제2장 목표성능과 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.

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, 허용층간변형각은 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
설계지진	50년	Ⅱ 등급	
	100년	Ⅰ 등급	
	200년	특등급	
	500년		Ⅱ 등급
	1000년		Ⅰ 등급
	2400년		특등급

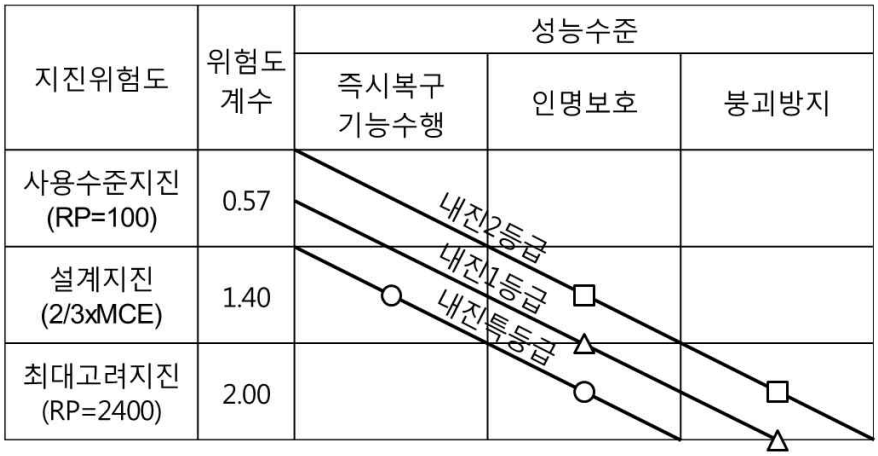
2017년 국민안전처(현 행정안전부)는 내진설계기준연구 II에서 제시된 성능수준을 좀 더 세분화하여 31개 시설물에서 공통적으로 만족하여야 할 최소성능목표를 제시하였으며, 이는 'KDS 17 10 00'의 표 4.1-1 최소 내진성능목표에 반영되었다. 그 내용은 해표 2.1.2와 같다.

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

	내진성능수준 / 평균재현주기	기능수행	즉시복구	장기복구/ 인명보호	붕괴방지
설계지진	50년	내진II등급			
	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.



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 그보다 1.5배 큰 유효지반가속도 수준의 붕괴방지수준도 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.

$$S = Z \times I \tag{2.2.1}$$

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_1지반으로 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.

표 2.2.3 지반의 분류

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, H (m)	토층 평균 전단파속도, $V_{S,Soil}$ (m/s)
S_1	암반 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 있은 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_4를 적용할 수 있다.

2.2.2.3 지반증폭계수

단주기지반증폭계수 F_a와 주기 1초주기 지반증폭계수 F_v는 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_v의 80%를 적용한다.

(2) 표 2.2.3에 따라 S_5로 분류되나 기반암의 깊이가 확인되지 않은 경우에는 표 2.2.4 및 표 2.2.5에 따른 F_a와 F_v의 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

* S는 2.2.1절에 따라 산정한 값이다. 위 표에서 S의 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

* S는 2.2.1절에 따라 산정한 값이다. 위 표에서 S의 중간값에 대하여는 직선보간한다.

F_a,와 F_v값은 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_a는 식 (2.2.2)에 의한다.

(2) $T_0 < T \leq T_S$일 때, 스펙트럼가속도 S_a는 S_{XS}와 같다.

(3) $T_S < T \leq T_L$일 때, 스펙트럼가속도 S_a는 식 (2.2.3)에 의한다.

(4) $T > T_L$ 일 때, 스펙트럼가속도 S_a는 식 (2.2.4)에 의한다.

$$S_a = 0.6\frac{S_{XS}}{T_o}T + 0.4S_{XS} \tag{2.2.2}$$

$$S_a = \frac{S_{X1}}{T} \tag{2.2.3}$$

$$S_a = \frac{S_{X1}\,T_L}{T^2} \tag{2.2.4}$$

여기서, T : 구조물의 고유주기(초)

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

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

$T_o = 0.2\,S_{X1}/S_{XS}$

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

T_L = 5초

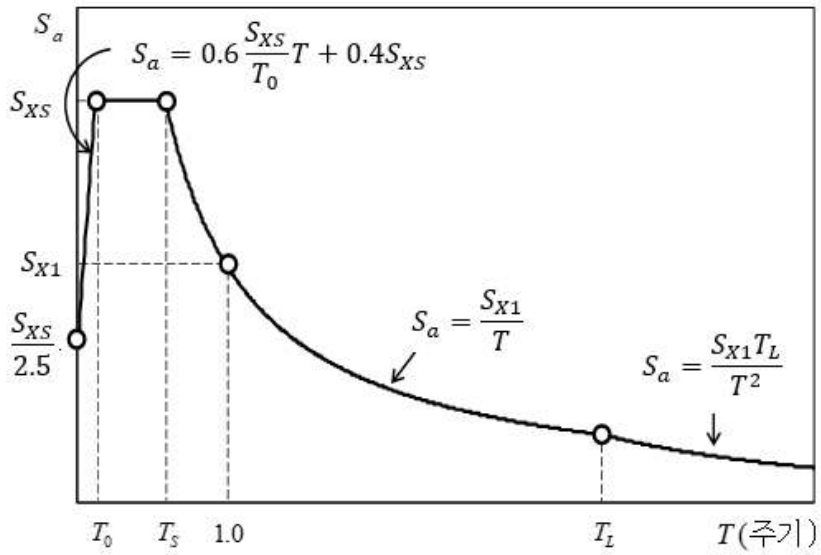


그림 2.2.1 설계응답가속도스펙트럼