

발 간 등 록 번 호
11-B552016-000035-14

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

2021. 5.



국토교통부

Ministry of Land, Infrastructure and Transport



국토안전관리원

국토교통부와 국토안전관리원은 지진으로부터 국민의 안전을 확보하기 위하여 기존 건축물의 내진성능평가 및 내진보강을 체계적으로 수행할 수 있도록 “기존 시설물(건축물) 내진성능 평가 및 향상요령”을 2004년에 제정하고 2011년에 개정하여 운영 중에 있습니다.

이후, 행정안전부에서는 「국가지진위험지도(2013)」와 「내진설계기준 공통적용사항(2017)」을 제정·공표하였으며, 국토교통부에서는 이를 반영하여 ‘KDS 17 10 00 내진설계 일반’을 제정(2018)하고 ‘KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준’을 개정(2019)하여 고시하였습니다.

이에 따라 건축물의 내진성능평가가 최신의 기준 및 연구결과, 기존 평가요령의 미비점에 대한 개선사항 등이 반영될 수 있도록 「기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령」을 개정하여 발간하였으니 실무에 많은 활용 바랍니다.

다만, 「기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령」은 내진성능평가를 수행하는 실무자의 이해를 돕기 위한 참고도서로써 관계법상 구속력이 없으므로, 관련 기준이나 지침의 내용과 상이한 경우는 발주처와 협의하여 결정된 사항을 따르시길 바랍니다.

<목 차>

제 1 장. 총 칙	1
1.1 일반사항	1
1.1.1 내진성능 평가절차	2
1.1.2 평가자의 자격	4
1.1.3 평가 보고서의 검증 및 전문가검토	4
1.1.4 구조해석 및 설계 소프트웨어	5
1.2 자료수집 및 재료강도의 결정	5
1.2.1 현장조사	5
1.2.2 재료강도의 결정	7
1.3 내진성능 평가결과 보고서	9
1.4 용어 정의	10
1.5 참고 기준	12
 제 2 장. 목표성능과 지진위험도	13
2.1 최소성능목표	13
2.2 지진위험도	17
2.2.1 지진구역, 지진구역계수 및 위험도계수	17
2.2.2 지반의 분류 및 지반증폭계수	17
2.2.2.1 지반종류	17
2.2.2.2 지반분류의 기준면 및 지반조사	18
2.2.2.3 지반증폭계수	18
2.2.3 평가지진의 가속도응답스펙트럼	19
 제 3 장. 내진성능 예비평가	21
3.1 일반사항	21
3.1.1 적용대상건물의 범위	21
3.1.2 자료조사 및 정리	22
3.2 지진하중	22
3.3 시스템별 평가절차	23
3.3.1 철근콘크리트조	23

3.3.1.1 재료강도 및 부재강도 평가	23
3.3.1.2 평가방법 및 성능수준의 판정	26
3.3.2 조적조	34
3.3.2.1 재료강도 및 부재강도 평가	34
3.3.2.2 평가방법 및 등급산정	35
3.3.3 강구조 및 철골철근콘크리트조	41
제 4 장. 내진성능 상세평가	42
4.1 일반사항	42
4.1.1 모델링	42
4.1.1.1 중력하중	43
4.1.1.2 질량	43
4.1.2 비틀림의 고려방법	43
4.1.3 지하층의 모델링	43
4.1.4 감쇠비	44
4.1.5 건물 사이의 간격	44
4.1.6 변형지배거동과 힘지배거동	44
4.1.7 1차부재 및 2차부재	45
4.1.8 재료강도와 부재강도	46
4.2 선형절차	46
4.2.1 일반사항	46
4.2.2 선형절차의 적용제한	47
4.2.3 선형정적절차의 적용 제한	47
4.2.4 선형정적절차	48
4.2.5 선형동적절차	50
4.2.6 주기	50
4.2.7 하중조합 및 다축가진효과	51
4.2.8 부재별 허용기준	53
4.3 비선형정적절차	54
4.3.1 일반사항	54
4.3.2 구조요소의 모델링	54
4.3.3 횡하중의 수직분포	55

4.3.4	하중조합 및 다축가진효과	56
4.3.5	성능점의 산정	56
4.3.6	부재별 허용기준	59
4.4	비선형동적절차	59
4.4.1	일반사항	59
4.4.2	하중조합 및 다축가진효과	60
4.4.3	평가용 지진파	60
4.4.4	해석모델	61
4.4.5	감쇠비	62
4.4.6	부재력과 변형의 산정	62
4.4.7	부재별 허용기준	62
4.5	구조실험을 통한 모델링변수 및 허용기준의 산정절차	63
4.5.1	구조실험계획	63
4.5.2	데이터 정리 및 보고	63
4.5.3	모델링 주요 변수와 허용기준의 산정	63
4.6	성능수준의 판정	66
제 5 장	철근콘크리트구조	69
5.1	일반사항	69
5.2	재료강도	69
5.3	해석 모델의 고려사항	69
5.3.1	해석 모델의 적용	69
5.3.2	유효강성	70
5.3.3	부재강도	71
5.3.4	섬유요소모델	71
5.4	철근콘크리트 모멘트 골조	72
5.4.1	일반사항	72
5.4.2	해석모델 및 강성	73
5.4.3	강도	75
5.4.3.1	보의 강도	75
5.4.3.2	기둥의 강도	76
5.4.3.3	보-기둥 접합부의 강도	77

5.4.4 모델링 변수 및 허용기준	78
5.4.4.1 선형절차	78
5.4.4.2 비선형절차	83
5.5 철근콘크리트 전단벽 구조	87
5.5.1 일반사항	87
5.5.2 강성	87
5.5.3 강도	88
5.5.4 모델링 변수 및 허용기준	89
5.5.4.1 선형절차	89
5.5.4.2 비선형절차	91
5.6 철근의 정착 및 이음	94
제 6 장. 조적채움벽구조와 조적조	96
6.1 조적채움벽 골조	96
6.1.1 일반사항	96
6.1.1.1 모델링 개념	96
6.1.1.2 재료 시험	96
6.1.1.3 재료 특성 기본값	99
6.1.2 강성	100
6.1.3 강도	104
6.1.4 모델링 주요 변수 및 허용기준	106
6.1.4.1 선형절차	106
6.1.4.2 비선형정적절차	107
6.1.4.3 비선형동적절차	110
6.1.4.4 인접골조의 검토	110
6.1.5 면외방향의 검토	111
6.2 비보강조적조	113
6.2.1 일반사항	113
6.2.2 강성	113
6.2.3 강도	113
6.2.4 모델링 주요 변수 및 허용기준	115
6.2.4.1 선형절차	115

6.2.5 면외방향의 검토	116
제 7 장. 강구조	118
7.1 일반사항	118
7.2 재료강도 및 상태평가	118
7.2.1 재료강도	118
7.2.2 상태평가	120
7.3 평가 요구사항	120
7.3.1 부재	120
7.3.2 기초 연결	120
7.3.3 철골 지붕 또는 철골 증축부	121
7.4 철골모멘트골조	121
7.4.1 일반사항	121
7.4.2 해석모델	122
7.4.2.1 선형절차	122
7.4.2.2 비선형절차	123
7.4.3 강도	125
7.4.3.1 선형절차	125
7.4.3.2 비선형절차	126
7.4.4 허용기준	126
7.4.4.1 선형절차	126
7.4.4.2 비선형절차	131
7.5 철골 중심가새골조	134
7.5.1 일반사항	134
7.5.2 해석모델	134
7.5.2.1 선형절차	134
7.5.2.2 비선형절차	134
7.5.3 강도	134
7.5.3.1 선형절차	134
7.5.3.2 비선형절차	135
7.5.4 허용기준	135
7.5.4.1 선형절차	135

7.5.4.2 비선형절차	135
7.6 경량지붕다이하프램	138
제 8 장. 기초 및 지반	139
8.1 일반사항	139
8.2 지반조사	139
8.2.1 지반조사의 목적	139
8.2.2 지반조사의 방법	139
8.3 기초의 지지력	141
8.4 구조물의 해석을 위한 기초지반의 모델링	142
8.4.1 일반사항	142
8.4.2 얕은기초	142
8.4.3 말뚝기초	145
8.5 기초의 안전성평가	146
8.5.1 얕은기초	146
8.5.1.1 일반사항	146
8.5.1.2 선형절차	146
8.5.1.3 비선형절차	147
8.5.2 말뚝기초	147
8.5.2.1 일반사항	147
8.5.2.2 선형절차	147
8.5.2.3 비선형절차	148
8.6 지하구조의 안전성평가	148
제 9 장. 비구조요소의 내진성능평가	150
9.1 일반사항	150
9.1.1 목적	150
9.1.2 평가범위	150
9.1.3 평가방법	150
9.1.4 평가절차	150
9.2 비구조요소의 성능목표	151
9.3 정보수집 및 성능취약부 육안평가	151

9.4 해석적 평가절차	152
9.4.1 평가절차	152
9.4.2 평가지진력 산정	152
9.4.3 변위 산정	154
9.4.4 가속도 산정	155
9.5 실험적 평가절차	155
9.6 기능수행의 확인	156
9.7 비구조요소별 성능수준의 정의 및 허용기준	156
9.7.1 건축 비구조요소	156
9.7.1.1 외부에 접착 또는 앵커로 고정되는 중량 외장재	156
9.7.1.2 칸막이벽	157
9.7.1.3 커튼월, 칸막이벽에 끼워진 유리	157
9.7.1.4 매달린 천장	159
9.7.1.5 이중바닥	160
9.7.1.6 중량 파라펫	160
9.7.2 기계 및 전기 설비 비구조요소	161
9.7.2.1 기계장비	161
9.7.2.2 전기 및 통신설비	162
9.7.3 배관	162
9.7.3.1 압력배관	162
9.7.3.2 소화배관	163
 부록 A. 보고서의 구성	 164
부록 B. 내진성능평가 요약보고서 예시	169
부록 C. 수직부재 사전평가	186

<표 차례>

표 1.2.1 현장조사 필수항목 및 세부기준	6
표 1.2.2 경과년수 및 재료상태에 따른 재료강도의 감소계수	8
표 1.2.3 건설연도별 재료의 기본값	8
표 2.1.1 건축물의 성능수준과 구조요소 및 비구조요소의 성능수준의 관계	13
표 2.1.2 구조요소의 성능수준별 손상 정도	13
표 2.1.3 비구조요소 성능수준의 정의 및 일반적 피해 수준	14
표 2.1.4 건축물의 내진등급별 최소성능목표(KDS 41 17 00 표 15.3-1)	14
표 2.2.1 지진구역 및 지진구역계수	17
표 2.2.2 재현주기에 따른 위험도계수	17
표 2.2.3 지반의 분류	18
표 2.2.4 단주기지반증폭계수, F_a	18
표 2.2.5 1초주기 지반증폭계수, F_v	19
표 3.3.1 기둥의 평균전단응력	24
표 3.3.2 전단벽의 종류에 따른 단면적 및 전단응력 산정	25
표 3.3.3 철근콘크리트조의 성능수준 판정을 위한 DCR 기준	28
표 3.3.4 철근콘크리트조 예비평가 시트	29
표 3.3.5 조적조 평균전단응력	34
표 3.3.6 경과년수 및 재료상태에 따른 강도 보정계수	34
표 3.3.7 조적조 성능수준 판정을 위한 DCR 기준	36
표 3.3.8 조적조 예비평가 시트	37
표 4.1.1 변형지배거동과 힘지배거동의 구분	45
표 4.2.1 최대 비탄성변위와 선형탄성변위의 보정을 위한 수정계수, C	48
표 4.2.2 주기상한계수, C_u	51
표 4.6.1 내진설계된 구조물의 성능수준별 허용 층간변형각(%)	66
표 4.6.2 성능수준별 중력하중저항능력	67

표 5.2.1 설계기준강도로부터 기대강도를 구하기 위한 재료별 보정계수	69
표 5.3.1 철근콘크리트 구조부재별 유효강성	70
표 5.4.1 횡보강근 상세에 따른 RC기둥의 파괴모드 분류	74
표 5.4.2 접합부 강도산정 계수, γ	77
표 5.4.3 철근콘크리트 보의 m 계수	80
표 5.4.4 철근콘크리트 기둥의 m 계수	81
표 5.4.5 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 m 계수	82
표 5.4.6 철근콘크리트 보의 모델링 주요 변수 및 성능수준별 허용기준	84
표 5.4.7 철근콘크리트 기둥의 모델링 주요 변수 및 성능수준별 허용기준	85
표 5.4.8 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 모델링 주요 변수 및 성능수준별 허용기준	86
표 5.5.1 철근비 ρ_{se} 의 A와 B	88
표 5.5.2 휨 지배 철근콘크리트 전단벽 및 관련 요소의 m 계수	90
표 5.5.3 전단 지배 철근콘크리트 전단벽 및 관련 요소의 m 계수	91
표 5.5.4 휨 지배 철근콘크리트 전단벽 및 관련 요소의 비선형 모델링 변수 및 허용기준	93
표 5.5.5 전단 지배 철근콘크리트 전단벽 및 관련 요소의 비선형 모델링 변수 및 허용기준	94
표 6.1.1 조적채움벽의 설계기준강도 기본값 (MPa)	100
표 6.1.2 조적채움벽의 탄성계수	100
표 6.1.3 조적채움벽의 m 계수	107
표 6.1.4 조적채움벽에 인접한 철근콘크리트기둥의 m 계수	107
표 6.1.5 조적채움벽의 등가압축가새의 모델링 주요변수 및 허용기준	109
표 6.1.6 조적채움벽에 인접한 철근콘크리트기둥의 모델링 주요변수 및 허용기준	109
표 6.1.7 아치작용의 요건을 만족하는 조적채움벽의 면외방향 검토를 생략하기 위한 높이-두께비(h_m/t_m) 상한치	113
표 6.1.8 벽체의 높이-두께 비(λ_2)에 대한 계수	113
표 6.2.1 비보강 조적조의 m 계수	116
표 7.2.1 주요 구조용 강재의 설계기준강도, MPa	119
표 7.2.2 설계기준강도에서 기대강도로 변환하는 계수	119
표 7.4.1 철골완전강접모멘트골조의 m 계수	130
표 7.4.2 철골 완전강접모멘트 접합부의 비선형 모델링 주요 변수 및 허용기준	133

표 7.5.1 철골 중심가새골조의 m 계수	136
표 7.5.2 철골 중심가새골조의 비선형 모델링 변수 및 허용기준	137
표 A.1 평가대상 구조물에 대한 정보요구사항	164
표 A.2 상세평가 보고서에 제시되어야 할 구조해석모델 및 평가결과 항목	166
표 C.1 기둥 및 벽체 치수와 간략 파괴모드 평가표 예시	188
표 C.2 기둥 및 벽체 파괴모드 분류 및 주요 거동특성 평가를 위한 하중조합	189
표 C.3 하중조합별 해석결과 비교 및 상세 파괴모드 평가표 예시	189

<그림 차례>

그림 1.1.1 내진성능평가절차 흐름도	3
그림 2.2.1 설계응답가속도스펙트럼	20
그림 3.3.1 기둥의 순높이	24
그림 4.3.1 소성힌지특성모델	55
그림 4.5.1 반복하중에 의한 하중-변위곡선으로부터 포락곡선 작성	64
그림 4.5.2 다중선형그래프의 유형	64
그림 4.5.3 성능수준별 허용기준과 m 계수의 결정	65
그림 5.4.1 보-기둥 접합부 강역의 모델링	73
그림 5.4.2 보-기둥 접합부 분류	77
그림 5.5.1 휨 지배 벽체의 소성힌지 회전각	92
그림 5.5.2 전단벽 연결보의 현회전각	92
그림 5.5.3 전단 지배 벽체의 층간변위	92
그림 6.1.1 등가스트럿 모델	103
그림 6.1.2 조적채움벽의 하중-변형 관계 포락선	104
그림 7.4.1 강재 부재의 힘과 변형 관계	123
그림 7.4.2 현회전각의 정의	124
그림 8.4.1 유한한 강성을 갖는 기초의 모델링	142
그림 B.1 평면도 제시 예시	171
그림 B.2 해석모델 적용하중 제시 예시	173
그림 B.3 고유치 해석 결과 제시 예시	175
그림 B.4 고유치 해석 결과 제시 예시	180
그림 C.1 기둥의 축력과 모멘트 변화	190

제1장 총 칙

1.1 일반사항

이 요령은 기존 건축물의 내진성능평가 시 그 절차 및 방법을 제시하는 것을 목적으로 한다. 이 요령에서는 내진성능평가를 ①「시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법」(이하 시설물안전법)에 따라 정밀안전진단에 포함하여 내진성능평가를 실시하는 경우와 ②시설물안전법의 적용을 받지 않는 내진성능평가의 경우로 구분하고 있다. 예비평가와 함께 선형정적절차, 선형동적절차, 비선형정적절차, 비선형동적절차의 4종류의 상세평가의 방법 및 적용조건을 제시하고 있다. 적용대상은 철근콘크리트, 강재, 조적으로 이루어진 일반구조물이다. 장스팬구조물, 전통건축물, 초고층건축물 등 이 요령에서 평가방법을 제시하고 있지 않은 특수구조물의 경우 구조공학의 기본원리를 따르는 구조해석과 안전성이 검증된 합리적인 절차와 방법을 사용하여 내진성능평가를 수행할 수 있다.

[해설]

기존 건축물의 성능 평가는 일반적인 신축 건축물의 구조설계와는 개념적으로 다르다. 신축 구조설계는 아직 실재하지 않는 구조물을 대상으로 하기 때문에 주요 구조 부재만을 대상으로 구조 해석 및 설계를 하게 된다. 이 때 기본적으로 내재되어 있는 불확실성을 극복하고 구조적 안정성을 확보하기 위해 하중은 하중계수를 통해 증가시키고 부재의 능력은 강도감소계수를 통해 감소시키는 보수적인 접근 방법을 사용하게 된다. 반면, 기존 건축물의 내진성능평가는 실재하고 있는 구조물을 대상으로 하기 때문에 주요 구조 부재뿐만 아니라 원칙적으로 하중 저항에 관여하는 모든 부재를 해석 모델에 포함시켜 해석 및 평가를 수행한다. 또한 현장조사를 통해 구조부재의 강도 등을 확인하므로 강도감소계수를 사용하지 않는다.

성능기반 내진성능평가와 일반내진설계기준에 따른 신축내진설계의 기본적인 차이점은 비선형 거동과 이에 따른 에너지소산능력을 어떻게 고려하는가에 있다. 즉, 일반내진설계기준에서는 구조 형식별로 에너지소산능력을 미리 가정하여 지진하중을 감소시킨 다음 탄성해석을 통해 설계하는데 반해 성능기반 내진성능평가에서는 감소되지 않은 실제 지진력을 사용하되 구조해석시 에너지소산능력을 직접적으로 반영하게 된다. 따라서 비선형해석이 사용되는 것이 일반적이다. 선형해석도 적용될 수 있으나 하중재분배효과를 고려할 수 없는 단점이 있다.

신축 내진설계에서는 설계자가 선택한 주 지진력저항시스템의 변형능력을 바탕으로 설계지진하중을 산정한다. 즉, 어떤 구조시스템을 선택하느냐에 따라 설계에 사용하는 지진하중의 크기는 달라진다. 하지만 성능기반 내진성능평가에서는 적용하는 지진하중은 동일하다. 즉, 신축 설계에서 선택한 지진력저항시스템의 종류에 관계없이 해당 구조물이 저항해야 할 지진하중은 동일하다. 하지만 해석을 통해 구해진 부재력 및 변형량을 부담할 수 있는지 판정하기 위해 부재의 상태에 따라 허용기준이 다르며 혹은 파괴모드에 따라 변형지배와 힘지배로 구분한 다음 부재강도도 기대강도 혹은 공칭강도로 다르게 적용한다. 따라서, 기존 건축물 내진성능평가를 일반적인 신축 내진설계와 동일한 절차 및 방법으로 수행하는 것은 개념적으로 전혀 맞지 않다.

본 요령은 시설물안전법에 따라 정밀안전진단에 포함되는 내진성능평가를 위한 기술지침서이다. 따라서 시설물안전법에 의한 내진성능평가는 상위규정인 시설물의 안전 및 유지관리 실시 등에 관한 지침, 세부지침을 적용받는다. 그러나 경주, 포항지진 이후, 내진성능평가에 대한 관심이 높아짐에 따라 시설물안전법의 대상이 아닌 건축물의 내진성능평가도 본 요령을 활용하는 경우가 많은 점을 고려하여 시설물안전법의 적용을 받지 않는 내진성능평가에 대한 관련규정을 언급한다.

1.1.1 내진성능 평가절차

이 요령은 일반적인 내진성능평가절차에 따라 순서가 구성되어 있다. 즉, 1장의 규정에 따라 대상 건축물의 도면 및 현장조사를 통해 평가에 필요한 재료강도 및 구조물의 상태를 판정하며 2장에서는 대상건축물의 중요도에 따라 최소성능목표를 설정하고 이에 따른 평가지진을 산정한다. 3장에서는 철근콘크리트조골조 혹은 골조전단벽구조와 조적조에 적용할 수 있는 예비평가법을 수록하였으며 4장에서는 본격적인 내진성능평가를 위한 성능기반평가법의 기본사항을 제시하였다. 철근콘크리트조, 조적채움벽 및 조적조, 강구조의 구조형식별 모델링 방법 및 성능수준의 판정기준은 각각 5, 6, 7장에 기술되어 있다. 또한 기초구조의 내진성능평가는 8장, 비구조요소의 내진성능평가는 9장에 제시되어 있다. 평가 후 평가내용 및 결과를 수록한 보고서는 부록에 제시된 항목을 포함하여 작성한다.

3장의 예비평가는 많은 수의 건축물을 빠른 시간내에 개략적으로 평가하기 위해 적용한다. 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 정확도가 상대적으로 낮으나 복잡한 해석과 평가절차가 필요한 상세평가지 심각한 오류가 있을 경우 이를 확인할 수 있는 자료가 되므로 상세평가를 수행할 경우에도 예비평가를 수행하고 상호비교해볼 것을 권장한다.

그림 1.1.1은 상세평가의 개략적인 흐름도를 보여준다. 예비평가는 배근상태에 관한 정보가 없을 경우에도 수행할 수 있으나 현장조사를 통해 하중을 저항하는 수직부재의 치수를 조사하여야 한다. 상세평가를 위해서는 단면치수와 배근상태 등의 단면특성에 대한 정보가 반드시 필요하다. 재료강도는 1.2에 규정된 절차를 통해 결정한다. 모든 평가단계에서 조적끼움벽체의 효과를 고려하여야 한다. 조적 끼움벽체는 지진시 골조와의 상호작용을 고려한 면내방향의 거동 뿐 아니라 면외방향의 전도 및 동적안정성을 검토하여야 하며, 이 결과를 반영하여 성능목표의 만족여부를 판정하여야 한다.

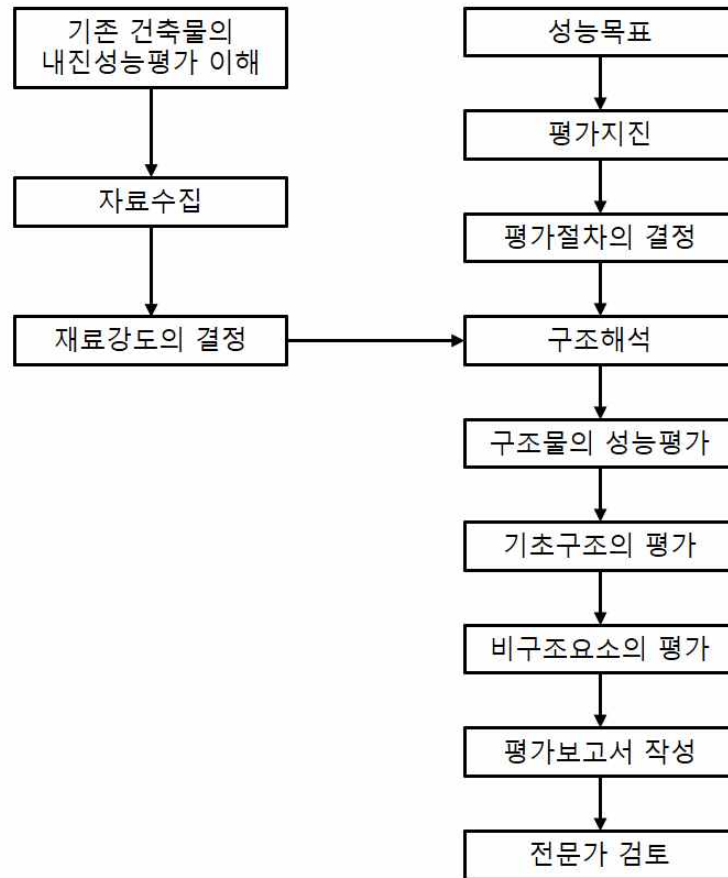


그림 1.1.1 내진성능평가절차 흐름도

[해설]

평가자는 내진성능평가절차에 대한 일련의 과정과 각 단계에서 필요한 정보 및 수행해야 할 주요 사항들을 충분히 이해하여야 한다.

이 요령에 따른 기존 건축물의 내진성능 평가절차는 예비평가와 상세평가로 구성되어 있어 평가의 목적에 따라 적절한 방법을 선택한다. 상세평가에서는 예비평가보다 대상 건축물에 대한 더 많은 정보를 요구하며 결과가 정확하다. **상세평가에서도 선형절차보다 비선형절차가, 정적절차보다 동적절차가 좀 더 정확한 평가결과를 도출한다.**

조적채움벽, 허리벽, 날개벽을 포함하는 조적끼움벽은 구조물의 힘의 분배와 거동에 큰 영향을 주는 요소이다. 일반적으로 기존 골조구조물의 강도와 강성은 증가시키나 연성은 감소시키는 것으로 알려져 있다. 이 요령에서는 이를 고려하여 모든 평가단계에서 조적끼움벽의 효과를 고려하도록 하였다. 예비평가단계에서는 기둥의 순높이를 산정하는데 조적끼움벽의 효과를 고려하여 단주, 일반기둥, 극단주 등으로 구분하며, 상세평가단계에서는 압축스트럿 대각가새로 모델링하여 그 효과를 고려하였다.

1.1.2 평가자의 자격

①시설물안전법에 따라 정밀안전진단에 포함하여 내진성능평가를 실시하는 경우의 자격자는 해당 법 및 하위 규정을 따르고, ②시설물안전법의 적용을 받지 않는 내진성능평가의 경우에는 건축구조기준을 따른다.

[해설]

기존 구조물의 내진성능 평가는 기술자의 공학적인 판단이 필요한 정밀한 구조해석에 기반하고 있어 잘못된 구조해석모델을 사용할 경우 그 평가결과에 큰 차이가 발생할 수 있다. 또한 내진성능평가의 절차는 재료강도의 산정절차를 제외하고는 성능기반 내진설계의 절차와 동일하므로 평가자의 자격은 제한될 필요가 있다. ①시설물안전법에 따라 정밀안전진단에 포함하여 내진성능평가를 수행하는 경우 평가자의 자격은 시설물안전법 및 하위 규정을 따른다. 이는 시설물안전법 및 하위규정의 「정밀안전점검 및 정밀안전진단 실시결과에 대한 평가」 절차에 따라 내진성능평가의 부실을 방지할 수 있는 점을 고려한 것이다. ②시설물안전법의 적용을 받지 않는 내진성능평가의 경우에는 건축구조기준에서 규정하는 성능설계법의 기술자 자격요건으로 한다. 다만, ③정형적인 형태를 가지는 구조물에 대한 예비평가의 경우, 본 요령에서 주어진 절차에 따라 평가를 수행한다면 그 결과에 큰 차이가 발생하지 않기 때문에 일반 건축구조전공자도 이 요령에서 제시하는 예비평가 시트를 사용하여 수행할 수 있도록 규정하였다.

1.1.3 평가 보고서의 검증 및 전문가 검토

내진성능 평가보고서에는 1.3에 따라 내진성능평가의 절차와 근거를 명확히 제시하여야 하며, 적절한 검증 및 전문가 검토를 받아야 한다. ①시설물안전법에 따른 정밀안전진단에 포함하여 내진성능평가를 실시하는 경우 시설물안전법 및 하위규정에 따른 전문가 자문으로 실시할 수 있다. ②시설물안전법의 적용을 받지 않는 내진성능평가의 경우의 내진성능 평가과정과 내진성능 평가결과는 2인 이상의 내진공학 전문가로부터 검증받아야 한다.

[해설]

상세평가는 일반 구조설계와 다른 해석절차가 사용된다. 성능기반 평가법이라고 불리는 이 절차를 정확히 수행하기 위해서는 지진력의 전달경로와 그 경로상에 있는 구조부재의 변형, 비탄성 거동이 발생하는 위치, 힘과 비탄성변형의 관계 등 지진시 구조물에서 발생하는 비선형 거동에 대해 충분한 이해가 필요하다. 이러한 지식이 있어야 선형절차의 경우 선형해석결과로부터 비선형 거동을 추정하여 정확한 내진성능평가를 수행할 수 있다. 또한 비선형절차의 경우 잘못된 모델링이나 해석상의 오류들을 파악하기 위해 구조해석 프로그램 별 비선형 해석기능의 원리, 장단점, 한계 등에 대해 충분한 지식을 갖추고 있어야 한다. 따라서 상세평가는 상기 평가를 수행하는 평가자의 내진설계에 대한 지식 정도 및 공학적 판단에 의해 평가결과에 상당한 차이를 가질 수 있다. 이에 내진공학에 대하여 전문적 지식을 갖추고 있는 제 3자에 의한 검증과 확인을 통하여 상세평가 결과의 신뢰성 확보가 필수적이라고 할 수 있다. ①시설물안전법에 따라 정밀안전진단

에 포함하여 내진성능평가를 실시하는 경우, 보고서의 검증 및 전문가검토는 시설물안전법에서 규정하는 전문가 자문으로 대체할 수 있다. 이는 시설물안전법 및 하위규정의 「정밀안전점검 및 정밀안전진단 실시결과에 대한 평가」 절차에 따라 내진성능평가 결과가 검증받기 때문이다. ②시설물안전법의 적용을 받지 않는 내진성능평가의 경우 건축구조기준의 성능설계법에 따라 2인 이상의 내진공학 전문가로부터 타당성을 검증받아야 한다.

1.1.4 구조해석 및 설계 소프트웨어

모든 구조해석과 내진성능평가를 위한 해석 소프트웨어는 충분한 검증을 거친 것을 사용한다.

1.2 자료수집 및 재료강도의 결정

재료강도는 1.2에 규정된 절차를 통해 결정한다. 단, 시설물안전법에 따라 정밀안전진단에 포함하여 내진성능평가를 실시하는 경우 재료강도의 조사방법은 시설물안전법 및 하위규정을 따라 수행할 수 있다.

1.2.1 현장조사

이 요령의 상세평가규정에 따라 기존건축물을 평가하기 위해서는 대상구조물에 대한 상세한 정보가 요구된다. 우선 건축물 대장, 설계도서, 구조계산서, 지반조사보고서 등 관련 서류 및 보고서를 통해 위치 및 지반조건, 시공년도, 내진설계의 여부, 적용 설계기준 등을 확인한다. 수집된 서류 및 보고서를 바탕으로 현장조사를 통해 부재치수 및 배근상태 확인, 강구조 접합부 상세, 평면의 용도변경 및 조적벽체의 설치 등 표 1.2.1에 제시된 각 항목에 대한 조사를 수행하여 설계도서를 검증하고 평가에 필요한 정보를 취득한다. 설계도서가 없을 경우 체계적인 현장조사를 통해 구조도면을 작성하고 표 1.2.1에 제시된 항목에 대한 정보를 취득하여야 한다. 설계도서가 있을 경우에도 현장조사를 통해 용도변경 및 사용현황, 증축부, 익스펜션조인트, 슬래브 무게증설, 무거운 비구조재의 위치 및 접합상태, 조적 끼움벽체(채움벽, 허리벽, 날개벽)의 위치, 치수, 마감재의 종류 및 두께, 수직 및 수평줄눈의 상태, 경계부의 접합상태 정보를 취득하여야 하며 이를 평가에 반영하여야 한다.

현장조사 필수항목 및 세부기준은 표 1.2.1과 같다. 재료강도는 현장조사 및 시험결과를 통해, 콘크리트와 철근은 5.2장, 강재는 7.2장을 참고하여 결정한다. 설계도서가 없거나 설계도서에 설계기준강도가 명기되어 있지 않은 철근 및 강구조는 표본을 채취하여 인장시험을 통해 강재의 강도를 결정할 수 있다. 현장조사를 통해 재료강도를 결정할 경우 계측된 재료강도의 편차를 고려할 수 있도록 충분한 수의 표본을 사용한다.

코어시험에 따라 콘크리트 강도를 결정하는 경우, 직경 50mm 이상의 코어를 채취한다. 코어시험 최소수량은 조사단위 수량(층당 1개. 단, 익스펜션조인트로 분리되어 있는 부분과 증축된 부분은 별개의 조사단위로 본다)과 6개소 중 큰 값을 원칙으로 한다. 코어시험 최소수량이 6개소를 초과하거나 이를 모두 시험하기 어려운 경우에 비파괴시험을 병용할 수 있다. 이 경우에도 최소 6개소는 코어시험을 하여야 한다. 비파괴시험은 각 조사단위별로 두 종류 이상의 부재에서 실시하며 각 부재별로는

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

2개소 이상 수행한다. 다만, 코어시험을 수행한 위치에서 비파괴 시험을 실시하고 코어시험결과와 비파괴시험결과를 비교하여 보정계수를 산출하며, 이 보정계수를 비파괴시험 결과에 반영한다. 코어시험에서 얻어진 콘크리트 강도가 품질확보를 위한 최저 기준강도 미만인 경우 재검사를 실시해야 하며, 재검사에서도 동일한 결과가 나올 경우에는 연직하중에 대한 안전이 확보되지 못한 것으로 판단하여 구조안전성에 대한 정밀안전진단을 실시한다.

조적채움벽의 모르타르마감의 두께와 시공상태를 확인하여 상태 판정에 반영한다. 조적채움벽의 수직줄눈 사춤상태는 마감이 없는 곳에서 확인하거나 마감을 제거하고 확인한다. 조적채움벽 상단의 사춤 상태는 조적채움벽이 천장 마감 내부로 연장된 경우에 해당 부분을 직접 육안으로 확인하여야 한다.

[해설]

설계도서가 있을지라도 최종도면이 아닌 허가도면인 경우가 많으며 완공후 용도변경에 따라 작용하중의 분포가 달라진 경우가 많으므로 현장조사를 통해 검증하여야 한다. 또한 내진성능에 큰 영향을 미치는 구조부재와 조적채움벽은 반드시 현장조사를 통해 노후도와 상태를 확인하고 내진성능평가에 반영하여야 한다. **현장조사를 통해 파악하기 힘든 정보, 예를 들어 주근의 이음 및 횡보강근의 정착 상세 등은 건설연도 당시의 시공관행을 참조하여 엔지니어가 판단하여야 한다.**

표 1.2.1 현장조사 필수항목 및 세부기준

	조사항목	요구사항	비고
공통	부재 규격	<ul style="list-style-type: none"> 도면이 있는 경우: 모든 조사단위에서¹⁾ 부재 종별로 각각 3개소 이상 조사 도면이 없는 경우: 모든 조사단위에서¹⁾ 부재 종별로 각각 9개소 이상 조사하여 구조도면 작성 	
	구조성능 저하 및 손상	<ul style="list-style-type: none"> 모든 부재 종별로 육안조사 	<ul style="list-style-type: none"> 철근 노출, 콘크리트 및 조적조 균열, 침하 등 조사 및 내진성능평가 반영 방안²⁾
	중량물	<ul style="list-style-type: none"> 지진하중에 영향을 줄 수 있는 비구조요소 또는 건물외 구조의 중량 	
	마감재	<ul style="list-style-type: none"> 조적채움벽 마감재의 종류, 평균두께, 상태 슬래브 마감재 종류 및 평균두께 치장벽돌의 재료 및 접합상태 	<ul style="list-style-type: none"> 슬래브 마감재: 지진하중 산정 시 건물중량에 반영
지반	시추조사	<ul style="list-style-type: none"> 내진특등급 건물 : 2개소 (이중 1개소는 주변 지반DB자료로 대체가능) 기타 내진등급 건물 : 1개소 (주변 지반DB자료로 대체가능) <p>단, 지반DB자료는 대상건물과 시추공사와의 최소거리가 300m 이내의 자료이어야 함</p>	<ul style="list-style-type: none"> 에너지 보정된 표준관입시험 전단파 탐사 시험 단, 전단파속도에 의해 지반이 분류되므로 전단파 속도 시험을 우선 고려한다.
기초	기초의 규격	<ul style="list-style-type: none"> 도면이 없고, 특등급 건물에서 기초의 침하로 인해 기능수행에 지장을 초래할 것으로 예상되는 경우에 한하여 조사 	

	조사항목	요구사항	비고
철근 콘크리트	콘크리트 압축강도	<ul style="list-style-type: none"> 코어시험 필수 코어시험 최소수량 = $\max(\text{조사단위}^{\text{1)}$ 수, 6) 비파괴시험: 코어시험 수량이 6개소 초과 시 병용 가능. 코어시험에 의한 보정계수 적용 필수 비파괴시험 수량: 조사단위별로 2종 부재 \times 각 부재별 2개소(단부, 중앙부) 이상 	<ul style="list-style-type: none"> 코어채취 위치: 보, 기둥, 벽체, 슬래브에서 내력에 영향을 최소화 할 수 있는 위치³⁾ 시험 후 복구 실시 마감의 영향을 받는 비파괴시험은 마감을 제거하고 구조체에 대하여 실시
	철근배근 상태조사	<ul style="list-style-type: none"> 도면이 있는 경우: 모든 조사단위에서¹⁾ 부재 종별로 각각 3개소 이상 조사 도면이 없는 경우: 모든 조사단위에서¹⁾ 구조도면 작성에 충분한 수량으로서 부재 종별로 각각 3개소 이상 	<ul style="list-style-type: none"> 부재 종별: 보, 기둥, 보-기둥 접합부, 벽체 피복두께를 포함
조적조	기본정보	<ul style="list-style-type: none"> 모든 채움벽과 허리벽 위치, 높이, 두께 	
	채움벽과 허리벽의 상태	<ul style="list-style-type: none"> 조사단위¹⁾별 2개소 이상 	<ul style="list-style-type: none"> 상단부 및 수직줄눈 사춤 상태
강구조	부식	<ul style="list-style-type: none"> 모든 조사단위에서¹⁾ 부재 종별로 각각 3개소 이상 조사 	
	접합부	<ul style="list-style-type: none"> 층별 3개소 이상 	<ul style="list-style-type: none"> 용접 및 볼트 베이스플레이트 포함

실측이 어려운 조사대상은 결정의 근거를 반드시 보고서에 명기한다.

- 1) 조사 단위: 각 층을 하나의 조사 단위로 하되, 익스팬션조인트로 분리되어 있는 부분과 증축된 부분은 별개의 조사단위로 본다.
- 2) 현장시험에 의하지 않고 통계적 기본값 또는 설계도서의 기준강도 적용 시 현장조사 결과를 근거로 노후도 계수를 반영한다.
- 3) 슬래브에서 채취할 수 있으나 전체에서 차지하는 비중을 최소화한다. 지반에 인접한 부재를 피한다.

1.2.2 재료강도의 결정

내진성능평가를 위한 재료강도는 현장시험을 실시한 경우 그 결과값을 적용한다. 현장시험을 실시하지 못한 재료는 설계도서상의 설계기준강도에 사용연수 및 재료상태에 따른 감소계수를 곱한 값을 적용한다. 설계도서에 명시된 설계기준강도의 정보가 없는 경우 연도별 기본재료강도에 재료상태에 따른 감소계수를 곱한 값을 적용한다. 이때, 재료강도 및 특성에 대한 시험방법은 KS표준, 콘크리트 설계기준 및 강구조설계기준에 따르며 조적조의 경우 6장에 제시한 방법을 따른다.

현장시험을 실시하여 재료강도를 결정하는 경우, 코어테스트 결과 또는 1.2.1에 따라 보정계수를 적용한 비파괴검사 결과값을 사용하여 결정한다. 다만, 시설물안전법 및 하위규정에 따라 정밀안전진단에 포함하여 내진성능평가를 실시하는 경우 재료강도는 시설물안전법 및 하위규정에 따른 재료시험 방법으로 그 값을 결정할 수 있다. (단, 내진보강설계를 위한 내진성능평가에는 이 예외사항을 적용할 수 없다.) 현장시험 결과에 근거하여 재료강도를 결정할 때에는 피복두께, 중성화깊이, 철근 및 철골의 부식정도, 콘크리트의 이어치기의 상태, 결함 등을 종합적으로 고려하여 결정해야하며, 이 조사사항은 시설물안전법 및 하위규정을 기준으로 한다.

이 경우, 기대강도는 시험결과의 평균으로 하며 설계기준강도(공칭강도 혹은 하한강도)는 기대강도에서 표준편차를 뺀 값으로 한다. 시험결과의 변동계수가 0.2를 초과하는 경우, 기대강도는 표본 평균의 75%로 하며 설계기준강도는 평균에서 표준편차를 뺀 값의 75%로 한다. 이 경우 변동계수를 축소하기 위해 추가적인 시험을 실시할 수 있다.

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

설계도서상의 설계기준강도를 사용하여 재료강도를 결정하는 경우 다음과 같은 내용을 고려해야 한다. 설계도서에 명기된 설계기준강도는 재료의 공칭강도로서 재료강도의 변동을 고려한 안전측의 값이다. 따라서 기대강도(재료가 실제로 발현할 수 있을 것으로 기대되는 강도의 평균값)는 5 ~ 7장에서 각 재료별로 제시된 보정계수를 설계기준강도에 곱하여 구할 수 있다. 이때 설계기준강도는 표 1.2.2에서 제시된 경과년수에 따른 감소계수와 재료상태에 따른 감소계수를 곱하여 사용한다. 단, 설계도서에 명기된 설계기준강도에 경과년수에 따른 감소계수를 곱한 값이 표 1.2.3에 제시된 연도별 기본재료강도의 공칭강도보다 낮을 경우 연도별 기본재료강도를 사용할 수 있다. 이 때, 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.

예비평가지 현장시험을 실시하지 않는 경우 또는 상세평가지 설계도서가 없고 현장시험이 어려운 재료(철근 등)의 경우 재료강도는 표 1.2.3의 연도별 기본값을 사용할 수 있다. 기본값에는 경과년수에 따른 재료강도의 감소가 이미 고려되어 있으므로 이에 대해 추가적으로 고려하지 않아도 되나, 재료상태에 따른 재료강도 감소계수는 현장조사에 근거하여 적용해야 한다. 강재의 연도별 기본값은 7.2.1(5)를 따른다.

표 1.2.2 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

표 1.2.3 건설연도별 재료의 기본값

구분	1970년 이전		1971-1987년		1988-2000년		2001년 이후	
	공칭 강도	기대 강도	공칭 강도	기대 강도	공칭 강도	기대 강도	공칭 강도	기대 강도
콘크리트 강도 (f_{ck} , MPa)	13	15	15	18	18	21	21	25
철근의 항복강도 (f_y , MPa)	240	300	240	300	<u>240¹⁾</u>	<u>300¹⁾</u>	300	360

¹⁾ 책임구조기술자의 판단 하에 2001년 이후와 동일한 기본값을 사용할 수 있다.

[해설]

구조설계시 사용되는 설계기준강도는 재료강도의 변동을 고려한 안전측의 값이다. 콘크리트의 경우 배합되는 각 재료의 상태와 양생방법 등에 따라 발현강도가 달라질 수 있다. 기존 건물의 경우에는 이미 굳은 콘크리트를 대상으로 시험을 수행한 결과를 사용하므로 제조 및 양생 과정의 불확실성이 포함되지 않고 표본의 수량이 제한되므로 ASCE 41을 참조하여 변동계수에 관한 규정을 추가하여 보완하였다. 표 5.2.1와 표 7.2.2에 제시된 계수는 설계기준강도와 기대강도의 비율을 나타내는 값이다.

ASCE 41에서도 이와 유사한 형태로 공칭강도로부터 기대강도를 얻기 위한 보정계수를 제시하고 있다. 단, ASCE 41에서는 콘크리트 설계기준압축강도로부터 기대강도를 추정하기 위한 계수로 1.50을 제시하고 있으나, 품질관리가 철저하지 못하였던 예전의 국내 기존 콘크리트 건축물 시공 실태를 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(Table 7-1)에서 상태가 나쁜 조적벽의 압축강도는 상태가 양호한 경우에 비해 1/3수준으로 낮게 보고 있으며 전단강도는 1/2수준으로 저감시킴을 참고하여 보수적으로 결정하였다.

건설연도별 재료의 기본값 중 1971년~2000년까지의 자료는 “국내실정에 맞는 취성파괴형 및 삼중수평저항 시스템 건축물의 내진성능평가기법개발(한국시설안전공단, 2008) “에 수록되어 있는 국내 중·저층 철근콘크리트조 건물을 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.

1.3 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 예비평가의 경우 보고서 작성시 구조시스템별로 제시된 예비평가시트를 사용할 수 있다.

- ① 구조물에 대한 정보
- ② 구조해석 모델 및 가정 사항
- ③ 부재별 평가결과
- ④ 최종 판정결과 및 결론

상세평가수행 후 보고서 작성시 각 항목별로 제시되어야 할 정보의 종류는 부록 A에 제시되어 있다. 부록 B는 필수정보가 포함된 간략한 보고서의 예시로서 실제 내진성능 평가보고서에는 평가결과의 결론을 도출하는데 사용된 근거자료(현장조사결과 및 해석결과)가 추가로 제시되어야 한다. 부록 C는 건축물의 성능에 가장 큰 영향을 미치는 1층 수직부재의 파괴모드를 분류하고 이를 통해 해석결과의 적정성 (혹은 중대한 오류)를 판단하기 위한 수직부재 사전평가표이다.

1.4 용어 정의

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

1차부재 (primary component) : 지진력(연직하중포함)을 저항하도록 요구되는 부재로서 주로 지진력저항시스템 내의 부재.

2차부재 (secondary component) : 연직하중만을 저항하도록 요구되는 부재. 횡하중을 저항능력이 요구되지는 않으나 지진에 의한 횡변위가 발생하여도 연직하중 지지능력을 유지하여야 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 급격히 증가하는 현상

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

내진성능 평가기준 지진 : 기존 건축물의 내진성능을 평가할 때 기준으로 정한 지진하중의 크기. 성능목표 상의 지진위험도(또는 재현주기), 지진구역, 및 지반조건에 따라 평가기준 지진의 크기는 변화한다.

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 구조물 최대요구변위의 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 최대요구변위를 예측하는 방법. 탄성단자유도시스템의 최대예상요구변위에 구조물의 항복 및 다자유도 효과 등을 고려하는 여러 계수를 곱하여 구한다.

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

비구조요소 : 차양·장식탑·비내력벽 기타 이와 유사한 것으로서 횡력저항에 영향을 미치지 않는 건축물의 구성부재를 말한다. 조적채움벽의 경우 비구조부재로 설계되나 구조물의 횡력저항능력에 미치는 영향이 크므로 구조물의 내진성능평가지 해석모델에 포함하여 고려하여야 한다.

성능수준 (Performance Level) : 지진력에 의해 발생한 구조물의 변형 혹은 손상에 따른 구조물의 상태를 규정하기 위해 설정된 단계. 구조체의 성능수준은 거주가능, 인명안전, 붕괴방지의 세 단계로 나뉜다.

성능점 : 역량스펙트럼법에 의해 산정된 최대요구가속도 및 변위를 나타내는 지점. 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 : 구조물의 동적거동을 주기 혹은 주파수에 대한 성분으로 분해하여 배열한 것.

능력스펙트럼 (Capacity spectrum) : 능력곡선을 스펙트럼가속도와 스펙트럼변위의 관계로 표현한 곡선. 역량스펙트럼이라고도 한다.

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

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

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

의사지진력 : 지진시 비선형거동을 통해 나타나는 구조물의 횡변위와 동일한 크기의 탄성변위를 나타내게 하는 지진하중.

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

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 면대로 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.

층간변위 : 인접 층 사이의 상대 변위를 말한다.

층지진하중 : 건축물의 각 층에 작용하는 지진하중을 말한다.

기대강도 : 구조재료, 혹은 구조요소의 실제로 기대되는 예상강도의 평균값. 공칭강도보다 높다.

프리즘압축강도: 그라우트 또는 모르타르가 포함된 단위조적의 개체로 조적조의 성질을 규정하기 위해 사용하는 시험체로부터구한 조적의 압축강도.

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

1.5 참고 기준

이 요령에서 언급하거나 인용하는 건축구조기준은 KDS 41 10 부터 KDS 41 70을 가리킨다. 또한 콘크리트용 앵커 설계는 2017년 개정 콘크리트구조 학회기준을 따른다.

제2장 목표성과와 지진위험도

2.1 최소성능목표

구조물은 기본적으로 낮은 지진위험도의 지진에 대하여 기능을 유지하고, 높은 지진위험도의 지진에 대해서는 붕괴를 방지함으로써 인명의 안전을 확보하여야 한다. 건축물의 성능수준은 표 2.1.1과 같이 기능수행, 즉시복구, 인명보호, 붕괴방지 수준으로 구분할 수 있으며, 이를 만족하기 위하여 건축물을 구성하는 구조요소와 비구조요소에 요구되는 성능수준은 표 2.1.2와 같다. 표 2.1.1에 제시된 구조요소 및 비구조요소의 성능수준의 정의는 각각 표 2.1.2와 표 2.1.3과 같다.

표 2.1.1 건축물의 성능수준과 구조요소 및 비구조요소의 성능수준의 관계

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

표 2.1.2 구조요소의 성능수준별 손상 정도

성능수준	손상 정도
거주가능	구조물의 피해는 경미하며 수직하중저항시스템과 지진력저항시스템은 대체로 지진 전의 강성과 강도를 보유하고 있다. 구조부재의 손상으로 인명에 피해를 입을 가능성은 매우 낮으며 손상부재에 대한 보수가 필요하지만 시급하지는 않다.
인명안전	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	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.

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

표 2.1.3 비구조요소 성능수준의 정의 및 일반적 피해 수준

성능수준	정의 및 일반적 피해 수준
기능수행	지진 이후에도 정상적으로 기능수행 할 수 있다.
위치유지	지진 이후 정상적인 기능수행을 하지 못하나 위치가 고정되어있어 탈락과 전복 등의 위험은 피할 수 있다.
인명안전	지진 이후 심각한 피해가 발생할 수 있지만, 인명피해를 유발하지 않는다.

성능목표는 특정 지진위험도에서 요구되는 성능수준으로 정의된다. 건축물이 만족하여야 할 내진등급별 최소성능목표는 표 2.1.4에 제시된 바와 같으며 제시된 최소성능목표 중 2가지 이상을 만족해야 한다. 이는 건축구조기준의 성능기반 내진설계에서 요구되는 최소성능목표와 동일하다. 평가자는 성능목표에 대하여 건축주 또는 발주처와 협의하여야 하며, 건축주 또는 발주처가 요구하는 경우 표 2.1.4의 성능목표를 만족시키는 동시에 추가적으로 설정된 성능목표에 대해 평가하여야 한다.

표 2.1.4 건축물의 내진등급별 최소성능목표(KDS 41 17 00 표 15.3-1)

내진등급	성능목표	
	재현주기	성능수준
특	2400년	인명보호
	1000년 ²⁾	기능수행
I	2400년	붕괴방지 ¹⁾
	1400년 ²⁾	인명보호
	100년	기능수행
II	2400년	붕괴방지
	1000년	인명보호
	50년	기능수행

1) 내진I등급 건축물의 붕괴방지 검토시에는 붕괴방지 허용기준을 1.2로 나눈 값(혹은 인명안전과 붕괴방지의 중간수준의 허용기준)을 적용한다. 이때, 허용기준은 부재의 성능수준 결정 시 변형량과 관계된 허용기준을 의미한다. 단, 허용충간변형각은 1.2로 나누지 않고 표 4.6.1의 값을 그대로 사용한다.

2) 1000년 재현주기 지진의 크기는 2400년 재현주기 지진의 2/3로 정의한다. 1400년 재현주기 지진의 크기는 1000년 재현주기 지진 크기의 1.2배로 정의한다.

[해설]

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

해표 2.1.1 내진설계기준연구 II의 성능목표(건설교통부, 1997)

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

2017년 국민안전처(현 행정안전부)는 내진설계기준연구 II에서 제시된 성능수준을 좀 더 세분화하여 31개 시설물에서 공통적으로 만족하여야 할 최소성능목표를 제시하였으며, 이는 'KDS 17 10 00'의 표 4.1-1 최소 내진성능목표에 반영되었다. 그 내용은 해표 2.1.2와 같다.

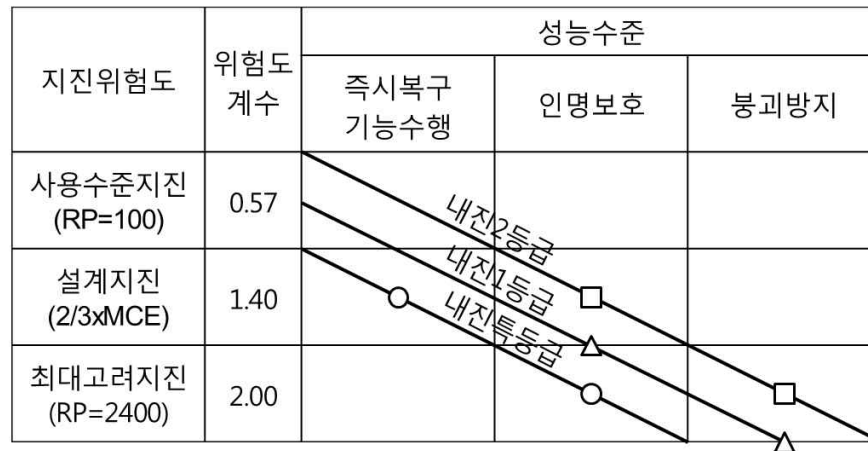
해표 2.1.2 최소 내진성능목표(표 4.1-1, 'KDS 17 10 00')

	내진성능수준 평균재현주기	기능수행	즉시복구	장기복구/ 인명보호	붕괴방지
	50년	내진II등급			
설계지진	100년	내진I등급	내진II등급		
	200년	내진특등급	내진I등급	내진II등급	
	500년		내진특등급	내진I등급	내진II등급
	1,000년			내진특등급	내진I등급
	2,400년				내진특등급
	4,800년				내진특등급

하지만 국내에서 건축물의 내진설계기준은 내진설계기준연구 II에서 제시된 설계지진 및 성능수준에 따른 것이라기 보다는 이후 미국에서 수행된 연구 및 내진설계기준의 개념을 사용하고 있다.

건축물의 내진설계기준에서 암묵적으로 제시하고 있는 지진위험도와 성능수준의 관계는 해그림 2.1.1과 같다.

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령



해그림 2.1.1 건축물의 내진등급별 성능목표

최대고려지진은 확률론적으로 건축물을 포함하는 시설물의 내진설계에서 고려할 필요가 있는 최대크기의 지진을 가리키며, 2400년 재현주기의 지진으로 정의된다. 이는 IBC에서 규정하고 있는 최대고려지진의 재현주기와 동일하다. 2400년 재현주기지진을 고려하는 이유는 우리나라와 같은 중약진 지역에서도 발생가능성은 작지만, 통계적으로 매우 큰 지진이 발생할 수 있는 가능성이 있으므로, 이를 고려해야 할 필요가 있기 때문이다.

설계기준에서 정하는 설계방법을 따라 인명안전수준을 만족하도록 설계할 경우, 확률적으로 그 보다 1.5배 큰 유효지반가속도 수준의 붕괴방지구준도 만족할 수 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 기본설계지진은 최대고려지진의 2/3 수준의 유효지반가속도로 정의된다. 기본설계지진은 건축물의 중요도계수를 적용하여 조정하지 않은 지진위험도이다.

건축구조기준의 최소성능목표는 해그림 2.1.1을 고려하여 설정되었으며 이 요령에서도 동일한 성능목표를 설정하였다.

2.2 지진위험도

2.2.1 지진구역, 지진구역계수 및 위험도계수

우리나라 지진구역 및 이에 따른 지진구역계수 값(평균재현주기 500년에 해당)은 표 2.2.1과 같이 구분한다. 재현주기에 따른 위험도계수는 표 2.2.2와 같다.

표 2.2.1 지진구역 및 지진구역계수

지진구역	행 정 구 역		지진구역계수(Z)
I	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종	0.11g
	도	경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부*	
II	도	강원 북부**, 제주	0.07g

* 강원 남부 : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백

** 강원 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초

재현주기별 유효지반가속도(S)는 표 2.2.1에 제시된 지진구역계수(Z)에 표 2.2.2에서 제시된 위험도계수(I)를 곱한 값으로 한다.

$$S = Z \times I \quad (2.2.1)$$

표 2.2.2 재현주기에 따른 위험도계수

재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년	4800년
위험도계수(I)	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0	2.6

유효지반가속도(S)는 국가지진위험지도(소방방재청, 2013)를 이용하여 구할 수 있다. 단, 국가지진위험지도를 이용하여 결정한 S는 지진구역계수에 위험도계수를 곱하여 구한 S값의 80%보다 작지 않아야 한다.

2.2.2 지반의 분류 및 지반증폭계수

2.2.2.1 지반종류

지반분류는 KDS 17 10 00의 4.2.1.2를 따르나 건축물의 특성을 반영하여 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00)과 동일하게 다음과 같이 수정하여 적용할 수 있다.

- (1) 기반암깊이가 3m 미만인 경우 S_1 지반으로 볼 수 있다.
- (2) 기반암의 위치가 기준면으로부터 30m를 초과하는 경우 상부 30m에 대한 평균 전단파속도를 토층의 평균전단파속도($V_{s,soil}$)로 볼 수 있다.
- (3) 대상지역의 지반을 분류할 수 있는 자료가 충분하지 않고, 지반의 종류가 S_5 일 가능성이 없는 경우에는 지반종류 S_4 를 적용할 수 있다.

표 2.2.3은 건축물 내진설계기준(KDS 41 17 00)에 따른 지반분류이다.

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

표 2.2.3 지반의 분류

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{s,Soil}$ (m/s)
S_1	압반 지반	3 미만	-
S_2	얕고 단단한 지반	3~20 이하	260 이상
S_3	얕고 연약한 지반	3~20 이하	120 초과 260 미만
S_4	깊고 단단한 지반	20 초과 50 미만	180 이상
S_5	깊고 연약한 지반	20 초과 50 미만	120 초과 180 미만
	매우 연약한 지반	3 이상	120 이하
S_6	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반		

2.2.2.2 지반분류의 기준면 및 지반조사

지반분류의 기준면은 대상 건축물이 위치한 대지의 지표면으로 한다. 설계도서에 지반분류를 판정할 수 있는 정보가 나타나있지 않은 경우 지반분류를 위해 지반조사가 필요하다. 대상지역의 지반을 분류할 수 있는 자료가 충분하지 않고, 지반의 종류가 S_5 일 가능성이 없는 경우에는 지반종류 S_4 를 적용할 수 있다.

2.2.2.3 지반증폭계수

단주기지반증폭계수 F_a 와 주기 1초주기 지반증폭계수 F_v 는 각각 표 2.2.4와 표 2.2.5와 같다. 단 건축물의 특성을 반영하여 건축물 내진설계기준(KDS41 17 00)과 동일하게 다음과 같이 조정하여 적용할 수 있다.

- (1) 기반암의 깊이가 20 m를 초과하고 지반의 평균 전단파속도가 360 m/s 이상인 경우, 표 2.2.5에 규정된 F_v 의 80%를 적용한다.
- (2) 표 2.2.3에 따라 S_5 로 분류되나 기반암의 깊이가 확인되지 않은 경우에는 표 2.2.4 및 표 2.2.5에 따른 F_a 와 F_v 의 110%를 적용한다.

표 2.2.4 단주기 지반증폭계수, F_a

지반종류	지진지역		
	$S \leq 0.1$	$S=0.2$	$S=0.3$
S_1	1.12	1.12	1.12
S_2	1.4	1.4	1.3
S_3	1.7	1.5	1.3
S_4	1.6	1.4	1.2
S_5	1.8	1.3	1.3

* S 는 2.2.1절에 따라 산정한 값이다. 위 표에서 S 의 중간값에 대하여는 직선보간한다.

표 2.2.5 1초주기 지반증폭계수, F_v

지반종류	지진지역		
	$S \leq 0.1$	$S=0.2$	$S=0.3$
S_1	0.84	0.84	0.84
S_2	1.5	1.4	1.3
S_3	1.7	1.6	1.5
S_4	2.2	2.0	1.8
S_5	3.0	2.7	2.4

* S 는 2.2.1절에 따라 산정한 값이다. 위 표에서 S 의 중간값에 대하여는 직선보간한다.

F_a 와 F_v 값은 부지고유의 지진응답해석을 수행하여 결정할 수 있다. 부지고유 지진응답해석의 절차는 건축구조기준을 따른다.

지하구조물이 지진토압에 대하여 안전하게 설계되어 있는 경우, 기초저면 지반종류가 S_2 이상이고 지진토압과 지진하중이 기초저면의 지반에 직접 전달될 수 있도록 기초저면이 지반에 견고히 정착되어 있다면, 지하층의 영향을 고려하여 지상구조에 적용되는 지반증폭계수를 조정할 수 있다. 지하층의 영향을 고려한 지반증폭계수의 산정은 건축구조기준을 따른다.

2.2.3 평가지진의 가속도응답스펙트럼

평가지진의 가속도응답스펙트럼은 다음 식에 따라 구한 후 그림 2.2.1과 같이 작성한다.

- (1) $T \leq T_0$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a 는 식 (2.2.2)에 의한다.
- (2) $T_0 < T \leq T_S$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a 는 S_{XS} 와 같다.
- (3) $T_S < T \leq T_L$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a 는 식 (2.2.3)에 의한다.
- (4) $T > T_L$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a 는 식 (2.2.4)에 의한다.

$$S_a = 0.6 \frac{S_{XS}}{T_0} T + 0.4 S_{XS} \quad (2.2.2)$$

$$S_a = \frac{S_{X1}}{T} \quad (2.2.3)$$

$$S_a = \frac{S_{X1} T_L}{T^2} \quad (2.2.4)$$

여기서, T : 구조물의 고유주기(초)

S_{XS} : 단주기 스펙트럼가속도(= $S \times 2.5 \times F_a$)

S_{X1} : 1초주기 스펙트럼가속도(= $S \times F_v$)

$T_0 = 0.2 S_{X1} / S_{XS}$

$T_S = S_{X1} / S_{XS}$

$T_L = 5$ 초

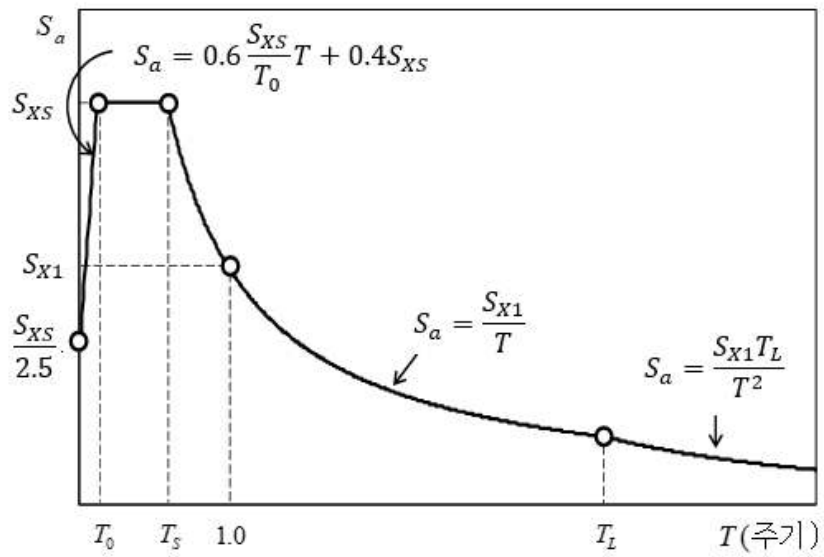


그림 2.2.1 설계응답가속도스펙트럼

제3장 내진성능 예비평가

3.1 일반사항

내진성능 예비평가는 지진하중에 저항하는 수직부재의 재료강도와 단면치수로부터 개략적인 횡하중저항능력을 산정하고 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 구조물의 경우는 그 영향을 고려하여 구조물의 내진성능을 산정할 수 있도록 하였다.

예비평가에서 평가결과가 성능목표를 만족하지 못할 경우 상세평가를 통한 정밀한 평가를 권장한다.

3.1.1 적용대상건물의 범위

이 요령의 예비평가절차는 철근콘크리트조와 조적조 건물을 대상으로 한다.

[해설]

예비평가절차는 다수의 저층 건물을 대상으로 간략하게 내진성능을 평가하여 상세평가가 요구되는 건물을 선정하기 위한 목적으로 개발되었다. 이 요령에서 예비평가는 예비평가시트를 사용하여 수행하도록 구성되어 있는데 철근콘크리트조(표 3.3.4)와 조적조 건물(표 3.3.8)에 대해서만 평가시트가 마련되어 있다. 이는 철근콘크리트조와 조적조가 저층 건축물에 가장 흔한 형식이기 때문이다. 강구조의 경우 기둥, 보, 기둥-보 접합부의 항복 모두를 고려하여야 하며 횡지지조건에 따라 강도가 달라져 수계산에 의한 평가가 효율적이지 않으므로 예비평가에서 제외하였다.

2013년 요령과 달리 비정형성이 있는 건물도 비정형에 따른 내진성능저하효과를 고려함으로써 예비평가를 수행할 수 있도록 수정하였으며 층수의 제한도 삭제하였다. 하지만 예비평가에서는 저층구조물임을 고려하여 단주기가속도 스펙트럼을 사용하므로 고층건물의 경우 지진하중이 크게 산정되어 보수적으로 평가됨을 감안할 필요가 있다.

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_5 일 가능성이 없는 경우에는 지반종류 S_4 를 적용할 수 있다.

설계도서가 없을 경우 예비평가를 위해서는 현장조사를 통해 수직부재의 단면치수에 대한 조사가 필요하다. 재료특성의 경우 건설연도에 따른 기본값에 재료상태에 따른 감소계수를 곱한 값을 사용할 수 있다. 설계도서가 있을 경우 설계도서에 근거한 단면치수 및 재료특성을 사용할 수 있다. 이 때 재료특성은 표 1.2.2의 경과년수 및 재료상태에 따른 감소계수를 곱하여 사용한다.

현장시험을 실시하여 재료강도를 결정하는 경우, 그 절차는 1.2.2에 따른다.

[해설]

예비평가단계에서는 기본적으로 주요부재의 치수 정보만을 이용하여 내진성능평가를 수행한다. 재료강도에 대한 정보는 현장시험을 통해 얻을 수도 있으나, 설계도서가 있는 경우는 도서상의 강도와 표 1.2.2 경과년수 및 재료상태에 따른 재료강도의 감소계수에 따른 저감계수를 곱한 값을 사용할 수 있고, 설계도서가 없는 경우는 표 1.2.3의 건설연도별 재료의 기본값을 사용할 수 있다. 예비평가에서는 단주기스펙트럼가속도만이 사용된다. 지반조사를 수행하지 않은 경우 가장 불리한 조건의 지반으로 가정하여 평가 할 수 있다.

3.2 지진하중

중저층 건축물의 경우 대부분 주기가 1.0초 이하일 것으로 예상되며, 안전측의 평가를 위해 예비평가단계에서는 단주기스펙트럼가속도(S_{XS})를 사용하여 산정한 지진하중을 평가지진하중으로 한다.

[해설]

예비평가단계에서는 평가절차를 간략화하고 좀 더 보수적인 평가결과를 산정하기 위해, 스펙트럼가속도를 결정하는 과정에서 주기를 산정하고 그에 해당하는 스펙트럼가속도를 이용하지 않고, 주기와 관계없이 스펙트럼가속도 중 가장 큰 값인 단주기스펙트럼가속도를 사용하도록 규정하였다. 이는 또한 예비평가단계에 적용하는 건물이 대부분 저층구조물임을 고려하여 결정하였다.

3.3 시스템별 평가절차

예비평가에서는 각 층 각 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 변형지배거동인 부재의 강도는 기대강도를 사용하고 하중지배거동의 경우는 하한치인 공칭강도를 사용한다. 부재의 기대강도는 재료의 공칭강도에 표 5.2.1의 계수를 적용한 재료의 기대강도를 사용하여 계산한다. 수직부재의 평균전단응력 산정시에는 부재의 파괴모드를 고려하여 기둥의 휨파괴시 전단력(V_p)과 전단강도(V_n) 중 작은 값을 사용하여야 한다. 부재별 휨파괴강도 및 전단강도는 5장의 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 전단력 V_p 는 식 (3.3.1)에 의해 산정한다.

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

여기서,

M_{e1} =기둥 상부단면의 휨기대강도

M_{e2} =기둥 하부단면의 휨기대강도

h_o =기둥 순 높이 (그림 3.3.1 참조)

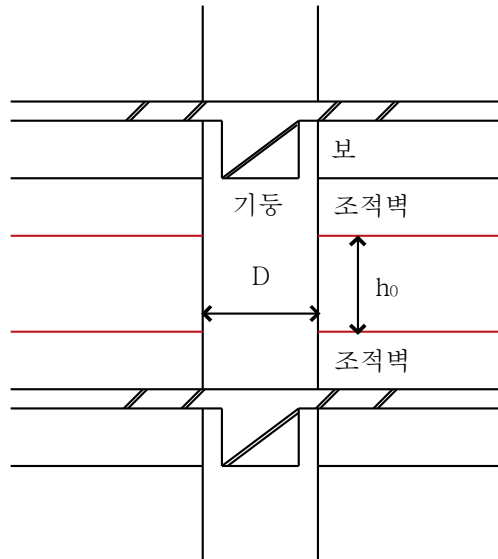


그림 3.3.1 기둥의 순높이

기둥단면의 휨기대강도는 5장의 부재강도 산정절차에 제시된 방법에 따라 구한다.

(2) 설계도서가 없을 경우

예비평가시 재료의 설계강도를 알 수 없을 경우 건설연도에 따라 표 1.2.3의 기본값에 재료상태에 따른 감소계수를 곱하여 사용한다. 혹은 다음과 같이 부재의 길이/폭비를 근거로 파괴모드를 예상한 후 연도별 재료강도의 기본값에 근거한 표 3.3.1의 평균전단응력을 사용할 수 있다.

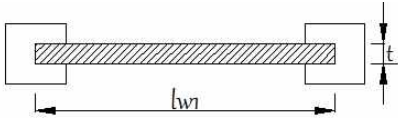
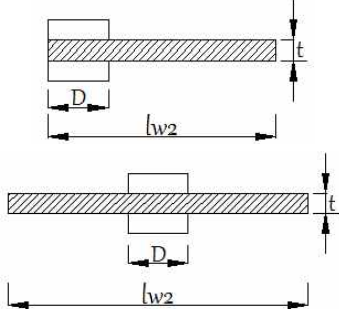
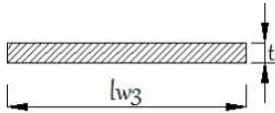
표 3.3.1 기둥의 평균전단응력

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

여기서, h_o : 기둥의 순높이, D : 하중방향 부재단면의 폭

대상건물의 전단벽은 건설연도에 무관하게 전단파괴형 부재로 가정하여 내력을 산정하며, 이때 전단벽의 단면적 A_{sw} 및 전단응력 v_{sw} 의 산정은 표 3.3.2를 따른다.

표 3.3.2 전단벽의 종류에 따른 단면적 및 전단응력 산정

종류 \ 단면	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 3.3.1에 의해 산정된 기둥의 전단응력과 표 3.3.2에 의한 벽의 전단응력 중 큰 값을 사용한다.

(3) 조적채움벽이 있을 경우

조적채움벽(Infilled wall)의 효과는 일반적으로 강도와 강성을 증가시키나 연성도는 크게 감소시키는 효과를 가지는 것으로 알려져 있다. 따라서 예비평가에서는 조적채움벽의 역할을 보수적으로 평가하여 0.035 MPa의 전단지배형 횡하중 저항능력을 가지는 것으로 가정한다. 단, 바닥에서부터 천정까지 채움벽의 양측면이 모르타르로 마감되어 있으며 보하단부가 밀실하게 채워져 있을 경우는 0.09 MPa를 사용할 수 있으며, 이 경우 경과년수에 따른 감소계수를 곱하여 사용한다. 단, 창호가 존재할 경우 창호의 면적은 공제하며 조적채움벽에 의해 기둥의 일부가 구속을 받을 경우 기둥의 파괴모드가 달라질 수 있으므로 구속을 받는 부분을 제외하고 기둥의 순높이를 산정한다.

[해설]

전단벽의 기본 전단응력은 일본의 규정을 원용한 것이나 기둥의 경우와 같이 국내의 기본재료강도 및 일반적인 배근에 근거하여 다음과 같이 산정된 값을 기본 전단응력으로 사용할 수도 있다.

벽체분류	건설연도			
	1970년 이전	1971년-1987년	1988년-2000년	2001년 이후
기둥이 없는 경우	0.71	0.74	0.79	0.86

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

한쪽에 기둥이 있는 경우	1.42	1.48	1.58	1.72
양쪽에 기둥이 있는 경우	2.13	2.22	2.37	2.58
단위: MPa				
조적채움벽의 저항능력 0.09 MPa와 0.035 MPa는 표 6.1.1 조적채움벽의 설계기준강도 기본값에서 상태가 불량일 경우 수평 및 수직 줄눈이 밀실하게 채워진 경우와 수직 줄눈이 밀실하게 채워지지 않은 경우에 각각 해당한다.				

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.

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

여기서,

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

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

단, 전단지배형부재의 저항능력산정시 재료강도는 하한값(공칭강도)을 사용하고, 휨지배형부재의 저항능력산정시 재료강도는 평균값(기대강도)을 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.

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

여기서,

DCR_i : i 층의 DCR

S_{XS} : 재현주기 및 지반조건에 따른 단주기스펙트럼가속도

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

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

A_i : i 층 바닥면적의 합

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

h_{ℓ} : 밑면으로부터 ℓ 층까지 높이

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

C_i : i 층의 저항능력

λ_s : 비정형성에 의한 구조물의 저항능력의 감소를 고려하기 위한 비정형계수

비정형계수 λ_s 는 식 (3.3.4)로 산정한다.

$$\lambda_s = 0.9^n \quad (3.3.4)$$

여기서, n 은 아래의 6가지 사항 중 해당하는 항목의 수를 나타낸다. 단, 5번 항목에 해당할 경우 다른 항목의 수의 합에 2를 더한다.

1. L, T, U, H형 평면에서 돌출부의 면적이 전체평면면적의 20%를 초과할 경우, 단 돌출부는 튀어나온 길이가 폭의 0.5배 이상인 경우만 고려한다.
2. 평면치수의 장변 대 단변의 비가 8을 초과하는 경우
3. 층고가 가장 낮은 층의 층고가 가장 높은 층의 층고의 70%이하일 경우. 단, 최상층은 가장 층고가 낮은 층에 해당하지 않음.
4. 가장 면적이 작은 층의 면적이 가장 큰 층의 면적의 70%이하일 경우. 단, 최상층은 가장 면적이 작은 층에 해당하지 않음.
5. 상층부 수직부재의 단면적 합이 하층부 수직부재의 단면적 합에 비해 30%를 초과하는 경우 (필로티 등). 단, 기둥사이의 조적벽체가 밀실하게 채워진 경우, 조적벽체도 수직부재로 본다.
6. 벽체의 강성 중심이 평면의 중심에서 벽체의 수직방향으로 전체 평면길이의 1/6을 초과하는 경우. 단, 기둥만 존재하는 경우에는 해당되지 않는다. 벽체의 강성중심 e 는 식 (3.3.5)로 산정한다.

$$e = \frac{\sum_{i=1}^n l_{w_i}^3 x_i}{\sum_{i=1}^n l_{w_i}^3} \quad (3.3.5)$$

여기서, l_{w_i} 는 i 번째 벽체의 길이, x_i 는 평면중심에서 i 번째 벽체중심까지의 거리를 나타낸다.

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

표 3.3.3 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

[해설]

일반적으로 전단파괴 지배가 최대 내력을 발휘하는 변형의 크기는 휨파괴 지배 부재가 최대내력을 발휘하는 변형의 크기보다 매우 작다. 이는 전단파괴 지배가 최대 내력을 보이는 변형에서 휨파괴 지배 부재는 최대내력을 보이지 않는 것을 의미한다. 또한, 휨파괴 부재의 경우 연성거동을 보이기 때문에 단순히 부재의 최대내력만으로 지진저항 능력을 평가하면 구조물의 내진성능을 과소평가 할 수 있다. 본 요령에서는 이러한 점을 고려하여 전단파괴 부재와 휨파괴 부재가 혼재되어 있는 경우, 식 (3.3.2)와 같이 전단파괴 부재의 내력과 휨파괴부재 내력의 70%를 합한 값과 휨파괴 부재의 연성능력을 고려하여 휨파괴 부재 내력에 D_{μ} 만큼 곱한 값 중 큰 값을 전체 내력으로 산정하였다. 또한, 기존 내진설계되지 않은 건축물의 경우 내진설계된 건축물보다 연성능력이 크지 않음을 고려하여, 본 요령의 예비평가단계에서 휨지배형부재의 연성능력 D_{μ} 는 2.0으로 비교적 작은 값으로 산정하였다. 이는 내진설계되지 않은 일반적인 철근콘크리트 구조물도 대부분의 부재가 휨파괴 거동을 보이는 경우 항복변형이후 최대변형이 항복변형의 2배 정도는 될 수 있음을 고려하여 결정한 값이다.

표 3.3.4 철근콘크리트조 예비평가 시트

1. 기본사항

건물의 명칭 : _____

건물의 위치 : _____

건물의 규모 : 지상 ____층, 지하 ____층

건설년도 : _____년 경과년수 : _____년

지반종류 : _____ 지진구역 : _____

성능목표

지진위험도(재현주기) : _____ 성능수준 : _____

지진구역계수(Z) : _____ (표 2.2.1)재현주기에 따른 위험도계수(I) : _____ (표 2.2.2)유효지반가속도($S = Z \times I$) : _____ (식 2.2.1)단주기 지반증폭계수(F_a) : _____ (표 2.2.4)단주기스펙트럼가속도($S_{XS} = S \times 2.5 \times F_a$) : _____

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 $Demand = S_{XS} \cdot W \cdot \gamma$

층별 요구량

	층높이 (h_i), m	층바닥 면적, m^2	층중량 (w_i) kN	$w_i \times h_i$	$\sum_{\ell=i}^n w_{\ell} h_{\ell}$	층전단력 분포계수	요구량 (kN)
합계							

3. 비형정지수 λ_s 의 산정

$$\lambda_s = 0.9^n$$

여기서, n 은 아래의 6가지 사항 중 해당하는 항목의 수를 나타낸다.

- 1) 평면에서 돌출부의 면적이 전체평면면적의 20%를 초과하는 것
- 2) 평면치수의 장변 대 단변의 비가 8을 초과하는 것
- 3) 층고가 가장 낮은 층의 층고가 가장 높은 층의 층고의 70%이하일 경우
- 4) 가장 면적이 작은 층의 면적이 가장 큰 층의 면적의 70%이하일 경우
- 5) 필로티와 같이 상층부의 수직부재의 단면적의 합이 하층부의 단면적의 합보다 30%를 초과하는 경우
- 6) 벽체의 강성 중심이 평면의 중심에서 벽체의 수직방향으로 전체 평면길이의 1/6을 초과하는 경우.
(기둥만 존재하는 경우에는 해당되지 않음)

$$\text{벽체의 강성중심 } e = \frac{\sum_{i=1}^n l_{w_i}^3 x_i}{\sum_{i=1}^n l_{w_i}^3}$$

4. 층별 저항능력의 산정

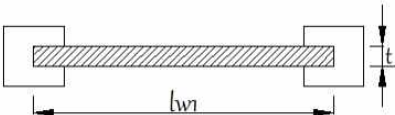
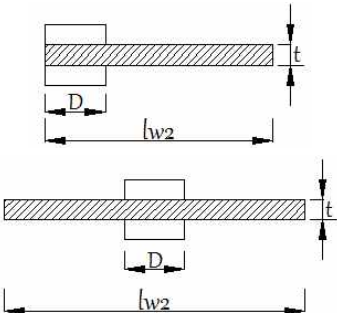
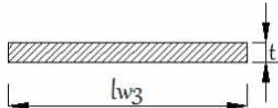
기둥의 평균전단응력

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 $2.0 \leq h_o/D < 6.0$	0.71	0.74	0.79	0.86
휨파괴 v_{fc}	장주 $h_o/D \geq 6.0$	0.46	0.47	0.48	0.53

여기서, h_o : 기둥의 순높이,

D : 하중방향 부재단면의 폭

전단벽의 종류에 따른 단면적 및 전단응력 산정

단면	단면 상세	단면적 및 전단응력
종류		
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 힘파괴 지배부재의 저항능력의 합 : $C_f = v_{fc} \sum A_{fc}$

평가층의 전단파괴 지배부재의 저항능력의 합 :

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

4.1 1층

1) 수직부재 단면적 정보

- 기도

[illegible]

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

- 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 (최댓값)		

4.2 2층

4.1과 동일한 형식으로 작성

4.3 3층

4.1과 동일한 형식으로 작성

5. 성능수준의 판정

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

층별 DCR

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

		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 조적조

3.3.2.1 재료강도 및 부재강도 평가

조적벽체의 평균전단응력은 다음 표 3.3.5에 의한 기본 전단응력에 표 3.3.6의 경과년수 및 재료상태에 따른 강도보정계수를 곱한 값을 사용하거나 재료시험을 통해 얻어진 평균전단응력을 사용할 수 있다.

표 3.3.5 조적조 평균전단응력

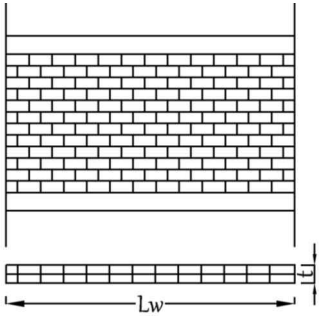
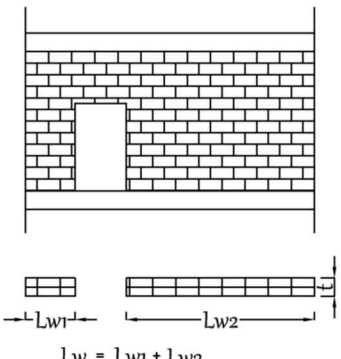
조적벽체의 종류	단면도	전단응력 및 단면적
개구부가 없는 경우		$v_n = 0.2 \text{ MPa}$ $A_n = t \cdot L_w$
개구부가 있는 경우		$v_o = 0.1 \text{ MPa}$ $A_o = t \cdot L_w$

표 3.3.6 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

3.3.2.2 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 떨어지며 크기가 다른 조적벽체의 혼재에 따라 응력집중이 발생할 수 있으므로 저항능력을 보수적으로 평가하기 위해 0.8을 곱한다.

$$DCR_i = \frac{S_{XS} \cdot W \cdot \gamma_i}{\lambda_s (0.8) \sum V_i} \quad (3.3.6)$$

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 13 kN/m^2 을 사용

A_i : i 층 바닥면적의 합

S_{XS} : 재현주기 및 지반조건에 따른 단주기스펙트럼가속도

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

h_ℓ : 밑면으로부터 ℓ 층까지 높이

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

λ_s : 식 (3.3.4)에 의해 산정되는 비정형계수

조적조의 등급산정은 표 3.3.7에 의한다.

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

표 3.3.7 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 3.3.8 조적조 예비평가 시트

1. 기본사항

건물의 명칭 : _____

건물의 위치 : _____

건물의 규모 : 지상 ____층, 지하 ____층

건설년도 : _____년 경과년수 : _____년

지반종류 : _____ 지진구역 : _____

성능목표

지진위험도(재현주기) : _____ 성능수준 : _____

지진구역계수(Z) : _____(표 2.2.1)

재현주기에 따른 위험도계수(I) : _____(표 2.2.2)

유효지반가속도($S = Z \times I$) : _____(식 2.2.1)

단주기 지반증폭계수(F_a) : _____(표 2.2.4)

단주기스펙트럼가속도($S_{XS} = S \times 2.5 \times F_a$) : _____

2. 층별 요구량의 산정

층 중량 : $W = \text{바닥면적} \times 13 \text{ kN/m}^2$

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

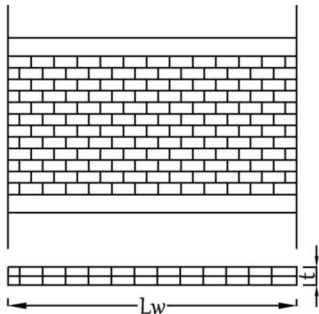
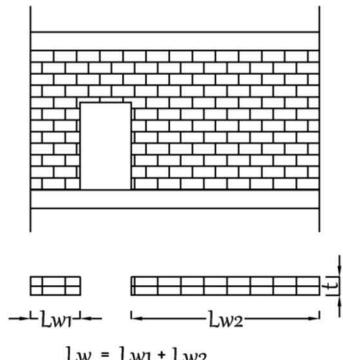
평가 층의 $Demand = S_{XS} \cdot W \cdot \gamma_i$

	층높이 (h_i), m	층바닥 면적, m^2	층중량 (w_i) kN	$w_i \times h_i$	$\sum_{\ell=i}^n w_{\ell} h_{\ell}$	층전단력 분포계수	요구량 (kN)
2층							
1층							
합계							

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

3. 층별 저항능력의 산정

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		$v_o = 0.1 \text{ MPa}$ $A_o = t \cdot L_w$

조적조의 경과년수 및 재료상태에 따른 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

경과년수 및 재료상태에 따른 보정계수(t) : 압축강도 : _____ 전단강도 : _____

$$\text{개구부율 } I = \frac{\text{개구부길이}}{\text{벽체길이}}$$

1층 전단강도

Wall ID	L	H	개구부유무	개구부율	전단강도	전단강도 합
X방향						
Y방향						

2층 전단강도

Wall ID	L	H	개구부유무	개구부율	전단강도	전단강도 합
X방향						
Y방향						

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

3. 성능등급의 결정

조적조 성능수준 판정을 위한 DCR 기준

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

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

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

최종 성능수준은 각 층 및 방향별로 성능수준을 결정한 후 가장 불리한 성능수준으로 정함

최종 성능수준 : _____

작성일자 : _____ 평가자 : _____

3.3.3 강구조 및 철골철근콘크리트조

강구조와 철골철근콘크리트조의 예비평가절차는 제시하지 않는다. 따라서 강구조와 철골철근콘크리트조의 내진성능평가를 위해서는 상세평가절차를 적용하여야 한다.

[해설]

강구조의 경우 지진하중에 대한 안전성판단을 위해서는 기둥 뿐 아니라 보부재와 접합부의 내력 평가가 필요하다. 또한 부재단면의 내력산정도 지지조건과 단면의 종류에 따라 달라져 복잡하므로 이를 고려한다면 예비평가의 실효성에 의문이 있다. 따라서 이번 개정에서는 강구조와 철골철근콘크리트조의 예비평가절차는 삭제하였다.

제 4 장 내진성능 상세평가

4.1 일반사항

4장은 상세평가를 통한 기존 건축물 내진성능평가의 세부 기술적인 사항을 규정한다. 4장에 규정된 평가절차는 선형정적절차, 선형동적절차, 비선형정적절차, 비선형동적절차의 4종류이다. 4.1은 내진성능평가 시 사용될 구조해석모델의 기본적인 요구조건을 규정한다. 4.2는 선형절차의 세부사항을 규정하고 있으며, 4.3과 4.4는 각각 비선형정적절차와 비선형동적절차의 세부사항을 규정한다. 비선형동적절차는 적용 시 특별한 요구조건이 없으나, 선형절차와 비선형정적절차의 경우 구조물 내 비탄성거동의 분포, 비정형성, 주기, 고차모드의 영향 등의 요구조건을 검토하여 만족할 경우에만 적용할 수 있으므로 주의하여야 한다. 4.5는 구조적 특성이 알려지지 않은 일반적이지 않은 구조부재의 강도와 변형특성을 구하기 위한 실험적인 절차에 대해 규정한다. 4.6은 전체 구조물의 성능 판정기준을 규정한다.

이 장에서 규정하는 상세평가는 표 2.1.1에 제시된 성능수준 가운데 구조요소의 성능에 대해서만 평가하며, 비구조요소의 성능수준은 제9장에 따라 평가한다.

[해설]

이 장은 기존 건축물의 상세평가에 사용되는 여러 절차의 기본개념을 제시한다. 3장의 예비평가는 많은 수의 건물을 빠른 시간내에 개략적으로 평가하거나 대상건물에 대한 정보가 불충분할 경우 보수적으로 평가하는 방법이다. 이에 반해 4장의 평가절차는 대상구조물에 대한 충분한 정보를 가지고 본격적으로 내진성능수준을 판단하기 위한 절차이다.

건축구조기준의 사양기반설계규정과 이 요령의 성능기반평가절차의 기본적인 차이는 구조물이 지진하중을 견디기 위해 필요한 연성능력을 구조물 전체로 고려하는가 아니면 부재별로 고려하는가이다. 예를들어 건축구조기준에 의한 구조해석과 4.2의 선형절차는 동일하게 선형해석에 기반하고 있으나 전자는 구조물 전체의 비선형능력인 R 값을 고려하여 지진하중 자체를 저감하고 후자는 저감되지 않은 지진하중을 사용하는 대신 부재별 비선형능력을 나타내는 m 계수를 사용하여 부재별로 성능수준을 판정한다. 4.3 또는 4.4의 비선형절차에서는 부재의 항복 혹은 파괴를 해석을 통해 직접적으로 모사하며, 부재별로 부재력(힘지배의 경우) 또는 비탄성 변형량(변형지배의 경우)을 근거로 성능수준을 판정한다. 비선형절차를 적용할 경우, 보다 정확한 내진성능의 파악이 가능하나 부재별 모델링 및 내진성능평가에 더 많은 작업이 필요하다.

4.1.1 모델링

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 건물주기 및 횡력저항에 영향을 미치므로 그 영향을 고려하여야 한다.

4.1.1.1 중력하중

내진성능평가를 위한 중력하중은 고정하중, 활하중, 및 적설하중의 조합으로 구성되며, 선형절차는 식 (4.2.8) 또는 식 (4.2.9), 비선형절차는 식 (4.3.1)에 따라 산정한다. 이 때 활하중은 건축구조기준에서 규정한 용도별 활하중의 25퍼센트를 사용하되 활하중의 저감은 적용하지 않는다. 적설하중은 건축구조기준에서 규정한 적설하중의 20퍼센트를 사용한다.

4.1.1.2 질량

질량은 건축구조기준(KDS 41 17 00)의 식 (7.2-1)에 정의된 유효건물중량을 중력가속도로 나눈 값을 사용한다.

[해설]

건축구조기준에 정의된 유효건물중량은 고정하중과 아래에 기술한 하중을 포함한다.

- ① 창고로 쓰이는 공간에서는 활하중의 최소 25%(공용차고와 개방된 주차장 건물의 경우에 활하중은 포함시킬 필요가 없음.)
- ② 바닥하중에 칸막이벽 하중이 포함될 경우에 칸막이의 실제중량과 0.5kN/m^2 중 큰 값
- ③ 영구설비의 총 하중
- ④ 적설하중이 1.5kN/m^2 을 넘는 평지붕의 경우에는 평지붕 적설하중의 20%.
- ⑤ 옥상정원이나 이와 유사한 곳에서 조경과 이에 관련된 재료의 무게

실무에서는 종종 유효건물중량을 중력하중과 동일한 값 또는 고정하중만을 사용하는 오류를 범한다. 하지만 위에 정의된 대로 고정하중은 하중과 질량 모두 동일하게 적용되나 그 외 하중은 동일하지 않다. 중력하중의 경우 고정하중에 건축구조기준에서 규정한 용도별 활하중의 25%와 적설하중의 20%가 추가되나 유효건물중량의 경우에는 고정하중에 위에 기술한 ①~⑤까지의 하중이 추가된다.

4.1.2 비틀림의 고려방법

선형절차의 경우 우발편심 및 비틀림 모멘트의 동적증폭을 고려하여야 한다.

[해설]

우발편심모멘트 및 비틀림의 동적증폭은 구조부재의 강도와 강성의 불규칙성을 고려하기 위한 것이다. 구조부재의 항복에 의한 강성변화를 고려할 수 있는 비선형해석의 경우 해석모델에 고려하지 않아도 된다.

4.1.3 지하층의 모델링

지하구조의 강성이 지상구조의 강성보다 매우 큰 경우, 지상구조를 분리하여 해석할 수 있다. 그렇지 않은 경우에는 지하구조를 지상구조와 함께 모델링하여야 한다. 지하구조물이 있는 경우의 모델링 및 평가는 8.6에 따른다.

4.1.4 감쇠비

선형절차와 비선형정적절차에서는 다음에 해당하지 않을 경우 5% 감쇠비를 가정한 응답스펙트럼을 사용한다. 비선형 동적절차의 감쇠비는 4.4.5에 따른다.

(1) 외장재가 없는 구조물의 경우, 감쇠비는 2%로 가정한다.

(2) 충분한 해석이나 실험에 의해 5%가 아닌 감쇠비 특성이 규명된 경우, 그 값을 사용할 수 있다.

4.1.5 건물 사이의 간격

(1) 대상건축물과 인접건물은 충돌을 방지하기 위해 최소 간격을 가져야 한다. 식 (4.1.1)은 i 층이 확보하여야 할 최소 간격을 나타낸다.

$$s_i = \sqrt{\Delta_{i1}^2 + \Delta_{i2}^2} \quad (4.1.1)$$

여기서,

Δ_{i1} : 대상 건축물의 i 층에서 고려하는 평가지진에 의해 발생하는 횡변위

Δ_{i2} : 인접 건축물의 해당층에서 고려하는 평가지진에 의해 발생하는 횡변위, 혹은 인접 건물 해당층의 층높이의 0.03배로 볼 수 있다.

s_i 는 대상 건축물의 해당층(i 층) 층높이의 0.04배 보다 클 필요는 없다.

(2) 단, 인명안전 혹은 붕괴방지의 성능수준 검토 시 두 건물이 동일한 구조형식을 가지고, 각층 바닥 판의 높이가 동일하며, 건물 높이의 차이가 낮은 건물의 높이를 기준으로 50% 이하일 경우 (1)의 규정은 적용하지 않아도 된다.

[해설]

(2)의 규정에 따라 신축줄눈(Expansion joint)이 있다고 하더라도 구조형식과 각 층바닥판의 높이가 동일하며 건물 높이의 차이가 크지 않은 경우 붕괴방지와 인명안전을 검토할 때 신축 줄눈사이의 간격을 검토하지 않아도 된다. 하지만 기능수행 혹은 거주가능의 성능목표를 가질 경우 식 (4.1.1)의 만족여부를 검토하여야 한다. 식 (4.1.1)을 만족하지 못할 경우 더 엄격한 내진보강을 통해 횡변위를 감소시키거나, 신축줄눈 좌우의 구조체를 연결시켜 하나의 구조물이 되도록 하는 방법을 고려할 수 있다.

4.1.6 변형지배거동과 힘지배거동

해석모델에 포함된 모든 부재의 거동은 표 4.1.1에 따라 변형지배거동과 힘지배거동으로 분류한다.

표 4.1.1 변형지배거동과 힘지배거동의 구분

	변형지배거동	힘지배거동
모멘트 골조의 - 보 - 기둥 - 접합부	휨모멘트 휨모멘트 -	전단력 축력, 전단력 ¹⁾ 전단력 ²⁾
전단벽	휨모멘트, 전단지배형 벽체의 전단력 ³⁾	축력, 전단력
가새골조의 - 가새 - 보 - 기둥 - 전단연결재	축력 - - 전단력	- 축력 축력 축력, 휨모멘트
접합부	축력, 전단력, 휨모멘트 ²⁾	축력, 전단력, 휨모멘트

1) 철골조 모멘트골조에서 전단력은 변형지배거동으로 보는 경우도 있다.

2) 철골조에서 접합부의 축력, 전단력, 휨은 변형지배거동으로 보는 경우도 있다.

3) 압축력이 $0.15f_{ck}A_g$ 이하인 경우에 한하여 적용한다.

[해설]

힘지배거동은 최대 하중 이후 변형능력이 없는 취성적인 거동이다. 따라서 힘지배거동이 지배적인 구조물인 경우 급격한 붕괴가 발생할 수 있다.

모델링 변수가 제시되어 있는 경우 변형지배거동으로 분류된다. 하지만 철근콘크리트 기둥의 경우 휨모멘트는 P-M1-M2 상관작용에 의해 힘지배인 P에 연동되며, 축력비가 높은 비내진기둥의 경우 사실상 비탄성변형능력을 가지지 못할 경우도 있다. 5장에 제시된 m 계수 및 골격 곡선의 a, b, c 계수에서 $m = 1$ 이거나 $a = 0.0$ 으로서, 연성능력이 없는 경우도 허용기준을 제시하고 있는데, 이러한 경우는 힘지배로 분류하는 것이 안전측일 수도 있다. 즉, 기둥의 경우 높은 축력비의 기준값이 0.6이며, 이 경우 연성능력이 없거나 매우 작은 값이므로 축력비가 0.6 이상이면 힘지배, 그 이하이면 변형지배로 분류할 수도 있다.

4.1.7 1차부재 및 2차부재

모든 부재는 1차부재와 2차부재로 구분한다. 1차부재는 주어진 성능수준을 달성하기 위해 지진력에 저항하는 부재이고 2차부재는 지진력에 대한 저항이 요구되지 않는 부재로 주로 중력하중을 저항하도록 설계된 부재이다. 설계 시 2차부재로 취급되었으나 지진력 작용 시 해당 부재의 파괴가 다른 1차부재의 파괴를 가져올 경우, 그 부재는 1차부재로 보아야 한다.

선형절차를 위한 해석모델에는 1차부재만을 포함시킨다. 2차부재의 횡강성의 합이 1차부재의 강성의 합의 25%를 넘는 경우, 2차부재의 일부를 1차부재로 변경하여 2차부재 횡강성의 합이 1차부재 횡강성합의 25%를 초과하지 않도록 조정하여야 한다. 또한 특정 2차부재가 인접한 1차부재의 하중이나 변위요구량을 증가시킬 경우 그 2차부재를 1차부재로 보고 해석모델에 포함시켜야 한다.

비선형절차에서는 1차부재와 2차부재를 구분하지 않고 모두 모델링한다. 비구조요소의 초기강성이 전체강성의 10%를 초과하거나 층 강도 합의 10%를 초과할 경우, 구조요소로 분류하고 해석모델에 포함시켜야 한다.

1차 또는 2차부재를 선택적으로 분류하여 건축물을 비정형에서 정형으로 바꾸어서는 안 된다

[해설]

2차부재는 지진력에 대해 저항하도록 설계된 부재가 아니므로 지진하중 작용시 1차부재에 비해 강도와 강성의 열화가 심하게 발생한다. 선형해석을 기반으로 하는 선형절차에서는 부재들 사이에 비선형거동이 균일하게 발생하지 않는 경우 평가결과의 신뢰성이 낮아지므로 보수적인 평가를 위해서는 2차부재를 무시하고 1차부재만을 모델링한다. 2차부재의 기여도가 높아서 해석모델에 2차부재를 포함하더라도 선형해석에서는 2차부재들의 조기파괴에 의한 건축물의 비정형 응답을 고려할 수 없다. 따라서 선형절차에서는 2차부재의 횡강성의 합이 1차부재의 강성의 합의 25%를 넘지 않아야 한다는 제한 조건을 설정하였다. 2차부재의 기여도는 해석모델에 2차부재를 포함시키고 해석결과의 변동을 분석하여 확인할 수 있다.

비선형해석의 경우 부재별 강도와 강성의 열화에 의한 효과를 고려할 수 있으므로 1차부재와 2차부재의 구별이 없이 모든 부재를 해석모델에 포함시켜 보다 정확히 평가할 수 있다.

4.1.8 재료강도와 부재강도

부재의 각종 공칭강도는 이 요령에서 특별히 규정하지 않는 한 건축구조기준에 따라 산정된 값을 사용한다. 단, **강도감소계수 ϕ 는 적용하지 않는다.**

변형지배거동에서 부재강도는 기대강도를 사용하며, 힘지배거동에서 부재강도는 공칭강도를 사용한다. 콘크리트, 조적조 및 강재의 공칭강도와 기대강도는 각각 5장, 6장 및 7장에 따른다.

. 허용응력을 사용할 경우, 공칭강도는 강재의 경우 허용강도의 1.7배, 조적의 경우 2.5배로 볼 수 있다.

4.2 선형절차

4.2.1 일반사항

선형절차는 4.2.2에 규정된 바와 같이 구조물에 비정형성이 없고 비탄성 거동이 크지 않으며 비교적 균등히 발생하는 경우에만 사용할 수 있다. 비탄성거동의 크기와 분포는 선형절차에 따른 해석을 수행한 후 부재별로 식 (4.2.1)의 DCR을 산정하여 판단한다.

$$DCR = \frac{Q_{UD}}{Q_{CE}} \quad (4.2.1)$$

여기서,

Q_{UD} : 선형절차의 하중조합에 의해 발생하는 부재력

Q_{CE} : 평균재료강도를 사용하여 산정한 부재의 기대강도

DCR은 부재별로 축력, 휨모멘트, 전단력 등 모든 작용력에 대해 각각 산정한다.

지진하중의 산정 및 해석절차에 따라 선형정적절차와 선형동적절차를 사용할 수 있다. 선형정적절차의 지진하중은 4.2.4에 따른 의사지진력을 사용하며, 선형동적절차는 4.2.5에 규정된 바와 같이 응답스펙트럼해석과 유사하게 각 모드의 영향을 조합하여 구한다.

4.2.2 선형절차의 적용제한

산정된 DCR이 3.0, 혹은 선형절차에서 제시하는 부재의 조건에 따른 m 계수를 초과하는 경우, 아래 항목의 비정형성 중 하나라도 해당된다면 선형절차는 사용할 수 없다.

- (1) 약층 비정형 : 각 방향별로 해당층과 인접층에서 층전단력에 대한 평균DCR의 비율이 125%를 초과하는 경우 약층 비정형에 해당한다. 층전단력에 대한 평균DCR, 즉 \overline{DCR} 은 식 (4.2.2)로 산정한다.

$$\overline{DCR} = \frac{\sum_1^n DCR_i V_i}{\sum_1^n V_i} \quad (4.2.2)$$

여기서,

DCR_i : i 번째 부재에서 작용하는 모든 작용력에 대해 산정된 DCR 중 가장 큰 값

V_i : i 번째 부재의 전단내력

n : 해당층 부재의 수

- (2) 비틀림 강도 비정형 : 각 층의 부재를 강도의 중심점을 기준으로 상하 혹은 좌우로 나눌 때 한쪽 방향에 위치한 부재들의 DCR 값 중 최댓값과 다른 쪽에 위치한 부재들의 DCR 값 중 최댓값의 비율이 1.5를 초과할 경우, 비틀림 강도 비정형에 해당한다. 단, 해당층이 유연한 격막일 경우는 고려하지 않는다.

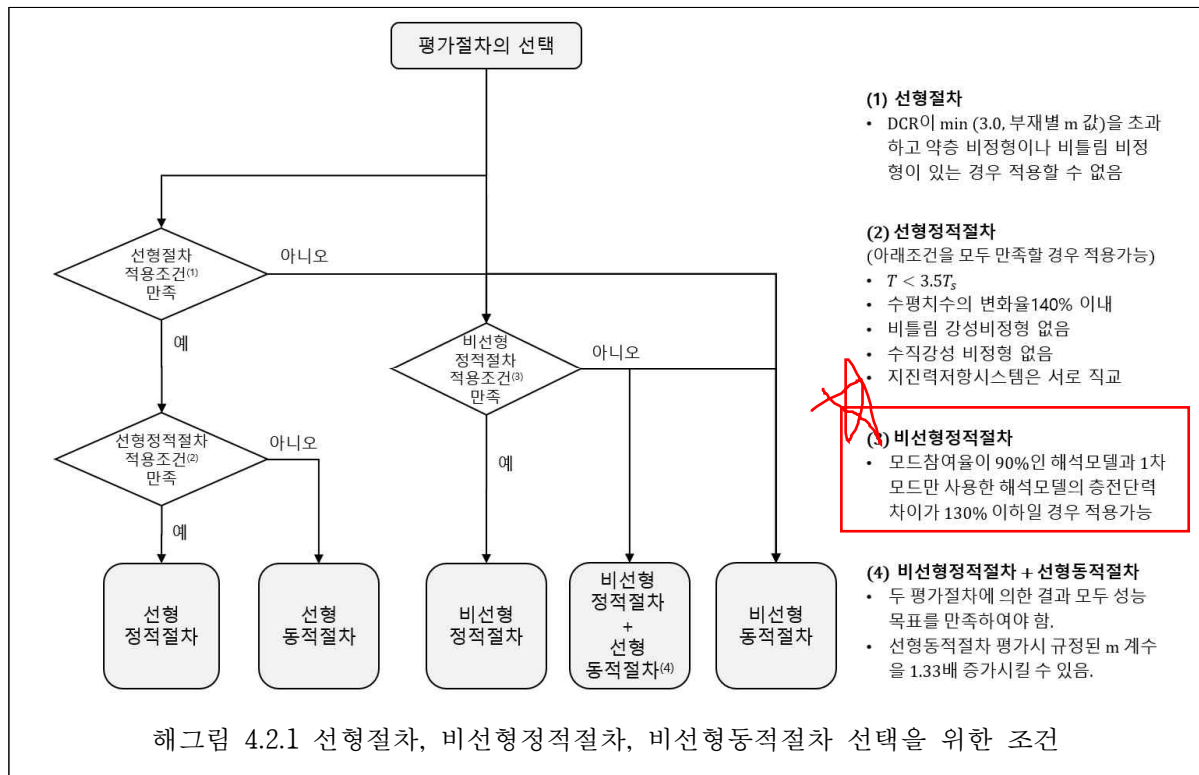
4.2.3 선형정적절차의 적용 제한

선형정적절차를 사용하기 위해서는 4.2.2의 규정 이외에 아래의 추가적인 제한사항을 검토하여야 한다. 즉, 선형정적절차는 아래 규정 중 하나라도 해당될 경우 적용할 수 없으나, 4.2.2의 규정을 만족할 경우 4.2.5 선형동적절차를 사용할 수 있다.

- (1) 건물의 기본주기 T 가 $3.5T_s$ 보다 큰 경우, ($T_s = S_{X1}/S_{XS}$)
- (2) 한 층의 수평치수가 인접층의 해당 방향 치수의 1.4배를 초과할 경우 (옥탑층은 제외)
- (3) 비틀림 강성 비정형 (임의 층 평면내 임의점에서 최대 변위가 평균변위의 150%를 초과)이 있는 경우
- (4) 수직 강성 비정형 (옥탑층을 제외한 임의 층의 평균 변위각이 인접한 상부층 혹은 하부층의 평균 변위각의 150%를 초과)이 있는 경우
- (5) 직교하지 않는 지진력 저항시스템을 가진 경우

[해설]

4.2 ~ 4.4에 규정된 선형절차, 비선형정적절차, 비선형동적절차는 비선형거동의 분포, 비정형성, 주기, 고차모드의 영향 등의 각 절차별로 규정된 조건을 만족할 경우에만 적용할 수 있다. 해그림 4.2.1은 성능기반평가절차의 선택 시 고려되는 적용조건의 만족 여부를 검토하기 위한 흐름도이다.



4.2.4 선형정적절차

(1) 건축물에 작용하는 수평방향의 의사지진력 V 는 식 (4.2.3)을 사용해 계산한다.

$$V = CS_a W \quad (4.2.3)$$

여기서,

C : 최대 비탄성변위와 선형탄성변위의 보정을 위한 수정계수로 표 4.2.3의 값을 사용한다.

S_a : 고려하는 방향의 건물 기본주기에 해당하는 응답스펙트럼가속도로 2.1에서 규정한 성능목표의 지진위험도에 따라 구한다.

W : 건축구조기준(KDS 41 17 00) 식 (7.2-1)에 정의된 유효건물중량

표 4.2.1 최대 비탄성변위와 선형탄성변위의 보정을 위한 수정계수, C

건물의 형식	층수			
	1	2	3	4층 이상
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

(2) 식 (4.2.3)에 의해 구한 의사지진력은 식 (4.2.4) 및 식 (4.2.5)에 따라 수직으로 분포된다.

$$F_x = C_{vx} V \quad (4.2.4)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (4.2.5)$$

여기서,

V : 의사지진력

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

w_i, w_x : i층, x층의 유효중량

h_i, h_x : 밑면으로부터 i층, x층까지의 높이

[해설]

내진설계는 설계지진 수준에서 건물의 비선형응답을 허용하는 철학을 근거로 하고 있다. 비선형거동을 하는 경우, 선형거동의 경우보다 작은 크기의 부재력이 발생한다. 따라서 건축건물의 내진설계기준에서는 실제 예상되는 지진하중을 반응수정계수 R로 나누어 감소시킨 밑면전단력을 사용한 탄성해석을 통해 구한 부재력으로 설계한다. 하지만 감소된 밑면전단력으로 구한 탄성변위는 실제 비선형거동에서 예상되는 변위보다 매우 작게 산정된다. 따라서 변위를 검토하는 경우에는 감소된 밑면전단력으로부터 계산된 변위를 변위증폭계수를 사용하여 증가시킬 필요가 있다.

이에 반해 내진성능평가를 위한 선형절차에서는 비선형 거동을 고려하기 위해 다른 접근 방법을 사용한다. m 계수법에서는 식 (4.2.3)에 정의된 의사지진력을 사용한다. 의사지진력은 비선형거동을 통해 발생하는 최대 비탄성변위와 같은 크기의 탄성변위를 나타내는 지진하중을 의미한다. 따라서 건축구조기준에 규정된 등가정적해석법에서의 밑면전단력 산정식에서 건물의 비탄성변형을 고려하여 부재력을 감소시키는 계수인 반응수정계수와 건물의 중요도에 따라 설정된 중요도계수가 사용되지 않은 것이다. 이때 주기가 짧은 저층구조물의 경우, 실제 비탄성변위는 반응수정계수와 중요도계수가 사용되지 않은 지진하중 작용 시의 탄성변위에 비해 크게 나타나는 경향이 있으므로 이를 고려하기 위해 표 4.2.1의 수정계수가 사용되었다.

만약 건물이 설계지진 작용 시 선형탄성적인 거동을 하는 경우 의사지진력과 선형절차에 의해 산정된 부재력은 실제 발생하는 부재력과 동일할 것이다. 그러나 일반적으로 건물은 강진시 비탄성적인 거동을 하도록 설계되므로, 이 경우 의사지진력 및 선형절차에 의해 산정된 부재력은 실제 부재력 즉, 부재 항복시의 부재력을 초과할 것이다. 선형절차는 실제 건물의 비선형 거동을 대략적으로 나타내며, 하중 재분배나 다른 비선형 효과를 무시한 것이다. 따라서 부재별로 의사지진력에 의한 부재력의 적정성은 부재의 연성능력을 고려한 m 계수를 사용하여 검토한다.

4.2.5 선형동적절차

선형동적절차의 순서는 다음과 같다.

- (1) 해석모델의 구성 및 고유치 해석
- (2) 각 모드별 평가지진의 가속도응답스펙트럼에 대한 응답 산정
- (3) 응답스펙트럼해석을 통한 모드응답의 조합

응답스펙트럼 해석에 사용되는 구조물의 주기는 구조해석모델의 고유치해석을 통해 구한다. 이 때 구조요소의 강성은 균열의 영향을 고려한 유효강성이 적용되어야 한다. 또한 조적채움벽과 같은 주요 비구조요소도 건물주기에 영향을 미치므로 그 영향을 고려하여야 한다. 하지만 신축건물의 내진설계와 달리 등가정적법으로 구한 밀면전단력과 응답스펙트럼법의 결과를 비교하여 밀면전단력을 등가정적법 이상으로 증가시키는 절차는 적용하지 않는다. 응답스펙트럼해석에 의해 구한 해석결과에도 표 4.2.1의 수정계수 C를 반영하여야 하며, 하중조합 및 허용기준도 동일하게 적용한다.

모드 응답은 제곱합제곱근(SRSS)이나 완전2차조합(CQC)을 사용하여 조합한다. 각 모드의 주기 차이가 25% 이내일 때에는 CQC를 사용하여야 한다. 응답스펙트럼 해석에서 사용되는 모드의 수는 각 방향별로 참여질량이 최소 90% 이상이 되도록 하여야 한다. 다축가진효과는 4.2.7에 따라서 고려한다. 혹은 다축효과를 고려하기 위해 SRSS를 사용하여 두 직각 방향의 반응을 조합할 수 있지만 CQC는 사용할 수 없다.

[해설]

위의 절차는 건축구조기준의 응답스펙트럼해석법과 유사하다. 그러나 건축구조기준과 달리 해석을 통해 구한 결과를 등가정적하중의 결과와 비교하여 밀면전단력을 보정하지는 않는다. 건축구조기준에서 밀면전단력을 보정하는 이유는 신축건물의 경우 실제 시공시 설계시의 가정 사항과 다르게 건축될 가능성 즉 불확실성을 고려하기 위함이나, 기존 건축물의 경우 충분한 조사를 통해 주기에 영향을 줄 수 있는 요소(조적채움벽 등)의 영향을 비교적 정확히 고려할 수 있기 때문이다.

4.2.6 주기

- (1) 구조물의 고유주기는 이 절의 약산식에 따라 산정하거나, 저항요소의 변형특성과 구조적 특성을 고려한 기타 적절한 방법으로 구할 수 있다. 다만, 기타 적절한 방법에 의하여 산정한 고유주기는 약산식에 따라 구한 근사 기본 진동주기 T_a 에 표 4.2.2의 주기상한계수 C_u 를 곱한 값을 초과할 수 없다.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (4.2.6)$$

여기서, $C_t = 0.0466$, $x=0.9$: 철근콘크리트모멘트골조

$C_t = 0.0724$, $x=0.8$: 철골모멘트 골조

$C_t = 0.0731$, $x=0.75$: 철골편심가새 골조 및 철골좌굴방지가새골조

$C_t = 0.0488$, $x=0.75$: 철근콘크리트전단벽구조, 기타골조

h_n = 건축물의 밑면으로부터 최상층까지의 전체높이(m)

강성에 영향을 줄 수 있는 비보강채움벽이 있는 철근콘크리트모멘트골조, 철골모멘트골조는 상기식에 2/3를 곱하여 산정한다. 콘크리트 전단벽체가 주요 횡저항인 시스템은 기타골조의 주기식을 적용한다.

(2) 철근콘크리트와 철골 모멘트저항 골조에서 12층을 넘지 않고 층의 최소높이가 3m 이상일 경우, 근사 고유주기 T_a 는 식 (4.2.7)에 의하여 구할 수 있다.

$$T_a = 0.1N \quad (4.2.7)$$

여기서,

N : 층수

표 4.2.2 주기상한계수, C_u

S_{X1}	C_u
0.4 이상	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
0.1 이하	1.7

S_{X1} 의 중간값에 해당할 경우 주기상한계수 C_u 는 직선보간한다.

[해설]

주기산정식은 건축구조기준과 동일하다.

4.2.7 하중조합 및 다축가진효과

(1) 선형절차 사용 시 중력하중조합에 의한 부재력 Q_G 는 식 (4.2.8)과 식 (4.2.9)로 산정한다.

$$Q_G = 1.1(Q_D + Q_L + Q_S) \quad (4.2.8)$$

$$Q_G = 0.9Q_D \quad (4.2.9)$$

여기서,

Q_D : 고정하중에 의한 부재력

Q_L : 건축구조기준에서 규정된 용도별 활하중의 25%에 의한 부재력

Q_S : 건축구조기준에서 규정된 적설하중의 20%에 의한 부재력. 단, 1.5 kN/m² 이하일 경우 무시한다.

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

(2) 지진하중에 의한 부재력 Q_E 는 다축가진효과를 고려하여 한 방향 지진하중과 직각방향 지진하중의 30%에 의한 부재력을 조합하여 식 (4.2.10)로 산정한다.

$$\begin{aligned} Q_E &= \pm 1.0E_X \pm 0.3E_Y \\ Q_E &= \pm 1.0E_Y \pm 0.3E_X \end{aligned} \quad (4.2.10)$$

여기서, E_X 와 E_Y 는 각각 x축과 y축 방향의 지진하중이다.

(3) 변형지배거동을 하는 부재의 부재력 (Q_{UD})은 식 (4.2.11)로 산정한다.

$$Q_{UD} = Q_G + Q_E \quad (4.2.11)$$

여기서,

Q_{UD} : 중력하중과 지진하중의 조합하중에 의한 부재력

Q_G : 중력하중에 의한 부재력

Q_E : 지진하중에 의한 부재력

(4) 힘지배거동을 하는 부재의 부재력(Q_{UF})은 식 (4.2.12) 또는 식 (4.2.13)에 의해 산정한다.

$$Q_{UF} = Q_G \pm \frac{\chi Q_E}{CJ} \quad (4.2.12)$$

$$Q_{UF} = Q_G \pm \frac{\chi Q_E}{C} \quad (4.2.13)$$

여기서,

Q_{UF} : 중력하중과 지진하중의 조합에 의한 부재력

C : 표 4.2.1에서 정의된 수정계수

J : 하중전달 감소계수

χ : 성능수준에 따른 보정계수, J의 값으로 DCR의 최소치를 택한 경우 1.0으로 하고 그렇지 않을 경우 붕괴방지의 성능수준에 대해서는 1.0, 인명안전 혹은 거주가능에 대해서는 1.3을 사용

J는 고려하는 부재의 하중이 횡하중 저항시스템 내의 부재로부터 전달될 때 그 횡하중 저항시스템 부재의 항복에 의해 전달되는 하중이 감소되는 효과를 나타낸다. J의 값은 하중전달경로상 부재의 DCR중 최솟값으로 하거나 지진구역 1일 경우 2.0, 지진구역 2일 경우 1.5로 하며, 거주가능 수준의 검토를 위해서는 1.0로 본다. 하중을 전달하는 횡하중 저항시스템 내의 부재가 항복하지 않을 경우 1.0으로 본다.

[해설]

힘지배거동인 부재력은 극한해석(limit analysis)의 개념을 사용하여 직접적으로 구할 수도 있다. 즉 인접부재의 항복강도를 통해 그 부재에 전달될 수 있는 최대힘을 직접 계산하는 것이다. 예를 들어, 가새접합부에 작용하는 부재력은 가새의 축방향 강도를 넘을 수 없으며, 보의 전단력은 중력에 의한 전단력에다 지진하중에 의해 보단부가 휨항복할 때 발생하는 전단력을 더한 값을 넘을 수 없다. 모멘트 골조에서 기둥의 축력은 그 기둥이 지지하고 있는 보들의 최대전단력을 합한 값이다. 만약 힘지배거동이 발생하기 전에 변형지배거동이 발생한다면 파괴는 발생하지 않는다. 그 이유는 변형지배 부재의 항복이 힘지배 부재에 전달될 수 있는 부재력의 크기를 제한하기 때문이다.

힘지배거동인 부재력과 변형은 식 (4.2.12) 및 (4.2.13)과 같이 식 (4.2.3)의 의사지진력에 의한 부재력과 변형을 CJ 혹은 C로 나누어 평가한다. 식에서 설계지진력을 C로 나누는 것은 비탄성 변위를 계산하기 위해 증폭시켰던 설계지진력을 부재력 계산을 위해 다시 저감시키기 위함이다. 식 (4.2.12)는 인접부재의 항복이 선행하는 경우 힘지배 부재에 전달되는 하중의 최대크기가 제한되는 것을 고려하기 위해 J를 사용하여 설계지진력을 저감시키는 것이다.

ASCE 41-17에서는 인명안전 혹은 거주가능의 성능수준평가지 힘지배거동이 붕괴에 대해 충분한 안전율을 가지도록하기 위해 보정계수 χ 를 추가하였다.

4.2.8 부재별 허용기준

(1) 변형지배거동의 만족여부는 식 (4.2.14)에 따라서 판정한다.

$$Q_{CE} \geq \frac{Q_{UD}}{m} \quad (4.2.14)$$

여기서,

Q_{UD} : 중력하중과 지진하중의 조합에 의한 부재력

m : 부재의 예상 연성능력을 고려한 계수 (m 계수)

Q_{CE} : 기대재료강도를 사용하여 산정한 부재의 기대강도

부재의 변형능력을 고려한 m 계수는 구조시스템에 따라 5장, 6장 및 7장에 표로 제시되어 있다. 이들 표는 변형지배거동에 대한 허용기준이다.

(2) 힘지배거동의 만족여부는 식 (4.2.15)에 따라 판정한다.

$$Q_{CN} \geq Q_{UF} \quad (4.2.15)$$

여기서,

Q_{UF} : 중력하중과 지진하중의 조합에 의한 부재력

Q_{CN} : 공칭재료강도를 사용하여 산정한 부재의 공칭강도

4.3 비선형정적절차

4.3.1 일반사항

비선형정적절차에 사용될 구조해석모델은 이 장에 제시된 방법을 따라서 구축한다.

- (1) 구조해석모델에 포함되는 구조요소는 해당부재의 조건에 따라 5장, 6장 및 7장에 제시된 모델링 변수를 사용하여 모델링하고 해석한 후 부재별 허용기준과의 비교를 통해 부재별 성능수준을 판정한다.
- (2) 비선형정적절차에 사용되는 횡하중의 분포는 구조물의 1차모드가 지배적이라는 가정으로부터 구한 밀면전단력의 수직분포를 사용한다. 따라서 비선형정적 푸시오버해석은 기본적으로 고차모드의 영향이 크지 않은 건물에 사용할 수 있다.
- (3) 고차모드의 영향은 응답스펙트럼법을 사용하여 판정한다. 즉, 각 모드의 참여계수의 합이 전체 질량의 90%인 해석모델과 1차모드만을 사용한 해석모델의 해석 결과를 비교하여 각 층의 층전단력이 130% 이상 차이가 날 경우 고차모드의 영향이 큰 구조물로 판정한다.
- (4) 고차모드의 영향이 큰 구조물로 판명된 경우, 비선형정적절차를 적용하기 위해서는 선형동적절차에 따른 해석을 추가로 수행하여 내진성능을 판정해야 한다. 이때 사용되는 선형동적절차에는 규정된 m 계수를 1.33배 증가시킨 값을 사용하며 두 가지 평가결과 중 불리한 쪽으로 내진성능을 판정한다.

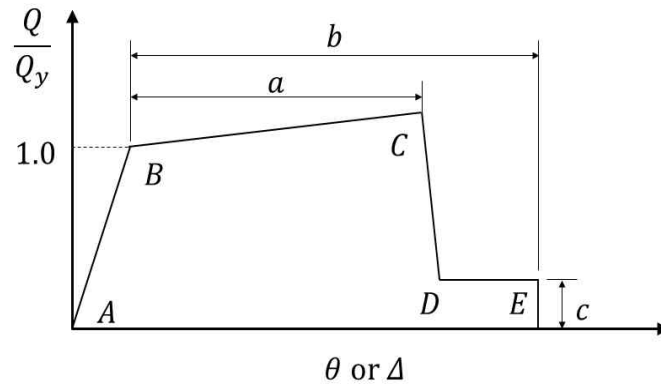
[해설]

비선형정적절차에서는 일반적으로 푸시오버(pushover)해석이라고 알려진 기법, 즉 개별 부재의 재료 비선형 거동특성을 고려하여 시스템의 횡변위를 점차적으로 증가시키면서 부재의 강도와 비선형변형의 관계를 구하는 기법을 사용하여 구조물의 해석을 수행한다.

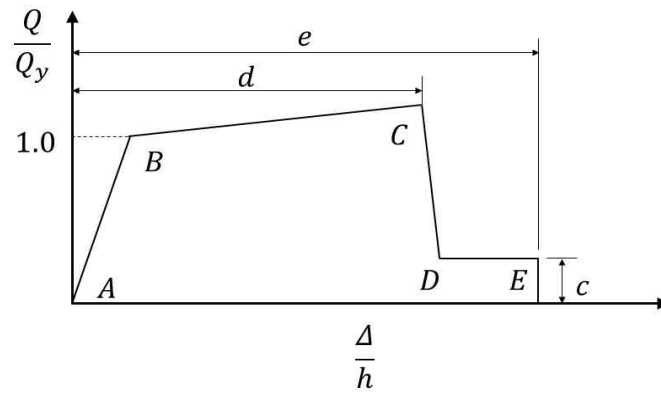
비선형정적 푸시오버해석 결과는 일반적으로 밀면전단력과 최상층 횡변위 또는 유효높이에 대한 횡변위의 비로 나타낸다. 푸시오버 곡선에서 사용되는 횡변위의 기준점(control node)은 최상층의 질량중심점으로 한다.

4.3.2 구조요소의 모델링

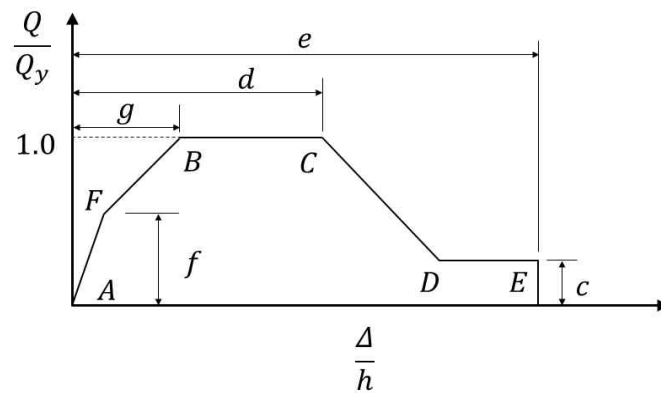
부재의 비선형 힘-변형 관계는 그림 4.3.1과 같이 일반적으로 4개의 직선으로 이루어진 다선형으로 모델링하며, 그림 4.3.1의 (a)와 같이 부재에 따라 변형량의 절대치가 규정된 경우와 그림 4.3.1의 (b), (c)와 같이 각 지점의 위치를 항복변위의 비율로 나타내는 경우가 있다. 부재별 비선형 힘-변형 관계의 정의, 즉 소성한지의 특성은 각 구조시스템 및 부재의 조건에 따라 5장, 6장 및 7장에 제시된 표를 따른다.



(a) 변형량 기반 다선형



(b) 변형각 기반 다선형-1



(c) 변형각 기반 다선형-2

그림 4.3.1 소성힌지 특성모델

4.3.3 횡하중의 수직분포

비선형정적절차에 사용되는 횡하중은 평면적으로 **질량의 분포와 비례하며 수직적으로는 1차모드의 형상과 비례하도록 분포**시킨다.

4.3.4 하중조합 및 다축가진효과

(1) 비선형해석 절차에서 중력하중 조합에 의한 변형과 부재력 Q_G 은 식 (4.3.1)으로 산정한다.

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

여기서,

Q_D : 고정하중에 의한 변형과 부재력

Q_L : 건축구조기준에서 규정된 용도별 활하중의 25%에 의한 변형과 부재력

Q_S : 건축구조기준에서 규정된 적설하중의 20%에 의한 변형과 부재력. 단, 1.5 kN/m^2 이하일 경우 무시한다.

(2) 다축가진효과는 각각의 방향에 대하여 독립적으로 해석한 뒤 하중효과에 한하여 주방향의 성능점에서의 하중효과에 직교방향 성능점 변위의 30% 변위에서 발생하는 하중 효과를 조합하여 평가함으로써 고려한다. 단, 어떠한 한 방향의 하중이 최대 변형과 부재력을 발생시킬 경우 직교방향의 하중은 고려하지 않아도 된다. 평면 비정형이 있는 경우 반드시 정방향과 부방향으로 가력하는 경우 모두를 고려하여야 한다.

[해설]

완전한 대칭구조물이 아닐 경우 최대효과를 발생시키는 하중의 방향은 일반적으로 파악하기 힘들다. 다축효과는 가력방향이 구조물의 주축과 동일하지 않을 때 발생하는 효과를 고려하기 위한 것으로 비정형 평면일 경우 혹은 여러 지진력저항시스템에 속해 있는 기둥이 있을 경우 고려하여야 하며 100:30의 규칙이 적용된다.

실무적으로 다축가진효과를 고려하기 위해 대상건물의 +X, -X, +Y, -Y 방향의 푸시오버를 각각 수행한 후 각방향 성능점의 100%와 30%에 해당하는 각 조합에 대해 힘지배거동을 조합하고 그 결과를 4.3.6(2)에 따라 평가할 수 있다. 변형지배거동은 제외되므로 기둥의 P-M-M 효과는 고려할 필요가 없으며 주로 기둥의 전단력(예를 들어 X방향으로 가력시 성능점에서의 X방향 전단력과 Y방향으로 가력시 성능점의 30% 수준에서 X방향 전단력의 조합)이 검토대상이 될 것이다.

4.3.5 성능점의 산정

전체 구조물의 성능점은 역량스펙트럼법 또는 변위계수법을 사용하여 산정한 최대요구가속도 및 변위를 나타내는 지점이다.

[해설]

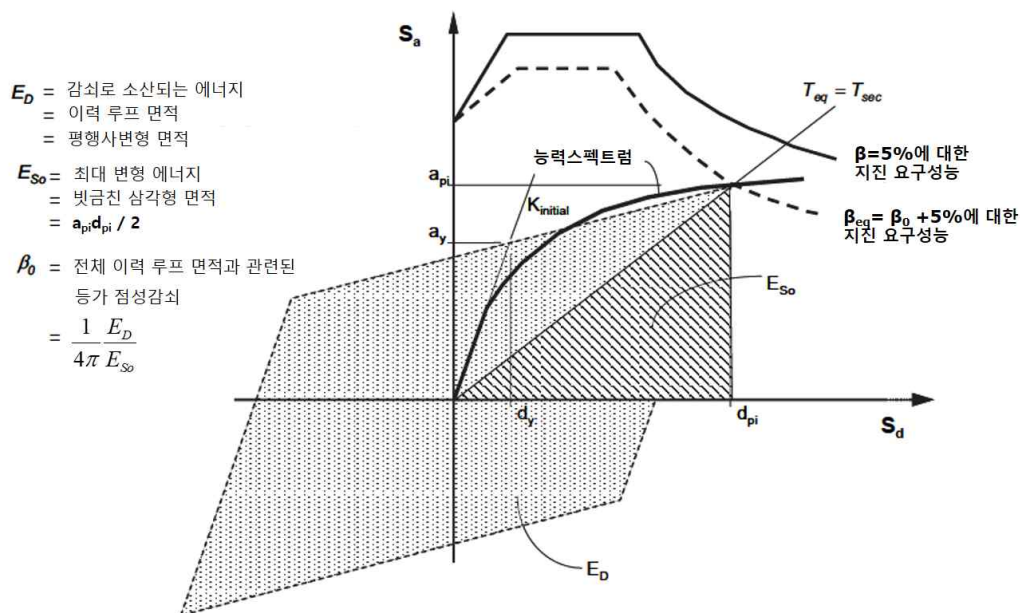
(1) 역량스펙트럼법 : 역량스펙트럼법(Capacity Spectrum Method, 이하 CSM)은 건축물의 횡하중에 대한 저항능력을 비선형 정적해석을 통해 구조물에서의 밀면전단력과 최상층 횡변위(또는 횡변위/유효높이) 곡선의 관계를 산정하고 이를 스펙트럼 가속도와 스펙트럼 변위 형태의

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 비선형효과에 따른 요구스펙트럼의 감소를 고려하여야 한다.** 즉, 역량스펙트럼법은 **실제 건물의 비선형거동(최대변위)을 유효주기 T_{eq} 와 등가감쇠비 β_{eq} 를 가진 등가의 단자유도계 선형구조물의 응답으로부터 구하는 것이다**(해 그림 4.3.1).

역량스펙트럼법의 절차는 다음과 같다.

- ① 능력스펙트럼의 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 개선 제안한 FEMA 440의 방법을 사용할 수 있다.



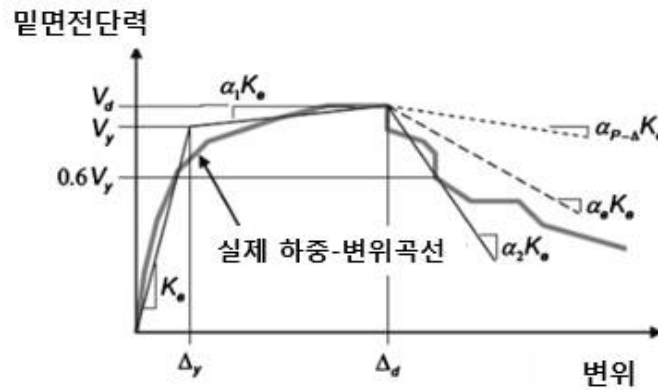
해 그림 4.3.1 역량스펙트럼법

(2) 변위계수법 : 변위계수법에서는 지진동을 받는 단자유도모델의 응답에 관한 기존 자료들의 통계치에 근거한 경험적인 수식을 사용하여 지진하중을 받는 구조물의 최상층의 최대 변위를 예측한다. 따라서 변위계수법에서는 비선형정적해석 후에 구조물의 밀면전단력과 최상층 변위 관계를 스펙트럼 형식으로 변화시키지 않고 비탄성변위를 반복 계산 없이 직접적으로 구할 수

있다는 것이 역량스펙트럼법과의 차이점이다. 변위계수법에서 산정되는 목표변위는 역량스펙트럼법에서의 성능점과 같은 의미를 가진다. 목표변위를 산정하는 순서는 다음과 같다.

① 역량곡선의 이선형화

비선형정적해석에 의해서 산정된 밀면전단력과 최상층 변위 관계를 2개 직선으로 이루어진 변형-응력관계 형태로 이상화시킨다. 탄성구간 이후의 강성(K_s), 유효강성(K_e), 초기강성(K_i)을 산정한 후에 이상화된 2개 직선으로 이루어진 변형-응력관계에서 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 시행착오를 거쳐야 한다.



해그림 4.3.2 유효강성의 결정

② 유효주기의 산정

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

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (\text{해 4.3.1})$$

여기서,

T_i : 탄성해석으로 구한 기본진동주기

K_i : 구조시스템별로 4장과 5장에 기술된 유효강성 및 3장의 모델링 절차에 따라 모델링된 구조물의 탄성 횡강성

K_e : 이선형화를 통해 결정된 유효강성(해그림 4.3.2)

③ 목표변위의 산정

목표변위는 FEMA 440 혹은 ASCE 41 등의 참고문헌에 제시된 수식을 통해 산정할 수 있다. 해식 4.3.2는 FEMA 440에 제시된 수식으로 $C_0 \sim C_3$ 의 여러 계수들은 단자유도와 다자유도시스템에서 최대 변위의 차이, 탄성변위와 비탄성변위의 차이, 강도 저하 및 강성 저하의 효과 등을 고려한 계수이다.

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (\text{해 4.3.2})$$

4.3.6 부재별 허용기준

- (1) 변형지배거동의 만족여부는 성능점에서 부재의 비선형변형량과 5장, 6장 및 7장에 표로 제시된 허용기준과의 비교를 통해 판정한다.
- (2) 힘지배거동의 만족여부는 식 (4.3.2)에 따라 판정한다.

$$Q_{CN} \geq \gamma\chi(Q_{UF} - Q_G) + Q_G \quad (4.3.2)$$

여기서,

Q_{UF} : 중력하중과 지진하중의 조합에 의한 성능점 또는 목표변위에서의 힘지배거동의 부재력

Q_G : 중력하중조합에 의한 힘지배거동의 부재력

Q_{CN} : 공칭재료강도를 사용하여 산정한 부재의 공칭강도

χ : 성능수준에 따른 보정계수, 붕괴방지의 성능수준에 대해서는 1.0, 인명안전 혹은 거주가능성에 대해서는 1.3을 사용

γ : 하중계수. 수직부재, 전이보 등과 같이 파괴시 여러 경간 혹은 층의 붕괴를 유발하는 부재일 경우 1.3, 단일 경간의 붕괴를 유발하는 부재이거나 타 부재의 붕괴를 유발하지 않는 부재일 경우 1.0을 사용

단, χ 와 γ 의 곱은 1.5를 초과할 필요없다. 또한 전단벽의 전단력을 제외하고, 기대강도가 적용된 구조물 소성해석에 의한 부재력과 중력하중에 의한 부재력의 조합을 통해 산정된 최대 부재력이 부재의 공칭강도보다 낮을 경우 보정계수 및 하중계수를 적용한 요구량의 할증은 적용하지 않아도 된다.

4.4 비선형동적절차

4.4.1 일반사항

- (1) 비선형동적절차는 직접적분법에 의한 비선형 시간이력해석 결과로부터 내진성능을 판정한다. 비선형 시간이력해석의 결과는 지진과 종류에 따라 큰 차이를 보이므로 3쌍 또는 7쌍 이상의 지진 파에 대한 해석이 필요하다.
- (2) 탄성해석이나 정적해석 시와 달리 이력감쇠의 효과가 직접적으로 나타나므로 해석모델의 감쇠비는 선형점성감쇠만을 사용한다.
- (3) 비선형 모델링 변수와 성능수준의 해당 값은 비선형정적절차와 동일한 값을 사용할 수 있다.

[해설]

비선형 모델링 주요 변수와 성능수준의 판정을 위해 비선형정적절차의 값을 사용할 수 있으나, 하중의 재하 시와 제거 시, 재가력 시 강도 및 강성의 변화를 고려하는 부재의 이력거동특성을 사용하여야 한다. 비선형 시간이력해석 시 이력특성을 모델링하는 방법은 크게 1) 부재모델에 반복하중 작용횟수, 비선형거동의 크기 등에 따라 성능저하(deterioration)를 직접적으로 고려하는 방법(Ibarra-Krawinkler모델, Takeda모델 등), 2) 성능저하를 고려하지 않으나 적절한

하중프로토콜을 사용한 반복하중 가력실험을 통해 구한 포락선을 사용하여 이력거동을 모델링하는 방법, 3) 단조가력을 통해 구한 포락곡선에 변형단계별로 적절한 계수를 곱해 수정된 곡선을 사용하여 모델링하는 방법, 4) 이력모델에서 강도저하를 고려하지 않고 해석하는 방법의 4가지가 있다.

제시된 방법 중, 방법 1)이 실제 거동을 보다 정확히 해석할 수 있으나 해석모형 및 절차가 복잡하다. 방법 2)와 3)은 유사한 방법으로 반복가력에 따른 성능저하가 발생한 이후 곡선을 사용하므로 성능저하는 간접적으로 고려되는 방법이다. 방법 4)의 경우, 성능저하는 고려되지 않으며, 설정된 변형의 한계를 넘어설 경우 해석 결과에 신뢰성이 없다. 이와 같이 이력모델의 수준에 따라 해석결과의 신뢰성에도 차이가 발생하므로 수준에 맞춘 허용기준의 조정이 필요하다.

4.4.2 하중조합 및 다축가진효과

- (1) 비선형해석 절차를 사용하는 경우, 중력하중은 4.3.4와 동일한 방법으로 결정한다.
- (2) 구조물에 비틀림 비정형성이 있을 경우 반드시 다축가진효과를 고려하여 3차원 해석을 수행하여야 한다.
- (3) 지반운동기록은 설계스펙트럼에 부합되는 3쌍 이상 사용하고, 부재력과 변형량은 각 해석결과의 최대응답 중 가장 큰 값을 사용하여 평가한다.
- (4) 각 지반운동기록 세트는 직교하는 두 방향의 수평성분으로 구성되며, 대상 구조물의 평면상 두 직교축에 적용 시 상호 교대하여 2회 해석한다.
- (5) 지반운동기록을 7쌍 이상 사용하는 경우, 부재력과 변형량은 각 해석결과 최대응답의 평균값을 사용하여 평가한다.

[해설]

ASCE 7-16, ASCE 41-13에서는 활성단층이 가까운 지역에서는 단층에 대한 계측지반운동의 방향성을 고려하도록 하고 있으나, 아직 국내에서는 지반운동기록을 선정하기에 충분한 정도로 일반화된 활성단층 자료가 제시되어 있지 않은 실정이므로 이 규정의 적용은 무리가 있다.

사용하는 지반운동기록의 데이터를 7개 이상 사용하면 평균값으로 설계하도록 규정하고 있으나, 지진파에 따른 응답의 변동성을 고려하기에는 충분하지 않아서 ASCE 41-13에서는 평균값으로 설계하기 위한 지진파의 최소수량을 10개로 규정하였다. 그러나 이 요령에서는 건축구조기준과의 일관성을 유지하기 위해 7개 이상 지진파의 평균값을 사용하는 것으로 규정하였다.

4.4.3 평가용 지진파

3차원해석을 수행하는 경우에 각각의 지반운동은 평면상에서 서로 직교하는 2성분의 쌍으로 구성된다. 개별 지반운동의 성분별로 5% 감쇠비의 응답스펙트럼을 작성하고, 주기별로 제곱합제곱근(SRSS)을 취하여 제곱합제곱근 스펙트럼을 산정하며, 이 제곱합제곱근 스펙트럼들의 평균값이 설계대상 구조물 기본진동주기의 0.2배부터 1.5배 사이에 해당되는 주기에 대해서 지반운동기록의 조성 및 생성방법에 따라 다음의 최소응답스펙트럼 가속도 이상 되도록 해야 한다. 지반운동의 크기를 조정하는 경우에는 직교하는 2성분에 대해서 동일한 배율을 적용하여야 한다.

- (1) 해당 구조물이 위치한 지반조건에 해당하는 지진관측소에서 계측된 지반운동기록의 진폭을 조정하여 사용하는 경우에 최소응답스펙트럼 가속도는 평가지진 가속도응답스펙트럼의 1.3배의 90%로 정한다.

- (2) 해당 구조물이 위치한 지반조건에 해당하는 지진관측소에서 계측된 지반운동기록의 주파수 성분을 조정하여 설계응답스펙트럼에 맞게 생성한 경우에 최소응답스펙트럼 가속도는 평가지진 가속도응답스펙트럼의 1.3배의 110%로 정한다.
- (3) 해당 구조물이 위치한 지반의 조건이 고려된 부지응답해석을 통해 지진동을 산정할 경우 최소응답스펙트럼 가속도는 평가지진 가속도응답스펙트럼의 1.3배의 80%로 정한다. 다만, 부지응답해석으로 구해진 지진파의 평균스펙트럼의 최댓값이 설계대상 구조물 기본진동주기의 0.2배부터 1.5배 사이에 해당되는 구간 밖에 위치할 경우 최소응답스펙트럼 가속도는 평가지진 가속도응답스펙트럼의 1.3배의 90%로 정한다. 부지응답해석을 위한 입력 지진파는 표 2.2.3에서 정의하는 S_1 지반조건에서 계측된 지반운동기록을 사용하되 그 제공합계급 스펙트럼들의 평균값은 S_1 지반의 평가지진 가속도응답스펙트럼의 1.3배와 비교하여 가속도 일정구간에서는 80% 이상, 그 외 구간에서는 100% 이상이어야 한다.
- (4) 2차원 해석을 수행하는 경우에는 개별 지반운동에 대해 작성된 5% 감쇠비 응답스펙트럼의 평균값이 해석을 수행하는 방향의 구조물 고유주기의 0.2배부터 1.5배 사이에 해당되는 주기에 대해서 지반운동기록의 조성 및 생성방법에 따라 위 (1)~(3)에 부합하도록 조정한다. 단, 평가지진 가속도응답스펙트럼의 1.3배 대신에 1.0배를 적용한다.

[해설]

지반운동기록은 지진의 규모, 진원거리, 단층 메커니즘, 지반조건 등의 영향을 받고, 같은 지진에서 측정된 지진기록일지라도 관측소에 따라서 크기와 진동수 성분, 지속시간에 차이가 있다. 국내 지진재해도의 근간이 된 내진기준연구(II)를 참조 시 규모 5.0~7.0 사이의 판내부 지진 기록 중 진원까지의 거리가 5 km와 60 km 사이의 원거리 지반운동기록 가운데 관측소의 지반조건이 부합하는 자유장(free-field) 기록을 선택할 것을 권장한다. 또한 동일한 지진에서 계측된 (서로 다른 관측소의) 지반운동기록은 2개 데이터를 초과하여 선택하지 않도록 한다. 그러나 최종적으로 계측파의 선정은 관련전문가와 협의의를 통해 결정하는 것이 바람직하다.

4.4.4 해석모델

- (1) 해석모델은 구조물의 질량과 강성의 공간적 분포를 표현할 수 있어야 한다.
- (2) 서로 독립적이고 직각으로 배치된 횡력 저항시스템을 갖는 정형구조물에 있어서는 독립적인 2차원 모델을 사용할 수 있다. 반면에 서로 독립적이 아닌 저항시스템을 갖는 비정형구조물의 경우에는 각 층별로 평면상의 2직각 방향에 대한 변위와 수직축에 대한 회전을 포함하는 최소한 3개의 자유도를 갖는 3차원 모델을 사용하여야 한다.
- (3) 격막이 횡하중 저항시스템의 수직부재에 비하여 유연한 경우, 해석모델은 격막의 유연성과 동적응답에 미치는 영향을 고려할 수 있는 추가적인 자유도를 포함시켜야 한다.
- (4) 철근콘크리트조와 조적조인 경우에는 균열단면의 영향을 고려하여야 하고, 철골모멘트골조의 변위 산정 시 패널존의 영향을 고려하여야 한다.
- (5) $P-\Delta$ 효과가 큰 경우에는 반드시 이를 고려할 수 있는 모델을 사용하거나 해석 결과에 $P-\Delta$ 효과를 반영하여야 한다.

4.4.5 감쇠비

비선형동적절차에서 사용되는 선형점성감쇠비는 별도의 해석과 실험을 통해 입증되지 않는 경우 3%를 초과하지 않아야 하며, 외장재가 없는 경우에는 1%를 초과할 수 없다. 비선형동적절차에서 구조물의 감쇠는 레일리 감쇠(Rayleigh damping) 혹은 다른 적절한 방법을 사용하여 모델링할 수 있다. 질량과 강성에 비례하는 감쇠비는 다음의 규정을 만족하여야 한다.

- (1) 각 방향 병진모드의 1차모드의 경우, 비선형거동에 의해 예상되는 장주기화($1.5 T_1 \sim 2.0 T_1$)가 있을 경우에도 규정된 선형점성감쇠비를 초과할 수 없다.
- (2) 90% 이상의 질량참여율을 얻기 위해 고려되어야 하는 모드의 선형점성감쇠비는 질량참여율에 기초한 가중평균이 규정된 선형점성감쇠비를 초과할 수 없다.
- (3) 질량참여율의 합이 90%가 되기 위해 사용되는 모드 중 가장 고차모드의 감쇠비는 해석이나 실험에 의해 입증되지 않는 한 1차 병진모드 감쇠비의 8배를 초과하지 않아야 한다.

4.4.6 부재력과 변형량의 산정

4.4.2 (5)에 따른 부재력과 변형량의 평균값 및 최댓값의 산정방법은 아래와 같다.

- (1) 방향에 영향을 받지 않는 응답의 경우, 그 평균값은 각 지진파를 사용한 해석 결과에서 절대값의 최댓치를 구하고 이들 값의 산술평균으로 한다. 응답의 최댓치는 각 지진파를 사용한 해석 결과에서 절대값의 최댓치중 최댓값으로 한다.
- (2) 방향에 영향을 받는 응답의 경우, 그 평균값은 각 지진파를 사용한 해석 결과에서 최댓값과 최솟값을 모두 구한 후 각 방향과 축별로 최댓값의 평균, 최솟값의 평균을 모두 구하여야 한다. 각 구조부재 응답의 최댓치는 각 지진파를 사용한 해석 결과에서 최댓값과 최솟값을 모두 구한 후 각 방향과 축별로 이들 중의 최댓값, 최솟값을 구한다.

[해설]

방향에 영향을 받는 응답은 정방향과 부방향의 허용기준이 다른 경우이다. 그 예로는 기둥에 작용하는 축압축력과 축인장력, 비대칭으로 배근된 보의 모멘트강도와 소성변형각, 이형전단벽체의 소성변형각, 파운데이션 검토시 건물의 횡변위 등을 들 수 있다.

이에 반해 보의 전단력, 기둥의 각 방향별 전단력, 대칭단면인 기둥과 전단벽의 소성변형각, 비구조요소 검토용 층간변위 등은 방향에 영향을 받지 않는 응답으로 볼 수 있다.

4.4.7 부재별 허용기준

비선형동적절차에서 부재별 허용기준은 비선형정적절차와 동일하다.

4.5 구조실험을 통한 모델링변수 및 허용기준의 산정 절차

강성, 강도, m 계수, 변형능력 등 부재특성에 대한 정보가 없는 부재의 경우 적절한 구조실험을 통해 선형절차 및 비선형절차에 사용될 **모델링 주요 변수를 선정하여 성능수준을 판정할 수 있다.** 이 절은 이를 위한 구조실험계획, 데이터의 정리, 변형지배 및 힘지배거동의 판정, 그리고 모델링 주요 변수의 선정과 성능수준의 판정절차를 규정한다.

4.5.1 구조실험계획

- (1) 실험체는 평가대상 건물 내 해당 부재와 동일한 단면상세, 지지조건, 및 하중조건을 모사하여야 한다. 가능한 동일한 조건에서 제작한 다수의 실험체는 통계학적인 불확실성으로 실험 결과의 신뢰성을 확보하기 위해 동일한 조건에 대한 최소한 3개 실험체를 확보하여야 한다.
- (2) 가력하중은 평가지진력으로 작용하는 응력으로 실험체에 예상되는 최대 변위까지 단계적으로 변위를 증가시키며, **반복하중을 통해 실험체가 횡하중과 중력하중에 의해 완전한 파괴상태에 이를 때까지 수행한다.**
- (3) 하중프로토콜은 예상 평가지진파의 특성 및 구조시스템의 대상 부재의 파괴모드에 적합하게 선정하여야 한다.
- (4) 하중변위 관계를 파악할 수 있는 충분한 하중단계를 설정하여야 하며, 실험체의 파괴로 발생하는 에너지 소산량은 지진하중으로 발생하는 실제 부재의 예상하는 에너지 소산량과 비교하여 모델링 주요 변수를 선정하여야 한다.

4.5.2 데이터 정리 및 보고

실험보고서의 데이터는 다음 사항을 포함하여야 한다.

- (1) 실험체 재료 및 기하학적인 특성
- (2) 실험체 세팅 : 지지조건 및 가력장비의 배치, 실험장소 및 시간, 계측장비, 실험수행자의 인적사항, 실험실시 전 실험체 사진 등
- (3) 하중프로토콜 : 하중증분, 하중재하속도, 각 하중단계별 재하시간 등
- (4) 실험상황에 대한 주요 현상 및 실험 단계별 사진 : 탄성구간의 유효강성, 소성구간, 육안으로 확인 가능한 손상 및 발생시점, 횡하중 저항능력의 상실시점, 수직하중 저항능력의 상실시점, 하중-변위 그래프, 특정한 손상단계 시(균열발생이나 항복발생 시점) 실험체 상황, 강성의 변화, 파괴모드의 변화 등에 대한 기술

4.5.3 모델링 주요 변수와 허용기준의 산정

실험 결과로부터 모델링 주요 변수의 선정과 성능수준의 판정절차는 다음과 같다.

- (1) 하중-변위 관계의 이상화
 - ① 반복하중에 따른 하중-변위 곡선의 작성
 - ② 하중-변위 곡선에서 그림 4.5.1과 같이 각 변위단계의 첫 번째 가력시 최대점을 연결한 포락곡선을 작성

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

- ③ 포락곡선으로부터 그림 4.5.2와 같이 탄성, 소성, 잔류강도를 나타내는 몇 개의 직선으로 이상화한 다중선형 그래프를 작성

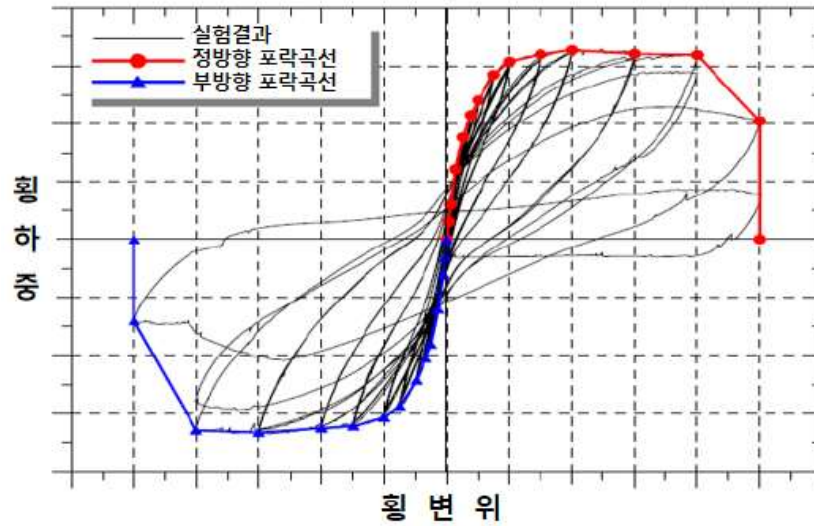


그림 4.5.1 반복하중에 의한 하중-변위곡선으로부터 포락곡선 작성

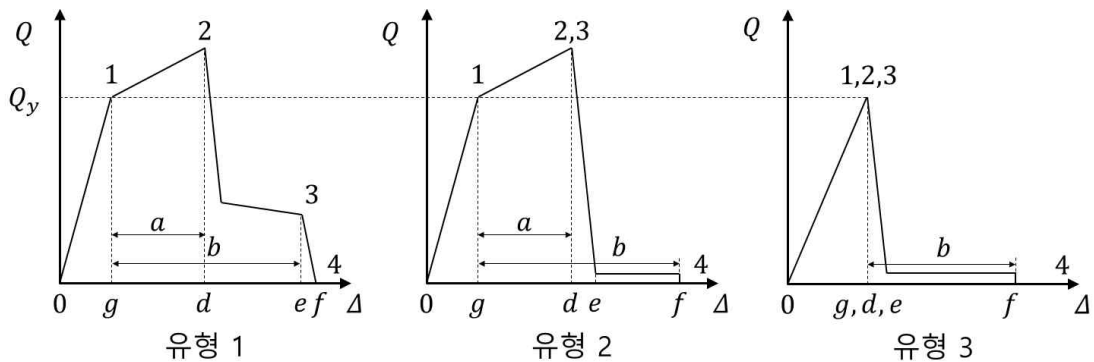


그림 4.5.2 다중선형그래프의 유형

- (2) 각 실험체의 결과로부터 구한 다중선형 그래프로부터 평균 다중선형 그래프를 작성한다. 이 때, 평균 다중선형 그래프의 강성은 각 실험체의 다중선형 그래프 강성의 평균으로 하고, 평균 다중선형 그래프의 각 구간의 시작과 끝점은 값은 개별 다중선형 그래프의 각 구간의 시작과 끝점의 평균값으로 한다.
- (3) 비선형절차에서는 구해진 평균 다중선형 그래프를 그대로 사용하며, 선형절차에 사용될 강성값은 평균 다중선형 그래프의 첫 구간의 강성값을 사용한다.
- (4) 구해진 평균 다중선형 그래프의 형태로부터 실험체의 거동을 변형지배 혹은 힘지배로 판정한다. 다중선형화곡선의 형태는 그림 4.5.2의 유형 1, 유형 2, 혹은 유형 3 중의 하나로 분류할 수 있으며 판정절차는 다음과 같다.
- ① 유형 1은 탄성영역(점 0과 점 1까지), 소성영역(점 1에서 점 3사이), 횡하중 저항능력 상실지점(점 3), 중력하중 저항능력 상실지점(점 4)로 구성되는 연성거동을 나타낸다. 소성영역은 양의

값 혹은 음의 값을 가지는 항복 후 강성(점 1과 2의 기울기) 구간과 최대강도 이후의 잔류강도를 나타내는 강도저하 구간(점 2에서 3까지)으로 구성된다. 1차부재의 경우 $d \geq 2g$ 일 경우 변형지배거동으로 판정하며, 이를 만족하지 못하면 힘지배거동으로 판정한다. 2차부재의 경우 d/g 의 비율과 상관없이 모두 변형지배거동으로 판정한다.

- ② 유형 2는 탄성영역(점 0과 점 1까지)과 소성영역(점 1에서 점 3사이)으로 구성되는 연성거동을 나타낸다. 소성영역은 양의 값 혹은 음의 값을 가지는 항복 후 강성(점 1과 3의 기울기) 구간으로 점 3에서 대부분의 횡하중 저항능력의 잔류강도가 손실되는 경우이다. 중력하중 저항능력의 손실은 점 4에서 발생한다.

1차부재의 경우 소성영역에서 $e \geq 2g$ 를 만족할 경우 변형지배거동으로 판정하며, 이를 만족하지 못하는 경우 힘지배거동으로 판정한다. 2차부재의 경우 $f \geq 2g$ 일 경우 변형지배거동으로 판정하며, 이를 만족하지 못하는 경우 힘지배거동으로 판정한다.

- ③ 유형 3은 취성적인 거동을 나타낸다. 이 경우, 탄성구간(점 0에서 점 1까지) 이후 횡하중 저항능력이 소실되는 점 3이 바로 나타나며, 이후 중력하중 저항능력이 소실되는 점 4가 나타난다. 이러한 거동을 보이는 1차부재는 힘지배거동으로 간주한다. 2차부재의 경우, $f \geq 2g$ 를 만족할 경우 변형지배거동으로 이를 만족하지 못하는 경우 힘지배거동으로 판정한다.

- (5) 힘지배거동일 경우의 강도 Q_{CL} 은 일련의 실험체의 강도값의 평균에서 표준편차를 뺀 값으로 한다.

- (6) 비선형절차에 사용되는 변형지배거동의 각 성능수준별 허용기준은 그림 4.5.3의 각 지점에 해당하는 변형값으로부터 다음과 같이 구한다.

- ① 거주가능 : 실험체에서 잔류변형이 발생하는 지점에 해당하는 변형, 그러나 인명안전에 해당하는 변형값에 0.67을 곱한 값을 초과할 수 없다.
- ② 인명안전 : 점 E의 변형값에 0.75를 곱한 값
- ③ 붕괴방지 : 점 E의 변형값

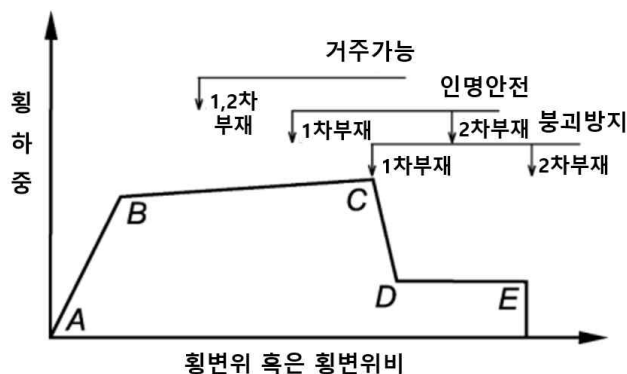


그림 4.5.3 성능수준별 허용기준과 m 계수의 결정

- (7) 선형절차에 사용되는 변형지배거동의 각 성능수준별 m 계수는 다음의 절차를 통해 결정한다.

- ① 각 성능수준별 변형값을 다음과 같이 산정한다.

- 거주가능 : 실험체에서 잔류변형이 발생하는 지점에 해당하는 변형, 그러나 인명안전에 해당하는 변형값에 0.67을 곱한 값을 초과할 수 없다.

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

- 1차부재의 인명안전 : 점 C의 변형값에 0.75를 곱한 값
 - 1차부재의 붕괴방지 : 점 C의 변형값. 단, 점 E의 변형값에 0.75를 곱한 값을 초과할 수 없다.
 - 2차부재의 인명안전 : 점 E의 변형값에 0.75를 곱한 값
 - 2차부재의 붕괴방지 : 점 E의 변형값
- ② ①에서 구한 변형값을 항복변위(점 B의 변위)에 대한 비율로 나타낸다.
- ③ 각 성능수준의 m 계수는 (7)-②에서 구한 비율에 0.75를 곱한 값으로 한다.
- (8) 비선형동적절차를 사용하는 경우, 부재거동을 모사하기 위해서는 위의 주요 변수 이외에도 재가력 시 거동, 강성과 강도의 저하, 펀칭효과를 고려한 변수가 추가적으로 필요하다. 해석에 사용될 부재의 수학적 모델은 예상되는 변형한계 내의 실험 결과와 유사한 이력곡선과 에너지 소산능력을 가져야 한다. 이 때, 낮은 변형한계와 높은 변형한계에 대한 거동을 구분하여 해석하며 안전측의 결과를 도출하여야 한다.

4.6 성능수준의 판정

전체 구조시스템의 해당 성능목표 만족여부는 다음의 규정을 통해 판정한다.

- (1) 대상구조물이 성능목표에 해당하는 허용충간변형각(표 4.6.1) 및 중력하중저항능력(표 4.6.2) 모두를 만족할 경우 그 성능목표를 만족하는 것으로 본다.
- (2) 내진설계된 구조물의 성능수준별 허용 충간변형각은 표 4.6.1과 같으며 대상건물의 방향별, 층별로 만족여부를 검토한다.

표 4.6.1 내진설계된 구조물의 성능수준별 허용 충간변형각(%)

구조시스템	내진설계 된 건물		
	거주가능	인명안전	붕괴방지
RC 모멘트골조	0.7	2	3
조적채움벽이 있는 RC 모멘트골조	0.5	1	1.5
전단지배형 RC 전단벽 시스템	0.25	0.5	1
휨지배형 RC 전단벽 시스템	0.5	1	2
무보강 조적 전단벽 시스템	0.3	0.6	1
철골골조	0.7	2.5	4
가새가 있는 철골골조	0.5	1.5	2

- (3) 표 4.6.1에서 전단벽시스템 중 휨지배형은 전체높이/길이비(형상비)가 3.0을 초과하는 세장한 벽체, 전단지배형은 형상비가 1.5 미만인 낮은 벽체에 해당하며, 세장한 벽체와 짧은 벽체 사이의 형상비를 가지는 경우 선형보간한다.
- (4) 내진설계되지 않은 건물의 허용충간변형각은 표 4.6.1에 규정된 값들의 70%로 제한한다. 내진설계되지 않은 건물의 경우 내진보강이 이루어졌다 하더라도 변형능력이 제한적인 부재들이 다수 남아있게 되므로 내진보강 이전과 이후의 허용충간변형각 중 불리한 값을 적용한다.

- (5) 대상건축물의 주요 방향별로 사용된 구조시스템이 다른 경우 허용층간변형각은 밀면전단력의 기여도를 통해 표 4.6.1의 값을 선형보간하여 사용한다.
- (6) 중력하중저항능력에 따른 성능수준별 만족기준은 표 4.6.2과 같다. 표 4.6.2에 제시된 해당 성능수준별 중력하중저항능력을 만족할 경우 그 성능수준을 만족하는 것으로 본다. 이때, 해당 성능수준별 중력하중저항능력의 만족여부는 각 방향별 층별로 수행하며, 각 층의 부재는 수직부재와 수평부재로 나누어 평가한다. 부재별 연직하중 분담능력은 수직부재의 경우 축하중, 수평부재의 경우 양단 전단력의 크기를 기준으로 한다. 부재별 연직하중 분담능력 산정시 하중조합은 식 (4.3.1)을 사용한다.

표 4.6.2 성능수준별 중력하중저항능력

성능수준	판정기준
거주가능	모든 부재가 붕괴방지를 만족하며, 거주가능을 만족하는 부재가 부담하는 중력하중의 합이 전체중력하중의 80 % 이상. 혹은 건물의 내진성능목표가 기능수행인 경우 모든 부재가 붕괴방지를 만족하며 거주가능을 만족하지 못하는 부재의 손상이 전체건물의 기능수행을 방해하지 않음을 확인하는 경우
인명안전	모든 부재가 붕괴방지를 만족하며, 인명안전과 거주가능을 만족하는 부재가 부담하는 중력하중의 합이 전체중력하중의 80 % 이상
붕괴방지	모든 부재가 붕괴방지를 만족

- (7) 변형지배형 거동에 의한 부재의 해당 성능수준의 만족여부는 5장, 6장 및 7장에 규정된 해당 성능수준별 비탄성변형의 허용한계값으로부터 판정한다. 변형지배형 거동은 연성거동을 통해 큰 변형능력을 발휘할 수 있는 휨항복, 인장항복거동을 가리킨다.
- (8) 힘지배형거동의 경우 선형절차에서는 식 (4.2.15)을, 비선형절차에서는 식 (4.3.2)를 만족할 경우 해당 요구성능수준을 만족하는 것으로 본다. 힘지배형 거동은 취성적 파괴를 나타내는 압축거동, 전단거동, 연결부의 파괴 등을 가리킨다.
- (9) 조적채움벽을 가진 모멘트골조에서 조적채움벽이 면내로 파괴되거나 혹은 면외로 전도될 경우 전체 구조물은 거주가능과 인명안전의 성능수준을 만족하지 못하는 것으로 판정한다. 그러나 목표 성능수준이 붕괴방지일 경우, 조적채움벽의 파괴는 전체 건물의 성능수준 판정에 고려하지 않는다.
- (10) 비선형정적해석에서 단일 스텝에서 최대 밀면전단력의 20 퍼센트 이상의 급격한 강도저하가 발생한 이후의 해석결과는 유효하지 않은 것으로 판정한다. 성능점이 유효한 변위를 초과하여 형성되는 경우에 붕괴한 것으로 판정한다.
- (11) 선형절차와 비선형절차에 의한 내진성능수준의 차이가 2단계 이상 나타날 때는 이에 대한 적절한 근거를 제시해야한다.

[해설]

(1) 표 2.1.1에 나타난 바와 같이 건축물 전체의 기능수행은 구조요소의 거주가능, 비구조요소의 기능수행의 조합으로 이루어져 있다. 구조요소의 거주가능을 확인하는 주된 이유는 전체건

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

축물의 기능수행의 확인으로 구조요소의 변형에 의해 비구조요소의 기능손상 가능성을 우려한 것이다. 따라서 관련된 비구조요소의 검토를 통해 해당 지진시 비구조요소의 기능유지에 문제가 없음을 직접적으로 확인할 경우 전체건축물은 기능수행으로 판정할 수 있다.

(5) 예를 들어 모멘트골조와 벽구조의 혼합구조일 경우 구조해석을 통하여 평가된 벽구조의 요구 밀면전단력이 총 밀면전단력의 40%라면 벽구조의 밀면전단력 기여도는 40%이고, 모멘트골조의 밀면전단력 기여도는 60%로 결정된다. 비선형정적해석의 경우, 밀면전단력 기여도는 성능점 혹은 목표변위에서의 해석결과로부터 산정한다.

(6) 성능목표별로 지진하중의 크기 다르므로 표 4.6.2는 검토대상 성능수준의 만족여부만을 판정하기 위해 사용된다. 즉, 거주가능에 해당하는 지진하중에 대한 해석결과를 통해 인명안전이나 붕괴방지의 성능수준을 판정할 수 없다.

(9) 역량곡선에서 급격한 강도저하가 발생한 경우, 해석 알고리즘에 따라서 차이가 있을 수 있으나 구조물의 취성과파괴로 인하여 반복해석 과정의 수렴에 문제가 발생했을 가능성이 크며, 따라서 그 이후의 성능곡선은 신뢰하기 어렵다. FEMA 440, ASCE 41 등에서는 최대강도 도달 후 급격하게 강도가 저하되는 영역에서는 비선형 정적해석에 의한 성능점 산정이 동적 불안정성을 고려할 수 없기 때문에 비선형 동적해석을 수행할 필요가 있음을 지적하고 있다.

제 5 장 철근콘크리트구조

5.1 일반사항

이 장은 철근콘크리트 구조물의 내진성능평가절차를 제시한다.

5.2 재료강도

재료강도의 결정방법은 1장에 따라 크게 현장시험에 의해 구하는 경우, 설계도서상의 재료강도에 감소계수를 적용하여 구하는 경우, 건설연도별 재료강도의 기본값을 사용하는 경우의 세 종류가 있다. 설계도서에 명기된 설계기준강도는 재료의 공칭강도로서 재료강도의 변동을 고려한 안전측의 값이다. 콘크리트와 철근의 경우 실제 재료가 발현할 수 있을 것으로 기대되는 기대강도는 설계도서에 명기된 설계기준강도(공칭강도)에 표 5.2.1에 따른 보정계수를 곱하여 구할 수 있다.

표 5.2.1 설계기준강도로부터 기대강도를 구하기 위한 재료별 보정계수

재료 특성	설계기준강도	보정계수
콘크리트 압축강도 (MPa)	21 이하	1.20
	21 초과 ~ 40 이하	1.10
	40 초과	1.0
철근의 인장 및 항복강도 (MPa)	300 미만	1.25
	300 이상 ~ 400 미만	1.2
	400 이상 ~ 500 미만	1.1
	500 이상 ~ 600 미만	1.05
	600 이상	1.0

조적채움벽의 재료강도는 “6장 조적채움벽구조와 조적조”의 규정을 따른다.

5.3 해석 모델의 고려사항

5.3.1 해석 모델의 적용

콘크리트 구조 시스템의 해석 모델 선정 시 주요 고려사항은 다음과 같다.

- (1) 철근콘크리트 구조부재의 비선형모델링 방법은 부재 단부에 비선형거동을 집중해서 고려하는 집중소성힌지모델 또는 부재 길이 전체에 걸쳐 곡률의 크기에 따라 비선형거동을 반영하는 분산비선형모델을 사용할 수 있다.
- (2) 철근콘크리트 구조부재를 집중소성힌지모델을 사용하여 비선형거동특성을 반영할 경우, 소성힌지

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

- 의 특성은 그림 4.3.1과 같은 힘-변형 관계 또는 5.3.4의 섬유요소모델로 나타낼 수 있다.
- (3) 철근콘크리트 구조부재를 집중소성힌지의 힘-변형 관계로 나타낼 때, 포락선은 해당 부재의 특성 및 조건에 따라 표 5.4.6, 표 5.4.7, 표 5.4.8, 표 5.5.4, 표 5.5.5의 모델링 변수를 사용하여 작성한다.
- (4) 철근콘크리트 모멘트골조 부재의 비선형 힘-변형 관계는 그림 4.3.1(a)를 적용한다.
- (5) 일체형 철근콘크리트 벽체의 비선형 힘-변형 관계는 그림 4.3.1(a), 그림 4.3.1(b), 그림 4.3.1(c)를 적용한다.
- (6) 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 비선형 힘-변형 관계는 그림 4.3.1(a)를 적용한다.

[해설]

- (1) 주로 집중소성힌지모델을 사용한다.
- (2) 일반적으로 부재의 비선형거동을 힘-변형 관계로 나타내는 것이 가장 편리하다. ‘힘’ 부분은 설계기준에서 제공하는 수식으로 계산할 수 있으며, ‘변형’은 본 요령이나 ASCE41과 같은 문헌에서 제공하고 있기 때문이다. 또한 부재의 전반적인 힘-변형 관계를 현상학적인 설명으로 정의할 수 있고, 부재 실험 결과에 근거해 포락선이나 강성/강도 저감과 같은 이력모델을 효과적으로 나타낼 수 있으며, 기준에서 제시하는 힘 및 변형 한계 상태를 검토하기 용이하다. 하지만 재료의 응력-변형을 관계 및 축력-휨모멘트 상관관계를 고려하는 데는 한계가 분명히 존재한다. 섬유요소는 부재 단면에서 콘크리트와 철근의 해당 위치에서의 개별 거동을 분명히 반영할 수 있어 콘크리트 균열 및 철근 항복을 더 정확히 나타낼 수 있으며, 특히 축력-휨모멘트 상관관계를 자동적으로 반영할 수 있다. 하지만 철근콘크리트 부재에 기본적으로 내재되어 있는 철근 좌굴, 부작 미끄러짐, 전단파괴 등으로 인한 강도 저감을 나타내는 능력은 제한적이다.

5.3.2 유효강성

철근콘크리트 부재의 휨, 전단, 축하중에 대한 강성은 작용하는 응력의 크기, 온도 변화, 건조수축 등에 의하여 발생하는 균열손상의 영향이 고려된 유효강성을 사용한다. 표 5.3.1에 구조부재의 유형별 유효강성 값이 제시되어 있다. 기둥부재의 휨강성은 축력비가 0.5이상일 경우 $0.7E_cI_g$, 축력비가 0.1이하이거나 인장력이 작용할 경우 $0.3E_cI_g$, 그 사이의 축력비일 경우 선형보간하여 사용할 수 있다.

표 5.3.1 철근콘크리트 구조부재별 유효강성

부재	휨강성	전단강성	축강성
보	$0.35E_cI_g^{1)}$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
기둥	$0.7E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	$\frac{E_cA_g}{E_sA_s^{2)}$
비균열 벽체	$0.7E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
균열 벽체 ³⁾	$0.35E_cI_g$	$0.2E_cA_w$	E_cA_g

1) T 형보의 경우 I_g 는 웨브부분의 I_g 값의 2배의 해당하는 값, 또는 건축구조기준에 규정된 유효폭의 규정에 따라 산정

2) 인장력이 작용하는 경우

3) 지진하중을 포함하는 작용하중에 의해 균열이 발생하는 벽체

건축구조기준에서 콘크리트의 탄성계수는 식 (5.3.1)로 정의하고 있다.

$$E_c = 8,500 \sqrt[3]{f_{cu}} \quad (5.3.1)$$

여기서, $f_{cu} = f_{ck} + \Delta f$ 이다. Δf 는 f_{ck} 가 40MPa이하면 4MPa, 60MPa 이상이면 6MPa이며, 그 사이는 직선보간으로 구한다. 이 값은 공칭강도와 기대강도(배합강도)의 차이를 고려한 값이므로 설계도서의 설계기준강도를 사용하는 경우 이 식을 그대로 사용하나 재료실험을 수행한 경우에는 f_{cu} 에 평균강도를 바로 적용하여야 한다.

[해설]

표 5.3.1은 콘크리트기준에 정의된 유효강성으로 기둥부재의 축력비에 따른 휨강성의 변동을 고려하지 않고 있다. 따라서 축력비에 따른 휨강성의 변화를 보다 정밀하게 모사할 필요가 있을 경우 본문에 제시된 휨강성을 적용하여 평가할 수 있다.

한편, 대한건축학회의 ‘공동주택 성능기반 내진설계지침 2019’에서는 균열벽체의 전단강성으로 표에 규정된 값의 50%를 제시하고 있으며 지진공학회 “철근콘크리트 건축물 성능기반 내진설계 지침”에서는 사용성평가일 때 1.0, 붕괴방지 평가일 때 0.5로 차등하여 사용하도록 하고 있다. 표 5.3.1의 전단강성은 일반적인 건물에서 벽체의 전단강성이 전체 거동에 큰 영향을 미치지 않는 경우를 의도한 것으로 이보다 완화된 값을 사용할 경우 1.1.3의 절차를 통해 검증될 필요가 있다. 또한 이와 같은 전단강성의 감소는 그림 4.3.1(c)와 같이 균열 현상을 구체적으로 모델링하는 경우의 초기강성에는 적용하지 않는다.

5.3.3 부재강도

- (1) 철근콘크리트 부재의 강도는 별도로 규정하지 않은 경우에 건축구조기준의 5장 콘크리트구조의 규정에 따라 구하여야 한다. 단, 강도감소계수는 적용하지 않는다. 변형지배거동을 평가할 경우 재료의 기대강도를 적용하여 강도를 구하여야 한다.
- (2) 철근의 정착, 이음등의 강도가 부족한 경우, 이를 강도평가와 해석모델에 고려해야 한다.

5.3.4 섬유요소모델

재료의 비선형 응력-변형률 관계 및 축력과 휨모멘트의 상호작용을 모두 고려하여 비선형해석을 수행하고자 할 경우, 단면상에 분포된 비탄성 일축응력 전달요소로 비탄성 거동을 나타내는 섬유(fiber)요소를 사용할 수 있다. 이 섬유요소모델은 부재의 비선형 휨거동을 모델링할 때만 사용한다. 섬유요소의 재료별 응력-변형률 관계는 다음과 같이 모델링한다.

- (1) 비선형 해석을 위한 콘크리트의 응력-변형률 관계는 포물선 및 직선 관계를 포함하여 실험을 통하여 검증된 응력-변형률 관계를 사용할 수 있다. 단, 콘크리트의 인장능력은 무시한다. 별도의 실험으로 검증하지 않는 한, 횡구속되지 않은 콘크리트의 최대 응력에 상응하는 압축변형률은 0.002를 사용하며, 압축과괴 시 종국변형률과 잔류응력은 각각 0.003과 최대 응력의 10%를 넘을 수 없다. 횡철근 등에 의하여 횡구속된 콘크리트는 횡구속효과를 고려하여 콘크리트의 압축 응력-변형률 관계를 정의할 수 있다. 구속된 콘크리트 압축변형률의 한계는 실험적 근거에 기반하여

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

- 정의하여야 하며, 횡구속 철근의 파단, 주근의 좌굴, 대변형에서의 저항력 손실 등을 고려하여야 한다. 반복하중을 받는 콘크리트의 이력모델은 하중 제하(unloading) 또는 재재하(reloading)에 의한 에너지 소산이 없고 잔류변형에 의한 압축응력 발현의 지연을 고려하여 정의한다.
- (2) 철근의 응력-변형률 관계는 이선형 혹은 3선형 곡선으로 정의할 수 있다. 또한 철근의 압축변형률은 0.02, 인장변형률은 0.05를 초과할 수 없고, 강재 시편의 단조가력 시험에서 구한 최대 변형률을 한계치로 사용해서는 안 된다. 별도의 실험적 근거가 없는 경우, 철근의 탄성계수는 200 GPa을 사용한다. 철근이 독립적인 섬유요소로 모델링된 벽체의 경우, 압축을 받는 철근은 좌굴거동에 의한 응력 저하를 고려하여야 한다. 단조하중을 받는 철근의 경우, 압축변형률 0.003에서 좌굴이 발생하여 항복응력의 10%로 응력이 저하되는 다중선형 관계를 사용할 수 있다.
- (3) 비선형해석시 부재 유형별 소성회전각을 허용기준으로 사용한다. 또한 압축연단 콘크리트의 변형률과 철근의 인장 또는 압축 변형률이 (1)과 (2)에서 제시된 재료의 변형률 한계에 도달한 것으로 확인되면 소성회전각의 크기에 관계없이 해당 부재는 붕괴로 판정한다.
- (4) 섬유요소를 이용하여 모델링된 구조요소의 이력거동은 실제 실험에서 나타나는 거동과 잘 부합하지 않을 수 있으며, 상세 모델링 변수의 조절이 필요할 수 있다. 따라서 이와 같은 구조요소의 수치모델은 실제 실험결과 또는 이 장에서 제시하는 힘-변위 관계의 포락선 모델과의 비교를 통해 검증하여야 한다. 이를 위한 모의 해석에서는 회전각 또는 전단변형각 등 부재 수준에서의 거동을 나타내는 지표를 내진성능평가의 변형요구량 범위에서 산출하여 실험 등과 비교한다.

5.4 철근콘크리트 모멘트 골조

5.4.1 일반사항

철근콘크리트 모멘트 골조의 구조해석모델은 보, 기둥, 보-기둥 접합부 등 골조를 구성하는 각 부재간의 연결을 고려하여 부재의 강도, 강성, 변형 능력을 모사할 수 있도록 구축되어야 한다. 또한 잠재적인 휨파괴, 전단파괴, 그리고 보강근의 정착이 고려되어야 하며, 구조요소와 콘크리트 허리벽 및 조적채움벽, 비구조재와의 상호작용 역시 고려되어야 한다.

[해설]

모멘트 골조의 해석모델은 부재단면 특성을 길이방향 중심축에 집중시킨 선요소를 이용하여 구성할 수 있다. 이때 보와 기둥의 중심축이 교차하지 않는 경우, 골조 부재 중심축 간에 발생할 수 있는 편심효과를 고려하여야 한다. 비교적 큰 편심이 발생할 경우에는 유효강성, 강도, 변형 능력을 저감시키거나 편심효과를 고려한 접합부를 모델링하여 편심에 의한 영향을 나타낼 수 있어야 한다.

보-기둥 접합부는 기둥의 단면과 동일한 수평단면과 보의 깊이와 동일한 수직단면을 갖는 하나의 패널존으로 간주한다. 따라서 보가 기둥보다 단면이 더 크면 접합부의 단면이 증가한다. 이러한 보-기둥 접합부는 5.4.2절에 따르거나 실험적 근거를 기반으로 모델링할 수 있다. 선정된 성능수준에 적합한 비선형 거동이 실험적 근거나 해석에 의하여 검증되지 않는 한, 철근콘크리트 모멘트골조를 이루는 부재별 비선형 거동은 위에서 정의한 구조요소 및 표 5.4.6, 표 5.4.7, 표 5.4.8에 제시된 모델링 파라미터에 의한 거동으로 제한한다.

5.4.2 해석모델 및 강성

- (1) 철근콘크리트 모멘트 골조의 보와 기둥은 휨, 전단, 그리고 축방향 유효강성을 고려하여 평가되어야 한다. 설계지진 규모 이상의 지진 시 구조물은 균열 발생 이후 항복 혹은 그 이상의 비선형거동이 발생하며 그때의 비선형 강성과 전체 단면의 강성에 대한 비율을 유효강성비로 정의한다. 부재별 유효강성은 표 5.3.1의 값을 사용한다.
- (2) 보-기둥 접합부는 접합부내 패널존을 직접 모델링하거나 접합부와 인접한 보와 기둥의 강도비율에 따라 보와 기둥의 강역을 다음과 같이 모델링한다. 보-기둥 접합부의 모델링 예시는 그림 5.4.1에 제시되어 있다.
- ① 기둥의 강도가 큰 경우($\sum M_{nc} / \sum M_{nb} > 1.2$) 접합부내 기둥은 강역으로 모델링하며 보는 강역으로 모델링하지 않음
 - ② 보의 강도가 큰 경우($\sum M_{nc} / \sum M_{nb} < 0.8$) 접합부내 보는 강역으로 모델링하며 기둥은 강역으로 모델링하지 않음
 - ③ 보와 기둥의 강도가 비슷한 경우($0.8 \leq \sum M_{nc} / \sum M_{nb} \leq 1.2$) 기둥과 보 모두 접합부내 부재 길이의 절반을 강역으로 모델링함.

여기서, $\sum M_{nc}$ 는 축하중의 영향을 고려한 접합되는 상부와 하부 기둥의 모멘트강도의 합이며, $\sum M_{nb}$ 는 접합되는 보의 모멘트강도의 합이다. 별도의 검토를 수행하지 않는 경우에 모든 보-기둥 접합부에 ③을 적용할 수 있다.

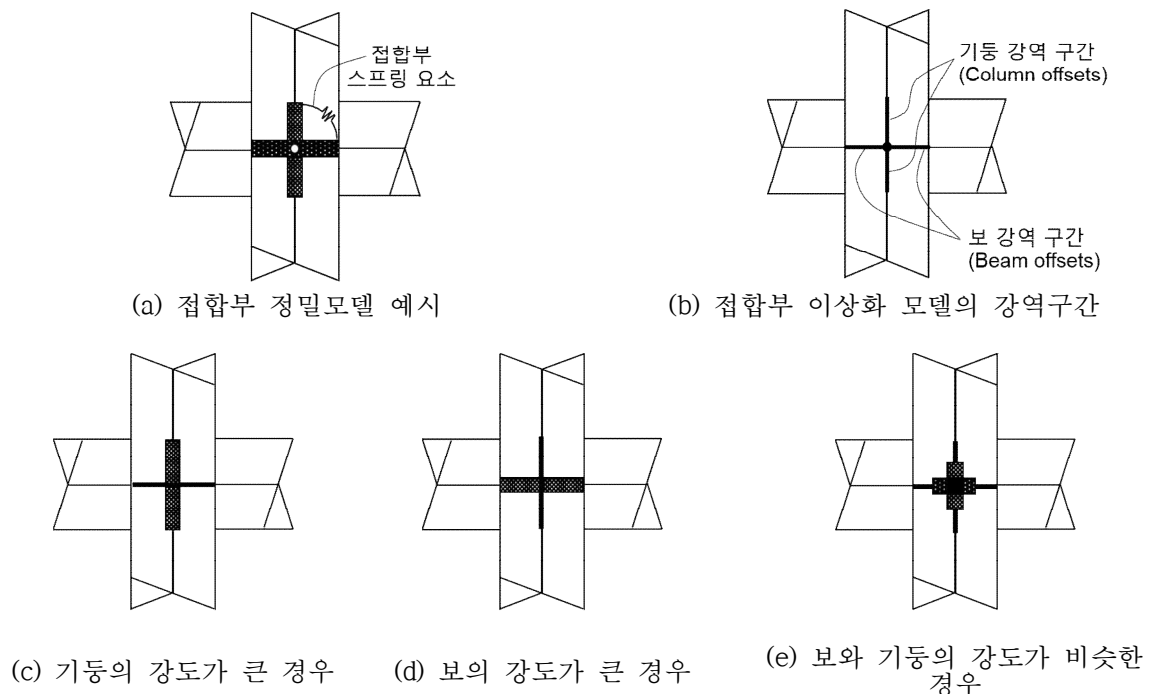


그림 5.4.1 보-기둥 접합부 강역의 모델링

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

(3) 기둥의 파괴모드는 기둥의 전단강도 V_o (식 (5.4.5)에 의한 V_n 과 동일), 소성힌지 구간에서 휨 항복이 발생했을 때의 전단력 V_p , 그리고 횡보강 철근의 상세를 기반으로 표 5.4.1과 같이 분류한다. 또한, RC기둥이 허리벽에 의하여 일부 구속된 경우, 단주효과를 고려하여 소성힌지 구간 및 V_p 를 구하여야 한다.

- ① 그룹 i: 휨 파괴(전단 파괴 발생 없이 휨 파괴가 발생하는 경우)
- ② 그룹 ii: 휨전단 파괴(휨 항복 이후 전단 파괴가 발생하는 경우)
- ③ 그룹 iii: 전단 파괴(휨 항복에 선행하여 전단 파괴가 발생하는 경우)

표 5.4.1 횡보강근 상세에 따른 RC기둥의 파괴모드 분류

전단 강도비(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 이하인 경우	i) ¹⁾	ii	ii
0.6 이상 1 이하인 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

(4) 비선형 동적절차에서는 실험적으로 검증된 특성을 이용하여 각 부재의 완전한 이력거동을 모델링하여야 한다.

[해설]

(3) 지진하중에 저항하는 보와 기둥의 거동을 모사할 수 있는 다른 적절한 모델도 적용할 수 있다. 부재 단부에서 집중적으로 항복이 발생하는 경우를 제외하고, 부재 전체가 비선형 거동하는 모델을 적용할 수 있다. 휨 이외의 비선형 거동이 예상되는 경우, 해석 모델은 이러한 영향을 모사할 수 있는 모형화가 되어야 한다. 철근콘크리트 모멘트 골조와 철근콘크리트 또는 조적 채움벽 또는 허리벽이 함께 사용될 경우, 채움벽에 의해 전달되는 전단력의 영향을 고려할 수 있도록 모델링하여야 한다. 특히 허리벽에 의하여 기둥의 일부가 구속될 경우, 기둥에서 항복이 발생할 것으로 예상되는 부위에 휨 및 전단 소성힌지모델을 반드시 배치하여 적절한 비선형거동을 모사할 수 있도록 하여야 한다. 또한 허리벽이 기둥보다 먼저 항복하여 기둥의 단주효과를 나타내지 못하고 오히려 에너지소산에 기여하지 않도록 적절히 모델링해야 한다. 부재의 힘-변형 관계는 그림 4.3.1과 같이 일반화된 힘-변형 곡선에 따라 정의할 수 있다. 단, 실험 결과에 기반하여 힘-변형 관계를 정의할 경우 그림 4.3.1의 힘-변형 곡선을 따를 필요가 없다. 실제 힘-변형 곡선은 5.4.2절의 강성과 5.4.3절의 강도 값을 이용하여 정의한다.

RC보, 기둥, 보-기둥 접합부의 경우, 그림 4.3.1에서 변형값은 소성회전각 또는 전단변형률로 정의할 수 있다. 그림 4.3.1의 B, C, D점에서의 변형값은 실험이나 적절한 해석을 통하여 도출할 수 있으며, 이는 휨모멘트와 축력, 그리고 전단력 간의 상호작용을 고려한 결과이어야 한다.

섬유 요소를 사용하여 해석하는 경우 허용기준은 5.3.4 (3)에 따른다.

(4) 철근콘크리트 부재별 힘-변형 곡선을 사용하여 비선형 동적 해석 모델에 적용할 수 있는데, 이때 힘-변형 곡선은 5.4.2.(1)절을 참고하여 5.4.4에 제시된 RC기둥의 모델링 주요 변수를 사용하여 정의할 수 있다. 이때 재하 또는 재하에 따른 강성 및 강도의 증감 효과를 고려한다.

5.4.3 강도

- (1) 부재별 강도는 이 기준에서 별도로 정의하지 않은 경우에 건축구조기준에 따라 산정할 수 있다. 이때 사용되는 재료강도는 5.2에 따라 산정한다.
- (2) 철근콘크리트 허리벽에 의해 모멘트골조 기둥의 변형이 구속될 경우 이에 따른 기둥의 단주효과를 고려하여 기둥의 강도를 평가하여야 한다.
- (3) 조적채움벽이 모멘트골조와 밀착되어 있는 경우, 모멘트골조의 기둥은 조적채움벽으로부터 전달되는 전단력에 의한 효과를 고려하여 강도를 평가하여야 한다.

5.4.3.1 보의 강도

- (1) 보의 평균 휨강도는 평균재료강도를 사용한 식 (5.4.1)에 의하여 구할 수 있다. 변형지배거동의 경우 설계기준강도와 기대강도의 차이를 고려하여 철근의 항복강도 f_y 대신 f_{ye} 를 콘크리트 압축강도 f_{ck} 대신 f_{ce} 를 사용하여 강도를 산정한다.

$$M_e = A_s f_{ye} (d - a/2) \quad (5.4.1)$$

여기서,

M_e : 보의 평균휨강도

A_s : 철근의 단면적

f_{ye} : 철근의 평균항복강도

d : 보의 유효깊이

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

b : 보의 폭

f_{ce} : 콘크리트의 평균압축강도

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

(2) 보의 전단강도는 공칭재료강도를 사용한 식 (5.4.2)에 의하여 구할 수 있다.

$$V_n = V_c + V_s \quad (5.4.2)$$

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f_{ck}} bd \quad (5.4.3)$$

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s} \quad (5.4.4)$$

여기서,

A_v : 전단보강근의 단면적

f_{ck} : 콘크리트의 공칭강도

f_{yt} : 전단보강근의 공칭항복강도

s : 전단보강근의 간격

단, 식 (5.4.3)에서 f_{ck} 와 $\sqrt{f_{ck}}$ 의 단위는 MPa로 한다.

5.4.3.2 기둥의 강도

(1) 기둥의 전단강도는 V_n 은 식 (5.4.5)를 사용하여 평가한다. 식 (5.4.5)는 후프 간격이 넓은 기둥이 휨항복 이후 비선형거동구간에서 전단강도가 급격히 감소하는 현상을 고려하기 위한 경험식이다.

$$V_n = k_1 \frac{A_v f_{yt} d}{s} + \lambda \left(\frac{0.5 \sqrt{f_{ck}}}{M/Vd} \sqrt{1 + \frac{N_u}{0.5 \sqrt{f_{ck}} A_g}} \right) 0.8 A_g \quad (5.4.5)$$

여기서,

$$k_1 = \begin{cases} 1 & s \leq 0.5d \\ 0.5 & 0.5d < s \leq d \\ 0 & s > d \end{cases}$$

단, s 를 모르는 경우, $k_1=0$ 을 사용.

λ : 경량콘크리트의 경우 0.75, 일반 콘크리트의 경우 1을 사용

N_u : 축방향 압축력. 인장력이 작용할 경우 강도 산정의 간편성을 위하여 $N_u=0$ 을 사용할 수 있음.

M/Vd : 평가하중 작용시 작용 모멘트를 전단력과 유효깊이로 나눈 값의 최댓값으로 2와 4 사이의 값을 사용함. 강도 산정의 간편성을 위하여 $M/Vd=3$ 을 사용할 수 있음

d : 유효깊이로 $d=0.8h$ 로 가정하여 사용할 수 있음

h : 전단력 작용방향의 기둥 단면 치수

A_g : 기둥의 총 단면적

- (2) 기둥의 휨, 압축, 및 인장강도는 철근콘크리트 압축연단의 변형률이 종국변형률 0.003에 도달할 때의 축력과 모멘트 상관관계를 고려하여 구하여야 한다. 휨 부재에 적용되는 단면의 평면유지 가정과 철근의 탄소성거동 및 힘의 평형조건을 사용한다. 단, 휨강도는 재료의 기대강도를 사용하여 구하고, 압축강도는 재료의 설계기준강도를 사용하여 구한다.

5.4.3.3 보-기둥 접합부의 강도

- (1) 보-기둥 접합부의 검토시 요구전단력은 평가지진작용시 유효 슬래브폭을 포함한 보-기둥접합부의 자유물체도로부터 산정할 수 있다. 단, 이 값은 접합부에 접한 보 혹은 기둥의 항복 시 발생하는 전단력보다 클 필요는 없다.
- (2) 보-기둥 접합부의 공칭전단강도 V_n 은 식 (5.4.6)을 이용하여 구할 수 있다.

$$V_n = 0.083\lambda\gamma\sqrt{f_{ck}}A_j \quad (5.4.6)$$

여기서,

- λ : 경량콘크리트의 경우 0.75, 일반 콘크리트의 경우 1을 사용
 A_j : 접합부의 유효 횡단면적
 γ : 표 5.4.2에 따른 계수

표 5.4.2 접합부 강도산정 계수, γ

접합부 횡보강근 간격	직교보가 있는 내부접합부	직교보가 없는 내부접합부	직교보가 있는 외부접합부	직교보가 없는 외부접합부	최상층 외부접합부
$h_c/2$ 이하인 경우 ¹⁾	20	15	15	12	8
$h_c/2$ 초과하는 경우 ¹⁾	12	10	8	6	4

1) h_c 구속보강철근 중심 간의 거리로 측정한 기둥 내부의 단면 치수

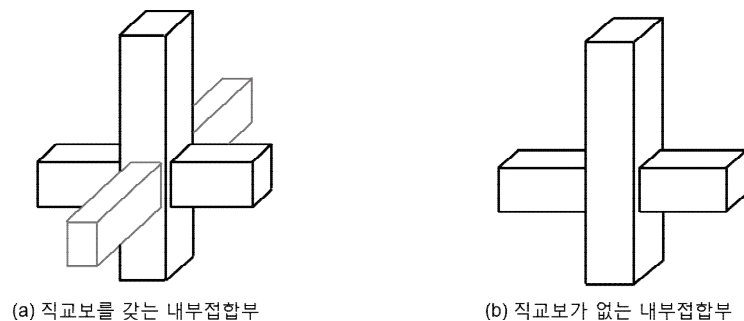


그림 5.4.2 보-기둥 접합부 분류

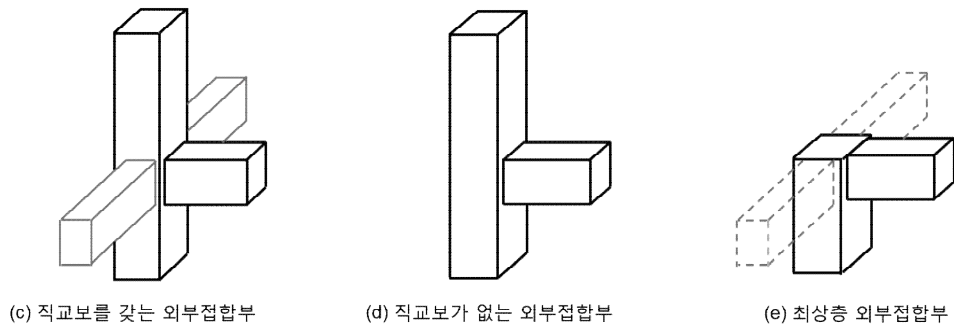


그림 5.4.2 보-기둥 접합부 분류(계속)

(3) 보-기둥 접합부의 공칭단면적 A_j 는 접합부 깊이인 골조 방향의 기둥 단면 치수와 접합부 너비의 곱으로 구할 수 있다. 접합부 너비는 아래 세 가지 중 최솟값을 사용하여야 한다.

- ① 골조 직각방향의 기둥 단면 치수
- ② 보폭과 접합부 깊이의 합
- ③ 기둥 측면에서 보의 부재방향 축까지 수직거리 중 작은 값의 두 배

[해설]

기존 실험연구 보고에 따르면 외부 및 모서리 보-기둥 접합부의 강도 및 비선형 변형성능이 내부 보-기둥 접합부에 비하여 현저히 떨어지는 것으로 알려져 있다. 이 요령에서는 식 (5.4.6)을 이용하여 보-기둥 접합부의 전단강도 산정 시, 외부 및 모서리 보-기둥 접합부의 경우 내부 접합부보다 작은 강도산정계수를 사용하도록 표 5.4.2 및 그림 5.4.2와 같이 제시하고 있다. 또한 외부 및 모서리 접합부의 모델링 주요 변수 및 허용기준도 표 5.4.8과 같이 내부접합부보다 작은 값으로 규정하고 있다. 한편 외부 및 모서리 보-기둥 접합부에서는 인접한 보의 주철근의 정착길이를 확보하기 어려운 경우가 많다. 접합부 내에 주철근 정착길이가 부족한 경우 보 부재는 접합부 내 주철근 부착파괴 등을 동반한 취성파괴가 발생할 수 있으므로 이 요령에서는 표 5.4.6와 같이 보 부재의 비선형 거동을 감소시켜 정의하고 있다.

5.4.4 모델링 변수 및 허용기준

선형절차 또는 비선형절차를 적용하는 경우에는 각각 5.4.4.1과 5.4.4.2의 모델링 변수와 허용기준을 적용한다.

5.4.4.1 선형절차

- (1) 콘크리트 모멘트골조의 부재별 성능은 변형지배거동과 힘지배거동으로 분류하며 각각에 대한 절차를 따라 내진성능평가를 수행하여야 한다.
- (2) 어떤 층 기둥의 평균 DCR값이 동일 층에 위치한 보의 평균 DCR값을 초과하거나, 1 또는 건물 전체 기둥의 m 계수의 절반 중 큰 값을 초과하면 해당 층은 약층으로 구분된다. 이때 평균 DCR

은 식 (4.2.2)를 사용하여 산정한다. 약층에 해당할 경우 해당 층의 2차부재까지 포함하여 평균 DCR 값을 반복하여 검토한다. 만약 해당 층 수직재의 평균 DCR 값이 2를 초과하며 해당층 수평 부재의 평균 DCR 값보다 클 경우, 해당 구조물은 비선형절차를 따라 재해석을 수행하거나 약층을 제거하기 위한 보강이 수행되어야 한다.

- (3) 철근콘크리트 모멘트 골조의 보, 기둥, 보-기둥 접합부의 성능수준별 1, 2차 부재의 m 계수는 각각 표 5.4.3, 표 5.4.4, 표 5.4.5과 같다.

[해설]

(1) 부재별 연성능력은 부재의 상세, 작용 부재력의 크기, 그리고 성능수준에 따라 달라진다. 표의 m 계수의 값은 이러한 부재별 조건에 따른 연성능력을 고려하여 제시된 값이다. m 계수는 ASCE 41-13의 값을 따랐다.

기둥은 일반적으로 2축방향으로 모두 모멘트가 작용한다. 따라서 기둥의 검토에는 다음 식과 같이 2축 모멘트를 고려하여야 한다.

$$DCR = \left(\frac{M_x}{m_x M_{ex}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_y}{m_y M_{ey}} \right)^\alpha \quad (\text{해 5.4.1})$$

여기서,

m_x, m_y : 각각 기둥의 x축 및 y축에 대한 휨의 m 값

M_{ex}, M_{ey} : 각각 x축 및 y축에 대한 기대휨모멘트강도로서 축력과 모멘트의 상관작용을 고려하여 결정한 값

α : 지수, 원형 및 정사각형 단면일 경우 α 는 1.75, 직사각형 단면일 경우 1.5

부재의 DCR 값이 1을 넘는 경우, 4.2.7의 (3)과 (4)에 제시된 절차에 따라 다음 항목에 해당하는 부재력을 산정하고 성능수준별 허용기준 만족여부를 검토한다.

- ① 보와 기둥 부재의 강도발현 시에 해당하는 부재력(모멘트, 전단력, 비틀림 등). 이때 5.6에 따라 철근의 정착 및 이음길이의 영향을 반영하여야 한다.
- ② 접합부에 인접한 보 및 기둥 부재의 강도 발현 시 발생하는 접합부 전단력
- ③ 검토부재 상부층의 부재가 소성거동할 때 발생하는 기둥과 접합부에 발생하는 축력

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

표 5.4.3 철근콘크리트 보의 m 계수

부재 조건			m 계수 ¹⁾				
			성능 수준				
				부재 중요도			
				1차부재		2차부재	
				거주가능	인명안전	붕괴방지	인명안전
휨에 의해 지배되는 경우 ²⁾							
$(\rho - \rho')/\rho_{bal}$	횡보강근 ³⁾	$V^4)/b_w d \sqrt{f_{ck}}$					
≤0.0	C	≤0.25	3	6	7	6	10
≤0.0	C	≥0.5	2	3	4	3	5
≥0.5	C	≤0.25	2	3	4	3	5
≥0.5	C	≥0.5	2	2	3	2	4
≤0.0	NC	≤0.25	2	3	4	3	5
≤0.0	NC	≥0.5	1.25	2	3	2	4
≥0.5	NC	≤0.25	2	3	3	3	4
≥0.5	NC	≥0.5	1.25	2	2	2	3
전단에 의해 지배되는 경우 ²⁾							
횡보강근 간격이 d/2 이하인 경우			1.25	1.5	1.75	3	4
횡보강근 간격이 d/2 초과인 경우			1.25	1.5	1.75	2	3
정착 혹은 철근 이음의 파괴가 예상되는 경우 ²⁾							
횡보강근 간격이 d/2 이하인 경우			1.25	1.5	1.75	3	4
횡보강근 간격이 d/2 초과인 경우			1.25	1.5	1.75	2	3
보-기둥 접합부의 정착파괴가 예상되는 경우 ²⁾							
			2	2	3	3	4

1) 사이 값은 선형보간하여 산정

2) 철근콘크리트보의 파괴모드를 고려하였을 때 복수의 상황에 해당하는 경우 가장 불리한 값을 사용

3) 소성힌지 영역에서 내진갈고리를 가진 후프 철근의 간격이 d/3 이하이고 후프 철근에 의한 강도 (V_s)가 전체전단강도의 3/4 이상이면 'C' 으로 판단하며, 그 외에는 'NC' 로 판단함

4) V 는 한계상태해석을 통해 산정된 전단력

표 5.4.4 철근콘크리트 기둥의 m 계수

부재 조건	m 계수 ¹⁾				
	성능 수준				
		부재 중요도			
		1차부재		2차부재	
	거주가능	인명안전	붕괴방지	인명안전	붕괴방지

그룹 i: 휨 파괴²⁾

$P/A_g f_{ck}$ ³⁾	$\rho = A_v/b_w s$						
≤ 0.1	≥ 0.006		2	2.5	3	4	5
≥ 0.6	≥ 0.006		1.25	1.8	1.9	1.9	2
≤ 0.1	≤ 0.002		2	2	2.6	2.6	3
≥ 0.6	≤ 0.002		1.1	1.1	1.2	1.2	1.4

그룹 ii: 휨 항복 후 전단 파괴²⁾

$P/A_g f_{ck}$ ³⁾	$\rho = A_v/b_w s$	$V/b_w d \sqrt{f_{ck}}$ ⁴⁾					
≤ 0.1	≥ 0.006	≤ 0.25	2	2.5	3	4	5
≤ 0.1	≥ 0.006	≥ 0.5	2	2	2.5	4	5
≥ 0.6	≥ 0.006	≤ 0.25	1.25	1.8	1.9	1.9	2
≥ 0.6	≥ 0.006	≥ 0.5	1.25	1.5	1.6	1.6	1.8
≤ 0.1	≤ 0.0005	≤ 0.25	1.2	1.3	1.4	1.4	1.6
≤ 0.1	≤ 0.0005	≥ 0.5	1	1	1.1	1.1	1.2
≥ 0.6	≤ 0.0005	≤ 0.25	1	1	1.1	1.1	1.2
≥ 0.6	≤ 0.0005	≥ 0.5	1	1	1	1	1

그룹 iii: 전단 파괴²⁾

$P/A_g f_{ck}$ ³⁾	$\rho = A_v/b_w s$						
≤ 0.1	≥ 0.006		1	1	1	4	5
≥ 0.6	≥ 0.006		1	1	1	1.6	1.8
≤ 0.1	≤ 0.002		1	1	1	1.1	1.2
≥ 0.6	≤ 0.002		1	1	1	1	1

그룹 iv: 부착 파괴 혹은 이음부 파괴²⁾

$P/A_g f_{ck}$ ³⁾	$\rho = A_v/b_w s$						
≤ 0.1	≥ 0.006		1	1	1	4	5
≥ 0.6	≥ 0.006		1	1	1	1.6	1.8
≤ 0.1	≤ 0.002		1	1	1	1.1	1.2
≥ 0.6	≤ 0.002		1	1	1	1	1

1) 사이 값은 선형보간하여 산정

2) 5.4.2(3)에 따라 기둥의 파괴모드별 그룹 i, ii, iii 결정

3) $P > 0.7f_{ck}A_g$ 인 기둥부재의 경우, $d/3$ 보다 작은 간격으로 135도 갈고리 후프 철근이 배근되어 있고 전단철근에 의한 전단강도가 전체전단강도의 3/4 이상인 기둥이 아닌 경우 m 계수는 모든 성능수준에서 동일하게 1로 본다. 여기서 P 는 부재의 작용축력 혹은 한계상태해석을 통해 구한 축력이다.

4) V 는 한계상태해석을 통해 산정된 전단력

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

표 5.4.5 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 m 계수

부재 조건			m 계수 ¹⁾				
			성능 수준				
				부재 중요도			
				1차부재		2차부재	
			거주가능	인명안전	붕괴방지	인명안전	붕괴방지
내부접합부(그림 5.4.2에 따라 분류됨)							
$P/A_g f_{ck}^{2)}$	접합부 횡보강근 간격	$V/V_n^{3)}$					
≤ 0.1	$\leq h_c/2$	≤ 1.2	1	1	1	3	4
≤ 0.1	$\leq h_c/2$	≥ 1.5	1	1	1	2	3
≥ 0.4	$\leq h_c/2$	≤ 1.2	1	1	1	3	4
≥ 0.4	$\leq h_c/2$	≥ 1.5	1	1	1	2	3
≤ 0.1	$> h_c/2$	≤ 1.2	1	1	1	2	3
≤ 0.1	$> h_c/2$	≥ 1.5	1	1	1	2	3
≥ 0.4	$> h_c/2$	≤ 1.2	1	1	1	2	3
≥ 0.4	$> h_c/2$	≥ 1.5	1	1	1	2	3
그 외 접합부(그림 5.4.2에 따라 분류됨)							
$P/A_g f_{ck}^{2)}$	접합부 횡보강근 간격	$V/V_n^{3)}$					
≤ 0.1	$\leq h_c/2$	≤ 1.2	1	1	1	3	4
≤ 0.1	$\leq h_c/2$	≥ 1.5	1	1	1	2	3
≥ 0.4	$\leq h_c/2$	≤ 1.2	1	1	1	3	4
≥ 0.4	$\leq h_c/2$	≥ 1.5	1	1	1	2	3
≤ 0.1	$> h_c/2$	≤ 1.2	1	1	1	2	3
≤ 0.1	$> h_c/2$	≥ 1.5	1	1	1	2	3
≥ 0.4	$> h_c/2$	≤ 1.2	1	1	1	1.5	2
≥ 0.4	$> h_c/2$	≥ 1.5	1	1	1	1.5	2

1) 사이 값은 선형보간하여 산정

2) P 는 한계상태해석을 통해 산정된 접합부 상부 기둥의 축력, A_g 는 접합부 전체 단면적

3) V 는 작용전단력, V_n 은 접합부의 전단강도

5.4.4.2 비선형절차

비선형절차를 위한 해석모델에서 철근콘크리트 부재별 비선형 거동은 표 5.4.6. ~ 표 5.4.8의 모델링 변수에 따라 모델링한다.

- (1) 보와 기둥 부재의 변형은 소성힌지부의 회전각으로 표현할 수 있으며, 이때 소성회전각은 표 5.4.6와 표 5.4.7을 이용하여 정의한다.
- (2) 보-기둥 접합부의 변형은 접합부의 전단변형(각)으로 표현할 수 있으며, 이때 전단변형각은 표 5.4.8를 이용하여 정의한다.
- (3) 표 5.4.6, 표 5.4.7, 표 5.4.8에서 제시하지 않는 부재 혹은 비선형 능력은 실험 또는 검증된 해석절차를 통해 산정된 값을 사용할 수 있다.
- (4) 콘크리트 허리벽 및 조적채움벽이 함께 사용된 철근콘크리트 모멘트골조의 기둥 부재의 능력은 이 요령의 “제6장 조적조 및 조적채움벽”에 정의된 모델링 변수를 사용하여 정의한다.

비선형해석후 변형지배거동의 만족여부는 성능점에서 부재의 비선형변형량과 표 5.4.6. ~ 표 5.4.8에 제시된 허용기준과의 비교를 통해 판정한다. 힘지배거동의 만족여부는 4.3.6의 (2)에 따라 판정한다.

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

표 5.4.6 철근콘크리트 보의 모델링 주요 변수 및 성능수준별 허용기준

부재 조건			모델링 주요 변수 ¹⁾			허용기준 ¹⁾		
			소성회전각		잔류강도비	성능수준		
			a	b	c	거주가능	인명안전	붕괴방지
휨에 의해 지배되는 경우 ²⁾								
$(\rho - \rho')/\rho_{bal}$	횡보강근 ³⁾	$V/b_w d \sqrt{f_{ck}}$ ⁴⁾						
≤ 0.0	C	≤ 0.25	0.025	0.05	0.2	0.010	0.025	0.05
≤ 0.0	C	≥ 0.5	0.02	0.04	0.2	0.005	0.02	0.04
≥ 0.5	C	≤ 0.25	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≥ 0.5	C	≥ 0.5	0.015	0.02	0.2	0.005	0.015	0.02
≤ 0.0	NC	≤ 0.25	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≤ 0.0	NC	≥ 0.5	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≤ 0.25	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≥ 0.5	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
전단에 의해 지배되는 경우 ²⁾								
횡보강근 간격이 $d/2$ 이하인 경우			0.003	0.02	0.2	0.0015	0.01	0.02
횡보강근 간격이 $d/2$ 초과인 경우			0.003	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
정착 혹은 철근 이음의 파괴가 예상되는 경우 ²⁾								
횡보강근 간격이 $d/2$ 이하인 경우			0.003	0.02	0.0	0.0015	0.01	0.02
횡보강근 간격이 $d/2$ 초과인 경우			0.003	0.01	0.0	0.0015	0.005	0.01
보-기둥 접합부의 정착파괴가 예상되는 경우 ²⁾								
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.02	0.03

1) 사이 값은 선형보간하여 산정

2) 철근콘크리트보의 파괴모드를 고려하였을 때 다수의 상황에 해당하는 경우 가장 불리한 값을 사용

3) 소성힌지 영역에서 내진갈고리를 가진 후프 철근의 간격이 $d/3$ 이하이고 후프 철근에 의한 강도 (V_s)가 전체전단강도의 3/4 이상이면 'C' 으로 판단하며, 그 외에는 'NC' 로 판단함

4) V 는 비선형정적해석 또는 비선형동적해석으로부터 산정된 전단력

표 5.4.7 철근콘크리트 기둥의 모델링 주요 변수 및 성능수준별 허용기준

부재 조건			모델링 주요 변수 ¹⁾			허용기준 ¹⁾		
			소성회전각		잔류강도비	성능수준		
			a	b	c	거주가능	인명안전	붕괴방지
그룹 i: 휨 파괴 ²⁾								
$P/A_g f_{ck}$ ³⁾	$\rho = A_v/b_w s$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.035	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
≤ 0.1	$=0.002$		0.027	0.034	0.2	0.005	0.027	0.034
≥ 0.6	$=0.002$		0.005	0.005	0.0	0.002	0.004	0.005
그룹 ii: 휨 항복 후 전단 파괴 ²⁾								
$P/A_g f_{ck}$ ³⁾	$\rho = A_v/b_w s$	$V/b_w d \sqrt{f_{ck}}$ ⁴⁾						
≤ 0.1	≥ 0.006	≤ 0.25	0.032	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≤ 0.1	≥ 0.006	≥ 0.5	0.025	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006	≤ 0.25	0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
≥ 0.6	≥ 0.006	≥ 0.5	0.008	0.008	0.0	0.003	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005	≤ 0.25	0.012	0.012	0.2	0.005	0.010	0.012
≤ 0.1	≤ 0.0005	≥ 0.5	0.006	0.006	0.2	0.004	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005	≤ 0.25	0.004	0.004	0.0	0.002	0.003	0.004
≥ 0.6	≤ 0.0005	≥ 0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
그룹 iii: 전단 파괴 ²⁾								
$P/A_g f_{ck}$ ³⁾	$\rho = A_v/b_w s$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.0	0.060	0.0	0.0	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.0	0.008	0.0	0.0	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005		0.0	0.006	0.0	0.0	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
그룹 iv: 부착 파괴 혹은 이음부 파괴 ²⁾								
$P/A_g f_{ck}$ ³⁾	$\rho = A_v/b_w s$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.0	0.060	0.4	0.0	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.0	0.008	0.4	0.0	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005		0.0	0.006	0.2	0.0	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

1) 사이 값은 선형보간하여 산정

2) 5.4.2(3)에 따라 기둥의 파괴모드별 그룹 i, ii, iii 결정

3) $P > 0.7f_{ck}A_g$ 인 기둥부재의 경우, $d/3$ 보다 작은 간격으로 135도 갈고리 후프 철근이 배근되어 있고 전단철근에 의한 전단강도가 전체전단강도의 3/4 이상인 기둥이 아닌 경우 소성회전능력은 모든 성능수준에서 동일하게 0로 본다. 여기서 P 는 지진력과 수직하중에 의해 부재에 발생할 수 있는 최대축력이다.

4) V 는 비선형정적해석 또는 비선형동적해석으로부터 산정된 전단력

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

표 5.4.8 철근콘크리트 보-기둥 접합부의 모델링 주요 변수 및 성능수준별 허용기준

부재 조건			모델링 주요 변수 ¹⁾			허용기준 ¹⁾		
			소성회전각		잔류강도비	성능수준		
			a	b	c	거주가능	인명안전	붕괴방지
내부접합부(그림 5.4.2에 따라 분류됨)								
$P/A_g f_{ck}$ ²⁾	접합부 횡보강근 간격	V/V_n ³⁾						
≤ 0.1	$\leq h_c/2$	≤ 1.2	0.015	0.03	0.2	0.0	0.02	0.03
≤ 0.1	$\leq h_c/2$	≥ 1.5	0.015	0.03	0.2	0.0	0.015	0.02
≥ 0.4	$\leq h_c/2$	≤ 1.2	0.015	0.025	0.2	0.0	0.015	0.025
≥ 0.4	$\leq h_c/2$	≥ 1.5	0.015	0.02	0.2	0.0	0.015	0.02
≤ 0.1	$> h_c/2$	≤ 1.2	0.005	0.02	0.2	0.0	0.015	0.02
≤ 0.1	$> h_c/2$	≥ 1.5	0.005	0.015	0.2	0.0	0.01	0.015
≥ 0.4	$> h_c/2$	≤ 1.2	0.005	0.015	0.2	0.0	0.01	0.015
≥ 0.4	$> h_c/2$	≥ 1.5	0.005	0.015	0.2	0.0	0.01	0.015
그 외 접합부(그림 5.4.2에 따라 분류됨)								
$P/A_g f_{ck}$ ²⁾	접합부 횡보강근 간격	V/V_n ³⁾						
≤ 0.1	$\leq h_c/2$	≤ 1.2	0.01	0.02	0.2	0.0	0.015	0.02
≤ 0.1	$\leq h_c/2$	≥ 1.5	0.01	0.015	0.2	0.0	0.01	0.015
≥ 0.4	$\leq h_c/2$	≤ 1.2	0.01	0.02	0.2	0.0	0.015	0.02
≥ 0.4	$\leq h_c/2$	≥ 1.5	0.01	0.015	0.2	0.0	0.01	0.015
≤ 0.1	$> h_c/2$	≤ 1.2	0.005	0.01	0.2	0.0	0.0075	0.01
≤ 0.1	$> h_c/2$	≥ 1.5	0.005	0.01	0.2	0.0	0.0075	0.01
≥ 0.4	$> h_c/2$	≤ 1.2	0.0	0.0075	0.0	0.0	0.005	0.0075
≥ 0.4	$> h_c/2$	≥ 1.5	0.0	0.0075	0.0	0.0	0.005	0.0075

1) 사이 값은 선형보간하여 산정

2) P 는 한계상태해석을 통해 산정된 접합부 상부 기둥의 축력, A_g 는 접합부 전체단면적

3) V 는 비선형정적해석 또는 비선형동적해석으로부터 산정된 전단력, V_n 은 접합부의 전단강도

5.5 철근콘크리트 전단벽 구조

5.5.1 일반사항

- (1) 직사각형 전단벽 및 분절벽체는 등가의 보-기둥요소나 벽요소를 이용하여 모델링할 수 있으며, 이형벽체는 등가의 보-기둥요소로 모델링하거나 5.3.4에 따라 모델링할 수 있다.
- (2) 등가의 보-기둥요소와 인접 벽체 또는 인접 골조 부재 사이의 접합부는 각각 패널존 또는 벽체 중심선과 인접부재 사이의 거리를 고려하여 모델링하여야 한다.
- (3) 벽요소를 사용할 경우 자유도의 적합성을 위해 가상의 보를 사용할 필요가 있다.
- (4) 비선형 휨거동은 벽체 단면의 힘-변형 관계 또는 재료의 응력-변형률 관계를 이용하는 섬유요소로 나타낼 수 있다. 섬유요소를 사용할 경우 콘크리트 섬유는 벽체 하나 당 10개 이상이어야 한다.
- (5) 전단거동은 선형 또는 비선형으로 모델링할 수 있다. 선형으로 모델링할 경우 표 5.3.1의 유효강성을 사용하여야 한다. 비선형으로 모델링할 경우 적절한 전단 응력-변형률 관계를 사용하여야 한다. 또한 이력거동을 정의할 때 에너지소산면적을 최소로 할 수 있는 원점지향(origin-oriented) 모델 또는 그보다 에너지소산 면적이 더 작은 모델을 사용해야 한다.
- (6) 휨 거동을 섬유요소로 나타낼 경우 층간의 곡률변화가 크지 않은 전단벽은 층당 하나의 벽요소로 모델링할 수 있다. 일반적으로 곡률변화가 큰 1층 벽체의 경우 수직으로 최소한 2개 이상의 벽요소로 모델링하여야 한다.
- (7) 병렬전단벽의 연결보는 일반 보가 아닌 이 절의 규정에 따른다.

[해설]

(1)~(3) 개구부가 있는 벽체는 일련의 벽기둥(pier)과 수평부분벽(수직으로 나란히 배열된 개구부 사이의 벽체)으로 구성된 분절벽체들의 조합으로 모델링 한다. 다만 개구부가 벽체의 강성 및 강도에 미치는 영향이 크지 않은 경우에만 단일 벽체로 간주할 수 있다. 분절벽체를 섬유요소로 모델링할 경우에는 길이 방향으로 두 개 이상의 요소를 연결하여 구성한다.

(4) 콘크리트구조기준(2012)에서 요구조건을 충족하는 대각보강근이 있는 연결보는 비선형 휨거동만으로 모델링할 수 있다.

5.5.2 강성

벽체의 유효강성은 표 5.3.1에 제시된 값을 사용하거나, 재료특성, 부재치수, 배근량, 경계조건, 균열 및 응력 상태의 영향을 합리적으로 고려한 값을 적용할 수 있다.

[해설]

박스형, T, L, I 및 C형 등의 단면을 갖는 이형벽체의 유효플랜지폭은 별도의 상세해석을 수행하지 않는 경우 웨브의 측면에서부터 인접 웨브까지 거리의 1/2과 벽체 전체 높이의 25% 중 작은 거리까지 확장된 것으로 본다. 유효플랜지폭 내의 플랜지 영역 전체는 휨 및 축 하중에 대해서 유효하나, 전단에 대해서는 웨브의 폭 안쪽에 해당되는 부분만 유효하다.

5.5.3 강도

- (1) 전단벽의 강도는 KDS 41 30 00(KBC 2016의 5장 콘크리트 구조)를 따른다.
- (2) 대부분의 경우 전단벽에 작용하는 압축응력은 낮으므로 압축력의 평가는 생략하고 휨모멘트 강도와 전단강도만을 검토할 수 있다.
- (3) 전단벽의 휨모멘트 강도는 기둥과 동일하게 축력-모멘트 상관관계를 이용하여 구한다. 직사각형 단면의 벽체의 휨강도는 식 (5.5.1)과 같은 약산 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$M_c = 0.5A_s f_{ye} (0.8l_w) + 0.5P_u (0.8l_w) \quad (5.5.1)$$

여기서,

l_w : 벽체단면의 길이

- (4) 직사각형 단면을 갖는 전단벽의 전단강도는 건축구조기준에 따라 콘크리트 및 전단보강근의 기여분의 합으로 산정한다. 다만 높이-길이비 h_w/l_w 가 2.0 이하이고 벽체 단부에 기둥이 있는 바벨형 단면, 또는 플랜지가 있는 단면을 갖는 전단벽의 전단강도는 다음 식에 의해 계산할 수 있다 (ASCE/SEI 43-05, 2005).

$$V_n = v_n d t_w \quad (5.5.2)$$

$$v_n = 0.69 \sqrt{f_{ck}} - 0.28 \sqrt{f_{ck}} \left(\frac{h_w}{l_w} - 0.5 \right) + \frac{P}{4l_w t_w} + \rho_{se} f_y \leq 1.66 \sqrt{f_{ck}} \quad (5.5.3)$$

$$\rho_{se} = A\rho_v + B\rho_h \quad (5.5.4)$$

여기서,

d : 압축연단에서 중립축까지의 거리

ρ_v, ρ_h : 각각 벽체의 수직 및 수평 철근비

A, B : 표 5.5.1에 따른다.

표 5.5.1 철근비 ρ_{se} 의 A와 B

형상비	A	B
$h_w/l_w \leq 0.5$	1	0
$0.5 \leq h_w/l_w \leq 1.5$	$-h_w/l_w + 1.5$	$h_w/l_w - 0.5$
$h_w/l_w \geq 1.5$	0	1

- (6) 연결보의 공칭 휨강도 및 전단강도는 KDS 41 30 00(KBC 2016의 5장 콘크리트 구조)에 따라 산정한다.

[해설]

(3) 단면이 플랜지를 갖는 경우 강도 산정에 유효한 플랜지는 웨브의 측면에서부터 인접 웨브까지 거리의 1/2과 벽체 높이의 1/4 중 작은 값만큼 연장된 것으로 보며, 평가 벽체의 플랜지보다 더 연장될 필요는 없다. 수직방향 철근에 대한 이음 길이를 고려하여 휨강도를 계산한다. 이 때 휨강도는 이음이 철근의 응력을 지배하는 위치를 기준으로 계산한다.

5.5.4 모델링 변수 및 허용기준

(1) 벽체는 휨이 지배하는 벽체 또는 전단이 지배하는 벽체로 분류하여 모델링한다.

① 지배적 작용은 특정한 지배적 작용을 가정하여 내진성능평가를 수행하고 가정의 부합여부를 검토하는 방식으로 결정할 수 있다. 다만 높이-길이비 h_w/l_w 에 따라서 다음과 같이 분류할 수 있다.

② 높이-길이비 $h_w/l_w > 3.0$ 인 벽체는 휨지배 거동으로 분류할 수 있다.

③ 높이-길이비 $h_w/l_w < 1.5$ 인 벽체는 전단지배 거동으로 분류할 수 있다.

④ 분절벽체의 경우에 양단부에서 휨 항복 이전에 전단파괴 선행여부를 확인하여 결정할 수 있다

(2) 선형절차 또는 비선형절차를 적용하는 경우 각각 5.5.4.1과 5.5.4.2의 모델링 변수와 허용기준을 적용한다. 이 때 철근콘크리트 전단벽 또는 분절벽체는 표 4.3.1에 따라 변형지배와 휨지배 부재로 분류하여 모델링 주요 변수 및 허용기준을 적용한다. 단, 벽체의 횡방향 철근비가 0.0015 미만인 경우 휨지배 부재로 간주한다.

5.5.4.1 선형절차

(1) 변형지배거동을 하는 부재의 만족 여부는 4.2.8의 식 (4.2.14)에 따라서 판정한다. 휨지배거동을 하는 부재의 만족여부는 4.2.8의 식 (4.2.15)에 따라 판정한다. 부재의 m 계수는 표 5.5.2 및 표 5.5.3과 같다. 이들 표는 변형지배거동에 대한 허용기준이다. 벽체의 지배거동은 5.5.4 (1)에 따라 분류할 수 있다.

(2) 전단벽과 분절벽체에 작용하는 최대 전단력은 해석법에 따라 4.2.4 또는 4.2.5에 의해 요구되는 횡력분포에 의한 전단력으로 평가한다.

(3) 단 캔틸레버처럼 거동하는 전단벽의 요구 전단력은 벽체 하단의 휨모멘트 강도 발현 시 요구되는 횡하중이 벽체 전체 높이에 걸쳐 등분포로 작용한다는 가정하에 산정되는 전단력보다 크거나 같아야 한다.

(4) 분절벽체의 요구전단력은 양 단부에서 각각 정, 부 휨모멘트 강도 발현 시 발생하는 전단력을 초과할 수 없다.

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

표 5.5.2 휨 지배 철근콘크리트 전단벽 및 관련 요소의 m 계수

조건			m 계수 ¹⁾				
			거주가능	부재 중요도			
				1차부재		2차부재	
				인명안전	붕괴방지	인명안전	붕괴방지
1. 휨에 의해 지배되는 경우 : 전단벽 요소							
특수경계 요소의 유무	배근상태와 축력비 ²⁾	작용 전단력의 비율 ³⁾					
있음	0.1 이하	0.33 이하	2	4	6	6	8
		0.5 이상	2	3	4	4	6
	0.25 이상	0.33 이하	1.5	3	4	4	6
		0.5 이상	1.25	2	2.5	2.5	4
없음	0.1 이하	0.33 이하	2	2.5	4	4	6
		0.5 이상	1.5	2	2.5	2.5	4
	0.25 이상	0.33 이하	1.25	1.5	2	2	3
		0.5 이상	1.25	1.5	1.75	1.75	2
2. 휨에 의해 지배되는 경우 : 연결보							
내진상세단면인 경우 ⁴⁾		0.25 이하	2	4	6	6	9
		0.5 이상	1.5	3	4	4	7
비내진상세단면인 경우 ⁴⁾		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

1) 사이값은 선형보간한다.

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

3) 작용 전단력의 비율은 $V/(\sqrt{f_{ck}} t_w l_w)$ 로 평가한다.

4) 내진상세 단면과 비내진상세 단면의 판단은 KDS 41 30 00의 4.18 내진설계 시 특별 고려사항의 규정에 따른 횡보강근의 만족 여부에 따른다.

표 5.5.3 전단 지배 철근콘크리트 전단벽 및 관련 요소의 m 계수

조건		m 계수 ¹⁾				
		거주가능	부재 중요도			
			1차부재		2차부재	
			인명안전	붕괴방지	인명안전	붕괴방지
1. 전단에 의해 지배되는 경우 ²⁾ : 전단벽 요소						
배근상태와 축력비 ³⁾	작용 전단력의 비율 ⁴⁾					
0.05 이하		2	2.5	3	4.5	6
0.05 초과		1.5	2	3	3	4
2. 전단에 의해 지배되는 경우 : 연결보						
내진상세단면인 경우 ⁵⁾	0.25 이하	1.5	3	4	4	6
	0.5 이상	1.2	2	2.5	2.5	3.5
비내진상세단면인 경우 ⁵⁾	0.25 이하	1.5	2.5	3	3	4
	0.5 이상	1.2	1.2	1.5	1.5	2.5

1) 사이값은 선형보간한다.

2) 축력은 $0.15A_gf_{ck}$ 이하이어야 하며, 그렇지 않은 경우에는 하중지배 부재로 간주한다.

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

4) 작용 전단력의 비율은 $V/(\sqrt{f_{ck}} t_w l_w)$ 로 평가한다.

5) 내진상세 단면과 비내진상세 단면의 판단은 KDS 41 30 00의 4.18 내진설계시 특별고려사항의 규정에 따른 횡보강근의 만족 여부에 따른다.

5.5.4.2 비선형절차

- (1) 전단벽, 분절벽체, 연결보의 해석을 위한 소성힌지의 힘-변위 관계는 그림 4.3.1에 따른다. 철근콘크리트 전단벽 및 관련 부재의 모델링 주요변수 및 허용기준은 표 5.5.4, 표 5.5.5와 같다. 이들 표는 변형지배거동에 대한 허용기준이다. 섬유요소로 모델링한 부재는 5.3.4의 규정에 따라서 평가한다.
- (2) 휨에 의해 지배되는 전단벽과 분절벽체의 힘-변형 관계를 나타내는 그림 4.3.1(a)에서 변형을 나타내는 횡축은 그림 5.5.1에 정의된 소성힌지 영역에서의 회전각으로 한다. 그림 4.3.1(a)에서 항복점에 해당되는 B점의 소성힌지 회전각은 다음 식에 의해 계산하고, C, D, E점을 정의하는 데 필요한 a, b, c는 표 5.5.4에 따른다.

$$\theta_y = \left(\frac{M_{yE}}{(EI)_{eff}} \right) l_p \quad (5.5.5)$$

여기서,

M_{yE} : 전단벽 또는 분절벽체의 평균재료강도를 사용해 산정한 항복모멘트강도

$(EI)_{eff}$: 벽체의 유효휨강성

l_p : 가정된 소성힌지 길이

소성힌지 길이는 휨변형에 상응하는 부재 춤의 1/2로 하되 전단벽은 한 층의 층고, 분절벽체는 요소 길이의 50% 보다 작아야 한다.

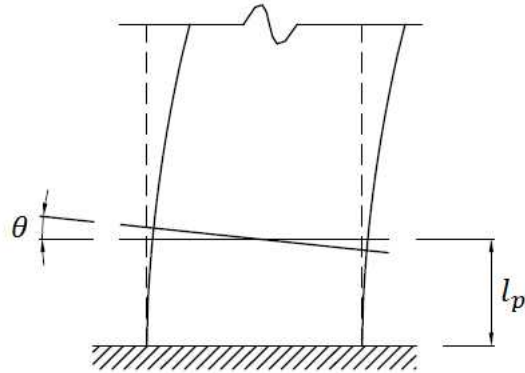


그림 5.5.1 휨 지배 벽체의 소성힌지 회전각

- (3) 전단에 의해 지배되는 전단벽과 분절벽체에는 그림 4.3.1(c)의 하중-변형 관계가 적용되어야 하며, 여기서 횡축은 횡변형비(lateral drift ratio)로 한다. 대안으로서 그림 4.3.1(b)의 하중-변형 관계가 허용되며, 여기서 횡축은 마찬가지로 횡변형비로 한다. 벽체의 횡변형비는 전단벽의 경우에는 층간변위비, 분절벽체의 경우에는 부재의 상대변위비로 한다. 그림 4.3.1(b), (c)의 B, C, D, E, F 점을 결정하기 위해 필요한 d, e, f, g, c의 값은 표 5.5.5에 따른다.
- (4) 연결보의 경우에는 그림 4.3.1(b)의 하중-변형 관계를 사용하며, 여기서 횡축은 그림 5.5.2에 정의된 현회전각(chord rotation angle)으로 한다. 그림 4.3.1(b)의 C, D, E 점을 결정하기 위해 필요한 d, e, c의 값은 표 5.5.4 및 표 5.5.5에 따른다.

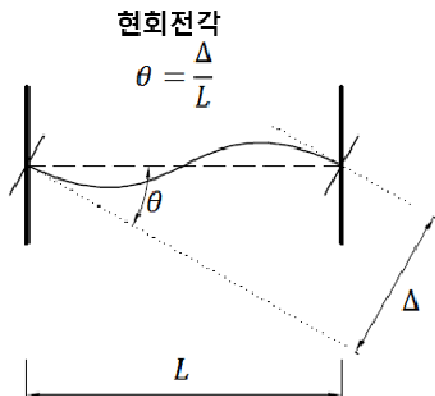


그림 5.5.2 전단벽 연결보의 현회전각

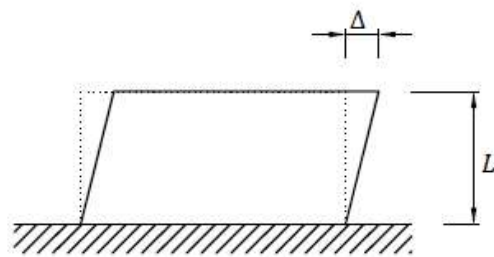


그림 5.5.3 전단 지배 벽체의 층간변위

- (5) 비선형동적절차 적용시 전단벽과 분절벽체의 전체 이력거동은 실험에 근거하여 입증된 속성을 사용하여 모델링 되어야 하며, 그림 4.3.1의 일반화된 포락선을 사용할 수 있다. 제하 및 재하 강성, 강도 및 펀칭 현상에 대해 모델링 대상의 벽 요소와 유사한 벽체에 대한 실험으로부터 관찰된 결과를 반영하여야 한다.

표 5.5.4 휨 지배 철근콘크리트 전단벽 및 관련 요소의 비선형 모델링 변수 및 허용기준

조건			모델링 주요변수 ¹⁾			허용기준 ¹⁾ (소성회전각, rad)		
			소성회전각 (rad.)		잔류 강도비	거주가능	인명안전	붕괴방지
			a	b	c			
1. 전단벽								
특수경 계요소 의 유무	배근상태와 축력비 ²⁾	작용 전단력의 비율 ³⁾						
있음	0.1 이하	0.33 이하	0.015	0.020	0.75	0.005	0.015	0.020
		0.5 이상	0.010	0.015	0.40	0.004	0.01	0.015
	0.25 이상	0.33 이하	0.009	0.012	0.60	0.003	0.009	0.012
		0.5 이상	0.005	0.010	0.30	0.0015	0.005	0.01
없음	0.1 이하	0.33 이하	0.008	0.015	0.60	0.002	0.008	0.015
		0.5 이상	0.006	0.010	0.30	0.002	0.006	0.01
	0.25 이상	0.33 이하	0.003	0.005	0.25	0.001	0.003	0.005
		0.5 이상	0.002	0.004	0.20	0.001	0.002	0.004
2. 연결보			d	e	c			
내진상세단면인 경우 ⁴⁾		0.25 이하	0.025	0.05	0.75	0.01	0.025	0.05
		0.5 이상	0.02	0.04	0.5	0.005	0.02	0.04
비내진상세단면인 경우 ⁴⁾		0.25 이하	0.02	0.035	0.5	0.006	0.02	0.035
		0.5 이상	0.01	0.025	0.25	0.005	0.01	0.025
대각선배근		n.a.	0.03	0.05	0.8	0.006	0.03	0.05

1) 사이값은 선형보간한다.

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

4) 내진상세 단면과 비내진상세 단면의 판단은 KDS 41 30 00의 4.18 내진설계 시 특별고려사항의 규정에 따른 횡보강근의 만족 여부에 따른다.

기존 시설물(건축물) 내진성능 평가요령

표 5.5.5 전단 지배 철근콘크리트 전단벽 및 관련 요소의 비선형 모델링 변수 및 허용기준

조건		모델링 주요변수 ¹⁾					허용 전체 횡변형각 ¹⁾ (%) 또는 현회전각 ¹⁾ (rad)		
배근상태와 축력비 ²⁾	작용 전단력의 비율 ³⁾	전체 횡변형각(%) 혹은 전체 회전각(rad.)			잔류 강도비		거주가능	인명안전	붕괴방지
		d	e	g	c	f			
1. 전단벽 ⁴⁾									
0.05 이하	-	1.0	2.0	0.4	0.2	0.6	0.40	1.5	2.0
0.05 초과	-	0.75	1.0	0.4	0.0	0.6	0.40	0.75	1.0
2. 연결보									
내진상세단면인 경우 ⁵⁾	0.25 이하	0.02	0.03	-	0.6	-	0.006	0.02	0.03
	0.5 이상	0.016	0.024	-	0.3	-	0.005	0.016	0.024
비내진상세단면 인 경우 ⁵⁾	0.25 이하	0.012	0.025	-	0.4	-	0.006	0.01	0.02
	0.5 이상	0.008	0.014	-	0.2	-	0.004	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) 작용 전단력의 비율은 $V/(\sqrt{f_{ck}} t_w l_w)$ 로 평가한다.

4) 축력은 $0.15 A_g f_{ck}$ 이하이어야 하며, 그렇지 않은 경우에는 하중지배 부재로 간주한다.

5) 내진상세 단면과 비내진상세 단면의 판단은 KDS 41 30 00의 4.18 내진설계 시 특별고려사항의 규정에 따른 횡보강근의 만족 여부에 따른다.

5.6 철근의 정착 및 이음

(1) 이형 직선철근, 갈고리 철근, 겹침이음은 건축구조기준(KBC 2016)의 “0508 정착 및 이음”에 제시되어 있는 요구사항을 만족하여야 한다. 이 요구사항을 만족하지 않는 경우, 철근의 저항성능은 아래에 제시된 방법을 따라서 산정한다.

① 이형 직선철근, 갈고리 철근, 겹침이음 시 철근의 저항능력은 변형지배거동일 경우 식 (5.6.1), 힘지배거동일 경우 식 (5.6.2)를 이용하여 구할 수 있다.

$$f_s = 1.25 \left(\frac{l_b}{l_d} \right)^{2/3} f_y \leq f_{ye} \quad (5.6.1)$$

$$f_s = 1.25 \left(\frac{l_b}{l_d} \right)^{2/3} f_y \leq f_y \quad (5.6.2)$$

여기서,

l_b : 실제 정착길이

l_d : 소요 정착길이

f_{ye} : 철근의 기대강도

f_y : 철근의 공칭강도

단, 철근의 재료 기대강도나 공칭강도를 초과하지 않도록 한다. 횡보강근이 유효 춤의 1/3 이하의 간격으로 배근되어 있지 아니하면, 요구연성도 또는 DCR이 1.0에서 2.0으로 증가함에 따라 철근의 항복강도가 $1.0f_s$ 에서 $0.2f_s$ 로 저하된다고 가정하여 사용한다.

- ② 철근의 문힘길이가 순피복두께를 포함하여 $3d_b$ 이상인 절단된 이형 직선철근의 저항성능은 식 (5.6.3)을 이용하여 구할 수 있다.

$$f_s = \frac{17}{d_b} l_e \leq f_y \quad (5.6.3)$$

여기서,

l_e : 철근의 문힘길이

f_s 가 f_y 이하이며 설계하중으로부터 계산된 철근의 응력이 f_s 를 초과하는 경우, 요구연성도 또는 DCR이 2.0에 도달하였을 때 철근의 최대 응력이 $1.0f_s$ 에서 $0.2f_s$ 로 저하된 것으로 가정할 수 있다. 보-기둥 접합부 내부에서 하단근 문힘길이가 짧은 보부재의 휨강도는 식 (5.6.3)의 철근 응력 제한치를 고려하여 구한다.

- (2) 내진보강에 의해 추가된 다우얼철근의 강도는 KDS 41 30 00의 규정에 따라서 산정한다.