



## 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 <sup>2)</sup>	기능수행
I	2400년	붕괴방지 <sup>1)</sup>
	1400년 <sup>2)</sup>	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.

## 2. 도면 및 현장조사

### 2.1 도면

#### (1) 구조평면도

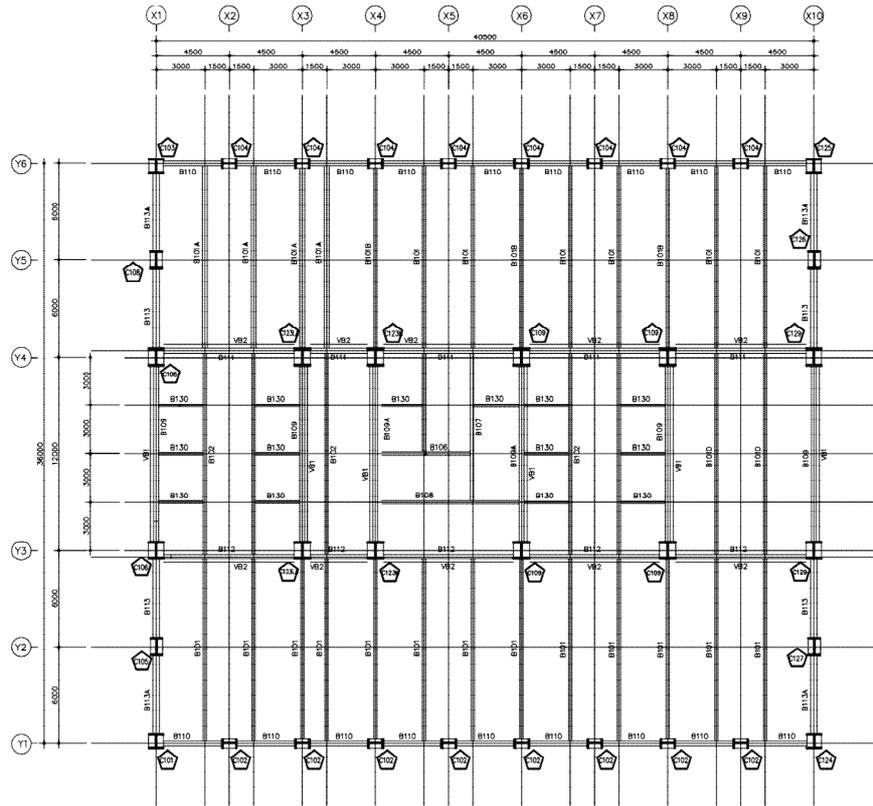


그림 2.1 구조평면도

#### (2) 입면도

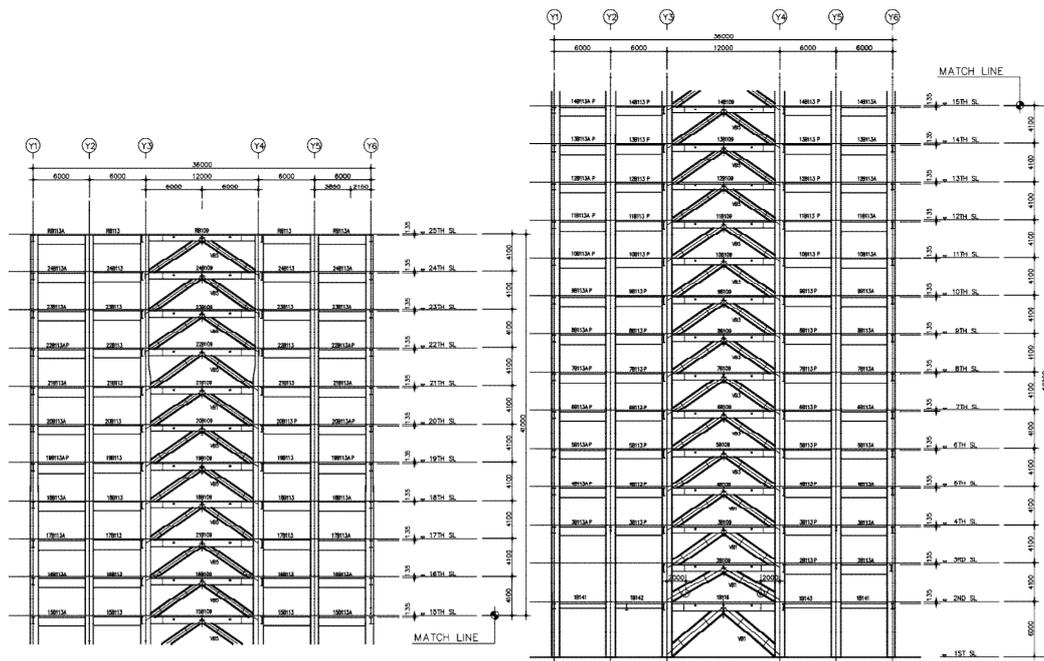


그림 2.2 입면도

## 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/m<sup>2</sup>)

용도(층)	고정하중 (DL)	활하중 (LL)	
지붕 (RF)	무근콘크리트 (t=150mm)	3.45	3.00
	데크슬래브 (t=175mm)	3.45	
	천정	0.40	
	-----	-----	
	소계	7.30	
공조실	무근콘크리트 (t=100mm)	2.30	6.00
	데크슬래브 (t=175mm)	3.45	
	천정	0.40	
	-----	-----	
	소계	6.15	
판매장	이중바닥	0.75	4.00
	데크슬래브 (t=175mm)	3.45	
	칸막이벽	1.00	
	천장	0.40	
	-----	-----	
	소계	5.60	
사무실	이중바닥	0.75	2.50
	데크슬래브 (t=175mm)	3.45	
	칸막이벽	1.00	
	천장	0.40	
	-----	-----	
	소계	5.60	
로비	대리석 및 모르타르 마감	1.75	5.00
	데크슬래브 (t=175mm)	3.45	
	천장	0.40	
	-----	-----	
	소계	5.60	
계단 계단참 (전층)	철골 자중	0.75	5.00
	마감 (t=200mm)	2.00	
	-----	-----	
	소계	2.75	
창고 다목적실	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/m<sup>2</sup> 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 <sup>2</sup> )	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.

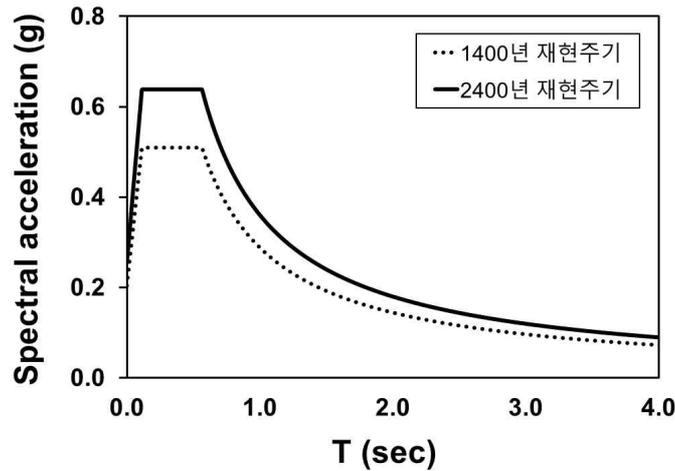


그림 3.1 가속도응답스펙트럼(1400년 및 2400년 재현주기)

### (5) 지진파 선정

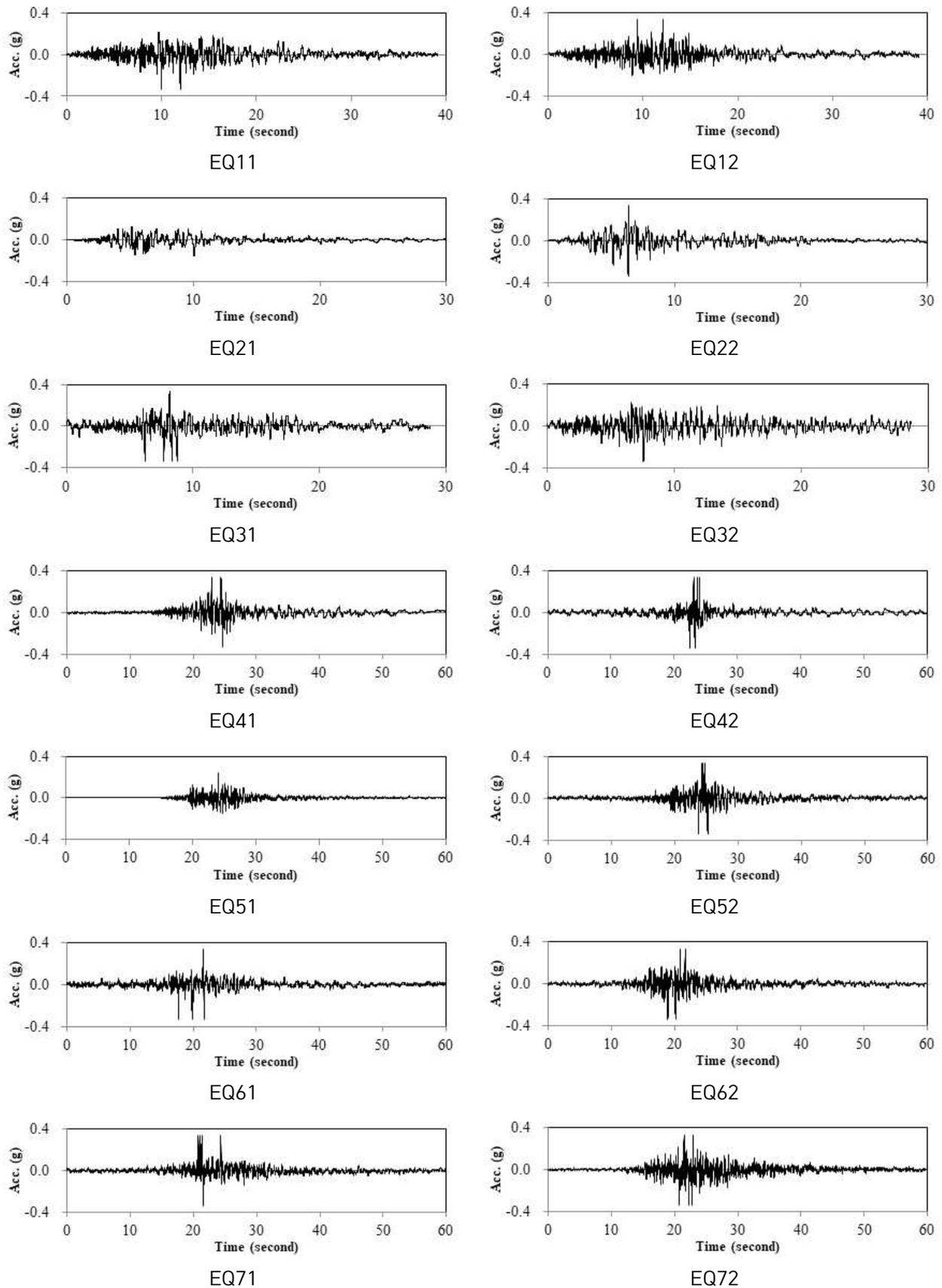
- ① 요령 “4.4.3 평가용 지진파”의 (2)항에 따라 관측소에서 계측된 평면상에서 서로 직교하는 2성분의 쌍으로 구성된 개별 지반운동을 성분별로 5% 감쇠비의 응답스펙트럼을 작성하고, 주기별로 제합합제곱근(SRSS)을 취하여 제합합제곱근 스펙트럼을 산정하며, 이 제합합제곱근 스펙트럼들의 평균값이 설계대상 구조물 기본진동주기의 0.2배부터 1.5배 사이에 해당되는 주기에 대해서 평가지진 가속도응답스펙트럼의 1.3배의 110%가 되도록 주파수 성분을 조정함.

※ 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



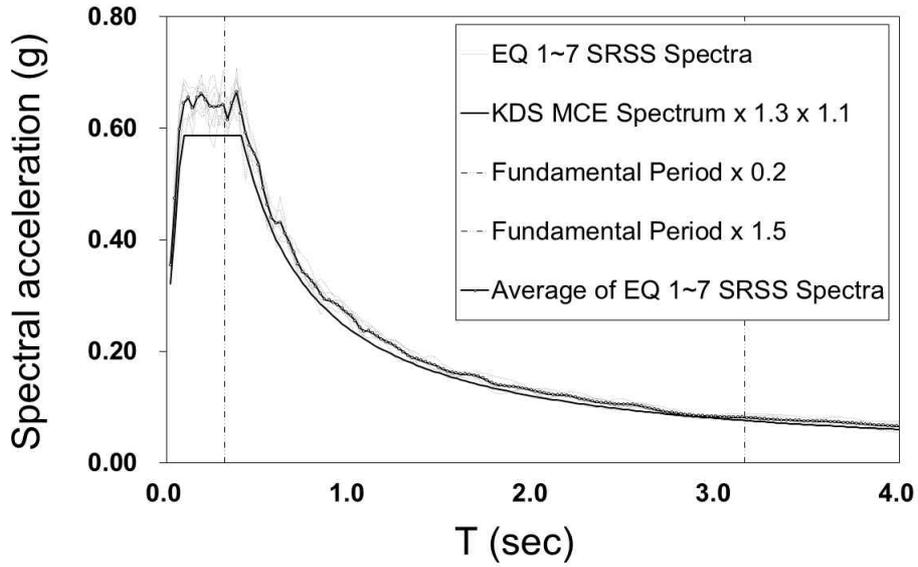


그림 3.2 2400년 재현주기 요구스펙트럼에 스케일링한 지진파의 평균 스펙트럼

### 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  $\theta_y$ 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			
$\frac{b}{t_f} \leq 0.3\sqrt{E/F_{ye}}$ 및 $\frac{h}{t_w} \leq 2.45\sqrt{E/F_{ye}}$	$9\theta_y$	$11\theta_y$	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  $\theta_y$ 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			
$\frac{b}{t_f} \leq 0.3\sqrt{E/F_{ye}}$ 및 $\frac{h}{t_w} \leq 2.45\sqrt{E/F_{ye}}$	$\theta_y$	$9\theta_y$	$11\theta_y$
$\theta_y = 0.003rad$ 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.

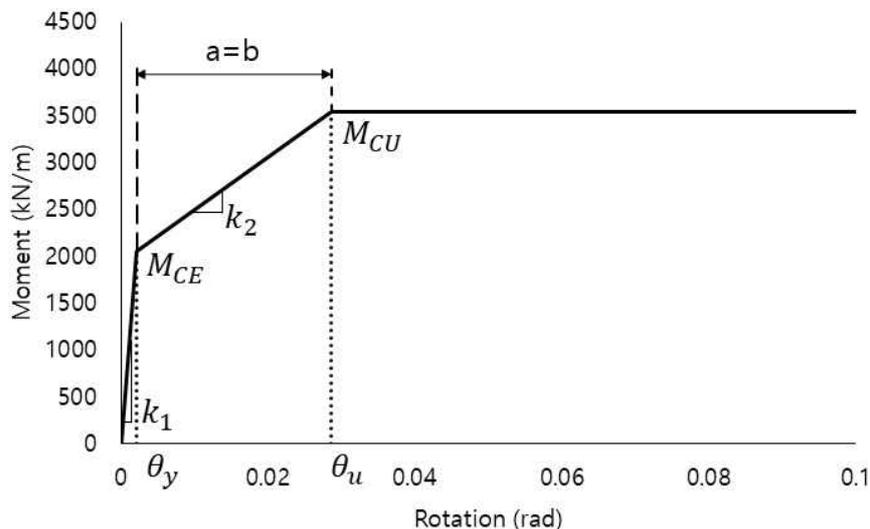


그림 4.1 패널존 모멘트-회전각 관계

(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	$\theta_y$	$12\theta_y$	$12\theta_y$
$\theta_y = 0.0022 \text{ rad}$ 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  $\Delta_c$ 는 기대좌굴하중에 축강성을 나누어 산정함.

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

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

∴ 압축방향 모델링 변수는  $a = 4.52mm$ ,  $b = 58.70mm$ ,  $c = 0.38mm$

② 인장방향

기대인장항복하중에서의 축방향 변형  $\Delta_T$ 는 기대인장항복하중/축강성으로 산정함.

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

∴ 인장방향 모델링 변수는  $a = 112mm$ ,  $b = 145.6mm$ ,  $c = 0.6mm$

## 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:

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

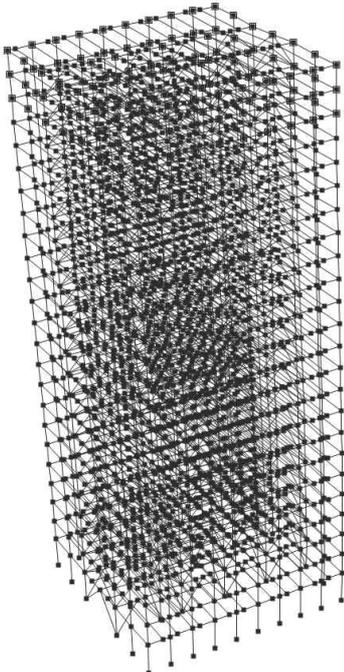
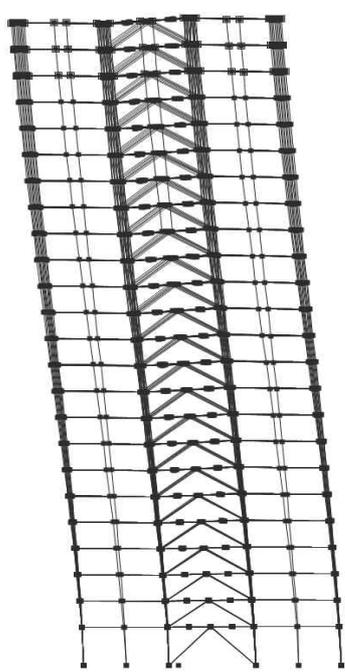
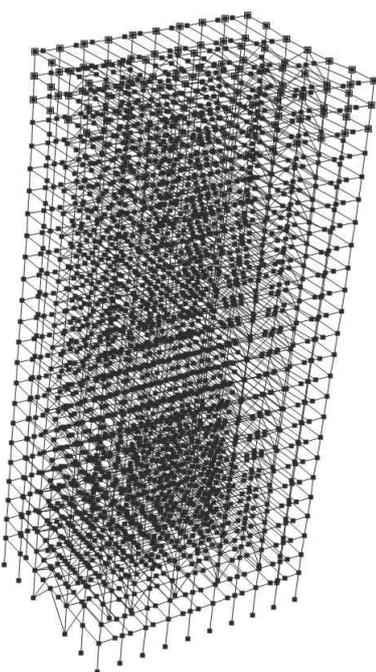
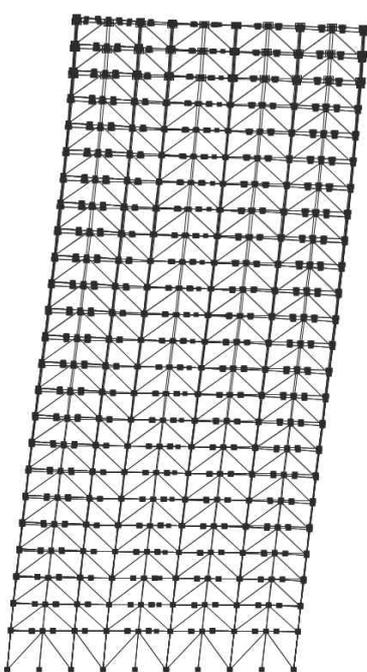
$$\rightarrow \alpha = 0.0087934, \beta = 0.00029513$$

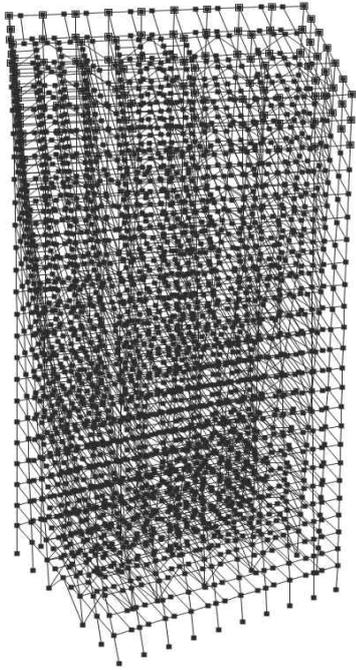
## 4.3 고유치해석 결과

표 4.1 고유치 해석 결과

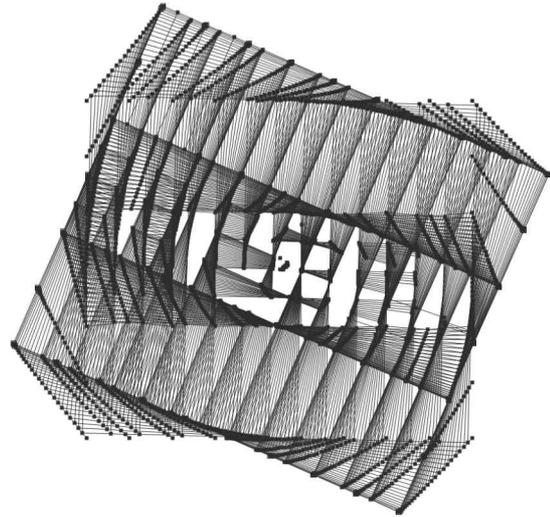
모드	주기 (초)	질량참여율 (%)		
		X방향	Y방향	비틀림
1	2.102	0.0	73.7	0.4
2	1.587	77.8	0.0	0.0
3	1.548	0.0	0.3	80.5
4	0.657	0.0	15.7	0.0
5	0.522	14.2	0.0	0.0
6	0.518	0.0	0.1	10.4
7	0.344	0.0	4.4	0.1
누적참여율		92.0	94.2	91.4

표 4.2 모드형상

	
<p>1차 모드 (Y방향) - 2.102초</p>	<p>1차 모드 (Right View)</p>
	
<p>2차 모드 (X방향) - 1.587초</p>	<p>2차 모드 (Front View)</p>



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)

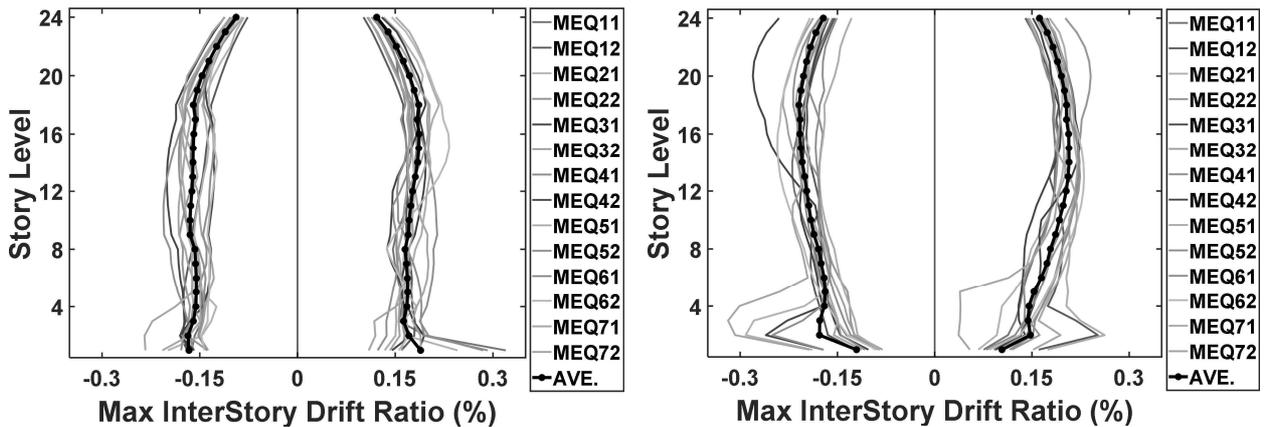
층	10	LS	CP	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
전층	1	1	1	10	0	10

## 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.



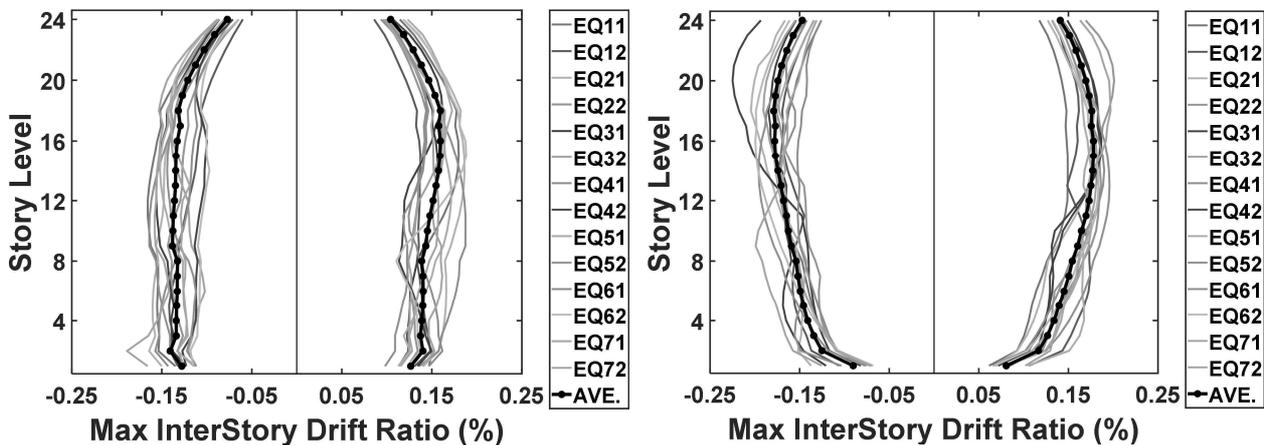
(a) X방향 층간변형각

(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( $\phi$ )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

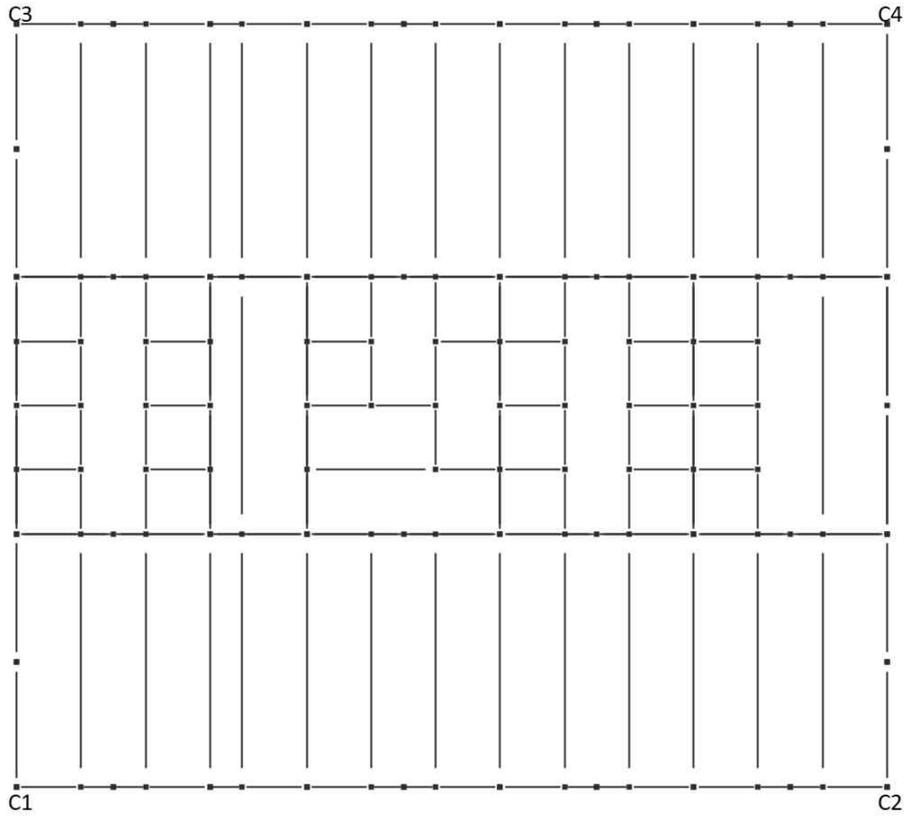


그림 6.1 축력산정 기둥 위치

## 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