

## 편심코어를 가지는 저층 철근콘크리트 필로티 건물의 내진성능

김성용, 김경남, 윤태호\*  
창원대학교 건축공학과

### Seismic Performance of Low-rise Piloti RC Buildings with Eccentric Core

Sung-Yong Kim, Kyung-Nam Kim, Tae-Ho Yoon\*  
Department of Architectural Eng., Changwon National University

**요약** 본 논문에서는 편심코어를 가지는 저층 필로티 건물의 내진거동을 해석하고 결과를 분석하였다. 본 논문에서는 저층 필로티 건물의 시공사례 중 KBC2005기준에 준하여 설계된 편심코어를 가지는 건물들의 설계자료를 수집하여, 대표적인 편심 필로티 건물을 프로토타입으로 선정하여 KDS41기준에 준하여 내진거동을 해석하고 결과를 분석하였다. 연구결과 편심코어를 가지는 필로티 건물의 경우 X방향은 소성거동, Y방향은 탄성거동을 하는 것으로 평가 되었다. 연구대상 건물의 층간 변위를 확인한 결과 최대변위  $\delta=67.51\text{mm}$ 로 코어가 평면 중심에 위치하는 경우보다 층간 변위량이 더 큰 것으로 평가 되었다. 해석결과에서 층간 변위 비율은 법적 기준 이내인 것으로 평가되었다. 또한 변위 비율은 1층 필로티 구간이 2~4층 부분보다 확연히 높은 걸로 평가 되었으며, 저층 필로티 구조물의 경우 1층 라멘조 부분이 횡력에 취약한 것으로 평가되었다. 편심코어로 인하여 구조물 전체의 강성중심이 질량중심과 이격되어 있어 코어 반대쪽의 필로티 기둥에서 항복과 소성현저 발생이 시작되므로 내진설계와 내진보강시 이에 대한 고려가 필요하다. 따라서, 편심코어를 가지는 저층 필로티 건물의 내진설계 및 내진보강시 필로티 구조의 횡변위 감소와 횡력저항능력을 보강할 필요가 있다.

**Abstract** In this study, the seismic performance of low-rise piloti buildings with eccentric core (shear wall) positions was analyzed and reviewed. A prototype was selected among constructed low-rise piloti buildings with eccentric cores designed based on KBC2005. The seismic performance of the building showed plastic behavior in the X-direction and elastic behavior in the Y-direction. The inter-story drift is larger than that of a concentric core case and has the maximum allowed drift ratio. The displacement ratio of the first story is much larger than that of upper stories, and the frame structure in the first story is vulnerable to lateral force. Therefore, low-rise piloti buildings with eccentric cores need to have less lateral displacement, as well as reinforcement of the lateral resistance capacity in seismic design and seismic retrofit.

**Keywords** : Low-rise, Pilotis, Reinforced Concrete Building, Seismic Performance, Story Drift Ratio, Story Shear

이 논문은 2019~2020년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.

\*Corresponding Author : Tae-Ho Yoon(Chanwon National Univ.)

email: thyoon@cwnu.ac.kr

Received July 29, 2020

Revised August 20, 2020

Accepted October 5, 2020

Published October 31, 2020

## 1. 서론

2016년 규모 5.8의 경주지진과 2017년 규모 5.5의 포항지진 발생으로 사상자는 없었지만 크고 작은 경제적 손실이 있었으며, 우리나라 지진발생빈도의 증가와 함께 국민의 불안감이 증가하고 있는 실정이다. 특히, 포항지진 발생시 필로티구조의 다세대건물에서 기둥 파괴 등의 피해가 발생하여 내진안전성에 문제가 제기되고 있다.[1, 2, 3]

2000년대 주차장법 개정으로 1990년대 주로 설계 시 공되던 다세대건물이 사라지고 1층은 주차장, 2~4층은 주택으로 사용되는 다가구 주택이 많이 지어지는 추세이다. 저층 필로티 다가구 건물은 1층은 기둥 보 라멘조로 골조가 형성되지만 2층~4층은 벽식 구조로 골조가 형성되는 전이구조로, 지진 횡력에 취약한 형태이지만, 주차공간의 확보가 용이 하고 1층 통행에 유리하다는 장점으로 2000년대에 많이 건축되고 있는 주거 구조형식 중 하나이다.[4]

본 논문에서는 편심코어를 가지는 저층 필로티 건물의 내진거동을 해석하고 결과를 분석하여 저층 필로티 건물의 내진설계 및 내진보강의 기초자료를 제시하고자 한다.

## 2. 해석 모델

### 2.1 기본사항

본 논문에서는 저층 필로티 건물의 시공사례 중 KBC2005기준에 준하여 설계된 편심코어를 가지는 건물들의 설계자료를 수집하여, 대표적인 편심 필로티 건물을 프로토타입으로 선정하여 KDS41기준[5]에 준하여 내진거동을 해석하고 결과를 분석하였다. 일반적으로 저층 필로티 주거건물은 지상 4층에 연면적 400~500제곱미터의 규모를 가지며, 편심코어는 건물의 한쪽 외벽면의 중앙에 위치한다.

#### 2.1.1 KBC 2005 코드가 적용된 필로티 건물

##### (1) 건물의 개요

대지위치 : 경상남도 S시

규 모 : 지상 4층 (최고높이 12.8M)

연 면 적 : 455.92 m<sup>2</sup>

구조계획 : 중간모멘트골조 및 보통 전단벽구조

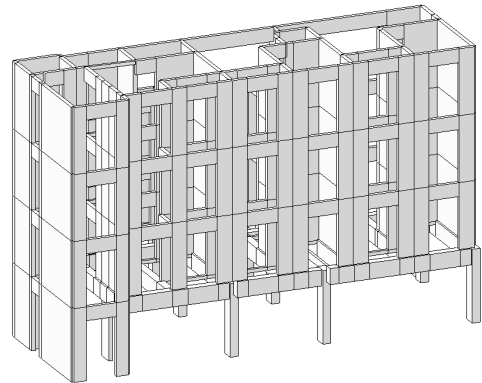


Fig. 1. 3D model of piloti building

##### (2) 구조재료의 규격 및 기준강도

1) 콘크리트 :  $F_{ck} = 24\text{MPa}$  (240kgf/cm<sup>2</sup>)

2) 철근 :  $F_y = 400\text{MPa}$  SD400 (4,000kgf/cm<sup>2</sup>)

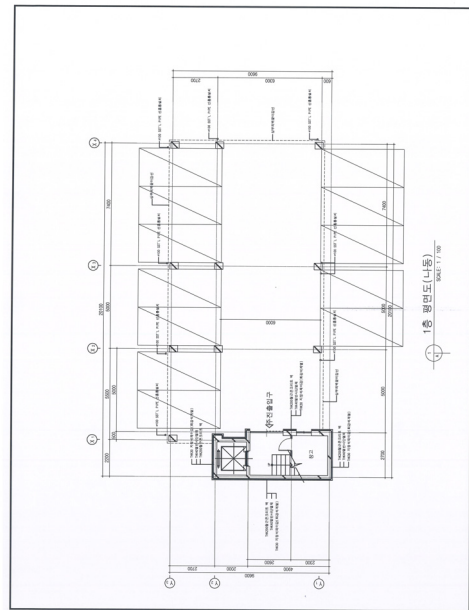


Fig. 2. 1<sup>st</sup> floor plan

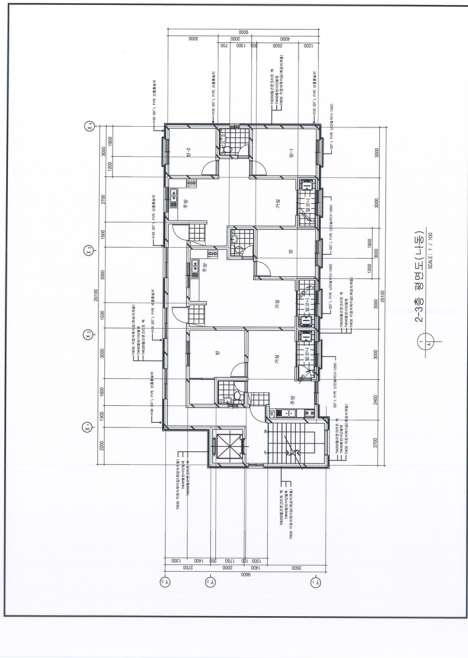


Fig. 3. 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> floor plan

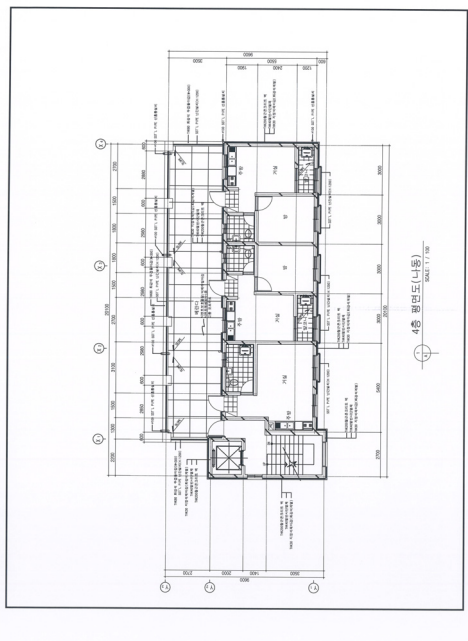


Fig. 4. 4<sup>th</sup> floor plan

Table 1. Properties of Column

member	short(B) (mm)	long(D) (mm)	reinforcements		
			main bar	stirrup(mm)	
C1	1 <sup>st</sup> fl.	400	500	HD19-12EA	HD10 @300(cent) HD10 @150(ends)

Table 2. Properties of Girders and Beams

member	(B)x (D) (mm)	loc.	reinforcements			
			end	stirrup	center	stirrup
G1	400x 700	upper	7-HD19	HD13 @125	7-HD19	HD13 @125
		lower	7-HD19		7-HD19	
G1A	300x 700	upper	3-HD19	HD10 @150	3-HD19	HD10 @150
		lower	3-HD19		3-HD19	
G2	400x 700	upper	8-HD19	HD13 @100	8-HD19	HD13 @100
		lower	8-HD19		8-HD19	
G3	400x 700	upper	8-HD19	HD13 @100	8-HD19	HD13 @100
		lower	7-HD19		7-HD19	
G4	700x 700	upper	10-HD19	3-HD13 @150	10-HD19	3-HD13 @150
		lower	10-HD19		10-HD19	
B1	400x 700	upper	6-HD19	HD10 @150	6-HD19	HD10 @150
		lower	6-HD19		6-HD19	
B1A	300x 700	upper	3-HD19	HD10 @150	3-HD19	HD10 @150
		lower	3-HD19		3-HD19	

Table 3. Properties of Wall

member	thk.(mm) (T)	reinforcements	
		vert.(mm)	hori.(mm)
W1	1~2 fl.	200	HD10 @200 HD10 @250
	3~roof fl.	200	HD10 @200 HD10 @250

## 2.2 대상 철근콘크리트 건물의 내진성능평가[6]

### 2.2.1 필로티 건물의 내진성능평가를 위한 하중조건

#### 1) 하중조건(KDS41)[5]

① 연직하중 : Dead Load : 7.04 kN/m<sup>2</sup>, Live Load : 2.0kN/m<sup>2</sup>

② 수평하중 - 지진 하중

a. 지진구역 : I

b. 지역계수 : A = 0.22

c. 건물의 중요도 : (2),

d. 중요도 계수 : I= 1.0

e. 지반 종류 : SD

f. 내진설계범주 : D

g. 건물의 기본진동주기

· 장변 방향 :  $T_x = 0.049 h_n^{\frac{3}{4}}$

· 단변 방향 :  $T_y = 0.073 h_n^{\frac{3}{4}}$

h. 반응 수정 계수 :  $R = 4$

I. 시스템초과 강도계수 :  $\Omega_0 = 2.5$

j. 변위증폭계수 :  $C_d = 4$

k. 암반 위치 : G.L -20 m

2) 하중 조합

본 연구대상 건물의 국내 규준에 따른 내진성능 평가에 사용된 하중조합은 KDS4115]에 따라 아래에 제시된 하중계수와 조합을 모두 검토하였다.

1. 1.4(D + F + Hv)
2. 1.2(D + F + T) + 1.6(L + aHHv + aHHv : 토피의 두께에 따른 연직방향 하중 Hv에 대한 보정계수) + 0.5(Lr 또는 S 또는 R)
3. 1.2D + 1.6(Lr 또는 S 또는 R) + (1.0L 또는 0.65W)
4. 1.2D + 1.3W + 1.0L + 0.5(Lr 또는S 또는 R)
5. 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S
6. 1.2(D + F + T) + 1.6(L + aHHv)+0.8Hh + 0.5(Lr 또는 S 또는 R)
7. 0.9D + 1.3W + 1.6(aHHv + Hh)
8. 0.9D + 1.0E + 1.6(aHHv + Hh)

여기서, D : 고정하중

L : 활하중

W : 풍하중

E : 지진하중

F : 유체의 밀도를 알 수 있고, 저장 유체의 높이를 조절할 수 있는 유체의 중량 및 압력에 의한 하중 또는 이에 의해서 생기는 단면력

T : 외기 또는 양생온도, °C 또는 온도, 크리프, 건조수축 및 부등침하의 영향 등에 의해 생기는 단면력

S : 적설하중 또는 이에 의해 생기는 단면력

aH : 토피의 두께에 따른 연직방향 하중 Hv에 대한 보정계수

Hv : 흙, 지하수 또는 기타 재료의 자중에 의한 연직방향 하중, 또는 이에 의해서 생기는 단면력

Hh : 흙, 지하수 또는 기타 재료의 횡압력에 의한 수

평방향 하중 또는 이에 의해 생기는 단면력

R : 강우하중 또는 이에 의해서 생기는 단면력

Lr : 지붕활하중 또는 이에 의해서 생기는 단면력

3) 국내 규준에 따른 내진성능 평가 모델링 상태

본 연구대상 건물은 3차원 해석 프로그램인 MIDAS IT사의 MODS, MIDAS-GEN 프로그램[7]을 이용하여 내진 성능 평가 해석을 실시하였으며, PUSH OVER 해석시 하중-변위 관계곡선을 나타낼 때는 국내 기준에서 제시한 층간변위 0.02hsx에 도달하면 한계상태에 다다른 것으로 가정하였다.[8]

2.2.2 필로티 건물의 성능곡선 확인

Fig. 5와 6은 Push Over 해석시 X방향과 Y방향 성능곡선을 나타낸 것이다.

X방향 정적재하시 초기 탄성거동 이후 일부 부재의 항복이 발생하면서 밀면전단력 1250kN에서 필로티 기둥의 소성힌지 발생에 의하여 강성이 저하되고 이후 강성증대에 따라 최대 밀면전단력은 1360kN에 도달하는 것으로 나타난다.

Y방향 정적재하시 초기 탄성거동의 강성이 매우 크고 이후 밀면전단력 1410kN에서 필로티 기둥의 소성힌지 발생에 의하여 강성이 급격히 저하되고 이후 강성증대에 따라 최대 밀면전단력은 2320kN에 도달하고 소성힌지의 추가 발생에 따라 강성이 점진적으로 감소하는 것으로 나타난다.

Y방향의 초기 탄성강성이 X방향에 비하여 매우 큰 것은 Y방향 전단벽의 길이와 벽량이 X방향보다 크기 때문으로 분석된다.

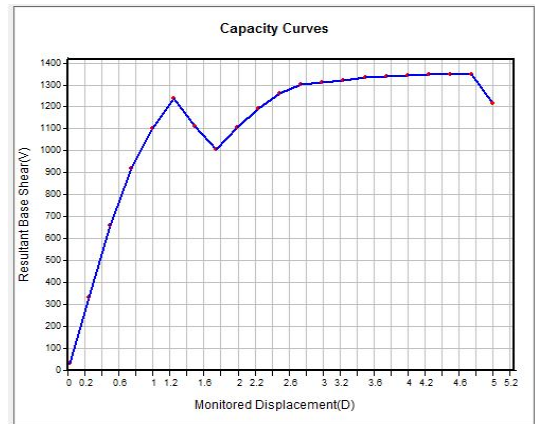


Fig. 5. Performance curve of X direction

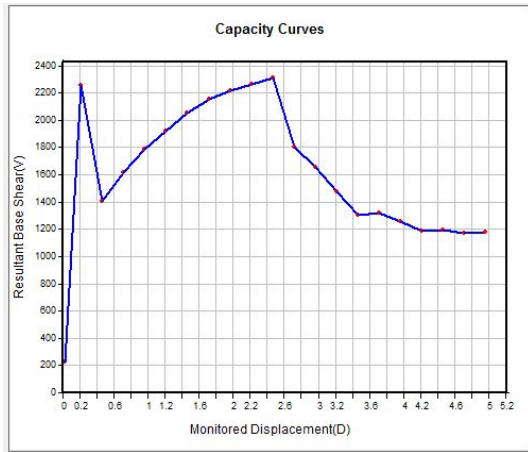


Fig. 6. Performance curve of Y direction

### 2.2.3 필로티 건물의 성능점 확인

Push Over 해석시 X방향과 Y방향 성능점(Fig. 7, 8)은 X방향 정적재하시 성능점은 초기 탄성거동 이후 일부 부재의 항복이 발생하면서 형성되는 것으로 나타났고 성능점에서 지붕층의 수평변위는 0.8394mm, 스펙트럴 가속도  $S_a$ 는  $0.1037m/sec^2$ , 스펙트럴 변위  $S_d$ 는 0.7694mm로 나타났다.

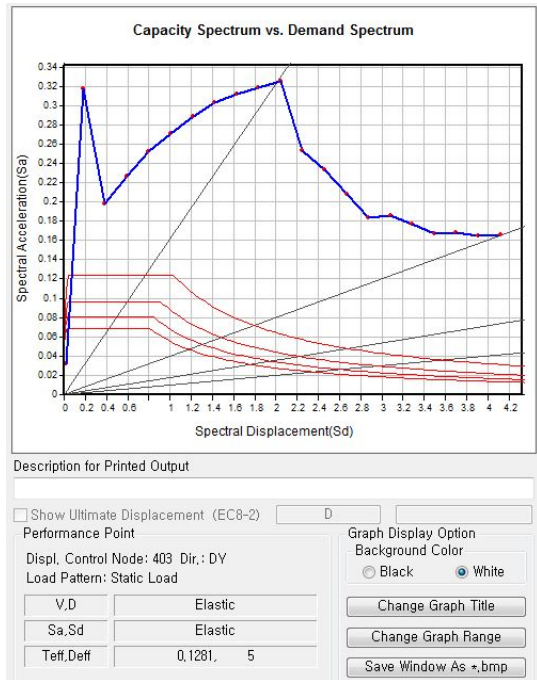


Fig. 8. Performance point of Y direction

Y방향 정적재하시 성능점은 초기 탄성거동시 형성되는 것으로 나타났고 성능점에서 유효주기  $T_{eff}$ 는 0.1281 초, 유효감쇠율  $D_{eff}$ 는 5%로 나타났다.

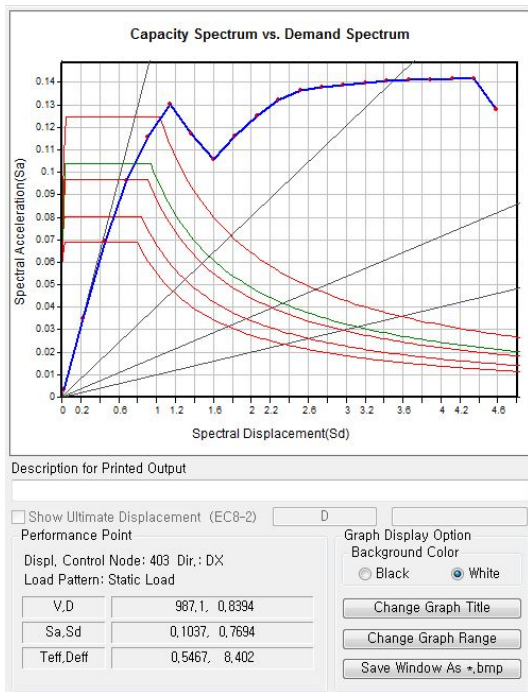


Fig. 7. Performance point of X direction

### 3.3.4 필로티 건물의 층간 변위 검토

연구 대상 건물인 필로티 건물 나동의 최대 층간변위를 정리하였다. (내진 2등급 : 0.02  $h_s$ )

Table 4. Story drift

방 향	층 수	층 높이 (mm)	층간변위 (mm)	층간변위비	판 정
X(장변)	4F	2900	0.3439	0.0001	O.K
X(장변)	3F	2900	0.4355	0.0002	O.K
X(장변)	2F	2900	0.5470	0.0002	O.K
X(장변)	1F	3200	28.7357	0.0090	O.K
Y(단변)	4F	2900	0.1673	0.0001	O.K
Y(단변)	3F	2900	0.1756	0.0001	O.K
Y(단변)	2F	2900	0.2050	0.0001	O.K
Y(단변)	1F	3200	67.5190	0.0198	O.K



### 3.4 PUSH OVER 해석 검토결과

#### 3.4.1 X방향 연직하중 분담비율 결과

Step 1에서는 전체 구조물이 탄성거동을 하고 있으며, 소성힌지의 발생이 없는 상태이고, Step 5에서 필로티 기둥의 일부에서 항복이 발생하기 시작하며 2층 일부 보가 IO수준 힌지상태에 이른다.

Step 10에서는 필로티 기둥 일부에서 소성힌지가 발생하여 부재붕괴수준에 이르고, Step 15에서는 필로티 기둥의 소성힌지가 점증하고 있으며 상층부의 일부 보에 항복이 발생하고, Step 20에서 소성힌지의 발생이 증가하며 IO수준의 부재가 증가하고 있다.

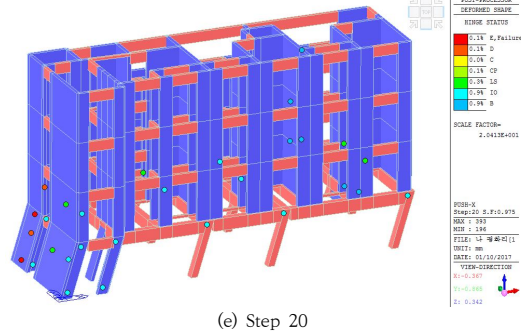
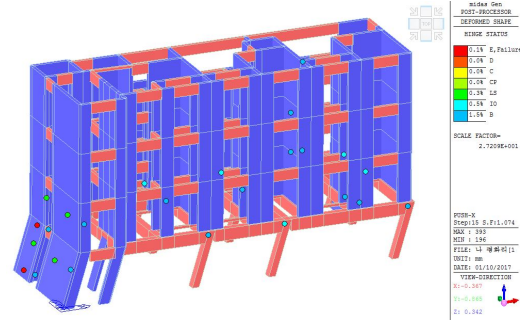
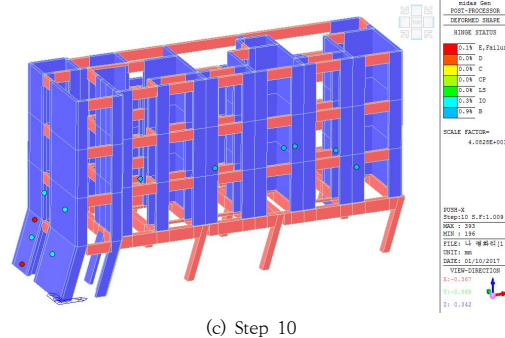
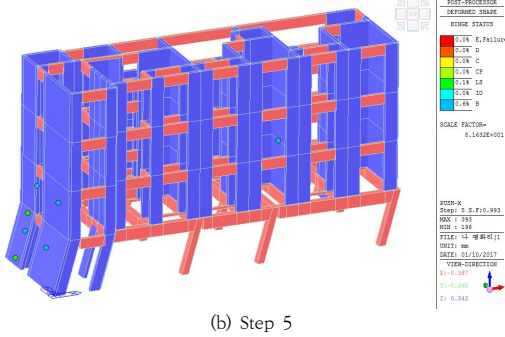
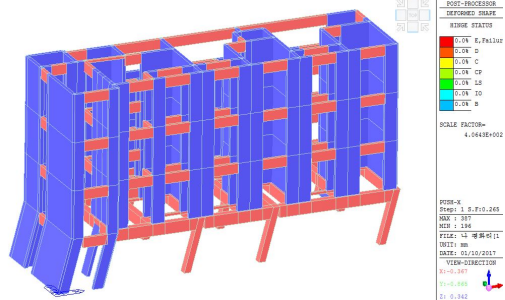
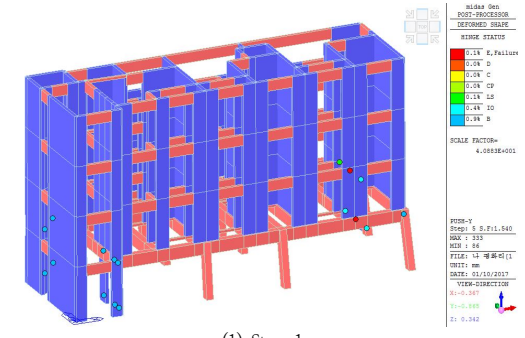


Fig. 9. Distribution ratio of X direction

#### 3.4.2 Y방향 연직하중 분담비율 결과

Step 1에서는 전체 구조물이 탄성거동을 하고 있으며, Step 5에서 코어 반대쪽의 필로티 기둥에서 소성힌지의 발생이 시작하며, Step 10에서는 건물 중앙측에 있는 필로티 기둥의 일부에서 소성힌지가 발생하였다.

Step 15에서는 코어가 있는 쪽의 필로티 기둥에서도 소성힌지가 추가로 발생하고, Step 20에서 이미 발생된 소성힌지의 소성변형과 더불어 필로티 기둥의 항복이 증가하고 있다.



### 3.4.3 층간 변형각 검토 결과

해석결과와 층간 변형각 및 층간 변위를 Fig. 11에 나타내었다.

층간변위와 층간변위비는 골조로 이루어진 필로티부분에서 크게 나타나며, 벽식 구조인 2, 3, 4층에서는 매우 작게 나타났다.

즉, 1층에 필로티를 가지는 건물은 지진하중과 같은 수평하중 작용시 수평변위의 대부분은 연약층인 필로티층에서 발생하고, 벽식구조의 상층부는 수평강성이 매우 커서 수평변위 발생량이 절대적으로 작다는 것을 알 수 있다.

#### ① X방향 Story VS Story Drift Ratio

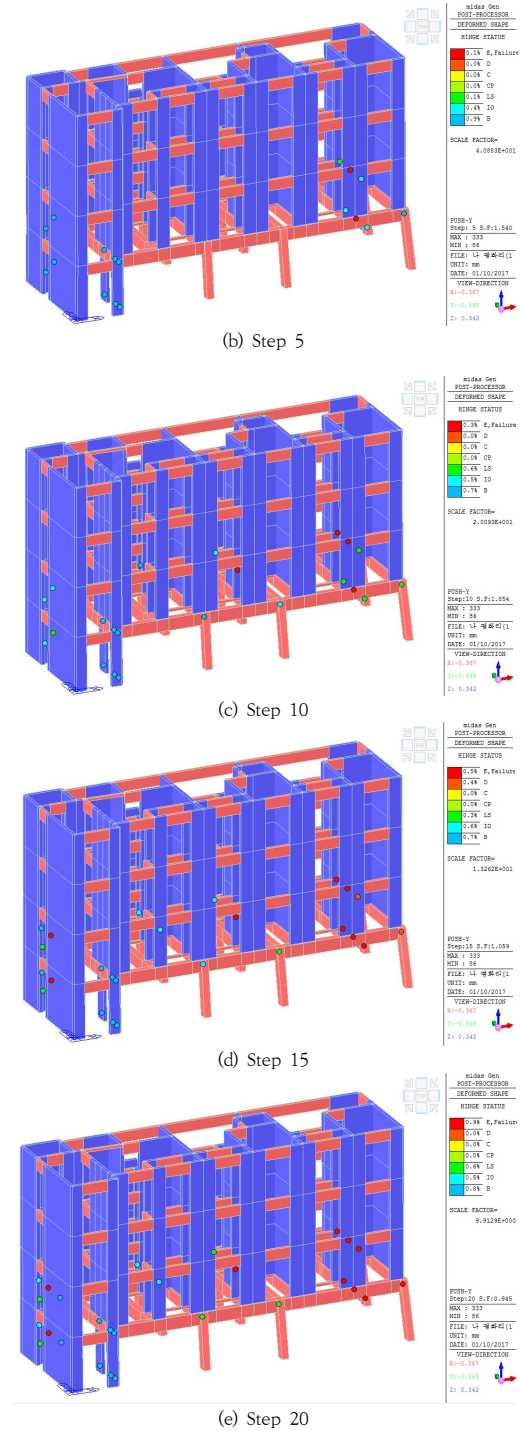


Fig. 10. Distribution ratio of X direction

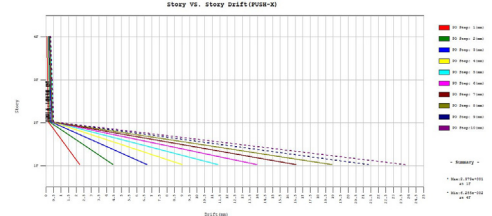
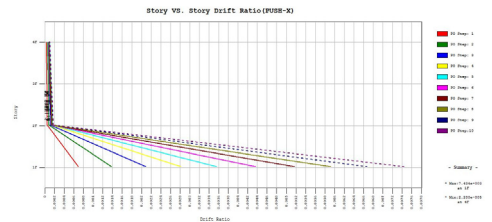


Fig. 10. Behavior of X direction

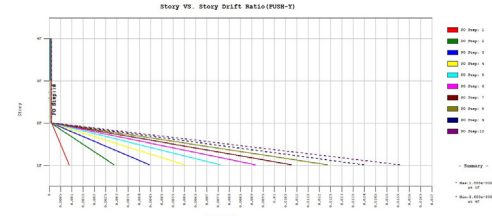
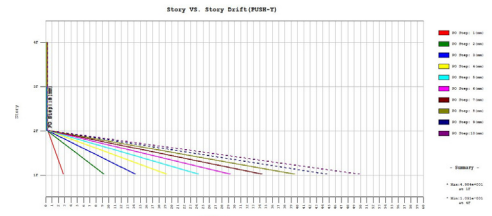


Fig. 11. Behavior of Y direction

### 3. 결론

본 논문에서는 편심코어를 가지는 저층 필로티 건물을 대상으로 국내의 내진성능평가 기준을 적용하여 PUSH OVER해석을 통하여 내진거동을 해석하고 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

- 1) 코어가 평면 편심에 위치한 경우 X방향은 소성거동, Y방향은 탄성거동을 하는 것으로 평가 되었다. 따라서, 층간변위비는 모두 법적 기준 이내인 것으로 평가되었다.
- 2) 연구대상 건물의 층간 변위를 확인한 결과 최대변위  $\delta=67.51\text{mm}$ 로 코어가 평면 중심에 위치하는 경우보다 비틀림모드가 크게 영향을 미치므로 층간 변위량이 더 큰 것으로 평가 되었다.
- 3) 편심코어로 인하여 구조물 전체의 강성중심이 질량중심과 이격되어 있어 코어 반대쪽의 필로티 기둥에서 항복과 소성힌지 발생이 시작되므로 내진설계와 내진보강시 이에 대한 고려가 필요하다.
- 4) 또한 변위 비율은 1층 필로티 구간이 2~4층 부분보다 확연히 높은 걸로 평가 되었으며, 저층 필로티 구조물의 경우 1층 라멘조 부분이 횡력에 취약한 것으로 평가되었다. 따라서, 편심코어를 가지는 저층 필로티 건물의 내진설계 및 내진보강시 필로티 구조의 횡변위 감소와 횡력저항능력을 보강할 필요가 있다.

### References

- [1] J. C. Kim, S. H. Shin, S. H. Oh, *Damage Investigation of Pilotis Structures and Analysis of Damage Causes by Pohang Earthquake*, *Journal of Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol.35, No.3, pp.3-10, Mar. 2019.  
DOI: [https://doi.org/10.5659/JAIK\\_SC.2019.35.3.3](https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2019.35.3.3)
- [2] K. S. Lee, J. K. Oh, *Damage Required Strength Spectrum of Low-Rise Reinforced Concrete Shear Wall Buildings with Pilotis Earthquake*, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, Vol.11, No.5, pp.61-69, Oct. 2007.  
DOI : <https://doi.org/10.5000/EESK.2020.24.4.157>
- [3] H. G. Ji, I. H. Kim, Y. Choi, *Seismic Response Characteristics of Deteriorated Pilotis Buildings by Core Location*, *Journal of Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, Vol.22, No.1, pp.57-63, Feb. 2020.

DOI: [https://doi.org/10.5659/JAIK\\_SC.2019.35.3.3](https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2019.35.3.3)

- [4] S. Y. Lee, J. C. Kim, *Effects of Streets Lined by Multi-Family Houses with Pilotis on Fear of Crime and Car Accident*, *Journal of Korea Planning Association*, Vol.49, No.1, pp.33-49, Feb. 2014.  
DOI:<http://doi.org/10.17208/jkpa.2014.02.49.1.33>
- [5] Korean Design Standard, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2020
- [6] K. N. Kim, *A Study on Seismic Retrofit of Pilotis Low-rise Building Structure with Concrete Filled Steel Tube*, Master's thesis, Changwon National University, Changwon, Korea, pp.47-91, 2017.
- [7] POS-MIDAS Information Technology Co. Ltd., MIDAS-GEN, Version 8.8.5 R1, 2017
- [8] J. S. Kim, T. H. Yoon, *Behaviour of Shear Wall Structures with Energy Dissipation Device in Coupling Beam*, *Journal of The Korea Institute For Structural Maintenance and Inspection*, Vol.22, No.3, pp.21-30, May. 2018.

김 성 용(Sung-Yong Kim)

[정회원]



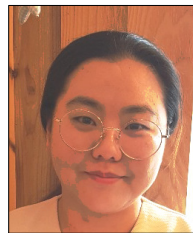
- 2011년 2월 : 서울대학교 대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2017년 8월 : 서울대학교 대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2017년 9월 ~ 2019년 2월 : 서울대학교 공학연구소 박사후연구원
- 2019년 3월 ~ 현재 : 국립창원대학교 건축공학과 조교수

<관심분야>

내진공학, 강구조

김 경 남(Kyung-Nam Kim)

[정회원]



- 2017년 2월 : 국립창원대학교 건축공학과 (공학석사)
- 2020년 2월 : 국립창원대학교 건축공학과 (박사수료)
- 2007년 6월 ~ 2014년 2월 : 에스엔에스구조기술사사무소 과장
- 2014년 3월 ~ 현재 : (주)에스엔에스구조 팀장

<관심분야>

내진설계, 내진성능평가



윤 태 호(Tae-Ho Yoon)

[정회원]



- 1991년 2월 : 서울대학교 대학원 건축학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 서울대학교 대학원 건축학과 (공학박사)
- 1996년 5월 ~ 1998년 2월 : 삼성 물산 건설부문 선임연구원
- 1998년 3월 ~ 현재 : 국립창원대학교 건축공학과 교수

〈관심분야〉

내진설계, 내진보강