

성능기반 내진설계 - 강구조시스템

김성용, 창원대학교 건축공학과

2021.8.30

서울대학교 글로벌공학교육센터 컨벤션 대강당 520호

목차

성능기반 내진설계 소개

강구조 성능기반 내진설계 관련 국내외 문건 비교

- 강구조 건축물 내진성능 평가 관련 국내 문건
- 내진성능 평가 및 성능기반 내진설계 관련 해외 문건

강구조 건축물의 내진설계 전략?

강구조 건축물의 내진설계?

2) Subjected to:
주어진 지진위험도

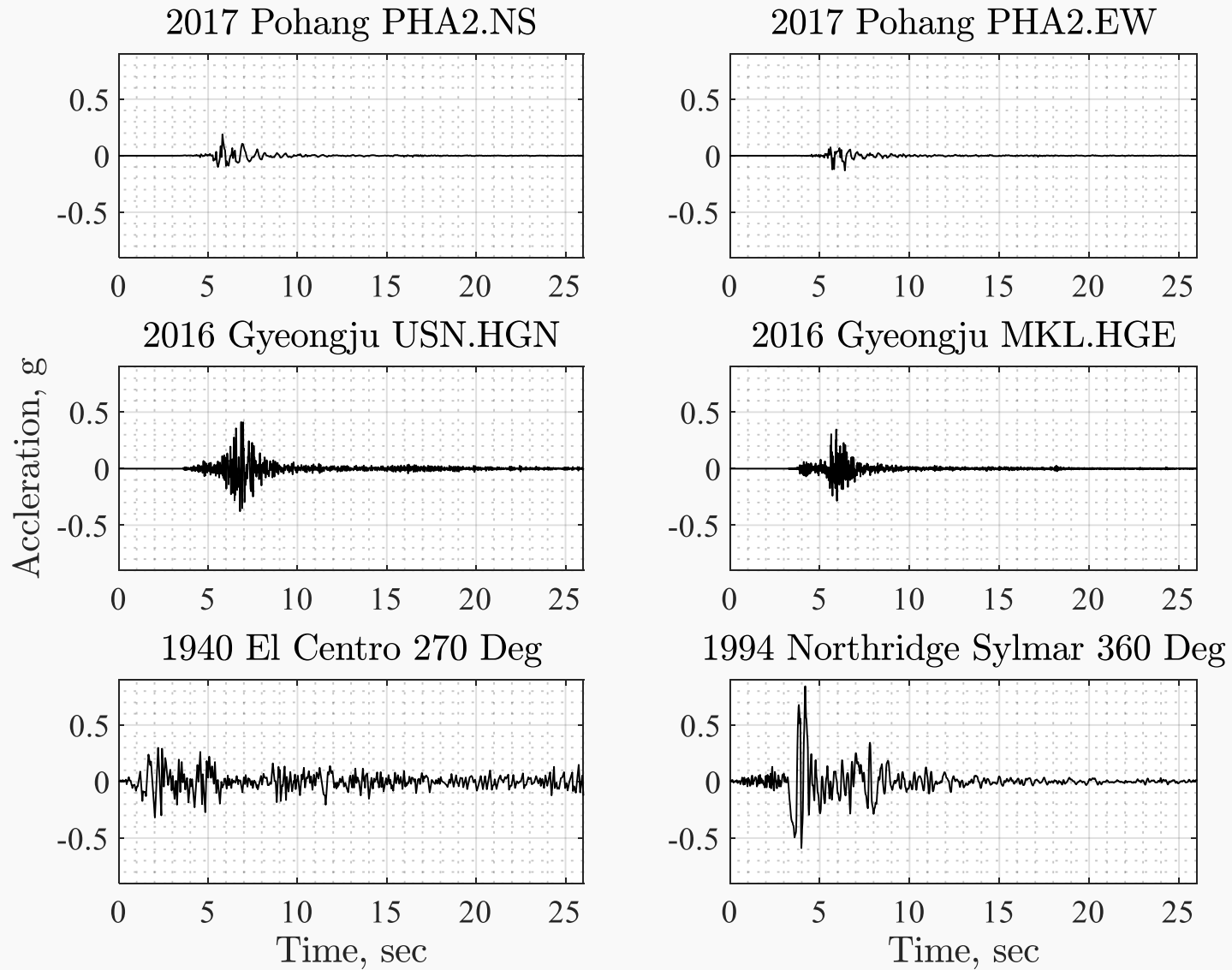
1) Determine:
구조부재의 형상, 크기

1) Determine:
접합부 상세

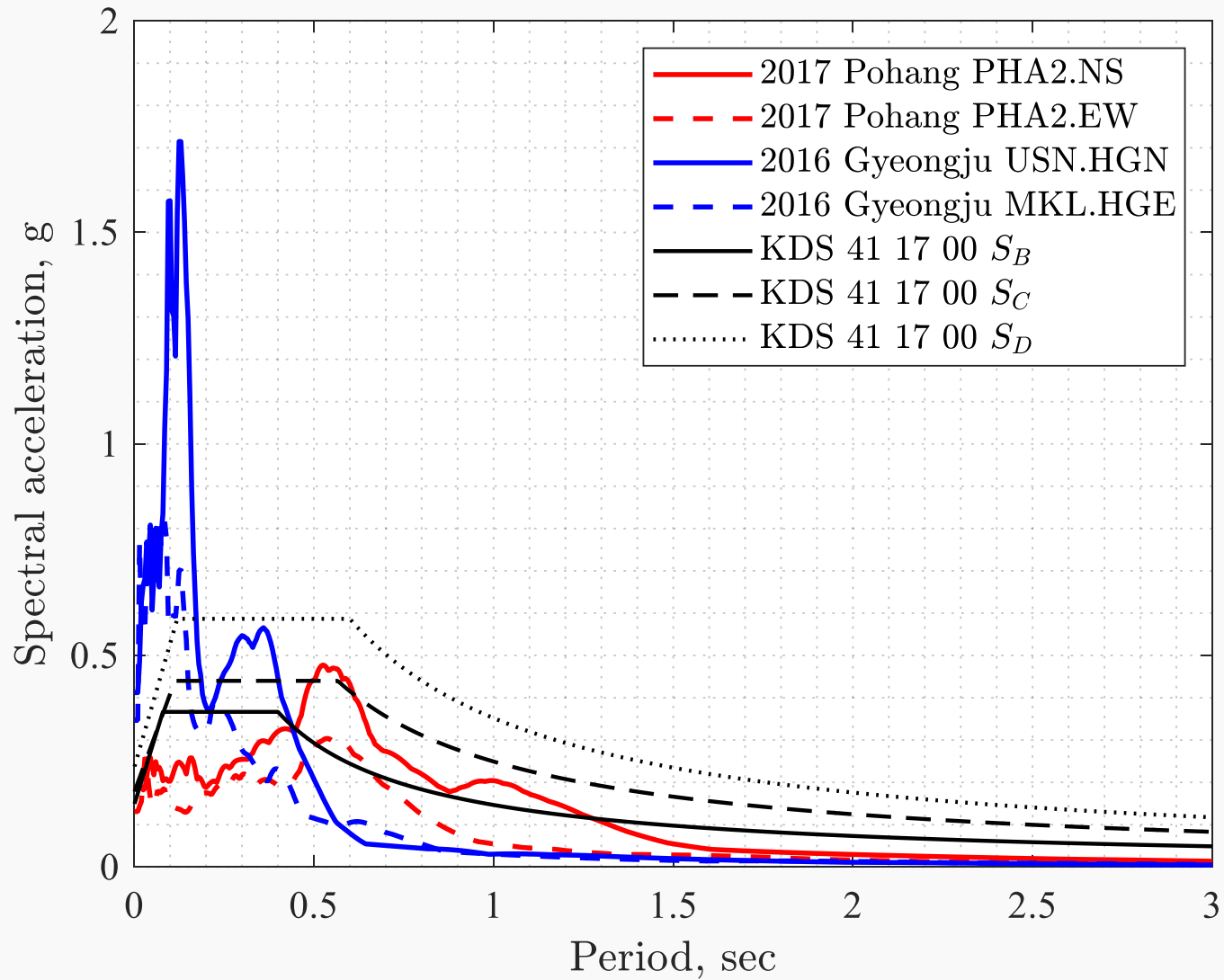
3) Such that:
구조적 성능조건



2016경주지진 및 2017포항지진 당시 계측 가속도



2016경주지진 및 2017포항지진 당시 계측 가속도



강구조 건축물의 내진설계?

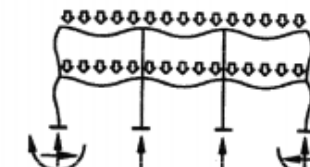
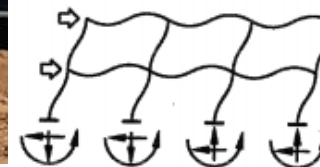
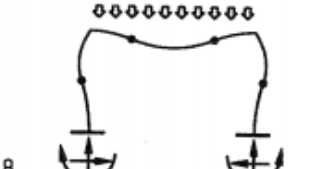
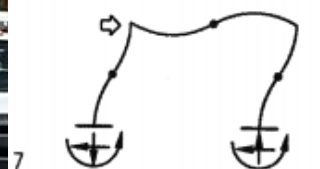
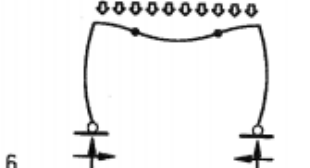
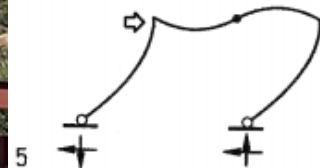
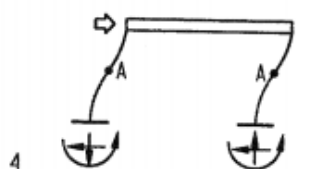
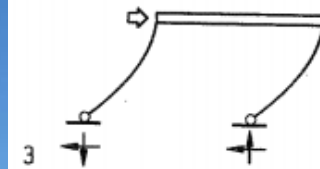
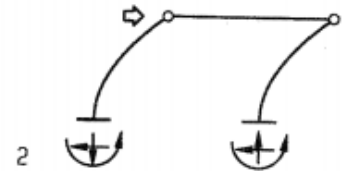
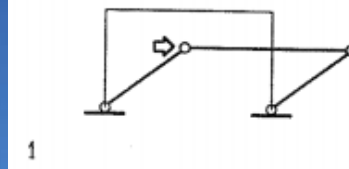
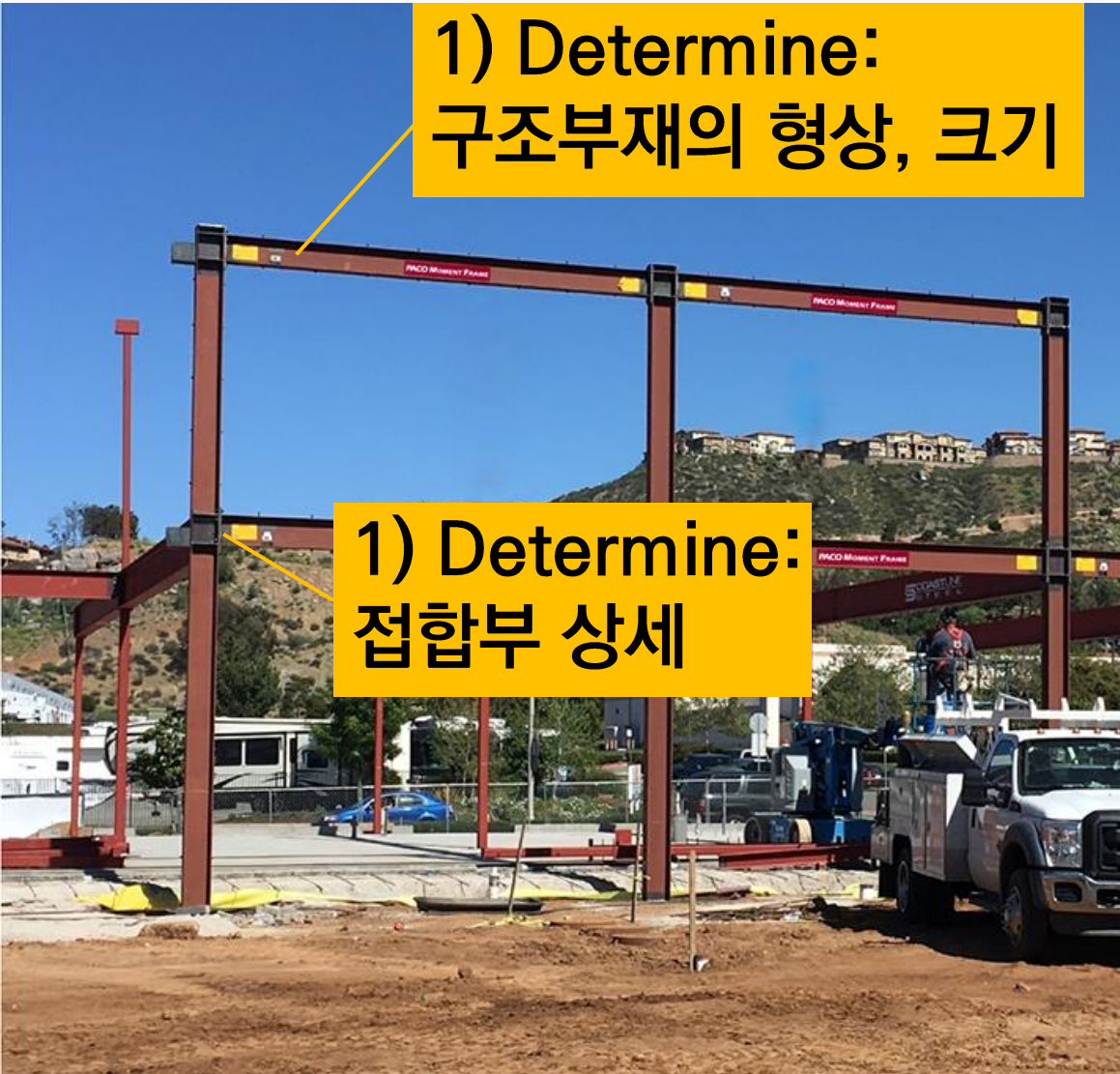


Q: 어떠한 방식의
구법을 활용할 것인가?

힘 저항형 수직구조시스템 모멘트 골조

1) Determine:
구조부재의 형상, 크기

1) Determine:
접합부 상세



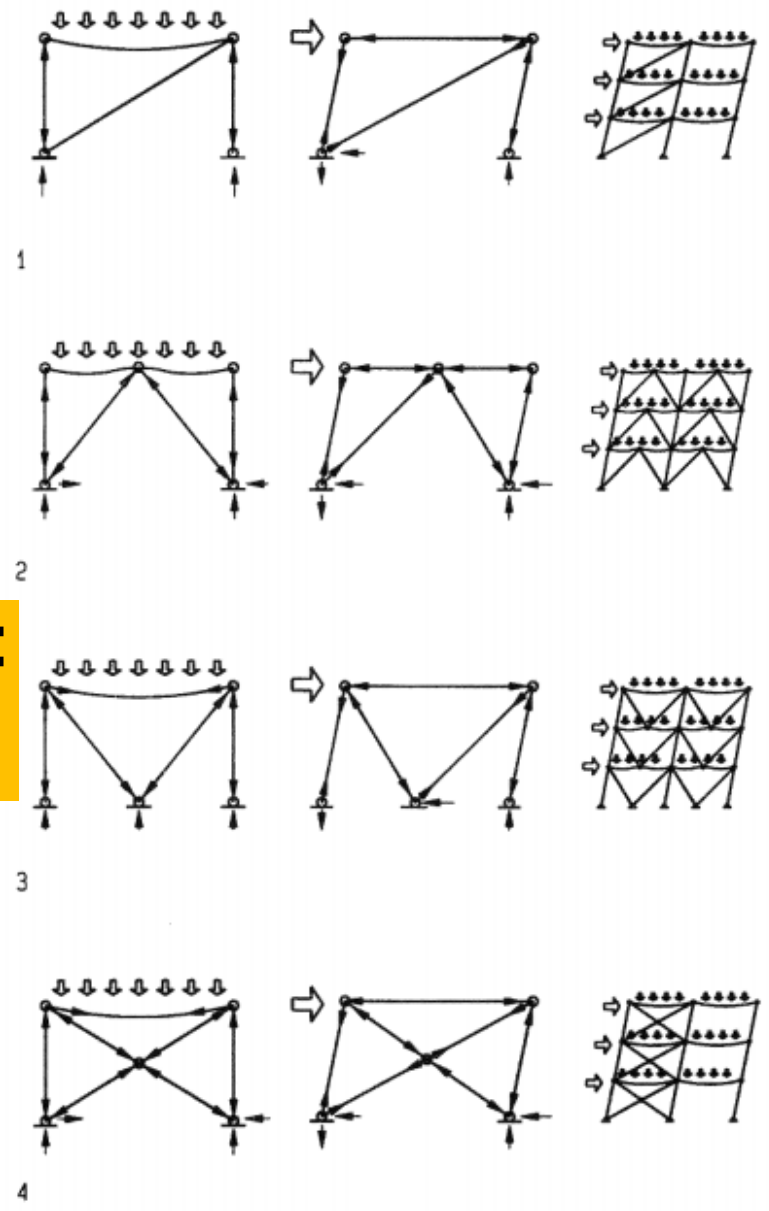
9

10

가새 골조 시스템

1) Determine:
구조부재의 형상, 크기

1) Determine:
접합부 상세

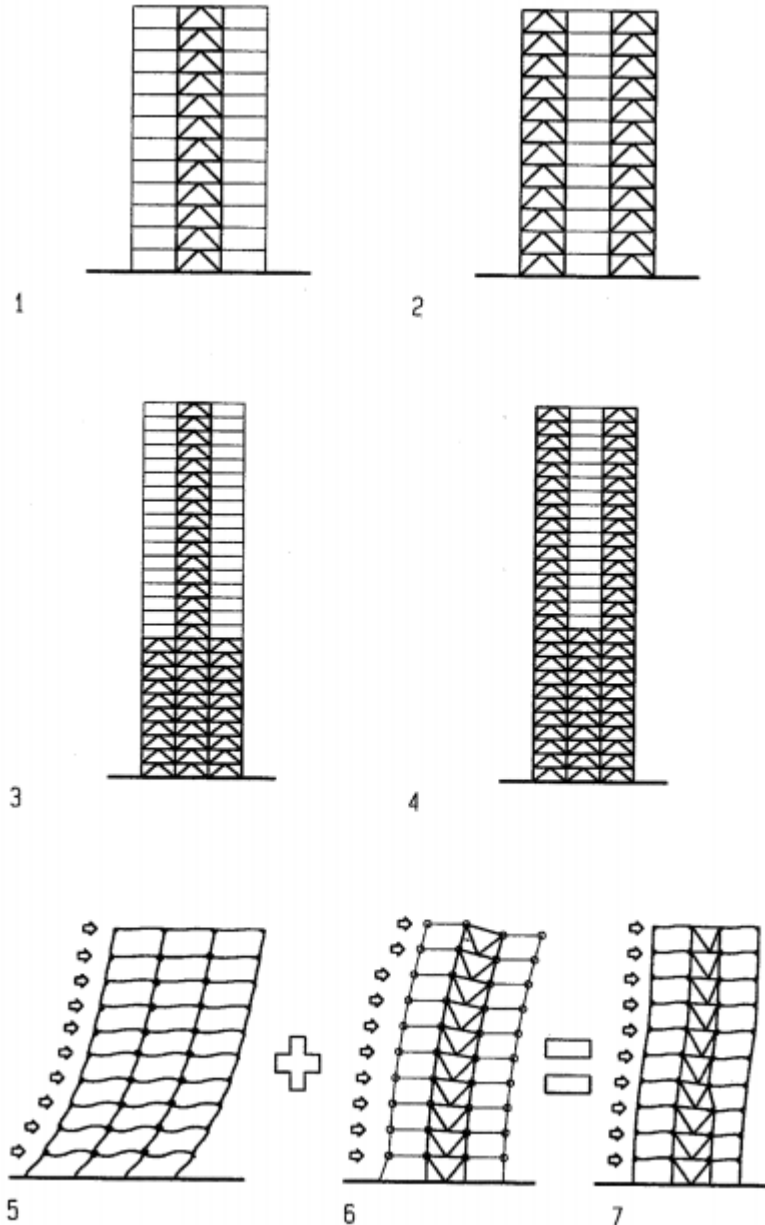


가새의 방식

적용 가능한 많은 가새의 방식이 있지만 가장 좋은 계획은 건축과 구조적인 고려 사항에 따라 결정된다. 가새는 건물의 코어같이 평면 변화가 필요 없는 곳에서는 벽 안에 감춰질 수도 있으며 또 외부면에 노출될 수도 있다. 노출되는 가새는 건축의 긍정적 요소로 작용할 수 있다. 노출 가새의 디자인은 건축가와 구조 엔지니어 사이에 긴밀한 협력이 필요하다. 구조적인 중요성이 미적인 고려 사항보다 우선하는 것은 강도나 강성, 안전성이 결정적으로 중요하기 때문이다.

같은 크기의 하중과 부재 크기를 가진 모멘트 저항 골조와 비교했을 때 가새 골조의 횡방향 변형은 핀 조인트라고 가정하면, 40% 정도밖에 안 된다. 강철점으로 된 가새 골조는 추가적인 안전율을 제공한다. 가새의 큰 강성은 풍하중에 대해서는 유용하지만 이러한 강한 강성으로 인해 지진력은 증가한다. 가새 골조에서는 층간 변위가 상부에서 가장 크지만, 모멘트 골조에서는 하부에서 가장 크다. 가새 골조와 모멘트 골조를 결합한 이중 골조(dual frame)는 이러한 두 시스템의 장점을 취해 층간 변위를 감소시키는 것이다.

1. 중앙부 베이 가새는 코어벽(core wall)에 감춰지거나 노출된다
2. 외단부 베이 가새는 더 큰 강도와 강성을 제공한다.
3. 저층부의 큰 강도를 얻기 위한 외단부와 중앙부 가새
4. 저층부의 큰 강도를 얻기 위한 중앙부와 외단부 가새
5. 모멘트 골조의 횡변형 모드
6. 가새 골조의 횡변형 모드
7. 모멘트 골조와 가새 골조를 결합한 이중 골조의 횡변형 감소



듀얼 시스템 모멘트저항골조+좌굴방지가새시스템

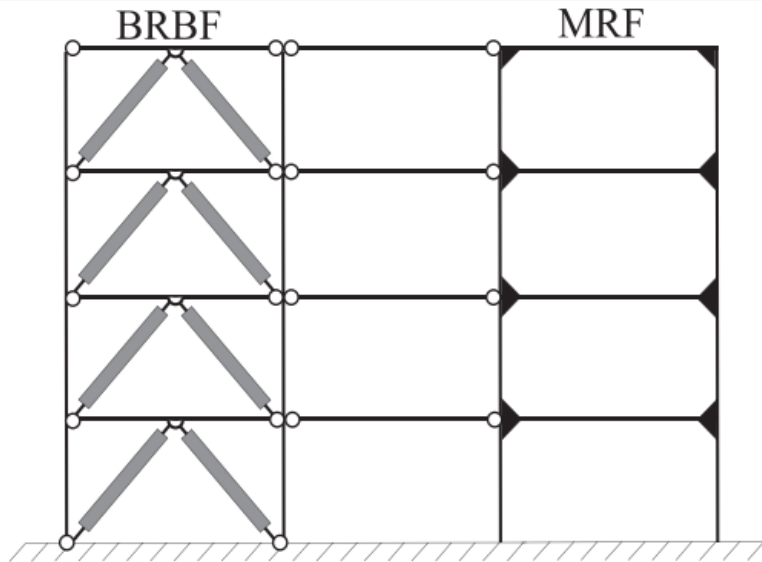
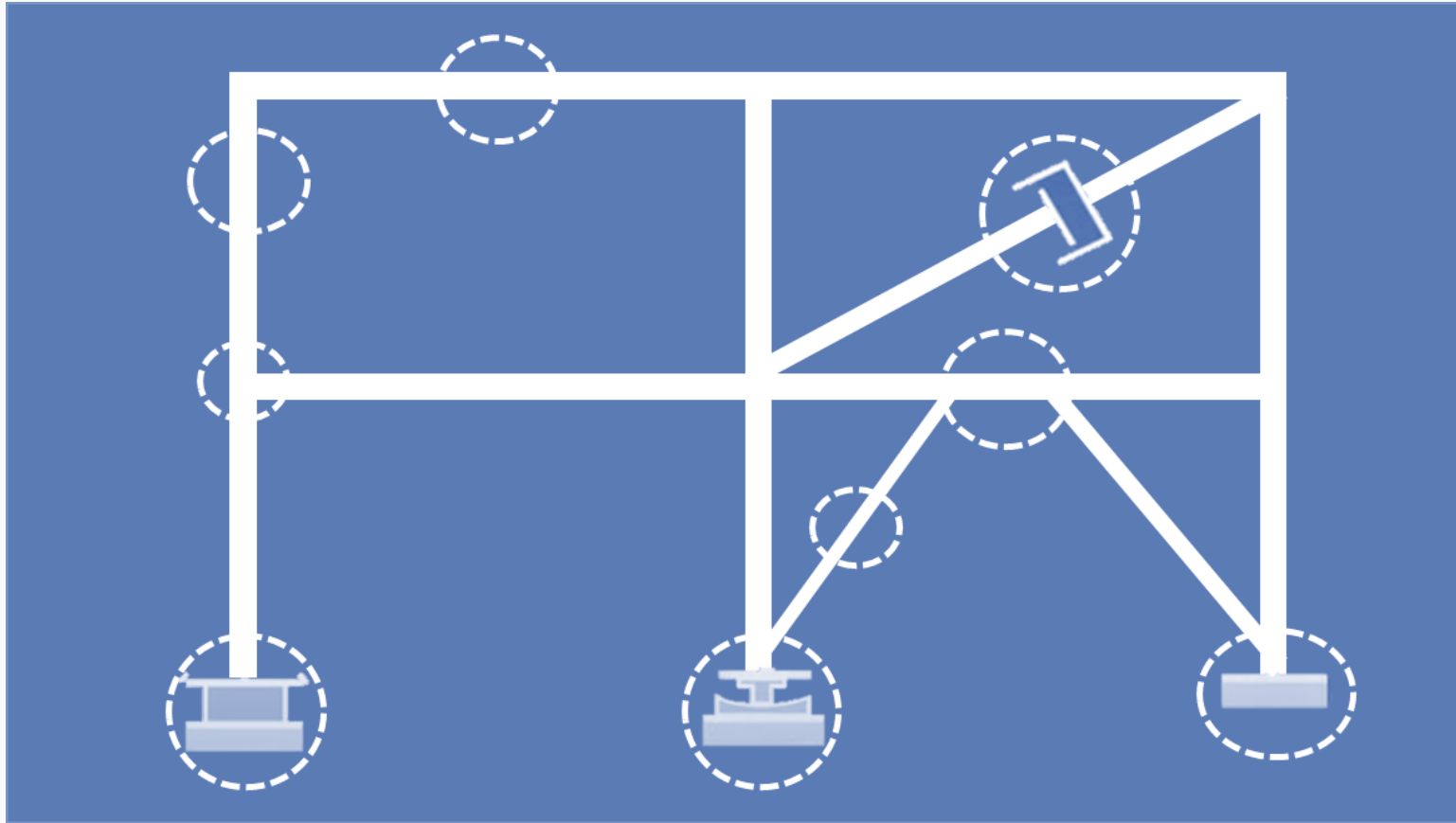


FIGURE 1 Dual system combining a buckling-restrained braced frame (BRBF) and a moment-resisting frame (MRF)

Freddi, F., Tubaldi, E., Zona, A., & Dall'Asta, A. (2020). Seismic performance of dual systems coupling moment-resisting and buckling-restrained braced frames. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*.

강구조 성능기반 내진설계 모델링 일반



강구조 건축물의 성능기반 내진설계 모델링을 위해서는

- **지진력저항시스템별 모델링 방법이 아닌, 일반적 강구조 건축물을 구성하는 부재종(기둥, 보, 접합부, 가새, 링크보, 강판전단벽, 끼움강판벽, 다이아프램, 강관파일 등)의 분류가 필요함**
- 지진력저항시스템을 구성하는 부재들을 결정한 후, 부재별로 제시된 모델링 방법을 적용함으로써, **두 개 이상의 지진력저항시스템을 가진 경우에도 각각의 지진력저항시스템을 구성하는 부재들을 조합하여 모델링할 수 있음**

성능기반 내진설계 소개

성능기반 내진설계 정의

선형해석 vs 비선형해석

성능기반 내진설계 흐름도

성능기반 내진설계 기원

One of the first implementations of performance-based building design requirements was in **Hammurabi's Code (c. 1795 to 1750 BC)**, where is stated that **“a house should not collapse and kill anybody”**. This concept is also described in Vitruvius’s “De architectura libri decem” (“The Ten Books of Architecture”) in first century BC. In modern times, **the first definition of performance-based building design was introduced in 1965 in France** by Blachère with the Agrément system.

Despite this, the building process remained relatively conventional for the next 50 years, based solely on experience and codes, regulations prescribed by law which stifled innovations and change. **The prescription approach is a technical procedure based on past experience which consists of comparing the proposed design with standardized codes, so no simulation or verification tools are needed for the design and building process.**

사양적 방식을 통한 설계는 새로 제안하는 설계를 표준화된 코드와 비교하는 것으로 구성된 기술 절차로 여겨졌으며, 설계 및 구축 프로세스에 시뮬레이션이나 검증 도구가 필요하지 않았다.

15. 성능기반설계

15.1 적용범위

- 성능기반설계법은
- 비선형해석법을 사용하여
 - 구조물의 초과강도와 비탄성변형능력을 보다 정밀하게 구조모델링에 고려
 - 구조물이 주어진 목표성능수준을 정확하게 달성하도록 설계하는 기법
 - 표 6.2-1(지진력저항시스템에 대한 설계계수: 구조종별 초과강도와 비탄성변형능력)에 규정된 시스템 계수를 적용하기 어려운 구조물과,
 - 다양한 성능수준을 만족하고자 하는 구조물의 내진설계에 적용할 수 있다.

표 6.2-1 지진력저항시스템에 대한 설계계수

기본 지진력저항시스템	설치계수		
	반응수정계수 R	시스템 초과강도계수 Ω	변위증폭계수 C_d
2. 건물골조시스템			
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
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

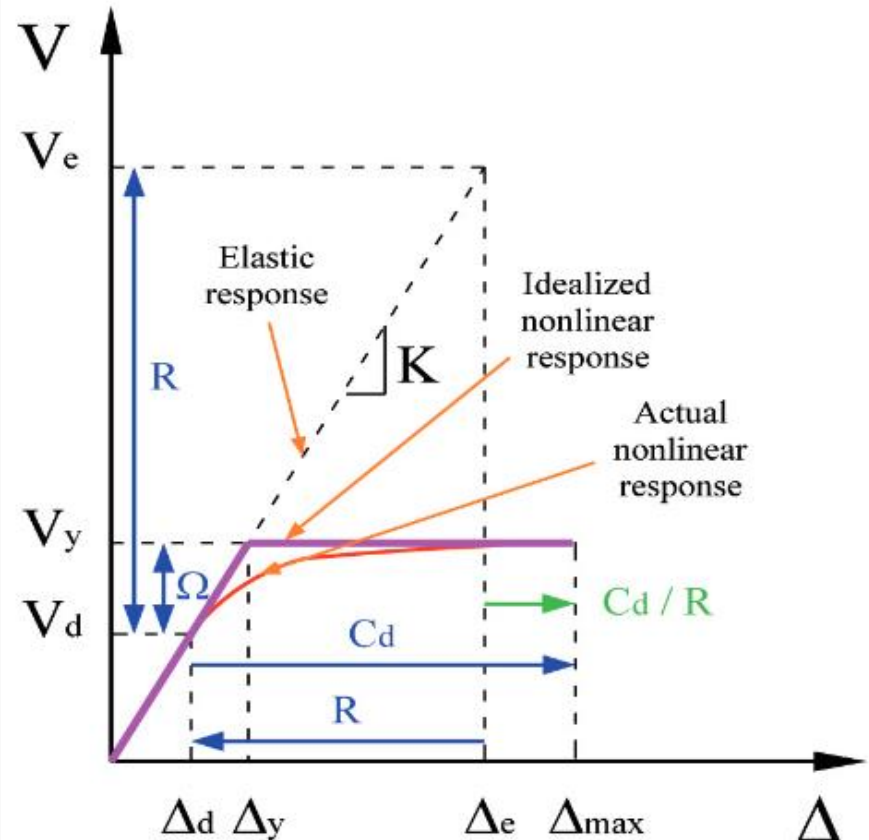


Figure 2. General structural response

예시: 중간모멘트골조 KDS 41 31 00:2019 건축물 강구조 설계기준

4.10.10 중간모멘트골조

4.10.10.1 적용범위

중간모멘트골조는 설계용지진동에 의한 외력을 받을 때 제한된 크기의 비탄성변형을 수용할 수 있는 골조를 지칭하며 **이 조항의 규정을 만족하도록 설계한다(주: 지칭 조건에 대한 요구사항).**

4.10.10.2 보 - 기둥접합부

(1) 요구사항

지진하중저항시스템에 속한 보-기둥접합부는 다음의 조건을 제외하고는 4.10.9.2(1)의 요구조건을 만족해야 한다.

- ① **접합부는 최소 0.02 rad의 총간변위각을 발휘**할 수 있어야 한다.
- ② **접합부의 소요전단강도는 4.10.9.2(1)에 따라 산정하되, 해석에 의하여 입증된 경우에는 또는 보다 작은 값을 적용**할 수 있다. 소요전단강도는 증폭지진하중을 사용한 1.5.1의 적절한 하중조합을 이용하여 산정된 전단력을 초과할 필요는 없다.
- ③ **기둥외주면의 접합부의 휨강도는 0.02 rad의 총간변위각에서 적어도 보의 공칭소성모멘트의 80% 이상이 되어야 한다.**

표 6.2-1 지진력저항시스템에 대한 설계계수

기본 지진력저항시스템	설치계수		
	반응수정계수 R	시스템 초과강도계수 Ω	변위증폭계수 C_d
2. 건물골조시스템			
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
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

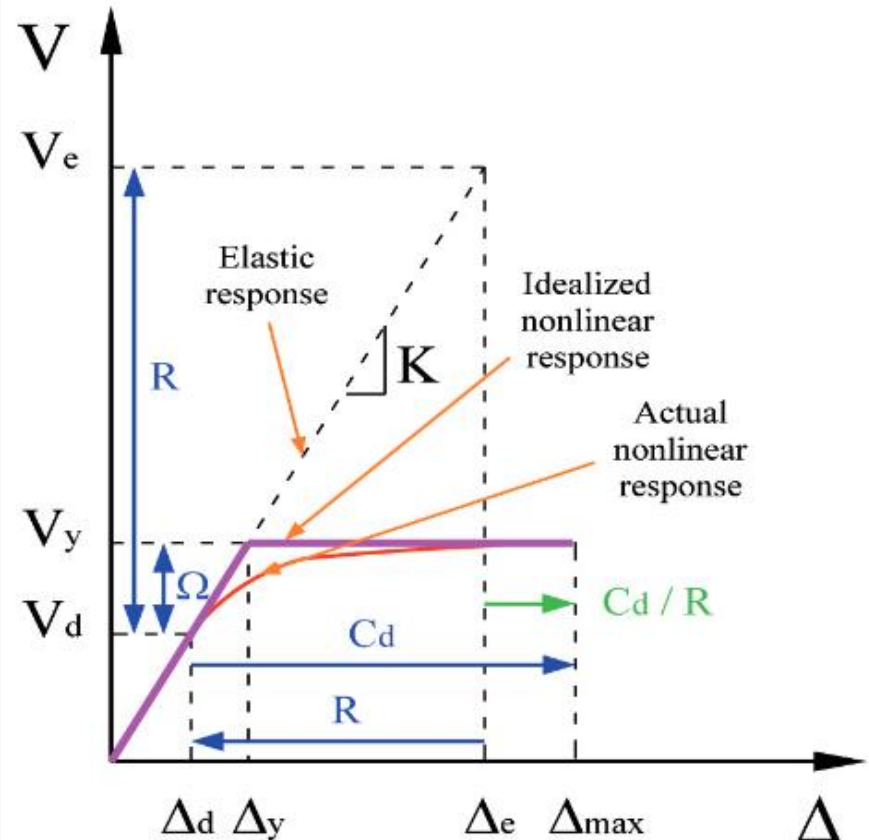


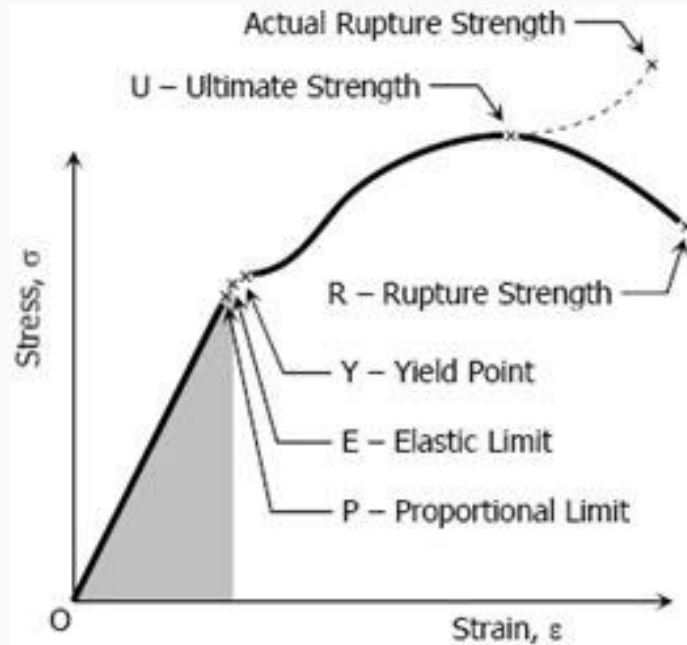
Figure 2. General structural response

15. 성능기반설계

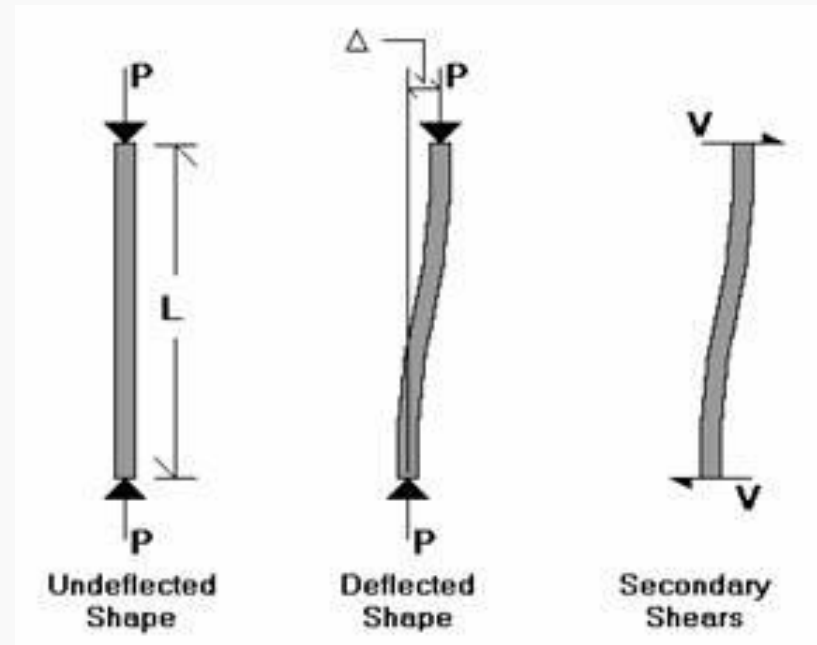
15.1 적용범위

- 성능기반설계법은
- **비선형해석법**을 사용하여
 - 구조물의 **초과강도와 비탄성변형능력**을 보다 정밀하게 구조모델링에 고려
 - 구조물이 **주어진 목표성능수준**을 정확하게 달성하도록 설계하는 기법
 - **표 6.2-1**에 규정된 시스템 계수를 적용하기 어려운 구조물과,
 - **다양한 성능수준**을 만족하고자 하는 구조물의 내진설계에 적용할 수 있다.

선형해석 vs 비선형해석



재료적 비선형성



기하학적 비선형성

선형해석 vs 비선형해석

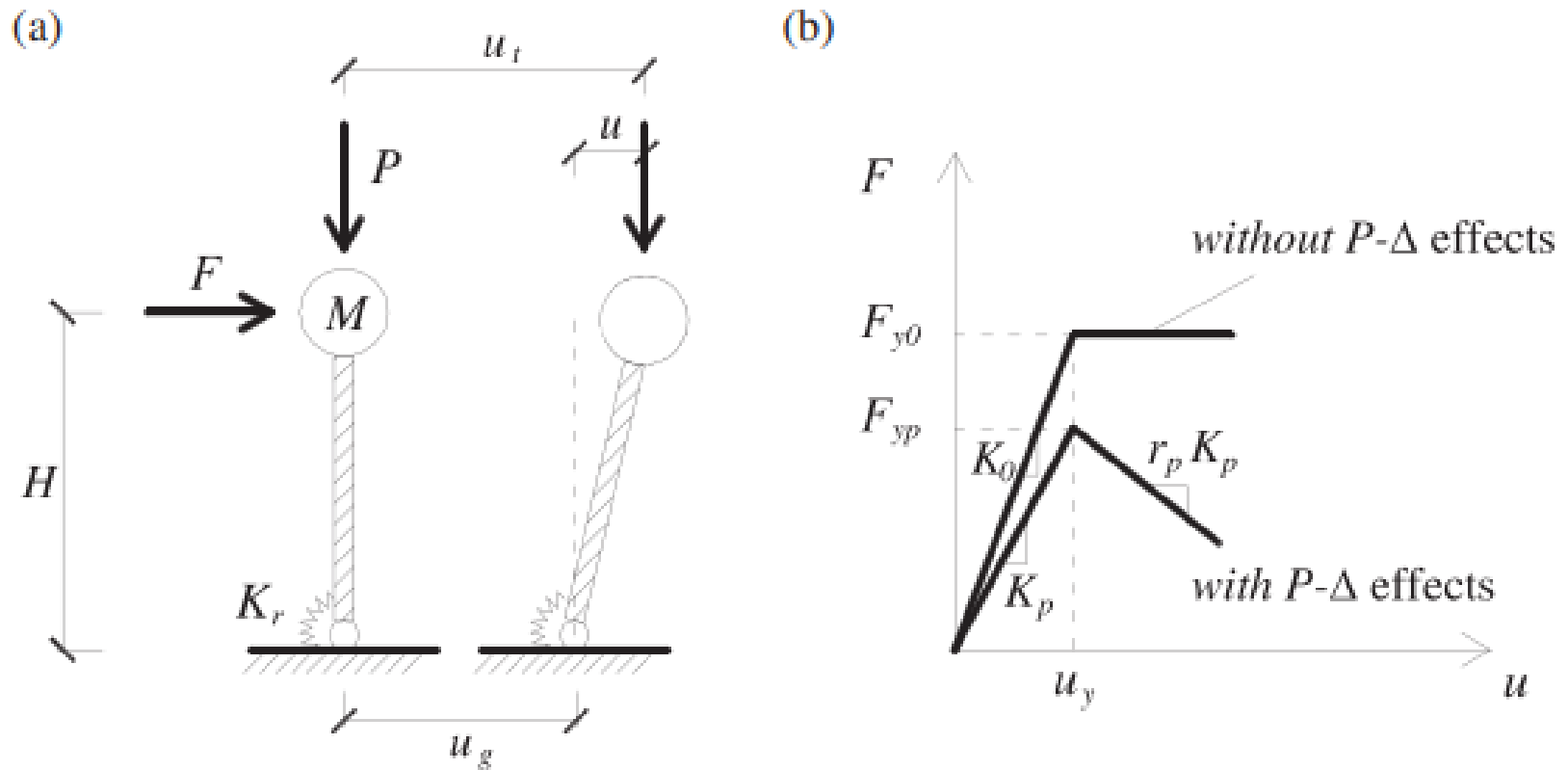


Figure 1. (a) Structural model and (b) force-displacement relation.

15. 성능기반설계

15.3 성능목표 및 설계지진력의 정의

15.3.1 성능목표

건축물 및 건물외구조물을 성능기반설계법으로 설계하고자 할 때 표 15.3-1에 제시된 **최소성능목표** 중 두 가지 이상을 만족해야 한다. 표 15.3-1의 성능수준은 전체 건축물의 성능수준으로 이를 만족하기 위해서는 표 2.4-1에 제시된 구조물과 비구조요소에 해당하는 성능수준을 모두 만족하여야 한다.

15.3.2 재현주기별 설계지진의 정의

(1) 표 15.3-1에서 **2400년 재현주기지진은 최대고려지진**, **1000년 재현주기지진은 2.3의 기본설계지진**으로 정의한다. 또한, 1400년 재현주기지진은 기본설계지진의 1.2배에 해당하는 지진을 의미한다. 50년과 100년 재현주기지진은 기본설계지진에 각각 0.30과 0.43을 곱하여 구한다.

(2) 각 재현주기에 해당하는 지진의 설계응답스펙트럼은 기본설계지진의 설계응답스펙트럼에서 S_a 값에 재현주기에 따른 위험도계수를 반영하여 구한다.

표 2.4-1 건축물의 성능수준과 구조요소 및 비구조요소의 성능수준 사이의 관계

건축물의 성능수준	구조요소의 성능수준	비구조요소의 성능수준
기능수행	거주가능	기능수행
즉시복구	거주가능	위치유지
인명보호	인명안전	인명안전
붕괴방지	붕괴방지	-

내진성능수준	정의
기능수행	설계지진하중 작용 시 구조물/시설물에 발생한 손상이 경미하여 그 구조물이나 시설물의 기능이 유지될 수 있는 성능수준
즉시복구	설계지진하중 작용 시 구조물/시설물에 발생한 손상이 크지 않아, 단기간 내에 즉시 복구되어 원래의 기능이 회복될 수 있는 성능수준
인명보호	설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 큰 손상이 발생할 수 있지만 장기간의 복구를 통하여 기능 회복이 가능하거나, 시설물에 상주하는 인원 또는 시설물을 이용하는 인원에게 인명 손실이 발생하지 않는 성능수준
붕괴방지	설계지진하중 작용 시 구조물이나 시설물에 매우 큰 손상이 발생할 수는 있지만 구조물이나 시설물의 붕괴로 인한 대규모 피해를 방지하고, 인명피해를 최소화하는 성능수준

15. 성능기반설계

15.3 성능목표 및 설계지진력의 정의

15.3.1 성능목표

건축물 및 건물외구조물을 성능기반설계법으로 설계하고자 할 때 표 15.3-1에 제시된 **최소성능목표 중 두 가지 이상을 만족해야 한다.** 표 15.3-1의 성능수준은 전체 건축물의 성능수준으로 이를 만족하기 위해서는 표 2.4-1에 제시된 구조물과 비구조요소에 해당하는 성능수준을 모두 만족하여야 한다.

15.3.2 재현주기별 설계지진의 정의

(1) 표 15.3-1에서 **2400년 재현주기지진은 최대고려지진, 1000년 재현주기지진은 2.3의 기본설계지진으로 정의한다.** 또한, 1400년 재현주기지진은 기본설계지진의 1.2배에 해당하는 지진을 의미한다. 50년과 100년 재현주기지진은 기본설계지진에 각각 0.30과 0.43을 곱하여 구한다.

(2) 각 재현주기에 해당하는 지진의 설계응답스펙트럼은 기본설계지진의 설계응답스펙트럼에서 S_a 값에 재현주기에 따른 위험도계수를 반영하여 구한다.

표 15.3-1 내진등급과 성능목표

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

1) 내진등급 건축물의 붕괴방지 검토 시에는 허용변형기준값을 1.2로 나눈 값을 혹은 인명보호와 붕괴방지의 중간수준의 허용기준을 적용

내진등급별 최소성능목표 학교시설 내진성능평가 및 보강매뉴얼:2019

[해설]

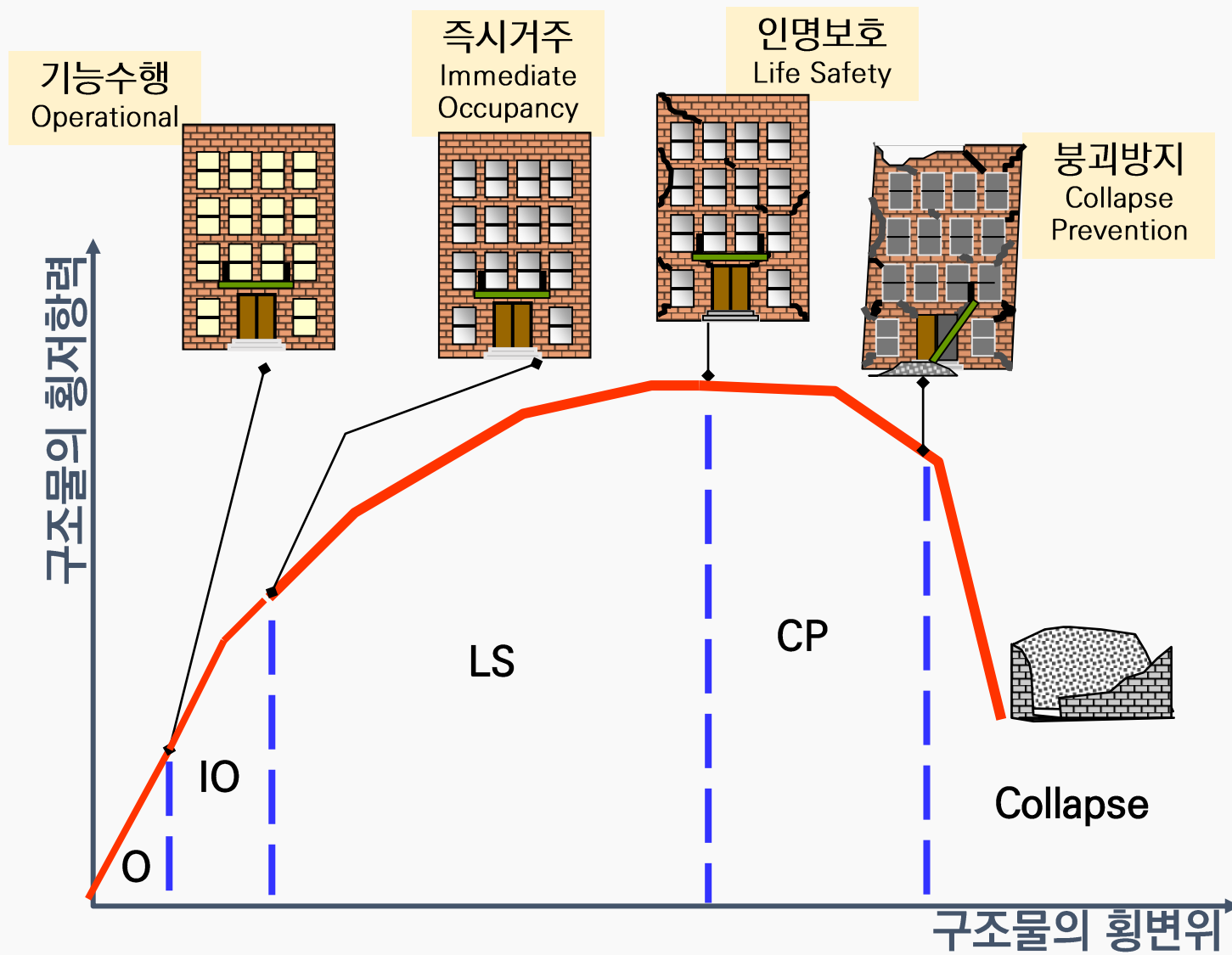
<표 1-2>의 최소성능목표는 「건축구조기준」(2019년 개정)의 최소성능목표에 따른 것이다. 다만, 「건축구조기준」(2019년 개정)에서는 성능기반설계 시 별도의 성능목표를 제시하고 있으나, 이 매뉴얼에서는 단일 규정으로 통일하여 적용한다. 「건축구조기준」(2019년 개정)의 성능기반설계에서는 내진1등급 건물에 대해서 붕괴방지 성능목표의 허용변형 기준을 내진2등급 대비 중요도계수 만큼 강화하여 적용하고 있으나, 여기서는 적용대상이 기존 건축물인 점과 인명보호에 대해서는 강화된 설계지진이 적용됨을 고려하여 이를 적용하지 않는다.

기준 및 매뉴얼에서 정하는 내진등급별 인명보호 및 붕괴방지 수준의 위험도계수는 행정안전부 「내진설계기준 공통적용사항」의 위험도계수보다 모두 높기 때문에, 이 매뉴얼의 내진성능목표를 만족하는 것으로 평가되는 기존 학교시설 또는 보강설계된 학교시설은 「내진설계기준 공통 적용사항」의 내진등급별 최소성능목표를 모두 만족한다.

<표 1-2> 기존 학교시설의 내진등급별 최소성능목표

내진등급	성능목표		설계지진
	재현주기	성능수준	
특	2400년	인명보호	기본설계지진 × 중요도계수(I_E)
	1000년	기능수행	-
I	2400년	붕괴방지	-
	1400년	인명보호	기본설계지진 × 중요도계수(I_E)
II	2400년	붕괴방지	-
	1000년	인명보호	기본설계지진 × 중요도계수(I_E)

손상정도와 성능수준



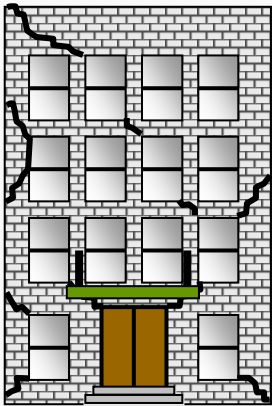
내진성능수준

“설계지진(강진)의 낮은 발생확률과 실제 강진 발생시의 파국성/여파 감안 또한 사회경제적 비용에 대한 고려 및 건물의 중요도와 기능을 고려”

일반건물(중요도2)

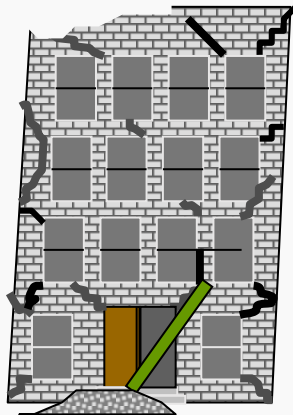
1000년 설계지진

인명안전



“구조체/비구체 모두에 상당한 손상 발생, 그러나 인명안전은 달성, 보수/보강 이후 거주가 가능 여진에 대한 저항성능 보유”

붕괴방지
(2400년 최대고려지진)



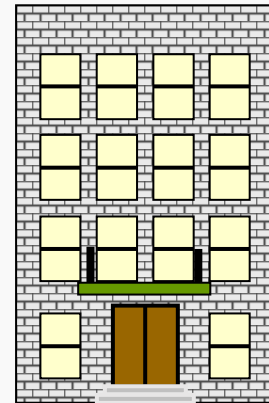
지진발생 이전의 항력에 대한 강성/강도 거의 손실, 기둥이나 벽체가 중력하중을 겨우 떠 받치고 있는 붕괴직전 수준.

내진특등급 건물

(가령, 소방서, 방송국, 종합병원, 비상관리 건물 등)

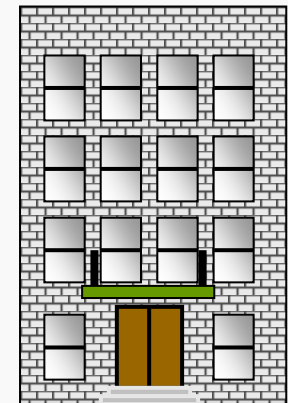
1000년 설계지진

기능수행



지진발생 이전의 강성/강도 유지, 거의 손상이 없음.

즉시복구(입주)



구조체에 대한 손상은 거의 없으나 청소나 경미한 수선이 필요할 수 있는 정도.

“내진설계”를 통해 전략적인 구조손상을 유도”

15. 성능기반설계

15.4 구조물과 부재의 허용변위

(1) 표 15.3-1의 성능목표를 만족할 수 있도록, 구조시스템의 변형특성과 연성상세를 고려하여 구조물의 층간변위와 각 부재의 변형은 허용값 이내로 제어되어야 한다. 단, 기능수행검토시에는 부재별 강도와 변형 능력에 대한 검토는 생략할 수 있다.

(2) 내진특등급의 기능수행검토시 구조물의 허용층간변위는 1.0%로 한다. 또한 내진 1등급과 내진 2등급의 기능수행검토시 허용층간변위는 0.5%로 한다.

(3) 최대고려지진에서의 붕괴방지를 위한 층간변위는 내진2등급을 기준으로 3%를 초과할 수 없다. 다른 내진등급에 대해서는 중요도계수로 나눈 값을 적용한다.

15. 성능기반설계

15.5 해석 및 설계요구사항

비선형정적해석과 비선형동적해석법 중 적절한 방법을 사용하여 구조물에 대한 해석을 수행하고 선형해석결과와의 검증을 통해 해석결과의 신뢰성을 확인하여야 한다.

(1) 정형인 저층건물에서는 비선형정적해석을 사용할 수 있다.

(2) 비정형 건물 혹은 고층건물에서는 비선형동적해석을 사용해야 한다. 비선형동적해석법을 적용할 경우 시간이력해석과 설계지진파의 선정은 7.3.4를 따른다.

(3) 성능설계법에서는 목표성능수준에 따른 층별 최대 층간변위비, 15.6의 밀면전단력 최소강도규정, 각 부재별 소성회전각의 성능수준별 허용값, 각 부재별 강도에 대한 성능수준별 허용값을 만족해야 하며, 다축가진효과를 고려해야 한다.

(4) 비선형정적해석 혹은 비선형동적해석결과로 구한 구조물 주기, 최대밀면전단력, 주요 횡력저항요소의 횡하중 분담비율 및 파괴모드, 최대층간변위의 수직분포형상, 최상층최대변위 등은 등가정적 및 응답스펙트럼해석법 등 선형해석법으로 구한 결과와 비교하여 차이점과 유사점에 대한 분석을 통해 설계의 신뢰성을 제시해야 한다.

(5) 기능수행검토시 구조물과 비구조요소는 18장과 20장의 해당규정을 만족하여야 한다.

성능기반 (내진)설계 흐름도

목표성능수준 설정

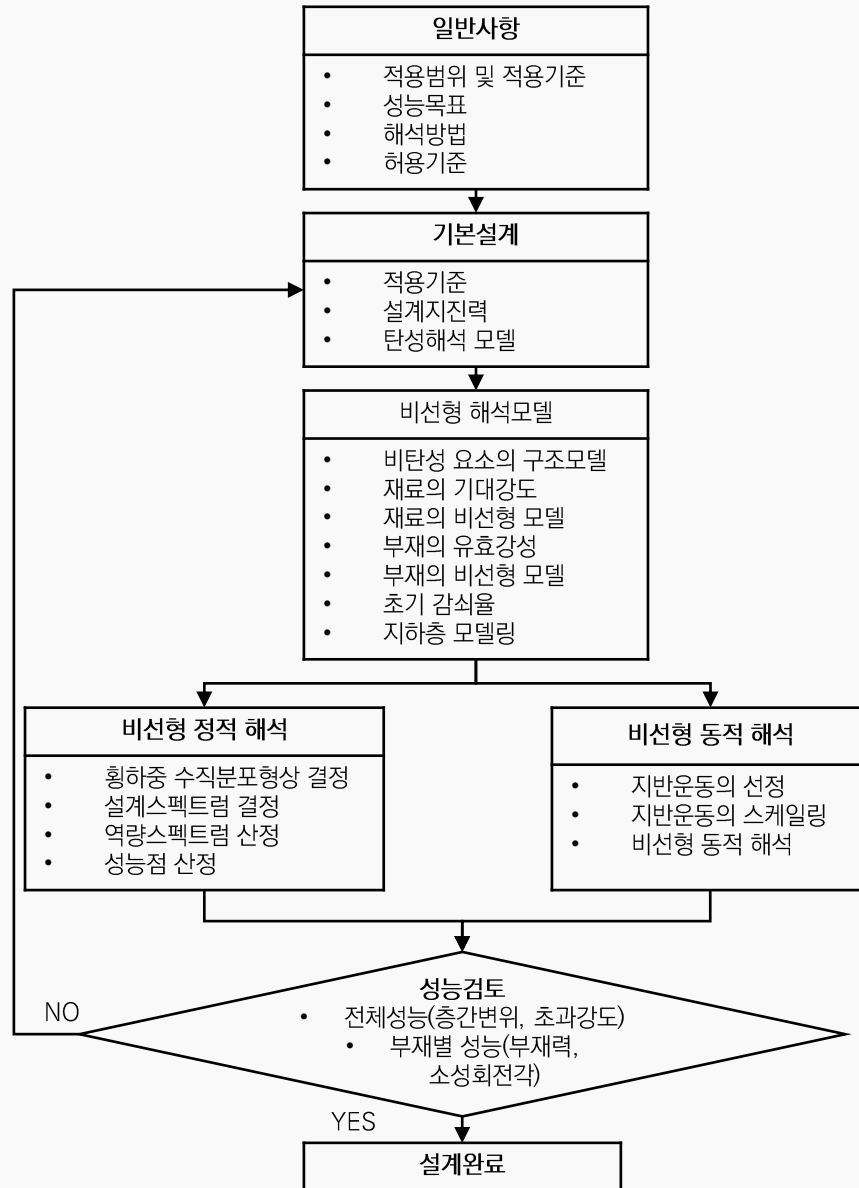
기준에 제시된
설계하중에 대해
선형해석을 통한
기본설계

비선형 해석모델
수립 및 해석

결과 추출 및 분석
설정된 목표성능수준
달성여부 확인

제3자검토를 통한
타당성 검토

성능기반 내진설계 흐름도



참고문헌

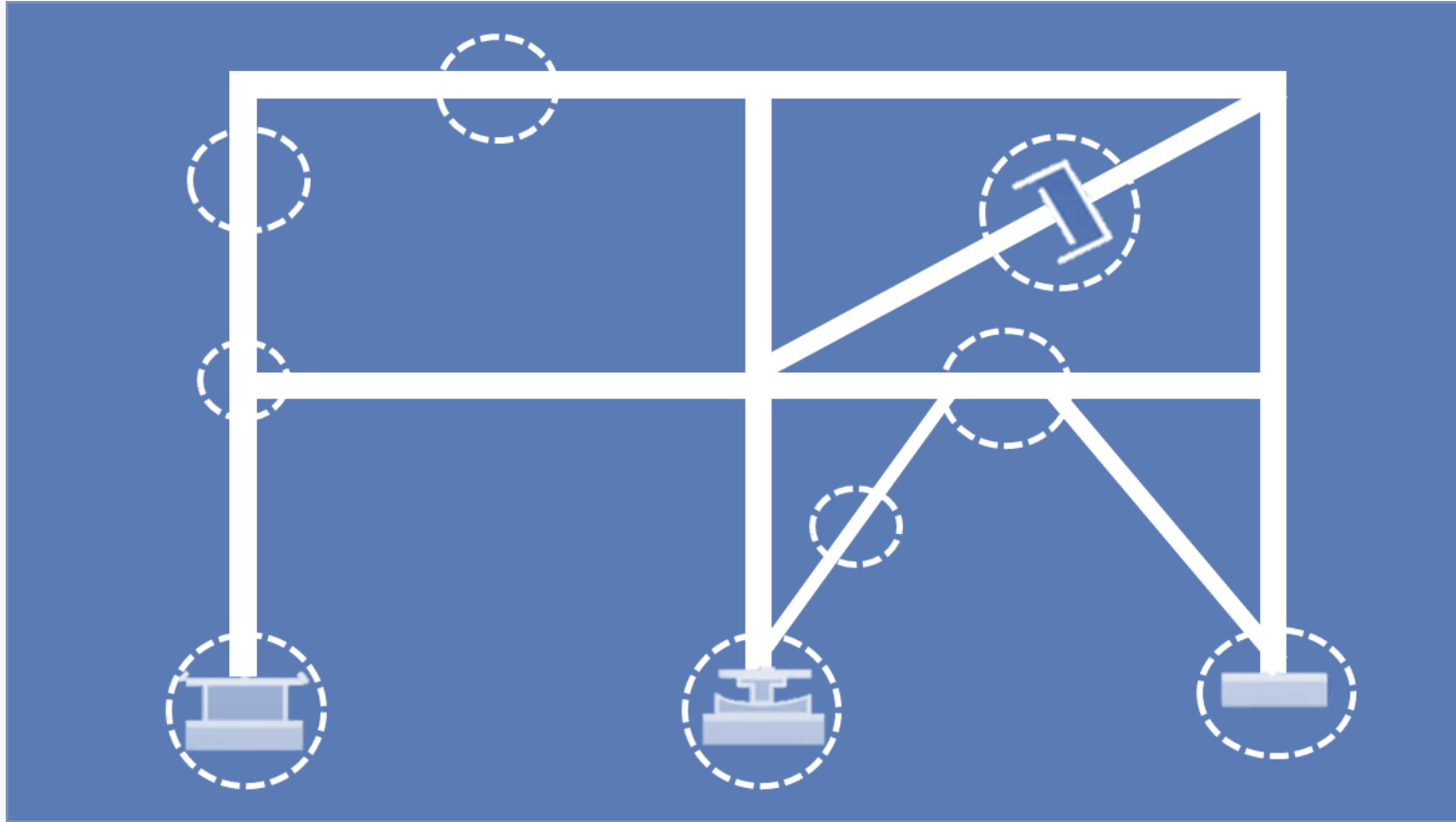
- (1) KDS 41 00 00: 2019, 건축구조기준, 국토교통부
- (2) KDS 41 17 00: 2019, 건축물 내진설계기준, 국토교통부
- (3) KDS 41 31 00: 2019, 건축물 강구조 설계기준, 국토교통부
- (4) KDS 14 31 60: 2017, 강구조 내진 설계기준, 국토교통부
- (5) ~~공동주택 성능기반 내진설계 지침~~ 철근콘크리트 건축구조물의 성능기반 내진설계 지침, 대한건축학회, 2019-2021
- (6) 철근콘크리트 건축물 성능기반 내진설계 지침 및 모델링 가이드, 한국지진공학회, 2019
- (7) 기존시설물(건축물) 내진성능 평가 및 향상 요령, 국토안전관리원, 2019
- (8) ANSI/AISC 341-16, "Seismic Provisions for Structural Steel Buildings", AISC, 2016.
- (9) ASCE 41-17, "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings", ASCE, 2017.
- (10) ATC-72-1, "Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings", PEER, 2010.
- (11) FEMA 440, "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures", FEMA, 2013.
- (12) NIST GCR 17-917-46, "Guidelines for Nonlinear Structural Analysis for Design of Buildings", NIST, 2017.
- (13) TBI, "Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings, Ver 2.03", PEER 2017/06, 2017.
- (14) 2022 Seismic Provisions for Evaluation and Retrofit of Existing Structural Steel Buildings.

강구조 건축물 거동의 이해

철골모멘트골조

가새골조

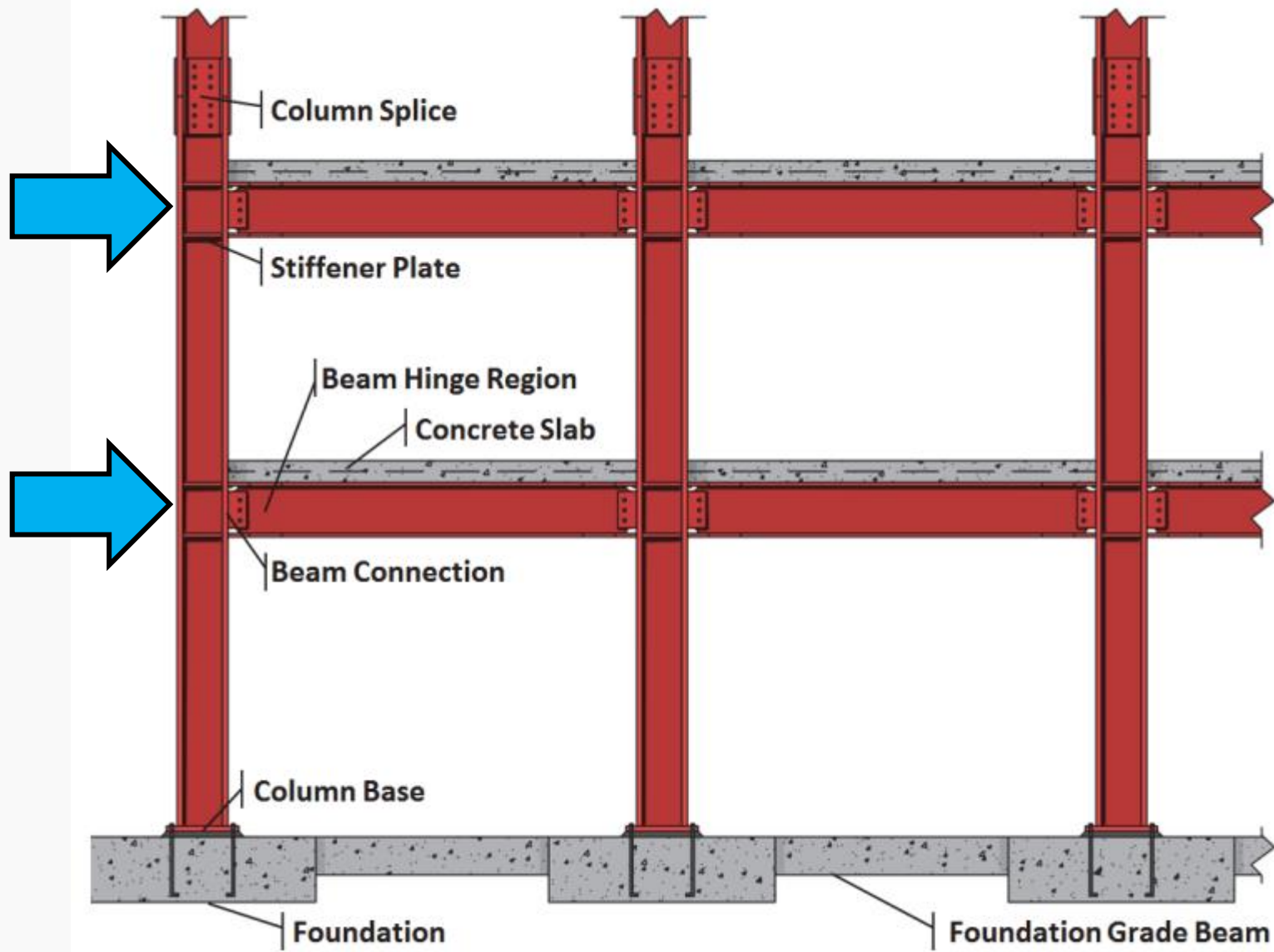
강구조 성능기반 내진설계 모델링 일반



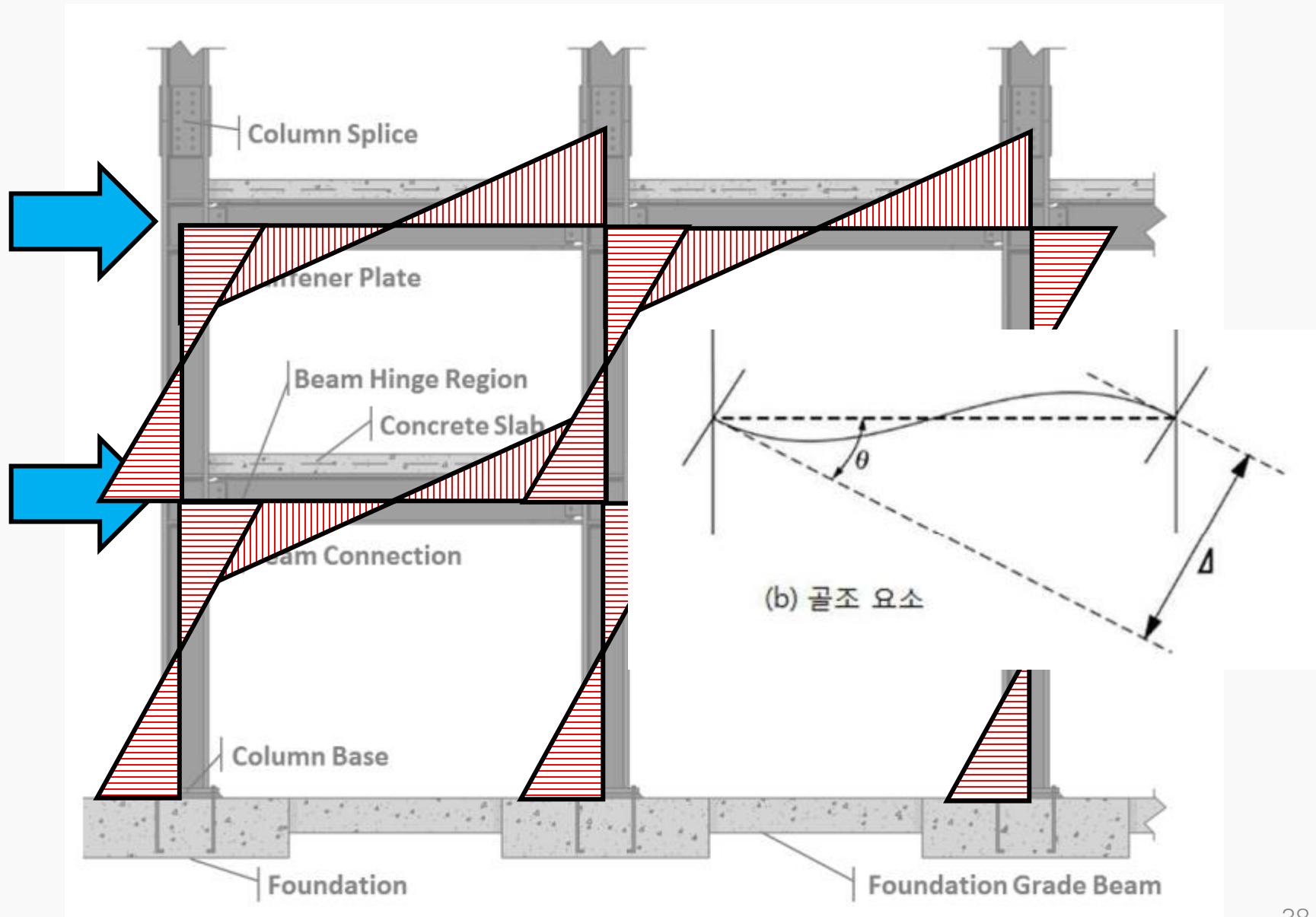
강구조 건축물의 성능기반 내진설계 모델링을 위해서는

- 지진력저항시스템별 모델링 방법이 아닌, **일반적 강구조 건축물을 구성하는 부재종(기둥, 보, 접합부, 가새, 링크보, 강판전단벽, 끼움강판벽, 다이아프램, 강관파일 등)의 분류가 필요함**
- 지진력저항시스템을 구성하는 부재들을 결정한 후, 부재별로 제시된 모델링 방법을 적용함으로써, **두 개 이상의 지진력저항시스템을 가진 경우에도 각각의 지진력저항시스템을 구성하는 부재들을 조합하여 모델링할 수 있음**

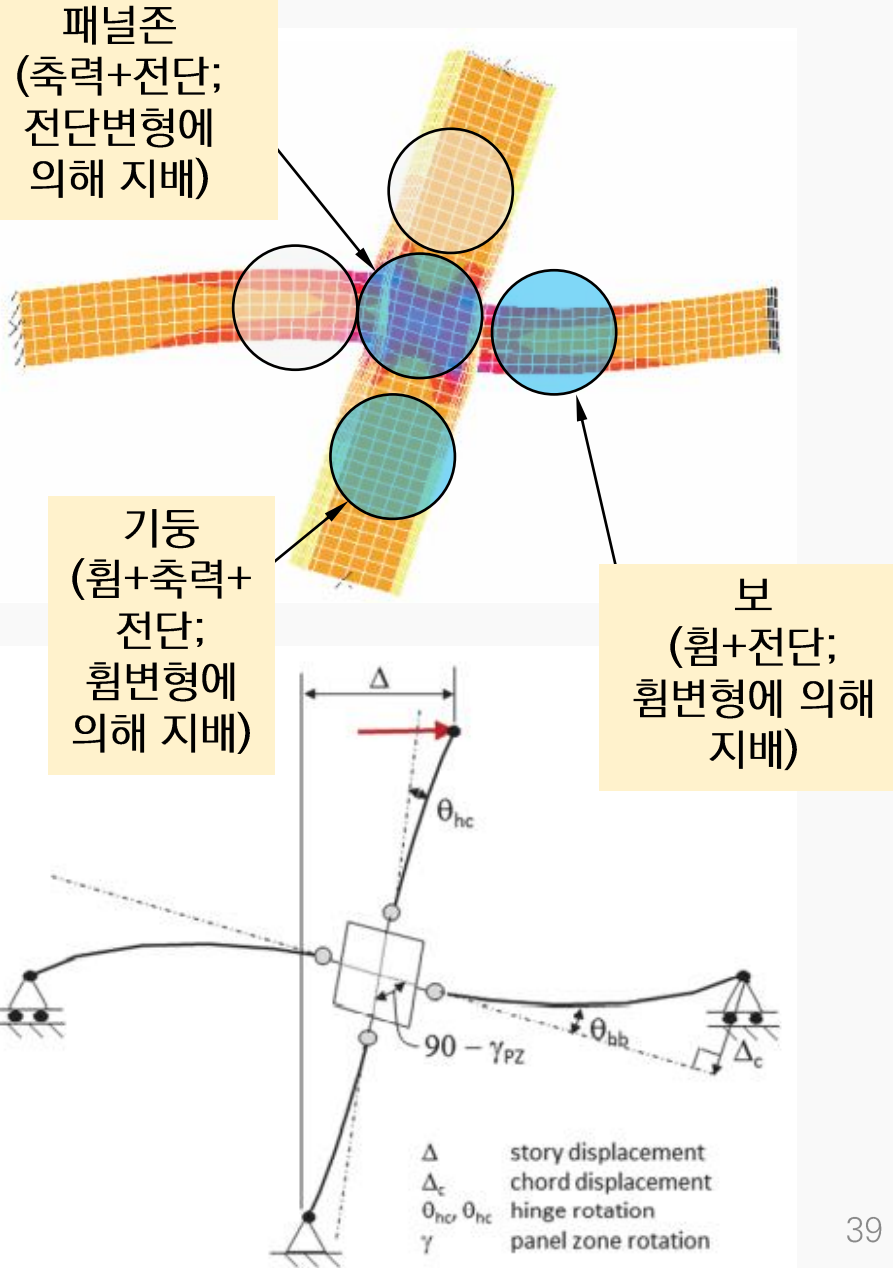
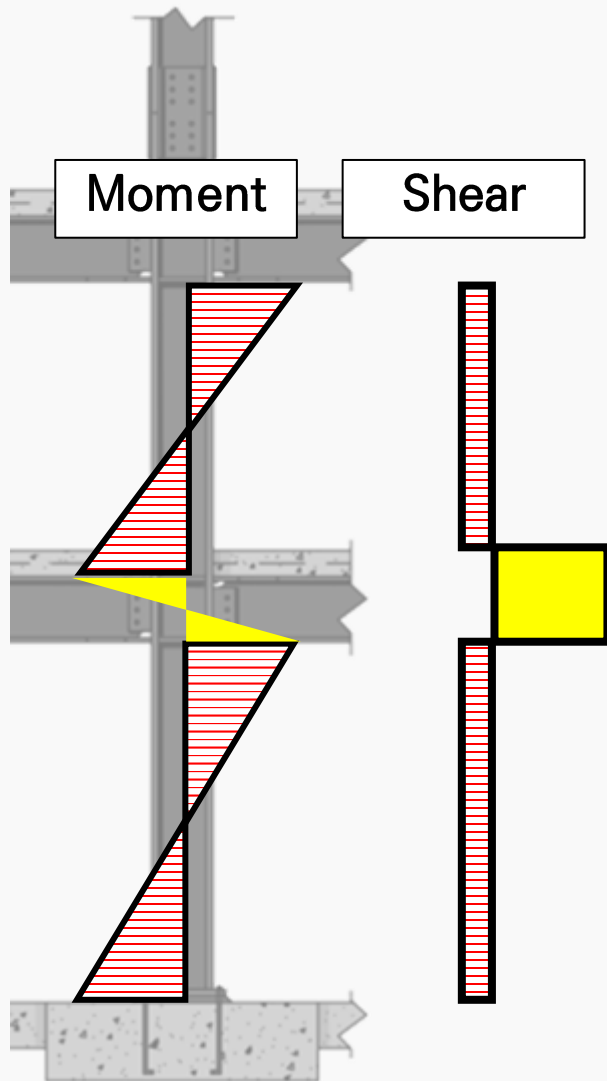
철골모멘트골조시스템의 거동



철골모멘트골조시스템의 거동



철골모멘트골조 패널존 거동



철골모멘트골조의 부재별 지배거동 FEMA356:2000

보: “휨” + 전단력 (일반적으로 변형에 영향도 없고 철골보의 전단강도는 일반적으로 충분한 여유를 지님); **휨 변형 지배 부재**

기둥: “휨” + “축력” (P-M 상호작용에만 반영, 중저층의 경우 축변형 무시할만) + 전단력 (일반적으로 변형에 영향도 없고 응력상으로도 설계에 영향을 주지 않음); **역시 휨 변형 지배 부재**

패널존: “전단력” + “축력” (P-V 상호작용의 측면에서 무시할만); **전단변형 지배 부재**

“모멘트골조의 횡력에 대한 저항기제: 보와 기둥의 휨저항능력 그리고 패널존의 전단저항능력”

Table C2-1 Examples of Possible Deformation-Controlled and Force-Controlled Actions

Component	Deformation-Controlled Action	Force-Controlled Action
Moment Frames • Beams • Columns • Joints	Moment (M) M –	Shear (V) Axial load (P), V V ¹
Shear Walls	M, V	P
Braced Frames • Braces • Beams • Columns • Shear Link	P – – V	– P P P, M
Connections	P, V, M ³	P, V, M
Diaphragms	M, V ²	P, V, M

1. Shear may be a deformation-controlled action in steel moment frame construction.
2. If the diaphragm carries lateral loads from vertical seismic resisting elements above the diaphragm level, then M and V shall be considered force-controlled actions.
3. Axial, shear, and moment may be deformation-controlled actions for certain steel and wood connections.

7.4 철골모멘트골조

7.4.1 일반사항

- (1) 이 장은 완전강접합 형태의 접합부를 가진 철골모멘트골조에 적용하며, 이 장에 규정되지 않은 사항은 건축구조기준의 철골모멘트골조 설계 조항에 따른다.
- (2) 완전강접합 형태의 모멘트접합은 대표적으로 다음의 접합부 형식을 갖는다: 용접비보강플랜지(welded unreinforced flange, WUF); 보플랜지절취형(reduced beam section, RBS); 용접하부현지(welded bottom haunch).

[해설]

국내 현장에서 적용하는 대표적인 완전강접합 형태의 모멘트접합은 표준접합상세를 참조한다. 국내에서 가장 많이 사용하는 컬럼트리(브라킷)형식 용접비보강플랜지 접합부 상세는 해그림 7.4.1과 같다.

7.4.2 비선형절차

- (1) 비선형절차를 적용할 경우, 다음의 기준을 적용한다.
 - ① 보-기둥 부재가 $P > 0.5P_y$ 인 경우, 탄성부재의 휨강성 EI_c 에 건축구조기준에 따른 τ_b 를 적용하여 수정해야 한다.
 - ② 보와 보-기둥의 비선형 모멘트-곡률 관계 및 상호작용 관계로 소성화를 나타내야 한다.
 - ③ 해석 결과 패널존이 탄성인 경우를 제외하고, 패널존의 비선형 거동을 수치모델에 포함해야 한다.
- (2) 완전강접합모멘트골조의 부재들에 그림 7.4.1과 같은 힘-변형 곡선을 사용한다. 그림 7.4.1에서 Q 는 부재 하중이고 Q_y 는 부재 기대강도이다. 보와 기둥의 경우, θ 는 보/기둥의 총(탄성+소성) 회전각, θ_y 는 항복 회전각, Δ 는 총 변위, Δ_y 는 항복변위이다. 패널존의 경우, θ , θ_y 는 전단변형각(radian)이다.

7.4 철골모멘트골조

7.4.1 일반사항

- (1) 이 장은 완전강접합 형태의 접합부를 가진 철골모멘트골조에 적용하며, 이 장에 규정되지 않은 사항은 「건축구조기준」의 철골모멘트골조 설계 조항에 따른다.
- (2) 완전강접합 형태의 모멘트접합은 대표적으로 다음의 접합부 형식을 갖는다: 용접비보강플랜지(welded unreinforced flange, WUF); 보플랜지절취형(reduced beam section, RBS); 용접하부현치(welded bottom haunch).

7.4.2.2 비선형해석평가

- (1) 비선형해석평가를 적용할 경우, 다음의 기준을 적용한다.
 - ① 보-기둥 부재가 $P > 0.5P_y$ 인 경우, 탄성부재의 휨강성 EI_c 에 「건축구조기준」에 따른 τ_b 를 적용하여 수정하여야 한다.
 - ② 보와 보-기둥의 비선형 모멘트-곡률 관계 및 상호작용 관계로 소성화를 나타내야 한다.
 - ③ 해석 결과 패널존이 탄성인 경우를 제외하고, 패널존의 비선형 거동을 수치모델에 포함하여야 한다.

4. 설계

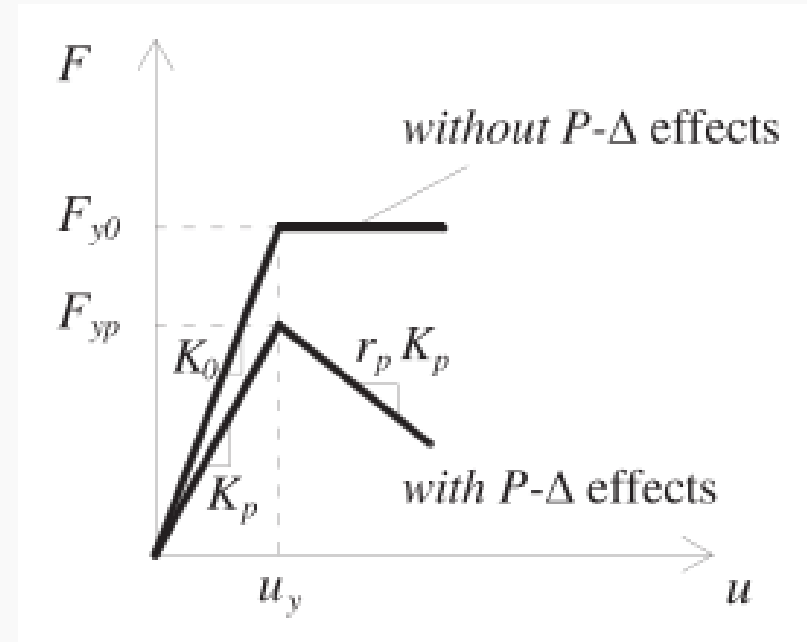
이 장에서는 안정성에 대한 구조물의 설계를 위해 직접해석법과 대체 설계법에 대한 안정 요구조건, 소요강도 및 설계강도를 산정한다.

4.1 일반적 안정 요구조건

안정성은 구조물의 전체 및 각 요소에 대하여 만족해야 하며, 구조물과 그 요소들의 안정성에 대해 다음 모든 사항들을 고려해야 한다.

- (1) 휨, 전단 및 축부재의 변형과 전체구조물의 변위에 영향을 미치는 모든 다른 변형
- (2) 2차효과 (P-D와 P-d효과)
- (3) 기하학적 불완전성
- (4) 비탄성으로 인한 강성저하
- (5) 강성과 강도의 불확실성

위의 항목에 기술된 효과를 모두 고려하는 안정성에 대한 합리적인 설계방법을 사용할 수 있다. 이러한 설계방법은 4.2, 4.3, 4.4에서 확인되는 설계방법을 포함한다.



4.2.1.3 강성 조정

구성요소의 소요강도를 산정하기 위한 구조물 해석은 다음과 같은 저감된 강성을 사용해야 한다.

- (1) 계수 0.8은 구조물의 안정성에 영향을 미치는 모든 강성에 적용되어야 한다.
- (2) 추가적인 계수 τ_b 는 구조물의 안정성에 영향을 미치는 모든 부재의 휨강성에 적용되어야 한다.

① $P_r/P_y \leq 0.5$ 인 경우

$$\tau_b = 1.0 \quad (4.2-2)$$

② $P_r/P_y > 0.5$ 인 경우

$$\tau_b = 4(P_r/P_y)[1 - (P_r/P_y)] \quad (4.2-3)$$

여기서, P_r : 하중조합으로 구해진 소요축압축강도 (N)

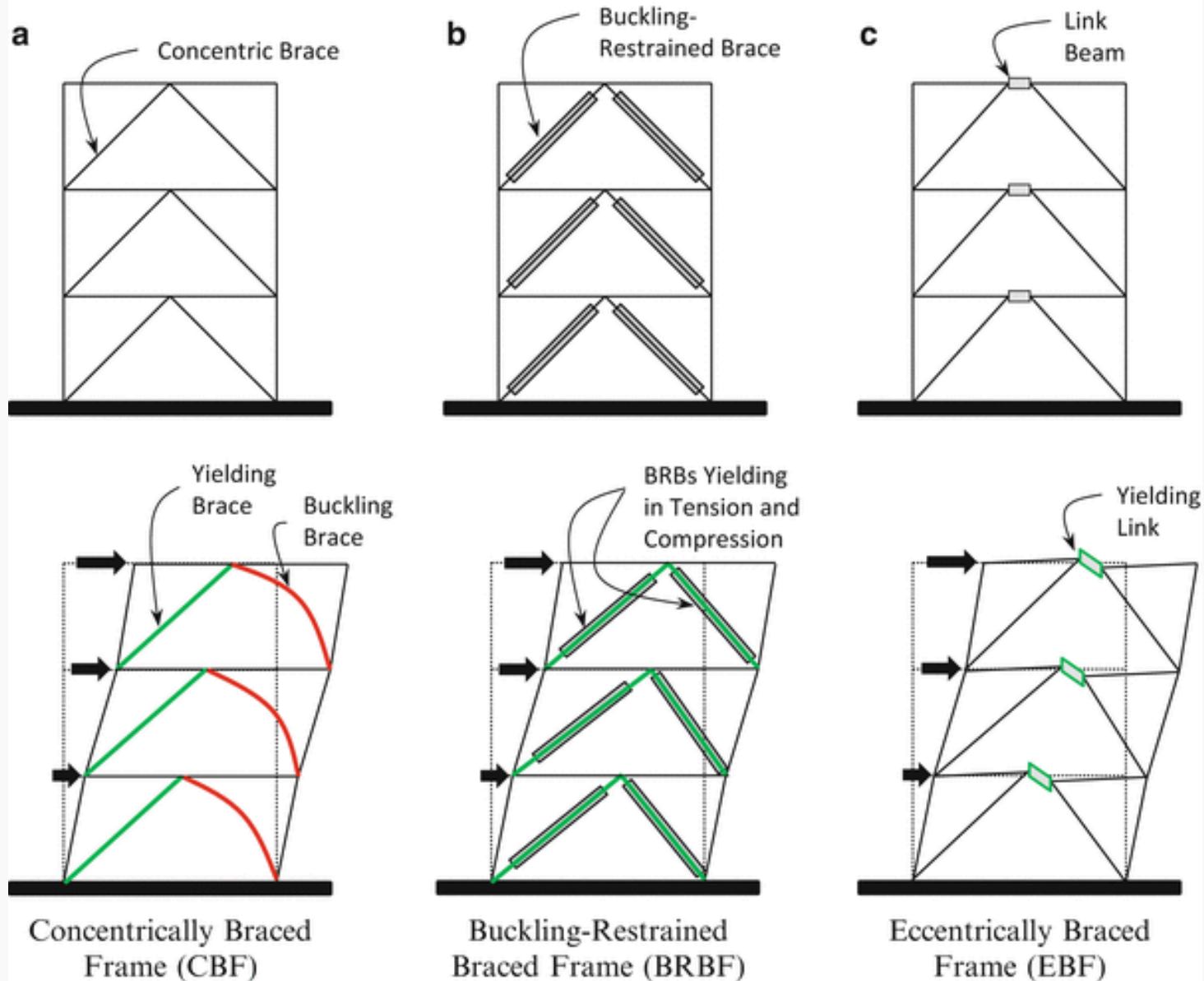
P_y : 축항복강도(= $F_y A_g$) (N)

강구조 부재 구조해석에서 EI 에 τ_b 배, EA 에 0.8배를 곱하여 계산한다.

(3) 4.2.1.2(2)가 적용되는 구조물에서 가상하중 $0.001 Y_i$ (Y_i 는 4.2.1.2(2)①에 정의됨)가 모든 하중조합에서 모든 층에 작용되면, $P_r/P_y > 0.5$ 인 경우에 $\tau_b < 1.0$ 을 사용하는 대신 $\tau_b = 1.0$ 을 사용할 수 있다. 이러한 가상하중은 4.2.1.2(2)④와 상관없이 불완정성을 고려하는 가상하중에 더해진다.

(4) 구조용강을 제외한 재료로 구성된 부재들이 구조물의 안정성에 기여한다고 고려되고, 그리고 다른 재료에 대한 규준과 설계기준들이 강성에 더 큰 감소를 요구한다면, 큰 강성감소를 이러한 부재들에 적용한다.

가새골조시스템의 거동



7.5 철골 중심가새골조

7.5.1 일반사항

- (1) 이 절에서는 중심가새골조의 모델링 절차와 허용기준을 다룬다.
- (2) 철골 중심가새골조는 보, 기둥, 가새 및 접합부를 포함한다.

7.5.2 해석모델

7.5.2.1 선형절차

- (1) 축면적, 전단면적 및 단면2차모멘트는 완전강접모멘트골조에 대해 규정된 7.4.2.1에 따라 산정한다.
- (2) 완전강접모멘트접합부는 7.4.2.1에 따라 모델링한다.
- (3) 가새는 7.4.2.1에 규정된 기둥으로 모델링한다.
- (4) 상세 모델이 가능하지 않으면, 거셋플레이트는 강체로 모델링한다.
- (5) 기초가 고정단임을 역학적으로 증명할 수 없으면, 기초는 휨강성이 없는 힌지로 모델링한다.

7.5 철골 중심가새골조

7.5.1 일반사항

- (1) 이 절에서는 중심가새골조의 모델링 절차와 허용기준을 다룬다.
- (2) 철골 중심가새골조는 보, 기둥, 가새 및 접합부를 포함한다.

7.5.2 해석모델

7.5.2.1 선형해석평가 및 m 계수법

- (1) 축면적, 전단면적 및 단면2차모멘트는 완전강접모멘트골조에 대해 규정된 7.4.2.1에 따라 산정한다.
- (2) 완전강접모멘트접합부는 7.4.2.1에 따라 모델링한다.
- (3) 가새는 7.4.2.1에 규정된 기둥으로 모델링한다.
- (4) 상세 모델이 가능하지 않으면, 거셋플레이트는 강체로 모델링한다.
- (5) 기초가 고정단임을 역학적으로 증명할 수 없으면 기초는 휨강성이 없는 힌지로 모델링한다.

가새부재의 거동

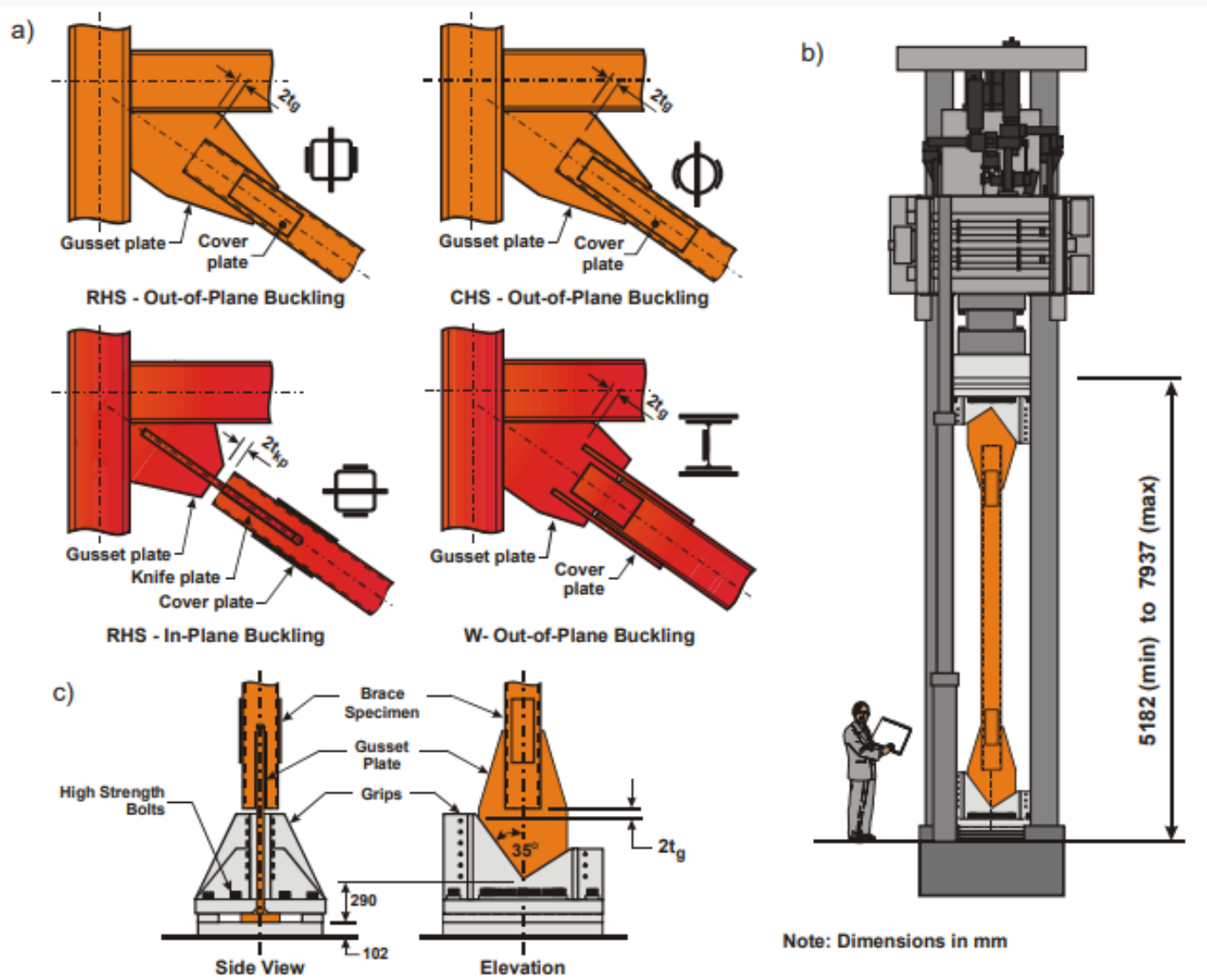


Figure 3 a) End connection details for the different brace types and buckling modes considered; b) Brace specimen in the 12 MN load frame; and c) End connection and attachment grips in the test setup.

가새부재의 거동



Figure 5 Observed brace behaviour: a) Overall buckling; b) Inelastic rotation in the gusset plate free length associated with buckling; c) Local buckling of a RHS brace specimen; d) Local buckling of a CHS brace specimen; and e) Local buckling of a W-shape brace specimen.

가새부재의 거동

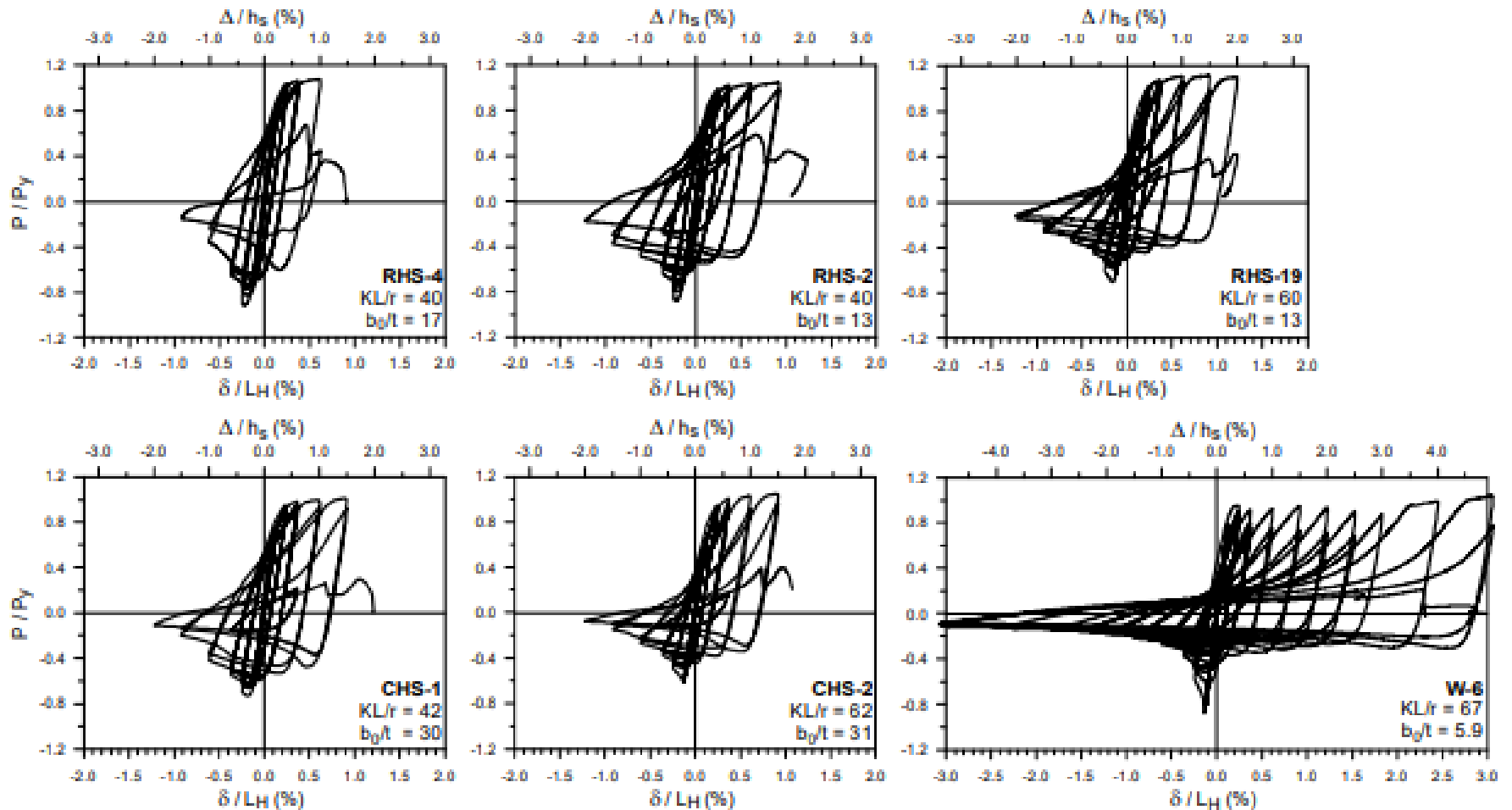


Figure 6 Typical brace hysteretic responses.

가새부재의 거동

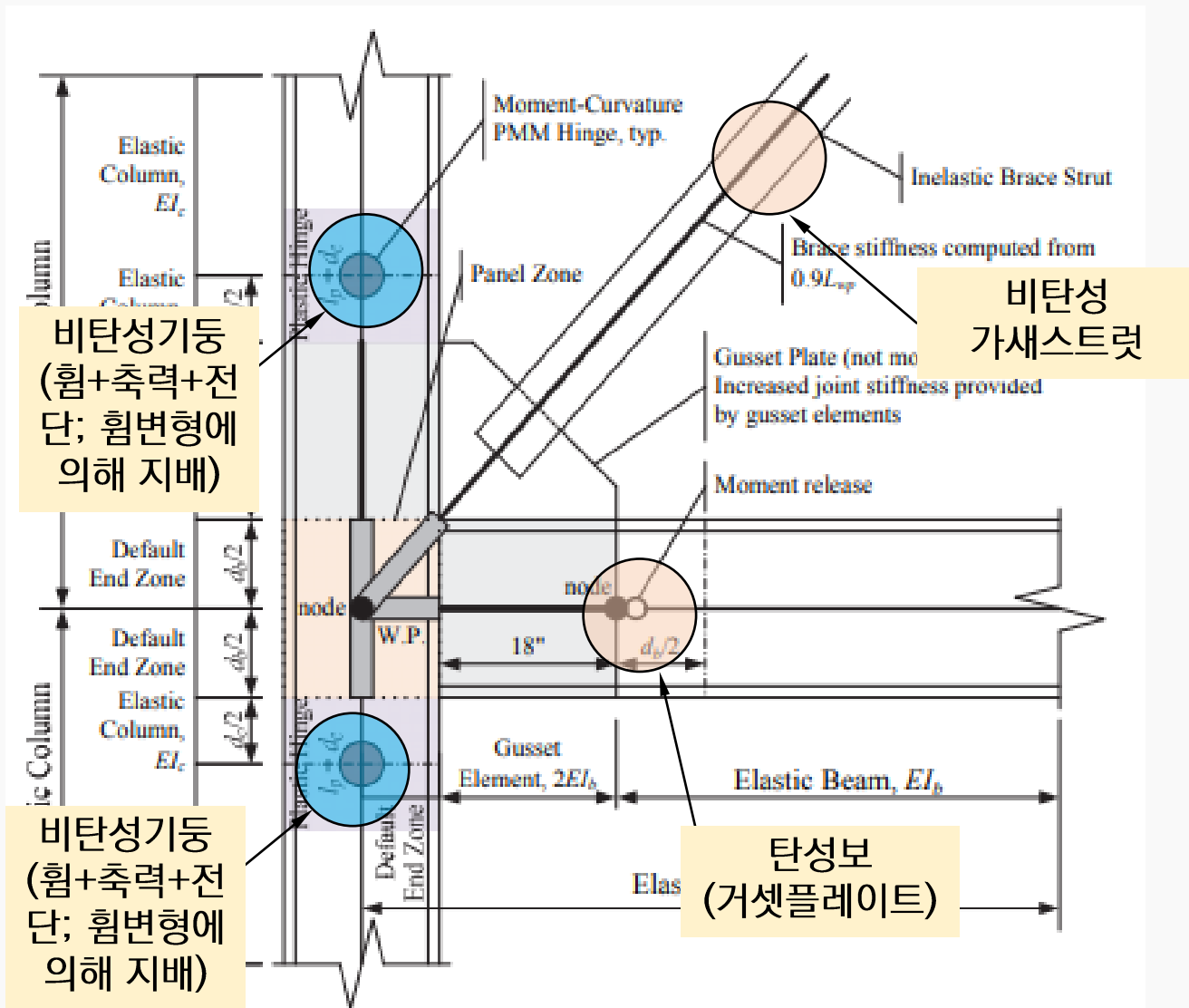


Figure 3-13. SCBF Brace-to-Beam / Column Subassembly Analytical Schematic

내진성능평가 및 성능기반 내진설계 관련 국내외 문건

TBI: Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings

NIST: Guidelines for Nonlinear Structural Analysis for Design of Buildings

ASCE: Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings

AISC: Seismic Provisions for Evaluation and Retrofit of Existing Structural Steel Buildings 2022

Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Building (v. 2.03):2017

Tall

4.6.4 Structural Steel Components

In lieu of calibration to test data, model the parameters for steel components with concentrated hinge/spring models defined as described in Sections 4.6.4.1 through 4.6.4.8.

Commentary: As described in Section 4.4.3, concentrated hinge models that simulate both cyclic strength and stiffness degradation may be defined based on the monotonic backbone curve and checked to ensure that they can produce a response representative of the first-cycle envelope curve (Figure 4-5a) when subjected to a cyclic loading protocol. Otherwise, where cyclic strength and stiffness degradation are not simulated, the models should be defined based on the first-cycle envelope curve.

4.6.4.1 Steel beams in bending

Determine the moment-rotation response using parameters in NIST (2017b) or ASCE 41.

Commentary: NIST (2017a) provides parameters for establishing both the monotonic backbone and first-cycle envelope curves for steel beams that generally conform to the design requirements for Special Moment Frames with fully restrained connections in AISC 341. ASCE 41 provides parameters, based on the first-cycle envelope curves, for a wider range of beam design parameters (i.e., beams that may not conform to the compactness or bracing requirements for Special Moment Frames). Where applicable, the parameters from NIST (2017b) are recommended as they are more up to date with available test data.

4.6.4.2 Steel columns in bending

Determine moment-rotation response using parameters in NIST (2017b) or ASCE 41.

Commentary: NIST (2017b) provides parameters for establishing both the monotonic backbone and first-cycle envelope curves for steel columns that generally conform to the design requirements for Special Moment Frames in AISC 341. ASCE 41 provides parameters, based on the first-cycle envelope curves, for a wider range of beam design

Pacific Earthquake Engineering Center
Report No. 2017/06

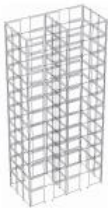
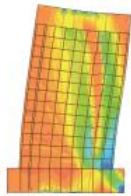
Sponsored by
Charles Pankow Foundation
ACI Foundation (Concrete Research Council)
American Institute of Steel Construction
Federal Emergency Management Agency
Structural Engineering Institute of ASCE (SEI)
Structural Engineers Association of California



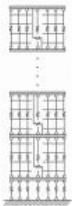
4	MODELING AND ANALYSIS	4-1
4.1	Scope.....	4-1
4.2	General	4-1
4.2.1	System Idealization.....	4-1
4.2.2	Nonlinear Behavior Demands	4-3
	.....	4-4
	.....	4-4
	.....	4-5
	.....	4-6
	.....	4-6
	.....	4-8
	.....	4-9
	.....	4-9
	.....	4-10
	.....	4-10
	.....	4-10
	.....	4-13
	.....	4-13
	.....	4-14
	.....	4-15
	.....	4-16
	.....	4-16
	.....	4-18
	.....	4-20
	.....	4-20
	.....	4-21
	.....	4-22
	.....	4-23
	.....	4-23
	.....	4-25
	.....	4-25
	.....	4-26
	.....	4-26
	.....	4-26
4.6.4.5	Steel EBF link beams.....	4-26

cf: 내진성능평가요령 등 현행 국내문건
철골모멘트골조/중심가새골조...
→ 강구조 관련 성능기반문건의 부재

Guidelines for Nonlinear Structural Analysis for Design of Buildings:2017



Guidelines for Nonlinear Structural Analysis



4.1 Overview of Procedure

Procedures for nonlinear static seismic analysis are fairly well developed and described in ASCE/SEI 41-13, its predecessor documents (FEMA, 1997; FEMA, 2000; ATC, 1996) and other supporting studies (FEMA, 2005). The overall steps in the procedure include:

1. Creating and calibrating the nonlinear analysis model
2. Defining and applying the static gravity loads
3. Defining an equivalent earthquake lateral load pattern
4. Establishing a target displacement for a specified ground motion intensity
5. Incrementally increasing the equivalent lateral load until the target displacement is reached
6. Assessing the story drifts and other demand parameters (hinge rotations, member forces) against specified acceptance criteria at the prescribed target displacement

Some or all of these steps may be repeated as desired to investigate alternate model parameters (Steps 1 to 6), alternate load patterns (Steps 4-6), or alternate target displacements (Steps 5-6).

4.2 Component Modeling Requirements

Component modeling requirements for nonlinear static analysis are simpler than for nonlinear dynamic analysis in that the component models do not need to capture the cyclic hysteretic response. However, when static pushover analyses are used directly to check the seismic design (as opposed to being used as a preliminary step to a nonlinear dynamic analysis verification), the force-deformation behavior should be calibrated to incorporate cyclic degradation. So, for example, this implies calibrating the concentrated hinge component models to the cyclic skeleton curve, rather than the monotonic backbone curve. The force-deformation response curves in the current (and previous) editions of ASCE/SEI 41 are calibrated to the cyclic skeleton, but this may not be the case for other models. In particular, most fiber-type and continuum finite element models are formulated to simulate cyclic degradation effects directly, in which case monotonic analyses run using these models would not represent cyclic degradation and may give unconservative results. When nonlinear static analysis is

.....	iii
.....	ix
.....	xi
.....	1-1
g and Analysis Procedure	2-1
Performance Assessment.....	2-1
.....	2-3
.....	2-3
Response	2-6
or Modeling Approach	2-7
Components by Expected Behavior.....	2-8
Controlled Components	2-8
Components.....	2-16
Components.....	2-16
Models.....	2-17
Element Model Types	2-19
Joint Frame Models	2-20
Concrete Shear Wall Models.....	2-22
Steel Frame Models.....	2-23
Steel-Frame Shear Panel Models.....	2-25
Guidelines for Creating and Calibrating	
Component Test Data.....	2-26
Component Modeling Types.....	2-26
Component Modeling Requirements.....	3-1
Guidelines.....	3-1



Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings:2017

ASCE STANDARD

ASCE/SEI

41-17

9	STEEL AND IRON	99
9.1	Scope	99
9.2	Material Properties and Condition Assessment	99
9.2.1	General	99
9.2.2	Properties of In-Place Materials and Components	99
9.2.2.1	Material Properties	99
9.2.2.2	Component Properties	100
9.2.2.3	Test Methods to Quantify Properties	100
9.2.2.4	Minimum Number of Tests	101
9.2.2.5	Default Properties	103
9.2.3	Condition Assessment	103
9.2.3.1	General	103
9.2.3.2	Scope and Procedures	103
9.2.3.3	Basis for the Mathematical Building Model	105
9.2.4	Knowledge Factor	105
9.3	General Assumptions and Requirements	105
9.3.1	Stiffness	105
9.3.1.1	Use of Linear Procedures for Cold-Formed Steel Light-Frame Construction	105
9.3.1.2	Use of Nonlinear Procedures for Cold-Formed Steel Light-Frame Construction	105
9.3.2	Strength and Acceptance Criteria	105
9.3.2.1	General	105
9.3.2.2	Deformation-Controlled Actions	105
9.3.2.3	Force-Controlled Actions	106
9.3.2.4	Anchorage to Concrete	106
9.3.3	Connection Requirements in Cold-Formed Steel Light-Frame Construction	106
9.3.4	Components Supporting Discontinuous Shear Walls in Cold-Formed Steel Light-Frame Construction	106
9.3.5	Retrofit Measures	106
9.3.5.1	Retrofit Measures for Structural Steel	106
9.3.5.2	Retrofit Measures for Cold-Formed Steel Light-Frame Construction	106
9.4	Steel Moment Frames	106
9.4.1	General	106
9.4.2	Fully Restrained (FR) Moment Frames	106
9.4.2.1	General	106
9.4.2.2	Stiffness of FR Moment Frames	107
9.4.2.3	Strength of FR Moment Frames	109
9.4.2.4	Acceptance Criteria for FR Moment Frames	110
9.4.2.5	Retrofit Measures for FR Moment Frames	121
9.4.3	Partially Restrained (PR) Moment Frames	122
9.4.3.1	General	122
9.4.3.2	Stiffness of PR Moment Frames	122
9.4.3.3	Strength of PR Moment Frames	122
9.4.3.4	Acceptance Criteria for PR Moment Frames	124
9.4.3.5	Retrofit Measures for PR Moment Frames	124
9.5	Steel Braced Frames	124
9.5.1	General	124

7.4 철골모멘트골조

7.4.1 일반사항

- (1) 이 장은 완전강접합 형태의 접합부를 가진 철골모멘트골조에 적용하며, 이 장에 규정되지 않은 사항은 건축구조기준의 철골모멘트골조 설계 조항에 따른다.
- (2) 완전강접합 형태의 모멘트접합은 대표적으로 다음의 접합부 형식을 갖는다: 용접비보강플랜지 (welded unreinforced flange, WUF); 보플랜지절취형(reduced beam section, RBS); 용접하부현지 (welded bottom haunch).

[해설]

국내 현장에서 적용하는 대표적인 완전강접합 형태의 모멘트접합은 표준접합상세를 참조한다. 국내에서 가장 많이 사용하는 컬럼트리(브라킷)형식 용접비보강플랜지 접합부 상세는 해그림 7.4.1과 같다.

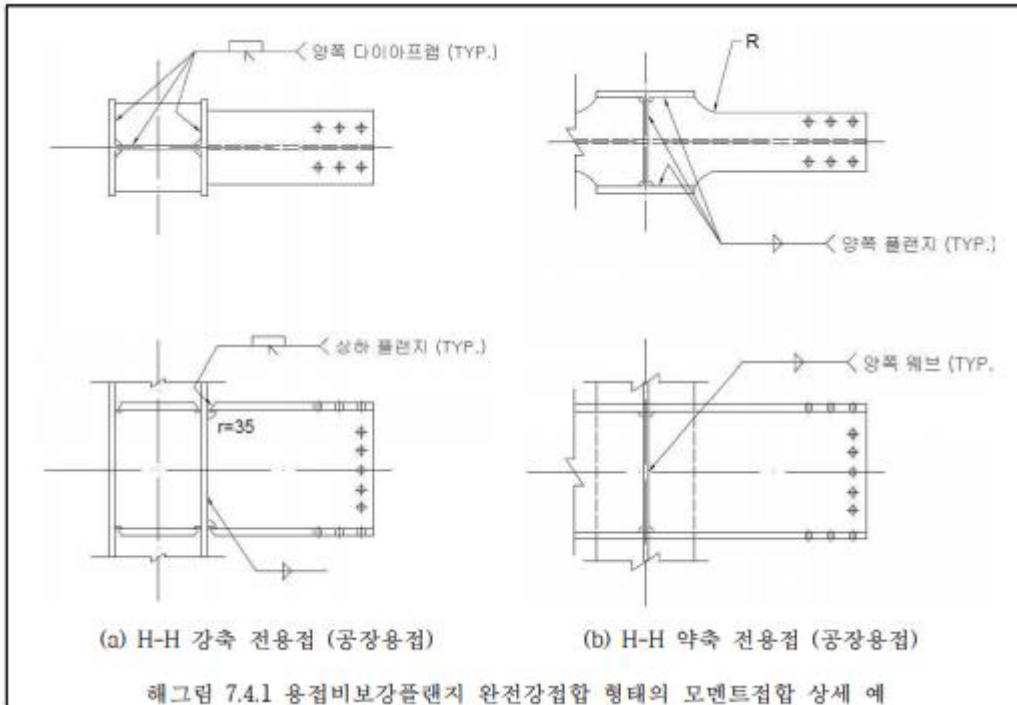


Table 9-5. Steel Moment-Frame Connection Types

Connection	
Welded unreinforced flange (WUF)	Full-penetration welds be web, designed before
Bottom haunch in WUF with slab	Welded bottom haunch a
Bottom haunch in WUF without slab	Welded bottom haunch a
Welded cover plate in WUF	Welded cover plates add
Improved WUF—bolted web	Full-penetration welds be
Improved WUF—welded web	Full-penetration welds be
Free flange	Web is coped at ends of and bending moment
Welded flange plates	Flange plate with full-pen
Reduced beam section	Connection in which net away from column fac
Welded bottom haunch	Haunched connection at
Welded top and bottom haunches	Haunched connection at
Welded cover—plated flanges	Beam flange and cover
Top and bottom clip angles	Clip angle bolted or rivet
Double split Tee	Split Tees bolted or rivet
Composite top and clip angle bottom	Clip angle bolted or rivet composite slab
Bolted flange plates	Flange plate with full-per
Bolted end plate	Stiffened or unstiffened c
Shear connection with slab	Simple connection with s
Shear connection without slab	Simple connection with s

AISC 342-XX: Seismic Provisions for Evaluation and Retrofit of Existing Structural Steel Buildings: 2022

1 AISC 342-XX

2

3 Seismic Provisions for 4 Evaluation and Retrofit of 5 Existing Structural Steel Buildings

6

7 PUBLIC REVIEW DRAFT dated June 18, 2021
8 (Not yet) Approved by the
9 Committee on Specifications

10

11

12

13

CHAPTER C

COMPONENT PROPERTIES AND REQUIREMENTS

This chapter addresses the stiffness and strength of steel and composite steel-concrete members and connections subject to seismic forces and deformations. Expected (deformation-controlled) and lower-bound (force-controlled) strengths are given.

There are four analysis procedures detailed in ASCE/SEI 41 as follows:

- (a) Linear static procedure
- (b) Linear dynamic procedure
- (c) Nonlinear static procedure
- (d) Nonlinear dynamic procedure

A performance objective is a set of building performance levels, each coupled with a seismic hazard level. Additionally in this chapter, permissible performance parameters (component capacity modification factor and expected deformation capacity) for primary and secondary structural components are given for three structural performance levels, as defined in ASCE/SEI 41, Chapter 2, and for each analysis type (linear and nonlinear), as follows:

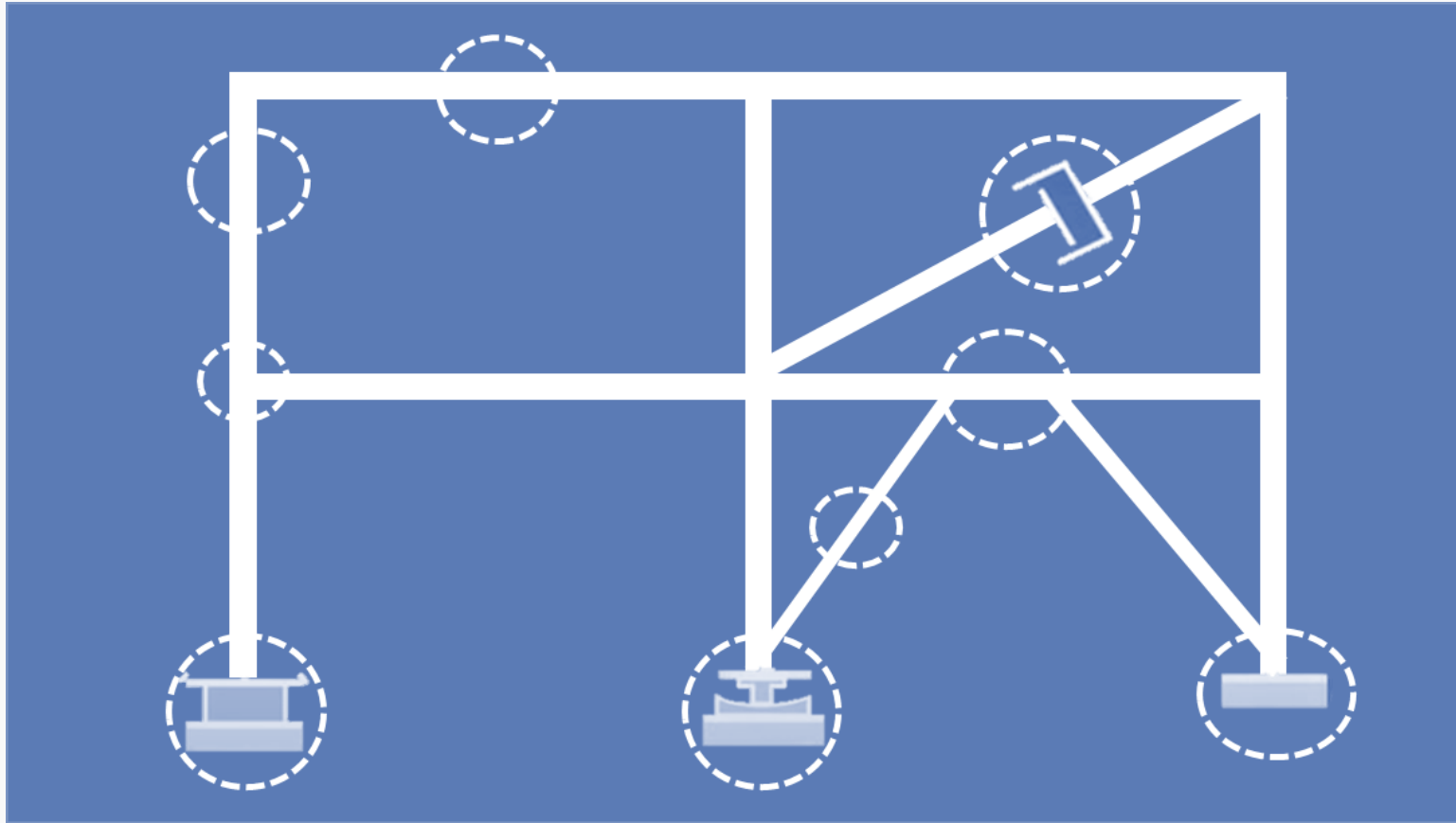
- (a) Immediate Occupancy (IO)
- (b) Life Safety (LS)
- (c) Collapse Prevention (CP)

For linear analysis procedures, permissible strengths are given independently for primary and secondary components, as defined in ASCE/SEI 41, Section 7.5. For nonlinear analysis procedures, permissible deformations are applicable for both primary and secondary components. Interpolation of permissible performance parameters to intermediate performance levels not listed in these Provisions, such as Damage Control and Limited Safety, shall be in accordance with ASCE/SEI 41, Chapter 2.

This chapter is organized as follows:

- C1. General
- C2. Beams
- C3. Members Subjected to Axial or Combined Loading
- C4. Panel Zones
- C5. Beam and Column Connections
- C6. Steel Plate used as Shear Walls
- C7. Braced-Frame Connections

강구조 성능기반 내진설계 모델링 일반



강구조 건축물의 성능기반 내진설계 모델링을 위해서는

- 지진력저항시스템별 모델링 방법이 아닌, **일반적 강구조 건축물을 구성하는 부재종(기둥, 보, 접합부, 가새, 링크보, 강판전단벽, 끼움강판벽, 다이아프램, 강관파일 등)의 분류가 필요함**
- 지진력저항시스템을 구성하는 부재들을 결정한 후, 부재별로 제시된 모델링 방법을 적용함으로써, **두 개 이상의 지진력저항시스템을 가진 경우에도 각각의 지진력저항시스템을 구성하는 부재들을 조합하여 모델링할 수 있음**

강구조 성능기반 내진설계 모델링 요령

부재 분류

보와 기둥 | 패널존 | 접합부

(이외 가새부재 | 좌굴방지가새 | 링크요소 | 강판전단벽 ...)

부재 모델링 방식 분류

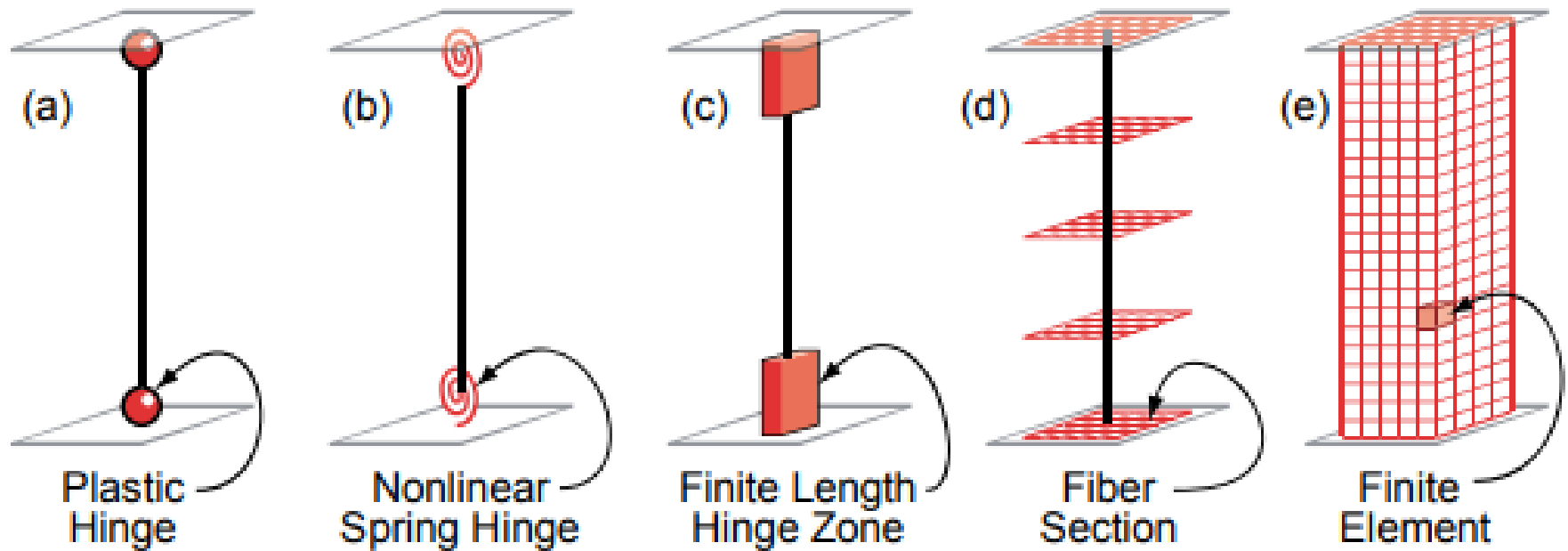


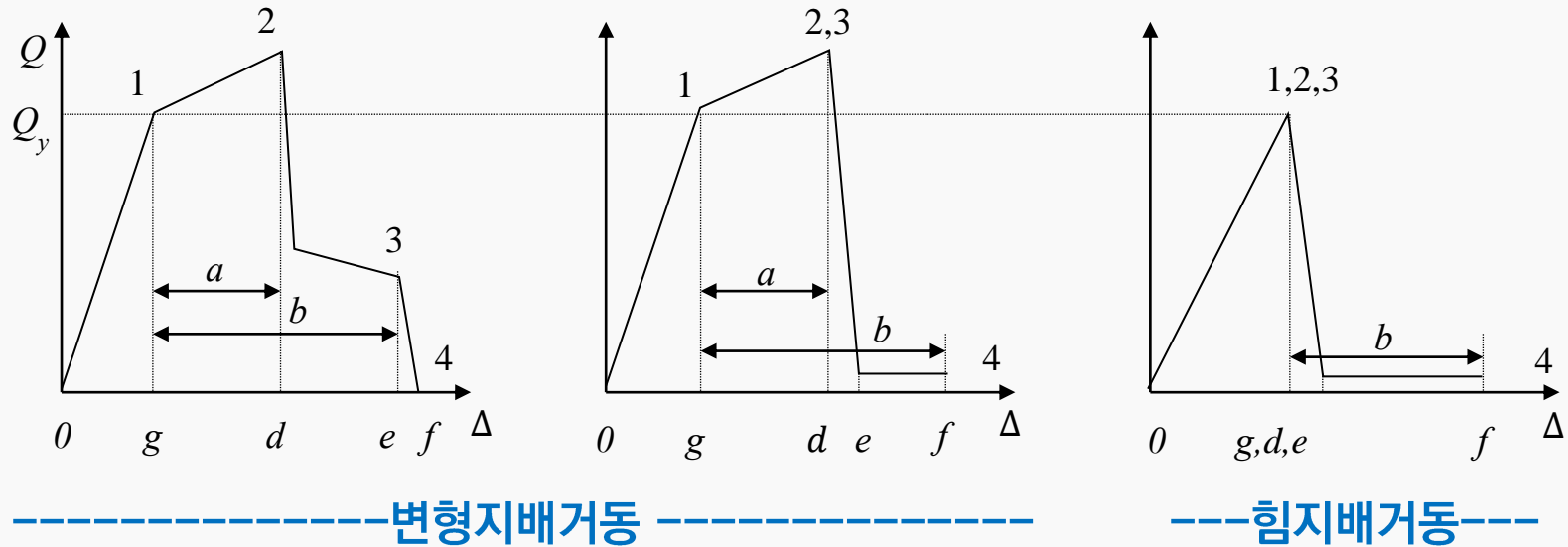
Figure 2-7 Range of structural model types (NIST, 2010).

Continuum model (e): 거동모드, 부재강성, 강도 및 변형능력 정의하지 않음

Distributed inelasticity (fiber) model (d): 거동의 일부특성을 단면 내의 응력-변형도 관계를 통해 반영

Lumped plasticity (concentrated hinge) model (a, b, c, FEMA): 부재의 전반적인 힘-변위 응답을 현상학적으로 정의

변형지배거동 vs 힘지배거동 ASCE 41-13



변형지배거동 (Deformation-Controlled Action) – ductile

설계강도 Q_{CE} : 부재의 예상(기대/평균)강도(Expected Capacity)

변형성능 – 선형해석 (DCR 즉, m계수로 간접적 판단)

비선형해석 (직접적 판단)

힘지배거동 (Force-Controlled Action) – nonductile

설계강도 Q_{CL} : 부재의 공칭강도(Nominal Capacity)

강도성능 – 선형해석 (DCR로 직접적 판단)

적용		R_y	R_t
구조용 압연형강 및 냉간가공재	KS D 3503 SS275	1.2	1.2
	KS D 3530 SSC275		
	KS D 3558 SWH275		
	KS D 3568 SGT275		
	KS D 3568 SRT275		
	KS D 3632 SNT275, SNT355		
	KS D 3515 SM275, SM490, SM520	1.2	1.2
	KS D 3864 SPAR295, SPAP235, SPAP325		
	KS D 4108 SCW 490-CF		
	KS D 3861 SN400, SN490	1.1	1.1
KS D 3856 SHN400, SHN490			
플레이트	KS D 3503 SS400	1.3	1.2
	KS D 3515 SM490, SM490TMC, SM520	1.2	1.2
	SM520TMC, SM570, SM570TMC		
	SMA400, SMA490, SMA570		
	KS D 3861 SN400, SN490	1.1	1.1
KS D 5994 HSA800			

예상(기대)강도 교육부 학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼:2019

		적용	R_y	R_t
구조용 압연형강 및 냉간가공재	KS D 3503 SS400			
	KS D 3530 SSC400			
	KS D 3558 STK400, STK490		1.3	1.2
	KS D 3568 SPSR400, SPSR490			
	KS D 3632 STKN400, STKN490			
	KS D 3515 SM400, SM355, SM420			
	KS D 3864 SNRT295E, SNRT275A, SNRT355A		1.2	1.2
	KS D 3861 SN275, SN355		1.1	1.1
KS D 3866 SHN275, SHN355				
플레이트	KS D 3503 SS4275		1.2	1.2
	KS D 3515 SM355, SM355TMC, SM420 SM420TMC. SM460, SM460TMC		1.2	1.2
	KS D 3529 SMA275, SMA355			
	KS D 3861 SN275, SN355		1.1	1.1
	KS D 5994 HSA350			

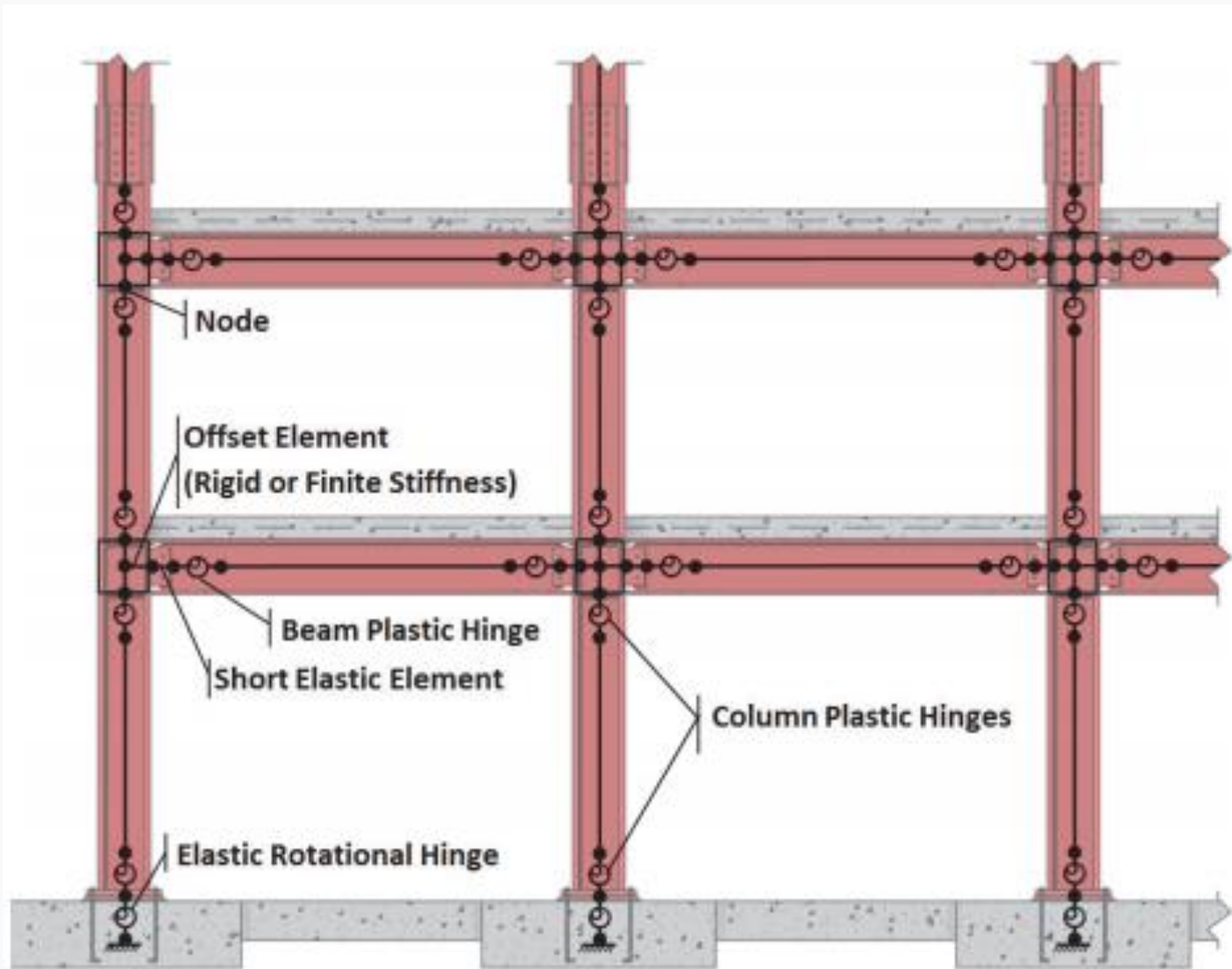


Figure 2-8 Illustrative analysis model for steel moment frame.

일반사항

보와 기둥을 모델링할 시 1, 2차부재를 모두 포함하여 모델링한다.

강성 및 강도

- 선형정적 및 동적해석절차

보와 기둥의 강성은 구조역학 원칙에 기반하고 건축구조기준의 규정에 따른다.

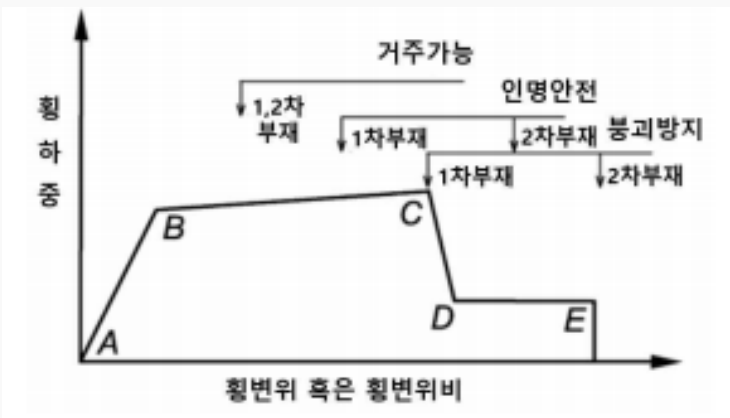
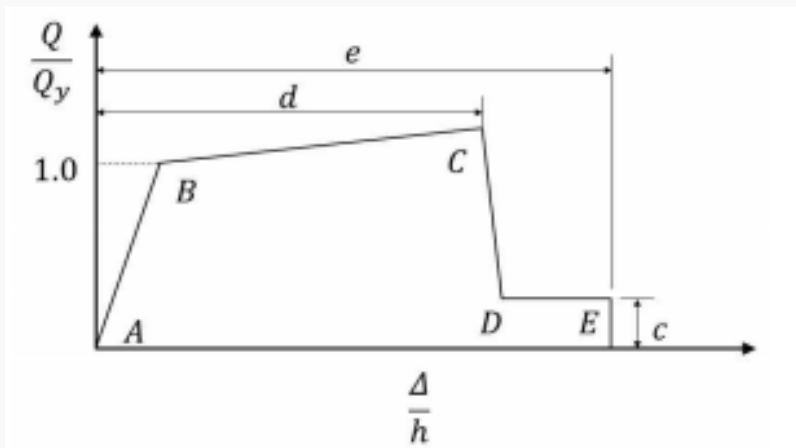
(...)

- 비선형정적 및 동적해석절차

(1) 비선형절차를 적용할 경우, 다음의 기준을 적용한다.

(...)

② 보와 보-기둥의 비선형 모멘트-곡률 관계 및 상호작용 관계로 소성화를 나타내야 한다.



보와 기둥 비선형해석절차 주요변수/허용기준 ASCE 41-13:2013

표 7.4.2 철골 완전강점모멘트 접합부의 비선형 모델링 주요 변수 및 허용기준

	모델링 변수			허용기준 (소성회전각, rad)		
	소성회전각 (rad)		잔류 강도비	거주가능	인명안전	붕괴방지
	a	b	c			
보 - 휨						
$b_f/2t_f \leq 0.3 \sqrt{E/F_{yc}}$ 및 $h/t_w \leq 2.45 \sqrt{E/F_{yc}}$	$9\theta_y$	$11\theta_y$	0.6	θ_y	$9\theta_y$	$11\theta_y$
$b_f/2t_f > 0.38 \sqrt{E/F_{yc}}$ 또는 $h/t_w > 3.76 \sqrt{E/F_{yc}}$	$4\theta_y$	$6\theta_y$	0.2	$0.25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
기타	플랜지와 웨브 폭두께비에 대하여 사이값은 각각 직선보간 후, 작은 값을 사용한다.					
기둥-휨^{1,2)}						
$P < 0.2P_{CL}$ 인 경우						
$b_f/2t_f \leq 0.3 \sqrt{E/F_{yc}}$ 및 $h/t_w \leq 1.76 \sqrt{E/F_{yc}}$	$9\theta_y$	$11\theta_y$	0.6	θ_y	$9\theta_y$	$11\theta_y$
$b_f/2t_f > 0.38 \sqrt{E/F_{yc}}$ 또는 $h/t_w > 2.7 \sqrt{E/F_{yc}}$	$4\theta_y$	$6\theta_y$	0.2	$0.25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
기타	플랜지와 웨브 폭두께비에 대하여 사이값은 각각 직선보간 후, 작은 값을 사용한다.					
$0.2P_{CL} \leq P \leq 0.5P_{CL}$ 인 경우						
$b_f/2t_f \leq 0.3 \sqrt{E/F_{yc}}$ 및 $h/t_w \leq 1.53 \sqrt{E/F_{yc}}$	$11 k_p^{3\theta_y}$					
$b_f/2t_f > 0.38 \sqrt{E/F_{yc}}$ 또는 $h/t_w > 2.35 \sqrt{E/F_{yc}}$	$1\theta_y$					
기타	플랜지와 웨브 폭두께비에 대하여 사이값은 각각 직선보간 후, 작은 값을 사용한다.					

내진컴팩트

비컴팩트

낮은 축력비의 기둥_ 거의 보와 같음

높은 축력비의 기둥_ 축력비 50%이상 미인정: 힘지배/취성부재-탄성설계

TABLE C2.2

Modeling Parameters and Permissible Deformations for Nonlinear Analysis Procedures—Beams Subject to Flexure^[a]

Modeling Parameters		Expected Deformation Capacity		
Plastic chord rotation angle a and b , rad Residual strength ratio c		Plastic chord rotation angle, rad		
		IO	LS	CP
Section Compactness^[b]				
1. Highly ductile ($\lambda \leq \lambda_{hd}$)	$a = 9\theta_y$	0.25a	a	b
	$b = 11\theta_y$			
	$c = 0.6$			
2. Non-moderately ductile ($\lambda \geq \lambda_{md}$)	$a = 4\theta_y$	0.25a	0.75a	a
	$b = 6\theta_y$			
	$c = 0.2$			
3. Other	Linear interpolation between the values on lines 1. and 2. for flange, wall and web slenderness shall be performed, and the lower resulting value shall be used.			

^[a] Tabulated values are applicable for flexure-controlled beams with $L_v \geq 2.6 M_{CE}/V_{CE}$. Values shall be taken as 0.0 when $L_v \leq 1.6 M_{CE}/V_{CE}$. For $1.6 M_{CE}/V_{CE} < L_v < 2.6 M_{CE}/V_{CE}$, values shall be linearly interpolated between the tabulated values and 0.0.

^[b] The limiting width-to-thickness ratios, λ_{hd} and λ_{md} , are defined in *Seismic Provisions* Table D1.1, with $R_y F_y$ replaced by F_{ye} . λ shall be compared to λ_{hd} and λ_{md} for each element of the cross section and the element producing the lowest permissible deformation shall be used.

일반사항

- (1) 패널존을 모델링 할 시 패널존 영역의 크기에 따른 보와 기둥의 유효 자유구간 길이와 패널존 영역의 탄성 또는 비탄성 변형을 고려해야 한다.
- (2) 일반적으로 패널존에 보-기둥의 불균형 모멘트와 기둥 축력 효과가 유발하는 대변형에 유한요소모델이 요구된다. 조인트 크기와 패널존 전단에 대한 두 지배적인 효과를 모델링할 시에는 이산화된 조인트 모델을 적용할 수 있다.

강성 및 강도

- 선형정적 및 동적해석절차

패널존의 강성은 구조역학 원칙에 기반하고 건축구조기준의 규정에 따른다.

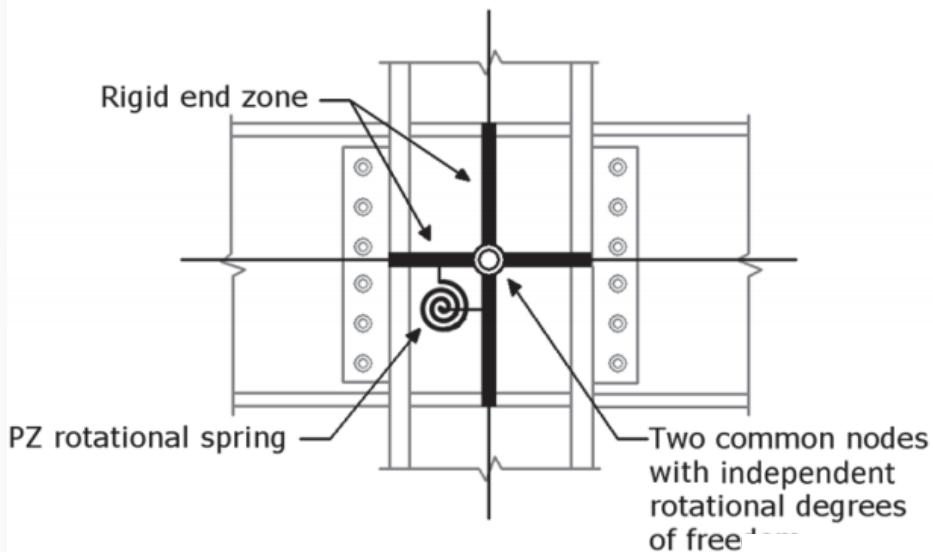
(...)

- 비선형정적 및 동적해석절차

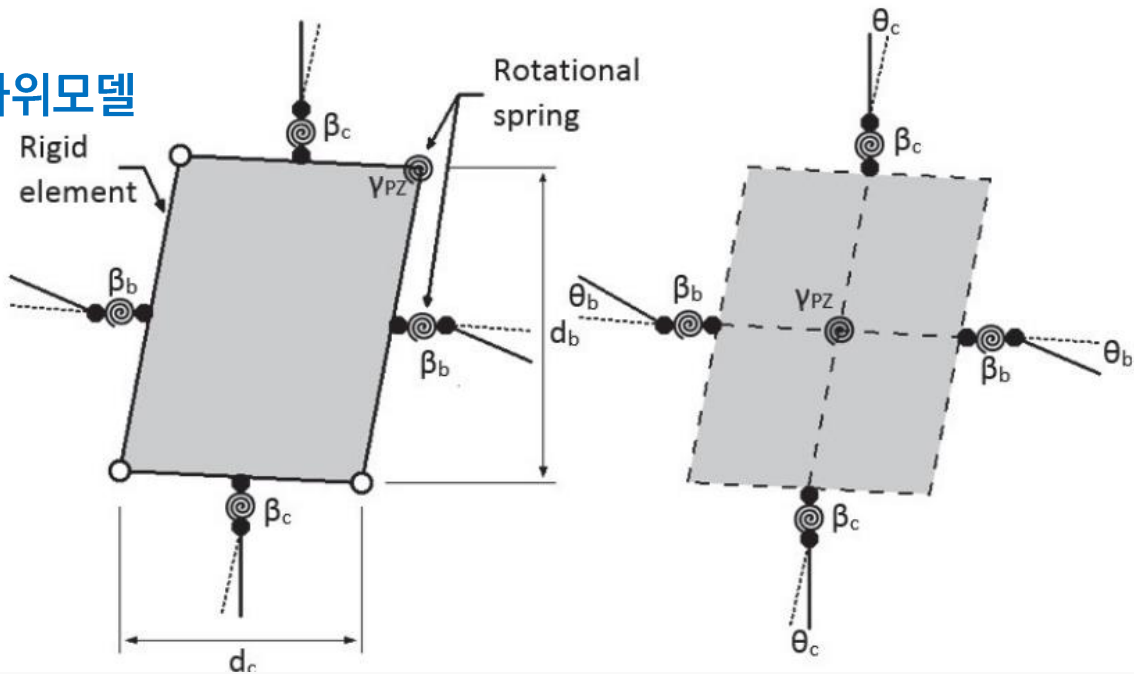
해석결과 패널존이 탄성인 경우를 제외하고, 패널존의 비선형 거동을 수치모델에 포함해야 한다.

- (1) 패널존의 강성을 고려해야 할 경우, 해석모델에 패널존 요소를 추가하여 해석하거나 또는 패널존의 강성을 고려하여 보 부재의 휨강성을 조정하여 해석할 수 있다.
- (2) 패널존의 예상전단강도가 기둥-보 접합면에서 보의 휨강도 이상이며, 패널존의 강성이 보 휨강성의 10배 이상일 경우 패널존 요소의 모델링은 필요치 않다. 이 경우 보 유효길이의 감소를 고려하기 위해 기둥 중심선에서 기둥-보 접합면까지 강체오프셋을 사용하여 강체로 모델링할 수 있다.

패널존의 유한크기 및 변형 반영을 위한 모델



단부오프셋 및 이중절점으로 구성된 가위모델



강체요소를 갖는 회전스프링 모델(좌)와 운동역학적 제약모델(우)

패널존의 비선형해석절차 주요변수/허용기준 ASCE 41-17:2017

	모델링 파라미터			허용기준 (소성회전각, rad.)		
	소성회전각 (rad.)		잔류 강도비	즉시거주	인명안전	붕괴방지
	a	b	c			
패널존	$12\theta_y$	$12\theta_y$	1.0	$1\theta_y$	$12\theta_y$	$12\theta_y$

일반사항

- (1) 중심가새는 작용선이 접합부의 한 점에서 교차하거나 교차점간의 거리인 편심거리, e 가 피접합 부재 중 가장 작은 부재의 폭 이하인 다중 지점에서 교차하는 부재이다.
- (2) 편심에 의한 휨모멘트를 요소의 모델링 및 평가에 반영하여야 한다.

강성

선형정적 및 동적절차

- (1) 가새는 보-기둥 관련 기준에 따라 기둥으로 모델링한다.
- (2) 상세한 모델이 제시되지 않은 경우, 거셋플레이트의 경계와 보, 기둥 및 가새는 강접으로 모델링한다.
- (3) 기둥 밑면이 강접으로 정의되지 않은 경우, 기둥 밑면은 휨강성이 없는 것으로 모델링한다.

비선형정적절차

- (1) 탄성 요소는 보, 기둥 관련 비선형절차 기준에 따라 모델링한다.
- (2) 항복 또는 좌굴, 항복 이후 또는 좌굴 이후, 최대 강도, 최대 강도 이후 강도저하 및 좌굴강도를 나타내는 비선형 모멘트-회전각에 대한 거동은 보, 기둥 조항에 따라 모델링한다.
- (3) 가새는 축력 및 2차효과를 모두 고려하기 위하여 가새의 중앙에 소성힌지가 형성되는 기둥으로 모델링한다.

표 7.5.2 철골 중심가새골조의 비선형 모델링 변수 및 허용기준

부재 및 조건		모델링 주요변수			허용기준 (소성회전각, rad.)			
		소성변형		잔류 강도비 c	거주 가능	인명 안전	붕괴 방지	
		a	b					
압 축	세장한 가새 $\frac{KL}{r} \geq 4.2 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	H형강, 쌍꺾형강 면내좌굴 ³⁾ , 쌍꺾형강 면내좌굴 ³⁾	0.5 Δ_c	10 Δ_c	0.3	0.5 Δ_c	8 Δ_c	10 Δ_c
		쌍꺾형강 면외좌굴 ³⁾ , 쌍꺾형강 면외좌굴 ³⁾	0.5 Δ_c	9 Δ_c	0.3	0.5 Δ_c	7 Δ_c	9 Δ_c
		강관, 파이프	0.5 Δ_c	9 Δ_c	0.3	0.5 Δ_c	7 Δ_c	9 Δ_c
		단일꺾형강	0.5 Δ_c	12 Δ_c	0.3	0.5 Δ_c	9 Δ_c	12 Δ_c
가 새 1),2)	짧은 가새 ⁴⁾ $\frac{KL}{r} \leq 2.1 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	H형강, 쌍꺾형강 면내좌굴 ³⁾ , 쌍꺾형강 면내좌굴 ³⁾	1 Δ_c	8 Δ_c	0.5	0.5 Δ_c	7 Δ_c	8 Δ_c
		쌍꺾형강 면외좌굴 ³⁾ , 쌍꺾형강 면외좌굴 ³⁾	1 Δ_c	7 Δ_c	0.5	0.5 Δ_c	6 Δ_c	7 Δ_c
		강관, 파이프	1 Δ_c	7 Δ_c	0.5	0.5 Δ_c	6 Δ_c	7 Δ_c
		중간	직선보간					
인장 가새 ^{5),6),7)}	H형강	10 Δ_T	13 Δ_T	0.6	0.5 Δ_T	10 Δ_T	13 Δ_T	
	쌍꺾형강	9 Δ_T	12 Δ_T	0.6	0.5 Δ_T	9 Δ_T	12 Δ_T	
	강관	9 Δ_T	11 Δ_T	0.6	0.5 Δ_T	8 Δ_T	11 Δ_T	
	파이프	8 Δ_T	9 Δ_T	0.6	0.5 Δ_T	7 Δ_T	9 Δ_T	
	단일꺾형강	10 Δ_T	11 Δ_T	0.6	0.5 Δ_T	8 Δ_T	10 Δ_T	
인장을 받는 보, 기둥 ⁵⁾		5 Δ_T	7 Δ_T	1.0	0.5 Δ_T	6 Δ_T	7 Δ_T	

TABLE C3.3
Modeling Parameters and Permissible Deformations for Nonlinear Analysis Procedures—Columns and Buckling-Restrained Braces Subject to Axial Force

Component	Modeling Parameters			Expected Deformation Capacity		
	Plastic Axial Deformation, in. (mm)		Residual Strength Ratio	Plastic Axial Deformation, in. (mm)		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	IO	LS	CP
Columns in Tension	$5\Delta_T$	$7\Delta_T$	1.0	$0.5\Delta_T$	$6\Delta_T$	$7\Delta_T$
Buckling-Restrained Braces in Tension or Compression ^{[a] [b]}	$13.3\Delta_y$	$13.3\Delta_y$	1.0	$3.0\Delta_y$	$10\Delta_y$	$13.3\Delta_y$

^[a] Maximum strain of the buckling-restrained brace core shall not exceed 2.5%.

^[b] If testing to demonstrate compliance with Section E3.4a is not available, the values shall be multiplied by 0.7.

접합부 관련 몇 가지 이슈들

기존건축물 내진성능향상지침

“SPEC연구단 보고서 기반” 발간에 부처

이 지침서는 국토교통부에서 지원하는 건축물안전성 향상기술 연구단 (SPEC 2013-2018)의 연구결과를 토대로 시설안전공단의 “기존건축물 내진성능향상요령”을 참조하여 2016-2018 동안 연구단 참여연구진의 연구 결과, 회의와 토론회를 거쳐 자문회와 공청회를 통해 작성되었다. 또한 국내외 내진성능향상지침에 대한 기존의 보고서와 지침서를 분석하여 구성을 체계화하였다. 특히 보강설계 및 시공은 기존구조물과 보강부재의 접합부의 응력전달과 적합성이 중요하므로 신규부재의 계면에 대한 설계 및 시공에 대한 내용을 콘크리트구조보강 장에 배치하고 접합종류별 설계법을 제시하였다.

Chapter 1 총 칙 / 1

- 1.1 일반사항
- 1.2 관련기준과 규격
- 1.3 용어 정의

Chapter 2 성능향상목표와 수준 / 13

- 2.1 일반사항
- 2.2 성능향상목표
- 2.3 성능향상수준의 정의
- 2.4 성능향상 설계지진

Chapter 3 내진성능향상절차 / 23

- 3.1 일반사항
- 3.2 사전검토에 대한 조치
- 3.3 성능향상설계
- 3.4 설계 검증
- 3.5 시공 및 품질관리

Chapter 4 철근콘크리트구조 / 37

- 4.1 일반사항
- 4.2 부재보강설계
- 4.3 보-기둥 접합부 보강
- 4.4 시스템보강
- 4.5 계면접합

Chapter 5 조적조 / 79

- 5.1 일반
- 5.2 벽체보강
- 5.3 인접부재 연결 보강
- 5.4 시스템 보강

Chapter 6 강구조 및 합성구조 / 87

- 6.1 일반사항
- 6.2 부재 보강
- 6.3 시스템 보강
- 6.4 데크 플레이트 보강

- 부재보강
- 시스템레벨 보강
- “접합부성능향상”

Chapter 7 기초보강 / 107

- 7.1 일반
- 7.2 기초보강의 방향
- 7.3 기초구조 보강

Chapter 8 비구조요소 / 111

- 8.1 일반사항
- 8.2 성능평가 및 보강
- 8.3 내진성능향상

접합부 관련 몇 가지 이슈들

S.-Y. Kim, C.-H. Lee / Journal of Constructional Steel Research 139 (2017) 62–68

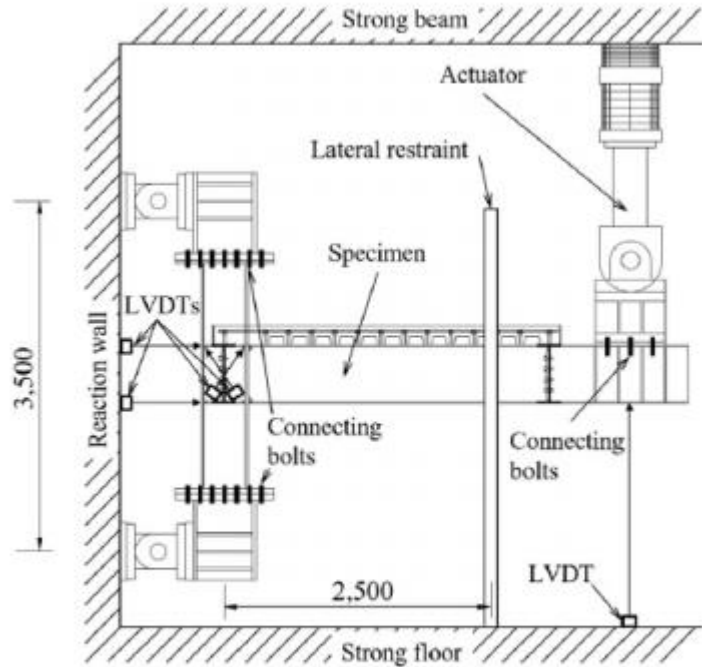


Fig. 3. Typical test set-up.

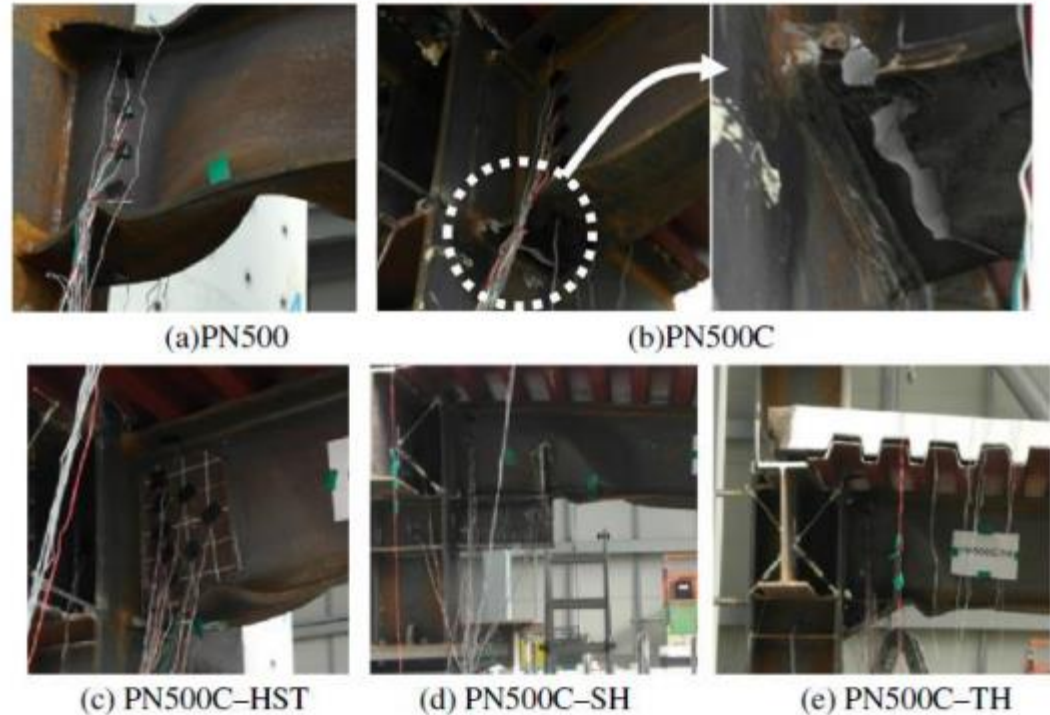


Fig. 4. Photographs showing plastic hinge region after completion of testing.

접합부 관련 몇 가지 이슈들

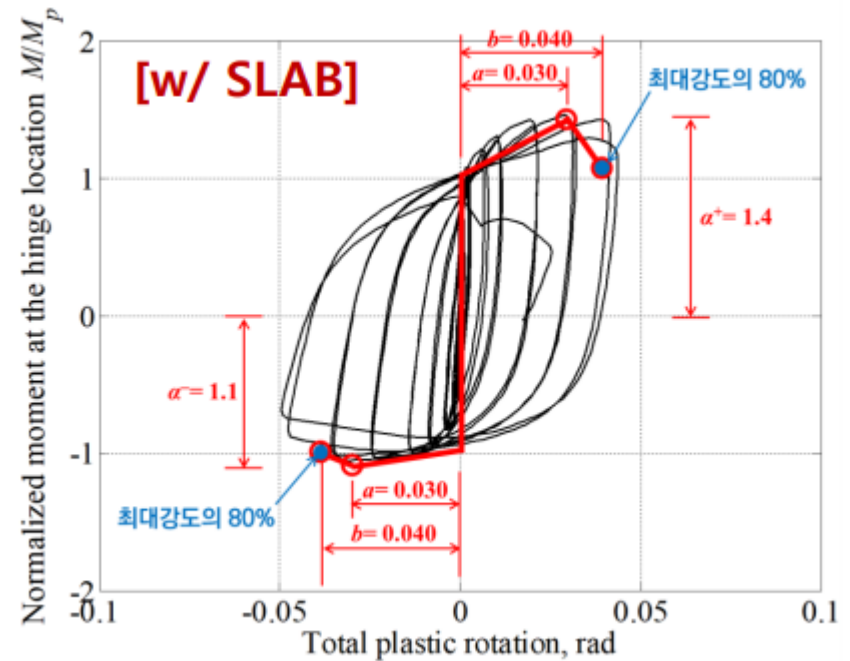
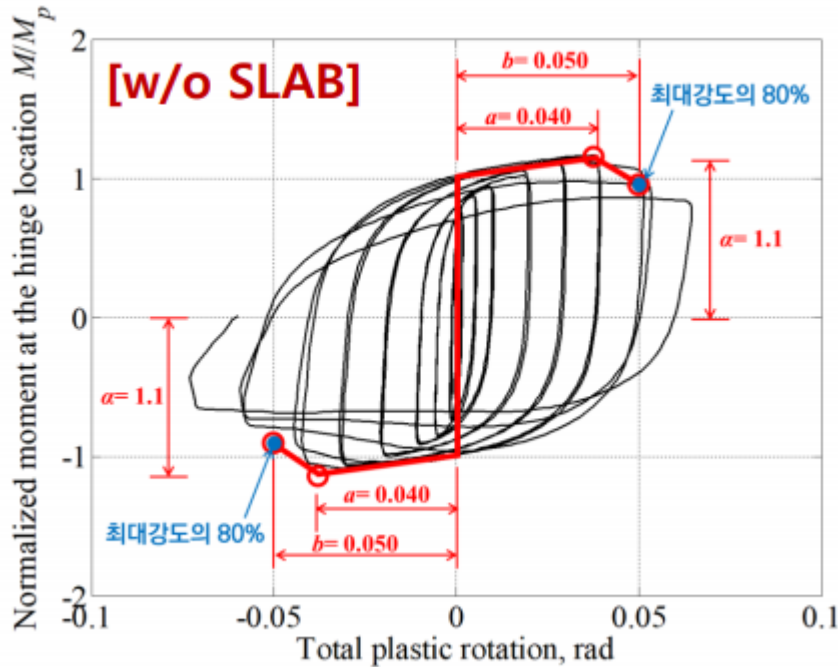


Table 9-7.2. Modeling Parameters and Acceptance Criteria for Nonlinear Procedures—Structural Steel Components Other Than Beams and Columns—Flexural and Shear Actions

Component or Action	Modeling Parameters			Acceptance Criteria		
	Plastic Rotation Angle, Radians		Residual Strength Ratio	Plastic Rotation Angle, Radians		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	IO	LS	CP
Column Panel Zones—Shear						
For $|P|/P_{ye} < 0.4$	$12\gamma_y$	$12\gamma_y$	1.0	$1\gamma_y$	$12\gamma_y$	$12\gamma_y$
For $|P|/P_{ye} \geq 0.4$	$20(1 - |P|/P_{ye})\gamma_y$	$20(1 - |P|/P_{ye})\gamma_y$	$5/3(1 - |P|/P_{ye})$	$5/3(1 - |P|/P_{ye})\gamma_y$	$20(1 - |P|/P_{ye})\gamma_y$	$20(1 - |P|/P_{ye})\gamma_y$
Fully Restrained Moment Connections—Flexure^c						
WUF ^d	$0.051-0.0013d$	$0.043-0.00060d$	0.2	$0.026-0.00065d$	$0.0323-0.00045d$	$0.043-0.00060d$
Bottom haunch in WUF with slab	0.026	0.036	0.2	0.013	0.0270	0.036
Bottom haunch in WUF without slab	0.018	0.023	0.2	0.009	0.0180	0.023
Welded cover plate in WUF ^d	$0.056-0.0011d$	$0.056-0.0011d$	0.2	$0.028-0.00055d$	$0.0420-0.00083d$	$0.056-0.0011d$
Improved WUF—bolted web ^d	$0.021-0.00030d$	$0.050-0.00060d$	0.2	$0.010-0.00015d$	$0.0375-0.00045d$	$0.050-0.00060d$
Improved WUF—welded web	0.041	0.054	0.2	0.020	0.0410	0.054
Free flange ^d	$0.067-0.0012d$	$0.094-0.0016d$	0.2	$0.034-0.00060d$	$0.0705-0.0012d$	$0.094-0.0016d$

접합부의 비선형해석절차 주요변수/허용기준 ASCE 41-17:2017

표 6.4.2 철골완전강접모멘트접합부의 비선형해석절차 모델링 주요변수 및 허용기준

		모델링 파라미터			허용기준 (소성회전각, rad.)		
		소성회전각 (rad.)		잔류 강도비 c	즉시거주	인명안전	붕괴방지
		a	b				
보 - 힘	내진콤팩트단면	$9\theta_v$	$11\theta_v$	0.6	$1\theta_v$	$9\theta_v$	$11\theta_v$
	비콤팩트단면	$4\theta_v$	$6\theta_v$	0.2	$0.25\theta_v$	$3\theta_v$	$4\theta_v$
기동 - 힘 ① ($P < 0.2P_{CL}$)	내진콤팩트단면	$9\theta_v$	$11\theta_v$	0.6	$1\theta_v$	$9\theta_v$	$11\theta_v$
	비콤팩트단면	$4\theta_v$	$6\theta_v$	0.2	$0.25\theta_v$	$3\theta_v$	$4\theta_v$
기동 - 힘 ② $0.2P_{CL} \leq P \leq 0.5P_{CL}$	내진콤팩트단면	$11 k_p \theta_v$	$17 k_p \theta_v$	0.2	$0.25\theta_v$	$8 k_p \theta_v$	$11 k_p \theta_v$
	비콤팩트단면	$1\theta_v$	$1.5\theta_v$	0.2	$0.25\theta_v$	$1.2\theta_v$	$1.2\theta_v$
기동 - 힘 ($P > 0.5P_{CL}$)		힘지배거동					
패널존		$12\theta_v$	$12\theta_v$	1.0	$1\theta_v$	$12\theta_v$	$12\theta_v$
철골완전강접모멘트접합부							
전용접 접합부 또는 웹볼트 플랜지현장용접 접합부		0.051 $-5.1 \times 10^{-5}d$	0.043 $-2.4 \times 10^{-5}d$	0.2	0.026 $-2.6 \times 10^{-5}d$	0.0323 $-1.8 \times 10^{-5}d$	0.043 $-2.4 \times 10^{-5}d$
보플랜지절취형(RBS) 접합부		0.050 $-1.2 \times 10^{-5}d$	0.070 $-1.2 \times 10^{-5}d$	0.2	0.025 $-0.6 \times 10^{-5}d$	0.0525 $-0.9 \times 10^{-5}d$	0.07 $-1.2 \times 10^{-5}d$
용접하부현치 접합부		0.027	0.047	0.2	0.014	0.0353	0.047
용접상부현치 접합부		0.028	0.048	0.2	0.014	0.0360	0.048

경청해 주셔서 감사합니다.
