

부록 C. 수직부재 사전평가

C.1 개요

상세평가에서는 일반 구조설계와 다른 해석절차가 사용된다. 이 절차를 정확히 수행하기 위해서는 지진력의 전달경로와 그 경로상에 있는 구조부재의 변형, 비탄성거동이 발생하는 위치, 힘과 비탄성 변형의 관계 등 지진시 구조물에서 발생하는 비선형 거동에 대해 충분한 이해가 필요하다. 이를 바탕으로 선형절차의 경우 선형해석결과로부터 비선형 거동을 추정하여 내진성능평가를 수행하며, 비선형 절차의 경우 잘못된 모델링이나 해석상의 오류들을 파악할 수 있다. 성능기반설계 혹은 내진보강을 위한 평가에서는 설계자의 가정을 검증하고 해석상의 오류를 파악하기 위해 제 3자 검토가 요구된다. 효율적인 검토를 위해서 상세평가 보고서는 구조해석에 대한 방법 및 개념을 이해할 수 있도록 구성되어야 하며 해석결과에 대한 신뢰성 확보가 필요하다. 이를 위해 해석모델내 구조요소의 m계수 혹은 비선형모델링 파라미터와 허용기준의 산정근거가 반드시 제시되어야 한다. 수직부재 사전평가는 구조물의 내진성능에 중요한 부재를 파악하고 비선형 해석결과의 적정성을 개략적으로 파악하기 위한 것이다.

지진력작용시 구조부재의 거동 및 파괴모드는 작용하는 축력과 단면의 배근에 따라 크게 달라진다. 구조물전체적으로 볼 때 이상적인 파괴모드는 연성적인 휨 항복이 고르게 발생하면서 충분한 소성변형과 횡변위 발생이후 붕괴 메커니즘에 도달하는 것이다. 따라서 취성적인 거동 특히 수직부재의 전단파괴 발생여부는 자세히 검토되어야 한다.

수직부재 사전평가에서는 전체 안전성에 가장 큰 영향을 미치는 1층의 수직부재를 대상으로 먼저 단면의 형상과 배근을 통해 전단파괴 발생가능부재를 파악하고, 중력하중만 작용할 경우와 지진하중이 같이 작용할 경우 탄성해석결과의 비교를 통해 중요부재 즉, 축력의 변동이 커 인장력이 작용할 가능성이 있는 부재, 그리고 횡하중 부담 비율이 큰 부재를 판별한다. 이 자료는 평가자 혹은 검증자가 부재의 모델링 변수의 적정성 검토시 활용할 수 있다.

C.2 파괴모드의 평가

수직부재의 파괴모드는 한계상태해석(limit analysis)의 개념에 따라 분류한다. 수행절차는 아래와 같다.

1) 기둥과 벽체의 전단강도 산정

간략 파괴모드 평가시에는 보수적으로 전단철근과 축력의 영향을 무시하고, 콘크리트의 전단강도만을 사용한 다음 식을 사용한다.

$$V_o = 0.16 \sqrt{f_{ck}} b_w d \quad (1)$$

상세 파괴모드 평가시에는 기둥과 벽체의 전단강도는 요령에서 제시하고 있는 수식, 즉 식 (5.4.5)과 식 (5.5.2)로 평가한다.

2) 기둥과 벽체의 기대휨강도 및 유효전단력 산정

기둥의 경우 양단부에서 소성힌지 발생시 작용하는 유효전단력은 다음 식을 사용하여 계산한다.

$$V_p = \frac{M_{p,top} + M_{p,bottom}}{l_n} \quad (2)$$

여기서, $M_{p,top}$ 과 $M_{p,bottom}$ 은 기둥 상부와 하부 소성힌지 발생이 예상되는 지점의 기대휨강도이다. l_n 는 기둥의 순길이로서 허리벽이 존재할 경우 허리벽의 높이는 제외한다.

전단벽과 분절벽체에 작용하는 최대전단력은 휨모멘트강도를 이용해서 결정한다. 캔틸레버처럼 거동하는 전단벽은 벽체 전체 높이에 걸쳐 등분포로 횡하중이 작용한다는 가정 하에, 벽체 하단의 휨모멘트 강도 발현 시 요구되는 횡하중으로 발생하는 전단력을 최대전단력으로 결정한다. 분절벽체의 경우에는 양 단부에서 각각 정, 부 휨모멘트 강도 발현 시 발생하는 전단력을 사용한다.

기둥과 벽체의 기대휨강도 M_p 는 평균재료강도가 적용된 경우 부재의 휨강도이다. 간략 파괴모드 평가시에는 보수적으로 축력이 0인 경우의 휨강도를 사용한다. 상세 파괴모드 평가시에는 일반적인 휨이론 즉, 휨 부재에 적용되는 단면의 평면유지 가정과 철근의 탄소성거동 및 힘의 평형조건을 사용하여 압축최연단의 변형도가 종국변형도(0.003)에 도달할 때의 축력과 모멘트 상관관계를 고려하여 산정한다.

3) 파괴모드 분류

모든 기둥 및 벽체부재는 표 5.4.1에 따라 다음과 같이 분류한다.

- i: 휨 파괴(전단 파괴 발생 없이 휨 파괴하는 경우),
- ii: 휨전단 파괴(휨 항복 이후 전단 파괴하는 경우),
- iii: 전단 파괴(휨 항복 없이 전단 파괴하는 경우)의 세가지 파괴모드로 구분되어 평가해야 한다.

기둥의 경우 소성힌지구간에서 횡보강근이 $A_v/b_w s \geq 0.002$ 이고 $s/d \leq 0.5$ 인 경우에만 파괴모드 i로 분류할 수 있다.

표 5.4.1 횡보강근 상세에 따른 RC기둥의 파괴모드 분류

전단강도비(V_p/V_o)	135° 갈고리가 사용되고 건축구조기준에서 규정하는 내진상세로 횡보강근이 배근된 경우	90° 갈고리를 가진 폐쇄형 띠철근이 사용된 경우	그 외(접침이음된 띠철근 포함)
0.6 미만인 경우	i	ii	ii
0.6 이상 1 미만인 경우	ii	ii	iii
1 이상인 경우	iii	iii	iii

1) 소성힌지구간에서 횡보강근이 $A_v/b_w s \geq 0.002$ 이고 $s/d \leq 0.5$ 인 경우에만 파괴모드 i로 분류할 수 있다. 그 외의 경우 파괴모드 ii로 분류함

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

1층의 모든 기둥과 벽체에 대해 먼저 구조해석없이 간략 파괴모드 평가를 수행하고 그 결과를 표 C.1과 같이 정리한다. 기둥 부재의 경우 X축 및 Y축의 2축에 대해 각각 분석되어야 하나 벽체의 경우 벽체 주축방향으로만 파괴모드를 분류한다. 이후 표 C.2에 제시된 바와 같이 구조해석을 수행한 후 해석된 부재력을 사용하여 상세 파괴모드 평가를 수행하고 각 하중조합에 의한 부재력과 함께 표 C.3와 같이 정리한다.

표 C.1 기둥 및 벽체 치수와 간략 파괴모드 평가표 예시

부재 번호	V_o (kN)	s (mm)	방향	b_w (mm)	h (mm)	d (mm)	l_n (mm)	V_p (kN)	$\frac{V_p}{V_o}$	파괴모드
C1	50	300	x	500	300	240	1200	80	1.6	iii(전단)
			y	300	500	400	2400	40	0.8	ii(휨전단)
C2										

C.3 부재력의 변동 및 상세파괴모드 평가

부재력의 변동을 파악하기 위한 구조해석모델은 건축구조기준에 따른 설계를 위한 일반적인 구조해석절차에 따라 작성한다. 해석모델은 기본적으로 3차원 모델을 사용하여야 하며 건축물 내 질량과 하중, 강성의 공간적 분포를 표현할 수 있어야 한다. 구조요소의 강성은 균열의 영향을 고려한 유효강성이 적용되어야 한다. 또한 조적채움벽과 같은 주요 비구조요소도 건물주기에 영향을 미치므로 그 영향을 고려하여야 한다. 중력하중은 식 (4.2.8)을 따르며, 질량은 건축구조기준(KDS 41 17 00) 식 (7.2-1)에 정의된 유효건물중량을 중력가속도로 나눈 값을 사용한다. 조적허리벽 및 조적채움벽이 있을 경우 x형 대각스트럿으로 모델링하되 각 가새는 5장에 제시된 강성의 1/2에 해당하는 강성을 부여하여 전체강성은 동일하게 한다.

해석시 하중조합은 표 C.2와 같다. CASE 01과 CASE 06은 중력하중의 조합이며, 나머지는 반응수정계수 R이 적용되지 않은 지진하중이 적용된 하중조합이다. 중력하중만의 조합에 의한 해석결과는 상세평가후 중력하중분담비율에 따른 성능목표 만족여부 판정에 활용할 수 있다. 또한 중력하중만의 조합에 의한 해석결과와 지진하중이 포함된 하중조합에 의한 해석결과와의 비교를 통해 축력과 전단력의 변동이 큰 부재를 판별할 수 있다. 특히, 축력비는 유효강성, 소성거동 모델링의 적절성을 판단하는 중요 요소로, 축력비가 큰 기둥과 벽체요소의 소성힌지 모델링은 매우 유의하여 수행되어야 한다.

표 C.2 기둥 및 벽체 파괴모드 분류 및 주요 거동특성 평가를 위한 하중조합

구 분	하 중 조 합
CASE 01	$1.1(D+0.25L)$
CASE 02	$1.1(D+0.25L)+1.0E_x$
CASE 03	$1.1(D+0.25L)-1.0E_x$
CASE 04	$1.1(D+0.25L)+1.0E_y$
CASE 05	$1.1(D+0.25L)-1.0E_y$
CASE 06	$0.9D$
CASE 07	$0.9D+1.0E_x$
CASE 08	$0.9D-1.0E_x$
CASE 09	$0.9D+1.0E_y$
CASE 10	$0.9D-1.0E_y$

각 하중조합에 대한 해석결과의 비교를 통해 보고서에 부재별로 다음 항목에 해당하는 정보를 제시한다. 단, 하중조합에서 평가자의 판단에 의하여 인장에 의한 기둥인발, 횡하중의 방향에 따른 차이가 크지 않을 것으로 예상되는 경우 CASE 01, 02, 04만을 고려할 수 있다.

- ① 부재력의 변동 : 축력, 전단력, 모멘트
- ② 지진하중 분담비율 : 밀면전단력 분담비
- ③ 기둥과 벽체의 수직방향 모멘트 분포형상 : 단곡률 혹은 복곡률
- ④ 상세파괴모드. 상세파괴모드는 해석결과에 의한 부재력을 사용하여 표 C.1에 제시된 방법을 통해 판정한다.

표 C.3 하중조합별 해석결과 비교 및 상세 파괴모드 평가표 예시

부재 번호	방 향	하중 Case	축력	전단 력	휨	휨강도 유효전단력		전단강도 전단강도비			파괴모드 지진하중분담율	
			P (kN)	V (kN)	M (kNm)	M_p (kNm)	V_p (kN)	V_c (kN)	V_o (kN)	$\frac{V_p}{V_o}$	파괴 모드	$\frac{V}{V_b}$
1C1	X	1										
		2										
		..										
	Y	1										
		2										
		...										

표 C.3과 같이 정리된 자료의 분석을 통해 다음과 같은 위험부재를 특정할 수 있다.

- 축력비가 0.3을 초과하는 부재와 전단파괴되는 부재는 비선형거동이 발생하지 않는 취성파괴의 가능성이 큼
- 지진하중 작용시 축력비의 변화가 큰 부재의 경우 인장파괴 혹은 압축파괴의 가능성이 있음.
- 벽체 등 지진하중의 전단력 분담비율이 큰 부재의 파괴모드가 전체 구조물의 파괴모드를 지배함.
- 지진하중 가력방향이 아닌 수직방향으로 전단력이 크게 증가하는 부재의 경우 비틀림 등의 영향이 큼

그림 C.1은 추가적인 분석의 예이다. 축력비가 0.3 이상이거나 음수인 부재는 하중조합에 따른 축력과

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

모멘트의 변화를 P-M 상관곡선상에 표시한다. 이때, P-M상관곡선은 강도감소계수 $\phi=1.0$ 을 사용하여 작성한다. 그림 C.1에 대한 분석으로부터 파악할 수 있는 사항은 다음과 같다.

- 1) A점과 B점 : 중력하중 Case 1에 의한 부재력 A점에서 중력하중과 지진하중이 같이 고려된 하중조합 Case 2에서 B점이 되는 경우 A점과 B점을 연결하는 직선과 PM곡선이 만나는 위치와 부재력의 변화경향을 보면, AB 직선이 PM곡선의 압축과괴 영역에서 교점을 가지기 때문에 이 기둥은 Case 2의 하중에서 지진하중에 의해 기둥의 압축력이 증가하면서 압축과괴됨을 의미한다.
- 2) A점과 C점 : A점에서 지진하중에 의한 하중조합 Case 3에 의해 C점으로 부재력이 변하는 경우, 지진하중에 의해 압축력이 감소하면서 인장과괴됨을 의미한다. 이때 축력의 크기에 따라 연성거동할 수 있는 능력이 결정되며 축력이 작을수록 연성능력이 증가한다.
- 3) D점과 E점 : D(Case 6)에서 E(Case 8)로 변하는 경우 지진하중에 의해 기둥에 인장이 발생하면서 인장과괴됨을 의미한다. 이 기둥은 기초가 인발력을 지지할 수 있는지가 별도로 검토되어야 한다.

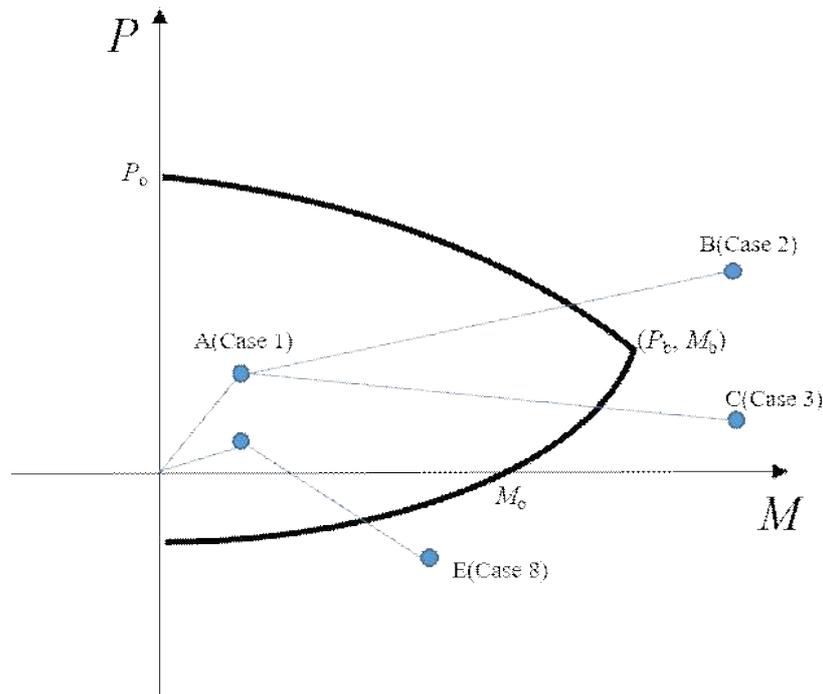


그림 C.1 기둥의 축력과 모멘트 변화

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

승인 국토교통부 시설안전과

발행 국토안전관리원

2004년 5월 제 정

2011년 7월 개 정

2013년 12월 부분개정

2019년 10월 개 정

2021년 4월 부분수정

- * 본 요령의 내용에 관한 질의 및 건의 사항은 국토교통부 시설안전과 및 국토안전관리원으로 연락하여 주시기 바랍니다.

국토안전관리원 (http://www.kalis.or.kr)
(우) 52856 경상남도 진주시 에나로 128번길 24 대표전화 1588-8788

본 요령의 내용은 국토안전관리원 홈페이지에서 다운로드 받으실 수 있습니다.