

벽식공동주택의 성능기반내진설계

청주대학교 건축공학과 교수
김 동 관

발 표 내 용

- 성능기반설계의 목적
- 성능기반설계 개요
- 성능기반설계지침
- 성능기반설계의 절차
- 비선형 해석모델
- 비선형 정적해석
- 비선형 동적해석

성능기반설계의 목적

● 설계 및 시공현황



<인방보 대각철근 조립>



<벽체 경계요소 철근 조립>

- KBC 구조기준에서 내진설계범주 D에 속하고, 높이가 60m초과인 경우, 특수 전단벽으로 설계
- 최외단부에 경계요소를 적용하여 부재의 연성능력 증가 목적
- 경계요소 적용은 철근배근시공 난이도를 요하며 콘크리트 타설이 용이하지 않음 (균열 및 피복탈락 등 문제)



<벽체 배근>



<인방보 배근>

- 시공성 저하 및 철근물량 증가 -> 정착 및 구조일체화 문제점
- 콘크리트타설불량에 의한 구조하자의 가능성

● 기준상의 근거

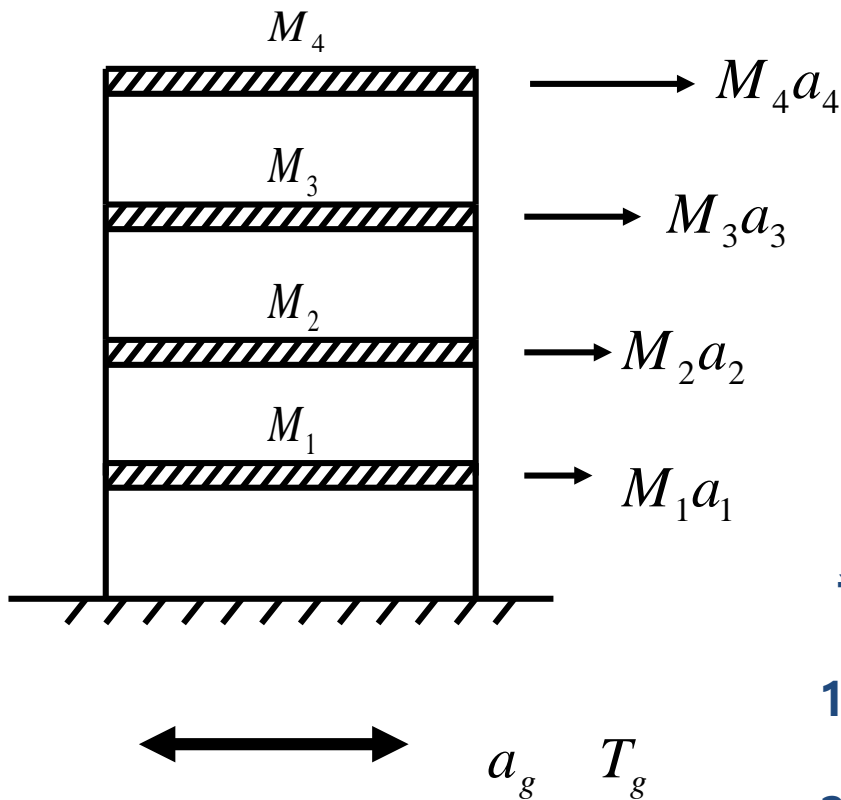
- 1) 건축구조기준(KBC2009)에 예외 규정에 의해 철근콘크리트구조 형식이라도 실험이나 해석에 의해 이 장에서 요구되는 사항을 만족하거나, 그 이상의 구조성능을 갖는 것이 증명된다면 이를 사용할 수 있다고 규정
 - 2) KBC 2016 "비탄성해석을 사용하여 구조물의 비탄성변형응답을 보다 정확히 설계에 반영하거나, 다양한 성능수준을 만족하도록 설계하고자 하는 경우 또는 규정된 각 시스템계수를 적용 어려운 경우 **성능설계법**을 적용할 수 있다."
- > 이러한 규정에 근거하여 **비선형 정적해석 및 동적해석**을 수행하여 구조물의 성능 수준 확인 및 합리적인 설계를 통한 시공성 향상을 목적으로 함

성능기반설계 개요

지진하중 = 지반운동에 의한 관성력 (동적하중)



지진하중의 본질 = 동적하중, 비선형거동, 지반변위하중



$$F = ma$$

$$ma + cv + ku = -ma_g$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K}}$$

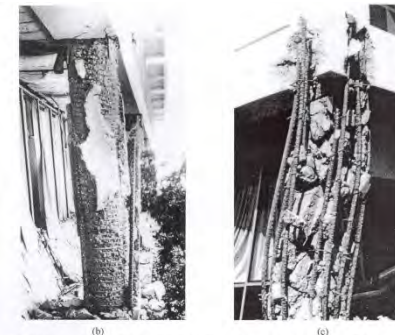
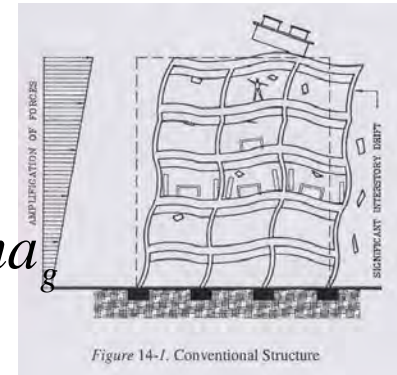


Figure 10-18. Damage to columns of the 4-story Olive View Hospital building during the February 9, 1971 San Francisco, California, earthquake. (From Ref. 10-38.) (a) A wing of the building showing approximately 2 ft drift in its first story. (b) Spirally reinforced concrete column in first story. (c) Tied rectangular corner column in first story.

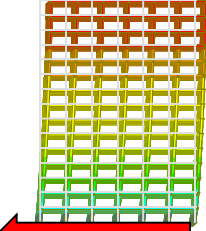
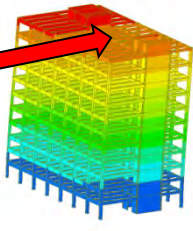
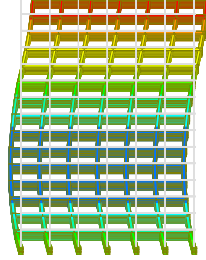
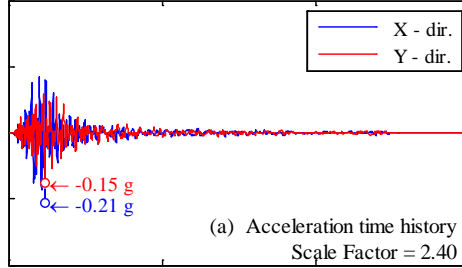
주요변수

1. 지반의 가속도

a_g

2. 공진에 의한 증폭

T_g vs T

| 분 류 | 선형해석(하중기반설계) | 비선형해석(성능기반설계) |
|-------|---|--|
| 정적 해석 |  <p>밀면전단력 ← 증가 정적 해석</p> |  <p>PUSH</p> <p>비탄성 정적 해석 (PUSHOVER 해석)</p> |
| 동적 해석 |  <p>선형 동적 해석 (동적 해석)</p> |  <p>(a) Acceleration time history Scale Factor = 2.40</p> <p>비탄성 동적 해석 (비탄성 시간이력해석)</p> |

선형탄성해석기반 설계

성능기반설계방법

● 등가정적해석법 (선형탄성해석기반)

$$V = C_s W$$

$$C_s \rightarrow 0.01 \leq \frac{S_{D1} I_e}{R} \cdot \frac{1}{T} \leq \frac{S_{DS} I_e}{R}$$

I_e : 건축물의 중요도 계수

R : 반응수정계수

S_{DS} : 단주기 설계스펙트럼 가속도

S_{D1} : 주기 1초에서의 설계스펙트럼 가속도

T : 건축물의 고유주기

W : 유효 건물중량

C_s : 지진응답계수

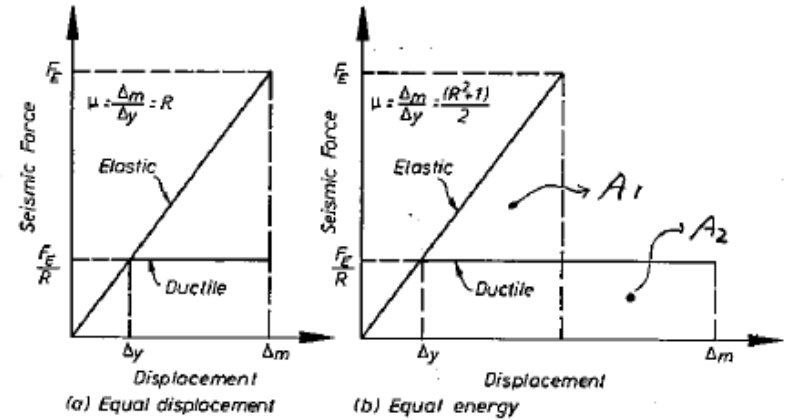
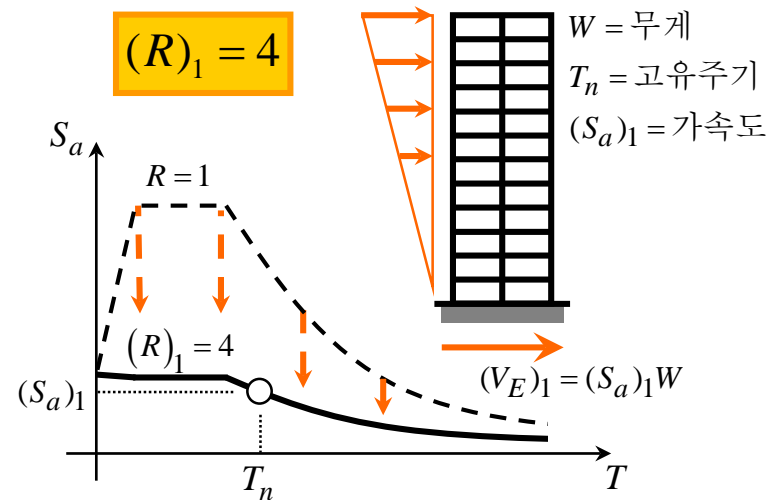


Fig. 2.22 Relationship between ductility and force reduction factor.



● 등가정적해석법 (선형탄성해석기반)

〈표 0306.6.1〉 지진력저항시스템에 대한 설계계수

| 기본 지진력저항시스템 ¹⁾ | 설계계수 | | | 시스템의 제한과 높이(m) 제한 | | |
|-------------------------------------|----------------|-----------------------------|------------------|----------------------|--------------|--------------|
| | 반응수정 계수 R | 시스템초과 감도계수 Ω_0 | 변위증폭 계수 C_d | 내진설계 범주 A 또는 B | 내진설계 범주 C | 내진설계 범주 D |
| 1. 내력벽 시스템 | | | | | | |
| 1-a. 철근콘크리트 특수전단벽 | 5 | 2.5 | 5 | — | — | — |
| 1-b. 철근콘크리트 보통전단벽 | 4 | 2.5 | 4 | — | — | 60 |
| 1-c. 철근보강 조적 전단벽 | 2.5 | 2.5 | 1.5 | — | 60 | 불가 |
| 1-d. 무보강 조적 전단벽 | 1.5 | 2.5 | 1.5 | — | 불가 | 불가 |
| 2. 건물골조 시스템 | | | | | | |
| 2-a. 철골 편심가새골조(링크 타단 모멘트 저항 접합) | 8 | 2 | 4 | — | — | — |
| 2-b. 철골 편심가새골조(링크 타단 비모멘트 저항 접합) | 7 | 2 | 4 | — | — | — |
| 2-c. 철골 특수중심가새골조 | 6 | 2 | 5 | — | — | — |
| 2-d. 철골 보통중심가새골조 | 3.25 | 2 | 3.25 | — | — | — |
| 2-e. 합성 편심가새골조 | 8 | 2 | 4 | — | — | — |
| 2-f. 합성 특수중심가새골조 | 5 | 2 | 4.5 | — | — | — |
| 2-g. 합성 보통중심가새골조 | 3 | 2 | 3 | — | — | — |
| 2-h. 합성 강판전단벽 | 6.5 | 2.5 | 5.5 | — | — | — |
| 2-i. 합성 특수전단벽 | 6 | 2.5 | 5 | — | — | — |
| 2-j. 합성 보통전단벽 | 5 | 2.5 | 4.5 | — | — | 60 |
| 2-k. 철골 특수강판전단벽 | 7 | 2 | 6 | — | — | — |
| 2-l. 철골 좌굴방지가새골조(모멘트 저항 접합) | 8 | 2.5 | 5 | — | — | — |
| 2-m. 철골 좌굴방지가새골조(비모멘트 저항 접합) | 7 | 2 | 5.5 | — | — | — |
| 2-n. 철근콘크리트 특수전단벽 | 6 | 2.5 | 5 | — | — | — |
| 2-o. 철근콘크리트 보통전단벽 | 5 | 2.5 | 4.5 | — | — | 60 |
| 2-p. 철근보강 조적 전단벽 | 3 | 2.5 | 2 | — | 60 | 불가 |
| 2-q. 무보강 조적 전단벽 | 1.5 | 2.5 | 1.5 | — | 불가 | 불가 |
| 3. 모멘트-저항골조 시스템 | | | | | | |
| 3-a. 철골 특수모멘트골조 | 8 | 3 | 5.5 | — | — | — |
| 3-b. 철골 중간모멘트골조 | 4.5 | 3 | 4 | — | — | — |
| 3-c. 철골 보통모멘트골조 | 3.5 | 3 | 3 | — | — | — |
| 3-d. 합성 특수모멘트골조 | 8 | 3 | 5.5 | — | — | — |
| 3-e. 합성 중간모멘트골조 | 5 | 3 | 4.5 | — | — | — |
| 3-f. 합성 보통모멘트골조 | 3 | 3 | 2.5 | — | — | — |
| 3-g. 합성 반강접모멘트골조 | 6 | 3 | 5.5 | — | — | — |

● 성능기반 설계 (Performance Based Design)

- prescriptive design 의 상대개념

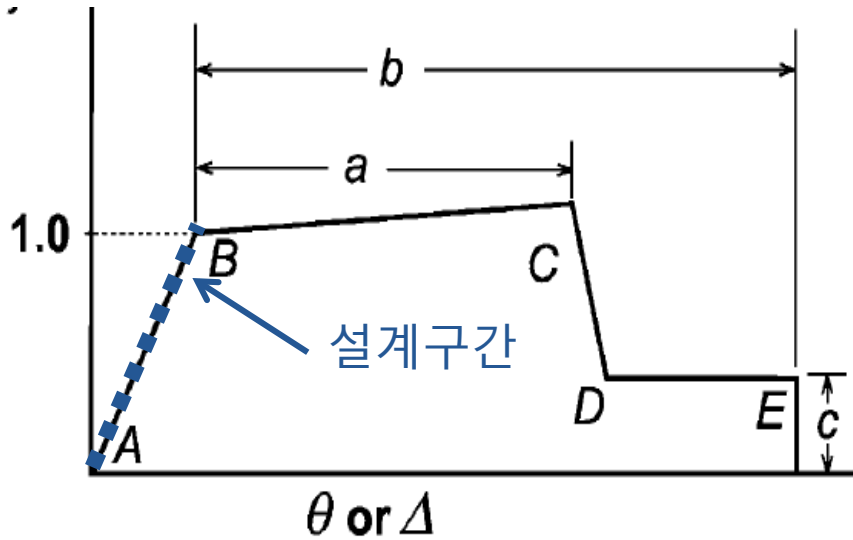
성능이 요구조건을 만족한다면 어떠한 설계나 해석방법도 가능함.

다양한 성능을 만족시킨다는 개념도 포함
따라서 정확한 성능과 요구를 파악하는 것이 중요함.
비선형 동적해석이 필요



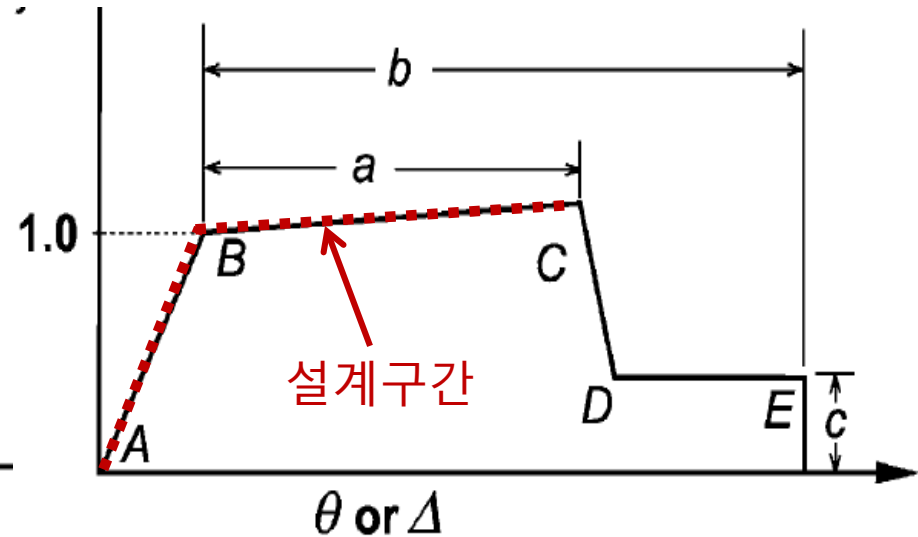
- 내진설계
- 내풍설계
- 내화설계
- 내설설계

하중기반설계



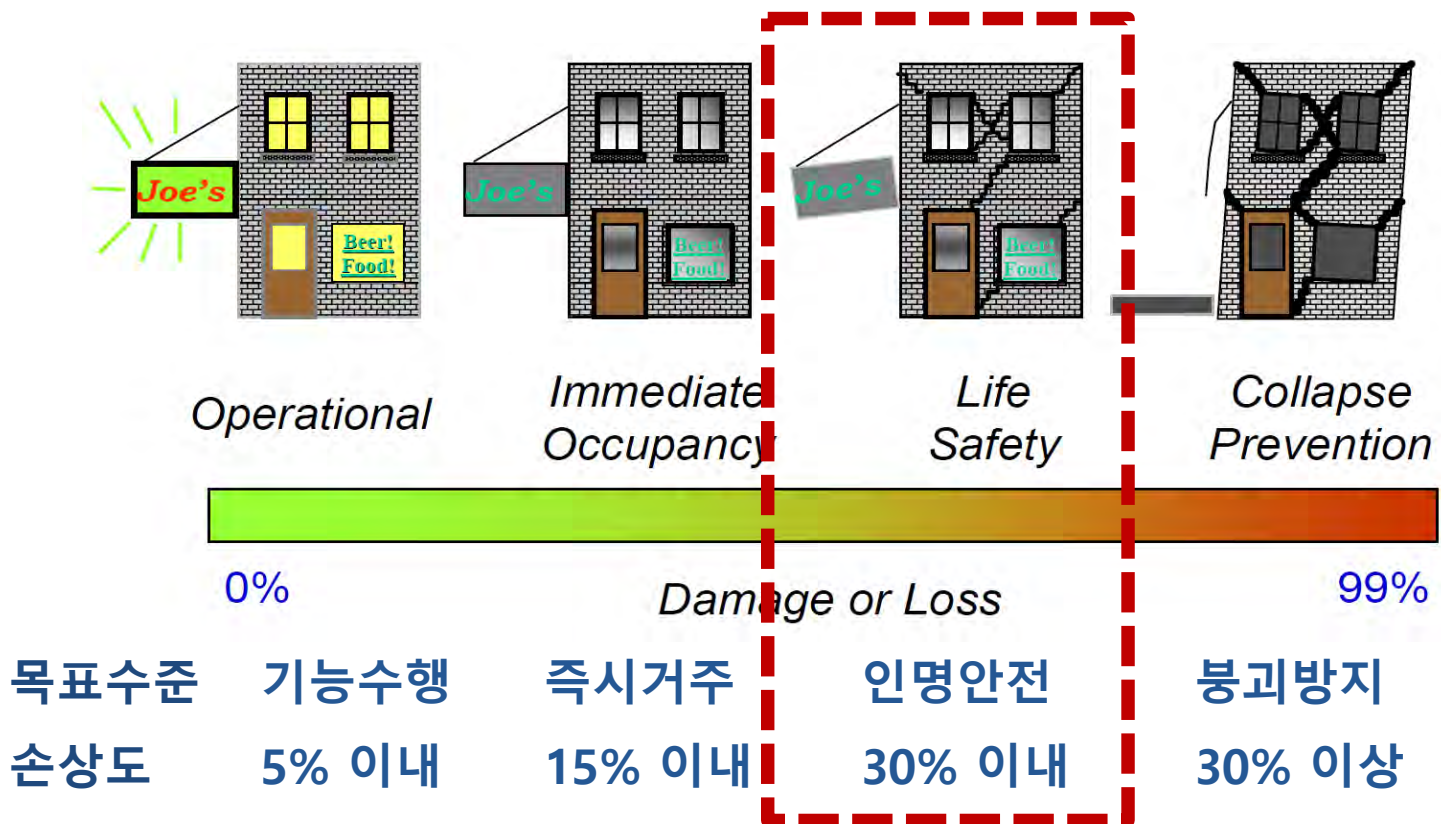
- 선형탄성해석
- 규정된 지진하중 (시스템 R 계수)
- 규정된 내진상세 사용

성능기반설계



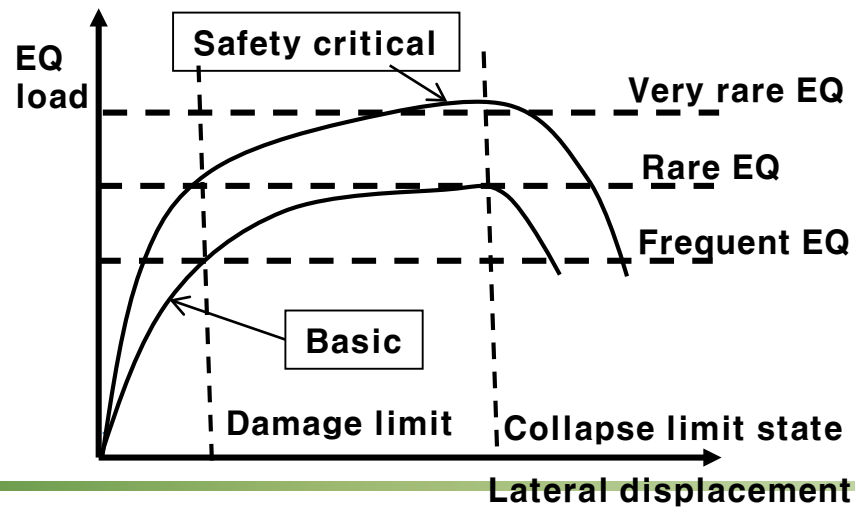
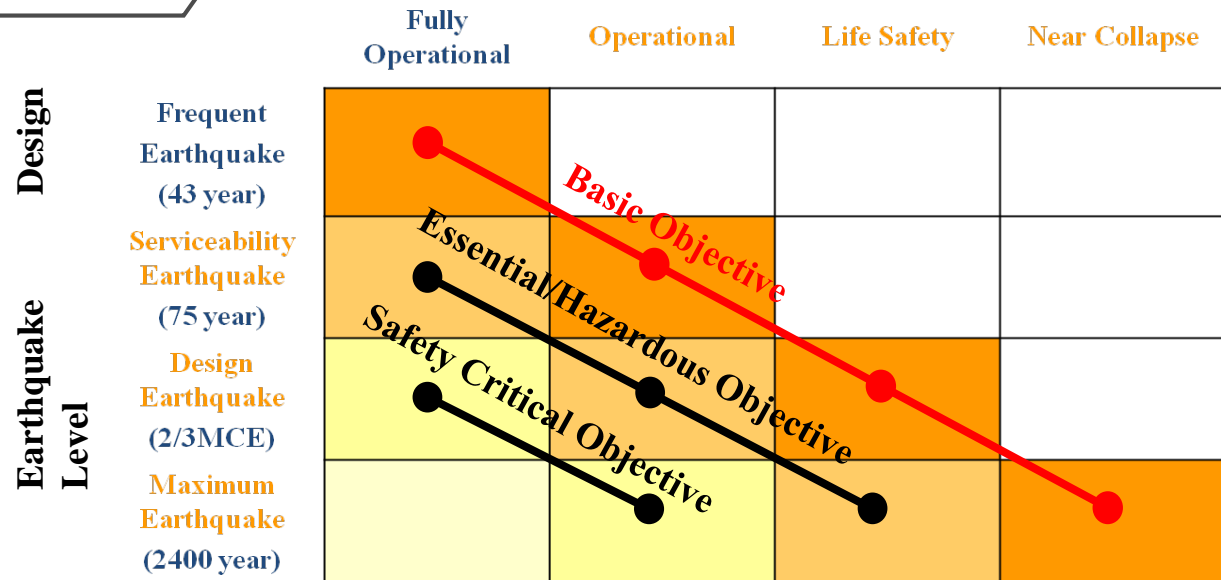
- 비선형해석
- 다양한 지진하중사용 가능
- 요구된 변형을 만족하도록 상세설계

목표성능



성능설계 목표수준

Earthquake Performance Level



성능기반설계 지침

- KBC2016 의 지진하중에 성능기반설계 도입.
 - 비선형 정적 및 동적해석을 이용하여 검증할 경우, KBC 기준에서 제시된 시스템의 구분과 해당 설계값 (R 계수등)에 관계없이 설계가 가능함.
 - 설계지진가속도의 크기를 제외한 구조물의 설계는 엔지니어가 결정할 수 있음.

- KBC 성능기반설계의 해설에 대한건축학회 표준인 성능기반설계지침을 참고할 수 있도록 규정됨.
 - KBC 성능기반설계에서는 기본적인 원칙만 규정됨.
 - 상세한 사항은 성능기반설계지침을 따를 수 있도록 규정됨.

성능기반 내진설계 지침(안)

구조1 위원회

2014. 12.

제 1 장 총칙

1.1 지침의 목적

본 지침의 목적은 지진에 대한 내진설계 기준을 제시하여, 구조물의 내진 성능을 향상시키고, 지진에 따른 인명피해와 재산피해를 최소화하는 데 있다.

1.2 적용 범위

본 지침은 건축법 제111조 제1항 제1호에 따른 건축물의 내진설계 기준을 제시한다. 다만, 본 지침의 적용 범위에 포함되지 않는 구조물의 내진설계 기준은 별첨 제1호에 규정되어 있다.

1.3 용어의 정의

본 지침에서 사용하는 용어의 정의는 별첨 제2호에 규정되어 있다. 다만, 본 지침의 적용 범위에 포함되지 않는 용어의 정의는 별첨 제2호에 규정되어 있다.

1.4 지침의 효력

본 지침은 2014년 12월 1일부터 시행한다. 다만, 본 지침의 적용 범위에 포함되지 않는 지침의 효력은 별첨 제3호에 규정되어 있다.

1.5 지침의 개정

본 지침은 2014년 12월 1일부터 시행한다. 다만, 본 지침의 적용 범위에 포함되지 않는 지침의 개정 사항은 별첨 제4호에 규정되어 있다.

제 2 장 지진

2.1 지진 발생

지진은 지구의 내부에서 발생하는 지진파에 의해 발생한다. 지진파는 지구의 내부에서 발생하는 지진파에 의해 발생한다.

2.2 지진 측정

지진 측정은 지진파의 진폭, 주기, 주파수 등을 측정하는 것을 말한다. 지진 측정은 지진파의 진폭, 주기, 주파수 등을 측정하는 것을 말한다.

2.3 지진 해석

지진 해석은 지진파의 진폭, 주기, 주파수 등을 해석하는 것을 말한다. 지진 해석은 지진파의 진폭, 주기, 주파수 등을 해석하는 것을 말한다.

2.4 지진 설계

지진 설계는 지진파의 진폭, 주기, 주파수 등을 설계하는 것을 말한다. 지진 설계는 지진파의 진폭, 주기, 주파수 등을 설계하는 것을 말한다.

2.5 지진 평가

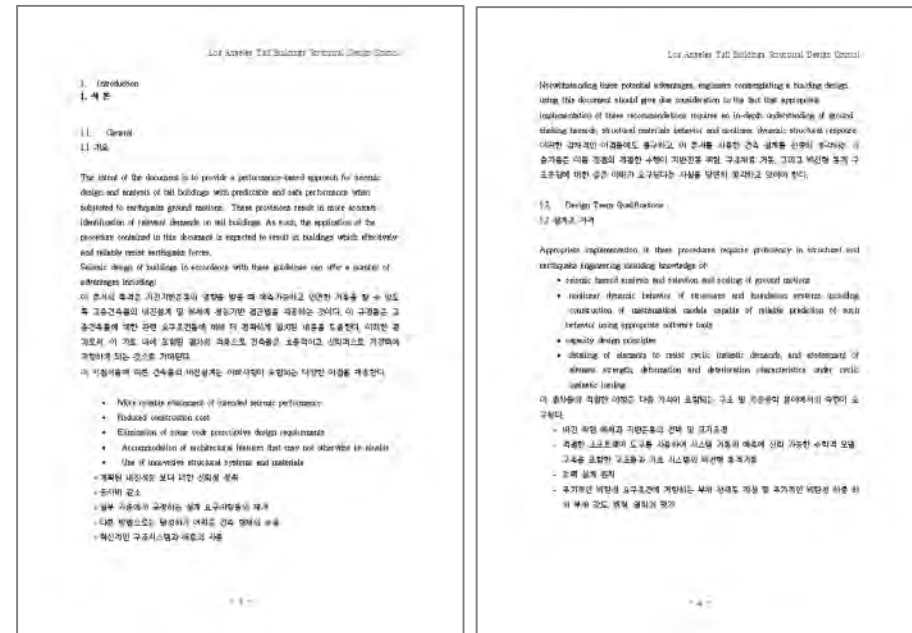
지진 평가는 지진파의 진폭, 주기, 주파수 등을 평가하는 것을 말한다. 지진 평가는 지진파의 진폭, 주기, 주파수 등을 평가하는 것을 말한다.

성능기반 내진설계 지침

- 공동주택 아파트 매뉴얼이 될 수 있는 지침 개발

LATBSDC

(로스앤젤레스 고층건축물 구조설계위원회)

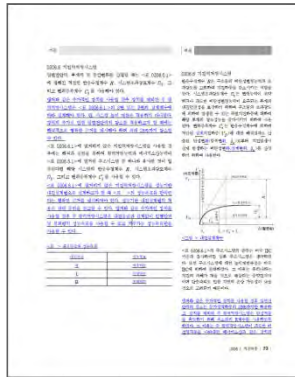


해외기준 LATBSDC 를 참고

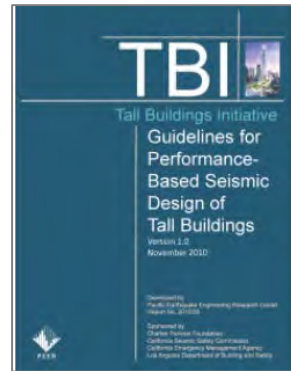
- 미서부 LA 지역 성능설계 기준안 확인
- 고층구조물 성능 수준 확인 및 검토방법 확인

해외 기준 번역 (LATBSDC)

참고기준



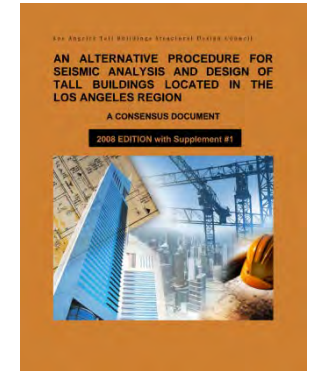
건축구조기준
(KBC2015) 개정예정



TBI



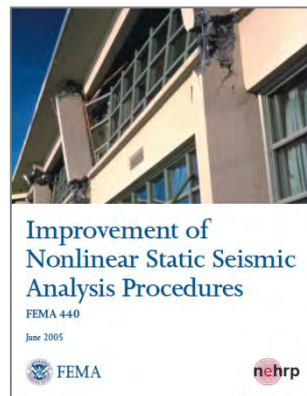
ATC-72-1



2011
LA CRITERA FINAL



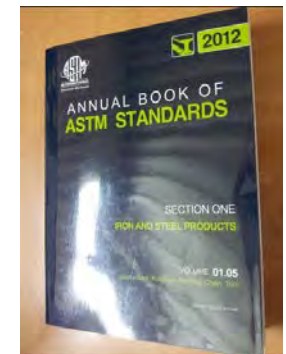
ASCE-41-06



FEMA440



CBC



ASTM

국내 참고자료



기존시설물 내진성능평가
시설안전공단



기존 학교시설물
내진성능평가 및 보강전략

1.1.2 참고 기준

- (1) 건축구조기준(KBC2014 개정안)
- (2) 콘크리트구조기준(KCI2012)
- (3) FEMA 440(2013), "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures"
- (4) 기존시설물(건축물) 내진성능평가요령, 한국시설안전공단(2013 개정판)
- (5) ASCE41-06(2007), "Seismic Rehabilitation of Existing Buildings"
- (6) ATC-72-1(2010), "Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings"
- (7) LATBSDC(2011), "An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region"

집필위원 명단

| | 성명 | 소속 | 직위 |
|--------|-----|--------------|------|
| (위원장) | 박흥근 | 서울대 건축학과 | 교수 |
| (부위원장) | 김대호 | 한울구조 | 대표 |
| | 오봉환 | 티섹구조 | 대표 |
| (위원) | 김성호 | 티섹구조이엔씨 | 대표 |
| | 윤병익 | 아이맥구조 | 대표 |
| | 강두현 | 리엔텍엔지니어링 | 소장 |
| | 김세일 | 빛과울 | 대표 |
| | 성창원 | 구조연합 | 대표 |
| | 손현우 | 형상엔지니어링 | 이사 |
| | 안태상 | DRB동일 | 이사 |
| | 김태진 | 창민우구조컨설턴트 | 대표 |
| | 주인돈 | LH한국토지주택공사 | 처장 |
| | 이종윤 | LH한국토지주택공사 | 차장 |
| | 김동수 | 카이스트 건설환경공학과 | 교수 |
| | 이기학 | 세종대 건축학과 | 교수 |
| | 박지훈 | 인천대 건축학과 | 교수 |
| | 이상현 | 단국대 건축공학과 | 교수 |
| | 김형준 | 시립대 건축공학과 | 교수 |
| | 엄태성 | 단국대 건축공학과 | 교수 |
| | 김동관 | 단국대 건축공학과 | 연구교수 |

심의위원 명단

| | 성명 | 소속 | 직위 |
|-------|---------|-----------|----|
| (위원장) | 연구담당부회장 | | |
| | 홍성길 | 서울대 건축학과 | 교수 |
| | 정란 | 단국대 건축공학과 | 교수 |
| | 최창식 | 한양대 건축공학과 | 교수 |
| (위원) | 정성훈 | 인하대 건축공학과 | 교수 |
| | 김종호 | 창민우구조 | 회장 |
| | 김석구 | 쓰리디구조 | 회장 |

| | |
|-------------------------|----|
| 내진 성능 설계 지침 | |
| 자 례 | |
| 제1장 일반 사항 | 1 |
| 1.1 일반사항 | 1 |
| 1.1.1 적용범위 | 1 |
| 1.1.2 참고기준 | 1 |
| 1.2 설계응답스펙트럼 | 2 |
| 1.3 성능 목표 | 2 |
| 1.4 구조물과 부재의 허용변위 | 2 |
| 1.5 해석 및 검증방법 | 3 |
| 1.6 최소 밀면 전단력 규정 | 4 |
| 1.7 성능기반 내진설계법 결과 검증 | 4 |
| 1.8 책임 구조기술자 | 4 |
| 1.8.1 책임구조기술자의 자격 | 4 |
| 1.8.2 책임구조기술자의 책무 | 4 |
| 1.8.3 책임구조기술자의 서명, 날인 | 4 |
| 1.9 결과보고서 작성 | 5 |
| 제2장 성능기반내진설계법 절차 | 6 |
| 2.1 성능기반내진설계의 흐름 | 6 |
| 2.2 내진성능 목표설정 | 7 |
| 2.3 기본설계 | 7 |
| 2.4 비선형 정적 및 동적 해석모델 수립 | 8 |
| 2.5 비선형 정적해석 | 8 |
| 2.6 비선형 동적해석 | 8 |
| 2.7 목표성능평가 | 9 |
| 제3장 기본 설계 | 10 |
| 3.1 일반사항 | 10 |
| 3.2 설계기준 적용 | 10 |
| 3.3 하중조합 및 하중계수 | 10 |

| | |
|---------------|----|
| 제4장 기본 설계 | |
| 4.1 일반사항 | 12 |
| 4.2 내진성능 | 12 |
| 4.3 내진성능 목표설정 | 12 |
| 4.4 내진성능 목표 | 12 |
| 4.5 내진성능 목표 | 12 |
| 4.6 내진성능 목표 | 12 |
| 4.7 내진성능 목표 | 12 |
| 4.8 내진성능 목표 | 12 |
| 4.9 내진성능 목표 | 12 |
| 4.10 내진성능 목표 | 12 |
| 4.11 내진성능 목표 | 12 |
| 4.12 내진성능 목표 | 12 |
| 4.13 내진성능 목표 | 12 |
| 4.14 내진성능 목표 | 12 |
| 4.15 내진성능 목표 | 12 |
| 4.16 내진성능 목표 | 12 |
| 4.17 내진성능 목표 | 12 |
| 4.18 내진성능 목표 | 12 |
| 4.19 내진성능 목표 | 12 |
| 4.20 내진성능 목표 | 12 |
| 4.21 내진성능 목표 | 12 |
| 4.22 내진성능 목표 | 12 |
| 4.23 내진성능 목표 | 12 |
| 4.24 내진성능 목표 | 12 |
| 4.25 내진성능 목표 | 12 |
| 4.26 내진성능 목표 | 12 |
| 4.27 내진성능 목표 | 12 |
| 4.28 내진성능 목표 | 12 |
| 4.29 내진성능 목표 | 12 |
| 4.30 내진성능 목표 | 12 |
| 4.31 내진성능 목표 | 12 |
| 4.32 내진성능 목표 | 12 |
| 4.33 내진성능 목표 | 12 |
| 4.34 내진성능 목표 | 12 |
| 4.35 내진성능 목표 | 12 |
| 4.36 내진성능 목표 | 12 |
| 4.37 내진성능 목표 | 12 |
| 4.38 내진성능 목표 | 12 |
| 4.39 내진성능 목표 | 12 |
| 4.40 내진성능 목표 | 12 |
| 4.41 내진성능 목표 | 12 |
| 4.42 내진성능 목표 | 12 |
| 4.43 내진성능 목표 | 12 |
| 4.44 내진성능 목표 | 12 |
| 4.45 내진성능 목표 | 12 |
| 4.46 내진성능 목표 | 12 |
| 4.47 내진성능 목표 | 12 |
| 4.48 내진성능 목표 | 12 |
| 4.49 내진성능 목표 | 12 |
| 4.50 내진성능 목표 | 12 |
| 4.51 내진성능 목표 | 12 |
| 4.52 내진성능 목표 | 12 |
| 4.53 내진성능 목표 | 12 |
| 4.54 내진성능 목표 | 12 |
| 4.55 내진성능 목표 | 12 |
| 4.56 내진성능 목표 | 12 |
| 4.57 내진성능 목표 | 12 |
| 4.58 내진성능 목표 | 12 |
| 4.59 내진성능 목표 | 12 |
| 4.60 내진성능 목표 | 12 |
| 4.61 내진성능 목표 | 12 |
| 4.62 내진성능 목표 | 12 |
| 4.63 내진성능 목표 | 12 |
| 4.64 내진성능 목표 | 12 |
| 4.65 내진성능 목표 | 12 |
| 4.66 내진성능 목표 | 12 |
| 4.67 내진성능 목표 | 12 |
| 4.68 내진성능 목표 | 12 |
| 4.69 내진성능 목표 | 12 |
| 4.70 내진성능 목표 | 12 |
| 4.71 내진성능 목표 | 12 |
| 4.72 내진성능 목표 | 12 |
| 4.73 내진성능 목표 | 12 |
| 4.74 내진성능 목표 | 12 |
| 4.75 내진성능 목표 | 12 |
| 4.76 내진성능 목표 | 12 |
| 4.77 내진성능 목표 | 12 |
| 4.78 내진성능 목표 | 12 |
| 4.79 내진성능 목표 | 12 |
| 4.80 내진성능 목표 | 12 |
| 4.81 내진성능 목표 | 12 |
| 4.82 내진성능 목표 | 12 |
| 4.83 내진성능 목표 | 12 |
| 4.84 내진성능 목표 | 12 |
| 4.85 내진성능 목표 | 12 |
| 4.86 내진성능 목표 | 12 |
| 4.87 내진성능 목표 | 12 |
| 4.88 내진성능 목표 | 12 |
| 4.89 내진성능 목표 | 12 |
| 4.90 내진성능 목표 | 12 |
| 4.91 내진성능 목표 | 12 |
| 4.92 내진성능 목표 | 12 |
| 4.93 내진성능 목표 | 12 |
| 4.94 내진성능 목표 | 12 |
| 4.95 내진성능 목표 | 12 |
| 4.96 내진성능 목표 | 12 |
| 4.97 내진성능 목표 | 12 |
| 4.98 내진성능 목표 | 12 |
| 4.99 내진성능 목표 | 12 |
| 5.00 내진성능 목표 | 12 |

| | |
|---------------|----|
| 제5장 비선형 동적해석 | |
| 5.1 일반사항 | 20 |
| 5.2 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.3 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.4 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.5 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.6 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.7 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.8 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.9 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.10 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.11 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.12 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.13 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.14 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.15 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.16 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.17 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.18 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.19 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.20 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.21 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.22 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.23 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.24 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.25 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.26 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.27 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.28 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.29 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.30 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.31 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.32 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.33 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.34 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.35 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.36 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.37 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.38 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.39 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.40 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.41 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.42 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.43 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.44 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.45 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.46 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.47 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.48 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.49 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.50 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.51 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.52 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.53 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.54 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.55 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.56 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.57 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.58 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.59 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.60 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.61 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.62 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.63 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.64 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.65 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.66 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.67 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.68 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.69 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.70 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.71 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.72 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.73 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.74 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.75 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.76 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.77 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.78 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.79 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.80 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.81 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.82 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.83 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.84 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.85 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.86 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.87 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.88 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.89 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.90 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.91 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.92 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.93 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.94 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.95 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.96 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.97 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.98 비선형 동적해석 | 20 |
| 5.99 비선형 동적해석 | 20 |
| 6.00 비선형 동적해석 | 20 |

제1장 일반 사항

1.1 일반사항

1.1.1 적용범위

1.1.2 참고기준

1.2 설계응답스펙트럼

1.3 성능 목표

1.4 구조물과 부재의 허용변위

1.5 해석 및 검증방법

1.6 최소 밀면 전단력 규정

1.7 성능기반 내진설계법 결과 검증

1.8 책임 구조기술자

1.8.1 책임구조기술자의 자격

1.8.2 책임구조기술자의 책무

1.8.3 책임구조기술자의 서명, 날인

1.9 결과보고서 작성

제2장 성능기반내진설계의 절차

2.1 성능기반내진설계의 흐름

2.2 내진성능 목표설정

2.3 기본설계

2.4 비선형 정적 및 동적 해석모델 수립

2.5 비선형 정적해석

2.6 비선형 동적해석

2.7 목표성능평가

제3장 기본 설계

3.1 일반사항

3.2 설계기준 적용

3.3 하중조합 및 하중계수

제4장 비선형 해석 모델링

- 4.1 하중계수
- 4.2 비탄성 요소의 구조모델
- 4.3 재료모델
 - 4.3.1 재료의 기대강도
 - 4.3.2 콘크리트
 - 4.3.3 철근
- 4.4 부재 비탄성 모델
 - 4.4.1 유효강성
 - 4.4.2 거동특성 분류
 - 4.4.3 강도
 - 4.4.4 보의 모델링 변수
 - 4.4.5 기둥의 모델링 변수
 - 4.4.6 벽의 모델링 변수
 - 4.4.7 연결보의 모델링 변수
 - 4.4.8 슬래브의 모델링 변수
 - 4.4.9 모델링변수 결정을 위한 부재력
- 4.5 초기 감쇠율
- 4.6 비탄성동적해석을 위한 이력모델
 - 4.6.1 재료모델
 - 4.6.2 부재모델
 - 4.6.3 지하층 모델링
- 4.7 지하층 모델링
- 4.8 P- Δ 효과
- 4.9 비탄성 모델링의 범위

제5장 비선형 정적해석

- 5.1 하중
 - 5.1.1 중력하중
 - 5.1.2 횡하중 수직분포
- 5.2 성능점 산정
 - 5.2.1 역량스펙트럼 산정
 - 5.2.2 탄성요구스펙트럼 산정
 - 5.2.3 최종 성능점 산정
- 5.3 비선형 정적해석 결과 검증
 - 5.3.1 목표성능 만족여부
 - 5.3.2 최소강도기준

제6장 비선형 동적해석

- 6.1 설계 지진파
 - 6.1.1 지반운동
 - 6.1.2 암반지진기록의 선정 및 조정
 - 6.1.3 부지응답해석
 - 6.1.4 지반운동의 조정
- 6.2 비선형시간이력해석
 - 6.2.1 모델링
 - 6.2.2 지반운동과 하중
- 6.3 지진응답의 평가
 - 6.3.1 지진응답의 결정
 - 6.3.2 허용충간변위
 - 6.3.3 건물의 전체성능수준
 - 6.3.4 부재의 성능수준과 강도

부록 1. 역량스펙트럼법

1. 총칙

1.1 일반사항

1.1.1 적용 범위

이 매뉴얼은 주요 횡력저항시스템으로 내력벽과 기둥으로 구성된 공동주택의 성능기반 내진설계방법을 제시하는 것을 그 목적으로 한다.

1.1.1 적용 범위

건축구조기준(이하 KBC2014 개정안)에 따라 내진 설계범주 D에 해당하며 높이 60m 이상인 내력벽식 아파트는 철근콘크리트 특수전단벽 구조시스템의 상세조항을 의무적으로 적용하도록 규정하고 있다. 이와 함께 대안적 설계법으로써 상세한 해석과 검증을 통해 명시된 내진성능 목표를 명확하게 달성할 수 있는 성능기반설계법의 적용을 허용하고 있다. 현재 특수전단벽구조의 경우 기준에 따라 엄격한 연성상세를 사용할 경우 시공성과 품질 확보에 큰 어려움이 존재한다. 따라서 엔지니어의 판단을 적용하여 제안된 구조시스템과 내진상세에 대해 정밀한 비선형 구조해석을 수행한 후 목표성능수준을 만족시키는 것이 검증된다면, 그 결과에 기초하여 상세배근을 하는 것을 허용할 필요가 있다. 이를 통해 엔지니어의 판단에 따라 배근된 상세를 가지는 공동주택의 내진성능을 정확하게 평가함으로써, 내진설계의 신뢰성을 확보하고자 한다.

성능설계는 기술적으로 난이도가 높은 비선형 모델링과 이에 따른 해석을 요구하기 때문에 설계결과와 안전성과 경제성은 설계자 및 참여전문가의 기술수준에 전적으로 의존하므로, 기술수준이 높고 경험이 많은 전문가가 설계에 참여해야 한다.

성능기반설계법의 절차는 국내외 관련 문헌을 참고할 수 있다.

1.2 설계응답스펙트럼

설계에 사용되는 탄성설계응답스펙트럼은 KBC 2014 개정안 0306.3항의 지진위험도에서 규정된 조항에 따라서 정의되어야 한다. 동적해석을 위한 설계지진파의 결정은 KBC2014 개정안 0306.7.4.1을 따른다. 비선형정적해석을 사용하는 경우에는 구조물의 비선형 변형능력 (또는 연성도) 또는 에너지소산능력에 따라서 탄성응답스펙트럼가속도를 저감시켜서 비탄성응답스펙트럼을 정의할 수 있다.

1.3 목표내진성능

지진력저항시스템을 성능설계법으로 설계하고자 할 때 [표 1.1]의 최소목표성능을 만족해야 한다. 내력벽식의 공동주택은 내진 I 등급으로 분류된다. [표 1.1] 내진등급과 목표성능

| 내진 등급 | 성능목표 | |
|----------|-----------------------------|-------------------|
| | 성능수준 | 지진위험도 |
| 특 | 기능수행(또는 즉시거주) ¹⁾ | 설계스펙트럼가속도2)의 1.0배 |
| | 인명안전 | 설계스펙트럼가속도의 1.5배 |
| I | 인명안전 | 설계스펙트럼가속도의 1.2배 |
| II | 인명안전 | 설계스펙트럼가속도의 1.0배 |

1) 사용자 또는 설계자의 성능목표수준에 따라서 정한다.

2) KBC2014 개정안의 0306.3 지진위험도에서 규정된 조항에 따른다.

PUSH-OVER METHODS

Capacity
Points
Demand
Details
Spectra

Set parameters on this page.
Press Plot to draw demand curve.

Plot

Method

☐ Coefficient (Displ Modification)

☒ FEMA 440 Linearization

☐ Capacity Spectrum

[See Details page for additional data](#)

Response Spectrum (see Spectra page)

spect ▼

Scale factors: Sa 1.2 T 1

Deflected Shape for Base Shear Demand

☐ Mode Shape (mode with largest base shear factor)

Mode no. = 1 Base shear factor = .5609

☒ Shape at Current Step, FEMA 356 Formula

☐ Shape at Current Step, Alternative Formula

Lines of Constant Period

☐ Vertical
 ☒ Radial

This affects only the sensitivity information.

Properties at Trial Points

Beta% does not include elastic damping.

| | Te(sec) | Mu | Alpha% | Teff | Beta% |
|---|---------|----|--------|------|-------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | | |

1.4 구조물과 부재의 허용 변위

[표 1.1]의 목표성능을 만족할 수 있도록, 구조시스템의 변형특성과 연성상세를 고려하여 구조물의 층간변위와 각 부재의 변형은 허용값 이내로 제어되어야 한다.

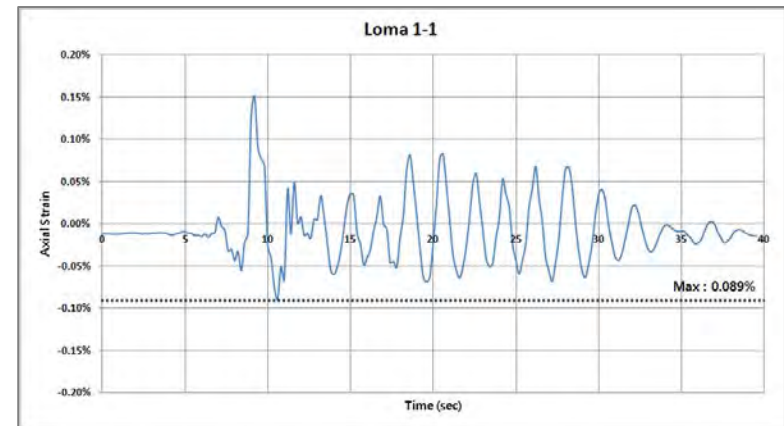
(1) 최대 층간변위비

최종 성능점에서의 층별 최대 층간변위비를 기준으로 판단하며 목표성능수준의 허용치를 만족시켜야 한다. 공동주택 휨거동지배 내력벽의 성능수준에 따른 최대 층간변위비는 아래의 표와 같다.

[표 5.1] 허용 층간변위비

| 목표성능수준 | 최대 허용 층간변위비 |
|--------|-------------|
| 인명안전수준 | $0.015H_n$ |

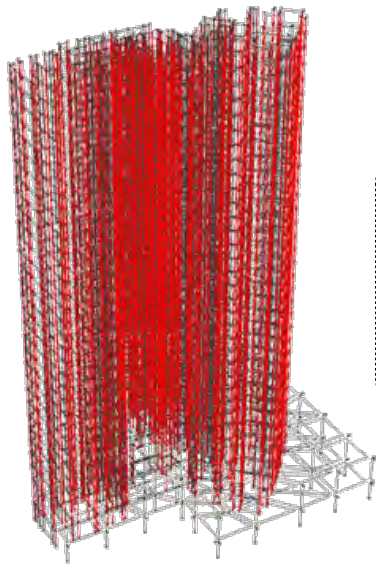
여기서 H_n 는 n층의 층고를 나타낸다.



1.5 해석 및 검증 방법

(1) 성능기반설계에서는 비선형정적해석과 비선형동적해석의 두 가지 방법을 모두 사용하여 구조물에 대한 해석과 검증을 수행해야 한다.

비선형정적해석에서는 5.3.1절의 성능목표 만족여부에 따르며 비선형동적해석에서는 6.3.3절 건물의 전체 성능수준 및 6.3.4절 부재의 성능수준과 강도에 따라 검토한다.



1~4장을 통한
초기설계
and
비선형 모델링

비선형 정적해석
(Pushover Analysis)

비선형 동적해석
(Non-Linear Time History
Analysis : NLTHA)

(2) 구조물을 구성하는 콘크리트와 철근에 대한 강도는 [표 4.1]의 기대강도계수를 적용한다.
또한 각 부재의 축력, 전단 및 휨에 대한 유효강성은 하중작용시 콘크리트 균열의 영향을 고려하여 [표 4.2]에 나타난 부재의 유효강성을 적용한다.

(3) 전단벽식 공동주택은 평가지진에 대하여 인명안전수준을 만족하여야 하며, 인명안전수준을 만족할 수 있는 허용기준은 다음과 같다.

- ① 허용 층간변위비는 5.3.1절에 따라 적용한다.
- ② 최소강도기준은 5.3.2절에 따라 적용한다.
- ③ 각 부재별 소성회전각에 의한 허용기준은 [표 4.3] ~ [표 4.5]에 따라 적용한다.

[표 4.1] 재료의 기대강도계수

| 재료 특성 | 공칭 강도 | 계수 |
|-----------------|--------------|------|
| 콘크리트 압축강도 | 21MPa 이하 | 1.2 |
| | 24 ~ 40MPa | 1.1 |
| 철근의 항복강도 및 인장강도 | 300MPa 이하 | 1.25 |
| | 350 ~ 400MPa | 1.1 |
| | 500 ~ 600MPa | 1.05 |
| | 700MPa | 1.0 |

[표 4.2] 부재의 유효강성

| | 휨강성 | 전단강성 | 축강성 |
|---------------------|------------|--------|-----------|
| 보 | $0.5E_c I$ | GA_w | - |
| 기둥 (축력비가 0.5 이상) | $0.7E_c I$ | GA_w | $E_c A_c$ |
| 기둥 (축력비가 0.3 이하) | $0.5E_c I$ | GA_w | $E_c A_c$ |
| 벽 (균열이 없는 경우) | $0.8E_c I$ | GA_w | $E_c A_c$ |
| 벽 (균열이 있는 경우) | $0.5E_c I$ | GA_w | $E_c A_c$ |
| 연결부 | $0.2E_c I$ | GA_w | - |

[표 5.1] 허용 층간변위비

| | |
|--------|---------------------|
| 목표성능수준 | 최대 허용 층간변위비 |
| 인명안전수준 | 0.015H _s |

5.3.2 최소강도기준

초과강도계수(Over Strength Factor, Ω)는 반응수정계수를 적용한 설계 밀면전단력에 대한 건축물의 역량곡선상 최대 강도의 비율로 나타내며, Ω 가 1.5 이상일 때 최소강도기준을 만족하는 것으로 판단한다.

1.6 최소 밀면전단력 규정

구조체의 설계에 사용되는 밀면전단력의 크기는 KBC2014 개정안의 등가정적해석법에 의한 밀면전단력의 75% 이상이어야 한다.

1.7 성능기반설계 결과 검증

성능설계법을 사용하여 설계할 때는 그 절차와 근거를 명확히 제시해야 하며, 전반적인 설계과정 및 결과는 설계자를 제외한 3인 이상의 내진공학 전문가로부터 타당성을 검증받아야 한다.

1.8 책임구조기술자

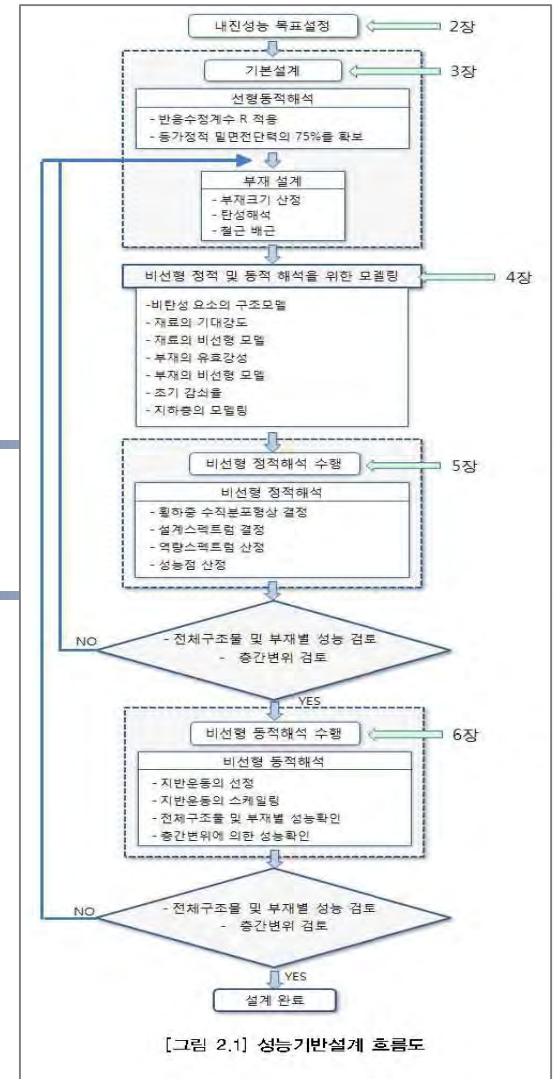
1.8.1 책임구조기술자의 자격

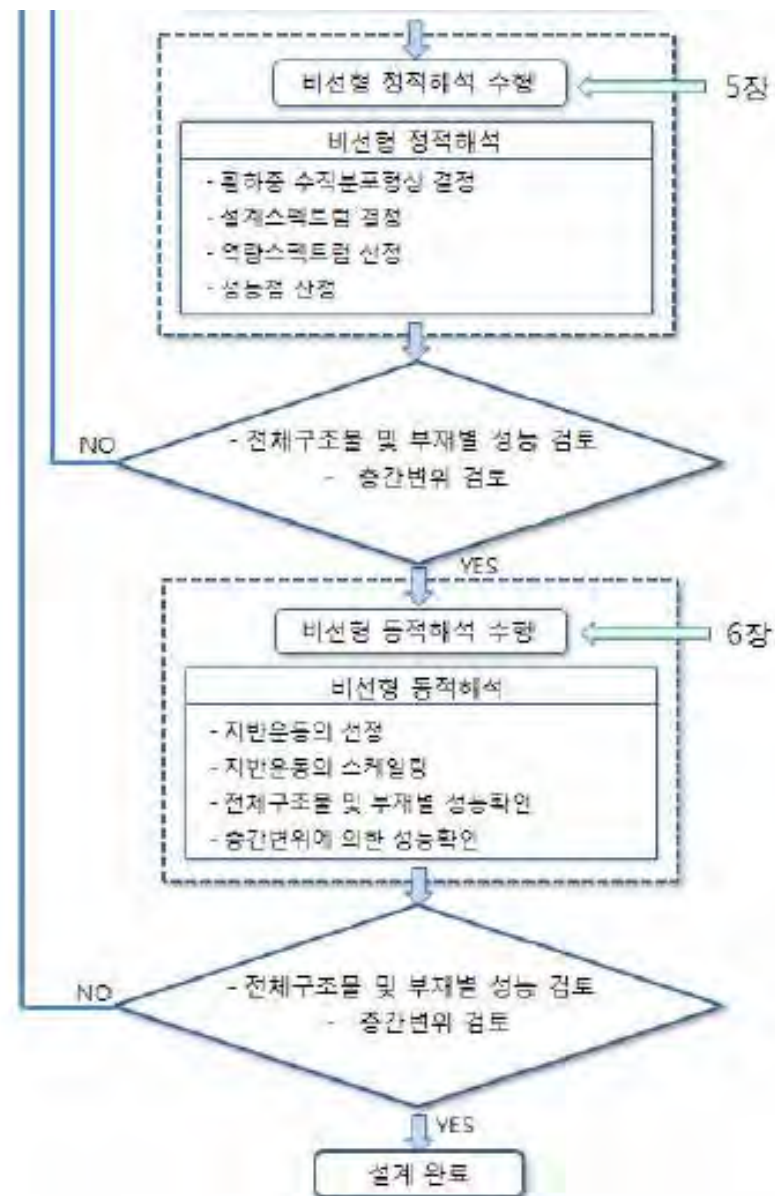
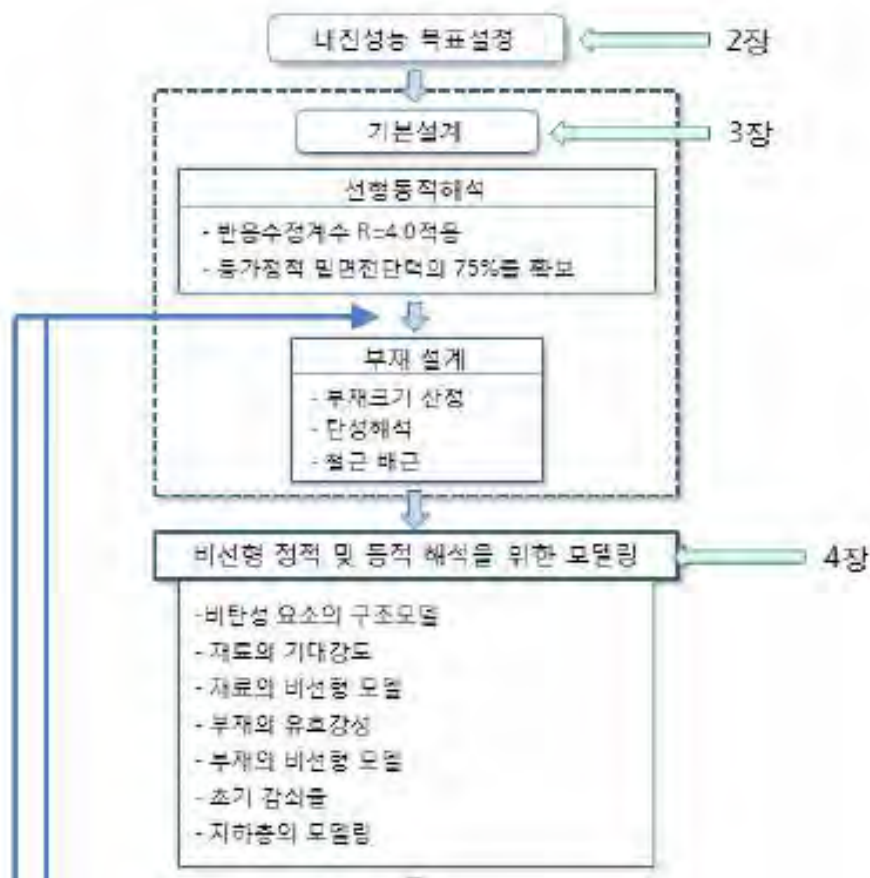
본 매뉴얼에 따라 공동주택의 성능기반 내진설계를 수행하는 책임구조기술자의 자격은 국가기술자격법에 의한 건축구조기술사로 한다.

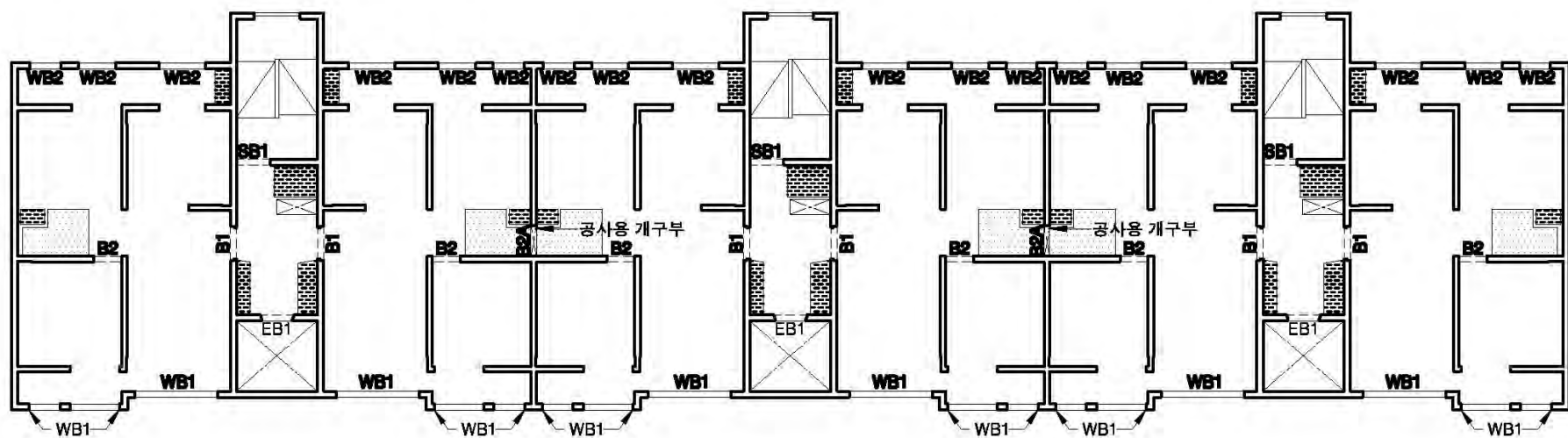
검증이 필요한 사항은 다음과 같다.

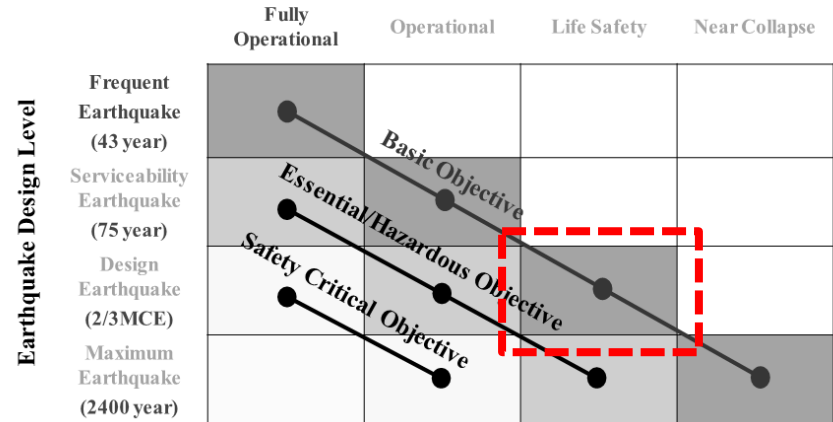
- ① 목표성능, 성능설계전략, 예상 파괴메카니즘
- ② 부재와 장치의 비선형 변형능력 및 관련 연성상세
- ③ 비선형 해석방법 및 프로그램의 선택, 해석모델, 입력자료, 결과분석의 적절성
- ④ 구조물 및 각 부재의 비선형거동의 적절성, 강도, 변형능력, 초과강도의 검증
- ⑤ 안전성, 경제성의 검증, 최소강도규정의 준수

성능기반설계의 절차









1.3 목표내진성능

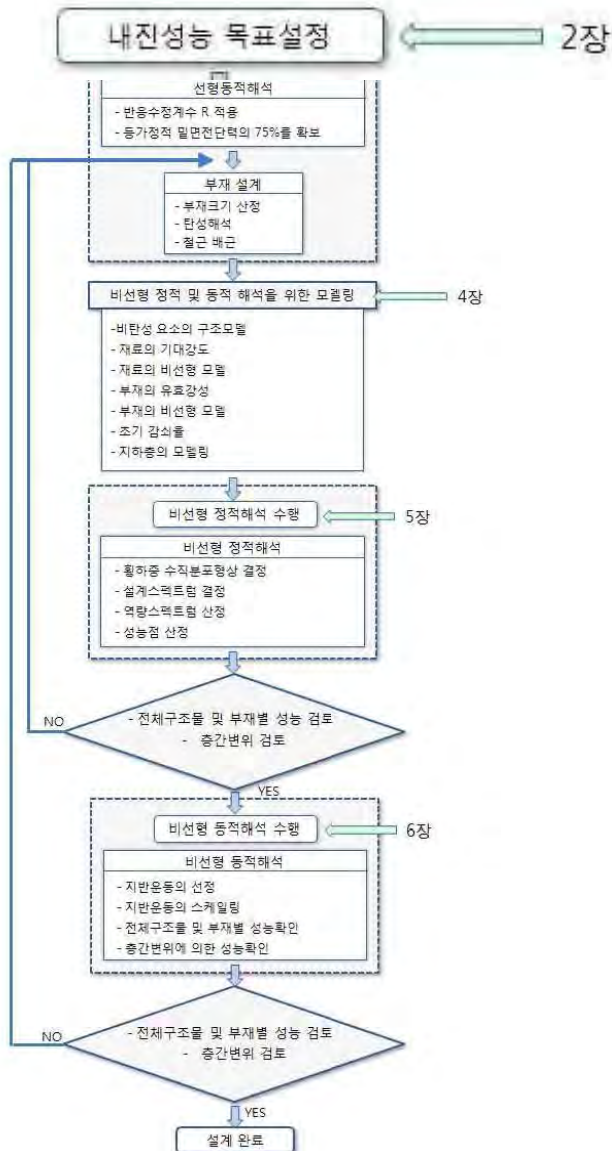
지진력저항시스템을 성능설계법으로 설계하고자 할 때 [표 1.1]의 최소목표성능을 만족해야 한다. 내력벽식의 공동주택은 내진 I 등급으로 분류된다.

[표 1.1] 내진등급과 목표성능

| 내진 등급 | 성능목표 | |
|-------|-----------------------------|-------------------|
| | 성능수준 | 지진위험도 |
| 특 | 기능수행(또는 즉시거주) ¹⁾ | 설계스펙트럼가속도2)의 1.0배 |
| | 인명안전 | 설계스펙트럼가속도의 1.5배 |
| I | 인명안전 | 설계스펙트럼가속도의 1.2배 |
| II | 인명안전 | 설계스펙트럼가속도의 1.0배 |

1) 사용자 또는 설계자의 성능목표수준에 따라서 정한다.

2) KBC2014 개정안의 0306.3 지진위험도에서 규정된 조항에 따른다.



내진성능 목표설정

2장

- 선형동적해석
- 반응수정계수 R 적용
 - 등가정적 밀면전단력의 75%를 확보

부재 설계

- 부재크기 선정
- 반성해석
- 절단 배근

비선형 정적 및 동적 해석을 위한 모델링

4장

- 비탄성 요소의 구조모델
- 재료의 기대강도
- 재료의 비선형 모델
- 부재의 유효강성
- 부재의 비선형 모델
- 초기 감쇠율
- 지하층의 모델링

비선형 정적해석 수행

5장

- 비선형 정적해석
- 유효강 수직분포항상 결정
 - 설계스펙트럼 결정
 - 역항스펙트럼 선정
 - 성능점 선정

NO - 전체구조물 및 부재별 성능 검토
- 중간변위 검토

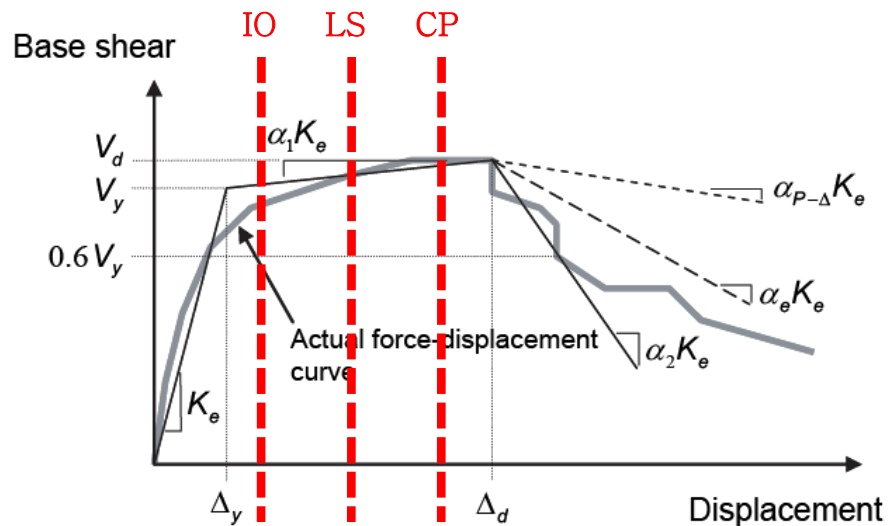
비선형 동적해석 수행

6장

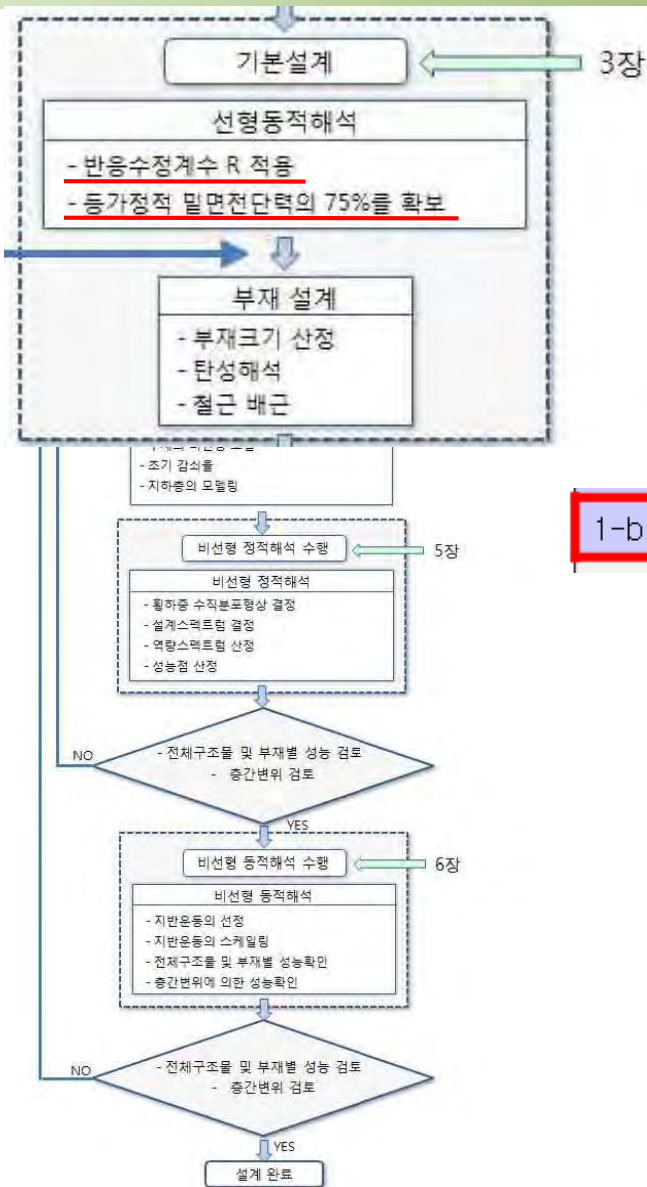
- 비선형 동적해석
- 지반운동의 선정
 - 지반운동의 스케일링
 - 전체구조물 및 부재별 성능확인
 - 중간변위에 의한 성능확인

NO - 전체구조물 및 부재별 성능 검토
- 중간변위 검토

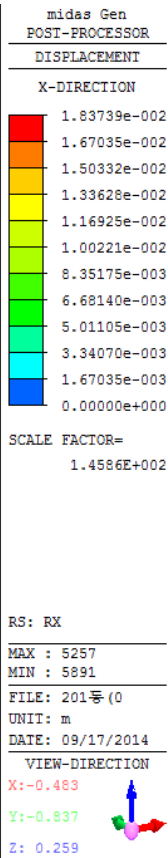
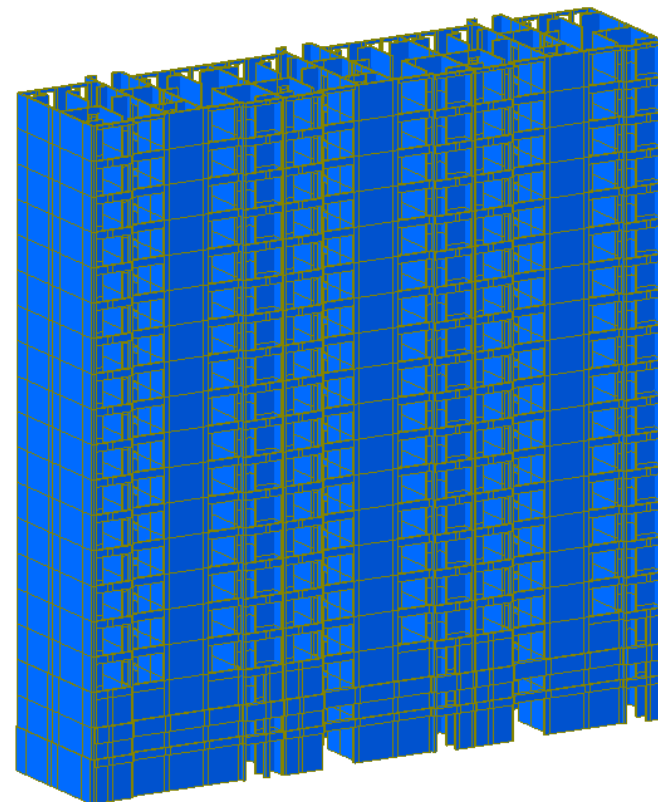
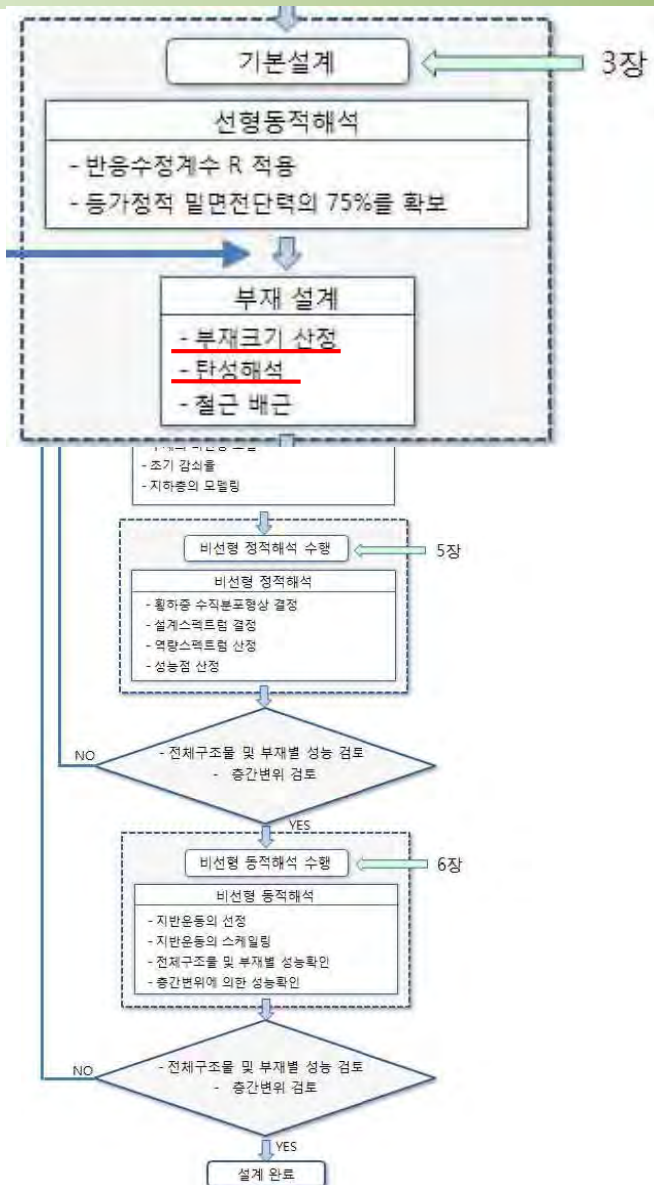
설계 완료

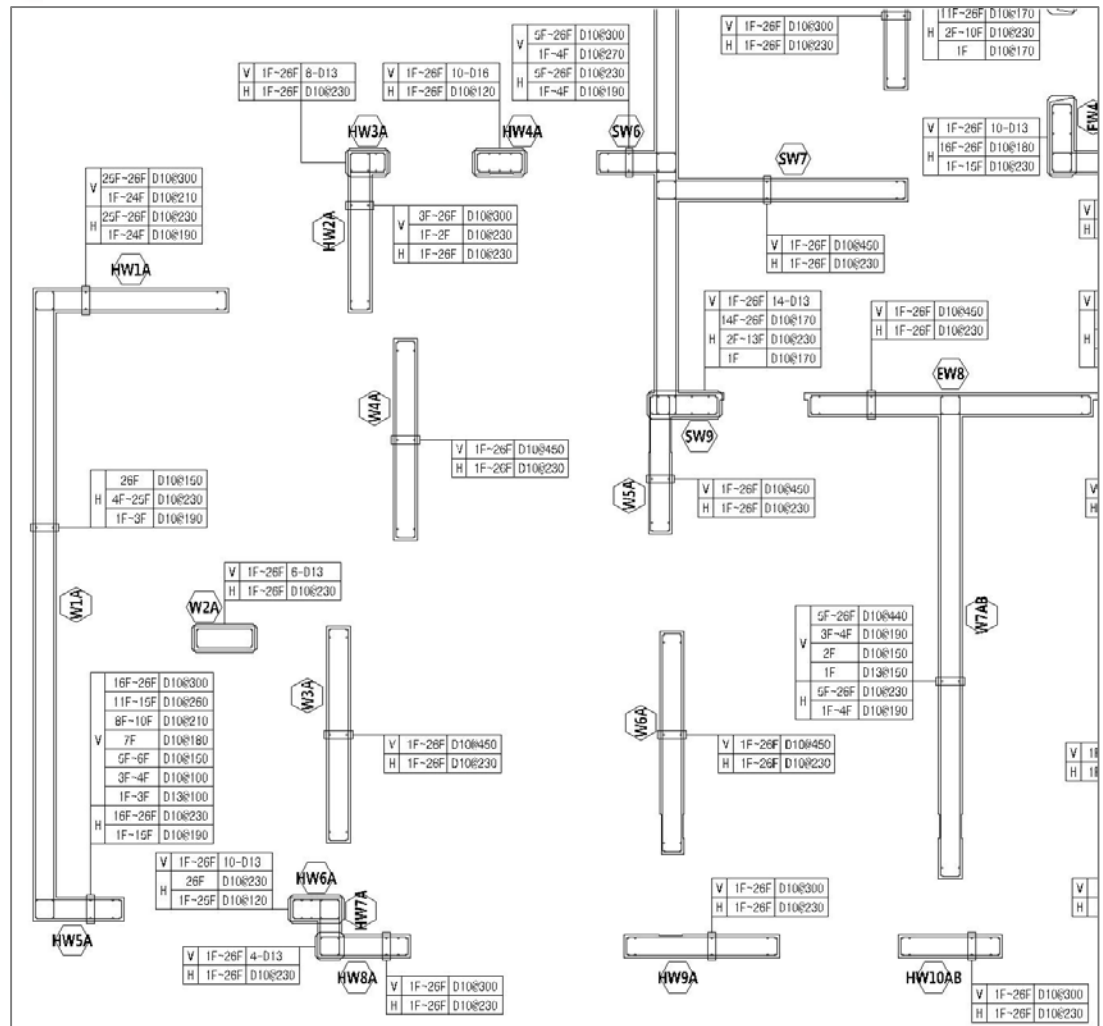
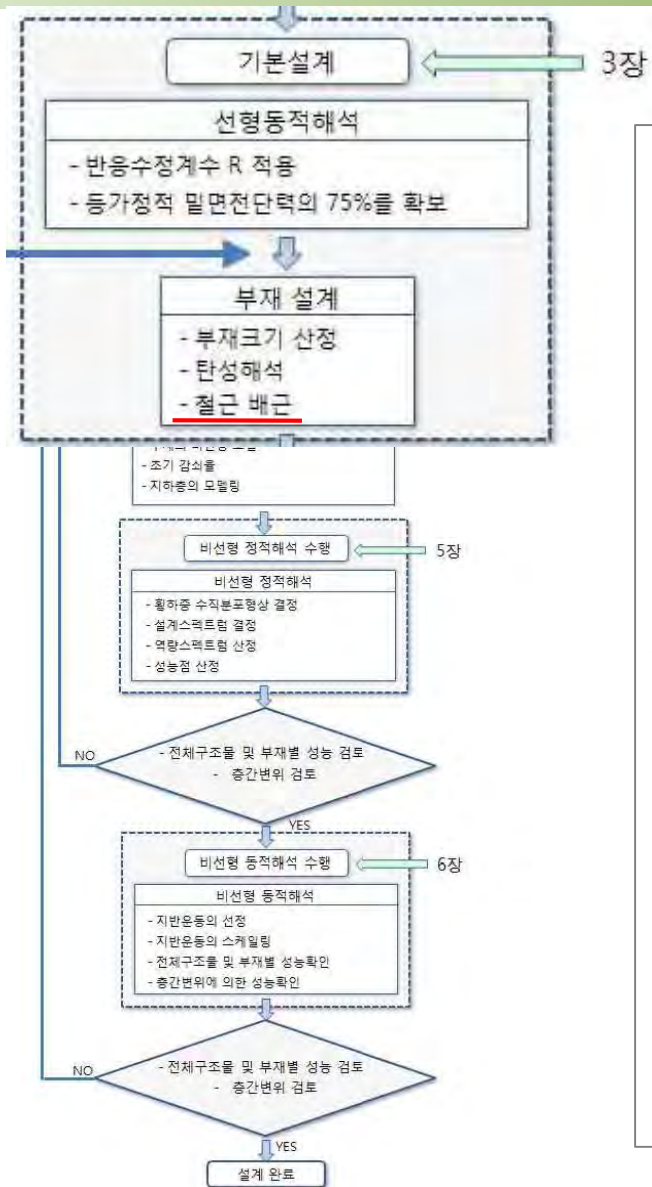


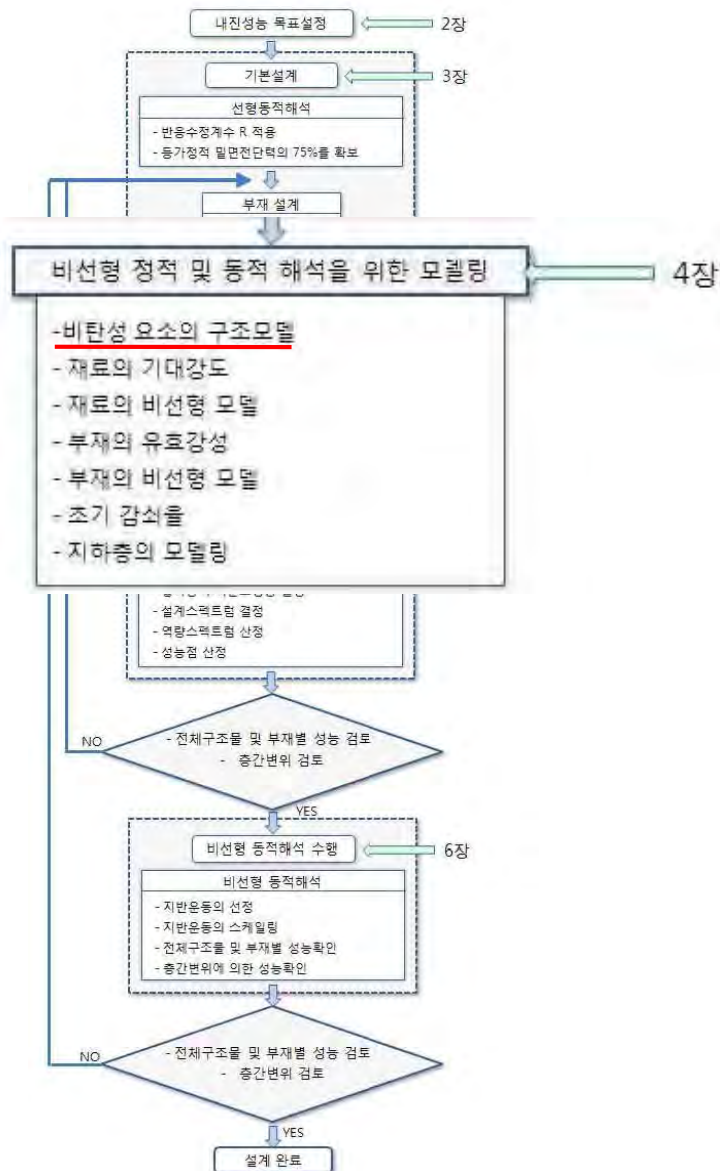
| 전체 성능수준 | 판정기준 |
|---------|--|
| 즉시거주 | 부재별 성능수준이 즉시거주인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 80%이상 |
| 인명안전 | 부재별 성능수준이 인명안전, 즉시거주인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 80%이상 |
| 붕괴방지 | 부재별 성능수준이 붕괴방지, 인명안전, 즉시거주인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 80%이상 |
| 붕괴위험 | 부재별 성능수준이 붕괴위험인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 붕괴방지 수준을 만족 하지 못하는 경우 |



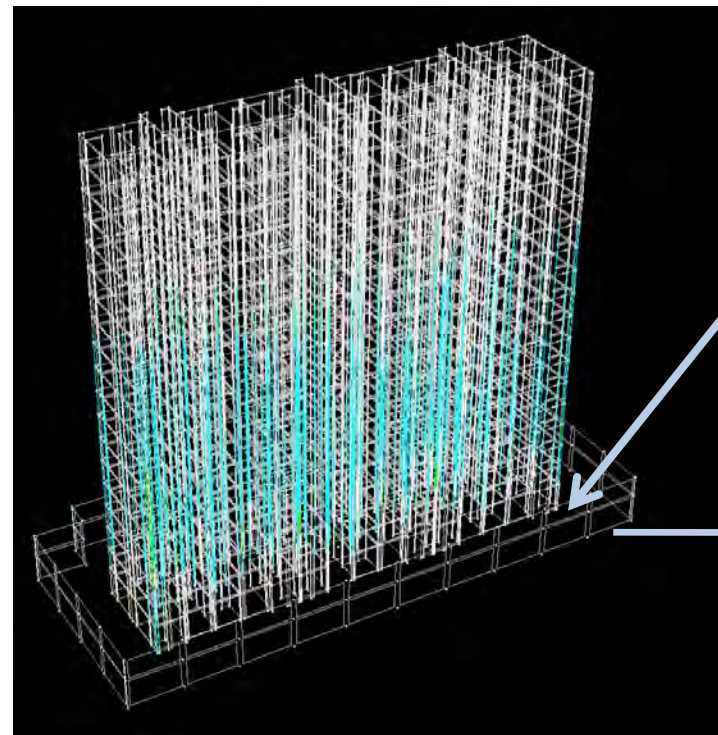
| 지진력저항시스템 | 설계계수 | | | 시스템의 제한과 높이(m) 제한 | | |
|-------------------------|------------|------------------------|---------------|-------------------|-----------|-----------|
| | 반응수정계수 R | 시스템 초과강도 계수 Ω_0 | 변위증폭 계수 C_d | 내진설계 범주 A 또는 B | 내진설계 범주 C | 내진설계 범주 D |
| 1. 내력벽 시스템 | | | | | | |
| 1-a. 철근콘크리트 특수전단벽 | 5 | 2.5 | 5 | - | - | - |
| 1-b. 철근콘크리트 보통전단벽 | | 4 | | 2.5 | | 4 |
| 2. 내력골조 시스템 | | | | | | |
| 2-n. 철근콘크리트 특수전단벽 | 6 | 2.5 | 5 | - | - | - |
| 2-o. 철근콘크리트 보통전단벽 | 5 | 2.5 | 4.5 | - | - | 60 |
| 3. 모멘트-저항골조 시스템 | | | | | | |
| 3-h. 철근콘크리트 특수모멘트골조 | 8 | 3 | 5.5 | - | - | - |
| 3-i. 철근콘크리트 중간모멘트골조 | 5 | 3 | 4.5 | - | - | - |
| 3-h. 철근콘크리트 보통모멘트골조 | 3 | 3 | 2.5 | - | - | 불가 |
| 4. 특수 모멘트골조를 가진 이중골조시스템 | | | | | | |
| 4-j. 철근콘크리트 특수전단벽 | 7 | 2.5 | 5.5 | - | - | - |
| 4-k. 철근콘크리트 보통전단벽 | 6 | 2.5 | 5 | - | - | - |
| 5. 중간 모멘트골조를 가진 이중골조시스템 | | | | | | |
| 5-b. 철근콘크리트 특수전단벽 | 6.5 | 2.5 | 5 | - | - | - |
| 5-c. 철근콘크리트 보통전단벽 | 5.5 | 2.5 | 4.5 | - | - | 60 |
| 7. 전단벽-골조 상호작용 시스템 | 4.5 | 2.25 | 4 | - | - | 60 |







예상중력하중 : $1.1DL + 0.25LL$



지하외벽

지하층

<PERFORM-3D 모델링>

재료 기대강도

| 재료 특성 | 공 칭 강 도 | 계 수 |
|-----------------|--------------|------|
| 콘크리트 압축강도 | 21MPa 이하 | 1.2 |
| | 24 ~ 40MPa | 1.1 |
| 철근의 항복강도 및 인장강도 | 300MPa 이하 | 1.25 |
| | 350 ~ 400MPa | 1.1 |
| | 500 ~ 600MPa | 1.05 |
| | 700MPa | 1.0 |

Tension Stresses

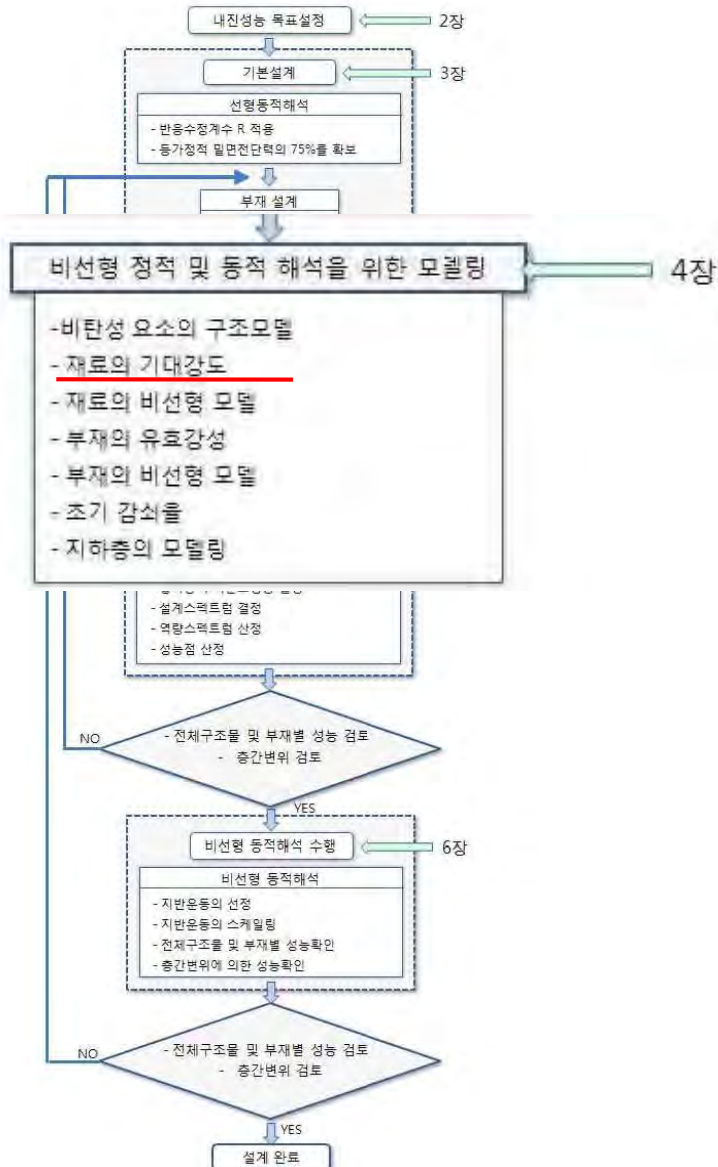
FY
440000

FU
616000

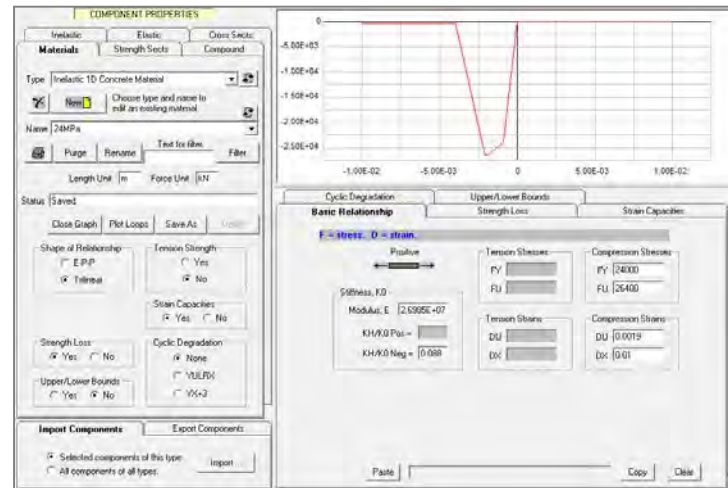
Tension Strains

DU
0.05

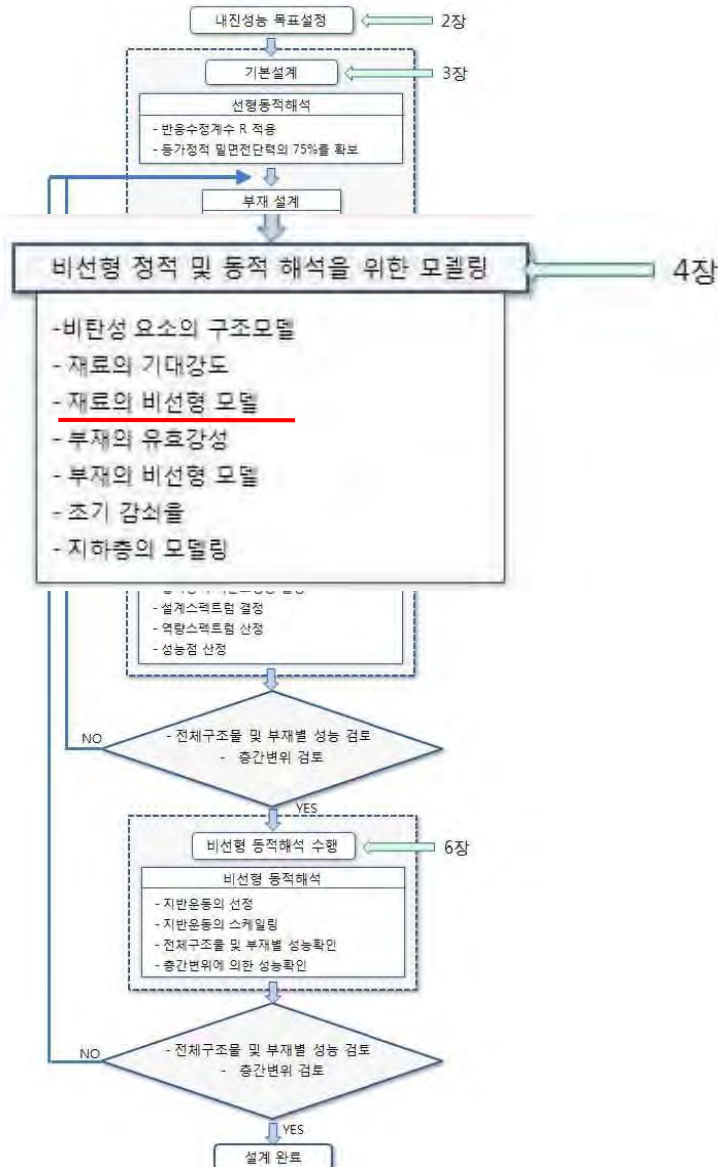
DX
0.1



콘크리트 재료비선형



철근 재료비선형

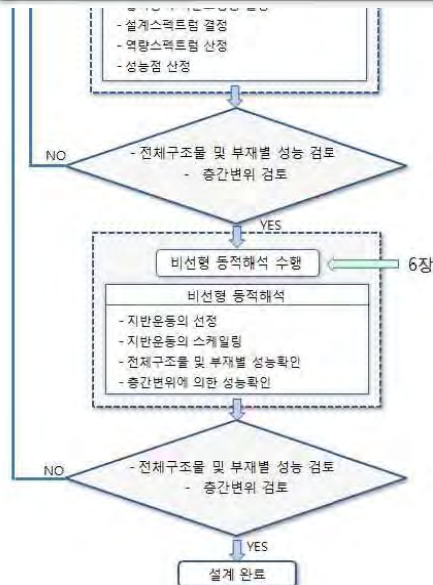




비선형 정적 및 동적 해석을 위한 모델링

4장

- 비탄성 요소의 구조모델
- 재료의 기대강도
- 재료의 비선형 모델
- 부재의 유효강성
- 부재의 비선형 모델
- 조기 감쇠율
- 지하층의 모델링



[표 4-2] 부재의 유효강성

| | 휨강성 | 전단강성 | 축강성 |
|--------------------|-------------|--------|----------|
| 보 | $0.5E_cI_g$ | GA_w | - |
| 기둥 (축력비가 0.5이상) | $0.7E_cI_g$ | GA_w | E_cA_g |
| 기둥 (축력비가 0.3이하) | $0.5E_cI_g$ | GA_w | E_cA_g |
| 벽 (균열이 없는 경우) | $0.8E_cI_g$ | GA_w | E_cA_g |
| 벽 (균열이 있는 경우) | $0.5E_cI_g$ | GA_w | E_cA_g |
| 연결보 | $0.2E_cI_g$ | GA_w | - |

는 않지만, 균열의 영향을 적절히 적용할 필요는 있다. 아래의 표는 LATBSDC(Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council)와 TBI(Tall Buildings Initiative)에서 규정하고 있는 유효강성을 나타낸다.

[해설 표 4-1] 부재의 유효강성-1 (LATBSDC)

| | 휨강성 | 전단강성 | 축강성 |
|----|--------------|-----------|----------|
| 보 | $0.35E_cI_g$ | GA_w | E_cA_g |
| 기둥 | $0.7E_cI_g$ | GA_w | E_cA_g |
| 벽 | $1.0E_cI_g$ | $0.5GA_w$ | E_cA_g |

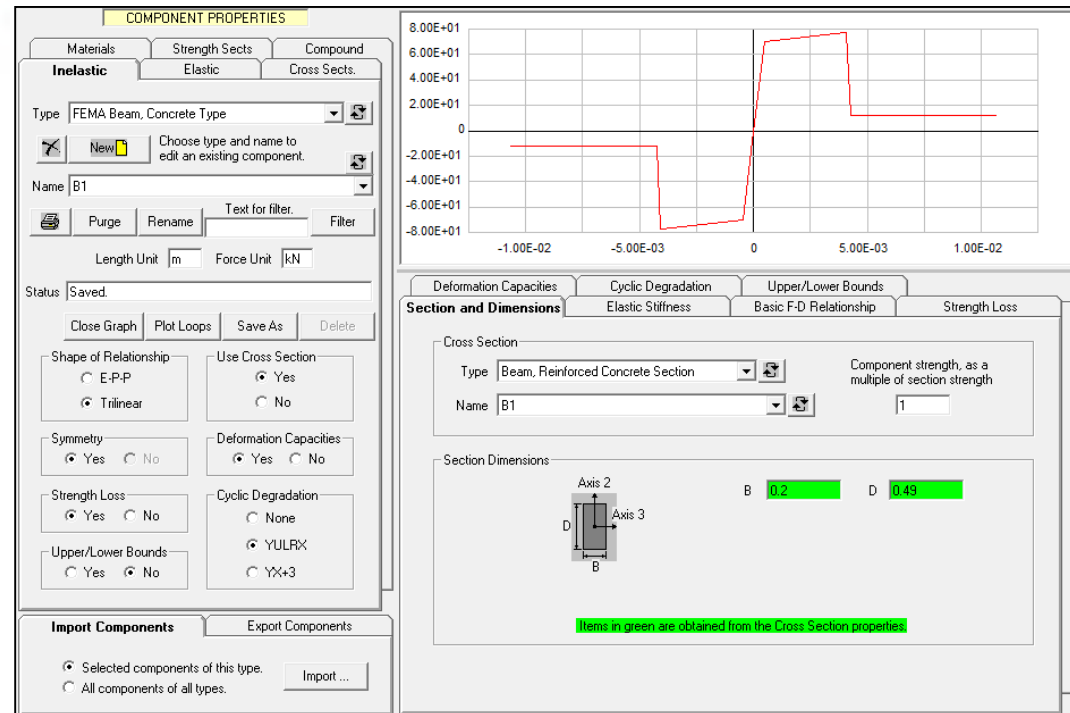
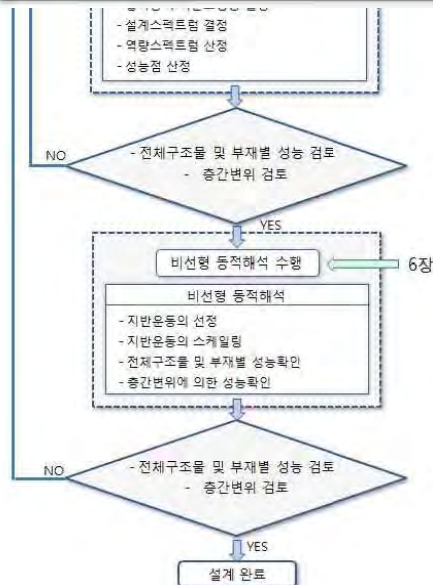
[해설 표 4-2] 부재의 유효강성-2 (TBI)

| | 휨강성 | 전단강성 | 축강성 |
|----|--------------|--------|----------|
| 보 | $0.5E_cI_g$ | GA_w | E_cA_g |
| 기둥 | $0.5E_cI_g$ | GA_w | E_cA_g |
| 벽 | $0.75E_cI_g$ | GA_w | E_cA_g |

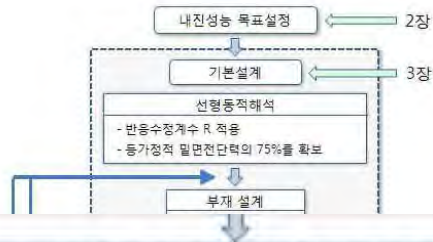


비선형 정적 및 동적 해석을 위한 모델링 4장

- 비탄성 요소의 구조모델
- 재료의 기대강도
- 재료의 비선형 모델
- 부재의 유효강성
- 부재의 비선형 모델
- 초기 감쇠율
- 지하층의 모델링



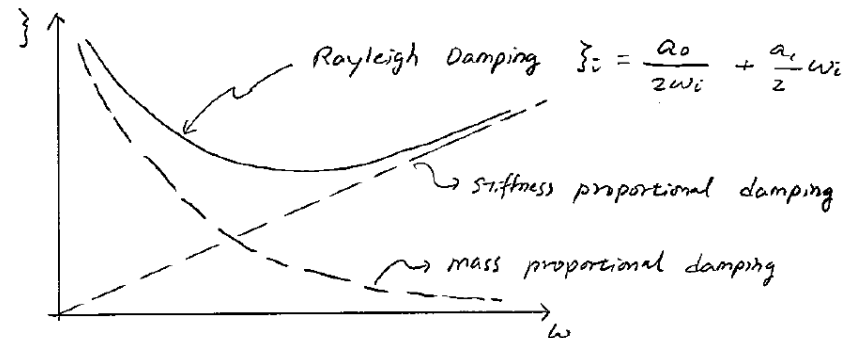
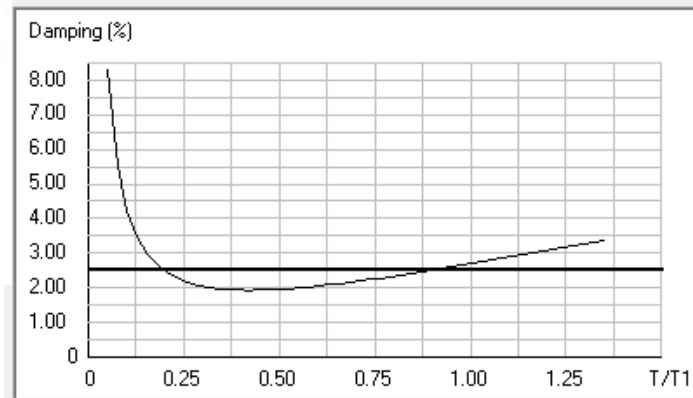
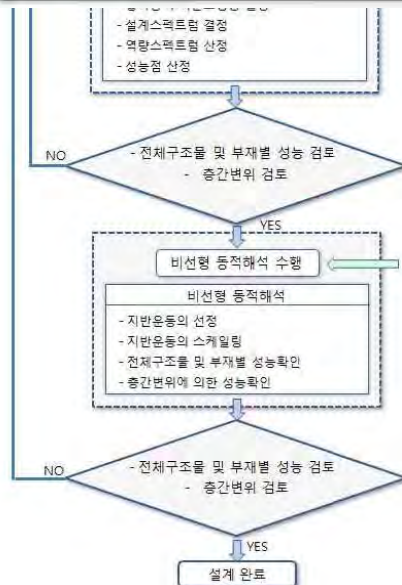
Performance Based Design

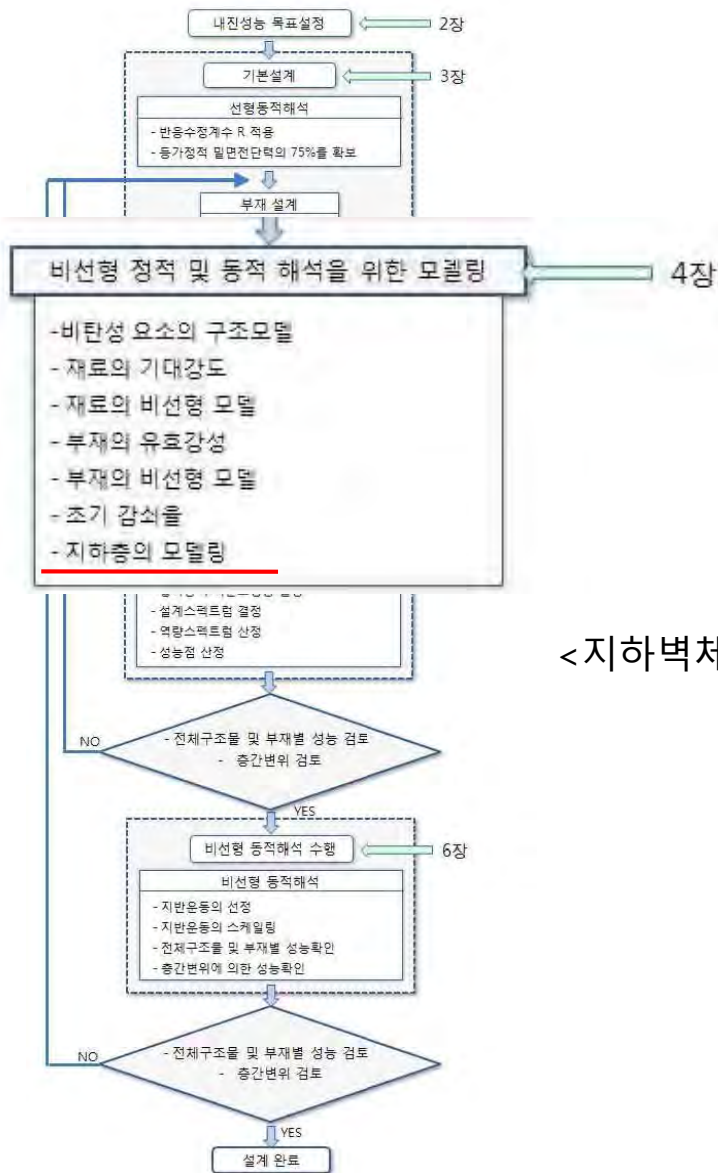


비선형 정적 및 동적 해석을 위한 모델링

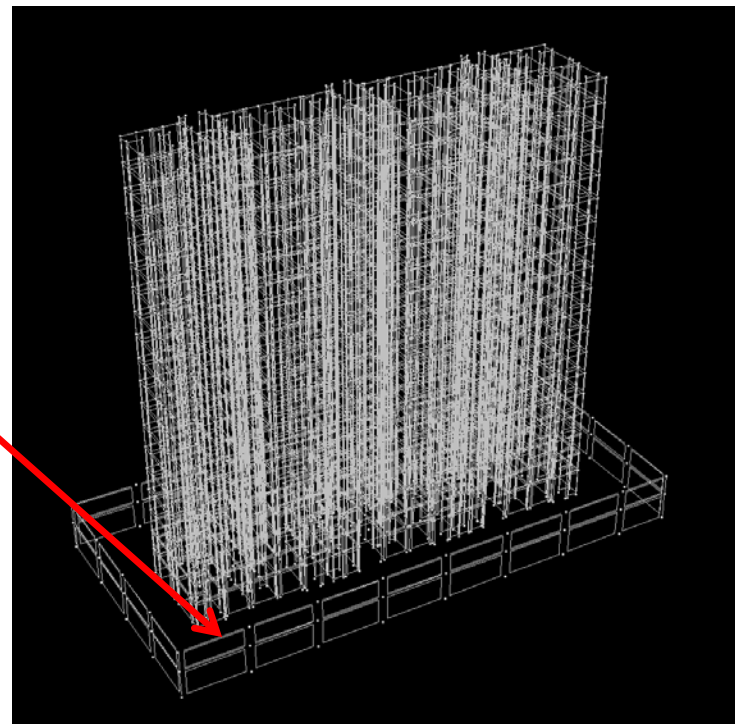
4장

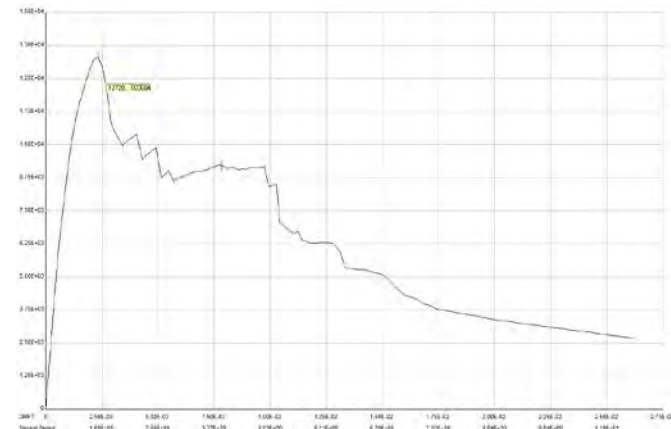
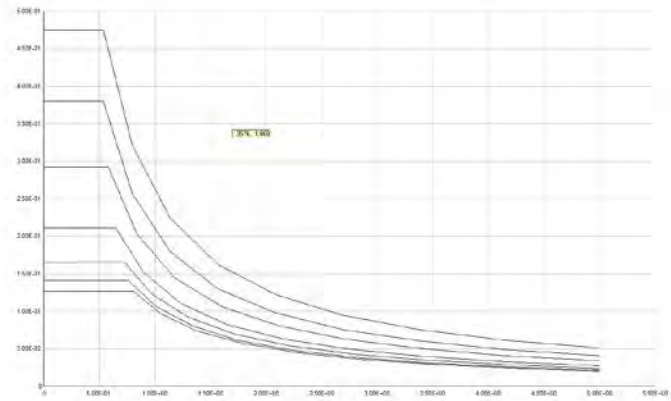
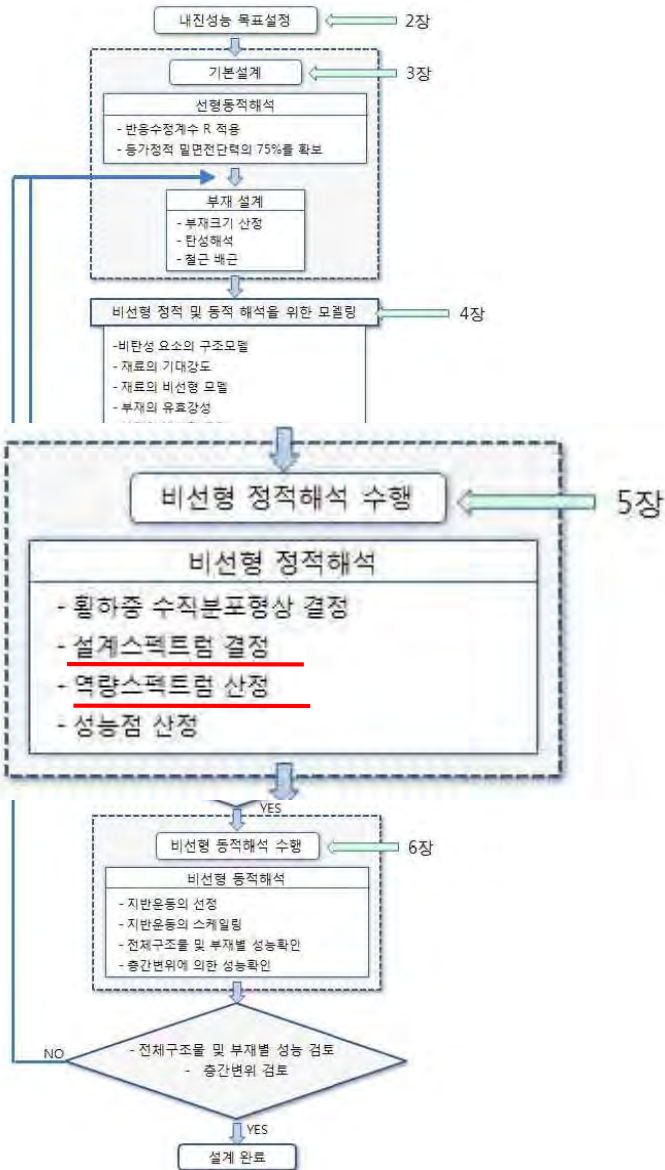
- 비탄성 요소의 구조모델
- 재료의 기대강도
- 재료의 비선형 모델
- 부재의 유효강성
- 부재의 비선형 모델
- 초기 감쇠율
- 지하층의 모델링

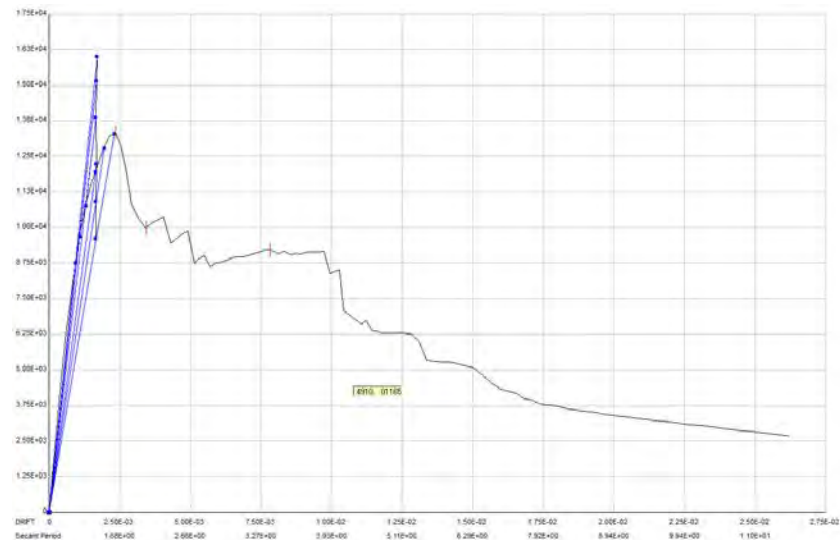
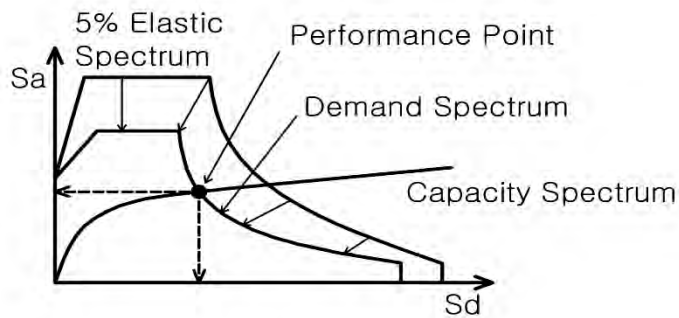
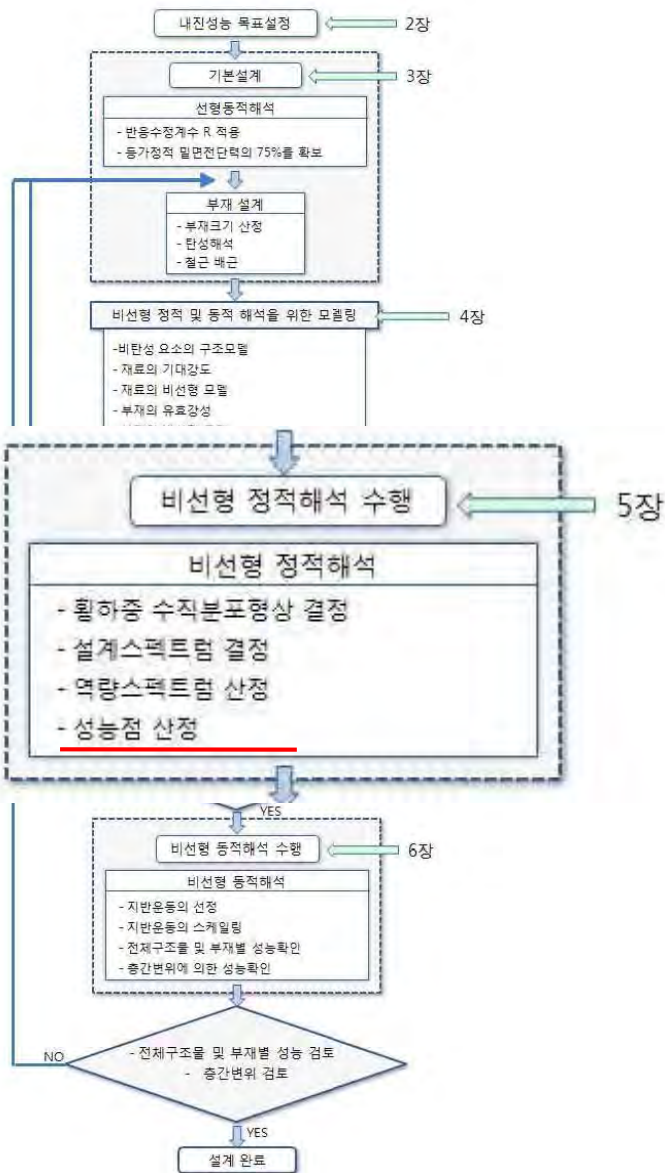


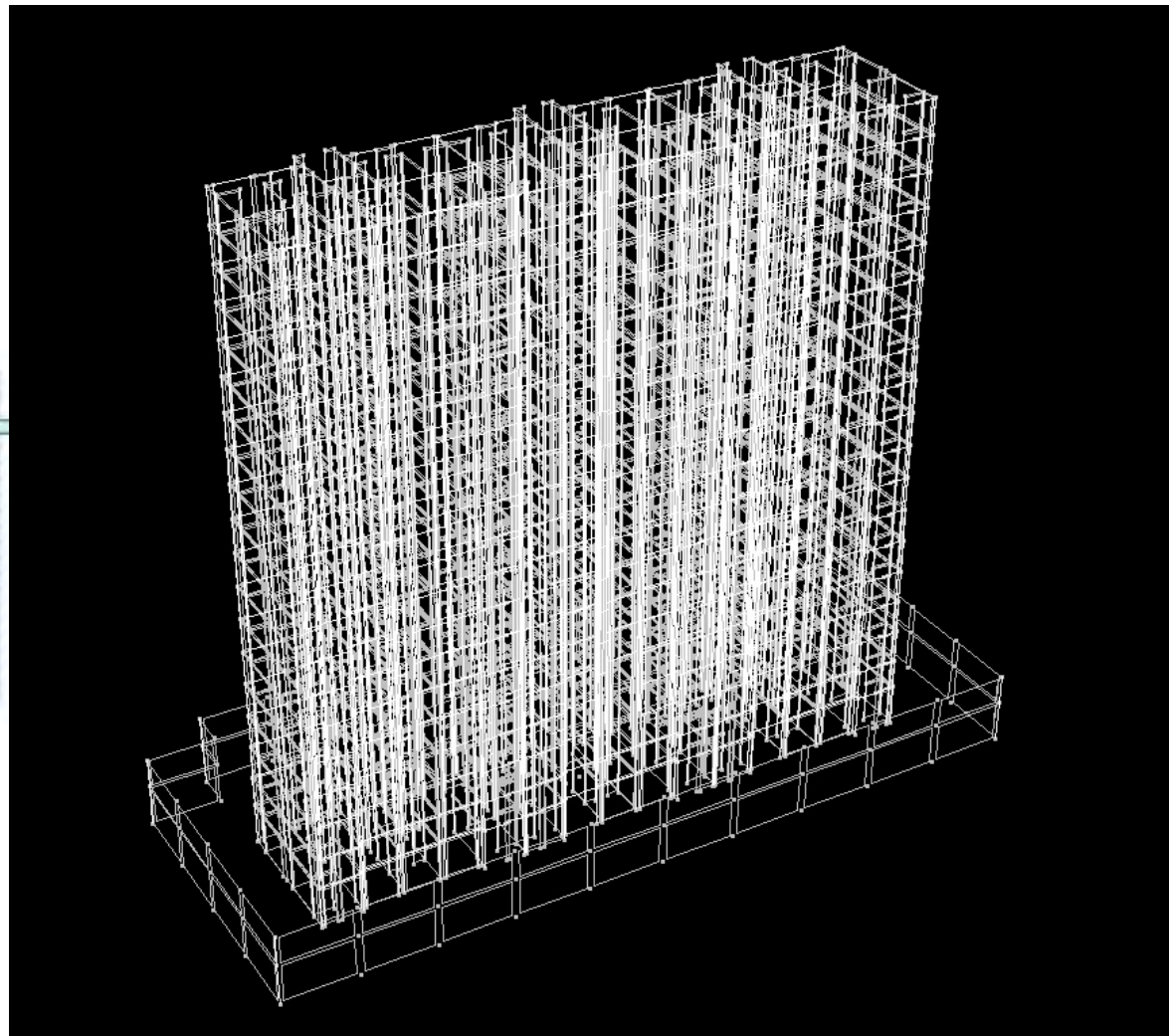
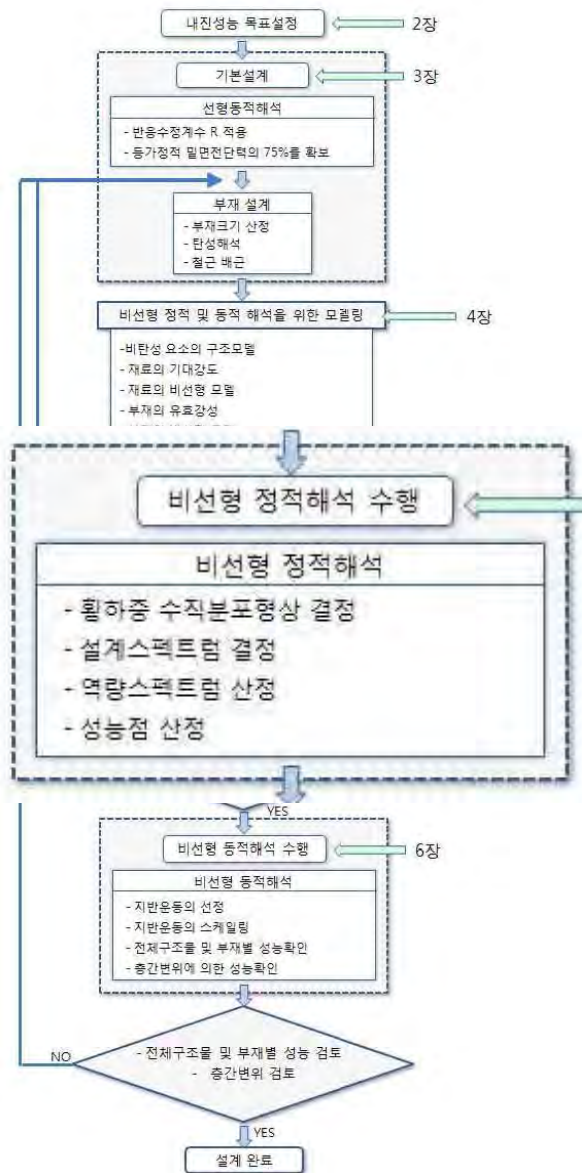


<지하벽체 모델링>

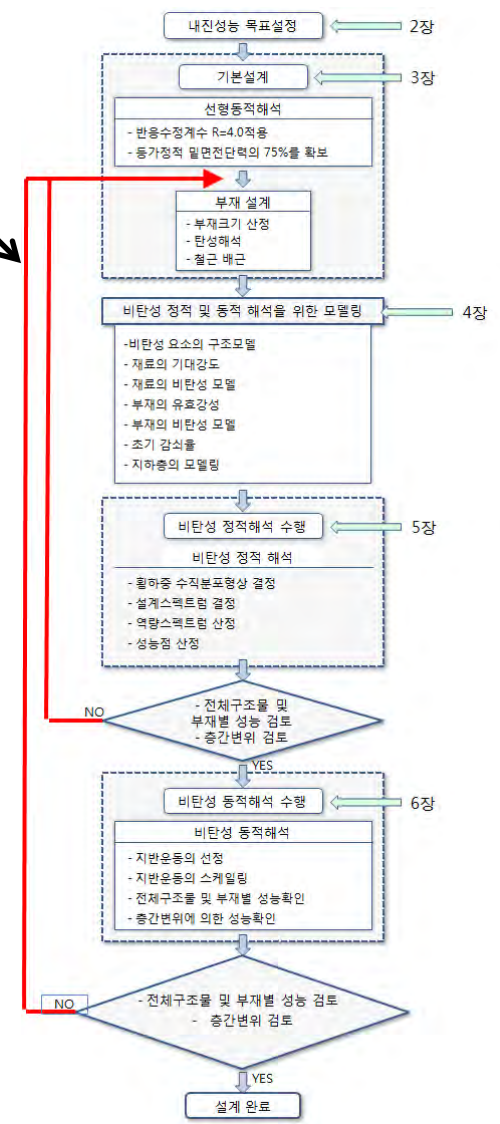
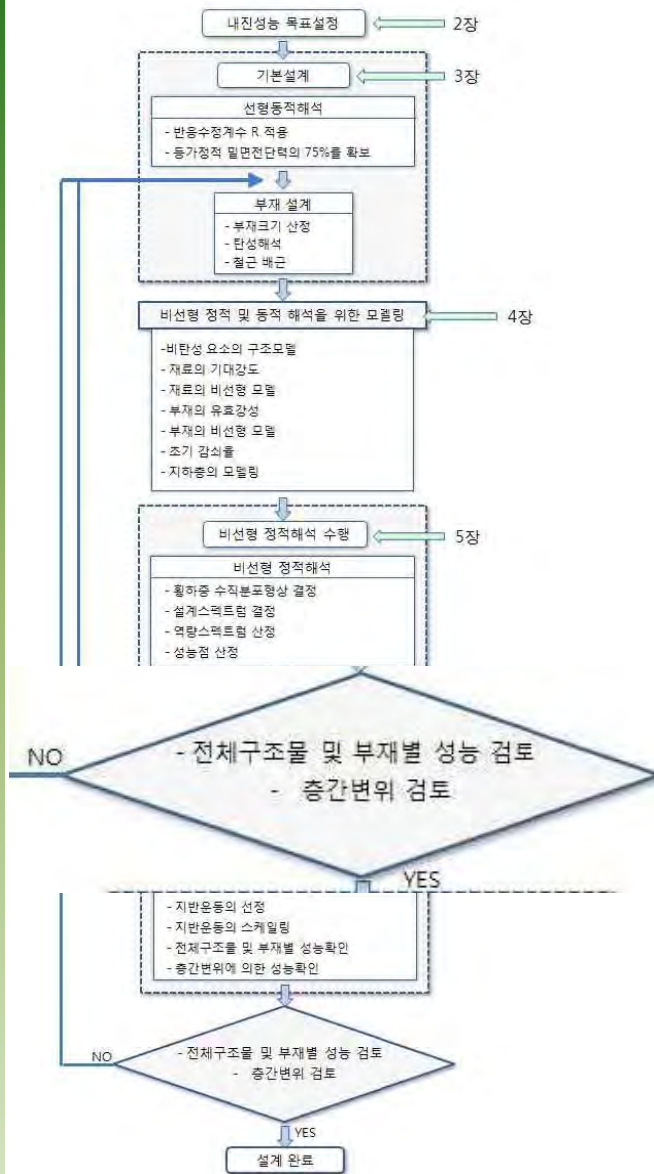


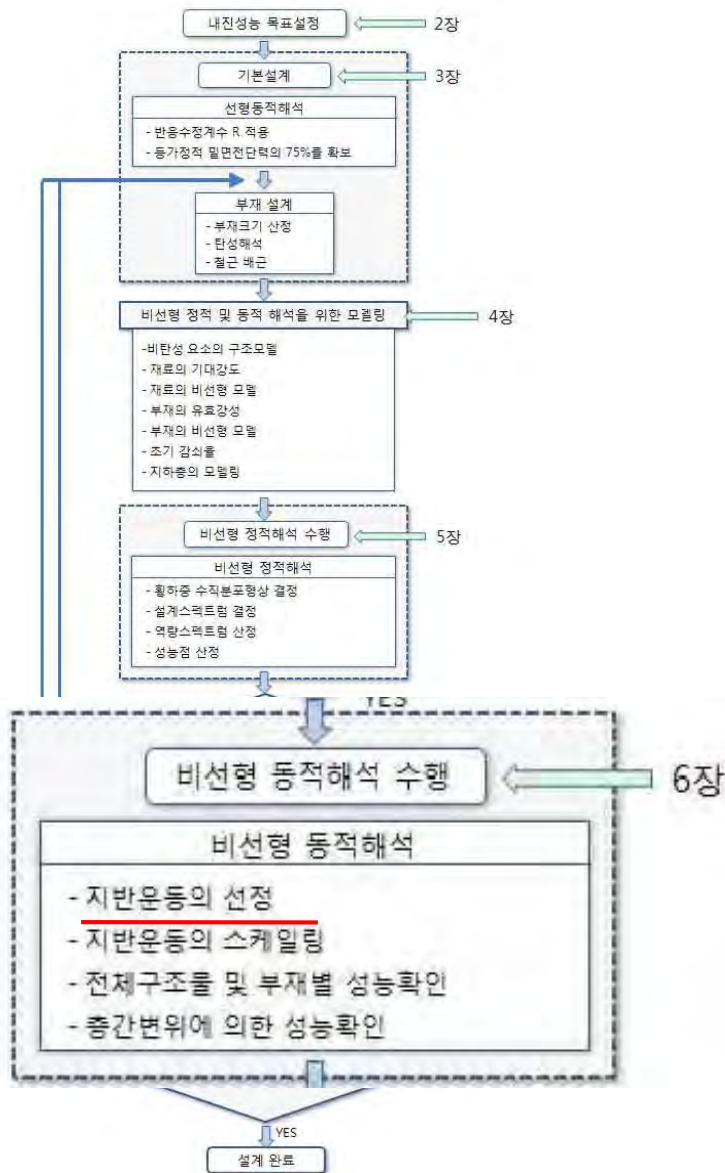




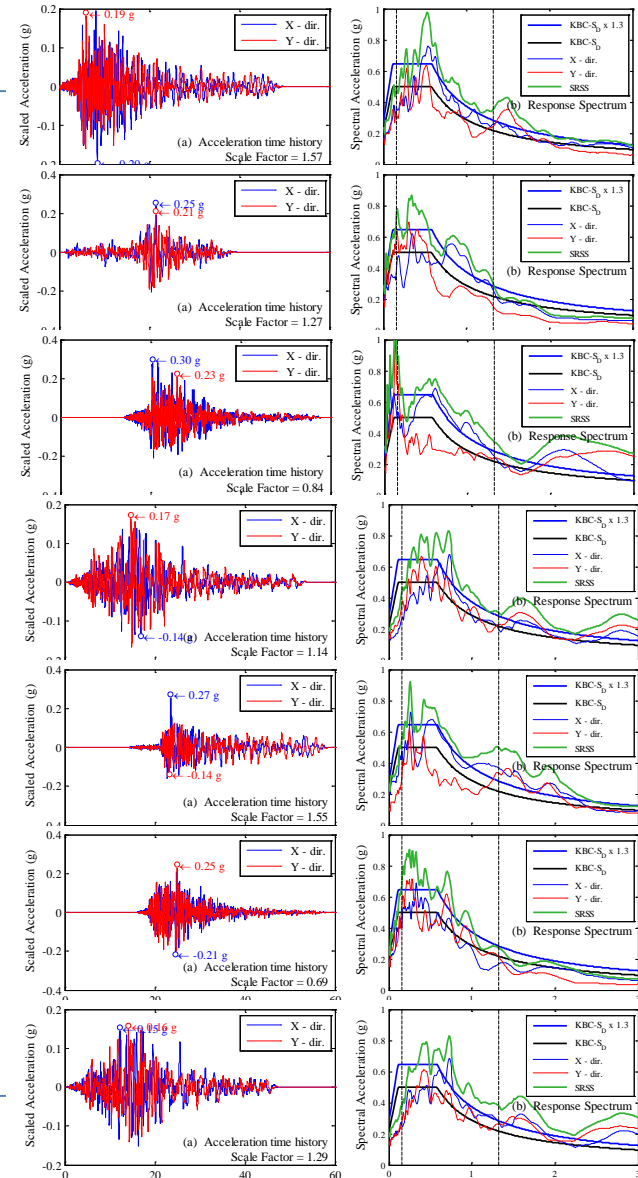


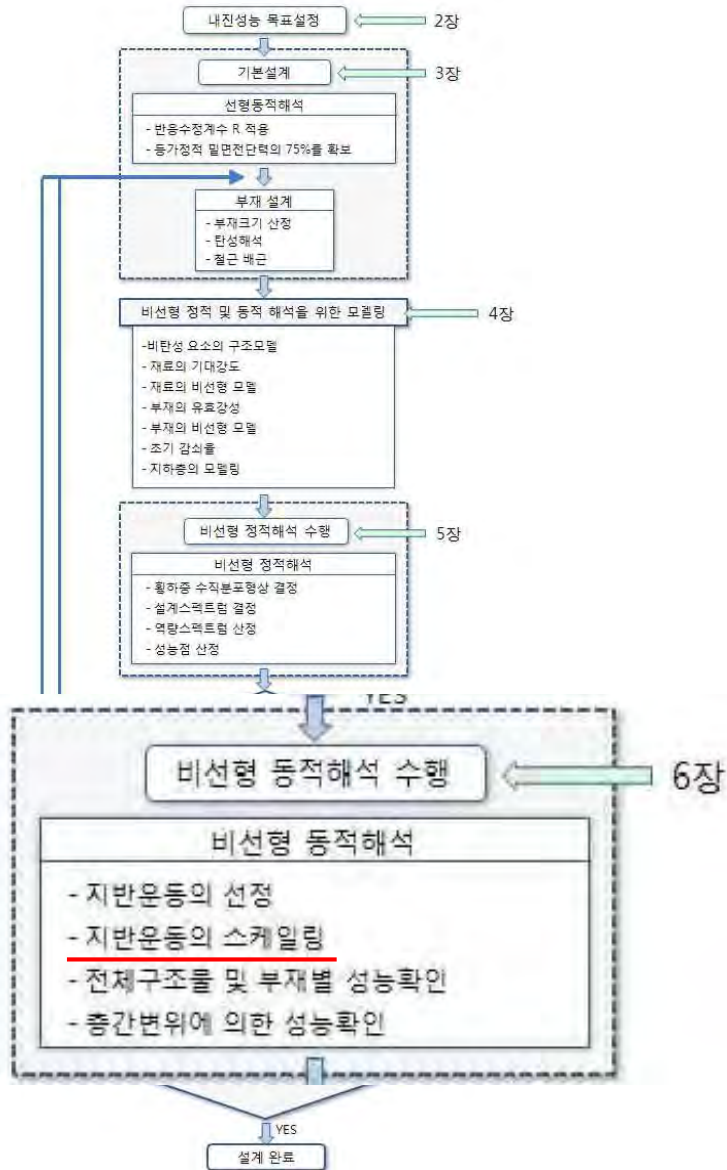
재설계 및
비선형해석
재수행



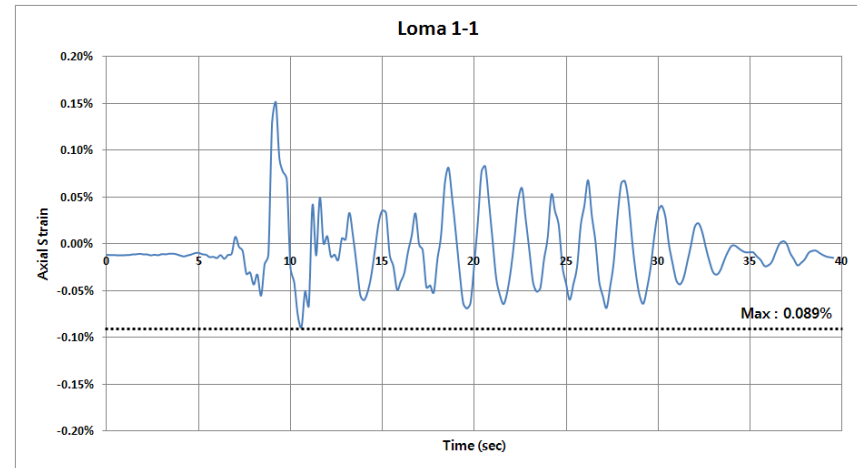
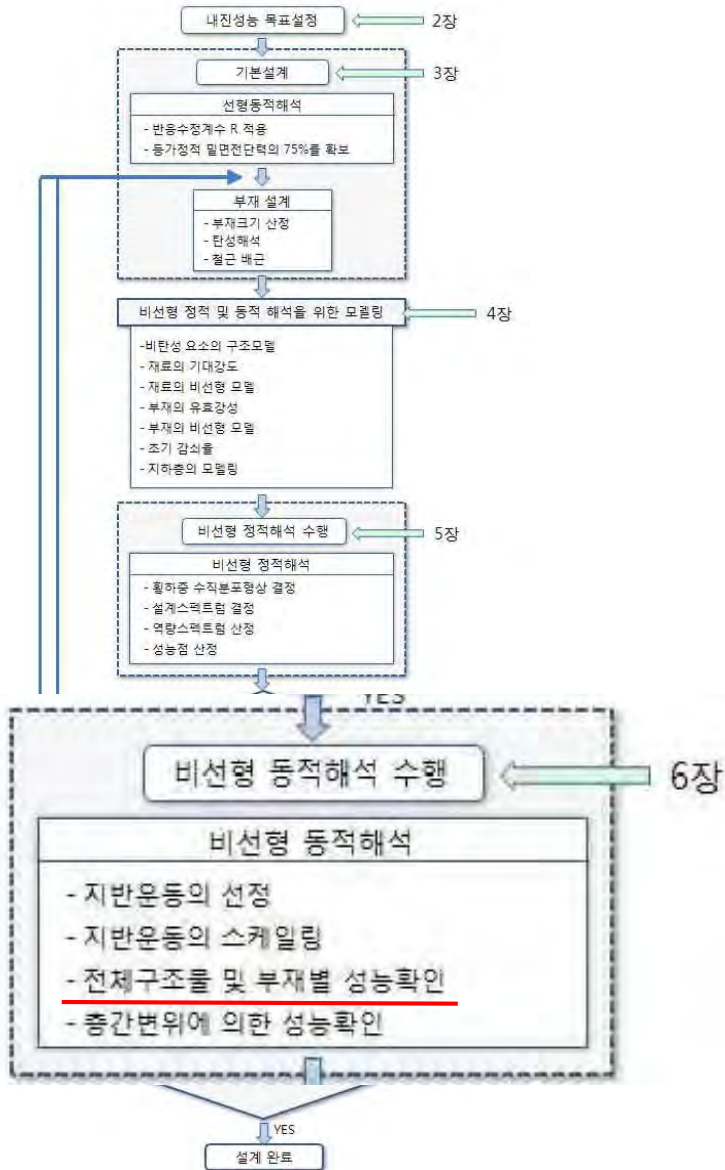


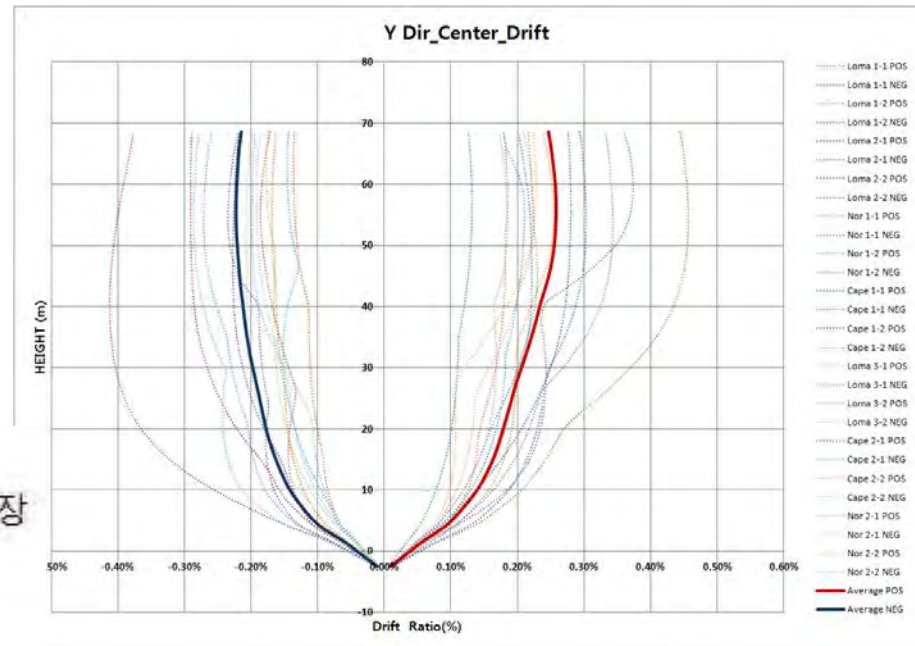
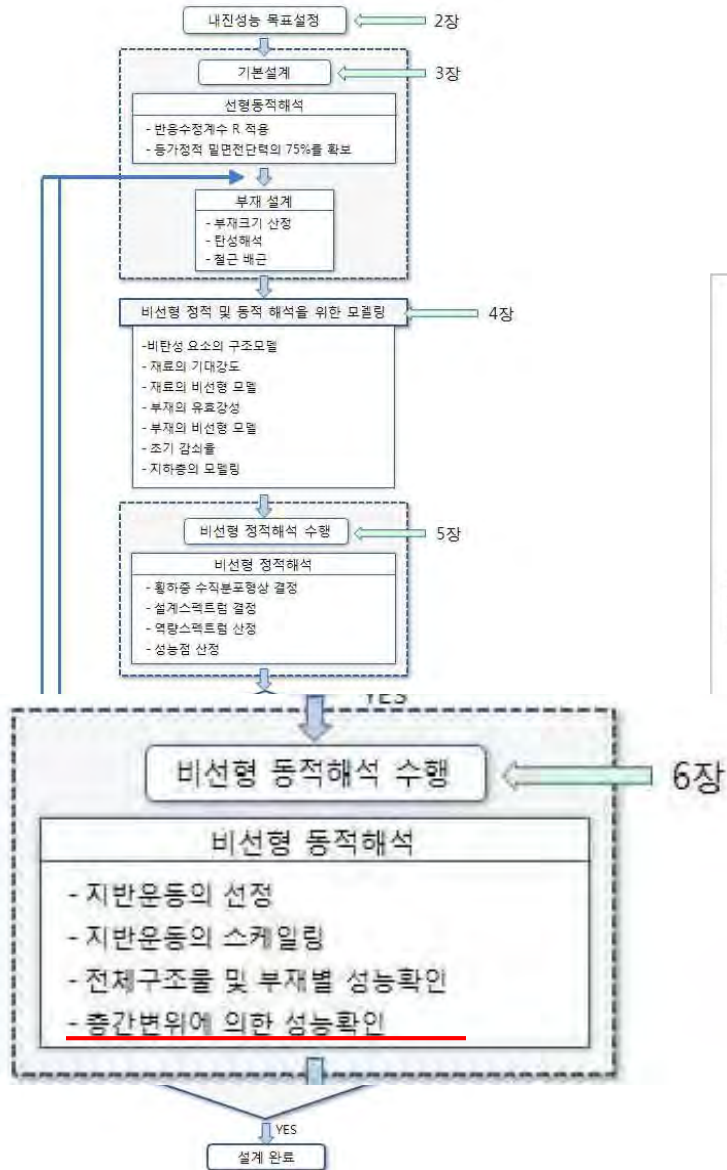
<7개 지진파>

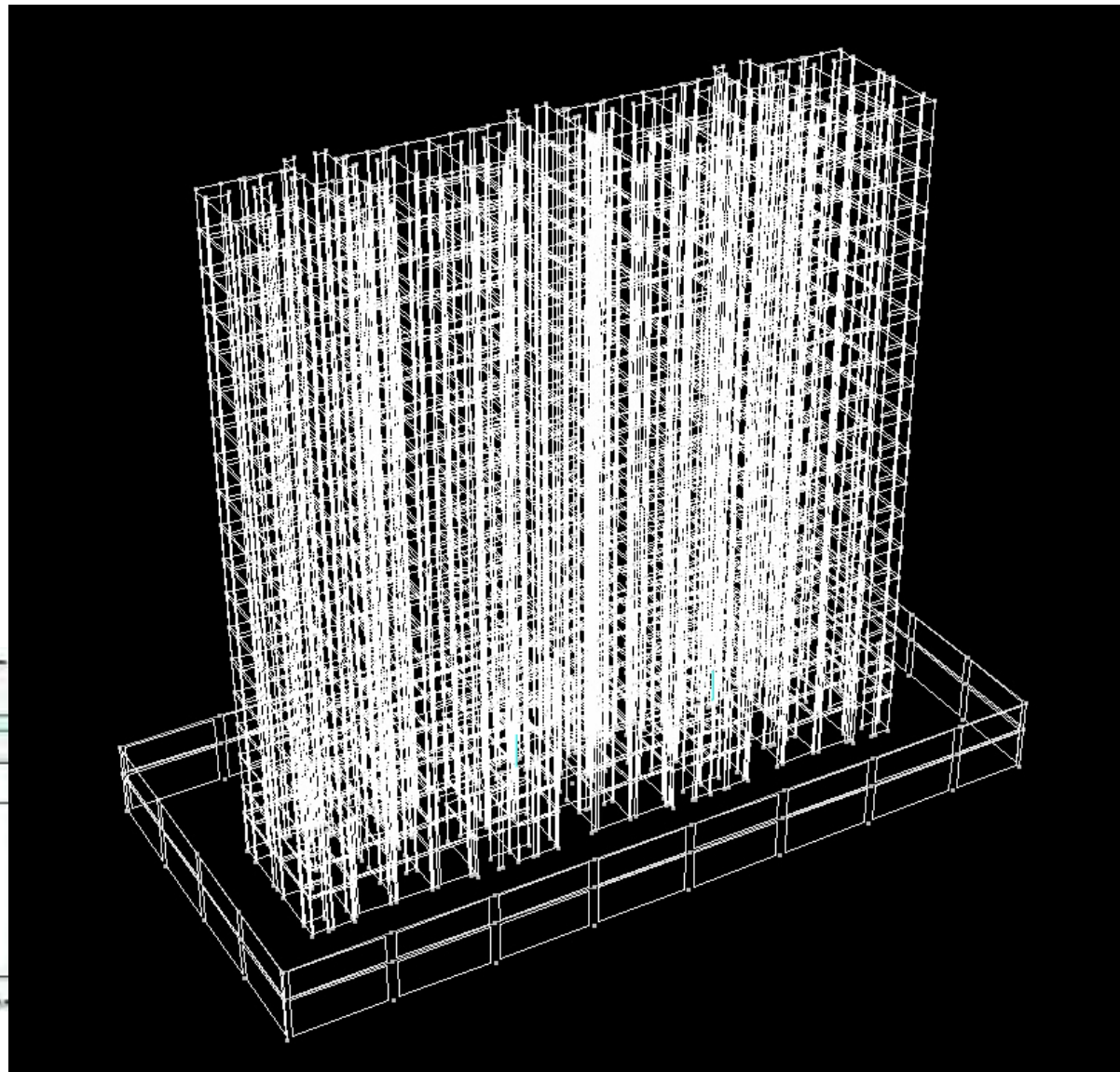
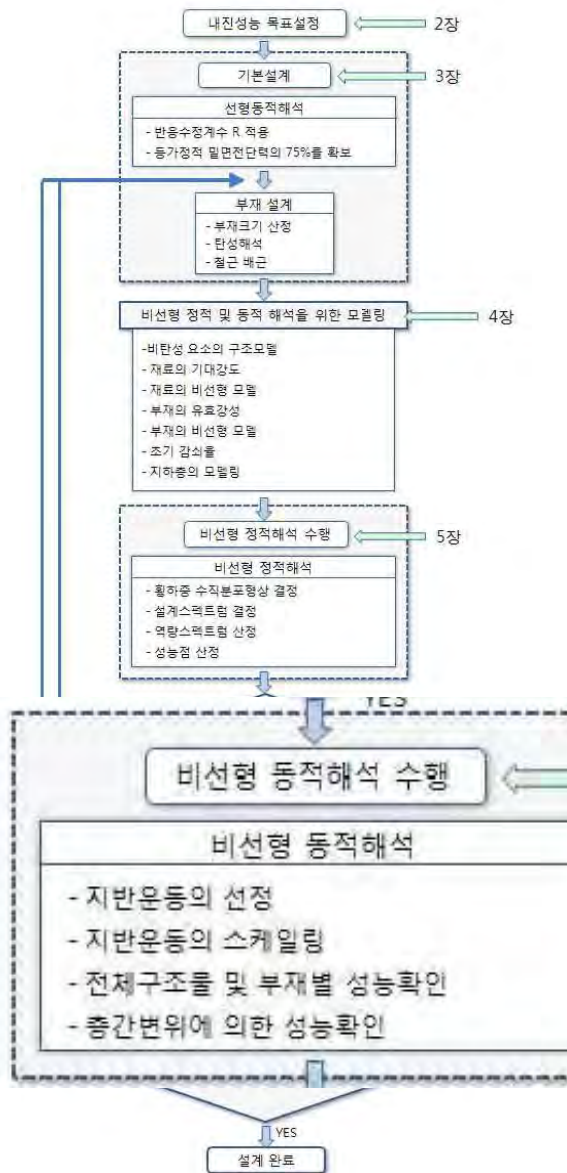


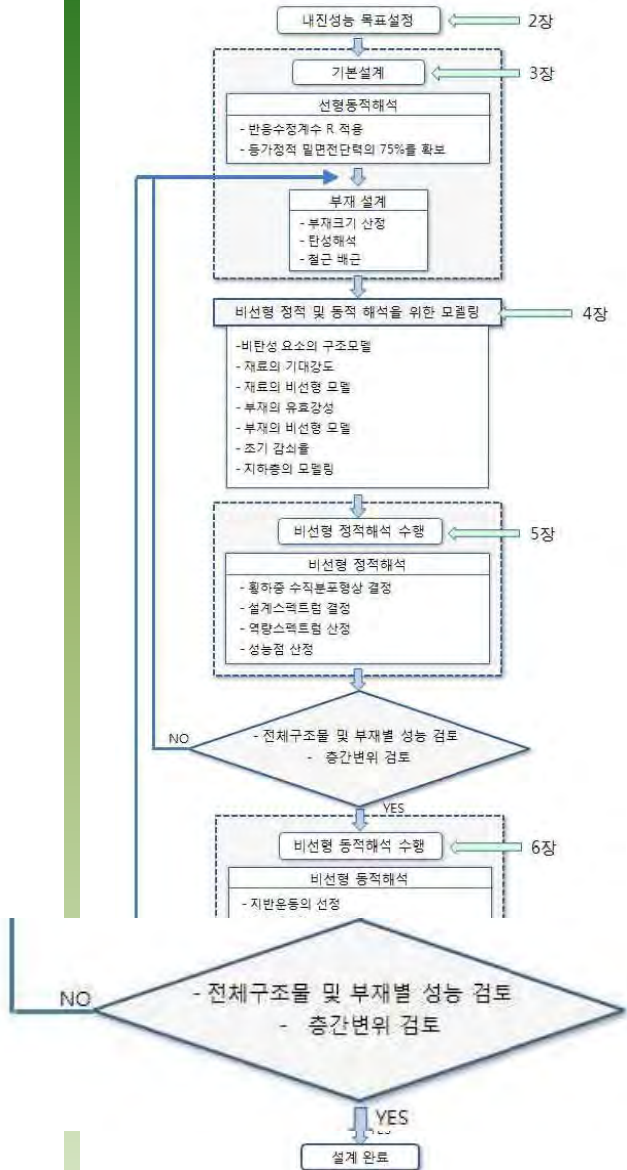


| | Event | Year | Station | M | Scale Factor |
|---|---------------------|------|----------------------|------|--------------|
| 1 | Northridge-01 | 1994 | Camarillo | 6.69 | 1.57 |
| 2 | Spitak - Armenia | 1988 | Gukasian | 6.77 | 1.27 |
| 3 | Iwate - Japan | 2008 | Iwadeyama | 6.9 | 0.84 |
| 4 | Taiwan SMA RT1(45) | 1986 | SMART1 C00 | 7.3 | 1.14 |
| 5 | Chuetsu-oki - Japan | 2007 | Joetsu Kita | 6.8 | 1.55 |
| 6 | Chuetsu-oki - Japan | 2007 | Kawanishi Izumoza ki | 6.8 | 0.69 |
| 7 | Taiwan SMA RT1(45) | 1986 | SMART1 I05 | 7.3 | 1.29 |

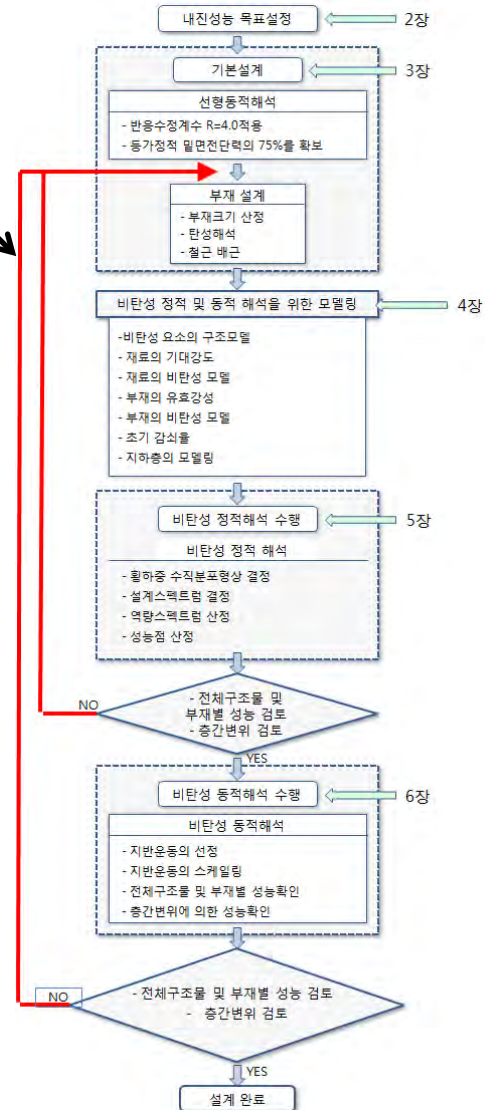


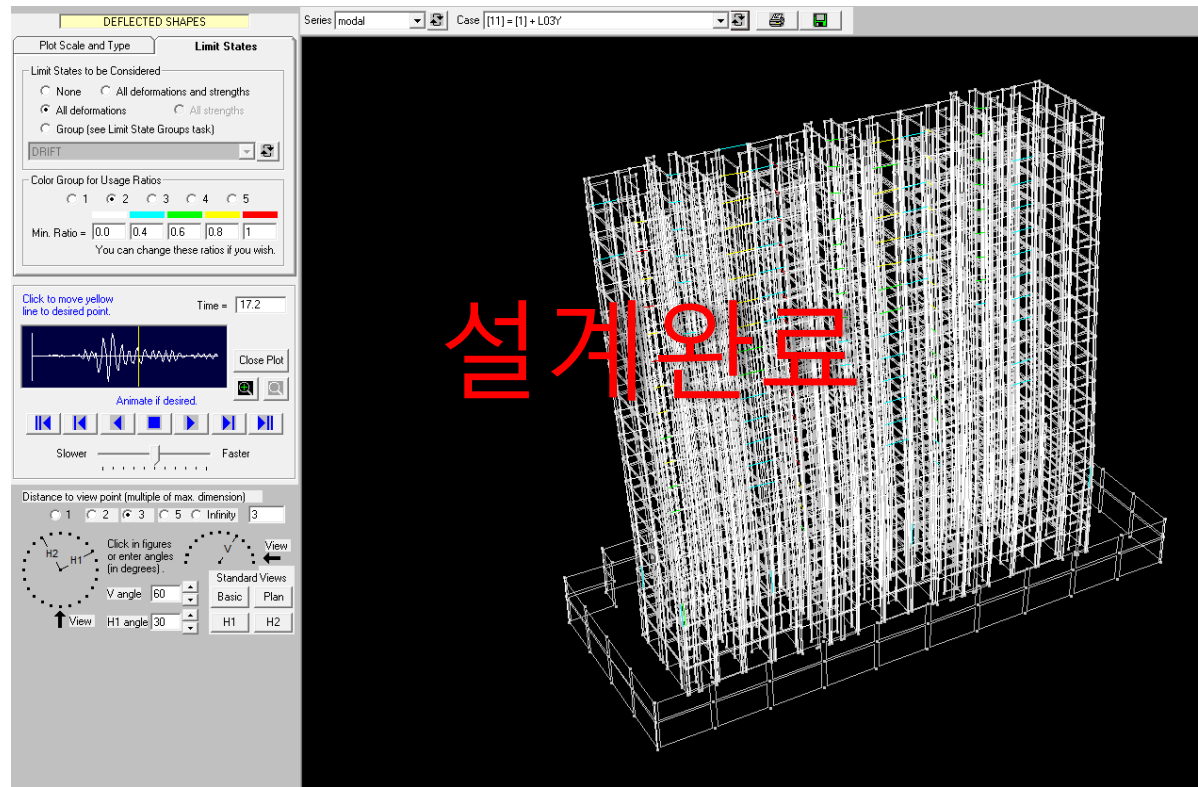
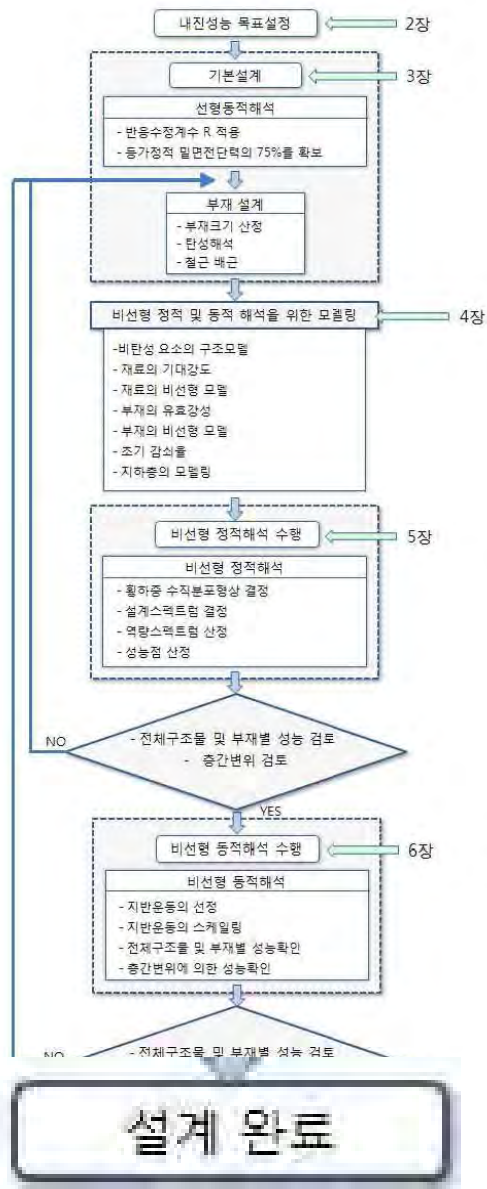






재설계 및
비선형해석
재수행





비선형해석모델

■ 기본사항

- ① 비선형 정적해석 (Push-Over Analysis) 적용
- ② 비선형 동적해석 (Time-History Analysis) 적용
- ③ 3차원 모델링 원칙
- ④ 콘크리트와 철근 등 재료 비선형 특성 필요
- ⑤ 보, 기둥, 벽체 등 부재 비선형 특성 필요
- ⑥ 구조체와 일체로 시공되는 비구조벽 모델링 포함
- ⑦ 기타 요구사항: P- Δ 영향, 지하경계조건 등

■ 중력하중

중력하중은 고정하중의 1.1배와 활하중의 25%를 적용 (단, 창고의 경우 활하중의 50%를 적용)

- 부재비선형 모델

- 1) 유한요소모델 : 해석시간의 문제점

- 기본적인 모델이지만 건물전체해석에는 유용하지 않음.

- 2) Fiber 모델 : 휨이론 적용, 평면유지 가정

- 주로 벽체에 사용

- 3) 소성힌지 모델 : 부재의 단부에서 집중소성힌지 가정

- 보, 기둥 등 선형부재에 사용. 연결보, 기둥등

- 탄성모델이 필요한 경우

- 1) 취성파괴를 방지하기 위하여 탄성거동을 가정하는 경우

- 부재의 전단강도

- 전이부재 (전이보, 전이기둥등)

- 2) 해석시간을 줄이기 위하여 탄성거동이 예측되는 부분에 사용

Performance Based Design

● 벽체 Fiber 모델

Structural Fibers Monitored Fibers Draw Section Out-Of-Plane Notes

STRUCTURAL FIBERS

CONCRETE

Material Type: Inelastic 1D Concrete Material

Material Name: 24MPa

Wall Thickness: 0.3 No. of Fibers: 8

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Specify factors for relative tributary widths. Go to Draw Section page to show fibers.

STEEL

Material Type: Inelastic Steel Material, Non-Buckling

Material Name: 400MPa

Specify area as: ☒ PERCENT of concrete area ☐ Effective thickness

Percent or thickness: 0.1 No. of Fibers: 8

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Axis 2
K L
J I Axis 3
Fibers are numbered from edge IK

Properties depend on whether section has FIXED or AUTO fibers.

벽체단면에는 중심에 철근비로 입력됨

Structural Fibers Monitored Fibers Draw Section Out-Of-Plane Notes

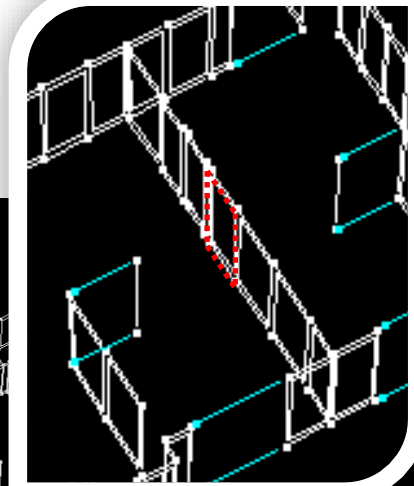
This panel is shared with IK

There is no element in this panel

| None | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Material Type =

Material Name =



콘크리트와 철근재료계수 입력

Performance Based Design

● 콘크리트 재료 비선형 모델 적용

COMPONENT PROPERTIES

Inelastic

Elastic

Cross Sects.

Materials

Strength Sects

Compound

Type Inelastic 1D Concrete Material

New

Choose type and name to edit an existing material.

Name 24MPa

Purge

Rename

Text for filter.

Filter

Length Unit m Force Unit kN

Status Old property set. Checked. Not yet saved.

Close Graph

Save

Save As

UnChange

Shape of Relationship

☐ E-P-P

☒ Trilinear

Tension Strength

☐ Yes

☒ No

Strain Capacities

☒ Yes

☐ No

Strength Loss

☒ Yes

☐ No

Cyclic Degradation

☒ None

☐ YULRX

☐ YX+3

Upper/Lower Bounds

☐ Yes

☒ No

Import Components

Export Components

☒ Selected components of this type.

☐ All components of all types.

Import ...

0

-5.00E+03

-1.00E+04

-1.50E+04

-2.00E+04

-2.50E+04

-1.00E-02

-5.00E-03

0

5.00E-03

1.00E-02

Cyclic Degradation

Upper/Lower Bounds

Strength Loss

Strain Capacities

Basic Relationship

F = stress. D = strain.

Positive

←→

Stiffness, K0

Modulus, E 2.6985E+07

KH/K0 Pos =

KH/K0 Neg = 0.088

Tension Stresses

FY

FU

Tension Strains

DU

DX

Compression Stresses

FY 24000

FU 26400

Compression Strains

DU 0.0019

DX 0.01

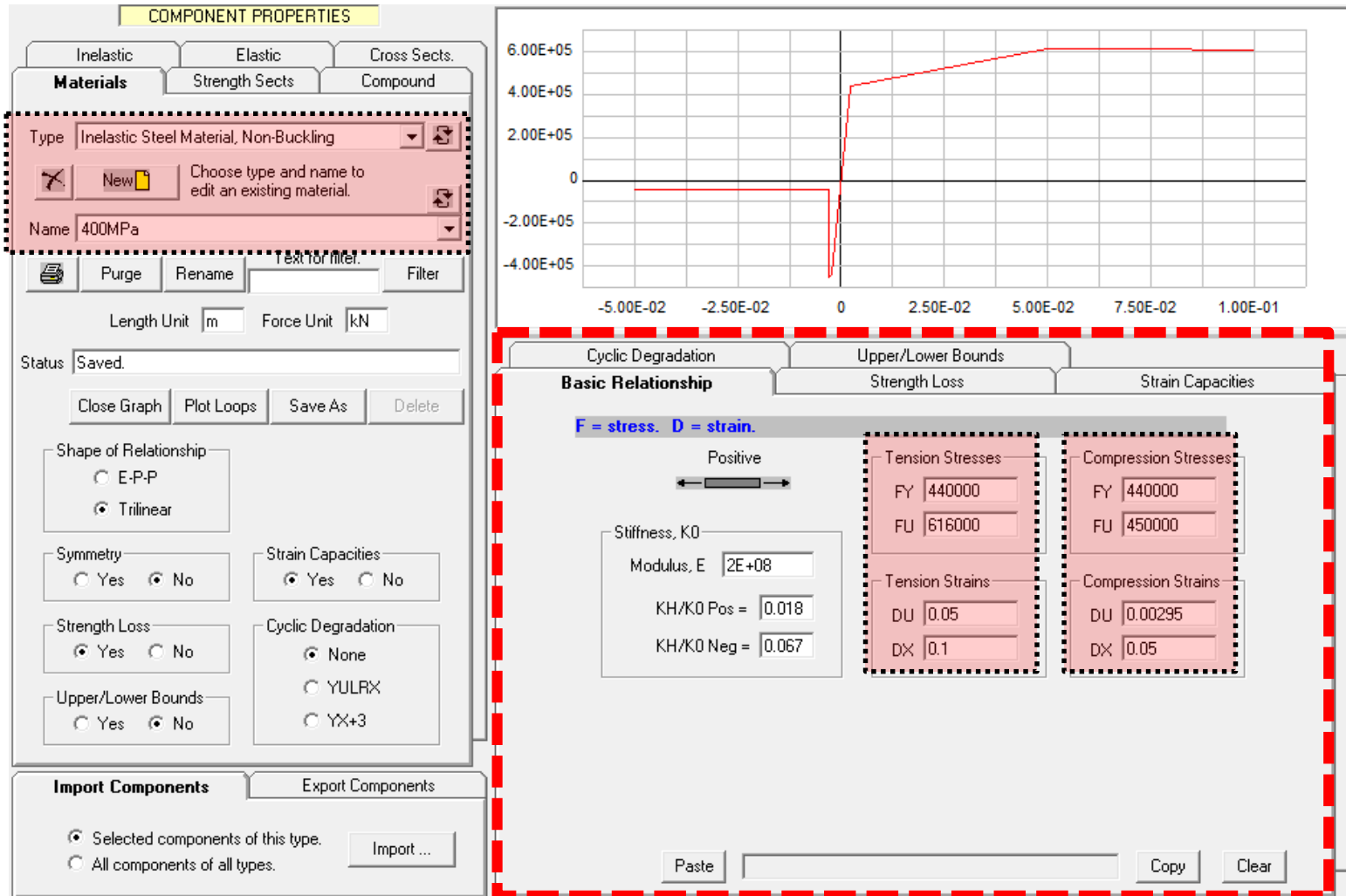
Paste

Copy

Clear

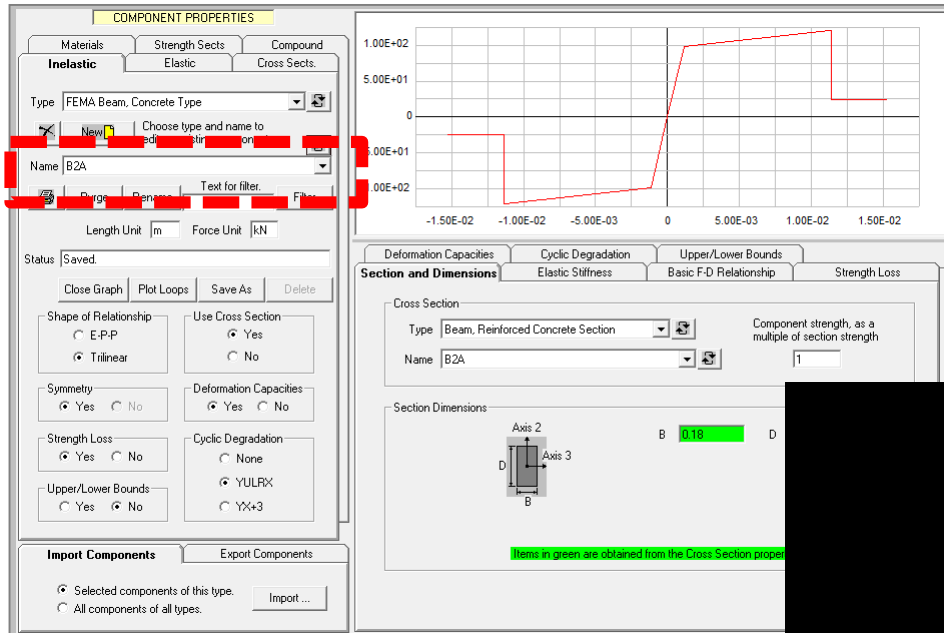
Performance Based Design

● 철근의 재료 비선형 모델 적용

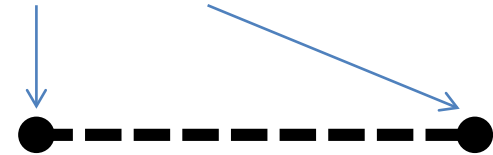


Performance Based Design

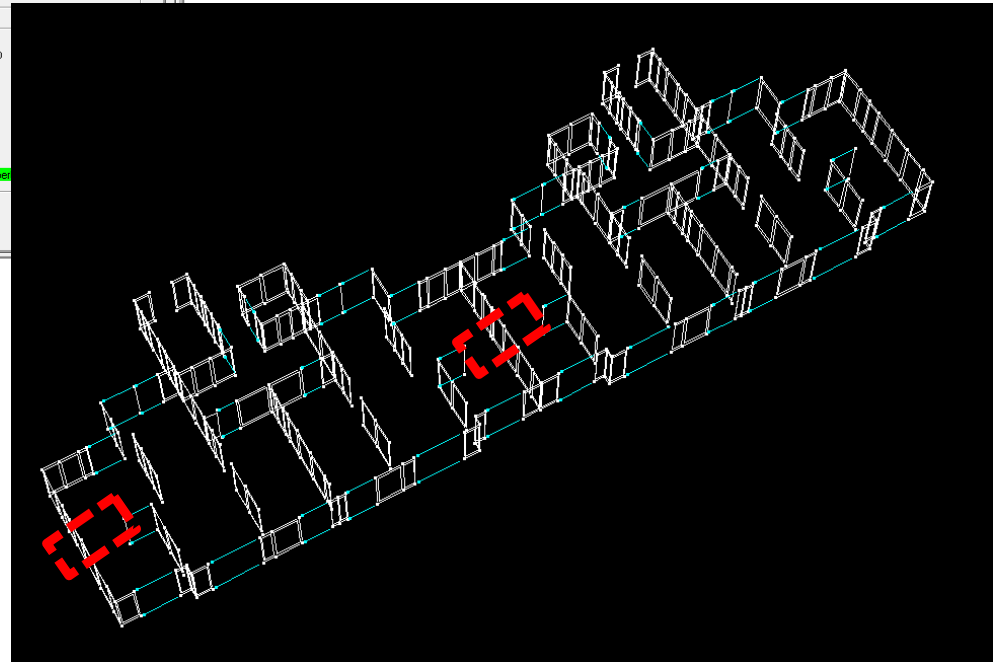
● 선형요소(기둥, 보)를 위한 집중소성힌지모델



집중소성힌지

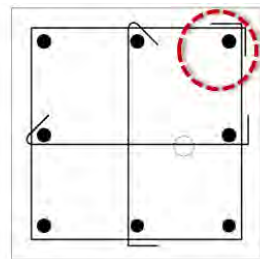
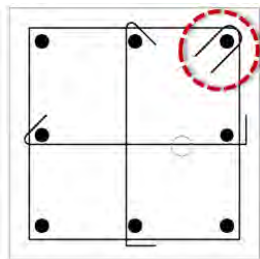


부재별 집중소성힌지 특성을
작성



● 보의 소성힌지모델을 위한 변수

| 모델링 파라미터 | | | | | 허용기준 (소성회전각, rad.) | | | | |
|----------------------------|-----------|---------|-------|-------|--------------------|--------|-------|-------|-------|
| 소성회전각 (rad.) | | 잔류강도비 | 거주가능 | 1차부재 | | 2차부재 | | | |
| a | b | | | c | 인명안전 | 붕괴방지 | 인명안전 | 붕괴방지 | |
| 1. 휨에 의해 지배되는 비내진상세 단면일 경우 | | | | | | | | | |
| 주근의 배근상태 | 작용전단력의 비율 | | | | | | | | |
| | 0 이하 | 0.25 이하 | 0.02 | 0.03 | 0.2 | 0.005 | 0.01 | 0.02 | 0.03 |
| | | 0.5 이상 | 0.01 | 0.015 | 0.2 | 0.0015 | 0.005 | 0.01 | 0.015 |
| | 0.5 이상 | 0.25 이하 | 0.01 | 0.015 | 0.2 | 0.005 | 0.01 | 0.01 | 0.015 |
| | 0.5 이상 | 0.005 | 0.01 | 0.2 | 0.0015 | 0.005 | 0.005 | 0.005 | 0.01 |
| 2. 휨에 의해 지배되는 내진상세 단면일 경우 | | | | | | | | | |
| 주근의 배근상태 | 작용전단력의 비율 | | | | | | | | |
| | 0 이하 | 0.25 이하 | 0.025 | 0.05 | 0.2 | 0.010 | 0.02 | 0.025 | 0.05 |
| | | 0.5 이상 | 0.02 | 0.04 | 0.2 | 0.005 | 0.01 | 0.02 | 0.04 |
| | 0.5 이상 | 0.25 이하 | 0.02 | 0.03 | 0.2 | 0.005 | 0.01 | 0.02 | 0.03 |
| | 0.5 이상 | 0.015 | 0.02 | 0.2 | 0.005 | 0.005 | 0.015 | 0.015 | 0.02 |



부재 철근 상세

| | 모델링 파라미터 | | | 허용기준 (소성회전각, rad.) | | | | |
|----------------------------|--------------|------|-------|--------------------|-------|-------|-------|------|
| | 소성회전각 (rad.) | | 잔류강도비 | 거주가능 | 1차부재 | | 2차부재 | |
| | a | b | | | c | 인명안전 | 붕괴방지 | 인명안전 |
| 3. 전단에 의해 지배되는 경우 | | | | | | | | |
| 스터럽 간격이 $d/2$ 이하인 경우 | 0.003 | 0.02 | 0.2 | 0.0015 | 0.002 | 0.003 | 0.01 | 0.02 |
| 스터럽 간격이 $d/2$ 초과인 경우 | 0.003 | 0.01 | 0.2 | 0.0015 | 0.002 | 0.003 | 0.005 | 0.01 |
| 4. 정착 혹은 철근이음의 파파가 예상되는 경우 | | | | | | | | |
| 스터럽 간격이 $d/2$ 이하인 경우 | 0.003 | 0.02 | 0.0 | 0.0015 | 0.002 | 0.003 | 0.01 | 0.02 |
| 스터럽 간격이 $d/2$ 초과인 경우 | 0.003 | 0.01 | 0.0 | 0.0015 | 0.002 | 0.003 | 0.005 | 0.01 |
| 5. 보-기둥접합부의 정착파파가 예상되는 경우 | | | | | | | | |
| | 0.015 | 0.03 | 0.2 | 0.01 | 0.01 | 0.015 | 0.02 | 0.03 |

1. 사이값은 선택보강한다.
2. 1) ~ 5)중 복수의 상황에 해당하는 경우 가장 불리한 값을 사용한다.
3. 내진상세 단면과 비내진상세 단면의 판단은 KBC2009 0520 내진설계시 특별고려사항의 규정에 따른 휨보강근의 만족여부에 따른다. (소성힌지구간에서 전단보강근의 간격이 d/3이하이고 전단보강근에 의한 전단강도가 설계전단력의 3/4이상일 경우 내진상세를 만족하는 것으로 본다)
4. 주근의 배근상태는 $(\rho - \rho') / \rho_{bai}$ 로 평가한다.
5. 작용전단력의 비율은 $V / (\sqrt{f_{ck}} b_w d)$ 로 평가한다.

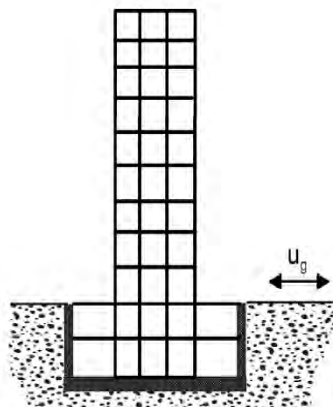
● 재료의 기대강도 계수

재료의 입력강도 = 설계기준강도 x 기대강도계수

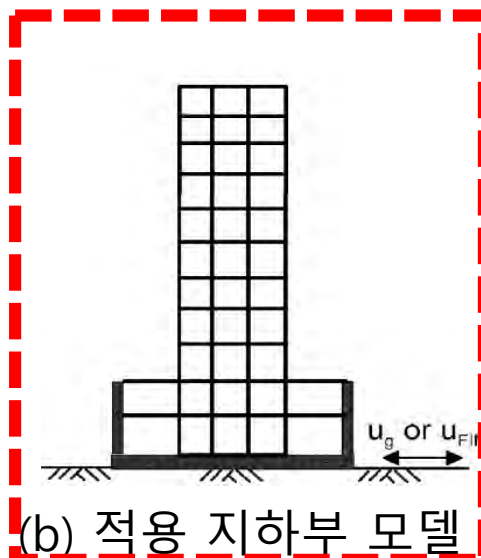
| 재료 특성 | 공 칭 강 도 | 계 수 |
|-----------------------|--------------|------|
| 콘크리트 압축강도 | 21MPa 이하 | 1.2 |
| | 24 ~ 40MPa | 1.1 |
| 철근의 항복강도 및 인장강도 | 300MPa 이하 | 1.25 |
| | 350 ~ 400MPa | 1.1 |
| | 500 ~ 600MPa | 1.05 |
| | 700MPa | 1.0 |

■ 지하층 모델링

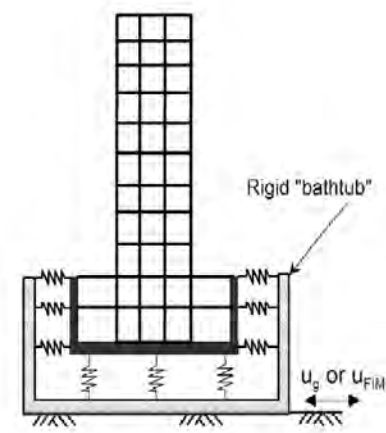
- 지반에 대한 영향을 고려하기 위해 지하층 구조물을 일체로 모델링
- 실무 적용성을 위해 아래의 모델 중에서 (b)항 모델을 적용
- (b)항 모델은 지반레벨에서 스프링이 포함되어 있지 않기 때문에, 지하부의 질량 중에서 일부만을 적용하여 비선형 해석을 수행



(a) 실제 구조체



(b) 적용 지하부 모델

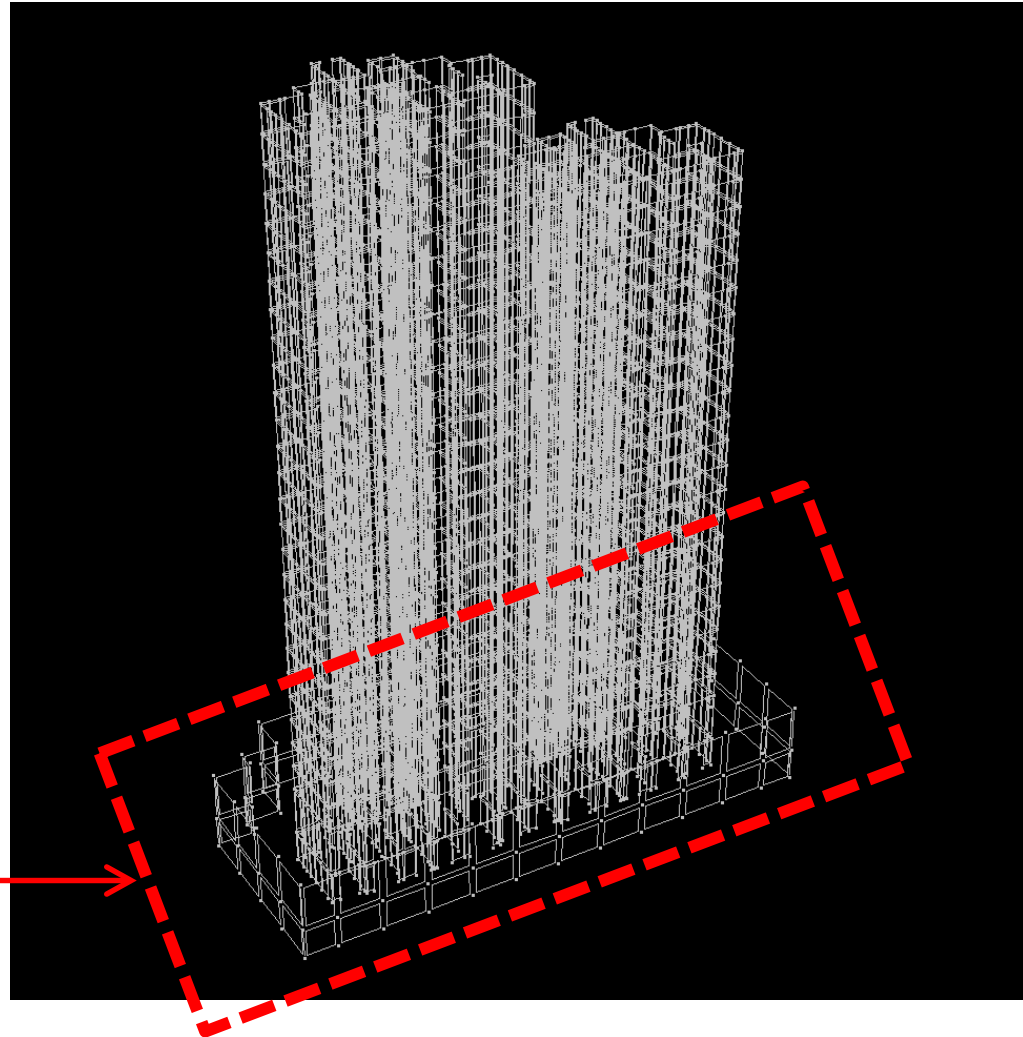


(c) 상세 해석 모델

● 지하층 모델링 적용

지하층이 넓은 경우
가상 지하외벽모델을 사용

지하외벽설치



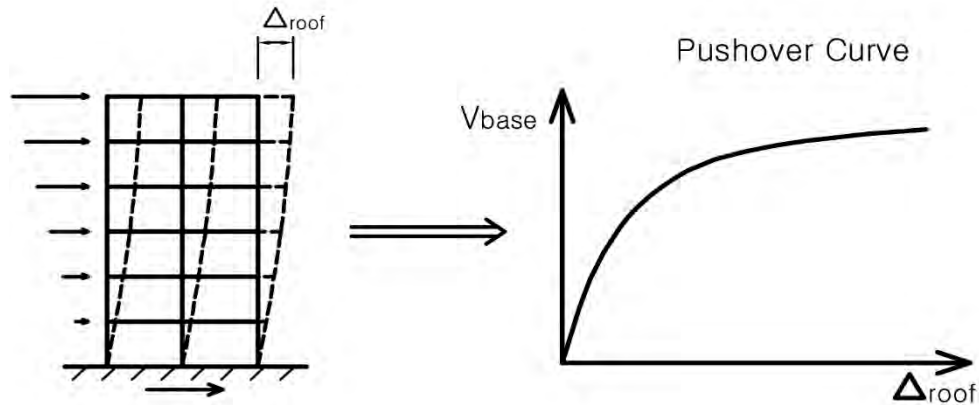
■ 비선형 모델링의 범위

- 대상 건축물 전체 비선형 모델링에 많은 시간필요
- 비선형 해석결과 탄성범위에 존재하는 부재 발생
- 비선형 거동에 영향 없는 범위에서 비선형 모델링 대상부재 조정 필요
- 비선형 모델링 조정범위 전문가 자문 통해 결정
- 취성파괴를 방지하기 위한 영역이나 작용에 탄성모델적용 부재의 전단작용
전이부재 (전이보, 전이기둥, 전이벽체 등)

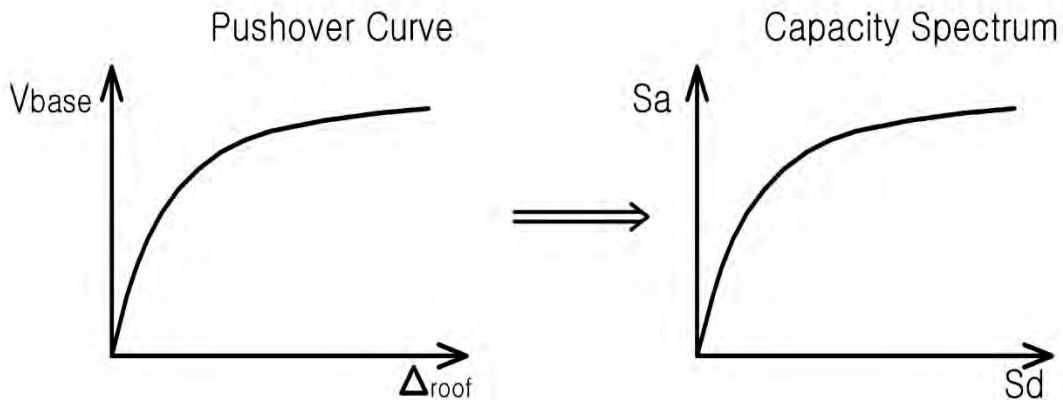
비선형정적해석

Performance Based Design

- 성능곡선의 계산 : 횡하중분포를 가정한 후 비선형 정적해석

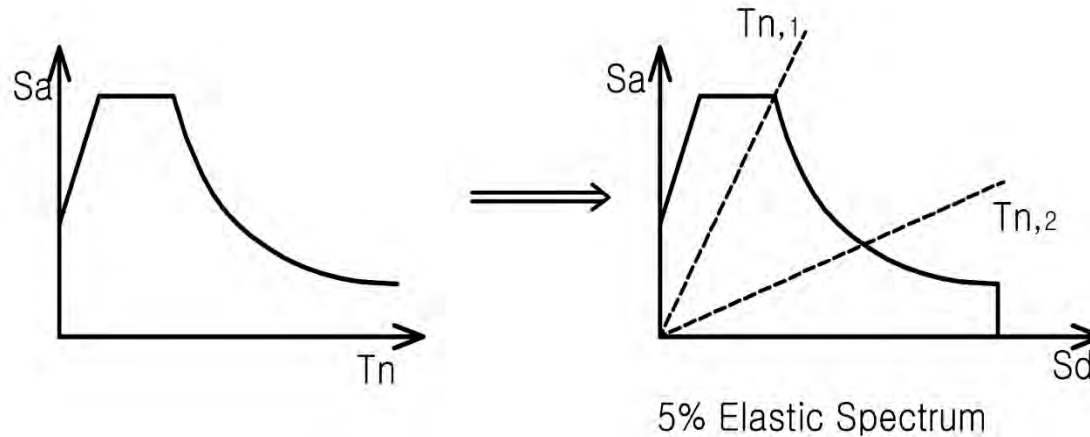


- 성능곡선의 변환

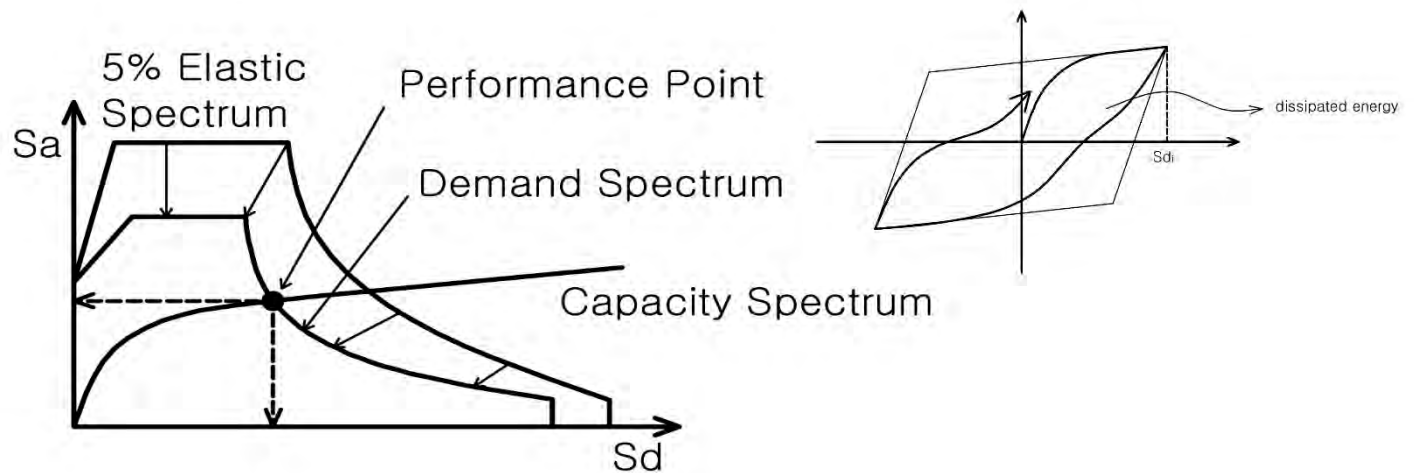


Performance Based Design

- 요구스펙트럼의 계산 : 탄성응답스펙트럼



- 성능점의 결정 : 에너지소산 또는 연성도를 고려하여 요구스펙트럼 축소



● 해석결과 검증

5.3.2 최소강도기준

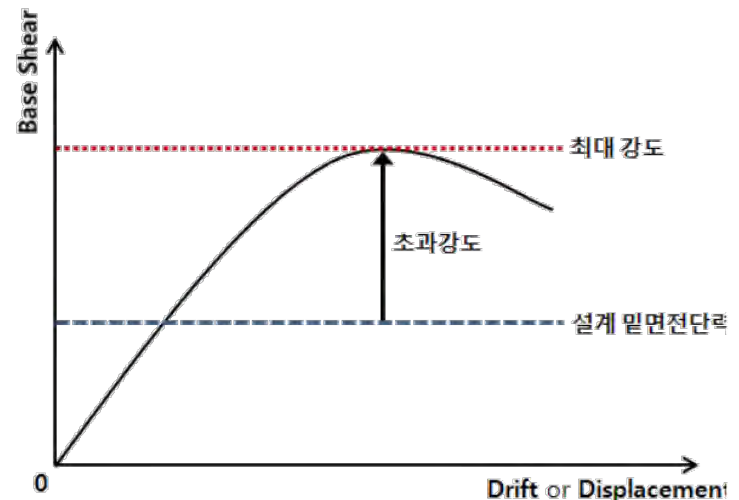
초과강도계수(Over Strength Factor, Ω)는 반응수정계수를 적용한 설계 밀면전단력에 대한 건축물의 역량곡선상 최대 강도의 비율로 나타내며, Ω 가 1.5 이상일 때 최소강도기준을 만족하는 것으로 판단한다.

부재에 대한 검증은 비선형동적해석과 동일

5.3.2 최소강도기준

건축물의 최종 성능점이 형성되어 5.3.1절의 목표 성능을 만족하였다 하더라도, 초과강도계수 Ω 가 1.5 미만이라면 해당 구조물은 지진하중에 대해 적절한 여유 강도가 없는 것으로 판단할 수 있다. 따라서 초과강도계수 Ω 는 최소한 1.5이상을 확보하는 것이 바람직하다.

[해설그림 5.1]은 성능곡선상에서의 초과강도를 나타내고 있으며, 초과강도계수는 아래 그림에서 설계 밀면전단력에 대한 최대 강도의 비로 구할 수 있다.



- 비선형 정적해석방법의 장단점
 - 모델의 정확성을 쉽게 검증이 가능함.
 - 구조물의 붕괴 메카니즘을 쉽게 분석이 가능함.
 - 동적거동을 고려하지 못하므로 정확성에 문제가 있음.
 - 횡하중분포를 정확히 파악하기 어려움.

비선형동적해석

Performance Based Design

● 설계지진파의 선정 절차

| | |
|---|----------------|
| 1 | 지반조사 |
| 2 | 목표 설계응답스펙트럼 설정 |
| 3 | 암반지진기록 선정 |
| 4 | 암반지진기록 조정 |
| 5 | 부지응답해석 |
| 6 | KBC 지반계수 만족 검토 |
| 7 | 입력지진파로 활용 |

KBC 탄성응답스펙트럼 SB

암반에서 기록된 7개 기록선정

탄성응답스펙트럼에 맞게 scaling

토사지반에 의한 응답의 증폭을 계산

KBC 지반계수 맞도록 scaling

● 설계지진파의 선정

6.1.1 지반운동

6.1.1 지반운동

- ① 시간이력해석은 해당 지반조건을 반영한 지반운동을 7개 이상 적용하여 수행한다.
- ② 각각의 지반운동은 평면상에서 서로 직교하는 2성분의 쌍으로 구성된다.
- ③ 지반운동은 6.1.2절에 따라 암반에서 예측된 지진기록에 대하여 해당 지반조건에 의한 부지응답 해석 (Site Response Analysis)을 수행하여 생성된 지반운동을 조정한다.



KBC 2009 . 0306.7.4.1

시간이력해석은 지반조건에 상응하는 지반운동기록을 최소한 3개 이상 이용하여 수행한다. 3차원해석을 수행하는 경우에는, 각각의 지반운동은 평면상에서 서로 직교하는 2성분의 쌍으로 구성된다. 예측된 지반운동을 구할 수 없는 경

6.1.2 암반지진기록의 선정 및 조정

- ① 국내·외의 암반에서 예측된 지진기록을 부지응답해석을 위한 입력지진파로 적용하며, 국내에서 발생될 것으로 예상되는 지진조건과 유사한 지진기록을 선정한다.
- ② 암반지진기록 2성분의 제곱합제곱근 (SRSS) 응답스펙트럼이 구조물 기본진동주기의 0.2배부터 1.5배 사이($0.2T_1 < T < 1.5T_1$)에서 R 값이 적용되지 않은 암반에 대한 설계응답스펙트럼의 1.3배에 맞도록 개별 조정한다.



FEMA P695 Appendix A Ground Motion Record Set

- ① Source Magnitude : 규모 5 ~ 7 사이
- ② Source Type
- ③ Site Condition : 해당부지와 동일 조건의 지반등급
- ④ Site-Source
- ⑤ Number of Records per Event
- ⑥ Strongest Ground Motion Records : 0.2g 이상 PGA or
- ⑦ Strong Motion Instrument 0.15cm/s PGV
- ⑧ Strong-Motion instrument Location

Performance Based Design

● 설계지진파의 선정

6.1.3 부지응답해석

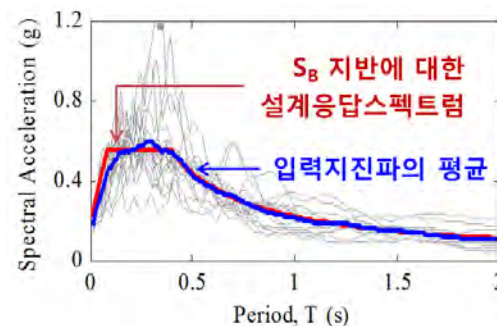
- ① 해당 지반조건의 비선형 거동을 모사할 수 있는 비선형 해석법, 등가선형 해석법 등을 적용하여 암반지진기록이 지반에 의하여 증폭된 지반운동을 생성한다.
- ② 부지응답해석은 지반지진공학 관련 전문가에 의하여 수행되어야 한다.

6.1.4 지반운동의 조정

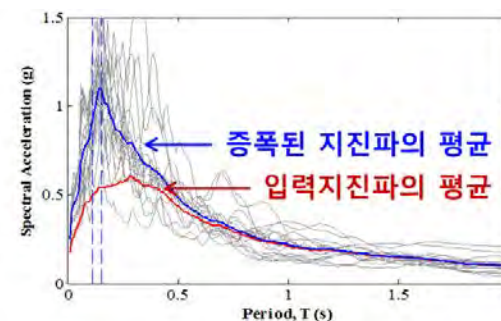
- ① 대상지반조건을 고려하여 KBC2014 개정안 기준에 따라 R 값이 적용되지 않은 설계응답스펙트럼을 목표스펙트럼으로 작성한다.
- ② 구조물 기본진동주기의 0.2배부터 1.5배 사이 ($0.2T_1 < T < 1.5T_1$)에서 지반운동 2성분의 제곱합제곱근 응답스펙트럼의 평균이 설계응답스펙트럼의 1.3배의 90% 보다 크도록 조정한다.
- ③ 지반운동의 직교하는 2성분은 동시에 작용하는 것이므로 양자의 조정에 적용되는 배율은 동일해야 한다.

지반지진 전문가에 의해 수행

■ S_B 지반에 대한 조정



■ 부지응답해석결과의 예



Performance Based Design

● 설계지진파의 선정

적용 예

■ 암반 지진기록의 선정과 조정

| | Earthquake Name | Year | Station Name | Magnitude | Mechanism | Vs30 (m/sec) | Scale Factor |
|---|---------------------|------|---------------------------------|-----------|-----------------|--------------|--------------|
| 1 | Loma Prieta (USA) | 1989 | Piedmont Jr High School Grounds | 6.93 | Reverse Oblique | 895 | 1.48 |
| 2 | Loma Prieta (USA) | 1989 | SF - Pacific Heights | 6.93 | Reverse Oblique | 1250 | 1.29 |
| 3 | Loma Prieta (USA) | 1989 | SF - Rincon Hill | 6.93 | Reverse Oblique | 873 | 1.38 |
| 4 | Northridge-01 (USA) | 1994 | Pacoima Dam (downstr) | 6.69 | Reverse | 2016 | 0.31 |
| 5 | Kocaeli (Turkey) | 1999 | Gebze | 7.51 | strike slip | 792 | 0.62 |
| 6 | Kocaeli (Turkey) | 1999 | Izmit | 7.51 | strike slip | 811 | 0.48 |
| 7 | Chi-Chi (Taiwan) | 1999 | CHY102 | 7.62 | Reverse Oblique | 804 | 2.28 |

Performance Based Design

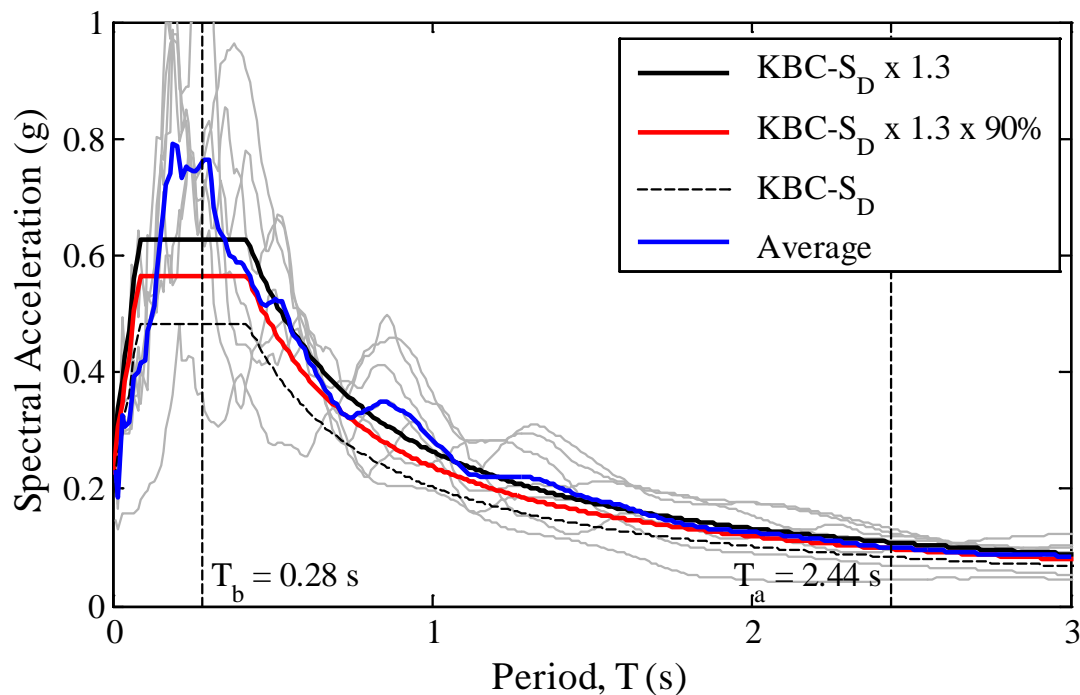
● 설계지진파의 선정

부지해석결과 응답스펙트럼

조건 : 지반등급 S_D

기본진동주기 X 방향 - 1.4082 초

Y 방향 - 1.6253 초



$$S = 0.19 \text{ g}$$

$$S_S = 0.4750 \text{ g}$$

$$F_a = 1.52$$

$$F_v = 1.61$$

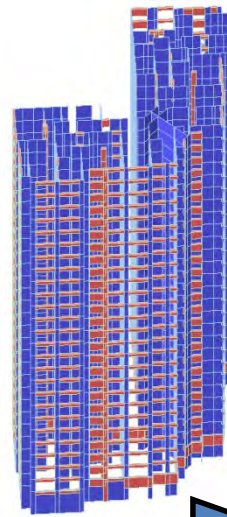
$$S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a \times 2/3 = 0.4813 \text{ g}$$

$$S_{D1} = S \times F_v \times 2/3 = 0.2039 \text{ g}$$

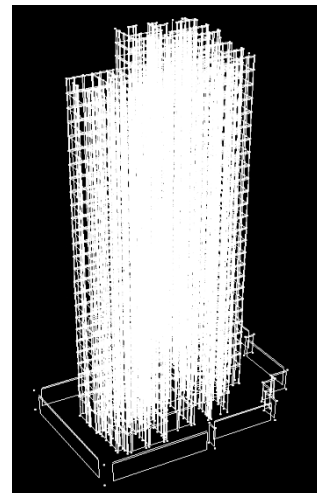
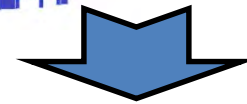
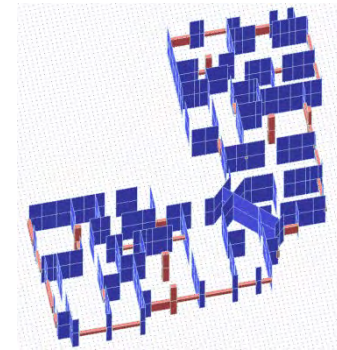
Performance Based Design

- 모델링 및 동적해석

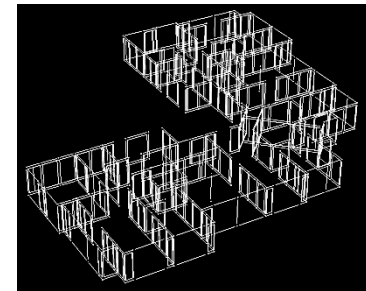
- $1.1 \text{ DL} + 0.25\text{LL}$ 의 초기 하중 적용
- 벽체는 fiber model 사용
- 기둥과 보는 소성힌지를 갖는 선형모델



Midas Gen
ETABS



Perform-3D

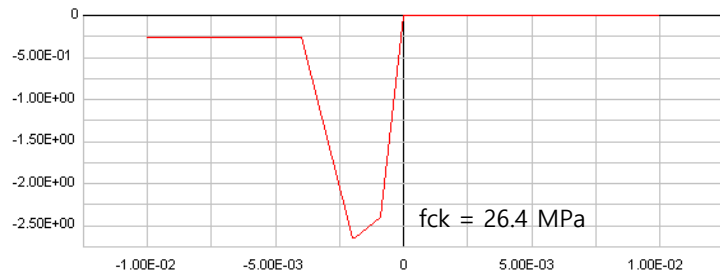


Performance Based Design

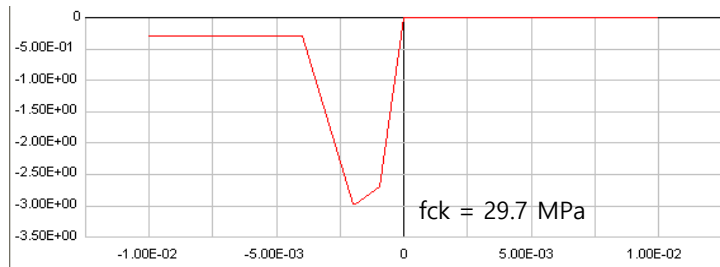
● 모델링 - 주기거동모델

재료모델

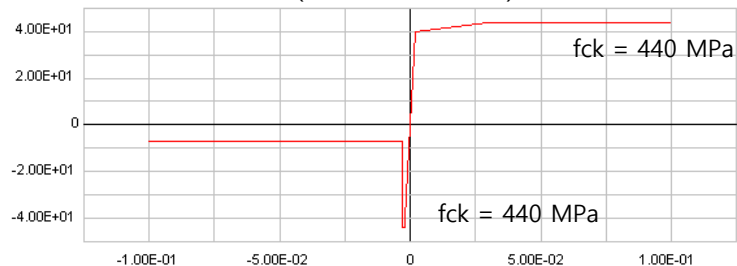
콘크리트강도 : 24MPa (기대강도 :1.1배)- (11F~ROOF)



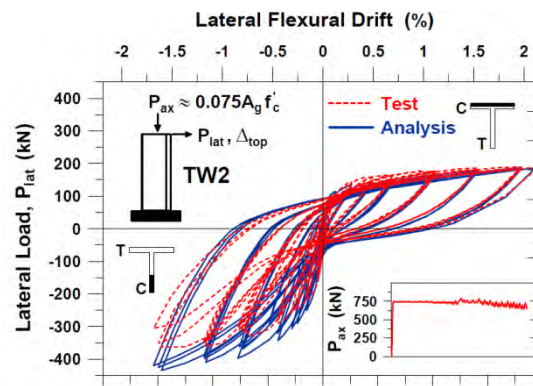
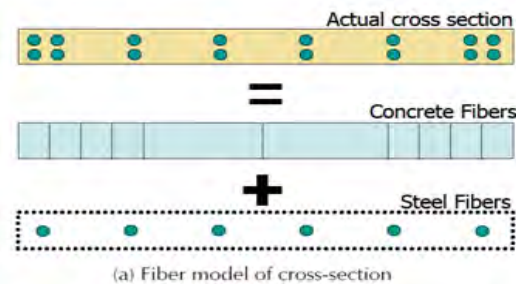
콘크리트강도 : 27MPa (기대강도 :1.1배)- (B1F~10F)



철근강도 : 400MPa (기대강도 :1.1배)




섬유요소(Fiber) 벽체 비선형 모델



● 비선형 동적(시간이력)해석

● 운동방정식 선 형 $m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t)$

비선형 $m\ddot{u} + c\dot{u} + fs(u, \dot{u}) = p(t)$  $k'u = p(t)$

● 수치해석법

- 시간증분법 (Time – Stepping Method)
- 평균가속도법 (Average Acceleration Method)
- 선형가속도법 (Linear Acceleration Method)
- Newmark Method

interpolation을 사용하여

미분항을 변형의 interpolation으로
변환

--- 선형해석과 동일한 방법으로 해석

$$\dot{u}_{i+1} = \dot{u}_i + [(1 - \gamma)\Delta t]\ddot{u}_t + (\gamma\Delta t)\ddot{u}_{i+1}$$

$$u_{i+1} = u_i + (\Delta t)\dot{u}_t + [(0.5 - \beta)(\Delta t)^2]\ddot{u}_t + [\beta(\Delta t)^2]\ddot{u}_{i+1}$$

$$\gamma = \frac{1}{2}, \beta = \frac{1}{4} \quad : \text{Average Acceleration Method}$$

$$\gamma = \frac{1}{2}, \beta = \frac{1}{4} \quad : \text{Linear Acceleration Method}$$

● 지진응답의 평가

① 지진응답의 결정 : 각 지반운동 최대값의 평균값 사용

② 층간 변위 : 성능 목표에 따른 허용 층간변위

[표 5.1] 허용 층간변위비

| 목표성능수준 | 최대 허용 층간변위비 |
|--------|-------------|
| 인명안전수준 | $0.015H_n$ |

여기서 H_n 는 n 층의 층고를 나타낸다.

③ 전체 구조물의 성능 수준

6.3.3 전체 구조물의 성능수준

인명안전 성능수준을 만족하지 못하는 부재의 중력하중 분담률이 20%이하이어야 한다. 단, 이 기준을 만족하는 경우에도, 발생한 층간변위에 의해 탈락되기 쉬운 비구조체 등이 설치된 경우 이에 따른 인명안전 여부를 검토해야 하며, 일부 붕괴되는 부재가 존재하는 경우 그 부재의 붕괴에 따른 인명안전 여부를 검토해야 한다.

④ 부재의 성능 수준

6.3.4 부재의 성능수준과 강도

- ① 비선형으로 모델링된 부재의 성능수준은 4.4절에 따라 평가한다.
- ② 선형(탄성)으로 모델링된 부재는 부재력이 설계강도 내에 있어야 한다.

Performance Based Design

● 지진응답의 평가

층간변위와 허용기준

허용 층간변위

(1) 최대 층간변위비

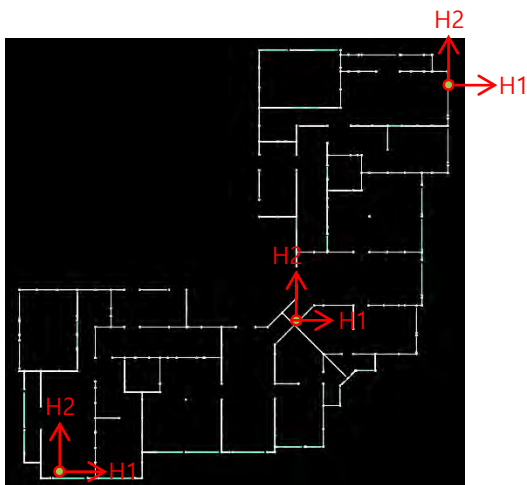
최종 성능점에서의 층별 최대 층간변위비를 기준으로 판단하며 목표성능수준의 허용치를 만족시켜야 한다. 공동주택 횡거동지배 내력벽의 성능수준에 따른 최대 층간변위비는 아래의 표와 같다.

[표 5.1] 허용 층간변위비

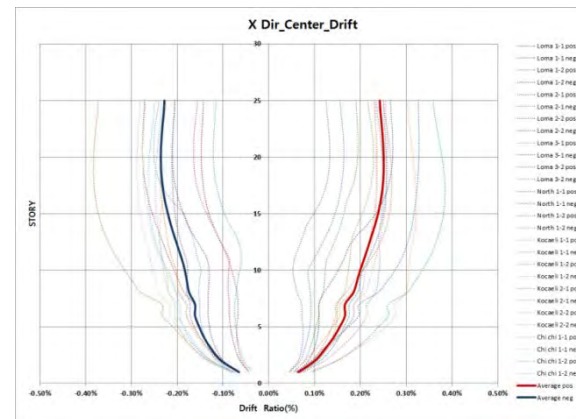
| 목표성능수준 | 최대 허용 층간변위비 |
|--------|-------------|
| 인명안전수준 | $0.015H_n$ |

여기서 H_n 는 n 층의 층고를 나타낸다.

층간변위 검토 위치

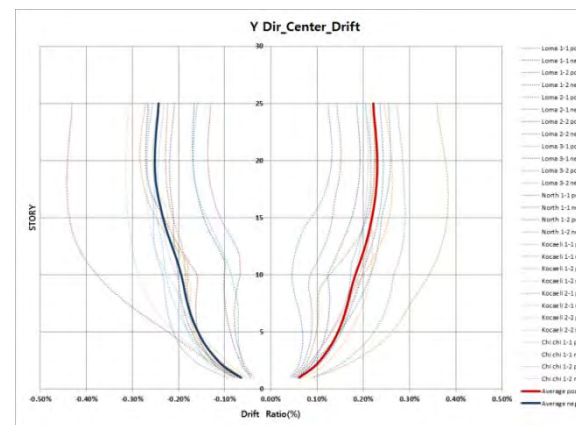


층간변위검토



<평균값 최대 층간변위 : 0.00251H (19F)>

< 허용 층간변위 : 0.015H, 만족>



<평균값 최대 층간변위 : 0.00252H (20F)>

< 허용 층간변위 : 0.015H, 만족>

● 지진응답의 평가

부재 성능 검토

변형지배작용과 하중지배작용

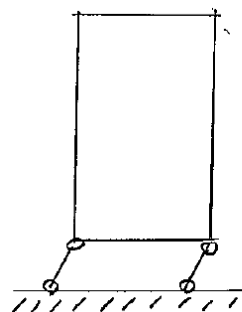
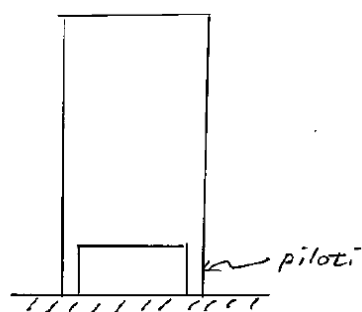
변형지배작용: 지진력 저항시 항복이 수반되는 부재의 거동을 의미하며, 휨거동이 대표적이지만, 부재의 종류에 따라 휨 이외에 전단거동이 포함될 수 있음.

하중지배작용: 취성적 특성을 가지는 부재의 거동으로 지진력 저항시 항복이 수반되지 않거나 항복 후 저항력을 기대할 수 없는 부재의 거동을 의미하며, 일반적으로 보, 기둥의 전단이나 기둥의 축방향력이 이에 속함.

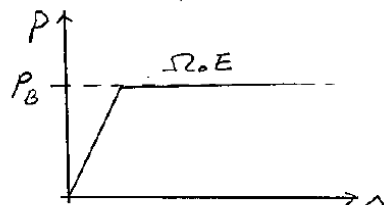
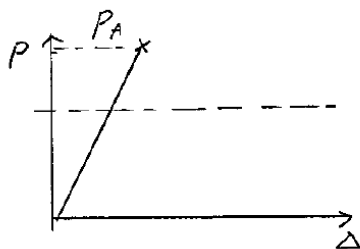
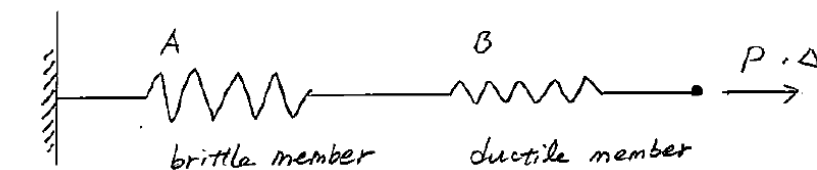
| | 변형지배작용 | 하중지배작용 |
|-----|--------|-----------------------|
| 보 | 휨 | 전단력 |
| 기둥 | 휨 | 축력, 전단력 |
| 전단벽 | 휨 | 축력, 전단력 ¹⁾ |
| 연결보 | 휨, 전단력 | - |

● 지진응답의 평가

하중지배작용 또는 부재의 설계
- 특별지진하중과 동일한 개념



undesirable
deformed shape.
excessive local
deformation
⇒ brittle failure



$$P_A > P_B = \Omega_0 E$$

6.3.4 부재의 성능수준과 강도

각 부재 또는 부재내의 작용별로 해당 거동 특성에 따라서 아래와 같이 검토한다.

① 변형지배작용모델(비선형 모델링)

$$D_u \leq \phi D_{n,e}$$

여기서,

D_u = 평균 소요 변형량

$D_{n,e}$ = 각 수준별 허용 변형량

$$\phi = 1.0$$

변형지배작용모델은 항복 후 소성변형을 허용한 부재로서 부재의 변형각 또는 변위에 대하여 평가한다. [표 4.4]~[표 4.6]에 정의된 인명안전수준(LS)의 허용 변형량을 초과할 수 없다.

② 하중지배작용모델(선형 모델링)

$$F_u \leq \phi F_{n,e}$$

여기서,

F_u = 평균 소요작용력의 1.5배,

$F_{n,e}$ = 기대재료특성을 기반으로 하는 설계강도(Expected Strength)

$$\phi = 1.0$$

하중지배모델은 탄성범위에 있도록 설계한 고층구조물에서 전이부재 또는 휨부재의 전단 거동 등을 가리키며, 해당 작용 부재력을 기준으로 평가한다. 각 작용별로 요구되는 F_u 는 기대강도 $\phi F_{n,e}$ 를 초과할 수 없다.

Performance Based Design

2017년 11월 15일 포항지진



Performance Based Design

2017년 11월 15일 포항지진



● 지진응답의 평가

비선형 해석후 부재성능 검토가 필요한 action

1. 비선형해석에서 자동으로 모델링이나 평가가 되지 않는 작용들

- 힘 부재의 전단강도
벽체, 기둥, 보, 연결보의 전단강도.
필요한 경우 재설계 또는 전단철근보강.
- 부재의 비선형 변형
필요하다고 판단되는 경우에 평가함.
필요한 경우 연성 보강.

2. 취성파괴를 방지하기 위하여 안전측 평가가 필요한 작용들

- 힘부재의 전단강도
- 기둥의 압축 축강도

3. 비선형해석 모델에서 국부적인 작용을 평가하지 못하는 작용들

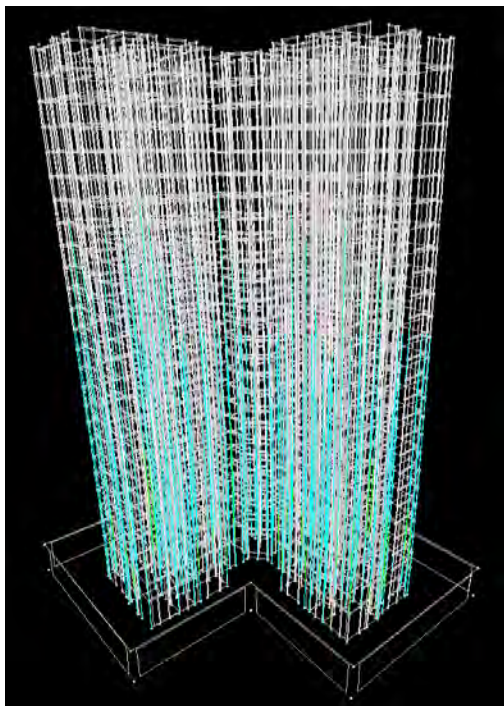
- 전이부재들의 작용
해석 후에 유한요소해석을 사용하여 정밀 평가가 필요함.

Performance Based Design

● 지진응답의 평가

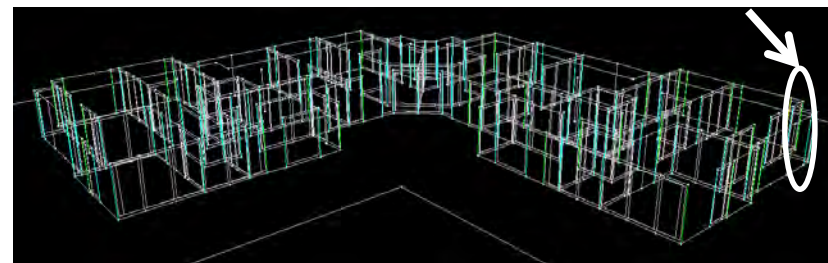
벽체

벽체 변형률 검토

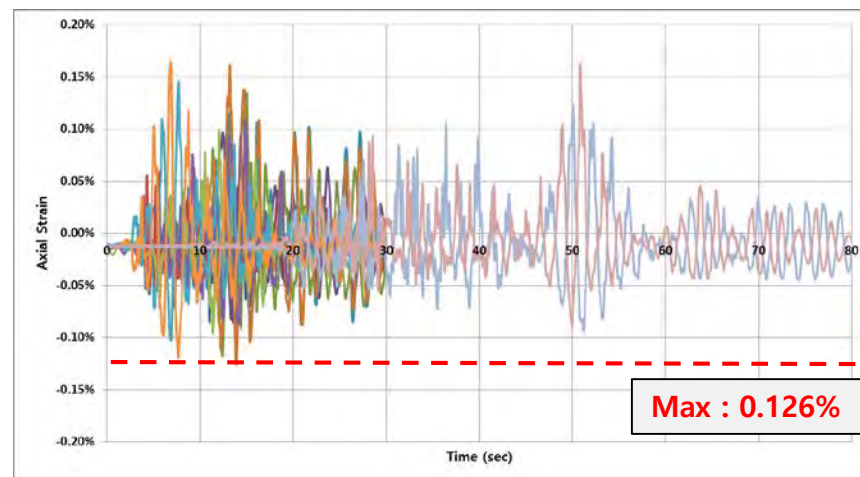


Loma Prieta 03 에 대한 동적해석 후 벽체 압축변형률 결과

0.0002 : 0.0006 : 0.001 : 0.002



일부 Case에서 0.1%를 초과하는 벽체를 대상으로 지진파에 대하여 압축변형률 검토



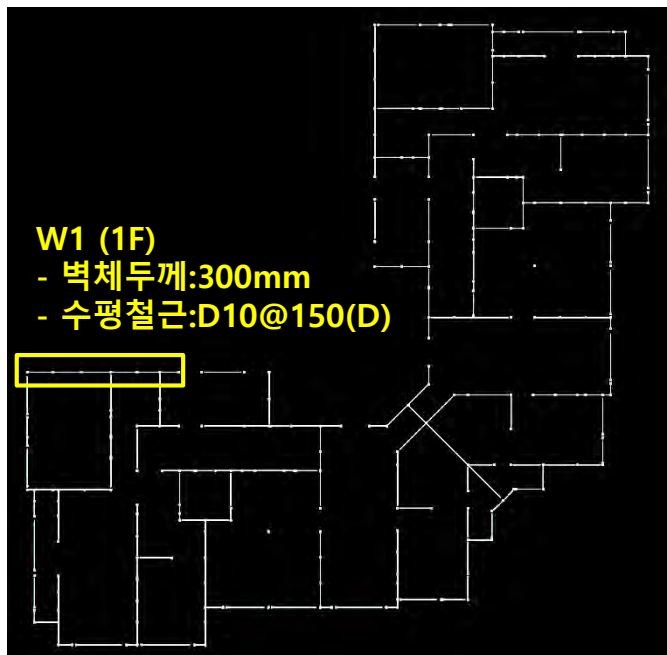
Loma Prieta 3-2 Case에서 최대 압축변형률 0.126%가 발생
7쌍 지진파에 대한 평균 압축변형률은 0.093%로 허용 압축변형률 0.2%를 만족

Performance Based Design

● 지진응답의 평가

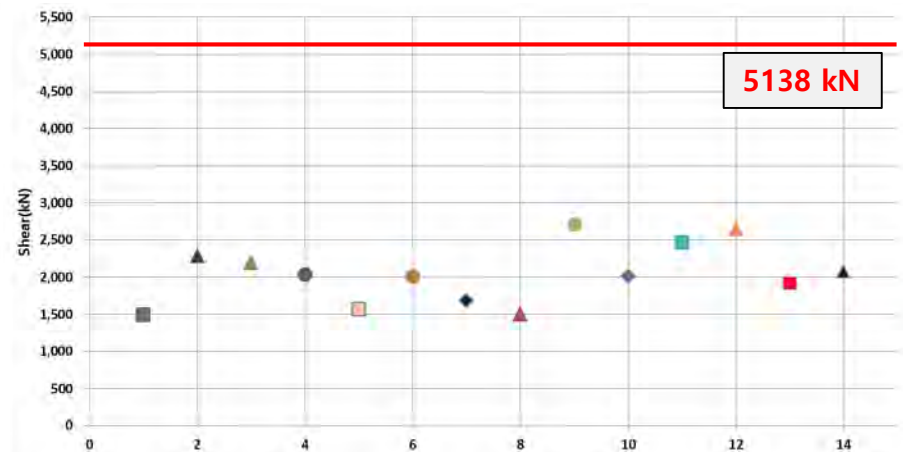
벽체

벽체 전단강도 검토



< 전단강도 검토 벽체 위치 >

Shear strength



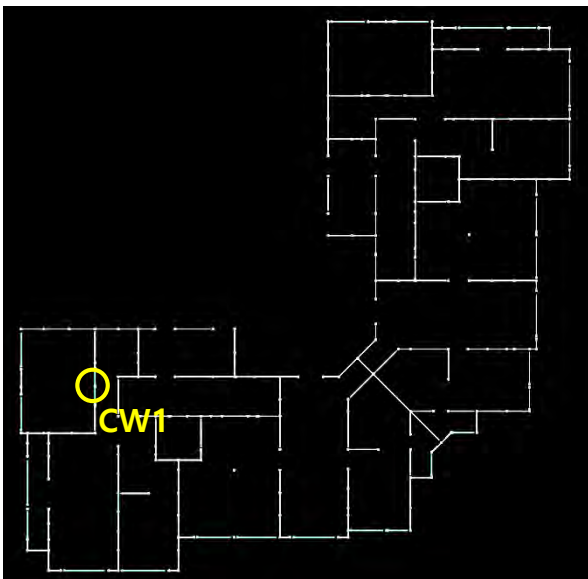
< 7쌍 지진파에 대한 전단력 검토결과 허용전단력 이내로 O.K >

Performance Based Design

● 지진응답의 평가

기둥

기둥 검토 위치

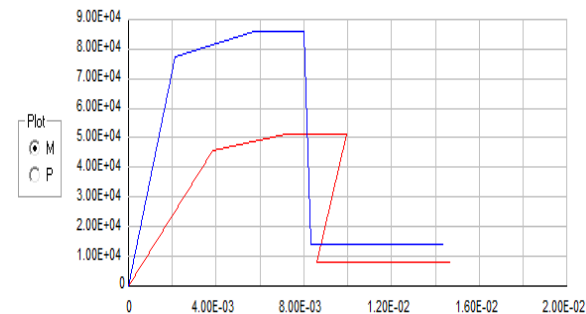


기둥의 휨강도는 축력에 따라 변화함.
전단강도 평가 필요함

CW1 기둥 부재 검토 (비탄성모델)

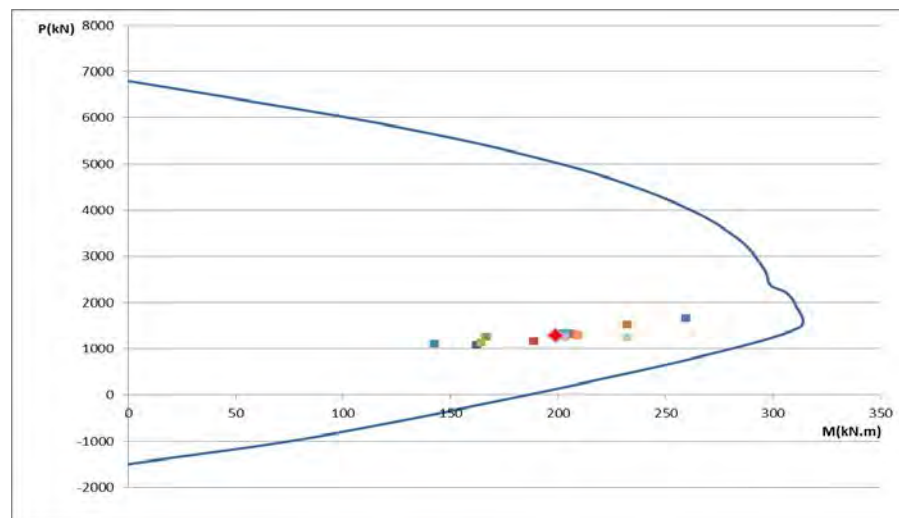
| | |
|-----|--------------|
| 부 호 | CW1 |
| 형 태 | |
| 주 근 | 12-D19 |
| 띠철근 | D10@150(300) |

<CW1 배근도>



<CW1 비선형 모델>

<14개 동해석에 대한 MAX 값 표현>



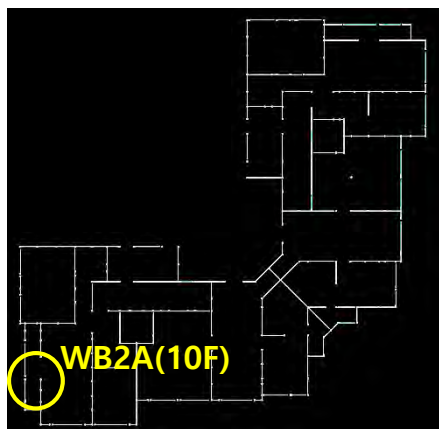
평균값($P_u, M_u = 3,046.9, 266.4$) / 빨간색은 평균값 표현

Performance Based Design

● 지진응답의 평가

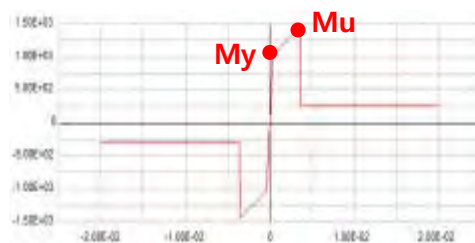
보

보 검토 위치



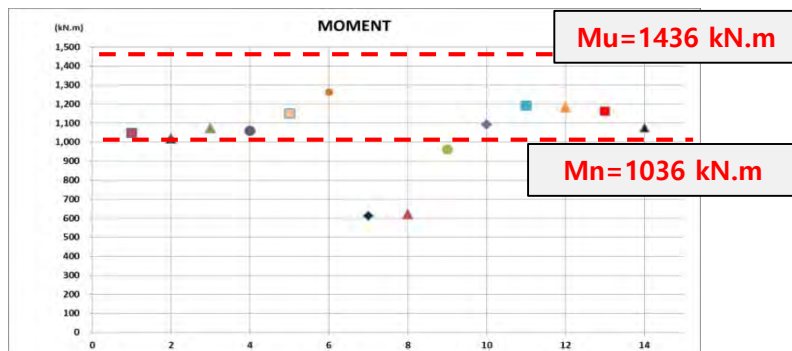
| | |
|-----|------------|
| 부호 | WB2A |
| 단면 | |
| 상부근 | X : 14-D16 |
| 하부근 | 6-D19 |
| 스터럽 | 6-D19 |
| | D13@100 |

<WB2A 배근도>

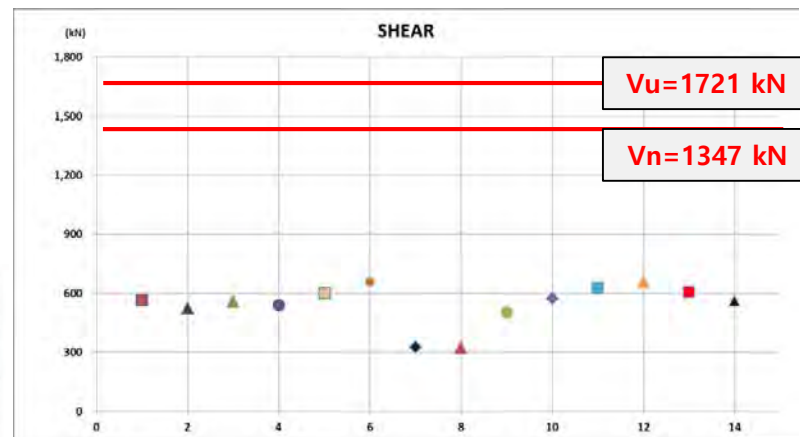


<WB2A 비선형 모델>

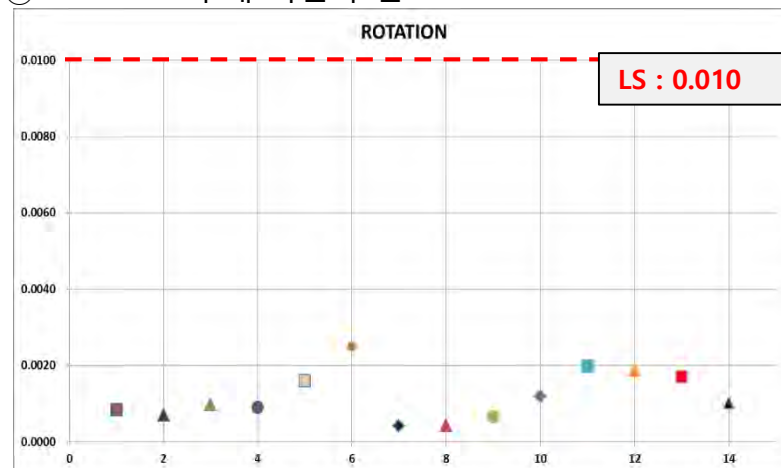
WB2A 보 부재 모멘트강도 검토



WB2A 보 부재 전단강도 검토



③ WB2A 보 부재 회전각 검토



Performance Based Design

● 지진응답의 평가

인방보

연결보 소성회전각 검토

| | | | | |
|----------------|--------|--------|--------|--------|
| 휨에 의해 지배되는 경우 | 0.001 | 0.004 | 0.006 | 0.008 |
| 전단에 의해 지배되는 경우 | 0.0002 | 0.0006 | 0.0012 | 0.0016 |

※ 인방보의 강성은 20%로 모델링

※ 연결보 성능수준은 공동주택 성능기반설계 매뉴얼 자료참조

휨



최대 소성회전각 : 0.004이하
인명안전수준 허용소성회전각 0.01로
인명안전 만족

전단



최대 소성회전각 : 0.0012이하
인명안전수준 허용소성회전각 0.008로
인명안전 만족

Loma Prieta 03 series에 대한 연결보 소성회전각 검토 결과

휨



최대 소성회전각 : 0.004이하
인명안전수준 허용소성회전각 0.01로
인명안전 만족

전단



최대 소성회전각 : 0.0012이하
인명안전수준 허용소성회전각 0.008로
인명안전 만족

Kocaeli 02 series에 대한 연결보 소성회전각 검토 결과

성능설계지침 또는 ASCE41-06의 인명안전수준 기준에 따라 검토

감사합니다