

발간등록번호

11-B554390-000038-01

기존 시설물(건축물) 내진성능평가 예제집

2024. 7.



국토안전관리원

Korea Authority of Land & Infrastructure Safety

국토안전관리원은 지진으로부터 국민의 안전을 확보하기 위하여 기존 건축물의 내진관련 사업을 체계적으로 수행할 수 있도록 「기존 시설물(건축물) 내진성능평가 예제집」을 2024년에 발간하게 되었습니다.

이 예제집은 건축물 내진성능평가 기술자들에게 실무적인 도움이 될 수 있도록 최신 기준 및 연구결과와 기존 평가요령의 보완 및 예제부분의 다양화 등을 반영하여 발간하였으니, 실무에 많은 활용을 바랍니다.

「기존 시설물(건축물) 내진성능평가 예제집」은 방대한 건축물의 내진성능평가 방법 중 지진거동이 복잡하지 않은 건축물의 내진성능평가를 대상으로 수록하였으므로, 이 예제집을 따르지 않더라도 명확한 기술적 판단이나 국제적으로 검증된 이론을 적용하여 보다 발전된 내진성능평가를 할 수 있습니다.

또한, 관계법상 구속력이 없으므로, 관련 기준이나 지침의 내용과 상이한 경우는 발주자의 승인 등을 통하여 적용하시기 바랍니다.

< 목 차 >

I . 예비평가	1
1. 건물개요	3
2. 도면 및 현장조사	5
3. 하중	8
4. 층별 지진요구량	9
5. 층별 저항능력	13
6. 성능수준의 판정	16
II . 선형정적절차	17
1. 건물개요	19
2. 도면 및 현장조사	21
3. 하중	25
4. 구조해석	33
5. 평가절차 적용제한 검토	50
6. 성능수준 판정	54
7. 기초 안전성 평가	57
8. 최종 평가결과	59
III . 선형동적절차	63
1. 건물개요	65
2. 도면 및 현장조사	67
3. 하중	70
4. 구조해석	78
5. 평가절차 적용제한 검토	91
6. 성능수준 판정	94

7. 기초 안전성 평가	97
8. 최종 평가결과	98
IV. 비선형정적절차	105
1. 건물개요	107
2. 도면 및 현장조사	108
3. 하중	108
4. 구조해석	109
5. 비선형정적해석조건 및 성능점 산정	122
6. 성능수준 판정	125
7. 기초 안전성 평가	134
8. 최종 평가결과	135
9. 보강계획 : 보강공법별 개략 물량산정	139
V. 비선형동적절차	145
1. 건물개요	147
2. 도면 및 현장조사	149
3. 하중	153
4. 구조해석	159
5. 성능수준 판정	172
6. 기초 안전성 검토	175
7. 최종 평가결과	177
VI. 현장조사	181
1. 자료조사	183
2. 현장조사 계획	183
3. 현장조사 세부사항	183
4. 마감재 조사	183
5. 지반 및 기초	184

6. 철근콘크리트조 조사	185
7. 조적조 조사	185
8. 강구조 조사	186



예비평가

1. 건물개요

1.1 일반사항

- (1) 건물명 : 00 주택
- (2) 소재지 : 서울특별시 00구
- (3) 건물용도 : 단독주택/단독주택
- (4) 준공연도 : 2015년
- (5) 구조형식 : 조적조(내력벽시스템)
- (6) 내진설계 여부 : 미적용
- (7) 기초형식 : 줄기초

1.2 건물 규모

- (1) 층 수 : 지상 2층
- (2) 지하층 유무 : 없음
- (3) 건물높이 : 6.0m (층고 2.6m, 파라펫 높이 0.8m)
- (4) 건물길이 : 단변방향 (X방향) : 8.6m
장변방향 (Y방향) : 9.3m
- (5) 연 면 적 : 141.4 m²

1.3 구조변경 이력사항

- (1) 증축 여부 : 없음
- (2) 신축줄눈 : 없음

1.4 내진등급 및 성능목표

(1) 내진등급 및 중요도계수

- ① 대상 건물은 KDS 41 10 05 「건축구조기준 총칙」의 ‘3. 건축물의 중요도분류’에 따라 중요도(특) 및 중요도(1)에 해당하지 않아 중요도(2)로 결정함.
- ② KDS 41 17 00의 표 2.2-1에 따라 내진등급 II를 적용함.

(2) 내진성능목표

- ① 대상 건물은 요령 “2.1 최소성능목표”에 제시된 표 2.1.4에 따라 내진등급 II의 건물에 요구되는 내진성능목표인 재현주기 2400년 지진에 대한 ‘붕괴방지’ 성능수준과 1000년 지진에 대한 ‘인명보호’ 성능수준을 적용함.

기존 건축물 내진성능평가 예제집

[참조]

표 1.1 내진등급(KDS 41 17 00 표 2.2-1)

건축물의 중요도 ¹⁾	내진등급
중요도(특)	특
중요도(1)	I
중요도(2), (3)	II

¹⁾ KDS 41 10 05(3.)에 따름.

표 1.2 건축물의 내진등급별 최소성능목표(요령 표 2.1.4)

내진등급	성능목표	
	재현주기	성능수준
특	2400년	인명보호
	1000년 ²⁾	기능수행
I	2400년	붕괴방지 ¹⁾
	1400년 ²⁾	인명보호
	100년	기능수행
II	2400년	붕괴방지
	1000년 ²⁾	인명보호
	50년	기능수행

¹⁾ 내진등급 건축물의 붕괴방지 검토시에는 붕괴방지 허용기준을 1.2로 나눈 값(혹은 인명안전과 붕괴방지의 중간수준의 허용기준)을 적용한다. 이때, 허용기준은 부재의 성능수준 결정시 변형량과 관계된 허용기준을 의미한다. 단, 허용충간변형각은 1.2로 나누지 않고 표 4.6.1의 값을 그대로 사용한다.

²⁾ 1000년 재현주기 지진의 크기는 2400년 재현주기 지진의 2/3로 정의한다. 1400년 재현주기 지진의 크기는 1000년 재현주기 지진 크기의 1.2배로 정의한다.

2. 도면 및 현장조사

2.1 도면

(1) 구조평면도

- ① 벽보(wall girder) 단면은 200mm × 500mm

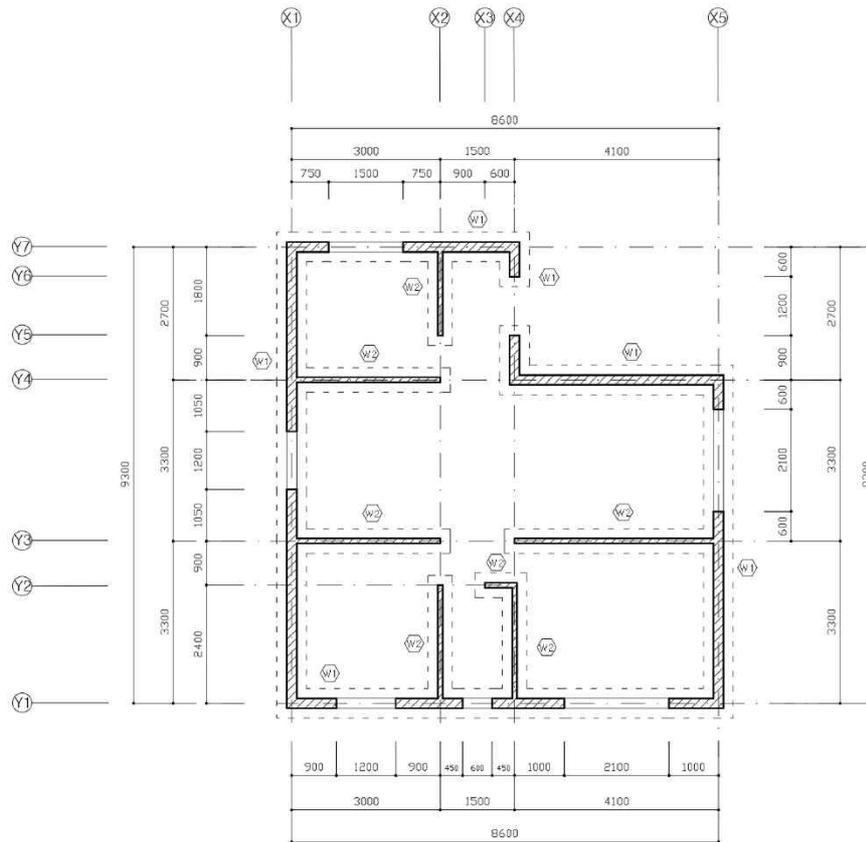
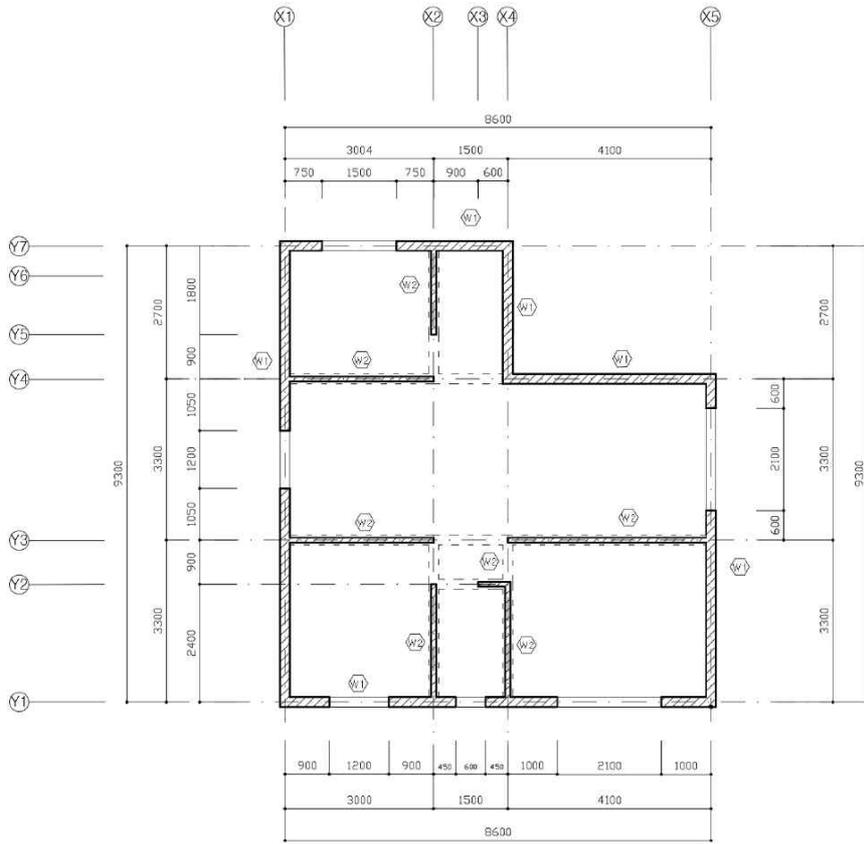


그림 2.1 1층

기존 건축물 내진성능평가 예제집



벽체 일람표

기호	두께 (mm)
W1	190
W2	90

그림 2.2 2층

(2) 입면도

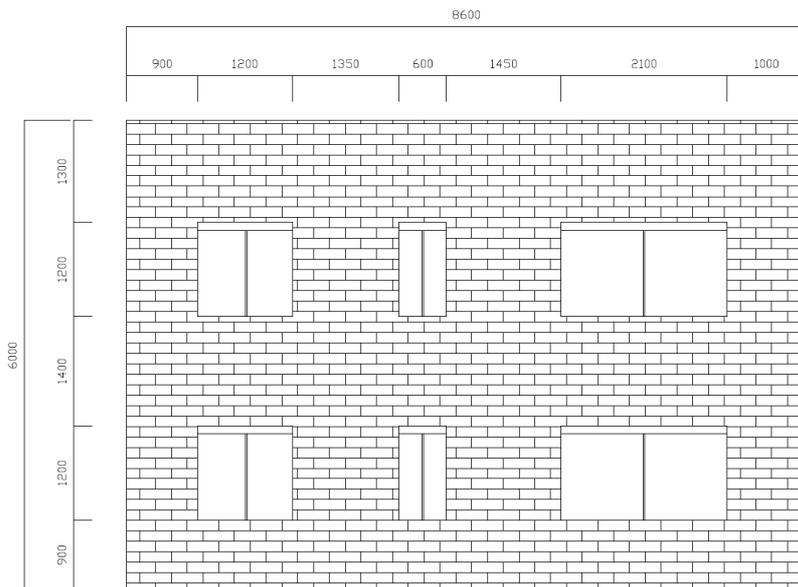


그림 2.3 남쪽 입면도

2.2 현장조사 개요

이 예제에서는 구체적인 현장조사 결과를 포함하지 않았으나 실제 내진성능평가에서는 6장을 참고하여 현장조사를 수행하고 그 결과를 보고서에 수록하여야 함.

(1) 건물외관



그림 2.4 OO 관리사무실

(2) 상태조사

- ① 요령 “1.2.1 현장조사”에 따라 요령 <표 1.2.1> 제시된 각 항목에 대한 조사를 수행하여 설계도서를 검증하고 평가에 필요한 정보를 취득해야함. 설계도서가 없을 경우 체계적인 현장조사를 통해 구조도면을 작성하고 요령 <표 1.2.1>에 제시된 항목에 대한 정보를 취득해야함. 그 결과를 내진성능평가보고서에 제공해야 하나, 본 예제에서는 생략함.

<예제집의 가정사항>

- 콘크리트의 재료상태는 ‘양호’로 가정
- 조적의 상태는 채움벽은 불량, 허리벽은 양호로 가정함 (요령 6.1.1.3 재료 특성 기본값의 규정중 현장조사를 수행하지 않은 경우에 해당).

3. 하중

3.1 중력하중

- (1) 층중량(story weight)은 지진력 산정을 위해 질량으로 환산되는 각 층의 중력하중으로서 주요 구조체 및 마감재, 비구조요소 등의 하중을 상세하게 산정하여 적용할 수 있음.
- (2) 예비평가의 경우 요령에서 구조종별로 제시하는 기본 단위면적당 중량을 적용할 수 있음.
- (3) 본 평가에서는 조적조의 기본 단위면적당 중량 (13 kN/㎡)을 적용하였음.

$$\text{층중량: } W_i = \text{바닥면적 } 68.91 \text{ m}^2 \times 13 \text{ kN/m}^2 = 895.83 \text{ kN}$$

3.2 지진하중

- (1) 스펙트럼가속도
 - ① 지반조건은 인근의 지반정보자료를 통해 지반 종류를 S2로 결정함.
 - ② 2400년 재현주기 유효지반가속도(S)는 요령 ‘2.2.1 지진구역, 지진구역계수 및 위험도 계수’ 에 따라 국가지진위험지도(소방방재청, 2013)를 이용하여 0.176을 적용함.
 - ③ 2400년 재현주기 지진의 지반증폭계수 및 평가용 스펙트럼가속도는 ‘2.2.2 지반의 분류 및 지반증폭계수’ 에 따라 표 3.1와 같음.
 - ④ 1000년 재현주기 지진의 평가용 스펙트럼가속도는 요령 표 2.1.4에 따라 2400년 재현주기 값의 2/3를 적용하였으며 표 3.1과 같음.

표 3.1 평가용 스펙트럼가속도

재현주기	S	F_a	$S_{XS}^{1)}$
2400년	0.176	1.40	0.616
1000년	-	-	0.411

¹⁾ S_{XS} : 평가용 단주기 스펙트럼가속도(= $S \times 2.5 \times F_a$)

4. 층별 지진요구량

4.1 층별 지진요구량

(1) 2400년 재현주기 지진에 대한 각 층의 지진요구량은 요령 식 (3.3.6)에 따라서 층별로 표 4.1과 같이 산정함.

표 4.1 층별 지진요구량(2400년 재현주기)

층	층높이 h_i (m)	층 바닥면적 (m^2)	층중량 W_i (kN)	$W_i \times h_i$ (kN · m)	$\sum_{\ell=i}^n W_{\ell} h_{\ell}$ (kN · m)	층전단력 분포계수 $\gamma_i = \frac{\sum_{\ell=i}^n W_{\ell} h_{\ell}}{\sum_{\ell=1}^n W_{\ell} h_{\ell}}$	층 지진요구량 $S_{XS} \cdot W \cdot \gamma_i$ (kN)
2	5.2	68.91	895.8	4658	4658	0.667	736
1	2.6	68.91	895.8	2329	6987	1	1104
합계			$W=1792$	6987		-	

(2) 1000년 재현주기 지진에 대한 각 층의 지진요구량은 요령 식 (3.3.6)에 따라서 층별로 표 4.2와 같이 산정함.

표 4.2 층별 지진요구량(1000년 재현주기)

층	층높이 h_i (m)	층 바닥면적 (m^2)	층중량 W_i (kN)	$W_i \times h_i$ (kN · m)	$\sum_{\ell=i}^n W_{\ell} h_{\ell}$ (kN · m)	층전단력 분포계수 $\gamma_i = \frac{\sum_{\ell=i}^n W_{\ell} h_{\ell}}{\sum_{\ell=1}^n W_{\ell} h_{\ell}}$	층 지진요구량 $S_{XS} \cdot W \cdot \gamma_i$ (kN)
2	5.2	68.91	895.8	4658	4658	0.667	491
1	2.6	68.91	895.8	2329	6987	1	736
합계			$W=1792$	6987		-	

기존 건축물 내진성능평가 예제집

4.2 비정형계수

- (1) 비정형계수 λ_s 는 요령 식 (3.3.4)로 산정함.
- (2) 비정형 항목별 정의 및 검토 결과는 표 4.3과 같고 검토 근거는 다음과 같음.
 - 1번 항목: L형 평면으로서 X1~X4열과, Y4~Y7열에 해당되는 범위를 돌출부로 판단.
돌출부 길이/폭 비율: $2700/4500 = 0.6 > 0.5$. ∴ 돌출부 면적비 검토 필요.
돌출부 면적비: $(4500 \times 2700) / (8600 \times 9300 - 4100 \times 2700) = 0.18 < 0.2$. ∴ 정형.
 - 2번 항목: 장변/단변 = $9300/8600 = 1.08 < 8$. ∴ 정형.
 - 3번 항목: 전층의 층고가 동일. ∴ 정형.
 - 4번 항목: 전층의 면적이 동일. ∴ 정형.
 - 5번 항목: 2층 수직부재 단면적 합/1층 수직부재 단면적 합 = $6,706,000/6,478,000 = 1.035 < 1.3$. ∴ 정형.
 - 6번 항목: 벽체의 강성은 두께 및 개구부 형성에 의한 유효높이의 차이를 고려하였으며, 강성중심과 편심거리의 계산 근거는 표 4.4~4.6과 같음. 모든 편심거리가 해당 방향 평면 길이의 1/6 미만이므로 정형임.
- (3) 모든 비정형 항목이 정형으로 판정되어 정형 구조물로 볼 수 있으며, 그에 따른($n = 0$) 비정형계수 λ_s 는 1.0임.

표 4.3 비정형계수 산정을 위한 항목별 검토

비정형 항목	검토결과 ¹⁾
1. L, T, U, H형 평면에서 돌출부의 면적이 전체평면면적의 20%를 초과할 경우. 단 돌출부는 튀어나온 길이가 폭의 0.5배 이상인 경우만 고려.	0
2. 평면치수의 장변 대 단변의 비가 8을 초과하는 경우	0
3. 층고가 가장 낮은 층의 층고가 가장 높은 층의 층고의 70%이하일 경우. 단, 최상층은 가장 층고가 낮은 층에 해당하지 않음.	0
4. 가장 면적이 작은 층의 면적이 가장 큰 층의 면적의 70%이하일 경우. 단, 최상층은 가장 면적이 작은 층에 해당하지 않음.	0
5. 상층부 수직부재의 단면적 합이 하층부 수직부재의 단면적 합에 비해 30%를 초과하는 경우(필로티 등). 단, 기둥사이의 조적벽체가 밀실하게 채워진 경우, 조적벽체도 수직부재로 봄.	0
6. 벽체의 강성 중심이 평면의 중심에서 벽체의 수직방향으로 전체 평면길이의 1/6을 초과하는 경우. 벽체의 강성중심 e 는 요령의 식 (3.3.5)로 산정하나, 두께와 높이 차이를 고려하여 다음 식으로 산정할 수 있음. $e = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{l_{w_i}^3 t_{w_i}}{h_{w_i}^3} y_i}{\sum_{i=1}^n \frac{l_{w_i}^3 t_{w_i}}{h_{w_i}^3}} \right)$ 또는 $e = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \frac{l_{w_i}^3 t_{w_i}}{h_{w_i}^3} x_i}{\sum_{i=1}^n \frac{l_{w_i}^3 t_{w_i}}{h_{w_i}^3}} \right)$	0
여기서, l_{w_i} , t_{w_i} , h_{w_i} 는 각각 i번째 벽체의 길이, 두께 및 높이, x_i , y_i 는 평면 중심(슬래브 도심)에서 i번째 벽체 중심까지의 거리. 개구부가 있는 경우 개구부 상부 또는 하부는 낮고 길이가 길어서 상대적으로 강성이 크므로 개구부에 인접하여 높이가 개구부와 동일한 피어(pier)만 산입(그림 4.1 참조).	
합계, n	0

¹⁾ 0: 미해당, 1: 해당

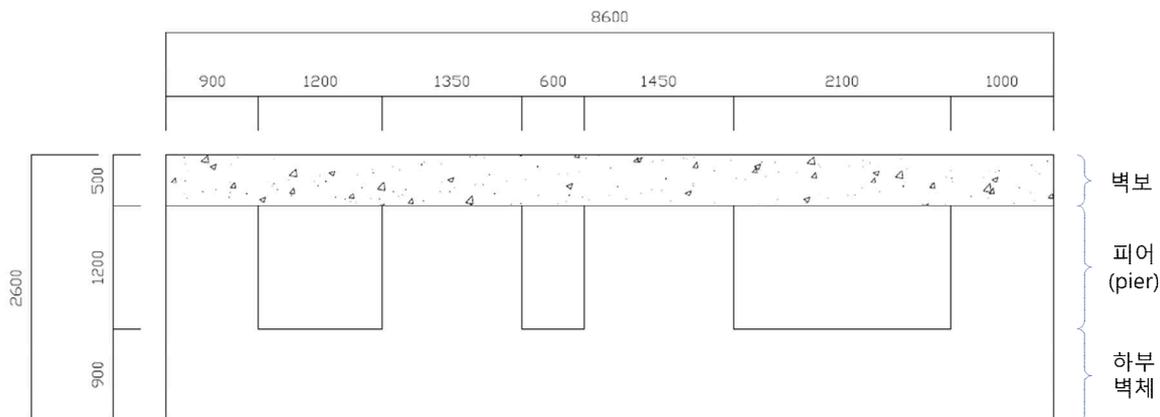


그림 4.1 개구부가 있는 벽체의 예

표 4.4 비정형성 6번 검토: 1, 2층 강성중심의 Y축 편심거리 검토

Wall ID	l_{w_i} (mm)	t_{w_i} (mm)	h_{w_i} (mm)	y_{o_i} (mm) ¹⁾	y_i (mm) ²⁾
X1~5-Y1	900	190	1,200	0	-4,120
	1,350	190	1,200	0	-4,120
	1,450	190	1,200	0	-4,120
	1,000	190	1,200	0	-4,120
X1~4-Y7	750	190	1,200	9,300	5,180
	2,250	190	1,200	9,300	5,180
X4~5-Y4	4,100	190	2,100	6,600	2,480
X3~4-Y2	600	90	2,100	2,400	-1,720
X1~2-Y3	3,000	90	2,100	3,300	-820
X4~5-Y3	4,100	90	2,100	3,300	-820
X1~2-Y4	3,000	90	2,100	6,600	2,480

바닥평면 도심³⁾ $y_c = 4120$ mm:

$$\text{편심 거리}^{2)} e = \left(\sum_{i=1}^n \frac{l_{w_i}^3 t_{w_i}}{h_{w_i}^3} y_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n \frac{l_{w_i}^3 t_{w_i}}{h_{w_i}^3} \right) = 1453 \text{ mm}; \text{ 편심 비율}^{4)} |e_y/L_y| = 0.156 < 1/6$$

1) Y1열 기준 벽체 중심선 좌표

2) $y_i = y_{o_i} - y_c$

3) Y1열 기준 바닥평면 도심 좌표

4) L_y : 평면의 Y방향 길이

기존 건축물 내진성능평가 예제집

표 4.5 비정형성 6번 검토: 1층 강성중심의 X축 편심거리 검토

Wall ID	l_{w_i} (mm)	t_{w_i} (mm)	h_{w_i} (mm)	x_{o_i} (mm) ¹⁾	x_i (mm) ²⁾
X1-Y1~5	4,350	190	1,200	0	-3,939
	3,750	190	1,200	0	-3,939
X5-Y1~4	3,900	190	1,200	8,600	4,661
	600	190	1,200	8,600	4,661
X4-Y4~5	900	190	2,100	4,500	561
X4-Y6~7	600	190	2,100	4,500	561
X2-Y1~2	2,400	90	2,100	3,000	-939
X2-Y5~7	1,800	90	2,100	3,000	-939
X4-Y1~2	2,400	90	2,100	4,500	561

바닥평면 도심³⁾ $x_c = 3939$ mm;

$$\text{편심 거리}^2) e = \left(\sum_{i=1}^n \frac{l_{w_i}^3 t_{w_i}}{h_{w_i}^3} x_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n \frac{l_{w_i}^3 t_{w_i}}{h_{w_i}^3} \right) = -1291 \text{ mm}; \text{ 편심 비율}^4) |e_x/L_x| = 0.150 < 1/6$$

1) X1열 기준 벽체 중심선 좌표

2) $x_i = x_{o_i} - x_c$

3) X1열 기준 바닥평면 도심 좌표

4) L_x : 평면의 X방향 길이

표 4.6 비정형성 6번 검토: 2층 강성중심의 X축 편심거리 검토

Wall ID	l_{w_i} (mm)	t_{w_i} (mm)	h_{w_i} (mm)	x_{o_i} (mm) ¹⁾	x_i (mm) ²⁾
X1-Y1~7	4350	190	1200	0	-3,939
	3750	190	1200	0	-3,939
X5-Y1~4	3900	190	1200	8600	4,661
	600	190	1200	8600	4,661
X4-Y4~7	2700	190	2100	4500	561
X2-Y1~2	2400	90	2100	3000	-939
X2-Y5~7	1800	90	2100	3000	-939
X4-Y1~2	2400	90	2100	4500	561

바닥평면 도심³⁾ $x_c = 3939$ mm;

$$\text{편심 거리}^2) e = \left(\sum_{i=1}^n \frac{l_{w_i}^3 t_{w_i}}{h_{w_i}^3} x_i \right) / \left(\sum_{i=1}^n \frac{l_{w_i}^3 t_{w_i}}{h_{w_i}^3} \right) = -1259 \text{ mm}; \text{ 편심 비율}^4) |e_x/L_x| = 0.146 < 1/6$$

1) X1열 기준 벽체 중심선 좌표

2) $x_i = x_{o_i} - x_c$

3) X1열 기준 바닥평면 도심 좌표

4) L_x : 평면의 X방향 길이

5. 층별 저항능력

(1) 개별 벽체의 저항능력 산정방식

- ① 개별 벽체의 저항능력은 요령 표 3.3.5의 조적조 평균전단응력에 경과연수 및 재료상태에 따른 보정을 적용 후 단면적을 곱해서 산정함.
- ② 개구부가 있는 벽체의 단면적은 개구부 면적을 제하고 산정함.

[참조] 요령 표 3.3.5

조적벽체의 종류	단면도	전단응력 및 단면적
개구부가 없는 경우		$v_n = 0.2 \text{ MPa}$ $A_n = t \cdot L_w$
개구부가 있는 경우	<p style="text-align: center;">$L_w = L_{w1} + L_{w2}$</p>	$v_o = 0.1 \text{ MPa}$ $A_o = t \cdot L_w$

[참조] 요령 표 3.3.6

구분		조적조 압축강도	조적조 전단강도
경과 연수	30년 이상	0.5	0.7
	20년 이상	0.6	0.8
	20년 미만-10년 이상	0.8	0.9
	10년 미만	1.0	1.0
재료 상태	양호	1.0	1.0
	보통	0.8	0.85
	불량	0.5	0.7

기존 건축물 내진성능평가 예제집

(2) 경과연수 및 재료상태에 따른 보정계수

- ① 외벽: 1.0(10년 미만) × 0.85(보통)
- ② 내벽: 1.0(10년 미만) × 1.0(양호)

(3) 각 층의 부재별 전단강도 산정결과는 표 5.3 및 5.4와 같음.

- ① 층별 전단강도는 벽체의 평균전단응력과 단면적을 곱하여 합산.
- ② 여기서 벽체의 평균전단응력은 개구부 유무, 상부 중력하중의 차이를 고려하여 요령 식 (3.3.6)에 따라 층별로 다음과 같이 계산.

<개구부가 있는 외벽의 평균전단응력>

$$1\text{층: } v_{o1} = v_o \cdot \frac{1}{W} \sum_{x=1}^2 w_x A_x = (0.1\text{MPa} \times 1.0 \times 0.85) \frac{2 \times (13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)}{2 \times (13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)} = 0.085\text{MPa}$$

$$2\text{층: } v_{o2} = v_o \cdot \frac{1}{W} \sum_{x=2}^2 w_x A_x = (0.1\text{MPa} \times 1.0 \times 0.85) \frac{(13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)}{2 \times (13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)} = 0.0425\text{MPa}$$

<개구부가 있는 내벽의 평균전단응력>

$$1\text{층: } v_{n1} = v_n \cdot \frac{1}{W} \sum_{x=1}^2 w_x A_x = (0.1\text{MPa} \times 1.0 \times 1.0) \frac{2 \times (13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)}{2 \times (13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)} = 0.1\text{MPa}$$

$$2\text{층: } v_{n2} = v_n \cdot \frac{1}{W} \sum_{x=2}^2 w_x A_x = (0.1\text{MPa} \times 1.0 \times 1.0) \frac{(13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)}{2 \times (13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)} = 0.05\text{MPa}$$

<개구부가 없는 외벽의 평균전단응력>

$$1\text{층: } v_{o1} = v_o \cdot \frac{1}{W} \sum_{x=1}^2 w_x A_x = (0.2\text{MPa} \times 1.0 \times 0.85) \frac{2 \times (13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)}{2 \times (13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)} = 0.17\text{MPa}$$

$$2\text{층: } v_{o2} = v_o \cdot \frac{1}{W} \sum_{x=2}^2 w_x A_x = (0.2\text{MPa} \times 1.0 \times 0.85) \frac{(13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)}{2 \times (13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)} = 0.085\text{MPa}$$

<개구부가 없는 내벽의 평균전단응력>

$$1\text{층: } v_{n1} = v_n \cdot \frac{1}{W} \sum_{x=1}^2 w_x A_x = (0.2\text{MPa} \times 1.0 \times 1.0) \frac{2 \times (13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)}{2 \times (13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)} = 0.2\text{MPa}$$

$$2\text{층: } v_{n2} = v_n \cdot \frac{1}{W} \sum_{x=2}^2 w_x A_x = (0.2\text{MPa} \times 1.0 \times 1.0) \frac{(13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)}{2 \times (13\text{kN/m}^2 \times 68.91\text{m}^2)} = 0.1\text{MPa}$$

표 5.1 1층 전단강도

Wall ID		L_w (mm)	t_w (mm)	개구부유무	개구부율	전단강도 (kN)	전단강도 합 (kN)
X방향	X1~5-Y1	8600	190	유	0.453	75.9	449.4
	X1~4-Y7	4500	190	유	0.333	48.5	
	X4~5-Y4	4100	190	무	0.000	132.4	
	X3~4-Y2	600	90	무	0.000	10.8	
	X1~2-Y3	3000	90	무	0.000	54.0	
	X4~5-Y3	4100	90	무	0.000	73.8	
	X1~2-Y4	3000	90	무	0.000	54.0	
Y방향	X1-Y1~5	9300	190	유	0.129	130.8	370.7
	X5-Y1~4	6600	190	유	0.318	72.7	
	X4-Y4~5	900	190	무	0.000	29.1	
	X4-Y6~7	600	190	무	0.000	19.4	
	X2-Y1~2	2400	90	무	0.000	43.2	
	X2-Y5~7	1800	90	무	0.000	32.4	
	X4-Y1~2	2400	90	무	0.000	43.2	

표 5.2 2층 전단강도

Wall ID		L_w (mm)	t_w (mm)	개구부유무	개구부율	전단강도 (kN)	전단강도 합 (kN)
X방향	X1~5-Y1	8600	190	유	0.453	38.0	224.7
	X1~4-Y7	4500	190	유	0.333	24.2	
	X4~5-Y4	4100	190	무	0.000	66.2	
	X3~4-Y2	600	90	무	0.000	5.40	
	X1~2-Y3	3000	90	무	0.000	27.0	
	X4~5-Y3	4100	90	무	0.000	36.9	
	X1~2-Y4	3000	90	무	0.000	27.0	
Y방향	X1-Y1~7	9300	190	유	0.129	65.4	204.8
	X5-Y1~4	6600	190	유	0.318	36.3	
	X4-Y4~7	2700	190	무	0.000	43.6	
	X2-Y1~2	2400	90	무	0.000	21.6	
	X2-Y5~7	1800	90	무	0.000	16.2	
	X4-Y1~2	2400	90	무	0.000	21.6	

6. 성능수준의 판정

(1) DCR 의 정의는 요령 식 (3.3.6)에 따라 다음 식과 같고 허용기준은 요령 표 3.3.7에 따름.

$$DCR_i = \frac{Demand_i}{Capacity_i} = \frac{S_{XS} \cdot W \cdot \gamma_i}{\lambda_S(0.8) \sum V_i}$$

- (2) 층별 DCR 은 재현주기별로 표 6.2 및 6.3과 같고, 모든 층이 붕괴위험으로 판정됨.
 (3) 최종 성능수준은 각 층 및 방향별로 결정된 성능수준 가운데 불리한 것으로 결정하므로 이 건축물의 내진성능수준은 1000년 및 2400년 재현주기에 대하여 모두 붕괴위험으로 판정함.
 (4) 목표성능의 미충족과 예비평가의 보수적 경향을 고려하면 상세평가를 통하여 보다 정확한 내진성능수준을 파악할 필요성이 있음.

[참조] 요령 표 3.3.7 조적조 성능수준 판정을 위한 DCR 기준

DCR 범위	성능수준
$DCR \leq 0.25$	거주가능
$0.25 < DCR \leq 0.75$	인명안전
$0.75 < DCR \leq 1.0$	붕괴방지
$1.0 < DCR$	붕괴위험

표 6.1 2400년 재현주기 지진의 층별 DCR

층	방향	요구량 (kN) $S_{XS} W \gamma_i / \lambda_S$	저항능력 (kN) $0.8 \sum V_i$	DCR	성능수준
2	X	736	180	4.09	붕괴위험
	Y	736	164	4.49	붕괴위험
1	X	1104	360	3.07	붕괴위험
	Y	1104	297	3.72	붕괴위험

표 6.2 1000년 재현주기 지진의 층별 DCR

층	방향	요구량 (kN) $S_{XS} W \gamma_i / \lambda_S$	저항능력 (kN) $0.8 \sum V_i$	DCR	성능수준
2	X	491	180	2.73	붕괴위험
	Y	491	164	2.99	붕괴위험
1	X	736	360	2.05	붕괴위험
	Y	736	297	2.48	붕괴위험



선형정적절차

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

(1) 내진등급 및 중요도계수

대상 건물은 “KDS 41 10 05 건축구조기준 총칙” 의 “3. 건축물의 중요도분류” 에 의하면 중요도(2)에 해당하며, “KDS 41 17 00” 의 <표 2.2-1>에 따라 내진등급 II을 적용함.

(2) 내진성능목표

대상 건물의 최소 내진성능목표는 재현주기 2400년 지진에 대한 붕괴방지 및 재현주기 1000년 지진에 대한 인명보호임. (요령 표 2.1.4)

기존 건축물 내진성능평가 예제집

[참조] KDS 41 17 00 표 2.2-1 내진등급과 중요도계수

건축물의 중요도 ¹⁾	내진등급	내진설계 중요도계수(I_E)
중요도(특)	특	1.5
중요도(1)	I	1.2
중요도(2), (3)	II	1.0

¹⁾ KDS 41 10 05(3.)에 따름.

[참조] 요령 표 2.1.4 건축물의 내진등급별 최소성능목표

내진등급	성능목표	
	재현주기	성능수준
특	2400년	인명보호
	1000년 ²⁾	기능수행
I	2400년	붕괴방지 ¹⁾
	1400년 ²⁾	인명보호
	100년	기능수행
II	2400년	붕괴방지
	1000년 ²⁾	인명보호
	50년	기능수행

¹⁾ 내진등급 건축물의 붕괴방지 검토시에는 붕괴방지 허용기준을 1.2로 나눈 값(혹은 인명안전과 붕괴방지의 중간수준의 허용기준)을 적용한다. 이때, 허용기준은 부재의 성능수준 결정 시 변형량과 관계된 허용기준을 의미한다. 단, 허용충간변형각은 1.2로 나누지 않고 표 4.6.1의 값을 그대로 사용한다.

²⁾ 1000년 재현주기 지진의 크기는 2400년 재현주기 지진의 2/3로 정의한다. 1400년 재현주기 지진의 크기는 1000년 재현주기 지진 크기의 1.2배로 정의한다.

2. 도면 및 현장조사

2.1 도면 및 부재일람표

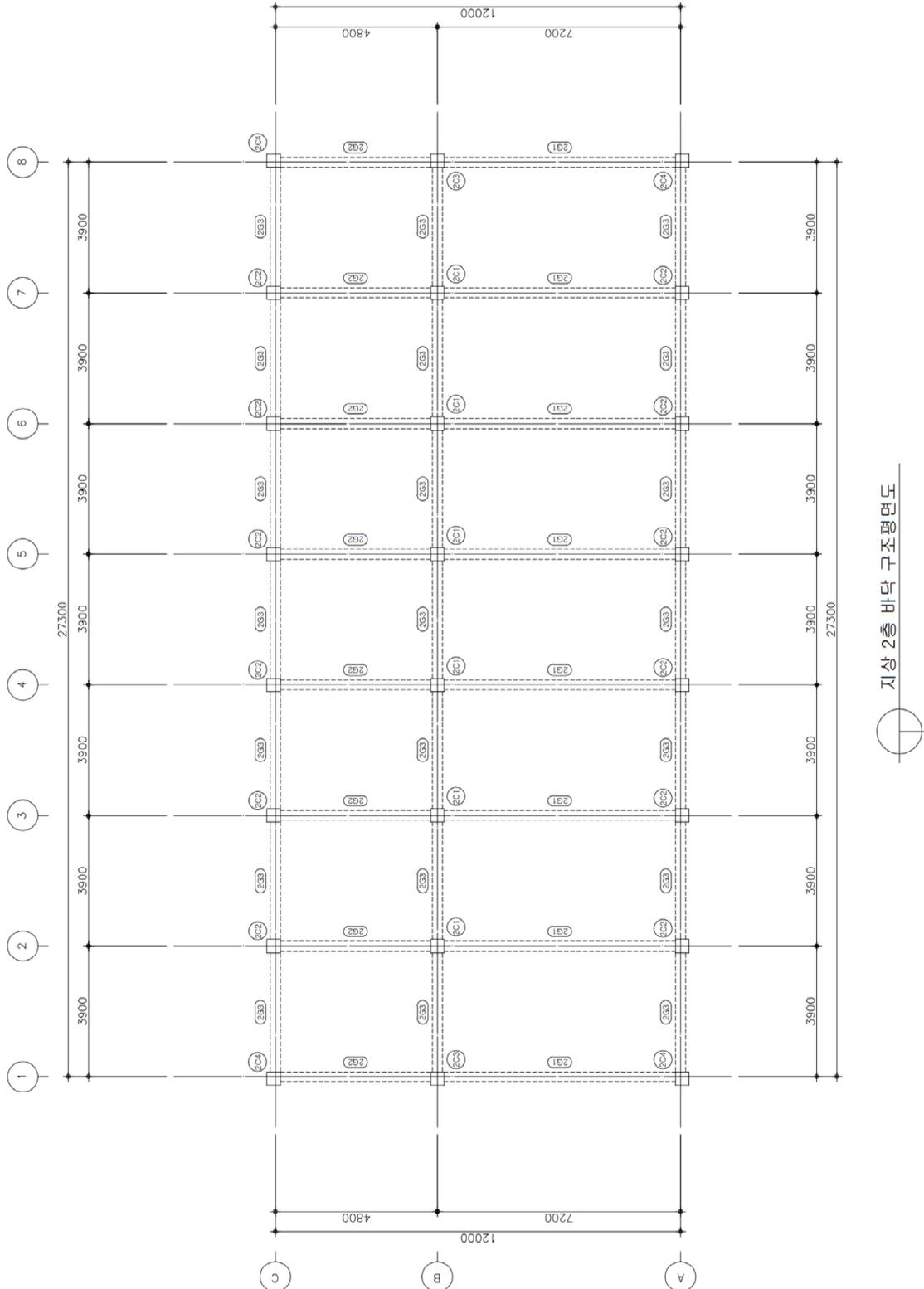


그림 2.1 구조평면도

기존 건축물 내진성능평가 예제집

표 2.1 부재일람표: 기둥

구 분	부재 이름	부재크기 (mm)	주근	전단철근
기둥	C1 ~ C2 (1층~2층)	400×400	8-D19	D10@200
	C3 ~ C4 (1층~2층)	400×400	8-D19	D10@300

표 2.2 부재일람표: 보

구 분	부재 이름	부재크기(mm)	주근		전단철근
보	1G1, 1G2, 1G3	300×600	양단부	상부근: 3-D19 하부근: 2-D19	D10@300
			중양부	상부근: 3-D19 하부근: 3-D19	D10@300
	2G1, 2G2	300×600	양단부	상부근: 3-D19 하부근: 2-D19	D10@200
			중양부	상부근: 3-D19 하부근: 4-D19	D10@300
	2G3	300×600	양단부	상부근: 3-D19 하부근: 2-D19	D10@150
			중양부	상부근: 3-D19 하부근: 2-D19	D10@300
	RG1, RG2, RG3	300×550	양단부	상부근: 3-D19 하부근: 2-D19	D10@200
			중양부	상부근: 3-D19 하부근: 4-D19	D10@300

표 2.3 부재일람표: 조적채움벽

층	부재 이름	X 방향 (장변방향)					Y 방향 (단변방향)				
		Lm (m)	hm (m)	tm (m)	개구부 면적	비고	Lm (m)	hm (m)	tm (m)	개구부 면적	비고
1F	A1-A2	3.5	0.6	0.19	0	허리벽					
	A2-A3	3.5	0.6	0.19	0	허리벽					
	A3-A4	3.5	0.6	0.19	0	허리벽					
	A5-A6	3.5	0.6	0.19	0	허리벽					
	A6-A7	3.5	0.6	0.19	0	허리벽					
	A7-A8	3.5	0.6	0.19	0	허리벽					
	C1-C2	3.5	0.6	0.19	0	허리벽					
	C2-C3	3.5	0.6	0.19	0	허리벽					
	C3-C4	3.5	0.6	0.19	0	허리벽					
	C5-C6	3.5	0.6	0.19	0	허리벽					
	C6-C7	3.5	0.6	0.19	0	허리벽					
	A1-B1						6.8	2.7	0.19	0	채움벽
	A8-B8						6.8	2.7	0.19	0	채움벽
	B1-C1						6.8	2.7	0.19	0	채움벽
	B4-C4						4.4	2.7	0.19	0	채움벽
	B5-C5						4.4	2.7	0.19	0	채움벽
B6-C6						4.4	2.7	0.19	0	채움벽	
B8-C8						4.4	2.7	0.19	0	채움벽	
2F	A1-A2	3.5	0.9	0.19	0	허리벽					
	A2-A3	3.5	0.9	0.19	0	허리벽					
	A3-A4	3.5	0.9	0.19	0	허리벽					
	A4-A5	3.5	0.9	0.19	0	허리벽					
	A5-A6	3.5	0.9	0.19	0	허리벽					
	A6-A7	3.5	0.9	0.19	0	허리벽					
	A7-A8	3.5	0.9	0.19	0	허리벽					
	C1-C2	3.5	0.9	0.19	0	허리벽					
	C2-C3	3.5	0.9	0.19	0	허리벽					
	C3-C4	3.5	0.9	0.19	0	허리벽					
	C4-C5	3.5	0.9	0.19	0	허리벽					
	C5-C6	3.5	0.9	0.19	0	허리벽					
	C6-C7	3.5	0.9	0.19	0	허리벽					
	C7-C8	3.5	0.9	0.19	0	허리벽					
	A1-B1						6.8	2.75	0.19	0	채움벽
	A8-B8						6.8	2.75	0.19	0	채움벽
B1-C1						4.4	2.75	0.19	0	채움벽	
B4-C4						4.4	2.75	0.19	0	채움벽	
B5-C5						4.4	2.75	0.19	0	채움벽	
B6-C6						4.4	2.75	0.19	0	채움벽	
B8-C8						4.4	2.75	0.19	0	채움벽	

2.2 현장조사

이 예제에서는 구체적인 현장조사 결과를 포함하지 않았으나 실제 내진성능평가에서는 6장을 참고하여 현장조사를 수행하고 그 결과를 보고서에 수록하여야 함.

(1) 건물외관

사진

그림 2.2 OO 관리사무실

(2) 상태조사

- ① 요령 “1.2.1 현장조사”에 따라 요령 <표 1.2.1> 제시된 각 항목에 대한 조사를 수행하여 설계도서를 검증하고 평가에 필요한 정보를 취득해야함. 설계도서가 없을 경우 체계적인 현장조사를 통해 구조도면을 작성하고 요령 <표 1.2.1>에 제시된 항목에 대한 정보를 취득해야함. 그 결과를 내진성능평가보고서에 제공해야 하나, 본 예제에서는 생략함.

<예제집의 가정사항>

- 콘크리트의 재료상태는 ‘양호’로 가정
- 조적의 상태는 채움벽은 불량, 허리벽은 양호로 가정함 (요령 6.1.1.3 재료 특성 기본값의 규정중 현장조사를 수행하지 않은 경우에 해당).

(3) 지반조사

- ① 지반조사보고서에 따르면 해당 건물은 지반조건은 S4로 분류됨.

3. 하중

3.1 중력하중

표 3.1 바닥하중

(단위 : kN/m²)

용도	고정하중 (DL)		활하중 (LL)
지붕	무근콘크리트 (t=100mm)	2.30	1.00 (비점유)
	방수 및 모르타르 (t=30mm)	0.60	
	콘크리트 슬래브 (t=120mm)	2.88	
	천장	0.30	
	-----	----	
	소계	6.08	
사무실	마감 및 모르타르 (t=30mm)	0.60	2.50
	콘크리트 슬래브 (t=120mm)	2.88	
	천장	0.30	
	-----	----	
	소계	3.78	
계단	마감 (t=30mm)	0.60	5.00
	모르타르 (t=50mm)	1.00	
계단참	콘크리트 슬래브 (t=220mm)	5.28	
	-----	----	
	소계	6.88	

3.2 유효건물중량

- (1) 지진하중 산정을 위한 질량은 요령 “4.1.1.2 질량”에 따라 KDS 41 17 00의 식 (7.2-1)에 정의된 유효건물중량을 중력가속도로 나눈 값을 사용함.
- (2) KDS 41 17 00에 정의된 유효건물중량은 고정하중에 ① 창고 활하중의 25%, ② 칸막이벽 실제 중량과 0.5 kN/m² 중 큰 값, ③ 영구설비의 총하중, ④ 평지붕 적설하중의 20%, ⑤ 옥상정원이나 이와 유사한 곳에서 조경과 이에 관련된 재료의 무게를 추가함.
- (3) 본 예제 건물은 ①-⑤까지 해당사항이 없으므로 고정하중(채움벽의 하중 포함)만을 유효건물중량에 포함.

표 3.2 층별 유효건물중량

층	높이 (m)	바닥면적 (m ²)	유효건물중량 (kN)
지붕층	6.60	327.6	3139
2F	3.30	327.6	2073
합계			5212

기존 건축물 내진성능평가 예제집

3.3 지진하중

(1) 평가용 응답스펙트럼

- ① 2400년 유효지반가속도(S)는 요령 ‘2.2.1 지진구역, 지진구역계수 및 위험도계수’에 따라 산정된 값인 0.176를 적용함.
- ② 1000년 재현주기 단주기스펙트럼가속도는 2400년 재현주기 지진의 2/3로 산정 (요령 표 2.1.4의 각주)

표 3.3 평가용 스펙트럼가속도

재현주기	S	F_a	F_v	S_{XS}	S_{X1}
2400년	0.176	1.448	2.048	0.637	0.360
1000년	-	-	-	0.425	0.240

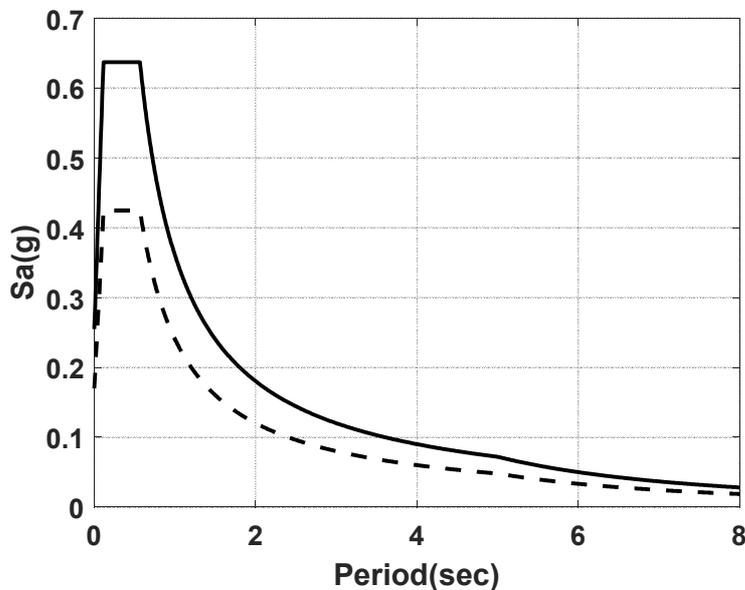


그림 3.1 평가용 지진하중의 스펙트럼

(2) 고유주기

- ① 대상건물의 구조형식은 x, y 방향 모두 철근콘크리트 조적채움벽 골조임.
- ② 요령 4.2.6에 의해 철근모멘트골조의 약산주기에 2/3를 곱하여 산정

$$\text{약산식에 의한 근사고유주기, } T_a = \frac{2}{3} C_t h_n^x = \frac{2}{3} \times 0.0466 \times 6.6^{0.9} = 0.170 \text{ sec}$$

③ 고유치해석에 의한 고유주기

- 장변방향(X방향) T = 0.335 sec
- 단변방향(Y방향) T = 0.429 sec

- ④ 구조물의 주기는 구조해석모델의 고유치해석에 의한 주기와 약산식에 의한 근사고유주기에 주기상한계수 C_u 를 곱한 값 중 작은 값임. 주기상한계수는 2400년 재현주기 지진의 S_{X1} 에 해당하는 $C_u=1.4$ 를 적용
- ⑤ 장변방향 주기 = $\min(0.170 \times 1.4, 0.335) = 0.238\text{sec}$
- ⑥ 단변방향 주기 = $\min(0.170 \times 1.4, 0.429) = 0.238\text{sec}$

[참조]

예제건물의 경우 Y방향으로는 채움벽이, X방향으로는 허리벽이 배치되어 있다. 채움벽은 벽체와 유사한 거동을 하지만 허리벽은 그러한 경향이 낮다. 허리벽만 배치된 경우 모멘트골조의 약산주기와 허용층간변형각 기준을 적용하는 경우도 있으나 허리벽에 의한 단주 효과 때문에 분명히 순수모멘트골조보다는 주기가 감소하고 층간변형각도 작아질 경향이 있다. 이 예제에서는 이러한 경향을 고려하여 양방향 모두 철근콘크리트 조적채움벽골조에 해당하는 약산주기와 허용층간변형각 기준을 적용하였으나 엔지니어의 판단에 의해 허리벽만 배치된 방향으로는 모멘트골조의 기준을 적용할 수 있다.

또한 마찬가지로 이유로 (3) 수평방향 의사지진력 결정시 보수적인 판단을 위해 보정계수 C 를 양쪽 방향 모두 1.2를 적용하였으나, 엔지니어의 판단에 의해 지진하중의 증폭이 없다고 가정하고 더 낮은 증폭계수를 적용할 수 있다.

선형정적평가의 경우 고유치해석은 필수사항이 아니다. 즉, 고유치 해석결과없이 약산주기만으로 지진하중을 결정하여 해석을 수행할 수 있다. 하지만 고유치 해석결과를 반영하는 것이 좀 더 정확하며 고유치해석결과는 해석모델의 오류를 확인할 수 있는 근거자료이므로 고유치해석 수행을 추천한다.

(3) 수평방향 의사지진력

- ① 의사지진력 V 는 요령 식 (4.2.3)으로 산정.

$$V = CS_a W$$

여기서,

C : 변위의 보정계수.

*요령 표 4.2.1에서 조적채움벽골조와 가장 유사한 거동을 하는 전단벽, 가새골조의 값 적용(1.2)

S_a : 스펙트럼가속도

W : 유효건물중량

- ② 2400년 재현주기 의사지진력

기존 건축물 내진성능평가 예제집

$$S_{XS}=0.637, S_{X1}=0.360 \text{ 이므로 } T_s = \frac{0.360}{0.637} = 0.565\text{sec} > 0.280\text{sec}$$

가속도 지배구간에 해당: $S_a = S_{XS}$

$$\therefore 2400\text{년 재현주기 의사지진력, } V = 1.2 \times 0.637 \times 5212 = 3984kN$$

③ 1000년 재현주기 의사지진력

$$T_s \text{는 } 2400\text{년 재현주기의 경우와 동일 } T_s = 0.565 \text{ sec} > 0.280 \text{ sec}$$

가속도 지배구간: $S_a = S_{XS}$

$$\therefore 1000\text{년 재현주기 의사지진력, } V = 1.2 \times 0.425 \times 5212 = 2658kN$$

3.4 하중조합

표 3.4를 고려할 때 선형절차에서는 요령 “4.2.7 하중조합 및 다축가진효과”에 따라 표 3.5와 같이 64개의 하중조합을 사용함.

(1) 중력하중(총 2개 조합)

$$Q_G = 1.1(Q_D + Q_L)$$

$$Q_G = 0.9Q_D$$

여기서,

Q_D : 고정하중에 의한 부재력

Q_L : 활하중의 25%에 의한 부재력

(2) 지진하중(총 32개 조합)

$$Q_E = \pm 1.0E_X \pm 0.3E_Y$$

$$Q_E = \pm 1.0E_Y \pm 0.3E_X$$

여기서,

$$E_X = E_{X,0} \pm E_{X,acc}$$

$$E_Y = E_{Y,0} \pm E_{Y,acc}$$

$E_{X,0}$, $E_{Y,0}$: 각각 질량중심에 작용하는 X- 및 Y-축 지진하중

$E_{X,acc}$, $E_{Y,acc}$: 각각 X- 및 Y-축에 직교하는 우발편심에 대한 지진하중

[참조]

선형절차의 경우 구조부재의 항복에 의한 강도와 강성의 불규칙성을 고려하기 위해 우발편심 및 비틀림 모멘트의 동적증폭을 고려하여야 한다.

격막이 유연하지 않을 경우 수평비틀림모멘트를 고려하여야 한다. 수평비틀림모멘트는 구조물의 질량 중심과 강성 중심 간의 편심에 의한 비틀림모멘트와 우발비틀림모멘트의 합이다. 비틀림모멘트는 편심거리에 총전단력을 곱하여 산정하고, 우발비틀림모멘트는 지진력 작용 방향에 직각인 평면치수의 5%에 해당하는 우발편심과 총전단력을 곱하여 산정한 모멘트로 한다. 우발편심은 질량 중심에 대하여 양방향 모두 고려하여야 한다.

기존 건축물 내진성능평가 예제집

(3) 중력하중과 지진하중의 조합

중력하중의 조합이 2종 지진하중의 조합이 32종이므로 전체 하중조합의 수는 64개가 됨. 각 경우 변형지배거동의 부재력은 다음의 하중조합으로 구함.

$$Q_{UD} = Q_G + Q_E$$

힘지배거동의 부재력은 다음의 수식으로 구함.

$$Q_{UD} = Q_G + \frac{\chi Q_E}{CJ}$$

여기서, 인명안전일 경우 $\frac{\chi Q_E}{CJ} = \frac{1.3}{(1.2)(2)} Q_E = 0.54 Q_E$

붕괴방지일 경우 $\frac{\chi Q_E}{CJ} = \frac{1.0}{(1.2)(2)} Q_E = 0.42 Q_E$

[참조]

표 3.4 힘지배거동하는 부재의 부재력 산정을 위한 계수

최대 비탄성변위와 선형탄성변위의 보정을 위한 수정계수, C^1				
건물의 형식	층수			
	1	2	3	4층 이상
모멘트 골조	1.3	1.1	1.0	1.0
전단벽 구조, 가새골조	1.4	1.2	1.1	1.0
조적조	1.0	1.0	1.0	1.0
본 예제 건물에 해당하는 하중전달 감소계수 J^2				
유형	값		적용	
하중전달경로상 부재의 DCR중 최소로 함	DCR중 최솟값			
지진구역 1	2.0		○	
지진구역 2	1.5			
거주가능 수준의 검토	1.0			
횡하중 저항시스템 내의 부재가 항복하지 않을 경우	1.0			
본 예제 건물에 해당하는 성능수준에 따른 보정계수 χ^3				
유형	값		적용	
J의 값으로 DCR의 최소치를 택함	1.0			
J의 값으로 DCR의 최소치를 택하지 않음				
- 붕괴방지 성능 수준의 검토	1.0		○	
- 인명안전 혹은 거주가능 성능 수준의 검토	1.3		○	

1) [요령] 표 4.2.1 참고

2) [요령] 4.2.7(4) 참고

3) [요령] 4.2.7(4) 참고

표 3.5 선형정적해석을 위한 하중조합

번호	이름	하중조합
1	LC1	$1.1(D+0.25L)+1.0(Exo+Exacc)+0.3(Eyo+Eyacc)$
2	LC2	$1.1(D+0.25L)+1.0(Exo+Exacc)+0.3(Eyo-Eyacc)$
3	LC3	$1.1(D+0.25L)+1.0(Exo+Exacc)-0.3(Eyo+Eyacc)$
4	LC4	$1.1(D+0.25L)+1.0(Exo+Exacc)-0.3(Eyo-Eyacc)$
5	LC5	$1.1(D+0.25L)+1.0(Exo-Exacc)+0.3(Eyo+Eyacc)$
6	LC6	$1.1(D+0.25L)+1.0(Exo-Exacc)+0.3(Eyo-Eyacc)$
7	LC7	$1.1(D+0.25L)+1.0(Exo-Exacc)-0.3(Eyo+Eyacc)$
8	LC8	$1.1(D+0.25L)+1.0(Exo-Exacc)-0.3(Eyo-Eyacc)$
9	LC9	$1.1(D+0.25L)+1.0(Eyo+Eyacc)+0.3(Exo+Exacc)$
10	LC10	$1.1(D+0.25L)+1.0(Eyo+Eyacc)+0.3(Exo-Exacc)$
11	LC11	$1.1(D+0.25L)+1.0(Eyo+Eyacc)-0.3(Exo+Exacc)$
12	LC12	$1.1(D+0.25L)+1.0(Eyo+Eyacc)-0.3(Exo-Exacc)$
13	LC13	$1.1(D+0.25L)+1.0(Eyo-Eyacc)+0.3(Exo+Exacc)$
14	LC14	$1.1(D+0.25L)+1.0(Eyo-Eyacc)+0.3(Exo-Exacc)$
15	LC15	$1.1(D+0.25L)+1.0(Eyo-Eyacc)-0.3(Exo+Exacc)$
16	LC16	$1.1(D+0.25L)+1.0(Eyo-Eyacc)-0.3(Exo-Exacc)$
17	LC17	$1.1(D+0.25L)-1.0(Exo+Exacc)+0.3(Eyo+Eyacc)$
18	LC18	$1.1(D+0.25L)-1.0(Exo+Exacc)+0.3(Eyo-Eyacc)$
19	LC19	$1.1(D+0.25L)-1.0(Exo+Exacc)-0.3(Eyo+Eyacc)$
20	LC20	$1.1(D+0.25L)-1.0(Exo+Exacc)-0.3(Eyo-Eyacc)$
21	LC21	$1.1(D+0.25L)-1.0(Exo-Exacc)+0.3(Eyo+Eyacc)$
22	LC22	$1.1(D+0.25L)-1.0(Exo-Exacc)+0.3(Eyo-Eyacc)$
23	LC23	$1.1(D+0.25L)-1.0(Exo-Exacc)-0.3(Eyo+Eyacc)$
24	LC24	$1.1(D+0.25L)-1.0(Exo-Exacc)-0.3(Eyo-Eyacc)$
25	LC25	$1.1(D+0.25L)-1.0(Eyo+Eyacc)+0.3(Exo+Exacc)$
26	LC26	$1.1(D+0.25L)-1.0(Eyo+Eyacc)+0.3(Exo-Exacc)$
27	LC27	$1.1(D+0.25L)-1.0(Eyo+Eyacc)-0.3(Exo+Exacc)$
28	LC28	$1.1(D+0.25L)-1.0(Eyo+Eyacc)-0.3(Exo-Exacc)$
29	LC29	$1.1(D+0.25L)-1.0(Eyo-Eyacc)+0.3(Exo+Exacc)$
30	LC30	$1.1(D+0.25L)-1.0(Eyo-Eyacc)+0.3(Exo-Exacc)$
31	LC31	$1.1(D+0.25L)-1.0(Eyo-Eyacc)-0.3(Exo+Exacc)$
32	LC32	$1.1(D+0.25L)-1.0(Eyo-Eyacc)-0.3(Exo-Exacc)$
33	LC33	$0.9D+1.0(Exo+Exacc)+0.3(Eyo+Eyacc)$
34	LC34	$0.9D+1.0(Exo+Exacc)+0.3(Eyo-Eyacc)$
35	LC35	$0.9D+1.0(Exo+Exacc)-0.3(Eyo+Eyacc)$
36	LC36	$0.9D+1.0(Exo+Exacc)-0.3(Eyo-Eyacc)$
37	LC37	$0.9D+1.0(Exo-Exacc)+0.3(Eyo+Eyacc)$
38	LC38	$0.9D+1.0(Exo-Exacc)+0.3(Eyo-Eyacc)$
39	LC39	$0.9D+1.0(Exo-Exacc)-0.3(Eyo+Eyacc)$
40	LC40	$0.9D+1.0(Exo-Exacc)-0.3(Eyo-Eyacc)$
41	LC41	$0.9D+1.0(Eyo+Eyacc)+0.3(Exo+Exacc)$
42	LC42	$0.9D+1.0(Eyo+Eyacc)+0.3(Exo-Exacc)$
43	LC43	$0.9D+1.0(Eyo+Eyacc)-0.3(Exo+Exacc)$
44	LC44	$0.9D+1.0(Eyo+Eyacc)-0.3(Exo-Exacc)$
45	LC45	$0.9D+1.0(Eyo-Eyacc)+0.3(Exo+Exacc)$
46	LC46	$0.9D+1.0(Eyo-Eyacc)+0.3(Exo-Exacc)$
47	LC47	$0.9D+1.0(Eyo-Eyacc)-0.3(Exo+Exacc)$

기존 건축물 내진성능평가 예제집

48	LC48	$0.9D+1.0(E_{yo}-E_{yacc})-0.3(E_{xo}-E_{xacc})$
49	LC49	$0.9D-1.0(E_{xo}+E_{xacc})+0.3(E_{yo}+E_{yacc})$
50	LC50	$0.9D-1.0(E_{xo}+E_{xacc})+0.3(E_{yo}-E_{yacc})$
51	LC51	$0.9D-1.0(E_{xo}+E_{xacc})-0.3(E_{yo}+E_{yacc})$
52	LC52	$0.9D-1.0(E_{xo}+E_{xacc})-0.3(E_{yo}-E_{yacc})$
53	LC53	$0.9D-1.0(E_{xo}-E_{xacc})+0.3(E_{yo}+E_{yacc})$
54	LC54	$0.9D-1.0(E_{xo}-E_{xacc})+0.3(E_{yo}-E_{yacc})$
55	LC55	$0.9D-1.0(E_{xo}-E_{xacc})-0.3(E_{yo}+E_{yacc})$
56	LC56	$0.9D-1.0(E_{xo}-E_{xacc})-0.3(E_{yo}-E_{yacc})$
57	LC57	$0.9D-1.0(E_{yo}+E_{yacc})+0.3(E_{xo}+E_{xacc})$
58	LC58	$0.9D-1.0(E_{yo}+E_{yacc})+0.3(E_{xo}-E_{xacc})$
59	LC59	$0.9D-1.0(E_{yo}+E_{yacc})-0.3(E_{xo}+E_{xacc})$
60	LC60	$0.9D-1.0(E_{yo}+E_{yacc})-0.3(E_{xo}-E_{xacc})$
61	LC61	$0.9D-1.0(E_{yo}-E_{yacc})+0.3(E_{xo}+E_{xacc})$
62	LC62	$0.9D-1.0(E_{yo}-E_{yacc})+0.3(E_{xo}-E_{xacc})$
63	LC63	$0.9D-1.0(E_{yo}-E_{yacc})-0.3(E_{xo}+E_{xacc})$
64	LC64	$0.9D-1.0(E_{yo}-E_{yacc})-0.3(E_{xo}-E_{xacc})$

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 $f_{ck} = 30 \times 0.8 = 24MPa$
- 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)

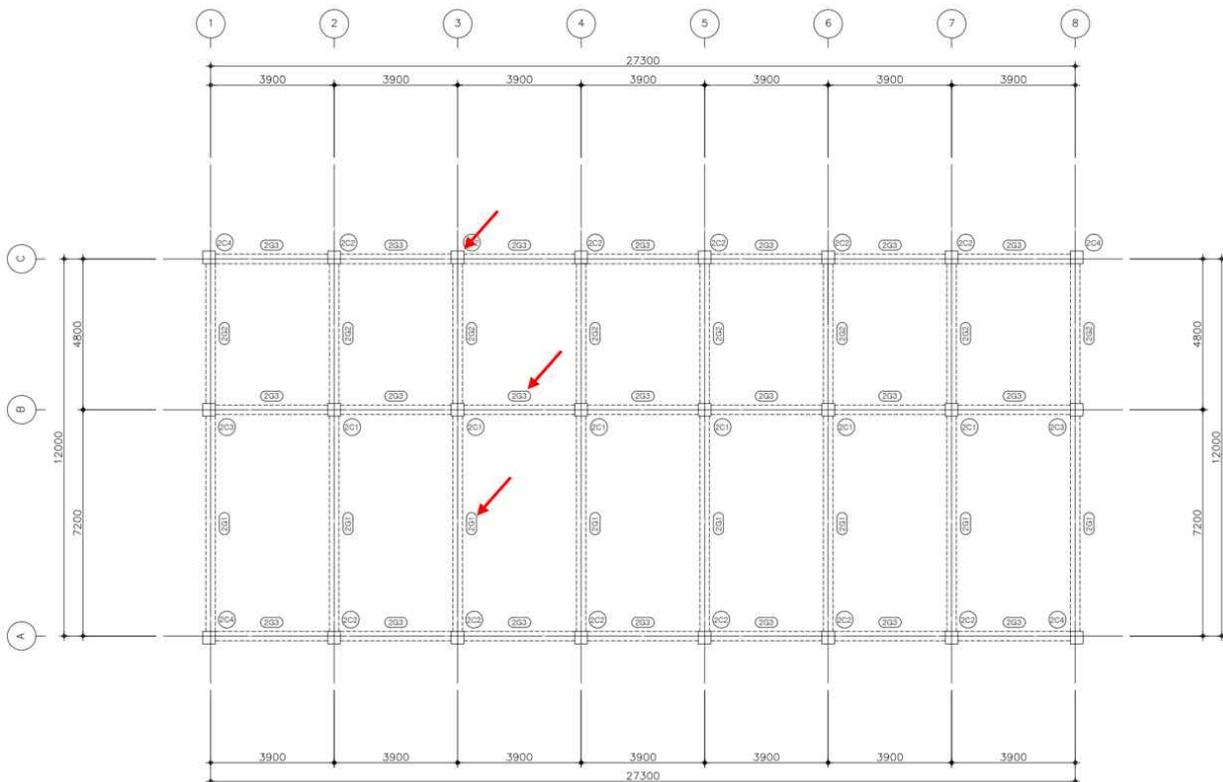


그림 4.1 예시 부재의 위치

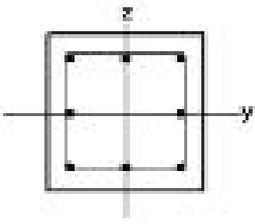
기존 건축물 내진성능평가 예제집

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 횡향복시 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) m 계수

① z축 모멘트 방향

파괴모드: 그룹 ii

축력비: $P/A_g f_{ck} = 0.03 < 0.1$

횡보강근비: $\rho = A_v/b_w s = 0.000891$

전단강도비: $V/b_w d \sqrt{f_{ck}} = 0.44$

여기서, V 는 한계상태해석을 통해 산정된 전단력 = V_p 적용

∴ m 계수:

IO	LS	CP
1.27	1.32	1.51

[참조] 요령 표 5.4.4 철근콘크리트 기둥의 m 계수

부재 조건	m 계수 ^D						
	성능 수준						
	부재 중요도						
	1차부재			2차부재			
거주가능	인명안전	붕괴방지	인명안전	붕괴방지	인명안전	붕괴방지	
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	2	2.5	3	4	5
≤0.1	≥0.006	≥0.5	2	2	2.5	4	5
≥0.6	≥0.006	≤0.25	1.25	1.8	1.9	1.9	2
≥0.6	≥0.006	≥0.5	1.25	1.5	1.6	1.6	1.8
≤0.1	≤0.0005	≤0.25	1.2	1.3	1.4	1.4	1.6
≤0.1	≤0.0005	≥0.5	1	1	1.1	1.1	1.2
≥0.6	≤0.0005	≤0.25	1	1	1.1	1.1	1.2
≥0.6	≤0.0005	≥0.5	1	1	1	1	1

② y축 모멘트 방향

파괴모드: 그룹 ii

축력비: $P/A_g f_{ck} = 0.03$

횡보강근비: $\rho = A_v/b_w s = 0.0018$

전단강도비: $V/b_w d \sqrt{f_{ck}} = 0.34$

∴ m 계수:

IO	LS	CP
1.33	1.46	1.65

4.1.2 보

(1) 보의 강도 및 파괴모드

표 4.2 보의 단면정보

부재 위치	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

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

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

순길이 $l_o = 7.2 - 0.4 = 6.8 \text{ m}$

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

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

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

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

순길이 $l_o = 3.9 - 0.4 = 3.3 \text{ m}$

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

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

$\therefore V_n > V_p$ 이므로 휨지배거동

기존 건축물 내진성능평가 예제집

(2) m계수

① 1층 A3-B3

<지배거동> 횡지배거동

<주철근비>

- $\rho = 0.0052$

- $\rho' = 0.0035$

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

→ $(\rho - \rho') / \rho_{bal} = 0.0667 < 0.5$

<횡보강근 조건>

- 내진갈고리 있음

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

- $V_s = 172.8 < 3/4 \times V_n = 3/4 \times 314.2 = 235.7$

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

<전단강도비>

→ $V/b_w d \sqrt{f_{ck}} = 0.0603 < 0.25$

여기서, V 는 한계상태해석을 통해 산정된 전단력 = V_p 적용

∴ m 계수:

IO	LS	CP
2	3	4

② 1층 B3-B4

<지배거동> 횡지배거동

<주철근비>

- $\rho = 0.0052$

- $\rho' = 0.0035$

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

→ $(\rho - \rho') / \rho_{bal} = 0.0667 < 0.5$

<횡보강근 조건>

- 내진갈고리 있음
- $s = 150 < d/3 = 183.5$
- $V_s = 230.4 < 0.75 V_n = 0.75 \times 372.8 = 279.6$

→ 전단철근에 의한 전단강도가 전체전단강도의 75% 미만이므로 NC에 해당

<전단강도비>

→ $V/b_w d \sqrt{f_{ck}} = 0.124 < 0.25$ (V는 한계상태해석을 통해 산정된 전단력 = V_p)

∴ m 계수:

10	LS	CP
2	3	4

[참조] 요령 표 5.4.3 철근콘크리트 보의 m 계수

부재 조건		m 계수 ¹⁾					
		성능 수준					
		부재 중요도					
		1차부재			2차부재		
		거주가능	인명안전	붕괴방지	인명안전	붕괴방지	
휨에 의해 지배되는 경우 ²⁾							
$(\rho - \rho')/\rho_{bal}$	횡보강근 ³⁾	$V^4/b_w d \sqrt{f_{ck}}$					
≤ 0.0	C	≤ 0.25	3	6	7	6	10
≤ 0.0	C	≥ 0.5	2	3	4	3	5
≥ 0.5	C	≤ 0.25	2	3	4	3	5
≥ 0.5	C	≥ 0.5	2	2	3	2	4
≤ 0.0	NC	≤ 0.25	2	3	4	3	5
≤ 0.0	NC	≥ 0.5	1.25	2	3	2	4
≥ 0.5	NC	≤ 0.25	2	3	3	3	4
≥ 0.5	NC	≥ 0.5	1.25	2	2	2	3

기존 건축물 내진성능평가 예제집

4.1.3 조적벽

(1) 조적벽의 재료특성

- ① 조적의 상태는 채움벽은 불량, 허리벽은 양호로 가정함.
- ② 조적채움벽(재료상태 불량)과 조적허리벽(재료상태 양호)의 공칭강도(하한값) 및 탄성계수의 기대값은 표 4.3과 같음.
- ③ 재료강도의 기댓값(평균값)은 표 4.3의 1.3배에 해당함.
- ④ 강성산정시에는 탄성계수의 기대값을 사용하며 힘지배거동의 재료강도는 하한값, 변형지배거동의 재료강도는 평균값을 사용함.

표 4.3 조적벽 재료 특성

항목	조적채움벽(불량)	조적허리벽(양호)
압축강도(f_m')	2.1	6.2
전단강도(ν_m)	0.09	0.19
인장강도	0	0.14
탄성계수(E_m)	546	1612
전단탄성계수(G_m)	218.4	644.8

(2) 조적벽의 강성

- ① 예시부재
 - 조적채움벽: A1-B1 (y방향, $L_m = 6800$, $h_m = 2700$, $t_m = 190$)
 - 조적허리벽: C2-C3 (x방향, $L_m = 3500$, $h_m = 600$, $t_m = 190$)

표 4.4 조적채움벽(불량) 강성 산정 - 활선강성 적용

항목	계산결과
층고 h_c (mm)	3300
조적벽 높이 h_m (mm)	2700
조적벽 길이 L_m (mm)	6800
조적벽 순수 두께 t_m (mm)	190
대각선 길이 d_m (mm)	7316.4
스트럿 각도 θ_m (rad)	0.38
조적의 탄성계수 E_m (MPa)	546
인접기둥의 단면2차모멘트 I_c (mm ⁴)	$\frac{400 \times 400^3}{12} = 2.13 \times 10^9$
콘크리트강도 (기대강도) (MPa)	$24 \times 1.1 = 26.4$
콘크리트 탄성계수 E_c (MPa)	$8500 \times 26.4^{\frac{1}{3}} = 25309.7$
$\lambda_m = \left[\frac{E_m t_m \sin 2\theta_m}{4E_c I_c h_m} \right]^{\frac{1}{4}}$	0.000591
조적채움벽 등가스트럿 폭 b_m (mm)	980.1
$b_m = [0.175(\lambda_m h_c)^{-0.4}] d_m$	
개구부에 의한 감소율 r_{op}	1.0
등가스트럿의 활선강성 k_{ms} (N/mm)	13897.3

표 4.5 조적허리벽(양호) 초기강성 산정

항목	계산결과
허리벽 높이 h_m (mm)	600
허리벽 길이 L_m (mm)	3500
허리벽 순수 두께 t_m (mm)	190
대각선 길이 d_m (mm)	3551.1
스트럿 각도 θ_m (rad)	0.17
조적의 탄성계수 E_m (MPa)	1612
조적의 전단탄성계수 G_m (MPa)	644.8
허리벽 단면2차모멘트 I_m (mm ⁴)	$\frac{190 \times 3500^3}{12} = 6.788 \times 10^{11}$
등가 캔틸레버 기둥의 휨강성 K_{fm} (N/mm)	15198791
등가 캔틸레버 기둥의 전단강성 K_{vm} (N/mm)	714653
휨강성과 전단강성의 조합강성 K_{mi} (N/mm)	682559
스트럿방향강성 $K_{mi} / \cos^2 \theta_m$ (N/mm)	702618

기존 건축물 내진성능평가 예제집

(3) 조적벽의 강도

- ① 조적벽 전단강도는 가로줄눈미끄러짐강도, 대각균열강도, 지압강도중 가장 작은 강도에 의해 지배됨. 각 파괴모드의 강도는 표 4.6과 같이 산정됨.
- ② 대각균열파괴와 지압파괴는 힘지배거동이므로 공칭강도를 적용. 가로줄눈강도는 변형지배거동이므로 기대강도를 적용함.
- ③ 채움벽과 허리벽 모두 가로줄눈파괴에 의해 지배됨

표 4.6 조적벽 강도 산정

항목	조적채움벽	조적허리벽
조적벽 높이 h_m (mm)	2700	600
조적벽 길이 L_m (mm)	6800	3500
조적벽 순수 두께 t_m (mm)	190	190
대각선 길이 d_m (mm)	7316.4	3551.1
스트럿 각도 θ_m (rad)	0.38	0.17
조적전단강도(공칭) (MPa)	0.09	0.19
조적압축강도(공칭) (MPa)	2.1	6.2
가로줄눈미끄러짐강도(기대) V_{bjs} (N)	151164	164255
사인장전단강도 f_{dt} (MPa) $f_{dt} = 0.125 \sqrt{f_m'}$	0.181	0.311
대각균열강도 V_{dc} (N)	234959	185057
지압강도 V_{bm} (N)	359100	235600
최종 전단강도 V_m (N)	151164	164255
등가스트럿 환산 축강도 (N) $P = Q / \cos \theta_m$	162644	166651

(4) m계수

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

골조와 채움벽의 강도비, $\beta = V_{frame}/V_m = \frac{(기둥전단강도)173.9}{162.6} = 1.07$

채움벽의 길이/높이 비, $L_m/h_m = \frac{6800}{2700} = 2.51 > 2.0$

∴ m 계수:

IO	LS	CP
1	4.5	NA

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

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

채움벽의 길이/높이 비 $L_m/h_m = \frac{3500}{600} = 5.83 > 2.0$

∴ m 계수:

IO	LS	CP
1	4.5	NA

기존 건축물 내진성능평가 예제집

[참조]

요령 표 6.1.3 조적채움벽의 m 계수

조건		목표성능수준별 m 계수 ¹⁾		
골조와 채움벽의 강도비 $\beta^{2)}$	채움벽의 길이/높이비 ³⁾	거주가능	인명안전	붕괴방지
0.7 미만	0.5	1.0	4.0	n.a.
	1.0	1.0	3.5	n.a.
	2.0	1.0	3.0	n.a.
0.7 이상 1.3 미만	0.5	1.5	6.0	n.a.
	1.0	1.2	5.2	n.a.
	2.0	1.0	4.5	n.a.
1.3 이상	0.5	1.5	8.0	n.a.
	1.0	1.2	7.0	n.a.
	2.0	1.0	6.0	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.

4.1.4 조적채움벽의 면외방향검토

- 붕괴방지 검토시 조적채움벽의 면외전도는 성능과 상관이 없으므로 검토하지 않음.
- 인명안전 검토시 해당 건물의 S_{XS} 는 0.425, S_{XI} 는 0.240이며 이때 한계치는 9임.
- 면외전도 검토에서의 예제의 조적의 상태는 양호로 가정함.
- 아래와 같이 조적채움벽은 아치작용을 기대할 수 있는 경우와 아치작용을 기대할 수 없는 경우로 분류하여 검토함.

(1) 아치작용을 기대할 수 있는 경우

<높이 - 두께비 검토>

- ① 검토대상 조적채움벽의 높이-두께비는 14.21으로 한계치를 초과함. 따라서 면외전도에 대한 검토가 필요함.

표 4.7 해당건물 조적채움벽 높이-두께비(h_m/t_m)

구분	조적높이 (m)	조적두께 (m)	높이-두께비	검토결과
채움벽	2.7	0.19	14.21	불만족

[참조] 요령 표 6.1.7 아치작용의 요건을 만족하는 조적채움벽의 면외방향 검토를 생략하기 위한 높이-두께비(h_m/t_m) 상한치

성능수준	$S_{XS} < 0.33g$ 또는 $S_{X1} < 0.133g$	$0.33g \leq S_{XS} < 0.50g$ 또는 $0.133g \leq S_{X1} < 0.20g$	$0.50g \leq S_{XS}$ 또는 $0.20g \leq S_{X1}$
거주가능	14	13	8
인명안전	15	14	9
붕괴방지	16	15	10

<아치작용 기대 조건>

- ① 채움벽이 보 하단과 밀실하게 접촉되어 있는 경우 아치작용을 기대할 수 있음.
- ② 높이-두께비

$$\frac{h_m}{t_m} = \frac{2.7}{0.19} = 14.21 < 25$$

∴ 아치작용을 기대할 수 있음

<면외강도 검토>

- ① 면외강도(Q_{CL})

$$Q_{CL} = q_{in} A_{in} = \frac{0.7 f'_m \lambda_2}{(h_m/t_m)} A_{in} = \frac{0.7 \times 6.2 \times 0.034}{14.21} \times 6800 \times 190 \times 10^{-3} = 13.4 \text{ kN}$$

- ② 관성력(F_p)

인명안전에 대한 검토시 χ 는 1.3를 적용함.

$$F_p = 0.4 \chi S_{XS} W_p = 0.4 \times 1.3 \times 0.425 \times 4.52 \times 6.8 \times 2.7 = 18.3 \text{ kN}$$

여기서, W_p (m^2 당 중량) = $\gamma \times t = 20 \times 0.226 = 4.52 \text{ kPa}$

단위 중량 $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$

1.0B인 경우 두께는 $190 \text{ mm} + 2 \times 18 \text{ mm}$ (양측 미장) = 226 mm

표 4.8 해당건물 면외강도 검토

	높이-두께비	면외강도(Q_{CL}) (kN)	관성력(F_p) (kN)	검토결과
인명안전	14.21	13.4	18.3	불만족

∴ 채움벽은 면외전도에 대해 안전하지 못함.

기존 건축물 내진성능평가 예제집

[참조]

해당 예제의 면외전도검토는 아래의 측면에서 상당히 보수적인 평가임.

* 조적의 두께: 강도산정시 조적두께는 미장을 무시하고 조적조 1.0B 두께에 해당하는 190mm를 적용하였으나 무게 산정시에는 양쪽면의 미장을 고려하여 226 mm 로 산정함.

면외전도검토 시 현장조사 및 상태조사를 기반으로 한 공학적 판단을 통해 이보다 높은 값을 적용할 수 있음.

(2) 아치작용을 기대할 수 없는 채움벽의 면외방향 검토

① 단열재로 인해 상부보와 조적채움벽 사이에 이격이 있어 아치작용을 기대할 수 없는 경우 면외전도 검토결과는 아래와 같음.

- 요령 6.1.5 (5) ③에 따라 조적채움벽을 수직 캔틸레버로 간주하고 횡 균열이 발생하는 수평하중을 면외방향 하중작용 시의 강도로 결정함.
- 요령 6.1.1.2 또는 6.1.1.3에 따른 채움벽의 설계기준 인장강도를 적용함. 4면 고정접합을 가정하기 위해서는 현장조사를 통해 조적벽체와 골조의 경계면에 이격(gap)이 존재하지 않는 것을 확인하여야 하며, 확인하지 않는 경우 하부면만 접합된 것으로 가정하고 캔틸레버로 거동하는 것으로 가정함.

항목	평가결과	비고
지역계수 S	0.176	-
지반종류	S_4	-
단주기 지반증폭계수 F_a	1.448	-
인명안전 검토시 S_{XS} (g)	0.425	재현주기 1000년, $\frac{2}{3} \times S \times 2.5 \times F_a$
z/h	1.0	최상부 기준
W_p (단위면적당 중량)	4.52 kPa	(단위 중량) * (두께)
a_p (증폭계수)	1	KDS 41 17 표18.3-1의 “내부 비구조벽체 및 칸막이벽 - 비보강 조적벽”
R_p (반응수정계수)	1.5	
Ω_p (초과강도계수)	1.5	

㉞ 비구조요소용 수평지진하중

$$F_p = \frac{0.4a_p S_{XS} W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left(1 + 2\frac{z}{h}\right) = \frac{0.4(1.0)(0.425)(4.52 \text{ kN/m}^2)}{\left(\frac{1.5}{1.0}\right)} (1 + 2) = 1.54 \text{ kN/m}^2$$

여기서, 인명안전에 해당 I_p 는 1.0임.(피난경로 상에 위치한 경우 1.5 적용)

㉔ 최대 인장응력

$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{5610N \cdot m}{0.008513m^3} = 0.66 MPa$$

여기서,

단위 폭 m 당 소요휨모멘트(측면지지가 없는 경우),

$$M_u = \frac{w_u l^2}{2} = \frac{1.54 \text{ kN/m} \times (2.7\text{m})^2}{2} = 5.61 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

단면계수,

$$S = \frac{bh^2}{6} = \frac{1.0 \times (0.19 + 2 \times 0.018)^2}{6} = 0.008513m^3/m$$

조적의 휨인장강도는 0.14 MPa 이나 상부의 자중에 의한 압축응력을 반영할 수 있음. 이 때 자중효과는 하중조합 0.9D + 1.0E 의 취지를 반영하여 0.9배만 고려함.

$$f_t = 0.14MPa + 0.9 \times (20 \text{ kN/m}^3 \times 2.7\text{m})/1000 = 0.19MPa < 0.66 MPa$$

∴ 채움벽은 면외전도에 대해 안전하지 못함.

4.2 구조해석모델

- (1) 조적채움벽과 허리벽은 트러스 요소를 사용한 등가스트럿을 X 형태로 배치하여 모델링함.
- (2) 등가스트럿은 양방향 (X 형태)로 모델링하므로 각 스트럿은 위에서 산정한 수치의 절반에 해당하는 강성을 가지도록 모델링하였음.
- (3) 지중보와 주각을 모델링하고 기둥하부(기초) 절점은 핀지지로 가정하여 모델링함.

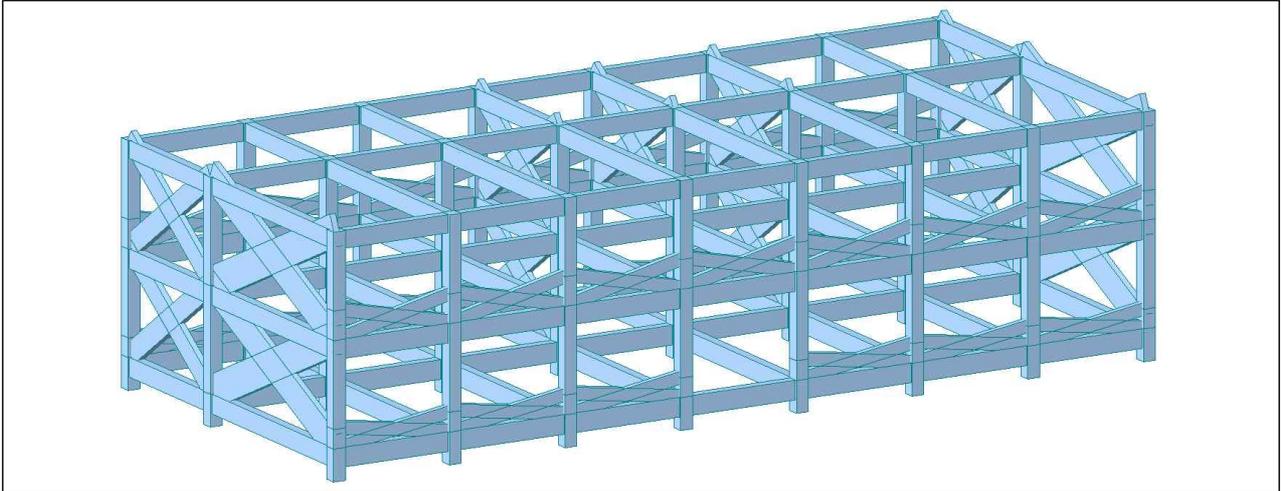


그림 4.2 3D 뷰

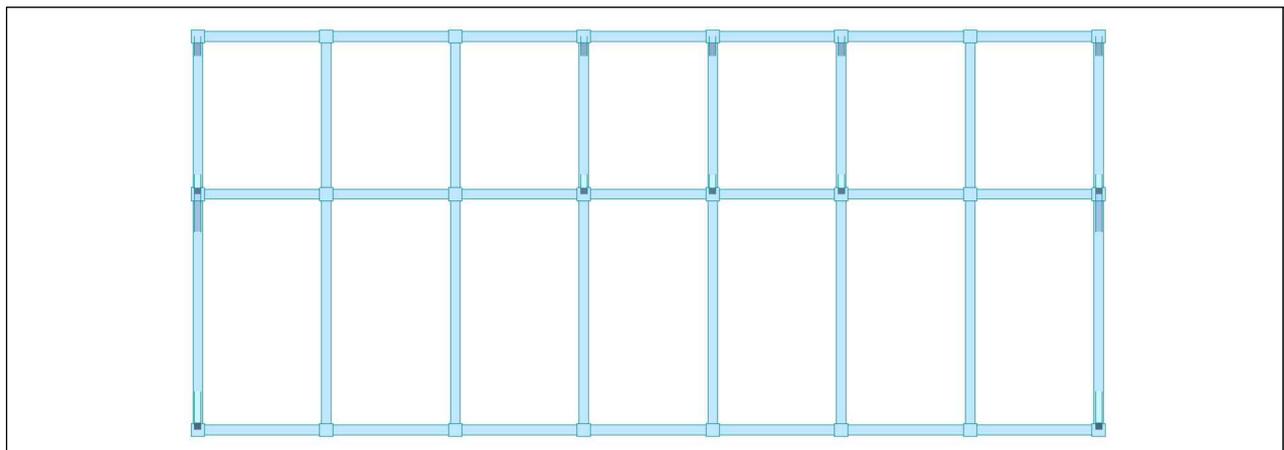


그림 4.3 평면

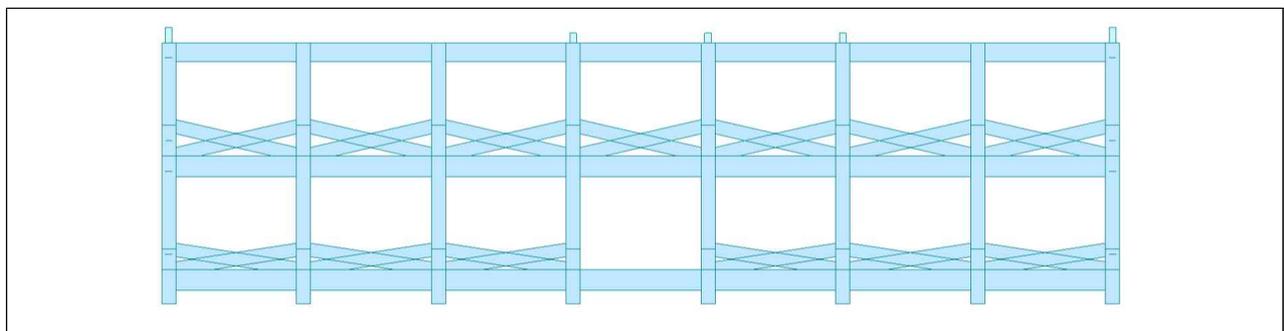


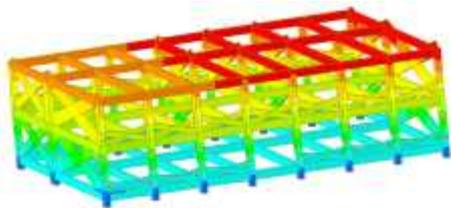
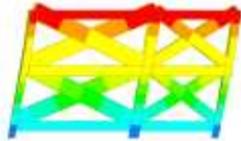
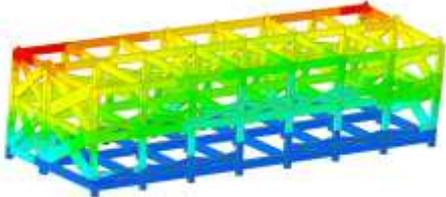
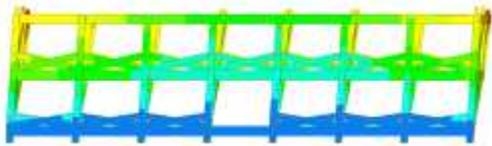
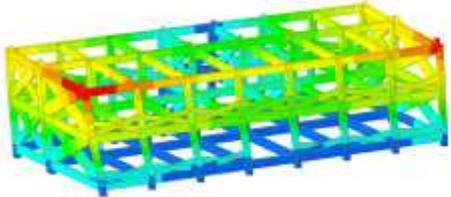
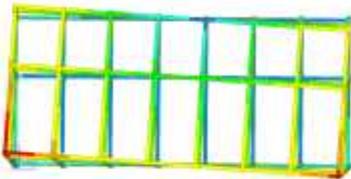
그림 4.4 입면

4.3 고유치해석결과

표 4.9 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 4.10 고유치 해석 결과 및 모드 형상

	
1차모드	1차 모드
	
2차모드	2차모드
	
3차모드	3차모드

5. 평가절차 적용제한 검토

5.1 선형절차의 적용제한 조건 검토

- (1) 선형절차는 구조물에 비정형성이 없고 비탄성 거동이 크지 않으며 비교적 균등히 발생하는 경우에만 사용할 수 있으며 요령에서는 부재별 축력, 휨모멘트, 전단력 등 모든 작용력의 DCR이 3.0 혹은 부재별 m 계수를 초과하는 경우, 약층비정형과 비틀림강도비정형 중 하나라도 해당된다면 사용할 수 없도록 하고 있음.
- (2) 작용력의 DCR은 선형절차에 따른 해석을 수행한 후 부재별로 요령 식 (4.2.1)에 의해 산정함.

$$DCR = \frac{Q_{UD}}{Q_{CE}} \quad \text{요령 식 (4.2.1)}$$

여기서, Q_{UD} 는 선형절차의 하중조합에 의해 발생하는 부재력, $Q_{UD} = Q_G + Q_E$ 이고, Q_{CE} 는 평균재료강도를 사용하여 산정한 부재의 기대강도임.

- (3) 표 5.1은 2400년 재현주기 지진시 기둥부재의 부재력과 강도를 나타낸 표로 부재력은 해석에 사용된 64개 하중조합중 최대값임. 표 5.2는 표 5.1의 부재력과 강도를 사용하여 산정한 DCR과 부재의 m 계수를 나타낸 표로서 기둥부재에서 DCR값은 선형절차 적용제한 조건을 위배하지 않음을 나타냄.
- (4) 표 5.3과 표 5.4는 보 부재에 대한 부재력과 강도, DCR을 검토한 표로 보부재에서도 DCR값은 선형절차 적용제한 조건을 위배하지 않음을 나타냄.
- (5) 1000년 지진작용시 부재력은 2400년 지진보다 작을 것이므로 1000년 지진에 대한 검토는 필요하지 않음.

∴ 모든 부재에서 DCR이 3.0을 초과하지 않고, 선형절차에서 제시하는 m 계수를 초과하지 않으므로 약층비정형과 비틀림강도비정형을 검토할 필요 없이 선형절차를 적용할 수 있음.

표 5.1 기둥 검토: 부재력과 강도

부재 번호	Demand					Capacity				
	Muy (kN·m)	Muz (kN·m)	Pu (kN)	Vuy (kN)	Vuz (kN)	Mey (kN·m)	Mez (kN·m)	Pn (kN)	Vny (kN)	Vnz (kN)
406	239.71	285.81	551.11	217.29	105.432	204.27	204.27	3307.23	130.92	130.92
412	233.91	278.93	550.36	212.47	102.006	203.11	203.11	3307.23	130.31	130.31
424	236.49	275.93	791.28	211.43	103.44	213.98	213.98	3307.23	135.97	135.97
436	240.71	292.77	566.52	223.1	106.026	201.59	201.59	3307.23	129.53	129.53
454	284.02	125.91	499.97	157.83	185.154	189.79	189.79	3307.23	123.38	123.38
455	263.74	119.41	420.26	143.48	171.666	193.74	193.74	3307.23	125.43	125.43
456	282.25	122.43	477.09	154.02	182.826	188.5	188.5	3307.23	122.71	122.71
457	262.15	116.16	393.91	140.04	169.578	191.63	191.63	3307.23	124.34	124.34
458	225.14	113.2	390.22	137.49	154.47	190.86	190.86	3307.23	123.94	123.94
460	262.13	117.38	396.47	142.12	169.53	190.51	190.51	3307.23	123.76	123.76
461	264.1	121.51	424.93	146.68	171.972	188.84	188.84	3307.23	122.89	122.89
462	237.47	116.89	751.33	145.56	161.19	197.69	197.69	3307.23	127.49	127.49
531	225.41	113.12	391.24	137.16	154.566	191.13	191.13	3307.23	124.08	124.08
546	243.52	128.44	520.36	161.79	167.982	189.38	189.38	3307.23	123.17	123.17

표 5.2 기둥 DCR 검토

부재 번호	DCR					m_y (CP)	m_z (CP)	판정
	Muy/Mey	Muz/Mez	Pu/Pn	Vuy/Vny	Vuz/Vnz			
406	1.17	1.40	0.17	1.63	0.81	1.65	1.51	OK
412	1.15	1.37	0.17	1.63	0.78	1.65	1.51	OK
424	1.11	1.29	0.24	1.55	0.76	1.65	1.51	OK
436	1.19	1.45	0.17	1.63	0.82	1.65	1.51	OK
454	1.50	0.66	0.15	1.28	1.50	1.65	1.51	OK
455	1.36	0.62	0.13	1.14	1.37	1.65	1.51	OK
456	1.50	0.65	0.14	1.26	1.49	1.65	1.51	OK
457	1.37	0.61	0.12	1.13	1.36	1.65	1.51	OK
458	1.18	0.59	0.12	1.11	1.25	1.65	1.51	OK
460	1.38	0.62	0.12	1.15	1.37	1.65	1.51	OK
461	1.40	0.64	0.13	1.19	1.40	1.65	1.51	OK
462	1.20	0.59	0.23	1.14	1.26	1.65	1.51	OK
531	1.18	0.59	0.12	1.11	1.25	1.65	1.51	OK
546	1.29	0.68	0.16	1.31	1.36	1.65	1.51	OK

기존 건축물 내진성능평가 예제집

표 5.3 보 검토: 부재력과 강도

부재번호	Demand				Capacity		
	Mu (i) (kN·m)	Mu (j) (kN·m)	Vu (i) (kN)	Vu (j) (kN)	Me (i) (kN·m)	Me (j) (kN·m)	Vn (kN)
83	161.7	161.7	84.2	114.5	131.2	193.2	234.6
84	155.2	152.7	77.2	116.0	131.2	193.2	234.6
88	166.4	164.8	79.8	138.7	131.2	193.2	234.6
89	167.8	169.3	83.8	129.5	131.2	193.2	234.6
93	179.7	178.1	91.3	134.7	131.2	193.2	234.6
94	173.1	172.3	87.5	126.1	131.2	193.2	234.6
101	189.5	181.7	24.9	138.0	131.2	193.2	234.6
102	323.3	329.6	112.2	242.8	131.2	193.2	234.6
103	190.6	183.2	25.2	138.2	131.2	193.2	234.6
104	341.5	347.7	134.9	218.0	131.2	193.2	234.6
105	199.8	191.9	27.9	140.9	131.2	193.2	234.6
106	345.3	351.9	126.7	239.2	131.2	193.2	234.6
113	151.4	151.4	75.7	114.5	131.2	193.2	234.6
114	156.6	165.4	81.0	119.8	131.2	193.2	234.6

표 5.4 보 DCR 검토

부재번호	DCR				m 계수 (CP)	판정
	Mu(i)/Me(i)	Mu(j)/Me(j)	Vu(i)/Vn(i)	Vu(j)/Vn(j)		
83	1.23	0.84	0.36	0.49	4	OK
84	1.18	0.79	0.33	0.49	4	OK
88	1.27	0.85	0.34	0.59	4	OK
89	1.28	0.88	0.36	0.55	4	OK
93	1.37	0.92	0.39	0.57	4	OK
94	1.32	0.89	0.37	0.54	4	OK
101	1.44	0.94	0.11	0.59	4	OK
102	2.46	1.71	0.48	1.04	4	OK
103	1.45	0.95	0.11	0.59	4	OK
104	2.60	1.80	0.58	0.93	4	OK
105	1.52	0.99	0.12	0.60	4	OK
106	2.63	1.82	0.54	1.02	4	OK
113	1.15	0.78	0.32	0.49	4	OK
114	1.19	0.86	0.35	0.51	4	OK

5.2 선형정적절차 적용 제한조건 검토

(1) 요령 “4.2.3 선형정적절차의 적용 제한” 에 따라 5개 요구조건을 검토함 (표 5.5).

표 5.5 선형정적절차 적용제한 검토

요구조건	판정
(1) 건물의 기본주기 $T < 3.5 T_s (= S_{x1}/S_{xs})$	(만족) $T = 0.28s < 3.5 T_s = (3.5)0.565 = 1.98s$
(2) 수평치수의 변화율이 140%이내 (옥탑층은 제외)	(만족) 두 층의 수평치수가 동일
(3) 비틀림 강성 비정형(임의 층 평면내 임의점에서 최대 변위가 평균변위의 150%를 초과) 없음	(만족) 표 5.6 참조
(4) 수직 강성 비정형(옥탑층을 제외한 임의 층의 평균 변형각이 인접한 상부층 혹은 하부층의 평균변형각의 150%를 초과)없음	(만족) 표 5.6 참조
(5) 지진력 저항시스템은 서로 직교경우	(만족) 지진력 저항시스템은 직교

(2) 표 5.6의 층간변형각은 비틀림 강성, 수직 강성 비정형 항목에 대한 적용제한 검토를 위한 것으로 2400년 재현주기 지진을 적용하였을 때 모든 하중조합중 최대값임.

표 5.6 층간변형각

층	최대층간변형각	평균층간변형각	비틀림강성비정형 검토
RF	0.0066	0.0055	$0.0066/0.0055 = 1.20 < 1.5$
2F	0.0084	0.0071	$0.0084/0.0071 = 1.18 < 1.5$
수직강성 비정형 검토	$0.0084/0.0066=1.27 < 1.5$	$0.0071 < 0.0055 = 1.29 < 1.5$	

∴ 요구조건을 모두 만족하므로 선형정적절차 적용 가능

6. 성능수준 판정

6.1 중력하중저항능력 검토

- 부재별 해석 및 평가결과(재현주기별, 하중조합별, 층별 부재의 해석결과, m계수, 부재별 성능수준)는 8장 <부록>에 수록함. 부재별 평가결과를 바탕으로 요령 4.6 에 따라 지진후 중력하중저항능력을 판정함.
- 수직부재와 수평부재로 나누어 성능수준별로 부재가 부담하고 있는 중력하중의 비율을 산정함. 조적채움벽 등가가새는 중력하중을 지지하지 않아 중력하중저항능력 산정시 포함되지 않음. 하지만 조적채움벽이 면내로 파괴되거나 혹은 면외로 전도될 경우 전체 구조물은 거주가능과 인명안전의 성능수준을 만족하지 못하는 것으로 판정하며 붕괴방지일 경우, 조적채움벽의 파괴는 전체 건물의 성능수준 판정에 고려하지 않음.
- 중력하중저항능력은 각 하중조합별로 검토되고 그중 가장 불리한 하중조합의 결과가 구조물 전체의 성능수준으로 결정되어야 함. 하지만 하중조합의 수가 매우 많아 결과 표시에 번거로움을 감안하여 아래 표와 같이 먼저 부재별로 모든 하중조합 중 가장 불리한 경우를 대상으로 검토를 수행하였음.

6.1.1 2400년 재현주기 지진작용시 붕괴방지 만족여부 검토

표 6.1 수직부재 중력하중저항능력 검토 (모든 하중조합)

층	높이 (m)	하중 조합	I0	LS	CP	붕괴 부재 수	판정
2층	6.60	ALL	0.55	0.55	0.55	16	NG
1층	3.30	ALL	0.28	0.45	0.48	20	NG

표 6.2 수평부재 중력하중저항능력 검토 (모든 하중조합)

층	높이 (m)	하중 조합	I0	LS	CP	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	ALL	1.0	1.0	1.0	0	OK
2층	3.30	ALL	0.73	1.0	1.0	0	OK

- 모든 하중조합중 불리한 결과를 사용한 평가결과 수직부재가 목표성능을 만족하지 못하므로 개별 하중조합별 검토를 추가로 수행함.
- 표 6.3은 하중조합 $LC1 = 1.1(D+0.25L)+1.0(Exo+Exacc)+0.3(Eyo+Eyacc)$ 의 부재력만을 사용한 검토결과로 수직부재 중력하중저항능력이 목표성능을 만족하고 못하는 것으로 나타남.

표 6.3 수직부재 중력하중저항능력 검토 (하중조합 LC1)

층	높이 (m)	하중 조합	I0	LS	CP	붕괴 부재 수	판정
2층	6.60	LC1	0.71	0.71	0.71	10	NG
1층	3.30	LC1	0.48	0.48	0.48	15	NG

표 6.4 수평부재 중력하중저항능력 검토 (하중조합 LC1)

층	높이 (m)	하중 조합	I0	LS	CP	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	LC1	1.0	1.0	1.0	0	OK
2층	3.30	LC1	1.0	1.0	1.0	0	OK

∴ 따라서 대상건물은 2400년 재현주기 지진시 붕괴방지의 성능을 만족하지 못하는 것으로 판정함.

6.1.2 1000년 재현주기 지진 작용시 인명안전 만족여부 검토

표 6.5 수직부재 중력하중저항능력 검토 (모든 하중조합)

층	높이 (m)	하중 조합	I0	LS	CP	붕괴 부재 수	판정
2층	6.60	ALL	1.0	1.0	1.0	0	OK
1층	3.30	ALL	1.0	1.0	1.0	0	OK

표 6.6 수평부재 중력하중저항능력 검토 (모든 하중조합)

층	높이 (m)	하중 조합	I0	LS	CP	붕괴 부재 수	판정
지붕층	6.60	ALL	1.0	1.0	1.0	0	OK
2층	3.30	ALL	1.0	1.0	1.0	0	OK

표 6.7 조적채움벽 검토 (모든 하중조합)

층	하중 조합	LS 만족여부(개)		판정
		만족	불만족	
2층	ALL	7	0	OK
1층	ALL	7	0	OK

기존 건축물 내진성능평가 예제집

- 1000년 재현주기지진에 대해서는 모든 부재의 중력하중저항능력이 인명안전의 목표성능을 만족함.
- 기둥, 보 부재는 인명안전 이상의 성능을 보유하고 있으며 조적채움벽의 파괴도 발생하지 않음

∴ 대상건물은 1000년 재현주기 지진시 인명안전의 성능을 만족하는 것으로 판단함.

6.2 층간변형각기준에 따른 성능수준 판정

- 층간변형각은 요령 “4.6 성능수준의 판정” 에서 <표 4.6.1>항목에 따라 평가하였음.

6.2.1 2400년 재현주기 지진작용시 붕괴방지 만족여부 검토

표 6.8 층간변형각(2400년 재현주기)

층	X방향		Y방향	
	최대층간변형각	허용기준	최대층간변형각	허용기준
RF	0.0038	0.015의 70%=0.0105	0.0073	0.015의 70%=0.0105
2F	0.0051	0.015의 70%=0.0105	0.0090	0.015의 70%=0.0105

6.2.2 1000년 재현주기 지진 작용시 인명안전 만족여부 검토

표 6.9 층간변형각(1000년 재현주기)

층	X방향		Y방향	
	최대층간변형각	허용기준	최대층간변형각	허용기준
RF	0.0026	0.01의 70%=0.007	0.0051	0.01의 70%=0.007
2F	0.0035	0.01의 70%=0.007	0.0062	0.01의 70%=0.007

∴ 층간변형각 기준에 따른 평가결과 두 가지 성능목표를 모두 만족함.

7. 기초 안전성 평가

- (1) 2400년 재현주기 지진 작용시 기둥 하단부에 작용하는 축력(최대 소요반력)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	832.8	517.5	1552.6	0.54	OK
632	1349.6	769.3	2307.9	0.58	OK
633	1070.4	652.5	1957.6	0.55	OK
634	1374.2	812.0	2436.1	0.56	OK
635	812.3	514.1	1542.4	0.53	OK
636	812.6	510.2	1530.5	0.53	OK
637	780.9	273.5	820.6	0.95	OK
638	1261.0	523.5	1570.5	0.80	OK
639	1075.1	393.7	1181.1	0.91	OK
640	1373.1	561.0	1683.1	0.82	OK
641	743.1	275.1	825.2	0.90	OK
642	776.3	270.8	812.5	0.96	OK
643	615.7	352.3	1056.9	0.58	OK
644	586.5	357.4	1072.1	0.55	OK
645	620.3	360.1	1080.3	0.57	OK
646	620.2	351.4	1054.2	0.59	OK
647	589.7	357.2	1071.5	0.55	OK
648	628.9	360.1	1080.3	0.58	OK
649	929.3	453.9	1361.8	0.68	OK
650	930.2	453.2	1359.5	0.68	OK
651	1031.5	299.7	899.1	1.15	NG
652	1067.8	212.1	636.4	1.68	NG
653	1095.6	217.7	653.0	1.68	NG
654	1032.8	299.7	899.2	1.15	NG

기존 건축물 내진성능평가 예제집

- (4) 2400년 재현주기 지진 작용시 기둥 하단부에 작용하는 인발력과 과 기대지지력의 비를 나타내면 표 7.2와 같음.
- (5) 인발에 대한 기대지지력은 기초의 무게와 기초상부의 흙의 무게를 합산하여 산정함
- (6) 예제구조물의 경우 기초판의 치수는 2.0 m X 2.0 m X 0.5 m 이고 기초판 상부의 흙의 높이는 2.0m 로 가정하였음. 따라서 인발에 대한 기대지지력은 $(2.0 \times 2.0 \times 0.5 \times 24) + (2.0 \times 2.0 - 0.4 \times 0.4) \times 18 \times 2.0 = 186.24 \text{ kN}$

표 7.2 기초 검토 (인발력)

부재번호	최대인발력 (kN)	인발내력 (kN)	DCR (인발)	인발력 검토
631	0	186.24	0	OK
632	0	186.24	0	OK
633	0	186.24	0	OK
634	0	186.24	0	OK
635	0	186.24	0	OK
636	0	186.24	0	OK
637	-246.1	186.24	1.32	NG
638	-229.6	186.24	1.23	NG
639	-312.1	186.24	1.68	NG
640	-275.8	186.24	1.48	NG
641	-205.2	186.24	1.10	NG
642	-246.9	186.24	1.33	NG
643	0	186.24	0	OK
644	0	186.24	0	OK
645	0	186.24	0	OK
646	0	186.24	0	OK
647	0	186.24	0	OK
648	0	186.24	0	OK
649	-37.5	186.24	0.20	OK
650	-39.9	186.24	0.21	OK
651	-441.4	186.24	2.37	NG
652	-649.7	186.24	3.49	NG
653	-666.5	186.24	3.58	NG
654	-442.7	186.24	2.38	NG

8. 최종 평가결과

- (1) 2400년 재현주기 지진 작용시 층간변형각 기준은 만족하였으나 중력하중저항능력은 기동부재의 파괴에 의해 붕괴방지의 성능수준을 만족하지 못함. 또한 일부 기초는 압축과 인발 모두 저항력이 부족한 것으로 평가됨. 따라서 목표성능인 붕괴방지를 만족하지 못하는 것으로 판정됨.
- (2) 1000년 재현주기 지진 작용시 골조부재의 중력하중저항능력과 층간변형각은 기준을 만족함. 또한 조적채움벽 등가스트럿에도 파괴가 발생하지 않음. 그러나 면외전도 검토에 대해서는 부분적으로 인명안전의 목표성능을 불만족하는 것으로 확인됨.

표 8.1 최종 평가결과

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

<부록> 부재별 성능수준 평가 결과

표1. 기동부재 성능수준 검토 테이블 예시: 하중조합(LC1), 2400년(붕괴방지)), 단위: kN, m

표1의 모멘트 DCR은 다음 수식에 의한 값임. α는 원형 및 정사각형 단면일 경우 1.75, 직사각형 단면일 경우 1.5

$$DCR = \left(\frac{M_x}{m_x M_{ex}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_y}{m_y M_{ey}} \right)^\alpha$$

층	부재번호	절점	Demand		Capacity		m계수 (CP)		Pu	Vuy	Vuz	Pn	Vcy	Vcz	Moment	Pu/Pn	Vuy/Vny	Yuz/Vnz	판정
			Muy	Muz	Mey	Mex	m_y	m_z											
2F	407	I	111.1	-68.2	181.5	181.5	1.6	1.6	206.7	-26.4	36.0	3307.2	120.1	120.1	0.27	0.06	0.22	0.3	OK
2F	407	J	-131.8	80.9	179.5	179.5	1.6	1.6	194.2	-26.4	36.0	3307.2	119.4	119.4	0.36	0.06	0.22	0.3	OK
2F	413	I	101.7	-73.1	181.1	181.1	1.6	1.6	207.7	-32.0	31.8	3307.2	120.0	120.0	0.25	0.06	0.27	0.26	OK
2F	413	J	-123.9	87.1	179.2	179.2	1.6	1.6	195.2	-32.0	31.8	3307.2	119.3	119.3	0.35	0.06	0.27	0.27	OK
2F	437	I	111.6	-93.1	180.1	180.1	1.6	1.6	209.8	-54.5	36.4	3307.2	119.6	119.6	0.33	0.06	0.46	0.3	OK
2F	437	J	-132.3	110.4	178.2	178.2	1.6	1.6	197.4	-54.5	36.4	3307.2	118.9	118.9	0.45	0.06	0.46	0.31	OK
2F	480	I	140.5	-8.9	169.2	169.2	1	1	98.3	-16.0	55.9	3307.2	115.8	115.8	0.73	0.03	0.14	0.48	OK
2F	480	J	-172.6	51.4	167.8	167.8	1	1	89.3	-16.0	55.9	3307.2	115.3	115.3	1.18	0.03	0.14	0.48	NG
2F	481	I	165.9	14.7	173.6	173.6	1	1	135.9	39.1	99.1	3307.2	117.3	117.3	0.94	0.04	0.33	0.84	OK
2F	481	J	-202.6	-38.1	172.2	172.2	1	1	126.8	39.1	99.1	3307.2	116.8	116.8	1.4	0.04	0.33	0.85	NG
2F	482	I	138.3	-9.6	170.0	170.0	1	1	99.6	-19.9	51.8	3307.2	116.1	116.1	0.7	0.03	0.17	0.45	OK
2F	482	J	-161.8	55.9	168.6	168.6	1	1	90.5	-19.9	51.8	3307.2	115.6	115.6	1.08	0.03	0.17	0.45	NG
2F	483	I	166.7	14.5	172.7	172.7	1	1	133.8	37.4	97.9	3307.2	117.0	117.0	0.95	0.04	0.32	0.84	OK
2F	483	J	-199.4	-36.5	171.3	171.3	1	1	124.8	37.4	97.9	3307.2	116.5	116.5	1.37	0.04	0.32	0.84	NG
2F	484	I	168.0	14.3	172.5	172.5	1	1	133.9	35.4	98.7	3307.2	116.9	116.9	0.97	0.04	0.3	0.84	OK
2F	484	J	-200.7	-34.0	171.1	171.1	1	1	124.9	35.4	98.7	3307.2	116.4	116.4	1.38	0.04	0.3	0.85	NG
2F	485	I	168.0	14.2	172.4	172.4	1	1	133.1	32.4	98.7	3307.2	116.9	116.9	0.97	0.04	0.28	0.84	OK
2F	485	J	-200.8	-30.2	171.0	171.0	1	1	124.1	32.4	98.7	3307.2	116.4	116.4	1.37	0.04	0.28	0.85	NG
2F	487	I	166.7	14.2	172.2	172.2	1	1	133.8	30.8	98.1	3307.2	116.8	116.8	0.96	0.04	0.26	0.84	OK
2F	487	J	-199.6	-28.4	170.8	170.8	1	1	124.7	30.8	98.1	3307.2	116.3	116.3	1.36	0.04	0.26	0.84	NG
2F	488	I	141.5	-11.8	171.5	171.5	1	1	101.8	-33.6	56.9	3307.2	116.6	116.6	0.72	0.03	0.29	0.49	OK
2F	488	J	-174.3	71.3	170.1	170.1	1	1	92.7	-33.6	56.9	3307.2	116.1	116.1	1.26	0.03	0.29	0.49	NG
2F	489	I	166.3	14.5	171.7	171.7	1	1	135.8	27.8	98.5	3307.2	116.7	116.7	0.96	0.04	0.24	0.84	OK
2F	489	J	-202.2	-24.1	170.3	170.3	1	1	126.8	27.8	98.5	3307.2	116.2	116.2	1.38	0.04	0.24	0.85	NG
1F	406	I	207.0	-68.4	201.5	201.5	1.6	1.6	221.9	-17.9	62.0	3307.2	129.5	129.5	0.53	0.07	0.14	0.48	OK
1F	406	J	-203.5	78.2	200.2	200.2	1.6	1.6	208.3	-17.9	62.0	3307.2	128.8	128.8	0.54	0.06	0.14	0.48	OK
1F	412	I	201.8	-75.2	200.3	200.3	1.6	1.6	214.0	-24.3	59.3	3307.2	128.9	128.9	0.52	0.06	0.19	0.46	OK
1F	412	J	-194.8	84.7	199.0	199.0	1.6	1.6	200.3	-24.3	59.3	3307.2	128.2	128.2	0.52	0.06	0.19	0.46	OK

< 이하 생략 >

표2. 보부재 성능수준 검토 테이블 예시: 하중조합(LC1), 2400년(붕괴방지), 단위: kN, m

층	부재 번호	절점	Moment			Shear		DCR		판정
			Mu	Me	m 계수 (CP)	Vu	Vn	Moment	Shear	
Roof	361	I	-11.19	174.31	3.83	-22.74	259.3	0.02	0.09	OK
Roof	361	J	-16.68	174.31	3.83	25.87	259.3	0.02	0.10	OK
Roof	362	I	-15.99	174.31	3.83	-24.45	259.3	0.02	0.09	OK
Roof	362	J	-15.47	174.31	3.83	24.16	259.3	0.02	0.09	OK
Roof	363	I	-15.47	174.31	3.83	-24.24	259.3	0.02	0.09	OK
Roof	363	J	-15.71	174.31	3.83	24.37	259.3	0.02	0.09	OK
Roof	364	I	-15.51	174.31	3.83	-24.27	259.3	0.02	0.09	OK
Roof	364	J	-15.64	174.31	3.83	24.34	259.3	0.02	0.09	OK
Roof	365	I	-15.71	174.31	3.83	-24.39	259.3	0.02	0.09	OK
Roof	365	J	-15.4	174.31	3.83	24.22	259.3	0.02	0.09	OK
Roof	366	I	-14.86	174.31	3.83	-28.54	259.3	0.02	0.11	OK
Roof	366	J	-22.11	174.31	3.83	32.68	259.3	0.03	0.13	OK
Roof	367	I	-20.8	174.31	3.83	-30.36	259.3	0.03	0.12	OK
Roof	367	J	-21.69	174.31	3.83	30.86	259.3	0.03	0.12	OK
Roof	368	I	-25.1	174.31	3.83	-32.83	259.3	0.04	0.13	OK
Roof	368	J	-17.35	174.31	3.83	28.4	259.3	0.03	0.11	OK
Roof	369	I	-23.51	174.31	3.83	-42	259.3	0.04	0.16	OK
Roof	369	J	-37.18	174.31	3.83	49.81	259.3	0.06	0.19	OK
Roof	370	I	-35.32	174.31	3.83	-46.43	259.3	0.05	0.18	OK
Roof	370	J	-21.63	174.31	3.83	38.61	259.3	0.03	0.15	OK
Roof	371	I	-10.95	174.31	3.83	-22.63	259.3	0.02	0.09	OK
Roof	371	J	-16.8	174.31	3.83	25.98	259.3	0.03	0.10	OK
Roof	372	I	-15.57	174.31	3.83	-23.97	259.3	0.02	0.09	OK
Roof	372	J	-16.75	174.31	3.83	24.64	259.3	0.03	0.10	OK
Roof	373	I	-20.17	174.31	3.83	-26.78	259.3	0.03	0.10	OK
Roof	373	J	-11.52	174.31	3.83	21.83	259.3	0.02	0.08	OK
Roof	374	I	-15.93	174.31	3.83	-30.4	259.3	0.02	0.12	OK
Roof	374	J	-28.54	174.31	3.83	37.6	259.3	0.04	0.15	OK
Roof	375	I	-26.68	174.31	3.83	-34.22	259.3	0.04	0.13	OK
Roof	375	J	-14.06	174.31	3.83	27.01	259.3	0.02	0.10	OK
Roof	376	I	-57.31	174.31	3.83	-54.18	259.3	0.09	0.21	OK
Roof	376	J	-72.09	174.31	3.83	58.53	259.3	0.11	0.23	OK

< 이하 생략 >

기존 건축물 내진성능평가 예제집

표3. 조적채움벽부재 성능수준 검토 테이블 예시: 하중조합(LC1), 1000년(인명안전), 단위: kN, m

층	단면	부재번호	절점	Pu	Pn	m 계수 (LS)	DCR	판정
2F	Strut 2750x6800	577	I	28.53	31.71	6	0.15	OK
2F	Strut 2750x6800	577	J	28.53	31.71	6	0.15	OK
2F	Strut 2750x6800	578	I	28.72	31.71	6	0.15	OK
2F	Strut 2750x6800	578	J	28.72	31.71	6	0.15	OK
2F	Strut 2750x4400	581	I	16.79	22.43	6.4	0.12	OK
2F	Strut 2750x4400	581	J	16.79	22.43	6.4	0.12	OK
2F	Strut 2750x4400	582	I	17.07	22.43	6.4	0.12	OK
2F	Strut 2750x4400	582	J	17.07	22.43	6.4	0.12	OK
2F	Strut 2750x4400	611	I	21.39	22.43	6.4	0.15	OK
2F	Strut 2750x4400	611	J	21.39	22.43	6.4	0.15	OK
2F	Strut 2750x4400	612	I	21.38	22.43	6.4	0.15	OK
2F	Strut 2750x4400	612	J	21.38	22.43	6.4	0.15	OK
2F	Strut 2750x4400	613	I	20.87	22.43	6.4	0.15	OK
2F	Strut 2750x4400	613	J	20.87	22.43	6.4	0.15	OK
1F	Strut 2700x4400	614	I	20.88	22.43	6.4	0.15	OK
1F	Strut 2700x4400	614	J	20.88	22.43	6.4	0.15	OK
1F	Strut 2700x4400	615	I	19.05	22.43	6.4	0.13	OK
1F	Strut 2700x4400	615	J	19.05	22.43	6.4	0.13	OK
1F	Strut 2700x4400	616	I	18.99	22.43	6.4	0.13	OK
1F	Strut 2700x4400	616	J	18.99	22.43	6.4	0.13	OK
1F	Strut 2700x4400	621	I	23.41	22.43	6.4	0.16	OK
1F	Strut 2700x4400	621	J	23.41	22.43	6.4	0.16	OK
1F	Strut 2700x4400	622	I	23.03	22.43	6.4	0.16	OK
1F	Strut 2700x4400	622	J	23.03	22.43	6.4	0.16	OK
1F	Strut 2700x6800	625	I	19.12	31.71	6	0.1	OK
1F	Strut 2700x6800	625	J	19.12	31.71	6	0.1	OK
1F	Strut 2700x6800	626	I	19.44	31.71	6	0.1	OK
1F	Strut 2700x6800	626	J	19.44	31.71	6	0.1	OK

< 이하 생략 >



선형동적절차

1. 건물개요

1.1 일반사항

- (1) 건물명 : 00 빌딩
- (2) 소재지 : 경상북도 포항시
- (3) 건물용도 : 근린생활시설/단독주택
- (4) 준공연도 : 2016년
- (5) 구조형식 : 철골조(모멘트골조, 가새골조)
- (6) 내진설계 여부 : 미적용
- (7) 기초형식 : 매트기초

1.2 건물규모

- (1) 층 수 : 지상 4층
- (2) 지하층 : 없음
- (3) 건물높이 : 15.5m (기준층 층고 3.5m)
- (4) 건물길이 : 장변방향 (X방향) : 21 m
단변방향 (Y방향) : 15.05 m
- (5) 연면적 : 1,278.96m²

1.3 구조변경 이력사항

- (1) 증축 여부 : 없음
- (2) 신축줄눈 : 없음

1.4 내진등급 및 성능목표

(1) 내진등급 및 중요도계수

대상 건물은 “KDS 41 10 05 건축구조기준 총칙”의 “3. 건축물의 중요도분류”에 따라 중요도(특) 및 중요도(1)에 해당하지 않아 중요도(2)로 결정하였으며, “KDS 41 17 00”의 <표 2.2-1>에 따라 내진등급 II임.

(2) 내진성능목표

대상 건물은 요령 “2.1 최소성능목표”에 제시된 <표 2.1.4>에 따라 내진등급 II 건물에 요구되는 성능목표인 재현주기 2400년 지진에 대한 ‘붕괴방지’ 수준과 1000년 지진에 대한 ‘인명보호’ 수준을 목표내진성능으로 설정함.

기존 건축물 내진성능평가 예제집

[참조]

내진등급(KDS 41 17 00 표 2.2-1))

건축물의 중요도 ¹⁾	내진등급
중요도(특)	특
중요도(1)	I
중요도(2), (3)	II

1) KDS 41 10 05(3.)에 따름.

요령 표 2.1.4 건축물의 내진등급별 최소성능목표(KDS 41 17 00 표 15.3-1)

내진등급	성능목표	
	재현주기	성능수준
특	2400년	인명보호
	1000년 ²⁾	기능수행
I	2400년	붕괴방지 ¹⁾
	1400년 ²⁾	인명보호
	100년	기능수행
II	2400년	붕괴방지
	1000년	인명보호
	50년	기능수행

1) 내진I등급 건축물의 붕괴방지 검토시에는 붕괴방지 허용기준을 1.2로 나눈 값(혹은 인명안전과 붕괴방지의 중간수준의 허용기준)을 적용한다. 이때, 허용기준은 부재의 성능수준 결정 시 변형량과 관계된 허용기준을 의미한다. 단, 허용충간변형각은 1.2로 나누지 않고 표 4.6.1의 값을 그대로 사용한다.

2) 1000년 재현주기 지진의 크기는 2400년 재현주기 지진의 2/3로 정의한다. 1400년 재현주기 지진의 크기는 1000년 재현주기 지진 크기의 1.2배로 정의한다.

2. 도면 및 현장조사

2.1 도면

(1) 구조평면도

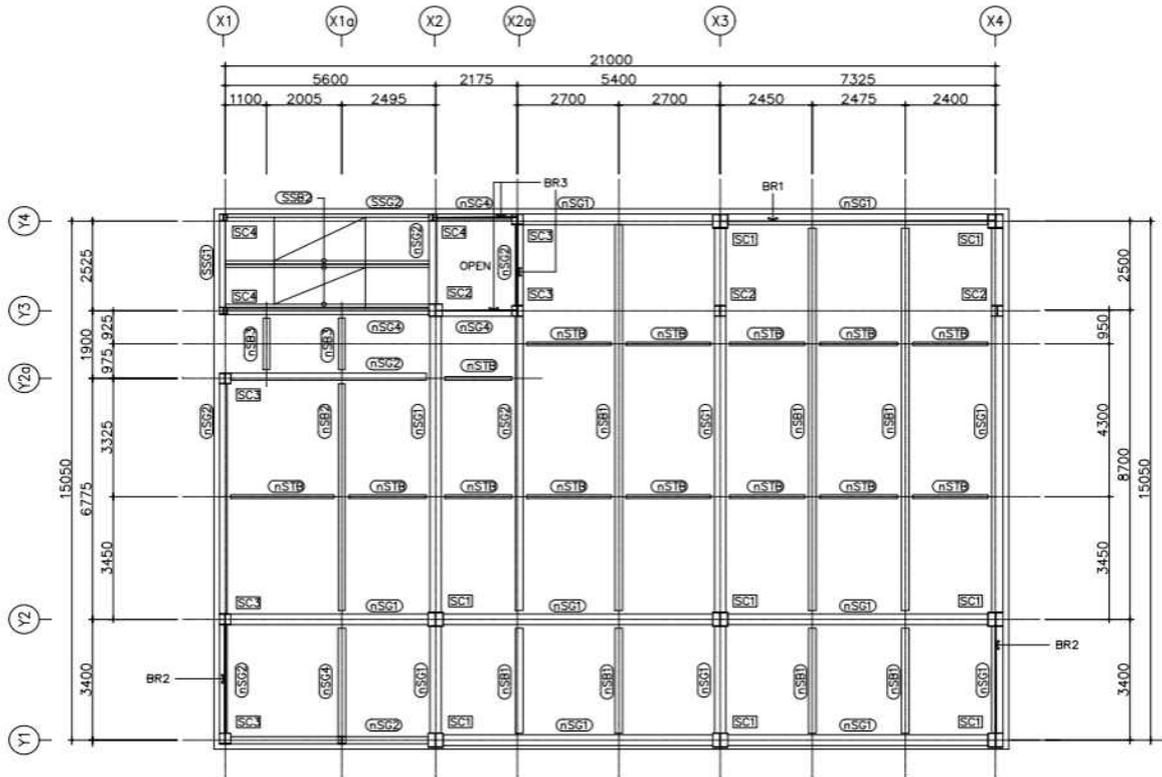


그림 2.1 2층 구조 평면도

(2) 입면도



그림 2.2 좌측면도(좌), 정면도(우)

기존 건축물 내진성능평가 예제집

(3) 부재

표 2.1 기둥 부재 정보

부재이름	해당 층	부재 치수 (mm)
SC1	1F ~ R00F	H 300×300×10×15
SC2	1F ~ R00F	H 350×350×12×19
SC3	1F ~ R00F	H 300×300×10×15
SC4	1F ~ R00F	H 200×200×8×12

표 2.2 보 부재 정보

부재이름	해당 층	부재 치수 (mm)
SG1	1F ~ R00F	H 482×300×11×15
SG2	1F ~ R00F	H 400×200×8×13
SG4	1F ~ R00F	H 300×150×6.5×9
SSG1	1F ~ R00F	H 194×150×6×9
SSG2	1F ~ R00F	C 300×90×9×13
SB1	1F ~ R00F	H 500×200×10×16
SB2	1F ~ R00F	H 350×175×7×11
SB3	1F ~ R00F	H 250×125×6×9
STB	1F ~ R00F	H 200×100×5.5×8
3SG1A	3F	H 582×300×12×17
3SB1A	3F	H 582×300×12×17

표 2.3 가새 부재 정보

부재이름	해당 층	부재 치수 (mm)
BR1, BR2	1F	L-150×150×15
SR 19	R00F	SR 19
BR3	1F ~ R00F	L-75×75×6

2.2 현장조사

(1) 현장조사 결과

- ① 요령 “1.2.1 현장조사” 에 따라 요령 <표 1.2.1> 제시된 각 항목에 대한 조사를 수행하여 설계도서를 검증하고 평가에 필요한 정보를 취득해야함. 설계도서가 없을 경우 체계적인 현장조사를 통해 구조도면을 작성하고 요령 <표 1.2.1>에 제시된 항목에 대한 정보를 취득해야함. 그 결과를 내진성능평가보고서에 제공해야 하나, 본 예제에서는 생략함.

이 예제에서는 구체적인 현장조사 결과를 제시하지 않으나 실제 내진성능평가에서는 요령의 요구사항과 이 예제집 6장을 참고하여 현장조사를 수행하고 그 결과를 보고서에 수록하여야 함.

(2) 재료 강도

- ① 강재는 (구)SM490으로 가정함.

표 2.4 재료 강도

재 료	구 분	규 격	설계기준강도(Fy)	인장강도(Fu)
강재	전 층 (보, 기둥, 가새)	(구)SM490	315 MPa	490 MPa

(3) 지반조사

- ① 지반조사보고서에 따르면 해당 건물은 지반조건은 S2로 분류됨.

3. 하중

3.1 중력하중

표 3.1 중력하중(단위 : kN/m²)

용도 (층)	고정하중 (DL)	활하중 (LL)	
지붕 (RF)	샌드위치 패널	0.30	1.00 (비점유)
	떨린	0.20	
	천장	0.20	
	-----	-----	
	소계	0.70	
단독주택 (4층)	마감 및 모르타르 (t=30mm)	0.60	2.00
	콘크리트 슬래브 (t=200mm)	4.60	
	데크플레이트	0.25	
	천장	0.20	
	-----	-----	
	소계	5.65	
사무실 (2, 3층)	마감 및 모르타르 (t=30mm)	0.60	2.50
	콘크리트 슬래브 (t=200mm)	4.60	
	데크플레이트	0.25	
	천장	0.20	
	-----	-----	
	소계	5.65	
화장실 (전층)	보호 모르타르 및 마감 (t=50mm)	1.00	3.00
	콘크리트 슬래브 (t=200mm)	4.60	
	데크플레이트	0.25	
	천장	0.20	
	-----	-----	
	소계	6.05	
계단 계단참 (전층)	보호 모르타르 및 마감 (t=50mm)	1.00	5.00
	디딤판 및 옆판	0.50	
	-----	-----	
	소계	1.50	

3.2 유효건물중량(질량)

- (1) 지진하중 산정을 위한 질량은 요령 “4.1.1.2 질량” 에 따라 KDS 41 17 00의 식 (7.2-1) 에 정의된 유효건물중량을 중력가속도로 나눈 값을 사용함.
- (2) KDS 41 17 00에 정의된 유효건물중량은 고정하중에 ① 참고 활하중의 25%, ② 칸막이벽 실제 중량과 0.5 kN/m² 중 큰 값, ③ 영구설비의 총하중, ④ 평지붕 적설하중의 20%, ⑤ 옥상정원이나 이와 유사한 곳에서 조경과 이에 관련된 재료의 무게를 추가함.
- (3) 본 예제 건물은 ①-⑤까지 해당사항이 없으므로 고정하중만을 유효건물중량에 포함.

표 3.2 층별 유효중량

층	바닥면적 (m ²)	하중 (kN)
		고정하중
지붕층	319.7	1,507
4F	319.7	1,673
3F	319.7	1,435
2F	319.7	1,452
총 중량		6,066

3.3 지진하중

(1) 지진구역, 지진구역계수 및 위험도계수

- ① 지진구역 및 지진구역계수의 값은 평가요령 2.2 지진위험도에 제시된 평가요령 표 2.2.1에 따라 적용할 수 있으며 재현주기별 유효지반가속도(S)는 평가요령 표 2.2.1에 제시된 지진구역계수(Z)에 평가요령 표 2.2.2에서 제시된 위험도계수(I)를 곱한 값을 사용할 수 있음.
- ② 예제 건물은 경상북도 포항시에 위치하여 지진구역은 I, 지진구역계수는 0.11g를 적용하였음.
- ③ 예제 건물의 위험도 계수는 목표 성능에 따라 아래 평가요령 표 2.2.2에 근거하여 산정하였음.

(2) 유효지반가속도

- ① 2400년 재현주기 유효지반가속도(S)는 요령의 식 (2.2.1)에 따라 지진구역계수(Z) 0.11g에 위험도계수(I) 2.0을 곱해 0.22g가 됨. 단, 요령에서 국가지진위험지도(소방방재청, 2013)를 이용하되 0.22g의 80% 이상이어야 함. 그 결과 지도에서 선택한 0.19g를 사용함.

[참조]

요령 표 2.2.1 지진구역 및 지진구역계수

지진구역	행정구역		지진구역계수(Z)
I	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종	0.11g
	도	경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부*	
II	도	강원 북부**, 제주	0.07g

* 강원 남부 : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백

** 강원 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초

요령 표 2.2.2 재현주기에 따른 위험도계수

재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년	4800년
위험도계수(I)	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0	2.6

기존 건축물 내진성능평가 예제집

(3) 지반증폭계수

- ① 단주기지반증폭계수와 1초주기 지반증폭계수는 요령 “2.2.2.3 지반증폭계수”의 <표 2.2.4> 및 <표 2.2.5>에 따라 산정함.
- ② 2400년 재현주기 유효지반가속도(S) 0.19g와 지반종류 S₂에 해당하는 계수는 다음과 같음.
단주기 지반증폭계수: $F_a = 1.4$
1초주기 지반증폭계수: $F_v = 1.41$

(4) 가속도응답스펙트럼

- ① 2400년 재현주기 가속도응답스펙트럼(S_a)은 요령 “2.2.3 평가지진의 가속도응답스펙트럼”의 식 (2.2.2), (2.2.3), (2.2.4)에 따라 산정함.

$$S_{XS} = S \times 2.5 \times F_a = 0.19 \times 2.5 \times 1.4 = 0.665g$$

$$S_{X1} = S \times F_v = 0.19 \times 1.41 = 0.2679g$$

$$T_o = 0.2S_{X1}/S_{XS} = 0.0806\text{sec}$$

$$T_s = S_{X1}/S_{XS} = 0.403\text{sec}$$

$$T_L = 5\text{sec}$$

- ② 1000년 재현주기 가속도응답스펙트럼(S_a)은 요령 <표 2.1.4>의 ‘주 2)’에 따라 2400년 재현주기 지진의 2/3를 사용함.

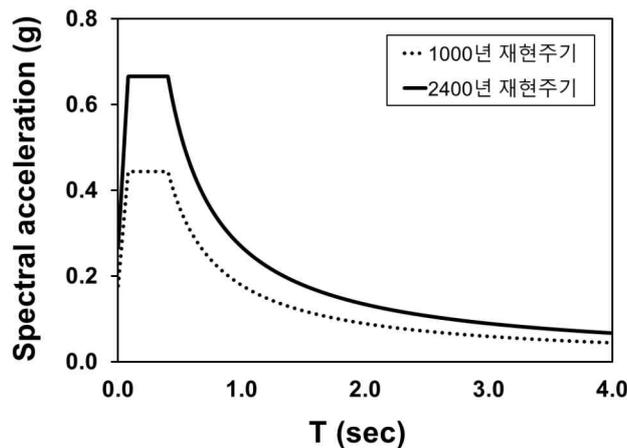


그림 3.1 요구스펙트럼

(5) 주기

요령 “4.2.5 선형동적절차”의 (1)에 따라 건물의 고유주기를 구조해석모델로부터 산정함.

표 3.3 모드별 주기 및 방향별 질량 참여율

모드	주기 (초)	질량참여율 (%)		
		X방향	Y방향	비틀림
1	0.865	74.4	0.1	4.8
2	0.701	0.9	68.5	7.1
3	0.574	3.5	9.2	62.6
4	0.278	11.8	0.1	0.8
5	0.222	0.7	10.0	0.7
6	0.176	0.8	0.5	6.4
7	0.175	4.5	2.1	1.8
8	0.142	2.3	0.8	0.0
9	0.136	0.1	3.7	1.5
10	0.112	0.1	3.7	0.9
11	0.099	0.4	1.4	3.7
누적참여율		99.2	100.0	90.4

(6) 의사지진력

의사지진력은 요령 “4.2.4 선형정적절차” 식 (4.2.3)에 따라 산정함.

대상 건물은 가새골조 및 4층 이상이므로 수정계수 C 는 요령 <표 4.2.1>에 따라 1.0을 선택함.

[참조] 요령 표 4.2.1 최대 비탄성변위와 선형탄성변위의 보정을 위한 수정계수, C

건물의 형식	층수			
	1	2	3	4층 이상
모멘트 골조	1.3	1.1	1.0	1.0
전단벽 구조, 가새골조	1.4	1.2	1.1	1.0
조적조	1.0	1.0	1.0	1.0

본 예제에서는 11개 모드의 밀면전단력을 SRSS로 구한 값을 아래 표에 제시함.

표 3.4 밀면전단력(1000년 재현주기)

재현주기	방향	하중	밀면전단력 (kN)
1000년주기	X방향	RX(RS)	1012.8
	Y방향	RY(RS)	1163.6

기존 건축물 내진성능평가 예제집

표 3.5 밀면전단력(2400년 재현주기)

재현주기	방향	하중	밀면전단력 (kN)
2400년주기	X방향	RX(RS)	1519.3
	Y방향	RY(RS)	1745.4

3.4 횡하중의 수직분포

선형동적절차에서 횡하중의 수직분포는 “KDS 41 17 00” 의 7.3.3.3절에 따라 산정함.

3.5 하중조합

표 3.6를 고려할 때 선형절차에서는 요령 “4.2.7 하중조합 및 다축가진효과” 에 따라 표 3.7 와 같이 64개의 하중조합이 필요함.

(1) 중력하중(총 2개 조합)

$$Q_G = 1.1(Q_D + Q_L)$$

$$Q_G = 0.9Q_D$$

여기서,

Q_D : 고정하중에 의한 부재력

Q_L : 활하중의 25%에 의한 부재력

(2) 지진하중(총 32개 조합)

$$Q_E = \pm 1.0E_X \pm 0.3E_Y$$

$$Q_E = \pm 1.0E_Y \pm 0.3E_X$$

여기서,

$$E_X = RX(RS) \pm RX(ES)$$

$$E_Y = RY(RS) \pm RY(ES)$$

$RX(RS)$, $RY(RS)$: 각각 질량중심에 작용하는 X- 및 Y-축 지진하중

$RX(ES)$, $RY(ES)$: 각각 X- 및 Y-축에 직교하는 우발편심에 대한 지진하중

(3) 중력하중과 지진하중의 조합

중력하중의 조합이 2종 지진하중의 조합이 32종이므로 전체 하중조합의 수는 64개가 됨. 각 경우 변형지배거동의 부재력은 다음의 하중조합으로 구한다.

$$Q_{UD} = Q_G + Q_E$$

힘지배거동의 부재력은 다음의 수식으로 구한다.

$$Q_{UD} = Q_G + \frac{\chi Q_E}{CJ}$$

인명안전일 경우 적용되는 힘지배거동 산정식의 계수를 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{\chi Q_E}{CJ} = \frac{1.3}{(1.0)(2)} Q_E = 0.65 Q_E$$

붕괴방지일 경우 적용되는 힘지배거동 산정식의 계수를 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$\frac{\chi Q_E}{CJ} = \frac{1.0}{(1.0)(2)} Q_E = 0.50 Q_E$$

표 3.6 힘지배거동하는 부재의 부재력 산정을 위한 계수

최대 비탄성변위와 선형탄성변위의 보정을 위한 수정계수, C ¹⁾				
건물의 형식	층수			
	1	2	3	4층 이상
모멘트 골조	1.3	1.1	1.0	1.0
전단벽 구조, 가새골조	1.4	1.2	1.1	1.0
조적조	1.0	1.0	1.0	1.0
본 예제 건물에 해당하는 하중전달 감소계수 J ²⁾				
유형	값		적용	
하중전달경로상 부재의 DCR중 최소로 함	DCR중 최솟값			
지진구역 1	2.0		O	
지진구역 2	1.5			
거주가능 수준의 검토	1.0			
횡하중 저항시스템 내의 부재가 항복하지 않을 경우	1.0			
본 예제 건물에 해당하는 성능수준에 따른 보정계수 χ ³⁾				
유형	값		적용	
J의 값으로 DCR의 최소치를 택함	1.0			
J의 값으로 DCR의 최소치를 택하지 않음				
- 붕괴방지 성능 수준의 검토	1.0		O	
- 인명안전 혹은 거주가능 성능 수준의 검토	1.3		O	

- 1) [요령] 표 4.2.1 참고
- 2) [요령] 4.2.7(4) 참고
- 3) [요령] 4.2.7(4) 참고

기존 건축물 내진성능평가 예제집

표 3.7 선형동적절차를 위한 하중조합

번호	이름	하중조합
1	LCB1	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
2	LCB2	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$
3	LCB3	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
4	LCB4	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$
5	LCB5	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$
6	LCB6	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
7	LCB7	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$
8	LCB8	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
9	LCB9	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$
10	LCB10	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
11	LCB11	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$
12	LCB12	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
13	LCB13	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
14	LCB14	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$
15	LCB15	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
16	LCB16	$1.1D + 0.275L + (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$
17	LCB17	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
18	LCB18	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$
19	LCB19	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
20	LCB20	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$
21	LCB21	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$
22	LCB22	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
23	LCB23	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$
24	LCB24	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
25	LCB25	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$
26	LCB26	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
27	LCB27	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$
28	LCB28	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
29	LCB29	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
30	LCB30	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$
31	LCB31	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
32	LCB32	$1.1D + 0.275L - (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$
33	LCB33	$0.9D + (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
34	LCB34	$0.9D + (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$

35	LCB35	$0.9D + (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
36	LCB36	$0.9D + (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$
37	LCB37	$0.9D + (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$
38	LCB38	$0.9D + (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
39	LCB39	$0.9D + (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$
40	LCB40	$0.9D + (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
41	LCB41	$0.9D + (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$
42	LCB42	$0.9D + (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
43	LCB43	$0.9D + (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$
44	LCB44	$0.9D + (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
45	LCB45	$0.9D + (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
46	LCB46	$0.9D + (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$
47	LCB47	$0.9D + (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
48	LCB48	$0.9D + (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$
49	LCB49	$0.9D - (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
50	LCB50	$0.9D - (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$
51	LCB51	$0.9D - (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
52	LCB52	$0.9D - (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$
53	LCB53	$0.9D - (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$
54	LCB54	$0.9D - (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
55	LCB55	$0.9D - (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$
56	LCB56	$0.9D - (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
57	LCB57	$0.9D - (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$
58	LCB58	$0.9D - (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))+0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
59	LCB59	$0.9D - (1.0(1.00)(RX(RS)+RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)-RY(ES)))$
60	LCB60	$0.9D - (1.0(1.00)(RX(RS)-RX(ES))-0.3(1.00)(RY(RS)+RY(ES)))$
61	LCB61	$0.9D - (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
62	LCB62	$0.9D - (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))+0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$
63	LCB63	$0.9D - (1.0(1.00)(RY(RS)+RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)-RX(ES)))$
64	LCB64	$0.9D - (1.0(1.00)(RY(RS)-RY(ES))-0.3(1.00)(RX(RS)+RX(ES)))$

4. 구조해석

4.1 부재별 강도, 강성, 허용기준

해석모델에 사용된 보, 기둥, 패널존, 가새부재 중의 대표부재의 강도, 강성, 허용기준(m계수) 산정절차를 기술함.

4.1.1 보

(1) 모델링

요령 “7.4.2.1 (5) ①” 에 따라 접합부는 해석모델에 포함하지 않음.

(2) 강도

요령 “4.1.6 표 4.1.1” 에 따라 보의 휨모멘트는 변형지배거동으로 간주함. 따라서, 재료항복강도는 기대항복강도(F_{ye})를 사용. 단, 조밀/비조밀 단면을 판단할 때는 설계기준강도(F_y)를 사용함.

보 부재의 기대휨강도(Q_{CE})는 요령 “7.4.3.1 (1)” 에 따라 산정함.

이때 보의 기대 휨 강도는 소성모멘트, 횡비틀림좌굴강도, 플랜지 국부좌굴, 웨브 전단항복강도 중 최소값을 선택함.

보 부재: H-482×300×11×15

$$L_b = 2.7m, C_b = 1, E = 205000MPa, F_y = 315MPa, F_{ye} = 378MPa, r = 26mm$$

$$S_x = 2.5 \times 10^6 mm^3, Z_x = 2.79 \times 10^6 mm^3, r_{ts} = 79.5mm, r_y = 6.82 \times 10^1 mm, J_c = 8.76 \times 10^5 mm^4$$

<플랜지 폭두께비>

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{300}{2 \times 15} = 10.00$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{E/F_y} = 0.38 \sqrt{205,000/315} = 9.69 < \lambda$$

$$\lambda_r = 1.0 \sqrt{E/F_y} = 1.0 \sqrt{205,000/315} = 25.51 > \lambda \quad \rightarrow \text{플랜지는 비조밀 단면}$$

<웨브의 폭두께비>

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{482 - 15 \times 2 - 26 \times 2}{11} = 36.36$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{E/F_y} = 3.76 \sqrt{205,000/315} = 95.92 > \lambda \quad \rightarrow \text{웨브는 조밀 단면}$$

① 항복강도

$$\begin{aligned} Q_{CE} &= M_{CE} = ZF_{ye} \\ &= 2.79 \times 10^6 \times 378 \times 10^{-6} = 1054.6 kN \cdot m \end{aligned}$$

② 횡비틀림좌굴강도

$$L_b = 2.7 m$$

$$L_p = 1.76 \times r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 68.2 \sqrt{\frac{205,000}{315}} \times 10^{-3} = 3.06 m$$

→ $L_b \leq L_p$ 이니 횡비틀림좌굴강도 고려하지 않음

③ 플랜지 국부좌굴강도

$$\begin{aligned} M_n &= \left[M_p - (M_p - 0.7 F_{ye} S_x) \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \\ &= \left(1054.6 - (1054.6 - 0.7 \times 378 \times 2.5 \times 10^6 \times 10^{-6}) \left(\frac{10 - 9.69}{25.51 - 9.69} \right) \right) \\ &= 1046.9 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

∴ 보의 기대 휨 강도는 플랜지국부좌굴에 의한 강도가 가장 작으므로, $Q_{CE} = 1046.9 \text{ kN}\cdot\text{m}$

(3) m-계수

요령 “7.4.4.1 (1) ①” 에 따라 보의 휨거동은 변형지배거동으로 간주하며, 보 부재의 m-계수는 요령 “7.4.4.1 (1)” 과 요령 <표 7.4.1>에 따라 산정함.

보와 기둥의 접합부를 해석모델에 포함하지 않았으므로 보 부재의 m-계수는 요령 <표 7.4.1>에서 ‘보-휨’ 과 ‘철골완전강점모멘트접합부’ 에서 ‘전용접 접합부 또는 웨브볼트 플랜지현장용접 접합부’ 에 의한 값 중 작은값을 선택함.

<플랜지 폭두께비>

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{300}{2 \times 15} = 10.00$$

<웨브의 폭두께비>

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{482 - 15 \times 2 - 26 \times 2}{11} = 36.36$$

요령 <표 7.4.1>의 ‘보-휨’ 에서 조건은 다음과 같이 구함.

$$0.3 \sqrt{E/F_{ye}} = 0.3 \sqrt{205,000/378} = 6.99 < \frac{b_f}{2t_f} = 10.00 \rightarrow \text{No}$$

$$2.45 \sqrt{E/F_{ye}} = 2.45 \sqrt{205,000/378} = 57.06 > \frac{h}{t_w} = 36.36 \rightarrow \text{Yes}$$

$$0.38 \sqrt{E/F_{ye}} = 0.38 \sqrt{205,000/378} = 8.85 < \frac{b_f}{2t_f} = 10.00 \rightarrow \text{Yes}$$

$$3.76 \sqrt{E/F_{ye}} = 3.76 \sqrt{205,000/378} = 87.56 > \frac{h}{t_w} = 36.36 \rightarrow \text{No}$$

기존 건축물 내진성능평가 예제집

위 조건은 <표 7.4.1>에서 $\frac{b_f}{2t_f} > 0.38\sqrt{E/F_{ye}}$ 또는 $\frac{h}{t_w} > 3.76\sqrt{E/F_{ye}}$ 에 해당함.

요령 <표 7.4.1>의 ‘전용접 접합부 또는 웨브볼트 플랜지현장용접 접합부’에서는 해당 보의 d(482mm)를 대입하여 구함.

∴ 두 조건에 의한 결과 중 더 작은 값을 선택하면, 거주가능, 인명안전, 붕괴방지에 해당하는 m-계수는 1, 2, 3이 됨.

표 4.1 보-휨 m계수 산정

부재 및 조건	거주가능	1차부재		2차부재	
		인명안전	붕괴방지	인명안전	붕괴방지
보-휨					
$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.3\sqrt{E/F_{ye}}$ 및 $\frac{h}{t_w} \leq 2.45\sqrt{E/F_{ye}}$	2	6	8	10	12
$\frac{b_f}{2t_f} > 0.38\sqrt{E/F_{ye}}$ 또는 $\frac{h}{t_w} > 3.76\sqrt{E/F_{ye}}$	1.25	2	3	3	4
기타	플랜지와 웨브 폭두께비에 대하여 사이값은 각각 직선보간 후, 작은 값을 사용한다.				
철골완전강점모멘트접합부					
전용접 접합부 또는 웨브볼트 플랜지현장용접 접합부	1	4.3 -0.0033d ¹⁾	3.9 -0.0017d	4.3 -0.0019d	5.5 -0.0025d
d=482mm 대입	1	2.71	3.08	3.38	4.29

1) 요령 <표 7.4.1>에는 4.3-0.033d라 표기되어 있으나 해당 식을 그대로 사용해 계산할 경우 음수 값이 나오는 것을 고려해 4.3-0.0033d로 식을 수정하여 계산한다.

4.1.2 기둥

(1) 모델링

특이사항 없음.

(2) 강도

요령 “4.1.6 표 4.1.1”에 따라 기둥의 휨모멘트는 변형지배거동으로 간주함. 축력은 힘지배거동으로 정의되어 있으나 압축력만 힘지배거동으로 보고 인장력은 변형지배거동으로 간주함. 변형지배거동에서 재료항복강도는 기대항복강도(F_{ye})를 사용하며 힘지배거동에서 재료항복강도는 설계기준강도(F_y)를 사용. 단, 조밀/비조밀, 세장/비세장 단면을 판단할 때는 설계기준강도(F_y)를 사용함.

기둥 부재의 기대휨강도(Q_{CE})는 요령 “7.4.3.1 (2)” 에 따라 산정함. 이때 기둥의 기대 휨 강도는 소성모멘트, 기둥좌굴강도, 플랜지 국부좌굴강도, 웨브 국부좌굴강도 중 최소값을 선택함.

기둥 부재: H-300 × 300 × 10 × 15

$$L_b = 4.4m, C_b = 1, E = 205,000MPa, F_y = 315MPa, F_{ye} = 378MPa, K_x = 0.89, K_y = 0.77$$

$$S_x = 1.36 \times 10^6 mm^3, S_y = 4.5 \times 10^5 mm^3, Z_x = 1.5 \times 10^6 mm^3, Z_y = 6.84 \times 10^5 mm^3,$$

$$A_g = 1.198 \times 10^4 mm^2, r_x = 1.31 \times 10^2 mm, r_y = 7.51 \times 10^1 mm, r_{st} = 8.41 \times 10^1 mm,$$

$$J_c = 7.65 \times 10^5 mm^4$$

① 공칭압축강도

<플랜지 폭두께비>

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{300}{2 \times 15} = 10$$

$$\lambda_r = 0.56 \sqrt{E/F_y} = 0.56 \sqrt{205,000/315} = 14.29 > \lambda \rightarrow \text{플랜지는 비조밀 단면}$$

<웨브의 폭두께비>

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{300 - 15 \times 2 - 18 \times 2}{10} = 23.40$$

$$\lambda_r = 1.49 \sqrt{E/F_y} = 1.49 \sqrt{205,000/315} = 38.01 > \lambda \rightarrow \text{웨브는 비조밀 단면}$$

$$\frac{K_x L_x}{r_x} = \frac{0.89 \times 4400}{131} = 29.89 < \frac{K_y L_y}{r_y} = \frac{0.77 \times 4400}{75.1} = 45.11 \rightarrow \lambda_y \text{가 좌굴강도를 지배}$$

$$\frac{K_y L_y}{r_y} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{205,000}{315}} = 120.16 \rightarrow \text{비탄성 좌굴}$$

$$F_c = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 205,000}{45.11^2} = 994.3 MPa$$

$$F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_c}\right] F_y = \left[0.658 \frac{315}{994.3}\right] \times 315 = 275.9 MPa$$

$$P_{CL} = F_{cr} A_g = 275.9 \times 11980 \times 10^{-3} = 3305.3 kN$$

② 기대인장강도

$$T_{CE} = F_{ye} A_g = 378 \times 11980 \times 10^{-3} = 4528.44 kN$$

③ 강축의 기대휨강도

<플랜지 폭두께비>

기존 건축물 내진성능평가 예제집

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{300}{2 \times 15} = 10$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{E/F_y} = 0.38 \sqrt{205,000/315} = 9.69 < \lambda$$

$$\lambda_r = 1.0 \sqrt{E/F_y} = 1.0 \sqrt{205,000/315} = 25.51 > \lambda \quad \rightarrow \text{플랜지는 비조밀 단면}$$

<웨브의 폭두께비>

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{300 - 15 \times 2 - 18 \times 2}{10} = 23.40$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{E/F_y} = 3.76 \sqrt{205,000/315} = 95.92 > \lambda \quad \rightarrow \text{웨브는 조밀 단면}$$

㉠ 항복강도

$$Q_{CE} = M_{CE} = ZF_{ye} = 1.5 \times 10^6 \times 378 \times 10^{-6} = 567 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

㉡ 황비틀림좌굴강도

$$L_b = 4.4 \text{ m}$$

$$L_p = 1.76 \times r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.76 \times 75.1 \sqrt{\frac{205,000}{315}} \times 10^{-3} = 3.37 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} L_r &= 1.95 \times r_{ts} \frac{E}{0.7F_y} \sqrt{\frac{J_C}{S_x h_o}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{0.7F_y}{E} \frac{S_x h_o}{J_C} \right)^2}} \\ &= 1.95 \times 84.1 \times \frac{205,000}{0.7 \times 315} \sqrt{\frac{7.65 \times 10^5}{1.36 \times 10^6 \times (300 - 15)}} \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6.76 \left(\frac{0.7 \times 315}{205,000} \frac{1.36 \times 10^6 \times (300 - 15)}{7.65 \times 10^5} \right)^2}} \\ &= 112000 \text{ mm} = 11.2 \text{ m} \end{aligned}$$

$\rightarrow L_p \leq L_b \leq L_r$ 이므로,

$$\begin{aligned} M_n &= C_b \left[M_p - (M_p - 0.7F_{ye}S_x) \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \\ &= 1 \times \left[567 - (567 - 0.7 \times 378 \times 1.36 \times 10^6 \times 10^{-6}) \left(\frac{4.4 - 3.37}{11.2 - 3.37} \right) \right] \\ &= 539.75 \text{ kN}\cdot\text{m} \leq M_p = 567 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

㉢ 플랜지 국부좌굴강도

$$\begin{aligned} M_n &= \left[M_p - (M_p - 0.7F_{ye}S_x) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \\ &= \left(567 - (567 - 0.7 \times 378 \times 1.36 \times 10^6 \times 10^{-6}) \left(\frac{10 - 9.69}{25.51 - 9.69} \right) \right) \\ &= 562.94 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

∴ 기동 강축의 기대 휨 강도는 횡비틀림좌굴에 의한 강도가 가장 작으므로, $Q_{CE} = 539.75kN\cdot m$

④ 약축의 기대휨강도

<플랜지 폭두께비>

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{300}{2 \times 15} = 10$$

$$\lambda_p = 0.38 \sqrt{E/F_y} = 0.38 \sqrt{205,000/315} = 9.69 < \lambda$$

$$\lambda_r = 1.0 \sqrt{E/F_y} = 1.0 \sqrt{205,000/315} = 25.51 > \lambda \quad \rightarrow \text{플랜지는 비조밀 단면}$$

<웨브의 폭두께비>

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{300 - 15 \times 2 - 18 \times 2}{10} = 23.40$$

$$\lambda_p = 3.76 \sqrt{E/F_y} = 3.76 \sqrt{205,000/315} = 95.92 > \lambda \quad \rightarrow \text{웨브는 조밀 단면}$$

㉑ 항복강도

$$1.6F_{ye}S_y = 1.6 \times 378 \times 4.5 \times 10^5 \times 10^{-6} = 272.2kN\cdot m$$

$$Q_{CE} = M_{CE} = ZF_{ye} \leq 1.6F_{ye}S_y \\ = 6.84 \times 10^5 \times 378 \times 10^{-6} = 258.6kN\cdot m \leq 1.6F_{ye}S_y = 272.2kN\cdot m$$

㉒ 플랜지 국부좌굴강도

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7F_{ye}S_y) \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right) \right] \\ = \left(258.6 - (258.6 - 0.7 \times 378 \times 4.5 \times 10^5 \times 10^{-6}) \left(\frac{10 - 9.69}{25.51 - 9.69} \right) \right) \\ = 255.87kN\cdot m$$

∴ 기동 약축의 기대 휨 강도는 플랜지 국부좌굴강도에 의한 강도가 가장 작으므로, $Q_{CE} = 255.87kN\cdot m$

(3) m-계수

요령 “7.4.4.1 (2)” 에 따라 기동의 횡거동은 압축력이 공칭압축강도 P_{CL} 의 50 % 이하일 때 변형지배거동, 초과할 때 힘지배거동으로 간주함. 예제에서는 모든 기동 부재에서 압축력이 공칭압축강도 P_{CL} 의 50 % 이하임을 확인하고 기동의 횡거동을 변형지배거동으로 간주함.

기동 부재의 m-계수는 요령 “7.4.4.1 (2)” 와 요령 <표 7.4.1>의 ‘기동-휨’ 에 따라 산정함.

<플랜지 폭두께비>

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{300}{2 \times 15} = 10.00$$

<웨브의 폭두께비>

기존 건축물 내진성능평가 예제집

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{300 - 15 \times 2 - 18 \times 2}{10} = 23.40$$

요령 <표 7.4.1>의 ‘기동-휨’ 에서 조건은 다음과 같이 구함.

$$P_{CL} = 3305.3 \text{ kN}, 0.2P_{CL} = 661.06 \text{ kN}, 0.5P_{CL} = 1652.65 \text{ kN}, P = -447.62 \text{ kN}$$

$$\rightarrow P < 0.2P_{CL}$$

$$0.3 \sqrt{E/F_{ye}} = 0.3 \sqrt{205,000/378} = 6.99 < \frac{b_f}{2t_f} = 10.00 \quad \rightarrow \text{No}$$

$$1.76 \sqrt{E/F_{ye}} = 1.76 \sqrt{205,000/378} = 40.99 > \frac{h}{t_w} = 23.40 \quad \rightarrow \text{Yes}$$

$$0.38 \sqrt{E/F_{ye}} = 0.38 \sqrt{205,000/378} = 8.85 < \frac{b_f}{2t_f} = 10.00 \quad \rightarrow \text{Yes}$$

$$2.7 \sqrt{E/F_{ye}} = 2.7 \sqrt{205,000/378} = 62.88 > \frac{h}{t_w} = 23.40 \quad \rightarrow \text{No}$$

위 조건은 <표 7.4.1>에서 $\frac{b_f}{2t_f} > 0.38 \sqrt{E/F_{ye}}$ 또는 $\frac{h}{t_w} > 2.7 \sqrt{E/F_{ye}}$ 에 해당함.

∴ 위 조건에 따라 거주가능, 인명안전, 붕괴방지에 해당하는 m-계수는 1.25, 1.25, 2가 됨.

표 4.2 기동-휨 m계수 산정

부재 및 조건	거주가능	1차부재		2차부재	
		인명안전	붕괴방지	인명안전	붕괴방지
기동-휨					
$P < 0.2P_{CL}$ 인 경우					
$\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{E/F_{ye}}$ 및 $\frac{h}{t_w} \leq 1.76 \sqrt{E/F_{ye}}$	2	6	8	10	12
$\frac{b_f}{2t_f} > 0.38 \sqrt{E/F_{ye}}$ 또는 $\frac{h}{t_w} > 2.7 \sqrt{E/F_{ye}}$	1.25	1.25	2	2	3
기타	플랜지와 웹 폭두께비에 대하여 사이값은 각각 직선보간 후, 작은 값을 사용한다.				

4.1.3 패널존

(1) 모델링

요령 “7.4.2.1 (4) ②” 에 따르면 패널존의 기대전단강도가 기동-보 접합면에서 보의 휨 강도 이상이며, 패널존의 강성이 보 휨 강성의 10배 이상일 경우 패널존 모델링을 하지 않을 수 있음.

요령 “4.1.6 표 4.1.1” 에 따라 철골조에서 접합부의 축력, 전단력, 휨모멘트는 변형지배

거동으로 간주함. 따라서, 재료항복강도는 기대항복강도(F_{ye})를 사용.

[참조] 패널존 모델링 여부 판별

- 패널존의 기대전단강도 (V_{CE})

$$\frac{|P|}{P_{ye}} = \frac{447.62}{3305.3} = 0.14 \leq 0.4 \text{ 이므로, } V_{CE} = 0.55F_{ye}d_c t_p \text{ 를 사용.}$$

$$V_{CE} = 0.55F_{ye}d_c t_p = 0.55 \times 378 \times 300 \times 10 \times 10^{-3} = 623.7kN$$

- 패널존의 기대휨강도 (M_{CE})

$$M_{CE} = V_{ye} \cdot d_b = 623.7 \times 0.482 = 300.6kN \cdot m$$

- 패널존의 항복회전각 (θ_y)

$$\theta_y = \frac{F_{ye}}{\sqrt{3} G} = \frac{378}{\sqrt{3} \times \frac{205,000}{2(1+0.3)}} = 0.003rad$$

- 패널존의 휨강성 (K_θ)

$$K_\theta = \frac{M_y}{\theta_y} = \frac{300.6}{0.003} = 100,200kN \cdot m$$

- 보의 휨강도 (Q_{CE})

$$Q_{CE} = M_{CE} = ZF_{ye} \\ = 2.79 \times 10^6 \times 378 \times 10^{-6} = 1054.62kN \cdot m$$

- 보의 휨강성 (k_θ)

$$k_\theta = \frac{6EI}{L} = \frac{6 \times 205,000 \times 6.04 \times 10^8}{7575} \times 10^{-6} = 98,075.2kN \cdot m$$

- 기대휨강도비(패널존/보)

$$\frac{300.6}{1054.62} = 0.285 \rightarrow \text{패널존의 휨강도가 보의 휨강도보다 작음}$$

- 휨강성비(패널존/보)

$$\frac{100200}{98075.2} = 1.02 \rightarrow \text{패널존의 강성이 보의 강성의 1.02배임.}$$

∴ 패널존의 기대전단강도가 보의 휨 강도보다 작으며, 패널존의 강성이 보 휨 강성의 10 배 이하이므로 패널존 모델링이 필요함.

기존 건축물 내진성능평가 예제집

(2) 강도

※ 본 예제건물은 가새가 횡력을 지지하고, 보의 요구력이 작아서 패널존의 모델링을 생략함.
만약 순수 모멘트골조이면서 보의 요구력이 커서 패널존이 항복강도 이상의 요구력을 받는다면 패널존을 해석모델에 포함하여 평가해야 함.

(3) 허용기준

※ 해당사항 없음.

4.1.4 가새

(1) 모델링

요령 “7.5.2.1 (3)” 에 따라 요령 “7.4.2.1” 에 규정된 기둥으로 모델링함.

(2) 강도

요령 “4.1.6 표 4.1.1” 에 따라 철골조에서 가새의 축력은 변형지배거동으로 간주하며 가새의 기대강도(Q_{CE})는 요령 “7.5.3.1 (1)” 에 따라 산정함.

압축력을 받는 가새의 기대축강도는 부재좌굴 또는 국부좌굴 한계상태에 대하여 산정된 강도 중 최소값으로 산정함. 이 때, 저항계수 $\phi=1.0$, 재료항복강도로 기대항복강도(F_{ye})를 사용함.

인장력을 받는 가새의 기대축강도(Q_{CE})는 요령 “7.4.3.1 (2) ②” 에 따라 산정함.

단, 세장/비세장 단면을 판단할 때는 설계기준강도(F_y)를 사용함.

가새 부재: L-150×150×15

$L_b = 5.6m$, $E = 205,000MPa$, $F_y = 315MPa$, $F_{ye} = 378MPa$

$A_g = 4.274 \times 10^3 mm^2$, $r_x = 4.56 \times 10^1 mm$

<폭두께비>

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{150}{15} = 10$$

$$\lambda_r = 0.45 \sqrt{E/F_y} = 0.45 \sqrt{205,000/315} = 11.48 > \lambda \rightarrow \text{비조밀 단면}$$

① 기대압축강도

$$\frac{L}{r_x} = \frac{5600}{45.6} = 122.8 > 75 \text{ 이므로}$$

$$\frac{KL}{r} = 45 + \frac{L}{r_x} = 45 + 122.8 = 167.8 \leq 200,$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 205,000}{167.8^2} = 71.86 MPa$$

$$\frac{KL}{r} = 167.8 > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{205,000}{315}} = 120.15 \text{ 이므로 } \rightarrow \text{탄성좌굴}$$

$$F_{cr} = 0.877 F_e = 0.877 \times 72.0 = 63.1 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} A_g = 63.1 \times 4274.0 \times 10^{-3} = 269.9 \text{ kN}$$

② 기대인장강도

$$T_{CE} = F_{ye} A_g = 378 \times 4274.0 \times 10^{-3} = 1615.6 \text{ kN}$$

(3) m-계수

요령 “7.5.4 (1)” 에 따라 가새의 축방향 압축과 인장은 변형지배거동으로 간주하며 요령 <표 7.5.1>의 ‘압축 가새’ 및 ‘인장 가새’ 에 따라 산정함.

$$\frac{KL}{r} = 167.8 \geq 4.2 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 107.14 \text{ 이므로,}$$

압축가새 중 세장한 가새에 해당함. 건축구조기준의 철골특수중심가새골조를 위한 접합부 요구조건을 만족하지 않음(ㄱ형강)으로 허용기준에 0.8을 곱하여 사용함.

∴ 위 조건에 따라 인장가새의 경우 거주가능, 인명안전, 붕괴방지에 해당하는 m-계수는 1.25, 4, 5.6, 압축가새의 경우 거주가능, 인명안전, 붕괴방지에 해당하는 m-계수는 1, 4, 5.6이 됨.

표 4.3 압축가새 m계수 산정

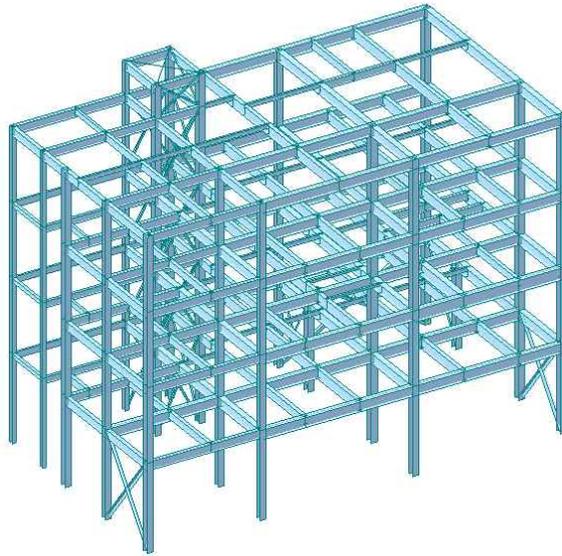
부재 및 조건			거주 가능	1차부재	
				인명안전	붕괴방지
압축가새 ¹⁾	$\frac{KL}{r} \geq 4.2 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	강관 파이프 ㄱ형강	1	4	5.6
인장 가새			1.25	4 ¹⁾⁵⁾	5.6 ¹⁾⁵⁾

1) 건축구조기준의 철골특수중심가새골조를 위한 접합부 요구조건을 만족하지 않는 경우, 허용기준에 0.8을 곱한다.

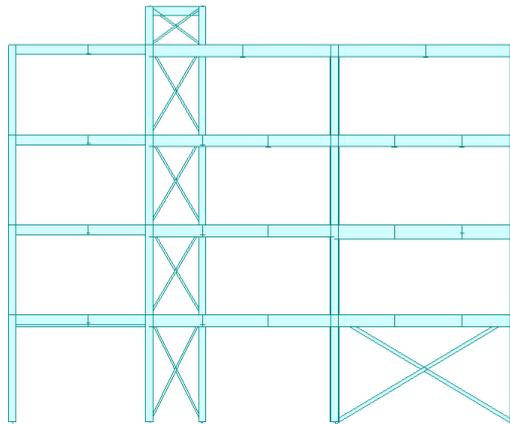
5) 쌍ㄱ형강, 강관, 파이프, 단일ㄱ형강의 경우, m 계수에 0.8을 곱한다.

4.2 구조해석모델

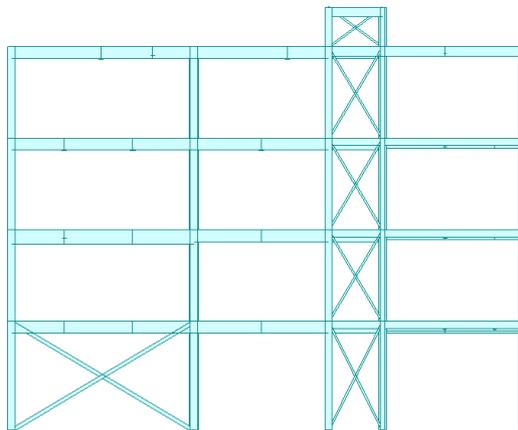
표 4.4 모델링



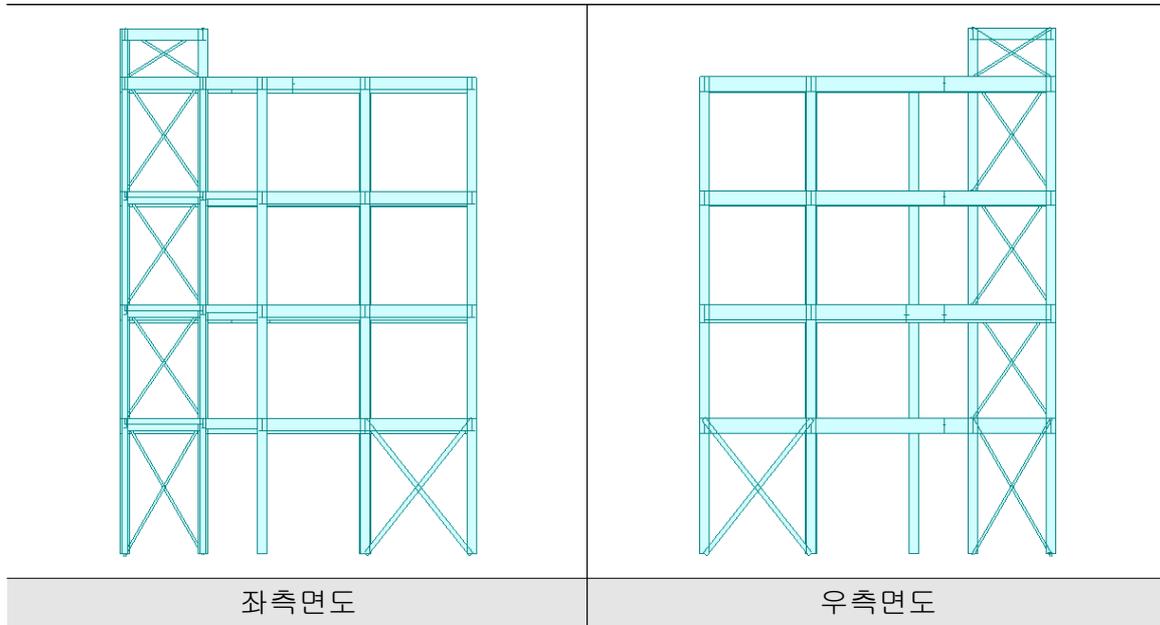
해석모델



입면도



배면도

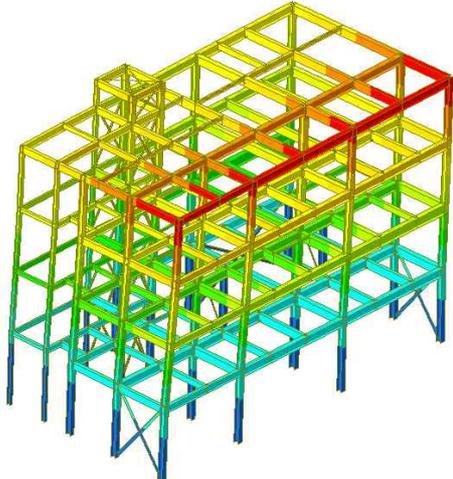
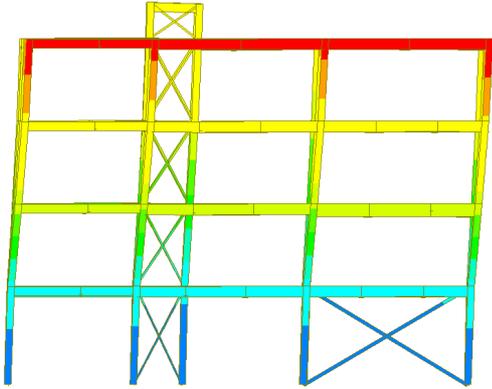
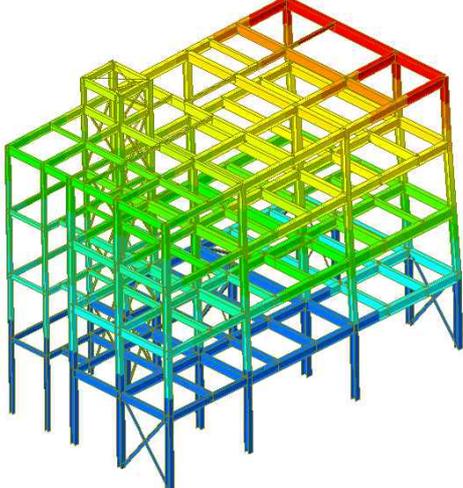
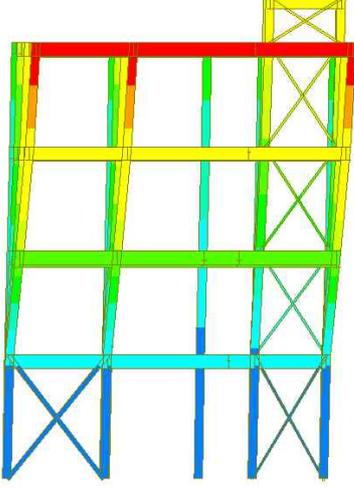
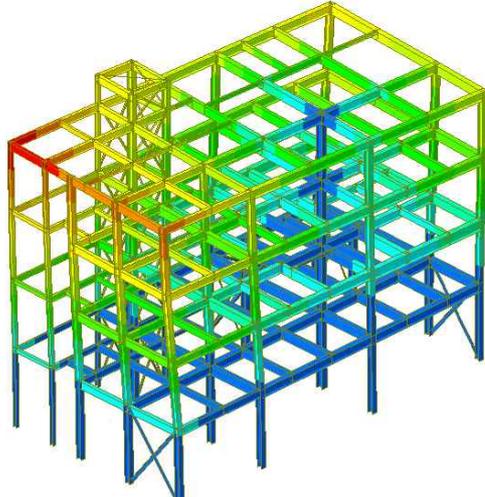
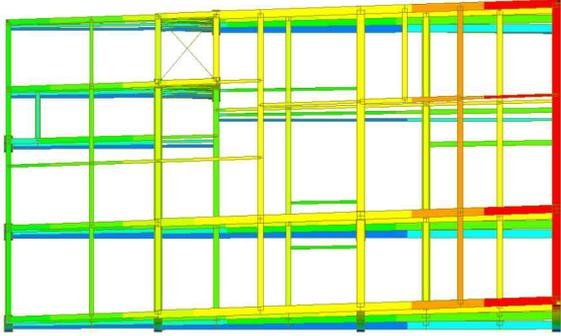


4.3 고유치해석 결과

표 4.5 고유치 해석 결과

모드	주기 (초)	질량참여율 (%)		
		X방향	Y방향	비틀림
1	0.865	74.4	0.1	4.8
2	0.701	0.9	68.5	7.1
3	0.574	3.5	9.2	62.6
4	0.278	11.8	0.1	0.8
5	0.222	0.7	10.0	0.7
6	0.176	0.8	0.5	6.4
7	0.175	4.5	2.1	1.8
8	0.142	2.3	0.8	0.0
9	0.136	0.1	3.7	1.5
10	0.112	0.1	3.7	0.9
11	0.099	0.4	1.4	3.7
누적 참여율		99.2	100.0	90.4

표 4.6 모드 형상

	
<p>1차 모드 (X방향) - 0.865초</p>	<p>1차 모드 (Front View)</p>
	
<p>2차 모드 (Y방향) - 0.701초</p>	<p>2차 모드 (Right View)</p>
	
<p>3차 모드 (비틀림) - 0.574초</p>	<p>3차 모드 (Plan View)</p>

5. 평가절차 적용제한 검토

5.1 선형절차 적용 가능 여부 검토

요령 “4.2.2 선형절차의 적용 제한”에서는 산정된 DCR이 3.0, 혹은 선형절차에서 제시하는 부재의 조건에 따른 m 계수를 초과하는 경우, 약층비정형과 비틀림강도비정형 중 하나라도 해당된다면 선형절차는 사용할 수 없도록 규정하고 있음.

표 5.1 기둥 DCR과 m 계수 검토

기둥 부재	DCR				m 계수		
	축력	전단력	모멘트 (강축)	모멘트 (약축)	거주가능	인명안전	붕괴방지
1	0.12	0.08	0.19	0.07	1.25	1.25	2
2	0.06	0.03	0.13	0.37	1.25	1.25	2
3	0.05	0.05	0.21	0.19	1.25	1.25	2
4	0.03	0.07	0.18	0.21	1.25	1.25	2
5	0.10	0.02	0.04	0.33	1.25	1.25	2
6	0.02	0.06	0.20	0.18	1.25	1.25	2
7	0.16	0.09	0.22	0.17	1.25	1.25	2
8	0.03	0.06	0.14	0.08	1.25	1.25	2

※ DCR이 상대적으로 큰 일부 부재만 제시함

표 5.2 보 DCR과 m 계수 검토

보 부재	DCR		m 계수		
	전단력	모멘트 (강축)	거주가능	인명안전	붕괴방지
1	0.025	0.043	1	2	3
2	0.042	0.053	1	2	3
3	0.036	0.044	1	2	3
4	0.034	0.035	1	2	3
5	0.038	0.101	1	2	3
6	0.028	0.033	1	2	3
7	0.032	0.082	1	2	3
8	0.023	0.046	1	2	3

※ DCR이 상대적으로 큰 일부 부재만 제시함

∴ DCR이 3.0을 초과하지 않고, 선형절차에서 제시하는 m 계수를 초과하지 않으므로 약층비정형과 비틀림강도비정형을 검토할 필요 없이 선형절차를 적용할 수 있음.

기존 건축물 내진성능평가 예제집

5.2 선형정적절차 적용 가능 여부 검토

요령 “4.2.3 선형정적절차의 적용 제한”에 따라 다음 조건 중 하나라도 해당하면 선형정적절차를 적용할 수 없음.

- ①번 검토 결과, $T=0.571\text{sec} < 3.5T_g = 3.5 \times 0.403 = 1.41\text{sec} \rightarrow$ 해당하지 않음
- ②번 검토 결과, 층별 수평치수 변화 없음 \rightarrow 해당하지 않음
- ③번 검토 결과, 150%를 초과함 \rightarrow 해당

표 5.3 비틀림 강성 비정형 검토 결과

층	X방향				Y방향			
	평균변위	최대 변위	최대 변위 / 평균변위	판정	평균변위	최대 변위	최대 변위 / 평균변위	판정
지붕층	48.7	62.3	1.28	OK	39.1	67.5	1.72	NG
4층	39.4	50.3	1.28	OK	31.6	53.6	1.70	NG
3층	24.4	31.5	1.29	OK	19.8	31.8	1.61	NG
2층	8.0	10.3	1.28	OK	5.7	7.6	1.33	OK

- ④번 검토 결과, 150%를 초과함 \rightarrow 해당

표 5.4 수직 강성 비정형 검토 결과

층	X방향				Y방향			
	평균 층간 변형각	인접상부층 평균변형각x1.5	인접하부층 평균변형각x1.5	판정	평균 층간 변형각	인접상부층 평균변형각x1.5	인접하부층 평균변형각x1.5	판정
4층	0.0014	-	0.0035	OK	0.0012	-	0.0032	OK
3층	0.0023	0.0021	0.0044	NG	0.0021	0.0030	0.0021	OK
2층	0.0029	0.0035	0.0026	NG	0.0014	0.0032	0.0024	OK
1층	0.0017	0.0044	-	OK	0.0016	0.0021	-	OK

- ⑤번 검토 결과, 직교하는 지진력 저항시스템을 가짐 \rightarrow 해당하지 않음

표 5.5 선형정적절차 적용 제한

번호	규정	해당 여부
①	건물의 기본주기 T 가 $3.5T_s$ 보다 큰 경우, ($T_s = S_{X1}/S_{XS}$)	X
②	한 층의 수평 치수가 인접층의 해당 방향 치수의 1.4배를 초과할 경우 (옥탑층은 제외)	X
③	비틀림 강성 비정형 (임의 층 평면 내 임의점에서 최대 변위가 평균변위의 150%를 초과)이 있는 경우	0
④	수직 강성 비정형 (옥탑층을 제외한 임의 층의 평균 변형각이 인접한 상부층 혹은 하부층의 평균변형각의 150%를 초과)이 있는 경우	0
⑤	직교하지 않는 지진력 저항시스템을 가진 경우	X

∴ 요령에 따라 검토한 결과 대상 건물은 선형정적절차를 적용할 수 없으므로 선형동적절차를 적용함.

6. 성능수준 판정

부록에 재현주기별, 하중조합별, 층별 부재의 해석결과, m계수, 부재별 성능수준 및 중력하중분담률을 수록함.

6.1 중력하중저항능력 검토

6.1.1 2400년 재현주기 지진 : 붕괴방지

- (1) 요령의 <표 4.6.2>에 따라 중력하중저항능력은 모든 부재가 붕괴방지를 만족하면 붕괴방지 성능목표를 만족하는 것으로 판단함.
- (2) 성능수준별 중력하중저항능력의 만족여부는 각 방향별, 층별로 수행하며, 각 층의 부재는 수직부재와 수평부재로 나누어 평가함. 부재별 연직하중 분담능력은 수직부재의 경우 축하중, 수평부재의 경우 양단 전단력을 기준으로 함.
- (3) 개별 부재의 성능수준 만족여부는 요령 “4.6 (7), (8)” 에 따라 판정함.
- (4) 중력하중저항능력은 3.7절의 하중조합(지진하중을 포함)에 대해 성능수준을 만족하는 수직부재의 축하중 또는 수평부재의 전단력의 합이며, 중력하중 분담비율은 이를 해당 층의 전체 축하중 또는 전단력으로 나눈 값을 의미함.

∴ 검토결과 2400년 재현주기 지진에 붕괴방지 성능목표를 만족함.

표 6.1 수평부재 중력하중 분담비율 검토 결과

층	높이 (m)	하중 조합	I0	LS	CP	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	15.5	ALL	1	1	1	10	0	OK
4층	11.8	ALL	1	1	1	10	0	OK
3층	8.1	ALL	1	1	1	10	0	OK
2층	4.4	ALL	1	1	1	10	0	OK

표 6.2 수직부재 중력하중 분담비율 검토 결과

층	높이 (m)	하중 조합	I0	LS	CP	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	15.5	ALL	1	1	1	10	0	OK
4층	11.8	ALL	1	1	1	10	0	OK
3층	8.1	ALL	1	1	1	10	0	OK
2층	4.4	ALL	1	1	1	10	0	OK
1층	0	ALL	1	1	1	10	0	OK

6.1.2 1000년 재현주기 지진 : 인명안전

(1) 요령의 <표 4.6.2>에 따라 중력하중저항능력은 인명안전을 만족하는 부재가 부담하는 중력하중의 합이 전체중력하중의 80% 이상이면 인명보호 성능목표를 만족하는 것으로 판단함.

표 6.3 수평부재 중력하중 분담비율 검토 결과

층	높이 (m)	하중 조합	I0	LS	CP	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	15.5	ALL	1	1	1	10	0	OK
4층	11.8	ALL	1	1	1	10	0	OK
3층	8.1	ALL	1	1	1	10	0	OK
2층	4.4	ALL	1	1	1	10	0	OK

표 6.4 수직부재 중력하중 분담비율 검토 결과

층	높이 (m)	하중 조합	I0	LS	CP	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	15.5	ALL	1	1	1	10	0	OK
4층	11.8	ALL	1	1	1	10	0	OK
3층	8.1	ALL	1	1	1	10	0	OK
2층	4.4	ALL	1	1	1	10	0	OK
1층	0	ALL	1	1	1	10	0	OK

∴ 검토결과 1000년 재현주기 지진에 인명보호 성능목표를 만족함.

기존 건축물 내진성능평가 예제집

6.2 층간변형각기준에 따른 성능수준 판정

6.2.1 2400년 재현주기 지진 : 붕괴방지

(1) 층간변형각 검토

요령의 <표 4.6.1>에 따라 ‘가새가 있는 철골골조’의 붕괴방지 허용층간변형각에 해당하는 2.0%에, 내진설계가 되지 않았으므로 0.7를 곱해 1.4%를 허용층간변형각으로 정하고, 이를 초과하지 않으면 성능목표를 만족하는 것으로 판단함.

표 6.5 방향별 층간변형각 검토 결과

층	X 방향				Y 방향			
	하중조합	허용층간 변형각	층간변형각	판정	하중조합	허용층간 변형각	층간변형각	판정
4	LCB17	0.014	0.005	OK	LCB21	0.014	0.0059	OK
3	LCB1	0.014	0.0076	OK	LCB5	0.014	0.0088	OK
2	LCB1	0.014	0.0086	OK	LCB5	0.014	0.0098	OK
1	LCB1	0.014	0.0035	OK	LCB5	0.014	0.0025	OK

※ 하중조합 64개 중 층간변형각이 가장 큰 조합의 결과만 제시하였음.

6.2.2 1000년 재현주기 지진 : 인명안전

(1) 층간변형각 검토

요령의 <표 4.6.1>에 따라 ‘가새가 있는 철골골조’의 인명안전 허용층간변형각에 해당하는 1.5%에, 내진설계가 되지 않았으므로 0.7를 곱해 1.05%를 허용층간변형각으로 정하고, 이를 초과하지 않으면 성능목표를 만족하는 것으로 판단함.

표 6.6 방향별 층간변형각 검토 결과

층	X 방향				Y 방향			
	하중조합	허용층간 변형각	층간 변형각	판정	하중조합	허용층간 변형각	층간 변형각	판정
4	LCB17	0.0105	0.0033	OK	LCB21	0.0105	0.004	OK
3	LCB1	0.0105	0.0051	OK	LCB5	0.0105	0.0059	OK
2	LCB1	0.0105	0.0057	OK	LCB5	0.0105	0.0065	OK
1	LCB1	0.0105	0.0023	OK	LCB5	0.0105	0.0017	OK

※ 하중조합 64개 중 층간변형각이 가장 큰 조합의 결과만 제시하였음.

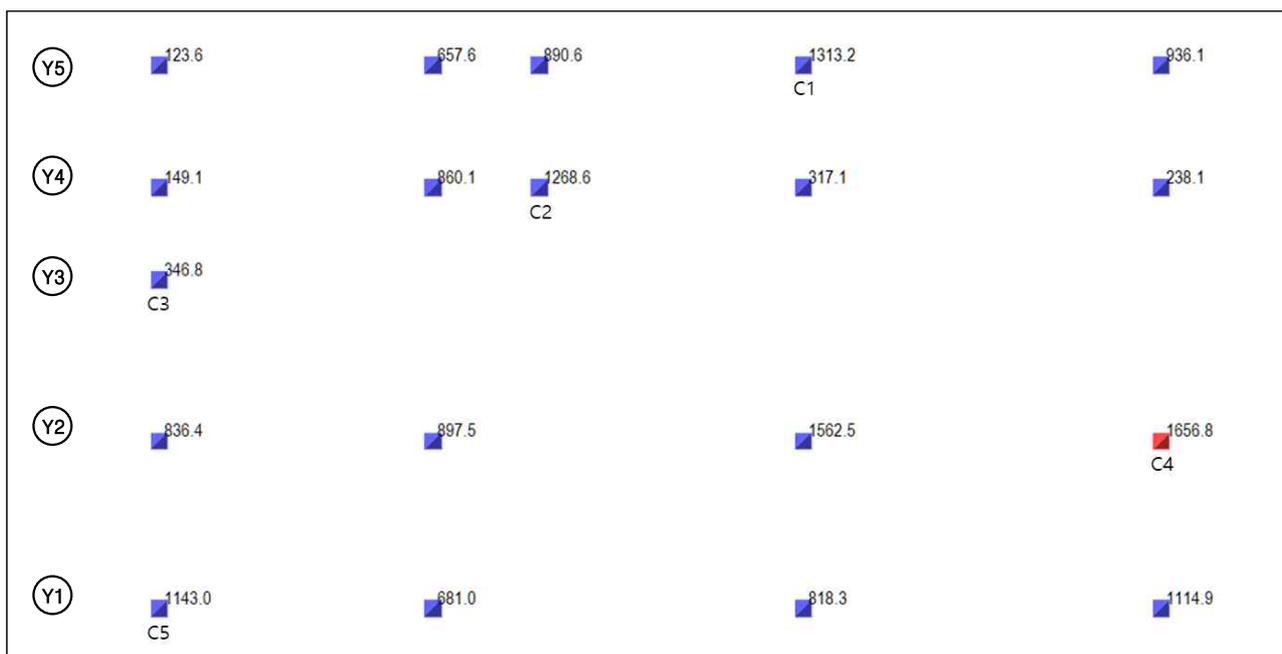
7. 기초 안전성 평가

- (1) 기초의 기대지지력(q_e)은 요령 “8.3 (1)” 의 식 (8.3.1)에 따라 허용지지력(q_{all})의 3배로 하고, 강도감소계수(ϕ)는 1.0을 사용함.
- (2) 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 결과

기둥 번호	위치	하중조합	최대 소요반력(kN)	기초 반력(q_{all}) (1.0D+0.25L) (kN)	기대지지력(q_e) (kN)	강도비	검토
C1	Y5행	LCB5	1313.2	1964.8	5894.4	4.5	만족
C2	Y4행	LCB5	1268.6	871.9	2615.8	2.1	만족
C3	Y3행	LCB5	346.8	494.8	1484.5	4.3	만족
C4	Y2행	LCB5	1656.8	1319.2	3957.5	2.4	만족
C5	Y1행	LCB5	1143.0	384.0	1152.0	1.0	만족

※ 하중조합 64개 중 기초반력이 가장 큰 조합의 결과만 제시하였음.



8. 최종 평가결과

- (1) 2400년 재현주기 지진 작용시 중력하중저항능력과 층간변형각 기준 모두 목표성능인 붕괴 방지의 성능수준을 만족함.
- (2) 1000년 재현주기 지진 작용시 중력하중저항능력과 층간변형각 기준 모두 목표성능인 인명 안전의 성능수준을 만족함.
- (3) 기초 안전성에는 문제가 없는 것으로 평가됨

표 8.1 최종 평가결과

해석 방법	성능 목표	방향	중력하중저항능력	붕괴부재	허용층간변형각	조적벽 안전성	기초 안전성	평가결과	비고
선형 동적 해석	인명 안전	X 축	만족	-	만족	해당 없음	-	만족	
		Y 축			만족	해당 없음	-	만족	
	붕괴 방지	X 축	만족	만족	만족	-	만족	만족	
		Y 축			만족	-	만족	만족	

<부록> 부재별 성능수준 평가 결과

표1. 보 부재 성능수준 검토 테이블 예시 (하중조합(eLCB1), 재현주기: 1000년(인명안전))

층	단면	부재	절점	Demand	Capacity	m-Factor			DCR			판정
				M_u (kN·m)	M_e (kN·m)	IO	LS	CP	IO	LS	CP	
Roof	RSG2	307	I	18.32	438.39	1.74	4.54	6.38	0.02	0.01	0.01	IO
Roof	RSG2	307	J	26.38	438.39	1.74	4.54	6.38	0.03	0.01	0.01	IO
Roof	RSG2	308	I	7.62	497.51	1.61	3.89	5.38	0.01	0	0	IO
Roof	RSG2	308	J	13.7	497.51	1.61	3.89	5.38	0.02	0.01	0.01	IO
Roof	RSG2	312	I	34.16	460.44	1.66	4.15	5.79	0.04	0.02	0.01	IO
Roof	RSG2	312	J	-6.94	499.43	1.6	3.88	5.37	0.01	0	0	IO
Roof	RSG1	313	I	-2.91	1039.63	1.26	2.03	3.06	0	0	0	IO
Roof	RSG1	313	J	-24.06	1046.4	1.26	2.03	3.05	0.02	0.01	0.01	IO
Roof	RSG1	314	I	-15.39	1048.66	1.26	2.02	3.05	0.01	0.01	0	IO
Roof	RSG1	314	J	37.03	1059.95	1.25	2.02	3.04	0.03	0.02	0.01	IO
Roof	RSG2	317	I	12.5	460.44	1.66	4.15	5.79	0.02	0.01	0	IO
Roof	RSG2	317	J	43.7	499.43	1.6	3.88	5.37	0.05	0.02	0.02	IO
Roof	RSG2	318	I	39.35	519.89	1.59	3.82	5.28	0.05	0.02	0.01	IO
Roof	RSG2	318	J	37.03	519.89	1.59	3.82	5.28	0.04	0.02	0.01	IO
Roof	RSG1	319	I	57.67	1096.52	1.25	2	3	0.04	0.03	0.02	IO
Roof	RSG1	319	J	-7.41	1046.4	1.26	2.03	3.05	0.01	0	0	IO
Roof	RSG1	320	I	-77.96	1096.52	1.25	2	3	0.06	0.04	0.02	IO
Roof	RSG1	320	J	2.47	1059.95	1.25	2.02	3.04	0	0	0	IO
Roof	RSB2	322	I	-0.02	263.86	1.96	5.46	8.08	0	0	0	IO
Roof	RSB2	322	J	0	290.44	1.58	3.68	5.26	0	0	0	IO
Roof	RSG2	327	I	-2.83	438.39	1.74	4.54	6.38	0	0	0	IO
Roof	RSG2	327	J	13.55	438.39	1.74	4.54	6.38	0.02	0.01	0	IO
Roof	RSG2	328	I	35.8	473.55	1.63	4.03	5.59	0.05	0.02	0.01	IO
Roof	RSG2	328	J	-24.38	473.55	1.63	4.03	5.59	0.03	0.01	0.01	IO
Roof	RSG2	329	I	-2.41	497.51	1.61	3.89	5.38	0	0	0	IO
Roof	RSG2	329	J	6.7	497.51	1.61	3.89	5.38	0.01	0	0	IO
Roof	RSG1	331	I	5.79	1073.49	1.25	2.01	3.02	0	0	0	IO

기존 건축물 내진성능평가 예제집

층	단면	부재	절점	Demand	Capacity	m-Factor			DCR			판정
				M_n (kN·m)	M_c (kN·m)	IO	LS	CP	IO	LS	CP	
Roof	RSG1	331	J	-69.4	1073.49	1.25	2.01	3.02	0.05	0.03	0.02	IO
Roof	RSG1	334	I	48.96	1073.49	1.25	2.01	3.02	0.04	0.02	0.02	IO
Roof	RSG1	334	J	21.8	1073.49	1.25	2.01	3.02	0.02	0.01	0.01	IO
Roof	RSG2	346	I	9.37	497.51	1.61	3.89	5.38	0.01	0	0	IO
Roof	RSG2	346	J	5.35	497.51	1.61	3.89	5.38	0.01	0	0	IO
Roof	RSG2	347	I	7.3	460.44	1.66	4.15	5.79	0.01	0	0	IO
Roof	RSG2	347	J	3.8	499.43	1.6	3.88	5.37	0	0	0	IO
Roof	RSG2	348	I	-1.59	519.89	1.59	3.82	5.28	0	0	0	IO
Roof	RSG2	348	J	11.08	519.89	1.59	3.82	5.28	0.01	0.01	0	IO
Roof	RSTB	353	I	0	71.33	2.17	6.84	9.18	0	0	0	IO
Roof	RSTB	353	J	0	71.33	2.17	6.84	9.18	0	0	0	IO
Roof	RSB2	354	I	0	350.88	1.48	3.22	4.53	0	0	0	IO
Roof	RSB2	354	J	0	350.88	1.48	3.22	4.53	0	0	0	IO
Roof	RSG2	359	I	14.38	460.44	1.66	4.15	5.79	0.02	0.01	0.01	IO
Roof	RSG2	359	J	-67.66	499.43	1.6	3.88	5.37	0.08	0.03	0.03	IO
Roof	RSG1	361	I	-70.95	1039.63	1.26	2.03	3.06	0.05	0.03	0.02	IO
Roof	RSG1	361	J	-124.5	1046.4	1.26	2.03	3.05	0.09	0.06	0.04	IO
Roof	RSG1	363	I	-124.66	1048.66	1.26	2.02	3.05	0.09	0.06	0.04	IO
Roof	RSG1	363	J	8.67	1059.95	1.25	2.02	3.04	0.01	0	0	IO
Roof	RSB1	365	I	0	701.59	2.35	7.76	10.47	0	0	0	IO
Roof	RSB1	365	J	0	701.59	2.35	7.76	10.47	0	0	0	IO
Roof	RSB1	366	I	0	608.49	1	1	1	0	0	0	IO
Roof	RSB1	366	J	168.17	608.49	1	1	1	0.28	0.28	0.28	IO
Roof	RSB1	367	I	166.91	701.59	2.35	7.76	10.47	0.1	0.03	0.02	IO
Roof	RSB1	367	J	-0.24	701.59	2.35	7.76	10.47	0	0	0	IO
Roof	RSTB	372	I	0	31.88	1	1	1	0	0	0	IO
Roof	RSTB	372	J	0	31.88	1	1	1	0	0	0	IO
Roof	RSTB	385	I	0	33.68	1	1	1	0	0	0	IO
Roof	RSTB	385	J	0	33.68	1	1	1	0	0	0	IO

<이하 생략>

표2. 기둥 부재 성능수준 검토 테이블 예시 (하중조합(eLCB1), 재현주기: 1000년(인명안전))

층	단면	부재	절점	Demand			Capacity			m-Factor			DCR			판정
				M_{uy} (kN·m)	M_{uz} (kN·m)	P_u (kN)	$P_{u,C}$ (kN)	M_{cy} (kN·m)	M_{cz} (kN·m)	IO	LS	CP	IO	LS	CP	
Roof	SC3	451	I	-5.23	2.94	-14.5	3722.9	590.0	263.8	1.25	1.25	2	0.02	0.02	0.01	10
Roof	SC3	451	J	7.08	2.97	-12.8	3722.9	590.0	263.8	1.25	1.25	2	0.02	0.02	0.01	10
Roof	SC3	452	I	21.01	26.75	-2.9	3725.7	590.0	263.8	1.25	1.25	2	0.11	0.11	0.07	10
Roof	SC3	452	J	8.01	-1.54	-1.3	3725.7	590.0	263.8	1.25	1.25	2	0.02	0.02	0.01	10
Roof	SC4	478	I	6.98	5.44	-10.7	1962.2	215.4	99.9	1.32	1.7	2.57	0.07	0.05	0.04	10
Roof	SC4	478	J	1.74	1.01	-9.9	1962.2	215.4	99.9	1.32	1.7	2.57	0.02	0.01	0.01	10
Roof	SC3	479	I	7.04	1.29	-4.5	3728.6	590.0	263.8	1.25	1.25	2	0.01	0.01	0.01	10
Roof	SC3	479	J	0.34	9.39	-2.9	3728.6	590.0	263.8	1.25	1.25	2	0.03	0.03	0.02	10
4F	SC3	426	I	15.22	27.86	-31.5	3484.1	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.11	0.11	0.07	10
4F	SC3	426	J	55.34	52.73	-27.7	3484.1	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.24	0.24	0.15	10
4F	SC3	430	I	1.14	57.7	-89.3	3565.3	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.19	0.19	0.12	10
4F	SC3	430	J	61.56	67.91	-85.6	3565.3	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.3	0.3	0.19	10
4F	SC3	434	I	10.5	69.29	-115.0	3579.5	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.24	0.24	0.16	10
4F	SC3	434	J	67.06	66.36	-111.2	3579.5	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.31	0.31	0.2	10
4F	SC3	438	I	41.69	65.06	-31.3	3540.3	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.26	0.26	0.16	10
4F	SC3	438	J	77.39	37.01	-27.6	3540.3	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.22	0.22	0.14	10
4F	SC4	442	I	6.32	6.26	-21.2	1737.0	187.2	99.9	1.32	1.7	2.57	0.08	0.06	0.04	10
4F	SC4	442	J	21.83	24.87	-19.2	1737.0	187.2	99.9	1.32	1.7	2.57	0.28	0.22	0.15	10
4F	SC3	446	I	59.03	24.16	-117.7	3491.6	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.17	0.17	0.11	10
4F	SC3	446	J	11.59	12.77	-113.9	3491.6	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.07	0.07	0.05	10
4F	SC3	450	I	42.24	13.74	16.3	3221.6	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.11	0.1	0.06	10
4F	SC3	450	J	7.48	10.91	20.1	3221.6	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.05	0.05	0.03	10
4F	SC4	461	I	9.24	10.29	-18.1	1732.1	187.2	99.9	1.32	1.7	2.57	0.12	0.09	0.06	10
4F	SC4	461	J	13.7	19.68	-16.1	1732.1	187.2	99.9	1.32	1.7	2.57	0.21	0.16	0.11	10
4F	SC4	465	I	9.95	6.29	-17.2	1785.4	187.2	99.9	1.32	1.7	2.57	0.09	0.07	0.05	10
4F	SC4	465	J	6.03	5.83	-15.3	1785.4	187.2	99.9	1.32	1.7	2.57	0.07	0.05	0.04	10
4F	SC3	469	I	13.36	24.25	-60.2	3554.1	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.1	0.1	0.07	10
4F	SC3	469	J	11.96	51.75	-56.4	3554.1	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.18	0.18	0.12	10
4F	SC3	473	I	98.36	33.13	-202.0	3587.0	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.26	0.26	0.17	10
4F	SC3	473	J	-69.51	86.43	-198.3	3587.0	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.38	0.38	0.25	10
4F	SC3	477	I	80.5	75.16	-95.0	3540.3	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.35	0.35	0.22	10
4F	SC3	477	J	21.77	2.47	-91.2	3540.3	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.05	0.05	0.04	10
4F	SC3	558	I	35.29	-1.32	-39.2	3221.6	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.06	0.06	0.04	10

기존 건축물 내진성능평가 예제집

층	단면	부재	절점	Demand			Capacity			m-Factor			DCR			판정
				M_{uy} (kN·m)	M_{uz} (kN·m)	P_u (kN)	P_{nC} (kN)	M_{cy} (kN·m)	M_{cz} (kN·m)	IO	LS	CP	IO	LS	CP	
4F	SC3	558	J	73.85	0.14	-35.5	3221.6	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.11	0.11	0.07	10
4F	SC3	649	I	40.91	13.28	-61.8	3484.1	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.1	0.1	0.07	10
4F	SC3	649	J	74.46	61.47	-58.1	3484.1	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.3	0.3	0.19	10
4F	SC3	651	I	16.26	40.1	-223.5	3565.3	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.18	0.18	0.12	10
4F	SC3	651	J	72.43	74.64	-219.7	3565.3	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.36	0.36	0.23	10
4F	SC2	653	I	3.84	83.28	-320.9	5229.4	1024.6	469.9	1.25	1.25	2	0.18	0.18	0.12	10
4F	SC2	653	J	0.04	105.08	-315.5	5229.4	1024.6	469.9	1.25	1.25	2	0.21	0.21	0.14	10
4F	SC3	654	I	67.69	88.75	-133.5	3540.3	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.38	0.38	0.24	10
4F	SC3	654	J	110.08	8.69	-129.7	3540.3	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.19	0.19	0.13	10
3F	SC3	425	I	27.44	48.33	-58.8	3448.1	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.19	0.19	0.12	10
3F	SC3	425	J	69.85	57.53	-55.0	3448.1	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.28	0.28	0.18	10
3F	SC3	429	I	22.18	86.07	-172.3	3545.2	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.32	0.32	0.21	10
3F	SC3	429	J	77.11	85.41	-168.6	3545.2	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.39	0.39	0.25	10
3F	SC3	433	I	39.53	104.5	-198.8	3571.7	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.4	0.4	0.26	10
3F	SC3	433	J	63.59	87.14	-195.0	3571.7	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.38	0.38	0.25	10
3F	SC3	437	I	89.88	97.15	-57.2	3535.1	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.43	0.43	0.27	10
3F	SC3	437	J	86.44	56.57	-53.5	3535.1	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.3	0.3	0.19	10
3F	SC4	441	I	6.2	9.54	-49.2	1662.9	187.2	99.9	1.32	1.7	2.57	0.11	0.09	0.06	10
3F	SC4	441	J	14.46	19.12	-47.2	1662.9	187.2	99.9	1.32	1.7	2.57	0.22	0.17	0.12	10
3F	SC3	445	I	67.64	34.39	-153.1	3456.9	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.22	0.22	0.14	10
3F	SC3	445	J	32.07	29.28	-149.3	3456.9	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.15	0.15	0.1	10
3F	SC3	449	I	54.23	18.66	-27.8	3422.1	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.14	0.13	0.08	10
3F	SC3	449	J	-2.19	16.1	-24.1	3422.1	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.06	0.06	0.03	10
3F	SC4	460	I	9.5	11.68	-16.4	1650.5	187.2	99.9	1.32	1.7	2.57	0.13	0.1	0.07	10
3F	SC4	460	J	12.1	14.34	-14.4	1650.5	187.2	99.9	1.32	1.7	2.57	0.16	0.13	0.09	10
3F	SC4	464	I	14.01	9.88	35.0	1404.6	187.2	99.9	1.32	1.7	2.57	0.16	0.11	0.07	10
3F	SC4	464	J	13.44	10.07	37.0	1404.6	187.2	99.9	1.32	1.7	2.57	0.16	0.11	0.07	10
3F	SC3	468	I	17.83	40.38	-16.3	3556.8	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.15	0.15	0.09	10
3F	SC3	468	J	21.13	73.08	-12.5	3556.8	587.4	263.8	1.25	1.25	2	0.26	0.25	0.16	10

<이하 생략>

표3. 가새 부재 성능수준 검토 테이블 예시 (하중조합(eLCB1), 재현주기: 1000년(인명안전))

층	단면	부재	절점	Demand	Capacity		m-Factor			DCR			판정
				P_u (kN)	P_{nC} (kN)	P_{nT} (kN)	IO	LS	CP	IO	LS	CP	
Roof	L 75x6	543	I	6.15	58.72	357.37	1.25	4	5.6	0.01	0	0	10
Roof	L 75x6	543	J	6.27	58.72	357.37	1.25	4	5.6	0.01	0	0	10
Roof	L 75x6	544	I	5.02	58.72	357.37	1.25	4	5.6	0.01	0	0	10
Roof	L 75x6	544	J	5.13	58.72	357.37	1.25	4	5.6	0.01	0	0	10
Roof	L 75x6	567	I	1.54	50.58	357.37	1.25	4	5.6	0	0	0	10
Roof	L 75x6	567	J	1.66	50.58	357.37	1.25	4	5.6	0	0	0	10
Roof	L 75x6	568	I	7.34	50.58	357.37	1.25	4	5.6	0.02	0.01	0	10
Roof	L 75x6	568	J	7.46	50.58	357.37	1.25	4	5.6	0.02	0.01	0	10
4F	L 75x6	541	I	82.95	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.19	0.06	0.04	10
4F	L 75x6	541	J	83.23	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.19	0.06	0.04	10
4F	L 75x6	542	I	58.81	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.13	0.04	0.03	10
4F	L 75x6	542	J	59.08	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.13	0.04	0.03	10
4F	L 75x6	551	I	56.34	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.13	0.04	0.03	10
4F	L 75x6	551	J	56.62	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.13	0.04	0.03	10
4F	L 75x6	552	I	76.17	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.17	0.05	0.04	10
4F	L 75x6	552	J	76.45	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.17	0.05	0.04	10
4F	L 75x6	565	I	39.35	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.09	0.03	0.02	10
4F	L 75x6	565	J	39.62	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.09	0.03	0.02	10
4F	L 75x6	566	I	28.97	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.06	0.02	0.01	10
4F	L 75x6	566	J	29.25	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.07	0.02	0.01	10
3F	L 75x6	539	I	144.22	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.32	0.1	0.07	10
3F	L 75x6	539	J	144.5	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.32	0.1	0.07	10
3F	L 75x6	540	I	125.54	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.28	0.09	0.06	10
3F	L 75x6	540	J	125.82	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.28	0.09	0.06	10
3F	L 75x6	549	I	122.72	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.27	0.09	0.06	10
3F	L 75x6	549	J	122.99	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.28	0.09	0.06	10
3F	L 75x6	550	I	141.05	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.32	0.1	0.07	10
3F	L 75x6	550	J	141.32	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.32	0.1	0.07	10
3F	L 75x6	563	I	57.9	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.13	0.04	0.03	10
3F	L 75x6	563	J	58.17	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.13	0.04	0.03	10
3F	L 75x6	564	I	49.2	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.11	0.03	0.02	10

기존 건축물 내진성능평가 예제집

3F	L 75x6	564	J	49.47	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.11	0.03	0.02	10
2F	L 75x6	537	I	184.34	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.41	0.13	0.09	10
2F	L 75x6	537	J	184.62	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.41	0.13	0.09	10
2F	L 75x6	538	I	176.78	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.4	0.12	0.09	10
2F	L 75x6	538	J	177.05	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.4	0.12	0.09	10
2F	L 75x6	547	I	170.41	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.38	0.12	0.09	10
2F	L 75x6	547	J	170.69	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.38	0.12	0.09	10
2F	L 75x6	548	I	179.93	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.4	0.13	0.09	10
2F	L 75x6	548	J	180.2	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.4	0.13	0.09	10
2F	L 75x6	561	I	75.9	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.17	0.05	0.04	10
2F	L 75x6	561	J	76.17	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.17	0.05	0.04	10
2F	L 75x6	562	I	67.74	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.15	0.05	0.03	10
2F	L 75x6	562	J	68.02	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.15	0.05	0.03	10
1F	L 75x6	535	I	63.29	65.55	357.37	1.25	4	5.6	0.14	0.04	0.03	10
1F	L 75x6	535	J	63.62	65.55	357.37	1.25	4	5.6	0.14	0.04	0.03	10
1F	L 75x6	536	I	53.24	65.55	357.37	1.25	4	5.6	0.12	0.04	0.03	10
1F	L 75x6	536	J	53.57	65.55	357.37	1.25	4	5.6	0.12	0.04	0.03	10
1F	L 75x6	545	I	73.82	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.17	0.05	0.04	10
1F	L 75x6	545	J	74.14	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.17	0.05	0.04	10
1F	L 75x6	546	I	52.1	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.12	0.04	0.03	10
1F	L 75x6	546	J	52.43	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.12	0.04	0.03	10
1F	L 150x15	553	I	466.94	189.59	1750.2	1.25	4	5.6	0.21	0.07	0.05	10
1F	L 150x15	553	J	468.54	189.59	1750.2	1.25	4	5.6	0.21	0.07	0.05	10
1F	L 150x15	554	I	481.48	189.59	1750.2	1.25	4	5.6	0.22	0.07	0.05	10
1F	L 150x15	554	J	483.08	189.59	1750.2	1.25	4	5.6	0.22	0.07	0.05	10
1F	L 75x6	559	I	21.53	65.55	357.37	1.25	4	5.6	0.05	0.02	0.01	10
1F	L 75x6	559	J	21.85	65.55	357.37	1.25	4	5.6	0.05	0.02	0.01	10
1F	L 75x6	560	I	45.26	65.55	357.37	1.25	4	5.6	0.1	0.03	0.02	10
1F	L 75x6	560	J	45.59	65.55	357.37	1.25	4	5.6	0.1	0.03	0.02	10

<이하 생략>



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)

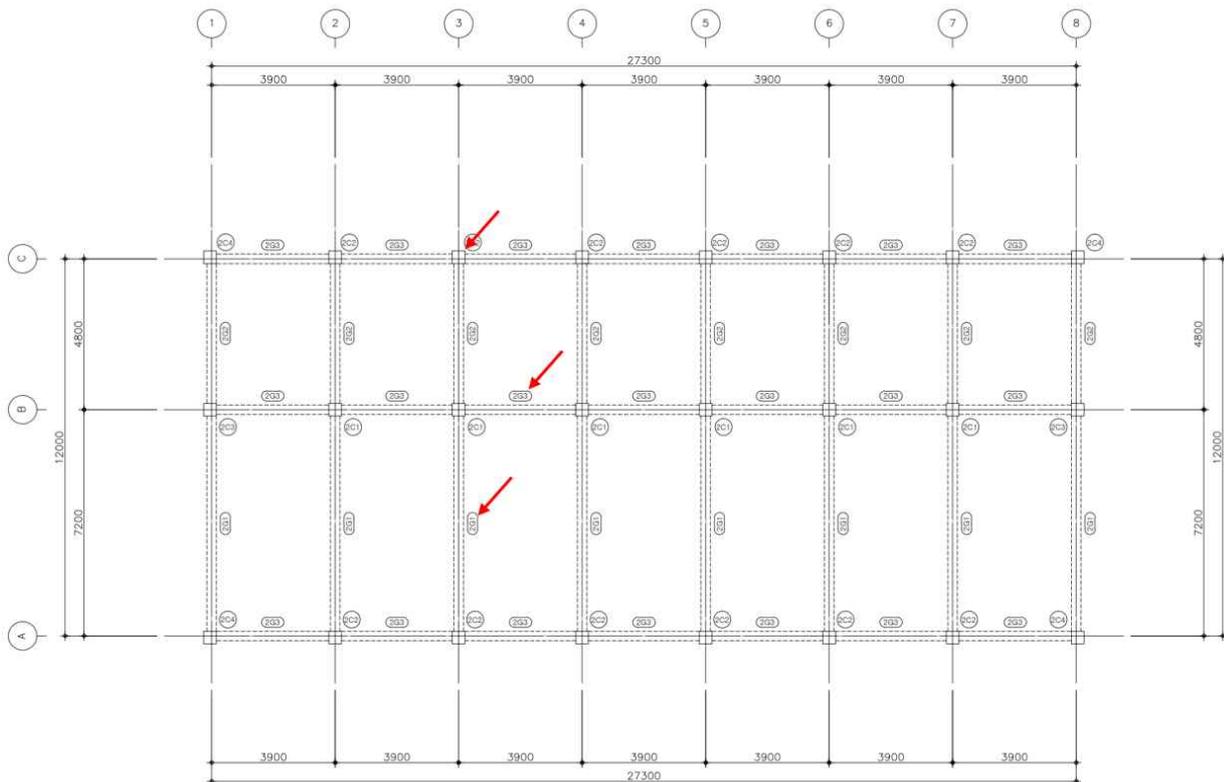


그림 4.1 예시 부재의 위치

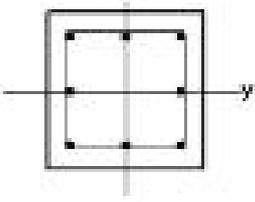
기존 건축물 내진성능평가 예제집

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		잔류강도비	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.

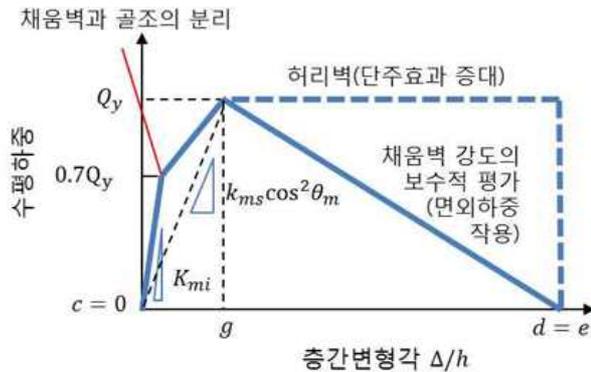
2) 골조와 채움벽의 강도비 β 는 V_{frame}/V_m 로 산정한다.

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.

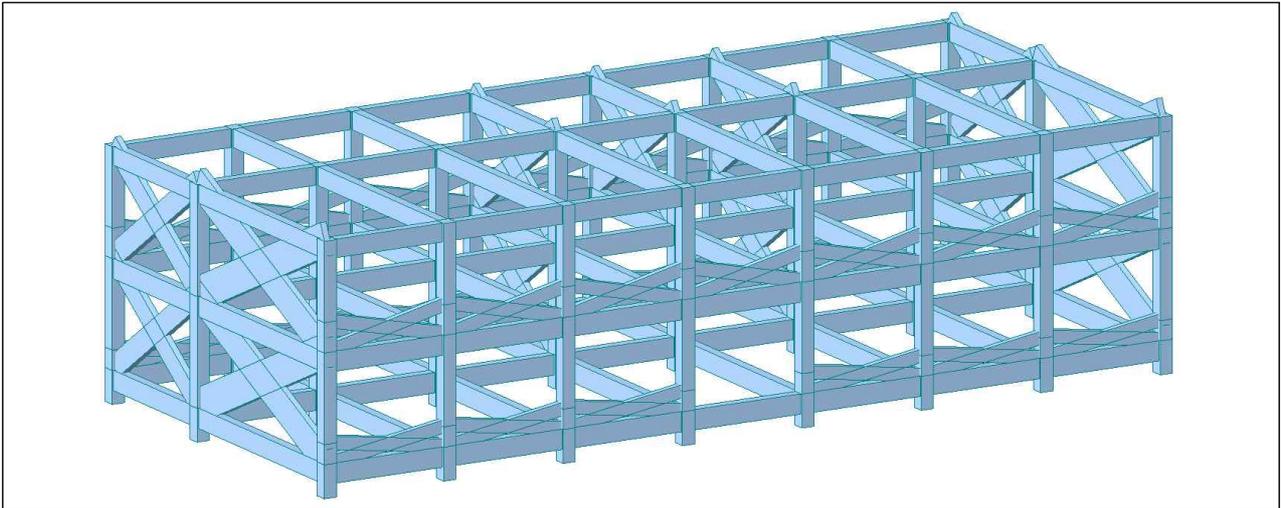


그림 4.2 3D 뷰

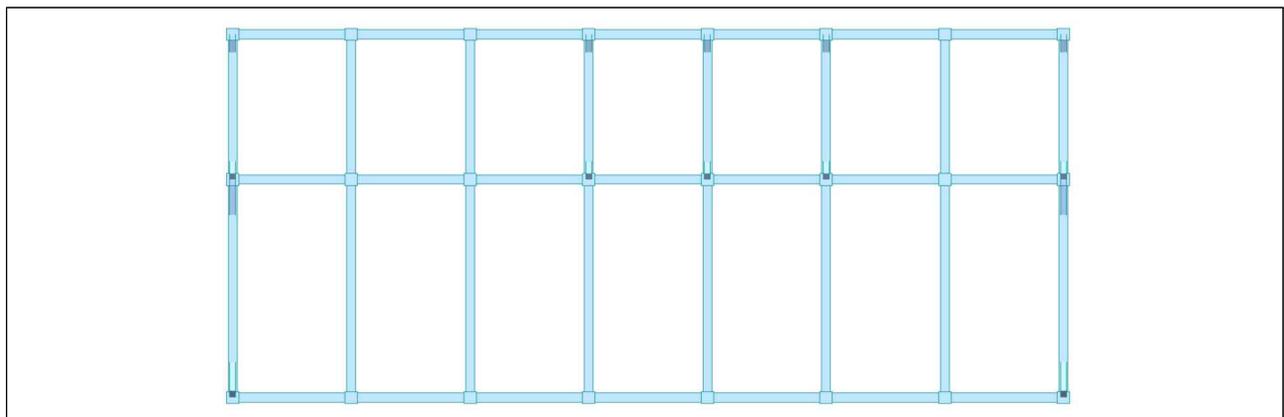


그림 4.3 평면

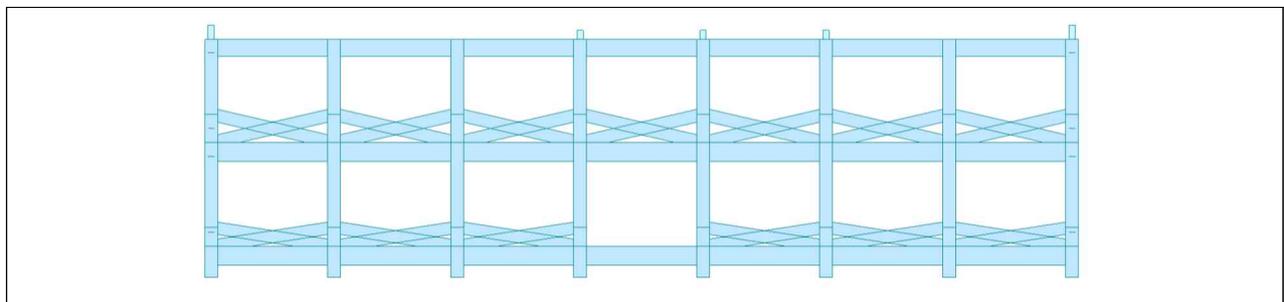


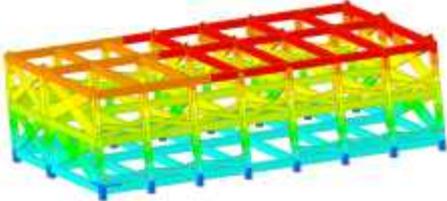
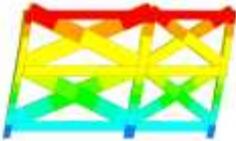
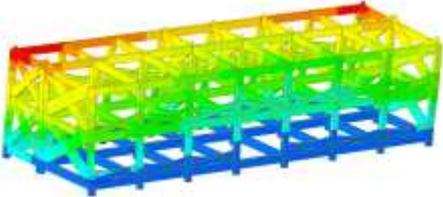
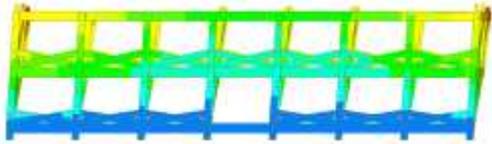
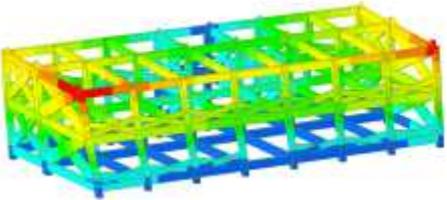
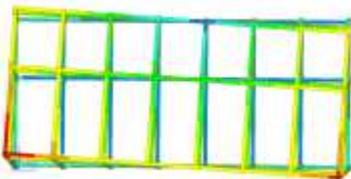
그림 4.4 입면

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

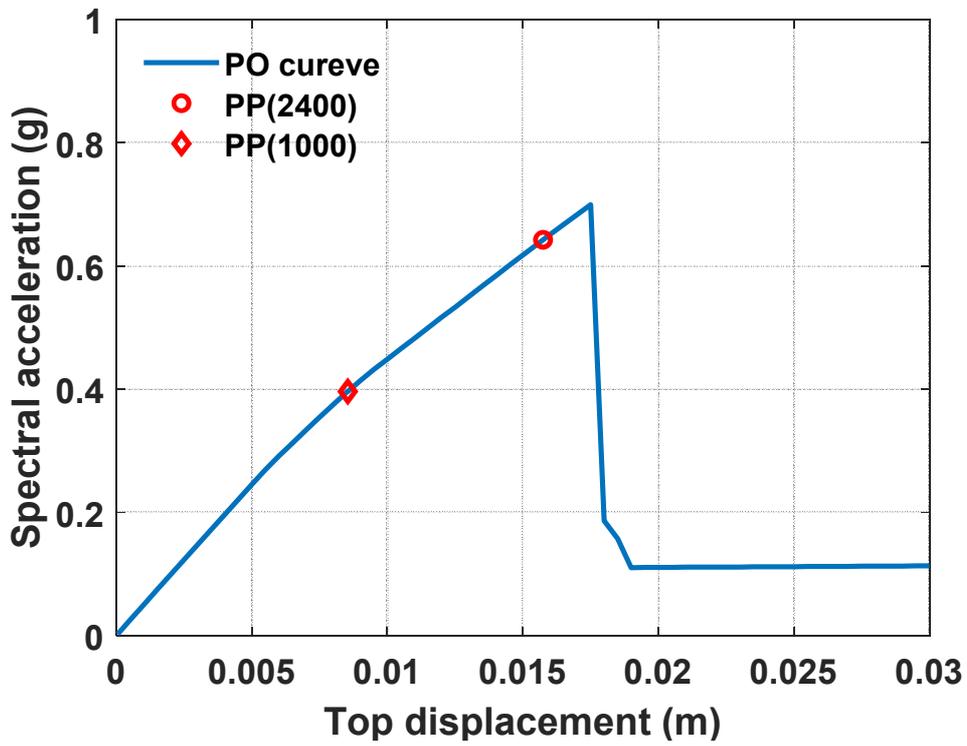
(1) 비선형정적절차 적용시 해석 조건은 다음과 같음

표 5.2 비선형정적절차 해석조건

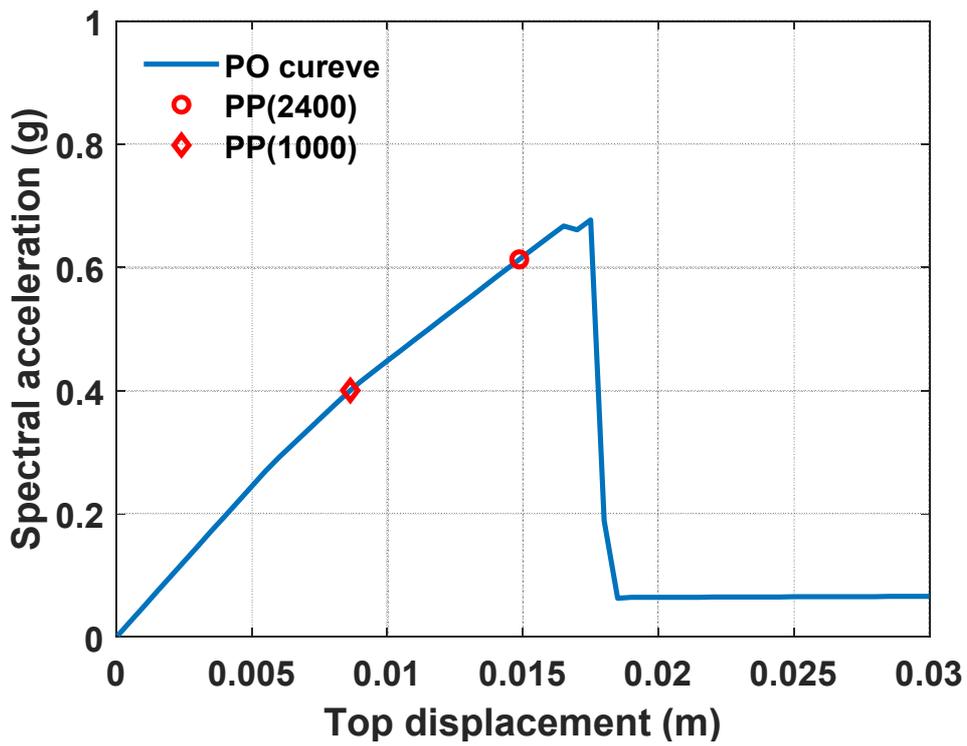
해석조건	적용 여부
초기하중	1.0D+0.25L (중력하중)
P-delta 효과 고려	고려
기하비선형 고려	고려않음
해석 Step 수	200
성능점 산정 알고리즘	FEMA-440 Procedure-A
Damping & Period Parameters Model	Strength Degrading

(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.

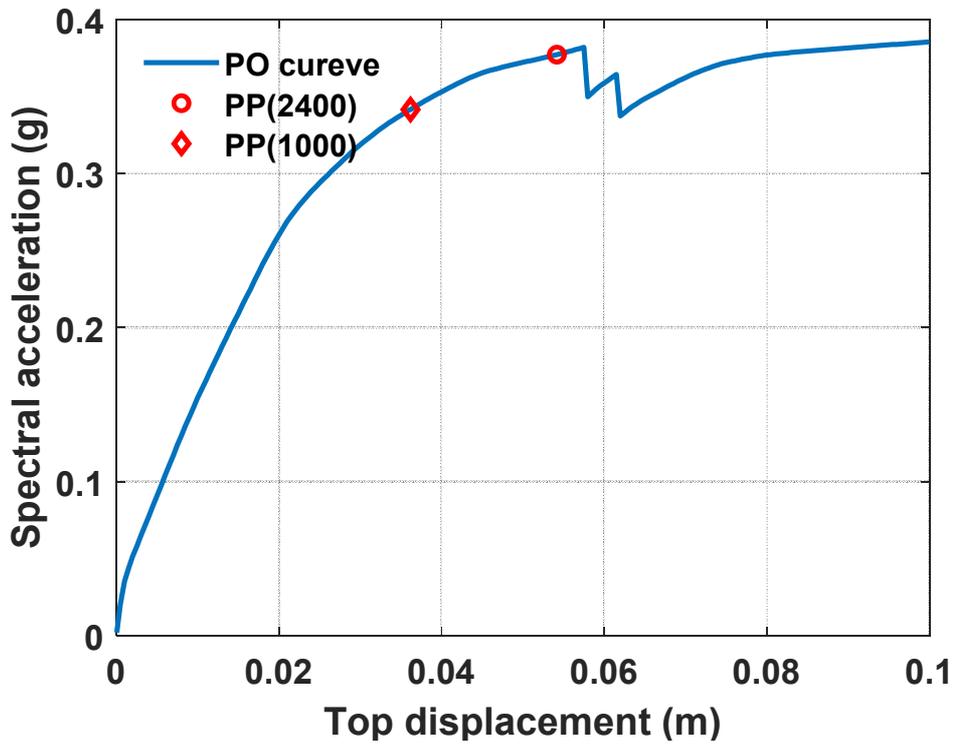
① +X 방향



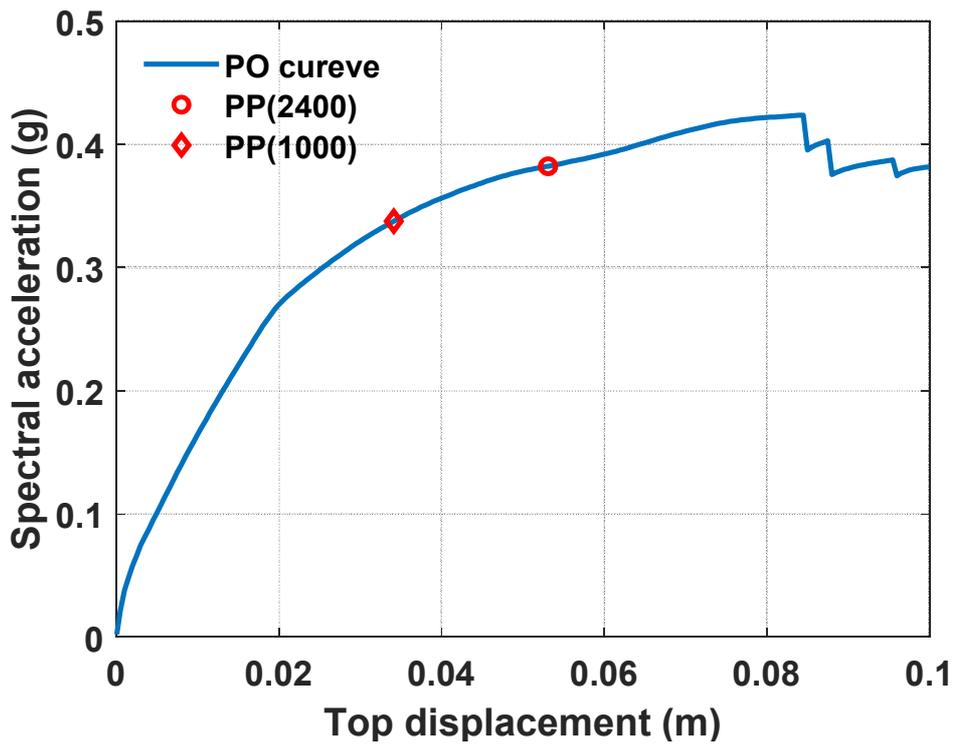
② -X 방향



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)	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

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	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 총간변형각을 모두 만족함

표 8.1 최종 평가결과

해석 방법	성능 목표	방향	중력하중저항능력	붕괴부재	허용총간변형각	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	횡보 강근	주철근 비	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.

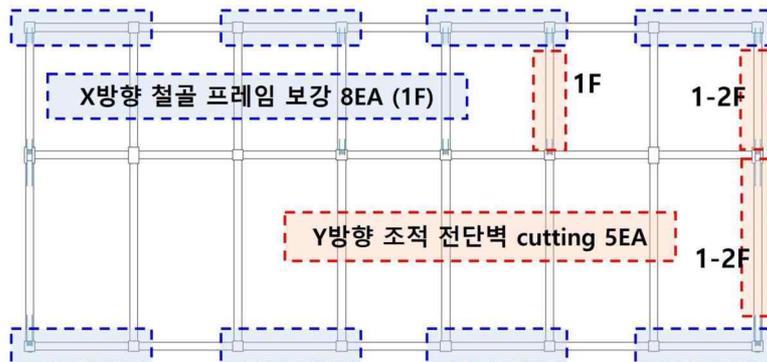


그림 9.1 철골 가새 골조 보강안 위치

(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

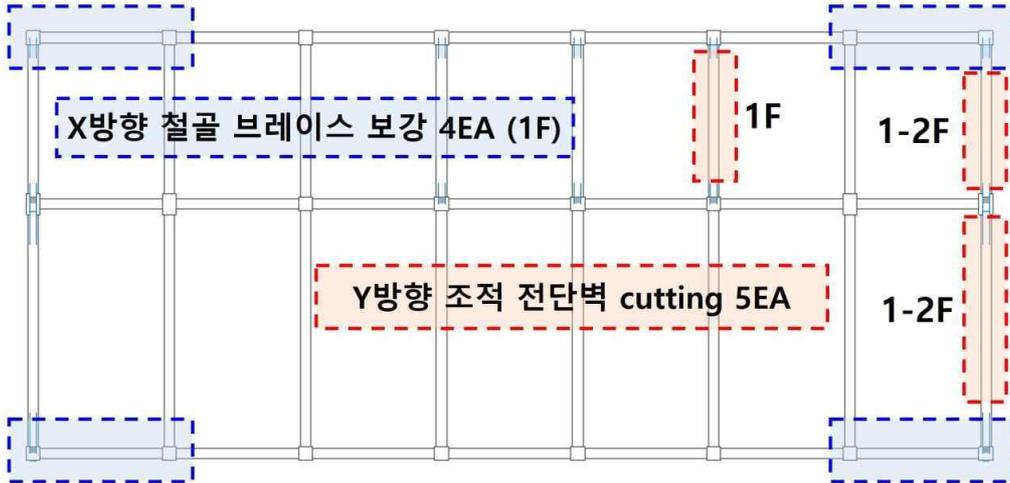


그림 9.2 내부 철골 브레이스 보강 위치

(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.

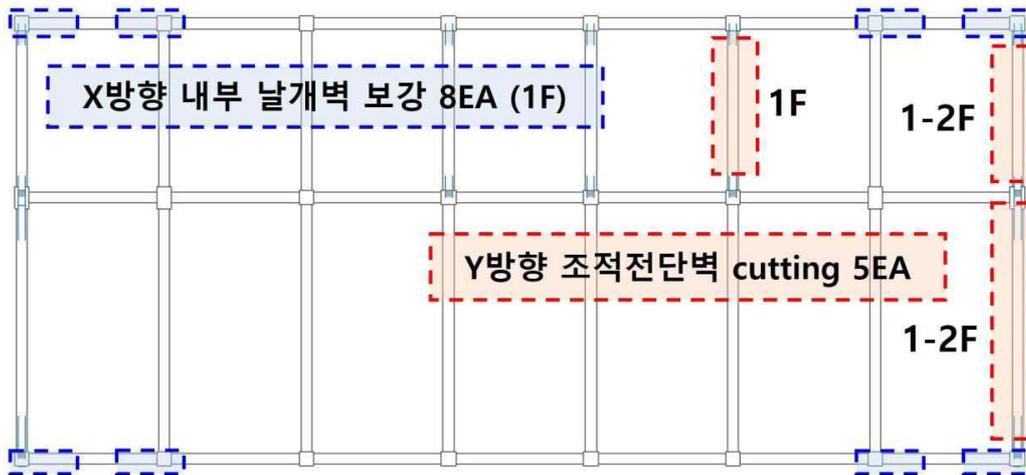


그림 9.3 기둥 날개벽 보강 위치

(2) 보강물량 산정

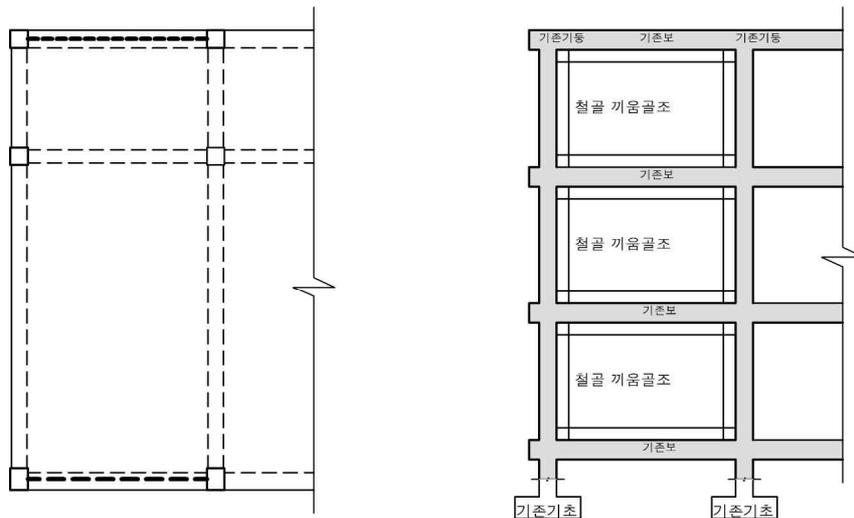
표 9.3 기둥 날개벽 보강시 보강물량

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.



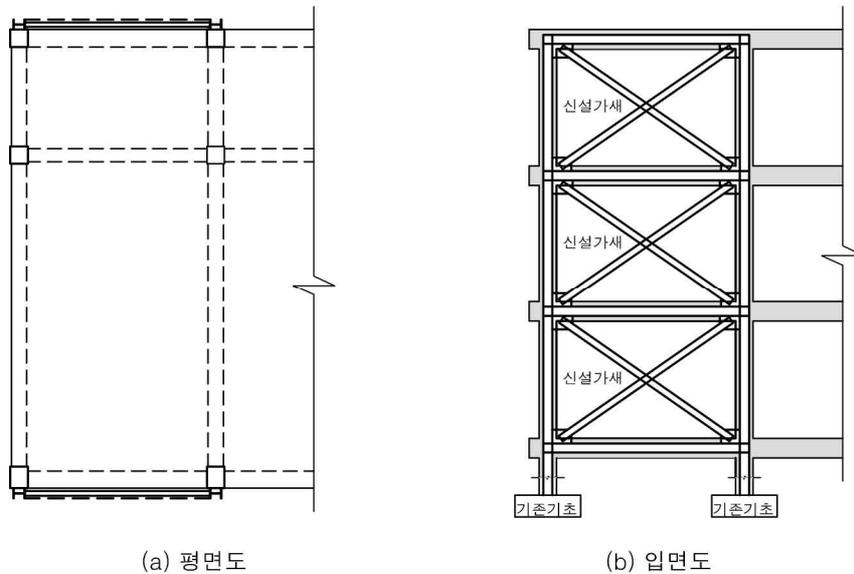
(a) 평면도

(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.

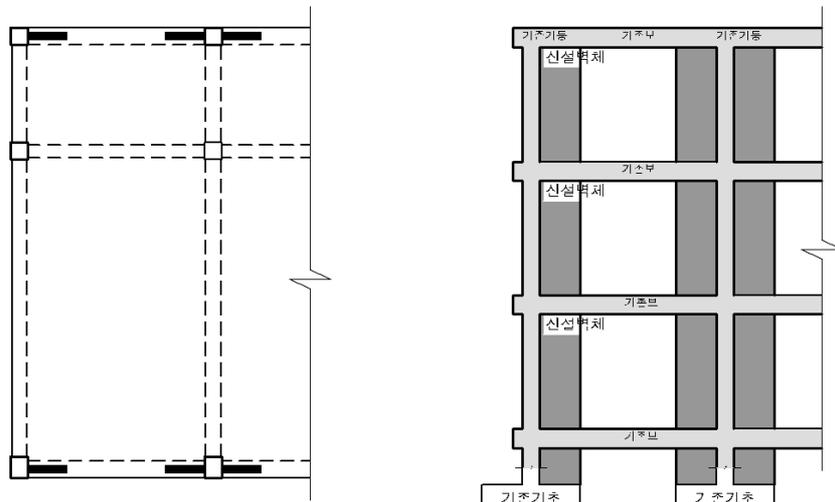


향상 요령 [그림 3.7] 철골 가새골조 신설

기존 건축물 내진성능평가 예제집

(3) 기동 날개벽 보강

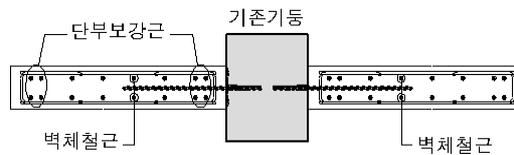
- ① 기동날개벽 공법은 철근콘크리트 골조 기동의 좌우에 일정 크기의 철근콘크리트 날개벽을 설치하여 내진성능을 향상시키는 방법을 가리킨다.
- ② 날개벽은 평면적, 입면적으로 균형있게 설치하여야 한다.
- ③ 날개벽과 주변 부재와의 연결부는 기존 구조체와 신설 날개벽의 연결부는 전단벽체의 증설에서와 동일하며 조합된 설계하중을 충분히 전달할 수 있도록 설계되어야 한다. 신설된 벽체 주변 골조의 기동과 보는 보강전단벽의 경계요소로 거동하므로 강도, 정착, 변형적합성 등을 충분히 검토하여야 한다.
- ④ 일반적으로 날개벽은 보 상하부 사이에 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.



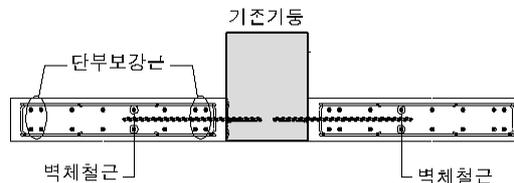
(a) 평면도

(b) 입면도

향상요령 [그림 3.3] 기동날개벽 증설



(a) 기동중앙에 설치되는 경우



(b) 기동 끝단에 설치되는 경우

향상요령 [그림 3.4] 기동날개벽 증설 상세



비선형동적절차

1. 건물개요

1.1 일반사항

- (1) 건물명 : 00 빌딩
- (2) 소재지 : 서울특별시 00구
- (3) 건물용도 : 판매시설, 업무시설
- (4) 준공연도 : 2002년
- (5) 구조형식 : 철골조(중심가새골조)
- (6) 내진설계 여부 : 미적용
- (7) 기초형식 : 매트기초+말뚝기초

1.2 건물규모

- (1) 층 수 : 지상 24층
- (2) 지하층 : 없음
- (3) 건물높이 : 100.3m (층고 4.1m)
- (4) 건물길이 : 장변방향 (X방향) : $4.5\text{m} \times 9\text{bay} = 40.5\text{m}$
단변방향 (Y방향) : $6.0\text{m} \times 2\text{bay} + 12.0 \times 1\text{bay} + 6.0\text{m} \times 2\text{bay} = 36\text{m}$
- (5) 연면적 : $34,700.4 \text{ m}^2$

1.3 구조변경 이력사항

- (1) 증축 여부 : 없음
- (2) 신축줄눈 : 없음

1.4 내진등급 및 성능목표

(1) 내진등급 및 중요도계수

대상 건물은 “KDS 41 10 05 건축구조기준 총칙”의 “3. 건축물의 중요도분류”에 따라 중요도(1)에 해당하여, “KDS 41 17 00”의 <표 2.2-1>에 따라 내진등급 I임.

(2) 내진성능목표

대상 건물은 요령 “2.1 최소성능목표”에 제시된 <표 2.1.4>에 따라 내진등급 I 건물에 요구되는 성능목표인 재현주기 2400년 지진에 대한 ‘붕괴방지’ 수준과 1400년 지진에 대한 ‘인명보호’ 수준을 목표내진성능으로 설정함.

기존 건축물 내진성능평가 예제집

[참조]

내진등급(KDS 41 17 00 표 2.2-1)

건축물의 중요도1)	내진등급
중요도(특)	특
중요도(1)	I
중요도(2), (3)	II

1) KDS 41 10 05(3.)에 따름.

요령 표 2.1.4 건축물의 내진등급별 최소성능목표(KDS 41 17 00 표 15.3-1)

내진등급	성능목표	
	재현주기	성능수준
특	2400년	인명보호
	1000년 ²⁾	기능수행
I	2400년	붕괴방지 ¹⁾
	1400년 ²⁾	인명보호
	100년	기능수행
II	2400년	붕괴방지
	1000년	인명보호
	50년	기능수행

1) 내진등급 건축물의 붕괴방지 검토시에는 붕괴방지 허용기준을 1.2로 나눈 값(혹은 인명안전과 붕괴방지의 중간수준의 허용기준)을 적용한다. 이때, 허용기준은 부재의 성능수준 결정 시 변형량과 관계된 허용기준을 의미한다. 단, 허용충간변형각은 1.2로 나누지 않고 표 4.6.1의 값을 그대로 사용한다.

2) 1000년 재현주기 지진의 크기는 2400년 재현주기 지진의 2/3로 정의한다. 1400년 재현주기 지진의 크기는 1000년 재현주기 지진 크기의 1.2배로 정의한다.

기존 건축물 내진성능평가 예제집

(3) 부재정보

표 2.1 보 부재 정보

부재이름	해당 층	부재 치수 (mm)
G1	2F ~ R00F	H-800x300x14x26
G1A	2F ~ R00F	H-700x300x13x24
G2	2F ~ R00F	H-700x300x13x24
G11	2F ~ R00F	H-700x300x13x24
G11A	2F ~ R00F	H-700x300x13x24
G12	2F ~ 24F	H-700x300x13x24
	R00F	H-600x200x11x17
G12A	2F ~ 24F	H-700x300x13x24
	R00F	H-600x200x11x17
B1	2F ~ R00F	H-498x432x45x70
B1A	2F ~ R00F	H-600x200x11x17
B2	2F ~ R00F	H-700x300x13x24
B1001	2F ~ R00F	H-150x150x7x10
B1002	2F ~ R00F	H-350x175x7x11

표 2.2 기둥 부재 정보

부재이름	해당 층	부재 치수 (mm)
C1	1F ~ 8F	H-1100x1000x60x80
	9 ~ 17F	H-900x800x40x60
	18 ~ R00F	H-900x700x30x40
C2	1F ~ 8F	H-1100x950x50x50
	9 ~ 17F	H-900x900x35x40
	18 ~ R00F	H-800x800x25x35
C2A	1F ~ 8F	H-1100x750x40x60
	9 ~ 17F	H-900x750x40x60
	18 ~ R00F	H-750x750x30x30
C3	1F ~ 8F	H-900x600x25x40
	9 ~ 17F	H-800x300x25x25
	18 ~ R00F	H-600x600x25x25
C4	1F ~ 8F	H-900x600x25x40
	9 ~ 17F	H-800x600x25x25
	18 ~ R00F	H-600x600x25x25
C5	1F ~ 8F	H-900x900x35x50
	9 ~ 17F	H-800x800x25x40
	18 ~ R00F	H-700x700x25x30
C101	17 ~ R00F	H-500x300x25x25

표 2.3 가새 부재 정보

부재이름	해당 층	부재 치수 (mm)
BR5	1 ~ R00F	H-582x300x12x17
BR6	1 ~ R00F	H-440x300x11x18

기존 건축물 내진성능평가 예제집

2.2 현장조사

(1) 현장조사 결과

- ① 요령 “1.2.1 현장조사” 에 따라 요령 <표 1.2.1> 제시된 각 항목에 대한 조사를 수행하여 설계도서를 검증하고 평가에 필요한 정보를 취득해야함. 설계도서가 없을 경우 체계적인 현장조사를 통해 구조도면을 작성하고 요령 <표 1.2.1>에 제시된 항목에 대한 정보를 취득해야함. 그 결과를 내진성능평가보고서에 제공해야 하나, 본 예제에서는 생략함.

이 예제에서는 구체적인 현장조사 결과를 제시하지 않으나 실제 내진성능평가에서는 요령의 요구사항과 이 예제집 6장을 참고하여 현장조사를 수행하고 그 결과를 보고서에 수록하여야 함.

(2) 재료 강도

- ① 재료 강도는 설계도면에 표시된 값을 사용함.
- ② 설계도면에 표시된 강도를 사용함. 도면에 표시되지 않은 경우 (구)SS400으로 간주함.

표 2.4 재료 강도

재 료	구 분	규 격	설계기준강도 (Fy)			인장강도 (Fu)
			40mm 이하	40mm 초과 75mm 이하	75mm 초과 100mm 이하	
철골	전층(기둥)	(구)SM490	315 MPa	295 MPa	295 MPa	490 MPa
철골	전층(보)	(구)SS400	235 MPa	215 MPa	215 MPa	400 MPa
철골	전층(가새)	(구)SM490	315 MPa	295 MPa	295 MPa	490 MPa

(3) 지반조사

- ① 지반조사보고서에 따르면 해당 건물은 지반조건은 S4로 분류됨.

3. 하중

3.1 중력하중

표 3.1 중력하중 (단위 : kN/m²)

용 도(층)	고정하중 (DL)		활하중 (LL)
지 붕 (RF)	무근콘크리트 (t=150mm)	3.45	3.00
	데크슬래브 (t=175mm)	3.45	
	천정	0.40	
	-----	-----	
	소계	7.30	
공 조 실	무근콘크리트 (t=100mm)	2.30	6.00
	데크슬래브 (t=175mm)	3.45	
	천정	0.40	
	-----	-----	
	소계	6.15	
판 매 장	이중바닥	0.75	4.00
	데크슬래브 (t=175mm)	3.45	
	칸막이벽	1.00	
	천장	0.40	
	-----	-----	
	소계	5.60	
사 무 실	이중바닥	0.75	2.50
	데크슬래브 (t=175mm)	3.45	
	칸막이벽	1.00	
	천장	0.40	
	-----	-----	
	소계	5.60	
로 비	대리석 및 모르타르 마감	1.75	5.00
	데크슬래브 (t=175mm)	3.45	
	천장	0.40	
	-----	-----	
	소계	5.60	
계 단 계 단 참 (전층)	철골 자중	0.75	5.00
	마감 (t=200mm)	2.00	
	-----	-----	
	소계	2.75	
창 고 다 목 적 실	무근콘크리트 (t=100mm)	2.30	6.00
	데크슬래브 (t=175mm)	3.45	
	천장	0.40	
	-----	-----	
	소계	6.15	

기존 건축물 내진성능평가 예제집

3.2 유효건물중량(질량)

- (1) 지진하중 산정을 위한 질량은 요령 “4.1.1.2 질량”에 따라 KDS 41 17 00의 식 (7.2-1)에 정의된 유효건물중량을 중력가속도로 나눈 값을 사용함.
- (2) KDS 41 17 00에 정의된 유효건물중량은 고정하중에 ① 창고 활하중의 25%, ② 칸막이벽 실제 중량과 0.5 kN/m² 중 큰 값, ③ 영구설비의 총하중, ④ 평지붕 적설하중의 20%, ⑤ 옥상정원이나 이와 유사한 곳에서 조경과 이에 관련된 재료의 무게를 추가함.
- (3) 본 예제 건물은 ①-⑤까지 해당사항이 없으므로 고정하중만을 유효건물중량에 포함.

표 3.2 층별 유효중량

층	높이 (m)	바닥면적 (m ²)	하중 (kN)
			고정하중
지붕층	100.3	1445.9	12474.7
24F	96.2	1445.9	9704.9
23F	92.1	1445.9	9751.9
22F	88.0	1445.9	9714.3
21F	83.9	1445.9	9788.2
20F	79.8	1445.9	9848.5
19F	75.7	1445.9	9900.7
18F	71.6	1445.9	10049.9
17F	67.5	1445.9	9855.7
16F	63.4	1445.9	10058.2
15F	59.3	1445.9	9972.0
14F	55.2	1445.9	9855.1
13F	51.1	1445.9	9886.5
12F	47.0	1445.9	9960.7
11F	42.9	1445.9	9785.1
10F	38.8	1445.9	9769.4
9F	34.7	1445.9	9797.7
8F	30.6	1445.9	9807.7
7F	26.5	1445.9	9777.0
6F	22.4	1445.9	9852.8
5F	18.3	1445.9	9346.2
4F	14.2	1445.9	10652.4
3F	10.1	1445.9	9932.4
2F	6	1445.9	9691.1
총 중량			239233.3

3.3 지진하중

(1) 지진구역, 지진구역계수 및 위험도계수

- ① 지진구역 및 지진구역계수의 값은 평가요령 2.2 지진위험도에 제시된 평가요령 표 2.2.1에 따라 적용할 수 있으며 재현주기별 유효지반가속도(S)는 평가요령 표 2.2.1에 제시된 지진구역계수(Z)에 평가요령 표 2.2.2에서 제시된 위험도계수(I)를 곱한 값을 사용할 수 있음.
- ② 예제 건물은 서울특별시에 위치하여 지진구역은 I, 지진구역계수는 0.11g를 적용하였음.
- ③ 예제 건물의 위험도 계수는 목표 성능에 따라 아래 평가요령 표 2.2.2에 근거하여 산정하였음.

[참조] 요령 표 2.2.1 지진구역 및 지진구역계수

지진구역	행정구역		지진구역계수(Z)
I	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종	0.11g
	도	경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부*	
II	도	강원 북부**, 제주	0.07g

* 강원 남부 : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백

** 강원 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초

[참조] 요령 표 2.2.2 재현주기에 따른 위험도계수

재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년	4800년
위험도계수(I)	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0	2.6

(2) 유효지반가속도

- ① 2400년 재현주기 유효지반가속도(S)는 요령의 식 (2.2.1)에 따라 지진구역계수(Z) 0.11g에 위험도계수(I) 2.0을 곱해 0.22g가 되나, 국가지진위험지도(소방방재청, 2013)를 이용하여 0.176g를 사용함.

(3) 지반증폭계수

- ① 단주기지반증폭계수와 1초주기 지반증폭계수는 요령 “2.2.2.3 지반증폭계수”의 <표 2.2.4> 및 <표 2.2.5>에 따라 산정함.
- ② 2400년 재현주기 유효지반가속도(S) 0.176g와 지반종류 S_4 에 해당하는 계수는 다음과 같음.

단주기 지반증폭계수: $F_a = 1.45$

1초주기 지반증폭계수: $F_v = 2.05$

(4) 가속도응답스펙트럼

- ① 2400년 재현주기 가속도응답스펙트럼(S_o)은 요령 “2.2.3 평가지진의 가속도응답스펙트럼”의 식 (2.2.2), (2.2.3), (2.2.4)에 따라 산정함.

$$S_{XS} = S \times 2.5 \times F_a = 0.176 \times 2.5 \times 1.45 = 0.638g$$

$$S_{X1} = S \times F_v = 0.176 \times 2.05 = 0.3608g$$

$$T_o = 0.2S_{X1}/S_{XS} = 0.1131sec, \quad T_s = S_{X1}/S_{XS} = 0.5655sec, \quad T_L = 5sec$$

기존 건축물 내진성능평가 예제집

- ② 1400년 재현주기 가속도응답스펙트럼(S_a)은 요령 <표 2.1.4>의 ‘주 2)’에 따라 1000년 재현주기 지진을 1.2배하여 사용함.

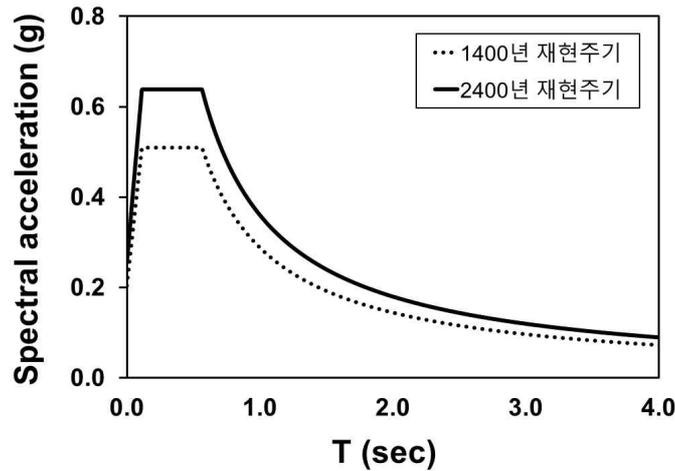


그림 3.1 가속도응답스펙트럼(1400년 및 2400년 재현주기)

(5) 지진파 선정

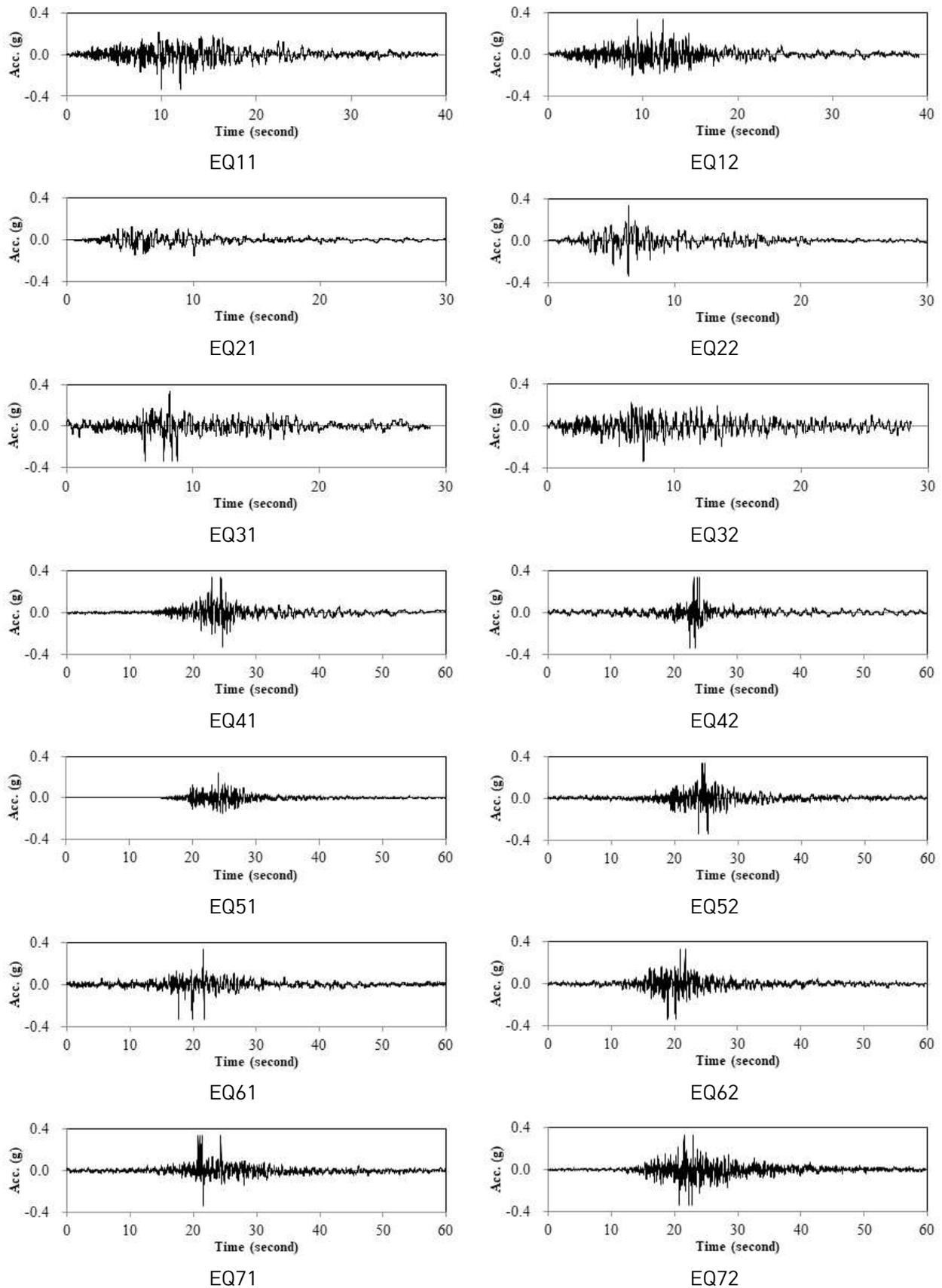
- ① 요령 “4.4.3 평가용 지진파”의 (2)항에 따라 관측소에서 계측된 평면상에서 서로 직교하는 2성분의 쌍으로 구성된 개별 지반운동을 성분별로 5% 감쇠비의 응답스펙트럼을 작성하고, 주기별로 제합합제곱근(SRSS)을 취하여 제합합제곱근 스펙트럼을 산정하며, 이 제합합제곱근 스펙트럼들의 평균값이 설계대상 구조물 기본진동주기의 0.2배부터 1.5배 사이에 해당되는 주기에 대해서 평가지진 가속도응답스펙트럼의 1.3배의 110%가 되도록 주파수 성분을 조정함.

※ 본 예제에서 사용한 ‘주파수 조정법’ 외 “4.4.3 (1)”의 ‘진폭조정법’ 및 “4.4.3 (3)”의 ‘부지응답해석’을 지진파 조정에 사용할 수 있음

표 3.3 비선형동적해석에 사용한 관측 지진파 정보

순번	지진명 (EQ name)	관측소명 (Station)	발생년도 (Year)	규모 (ML)	거리 (km)	시간 간격 (ds)	총 시간 (s)
EQ1	Loma Prieta	Calaveras Reservoir	1989	6.93	35.28	0.005	39.2
EQ2	Loma Prieta	Coyote Lake Dam	1989	6.93	19.97	0.005	40.0
EQ3	Cape Mendocino	Loleta Fire Station	1992	7.01	23.46	0.005	28.7
EQ4	Chuetsu-oki	Tokamachi Chitosecho	2007	6.8	25.35	0.01	60.0
EQ5	Iwate	IWT015	2008	6.9	17.05	0.01	177.0
EQ6	Iwate	Yuzawa Town	2008	6.9	22.41	0.01	60.0
EQ7	Iwate	Ichinoseki Maikawa	2008	6.9	23.01	0.01	120.0

표 3.4 평가용 지진파 가속도 시간 이력



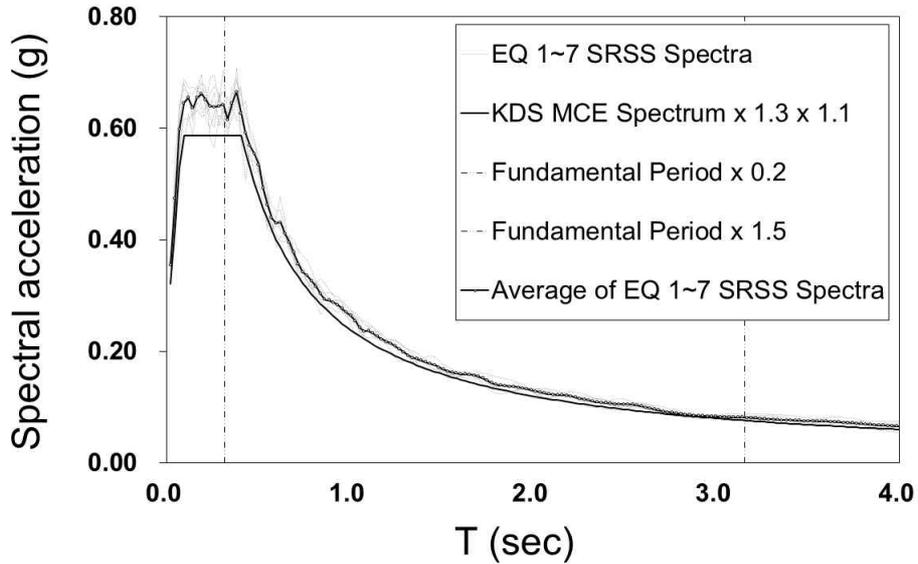


그림 3.2 2400년 재현주기 요구스펙트럼에 스케일링한 지진파의 평균 스펙트럼

3.4 하중조합

- (1) 비선형동적해석의 하중조합은 요령 “4.4.2 하중조합 및 다축가진효과” 를 따름.
- (2) 중력하중은 “4.4.2 (1)” 에 따라 $1.00L+0.25LL$ 을 사용함.
- (3) 3차원 해석을 수행하고, 지반운동기록은 7개를 사용함.
- (4) 개별 지반운동기록은 2방향의 수평 성분을 가지고 있으며, 해석모델에서 평면상 두 직교 축에 상호 교대로 2회 해석함으로써 총 14번의 비선형동적해석을 수행함.

4. 구조해석

4.1 부재별 강도, 강성, 허용기준

해석모델에 사용된 보, 기둥, 패널존, 가새부재 중의 대표부재의 강도, 강성, 허용기준 산정 절차를 기술함.

4.1.1 보

(1) 모델링

요령 “7.4.2.1 (5) ①” 에 따라 접합부는 해석모델에 포함하지 않았으며, 변형량 기반 다선형의 소성힌지특성모델을 사용함. 또한 소성힌지는 모멘트-회전각 관계로 항복강도와 변형능력은 아래와 같이 산정함.

(2) 강도

※ 부재의 강도 산정절차는 ‘3장 선형동적절차’ 예제 참조.

(3) 힘-변형 곡선

요령 “7.4.4.2 (1) ①” 에 따라 보의 휨거동은 변형지배거동으로 간주함.

보 부재의 힘-변형 곡선은 요령 “7.4.2.2 (2)” 에 따라 산정함. 요령 <그림 7.4.1>의 소성회전각(a, b), 잔류강도비(c)를 요령 <표 7.4.2>의 ‘보-휨’ 과 ‘철골완전강점모멘트접합부’ 중에서 작은 값을 사용함. 접합부의 거동은 보의 거동에 포함. 변형을 경화구간의 기울기는 요령 “7.4.2.2 (2) ② 1)” 에 따라 탄성구간 기울기의 3%가 되도록 설정함.

<플랜지 폭두께비>

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{300}{2 \times 26} = 5.77$$

<웨브의 폭두께비>

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{800 - 26 \times 2 - 28 \times 2}{14} = 49.43$$

요령 <표 7.4.2>의 ‘보-휨’ 에서 조건은 다음과 같이 구함.

$$0.3 \sqrt{E/F_{ye}} = 0.3 \sqrt{205,000/305.5} = 7.77 > \frac{b_f}{2t_f} = 5.77 \quad \rightarrow \text{Yes}$$

$$2.45 \sqrt{E/F_{ye}} = 2.45 \sqrt{205,000/305.5} = 63.47 > \frac{h}{t_w} = 49.43 \quad \rightarrow \text{Yes}$$

위 조건은 <표 7.4.1>에서 $\frac{b_f}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{E/F_{ye}}$ 또는 $\frac{h}{t_w} \leq 2.45 \sqrt{E/F_{ye}}$ 에 해당함.

이때 요령에 따라 보의 θ_y 는 다음과 같이 산정함.

$$\theta_y = \frac{ZF_{ye}l_b}{6EI_b} = \frac{8.24 \times 10^6 \times 305.5 \times 4500}{6 \times 205,000 \times 2.92 \times 10^9} = 0.003 \text{ rad}$$

기존 건축물 내진성능평가 예제집

∴ 두 조건에 의한 결과 중, 작은 값을 선택하면, 모델링 변수는 $a=0.01$, $b=0.024$, $c=0.2$

부재 및 조건	모델링변수		
	소성회전각 (rad.)		잔류강도비
	a	b	c
보-휨			
$\frac{b}{t_f} \leq 0.3\sqrt{E/F_{yc}}$ 및 $\frac{h}{t_w} \leq 2.45\sqrt{E/F_{yc}}$	$9\theta_y$	$11\theta_y$	0.6
$\theta_y = 0.003rad$ 대입	0.027	0.033	0.6
철골완전강점모멘트접합부			
전용접 접합부 또는 웨브볼트 플랜지 현장용접 접합부	$0.051 - 5.1 \times 10^{-5}d$	$0.043 - 2.4 \times 10^{-5}d$	0.2
d=800mm 대입	0.010	0.024	0.2

(4) 허용기준

요령 <표 7.4.2>의 ‘보-휨’ 과 ‘철골완전강점모멘트접합부’ 중에서 작은 값을 사용함.

휨-변형 곡선의 결과에 따라 ‘철골완전접합부’의 허용기준을 선택. 이때 사용하는 θ_y 와 d는 휨-변형 곡선과 동일함.

요령 “2.1 최소성능목표”에 제시된 <표 2.1.4>에 따라 내진등급 I 건물의 붕괴방지 검토시에는 붕괴방지 허용기준을 1.2로 나눈 값을 적용함.

∴ 두 조건에 의한 결과 중 더 작은 값을 선택하면, IO: 0.003, LS: 0.018, CP: 0.02

부재 및 조건	허용기준 (소성회전각, rad)		
	IO	LS	CP
보-휨			
$\frac{b}{t_f} \leq 0.3\sqrt{E/F_{yc}}$ 및 $\frac{h}{t_w} \leq 2.45\sqrt{E/F_{yc}}$	θ_y	$9\theta_y$	$11\theta_y$
$\theta_y = 0.003rad$ 대입	0.003	0.027	0.033
철골완전강점모멘트접합부			
전용접 접합부 또는 웨브볼트 플랜지 현장용접 접합부	$0.026 - 2.6 \times 10^{-5}d$	$0.0323 - 1.8 \times 10^{-5}d$	$0.07 - 1.2 \times 10^{-5}d$
d=800mm 대입	0.005	0.018	0.024/1.2

※ 본 예제에서는 포함하지 않았으나, 비선형동적해석에서는 이력특성을 모델링할 때 반복거동에 따른 강성 및 강도 변화를 고려하는 특성을 사용해야 하며, 그 방법은 요령 “4.4.1”의 해설에 소개되어 있음. 만약 이를 고려하지 않으면, 1) 포락곡선을 수정하거나, 2) 허용기준의 조정이 필요함. 해석을 수행하는 책임기술자의 판단에 따름.

4.1.2 기둥

(1) 모델링

변형량 기반 다선형의 소성힌지특성모델을 사용하였으며, 이때 소성힌지는 모멘트-회전각 관계로 입력함. 여기서, 소성힌지모델에서 항복강도는 2축 축력-모멘트 상관관계(P-M1-M2)로부터 해당 step의 축력에 따라 해석프로그램에서 계산하고, 2축 축력-모멘트 상관관계 입력을 위한 축강도(압축, 인장), 모멘트강도(강축, 약축)와 소성힌지모델의 변형능력은 아래와 같이 산정함.

(2) 강도

※ 부재의 강도 산정절차는 ‘3장 선형동적절차’ 예제 참조.

(3) 힘-변형 곡선

요령 “7.4.4.2 (2)” 에 따라 기둥의 휨거동은 압축력이 공칭압축강도 P_{CL} 의 50 % 미만일 때 변형지배거동, 이상일 때 힘지배거동으로 간주함.

확인 결과 모든 기둥 부재에서 압축력이 공칭압축강도 P_{CL} 의 50 % 미만으로 나타나 기둥의 휨거동을 변형지배거동으로 간주함.

기둥 부재의 힘-변형 곡선은 요령 “7.4.2.2 (2)” 에 따라 산정함.

요령 <그림 7.4.1>의 소성회전각(a, b), 잔류강도비(c)를 요령 <표 7.4.2>의 ‘보-기둥’ 에서 축력비, 플랜지, 웨브 폭두께비를 고려하여 산정함.

변형률 경화구간의 기울기는 요령 “7.4.2.2 (2) ② 1)” 에 따라 탄성구간 기울기의 3%가 되도록 설정함.

요령 <표 7.4.2>의 ‘기둥-휨’ 에서 조건은 다음과 같이 구함.

$$P_{CL} = 19300.6kN, 0.2P_{CL} = 3860.1kN, 0.5P_{CL} = 9650.3kN, P = -4896.0kN \rightarrow 0.2P_{CL} < P < 0.5P_{CL}$$

<플랜지 폭두께비>

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{600}{2 \times 40} = 7.5$$

<웨브의 폭두께비>

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{900 - 40 \times 2}{25} = 32.8$$

$$0.3 \sqrt{E/F_{ye}} = 0.3 \sqrt{205,000/378} = 6.99 < \frac{b_f}{2t_f} = 7.5 \rightarrow \text{No}$$

$$1.53 \sqrt{E/F_{ye}} = 1.53 \sqrt{205,000/378} = 35.63 > \frac{h}{t_w} = 32.8 \rightarrow \text{Yes}$$

$$0.38 \sqrt{E/F_{ye}} = 0.38 \sqrt{205,000/378} = 8.85 > \frac{b_f}{2t_f} = 7.5 \rightarrow \text{No}$$

$$2.35 \sqrt{E/F_{ye}} = 2.35 \sqrt{205,000/378} = 54.73 > \frac{h}{t_w} = 32.8 \rightarrow \text{No}$$

위 조건은 <표 7.4.2>의 ‘기둥 휨’ 에서 ‘기타’ 에 해당하므로 플랜지 폭 두께비를 사용하여 선형보간을 수행하여 결정함.

기존 건축물 내진성능평가 예제집

① 강축 (Local y축)

강축에 대한 휨 강성은 다음과 같음.

$$\frac{6EI_x}{L} = \frac{6 \times 205,000 \times 1.00 \times 10^{10}}{6000} \times 10^{-6} = 2,050,000 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

조건에 따라 k_p 은 다음과 같음

$$k_p = 1 - \left(\frac{5}{3}\right) \left(\frac{P}{P_{CL}}\right) = 1 - \left(\frac{5}{3}\right) \left(\frac{4896}{19300.6}\right) = 0.578$$

y축의 기대휨강도는 위에서 산정한 9374.4kN·m이므로, 항복회전각은 다음과 같음

$$\theta_y = \frac{M_{CE}}{6EI_x/L} = \frac{9374.4}{2,050,000} = 0.0045 \text{ rad}$$

∴ 강축의 모델링 변수는 $a = 0.022$, $b = 0.034$, $c = 0.2$

부재 및 조건	모델링변수		
	소성회전각 (rad.)		잔류강도비
	a	b	c
기동-휨			
$0.2P_{CL} < P < 0.5P_{CL}$ 인 경우			
$\frac{b}{t_f} \leq 0.3\sqrt{E/F_{yc}}$ 및 $\frac{h}{t_w} \leq 1.53\sqrt{E/F_{yc}}$	$11k_p\theta_y = 0.029$	$17k_p\theta_y = 0.044$	0.2
$\frac{b}{t_f} > 0.38\sqrt{E/F_{yc}}$ 또는 $\frac{h}{t_w} > 2.35\sqrt{E/F_{yc}}$	$1\theta_y = 0.005$	$1.5\theta_y = 0.007$	0.2
기타	플랜지와 웨브 폭두께비에 대하여 사이값은 각각 직선보간 후, 작은 값을 사용한다.		
직선보간			
$\frac{b}{t_f}$ 에 대한 직선보간	0.022	0.034	0.2

② 약축 (Local z축)

약축에 대한 휨 강성은 다음과 같음.

$$\frac{6EI_y}{L} = \frac{6 \times 205,000 \times 1.44 \times 10^9}{6000} \times 10^{-6} = 295,200 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

조건에 따라 k_p 은 다음과 같음

$$k_p = 1 - \left(\frac{5}{3}\right) \left(\frac{P}{P_{CL}}\right) = 1 - \left(\frac{5}{3}\right) \left(\frac{4896}{19300.6}\right) = 0.578$$

z축의 기대휨강도는 위에서 산정한 2770.7kN·m이므로, 항복회전각은

$$\theta_y = \frac{M_{CE}}{6EI_y/L} = \frac{2770.7}{295,200} = 0.009 \text{ rad}$$

∴ 약축의 모델링 변수는 $a = 0.044$, $b = 0.068$, $c = 0.2$

부재 및 조건	모델링변수		
	소성회전각 (rad.)		잔류강도비
	a	b	c
기동-휨			
$0.2P_{CL} < P < 0.5P_{CL}$ 인 경우			
$\frac{b}{t_f} \leq 0.3\sqrt{E/F_{ye}}$ 및 $\frac{h}{t_w} \leq 1.53\sqrt{E/F_{ye}}$	$11k_p\theta_y=0.057$	$17k_p\theta_y=0.088$	0.2
$\frac{b}{t_f} > 0.38\sqrt{E/F_{ye}}$ 또는 $\frac{h}{t_w} > 2.35\sqrt{E/F_{ye}}$	$1\theta_y=0.009$	$1.5\theta_y=0.014$	0.2
기타	플랜지와 웨브 폭두께비에 대하여 사이값은 각각 직선보간 후, 작은 값을 사용한다.		
직선보간			
$\frac{b}{t_f}$ 에 대한 직선보간	0.044	0.068	0.2

(4) 허용기준

요령 <표 7.4.2>의 ‘보-기동’ 에서 축력비, 플랜지, 웨브 폭두께비를 고려하여 산정함. 휨-변위 곡선과 동일한 조건의 허용기준으로 선택함.

요령 “2.1 최소성능목표” 에 제시된 <표 2.1.4>에 따라 내진등급 I 건물의 붕괴방지 검토시에는 붕괴방지 허용기준을 1.2로 나눈 값을 적용함.

① 강축 (Local y축)

$$\theta_y = 0.0045rad, k_p = 0.578$$

∴ IO: 0.001, LS: 0.017, CP: 0.018

부재 및 조건	허용기준 (소성회전각, rad)		
	IO	LS	CP
기동-휨			
$0.2P_{CL} < P < 0.5P_{CL}$ 인 경우			
$\frac{b}{t_f} \leq 0.3\sqrt{E/F_{ye}}$ 및 $\frac{h}{t_w} \leq 1.53\sqrt{E/F_{ye}}$	$0.25\theta_y=0.001$	$8k_p\theta_y=0.021$	$11k_p\theta_y=0.029$
$\frac{b}{t_f} > 0.38\sqrt{E/F_{ye}}$ 또는 $\frac{h}{t_w} > 2.35\sqrt{E/F_{ye}}$	$0.25\theta_y=0.001$	$1.2\theta_y=0.005$	$1.2\theta_y=0.005$
기타	플랜지와 웨브 폭두께비에 대하여 사이값은 각각 직선보간 후, 작은 값을 사용한다.		
직선보간			
$\frac{b}{t_f}$ 에 대한 직선보간	0.001	0.017	0.022/1.2

② 약축 (Local z축)

$$\theta_y = 0.009rad, k_p = 0.578$$

∴ IO: 0.002, LS: 0.033, CP: 0.037

기존 건축물 내진성능평가 예제집

부재 및 조건	허용기준 (소성회전각, rad)		
	I0	LS	CP
기둥-휨			
$0.2P_{CL} < P < 0.5P_{CL}$ 인 경우			
$\frac{b}{t_f} \leq 0.3\sqrt{E/F_{ye}}$ 및 $\frac{h}{t_w} \leq 1.53\sqrt{E/F_{ye}}$	$0.25\theta_y=0.002$	$8k_p\theta_y=0.042$	$11k_p\theta_y=0.057$
$\frac{b}{t_f} > 0.38\sqrt{E/F_{ye}}$ 또는 $\frac{h}{t_w} > 2.35\sqrt{E/F_{ye}}$	$0.25\theta_y=0.002$	$1.2\theta_y=0.011$	$1.2\theta_y=0.011$
기타	플랜지와 웨브 폭두께비에 대하여 사이값은 각각 직선보간 후, 작은 값을 사용한다.		
직선보간			
$\frac{b}{t_f}$ 에 대한 직선보간	0.002	0.033	0.044/1.2

4.1.3 패널존

※ 본 예제건물은 선형동적절차의 예제와 같은 가새가 횡력을 지지하고 보의 요구력이 작은 조건이나 패널존 모델링 방법을 소개하기 위함.

(1) 모델링

요령 “7.4.2.1 (4)” 에 따라 해석모델에 패널존 요소를 고려하여 해석 모델에 반영함.

요령 <그림 4.3.1 (a)>의 소성한지특성모델을 사용. 단, 패널존의 특성을 고려하여 그림 4.1 과 같이 최대강도(M_{CU}) 도달 후 강도저감이 없는 것으로 모델링.

소성한지는 모멘트-회전각 관계로 항복강도는 4.1.3 (2)와 (3), 변형능력은 4.1.3 (3)에 따라 산정함.

※ 패널존은 전단으로 거동하나 해석모델에서는 모멘트-회전각 관계를 사용하여 모델링함. 따라서 패널존 모델링은 기둥과 보가 만나는 절점에 직접 회전스프링을 추가하거나 패널존의 둘레를 강체로 모델링한 후 한 쪽 모서리에 회전스프링을 추가하는 방식이 있음. 여기서는 전자를 사용함.

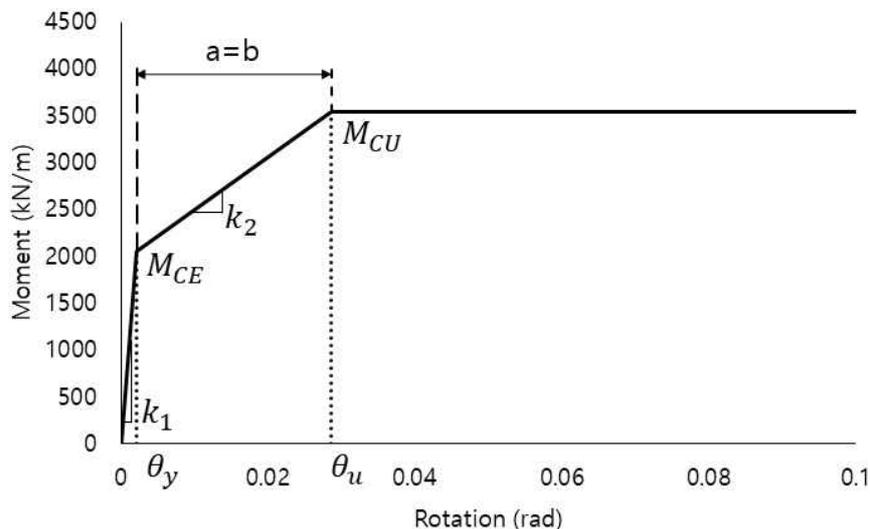


그림 4.1 패널존 모멘트-회전각 관계

(2) 강도

요령 “7.4.2.2 (5)” 에 따라 패널존 기대강도를 산정함. 이때 기대전단강도(V_{CE})와 기대휨강도(M_{CE}) 모두 산정함. 요령 “4.1.6 표 4.1.1” 에 따라 철골조에서 접합부의 축력, 전단력, 휨모멘트는 변형지배거동으로 간주함. 따라서, 재료항복강도는 기대항복강도(F_{ye})를 사용함.

부재: (기둥) H-700x700x25/30, (보) H-700x300x13/24

$$E = 205,000 \text{ MPa}, F_y = 235 \text{ MPa}, F_{ye} = 305.5 \text{ MPa}$$

$$d_c = 700 \text{ mm}, d_b = 700 \text{ mm}, t_p = 25 \text{ mm}$$

① 기대전단강도

$$V_{CE} = 0.55 \times F_{ye} \times d_c \times t_p = 0.55 \times 305.5 \times 700 \times 25 \times 10^{-3} = 2940.4 \text{ kN}$$

② 기대휨강도

$$M_{CE} = V_{CE} \times d_b = 2940.4 \times 700 \times 10^{-3} = 2058.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

이때 d_c : 기둥의 깊이, d_b : 보의 깊이, t_p : 패널존 두께

$$\therefore \text{패널존 기대휨강도}, M_{CE} = 2058.3 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(3) 힘-변형 곡선

요령 “7.4.4.1 (3)” 에 따라 패널존의 휨거동은 변형지배거동으로 간주함.

패널존의 힘-변형 곡선은 요령 “7.4.2.2 (3)” 에 따라 산정함. <그림 7.4.1>의 소성회전각 (a, b), 잔류강도비(c)를 요령 <표 7.4.2>의 ‘기둥 패널존’ 에 따라 산정함.

① 전단탄성계수

$$G = \frac{E}{2 \times (1 + \nu)} = \frac{205,000}{2 \times (1 + 0.3)} = 78846.15 \text{ MPa}$$

② 소성회전각

$$\theta_y = \frac{F_{ye}}{\sqrt{3} G} = \frac{305.5}{\sqrt{3} \times 78846.15} = 0.0022 \text{ rad}$$

$$\therefore \text{패널존의 모델링 변수는 } a = 0.0264, b = 0.0264, c = 1.0$$

부재 및 조건	모델링변수		
	소성회전각 (rad.)		잔류강도비
	a	b	c
기둥 패널존	$12\theta_y$	$12\theta_y$	1.0
$\theta_y = 0.0022 \text{ rad}$ 대입	0.0264	0.0264	1.0

기존 건축물 내진성능평가 예제집

$$\theta_u = \theta_y + a = \theta_y + 12\theta_y = 13\theta_y = 13 \times 0.0022 = 0.0286 \text{ rad}$$

이때 요령 “7.4.2.2 (2)” 에 따라 패널존 항복이 발생하는 경우, 변화율경화 구간의 기울기는 탄성구간의 기울기의 6%로 적용함.

탄성 구간 기울기(k_1)와 변화율경화 구간 기울기(k_2)를 이용하여 최대강도(M_{CU})를 산정.

③ 탄성구간 기울기

$$k_1 = \frac{M_{CE}}{\theta_y} = \frac{2058.3}{0.0022} = 935590.9 \text{ kN/m}$$

④ 변화율경화 구간 기울기

$$k_2 = k_1 \times 0.06 = 935590.9 \times 0.06 = 56135.5 \text{ kN/m}$$

⑤ 최대강도

$$M_{CU} = k_2 \times (\theta_u - \theta_y) + M_{CE} = 56135.5 \times (0.0286 - 0.0022) + 2058.3 = 3540.3 \text{ kN/m}$$

(4) 허용기준

요령 “7.4.4.2 (3)” 에 따라 패널존 허용기준은 요령 <표 7.4.2>의 기동 패널존으로 산정함.

요령 “2.1 최소성능목표” 에 제시된 <표 2.1.4>에 따라 내진등급 I 건물의 붕괴방지 검토시에는 붕괴방지 허용기준을 1.2로 나눈 값을 적용함.

$$\theta_y = \frac{F_{yc}}{\sqrt{3} G} = \frac{305.5}{\sqrt{3} \times 78846.15} = 0.0022 \text{ rad}$$

∴ IO: 0.0022, LS: 0.022, CP: 0.022

부재 및 조건	허용기준 (소성회전각, rad)		
	IO	LS	CP
기동 패널존	θ_y	$12\theta_y$	$12\theta_y$
$\theta_y = 0.0022 \text{ rad}$ 대입	0.0022	0.0264	0.0264/1.2

4.1.4 가새

(1) 모델링

요령 “7.5.2.2 (1) ③” 에 따라 가새 중앙에 소성한지를 가진 기둥으로 모델링하며, 변형량 기반 다선형의 소성한지특성모델을 사용함. 또한 소성한지는 축력-축변형 관계로 항복강도와 변형능력은 아래와 같이 산정함.

(2) 강도

※ 부재의 강도 산정절차는 ‘3장 선형동적절차’ 예제 참조.

(3) 힘-변형 곡선

요령 “7.5.4 (1)” 에 따라 가새의 축방향 압축과 인장은 변형지배거동으로 간주함.

요령 <그림 7.4.1>의 소성변형(a, b), 잔류강도비(c)를 요령 <표 7.5.2>의 ‘압축 가새’ 및 ‘인장 가새’ 에 따라 산정함.

항복 이후 가새의 변형률경화는 고려하지 않음.

① 압축방향

$$2.1\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.1\sqrt{\frac{205,000}{315}} = 53.6 \quad , \quad 4.2\sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.2\sqrt{\frac{205,000}{315}} = 107.1$$

$$\rightarrow 2.1\sqrt{\frac{E}{F_y}} \leq \frac{KL}{r} = 84.96 \leq 4.2\sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

따라서 세장한 가새와 짧은 가새에 해당하는 값을 직선보간하여 구함. 이때 기대좌굴하중에서의 축방향 변형 Δ_c 는 기대좌굴하중에 축강성을 나누어 산정함.

$$\text{축방향 변형, } \Delta_c = \frac{P_{CE}}{EA/L} = \frac{3374.9}{527.6} = 6.4\text{mm}$$

$$\text{여기서, 가새의 축강성, } \frac{EA}{L} = \frac{205,000 \times 1.57 \times 10^4}{6100} = 527.6\text{ kN/mm}$$

∴ 압축방향 모델링 변수는 $a = 4.52\text{mm}$, $b = 58.70\text{mm}$, $c = 0.38\text{mm}$

② 인장방향

기대인장항복하중에서의 축방향 변형 Δ_T 는 기대인장항복하중/축강성으로 산정함.

$$\text{축방향 변형, } \Delta_T = \frac{P_T}{EA/L} = \frac{5934.6}{527.6} = 11.2\text{mm}$$

∴ 인장방향 모델링 변수는 $a = 112\text{mm}$, $b = 145.6\text{mm}$, $c = 0.6\text{mm}$

기존 건축물 내진성능평가 예제집

부재 및 조건		모델링 주요변수			
		소성변형		잔류강도비	
		a	b	c	
압축가새	$\frac{KL}{r} \geq 4.2 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	H형강	$0.5\Delta_c$	$10\Delta_c$	0.3
	$\Delta_c=6.4\text{mm}$ 대입		3.2	64	0.3
	$\frac{KL}{r} \leq 2.1 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	H형강	$1\Delta_c$	$8\Delta_c$	0.5
	$\Delta_c=6.4\text{mm}$ 대입		6.4	51.2	0.5
	선형보간		4.52	58.70	0.38
인장 가새	H형강		$10\Delta_T$	$13\Delta_T$	0.6
	$\Delta_T=11.2\text{mm}$ 대입		112	145.6	0.6

(4) 허용기준

요령 <표 7.5.2>의 ‘압축 가새’ 및 ‘인장 가새’ 에 따라 산정함.

요령 “2.1 최소성능목표” 에 제시된 <표 2.1.4>에 따라 내진등급 Ⅰ 건물의 붕괴방지 검토시에는 붕괴방지 허용기준을 1.2로 나눈 값을 적용함.

① 압축방향

$$\Delta_c = 6.4\text{mm}$$

∴ IO: 3.2mm, LS: 48.55mm, CP: 48.92mm

② 인장방향

$$\Delta_T = 11.2\text{mm}$$

∴ IO: 5.6mm, LS: 112mm, CP: 121.3mm

부재 및 조건		허용기준 (소성변형, mm)			
		IO	LS	CP	
압축가새	$\frac{KL}{r} \geq 4.2 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	H형강	$0.5\Delta_c$	$8\Delta_c$	$10\Delta_c$
	$\Delta_c=6.4\text{mm}$ 대입		3.2	51.2	64
	$\frac{KL}{r} \leq 2.1 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	H형강	$0.5\Delta_c$	$7\Delta_c$	$8\Delta_c$
	$\Delta_c=6.4\text{mm}$ 대입		3.2	44.8	51.2
	선형보간		3.2	48.55	58.7/1.2
인장 가새	H형강		$0.5\Delta_T$	$10\Delta_T$	$13\Delta_T$
	$\Delta_T=11.2\text{mm}$ 대입		5.6	112	145.6/1.2

4.2 구조해석모델

(1) P-Δ 효과

요령 “4.4.4 (5)” 에 따라 해석프로그램에서 P-Δ 효과를 반영하도록 함.

(2) 감쇠비

요령 “4.4.5” 에 따라 산정함

Modal Damping + Rayleigh Damping을 조합하여 감쇠비가 요령에서 제시된 3%를 초과하지 않도록 설정

① Modal Damping: $\xi = 2.25\%$ for all modes

② Rayleigh Damping:

$$T_A = 0.2 T_1, T_B = 1.5 T_1, \xi = 0.25\%$$

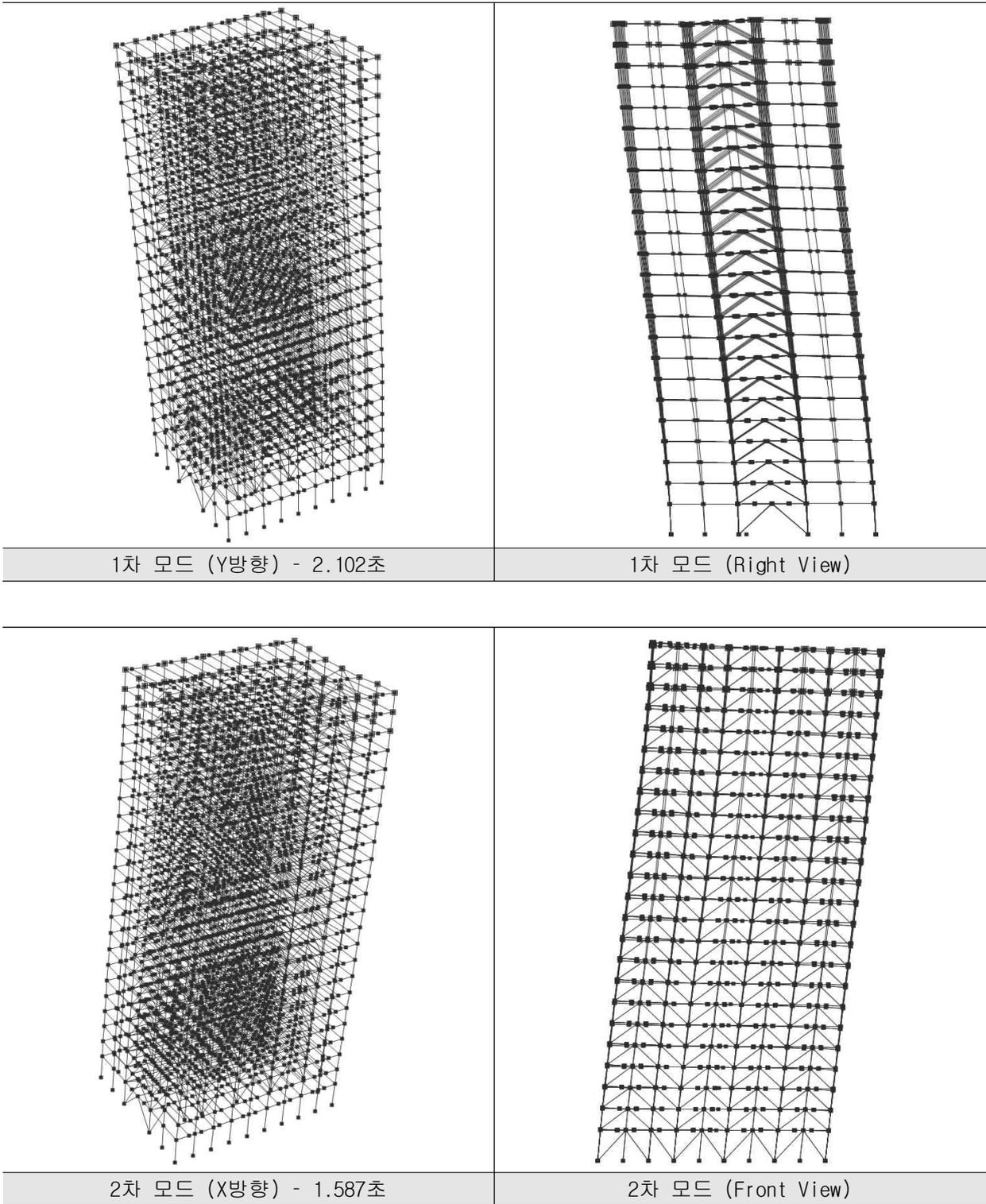
$$\rightarrow \alpha = 0.0087934, \beta = 0.00029513$$

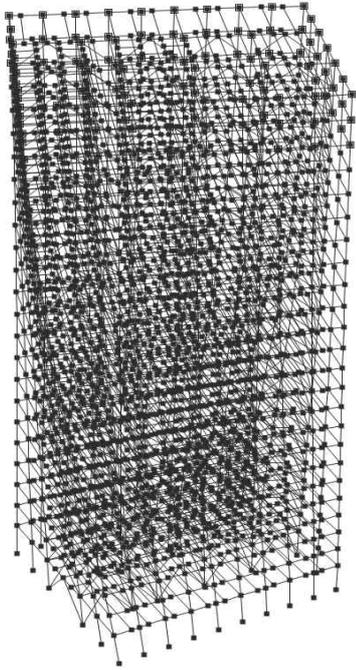
4.3 고유치해석 결과

표 4.1 고유치 해석 결과

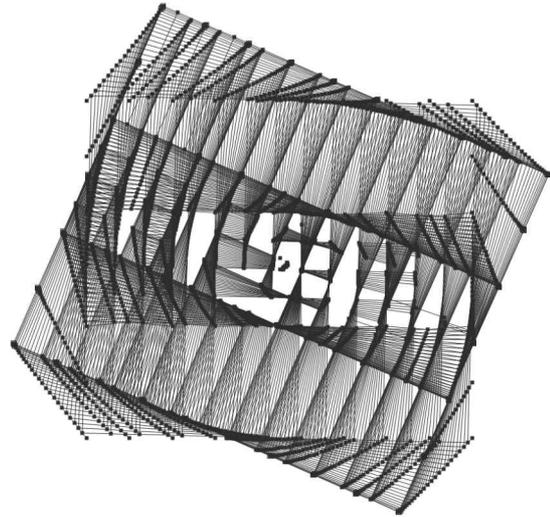
모드	주기 (초)	질량참여율 (%)		
		X방향	Y방향	비틀림
1	2.102	0.0	73.7	0.4
2	1.587	77.8	0.0	0.0
3	1.548	0.0	0.3	80.5
4	0.657	0.0	15.7	0.0
5	0.522	14.2	0.0	0.0
6	0.518	0.0	0.1	10.4
7	0.344	0.0	4.4	0.1
누적참여율		92.0	94.2	91.4

표 4.2 모드형상





3차 모드 (비틀림) - 1.548초



3차 모드 (Top View)

5. 성능수준 판정

- 지진파 7개를 사용하였으므로 평가요령 “4.4.2 (5)” 에 따라 7개 지진파로부터 구한 부재력 또는 변형량의 평균값과 허용기준을 비교하여 평가함.
- 개별 부재의 성능수준 만족여부는 요령 “4.6 (7), (8)” 에 따라 판정함.
- 부록에 재현주기별, 지진파별, 부재의 각 단부에서의 회전각과 허용기준을 수록함.

5.1 중력하중저항능력 검토

5.1.1 2400년 재현주기 지진 : 붕괴방지

- (1) 요령의 <표 4.6.2>에 따라 중력하중저항능력은 모든 부재가 붕괴방지를 만족하면 붕괴방지 성능목표를 만족하는 것으로 판단함
- (2) 중력하중저항능력의 만족여부는 요령의 “4.6 성능수준의 판정” 을 따름.
- (3) 요령의 “4.6 (6)” 에 따르면 성능수준별 중력하중저항능력의 만족여부는 각 방향별, 층별로 수행하며, 각 층의 부재는 수직부재와 수평부재로 나누어 평가함. 하지만 3차원 해석을 수행하였으므로 방향별로는 평가하지 않음
- (4) 부재별 연직하중 분담능력은 수직부재의 경우 축하중, 수평부재의 경우 양단 전단력을 기준으로 함.

∴ 검토결과 2400년 재현주기 지진에 붕괴방지 성능목표를 만족함.

표 5.1 수평부재 중력하중 분담비율 검토 결과 (2400년 붕괴방지)

층	I0	LS	CP	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
전층	1	1	1	10	0	10

표 5.2 수직부재 중력하중 분담비율 검토 결과 (2400년 붕괴방지)

층	I0	LS	CP	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
전층	1	1	1	10	0	10

5.1.2 1400년 재현주기 지진 : 인명안전

- (1) 요령의 <표 4.6.2>에 따라 모든 부재가 붕괴방지수준을 만족하며 중력하중저항능력은 인명안전을 만족하는 부재가 부담하는 중력하중의 합이 전체중력하중의 80% 이상이면 인명보호 성능목표를 만족하는 것으로 판단함.
- (2) 이하 5.1절과 동일

∴ 검토결과 1400년 재현주기 지진에 인명안전 성능목표를 만족함.

표 5.3 수평부재 중력하중 분담비율 검토 결과 (1400년 인명안전)

층	10	LS	CP	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
전층	1	1	1	10	0	10

표 5.4 수직부재 중력하중 분담비율 검토 결과 (1400년 인명안전)

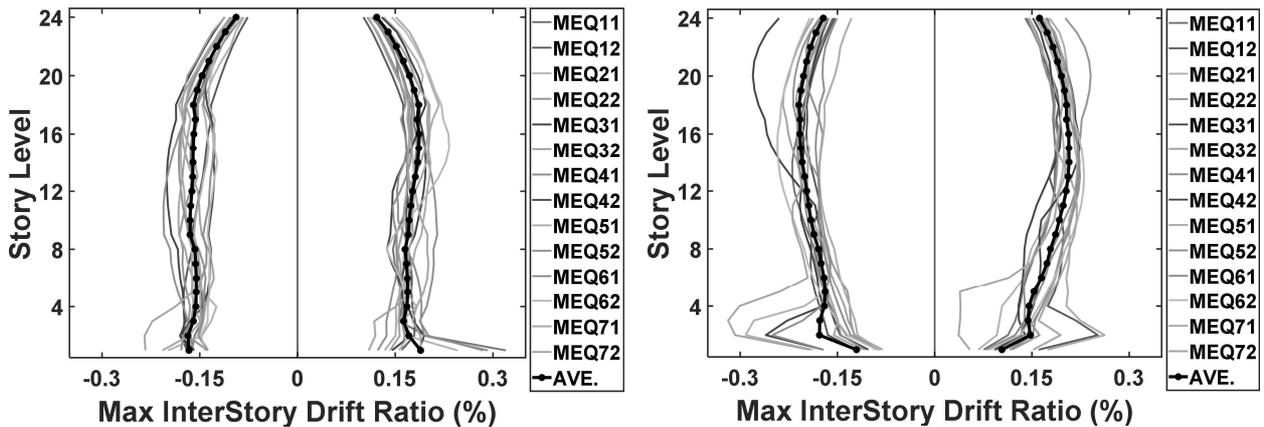
층	10	LS	CP	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
전층	1	1	1	10	0	10

기존 건축물 내진성능평가 예제집

5.2 층간변형각기준에 따른 성능수준 판정

5.2.1 2400년 재현주기 지진 : 붕괴방지

요령의 <표 4.6.1>에 따라 ‘가새가 있는 철골골조’의 붕괴방지 허용층간변형각에 해당하는 2.0%에, 내진설계가 되지 않았으므로 0.7를 곱해 1.4%를 허용층간변형각으로 정하고, 이를 초과하지 않으면 성능목표를 만족하는 것으로 판단함.



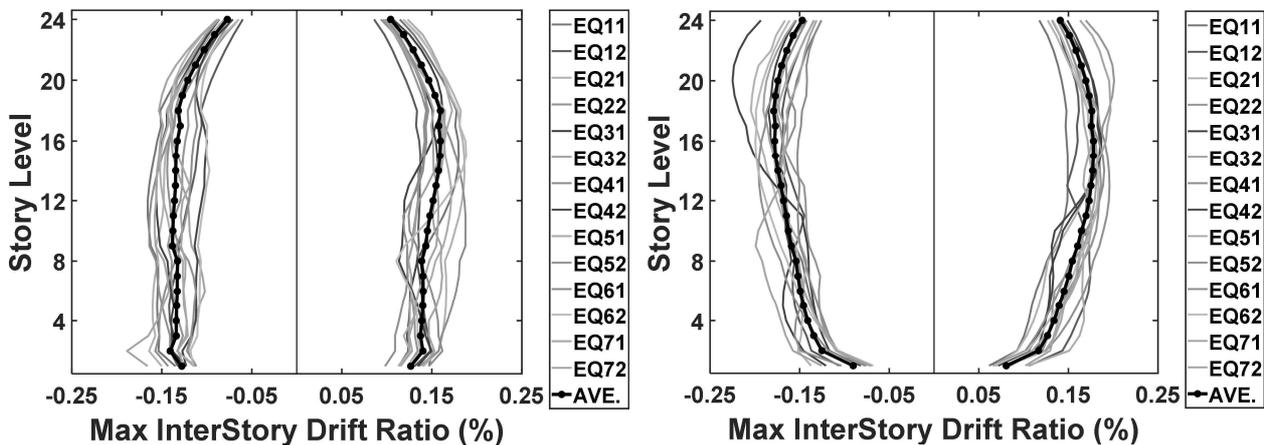
(a) X방향 층간변형각

(b) Y방향 층간변형각

그림 5.1 층별 최대 층간변형각 (2400년 재현주기)

5.2.2 1400년 재현주기 지진 : 인명안전

요령의 <표 4.6.1>에 따라 ‘가새가 있는 철골골조’의 인명안전 허용층간변형각에 해당하는 1.5%에, 내진설계가 되지 않았으므로 0.7를 곱해 1.05%를 허용층간변형각으로 정하고, 이를 초과하지 않으면 성능목표를 만족하는 것으로 판단함.



(a) X방향 층간변형각

(b) Y방향 층간변형각

그림 5.2 층별 최대 층간변형각 (1400년 재현주기)

6. 기초 안전성 검토

말뚝기초의 기대지지력(Q_e)은 요령 “8.3 (1)” 의 식 (8.3.2)에 따라 허용지지력(Q_{all})의 3배로 하고, 강도감소계수(ϕ)는 1.0을 사용함.

기둥 하부에 4개의 말뚝기초가 설치된 것으로 가정함.

말뚝기초: PHC Pile $\phi 400$, $t_c = 65mm$, type A, $Q_{all} = 1,098 kN/EA$

표 6.1 기둥 하부 최대 반력 산정 결과 (kN)

지진파		C1		C2		C3		C4	
		인장	압축	인장	압축	인장	압축	인장	압축
EQ1	1	1408.9	9533.4	838.2	8801.7	1248.8	8586.8	1759.9	8942.1
	2	476.3	7757.4	0	7183.0	0	7298.2	15.1	8049.6
EQ2	1	513.1	8310.6	1265.2	10253.4	2732.6	9011.8	587.0	8031.5
	2	1034.4	8703.9	452.8	8076.4	659.6	8302.9	1080.6	8557.5
EQ3	1	883.1	8653.1	594.7	8520.2	989.1	8382.3	933.0	8406.2
	2	688.4	8575.7	0	8480.5	932.9	7629.8	728.8	8098.1
EQ4	1	1247.6	8630.3	469.4	9355.1	1841.3	8266.7	722.6	8810.7
	2	0	7459.7	0	7427.0	0	6752.2	0	7349.0
EQ5	1	1246.2	8532.3	839.1	9643.0	2153.4	8659.1	762.6	8641.1
	2	1165.7	7931.9	74.0	7908.7	318.1	7837.3	56.9	8522.5
EQ6	1	0	7187.0	0	7741.9	193.7	7809.9	0	7253.8
	2	1287.3	9692.8	0	7771.8	156.9	7185.8	1803.3	8649.8
EQ7	1	1716.0	8702.8	584.2	8301.6	732.2	8260.0	865.5	9115.1
	2	0	6820.9	0	8188.0	723.5	7357.8	0	7465.9
평균		833.4	8320.8	365.5	8403.7	905.9	7952.9	665.4	8278.1

표 6.2 기초 검토 결과

위치	최대 소요반력 (kN)	허용지지력 (1EA) Q_{all} (kN)	기대지지력 Q_e		DCR	검토
			파일 수	(kN)		
C1	8320.8	1,098	4	13,176	0.63	만족
C2	8403.7	1,098	4	13,176	0.63	만족
C3	7952.9	1,098	4	13,176	0.60	만족
C4	8278.1	1,098	4	13,176	0.63	만족

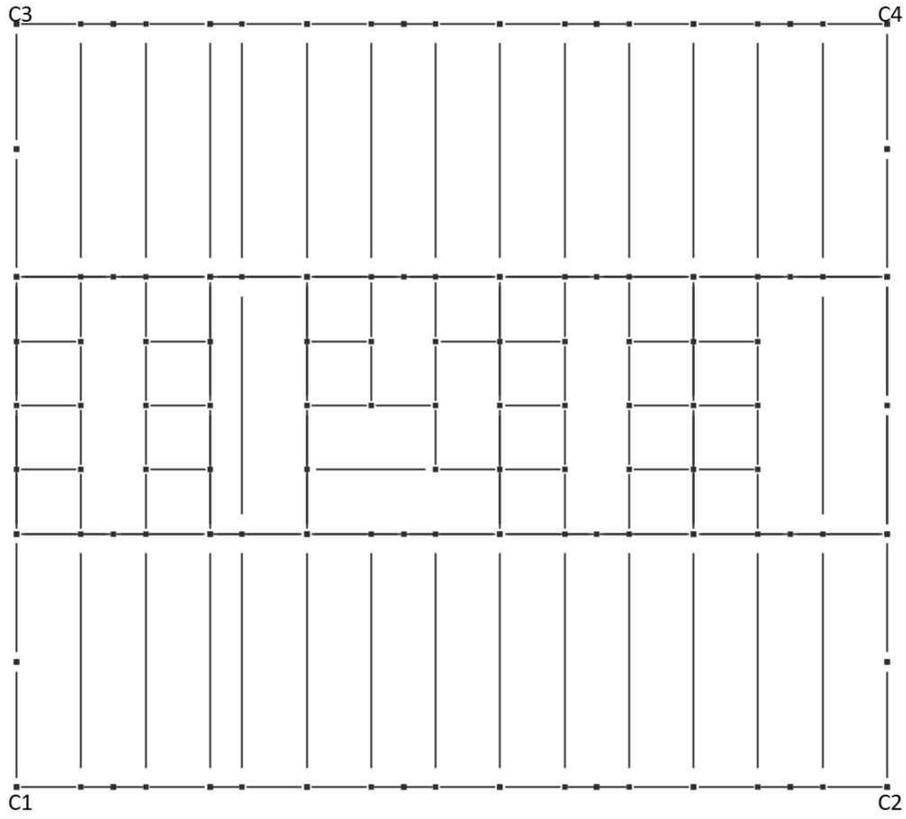


그림 6.1 축력산정 기둥 위치

7. 최종 평가결과

- (1) 2400년 재현주기 지진 작용시 중력하중저항능력과 층간변형각 기준 모두 목표성능인 붕괴방지의 성능수준을 만족함.
- (2) 1400년 재현주기 지진 작용시 중력하중저항능력과 층간변형각 기준 모두 목표성능인 인명보호의 성능수준을 만족함
- (3) 기초 안전성에는 문제가 없는 것으로 평가됨.

표 7.1 최종 평가결과

해석 방법	성능 목표	방향	중력하중저항능력	붕괴부재	허용층간변형각	조적벽 안전성	기초 안전성	평가결과	비고
선형 동적 해석	인명 안전	X 축	만족	-	만족	해당 없음	-	만족	
		Y 축			만족	해당 없음	-	만족	
	붕괴 방지	X 축	만족	만족	만족	-	만족	만족	
		Y 축			만족	-	만족	만족	

〈부록〉 부재별 성능수준 평가 결과

※ 5장에 제시된 부재에 대한 검토 결과를 제시하였음. 이때 요령 “4.4.6 (1)” 을 따라 정리함

보의 각 단부에 발생한 소성회전각과 허용기준을 비교하여 판정함.

표1 2400년 붕괴방지 성능목표

지진파		소성회전각-I (radian)	소성회전각-J (radian)
		MAX	MAX
EQ1	1	0.0009	0.002
	2	0.0007	0.0012
EQ2	1	0.0009	0.0018
	2	0.0006	0.0014
EQ3	1	0.0008	0.0015
	2	0.0007	0.0012
EQ4	1	0.0008	0.0017
	2	0.0007	0.0012
EQ5	1	0.0006	0.0013
	2	0.0006	0.0011
EQ6	1	0.0007	0.0017
	2	0.0007	0.0012
EQ7	1	0.0009	0.0017
	2	0.0006	0.001
평균		0.0007	0.0014
허용소성회전각		0.02	0.02
판정		OK	OK

표2 1400년 인명보호 성능목표

지진파		소성회전각-I (radian)	소성회전각-J (radian)
		MAX	MAX
EQ1	1	0.0006	0.0013
	2	0.0006	0.001
EQ2	1	0.0007	0.0013
	2	0.0005	0.0011
EQ3	1	0.0006	0.0011
	2	0.0006	0.001
EQ4	1	0.0006	0.0014
	2	0.0005	0.0009
EQ5	1	0.0005	0.0011
	2	0.0005	0.0009
EQ6	1	0.0005	0.001
	2	0.0005	0.0009
EQ7	1	0.0006	0.0011
	2	0.0005	0.0008
평균		0.0006	0.0011
허용소성회전각		0.018	0.018
판정		OK	OK

기둥의 강축과 약축 각 단부에 발생한 소성회전각과 허용기준을 비교하여 판정함.

표3 2400년 붕괴방지 성능목표

지진파	소성회전각-I (radian)		소성회전각-J (radian)		
	강축	약축	강축	약축	
	MAX	MAX	MAX	MAX	
EQ1	1	0.0027	0.0007	0.001	0.0005
	2	0.0009	0.001	0.0004	0.0007
EQ2	1	0.0021	0.0014	0.0009	0.0009
	2	0.001	0.001	0.0005	0.0005
EQ3	1	0.0011	0.0012	0.0005	0.0008
	2	0.0009	0.0007	0.0004	0.0005
EQ4	1	0.0021	0.0013	0.0009	0.0009
	2	0.0009	0.0009	0.0005	0.0006
EQ5	1	0.0008	0.0011	0.0004	0.0005
	2	0.0008	0.0009	0.0004	0.0006
EQ6	1	0.002	0.0008	0.0009	0.0006
	2	0.0009	0.0009	0.0004	0.0006
EQ7	1	0.0018	0.001	0.0008	0.0006
	2	0.0009	0.0014	0.0006	0.0009
평균		0.0014	0.0010	0.0006	0.0007
허용소성회전각		0.018	0.037	0.018	0.037
판정		OK	OK	OK	OK

표4 1400년 인명보호 성능목표

지진파	소성회전각-I (radian)		소성회전각-J (radian)		
	강축	약축	강축	약축	
	MAX	MAX	MAX	MAX	
EQ1	1	0.0009	0.0006	0.0004	0.0004
	2	0.0007	0.001	0.0004	0.0007
EQ2	1	0.0009	0.0012	0.0004	0.0008
	2	0.0007	0.0007	0.0003	0.0005
EQ3	1	0.0008	0.001	0.0004	0.0007
	2	0.0007	0.0006	0.0003	0.0004
EQ4	1	0.001	0.0009	0.0005	0.0006
	2	0.0007	0.0006	0.0004	0.0005
EQ5	1	0.0007	0.0008	0.0004	0.0006
	2	0.0007	0.0007	0.0003	0.0005
EQ6	1	0.0007	0.0006	0.0004	0.0005
	2	0.0006	0.0006	0.0003	0.0004
EQ7	1	0.0008	0.0006	0.0004	0.0004
	2	0.0006	0.0011	0.0003	0.0008
평균		0.0008	0.0008	0.0004	0.0006
허용소성회전각		0.017	0.033	0.017	0.033
판정		OK	OK	OK	OK

기존 건축물 내진성능평가 예제집

패널존에서 발생한 소성회전각과 허용기준을 비교하여 판정함.

표5 2400년 붕괴방지 성능목표

지진파		소성회전각 (radian)	
		MAX	
EQ1	1	0.0002	
	2	0.0002	
EQ2	1	0.0002	
	2	0.0003	
EQ3	1	0.0002	
	2	0.0002	
EQ4	1	0.0002	
	2	0.0003	
EQ5	1	0.0002	
	2	0.0002	
EQ6	1	0.0002	
	2	0.0002	
EQ7	1	0.0002	
	2	0.0002	
평균		0.0002	
허용소성회전각		0.022	
판정		OK	

표6 1400년 인명보호 성능목표

지진파		소성회전각 (radian)	
		MAX	
EQ1	1	0.0002	
	2	0.0002	
EQ2	1	0.0002	
	2	0.0002	
EQ3	1	0.0002	
	2	0.0002	
EQ4	1	0.0002	
	2	0.0002	
EQ5	1	0.0002	
	2	0.0002	
EQ6	1	0.0002	
	2	0.0002	
EQ7	1	0.0002	
	2	0.0002	
평균		0.0002	
허용소성회전각		0.022	
판정		OK	

가새에서 발생한 축변형과 가새의 허용기준을 비교하여 판정함.

표7 2400년 붕괴방지 성능목표

지진파		축변형 (mm)	
		인장	압축
EQ1	1	4.45	-6.88
	2	4.37	-5.08
EQ2	1	5.32	-6.13
	2	3.54	-5.48
EQ3	1	4.93	-4.54
	2	4.23	-5.04
EQ4	1	4.69	-5.77
	2	4.39	-4.44
EQ5	1	3.92	-4.80
	2	4.04	-4.47
EQ6	1	4.50	-5.62
	2	3.77	-5.01
EQ7	1	5.08	-5.60
	2	4.50	-3.89
평균		4.41	-5.20
허용소성변형		121.3	48.92
판정		OK	OK

표8 1400년 인명보호 성능목표

지진파		축변형 (mm)	
		인장	압축
EQ1	1	4.09	-5.25
	2	3.58	-4.25
EQ2	1	4.43	-5.07
	2	2.91	-4.47
EQ3	1	3.82	-3.98
	2	3.32	-4.13
EQ4	1	3.78	-4.75
	2	3.44	-3.70
EQ5	1	3.08	-3.97
	2	3.16	-3.65
EQ6	1	3.70	-4.65
	2	2.89	-4.09
EQ7	1	3.89	-4.64
	2	3.52	-3.32
평균		3.54	-4.28
허용소성변형		112	48.55
판정		OK	OK



현장 조사

1. 자료조사

현장조사 및 시험 계획의 수립을 위해 다음과 같은 자료조사를 수행함.

- 1.1 건축물대장 조사.
- 1.2 설계도서의 유무 확인 및 확보.
- 1.3 건물주와의 대면조사: 증축 여부, 연도 및 위치의 개략 확인.

※ 설계도서가 확보되지 않은 경우에는 이하의 현장조사를 통하여 구조평면도를 작성하여야 함. 필요시 부재 리스트를 추가 작성함.

2. 현장조사 계획

효과적인 현장조사를 위하여 다음 사항을 구체적으로 계획함.

- 2.1 기본값에 근거한 재료강도 결정을 위한 구조체의 상태 평가.
- 2.2 구조해석모델 수립 및 하중 산정을 위한 주요 구조요소(내력벽, 벽보, 슬래브)의 구성 및 치수 확인 범위 및 방법.
- 2.3 구조해석모델 수립 및 하중 산정을 위한 주요 비구조요소(치장벽, 바닥 및 벽체 마감)의 구성 및 치수 확인 범위 및 방법.
- 2.4 기초 형식 및 치수 조사 방안.
- 2.5 직접 지반조사 또는 대체 가능한 인근 지반조사 자료의 수집.

3. 현장조사 세부사항

현장조사 주요항목 및 세부 요구사항은 요령 표 1.2.1에 따름.

- 3.1 부재규격: 모든 조사단위에서 부재 종별로 9개소 이상 조사하여 구조도면 작성.
- 3.2 구조성능 저하 및 손상: 모든 부재 종별로 육안조사(철근 노출, 콘크리트 및 조적조 균열, 침하 등 조사) 및 결과의 반영 방안 제시.
- 3.3 중량물: 지진하중에 영향을 줄 수 있는 비구조요소 또는 건물외 구조의 중량.
- 3.4 마감재: 조적벽 마감재의 종류, 평균두께, 상태. 슬래브 마감재의 종류 및 평균두께. 치장벽돌의 재료 및 접합상태.
- 3.5 시추조사: 특등급 이외의 등급일 경우 1개소 조사. 건물과 300m 이내의 거리에 위치한 주변 지반 DB 자료로 대체 가능. 에너지 보정된 표준관입시험 또는 전단파 탐사 시험 중 직접 지반분류가 가능한 후자를 적용.
- 3.6 기초의 규격: 특등급 건물이 아닐 경우 조사 생략 가능.

4. 마감재 조사

지진하중에 영향을 줄 수 있는 비구조요소와 건물외 구조의 중량물을 조사함.

- 4.1 옥상에 파라펫이 설치된 경우 반드시 확인 후 하중에 포함하여야 함
- 4.2 마감재
 - (1) 필요할 경우 국부적 천공 등의 방법을 통해 슬래브 및 벽체의 마감재료 및 두께를 직접 확인후 반영
 - (2) 옥상의 경우 방수처리를 위해 실내와 마감두께가 상이하므로 조사 및 하중산정에 반영 필요.

기존 건축물 내진성능평가 예제집

4.3 치장벽체

- (1) 치장벽체의 두께와 내부의 공간쌓기 두께를 확인.
- (2) 치장벽체를 내력벽 또는 테두리보에 연결하기 위한 긴결철물의 유무 및 분포를 확인.
- (3) 긴결철물은 주로 벽체의 면외방향 하중을 지지하기 위한 것으로서 치장벽체의 자중은 벽체 하단에서 지지되는 것으로 가정.
- (4) 반면 치장벽체의 횡하중에 대한 관성력은 긴결철물에 의해 벽체에 직접 작용한다고 볼 수 있으므로 내력벽의 수평방향 질량에 반영.

5. 지반 및 기초

5.1 지반조사의 목적

- (1) 내진설계 및 성능평가를 위한 지반분류
- (2) 기존 및 신설 기초의 지지력 평가
- (3) 기타 사면과 옹벽의 내진안정평가

5.2 지반분류

- (1) 내진성능평가에 적용할 지반의 분류를 목적으로 시행.
- (2) 지반 분류에 필요한 기반암의 깊이와 토층의 평균전단파속도를 측정
- (3) 300m 이내의 지반조사 자료가 있을 경우 이를 근거로 지반 종류를 결정할 수 있음
(표 1은 S2로 판정되는 지반조사 결과의 예시)
- (4) 중력하중에 대한 반력을 기초로 허용지지력과 극한지지력을 추정: 정밀 평가를 위해서는 추가적으로 기초의 지지력 평가를 위한 시험을 실시할 수 있음.

표 1 전단파속도 (지반조사 자료의 예시)

종류	두께 (m)	V_S (m/s)	두께 / V_S (s)	기반암 깊이 (m)	$V_{S,soil}$ (m/s)
퇴적토	1.5	115	0.01300	10.5	292
퇴적토	1.5	145	0.01035		
풍화토	1.5	440	0.00341		
풍화암	1.5	621	0.00242		
풍화암	1.5	669	0.00224		
풍화암	1.5	669	0.00224		
풍화암	1.5	669	0.00224		
연암	19.5	760	0.02566		

5.3 기초 지지력 평가

- (1) 내진 특등급 건물이 아닐 경우 기초의 시험굴조사는 생략가능 (기능수행 성능의 평가가 포함되지 않음)
- (2) 도면이 없을 경우 중력하중에 대한 반력을 기초로 허용지지력과 극한지지력을 추정하여 평가 가능.
- (3) 도면이 없고 시험굴조사를 수행하지 않는 경우 기초형식은 경험적으로 판단 (예시: 조적조 내력벽 형식 건축물의 기초는 대부분 줄기초 형식으로 간주할 수 있음.)

6. 철근콘크리트조 조사

6.1 부재규격조사

- (1) 주요 구조부재를 대상으로 설계도서상 내용과 실제 시공 상태의 적부 여부를 확인
- (2) 주요 구조체(기둥, 보) 중 실측 가능한 부재에 대해 줄자 및 레이저미터(laser meter)를 이용하여 부재 치수를 조사함.

6.2 철근배근

- (1) 건축물의 기둥, 보 및 슬래브를 중심으로 철근탐사기를 이용하여 콘크리트 내부의 철근을 탐사함
- (2) 철근배근상태 조사는 부재 종별로 각각 3개소 이상 조사하여야 함.
- (3) 철근탐사를 통해 확인한 실제 배근상태를 반영한 구조도면 및 부재일람표를 작성하여 내진성능평가에 적용함.

6.3 콘크리트 압축강도

- (1) 파괴검사법(코어시험) 혹은 비파괴 검사법을 토해 압축강도를 추정
- (2) 시험방법 및 압축강도의 결정은 KS F 2422(2017) 등의 KS 기준 혹은 ‘시설물의 안전 및 유지관리 세부지침’을 따름
- (3) 코어시료를 채취할 때, 철근이 절단될 수 있으니 주의해야 함 (철근탐사기를 통해 철근의 위치를 파악하여 내력에 영향을 최소화할 수 있는 부분에서 코어시료를 채취)

7. 조적조 조사

7.1 규격 및 상태조사

- (1) 벽체의 두께, 개구부의 위치와 너비, 높이, 구조체와의 이격여부, 모르타르 사춤의 상태 등을 정확히 측정하여 도면화하여야 함.
- (2) 조적조 외벽은 콘크리트벽돌 내력벽 외에 치장벽돌, 단열재, 모르타르 마감 등으로 구성됨.
- (3) 조적조 내벽은 콘크리트벽돌 내력벽을 중심으로 벽체가 면한 실의 용도에 따라서 하나 이상의 면에 모르타르 마감이 적용될 수 있음.
- (4) 외주부의 치장벽돌은 벽보 바깥에 설치되는 경우 횡력을 전달할 수 없음. 또한 콘크리트 벽돌에 비해 상대적으로 강도가 낮고, 개체간 사춤상태가 불량하여 일체화 정도도 상대적으로 낮으므로 치장벽은 조적 전단벽의 두께에서 제외함
- (5) 모르타르 마감은 요령 6.1.1.3에 따라 상태가 양호한 경우에도 조적의 상태 판정에만 고려하고 두께에는 산입하지 않음.
- (6) 조적조 채움벽이 구조체와 밀실하게 연결되어 있는 경우, 구조요소로 취급함.
- (7) 채움벽과 보 사이에 이격여부에 따라 채움벽의 면외강도가 달라짐. 또한 허리벽은 기둥과 밀착되어 있을 경우 허리벽을 구조요소로 간주함.
- (8) 따라서 현장조사 시 조적조 채움벽과 허리벽의 밀착 여부, 높이, 두께, 마감 모르타르의 상태 등에 대해 조사를 실시하여 내진성능평가 시 고려함.

기존 건축물 내진성능평가 예제집

7.2 조적조 재료강도

- (1) 조적벽 상태평가 결과를 토대로 조적벽(혹은 조적채움벽)의 설계기준 압축강도, 인장강도 및 전단강도는 요령 표 6.1.1.에 따라 산정함
- (2) 벽면 전체의 양쪽 면에 양호한 모르타르 마감이 있는 경우 조적의 상태를 ‘양호’ 로 간주
- (3) 벽면 전체의 한쪽 면에만 양호한 모르타르 마감이 있는 경우 조적의 상태를 ‘보통’ 으 로 간주

8 강구조 조사

8.1 철골 볼트 접합부 및 강재 부식

- (1) 육안검사를 통해 철골부재의 용접부와 볼트접합부에서 발생할 수 있는 부식 여부, 볼트 누락 및 너트 풀림 등을 조사하고 이상이 있을 경우 보수하거나 내진성능평가를 위한 구조 해석시 반영
- (2) 철골 볼트 접합부 검사: 볼트 나사산이 너트 바깥으로 2~3선 이상 나오는 경우를 양호로 판정하고 그 이하일 경우 볼트 풀림을 의심하며 보수함.
- (3) 강재는 고온에서 강도가 저하하고 변형이 발생하며 부식에 취약함. 또한 접합부에 부식이 발생한 경우 접합성능이 저하되어 일체화된 거동을 기대하기 어려움.

건축물 내진성능평가 예제집

발행 국토안전관리원

2024년 7월 제정

* 본 예제집의 내용에 관한 질의 및 건의사항은 국토안전관리원으로
연락하여 주시기 바랍니다.

국토안전관리원 (https://www.kalis.or.kr) (우) 52856 경상남도 진주시 에나로 128번길 24 대표전화 1588-8788

본 예제집은 국토안전관리원 홈페이지에서 다운로드 받으실 수 있습니다.