

KDS 54 17 00 : 2022

댐 내진설계

2022년 8월 1일 개정
<http://www.kcsc.re.kr>

KC CODE



환경부



건설기준 제정 또는 개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

환경부장관은 이 고시에 대하여 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 2022년 8월 1일 기준으로 매 3년이 되는 시점(매 3년째의 7월 31일까지를 말한다)마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

건설기준 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서) 간 중복·상충을 비교 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 댐 설계 시 내진 설계 관련 사항에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
댐 설계기준	• 댐 설계기준 제정	제정 (1979.09)
댐 설계기준	• 댐 시설기준의 설계편을 중점적으로 보강 및 댐 건설에 따른 환경문제에 대응할 수 있도록 환경친화적인 개념을 추가	개정 (2001.02)
댐 설계기준	• 필댐의 여유고 산정 및 관련부분 개정	개정 (2005.01)
댐 설계기준	• 신기술, 신공법, 건설 시 단계별 환경 배려사항 제시, 부속수리구조물 추가	개정 (2011.12)
KDS 54 17 00 : 2016	• 건설기준 코드체계 전환에 따라 코드화로 통합 정비함	제정 (2016.06)
KDS 54 17 00 : 2019	• 내진설계기준 공통적용사항 제정에 따른 개정	개정 (2019.01)
KDS 54 17 00 : 2022	• 건설기준 코드 작성지침을 반영하여 체계를 수정함. • 필댐의 액상화 검토 추가 • 적용범위 중 기존 댐에 대한 내진성능 평가 추가 • 수문 문틀부와 앵커부 내진 조항 추가 • 여수로, 취수탑 등 부대시설 내진설계 내용 보완	개정 (2022.08)

제 정 : 2016년 6월 30일

개 정 : 2022년 08월 01일

심 의 : 중앙건설기술심의위원회

자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회

소관부서 : 환경부 수자원정책과

관련단체 : 한국수자원학회, 한국수자원공사

작성기관 : 한국수자원학회

목 차

1. 일반사항	1
1.1 목적	1
1.2 적용범위	1
1.3 참고기준	1
1.4 용어의 정의	1
1.5 기호의 정의	2
2. 조사 및 계획	2
2.1 지반조사	2
3. 재료	2
4. 설계	2
4.1 내진설계 일반	2
4.2 내진설계 기법	2
4.3 설계지반운동	3
4.4 내진등급별 설계지진 수준	3
4.5 지반의 분류	4
4.6 설계지반운동의 특성 표현	4
4.7 댐 형식의 영향	4
4.8 입지조건	4
4.9 지진하중	5
4.10 댐 형식별 내진설계 조건	5
4.11 필댐의 내진설계	5
4.12 콘크리트중력댐의 내진설계	8
4.13 아치댐의 내진설계	11
4.14 지진응답계측	13

1. 일반사항

1.1 목적

(1) 이 기준은 댐 내진설계에 필요한 체계적인 기준을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 적용범위

- (1) 이 기준은 지진·화산재해대책법 시행령에서 규정한 다목적댐, 높이 15m 이상인 댐 및 그 부속시설의 내진설계에 적용한다. 단, KDS 67 10 20을 적용하는 농업용 필댐에는 적용하지 않는다.
- (2) 댐의 부속시설은 여수로 및 부대시설물을 의미한다. 여기서, 부대시설물은 취수탑, 발전소, 댐 관리동, 수로터널 등을 말하며 이들 시설에 설치된 수문, 권양기, 현장조작반, 관리교, 전기 및 계측제어설비 등을 포함한다.
- (3) 이 기준에서 정하지 않은 사항에 대해서는 KDS 17 10 00 및 관련 설계기준 등을 따른다.
- (4) 기존 댐에 대한 내진성능평가는 이 기준에서 제시한 내진등급, 내진성능목표 등에 따라 실시한다.

1.3 참고 기준

1.3.1 관련 법규

- 지진·화산재해대책법

1.3.2 관련 기준

- KDS 14 20 80 콘크리트 내진설계기준
- KDS 17 10 00 내진설계 일반
- KDS 24 17 11 교량 내진설계기준(한계상태설계법)
- KDS 27 17 00 터널 내진설계
- KDS 54 30 00 필댐
- KDS 57 17 00 상수도 내진설계

1.4 용어의 정의

- (1) 이 기준에서 사용하는 주요 용어의 정의는 다음과 같으며, 이 기준에서 정의하지 않은 용어는 KDS 17 10 00(1.4)에 따른다.
 - 설계가속도 : 정역학적 방법에서 구체에 작용하는 지진가속도
 - 저수기능 : 댐이 물을 가둬두는 기능

1.5 기호의 정의

(1) 이 기준에서 사용하는 기호의 정의는 KDS 17 10 00(1.5)에 따른다.

2. 조사 및 계획

2.1 지반조사

- (1) 댐의 내진 안정성 평가에 필요한 지반물성치를 파악하기 위하여 지반조사를 실시한다. 지반조사는 지층구성, 지하수위, 각 지층의 역학적 특성 파악 및 실내시험을 위한 시료의 채취 등을 위한 현장시험과 채취된 시료를 이용한 실내에서의 역학적 시험을 포함한다.
- (2) 전단파 속도주상도 등을 얻을 수 있는 동적 현장시험을 실시하며, 또한 액상화 특성과 변형률 크기에 따른 전단탄성계수와 감쇠비 특성을 얻을 수 있는 시험을 실시한다.
- (3) 이 기준에서 정하지 않은 사항에 대해서는 KDS 17 10 00(2.1)에 따른다.

3. 재료

내용 없음

4. 설계

4.1 내진설계 일반

- (1) KDS 17 10 00에서는 시설물의 내진등급에 따라 각기 다른 설계지진수준에 대하여 기능수행수준, 즉시복구수준, 장기복구/인명보호수준 및 붕괴방지수준 중 두 개 이상의 내진성능수준을 선택하여 적용할 수 있도록 규정하고 있다. 댐설계기준에서 댐체, 여수로 및 부대시설의 설계 시 목표로 하는 내진성능수준은 기능수행수준과 붕괴방지수준이다. 따라서 이 기준에서 제시된 방법으로 내진설계를 할 경우에는 기능수행수준과 붕괴방지수준을 만족한다.
- (2) 이 내진설계기준의 내진성능수준에 따른 설계거동한계는 다음과 같다.
 - ① 기능수행수준은 지진하중 작용 시 댐에 발생한 손상이 경미하여 지진 후 댐의 기능이 유지되어야 한다.
 - ② 붕괴방지수준은 지진하중 작용 시 댐은 붕괴되지 않아야 하며 복구 후 댐의 기능이 발휘되어야 한다.
- (3) 이 기준이 정하는 설계방법 외에도 댐의 내진성능수준을 만족하는 검증된 설계방법을 적용할 경우에는 이를 인정한다.

4.2 내진설계 기법

- (1) 댐의 내진설계를 위한 지진해석 방법은 정역학적 방법과 동역학적 방법이 있다. 정역학적 방법은 설계 시 단면을 결정할 때 기본적으로 적용하며, 동역학적 방법은 정역학

- 적 방법으로 결정된 단면을 검토하거나 보다 정밀한 설계를 위해 적용하는 방법이다.
- (2) 정역학적 방법은 지진하중을 구체의 관성력과 동수압으로 대치하여 해석하는 진도법을 기본으로 하고 있다.
 - (3) 동역학적 방법은 지진파에 의한 댐의 응답을 동적인 파동으로 해석하는 방법이다.
 - (4) 동역학적 방법을 댐 설계에 적용할 때 다음과 같은 사항을 고려하여야 한다.
 - ① 설계 지진파형의 설정
 - ② 댐 축조재료의 동적인 응답 특성
 - ③ 해석 방법으로서의 3차원적 응답특성이나 감쇠특성, 지하 소산특성 규정
 - ④ 파괴 기준 및 파괴 현상의 모의
 - (5) 댐체에 접하여 있거나 포함된 부속시설과 댐체와의 상호작용을 고려하여야 한다.

4.3 설계지반운동

4.3.1 설계지반운동 일반

- (1) 설계지반운동은 구조물이 건설되기 전에 부지 정지작업이 완료된 지면에서의 지반운동으로 정의한다.
- (2) 설계지반운동은 수평 2축 방향 성분으로 정의되며 그 세기는 동일한 것으로 가정한다.
- (3) 지진에 의한 수직방향의 영향이 댐 안전에 영향을 주는 경우에는 수직방향의 지진력을 고려한다.
- (4) 댐체의 내진설계를 할 때 댐 상류의 저수지 수위 및 수위의 변화상태에 따라 댐체 안전에 가장 불리한 방향으로 지진력이 작용하는 것으로 하여 안정해석을 한다.

4.3.2 설계가속도

- (1) 우리나라의 지진구역 구분과 이에 따른 지진구역계수(Z), 평균재현주기별 위험도계수(I)의 산정은 KDS 17 10 00(4.2.1.1)에 따른다.
- (2) 댐의 설계가속도는 유효수평지반가속도(S)(지진구역계수(Z)에 위험도계수(I)를 곱한 값)와 지반 분류에 따른 단주기지반증폭계수 및 댐형식별 영향계수를 곱하여 구한다. 단, 지진구역 II에 위치한 다목적댐 및 100 m 이상의 높이를 가진 댐은 지진구역 I의 구역계수를 채택하여 설계가속도를 상향조정한다. 유효수평지반가속도(S)를 국가지진위험지도를 이용하여 결정하는 경우, 행정구역에 의한 방법으로 결정된 값의 80% 보다 작지 않아야 한다.
- (3) 위의 방법으로 산출된 설계가속도가 0.1g 이하이면 0.1g를 취한다.

4.4 내진등급별 설계지진 수준

- (1) 댐의 내진등급은 표 4.4-1과 같이 댐의 중요도에 따라 내진 I 등급 및 내진 특등급의 두 가지 등급으로 분류한다.

(2) 댐은 표 4.4-1에서 내진등급별로 규정된 평균재현주기를 갖는 설계지진에 대하여 설계한다.

표 4.4-1 댐의 내진등급별 설계지진

내진등급	구분	설계지진의 평균재현주기	
		기능수행	붕괴방지
내진 특등급댐	<ul style="list-style-type: none"> • 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주자가 지정하는 댐 • 다목적댐 • 높이 45 m 이상이고 총저수용량 50백만 m³ 이상인 댐 	200년	2,400년
내진 I 등급댐	<ul style="list-style-type: none"> • 내진 특등급 댐 이외의 모든 댐 	100년	1,000년

4.5 지반의 분류

(1) 지반의 분류에 관한 세부적인 사항은 KDS 17 10 00(4.2.1.2)에 따른다.

4.6 설계지반운동의 특성 표현

(1) 설계지반운동의 특성표현에 관한 세부적인 사항은 KDS 17 10 00(4.2.1.4)에 따른다.

4.7 댐 형식의 영향

(1) 지진의 영향은 댐 형식에 따라 달라진다. 일반적으로 록필댐(표면차수벽형 석괴댐 포함)과 콘크리트중력댐(롤러다짐콘크리트댐 포함)은 상대적으로 지진에 안전한 댐으로 평가되나, 균일형 필댐은 댐체의 대부분이 차수재이기 때문에 하류사면 등에 약간의 활동은 댐체의 누수와 관련된 파괴를 가져올 수 있으므로 지진에 취약한 것으로 알려져 있다.

(2) 균일형 필댐의 설계가속도는 20% 크게 한다.

(3) 아치댐은 정역학적 방법으로 해석할 때 설계가속도의 2배를 적용한다.

4.8 입지조건

(1) 지표면 전단파괴 잠재성이 있는 활성단층에 인접하거나 그 단층을 가로지르는 지점에 댐을 건설하지 않는다.

(2) 댐 지점 주변 사면의 붕괴로 인하여 댐의 안전이 위협받을 수 있는 지점에 댐을 건설하지 않는다.

(3) 액상화 잠재성이 있는 곳은 피하고 부득이한 경우에는 지반을 개량하여 액상화를 방지하여야 한다.

4.9 지진하중

- (1) 정역학적 방법은 댐에 작용하는 고정하중의 질량에 설계가속도를 곱한 지진하중을 고려한다. 동역학적 방법은 댐체 하부에 작용하는 지진하중에 의한 댐체의 증폭특성을 고려한다.
- (2) 정역학적 방법 적용 시 지진하중은 댐 안정에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 해석한다. 즉, 댐체는 상하류 방향의 수평지진하중만을 고려하여 설계하며, 여수로 및 부대시설물은 구조물의 특성에 따라 상·하류 방향 또는 댐축 방향의 지진하중을 선별적으로 고려하여 설계한다. 동역학적 방법 적용 시에는 상하류 방향, 댐축 방향 및 연직 방향으로 지진하중을 시설물의 상황을 고려하여 작용시킬 수 있다.
- (3) 지진 시 유체의 동수압은 댐형식에 따라 고려 여부를 결정하며, 파랑고의 영향이 크다고 판단되면 이를 고려하여야 한다.

4.10 댐 형식별 내진설계 조건

- (1) 댐은 그 형식에 따라 내진설계에 반영할 지진하중의 종류 및 적용 형태가 다르므로 필댐(표면차수벽형 석괴댐 등 포함), 콘크리트중력댐(롤러다짐 콘크리트댐 등 포함), 아치댐 세 가지 형식으로 구분한다.
- (2) 댐체 형식에 따른 일반적인 내진설계 조건은 다음 표 4.10-1과 같다.

표 4.10-1 댐체 형식별 내진설계 조건

댐형식	설계모형	일반적 설계조건
필댐	2차원	<ul style="list-style-type: none"> • 절편법에 의한 원호활동 안전율이 최소안전율이상이거나 동적 해석에 의한 사면의 소성변형량이 기준치를 만족할 것
콘크리트 중력댐	2차원	<ul style="list-style-type: none"> • 합력이 댐체 수평단면의 허용치 이내에 들것 • 전단마찰 안전율이 최소안전율 이상일 것 • 댐체내 응력이 허용응력 이내일 것
아치댐	3차원	<ul style="list-style-type: none"> • 전단마찰 안전율이 최소안전율 이상일 것 • 댐체내 응력이 허용응력 이내일 것

4.11 필댐의 내진설계

4.11.1 설계거동한계

- (1) 필댐의 설계거동한계는 기능수행수준과 붕괴방지수준으로 구분한다.
- (2) 기능수행수준
 - ① 댐체의 기능 수행에 문제가 생길 수 있는 수준의 손상이 없어야 한다.
 - ② 댐체의 사면활동이나 기초의 활동이 발생하지 않아야 한다.
 - ③ 댐체에 균열이 발생하지 않아 댐의 저수기능 등이 저하되지 않아야 한다.
 - ④ 댐체나 기초지반에 지진으로 인한 침하가 발생되지 않아야 한다.

- ⑤ 지진 시 발생하는 파랑에 의해 댐에 월류가 발생하거나 여수로 및 부대시설물의 기능이 정지되어서는 안 된다
 - ⑥ 댐체와 여수로 및 부대시설물과의 경계, 기초와 양안(abutment)을 통해 지진으로 인한 누수가 발생하여서는 안 된다.
 - ⑦ 여수로 및 취수탑 등의 부대시설의 구조재료는 지진발생 시 탄성거동을 하여야 한다. 이들 구조물에 대한 설계는 콘크리트중력댐의 내진설계를 참조한다.
- (3) 붕괴방지수준
- ① 댐체 재료의 미소한 항복과 영구변형은 허용될 수 있으나, 댐체의 강도에는 큰 영향이 없어야 한다.
 - ② 댐체 및 기초지반에 액상화가 발생해서는 안 된다.
 - ③ 과도한 댐체의 사면활동이나 기초의 활동이 발생하지 않아야 한다.
 - ④ 댐체에 균열이 발생하더라도 댐의 저수기능 등이 저하되지 않아야 한다.
 - ⑤ 댐체나 기초의 과도한 침하로 인해 댐의 저수기능 등이 저하되지 않아야 한다.
 - ⑥ 지진 시 발생하는 파랑에 의해 댐에 월류가 발생하거나 여수로 및 부대시설물이 붕괴되지 않아야 한다.
 - ⑦ 지진으로 인해 댐체와 여수로 및 부대시설물과의 경계, 기초와 양안을 통해 제어 불가능한 누수가 발생하여 댐의 기능이 손상되지 않아야 한다. 누수가 발생하는 경우에는 댐의 안전을 위해 배수시설을 통해 신속히 저수지 수위를 낮추어야 한다.
 - ⑧ 댐의 부속시설인 여수로와 취수탑 등의 부대시설의 구조재료는 설계강도 내에 있어야 하며, 댐별 상황에 따라 단기간 내에 복구를 통해 정상작동이 가능해야 한다. 이들 구조물에 대한 설계는 콘크리트중력댐의 내진설계를 참조한다.

4.11.2 정역학적 내진설계기준

- (1) 댐체의 설계 지진력은 작용 정하중에 대한 구체의 관성력만 고려하고 동수압은 그 영향이 거의 없으므로 제외한다. 지진에 의한 파랑고는 필요시 따로 고려한다.
- (2) 지진력
 - ① 정역학적 방법에서 댐체에 작용하는 지진력은 활동면 상의 댐체 질량에 설계가속도를 곱한 값이다.
 - ② 지진력의 작용점은 활동면의 중심이며 작용방향은 수평방향으로 하되 댐체의 안전에 가장 불리한 방향(상류 또는 하류방향)으로 지진력이 작용하는 것으로 하여야 한다.
- (3) 활동면법에 의한 지진 시 사면안정 검토
 - ① 정역학적 방법으로 댐체를 내진설계하는 경우, 등가정적하중을 고려한 사면안정 검토가 가장 중요하다
 - ② 활동면 위의 댐체가 활동하도록 하는 힘은 정수압, 해당 댐체의 자중, 활동면을 따라 작용하는 간극수압 및 수평지진 관성력이고, 이들 외력에 저항하는 힘은 활동면에 연직으로 작용하는 반력과 활동면의 접선방향으로 작용하는 점착력과 마찰력이다.
 - ③ 활동모멘트에 대한 저항모멘트의 비가 설계안전율을 초과한다면 댐은 활동에 대하여

여 안전하다.

- ④ 사면안정 검토에 적용하는 지진력은 저수지의 수위 상태와 그 수위의 발생빈도 등을 고려하여 차등 적용한다.
- ⑤ 구체 관성력 계산을 위한 댐체의 자중은 KDS 54 30 00(필댐)의 계산방법에 의한다.
- ⑥ 지진이 발생할 때 간극수압은 변화하지만 변화의 증감 폭을 정량적으로 평가하기 어렵다. 그러므로 설계자의 판단에 의한다. Bishop의 원호법에 의한 사면안정해석에 서는 대체로 간극수압에 설계가속도를 곱한 값을 적용하고 있다.
- ⑦ 일반적으로 설계가속도는 댐 상부에서 저면까지 같다고 가정한다.

4.11.3 동역학적 내진설계기준

(1) 동역학적 설계 시 적용기준 및 검토 사항은 다음과 같다.

- ① 설계지반운동은 수평지반운동 뿐만 아니라 수직지반운동을 고려할 수 있다.
 - ② 설계지반운동은 가속도시간이력을 적용한다. 시간이력은 댐 지역 인근에서 발생된 지진 또는 인공합성지진을 활용하며, 3개의 시간이력을 채택한다. 가속도시간이력 생성 기준은 KDS 17 10 00(4.2.1.4)에 따르며, 3개의 시간이력을 사용한 해석 후 최대응답을 적용한다.
 - ③ 내진설계대상수위는 상시만수위로 하며 필요시 낮은 수위 조건에서도 검토한다. 댐 체에 대한 모델링은 2차원 모델링을 기본으로 하되 필요시 3차원모델링도 가능하다. 기초압반은 점탄성모델, 비질량모델 등을 사용한다.
- (2) Newmark 방식에 의한 댐 사면의 소성활동량을 계산하여 내진 안전성을 검토한다. 계산된 소성활동량이 0.3m 이내이면 댐 안전에 문제가 되지 않으며, 소성활동량 0.6m 는 상당한 손상을 동반하는 허용 가능한 소성변형량이다. 이때, 댐 전체 높이를 포함 하는 활동면 및 댐체 상부에서의 활동면을 포함하여 검토한다. 만일, 소성활동량이 0.6m 이상이면 보다 정밀한 동적 소성해석을 실시하여 그 결과를 분석한다.
- (3) 동적해석에 사용되는 댐체의 동적물성은 동적실내시험 등을 통해 구하여야 한다. 그러나 여건상 곤란한 경우에는 댐체의 최대전단탄성계수, 포아슨비와 전단변형율에 따른 전단탄성계수 및 감쇠정수는 기존문헌자료를 활용하여 추정할 수 있다.
- (4) 중심코어형 필댐이나 균일형 필댐의 경우, 상류면에서 시작되어 하류면으로의 활동 가능성이 있을 때 상류측에서의 활동면의 시점이 저수지 수위보다 낮은 경우 침투과 괴에 대해 검토한다.
- (5) 댐체 사면경사가 완만하여 유체와 댐의 상호작용이 작으면 상호작용(동수압)을 고려 하지 않아도 된다.
- (6) 동적 해석에서 면밀한 검토를 하는 경우, 축조 및 담수의 단계적 해석을 실시하며, 흙 의 소성적 성질과 동적 간극수압을 고려한다.
- (7) 발주자가 요구 시 재현주기 4,800년 이상의 설계지반운동을 적용하여 동적소성해석이 가능하다.

4.11.4 액상화의 검토

- (1) 지진력에 의하여 과잉간극수압이 증가하여 전단강도가 저하될 것으로 예상되는 기초 지반이나 댐체에 대하여는 액상화에 대한 안정성을 검토하여야 한다.
- (2) 액상화를 검토하는 방법은 KDS 17 10 00(4.7)에 따르되, 댐 규모, 재료물성의 정확성, 붕괴 시 피해규모 등을 고려하여 선정한다.

4.12 콘크리트중력댐의 내진설계

4.12.1 설계거동한계

- (1) 콘크리트중력댐의 설계거동한계는 기능수행수준과 붕괴방지수준으로 구분한다.
- (2) 기능수행수준
 - ① 콘크리트댐의 해석은 2차원 해석을 기본으로 하지만 월류부 피어, 엘리베이터 또는 수압관(penstock) 등이 포함된 특이 단면부에는 필요시 3차원 해석을 실시하여 상세부재의 응력을 검토한다.
 - ② 콘크리트댐은 지진이 발생되더라도 저수기능, 비상대처기능, 홍수방어기능, 용수활용기능 등이 유지되어야 한다. 이를 위해 여수로 및 부대시설물에 대해서도 내진설계가 이루어져야 한다. 이때, 권양기 및 현장조작반은 강체 거동하는 것으로 가정하여 기초앵커의 발생응력이 허용응력 이내여부를 검토하며, 관리교는 낙교에 대해 안전하여야 한다. 여수로 및 부대시설은 댐체와 동일한 내진등급과 지진하중을 적용한다.
 - ③ 콘크리트에 발생한 변형은 탄성한계를 초과하지 않아야 한다.
 - ④ 이음부의 열림 또는 국부적 파괴로 인해 누수가 발생하지 않아야 한다.
 - ⑤ 댐체는 들림을 고려한 미끄러짐과 전도에 대하여 소정의 안전율을 유지하여야 한다.
 - ⑥ 지진 시 발생하는 파랑고에 의해 댐체가 월류되거나 여수로 및 부대시설물의 기능이 정지되어서는 안 된다.
 - ⑦ 댐의 부속시설인 여수로와 취수탑 등의 부대시설은 탄성거동하여야 한다
- (3) 붕괴방지수준
 - ① 콘크리트댐의 해석은 2차원 해석을 기본으로 하지만 월류부 피어, 엘리베이터 또는 수압관 등이 포함된 특이 단면부에는 필요시 3차원 해석을 실시하여 상세부재의 응력을 검토한다.
 - ② 콘크리트댐은 지진이 발생되더라도 저수기능, 비상대처기능, 홍수방어기능, 용수활용기능 등이 유지되어야 하며 보수 및 용수공급이 가능해야 한다. 이를 위해 여수로 및 부대시설물에 대해서도 내진설계가 이루어져야 한다. 이때, 권양기 및 현장조작반은 강체 거동하는 것으로 가정하여 기초앵커의 항복여부를 검토하며, 관리교는 낙교에 대해 안전하여야 한다. 여수로 및 부대시설은 댐체와 동일한 내진등급과 지진력을 작용한다.
 - ③ 콘크리트에 발생한 변형은 탄성한계를 현저히 초과하지 않아야 한다.
 - ④ 이음부의 열림 또는 국부적 파괴로 인해 통제 불가능한 누수가 발생하지 않아야 한다.

- ⑤ 댐체는 들림을 고려한 미끄러짐과 전도에 대하여 소정의 안전율을 확보하여야 한다.
- ⑥ 지진 시 발생하는 과랑고에 의해 댐체가 월류되거나 여수로 및 부대시설물이 붕괴되지 않아야 한다.
- ⑦ 댐 기초에는 액상화가 발생해서는 안 된다.
- ⑧ 댐의 부속시설인 여수로와 취수탑 등의 부대시설은 설계강도 내에 있도록 관련 설계기준을 참조하여 설계한다. 단, 관련 설계기준에서 연성설계 등 소성설계기법을 제시하면 이를 적용할 수 있다.

4.12.2 정역학적 내진설계기준

(1) 지진력

- ① 설계지진력은 작용 정하중에 대한 구체 관성력과 동수압이며 지진에 의한 저수지의 과랑고를 추가로 고려할 수 있다.
- ② 댐체의 수평 관성력
 - 가. 수평지반운동으로 인한 댐체의 관성력은 댐체 고정하중의 질량에 수평설계가속도를 곱한 값으로 한다.
 - 나. 관성력 작용점은 단면형상에 관계없이 질량의 중심이며 작용방향은 수평방향으로 하되, 댐 안정에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 한다.
 - 다. 만수 시의 안정해석에서는 지진하중이 상류측에서 하류측으로, 댐축에 직각방향으로 수평으로 작용하는 것으로 한다.
 - 라. 저수지가 비어있을 경우에는 반대로 하류측에서 상류측으로 작용하는 것으로 하되, 설계가속도는 소정 설계가속도의 1/2을 적용해도 무방하다.
 - 마. 댐축 방향으로 지진하중을 작용할 때도 설계가속도는 댐축 직각방향과 같다.
 - 바. 수평방향 지진하중에 의한 수압 증가량은 Westergaard의 공식 등에 의하여 구할 수 있다.
- ③ 댐체의 수직 관성력
 - 가. 수직지반운동으로 인한 댐체의 관성력은 적용하지 않으며, 발주자 요구 등에 의해 적용하여야 할 경우에는 댐체 고정하중의 질량에 수직설계가속도를 곱한 값으로 한다.
 - 나. 관성력은 상하 방향 중 불리한 쪽으로 작용하는 것으로 한다.
- ④ 지진에 의한 동수압
 - 가. 지진 시 수평방향 동수압은 댐을 강체로 가정한 Westergaard의 공식 등에 의하여 계산하며, 댐의 연직면에 관성력 방향으로 수평으로 작용하는 것으로 한다.
 - 나. 수문(gate) 등 강재구조물에서도 댐체와 같이 동수압이 작용하는 것으로 한다.
 - 다. 수직방향 동수압은 댐체에 수직으로 작용하는 물의 질량에 수직설계가속도를 곱한 값으로 하여 물 무게 중심에서 관성력 방향으로 작용하는 것으로 한다.
 - 라. 댐축 방향의 지진력이 작용할 때 월류부 교각(pier)의 상류측은 교각 좌·우 측면에 동수압을 모두 관성력 방향으로 작용하는 것으로 한다. 이때, 감소된 Westergaard

공식을 적용할 수 있다.

마. 동수압 계산 시 적용하는 수심은 상시만수위에서 퇴사부 저면 기초지반의 지반고까지로 하여 퇴사부위에서도 지진에 의한 동수압이 작용하는 것으로 하되, 퇴사압에 대한 지진의 영향은 고려하지 않는다.

(2) 응력해석

- ① 댐의 수평단면에 대한 휨응력의 분포는 선형적이며 정적 외팔보(캔틸레버) 이론으로 산정한다.
- ② 지진하중 고려 시 허용응력은 정적 하중 작용 시 허용응력에 비해 30% 증가시켜야 한다.
- ③ 상류측 선단에서 인장응력이 발생하지 않도록 제한하며, 하류측 선단의 인장응력은 콘크리트의 허용인장응력까지 허용된다.
- ④ 허용인장응력은 허용압축응력의 10%로 하며, 발생하는 압축응력은 허용압축응력(압축강도의 25%) 이내이어야 한다.

(3) 활동에 대한 안정

- ① 활동에 대한 안정계산은 Henny의 공식에 의하여 안전율 F_S 를 구하며, 그 값은 4.0 이상이어야 한다.
- ② 댐과 기초암반과의 접측면, 기초암반내의 강도 또는 변형성이 크게 다르게 작용하는 단층 등이 있는 경우, 기초암반의 안전율을 확보하기 위해 국부적인 활동 안전율을 검토하며 어떤 경우에도 안전율은 2.0 이상이어야 한다.

(4) 전도에 대한 안정

- ① 지진력을 포함한 모든 외력의 합력의 작용점이 댐 저면 중앙 1/3에 들면 전도에 대해 안정한 것으로 판단한다.
- ② 단, 지진력이 상류방향으로 작용할 때는 합력의 작용점이 댐 저면 중앙 1/3을 벗어날 수 있으며, 이 경우에는 하류측 선단에서의 인장응력이 허용인장응력보다 작으면 안정한 것으로 한다.

(5) 댐마루 시설의 설계

- ① 댐마루의 진동은 기초부의 진동보다 크므로 댐마루부에 있는 여러 가지 구조물, 특히 수문의 설계에 유념해야 한다.
- ② 댐마루에 있는 교량 등 중요 시설물에 적용하는 설계가속도는 댐체 설계가속도의 2배를 적용한다.

(6) 여수로 교각의 설계

- ① 여수로 교각을 설계할 때 상·하류 방향 및 댐축 방향에 대해 각각 지진력이 작용하는 것으로 한다.
- ② 여수로 교각 설계 시 저수지 수위는 상시만수위(NHWL)를 적용하고, 수문(gate)은 모두 닫혀 있는 것으로 한다.
- ③ 수문의 하중이 구조물에 전달되는 문틀부와 앵커부를 포함하여 실시한다.

4.12.3 동역학적 내진설계기준

- (1) 콘크리트중력댐의 동역학적 설계 시 지반운동과 적용수위, 암반모델링은 필댐을 참조한다.
- (2) 댐 저면에 작용하는 수평 및 수직반력의 시간이력을 분석하여 Henny식에 의한 댐 전체의 활동에 대한 안전성(안전율 = 1.0)을 평가할 수 있다. 또한 댐체에 발생하는 최대 전단응력을 확인하여 동적 전단강도와 비교(안전율 = 1.0)함으로써 국부 전단파괴 가능성을 검토한다.
- (3) 댐 저면에 작용하는 외력 합력의 작용점의 시간이력을 분석하여 댐 전체의 전도에 대한 안정성을 평가할 수 있다(합력의 작용점이 저면 내에만 존재하면 안전). 또한 댐체에 발생하는 최대인장응력을 확인하여 동적 인장강도와 비교(안전율 = 1.0)함으로써 국부 인장파괴 가능성을 검토한다.
- (4) 댐 저면에 발생하는 최대압축응력을 분석하여 지지력에 대한 안전성을 평가할 수 있다(안전율 = 1.0). 또한 지반의 허용지지력의 1.3배 또는 콘크리트 동적 압축강도와 비교하여 댐체에 발생하는 압축응력에 대한 안전성(안전율 = 1.0)을 평가한다.
- (5) 콘크리트의 동적 탄성계수는 정적 탄성계수에 15%를 할증하여 적용하며, 동적 포아슨비는 정적 포아슨비의 0.7배와 같다. 또한, 콘크리트의 동적 전단탄성계수는 동적 포아슨비와 동적 탄성계수와의 관계식으로 구하며, 감쇠비는 5%를 적용할 수 있다. 댐의 지반은 암반 이상인 경우 지진 시 변형이 극히 작아 정적인 상태와 동적인 상태에서의 물성치 차이가 거의 없다.
- (6) 콘크리트 동적 전단강도는 정적 전단강도의 1.0배를 적용한다. 정적 인장강도는 정적 쪼갬 인장강도를 채택하며, 동적 인장강도는 정적 인장강도의 1.5배를 적용한다. 동적 압축강도는 정적 압축강도의 1.15배를 적용한다.
- (7) 만일, 상기의 댐체의 안정과 응력에 대한 안전 조건들이 만족되지 않으면 좀 더 정밀한 동적 소성해석을 실시하여 그 결과를 분석한다.
- (8) 유체-구조물-지반 상호작용 해석 시 유체의 압축성, 구조물의 유연성과 지반의 변형성을 고려한다. 이때, 보수성이 입증된다면 유체는 비압축성으로 모델링할 수 있다.
- (9) 지반을 통한 지진파의 방사조건을 반영하며, 지반매질의 변형도 의존 특성을 고려한다. 방사조건을 적절히 반영하기 어려우면 콘크리트의 감쇠비를 증가시킬 수 있다.
- (10) 여수로 및 부대시설물의 응답은 선형 및 비선형 거동특성을 고려할 수 있는 해석법을 사용하여 해석하고, 입력지반운동에는 댐의 지진응답 영향을 고려한다.
- (11) 발주자가 요구 시 재현주기 4,800년 이상의 설계지반운동을 적용하여 동적소성해석을 수행할 수 있다.

4.13 아치댐의 내진설계

4.13.1 설계거동한계

- (1) 아치댐의 설계거동한계는 콘크리트중력댐을 따른다.

- (2) 아치댐의 내진설계는 다음 두 가지를 중점목표로 한다.
 - ① 지진력을 포함한 모든 외력에 의한 댐체 내의 응력이 콘크리트의 허용응력을 초과하지 않도록 댐 단면을 결정한다.
 - ② 댐체와 기초암반의 접촉면 특히, 양안 접촉면에서의 기초암반이 지진 시에도 전단에 대하여 안정하여 활동하지 않도록 댐 위치와 형상을 결정한다.
- (3) 아치댐의 내진설계에 대한 일반적인 사항은 다음과 같다.
 - ① 아치댐도 다른 형식의 댐과 같이 정역학적 방법 또는 동역학적 방법으로 설계한다.
 - ② 동역학적 방법을 적용할 때 입력 지반운동과 댐의 응답진도 및 댐체와 기초지반 재료의 동적 강도를 정확히 평가한다.

4.13.2 정역학적 내진설계기준

(1) 지진력

- ① 응력해석에 사용하는 지진력은 다음과 같다.
- ② 관성력
 - 가. 아치댐은 기초지반과 일체로 거동하는 구조이므로 내진설계에 고려하는 관성력은 댐체의 질량에 설계가속도를 곱한 관성력과 기초지반의 가상활동면 내의 암괴의 질량에 설계가속도를 곱한 관성력을 모두 고려한다.
 - 나. 관성력의 작용점은 질량의 중심이며 작용방향은 안정에 가장 불리한 방향으로 수평으로 작용하는 것으로 한다.
 - 다. 저수지가 비어 있는 상태의 응력해석에서 관성력의 작용방향은 하류측에서 상류측으로 작용하는 것으로 하되, 적용진도는 설계가속도의 1/2만 취한다.
- ③ 동수압
 - 가. 지진 시 아치댐에 작용하는 동수압의 크기는 콘크리트중력댐과 같이 Westergaard의 공식 등에 의하여 계산한다.
 - 나. 동수압의 작용방향은 댐 상류면의 직각방향(곡률중심 방향)으로 한다.

(2) 댐체 내의 응력해석

- ① 아치댐의 응력해석은 캔틸레버 요소와 수평아치 요소로 해석한다.
- ② 적용 설계가속도는 상세한 이론적, 실험적 연구결과에 따라 예측한다.
- ③ 댐을 하류측으로 만곡시키면 캔틸레버 요소의 자중응력에 의해 지진응력이 상쇄되고 아치 요소에도 자중에 의한 아치응력(축 압력)을 일으킨다.
- ④ 콘크리트의 설계 허용응력은 4배 이상의 안전율을 가져야 하며, 허용응력은 정적 허용응력에 비해 30% 증가 시켜야 한다.

(3) 기초암반의 안정해석

- ① 지진 시 기초암반에 작용하는 지진력은 댐체에 작용하는 지진력에 의해 일어나는 추력(推力)과 기초암반 자체에 작용하는 지진력이다.
- ② 기초암반의 지진력은 가상 활동면 내의 암괴 자중의 질량에 설계가속도를 곱한 관성력으로 하며, 작용점은 암괴의 중심(重心)이고 작용방향은 하류방향이다.

- ③ 활동에 저항하는 힘은 활동시키는 외력의 4배 이상이어야 한다.

4.13.3 동역학적 내진설계기준

- (1) 아치댐의 지진에 의한 동적 거동을 해석하는 방법은 해석적 방법, 실험적 방법 및 수치적 방법이 있다.
- (2) 아치댐은 가요성이어서 지진을 받으면 댐체는 처짐을 동반한 탄성진동을 일으키므로 정역학적 방법으로는 지진시의 거동을 정확히 해석할 수 없다. 따라서 높은 아치댐을 설계할 경우에는 응력과 변형은 동적 해석으로 검토한다.
- (3) 아치댐을 설계할 때 경계조건이 복잡하기 때문에 가장 간단한 방법이면서도 해석결과 의 신뢰도가 상대적으로 높은 것으로 알려진 유한요소법을 사용하는 것이 일반적이다.
- (4) 아치댐의 동적 해석 방법의 기본적인 개념은 다음과 같다.
 - ① 아치댐은 동역학적 해석 시 지반운동과 적용수위, 암반모델링은 필댐을 참조한다.
 - ② 댐체에 대해서 3차원 모델링을 실시하고 2축의 수평지반운동과 수직지반운동을 조합하여 작용시킨다. 기초암반은 비질량모델, 점탄성모델 등을 사용한다.
 - ③ 아치댐의 전도, 활동, 지지력 등에 관한 동적 안전성 검토의 세부사항, 재료특성, 강도 등은 콘크리트중력댐을 준용한다.
 - ④ 유한요소의 집합으로서 기초암반의 깊이는 댐 높이의 1~2배를 취한다.

4.14 지진응답계측

4.14.1 지진응답계측 일반

- (1) 내진 특등급 및 내진 I 등급 댐의 경우, 지진응답 계측기기를 설치하고 정상상태가 유지될 수 있도록 관리한다.

4.14.2 계측기기의 설치와 관리

- (1) 댐에서의 지진계의 설치와 지진응답계측은 KDS 17 10 00(4.6)에 따른다.

집필위원

성명	소속	성명	소속
배정주	(주)한국건설방재연구원	박세훈	(주)홍익기술단

자문위원

성명	소속	성명	소속
이기하	경북대학교	하익수	경상대학교
장창래	한국교통대학교	김경욱	(주)이산
강부식	단국대학교	김혜성	도화엔지니어링
전경수	성균관대학교	박창열	(주)삼안
허준행	연세대학교	정성영	동부엔지니어링
조성은	한경대학교	최익배	평화엔지니어링

국가건설기준센터 및 건설기준위원회

성명	소속	성명	소속
이영호	한국건설기술연구원	주영경	한국건설기술연구원
구재동	한국건설기술연구원	최봉혁	한국건설기술연구원
김기현	한국건설기술연구원	허원호	한국건설기술연구원
김태송	한국건설기술연구원	김 원	한국건설기술연구원
김희석	한국건설기술연구원	송석근	(주)삼안
류상훈	한국건설기술연구원	안병선	(주)한국종합기술
원훈일	한국건설기술연구원	유철상	고려대학교
이상규	한국건설기술연구원	이규원	동부엔지니어링(주)
이승환	한국건설기술연구원	장창래	한국교통대학교
이여경	한국건설기술연구원	전세진	(주)도화엔지니어링
이용수	한국건설기술연구원		

성명	소속	성명	소속
김태웅	한양대학교	유철상	고려대학교
김형수	인하대학교	이규원	동부엔지니어링(주)
송석근	(주)삼안	임인식	(주)동성엔지니어링
송용진	도화엔지니어링	전세진	도화엔지니어링
심석구	한국종합엔지니어링	한성용	한국수자원공사
안희복	(주)이산	황만하	한국수자원공사 연구원

중앙건설기술심의위원회

성명	소속	성명	소속
지운	한국건설기술연구원	최성욱	연세대학교
김재운	한국수자원공사	박철우	강원대학교
이종세	한국수자원공사	정광섭	포스코건설
김명일	한국농어촌공사		

성명	소속	성명	소속
송석근	(주)삼안	전세진	도화엔지니어링
신명수	울산과학기술원	지운	한국건설기술연구원
안병선	(주)한국종합기술	최성욱	연세대학교
이도형	배제대학교		

환경부

성명	소속	성명	소속
김구범	수자원정책과	강민지	수자원정책과

KDS 54 17 00 : 2022

댐 내진설계

2022년 08월 01일 개정

소관부서 환경부 수자원정책과

관련단체 한국수자원학회
06671 서울특별시 서초구 효령로 237, 302호(서초동, 서초한신리빙타워)
☎ 02-561-2732 E-mail : master@kwra.or.kr
<http://www.kwra.or.kr>

한국수자원공사
34350 대전광역시 대덕구 신탄진로 200
☎ 042-629-3581
<http://www.kwater.or.kr>

작성기관 한국수자원학회
06671 서울특별시 서초구 효령로 237, 302호(서초동, 서초한신리빙타워)
☎ 02-561-2732 E-mail : master@kwra.or.kr
<http://www.kwra.or.kr>

국가건설기준센터
10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)
Tel : 031-910-0444 E-mail : kcsc@kict.re.kr
<http://www.kcsc.re.kr>