

Knee - Brace를 활용한 비정형 필로티 건물의 내진보강방안에 대한 해석적 연구

유석형^{1*}, 김달기²

Analytical Study on the Seismic Retrofit Method of Irregular Piloti Building Using Knee-Brace

Suk-Hyung Yoo^{1*}, Dal-Gee Kim²

Abstract: Torsional behavior due to the plane irregularities of the piloti building can cause excessive story drift in the torsionally outermost column, which can lead to shear failure of the column. As a seismic retrofit method that can control the torsional behavior of the piloti building, the expansion of RC wall, steel frame or steel brace may be used, but such methods may hinder the openness of the piloti floor. Therefore, in this study, linear dynamic analysis and nonlinear static analysis for piloti buildings retrofitted by knee brace were performed, and seismic performance evaluation and torsion control effect of knee brace were analyzed.

The results showed that the shear force of the column increased when the piloti building retrofitted by knee brace, but it was effective in controlling the torsional deformation. In case of retrofit between knee brace and column by 30°, the shear force of the column increased less than that of 60°, and the lateral displacement of column was decreased in the order of □, ○ and H in cross-section.

Keywords: Piloti seismic retrofit, Knee brace, Seismic performance evaluation, Pushover analysis

1. 서론

우리나라는 최근 2016년 경주, 2017년 포항 지진으로 발생한 시설 및 인명피해로 인하여 더 이상 지진의 안전지대가 아니며 내진설계 및 내진설계기준 시행 이전 건설된 건축물에 대한 내진보강의 필요성이 중요하게 대두되었다.

포항 지진으로 인한 건축물의 피해는 주로 학교건물과 필로티형 다가구 주택에서 발생하였다. 필로티 건물은 수직적으로 비정형의 구조로서 연약 층인 1층에서 과도한 횡변위와 응력집중이 발생하여 붕괴에 이를 수 있는 근본적 취약점을 지니고 있다. 이와 같은 필로티 건물의 특성을 고려하여 특별 지진하중의 적용, 비틀림 모멘트 증폭계수의 적용 및 필로티 층의 보-기둥 골조에 대한 내진상세 등 구조설계방안이 마련되어 있다. 그러나 포항지진의 경우 국내 소형주택의 품질관리제도가 미흡한 상황에서 구조설계 및 시공 소홀과 더불어 1층 필로티 층에서 평면 비정형이 피해를 가중시킨 것으로 보

고되었다(Oh et al., 2019).

필로티 건물의 평면 비정형으로 인한 비틀림 거동은 Fig. 1과 같이 비틀림 회전 시 최외단 기둥(C2)에 과도한 층간변위를 일으키고 이로 인하여 기둥의 전단파괴가 발생한다(Photo 1). 국내 소규모 필로티 건물의 비틀림 거동에 관한 연구로서 Chu et al. (2016)은 비선형 동적 해석을 통하여 내진성능 평가를 수행하였으며, 일반적인 소규모 필로티 건물의 경우 모든 부재가 휨 성능에 안전하나 벽체가 전단에 취약한 것으로 보고 하였다.

기존 비정형 필로티 건물의 내진보강 방안에 관한 연구로서 Kim et al. (2019)은 벽체 증설방안을 제시하였다. 필로티 층에서 벽체의 내력비(소요하중/저항강도)를 95% 이상 유지하여 다른 수직부재의 붕괴를 방지할 수 있도록 벽량과 편심율을 산출하여 벽체 증설 보강 방안을 제시하였다. 국토교통부(2018)에서는 「필로티 건축물 구조설계 가이드 라인」을 통하여 필로티 층에서 코어가 비대칭으로 배치될 경우 비틀림 회전을 방지 하도록 벽체를 추가할 것을 제시하고 있다. 이외에도 철골 프레임이나 철골 가새 추가공법 등이 필로티 건물의 내진보강 공법으로 사용될 수 있으나 이와 같은 공법 들은 벽체 증설공법 과 더불어 필로티층의 공간 개방성을 저해할 우려가 있다. 따라서 필로티 층의 공간 개방성을 유지하면서 내진성능을 확보할 수 있는 공법의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

¹정회원, 경남과학기술대학교 건축공학과 교수

²정회원, (주)문구조 ENG 대표이사

*Corresponding author: piter31@gntech.ac.kr

Department of Architectural Engineering, Gyeongsang National University, 33, Dongjin-ro, Jinju-si, Gyeongsangnam-do, Korea

• 본 논문에 대한 토의를 2020년 3월 31일까지 학회로 보내주시면 2020년 4월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.



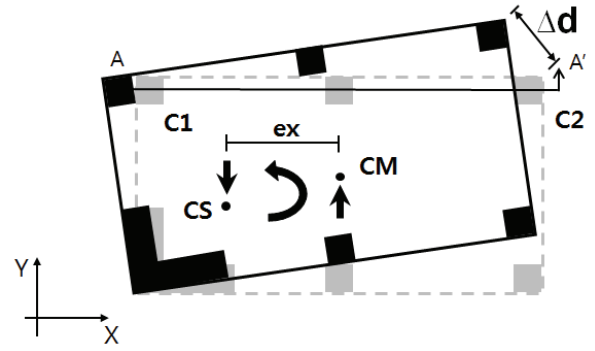
Photo 1 Seismic Damage of Irregular Pilotis Building (Lee, 2018)

Knee brace에 의한 보강 방법은 Fig. 2와 같이 기둥상부와 보 사이에 대각선으로 가새를 설치함으로써 내진성을 확보하는 강성증가에 의한 내진보강 방안이다. Lee et al. (2009)은 knee brace를 비정형 필로티 건물의 내진보강에 활용하기 위하여 중심코어 크기와 외부보강재 크기 등을 변수로 한 비좌굴 knee brace의 반복하중 실험을 수행하고 최적의 knee brace를 제시하였다. 비정형 필로티 건물의 내진보강 공법으로서 knee brace를 사용할 경우 1층의 공간개방성을 확보할 수 있을 것으로 사료되나 아직 이에 대한 연구가 활발히 이루어지지 않고 있는 실정이다.

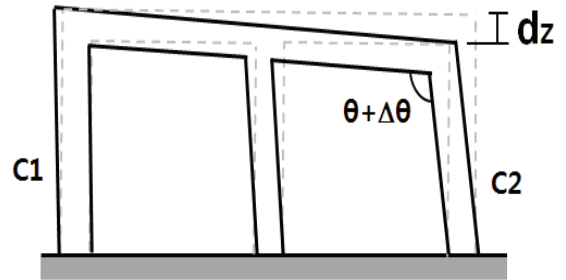
따라서 본 연구에서는 knee brace를 활용한 비정형 필로티 건물의 내진보강설계를 위한 기초자료를 제시하기 위하여 knee brace 보강재 단면 형상 및 보강재 설치 각도 등을 변수로 하는 보강공법에 대하여 선형동적해석 및 비선형 정적해석(pushover analysis)을 수행하여 KISTEC 2013 (Korea Infrastructure Safety Corporation 2013)에 의한 내진성능 평가를 수행하고 해석결과를 고찰하여 knee brace의 비틀림 제어효과를 분석하였다.

2. 비틀림 거동

평면 비정형 건물의 경우 강성중심(CS)과 질량중심(CM)의 불일치로 Fig. 1(a)와 같이 비틀림 변형이 발생한다. 이때 비틀림 회전의 최외단기둥 C2에는 전단력과 비틀림 모멘트에 의한 횡변위(Δd)가 발생한다(Anagnostopoulos et al., 2013). 편심거리(e_x)가 클수록 비틀림 모멘트 증가로 횡변위(Δd)는 더욱 커지며 이로 인하여 기둥에 전단파괴가 발생하게 된다(Photo 1). 또한 비틀림 변형 시 단면상으로는 Fig. 1(b)와 같이 수직처짐(d_z)과 부재각변형($\Delta\theta$)이 발생한다. C2기둥은 수평방향으로 횡변위 시 기울어지면서 수직하중에 의하여



(a) Torsional Behavior of Irregular Plane



(b) A-A' Section at Torsional Behavior

Fig. 1 Torsional Behavior of Irregular Buildings

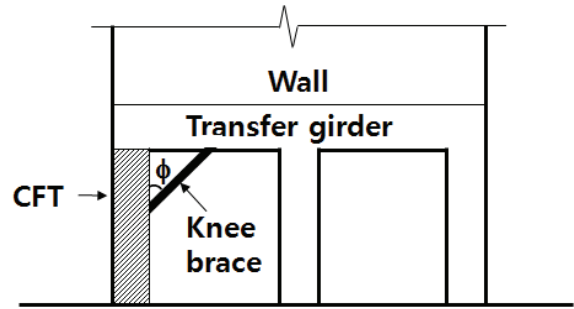


Fig. 2 Seismic Retrofit by Knee Brace

수직적으로 처짐(d_z)이 발생하게 되며, 이러한 처짐은 기둥상부에서 보부재와 이루는 부재각의 변형($\Delta\theta = \theta' - \theta$)을 초래한다. 부재각의 변형은 비선형 해석을 통하여 고찰할 수 있을 것으로 판단된다.

비틀림 거동 시 최외단 기둥의 과도한 축방향 거동에 대한 고찰로서 Hwang and Lee (2018)는 비틀림 비정형이 큰 저층 RC 필로티 건물에 대한 비선형 동적해석을 통하여 최외단 기둥에 전단-비틀림 거동 뿐 아니라 반복적인 압축-인장력이 작용하여 순간적인 큰 압축력에 의하여 취성적인 파괴를 유도할 수 있다고 보고 하였다. 비틀림 변형을 직접적으로 줄일 수 있는 방안으로서 Fig. 2와 같이 기둥 상부에 knee brace를 설치함으로써 수직 처짐(d_z)과 부재각 변형($\Delta\theta$)을 줄일 수 있을

것으로 사료된다.

3. 보강전 내진성능 평가

3.1 대상건물

내진성능 평가 대상 건물은 Fig. 3과 같이 4층 비정형 필로티 건물로서 필로티 층의 코어 벽체 위치는 2층 편심된 코너에 위치하였으며, 특별지진하중 및 내진상세를 고려하지 않은 것으로 가정하였다. 각 부재의 배근상세는 Table 1, Table 2 및 Table 3과 같고 콘크리트 압축강도 및 철근의 항복강도는 건설년도별 기본값을 고려하여 내진설계기준 시행 이전의 평균값 18MPa 및 300MPa를 적용하였다. 내진성능 평가와 선형동적해석 및 비선형 정적해석은 Y축방향을 주방향으로 고려

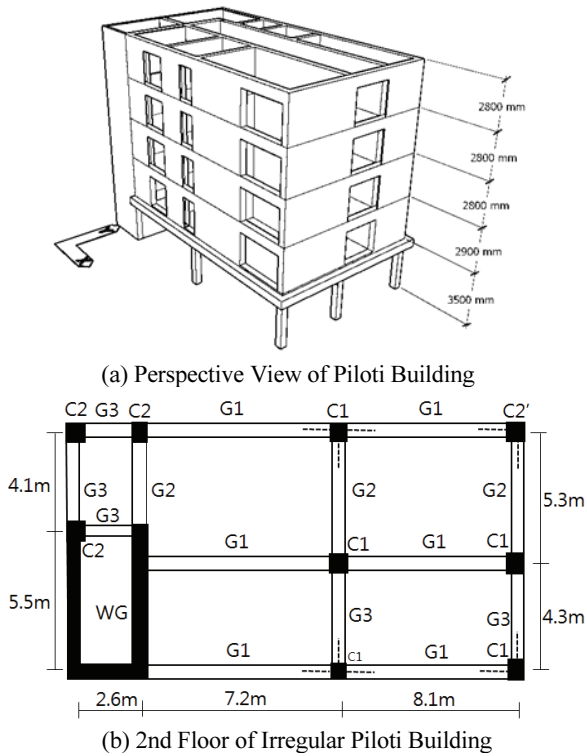


Fig. 3 Irregular Piloti Building

Table 1 Reinforcement Details of Beam

Name	B X H (mm)	Main bar		Stirrup
		Top	Bottom	
G1	500 X 700	6-D22	6-D22	D13@100
G2	500 X 700	4-D22	5-D22	D13@150
G3	450 X 700	4-D22	5-D22	D10@150
WG	400 X 700	3-D22	3-D22	D10@300

Table 2 Reinforcement Details of Column

Name	B X H (mm)	Main bar	Stirrup
C1	450 X 650	12-D22	D10@200
C2	450 X 450	12-D22	D10@200

Table 3 Reinforcement Details of Wall

Name	Thickness (mm)	Main bar	
		Vertical	Horizontal
W	200	D13@200	D13@300

하였으며 목표 성능 수준은 내진 2등급의 붕괴방지 수준으로 정하였다.

3.2 선형동적해석

MIDAS GEN을 이용하여 응답스펙트럼에 의한 선형 동적 해석을 수행하였고 1단계 상세 평가 및 비틀림 거동을 관찰하였다. 응답스펙트럼 하중조건으로서 지역계수 0.22, 지반등급 Sd, 중요도 계수 1.2 및 반응수정계수 4 (RC 보통전단벽)를 적용 하였고 질량중심과 강성중심 간 편심거리에 의한 비틀림 모멘트 및 우발편심 모멘트를 고려하였다.

KISTEC 2013에서 제시하는 DCR에 의한 1단계 상세평가 결과 중 1층 기둥은 Fig. 4와 같이 강성 중심으로부터 멀수록 성능 수준이 낮은 것으로 나타났으며, 전체구조물의 성능은 Table 4와 같이 붕괴수준으로 나타나 내진보강이 필요한 것으로 평가 되었다.

비틀림 거동의 관찰은 Y방향을 주방향으로 하고 다축가진 효과를 고려하기 위해 X방향으로 30%를 고려한 하중조합 eLCB5 (1.1DL+0.275LL+1.0RY+0.3RX)에 대하여 선형동적해석을 수행하고 Fig. 3(b)에서 최외단 기둥 C2'의 해석결과를 보강구조물과 비교하여 Table 5와 같이 정리하였다. 부재 사이각 변형 ($\Delta\theta$)의 경우 해석 프로그램의 기능상 절점의 회전각 r_y 로 간접적으로 관찰하였다. 비보강 구조물의 경우 전단력(V_u) 332.4kN, 횡

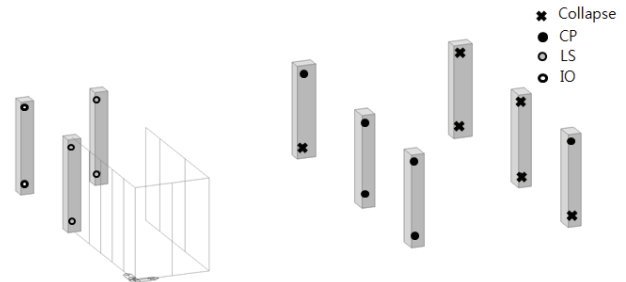


Fig. 4 Level 1 Seismic Performance Evaluation of Columns

Table 4 Level 1 Seismic Performance Evaluation of Non Retrofitted Building

Story	Horizontal Member Ratio				Vertical Member Ratio			
	IO	LS	CP	Per- formance	IO	LS	CP	Per- formance
Roof	0.54	0.88	1	LS	-	-	-	-
5F	0.34	0.51	0.73	Collapse	0.98	0.98	1	IO
4F	0.44	0.6	0.9	CP	0.9	0.91	0.91	IO
3F	0.28	0.35	0.56	Collapse	0.96	0.96	0.98	IO
2F	0.28	0.4	0.4	Collapse	0.85	0.93	0.95	IO
1F	-	-	-	-	0	0.04	0.27	Collapse
Structural Performance								Collapse

Table 5 Result of Linear Dynamic Analysis

Section	ϕ (°)	Vu (kN)	Δd (mm)	d_z (mm)	r_y (°)
Non Ret.	-	332.40	22.71	-0.16	0.0013
H	30	429.68	12.56	-0.09	0.0007
	60	522.94	9.49	-0.09	0.0005
○	30	433.30	12.40	-0.09	0.0007
	60	524.85	9.39	-0.09	0.0005
□	30	435.55	12.32	-0.09	0.0007
	60	526.31	9.34	-0.09	0.0005

변위(Δd) 22.71mm, 수직처짐(d_z) -0.16mm 및 절점 회전각(r_y) 0.0013° 발생하였다. 선형동적해석 시 보-기둥 접합부는 강접합으로 고려되므로 부재 사이각의 변형은 발생하지 않을 것으로 판단된다.

3.3 비선형 정적해석

MIDAS GEN을 이용하여 푸쉬오버 해석을 수행하고 2단계 상세 평가 및 비틀림 거동을 관찰하였다. 횡하중의 수직 분포는 Y방향 참여 질량이 90% 이상 되는 4차 모드 까지 고려한 층 전단력 분포를 사용하였으며 수직하중(1.0DL+0.25LL)을 동시에 가력 하였다. 부재 한지속성을 위한 모델링 파라미터 및 부재별 허용기준은 KISTEC 2013에 따라 설정하였다. 예비 푸쉬오버 해석을 수행하여 성능점을 산출하고 성능점에서 내력조건에 따라 한지속성을 수정하여 실제 푸쉬오버 해석을 수행하여 최종적인 성능점을 산출하였다. Fig. 5(a)에서와 같이 보강 전 구조물의 Y방향 성능점은 탄성구간에서 형성되었으며 2단계 상세 평가 결과는 Table 6과 같이 즉시거주 수준으로 평가 되었다. 이는 비틀림 영향이 잘 고려된 1단계 상세평가와 달리 2단계 비선형 정적해석에서는 비틀림 거동이 충분히 고려되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

Table 6 Level 2 Seismic Performance Evaluation

Story	Maximum Drift of All Vertical Elements							
	Story Drift Ratio				Allowable Story Drift Ratio			Per- formance
	Non Ret.	H 30	○ 30	□ 30	IO	LS	CP	
5F	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.005	0.01	0.02	IO
4F	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.005	0.01	0.02	IO
3F	0.0003	0.0002	0.0002	0.0002	0.005	0.01	0.02	IO
2F	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002	0.005	0.01	0.02	IO
1F	0.0028	0.0013	0.0013	0.0012	0.005	0.01	0.02	IO

Table 7 Result of Nonlinear Static Analysis

Section	ϕ (°)	Vu (kN)	Δd (mm)	d_z (mm)	r_y (°)
Non Ret.	-	134.78	8.84	-0.11	0.0005
H	30	266.58	4.37	-0.03	0.0002
	60	333.41	3.73	-0.05	0.0002
○	30	270.89	4.33	-0.03	0.0002
	60	338.3	3.71	-0.05	0.0002
□	30	273.4	4.31	-0.03	0.0002
	60	339.9	3.69	-0.05	0.0002

비틀림 거동의 관찰은 Table 7과 같이 비보강 구조물의 경우 전단력(Vu) 134.78kN, 횡변위(Δd) 8.84mm, 수직처짐(d_z) -0.11mm 및 절점 회전각(r_y) 0.0005° 발생하였다.

4. 보강건물의 내진성능평가

4.1 내진보강 계획

내진보강은 필로티 건물의 공간 개방성을 유지 하면서 내진성능을 향상 시킬 수 있도록 Fig. 2와 같이 기둥과 전이보를 연결하는 knee brace를 설치하였다. knee brace의 설치는 강성 보강으로서 비틀림 변형을 제어하지만 기둥의 전단력을 증가 시킬 것으로 사료된다. 따라서 기둥은 강판(SS275, 두께 12mm) 보강하였으며, 보강 위치는 Fig. 3(b)와 같이 4개소에 설치 하였다. knee brace의 단면형상은 H, ○ 및 □으로 하였고 설치각도(ϕ)는 30° 및 60°로 하였다. 보강재의 단면성질은 Table 8과 같고 knee brace는 단부에서 강접합 하였다.

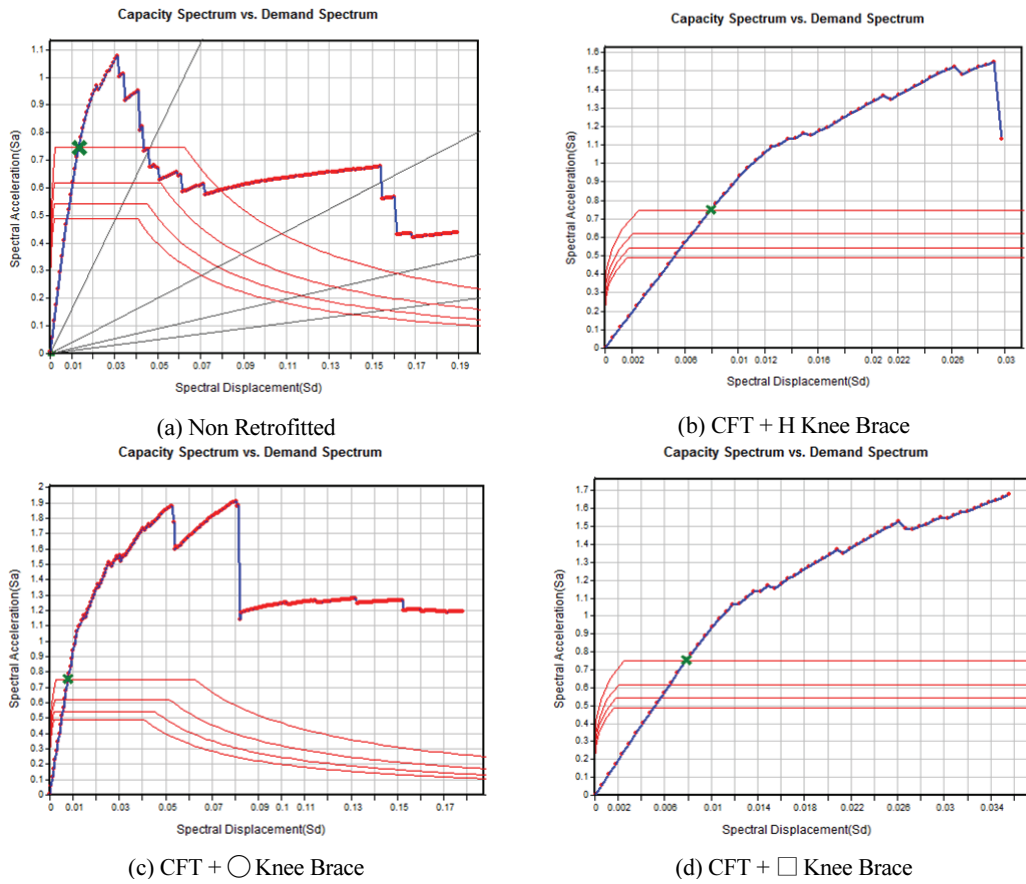


Fig. 5 Capacity Spectrum

Table 8 Section Properties of Knee Brace

Section	B×H (mm)	A (mm ²)	t (mm)		I _{xx} [*] (mm ⁴)	Q _{yb} ^{**} (mm ²)
			t _w	t _f		
H	200×200	6.35×10 ³	8	12	2.6×10 ⁵	3.2×10 ⁴
○	300(D)	6.44×10 ³	7		1.38×10 ⁸	2.15×10 ⁴
□	300×300	6.4×10 ³	5.5		1.4×10 ⁸	3.25×10 ⁴

* : 비틀림 강성

** : 전단단면 계수

4.2 선형 동적해석

KISTEC 2013에 의한 1단계 상세평가 시 CFT 부재에 대한 m 계수는 철골부재를 준용하도록 하고 있으나 MIDAS GEN에서는 CFT 부재에 대한 성능평가를 지원하지 않으므로 기존 RC 부재와 별도로 성능 평가를 수행하였다. 먼저 CFT 보강기둥 이외의 모든 RC 부재에 대한 1단계 상세평가 결과 Table 9에서와 같이 모든 보강 변수들에서 붕괴방지 수준의 성능을 보였다. CFT로 보강된 4개의 기둥에 대한 단순 내력비를 나타내는 Table 10을 보면 최대 0.578을 나타내고 있어 인명 안전 수준의 성능을 보이고 있으며, KISTEC 2013의 DCR (Demand Capacity Ratio)

식 (1)과 같이 연성능력을 고려한 m 계수를 고려할 경우 성능수준은 더욱 높아질 것으로 판단된다.

$$DCR = \frac{Q_{UD}}{Q_{CE} \times m} \quad (1)$$

여기서

Q_{UD} : 중력하중과 지진하중의 조합에 의한 부재력

Q_{CE} : 부재의 평균강도

m : 부재의 연성능력을 고려한 계수

선형동적해석에 의한 비틀림거동 관찰을 위한 결과로 Table 5와 같고 이를 보강 공법별로 비교하기 위하여 그래프로 나타내면 Fig. 6과 같다. Table 5 및 Fig. 6(a)에서 나타난 바와 같이 knee brace 보강으로 인하여 기둥의 전단력은 증가하였으며, 보강재 각도 60°보다 30°일 때 전단력이 더 작게 증가하였다. 횡변위 및 절점 회전각은 Table 5 및 Fig. 6(b)에서 나타난 바와 같이 보강재 각도 30°보다 60°일 때 더 크게 감소하였으며, 수직 처짐은 보강 이후 감소하였으나 보강방법에 따른 차이는 나타나지 않았다. 단면 형상에 따른 차이는 크게 나

Table 9 Level 1 Seismic Performance Evaluation of Retrofitted Building

Story	Horizontal Performance						Vertical Performance					
	H 30	H 60	○ 30	○ 60	□ 30	□ 60	H 30	H 60	O 30	O 60	□ 30	□ 60
Roof	CP	CP	CP	CP	CP	CP	-	-	-	-	-	-
5F	CP	CP	CP	CP	CP	CP	IO	IO	IO	IO	IO	IO
4F	CP	CP	CP	CP	CP	CP	IO	IO	IO	IO	IO	IO
3F	CP	CP	CP	CP	CP	CP	IO	IO	IO	IO	IO	IO
2F	CP	CP	CP	CP	CP	CP	LS	IO	IO	IO	IO	IO
1F	-	-	-	-	-	-	CP	CP	CP	CP	CP	CP
Structural Performance									CP			

Table 10 Strength Ratio of CFT Columns

Retrofit	Pu/Pn	Mu/Mn	Vu/Vn
H 30	0.068	0.578	0.304
H 60	0.069	0.553	0.338
○ 30	0.078	0.576	0.304
○ 60	0.075	0.551	0.338
□ 30	0.078	0.574	0.305
□ 60	0.074	0.55	0.343

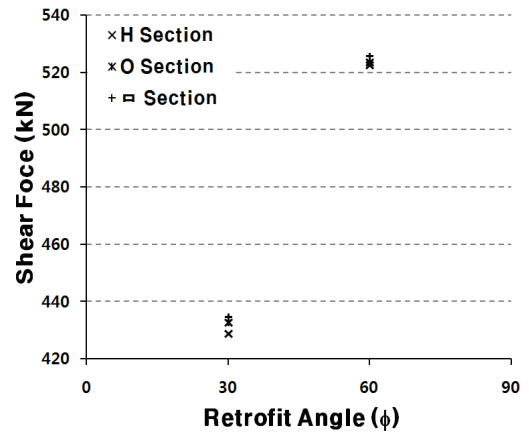
타나지 않았으나 □, ○ 및 H순으로 횡변위는 작게 나타나고 전단력은 크게 발생하였다.

따라서 knee brace 보강은 기둥에 전단력을 증가 시키지만 강판보강으로 성능수준을 확보할 수 있으며 비틀림 변형을 제어하는 효과가 있는 것으로 판단된다.

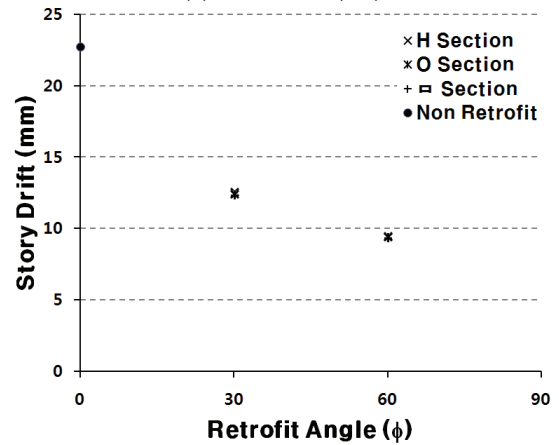
4.3 비선형 정적해석

보강 후 구조물의 역량곡선을 나타내는 Fig. 5(b), (c) 및 (d) 를 보면 강성보강으로 인하여 성능점이 충분한 탄성영역에서 산출된 것을 알 수 있다. 보강 구조물의 2단계 상세평가를 나타내는 Table 6을 보면 모든 보강에서 즉시거주 수준의 성능을 확보하였다.

비선형 정적해석에 의한 비틀림거동 관찰을 위한 결과는 Table 7과 같고 이를 보강 공법별로 비교하기 위하여 그래프로 나타내면 Fig. 7과 같으며, 전단력 및 횡변위는 선형동적해석 결과와 유사하게 나타났다. Table 7 및 Fig. 7(a)에서 나타난 바와 같이 knee brace 보강으로 인하여 기둥의 전단력은 증가하였으며, 보강재 각도 60°보다 30° 일 때 전단력이 더 작게 증가하였다. 횡변위는 Table 7 및 Fig. 7(b)에서 나타난 바와 같이 보강재 각도 30°보다 60°일 때 더 크게 감소하였으며, 수직 처짐의 경우 60보다 30일 때 더 크게 감소하였다. 절점 회전각의



(a) Shear Force (kN)



(b) Story Drift (mm)

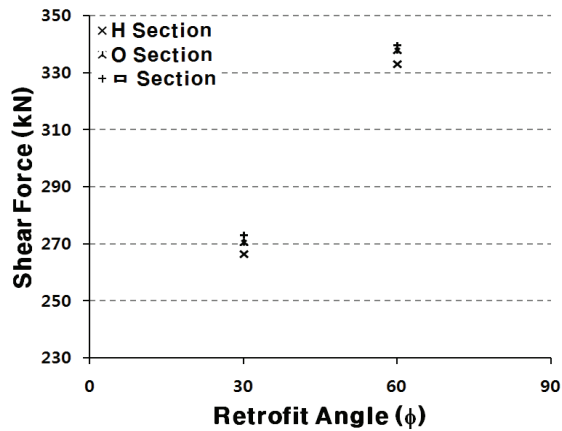
Fig. 6 Comparison of Column C2' (Linear Dynamic Analysis)

경우 knee brace 보강으로 변형이 감소하였으나 보강부재각에 따른 차이는 나타나지 않았다. 이는 성능점에서 보강 기둥이 탄성상태에 머물러 소성힌지가 발생하지 않았기 때문인 것으로 사료된다. 단면형상에 따른 횡변위 및 전단력의 경향도 선형동적해석 결과와 동일한 경향을 나타내었다.

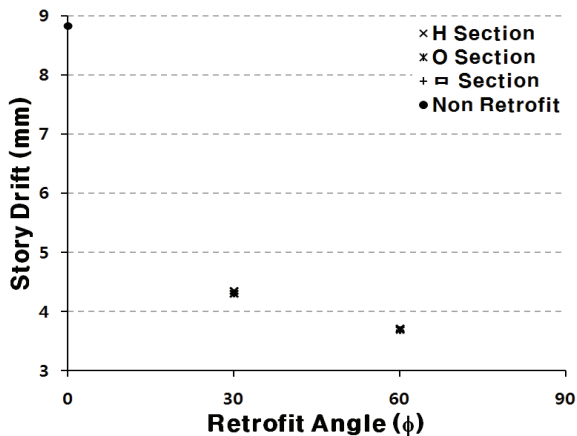
따라서 선형동적해석에서와 유사하게 knee brace 보강은 기둥에 전단력을 증가 시키지만 강판보강으로 성능수준을 확보할 수 있으며 비틀림 변형을 제어하는 효과가 있는 것으로 판단된다.

5. 결론

- 1) 기존의 비정형 필로티 건물에 대하여 knee brace로 내진 보강할 경우 기둥의 전단력은 증가하였으나 비틀림 변형을 제어하는데 효과가 있는 것으로 확인되었다. 증가된 기둥의 전단력은 SS 275 두께 12mm 강판보강을 통하여 내진성능을 확보하였다.



(a) Shear Force (kN)



(b) Story Drift (mm)

Fig. 7 Comparison of Column C2' (Nonlinear Static Analysis)

- 2) Knee brace로 보강할 경우 최외단 기둥의 횡변위, 수직처짐 및 절점 회전각 등 비틀림 변형 요소를 제어하는 것을 선형 동적해석 및 비선형 정적해석을 통하여 확인하였다.
- 3) Knee brace 보강시 부재각 60°보다 30°일때 기둥의 전단력이 작게 증가하였으며, 횡변위는 60일 때 크게 감소하였다.
- 4) 단면형상에 따른 횡변위의 제어효과는 □, ○ 및 H순으로 횡변위가 적게 발생하였으며 동일한 순으로 기둥 전단력이 크게 발생하였다.
- 5) 비정형 필로티 건물의 내진보강 공법으로서 knee brace를 활용함으로써 필로티 층의 공간개방성을 확보할 수

있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 경남과학기술대학교 대학회계 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

1. Oh, S. H., Kim, J. C., and Shin, S. H. (2019), Damage Investigation of Pilotis Structures and Analysis of Damage Causes by Pohang Earthquake, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 35(3), 3-10.
2. Hwang, K. R., and Lee, H. S. (2018), Seismic Damage to RC Low-rise Building Structures Having Irregularities at the Ground Story During the 15 November 2017 Pohang, Korea, Earthquake, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 22(3), 103-111.
3. Chu, Y. R., Kim, T. W., and Yoo, C. H. (2016), Seismic Performance Evaluation of Small-size Piloti-type Reinforced Concrete Buildings using Nonlinear Dynamic Analysis, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 20(4), 191-199.
4. Kim, S. Y., Chun, Y. S., Lee, B. S., Yang, D. W., Kim, H. S., Lee, J. Y., and Lee, J. H. (2019), A study on Seismic Reinforcing Method of Piloti Structure for the Multi-unit Housing, *Research Report of Land and Housing Institute*, 2019(71).
5. Park, H. K., Oh, S. H., and Kim, T. W. (2018), Piloti Building Structural Design Guidelines, Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
6. Lee, K. H., Lee, J., Lee, S. M., Shin, J. W., and Kim, Y. M. (2009), Experimental Study on Buckling Restrained Knee Bracing Systems Using Bolted Channel Sections, *Journal of the Earthquake Engineering Society of Korea*, 13(2), 37-46.
7. Anagnostopoulos, S. A., et. al. (2013), Earthquake Induced Torsion in Buildings ; Critical Review and Stable of the Art, ASEM13.
8. Guidelines of Seismic Performance Evaluation for Existing Facilities (Building), Ministry of Land, Infrastructure and Transport and Korea Infrastructure Safety Corporation, (2013).

Received : 11/20/2019

Revised : 12/23/2019

Accepted : 01/06/2020

요 지 : 필로티 건물의 평면 비정형으로 인한 비틀림 거동은 비틀림 회전 최외단 기둥에 과도한 층간변위를 일으키고 이로 인하여 기둥의 전단파괴를 유도할 수 있다. 필로티 건물의 비틀림 거동을 제어할 수 있는 내진보강 공법으로서 벽체 증설, 철골 프레임 또는 철골 가새 추가공법 등이 사용될 수 있으나 이와 같은 공법 들은 필로티 층의 공간 개방성을 저해할 우려가 있다. 따라서 본 연구에서는 필로티 층의 공간 개방성을 유지할 수 있는 내진보강 공법으로서 knee brace를 활용하기 위하여 knee brace 보강재 단면 형상 및 보강재 설치 각도 등을 변수로 보강된 필로티 건물에 대하여 선형동적해석 및 비선형 정적해석(pushover analysis)을 수행하고 내진성능 평가 및 knee brace의 비틀림 제어효과를 분석하였다. 연구 결과 knee brace로 보강 시 기둥의 전단력은 증가하였으나 비틀림 변형을 제어하는데 효과가 있는 것으로 나타났다. knee brace와 기둥 사이를 30°로 보강 시 60°의 경우보다 기둥의 전단력은 적게 증가하였으며, 단면형상 □, ○ 그리고 H 순으로 기둥의 횡변위가 적게 발생하였다.

핵심용어 : 필로티 내진보강, Knee Brace, 내진성능평가, 푸쉬오버 해석
