LHI Journal of Land, Housing, and Urban Affairs
pISSN: 2093-8829, eISSN: 2234-1765
LHI Journal 2022;13(3):83-91 | http://doi.org/10.5804/LHIJ.2022.13.3.83

코어의 유형에 따른 필로티형 건축물의 내진보강방안*

Seismic Retrofit Method for Piloti Buildings According to Type of Core

김민준**
Minjun Kim**

Abstract
After the earthquake in South Korea (Gyeongju and Pohang), interest in securing the seismic performance of piloti buildings was increasing. In this paper, a study was conducted to propose a seismic retrofit method for piloti building of LH. The proposed seismic retrofit method considers the priority of seismic retrofit and the type of core. To verify the effectiveness of the proposed seismic retrofit method, computational analysis was performed according to the type of core. As a result, it was confirmed that the seismic performance was improved when the proposed seismic retrofit method was used.

Keywords : Piloti Building, Seismic Retrofit, Fiber Sheet Retrofit, Eccentricity, Type of Core

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

2016년 9월 국내 지진 관측 사상 최대 규모의 경주지진(규모 5.8)과 연이어 2017년 11월에 발생한 포항지진(규모 5.5)은 국민들에게 건축물의 안전에 대한 중요성을 일깨워 주었다.

경주·포항지진의 발생에 따라 일부 건축물에서 구조적 및 비구조적 피해가 발생하였으며, 특히 필로티형 건축물 중 주차장으로 사용중인 필로티층에 구조적인 피해가 크게 발생하였다.

필로티형 건축물은 필로티층과 상부층의 수직부재량의 차이로 인하여 수직비정형성이 발생하고, 계단실(코어)의 위치 및 필로티층의 수직부재 위치에 따라 평면비정형이 발생하여 지진하중 등 횡 하중에 구조적으로 취약하다.

따라서 필로티형 건축물의 내진성능을 확보하기 위하여 "필로티 건축물 구조설계 가이드라인"(국토교통부, 2018)등을 기초로 내진설계를 수행하고 있으나, 건설년도 및 건축물 규모에 따라 내진성능이 부족할 수 있다.

LH는 전국에 걸쳐 필로티형 건축물을 매입하여 임대주택으로 활용중이며, 경주·포항지진의 발생에 따라 필로티형 매입임대주택의 지진피해조사를 실시하고, 피해범위에 따른 보강 및 연구를 수행하였다(김상연, 2019; 김상연, 2020).

기존 LH연구는 지진이 발생한 경주·포항지역에만 국한된 연구로써, LH가 보유한 모든 필로티형 건

*이 논문은 2022년 LH 토지주택연구원 연구과제 "필로티형 매입임대주택의 유형별 내진보강방안" 보고서를 수정·보완하여 작성하였음.
**LH 토지주택연구원 공공주택연구실 책임연구원(minjunk@lh.or.kr)
Received: July 8, 2022 / Revised: September 26, 2022 / Accepted: September 26, 2022

축물의 효율적인 내진성능확보를 위해서는 전국단위로 연구를 확장할 필요성이 있다.

이에 이 연구에서는 전국단위의 필로티형 건축물의 내진성능을 효율적으로 확보하기 위하여 필로티 코어의 유형별로 내진보강방안을 제시하고 이를 검증하였다.

1.2 연구범위 및 내용

주된 연구대상은 LH에서 관리중인 전국단위의 필로티형 매입임대주택이며, 코어의 유형에 따라 내진보강방안을 제안하기 위하여 다음과 같은 연구를 수행하였다.

1. 필로티형 건축물의 내진보강우선순위 제안
2. 필로티형 건축물의 내진보강방안 제안
3. 제안된 내진보강방안의 유효성 검증

2. 필로티형 건축물의 내진특성

2.1 필로티형 건축물의 내진거동

필로티형 건축물은 기둥과 코어(계단실)로 구성된 주차장을 1층(이하 필로티층)에 배치하고 2층 이상 상부에 벽식구조로 주거 및 상업용 시설을 구성하는 형식이 일반적이다. 따라서 필로티형 건축물은 필로티층과 상부층의 강성 및 중량차이에 기인하여 외력, 특히 수평하중에 취약한 구조이다. 특히 Fig. 1과 같이 경주·포항 지진이후 필로티층의 기둥 및 코어벽체가 파괴된 것을 확인 할 수 있다.

필로티형 건축물의 기둥 및 벽체의 파괴형식은 연성적인 휨 파괴와 취성적인 전단 파괴로 나뉠 수 있으며, 특히 필로티층의 코어에서 가장 먼쪽의 모서리 기둥은 Fig. 2와 같이 비틀림하중이 크게 발생하여 비틀림 파괴가 발생 할 수 있다.

이에 2018년 국토교통부에서는 '필로티 건축물 구조설계 가이드라인'(국토교통부, 2018)을 통하여 필로티형 건축물의 내진설계법과 내진보강을 수행토록 하고 있다.

2.2 필로티형 건축물의 내진보강방법

내진성능이 확보되지 않았거나 노후화된 철근콘크리트구조(이하 RC) 구조형식의 필로티형 건축물은 지진 및 외력에 대한 안정성을 확보하기 위하여 내진보강을 수행하여야 한다.

현재 국내·외에서 널리 사용되는 건축물의 내진보강방법은 Table 1에 나타낸 바와 같이 내력(전단력)을 증가시키는 강성보강방법과 지진 및 외력의 에너지를 충분히 흡수할 수 있는 연성 보강방법이 사용되고 있다.

이외에도 특수목적으로 면진 및 제진보강방법이 사용 되고 있으나, 일반적인 소규모 건축물에는 강성보강법이나 연성보강법이 적절하다.

Fig. 1. Failure of Column in Piloti Building
Source: Kim, M.J. (2022) (in Korean)

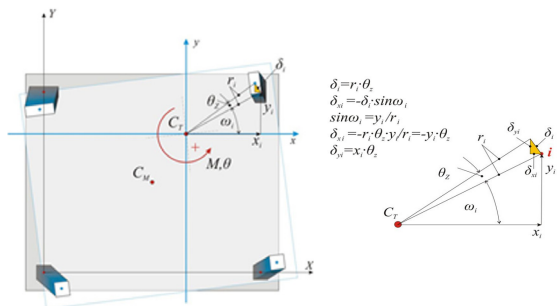


Fig. 2. Torsion in Piloti Building
Source: Kim, M.J. (2022) (in Korean)

Table 1. Characteristics of Seismic Retrofit Method

Characteristics		Strength (Rigid) Retrofit	Ductility Retrofit
Structural	Advantage	- Improve strength	- Improve strength and ductility - Improve durability - Unnecessary of foundation retrofit
	Disadvantage	- Necessary of foundation retrofit - Durability requirements	- Fiber sheet peeling - Requirements for fire resistance - Slight increase in strength compared to ductility
Economic	Advantage	- Lower material cost compared to fiber sheet	- Easy to install and shorten construction period - Parking lot of the building can be used during the construction period - Unnecessary of foundation retrofit
	Disadvantage	- Overall construction costs increase with foundation retrofit - Increased construction period - Parking lot of the building cannot be used during the construction period	- Construction costs increase compared to strength (rigid) retrofit
Usability	Advantage	- None	- No parking lot interference and visibility - Low dust and noise during construction
	Disadvantage	- Parking lot and visibility interference - Lot of dust and noise during construction	- Odor problems caused by the use of adhesive bonds

Source: Kim, M. J. (2022) (in Korean)

2.2.1 강성보강방법

강성보강방법은 구조체의 내력(전단력)을 증가시키는 방법으로 전단벽 신설, 날개벽 신설, 기둥단면의 증설 등을 보강하는 행위이다. 강성보강방법은 소수의 위치에 보강하여도 구조체의 내력 증진에 효과적이다.

그러나 기존 연구결과, 강성보강방법을 필로티형 건축물에 적용할 경우에는 공사기간이 길고, 주차장 공간이 훼손되어 입주민의 불편을 초래할 가능성이 있다(김상연, 2019; 김상연, 2020). 또한 강성보강을 위한 기초보강이 필요할 가능성이 있어, 시공성과 경제성이 저하될 우려가 있다.

2.2.2 연성보강방법

연성보강방법은 구조체의 변위를 증가시켜 연성적인 거동을 유도하는 방법으로, 섬유시트, 강판, 철근 등의 다양한 재료를 가지고 부재의 외피를 감싸는 공법이 널리 사용되고 있다. 연성보강방법은 강성보강방법에 비하여 공사기간이 빠르고, 기초보강이 불필요한 장점을 가지고 있다.

그러나 연성보강방법은 강성보강방법에 비하여 보강이 필요한 부재가 증가할 우려가 있으나, 필로티층의 수직부재에만 보강하여도 보강효과가 극대화 될 수 있으므로, 경제성 및 시공성 측면에서 유리하다. 또한 수직부재 신설이 요구되지 않음으로 입

주민의 시야확보와 주차장 간섭 문제로부터 자유롭다.

3. 필로티형 건축물의 내진보강방안

3.1 내진보강우선순위 선정

서론 및 Fig. 3과 같이 필로티형 건축물은 국내건축물 내진설계 규정에 따라 내진성능이 미흡할 가능성이 있어, 건설년도 및 규모에 따라 내진보강을 우선적으로 수행해야 할 건축물을 구분할 필요가 있다.

이에 이 연구에서는 국토안전관리원(2021)의 '기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령'과 국내내진설계 규정에 준하여 필로티형 건축물의 내진보강우선순위를 다음과 같이 제안하였다.

1. 인구밀도가 높은 지역에 위치한 2005년 7월 이전에 건설된 5층 이하의 필로티형 건축물
2. 건축물의 위치에 관계없이 1번을 만족하는 전국단위의 필로티형 건축물
3. 1 및 2를 제외한 필로티형 건축물

3.2 내진설계 목표

Fig. 4 및 Fig. 5는 LH가 관리중인 필로티형 건축물의 층수 및 연면적을 지역본부별로 분류한 것으로, 필로티형 건축물은 대부분 5층이하의 중저층, 연면적 1000m^{2}의 소규모이다. 이에 이 연구에서는 필로티형 건축물의 내진보강목표를 내진 2등급으로 설

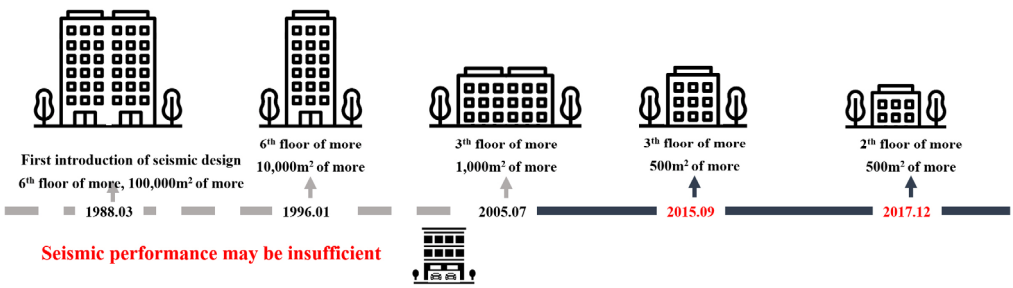


Fig. 3. Change of Seismic Design in South Korea

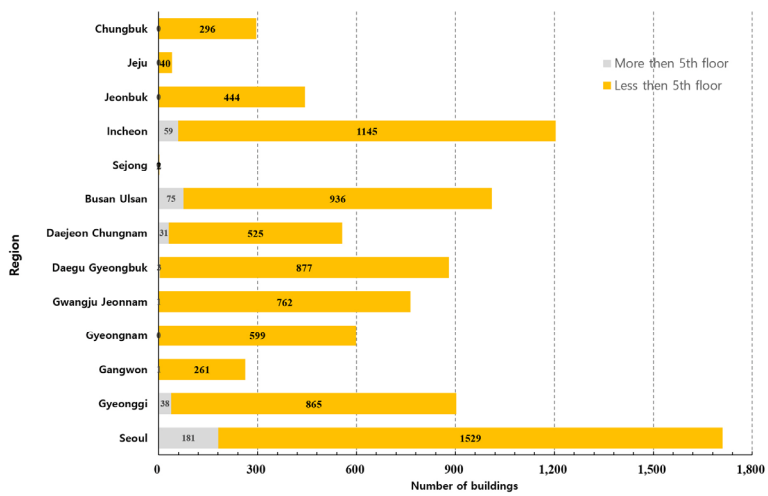


Fig. 4. Number of Floors in the Piloti Building

Source: Kim, M. J. (2022) (in Korean)

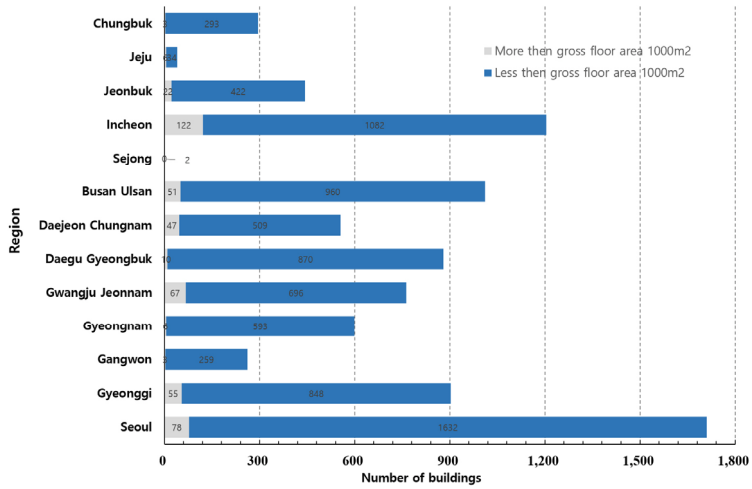


Fig. 5. Gross Floor Area of Piloti Building

Source: Kim, M. J. (2022) (in Korean)

정하였다.

내진 2등급은 국내내진설계기준에 따라 2400년 주기의 지진에 대한 붕괴방지와 1000년 주기의 지진에 대한 인명안전을 담보하는 수준이다.

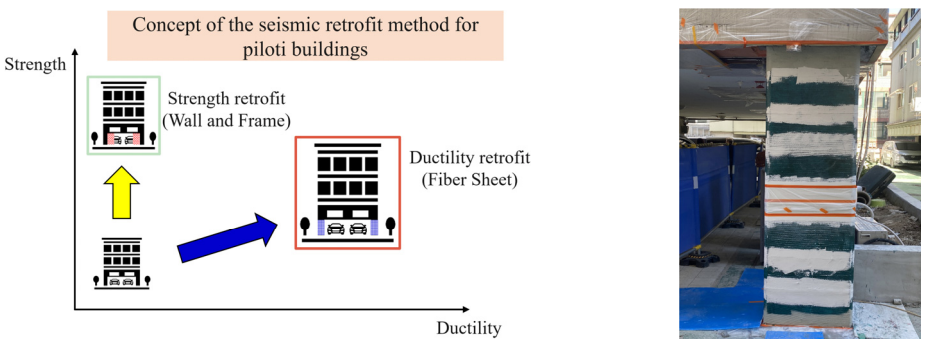
3.3 내진보강공법

필로티형 건축물은 다가구의 공동주택으로 사용중이므로, 필로티층의 협소한 주차공간을 최대한 확보하고, 공사기간을 단축시켜 생활민원을 최소화 할 수 있는 내진보강공법을 채택하여야 한다.

이에, 이 연구에서는 Fig. 6 (a) 및 (b)와 같이 필로티형 건축물에 거주하는 입주민의 생활민원을 최소화 하면서 내진성능을 확보할 수 있도록 섬유시트를 적용한 연성내진보강방안(이하 내진보강방안)을 도출하였다.

3.4 코어 유형별 분류

본문 2절에 기술한 바와 같이 필로티형 건축물은

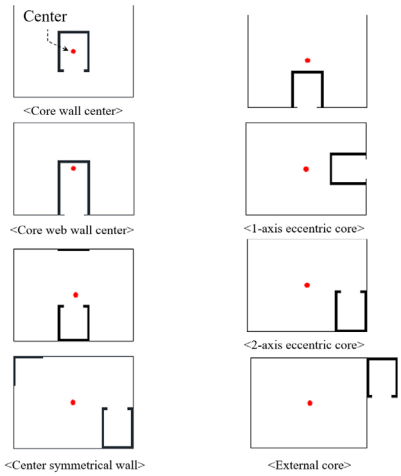


(a) Concept of Retrofit Method of Piloti Building

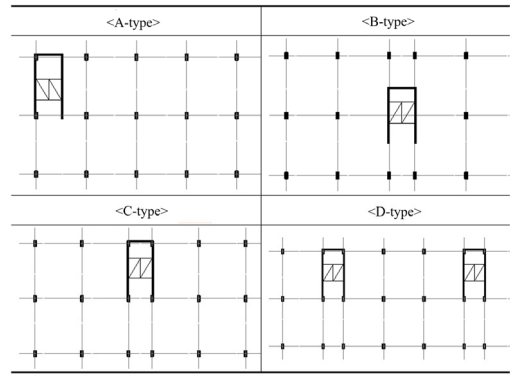
(b) Retrofit Method of Fiber Sheet

Fig. 6. Retrofit Method of Piloti Building

Source: Kim, M. J. (2022) (in Korean)



(a) Classification by Type of Core in Ministry of Land, Infrastructure and Transport



(b) Classification by Type of Core in LH

Fig. 7. Classification by Type of Core in Piloti Building

Source: Kim, M. J. (2022) (in Korean)

지진 발생 시 코어의 위치에 따라 편심율이 상이 하므로, 필로티형 건축물의 내진보강방안은 코어(계단실)의 유형을 고려해야한다.

이에, 이 연구에서는 국토교통부 가이드라인(2018)을 참고하여 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 필로티형 건축물의 코어의 위치를 유형별로 4가지로 분류하였다.

A: 코어가 전면 좌우측과 후면 좌우측에 위치

B: 코어가 정 중앙부에 위치

C: 코어가 전후면 중간부 위치

D: 코어가 2개

3.5 내진보강방안

기존 LH에 연구에 따르면 수직 및 수평 비정형성을 가진 필로티형 건축물의 내진 성능은 수직부재량(벽량비)과 코어의 위치에 따른 편심률에 따라 상이하다고 보고하였다.

이 연구에서는 기존 LH연구결과를 이용하여 필로티형 건축물의 벽량비 0.28%(건축물 도면상 X, Y 방향)와 편심률 15%를 기준으로 Table 2와 같이 필로티형 건축물 코어의 유형에 따른 내진보강방안을 제시하였다.

제시된 내진보강방안은 필로티형 건축물의 내진설계유무, 허용층간변형각 등을 고려하여 안전측으로 내진보강을 수행하도록 구성하였다.

4. 내진보강방안 검증

4.1 검증대상

제시된 내진보강방안의 유효성을 검증하기 위하여 Fig. 8과 같이 필로티형 건축물의 코어의 유형별로 각 1동씩 전산해석을 수행하였다. 검증대상 건축물의 규모는 지상 5층이며, 연면적은 600m^2 미만이다. 또한 검증대상 건축물은 2005년 이전 건설된 건축물로, 내진설계가 미적용되었다.

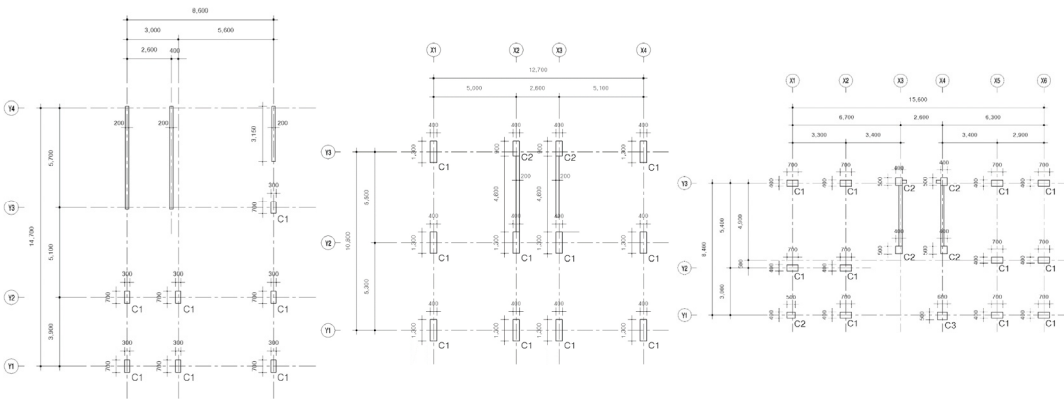
4.2 내진보강위치 선정

검증대상 건축물의 내진보강위치는 Table 2의 내진보강방안을 이용하여 Fig. 9와 같이 선정하였다. 그 결과, 모든 필로티층의 기둥을 보강하는 보강안

Table 2. Seismic Retrofit Method by Type of Core in Piloti Building

Legend	Retrofit Method
A Minimum columns retrofit	- Seismic design was carried out according to seismic design standards, If both the X, Y-axes have an eccentric ratio from the core less than 15%, Only 4 outermost corner columns are retrofit
B Eccentric edge columns retrofit	- Seismic design was carried out according to seismic design standards, If the large value of the eccentric ratio in the core of the X, Y-axis is more than 15% and less than 30%, Retrofitting the edge columns of the X,Y-axis where eccentricity occurs significantly
C Eccentric side columns retrofit	- Seismic design was carried out according to seismic design standards, If the large value of the eccentric ratio from the core of the X, Y-axes is more than 30%, Retrofitting the side columns of the X,Y-axis where eccentricity occurs significantly
D All columns retrofit	- If the large value of the eccentric ratio from the core of the X, Y-axes is less than 30%, Seismic design was not carried out according to seismic design standards, If the rebar is not arrangement as drawing, All columns retrofit - Seismic design was not carried out according to seismic design standards, If the large value of the eccentric ratio from the core of the X, Y-axes is more than 30%, If the wall ratio is more than 0.28%, All columns retrofit
E Precision inspection	- If a structural defect is found during the site inspection, If a structural defect is found during the site inspection, Ask the structural engineer for a precision inspection - If there is no wall in either direction of the X or Y-axes, If the story drift angle is not satisfied, Ask the structural engineer for a precision inspection (Story drift angle: No seismic design - 0.021, Seismic design - 0.03) - If the large value of the eccentric ratio from the core of the X, Y-axes is more than 30%, If the wall ratio is less than 0.28%, Ask the structural engineer for a precision inspection

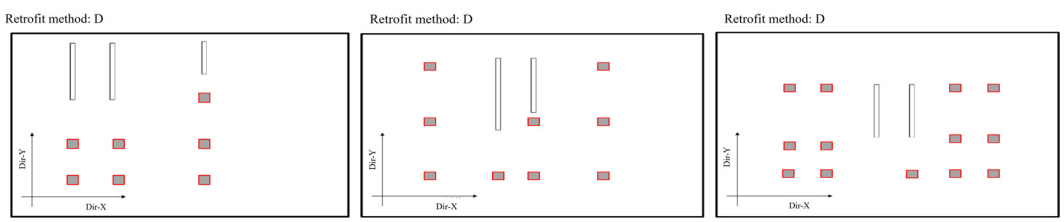
Source: Kim, M. J. (2022) (in Korean)



(a) A-type (b) B-type (c) C-type

Fig. 8. Piloti Building for Verification

Source: Kim, M. J. (2022) (in Korean)



(a) A-type (b) B-type (c) C-type

Fig. 9. Result of Seismic Retrofit Method

Source: Kim, M. J. (2022) (in Korean)

D로 선정되었다. 이는 검증대상 건축물이 내진설계가 이루어지지 않은 2005년 이전 건설된 건축물이고, 벽량비가 0.28%이상인 것으로부터 도출된 결과이다.

4.3 전산해석 모델

전산해석은 범용비선형해석 프로그램을 사용하였으며, 비선형해석 모델링은 '기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령'(국토안전원, 2021)을 따랐다. 모델링은 필로티층을 제외한 모든부분을 탄성으로 하였으며, 적용하중은 국내 내진설계기준(국토교통부, 2019)을 따랐다.

해석 시, 콘크리트는 미국콘크리트학회(ACI 440.2R-17, 2017)의 횡구속된 콘크리트의 물성치를 입력하였고, 철근은압축 좌굴거동을 고려하여 미국토목학회(ASCE/SEI 41-06, 2007)의 지침을 참고하였다.

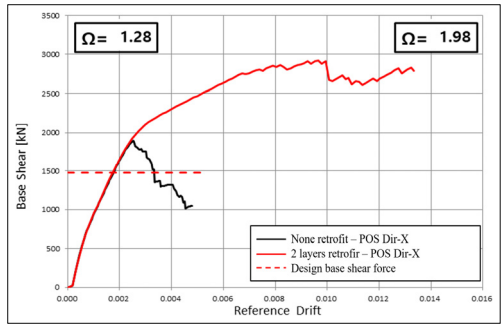
4.4 전산해석 결과

Fig. 10에 나타낸 전산해석의 결과에서와 같이 검증대상 건축물은 내진보강 전에 비하여 내진 보강 후의 검증대상 건축물은 내진보강 전에 비하여 내진보강 후의 최대하중 및 변위가 증가한 것으로 나타났다.

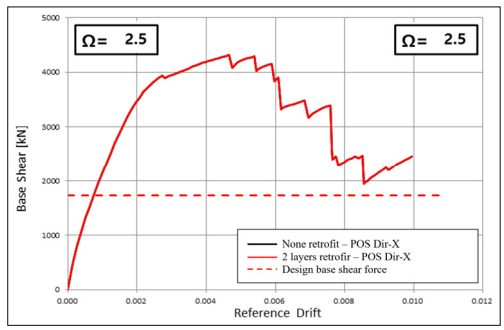
특히 건축물의 형상에 따라 벽체가 없는 방향의 경우에도 최대하중 및 변위가 증가하여 성능점이 형성된 것으로 나타났다.

5. 결 론

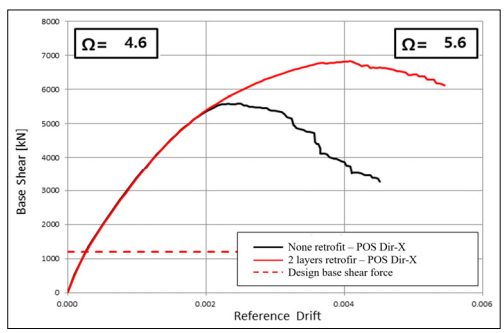
이 연구에서는 LH의 필로티형 건축물의 코어의 유형에 따른 내진보강방안을 도출하기 위하여 내진보강우선순위, 내진보강방안 도출, 제안된 내진보강방안의 유효성 검증(내진성능평가) 등에 대한 연구를 수행하여 다음의 결과를 얻었다.



(a) A-type



(b) B-type



(c) C-type

Fig. 10. Analysis Results

Source: Kim, M. J. (2022) (in Korean)

1. 국내 내진설계규정 및 재료강도를 고려할 때, 필로티형 건축물의 내진보강우선대상은 2005년 7월 이전 건설된 5층이하 규모이다.
2. 필로티형 건축물의 코어의 위치에 따라 4개의 유형으로 분류하고, 필로티형 건축물의 벽량비 및 편심률에 따라 내진보강안을 A~E까지 5가지로 제시하였다.

3. 이 연구에서 제시한 내진보강방안을 검증하기 위하여 필로티형 건축물의 코어 유형별로 3동을 선정하여 전산해석을 수행하였다. 그 결과 제시한 내진보강방안을 통하여 내진보강할 경우, 보강전에 비하여 보강후의 최대하중 및 변위가 증가하여 내진성능을 만족하는 것으로 나타났다.

향후 필로티형 건축물의 벽량비, 편심율을 기초로 수직·수평 비정형성을 함께 고려한 내진보강방안에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 국토교통부(2018), 「필로티 건축물 구조설계 가이드라인」, 세종.
2. 국토교통부(2019), 「국가건설기준 내진설계기준(KDS 17 10 00)」, 세종.
3. 국토안전관리원(2021), 「기존 시설물(건축물) 내진성능 평가 및 향상 요령(개정)」, 진주.
4. 김민준(2022), 「필로티형 매입임대주택의 유형별 내진보강방안」, 대전: 토지주택연구원.
5. 김상연(2019), 「필로티형 다가구주택의 내진안전성 확보를 위한 구조보강방안 연구」, 대전: 토지주택연구원.
6. 김상연(2020), 「내진안정성 확보를 위한 필로티형 다가구주택의 구조 연성보강방안 연구」, 대전: 토지주택연구원.
7. American Concrete Institute (2017), “Design and Construction Externally Bond FRP Systems (ACI 440.2R-17)”.
8. American Society of Civil Engineers (2007), “Seismic Rehabilitation of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-06)”.
9. Kim, M. J. (2022), “A study of Seismic Retrofit Method of pilot: Structure for the Purchased Rental Housing”, Daejeon: Land and Housing Institute (in Korean).

요 약

경주·포항 지진이후 국내 건축물의 내진성능에 대한 국민들의 관심이 고조되고 있으며, 특히 지진하중에 취약한 필로티형 건축물의 내진성능확보에 대한 시의성이 높아지고 있다. 이 연구에서는 LH가 보유한 필로티형 건축물의 유형별 내진보강방안을 제시하였다. 내진보강방안에는 내진보강우선순위, 코어의 위치에 따른 내진보강방안이 제시되어있다. 제시된 내진보강방안의 유효성을 검증하기 위하여 필로티형 건축물의 코어의 유형에 따라 전산해석을 수행하였으며, 그 결과 제시된 내진보강방안으로 내진보강을 수행 할 경우, 내진성능이 향상됨을 확인하였다.

주제어 : 필로티형 건축물, 내진보강, 섬유보강, 편심율, 코어유형