선형동적절차

1. 건물개요

1.1 일반사항

(1) 건 물 명 : 00 빌딩
(2) 소 재 지 : 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) 지 하 층 : 없음
(3) 건물높이 : 15.5m (기준층 층고 3.5m)
(4) 건물길이 : 장변방향 (X방향) : 21ｍ
단변방향 (Y방향) : 15.05ｍ
(5) 연 면 적 : 1,278.96m^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(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.

[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, 허용층간변형각은 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

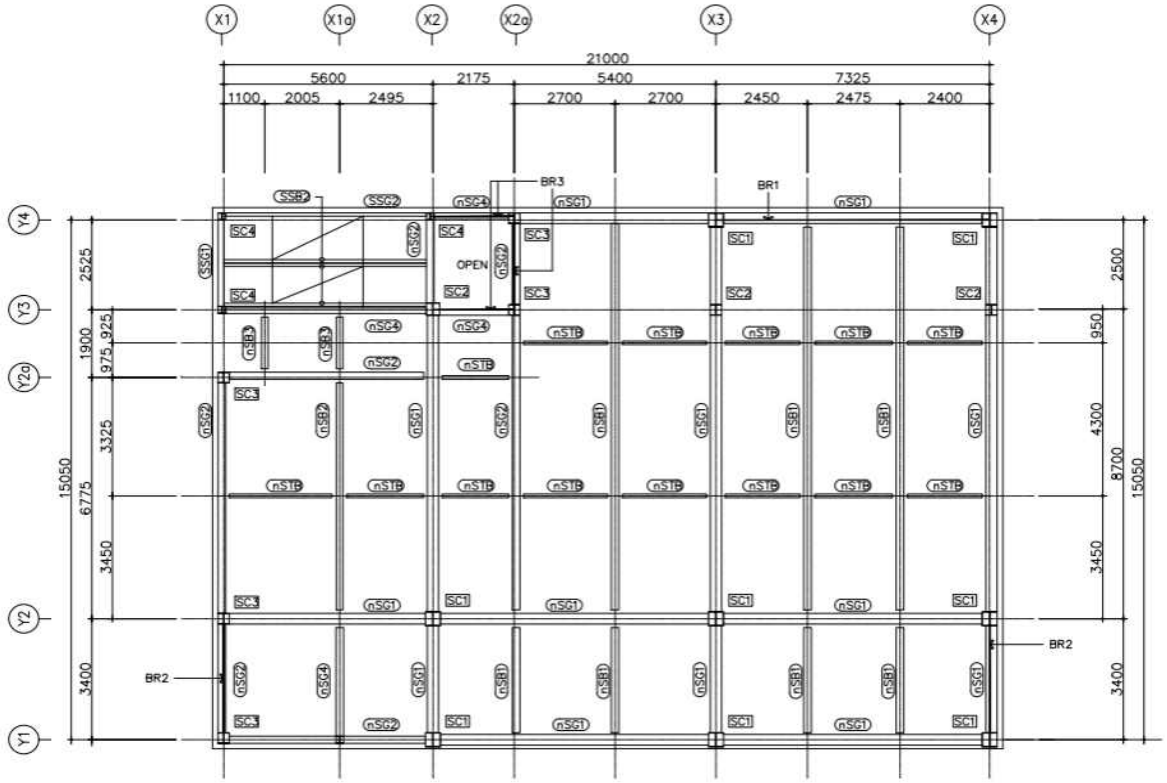


그림 2.1 2층 구조 평면도

(2) 입면도

그림 2.2 좌측면도(좌), 정면도(우)

(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/㎡)

용 도 (층)	고정하중 (DL)		활하중 (LL)
지 붕 (RF)	샌드위치 패널	0.30	1.00 (비점유)
	펄린	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	
사 무 실 (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	
화 장 실 (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	
계 단 계 단 참 (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 창고 활하중의 25%, ② 칸막이벽 실제 중량과 0.5 kN/㎡ 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 (㎡)	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	행 정 구 역		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

(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 S_2에 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.

$$S_{XS} = S \times 2.5 \times F_a = 0.19 \times 2.5 \times 1.4 = 0.665\,g$$
$$S_{X1} = S \times F_v = 0.19 \times 1.41 = 0.2679\,g$$
$$T_o = 0.2 S_{X1}/S_{XS} = 0.0806\,\mathrm{sec}$$
$$T_s = S_{X1}/S_{XS} = 0.403\,\mathrm{sec}$$
$$T_L = 5\,\mathrm{sec}$$

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

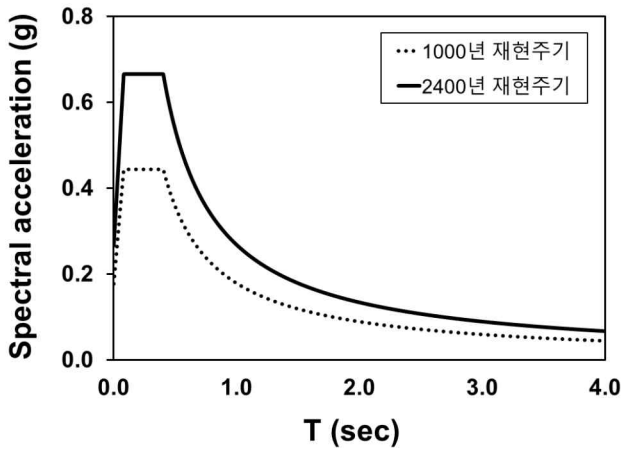


그림 3.1 요구스펙트럼

(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 C는 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 밑면전단력을 SRSS로 구한 값을 아래 표에 제시함.

표 3.4 밑면전단력(1000년 재현주기)

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

표 3.5 밑면전단력(2400년 재현주기)

재현주기	방향	하중	밑면전단력 (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 3.7와 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

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

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

$S_x = 2.5\times10^6 mm^3$, $Z_x = 2.79\times10^6 mm^3$, $r_{ts} = 79.5mm$, $r_y = 6.82\times10^1 mm$, $J_c = 8.76\times10^5 mm^4$

<플랜지 폭두께비>

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{300}{2\times15} = 10.00$$

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

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

<웨브의 폭두께비>

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{482-15\times2-26\times2}{11} = 36.36$$

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

① 항복강도

$$Q_{CE} = M_{CE} = ZF_{ye}$$
$$= 2.79\times10^6 \times 378\times10^{-6} = 1054.6\,kN\cdot m$$

② 횡비틀림좌굴강도

$$L_b = 2.7m$$

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

$\rightarrow$ $L_b \leq L_p$이니 횡비틀림좌굴강도 고려하지 않음

③ 플랜지 국부좌굴강도

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

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

(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 '철골완전강접모멘트접합부'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.

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

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

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

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

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(482㎜)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					
$\frac{b_f}{2t_f} \le 0.3\sqrt{E/F_{ye}}$ 및 $\frac{h}{t_w} \le 2.45\sqrt{E/F_{ye}}$	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.				
철골완전강접모멘트접합부					
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 음수값이 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 휨강도는 소성모멘트, 기둥좌굴강도, 플랜지 국부좌굴강도, 웨브 국부좌굴강도 중 최소값을 선택함.

기둥 부재: H-300×300×10×15

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

$S_x = 1.36\times10^6 mm^3$, $S_y = 4.5\times10^5 mm^3$, $Z_x = 1.5\times10^6 mm^3$, $Z_y = 6.84\times10^5 mm^3$,

$A_g = 1.198\times10^4 mm^2$, $r_x = 1.31\times10^2 mm$, $r_y = 7.51\times10^1 mm$, $r_{st} = 8.41\times10^1 mm$,

$J_c = 7.65\times10^5 mm^4$

① 공칭압축강도

<플랜지 폭두께비>

$$\lambda = \frac{b}{t_f} = \frac{300}{2\times15} = 10$$

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

<웨브의 폭두께비>

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{300-15\times2-18\times2}{10} = 23.40$$

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

$$\frac{K_xL_x}{r_x} = \frac{0.89\times4400}{131} = 29.89 < \frac{K_yL_y}{r_y} = \frac{0.77\times4400}{75.1} = 45.11 \rightarrow \lambda_y\text{가 좌굴강도를 지배}$$

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

$$F_e = \frac{\pi^2E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2\times205{,}000}{45.11^2} = 994.3\,MPa$$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right]F_y = \left[0.658^{\frac{315}{994.3}}\right]\times315 = 275.9\,MPa$$

$$P_{CL} = F_{cr}A_g = 275.9\times11980\times10^{-3} = 3305.3\,kN$$

② 기대인장강도

$$T_{CE} = F_{ye}A_g = 378\times11980\times10^{-3} = 4528.44\,kN$$

③ 강축의 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>

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

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

㉮ 항복강도

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

㉯ 횡비틀림좌굴강도

$$L_b = 4.4m$$

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

$$L_r = 1.95\times r_{ts}\frac{E}{0.7F_y}\sqrt{\frac{J_C}{S_x h_o}}\sqrt{1+\sqrt{1+6.76\left(\frac{0.7F_y}{E}\frac{S_x h_o}{J_C}\right)^2}}$$

$$= 1.95\times 84.1\times \frac{205{,}000}{0.7\times 315}\sqrt{\frac{7.65\times 10^5}{1.36\times 10^6\times(300-15)}}\sqrt{1+\sqrt{1+6.76\left(\frac{0.7\times 315}{205{,}000}\frac{1.36\times 10^6\times(300-15)}{7.65\times 10^5}\right)^2}}$$

$$= 112000\,mm = 11.2\,m$$

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

$$M_n = C_b\left[M_p - (M_p - 0.7F_{ye}S_x)\left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p}\right)\right]$$

$$= 1\times\left[567-(567-0.7\times 378\times 1.36\times 10^6\times 10^{-6})\left(\frac{4.4-3.37}{11.2-3.37}\right)\right]$$

$$= 539.75\,kN{\cdot}m \le M_p = 567\,kN{\cdot}m$$

㉰ 플랜지 국부좌굴강도

$$M_n = \left[M_p - (M_p - 0.7F_{ye}S_x)\left(\frac{\lambda-\lambda_{pf}}{\lambda_{rf}-\lambda_{pf}}\right)\right]$$

$$= \left(567-(567-0.7\times 378\times 1.36\times 10^6\times 10^{-6})\left(\frac{10-9.69}{25.51-9.69}\right)\right)$$

$$= 562.94\,kN{\cdot}m$$

∴ 기둥 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>

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

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

㉮ 항복강도

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

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

㉯ 플랜지 국부좌굴강도

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

∴ 기둥 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 기둥의 휨거동은 압축력이 공칭압축강도 P_{CL}의 50 % 이하일 때 변형지배거동, 초과할 때 힘지배거동으로 간주함. 예제에서는 모든 기둥 부재에서 압축력이 공칭압축강도 P_{CL}의 50 % 이하임을 확인하고 기둥의 휨거동을 변형지배거동으로 간주함.

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

<플랜지 폭두께비>

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

<웨브의 폭두께비>

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

요령 <표 7.4.1>의 '기둥-휨' 에서 조건은 다음과 같이 구함.

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

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

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

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

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

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

위 조건은 <표 7.4.1>에서 $\frac{b}{t_f} > 0.38\sqrt{E/F_{ye}}$ 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 기둥-휨 m계수 산정

부재 및 조건	거주가능	1차부재		2차부재	
		인명안전	붕괴방지	인명안전	붕괴방지
기둥-휨					
$P < 0.2P_{CL}$인 경우					
$\frac{b_f}{2t_f} \le 0.3\sqrt{E/F_{ye}}$ 및 $\frac{h}{t_w} \le 1.76\sqrt{E/F_{ye}}$	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 웨브 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 기둥-보 접합면에서 보의 휨강도 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})

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

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

- 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})

$Q_{CE} = M_{CE} = ZF_{ye}$

$= 2.79 \times 10^6 \times 378 \times 10^{-6} = 1054.62\,kN \cdot m$

- 보의 휨강성(k_θ)

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

- 기대휨강도비(패널존/보)

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

- 휨강성비(패널존/보)

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

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

(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

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

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

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

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

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

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

② 기대인장강도

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

(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.

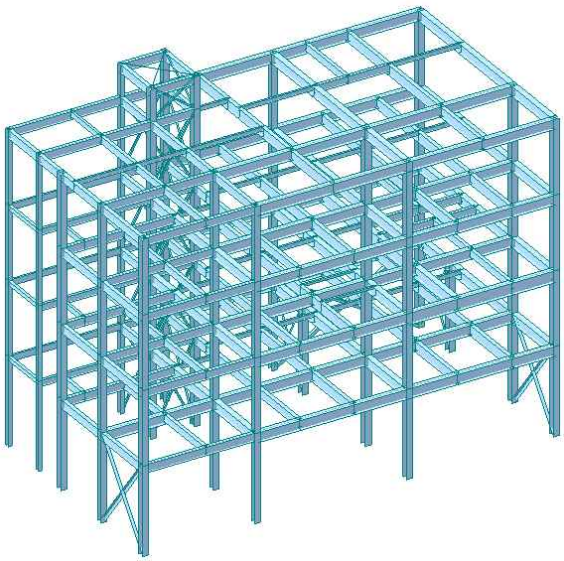
표 4.3 압축가새 m계수 산정

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)]

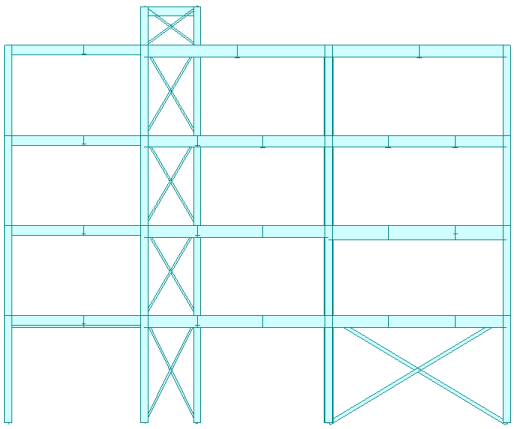
1) 건축구조기준의 철골특수중심가새골조를 위한 접합부 요구조건을 만족하지 않는 경우, 허용기준에 0.8을 곱한다.
5) 쌍ㄱ형강, 강관, 파이프, 단일ㄱ형강의 경우, m 계수에 0.8을 곱한다.

4.2 구조해석모델

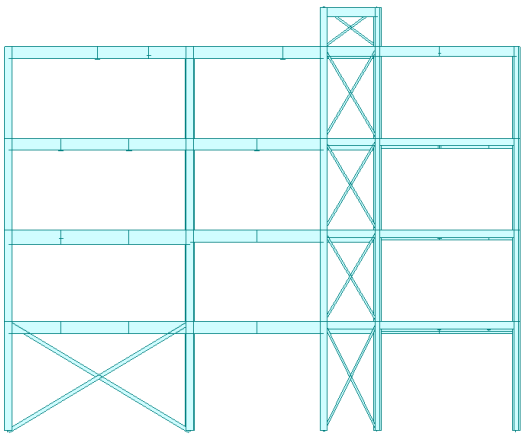
표 4.4 모델링



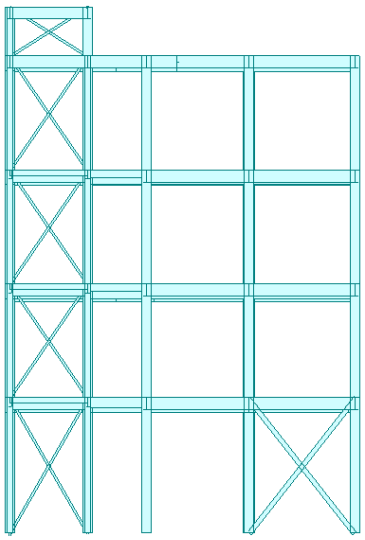
해석모델



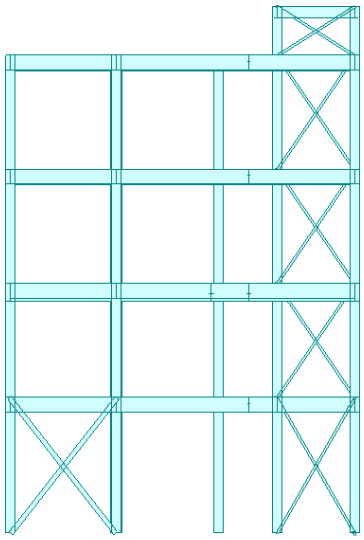
입면도



배면도



좌측면도



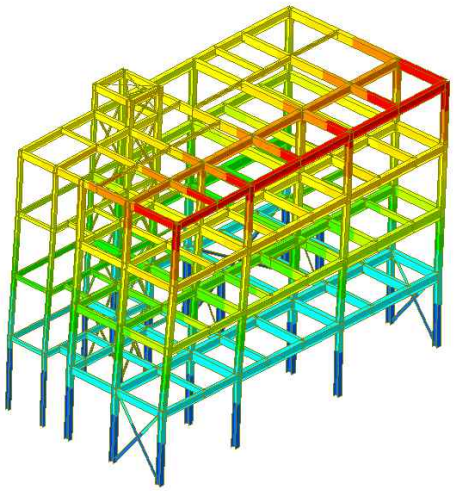
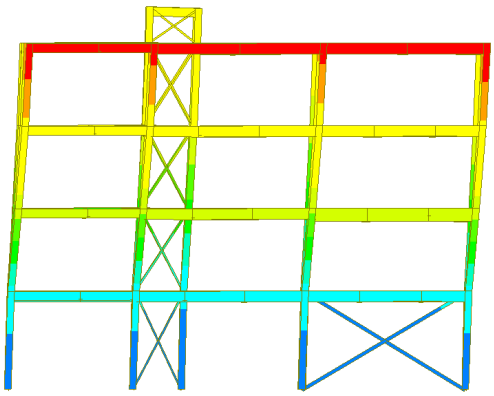
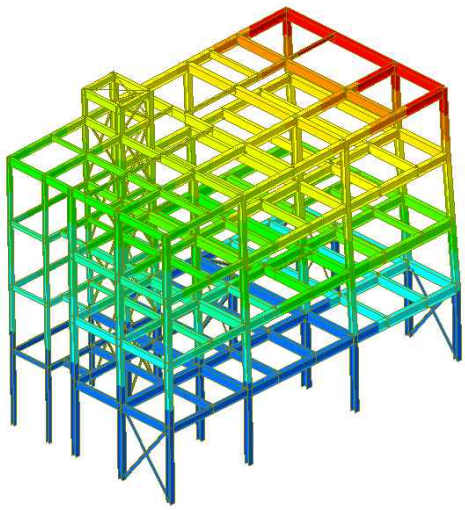
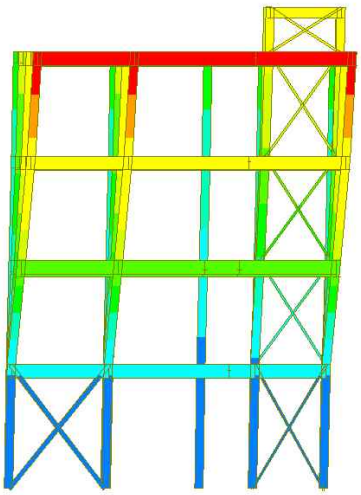
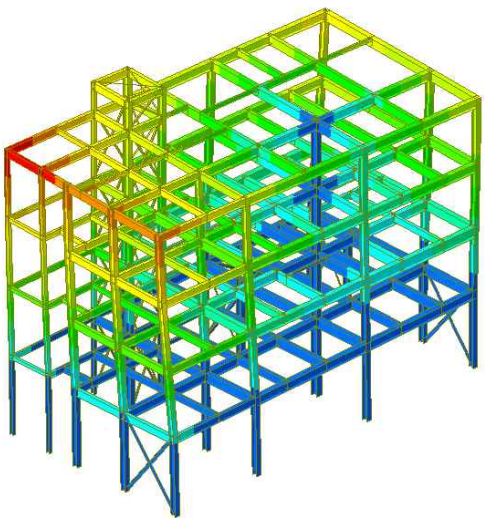
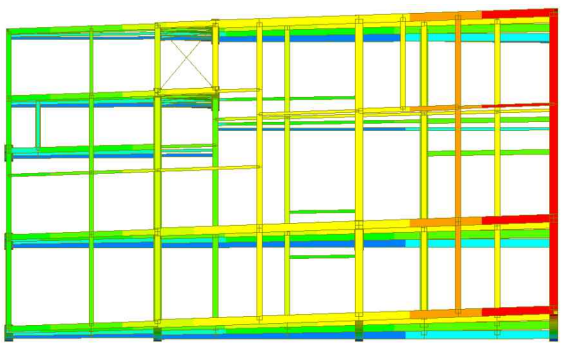
우측면도

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
누적참여율		99.2	100.0	90.4

표 4.6 모드 형상

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

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.

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, $T = 0.571\,\mathrm{sec} < 3.5T_S = 3.5 \times 0.403 = 1.41\,\mathrm{sec}$ → 해당하지 않음

②번 검토 결과, 층별 수평치수 변화 없음 → 해당하지 않음

③번 검토 결과, 150%를 초과함 → 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 → 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 → 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	O
④	수직 강성 비정형 (옥탑층을 제외한 임의 층의 평균 변형각이 인접한 상부층 혹은 하부층의 평균변형각의 150%를 초과)이 있는 경우	O
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	IO	LS	CP	80% 만족 기준	붕괴 부재 수	판정
지붕층	15.5	ALL	1	1	1	IO	0	OK
4층	11.8	ALL	1	1	1	IO	0	OK
3층	8.1	ALL	1	1	1	IO	0	OK
2층	4.4	ALL	1	1	1	IO	0	OK

표 6.2 수직부재 중력하중 분담비율 검토 결과

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

표 6.4 수직부재 중력하중 분담비율 검토 결과

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

∴ 검토결과 1000년 재현주기 지진에 인명보호 성능목표를 만족함.

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	허용층간변형각	층간변형각	판정	하중조합	허용층간변형각	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	허용층간변형각	층간변형각	판정	하중조합	허용층간변형각	층간변형각	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

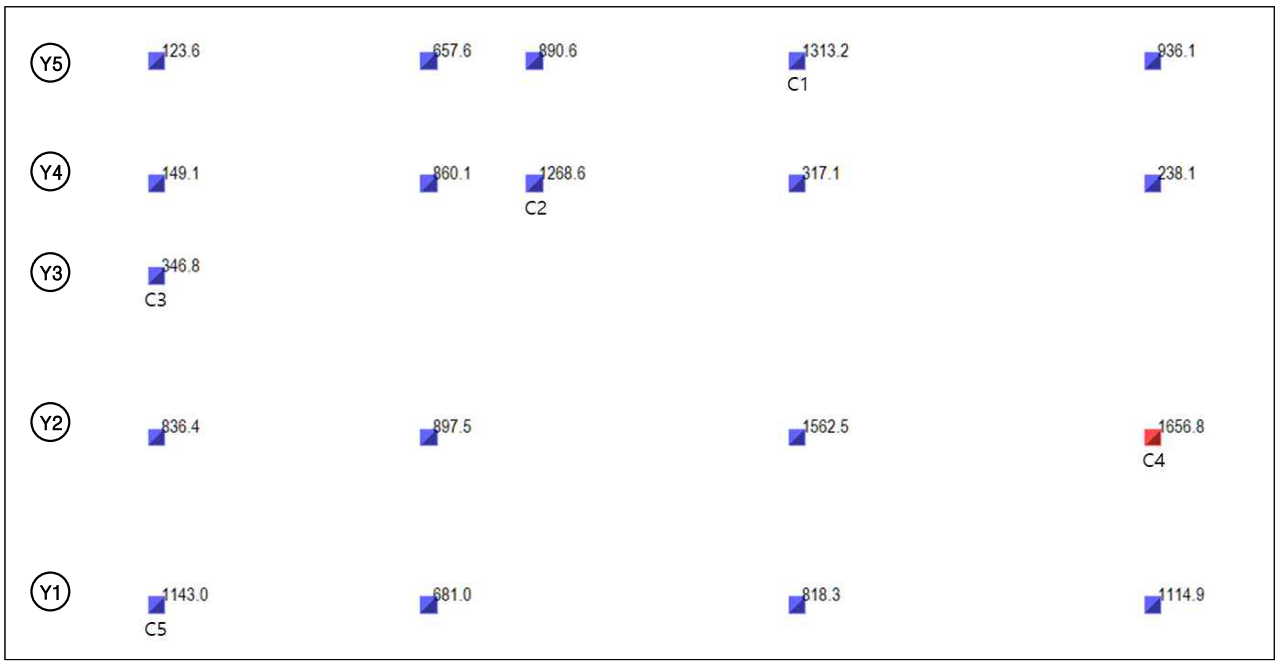
(1) 기초의 기대지지력(q_e)은 요령 "8.3 (1)"의 식 (8.3.1)에 따라 허용지지력(q_{all})의 3배로 하고, 강도감소계수(ϕ)는 1.0을 사용함.

(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 붕괴방지의 성능수준을 만족함.

(2) 1000년 재현주기 지진 작용시 중력하중저항능력과 층간변형각 기준 모두 목표성능인 인명안전의 성능수준을 만족함.

(3) 기초 안전성에는 문제가 없는 것으로 평가됨

표 8.1 최종 평가결과

해석방법	성능목표	방향	중력하중저항능력	붕괴부재	허용층간변형각	조적벽 안전성	기초 안전성	평가결과	비고
선형동적해석	인명안전	X축	만족	-	만족	해당없음	-	만족	
		Y축			만족	해당없음	-	만족	
	붕괴방지	X축	만족	만족	만족	-	만족	만족	
		Y축			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)	Me (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

층	단면	부재	절점	Demand	Capacity	m-Factor			DCR			판정
				M_u (kN·m)	Me (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} $(kN \cdot m)$	M_{uz} $(kN \cdot m)$	P_u (kN)	P_{nC} (kN)	M_{cy} $(kN \cdot m)$	M_{cz} $(kN \cdot m)$	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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO

층	단면	부재	절점	Demand			Capacity			m-Factor			DCR			판정
				M_{uy} $(kN \cdot m)$	M_{uz} $(kN \cdot m)$	P_u (kN)	P_{nC} (kN)	M_{cy} $(kN \cdot m)$	M_{cz} $(kN \cdot m)$	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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO
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	IO

<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	IO
Roof	L 75x6	543	J	6.27	58.72	357.37	1.25	4	5.6	0.01	0	0	IO
Roof	L 75x6	544	I	5.02	58.72	357.37	1.25	4	5.6	0.01	0	0	IO
Roof	L 75x6	544	J	5.13	58.72	357.37	1.25	4	5.6	0.01	0	0	IO
Roof	L 75x6	567	I	1.54	50.58	357.37	1.25	4	5.6	0	0	0	IO
Roof	L 75x6	567	J	1.66	50.58	357.37	1.25	4	5.6	0	0	0	IO
Roof	L 75x6	568	I	7.34	50.58	357.37	1.25	4	5.6	0.02	0.01	0	IO
Roof	L 75x6	568	J	7.46	50.58	357.37	1.25	4	5.6	0.02	0.01	0	IO
4F	L 75x6	541	I	82.95	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.19	0.06	0.04	IO
4F	L 75x6	541	J	83.23	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.19	0.06	0.04	IO
4F	L 75x6	542	I	58.81	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.13	0.04	0.03	IO
4F	L 75x6	542	J	59.08	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.13	0.04	0.03	IO
4F	L 75x6	551	I	56.34	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.13	0.04	0.03	IO
4F	L 75x6	551	J	56.62	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.13	0.04	0.03	IO
4F	L 75x6	552	I	76.17	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.17	0.05	0.04	IO
4F	L 75x6	552	J	76.45	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.17	0.05	0.04	IO
4F	L 75x6	565	I	39.35	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.09	0.03	0.02	IO
4F	L 75x6	565	J	39.62	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.09	0.03	0.02	IO
4F	L 75x6	566	I	28.97	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.06	0.02	0.01	IO
4F	L 75x6	566	J	29.25	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.07	0.02	0.01	IO
3F	L 75x6	539	I	144.22	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.32	0.1	0.07	IO
3F	L 75x6	539	J	144.5	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.32	0.1	0.07	IO
3F	L 75x6	540	I	125.54	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.28	0.09	0.06	IO
3F	L 75x6	540	J	125.82	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.28	0.09	0.06	IO
3F	L 75x6	549	I	122.72	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.27	0.09	0.06	IO
3F	L 75x6	549	J	122.99	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.28	0.09	0.06	IO
3F	L 75x6	550	I	141.05	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.32	0.1	0.07	IO
3F	L 75x6	550	J	141.32	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.32	0.1	0.07	IO
3F	L 75x6	563	I	57.9	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.13	0.04	0.03	IO
3F	L 75x6	563	J	58.17	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.13	0.04	0.03	IO
3F	L 75x6	564	I	49.2	38.71	357.37	1.25	4	5.6	0.11	0.03	0.02	IO

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

<이하 생략>