따른 보강계획은 새로운 부재 신설, 기존 부재 증설, 연결성 향상, 하중 저감, 부재 제거로 동일하다. 그러나 미국이 더욱 많은 세부항목을 고려하고 있는 것을 알 수 있다. 특히, 부재 항목을 국내에선 단면과 접합부로 구분하지만 미국은 보와 기둥 관계, 접합부의 이음등 더욱 세분화하여 내진보강전략을 제시한다. 항목을 더욱 세분화하는 이유는 내진보강전략 의사결정 및 공법 개발 논의의 효율을 끌어 올릴 수 있기 때문이다(FEMA, 2006).

또 다른 차이점은 다이어프램 항목이다. 미국에서는 다이어프램을 별도로 구분하여 다루고 있다. 다이어프램이란 건축물 내 기둥 혹은 전단벽과 같은 수직부재의 사이에 존재하는 수평부재로써 일반적으로 바닥판(슬래브), 지붕을 의미한다. 즉, 지진, 바람에 의해 건축물에 작용하는 횡하중을 수직부재로 전달하여 건축물이 안정적으로 거동할 수 있는 역할을 한다(김혜진, 2013). 다이어프램의 내진성능을 고려하기 위해서 평면 전단 용량 부족, 부적절한 코드(Chord) 용량, 개구부에서의 과도한 응력 및 불규칙성으로 구분하여 고려하고 있다. 이에 대한 내진보강전략으로 콘크리트 혹은 전단벽, 가새 골조, 모멘트 골조, Chord를 추가하는 내진보강 공법을 제시하고 있다.

표 4.4 미국의 내진보강전략

미국		
구분	세부항목	
강도	부족한 골조 수	
70 —	골조의 성능저하	
강성	골조의 강성 부족	
	약층	
형상	비틀림	
	부수적인 벽으로 인한 결함 혹은 비틀림	
하중경로	부족한 콜렉터	
	연성부족 (일반사항)	
	연성부족 (강한 기둥과 약한 보)	
부재	연성부족 (전단 강도가 약한 기둥 혹은 보)	
	연성부족 (이음, 인장부분)	
기초	보충판(기초판, 지반)	
	평면 전단 용량 부족	
다이어프램	부적절한 코드(Chord) 용량	
	개구부에서의 과도한 응력 및 불규칙성	

4.1.3 내진보강 공법 선정

내진보강 공법은 각 가이드라인에서 제시하고 있으며, 그에 대한 선정 시 고려해야할 사항을 명시하고 있다. 2011년 가이드라인에서는 공법을 선정 시 고려해야할 것들로 강도 및 연성 강화, 에너지흡수 능력 개선 등 교육시설물의 내진성능향상을 중심적으로 명시하고 있었다. 이에, 구조요소에 대한 내진보강을 평가하기 위해서 관련된 공식을 제시하고 있다.

2019년 가이드라인에서는 건축구조기준(KBC)과 한국산업표준(KS)의 내진성능평가를 따른다. 앞서 언급한 내진성능향상뿐만 아니라 내진보강공법을 실제로 적용할 경우 우려되는 시공성, 경제성, 공사기간, 사용성, 미관도 고려할 것을 명시하고 있다. 또한, 가이드라인에서 제시하지 못한 공법의 경우에도 내진보강공법으로 사용할 수 있도록 특수공법으로 분류하여 책임구조기술사의 판단하에 적용할 수 있도록 하였다.

[보의 강도(교육부, 2019)]

$$M_e = A_s * f_{ye} * \left(d - \frac{a}{2}\right) \tag{1}$$

$$M_e = 보 강도$$
 $A_s = 철근 단면적$
 $f_{ye} = 철근 평균항복강도$
 $d = 보 유효깊이$
 $a = \frac{A_s * f_{ye}}{0.85 * f_{ce} * b}$
 $b = 보의 폭$
 $f_{ce} = Con'c 평균압축강도$

미국 FEMA-547은 FEMA-356과 ASCE 41-03의 평가방법과 미국의 건축기준을 기준으로 내진성능을 평가한다. 내진보강공법 선정 시 고려해야할 것들을 기술성과 비기술성 영역으로 분류하였다. 기술성은 2011년 가이드라인과 같이, 내진성능향상에 대한 항목들을 고려하도록 명시하고 있다. 비기술성은 경제성, 내

진성과, 사용성, 장기적인 건물성능, 미관 5가지로 세부적으로 분류하였으며, 국내에서 고려하지 않은 내진성과 항목은 내진성과에 대한 목표(비전)을 설정하도록 명시되어 있다. 또한, 장기적인 건물성능의 경우, 사용성 항목과 유사하며 새롭게 적용된 내진보강공법으로부터 발생되는 시설물의 사용가능 공간 축소 등의영향도 고려하고 있다.

4.2 비구조요소

미국, 일본 등에서 비구조요소로 인한 지진피해가 상대적으로 구조요소의 피해와 비슷하거나 더 크다는 사실을 발견하게 되면서 비구조요소의 내진에 대한 관심이 높아지고 있다. 국내에서도 2015년 가이드라인을 제작하는 등, 선진국의 내진수준을 따라가기 위해 노력하고 있으나, 경주지진과 포항지진으로 인해 발생된 피해중 비구조요소의 상당한 부분을 차지하고 있다(행정안전부 2018, 전수찬 2020).

이에, 비구조요소의 내진수준을 진단하기 위해 한국, 미국, 일본의 비구조요소 내진보강 가이드라인을 비교분석하였다. 비교분석 순서는 비구조요소 분류체계, 평가방법을 기준으로 하였다(나영주, 2019). 분석을 위해 비구조요소를 다루고 있는 2015년 가이드라인, 2019년 가이드라인, 미국 의 FEMA E-74, 일본의 비구조요소 가이드라인을 선정하였다.

4.2.1 비구조요소 분류체계

각 국가의 가이드라인에서는 비구조요소의 내진성능을 파악하고 내진보강을 하기 위해 분류체계의 항목에 따른 체크리스트, 내진성능평가법 등이 제시되고 있다. 따라서, 분류체계에서 명시되지 않은 비구조요소는 상대적으로 소홀히 관 리될 것으로 판단된다.

한국 가이드라인의 경우, 2015년에는 건축마감재, 설비기기 및 배관, 방송·전자기기, 기타기기 및 배관 5가지 유형과 19개의 세부항목으로 분류하고 있다. 2019년 가이드라인은 건축 비구조요소, 기계 및 전기설비 비구조요소, 배관 3가지 유형과 10개의 세부항목으로 분류하고 있다. 각 가이드라인의 비구조요소 분류체계는 <표 4.5>와 같이 정리하였다. 2015년에는 시설물 내진등급에서 최하위등급인 E등급을 받은 교육시설물 9곳을 선정하여 비구조요소 분류체계를 조사하였다. 이때, E 등급 교육시설물의 결함을 중심으로 분류체계를 구성하였다. 여기서 E 등급의 수준은 건축물이 전반적으로 내진성능이 기준에 미달한 상태로 개

량 혹은 철거가 필요한 건축물이다(소방방재청, 2009). 2015년 대비 2019년의 항목이 더욱 간소화 되어있는데 이는 설비기기, 방송·전자기기 등을 기계 및 전기설비 비구조요소로 통합시켜 내용을 설명하고 있기 때문이다.

표 4.5 한국 비구조요소 분류체계

구 분		유형	세부항목
	2015년 가이드라인 (교육개발원)	건축마감재	□ 천정재, □ 창·유리□ 문, ② 외부 마감재
		설비기기 및 배관	① 에어컨, ① 선풍기, © 난방기기, ② 조명기구, ② 가스배관, ③ 기타배관, ③ 에어컨 실외기
		방송・전자기기	□ TV, □ 컴퓨터, □ 범프로젝터, ② 스피커
한국		기타기기 및 비품	□ 냉장고, □ 음수대 및 정수기, □ 가구, ②진열품
	2019년 가이드라인 (교육부)	건축 비구조요소	① 외부에 접착 또는 앵커로 고정되는 중량 외장재, ① 칸막이벽, © 커튼월 및 칸막이벽에 끼워진 유리, ② 매달린 천장, ② 이중바닥, ④ 중량 파라펫
		기계 및 전기설비 비구조요소	⊃ 기계장비, ⓒ 전기 및 통신설비
		배관	○ 압력 배관, ○ 소화 배관

미국 FEMA E-74의 비구조요소 분류체계의 경우, 건축 구성요소, 기계·전기·배관(MEP), 가구·기구·장비(FF&E) 4가지 유형과 26가지의 세부항목으로 구성되어 있다. 국내에 비해 유형이 많이 분류된 이유는 구조요소을 제외한 모든 요소를 비구조요소로 분류하고 있으며, 기존의 공공시설물, 다용도 시설물 등 다양한 시설유형을 다루고 있기 때문이다. 미국의 비구조요소 분류체계는 <표 4.6>과 같이 정리하였다.

미국 가이드라인에서는 비구조요소가 더욱 다양화되고 세분화 될 것임을 명시하고 있다. 이에 따라, 비구조요소 분류에 대한 발전이 지속적으로 이뤄져야할 필요성을 제시하고 있다. 또한, 비구조요소은 일반적으로 구조요소를 가리는 마 감재 역할을 하게 된다. 그렇기 때문에, 구조요소와 비구조요소를 정확하게 구분하기 힘든 점도 있다. 하나의 예시로, 구조물에서 조적벽체는 내력을 부담하는 구조요소인 경우도 있지만 치장조적벽체와 같이 내력을 부담하지 않는 비구조요소가 있다. 이와 같이, 외관이 비슷하거나 마감재를 해체해야 알 수 있는 경우도 있다. 따라서, 비구조요소 구분에서도 주의할 필요성도 제기하고 있다.

표 4.6 미국의 비구조요소 분류체계

구 분	유형	세부항목
미국 (FEMA E-74)	건축 구성요소	① 외벽 구성요소, ② 실내칸막이, © 실내 베니어판, ② 천정, ⑪ 난간 및 부속물, ⑪ 캐노비・차양・표지판, ③ 굴뚝・굴뚝 상부 노출부, ◎ 계단, ② 독립 벽・담장
	기계, 전기, 배관 (MEP)	① 기계장비, ⓒ 저장 탱크 및 온수기, ⓒ 압력 배관, ② 화재 방지 배관, ⑪ 유체배관·화재 미방지 배관,
	가구, 기구, 장비 (FF&E)	① 보관대, ⓒ 책장·선반, ⓒ 컴퓨터·통신장비, ② 위험물질 저장소, ◎ 기타 FF&E, ⑪ 기타 요소

일본의 내진 가이드북의 경우, 비구조요소를 구조물의 일부로 포함하지 않는 요소로 정의하고 있다. 이에 따라, 비구조요소를 천장재, 조명기구, 창문·유리, 외벽, 내벽, 시설장비, TV, 보관대, 피아노, 접합부 총 10가지 유형을 분류하고 있으며, 세부항목은 19가지로 구성되어있다. 일본의 비구조요소 분류체계는 <표 4.7>과 같이 정리하였다. 일본은 전문가와 사용자가 모두 점검할 수 있도록 육안으로 점검이 가능하거나 일본 내 교육시설물 내에서 자주 사용되는 품목들을 위주로 분류체계를 구축하였다. 이를 통해, 비구조요소의 평가에 대한 사용성을 높였다.

표 4.7 일본의 비구조요소 분류체계

구 분	유형	세부항목
	천정재	① 천정재 및 천정재 마감재료
	조명기구	① 조명기구
	창문・유리	① 유리 창호, ① 잠금장치, ⓒ 유리 창호 주변장치, ② 문
	외벽	① 외벽 마감재
일본	내벽	① 내벽 마감재
(내진 가이드북)	시설물 장비	∋ 방송 장비, ⓒ 에어컨, ⓒ 에어컨 실외기
	TV	천장형, ▷ 걸이형, ▷ 이동형
	보관대	① 선반·락커, ◎ 선반위 진열품, ⓒ 의료용 캐비넷
	피아노	① 피아노
	건축물 접합요소	① 접합부 및 건축물의 주변부

4.2.2 비구조요소 평가방법

한국의 가이드라인은 전문가 이외에도 교육시설물에 관련된 교사, 학생 등도 쉽게 활용할 수 있도록 2015년 가이드라인을 제작하였으며, 2019년 가이드라인은 전문가를 위해 비구조요소 내진성능 공식, 공법선정 시 평가요소 등을 제시하고 있다. 이때, 평가는 분류체계를 기준으로 하고 있다. 세부항목에서 발생되는 구조물과의 고정상태, 배치상태, 파손여부 등을 고려하고 있으며, 이에 따라 평가점수를 부가하고 있다. 평가를 통해, 내진보강이 필요한 경우, 부재교체, 강성 및 강도 증진, 보수, 가새 추가, 앵커링 추가 등을 통해 내진성능을 만족시키도록 명시되어 있다.

미국의 FEMA E-74는 각 분류체계 항목별 각기 다른 평가 질문들을 하고 있으며, 각 질문에 대한 평가는 준수, 미준수, 해당사항 없음 3가지 항목으로 측정하고 있다. 평가를 돕기 위하여 FEMA E-74에서는 세부항목별 평가사례도 제시하고 있다. 이때, 내진보강 우선순위를 정하여 사업추진을 월활하게 하고 있는데, 지진 위험지역별 위험등급인 생명안전, 재산피해, 기능상실 3가지 측면에서 분류된 세부항목을 낮음, 중간, 높음으로 평가해 우선순위를 제시하고 하고 있다. 이후, 평가된 품목을 비전문가가 다룰지 혹은 전문가가 다룰지 결정할 수 있도록비공학적(NE), 관행적(PR), 공학적(ER)으로 구분하여 제시되어 있다.

일본의 내진 가이드북의 경우, 점검 주체를 비전문가(교사, 학생 등 학교 관련자)과 전문가(학교 설치자)로 구분하여 역할을 분담하고 있다. 분류체계에서 피해사례가 많고 육안점검이 용이한 품목을들 위주로 하여 비전문가들이 평가 및점검여부 판단을 하게 된다. 이후, 평가결과를 전문가가 보고 받아 점검 실시여부와 대책 수립을 담당하도록 되어있다. 이때, 점검 우선순위는 인명피해 발생가능 여부와 내진 기준이 변경된 품목이 높은 순위를 차지하게 되어 가장 먼저점검할 수 있도록 되어 있다.

4.2.3 비구조요소 위험평가 체크리스트

한국, 미국, 일본의 내진보강 가이드라인에서는 비구조요소 부분에 대한 위험 평가 체크리스트를 제시하고 있다. 비교분석을 위해서, 한국의 학교안전강화를 위한 내진성능 통합평가모형 개발(한국개발원, 2015), 일본의 Guidebook for Earthquake Protection of Nonstructural Mebers of School Facilities, 미국의 FEMA E-74에 명시된 비구조요소 위혐평가 체크리스트를 한정된 범위로 정하 였다.

한국은 2019년에 개정판으로 제공한 내진보강용 가이드라인이 존재하지만, 별도의 체크리스트는 제공하진 않는다. 그러나, 내진보강공법 설치 이후, 성과보고서에 「학교시설 내진설계 기준」의 체크리스트를 전문가들이 제출하도록 하고있다. 그러나 가이드라인의 체크리스트는 교육시설 사용자를 중점으로 했다는 것에서 차이점이 있다. 따라서, 내진성능 통합평가모형을 개발한 2015년 가이드라인의 체크리스트를 비교대상으로 하였다. 체크리스트 항목은 비구조요소의 품목을 구조고정, 배치상태, 파손상태, 탈락방지 4가지 상태에 따른 기준으로 사진과글, 비고(기타사항)로 평가요소를 설명하고 있다. 설명을 기준으로 이상 여부를 있음/없음으로 평가하고 평가에 따라 점수를 부여한다. 점수에 따른 해석기준을 명시하고 있으며, 위험평가등급도 함께 결정된다.

표 4.8 한국 비구조요소 지진 위험평가 해석기준(한국교육개발원, 2015)

등급	해석 기준	상세 설명	점수 기준
A 등급 (우수)	즉시 사용 가능	비구조요소의 기본 기능을 유지하면서 손상이 없거나 경미한 수준	100
B 등급 (양호)	일부 보수 필요	비구조요소 일부에서 경미한 수준의 피해가 발생하나 즉시 사용은 가능한 수준	100~80
C 등급 (보통)	비구조요소 낙하 및 피해 위험	비구조요소는 피해가 발생하지만 인명피해는 없는 수준	80~60
D 등급 (미흡)	심각한 피해 위험	비구조요소의 상당한 피해가 발생해 인명피해를 줄 수 있는 수준	60~40
E 등급 (불량)	고려 불가	비구조요소의 완전한 파괴	40~0



그림 4.1 한국 비구조요소 위험평가 체크리스트

미국의 FEMA E-74는 비구조요소 내진성능평가 체크리스트의 기준은 2010년의 ASCE/SEI 7-10을 참고하고 있다. 체크리스트 구성 항목은 비구조요소 품목번호, 품목 이름, 주요 우려 사항, 예시, 준수/미준수/해당없음, 질문 항목으로 되어있다. 질문 항목에 따라 준수/미준수/해당없음에 표시를 하도록 명시되어있다.이때, 포괄적인 평가 기준은 고정장치 상세 위치/상태/존재여부, 다른 위험항목과의 근접성, 2차 위험 발생 여부, 시설에 중요한 요소인지 판단 여부로 구분한다.해당없음은 비구조요소를 정확히 점검하여 체크리스트에 기재하였는지 판단하는항목으로도 활용된다. 미국 체크리스트 구성은 <그림 4.2>와 같다.

일본은 일본문부과학성에서 제시하는 '학교시설 비구조요소 내진 가이드북 개정판'에서 비구조요소 위험평가 체크리스트를 제공하고 있다. 이때, 체크리스트 평가자는 사용자, 설립자·전문가로 나뉜다. 이를 위해, 사용자용과 설치자·전문가용 체크리스트 2개를 제시하고 있다. 사용자용 체크리스트의 경우, 주로 육안으로 비구조요소를 점검할 수 있도록 되어있다. 이후, 점검 결과를 학교 설립자에게 보고하는 체계이다. 이때, 비구조요소를 세부적으로 분류하고 각 품목 별로

위험평가에 대한 상세한 설명을 명시하고 있다. 이후, 탈락, 변형, 균열 등의 기준에 따라 비구조요소를 평가하고 최종저긍로 A(문제 없음), B(판단 불가), C(문제 발견)을 평가한다. 학교 설립자·전문가용 체크리스트의 경우, 사용자에 의해평가된 내용을 함께 공유한다. 사용자가 육안을 위주로 평가한것과는 다르게 육안, 사운딩, 조작 등 전문·기술점검을 실시한다. 사용자용 체크리스트와 같이,최종적으로 A(문제 없음), B(판단 불가), C(문제 발견)으로 평가하도록 되어있다. 일본의 체크리스트는 <그림 4.3>과 <그림 4.4>와 같다.

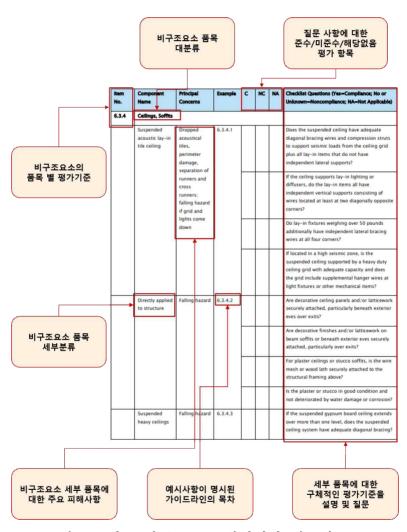


그림 4.2 미국 비구조요소 위혐평가 체크리스트

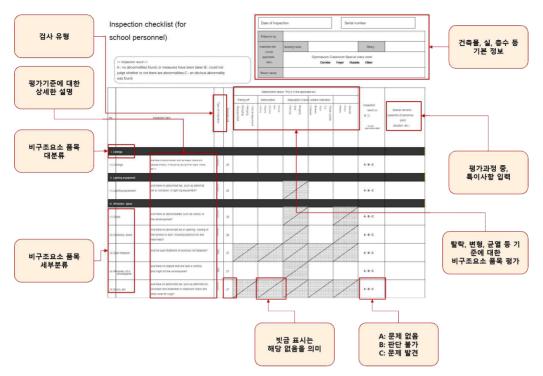


그림 4.3 일본 사용자용 비구조요소 위험평가 체크리스트

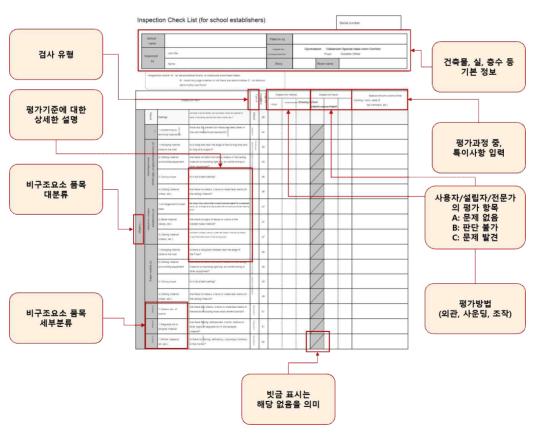


그림 4.4 일본 설립자·전문가용 비구조요소 위험평가 체크리스트

V. 교육시설물 내진보강 가이드라인 개선방안 제시

3장에서 국내외 교육시설물 내진보강 가이드라인 비교결과, 내진보강은 공통적으로 구조요소와 비구조요소로 분류할 수 있었다. 이에 따라, 4장에서는 구조요소와 비구조요소에 대한 국내외 내진보강 가이드라인을 비교·분석하였다. 본 장에서는 구조요소와 비구조요소의 비교분석 결과를 통해, 내진보강 가이드라인의 개선방안을 제시하고자 한다.

5.1 구조요소 개선방안

구조요소는 내진보강전략의 세분화가 필요하다. 국내 가이드라인은 지속적인 연구개발을 통해 수준이 높아진 것을 비교분석을 통해 확인할 수 있었다. 하지만 내진보강전략 특히, 부재 단면에서 한국은 단순히 단면과 접합부로 항목을 구분하였지만, 미국은 기둥과 보 부재 간의 관계를 고려하여 더욱 세부적인 내진보강공법을 결정할 수 있도록 하고 있다. 이를 통해, 내진보강공법선전 논의에서 발생하는시간을 감소시키고 올바른 공법을 선정할 수 있도록 하였다. 즉, 단순한 내진보강전략을 명시할 경우, 내진보강공법 선정 논의의 효율이 떨어지고 잘못된 방향으로내진보강이 이뤄져 내진성능확보를 실패할 수도 있다(나영주 2019). 최근 국내에서는 경주지진과 포항지진으로 인해 많은 피해가 발생하였다. 해당 피해사례에 대한추가연구 및 보완을 통해 구체적이고 효율적인 내진보강전략에 대한 추가적인 연구를 통해, 효율적인 내진보강전략체계를 구축할 필요성이 있다.

5.2 비구조요소 개선방안

비구조요소는 분류체계에 대한 추가적인 사례조사 및 분석이 필요하다. 비구조요소의 분류체계는 내진평가와 내진보강과 밀접한 관계를 보이는 것을 비교분석을 통해 확인하였다. 그러나 한국은 E 등급의 교육시설물 9곳의 결함을 기준으로 분류체계를 구축하였다. 이는 2019년 기준 32,896동의 교육시설물 중 극히 일부 사례만 조사된 것이며(행정안전부 2019), 2019년 가이드라인에서는 이를 더욱 간소화하

였다. 즉, 분류체계 이외의 비구조요소에서는 내진이 제대로 고려되지 않아 지진 발생 시 인명피해와 경제적 피해를 유발할 가능성이 있다. 따라서, 조사 기준의 완 화하여 더욱더 많은 수의 사례를 살펴 비구조요소를 재분류할 필요가 있다.

비구조요소 위험평가 체크리스트의 경우, 2015년에서 5년이란 기간이 지났다. 이는 기존 공공시설물 내진보강 기본계획의 계획수립 주기와 같은 기간이다(행정안전부, 2016). 따라서, 비구조요소 위험평가 체크리스트 개발 연구의 필요성이 있는 것으로 사료된다. 비구조요소들은 교육시설물 사용자들이 직접 이용하는 품목이포함되어 있고, 실제로 교육시설 내에 존재하는 TV, 문, 조명기구와 같은 부분을 명확히 파악하고 있다. 이에 따라, 일본의 비구조요소 체크리스트와 같이 사용자가먼저 건축물의 비구조요소 위험평가를 실시하고 설립자·전문가의 점검을 한다면점검시간 단축과 효율적인 점검이 가능하다(일본문부과학성, 2015). 따라서, 경주, 포항지진의 피해사례를 기반으로 사용자용/전문가용 위험평가 체크리스트를 개발하면 비구조요소의 피해감소에 기여할 것으로 기대된다.

따라서, 본 장에서 제안하는 국내 교육시설물 내진보강 가이드라인 개선방안은 다음과 같다.

- 1) 구조요소의 내진보강전략 세분화
- 2) 비구조요소의 분류체계에 대한 추가적인 사례조사
- 3) 사용자용/전문가용 비구조요소 위험평가 체크리스트 개발연구

VI. 결 론

경주지진과 포항지진 이후, 국내에서는 지진발생 횟수가 증가하였고 지진으로 인한 인명피해와 경제적 피해로 인해 내진설계에 대한 사회적인 관심이 높아졌 다. 특히, 교육시설물은 공공시설물 중 가장 많은 피해를 받았다. 이에, 본 연구 에서는 국내 교육시설물 내진보강 가이드라인을 선진국(미국, 일본)의 가이드라 인과 비교분석하고 개선방안을 제안하였다.연구 결과는 다음과 같다.

첫째, 국내의 지진, 교육시설물, 내진보강 현황에 대해서 조사하였다. 경주와 포항지진이 발생했던 2016년~2017년 지진 발생횟수가 급격하게 상승하였다. 이에 따라, 평균 48.1회의 지진발생 횟수가 169.5회까지 올라 국내도 지진에 대한 위험 성이 높아진 실정이다. 이에 따라, 정부차원에서 공공시설물의 내진보강 사업을 실행하고 있지만 교육시설물의 내진보급율이 낮고, 노후화된 교육시설물들은 내 진설계적용기준에 포함이 되지 않았기 때문에 지진에 취약하다.

둘째, 국내 교육시설물 내진보강 가이드라인을 분석하기에 앞서, 한국, 미국, 일본의 내진보강 가이드라인을 조사하였다. 조사한 가이드라인은 다음과 같다. 학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인 개발, 학교안전강화를 위한 내진성능통합 평가 모형 개발, 학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼, FEMA-547, FEMA E-74, 일본 학교시설 비구조요소 내진 가이드북 개정판으로 5개의 가이드라인을 조사하였다.

셋째, 조사한 한국, 미국, 일본 가이드라인을 구조요소와 비구조요소로 분류하여 비교분석하였다. 구조요소는 시설물 구조유형 분류 기준, 내진보강전략, 내진보강 공법 선정이였으며, 비구조요소는 비구조요소 분류체계, 비구조요소 평가방법, 비구조요소 체크리스트를 비교분석하였다.

넷째, 국내외 내진보강 가이드라인 비교분석 결과, 국내의 내진보강 가이드라인 수준은 선진국과 비슷한 수준으로 발전되어왔음을 확인하였다. 그러나 개선이필요한 문제점으로 1) 구체적이지 않은 구조요소 내진보강전략, 2) 비구조요소 분류체계의 미흡, 3) 비구조요소 위험평가 체크리스트 개발 연구, 세 가지가 필요하단 점을 도출하였다. 따라서, 구조요소 개선방안으로 '내진보강전략의 세분화'를 제안하였으며, 비구구조요소 개선방안으로 '비구조요소 분류체계에 대한 추가적인 사례조사 및 분석'을 제안하였다. 3) 비구조요소 위험평가 체크리스트는 2019년 교육부의 가이드라인에 포함되어있지 않다. 그에 따라, 2015년의 체크리

스트를 사용하고 있다. 또한, 일본의 가이드라인에서는 사용자/전문가 체크리스트를 개별로 제작하여 상황 및 의견 공유를 원활하게 하고 있다. 따라서, 비구조요소 위험평가 체크리스트의 개발연구가 필요하다. 최근 발생한 경주와 포항지진으로 지진발생 횟수와 관련 사례가 증가하였기 때문에 향후 국내 실정에 적합한연구가 이뤄질 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구를 통해, 국내 교육시설물 내진보강 가이드라인 개선방안과 비구조요소 내진보강용 충전재를 제안하였다. 향후, 본 연구를 기초로 실무에 최적화된 내진보강 가이드라인 개발과 정부 정책개선에 기초자료로 활용될 것으로 기대된다. 하지만 개선방안에 대해 전문가의 의견, 실무 적용을 통한 검증이 부족하단 한계점이 존재한다. 따라서, 전문가 의견 조사 및 실무 적용에 대한 추가적인 연구가필요하다.

참고문헌

- 1. 김광희, 이진한, 김영희, 김성실, 강수영, 서우석(2018). "Assessing whether the 2017 Mw 5.4 Pohang earthquake in South Korea was an induced event." Science. Vol. 360, No. 6392. pp. 1007-1009
- 2. 행정안전부(2018). "2017 포항지진 백서." p. 503.
- 3. 행정안전부(2019). "행정안전부, 내진보강대책 추진결과 공개." www.mois.go.kr
- 4. 안희(2011). "내진설계 안된 학교 55%, 대형피해 우려." 연합뉴스, https://www.yna.co.kr/view/AKR20110314035400001
- 5. 고훈범(2002). "연속섬유 거푸집으로 보강된 압축부재의 역학적 특성에 관한 연구." 한국건축시공학회지. 제 2권, 4호. pp. 99-104.
- 6. 권혁진, 양근혁, 심재일(2018). "기둥의 단면 확대보강을 위한 V-타이 보조 띠 철근의 형상 제시." 한국건축시공학회지. 제 18권, 2호. pp. 99-107.
- 7. 강석봉, 곽종만, 신동우, 손기영(2014). "변성에폭시 모르터로 내진보강한 5층 철근콘크리트 보통모멘트골조의 경제성 분석." 한국건축시공학회지. 제 14권, 3호. pp. 207-215.
- 8. 박홍근, 김철구(2018). "[발언과 논평]포항지진에 의한 건축물의 피해 및 교훈." 건축. 제 62권, 12호. pp. 64-67.
- 9. 이강석, 김형준(2012). "학교시설물 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인." 한국교육시설학회지. 제 19권, 2호. pp. 22-25.
- 10. 최재성(2014). "지진피해 경감을 위한 건축비구조요소의 성능기반 내진설계." 설비저널. 제 43권. pp 68-83.
- 11. 김선웅(2019). "건축물 내진보강공법 적용 실태 및 개선방안 제시." 한국강구 조학회지. pp. 7-10.
- 12. 기상청(2000~2020). "www.kma.go.kr"
- 13. 오상훈, 박해용, 최경구(2018). "비구조요소 지진피해 현황 및 특성." 소음· 진동. 제 28권, 3호. pp. 12-19.
- 14. 국민안전처(2016), "2단계(2016~2020) 기존 공공시설물 내진보강 기본계획"

p.359

- 15. 신재철, 박선형, 박수정, 전제상(2009). "학교시설 진단도구 개발" 한국교육행 정학회 논문집, 제 27권, 4호. pp. 303~325.
- 16. 이수길(2017). "교육시설물 보수공사의 하자 및 하자보수보증금 현황분석"고 려대학교, 석사학위논문.
- 17. 주창길, 한주연, 박태원(2014). "끼움벽과 단주효과를 고려한 학교건축물의 내 진성능평가." 한국교육시설학회논문집. 제 21권, 2호. pp. 33-39.
- 18. 한국교육개발원(2014). "교육시설 안전관리 전문기관 설립·운영방안." p. 122.
- 19. 국민안전처(2017). "9.12지진 백서." p. 408.
- 20. 소방방재청(2009). "기존시설물 내진보강 기본계획." p. 734.
- 21. 조도빈(2019). "학교시설 내진보강 우선순위 결정 모델"경기대학교. 석사학 위논문.
- 22. 교육부(2019). "학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼" p. 383.
- 23. 이성열(2009), "국내 학교건물의 내진성능평가 및 내진보강 위치선정 국내 및 일본규준을 중심으로-" 창원대학교. 석사학위논문.
- 24. 최인학, 김영호, 방중석(2009). "국내 지진재해 대책법에 따른 학교시설물 내 진보강방안" 한국강구조학회지. 제 21권, 3호. pp. 45-49.
- 25. 송우영, 안재혁, 박천석(2011). "기존 저층 대학건묵의 내진보강을 위한 내진 보강기법 비교연구"대한건축학회 논문집, 제 13권, 2호. pp 175-182.
- 26. 송성휘(2020). "탄소섬유 시트로 보강된 RC기둥의 내진성능에 관한 해석적 연구" 한양대학교, 석사학위논문.
- 27. 윤길호, 김성호, 김용철, 윤현도(2012). "현장타설 끼움 전단벽 및 철골가새를 활용한 기존 학교 건물의 내진보강." 한국교육시설학회논문집. 제 19권, 4호. 21-28.
- 28. 이화정, 변대근, 윤성기(2020). "A Study on Brace-height for Seismic Retrofit of School Building." 한국구조물진단유지관리공학회 논문집. 제 24 권, 4호. pp. 10-17.
- 29. 이동훈, 강대언, 이명규(2012). "FEMA273 기반 댐퍼장치를 이용한 기존 건축

- 물의 내진보강 사례소개." 한국강구조학회지. 제 24권, 5호. pp. 78-86.
- 30. 한국교육개발원(2011). "학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인 개발" p. 183.
- 31. 한국교육개발원(2015). "학교안전강화를 위한 내진성능통합 평가 모형 개발" p. 448.
- 32. Federal Emergency Management Agency(FEMA)(2006). "Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings(FEMA-547)." p. 571.
- 33. Federal Emergency Management Agency(FEMA)(2012). "Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage(FEMA E-74)." p. 885.
- 34. Andrew Charleson(2008). Seismic Design for Architests: Outwitting the Quake. 1st ed. UK(London);Rutledge. p. 281.
- 35. Ministy of Education, Culture, Sports, Science and Technology(2015). "Guidebook for Earthquake Protection for Nonstructural Members of School Facilities–Revised Edition." p. 86.
- 36. 한상환(2011). "우리나라 내진설계 현황 및 문제점"건축. 제 55권, 5호. pp. 22-26.
- 37. 류승현, 윤현도, 김선우, 이강석, 김용철(2011). "국내 기존 학교건축물의 내진 보강 후 비선형 거동특성." 구조물진단학회지. 제 15권, 1호. pp. 243-253.
- 38. 김혜진(2013). "모듈러 프레임의 횡하중 전달을 위한 연결 바닥 다이어프램의 구조거동 특성" 서울대학교. 석사학위논문.
- 39. 전수찬, 이철호, 배창준, 김성용(2020). "비구조요소의 내진설계를 위한 등가 정적 층가속도 평가." 대학건축학회 논문집-구조계. 제 36권, 3호. pp. 121-128.
- 40. 나영주, 하선근, 손승현, 손기영, 이주형(2019). "국내외 교육시설물 내진보강 공법에 대한 가이드라인 비교 분석 연구." 한국건축시공학회지. 제 19권, 2호. pp. 157-165.

Abstract

A Study on the Seismic Retrofit Guidelines for Educational Facilities in South Korea

Focused on the Guidelines in Domestic and
 Overseas -

Lee, Joohyeong

Graduate School of Architecture Engineering

Ulsan University

(Advised by Professor Son, Kiyoung)

South Korea has long been without major earthquakes. the Gyeong-ju earthquake (5.4 magnitude) and Po-hang earthquake (5.8 magnitude) occurred, and the earthquakes caused damage to buildings with non-seismic design. Accordingly, people's interest in earthquake risk and earthquake resistance increased. In particular, in the case of the Po-hang Earthquake, educational facilities used by students suffered the most damage. The reason for this is that the seismic resistance rate of educational facilities is 36.7%, which is low when compared to the seismic resistance rate of all public facilities of 62.3%. This means that educational facilities are not equipped with seismic performance. If an additional earthquake occurs, the safety of students and faculty in the educational facilities is threatened. Therefore, the purpose of this study is to suggest an improvement by comparison analysis existing seismic retrofit guidelines.

To achieve the objective, first, previous studies on seismic retrofit are investigated. Second, Second, the status of seismic retrofit of educational facilities in Korea is investigated. Third, domestic and overseas seismic retrofit guidelines were selected. Seismic retrofit guidelines are selected as

follows. In Korea, 'Development of Guideline for Seismic Performance Evaluation and Seismic Retrofit', 'Development of an Integrated Seismic Performance Evaluation Model for School Safety Enhancement', 'Manual for Seismic Performance Evaluation and Retrofit of School Facilities'. In the United States, 'FEMA-547', 'FEMA E-74'. In Japan, 'Guidebook for Earthquake Protection for Nonstructural Members of School Facilities Revised Edition.' Fourth, the domestic and oversears seismic retrofit guidelines were compared and analyzed for structural and non-structural elements. Finally, the results of a comparative analysis of domestic and international seismic retrofit guidelines suggested improvement measures for the seismic retrofit guidelines of domestic educational facilities.

As a results, the improvement of the seismic retrofit guidelines of domestic educational facilities was presented. 1) segmentation of seismic reinforcement strategies for structural elements, 2) additional case studies and analysis on the classification system for non-structural elements, 3) Development of a risk assessment checklist for non-structural elements for personnel/expert.

In the future, the results of this study are expected to help strengthen earthquake-resistant facilities that are aging in domestic or lack seismic performance. In addition, results of this study are expected to deliver meaningful information to the nation's educational facilities seismic retrofit projects and government policies.

감사의 글

울산대학교에서 2.5년이라는 학석사과정을 마친 후 사회에 진출하게 되었습니다. 한 번의 휴식 기간 없이 학부 과정부터 석사과정까지 쉴 틈 없이 달려오면서스스로 성장하고 있다는 느낌이 들었지만, 막상 졸업이란 문턱에서 뒤를 돌아보니 부족함만 보이는 것 같습니다. 그럼에도 불구하고 '부족함'이 있기에 겸손한자세를 가지고 앞으로 나아갈 수 있단 생각을 합니다. 학사와 석사의 학업을 동시에 수행해야 하는 과정인 만큼 걸어온 길이 결코 평탄하지만은 않았습니다. 여러 장애물에 부딪히며 상처와 스트레스도 많이 받았습니다. 하지만, 저만의 목표와 꿈 그리고 열정이 있었으며, 무엇보다도 옆에서 응원해주시는 분들이 계셨기때문에 학석사과정을 완주할 수 있었다고 생각합니다. 사회에서도 저를 도와주신분들이 당당하게 얘기할 수 있는 사람이 되도록 노력하겠습니다. 본 장을 빌려못난 저를 묵묵히 응원해주셨던 모든 분들에게 감사의 마음을 전달하고자 합니다.

학석사과정을 시작했던 초기에 학부 과제와 논문작성으로 고생하던 저의 모습을 보시고 인생의 조언과 논문 작성에 대한 지식을 주셨던 손기영 교수님께 감사의 뜻을 표합니다. 교수님 덕분에 한 분야가 아닌 '건설관리'란 광범위한 지식을 얻을 수 있었습니다. 교수님의 지원과 지도를 통해, 연구의 접근 방법과 필요성에 대해서 알 수 있었습니다. 또한, 학업 이외의 학술발표대회, 차세대 건설 리더 아카데미에 참여할 기회를 주셔서, 울산대학교뿐만 아니라 여러 대학교의 비슷한 나이대 학생들과 커뮤니티를 형성할 수 있었습니다. 교수님의 제자로서, 부끄럽지 않은 사람으로 거듭나겠습니다. 그리고, 또 다른 지도교수님이셨던 U1 대학교 나영주 교수님. 교수님과 함께했던 내진보강, PC 공법 CO2 배출량 분석, 아파트 하자위험평가 연구를 통해 건설전공의 지식을 얻을 수 있었습니다. 또한, 바쁘신 와중에 논문 심사와 조언을 주신 김기한 교수님, 한밭대학교 이동훈 교수님 감사드립니다. 마지막으로 내진이라는 낯선 연구 분야에서 방향성에 대해 아낌없는 조언을 주시고 확신을 갖게 해주신 김철구 교수님 감사드립니다.

울산대학교 건설관리 연구실에서 함께 연구했던 동기, 선배들에게도 감사드립니다. 특히, 대학원 동기였던 준석이형, 상섭이 둘이 있어서 고된 학·석사를 나름 즐겁게 보냈습니다. 잊지 못할 추억이었고 이제 건설현장에서 다 같이 만납시다. 그리고 경희대학교 손승현 박사님, 박사님에게 배운 연구 방법이 논문을 작성할 때 많은 도움이 되었습니다. 특히, 바쁘신 와중에도 논문 검토나 질문에도

응해주셔서 감사합니다. 덕분에 무사히 대학원 생활을 마친 것 같습니다. 그리고 같은 분야는 아니었지만 대학원 생활을 같이 보냈던, 진주현, 이제광, 최한성, 아 미나. 같이 연구를 하면서 서로의 고충도 털어내고 고민을 나눴던 시간이 정신력 을 고쳐잡는데 많은 기여를 했습니다.

학부 시절, 같은 학년을 같이 했던 14학번 동기들과 13학번 형들, 15학번, 16학번 친구·동생들, 같이 대학 생활해서 재미있었습니다. 마지막 인사를 하고 싶었는데 코로나로 졸업식도 없이 얼굴도 못 보고 헤어져서 많이 아쉽습니다. 동문회에서 또 얼굴 볼 수 있었으면 좋겠습니다. 그리고 같은 과는 아니지만 도움 많이 줬던 14학번 건축학과 친구들, 매번 찾아가서 CAD, BIM 가르쳐 달라고 하고 재료 빌려 달라고 했지만 항상 싫은 소리 없이 부탁 들어줘서 고마웠습니다. 짧은 기간이지만 같이 자료실을 했던 교내 근로장학생분들도 감사했습니다. 같은 학교는 아니지만 두달 간 재밌었던 고추바사삭 조원들 함께해서 즐거웠고 석사 응원해줘서 고맙습니다.

고등학교 친구들인 재서, 현성, 민우, 인수, 영민, 우도, 동수, 승우, 정명, 태호, 종완, 희준, 재훈, 현재, 민기, 호강. 대학교 생활하면서 매일 바쁘다는 핑계로 연락도 자주 못 하고 얼굴도 자주 못 가서 미안하다. 그래도 건축이란 분야를 이해해주고 항상 응원해줘서 고맙다. 말은 못 했었지만 많은 힘이 되었다.

마지막으로 우리 가족들 아빠, 엄마, 형. 학석사라는 선택에 의심 없이 변함없는 마음으로 믿어주셔서 감사합니다. 집에 짐이 되지 않기 위해, 열심히 노력했는데 노력이 전해졌는지 모르겠습니다. 그리고 항상 전화할 때, 필요한 거 없냐고 물어봐 주는 형, 고마웠습니다. 앞으로 우리 가족들이 베풀어주신 믿음에 보답할 수 있도록 최선을 다하겠습니다.

이 이외에도 제가 미처 언급하지 못한 분들이 많이 있습니다. 모두의 이름을 새기지 못한 부분에 대해서는 죄송스럽게 생각합니다. 그러나, 혹시라도 본인의 이름을 언급하지 않을까 생각하셨던 분들이 제가 감사를 전해야하는 분들입니다. 언급하지 못했던 분들에게도 다음과 같은 말을 전해드리면서 글을 마치겠습니다. "항상 믿고 응원해주셔서 진심으로 감사합니다"

2021년 2월

울산대학교 건설관리연구실에서

이주형