

부록 1

내진성능평가 세부지침

- 교 량 -

1. 총 칙

1.1 목 적

내진성능평가 세부지침 교량편은 「법」 제21조 및 같은 법 시행령 제17조에 따라 「지침」에서 정하는 내진성능평가의 실시 방법·절차 등에 관한 사항을 보다 상세하게 규정하고 그 실시 기준을 제시하여 교량의 내진성능을 합리적으로 조사·평가할 수 있게 하는데 그 목적이 있으며, 이 세부지침에서는 내진설계와 다르게 적용되어야 하는 내진성능평가의 최소 필요사항을 기술하고 규정한다.

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

1.2 적용범위

이 세부지침은 지진 시 교량시스템의 지진거동이 복잡하지 않은 일반적인 도로교 및 철도교에 적용하는 것을 원칙으로 한다.

특수한 형식의 교량(아치교, 라멘교 등)은 이 지침의 기본개념에 따라 적절히 보정할 수 있는 대책을 마련한 후 적용할 수 있다. 사장교, 현수교, 사장-현수교와 같이 케이블의 역할이 큰 형식의 교량은 관련 기준(「KDS 24 17 12 교량 내진설계기준(케이블교량)」)을 따른다.

1.3 참고기준

이 세부지침의 관련법규나 관련기준(지침)은 다음과 같다.

가. 관련법규

- 「법」, 같은법 시행령, 같은법 시행규칙
- 「지진·화산재해대책법」, 같은법 시행령, 같은법 시행규칙

나. 관련기준

- 「지침」
- 「세부지침」
- 「KDS 11 50 25 기초 내진 설계기준」
- 「KDS 14 31 25 강구조 연결 설계기준(하중저항계수설계법)」
- 「KDS 14 20 54 콘크리트용 앵커설계기준」
- 「KDS 14 20 64 구조용 무근콘크리트 설계기준」

- 「KDS 17 10 00 내진설계 일반」
- 「KDS 24 10 11 교량 설계 일반사항(한계상태설계법)」
- 「KDS 24 12 11 교량 설계하중조합(한계상태설계법)」
- 「KDS 24 14 21 콘크리트교 설계기준(한계상태설계법)」
- 「KDS 24 14 51 교량 하부구조 설계기준(한계상태설계법)」
- 「KDS 24 17 11 교량 내진설계기준(한계상태설계법)」
- 「KDS 24 90 11 교량 기타시설 설계기준(한계상태설계법)」
- 「내진설계기준 공통적용사항(행정안전부)」

1.4 용어의 정의

이 세부지침에 사용되는 용어의 정의는 “1.3 참고기준”을 따르고 이에 정의되지 않은 용어는 아래의 정의를 따른다.

- 보유변위연성도
 - 파괴시의 변위를 항복변위로 나눈 값
- 내진성능평가지진
 - 교량의 내진성능평가를 위한 기준 지진
- 벽식교각
 - 사각형 단면을 갖는 교각 중 종횡비(단면길이/단면높이)가 큰 교량(종횡비가 4 이상인 교각)
- 소요변위연성도
 - 평가지진하중에 의해 교각에 발생하는 변위를 항복변위로 나눈 값
- 일반교각
 - 사각형 단면을 갖는 교각 중 종횡비가 1.0에 가까운 일반적인 사각형 단면을 갖는 교각, 내진성능평가에서는 종횡비가 1.5 이하인 교각을 일반교각으로 정의
- 전단성능 곡선
 - 교각기둥의 변위연성도에 따른 전단강도의 변화를 나타내는 곡선으로 하중-변위 관계를 이용하여 나타낸 곡선
- 조합탄성지진력
 - 고려하는 방향의 지진해석으로부터 구한 탄성지진력에 이외 방향의 지진해석으로부터 구한 고려 방향의 탄성지진력의 30%를 조합한 값
- 천이교각
 - 사각형 단면을 갖는 교각 중 일반교각과 벽식교각의 사이에 존재하는 교각, 내진성능평가에서는 종횡비가 1.5와 4.0 사이의 값을 갖는 교각으로 정의

○ 탄성지진력

- 내진성능평가지진 시 교량이 탄성거동을 한다고 가정할 때의 교각에 발생하는 단면력

○ 항복변위

- 교각기둥의 하중-변위곡선에서 원점과 초기항복점을 지나는 직선이 교각의 항복강도와 교차하는 점에서의 변위

○ 휨성능 곡선

- 교각기둥의 비선형 구조거동 특성을 고려한 휨성능을 하중-변위 관계를 이용하여 나타낸 곡선

2. 내진성능평가 절차사항

2.1 기본조사

자료조사에는 설계도서에 나타난 교량 관련 직접정보 뿐만 아니라 현장조사를 통하여 교량의 보수·보강 이력 및 상태, 현 교량의 여건, 교량 주위의 환경적 요인 등을 함께 조사하여 정리한다.

가. 일반사항 조사

- 1) 교량명, 위치, 관리기관 등
- 2) 교량이 위치한 지진구역, 시설물의 내진등급, 지반조건 등
- 3) 준공년도, 준거 설계기준, 내진 설계/평가/보강의 유무 등

나. 설계도서 조사

- 1) 교량시스템 및 각 구성요소의 제원 및 재료 특성 등
- 2) 교량의 종·횡단면도, 평면도, 지질주상도, 받침배치 상세도 등
- 3) 보수·보강 등에 따른 내진성능의 변화 요인

다. 현장조사

- 1) 현 교량의 상태와 설계도서와의 차이점
- 2) 부착시설물(준공 이후 추가 설치 구조물)

라. 환경조사

- 1) 재료 및 제원의 특성에 영향을 주는 환경요인
- 2) 지진 외적인 보수·보강계획 등

2.2 내진성능평가 절차

교량 시설물의 내진성능평가는 기본조사(일반사항, 설계도서, 현장, 환경 등)를 수행하고, 지진해석을 통하여 교량의 구성요소별 내진성능 확보 여부(수준)를 판단하기 위해 내진성능평가를 실시한다. 평가방법은 이 세부지침에서 제시하는 바와 다르더라도 공학적으로 타당한 방법에 따라 실시할 수 있다.

2.3 내진성능평가 보고서

2.3.1 작성원칙

보고서의 문장은 간결하고 앞 뒤 연결관계가 명확하여야 하며, 객관적인 자료수집과 분석 그리고 결론으로 이루어져야 한다. 대상 교량에 대한 사항과 이론서 및 전문서, 연구보고서의 내용을 분명히 구별하여야 한다. 보고서의 내용은 검증이 가능하도록 구체적이고 상세하게 기술하여야 하며, 타문헌 인용시 출처를 명시하여야 한다.

2.3.2 보고서의 구성 및 주요 내용

보고서의 구성 및 주요 포함 내용은 다음을 따른다.

- 1) 교량현황
- 2) 평가조건
- 3) 해석모델링
- 4) 고정하중 해석
- 5) 단면해석
- 6) 지진해석
- 7) 구성요소의 평가
- 8) 액상화 평가
- 9) 내진보강방안(필요시)

3. 내진성능평가 기술사항

3.1 일반사항

3.1.1 적용원칙

이 장은 내진성능평가의 신뢰성 확보를 위하여 필요한 기본적인 기술사항을 규정한다.
이 장에서 규정되지 않은 사항은 “1.3 참고기준”을 따르며, 필요한 경우 관련 문헌을 참조하여 적용할 수 있다.

3.1.2 내진성능 기준

가. 내진등급

「KDS 24 17 11 교량 내진설계기준(한계상태설계법)」의 내진등급을 따른다.

나. 내진성능수준

「KDS 24 17 11 교량 내진설계기준(한계상태설계법)」의 내진성능수준을 따른다.

다. 내진성능평가지진

「KDS 24 17 11 교량 내진설계기준(한계상태설계법)」의 설계지진을 따른다.

라. 내진성능목표

「KDS 24 17 11 교량 내진설계기준(한계상태설계법)」의 내진성능목표를 따른다.

마. 내진성능평가지진의 지반운동

- 지진구역 및 지진위험도 : 「KDS 17 10 00 내진설계 일반」(4.2.1.1)을 따른다.
- 지반분류 : 「KDS 24 17 11 교량 내진설계기준(한계상태설계법)」의 지반분류를 따른다.
- 응답스펙트럼 : 「KDS 24 17 11 교량 내진설계기준(한계상태설계법)」의 응답스펙트럼을 따른다.

3.1.3 재료의 물성값

가. 재료강도

단면특성, 재료강도 등과 같이 내진성능에 관련하는 모든 특성값은 현장조사에서 얻은 실측값을 기준으로 한다. 다만, 공용 환경 및 기타 여건을 고려하여 내진성능이 안전측으로 평가되도록 조정하여 사용할 수 있다. 이때, 설계값, 실측값 또는 추정값 등 내진성능평가에 적용한 재료강도의 근거를 명시하여야 한다.

나. 콘크리트 극한변형률 및 최대보유변위연성도

콘크리트 극한변형률 및 최대보유변위연성도는 실험 또는 상세해석을 통하여 합리적으로 결정하여야 한다. 콘크리트 극한변형률 및 최대변위연성도를 실험 또는 상세해석을 통하여 결정할 수 없는 경우 [표 1]을 적용할 수 있다.

만약, 겹침이음비율 또는 겹침이음구간을 보수적으로 산정하여 교각을 평가한 경우 내진성능이 부족하다면, 현장조사(피복 절취 후 겹침이음비율 확인 등)를 통해 정확한 겹침이음비율 및 구간을 산정 후 재평가한다.

[표 1] 겹침이음 상세에 따른 극한변형률 및 최대보유변위연성도

축방향철근 상세			콘크리트 극한변형률					최대보유 변위연성도			
종류	배근 상태	비율	ε_{cu}					$\mu_{\Delta, \max}$			
단일 철근	모두	0%	$0.004 + \alpha_{sh} \left(\alpha_{sh} = \frac{0.2f_{c2}}{f_{ck}} \right)$					제한 없음			
겹침 이음 철근	2단 이상 배근	50%	원 형	$l_{sp}/D > 0.5$		$0.0043l_{sp}/D+0.00085\leq 0.004$					
				$l_{sp}/D \leq 0.5$ 또는 l_{sp} 모를 때		0.003					
			사각형								
	1단 배근	100%	원 형	$l_{sp}/D > 0.5$		$0.0086l_{sp}/D-0.0023\leq 0.004$			1.80		
				$l_{sp}/D \leq 0.5$ 또는 l_{sp} 모를 때		0.002			1.80		
			사 각 형	교 축 방 향	벽식	$B/H\geq 4$	0.0007			1.00	
					천이	$1.5<B/H<4$	$0.00278-0.00052B/H$			$1.8-0.2$ B/H	
					일반	$B/H\leq 1.5$	0.002			1.50	
				교직방향							

1) 축방향철근의 겹침이음 비율이 0%인 경우의 콘크리트 극한변형률은 0.004를 기본으로 하며, 횡방향철근에 의한 횡구속 정도를 고려하여 α_{sh} 만큼 추가할 수 있도록 한다. 표의 α_{sh} 는 「KDS 14 20 20 콘크리트구조 휨 및 압축 설계기준」에서 채택한 재료모델 식으로서, 이 외 다양한 단면에 적용할 수 있는 Mander 등(1988)의 제안식 등 해석대상의 단면형상에 부합하는 적절한 모델을 선정할 수 있다.

2) l_{sp}/D 는 원형 단면을 갖는 교각의 단면직경에 대한 겹침이음길이의 비를 의미한다.

3) B/H 는 사각형 단면을 갖는 교각기둥의 단면길이와 단면높이의 비 즉, 종횡비를 의미한다.

f_{c2} : 횡구속에 의한 횡방향 유효 압축응력(MPa)

l_{sp} : 축방향철근의 겹침이음길이(m)

D : 교각기둥의 단면직경(m)

B_s : 교각기둥의 단면길이(교축직각방향, 횡방향)(m)

H_s : 교각기둥의 단면높이(교축방향, 종방향)(m)

3.1.4 강도감소계수 및 하중조합

내진성능평가에 적용하는 강도감소계수, 재료계수, 저항계수 등은 1.0으로 한다.

지진하중이 포함된 하중조합 및 하중계수는 기본적으로 1.0D+1.0E를 사용하며, 이외의 하중 및 추가적인 검토는 「KDS 24 12 11 교량 설계하중조합(한계상태설계법)」을 따른다.

3.2 내진성능평가

3.2.1 일반사항

교량의 유형과 교량의 지진거동에 큰 영향(주기 및 감쇠 등)을 미치는 주요 구성요소의 역학적 특성을 반영하여 그에 맞는 평가법으로 평가한다.

- ① 교량의 유형 : 일반교량, 지진격리교량, 단경간교, 지진구역 II에 위치한 내진 II 등급 교량
- ② 받침의 형식 : 강재받침, 고무받침, 지진격리받침
- ③ 그 외 지진보호장치 : 감쇠기(damper), 충격전달장치(STU), 전단키, 낙교방지장치 등

3.2.2 지진해석

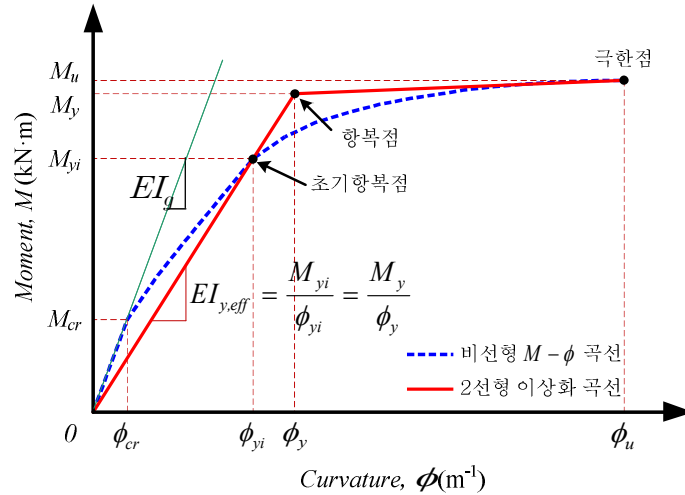
가. 단면해석

1) 재료모델

- ① 콘크리트의 응력-변형률 관계식은 횡구속 효과에 따라 달라지므로 단면에서 구속 부분과 무구속 부분을 구분(단면 분할)하여 각각 다른 응력-변형률 관계식을 적용하여야 한다. 이 때 콘크리트 모델의 골격곡선(곡선식)을 제시하여야 하며 이를 구성하는데 필요한 압축강도(f'_c)와 이때의 변형률(ϵ_{co}), 탄성계수(E_c) 및 극한변형률(ϵ_{cu}) 등을 제시하여야 한다.
- ② 횡철근에 의해 심부콘크리트가 횡구속된 경우, 횡구속 효과에 의하여 발현되는 응력-변형률의 관계를 모사할 수 있는 모델을 적용하여야 한다.
- ③ 축방향철근의 이음상세와 횡방향철근에 의한 횡구속 정도(α_{sh})를 고려하여 콘크리트의 극한변형률(ϵ_{cu})과 최대변위연성도($\mu_{\Delta, \max}$)로 극한상태를 정의하여야 한다.
- ④ 철근의 재료모델은 실제 거동에 가깝게 모사할 수 있는 모델을 사용하여야 한다. 이에 필요한 정보는 철근의 항복강도(f_y), 인장강도(f_{su}), 항복변형률(ϵ_y), 변형경화변형률(ϵ_{sh}) 등이다.

2) 휨모멘트-곡률관계 및 이상화

- ① 단면 해석결과(모멘트-곡률 관계)는 2선형 관계로 이상화한다. 이 때 항복점은 초기항복점으로부터 도출하여야 한다.



[그림 2] 모멘트-곡률($M-\phi$) 관계곡선

나. 구성요소 및 교량시스템 모델화

1) 구성요소의 모델화

- ① 교량의 상부구조는 지진 시 일반적으로 탄성거동을 하므로 탄성체로 모델화할 수 있다.
- ② 교각은 선형해석의 경우, 탄성지진력에 의한 균열 및 철근의 항복 여부를 고려한 강성(전단면강성, 유효강성, 항복유효강성)을 갖도록 모델화한다.
- ③ 교량의 받침부는 교축방향과 교축직각방향에 대하여 가동단과 고정단을 구분하여 실제와 유사한 거동을 하도록 모델화한다. 다만 탄성받침과 같이 고무받침은 고정단과 가동단을 구분하지 않고 모두 받침의 전단강성을 적용하여 모델화한다.
- ④ 지진격리받침, 댐퍼, 전단키, 변위구속장치 등의 지진보호장치는 교량의 실제 거동에 미치는 영향이 유사하도록 역학적으로 모델화한다.

2) 교량시스템 모델화

- ① 교량은 지진 시 함께 진동하는 구성요소가 모두 포함되도록 모델화하여야 한다.
- ② 교량의 지진해석모델은 지진에 의한 실제 거동과 유사한 결과를 얻을 수 있도록 교량의 강성 및 관성효과를 고려하여 절점과 부재, 연결부(경계조건)로 구성된 3차원구조로 모델화한다.
- ③ 지진 시에도 교량에 큰 활하중이 재하되어 있을 가능성이 많은 경우에는 그 활하중의 관성효과를 고려한다. 만약 교량의 설계단계에서 활하중 효과를 고려하였다면 내진성능평가에서도 이를 적용하고 그렇지 않다면 발주기관(관리기관) 요청에 따라 반영 여부를 고려하도록 한다.
- ④ 교량의 기초 및 지반이 구조거동에 미치는 영향이 클 것으로 예상되는 경우에는 「세부지침」 공통편 부록 6. 내진성능평가 공통적용사항(2. 기초 및 지반) 등

관련 기준 또는 관련 문헌에서 제시하는 기초의 등가강성을 고정단 교각 끝단에 적용하여 모델화할 수 있다.

다. 해석방법

1) 스펙트럼해석법

다중모드스펙트럼 해석법과 단일모드스펙트럼 해석법이 있다. 다중모드스펙트럼 해석법은 내진성능평가의 기본적인 해석방법이며, 선형동적해석법으로 교량의 주기특성을 반영하여 지진응답을 산정하여야 하는 다음과 같은 교량에 적용할 수 있다. 단일모드스펙트럼 해석법은 1차 진동주기가 탁월한 교량에 한하여 적용할 수 있다.

- ① 강재받침 또는 탄성받침이 설치된 다경간 교량
- ② 지진격리받침을 등가선형(등가강성과 등가감쇠)으로 모델화한 다경간 교량. 이 경우에는 가정한 변위와 응답변위의 차이가 충분히 작아질 때까지 반복해석을 수행해야 한다. 지진격리받침을 비선형이력모델로 모델화한 경우에는 비선형응답이력해석을 따른다.
- ③ 탄성받침이 설치된 단경간 교량 및 지진구역 II의 내진II등급 교량. 다만, 강재받침이 설치된 경우 등가정적해석을 따른다.

해석은 수평 2축에 대하여 독립적으로 해석하고 필요 시 수직운동의 영향을 반영한다. 수평 2축은 교량의 교축방향과 교축직각방향으로 하는 것이 일반적이지만 평가자의 판단하에 가장 불리한 축을 선정하여야 한다. 이 때 각 축에 대하여 독립적으로 해석하여 얻은 단면력 및 응답변위는 30% 규정을 적용하여 조합탄성지진력 및 조합탄성변위를 산정한다.

입력지반운동의 영향은 교량의 모든 고정지점(교각 및 교대)에서의 각각의 입력지반운동의 영향이 고려되도록 적용하거나 또는 교량의 지진응답이 보수적으로 산정되도록 적용한다.

다중모드스펙트럼 해석법의 경우 질량참여율이 90% 이상이 되도록 충분한 진동모드를 고려한다.

2) 등가정적해석법

교량의 진동주기 특성을 고려하여 지진응답가속도(관성력)를 산정하지 않고 관성력을 상부구조의 중량의 비율로 개략적으로 산정하는 해석법이다.

등가정적해석법은 다음과 같은 교량에 적용한다.

- ① 강재받침과 같이 강성이 매우 큰 받침을 갖는 단경간교 및 지진구역 II의 내진 II등급 교량. 이들 교량의 내진성능평가는 「KDS 24 17 11 교량 내진설계기준 (한계상태설계법)」에서 제시하는 절차를 따른다. 다만 고무받침, 지진격리장치, 지진보호장치 등이 설치된 경우 주기 및 감쇠 특성을 고려하여야 하기 때문에 등가정적해석법을 적용하지 않는다.

3) 비선형응답이력해석

해석모델은 3차원 공간모델을 기본으로 하며, 입력지반운동은 수평입력지반운동과 수직입력지반운동을 동시에 입력하여야 한다.

입력지반운동은 최소 4세트 이상을 사용하여야 하며, 교량 구성요소의 최대응답값은 4세트 사용한 경우에는 각 해석에서 구해진 응답의 최댓값을 최대응답값으로 하며, 7세트 이상 사용한 경우에는 각 해석에서 구해진 최대응답의 평균값을 최대응답값으로 한다.

2개의 수평입력지반운동과 1개의 수직입력지반운동을 1세트의 입력지반운동으로 한다. 다만 수직입력지반운동이 교량의 지진거동에 미치는 영향이 작다면 생략할 수 있다. 이 때 임의의 2개의 입력지반운동의 상관계수는 0.16을 초과하지 않아야 한다.

입력지반운동의 공간적 변동을 무시할 수 없다면 이를 고려할 수 있다.

다음과 같이 교량의 비선형 거동을 모사할 수 있도록 모델화한 교량에 적용할 수 있다.

- ① 지진격리받침을 비선형이력모델을 사용하여 모델화한 교량
- ② 교각 또는 기초지반을 비선형이력모델을 사용하여 모델화한 교량
- ③ 그 외 구성요소를 비선형이력모델을 사용하여 모델화한 교량

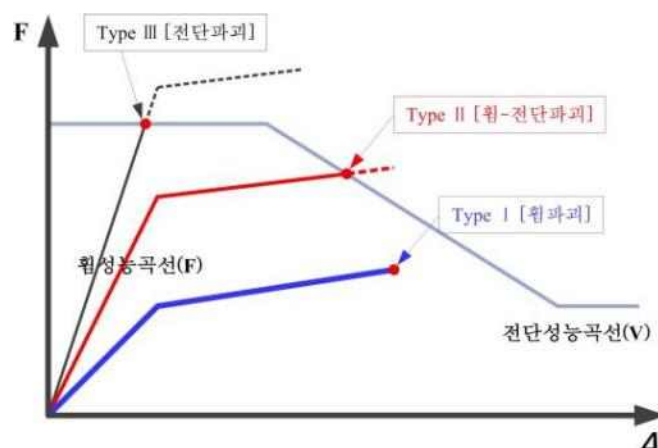
3.2.3 구성요소의 내진성능평가(선형해석 시)

3.2.3.1 교각

가. 기둥형식 교각

1) 교각의 보유성능

- ① 교각의 보유성능은 교각의 파괴모드를 고려하여 결정한다. [그림 3]과 같이 교각의 파괴모드는 교각의 휨성능곡선과 전단성능곡선을 비교하여 다음과 같이 구분한다.
 - Type I(휨파괴모드) : 교각의 전단성능이 휨성능보다 커서 전단파괴가 발생하지 않고 휨에 의해서 파괴가 발생
 - Type II(휨-전단파괴모드) : 교각의 축방향철근 항복한 후 휨파괴에 이르기 전에 전단파괴가 발생
 - Type III(전단파괴모드) : 교각에 배근된 축방향철근의 항복 이전에 전단파괴가 발생



[그림 3] 일반적인 RC 교각의 파괴모드

- ② 교각의 휨성능곡선은 교각의 이상화된 2선형 모멘트-곡률 관계곡선의 항복점과 극한점에 해당하는 휨강도와 변위로 한다. 모멘트-곡률 관계곡선을 휨강도-변위 관계곡선으로 변환시 교각의 유효높이를 고려하여야 한다.
- ③ 교각의 전단성능곡선은 「KDS 24 17 11 교량 내진설계기준(한계상태설계법)」을 따른다.
- ④ 교각의 파괴모드별 보유성능은 다음과 같다. 이 때 보유변위연성도는 [표 1]의 최대보유변위연성도($\mu_{\Delta_{max}}$)를 초과할 수 없다.
- Type I (휨 파괴모드) : 보유성능은 휨파괴시의 보유변위연성도(극한변위/항복 변위)이다.
 - Type II(휨-전단파괴모드) : 보유성능은 전단파괴시의 보유변위연성도(전단파괴시 변위/항복변위)이다.
 - Type III(전단파괴모드) : 보유성능은 전단강도이다.

2) 교각의 소요성능

- ① 교각의 파괴모드별 소요성능은 다음과 같다.
- Type I (휨파괴모드) 및 Type II(휨-전단파괴모드) : 소요성능은 소요변위연성도이다.
 - Type III(전단파괴모드) : 소요성능은 내진성능평가지진에 의한 교각의 탄성 전단력이다.
- ② Type I (휨파괴모드) 및 Type II(휨-전단파괴모드)
- 소요성능은 소요변위연성도(μ_{Δ_i})이며 「KDS 24 17 11 교량 내진설계기준(한계상태설계법)」의 교각의 단면강도비(R_s)와 상한통제주기(T_s)에 따른 변위연성도-단면강도비 상관관계수(λ_{DR})로부터 다음과 같이 구한다.

$$\mu_{\Delta_i} = \lambda_{DR} R_s$$

③ Type III(전단파괴모드)

- 소요성능은 조합탄성전단력($[V_E]_{\text{COMB}}$)으로 한다.

$$F_{P,D} = [V_E]_{\text{COMB}}$$

- 교각의 소요성능은 직교하는 두 축에 대한 응답의 조합 효과를 고려하여야 한다.

3) 성능평가

교각의 내진성능은 교축방향 및 교축직각방향에 대하여 보유성능이 소요성능 이상이면 만족한다.

나. 벽식 교각

1) 교각의 보유성능

- ① 벽식교각은 두께(B)에 대한 길이(H)의 비(종횡비)가 4 이상인 벽체를 갖는 교각을 말하며, 약축방향과 강축방향에 대해 각각 보유성능을 산정한다.
- ② 약축방향 보유성능은 기둥형식 교각을 따른다.
- ③ 강축방향의 보유성능은 다음과 같다.

- 휨 보유성능은 기둥형식 교각의 모멘트-곡률 해석방법에 따라 산정한 휨모멘트강도(M_n)로 한다.
- 전단 보유성능은 다음 중 큰 값으로 한다.

$$V_n = [0.85\phi_c\kappa(\rho_{slt}f_{ck})^{1/3} + 0.15f_n]bd \geq (0.4\phi_cf_{ctk} + 0.15f_n)bd$$

$$V_n = \frac{\phi_sf_{yh}A_vz}{s}\cot\theta \leq \frac{v\phi_cf_{ck}bz}{\cot\theta + \tan\theta}$$

- ϕ_c, ϕ_s : 각각 콘크리트 및 철근의 재료저항계수($\phi_c = \phi_s = 1.0$)
- κ : $\kappa = 1 + \sqrt{200/d} \leq 2.0$
- ρ_{slt} : 교각의 축방향철근 중 인장철근의 비($\rho_{slt} = A_{slt}/(bd) \leq 0.02$)
- A_{slt} : 교각의 축방향철근 중 인장철근량(mm²)
- f_{ck}, f_{ctk} : 콘크리트의 설계기준압축강도 및 인장강도(MPa)
- b, d : 전단력이 작용하는 단면의 폭 및 유효깊이(mm)
- f_n : $f_n = P_u/A_c \leq 0.2\phi_cf_{ck}$ (MPa)
- P_u : 교각에 작용하는 축방향력(P 또는 P_T)(kN)
- f_{yh} : 횡방향철근의 항복강도(MPa)
- A_v, A_c : 횡방향철근 및 콘크리트의 단면적(mm²)
- s : 횡방향철근 수직간격(mm)
- z : 단면 내부 팔길이, 근사적으로 $0.9d$ 값을 사용
- v : 콘크리트 압축강도 유효계수($\nu = 0.6(1 - \frac{f_{ck}}{250})$)

2) 교각의 소요성능

- ① 약축방향 소요성능은 기둥형식 교각을 따른다.
- ② 강축방향의 소요성능은 다음과 같다.
 - 휨 소요성능은 평가지진에 의하여 교각의 강축방향으로 작용하는 휨모멘트(M_d)로 한다.
 - 전단 소요성능은 평가지진에 의하여 교각의 강축방향으로 작용하는 전단력(V_d)으로 한다.

3) 성능평가

- ① 약축방향 성능평가는 기둥형식 교각을 따른다. 다만, 극한변형률이 0.0007인 경우에는 강도로 평가한다.
- ② 강축방향 성능평가는 다음과 같다.
 - 휨모멘트강도(M_n)가 작용하는 휨모멘트(M_d) 보다 크면 휨 내진성능을 만족한다.
 - 전단강도(V_n)가 작용하는 전단력(V_d) 보다 크면 전단 내진성능을 만족한다.

다. 무근 교각

1) 보유성능

- ① 무근콘크리트 교각의 휨강도(M_n)는 「KDS 14 20 64 구조용 무근콘크리트 설계 기준」을 따른다.
- ② 무근콘크리트 교각(사각형 단면)의 전단강도(V_n)는 「KDS 14 20 64 구조용 무근 콘크리트 설계기준」을 따른다.

2) 소요성능

- ① 휨 소요성능은 평가지진에 의하여 교각에 작용하는 휨모멘트(M_d)로 한다.
- ② 전단 소요성능은 평가지진에 의하여 교각에 작용하는 전단력(V_d)으로 한다.

3) 성능평가

- ① 휨모멘트와 축력을 동시에 고려하여 평가하며, 「KDS 14 20 64 구조용 무근콘크리트 설계기준」을 따른다.
- ② 보유성능인 전단강도(V_n)가 소요성능인 작용 전단력(V_d) 보다 크면 전단 내진 성능을 만족한다.

3.2.3.2 교량받침 및 전단키

가. 강재받침 및 전단키 본체

1) 보유성능

- ① 받침본체 및 전단키 본체의 보유성능은 지진방향에 따라 저항하는 개수와 1기당 횡방향 저항용량의 곱으로 하거나, 개별받침의 횡방향 저항용량으로 한다.

2) 소요성능

- ① 받침본체 및 전단키 본체의 소요성능은 교각에 의해 교축방향 및 교축직각방향으로 전달되는 지진하중 또는 받침에 개별적으로 전달되는 지진하중으로 하며, 교각의 조합탄성지진력과 교각의 단면강도 중에서 작은 값으로 한다.

3) 성능평가

- ① 받침본체의 내진성능은 교축방향 및 교축직각방향에 대하여 보유성능이 소요성능 이상이면 만족한다.

나. 고무받침(탄성받침) 본체

1) 보유성능

- ① 탄성받침 본체의 보유성능(횡방향 총 저항용량)은 교각 및 교대 별로 배치된 탄성받침의 총 개수와 1기당 횡방향 저항용량의 곱으로 한다.
- ② 1기당 횡방향 저항용량은 받침 공급사에서 제공하는 허용강도(또는 이에 상응하는 허용변위)를 따르거나 실험으로 결정한다.

2) 소요성능

- ① 탄성받침 본체의 소요성능(받침본체에 작용하는 지진하중)은 강재받침의 소요성능 산정방법을 따른다.

3) 성능평가

- ① 받침본체의 내진성능은 교축방향 및 교축직각방향에 대하여 보유성능이 소요성능 이상이면 만족한다.

다. 앵커부

1) 보유성능

- ① 앵커부의 보유성능은 전단에 대한 강재강도, 콘크리트 브레이크아웃강도, 콘크리트 프라이아웃강도 중 작은 값으로 하며 「KDS 14 20 54 콘크리트용 앵커 설계기준」에 따라 산정한다. 만약 앵커부에 작용하는 수직력이 보유성능에 미치는 영향을 평가할 수 있다면 이를 고려할 수 있다. 앵커철근이 앵커부 주변에 적절하게 배치되고 정착되었다면 앵커철근의 전단강도가 콘크리트 브레이크아웃강도, 콘크리트 프라이아웃강도를 대신할 수 있다.

2) 소요성능

- ① 앵커부의 소요성능은 내진성능평가지진 하중에 의하여 앵커부에 발생하는 전단력과 교각의 단면강도 중에서 작은 값으로 한다.

3) 성능평가

- ① 앵커부의 내진성능은 교축방향 및 교축직각방향에 대하여 보유성능이 소요성능 이상이면 만족한다.

3.2.3.3 받침지지길이(낙교)

1) 보유성능

- ① 받침지지길이의 보유성능은 교각의 실제 받침지지길이를 한다.

2) 소요성능

- ① 받침지지길이의 소요성능은 「KDS 24 17 11 교량내진설계기준(한계상태설계법)」에서 제시하고 있는 최소받침지지길이(N)와 응답변위 중 큰 값으로 한다. 단, 단경간교 및 지진구역Ⅱ에 위치하는 내진Ⅱ등급 교량에 대해서는 최소받침지지길이를 한다.

3) 성능평가

- ① 보유성능이 소요성능 이상이면 만족한다.

3.2.3.4 교대

교대는 교대 배면의 동적토압에 대해 구조체의 안전성(휨 및 전단)과 안정성(전도, 활동, 지지력)을 확보하여야 한다. 단, 상·하부가 강결구조이거나 말뚝기초인 경우, 전도 및 활동의 평가는 생략할 수 있다.

가. 구조체 안전성

1) 보유성능

- ① 교대 구조체의 보유성능은 휨강도 및 전단강도이다.

2) 소요성능

- ① 소요성능은 배면 동적토압에 의해 교대 구조체에 발생하는 휨과 전단력이다.

3) 성능평가

- ① 보유성능이 소요성능 이상이면 구조체의 안전성을 만족한다.

나. 안정성

1) 보유성능

- ① 교대 안정성의 보유성능은 전도, 활동, 지지력에 대한 허용저항력이다.

2) 소요성능

- ① 소요성능은 교대 배면 동적토압에 의해 교대에 작용하는 전도모멘트, 활동력 및 기초저면 지반에 발생하는 최대압력이다.

3) 성능평가

- ① 전도, 활동에 대해 소요성능에 대한 보유성능의 비(안전율)가 허용안전율 이상이고, 기초저면 지반의 최대압력이 허용지지력 이내이면 내진성능을 만족한다. 허용 안전율과 허용지지력은 관련 기준 및 지침 등을 따른다.

3.2.3.5 기초

기초는 구조체의 안전성(휨, 전단력 및 축력)과 기초의 전도, 활동, 침하 및 지지력에 대한 안정성을 확보하여야 한다. 단, 상·하부가 강결구조이거나 말뚝기초인 경우, 전도 및 활동의 평가는 생략할 수 있다.

가. 구조체 안전성

1) 보유성능

- ① 구조체의 보유성능은 휨 및 전단(1방향전단, 및 2방향전단) 강도(또는 허용응력)이다. 교대 기초의 경우 2방향전단은 생략할 수 있다.

2) 소요성능

- ① 소요성능은 구조체에 발생하는 휨 및 전단(1방향전단, 및 2방향전단), 축력(또는 해당 응력)이다. 교대 기초의 경우 2방향전단은 생략할 수 있다.

3) 성능평가

- ① 보유성능이 소요성능 이상이면 구조체의 안전성을 만족한다.

나. 안정성

1) 보유성능

- ① 기초의 안정성에 대한 보유성능은 전도, 활동, 침하 및 지지력에 대한 허용저항력

이다. 교대 기초의 경우 교축직각방향에 대해 활동은 생략할 수 있다.

2) 소요성능

- ① 소요성능은 각각 전도모멘트, 활동력 및 기초저면 지반에 발생하는 최대압력이다. 교대 기초의 경우 교축직각방향에 대해 활동은 생략할 수 있다.

3) 성능평가

- ① 전도, 활동에 대해 소요성능에 대한 보유성능의 비(안전율)가 허용안전율 이상이고, 기초저면 지반의 최대압력이 허용지지력 이내이면 내진성능을 만족한다. 허용 안전율과 허용지지력은 관련 기준 및 지침 등을 따른다.

3.2.4 비선형 동적해석에 의한 평가

3.2.4.1 교각

1) 보유성능

- ① 휨 보유성능은 압축콘크리트의 극한변형률(또는 이에 상응하는 극한시의 극한 곡률, 변위, 연성도 등)이다. 압축콘크리트의 극한변형률은 [표 1]을 따른다.
- ② 전단 보유성능은 단면의 전단강도로서 3.2.3.1을 따르며 콘크리트에 의한 전단강도 (V_c)는 각 해석 시간단계에서의 변위연성도와 축력의 크기를 반영하여 산정한다.

2) 소요성능

- ① 휨 소요성능은 지진해석에 의한 단면의 최대압축변형률(또는 이에 상응하는 최대 곡률, 변위, 연성도 등)이다.
- ② 전단 소요성능은 지진해석에 의한 단면의 최대전단력이다.

3) 성능평가

- ① 휨 및 전단 보유성능이 모두 해당 소요성능 이상이면 내진성능은 만족한다.

3.2.4.2 교각 외 구성요소의 평가

- ① 일반적인 교량받침 본체의 보유성능은 교량받침 및 전단키 횡방향 저항성능(1기 또는 고려하는 교각 전체의 교량받침(전단키))이며, 소요성능은 지진해석에 의해 교량받침 및 전단키에 발생하는 지진력이다.
- ② 지진격리받침의 보유성능은 받침본체의 허용변위이며, 소요성능은 지진시 발생하는 받침의 변위이다.
- ③ 앵커부의 보유성능은 3.2.3.2(다)를 따르며, 소요성능은 지진해석에 의해 앵커에 작용하는 지진력이다.
- ④ 받침지지길이의 보유성능은 3.2.3.3을 따르며, 소요성능은 지진해석에 의한 상부구조의 수평변위이다.
- ⑤ 교대의 보유성능과 소요성능은 3.2.3.4를 따른다.
- ⑥ 기초의 보유성능은 3.2.3.5를 따르며, 소요성능은 지진해석에 의하여 확대기초부

(또는 말뚝본체)에 작용하는 지진력이다.

⑦ 각 구성요소의 보유성능이 소요성능 이상이면 내진성능을 만족한다.

3.3 액상화 평가

지진 시 액상화로 인해 교량에 피해를 줄 수 있는 환경이라면 이에 대한 영향을 고려하여야 하며, 액상화 발생 가능성에 대한 평가는 「KDS 17 10 00 내진설계 일반」을 따른다. 액상화로 인해 교량의 내진성능수준이 만족되지 못할 경우에는 적절한 대책방안을 수립하여야 한다.

3.4 내진보강방안

내진성능평가 결과 불만족이면 적정한 내진보강공법(안)을 제시하여야 한다. 내진보강공법(안)은 적용 가능한 다수의 공법을 선정하고 공법별 장·단점 및 경제성을 분석하여 합리적인 공법을 선정하여야 한다.

부록 2

내진성능평가 세부지침

- 터 널 -

1. 총칙

1.1 목적

내진성능평가 세부지침 터널편은 「법」 제21조 및 같은 법 시행령 제17조에 따라 「지침」에서 정하는 내진성능평가의 실시 방법·절차 등에 관한 사항을 보다 상세하게 규정하고 그 실시 기준을 제시하여 터널의 내진성능을 합리적으로 조사·평가할 수 있게 하는데 그 목적이 있으며, 이 세부지침에서는 내진설계와 다르게 적용되어야 하는 내진성능평가의 최소 필요사항을 기술하고 규정한다.

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

1.2 적용범위

이 세부지침의 적용범위는 「KDS 27 17 00 터널 내진설계」를 따른다.

1.3 참고기준

이 세부지침의 관련법규나 관련기준(지침)은 다음과 같다.

가. 관련법규

- 「법」, 같은법 시행령, 같은법 시행규칙
- 「지진·화산재해대책법」, 같은법 시행령, 같은법 시행규칙

나. 관련기준

- 「지침」
- 「세부지침」
- 「KDS 17 10 00 내진설계 일반」
- 「KDS 27 17 00 터널 내진설계」
- 「KDS 29 17 00 공동구 내진설계」
- 「KDS 14 20 80 콘크리트 내진설계기준」
- 「KDS 14 20 10 콘크리트구조 해석과 설계 원칙」
- 「KDS 14 20 90 기존 콘크리트구조물의 안전성 평가기준」
- 「내진설계기준 공통적용사항(행정안전부)」

1.4 용어의 정의

이 세부지침에 사용되는 용어의 정의는 “1.3 참고기준”을 따른다.

2. 내진성능평가 절차사항

2.1 기본조사

자료조사에는 설계도서에 나타난 터널 관련 직접정보뿐만 아니라 현장조사를 통하여 터널의 보수·보강 이력 및 상태, 현 터널의 여건, 터널 주위의 환경적 요인 등을 함께 조사하여 정리한다.

가. 일반사항 조사

- 1) 터널명, 위치, 관리기관 등
- 2) 터널이 위치한 지진구역, 시설물의 내진등급, 지반조건 등
- 3) 준공년도, 준거 설계기준 및 시방서, 내진 설계/평가/보강의 유무 등

나. 설계도서 조사

- 1) 터널의 구조형식, 각 구성요소의 제원 및 재료 특성 등
- 2) 터널의 종·횡단면도, 평면도, 지질주상도, 상세도 등
- 3) 보수·보강 등에 따른 내진성능의 변화 요인

다. 현장조사

- 1) 터널 시설물의 현재 상태와 설계도서와의 차이점
- 2) 중요 연결시설물, 갱구부 비탈면 상태, 주변 현황 등

라. 환경조사

- 1) 재료 및 제원의 특성에 영향을 주는 환경요인
- 2) 지진 외적인 보수·보강계획 등

2.2 내진성능평가 절차

터널 시설물의 내진성능평가는 기본조사(일반사항, 설계도서, 현장, 환경 등)를 수행하고, 지진해석을 통하여 터널의 구성요소별 내진성능 확보 여부(수준)를 판단하기 위해 응답변위법 또는 응답이력해석법 등을 이용하여 내진성능평가를 실시한다. 평가방법은 이 세부지침에서 제시하는 바와 다르더라도 공학적으로 타당한 방법에 따라 실시할 수 있다.

2.3 내진성능평가 보고서

2.3.1 작성원칙

보고서의 문장은 간결하고 앞뒤 연결 관계가 명확하여야 하며, 객관적인 자료수집과 분석 그리고 결론으로 이루어져야 한다. 대상 터널에 대한 사항과 이론서 및 전문서, 연구보고서의 내용을 분명히 구별하여야 한다. 보고서의 내용은 검증이 가능하도록 구체적이고 상세하게 기술하여야 하며, 타문헌 인용시 출처를 명시하여야 한다.

2.3.2 보고서의 구성 및 주요 내용

내진성능평가 보고서의 구성 및 주요 포함 내용은 다음을 따른다.

- 1) 일반사항
- 2) 내진성능 기준
- 3) 강도 및 하중관련 사항
- 4) 적용된 내진성능평가 개념에 대한 설명
- 5) 내진성능평가 결과
- 6) 내진보강방안(필요시)

3. 내진성능평가 기술사항

3.1 일반사항

3.1.1 적용원칙

이 장은 내진성능평가의 신뢰성 확보를 위하여 필요한 기본적인 기술사항을 규정한다.

이 장에서 규정되지 않은 사항은 “1.3 참고기준”을 따르며, 필요한 경우 관련 문헌을 참조하여 적용할 수 있다.

3.1.2 내진성능 기준

가. 내진등급

터널의 내진등급은 「KDS 27 17 00 터널 내진설계」를 따른다.

나. 내진성능목표

터널의 내진성능목표는 「KDS 27 17 00 터널 내진설계」를 따른다.

다. 내진성능평가지진의 지반운동

- 1) 터널의 내진성능평가지진은 기반면에서의 지반운동으로 정의한다.
- 2) 지진구역 및 지진위험도, 지반분류, 유효수평지반가속도, 응답스펙트럼은 「KDS 17 10 00 내진설계일반」을 따른다.

3.1.3 강도감소계수 및 하중조합

내진성능평가에 적용하는 강도감소계수는 1.0으로 한다.

지진하중이 포함된 하중조합 및 하중계수는 「KDS 14 20 10 콘크리트구조 해석과 설계 원칙」 등 관련 시설물의 설계기준을 따른다.

3.2 내진성능평가

3.2.1 일반사항

터널 시설물의 내진성능평가는 무근 및 철근 콘크리트 구조물에 대해 각 구성요소(부재)가 보유하고 있는 보유성능(capacity)과 지진에 대하여 각 부재에 요구되는 소요성능(demand)을 비교하여 평가한다.

내진성능평가 시, 터널 시설물의 단면크기, 재료강도 등 내진성능에 영향을 미치는 모든 특성은 현장조사에서 얻은 실제 수치를 사용하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 현장

환경 및 여건 등을 고려하여 내진성능이 보수적으로 평가되도록 조정한 값을 사용할 수 있다.

3.2.2 평가방법

가. 응답변위법

지진발생 시에 발생하는 최대 지반변위를 등가의 지진하중으로 지중구조물에 작용하여 구조물의 거동을 해석하는 방법을 응답변위법이라 한다. 응답변위법은 「KDS 29 17 00 공동구 내진설계」를 따른다.

1) 기반면의 설정

- ① 「KDS 17 10 00 내진설계 일반」에 제시된 기반암의 정의에 따라 전단파속도 760m/s 이상인 지층(기반암)의 상면을 기반면으로 설정한다.
- ② 기반암이 구조물 저면보다 높은 경우, 구조물 저면을 기반면으로 설정한다.

2) 기반면에서의 속도응답스펙트럼

- ① 지반응답해석을 수행하지 않고 지반변위 및 주면전단력을 산정하는 경우 기반면에서의 속도응답스펙트럼을 사용한다.
- ② 기반면에서의 속도응답스펙트럼은 기반암 운동에 대한 표층지반(지표면으로부터 기반면 사이의 지반)의 응답을 표층지반의 고유주기에 따라 기반면에서 설정한 속도응답스펙트럼이다.
- ③ 내진성능수준별 감쇠비(ξ , %단위)는 아래와 같이 적용하며, 별도의 합리적인 해석에 의하여 감쇠비를 산정하는 경우 이를 적용할 수 있다.
 - 기능수행수준에 대한 감쇠비는 10%를 적용한다.
 - 붕괴방지수준에 대한 감쇠비는 20%를 적용한다.
- ④ 기반면에서의 속도응답스펙트럼은 ③에 따라 결정된 감쇠비를 적용하고 암반지반(S_1 지반) 설계지반운동의 가속도 설계응답스펙트럼을 직접 적분하여 구할 수 있다. 이때, 환산식은 다음을 이용한다.

$$S_v = \frac{T}{2\pi} S_a$$

여기서, S_v : 스펙트럼속도 (m/s)

S_a : 스펙트럼가속도 (m/s^2)

T : 고유주기 (s)

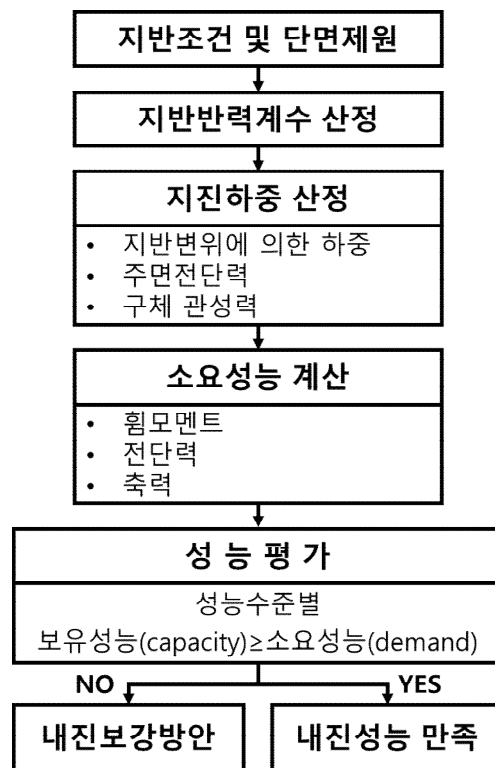
3) 지진해석을 위한 지반반력계수 산정

- ① 지반의 전단탄성계수는 성능수준에 따른 비선형성을 고려하여야 한다.
- ② 지반반력계수는 「KDS 29 17 00 공동구 내진설계」에서 제시하는 방법에 따라 산정한다.

4) 구조물에 작용하는 지진하중은 기반면에서의 속도응답스펙트럼을 이용하는 방법 또는 지반응답해석에 의한 방법을 적용하여 산정할 수 있다.

- ① 기반면에서의 속도응답스펙트럼을 이용하는 방법
 - 지진하중으로서 지반변위에 의한 하중, 주면전단력, 구체 관성력을 작용시키며, 각 하중의 산정은 「KDS 29 17 00 공동구 내진설계」를 따른다.
- ② 지반응답해석에 의한 방법
 - 지반응답해석을 수행하여 지반의 깊이별 수평 변위, 주면전단력, 깊이별 가속도를 구한다.
 - 지반응답해석 시 설계지반운동의 시간이력은 「KDS 17 10 00 내진설계 일반」을 따른다.

5) 응답변위법을 이용한 성능평가 절차는 다음과 같다.

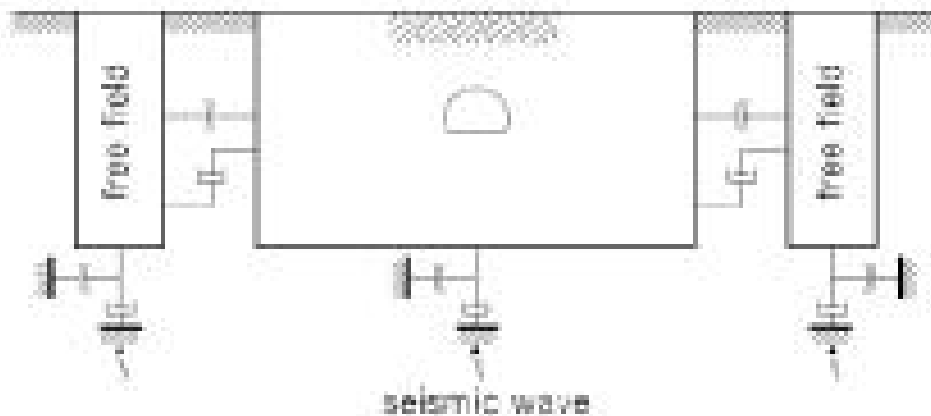


[그림 1] 응답변위법 절차

나. 응답이력해석법

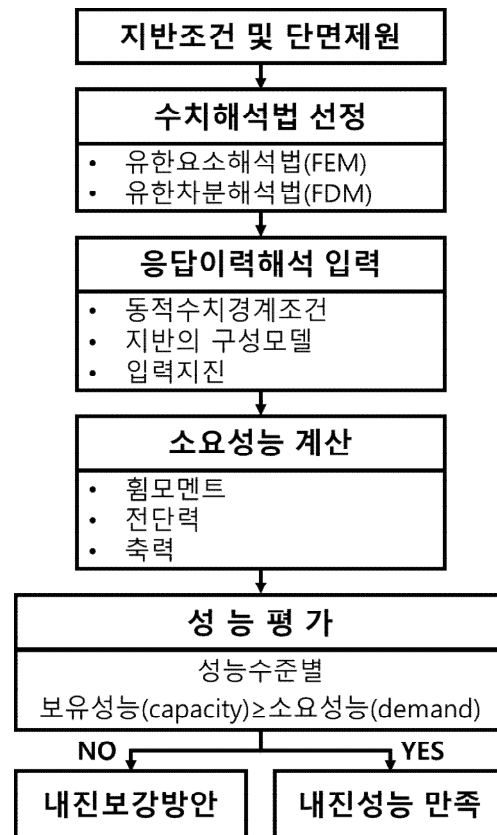
- 1) 응답이력해석법에 사용되는 내진성능평가지진(가속도)의 시간이력은 내진등급에 해당하는 기능수행수준 및 붕괴방지수준을 만족할 수 있는 평균재현주기를 가진 지반운동이 되어야 한다.

- 2) 응답이력해석 시 적용하는 입력지반운동(실지진기록 활용 지반운동, 인공합성 지반운동)은 「KDS 17 10 00 내진설계 일반」에 기반하여 산정한다.
 - ① 응답이력해석은 시간영역에서 직접적분법에 의하여 해석을 수행하므로 입력지반운동이 응답스펙트럼을 만족하여도 가속도 시간이력 특성에 따라 결과가 상이하게 나타날 수 있다. 따라서 최소 3개 이상의 서로 다른 입력지반운동을 사용하여야 하며, 이때 실지진기록을 적용하는 것을 권장한다.
 - ② 각 해석에서 구해진 응답의 최댓값을 최대응답값으로 하고, 만약 7개 이상의 입력지반운동을 사용한 경우에는 각 해석에서 구해진 최대응답의 평균값을 최대응답값으로 한다.
- 3) 응답이력해석을 위한 지반-터널 상호작용의 해석모델은 지반운동에 대한 터널의 동적응답 크기와 특성을 충분히 고려할 수 있도록 터널의 질량과 강성의 공간적인 분포를 적절하게 대표할 수 있어야 한다.
- 4) 지반의 유연성이 매우 높아서 구조물의 동적응답에 미치는 영향이 무시될 수 없는 경우에는 지반-터널 상호작용을 적절하게 고려할 수 있도록 지반을 역학적으로 모델링하여야 한다.
- 5) 응답이력해석 시 구조물 혹은 지반의 감쇠특성이 적절히 모델링되어야 한다.
- 6) 해석 영역의 경계조건, 모델 내 지진하중 작용과 해석모델에 적합한 입력물성 등을 응답이력해석에 적용한다.
 - ① 응답이력해석 시 경계조건은 경계면에서의 중복반사와 영향을 최소화하기 위하여 좌우면 흡수경계(Quiet boundary) 또는 자유장경계(Free-field boundary)를 적용하게 된다.
 - ② 수평 및 수직방향의 모델링 범위는 터널 시설물의 굴착 및 시공에 따른 응력변화의 영향이 미치지 않는 범위까지 설정되어야 한다.



[그림 2] 경계조건 적용 예시

- 7) 상시평형해석(정적해석)으로 현 상태 응력조건에 대한 평형해석 후, 지진하중에 의한 응답이력해석을 수행한다.
- 8) 응답이력해석법을 이용한 성능평가 절차는 다음과 같다.



[그림 3] 응답이력해석법 절차

3.2.3 내진성능 판정

터널 시설물의 내진성능 판정은 각 구성요소의 보유성능(capacity)이 소요성능(demand) 이상이면 내진성능을 확보한 것으로 판정한다.

소요성능(demand)은 이 세부지침의 3.1.3절(강도감소계수 및 하중조합)을 고려하여 계산한다.

3.3 액상화 평가

터널 내진성능평가 시의 액상화 평가는 터널의 입출구부 및 연약지반 터널에 있어서 지하수의 영향을 받는 구간에 대하여 실시하는 것을 원칙으로 한다.

액상화 발생 가능성에 대한 평가는 「KDS 17 10 00 내진설계 일반」을 따르며, 액상화로 인한 터널의 안정성을 확보하지 못할 경우에는 대책 방안을 수립하여야 한다.

3.4 내진보강방안

내진성능평가 결과 불만족이면 적정한 내진보강공법(안)을 제시하여야 한다. 내진보강공법(안)은 적용 가능한 다수의 공법을 선정하고 공법별 장·단점 및 경제성을 분석하여 합리적인 공법을 선정하여야 한다.

부록 3

내진성능평가 세부지침

- 건축물 -

1. 총칙

1.1 목적

내진성능평가 세부지침 건축물편은 「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 변형지배거동의 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 발생하는 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 밀면전단력과 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.

상세평가지 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 지진 파(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 파라미터 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 파라미터 및 허용기준 적용사항, 다축가진효과 반영, 비선형시간이력해석 알고리즘, 감쇠비, 수렴 조건 및 스텝크기, 지진파별 최대밀면전단력 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 파라미터) 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

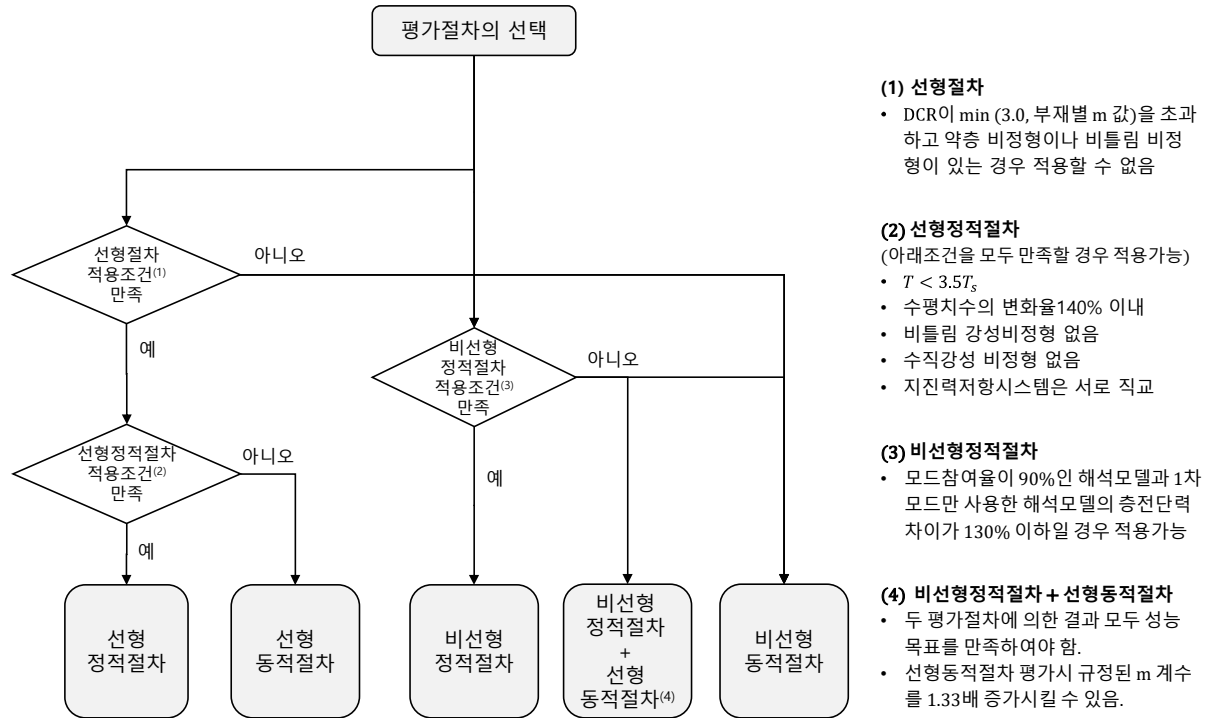
간략하게 내진성능을 평가하여 상세평가 결과의 적정성을 검증하고자 하는 경우 예비평가를 수행할 수 있다.

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

3.3 상세평가절차의 선택

상세평가는 선형정적절차, 선형동적절차, 비선형정적절차, 비선형동적절차로 나뉘지며 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 - 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.

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 ϕ 는 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 총 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.

$$DCR = \frac{Q_{UD}}{Q_{CE}} \quad (3.5.1)$$

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.

$$\overline{DCR} = \frac{\sum_1^n DCR_i V_i}{\sum_1^n V_i} \quad (3.5.2)$$

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_G 는 식 (3.5.3)과 (3.5.4)로 산정한다.

$$Q_G = 1.1(Q_D + Q_L + Q_S) \quad (3.5.3)$$

$$Q_G = 0.9Q_D \quad (3.5.4)$$

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

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

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

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

$$Q_{UD} = Q_G + Q_E \quad (3.5.6)$$

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.

$$Q_{UF} = Q_G \pm \frac{\chi Q_E}{CJ} \quad (3.5.7)$$

$$Q_{UF} = Q_G \pm \frac{\chi Q_E}{C} \quad (3.5.8)$$

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 J 의 값으로 DCR의 최소치를 택한 경우에는 적용하지 않는다.

J 는 고려하는 부재의 하중이 횡하중 저항시스템 내의 부재로부터 전달될 때 그 횡하중 저항시스템 부재의 항복에 의해 전달되는 하중이 감소되는 효과를 나타낸다. J 의 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.

$$Q_{CE} \geq \frac{Q_{UD}}{m} \quad (3.5.9)$$

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.

$$Q_{CN} \geq Q_{UF} \quad (3.5.10)$$

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 밑면 전단력의 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.

비선형정적절차에서 중력하중 조합에 의한 변형과 부재력 Q_G 은 식 (3.6.1)으로 산정한다.

$$Q_G = Q_D + Q_L + Q_S \quad (3.6.1)$$

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 주 방향의 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 등과 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 비선형 동적해석시 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 비선형정적절차의 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 허용충간변위각 및 지진후 중력하중저항능력을 평가하여 판정한다. 비구조요소는 평가대상 비구조요소별로 성능수준을 판정하여 보고서에 병기한다.

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

내진설계된 구조물의 성능수준별 허용 충간변형각은 [표 2]과 같으며 대상건물의 방향별, 층별로 만족여부를 검토한다. 다만, 내진설계되지 않은 건물의 경우 성능수준별 허용 충간변형각은 [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 내진 성능목표가 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

부록 4

내진성능평가 세부지침

- 하구둑·제방 -

1. 총칙

1.1 목적

내진성능평가 세부지침 하구둑·제방편은 「법」 제21조 및 같은 법 시행령 제17조에 따라 「지침」에서 정하는 내진성능평가의 실시 방법·절차 등에 관한 사항을 보다 상세하게 규정하고 그 실시 기준을 제시하여, 하구둑 및 제방의 내진성능을 합리적으로 조사·평가할 수 있게 하는데 그 목적이 있으며, 이 세부지침에서는 내진설계와 다르게 적용되어야 하는 내진성능평가의 최소 필요사항을 기술하고 규정한다.

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

1.2 적용범위

이 세부지침의 적용범위는 「KDS 51 17 00 하천 내진 설계」 및 「KDS 67 65 20 해면 간척 방조제설계」를 따른다.

1.3 참고기준

이 세부지침의 관련법규나 관련기준(지침)은 다음과 같다.

가. 관련법규

- 「법」, 같은법 시행령, 같은법 시행규칙
- 「지진·화산재해대책법」, 같은법 시행령, 같은법 시행규칙
- 「하천법」, 같은법 시행령, 같은법 시행규칙
- 「공유수면관리 및 매립에 관한 법률」, 같은법 시행령, 같은법 시행규칙
- 「방조제관리법」, 같은법 시행령, 같은법 시행규칙

나. 관련기준

- 「지침」
- 「세부지침」
- 「KDS 17 10 00 내진설계 일반」
- 「KDS 51 17 00 하천내진 설계」
- 「KDS 54 17 00 댐 내진설계」
- 「KDS 67 65 20 해면간척 방조제설계」
- 「내진설계기준 공통적용사항(행정안전부)」

1.4 용어의 정의

이 세부지침에 사용되는 용어의 정의는 “1.3 참고기준”을 따른다.

2. 내진성능평가 절차사항

2.1 기본조사

자료조사에는 설계도서에서 나타난 하구둑(방조제) 및 제방 관련 직접정보 뿐만 아니라 현장조사를 통하여 하구둑(방조제) 및 제방의 보수·보강 이력 및 상태, 현 여건, 주위의 환경적 요인 등을 함께 조사하여 정리한다.

가. 일반사항 조사

- 1) 하구둑(방조제), 제방의 공식명칭, 위치, 관리기관 등
- 2) 하구둑(방조제), 제방이 위치한 지진구역, 시설물의 내진등급, 지반조건 등
- 3) 준공년도, 적용된 설계기준 및 지방서, 내진 설계/평가/보강의 유무 등

나. 설계도서 조사

- 1) 하구둑(방조제), 제방의 구조형식, 각 구성요소의 제원 및 재료 특성 등
- 2) 하구둑(방조제), 제방의 도면, 계산서, 지질주상도, 상세도 등
- 3) 보수·보강 등에 따른 내진성능의 변화 요인

다. 현장조사

- 1) 현재 상태와 설계도서와의 차이점
- 2) 주요 시설물 접속부 구간의 조사
- 3) 최근 홍수, 태풍, 해일 등으로 인한 피해 및 복구현황 등

라. 환경조사

- 1) 재료 및 제원의 특성에 영향을 주는 환경요인
- 2) 지진 외적인 보수·보강계획 등

2.2 내진성능평가 절차

하구둑(방조제) 및 제방의 내진성능평가는 기본조사(일반사항, 설계도서, 현장, 환경 등)를 수행하고, 지진해석을 통하여 하구둑(방조제) 및 제방의 구성요소별 내진성능 확보 여부(수준)를 판단하기 위해 등가정적해석법, Newmark 변위법, 응답이력해석법 등을 이용하여 내진성능평가를 실시한다. 평가방법은 이 세부지침에서 제시하는 바와 다르더라도 공학적으로 타당한 방법에 따라 실시할 수 있다.

2.3 내진성능평가 보고서

2.3.1 작성원칙

보고서의 문장은 간결하고 앞뒤 연결 관계가 명확하여야 하며, 객관적인 자료수집과 분석 그리고 결론으로 이루어져야 한다. 대상 하구둑(방조제) 및 제방에 대한 사항과 이론서 및 전문서, 연구보고서의 내용을 분명히 구별하여야 한다. 보고서의 내용은 검증이 가능하도록 구체적이고 상세하게 기술하여야 하며, 타문헌 인용시 출처를 명시하여야 한다.

2.3.2 보고서의 구성 및 주요 내용

내진성능평가 보고서의 구성 및 주요 포함 내용은 다음을 따른다.

- 1) 일반사항
- 2) 내진성능 기준
- 3) 강도 및 하중 관련 사항
- 4) 적용된 내진성능평가 기법에 대한 설명
- 5) 내진성능평가 결과
- 6) 내진보강방안(필요시)

3. 내진성능평가 기술사항

3.1 일반사항

3.1.1 적용원칙

이 장은 내진성능평가의 신뢰성 확보를 위하여 필요한 최소한의 기술사항을 규정한다.

이 장에서 규정되지 않은 사항은 “1.3 참고기준”을 따르며, 필요한 경우 관련 문헌을 참조하여 적용할 수 있다.

3.1.2 내진성능기준

가. 내진등급

하구둑(방조제), 제방의 내진등급은 「KDS 67 65 20 해면간척 방조제설계」 또는 「KDS 51 17 00 하천내진 설계」을 따른다.

나. 내진성능수준 및 목표

하구둑(방조제), 제방의 내진성능수준 및 목표는 「KDS 67 65 20 해면간척 방조제설계」 또는 「KDS 51 17 00 하천내진 설계」을 따른다.

다. 내진성능평가지진의 지반운동

- 1) 내진성능평가지진은 「KDS 51 17 00 하천내진 설계」 및 「KDS 67 65 20 해면간척 방조제설계」을 따른다.
- 2) 지진구역 및 지진위험도, 지반분류, 응답스펙트럼은 「KDS 17 10 00 내진설계 일반」을 따른다.

3.1.3 강도감소계수 및 하중조합

내진성능평가에 적용하는 강도감소계수는 1.0으로 한다.

지진하중이 포함된 하중조합 및 하중계수는 「KDS 14 20 10 콘크리트구조 해석과 설계 원칙」 등 관련 시설물의 설계기준을 따른다.

3.2 내진성능평가

3.2.1 일반사항

하구둑(방조제), 제방의 단면, 지반 재료의 특성, 강도 등 내진성능에 영향을 미치는 모든 특성은 현장조사에서 얻은 실제 수치를 사용하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 현장 환경 및 여건 등을 고려하여 내진성능이 보수적으로 평가되도록 조정한 값을 사용할 수 있다.

내진성능 평가시 제체의 수위조건은 설계기준에 따라 다음과 같이 적용하는 것을 원칙으로 한다.

- 하구둑(방조제)의 수위조건은 「KDS 67 65 20 해면간척 방조제설계」를 따라 제체의 안정에 불리한 악조건의 설계조위를 선택하도록 한다.
- 제방의 수위조건은 「KDS 51 17 00 하천내진 설계」를 따라 평상시 최고수위로 한다.

3.2.2 평가방법

가. 등가정적해석법

지진발생 시 제체에 작용하는 지진하중을 등가의 정적하중으로 작용하여 제체의 사면안정해석을 실시하는 한계상태평형해석에 기반한 해석방법으로 해석방법은 「KDS 54 17 00 댐 내진설계」의 “4.11.2 정역학적 내진설계기준”을 따른다.

나. Newmark 변위법

Newmark 변위법은 한계상태 평형이론에 기반하여, 파괴원호에 작용하는 가속도 시간이력이 항복가속도를 초과하는 경우 파괴원호가 원호활동면을 따라 활동하는 변위를 추정하는 방법이다.

- 1) 제체에 작용하는 가속도 시간이력에서 항복가속도를 초과하는 가속도 크기를 시간에 대해 2번 적분하여 잔류변위를 산정한다.
- 2) 항복가속도는 사면의 원호활동이 시작되는 가속도 크기로서, 등가정적해석으로 사면의 사면안전율이 1.0이 되는 지진계수값으로부터 정의된다.
- 3) 제체에 작용하는 가속도 시간이력은 제체의 형상과 제체와 하부지반을 구성하는 지반의 비선형 거동특성을 반영할 수 있는 해석방법을 통하여 결정한다.
- 4) 이 방법은 액상화가 발생하지 않는 조건에서 적용 가능한 해석방법이다.

다. 비선형응답이력해석법

비선형 응답이력해석은 지진하중에 대하여 비선형 응력-변형률 거동표현이 가능한 지반모델에 대해서 순차적인 시간적분을 통하여 지반 및 구조물의 지진 시 응답을 예측하는 기법이다.

- 1) 입력지반운동의 시간이력 생성은 「KDS 17 10 00 내진설계 일반」을 따른다.
- 2) 수치해석 모델의 수평지반은 제체의 시공에 따른 응력변화의 영향이 미치지 않는 범위까지 모델링되어야 한다.

3.2.3 내진성능 판정

하구둑(방조제), 제방 시설물의 내진성능 판정은 각 구성요소의 보유성능(capacity)이 소요성능(demand) 이상이면 내진성능을 확보한 것으로 판정한다.

소요성능(demand)은 이 세부지침의 3.1.3절(강도감소계수 및 하중조합)을 고려하여 계산한다.

3.3 액상화 평가

지진 시 액상화로 인한 하구둑(방조제) 및 제방의 내진성능 저하가 발생할 것이 우려되는 경우에는 이에 대한 영향을 고려하여야 하며 액상화 발생 가능성에 대한 평가는 「KDS 17 10 00 내진설계 일반」을 따른다. 액상화로 인한 하구둑(방조제) 및 제방의 안정성을 확보하지 못할 경우에는 대책 방안을 수립하여야 한다.

3.4 내진보강방안

내진성능평가 결과 불만족이면 적절한 내진보강공법(안)을 제시하여야 한다. 내진보강공법(안)은 적용 가능한 다수의 공법을 선정하고 공법별 장·단점 및 경제성을 분석하여 합리적인 공법을 선정하여야 한다.

부록 5

내진성능평가 세부지침

- 수 문 -

1. 총칙

1.1 목적

내진성능평가 세부지침 수문편은 「법」 제21조 및 같은 법 시행령 제17조에 따라 「지침」에서 정하는 내진성능평가의 실시 방법·절차 등에 관한 사항을 보다 상세하게 규정하고 그 실시 기준을 제시하여 수문의 내진성능을 합리적으로 조사·평가할 수 있게 하는데 그 목적이 있으며, 이 세부지침에서는 내진설계와 다르게 적용되어야 하는 내진성능평가의 최소 필요사항을 기술하고 규정한다.

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

1.2 적용범위

이 세부지침의 적용범위는 「KDS 51 17 00 하천내진 설계」를 따른다.

1.3 참고기준

이 세부지침의 관련법규나 관련기준(지침)은 다음과 같다.

가. 관련법규

- 「법」, 같은법 시행령, 같은법 시행규칙
- 「지진·화산재해대책법」, 같은법 시행령, 같은법 시행규칙
- 「하천법」, 같은법 시행령, 같은법 시행규칙

나. 관련기준

- 「지침」
- 「세부지침」
- 「KDS 17 10 00 내진설계 일반
- 「KDS 51 17 00 하천내진 설계」
- 「KDS 51 00 00 하천설계기준」
- 「KDS 54 17 00 댐 내진설계」
- 「KDS 11 50 25 기초 내진 설계기준」
- 「KDS 24 14 50 교량하부구조 설계기준(일반설계법)」
- 「KDS 29 17 00 공동구 내진설계」
- 「KDS 14 20 00 콘크리트구조설계」
- 「KDS 14 30 00 강구조설계」
- 「내진설계기준 공통적용사항(행정안전부)」

1.4 용어의 정의

이 세부지침에 사용되는 용어의 정의는 “1.3 참고기준”을 따르고 이에 정의되지 않은 용어는 아래의 정의를 따른다.

○ 양압력

- 중력과 반대 방향으로 작용하는 연직성분의 압력

2. 내진성능평가 절차사항

2.1 기본조사

자료조사에는 설계도서에서 나타난 수문 관련 직접정보 뿐만 아니라 현장조사를 통하여 수문의 보수·보강 이력 및 상태, 현 수문의 여건, 수문 주위의 환경적 요인 등을 함께 조사하여 정리한다.

가. 일반사항 조사

- 1) 수문의 공식 명칭, 위치, 관리기관 등
- 2) 수문이 위치한 지진구역, 시설물의 내진등급, 지반조건 등
- 3) 준공년도, 준거 설계기준 및 시방서, 내진 설계/평가/보강의 유무 등

나. 설계도서 조사

- 1) 수문의 구조형식, 각 구성요소의 제원 및 재료 특성 등
- 2) 수문의 도면, 계산서, 지질주상도, 상세도 등
- 3) 보수·보강 등에 따른 내진성능의 변화 요인

다. 현장조사

- 1) 현재 상태와 설계도서와의 차이점
- 2) 주요 시설물 접속부 구간의 조사
- 3) 최근 홍수, 태풍, 해일 등으로 인한 피해 및 복구현황 등

라. 환경조사

- 1) 재료 및 제원의 특성에 영향을 주는 환경요인
- 2) 지진 외적인 보수·보강계획 등

2.2 내진성능평가 절차

수문 시설물의 내진성능평가는 기본조사(일반사항, 설계도서, 현장, 환경 등)를 수행하고, 지진해석을 통하여 수문의 구성요소별 내진성능 확보 여부(수준)를 판단하기 위해 등가정적해석법, 모드해석법, 응답이력해석법 등을 이용하여 내진성능평가를 실시한다. 평가방법은 이 세부지침에서 제시하는 바와 다르더라도 공학적으로 타당한 방법에 따라 실시할 수 있다.

2.3 내진성능평가 보고서

2.3.1 작성원칙

보고서의 문장은 간결하고 앞뒤 연결 관계가 명확하여야 하며, 객관적인 자료수집과 분석 그리고 결론으로 이루어져야 한다. 대상 수문에 대한 사항과 이론서 및 전문서, 연구보고서의 내용을 분명히 구별하여야 한다. 보고서의 내용은 검증이 가능하도록 구체적이고 상세하게 기술하여야 하며, 타문헌 인용시 출처를 명시하여야 한다.

2.3.2 보고서의 구성 및 주요 내용

내진성능평가 보고서의 구성 및 주요 포함 내용은 다음을 따른다.

- 1) 일반사항
- 2) 내진성능 기준
- 3) 강도 및 하중 관련 사항
- 4) 적용된 내진성능평가 기법에 대한 설명
- 5) 내진성능평가 결과
- 6) 내진보강방안(필요시)

3. 내진성능평가 기술사항

3.1 일반사항

3.1.1 적용원칙

이 장은 내진성능평가의 신뢰성 확보를 위하여 필요한 기본적인 기술사항을 규정한다.

이 장에서 규정되지 않은 사항은 “1.3 참고기준”을 따르며, 필요한 경우 관련 문헌을 참조하여 적용할 수 있다.

3.1.2 내진성능 기준

가. 내진등급

수문의 내진등급은 「KDS 51 17 00 하천내진 설계」를 따른다.

나. 내진성능수준 및 목표

수문의 내진성능수준 및 목표는 「KDS 51 17 00 하천내진 설계」를 따른다.

다. 내진성능평가지진의 지반운동

- 1) 내진성능평가지진은 「KDS 51 17 00 하천내진 설계」를 따른다.
- 2) 지진구역 및 지진위험도, 지반분류, 응답스펙트럼은 「KDS 17 10 00 내진설계 일반」을 따른다.

3.1.3 강도감소계수 및 하중조합

내진성능평가에 적용하는 강도감소계수는 1.0으로 한다.

지진하중이 포함된 하중조합 및 하중계수는 「KDS 14 20 10 콘크리트구조 해석과 설계 원칙」 등 관련 시설물의 설계기준을 따른다.

3.2 내진성능평가

3.2.1 일반사항

가. 일반사항

자료 및 현장조사를 통해 수문의 현재 강성 및 강도 특성을 파악하며 재료강도는 현장 조사 또는 시험 값과 설계기준강도를 비교하여 불리한 쪽으로 적용한다. 지진해석은 등가정적해석법, 모드해석법, 비선형 응답이력해석법 또는 동등 이상의 기술을 가진 방법을 사용할 수 있다.

- 지진과 고수위는 동시에 일어나지 않는 것으로 가정할 수 있으며, 수문 상하류의 수위 및 양압력은 수문조작 상 가능한 최대 상하류차 수위에 대해 적용할 수 있다.
- 지진시 수문에 작용하는 동수압은 수위, 시설물의 형상, 문짝의 조작, 지진시의 응답 등을 고려하여 설정하여야 한다.

3.2.2 평가방법

가. 등가정적해석법

수문의 해석은 「KDS 54 17 00 댐 내진설계」의 “4.12.2 정역학적 내진설계기준”을 따라 수행할 수 있다.

나. 모드해석법

- 1) 모드해석은 각축 방향에 대해 독립적으로 수행한다.
- 2) 동수압과 동적토압을 고려할 수 있다.
- 3) 모드해석 결과 진동모드별 지진응답(단면력, 응력, 변위 등)은 공학적으로 입증된 방법으로 조합한다.

다. 비선형 응답이력해석법

- 1) 입력지반운동의 시간이력 생성은 「KDS 17 10 00 내진설계 일반」에 따른다.
- 2) 기초는 고정지점모델 또는 등가의 스프링모델을 사용할 수 있다.
- 3) 수압은 유체의 거동을 모사할 수 있는 모델을 사용하거나 구조체의 부가질량으로 모델화할 수 있다.
- 4) 재료의 비선형 거동 모델은 널리 알려진 신뢰성 있는 모델을 사용한다.

3.2.3 내진성능 판정

수문 시설물의 내진성능 판정은 각 구성요소의 보유성능(capacity)이 소요성능(demand) 이상이면 내진성능을 확보한 것으로 판정한다.

소요성능(demand)은 이 세부지침의 3.1.3절(강도감소계수 및 하중조합)을 고려하여 계산한다.

3.3 액상화 평가

지진 시 액상화로 인한 수문의 내진성능 저하가 발생할 것이 우려되는 경우에는 이에 대한 영향을 고려하여야 하며 액상화 발생 가능성에 대한 평가는 「KDS 17 10 00 내진 설계 일반」을 따른다. 액상화로 인한 수문의 안정성을 확보하지 못할 경우에는 대책 방안을 수립하여야 한다.

3.4 내진보강방안

내진성능평가 결과 불만족이면 적정한 내진보강공법(안)을 제시하여야 한다. 내진보강공법(안)은 적용 가능한 다수의 공법을 선정하고 공법별 장·단점 및 경제성을 분석하여 합리적인 공법을 선정하여야 한다.

시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침(안전점검·진단 편)

승인 국토교통부 시설안전과
발행 국토안전관리원

1996년 3월 일 초판
2000년 9월 일 개정
2003년 12월 일 개정
2009년 3월 일 개정
2010년 12월 일 개정
2015년 3월 일 개정
2017년 1월 일 개정
2018년 6월 일 개정
2019년 1월 일 개정
2019년 9월 일 개정
2021년 12월 일 개정
2022년 12월 일 개정
2023년 12월 일 개정
2024년 12월 일 개정

* 본 세부지침은 개정 이후 계약되는 안전점검·진단에 적용하시기 바랍니다.

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

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

본 세부지침의 내용은 관리원홈페이지에서
다운로드 받으실 수 있습니다.