부록 5

내진성능평가 세부지침

- 건 축 물 -

1. 총칙

1.1 목적

내진성능평가 세부지침(건축물)은 「법」 제21조 및 같은 법 시행령 제17조에 따라 「지침」에서 정하는 내진성능평가의 실시방법·절차 등에 관한 필요사항 중 건축물 경우에 대해 보다 상세히 규정하고 그 실시기준을 제시하여 기존 건축물의 내진성능을 정확하게 조사·평가하고 신뢰할 수 있는 내진정보를 취득 하는데 그 목적이 있으며, 이 세부지침에서는 내진설계와 다르게 적용되어야 하는 내진성능평가의 최소 필요사항을 기술하고 규정한다.

이 세부지침에서 제시하고 있지 않은 자세한 사항은 관련 기준 또는 관련 문헌을 따른다.

1.2 적용범위

이 세부지침은「법」제2조(정의) 및 제7조(시설물의 종류)에서 정하고 있는 시설물 중 같은법 시행령 제4조 및 별표1에서 규정하는 건축물에 적용한다.

1.3 적용방침

○ 건축물의 내진성능평가는「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」의 기본개념에 부합하여야 한다.

○ 관련 문헌 인용시 그 근거를 명확히 하여야 하며, 기술적 판단이 필요한 경우 관련 전문가의 의견을 수렴하여야 한다.

○ 내진성능평가와 관련한 모든 자료는 객관성을 확보하여야 하며, 적정하게 관리하여야 한다.

1.4 용어의 정의

이 세부지침에 사용되는 용어의 정의는 아래와 같으며 그 밖의 용어는 「KDS 17 10 00 내진설계일반」, 「KDS 41 00 00 건축구조기준」, 「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」, 건축구조용어사전(대한건축학회, 2008) 등에 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(m-factor)

- 선형절차에서 선형탄성해석을 통해 산정된 부재력과 기대항복강도의 비율로 표시되는 부재의 변형능력.

○ 목표변위(target displacement)

- 주어진 규모의 지진에 대하여 변위계수법을 통해 산정되는 구조물 최대요구변위의 예측치. 목표변위는 역량스펙트럼법에 의해 구해지는 성능점과 같은 의미이다.

○ 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 비선형거동의 한계는 m 계수를 통해 판단하며, 비선형해석시에는 예측된 소성변형의 크기를 허용기준과 비교하여 평가한다.

○ 건축비구조요소(architectural nonstructural components)

- 차양·장식탑·비내력벽 기타 이와 유사한 것으로서 횡력저항에 영향을 미치지 않는 건축물의 구성부재를 말한다. 조적채움벽의 경우 비구조부재로 설계되나 구조물의 횡력저항능력에 미치는 영향이 크므로 구조물의 내진성능평가시 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(performance point)

- 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 비선형 능력을 가진 구조물에서 발생되는 지진가속도 및 변위를 나타낸다.

○ 소성기구(plastic mechanism)

- 부재가 소성힌지 및 실제의 힌지로 결합되어 불안정한 상태에 이른 골조계. 붕괴기구(collapse mechanism)라고도 한다.

○ 역량스펙트럼(capacity spectrum)

- 능력곡선을 스펙트럼가속도와 스펙트럼변위의 관계로 표현한 곡선. 능력스펙트럼이라고도 한다.

○ 역량곡선(capacity curve)

- 횡하중을 증가시킬 때 구조물의 선형 혹은 비선형거동을 밑면전단력과 최상층변위로 표현한 곡선. 역량곡선 혹은 푸시오버(pushover) 곡선이라고도 한다.

○ 역량스펙트럼법(capacity spectrum method)

- 지진에 의해 예상되는 구조물의 거동을 구하기 위해 구조물의 보유성능과 소요성능을 역량스펙트럼과 요구스펙트럼의 형태로 한 평면에 표현하여 최대요구변위를 구하는 방법.

○ 기대강도(expected strength)

- 구조재료, 혹은 구조요소의 실제로 기대되는 예상강도의 평균값. 공칭강도보다 높다.

○ 힘지배거동(force-controlled action)

- 취성적 특성을 가지는 부재의 거동으로 지진력 저항시 항복이 수반되지 않거나 항복 후 저항력을 기대할 수 없는 부재의 거동.

○ 내력비(DCR demand capacity ratio)

- 소요성능(demand)을 보유성능(capacity)으로 나눈 값.

2. 내진성능평가 절차사항

2.1 일반사항

내진성능평가는 지진위험도 및 목표성능의 설정, 평가절차의 결정, 해석모델 제작, 성능수준 판정, 보고서 작성 등의 순서로 진행된다.

각 단계에서 내진성능평가의 세부적 사항은「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」15. 성능기반설계 내용 및 관련문헌을 참조한다.

상세평가시 구조유형 및 구조재료별 허용기준은「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」15. 성능기반설계 내용 및 관련문헌을 참조한다.

2.2 기본 정보조사

설계도서 및 현장조사를 통해 평가대상 건축물의 기본 정보를 조사한다.

설계도서 조사는 건축물대장, 완공도면, 구조계산서 및 지반조사보고서 수집 및 검토를 포함한다.

현장조사는 구조부재 시공상태, 지진발생 시 시설물에 영향을 줄 수 있는 중량물 및 비구조요소(조적 채움벽과 허리벽 등), 지반조사, 재료강도 조사, 평가 대상 비구조요소(마감재) 현황을 포함하여야 한다.

2.3 재료강도의 결정

내진성능평가를 위한 재료강도 결정은 현장시험 결과 적용을 원칙으로 하되 그렇지 못하는 경우 책임기술자의 합리적인 판단근거를 기재한다.

현장시험을 실시하지 못한 구조재료는 설계도서상 설계기준강도에 경과연수 및 재료상태에 따른 감소계수를 적용하여 사용할 수 있다.

성능기반 해석을 위하여 공칭강도와 기대강도를 산정하여 평가에 적용하며, 이때

기대강도는 현장시험 결과 등에 따라 예상되는 구조재료의 평균강도이다.

2.4 내진보강방안

내진성능평가 결과「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」에서 규정하는 최소 내진성능목표를 만족하지 못하는 경우 내진보강공법(안)을 수립하여야 한다.

내진보강공법(안)은 적용 가능한 다수 공법을 제안하고 공법별 장단점 및 경제성을 분석하여 합리적인 공법이 선정되도록 한다.

2.5 내진성능평가 보고서

내진성능평가 결과는 대상시설물에 대한 자료수집을 기초하여 구조해석 방법 및 개념을 이해할 수 있도록 하여야 하며 해석조건과 결과에 대한 분석 등 계산서를 포함한 보고서로 작성되어야 한다. 이때 보고서 상 문장은 간결하여야 하며 앞뒤 연결관계가 명확하여야 한다.

내진성능평가보고서에 포함되어야 하는 항목은 다음과 같다.

가. 기본 정보조사

1) 시설물 일반사항: 시설물명, 위치, 허가일, 준공일, 설계기준, 내진설계여부, 건축물 용도
2) 시설물 규모: 층수, 건물높이, 연면적
3) 구조변경(해당시): 수직·수평증축 정보, E.J. 정보

나. 지진위험도 및 성능목표

1) 성능목표: 건축물 중요도, 내진등급, 최소 내진성능목표
2) 지진위험도: 지진구역, 유효지반가속도, 지반종류, 평가용 응답스펙트럼, 평가용 지진파(해당시)

다. 해석모델 및 가정 사항

1) 하중정보: 건물 층별 면적 및 중량, 총 중량
2) 구조형식: 지진력저항시스템, 재료상태 및 공칭강도, 기대강도, 기초형식 및 지점조건
3) 모델링 공통사항: 수직·평면 비정형검토, 우발편심, 철근콘크리트 유효강성, 구조부재 강도(기둥 전단강도, 패널존 전단강도, 전단벽 강도 등), 조적벽 모델링, 고유치해석 결과(모드별 주기, 질량참여율 등)

라. 예비평가

1) 예비평가 계산과정 및 결과

마. 상세평가

1) 선형절차: 해석주기, 모드조합법, 층전단력, 밑면전단력, 전도모멘트, 하중조합, m계수 적용사항, 부재별 부재력, 층별 층간변위
2) 비선형정적절차: 고차모드 영향검토, 비선형 모델링 파라메터 및 허용기준 적용사항, 횡하중 수직분포, 성능점 산정법, 수렴조건 및 스텝크기, 성능곡선, 초과강도비, 성능점에서 부재별 부재력 및 변형량, 층별 층간변위, 다축가진효과 반영

3) 비선형동적절차: 지진파 조정방법 및 결과, 모드조합법, 비선형 모델링 파라메터 및 허용기준 적용사항, 다축가진효과 반영, 비선형시간이력해석 알고리즘, 감쇠비, 수렴조건 및 스텝크기, 지진파별 최대밑면전단력 및 평균값, 지진파별 층간변위 및 평균값, 부재별 부재력 및 변형량, 층별 층간변위

바. 기초 및 지하구조 평가

1) 기초안전성: 기대지지력, 요구지지력
2) 지하구조 성능수준: 해석방법, 지하구조 모델링 가정사항, 하중조합, 지진토압 적용사항, 해석결과, 부재별 부재력, 층별 층간변위

사. 비구조요소 평가

1) 평가대상 범위 및 분류, 요구 성능목표, 평가방법, 평가결과

아. 성능수준 판정

1) 구조요소: 해석절차 선정 근거, 중력하중저항능력에 따른 성능수준, 허용층간변형각 만족여부에 따른 성능수준, 붕괴위험 부재 발생여부, 기초 및 지하구조 평가결과
2) 구조요소 최종성능수준 및 목표성능 만족여부
3) 비구조요소: 비구조요소별 성능수준, 평가결과

자. 내진보강방안(해당시)

1) 내진보강 방안(개략 공사비, 공사기간 포함)
2) 내진보강 전·후 내진성능 향상 비교(필요시)
3) 특수공법을 적용하는 경우 평가절차 선정 근거와 해석모델 내 구조요소의 허용기준(m계수 혹은 비선형모델링 파라메터) 산정근거를 포함한다.(필요시)

2.6 내진성능평가의 검증

내진성능평가의 과정 및 결과는 제3자의 공학적 지식과 경험을 통해 적정성을 검증한다.

검증은 내진성능평가와 관련한 전문지식 및 경험을 갖춘자로 하며, 관련 법령 및 기준 등에 자격사항이 규정된 경우 그에 따른다.

「법」 제18조 및 「지침」 제26조 (평가의 실시)에 따라 정밀안전점검 또는 정밀안전진단 실시결과에 대한 평가를 받는 경우 위 검증을 생략할 수 있다.

3. 내진성능평가 기술사항

3.1 지진위험도 및 성능목표

3.1.1 최소성능목표

최소성능목표는 재현주기별 지진 및 그에 대하여 요구되는 성능수준으로서 「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」(15.3.1 성능목표)를 따르며, 평가대상 건축물은 해당되는 내진등급에 따라 2400년 재현주기 성능수준을 포함한 2가지 이상의 성능수준을 만족하여야 한다.

3.1.2 평가지진의 크기 산정

대상 건축물의 평가지진 크기 산정을 위한 지진구역 및 이에 따른 지진구역계수 (Z), 평균재현주기별 위험도계수(I)는 「KDS 17 10 00 내진설계 일반」 및 「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」을 준용한다.

3.2 예비평가

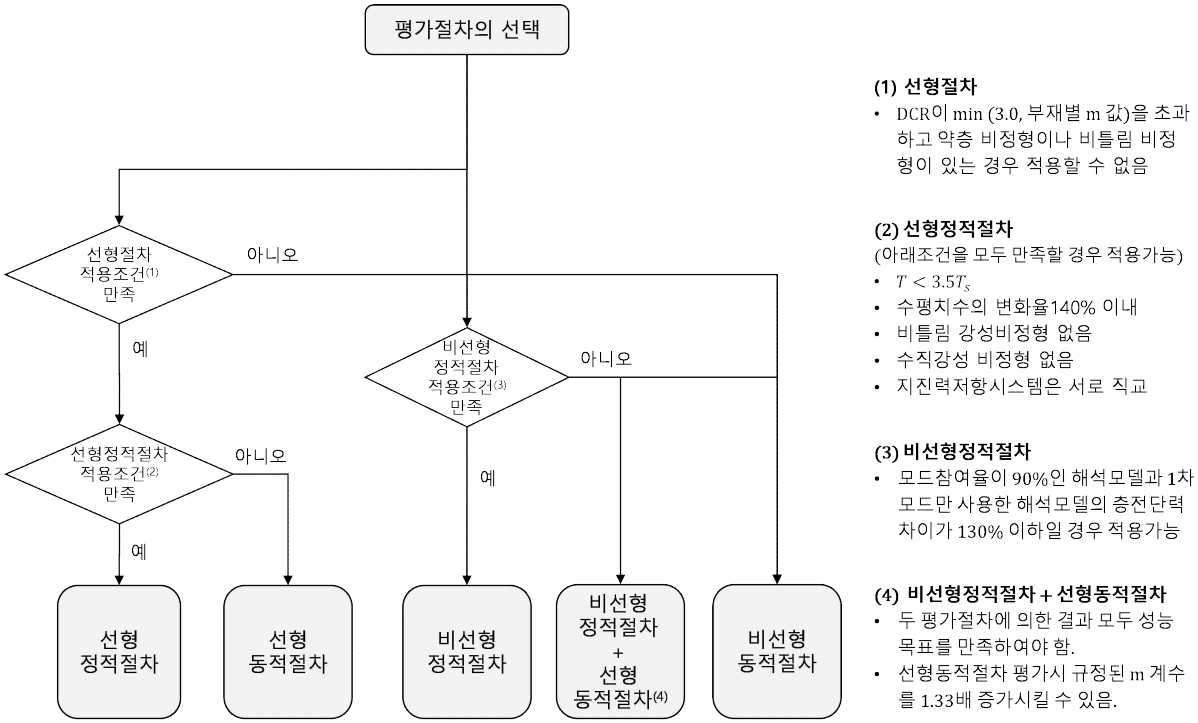
간략하게 내진성능을 평가하여 상세평가 결과의 적정성을 검증하고자 하는 경우 예비평가를 수행할 수 있다.

예비평가는 철근콘크리트조와 조적조 건물을 대상으로 수행할 수 있으며 예비평가 시트를 작성한다.

3.3 상세평가절차의 선택

상세평가는 선형정적절차, 선형동적절차, 비선형정적절차, 비선형동적절차로 나눠지며 각 절차는 비선형거동의 분포, 비정형성, 주기, 고차모드의 영향 등의 각 절차별로 규정된 제한 조건을 만족할 경우에만 적용한다.

상세평가절차의 선택 시 고려되는 제한 조건의 만족 여부는 [그림 1]을 따르며, 필요시 관련문헌을 참조하여 상세평가 선정절차를 결정한다.



[그림 1] 선형절차, 비선형정적절차, 비선형동적절차 선택을 위한 조건

3.4 상세평가를 위한 해석모델

3.4.1 질량

상세평가를 위한 해석모델에서 질량은 「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」에 정의된 유효건물중량을 중력가속도로 나눈 값을 사용한다.

3.4.2 중력하중

내진성능평가를 위한 중력하중은 고정하중, 활하중, 및 적설하중의 조합으로 구성한다.

3.4.3 유효강성

균열의 발생 등 지진시 구조부재의 상태를 고려하기 위하여 휨, 전단, 축하중에 대한 강성은 적절한 유효강성을 적용한다.

3.4.4 변형지배거동과 힘지배거동

상세평가 시 해석모델 내 모든 부재의 거동은 변형지배거동과 힘지배거동으로 분류한다.

변형지배거동과 힘지배거동으로 분류는 [표 1]에 따른다.

[표 1] 변형지배거동과 힘지배거동의 구분

	변형지배거동	힘지배거동
모멘트 골조의		
– 보	휨모멘트	전단력
– 기둥	휨모멘트	축력, 전단력[1]
– 접합부	–	전단력[2]
전단벽	휨모멘트, 전단지배형 벽체의 전단력[3]	축력, 전단력
가새골조의		
– 가새	축력	–
– 보	–	축력
– 기둥	–	축력
– 전단연결재	전단력	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.

3.4.5 부재강도

변형지배거동에서 부재강도는 재료의 기대강도를 사용하며, 힘지배거동에서 부재강도는 재료의 공칭강도를 사용한다.

부재강도는 특별히 규정하지 않는 한 「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」에 따라 산정된 값을 사용한다.

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

이 지침에 따른 성능기반 내진성능평가에서 강도감소계수 ϕ는 1.0으로 적용한다.

3.4.6 1차부재 및 2차부재

상세평가시 모든 부재는 1차부재와 2차부재로 구분한다. 1차부재는 주어진 성능수준을 달성하기 위해 지진에 의한 변형을 수용하면서 지진력에 저항하는 부재이고 2차부재는 지진에 의한 변형의 수용만 요구되고 지진력에 대한 저항이 요구되지 않는 부재이다.

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 조정한다. 또한 특정 2차부재가 인접한 1차부재의 하중이나 변위요구량을 증가시킬 경우 그 2차부재를 1차부재로 보고 해석모델에 포함시킨다. 단, 1차 또는 2차부재를 선택적으로 분류하여 건축물을 비정형에서 정형으로 바꾸지 않는다.

선형절차를 위한 해석모델에는 1차부재만을 포함시키며, 비선형절차에서는 1차부재와 2차부재를 구분하지 않고 모두 모델링한다.

비구조요소의 초기강성이 전체강성의 10%를 초과하거나 층 강도 합의 10%를 초과할 경우, 구조요소로 분류하고 해석모델에 포함시킨다.

3.4.7 지하층의 모델링

지하층은 지상구조와 함께 모델링한다. 다만, 지하구조의 강성이 지상구조의 강성보다 매우 큰 경우, 지상구조를 분리하여 해석할 수 있다.

3.5 선형절차

3.5.1 선형절차의 적용조건

식 (3.5.1)에 따라 산정된 값이 3.0, 혹은 관련문헌에 따른 허용기준(m계수)를 초과하는 경우, 아래의 비정형성 중 하나라도 해당된다면 선형절차는 사용할 수 없다.

$$DCR = \frac{Q_{UD}}{Q_{CE}} \tag{3.5.1}$$

여기서,

Q_{UD} : 선형절차의 하중조합에 대하여 결정된 부재력
Q_{CE} : 각 부재의 기대강도
DCR : 각 부재의 기대강도 대비 지진에 의한 부재력 값

○ 약층 비정형: 각 방향별로 해당층과 인접층에서 층전단력에 대한 평균값의 비율이 125%를 초과하는 경우 약층 비정형에 해당한다. 층전단력에 대한 평균값, 즉 $\overline{DCR}$ 은 식 (3.5.2)로 산정한다.

$$\overline{DCR} = \frac{\sum_{1}^{n} DCR_i V_i}{\sum_{1}^{n} V_i} \tag{3.5.2}$$

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

○ 비틀림 강도 비정형: 각 층의 부재를 강도의 중심점을 기준으로 상하 혹은 좌우로 나눌 때 한쪽 방향에 위치한 부재들의 (3.5.1)에 의한 값 중 최댓값과 다른 쪽에 위치한 부재들의 값 중 최댓값의 비율이 1.5를 초과할 경우, 비틀림 강도 비정형에 해당한다. 단, 해당층이 유연한 격막일 경우는 고려하지 않는다.

3.5.2 선형정적절차의 적용조건

선형정적절차의 경우 3.5.1의 적용조건 이외에도 기본주기, 수평치수의 불규칙성, 비틀림 강성 비정형, 수직 강성비정형, 지진력 저항시스템의 직교성 등 적용조건을 추가 확인한다.

선형정적절차를 적용하기 위해서는 3.5.1의 규정 이외에 아래의 추가적인 제한사항을 만족하여야 한다. 즉, 선형정적절차는 아래 규정 중 하나라도 해당될 경우 적용할 수 없으나, 선형동적절차는 적용할 수 있다.

○ 건물의 기본주기 T 가 $3.5T_s$ 보다 큰 경우, ($T_S = S_{X1}/S_{XS}$)

○ 한 층의 수평치수가 인접층의 해당 방향 치수의 1.4배를 초과할 경우 (옥탑층은 제외)

○ 비틀림 강성 비정형 (임의 층 평면내 임의점에서 최대 변위가 평균변위의 150%를 초과)이 있는 경우

○ 수직 강성 비정형 (옥탑층을 제외한 임의 층의 평균 변위각이 인접한 상부층 혹은 하부층의 평균변위각의 150%를 초과)이 있는 경우

○ 직교하지 않는 지진력 저항시스템을 가진 경우

3.5.3 하중조합 및 다축가진효과

선형절차 적용시 변형지배거동 및 힘지배거동을 구분하여 하중을 조합하여야 하며 다축가진효과를 고려한다.

선형절차 사용 시 중력하중조합에 의한 부재력 Q_G는 식 (3.5.3)과 (3.5.4)로 산정한다.

$$Q_G = 1.1(Q_D + Q_L + Q_S) \tag{3.5.3}$$

$$Q_G = 0.9Q_D \tag{3.5.4}$$

여기서,

Q_D : 고정하중에 의한 부재력

Q_L : 「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」에서 규정된 용도별 활하중의 25%에 의한 부재력

Q_S : 「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」에서 규정된 적설하중의 20%에 의한 부재력. 단, 1.5 kN/m2 이하일 경우 무시한다.

지진하중에 의한 부재력 Q_E는 다축가진효과를 고려하여 한 방향 지진하중과 직각방향 지진하중의 30%에 의한 부재력을 조합하여 식 (3.5.5)로 산정한다.

$$\begin{aligned} Q_E &= \pm 1.0E_X \pm 0.3E_Y \\ Q_E &= \pm 1.0E_Y \pm 0.3E_X \end{aligned} \tag{3.5.5}$$

여기서, E_X 와 E_Y는 각각 x축과 y축 방향의 지진하중이다.

변형지배거동을 하는 부재의 부재력 (Q_{UD})은 식 (3.5.6)로 산정한다.

$$Q_{UD} = Q_G + Q_E \tag{3.5.6}$$

여기서,

Q_{UD} : 중력하중과 지진하중의 조합하중에 의한 부재력
Q_G : 중력하중에 의한 부재력
Q_E : 지진하중에 의한 부재력

힘지배거동을 하는 부재의 부재력(Q_{UF})은 식 (3.5.7) 또는 (3.5.8)에 의해 산정한다.

$$Q_{UF} = Q_G \pm \frac{\chi Q_E}{CJ} \tag{3.5.7}$$

$$Q_{UF} = Q_G \pm \frac{\chi Q_E}{C} \tag{3.5.8}$$

여기서,

Q_{UF} : 중력하중과 지진하중의 조합에 의한 부재력
C : 최대 비탄성변위와 선형탄성변위의 보정을 위한 수정계수
J : 하중전달 감소계수
χ : 인명안전 혹은 거주가능 성능수준의 평가시 적용되는 보정계수로서 1.3을 적용한다. 다만 2400년 재현주기 지진에 대한 평가 또는 J의 값으로 DCR의 최소치를 택한 경우에는 적용하지 않는다.

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.

3.5.4 부재별 허용기준

선형절차 적용시 변형지배거동 및 힘지배거동을 구분하여 목표성능 만족여부를 확인한다. 선형절차에서는 두 지배거동 모두 강도에 기초하여 평가하나, 변형지배거동의 경우 예상 연성능력을 추가적으로 고려한다.

변형지배거동의 만족여부는 식 (3.5.9)에 따라서 판정한다.

$$Q_{CE} \geq \frac{Q_{UD}}{m} \tag{3.5.9}$$

여기서,

Q_{UD} : 중력하중과 지진하중의 조합에 의한 부재력

m : 부재의 예상 연성능력을 고려한 계수 (m 계수)

Q_{CE} : 기대재료강도에 근거한 부재의 기대강도

부재의 예상 연성능력을 고려한 m 계수는 구조시스템에 따라 관련문헌의 값을 사용한다.

힘지배거동의 만족여부는 식 (3.5.10)에 따라 판정한다.

$$Q_{CN} \geq Q_{UF} \tag{3.5.10}$$

여기서,

Q_{UF} : 중력하중과 지진하중의 조합에 의한 부재력

Q_{CN} : 공칭재료강도에 근거한 부재의 공칭강도

3.6 비선형정적절차

3.6.1 비선형정적절차 조건

비선형정적절차는 구조물의 거동이 1차모드가 지배적이라는 가정으로부터 구한 밑면전단력의 수직분포를 사용한다. 따라서 고차모드의 영향이 크지 않은 건물에 사용할 수 있다.

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.

다만, 추가로 선형동적절차에 따른 해석을 수행한 경우, 고차모드의 영향이 크더라도 비선형정적절차를 적용하여 내진성능을 판정할 수 있다. 이때 선형동적절차는 규정된 m 계수를 1.33배 증가시킨 값을 사용할 수 있으며 두 절차의 평가결과 중 불리한 쪽으로 내진성능을 판정한다.

3.6.2 횡하중의 수직분포

비선형정적절차에 사용되는 횡하중은 평면 및 수직적으로 질량의 분포 및 1차모드의 형상과 비례하도록 분포시킨다.

3.6.3 하중조합 및 다축가진효과

비선형정적절차 적용시 중력하중과 지진하중을 조합하여야 하며 다축가진효과를 고려하여야 한다.

비선형정적 절차에서 중력하중 조합에 의한 변형과 부재력 Q_G은 식 (3.6.1)으로 산정한다.

$$Q_G = Q_D + Q_L + Q_S \tag{3.6.1}$$

여기서,

Q_D : 고정하중에 의한 부재력

Q_L : 「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」에서 규정된 용도별 활하중의 25%에 의한 부재력

Q_S : 「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」에서 규정된 적설하중의 20%에 의한 부재력. 단, 1.5 kN/m2 이하일 경우 무시한다.

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 정방향과 부방향으로 가력하는 경우 모두를 고려한다.

3.6.4 부재별 허용기준

비선형정적절차 적용시 변형지배거동 및 힘지배거동을 구분하여 목표성능만족여부를 확인한다. 변형지배거동은 예상 변형능력을 고려하여 변형으로 평가하며 힘지배거동은 강도에 기초하여 평가한다. 힘지배거동 중 수직부재, 전이보 등와 같이 파괴시 여러 경간 혹은 층의 붕괴를 유발하는 부재일 경우 적절한 하중계수를 적용하여 안전측의 평가가 이루어지도록 관련문헌을 참조하여 평가한다.

3.7 비선형동적절차

3.7.1 일반사항

비선형동적절차에 사용되는 해석모델은 평가대상구조물의 질량과 강성의 공간적 분포 및 부재별 강도 및 변형능력을 표현할 수 있어야 한다.

3.7.2 평가용 지진파

비선형 시간이력해석에 사용되는 지진파는 직교하는 두 방향의 수평성분으로 구성되며 평가용지진의 가속도스펙트럼에 부합하도록 한다. 지진파의 산정절차는 「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」에 따른다.

3.7.3 하중조합 및 다축가진효과

비선형 동적해석시 중력하중은 비선형 정적절차와 동일하게 고려되어야 하며 비틀림 비정형에 따른 다축가진 효과를 고려하기 위하여 3차원 해석 및 각 지반운동기록 세트를 직교하는 두방향의 수평성분으로 구성하여 대상 구조물의 두 직교축에 대하여 상호 교대하여 2회 해석한다.

3.7.4 감쇠비

탄성해석이나 정적해석 시와 달리 이력감쇠의 효과가 직접적으로 고려되므로 비선형동적해석시 감쇠비는 탄성상태의 감쇠비만 고려한다.

3.7.5 부재력과 변형량의 산정

3쌍의 지반운동기록이 사용된 경우 부재력과 변형량은 각 해석결과의 최대응답 중 가장 큰 값을 사용하여 평가한다. 지반운동기록을 7쌍 이상 사용하는 경우, 부재력과 변형량은 각 부재력과 변형량은 각 지진파별 해석결과 최대응답의 평균값으로 한다.

3.7.6 부재별 허용기준

비선형동적절차 적용시 부재별 허용기준은 비선형정적철차의 경우와 동일하게 적용한다.

3.8 기초 및 지하구조의 평가

기초의 안전성은 지반의 지지능력과 기초 구조체를 대상으로 평가한다.

건축물의 기초는 고정된 밑면 혹은 유한한 강성을 가지는 경계조건으로 모델링할 수 있다.

고정된 밑면으로 모델링한 경우 기초 지반의 안전성은 상부구조에서 전달되는 하중과 기초의 기대지지력을 비교하여 평가한다.

유한한 강성을 가지는 경계조건으로 모델링한 경우 기초 지반의 안전성은 지반의 변형에 기초하여 평가한다.

지하구조물의 안전성은 구조물에 작용하는 관성력, 정적토압 및 지진토압에 대하여 「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」 14장 및 관련 기준에 따라 평가한다.

3.9 비구조요소의 평가

「KDS 41 17 00 건축물 내진설계기준」(18.1.1)에 따라 내진설계가 수행되어야 하는 비구조요소에 대하여 내진성능을 평가하여야 한다. 그 밖의 비구조요소는 발주처와 협의를 통해 내진성능평가를 수행여부를 결정한다.

3.10 성능수준의 판정

구조물의 성능수준은 성능수준별 허용층간변위각 및 지진후 중력하중저항능력을 평가하여 판정한다. 비구조요소는 평가대상 비구조요소별로 성능수준을 판정하여 보고서에 병기한다.

대상 시설물이 성능목표에 해당하는 허용층간변형각[표 2] 및 중력하중저항능력[표 3] 모두를 만족할 경우 그 성능목표를 만족하는 것으로 본다.

내진설계된 구조물의 성능수준별 허용 층간변형각은 [표 2]과 같으며 대상건물의 방향별, 층별로 만족여부를 검토한다. 다만, 내진설계되지 않은 건물의 경우 성능수준별 허용층간변형각은 [표 2]에 규정된 값들의 70％로 제한한다.

중력하중저항능력에 따른 성능수준별 만족기준은 [표 3]과 같다. 표에 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 중력하중저항능력은 수직부재의 경우 축하중, 수평부재의 경우 양단 전단력의 크기를 기준으로 한다. 부재별 연직하중 분담능력 산정시 하중조합은 식 (3.6.1)을 사용한다.

[표 2] 내진설계된 구조물의 성능수준별 허용 층간변형각(%)

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

[표 3] 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