

설계기준 Korean Design Standard

KDS 54 30 00 : 2022

필댐

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



KDS 54 00 00

댐 설계기준

KC CODE



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 제·개정 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 필댐 설계 관련 사항에 해당되는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제·개정 (년.월)
댐 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> • 댐 설계기준 제정 	제정 (1979.09)
댐 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> • 댐 시설기준의 설계편을 중점적으로 보강 및 댐 건설에 따른 환경문제에 대응할 수 있도록 환경친화적인 개념을 추가 	개정 (2001.02)
댐 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> • 필댐의 여유고 산정 및 관련부분 개정 	개정 (2005.01)
댐 설계기준	<ul style="list-style-type: none"> • 신기술, 신공법, 건설 시 단계별 환경 배려사항 제시, 부속수리구조물 추가 	개정 (2011.12)
KDS 54 30 00 : 2016	<ul style="list-style-type: none"> • 건설기준 코드체계 전환에 따라 코드화로 통합 정비함 	제정 (2016.06)
KDS 54 30 00 : 2019	<ul style="list-style-type: none"> • 선진기술 도입과 기술융합 축조기술 개발 공법 추가 	개정 (2019.01)
KDS 54 30 00 : 2022	<ul style="list-style-type: none"> • 식수전용댐 설계기준 수립 및 댐 설계기준 개정(일원화)를 위한 개정 	개정 (2022.08)

제 정 : 2016년 6월 30일

심 의 : 중앙건설기술심의위원회

소관부서 : 환경부 수자원정책과

관련단체 : 한국수자원학회, 한국수자원공사

개 정 : 2022년 08월 01일

자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회

작성기관 : 한국수자원학회

목 차

1. 일반사항	1
1.1 목적	1
1.2 적용범위	1
1.3 참고 기준	1
1.4 용어의 정의	1
1.5 기호의 정의	2
2. 조사 및 계획	2
3. 재료	2
4. 설계	2
4.1 필댐 설계 일반	2
4.2 필댐의 설계	3
4.3 복합댐의 설계	20
4.4 시공관련 설계검토	21
4.5 계측설비	25

1. 일반사항

1.1 목 적

(1) 이 기준은 필댐의 설계에 필요한 체계적인 기준을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 적용범위

(1) 이 기준은 필댐의 설계에 적용한다.

1.3 참고 기준

1.3.1 관련 법규

- 댐건설·관리 및 주변지역지원 등에 관한 법률(댐건설관리법)
- 물관리기본법
- 수자원의 조사·계획 및 관리에 관한 법률(수자원법)
- 자연재해대책법
- 하천법

1.3.2 관련 기준

- KDS 51 00 00 하천설계기준
- KDS 67 10 20 농업용 필댐설계

1.4 용어의 정의

- 댐 길이: 댐마루에서 댐의 종단방향 총길이(댐체에 접속하여 여수로가 있을 경우에는 여수로 길이를 포함)
- 댐 높이: 댐마루의 상류단을 통과하는 연직면과 기초면이 교차하는 최저 기초지반의 표고차
- 댐 부피: 댐 상·하류측 비탈의 사석공, 불투수성 블랭키트, 비탈끝 드레인 등 댐체에 접속한 인공 구조물을 포함한 전체의 부피
- 덧쌓기: 댐 축조 완성 시에 장래의 침하를 고려하여 댐 설계단면보다 더 쌓은 것
- 복합댐: 서로 다른 형식의 댐을 댐축 방향 또는 댐 상·하류 방향으로 결합시켜 하나의 댐으로 하는 형식
- 비탈면 기울기: 비탈면의 수평 길이에 대한 수직 길이의 비(比)
- 여유고: 최고수위에 댐의 안전성을 고려한 추가 높이
- 파라페트월: 제체의 파랑으로 인한 월류 방지 또는 댐 축조량, 기초굴착량, 차수벽 면적 등을 줄이기 위하여 댐 마루쪽에 설치하는 구조물
- 필댐: 록필댐 또는 흙댐과 같이 암석, 자갈, 토사 등의 천연재료를 층다짐을 하면서 쌓아 올려 축조한 부분을 주체로 하는 댐

1.5 기호의 정의

- d_i : 골재 입도
- d_{max} : 최대 골재 입도
- F : 대안거리(m)
- g : 중력가속도(m/s^2)
- H : 댐 높이(m)
- h_a : 여수로 형식에 의한 안전고(m)
- h_e : 지진에 의한 파랑고(m)
- H_f : 여유고(m)
- h_i : 댐 형식에 의한 안전고(보통 1.0 m)
- H_0 : 상시만수위시의 저수지 수심(m)
- \bar{k} : 수정 투수계수(cm/s)
- K_h : 설계진도(상시만수위시의 수평지진계수)
- k_h : 수평방향 투수계수(cm/s)
- k_v : 수직방향 투수계수(cm/s)
- P_i : 통과중량 백분율
- R : 물결의 처오름 높이를 포함한 파랑고(m)
- S : 총 침하량(m)
- U : 10분간 지속되는 최대풍속(m/s)
- τ : 지진파의 주기(1 sec)

2. 조사 및 계획

내용 없음.

3. 재료

내용 없음.

4. 설계

4.1 필댐 설계 일반

4.1.1 필댐의 안정조건

(1) 필댐에 있어서도 그 역학적 성질은 콘크리트중력댐과 마찬가지로 제체 재료의 중량을 이용하는 것으로서 그 안정조건은 다음과 같다.

- ① 제체가 활동(滑動)하지 않을 것
- ② 안정적 여유고를 확보하여 저수가 댐 마루를 월류하지 않을 것

- ③ 비탈면이 안정되어 있을 것
- ④ 기초지반이 압축에 대해서 안전할 것
- ⑤ 제체 및 기초지반이 투수에 안전할 것

4.1.2 필댐의 분류 및 특성

(1) 필댐의 분류

- ① 필댐은 구조상 균일형, 존(zone)형, 코어(core)형 및 표면차수벽형의 4종류로 분류할 수 있다.
- ② 코어형은 코어의 배치위치에 따라 중심코어형과 경사코어형으로, 코어의 축조재료에 따라 점토 코어형, 아스팔트 콘크리트 코어형 및 콘크리트 코어형 등으로 나눌 수 있다.
- ③ 표면차수벽형은 차수벽 재료에 따라 콘크리트 표면차수벽형, 아스팔트 콘크리트 표면차수벽형 및 지오멤브레인 표면차수벽형 등으로 나눌 수 있다.

(2) 필댐의 특성

- ① 필댐은 지형, 지질, 재료 및 기초의 상태에 그다지 구애받지 않고서도 축조할 수 있는 반면에 홍수 월류에 대해서는 거의 저항력이 없고 침하가 불가피한 구조물로 일반적인 특성은 다음과 같다.
 - 가. 단면의 특성상 단위면적에 작용하는 하중이 작고 기초에 전달되는 응력이 작아 풍화암이나 하천 퇴적층의 기초지반에도 기초처리를 하면 그 축조가 가능하다.
 - 나. 댐 지점 주위에서 얻을 수 있는 천연재료를 이용할 수 있다.
 - 다. 시공에서 최적의 장비를 투입함으로써 기계화율을 높일 수 있다.
 - 라. 제체의 재료가 입상(粒狀)의 토석(土石)으로 구성되어 있어 시공 중 또는 시공 후 제체 및 외부 추가하중으로 인한 변형이 장·단기적으로 발생하고, 댐체와 원지반토의 경계면을 통해 파이핑 현상이 발생하는 경우가 있다.
 - 마. 홍수가 제체를 넘어가서는 절대 안 되므로 여수로, 가배수로의 규모, 여유고의 결정 등에 세심한 주의가 필요하다.
 - 바. 침하가 불가피한 구조물이므로 여수로와 같은 구조물을 제체 위에 설치하기 어려워 통상 제체와 분리하여 설계한다.
 - 사. 제체내부의 강성의 차이는 부등침하의 원인이므로 이에 대한 고려가 필요하다.
 - 아. 필댐은 구성요소가 복잡하며 시공관리에 따른 변화요소가 많기 때문에 정확한 해석이 어렵다.

4.2 필댐의 설계

4.2.1 확인 조사

- (1) 예비설계 단계에서의 조사 결과를 확인하고 실시설계를 위한 정밀한 자료를 얻기 위하여 댐과 그 부속구조물의 기초지반 또는 선정된 재료 채취장에 대해서 정밀한 확인조사 및 시험을 한다.

(2) 기초지반의 지질조사 심도는 적어도 댐 높이의 1/2 이상으로 한다.

4.2.2 댐 형식의 결정

(1) 형식선정 요소

- ① 필댐의 형식은 주로 댐 주변에서 쉽게 채취할 수 있는 재료의 질과 양, 댐 높이, 댐의 용도, 댐 지점의 지형 및 지질, 시공조건 및 여수로의 위치와 형상 등에 좌우된다.
- ② 여수로는 통상 제체와 분리되어 건설되어야 하므로 지형여건상 여수로의 위치 확보가 어렵거나 대규모의 굴착이 수반되는 경우는 기술적, 경제적 관점에서 필댐 건설에 제약 요인이 된다.
- ③ 댐 규모가 커 축제재료의 전단강도, 시공 시 간극수압 발생 등의 문제가 있거나, 제체의 차수 기능을 확보하기 어려울 경우, 댐 형식은 대상지역의 재료원 구득여건에 따라 존(zone)형이나 코어(core)형을 채택할 수 있다.

(2) 균일형 댐

- ① 제체의 최대단면의 80% 이상을 균일재료(차수재료)가 차지하는 댐을 균일형 댐이라 한다.
- ② 균일형 댐은 비교적 소규모일 때 유리하며, 댐의 안전성을 확보하기 위하여 필터(filter)와 드레인(drain)을 설치하는 것이 일반적이며 드레인의 설계조건은 다음과 같다.

가. 드레인의 투수성은 적어도 균일토의 20 ~ 100배의 투수성이 필요하다.

나. 드레인의 통수능력은 댐체 및 기초로부터의 침투수량의 10 ~ 100배 이상의 안전율을 확보한다.

다. 드레인의 배치는 평면적으로는 댐으로부터의 투수를 전면적으로 막아낼 수 있도록 제체 방향에도 상당한 폭을 주는 것이 필요하며, 제체와 비탈면의 접촉면에 따라 배수구로 물을 유도하도록 지선(支線) 드레인을 설치하여 하류부 댐체가 포화되는 것을 방지한다.

(3) 존형 댐

- ① 제체의 최대단면에서 불투수성부의 최대 폭이 댐 높이와 같거나 그보다 큰 댐을 존형 댐이라 한다.
- ② 존형 댐은 불투수성부의 폭이 넓으므로 재료의 질은 코어형처럼 엄격하게 제한하지 않아도 좋으나 불투수성부를 중심으로 하여 외측으로 감에 따라 투수성 재료를 배치하여 댐의 안정을 도모한다.

(4) 코어형 댐

- ① 제체의 최대단면에서 불투수성부의 최대 폭이 댐 높이보다 작을 때는 이 불투수성부를 코어라 하며, 코어가 있는 댐을 코어형 댐이라 한다.
- ② 댐 중심선이 전부 코어로 포위된 것을 중심코어형 댐, 코어가 중심선에서 떨어져 있는 것을 경사코어형이라 한다.
- ③ 코어형의 특징은 최소단면으로 소요의 차수성을 확보하려는 것으로, 코어재료에 가장

요구되는 성질은 수밀성이다. 그러므로 전단강도나 압축성 면에서 다소 불리하더라도 부득이한 경우가 있다.

④ 코어의 설계 시 다음의 시공 사항을 고려한다.

가. 코어의 상단은 댐 마루에서 5 cm쯤 내려간 점까지 연장한다.

나. 경사코어에서는 암석과 흙을 따로 시공할 수 있는 이점이 있으나 코어의 부등침하에 약한 결점이 있다.

다. 자연재료만으로 코어로서의 불투수성이 부족할 때는 인공재료를 혼합하여 불투수성을 강화한다.

라. 양질의 불투수성 재료를 구득할 수 없는 경우에는 아스팔트 콘크리트를 사용한 코어형을 적용할 수 있으며, 여기서 사용되는 재료는 소요의 차수성, 배수성, 강도, 가요성, 안정성 및 내구성을 가져야 한다.

마. 아스팔트 콘크리트 코어는 기반암에 콘크리트 프린스(plinth)를 설치하고 그 위에 연결하여 지수성과 안정성을 확보하여야 한다.

바. 댐 상류로부터 어느 정도 스며드는 물의 배수 목적이나, 댐 거동 관측을 위해 검사공(갤러리)을 설치할 수 있다.

사. 아스팔트 콘크리트 코어형은 코어존 양옆에 트랜지션존을 두어야 한다.

(5) 표면차수벽형 댐

① 제체의 상류면에 콘크리트와 아스팔트 콘크리트, 지오멤브레인 등의 인공 차수재료에 의한 차수벽을 설치하여 댐의 차수기능을 충족시키고 그 배후는 투수성 재료를 배치하여 제체의 안정성을 확보하는 댐 형식이다.

② 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐에 대한 상세 내용은 KDS 54 40 00(콘크리트 표면차수벽형 석괴댐)을 따른다.

③ 아스팔트 콘크리트 표면차수벽형 댐의 표면차수벽은 아스팔트 콘크리트 불투수층(impermeable layer)과 배수층(drainage layer), 결합재층(binder layer) 등으로 구성된다.

가. 아스팔트 콘크리트 표면차수벽형은 댐의 설치 지점의 기후와 지리적 여건에 따라 불투수층을 2개층으로 시공할 수 있으며, 2개의 불투수층 사이에는 배수층을 추가 설치하도록 한다.

나. 불투수층의 두께는 60 mm ~ 80 mm 정도로 하며, 시공성과 차수성을 고려하여 결정한다.

다. 아스팔트 콘크리트 표면차수벽형 댐의 적용시 생활용수 공급을 목적으로 하는 경우 물오염 가능성을 충분히 고려하도록 한다.

④ 지오멤브레인 표면차수벽형 댐(Geomembrane Sealing System Dam, GSSD)의 표면차수벽은 불투수성 합성수지 제품의 지오멤브레인과 그 하부에 필터매트로 구성된다.

가. 합성수지 매트인 지오멤브레인의 재료 특성을 감안하여 댐의 내구성, 안정성, 시공성 등을 충분히 확보하도록 한다.

나. 외부충격, 액체의 흡수, 자외선 노출에 의해 지오멤브레인의 기능이 저하될 수도 있

으므로, 현장 특성과 기후 여건을 고려하여 필요시 상부 표면에 보호층을 설치하도록 한다.

4.2.3 축제재료의 선택

(1) 축제재료의 선택 일반

- ① 축제재료 선택에 있어서는 경제적으로 얻을 수 있는 모든 재료의 성질을 활용하여 댐의 차수 및 안정 기능을 가장 효과적으로 발휘하도록 구성한다.
- ② 필댐은 차수를 위한 불투수성부와 댐체의 안정을 유지할 투수성부, 재료 특성의 급격한 변화에 의한 구조적 불안정을 개선하기 위해 경계부에 두는 반투수성부로 구성되며, 이들 재료가 투수성이나 안정성 측면뿐 아니라 댐 전체로서 기능을 잘 발휘하도록 선정하여야 한다.

(2) 축제재료와 기능

- ① 댐은 물을 막을 불투수성부와 댐체의 안정을 유지할 투수성부를 최소한의 구성 요소로 두고 있으며, 대부분 이 두 층의 경계에는 이행부(移行部, transition zone)를 배치한다.
- ② 그러나 이들 각 부분은 서로 상대적인 성질이므로 각각의 축제재료의 안정성이나 불투수성은 물론 댐 전체로서 기능을 잘 발휘하도록 설치하는 것이 중요하다. 특히, 기초 암반과 접하는 차수존의 토질재료는 함수비 및 최대입경이 일반 차수재료와는 달라야 하므로 특별한 고려가 필요하다.
- ③ 토질재료는 댐 안정에 미치는 팽창 및 압축(수축)성이 작고, 수용성 물질이나 유기물을 포함하지 않는 재료를 사용하며, 다짐이 용이하고 시공 시 간극압의 발생량이 작은 재료로서 다진 상태에서 소요의 투수계수와 전단강도를 만족시켜야 한다.
- ④ 이행부 재료는 불투수성부와 투수성부의 중간에 설치되는 재료를 말하며, 경우에 따라 흙, 모래, 자갈까지도 포함된다.
- ⑤ 암석재료는 다진 상태에서 소요의 전단강도와 투수성을 만족하고(1×10^{-3} cm/s 보다 클 것), 유해물질을 함유하지 않은 단단하고 내구성이 크며 변형이 작은 재료가 바람직하다. 암석재료로서 요구되는 조건은 다음과 같다.

가. 견고하고 균열이 작아야 한다.

나. 물이나 기상 작용에 대한 내구성이 커야 한다.

다. 재료는 될수록 크고 모난 것이 좋으며, 얇은 조각으로 깨지는 것은 좋지 않다.

- ⑥ 연암을 제체 재료로 사용함에는 다음 세 가지 방법이 있으며, 과쇄하여 랜덤존(random zone)에 사용하는 것이 좋다.

가. 공기나 물의 변화에 접촉하지 않는 랜덤층에 사용하는 방법

나. 흙처럼 사용하는 방법

다. 다른 토취장의 흙과 혼합하여 사용하는 방법

- ⑦ 랜덤재료란 재료의 성질이 확실하지 않으며, 장래 풍화 등에 의해 그 성질이 변화할지 모르며, 재료의 채취계획이 축제공정과 일치하지 않는 재료를 일괄하여 말한다. 제체의 중요 부분(코어존, 피복단면 등)에는 사용할 수 없으며, 제체의 안정성에 그다지 영향

이 없는 부분에 사용한다.

- ⑧ 코어존 착암재료는 차수재료와 기초와의 적응성이 양호해야 함과 동시에 균열(crack) 발생을 방지하고 차수성의 확보가 가능해야 한다. 착암재료의 기본조건은 다음과 같다.

- 가. 큰 자갈을 함유하지 않고 변형에 대하여 적절한 대응성을 가져야 한다.
- 나. 점착력이 크고 전단후의 투수계수의 증대나 체적 수축이 없어야 한다.
- 다. 침투수에 대한 저항력이 있어야 한다.

- ⑨ 코어재료는 불투수성인 것이 제일 조건이기는 하나 전단강도나 압축성, 균질성에서 충분히 신뢰성이 있는 재료를 택한다.

- 가. 코어재료로서 이상적인 재료는 0.05 mm 이하의 입자를 15% ~ 20% 함유하는 입도배분이 좋은 점토, 실트, 모래, 자갈의 혼합물이다.
- 나. 흙의 통일분류법으로 말하면 GC, SC, CL, SM, CH 정도가 적당하고 ML이 그 다음이며, OL, MH, OH는 부적당하다.
- 다. 착암부 재료는 점착성이 양호하고 균열 발생을 방지토록 소성지수(PI) 15 이상 세립 재료를 사용한다.
- 라. 아스팔트 콘크리트 코어의 배합설계는 다음의 사항을 고려한다.

(가) 아스팔트 콘크리트 코어 배합설계시 골재 입도는 풀러(Fuller)의 입도곡선을 따른다(ICOLD Bulletin 84, 1992).

$$P_i = \left(\frac{d_i}{d_{max}} \right)^{0.41} \times 100(\%) \tag{4.2-1}$$

식에서, P_i : 통과중량 백분율, d_i : 골재 입도, d_{max} : 최대 골재 입도

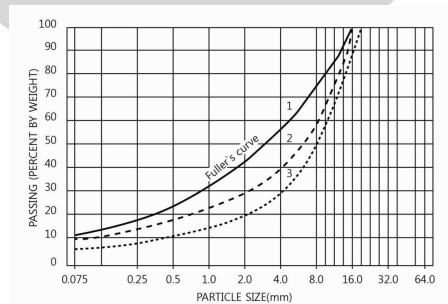


그림4.2-1 아스팔트콘크리트골재에대한풀러(Fuller)의입도분포곡선

(나) 역청은 이론적으로 골재 사이의 공극을 채우기 충분한 양보다 조금 더 높은 함량으로 배합하며, 일반적으로 총 중량의 5% ~ 7% 정도의 함량과 총 부피의 3% 이하의 공극율을 나타내야 한다.

- ⑩ 아스팔트 콘크리트 표면차수벽형의 불투수층 배합설계는 ⑨의 아스팔트 콘크리트 코어

배합설계를 참조한다.

(3) 축제재료의 소요량 파악

- ① 축제재료의 소요량은 요구되는 재료의 품질에 근거하여 토량 변화율과 여유량을 충분히 고려한다.

(4) 축제재료의 선정을 위한 시험

- ① 필댜는 불투수성재, 반투수성재 및 투수성재가 상호작용하여 체체의 안정을 이루고 있는 구조물이므로 설계에 적용할 각 재료는 반드시 시험을 거쳐 그 결과를 이용한다.
 ② 특히 필터와 암석 재료와 같은 조립재료는 부득이한 경우를 제외하고 대형 3축 압축시험 등의 대형 전단시험을 이용하여 강도 및 응력-변형 특성을 확인한다.

(5) 시험성토

- ① 소요의 성토를 경제적으로 시공하는 방법과 시공관리 기준을 결정하기 위하여 축조작업을 하기 전에 시험성토를 실시한다.
 ② 시험성토의 주안점은 포설과 다짐의 가장 좋은 방법을 선정하는데 있다. 즉, 포설두께, 함수비, 다짐기계, 다짐회수 등을 정하고 특수한 문제점(재료와 혼합법, 큰 자갈의 분리법, 토량 환산계수의 결정)을 찾아내어 현장에 있어서의 투수성, 전단강도와 실내시험의 값들을 비교하는 것이 주목적이다.
 ③ 다음과 같은 경우에는 반드시 시험성토를 해서 확인한다.
 가. 소량의 세립분을 함유한 재료를 코어로 쓸 때의 투수성, 분리여부 또한 두 가지의 다른 재료를 혼합하는 가장 좋은 방법은 어느 것인가, 어느 정도의 강수량일 때까지 시공 가능한가, 함수비가 큰 흙의 건조속도는 어느 정도인가 등을 결정할 때
 나. 암석 재료의 다짐을 위한 다짐기계, 포설두께, 살수의 가부 및 수량 등을 정할 때
 다. 연암을 사용할 때
 라. 아스팔트 콘크리트를 코어재 또는 표면차수벽재로 사용할 때
 ④ 설계 시 적용된 토질정수는 실내시험의 결과와 시험성토 결과를 비교 검토하여 필요시 전단강도와 현위치투수시험을 실시한다.

(6) 필터(filter)재료

- ① 입도가 크게 다른 두 재료를 서로 인접시켜 놓을 때 그 경계에 일정한 조건을 만족시키는 입도의 필터를 넣어 세립분의 유출이 없고 침투수가 안전하게 투과하도록 한다.
 ② 필터는 토공 구조물에서 침투수의 침투를 촉진하면서 흙입자의 유동을 방지하기 위하여 설치한다. 필터재료는 투수성이 크게 다른 두 가지 재료(불투수성부와 투수성부 또는 반투수성부)의 중간에 위치하여 불투수성 재료의 유출을 방지하고 침투수를 완전히 배출, 유하시켜 파이핑에 의한 침투파괴를 방지할 수 있는 사력재료를 사용한다.
 ③ 필터재료는 필터재로 보호되는 재료보다 투수성이 커야 하며, 일반적으로 다음 조건을 만족시켜야 한다.

가. $\frac{\text{필터재료의 15\% 입경}}{\text{필터로 보호되는 재료의 15\% 입경}} > 5$

나. $\frac{\text{필터재료의 15\% 입경}}{\text{필터로 보호되는 재료의 85\% 입경}} < 5$

- 다. 필터재료의 입도곡선은 보호되는 재료의 입도곡선과 거의 평행인 것이 좋다.
- 라. 필터로 보호되는 재료가 조립재료를 함유할 때는 그 재료의 25 mm 이하의 부분에 대하여 가 및 나를 적용한다.
- 마. 필터재료는 점착성이 없는 것으로 0.074 mm 이하의 세립분 함유량은 원칙적으로 5 % 이하로 하는 것이 좋다.
- 바. 필터재료는 보호되는 재료보다 10 ~ 100배의 투수성을 가지는 것이 좋다.
- 사. 자연 상태의 재료로는 전술의 입도조건을 만족하는 경우가 적으므로 최근에는 다음과 같은 방법에 의해 인공적으로 제조하는 일이 많다.

- (가) 콘크리트 골재를 제조하는 것과 같은 방법으로 씻기 또는 크러셔로 깨뜨린 것을 체가름 하는 방법
- (나) 자연재료와 인공재료를 혼합하는 방법
- (다) 지오텍스타일(geotextile)을 이용하는 방법

- ④ 필터 두께는 이론적으로 얇은 것이 좋지만 시공조건과 지진에 대한 안전성을 고려하여 여유 있게 설계한다.

(7) 파이핑(piping) 현상의 방지설계

- ① 댐체 또는 기초지반을 통과하는 침투수가 토립자를 유동시켜서 댐이 손상되는 일이 없도록 재료의 선정 및 다짐도에 대하여 충분히 검토한다.
- ② 필댐의 제체 및 기초는 누수를 완전히 차단하지 않고 허용한도내로 제한하는 것이므로 침투수압, 동수경사 등을 검토해야 한다. 침투수압은 차수존의 성질, 댐 형식 및 규모에 영향을 받고 허용누수량은 저수지의 목적 및 안전성에 따라 다르기 때문에 일률적으로 결정할 수는 없으나, 특정 한도를 넘어서면서 분사현상(quick sand, boiling) 과 파이핑 등의 침투로 인한 파괴요인이 되므로 신중한 검토와 대책이 필요하다.

(8) 사석재료

- ① 상·하류면의 보호 및 안정을 위하여 사면 보호공을 설치하며, 여기에 사용되는 사석은 요구되는 강도 및 내구성을 가져야 한다.
- ② 사석의 크기와 두께는 각각의 돌이 파랑에 의하여 움직이지 않고 제체의 흠이 흡출작용에 의하여 유출되지 않을 것 등이 조건이며, 비중 2.6 이상이고 2.6 cm 이하의 입자까지 포함된 입도배합이 좋고 풍화에 강한 단단한 암석재료이어야 한다.
- ③ 일반적으로 사석 두께는 사석최대 입경의 2배 이상으로 하되 최소두께 1.0 m 이상이 좋다.

4.2.4 기초설계

(1) 기초설계 일반

- ① 필댐의 기초설계는 터파기와 기초처리를 포함하여 계획하고 필댐 기초로서 다음 조건을 만족시켜야 하며, 제체 및 원지반의 특성에 따라 설계한다.
- 가. 충분히 전단강도를 가질 것
- 나. 변형 침하량이 적을 것

- 다. 침투수량이 충분히 적을 것
- 라. 침투파괴를 일으키지 않을 것
- 마. 지진 시 액상화 현상을 일으키지 않을 것

(2) 암반기초

- ① 암반기초 위에 댐을 축조할 경우, 차수부(遮水部)에 존재하는 풍화암 등 취약부분을 제거하고 기초지반 암 균열부분에 그라우팅 등의 기초처리를 한다.
- ② 또한 암반과 축제재료와의 접촉성을 증대시켜 접촉면을 통한 누수를 감소시키며, 층상 퇴적암의 경우에는 그 층면에 따르는 활동을 검사한다.
- ③ 변형특성이 다른 암반이 기초와 양안 접속부(abutment)에 존재하는 경우 댐의 자중, 저수압에 의해 기초의 침하량이 다르게 나타나 차수존에 균열이 생기므로 암반의 변형특성을 조사하여 설계에 반영한다.

(3) 사력기초

- ① 사력층과 같은 투수성 지반 위에 댐을 축조할 경우에는 지반을 통한 침투수가 허용범위 안에 들도록 하는 동시에 이 침투수를 안전하게 댐 밖으로 흘려보낼 수 있는 조치를 강구한다.
- ② 입도분포가 좋지 않아서 단단할 경우에는 전단강도가 크므로 지수처리나 파이핑 방지가 중요한 문제이지만, 지반조건과 입도분포가 불량하여 단단하지 않은 경우나 점토나 실트층등 연약지반을 포함하고 있을 경우에는 전단강도의 문제, 변형성 및 액상화의 가능성도 있다. 이런 경우 치환법 등 적절한 조치를 강구한다.

(4) 토질기초(연약지반)

- ① 점토, 실트, 유기질 등으로 된 연약지반 위에 댐을 축조할 경우에는 특히, 활동파괴와 압밀침하에 대하여 충분한 안전율을 고려해서 설계한다.

(5) 코어존(core zone)의 기초설계

- ① 코어존의 기초는 가급적 차수가 가능한 암반으로 하되, 그렇지 아니한 경우에는 충분한 차수성과 침하에 대한 안정성이 확보되도록 적절한 조치를 취한다. 기초는 극단의 요철(凹凸) 및 돌출부가 없도록 굴착하고, 단층 및 이완된 층에 대해서는 적절한 처리를 한다.

(6) 필터존(filter zone)의 기초설계

- ① 필터존의 기초는 원칙적으로 코어존의 기초에 준하여 설계하나 필터존이 넓은 경우에 외측 절반정도는 암석존(rock zone)에 준하여 설계해도 된다.

(7) 암석존(rock zone)의 기초설계

- ① 암석존의 기초는 소요의 강도를 가지며 변형성이 작은 것으로 한다. 또 그 형상은 상부 구조에 유해한 영향을 주지 않아야 한다.

(8) 그라우팅(grouting)의 설계

- ① 댐의 기초 그라우팅은 기초암반에 시추공(boring)을 천공하고 그라우트 재료를 주입하여 기초지반을 개량하고 기초변형 및 침투수량을 제어하는 목적으로 시행한다.
- ② 기초지반의 그라우팅은 그 목적에 따라 일반적으로 커튼 그라우팅(curtain grouting),

블랭킷트 그라우팅(blanket grouting), 특수 그라우팅으로 나누며 설계 시 고려사항은 다음과 같다.

- 가. 지형 및 암반의 단단함이나 균열상황 등의 지질조건
- 나. 댐의 형식과 규모
- 다. 그라우팅을 해야 할 범위와 공 간격
- 라. 주입압력, 그라우트(grout)의 배합 및 이들의 적합한 시공설비
- 마. 그라우팅 후 목표 차수효과
- 바. 주변지역으로의 그라우트 누수방지
- 사. 주입순서와 시공관리

4.2.5 표준단면의 설계

(1) 댐축의 결정

- ① 댐축은 양안측 기초 바닥의 지질이 좋고 충분한 두께가 있고 또 댐 길이가 짧고 댐 축조량이 최소가 될 지형을 택하는 것이 원칙이다. 그러므로 대부분은 직선형으로 되나 불투수부가 얇은 댐에서는 저수압에 의한 댐 중앙부의 인장응력, 댐축의 수평이동, 미관 등을 고려하여 약간 아치 모양을 채택하는 경우도 있다.
- ② 댐축 결정시 댐의 높이, 형식, 지형, 지질 및 여수로의 위치 등을 고려하여 제체 체적, 기초 굴착량, 기초처리, 가설비(공사용도로, 유수전환 등), 시공성 등을 종합적으로 판단하여 결정한다.
- ③ 지질조건에 따라서는 차수 위치를 고려하여 댐축을 선정한다.

(2) 제체의 단면구성(zoning)

- ① 필댐의 단면구성은 소정의 기능을 발휘할 수 있도록 기초지반, 제체재료, 시공조건 및 경제성 등 제반여건을 고려하여 종합적으로 판단하여 결정한다.
- ② 필댐의 안정조건을 충족시키기 위하여 제체 구성 재료를 존으로 구분하여 각 존의 기능을 명확히 하는 것이 합리적이며 기본적인 기능은 차수, 배수 및 외력에 대한 안정성으로 나누어진다. 일반적으로 댐 높이가 높아짐에 따라 침투와 역학적 측면에서 투수성부(shell zone, transition, filter zone 등)와 불투수성부(차수벽 포함) 등이 필요하다.
- ③ 제체 구성 재료의 입경, 투수성 및 변형성이 존별로 서서히 변화하도록 하고 인접 존 간에 극단적인 차이가 없도록 한다.
- ④ 제체의 역학적 안정성 측면에서 재료의 전단강도를 정확히 파악하고 활동에 대한 저항력을 높이도록 존을 배치한다.
- ⑤ 재료의 변형성 측면에서 코어의 균열발생 가능성을 되도록 적게 하기 위하여 제체의 부등침하를 최소로 하고, 제체에 발생하는 인장응력 발생지역과 크기를 최소로 하기 위하여 단면의 급변은 피한다.
- ⑥ 제체의 수리학적 안정성에 대해서는 코어존의 침투과괴에 대한 저항성을 크게 할 것과 인접 존 간의 입도분포에 대한 고려가 중요하다.

(3) 여유고

- ① 필댐의 여유고는 어떠한 악조건에서도 홍수가 댐마루를 넘지 않도록 충분히 크게 잡아야 한다.
- ② 댐 마루 표고는 식 (4.2-2)와 같이 홍수위(Flood Water Level, FWL)에 여유고를 더한 값과 식 (4.2-3)과 같이 최악의 조건으로 볼 수 있는 가능최대홍수(Probable Maximum Flood, PMF) 유입 시 여수로의 홍수배제능력의 초과로 상승하는 저수지 최고수위(Maximum Water Level, MWL)에 여유고(H_f)를 더한 값 중 큰 것을 택한다.

가. 홍수위 기준

$$\text{홍수위 (FWL)} + H_f \tag{4.2-2}$$

$$H_f \geq R + \frac{h_e}{2} + h_a + h_i$$

나. 최고수위기준

$$\text{최고수위 (MWL)} + H_f \tag{4.2-3}$$

$$H_f \geq R + h_a + h_i$$

식에서,

H_f : 여유고(m)

R : 물결의 처오름 높이를 포함한 파랑고(m)

h_e : 지진에 의한 파랑고(m)

h_a : 여수로 형식에 의한 안전고(m)

(수문이 있을 경우 0.5 m, 수문이 없을 경우 0m)

h_i : 댐 형식에 의한 안전고(보통 1.0 m)

③ 물결의 처오름 높이를 포함한 파랑고(R)

가. 저수지의 파고는 심해파로 생각할 수 있으므로 대안거리, 풍속의 요소로서 SMB(Sverdrup-Munk-Bretschneider)법에 의하여 유의파고(h_w)와 파장(L)을 구한다.

$$h_w = 0.00086 U^{1.1} F^{0.45} \tag{4.2-4}$$

$$L = 0.011 U^{0.84} F^{0.58} \tag{4.2-5}$$

식에서,

F : 대안거리(m)

U : 10분간 지속되는 최대풍속(m/s)

나. 댐의 비탈 기울기 및 조도에 따라 파랑의 처오름 높이가 크게 달라지므로 여기에 다시 사빌(T. Saville)에 의한 수정을 가하여 물결의 처오름 높이를 포함한 파랑고 R 을 그림 4.2-2에 의하여 산출한다.

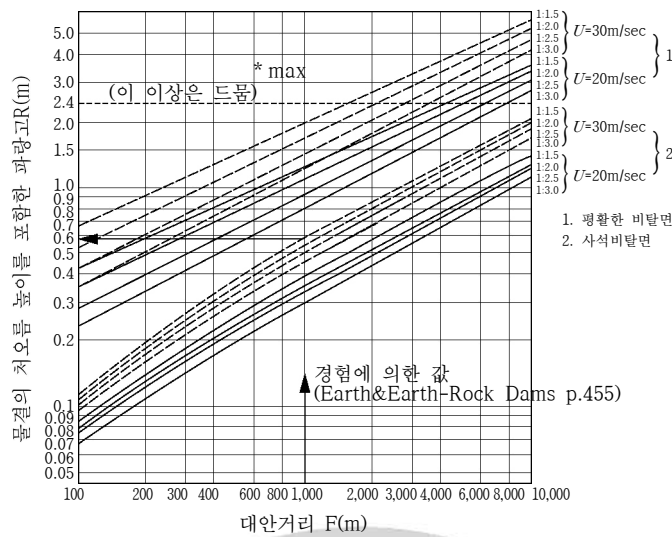


그림 4.2-2 파랑고의 계산도표

④ 지진에 의한 파랑고(h_e)

가. 지진에 의한 파랑의 저수지 수면으로부터의 높이는 일반적으로 식 (4.2-6)에 의하여 산정한다. 이때 h_e 는 상시만수위 상태에서 지진에 의한 저수지 수면 이상의 파랑의 높이를 의미하며, 홍수위를 기준으로 한 여유고를 산정할 때는 $h_e / 2$ 를 적용한다.

$$h_e = \frac{K_h \cdot \tau}{2\pi} \sqrt{gH_0} \tag{4.2-6}$$

식에서,

h_e : 지진에 의한 파랑고(m)

K_h : 설계진도(상시만수위시의 수평지진계수)

τ : 지진파의 주기(1 sec)

H_0 : 상시만수위시의 저수지 수심(m)

g : 중력가속도(9.8 m/s²)

⑤ 홍수조절용량이 없는 댐에서 상시만수위를 기준으로 여유고를 산정할 때는 다음과 같이 적용한다.

가. 여유고는 댐의 비탈면 조도에 따라 매우 변화가 크므로 설계하기 전에 미리 여유고와 관련되는 요소를 선택한다. 필댐의 여유고 표준은 2 m ~ 3 m가 보통이고 6 m 이상 높은 수문식 여수로를 가진 필댐이라면 3 m 이상의 여유고를 둔다.

나. 여유고가 3.0 m를 넘는 부분에 대해서는 파라페트월(parapet wall)을 붙여서 여유고의 일부로 해도 좋다. 이 경우 파라페트월 높이는 여유고에 포함시킨다. 단, 여유고가 3.0 m 이하인 댐에서는 파라페트월이 있더라도 여유고에 포함시키지 않는다.

(4) 댐마루 쪽

① 댐마루 폭은 댐 규모에 따른 계산결과를 참고하여 파랑침식이나 침투수에 대한 안정성, 중심코어 및 필터의 규모, 댐마루 이용, 댐의 유지관리, 경제성 및 시공성 등을 고려하여 결정한다.

- ② 특히 댐 완성 후 댐마루를 도로로 이용할 경우에는 양안 접속도로와의 관계를 충분히 고려해서 결정한다.
- ③ 댐마루에는 표점, 침하계, 지진계 등이 매설되기 때문에 측정 및 설치에 충분한 공간을 확보한다.

(5) 덧쌓기(extra embankment)

- ① 댐마루에는 댐 기초지반과 축제재료의 완성후의 침하량을 예측하여 필요하고도 충분한 양의 덧쌓기를 한다.
- ② 덧쌓기시 종단방향으로 캠버(camber)를 붙이는 것이 좋고, 양안 접합부는 안전하게 하기 위하여 최저 10 cm 정도 더 쌓고 횡단방향의 비탈면 덧쌓기는 특별한 경우를 제외하고 제체 상부를 조금 세워서 쌓는다.
- ③ 코어형 댐은 코어 상부 보호층만 덧쌓기 하여서는 안 되며 반드시 코어존 자체를 덧쌓기 한다.
- ④ 침하량의 대부분은 시공 중에 끝나고 완공후의 침하량은 작으므로 그 지점에서의 댐 높이의 1% 내외로 하면 충분하다. 록필댐의 최종 침하량은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$S = 0.001 H^{3/2} \quad (4.2-7)$$

식에서,

S : 총 침하량(m)

H : 댐 높이(m)

(6) 불투수층 존(차수벽)의 두께 및 단면설계

- ① 불투수층 존의 두께는 투수성의 허용한도, 시공상의 최소 폭, 사용되는 점토재료의 조성 및 점성, 필터층의 유무 등을 고려하여 결정하며, 토질이나 댐 높이에 관계없이 수압의 30% ~ 50% 정도의 두께를 갖도록 한다.

(7) 비탈면 기울기와 턱

- ① 비탈면 기울기와 턱의 배치는 댐 형식과 높이, 축조재료, 존의 형상, 기초지반, 지진의 영향 및 시공조건 등을 고려하여 최소의 축조량으로 소요의 안전도를 얻도록 결정한다.
- ② 하류사면에 시공성 및 유지관리를 고려하여 필요시 도로 기능을 가진 턱을 설치할 수 있다. 턱의 폭은 일반적으로 3 m ~ 5 m를 적용하고 배수시설을 설치한다.

(8) 상류측 비탈면의 보호

- ① 제체의 상류측 비탈면에 대해서는 파랑에 의하여 댐체가 침식되거나 저수위가 급강하할 때 댐체 재료가 유실되지 않도록 보호한다.
- ② 특히, 수위변화 빈도가 높은 양수발전소 상부지 댐이나 일정 수위에서 저수지 수위가 유지되어 결과적으로 파랑의 영향을 집중적으로 받게 되는 부위의 상류측 비탈면은 제체의 토립자 유출방지를 위한 필터층을 설치한다.

(9) 하류측 비탈면의 보호

- ① 하류측 비탈면은 기상작용 특히, 호우에 의한 침식을 막도록 보호하고 빗물이 한곳에

집중되지 않도록 양안부에 표면 배수시설을 설치한다.

- ② 제체 하류사면과 양안부의 접속부에 지표수를 배수할 수 있는 수로를 설치하여 하류의 제외로 배수한다.

(10) 드레인(drain)

- ① 드레인은 침투류에 의한 침투수압의 감소, 파이핑의 방지, 제체의 침하방지 및 내부침식 방지 등을 위하여 설치하며, 그 기능과 목적에 맞는 재료를 선택하고 안정성을 검토한다.
- ② 드레인의 종류로는 하류 비탈끝 드레인, 수평 드레인, 직립 드레인, 복합 드레인, 사면 보호공 기초 드레인, 제체와 산턱과의 접촉면에 연하여 설치하는 드레인 등이 있다.
- ③ 필터는 입도가 현저하게 다른 흙 또는 사력 등의 배수 측면에 접촉시켜 설치하고 재료는 필터재료에 준한다. 필터층의 두께는 시공시의 재료분리, 필터층 내부의 공극, 시공 장비 등을 고려하여 결정한다.

4.2.6 침투수의 안전성 검토

(1) 검토의 주안점(主眼點)

- ① 저수 시에는 제체 또는 기초지반 내의 침투수를 해석하여 침윤선, 유속분포 및 누수량을 확인하고 제체 하류측으로 안전하게 배수되도록 한다. 수위가 급히 저하할 때에도 상류측 비탈면에 대해서 마찬가지다.

(2) 침투류 해석

- ① 제체 및 기초의 침투수에 대한 안전성은 도식해법, 수치해석법 또는 모형 실험법을 이용하여 검토한다.
- ② 침투수에 대한 안전성 검토는 침투류가 정상상태인가 또는 층류인가 난류인가 등을 확실히 규명한 다음 시행한다.
- ③ 담수 개시 후 및 저수 후의 수위 급강하 시 등의 경우에는 비정상 상태라 보고 침투수에 대한 안전성을 검토한다.

(3) 침윤선의 도식해법

- ① 불투수성 기초지반 위에 균일성 재료로서 축조된 제체의 침윤선의 형상이 포물선형인 것은 이론적으로나 실험적으로 증명되었다.
- ② 불투수성 부분의 침윤선은 카사그랜드(Casagrande)의 방법에 의하여 구한다.
- ③ 침윤선은 어느 경우에도 제체 밖으로 나와서는 안 된다.

(4) 유선망(流線網)의 도식해법

- ① 필댐의 유선망이란 제체 및 투수성 지반 내에 있어서의 침투수류의 방향과 제체 속에 있어서의 흐름의 등수두선(equi-potential line)을 도시한 것이다.
- ② 유선과 등수두선은 서로 직교하므로 주의 깊게 수정하여 최종적인 유선망을 그린다.
- ③ 유선망에 의하여 댐체 및 투수성 지반 내에 있어서 침투수의 이동하는 형상과 침투수압의 분포상태를 파악한다.

(5) 누수량

- ① 댐체로부터의 누수량을 산출하려면 유선망 또는 수식에 의하지만 어느 경우에도 적절한 투수계수를 선정하지 않으면 안 된다.
- ② 댐체의 불투수성부가 비등방성일 때는 보통 수정한 투수계수를 써서 누수량을 산출하지만 안전을 고려하여 수평방향의 투수계수(k_h)를 사용해도 좋다.
- ③ 수정 투수계수(\bar{k})는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\bar{k} = \sqrt{k_h \cdot k_v} \tag{4.2-8}$$

식에서, \bar{k} : 수정 투수계수(cm/s)
 k_h : 수평방향 투수계수(cm/s)
 k_v : 수직방향 투수계수(cm/s)

(6) 수치해석에 의한 침투류 해석

- ① 댐체 및 기초의 침투류에 대하여 수치해석 방법으로 침투류의 수두, 유속 분포, 유량, 침투수압분포 등을 구한 후 도식해법에 의한 결과치와 비교하여 누수량 및 댐의 안전성을 검토한다.

(7) 침투수에 대한 안전성 검토

- ① 필댐의 제체와 기초는 누수를 완전히 차단할 수는 없기 때문에 침투수압, 동수경사 등을 검토하여 침투수에 대하여 안전하도록 설계한다.
- ② 파이핑에 대해서는 보통 저스틴(Justin)의 침투유속의 한계치(한계유속)을 구하여 토립자의 이동 가능성을 검토하는 방법과 한계동수경사를 구하여 분사현상(quick sand)의 발생 가능성을 검토하여 안전 여부를 판정한다.
- ③ 수압에 의하여 재료가 파괴되는 현상 즉, 수압할렬(水壓割裂, hydraulic fracturing)의 가능성을 검토하여 이와 같은 현상이 발생하지 않도록 한다.

(8) 간극수압의 검토

- ① 필댐에서 간극수압의 변화는 제체의 안정에 지대한 영향을 미치게 된다. 따라서 시공 중 및 완성직후의 간극수압, 상시 저수 시의 간극수압, 수위가 급강하할 때의 간극수압 등을 추정하여 안정계산 시 고려한다.

4.2.7 사면활동의 안정성 검토

(1) 활동에 대한 최소 안전율

- ① 활동에 대한 최소 안전율은 재료의 시험과 안정계산의 정밀도가 불충분하거나 연약지반 위의 댐과 같이 불안정 요소가 포함되었다고 판단되는 경우에는 1.5를 적용하되 여타의 경우에는 표 4.2-1을 기준으로 한다.

표4.2-1 활동에 대한 최소 안전율

구분	제체조건	저수상태	지진	안전율		비고
				상류	하류	
1	완성직후 (간극수압최대)	바닥상태	있음	1.3	1.3	1) 상류측 비탈면의 하부존이 암석 등으로 되어 있어 간극압이 발생하지 않을 경우에 한함. 2) 수위는 보통 댐 높이의 45~50%를 적용하여 계산함.
2	완성직후	일부저수 ¹⁾	없음	1.3	-	
3	평상시	최고수위	없음	1.2	1.2	
4	평상시	만수	있음	1.2	1.2	
5	평상시	일부저수 ²⁾	있음	1.15	-	
6	평상시	급강하	있음	1.2	-	

(2) 설계하중

- ① 제체 및 기초의 활동파괴에 대한 안정성의 검토에 고려되는 하중은 자중, 정수압, 간극수압 및 지진 관성력으로 하고 이를 저수지의 상태에 따라 적용한다.
- ② 활동파괴에 대한 안정계산에 사용하는 제체의 자중은 다음과 같으며, 제체재료의 단위체적중량은 실제 사용하는 재료에 대하여 시험을 실시하고 그 결과에 의해서 결정한다.

- 가. 완성직후로서 저수하지 않을 때(표 4.2-2의 1 경우) 제체재료의 습윤 단위중량(γ_t)으로 한다.(그림 4.2-3 (a) 참조)
- 나. 몇 년 후 저수로 인해 정상 침투상태(표 4.2-2의 2~4)의 경우에 저수지 침윤선의 윗부분은 제체재료의 습윤 단위중량(γ_t)을 사용하고 침윤선 아랫부분은 포화 단위중량(γ_{sat})을 사용한다.(그림 4.2-3 (b) 참조)
- 다. 수위급강하 시(표 4.2-2의 5 (a) 및 5 (b) 경우) 침윤선의 윗부분은 제체재료의 습윤 단위중량(γ_t)을 사용하고 침윤선에서 아랫부분은 포화 단위중량(γ_{sat})을 사용한다.(그림 4.2-3 (c) 참조)

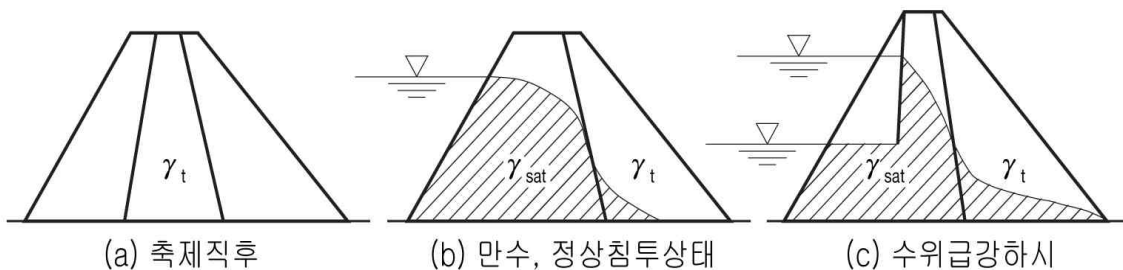


그림4.2-3 필댐의 자중에 의한 하중계산시 단위체적중량을 적용하는 법

표 4.2-2 활동파괴를 검토하는 경우

경우	저수지 수위	정수압 계산수위	침투수(간극수압)의 상태	지진 관성력 설계진도	원형 활동면 분할법 적용	
					응력 표시	계산사면
1	완성직후	빈 경우	축제중 간극수압이 잔류	50%	전응력 또는 유효응력	상·하류측
2	최고수위	최고수위	최고수위에서 침투류가 정상상태	0%	유효응력	상·하류측
3	상시만수위	상시만수위	상시만수위에서 침투류가 정상상태	100%	유효응력	상·하류측
4	중간수위	중간수위	중간수위에서 침투류가 정상상태	100%	유효응력	상류측
5	수위급강하					
(a)	일상적으로 수위급강하가 이루어지는 댐	강하후 수위 최저수위	상시만수위에서 최저수위까지 강하했을 때 이미 간극수압이 잔류	100%	유효응력	상류측
(b)	그 외 댐			50%	유효응력	

③ 활동파괴에 대한 안정계산에 있어서 저수시의 정수압은 활동모멘트 쪽으로의 기여분을 어떻게 고려할 것인가를 생각하여 안전한 값을 주는 방법을 채택한다.

④ 지진관성력은 다음과 같이 적용한다.

가. 제체의 지진관성력은 침윤선 윗부분은 습윤중량에, 침윤선 아랫부분은 포화중량에 설계진도를 곱한 것으로 하고 작용위치는 절편의 활동면상으로 하며, 작용방향은 수평으로 작용하는 것으로 한다.

나. 제체에 적용하는 설계진도는 KDS 54 17 00에서 정하는 진도를 기준으로 한다.

⑤ 유효응력 표시에 의한 안정계산에서 고려되는 간극수압은 다음과 같은 상태를 감안하여 적용한다.

가. 시공 중 및 완성 직후에 있어서의 흙 속의 응력변화로 발생하는 간극수압

나. 저수시의 정상 침투류에 의한 간극수압

다. 수위급강하 시의 간극수압

(3) 설계수치

① 설계수치는 적절한 토질시험의 결과를 기초로 하여 시공조건 등을 고려하여 신중하게 결정한다.

② 설계밀도(γ_s)는 현장 함수비로서 다질 수 있는 밀도를 채택한다. 이것들은 토질, 기상, 시공 조건 등에 의하여 변하지만 보통 KS 시험규격에 의한 최대 건조밀도의 90 ~ 95 % 정도를 적용한다. 이때 전단강도는 같은 다짐도라도 습윤측(OMC+)의 전단강도를

적용한다.

- ③ 전단시험은 3축 압축시험을 원칙으로 하며, 토질재료의 전단강도는 전단시험의 조건에 따라서 변하므로 시험목적에 알맞은 시험조건으로 한다.

가. 비압밀 비배수시험(UU시험): 댐 완성직후의 상태

나. 압밀 비배수시험(\overline{CU} 시험): 수위급강하 시, 댐 완성 후 정상침투 상태

다. 압밀 배수시험(CD시험): 댐 완성 후 정상침투 상태

- ④ 축제재료의 불균질을 고려하여 저수에 의한 포화범위를 조사하는 데는 재료 중에서 가장 투수성이 큰 값을 채택하고, 반대로 수위가 저하할 때는 배수범위를 조사하여 가장 투수성이 작은 값을 채택한다.
- ⑤ 댐체 재료 중 사용 전·후에 성질이 크게 변화하는 재료는 전단강도, 투수, 압밀도 등에 변화가 생겨서 제체의 안정에 악영향을 미칠 수 있으므로 사용하지 않는 것을 원칙으로 한다.

(4) 안정계산

- ① 댐의 안정계산에는 임계원에 의한 활동면법과 응력-변형해석법 두 가지 방법을 주로 사용한다. 이때, 응력-변형해석법 사용 시 수직진도 사용 여부는 설계자의 판단에 따른다.
- ② 가장 일반적인 안정계산 방법은 활동면법으로, 이 방법은 실제의 활동과괴 현상에 잘 부합될 뿐만 아니라 안정해석에 안전측이다.

(5) 수치해석에 의한 안정성 검토

- ① 댐체 및 기초의 응력과 변형 등의 크기와 분포상태를 수치해석 방법으로 구하고, 이를 활동면법에 의하여 구한 결과치와 비교한 후 이로부터 댐의 안전성을 검토한다.
- ② 유한요소법보다 정도가 높고 경제적인 수치해석기법이 있으면 이의 적용도 가능하다.

(6) 사면안정해석

- ① 사면안정해석은 한계평형법으로 하며 활동과괴면을 일반적으로 원호로 가정하여 실시한다.

4.2.8 변형의 안정성 검토

- (1) 대규모 필댐에 있어서는 제체 및 기초에 대하여 변형해석을 실시하며, 변형해석은 기존 댐의 관측기록과 실내 및 현장시험 등을 통하여 얻은 물성치를 기초로 하여 수치해석을 한다.
- (2) 필댐의 변위는 연직방향의 변위(침하), 댐의 상·하류 방향의 변위 및 댐축 방향 변위의 3가지로 이들 세 방향 변위는 막을 수 없고 그 양도 콘크리트댐에 비해서 매우 크다.
- (3) 변위의 크기 및 시간적인 변화는 부등침하와 사일로(silo) 현상의 방지, 댐의 덧쌓기 결정 및 균열 발생방지 등의 점에서 중요한 요소가 되며 다음과 같은 경우에 실시한다.
- ① 댐이 높을 경우
 - ② 댐 양안부의 경사가 급하거나 크게 변화하는 경우
 - ③ 각 준의 물성치가 크게 다를 경우

- ④ 변형이 큰 재료로 축조하는 경우
- ⑤ 구조물과의 접합부가 긴 경우
- ⑥ 내진설계를 하는 경우

4.2.9 갤러리(gallery)

(1) 필댐의 차수준 하부에 다음의 목적으로 필요시 갤러리를 설치한다.

- ① 제체 및 기초의 안전관리
- ② 댐 기초 유지 및 보수
- ③ 그라우팅 공정 단축 및 효과적 주입

4.3 복합댐의 설계

4.3.1 복합댐

(1) 댐축 방향의 복합댐

- ① 지질 및 지형적 조건으로 2개의 다른 형식의 댐을 댐축 방향으로 결합시킨 복합댐은 주상블록식 타설공법의 콘크리트중력댐과 필댐을 결합시키는 경우가 대부분이며, 일반적으로 콘크리트중력댐에 여수로를 설치한다.
- ② 결합 방식에 따른 분류는 다음과 같다.
 - 가. 제체근입형 : 콘크리트중력댐을 전단면에서 일정한 단면까지 점차 필댐 속에 근입시킨 후 토질재료로 피복하는 방법
 - 나. 제체심벽형 : 콘크리트중력댐에서 결합부를 콘크리트 심벽으로 필댐 제체내까지 연장하는 방법
 - 다. 분리벽형 : 필댐의 전단면을 콘크리트의 분리벽으로 처리하는 방법

(2) 댐 상·하류 방향의 복합댐

- ① 기본적으로 상류부는 콘크리트 재료로 축조한 롤러다짐 형식의 콘크리트댐(RCD, RCC 등)과, 하류부는 자갈, 암석, 토사 등의 재료로 축조한 필댐의 조합으로 구성된다. 단, 월류부 구간은 콘크리트댐 형식만 적용한다.
- ② 댐축 방향의 복합댐은 이질적인 두 재료의 결합이므로 결합방식이 필요하나, 댐축 직각방향의 복합댐은 롤러다짐 형식의 콘크리트댐과 필댐을 동시에 다져서 올라가는 형식이므로 별도의 결합방식은 고려하지 않는다.

4.3.2 댐체와 여수로 구조물의 접합부 설계

(1) 제체와 콘크리트 구조물 사이의 접합면에서 수평이음은 모따기를 해서 안 되며 다음 사항을 검토한다.

- ① 여수로 구조물 배면 경사를 완만하게 설치
- ② 접합부에서의 확대된 댐 단면
- ③ 필터층 설치 등

- (2) 콘크리트 구조물 부근의 코어에 대해서는 특별다짐을 실시하고, 함수비가 높은 곳에서는 소성재료를 추가하여 균열 발생을 방지하며 증가되는 간극수압을 고려한다.

4.4 시공관련 설계검토

4.4.1 현장 시공조건 파악

- (1) 현장 시공조건은 자연조건의 제약과 그 지역을 둘러싼 사회적 환경에서의 제약에 따라 결정되므로, 이런 조건을 적절히 파악하고 대처방법을 검토하여 건설공사 추진일정에 차질이 없도록 계획한다.

4.4.2 시공설비

(1) 설비 배치계획

- ① 필름은 사용하는 콘크리트 양에 따라 현장에서 제조하지 않고 공장에서 레미콘을 구입하여 사용하는 경우가 있으므로 재료채취 장소, 사토 처리장 및 순차적으로 높아지는 본체 축제 장소를 효율적으로 연결하기 위한 도로계획 입안이 배치계획의 주요 검토 사항이다.
- ② 콘크리트를 현장에서 제조하는 경우에도 그 제조량은 제체 축제재에 비해 적으므로 사토, 재료 운반을 위한 도로 인근에서 골재, 콘크리트 생산설비 부지를 용이하게 확보할 수 있도록 검토한다.

(2) 공사용도로

- ① 기자재 반입용 도로는 반입 재료 등의 크기와 운반 빈도를 충분히 고려하여 규격을 결정한다.
- ② 공사용도로는 본체 축제장, 토취장, 사토장을 연결하는 도로와 채취 표고 및 축제 표고가 시공 진전에 따라 변하는 축조면 진입로 부분은 그에 맞춰 교체될 수 있도록 계획한다.

(3) 공사용 건물

- ① 공사용 건물은 다음과 같이 많은 종류의 건물이 있으며 각 건물 목적에 따라 적절한 규모로 계획한다.
 - 가. 감독사무실
 - 나. 현장사무실
 - 다. 공사 종사자용 숙소
 - 라. 후생시설
 - 마. 중기 등 정비소
 - 바. 변전소
 - 사. 시험실
 - 아. 자재창고 등
- ② 공사용 건물은 설치 장소를 용이하게 변경할 수 있는 건물과 변경할 수 없는 건물이

있으므로 변경이 곤란하고 장기 사용하는 건물에 대해서는 충분한 검토를 거친 후 계획한다.

(4) 공사용 전력

- ① 수변전설비 설치 위치는 공사 관점에서 전력부하가 큰 설비 부근에 건설하는 것이 배선관계에서 유리하지만 설치 장소 확보의 용이성, 유지보수의 용이성 등을 종합적으로 고려하여 설치 장소를 결정한다.
- ② 수전용량은 각 전력 부하설비 운전계획에 기초한 건설기간 중의 최대 부하량을 기초로 하여 결정한다.

(5) 전자통신설비

- ① 댐 건설을 효율적으로 진행하기 위해서는 여러 공사 작업 간 연계하여 필요한 연락을 취하며 진행해 나가야하기 때문에 그 목적을 충분히 달성할 수 있는 통신연락 수단을 확보한다.
- ② 통신 연락에는 다음과 같은 여러 가지 형태가 있다.
 - 가. 기계 등 운전원간의 연락
 - 나. 같은 장소에서 작업에 종사하는 복수의 사람들에게 정보 전달
 - 다. 외부와 공사 현장과의 연락
 - 라. 작업 상황의 현장 외 영상 확인 등

(6) 조명설비

- ① 야간작업이 안전하고 효율적으로 실시될 수 있도록 적절한 조명설비를 설치하며 효율적인 조명이 되도록 계획한다.
- ② 조명설비를 계획할 때의 고려사항은 다음과 같다.
 - 가. 조명의 범위
 - 나. 작업에 필요한 조도
 - 다. 그림자의 형성 상태
 - 라. 조명이 눈에 비치는 눈부심
 - 마. 전체 조명과 국소 조명의 적절한 조합 등

(7) 급·배수설비

- ① 급수설비
 - 가. 급수에 필요한 수량을 확실하게 취수할 수 있는 장소를 선정한다.
 - 나. 하천에서 취수하는 경우, 수위 저하 시 혹은 홍수 시 취수할 수 없게 되는 빈도와 취수 불가능 일수 등을 고려하여 공사에 필요한 물을 저장하는 설비를 설치한다.
 - 다. 급수방식은 일반적으로 필요한 수압을 자연유하로 얻을 수 있는 방식을 채용한다.
 - 라. 수조용량에 맞는 펌프를 선정하고 사고에 대비한 예비 펌프를 준비한다.
 - 마. 양수펌프의 가동과 정지로 송수관에 큰 반복 동수압이 작용하기 때문에 관은 충분한 강도를 가진 것을 사용한다.
- ② 배수설비
 - 가. 공사현장에서 사용 완료한 물은 모아서 순환 사용하던지 하천에 배수하며, 하천에

배수할 경우 배출수 기준에 적합하도록 처리한 뒤 배수한다.

- 나. 코어재, 석산 등의 토취장은 강우 시 대량의 고탁도 탁수가 유출되므로 탁도가 높은 빗물이 하천에 유입되지 않도록 주의한다.
- 다. 본체 굴착사면에 다량의 빗물이 흘러들면 굴착사면에 남아 있는 폐석이 씻겨 내려 축제면 혹은 굴착면 근처에 쌓일 수 있으므로 굴착사면 위를 유하하는 빗물 양을 줄이는 배수처리 계획을 수립한다.

4.4.3 유수전환

- (1) 댐 본체 공사는 건설의 확실성을 확보하기 위해 수중공사를 하지 않기 때문에 하천을 가로질러 댐을 축조하려면 공사기간 중의 댐 계획지점으로 흐르는 유량을 적절한 방법으로 처리하고 댐의 기초처리 및 댐체의 축조에 지장이 없도록 한다.
- (2) 유수전환에 관한 세부적인 사항은 KDS 54 20 10을 따른다.

4.4.4 기초굴착

- (1) 댐 기초의 굴착
 - ① 댐 기초는 지지력, 파이핑 등에 충분한 저항력을 가져야 하며, 이들 조건을 만족하지 않는 경우에는 원칙적으로 이를 제거한다.
 - ② 댐 기초면에서 용출수가 있을 때는 성토재료의 전단강도 저하나 파이핑 경로의 형성을 막기 위해 그라우팅으로 지수하거나 댐 부지 밖으로 용출수를 배출시킨다.
- (2) 여수로 기초의 굴착
 - ① 여수로는 댐 설계홍수량 이하의 유량을 원활하게 제체 하류 하천으로 유도하도록 수리적 조건과 지형, 지질, 구조적 조건이 밀접하게 조합되어 설계되므로 굴착 착공 후 암반 상태에 따른 굴착선의 변경은 여수로의 일부 또는 전부를 설계 변경하는 경우가 있으므로 사전에 충분한 조사가 요구된다.
 - ② 여수로 굴착 예정선까지 굴착할 때는 발생하는 굴착토의 유용을 고려하여 사토량을 가급적 줄일 수 있는 선형으로 계획한다.
- (3) 터파기
 - ① 기초 터파기는 그 지반에 가장 적합한 방법으로 소정의 수밀성, 전단강도 및 기초처리를 할 수 있는 깊이까지 굴착한다.
 - ② 터파기한 바닥은 잡물이나 이완된 암편은 제거하고 큰 요철은 골라 평탄하게 만들고 강수나 용출수를 배제하여 기초와 제체를 완전히 밀착시킨다.

4.4.5 기초지반의 처리

- (1) 기초굴착면의 정리
 - ① 댐의 하상기초는 그 자체가 댐의 제1층으로 생각하고 댐체와 기초가 일체가 되도록 접착에 장애가 되는 요인은 확실히 제거하며, 댐 기초지질의 확인 기회로 삼아 단층, 절리, 파쇄대 등 지질결함이 있는 경우에는 대책을 수립한다.

- ② 굴착면 요철(凹凸)부의 돌출부는 절취하고 오목부는 양질의 점토 또는 불투수성 재료로 충전하도록 하며, 개구부는 규모가 작으면 시멘트 모르타르로 충전하고 규모가 크면 콘크리트로 충전한다.
- ③ 사면부(양안부) 기초굴착 후 굴착사면의 최대 경사각은 70° 가 넘지 않도록 성형하고, 경사각이 급변할 때 변화 각이 20° 를 넘지 않는 성형이 되도록 성형기준을 설계서에 제시한다.
- ④ 터파기 끝마무리 면은 평활하게 할 필요는 없으나 과도한 요철은 제거한다.

(2) 굴착공법

- ① 댐 지점의 지형, 지질, 기상 등의 조건 및 굴착량에 따라 효율적이며 안전한 굴착공법을 결정한다.
- ② 암석 굴착 중 기반이 이완되지 않도록 가급적 집중장약은 피하고 단발뇌관의 사용이 바람직하다.
- ③ 최종 기초면은 노출암반을 실제로 검사한 후에 결정하는 것이므로 댐의 설계조건에 따라 견고한 암반에 도달할 때까지 굴착한다.
- ④ 풍화되거나 이완되기 쉬운 암반에서는 굴착을 완료한 후 가급적 단기간 내에 축제하거나 콘크리트를 친다.

(3) 배수처리

- ① 댐 기초굴착 후 기초처리 및 축조 시에는 필요에 따라 임시적인 경우와 장기적인 경우에 따라 적절한 공법을 선정하여 지하수위의 저하를 도모한다.
- ② 지수 트렌치내의 용출수는 완전히 막아서 항상 건조상태 또는 습윤상태의 기초면에 불투수성 재료를 깔아야 하며, 지수 트렌치의 양안부에서는 누수 또는 시추, 그라우팅의 배수 등 지수 트렌치 안으로 유입되는 모든 표면수를 차단한다.

(4) 단층처리

- ① 기초암반에 나타난 단층 또는 파쇄대는 지지력 부족을 초래하여 부등침하를 일어나게 하거나 누수의 원인이 되며, 세립분이 유출되면서 파이핑 현상을 일으키게 하는 등의 위험이 있다.
- ② 따라서 단층이 존재하는 위치, 방향에 따라 보통 연약한 부분은 가능한 심도까지 굴착하고 콘크리트로 치환한다.

(5) 풍화성 암반의 임시 보호대책

- ① 대기에 접촉되면 급격히 풍화하거나 지하수로 팽창하는 암반에서는 흙쌓기 개시 전에 충분히 보호한다.
- ② 모래지반의 사면에 있어서는 강우에 의한 도랑형태의 침식이 문제가 되므로 지표수가 한 개소에 집중되지 않도록 임시 배수시설을 충분히 설치한다.

4.4.6 사토처리

(1) 사토처리 계획을 수립할 때 유의사항은 다음과 같다.

- ① 사토의 적재 및 운반방법은 굴착공법, 굴착량, 적치장 및 사토장의 위치와 넓이를 연

- 관시켜 결정한다.
- ② 하상부에서의 작업은 홍수 시, 발파 시에 장비가 용이하게 대피할 수 있는 노선을 설치한다.
- ③ 사토장의 위치는 부근의 지형, 운반거리, 사토량 등을 고려하여 선정하며, 사토용량은 굴착에 의한 증가량 또는 감소량을 감안하여 결정한다.
- ④ 사토의 붕괴 유출에 의하여 하류에 피해를 끼칠 우려가 있는 경우에는 사토장의 기초 처리, 지하수 배제, 주위로부터의 지표수 배제계통을 확립하고 동시에 사토사면의 보호 또는 탁수처리 등 여건에 맞는 적절한 처리방법을 강구한다.
- ⑤ 댐의 상류에 사토할 때는 홍수 유입에 지장이 없도록 가배수로에 퇴적이 되지 않도록 한다.
- ⑥ 사토장은 사토 후 여러 가지 용도의 용지로 활용이 가능하므로 그 가능성을 사전에 검토하여 부지 선정에 반영한다.

4.5 계측설비

(1) 계측설비 일반

- ① 계측설비는 다음과 같이 매설계기와 관측계기 2가지로 세분된다.
 - 가. 매설계기는 제체 내부와 기초암반에 매설하는 것으로 온도계와 이음계, 간극수압계 등이 있으며, 이러한 계기는 고장이 나면 수리·교환이 불가능하므로 계기를 매설할 때 세심한 주의가 필요하다.
 - 나. 관측계기는 제체와 일체화로 설치하나 매설하지 않는 것으로 누수량, 양압력, 변형량, 저수위 등의 계측에 이용된다. 댐의 안전관리상 또는 저수지의 조작상 필요한 계기이며, 수리·교환이 가능한 구조로 되어 있다.
- ② 댐 본체에 설치되는 계측설비의 목적은 다음과 같다.
 - 가. 댐 시공 중 시공관리를 위한 계측
 - 나. 완성 후 안전관리를 위한 계측
 - 다. 댐 설계의 고도화를 위한 계측
 - 라. 저수지 조작을 위한 계측
- ③ 계측시스템은 댐의 형식, 댐의 재해등급, 기존 댐 또는 신규 댐, 가용한 비용, 관리규정 등을 고려하여 선정한다.
- ④ 계측기기 선정 시 일반적으로 고려할 사항은 아래와 같다.
 - 가. 기초지반, 지하수, 주변환경 등의 상황과 설계 및 시공방법 등을 파악하여 필요한 계기를 선정한다.
 - 나. 계측기기와 계측시스템을 일치시키고 계측항목이 많은 경우에는 가능한 한 통일된 방식의 계기를 선정한다.
 - 다. 계측방법, 설치방법 및 계측시스템에 따른 경제성을 검토하여 계측기기의 형식, 치수, 용량, 정밀도 및 신뢰성을 최종적으로 결정한다.

(2) 계측항목

- ① 필댐의 계측항목은 댐체의 변형, 응력, 간극수압, 토압, 침투량, 지진과 기초의 간극수압 측정을 원칙으로 하며 계측기기별 세부사항은 표 4.4-1과 같다.
- ② 계측기기는 변형측정을 위하여 측량점, 경사계, 층별침하계, 수평변위계를 설치하고 토압계, 간극수압계, 침투량계, 지진계 등을 설치한다. 다만, 댐의 규모, 기초지반, 안정 해석 결과 등에 따라 조정할 수 있다.

표4.5-1 필댐의 계측항목 및 목적

구분	계측항목	계측기기명	측정되는 물리량	단위	계측목적
댐체	변형	측량점	댐마루 및 상·하류 사면의 변위량	cm	댐체의 외부변형 상태 파악
		경사계	설치지점의 표고별 수평변위량	cm	댐체의 내부변형 상태 파악
		층별침하계	설치지점의 표고별 변위량(침하량)	cm	댐체의 내부변형 상태 파악
		수평변위계	동일 표고상에서 상대적인 수평변위량	mm	댐체의 내부변형 상태 파악
	응력	토압계	댐체 내의 응력	kN/m ²	각 존별 응력분포 파악에 의한 댐체의 안정성 검토
	간극수압	간극수압계	코어존의 간극수압	kN/m ²	수위변동에 따른 간극수압 분포 및 침윤선의 위치파악에 의한 댐체의 안정성 검토
	침투량	침투량계	댐체 및 기초를 통과한 침투수의 양	ℓ/min	댐체의 침투류에 대한 안정성의 파악
	지진	지진계	지진시 기초 및 댐체의 응답가속도	cm/s ²	지진시 댐체 거동특성 파악
기초	간극수압	간극수압계	기초암반의 간극수압	kN/m ²	커튼 그라우팅의 차수효과 파악 및 댐체내 간극수압과 비교에 의한 댐체의 안정성 파악

(3) 설치 위치 및 수량

- ① 댐에서의 계측은 내부상태를 알기 위한 내부측정과 댐의 변형 및 변위를 알기 위한 외부측정으로 분류된다.
- ② 계측위치를 선정할 때 가장 위험한 단면을 주 계측단면으로 선정하고, 기초지반의 형상으로 인한 부등침하에 의하여 인장균열이 예상되는 곳에 추가로 계측단면을 선정한다.
- ③ 일반적으로 3개 이상의 주 계측 단면을 선정하여 각종 계측기기를 매설하며, 지반조건

과 현장조건에 따라 최대변위와 최대응력이 작용할 것으로 추정되는 위치에 중점적으로 배치한다.

(4) 형식 및 배치

- ① 댐 계측기기는 댐의 거동을 대표할 수 있는 최소한의 측점을 선정하며, 계측기기의 배치 및 수량을 충분히 검토하여 설치한다.

(5) 계측의 빈도

- ① 계측은 시공 중과 시공 후로 나뉘는데 어떤 경우에도 계측체제를 정비하여 일관된 계측을 실시한다.
- ② 계측은 계측항목별로 계측회수를 정하여 정기적으로 실시하고, 계측장치의 점검도 정기적으로 하는 것이 바람직하다.
- ③ 계측간격은 댐의 형식, 규모 및 특수한 사정에 따라 다르게 실시할 수 있다.

(6) 계측자료의 정리

- ① 계측은 측정값이 신뢰성을 가지도록 같은 측정점에서 실시한다.
- ② 측정값과 이론계산 또는 모형실험 값과 비교하기 위하여 계기대장, 계기배치도, 공사기록, 계측기록, 기상관측 등의 자료를 정리 보관한다.

(7) 침투수량 측정

- ① 침투랑계는 댐체 내부에 집수벽을 설치하는 것을 원칙으로 하며, 댐체 하류부에 집수벽과 유량측정장치를 설치하여 침투수량을 측정한다.
- ② 중요구간은 격벽과 별도의 유량 측정장치를 설치하여 총량뿐만 아니라 구간별 침투수량을 측정할 수 있도록 배치한다.
- ③ 집수벽 상단은 상하류 수위보다 높게 하여 월류 하지 않도록 한다.
- ④ 침투량 측정 시에는 탁도와 수온의 계측도 동시에 실시해야 한다.
- ⑤ 집수벽에 저류된 침투수는 위어를 설치하여 측정한다. 댐 침투수량은 하천에 비해 적은 유량이므로 이를 정확하게 측정하기 위하여 삼각형 위어(V-notch weir)를 설치하여 측정한다.

집필위원

성명	소속	성명	소속
안희복	(주)이산	권범재	(주)이산

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		

중앙건설기술심의위원회

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

환경부

성명	소속	성명	소속
김구범	수자원정책과	강민지	수자원정책과

KDS 54 30 00 : 2022

필담

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>