



비선형정적절차

1. 건물개요

1.1 일반사항

- (1) 건물명 : 00 관리사무실
- (2) 소재지 : 서울특별시 00구
- (3) 건물용도 : 업무시설
- (4) 준공연도 : 1993년
- (5) 구조형식 : 조적채움벽이 있는 철근콘크리트 모멘트 골조
- (6) 내진설계 여부 : 미적용
- (7) 기초형식 : 독립기초 (설계도서)

1.2 건물 규모

- (1) 층 수 : 지상 2층
- (2) 지하층 유무 : 없음
- (3) 건물높이 : 6.6 m (층고 3.3m)
- (4) 건물길이 : 장변방향 (X방향) : 27.3 m
단변방향 (Y방향) : 12 m
- (5) 연 면 적 : 845.13 m²

1.3 구조변경 이력사항

- (1) 증축 여부 : 없음
- (2) 신축줄눈 : 없음

1.4 내진등급 및 성능목표

- 2장 선형정적 예제와 동일

2. 도면 및 현장조사

※ 2장 선형정적 예제와 동일

3. 하중

3.1 중력하중

※ 2장 선형정적 예제와 동일

3.2 유효건물중량(질량)

※ 2장 선형정적 예제와 동일

3.3 지진하중

※ 2장 선형정적 예제와 동일

3.4 하중조합

- (1) 다축가진효과를 고려하기 위해 해당 건물의 +X, -X, +Y, -Y 방향의 푸시오버 해석을 각각 수행한 후 주방향의 성능점에서의 하중효과에 직교방향 성능점 변위의 30% 변위에서 발생하는 하중 효과를 조합하여 평가하였음.

3.5 횡하중의 수직분포

- (1) 비선형정적절차를 진행 시 사용되는 횡하중은 평면적으로 질량의 분포와 비례하며 수직적으로는 1차모드의 형상과 비례하도록 분포시킴

4. 구조해석

4.1 부재별 강도, 강성, 허용기준

(1) 재료강도

- ① 설계도서상 콘크리트 강도 = 30 MPa
- ② 재료상태: 양호 → 재료상태에 따른 감소계수 = 1.0
- ③ 경과연수: 30년 (1993년에 건설) → 경과연수에 따른 감소계수 = 0.8

따라서

- ④ 콘크리트의 공칭강도 $f_{ck} = 30 \times 0.8 \times 1.0 = 24MPa$
- ⑤ 콘크리트의 평균강도 $f_{cke} = 24 \times 1.1 = 26.4MPa$
- ⑥ 철근의 공칭강도 $f_y = 400MPa$ (설계도서, 주근과 전단보강근 모두 동일)
- ⑦ 철근의 평균강도 $f_{ye} = 400 \times 1.1 = 440MPa$

- 예시 부재의 선정

- 기둥: 1층 C3 그리드. 평면의 장변방향으로 허리벽에 구속
- 보: 1층 A3-B3(장변방향), B3-B4 (단변방향)

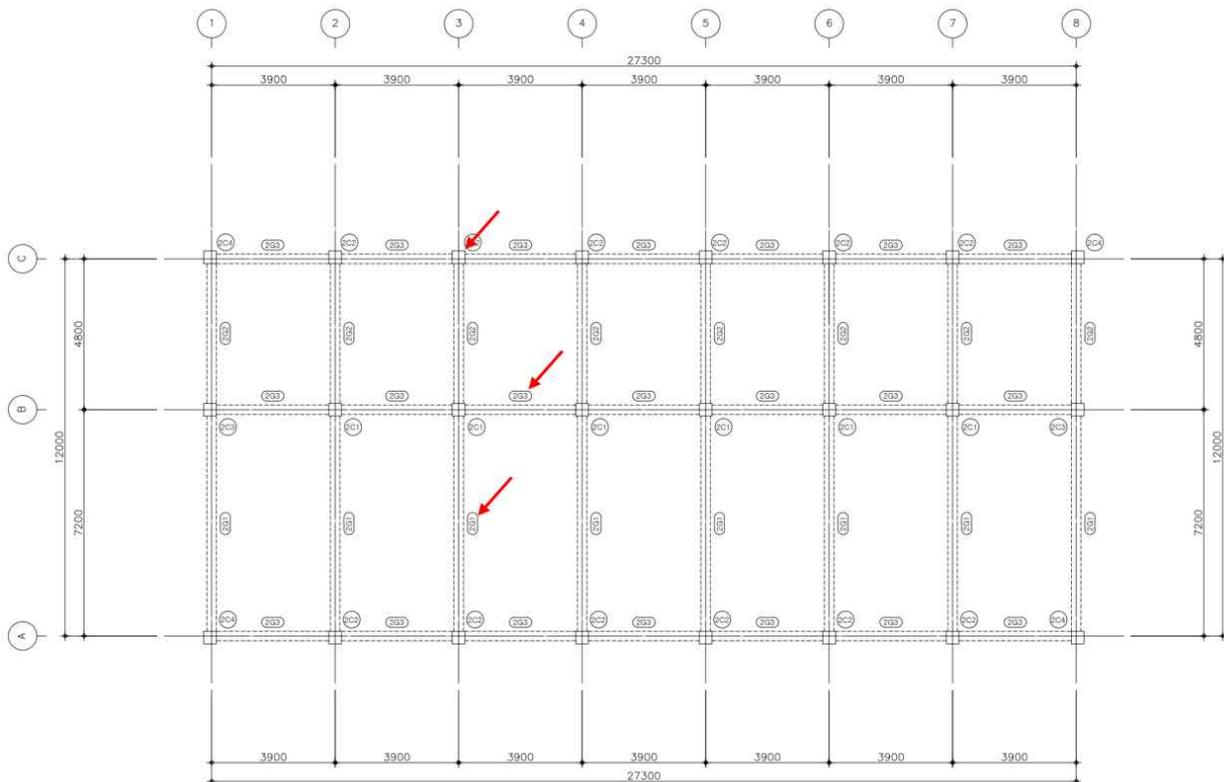


그림 4.1 예시 부재의 위치

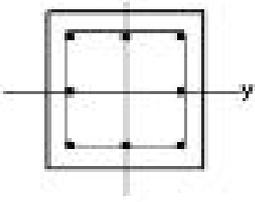
기존 건축물 내진성능평가 예제집

4.1.1 기둥

(1) 기둥의 강도 및 파괴모드

기둥의 파괴모드는 요령 표 5.4.1에 따라 전단강도 V_o (V_n 과 동일), 양단 휨항복시 전단력 V_p , 그리고 횡보강 철근의 상세에 따라 산정함.

표 4.1 기둥 단면정보

	단면		공칭강도 (MPa)		주근	전단철근
	B (mm)	H (mm)	f_{ck}	f_y		
	400	400	24	400	8-D19	D10@200

① z축 모멘트 방향

평균모멘트강도 (축력비 3%일 경우) $M_e = 179.2 \text{ kN-m}$

순높이 $h_o = 3.3(\text{층고}) - 0.6(\text{보춤}) - 0.6(\text{허리벽}) = 2.1 \text{ m}$ (허리벽으로 구속)

양단 모멘트항복시 전단력 $V_p = \frac{179.2 \times 2}{2.1} = 170.7 \text{ kN}$

전단강도 $V_o = V_n = 173.9 \text{ kN}$

$$V_p/V_o = 170.7/173.9 = 0.98$$

90° 갈고리를 가진 폐쇄형 띠철근 사용 : OK

∴ 그룹 ii : 휨전단파괴

② y축 모멘트 방향

평균모멘트강도 (축력비 3%일 경우) $M_e = 179.2 \text{ kN-m}$

순높이 $h_o = 3.3(\text{층고}) - 0.6(\text{보춤}) = 2.7 \text{ m}$

양단 모멘트항복시 전단력 $V_p = \frac{179.2 \times 2}{2.7} = 132.7 \text{ kN}$

전단강도 $V_o = V_n = 173.9 \text{ kN}$

$$V_p/V_o = 132.7/173.9 = 0.76$$

90° 갈고리를 가진 폐쇄형 띠철근 사용 : OK

∴ 그룹 ii : 휨전단파괴

[참조]

기둥의 전단강도 및 휨파괴시 전단력 산정		
기둥의 전단강도 (Vn)	$V_n = k_1 \frac{A_v f_y d}{s} + \lambda \left(\frac{0.5 \sqrt{f_{ck}}}{M/Vd} \sqrt{1 + \frac{N_u}{0.5 \sqrt{f_{ck}} A_g}} \right) 0.8 A_g$	[요령] 5.4.3.2
휨파괴시 전단력	$V_p = \frac{M_{e1} + M_{e2}}{h_o}$	

[참조]

요령 표 5.4.1 횡보강근 상세에 따른 RC기둥의 파괴모드 분류

전단 강도비 (V_p / V_o)	135° 갈고리가 사용되고 건축구조기준에서 규정하는 내진상세로 횡보강근이 배근된 경우	90° 갈고리를 가진 폐쇄형 띠철근이 사용된 경우	그 외(겹침이음된 띠철근 포함)
0.6 이하인 경우	i) ¹⁾	ii	ii
0.6 이상 1 이하인 경우	ii	ii	iii
1 이상인 경우	iii	iii	iii

1) 소성힌지구간에서 횡보강근이 $A_v/b_w s \geq 0.002$ 이고 $s/d \leq 0.5$ 인 경우에만 파괴모드 i로 분류할 수 있다. 그 외의 경우 파괴모드 ii로 분류함

- 그룹 i: 휨 파괴(전단 파괴 발생 없이 휨 파괴가 발생하는 경우)
- 그룹 ii: 휨전단 파괴(휨 항복 이후 전단 파괴가 발생하는 경우)
- 그룹 iii: 전단 파괴(휨 항복에 선행하여 전단 파괴가 발생하는 경우)

기존 건축물 내진성능평가 예제집

(2) 기둥의 모델링 주요 변수 및 허용기준

예비해석을 통해 산정된 성능점에서 축력과 전단력은 다음과 같으며 이러한 부재력 작용시 기둥의 비선형 모델링 변수와 허용기준을 산정함

부재력	z축 모멘트 방향	y축 모멘트 방향
P(kN)	337.07 kN·m	
V(kN)	13.02 kN	-69.48 kN

① z축 모멘트 방향

파괴모드: 그룹 ii

$$\text{축력비: } P/A_g f_{ck} = 0.0878 < 0.1$$

$$\text{횡보강근비: } \rho = A_v/b_w s = 0.0018$$

$$\text{전단강도비: } V/b_w d \sqrt{f_{ck}} = 0.0195 < 0.25$$

∴ 소성회전각, 잔류강도비, 허용기준:

a	b	c	l0	LS	CP
0.0167	0.0233	0.2000	0.005	0.0183	0.0233

② y축 모멘트 방향

파괴모드: 그룹 ii

$$\text{축력비: } P/A_g f_{ck} = 0.0878 < 0.1$$

$$\text{횡보강근비: } \rho = A_v/b_w s = 0.0018$$

$$\text{전단강도비: } V/b_w d \sqrt{f_{ck}} = 0.1043 < 0.25$$

∴ 소성회전각, 잔류강도비, 허용기준:

a	b	c	l0	LS	CP
0.0167	0.0233	0.2000	0.005	0.0183	0.0233

[참조] 요령 표 5.4.7 철근콘크리트 기둥의 모델링 주요 변수 및 성능수준별 허용기준

부재 조건	모델링 주요 변수 ¹⁾			허용기준 ¹⁾				
	소성회전각		잔류 강도비	성능수준				
	a	b	c	거주 가능	인명 안전	붕괴 방지		
그룹 ii: 휨 항복 후 전단 파괴 ²⁾								
$P/A_g f_{ck}$ ³⁾	$\rho = A_v/b_w s$	$V/b_w d \sqrt{f_{ck}}$ ⁴⁾						
≤ 0.1	≥ 0.006	≤ 0.25	0.032	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≤ 0.1	≥ 0.006	≥ 0.5	0.025	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006	≤ 0.25	0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
≥ 0.6	≥ 0.006	≥ 0.5	0.008	0.008	0.0	0.003	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005	≤ 0.25	0.012	0.012	0.2	0.005	0.010	0.012
≤ 0.1	≤ 0.0005	≥ 0.5	0.006	0.006	0.2	0.004	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005	≤ 0.25	0.004	0.004	0.0	0.002	0.003	0.004
≥ 0.6	≤ 0.0005	≥ 0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

1) 사이 값은 선형보간하여 산정

2) 5.4.2(3)에 따라 기둥의 파괴모드별 그룹 i, ii, iii 결정

3) $P > 0.7f_{ck}A_g$ 인 기둥부재의 경우, $d/3$ 보다 작은 간격으로 135도 갈고리 후프 철근이 배근되어 있고 전단철근에 의한 전단강도가 전체전단강도의 3/4 이상인 기둥이 아닌 경우 소성회전능력은 모든 성능수준에서 동일하게 0로 본다. 여기서 P 는 지진력과 수직하중에 의해 부재에 발생할 수 있는 최대축력이다.

4) V 는 비선형정적해석 또는 비선형동적해석으로부터 산정된 전단력

기존 건축물 내진성능평가 예제집

4.1.2 보

(1) 보의 강도 및 파괴모드

표 4.2 보의 단면정보

부재 이름	부재크기(mm)	주근		전단철근
1층 A3-B3 (장변방향)	300 × 600	양단부	상부근: 3-D19 하부근: 2-D19	D10@200
		중앙부	상부근: 3-D19 하부근: 4-D19	D10@300
1층 B3-B4 (단변방향)	300 × 600	양단부	상부근: 3-D19 하부근: 2-D19	D10@150
		중앙부	상부근: 3-D19 하부근: 2-D19	D10@300

① 1층 A3-B3

$$\text{정방향 } M_e = 134.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{부방향 } M_e = 197.7 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{순길이 } l_o = 7.2 - 0.4 = 6.8 \text{ m}$$

$$\text{양단 모멘트항복시 전단력 } V_p = \frac{134.3 + 197.7}{6.8} = 48.9 \text{ kN}$$

$$\text{전단강도 } V_n = V_c + V_s = 141.4 + 172.8 = 314.2 \text{ kN}$$

$\therefore V_n > V_p$ 이므로 휨지배거동

② 1층 B3-B4

$$\text{정방향 } M_e = 134.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{부방향 } M_e = 197.7 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{순길이 } l_o = 3.9 - 0.4 = 3.3 \text{ m}$$

$$\text{양단 모멘트항복시 전단력 } V_p = \frac{134.3 + 197.7}{3.3} = 100.6 \text{ kN}$$

$$\text{전단강도 } V_n = V_c + V_s = 141.4 + 230.4 = 371.8 \text{ kN}$$

$\therefore V_n > V_p$ 이므로 휨지배거동

(2) 보의 모델링 주요 변수 및 허용기준

예비해석을 통해 산정된 성능점에서 전단력은 다음과 같으며 이러한 부재력 작용시 보의 비선형 모델링 변수와 허용기준을 산정함

부재력	1층 A3-B3		1층 B3-B4	
	I-node	J-node	I-node	J-node
V(kN)	-69.66	55.61	-73.02	-22.60

① 1층 A3-B3

<지배거동> 휨지배거동

<주철근비>

$$\rho = 0.0052$$

$$\rho' = 0.0035$$

$$\rho_{bal} = \frac{0.85 \times f_{cke} \times \beta_1}{f_{ye}} \times \frac{\epsilon_{cu} E_s}{\epsilon_{cu} E_s + f_{ye}} = 0.0260$$

$$(\rho - \rho') / \rho_{bal} = 0.0667$$

<횡보강근 조건>

내진갈고리 있음

$$s = 200 > d/3 = 183.5$$

$$V_s = 172.8 < 0.75 V_n = 0.75 \times 314.2 = 235.7$$

∴ 전단철근의 간격이 부재축의 1/3을 초과하며 전단철근에 의한 전단강도가 전체전단강도의 75% 미만이므로 NC에 해당

<전단강도비> (i-node)

$$V/b_w d \sqrt{f_{ck}} = 0.0861 < 0.25$$

∴ 소성회전각, 잔류강도비, 허용기준:

a	b	c	IO	LS	CP
0.0187	0.0280	0.2000	0.005	0.0187	0.0280

<전단강도비> (j-node)

$$V/b_w d \sqrt{f_{ck}} = 0.0687 < 0.25$$

∴ j-node의 소성회전각, 잔류강도비, 허용기준도 I-node와 동일하다.

기존 건축물 내진성능평가 예제집

② 1층 B3-B4

<지배거동> 횡지배거동

<주철근비>

$$\rho = 0.0052$$

$$\rho' = 0.0035$$

$$\rho_{bal} = \frac{0.85 \times f_{cke} \times \beta_1}{f_{ye}} \times \frac{\varepsilon_{cu} E_s}{\varepsilon_{cu} E_s + f_{ye}} = 0.0260$$

$$\rightarrow (\rho - \rho') / \rho_{bal} = 0.0667$$

$$s = 150 < d/3 = 183.5$$

$$V_s = 230.4 < 0.75 V_n = 0.75 \times 372.8 = 279.6$$

∴ 전단철근에 의한 전단강도가 전체전단강도의 75% 미만이므로 NC에 해당

<전단강도비>

(i-node)

$$V/b_w d \sqrt{f_{ck}} = 0.0903 < 0.25$$

∴ 소성회전각, 잔류강도비, 허용기준:

a	b	c	IO	LS	CP
0.0187	0.0280	0.2000	0.005	0.0187	0.0280

(j-node)

$$V/b_w d \sqrt{f_{ck}} = 0.0279 < 0.25$$

∴ j-node의 소성회전각, 잔류강도비, 허용기준도 i-node와 동일하다.

[참조] 요령 표 5.4.6 철근콘크리트 보의 모델링 주요 변수 및 성능수준별 허용기준

부재 조건			모델링 주요 변수 ¹⁾			허용기준 ¹⁾		
			소성회전각		잔류 강도비	성능수준		
			a	b		c	거주가능	인명안전
휨에 의해 지배되는 경우 ²⁾								
$(\rho - \rho')/\rho_{bal}$	횡보강근 ³⁾	$V/b_w d \sqrt{f_{ck}}$ ⁴⁾						
≤0.0	C	≤0.25	0.025	0.05	0.2	0.010	0.025	0.05
≤0.0	C	≥0.5	0.02	0.04	0.2	0.005	0.02	0.04
≥0.5	C	≤0.25	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≥0.5	C	≥0.5	0.015	0.02	0.2	0.005	0.015	0.02
≤0.0	NC	≤0.25	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≤0.0	NC	≥0.5	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.01	0.015
≥0.5	NC	≤0.25	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.015
≥0.5	NC	≥0.5	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01

- 1) 사이 값은 선형보간하여 산정
- 2) 철근콘크리트보의 파괴모드를 고려하였을 때 다수의 상황에 해당하는 경우 가장 불리한 값을 사용
- 3) 소성힌지 영역에서 내진갈고리를 가진 후프 철근의 간격이 $d/3$ 이하이고 후프 철근에 의한 강도 (v_s)가 전체전단강도의 3/4 이상이면 'C' 으로 판단하며, 그 외에는 'NC' 로 판단함
- 4) v 는 비선형정적해석 또는 비선형동적해석으로부터 산정된 전단력

기존 건축물 내진성능평가 예제집

4.1.3 조적벽

※ (1) 조적벽의 재료특성, (2) 조적벽의 강성, (3) 조적벽의 강도는 2장 선형정적 예제와 동일

(4) 조적채움벽 모델링 주요 변수 및 허용기준

① 조적채움벽: A1-B1 (y방향, $L_m = 6800$, $h_m = 2700$, $t_m = 190$)

골조와 채움벽의 강도비 $\beta = V_{frame}/V_m = (\text{기동전단강도 } 173.9)/(162.6)=1.07$

채움벽의 길이/높이 비 $L_m/h_m = 6800 / 2700 = 2.51 > 2.0$

∴ 소성회전각, 잔류강도비, 허용기준:

d	e	c	LS	CP
0.6%	NA	NA	0.4%	NA

② 조적허리벽: C2-C3 (x방향, $L_m = 3500$, $h_m = 600$, $t_m = 190$)

골조와 채움벽의 강도비 $\beta = V_{frame}/V_m = (\text{기동전단강도 } 173.9)/(166.6)=1.04$

채움벽의 길이/높이 비 $L_m/h_m = 3500 / 600 = 5.83 > 2.0$

∴ 소성회전각, 잔류강도비, 허용기준:

d	e	c	LS	CP
0.6%	NA	NA	0.4%	NA

[참조] 요령 표 6.1.5 조적채움벽의 등가압축가새의 모델링 주요변수 및 허용기준¹⁾

조건		모델링 주요변수			허용기준 (층간변형각, %)	
골조와 채움벽의 강도비 β ²⁾	채움벽의 길이/높이비 ³⁾	층간변형각 (%)		잔류 강도비 c	인명안전	붕괴방지
		d	e ⁴⁾			
0.7 미만	0.5	0.5	n.a.	n.a.	0.4	n.a.
	1.0	0.4	n.a.	n.a.	0.3	n.a.
	2.0	0.3	n.a.	n.a.	0.2	n.a.
0.7 이상 1.3 미만	0.5	1	n.a.	n.a.	0.8	n.a.
	1.0	0.8	n.a.	n.a.	0.6	n.a.
	2.0	0.6	n.a.	n.a.	0.4	n.a.
1.3 이상	0.5	1.5	n.a.	n.a.	1.1	n.a.
	1.0	1.2	n.a.	n.a.	0.9	n.a.
	2.0	0.9	n.a.	n.a.	0.7	n.a.

1) 사이값은 선형보간한다.

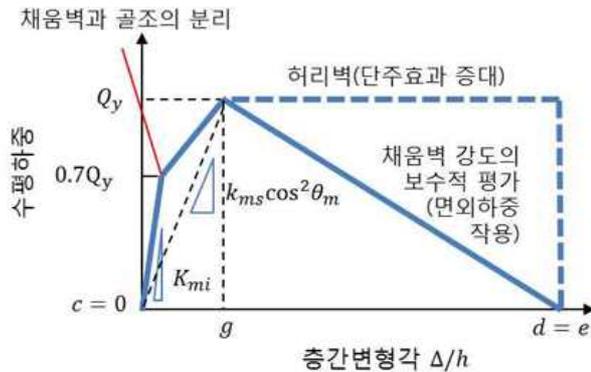
2) 골조와 채움벽의 강도비 β 는 V_{frame}/V_m 로 산정한다.

3) 채움벽의 길이-높이비는 L_m/h_m 로 산정한다.

4) e는 d와 같다고 볼 수 있다.

[참조]

- 해석모델에서 조적허리벽의 거동을 모델링할 경우 반드시 아래와 같이 단주효과가 기대되도록 모델링한다.



해그림 6.1.7 조적채움벽과 허리벽의 비선형정적절차 적용 모델

[참조]

- * 조적채움벽을 양방향 대각가새로 반영하는 경우 해석방법에 따른 강도 및 강성의 적용은 다음과 같음.

<강도>

1) 선형정적절차, 선형동적절차

- 해석 프로그램 상 압축가새요소 구현 불가
- 100% 지진력에 대하여 양방향 대각가새가 50%씩 분담
- 이러한 소요강도를 고려하기 위하여 강도 50% 반영

2) 비선형정적절차, 비선형동적절차

- 해석 프로그램 상 압축가새요소 구현 가능(BY 비선형 속성)
- 100% 지진력에 대하여 압축력 작용 대각가새가 100% 분담
- 이러한 소요강도를 고려하기 위하여 강도 100% 반영

<강성>

- 1) 한방향 대각가새와 동일한 고유치해석결과를 도출하기 위하여 기본해석(선형 및 비선형)의 양방향 대각가새 축강성을 50%로 저감
- 2) 다만, 비선형절차의 경우 조적채움벽의 압축가새요소 설정에 따른 비탄성거동을 반영하기 위하여 비선형 속성상의 축강도를 100%로 고려

4.1.4 조적채움벽의 면외방향검토

※ 2장 선형정적 예제와 동일

4.2 구조해석모델

- (1) 조적채움벽과 허리벽은 트러스 요소를 사용한 등가트러트를 X 형태로 배치하여 모델링.
- (2) 비선형 해석시 등가트러트는 압축에 대해서만 유효하고 인장에 대해서는 저항력이 없는 것으로 모델링할 수 있음. 따라서, 압축력작용시 강도와 강성은 4.1.3에서 산정한 값의 100%를 가지도록 모델링하였음.
- (3) 지중보와 주각을 모델링하고 기둥하부(기초) 절점은 핀지지로 가정하여 모델링함.

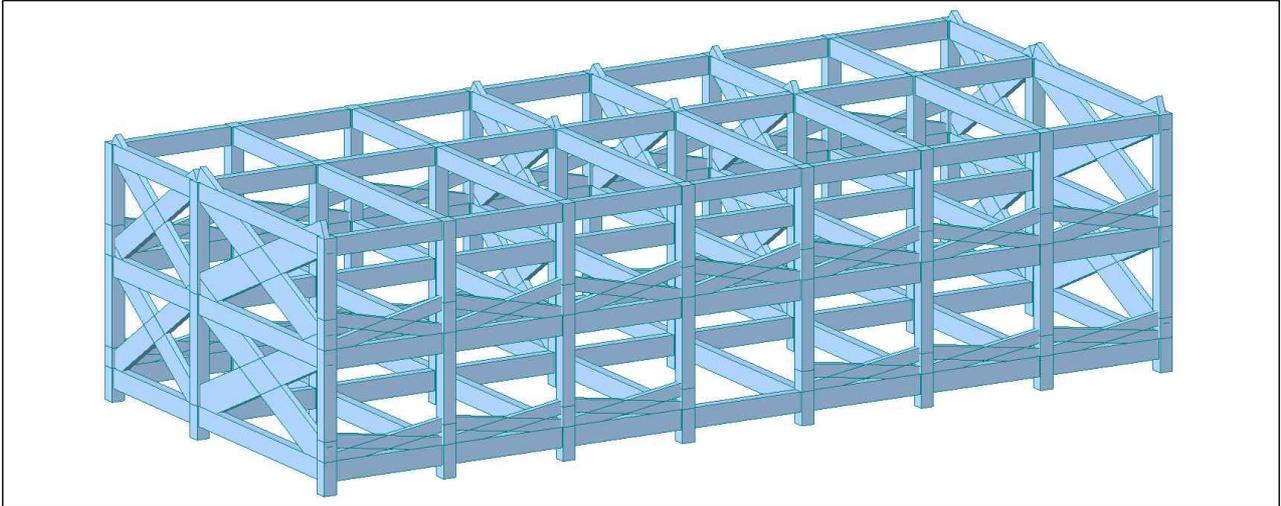


그림 4.2 3D 뷰

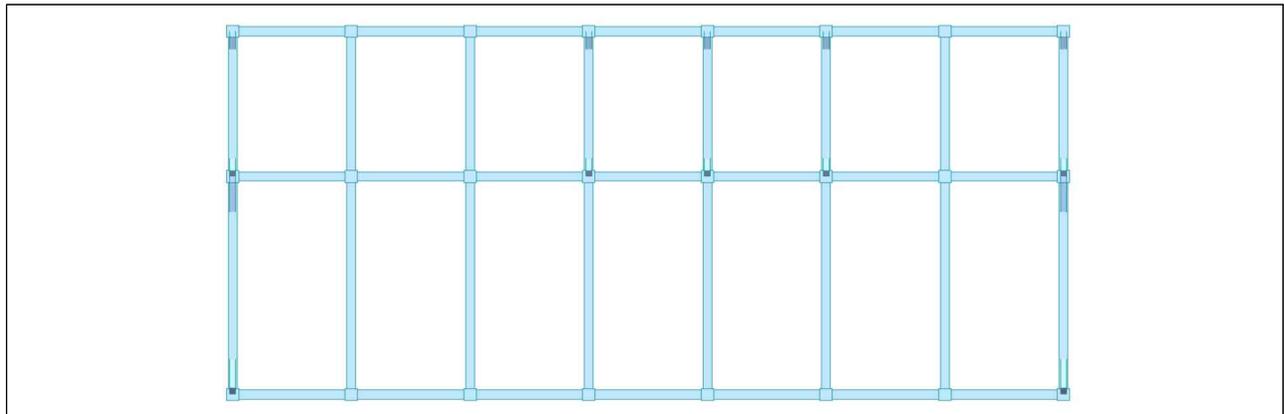


그림 4.3 평면

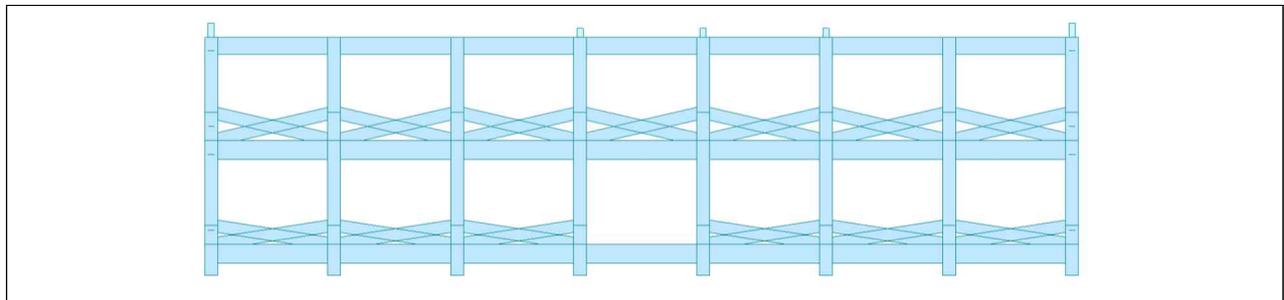


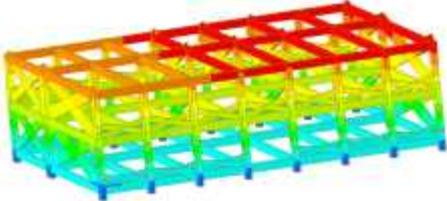
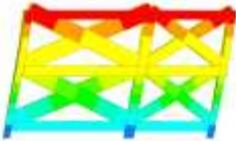
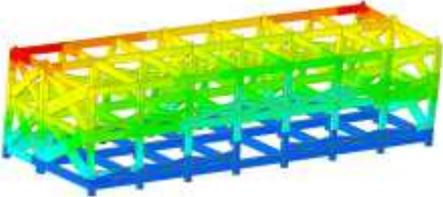
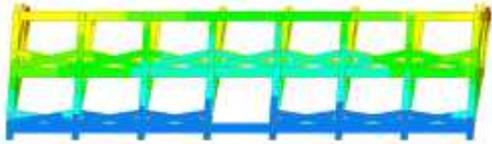
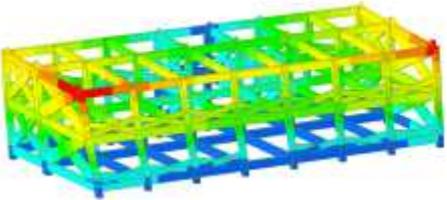
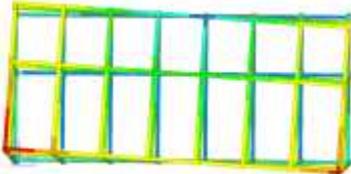
그림 4.4 입면

4.3 고유치 해석

표 4.3 고유치 해석 결과

모드	주기 (초)	질량참여율 (%)		
		X방향	Y방향	비틀림
1	0.437	0.01	94.2	0.17
2	0.336	74.28	0.11	19.67
3	0.312	19.83	0.18	73.76
누적참여율		94.5	94.3	94.5

표 4.4 고유치 해석 결과 및 모드 형상

	
1차모드	1차 모드
	
2차모드	2차모드
	
3차모드	3차모드

5. 비선형정적해석조건 및 성능점 산정

5.1 비선형정적절차 적용제한 검토

(1) 비선형정적절차 일반적으로 푸시오버해석은 고차모드의 영향이 크지 않은 건물에 사용할 수 있으므로, 응답스펙트럼법을 사용하여 저차모드 지배 유무를 판단하였음.

표 5.1 비선형정적절차 적용제한 검토

층	누적 질량참여율이 90% 이상인 모델의 Story Shear (kN)		1차모드 만을 고려한 모델 Story Shear (kN)		비율	
	X-DIR	Y-DIR	X-DIR	Y-DIR	X-DIR	Y-DIR
RF	569.5	628.6	526.5	622.9	108 %	101 %
2F	914.4	1001.8	798.1	970.4	114 %	103 %

∴ 각 층에서 전단력의 차이가 130% 보다 작아 고차모드의 영향이 크지 않으므로 비선형정적 절차를 적용할 수 있는 구조물로 판정됨

5.2 비선형정적절차 해석조건

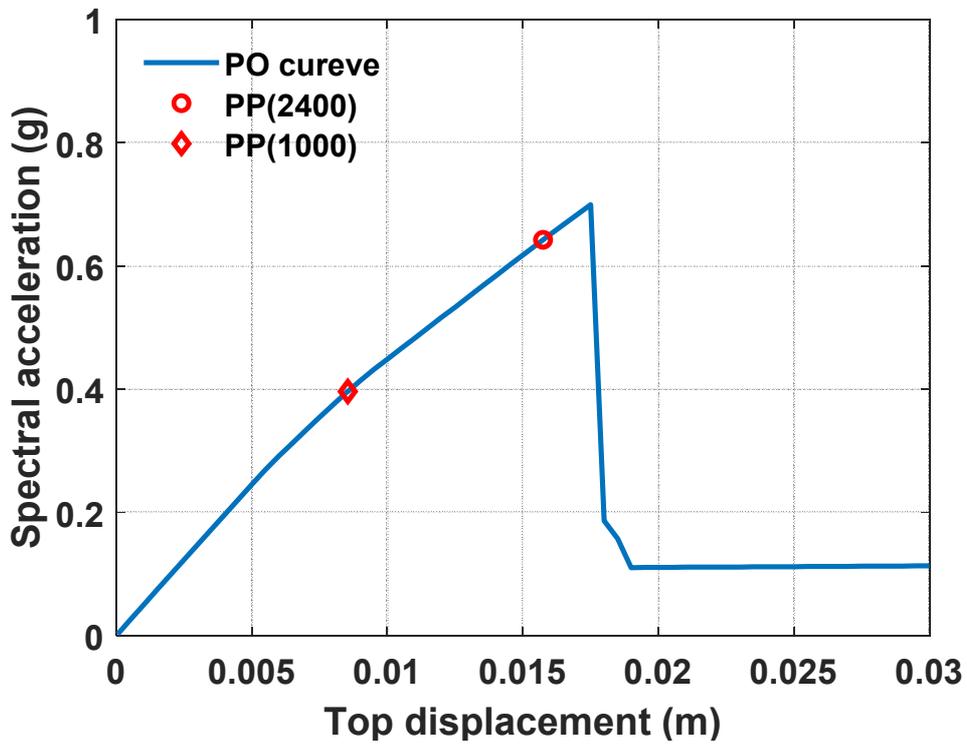
(1) 비선형정적절차 적용시 해석 조건은 다음과 같음

표 5.2 비선형정적절차 해석조건

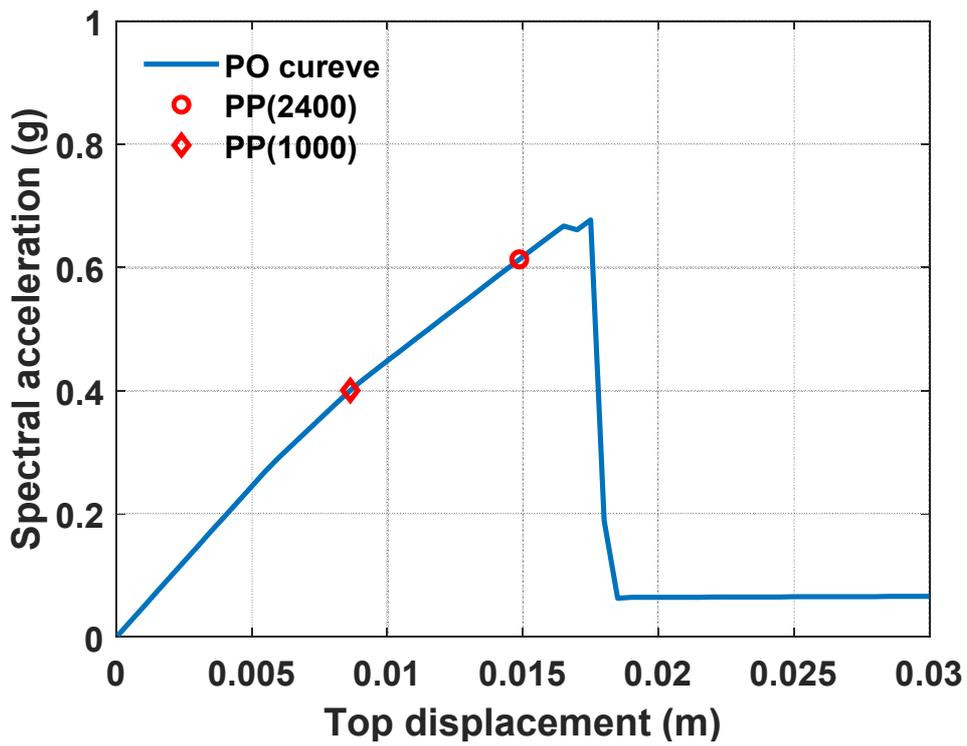
해석조건	적용 여부
초기하중	1.0D+0.25L (중력하중)
P-delta 효과 고려	고려
기하비선형 고려	고려않음
해석 Step 수	200
성능점 산정 알고리즘	FEMA-440 Procedure-A
Damping & Period Parameters Model	Strength Degrading

(2) 비선형 정적해석은 인장과 압축의 결과가 상이하므로 +X 방향, -X방향, +Y방향, -Y방향 별로 수행하였으며 해석결과는 각 경우 역량곡선에 2400년 재현주기 지진시 성능점과 1000년 재현주기 지진시 성능점을 표시하였음.

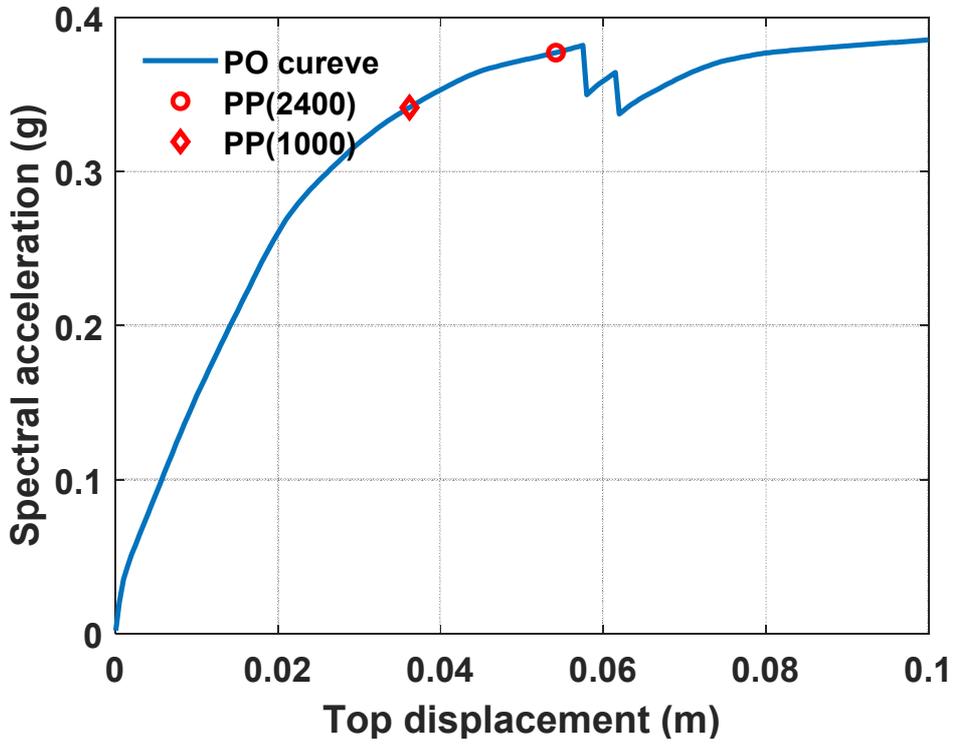
① +X 방향



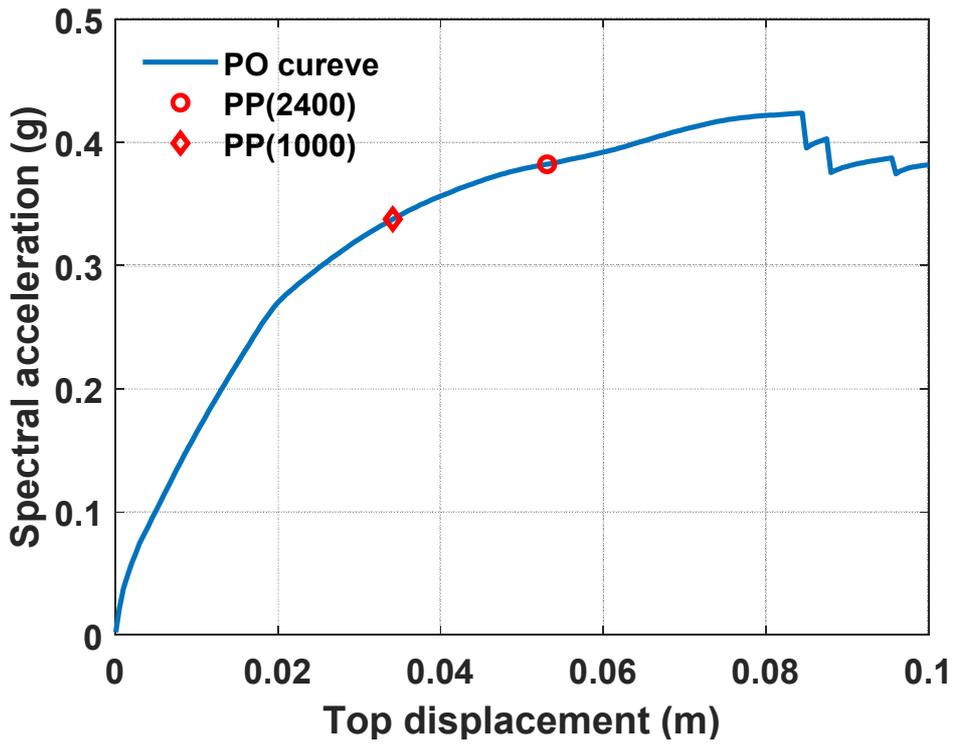
② -X 방향



③ +Y 방향



④ -Y 방향



6. 성능수준 판정

6.1 중력하중저항능력 검토

<부재별 성능수준의 판정>

- (1) 변형지배거동의 만족여부는 성능점에서 부재의 비선형변형량과 평가요령 5장, 6장 및 7장에 제시된 성능수준별 허용기준과의 비교를 통해 판정함. (부재별 판정결과는 <부록>부재별 성능수준 평가 결과 참조)
- (2) 힘지배거동의 경우 요령 4.3.4 (2)에 따라 주방향의 성능점에서의 하중효과에 직교방향 성능점 변위의 30% 변위에서 발생하는 하중효과를 조합한 후 요령 4.3.6에 따라 판정함.

표 6.1 재현주기별 성능점의 변위와 성능점변위의 30%에 해당하는 변위가 발생한 해석step

방향	재현주기 2400년			재현주기 1000년		
	성능점변위 (m)	성능점변위의 30% (m)	해석 step	성능점변위 (m)	성능점변위의 30% (m)	해석 step
+X	0.015744	0.004723	10	0.008538	0.002561	5
-X	0.014872	0.004462	9	0.008629	0.002589	5
+Y	0.054181	0.016254	32	0.036182	0.010854	22
-Y	0.0531	0.01593	32	0.034131	0.010239	21

- (3) 아래 표는 +X 방향 2400년 지진에 대한 기동부재에 대한 검토결과의 일부임. 여기서 comb1은 +X방향 성능점에서 힘지배거동 (축력, 전단력)에 (+Y)방향 성능점 변위의 30%에 해당하는 지점의 힘지배거동이 조합된 부재력을 나타냄. 즉,

$$Q_{UF(comb1)} = \gamma\chi([Q_{UF} - Q_G]_{1.0X} + [Q_{UF} - Q_G]_{0.3Y}) + Q_G$$

- (4) 이때 $\chi=1.0$, $\gamma=1.0$ 을 적용하였음. comb2은 100%의 (+X)방향과 30%의 (-Y)방향이 조합된 부재력을 나타냄.
- (5) Q_{CN} 은 공칭하중기반 부재의 강도이며 DCR은 comb1과 comb2중 더 큰 값과 부재강도의 비를 나타냄.

기존 건축물 내진성능평가 예제집

부재 번호	comb1			comb2			Q_CN			DCR		
	Axial	Vy	Vz	Axial	Vy	Vz	Axial	Vy	Vz	Axial	Vy	Vz
407	223.3	18.2	57.2	197.1	72.1	56.8	4134.0	142.3	137.1	0.05	0.51	0.42
407	210.9	18.2	57.2	184.7	72.1	56.8	4134.0	128.3	128.3	0.05	0.56	0.45
413	221.3	19.5	52.3	194.0	71.9	52.3	4134.0	143.3	137.8	0.05	0.50	0.38
413	208.8	19.5	52.3	181.6	71.9	52.3	4134.0	128.3	128.3	0.05	0.56	0.41
437	220.9	24.1	57.9	192.7	70.7	57.1	4134.0	143.7	135.1	0.05	0.49	0.43
437	208.5	24.1	57.9	180.3	70.7	57.1	4134.0	128.4	128.4	0.05	0.55	0.45
480	79.5	9.7	96.2	128.3	42.9	93.1	4134.0	207.9	175.3	0.03	0.21	0.55
480	70.4	9.7	96.2	119.3	42.9	93.1	4134.0	119.3	148.6	0.03	0.36	0.65
481	153.1	59.4	90.0	130.2	27.3	93.0	4134.0	214.7	179.6	0.04	0.28	0.52
481	144.0	59.4	90.0	121.2	27.3	93.0	4134.0	122.8	153.9	0.03	0.48	0.60
482	80.1	9.8	89.3	129.5	43.4	85.7	4134.0	208.3	170.6	0.03	0.21	0.52
482	71.1	9.8	89.3	120.4	43.4	85.7	4134.0	119.5	152.3	0.03	0.36	0.59
483	144.1	60.6	86.4	122.1	28.1	90.3	4134.0	214.0	176.4	0.03	0.28	0.51
483	135.1	60.6	86.4	113.0	28.1	90.3	4134.0	122.4	155.2	0.03	0.50	0.58
484	145.1	61.2	89.2	122.7	28.2	93.1	4134.0	214.0	175.6	0.04	0.29	0.53
484	136.1	61.2	89.2	113.6	28.2	93.1	4134.0	122.4	155.9	0.03	0.50	0.60
485	145.7	60.9	86.7	123.1	27.7	90.6	4134.0	214.0	176.9	0.04	0.28	0.51
485	136.6	60.9	86.7	114.0	27.7	90.6	4134.0	122.4	154.8	0.03	0.50	0.59
487	144.6	62.2	86.9	121.7	28.6	90.9	4134.0	214.0	176.9	0.03	0.29	0.51
487	135.6	62.2	86.9	112.7	28.6	90.9	4134.0	122.4	154.8	0.03	0.51	0.59
488	76.2	12.8	97.8	127.9	42.4	93.9	4134.0	208.4	172.3	0.03	0.20	0.57
488	67.2	12.8	97.8	118.8	42.4	93.9	4134.0	119.6	151.3	0.03	0.35	0.65
489	150.9	61.7	86.6	127.5	28.0	91.2	4134.0	214.8	174.0	0.04	0.29	0.52
489	141.9	61.7	86.6	118.5	28.0	91.2	4134.0	122.8	158.2	0.03	0.50	0.58
406	420.5	59.1	93.6	341.0	74.7	93.2	4134.0	163.8	141.8	0.10	0.46	0.66
406	408.1	59.1	93.6	328.5	74.7	93.2	4134.0	141.0	141.7	0.10	0.53	0.66
412	410.5	60.4	90.5	328.6	74.7	90.3	4134.0	162.2	141.7	0.10	0.46	0.64
412	398.1	60.4	90.5	316.2	74.7	90.3	4134.0	140.8	143.1	0.10	0.53	0.63
424	553.8	66.9	92.8	425.1	70.8	92.4	4134.0	152.1	149.4	0.13	0.47	0.62
424	541.4	66.9	92.8	412.7	70.8	92.4	4134.0	148.5	149.0	0.13	0.48	0.62
436	401.6	63.9	95.3	316.7	76.4	94.6	4134.0	160.3	141.6	0.10	0.48	0.67
436	389.2	63.9	95.3	304.3	76.4	94.6	4134.0	140.7	140.7	0.09	0.54	0.68
454	131.9	44.1	123.3	281.4	54.3	118.9	4134.0	224.1	172.7	0.07	0.24	0.71
454	121.7	44.1	123.3	271.2	54.3	118.9	4134.0	127.4	142.1	0.07	0.43	0.87
455	305.3	54.9	117.6	235.1	23.6	122.0	4134.0	234.7	179.9	0.07	0.23	0.68
455	295.1	54.9	117.6	225.0	23.6	122.0	4134.0	132.7	148.4	0.07	0.41	0.82
456	121.9	44.7	121.2	270.0	54.8	117.0	4134.0	224.6	171.0	0.07	0.24	0.71
456	111.7	44.7	121.2	259.8	54.8	117.0	4134.0	127.7	143.7	0.06	0.43	0.84
457	288.1	54.9	114.8	222.1	24.5	119.6	4134.0	233.9	177.8	0.07	0.23	0.67
457	278.0	54.9	114.8	211.9	24.5	119.6	4134.0	132.3	148.9	0.07	0.41	0.80
458	284.7	55.8	115.7	216.3	25.2	119.6	4134.0	233.0	177.4	0.07	0.24	0.67
458	274.5	55.8	115.7	206.1	25.2	119.6	4134.0	131.8	148.2	0.07	0.42	0.81
460	289.6	56.4	115.2	221.1	25.4	120.0	4134.0	233.7	178.2	0.07	0.24	0.67
460	279.4	56.4	115.2	210.9	25.4	120.0	4134.0	132.2	148.4	0.07	0.43	0.81
461	280.6	57.3	118.8	209.1	25.2	124.2	4134.0	233.9	179.8	0.07	0.24	0.69
461	270.4	57.3	118.8	198.9	25.2	124.2	4134.0	132.3	147.7	0.07	0.43	0.84
462	168.3	40.9	124.6	367.5	60.3	121.3	4134.0	238.5	183.8	0.09	0.25	0.68
462	158.2	40.9	124.6	357.4	60.3	121.3	4134.0	134.7	149.9	0.09	0.45	0.83
531	287.0	55.3	98.1	219.4	25.0	102.0	4134.0	233.8	222.9	0.07	0.24	0.46
531	276.8	55.3	98.1	209.3	25.0	102.0	4134.0	132.3	132.3	0.07	0.42	0.77
546	100.9	47.2	107.4	259.0	56.0	104.0	4134.0	224.4	219.2	0.06	0.25	0.49
546	90.7	47.2	107.4	248.8	56.0	104.0	4134.0	127.5	127.5	0.06	0.44	0.84

<이하 생략>

6.1.1 재현주기 2400년 지진 : 붕괴방지

- (1) 중력하중저항능력의 만족여부는 평가요령 “4.6 성능수준의 판정” 을 따름.
- (2) 성능수준별 중력하중저항능력의 만족여부는 각 방향별 층별로 수행하였으며 각 층의 부재는 수직부재와 수평부재로 나누어 평가하였음.

① +X 방향

<수직부재>

층	높이(m)	I0만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	1.0	1.0	1.0	10	0	CP 만족
2층	3.30	1.0	1.0	1.0	10	0	CP 만족

<수평부재>

층	높이(m)	I0만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	1.0	1.0	1.0	10	0	CP 만족
2층	3.30	1.0	1.0	1.0	10	0	CP 만족

② -X 방향

<수직부재>

층	높이(m)	I0만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	1.0	1.0	1.0	10	0	CP 만족
2층	3.30	1.0	1.0	1.0	10	0	CP 만족

<수평부재>

층	높이(m)	I0만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	1.0	1.0	1.0	10	0	CP 만족
2층	3.30	1.0	1.0	1.0	10	0	CP 만족

기존 건축물 내진성능평가 예제집

③ +Y 방향

<수직부재>

층	높이 (m)	I0만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	0.53	0.53	0.53	-	8	CP 불만족
2층	3.30	0.51	0.51	0.51	-	9	CP 불만족

<수평부재>

층	높이 (m)	I0만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	1.0	1.0	1.0	I0	0	CP 만족
2층	3.30	0.35	1.0	1.0	LS	0	CP 만족

④ -Y 방향

<수직부재>

층	높이 (m)	I0만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	0.80	0.80	0.80	-	5	CP 불만족
2층	3.30	0.51	0.51	0.51	-	9	CP 불만족

<수평부재>

층	높이 (m)	I0만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	1.0	1.0	1.0	I0	0	CP 만족
2층	3.30	0.35	1.0	1.0	LS	0	CP 만족

6.1.2 재현주기 1000년 지진 : 인명안전

- (1) 중력하중저항능력의 만족여부는 평가요령 “4.6 성능수준의 판정” 을 따름.
- (2) 성능수준별 중력하중저항능력의 만족여부는 각 방향별 층별로 수행하였으며 각 층의 부재는 수직부재와 수평부재로 나누어 평가하였음.

① +X 방향

<수직부재>

층	높이 (m)	10만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족
2층	3.30	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족

<수평부재>

층	높이 (m)	10만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족
2층	3.30	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족

<조적채움벽>

층	하중조합	LS 만족여부(개)		판정
		만족	불만족	
2층	ALL	7	0	LS 만족
1층	ALL	7	0	LS 만족

② -X 방향

<수직부재>

층	높이 (m)	10만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족
2층	3.30	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족

기존 건축물 내진성능평가 예제집

<수평부재>

층	높이 (m)	I0만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족
2층	3.30	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족

<조적채움벽>

층	하중조합	LS 만족여부(개)		판정
		만족	불만족	
2층	ALL	7	0	LS 만족
1층	ALL	7	0	LS 만족

③ +Y 방향

<수직부재>

층	높이 (m)	I0만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족
2층	3.30	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족

<수평부재>

층	높이 (m)	I0만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족
2층	3.30	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족

<조적채움벽>

층	하중조합	LS 만족여부(개)		판정
		만족	불만족	
2층	ALL	7	0	LS 만족
1층	ALL	7	0	LS 만족

④ -Y 방향

<수직부재>

층	높이 (m)	10만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족
2층	3.30	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족

<수평부재>

층	높이 (m)	10만족	LS만족	CP만족	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족
2층	3.30	1.0	1.0	1.0	10	0	LS 만족

<조적채움벽>

층	하중조합	LS 만족여부(개)		판정
		만족	불만족	
2층	ALL	7	0	LS 만족
1층	ALL	7	0	LS 만족

기존 건축물 내진성능평가 예제집

6.2 층간변형각기준에 따른 성능수준 판정

- 해당 건물은 내진설계가 되지 않은 건물로 허용층간변형각은 평가요령 <표 4.6.1>에 규정된 값의 70%로 산정함.

6.2.1 재현주기 2400년 지진 : 붕괴방지

(1) +X 방향

층	층높이(m)	허용층간변형각(CP)	최대 층간변형각	판정
R00F	3.3	0.0105	0.0013	OK
2F	3.3		0.0019	OK

(2) -X 방향

층	층높이(m)	허용층간변형각(CP)	최대 층간변형각	판정
R00F	3.3	0.0105	0.0019	OK
2F	3.3		0.0019	OK

(3) +Y 방향

층	층높이(m)	허용층간변형각(CP)	최대 층간변형각	판정
R00F	3.3	0.0105	0.002	OK
2F	3.3		0.002	OK

(4) -Y 방향

층	층높이(m)	허용층간변형각(CP)	최대 층간변형각	판정
R00F	3.3	0.0105	0.002	OK
2F	3.3		0.002	OK

6.2.2 재현주기 1000년 지진 : 인명안전

(1) +X 방향

층	층높이(m)	허용층간변형각(LS)	최대 층간변형각	판정
R00F	3.3	0.007	0.0008	OK
2F	3.3		0.0011	OK

(2) -X 방향

층	층높이(m)	허용층간변형각(LS)	최대 층간변형각	판정
R00F	3.3	0.007	0.0008	OK
2F	3.3		0.0011	OK

(3) +Y 방향

층	층높이(m)	허용층간변형각(LS)	최대 층간변형각	판정
R00F	3.3	0.007	0.001	OK
2F	3.3		0.001	OK

(4) -Y 방향

층	층높이(m)	허용층간변형각(LS)	최대 층간변형각	판정
R00F	3.3	0.007	0.001	OK
2F	3.3		0.001	OK

7. 기초 안전성 평가

- (1) 2400년 재현주기 지진 작용시 기둥 하단부에 작용하는 축력(최대소요반력)과 기대지지력의 비를 나타내면 표 7.1과 같음.
- (2) 기초의 기대지지력(q_e)은 요령 “8.3 (1)” 의 식 (8.3.1)에 따라 허용지지력(q_{all})의 3배로 가정함
- (3) 허용지지력(q_{all})은 요령 “8.3 (2)” 에 따라 고정하중의 1.0배와 활하중의 0.25배를 적용한 경우의 기초반력을 허용지지력으로 사용함.

표 7.1 기초 검토 (압축내력)

부재번호	최대압축하중 (KN)	허용지지력 (KN)	기대지지력 (KN)	DCR (압축)	압축력 검토
631	411.0	368.2	1104.7	0.37	OK
632	398.5	355.8	1067.4	0.37	OK
633	413.7	371.5	1114.5	0.37	OK
634	401.3	359.1	1077.2	0.37	OK
635	536.7	482.2	1446.5	0.37	OK
636	524.3	469.7	1409.2	0.37	OK
637	416.4	374.4	1123.3	0.37	OK
638	404.0	362.0	1086.0	0.37	OK
639	317.2	187.5	562.6	0.56	OK
640	307.0	177.4	532.1	0.58	OK
641	328.3	255.1	765.4	0.43	OK
642	318.1	245.0	734.9	0.43	OK
643	325.5	195.6	586.8	0.55	OK
644	315.3	185.4	556.3	0.57	OK
645	326.4	254.8	764.5	0.43	OK
646	316.3	244.7	734.0	0.43	OK
647	327.2	253.2	759.5	0.43	OK
648	317.1	243.0	729.0	0.43	OK
649	327.5	254.6	763.8	0.43	OK
650	317.3	244.4	733.3	0.43	OK
651	329.7	255.3	765.8	0.43	OK
652	319.5	245.1	735.3	0.43	OK
653	438.2	308.6	925.8	0.47	OK
654	428.0	298.4	895.3	0.48	OK

- (4) 해석결과 인발력은 발생하지 않아 인발에 대한 검토는 생략함. 만약 인발력이 발생할 경우 선형정적절차의 경우와 유사하게 기초와 기초상부 흙의 무게를 고려하여 인발에 대한 검토를 수행할 수 있음.

8. 최종 평가결과

- (1) 2400년 재현주기 지진시 X방향은 붕괴방지의 성능목표에 해당하는 중력하중저항능력을 만족하나 Y방향은 부재의 중력하중저항능력이 목표성능을 불만족함. 1000년 재현주기 지진시 인명안전의 성능목표에 해당하는 중력하중저항능력은 X방향 Y방향 모두 만족함
- (2) 2400년 재현주기 지진시와 1000년 재현주기 지진시 해당되는 목표성능에 해당하는 층간변형각을 모두 만족함

표 8.1 최종 평가결과

해석 방법	성능 목표	방향	중력하중저항능력	붕괴부재	허용층간변형각	조적벽 안전성	기초 안전성	평가결과	비고
비선형 정적 해석	인명 안전	X 축	만족	-	만족	불만족	-	불만족	
		Y 축	만족	-	만족	불만족	-	불만족	
	붕괴 방지	X 축	만족	만족	만족	-	만족	만족	
		Y 축	불만족	불만족	만족	-	만족	불만족	

<부록> 부재별 성능수준 평가 결과

표1. 성능점에서의 기둥부재 성능수준 검토 테이블 예시 (2400년 +X 방향)

층	단면	부재번호	파괴모드	횡보강근	축력비	전단력비	소성회전각	허용기준			성능수준
								I0	LS	CP	
1F	1C1	406	Group2	NC	0.08	0.174	0.00082	0.00508	0.01460	0.01829	I0
1F	1C1	406	Group2	NC	0.076	0.174	0	0.00507	0.01459	0.01827	I0
1F	1C1	412	Group2	NC	0.08	0.174	0.00089	0.00507	0.01459	0.01827	I0
1F	1C1	412	Group2	NC	0.077	0.174	0	0.00507	0.01458	0.01825	I0
1F	1C1	424	Group2	NC	0.11	0.181	0.00063	0.00519	0.01493	0.01870	I0
1F	1C1	424	Group2	NC	0.107	0.181	0	0.00518	0.01491	0.01867	I0
1F	1C1	436	Group2	NC	0.081	0.173	0.00109	0.00508	0.01460	0.01828	I0
1F	1C1	436	Group2	NC	0.078	0.173	0	0.00507	0.01458	0.01826	I0
1F	1C2	454	Group2	NC	0.083	0.152	0	0.00504	0.01449	0.01814	I0
1F	1C2	454	Group2	NC	0.08	0.152	0	0.00504	0.01449	0.01814	I0
1F	1C2	455	Group2	NC	0.048	0.135	0	0.00509	0.01463	0.01833	I0
1F	1C2	455	Group2	NC	0.045	0.135	0	0.00510	0.01467	0.01837	I0
1F	1C2	456	Group2	NC	0.085	0.153	0	0.00504	0.01450	0.01815	I0
1F	1C2	456	Group2	NC	0.082	0.153	0	0.00504	0.01450	0.01816	I0
1F	1C2	457	Group2	NC	0.047	0.138	0	0.00509	0.01463	0.01832	I0
1F	1C2	457	Group2	NC	0.045	0.138	0	0.00510	0.01467	0.01837	I0
1F	1C2	458	Group2	NC	0.047	0.14	0	0.00509	0.01463	0.01833	I0
1F	1C2	458	Group2	NC	0.044	0.14	0	0.00510	0.01467	0.01837	I0
1F	1C2	460	Group2	NC	0.047	0.141	0	0.00509	0.01463	0.01832	I0
1F	1C2	460	Group2	NC	0.045	0.141	0	0.00510	0.01468	0.01838	I0
1F	1C2	461	Group2	NC	0.048	0.141	0	0.00509	0.01464	0.01833	I0
1F	1C2	461	Group2	NC	0.045	0.141	0	0.00510	0.01467	0.01837	I0
1F	1C2	462	Group2	NC	0.114	0.158	0	0.00514	0.01478	0.01850	I0
1F	1C2	462	Group2	NC	0.111	0.158	0	0.00514	0.01479	0.01852	I0
1F	1C2	531	Group2	NC	0.047	0.139	0	0.00508	0.01462	0.01831	I0
1F	1C2	531	Group2	NC	0.045	0.139	0	0.00510	0.01466	0.01835	I0
1F	1C2	546	Group2	NC	0.086	0.159	0	0.00504	0.01449	0.01815	I0
1F	1C2	546	Group2	NC	0.083	0.159	0	0.00504	0.01449	0.01815	I0

< 이하 생략 >

표2. 성능점에서의 보부재 성능수준 검토 테이블 예시 (2400년 +X 방향)

층	부재 이름	단면	지배모드	횡보강근	주철근비	전단력비	소성 변형각	허용기준 (rad)			성능수준
								IO	LS	CP	
2F	336	2G3	Flexural	NC	0.078	0.022	0.0000	0.0050	0.0184	0.0277	IO
2F	337	2G3	Flexural	NC	0.078	0.038	0.0000	0.0050	0.0184	0.0277	IO
2F	337	2G3	Flexural	NC	0.078	0.035	0.0000	0.0050	0.0184	0.0277	IO
2F	338	2G3	Flexural	NC	0.078	0.035	0.0000	0.0050	0.0184	0.0277	IO
2F	338	2G3	Flexural	NC	0.078	0.021	0.0000	0.0050	0.0184	0.0277	IO
2F	339	2G1	Flexural	NC	-0.078	0.038	0.0008	0.0050	0.0200	0.0300	IO
2F	339	2G1	Flexural	NC	0.078	0.149	0.0079	0.0050	0.0184	0.0277	LS
2F	340	2G2	Flexural	NC	-0.078	0.029	0.0050	0.0050	0.0200	0.0300	LS
2F	340	2G2	Flexural	NC	0.078	0.144	0.0063	0.0050	0.0184	0.0277	LS
2F	341	2G1	Flexural	NC	-0.078	0.019	0.0016	0.0050	0.0200	0.0300	IO
2F	341	2G1	Flexural	NC	0.078	0.131	0.0071	0.0050	0.0184	0.0277	LS
2F	342	2G2	Flexural	NC	-0.078	0.044	0.0054	0.0050	0.0200	0.0300	LS
2F	342	2G2	Flexural	NC	0.078	0.129	0.0061	0.0050	0.0184	0.0277	LS
2F	343	2G1	Flexural	NC	-0.078	0.019	0.0017	0.0050	0.0200	0.0300	IO
2F	343	2G1	Flexural	NC	0.078	0.131	0.0072	0.0050	0.0184	0.0277	LS
2F	344	2G2	Flexural	NC	-0.078	0.044	0.0055	0.0050	0.0200	0.0300	LS
2F	344	2G2	Flexural	NC	0.078	0.129	0.0062	0.0050	0.0184	0.0277	LS
2F	345	2G1	Flexural	NC	-0.078	0.019	0.0018	0.0050	0.0200	0.0300	IO
2F	345	2G1	Flexural	NC	0.078	0.131	0.0075	0.0050	0.0184	0.0277	LS
2F	346	2G2	Flexural	NC	-0.078	0.001	0.0046	0.0050	0.0200	0.0300	IO
2F	346	2G2	Flexural	NC	0.078	0.173	0.0075	0.0050	0.0184	0.0277	LS
2F	347	2G1	Flexural	NC	-0.078	0.019	0.0019	0.0050	0.0200	0.0300	IO
2F	347	2G1	Flexural	NC	0.078	0.131	0.0074	0.0050	0.0184	0.0277	LS
2F	348	2G2	Flexural	NC	-0.078	0.001	0.0045	0.0050	0.0200	0.0300	IO
2F	348	2G2	Flexural	NC	0.078	0.173	0.0076	0.0050	0.0184	0.0277	LS
2F	349	2G1	Flexural	NC	-0.078	0.019	0.0020	0.0050	0.0200	0.0300	IO
2F	349	2G1	Flexural	NC	0.078	0.131	0.0076	0.0050	0.0184	0.0277	LS
2F	350	2G2	Flexural	NC	-0.078	0.014	0.0051	0.0050	0.0200	0.0300	LS
2F	350	2G2	Flexural	NC	0.078	0.16	0.0073	0.0050	0.0184	0.0277	LS
2F	351	2G3	Flexural	NC	0.078	0.024	0.0000	0.0050	0.0184	0.0277	IO
2F	351	2G3	Flexural	NC	0.078	0.031	0.0000	0.0050	0.0184	0.0277	IO

< 이하 생략 >

기존 건축물 내진성능평가 예제집

표3. 성능점에서의 조적채움벽 성능수준 검토 테이블 예시 (1000년 +X 방향)

층	부재이름	단면	절점	항복강도	초기강성	소성변형각	허용기준 LS	판정
2F	577	Strut 2750x6800	I	44.388	94627.744	0.0004691	0.007	OK
2F	577	Strut 2750x6800	J	44.388	94627.744	0.0004691	0.007	OK
2F	578	Strut 2750x6800	I	-	94627.744	-	0.007	OK
2F	578	Strut 2750x6800	J	-	94627.744	-	0.007	OK
2F	581	Strut 2750x4400	I	31.399	56817.6	0.0005526	0.008	OK
2F	581	Strut 2750x4400	J	31.399	56817.6	0.0005526	0.008	OK
2F	582	Strut 2750x4400	I	-	56817.6	-	0.008	OK
2F	582	Strut 2750x4400	J	-	56817.6	-	0.008	OK
2F	611	Strut 2750x4400	I	31.399	56817.6	0.0005526	0.008	OK
2F	611	Strut 2750x4400	J	31.399	56817.6	0.0005526	0.008	OK
2F	612	Strut 2750x4400	I	31.399	56817.6	0.0005526	0.008	OK
2F	612	Strut 2750x4400	J	31.399	56817.6	0.0005526	0.008	OK
2F	613	Strut 2750x4400	I	31.399	56817.6	0.0005526	0.008	OK
2F	613	Strut 2750x4400	J	31.399	56817.6	0.0005526	0.008	OK
2F	614	Strut 2750x4400	I	-	56817.6	-	0.008	OK
2F	614	Strut 2750x4400	J	-	56817.6	-	0.008	OK
2F	615	Strut 2750x4400	I	31.399	56817.6	0.0005526	0.008	OK
2F	615	Strut 2750x4400	J	31.399	56817.6	0.0005526	0.008	OK
2F	616	Strut 2750x4400	I	-	56817.6	-	0.008	OK
2F	616	Strut 2750x4400	J	-	56817.6	-	0.008	OK
2F	621	Strut 2750x4400	I	31.399	56817.6	0.0005526	0.008	OK
2F	621	Strut 2750x4400	J	31.399	56817.6	0.0005526	0.008	OK
2F	622	Strut 2750x4400	I	31.399	56817.6	0.0005526	0.008	OK
2F	622	Strut 2750x4400	J	31.399	56817.6	0.0005526	0.008	OK
2F	625	Strut 2750x6800	I	44.388	94627.744	0.0004691	0.007	OK
2F	625	Strut 2750x6800	J	44.388	94627.744	0.0004691	0.007	OK
2F	626	Strut 2750x6800	I	-	94627.744	-	0.007	OK
2F	626	Strut 2750x6800	J	-	94627.744	-	0.007	OK

< 이하 생략 >

9. 보강계획 : 보강공법별 개략 물량산정

- 기존 건물에 대한 비선형해석평가 결과 목표성능을 만족하지 못하는 것으로 검토되었으므로 보강계획을 수립함.
- 본 예제집에서는 “기존 건축물 내진성능 향상요령(2022)”에 제시된 방법 중 내부 철골 프레임 보강, 내부 철골 브레이스 보강, 내부 날개벽 보강방안을 적용한 보강안을 적용할 경우 보강물량을 개략적으로 산정함.

9.1 철골끼움골조 보강

(1) 보강위치

- ① X방향 보강안 : X1~X2열, X3~X4열, X5~X6열, X7~X8열 1층 총 8개소의 철골 프레임 보강
- ② Y방향 보강안 : Y1~Y2열, Y1~Y2열 1~2층(2개층) 총 5개소의 골조 내부 조적채움벽 cutting
- ③ 철골 가새골조는 향상요령 “3.2.6 철골끼움골조” 상세를 따름.

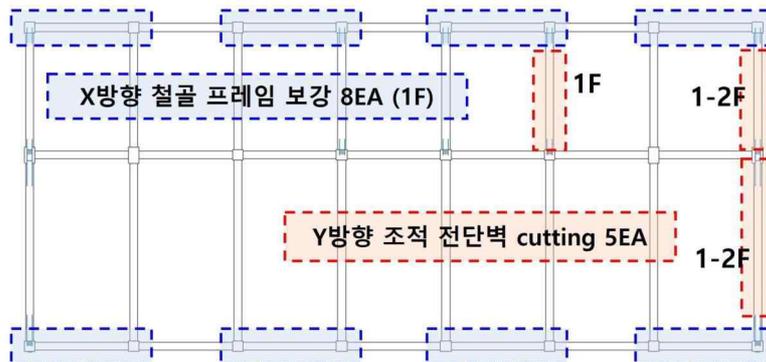


그림 9.1 철골 가새 골조 보강안 위치

(2) 보강물량 산정

표 9.1 철골끼움골조 보강시 보강물량

보강방식	부재	보강물량		
		개수(EA)	총 길이(m)	총량(kg)
내부 철골 프레임 보강	H 250x250x9x14	8	97.2	7,033.4

9.2 철골끼움가새 보강

(1) 보강위치

- ① X방향 보강안 : X1~X2열, X7~X8열 1층 총 4개소의 철골끼움가새 보강
- ② Y방향 보강안 : Y1~Y2열, Y1~Y2열 1~2층(2개층) 총 5개소의 골조 내부 조적채움벽 cutting
- ③ 향상요령 “3.2.7 철골끼움가새” 상세를 따름

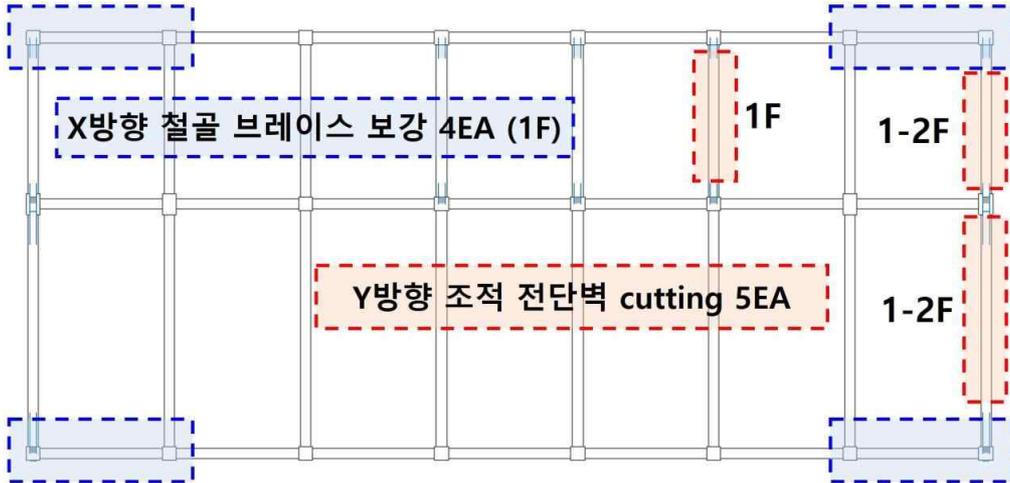


그림 9.2 내부 철골 브레이스 보강 위치

(2) 보강물량 산정

표 9.2 철골끼움가새 보강시 보강물량

보강방식	부재	보강물량		
		개수(EA)	총 길이(m)	총량(kg)
내부 철골 브레이스 보강	H 200x200x8x12	4	75.01	3,740.6

9.3 기둥 날개벽 보강

(1) 보강위치

- ① X방향 보강안 : X1열, X2열, X7열, X8열 1층 총 8개소의 콘크리트 기둥 날개벽 보강
- ② Y방향 보강안 : Y1~Y2열, Y1~Y2열 1~2층(2개층) 총 5개소의 골조 내부 조적채움벽 cutting
- ③ 기둥 날개벽은 항상요령 “3.2.3 기둥날개벽 증설” 상세를 따름.

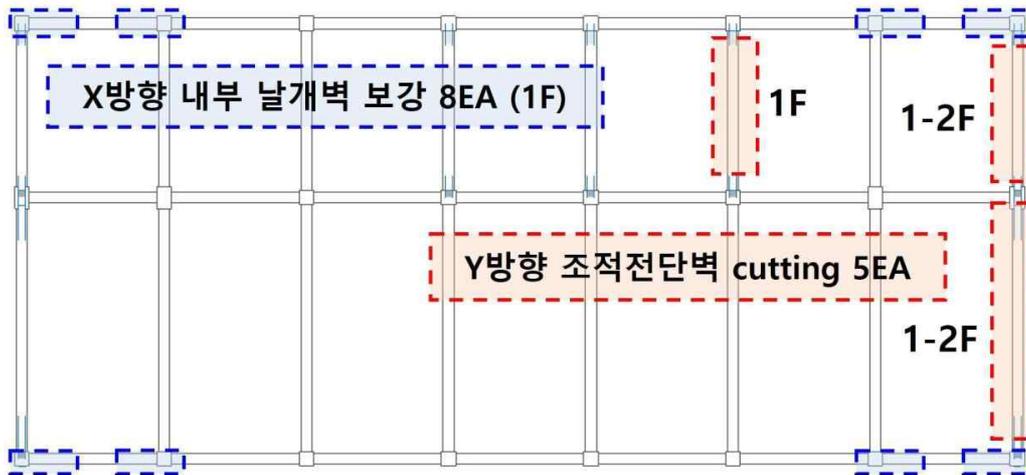


그림 9.3 기둥 날개벽 보강 위치

(2) 보강물량 산정

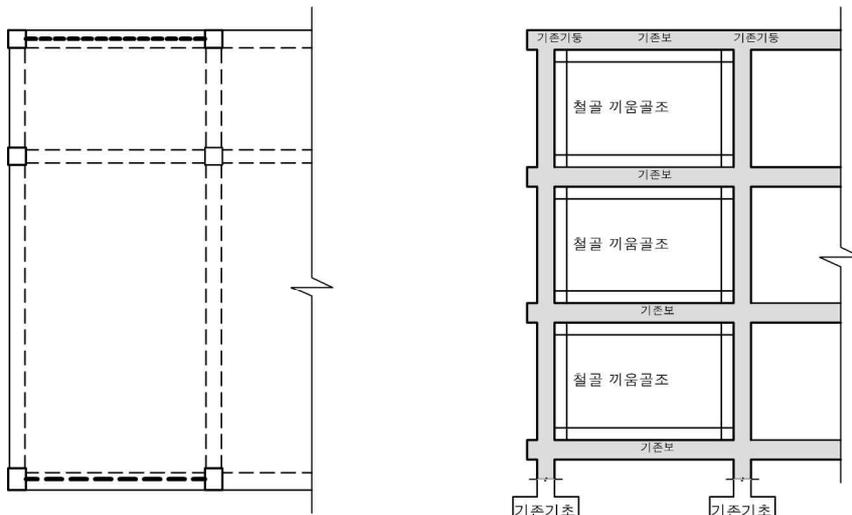
표 9.3 기둥 날개벽 보강시 보강물량

보강방식	부재	보강물량		
		개수(EA)	총 면적(m^3)	총량(kg)
내부기둥 날개벽 보강	철근콘크리트 날개벽 (Wall thickness : 200 mm) (Reinforcement bar : D13 @200)	8	6.19	14,860 (철근콘크리트)

9.4 보강 공법의 비교

(1) 철골 끼움골조 보강

- ① 철골끼움골조 보강공법은 기존의 철근콘크리트 골조 내부에 철골골조를 설치하는 보강공법을 가리킨다.
- ② 신설된 철골골조는 후설치 앵커를 통해 기존 철근콘크리트골조와 접합시켜 일체로 거동하게 한다.
- ③ 끼움골조와 기존 콘크리트골조에 발생하는 축력, 휨모멘트, 전단력에 안전하도록 강재부재와 기존 콘크리트부재가 설계되어야 한다.
- ④ 끼움골조의 힘이 기존 골조에 전달할 수 있도록 연결재로 연결되어야 한다. 기존 부재와 신설 부재가 밀착되도록 충분한 강도를 가진 채움 재료를 사용하여야 한다.
- ⑤ 끼움골조에 의하여 단부기둥에 발생하는 인장력은 기존 기둥에 의하여 저항되어야 하며, 보-기둥 접합부 영역과 주각부에서 기둥을 보강하지 않는 한, 끼움골조의 수직재의 기여는 무시되어야 한다. 따라서 보-기둥 접합부 영역과 주각부에서 단부기둥에 별도의 보강이 없는 경우에는 단부 기둥의 인장강도는 단부 기둥의 수직철근강도에 의하여 제한되어야 한다.
- ⑥ 끼움골조의 전도모멘트를 저항하기 위하여 기초의 안전성이 검토되어야 한다. 필요한 경우 기초를 확장하거나 인근 기초와 연결하여 전도모멘트를 저항하여야 한다. 경제성과 시공성을 고려하여 가급적 인발파일 보강은 사용하지 않는다.
- ⑦ 기존 골조 부재에 앵커를 시공하는 경우 일반적으로 콘크리트 속에 묻혀 있는 철근과 간섭이 발생하여 앵커 시공시 앵커의 위치가 철근의 위치에 따라 보정되어야 하므로 시공시 철저한 품질관리가 요구된다.



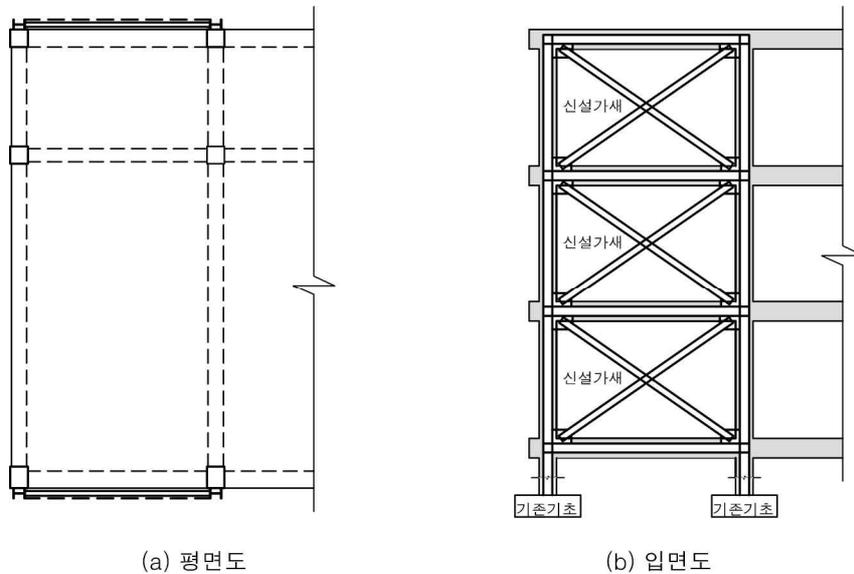
(a) 평면도

(b) 입면도

항상 요령 [그림 3.8] 철골 끼움골조 신설

(2) 철골 끼움가새 보강

- ① 철골가새보강은 독립적으로 또는 기존의 철근콘크리트 골조에 붙여서 철골가새골조를 설치하는 보강공법을 가리킨다.
- ② 보강하는 철골가새의 형태는 X자형이나, V자형 등을 적용할 수 있으며, 가새의 배치는 전단벽에서와 유사하게 평면적, 입면적으로 균형 있게 설치하여야 한다.
- ③ 철골가새골조에 요구되는 하중을 저항할 수 있도록 수직재, 수평재, 가새부재, 접합부를 안전하게 설계하여야 한다.
- ④ 철골가새골조를 기존 골조에 붙여서 시공하는 경우, 보와 기둥은 합성부재로 설계할 수 있으며, 그에 필요한 연결재로 연결하고 밀착되도록 채움재료를 사용하여야 한다.
- ⑤ 철골가새골조가 기존 골조와 독립적으로 거동하도록 설계 시공되는 경우에는 각층에서 층전단력을 가새골조에 전달할 수 있도록 기존 구조의 수평재와 신설 구조의 수평재사이에 전단연결재로 긴결되어야 한다.
- ⑥ 철골가새골조 하부에는 기초를 신설하여야 하며, 기존 기초를 확장하여 설계할 수 있다. 경제성과 시공성을 고려하여 인발파일 보강은 사용하지 않는다.

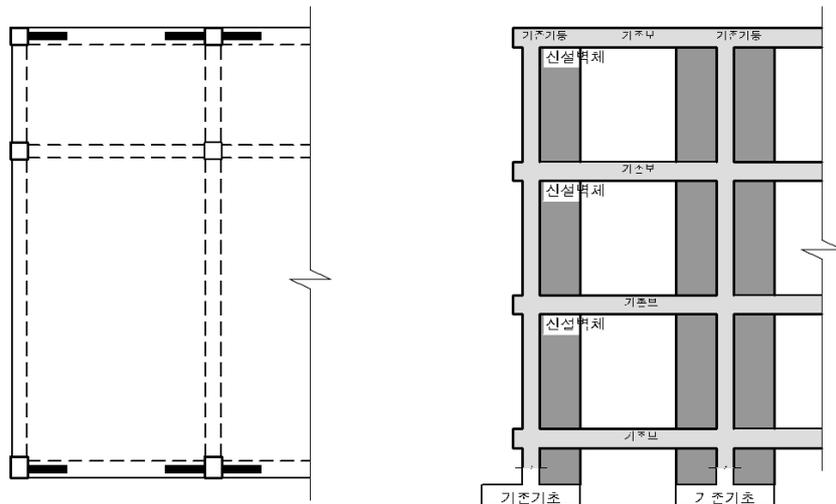


향상 요령 [그림 3.7] 철골 가새골조 신설

기존 건축물 내진성능평가 예제집

(3) 기동 날개벽 보강

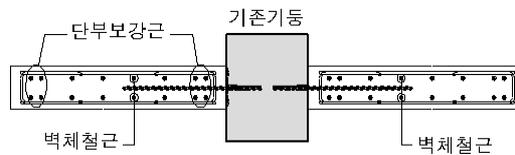
- ① 기동날개벽 공법은 철근콘크리트 골조 기동의 좌우에 일정 크기의 철근콘크리트 날개벽을 설치하여 내진성능을 향상시키는 방법을 가리킨다.
- ② 날개벽은 평면적, 입면적으로 균형있게 설치하여야 한다.
- ③ 날개벽과 주변 부재와의 연결부는 기존 구조체와 신설 날개벽의 연결부는 전단벽체의 증설에서와 동일하며 조합된 설계하중을 충분히 전달할 수 있도록 설계되어야 한다. 신설된 벽체 주변 골조의 기동과 보는 보강전단벽의 경계요소로 거동하므로 강도, 정착, 변형적합성 등을 충분히 검토하여야 한다.
- ④ 일반적으로 날개벽은 보 상하부 사이에 설치되어 철근을 연속하기 어려우므로 압축력만 받는 날개벽으로 설계할 수 있다. 이 경우 양쪽 중에 압축을 받는 한쪽만의 날개벽을 유효한 날개벽으로 고려한다. 면내 전단에 대해서는 양쪽 날개벽이 유효한 것으로 평가한다.



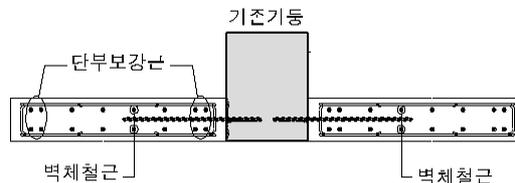
(a) 평면도

(b) 입면도

향상요령 [그림 3.3] 기동날개벽 증설



(a) 기동중앙에 설치되는 경우



(b) 기동 끝단에 설치되는 경우

향상요령 [그림 3.4] 기동날개벽 증설 상세