

기존 시설물(건축물) 내진성능

평가요령

2011. 7.



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

한 국 시 설 안 전 공 단

<차 례>

제 1 장. 총 칙	1
1.1 일반사항	1
1.1.1 구조물의 분류	1
1.1.2 평가자의 자격	2
1.1.3 내진성능 평가절차	2
1.1.4 재료강도의 결정	3
1.1.5 내진성능 평가결과 보고서	5
1.2 용어 정의	6
제 2 장. 내진성능 평가기준 지진과 성능목표	10
2.1 일반사항	10
2.2 지진위험도	11
2.2.1 평가기준 지진의 스펙트럼 가속도	11
2.2.2 지진구역 및 지역계수	11
2.2.3 지반의 분류 및 지반증폭계수	12
2.2.3.1 지반종류	12
2.2.3.2 지반분류의 기준면	12
2.2.4 평가기준 지진의 응답가속도스펙트럼	13
2.3 성능수준의 정의	15
제 3 장. 내진성능 예비평가	17
3.1 일반사항	17
3.1.1 적용대상건물의 범위	17
3.1.2 자료조사 및 정리	22
3.2 지진하중	24
3.3 시스템별 평가절차	25
3.3.1 철근콘크리트조	25

3.3.1.1 재료강도 및 부재강도 평가	25
3.3.1.2 평가방법 및 성능수준의 판정	28
3.3.2 철골조	35
3.3.2.1 재료강도 및 부재강도 평가	35
3.3.2.2 평가방법 및 성능수준의 판정	35
3.3.3 조적조	41
3.3.3.1 재료강도 및 부재강도 평가	41
3.3.3.2 평가방법 및 등급산정	42
3.3.4 철골철근콘크리트조	46
제 4 장. 1단계 내진성능 상세평가	50
4.1 일반사항	50
4.1.1 적용대상건물의 범위	50
4.1.2 자료조사	50
4.2 해석방법	50
4.2.1 선형정적절차	50
4.2.1.1 지진하중의 산정	50
4.2.1.2 주기	51
4.2.1.3 지진력의 수직분포	52
4.2.2 선형동적절차	52
4.2.2.1 모드응답의 조합	53
4.2.3 비틀림의 고려방법	53
4.2.4 1차부재와 2차부재	54
4.2.5 변형지배거동과 하중지배거동	54
4.2.6 다축가진 효과	55
4.2.7 구조요소의 모델링 방법	55
4.2.7.1 RC 부재의 유효강성	55
4.2.7.2 조적채움벽의 유효강성	55
4.2.7.3 조적내력벽체의 유효강성	57
4.3 평가방법	58
4.3.1 하중조합	58

4.3.1.1 중력하중	58
4.3.1.2 변형지배거동	58
4.3.1.3 하중지배거동	58
4.3.2 부재강도	59
4.3.2.1 RC부재의 부재강도	59
4.3.2.2 조적채움벽의 부재강도	62
4.3.2.3 조적내력벽체의 부재강도	63
4.3.2.4 철골부재의 강도	66
4.3.2.5 철골철근콘크리트부재의 강도	66
4.3.3 허용기준	67
4.3.3.1 변형지배거동	67
4.3.3.2 하중지배거동	67
4.3.4 부재별 m 계수 및 성능수준의 판정	67
4.3.4.1 철근콘크리트 부재	67
4.3.4.2 철골 부재	73
4.3.4.3 조적 부재	74
4.3.4.4 철골철근콘크리트 부재	74
4.4 성능수준의 결정	75

제 5 장. 2단계 내진성능 상세평가	76
5.1 일반사항	76
5.1.1 적용대상건물의 범위	76
5.1.2 자료조사	76
5.2 해석방법	77
5.2.1 해석모델	77
5.2.2 횡하중의 수직분포	77
5.2.3 구조요소의 모델링	78
5.3 평가절차	78
5.3.1 성능점의 산정	78
5.3.2 부재별 모델링파라미터, 허용기준 및 성능수준의 판정	81
5.3.2.1 철근콘크리트 부재	81

5.3.2.2 철골 부재	86
5.3.2.3 조적 부재	87
5.3.2.4 철골철근콘크리트 부재	87
5.4 성능수준의 결정	87
부록 A. 철근콘크리트조 성능평가 예제	91
A.1 건물개요	93
A.2 철근콘크리트골조 예비평가	96
부록 B. 철골조 성능평가 예제	101
B.1 건물개요 및 예비평가	103
B.2 내진설계된 철골조 예제건물의 성능평가	107
부록 C. 조적조 성능평가 예제	109
C.1 건물개요	111
C.2 조적조 예비평가	112

<표 차례>

표 1.1.1 건축물의 구조시스템별 분류	1
표 1.1.2 설계도서가 있는 경우 콘크리트강도 및 조적의 강도 결정방법	3
표 1.1.3 설계도서가 없는 경우 콘크리트강도 및 조적의 강도 결정방법	3
표 1.1.4 설계기준강도로부터 평균강도를 구하기 위한 재료별 보정계수	4
표 1.1.5 경과년수 및 재료상태에 따른 재료강도의 감소계수	4
표 1.1.6 건설연도별 재료의 기본값	5
표 2.1.1 요구성능수준	10
표 2.2.1 지진구역 구분 및 지역계수	12
표 2.2.2 지반의 분류	12
표 2.2.3 지반증폭계수 F_a	13
표 2.2.4 지반증폭계수 F_v	13
표 2.3.1 구조부재의 손상에 따른 성능 수준	15
표 2.3.2 성능수준의 정의	15
표 3.1.1 비정형성 검토 시트	20
표 3.1.2 예비평가 자료정리 양식	23
표 3.2.1 평가기준 지진의 단주기설계스펙트럼가속도(S_{DS})	24
표 3.3.1 철근콘크리트구조 건축물의 건설연도별 기본값	26
표 3.3.2 기둥의 평균전단응력	26
표 3.3.3 전단벽의 종류에 따른 단면적 및 전단응력 산정	27
표 3.3.4 철근콘크리트조의 성능수준 판정을 위한 DCR 기준	29
표 3.3.5 철근콘크리트조 예비평가 시트	30
표 3.3.6 철골조의 성능수준 판정을 위한 DCR 기준	38
표 3.3.7 철골조의 예비평가 시트	38
표 3.3.8 조적조 평균전단응력	41
표 3.3.9 경과년수 및 재료상태에 따른 강도 보정계수	41
표 3.3.10 조적조 성능수준 판정을 위한 DCR 기준	43
표 3.3.11 조적조 예비평가 시트	44
표 3.3.12 철골철근콘크리트조의 예비평가 시트	47
표 4.2.1 최대 비탄성변위와 선형탄성변위의 보정을 위한 수정계수 C	51

표 4.2.2 변형지배거동과 하중지배거동의 구분	55
표 4.2.3 RC 부재의 유효강성	56
표 4.3.1 접합부강도산정시 γ 계수	62
표 4.3.2 철근콘크리트 보의 m 계수	68
표 4.3.3 철근콘크리트 기둥의 m 계수	69
표 4.3.4 철근콘크리트 전단벽의 m 계수	70
표 4.3.5 철근콘크리트 기둥-보 접합부의 m 계수	71
표 4.3.6 조적채움벽의 등가압축가새의 m 계수	72
표 4.3.7 조적채움벽을 가진 철근콘크리트기둥의 m 계수	72
표 4.3.8 철골부재의 m 계수	73
표 4.3.9 조적조부재의 m 계수	74
표 4.4.1 성능수준의 판정	75
표 5.3.1 철근콘크리트 보의 모델링파라미터 및 허용기준	81
표 5.3.2 철근콘크리트 기둥의 모델링파라미터 및 허용기준	82
표 5.3.3 철근콘크리트 전단벽의 모델링파라미터 및 허용기준	83
표 5.3.4 철근콘크리트 기둥-보 접합부의 모델링파라미터 및 허용기준	84
표 5.3.5 조적채움벽의 등가대각압축가새의 모델링파라미터 및 허용기준	85
표 5.3.6 조적채움벽을 가진 철근콘크리트기둥의 모델링파라미터 및 허용기준	85
표 5.3.7 철골부재의 모델링파라미터 및 허용기준	86
표 5.3.8 조적부재의 모델링파라미터 및 허용기준	87
부록 표 A.1.1 기존 요령에 의한 내진성능예비평가표 (철근콘크리트조)	95
부록 표 A.2.1 철근콘크리트골조의 예비평가 시트	96
부록 표 B.1.1 철골조의 예비평가 시트	104
부록 표 B.2.1 철골조 예제건물2의 단면성능 및 컴팩트 단면여부 검토	107
부록 표 B.2.2 철골조 예제건물2의 층의 저항능력	107
부록 표 B.2.3 철골조 예제건물2의 DCR 산정결과 (S_d 지반)	107
부록 표 B.2.4 지반조건의 변화에 따른 철골조 예제건물2의 예비평가결과	108
부록 표 C.2.1 조적조의 예비평가 시트	112

<그림 차례>

그림 2.2.1 설계스펙트럼 가속도(KBC2009)	14
그림 3.1.1 횡력 저항요소의 면내 어긋남	19
그림 3.3.1 기둥의 순높이	26
그림 4.2.1 조적채움벽의 모델링	57
그림 5.2.1 소성힌지 특성 모델	78
그림 5.3.1 역량스펙트럼법 (FEMA 440)	79
부록 그림 A.1.1 보복도	93
부록 그림 A.1.2 단면도 (x방향)	94
부록 그림 A.1.3 단면도 (y방향)	94
부록 그림 B.1.1 예제건물의 형상	103
부록 그림 C.1.1 예제건물의 평면도	111
부록 그림 C.1.2 예제건물의 입면도	111

제1장 총 칙

1.1 일반사항

이 평가요령은 중저층의 기존 건축구조물의 내진평가에 사용할 수 있다. 이 요령의 내진성능 평가 절차는 예비평가 및 1단계 상세평가, 2단계 상세평가의 3단계로 구성되어 있으며, 적용대상은 각 단계의 평가절차에서 규정한다. 장스팬구조물과 고층건축물의 경우, 이 요령의 규정을 따르지 않더라도 구조공학의 원리에 맞는 정밀한 해석과 합리적인 절차를 사용하여 내진성능평가를 수행할 수 있다.

1.1.1 구조물의 분류

이 평가 요령의 적용대상구조물은 크게 구조재료에 따라 철근콘크리트구조, 철골구조, 조적조, 철골철근콘크리트조로 나뉘며 표 1.1.1과 같이 소분류로 세분할 수 있다.

표 1.1.1 건축물의 구조시스템별 분류

대분류	소분류
철근콘크리트구조 (RC)	RC 모멘트골조
	RC 전단벽+모멘트골조
	RC 전단벽
철골구조 (S)	철골 모멘트골조
	철골 가새골조
	철골 모멘트골조+RC 전단벽
비보강 조적조 (M)	비보강 조적조
철골철근콘크리트조 (SRC)	SRC 모멘트골조
	SRC 모멘트골조 + RC 전단벽

[해설]

표 1.1.1에서 전단벽과 모멘트골조가 복합된 구조물의 경우, KBC2009에 따른 이중골조의 정의에 부합하는지 검토할 필요 없이 엔지니어의 판단에 의하여 결정할 수 있다. 최근에는 모멘트골조와 전단벽 모두를 가지는 건축물이 많으나 대부분 지진력은 전단벽이 부담하고 골조는 연직하중만을 부담하도록 설계되는 경우가 많다. 이러한 구조물을 내진평가할 때, 전단벽이 모든 지진하중을 부담한다고 가정하면 예비평가에서는 전단벽의 면적만을 고려하여야 하고 상세평가의 경우 4.2.4의 규정에 따라 모델링되어야 하며 골조는 2차부재로서 요구되는 성능을 만족시켜야 한다. 반면에 전단벽과 골조 모두가 지진하중에 대해 저항한다고 가정하면, 모든 평가단계에서 전단벽

과 골조 모두를 고려하며 1차부재에 해당하는 허용조건을 사용하여 평가한다.

1.1.2 평가자의 자격

신뢰할 만한 평가를 위해서 구조물의 내진성능 평가자는 지진공학 및 내진설계에 대한 전문적인 지식을 갖는 건축구조기술사 혹은 이와 동등한 자격을 가진 구조전문가로 제한한다. 다만, 이 요령의 3.1.1에서 규정한 정형적인 형태를 가지는 건물의 경우 일반 건축구조전공자도 이 요령에서 제시하는 예비평가시트를 사용하여 예비평가를 수행할 수 있다.

1.1.3 내진성능 평가절차

이 요령에 따른 기존 건축물의 내진성능 평가는 다음과 같은 3 단계로 이루어진다.

- ① 내진성능 예비평가 : 대상구조물에 대한 간단한 자료를 토대로 내진성능 상세평가의 필요성을 판단하기 위한 목적으로 실시한다. 예비평가에서는 간단한 자료 및 약산식을 사용하여 산정된 강도를 통해 내진성능을 보수적으로 평가한다. 매우 간략화된 약산식을 사용하므로 정형의 구조물만 적용할 수 있으며, 예비평가에서 평가결과가 만족하지 못할 경우 내진성능에 문제가 있을 가능성이 높음을 의미하므로 상세평가를 통한 정밀한 평가를 권장한다.
- ② 1단계 내진성능 상세평가 : 대상구조물에 대한 탄성해석의 결과를 토대로 주로 부재의 강도측면에 서 내진성능을 평가한다. 1단계 내진성능 상세평가에서 평가결과가 만족하지 못할 경우 2단계 내진성능 상세평가를 권장한다.
- ③ 2단계 내진성능 상세평가: 대상구조물의 비선형 해석을 원칙으로 하며 부재의 연성도 및 변형 능력을 고려하여 평가한다. 비선형 정적해석을 통해 성능점을 구하고 성능점에서 발생한 부재의 응력 및 변형을 개별 부재의 연성도 및 변형능력과 비교하여 검토한다. 성능점을 산정하기 위한 방법으로는 역량스펙트럼법(Capacity Spectrum Method)과 변위계수법(Displacement Coefficient Method) 등을 사용할 수 있다. 또는 구조공학의 원리에 맞는 합리적인 가정을 통해 이 요령에 규정된 방법대신 비선형동적해석이나 다중모드푸시오버해석을 2단계 내진성능 상세평가에 사용할 수도 있다.

내진성능평가절차는 그림 1.1.1과 같이 자료정리, 재료강도의 결정, 현장방문을 통한 조적채움벽 조사, 비정형성평가, 예비평가, 1단계 상세평가, 2단계 상세평가의 순서로 수행된다. 예비평가에서부터 1단계 내진성능상세평가, 2단계 내진성능상세평가의 순서로 수행하는 것이 일반적이나 상위단계의 평가를 바로 수행할 경우 하위단계의 평가절차는 생략할 수도 있다.

각 단계 내진성능 성능평가지 재료강도는 1.1.4에 규정된 절차를 통해 결정한다. 상세평가를 위해서는 단면치수와 배근상태 등의 단면특성에 대한 정보가 반드시 필요하다. 설계도서가 없을 경우 현장조사 및 철근탐사기법등을 사용하여 각 단계의 평가에 충분한 정도의 정보를 취득하여야 한다. 설계도서가 있을 경우에도 현장조사를 통해 평면의 용도변경 및 조적벽체의 설치에 대한 조사를 수행하고 상세평가지 이를 반영하여야 한다.

예비평가는 배근상태에 관한 정보가 없을 경우에도 수행할 수 있으나 현장조사를 통해 하중을 저항하는 수직부재의 치수를 조사하여야 한다.

모든 평가단계에서 조적채움벽의 위치 및 치수를 반드시 조사하여야 하며, 상세평가 시 조적채움벽의 효과를 고려하는 경우와 고려하지 않는 경우로 나누어 각각 평가한 후 최종평가결과는 이중 불리한 쪽으로 판정한다.

1.1.4 재료강도의 결정

내진성능평가를 위한 재료강도는 현장시험, 연도별 기본재료강도, 혹은 설계도서상의 설계기준강도에 사용연수 및 재료상태에 따른 감소계수를 곱한 값 중의 하나를 사용한다. 설계도서의 유무에 따른 각 평가단계별 콘크리트강도 및 조적의 강도 결정방법은 대상건축물의 요구성능수준(표 2.1.1)에 따라 표 1.1.2 및 표 1.1.3과 같이 규정된다.

설계도서의 공칭강도를 사용할 경우 내진성능평가에서는 대상구조물이 설계도서에 따라 시공되었다고 보고 설계도서상의 재료특성에 표 1.1.5에 따른 사용연수 및 재료상태에 따른 감소계수를 적용한다. 현장시험을 통해 콘크리트강도 및 조적의 강도를 결정할 경우 그 절차는 시설물의 안전점검 및 정밀안전진단지침(비파괴 시험법 포함)을 따른다. 연도별 기본재료강도는 이 요령의 표 1.1.6에 제시되어 있다.

설계도서가 없는 경우 철근 및 강재, 철골부재의 재료강도는 표 1.1.6의 연도별 기본값을 사용할 수 있다.

표 1.1.2 설계도서가 있는 경우 콘크리트강도 및 조적의 강도 결정방법

	거주가능(내진특등급)	인명안전(내진1등급)	붕괴방지(내진2등급)
예비평가	공칭강도×감소계수 혹은 현장시험	공칭강도×감소계수 혹은 현장시험	공칭강도×감소계수 혹은 현장시험
1단계 내진성능상세평가	현장시험	현장시험	공칭강도×감소계수 혹은 현장시험
2단계 내진성능상세평가	현장시험	현장시험	공칭강도×감소계수 혹은 현장시험

표 1.1.3 설계도서가 없는 경우 콘크리트강도 및 조적의 강도 결정방법

	거주가능(내진특등급)	인명안전(내진1등급)	붕괴방지(내진2등급)
예비평가	기본재료강도 혹은 현장시험	기본재료강도 혹은 현장시험	기본재료강도 혹은 현장시험
1단계 내진성능상세평가	현장시험	현장시험	기본재료강도 혹은 현장시험
2단계 내진성능상세평가	현장시험	현장시험	기본재료강도 혹은 현장시험

설계도서에 명기된 설계기준강도는 재료의 하한(Lower-bound)값으로 간주한다. 평균강도는 각 재료별로 설계기준강도에 표 1.1.4에 따른 계수를 곱하여 구할 수 있다.

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

설계도서상의 설계기준강도를 사용할 경우 표 1.1.5와 같이 경과년수에 따른 감소계수와 재료상태에 따른 감소계수를 곱하여 사용한다. 현장조사를 실시하지 않을 경우 재료상태는 불량으로 간주한다. 재료의 상태는 구조요소에 발생한 균열발생, 변형, 화재이력, 마무리정도에 따라 엔지니어의 판단에 의해 결정하며 재료상태를 보통 혹은 양호로 판정할 경우 그 판단근거를 제시하여야 한다. 조적조의 경우 쌓기 모르타르의 충전상태를 조사하지 않을 경우 재료상태를 불량으로 간주한다.

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

건설연도별 재료강도의 기본값은 표 1.1.6과 같다. 기본값을 사용할 경우 콘크리트 압축강도의 경과년수에 따른 재료강도의 감소는 이미 고려되어 있으므로 추가적으로 적용하지 않는다.

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

[해설]

FEMA 356에서도 표 1.1.5와 유사한 형태로 공칭강도로부터 평균강도를 얻기 위한 보정계수를 제시하고 있다. 단, FEMA 356에서는 콘크리트 설계기준압축강도로부터 평균강도를 추정하기 위한 계수로 1.50을 제시하고 있으나, 품질관리가 철저하지 못하였던 예전의 국내 기존 콘크리트 건축물 시공실태를 반영하여 보수적인 평가를 위해 1.20을 사용하도록 하였다.

국내 현장조사결과 조적조 건축물의 노후도는 심각한 수준으로 보고되고 있다. 조적조의 강도를 최대 25%까지 저감시킨 것은 이러한 상황을 고려하여 FEMA 356(FEMA356 Table 7.1)에서 상태가 나쁜 조적벽의 압축강도는 상태가 양호한 경우에 비해 1/3수준으로 낮게 보고 있으며 전단강도는 1/2수준으로 저감시킴을 참고하여 보수적으로 결정하였다.

표 1.1.6 건설연도별 재료의 기본값 중 1971년~2000년까지의 자료는 "국내실정에 맞는 취성파괴형 및 삼중수평저항 시스템 건축물의 내진성능평가기법개발(한국시설안전공단, 2008)"에 수록되어 있는 국내 중·저층 철근콘크리트를 대상으로 한 조사자료를 근거로 하고 있으며, 2001년 이후의 값은 현재 사용되는 가장 낮은 콘크리트 및 철근의 강도를, 1971년 이전의 값은 1970년~1988년 자료로부터 노후도를 감안하여 저감시켜 결정하였다. 참고로 일본의 경우 재료강도의 최소치 조사결과를 보면 1957년에는 13.5MPa, 1962년 15MPa, 1972년 18MPa로 보고되고 있다.

1.1.5 내진성능 평가결과 보고서

내진성능을 평가한 후 평가결과를 보고서의 형태로 제출한다. 보고서의 문장은 간결하고 앞 뒤 연결 관계가 명확하여야 하며, 객관적인 자료수집과 분석 그리고 결론으로 이루어져야 한다. 보고서에 포함되어야 하는 항목은 다음과 같으며 예비평가만 수행된 경우 ③과 ④는 생략할 수 있다.

- ① 수행된 평가의 단계 : 예비평가, 1단계 상세평가, 2단계 상세평가
- ② 구조물에 대한 정보
 - 층수, 평면치수, 건물높이
 - 구조형식 : 지진력저항시스템, 연직하중저항시스템
 - 주요 비구조요소(조적채움벽)의 위치 및 치수
 - 건물의 용도, 건축법상 내진등급에 의한 요구성능수준
 - 지반조건
 - 재료강도 및 재료상태
- ③ 구조해석 모델 및 가정 사항
- ④ 부재별 평가결과
- ⑤ 최종 판정결과 및 결론

예비평가 보고서 작성시 구조시스템별로 제시된 예비평가시트를 사용할 수 있다. 1단계 내진성능 상세평가 보고서는 구조해석에 대한 방법 및 개념을 이해할 수 있도록 하여야 하며 해석결과에 대한 명확한 분석이 포함되어야 한다. 2단계 내진성능 상세평가 보고서는 비선형해석시 사용된 부재별 비선형 능력에 대한 가정 및 해석결과를 토대로 부재강도 및 변형을 분석하고 평가한 결과를 포함하여야 한다. 1단계 및 2단계 내진성능 상세평가보고서에는 해석결과를 토대로 판정된 부재별 성능수준 및 이를 근거로 판정한 구조물 전체의 성능수준을 포함하여야 한다.

1.2 용어 정의

이 평가요령에 사용되는 주요 용어의 정의는 원칙적으로 '건축구조기준(KBC2009, 국토해양부 제정)' 및 '건축구조용어사전(대한건축학회, 2008)'에 따른다. 그 밖의 용어에 대해서는 아래의 정의를 따른다.

1차부재 (primary component) : 지진력을 저항하는 부재로서 주로 지진력하중저항시스템 내의 부재.

2차부재 (secondary component) : 연직하중을 저항하는 부재. 횡하중에 저항하지는 않으나 횡하중 작용시 변형이 조건에 맞아야 한다.

m 계수 : 변형지배거동 참조

가새골조 : 가새 부재의 축방향력을 통해 횡력을 지지하는 구조 방식을 말한다.

감쇠 : 운동하는 물체에 저항하는 힘으로, 일반적으로 운동속도에 비례하는 저항력을 뜻함

공진 : 어떤 진동계가 고유진동수에 가까이 혹은 일치하는 주기적인 외력을 받게 될 때, 반응량이 급

격히 증가하는 현상

관성력 : 운동하는 물체에 작용하는 힘으로, 질량 \times 가속도의 크기를 갖고 방향은 가속도와 반대되는 힘

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.

등가선형화법 (Equivalent linearization method) : 역량스펙트럼법

모멘트골조방식 : 수직하중과 횡력을 보와 기둥으로 구성된 라멘골조가 부담하는 구조방식을 말한다.

목표변위 (Target displacement) : 주어진 규모의 지진에 대하여 변위계수법을 통해 산정되는 구조물의 변위의 예측치. 목표변위는 역량스펙트럼법에 의해 구해지는 성능점과 같은 의미이다.

밀면 : 지진 등이 건축 구조체에 전달되는 위치로서 구조체가 지면과 직접 접하는 지반표면의 부위를 말한다.

밀면전단력 : 구조물의 밀면에 작용하는 설계용 총 전단력을 말한다.

변위계수법 (Displacement coefficient Method) : 주어진 규모의 지진력 작용시 구조물의 횡변위를 예측하는 방법. 탄성단자유도시스템의 최대예상변위에 구조물의 항복 및 다자유도 효과 등을 고려하는 여러 계수를 곱하여 구한다.

변형지배거동 (Deformation-controlled action) : 지진력 저항시 항복이 수반되는 부재의 거동. 휨거동이 대표적이며 부재의 종류에 따라 휨 이외에 전단거동이 포함될 수 있다. 선형해석을 통한 평가에서 변형지배거동의 적합성, 즉 적절한 비선형 거동의 한계는 m 계수를 통해 판단하며, 비선형해석시에는 예측된 소성변형의 크기를 허용기준과 비교하여 평가한다.

비구조 부재 : 차양·장식탑·비내력벽 기타 이와 유사한 것으로서 내력이 없는 건축물의 구성부재를 말한다. 조적채움벽의 경우 비구조부재로 설계되나 구조물의 거동에 미치는 영향이 크므로 내진평가 시 고려되어야 한다.

성능수준 (Performance Level) : 평가기준 지진작용시 지진력에 의해 발생한 구조물의 변형 혹은 손상 등의 따른 구조물의 상태를 규정하기 위해 설정된 단계. 구조물의 성능수준으로는 거주가능, 인명안전, 붕괴방지의 세단계로 나뉜다.

성능점 : 지진에 의한 요구곡선 및 구조물의 역량곡선의 교차점. 요구곡선에 의해 규정되는 규모와 특성을 가진 지진 작용시 역량곡선에 의해 규정되는 강도와 비선형능력을 가진 구조물에서 발생하는 지진가속도 및 변위를 나타낸다.

스펙트럼 : 진동현상을 각 주파수 성분으로 분해하여 배열한 것. 구조물이 지나는 지진하중과 변위의 관계로, 등가 1자유도의 가속도-변위 관계로 나타낸 곡선을 말한다.

역량스펙트럼 (Capacity spectrum) : 스펙트럼가속도와 스펙트럼변위의 관계로 표현된 역량곡선.

역량곡선 (Capacity curve) : 횡하중을 증가시킬 때 구조물의 선형 혹은 비선형거동을 밀면전단력과 최상층변위로 표현한 곡선. 푸시오버 곡선이라고도 한다.

역량스펙트럼법 (Capacity spectrum method) : 지진에 의해 예상되는 구조물의 거동을 구하기 위해 구조물의 저항능력과 요구량을 역량스펙트럼과 요구스펙트럼의 형태로 한 곡선에 표현하여 성능점을 구하는 방법.

응답 : 어떤 계가 외부로부터 자극을 받아 반응하는 현상. 일반적으로 지진이나 바람 등의 외부 자극에 의해 건축물이 진동하는 현상 등에 쓰임.

의사지진력 : 평가기준 지진시 기대되는 구조물의 횡변위와 동일한 변위를 선형해석에서 나타나게 하는 지진하중.

재현주기 : 강우, 홍수, 지진 등과 같이 구조물에 영향을 미치는 환경조건의 강도와 발생의 변동을 통계적으로 표시하는 지표의 하나로서, 이미 관측된 값에 대해서는 각 년의 최대치가 정상적으로 독립하여 발생하는 것으로 어떤 크기 이상의 연 최대치가 몇 년에 한번 발생할 확률이 있는지를 정하여 그 연수를 재현주기라 함.

전단벽 : 벽의 면내로 횡력을 저항할 수 있도록 설계된 구조체를 말한다.

전단벽방식 : 수직하중과 횡력을 전단벽이 저항하는 구조방식을 말한다.

전단파속도 : 지반의 동적특성을 나타내는 지표의 하나로, 지반의 주기를 결정하거나 지반의 변형률을 결정하기 위해 필요한 요소

지진력저항시스템 : 지진하중을 저항하는 구조요소. 골조, 전단벽, 가새 혹은 이들이 복합적으로 사용된다.

지진하중: 구조물의 질량에 설계지진가속도를 곱한 값.

최대유효지반가속도(EPA): 특정지진의 5% 감쇠를 가지는 단자유도 구조물에 대한 가속도 응답스펙트럼 값에서 0.1초-0.4초의 단주기 범위의 값을 평균한 후 이를 2.5로 나누어 구한 값.

층간변위 : 인접 층 사이의 상대 변위를 말한다.

층지진하중 : 건축물의 각 층에 작용하는 지진하중을 말한다.

평가기준 지진 : 내진성능 평가기준 지진.

평균강도 : 실제로 기대되는 구조재료, 혹은 구조요소의 평균예상강도. 공칭강도보다 높다.

하중지배거동 (Force-controlled action) : 취성적 특성을 가지는 부재의 거동으로 지진력 저항시 항복이 수반되지 않거나 항복 후 저항력을 기대할 수 없는 부재의 거동.

제2장 내진성능 평가기준 지진과 성능목표

2.1 일반사항

내진성능 평가를 위한 지진하중과 지진위험도는 2009년 대한건축학회에서 제정한 '건축구조기준 및 해설'(이하 KBC2009)의 내용을 따른다. KBC2009에 따른 지진하중 즉, 2400년 재현주기 지진의 2/3수준의 지진 작용시 KBC2009에 정의된 내진특등급 건물, 내진1등급 건물, 내진2등급 건물은 각각 거주가능, 인명안전, 붕괴방지의 성능을 발휘할 수 있어야 한다. 내진성능 평가는 대상 건축물이 이러한 목표성능을 확보하고 있는지를 평가하여야 한다.

각 내진등급의 건축물에 요구되는 성능수준은 표 2.1.1과 같다.

표 2.1.1 요구성능수준

2400년 지진의 2/3 수준의 지진작용시 성능목표	KBC2009의 내진등급
거주가능	내진특등급
인명안전	내진1등급
붕괴방지	내진2등급
붕괴위험	없음

[해설]

내진설계기준연구 II(건설교통부, 1997)에서는 구조물의 내진성능목표를 기능수행과 붕괴방지의 두가지 성능수준을 사용하여 다음과 같이 제시한 바가 있다.

	성능수준	기능수행	붕괴방지
	재현주기		
설계지진	50년	II 등급	
	100년	I 등급	
	200년	특등급	
	500년		II 등급
	1000년		I 등급
	2400년		특등급

하지만 이후 국내 내진설계기준은 내진설계기준연구 II에서 제시된 설계지진 및 성능수준에 따른 것이라기 보다는 이후 미국에서 수행된 연구 및 내진설계기준의 개념을 사용하고 있다. 미국의 경우 신축건축물의 중요도별로 BSE-1의 지진(최대고려지진의 2/3 혹은 500년 재현주기

지진중 작은 값)과 BSE-2의 지진(최대고려지진, 약 2400년 재현주기 하중에 해당)에 대하여 다음과 같은 성능수준을 만족하는 것을 목표로 하고 있으며 한국의 내진설계기준도 이와 유사하다.

중 요 도	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)

또한 ASCE 41-06(FEMA 356)의 경우 기본적으로 요구되는 성능수준은 중요도에 상관없이 BSE-2 지진에 대해 붕괴방지, BSE-1 지진에 대해 인명안전이며 ASCE 31-03(FEMA 310)의 경우 BSE-1 지진에 대해 인명안전이며 중요도가 높은 건축물의 경우 추가적으로 거주가능을 요구하고 있다.

따라서 이 요령의 요구성능수준은 위의 표에서 BSE-1 지진에 대한 요구성능수준과 유사하나 내진2등급 건축물의 경우 요구성능수준을 인명안전에서 붕괴방지로 완화시킨 것이다.

2.2 지진위험도

2.2.1 평가기준 지진의 스펙트럼 가속도

평가기준 지진의 단주기스펙트럼가속도 S_{DS} 와 주기1초스펙트럼가속도 S_{D1} 는 각각 식(2.2.1)과 식(2.2.2)로부터 구한다.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S \times 2.5 \times F_a \quad (2.2.1)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S \times F_v \quad (2.2.2)$$

여기서, S는 표 2.2.1에 의해 주어지는 재현주기 2400년 지진의 유효지반가속도 즉, KBC2009의 지역계수이고, F_a 와 F_v 는 표 2.2.3과 표 2.2.4에 의해 주어진 지반증폭계수이다.

2.2.2 지진구역 및 지역계수

우리나라의 지진구역 및 이에 따른 지역계수 값은 표 2.2.1와 같이 구분한다.

표 2.2.1 지진구역 구분 및 지역계수

지진구역	행정구역	유효지반가속도 S
1	지진구역 2를 제외한 전지역	0.22
2	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도	0.14

※ 강원도 북부(군,시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시
 전라남도 남서부(군,시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

2.2.3 지반의 분류 및 지반증폭계수

2.2.3.1 지반종류

국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하 지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려하기 위하여 지반을 표 2.2.2와 같이 5종으로 분류한다. 지반의 분류를 위한 지반조사방법은 KBC2009의 “0402 지반조사”에 따라 수행한다.

표 2.2.2 지반의 분류

지반 종류	지반종류의 호 칭	상부 30m에 대한 평균 지반특성		
		전단파속도 (m/s)	표준관입시험 \overline{N} (타격횟수/300mm)	비배수전단강도 $\overline{s_u}$ ($\times 10^{-3}$ MPa)
S_A	경암 지반	1500 초과	—	—
S_B	보통암 지반	760에서 1500		
S_C	매우 조밀한 토사 지반 또는 연암 지반	360에서 760	> 50	> 100
S_D	단단한 토사 지반	180에서 360	15에서 50	50에서 100
S_E	연약한 토사 지반	180 미만	< 15	< 50

2.2.3.2 지반분류의 기준면1)

일반적으로 지반분류는 지표면을 기준으로 정한다. 다만, 지하층을 가진 구조물로서 직접기초를 사용하고 기초저면의 지반종류가 S_C 이상의 단단한 지반인 경우에는 기초면을 지반분류의 기준면으로 사용할 수 있다. 이때 지진에 의하여 지하층 구조벽에 작용하는 횡토압에 대하여 상부구조의 안전성을 확보하여야 한다. 말뚝기초를 사용하는 경우에는 지하구조 저면의 지반종류가 S_C 이상이고, 건물 진동의 입력이 지하구조의 저면을 통하여 전달되도록 설계, 시공되는 경우에 한하여 지하구조의 저면

1) 내진설계상 기준면은 상부에는 지진력을 작용시키지만, 하부에는 지진력을 작용시키지 않는 면을 말한다. 단, 건축구조물의 경우 기준면과 작용면은 일치하지 않을 수 있으며 지진하중의 적용은 관련규정(건축구조기준)에 의한다.

을 기준면으로 사용할 수 있으며, 그렇지 않은 경우에는 지표면을 기준면으로 사용하여야 한다.

지반증폭계수는 지반분류에 따라 표 2.2.3과 표 2.2.4와 같다.

표 2.2.3 지반증폭계수 F_a

지반종류	지진구역		
	$S_s \leq 0.25$	$S_s = 0.50$	$S_s = 0.75$
S_A	0.8	0.8	0.8
S_B	1.0	1.0	1.0
S_C	1.2	1.2	1.1
S_D	1.6	1.4	1.2
S_E	2.5	1.9	1.3

* S_s 는 S를 2.5배한 값이다. 위 표에서 S_s 의 중간값에 대하여는 직선 보간한다.

표 2.2.4 지반증폭계수 F_v

지반종류	지진구역		
	$S \leq 0.1$	$S = 0.2$	$S = 0.3$
S_A	0.8	0.8	0.8
S_B	1.0	1.0	1.0
S_C	1.7	1.6	1.5
S_D	2.4	2.0	1.8
S_E	3.5	3.2	2.8

* 중간 값에 대하여는 직선 보간한다.

2.2.4 평가기준 지진의 응답가속도스펙트럼

평가기준 지진의 응답가속도스펙트럼은 식 (2.2.1)에 따른 단주기 스펙트럼가속도 S_{DS} 와 식 (2.2.2)에 따른 주기1초스펙트럼가속도 S_{D1} 으로부터 다음 식에 따라 구한 후 그림 2.2.1과 같이 작성한다.

- (1) $T \leq T_0$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a 는 식 (2.2.3)에 따른다.
- (2) $T_0 \leq T \leq T_s$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a 는 S_{DS} 와 같다.
- (3) $T > T_s$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a 는 식 (2.2.4)에 따른다.

$$S_a = 0.6 \frac{S_{DS}}{T_o} T + 0.4 S_{DS} \quad (2.2.3)$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.2.4)$$

여기서, T = 주기(초), $T_o = 0.2 S_{D1} / S_{DS}$, $T_s = S_{D1} / S_{DS}$ 이다.

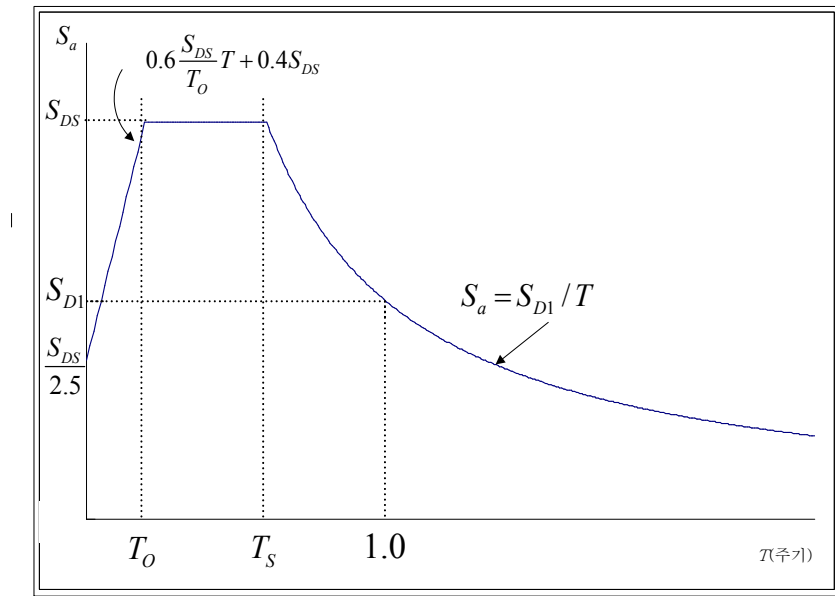


그림 2.2.1 설계스펙트럼 가속도(KBC 2009)

2.3 성능수준의 정의

구조물의 성능수준은 지진에 의한 구조체의 손상정도에 따라 표 2.3.1과 같이 거주가능, 인명안전, 붕괴방지의 3가지로 정의된다.

표 2.3.1 구조부재의 손상상태에 따른 성능수준

성 능 수 준	피 해
거주가능 (Immediate Occupancy level, IO)	지진 후 구조물의 피해는 경미하며 수직하중저항시스템과 지진력저항시스템은 지진전의 강성과 강도를 보유하고 있다. 구조부재의 손상으로 인명에 피해를 입을 가능성은 매우 낮으며 손상부재에 대한 보수가 필요하지만 거주가능을 위해 반드시 필요하지는 않다.
인명안전 (Life Safety level, LS)	구조부재에 상당한 손상이 발생하여 횡강성과 강도의 손실이 있으나 붕괴에 대해서는 여전히 여력을 보유하고 있다. 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.
붕괴방지 (Collapse Prevention level, CP)	구조물이 심각한 피해를 입은 상태로 국부적 혹은 전체적인 붕괴가 임박한 상태이다. 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.

이 내진평가 요령에 따른 내진성능평가결과는 건축물 전체의 성능수준으로 각 성능수준에 해당하는 구조물의 상태는 표 2.3.2과 같다.

표 2.3.2 성능수준의 정의

성능수준	상 태
거주가능	문제점이 없는 최상의 상태. 평가기준 지진작용시 구조부재의 피해는 무시할만하며 비구조체에 손상이 있으나 거주에 안전하며 보수와 청소를 통해 기능을 수행할 수 있음.
인명안전	평가기준 지진 작용시 구조물은 원래 횡강성과 강도를 손실하나 붕괴에 대해서는 여전히 여력을 보유하고 있음. 구조물은 영구변형이

내진성능평가

	발생. 구조물의 비구조요소에는 심각한 손상이 발생하여 기능을 수행하지 못하며 보수 전 거주는 안전하지 않음. 지진 발생동안 인명안전에 대한 위험은 매우 낮음.
붕괴방지	평가기준 지진 작용시 구조부재에 큰 피해가 예상됨. 대부분의 구조부재에서도 강도와 강성저하가 크게 일어나지만 수직하중저항시스템의 붕괴는 발생하지 않음. 여진에 의해 붕괴가능성이 있으므로 거주에 적합하지 않음. 구조물의 보수에 의한 기능의 복원이 사실상 어려움.
(붕괴)	평가기준 지진작용시 일부 수직하중저항시스템이 연직하중저항능력을 소실하여 부분적인 붕괴 혹은 전면적인 붕괴가 발생함.

[해설]

FEMA 356에서는 각 성능수준에 해당하는 층간변위각이 구조형식별로 제시되고 있으나 층간변위각은 같은 구조형식이라 할지라도 개별구조물의 특성에 따라 편차가 크므로 이 요령에서는 각 부재별로 하중저항능력 혹은 연성능력을 토대로 성능수준을 평가하고 이에 근거하여 구조물전체의 연직하중저항능력을 통해 구조물전체의 성능수준을 판정한다.

제3장 내진성능 예비평가

3.1 일반사항

내진성능 예비평가는 지진하중에 저항하는 수직부재의 재료강도와 단면치수로부터 개략적인 횡하중저항능력을 평가하고 이를 지진하중에 의해 건물에 작용하는 밀면전단력과 비교하여 강도측면에서 내진성능을 안전측으로 평가한다. 수직부재가 전단파괴될 경우는 비선형 거동이 일어나지 않으므로 전단파괴하중을 그 부재의 횡하중저항능력으로 볼 수 있으며, 휨파괴되는 부재의 경우에는 비선형 거동에 의한 에너지 흡수능력을 고려하여 휨파괴강도에 적절한 계수를 곱한 값을 그 부재의 횡하중저항능력으로 본다. 전단파괴 부재와 휨파괴 부재가 공존하는 경우는 두 종류의 부재가 최대하중에 도달하는 시점이 다르므로 구조물의 횡하중저항능력을 두 값의 단순합으로 볼 수는 없으며 휨과 전단 거동의 상호작용을 고려한 간략식을 사용한다.

약산식을 사용하여 강도 측면에서 내진성능을 보수적으로 평가하지만 매우 간략화된 수식을 사용하므로 비틀림이나 응력집중이 예상되는 비정형 구조물에는 적용할 수 없다. 따라서 예비평가이전에 '적용대상건물의 범위'에서 규정된 비정형성의 검토를 통해 비정형성이 있을 경우 예비평가를 수행하지 않고 바로 상세평가를 수행한다. 예비평가에서 평가결과가 성능목표를 만족하지 못할 경우 상세평가를 통한 정밀한 평가를 권장한다.

설계도서가 없을 경우 예비평가를 위해서는 현장조사를 통해 수직부재의 단면치수에 대한 조사가 필요하다. 재료특성의 경우 건설연도에 따른 기본값을 사용할 수 있다. 설계도서가 있을 경우 설계도서에 근거한 단면치수 및 재료특성을 사용할 수 있다.

3.1.1 적용대상건물의 범위

평면과 입면에서 비정형성이 없는 10층 이하의 건물을 예비평가의 대상으로 한다. 비정형성이 있는 건물과 10층 초과건물은 예비평가의 적용대상이 아니며 바로 상세평가를 수행하여야 한다.

비정형성의 검토항목은 다음과 같다.

- 평면비정형성

H-1. 비틀림 비정형 : 층의 강성 중심과 질량 중심 간의 거리가 평면 폭의 20%보다 큰 경우에는 비틀림을 고려하여야 한다.

$$E_{c.s-c.m} > 0.2D \quad (3.1.1)$$

여기서,

$E_{c.s-c.m}$: 강성 중심과 질량 중심과의 편심거리

D : 지진방향과 직각방향의 평면의 폭

강성중심은 해당층 수직부재의 면적의 도심점, 질량중심은 해당층 보와 슬래브의 질량, 수직부재의 경우 상하층 중심까지의 질량을 고려한 질량중심으로 산정한다.

H-2. 요철형 평면 : 돌출한 부분의 치수가 해당하는 방향의 평면치수의 15%를 초과하면 요철형 평면을 갖는 것으로 간주한다.

H-3. 격막의 불연속 : 격막에서 잘려나간 부분이나 뚫린 부분이 전체 격막 면적의 50%를 초과하거나 인접한 층간 격막 강성의 변화가 50%를 초과하는 급격한 불연속이나 강성의 변화가 있는 격막.

H-4. 면외 어긋남 : 수직부재의 면외 어긋남 등과 같이 횡력전달 경로에 있어서의 불연속성.

H-5. 비평행 시스템 : 횡력저항 수직요소가 전체 횡력저항 시스템에 직교하는 주축에 평행하지 않거나 대칭이 아닌 경우.

- 수직비정형성

V-1. 강성비정형-연층 : 어떤 층의 조적채움벽 등의 비구조재를 포함한 강성에 영향을 주는 수직부재단면적의 합이 인접한 상부층 수직부재단면적의 합이 70% 미만이거나 상부 3개 층 평균 수직부재단면적의 합이 80% 미만인 층이 존재하는 경우 강성분포의 비정형이 있는 것으로 간주한다.

V-2. 중량비정형 : 어떤 층의 유효중량이 인접층 유효중량의 150%를 초과할 때 중량 분포의 비정형인 것으로 간주한다. 단, 지붕층이 하부층보다 가벼운 경우는 이를 적용하지 않는다.

V-3. 기하학적 비정형 : 횡력 저항시스템의 수평치수가 인접층 치수의 130%를 초과할 경우 기하학적 비정형이 존재하는 것으로 간주한다.

V-4. 횡력저항 수직 저항요소의 비정형 : 횡력 저항요소의 면내 어긋남이 그 요소의 길이보다 크거나, 인접한 하부층 저항요소에 강성감소가 일어나는 경우 수직 저항요소의 면내 불연속에 의한 비정형이 있는 것으로 간주한다.

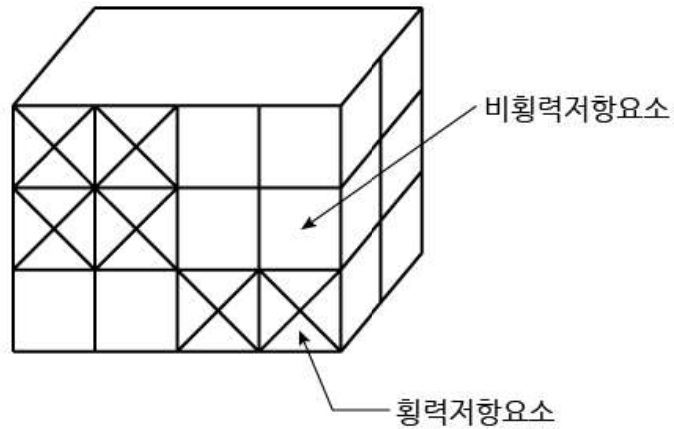


그림 3.1.1 횡력 저항요소의 면내 어긋남

V-5. 강도의 불연속-약층 : 임의 층의 횡강도가 직상층 횡강도의 80% 미만인 약층이 존재하는 경우 강도의 불연속에 의한 비정형이 존재하는 것으로 간주한다. 각층의 횡강도는 층전단력을 부담하는 내진요소들의 저항 방향 강도의 합을 말한다.

[해설]

이 절의 비정형성의 정의는 KBC2009와 동일하다. 단, 비정형성의 판정을 위해 구조계산이 필요했던 항목의 경우 구조계산이 필요하지 않도록 간략화하였다. (예. 강성의 중심을 수직부재의 면적의 도심점으로 변경 등)

표 3.1.1 비정형성 검토 시트

* 전체 층 중 층

기둥		치수		높이	단위 부피 당 무게	위치		단면 적	부재 무게	강성(I)		평균전단응력		강도	
부재 ID		x	y			x	y			x	y	x	y	x	y
				합계 중심 의 위치											

벽		치수		높이	단위 부피 당 무게	위치		단면 적	부재 무게	강성(I)		평균전단응력		강도	
부재 ID		x	y			x	y			x	y	x	y	x	y
				합계 중심 의 위치											

바닥판+마감	단위면적당무게				면적
	치수		위치		
	x	y	x	y	
최대치수					
소실면적1					
소실면적2					
합계					
중심의 위치					

구분	무게	무게중심		강성		강성중심		강도	
		x	y	x	y	x	y	x	y
바닥판+마감									
기둥									
벽									
전체									

항목	검토	결과
H-1. 비틀림 비정형		
H-2. 요철형 평면		
H-3. 격막의 불연속		
H-4. 면외 어긋남		
H-5. 비평행 시스템		
V-1. 강성비정형-연층		
V-2. 중량비정형		
V-3. 기하학적 비정형		
V-4. 횡력저항 수직 저항요소의 비정형		
V-5. 강도의 불연속-약층		

비정형성검토 결과 : _____

3.1.2 자료조사 및 정리

해당건물의 내진성능 예비평가를 위해 평가대상 건축물에 대해 다음과 같은 자료를 확보해야 한다.

1. 해당지역의 지반정보
2. 건물의 중요부분의 치수
3. 구조계산서
4. 구조평면도 및 입면도

단, 구조 평면도 및 구조계산서가 없는 경우에는 충분한 현장조사를 통해 건물의 중요부분의 치수에 관한 자료를 확보하여야 한다. 대상지역의 지반을 분류할 수 있는 자료가 충분하지 않으나, 지반의 종류가 S_E 일 가능성이 없는 경우에는 지반종류 S_D 를 적용할 수 있다.

내진성능 예비평가를 위한 자료는 표 3.1.2에 따라 정리한다.

표 3.1.2 예비평가 자료정리 양식

구분	내용						비고	
일반사항	건물 ID	평가자	평가일자	기타				
		(인)						
건물에 대한 일반사항	건물명							
	위치							
	주소							
	완공년월일							
	설계시용도							
	현재 용도							
	규모 (증개축시 증축후)	건물높이	평면크기	지상층수	지하 층수	기준층고		
지진하중	지진구역			지반분류				
구조시스템	구조시스템 분류							
* 스케치 형식으로 평면 및 수직부재(기둥, 전단벽, 코어, 가새)의 평면상 배치, 단면형상 및 치수를 기록한다.								

3.2 지진하중

중저층 건축물의 경우 대부분 주기가 1.0초 이하이므로 예비성능평가 단계에서는 단주기설계스펙트럼가속도(S_{DS})를 사용한다.

예비평가에서 사용할 평가기준 지진의 단주기설계스펙트럼가속도(S_{DS})는 지반종류 및 지진구역에 따라 표 3.2.1과 같다.

표 3.2.1 평가기준 지진의 단주기설계스펙트럼가속도(S_{DS})

지반종류	지진구역 1	지진구역 2
S_A	0.29	0.19
S_B	0.37	0.23
S_C	0.43	0.28
S_D	0.50	0.35
S_E	0.65	0.53

3.3 시스템별 평가절차

예비평가에서는 각 층을 방향별로 수직부재의 전단저항능력의 합과 가정된 연성능력을 토대로 횡하중 저항능력을 산정하고 요구량인 지진하중의 크기와 비율을 통해 성능수준을 산정한다. 이러한 절차로 각층 각 방향별로 성능수준을 산정한 후 구조물전체의 성능수준은 이중 가장 불리한 결과로 판정한다.

3.3.1 철근콘크리트조

3.3.1.1 재료강도 및 부재강도 평가

철근콘크리트조의 예비평가는 기본적으로 층별로 수직부재의 수평력저항능력의 합과 지진에 의해 발생하는 수평력의 비교를 통해 수행한다.

(1) 설계도서가 있을 경우

설계도서가 있을 경우 단면치수와 배근, 재료강도로부터 수직부재의 휨, 전단능력을 구하여 사용할 수 있다. 부재의 능력(강도)은 연직하중과 지진하중 작용시 구조역학의 원리 및 설계기준에 근거하여 산정한다. 이때 변형지배인 부재의 강도는 평균강도를 사용하고 하중지배거동의 경우는 하한치인 공칭강도를 사용한다. 부재의 평균강도는 재료의 평균강도에 근거하여 표 1.2.1의 계수를 적용한 재료의 평균강도를 사용하여 계산한다. 수직부재의 평균전단응력산정시에는 부재의 파괴모드를 고려하여 (휨 파괴강도/순높이)와 전단강도 중 작은 값을 사용하여야 한다. 부재별 휨파괴강도 및 전단강도는 4.3.2.1의 부재강도 산정절차에 따라 구할 수 있다. 이때 재료의 공칭강도는 설계도서의 재료강도에 표 1.2.2의 경과년수 및 재료상태에 따른 감소계수를 곱한 값을 사용한다.

철근콘크리트조 구조물에서 기둥은 휨지배형 기둥과 전단지배형 기둥으로 분류한다. 휨지배형 기둥은 휨파괴시 전단력이 전단강도보다 작은 경우이고, 그렇지 않은 경우에는 전단지배형 기둥으로 분류한다. 전단벽은 전단지배형 부재로 본다.

기둥의 휨파괴시 전단력은 다음 식 (3.3.1)에 의해 산정한다.

$$V_n = \frac{M_{e1} + M_{e2}}{h_o} \quad (3.3.1)$$

여기서,

M_{e1} =기둥 상부단면의 휨평균강도

M_{e2} =기둥 하부단면의 휨평균강도

h_o =기둥 순 높이 (그림 3.3.1 참조)

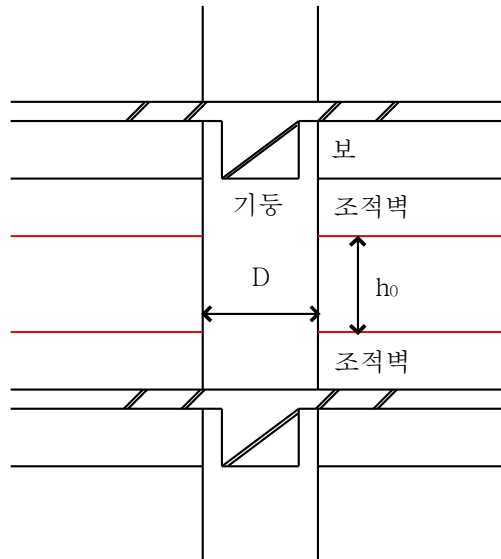


그림 3.3.1 기둥의 순높이

기둥단면의 휨평균강도는 4.3.2.1의 부재강도 산정절차에 제시된 방법에 따라 구한다.

(2) 설계도서가 없을 경우

예비평가시 재료의 설계강도를 알 수 없을 경우 건설연도에 따라 다음의 기본값을 사용한다.

표 3.3.1 철근콘크리트구조 건축물의 건설연도별 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

혹은 다음과 같이 부재의 길이/폭비를 근거로 파괴모드를 예상한 후 연도별 재료강도의 기본값에 근거한 표 3.3.2의 평균전단응력을 사용할 수 있다.

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 $2.0 < h_o/D < 6.0$	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

대상건물의 전단벽은 건설연도에 무관하게 전단파괴형 부재로 가정하여 내력을 산정하며, 이때 전단벽의 단면적 A_{sw} 및 전단응력 v_{sw} 의 산정은 표 3.3.3을 따른다.

표 3.3.3 전단벽의 종류에 따른 단면적 및 전단응력 산정

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		$A_{sw} = t \cdot l_{w3}$ $v_{sw} = 1.0 \text{ MPa}$

면외방향으로 배치된 전단벽의 전단능력은 무시한다. 또한 기둥에 길이가 짧은 벽이 같이 붙어 있을 경우 벽을 무시하고 표 3.3.2에 의해 산정된 기둥의 전단응력과 표 3.3.3에 의한 벽의 전단응력 중 큰 값을 사용한다.

(3) 조적채움벽(Infilled wall)의 효과는 일반적으로 강도와 강성을 증가시키나 연성도는 크게 감소시키는 효과를 가지는 것으로 알려져 있기 때문에, 연성도효과를 무시하고 강도만을 평가하는 예비평가 단계에서는 무시하고 평가한다. 단, 조적채움벽에 의해 기둥의 일부가 구속을 받을 경우 기둥의 파괴 모드가 달라질 수 있으므로 구속을 받는 부분을 제외하고 기둥의 순높이를 산정한다.

3.3.1.2 평가방법 및 성능수준의 판정

철근콘크리트조의 예비평가시 저항능력은 전단지배형 부재의 저항능력의 합 C_s 과 휨지배형 부재의 저항능력의 합 C_f 으로부터 식 (3.3.2)와 같이 산정한다.

$$C = \max[(C_s + 0.7 C_f), D_\mu C_f] \quad (3.3.2)$$

여기서,

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

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

단, 전단지배형부재의 저항능력산정시 재료강도는 하한값을 사용하고, 휨지배형부재의 저항능력산정시 재료강도는 평균값을 사용하여 계산한다. 휨지배형부재의 연성능력 D_μ 는 2.0으로 본다.

성능수준의 판정은 기본적으로 요구량(Demand)/저항능력(Capacity)의 비(DCR)에 의한다. 예비평가에서는 전단력의 저항여부를 중심으로 평가하므로 요구량은 평가기준 지진하중에 의한 층전단력, 저항능력은 연직부재의 전단저항능력의 합이다.

$$DCR_i = \frac{S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i}{C_i} \quad (3.3.3)$$

여기서,

DCR_i : i 층의 DCR

S_{DS} : KBC 2009에 따른 단주기설계스펙트럼가속도

$W = \sum_{i=1}^n w_i \cdot A_i$: 구조물의 총 중량

w_i : i 층 유효중량, 정밀하게 산정하지 않을 경우 10 kN/m^2 을 사용

A_i : i 층 바닥면적의 합

$\gamma_i = \frac{\sum_{\ell=i}^n w_\ell h_\ell^k}{\sum_{\ell=1}^n w_\ell h_\ell^k}$: 층 전단력 분포계수

h_ℓ : 밑면으로부터 ℓ 층까지 높이

k : 건물주기에 따른 횡력분포계수, 예비평가에서는 1.0을 사용하여 횡력분포를 역삼각형으로 가정한다.

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

표 3.3.5 철근콘크리트조 예비평가 시트

1. 기본사항

건물의 명칭 : _____

건물의 위치 : _____

건물의 규모 : 지상 ____층, 지하 ____층

건설년도 : _____ 년 경과년수 : _____ 년

지반종류 : _____ 지진구역 : _____

지반종류	지역구역 1	지역구역 2
S_A	0.29	0.19
S_B	0.37	0.23
S_C	0.43	0.28
S_D	0.50	0.35
S_E	0.65	0.53

지반종류와 지진구역에 따른 단주기 설계스펙트럼가속도(S_{DS}) : _____

2. 층별 요구량의 산정

층 중량 : $W = \text{바닥면적} \times 10 \text{ kN/m}^2$

$$\text{층 전단력 분포계수} : \gamma_i = \frac{\sum_{\ell=i}^n w_{\ell} h_{\ell}}{\sum_{\ell=1}^n w_{\ell} h_{\ell}}$$

평가 층의 $Demand = S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i$

	층고(h_i), mm	층바닥 면적, m^2	중량 (w_i), kN	$w_i \cdot h_i$	누적 $w_i \cdot h_i$	층전단력 분포계수	요구량 (kN)
합계							

3. 층별 저항능력의 산정

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 $2.0 < h_o/D < 6.0$	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

전단벽의 종류에 따른 단면적 및 전단응력 산정

단면 종류	단면 상세	단면적 및 전단응력
양쪽에 기둥이 있는 전단벽 (W1)		$A_{sw} = t \cdot l_{w1}$ $v_{sw} = 3.0 \text{ MPa}$
한쪽에 기둥이 있는 전단벽 (W2)		$A_{sw} = t \cdot l_{w2}$ $v_{sw} = 2.0 \text{ MPa}$
기둥이 없는 전단벽 (W3)		$A_{sw} = t \cdot l_{w3}$ $v_{sw} = 1.0 \text{ MPa}$

평가층의 휨파괴 지배부재의 저항능력의 합 : $C_f = v_{fc} \sum A_{fc}$

평가층의 전단파괴 지배부재의 저항능력의 합 :

$$C_s = v_{sc1} \sum A_{sc1} + v_{sc2} \sum A_{sc2} + v_{sw1} \sum A_{sw1} + v_{sw2} \sum A_{sw2} + v_{sw3} \sum A_{sw3}$$

3.1 1층

1) 수직부재 단면적 정보

- 기둥

위치		부재 ID	층고 (h) mm	Dx mm	Dy mm	단면적 mm ²	h/Dx	h/Dy	판정	
x grid	y grid								x방향	y방향

- 벽

위치		부재 ID	층고(h) mm	두께 mm	길이 mm	단면적 mm ²	방향	양단에 연결된 기둥의 수
x grid	y grid							

- 수직부재 단면적 합계

단면적의 합 (mm ²)	x 방향	y 방향
단주 면적의 합		
일반기둥면적의 합		
장주 면적의 합		
양쪽에 기둥이 있는 전단벽, W1		
한쪽에 기둥이 있는 전단벽, W2		
기둥이 없는 전단벽, W3		

2) 전단내력의 합

		평균전단응 력, MPa	x 방향		y 방향	
			단면적의 합, mm ²	내력의 합 kN	단면적의 합, mm ²	내력의 합 kN
휨파괴 부재	장주					
	Cf					
전단파괴 부재	단주					
	일반기둥					
	W1					
	W2					
	W3					
	Cs					

3) 보유내력의 산정

	X 방향	Y 방향
Cs+0.7Cf		
(D=2)*Cf		
저항능력 (최대값)		

3.2 2층

3.3 3층

4. 성능수준의 판정

철근콘크리트조의 성능수준 판정을 위한 DCR 기준

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

층별 DCR

		요구량	저항능력	DCR	성능수준
1층	x 방향				
	y 방향				
2층	x 방향				
	y 방향				
3층	x 방향				
	y 방향				

각 층 및 방향별로 성능수준을 결정한 후 가장 불리한 성능수준으로 결정

최종 성능수준 : _____

작성일자 : _____ 평가자 : _____

3.3.2 철골조

3.3.2.1 재료강도 및 부재강도 평가

철골조에서 강재의 공칭항복강도는 연도와 상관없이 235MPa로 본다.

3.3.2.2 평가방법 및 성능수준의 판정

철골모멘트골조는 철골기둥의 내력을 변형지배형 부재로 가정하여 강도와 연성능력을 고려하여 평가하며, 철골 가새골조와 RC 전단벽-철골 모멘트골조는 각각 가새와 전단벽을 하중지배형 요소로 가정하여, 가새와 전단벽의 내력만을 사용하여 전체 시스템의 내진성능을 평가한다. 전단벽의 내력평가는 RC전단벽 요소의 평가방법을 따른다.

철골모멘트골조 기둥의 휨항복 모멘트 및 그에 따른 전단내력은 다음과 같이 계산한다.

$$V = \frac{2}{h_n} \min \{ M_c, (M_{b,L} + M_{b,R}), M_p \} \quad (3.3.4)$$

여기서, V : 기둥 양단에 발생하는 전단력

M_c : 철골기둥의 소성모멘트강도

M_p : 패널존의 소성모멘트강도 ; $M_p = 0.55 F_{ye} t_p d_c H_G$

$M_{b,L}$: 기둥 왼쪽 보의 소성모멘트강도

$M_{b,R}$: 기둥 오른쪽보의 소성모멘트강도

h_n : 기둥의 길이 (층고를 사용할 수 있다.)

상기 기술된 부재강도값은 축력, 세장비, 콤팩트단면여부 등을 고려하여 KBC2009에 따라 계산한다.

축력 및 세장비를 계산하지 않는 경우 M_c 는 다음을 따른다.

- 콤팩트단면 : $M_c = 0.5 M_{cp}$

- 비콤팩트단면 : $M_c = 0.35 M_{cp}$

여기서, $M_{cp} = Z F_{ye}$: 축력이 없는 경우($P=0$)의 철골기둥의 소성모멘트강도

Z : 단면의 소성단면계수

F_{ye} : 강재의 평균항복강도 ($= 1.25 \times 235 \text{ MPa} = 294 \text{ MPa}$)

M_b 는 보의 소성모멘트강도로 다음을 따른다.

i) 횡방향구속된 경우

- 콤팩트 단면: $M_b = M_{bp}$

- 비콤팩트단면: $M_b = 0.7M_{bp}$

ii) 횡방향구속되지 않은 경우

- 콤팩트 단면: $M_b = 0.7M_{bp}$

- 비콤팩트단면: $M_b = 0.5M_{bp}$

여기서, $M_{bp} = ZF_{ye}$: 철골보의 소성모멘트강도

이다.

식(3.3.4)에서 보와 패널존의 강도를 조사하지 않는 경우, 해당기둥강도 M_c 를 20%저감하여 적용한다.

어떤 층의 횡하중저항능력은 그 층에 있는 식 (3.3.4)의 철골모멘트골조 기둥의 횡방향 강도의 합으로 다음과 같이 전단내력에 연성도 계수를 곱하여 구한다.

$$C = \sum V \cdot D_\mu \quad (3.3.5)$$

여기서, D_μ 는 연성도를 고려한 계수로 접합부의 형태가 브라켓 타입인 경우, 다음과 같이 산정한다.

1) 기둥의 강도가 지배적인 경우

- 내진콤팩트 단면: $D_\mu = 6.0$ (축력비 $P/Af_y = 0.3$ 으로 가정한 경우의 연성도)

- 콤팩트 단면: $D_\mu = 3.5$

- 비콤팩트 단면: $D_\mu = 1.5$

2) 보의 강도가 지배적인 경우

- 내진콤팩트 단면: $D_\mu = 8.0$

- 콤팩트 단면: $D_\mu = 5.0$

- 비콤팩트단면: $D_\mu = 3.0$

3) 패널존의 강도가 지배적인 경우

- 연속판이 존재하는 경우: $D_\mu = 11.0$

- 연속판이 존재하지 않는 경우: $D_\mu = 4.0$

접합부의 형태가 브라켓 타입이 아닌 현장용접일 경우 연성도계수는 50%저감하여 적용한다.

철골조 가새골조의 경우 가새에 의한 횡방향 강도는 다음 식 (3.3.6)으로 계산한다.

$$C_{brace} = \sum^{N_{br}} 0.5 F_y A_{br} \frac{s}{L_{br}} \quad (3.3.6)$$

여기서,

s : 가새가 있는 경간의 평균길이

N_{br} : 가새의 수, 가새가 압축에 대해 설계된 경우 전체 부재수, 그렇지 않은 경우는 인장가새의 수만 사용한다.

A_{br} : 가새부재의 단면적

L_{br} : 가새부재의 길이

철골조 가새골조의 D_μ 는 7로 본다.

등급산정은 기본적으로 요구량(Demand)/저항능력(Capacity)의 비(DCR)에 의한다. 예비평가에서는 전단력의 저항여부를 중심으로 평가하므로 요구량은 평가기준 지진하중에 의한 층전단력, 저항능력은 연직부재의 전단저항능력의 합이다.

$$DCR_i = \frac{S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i}{C_i} \quad (3.3.7)$$

여기서,

DCR_i : i 층의 DCR

S_{DS} : KBC 2009에 따른 단주기설계스펙트럼가속도

$W = \sum_{i=1}^n w_i \cdot A_i$: 구조물의 총 중량

w_i : i 층 유효중량, 정밀하게 산정하지 않을 경우 8 kN/m^2 을 사용

A_i : i 층 바닥면적의 합

$\gamma_i = \frac{\sum_{\ell=i}^n w_\ell h_\ell^k}{\sum_{\ell=1}^n w_\ell h_\ell^k}$: 층 전단력 분포계수

h_ℓ : 밑면으로부터 ℓ 층까지 높이

k : 건물주기에 따른 횡력분포계수, 예비평가에서는 1.0을 사용하여 횡력분포를 역삼각형으로 가정한다.

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

표 3.3.7 철골조의 예비평가 시트

1. 기본사항

건물의 명칭 : _____

건물의 위치 : _____

건물의 규모 : 지상 ____층, 지하 ____층

건설년도 : _____ 년 경과년수 : _____ 년

강재의 재료강도 : 235 MPa (기본값)

지반종류 : _____ 지진구역 : _____

지반종류	지역구역 1	지역구역 2
S_A	0.29	0.19
S_B	0.37	0.23
S_C	0.43	0.28
S_D	0.50	0.35
S_E	0.65	0.53

지반종류와 지진구역에 따른 단주기 설계스펙트럼가속도(S_{DS}) : _____

2. 층별 요구량의 산정

층 중량 : $W = \text{바닥면적} \times 8 \text{ kN/m}^2$

층 전단력 분포계수 : $\gamma_i = \frac{\sum_{\ell=i}^n w_{\ell} h_{\ell}}{\sum_{\ell=1}^n w_{\ell} h_{\ell}}$, 평가 층의 Demand = $S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i$

	층고(hi), mm	층바닥 면적, m ²	중량 (wi), kN	wi*hi	누적 wi*hi	층전단력 분포계수	요구량 (kN)

3. 기둥의 평균전단력 산정

- 기둥단면

단면번호	h mm	b mm	tw mm	tf mm	A mm ²	Zx mm ³	Zy mm ³

- 폭두께비의 검토
기준

	b/(2tf)	h/tw
Limit	14.79	99.33

* 웹과 플랜지의 폭두께비 모두 Limit 보다 작으면 콤팩트단면 둘중 하나라도 기준보다 크면 비콤팩트 단면으로 판정한다.

단면번호	b/(2tf)	h/tw	판정

- 축력의 산정 : 축력을 산정하지 않을 경우 모멘트강도를 50% 저감한다.

- 보단면 및 패널존의 모멘트강도 산정 : 보단면 혹은 패널존의 강도를 산정하지 않을 경우 모멘트강도를 20% 저감한다.

- 기둥단면의 모멘트강도

- 기둥의 평균전단력

4. 연성도계수

5. 층당 저항능력 산정

6. 성능수준의 판정

층별 DCR

		요구량	저항능력	DCR	성능수준
1층	x 방향				
	y 방향				
2층	x 방향				
	y 방향				
3층	x 방향				
	y 방향				
4층	x 방향				
	y 방향				

철골조의 성능수준 판정을 위한 DCR 기준

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

각 층 및 방향별로 성능수준을 결정한 후 가장 불리한 성능수준으로 정함

최종 성능수준 : _____

3.3.3 조적조

3.3.3.1 재료강도 및 부재강도 평가

조적벽체의 평균전단응력은 다음 표 3.3.8을 사용하거나 재료의 전단응력을 정밀히 산정하여 사용할 수 있으나 공칭강도이어야 한다. 여기에 경과년수에 따른 강도저감계수를 곱하여 사용한다. 표 3.3.8에 사용된 전단응력은 공칭강도이다.

표 3.3.8 조적조 평균전단응력

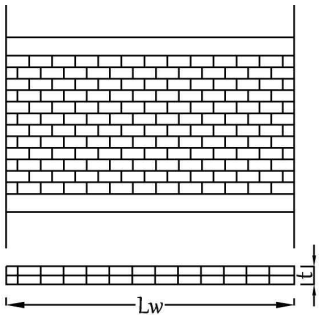
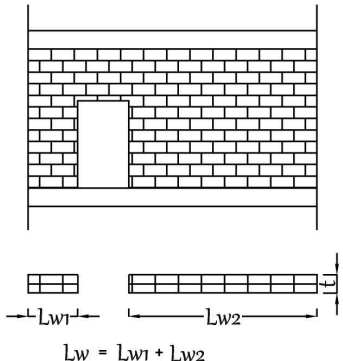
조적벽체의 종류	단면도	전단응력 및 단면적
개구부가 없는 경우		$v_n = 0.2 \text{ MPa}$ $A_n = t \cdot L_w$
개구부가 있는 경우		$v_o = 0.1 \text{ MPa}$ $A_o = t \cdot L_w$

표 3.3.9 경과년수 및 재료상태에 따른 강도 보정계수

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

3.3.3.2 평가방법 및 등급산정

예비평가는 요구량(Demand)/저항능력(Capacity)의 비(DCR)를 사용한다. 예비평가에서는 전단력의 저항여부를 중심으로 평가하며 요구량은 평가기준 지진하중에 의한 층전단력, 저항능력은 연직부재의 전단저항능력의 합이다. 조적조는 연성능력이 타 구조시스템에 비해 떨어지므로 저항능력을 보수적으로 평가하기 위해 0.8을 곱한다.

$$DCR_i = \frac{Demand_i}{Capacity_i} = \frac{S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i}{(0.8) \sum V_i} S_{DS} = \frac{2}{3} \times S \times 2.5 \times F_a \quad (3.3.8)$$

여기서

$\sum V_i = v_{oi} \cdot A_{woi} + v_{ni} \cdot A_{wni}$: 전단저항력의 합

A_{woi} : i 층, 개구부가 있는 조적벽체의 전체 면적

A_{wni} : i 층, 개구부가 없는 조적벽체의 전체 면적

$v_{oi} = v_o \cdot \frac{1}{W} \sum_{x=i}^n w_x A_x$: i 층, 개구부가 있는 조적벽체의 평균전단응력

$v_{ni} = v_n \cdot \frac{1}{W} \sum_{x=i}^n w_x A_x$: i 층, 개구부가 없는 조적벽체의 평균전단응력

$W = \sum_{i=1}^n w_i \cdot A_i$: 구조물의 총 중량

w_i : i 층 유효중량, 정밀하게 산정하지 않을 경우 10 kN/m^2 을 사용

A_i : i 층 바닥면적의 합

S_{DS} : KBC 2009에 따른 단주기설계스펙트럼가속도

$\gamma_i = \frac{\sum_{\ell=i}^n w_{\ell} h_{\ell}^k}{\sum_{\ell=1}^n w_{\ell} h_{\ell}^k}$: 층 전단력 분포계수

h_{ℓ} : 밑면으로부터 ℓ 층까지 높이

k: 건물주기에 따른 횡력분포계수, 예비평가에서는 1.0을 사용하여 횡력분포를 역삼각형으로 가정한다.

조적조의 등급산정은 표 3.3.10에 의한다.

표 3.3.10 조적조 성능수준 판정을 위한 DCR 기준

DCR 범위	성능수준
$DCR \leq 0.25$	거주가능
$0.25 < DCR \leq 0.75$	인명안전
$0.75 < DCR \leq 1.0$	붕괴방지
$1.0 < DCR$	붕괴위험

표 3.3.11 조적조 예비평가 시트

1. 기본사항

건물의 명칭 : _____

건물의 위치 : _____

건물의 규모 : 지상 ____층, 지하 ____층

건설년도 : _____ 년 경과년수 : _____ 년

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

경과년수 및 재료상태에 따른 보정계수(t) : _____

지반종류 : _____ 지진구역 : _____

지반종류	지역구역 1	지역구역 2
S_A	0.29	0.19
S_B	0.37	0.23
S_C	0.43	0.28
S_D	0.50	0.35
S_E	0.65	0.53

지반종류와 지진구역에 따른 단주기 설계스펙트럼가속도(S_{DS}) : _____

2. DCR 산정

평가 층의 위치 : ____층 검토방향 : ____축

전체 바닥면적 ($\sum A_i$) : _____ m^2 총 중량 (W) = 전체바닥면적 * 10 kN/m^2 : _____ kN평가 층의 요구량 ($Demand_i = S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i$): _____ kN평가 층에서 개구부가 있는 벽의 평균전단응력 (v_{oi}): _____ MPa

평가 층에서 개구부가 없는 벽의 평균전단응력 (v_{ni}): _____ MPa

평가 층에서 개구부가 있는 벽의 단면적의 합 (A_{woi}): _____ m²

평가 층에서 개구부가 없는 벽의 단면적의 합 (A_{wni}): _____ m²

평가 층의 전단저항력의 합 ($\sum V_i$): _____ kN

평가 층의 저항능력 ($0.8 \sum V_i$): _____ kN

층 전단력 분포계수 (γ_i): _____

평가 층의 DCR

$$DCR_i = \frac{Demand_i}{Capacity_i} = \frac{S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i}{(0.8) \sum V_i} = \underline{\hspace{2cm}}$$

3. 성능등급의 결정

층	x방향	y방향

조적조 성능수준 판정을 위한 DCR 기준

DCR 범위	성능수준
$DCR \leq 0.25$	거주가능
$0.25 < DCR \leq 0.75$	인명안전
$0.75 < DCR \leq 1.0$	붕괴방지
$1.0 < DCR$	붕괴위험

각 층 및 방향별로 성능수준을 결정한 후 가장 불리한 성능수준으로 정함

최종 성능수준 : _____

작성일자 : _____ 평가자 : _____

3.3.4 철골철근콘크리트조

철골철근콘크리트조의 수직부재는 철골단면을 콘크리트가 감싸고 있는 형태로서 전체적인 구조형식은 철골조와 유사하다. 따라서 철골철근콘크리트조의 예비평가법은 철골조와 동일한 절차로 수행할 수 있다.

순수 철골철근콘크리트 모멘트골조의 경우 수평력에 대한 저항능력은 철골철근콘크리트기둥의 휨파괴를 고려하여 구하고 내부코어에 가새나 전단벽이 있을 경우 이들이 모든 지진력을 저항하는 것으로 보고 철골골조의 수평력 저항능력은 무시한다.

철골철근콘크리트 모멘트골조는 철골철근콘크리트기둥의 내력을 변형지배형 부재로 가정하여 강도와 연성능력을 고려하여 평가하며, 철골철근콘크리트 가새골조와 RC 전단벽-철골철근콘크리트 모멘트골조는 각각 가새와 전단벽을 하중지배형 요소로 가정하여, 가새와 전단벽의 내력만을 사용하여 전체 시스템의 내진성능을 평가한다. 전단벽의 내력평가는 RC전단벽 요소의 평가방법을 따른다.

표 3.3.12 철골철근콘크리트조의 예비평가 시트

1. 기본사항

건물의 명칭 : _____
건물의 위치 : _____
건물의 규모 : 지상 ____층, 지하 ____층
건설년도 : _____ 년 경과년수 : _____ 년

강재의 재료강도 : 235 MPa (기본값)
지반종류 : _____ 지진구역 : _____

지반종류	지역구역 1	지역구역 2
S_A	0.29	0.19
S_B	0.37	0.23
S_C	0.43	0.28
S_D	0.50	0.35
S_E	0.65	0.53

지반종류와 지진구역에 따른 단주기 설계스펙트럼가속도(S_{DS}) : _____

2. 층별 요구량의 산정

층 중량 : $W = \text{바닥면적} \times 8 \text{ kN/m}^2$

층 전단력 분포계수 : $\gamma_i = \frac{\sum_{\ell=i}^n w_{\ell} h_{\ell}}{\sum_{\ell=1}^n w_{\ell} h_{\ell}}$, 평가 층의 Demand = $S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i$

	층고(h_i), mm	층바닥 면적, m^2	중량 (w_i), kN	$w_i \cdot h_i$	누적 $w_i \cdot h_i$	층전단력 분포계수	요구량 (kN)

3. 기둥의 평균전단력 산정

- 기둥단면

단면번호	h mm	b mm	tw mm	tf mm	A mm^2	Zx mm^3	Zy mm^3

내진성능평가

- 폭두께비의 검토
기준

	$b/(2t_f)$	h/t_w
Limit	14.79	99.33

* 웹와 플랜지의 폭두께비 모두 Limit 보다 작으면 콤팩트단면 둘중 하나라도 기준보다 크면 비콤팩트 단면으로 판정한다.

단면번호	$b/(2t_f)$	h/t_w	판정

- 축력의 산정 : 축력을 산정하지 않을 경우 모멘트강도를 50% 저감한다.

- 보단면 및 패널존의 모멘트강도 산정 : 보단면 혹은 패널존의 강도를 산정하지 않을 경우 모멘트강도를 20% 저감한다.

- 기둥단면의 모멘트강도

- 기둥의 평균전단력

4. 연성도계수

5. 층당 저항능력 산정

6. 성능수준의 판정

층별 DCR

		요구량	저항능력	DCR	성능수준
1층	x 방향				
	y 방향				
2층	x 방향				
	y 방향				
3층	x 방향				
	y 방향				
4층	x 방향				
	y 방향				

철골조의 성능수준 판정을 위한 DCR 기준

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

각 층 및 방향별로 성능수준을 결정한 후 가장 불리한 성능수준으로 정함

최종 성능수준 : _____

제4장 1단계 내진성능 상세평가

4.1 일반사항

1단계 상세평가에서는 선형정적절차(LSP) 혹은 선형동적절차(LDP)의 구조해석절차를 통해 내진평가를 수행한다.

4.1.1 적용대상건물의 범위

3.1.1에 규정된 연층(V-1), 중량비정형(V-2), 혹은 기하학적 비정형(V-3)에 해당하는 비정형성을 가지고 있거나, 높이 20m 이상 또는 6층 이상의 비정형구조물일 경우 선형동적절차를 사용하여야 한다.

4.1.2 자료조사

1단계 상세평가를 수행하기 위해서는 다음과 같은 자료가 반드시 요구된다.

- ① 구조평면도 및 입면도
- ② 해당지역의 지반정보
- ③ 조적채움벽의 위치 및 치수

위의 자료가 없을 경우 적절한 방법을 통해 평가를 위해 요구되는 부재단면에 관한 정보를 확보하여야 한다. 설계도서가 있더라도 재료강도의 정확한 평가를 위해서는 재료시험을 실시할 수 있다.

4.2 해석방법

4.2.1 선형정적절차

4.2.1.1 지진하중의 산정

건물 수평방향의 의사지진력은 식 (4.2.1)을 사용해 계산한다.

$$V = CS_a W \quad (4.2.1)$$

여기서,

V = 의사지진력

C = 최대 비탄성변위와 선형탄성변위의 보정을 위한 수정계수로 표 4.2.1의 값을 사용한다.

S_a = 고려하는 방향의 건물 기본주기에 해당하는 설계응답스펙트럼가속도. S_a 의 값은 2장의 절차(지진위험도)에 따라 구한다.

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 0.5kN/m^2 중 큰 값
- ③ 영구설비의 총하중
- ④ 적설하중이 1.5kN/m^2 이 넘는 평지붕의 경우, 평지붕 적설하중의 20%.

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

4.2.1.2 주기

근사 기본 진동주기 T_a (초)는 식 (4.2.2)에 의해 구한다.

$$T_a = C_T h_n^{3/4} \quad (4.2.1)$$

여기서,

$$\begin{aligned}
 C_T &= 0.085 : \text{철골 모멘트골조} \\
 &= 0.073 : \text{철근콘크리트 모멘트골조, 철골 편심가새골조} \\
 &= 0.049 : \text{그 외 다른 모든 건물} \\
 h_n &= \text{건물의 밑면으로부터 최상층까지의 전체 높이 (m)}
 \end{aligned}$$

조적채움벽을 가진 골조의 경우 C_T 의 값으로 0.049를 사용한다.

철근콘크리트와 철골 모멘트저항 골조에서 12층을 넘지 않고 층의 최소높이가 3m 이상일 경우 근사 기본진동주기 T_a 는 아래 식에 의하여 구할 수 있다.

$$T_a = 0.1N \quad (4.2.3)$$

여기서, N : 층수

철근콘크리트 전단벽구조일 경우에는 식 (4.2.4)을 사용할 수 있다.

$$\begin{aligned} T_a &= 0.0743(h_n)^{3/4} / \sqrt{A_c} \\ A_c &= \sum A_e [0.2 + (D_e/h_n)^2] \\ D_e/H_n &\leq 0.9 \end{aligned} \quad (4.2.4)$$

여기서, A_e : 1층에서 지진하중 방향에 평행한 전단벽의 전단 단면적(m²)

D_e : 1층에서 지진하중 방향에 평행한 전단벽의 길이(m)

4.2.1.3 지진력의 수직분포

식 (4.2.1)에 의해 구한 의사횡력은 식(4.2.5), (4.2.6)에 따라 수직으로 분포된다.

$$F_x = C_{vx} V \quad (4.2.5)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (4.2.6)$$

여기서,

k = 건물 주기에 따른 횡력분포계수, 주기가 0.5초 이하일 경우는 1.0, 2.5초 이상일 경우는 2.0을 사용한다. 단, 0.5초와 2.5초 사이의 주기를 가진 건물에서는 k 는 1과 2 사이의 값을 직선보간하여 구한다.

C_{vx} = 수직분포계수

V = 의사횡력

w_i = i층 바닥에서의 중량

w_x = x층 바닥에서의 중량

h_i = 밑면으로부터 i층까지의 높이

h_x = 밑면으로부터 x층까지의 높이

4.2.2 선형동적절차

선형동적해석은 다음의 절차로 수행된다:

- 해석모델의 작성
- 구조물의 지진위험도에 따른 평가기준 지진의 응답스펙트럼산정
- 응답스펙트럼해석

응답스펙트럼 해석을 위한 구조물의 주기는 구조해석모델의 고유치해석을 통해 구한다. 이때 부재 강성은 이 장에서 제시된 유효강성을 사용해야 한다. 또한 조적채움벽과 같은 주요 비구조요소도 건물주기에 영향을 미치므로 그 영향을 고려해야 한다. 하지만 설계시처럼 등가정적법에 따른 밀면전단력과 비교를 통해 응답스펙트럼법에 의한 밀면전단력을 증가시킬 필요는 없다.

선형동적해석법에 의해 구한 해석결과에는 표 4.2.1의 수정계수 C를 반영하여야 한다.

4.2.2.1 모드응답의 조합

모드 응답은 SRSS (square root of sum of the squares)나 CQC (complete quadratic combination)를 사용하여 조합한다. 해당 방향의 모드의 주기 차이가 25% 이내일 때는 CQC를 사용하여야 한다. 응답스펙트럼 해석에서 사용되는 모드의 수는 각방향별로 참여질량이 최소 90% 이상이 되도록 해야 한다. 다방향 가진효과는 4.2.6에 따라서 고려한다. 혹은 다방향 효과를 고려하기 위해 SRSS를 사용하여 두 직각 방향의 반응을 조합할 수 있다. 하지만 이때 CQC는 사용할 수 없다.

4.2.3 비틀림의 고려방법

비틀림 효과가 무시할 만큼 충분히 작은 경우 2차원으로 모델링할 수 있으나 그렇지 않을 경우 3차원 모델을 사용해야 한다.

격막이 유연하지 않은 경우에는 수평 비틀림 모멘트를 고려하여야 한다. 전체 비틀림 모멘트는 다음 두 비틀림 모멘트의 합과 같다.

- ① 해당 층을 포함한 그 위의 모든 층에서의 질량중심과 강성중심의 편심에 의한 실제 비틀림 M_t
- ② 해당 층을 포함한 그 위의 모든 층에서 질량 중심의 수평 오프셋에 의한 우발편심 비틀림 M_{ta}
(해당 층에서 지진력작용 방향과 직각인 평면 치수의 5%와 층전단력의 곱).

우발편심 비틀림의 효과는 부재력과 변형의 크기를 줄이는데 사용할 수 없다.

건물의 격막이 강체이고 전체 비틀림모멘트에 의한 변위의 비 $\delta_{max}/\delta_{avg}$ 가 1.2를 넘으면 비틀림의 불규칙성을 고려해야 한다. 비틀림이 불규칙한 건물의 경우 우발편심 비틀림 효과는 식 (4.2.7)로 주어지는 비틀림 증폭계수 A_x 만큼 증가시켜야 한다.

$$A_x = \left(\frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{avg}} \right)^2 \quad (4.2.7)$$

여기서,

δ_{max} = x층 바닥에서의 최대 변위

δ_{avg} = x층 바닥에서 건물 각 모서리변위의 평균

단, 비틀림 증폭계수 A_x 는 3.0을 초과할 필요는 없다.

임의 층 평면내 임의점에서 최대 변위(비틀림 증폭계수를 고려한)와 평균변위의 비 η 가 1.50을 넘으면 3차원 모델을 사용해야 한다. η 가 1.5보다 작으면 2차원 모델을 사용해 구한 해석결과에 η 를 곱하여 사용할 수 있다.

4.2.4 1차부재와 2차부재

모든 부재는 1차부재와 2차부재로 구분한다. 지진작용시 구조물의 붕괴에 저항하는 능력을 가지도록 설계된 부재는 1차부재로 분류하고 1차부재를 제외한 다른 모든 부재는 2차부재로 본다. 1차부재는 주어진 성능수준을 달성하기 위해 지진력에 저항하는 부재이고 2차부재는 지진력에 대한 저항이 요구되지 않는 부재이다. 설계시 2차부재로 취급되었으나 지진력작용시 해당 부재의 파괴가 다른 1차부재의 파괴를 가져올 경우 그 부재는 1차부재로 보아야 한다.

상세 1단계 성능평가를 위한 해석모델에는 1차부재만 포함시킨다. 만약 2차부재와의 상호작용이 전체적인 내진성능에 불리하게 작용할 경우 그 2차부재를 포함시켜야 한다. 이때 2차부재의 강성의 합이 1차부재의 강성의 합의 25%를 넘지 않아야 한다.

4.2.5 변형지배거동과 하중지배거동

해석모델에 포함된 모든 부재의 거동은 표 4.2.2에 따라 변형지배거동과 하중지배거동으로 분류한다.

표 4.2.2 변형지배거동과 하중지배거동의 구분

	변형지배	하중지배
모멘트 골조의		
- 보	휨	전단력
- 기둥	휨	축력, 전단력
- 접합부	-	전단력 ¹
전단벽	휨, 전단력	축력
가새골조의		
- 가새	축력	-
- 보	-	축력
- 기둥	-	축력
- 전단연결재	전단력	축력, 휨
접합부	축력, 전단력, 휨 ²	축력, 전단력, 휨

1. 철골조 모멘트골조에서 전단력은 변형지배거동으로 볼 경우도 있다.
2. 철골조에서 접합부의 축력, 전단력, 휨은 변형지배거동으로 볼 경우도 있다.

4.2.6 다축가진 효과

구조물의 부재력 및 변형은 다음의 2가지 방법 중 1가지 방법을 이용하여 결정한다.

- ① 한방향 지진하중 100%와 직각방향 지진하중의 30%에 대한 하중효과의 절대값을 더하여 구한다.
- ② 직교하는 2 방향 하중효과의 100%를 SRSS방법으로 조합한다.

캔틸레버보와 프리스트레스를 받는 수평요소는 고정하중의 20%에 해당하는 상향 하중을 하중조합에 추가한다.

4.2.7 구조요소의 모델링 방법

부재, 접합부, 정착부의 현 상태를 고려하여 다음과 같이 모델링한다.

4.2.7.1 RC 부재의 유효강성

해석모델에서 철근콘크리트 부재는 균열을 고려하여 표 4.2.3과 같은 유효강성을 사용하여 모델링한다.

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)	$0.5E_c I_g$	$0.4E_c A_W$	$E_c A_g$

4.2.7.2 조적채움벽의 유효강성

골조사이에 존재하는 비보강 조적채움벽은 다음과 같이 폭 a 를 가지는 등가 대각압축가새로 모델링될 수 있다. 등가 대각압축가새의 두께와 탄성계수는 '4.3.2.3 조적내력벽체의 부재강도'에 기술된 조적조 벽체의 경우와 동일하다.

$$a = 0.175 (\lambda_I h_{col})^{-0.4} r_{inf} \quad (4.2.8)$$

여기서,

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

h_{col} = 채움벽 상하보의 중심선까지의 기둥높이

h_{inf} = 채움벽의 높이

E_{fe} = 골조 재료의 탄성계수

E_{me} = 채움벽 재료의 탄성계수

I_{col} = 기둥의 단면이차모멘트

L_{inf} = 채움벽의 길이

r_{inf} = 채움벽의 대각길이

t_{inf} = 채움벽의 두께

$\theta = \tan^{-1}(h_{inf}/L_{inf})$

이다.

등가대각압축가새는 그림 4.2.1과 같이 인접한 골조에 의해 양쪽에서 구속을 받을 경우에만 예상되는 구속력의 방향과 동일하게 모델링한다. 조적벽체의 한쪽에만 골조와 접하는 경우는 등가대각압축가새로 치환할 수 없다.

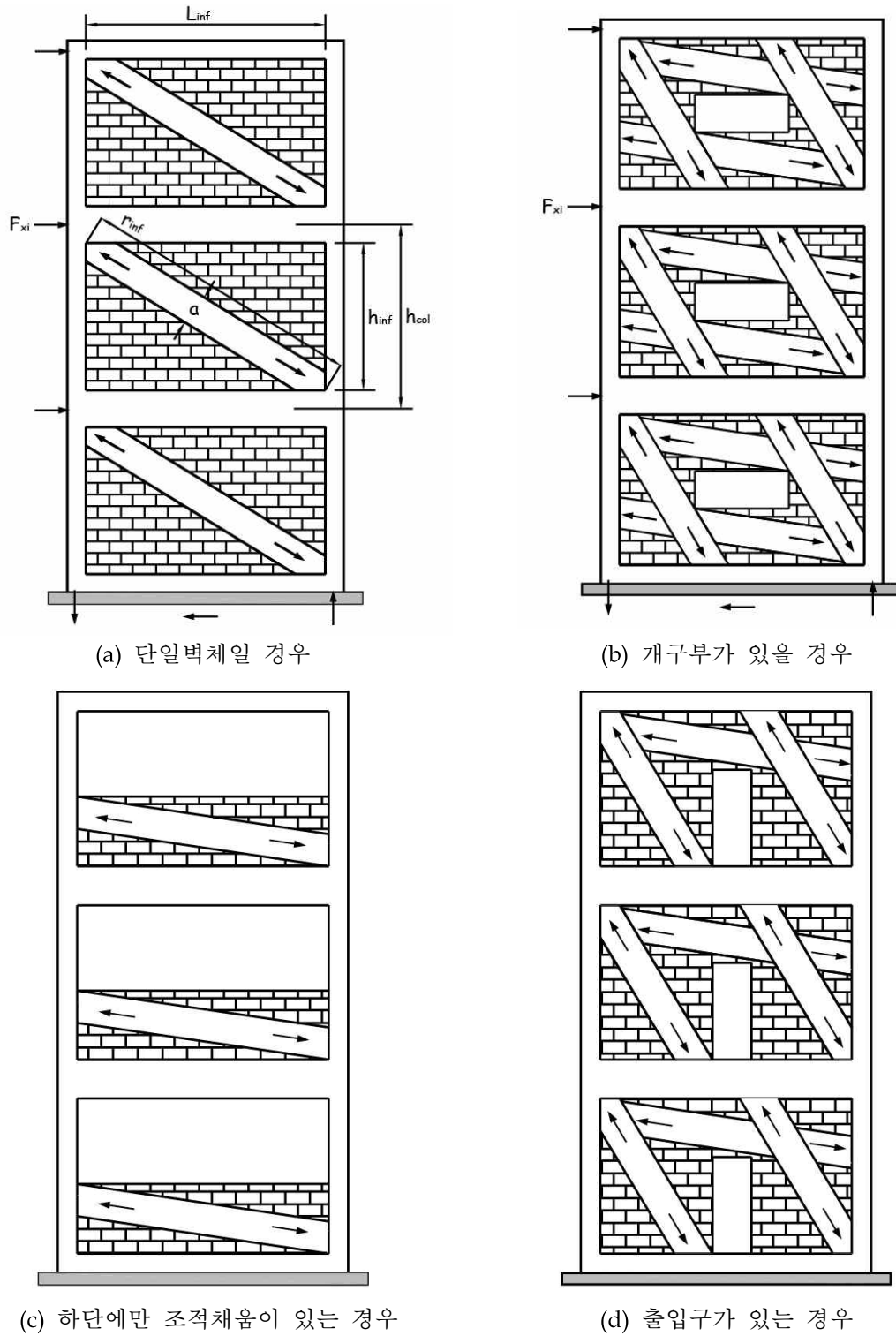


그림 4.2.1 조적채움벽의 모델링

4.2.7.3 조적내력벽체의 유효강성

조적조 벽체의 유효강성은 '4.3.2.3 조적내력벽체의 부재강도'에서 부재강도와 함께 기술되어 있다.

4.3 평가방법

4.3.1 하중조합

검토에 사용되는 하중조합은 중력하중과 지진하중이 사용된다. 모든 부재의 거동은 표 4.2.2에 의해 변형지배거동 혹은 하중지배거동으로 구분하고 검토시 다음과 같이 하중조합을 다르게 한다.

4.3.1.1 중력하중

중력하중은 식 (4.3.1)과 (4.3.2)을 사용해 계산한다.

$$Q_G = 1.1(Q_D + Q_L + Q_S) \quad (4.3.1)$$

$$Q_G = 0.9 Q_D \quad (4.3.2)$$

여기서, Q_D = 고정하중

Q_L = 유효활하중 (감소계수를 사용하지 않은 설계활하중의 25% 혹은 예측된 활하중)

Q_S = 유효적설하중

4.3.1.2 변형지배거동

변형지배거동을 하는 부재의 부재력 및 변형(Q_{UD})은 식 (4.3.3)로 계산한다.

$$Q_{UD} = Q_G \pm Q_E \quad (4.3.3)$$

여기서, Q_{UD} = 중력하중과 지진하중의 조합하중에 의한 부재력 및 변형

Q_G = 중력하중에 의한 부재력 및 변형

Q_E = 지진하중에 의한 부재력 및 변형

4.3.1.3 하중지배거동

하중지배거동을 하는 부재의 부재력 및 변형(Q_{UF})은 식 (4.3.4) 혹은 식 (4.3.5)에 의해 산정한다.

$$Q_{UF} = Q_G \pm \frac{Q_E}{CJ} \quad (4.3.4)$$

$$Q_{UF} = Q_G \pm \frac{Q_E}{C} \quad (4.3.5)$$

여기서, Q_{UF} = 중력하중과 지진하중의 조합에 의한 거동

C = 표 4.2.1에서 정의된 수정계수

J = 하중전달 감소계수

J 는 고려하는 부재의 하중이 횡하중저항시스템내의 부재로부터 전달될 때 그 횡하중저항시스템 부재의 항복에 의해 전달되는 하중이 감소되는 효과를 나타낸다. J 의 값은 지진구역1일 경우 2.0, 지진구역 2일 경우 1.5로 하며 거주가능수준의 검토를 위해서는 1.5로 본다. 하중을 전달하는 횡하중저항시스템내의 부재가 항복하지 않을 경우 1.0으로 본다.

4.3.2 부재강도

변형지배거동에서 부재강도는 평균강도 Q_{CE} 를 사용하며, 하중지배거동에서 부재강도는 공칭강도 Q_{CN} 을 사용한다.

허용응력을 사용할 경우 공칭강도는 허용강도에 강재의 경우는 1.7, 조적의 경우 2.5를 곱한 값으로 본다.

부재의 각종 공칭강도는 이 요령에서 특별히 규정하지 않는 한 KBC2009에 따라 구한다. 혹은 이 절에서 소개되는 간략식을 통해 공칭강도 혹은 평균강도를 산정할 수 있다. 모든 경우 구조설계기준에서 사용되는 강도감소계수 ϕ 는 기존건물의 평가에서는 적용하지 않는다.

4.3.2.1 RC부재의 부재강도

철근콘크리트부재의 강도는 건축구조기준(KBC2009)의 5장 콘크리트의 내용을 따른다. 단, 강도감소계수 ϕ 는 적용하지 아니하며 변형지배거동의 경우 공칭강도와 평균강도의 차이를 고려하여 철근의 항복강도 f_y 대신 $f_{ye} = 1.25f_y$ 와 콘크리트의 압축강도 f_{ck} 대신 $1.20f_{ck}$ 를 사용하여 강도를 산정한다.

부재별 강도는 구조설계기준과 같이 구조공학에서 통용되는 역학적인 가정 및 해석방법을 통해 산정하는 것이 일반적이나 간략한 계산을 위해 다음에 제시하는 간략식을 사용할 수 있다.

(1) 보

보의 평균휨강도는 평균재료강도를 사용한 식 (4.3.6)에 의하여 구할 수 있다.

$$M_e = A_s f_{ye} (d - a/2) \quad (4.3.6)$$

여기서,

M_e : 보의 평균휨강도

A_s : 철근의 단면적

f_{ye} : 철근의 평균강도 = $1.25f_y$

d : 보의 유효 깊이

$$a = \frac{A_s f_{ye}}{0.85 f_{ce} b}$$

b : 보의 폭

f_{ce} : 콘크리트의 평균압축강도 $= 1.2f_{ck}$

보의 공칭전단강도는 공칭재료강도를 사용한 식 (4.3.7)에 의하여 구할 수 있다.

$$V_n = V_c + V_s \quad (4.3.7)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} bd \quad (4.3.8)$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (4.3.9)$$

여기서,

A_v : 스티럽 단면적

s : 스티럽 간격

(2) 기둥

기둥의 휨강도와 압축강도 및 인장강도는 철근콘크리트의 압축취연단의 변형도가 종국변형도인 0.003에 도달할 때 축력과 모멘트의 상관관계를 고려하여 휨 부재에 적용되는 단면의 평면유지 가정과 철근의 탄소성거동 및 힘의 평형조건을 사용하여 구할 수 있다. 단 휨강도는 평균재료강도를 사용하여 구하여야 하며 압축 또는 인장강도는 공칭재료강도를 사용하여 구하거나 평균재료강도를 사용하여 구한 값을 1.25로 나눈 값으로 한다.

기둥의 전단강도는 KBC2009의 전단강도식 대신 식 (4.3.10)을 사용하여 평가한다. 식 (4.3.10)은 후프의 간격이 넓은 기둥의 전단강도가 휨항복 이후의 비선형거동구간에서 급격히 감소하는 현상을 고려하기 위한 경험식이다.

$$V_n = k_1 \frac{A_v f_y d}{s} + \lambda k_2 \left(\frac{0.5 \sqrt{f_{ck}}}{M/(Vd)} \sqrt{1 + \frac{P}{0.5 \sqrt{f_{ck}} A_g}} \right) 0.8 A_g \quad (4.3.10)$$

여기서,

A_v : 후프의 단면적

d : 고려하는 방향의 단면의 유효춤, $0.8h$ 로 본다.

h : 고려하는 방향의 전체단면춤

M, V, P : 해당하중조합에 의한 모멘트, 전단력, 축하중. 인장력이 작용할 경우 축하중은 0으로 본다.

$\lambda=1.0$ (일반콘크리트), $\lambda=0.75$ (경량콘크리트)

$$k_1 = \begin{cases} 1 & s \leq 0.5d \\ 0.5 & 0.5d < s \leq d \\ 0 & s > d \end{cases} \quad k_2 = \begin{cases} 1 & \mu \leq 2 \\ -0.15\mu + 1.3 & 2 < \mu \leq 4 \\ 0.7 & \mu > 4 \end{cases}$$

μ : 변위연성도

또한 하중조합에 의한 모멘트와 전단력의 비는 $2 \leq M/(Vd) \leq 3$ 이어야 하며, 간략한 평가를 위해 $M/(Vd)=3$, $P=0$ 으로 할 수 있다.

(3) 전단벽

대부분의 경우 전단벽의 압축응력은 상당히 낮으므로 압축력의 평가는 생략하고 휨모멘트 강도와 전단강도에 대해서만 검토할 수 있다. 전단벽의 휨모멘트 강도는 기둥과 동일한 방법으로 구할 수 있다.

전단벽의 전단강도는 식 (4.3.11)을 따른다.

$$V_n = V_c + V_s \quad (4.3.11)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ce}} b (0.8 l_w) \quad (4.3.12)$$

$$V_s = \frac{A_{vh} f_{ye} d}{s_h} \quad (4.3.13)$$

여기서,

A_{vh} : s_h 거리 내에 있는 수평전단철근의 단면적

s_h : 전단보강근 간격

(4) 접합부

접합부의 강도는 식 (4.2.14)로 평가한다.

$$V_n = \lambda \gamma \sqrt{f_{ck}} A_j \quad (4.3.14)$$

여기서, λ 는 보통 콘크리트일 경우 1.0, 경량콘크리트일 경우 0.75이며, γ 는 접합부의 형식 및 접합부 내부의 횡보강근의 체적비에 따라 정해진 계수로서 표 4.3.1과 같다. A_j 는 접합부의 유효면적으로 건 축구조기준 및 해설의 해그림 0520.5.3에 따라 산정한다.

접합부의 전단강도는 중력하중과 지진하중의 조합에 의해 접합부에 발생되는 전단력보다 커야 한다. 단, 이 값은 접합부에 접한 보 혹은 기둥의 항복시 발생되는 전단력보다 클 필요는 없다.

표 4.3.1 접합부 강도산정시 γ 계수

접합부 형보강근의 채적비	직교보가 있는 내부접합부	직교보가 없는 내부접합부	직교보가 있는 외부접합부	직교보가 없는 외부접합부	최상층 외부접합부
0.003 미만	1.0	0.83	0.67	0.5	0.33
0.003 이상	1.7	1.25	1.25	1.0	0.67

[해설]

KBC2009 0520 내진설계 특별고려사항 중 기둥-보 접합부 검토방법에서 접합부로 입력되는 전단력의 크기는 Capacity design 개념에 따라 접합부에 인접한 보단면(슬래브를 포함)의 휨항복시 발생하는 전단력으로부터 구하도록 하고 있다. 하지만 이는 강기둥-약보인 경우 적용될 수 있는 사항이다. 보의 휨모멘트강도가 기둥의 휨모멘트강도보다 클 경우 접합부로 입력되는 전단력은 기둥의 휨항복시 보에서부터 전해지는 전단력의 크기를 사용한다. 또한 이 값은 중력하중과 지진하중의 조합에 의해 실제 발생하는 전단력(즉, 구조해석에 의한 값)보다 클 필요가 없다.

4.3.2.2 조적채움벽의 부재강도

조적채움벽을 가지는 철근콘크리트 골조 혹은 철골모멘트 골조의 거동은 변형지배로 모델링 되기 때문에 조적채움벽의 부재강도시 사용되는 재료의 탄성계수 혹은 강도값은 모두 평균값을 사용한다. 조적채움벽의 전단강도는 다음 식 (4.3.15)에 의해 계산된다.

$$V_{ine} = A_{ni} f_{vie} \quad (4.3.15)$$

여기서,

A_{ni} =채움벽 수평방향의 모르타르 접합 혹은 그라우트 접합면의 순면적

f_{vie} =조적채움벽의 예상 전단응력

단, f_{vie} 는 다음 4.3.2.3절에서 주어지는 가로줄눈파괴(bed-joint sliding mode) 모드에서 계산되는 전단응력 v_{me} 를 초과할 수 없다.

조적채움벽과 인접해 있는 기둥은 다음의 두가지 경우에 의한 하중에 의해 발생하는 휨모멘트와 전단력을 지지할 수 있어야 한다.

1) 등가 대각압축가새의 힘의 중심이 채움벽의 상부와 하부에서 수직방향으로 거리 l_{eff} 만큼 떨어진 위치에 작용할 때 등가 대각압축가새의 힘의 수평성분

$$l_{ceff} = \frac{a}{\cos\theta_c} \quad (4.3.16)$$

여기서,

$$\tan\theta_c = \frac{h_{inf} - a/\cos\theta_c}{L_{inf}}$$

2) 길이가 l_{ceff} 만큼 감소된 기둥의 상부와 하부에서 평균모멘트강도가 발현될 때 발생하는 전단력 단, 조적채움벽에 개구부가 존재하는 경우 식 (4.3.16)에 따라 계산되는 감소된 기둥길이 l_{ceff} 는 개구부의 높이와 같아야 한다.

조적채움벽과 인접해 있는 보는 다음 두 가지 경우에 의한 하중에 의해 발생하는 휨모멘트와 전단력을 지지할 수 있어야 한다.

1) 등가 대각압축가새의 힘의 중심이 채움벽의 상부와 하부에서 수평방향으로 거리 l_{beff} 만큼 떨어진 위치에 작용할 때 등가 대각압축가새의 힘의 수직성분

$$l_{beff} = \frac{a}{\sin\theta_b} \quad (4.3.17)$$

여기서,

$$\tan\theta_b = \frac{h_{inf}}{L_{inf} - a/\sin\theta_b}$$

2) 길이가 l_{beff} 만큼 감소된 보의 양단에서 평균모멘트강도가 발현될 때 발생하는 전단력

4.3.2.3 조적내력벽체의 부재강도

조적조 재료특성으로는 다음의 4가지를 고려하여야 한다.

(1) 모르타르 압축강도

기건양생일 때 배합비 기준으로 모르타르 압축강도는 다음과 같다.

배합비 1:1~1:2

$$f'_{mortar} = 39 - 13M_c \quad (\text{MPa}), \quad M_c = (\text{모래의 부피})/(\text{시멘트의 부피}) \quad (4.3.18)$$

배합비 1:2.5~1:5

$$f'_{mortar} = 20 - 3.2M_c \quad (\text{MPa}) \quad (4.3.19)$$

일반적으로 모르타르의 압축강도는 KS규정의 28일 압축강도 11MPa보다 낮게 나오는 경우가 많기 때문에 배합비를 보통 사용하는 1:3으로 가정하여 모르타르 압축강도는 10.4 MPa를 기본값으로 한다.

(2) 콘크리트 벽돌 압축강도

KS의 제한은 다음과 같다.

A, B종: 경량골재	8.2, 12.2 MPa
C종 1급: 보통골재, 내력벽	16.3MPa
C종 2급: 보통골재, 비내력벽	8.2MPa

KS에서 위와 같이 규정하고 있으나 제조사별로 편차가 매우 크기 때문에 평가시 이를 고려할 필요가 있다. 따라서 조적조 벽체는 내력벽이긴 하나 편차를 고려하여 10 MPa로 가정한다.

(3) 프리즘 압축강도 및 탄성계수

프리즘 압축강도 및 탄성계수는 다음 식을 사용한다.

- 프리즘 압축강도

$$f'_m = 0.46f'_{brick} + 0.16f'_{mortar} - 2.64 \text{ (MPa)} \quad (4.3.20)$$

- 프리즘 탄성계수

$$\begin{aligned} E_m &= 88f'_m, & f'_m &\leq 26 \text{ MPa} \\ E_m &= 172f'_m, & f'_m &> 26 \text{ MPa} \end{aligned} \quad (4.3.21)$$

(4) 사인장 프리즘 전단강도 및 전단탄성계수

사인장 프리즘 전단강도 및 전단탄성계수는 국내의 연구결과(2004년 대한건축학회 논문집에 게재된 “조적개체 재료특성에 관한 실험적 연구, 이원호 외”)에 따라 다음과 같이 규정한다.

- 전단탄성계수

$$G = 0.2E_m \quad \text{(MPa)} \quad (4.3.22)$$

하지만 국외 기준에 따라 $G = 0.4E_m$ 를 사용할 수도 있다.

- 사인장 프리즘 전단강도

$$f'_{dt} = 0.0085f'_m + 0.535 \text{ (MPa)}, \quad (4.3.23)$$

여기서 프리즘 압축강도 f'_m 은 6.1~16.8 MPa의 범위를 가진다.

[해설]

본 절의 조적조 재료 특성은 한국시설안전공단에서 발간된 “국내 실정에 맞는 취성파괴형 및 삼중수평저항 시스템 건축물의 내진성능평가방법 개발 (2008)”의 내용을 참조하였다.

FEMA356에서는 조적조 요소의 상태를 양호(good), 보통(fair), 불량(poor) 3단계로 나누어 부재강도를 지정하고 있다. 이 요령에서도 이를 준용하여 모르타르 및 벽돌의 압축강도의 기본값으로 제시한 10.4 MPa과 10 MPa을 양호일 때의 값으로 정하고 조적조 상태에 따라 보통일 때는 2/3, 불량일 때는 1/3을 곱하여 감소시킨다. 모르타르 및 벽돌 압축강도를 사용하여 계산하는 프리즘 압축강도, 프리즘 탄성계수, 전단탄성계수들은 먼저 양호일 때의 기본값으로 계산한 후에 조적조 상태에 따라 2/3, 1/3을 곱하여 산정한다.

조적조 개별 벽체의 전단강도는 다음의 3가지 파괴모드별로 강도를 구한 후 그 중 작은 값을 그 벽체의 전단강도로 산정한다. 벽체에 개구부가 있는 경우 다음 강도식에 면내방향 개구부율을 곱하여 최종적으로 강도를 산정한다(시설안전공단, 2008). 각 파괴모드 별 전단강도식은 다음과 같다.

(1) 강체회전 및 양단부압괴파괴 (Rocking and Toe-crushing mode)

$$V_{TC,R} = 1800\alpha \sqrt{P} \left(\frac{L}{H} \right) \left(1 + \frac{f_a}{0.5f'_m} \right) \quad (4.3.24)$$

P : 축하중 (N),

α : 경계조건(0.5 : 고정단-자유단, 1 : 고정단-고정단)

L : 벽체 길이 (mm),

H : 벽체 높이 (mm)

f_a : 축응력 (MPa),

f'_m : 프리즘 압축강도 (MPa)

(2) 가로줄눈파괴(bed-joint sliding mode)

$$V_{bjs} = v_{me} A_n = v_{me} \frac{Dt}{1.5} \quad (4.3.25)$$

여기서,

$v_{me} = 0.56v_t + 0.005 \frac{P_D}{Dt}$ (MPa) : 모르타르 접착면의 미끄러짐 유효 전단강도

v_t = 모르타르의 전단강도, 현장시험자료를 사용하거나 판단에 의해 상태가 양호한 경우 0.2

MPa, 보통인 경우 0.15 MPa 불량한 경우 0.1 MPa로 한다.

P_D = 벽체상부 고정하중 (N)

A_n = 모르타르 접촉 순면적 (mm^2)

t = 벽두께 (mm)

D = 벽체의 길이 (mm)

(3) 대각인장파괴(diagonal tension)

$$V_{dt} = f'_{dt} A_n \beta \sqrt{1 + \frac{f_a}{f'_{dt}}} \quad (4.3.26)$$

여기서,

f'_{dt} = 조적벽체의 사인장 강도의 하한값 ($f'_{dt} = 0.05 f'_m$)

$\beta = 0.67$ for $L/h_{eff} < 0.67$

$\beta = L/h_{eff}$ for $0.67 \leq L/h_{eff} \leq 1.0$

$\beta = 1.0$ for $L/h_{eff} > 1.0$

[해설]

조적조 개별 벽체의 전단강도는 일반적으로 4가지 파괴모드(강체회전, 가로줄눈, 대각인장, 및 양단부압괴 파괴)로 정의된다. 하지만, 한국시설안전공단의 “국내 실정에 맞는 취성파괴형 및 삼중수평저항 시스템 건축물의 내진성능평가기법 개발 (2008)”에서 국내 조적 벽체의 파괴모드로는 강체회전 및 양단부압괴 파괴의 조합과 가로줄눈파괴의 2가지 파괴모드를 제안하고 있다. 따라서 이 요령에서는 이 두 가지 파괴모드에 대각인장을 포함한 3가지 파괴모드를 대상으로 전단강도를 계산하였다. 단, 한국시설안전공단 보고서에서는 강체회전 및 양단부압괴 파괴 조합에 대한 식만을 제시하고 있어 가로줄눈파괴 및 대각인장에 대한 강도식은 FEMA356을 따랐다.

4.3.2.4 철골부재의 강도

철골부재의 강도는 건축구조기준(KBC2009)의 7장 강구조의 내용을 따른다. 단, 강도감소계수 ϕ 는 적용하지 아니하며 변형지배거동의 경우 강재의 항복강도 F_y 대신 $F_{ye} = 1.25F_y$ 와 콘크리트의 압축강도 f_{ck} 대신 $1.20f_{ck}$ 를 사용하여 강도를 산정할 수 있다.

4.3.2.5 철골철근콘크리트부재의 강도

철골철근콘크리트부재의 강도산정은 건축구조기준(KBC2009)의 7장 강구조의 내용 중 합성부재에 대한 규정에 따라 산정한다. 평균강도의 산정방법은 철골부재의 경우와 동일한다.

4.3.3 허용기준

4.3.3.1 변형지배거동

변형지배거동을 하는 1차부재와 2차부재의 만족여부는 식 (4.3.27)에 따라서 판정한다.

$$Q_{CE} \geq \frac{Q_{UD}}{m} \quad (4.3.27)$$

여기서

Q_{UD} = 중력하중과 지진하중의 조합에 의한 거동

m = 부재의 예상 연성능력을 고려한 계수 (m 계수)

Q_{CE} = 부재의 평균강도

4.3.3.2 하중지배거동

하중지배거동을 하는 1차부재와 2차부재의 만족여부는 식 (4.3.28)에 따라 판정한다.

$$Q_{CN} \geq Q_{UF} \quad (4.3.28)$$

여기서, Q_{UF} = 중력하중과 지진하중의 조합에 의한 거동

Q_{CN} = 부재의 공칭강도

4.3.4 부재별 m 계수 및 성능수준의 판정

4.3.4.1 철근콘크리트 부재

1단계 상세평가를 위한 철근콘크리트부재의 부재별 허용기준은 표 4.3.2 ~ 표 4.3.7과 같다.

홍보강근의 내진상세판단은 KBC2009 0520 내진설계시 특별고려사항의 규정에 따른다.

표 4.3.2 철근콘크리트 보의 m 계수

조건		거주 가능	1차부재		2차부재	
			인명 안전	붕괴 방지	인명 안전	붕괴 방지
1) 힘에 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) 힘에 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.						
2. 1) ~ 5)중 복수의 상황에 해당하는 경우 가장 불리한 값을 사용한다.						
3. 내진상세단면과 비내진상세단면의 판단은 KBC2009 0520 내진설계시 특별고려사항의 규정에 따른 횡보강근의 만족여부에 따른다.						
4. 주근의 배근상태는 $(\rho - \rho')/\rho_{bal}$ 로 평가한다.						
5. 작용전단력의 크기는 $V/(\sqrt{f_{ck}}b_wd)$ 로 평가한다.						

표 4.3.3 철근콘크리트 기둥의 m 계수

		거주 가능	1차부재		2차부재	
			인명 안전	붕괴 방지	인명 안전	붕괴 방지
1) 힘에 의해 지배되는 비내진상세 단면일 경우						
축력비	작용전단력의 크기					
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.

2. 1) ~ 5)중 복수의 상황에 해당하는 경우 가장 불리한 값을 사용한다.

3. 내진상세단면과 비내진상세단면의 판단은 KBC2009 0520 내진설계시 특별고려사항의 규정에 따른 횡보강근의 만족여부에 따른다.

4. 축력비는 $P/A_g f_{ck}$ 로 평가한다.5. 작용전단력의 크기는 $V/(\sqrt{f_{ck}} b_w d)$ 로 평가한다.

표 4.3.4 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							
모든 경우			2	2	3	2	3
2-iii. 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.

2. 배근상태와 축력비는 $\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f_{ck}}$ 로 평가한다.

3. 작용전단력의 크기는 $V/(\sqrt{f_{ck}} t_w l_w)$ 로 평가한다.

4. 내진상세단면과 비내진상세단면의 판단은 KBC2009 0520 내진설계시 특별고려사항의 규정에 따른 횡보강근의 만족여부에 따른다.

표 4.3.5 철근콘크리트 기둥-보 접합부의 m 계수

조건		m 계수				
축력비	작용전단력의 크기	거주 가능	1차부재		2차부재	
			인명 안전	붕괴 방지	인명 안전	붕괴 방지
1) 접합부 횡보강근이 내진상세를 만족하지 않는 내부접합부						
0.1 이하	1.2이하	-	-	-	2	3
	1.5이상	-	-	-	2	3
0.4 이상	1.2이하	-	-	-	2	3
	1.5이상	-	-	-	2	3
1) 접합부 횡보강근이 내진상세를 만족하지 않는 기타접합부						
0.1 이하	1.2이하	-	-	-	2	3
	1.5이상	-	-	-	2	3
0.4 이상	1.2이하	-	-	-	1.5	2
	1.5이상	-	-	-	1.5	2
1) 접합부 횡보강근이 내진상세를 만족하는 내부접합부						
0.1 이하	1.2이하	-	-	-	3	4
	1.5이상	-	-	-	2	3
0.4 이상	1.2이하	-	-	-	3	4
	1.5이상	-	-	-	2	3
1) 접합부 횡보강근이 내진상세를 만족하는 기타접합부						
0.1 이하	1.2이하	-	-	-	3	4
	1.5이상	-	-	-	2	3
0.4 이상	1.2이하	-	-	-	3	4
	1.5이상	-	-	-	2	3

1. 사이값은 선형보간한다.

2. 내진상세단면과 비내진상세단면의 판단은 KBC2009 0520 내진설계시 특별고려사항의 규정에 따른 횡보강근의 만족여부에 따른다. 후프근의 간격 $s \leq h_c/3$ 이 일 경우 내진상세이다.

3. 축력비는 $P/A_g f_{ck}$ 로 평가한다. P는 접합부위쪽 기둥의 설계축하중이며, A_g 는 접합부의 단면적이다.

4. 작용전단력의 크기는 V/V_n 로 평가한다. V는 설계전단력이고 V_n 은 4.3.2.1의 (4)에 따라 계산한 접합부의 전단강도이다.

5. 기둥-보접합부의 1단계 상세평가에서 1차부재는 하중지배거동으로 간주하므로 m 계수가 적용되지 않는다.

표 4.3.6 조적채움벽의 등가압축가새의 m 계수

조건		목표성능수준별 m 계수		
골조와 채움벽의 강도비 β	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_{ine} 이다.
3. 채움벽의 길이-높이비는 L_{inf}/h_{inf} 이다.

표 4.3.7 조적채움벽을 가진 철근콘크리트기둥의 m 계수

조건	거주 가능	1차부재		2차부재	
		인명 안전	붕괴 방지	인명 안전	붕괴 방지
1) 기둥이 압축부재로 작용할 때					
전체 길이에 걸쳐 모든 단면이 횡보강근에 의해 구속된 경우	1	3	4	4	5
그 밖의 경우	1	1	1	1	1
2) 기둥이 인장부재로 작용할 때					
주근 이음부가 충분히 구속된 경우와 이음부가 없는 경우	3	4	5	5	6
그 밖의 경우	1	2	2	3	4

1. 접합부를 포함한 기둥 전체에 걸쳐 KBC2009 0520 내진설계시 특별고려사항 중 전단벽의 특수 경계요소에 요구되는 전단보강근의 3/4에 해당하는 전단보강근이 배근된 경우, 전체높이에 걸쳐 모든 단면이 횡보강근에 의해 구속된 경우로 본다.
2. 하중이 방향이 역전되어 기둥이 압축과 인장모두를 받는 경우 두 경우 모두에 대해 검토한다.
3. 선형보간하지 않는다.

4.3.4.2 철골 부재

1단계 상세평가를 위한 철골부재의 부재별 허용기준은 표 4.3.8과 같다.

표 4.3.8 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 (P < 0.2Py)	내진콤팩트단면	2	6	8	10	12
	비콤팩트단면	1.25	1.25	2	2	3
기둥 (0.2Py < P < 0.5 Py)	내진콤팩트단면	1.25	$9k_p$	$12k_p$	$15k_p$	$18k_p$
	비콤팩트단면	1.25	1.25	1.5	2	2
기둥 (P> 0.5Py)		하중지배거동				
패널존		1.5	8	11	12	12
용접접합부		1	2	3	2	3
반강접접합 골조						
인장측 볼트, 용접 접합		1.25	1.5	2	1.5	2
기타		1.5	2	3	2	3
가새골조						
가새골조내의 기둥, 보		강접모멘트골조의 경우와 동일				
편심가새골조	연결보					
	가새와 기둥	하중지배거동				
압축을 받는 튜브와 파이프 가새 (중심가새골조)	내진콤팩트단면	1.25	5	7	5	7
	비콤팩트단면	1.25	2	3	2	3
인장을 받는 가새 (중심가새골조)	인장-압축가새	1.25	6	8	8	10
	인장-비압축 가새	0.6	3	4	4	5

사이값은 선형보간한다.

$$k_p = 1 - 1.7 P / P_y$$

P : 하중지배하중조합에 의한 축력

$$\text{내진콤팩트단면 : 보, 기둥의 경우 } \frac{b}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}, \frac{h}{t_w} \leq 2.46 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$$

$$\text{튜브가새의 경우, } \frac{d}{t} \leq 0.53 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}, \text{파이프가새의 경우 } \frac{d}{t} \leq \frac{10600}{F_{ye}}$$

$$\text{비콤팩트단면 : 보, 기둥의 경우 } \frac{b}{2t_f} > 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}, \frac{h}{t_w} > 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$$

$$\text{튜브가새의 경우 } \frac{d}{t} > 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}, \text{파이프가새의 경우 } \frac{d}{t} > \frac{42360}{F_{ye}}$$

4.3.4.3 조적 부재

1단계 상세평가에서 조적조부재의 허용기준은 표 4.3.9와 같다.

표 4.3.9 조적조부재의 m 계수

거주가능	인명안전	붕괴방지
0.25	0.75	1.0

[해설]

FEMA 356에서는 조적 부재의 가로줄눈 및 강체회전 파괴모드에 대해 성능수준별로 m 계수를 제공하고 있다. 이 의미는 두 파괴모드는 연성거동을 하는 것으로 간주한다는 뜻이다. 하지만 국내 조적조 건물의 특성을 고려했을 때 두 파괴모드라 하더라도 연성거동을 실제로 기대하기는 어렵다. 따라서 1단계 상세평가에서도 예비평가일 때와 마찬가지로 조적조의 연성능력은 없는 것으로 간주한다. 즉, 하중지배이므로 강도와 하중이 일치할 때를 붕괴방지 수준의 한계로 정하고, 이를 기준으로 인명안전은 3/4, 거주가능은 1/4을 곱한 값을 각각 한계로 정한다. 이 값들은 예비평가에서 각 수준별 DCR 한계와 동일하다.

4.3.4.4 철골철근콘크리트 부재

철골철근콘크리트 부재의 1단계 상세평가절차는 철골조의 경우와 동일하다.

4.4 성능수준의 결정

4.3절의 절차에 따라 개별 부재별로 어떤 성능수준을 만족하는지 검토한 후 이를 토대로 구조물 전체의 성능수준을 결정한다. 전체 구조물의 내진성능판정기준은 지진 후 부재의 연직하중저항능력을 기준으로 한다. 즉, 어떠한 성능수준 및 그 보다 높은 성능수준을 만족하는 부재가 부담하는 연직하중의 합이 전체 연직하중의 80%이상이면 그 성능수준을 만족하는 것으로 한다. 이때 각 부재의 연직하중 분담비율을 구하기 위한 하중은 지진하중 없이 고정하중과 활하중의 25%를 사용하는 것으로 한다.

표 4.4.1 성능수준의 판정

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 80%이상

[해설]

4.1에서 4.3까지의 부재별 성능수준 확인 후 전체적인 구조물의 성능수준은 지진하중을 제외한 연직하중 작용시 붕괴방지에상의 성능수준 즉 거주가능, 인명안전, 혹은 붕괴방지를 만족하는 부재가 부담하는 연직하중이 전체연직하중의 80%이상이면 붕괴방지를 만족하며, 20% 미만이면 붕괴방지의 불만족 즉 붕괴위험으로 판단한다. 거주가능 및 인명안전의 경우에도 이와 유사하게 평가한다. 부재별 연직하중 분담능력은 수직부재의 경우 축하중, 수평부재의 경우 양단 전단력의 크기를 기준으로 한다. 따라서 고정하중과 활하중의 25%에 해당하는 연직하중이 작용할 때 층별로 각 수직부재에 작용하는 축하중과 수평부재의 양단에 작용하는 전단력의 합 중 부재별로 부담하는 비율이 그 부재의 연직하중 분담능력이 된다.

이처럼 전체 성능수준을 모든 부재별 성능수준 중 가장 불리한 수준으로 하지 않고 연직하중 부담비율상 20%까지 초과하는 것을 허용한 것은 중요도가 낮은 부재가 전체 성능수준을 좌우하는 결과를 막기 위해서이다. 하지만 상세평가에서는 전체 구조물의 성능수준의 판정보다는 개별부재의 성능수준을 확인이 보다 중요하므로, 평가결과 목표성능수준을 만족하지 못하는 부재, 특히 붕괴위험 수준인 부재는 반드시 보고서에 명기하고 향후 보강대책을 세울 필요가 있다.

제5장 2단계 내진성능 상세평가

5.1 일반사항

기존건축물에 대한 2단계 내진성능 상세평가는 비선형해석방법을 사용하여 대상 건축물의 내진성능을 정확히 평가하고 평가기준 지진에 의하여 발생할 수 있는 피해의 정도를 최대한 정밀히 예측하는데 그 목적이 있다. 해석방법으로는 일반적으로 푸시오버해석이라고 알려진 기법, 즉 개별 부재의 재료비선형 거동특성을 정의한 후 횡변위를 점차적으로 증가시키면서 부재의 강도와 비선형변형의 관계를 구하는 기법을 사용한다.

비선형정적 푸시오버해석 결과는 일반적으로 밀면전단력과 최상층횡변위로 나타낸다.

pushover 곡선으로 나타내는 횡변위의 기준점(control node)은 최상층의 질량중심점으로 한다.

비선형정적 푸시오버해석에 사용될 구조해석모델은 이 장에 제시된 방법을 따라서 구축한다.

구조해석모델에 포함되는 구조요소는 1차부재와 2차부재로 분류하여 모델링하고 부재 평가시 이에 따라 제시된 허용기준과의 비교를 통해 성능수준을 판정한다.

5.1.1 적용대상건물의 범위

푸시오버해석시 사용되는 횡하중의 분포는 구조물의 1차모드가 지배적이라는 가정으로부터 구한 밀면전단력의 수직분포를 사용한다. 따라서 비선형정적 푸시오버해석은 기본적으로 고차모드의 영향이 크지 않은 건물에 사용할 수 있다. 고유치해석에 의한 구조물의 기본주기가 1초 이상으로 유연한 구조물인 경우 고차모드의 영향을 고려하여야 한다.

5.1.2 자료조사

2단계 상세평가를 수행하기 위해서는 다음과 같은 자료가 반드시 요구된다.

- ① 구조평면도 및 입면도
- ② 해당지역의 지반정보
- ③ 조적채움벽의 위치 및 치수

위의 자료가 없을 경우 적절한 방법을 통해 평가를 위해 요구되는 부재단면에 관한 정보를 확보하여야 한다. 설계도서가 있더라도 재료강도의 정확한 평가를 위해서는 재료시험을 실시할 수 있다.

5.2 해석방법

5.2.1 해석모델

해석을 위해서는 두 직교하는 축에 해당하는 평면프레임모델을 사용하거나 3차원 모델을 사용할 수 있다. 평면프레임을 사용하기 위해서는 비틀림효과가 없어야 한다. 비틀림효과의 유무는 3.1.1의 H-1 비틀림 비정형의 판단기준을 통해 판정한다.

5.2.2 횡하중의 수직분포

횡하중의 수직분포는 구조물의 층질량분포와 1차모드의 모드형상으로부터 구한다. 해석시 연직하중도 포함한다. 해석시 사용하는 횡하중의 수직분포는 다음에 제시된 3종류의 횡하중 수직분포 중의 최소 하나와 각 층의 질량에 비례하는 등분포 횡하중의 두 개 이상의 횡하중 패턴을 사용하여 각각 평가한다.

(1) 의사지진력의 수직분포식에 횡하중 패턴

식 (5.2.1)에 따른 횡하중분포이다. 이때, 1차모드의 모드참여비율이 75%이상이 되어야 한다.

$$F_x = C_{vx} V \quad (5.2.1)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (5.2.2)$$

여기서,

V : 의사지진력 (상세 1단계 평가에서 산정된 값)

k : 주기가 2.5초 이상일 경우 2.0, 0.5초 이하일 경우 1.0, 그 사이는 선형보간한다.

w_i, w_x : i 층, x 층의 seismic weight

h_i, h_x : i 층, x 층의 층고

(2) 1차모드의 모드형상과 비례하도록 하는 경우

이 때, 1차모드의 모드참여비율은 75%이상이 되어야 한다.

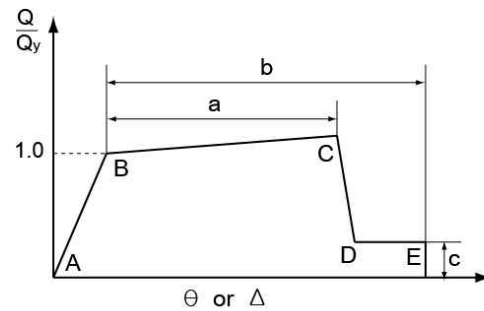
(3) 해당하는 설계지진스펙트럼과 응답스펙트럼법을 사용하여 구한 층전단력분포.

이를 위해 사용된 응답스펙트럼법에서는 고려된 모드질량이 구조물 전체질량의 90%이상이 되도록 충분한 수의 모드가 고려되어야 한다. 건물의 기본진동주기가 1초 이상일 경우 이와 같은 방법으로 횡하중패턴을 구하여야 한다.

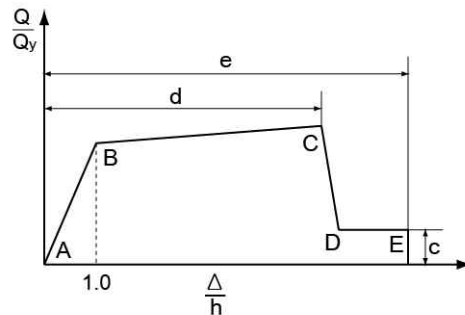
5.2.3 구조요소의 모델링

부재별 비선형 거동 특성의 모델링, 즉 소성힌지의 특성은 각 구조시스템 및 부재의 조건에 따라 제시된 표를 따른다. 부재의 비선형거동특성은 그림 5.2.1과 같이 보통 4개의 직선으로 모델링 되며 부재에 따라 변형량의 절대치가 규정된 경우(그림 5.2.1의 (a))와 각 지점의 위치를 항복하중 혹은 항복변위의 비율로 나타내는 경우(그림 5.2.1의 (b))가 있다.

부재의 종류별 모델링 파라미터는 '5.3.2 부재별 모델링 파라미터, 허용기준 및 성능등급의 판정'에 제시되어 있다.



(a) 변형량



(b) 변형비

그림 5.2.1 소성힌지 특성 모델

5.3 평가절차

5.3.1 성능점의 산정

성능점의 산정에는 역량스펙트럼법과 변위계수법을 사용할 수 있다.

[해설]

역량스펙트럼법

역량스펙트럼법(Capacity Spectrum Method, 이하 CSM)은 건축물의 횡하중에 대한 저항능력을 비선형 정적해석을 통해 구조물에서의 밀면전단력과 최상층 변위 곡선의 관계를 산정하고 이를 스펙트럼 가속도와 스펙트럼 변위 형태의 스펙트럼으로 나타낸다. 그리고 지진의 요구내력을 나타내는 요구스펙트럼도 역시 스펙트럼 가속도와 스펙트럼 변위 형태로 나타낸다. 이 두 곡선을 하나의 좌표계로 표현함으로써 요구내력과 구조물의 저항력을 효과적으로 비교할 수 있는 방법이다. 능력스펙트럼과 요구스펙트럼 곡선의 교차점은 주어진 지진에 대한 구조물의 응답을 의미하나 요구스펙트럼이 탄성응답스펙트럼에 기초한 값이므로 구조물이 비선형 거동을 할 경우 비선형 효과에 따른 요구스펙트럼의 감소를 고려해야 한다. 즉, 역량스펙트럼법은 실제건물의 비선형거동(최대변위)을 유효주기 T_{eff} 와 유효감쇠비 β_{eff} 를 가진 “등가의” 단자유도계 선형구조물의 응답으로부터 구하는 것이다.(그림 5.3.1)

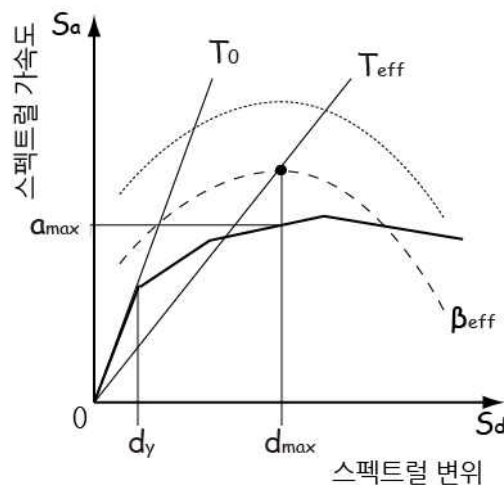


그림 5.3.1 역량스펙트럼법 (FEMA 440)

역량스펙트럼법의 절차는 다음과 같다.

1. 역량스펙트럼의 산정
2. 요구스펙트럼의 산정
3. 성능점의 예측

초기에 사용되는 요구스펙트럼은 5%의 감쇠비를 가지는 선형탄성 설계응답스펙트럼이므로 구조물의 비선형거동의 정도에 따라 유효감쇠비를 구하여 이를 적절히 수정하여야 한다. 따라서 2와 3에서 여러 번의 반복계산을 통해 성능점을 구한다. 성능점의 예측 및 반복과정은 ATC-40의 방법 혹은 이 방법의 문제점을 개선제안한 FEMA 440의 방법을 사용할 수 있다.

변위계수법

변위계수법에서는 지진동을 받는 단자유도모델의 응답에 관한 기존 자료들의 통계치에 근거한 경험적인 수식을 사용하여 지진하중을 받는 구조물의 최상층의 최대변위를 예측한다. 따라서 변위계수법에서는 비선형 정적해석 후에 구조물의 밀면전단력과 최상층 변위 관계를 스펙트럼 형식으로 변화시키지 않고 비탄성변위를 반복 계산 없이 직접적으로 구할 수 있다는 것이 역량스펙트럼법과의 차이점이다. 변위계수법에서 산정되는 목표변위(target displacement)는 역량스펙트럼법에서의 성능점(performance point)과 같은 의미를 가진다. 목표변위를 산정하는 순서는 다음과 같다.

1. 역량곡선의 이선형화

비선형 정적해석에 의해서 산정된 밀면 전단력과 최상층 변위 관계를 이선형(bilinear) 형태로 이상화시킨다. 탄성구간 이후의 강성(K_s), 유효강성(K_e), 초기강성(K_i)을 산정한 후에 이상화된 이선형 곡선에서 구조물의 항복변위를 평가한다. K_e 와 K_s 의 교차점이 항복강도(V_y)로 정의되며 항복강도의 60% 지점에서 유효강성(K_e)이 결정된다. 이 과정은 다소의 시행착오(trial and error)를 거쳐야 한다.

2. 유효주기의 산정

유효주기는 탄성해석모델에서 고유치해석으로 구한 기본주기와 역량곡선의 이선형화를 통해 구한 유효강성으로부터 다음과 같이 산정한다.

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (5.3.1)$$

여기서

T_e : 유효 기본주기

3. 목표변위의 산정

목표변위는 다음 식으로 계산한다.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (5.3.2)$$

식 (5.3.2)에 사용되는 여러 계수들은 단자유도와 다자유도시스템에서 최대변위의 차이, 탄성변위와 비탄성변위의 차이, 강도저하 및 강성저하의 효과 등을 고려한 계수이다. 이러한 계수는 FEMA 273 혹은 FEMA 356에 제시되어 있으며 이 방법의 부정확성을 개선한 FEMA 440의 방법을 사용할 수도 있다.

5.3.2 부재별 모델링파라미터, 허용기준 및 성능수준의 판정

5.3.2.1 철근콘크리트 부재

철근콘크리트부재의 모델링파라미터 및 허용기준은 표 5.3.1 ~ 표 5.3.6과 같다.

표 5.3.1 철근콘크리트 보의 모델링파라미터 및 허용기준

		모델링 파라미터			허용기준 (소성회전각, rad.)				
		소성회전각 (rad.)		잔류 강도비	거주 가능	1차부재		2차부재	
						인명 안전	붕괴 방지	인명 안전	붕괴 방지
a	b	c							
1) 휨에 의해 지배되는 비내진상세 단면일 경우									
주근의 배근상태	작용전단력의 크기								
0 이하	0.25 이하	0.02	0.03	0.2	0.005	0.005	0.015	0.015	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	0.05
	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.

2. 1) ~ 5)중 복수의 상황에 해당하는 경우 가장 불리한 값을 사용한다.

3. 내진상세단면과 비내진상세단면의 판단은 KBC2009 0520 내진설계시 특별고려사항의 규정에 따른 횡보강근의 만족여부에 따른다. (소성힌지구간에서 전단보강근의 간격이 $d/3$ 이하이고 전단보강근에 의한 전단강도가 설계전단력의 3/4이상일 경우 내진상세를 만족하는 것으로 본다)

4. 주근의 배근상태는 $(\rho - \rho')/\rho_{bal}$ 로 평가한다.

5. 작용전단력의 크기는 $V/(\sqrt{f_{ck}} b_w d)$ 로 평가한다.

표 5.3.2 철근콘크리트 기둥의 모델링파라미터 및 허용기준

		모델링 파라미터			허용기준 (소성회전각, rad.)				
		소성회전각 (rad.)		잔류 강도비	거주 가능	1차부재		2차부재	
						인명 안전	붕괴 방지	인명 안전	붕괴 방지
a	b	c							
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	0.01	0.02
후프 간격이 $d/2$ 초과인 경우	0	0.01	0.2	0	0	0	0	0.005	0.01
5) 축력이 $0.7P_0$ 를 초과하는 경우									
모든 경우	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1. 사이값은 선형보간한다.

2. 1) ~ 5)중 복수의 상황에 해당하는 경우 가장 불리한 값을 사용한다.

3. 내진상세단면과 비내진상세단면의 판단은 KBC2009 0520 내진설계시 특별고려사항의 규정에 따른 횡보강근의 만족여부에 따른다. (소성힌지구간에서 전단보강근의 간격이 $d/3$ 이하이고 전단보강근에 의한 전단강도가 설계전단력의 $3/4$ 이상일 경우 내진상세를 만족하는 것으로 본다)4. 축력비는 $P/A_g f_{ck}$ 로 평가한다.5. 작용전단력의 크기는 $V/(\sqrt{f_{ck}} b_w d)$ 로 평가한다.

표 5.3.3 철근콘크리트 전단벽의 모델링파라미터 및 허용기준

조건			모델링파라미터			허용기준				
1-i. 횡에 의해 지배되는 경우 : 전단벽 요소										
특수경계 요소의 유무	배근상태 와 축력비	작용 전단력의 크기	소성회전각 (rad.)		잔류 강도비	거주 가능	1차부재 (rad.)		2차부재 (rad.)	
			a	b			c	인명 안전	붕괴 방지	인명 안전
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. 횡에 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. 횡에 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										
		작용 전단력의 크기	전체횡변형각(%) 혹은 전체회전각 (rad.)		잔류 강도비	거주 가능	1차부재 (% 또는 rad.)		2차부재 (% 또는 rad.)	
			d	e			c	인명 안전	붕괴 방지	인명 안전
모든 경우			0.75	2.0	0.40	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.

2. 배근상태와 축력비는 $\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f_{ck}}$ 로 평가한다.3. 작용전단력의 크기는 $V/(\sqrt{f_{ck}} t_w l_w)$ 로 평가한다.

4. 내진상세단면과 비내진상세단면의 판단은 KBC2009 0520 내진설계시 특별고려사항의 규정에 따른 횡보강근의 만족여부에 따른다.

표 5.3.4 철근콘크리트 기둥-보 접합부의 모델링파라미터 및 허용기준

축력비	작용전단력의 크기	모델링 파라미터			허용기준 (소성전단회전각, rad.)				
		소성전단회전각 (rad.)		잔류 강도비	거주 가능	1차부재		2차부재	
		a	b			c	인명 안전	붕괴 방지	인명 안전
1) 접합부 횡보강근이 내진상세를 만족하지 않는 내부접합부									
0.1 이하	1.2이하	0.005	0.02	0.2	0	0	0	0.015	0.02
	1.5이상	0.005	0.015	0.2	0	0	0	0.01	0.015
0.4 이상	1.2이하	0.005	0.015	0.2	0	0	0	0.01	0.015
	1.5이상	0.005	0.015	0.2	0	0	0	0.01	0.015
2) 접합부 횡보강근이 내진상세를 만족하지 않는 기타접합부									
0.1 이하	1.2이하	0.005	0.01	0.2	0	0	0	0.0075	0.01
	1.5이상	0.005	0.01	0.2	0	0	0	0.0075	0.01
0.4 이상	1.2이하	0	0		0	0	0	0.005	0.0075
	1.5이상	0	0		0	0	0	0.005	0.0075
3) 접합부 횡보강근이 내진상세를 만족하는 내부접합부									
0.1 이하	1.2이하	0.015	0.03	0.2	0	0	0	0.02	0.03
	1.5이상	0.015	0.03	0.2	0	0	0	0.015	0.02
0.4 이상	1.2이하	0.015	0.025	0.2	0	0	0	0.015	0.025
	1.5이상	0.015	0.02	0.2	0	0	0	0.015	0.02
4) 접합부 횡보강근이 내진상세를 만족하는 기타접합부									
0.1 이하	1.2이하	0.01	0.02	0.2	0	0	0	0.015	0.02
	1.5이상	0.01	0.015	0.2	0	0	0	0.01	0.015
0.4 이상	1.2이하	0.01	0.02	0.2	0	0	0	0.015	0.02
	1.5이상	0.01	0.015	0.2	0	0	0	0.01	0.015

1. 사이값은 선형보간한다.
2. 횡보강근의 내진상세판단은 KBC2009 0520 내진설계시 특별고려사항의 규정에 따른다. 후프근의 간격 $s \leq h_c/3$ 이 일 경우 내진상세이다.
3. 축력비는 $P/A_g f_{ck}$ 로 평가한다. P는 접합부위쪽 기둥의 설계축하중이며, A_g 는 접합부의 단면적이다.
4. 작용전단력의 크기는 V/V_n 로 평가한다. V는 설계전단력이고 V_n 은 4.3.2.1의 (4)에 따라 계산한 접합부의 전단강도이다.

표 5.3.5 조적채움벽의 등가대각압축가새의 모델링파라미터 및 허용기준

조건		모델링 파라미터			허용기준 (층간변형각, %)	
골조와 채움벽의 강도비 β	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_{ine} 이다.
3. 채움벽의 길이-높이비는 L_{inf}/h_{inf} 이다.

표 5.3.6 조적채움벽을 가진 철근콘크리트기둥의 모델링파라미터 및 허용기준

	모델링 파라미터			허용기준 (전체 변형률)				
	전체 변형률		잔류 강도비 c	거주 가능	1차부재		2차부재	
	d	e			인명 안전	붕괴 방지	인명 안전	붕괴 방지

1) 기둥이 압축부재로 작용할 때

전체 길이에 걸쳐 모든 단면이 횡보강근에 의해 구속된 경우	0.02	0.04	0.4	0.003	0.015	0.02	0.03	0.04
그 밖의 경우	0.003	0.01	0.2	0.002	0.002	0.003	0.01	0.01

2) 기둥이 인장부재로 작용할 때

주근 이음부가 충분히 구속된 경우와 이음부가 없는 경우	0.05	0.05	0	0.01	0.03	0.04	0.04	0.05
그 밖의 경우	각주 3	0.03	0.2	각주 3			0.02	0.03

1. 접합부를 포함한 기둥 전체에 걸쳐 KBC2009 0520 내진설계시 특별고려사항 중 전단벽의 특수 경계요소에 요구되는 전단보강근의 3/4에 해당하는 전단보강근이 배근된 경우, 전체높이에 걸쳐 모든 단면이 횡보강근에 의해 구속된 경우로 본다.
2. 하중이 방향이 역전되어 기둥이 압축과 인장모두를 받는 경우 두 경우 모두에 대해 검토한다.
3. 기둥이 인장부재로 작용하고 주근이음부가 있을 경우 기둥의 모델링 파라미터와 허용기준은 이음부 파괴를 고려하여 설정한다. 일반적으로 붕괴방지수준은 강도저하가 시작되는 지점으로, 또한 인명안전수준은 붕괴방지수준의 3/4로 설정한다.
4. 선형보간하지 않는다.

5.3.2.2 철골 부재

철골부재의 모델링파라미터 및 허용기준은 표 5.3.7와 같다.

표 5.3.7 철골부재의 모델링파라미터 및 허용기준

		모델링 파라미터			허용기준 (소성회전각, rad.)				
		소성회전각 (rad.)		잔류 강도비	거주 가능	1차부재		2차부재	
						인명 안전	붕괴 방지	인명 안전	붕괴 방지
강접모멘트골조요소									
보	내진콤팩트단면	9θ _y	11θ _y	0.6	10 _y	60 _y	80 _y	90 _y	110 _y
	비콤팩트단면	40 _y	60 _y	0.2	0.250 _y	20 _y	30 _y	30 _y	40 _y
기둥 (P < 0.2P _y)	내진콤팩트단면	90 _y	110 _y	0.6	10 _y	60 _y	80 _y	90 _y	110 _y
	비콤팩트단면	40 _y	60 _y	0.2	0.250 _y	20 _y	30 _y	30 _y	40 _y
기둥 (0.2P _y < P < 0.5P _y)	내진콤팩트단면	11k _p θ _y	17k _p θ _y	0.2	0.250 _y	8k _p θ _y	11k _p θ _y	14k _p θ _y	17k _p θ _y
	비콤팩트단면	10 _y	1.50 _y	0.2	0.250 _y	0.50 _y	0.80 _y	1.20 _y	1.20 _y
기둥 (P > 0.5P _y)		하중지배거동							
패널존		120 _y	120 _y	1.0	10 _y	80 _y	110 _y	120 _y	120 _y
용접접합부		0.026	0.036	0.2	0.0065	0.0172	0.0238	0.0270	0.036
세미리지드 접합 골조요소									
인장축 볼트, 용접 접합		0.036	0.048	0.2	0.008	0.020	0.030	0.030	0.040
기타		0.036	0.048	0.2	0.008	0.020	0.030	0.030	0.040
가새골조									
가새골조내의 기둥, 보		강접모멘트골조의 경우와 동일							
편심가새골 조	연결보								
	가새와 기둥	하중지배거동							
		소성변형		잔류 강도비	소성변형				
압축을 받 는 튜브와 파이프가새 (중심가새골 조)	내진콤팩트단면	0.5Δ _c	7Δ _c	0.4	0.25Δ _c	4Δ _c	6Δ _c	5Δ _c	7Δ _c
	비콤팩트단면	0.5Δ _c	3Δ _c	0.2	0.25Δ _c	1Δ _c	2Δ _c	2Δ _c	3Δ _c
인장을 받 는 가새 (중 심가새골조)	인장-압축가새	11Δ _T	14Δ _T	0.8	0.25Δ _T	7Δ _T	9Δ _T	11Δ _T	13Δ _T
	인장-비압축 가새	5.5Δ _T	7Δ _T	0.4	0.13Δ _T	3.5Δ _T	4.5Δ _T	5.5Δ _T	7.5Δ _T

사이값은 선형보간한다. P : 축력

$k_p = 1 - 1.7 P / P_y$ Δ_c : 평균좌굴강도에서의 축변형량 Δ_T : 평균인장항복강도에서의 축변형량

내진콤팩트단면 : 보,기둥의 경우 $\frac{b}{2t_f} \leq 0.3 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$, $\frac{h}{t_w} \leq 2.46 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$

튜브가새의 경우, $\frac{d}{t} \leq 0.53 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$, 파이프가새의 경우 $\frac{d}{t} \leq \frac{10600}{F_{ye}}$

비콤팩트단면 : 보,기둥의 경우 $\frac{b}{2t_f} > 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$, $\frac{h}{t_w} > 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$

튜브가새의 경우 $\frac{d}{t} > 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}}$, 파이프가새의 경우 $\frac{d}{t} > \frac{42360}{F_{ye}}$

5.3.2.3 조적 부재

조적 부재의 성능수준별 모델링파라미터 및 허용기준은 표 5.3.8와 같다.

표 5.3.8 조적부재의 모델링파라미터 및 허용기준

모델링 파라미터			허용기준 (층간변형각, %)		
층간변형각 (%)		잔류 강도비	거주가능	인명안전	붕괴방지
c	d	e			
0.3	0.2	0.4	0.1	0.15	0.2

[해설]

1단계 상세평가에서는 조적조의 연성능력을 고려하지 않았으나 2단계 상세평가에서는 조적조의 연성능력을 고려하였다. 다만 연성능력은 제한적으로 고려하였다. FEMA 356에서는 파괴모드별로 모델링파라미터와 허용기준을 다르게 제시하고 있으나 이 요령에서는 파괴모드에 관계없이 동일한 값을 사용하였다. 그리고 모델링파라미터와 허용기준은 거주가능수준을 제외하고 모두 FEMA 356의 1/2을 사용하였다. 파괴모드별로 고려하지 않은 것과 FEMA 356의 1/2을 사용한 것은 모두 ASCE31-03의 비보강조적조에 대한 사항을 참조한 것이다.

5.3.2.4 철골철근콘크리트 부재

철골철근콘크리트 부재의 모델링파라미터 및 허용기준은 철골조와 동일하다.

5.4 성능수준의 결정

2단계 상세평가에서 구조물전체의 성능수준 판정은 1단계 상세평가의 구조물전체 성능수준의 판정결과와 동일하다.

[해설]

2단계 상세평가에서도 성능수준의 판정방법은 1단계 상세평가와 같이 표 4.4.1을 사용한다. 즉, 성능점 혹은 목표변위에서 각 부재별로 허용수준을 만족하는지 검토하여 어떠한 성능수준 및 그 보다 높은 성능수준을 만족하는 부재가 부담하는 연직하중의 합이 전체 연직하중의 80%이상이면 그 성능수준을 만족하는 것으로 한다. 이때 각 부재의 연직하중 분담비율을 구하기 위한 하중은 1단계 상세평가와 동일하게 지진력없이 고정하중과 활하중의 25%를 사용하는 것으로 하였다.

- A. 철근콘크리트조 성능평가 예제
- B. 철골조 성능평가 예제
- C. 조적조 성능평가 예제

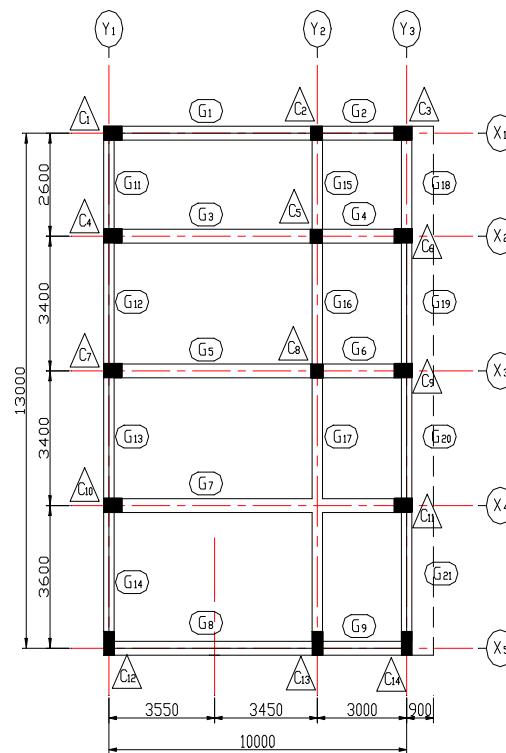
A. 철근콘크리트조 성능평가 예제

부록 A. 철근콘크리트조 성능평가 예제

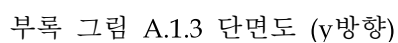
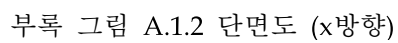
A.1 건물개요

철근콘크리트 골조 예제건물은 시설안전공단의 “기존 건축물의 내진성능 평가 요령” (이하 기존 요령, 국토해양부 및 한국시설안전공단, 2004)에 수록되어 있는 철근콘크리트조 예제건물을 사용하였다. 예제건물은 지상 3층의 철골콘크리트조 모멘트골조로서 용도는 사무시설, 연면적은 371.01m²로서 그림 A.1.1 ~ 그림 A.1.3에 보복도 및 입면도를 나타내었다.

기존 요령에 의한 이 예제건물의 예비평가는 표 A.1.1과 같이 500년 재현주기 지진에 대해 반응수정 계수 $R=3.5$ 를 적용하여 수행되었으며 평가결과 노후도를 제외한 모든 평가항목에서 만점이나 전문가의 판단에 따른 노후도 점수가 0.8로서 전체 평가결과는 등급부호 D로 판정되었다. 기존 요령에 의하면 등급부호 D의 상태는 “건축물의 층 단위로 구조의 강도나 강성이 기준에 미달하여 단위층의 전체에 걸쳐 보수·보강이 필요한 상태”이며 필요한 조치는 “정밀한 구조해석과 내진보강설계에 의한 보강을 실시하여 내진성능을 향상”이 필요하다.



부록 그림 A.1.1 보복도



부록 표 A.1.1 기존 요령에 의한 내진성능예비평가표 (철근콘크리트조)

1단계	모멘트 저항 철근 콘크리트조																												
2단계	강도					강성					형상								상세 및 기타										노 후 도
3단계	응력		약층		잉 여 력	층간 변위		연약층		인 접 성	하중 경로		질량 변화		평면 변화		비틀림		접합부 편심		기둥 띠철근 간격		보의 스테럽 간격		접합부 보강				
4단계	항 목 점 수	층 가 중 치	항 목 점 수	층 가 중 치	항 목 점 수	항 목 점 수	층 가 중 치	항 목 점 수	층 가 중 치	항 목 점 수	항 목 점 수	층 가 중 치	항 목 점 수	층 가 중 치	항 목 점 수	층 가 중 치	항 목 점 수	층 가 중 치	항 목 점 수	층 가 중 치	항 목 점 수	층 가 중 치	항 목 점 수	층 가 중 치	항 목 점 수	층 가 중 치	항 목 점 수	층 가 중 치	항 목 점 수
3층	1.0	1/6	1.0	1/6	1.0	1.0	1/6	1.0	1/6	1.0	1.0	1/6	1.0	1/6	1.0	1/6	1.0	1/6	1.0	1/6	1.0	1/6	1.0	1/6	1.0	1/6	1.0	1/6	전 문 가 의 판 단 에 따 림
2층	1.0	2/6	1.0	2/6		1.0	2/6	1.0	2/6		1.0	2/6	1.0	2/6	1.0	2/6	1.0	2/6	1.0	2/6	1.0	2/6	1.0	2/6	1.0	2/6	1.0	2/6	
1층	1.0	3/6	1.0	3/6		1.0	3/6	1.0	3/6		1.0	3/6	1.0	3/6	1.0	3/6	1.0	3/6	1.0	3/6	1.0	3/6	1.0	3/6	1.0	3/6	1.0	3/6	
3단계 항목 점수	1.0		1.0		1.0	1.0		1.0		1.0	1.0		1.0		1.0		1.0		1.0		1.0		1.0		1.0				
3단계 가중치	0.6		0.3		0.1	0.6		0.3		0.1	0.4		0.2		0.2		0.2		0.3		0.2		0.2		0.3				
2단계 항목 점수	1.0					1.0					1.0								1.0										
2단계 가중치	0.4					0.2					0.25								0.15										
1단계 점수	0.8																												0.8
예비 평가	0.8																												

A.2 철근콘크리트골조 예비평가

부록 표 A.2.1 철근콘크리트골조의 예비평가 시트

1. 기본사항

건물의 명칭 : 한국시설안전공단 기존건축물 내진성능 평가요령 예제(RC 조): 사무소 건물

건물의 위치 : _____

건물의 규모 : 지상 3층, 지하 0층

건설년도 : 1985년 경과년수 : 25년

지반종류 : S_C 지진구역 : 1

지반종류	지역구역 1	지역구역 2
S_A	0.29	0.19
S_B	0.37	0.23
S_C	0.43	0.28
S_D	0.50	0.35
S_E	0.65	0.53

지반종류와 지진구역에 따른 단주기 설계스펙트럼가속도(S_{DS}) : 0.43

2. 층별 요구량의 산정

층 중량 : $W = \text{바닥면적} \times 10 \text{ kN/m}^2$

$$\text{층 전단력 분포계수} : \gamma_i = \frac{\sum_{\ell=i}^n w_{\ell} h_{\ell}}{\sum_{\ell=1}^n w_{\ell} h_{\ell}}$$

평가 층의 $Demand = S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i$

	층고(h_i), mm	층바닥 면적, m^2	중량 (w_i), kN	$w_i \cdot h_i$	누적 $w_i \cdot h_i$	층전단력 분포계수	요구량 (kN)
3층	2800	130	1300	3640000	3640000	0.32	534
2층	3000	130	1300	3900000	7540000	0.66	1105
1층	3000	130	1300	3900000	11440000	1.00	1677
합계			3900	11440000			

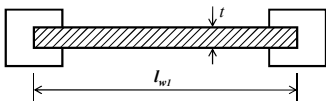
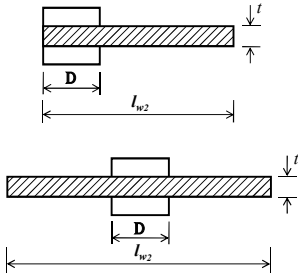
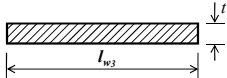
3. 층별 저항능력의 산정

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 $2.0 < h_o/D < 6.0$	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

전단벽의 종류에 따른 단면적 및 전단응력 산정

종류	단면 상세	단면적 및 전단응력
양쪽에 기둥이 있는 전단벽 (W1)		$A_{sw} = t \cdot l_{w1}$ $v_{sw} = 3.0 MPa$
한쪽에 기둥이 있는 전단벽 (W2)		$A_{sw} = t \cdot l_{w2}$ $v_{sw} = 2.0 MPa$
기둥이 없는 전단벽 (W3)		$A_{sw} = t \cdot l_{w3}$ $v_{sw} = 1.0 MPa$

평가층의 휨파괴 지배부재의 내력의 합 : $C_f = v_{fc} \sum A_{fc}$

평가 층의 전단파괴지배 부재의 전단저항력의 합 :

$$C_s = v_{sc1} \sum A_{sc1} + v_{sc2} \sum A_{sc2} + v_{sw1} \sum A_{sw1} + v_{sw2} \sum A_{sw2} + v_{sw3} \sum A_{sw3}$$

3.1 1층

1) 수직부재 단면적 정보

- 기둥

위치		부재 ID	층고 (h) mm	Dx mm	Dy mm	단면적 mm ²	h/Dx	h/Dy	판정	
x grid	y grid								x방향	y방향
x1	y1	C1	3000	600	400	240000	5.00	7.50	일반기둥	장주
x1	y2	C2	3000	400	600	240000	7.50	5.00	장주	일반기둥
x1	y3	C3	3000	400	600	240000	7.50	5.00	장주	일반기둥
x2	y1	C4	3000	400	600	240000	7.50	5.00	장주	일반기둥
x2	y2	C5	3000	400	600	240000	7.50	5.00	장주	일반기둥
x2	y3	C6	3000	600	400	240000	5.00	7.50	일반기둥	장주
x3	y1	C7	3000	400	600	240000	7.50	5.00	장주	일반기둥
x3	y2	C8	3000	400	600	240000	7.50	5.00	장주	일반기둥
x3	y3	C9	3000	400	600	240000	7.50	5.00	장주	일반기둥
x4	y1	C10	3000	400	600	240000	7.50	5.00	장주	일반기둥
x4	y3	C11	3000	400	400	160000	7.50	7.50	장주	장주
x5	y1	C12	3000	400	400	160000	7.50	7.50	장주	장주
x5	y2	C13	3000	600	400	240000	5.00	7.50	일반기둥	장주
x5	y3	C14	3000	600	400	240000	5.00	7.50	일반기둥	장주

- 벽

위치		부재 ID	층고(h) mm	두께 mm	길이 mm	단면적 mm ²	방향	양단에 연결된 기둥의 수
x grid	y grid							

- 수직부재 단면적 합계

단면적의 합 (mm ²)	x 방향	y 방향
단주 면적의 합	0	0
일반기둥면적의 합	960000	1920000
장주 면적의 합	2240000	1280000
양쪽에 기둥이 있는 전단벽, W1	0	0
한쪽에 기둥이 있는 전단벽, W2	0	0
기둥이 없는 전단벽, W3	0	0

2) 전단내력의 합

		평균전단응 력, MPa	x 방향		y 방향	
			단면적의 합, mm ²	내력의 합 kN	단면적의 합, mm ²	내력의 합 kN
휨파괴 부재	장주	0.47	2240000	1053	1280000	602
	Cf			1053		602
전단파괴 부재	단주	1.23	0	0	0	0
	일반기둥	0.74	960000	710	1920000	1421
	W1	3.00	0	0	0	0
	W2	2.00	0	0	0	0
	W3	1.00	0	0	0	0
	Cs			710		1421

3) 보유내력의 산정

	X 방향	Y 방향
Cs+0.7Cf	1447	1841
(D=2)*Cf	2106	1203
저항능력 (최대값)	2106	1841

3.2 2층

- 1) 수직부재 단면적 정보
- 2) 전단내력의 합
- 3) 보유내력의 산정

2층의 보유내력은 1층과 동일하다.

3.3 3층

- 1) 수직부재 단면적 정보
- 2) 전단내력의 합
- 3) 보유내력의 산정

3층의 보유내력은 1층과 동일하다.

4. 성능수준의 판정

철근콘크리트조의 성능수준 판정을 위한 DCR 기준

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

층별 DCR

		요구량	저항능력	DCR	성능수준
1층	x 방향	1677	2106	0.80	붕괴방지
	y 방향	1677	1842	0.91	붕괴방지
2층	x 방향	1105	2106	0.52	인명안전
	y 방향	1105	1842	0.60	인명안전
3층	x 방향	534	2106	0.25	거주가능
	y 방향	534	1842	0.29	거주가능

각 층 및 방향별로 성능수준을 결정한 후 가장 불리한 성능수준으로 결정

최종 성능수준 : 붕괴방지

작성일자 : _____ 평가자 : _____

B. 철골조 성능평가 예제

부록 B. 철골조 성능평가 예제

B.1 건물개요 및 예비평가

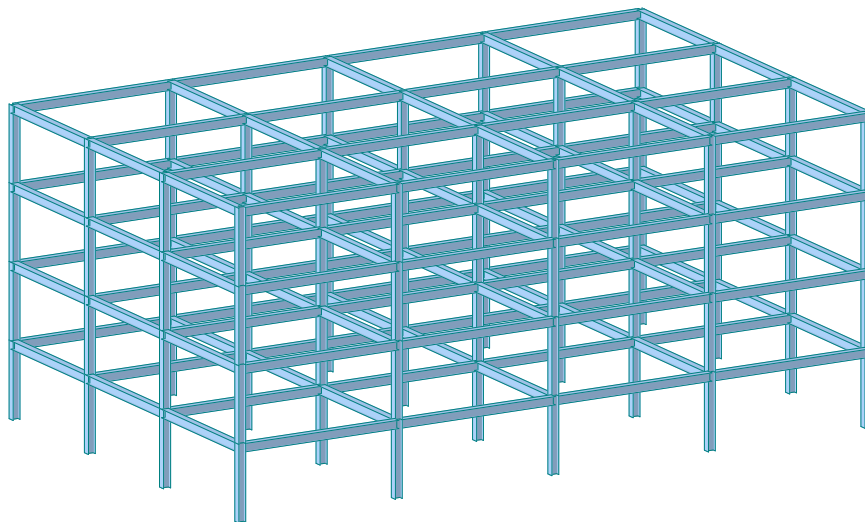
철골모멘트골조의 예제건물은 'KBC2009 건축구조기준에 따른 내진설계예제집(한국건축구조기술사회)'에 수록된 지상4층의 강구조 교육시설을 변경하여 사용하였다. 즉, 예제집에 수록된 부재단면 대신 1988년 이전 내진설계가 되지 않았을 경우로 가정하여 작용하중을 지진하중 없이 연직하중 및 그 당시의 풍하중만을 고려하여 설계하였다. 설계는 Midas의 자동설계기능을 사용하였다.

본 예제에는 단순화를 위해 기둥과 보의 모든 층에서 동일하도록 하였으며 설계결과 기둥과 보의 단면은 다음과 같다.

기둥 : H 394x398x11/18

보 : H 428x407x20/35

예제건물의 형상은 부록 그림 B.1.1과 같으며 장축방향으로만 내진평가를 수행하였다.



부록 그림 B.1.1 예제건물의 형상

예제건물의 평면크기는 장축방향으로 36m (9mX4), 단축방향으로 22.5m (7.5mX3)이다.

부록 표 B.1.1 철골조의 예비평가 시트

1. 기본사항

건물의 명칭 : XXX 빌딩

건물의 위치 : 서울

건물의 규모 : 지상 4 층, 지하 0 층

건설년도 : 1985 년 경과연수 : 년

강재의 재료강도 : 235 MPa (기본값)

지반종류 : Sd 지진구역 : 1

지반종류	지역구역 1	지역구역 2
S_A	0.29	0.19
S_B	0.37	0.23
S_C	0.43	0.28
S_D	0.50	0.35
S_E	0.65	0.53

지반종류와 지진구역에 따른 단주기 설계스펙트럼가속도(S_{DS}) : 0.50

2. 층별 요구량의 산정

층 중량 : $W = \text{바닥면적} \times 8 \text{ kN/m}^2$

$$\text{층 전단력 분포계수} : \gamma_i = \frac{\sum_{\ell=i}^n w_{\ell} h_{\ell}}{\sum_{\ell=1}^n w_{\ell} h_{\ell}}$$

평가 층의 Demand = $S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i$

	층고(hi), mm	층바닥 면적, m ²	중량 (wi), kN	wi*hi	누적 wi*hi	층전단력 분포계수	요구량 (kN)
4층	4000	810	6480	25920000	25920000	0.25	810
3층	4000	810	6480	25920000	51840000	0.50	6480
2층	4000	810	6480	25920000	77760000	0.75	9720
1층	4000	810	6480	25920000	103680000	1.00	12960
			25920	103680000			

3. 기둥의 평균전단력 산정

- 기둥단면

단면번호	h	b	tw	tf	A	Zx	Zy
------	---	---	----	----	---	----	----

	mm	mm	mm	mm	mm ²	mm ³	mm ³
1	394	398	11	18	1.87E+04	3.12E+06	1.44E+06

- 폭두께비의 검토
기준

	$b/(2t_f)$	h/t_w
Limit	14.79	99.33

* 웹과 플랜지의 폭두께비 모두 Limit 보다 작으면 콤팩트단면 둘 중 하나라도 기준보다 크면 비콤팩트 단면으로 판정한다.

단면번호	$b/(2t_f)$	h/t_w	판정
1	11.06	35.82	Compact

- 축력의 산정
축력을 산정하지 않을 경우 모멘트강도를 50% 저감한다.
- 보단면 및 패널존의 모멘트강도 산정
보단면 혹은 패널존의 강도를 산정하지 않을 경우 모멘트강도를 20% 저감한다.
- 기둥단면의 모멘트강도
따라서 기둥단면의 모멘트강도는 $(0.5) \cdot (0.8) \cdot Z \cdot F_y$ 로 산정한다.

$$\text{강축방향} : 0.5 \cdot 0.8 \cdot 3.12 \cdot 235 \cdot 1.25 = 366.6 \text{ kN-m}$$

강축방향으로만 검토하므로 약축방향의 강도산정은 생략한다.

- 기둥의 평균전단력
 $\text{모멘트강도} \cdot 2 / (\text{층고}) = 366.6 \cdot 2 / 4 = 183.3 \text{ kN}$

4. 연성도계수

접합부는 브라켓타입이며 기둥의 강도만을 산정하고 콤팩트 단면이므로 $D_\mu = 3.5$ 이다.

5. 층당 저항능력 산정

$$\text{기둥하나당 전단능력} \cdot \text{연성도계수} \cdot \text{층당기둥갯수} = 183.3 \cdot 3.5 \cdot 20\text{개} = 12831$$

모든 층에서 동일한 기둥이 사용되었으므로 2층, 3층, 4층의 저항능력도 1층과 동일하다.

6. 성능수준의 판정

층별 DCR

		요구량	저항능력	DCR	성능수준
--	--	-----	------	-----	------

내진성능평가

1층	x 방향	12960	12831	1.01	Collapse
	y 방향				
2층	x 방향	9720	12831	0.76	CP
	y 방향				
3층	x 방향	6480	12831	0.51	LS
	y 방향				
4층	x 방향	810	12831	0.06	IO
	y 방향				

철골조의 성능수준 판정을 위한 DCR 기준

DCR 범위	성능수준
$DCR < 0.6$	거주가능
$0.6 < DCR < 0.75$	인명안전
$0.75 < DCR < 1.0$	붕괴방지
$1.0 < DCR$	붕괴위험

각 층 및 방향별로 성능수준을 결정한 후 가장 불리한 성능수준으로 정함

최종 성능수준 : 붕괴위험

B.2 내진설계된 철골조 예제건물의 성능평가

B.1의 예제건물과 동일한 재료, 평면, 층고 및 지반조건을 가지는 건물을 AIK2000에 의한 풍하중 및 지진하중을 만족하도록 설계된 경우(이하 예제건물2) 앞서와 동일한 절차를 통해 내진성능을 평가하였다.

사용된 부재는 다음과 같다.

보 : H 594x199x10/15

기둥 : H 400x408x21/21

기둥 및 보 부재의 단면성능 및 콤팩트 단면여부는 부록표 B.2.1과 같다.

부록 표 B.2.1 철골조 예제건물2의 단면성능 및 콤팩트 단면여부 검토

단면번호	h mm	b mm	tw mm	tf mm	A mm ²	Zx mm ³	Zy mm ³	콤팩트단면 여부
기둥	400	408	21	21	2.51E+04	3.99E+06	1.79E+06	콤팩트단면
보	596	199	10	15	1.21E+04	2.65E+06	3.15E+05	콤팩트단면

모든 층에서 동일한 부재가 사용되었으므로 각층의 저항능력은 부록 표 B.3.2와 같이 산정된다. 이때 축하중은 산정하지 않았으며 패널존은 충분히 보강되었다고 가정하였다. 부록 표B.3.3은 예비평가의 결과이다.

부록 표 B.2.2 철골조 예제건물2의 층의 저항능력

	Z	Fye	축하중에 의한감소	보,패널 존강도조 사에의한 감소	Mp	층고	전단력	기둥갯수	연성계수	저항능력
강축	3.99E+06	293.75	0.5	1	586.03	4	293.02	8	3.5	8204.4
약축	1.79E+06	293.75	0.5	1	262.91	4	131.45	12	3.5	5521
									계	13725.5

예비평가의 결과는 다음과 같다.

부록 표 B.2.3 철골조 예제건물2의 DCR 산정결과 (S_d지반)

	저항능력	요구량	DCR	판정
1층	13725.5	12960	0.94	붕괴방지
2층	13725.5	9720	0.71	인명안전
3층	13725.5	6480	0.47	거주가능
4층	13725.5	810	0.06	거주가능

내진성능평가

동일한 예제건물에서 지반조건을 변화시키면서 예비평가를 수행한 결과는 다음과 같다.

부록 표 B.2.4 지반조건의 변화에 따른 철골조 예제건물2의 예비평가결과

	Se		Sd		Sc		Sb		Sa	
1층	1.23	붕괴 위험	0.94	붕괴 방지	0.81	붕괴 방지	0.7	인명 안전	0.55	거주 가능
2층	0.92	붕괴 방지	0.71	인명 안전	0.61	인명 안전	0.52	거주 가능	0.41	거주 가능
3층	0.61	인명 안전	0.47	거주 가능	0.41	거주 가능	0.35	거주 가능	0.27	거주 가능
4층	0.08	거주 가능	0.06	거주 가능	0.05	거주 가능	0.04	거주 가능	0.03	거주 가능

C. 조작조 성능평가 예제

부록 C. 조적조 성능평가 예제

C.1 건물개요

예제건물의 서울에 위치한 2층 주거용 조적조 건물로서 평면과 입면은 다음 그림과 같다.

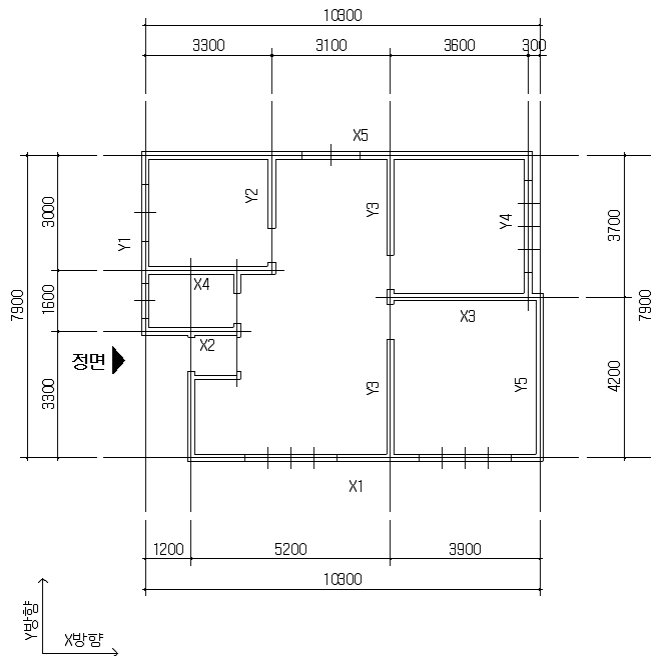


그림 C.1.1 예제건물의 평면도

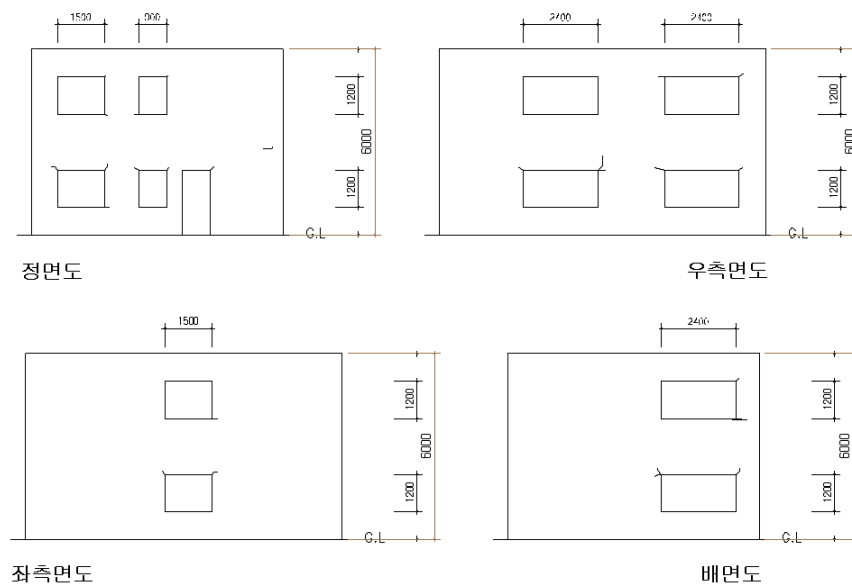


그림 C.1.2 예제건물의 입면도

C.2 조적조 예비평가

부록 표 C.2.1 조적조의 예비평가 시트

1. 기본사항

건물의 명칭 : 단독주택건물의 위치 : 서울특별시 성동구 옥수동건물의 규모 : 지상 2 층, 지하 0 층건설년도 : _____ 년 경과년수 : 10년미만

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

경과년수 및 재료상태에 의한 보정계수(t) : 1.0지반종류 : Sd 지진구역 : I

지반종류	지역구역 1	지역구역 2
S_A	0.29	0.19
S_B	0.37	0.23
S_C	0.43	0.28
S_D	0.50	0.35
S_E	0.65	0.53

지반종류와 지진구역에 따른 단주기 설계스펙트럼가속도(S_{DS}) : 0.50

2. DCR 산정

평가 층의 위치 : 1 층 벽체 방향: X 축전체 바닥면적 ($\sum A_i$) : 154.82 m²총 중량 (W) = 전체바닥면적 * 10 kN/m² : 1548.2 kN

층 전단력 분포계수 (γ_i): 1평가 층의 요구량 ($Demand_i = S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i$): 774.10 kN평가 층에서 개구부가 있는 벽의 평균전단응력 (v_{oi}): 0.1 MPa평가 층에서 개구부가 없는 벽의 평균전단응력 (v_{ni}): 0.2 MPa평가 층에서 개구부가 있는 벽의 단면적의 합 (A_{woi}): 1.79 m²평가 층에서 개구부가 없는 벽의 단면적의 합 (A_{wni}): 6.35 m²평가 층의 전단저항력의 합 ($\sum V_i$): 784.9 kN평가 층의 저항능력 ($0.8 \sum V_i$): 627.9 kN

평가 층의 DCR

$$DCR_i = \frac{Demand_i}{Capacity_i} = \frac{S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i}{(0.8) \sum V_i} = \underline{1.23}$$

평가 층의 위치 : 1 층 벽체 방향: Y 축전체 바닥면적 ($\sum A_i$): 154.82 m²총 중량 (W) = 전체바닥면적 * 10 kN/m²: 1548.2 kN층 전단력 분포계수 (γ_i): 1평가 층의 요구량 ($Demand_i = S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i$): 774.10 kN평가 층에서 개구부가 있는 벽의 평균전단응력 (v_{oi}): 0.1 MPa평가 층에서 개구부가 없는 벽의 평균전단응력 (v_{ni}): 0.2 MPa평가 층에서 개구부가 있는 벽의 단면적의 합 (A_{woi}): 1.79 m²평가 층에서 개구부가 없는 벽의 단면적의 합 (A_{wni}): 6.35 m²평가 층의 전단저항력의 합 ($\sum V_i$): 663.1 kN평가 층의 저항능력 ($0.8 \sum V_i$): 530.5 kN

평가 층의 DCR

$$DCR_i = \frac{Demand_i}{Capacity_i} = \frac{S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i}{(0.8) \sum V_i} = \underline{1.46}$$

평가 층의 위치 : 2 층 벽체 방향: X 축전체 바닥면적 ($\sum A_i$): 154.82 m²

총 중량 (W) = 전체바닥면적 * 10 kN/m² : 1548.2 kN

층 전단력 분포계수 (γ_i): 2/3

평가 층의 요구량 ($Demand_i = S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i$): 513.9 kN

평가 층에서 개구부가 있는 벽의 평균전단응력 (v_{oi}): 0.05 MPa

평가 층에서 개구부가 없는 벽의 평균전단응력 (v_{ni}): 0.1 MPa

평가 층에서 개구부가 있는 벽의 단면적의 합 (A_{woi}) : 1.79 m²

평가 층에서 개구부가 없는 벽의 단면적의 합 (A_{wni}) : 6.57 m²

평가 층의 전단저항력의 합 ($\sum V_i$): 392.4 kN

평가 층의 저항능력 ($0.8 \sum V_i$): 313.9 kN

평가 층의 DCR

$$DCR_i = \frac{Demand_i}{Capacity_i} = \frac{S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i}{(0.8) \sum V_i} = 1.64$$

평가 층의 위치 : 2 층 벽체 방향: Y 축

전체 바닥면적 ($\sum A_i$) : 154.82 m²

총 중량 (W) = 전체바닥면적 * 10 kN/m² : 1548.2 kN

층 전단력 분포계수 (γ_i): 2/3

평가 층의 요구량 ($Demand_i = S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i$): 513.9 kN

평가 층에서 개구부가 있는 벽의 평균전단응력 (v_{oi}): 0.05 MPa

평가 층에서 개구부가 없는 벽의 평균전단응력 (v_{ni}): 0.1 MPa

평가 층에서 개구부가 있는 벽의 단면적의 합 (A_{woi}) : 1.79 m²

평가 층에서 개구부가 없는 벽의 단면적의 합 (A_{wni}) : 6.57 m²

평가 층의 전단저항력의 합 ($\sum V_i$): 354.3 kN

평가 층의 저항능력 ($0.8 \sum V_i$): 283.5 kN

평가 층의 DCR

$$DCR_i = \frac{Demand_i}{Capacity_i} = \frac{S_{DS} \cdot W \cdot \gamma_i}{(0.8) \sum V_i} = 1.82$$

3. 성능수준의 결정

(각 층별로 성능수준을 결정한 후 가장 불리한 수준을 최종 수준으로 정함)

1층: X축 붕괴위험 수준 Y축 붕괴위험 수준
 2층: X축 붕괴위험 수준 Y축 붕괴위험 수준

최종 수준 : 붕괴위험

DCR 범위	성능수준
$DCR < 0.6$	거주가능
$0.6 < DCR < 0.75$	인명안전
$0.75 < DCR < 1.0$	붕괴방지
$1.0 < DCR$	붕괴위험