

KDS 67 10 20 : 2023

농업용 필름 설계

2023년 12월 28일 개정
<http://www.kcsc.re.kr>

KC CODE





건설기준 제정 또는 개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설 공사는 발주자가 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

건설기준 코드 제·개정 연혁

- 이 기준은 농업용 필댐의 설계를 위한 기술사항을 정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요사항	제·개정 (년. 월)
농업생산기반정비사업 계획설계기준 필댐편	<ul style="list-style-type: none"> 농업생산기반정비사업 계획설계기준 필댐편 제정 	제정 (1968. 12)
농업생산기반정비사업 계획설계기준 댐편	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트댐에 관한 사항을 종합하여 댐편으로 개정 	개정 (1982. 12)
농업생산기반정비사업 계획설계기준 콘크리트댐편	<ul style="list-style-type: none"> 농업생산기반정비사업 계획설계기준 댐편으로부터 분리하여 콘크리트댐편 제정 	제정 (1989. 12)
농업생산기반정비사업 계획설계기준 필댐편	<ul style="list-style-type: none"> 농업생산기반정비사업 계획설계기준 필댐편 개정 	개정 (2002. 12)
KDS 67 10 20 : 2018	<ul style="list-style-type: none"> 국토교통부 고시 제2013-640호의 “건설공사기준 코드체계” 전환에 따른 건설기준을 코드로 정비 건설기술진흥법 제44조 및 제44조의 2에 의거하여 중앙건설심의위원회 심의. 의결 	제정 (2018. 04)
KDS 67 10 20 : 2019	<ul style="list-style-type: none"> 내진설계기준 공통적용사항 등 관련 규정 제·개정 내용을 반영하고, 내진설계방법 등을 구체화 	개정 (2019. 07)
KDS 67 10 20 : 2023	<ul style="list-style-type: none"> 국가설계기준 형식 및 양식에 맞도록 수정 보완 기후변화 영향을 고려한 내용을 반영 비상방류시설에 대한 내용 반영 기계, 전기설비 기준 보완 	개정 (2023. 12)

제 정 : 2018년 04월 24일

심 의 : 중앙건설기술심의위원회

소관부서 : 농림축산식품부 농업기반과

관련단체 : 한국농어촌공사

개 정 : 2023년 12월 28일

자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회

작성기관 : 한국농공학회

- 농림축산식품부장관은 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 고시일을 기준으로 매 3년이 되는 시점마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하여야 한다.

목 차

1. 일반사항	1
1.1 목적	1
1.2 적용범위	1
1.3 참고기준	1
1.4 용어의 정의	2
1.5 기호 정의	3
1.6 해석과 설계원칙	3
1.7 설계 고려사항	3
1.8 구조설계도서	4
2. 조사 및 계획	4
3. 재료	4
3.1 축제재료 선정원칙	4
3.2 토질재료의 성질	5
3.3 필터재료	8
3.4 사석재료	9
3.5 차수벽재료	9
4. 설계	11
4.1 기초설계	11
4.2 표준단면 설계	28
4.3 침투수 및 간극수압의 검토	38
4.4 안정성 검토	50
4.5 기계, 전기설비	61
4.6 이설 및 진입도로	61

1. 일반사항

1.1 목적

- (1) 이 기준은 농어촌정비법에 근거한 농업생산기반정비사업으로 축조 또는 개수하는 농업용 필댐(이하 ‘필댐’이라 한다.)의 설계에 있어 필요 및 준수해야 할 기술사항을 규정하는 것을 목적으로 한다.
- (2) 이 기준은 농업용수를 안정적으로 확보하기 위한 필댐의 설계에 필요한 체계적인 기준을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 적용범위

- (1) 이 기준은 댐높이 15 m 이상의 필댐 및 그 부속 수리구조물 설계에 적용하며, 이보다 필댐 높이가 낮은 경우에도 이 기준을 준용할 수 있다. 단, 높이 15m 미만이거나 총저수용량 100만 m³ 미만인 소규모 필댐의 설계에 대해서는 환경부 소규모 댐규정(KDS 54 90 00)을 적용할 수 있다.
- (2) 이 기준은 설계시 반영하여야 할 최소한의 내용을 규정한 것으로 이용 가능한 선택범위를 제시하는데 있다. 실제 적용시에는 축적된 설계수준의 정도와 개별 필댐 지점의 현장여건을 감안하여 탄력적으로 적용하여야 한다.
- (3) 이 기준에서 제시되지 않은 사항은 국가건설기준으로 제정된 타 설계기준을 인용할 수 있다.
- (4) 기후변화 등 미래 환경변화에 대한 고려가 필요한 경우에는 기후변화대응 기술개발 촉진법에 근거한 기본계획과 시행계획에서 제시된 새로운 기술과 권고기준을 적용할 수 있다.

1.3 참고 기준

1.3.1 관련 법규

- 국토의 계획 및 이용에 관한 법률
- 기후변화 대응 기술개발 촉진법
- 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법
- 건설기술진흥법
- 농어촌정비법
- 농업·농촌 및 식품산업 기본법
- 농지법
- 댐건설·관리 및 주변지역지원 등에 관한 법률(댐건설관리법)
- 물관리기본법
- 수자원의 조사 계획 및 관리 등에 관한 법률

- 재난 및 안전관리 기본법
- 자연재해대책법
- 저수지·댐의 안전관리 및 재해예방에 관한 법률
- 하천법

1.3.2 관련 기준

- KDS 14 00 00 구조설계기준
- KDS 17 00 00 내진설계기준
- KDS 51 00 00 하천설계기준
- KDS 54 00 00 댐설계기준
- KDS 67 80 00 농업수질 및 환경
- KCS 14 00 00 구조재료공사
- KCS 54 50 05 댐공사

1.4 용어의 정의

- 댐 : 하천의 흐름을 막아 그 저수를 생활용수, 공업용수, 농업용수, 환경개선용수, 발전, 홍수조절, 주운(舟運), 그 밖의 용도로 이용하기 위한 높이 15미터 이상의 공작물을 말하며, 여수로·보조댐과 그 밖에 해당 댐과 일체가 되어 그 효용을 다하게 하는 시설이나 공작물을 포함
- 댐높이 : 댐마루의 상류단을 통과하는 연직면과 기초면이 교차하는 최저기초지반의 표고차를 말한다. 기초지반에 지수벽의 저폭이 10 m 이상일 때는 지수벽 직하류의 기초지반을 최저기초지반으로 취한다.
- 여유고 : 설계최고수위와 댐마루의 표고차를 말한다. 설계최고수위는 일반적으로 설계홍수위를 말하며, 게이트식 물넘이를 가진 댐에서는 평상시 만수위 또는 홍수조절시 만수위가 설계홍수위보다도 높을 경우는 높은 수위를 취한다. 댐마루에서 덧쌓기 높이는 포함하지 않으며 파라페트(parapet)월 높이가 3 m 이상일 경우는 여유고에 포함시킨다.
- 댐길이 : 댐마루에서 댐의 종단방향 총길이를 말한다. 양안 접속부의 굴착부분을 포함한다. 댐체에 접속해서 물넘이나 발전소 건물 등이 있을 경우는 이를 포함한 길이로 한다.
- 댐부피 : 댐 전체부피를 말하며 상류비탈면의 사석공, 불투수성 블랭킷(blanket), 하류 비탈끝 드레인(toe drain) 등 제체에 접속된 부분의 인공구조물체적은 모두 포함된다.
- 덧쌓기 : 댐을 완성한 시점에서 댐 설계단면을 초과하는 부분을 말한다. 따라서 댐 완성 시까지 이미 침하한 부분은 덧쌓기 중에 포함되지 않는다.
- 비탈면기울기 : 비탈면의 수평길기와 수직높이의 비를 “할” 로 나타낸 것을 말한다. 상·하류 비탈면의 평균기울기는 댐마루 상(하)류의 비탈머리와 상·하류 비탈끝의 수평차/표고차를 “할” 로 나타낸 것을 말한다. 이 때 압성토가 있을 경우는 이를 포함시키며, 불투수성 블랭킷은 제외한다.
- 저수지 : 농어촌용수를 확보할 목적으로 하천, 하천구역 또는 연안구역 등에 물을 가두

- 어 두거나 관리하는 시설로서 농업용 댐을 의미
- 파라페트월 : 제체의 파랑으로 인한 월류 방지 또는 댐 축조량, 기초굴착량, 차수벽 면적 등을 줄이기 위하여 댐마루 폭에 설치하는 구조물
- 필댐 : 암석, 자갈, 토사 등의 천연재료를 층다짐을 하면서 쌓아 올려 축조한 부분을 주체로 하는 댐
- 내진설계와 관련된 용어정의는 KDS 17 10 00(1.4)에 따른다.

1.5 기호 정의

- d_i : 골재 입도
- d_{max} : 최대 골재 입도
- g : 중력가속도(m/s^2)
- H : 댐 높이(m)
- H_f : 여유고(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 높이를 포함한 파랑고(m)
- U : 10분간 지속되는 최대풍속(m/s)
- τ : 지진파의 주기(1 sec)

1.6 해석과 설계원칙

- (1) 설계는 안전하고 경제적이며 친환경적이고, 사용과 기능 목적에 적합하게 모든 조건을 조합적으로 고려한다.
- (2) 설계는 기후변화를 고려한 중장기적 지속가능성을 고려한다.

1.7 설계 고려사항

- (1) 필댐은 농업의 생산성과 안전성을 높일 수 있도록 한다.
- (2) 물리적, 사회적 지형여건 및 경제여건에 맞는 설계를 한다.
- (3) 기후변화, 영농변화, 향후 관개 특성 변화 등 지속가능성을 고려한다.
- (4) 재해에 취약한 지역일 경우 재해예방을 고려해야 한다.
- (5) 필댐규모와 지형지질 조건을 고려한다.

- (6) 공사용 재료의 채취 가능한 여부와 자연환경적 조화를 고려한다.
- (7) 공사기간 및 경제성, 유지관리성 등을 전체적으로 고려한다.

1.8 구조설계도서

- (1) 구조설계도서는 이 기준에 따라 안전하고 사용과 기능 목적에 적합하도록 작성한다.
- (2) 구조설계도서 작성 시 이 기준에 기술되지 않은 사항은 1.2(3)을 따른다.

2. 조사 및 계획

- (1) 필름의 조사는 KDS 67 10 15에 따른다.
- (2) 필름의 계획은 KDS 67 10 10에 따른다.

3. 재료

3.1 축제재료 선정원칙

- (1) 축제재료는 취득 가능한 모든 재료의 성질을 최대한 활용하여 필름의 소요기능을 만족하는 범위 내에서 경제적인 재료를 선정하여야 한다.

3.1.1 축제재료의 분류

- (1) 축제재료의 분류
 - ① 필름의 축제재료 토질재료와 암질재료로 분류하고, 암질재료는 사력(sand gravel) 및 록(rock), 토질재료는 통일 분류법과 입경에 따라서 구분한다.
 - ② 필름의 축제재료는 다짐 후의 투수성에 따라 불투수성 재료, 투수성 재료로 분류하며, 일반적으로 토질재료는 불투수성 재료이며 사력 및 록 재료는 투수성 재료로 사용한다. 여기서, 불투수성이란 다짐한 재료의 투수계수가 1×10^{-5} cm/s 보다 적은 것, 투수성이란 다짐한 재료의 투수계수가 1×10^{-3} cm/s보다 큰 재료이다.
 - ③ 필름은 물을 막는 불투수성부와 필름체의 안정을 유지할 투수성부, 그리고 이 두 요소의 경계에는 이행부(transition zone)를 두어 재료의 급변에 의한 사고를 방지하도록 설계해야 한다. 그러나 이들 각각의 성질이 필름 전체로서 기능을 잘 발휘하도록 설치하는 것이 중요하다. 특히, 기초암반하고 접하는 차수 존의 토질재료는 함수비 및 최대 입경이 일반 차수재료와는 달라야 하므로 특별한 고려가 필요하다.
- (2) 축제재료의 선별
 - ① 필름의 축제재료로서 흙의 투수성, 강도, 압축성 등을 고려하여 각 부분의 재료를 선정해야 하는데, 개략적인 방법은 입도곡선에 의하는 것이다. 그러나 보다 정확한 방법은 관련 시험을 실시하여 선정한다

(3) 재료의 혼합

- ① 필름 축제재료의 성질을 개선하기 위해서 재료를 혼합하여 사용 할 수 있다.

3.2 축제재료의 성질

3.2.1 흙재료

(1) 흙재료의 일반적 성질

- ① 흙재료는 필름 안정에 미치는 팽창 및 압축(수축)성이 적고, 수용성 물질이나 유기물을 포함하지 않은 재료를 사용하여야 한다.
- ② 흙재료는 다짐이 용이하고, 시공 시 간극수압의 발생량이 적은 재료로서 다진 상태에서 소요의 투수계수와 전단강도를 만족시켜야 한다.
- ③ 흙재료의 다짐상태에서의 투수계수 및 전단강도는 재료의 종류 및 입도에 따라 다르고 함수비 및 건조단위중량에 따라 크게 영향을 받는다.
- ④ 동일 흙재료는 건조단위중량이 클수록 전단강도가 크고 투수계수 및 변형량은 적은 경향이 있다.

(2) 흙재료의 투수계수

- ① 투수계수는 세립분을 많이 함유하는 흙 일수록 작다.
- ② 동일재료가 건조단위중량이 커지면 투수계수는 일반적으로 작아진다.
- ③ 동일재료를 일정한 다짐에너지로 다짐하였을 때 최적함수비보다 약간 습윤 측에서 투수계수는 최소가 된다.

(3) 흙재료의 전단강도

- ① 흙재료의 전단강도는 점착력과 내부마찰각의 강도정수로 표시한다. 이들 정수는 배수 조건에 따라서 유효응력과 전응력의 2종으로 구분된다.
- ② 건조단위중량이 커지면 전단강도도 커진다.
- ③ 전응력(비압밀 비배수) 조건일 때, 강도정수는 포화도, 함수비 및 구속압에 큰 영향을 받는다. 따라서 건설단계에서 성토작업 시 혹은 성토완료 직후에 함수비가 높고 투수성이 낮은 재료일수록 과잉간극수압이 크게 발생할 수 있어 안정해석에 주의해야 한다.
- ④ 유효응력의 조건에서는 강도정수에 미치는 포화도의 영향이 적고 동일 재료, 동일 건조단위중량이면 거의 일정한 강도정수를 나타내는 것이 일반적이다. 그러나 상류 저류 수위가 급강하 하는 경우에도 제체 내에 간극수압의 급격한 변화로 전단강도에 크게 영향을 주기 때문에 안정해석에 주의해야 한다.
- ⑤ 조립분 함유량이 많은 재료일수록 점착력이 작고 내부마찰각은 큰 것이 일반적이다.

(4) 흙재료의 다짐

- ① 일반적으로 조립분을 많이 함유하는 재료일수록 다짐이 용이하며, 최적함수비 부근에서 다짐이 더욱 용이하다.
- ② 찰흙과 같은 고함수비 점성토는 자연함수비가 최적함수비보다 상당히 높고 실제 시공이 어려울 뿐 아니라 다짐에 의한 뒤섞임(이김질, kneading) 영향으로 전단강도가 저

- 하되는 일이 많다.
- ③ 자연함수비가 최적함수비보다 적은 토질재료도 있다. 따라서 다짐에너지에 특히 유의하여야 하며 필요 시 함수비를 조정해야 한다.
- (5) 흙재료의 변형량
- ① 흙재료 중 조립분을 많이 함유하고 건조밀도가 클수록 다짐 후의 변형량은 적다. 조립분을 많이 함유한 재료는 압축변형이 증가 된다.
- ② 세립분을 많이 함유한 재료는 포화조건에서 압밀변형이 크게 발생할 수 있으며, 압밀 완료 시까지 많은 시간이 필요하고 성토완료 후까지 계속되기 때문에 제체의 변형을 될 수 있는 대로 작게 한다.
- (6) 유기물
- ① 흙재료 중 유기물은 화학변화에 의하여 재료의 성질을 변화시킬 수 있기 때문에 함유량이 적어야 한다,
- ② 흙재료 중 나무뿌리, 풀 종류는 제거해야 한다. 재료 중의 유기물 함유량이 2~4 % 정도가 되면 전단강도나 압축성에 영향을 미치기 때문에 이러한 재료는 사용하지 않는다.

3.2.2 사력재료

- (1) 사력재료의 일반적 성질
- ① 사력재료는 단단하고 입도가 양호하며 건조단위중량이 큰 재료로서 다짐이 용이하고 변형량이 적은 재료가 바람직하다.
- ② 사력재료의 전단강도는 재료가 단단하며 입도가 좋고 건조단위중량이 클수록 크다. 투수성은 입도에 따라 특히 세립분 함유량에 따라 현저하게 다르다.
- ③ 동일재료에서는 건조단위중량이 클수록 투수계수는 작다. 다짐은 일반적으로 입도가 양호할수록 쉽고 큰 건조단위중량을 얻을 수 있다. 변형량은 건조단위중량이 클수록 적다.
- (2) 사력재료의 전단강도
- ① 사력재료의 전단강도는 일반적으로 마찰력 성분에 의하여 크게 영향을 받으며, 흙보다 록재료에 가까운 경향을 나타낸다. 그러나 투수성이 낮은 사력재료에서는 시공 중의 과잉 간극수압이나 수위급강하시의 잔류간극수압에 대하여 검토하는 것이 필요하다. 다짐정도는 최적함수비나 최대건조단위중량이 뚜렷하지 않으므로 상대밀도로 나타내는 경우가 있다.

3.2.3 록재료

- (1) 록재료의 일반적 성질
- ① 록재료는 평균입경이 15 cm 이상인 암과 암석을 말한다.
- ② 록재료는 다짐 후 소요의 전단강도와 투수성(투수계수는 일반적으로 1×10^{-3} cm/s 보다 클 것)을 가져야 한다.

- ③ 록재료는 단단하고 물이나 기상작용에 대한 내구성이 크고 변형이 적어야 한다. 그리고 될수록 크고 모난 것이 좋고 얇은 조각으로 깨지는 것은 좋지 않다. 화성암, 변성암은 좋으나 퇴적암은 그대로 록재료로서 쓰지 못할 경우도 있다.
 - ④ 록재료에는 파쇄나 발파 중에 파쇄되어 세립화하는 재료나 풍화할 우려가 있는 재료도 있어 이들 재료를 사용할 때는 주의해야 한다.
 - ⑤ 록재료의 전단강도는 재료가 굳은 것, 입도가 좋고 밀도가 클수록 전단강도는 크고 축제 후의 변형량도 적다. 점토 세일은 일반적으로 무르고 다짐에 의하여 파쇄되거나 슬래킹(slaking)되는 성질이 있다. 축제재료로서 사용하고자 할 경우에는 암의 역학적, 화학적 성질을 상세히 파악해서 적부를 검토할 필요가 있다.
- (2) 록재료의 전단강도
- ① 록재료의 전단강도는 사력재료와 같이 전단 저항각이 지배하며 다짐정도도 상대밀도로 나타내는 일이 많다.
- (3) 록재료의 투수성
- ① 록재료의 투수성을 지배하는 요인은 입도와 단위중량이 있다. 입도 중에서도 종류와 세립분 함유량은 투수성에 큰 영향을 끼친다.
- (4) 록재료의 내구성
- ① 록재료는 물 및 기상작용에 대한 내구성이 큰 것이 요망되나 부득이 시공 중에 파쇄되어 세립화되는 재료나 풍화의 염려가 있는 재료를 쓸 때는 설계 값의 선정을 신중히 함은 물론 존의 배치에 있어 물 및 기상작용에 대하여 영향을 적게 받도록 충분히 고려한다.
 - ② 재료의 내구성에 관하여 황산나트륨법에 의한 손실중량이 15 % 이상일 때나 밀도가 $2.5g/mm^3$ 이상이고 흡수량이 3 % 이하의 재료일 때는 내구성이 좋다고 판단한다. 록재료 풍화에 대한 안정성을 평가하는 적절한 기준이 없는 경우에는 콘크리트 골재의 품질평가 방법 등을 참조하여 내구성을 판단한다.
- (5) 록재료의 화학적 성질
- ① 록재료가 굴착, 성토작업에 의해서 대거나 물의 작용을 받아 화학반응이 촉진되어 유해물질이 발생해서 오염원이 되는 것에 유의할 필요가 있다. 이러한 암의 화학적 성질에 관한 표준시험 방법은 전문가와 협의하에 조사 할 필요가 있다.

3.2.4 이행부 재료

- (1) 이행부(transition zone)의 설치목적은 투수성존과 불투수성존의 중간에 배치하여 그 사이 입도의 급격한 변화를 피함으로서 양측의 투수성, 응력 및 변형의 영향을 완화하는데 있다. 따라서 이행부 재료는 필터재료에 비하여 품질이 떨어지는 입도 조건으로 사용할 수가 있다. 일반적으로 사력재료가 사용되나 때에 따라서는 자갈이나 암석 또는 반투수성의 범위를 벗어날 수 있는 정도의 조립재료를 쓸 수도 있다.
- (2) 필터에 비하여 이행부의 폭은 넓으므로 제체의 역학적 안정에 충분한 전단강도를 가진 재료를 선정하는 것이 좋다.

3.2.5 시험쌓기

(1) 시험쌓기는 착공 초기에 하는 것이나 필요하면 설계 중에 실시하기도 한다. 이 시험의 주 안점은 굴착, 다짐기의 가장 좋은 방법을 선정하려는 데 있다. 즉, 다짐두께, 함수비, 다짐 기계, 다짐횟수 등을 정하고 특수한 문제점(재료와 혼합법, 큰 자갈의 분리법, 토랑계수의 결정)을 찾아내어 현장에서의 투수계수, 전단강도와 실내시험의 값들을 비교하는 것이 큰 목적이다. 다음과 같은 경우에는 반드시 시험쌓기를 해서 확인해야 한다.

- ① 소량의 세립분을 함유한 재료를 코어로 쓸 때의 투수성, 분리여부
- ② 두 가지의 다른 재료를 혼합하는 가장 좋은 방법
- ③ 시공 가능한 강우량 한계, 함수비가 큰 흙의 건조속도 등
- ④ 록필의 시험성토는 층상으로 해서 다짐가능 여부, 살수의 가부 및 수량 등
- ⑤ 연암 사용시 시험성토를 해서 다짐할 때의 파쇄도와 불투수도, 크러셔에 넣었을 때의 파쇄도 등
- ⑥ 토취장은 깊이에 따라 깊이와 견고도와의 관계 확인

3.3 필터재료

(1) 입도가 크게 다른 두 재료를 서로 인접시켜 놓을 때 그 경계에 일정한 조건을 만족시키는 입도의 필터를 넣어 세립분의 유출이 없고 침투수가 안전하게 투과하도록 해야 한다.

(2) 필터의 역할 및 중요성

- ① 필터(filter)는 토공 구조물에서 침투수의 침투를 촉진하면서 흙입자의 유동을 방지하기 위하여 설치한 것을 말한다.
- ② 필터재료는 투수성이 크게 다른 두 가지 재료(불투수성 존과 투수성 존)의 중간에 위치하여 투수성에 의한 불투수성 재료의 유출을 방지하고 침투수를 완전히 배출 유하시켜 파이핑 등에 의한 침투과괴를 방지할 수 있는 사력재료를 사용해야 한다.

(3) 필터의 조건

- ① 필터재료는 필터로 보호되는 재료보다 투수성이 커야 하며, 일반적으로 다음 조건을 만족시켜야 한다.

$$\bullet \frac{\text{필터재료의 15\% 입경}}{\text{필터로 보호되는 재료의 15\% 입경}} > 5 \qquad \text{식 (3.3.-1)}$$

$$\bullet \frac{\text{필터재료의 15\% 입경}}{\text{필터로 보호되는 재료의 85\% 입경}} < 5 \qquad \text{식 (3.3.-2)}$$

- ② 필터재료의 입도곡선은 보호되는 재료의 입도곡선과 거의 평행인 것이 좋다.
- ③ 필터로 보호되는 재료가 조립재료를 함유할 때는 재료의 25 mm 이하의 부분에 대하여 식(3.3.-1) 및 식(3.3.-2)를 적용한다.
- ④ 필터재료는 점착성이 없는 것으로 0.074 mm 이하의 세립분 함유량은 원칙적으로 5 %

이하로 하는 것이 좋다.

- ⑤ 필터재료의 최대치수는 보호되는 층이 흙이나 모래일 때 75 mm로 하는 것이 좋다.
- ⑥ 필터재료는 보호되는 재료보다 10~100배의 투수성을 가지는 것이 좋다. 상기에서 식 (3.3.-1)은 파이핑 방지를 확실히 하기 위한 것이고 식 (3.3.-2)은 필터의 투수성이 보호되는 재료의 투수성보다 크게 되도록 정한 것이다.

3.4 사석재료

- (1) 상.하류면의 보호 및 안정을 위하여 비탈면 보호공을 설치하며, 여기에 사용되는 사석은 요구되는 강도 및 내구성을 가져야 한다.

① 보호공

- 가. 일반적으로 필름에서 암석, 호박돌 이외의 재료로 이루어진 상류비탈면은 파랑에 의한 침식, 저수위 급저하시나 진동에 의한 유출 및 기상작용에 의한 풍화 등을 방지하기 위하여 보호공을 설치한다. 또는 저수위 급강하 시에는 그 침투압에 의해 상류비탈면에서 토립자가 유출되는 것을 방지하기 위하여 설치한다.
- 나. 파랑에 의한 침식은 저수가 있는 한 항상 계속적으로 작용하여 특히 풍우시에는 비탈면 전체가 연화상태에서 큰 파랑이 작용하기 때문에 비탈면이 크게 침식된다. 파랑침식은 비점성토가 점성토보다 크게 침식된다.
- 다. 기타 동결, 한해에 의한 균열 등 자연의 기상작용에 의한 풍화가 발생한다. 이들 여러 가지 비탈면파괴 작용으로부터 제체(접속부 혹은 원지반에 시공된 블랭킷 등의 쌓기공)을 포함한 상류비탈면을 보호해야 한다.

② 사석의 크기와 두께

- 가. 사석의 크기와 두께는 각각의 돌이 파랑에 의하여 움직이지 않고 제체의 흙의 흡출 작용에 의하여 유출되지 않을 것 등의 조건을 만족해야 한다.
- 나. 일반적으로 보호공으로 사용되는 사석재는 비중은 2.5 이상, 흡수율은 3 % 이하, 압축강도는 40 MPa정도를 가져야 하며, 2.5 cm 이하의 입자까지 포함된 배합이 좋은 재료이다. 따라서 이보다 불량한 암석재료는 다시 사석 두께에 안전치를 둘 필요가 있으며, 사석두께는 사석최대 입경의 2배 이상으로 하되 최소 1.0 m 이상이 좋다.

3.5 차수벽 재료

3.5.1 재료일반

- (1) 양질의 불투수성 재료를 취득할 수 없는 경우에는 차수벽 형식을 적용하며, 차수벽 재료는 소요의 차수성, 강도 및 내구성을 가지고, 필름의 안정에 영향을 미치지 않아야 한다. 따라서, 차수벽에 사용되는 재료는 충분한 시험을 통하여 소요의 조건을 만족하는 재료를 선정하여 사용한다.
- (2) 차수벽 재료는 아스팔트 콘크리트와 철근 콘크리트가 주로 사용된다. 재료로서 성질의 장점이나 신뢰성 등에서 아스팔트 콘크리트를 이용하는 경우가 많으며, 기타의 조건이나 기

술의 진보 등에 의하여 철근 콘크리트를 사용하거나 고분자계 재료, 프리팩트 콘크리트 등 다른 대체 재료의 사용도 고려할 수 있다.

- (3) 철근콘크리트를 차수벽재료로 사용하는 경우에는 KDS 67 10 25의 기준을 참조한다.

3.5.2 아스팔트 콘크리트

3.5.2.1 재료의 성질

- (1) 아스팔트 콘크리트는 투수성, 강도, 기능성, 비탈면에서의 안정성 및 내구성이 아스팔트, 골재, 필러 등 재료의 종류, 입도 및 혼합물 배합에 따라 크게 영향을 받으므로 구성재료의 선정에 있어서는 신중히 검토하여야 한다.
- (2) 특히 온도변화나 반복하중에 의한 영향도 크기 때문에 충분한 주의가 필요하다. 차수벽 재료에 쓰이는 아스팔트 콘크리트는 일반적으로 아스팔트, 골재, 필러로 구성되고 보호막을 형성하는 아스팔트 매스틱(mastic)은 아스팔트와 필러로 이루어지나 어느 것이든 가열 처리하여 포설하는 혼합물로 사용목적에 따라 첨가물을 혼입하는 때가 있다.

3.5.2.2 아스팔트

- (1) 아스팔트는 기상상황, 비탈면경사 및 시공조건을 고려하여 설계조건에 적합한 성질을 가지고 있는 것을 사용한다.

3.5.2.3 골재

- (1) 굵은골재는 일반적으로 천연골재, 파쇄골재 및 슬래그 등으로 그 성상은 깨끗하고 단단하며 내구적이고 적당한 입도를 가지고 가열에 의한 품질의 변화 및 다짐에 의한 파쇄를 일으키지 않고 얇은 압편, 세장석편, 유기물 및 석분 등의 유해량을 함유하지 않은 것으로 한다.
- (2) 잔골재는 천연모래, 파쇄모래 및 슬래그 등으로 그 성상은 깨끗하고 단단하며 내구적이고 가열에 의하여 품질의 변화를 일으키지 않으며 점토, 실트, 유기물 등의 유해량을 함유하지 않은 것으로 한다.

3.5.2.4 필러

- (1) 일반적으로 시멘트, 석회석분말, 소석회 분말, 기타의 광물질분말을 사용하나 먼지, 흙 등을 함유하지 않고 덩어리가 없는 것으로 한다.

3.5.3 철근 콘크리트

- (1) 철근 콘크리트는 소요의 수밀성, 강도 및 내구성을 가지는 것으로 하며 KDS 67 10 25의 기준을 참조한다.

4. 설계

4.1 기초설계

4.1.1 일반사항

- (1) 필름의 기초는 지질적으로는 토질기초와 암반기초로 구분할 수 있으며, 토질기초는 다음과 같이 4종류로 분류할 수 있다. 그러나 실제로는 이와 같이 명확히 구분되기보다는 오히려 이들의 조합에 의해 구성된 경우가 많다. 따라서 기초설계 및 처리 시에는 지질적 특징을 명확히 하여야 한다.
 - ① 투수성지반 기초(모래, 사력 등)
 - ② 불투수성지반 기초(실트, 점토 등)
 - ③ 연약지반 기초
 - ④ 미 고결층 지반 기초 등
- (2) 필름의 기초는 기초로서의 조건을 만족시켜야 하며, 제체 및 원지반의 특성에 따라 설계한다. 저수기능 유지의 관점에서 볼 때 제체와 기초는 일체이며, 기초의 특성에 따른 제체 설계가 필요하다. 기초설계의 적부는 기초처리 뿐만 아니라 제체 설계, 건설비 및 공기에 영향을 미친다. 이를 위하여 합리적이고 적절한 조사를 하고 기초 상태를 충분히 파악하여 많은 대책방법을 종합적으로 비교 검토하여 최적의 설계를 해야 한다.
- (3) 기초 상태는 지질과 입도조성에 따라 다르고 기초처리 대책도 기초 상태에 따라 달라져야 한다. 필름은 견고한 지반뿐만 아니라 연약한 지질의 지반에도 건설이 가능하므로 일률적인 구조로 된 것은 비교적 적고 기초지반의 지질에 따라 필름 형식이 정해지며, 필름의 규모나 사용목적에 따라서 기초처리를 하게 된다.
- (4) 기초는 다음의 조건들을 만족시켜야 한다.
 - ① 충분한 전단강도를 가질 것
 - ② 변형 및 침하량이 적을 것
 - ③ 침투수량이 충분히 적을 것
 - ④ 침투파괴(파이핑)를 일으키지 않을 것
 - ⑤ 지진 시 액상화 현상을 일으키지 않을 것
- (5) 상기 조건을 만족하지 않는 경우에는 원칙적으로 조건에 맞는 지반이 노출될 때까지 터파기를 해야 한다. 기초 원지반과 성토재료와의 접촉부가 단단하게 접합하도록 성토하여야 하며, 장래에 부식에 의하여 전단강도가 저하될 것으로 생각되는 초목뿌리 등 유기물을 함유한 표토, 소요전단강도를 얻을 수 없는 점토나 실트층, 파이핑의 원인이 되는 암반의 균열과 모래 부스러기 등을 제거하여야 한다.
- (6) 규모에 비하여 굴착 깊이가 너무 깊은 경우, 소규모 필름인 경우 및 적당한 처리에 의하여 상기 (4)항의 조건을 만족시킬 수 있는 경우에도 기초처리를 실시 해야 한다. 기초처리 방법은 필름의 규모, 하중뿐만 아니라 토질조사, 암반조사 등 충분한 조사 결과를 바탕으로 설계하여야 한다.

4.1.2 암반기초

- (1) 암반기초는 필댐 기초로서 충분한 지지력을 가지나, 차수부에 존재하는 풍화암 등 취약부분을 제거하고 그라우팅 등 기초처리를 해야 한다. 암반과 축제재료와의 접촉성을 증대시켜 접촉면을 통한 누수를 감소시켜야 하며, 접촉면과 층상지반을 통한 활동에 대하여 검토한다.

4.1.2.1 일반사항

- (1) 암반기초에는 어느 형식의 필댐이라도 건설이 가능하다. 그러나 절리, 균열, 단층 등으로부터의 누수대책을 고려하는 것이 좋다.
- (2) 풍화된 암반, 층리, 균열 등이 일정 방향으로 발달하여 있는 퇴적암, 예를 들면 셰일, 점판암, 이암, 실트암 등 및 풍화된 편암 특히 운모를 많이 함유한 경우에는 필댐 기초의 원지반이 활동하는 경우가 있으므로 활동에 대한 검토가 필요하다.

4.1.2.2 필댐부지 굴착

- (1) 필댐 부지의 굴착은 제체 각 층에 대해서 안전성(활동, 변형) 및 시공성을 고려하여 적당한 깊이까지 실시해야 한다. 제체 각 층에 관하여 지지력을 중심으로 검토함과 아울러 일반적으로 표토 및 암반이 많이 풍화된 부분, 균열이 많은 부분 등을 제거하여야 한다.
- (2) 굴착 도중에 용출수, 공동, 가스분출 등을 만날 경우가 있다. 이와 같은 우려가 있는 경우에는 굴착에 앞서 그라우팅 처리를 하는 것을 고려할 수도 있으나, 이는 설계자가 조사설계 단계에 이에 관하여 충분히 검토하여 그 범위가 최소가 되도록 한다.

4.1.2.3 암반기초의 터파기 깊이

- (1) 암반기초는 일반적으로 깊이가 깊어질수록 투수계수가 작아지므로 터파기를 깊게 하는 것이 좋으나, 암반기초 터파기 깊이는 원칙적으로 표면의 풍화부분만을 제거하는 것이 좋다.
- (2) 터파기의 깊이는 주로 탄성과 속도, 투수단면도, RQD 등을 바탕으로 결정하며, 저속도층이나 투수층이 얇은 경우에는 그 층을 제거하며 깊은 경우에는 지반개량을 하는 것이 일반적이다.

4.1.2.4 바닥 터파기(지수 트렌치)

- (1) 제체 차수부(코어)의 기초부분의 굴착을 바닥 터파기라 하고 굴착에 의해 이루어진 부분을 지수 트렌치라 한다.
- (2) 바닥 터파기를 하는 이유는 첫째, 기초지반의 표층 중에서 풍화된 부분, 균열이 발달된 부분을 제거하여 지수효과와 충분한 지지력을 확보하고, 제체 차수부와의 접촉도를 높이기 위한 것이고, 둘째 차수부의 종단방향의 부등침하를 적게하기 위한 것 등이다.
- (3) 지수 트렌치의 형상 설계 시에는 차수부 내부에 침하에 따른 균열이 발생되지 않는 지형, 지질,

저수압, 차수재료의 물리적, 역학적 특성 등에 대하여 종합적으로 검토한다.

- (4) 지수 트렌치의 계획깊이는 일반적으로 시추주상도, 탄성과속도의 분포, 투수단면도 및 RQD 등으로부터 결정한다. 저속도층이나 투수층이 얇은 경우(10cm정도)에는 그 층을 제거하고, 깊은 경우에는 지반개량이 가능한 깊이까지 굴착하는 것으로 계획한다.
- (5) 축제재료와의 접착이 어려운 암반일수록 터파기 폭을 넓게 한다. 그러나 차수부 폭은 안전상 얇게 하는 것이 좋으나 접착부만은 폭을 넓게 하는 예도 있다. 부득이 터파기 폭을 좁게 할 경우에는 파이핑 현상이 생기지 않도록 필터를 암반과의 접착면의 하류부측에 배치하는 것이 좋다.

4.1.2.5 암반의 종류에 따른 기초의 설계

- (1) 암반 종류에 따라 기초의 설계를 달리하여 충분한 안전성을 가질 수 있도록 한다. 특히, 풍화되기 쉬운 암반이나 균열성의 암반, 층상 퇴적암 암반, 용암성 암반, 화성암 암반 등의 특성을 파악하여 기초를 설계한다.

① 풍화되기 쉬운 암반기초 및 균열성의 암반기초

- 가. 세일, 점판암, 이암, 실트암 등은 일반적으로 대기에 노출되면 풍화되기 쉽다. 이와 같은 종류의 암반에 대하여는 풍화 방지대책이 필요하다. 균열이 많은 암반에는 후술하는 블랭킷 그라우팅이 필요할 때도 있다.
- 나. 일차굴착, 마무리굴착의 2단계 굴착법이 있고 마무리 굴착면은 장기간 대기에 노출되지 않도록 해야 한다. 이 종류의 암반은 일반화약을 사용하지 않고도 굴착가능하며, 그라우팅 종료 후에 큰 해머 등에 의하여 마무리 굴착을 할 수 있다.
- 다. 그라우팅에 의하여 표면피복을 한다. 기초지반면이 1.0~1.5 m 깊이에서 평면적 구멍간격을 1 m 전후로 하여 수많은 그라우팅 공법으로 기초 지반면에 페이스트 가유출하는 것을 기대하는 것이다. 그라우트 페이스트를 암반면에 누출시키기 때문에 암반면은 피복 보호되어 풍화방지의 역할을 한다.
- 라. 아스팔트유제나 우레탄 고무액을 암반표면에 살포하여 불투수 피막을 형성한다. 이와 같은 종류의 재료에 의해 처리한 경우에는 축제 시에 이를 제거하지 않고 성토를 할 수 있다. 풍화방지용으로서 모르타르를 뿜어 붙이는 수도 있다.
- 마. 주입심도는 지형, 지질, 절리, 파쇄대의 발달방향, 필댐의 규모 등 여러 가지 조건을 충분히 고려하여야 하며, 심도 결정을 위한 투수시험은 필댐 기초의 평탄부나 경사부에서 최소한 최대 수심의 1/2정도까지 하여야 한다. 또한 여러 가지 시험을 실시하거나 기존 자료를 검토하여 그라우팅으로 지반개량이 가능한 범위를 확인하고 결정하여야 한다.

② 층상 퇴적암반기초(제3기층)

- 가. 제3기의 이암 및 사암이 호층으로 구성된 기초는 그 지층의 경계면에 지하수경로(파이핑 공)가 형성되는 사례가 있으므로 지수대책에 충분한 주의가 필요하다. 지수대책은 저수지전역에 걸친 수리지질도를 작성하여 지수처리 및 양압력의 감쇄를 필요로 하는 부분 등에 대해서 종합적으로 검토하여 필댐 형식과 관련시켜 대

책을 강구해야한다.

나. 기초지반이 층상으로 된 퇴적암일 때 경사가 활동하기 쉬운 방향으로 기울어진 경우, 침투수에 의한 간극수압 때문에 전단저항이 저하하여 활동하기 쉬우므로 설계 시에는 이와 같은 종류의 검토도 필요하다.

③ 화성암기초

가. 화강암, 안산암 등의 기초는 풍화대와 신선한 암반과의 경계면과 절리면이 침투 및 활동에 대하여 약점이 되기 쉬우므로 암반의 경사를 충분히 검토할 필요가 있다. 이 종류의 암반에는 관입암맥의 방향에 의하여 심부까지 풍화를 받아서 점토화되는 경우가 많으므로 단층처리와 같은 처리를 필요로 하는 경우도 있다.

④ 용암성 암반기초

가. 이 종류의 암반 내에는 균열이나 공동이 존재하는 수가 있으므로 침투수에 대하여는 필댐의 기초이외의 주변 산지부에 대해서도 충분한 검토가 필요하다.

나. 지층이 복잡한 것도 이 암반의 특징으로 표층이 암반이라고 하여도 그 하부에는 연약한 점토층이 퇴적되어 있는 경우도 있어 활동에 대한 검토나 대책뿐만 아니라 변형에 관한 검토 및 대책도 필요할 때가 있다. 저수지 내에서 용출수가 있는 곳이 많다고 인정될 경우 기초전체의 그라우트에 의한 처리는 경제적으로 곤란한 경우가 많다. 이 같은 경우에는 점토 블랭킷과 그라우팅을 병용하는 등 방법을 고려할 수 있다.

4.1.2.6 배수공

- (1) 그라우팅으로 암반 내의 누수를 막는 것이 공사비 및 시공 속도면으로 보아 곤란한 경우에는 그라우팅 대신에 약간 하류부에 배수공을 설치하는 것이 좋다. 이것은 누수량이 필댐의 경제성으로 보아 허용할 수 없는 정도의 경우를 제외하고는 하류측의 양압력을 감소시키는 역할을 한다.
- (2) 이 방법은 높이가 큰 필댐의 예정부지 기초지반이 퇴적암인 경우에 효과적이다.
- (3) 배수공의 지름은 5.1~7.6 cm이면 충분하고, 그 위치는 ① 필댐 제체 내에도 좋고, ② 비탈 끝도 좋다. ③ 경사끝에서 경사진 방향으로 파면 ①, ②경우의 장점을 병용할 수 있다. ①의 경우는 제체 안정상 유리하고 ②의 경우는 누수량을 결정할 수 있어 편리하다.

4.1.3 미고결층 기초

- (1) 하상의 모래층 또는 사력층과 같은 투수성 지반 위에 필댐을 축조할 경우에는 제체나 기초를 통하여 흐르는 투수량이 허용범위 내에 있도록 설계한다. 동시에 침투수를 안전하게 필댐 밖으로 흘려보내기 위한 적절한 조치를 강구하여 침투수에 의한 제체나 기초의 파이핑에 대하여 충분한 안정성을 갖도록 한다.

4.1.3.1 일반사항

- (1) 투수성 지반 위에 필댐을 축조하는 경우에는 기초지반으로 누수가 되더라도 요구되는 저

- 수량을 만족시킬 수 있고, 안정상의 문제가 없다면 필댐의 건설이 가능하다.
- (2) 흙 지반을 지질학적으로 분류하면 다음과 같은 3종류가 있다.
 - ① 비교적 새로이 퇴적한 것으로써 사질점토를 주체로 한 충적층
 - ② 제3기 또는 홍적세의 사력 및 점토층
 - ③ 풍화산류토 등
 - (3) 충적층은 하상부 등의 한정된 범위로 두껍게 퇴적하여 투수성이나 지지력면에서 문제가 되는 경우가 많다. 이에 반해서 제3기층이나 홍적층은 성층상태가 좋으며 투수층이 호층을 이루고 있는 특징이 있다.
 - (4) 실트와 점토가 층상으로 퇴적되어 있지 않은 한 사질층은 잘 다져지므로 활동이나 변형이 문제되는 경우는 적다.
 - (5) 이 때문에 필댐 기초로서의 검토 및 대책은 ① 누수량을 허용범위로 감소시키는 것, ② 침투수에 의하여 생기는 간극수압을 안전하게 처리하는 것 등이 있다.

4.1.3.2 침투수 억제대책

- (1) 침투수량이 과다하여 요구되는 저수량을 만족시킬 수 없는 경우에는 침투수 억제 방법을 사용하여 침투수량을 줄이고 필댐의 안정성을 확보하여야 한다.
- (2) 침투수량을 허용치 이내로 감소시켜서 제체의 안정을 확보하려면 투수층의 두께, 입도분포, 기초의 지질구조 등에 따라 적합한 공법을 선택한다. 물론 두 가지 이상을 혼용할 수도 있다.
 - ① 넓은 코어
 - 가. 코어 밑의 투수성 기초를 불투수층에 도달할 때까지 굴착하고 코어용 흙으로 되묻고 다지는 방법이다. 파는 깊이가 깊으면 지하수 배제나 굴착량 증대 등으로 비용이 많이 든다. 굴착된 재료는 다른 부분에 유용하는 것이 경제적이다.
 - 나. 지하수 배제에는 자갈 또는 난투수성 지반 이외의 경우 웰포인트(well point) 공법이 유효하다. 펌프 양수일 때에는 직립관을 세우고 그 속에 자갈을 채우면서 수면을 흠뻑기 면보다 항상 3 m 정도 낮게 하면서 올려 간다. 이 자갈층에는 나중에 그라우팅해도 좋고 그냥 두어도 좋다.
 - ② 널말뚝
 - 가. 균질기초일 때에는 효과가 있고 일시적으로 대량의 누수를 방지할 필요가 있을 때 또는 실트기초의 액상화 현상을 막을 목적을 겸할 때는 좋은 방법이다. 널말뚝이 불투수층까지 도달하지 않을 때에는 차수효과가 감소된다.
 - 나. 널말뚝의 관입깊이가 불투수층 두께의 50 %일 때 누수량은 3/4이고, 80 % 깊이에서 누수량은 1/2밖에 안된다. 상당한 차수효과를 올리려면 투수층 두께의 95 % 이상 관입해야 한다.

4.1.3.5 주입(그라우팅) 공법

- (1) 필댐은 미고결지층을 터파기한 후 암반위에 축조되는 것이 가장 바람직하다.

- (2) 부득이 미고결 토사층 위에 필름을 축조하여야 하는 경우에는 미고결층에 대해 많은 시료를 채취하여 입도분석을 하고, 손쉽게 구할 수 있는 시멘트계열의 입도분석 자료와 비교하여 적절한 주입재료를 선정한다.
- (3) 토사층에서 주입재 침투는 토사 공극을 채우는 충전(impregnation or permeation), 지반의 약한 부분을 파괴하면서 맥상으로 침투하는 할렬(fracturing) 및 할렬-충전(fracturing permeation) 등 세가지 유형으로 분류할 수 있다.
- (4) 주입재료의 기본성질 중 가장 중요한 요소는 미세립이어야 한다.
- (5) 용액형 그라우트의 대표적 약액인 물 유리는 주입 후 용탈현상에 의해 내구성이 현격하게 저하되며 지하수와 토양을 오염시키는 등 환경적인 측면에서 문제가 있어 부득이한 경우를 제외하고는 사용하면 안된다.

4.1.3.6 연속지수벽 공법

- (1) 기초지반에 좁은 트랜치를 굴착하여 지수벽을 설치하는 공법이다. 되메우기 하는 재료로서는 무다짐 점토, 콘크리트 또는 아스팔트 등을 사용한다.
- (2) 이 공법은 지진시의 거동이 이론적으로 명확하게 밝혀져 있지 않음은 물론 연속벽과 제체의 진동주기의 상이에 따라 양자의 접합부에 틈이 생기거나 균열이 발생하는 위험성이 있으므로 제체부와 떨어져 설치하는 것이 바람직하다.

4.1.3.7 지하연속벽

- (1) 굴착면의 붕괴와 지하수의 침투를 방지하기 위해 일정폭의 트랜치(trench)에 안정액을 공급하면서 원하는 깊이까지 트랜치를 굴착한 후 지중에 무근 또는 철근 콘크리트의 벽체를 조성하고 이러한 각각의 패널(panel)을 연속적인 벽체로 형성시키는 공법이다.
- (2) 이 공법은 저진동, 저소음으로 근입 및 수밀성이 좋아 지하수 과다, 전석층, 연약지반 등의 악조건에도 강성이 큰 안전한 벽체를 형성할 수 있는 장점이 있지만, 장비가 대형이므로 넓은 공간이 필요하며 자갈층 및 전석층에서는 굴착속도가 느리고 공사비가 많이 드는 단점이 있다.

4.1.3.8 압성토

- (1) 침투수의 양압력에 의하여 제체 비탈면이 활동하지 않도록 하는 것이 목적이다. 그러나 누수방지역할은 거의 못하므로 기초지반을 통과하는 누수량이 그대로 허용되는 경우에만 사용한다. 다만, 이 경우에도 동수경사가 1/25 이하로 되도록 불투수성부의 밑면을 깊게 해야 한다.

4.1.3.9 압력감소용 우물

- (1) 수평 블랭킷을 적용해도 제방부지에 작용하는 침투수압을 추가로 다시 저하시킬 필요가 있는 경우에는 제체 하류 비탈끝에 압력감소용 우물을 설치하여 배수할 수 있다.

- (2) 지표면을 덮고 있는 불투수층이 두꺼울 때 또는 층상으로 되어 있을 때는 압력감소용 우물이 좋다. 압력감소용 우물은 침투수의 침투로 깊이를 감소시켜 침투수량을 증가시키는 결점이 있으므로 처음에는 개소수를 적게 하고 필요에 따라 신설하는 것이 좋다.
- (3) 기초의 투수성 및 지수 트렌치 바닥의 투수성이 비교적 낮고, 제체 불투수성부와의 접촉이 충분한 경우에는 시공상 필요한 최소한으로 채용해야 한다.

4.1.3.10 배수도랑

- (1) 배수도랑은 투수성 기초 또는 제체로부터의 침투수를 안전하게 필댐 밖으로 배수하기 위한 시설을 말한다. 이것은 비탈끝 배수도랑과 수평 배수도랑으로 나눌 수 있다.
- (2) 비탈끝 배수도랑은 반드시 설계에 병용해야 한다. 이 수압을 없애는 가장 간단한 방법이 비탈끝 배수도랑이다.
- (3) 투수성 지반의 차수방법이 완전하지 않을 때에는 수평 배수도랑을 병용하는 것이 좋다. 수평 배수도랑에는 필댐체 단면저부의 하류측에서부터 약 1/3범위 내에서 전면적으로 설치하는 수평 블랭킷 식과 줄모양으로 설치하는 스트라이프식(stripe)이 있다. 어느 것이나 기초지반과 필댐체와의 경계면에 설치하는 것이므로 파이핑을 일으키지 않도록 필터조건에 맞는 재료라야 한다.

4.1.3.11 불투수성 블랭킷

- (1) 블랭킷은 기초지반의 침투수 억제뿐만 아니라 필댐 기초 원지반의 투수층에서의 침투억제에 대하여도 효과적이다. 이를 경사 블랭킷 또는 원지반 블랭킷이라 부른다.
- (2) 두께는 수압의 1/10을 표준으로 하며, 일반적으로 1~3 m가 많고 제체 부근일수록 두껍게 상류로 감에 따라 얇게 한다. 투수성 지반의 바로 위에 얇은 불투수성 지표가 덮혀 있을 때는 표면을 긁어서 구멍을 메우고 다시 다짐하는 정도로 충분하다.
- (3) 수평방향 투수계수가 큰 지반에서는 효과가 낮아질 수 있다.

① 자연 블랭킷

투수성 기초의 표층에 불투수성 흙이 퇴적하여 자연 블랭킷을 형성하고 있을 경우, 블랭킷에 의하여 생기는 유효 침투로 깊이를 x_r (m) 이라고 하면, 수평 침투수량 q_f (m^3 / sec)는 다음식으로 나타낼 수 있다.

$$q_f = \frac{k}{x_r + x_d} h \cdot d \quad \text{----- 식(4.1.1)}$$

여기서, k 는 기초의 투수계수(m/sec), h 는 저수위와 하류수위와의 차(m), d 는 기초의 두께(m)를 나타낸다. 그리고 x_r 은 다음 식으로 구한다.

$$x_r = \sqrt{\frac{t \cdot d \cdot k}{k_1}} \quad \text{----- 식(4.1.2)}$$

여기서, t는 블랭킷의 두께(m), k₁은 블랭킷의 연직방향 투수계수(m/sec)이다.

② 인공 블랭킷

기초지반에 비하여 어느 정도 불투수성 재료가 얻어질 경우에는 상류측은 불투수성 수평 블랭킷을 연장하는 편이 불완전한 차수벽보다도 유효하다. 블랭킷의 소요길이 (x)와 그 때의 기초지반을 통과하는 침투수량(q)은 다음 방법으로써 계산할 수 있다.

블랭킷의 길이는

$$x = \sqrt{\frac{2 \cdot t \cdot d \cdot k}{k_1}} \quad \text{(m)} \quad \text{----- 식(4.1.3)}$$

기초 침투수량은

$$q = \frac{k \cdot d \cdot h}{0.63 x + b} \quad \text{(m}^3\text{/s/m)} \quad \text{----- 식(4.1.4)}$$

여기서, h는 블랭킷 위의 전 수두(m), t는 블랭킷의 두께, d는 투수성 기초의 깊이, b는 필댐 불투수성 부분의 아래 폭, k는 투수성 기초의 수평방향의 평균 투수계수, k₁은 블랭킷의 수직방향 평균투수계수(m/s)이다.

4.1.3.12 전면포장

- (1) 수자원이 매우 귀하거나 부족하여 필댐 및 기초의 투수계수가 1×10⁻⁷ cm/s 이하를 요구하는 경우에는 전면포장으로 설계할 필요가 있다. 포장재료로서는 아스팔트계 재료, 프린트 코트 콘크리트, 벤토나이트계 재료, 플라스틱 등이 있다.

4.1.3.13 파이프의 매설

- (1) 필댐 바닥부분에 파이프를 넣는 것은 누수량 배제가 효율적이고 경제적이며 투수량이 정확히 측정되는 이점이 있는 반면 필터가 불충분하면 파이핑의 원인이 되고 파이프 자체가 파괴되거나 막히는 위험이 있어 미국 공병단에서는 하류 비탈끝 배수도랑에도 유공관 사용을 금지하고 있다.
- (2) 파이프 매설의 조건은 ① 파이프는 두께 30 cm 이상의 필터로 감아 싸 것 ② 유공관 지름은 필터의 85 % 입경의 반 이하로 할 것 등이다.

4.1.3.14 기타의 차수공법

- (1) 상기의 차수공법 외에 부분 치환공법, 특수 약액주입에 의한 차수공법이 있다. 그러나 이와 같은 공법은 지수의 신뢰성이 적으므로 제고 30 m 이하의 낮은 필댐이나 차수를 위한

보조수단으로 사용하는데 지나지 않는다. 특수 고압 그라우트에 의한 공법도 사용되고 있다. 약액 주입 시에는 사람이나 가축에 대한 위험이 있을 수도 있으므로 공법 채용에는 신중한 검토가 필요하다.

4.1.3.15 양압력의 처리대책

- (1) 투수성 지반 위에 건설된 필름은 완전한 지수를 유지할 수 없기 때문에 누수에 의한 양압력이 발생하게 된다. 이러한 양압력은 제체의 비탈끝 부분의 킁샌드나 파이핑의 원인이 되어 결국 제체의 붕괴를 유발하게 되므로 기초지반의 지질구조 및 투수성을 고려하여 적절한 공법을 강구하여 안전성을 확보한다.
- (2) 균일한 투수성기초인 경우에는 수평 드레인으로 처리하는 것이 일반적이다. 투수량에 따라서 단면을 결정하지만 그 양에 따라서 드레인 말단을 필터 구조로해서 하류 비탈면끝 드레인에 접속시킨다.
- (3) 투수, 불투수의 층이 호층으로 존재하는 경우에는 콘크리트 연속벽 등으로 완전지수를 하고 블랭킷 공법, 그라우트 공법 등에 의하여 지수하는 경우는 대부분 기초지반 내에 압력 감소용 우물 또는 트렌치형 드레인을 함께 설치한다.
- (4) 블랭킷에 의하여 지수하는 경우에는 침투로 길이를 연장하여 침투량을 억제한다. 이 경우 제체 하부의 불투수부는 가장 유효한 침투로 길이로 사용된다.
- (5) 전면포장인 때에는 포장기초를 투수재료로 조성하고 포장면을 통과한 지하수나 저수지 주변의 강우가 포장면 배면에서 양압력으로 작용하지 않도록 외제로 배제하여야 한다. 포장재료로서는 주로 아스팔트계, 고무시트계 재료가 사용된다.

4.1.4 연약지반 기초

- (1) 점토, 실트, 유기물 등으로 구성되어 연약하고 소성이 큰 예민성 지반 또는 연약 지반 위에 필름을 축조할 경우에는 활동파괴와 압밀침하에 대하여 충분한 안전율을 고려하여 설계한다.

4.1.4.1 일반사항

- (1) 점토, 실트, 유기질로 이루어진 연약지반인 때에는 특히 진행성 파괴, 과대한 침하 또는 변형이 생기므로 설계 시 이를 충분히 고려해야 한다.
- (2) 한정된 토질시험으로서 설계단계에서 성토작업에 따른 압밀의 진행과 그에 따른 강도증가 또는 변형을 올바르게 예측하는 것은 상당히 어려우므로 설계에서 압밀의 진행상황 파악을 위한 계측장비를 반영하면서 시공을 진행할 필요가 있다.

4.1.4.2 완성 전.후의 진행성 파괴

- (1) 기초지반이 연약하고 소성이 큰 예민성 점토 또는 유기질토인 경우에는 반드시 진행성 파괴에 대하여 검토한다. 안전율은 다른 때보다 세심한 주의를 기울여 정해야 하고 과잉간

극수압의 거동에 유의해야 한다.

- (2) 제체재료가 점토질인 경우, 시공과정 중 점증하중과 완성 후 장기에 걸쳐 반복되는 저수위 변동에 따른 침투수나 간극수압의 변동에 따라 안전율이 감소할 수 있다.
- (3) 특히 시추주상도에 나타나지 않는 정도의 얇은 연약층이 있는 경우에는 이를 제거하거나 치환하여 완속 파괴에 대하여 대책을 강구한다.

4.1.4.3 압밀 침하량

- (1) 연약지반에 건설되는 필댐인 경우에는 필댐 높이, 여유고 등에 압밀침하량을 고려하여야 한다.
- (2) 압밀침하량 및 압밀시간 산정에 대한 자세한 내용은 KDS 11 30 05 연약지반 설계일반, 3.1 (1), (2)을 참고한다.

4.1.4.4 연약지반 처리공법

- (1) 적절한 연약지반 처리공법의 선정을 위해서는 KDS 11 30 05 연약지반 설계일반, 3.2를 참고 한다.

4.1.4.5 압성토 공법

- (1) 연약지반 처리공법 중에서 압성토 쌓기가 필요한 경우에는 안정계산에 의하여 높이를 결정하는 것이 원칙이나 높이가 낮거나 중요도가 낮은 필댐인 경우에는 개략적인 방법으로도 구할 수 있다.
- (2) 압성토로 사용하는 재료는 중량이 무거울수록 높은 효과를 기대할 수 있다.

4.1.5 액상화 현상

- (1) 기초지반이 저소성이고 단일 입경의 고운 모래 등으로 되어 상대밀도가 작은 느슨한 지반에 필댐을 축조할 경우에는 액상화에 의한 파괴를 방지하기 위한 적절한 조치를 강구해야 한다.
- (2) 액상화 평가에 대한 자세한 내용은 4.4.4.2 내진설계, (5) 액상화와 KDS 17 10 00 내진설계 일반, 4.7 액상화를 참고한다.

4.1.5.1 일반사항

- (1) 지반이 느슨하고 포화된 실트 또는 가는 모래가 균등한 입도를 가진 경우에는 액상화에 대한 검토를 해야 한다. 특히, 지진 등 횡하중에 의한 파괴 시 큰 피해가 예상되는 곳에서는 반드시 안정성을 검토해야 한다. 상대밀도를 이용하거나 한계간극비를 사용하여 개략적으로 액상화의 가능성을 판단할 수 있다.
- (2) 일반적으로 거칠고 입도가 좋은 모래일수록 액상화 가능성은 적어진다. 상대밀도가 50 % 이상의 모래는 입도에 관계없이 액상화 현상이 생기기 어렵다.

4.1.5.2 액상화 방지대책

- (1) 액상화 방지대책으로서는 느슨한 재료를 제거하고 좋은 재료로 치환하는 방법과 상대밀도를 증가시키는 방법이 있는데, 현장의 여건과 재료의 구득 가능성, 공사비, 공사기간 등을 고려하여 적당한 공법을 선정한다.
- (2) 상대밀도를 증가시키는 방법은 다음과 같다.
 - ① 느슨한 재료를 파내서 그대로 다시 다짐하는 방법
 - ② 소량의 발파에 의하여 다지는 방법
 - ③ 말뚝박기법
 - ④ 진동기초법 등
- (3) 자세한 공법관련 사항은 KDS 11 30 00 연약지반 설계일반, 3.2를 참고 한다.

4.1.6 그라우팅 설계

4.1.6.1 그라우팅의 종류

- (1) 시험 그라우팅
 - ① 대개의 경우 주입공의 설계는 이미 완성한 필름의 실적이나 설계의 기준에 의해 정하는 것이 일반적이다. 그러나 대규모 또는 중요한 현장에서는 시공 전 계획을 수립하기 위해 반드시 시험(pilot) 그라우팅의 과정을 거쳐 결정해야 한다.
 - ② 기초암반의 상태에 따라 주입재의 확산범위는 차이가 있으므로 시험구간을 정하여 시험주입한 후 수압시험(lugeon test) 등으로 주입효과를 판정하여 공 간격과 주입량을 결정한다.
 - ③ 시험주입은 정해진 방법이 있는 것은 아니지만 중간내삽법, 정삼각형 중앙내삽법, 2열 정삼각형 중앙내삽법, 정사각형 중앙내삽법 등이 있다.
- (2) 컨솔리데이션 그라우팅
 - ① 필름체와 접하는 암반이 이완되어 담수 후 침투류 발생과 필름체의 하중에 기초변형이 일어날 우려가 있는 부분에는 암반의 변형성 개량과 지지력 증가효과가 있다. 특히 균열, 파쇄대 등의 틈이 많은 부분과 단층구간에 대하여 중점적으로 설계한다.
- (3) 커튼 그라우팅
 - ① 필름 기초에서 누수되는 물을 최대한 차단하여 양압력을 줄이고 파이핑 발생을 방지하기 위해서 기초 암반의 깊은 심도까지 커튼 그라우팅을 설계한다.
- (4) 블랭킷 그라우팅
 - ① 침투로 장을 길게 할 목적으로 커튼 그라우팅에 연접하여 설계한다.
 - ② 풍화되거나 파쇄된 암석 또는 수평의 층상 암석층에서 커튼 그라우팅만으로는 지수, 보강효과를 거둘 수 없을 때 함께 연접 설치한다.

4.1.6.2 천공계획

(1) 천공기

- ① 회전식 시추기는 BX 구경으로 150 m 이상 천공 할 수 있는 능력이어야 하고 동력은 20 HP 이상, 회전수는 1,200 rpm 이상이어야 한다.
- ② 충격식 장비로 컨솔리데이션 주입공 또는 커튼 주입공을 천공토록 설계한 경우에는 설계심도를 무리없이 천공할 수 있는 능력이어야 하며, 암분의 비산과 슬라임의 원활한 배제를 위해 습식으로 천공할 수 있는 구조이어야 한다.
- ③ 천공기는 작업장의 조건, 지질여건, 천공심도, 천공구경, 작업내용 등을 고려하여 선정한다. 룯드의 연결.절단이 신속하여야 하고 360° 임의의 각도로 천공할 수 있어야 하며 이동이 자주식이어야 할 뿐 아니라 암질에 따라 비트의 회전속도를 조정할 수 있어야 한다.
- ④ 안전사고가 발생이 적은 제품을 선정하고 천공의 편차발생을 줄일 수 있는 부대장치가 확보되어야 한다.

(2) 천공 구경

- ① 토사층의 천공구경은 BX, 암반층은 AX로 설계하나 암반층의 조사공과 검사공은 BX로 계획하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 주입재의 침투상태를 확인코자하는 경우는 NX 이상의 구경으로 설계한다.
- ② 천공장비의 성능, 슬라임의 효과적인 배제, 주입직전의 공내세척의 용이성, 패커사용 여부, 공내 붕락가능성, 암석 상태, 천공경사각, 천공심도 등을 고려하여 정한다.
- ③ 특히 검사공에서 절리, 균열 등에 주입된 주입재의 상태를 확인하고자 할 때는 최소 NX로 천공한다. 그러나 천공수의 압력 분사와 코어바렐의 진동으로 인해 주입재가 제거되어 확인이 어려울 때가 많다. 개보수나 성토과정에서 그라우팅을 할 때는 점토층은 BX구경 이상으로 하여야 하며, 자갈이나 호박돌이 많은 경우에는 케이싱타입 및 주입관 설치를 위해 최소 NX구경으로 하여야 하며 때로는 150 mm 구경 이상으로 천공을 해야 할 때도 많다.

(3) 천공방향

- ① 커튼 그라우팅의 천공방향과 천공각도는 절리계의 방향과 경사 그리고 실제 가능한 시공성에 의해 정한다.
- ② 주입공은 절리를 직각으로 절단하는 방향이 바람직하다. 그러나 절리계가 여러 방향성을 가질 때 각각의 절리를 이상적으로 절단할 수가 없으므로 각 절리의 중요도, 투수성, 시공성을 감안한 절층방향을 택해야 한다.
- ③ 현장에서 단순한 절리계 일 때는 숙련된 기술자는 적절한 경사 방향과 경사도를 결정할 수 있으나 복잡한 절리계 일 때는 스테레오네트(stereo net) 또는 하반구등면적투영법으로 작성하여 이를 정한다.
- ④ 컨솔리데이션.블랭킷 그라우팅에서는 특별한 사유가 없는 한 수직천공을 한다. 수직공을 천공할 때는 적절한 보조장치를 이용하여 수직도를 유지해야 한다.
- ⑤ 절리의 경사가 30~60° 범위일 때는 수직천공으로 쉽게 절단되어서 주입재 확산 효과가 좋으며, 수평절리나 수직절리보다 들림현상도 거의 없다.
- ⑥ 수직절리가 발달된 곳에서는 경사천공으로 설계해야 한다.

4.1.7 투수시험

4.1.7.1 일반사항

(1) 시험방법

- ① 토사층에서는 변수위시험법이나 패커투수시험법 적용을 원칙으로 하며, 암반층의 투수시험은 패커투수시험법이나 수압시험법으로 하며 하향식으로 싱글패커를 사용해야 한다. 시험구간(stage)은 지층이 변할 때마다 1회씩 함을 원칙으로 하고, 동일 지층에서 2~5m 범위(심도상) 마다 시험토록 한다.

(2) 펌프, 수량계, 압력계의 규격

- ① 펌프는 시험방법에 따라 다르나 기본조사.실시설계 조사공의 투수시험과 시험 그라우팅 때는 100~200 L/min 이상의 송수능력이 있어야 하고 여러 단의 기어가 장착되거나 엔진의 속도조절로 송수량이 조절되어야 한다.
- ② 수량계는 흡입.배출구경이 25~40 mm이고 200 L/min 이상을 측정할 수 있는 “디지털” 형태이어야 한다. 압력계는 눈금단위가 0.01 MPa인 것을 사용하고 오일을 충전한 안전장치(gauge saver)가 부착되어야 한다. 이때 수량계와 압력계는 나란히 배열되어야 하고 지면에서 1 m 정도 높게 설치한다.

(3) 시험압력과 시간

- ① 시험심도 m당 투수시험 압력은 토사층에서는 0.011 MPa, 암반층은 0.023 MPa를 기준으로 하나, 암반층은 변위가 일어나지 않는 한 조금 높게 적용한다.
- ② 수압시험은 낮은 압력→중간 압력→높은 압력→중간 압력→낮은 압력의 5단계로 하며, 시험시간은 압력단계별로 5~10분으로 한다.
- ③ 패커투수시험은 압력별로 안정이 이루어진 후 5분 간격으로 압력과 주수량이 3회 이상 같은 값이 될 때까지 한다.

(4) 변수위시험법

- ① 토사층의 경우 실시하는 시험법으로 시험 예정구간 윗부분까지 천공한 후 케이싱을 타입하고 시험구간 만큼 더 파낸다. 케이싱 내의 물을 퍼내거나 주수한 후의 시간별 수위변화를 측정하여 투수계수를 산출하는데, 구경이 작은 케이싱을 사용하므로 공내의 물을 퍼내기가 어려워 대개 케이싱 정부까지 주수한 후 수위변화를 측정한다. 케이싱과 공벽사이의 공간은 그라우팅을 하여 이 사이로 물이 들어가지 않게 한다. 이 방법은 지층이 점토 또는 실트질 점토로 이루어진 구간에서 시험구간이 무너지지 않을 경우에 사용할 수 있다.

(5) 패커 투수시험법

- ① 균열성 암반의 투수성을 평가하기 위하여 일반적으로 널리 이용되고 있는 현장 투수 시험방법으로서 시추공 내 일정한 길이의 주수구간에 압력수를 주입하고 주수량과 주수압의 관계를 이용하여 그 구간의 투수계수를 구하는 방법이다.
- ② 투수시험은 천공이 끝난 후 특정한 구간의 상하 2개소에 패커를 설치하여 주수하는 더블패커(double packer) 방식이 있고 천공을 하는 과정에서 필요한 구간을 정하여 시

협하는 싱글패커(single packer) 방식이 있다.

4.1.8 수압시험

4.1.8.1 일반사항

- (1) 수압시험(lugeon test)은 공내에 물을 넣어서 투수도를 구하는 방법으로 1 Lu는 10 bars의 압력에서 시험구간 1 m당 1 L/min의 주수량이 들어가는 조건의 투수도를 의미한다. 1 Lu는 그라우팅이 거의 되지 않을 정도로 수밀하여 물이 새지 않을 정도의 지반상태이며, 10 Lu는 필름 형식에 관련없이 불균질한 지층에서는 대개의 경우 그라우팅을 한다. 100 Lu는 절리가 심하게 발달되었을 뿐 아니라 절리의 틈이 개구상으로써 주입수가 다량 들어가는 지반상태이다.
- (2) 시험방법
 - ① 시험방법은 패커 투수시험 방법과 동일하며 시험구간은 5 m 정도로 하나, 낮은 필름에서는 짧게 잡는 것이 투수성 지층심도를 정확하게 파악할 수 있어 그라우팅계획이 과다해지지 않게 된다.
 - ② 펌프는 패커투수시험에서 처럼 200 L/min의 능력이 있는 것을 사용해야 하며 여러 단의 기어가 장착된 것이거나 엔진의 속도를 조절하여 회전수가 빨라질수록 펌프의 송수능력이 증가하는 것을 반드시 사용해야 한다.
- (3) 적정시험압력
 - ① 시험압력은 낮은 압력→중간 압력→높은 압력→중간 압력→낮은 압력의 5단계로 실시한다. 시험압력은 높은 압력을 적용하여도 암반에 변위나 파쇄가 발생하지 않는다면 최대 10 bars까지 올려 볼 수 있다.
 - ② 경험법칙으로는 치밀한 암반에서는 최대 시험압력을 심도 m당 0.023 MPa이 적당하며 암질이 불량할 때는 더 적은 압력을 적용한다.
 - ③ 지표면 또는 터파기면에 가까운 얕은 심도나 연암에 높은 압력으로 주수하면 지반이 교란되므로 적은 압력을 적용하고 Lu값을 보정하여 산출한다.
 - ④ 단계별 시험압력은 주입수가 정류(steady flow)된 상태에서의 압력을 의미하며, 실제 이처럼 안정이 될 때까지는 10분 정도 소요된다. 단계별 실제 시험시간은 5~10분으로 하는데 조사공의 경우에는 일반적으로 10분 정도가 바람직하다.
- (4) Lu값과 그라우팅 시공범위 설계
 - ① Kutzner(1996)는 암반에서 실시한 투수시험자료, 시공경험 및 시멘트 주입량으로부터 그라우팅 시공범위를 정하는 기준을 제안하였다. 즉 제안된 값의 Lu값보다 더 높은 투수성을 보일 때는 그라우팅을 시공하도록 설계한다.
 - ② 대개 지반개선 목표 Lu값은 높은 필름, 특별한 위험이 있다고 예상되는 경우 및 상부 터파기면을 포함한 표층부에는 낮은 값을 적용하고, 낮은 필름과 심부 지수커튼에는 비교적 높은 값을 적용한다.

4.1.8.2 주입장비

(1) 혼합기

- ① 혼합기는 동력 25 Hp 이상, 1,500 rpm 이상의 고속.고전단 믹서로써 주입재료가 완전히 분리될 수 있는 것을 현장 투입하도록 설계한다.

(2) 교반기

- ① 100 rpm 이상이어야 하며 1조의 용량이 200 L이고 토출 관지름은 50 mm 이상이어야 한다. 수직축에 2조의 페달이 장착되어야 하며 가장 아래쪽의 페달은 드럼의 바닥 가까이 부착된 것이어야 한다. 또한 주입량을 측정할 수 있는 계심장치가 있어야 하며, 교반기는 뚜껑이 없어서 육안으로 주입속도를 관찰할 수 있는 구조이어야 한다.

(3) 주입펌프

- ① 펌프는 교반기에 담겨진 주입재를 빨아서 주입배관을 통해 주입공까지 보내는 역할을 하는 것으로 종류가 다양하다. 이들은 밸브가 있는 것과 밸브가 없는 것 두 가지로 나누어진다. 밸브가 없는 주입펌프에는 나선형로터(helical rotor) 펌프, 와권(centrifugal) 펌프가 있으며 밸브가 있는 것에는 피스톤(piston) 펌프, 다이어프램(diaphragm) 펌프, 램(ram) 펌프 등이 있다.
- ② 주입도중 압력의 변동이 적은 피스톤 펌프, 나선형로터 펌프, 다이어프램 펌프 등을 사용하고 배출압력 2.5 MPa 이상, 배출량 70 L/min 이상, 배출 관지름 50 mm 이상을 사용하도록 설계한다.

(4) 주입장착장치

- ① 주입량 조절시스템에는 주입재를 주입공내로 들어가게하는 주입량 조절밸브, 순환배관에서 주입공내로 들어가지 않고 교반기로 되돌아가게하는 리턴밸브, 그라우팅이 끝난 후 주입재 역출방지를 위한 역출방지밸브가 있다. 이외에도 주입공내의 물과 빈배합의 주입재를 지표로 배제하는 브리더밸브와 교반기와 주입펌프 사이에서 양을 조절하는 밸브가 있으며 주입펌프에서 직관으로 주입재를 배출시키는 곳에도 밸브를 설치한다.

(5) 패커

- ① 패커에는 기계식(mechanical)과 팽창식(inflated) 두 가지가 있는데, 기계식은 부드러운 고무로 만든 슬리브(sleeve)가 팽창하여 공벽에 밀착될 수 있도록 고안된 장치인데 지표에서 나사를 조이면 고무가 길이방향으로 팽창하여 공벽에 부착된다. 팽창식은 조그마한 튜브로 공급되는 압축공기, 질소 또는 수압으로 인하여 고무가 팽창되도록 하는 장치이다.

4.1.8.3 주입재료

(1) 주입재료로써 요구되는 기본성질

- ① 주입재료는 지반의 토립자 공극이나 암반의 절리 등에 침투성이 높아야 한다. 즉 주입재료의 입자가 작아야 한다.
- ② 그라우트중의 입자는 균등하게 분산하고 블리딩 현상이 적으며 유동성이 좋아야 한다.

다.

- ③ 고강도가 발현되고 수밀성과 내구성이 좋아야 한다.
- ④ 주입재료에는 흙이나 지하수를 오염시키는 물질이 포함되지 않은 무공해라야 한다.
- ⑤ 경제성이 있어야 한다.
- ⑥ 주입대상지층의 물성과 유사해야 한다.

(2) 물

- ① 현탁액이나 약액에 들어가는 물은 주입재의 고결이나 최종 특성에 유해한 영향을 미치는 물질 즉 칼륨이나 나트륨염이 많이 용해되었거나, 강산·강알카리 성분의 물은 사용하지 말아야 한다.
- ② 유기물질이 함유되지 않은 깨끗한 것을 사용해야 한다. 음용수나 생활용수로 사용할 수 있는 정도이면 만족하며 특별한 주변여건으로 유해한 성분이 함유되었을 것으로 의심이 되면 수질시험 분석을 해야 한다.
- ③ 주입수로 사용되는 물의 온도는 10~37 °C 이어야 한다.

(3) 시멘트

- ① 포틀랜드 시멘트는 5가지 종류가 있으며 제1종은 보통포틀랜드 시멘트로 재료값이 싸서 그라우팅 재료로 가장 많이 사용하고 있다. 그러나 내화학성이 떨어진다.
- ② 제2종은 중용열 포틀랜드 시멘트로 1종에 비해 수화열 발생 및 건조수축이 적다.
- ③ 제3종은 조강 포틀랜드 시멘트로 2주 정도에 강도가 발현되어야 하는 긴급한 그라우팅에 사용되며 다른 포틀랜드 시멘트에 비해 입경이 작기 때문에 미세한 공극의 주입 재료로 사용하기도 한다.
- ④ 제4종은 저열 포틀랜드 시멘트로 제2종에 비해 수화열이 적고 제1종에 비해 강도실현이 늦으며, 그라우팅 재료로는 일반적으로 사용치 않으나 높은 수화열이 있어서는 안 되는 대용량의 그라우트주입에 사용된다.
- ⑤ 제5종은 내황산염 포틀랜드 시멘트로 황산염이 많은 토사나 지하수가 있을 때 사용하는 것으로 강력한 내황산염 그라우트 재료이다. 그러나 최근에는 내화학성 시멘트로 고로슬래그 시멘트나 플라이애시 시멘트 등 혼합시멘트가 일반적으로 더 많이 사용되는 경향이 있다.
- ⑥ 시멘트에 대한 더 자세한 사항은 KS L 5201 포틀랜드 시멘트를 참고 한다.

(4) 초미립자 시멘트

- ① 주입재료의 입자가 작을수록 침투성이 좋아진다.
- ② 분말도 6,000 cm²/g 이상인 콜로이드시멘트 또는 8,000 cm²/g 이상인 건식 마이크로시멘트를 사용하거나, 습식분쇄장치에서 초미립화한 습식시멘트를 사용할 때는 제품의 분말도를 포함한 물리적 특성 분석표를 제출하도록 시방서에 명기하여야 한다.
- ③ 마이크로 시멘트나 콜로이드 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트에 비해서 장기강도 및 초기강도가 매우 우수하다. 따라서, 주입공사 시 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 주입성이 좋고 고강도가 발현된다.

(5) 벤토나이트

- ① 벤토나이트는 함수비 12 % 이하, 입도는 No. 200체(0.074 mm) 잔류량이 25 % 이하, 팽윤도(ml/2g) 20 이상의 Na형-벤토나이트나 활성벤토나이트를 설계해야 한다.
- ② 벤토나이트 1 kg에 물 10 L비율로 첨가하여 고속믹서에서 수분간 혼합한 후 10~24시간 동안 수화된 것을 사용하고, 사용량은 설계서에 정한 비율 이하로 사용하며 믹서에 투입하는 순서는 벤토나이트 슬러리를 넣고 다음에 물을 넣으며 나중에 시멘트를 넣는 것으로 공사 시방서에 명기해야 한다.

(6) 모래

- ① 모르타르용 모래입도는 No. 16체(1.19 mm)를 통과하여야 하며 No. 100체(0.149 mm)를 통과하는 세립질이 25 % 이하일 때는 주입재의 운반능력이 떨어지므로 세립질을 첨가해야 한다. 사용하려는 모래는 입도분석을 하여야 하며 결과에 따라 벤토나이트 등의 혼화제 사용여부를 검토해야 한다.
- ② 모래는 입도분석 결과에 따라 벤토나이트 등의 혼화제 사용 여부를 검토해야 한다. 혼화제 첨가 없이 모래 : 시멘트 = 2 : 1 정도의 모르타르 주입이 한계점이다. 더욱이 주입장에서부터 주입공까지의 거리가 100 m 이상으로 멀거나 주입장보다 높은 위치에 주입할 때는 주입배관이 막히는 등 시공상에 어려움이 대단히 많다.

(7) 주입재료의 선정

- ① 암반에 대한 주입재료는 보통 포틀랜드 시멘트로 설계하는 것을 원칙으로 한다. 주입성을 증대시키기 위해 벤토나이트를 소량 첨가할 수 있는데 시멘트 중량의 4 %를 초과해서는 안된다.
- ② 시험그라우팅 때 미세절리로 인하여 지반개선 효과가 개량 목표치 이하 일 경우에는 초미립자 시멘트 설계를 고려한다.
- ③ 암반의 강도 및 내구성을 향상시키기 위해서는 포틀랜드 시멘트 현탁액을 주입하는 것이 가장 바람직하다.
보통 포틀랜드 시멘트의 최대입경은 100 μm , 국내산 마이크로 시멘트의 최대입경은 24 μm 이므로 주입이 가능한 암반균열의 최저폭은 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 경우 300 μm , 마이크로 시멘트를 사용한 경우 70 μm 수준이 된다.
- ④ 보통 포틀랜드 시멘트보다 더 세립질인 주입재료를 쓰거나 규산소다 등의 약액을 사용하여 지수해야 할 정도이면 그 암반은 대단히 양호한 상태이므로 그라우팅 처리가 필요 없을 수 있다.
- ⑤ 그러나 미세절리로 인하여 보통 포틀랜드 시멘트입자가 침투 되지 않았다고 판단이 되면 다른 주입재 약액을 사용하는 것으로 검토되어야 할 것이다.
- ⑥ 이때 미세절리구간과 심도에만 초미립자 시멘트를 사용하거나, 설계주입량의 20~30 % 정도를 초미립자 시멘트를 반영하여 현장 주입과정에서 적절하게 사용토록 한다.
- ⑦ 벤토나이트 사용은 부배합에서는 2 %, 빈배합에서는 4 % 정도를 사용하는 것이 좋다.

4.2 표준단면 설계

4.2.1 필댐 축선의 선정

4.2.1.1 일반사항

- (1) 필댐 축선은 지형 및 지질조건, 제체의 규모, 형식, 부대구조물의 형식 및 배치, 시공의 난이도 등을 종합적으로 판단하여 양안부 기초바닥의 지질이 좋고 충분한 두께가 있고, 필댐 길이가 가장 짧게 될 지형을 택하는 것이 원칙이다. 그러므로 대부분은 직선형으로 되나 불투수부가 얇은 필댐에서는 저수압에 의한 변화를 고려하여 다소 아치 모양을 채택할 수 있다.
- (2) 필댐 지점의 개략적인 위치가 결정된 뒤에도 필댐 축선은 여러 가지로 생각할 수 있으며 그 비교가 불충분한 경우에는 비경제적인 굴착이나 필댐의 부피 증대를 가져오기 때문에 표층의 지형적 관점뿐만 아니라 지질도 겸하여 가장 좋은 축선을 정해야 한다.

4.2.1.2 필댐 축선의 선정시 고려할 사항

- (1) 필댐의 위치가 대체로 결정되면 필댐 축의 위치는 다각적으로 검토되어야 한다. 즉 몇 개의 예정선을 취하여 비교 검토하고 필댐의 형식에 대하여도 비교할 필요가 있다.
- (2) 필댐 축은 지형, 지질조건을 충분히 고려하여 선정해야 한다. 지형상 제체의 체적이나 굴착량을 최소로 할뿐만 아니라 단층이나 파쇄대 또는 산사태, 지층 등의 규모를 확인하여 가장 좋은 위치에 설치해야 한다. 필댐 양단부의 두께를 충분하게 취하여 소요의 크리프비가 확보될 수 있도록 필댐 축선을 선정해야 한다.
- (3) 필댐 본체와 부대구조물의 위치를 배치함에 있어 특히 필댐 축선과 물넘이와의 관계는 매우 중요하다. 물넘이를 산복비탈면에 설치할 때에는 토공량이 대단히 많아지는 경우가 있으며, 홍수시 그 유량이 많을 때에는 일반적으로 물넘이의 방수로 중심선은 가급적 하심에 일치되도록 설정한다. 이와 같은 위치관계를 충분히 고려하여 필댐 축을 선정해야 한다.
- (4) 필댐 축을 상류 측에 대하여 불룩한 아치형으로 하는 경우 반경은 400~1,500 m가 좋다.
- (5) 필댐의 조건에서 안정감과 미관상의 이유로 필댐 축선을 원호로 함으로서 제체 체적을 감소시키거나 지형지질 조건을 유리하게 할 수도 있다.

4.2.2 제체의 단면구성

4.2.2.1 제체 형식의 선정

- (1) 필댐의 제체 단면 구성(zoning)은 소정의 기능을 발휘할 수 있고, 최소의 비용이 되도록 기초지반, 제체재료, 시공조건 및 시공사례 등을 종합적으로 판단하여 결정한다.
- (2) 형식의 선정은 물론이고, 각 존의 배치, 순서 및 기하학적 형상으로 된 제체 단면의 설계는 제체재료의 입도나 조성에 따라 조합 방법이 다르고, 제체의 포화도나 재하상태에 따라 다르기 때문에 일률적인 수학적 해석 방법이라든가 공식을 적용하여 설계할 수는 없다. 또한 상세한 조사나 시험의 결과를 바탕으로 한 필댐 제체 내의 응력과 변형의 관계

등도 설계에 반영하여 검토한 다음 최종 단면을 결정해야 한다.

4.2.2.2 존의 기능

- (1) 각 존의 기능은 기본적으로 차수, 배수 및 외력에 대한 안정성으로 나누어진다. 일반적으로 필름 높이가 높아짐에 따라, 침투와 역학적 측면에서 투수성 존(shell zone, transition, filter zone 등)과 불투수성 존(차수벽 포함)등이 필요하다.
- (2) 각 존의 물리적·역학적 특성은 각 존의 기능으로부터 정해지고, 역으로 재료의 특성으로부터 존의 단면을 결정하는 기법이 많이 쓰이고 있다. 따라서 각 존의 기능이나 재료의 물리적·역학적 특성은 인접 존과의 상대적 관계에서 일정한 균형을 이루어야 한다.
- (3) 배수기능에 대해서는 특히 균일형 필름에서는, 경사 드레인에 의해 침윤선을 저하시키는 최소한 제체 비탈면 하류단쪽으로 침윤선이 비탈면에 침출되지 않도록 하기 위하여 하류 비탈끝 드레인을 설치할 필요가 있다.
- (4) 일반적으로 많이 축조되고 있는 존형 필름에서도, 불투수성 존과 투수성 존 사이의 투수 계수의 차가 작을 때에는 침윤선이 비탈면에서 침출하는 수가 있으므로 하류 비탈끝 드레인이 필요하다.

4.2.2.3 기초지반과 존잉

- (1) 투수성 암반에 접했을 때에는, 블랭킷 그라우팅을 광범위하게 시공해야 하므로 존 폭을 넓게 취해야 한다. 지수 트렌치의 하류면에는 필터 존을 설치해야 한다.
- (2) 압축성 지반에 축조된 필름의 존잉은 기초처리공법과의 관계, 투수성 존의 폭이나 위치에 대하여 고려를 해야 한다. 이때에는 폭을 두껍게 하든가, 필렛 혹은 블랭킷을 설치하거나, 경우에 따라서는 기초처리(지수벽) 위치를 불투수성 존과 함께 제체의 상류측 위치까지 이동시키는 것도 고려할 수 있다.

4.2.2.4 존잉의 수정

- (1) 안정해석의 결과, 비탈면이 불안정한 경우 존잉을 재검토한다.

4.2.2.5 불투수성 존과 암반접촉부

- (1) 불투수성 존과 암반접촉부에 접착 점토(contact clay)를 배치하는데, 이는 층의 시공에 있어 불투수성 존과 암반을 밀착시킴과 동시에 불투수성 존의 필름 어버트에서의 침하시 전 단과 변형을 받는 존으로서 효과적이다.
- (2) 일반적으로 조립부분을 함유하지 않은 토질재료를 약간 습윤층 함수비로 하여 두께 10 cm 정도로 시공하도록 설계한다.

4.2.3 제체의 비월류부 높이

- (1) 필름 제체의 비월류부 높이는 필름종류, 물넘이 게이트의 유무 및 월류수심(H)에 따라 상

- 시만수위, 서차지(surcharge) 수위 및 설계홍수위 (또는 상시만수위, 홍수위 및 최고수위)에 안정상 필요한 높이를 더한 높이를 구하여 그 중에서 가장 큰 값 이상으로 한다.
- (2) 필댐마루의 높이는 비월류부의 높이에 필요한 보호층 등을 포함한 최상면의 높이로 한다.

4.2.4 필댐마루 표고 및 더쌓기

- (1) 필댐의 댐마루 표고는 제체의 비월류부 높이에 불투수층 최상단에 필요한 보호층을 포함한 높이로 한다.
- (2) 시공 시에는 이 높이에 필댐 완성 후 기초지반과 제체 침하량을 예측하여 충분한 더쌓기를 해서 시공하도록 설계한다

① 필댐마루 표고

가. 필댐마루 표고는 결정된 비월류부 높이에 불투수층의 천단 보호에 필요한 보호층의 높이를 더한 것으로 한다. 또한, 불투수층의 최상단은 축제 종료 후에 침하가 예상되므로 정해진 필댐 관리기간동안의 침하량을 예측하여 더쌓기를 하여 소정의 높이로 시공하도록 설계한다. 이때 필댐의 거동이 정상상태로 달할 때까지의 기간 후로 한다.

② 더쌓기

가. 더쌓기는 필댐 완성 후 필댐의 거동이 정상상태에 달할 때까지의 기간 또는 축조 후 3년 이상의 경과한 시점까지 기초지반과 축제재료의 침하량에 충분한 안전율을 가하여 더쌓기를 해야 한다.

나. 필요한 더쌓기를 결정하기 위한 기초지반 및 제체의 침하량 추정은 유한요소법을 이용한 축제 과정의 변형해석 또는 토질재료의 경우에는 압밀해석을 실시하거나 침하량에 영향을 미치는 요인을 포함하여 과거의 실례에 준하여 추정한다.

다. 제체 각부의 더쌓기 양의 판단은 필댐 종단면의 최심부를 구하여 이 높이를 횡단방향으로는 필댐마루 단부로 취하고 비탈면하단 또는 적당한 소단을 0으로 해서 직선적으로 구분한다.

4.2.5 필댐마루 폭

- (1) 필댐마루 폭은 필댐 규모에 따른 계산결과를 참고하여 과량침식이나 침투수에 대한 안정성, 중심코어 및 필터의 규모, 필댐마루 이용, 필댐의 유지관리, 경제성 및 시공성 등을 고려하여 결정한다.
- (2) 특히, 필댐 완성 후 필댐마루를 도로로 이용할 경우에는 양안 접속도로와의 관계를 충분히 고려하여 결정한다.
- (3) 통행에 의한 마찰이나 균열을 방지하기 위하여 필댐마루에 적절한 보호를 해야 하며, 단면과 노면포장은 연결도로와 같게 하고 양안에는 주차장을 두는 것이 좋다.
- (4) 곡선으로 연결되는 곳은 느린 곡선으로 하며, 내제측에는 흉벽(breast wall), 외제측에는 갯돌을 설치할 수 있도록 폭을 결정한다.
- (5) 필댐마루 폭의 결정

- ① 필댐마루의 폭은 도로의 이용이나 제방 내의 중심점토, 수직필터의 규모, 유지관리, 경제성 및 시공성 등을 고려하여 중심점토와 수직필터를 보호할 수 있는 폭으로 결정한다.
- ② 일반적으로 필댐 높이가 50 m 이상일 때에는 8~10 m 정도(도로와 겸용일 경우 약 10 m 정도), 필댐 높이가 15~50 m일 경우에는 6 m 정도(도로와 겸용일 경우 8 m 정도), 필댐 높이가 15 m 이하일 경우는 5 m 정도로 한다. 또한 표면 차수벽 필댐일 경우는 6~7 m가 적당하며, 설계상 특별히 고려할 필요가 없는 경우에는 5~10 m 정도가 좋다.

4.2.6 불투수층 존(차수벽)의 두께 및 단면 설계

- (1) 불투수층 존의 두께는 투수성의 허용한도, 시공상의 최소 폭, 사용되는 점토재료의 소성 및 점성, 필터층의 유무 등을 고려하여 결정한다.

4.2.6.1 불투수층 존의 두께와 수압과의 관계

- (1) 필댐이 어떠한 나쁜 조건에서도 안전하기 위해서는 토질이나 필댐높이에 관계없이 수압의 30~50 % 정도의 두께를 가져야 한다.
- (2) 수압의 15~20 % 정도의 두께를 가지는 경우에는 주의 깊은 설계가 필요하며, 이 때 필터의 설계는 엄격한 기준을 지키도록 한다. 수압의 10 % 이하는 누수로 체체의 결괴가 없는 특수조건 외에서는 사용하지는 안된다.

4.2.6.2 불투수층 존의 단면설계

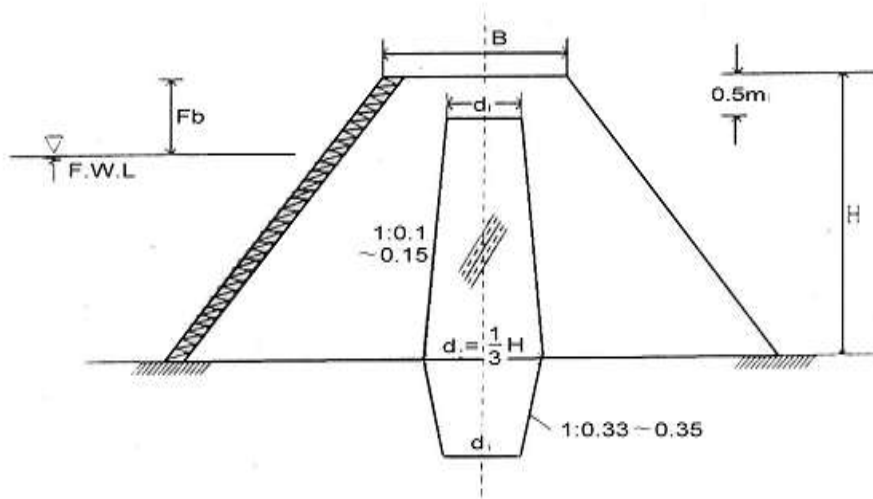
- (1) 단면 기준 (<그림 4.2.-1> 필댐의 불투수층 존의 설계 참고)

- ① 점토 정폭(d_1)의 계산

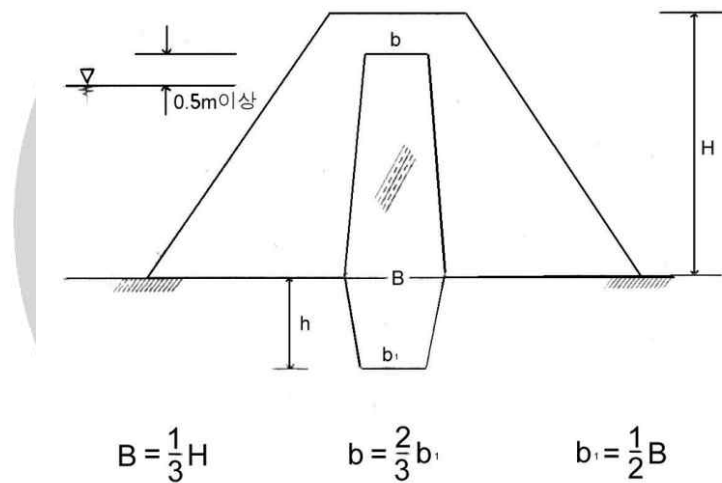
$$d_1 = 1.5\sim 3.5\text{m 단, } H \leq 30\text{m, } d_1 = 2.5\sim 4.0\text{m 단, } H > 30\text{m}$$

- ② 지반면의 점토 폭(d_2) : $d_2 = \frac{1}{3} H$ (m)

- ③ 터파기 면의 점토 폭(d_3) : $d_3 \geq \frac{1}{2} d_2 > 1.0$ (m)



<그림 4.2-1> 필댐의 불투수층 존의 설계



$$B = \frac{1}{3}H \quad b = \frac{2}{3}b_1 \quad b_1 = \frac{1}{2}B$$

<그림 4.2-2> Wagman의 이론에 의한 불투수층 존의 설계

④ 점토비탈면 기울기

지반상부 : S1 = 1 : 0.10~0.15, 지반하부 : S1 = 1 : 0.33~0.35

⑤ 홍수위 상부의 점토 높이 : 0.5 m

⑥ 필댐마루와 점토 상부와의 간격 : 0.5m

(다만, 필댐마루에 도로 설치할 경우 도로포장에 필요한 높이로 함.)

(2) Wagman 이론(<그림 4.2.-2> Wagman의 이론에 의한 불투수층 존의 설계)

① 지반면의 점토 폭(B) : $B = \frac{1}{3} H$ (m)

② 터파기 면의 점토 폭(b_1) : $b_1 \geq \frac{1}{2} B$ (m)

③ 점토 정폭(b) : $b = \frac{2}{3} b_1$ (m)

설계홍수위 지점의 점토폭이 최소 2 m 이상이어야 한다.

④ 수면과 점토 상부와의 간격 : 0.5 m 이상

(3) W. L. Strange 이론

① 양질의 지반 : $h \leq \frac{1}{2} H$ (m) •비교적 좋은 지반 : $h \leq H$ (m)

② 견고한 암반(소규모) : $h \geq 1.8$ m •견고한 암반(대규모) : $h \geq 3.0$ m

4.2.7 비탈면과 소단

(1) 비탈면경사와 소단의 배치는 필댐 형식, 제체의 구조, 축제재료, 기초지반, 시공조건 등을 고려하여 최소의 축제량으로서 최대의 안전도를 얻도록 결정해야 한다.

4.2.7.1 비탈면경사

(1) 제체의 안정상 필요한 평균비탈면의 경사는 표면 차수벽형 필댐이나 극히 연약지반상의 필댐인 경우를 제외하고, 상류측 비탈면을 하류측 비탈면보다 1:20 정도 완만하게 하며, 대략 1:5~1:2.5의 범위 내로 한다. 특히 연약지반에서는 1:2.5 보다 완만하게 하거나, 기초가 양호한 암반이며 축제재료도 양질인 록재료가 대부분일 경우에는 1:5 보다 급하게 할 때도 있다.

(2) 필댐 형식에 따른 필댐의 평균 비탈면경사

① 균일형 흙 필댐은 필댐 높이가 클수록 비탈면을 완만하게 하며, 하류측에는 배수도랑을 설치한다.

② 투수성부가 큰 필댐(균일형 이외)에는 필댐 높이에 따라 비탈면의 변화는 적으나 불투수부의 위치와 크기에 따라 비탈면이 정해지므로 존(zone)을 신중히 나누어야 한다.

③ 경사진 코어형 록 필댐에서는 하류비탈면은 축제재료의 안식각과 거의 같게 한다. 즉, 둥근 자갈인 때는 17 %, 모난 암석은 12 %, 얇은 층으로 해서 다짐하는 경우에는 10 %로 할 수 있다.

④ 중심코어 록 필댐에서는 하류비탈면은 16~18 %가 좋다.

⑤ 철근 콘크리트 포장형 필댐의 하류비탈면 경사는 될수록 암석의 안식각에 가깝게 하는 것이 시공 및 안전상 유리하다.

⑥ 아스팔트 포장형 필댐의 상류측 비탈면은 15~17 %가 가장 적당하다.

(3) 높이가 상대적으로 높은 필댐에 있어서의 검토 요소

① 제체의 구조

가. 필댐 높이가 크게 됨에 따라서 시공 중에 발생하는 간극수압도 증대하므로 완성 직후의 안정만을 유지하기 위해서는 막대한 단면이 필요케 되는 수가 있다. 특히 불투수성부가 크면 필댐체 중에 침윤선을 저하시킬 목적으로 수직 또는 수평 배수도랑을 설치하는 것이 유리하다.

② 축제재료의 선택

가. 필댐 높이가 높게 되면 전단저항이 큰 재료를 사용하는 혼합형 필댐이 유리하다.

축제재료가 원거리에 있을 때는 경제성을 분석하여 시공조건, 입지조건 등을 고려하여 기술적으로 유리한 형식을 택해야 한다.

(4) 필댐의 비탈면경사에 따른 유의사항

- ① 안전율이 같으면서 축제량을 적게 하려면 단면상부는 급하게 하고 하부는 완만 하게 하는 것이 좋다. 이는 필댐 높이가 클 수록 또한 기초지반이 약할 수록 유리하다. 특히, 계곡이 좁은 지형에서는 하부측을 완만하게 하는 것이 부피가 늘지 않고, 상류측 비탈면에서 저수압이 최대로 작용하는 점은 밑에서 1/3~1/4 지점이므로 안전성도 증가되어 유리하다.
- ② 비탈면의 변화부는 상류비탈면에서는 상시 만수위나 최저수위 부근으로 하고 후자의 변화부에는 3~6 m의 소단을 두는 것이 좋다. 상류비탈면의 소단은 암석이 탈락되는 것을 방지할 목적으로 설치하지만 저수 시의 사석하단이 막히지 않도록 하기 위하여 또는 시공상, 관리상 편리한 점이 있으면 소단을 만들고 연직높이 10~15 m 마다 소단을 두는 것이 좋다. 필댐 하류비탈면에 대해서는 평상시의 필댐 관리작업을 위하여 또는 필댐에서 떼붙임 공사를 하는 경우에 우수의 배제를 위해서 높이 10~15 m 마다 폭 3 m 정도의 소단을 설치하는 것이 좋다.
- ③ 댐 길이가 긴 필댐에서는 전 길이를 통하여 동일 경사로 할 필요는 없고 댐 높이, 기초지반, 축제재료에 따라 적당히 단면을 수정하는 것이 좋다.
- ④ (댐 길이)/(댐 높이)의 비가 작은 필댐에서는 상·하류방향 단면의 안정계산에서 댐축방향의 힘이 있게 되므로 비탈면을 다소 급하게 해도 좋다.
- ⑤ 시공속도가 빨라서 필댐 또는 기초지반 내에 큰 공극이 발생할 위험이 있으면 비탈면을 완만하게 하는 것이 안전하다.

4.2.8 드레인(drain)

- (1) 침투류에 의한 침투수압의 감소, 파이프의 방지, 체체의 침하방지, 내부침식 등을 방지하기 위하여 지반면 혹은 점토시공 깊이에 수평 및 경사(연직) 드레인을 설치한다. 드레인은 기능과 목적에 맞는 재료를 선택하여 안정성 또는 침투수에 대한 안정성을 검토하여 설치한다.

4.2.8.1 일반사항

(1) 드레인의 기능

- ① 배수 존은 토립자의 이동을 방지하고 침투수를 작은 손실수두로서 통수될 수 있는 필터의 기능을 가져야 한다.

(2) 드레인의 구분

- ① 하류 비탈끝 드레인 : 하류비탈면의 끝에 설치한 드레인으로서 토우 드레인(toe drain)이라고도 한다.
- ② 수평 드레인 : 체체 내에 어떤 표고차로 블랭킷 상이나 줄모양으로 수평하게 설치하는 드레인을 말한다.

- ③ 경사(연직) 드레인 : 경사(연직) 드레인과 수평 드레인으로 구성된 드레인을 말하며 연직 부분은 준형에서 불투수성부의 양측에 설치하는 경우 단순히 필터라 하고, 균일형 필름의 중앙부에 설치한 경우에는 차단층이라 한다.
- ④ 복합 드레인 : ①, ②, ③을 조합한 드레인을 말한다.
- ⑤ 비탈면보호공 기초 드레인 : 상류비탈면 보호공의 기초에 설치하는 드레인을 말한다.
- ⑥ 기타 : 제체와 산턱과의 접촉면에 연하여 설치하는 드레인 등이 있다.

(3) 필터의 설계

- ① 필터는 입도가 현저하게 다른 흙 또는 사력 등의 배수 측면에 접촉시켜 설치하고 재료는 「필터재료」에 준한다. 필터층의 두께는 시공시의 재료분리, 필터층 내부의 공극, 시공기계 등을 고려하여 결정한다.
- ② Creager, Justin 등은 필터의 15 % 크기(필터재료의 15 % 입경)의 50배 이상으로 하고, 특히 제1층은 모래의 두께 30 cm 이상으로 한다. 조립 필터재료는 20 cm 이상, 세립 필터재료는 15 cm 이상의 두께로 한다.
- ③ 필터 두께는 이론적으로 얇은 것이 좋지만 시공조건 지진에 대한 안전성을 고려하여 여유있게 설계한다.. 수평필터의 최소두께는 모래 15 cm, 자갈 30 cm 이지만 일반적으로 1.0×1.0의 모래를 10~15 m 간격으로 설치한다.

<표 4.2-1> 필터의 설계기준

구 분	설 계 기 준		
	수 직(경사) 필터	수 평 필터	
		폭(m)	높 이(m)
높 이	홍수위(필름외 제측)		
두께	30 m 이하 : 1.0 m 이상 40 m 이하 : 1.5 m 50 m 이하 : 2.5 m 50 m 이상 : 2.5 m 특수 경우 : 3.0~4.0 m	0.5~1.0 m 1.0~2.0 m 1.0~3.0 m 1.0~3.0 m 별도 여건	0.5~1.0 m 1.0~1.5 m 1.0~1.5 m 1.0~1.5 m 별도 여건
간격	전 구간 10.0~40.0 m		

- ④ 자연상태의 재료로는 상기의 입도 조건을 만족하지 못하는 경우 인공적으로 제조하는 방법을 고려할 수 있다.

(4) 필터의 배수능력

- ① 필터의 투수성은 실내투수시험에 의해서 구하는 것이 바람직하다. 부득이한 경우 깨끗한 모래인 필터재료의 투수성은 다음 Hazen 식을 사용하여 계산해도 좋지만 시험을 해서 확인해야 한다.

$$k = C \cdot D_{10}^2 \text{ ----- 식(4.2.1)}$$

여기서, k는 투수계수(cm/s), D₁₀는 유효경(cm)으로 입경가적곡선상의 10 % 입경, C는 정수 90~120(일반적으로 100을 사용)를 나타낸다.

- ② 경사 드레인에 접촉되는 수평 드레인의 배수능력은 침투수량의 10배 이상의 능력을 주어야 한다. 산턱으로부터의 침투수가 가급적 제체 내에 들어오지 않도록 적극적으로 방지해야 한다.

4.2.8.2 드레인(drain)의 설계

(1) 수평 드레인

- ① 제체 내에 수평한 형상으로 배치한 때에는 두께를 30 cm 이상으로 하고, 경사 드레인에 접촉시켜서 설치하는 드레인공은 하류측 필름 부지에 블랭킷 상으로 설치한 경우와 집수 배수를 위해서 줄모양으로 설치하는 경우가 있다.
- ② 전자의 두께는 30 cm 이상으로 하고 후자는 여러 층의 필터를 조합하여 배수시키는 것으로 한다.

(2) 경사 드레인

- ① 폭은 단일층인 경우 2~5 m, 여러 층인 경우에는 1층의 폭은 1 m 이상으로 하여 보호층의 배수면에 접하여 조립층, 다음에 자갈층의 순으로 필터의 입도를 변화시켜 나간다.
- ② 단일층일 때에는 필터재료의 구입하기 힘든 경우는 거푸집을 사용해서 두께를 1~1.5 m 정도로 축소시켜도 좋다.

(3) 하류 비탈끝 드레인

- ① 하류 비탈끝 드레인은 여러 층의 필터를 조합시켜 보호층에 접하는 층을 세립필터로 하고 다음에 조립, 자갈, 굵은 자갈 등으로 점차 변화시켜 가고 비탈끝 비탈면막이 돌 쌓기공이나 기타 보호공을 통하여 배수한다.
- ② 각 층의 두께는 수평 드레인(집수배수용)의 설계에 준한다.

(4) 비탈면 보호공 기초 필터

성토비탈면이 조립재로 될 때에는 사력필터의 두께를 20 cm 이상으로 하고, 세립일 경우에는 입도를 조정된 필터재를 두께 20 cm 이상으로 설치한다.

4.2.9 제체 보호공

- (1) 제체의 상류비탈면, 하류비탈면 및 필름마루 파괴, 침식, 파랑에 의한 침식 또는 손상을 방지하기 위하여 적절한 재료로 보호공을 설치한다.

4.2.9.1 상류비탈면 보호공

(1) 보호공의 형식

- ① 보호공의 형식에는 필터층 위에 설치한 사석, 장석, 콘크리트 블록, 철근 콘크리트 슬래브 등이 있다. 일반적으로 다음과 같은 이유로 사석이 가장 좋다.
- 가. 제체의 형식에 잘 대응하고, 파력에 의하여 자연적으로 돌이 낙착되어 안정된다.
- 나. 쇄파력이 커서 파가 높이 올라가지 못하므로 제고를 낮추어도 된다.

다. 시공이 용이하므로 경제적이다. 물론 돌의 재질은 풍화 및 파쇄에 견디기 위해서 견고해야 한다.

- ② 사석재로 사용되는 재료는 ‘3.4 사석재료’에 따르고 지역의 기상조건, 필름의 규모, 석재의 매장현황 등을 검토하여 결정한다.
- ③ 양질의 석재를 경제적으로 얻기 어려운 경우에는 콘크리트 블록공, 철근 콘크리트 슬래브, 아스팔트 콘크리트, 아스팔트 이차제품, 인조고무, 화학합성 재료 등이 고려될 수 있다.
- ④ 이와 같은 재료를 사용하는 경우에는 일반적으로 파의 상승고가 높아져서 제고를 높게 해야하며, 월파에 의하여 재료의 이면에 물이 들어가지 않도록 해야 한다. 풍화에 대한 저항성이 낮아서 항시 유지관리에 충분한 주의를 해야 한다. 기타 기초처리에는 배기, 배수에 대한 배려가 필요하다.

(3) 보호공의 기초처리

- ① 저수위의 변동에 따라 제체 내에 침투류에 의하여 제체의 토립자가 흡출되는 것을 방지할 목적과 보호공 재료의 안정을 조장하고 시공을 용이하게 하는 것 등 때문에 제체 표면에 필터층(주로 모래와 자갈)을 설치한다.
- ② 두께는 콘크리트 블록을 설치할 때는 15 cm 이상, 기타 사석, 장식 등 일 때는 30~100 cm로 하는 것이 좋다. 보호공은 적어도 최저수위에서 필름마루까지 시공하는 것이 원칙이며 부득이 비탈면의 중간만을 시공할 때는 저수부의 기초다짐공을 완전하게 하여 보호공의 활동이 일어나지 않도록 한다.
- ③ 다짐공은 저수부의 파랑에 의하여 세굴되지 않는 구조로 하고, 폭 2 m 이상의 소단을 설치해야 한다.
- ④ 보호공의 상단은 갯돌, 콘크리트, 도로연석(curb stone) 등을 시공하여 보호공의 파괴를 방지해야 한다.

(4) 사석 크기와 두께

- ① 사석 크기와 두께는 ‘3.4 사석재료’에 따르고 파랑에 의하여 움직이지 않고 제체의 흠이 흡출작용에 의하여 유출되지 않을 것 등이 조건을 만족시켜야 한다.
- ② 사석공에서는 수면 부근에 큰 파력이 작용하여 사석 상호 간의 간극이 클 때, 간극 내에서 필터재료의 분리나 유동이 생겨 사석의 변형이나 제체의 흡출현상이 발생하므로 사석의 간극은 최소가 되도록 충전시켜야 한다.

(5) 하류측 보호공

① 보호공

가. 제체의 하류비탈면이 강우, 동해 기타에 의해 침식 손상되는 것을 방지하기 위하여 소요의 보호공을 설치해야 한다.

나. 보호공으로서의 기상조건을 고려하여 떼붙임공(줄떼, 평떼), 종자 뿌리기 등을 한다. 이들 식생은 필요에 따라 시비, 살수 등을 실시한다.

다. 기타 누수측정 시설이나 하류시설 등의 연락을 위하여 계단을 설치해서 비탈면을 보호한다. 또한, 빗물이 흘러 한 곳으로 집중되면 침식이 크게 되므로 일정한 높

이마다 배수로가 붙은 소단을 설치하는 것이 좋으며, 산바닥과 접속부에는 빗물의 침식을 받지 않도록 처리하여야 한다

② 배수공

- 가. 제체 하류비탈면과 접속부(abutment)에서의 지표수를 비탈면과 산턱의 접속부에 승수로로 설치하여 하류의 제방 외측으로 배수시킨다. 승수로의 규격은 강우, 지형, 집수면적, 동결상황 및 유출토사, 낙엽 등을 고려하여 결정한다.
- 나. 제체 비탈면길이가 긴 경우에는 강우에 의하여 침식되는 일이 있으므로 소단을 설치해서 그곳에 상부비탈면의 지표수를 받기 위한 승수로로 만들어 양안 접속부의 승수로에 배수한다.
- 다. 승수로의 설계는 제체는 하안부 또는 계곡의 최심부에서 최대 잔류침하가 일어날 것을 고려하여 수로경사를 결정해야 한다. 제체의 길이가 길 때에는 승수로에 맨홀을 설치하여 거기에서 비탈면에 슈트 또는 관을 설치해서 하류 제외로 배수한다.

③ 필댐마루부

- 가. 필댐마루부는 파랑에 의한 물보라, 우수, 동결에 의한 연약화 및 교통 등에 의한 손상으로부터 보호하기 위하여 보호공을 설치한다.
- 나. 필댐마루면에 포장(아스팔트 콘크리트, 콘크리트, 잘 다짐한 자갈 섞인 점토층 상에 자갈 포설 등)을 해야 할 필요가 있다. 포장두께는 필댐마루의 이용상황, 기상 상태에 따라 다르나, 동결심이나 외부로부터의 침수를 고려하여 보호층의 두께를 결정한다.
- 다. 필댐마루면에는 배수를 위해 소요의 횡단경사를 주어야 한다.
 아스팔트 콘크리트 포장, 콘크리트 포장 횡단 기울기 : 1.5~2.0 %
 기타의 횡단 기울기 : 3.0~5.0 %
- 라. 필댐마루면의 배수는 상하류 비탈머리에 배수구를 설치하고 집수한 다음 저수지 또는 제외로 배수한다. 한쪽으로부터만 경사를 둘 때에는 저수지 측에 경사지게 배수한다. 토석재료로 된 표면 보호공일 때에는 우수가 제체 내에 침투하지 않도록 입도배합이 좋은 흙을 잘 다져서 이용하며, 양 끝에는 L형 블록이나 연석을 놓고 필댐마루에는 필댐마루 보호용 자갈을 포설한다.
- 마. 보호공은 제체의 일부로서 설계해야 하며, 따라서 제고는 보호공 두께를 포함시켜야 한다.

4.3 침투수 및 간극수압의 검토

4.3.1 침투류 해석

- (1) 제체 및 기초는 침투수에 대해 안전하도록 설계하여야 하며 이를 위해서는 침투류 해석이 필요하다. 특히, 담수 개시 직후, 저수 후 수위 급강하 시 등의 경우에는 비정상 상태라 보고 침투수에 대하여 반드시 검토하여야 한다.

4.3.1.1 침투류 해석의 필요성

- (1) 필댐을 설계할 때 침투현상에 대하여 다음과 같은 사항을 검토한다.
 - ① 제체 및 기초지반 내에서의 침투유량(누수량)의 결정
 - ② 침투수가 제체 및 기초지반의 안정성에 미치는 영향
 - ③ 침투 조절방법
- (2) 누수량은 필댐의 저수 효율면에서 허용 누수량을 1일당 총 저수량의 0.05 %의 값을 한도로 하고 있는 경우가 많다. 침투수가 제체 안정성에 끼치는 영향을 검토하는 방법으로는 파이핑과 보일링(boiling)에 대한 안정성을 검토하는 방법과 제체 내의 침윤선을 결정하는 방법 및 제체와 기초의 안정해석을 하기 위하여 유선망을 결정하는 것 등이 있다.
- (3) 침투 조절방법을 검토하는 데는 다음과 같은 방법이 기본적으로 고려되어야 하며, 이의 방법을 선택하고 검토하는 데에는 침투류의 해석이 필요하다.
 - ① 파이핑이나 보일링을 방지하기 위하여 필터를 설치한다.
 - ② 침투수 자체를 감소시킨다.
 - ③ 배수를 안전하게 촉진시킨다.

일반적으로 이들 3가지 방법을 조합해서 채택하는 것이 일반적이다.

4.3.2 침윤선

- (1) 제체내의 침투수 흐름은 축제재료의 투수계수와 동수경사에 의해 지배되는 자유수면(침윤선)을 가지게 되는데, 이 침윤선의 위치를 결정하는 것은 제체의 안정계산, 제체내의 침투류 해석, 침투수 저하공법 등의 검토에 필요하다. 침윤선이 높은 경우에는 제체의 안전에 지대한 영향을 미치므로 적절한 공법을 사용하여 안전하게 침투수를 배제시켜야 한다.

4.3.3 유선망

- (1) 제체 및 투수성 기초지반 내의 침투수의 유동 형상, 침투수압의 분포, 안정계산을 위한 간극수압의 분포 등을 파악하기 위하여 유선망을 그려 검토한다.

4.3.3.1 제체의 유선망

- (1) 유선망을 그리는 방법으로는 모형실험 또는 도해법에 의하는 것이 일반적이다. 특히, 투수계수가 달라지는 층을 통과하는 경우에는 굴절의 원리를 사용하여 유선망을 수정하여야 한다.
- (2) 유선망에 의하여 제체 및 투수성 기초지반 내의 침투수 유동형상과 침투수압의 분포상태를 파악하며, 이것을 응용하여 필댐의 계획 및 필댐체와 기초의 구조설계상 필요한 침투수량을 계산하여 필댐체의 안정검토에 필요한 제체의 간극수압의 분포를 알 수 있다.

4.3.4 침투유량

- (1) 유선망 또는 수식에 의하여 제체 또는 기초지반을 흐르는 침투유량을 산출하며, 이때 어

는 경우에도 적절한 투수계수를 선정한다.

4.3.4.1 일반사항

- (1) 필댐을 설계할 때, 침투유량(누수량)에 대한 검토가 중요하다. 저수위에서의 누수는 다음과 같으며 이들 누수량을 정확히 분리하여 알아둘 필요가 있다.
 - ① 제체의 누수
 - ② 기초의 누수
 - ③ 산턱에서의 누수 등
- (2) 허용 누수량은 저수지의 목적에 따라 다르지만 관개용 필댐에서는 저수량의 0.05 %/일 이하를 표준으로 한다.
- (3) 단, 저수량이 적은 소규모저수지의 경우에는 예외로 할 수 있다.

4.3.4.2 침투유량의 계산

- (1) 침투유량을 계산하는 방법은 유선망을 이용하는 방법과 수식에 의하여 구하는 방법이 주로 사용된다. 이때 필댐체의 불투수성부가 비등방성일 때는 수정한 투수계수 \bar{k} 를 써서 누수량을 산출하는 것이 일반적이지만 안전을 고려하여 수평방향의 투수계수를 사용해도 좋다.

4.3.4.3 제체의 투수계수

- (1) 제체의 투수계수가 비등방성일 때는 수정한 투수계수(\bar{k})를 사용하여 침투유량을 산출하는 것이 일반적이거나 안전을 고려하여 수평방향의 투수계수(k_h)를 사용하는 것이 좋다. 수정 투수계수(\bar{k})는 다음 식으로 구한다.

$$\bar{k} = \sqrt{k_h \cdot k_v} \text{ ----- 식(4.3.1)}$$

여기서, k_h 는 수평방향의 투수계수, k_v 는 수직방향의 투수계수이다.

4.3.5 수치해석에 의한 침투류 해석

- (1) 제체 및 기초지반의 침투류에 대하여 수치해석 방법으로 침투류 수두, 유속 분포, 침투유량, 침투수압 분포 등을 예측할 수 있으며 이를 바탕으로 누수량 및 필댐의 안전성을 검토할 수 있다. 수치해석방법으로는 유한요소법과 유한차분법이 이용되는 경우가 많은데, 이 때 경계조건, 재료의 계수 등 입력치를 충분히 검토한 후 사용한다.

4.3.5.1 수치해석에 의한 검토

- (1) 제체 및 기초지반의 침투류에 대한 해석방법으로 일반적으로 유한요소법이 이용되는 경우가 많다. 유한요소법은 해석대상 구조물을 다수의 요소로 분할(2차원 해석에서는 삼각

형 혹은 사각형 요소로 분할)하고 분할된 각각의 요소는 절점으로 연결되어 있는 각 요소에 미치는 수리학적 성질(투수계수, 동수경사)에 근거하여 모든 절점 및 요소의 수두, 유량 등을 구하는 방법이다.

- (2) 침투류를 해석함으로써 수두, 유속분포, 유량, 침투수압분포 등을 구할 수 있으나 해석대상 영역이 포화상태나 불포화상태 혹은 정상상태나 비정상상태에 따라 침투류 기본식과 투수특성이 다르므로 해석에 주의한다. 해석 결과는 재료 특성을 나타내는 물성치 및 해석시의 경제조건에 따라 좌우되므로 입력치에 대해서는 충분한 검토가 필요하다.

4.3.6 침투수에 의한 안정성 검토

- (1) 필름의 제체 및 기초는 침투수에 대하여 안전하도록 설계해야 한다. 특히 필름의 제체 및 기초지반의 누수를 완전히 차단할 수 없기 때문에 침투수압, 동수경사 등을 검토하여 파이프, 수리적 파쇄(hydraulic fracturing) 등에 대하여 안전하도록 파이프 방지대책 등을 강구하여 설계한다.

4.3.6.1 파이프의 검토

- (1) 한계유속에 의한 방법(Justin의 방법)

- ① 제체 및 기초의 흡입자 입경에 대하여 소류력에 의하여 입자가 밀려나가는 한계의 침투유속을 구하는 다음과 같은 식을 제안했다. 입자는 그 한계치(즉, 입자가 이동하여 파이프가 발생하는 한계유속)를 넘으면 파이프가 발생한다.

$$V = \sqrt{\frac{W \cdot g}{A \cdot \gamma_w}} \quad (\text{cm/s}) \quad \text{-----} \quad \text{식(4.3.2)}$$

여기서, W는 흡입자의 수중중량, A는 물의 흐름을 받는 흡입자의 면적(cm²), g는 중력가속도(cm/s²), γ_w는 물의 단위체적중량(g/cm³)을 나타낸다.

- ② 실제의 흡입자에는 여러 크기의 입자가 혼합되어 있어 입경의 기준을 정하기 어려우므로 침투류 해석에서 얻어지는 침투류의 실제 유속은 <표 4.3-1>의 입경에 대한 한계 유속의 1/100이하가 되도록 한다.

<표 4.3.-1> 입경과 한계유속

입경 (mm)	4.0~4.8	2.8~3.4	1.0~1.2	0.7~0.85	0.4~0.7	0.25~0.5	0.11~0.25	0.075~0.11	0.044~0.075
한계유속 (cm/s)	20.0	17.0	10.0	8.5	7.0	4.2	3.5	2.5	2.0

- (2) 한계동수경사에 의한 방법

- ① 물이 정지상태에 있는 경우 흡입자에 작용하는 수압은 간극수압이지만 흐름상태에 있는 경우에는 침투수압을 받는다. 침투수압이 어느 한도 이상이 되면 입자는 부유상

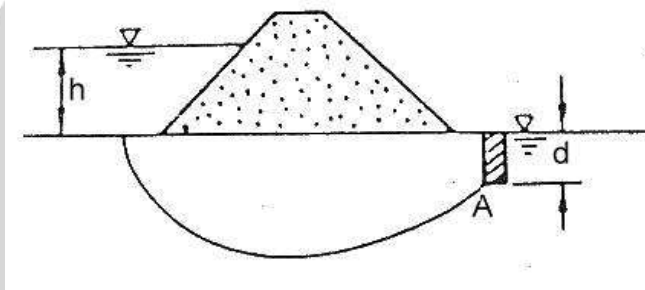
태로 되며, 이 현상을 분사현상(quick sand) 이라 하고 파이핑으로 확대될 위험성이 있다. 그림 4.3-1의 A점에서 침투수압과 토괴중량과의 균형을 생각하면 다음과 같다.

$$\gamma_w \cdot h = (\gamma_t + \gamma_w) \cdot d = \frac{G_s - 1}{1 + e} \cdot \gamma_w \cdot d$$

$$i_c = \frac{h}{d} = \frac{G_s - 1}{1 + e} = (1 - n) \cdot (G_g - 1) \text{ ----- 식(4.3.3)}$$

여기서, i_c 는 한계동수경사,
 e 및 n 는 흙의 간극비 및 간극률,
 G_s 는 토립자 비중을 나타낸다.

- ② 흙입자간의 저항력은 입자의 점착력, 중량, 입자구조에 따라 변하지만 정상적으로는 소성지수가 클수록 저항력이 크고 점착력이 없는 세립토에서는 $i_c = 0.5 \sim 0.8$ 로 알려지고 있다.



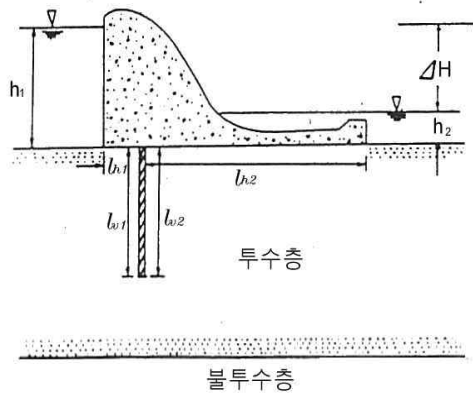
<그림 4.3-1> 분사현상

(3) Lane의 간편법

- ① Lane(1935)은 가중 크리프비(weighted creep ratio)를 기준으로 파이핑에 대한 안전율을 검토하는 방법을 제시하였다. 크리프비는 다음 식과 같다.

$$CR = \frac{l_w}{h_1 - h_2} \text{ ----- 식(4.3.4)}$$

여기서, $h_1 - h_2 = \Delta H$ 는 상하류면의 수두차,
 l_w 는 유선이 구조물 아래 지반을 흐르는 최소거리(그림 4.3-2)를 나타낸다.



<그림 4.3-2> 최소유선거리 계산법

② 크리프비가 아래의 <표 4.3-2>에 제시된 각 흙에 대한 값보다 크면 파이핑에 대하여 안전하다.

<표 4.3-2> 크리프비 안전치(Lane, 1935)

흙의 종류	크리프 비 안전치
아주 잔 모래 또는 실트	8.5
잔 모래	7.0
중간 모래	6.0
굵은 모래	5.0
연약 또는 중간 점토	2.0 - 3.0
단단한 점토	1.9
견고한 점토	1.6

(4) 파이핑의 방지대책

① 필댐체의 차수준은 소요차수기능을 갖도록 설계되어야 함은 물론이고 파이핑에 대해서도 세심한 주의를 기울여야 한다. 침투파괴에 대한 안전대책으로 다음을 들 수 있다.

- 가. 파이핑, 균열에 대하여 저항성이 큰 차수재료를 사용한다.
- 나. 적절한 입도의 필터 재료를 사용한다.
- 다. 지진발생시 균열 및 부등침하가 발생하지 않도록 신중히 설계한다.
- 라. 시공시 주의를 요한다.
- 마. 균일형 필댐의 경우 배수구를 적절히 배치하고, 침투로 인한 파괴가 예상되는 경우 재료선정에 신중을 기한다.
- 바. 지수주입(curtain grouting) 등 지수공 설치
- 사. 파쇄대 단층처리
- 아. 블랭킷 또는 전면 포장형 지수

자. 감압정(relief well) 설치

- ② 일반적으로 점토인 경우, 소성지수 > 15의 고소성 점토는 파이핑에 대하여는 최대의 저항성이 있으며, 다음으로 소성지수 > 6의 중소성 점토이거나 입도 분포가 좋은 굵은 모래 또는 가는 자갈, 셋째는 소성지수 < 6의 저소성 재료 중에서 입도 분포가 좋은 자갈, 모래, 실트의 혼합물이며, 최저는 소성지수 < 6이고 특히 균일한 입경의 잔모래 인 경우가 가장 저항성이 적은 것으로 알려져 있다.

4.3.7 간극수압의 검토

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

4.3.7.1 간극수압의 추정

- (1) 시공중 및 완성직후의 간극수압의 추정

- ① 간극수압의 소산을 고려하지 않을 경우

가. 불투수성부 또는 포화도 85% 이상인 점성토에서는 시공중(하중증가 기간)의 성토 중량에 의한 제체의 압밀로 인하여 간극수압(과잉간극수압)이 발생한다.

나. 간극수압은 일반적으로 완성직후에는 최대로 되고 경년후 침투수에 의한 수압보다도 크게 되는 수가 있다. 간극수압의 크기와 분포는 주로 시공중의 함수비, 흙의 성질, 필댐의 높이, 드레인의 유무, 시공중 공사 중지기간의 유무 등에 의하여 소산속도와 소산시간에 관계된다. 시공중인 간극수압의 추정에는 다음과 같은 방법이 있다.

(가) 압밀시험을 하지 않고 경험치를 사용하는 방법

- ㉔ MH, CH, CL, ML 활동면상의 토주중량의 60~80 %
- ㉕ 기타의 점성토 50 %
- ㉖ 낮은 필댐 또는 대댐(높은 필댐)으로 시공속도에 문제가 없는 대댐 활동면상의 토주중량의 50 %

(나) 압밀시험에 기인한 Hilf의 방법

- ㉗ 공기의 압축성에 관한 Boyle의 법칙과 공기가 수중에 용해되는 Henry의 법칙을 조합한 것으로 다음 식으로 주어진다.

- ㉘ 흩쌓기 시에 중지기간이 없을 때

$$\begin{aligned}
 u &= \frac{P_a \cdot \Delta}{V_a + h \cdot V_w - \Delta} \\
 &= \frac{P_a \cdot \frac{\Delta H}{H_o}}{n_o \left(1 - (1 - h) \frac{S_o}{100} \right) - \frac{\Delta H}{H_o}} \quad \text{----- 식(4.3.5)}
 \end{aligned}$$

㉔ 흡쌍기 시에 중지기간이 있을 때

$$u = \frac{(P_a + u_2) \cdot \frac{\Delta H'}{H_o}}{n_o \left(1 - (1 - h) \frac{S_2}{100} \right) - \frac{\Delta H'}{H_o}} \quad \text{----- 식(4.3.6)}$$

여기서,

u : 간극수압, σ: 전응력, σ' : 유효응력(=σ-u), P_a : 필름 지점의 대기압,

Δ: 원용적에 대한 압축률(=Δh/H_o),

H_o : 시료의 초기두께,

ΔH : 시료 압축량,

V_a : 처음 다진 후의 간극 내 자유공기량(= n_o·(1-S_o)),

h : 수중에서의 공기용해도(Henry의 계수로 20℃일 때 0.0198),

V_w : 다진 후의 간극 내 수량(= n_o·S_o),

n_o : 다진 후의 간극율(%),

S_o : 다진 후의 포화도(%),

ΔH₂/H_o : 흡쌍기 재개 시의 압축률(%),

u₂ : 흡쌍기 재개시의 간극압,

$$S_2 : \text{흡쌍기 재개시의 포화도} \left(= \frac{S_o \left(1 + \frac{u_2}{P_a} \right)}{1 + \frac{u_2}{P_a} (1 - h) \frac{S_o}{100}} \right),$$

n₂ : 흡쌍기 재개시의 간극율(=n_o-ΔH₂/H_o),

ΔH'/H_o : 흡쌍기 재개시의 압축률 증가분(%) (ΔH₂/H_o로부터의 증가분)

㉕ 이 식은 포화도 S_o가 85 % 이상인 경우(이 때 간극 속의 공기압과 수압이 거의 같게 된다)는 근사적으로 성립하는 것으로 생각한다.

$$\sigma = \sigma' + u$$

㉖ Hilf 식은 최적함수비보다 습윤층의 함수비로 다진 흙에 대하여 성립한다. 최적함수비의 건조층에서는 재하중에 의한 압밀은 간극 속의 공기만을 배제하므로 간극압의 증가는 아주 작게 된다.

② 간극수압의 소산을 고려한 경우

가. 간극수압은 시공속도나 차수준의 나비, 드레인의 유무 등에 의하여 정도의 차이는 있으나 소산되고 있다. 이것을 고려해서 간극수압을 구하면 더 실제의 상태에 가까운 값을 얻을 수 있을 것이다. 이것을 구하는데 다음과 같은 방법이 있다.

나. 경험치에 의한 경우

(가) Hilf의 방법에 의하여 소산계수를 사용해서 추정한다.

㉗ 성토 중지기간이 없을 때

$$u = \frac{P_a \Delta}{V_a + h \cdot V_w - \Delta} \cdot (1 - A) \quad \text{----- 식(4.3.7)}$$

㉘ 성토 중지기간이 있을 때

$$\Delta u = \frac{(P_a - u_2) \frac{\Delta H'}{H_o}}{n_2 \left(1 - (1-h) \frac{S_2}{100} \right) - \frac{\Delta H'}{H_o}} (1 - A) \text{ ----- 식(4.3.8)}$$

여기서, A는 소산계수

<표 4.3.-3> 소산계수(A)

필름의 형식	배수도랑의 유무	A
존형 필름(중심차수존형 필름)	유	0.5 ~ 0.8
균일형 필름	무	0.3 ~ 0.5

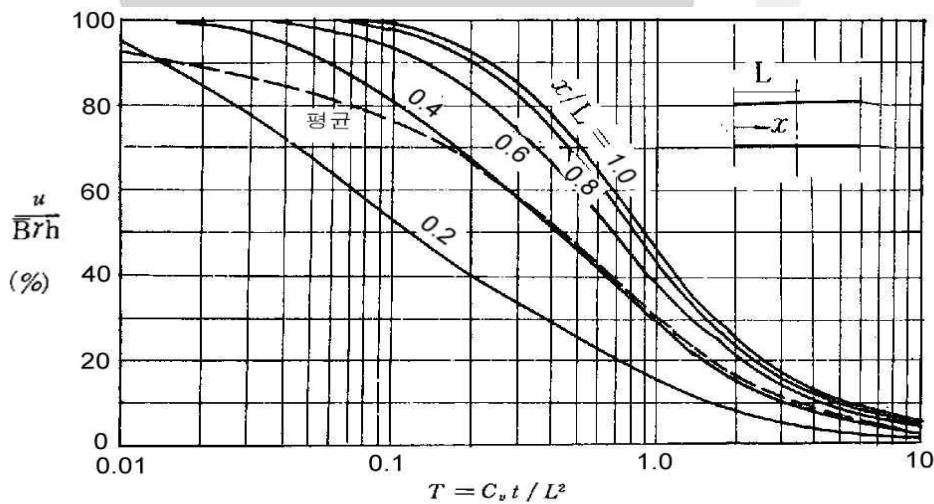
다. 압밀이론에 의하여 간극수압의 소산을 계산하는 방법

(가) 얇은 차수 코어부에서 배수는 수평방향으로만 생긴다고 가정한 경우

배수거리는 일정하여 하중만이 시간에 따라 일정속도로 증가할 경우 즉, 성토 고가 일정속도 a로 시공될 때는 Terzaghi의 압밀해를 Duhamel의 정리에 따라서 적분하면 간극수압 u는 아래 <그림 4.3-3>과 같이 된다.

(나) 성토 높이에 비하여 성토 폭이 큰 완경사의 균일형 필름

이 경우는 간극수압은 근사적으로 연직방향으로만 소산된다. 성토가 일정속도 $h(t) = at$ 로 시공될 경우의 간극수압 u는 Gibson에 의하여 구하고 $(\frac{u}{B\gamma h})$ 는 배수조건에 대하여 다음 <그림 4.3-3>과 같이 된다.

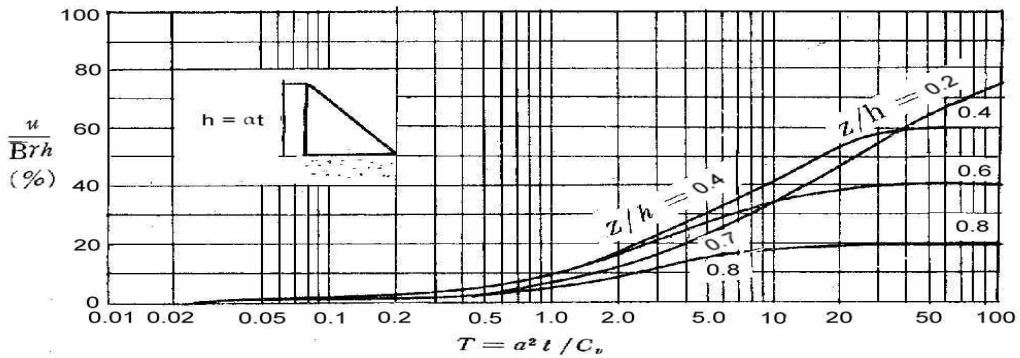


※ B : 간극압계수 γ : 성토의 단위체적중량 L : 불투수성부의 두께의 1/2
 x : 필터와 불투수성부의 접촉면부터 불투수성부내까지의 수평거리

<그림 4.3-3> 배수거리 일정, 하중이 일정 속도로 증가하는 경우의 간극수압과 시간과의 관계

(2) 상시 저수시의 간극수압

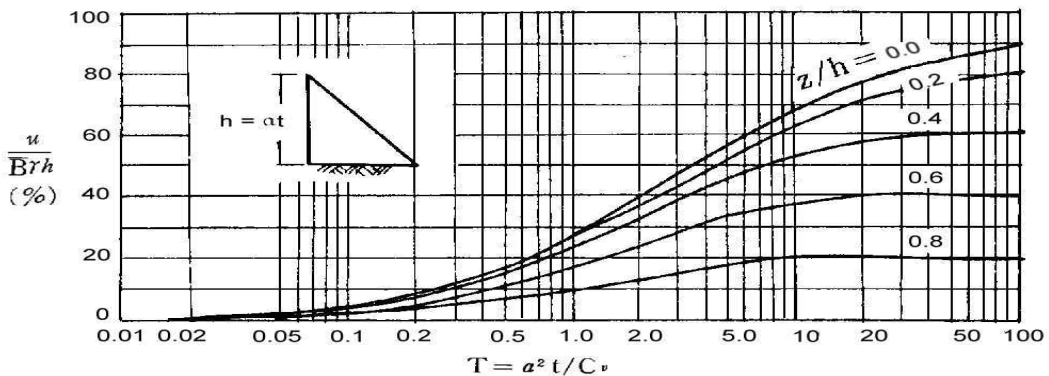
- ① 이 경우는 일정 수위를 장시간 유지하고 있기 때문에 이 상태에서 간극수압(수두로서 나타난 것)은 포화 영역의 포텐셜에서 위치의 포텐셜을 뺀 것으로서 계산된다. 얇은 차수부 또는 투수계수가 5×10^{-5} cm/s 이상의 성토내의 만수시 간극수압은 중력수의 흐름에 대한 이론적 분포에 가깝고 침윤선의 윗면은 분명하게 식별된다.



z : 성토저면부터 연직상향의 거리
 a : 성토의 시공속도

<그림 4.3-4> 토층두께 하중과 함께 시간에 비례해서 증가하는 경우의 간극수압(기초는 투수성)

- ② 간극수압 내 공기는 침투수에 의하여 상하류측면으로 밀려난다. 따라서 침윤선을 구하고 등수두선에 의하여 간극수압을 구할 수 있다. 그러나 투수계수 1×10^{-7} cm/s 이하의 두꺼운 불투수성부 내의 간극수압은 중력수의 흐름에 대한 이론적 분포와는 전혀 다르다. 따라서 이 경우의 간극수압을 지배하는 요소는 건조와 강우와 침투를 지배하는 모세관 현상이다. 그래서 간극 내의 공기는 장시간에 걸쳐서 다졌을 때와 같은 상태를 유지한다.



z : 성토저면부터 연직상향의 거리
 a : 성토의 시공속도

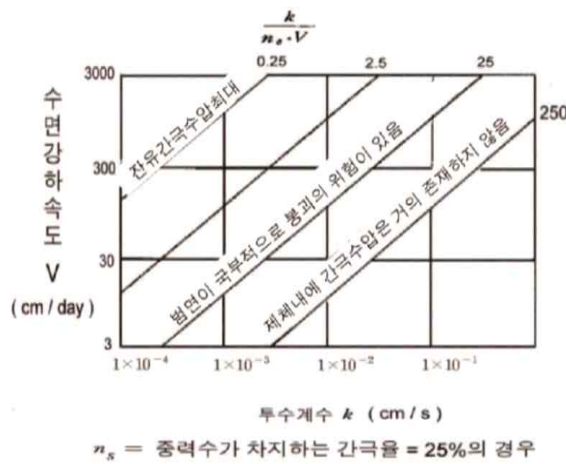
<그림 4.3-5> 토층두께, 하중과 함께 시간에 비례하여 증가하는 경우의 간극수압(기초는 불투수성)

(3) 수위가 급격히 저하할 때의 간극수압

- ① 체체 수위의 저하속도는 축제재료의 투수성, 간극율 및 저수위의 강하속도에 따라서

다르나 일반적으로 투수계수가 10^{-7} cm/s 이하의 불투수 재료에는 만수시의 정상 침투 상태의 간극수압이 100 % 잔류하는 것으로 가정하고 여러 가지 경사의 비탈면에 안전율을 간편하게 구하는 방법이 Morgenstern에 의해서 주어졌다.

- ② <그림 4.3-6>은 투수계수가 $k = 10^{-1} \sim 10^{-4}$ cm/s 정도의 재료로서 기울기가 30 %인 비탈면에서의 수면강하 속도와 비탈면 붕괴의 위험성과의 대략적인 관계를 나타낸 것이다. 그러나 수면상하 속도가 1일에 30 cm 정도면 $k = 10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/s 이하 재료에서는 비탈면 기울기가 30 %라도 활동할 가능성이 있으므로 이 경우는 비탈면을 암괴 또는 콘크리트 블록 등으로 보호해야 한다.

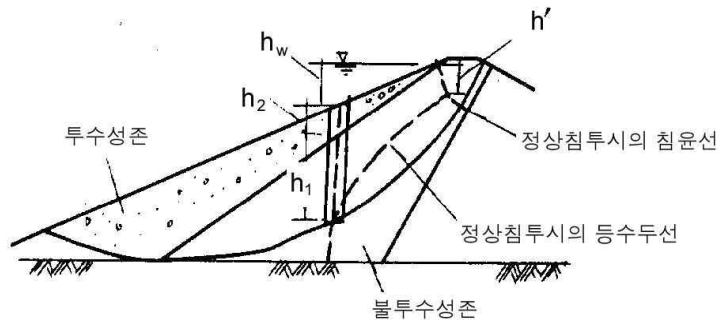


<그림 4.3-6> 수면강하속도와 비탈면의 안정성의 관계(다만, 비탈면 경사도 30 %인 경우)

- (4) 록 필름에서 상류측이 저수지의 수면강하와 거의 동시에 수위가 내려갈 수 있을 정도의 투수성 재료로 되어있는 경우, 급속 강하직후의 간극수압은 Bishop의 식에 의하여 구할 수 있다(<그림 4.3-7> 참고).

$$u_1 = \gamma_w \{ h_1 + h_2 (1 - n_s) - h' \} \text{ ----- 식(4.3.9)}$$

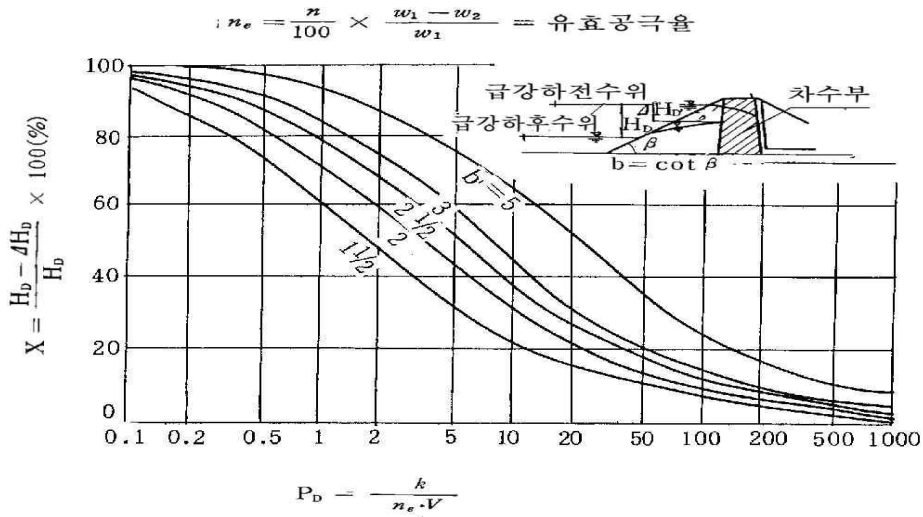
여기서 h_1 는 정상 침투시의 등수두선이 활동면과 교차하는 점에서의 불투수 존의 두께, h_2 는 등수두선과 활동면이 교차하는 점 위에 있는 투수성부의 두께, n_s 은 수면이 저하할 때 투수성부에서 유출하는 물의 단위체적중 차지하는 유효(중력수가 차지하는 간극율), h' 는 정상 침투상태일 때 침윤선의 만수면에서의 저하거리이다.



<그림 4.3-7> 급속 강하시의 간극수압의 계산

(5) 반투수성 존에 대해서는 수위가 저하할 때의 침윤면은 시간이 경과함에 따라 형상이 변하는 비정상류가 되기 때문에 간극수압을 정확히 파악하는 것은 곤란하나 미분방정식 또는 유한요소법으로 수치해석을 함으로써 이 과정을 추적할 수 있다. 수위가 강하할 때 간극수압의 실측치와 이론치를 비교한 예는 거의 없고 토질과의 관계도 거의 알려지지 않고 있으나 기존 자료를 종합하면 다음과 같이 말할 수 있다.

- ① 상류측 투수성 존에서는 간극수압은 발생하지 않고 수위변동에 따른다.
- ② 불투수성 존의 간극수압 분포는 수위 강하의 경계조건을 그대로 사용해서 제체는 비압축성이며 모세관현상이 없다는 가정에서의 유선망으로 구한 수압에 가깝다.
- ③ 불투수성 존의 간극수압은 수위저하가 완만할 때는 수위강하에 따르며 수위저하가 급격한 경우는 그 영향을 받는다.
- ④ 극히 세립의 점토질로 된 불투수성 존의 간극수압에 대해서는 아직도 믿을만한 측정 결과는 없다. 원형 활동면 분할법(slice method)에 의하여 제체의 활동과괴를 검토하는 경우에 수위가 급격히 저하할 때의 반투수성 존 중의 수위(간극압)는 <그림 4.3-8>을 사용해서 간단히 구하는 것이 좋다.



<그림 4.3-8> 수면 급강하시 셀재의 침윤선과 차수부 전면과의 교점위치를 구하는 그림

4.4 안정성 검토

4.4.1 활동에 대한 안전성 검토

- (1) 필댐의 제체 및 기초지반은 각종 토질시험의 결과에서 도출된 타당한 재료상수를 바탕으로, 제체 및 기초에 작용하는 각종 하중을 충분히 고려하여 여러 방법으로 안정계산을 하여 정해진 안전율을 만족하도록 설계한다.

4.4.1.1 활동에 대한 안전율

- (1) 필댐은 제체재료의 성질과 기초지반 상태 등을 고려해서 제체내부, 제체와 기초지반과의 접합부 및 부근에서의 활동에 대해서 충분한 활동저항을 갖도록 설계한다. 제체의 활동에는 일반적으로 제체비탈면의 활동(비탈면붕괴)과 제체의 기초면에 의한 활동(비탈면성 붕괴)을 생각할 수 있으며, 기초지반의 강도가 약한 경우에는 기초지반 내를 통과하는 활동면(저부 붕괴)에 대해서도 검토한다. 또한 안정계산에 사용하는 축제재료의 설계 강도정수는 적절한 토질시험에 의해서 얻어진 결과를 바탕으로 시공조건 등을 고려하여 결정해야 한다.
- (2) 필댐 비탈면의 활동에 대한 안전율은 재료시험이나 안정계산의 정밀도가 불충분한 경우나 또는 연약한 지반상의 필댐과 같이 불확정한 요소가 포함되기 쉬운 경우에는 1.5를 표준으로 하고 정밀도가 충분한 경우라도 <표 4.4-1> 이상의 안전율을 취해야 한다.
- (3) 활동과괴를 고려하는 경우는 <표 4.4.-2>에 의거하여 안정성 검토를 실시한다.

<표 4.4.-1> 필댐의 안전율

구분	제 체 조 건	저수위	지진	안전율		비 고
				상류	하류	
1	완성직후 (간극수압최대)	바닥상태	있음	1.3	1.3	1) 상류측 비탈면의 하부존이 암석등으로 되어 있어 간극수압 이 발생하지 않을 경우에 한함 2) 수위는 일반적으로 필댐 높이의 45~50 %를 적용하여 계산함
2	완성직후	일부저수 ¹⁾	없음	1.3	-	
3	평상시	설계홍수위	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	-	

<표 4.4.-2> 활동파괴를 검토하는 경우

경우	저수지의 수위	저수지의 수위 (정수압)	침투류(간극압)의 상태	설계진도	원형 활동면 분할법의 적용	
					응력표시	계산비탈면
1	설계홍수위	설계홍수위	설계홍수위에서 침투류가 정상상태	0%	유효응력	상하류측
2	서차지수위	서차지수위	서차지수위에서 침투류가 정상상태	50 %	유효응력	상하류측
3	상시만수위	상시만수위	상시만수위에서 침투류가 정상상태	100 %	유효응력	상하류측
4	중간수위	중간수위	중간수위에서 침투류가 정상상태	100 %	유효응력	상하류측
5	빈경우 (완성직후)	-	축제중의 간극압이 잔류	50 %	전응력 유효응력	상하류측
6(a)*	수위급강하	강하후의	상시만수위에서 최저수위까지 강하했을 때이며 간극압이 잔류	100 %	유효응력	상류측
6(b)*	수위급강하	최저수위		50 %	유효응력	

* 6(a) : 일상적으로 수위급강하가 일어나는 필댐,

6(b) : 그 외 필댐

4.4.1.2 활동에 대한 안전성 해석법

(1) 활동에 대한 안전성 해석법은 ‘건설공사 비탈면 설계기준, 4.7 안정해석 (국토교통부, 2016)’ 을 참고한다.

4.4.2 변형에 대한 검토

(1) 필댐은 필요에 따라 기존 필댐의 관측치나 실내 및 현장시험 등을 통하여 얻은 물성자료를

바탕으로 제체 및 기초에 대하여 변형해석을 실시하여 변형에 대한 안정성을 검토한다.

(2) 대규모 필댐에 있어서는 제체 및 기초에 대하여 변형 해석을 실시해야 한다. 변형해석은 기존 필댐의 관측기록과 실내 및 현장시험 등을 통하여 얻은 물성치를 기초로 하여 수치 해석을 한다.

(3) 필댐의 변위는 연직방향의 변위(침하), 필댐의 상하류방향의 변위 및 필댐의 축방향변위의

3가지 변위로 나눌 수 있다. 필댐에 있어서는 이들 세방향 변위는 막을 수 없고 그 양도 큰 크리트 댐에 비해서 매우 크다. 변위의 크기 및 시간적인 변화는 부등침하와 사일로(silo) 현상의 방지, 필댐의 더쌓기 결정 및 균열발생방지 등의 점에서 중요한 요소가 된다.

(4) 변형에 대한 검토가 필요한 경우는 다음과 같다.

- ① 필댐이 높을 경우
- ② 필댐 양안부의 경사가 급하거나 크게 변화하는 경우
- ③ 각 존의 물성치가 크게 다를 경우
- ④ 변형이 큰 재료로 축조하는 경우
- ⑤ 구조물과의 접합부가 긴 경우
- ⑥ 내진설계를 하는 경우 등

4.4.3 저수지 주변의 안정성에 관한 검토

(1) 저수지는 소요의 수밀성이 가지고 활동 파괴 또는 투수파괴가 일어나지 않아야 하며, 저수지 및 저수지 주변 산터 부근의 누수, 산사태, 토사붕괴 등에 대해서도 안전하여야 하며, 피해가 예상되는 경우에는 적절한 대책을 강구해야 한다.

4.4.3.1 누수의 검토

- (1) 저수지 주변의 조사는 필댐조사의 초기단계부터 시행하여 투수성 지반의 분포구조의 개요를 파악하고 저수면이 투수성 지반에 걸리지 않도록 저수지의 규모를 결정하는 등 필댐 기초의 선정에 대해서는 충분히 검토한다.
- (2) 다음에 열거하는 종류의 것은 투수성 지반으로 취급하여 누수를 검토한다.
 - ① 미고결 조립 퇴적물 : 화산회, 제4기층의 사력, 부분적인 제3기층의 사암, 역암
 - ② 입상으로 느슨한 풍화암 : 마사토, 화산암
 - ③ 절리, 불규칙한 틈새기 : 화산암의 수축절리(판상, 주상) 세일의 망목상의 절리, 단층과 쉐대, 광맥
 - ④ 용해성 공극 : 다공질 석회암, 석회암 동굴, 용암 터널
- (3) 지형도, 항공사진, 지질광산도, 수리지질도, 토질분류도 등으로부터 구성 지질과 표층지질을 판독하고 투수성지반 풍화대, 단층파쇄대, 저부(saddle) 및 단층곡 지형 등의 분포와 구조를 해석하여 저수에 따른 주변 산터로부터의 누수의 유무에 대해서 관찰하여 누수기구를 파악하고 누수량을 예측한다.
- (4) 저수지 지반으로부터 누수량 및 동수경사를 예측한 결과, 허용한계를 넘었다고 인정되는 경우에는 누수에 대한 조치를 강구해야 한다. 누수의 허용한계를 결정하는 근거로는 저수의 경제적 측면(저수효율)과 안전성 확보(파이핑) 등의 두 측면에 두고 있는데, 저수효과를 올리기 위해 지반의 파이핑을 방지하는 방법으로서 지하연속벽 공법, 그라우팅 공법, 불투수 블랭킷 공법, 전면포장 공법 등이 사용된다.

4.4.3.2 원지반의 보전

(1) 저수지 주변의 비탈면 형상과 보전

① 저수지 주변은 저수지 완성후 비탈면에서의 산사태나 토지붕괴 등이 예상되는 불안정한 개소를 조사 검토하여, 해석한 결과치가 장기적인 안정을 확보할 수 없다고 예측되고 노선의 변경이 곤란하다고 인정되는 블록에 대해서는 보전공을 실시한다.

(2) 저수지가 비탈면의 안정에 미치는 영향

① 비탈면의 안전도를 환경항목으로 설정하여 필댐 공사에 의해서 발생하는 영향인자를 도출, 분석하여 예측과 평가를 한다.

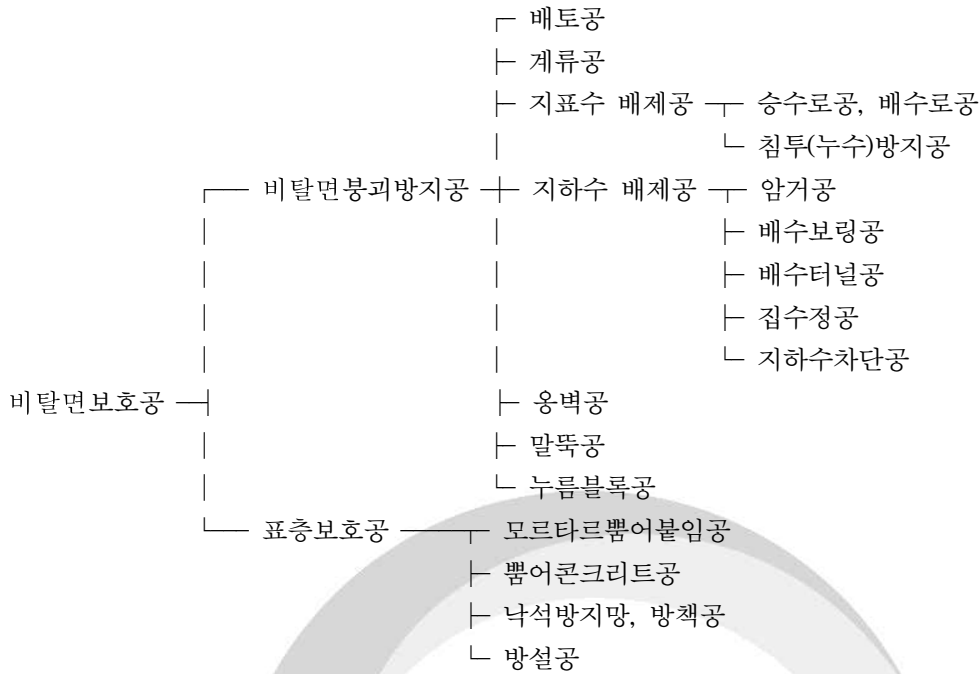
② 필댐 후보지의 모든 것을 대상으로 해서 지형도, 항공사진, 지질광산도, 산사태분포도, 토지분류도, 대해복구 관계자료 등을 모집해서 저수지 주변 원지반의 지형지질의 개요를 파악하고, 필댐공사 중 및 저수지 완성 후에 산턱이 받는 영향은 <표 4.4.-3>과 같이 정리한다.

<표 4.4.-3> 비탈면의 안정에 미치는 영향

종목	영향 종류	비탈면이 받는 영향의 양상				
		구분	상 태	지반형상변화	비탈면붕괴	세굴, 침식
저수 관리	1.저수위 상승		<ul style="list-style-type: none"> 절리면의 풍화 촉진 봉적도의 점착력 저하 	<ul style="list-style-type: none"> 수면부근붕괴 		
	2.저수위 급강하		<ul style="list-style-type: none"> 과잉간극수압 발생 연직유효감소 	<ul style="list-style-type: none"> 산사태 붕괴 		<ul style="list-style-type: none"> 지하수 흡출에 의한 파이핑
	3.호우		<ul style="list-style-type: none"> 과잉간극수압 발생 연직유효감소 	<ul style="list-style-type: none"> 붕괴 낙석 	<ul style="list-style-type: none"> 도랑모양의 침식 	<ul style="list-style-type: none"> 용수에 의한 관공 작용
이설 도로 건설	4.쌓기공		<ul style="list-style-type: none"> 비탈면상부의 전단력 증가 	<ul style="list-style-type: none"> 산사태, 붕괴 유발 성토자체의 미끄러짐 	<ul style="list-style-type: none"> 도랑모양의 침식 시트상 침식 	<ul style="list-style-type: none"> 성토저면의 용수에 따른 파이핑
	5.깎기공		<ul style="list-style-type: none"> 지반이완 비탈면하부를 절토하는 경우 전단증가 	<ul style="list-style-type: none"> 산사태 비탈머리붕괴 낙석 	<ul style="list-style-type: none"> 우수의 침투 증가 깎기비탈면의 도랑 형태의 침식 	
	6.터널공		<ul style="list-style-type: none"> 지반이완 풍화촉진 지하수의배제 	<ul style="list-style-type: none"> 비탈면안정도가 증가하는 경우도 있음 		
공사 중	7.발파		<ul style="list-style-type: none"> 진동에 의한 지반이완 	<ul style="list-style-type: none"> 붕괴 낙석 		
	8.중기작업		<ul style="list-style-type: none"> 동적수평응력 증가 	<ul style="list-style-type: none"> 설봉 		<ul style="list-style-type: none"> 포화모래층의 분출

(3) 비탈면 보호공의 설계

① 산턱의 보호에는 <그림 4.4.-1>의 공법이 고려될 수 있다. 이들 가운데 주된 보전공의 적용은 다음과 같다. 자연 상태 하에서 지하수위를 낮추며 저수시 또는 강우시에 지하수위의 상승을 방지하기 위하여 지하수 배제공이 널리 설계되고 있다.



<그림 4.4-1> 비탈면 보호공의 분류

4.4.4 필댐의 내진설계

(1) 적용 시설

- ① 필댐 및 부속시설의 내진성능을 확보하기 위하여 필요한 기준을 규정하는 것으로서, 「지진·화산재해대책법 시행령」 제10조 제1항 제5호에 따른 총저수량 30만 m³ 이상인 저수지 및 그 부속시설의 내진설계에 적용한다.

4.4.4.1 내진설계 일반

(1) 내진설계 기법

- ① 진도법을 내진설계의 기본으로 한다. 다만, 진도법으로 설계된 댐체 단면에 대하여 액상화 검토를 비롯한 상세한 검토가 요구되는 경우에는 동역학적 해석방법에 의한 검토를 수행해야 한다.
- ② 동역학적 안정해석 방법으로 댐의 내진설계를 수행하는 경우에는 설계 지진파형의 설정, 댐 축조재료의 동적인 응력 왜곡 특성, 해석방법으로서의 3차원적 응답이나 지하 소산 규정, 파괴규준 및 파괴현상의 모의 등을 고려하여야 한다.

(2) 설계지반운동

① 일반사항

- 가. 설계지반운동의 정의와 고려 사항은 KDS 17 10 00(4.2.1.3)에 따른다.
- 나. 댐체의 내진설계를 수행하는 경우 댐 상류의 저수지 수위 및 수위의 변화상태에 따라 댐체 안전에 가장 불리한 조건으로 안정해석을 수행한다.

② 설계지진가속도의 크기

가. 지진구역 및 지진위험도

(가) 지진구역, 지진구역계수, 평균재현주기별 위험도계수는 KDS 17 10 00에 따른다.

나. 설계지진가속도의 크기 결정

(가) 유효수평지반가속도는 KDS 17 10 00에 따른다. 경제적인 설계가 필요한 경우, 소성해석법이나 동적유효응력해석을 이용한 동적검토를 수행하는 경우, 기존 시설의 내진보강 설계를 위한 성능평가를 적용하고자 하는 경우에는 국가지진위험지도를 이용한 방법으로 유효수평지반가속도를 산정할 수 있다. 다만, 국가지진위험지도를 이용하여 결정된 유효수평지반가속도는 상기의 행정구역에 의한 방법으로 결정된 유효수평지반가속도 값의 80 % 보다 작지 않아야 한다.

(나) 기초지반의 영향을 고려하기 위한 지반증폭계수는 KDS 17 10 00(4.2.1.4(3)②)에 따라 산정한 단주기 증폭계수를 적용한다.

(다) 필댐이 균일형 흙댐인 경우 댐 형식별 할증계수 1.2를 적용한다.

(라) 댐이 위치할 지점의 설계지진가속도의 크기는 유효수평지반가속도, 지반 증폭계수, 댐 형식별 할증계수를 모두 곱한 값으로 한다.

(마) 산정된 설계지진가속도의 크기가 0.2g 이상으로 강진국가의 설계지진가속도의 크기보다 과다하다고 판단되는 경우 적용 설계지진가속도의 크기를 0.2g 이하로 조정할 수 있다.

③ 기초지반의 분류

기초지반의 분류는 KDS 17 10 00에 따른다.

④ 설계지반운동의 특성 표현

설계지반운동의 특성표현은 KDS 17 10 00에 따른다.

(3) 내진등급별 설계지진 수준

댐의 내진등급은 댐의 중요도에 따라 내진 II등급 및 내진 I등급의 두 가지 등급으로 분류하며 <표 4.4.-4>와 같이 내진 등급별로 규정된 평균재현주기를 갖는 설계지진 수준을 적용하여 내진설계를 수행한다.

<표 4.4.-4> 댐의 내진 등급과 설계지진

내진 등급	댐	설계지진의 평균재현주기	
		기능 수행	붕괴 방지
내진 I 등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> • 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 • 총저수량 2천만 m³ 이상인 댐 	100 년	1,000 년
내진 II등급 댐	<ul style="list-style-type: none"> • 총저수량 30만 m³ 이상인 댐 	50 년	500 년

(4) 지진하중

- ① 내진설계 시 지진 하중은 댐 안정에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 고려한다. 즉, 댐체는 상·하류 방향의 수평지진하중만을 고려하여 설계하며, 부속시설은 구조물의 특성에 따라 상·하류 방향 또는 댐축 방향의 지진하중을 선별적으로 고려하여 설계한다.
- ② 지진 시에는 유체의 동수압을 고려하여야 하며, 파랑고의 영향이 크다고 판단되면 이를 고려하여야 한다.

(5) 내진성능 수준 및 목표

① 내진성능수준

- 가. 댐의 내진성능수준은 ‘기능수행수준’ 과 ‘붕괴방지수준’ 으로 구분한다.
- 나. ‘기능수행수준’ 이란 지진하중 작용 시 댐에 발생한 손상이 경미하여 지진 후 댐의 기능이 발휘되는 성능수준이다.
- 다. ‘붕괴방지수준’ 이란 지진하중 작용 시 댐에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 댐의 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태가 발생하면 안 되는 성능수준이다.

② 내진성능목표

- 가. 내진성능목표는 내진등급별로 설계지반운동에 대한 내진성능수준으로 정의되며 <표 4.4.-5>에 따른다.

<표 4.4.-5> 필댐의 내진성능목표

설계지진	평균재현주기	내진성능수준	
		기능수행	붕괴방지
	50년	내진 II등급	
	100년	내진 I등급	
	500년		내진 II등급
	1000년		내진 I등급

4.4.4.2 내진설계

(1) 내진설계상의 주의점

- ① 연약한 기초의 침하나 느슨한 모래 기초에 의한 액상화가 발생되지 않도록 충분한 기초처리를 한다.
- ② 콘크리트관, 철관 등의 피해는 암반 위보다 토질기초 위에서 더욱 크므로 물넘이 취수관 등의 중요한 구조물은 암반 위에 설치되도록 설계한다.
- ③ 지진에 의한 진동 및 지진 시의 단층이동에 의한 댐마루의 침하에 대비하여 충분한 여유고를 둔다.
- ④ 균열이 쉽게 발생하지 않는 재료를 이용하여 폭 넓은 트랜지션 존을 설치한다.

- ⑤ 댐체의 중심부 부근에 수직 및 수평 배수층(drain)을 설치한다.
- ⑥ 배수층에는 충분한 단면을 주어 비록 지진 시에 균열이 발생하여 댐체 침투량이 증가해도 안전하게 하류측으로 배출시킬 수 있도록 한다.
- ⑦ 점토차수 존은 균열이 발생하기 어려운 소성이 있는 재료로 만들고 그 폭은 충분히 크게 한다.
- ⑧ 점토차수 존의 상류부에도 입도분포가 좋은 재료로 된 필터 존을 설치한다. 이것은 점토차수 존의 균열 스톱퍼(crack stopper)로서의 역할을 하기 때문이다.
- ⑨ 지진에 의하여 저수지에 발생한 과량이 댐체를 월류해도 댐체가 쉽게 침식당하지 않도록 댐마루를 보호한다.
- ⑩ 점토차수 존의 양안부(abutment) 암착부에 있어서 폭을 넓게 해둔다.
- ⑪ 댐체의 침투수에 의한 포화부분이 될 수 있는 한 적게 되는 위치에 점토차수 존을 설치한다.
- ⑫ 주변 산의 비탈면이 지진 시에 저수지 내로 붕락하지 않도록 비탈면의 안정 대책공을 해 둔다.
- ⑬ 댐 붕괴 시 하류 마을까지의 홍수도달시간이나 재해의 규모를 추정하는 동시에 피해를 최소화하기 위한 구체적 대책 등을 고려해 둔다.

(2) 설계거동한계

- ① 기능수행수준의 설계 거동 한계
 - 가. 댐체에 특별한 손상이 없어야 한다.
 - 나. 댐체에 균열이 발생하지 않아 댐의 저수기능이 저하되지 않아야 한다.
 - 다. 부속시설물의 구조재료는 탄성 거동하여야 한다. 이들 구조물에 대한 설계는 KDS 54 17 00에 따른다.
- ② 붕괴방지수준의 설계 거동 한계
 - 가. 재료의 항복과 영구변형은 허용될 수 있으나, 댐의 강도에는 영향이 없어야 하며, 댐체 및 기초에 액상화가 발생하지 않아야 한다.
 - 나. 댐체의 비탈면활동이나 기초의 활동 및 댐체에 과도한 침하가 발생하지 않아야 하고, 균열은 댐의 저수능력의 저하를 초래해서는 안 된다.
 - 다. 지진으로 발생하는 수면파가 댐체를 월류하거나 수리구조물, 부속구조물 및 양안의 붕괴나 누수에 의해 댐의 기능이 손상되어서는 안 된다.
 - 라. 부속시설물의 구조재료는 설계강도 내에 있어야 하며, 수 시간 내에 정상작동 회복이 가능해야 한다. 부속시설물은 여수로 및 부대시설물을 의미한다. 부대시설물은 취수탑, 발전소, 댐 관리동, 수로터널 등을 말하며 이들 시설에 설치된 수문, 권양기, 현장조작반, 관리교, 전기 및 계측제어설비 등을 포함한다. 이들 시설물에 대한 설계는 KDS 54 17 00(4.11)에 따른다.

(3) 정역학적 설계기준

- ① 일반사항
 - 가. 설계에 적용하는 지진력은 작용 정하중에 대한 지진 관성력만 고려하고 동수압은

영향이 미미하므로 제외한다.

나. 지진에 의한 파랑고는 필요한 경우에만 따로 고려한다.

② 지진력

가. 진도법에 의한 정역학적 설계에서 필댐에 작용하는 지진력은 활동면 상의 댐체 무게에 설계지진가속도의 크기를 곱한 지진 관성력이며, 이 힘의 작용점은 활동면의 중심이고 작용 방향은 수평방향으로 하되 안정에 불리한 쪽으로 정한다.

나. 활동면에 연직으로 작용하는 동수압은 아주 작으므로 무시하며, 수직 관성력은 수평 지진관성력만을 적용하는 경우가 가장 불리하므로 적용하지 않는다.

③ 활동면법에 의한 지진시 비탈면안정 검토

가. 필댐의 내진설계에 있어 가장 중요한 부분은 비탈면안정 검토이다.

나. 활동면 위의 댐체가 활동하도록 하는 힘은 정수압, 해당 댐체의 자중, 활동면을 따라 작용하는 간극수압 및 수평 지진관성력이고, 이러한 외력에 저항하는 힘은 활동면에 연직으로 작용하는 반력과 활동면의 접선방향으로 작용하는 점착력과 마찰력이다.

다. 활동원의 중심에 대하여 외력의 모멘트에 설계 안전율을 곱한 값이 저항 모멘트를 초과하지 않으면 댐은 활동에 대하여 안전하다고 판단한다.

라. 비탈면안정 검토에 적용하는 지진관성력은 저수지의 수위 상태와 그 수위의 발생 빈도 등을 고려하여 차등 적용한다.

마. 지진시 간극수압은 변화하지만 현재는 그 변화의 증감폭을 정량적으로 평가하기 어려워 설계자가 적절하게 판단한다.

바. 일반적으로 설계지진가속도의 크기는 댐 저면에서 상부까지 같다고 가정한다.

④ 부속시설

부속시설은 각 시설물별 내진설계 기준에 따른다.

(4) 동역학적 검토

① 동역학적 설계법의 적용

가. 경험적인 방법인 진도법은 보수적인 관점에서 설계방법으로 채택되어 왔으나 적정 지진 규모와 기술적 조건이 충분히 고려되지 못했기 때문에 보다 과학적이고 이론적인 동적 해석기법의 적용이 필요하다.

나. 특수한 구조의 댐을 신규로 내진 설계하거나, 기존 댐에 대한 내진성능을 평가하여 내진보강 설계를 하고자 하는 경우에는 진도법보다는 동적해석법을 적용한다.

② 지진해석 방법과 절차

가. 설계지반운동과 지진하중으로 적용되는 시간이력하중은 본 기준에 제시된 설계지반운동 및 인공합성 지반운동 시간이력 작성방법에 따라 생성하고, 상시만수위를 검토 수위로 하며 필요시 기타 낮은 수위 조건에서도 검토한다.

나. 댐체나 기초지반에 액상화 발생 가능성이 없고, 과잉간극수압의 발생으로 인한 과도한 강도감소가 없는 경우에는 Newmark 방식에 의한 댐 비탈면의 소성활동량을 계산하여 내진 안전성을 검토한다. 계산된 소성활동량이 0.3 m 이내이면 댐

안전에 문제가 없고, 0.6 m는 상당한 손상을 동반하는 허용 가능한 소성변형량으로 판단한다.

다. 댐체나 기초지반에 액상화 발생 가능성이 있고, Newmark 방식에 의한 댐 비탈면의 소성활동량이 0.6 m를 초과하는 경우에는 흙의 소성적 성질과 동적간극수압을 고려한 동적 유효응력해석법을 설계에 적용한다.

③ 부속시설

부속시설의 동적해석은 각 시설물별 기준에 따른다.

(5) 액상화의 검토

① 필댐이 느슨한 사질지반에 축조된 경우나 지진 등의 외력에 의하여 과잉간극수압이 상승하고 전단강도가 저하될 것으로 예상되는 기초지반이나 댐체에 대하여는 액상화에 대한 안정성을 검토한다.

② 액상화를 검토하는 방법은 KDS 17 10 00(4.7)에 따르되, 댐 규모, 안전도, 재료물성의 정확성, 붕괴 시 피해 등을 고려하여 적절한 방법을 선정한다.

③ 액상화의 가능성이 있다고 판단되는 경우에는 다음의 절차와 방법에 따라 흙의 액상화 저항력과 정적, 동적응력 조건을 고려한 검토를 수행한다.

가. 댐체 또는 기초지반 내의 상시 유효응력 또는 유효구속압 상태를 추정한다. 추정 방법으로는 댐마루를 반무한의 지표면으로 가정하여 침윤선의 위치와 흙의 단위 중량으로 구하는 방법과 댐의 축조과정 및 담수 과정을 단계 모사한 수치해석을 통하여 구하는 방법이 있다.

나. 댐체 또는 기초지반의 지진 시 작용응력, 즉 진동전단응력을 산정한다. 이 방법에는 지진응답해석법이 적용된다. 2차원 등가정적 지진응답해석을 적용하는 것이 타당하나, 기초조사나 개략적 분석을 위해 보정방법이 적용된 1차원 지진응답해석도 적용될 수 있다. 정밀한 결과 도출을 위해서는 비선형 2차원 동적해석법이 고려될 수 있다.

다. 흙의 진동저항전단응력(액상화 저항응력)을 가.에서 산정한 유효구속압으로 나눈 진동저항전단응력비를 KDS 17 10 00(4.7)에 따라 산정한다.

라. 가.항에서 산정한 유효구속압으로 나.항으로 구한 진동전단응력을 나누어 지진 시 진동전단응력비를 구하고, 여기에 다.항으로 구한 지진 시 진동저항전단응력비와 비교해서 액상화의 가능성을 판정한다.

마. 가.~라.의 절차 없이, 비선형 유효응력해석을 수행하여, 산정된 간극수압비로부터 댐체와 기초지반의 액상화를 직접적으로 판정하는 방법이 적용될 수도 있으나, 시간적 경제적 비용과 적용 모델의 적합성에 대한 신중한 검토가 필요하다.

4.4.5 매설계측 안전관리

(1) 필댐 축조 시 여러 종류의 계기를 매설하여 축조과정에서의 안전관리와 품질관리를 하고 필댐이 완성되어 담수호에는 필댐 내부에서의 응력변화와 이에 따른 필댐체의 거동을 관측하여 안전관리에 활용한다.

- (2) 계기 설치 수량은 기존 필댐의 설치실례와 운영실적을 참고하여 정하되 운영기간 중의 고장 등을 고려하여 20 % 정도의 여유물량을 추가하도록 한다. 연약지반 위에 필댐이나 높이가 큰 필댐에서는 기본적으로 다음과 같은 계기를 설치해야 한다.

4.4.5.1 간극수압계

- (1) 주로 차수부에 설치하여 축조공사중 간극수압을 측정하여 축조속도를 관리하고 담수 후에는 간극수압의 소산상황 측정, 침윤선의 추적 및 지진시 필댐체 내의 간극수압 거동을 측정할 목적으로 적절한 위치에 설치한다. 일반적으로 필댐체 단면 중 큰 단면을 갖는 필댐중앙 단면을 포함한 2~3개 단면에 표고 15~20 m마다 필댐축 직각방향의 평면상 하류측 필터 및 상류측에 설치한다.

4.4.5.2 토압계

- (1) 필댐 각 존간에 수평으로 일정표고에 설치하여 중량에 의한 토압과 수압에 의한 응력변화를 측정, 유효응력을 파악한다. 일반적으로 간극수압계와 같은 곳에 매설하되 45°-3성분의 유효토압을 측정해서 내부응력의 크기와 방향을 측정하여 응력-변형을 해석하고 성토단면의 전단변형에 의한 필댐의 안정성을 확인한다. 이때 같은 평면상에 3~4개 토압계를 설치해야 한다.

4.4.5.3 층별침하계

- (1) 차수부에 수직으로 일정간격 마다 설치하여 층별 침하량을 측정한다.

4.4.5.4 수평변위계

- (1) 필댐의 변형과 수위변화에 따른 수평방향의 변형을 측정하기 위하여 각 존간의 수평면상에 일정 간격으로 여러 개의 변위계를 설치한다.

4.4.5.5 누수측정장치

- (1) 필댐하류에 누수집수벽을 설치하고 일정구간별 누수량 집수정 및 측정장치를 설치하여 구간별 누수량을 측정한다.

4.4.5.6 지진계

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

4.4.5.7 암반변위 측정계

- (1) 기초암반 부위에 설치하여 암반의 변형특성 및 하중의 내력(내하성)을 측정한다.

4.4.5.8 전단변위 측정계

- (1) 재료가 상이한 성토면의 상대변위 측정이나 급한 비탈경사를 갖는 양안부에 설치하여 기초지반과 성토부의 전단변위를 측정한다.

4.5 기계, 전기설비

4.5.1 적용범위

- (1) 이 기준은 필댐에 설치되는 모든 게이트(gate), 밸브(valve) 및 스크린(screen)에 적용한다.

4.5.1.1 설비의 종류

- (1) 필댐에 설치되는 설비는 게이트 등의 기계설비와 수.배전설비 등의 전기설비, 원방감시제어 설비 등의 통신.제어설비, 기상이나 수문관측을 위한 관측설비를 말한다. 각 설비의 종류를 설치 목적별로 분류하면 <표 4.5.-1> 설비의 종류와 분류와 같다.

<표 4.5.-1> 설비의 종류와 분류

설치목적	설비종류		분류	
취수	취수설비	취수게이트(밸브)	기계설비	
		선택취수게이트		
	제진설비	스크린		
홍수조절	물넘이설비	물넘이 게이트		전기.통신 제어설비
방류	방류설비	방류게이트(밸브)		
전원(전력.조작.조명용 등)	수.배전설비, 예비발전설비			
운전.조작	통신.제어설비	원방감시제어설비 등	전기.통신 제어설비	
기상.수문관측	관측설비	기상관측장치		
		수위계, 유량계		

4.5.1.2 설비의 설계

- (1) 수문설계에 관한 사항은 “KDS 54 20 15, 4.6. 여수로수문” 을 참조한다.
- (2) 저수지의 저류수를 안전하게 배제시킬 수 있는 구조물로서 상시 및 비상방류설비를 설치할 수 있으며 “댐 부속 수리구조물 KDS 54 80 10 : 2022 설계기준 4.3 상시 및 비상방류설비” 를 참조하여 설계할 수 있다.
- (3) 필댐의 안전에 영향을 미칠 수 있는 비상상황이 발생한 경우를 대비하여 사전방류 시설을 설치할 수 있으며 이를 통하여 사전방류 할 수 있다. (2) 방류시설로 농업용저수지의 취설(취수탑, 사통)을 이용하거나, 비상수문, 사이폰 등 긴급방류 시설을 추가로 설치한다.

4.6 이설 및 진입도로

4.6.1 일반사항

- (1) 이설도로 및 진입도로 건설은 합리적인 계획과 설계가 이루어지도록 하여야 하며, 저수지 수변과 인접 지역으로의 동물이동 단절방지 및 서식지 훼손의 최소화 방안을 노선 선정시

충분히 검토한다.

- (2) 이설도로는 필댐 건설에 따른 수몰 등으로 인하여 사용하지 못하는 기존도로의 대체도로를 말하며, 진입도로는 필댐 공사를 위하여 필댐 건설지 또는 기타 부대시설 등에 접근하기 위한 도로를 말한다.

4.6.2 설계시 고려사항

- (1) 필댐 건설로 수몰되는 도로의 이설계획을 제시한다.
- (2) 이설도로는 도로의 기능확보, 인근 주민의 편의 제공, 장래 지역발전 및 경제성을 고려하여 합리적인 계획이 되도록 한다.
- (3) 필댐 건설을 위해 필요한 이설 및 진입도로 등을 위한 측량은 기능과 목적에 부합되도록 시행되어야 한다.
- (4) 이설도로 공사를 실시하기에 앞서 공사의 목적, 내용 및 규모에 따라 적당한 세부측량이 선행되어야 한다. 일반적으로 필댐 지점의 상.하류부에 걸쳐서 좌.우안의 가용면적을 정확히 파악하고 상호 연관성이 깊은 가설비는 한 곳으로 모아서 배치함으로써 유기적인 기능이 발휘될 수 있도록 한다.
- (5) 이설도로는 저수지 주변에 개설되므로 도로의 구조시설 기준 및 농도의 구조시설 기준에 따라 설치하며 주변경관과 조화되도록 노선과 도로단면 계획에 유의한다.
- (6) 진입도로 노선은 공사비, 필댐 및 부대시설 배치계획, 공사재료원, 시공계획, 지역여건 등을 고려하여 공사에 편리하도록 계획한다. 만일 기설도로가 있으면 운반자재의 양, 크기, 중량 등을 고려하여 개량 정비한다.
- (7) 진입도로는 공공도로와는 달리 사용기간이 짧고 사용목적이 제한되는 점을 특히 고려한다. 따라서 진입도로의 규모는 도로 건설비와 필댐 축조비의 경제성 검토에서 결정된다.

4.6.3 도로계획 및 설계 절차

- (1) 도로의 계획 및 설계는 도로 현황 및 교통, 노선, 경제, 환경, 토질, 그리고 용지 및 보상, 물가, 기상, 장애물 등에 대한 조사가 이루어져야 한다.
- (2) 이설 및 진입도로의 설계는 관련계획 검토, 조사예정지 검토, 예정지 노선답사, 현장조사, 노선측량, 설계기준사항 검토, 도로구조 계획, 도로설계 등의 순서로 실시한다.
- (3) 이설도로 및 진입도로는 KDS 67 35 00 농도의 설계기준에 따른다.

2023년 집필위원(부분개정)

성명	소속	성명	소속
강문성	서울대학교	이윤상	한국농어촌공사
김학관	서울대학교	유승환	전남대학교
김종건	강원대학교	유 찬	경상대학교
박찬기	공주대학교	임경재	강원대학교
박성기	(주)콘텍이엔지	장태일	전북대학교
박윤식	공주대학교	전상민	서울대학교
박영진	한국농어촌공사	차상선	공주대학교
신용철	경북대학교	황세운	경상대학교
신현호	충남대학교	황순호	서울대학교
이 백	한국농어촌공사	허 건	한국농어촌공사

2018년 집필위원(제정)

성명	소속	성명	소속
권형중	한국농공학회	박찬기	한국농공학회
김선주	한국농공학회	유 찬	한국농공학회
박종화	한국농공학회		

자문위원

성명	소속	성명	소속
강재구	한국농어촌공사	손재권	전북대학교
김기성	강원대학교	송재도	전북대학교
김남욱	한국농어촌공사	이세일	한국농어촌공사
김선주	건국대학교	이진호	한국농어촌공사
김성준	건국대학교	이용직	(주) 이산
김세형	한국농어촌공사	이호형	한국농어촌공사
김정균	한국농어촌공사	임동휘	한국농어촌공사
김창환	한국농어촌공사	윤광식	전남대학교
김태용	한국농어촌공사	장익근	(주)화신엔지니어링
남원호	한경대학교	정근영	한국농어촌공사
남창효	한국농어촌공사	조용우	한국농어촌공사
노재경	충남대학교	조일형	한국농어촌공사
류재경	한국농어촌공사	최경숙	경북대학교
류우한	한국농어촌공사	최병한	한국농어촌공사
박종화	충북대학교	최화엽	한국농어촌공사
박종대	(주)도화엔지니어링	한석열	한국농어촌공사
박상영	(주)수성엔지니어링	홍성구	한경대학교
박진현	한국농어촌공사	홍대벽	(재)농어촌환경연구소
박판석	한국농어촌공사		

국가건설기준센터 및 건설기준위원회

성명	소속	성명	소속
이영호	한국건설기술연구원	손재권	전북대학교
김기현	한국건설기술연구원	김선주	건국대학교
김나은	한국건설기술연구원	김성준	건국대학교
김민관	한국건설기술연구원	이현우	경북대학교
김재훈	한국건설기술연구원	송창섭	충북대학교
김태송	한국건설기술연구원	홍성구	한경대학교
김희석	한국건설기술연구원	손영환	서울대학교
류상훈	한국건설기술연구원	변용훈	경북대학교
안준혁	한국건설기술연구원	백원진	전남대학교
원훈일	한국건설기술연구원	박상영	(주)수성엔지니어링
이상규	한국건설기술연구원	정진호	(주)삼안
이승환	한국건설기술연구원	윤병순	(주)평화엔지니어링
이용수	한국건설기술연구원		
이원종	한국건설기술연구원		
주영경	한국건설기술연구원		
최봉혁	한국건설기술연구원		
허원호	한국건설기술연구원		

중앙건설기술심의위원회

성명	소속	성명	소속
곽종원	한국건설기술연구원	안명준	조경시공연구소 느티
류은영	(주)태암엔지니어링	정평기	(주)화인씨이엠테크
이양규	대림대학교	석관수	한국수자원공사
안병선	(주)한국종합기술		

농림축산식품부

성명	소속	성명	소속
이재천	농업기반과		
김성률	농업기반과		
강혁수	농업기반과		

(분야별 가나다순)

KDS 67 10 20 : 2023 농업용 필댐 설계

2023년 12월 28일 개정

소관부서 농림축산식품부

관련단체 한국농어촌공사

58217 전라남도 나주시 그린로 20(빛가람동 358) 한국농어촌공사

☎ 061-338-5114 E-mail : webmaster@ekr.or.kr

<http://www.ekr.or.kr>

작성기관 한국농공학회

06130 서울시 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동 365-4) 과학기술회관 본관 205호

☎ 02-562-3627 E-mail : j6348h@hanmail.net

<http://www.ksae.re.kr>

국가건설기준센터

10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)

☎ 031-910-0444 E-mail : kcsc@kict.re.kr

<http://www.kcsc.re.kr>

※ 이 책의 내용을 무단전재하거나 복제할 경우 저작권법의 규제를 받게 됩니다.