

# 내진성능평가의 개념 및 실무

- 충북대학교 산학특강 세미나 -

2017. 10. 25

조성우



# 목 차

- 일반 내진설계의 개념
- 내진성능평가의 개념
- 시설안전공단에 따른 내진성능평가
- 비선형정적해석의(Pushover) 개념
- 시설안전공단에 따른 내진성능평가 실무

# 일반 내진설계의 개념



# 구조물의 운동방정식

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

$m$       질량       $\rightarrow$       불확실

$c$       감쇠       $\rightarrow$       불확실

$k$       강성       $\rightarrow$       불확실 (RC, panel zone)

$p(t)$       지진파       $\rightarrow$       불확실

$F_y, M_y$        $\rightarrow$       불확실

# 방정식의 풀이

## 2차 미분방정식의 풀이 방법

- 1차, 2차 방정식은 해를 직접적으로 찾아감

$$aX + b = 0, \quad aX^2 + bX + c = 0$$

- 5차 이상의 방정식

일반해가 존재하지 않는다

기하학적인 면을 배제하고 유한번의 사칙연산과 거듭제곱으로 표현불가

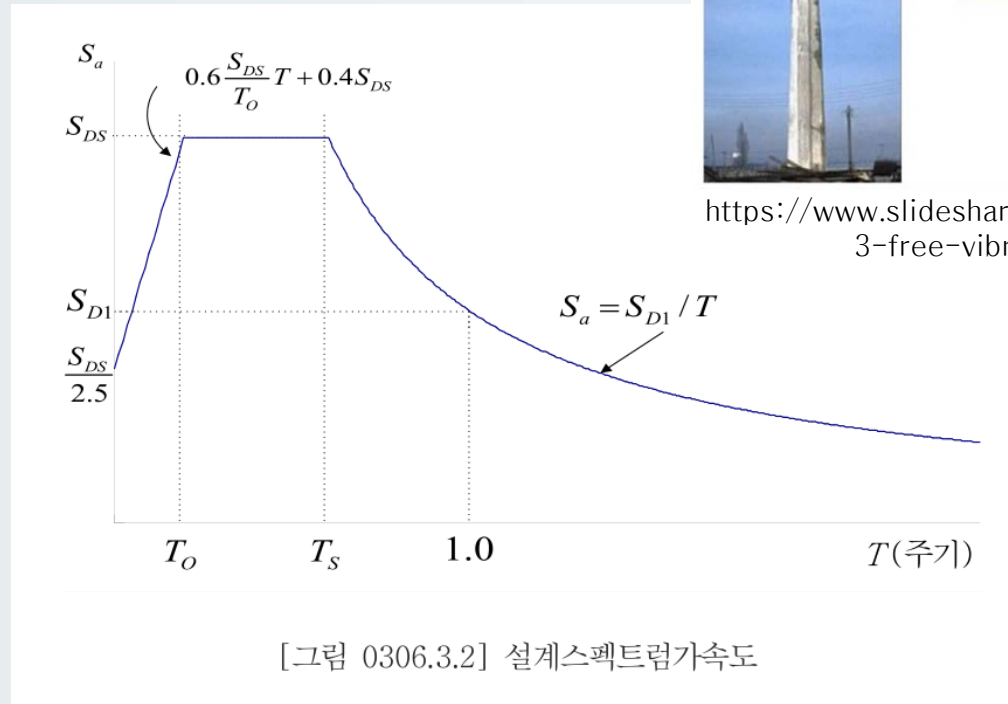
- 2차 미분방정식은?

2개의 해를 찾으면 일반해는 이 2개의 해로 표현될 수 있다고 증명

수학에서도 수학자의 직관이 중요

# 일반 내진설계의 개념 (KBC2016)

## 탄성해석에 의한 결과 분석



## 선형 vs 탄성

The term “linear” in linear analysis procedures implies “linearly elastic.”  
(ASCE 41-13 C7.3)

# 일반 내진설계의 개념 (KBC2016)

## 내진성능의 간접적 반영 - 구조 전체 시스템 수준의 접근

### 힘의 고려

<표 0306.4.1> 내진등급과 중요도계수

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

### 변형의 고려

<표 0306.4.7> 허용층간변위  $\Delta_a$

	내진등급		
	특	I	II
허용층간변위 $\Delta_a$	$0.010h_{sx}$	$0.015h_{sx}$	$0.020h_{sx}$

# 일반 내진설계의 개념 (KBC2016)

## 내진성능의 간접적 반영 - 구조 전체 시스템 수준의 접근

<표 0306.6.1> 지진력저항시스템에 대한 설계계수

기본 지진력저항시스템 <sup>1)</sup>	설계계수			시스템의 제한과 높이(m) 제한		
	반응수정 계수 $R$	시스템 초과강도 계수 $\Omega_0$	변위증폭 계수 $C_d$	내진설계 범주 A 또는 B	내진설계 범주 C	내진설계 범주 D
1. 내력벽시스템						
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. 건물골조시스템						
2-a. 철골 편심가새골조 (링크 타단 모멘트 저항 접합)	8	2	4	-	-	-
2-b. 철골 편심가새골조 (링크 타단 비모멘트 저항접합)	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

비선형거동  
고려



# 일반 내진설계의 개념 (KBC2016)

## 내진성능의 간접적 반영 – 구조 전체 시스템 수준의 접근

<표 0306.6.1> 지진력저항시스템에 대한 설계계수

기본 지진력저항시스템 <sup>1)</sup>	설계계수			시스템의 제한과 높이(m) 제한		
	반응수정 계수 $R$	시스템 초과강도 계수 $\Omega_0$	변위증폭 계수 $C_d$	내진설계 범주 A 또는 B	내진설계 범주 C	내진설계 범주 D
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	—	—	—

비선형거동  
고려

# 일반 내진설계의 개념 (KBC2016)

기타 제한 사항

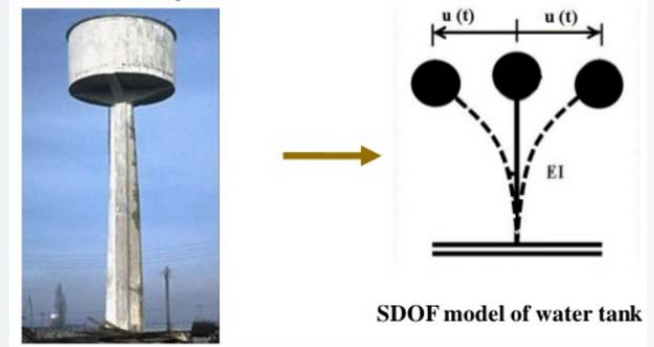
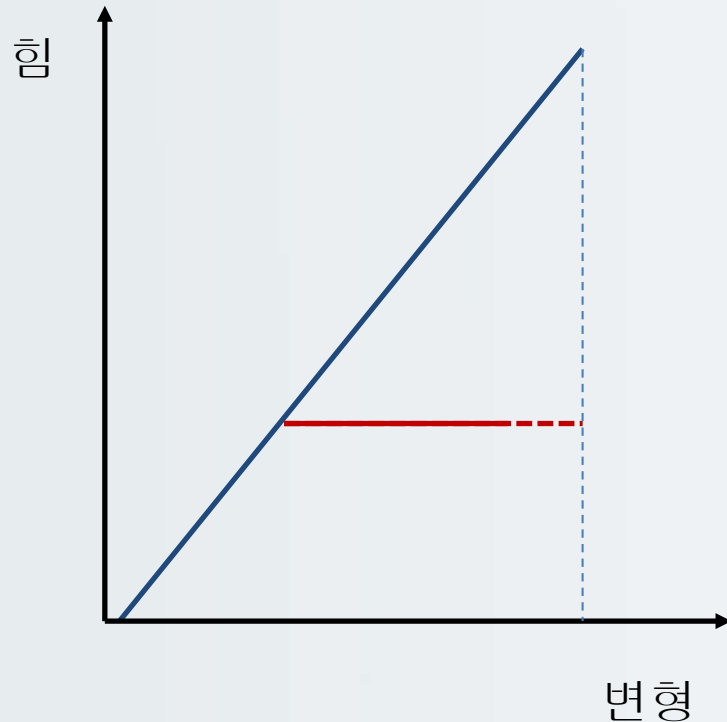
$$E_m = \Omega_0 E \pm 0.2 S_{DS} D$$

$$C_s = 0.01$$

$$C_m = 0.85 \frac{V}{V_t} \geq 1.0$$

# 일반 내진설계의 개념 (KBC2016)

내진성능의 간접적 반영 - 구조 전체 시스템 수준의 접근



내진성능평가에서 부재 개별 수준에서 접근하는 것과 대비  
(작용전단력, 내진상세, 축력비 등 고려)

# 일반 내진설계의 개념 (KBC2016)

## 일반 신축설계에 대한 대략적인 내진성능 수준

2500년 재현주기의 2/3

2500년 재현주기

중요도	BSE-1	BSE-2
중요도(특)	거주가능(IO)	인명안전(LS)
중요도(1)	중요도(특)과 중요도(2)의 성능수준의 중간수준	중요도(특)과 중요도(2)의 성능수준의 중간수준
중요도(2)	인명안전(LS)	붕괴방지(CP)
중요도(3)	인명안전(LS)	붕괴방지(CP)

미국의 대략적인 기준으로 국내도 유사

# 일반 내진설계의 개념 (KBC2016)

## 설계기준이 되는 지진세기의 재현주기

- UBC97: 50년 동안 10% 초과 확률 (재현주기 약 500년)
- IBC-최대지진: 50년 동안 2% 초과 확률 (재현주기 약 2500년)
- IBC-설계지진: IBC-최대지진의 2/3
  - 미국 서부는 50년 10% 초과 확률과 유사
  - 미국 동부는 이전보다 증가
- KBC: 2400년 재현주기 지진의 (500년 재현주기의 약 2배) 2/3

재현주기	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년	4,800년
위험도계수	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0	2.6

소방방재청 공고 제2013-179호

# 일반 내진설계의 개념 (KBC2016)

# 재현주기 2400년 vs 2500년

**내진성능 평가기준 지진** : 기존 건축물의 내진성능을 평가할 때 기준으로 정한 지진하중의 크기. 이  
요령에서는 50년간 초과확률이 2%인 지진(즉 2400년 재현주기의 지진)의 2/3 수준의 지진으로 하였음.

- $p = 1$ 년에 지진이 일어날 확률
- 재현주기의 정의  $X = 1 / p$
- $n$ 년간 초과확률  $a\%$ 란
- $a = 1 - (1-p)^n \rightarrow p = 1 - (1-a)^{1/n} \rightarrow X = 1 / \{1 - (1-a)^{1/n}\}$
- $475 = 1 / \{1 - (1-0.10)^{1/50}\}$       10% - 50년
- $2475 = 1 / \{1 - (1-0.02)^{1/50}\}$       2% - 50년
- $2375 = 1 / \{1 - (1-0.10)^{1/250}\}$       10% - 250년

# 미국 내진설계에서 재현주기 개념의 변화

ASCE7

Uniform Hazard

2% - 50 year motion

ASCE7-05

재현주기 2500 년



Uniform Risk

1% - 50 year risk

ASCE7-10

재현주기 기준과 비교시  
대체적으로 2500년보다 작음

# 미국 내진설계에서 재현주기 개념의 변화

ASCE7-10

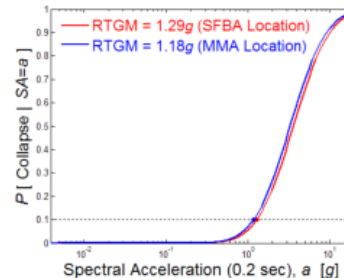
## Risk-Targeted Ground Motions

Calculated iteratively by combining ...

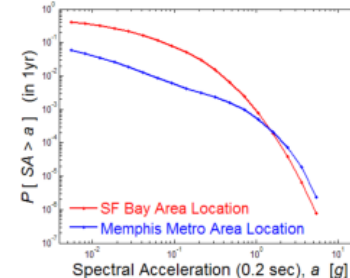
Risk Target  
defined by Project '07

Prob. of Collapse  
in 50 yrs = 1%

Building Fragility Curves  
defined by Project '07



GM Hazard Curves  
(e.g., from USGS)



... via "Risk Integral" (e.g. ATC 3-06), i.e., ...

$$P[\text{Collapse}] = \int_0^{\infty} \frac{dP[\text{Collapse} | SA = a]}{da} P[SA > a] da$$

\* NEHRP Advisory Committee Meeting Material, 2011, Luco



# 내진성능평가의 개념



# 구조물의 운동방정식

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

$m$  질량  $\rightarrow$  불확실

$\Rightarrow c$  감쇠  $\rightarrow$  불확실

$k$  강성  $\rightarrow$  불확실 (RC, panel zone)

$p(t)$  지진파  $\rightarrow$  불확실

$F_y, M_y$   $\rightarrow$  불확실

# 활하중의 질량처리

시설안전공단, KBC2016, ASCE7-10

W= 고정하중과 아래에 기술한 하중을 포함한 유효 건물중량

- ① 창고로 쓰이는 공간에서는 적재하중의 최소 25% (공용 차고와 개방된 주차장 건물의 경우 적재하중은 포함시킬 필요가 없음.)
- ② 바닥하중 산정시 칸막이 하중이 포함될 경우, 칸막이의 실제중량과  $0.5\text{kN/m}^2$  중 큰 값
- ③ 영구설비의 총하중
- ④ 적설하중이  $1.5\text{kN/m}^2$ 이 넘는 평지붕의 경우, 평지붕 적설하중의 20%.

# 중력하중과 질량

\* 비교를 위해 적설하중은 미포함

- 시설안전공단, ASCE41-13  
1.0 DL + 0.25 LL / 1.1 DL + 0.275 LL (하중, 비선형/선형),  
1.0 DL + 0.25 LL (질량)
- kBC2016, ASCE7-10  
1.2 DL + 1.0 LL (하중), 1.0 DL + 0.25 LL (질량)
- 공동주택 성능기반 내진설계 지침  
1.0 DL + 0.25 LL (하중, 창고는 0.5 LL), KBC2016 (질량)
- LATBSDC-2017  
1.0 DL + 0.25 LL (하중), 1.0 DL (질량) \* CP level
- TBI-2017  
1.0 DL + 0.2 LL (하중, 5 kPa 이상은 0.4 LL), ASCE7 (질량)

# RC부재의 강성

\* 축력비는 설계중력하중 기준

시설안전공단

FEMA356

ASCE41-13

	휨강성	전단강성	축강성
보	$0.5E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	-
기둥 (축력비가 0.5이상)	$0.7E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	$E_c A_g$
기둥(축력비가 0.3이하)	$0.5E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	$E_c A_g$
벽 (균열이 없는 경우)	$0.8E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	$E_c A_g$
벽 (균열이 있는 경우)	$0.5E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	$E_c A_g$

Component	Flexural Rigidity	Shear Rigidity	Axial Rigidity
Beams—nonprestressed <sup>a</sup>	$0.3E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	—
Beams—prestressed <sup>a</sup>	$E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	—
Columns with compression caused by design gravity loads $\geq 0.5A_g f'_c$	$0.7E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	$E_c A_g$
Columns with compression caused by design gravity loads $\leq 0.1A_g f'_c$ or with tension	$0.3E_c I_g$	$0.4E_c A_w$	$E_c A_g$ (compression) $E_s A_s$ (tension)
Beam-column joints	Refer to Section 10.4.2.2.1		$E_c A_g$
Flat slabs—nonprestressed	Refer to Section 10.4.4.2	$0.4E_c A_g$	—
Flat slabs—prestressed	Refer to Section 10.4.4.2	$0.4E_c A_g$	—
Walls-cracked <sup>b</sup>	$0.5E_c A_g$	$0.4E_c A_w$	$E_c A_g$ (compression) $E_s A_s$ (tension)

\* 부재별 강성을 조절하는 경우, 프로그램에서 강성이 다른 부재는 단면도 따로 설정해야 함

# RC부재의 강성

\* 지진세기 고려, 축력비는 무관

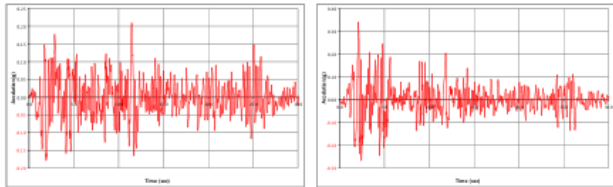
Component	Service-Level Linear Models			MCE <sub>R</sub> -Level Nonlinear Models		
	Axial	Flexural	Shear	Axial	Flexural	Shear
Structural walls <sup>1</sup> (in-plane)	$1.0E_cA_g$	$0.75E_cI_g$	$0.4E_cA_g$	$1.0E_cA_g$	$0.35E_cI_g$	$0.2E_cA_g$
Structural walls (out-of-plane)	--	$0.25E_cI_g$	--	--	$0.25E_cI_g$	--
Basement walls (in-plane)	$1.0E_cA_g$	$1.0E_cI_g$	$0.4E_cA_g$	$1.0E_cA_g$	$0.8E_cI_g$	$0.2E_cA_g$
Basement walls (out-of-plane)	--	$0.25E_cI_g$	--	--	$0.25E_cI_g$	--
Coupling beams with conventional or diagonal reinforcement	$1.0E_cA_g$	$0.07\left(\frac{\ell}{h}\right)E_cI_g$ $\leq 0.3E_cI_g$	$0.4E_cA_g$	$1.0E_cA_g$	$0.07\left(\frac{\ell}{h}\right)E_cI_g$ $\leq 0.3E_cI_g$	$0.4E_cA_g$
Composite steel / reinforced concrete coupling beams	$1.0(EA)_{trans}$	$0.07\left(\frac{\ell}{h}\right)(EI)_{trans}$	$1.0E_sA_{sw}$	$1.0(EA)_{trans}$	$0.07\left(\frac{\ell}{h}\right)(EI)_{trans}$	$1.0E_sA_{sw}$
Non-PT transfer diaphragms (in-plane only) <sup>3</sup>	$0.5E_cA_g$	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_g$	$0.25E_cA_g$	$0.25E_cI_g$	$0.1E_cA_g$
PT transfer diaphragms (in-plane only) <sup>3</sup>	$0.8E_cA_g$	$0.8E_cI_g$	$0.4E_cA_g$	$0.5E_cA_g$	$0.5E_cI_g$	$0.2E_cA_g$
Beams	$1.0E_cA_g$	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_g$	$1.0E_cA_g$	$0.3E_cI_g$	$0.4E_cA_g$
Columns	$1.0E_cA_g$	$0.7E_cI_g$	$0.4E_cA_g$	$1.0E_cA_g$	$0.7E_cI_g$	$0.4E_cA_g$
Mat (in-plane)	$0.8E_cA_g$	$0.8E_cI_g$	$0.8E_cA_g$	$0.5E_cA_g$	$0.5E_cI_g$	$0.5E_cA_g$
Mat <sup>4</sup> (out-of-plane)	--	$0.8E_cI_g$	--	--	$0.5E_cI_g$	--

TBI-2017

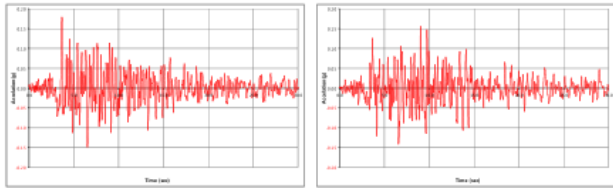
(LATBSDC 는 유사)

# 지진파의 효과

\* 제163회 MIDAS 건축분야 기술강좌

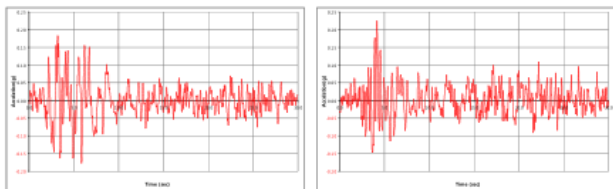


< El-Centro >



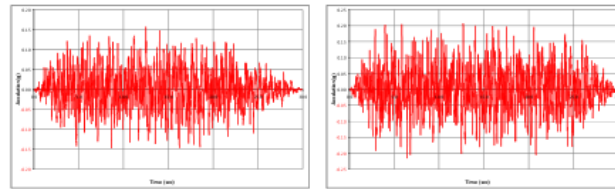
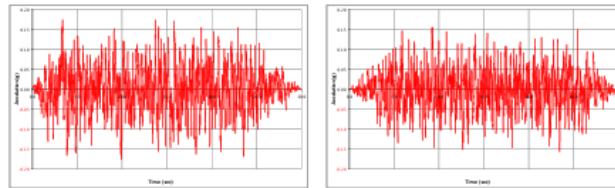
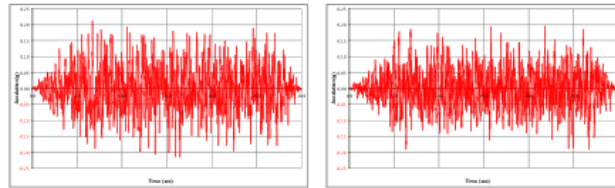
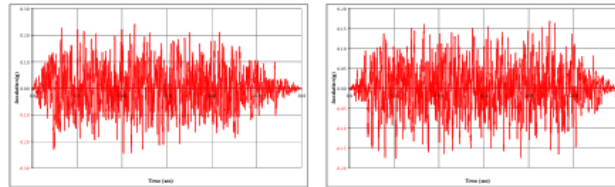
< Hachinohe >

단주기



< Taft >

장주기



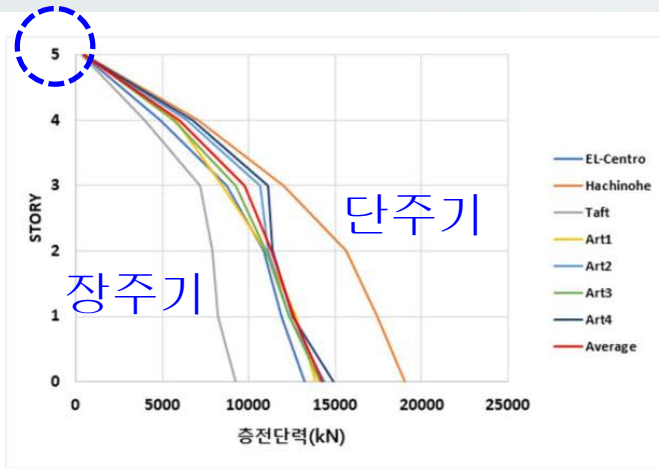
< 인공 지진파 >

## 해석 지진파

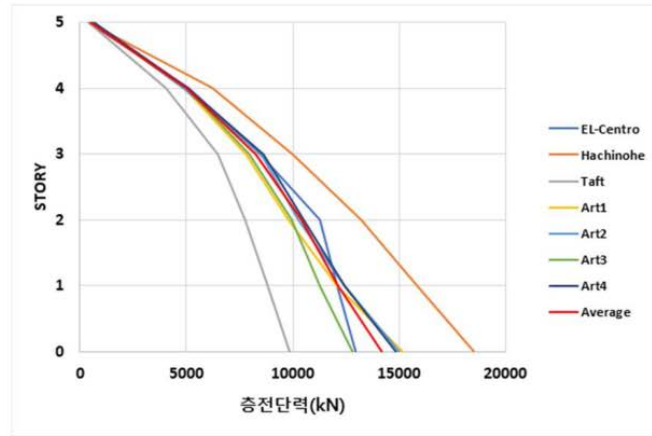
- 관측 지진파 3개(El-Centro, Hachinohe, Taft) + 인공지진파 4개

# 지진파의 효과

\* 제163회 MIDAS 건축분야 기술강좌

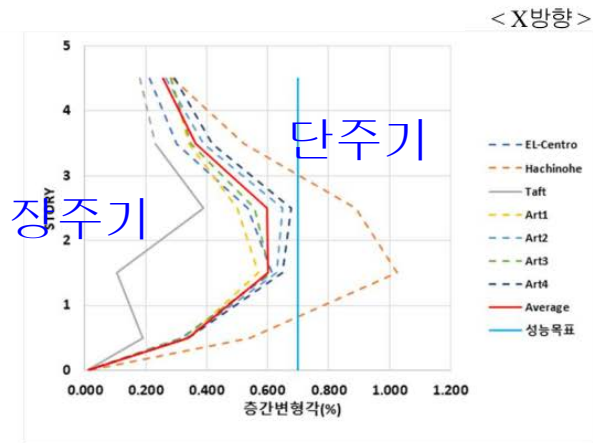


< X방향 >

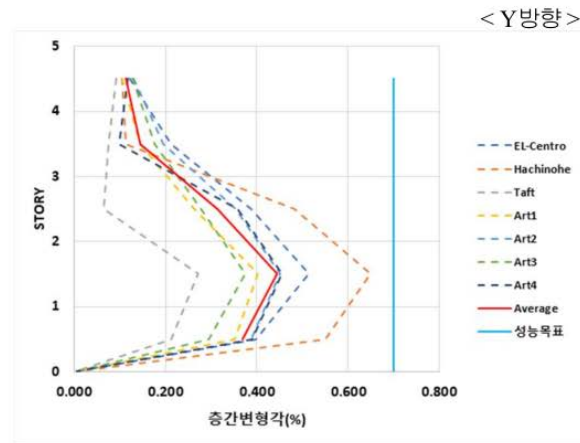


< Y방향 >

층전단력



< X방향 >



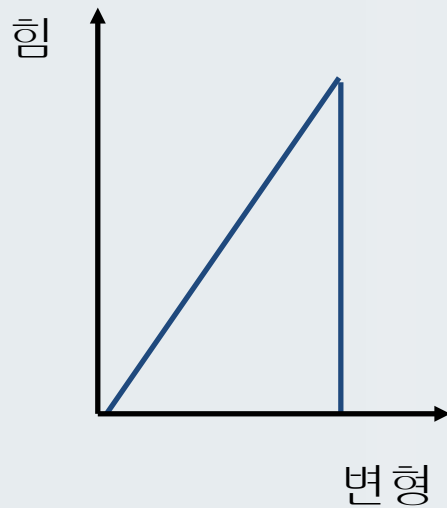
< Y방향 >

층간변형각

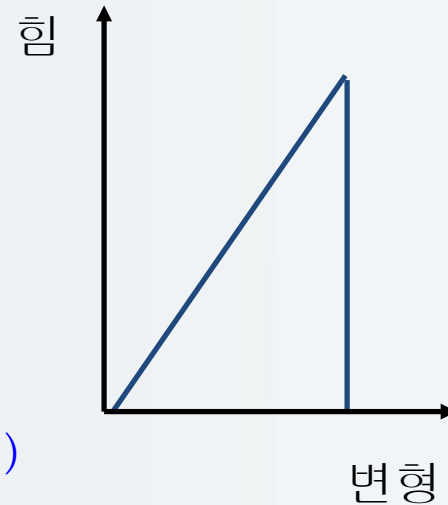
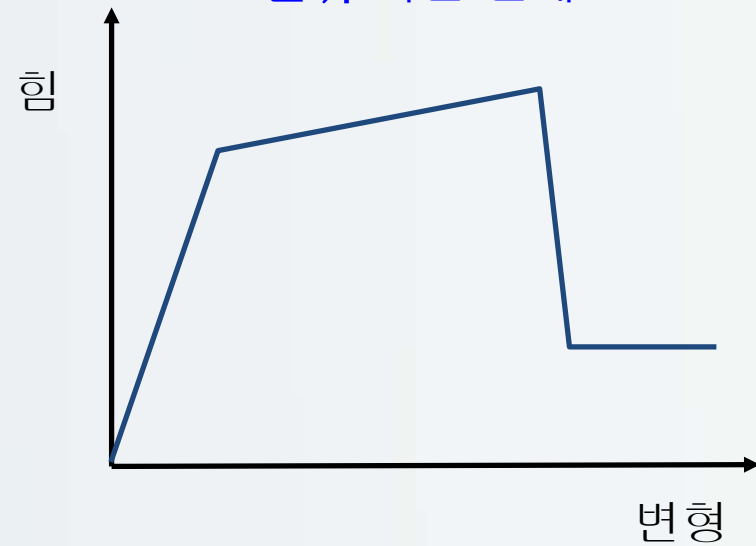


# 내진설계 개념의 변화

힘 기반 설계



변위 기반 설계



\* 성능기반설계는 기존 설계에도 이미 반영됨  
(e.g. 변형/변위는 사용하중, 강도는 극한하중)

# 내진성능평가를 위한 중요한 개념

## 변위의 중요성

- 건물이 지진을 만날 확률
- 목표하는 수준의 지진 세기에 선형 거동은 비효율
- 기존에는 비선형 거동을 선형 해석으로 설계
- 지식과 해석기술의 의 발달로 비선형 해석 가능
- 비선형 해석에서는 변위가 중요
  - 선형설계:  $\text{힘} = \text{변위}$
  - 비선형설계:  $\text{힘} \neq \text{변위}$ 
    - ⇒ 변위(변형) 기반 설계

# 내진성능평가의 유래

- 일반 신축건물의 내진설계는 일괄 적용 (만족 vs. 불만족)
- 신축건물의 설계는 허가의 문제
- 기존 건물은 ?
  - 조금이라도 보강이 되는 것이 사회안전에 기여
  - 보강 수준에 대한 세분화 필요
- 보강, 복구 그리고 보상의 관점으로 기존건물의 평가에서 출발

# 성능기반설계의 유래

## 내화구조 성능설계

- 내화 3시간
- 내화 2시간
- 내화 1시간



# 성능기반설계의 목적

\* 기존 건물의 내진성능평가에서 신축건물의 설계로 확장

➤ 물량저감 ?

➤ 시공간편 ?

➤ 공기단축 ?

➤ 기존 내진설계의 한계 ?

- 미국 서부 고층 설계 적용
- 미국 서부 특수건물 설계 적용

# 국내 기존 건축물 내진성능평가

기존 건축물 평가/보강 !

RD-13-R3-058

기존 시설물(건축물) 내진성능

평가요령

(해설집, 예제집)

2013. 12.



국 토 해 양 부  
Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs

한국시설안전공단

학교시설 내진성능 평가 및 내진보강  
가이드라인 개발

연구책임자 | 이강석 (전남대학교)



한국교육개발원

기존건축물 내진성능평가지침

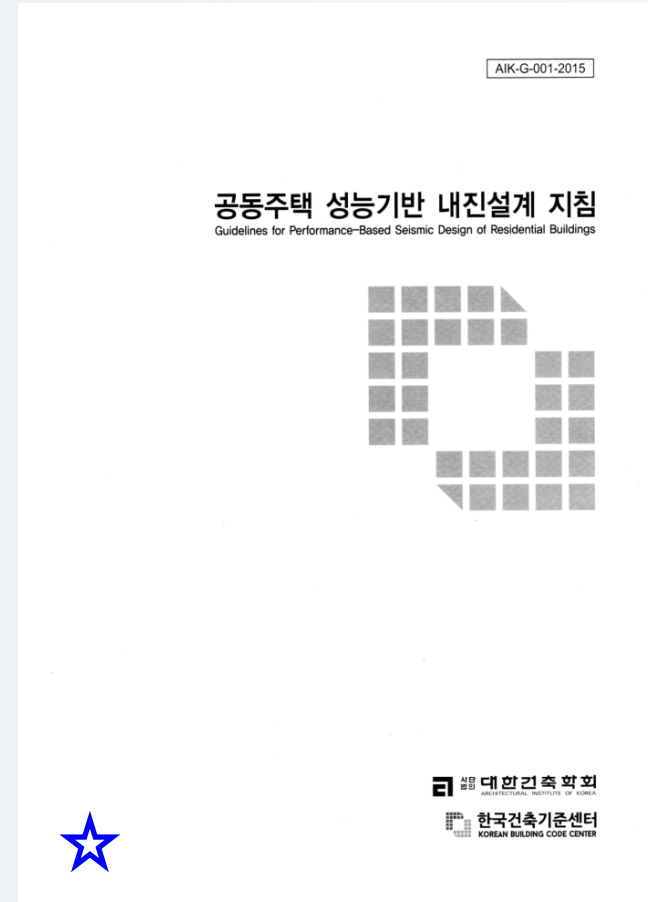
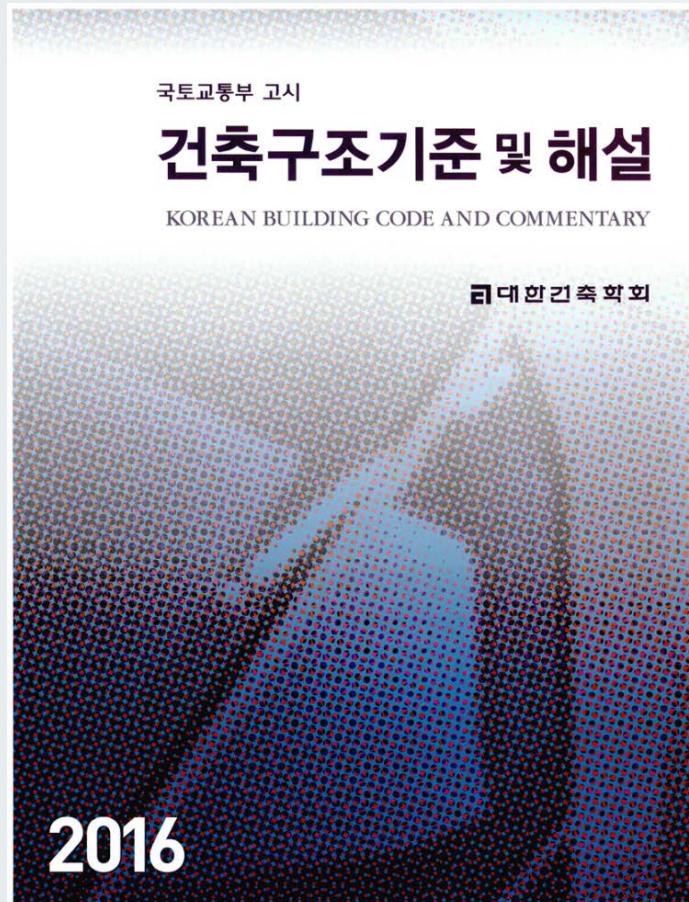
2017.3.3.

spec

coming soon

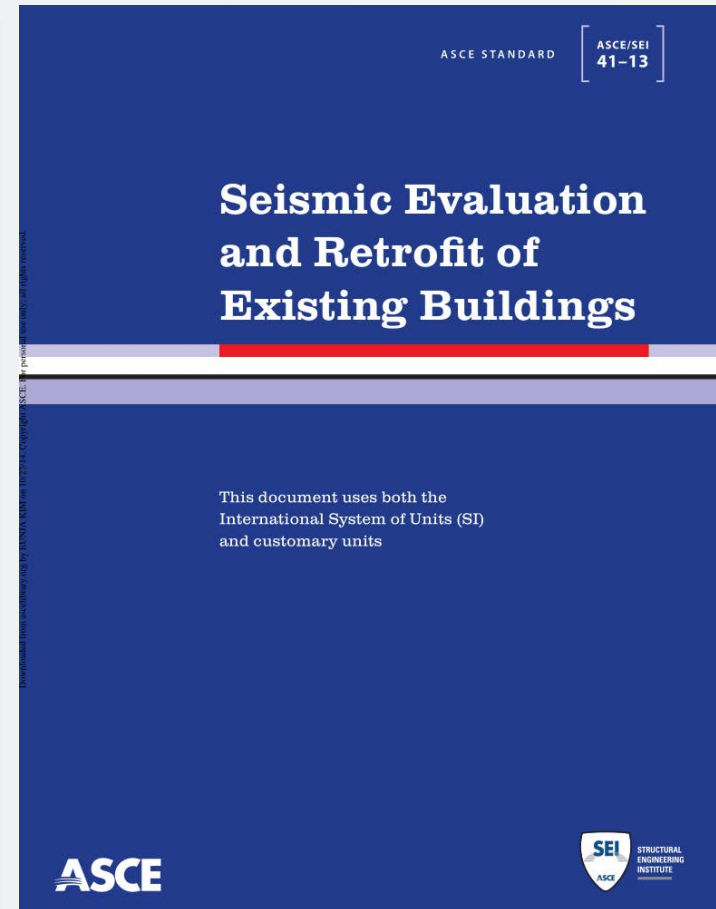
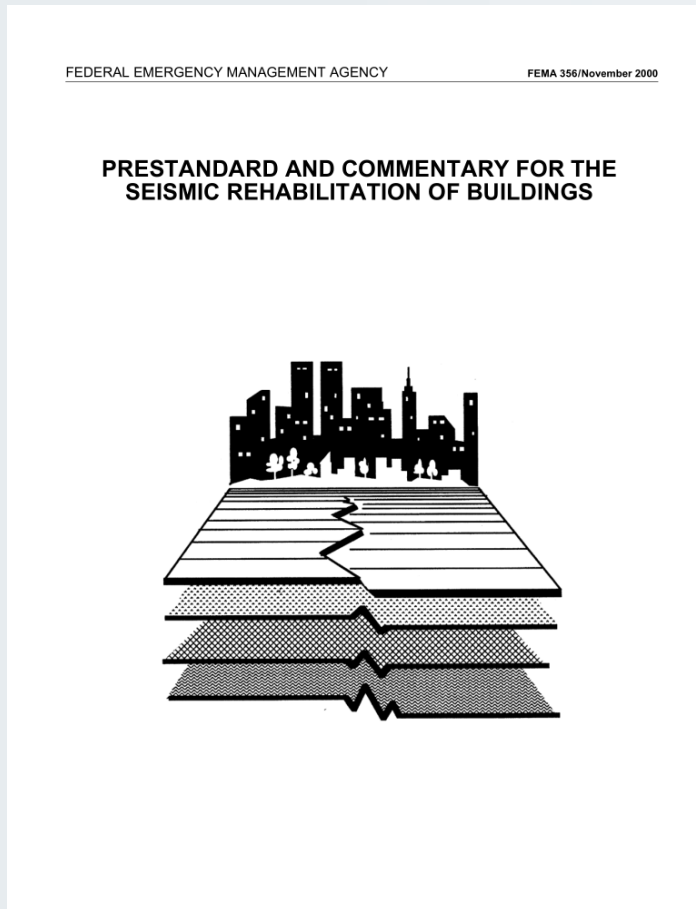
# 국내 신축 건축물 성능기반 내진설계

신축 건축물 내진설계!



# 미국 기존 건축물 내진성능평가

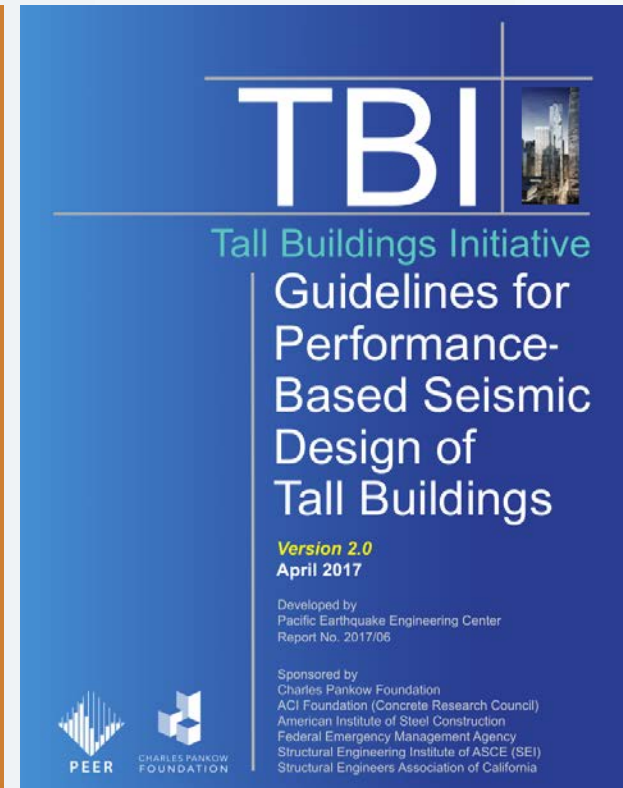
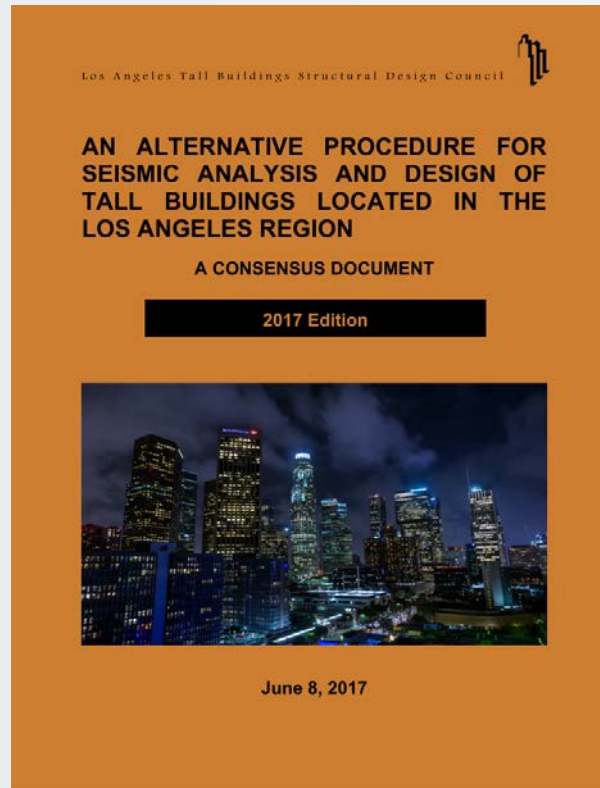
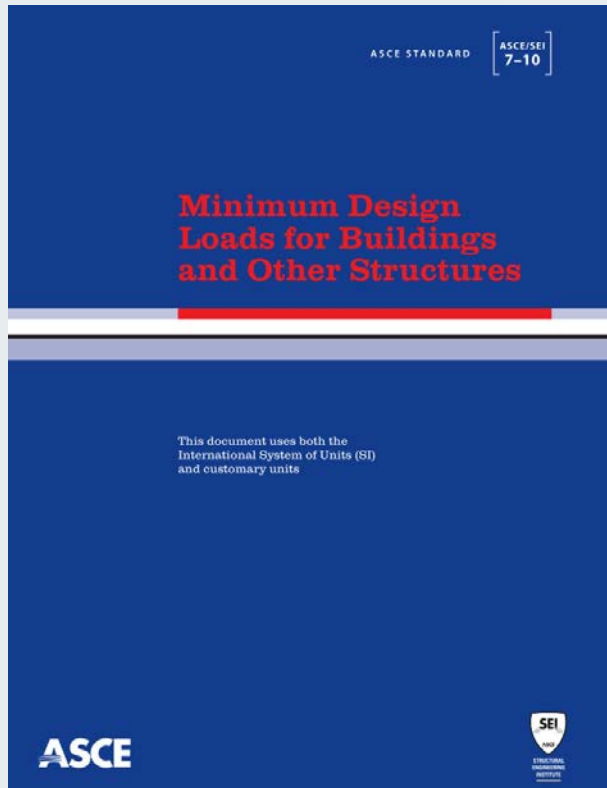
기존 건축물 평가/보강 !



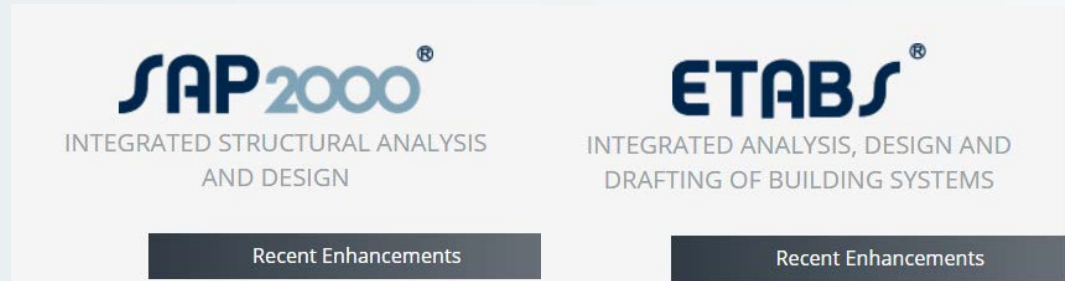
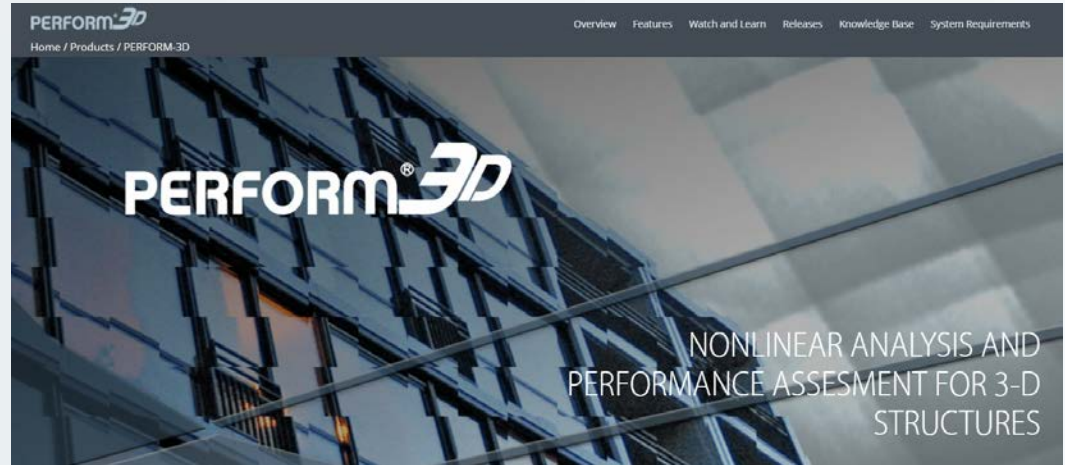


# 미국 신축 건축물 성능기반 내진설계

신축 고층 건물 내진설계!



# 국내 활용 주요 해석 프로그램



프로그램에 내장된 solver 의 비선형 해석수행능력 신뢰도가 관건 !

# 비선형 해석에서의 주의점

## 3.3.2. Limitations on Nonlinear Behavior

Nonlinear action shall be permitted only in clearly delineated zones. These zones shall be designed and detailed as ductile and protected zones so that the displacements, rotations, and strains imposed by the  $MCE_R$  event can be accommodated with enough reserve capacity to avoid collapse.

LATBSDC

## ***1.9 Some Things to Keep in Mind***

Keep in mind that the goal of structural analysis is not to get an accurate simulation of a structure's behavior, but to get information to help in making design decisions. Once an analysis model has been set up, it is easy to be seduced into believing that the model is an exact representation of the real structure. It probably is not, and it does not need to be. The model must be sufficiently accurate to provide useful design information, but the analysis results are almost certainly approximate, no matter how sophisticated the analysis model.

선형해석도  
동일함!

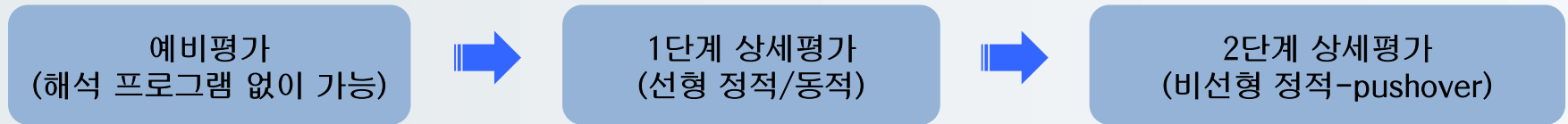
PERFORM 3D

# 시설안전공단에 따른 내진성능평가



# 시설안전공단 내진성능 평가 개요

## 성능평가 단계



- 예비평가 적용대상 제한: 비정형성이 없는 10층 이하의 건물
- 상위단계가 더 정밀한 평가로, 상위단계 평가를 바로 수행할 경우 하위단계 평가 생략 가능

## 건축물의 기본 목표내진성능 수준

지진위험도 (2400년 재현주기 2/3)	거주가능 (IO)	인명안전 (LS)	붕괴방지 (CP)
------------------------	-----------	-----------	-----------

## 성능수준의 판정기준

성능평가 단계	성능수준 판정기준	
	부재성능평가	층간변형각
예비평가	층 부재 강도의 합이 층 요구 강도 이상 (1층 pin 지지 조건 고려 불가!)	-
1단계 상세평가	층별 부재별(수직,수평) 목표내진성능수준 이상인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 80%이상	구조시스템별, 성능수준별
2단계 상세평가		요구 층간변형각 이내

# 내진성능수준의 정의

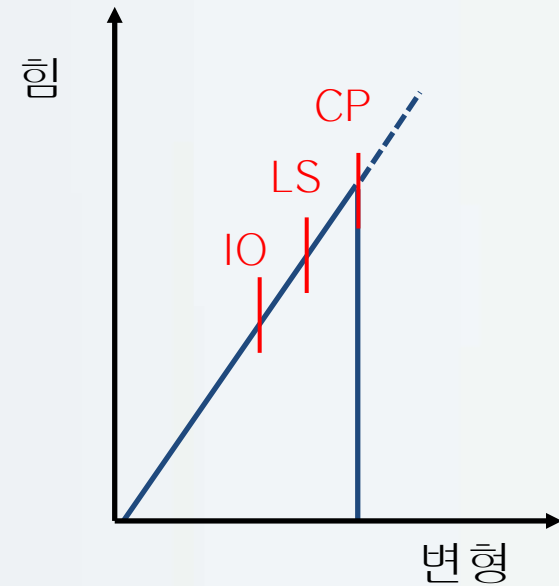
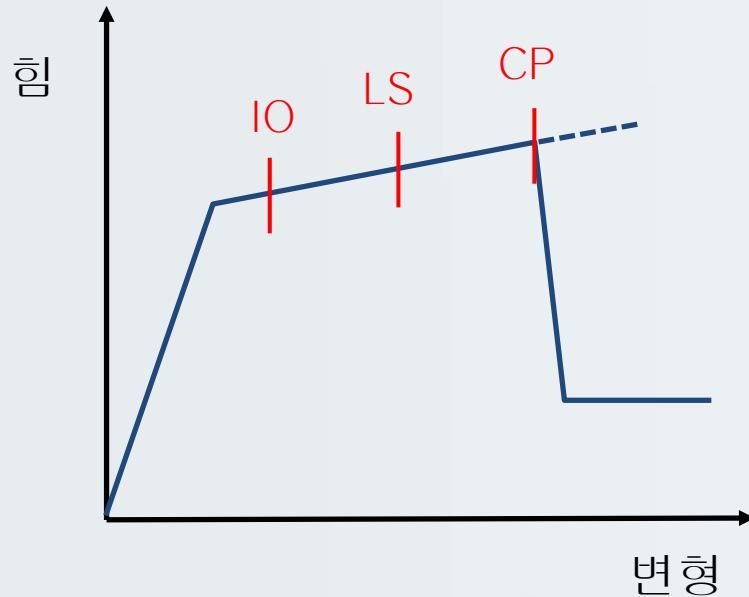
표 2.3.1 구조부재의 손상상태에 따른 성능수준

성 능 수 준	피 해
거주가능 (Immediate Occupancy level, IO)	<p>지진 후 구조물의 피해는 경미하며 수직하중저항시스템과 지진력저항시스템은 지진전의 강성과 강도를 보유하고 있다.</p> <p>구조부재의 손상으로 인명에 피해를 입을 가능성은 매우 낮으며 손상부재에 대한 보수가 필요하지만 거주가능을 위해 반드시 필요하지는 않다.</p>
인명안전 (Life Safety level, LS)	<p>구조부재에 상당한 손상이 발생하여 횡강성과 강도의 손실이 있으나 <u>붕괴에 대해서는 여전히 역력을 보유하고 있다.</u></p> <p>구조부재에 영구변형이 있으며 지진력저항시스템의 일부 요소에서 균열, 파단, 항복, 혹은 좌굴이 발생할 수 있으나 구조부재의 손상으로 인한 인명손실의 위험은 낮다. 구조부재의 보수는 가능하지만 경제적이지 않을 수도 있다. 당장 무너지지는 않으나 거주를 위해서는 보수와 보강이 요구된다.</p>
붕괴방지 (Collapse Prevention level, CP)	<p>구조물이 심각한 피해를 입은 상태로 국부적 혹은 전체적인 <u>붕괴가 임박한 상태이다.</u> 지진력저항시스템에 상당한 강도 및 강성의 저하가 있으며 횡방향 영구변형이 있다. 그러나 중력하중저항시스템은 여전히 하중을 지지할 수 있다. 구조부재의 박락 등으로 인명피해가 생길 수 있으며 일반적인 보수보강 후에도 거주에 안전하지 않을 수 있다. 여진으로 인해 붕괴가 발생할 수 있다.</p>



# 부재의 목표 내진성능

연성거동 (변형지배) vs 취성거동 (하중지배)



- 1단계 상세(선형): 탄성 해석 후  $m$  계수 도입
- 2단계 상세(비선형): 부재의 비선형 특성을 반영하여 비선형 해석 수행

# 시설안전공단 층간변형각 기준

표 4.4.2 구조시스템 및 성능수준별 허용층간 변형각(%)

구조시스템	내진설계된 경우			내진설계 되지 않은 경우		
	IO	LS	CP	IO	LS	CP
RC 모멘트골조	1	2	4	0.5	1.0	2
조적채움벽이 있는 RC 모멘트골조	0.7	1.4	2.4	0.35	0.7	1.2
전단지배형 전단벽 시스템	0.25	0.5	1	0.12	0.25	0.5
휨지배형 전단벽 시스템	0.5	1	2	0.25	0.5	1
철골골조	0.7	2.5	5	0.55	2.0	4
가새가 있는 철골골조	0.5	1.5	2	0.4	1.2	1.6
조적조	0.4	0.67	1	0.4	0.67	1

\* 예비단계, 2단계 상세: X방향과 Y방향 구분

\* 1단계 상세: X, Y 방향 구분 없음 → X방향과 Y방향 구조시스템이 다른 경우?



# 설계기준강도 vs 평균강도

표 1.1.4 설계기준강도로부터 평균강도를 구하기 위한 재료별 보정계수

재료 특성	계 수
콘크리트 압축강도	1.20
철근의 인장 및 항복강도	1.25
강재 연결재의 항복강도	1.50
철골 부재의 항복강도	1.25

# 콘크리트와 조적조의 강도감소계수

## 경과년수 & 재료상태 고려

표 1.1.5 경과년수 및 재료상태에 따른 재료강도의 감소계수

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

예) 12년 경과된 불량상태 조적  $0.8 * 0.5 = 0.40 \Rightarrow$  기본강도의 40 % 적용

# 경과연수가 고려된 기본 재료강도 제시

- 재료강도에 대한 정보가 부족한 경우 활용!
- 재료상태는 미고려!

표 1.1.6 건설연도별 재료의 기본값

	1970년 이전		1971-1988년 이전		1988-2000		2001년 이후	
	하한값	평균값	하한값	평균값	하한값	평균값	하한값	평균값
콘크리트 강도 ( $f_{ck}$ , MPa)	13	15	15	18	18	21	21	24
주근의 항복강도 ( $f_y$ , MPa)	240	300	240	300	240	300	300	375
강재의 항복강도 ( $F_y$ , MPa)	235	294	235	294	235	294	235	294

# 예비평가 - 공통

## 각 층별 성능수준의 판정

$$DCR_i = \frac{S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i}{C_i}$$

- DCR = Demand / Capacity Ratio → 요구량 저항능력의 비
- $i$  : 해당 층
- $S_{ds}$  : KBC에 따른 단주기 설계스펙트럼 가속도
- $W$  :  $i$  층 상부의 총중량의 합
- $\gamma$  = 층전단력 분포계수

# 예비평가 - 철근콘크리트조

C (Capacity, 강도) 계산

$$C = \max[(C_s + 0.7 C_f), D_\mu C_f]$$

$$C_f = \sum v_{fc} \cdot A_{cf}$$

$$C_s = \sum v_{sc} \cdot A_{cs} + \sum v_{sw} \cdot A_{sw}$$

$$* D_\mu = 2$$

# 예비평가 - 철근콘크리트조

## 기둥의 강도계산

표 3.3.2 기둥의 평균전단응력

기둥분류		건설연도			단위: MPa
		1970년 이전	1971년 -1987년	1988년 -2000년	2001년 이후
전단파괴 $v_{sc}$	단주 $h_o/D < 2.0$	1.17	1.23	1.30	1.41
	일반기둥 $2.0 \leq h_o/D < 6.0$	0.71	0.74	0.79	0.86
휨파괴 $v_{fc}$	장주 $h_o/D \geq 6.0$	0.46	0.47	0.48	0.53

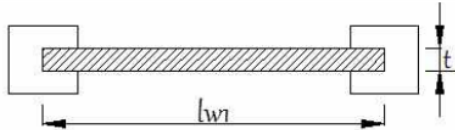
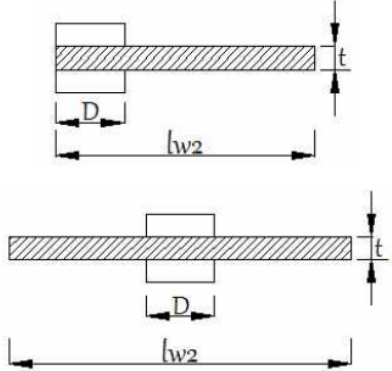
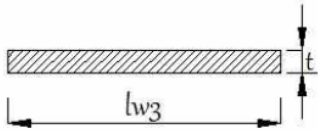
여기서,  $h_o$  : 기둥의 순높이,

$D$  : 하중방향 부재단면의 폭

# 예비평가 - 철근콘크리트조

## 전단벽의 강도계산

표 3.3.3 전단벽의 종류에 따른 단면적 및 전단응력 산정

단면 종류	단면 상세	단면적 및 전단응력
양쪽에 기둥이 있는 전단벽		$A_{sw} = t \cdot l_{w1}$ $v_{sw} = 3.0 \text{ MPa}$
한쪽에 기둥이 있는 전단벽		$A_{sw} = t \cdot l_{w2}$ $v_{sw} = 2.0 \text{ MPa}$
기둥이 없는 전단벽		$A_{sw} = t \cdot l_{w3}$ $v_{sw} = 1.0 \text{ MPa}$

# 예비평가 - 철근콘크리트조

## 성능수준 판정 DCR

표 3.3.4 철근콘크리트조의 성능수준 판정을 위한 DCR 기준

DCR의 범위	성능수준
$DCR \leq 0.5$	거주가능
$0.5 < DCR \leq 0.75$	인명안전
$0.75 < DCR \leq 1.0$	붕괴방지
$1.0 < DCR$	붕괴위험



# 예비평가 - 철골조

## C (Capacity, 강도) 계산

$$C = \sum (V_{mf} + V_{br}) \cdot D_{\mu}$$

$$V_{mf} = \frac{2}{h_n} \min \{ M_{ce}, (M_{be,L} + M_{be,R}), M_{pze} \}$$

적용에 주의!

$$V_{br} = \sum^{N_{br}} P_{br} \frac{s}{L_{br}} = \sum^{N_{br}} (0.5 F_y A_{br}) \frac{s}{L_{br}}$$

\*  $D_{\mu} = 3.0$  (모멘트골조, 편심가새골조),  $2.5$  (편심가새골조)

\* 기둥과 보의 강도 계산 시 콤팩트단면 여부 반영

# 예비평가 - 철골조

## 성능수준 판정 DCR

표 3.3.6 철골조의 성능수준 판정을 위한 DCR 기준

DCR의 범위	성능수준
$DCR \leq 0.6$ ←	거주가능
$0.6 < DCR \leq 0.75$	인명안전
$0.75 < DCR \leq 1.0$	붕괴방지
$1.0 < DCR$	붕괴위험

# 1단계 상세평가 - 공통

보정계수 C

$$V = CS_a W$$

← 선형정적 계산용 식

표 4.2.1 최대 비탄성변위와 선형탄성변위의 보정을 위한 수정계수 C

건물의 형식	층수			
	1	2	3	4층이상
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

\* 보정계수 C는 선형정적과 선형동적 모두 동일하게 적용

# 1단계 상세평가 - 공통

## 변형지배 vs 하중지배

변형지배

$$Q_{UD} = Q_G \pm Q_E$$

하중지배

$$Q_{UF} = Q_G \pm \frac{Q_E}{C J}$$

$$Q_{UF} = Q_G \pm \frac{Q_E}{C}$$

\* 하중지배는 **C 효과 상쇄** 후, **하중전달 감소계수 J** 적용

\* 중력하중

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

$$Q_G = 0.9 Q_D$$

# 1단계 상세평가 - 공통

## 하중조합

$$1.2D+1.0E+1.0L+0.2S$$

$$0.9D+1.0E \quad (\text{KBC2016})$$

X방향 하중조합  $1.1(1.0D + 0.25L) \pm (1.0E_X \pm 0.3E_Y)$

Y방향 하중조합  $1.1(1.0D + 0.25L) \pm (1.0E_Y \pm 0.3E_X)$

← 16가지

X방향 하중조합  $0.9D \pm (1.0E_X \pm 0.3E_Y)$

Y방향 하중조합  $0.9D \pm (1.0E_Y \pm 0.3E_X)$

- \* 우발비틀림 고려시 X방향 2가지 (+,-), Y방향 2가지 (+,-) 고려 시  
실제 필요한 하중조합은 총 64 가지 (=16x2x2)

# 1단계 상세평가 - 철근콘크리트

## 부재 유효강성

표 4.2.3 RC 부재의 유효강성

	휨강성	전단강성	축강성
보	$0.5E_c I_g$	$0.4E_c A_W$	-
기둥 (축력비가 0.5이상)	$0.7E_c I_g$	$0.4E_c A_W$	$E_c A_g$
기둥(축력비가 0.3이하)	$0.5E_c I_g$	$0.4E_c A_W$	$E_c A_g$
벽 (균열이 없는 경우)	$0.8E_c I_g$	$0.4E_c A_W$	$E_c A_g$
벽 (균열이 있는 경우)	$0.5E_c I_g$	$0.4E_c A_W$	$E_c A_g$

\* 전단강성  $0.4E_c$  는 해석프로그램에서 G로 자동 고려

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

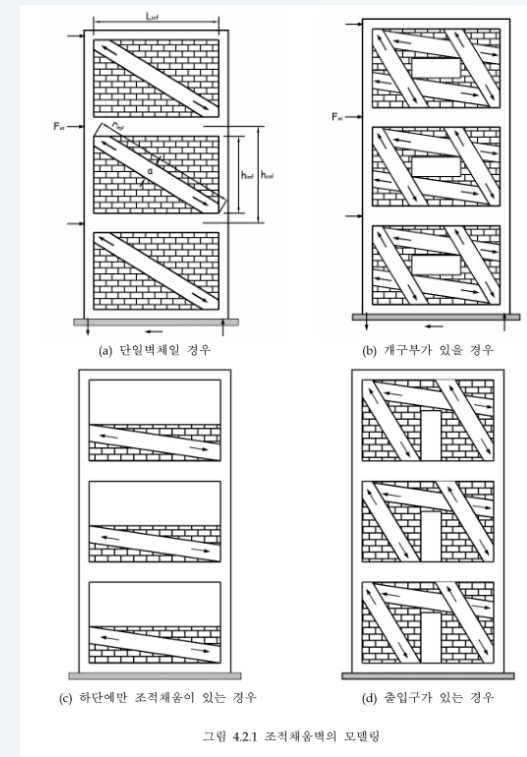
# 1단계 상세평가 - 철근콘크리트

조적채움벽은 대각압축가새로 치환

유효폭

$$a = 0.175 (\lambda_I h_{col})^{-0.4} r_{inf}$$

$$\lambda_I = \left[ \frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4 E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}}$$



- \* 선형해석은 상황에 따라 압축과 인장을 모두 저항하는 설정도 가능
- \* 비선형해석에서는 면외방향 변위가 면내 가새의 인장력 유발 주의

# 1단계 상세평가 - 철근콘크리트

## 조적채움벽의 강도

- 강체 회전 및 양단부 압괴 파괴
- 가로줄눈 파괴
- 대각인장파괴

작은값

가로줄눈파괴 :  $V_{bjs} = v_m A_n$

대각인장파괴 :  $V_{dt} = f'_{dt} A_n \left( \frac{L}{h_{eff}} \right) \sqrt{1 + \frac{f_a}{f'_{dt}}} = v_m A_n \left( \frac{L}{h_{eff}} \right)$

\* 면외방향 전도 검토

하부면만 접합된 것으로 가정하는 경우, 자중으로 면외방향 전도 저항 가능?



# 1단계 상세평가 - 공통

부재 허용기준

$$V = C S_a W$$

$$Q_{UD} = Q_G \pm Q_E$$

$$Q_{UF} = Q_G \pm \frac{Q_E}{C J}$$

$$Q_{UF} = Q_G \pm \frac{Q_E}{C}$$

## ▶ 변형지배 거동

- 연성거동 고려를 위한 **m 계수** 도입
- 부재의 **평균**강도 적용

$$Q_{CE} \geq \frac{Q_{UD}}{m}$$

## ▶ 하중지배 거동

- 부재의 **공칭**강도 적용

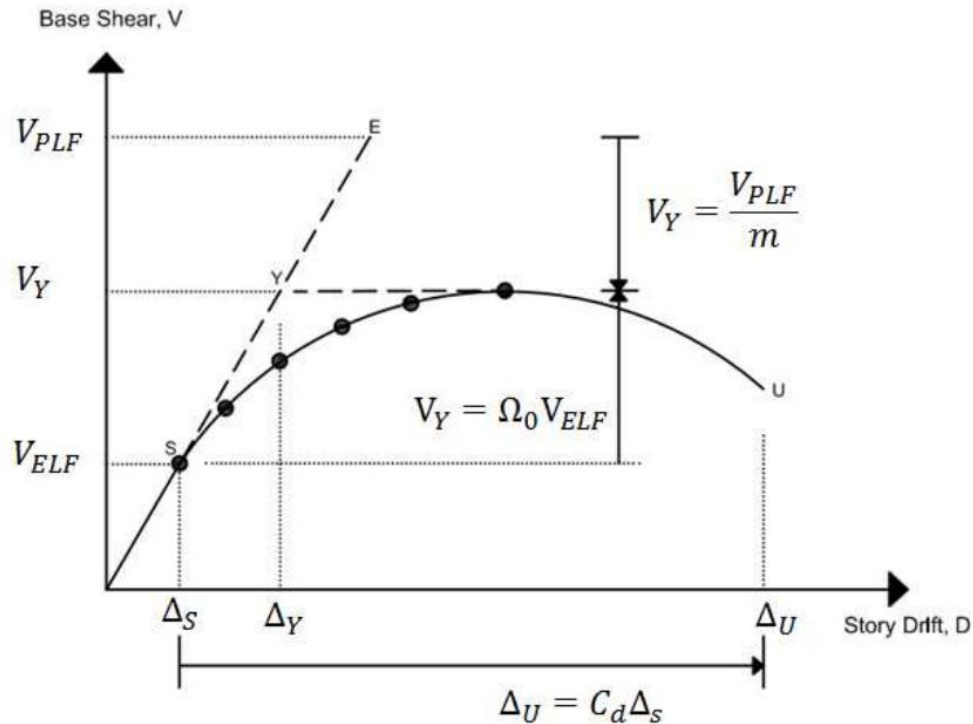
$$Q_{CN} \geq Q_{UF}$$

\* 설계강도와 구분

# 1단계 상세평가 - 공통

## m 계수 vs 등가지진력






- \* 내진성능평가: 구조부재 차원에서의 접근
- \* 일반내진설계: 구조시스템 차원에서의 접근



해설 그림 4.2.1 등가지진력과 의사지진력 개념의 비교

# 1단계 상세평가 – m 계수 (RC보)

표 4.3.3 철근콘크리트 보의 m 계수

조건		거주 가능	1차부재		2차부재	
			인명 안전	붕괴 방지	인명 안전	붕괴 방지
1) 휨에 의해 지배되는 비내진상세의 단면일 경우						
 주근의 배근상태	 작용전단력의 크기					
0 이하	0.25 이하	2	3	4	3	5
	0.5 이상	1.25	2	3	2	4
0.5 이상	0.25 이하	2	3	3	3	4
	0.5 이상	1.25	2	2	2	3
2) 휨에 의해 지배되며 내진상세의 단면일 경우						
주근의 배근상태	작용전단력의 크기					
0 이하	0.25 이하	3	6	7	6	10
	0.5 이상	2	3	4	3	5
0.5 이상	0.25 이하	2	3	4	3	5
	0.5 이상	2	2	3	2	4
 3) 전단에 의해 지배되는 경우						
스터럽 간격이 $d/2$ 이하인 경우		1.25	1.5	1.75	3	4
스터럽 간격이 $d/2$ 초과인 경우		1.25	1.5	1.75	2	3
4) 정착 혹은 철근이음의 파괴가 예상되는 경우						
스터럽 간격이 $d/2$ 이하인 경우		1.25	1.5	1.75	3	4
스터럽 간격이 $d/2$ 초과인 경우		1.25	1.5	1.75	2	3
5) 보-기둥접합부의 정착파괴가 예상되는 경우						
		2	2	3	3	4
1. 사이값은 선형보간한다.						

# 1단계 상세평가 - m 계수 (RC기둥)

표 4.3.4 철근콘크리트 기둥의 m 계수

<div></div> <div></div>		거주 가능	1차부재		2차부재	
			인명 안전	붕괴 방지	인명 안전	붕괴 방지
1) 힘에 의해 지배되는 비내진상세 단면일 경우						
<div> 축력비</div>	<div> 작용전단력의 크기</div>					
0.1 이하	0.25 이하	2	2	3	2	3
	0.5 이상	2	2	2.4	1.6	2.4
0.4 이상	0.25 이하	1.25	1.5	2	1.5	2
	0.5 이상	1.25	1.5	1.75	1	1.6
2) 힘에 의해 지배되는 내진상세 단면일 경우						
축력비	작용전단력의 크기					
0.1 이하	0.25 이하	2	3	4	4	5
	0.5 이상	2	2.4	3.2	3.2	4
0.4 이상	0.25 이하	1.25	2	3	2	3
	0.5 이상	1.25	1.6	2.4	2.4	3.2
3) 전단에 의해 지배되는 경우						
후프 간격이 $d/2$ 이하이거나 축력비가 0.1이하인 경우		-	-	-	2	3
그 밖의 경우		-	-	-	1.5	2
4) 정착 혹은 철근이음의 파괴가 예상되는 경우						
후프 간격이 $d/2$ 이하인 경우		1.25	1.5	1.75	3	4
후프 간격이 $d/2$ 초과인 경우		-	-	-	2	3
5) 축력이 $0.7P_0$ 를 초과하는 경우						
		-	-	-	1	1

1. 사이값은 선형보간한다.

1차부재 최대값

# 1단계 상세평가 – m 계수 (전단벽)

표 4.3.5 철근콘크리트 전단벽의 m 계수

조건			거주 가능	1차부재		2차부재	
				인명 안전	붕괴 방지	인명 안전	붕괴 방지
1-i. 휨에 의해 지배되는 경우 : 전단벽 요소							
특수경계요소 의 유무	배근상태와 축력비	작용전단력의 크기					
있음	0.1 이하	0.25 이하	2	4	6	6	8
		0.5 이상	2	3	4	4	6
	0.25 이상	0.25 이하	1.5	3	4	4	6
		0.5 이상	1.25	2	2.5	2.5	4
없음	0.1 이하	0.25 이하	2	2.5	4	4	6
		0.5 이상	1.5	2	2.5	2.5	4
	0.25 이상	0.25 이하	1.25	1.5	2	2	3
		0.5 이상	1.25	1.5	1.75	1.75	2
1-ii. 휨에 의해 지배되는 경우 : 상부의 전단벽을 지지하는 기둥							
내진상세단면인 경우			1	1.5	2	n.a.	n.a.
비내진상세단면인 경우			1	1	1	n.a.	n.a.
1-iii. 휨에 의해 지배되는 경우 : 연결보(coupling beam)							
내진상세단면인 경우	0.25 이하	2	4	6	6	9	
	0.5 이상	1.5	3	4	4	7	
비내진상세단면인 경우	0.25 이하	1.5	3.5	5	5	8	
	0.5 이상	1.2	1.8	2.5	2.5	4	
대각선배근		N.A.	2	5	7	7	10
2-i. 전단에 의해 지배되는 경우 : 전단벽 요소							
작용축력이 $0.15A_gf_{ck}$ 이하인 경우			2	2	3	2	3
2-ii. 전단에 의해 지배되는 경우 : 연결보(coupling beam)							
내진상세단면인 경우	0.25 이하	1.5	3	4	4	6	
	0.5 이상	1.2	2	2.5	2.5	3.5	
비내진상세단면인 경우	0.25 이하	1.5	2.5	3	3	4	
	0.5 이상	1.25	1.2	1.5	1.5	2.5	
1. 사이값은 선형보간한다.							

# 1단계 상세평가 – m 계수 (조적채움벽)

표 4.3.7 조적채움벽의 등가압축가새의 m 계수

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

1. 사이값은 선형보간한다.
2. 골조와 채움벽의 강도비는  $V_{frame} / V_{inc}$  이다.

# 1단계 상세평가 - m 계수 (철골)

표 4.3.9 철골부재의 m 계수

부재 및 조건		거주 가능	1차부재		2차부재	
			인명 안전	붕괴 방지	인명 안전	붕괴 방지
강접모멘트골조						
보	내진콤팩트단면	2	6	8	10	12
	비콤팩트단면	1.25	2	3	3	4
기둥 ① (P < 0.2Py)	내진콤팩트단면	2	6	8	10	12
	비콤팩트단면	1.25	1.25	2	2	3
기둥 ② (0.2Py < P < 0.5 Py)	내진콤팩트단면	1.25	9k <sub>p</sub>	12k <sub>p</sub>	15k <sub>p</sub>	18k <sub>p</sub>
	비콤팩트단면	1.25	1.25	1.5	2	2
기둥 (P> 0.5Py)		하중지배거동				
패널존		1.5	8	11	12	12
전용접 접합부 혹은 웹볼트 플랜지현장용접 접합부		1	4.3-0.0 33d	3.9-0.0 017d	4.3-0.0 019d	5.5-0.0 025d
보플랜지절취형 접합부		2.2-0.0 003d	4.9-0.0 01d	6.2-0.0 012d	6.5-0.0 01d	8.4-0.0 012d
반강접합 모멘트골조						
볼트 혹은 용접부의 인장파괴		1.25	1.5	2	1.5	2
기타		1.5	2	3	2	3
가새골조						
기둥		강접합 모멘트골조의 경우와 동일				
편심가새골조	연결보					
	가새와 기둥					
중심가새 골조의 가새 (압축을 받을 때)						
각형 및 원형 강관	내진콤팩트단면	1.25	5	7	5	7
	비콤팩트단면	1.25	2	3	2	3
쌍ㄱ 및 쌍ㄷ 형강	면내좌굴	1.25	6	8	7	9
	면외좌굴	1.25	5	7	6	8
H 및 I형강		1.25	6	8	6	8
콘크리트 충전 강관		1.25	5	7	5	7
중심가새 골조의 가새 (인장을 받을 때)						
인장-압축가새		1.25	6	8	8	10
인장-비압축 가새		0.6	3	4	4	5
순수인장을 받는 기둥		1.25	3	5	6	7

# 1단계 상세평가 - 공통

\* 2단계 상세평가도 동일

## 부재성능 허용기준

전체 성능수준	판정기준
거주가능	부재별 성능수준이 거주가능인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 80%이상
인명안전	부재별 성능수준이 인명안전, 거주가능인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 80%이상
붕괴방지	부재별 성능수준이 붕괴방지, 인명안전, 거주가능인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 80%이상
붕괴위험	부재별 성능수준이 붕괴위험인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 붕괴방지 수준을 만족하지 못하는 경우

80 %

- 철골가새구조 → 가새의 성능수준으로 판정 (가새 개수 100% ?)
- 철골골조+RC전단벽 → RC전단벽의 성능수준으로 판정



# 1단계 상세평가 - 공통

\* 2단계 상세평가도 동일

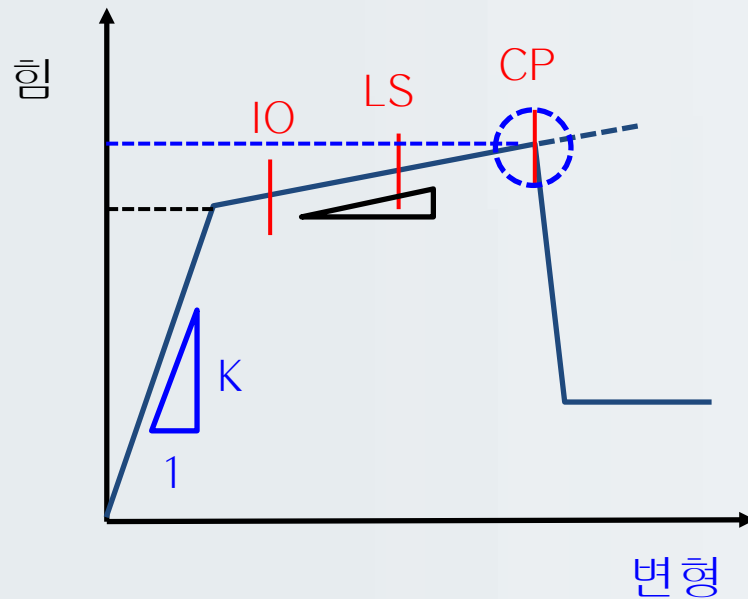
## 층간 변형각 허용기준

표 4.4.2 구조시스템 및 성능수준별 허용층간 변형각(%)

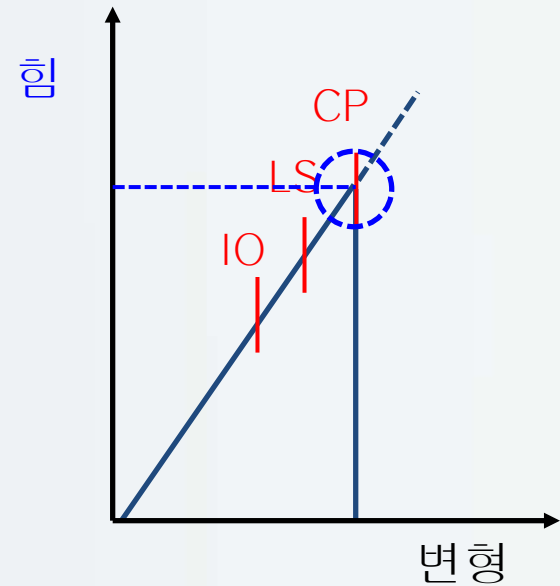
구조시스템	내진설계된 경우			내진설계 되지 않은 경우		
	IO	LS	CP	IO	LS	CP
RC 모멘트골조	1	2	4	0.5	1.0	2
조적채움벽이 있는 RC 모멘트골조	0.7	1.4	2.4	0.35	0.7	1.2
전단지배형 전단벽 시스템	0.25	0.5	1	0.12	0.25	0.5
휨지배형 전단벽 시스템	0.5	1	2	0.25	0.5	1
철골골조	0.7	2.5	5	0.55	2.0	4
가새가 있는 철골골조	0.5	1.5	2	0.4	1.2	1.6
조적조	0.4	0.67	1	0.4	0.67	1

# 2단계 상세평가 - 공통

## 연성거동 (변형지배) vs 취성거동 (하중지배)



변형지배: 비선형 곡선에서 안전율 고려



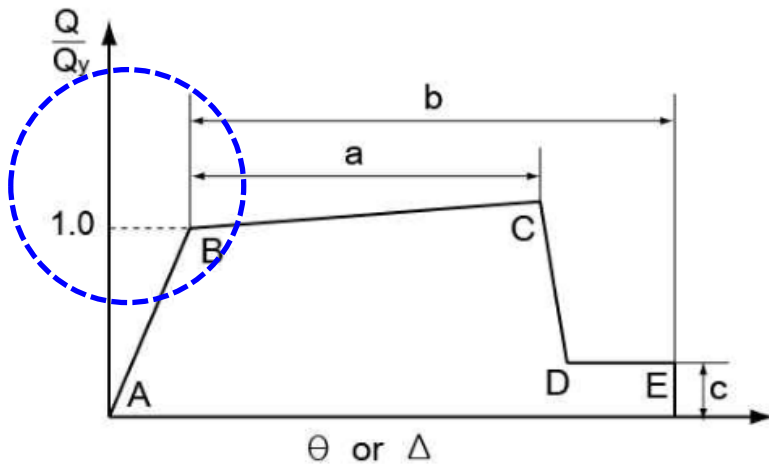
하중지배: 재료강도에서 안전율 고려

- 2단계 상세(비선형): 부재별 비선형 특성을 반영하여 비선형 해석 수행
- 기존 일반 내진설계는 시스템 수준에서 비선형성을 접근하는 것과 대비

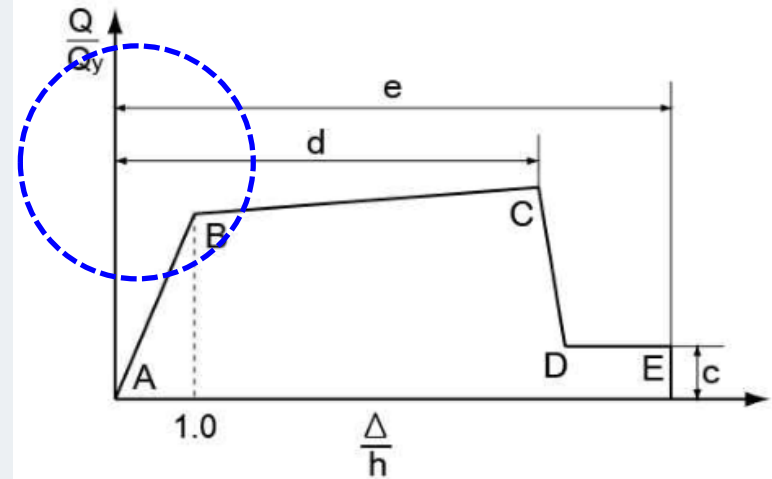
# 2단계 상세평가 - 공통

## 비선형 거동을 정의하기 위한 계수

- 철근콘크리트: B는 C의 90% 이상
- 철골: 보와 기둥은 항복 후 기울기는 항복전 기울기의 3 % 이하



(a) 변형량



(b) 변형비

a, b, c

vs

d, e, c

# 2단계 상세평가 - 공통

\* 철골구조물에 명시된 내용을  
현실적으로는 RC에도 적용

$$K_{\theta} = \frac{3EI}{L}$$

전단벽

\* 실제로는 층높이 보다는  
건물전체 높이에 영향을 받음

$$K_{\theta} = \frac{6EI}{L}$$

보, 기둥

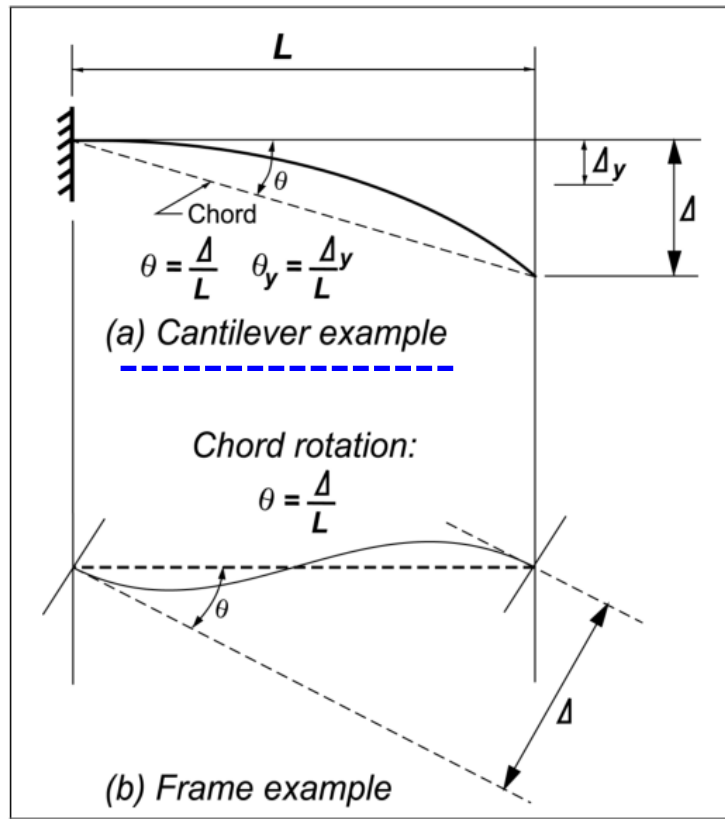


Figure 5-2 Definition of Chord Rotation

\* Cantilever: 기둥은 횡저항이 가능하나 보는 횡저항에 관여하지 않음

# 2단계 상세평가 - 전단벽

FEMA 356, ASCE41-13 원문

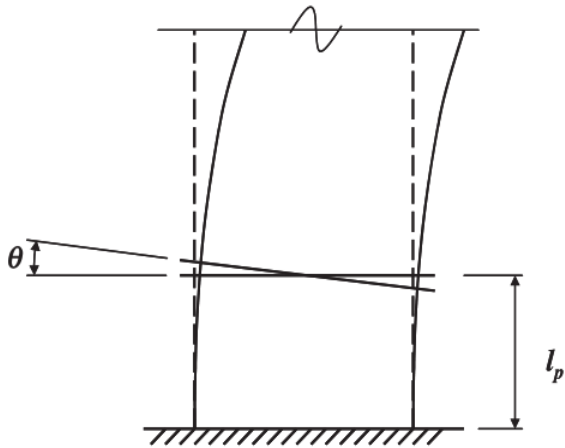


FIG. 10-4. Plastic Hinge Rotation in Shear Wall Where Flexure Dominates Inelastic Response

$$\theta_y = \left( \frac{M_y}{E_c I} \right) l_p \quad (10-5)$$

where  $M_y$  = Yield moment capacity of the shear wall or wall segment;

$E_c$  = Concrete modulus;

$I$  = Member moment of inertia; and

$l_p$  = Assumed plastic hinge length.

For analytical models of shear walls and wall segments, the value of  $l_p$  shall be set equal to 0.5 times the flexural depth of the element but less than one story height for shear walls and less than 50% of the element length for wall segments.

\* 고층건물에서 전단벽의 효과가 매우 중요한 경우 전단벽의 모델링이 핵심임

→ 현실적으로는 이러한 경우 Fiber 모델을 적용

# 2단계 상세평가 – 전단벽

## 전단벽 비선형 곡선

FEMA 356. Chap 6.8.2.3


- PM 효과를 무시하는 경우에는 현실적인 적용이 가능하나 너무 보수적일 수 있음
- PM 효과를 반영하는 경우에는 현실적인 적용이 쉽지 않음

Nominal flexural strength of shear walls or wall segments,  $M_n$ , shall be determined using the fundamental principles given in Chapter 10 of *ACI 318*. For calculation of nominal flexural strength, the effective compression and tension flange widths defined in Section 6.8.2.2 shall be used, except that the first limit shall be changed to one-tenth of the wall height. When determining the flexural yield strength of a shear wall, as represented by point *B* in Figure 6-1(a), only the longitudinal steel in the boundary of the wall shall be included. If the wall does not have a boundary member, then only the longitudinal steel in the outer 25% of the wall section shall be included in the calculation of the yield strength. When calculating the nominal flexural strength of the wall, as represented by point *C* in Figure 6-1(a), all longitudinal steel (including web reinforcement) shall be included in the calculation. For all moment strength calculations, the strength of the longitudinal reinforcement shall be taken as the expected yield strength to account for material overstrength and strain hardening, and the axial load acting on the wall shall include gravity loads as defined in Chapter 3.

# 2단계 상세평가 – RC보

항복회전각에 대한 비가 아닌  
절대 회전각


표 5.3.1 철근콘크리트 보의 모델링파라미터 및 허용기준

		모델링 파라메터			허용기준 (소성회전각, rad.)				
		소성회전각 (rad.)		잔류 강도비	거주 가능	1차부재		2차부재	
		a	b			c	인명 안전	붕괴 방지	인명 안전
									
1) 휨에 의해 지배되는 비내진상세 단면일 경우									
주근의 배근상태	작용전단력의 크기								
	0 이하	0.25 이하 	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02
	0.5 이상	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.005	0.01	0.01	0.015
0.5 이상	0.25 이하	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	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 크기								
	0 이하	0.25 이하	0.025	0.05	0.2	0.010	0.02	0.025	0.02
	0.5 이상	0.02	0.04	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
0.5 이상	0.25 이하	0.02	0.03	0.2	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
	0.5 이상	0.015	0.02	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
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 파괴가 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 정착파괴가 예상되는 경우									
		0.015	0.03	0.2	0.01	0.01	0.015	0.02	0.03
1. 사이값은 선형보간한다.									

# 2단계 상세평가 – RC기둥

항복회전각에 대한 비가 아닌  
절대 회전각

표 5.3.2 철근콘크리트 기둥의 모델링파라미터 및 허용기준



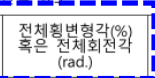
		모델링 파라미터			허용기준 (소성회전각, rad.)				
		소성회전각 (rad.)		잔류 강도비	거주 가능	1차부재		2차부재	
		a	b			c	인명 안전	붕괴 방지	인명 안전
									
1) 휨에 의해 지배되는 비내진상세 단면일 경우									
축력비	작용전단력의 크기								
0.1 이하	0.25 이하	0.006	0.015	0.2	0.005	0.005	0.006	0.01	0.015
	0.5 이상	0.005	0.012	0.2	0.005	0.005	0.005	0.008	0.012
0.4 이상	0.25 이하	0.003	0.01	0.2	0.002	0.002	0.003	0.006	0.01
	0.5 이상	0.002	0.008	0.2	0.002	0.002	0.002	0.005	0.008
2) 휨에 의해 지배되는 내진상세 단면일 경우									
축력비	작용전단력의 크기								
0.1 이하	0.25 이하	0.02	0.03	0.2	0.005	0.015	0.02	0.02	0.03
	0.5 이상	0.016	0.024	0.2	0.005	0.012	0.016	0.016	0.024
0.4 이상	0.25 이하	0.015	0.025	0.2	0.003	0.012	0.015	0.018	0.025
	0.5 이상	0.012	0.02	0.1	0.003	0.01	0.012	0.013	0.02
3) 전단에 의해 지배되는 경우									
모든 경우		-	-	-	-	-	-	0.003	0.004
4) 정착 혹은 철근이음의 파괴가 예상되는 경우									
후프 간격이 d/2 이하인 경우		0.01	0.02	0.4	0.005	0.005	0.01	0.01	0.02
후프 간격이 d/2 초과인 경우		0	0.01	0.2	0	0	0	0.005	0.01
5) 축력이 0.7P <sub>0</sub> 를 초과하는 경우									
모든 경우		0	0	0	0	0	0	0	0
1. 사이값은 선형보간한다.									



# 2단계 상세평가 – 전단벽

항복회전각에 대한 비가 아닌  
절대 회전각

표 5.3.3 철근콘크리트 전단벽의 모델링파라미터 및 허용기준

조건		모델링파라미터				허용기준				
1-i. 휨에 의해 지배되는 경우 : 전단벽 요소										
특수경계 요소의 유무	배근상태 와 축력비	작용력의 전단벽크기 	소성회전각 (rad.)		잔류 강도비 c	거주 가능	1차부재 (rad.)		2차부재 (rad.)	
			a	b			인명 안전	붕괴 방지	인명 안전	붕괴 방지
있음	0.1 이하	0.25 이하	0.015	0.020	0.75	0.005	0.010	0.015	0.015	0.020
		0.5 이상	0.01	0.015	0.4	0.004	0.008	0.01	0.01	0.015
	0.25 이상	0.25 이하	0.009	0.012	0.6	0.003	0.006	0.009	0.009	0.012
		0.5 이상	0.005	0.01	0.3	0.0015	0.003	0.005	0.005	0.01
없음	0.1 이하	0.25 이하	0.008	0.015	0.6	0.002	0.004	0.008	0.008	0.015
		0.5 이상	0.006	0.01	0.3	0.002	0.004	0.006	0.006	0.01
	0.25 이상	0.25 이하	0.003	0.005	0.25	0.001	0.002	0.003	0.003	0.005
		0.5 이상	0.002	0.004	0.2	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004
1-ii. 휨에 의해 지배되는 경우 : 상부의 전단벽을 지지하는 기둥										
내진상세단면인 경우			0.01	0.015	0.2	0.003	0.007	0.01	n.a.	n.a.
비내진상세단면인 경우			0	0	0	0	0	0	n.a.	n.a.
1-iii. 휨에 의해 지배되는 경우 : 연결보(coupling beam)										
내진상세단면인 경우	0.25 이하	0.025	0.05	0.75	0.01	0.02	0.025	0.025	0.05	
	0.5 이상	0.02	0.04	0.5	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04	
비내진상세단면인 경우	0.25 이하	0.02	0.035	0.5	0.006	0.012	0.02	0.02	0.035	
	0.5 이상	0.01	0.025	0.25	0.005	0.008	0.01	0.01	0.025	
대각선배근		N.A.	0.03	0.05	0.8	0.006	0.018	0.03	0.03	0.05
2-i. 전단에 의해 지배되는 경우 : 전단벽 요소										
	작용력의 전단벽크기 	전체휨변형각(%) 혹은 전체회전각 (rad.) 	잔류 강도비 c	거주 가능	1차부재 (% 또는 rad.)		2차부재 (% 또는 rad.)			
					인명 안전	붕괴 방지	인명 안전	붕괴 방지		
작용축력이 $0.15 A_g f_{ck}$ 이하인 경우			d	e	c	0.40	0.60	0.75	0.75	1.5
2-ii. 전단에 의해 지배되는 경우 : 연결보(coupling beam)										
내진상세단면인 경우	0.25 이하	0.002	0.03	0.6	0.006	0.015	0.02	0.02	0.03	
	0.5 이상	0.016	0.024	0.3	0.005	0.012	0.016	0.016	0.024	
비내진상세단면인 경우	0.25 이하	0.012	0.025	0.4	0.006	0.008	0.01	0.01	0.02	
	0.5 이상	0.008	0.014	0.2	0.004	0.006	0.007	0.007	0.012	
1. 사이값은 선형보간한다.										

## 2단계 상세평가 – 조적채움벽

표 5.3.5 조적채움벽의 등가대각압축가새의 모델링파라미터 및 허용기준

조건		모델링 파라미터			허용기준 (층간변형각, %)	
골조와 채움벽의 강도비 $\beta$	채움벽의 길이/높이비	층간변형각 (%)		잔류강도비 c	인명안전	붕괴방지
		d	e			
0.7미만	0.5	0.5	n.a.	n.a.	0.4	n.a.
	1.0	0.4	n.a.	n.a.	0.3	n.a.
	2.0	0.3	n.a.	n.a.	0.2	n.a.
0.7이상 1.3미만	0.5	1	n.a.	n.a.	0.8	n.a.
	1.0	0.8	n.a.	n.a.	0.6	n.a.
	2.0	0.6	n.a.	n.a.	0.4	n.a.
1.3이상	0.5	1.5	n.a.	n.a.	1.1	n.a.
	1.0	1.2	n.a.	n.a.	0.9	n.a.
	2.0	0.9	n.a.	n.a.	0.7	n.a.

1. 사이값은 선형보간한다.

2. 골조와 채움벽의 강도비는  $V_{frame} / V_{inc}$  이다.

# 2단계 상세평가 - 철골

## 항복회전각에 대한 비

표 5.3.7 철골부재의 모델링 파라미터 및 허용기준

		모델링 파라미터			허용기준 (소성회전각, rad.)				
		소성회전각 (rad.)		잔류 강도비	거주 가능	1차부재		2차부재	
						인명 안전	붕괴 방지	인명 안전	붕괴 방지
강접모멘트골조요소		a	b	c					
보	내진콤팩트단면	90 <sub>y</sub>	110 <sub>y</sub>	0.6	10 <sub>y</sub>	60 <sub>y</sub>	80 <sub>y</sub>	90 <sub>y</sub>	110 <sub>y</sub>
	비콤팩트단면	40 <sub>y</sub>	60 <sub>y</sub>	0.2	0.250 <sub>y</sub>	20 <sub>y</sub>	30 <sub>y</sub>	30 <sub>y</sub>	40 <sub>y</sub>
기둥 ① (P<0.2P <sub>y</sub> )	내진콤팩트단면	90 <sub>y</sub>	110 <sub>y</sub>	0.6	10 <sub>y</sub>	60 <sub>y</sub>	80 <sub>y</sub>	90 <sub>y</sub>	110 <sub>y</sub>
	비콤팩트단면	40 <sub>y</sub>	60 <sub>y</sub>	0.2	0.250 <sub>y</sub>	20 <sub>y</sub>	30 <sub>y</sub>	30 <sub>y</sub>	40 <sub>y</sub>
기둥 ② (0.2P <sub>y</sub> <P<0.5P <sub>y</sub> )	내진콤팩트단면	11k <sub>p</sub> 0 <sub>y</sub>	17k <sub>p</sub> 0 <sub>y</sub>	0.2	0.250 <sub>y</sub>	8k <sub>p</sub> 0 <sub>y</sub>	11k <sub>p</sub> 0 <sub>y</sub>	14k <sub>p</sub> 0 <sub>y</sub>	17k <sub>p</sub> 0 <sub>y</sub>
	비콤팩트단면	10 <sub>y</sub>	1.50 <sub>y</sub>	0.2	0.250 <sub>y</sub>	0.50 <sub>y</sub>	0.80 <sub>y</sub>	1.20 <sub>y</sub>	1.20 <sub>y</sub>
기둥 (P > 0.5P <sub>y</sub> )		하중지배거동							
패널존		120 <sub>y</sub>	120 <sub>y</sub>	1.0	10 <sub>y</sub>	80 <sub>y</sub>	110 <sub>y</sub>	120 <sub>y</sub>	120 <sub>y</sub>
전용접 접합부 혹은 웹볼트 플랜지현장용접 접합부		0.051-0.0000 51d	0.043-0.0000 24d	0.2	0.0128-0.000 012d	0.0337-0.000 036d	0.0284-0.000 016d	0.0323-0.000 018d	0.043-0.0000 24d
보플랜지절취형 접합부		0.050-0.0000 12d	0.070-0.0000 12d	0.2	0.0125-0.000 004d	0.0380-0.000 008d	0.050-0.000 12d	0.0525-0.000 008d	0.070-0.0000 12d
반강접합 모멘트골조									
볼트 혹은 용접부의 인장파괴		0.012	0.018	0.8	0.003	0.008	0.010	0.008	0.010
기타		0.018	0.024	0.2	0.008	0.010	0.015	0.010	0.015
가새골조									
기둥		강접합 모멘트골조의 경우와 동일							
편심가새골조	연결보	하중지배거동							
	가새와 기둥	하중지배거동							
		소성변형		잔류 강도비	소성변형				
중심가새 골조의 가새 (압축을 받을 때)									
각형 강관	내진콤팩트단면	0.5Δ <sub>C</sub>	7Δ <sub>C</sub>	0.4	0.25Δ <sub>C</sub>	4Δ <sub>C</sub>	6Δ <sub>C</sub>	6Δ <sub>C</sub>	7Δ <sub>C</sub>
	비콤팩트단면	0.5Δ <sub>C</sub>	3Δ <sub>C</sub>	0.2	0.25Δ <sub>C</sub>	1Δ <sub>C</sub>	2Δ <sub>C</sub>	2Δ <sub>C</sub>	3Δ <sub>C</sub>
원형 강관	내진콤팩트단면	0.5Δ <sub>C</sub>	9Δ <sub>C</sub>	0.4	0.25Δ <sub>C</sub>	4Δ <sub>C</sub>	6Δ <sub>C</sub>	5Δ <sub>C</sub>	8Δ <sub>C</sub>
	비콤팩트단면	0.5Δ <sub>C</sub>	3Δ <sub>C</sub>	0.2	0.25Δ <sub>C</sub>	1Δ <sub>C</sub>	2Δ <sub>C</sub>	2Δ <sub>C</sub>	3Δ <sub>C</sub>
쌍Γ 및 쌍C 형강	면내좌굴	0.5Δ <sub>C</sub>	9Δ <sub>C</sub>	0.2	0.25Δ <sub>C</sub>	5Δ <sub>C</sub>	7Δ <sub>C</sub>	7Δ <sub>C</sub>	8Δ <sub>C</sub>
	면외좌굴	0.5Δ <sub>C</sub>	8Δ <sub>C</sub>	0.2	0.25Δ <sub>C</sub>	4Δ <sub>C</sub>	6Δ <sub>C</sub>	6Δ <sub>C</sub>	7Δ <sub>C</sub>
H 및 I형강		0.5Δ <sub>C</sub>	8Δ <sub>C</sub>	0.2	0.25Δ <sub>C</sub>	5Δ <sub>C</sub>	7Δ <sub>C</sub>	7Δ <sub>C</sub>	8Δ <sub>C</sub>
콘크리트 충전 강관		0.5Δ <sub>C</sub>	7Δ <sub>C</sub>	0.2	0.25Δ <sub>C</sub>	4Δ <sub>C</sub>	6Δ <sub>C</sub>	6Δ <sub>C</sub>	7Δ <sub>C</sub>
중심가새 골조의 가새 (인장을 받을 때)									
인장-압축가새		11Δ <sub>T</sub>	14Δ <sub>T</sub>	0.8	0.25Δ <sub>T</sub>	7Δ <sub>T</sub>	9Δ <sub>T</sub>	11Δ <sub>T</sub>	13Δ <sub>T</sub>
순수인장력을 받는 기둥		5Δ <sub>T</sub>	7Δ <sub>T</sub>	1.0	0.25Δ <sub>T</sub>	3Δ <sub>T</sub>	5Δ <sub>T</sub>	6Δ <sub>T</sub>	7Δ <sub>T</sub>

# 2단계 상세평가 - 공통

\* 1단계 상세평가와 동일

## 부재성능 허용기준

전체 성능수준	판정기준
거주가능	부재별 성능수준이 거주가능인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 80%이상
인명안전	부재별 성능수준이 인명안전, 거주가능인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 80%이상
붕괴방지	부재별 성능수준이 붕괴방지, 인명안전, 거주가능인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 80%이상
붕괴위험	부재별 성능수준이 붕괴위험인 부재가 부담하는 연직하중 분담율이 붕괴방지 수준을 만족하지 못하는 경우

80 %

- 철골가새구조 → 가새의 성능수준으로 판정 (가새 개수 100% ?)
- 철골골조+RC전단벽 → RC전단벽의 성능수준으로 판정

# 2단계 상세평가 - 공통

\* 1단계 상세평가와 동일

## 층간 변형각 허용기준

표 4.4.2 구조시스템 및 성능수준별 허용층간 변형각(%)

구조시스템	내진설계된 경우			내진설계 되지 않은 경우		
	IO	LS	CP	IO	LS	CP
RC 모멘트골조	1	2	4	0.5	1.0	2
조적채움벽이 있는 RC 모멘트골조	0.7	1.4	2.4	0.35	0.7	1.2
전단지배형 전단벽 시스템	0.25	0.5	1	0.12	0.25	0.5
휨지배형 전단벽 시스템	0.5	1	2	0.25	0.5	1
철골골조	0.7	2.5	5	0.55	2.0	4
가새가 있는 철골골조	0.5	1.5	2	0.4	1.2	1.6
조적조	0.4	0.67	1	0.4	0.67	1

# 상세평가 시 기타사항 (2단계)

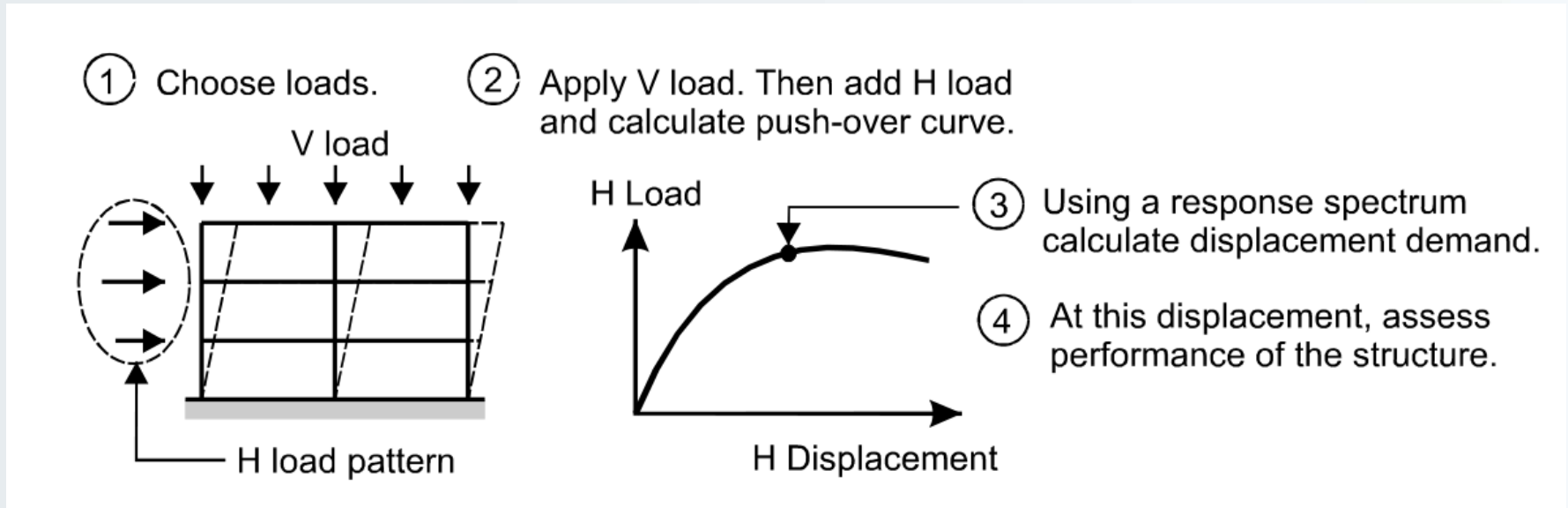
- R값과 I값의 1적용은 Pushover 분석 시에는 반드시 필요하나,  
Ex, Ey, Rx, Ry 는 성능곡선과의 비교를 위해 기존 R, I 값 적용가능  
\* Ex, Ey, Rx, Ry 는 Pushover 분석 시 하중크기가 아닌 하중분포만 사용됨
- 기둥의 축-휨 Interaction Curve 생성 시 내진성능평가에서는 변형지배와 하중지배의 경계선에 대한 설명 부재 (기존 설계에서는 0.65 ~ 0.85 하중강도계수에 대한 중간 단계 있음)
- 비선형 정적해석과 비선형 동적해석의 모델링 상 가장 큰 차이는 부재별 이력곡선의 역방향에 대한 정의 그리고 지진파 선정과 스케일링을 통한 지진하중의 재정의  
\* 신축건물의 경우 부지응답해석도 필요함

# 비선형정적해석의 개념 (Pushover Analysis)



# 푸시오버 해석 (Pushover Analysis)

## 주요 해석 단계

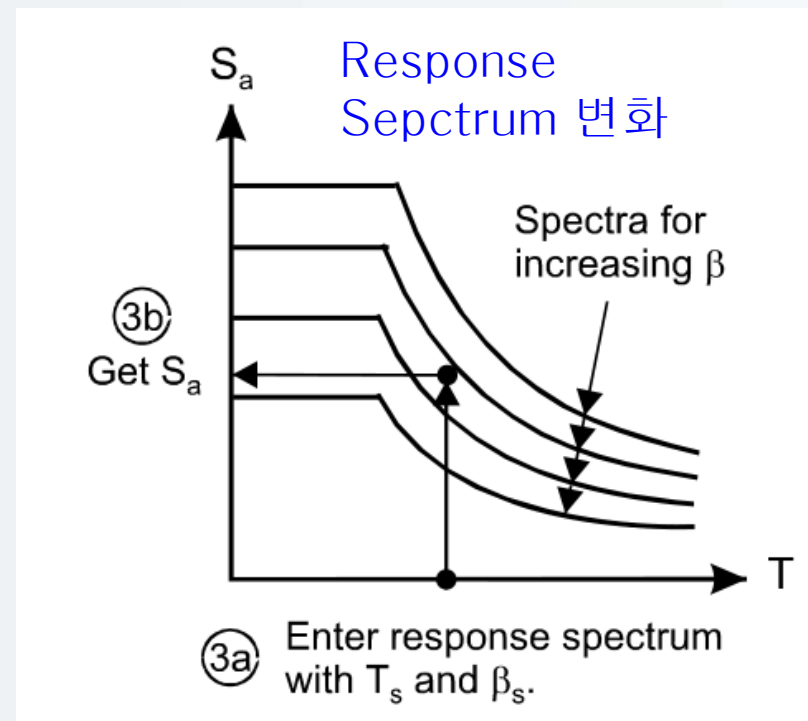
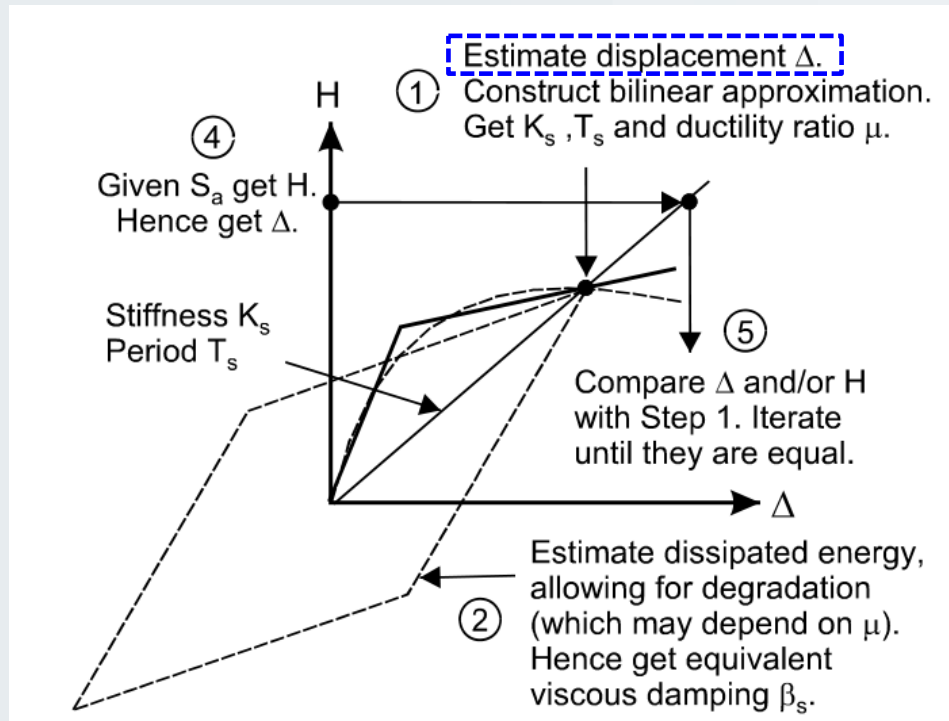


- \* 설정된 평가대상 지진하중에 대하여 (Design Spectrum 활용,  $I=1$ ,  $R=1$ ),  
건물에 발생할 비선형 최대변위를 찾음 (세부 계산방법이 다양)  
계산된 최대 변위에서의 부재성능과 층간변형각을 평가



# 푸시오버 해석 (Pushover Analysis)

## 역량스펙트럼법 (Capacity Spectrum Method- ATC40)



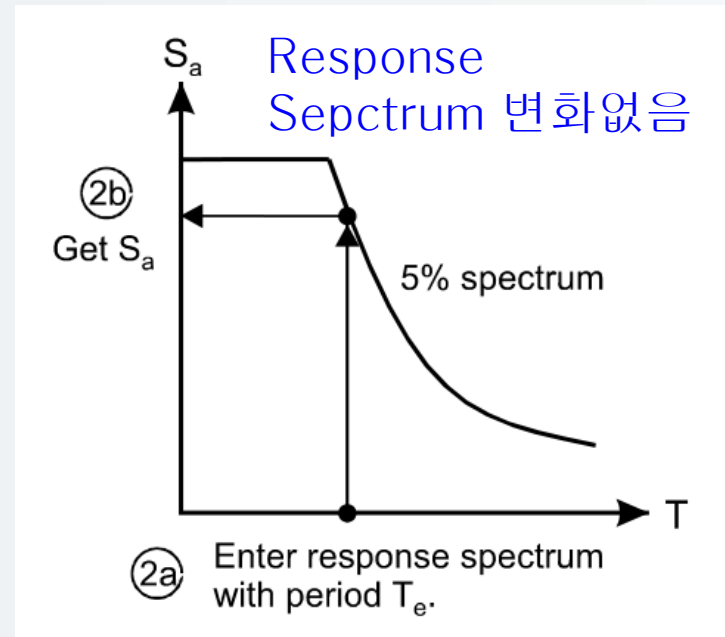
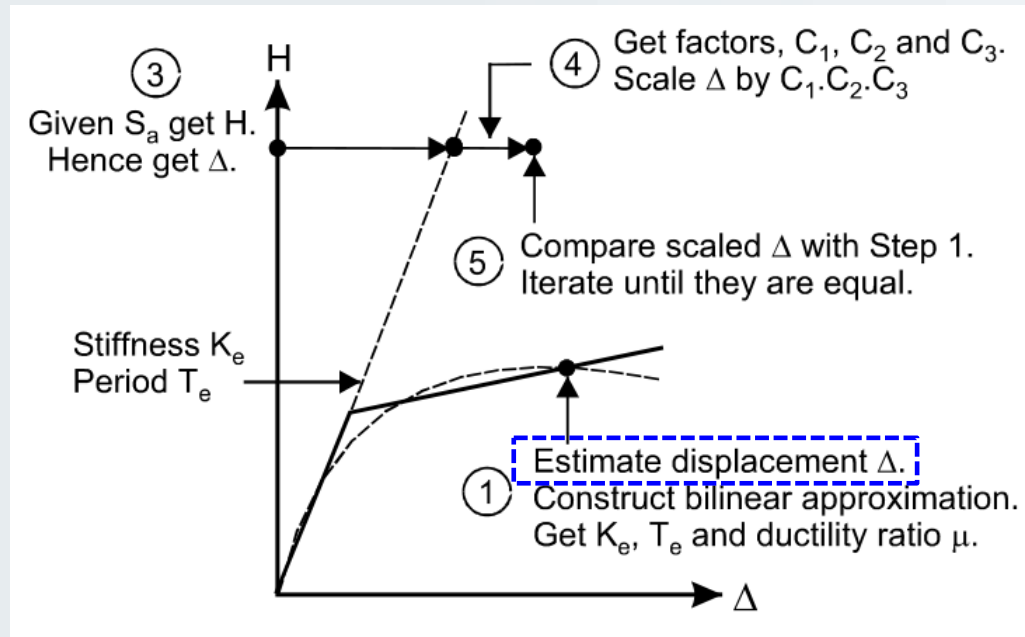
\* 유효감쇠율과 유효주기 개념을 활용해 trial & error 로 최대 변위 찾음

# 푸시오버 해석 (Pushover Analysis)

변위계수법 (Coefficient Method – FEMA 356)

(Displacement Modification Method – FEMA 440)

\* Target Displacement Method



\* 계수를 통한 변위 수정의 개념을 활용해 trial & error 로 최대변위 찾음

# 푸시오버 해석 (Pushover Analysis)

변위계수법 (Coefficient Method – FEMA 356)

(Displacement Modification Method – FEMA 440)

\* Target Displacement Method

$$\delta = C_0 C_1 C_2 C_3 S_\delta$$

$\delta$  calculated target displacement (drift)

$S_\delta$  spectral displacement (drift) demand for the elastic structure

$C_0$  factor to convert SDOF system drift to roof drift of MDOF system

$C_1$  factor to convert elastic drift to inelastic drift

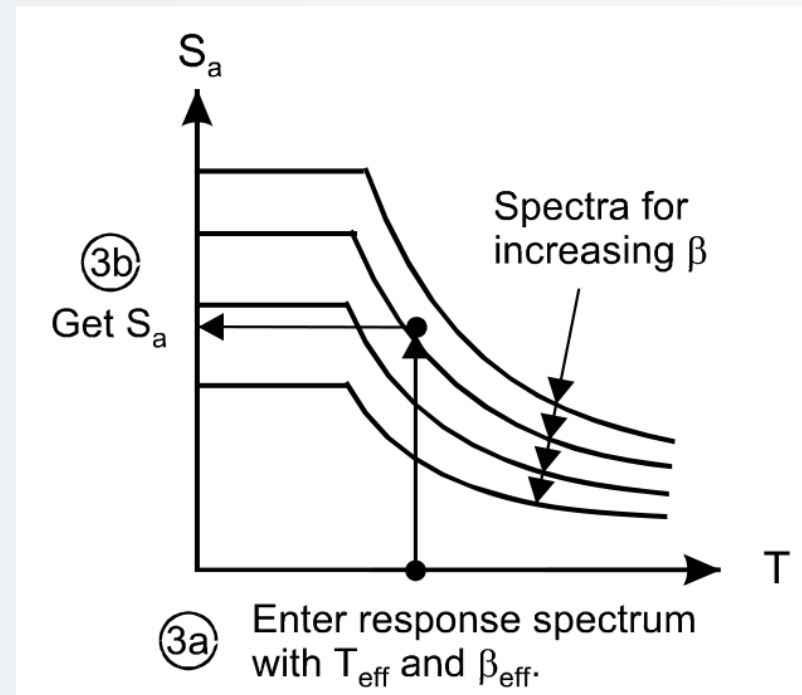
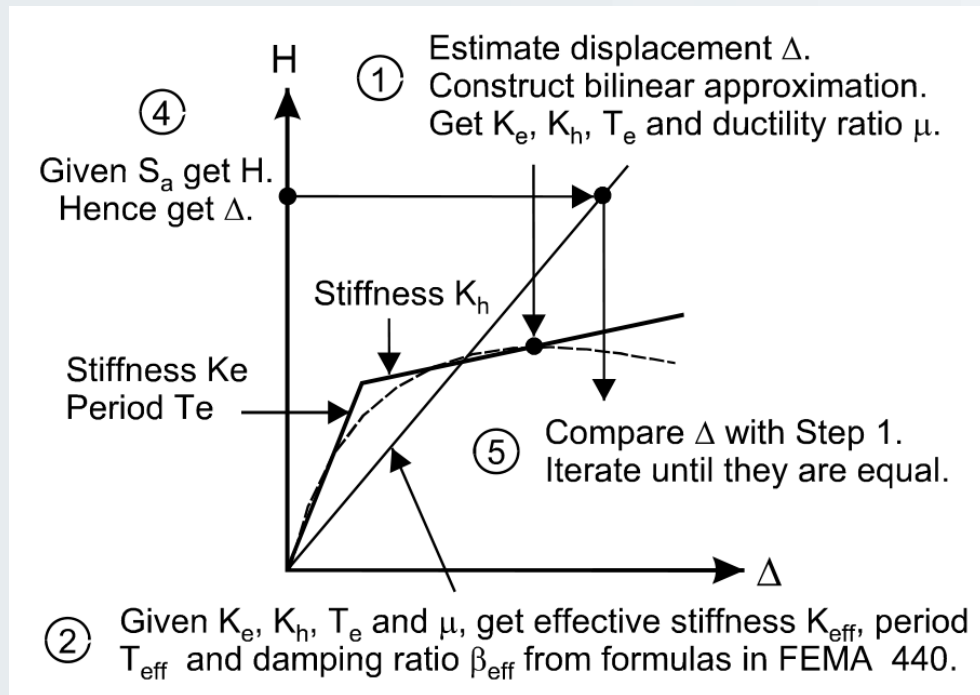
$C_2$  factor to account for stiffness degradation and strength deterioration

$C_3$  factor to account for  $P-\Delta$  effects

# 푸시오버 해석 (Pushover Analysis)

## 등가선형법 (Equivalent Linearization Method – FEMA 440)

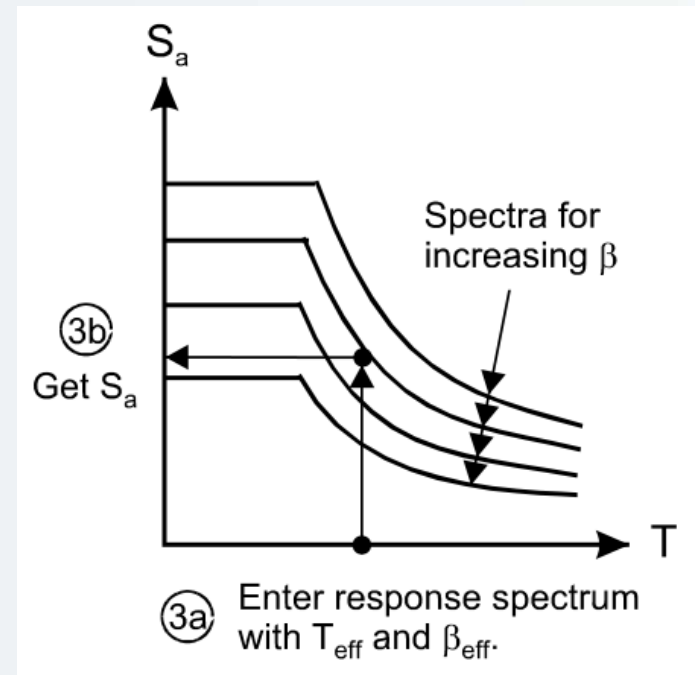
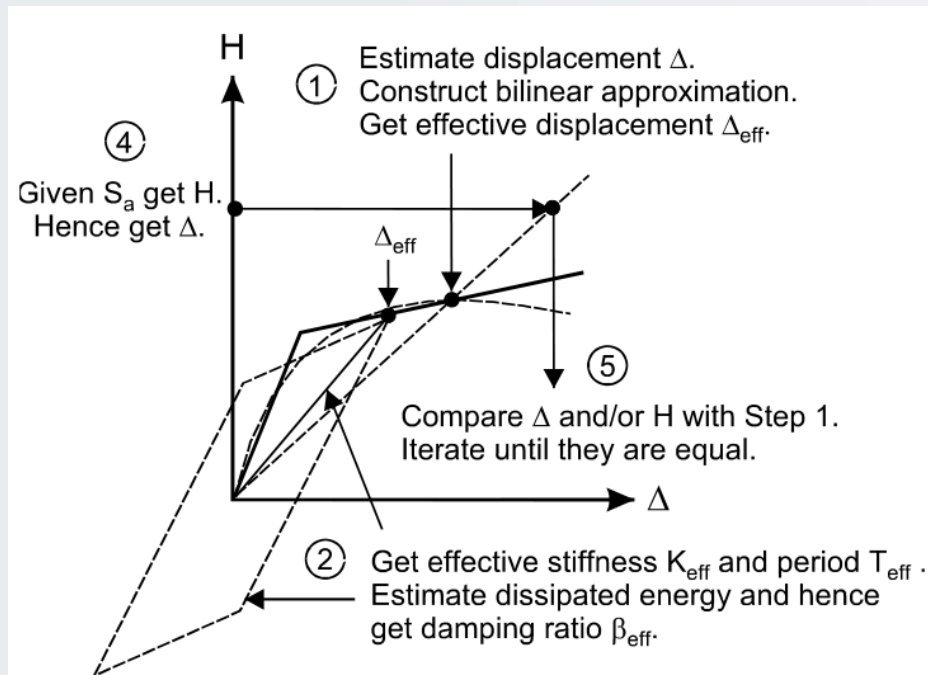
→ 역량스펙트럼법 (Capacity Spectrum Method- ATC40) 을 개선한 방식



# 푸시오버 해석 (Pushover Analysis)

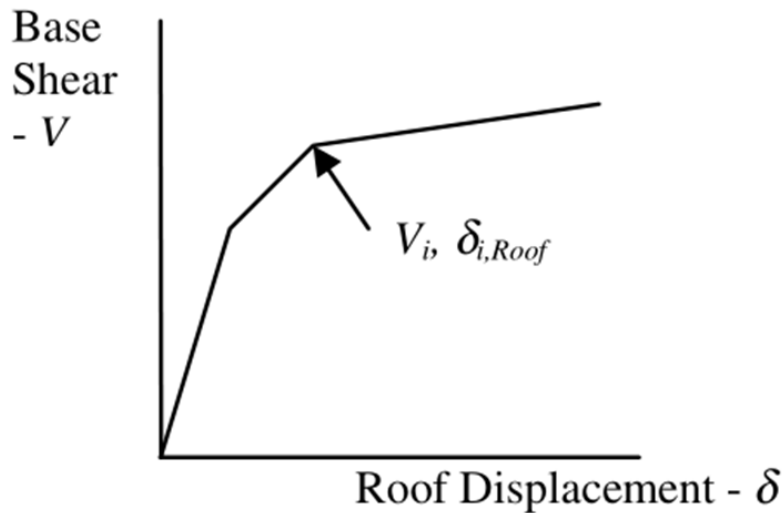
## Modified Capacity Spectrum Method – Perform3D (Powell)

→ 역량스펙트럼법 (Capacity Spectrum Method- ATC40) 을 개선한 방식

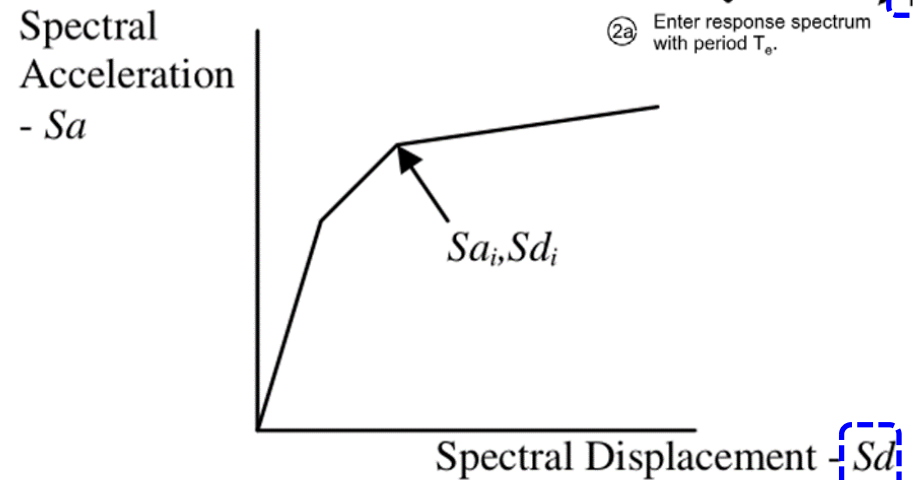


# ADRS (Acceleration-Displacement Response Spectrum)

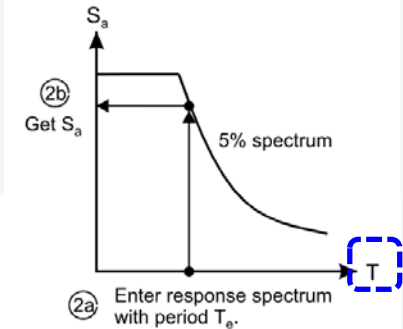
변위-밀면전단력 그래프 vs ADRS 그래프



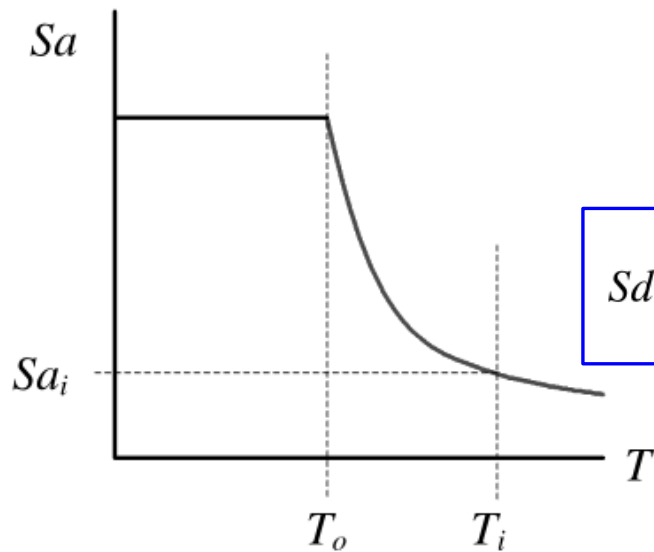
Capacity Curve



Capacity Spectrum

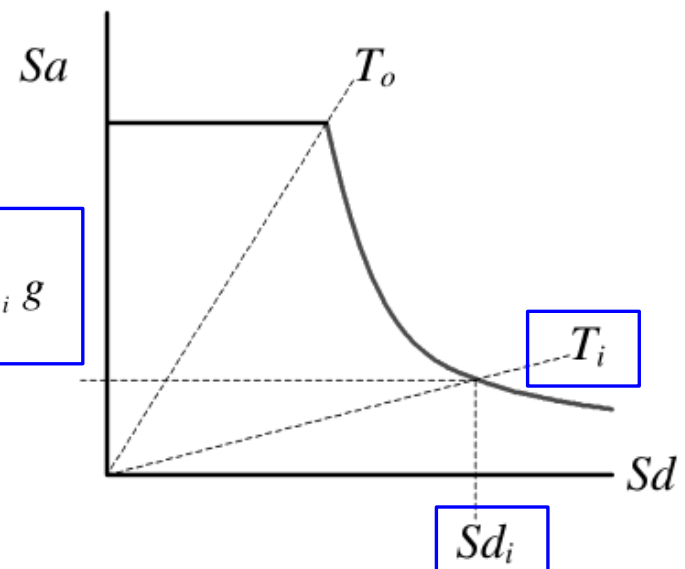


# ADRS (Acceleration-Displacement Response Spectrum)



Standard Format ( $Sa$  vs  $T$ )

$$Sd_i = \frac{T_i^2}{4\pi^2} Sa_i g$$



ADRS Format ( $Sa$  vs  $Sd$ )

$$Sd_i = \frac{T_i}{2\pi} Sv$$

$$Sa_i g = \frac{2\pi}{T_i} Sv$$

$$Sd_i = \frac{\delta_i}{(PF_1 \times \phi_{1,roof})}$$

$$Sa_i = \frac{V_i / W}{\alpha_1}$$

# ADRS (Acceleration-Displacement Response Spectrum)

## 1차 모드 (최대 질량 참여 모드) 참여계수

### 1차모드 유효질량 계수

$$PF_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1}) / g \right]}{\left[ \sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]}$$

모드참여계수 (변위 관련)

Modal Participation Factor

$$\alpha_1 = \frac{\left[ \sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1}) / g \right]^2}{\left[ \sum_{i=1}^n w_i / g \right] \left[ \sum_{i=1}^n (w_i \phi_{i1}^2) / g \right]}$$

질량참여계수

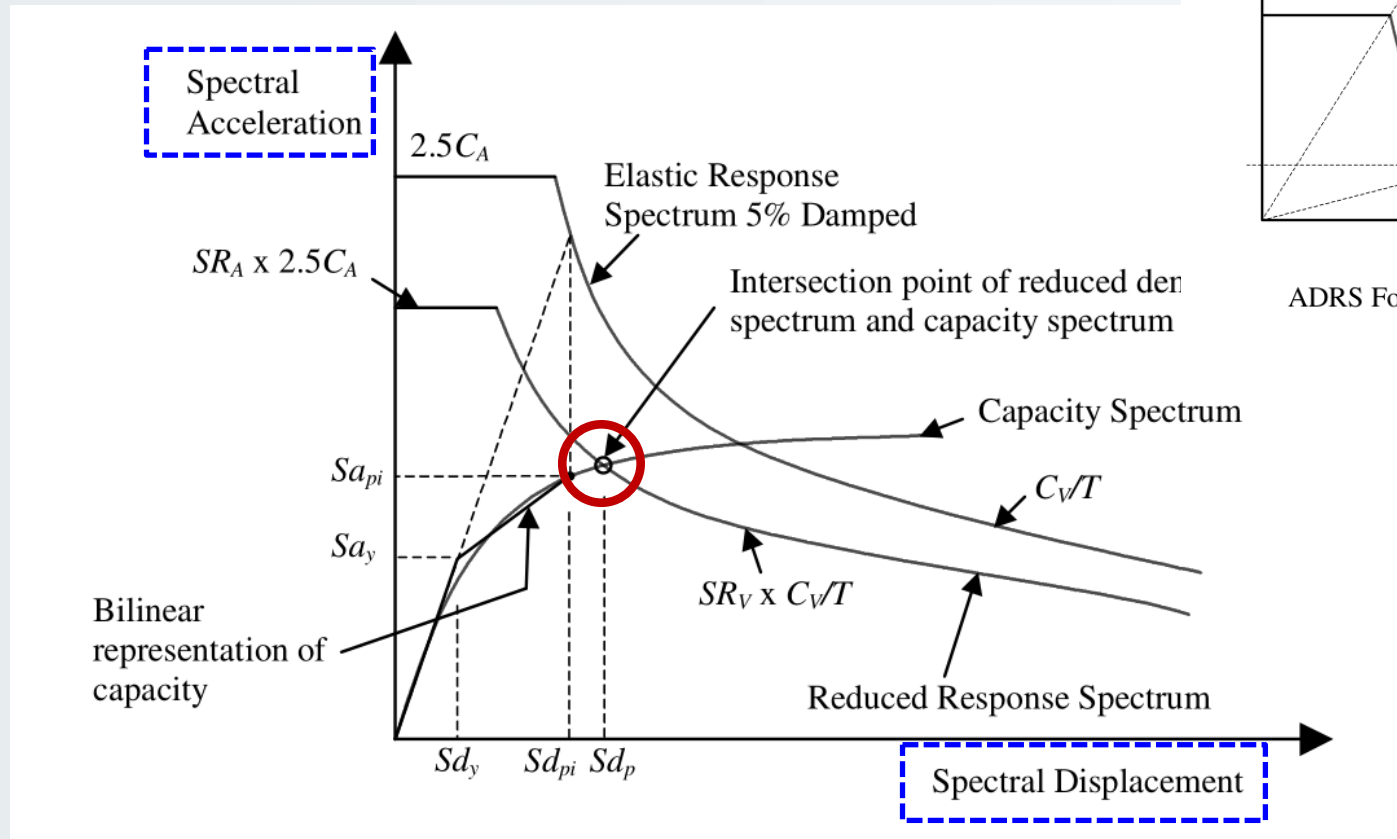
Mass Participation Factor,

Modal Mass Coefficient



# ADRS (Acceleration-Displacement Response Spectrum)

## 역량스펙트럼법 (Capacity Spectrum Method – ATC40)



# 내진성능평가 -1단계 상세평가 (적용 시연)



# 1단계 상세평가

Performance Result - Column																
Elm Nos.		86			Moment (변형지배)						Shear (하중지배)			Axial (하중지배)		
IO	54	ea			IO	60	ea				IO	62	ea	IO	86	ea
LS	6	ea			LS	0	ea				LS	24	ea	LS	0	ea
CP	23	ea			CP	23	ea				CP	0	ea	CP	0	ea
C	3	ea			C	3	ea				C	0	ea	C	0	ea
total	86	ea			total	86	ea				total	86	ea	total	86	ea
판정 기준																
		Gravity 부재별			판정 기준						IO LS CP			IO LS CP		
Story	Elm. No.	Force	성능수준	휨vs전단	성능수준	M_ratio	IO	LS	CP		성능수준	Ratio		성능수준	Ratio	
1F	483	286.3	CP	휨지배	3	CP	2.42	2.00	2.00	2.72	2	LS	0.52	1	IO	0.08
1F	484	323.6	CP	휨지배	3	CP	2.70	2.00	2.00	2.73	2	LS	0.58	1	IO	-0.05
1F	485	358.1	CP	휨지배	3	CP	2.35	2.00	2.00	2.74	2	LS	0.54	1	IO	0.05
1F	486	166.7	CP	휨지배	3	CP	2.59	2.00	2.00	2.68	2	LS	0.59	1	IO	0.00
1F	487	489.9	C	휨지배	4	C	2.72	2.00	2.00	2.64	2	LS	0.63	1	IO	0.03
1F	488	267.2	CP	휨지배	3	CP	2.24	2.00	2.00	2.85	1	IO	0.49	1	IO	0.03
1F	489	360.4	IO	휨지배	1	IO	1.98	2.00	2.00	2.87	1	IO	0.43	1	IO	0.10
1F	490	650.4	CP	휨지배	3	CP	2.09	2.00	2.00	2.73	1	IO	0.46	1	IO	0.13
1F	491	505.5	C	휨지배	4	C	2.73	2.00	2.00	2.52	2	LS	0.60	1	IO	0.09

# 내진성능평가 -2단계 상세평가 (적용 시연)



## 2단계 상세평가

Hinge Property Summary																						
Midas Input M							Midas Input P & V								시설안전공단							
	0.2																					
C	D	E	IO	LS	CP	Pn kN	Vn kN	휨 vs 전단	6EI <sub>e</sub> /L kN-mm/rad	My kN-mm	θ <sub>y</sub> rad	a rad	b rad	c	IO rad	LS rad	CP rad					
2.71	3.22	5.27	2.42	2.42	2.71	4516.8	289.2	휨지배	97,375,704	341,894	0.0035111	0.006	0.015	0.20	0.0050	0.005	0.006					
11.54	14.71	27.36	9.79	9.79	11.54	1238.7	289.2	휨지배	97,375,704	55,417	0.0005691	0.006	0.015	0.20	0.0050	0.005	0.006					
2.33	2.74	4.39	2.09	2.09	2.33	4516.8	342.8	휨지배	97,375,704	413,329	0.0042447	0.006	0.014	0.20	0.0046	0.005	0.006					
54.73	71.42	138.15	45.21	45.21	54.73	1238.7	342.8	휨지배	97,375,704	10,228	0.0001050	0.006	0.014	0.20	0.0046	0.005	0.006					
2.66	3.16	5.16	2.39	2.39	2.66	4516.8	293.0	휨지배	97,375,704	351,263	0.0036073	0.006	0.015	0.20	0.0050	0.005	0.006					
12.22	15.59	29.05	10.35	10.35	12.22	1238.7	293.0	휨지배	97,375,704	52,066	0.0005347	0.006	0.015	0.20	0.0050	0.005	0.006					
2.81	3.35	5.52	2.51	2.51	2.81	4516.8	272.2	휨지배	97,375,704	323,308	0.0033202	0.006	0.015	0.20	0.0050	0.005	0.006					
52.98	68.57	130.94	44.31	44.31	52.98	1238.7	272.2	휨지배	97,375,704	11,241	0.0001154	0.006	0.015	0.20	0.0050	0.005	0.006					
2.74	3.26	5.34	2.45	2.45	2.74	4516.8	285.6	휨지배	97,375,704	336,722	0.0034580	0.006	0.015	0.20	0.0050	0.005	0.006					
9.05	11.46	21.12	7.71	7.71	9.05	1238.7	285.6	휨지배	97,375,704	72,587	0.0007454	0.006	0.015	0.20	0.0050	0.005	0.006					
2.79	3.33	5.48	2.49	2.49	2.79	4516.8	277.6	휨지배	97,375,704	325,937	0.0033472	0.006	0.015	0.20	0.0050	0.005	0.006					
14.53	18.58	34.82	12.27	12.27	14.53	1238.7	277.6	휨지배	97,375,704	43,194	0.0004436	0.006	0.015	0.20	0.0050	0.005	0.006					
2.70	3.21	5.26	2.42	2.42	2.70	4516.8	290.1	휨지배	97,375,704	343,179	0.0035243	0.006	0.015	0.20	0.0050	0.005	0.006					
7.25	9.13	16.63	6.21	6.21	7.25	1238.7	290.1	휨지배	97,375,704	93,471	0.0009599	0.006	0.015	0.20	0.0050	0.005	0.006					
2.35	2.77	4.44	2.11	2.11	2.35	4516.8	341.5	휨지배	97,375,704	408,986	0.0042001	0.006	0.014	0.20	0.0047	0.005	0.006					
12.88	16.56	31.28	10.79	10.79	12.88	1238.7	341.5	휨지배	97,375,704	46,480	0.0004773	0.006	0.014	0.20	0.0047	0.005	0.006					
2.51	2.96	4.77	2.26	2.26	2.51	4516.8	325.8	휨지배	97,375,704	387,295	0.0039773	0.006	0.015	0.20	0.0050	0.005	0.006					
9.78	12.41	22.94	8.31	8.31	9.78	1238.7	325.8	휨지배	97,375,704	66,527	0.0006832	0.006	0.015	0.20	0.0050	0.005	0.006					

# 참고문헌

- 기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령, 2013, 시설안전공단
- 건축구조기준 및 해설, 2016, 대한건축학회
- FEMA 356, 2000, FEMA
- ASCE41-13, 2014, ASCE
- Dynamics of Structures, 2001, Chopra
- Perform3D User Guide, 2011, 2016, CSI
- TBI Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings, 2017, PEER
- An Alternative Procedure for Seismic Analysis and Design of Tall Buildings Located in the Los Angeles Region, 2017, LATBSDC
- The Seismic Design Handbook Chap. 15, 2001, Naeim