

댐설계기준

2001.

한국건설기술연구원

※ 본 자료의 페이지 수는 원 자료와 다를 수 있습니다.

주관

수 행 기 관 : 경기대학교

연구책임자 : 이종태

협동

수 행 기 관 : 공주대학교

참여연구원 : 공주대학교 토목환경공학과 교수 정상만 총괄, 제 2 장 댐조사

수 행 기 관 : 중부대학교

참여연구원 : 중부대학교 토목공학과 교수 이주현 제 2 장 댐조사

수 행 기 관 : 인하대학교

참여연구원 : 인하대학교 토목공학과 교수 심명필 제 3 장 댐계획

수 행 기 관 : 한국건설기술연구원

참여연구원 : 한국건설기술연구원 수자원환경연구부 수석 연구원 김남원 제 3 장 댐계획

수 행 기 관 : 삼안건설기술공사

참여연구원 : 삼안건설기술공사 부회장 이희승 제 4 장 필댐, 제 11 장 내진설계

수 행 기 관 : 한국수자원공사

참여연구원 : 한국수자원공사 댐본부장 이규환 제 5 장 콘크리트 표면 차수벽형 석괴댐

수 행 기 관 : 영남대학교

참여연구원 : 영남대학교 토목공학과 교수 지홍기 제 6 장 콘크리트 중력댐, 제 7 장 롤러다짐 콘크리트

댐

수 행 기 관 : 육군사관학교

참여연구원 : 육군사관학교 군사과학대학원 원장 전병호 제 8 장 아치댐

수 행 기 관 : 한국종합기술개발공사

참여연구원 : 한국종합기술개발공사 수자원개발부 전무 조영호 제 9 장 여수로와 어도, 제 10 장 유수전환

참여연구원 : 한국종합기술개발공사 수자원개발부 부장 이상렬 편집 및 삽도제작

수 행 기 관 : 경희대학교

참여연구원 : 경희대학교 대학원 토목공학과 석사과정 한형구편집 및 삽도제작

제 1 장 총칙

1.1 목적

이 댐 설계기준(이하 '기준'이라 함)은 건설기술관리법 제 34 조의 규정에 의하여 댐의 조사, 계획, 설계를 실시하기 위하여 필요한 기술적 사항을 설정한 것으로서 기술수준의 향상과 체계화에 기여함을 목적으로 한다.

1.2 내용

이 기준은 총칙, 댐조사, 댐계획, 필댐, 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐, 콘크리트 중력댐, 롤러다짐 콘크리트댐, 아치댐, 여수로와 어도, 유수전환, 내진설계의 11 개 장으로 구성되며, 댐설계의 기술적 사항에 대한 내용으로 한다. 이 기준에 기술된 내용은 앞으로의 기술수준의 향상과 기타 필요에 따라 개정하여 시행하는 것으로 한다.

1.3 운용방침

이 기준은 「댐 건설 및 주변지역 지원 등에 관한 법률」 이 정하는 다목적댐과 생활 및 공업용수를 공급하기 위하여 건설하는 댐에 대하여 적용한다.

이 기준은 다른 법령에 의하여 건설하는 댐에 대해서도 적용을 권장한다. 이 기준이 적당치 않을 때는 기술 자문에 따라 이 기준을 손상치 않는 범위내에서 수시로 수정 발전시켜 나가게 한다.

또한 이 기준은 기술수준의 향상 및 관계법령의 개·폐 등에 따라 전반적인 수정보완이 요구되면 조속히 개정하는 것으로 한다.

제 2 장 댐조사

2.1 댐 조사계획의 수립

2.1.1 사업계획의 확인

(1) 일반사항

(가) 댐의 사업계획은 댐의 필요성, 경제성(투자성), 환경성, 공사비 등을 충분히 검토하여 결정하여야 한다.

(나) 댐 건설의 목적을 분명히 인지하기 위하여 국토종합계획, 수자원 장기종합계획, 수도정비계획, 댐건설장기계획 등 댐과 관련된 상위계획을 사전에 확인하여야 한다.

2.1.2 조사계획

(1) 일반사항

(가) 댐 조사계획은 조사목적, 조사대상지역의 특성 등을 감안하여 수립하여야 하며 조사내용, 조사의 정밀도 등을 결정하여야 한다.

(나) 댐 조사는 조사목적에 따라 계획상 필요한 조사, 설계상 필요한 조사, 시공상 필요한 조사, 유지관리상 필요한 조사, 환경영향평가에 필요한 환경인자조사 및 기타조사 등으로 구분한다.

(다) 이들 조사를 수행하는 방법에는 자료의 수집과 청취, 답사, 현지조사, 측량, 현장실험과 현지관측, 설내실험, 시공실험 등이 있다. 조사는 넓은 범위의 조사에서 좁은 범위의 조사로, 낮은 정밀도의 조사로부터 높은 정밀도의 조사로, 전체의 경향을 파악하는 조사로부터 특정한 목적을

위한 조사로 진행한다.

(2) 조사계획 수립

(가) 댐의 조사계획은 계획조사, 기본조사, 실시조사 등의 조사과정을 거쳐 수립해야 한다.

(나) 계획조사

① 댐의 계획조사에서는 수문, 기상, 지형, 지질 및 입지조건 등에 대한 기존 자료를 광범위하게 수집, 검토해야 한다.

② 계획조사에서 댐 지점은 2~3 개 후보지를 선정하고 이들 후보지에 대한 현지답사 및 ①항의 필요한 조사를 기초로 하여 타당성 조사시 댐 건설의 가능성 판단과 장·단점을 비교 검토하여 선정하여야 한다.

(다) 기본조사

① 댐의 기본조사는 댐 건설의 가능성을 최종적으로 결정하기 위해 댐 건설의 기술적이고도 기본적 사항인 기본설계, 시공 및 개략공사비 검토에 필요한 사항 등을 조사, 수집하는 단계이며 댐 건설의 타당성 평가를 위한 환경영향조사를 시행해야 한다.

② 댐의 최종적 계획확정은 기술적이고도 기본적인 사항의 검토에 의하여 이루어진다. 물론 차후에 실시조사나 보완조사에 의해 이 계획의 수정이나 변경이 부분적으로 이루어지겠으나, 적어도 기본설계에 있어서는 어떤 변경사항이 일어나지 않도록 신중하고 충분한 조사를 실시해야 한다.

(라) 실시조사

① 실시조사는 기본조사를 통하여 결정된 기본설계를 기초로 하여 설계에 필요한 상세한 자료와 시공 및 공사비의 산정검토에 필요한 자료를 수집하는 단계로서 세부지질조사와 같은 사항을 포함한다.

② 실시조사는 기본조사를 근거로 하여 질과 양 및 정밀도를 높여 설계를 가능한한 정확하게 하기 위해서 시행한다.

(3) 조사사항

(가) 계획에 관한 조사사항

① 하천계획과 개발의 가능성

ⓐ 계획지역내의 기존 댐의 실태

ⓑ 하천 유황의 실태

ⓒ 신규댐 개발의 가능성

② 타사업과의 권리조사

ⓓ 수원개발과 타사업의 관련성 여부(농지개량 사업, 하천치수 사업, 상수도시설 사업, 공업용수

이용시설사업 등)

④ 기득 수리권의 실태(농업용수, 상수도 · 공업용수, 발전용수 등)

⑤ 발전용수 사용계획과의 조정

⑥ 물수급 현황조사

⑦ 농업용수의 현황(현재 용수부족 현황)

⑧ 장기용수의 수급전망

⑨ 기존용수배분 가능성

(나) 설계에 관한 조사사항

① 기상 및 수문(기온, 바람, 강우, 강설 및 유출 등)

② 하천상황(유량, 수온, 수질 및 하상상태)

③ 지형 및 지반

④ 축제 재료

⑤ 지진 및 기타

(다) 시공에 관한 조사사항

① 기상 및 수문(기온, 강우일수, 강우, 강설, 유출 등) 상황

② 흉수 상황 조사

③ 축제(築堤) 재료의 분포

④ 인력조달의 범위 및 가능성

⑤ 용지조달의 범위 및 가능성

⑥ 전력공급 가능성

⑦ 지역사회와의 여건과 상황

(라) 유지관리에 관한 조사사항

① 기상 및 수문

② 하천상황

③ 기존 댐의 이수관리 자료

④ 기존 댐의 관리시스템

⑤ 기존 댐의 안전관리 자료 및 상황

(마) 개인보상에 관한 조사사항

① 수몰되는 가옥, 건물, 사찰, 공공건물, 기타 시설물

② 생활기반의 실태(생업실태, 농지 등 재산의 수몰상황)

③ 이전지역 및 생업전환에 대한 주민의견

④ 주변지역에서의 정착지 조건의 실태와 그 정비의 의향

⑤ 이전적지의 선정

(바) 공공보상에 관한 조사사항

① 수몰도로, 하천시설, 학교 등의 공공시설

② 공공시설의 이전과 대책 등

(사) 권리 관계의 조사사항

① 수리권, 어업권, 광업권 등

(아) 환경영향평가에 관한 조사사항

① 생활환경에 관한 조사

② 하천의 수량과 수질

③ 어류서식과 분포

④ 댐 하류수 이용상황

⑤ 댐 주변의 지하수위

⑥ 소음과 진동 등의 공해

⑦ 자연재해에 관한 조사

⑧ 산사태 및 붕괴지(방재대책)

⑨ 눈사태발생의 분포(방재대책)

⑩ 유사, 퇴사 및 하도의 변화

⑪ 흉수피해조사

ⓐ 갈수(한발)피해조사

③ 자연환경에 관한 조사

ⓑ 기상조건

ⓓ 지형 및 지질

ⓔ 특별식물의 분포

ⓕ 임상조건(보안, 방풍, 방재림 등의 분포)

ⓐ 녹화기초의 조건(녹화기술적 대응)

ⓑ 도입식물의 순응성

ⓐ 육상 및 수중식물의 군생분포

ⓐ 동물의 서식분포

④ 환경관계 법률에 관한 조사

ⓐ 환경보전법에 의한 지역지정의 범위

ⓑ 자연공원법에 의한 지역지정의 범위

ⓒ 도시계획법에 의한 녹화보전의 지정범위

ⓓ 문화재보호법에 의한 사적, 명승, 천연기념물의 지정범위

ⓐ 조수(鳥獸) 보호 및 수렵에 관한 법률에 의한 조수 보호지역의 지정범위

⑤ 기타법률에 관한 조사

ⓐ 산림법에 의한 지정구역(보안림 등 지정구역)

ⓓ 광업권 지정구역

ⓔ 산사태 등의 지정구역

ⓕ 도시계획 지정 및 녹지지역

ⓐ 상수도 보호구역

(자) 인문활동에 관한 조사사항

① 인문조사

② 사회조사

③ 경제조사

2.1.3 참고문헌 및 자료의 수집

(1) 일반사항

(가) 현지 조사에 앞서 댐 개발 계획과 관련된 기준의 참고문헌 및 자료, 댐지점 부근의 지질특성, 댐 유역의 지형특성, 지리정보 시스템(GIS) 및 기상·수문학적 특성에 대한 자료를 광범위하게 수집해야 한다.

(2) 수집자료

(가) 지형도

① 건설교통부 국립지리원 발행의 1/5,000, 1/25,000, 1/50,000, 1/250,000 및 1/1,000,000 지형도를 구입하여 활용한다.

② 지형도를 사용할 때 주의할 사항은 지형도의 작성 연·월·일을 확인하고, 최근의 지형도일지라도 작성후의 지형변화 유무를 확인하여야 한다.

(나) 지질도

① 우리나라의 지질도는 자원연구소에서 작성한 1/50,000, 1/250,000 지질도를 구입하여 활용한다.

② 지질도는 댐과 관련된 제반 토목 및 건축구조물 등의 기초지반을 판단하기 위한 기초자료가 된다.

③ 지질도를 통하여 유역의 지질생성 과정, 지질연대, 지층명, 지질구조 등을 파악함으로써 댐과 관련된 제반 토목 및 건축구조물의 안전한 설계 및 시공을 수행할 수 있다.

(다) 토성도, 지사(地史), 토목공사지

① 이들 자료는 그 정도와 작성 당시의 목적 등을 잘 알고 이용하여야 한다.

(라) 항공사진 측량도 및 지리정보 시스템(GIS)

① 항공사진 측량도 및 지리정보 시스템은 댐의 계획, 조사, 설계 및 공사에 유용하게 이용되어야 한다.

② 지면에서는 볼 수 없는 지질구조인 사태, 단층대(斷層帶), 습곡(褶谷), 결리(節理) 등을 한 눈으로 명확하게 볼 수 있도록 한다.

③ 색의 짙고 얇음에 따라 토양함수비, 지하수의 고저, 불투수성 점토지대, 사질건조지대 등을 확인할 수 있으므로 누수상태도 확인할 수 있도록 한다.

④ 식물의 종류, 밀생 정도에 따라 모암의 종류, 깊이, 함수비 등을 추정한다.

(마) 이밖에도 조사계획 수립시의 세부조사항목(계획, 설계, 시공, 유지관리, 보상, 환경영향 평가,

인문활동 등)과 관련된 자료들을 광범위하게 수집해야 한다.

2.1.4 현지답사

(1) 현지답사 계획의 수립

(가) 현지답사는 사전에 수집된 자료를 정밀하게 검토 분석하고 현지상황을 정확하게 파악할 수 있는 현지답사 계획(기간, 소요경비 등)을 수립하여 시행하여야 한다.

(나) 기상·수문조사는 장기간의 시간이 소요되므로 앞당겨서 추진하고, 기초지반과 재료원의 조사는 동시에 동일한 수준으로 현지답사를 통해 실시해야 한다.

(2) 자료의 수집 및 분석

(가) 현지답사를 통하여 자료수집이 끝나면 이를 자료를 기초로 현지에 대한 지형, 지세, 유수(遊水) 상황 등의 세부상태를 관찰하여 기존 자료와 대조하고 정정기입하여 현지의 정확한 실태를 파악해 두어야 한다.

(나) 단애(斷崖), 하상(河床), 산복(山腹) 등의 암석이나 지층이 뚜렷하게 노출되어 있는 곳을 관찰하여 암석종류, 지질구조, 단층, 지층의 주향과 경사 등을 추정한다.

(다) 댐 기초지반에서 문제가 되는 풍화암, 투수성이 큰 자갈층, 화살분출물, 하안단구, 활동퇴적물 및 석탄암과 같은 용해성 암석 등의 지반은 그 분포와 두께 등에 대하여 가능한 한 정확하게 추정할 필요가 있다.

(라) 현지답사에 의한 재료원의 조사에서 주의할 사항

① 표고, 지형, 지표상태, 수목의 밀생 정도

② 배수(排水), 경사, 면적

③ 전입 및 운반로 개설을 위한 작업기종의 예상

④ 재료의 성인과 성질, 재료의 종류, 이용가능 수량, 분포상황

⑤ 조사갱의 설치수량과 위치

(마) 기초지반과 재료원의 조사는 서로 깊은 관련성이 있으므로 동시 답사에 의한 조사를 함께 실시하여야 한다.

2.2 측량

2.2.1 댐 지점의 측량

(1) 일반사항

(가) 댐 지점의 측량은 댐 본체의 설계에 필요한 측량과 여수로, 취수설비 및 기타 부대시설 설계에 필요한 측량으로 구분되며, 댐 지점의 측량성과를 이용하여 평면도와 종·횡단도를 작성한다.

(2) 측량성과

(가) 댐 지점 현황측량(평면도)

① 댐 지점의 현황측량은 댐 본체, 여수로, 취수탑, 가물막이둑, 가배수로, 공사용도로 등을 포함할 수 있도록 댐 상·하류에 걸친 충분한 범위(최소한 2Km 이상까지도 시행하여야 한다.

② 평면도의 크기는 1 호 전지(98 cm×68 cm) 정도의 크기에 축척은 1/500 ~ 1/1,000 정도이고 등고선 간격은 보통 1m로 하고, 어떠한 경우에도 2m를 초과해서는 안된다.

③ 댐 부근의 평면도 종에는 다음의 각 사항을 기입한다.

Ⓐ 구조물과의 관계를 표시하기 위한 일반적 외형도 및 주요구조물(댐축선, 댐의외형선, 터널, 수로 및 부대구조물, 취수시설, 여수로) 등.

Ⓑ 표제(表題), 방위, 축척, 도면번호, 책임자인 등.

(나) 댐 지점의 종단측량(종단도)

① 댐의 설계는 정확한 지형도(1:500, 혹은 1:1,000)와 지질조사 결과에 의하여 댐축, 기초굴착선 결정 등의 설계가 가능하며, 이러한 설계가 지표의 형상보다 기초암반 상태의 영향을 많이 받기 때문이다. 여러가지 가능성 있는 축을 비교 검토하여 최종 댐축을 결정하고 결정된 댐축에 대하여 종·횡단 측량을 할 경우 설계과정에서 시차가 발생하여 현장작업이 반복되는 번거로움이 있는 반면 설계시 계산한 공사수량을 추후 시공측량 결과에 의하여 수정, 재결정하기 때문에 댐기초의 공사수량에서 도사가 차지하는 비중이 낮은 점을 고려할 때 설계시의 종·횡단 측량을 시행하는 것은 큰 의미가 없다.

② 종단도는 좌측을 좌안측으로 하고, 여수로, 가배수로 등 지하통과구조물의 위치를 포함시켜야 한다.

③ 종단면도는 지형측량 자료에서 발췌하여 작성하여도 되며, 종단도에는 다음 사항을 기입해야 한다.

Ⓐ 측점번호(번호, 거리는 좌안측으로 부터 시작한다)

Ⓑ 각 점간의 거리

Ⓒ 추가거리

Ⓓ 지반고

Ⓔ 하상굴착고

Ⓐ 절취고, 성토고

Ⓑ 계획축제고(築堤高)

Ⓒ 심벽마루 표고

Ⓓ 설계총수위, 이상총수위

Ⓔ 만수위, 사수위

Ⓕ 가배수로, 여수로 등의 위치

Ⓖ 시굴(試掘), 시주의 위치(필요시는 그 주상도)

Ⓗ 필요에 따라서는 기초처리의 개요

Ⓘ 표제(表題), 축척, 도면번호, 책임자인 등

(다) 댐 지점의 횡단측량(횡단도)

① 횡단도에는 투수층이 댐 지점에 노출되든가 특별한 기초처리가 필요할 경우에는 대표적인 단면에 이를 표시한다.

② 횡단도는 좌측을 상류측으로 하여 작성하며 도면에 기입할 사항은 아래와 같다.

ⓐ 각 측점의 지반면 및 지반고

ⓑ 댐 횡단면 및 각종 계획고

ⓒ 재료표

ⓓ 표제, 축척, 도면번호, 책임자인 등

(라) 댐 상류의 하천 종 · 횡단 측량

① 댐 상류의 배수위 계산에 필요한 본류 및 지류 하천 종 · 횡단 측량을 실시하여야 한다.

(마) 댐 하류의 하천 종 · 횡단측량

① 댐 하류의 방류수위계산에 필요한 본류 및 지류의 하천 종 · 횡단 측량을 실시하여야 한다.

(바) 이상에서의 댐 지점에 대한 측량 성과를 작성함에 있어서 항공사진성과가 필요한 경우에는 항공사진측량도 실시할 수 있다.

2.2.2 저수지의 측량

(1) 측량범위

(가) 저수지 용량, 만수위 표고, 댐 건설과 관련된 주요시설물의 배치, 토취장 위치, 이설도로의 노선, 용지보상의 범위 등을 결정하기 위하여 댐을 중심으로 충분히 넓은 지역의 측량을 실시하고 설계에 필요한 정도를 갖는 등고선도를 작성해야 한다.

(나) 측량의 범위는 댐 지역과 그 주변지역을 포함하는 범위로 측량을 실시해야 한다. 특히, 댐 지점이나 여수로, 방수로 위치 등에 대해서 비교설계가 가능할 경우에는 그 후보지를 충분히 포함시킬 수 있는 범위로 해야 한다. 최소한도의 범위로서는 다음의 기준을 따른다.

① 댐마루 표고에 댐 높이의 20%를 가산한 표고를 포함한 지역

② 댐 축조부의 외측 약 50m 또는 댐 하류단에서 하류측 약 100m 를 포함하는 지역으로 하고, 지형이 완만하여 유수의 영향이 하류까지 미칠 경우는 현장조건에따라 적당히 연장한다.

(다) 저수지 측량시 정기적인 저수지 퇴사량 측정을 위하여 사전에 대표 횡단시점을 선정하고 표석을 설치할 필요가 있다.

(2) 측량방법

(가) 저수지 지형측량은 노력, 시간, 경비를 최소로 할 수 있는 측량방법을 계획해야 하지만 가급적 삼각측량을 기준으로 하여 시행하여야 한다. 또한, 대규모 저수지의 경우 항공사진 성과를 이용하는 것이 바람직하다.

(나) 트래버스측선은 삼각망이 짜여져 있는 경우에 반드시 삼각점과 연결시키도록 한다.

(다) 측점은 저수지 형상에 따라 다르나 대략 <표 2.1>과 같은 기준의 범위내에서 정하고 1 호 전지에 들어갈 수 있는 크기로 한다.

<표 2.1> 저수지 면적과 평면도의 축척

면 적	축 척
약 100 ha 이상	1/2,000 ~ 1/5,000
50 ~ 100 ha	1/1,000 ~ 1/2,000
50 ha 미 만	1/ 500 ~ 1/1,000

(라) 등고선은 1, 2, 5m 간격을 취하고, 도면의 문자는 읽을 수 있도록 모두 4 mm 이상의 크기로 한다.

(3) 기재사항

(가) 저수지 지형도(평면도)에는 다음의 사항을 기입한다.

① 행정구역(특별시, 도, 시, 군, 읍, 면)의 경계 및 그 번호

② 토지 명단의 경계 및 그 번호

③ 지목구분

④ 측점 및 측선

⑤ 수류의 방향

2.2.3 가설비와 이설도로 측량

(1) 일반사항

(가) 댐 건설을 위한 가설비공사의 주요 내용은 건설사무소를 비롯하여 합숙소, 사택등 건축공사와 기자재 창고, 급수시설, 골재 선별장, 콘크리트 생산설비, 정비공장, 전력공급시설, 통신시설, 진입 및 공사용 도로 등이며, 이들의 합리적인 배치 및 설치공사를 위한 측량은 가설비 시설별 기능과 목적에 부합되는 정도로 시행되어야 한다.

(나) 가설비 및 이설도로 공사를 실시하기에 앞서 공사의 목적, 내용 및 규모에 따라 적당한 세부측량이 선행되어야 한다. 일반적으로 측량의 종류나 방법 및 정도를 언급하기는 어려우나 댐 지점의 상·하류부에 걸쳐서 좌·우안의 가용면적을 정확히 파악하고 상호 연관성이 깊은 가설비는 한 곳으로 모아서 배치도록 함으로써 유기적인 기능이 발휘될 수 있도록 한다.

(다) 이설도로는 대체로 저수지 주변에 개설되므로 도로의 구조시설 기준 및 농어촌도로의 구조시설 기준에 따라 설치하며 주변경관과 조화되도록 노선과 도로단면 계획에 유의해야 한다.

2.2.4 댐의 측량

댐에 관한 제측량에서는 <표 2.2>와 같이 각각의 목적에 따라 다음의 측량을 행하는 것으로 한다.

<표 2.2> 작업에 따른 측량의 종류와 목적

작업명	측량의 종류	목적
계획용 기본도 작성	(1/2,000 ~ 1/5,000 지형도) · 사진측량	· 저수용량 산정 · 이설도로 계획 · 보상물건 개략조사 · 저수지주변 지질 조사
댐지점 지형도 작성	(1/500 ~ 1/1,000 지형도) · 등고선 평면측량 · 사진지형측량	· 댐본체 설계 · 가설비 설계
수준측량	· 수준측량	· 댐측량 기준점 설치 · 개략구조물의 관계파악
저수지 지형도 작성	(1/1,000 ~ 1/5,000 지형도) · 사진측량	· 저수용량 산정 · 도로노선 선정
원석산 지형도 작성	(1/500~1/1,000 지형도) · 등고선 평면측량 · 사진지형측량	· 원석 채취계획
수물선측량 도로측량	· 수준측량 · 중심선측 · 평면측량 · 종단측량 · 횡단측량	· 수물선 표석설치 · 공사용 이설도로 공사

작업명	측량의 종류	목적
용지측량	· 지형측량 · 수평측량 · 수준측량 (1/600 평면도)	· 용지매수
공사실시중의 측량	· 검사측량 · 지상 사진측량	· 기성고 관리
정기 횡단측량	· 횡단측량 (수심측량)	· 퇴사량 계산 · 저수지 관리

2.3 기상 · 수문조사

2.3.1 관측소의 설치

(1) 일반사항

(가) 기상·수문 조사시 댐 후보지점의 기상·수문을 파악하기 위한 관측기기설치(기온, 강수량, 하천유량, 수온 등)는 가능한 빠른 시일내에 이루어져야 하며 설계시공 및 관리하는 기간을 통하여 기상·수문관측은 계속 이루어져야 한다. 특히 댐 건설에 따른 기상변화의 관측을 위해서 댐 지점 및 상·하류에 1개소씩 최소 3개소 이상의 기상 및 수문관측 시설이 필요하다.

(나) 기상·수문관측소의 자료는 저수량(貯水量) 및 사용수량 확인, 댐 구체의 시공계획수립, 여수로 및 가배수로의 설계홍수량 결정 뿐만 아니라 댐의 계획·설계·시공에 있어서 매우 중요한 검증자료가 될 것이다.

(다) 관측항목

댐 지점 후보지의 기온, 강수량, 하천유량, 하천수온 등에 대한 관측시설은 가능한한 자기기록 시설로 관측하고 다음과 같은 사항을 추가하도록 한다.

- ① 댐지점 유역내의 대표지점(표고, 경사면, 풍향 등을 고려하여 선정된 지점)에서의 강수량(자기우량계 설치)
- ② 댐지점 하류부 하천의 여러 지점에서의 수온
- ③ 댐지점에서의 습도, 풍향, 풍력, 일조, 적설량 등

(라) 하천수위 및 유량측정 지점의 위치

- ① 댐공사에 의한 지형변경, 가배수로의 설치에 의한 유황변화의 영향을 받지 않는 범위로서 댐 지점에 가까운 곳
- ② 흐름이 조용하고 안정되어 있는 곳. 즉, 상당한 구간에 걸쳐서 일정한 경사도를 갖는 직선으로로서 단면변화가 없는 구간
- ③ 여수로의 설계에 필요한 하류수위가 얻어질 만한 지점
- ④ 댐 지점에서의 수위-유량관계곡선 작성이 가능하도록 갈수, 저수, 평수 및 홍수유량 조사(자기수위계 설치)

(2) 강수량

(가) 댐유역의 면적이 작은 경우, 강수량 관측자료는 댐 유역을 포함해서 주변 50 km²내에 적어도 3 지점에서 자료를 수집해야 하며, 100 km² 이상의 유역을 갖는 댐에서는 유역특성을 고려하여 30 km²에 1 점 이상에서 자료를 수집토록 하고 필요에 따라 추가관측소를 설치하여 자료를 수집하는 것이 바람직하다.

(나) 관측소는 댐 유역내의 평균표고 부근에 1 점, 나머지는 이를 둘러싼 형태로 거의 균등히 분포되도록 배치함이 바람직하다.

(다) 우량계의 기록속도는 원칙적으로 정밀도가 보장되는 속도의 자기우량계를 사용한다.

(라) 자기우량계에는 전도형, 저수형, 저울형 등의 3 종이 있는데 0.5 mm 전도매스형 자기우량계가 바람직하다. 설치하는 계측기는 기상업무법에 의하여 검정·합격된 것이라야 한다.

(마) 겨울철에 적설이 있는 유역에서는 장래 충분한 정밀도의 자기설량계가 개발될때까지는 히터식의 우·설량계를 배치하는 것이 바람직하다.

(바) 강수량과 관측소는 댐조사 뿐만 아니라 댐 유지관리를 위한 수문조사시설로 활용할 수 있도록 한다.

(3) 하천수위 및 유량

(가) 하천수위 및 유량관측소의 설치위치

① 댐공사로 인한 지형의 변경, 가배수로 설치에 의한 유황변화의 영향을 받지 않는 범위에서 댐에 가깝게 설치해야 한다.

② 상당구간에 걸쳐 유로가 직선적이고 경사가 일정하며, 하천의 단면변화가 없는 구간을 선정해야 한다.

③ 여수로의 감세공 설계에 필요한 하류수위를 측정하기 좋은 지점을 선정해야 한다.

(나) 수위계는 자기수위계라야 하며, 부표식(浮漂式)과 압력식 등 여러 가지가 있다. 그러나 원리가 간단하고 고장이 적은 기종을 선택함이 좋다.

(다) 관측시 유의사항

① 하천단면 변화에 대한 주의가 필요하다. 설정된 수위-유량곡선은 그 지정 단면에 대해서만 유효한 것이기 때문에 그 단면형이 변화된 뒤에는 적용할 수가 없는 것이다. 하천단면은 매 흥수시에 크게 변화될 가능성이 있으므로 종·횡단측량, 유량측정 등을 반복하여 크게 변화가 있게 될 경우에는 수위-유량곡선을 재설정할 필요가 있다.

② 일반적으로 큰 유량을 관측할 기회가 적고 이와 같은 유량이 유출될 때의 유속추정은 오차를 수반하기 쉬우므로 수위-유량관계의 실측에 있어서는 계획지점에 대한 소(低)유량의 실측을 반복할 뿐만 아니라 대유량에 필요한 자료를 정비하도록 노력해야 한다. 이 때문에 계획지점에서 일어나는 비교적 큰 유량을 안전하고 적절히 측정할 수 있도록 필요에 따라 시설을 갖추는 것이 중요하다.

③ 하천수위 관측소는 댐 조사뿐만 아니라 댐 유지관리를 위한 수문조사시설로 사용할 수 있도록 한다.

2.3.2 기상·수문자료 수집

(1) 일반사항

(가) 기상자료 가운데서 기온, 강수량, 하천수온, 풍향 및 풍속, 일조시간, 표고 및 위도 등의

자료로서는 주로 증발산량과 같은 손실수량을 산정하는데 활용된다.

(나) 수문자료 가운데서 강수량, 하천수위와 유량, 기왕의 흉수 및 호우의 규모와 빈도자료 등은 댐의 조사 및 계획에 가장 중요한 역할을 하게 되며, 이들의 분석으로 가용수자원과 각종 사용수량의 결정, 여수로 설계 및 수문설계 뿐만이 아니라 댐본체의 계획에 크게 활용된다.

(다) 투수계수, 침투수, 지하수위, 지층구조 및 토질분포 등의 자료는 댐의 계획, 공사비 산정, 시공방법 등에 중요한 참고자료가 되며, 저수용량 산정에도 또한 참고자료가 된다.

(라) 기상·수문자료의 수집에는 기설 관측소에서의 기관측자료가 보존되어야 하며 기관측자료의 유무에 관계없이 필요한 관측치에 대해서는 댐이 준공된 이후까지도 계속 관측을 해야 한다.

(마) 기상자료 가운데 기온, 풍향 및 풍속, 하천의 수온 등은 매일 1회 정도, 강수량은 월별 강우량이나 연우량은 물론이고 설계강우량 또는 설계흉수량에 필요한 지속시간의 강우자료가 수집될 수 있어야 한다.

2.3.3 저수용량의 조사

(1) 일반사항

(가) 저수지의 저수용량은 기상 및 수문조건과 유역상태로부터 발생 가능한 충분한 유량을 저류할 수 있는 규모이어야 한다.

(나) 저수지의 저수용량 계획규모는 저수지 규모와 유입량 및 방류량의 관계와 침투량, 증발량, 퇴사량 및 취수량 등을 고려하여 결정한다.

2.3.4 퇴사량 조사

(1) 일반사항

(가) 저수지내 유입되는 퇴사량은 흉수의 규모(흉수량, 흉수속도, 흉수빈도) 및 토사 공급원의 상태에 따라 대략 추정할 수 있다. 따라서 이들 요인이 될 유역면적, 지세, 지질상황 등을 조사하고 또한 부근의 유사한 실적(기준댐 실적)을 조사하여 퇴사량을 추정한다.

(나) 퇴사량 추정에 관한 여러가지 산정식들이 발표되어 있으나 퇴사량의 변동요인이 각 지역별로 크게 상이하다는 점을 생각할 때 지역별로 지형, 지질, 유역면적, 하천경사 등의 퇴사인자와 실측자료와의 상관성 규명을 통해 도출한 경험식(도표)등을 고려하여 추정하여야 한다.

(2) 비유사량(比流砂量) 추정방법의 선정

(가) 댐 계획 및 설계시에 이용되는 저수지 퇴사량 추정방법의 하나는 비유사량법으로서 유역내 저수지 퇴사자료 이용법, 경험공식, 타 유역의 비유사량 이용법 등이 있으며 이들 방법 중에서 현지의 여건에 가장 적합하다고 판단되는 방법을 선정해야 한다.

(나) 유량-유사량 곡선 이용법

① 하천의 임의의 관측지점에 유량 수문곡선의 자료가 축적 되어있고 동일지점에서 얻은 유량-유사량 곡선이 조사되어 있다면, 유량자료로 부터 구한 유량지속곡선(flow duration curve)에 유량-유사량 곡선을 적용하여 분석 대상 기간 동안의 총 유사량을 구할 수 있다. 이 총 유사량은 관측지점을 유역출구로 하는 유역에서의 유사 유출량이 된다. 이렇게 구한 유사 유출량을 단위 유역면적당, 단 단위 기간(보통 1년 기준)에 대해서 유사 유출량으로 환산하면 비유사량이된다. 만약, 하천의 한 관측지점에서 유량-유사량 곡선이 조사되어 있지 않다면 하천 유사량 산정공식을 이용하여 유량-유사량 곡선을 작성하게 된다.

② 한국건설기술연구원(1989)이 조사한 바에 따르면 건설교통부에서는 Einstein(1950) 공식 또는 Toffaleti(1968) 공식 등을 주로 이용하고, 농림부에서는 Engelund 와 Hansen(1967)공식 등을 주로 이용하는 것으로 밝혀졌으며 Einstein 공식이나 Toffaleti 공식은 다른 유사량 공식들에 비해서 상대적으로 신뢰도가 떨어지는 것으로 확인되고 있다.

③ 분석대상 지점에 유사량 실측자료가 없는 경우에 부득이 유사량 추정식을 이용하게 되는데 그 결과의 신뢰도는 실측 유사량 자료를 이용하는 것보다 상당히 떨어진다.

(다) 유역내의 저수지 퇴사자료 이용법

① 동일 수계나 인근 수계에 위치한 저수지의 퇴사자료를 이용하여 비유사량을 추정하는 방법이다.

② 저수지내에 퇴적되는 퇴사량과 저수지내로 유입되는 유사량의 비는 포착율로 정의되는데 대상 저수지의 포착률을 알면 저수지 비퇴사량에서 비유사량을 쉽게 산정할 수 있다. 그러나 저수지 포착률은 저수지유입유량, 저수용량, 저수지 방류량, 저수지의 운용규칙, 유입유사의 수리학적 특성 등의 함수이며, 결정하기가 쉽지 않다. Brune(1953)은 저수지 포착률과 저수용량-유입량비간의 관계곡선을 작성한 바 있고, Churchill(1948)은 저수지 포착률과 저수지 유사량 지표(=저수지내 지체시간 / 저수지내 평균유속)간의 관계 곡선을 작성한 바 있다. 여기서 저수지내 지체시간은 저수 용량을 유입량으로 나눈 값이고 저수지내 평균유속은 유입량을 저수지 평균 단면적으로 나눈 값이며, 저수지 평균 단면적은 저수용량을 저수지의 흐름방향 길이로 나눈 값이다.

③ 이들 두 포착률 곡선을 적절히 선택하여 사용하면 분석 대상 저수지의 포착률을 개략적으로 결정할 수 있다. 그러나 우리나라의 경우 저수지 포착률을 대부분 100%로 가정하여 사용하고 있다.

(라) 경험공식에 의한 방법

① 경험공식은 유역의 유사-유출량 자료 또는 저수지 퇴사자료를 유역특성 및 저수지 특성변수와 상관시켜 통계 처리하여 얻어진다.

② 우리나라에서 적용하고 있는 경험공식은 우리나라의 자료로부터 개발된 공식과 외국에서 개발된 공식으로 구분될 수 있다. 우리나라에서 개발된 공식으로는 윤용남 공식, 안상진과 이종형 공식, 류희정과 김시원 공식, 유시창과 민병형 공식, 서승덕 공식 등이 있으며, 외국에서 개발된 공식으로는 일본에서 개발된 다나까(田中) 공식과 에사끼(江奇)공식, 구미에서 개발된 Witzig 공식이 이용되고 있다. 이들 공식 모두는 저수지 퇴사량 자료로부터 구해진 추정식으로 국내의 공식중 류희정과 김시원 공식, 유시창과 민병형 공식, 서승덕 공식은 비퇴사량공식이며, 나머지 공식은 연평균 퇴사량 공식이다.

(3) 비유사량 추정방법

(가) 비유사량의 추정방법은 유역면적의 크기에 따라 중규모 유역(200~2,000 km²)과 소규모 유역(200 km² 이하)으로 나누어 비유사량을 산정한다.

(나) 한국건설기술연구원에서 우리나라 하천의 중규모 유역과 소규모 유역을 대상으로 연구 개발된 비유사량 추정공식은 다음과 같다.

① 중규모 유역

유역면적 200~2,000 km²인 중규모 유역을 대상으로 유역의 비유사량(Y_r : t/km²/yr)을 추정할 수 있는 경험공식은 다음과 같다.

$$Y_r = 972D^{1.039}M^{-0.825} \quad (2.1)$$

$$Y_r = 17.6D^{2.572}R^{0.847}M^{-0.938} \quad (2.2)$$

여기서, D : 하천밀도(km/km²)

M : 하상재료(mm)

R : 강우 침식도(J/ha)

② 소규모 유역

유역면적 200 km² 이하인 국내 하천의 소규모 유역을 대상으로 유역의 비유사량(Y_r : t/km²/yr)을 추정할 수 있는 경험공식은 다음과 같다.

$$Y_r = 8,688A^{-0.896} \quad (2.3)$$

$$Y_r = 23.564A^{-1.341}A_f^{0.403}K^{0.582} \quad (2.4)$$

여기서, A : 유역면적(km²)

A_{f} : 임야면적 (km²)

K : 토양 침식성(t/J)

2.4 하천상황 조사

2.4.1 하천상황 조사사항과 조사계획

(1) 일반사항

(가) 하천상황 조사의 대상은 댐 건설 전 하천의 모든 상황을 그 범위로 하고 조사사항은 유량, 수질, 하도 및 하상 등에 대한 상황으로서 조사사항을 충분히 검토하고 사전에 조사계획을 수립하여 시행해야 한다.

(나) 조사자료는 여러가지 사항들을 검토하는데 주요한 기초자료가 된다. 즉, 퇴사량과 퇴사형상에 대한 검토에는 유량과 하상상태에 대한 기본자료가 필요하며, 저수지 상류의 배수(背水)해석과 퇴사의 검토에는 마찬가지로 하상상황에 대한 기초자료가 필요하다. 그리고 취수선택과 하천의 유지기능의 확보여부에 관한 검토에는 유량, 수질, 수온 등의 기초자료가 필요하다.

(다) 하천상황 조사자료는 댐의 건설에 있어서 저수지내의 퇴사, 수질과 수온의 변화, 댐 건설 후의 환경에 미치는 사항들을 검토하는데 사용된다. 그러므로 댐 건설전에 하천상황에 대하여 충분히 파악해 둘 필요가 있다.

(2) 조사대상 세부항목

(가) 하천상황의 조사대상 항목은 다음과 같다.

- ① 퇴사량, 퇴사현상의 검토(유량 및 하상)
- ② 저수지 상류의 배수, 퇴사의 검토(하상)
- ③ 선택취수에 대한 검토(유량, 수질, 수온, 하상)
- ④ 하천의 정상적인 유지기능의 확보에 대한 검토(수질, 수온, 유량)

2.4.2 수질조사

(1) 일반사항

(가) 수질조사시 실시하는 조사사항은 수질조사, 오염원과 오염부하량조사, 수질오염 예측조사 및 대책조사 등으로 구분한다.

(나) 하천의 수질오염은 흉수시의 탁수, 생활하수, 사업장, 광산 및 온천의 배수(排水), 농업축산배수, 저수지의 부영양화(富營養化) 등이 중요한 원인이 되므로 이들 조사사항에 대해 세부적으로 정밀하게 조사를 실시해야 한다.

(2) 예비조사

(가) 해당지역의 수질에 관한 대략적인 상황은 기존자료의 활용과 현지답사를 통하여 파악해야 하고, 특히 수질상황에 영향을 미치는 온천의 존재, 광산의 활동, 인구동태, 산업활동, 앞으로의 지역개발계획 등을 예비조사를 통해 상세히 확인되어야 한다.

(나) 지역의 수질에 관한 개황은 기존자료의 활용 및 현지답사를 통하여 명확히 해야하며 예비조사사항은 다음과 같다.

① 자연환경

② 사회환경

③ 경제환경

(다) 수질상황은 도, 시, 군별로 실시한 조사결과(예를 들면 공공용으로 수역에 대하여 실시한 수질측정 결과)를 이용한다.

(3) 수질조사

(가) 수질조사시는 먼저 조사지점의 선정, 수위·유량 관측, 분석방법 등으로 나누어지며 원수의 분석항목, 채수지점, 채수방법, 조사시기, 채수시 고려할 사항 등을 정밀 검토하여 실시해야 한다. 또한 수질은 항상 일정한 것이 아니고 시간에 따라 변하며 주변의 개발 등에 의하여 오염의 정도가 시일이 경과함에 따라 증가하는 설정이므로 수질조사를 한번 실시하는 것으로 만족하지 말고 일정한 시간 간격으로 또는 필요하다고 인정되는 경우마다 실시하여 그 변화를 확인하여야 한다.

① 조사지점은 댐 예정지의 하천과 관계유역의 수질상황을 파악하는데 필요한 곳을 선정한다. 그리고 다음과 같은 지점은 반드시 포함시켜야 한다.

ⓐ 댐 건설 예정지점

ⓑ 댐 상·하류의 취수지점

ⓒ 지천과 본류가 합류하는 지점의 상·하류지점과 지천에서의 합류직전 지점

ⓓ 주요 오염원의 하천방류지점과 하천방류 상류지점

② 수질조사는 하천에서의 수위·유량측정과 병행하여 실시하여야 하며 이 경우 수질조사지점은 진입의 난이, 유속, 유량, 수심, 하상의 안정성 등을 검토하여 선정한다.

③ 분석은 환경보전법과 수질보전 분야의 관계법 즉 상수도법, 하수도법, 하천법 등에 규정한 과학적인 분석방법에 의해 실시한다.

(4) 오염원 및 오염부하량 조사

(가) 오염원 및 오염부하량 조사는 자료수집과 현지답사를 통해 댐의 유역수계에서 발생하는 오염상황을 조사하고 수질조사 결과 등에 의해서 해당오염원의 오염부하량을 파악한다.

(나) 오염부하조사는 오염원조사에서 얻은 자료, 수질조사 결과에서 산출한 실측 오염부하량 및 단위 오염부하량을 검토해서 오염원의 오염부하량을 명확히 해야 한다.

(다) 오염원조사에 있어서는 필요에 따라서 자연환경, 토지이용상황, 하상상황, 이수상황, 산업활동, 하수도 정비상황, 지역의 장래 계획 같은 항목에 대한 결과를 여러해 수집해서 정리함이 좋다.

(5) 수질오염예측 조사

(가) 유역의 수질오염예측은 오염원의 오염부하량 조사자료를 검토하여 현재 수계의 수질오염현황을 양적으로 파악하고, 이를 기초로 해당유역의 장래 개발계획 등을 고려하여 장래의 수질오염을 예측해야 한다.

(6) 대책조사

(가) 수질오염 예측조사 결과를 기초로 하여 대책을 수립할 경우, 댐의 건설에 의해 이루어지는 환경의 변화 즉, 용수, 수질, 하천유지관리에 대한 문제가 발생할 때는 다음 사항을 고려하여 대책을 마련해야 한다.

① 선택취수의 여부

② 하수로 인한 수질오염이 심한 경우에 대한 하수도 등의 정비

③ 산업폐수가 문제가 될 경우에 환경보전법의 규정에 따른 규제강화

④ 광산, 온천 등지 폐수의 전처리시설 또는 중화처리장의 건설 여부

⑤ 상수도 보호구역의 지정 및 관리

2.4.3 댐 유역 상 · 하류 상황조사

(1) 일반사항

(가) 하상(河床)조사에는 하천의 종 · 횡단면도 및 하상재료 조사 등이 포함된다.

2.5 지형조사

2.5.1 지형조사의 항목과 조사계획

(1) 일반사항

(가) 지형조사는 저수용량이나 댐 등의 제원 결정과 댐의 안전을 위한 기초지반의 문제점을 단기에 파악한다는 점에서 매우 중요하다. 지형조사의 항목과 조사계획은 조사, 설계, 시공의 여러 단계에 걸쳐 목적에 일치하도록 조사에 필요한 계획을 수립해야 한다.

(나) 지형은 댐위치, 댐 형식을 산정할 때 중요한 요건이 된다. 댐의 기초 뿐만이 아니라 여수로, 취수시설 등의 부대구조물, 케이블 크레인, 골재 및 콘크리트 생산설비, 도로 등의 가설 구조물의 배치나 저수지용량과 사면의 안전성을 검토하기 위해서도 지질과 함께 매우 중요하다.

(2) 조사계획

(가) 지형은 그 지역에서 일어나고 있는 지반변동, 화산활동 등 지구내부로 부터의 작용과 풍화, 침식 등 외부로 부터의 작용에 대한 현시점까지의 총결산이라고 볼수 있다. 따라서 지형은 특정한 형태로 지반의 지질특성을 반영하고 있어 구성지질의 경연(硬軟)이나 구조, 풍화상태 및 파쇄현상 등을 항공사진의 실체시나 등고선 지형도와 실체지형을 비교함으로써 알 수 있다. 그러나 지형의 형태(pattern)는 지질을 간접적으로 표시하고 있는데 불과하며, 판독하는데 있어서는 지형의 특징과 지질의 관계에 대한 지식이 반드시 필요하다.

(나) 지형조사는 댐 조사의 초기 특히 개발계획의 윤곽을 정하는 단계에서 댐위치나 댐형식을 선정하기 위한 조사방침을 수립하는 시점에서 종점적으로 실시하여야 한다.

(다) 댐 조사의 초기단계에서는 단층, 산사태, 저수지내 함몰, 누수 등 댐축제에 있어서 특히 주의해야 할 사항을 밝혀두는 것이 중요하다. 시공단계에서 댐위치나 저수지위치 주변에 문제가 되는 지질이 있는 것으로 확인되어 사업계획을 크게 변경하지 않도록 확실한 조사계획을 세워야 한다.

(라) 지형조사는 댐의 타당성조사, 기본설계, 실시설계, 시공 등의 각 단계마다 조사목적에 부합되는 정밀도의 지형도를 만들어 댐특성에 맞도록 조사를 해야 한다. 그러므로 댐을 건설하기 위한 댐유역 및 주변의 지형조사는 매우 정밀한 자료가 요구되므로 고도의 정밀이 보장되는 지형도 또는 지리정보시스템(GIS)등을 이용해야 한다.

2.5.2 지형조사

(1) 유역의 지형도 및 항공사진 조사

(가) 유역구간도, 수계도 그 밖의 선상구조는 1/50,000 또는 1/25,000 지형도와 항공사진에 의해서 작성한다.

(나) 유역구간도는 기상, 수문, 생산토사량등을 조사하는데 기초자료가 되며, 수계도는 그 형상에 따라 지질의 경연(硬軟)의 판정과 함께 산사태 지형을 결정한다.

(2) 유역의 지형자료 조사

(가) 계획조사의 초기에 저수지 용량산정, 댐 등 여러 시설의 배치, 이설도로 및 공사용 도로의 계획, 용지매수 보상물건의 개략조사, 저수지 주변 지질조사 및 원석산 등 축제 재료의 조사를 위해서 저수지를 중심으로 충분히 넓은 지역에 대한유역의 지형을 조사해야 하며, 설계에 필요한 계획용 기본지형도는 유역의 지형자료를 이용하여 만들어야 한다.

(나) 저수지 및 그 주변의 지형자료 조사.

① 조사의 범위 : 댐위치나 여수로 방수로 위치 등에 대해서 비교 설계가 고려될 경우에는 이들 후보지를 포함한 범위까지 조사해야 한다. 그런데 최소한의 범위는 다음과 같이 정한다.

ⓐ 댐마루 표고에 댐높이의 20%를 가산한 표고를 포함한 지역

ⓑ 댐 축조부의 바깥쪽 약 50m, 댐 상·하류 끝에서 약 100m 를 포함하는 지역으로 하고 지형이 완만하고 영향이 하류에 미칠 때에는 다시 적절히 연장한다.

④ 굴착사면이 클 것으로 예상되는 지역

③ 지형의 표시 : 저수지위치의 대소에 따라 다르며, 등고선의 주곡선은 1, 2, 5m 간격을 취한다. 도면에서 문자는 읽기 좋도록 모두 4 mm 이상의 크기로 한다. 또한 처음부터 넓은 범위를 대축척으로 도화할 수 있을 때에는 기본조사의 정밀도에 맞는 축척을 채택한다. 저수지 용량곡선을 작성하기 위해서는 퇴사량조사를 위한 횡단측량을 병행해서 실시하여 검사하는 것이 바람직하다. 지형도에는 3 각점, 보조 3 각점, 도근점을 기입하는 것으로 한다.

(3) 댐 위치 및 그 주변 지형자료 조사

(가) 제체의 성토량, 기초의 굴착, 되메우기량을 계산하여 여수로, 취수시설 그 밖의 부대시설 및 가설비의 설계를 하는데 필요한 범위에 대해서는 충분한 정밀도의 지형도를 사용해야 하며, 댐위치의 계획조사 및 기본조사에 필요한 지형도의 축적은 <표 2.3>과 같다.

(나) 댐부근 지형자료는 여수로, 취수시설, 가물막이 댐, 가해수로, 관리사무소, 공사용도로 등의 구조물 설계상 필요하므로 댐위치 뿐만 아니고 그 상·하류에 걸쳐 충분한 지역을 포함해야 한다.

(다) 댐 양안부에는 댐마루 표고 이상으로 충분한 높이까지 조사하고 여수로 기타의 부속구조물을 포함하여 가능하면 넓게 포함시킨다.

<표 2.3> 저수지의 면적과 지형도의 축척

면 적	축 척	
	계획조사	기본조사
약 100ha 이상	1/2,500~1/5,000	1/1,000~1/2,500
50~100ha	1/1,000~1/5,000	1/1,000~1/2,000
50ha 미만	1/1,000~1/2,500	1/500~1/1,000

<표 2.4> 세부측량의 축척과 등고선 간격

등고선종별 축척	주 곡 선	계 곡 선	간 곡 선	조 곡 선
1/5,000	5 m	25 m	2.5 m	1.25 m
1/2,500	2 m	10 m	1.0 m	0.50 m
1/1,000	1 m	5 m	0.5 m	0.25 m
1/500	1 m	5 m	0.5 m	0.25 m

(라) 축척은 1/500~1/1,000, 등고선 간격은 보통 1m로 하고, 때에 따라서는 2m를 넘어서는 안된다. 또한 도화범위는 중심에서 상·하류에 예정댐 높이의 4 배 정도, 좌·우안은 양안 끝에서 예정댐 높이의 2 배정도 거리까지로 한다. 도화방법은 실지측량을 원칙으로 한다.

(마) 댐부근 지형에는 다음 사항을 기입한다.

① 구조물과 현지형과의 관계를 나타내기 위하여 일반적 외형도 및 주요 구조물, 예를 들면 댐축선 댐의 외형선, 터널, 수로 및 부대구조물 취수시설 여수로 등

② 탄성파조사, 시추위치, 횡강(橫坑) 등의 조사위치도 및 단층선 등

③ 3 각점, 보조 3 각점은 반드시 기입하고 도근점도 기입하여 나중에 추가조사에 활용하도록 한다.

④ 지도에는 표제(表題), 방위, 축척, 도면번호, 책임자 등을 기입한다.

2.5.3 지형분류 조사

(1) 일반사항

(가) 1/25,000 의 지형도 또는 그 이상의 정밀도를 갖는 등고선 지형도나 현지형의 관계 및 항공사진의 실체시로서 지형도를 분류하여 그 위치가 댐축조상 어떠한 문제점을 가지고 있는가 파악해야 한다.

(나) 지형 분류 조사시는 필요시 인공위성 영상판독 및 항공사진 판독 등의 원격탐사를 통하여 지질구조를 파악하도록 한다.

(2) 조사의 필요성

(가) 댐후보지의 지형, 지질조건이 좋은 댐위치는 점차 적어지고 있어 어려운 조건을 이겨내야 할 형편이다. 또 토목시공의 대형기계화는 굴착사면의 불안정화를 가져올 위험성에 대하여 주의하여야 한다.

(나) 댐위치의 지형, 지질의 다양화, 공기의 단축화, 대형 기계시공의 보편화 등의 배경에서 넓은 구역에 있어서 댐 등의 토목시공 제한인자의 존재를 파악할 필요성을 통감하고 있다. 이러한 문제의 본질적인 해결은 정밀한 지질조사, 장기에 걸친 물리계측과 모의해석(simulation)에 따라야 한다.

(다) 그러나 넓은 지역 그리고 장기에 걸쳐서 자세한 검토를 한다는 것은 경제적으로 한계가 있다. 이러한 문제의 단기개요 파악의 수단으로서 지형분류 조사가 효과적이다.

(3) 조사방법

(가) 지형분류조사는 정밀도가 높은 등고선지형도의 계측, 독도(讀圖), 항공사진의 실체시 및 지질조사에 의해서 지형의 형태적 특징으로부터 성인을 판정하여 지형면을 분류하는 작업이다. 따라서 지형분류 조사는 댐계획의 초기단계에서 우선적으로 한다.

(나) 지형분류 조사의 구체적 진행방법이나 순서는 댐 구조물과 지형지질의 관계를 충분히 이해하여 정해야 한다.

(4) 댐 축조상 문제가 많은 지형 및 지질의 특징

(가) 일반적으로 저수지 계획의 대상이 되는 하곡은 친지질시대의 활발한 침식작용에 의해 암반에 상향의 인장파괴를 형성하기 쉽다. 개구미열이나 밀집절리는 이와같은 과정에서 생긴 것이 적지 않다. 이들 갈라진 틈에서 풍화작용이 암반내부에 진행되어 사면의 붕괴를 일으키게 되는 것에 주의해야 한다.

(나) 대부분의 지질은 지형적 특징을 가지고 있어 등고선 지형도의 관계와 항공사진의 실체시로부터 미리 판독이 가능하므로 지형분류 조사를 실시하여 그것을 명백히 밝혀 두어야 한다.

2.6 지질 및 지반조사

2.6.1 일반

(1) 조사사항 및 순서

(가) 지질 및 지반조사 사항은 축조할 구조물의 설계에 필요한 지질 공학적인 자료를 얻기 위하여 지표지질 조사, 지하지질 조사, 시험 등으로 나누고 지층의 제성질을 파악하기 위한 조사단계는 계획조사, 기본조사, 실시조사 및 보완조사의 순으로 실시해야 한다.

(나) 이러한 지질 및 지반조사 계획을 수립하는 기술자는 다음과 같은 능력을 갖추어야 한다.

- ① 지질 및 지반조사용 기구의 특성과 사용방법
- ② 소요 경비 및 조사기간의 추정
- ③ 현장 및 실내시험의 분석 정리방법
- ④ 조사결과의 판정

(다) 댐의 지질 및 지반조사는 단계적으로 행해지며, 이 단계에 맞추어 조사항목, 조사방법, 조사정밀도 등이 선택된다. 댐의 지질 및 지반조사는 댐부지의 조사, 저수지 주변조사로 나누어지고 그의 실시단계에 따라 계획조사, 기본조사, 실시조사 및 보완조사로 나누어 실시한다.

(2) 지질 및 지반조사

(가) 지질에 관련된 조사는 지질자료 조사, 댐 부지조사, 재료채취 장소의 지질 및 지반조사, 저수지주변 지질 및 지반조사, 기시추조사 자료 조사 등으로 나누고 이를 분야별로 정밀하게 조사해야 한다.

(나) 댐의 지질 및 지반조사의 제 1 단계는 기존자료의 수집과 검토로서 시작되며, 이때 수집해야 할 자료와 검토사항은 다음과 같다.

- ① 지형도 및 항공사진 : 저수용량 및 댐규모의 개략적인 결정, 산사태 및 붕괴지점의 예측, 지질분포 및 지질구조의 추정 등을 한다.
- ② 지질도 : 암질 및 지질구조를 독해하고 기초지반의 강도, 투수성 재료의 분포와 성질 등의 개요를 파악한다.
- ③ 토성도, 토양도 : 표토의 두께, 토질재료의 성질 등을 추정하는데 이용한다.
- ④ 기타자료 : 산사태 분포도에 따라 산사태 방지구역 지정의 유무를 조사하고 활동성 단층분포도에 따라 과거 활동성 단층의 유무를 조사한다.

2.6.2 댐 부지의 기초지반조사

(1) 계획조사

(가) 댐 지반의 계획조사는 기본조사 및 실시조사에 앞서 시행하는 것으로서 자료수집, 현지답사 및 간단한 조사를 통하여 댐 축조 예정지에 대한 개략적인 참고사항을 파악한다.

① 자료수집 : 조사지점부근의 지형, 지반 등의 특징을 파악하기 위한 것이다. 특히, 항공사진의 수집이 가능하면 이를 판독 분석함으로써 지형도와 지질도에서 판독되지 않은 지형, 지질 구조 등과 삼림, 하천, 자연제방, 구하상, 산사태, 저온지 등 자연 또는 인문지리학적인 자료를 얻을 수 있다.

② 현지답사 : 조사 예정지 부근에 대한 지형, 지질상태를 파악하기 위하여 조사장소 부근을 가능한 한 광범위하게 현지를 답사하여 종합적인 자료를 수집해야하며, 이때 현지 조사내용은 다음과 같다.

ⓐ 조사예정지에 대한 지표지질 및 지반조사

ⓑ 삼림, 경작지, 하천(건천여부), 지질구조

ⓒ 지하수상태, 용출수의 장소와 원인 조사

ⓓ 지하지질조사방법 및 위치선정

ⓔ 지질 및 지반조사용 기계운반을 위한 도로상태 조사

(2) 기본조사

(가) 계획조사 때에 수집한 자료의 검토와 현지답사 등으로 지반의 상태와 지층의 깊이, 성질 등을 완전히 파악하기 곤란한 경우에는 특수한 지층에 대한 지하지질조사를 실시하여 개략의 자료를 얻고 이를 실시조사나 기본설계에 활용도록 해야한다. 이와 같이 기본조사는 댐축조 가능성을 명확히 하고 공사비를 산정하기 위한 것으로 이를 위해서는 ① 댐의 규모와 기초지반의 지내력 검토, ② 제체 또는 여수로 등의 기초굴착선의 개략결정, ③ 기초처리계획의 개략결정을 해야 한다. 기본조사는 사업실시의 가능성을 확정하는 단계이므로 조사량은 최소한으로 하고 또 전술한 목적을 충분히 달성하도록 해야 한다. 댐 지점의 계획조사에서 기본조사까지의 주요 조사내용을 설명하면 다음과 같다.

① 지표지질조사

ⓐ 계획조사 때에 수집한 자료와 현지답사 결과를 검토 분석하여 선정된 수 개소의 댐 부지에 대해 지표지질 조사를 하고 이 중에서 가장 유리한 댐 부지에 더욱 자세한 검토를 추가한다.

ⓑ 댐 부지의 조사범위(지역)는 댐의 형식, 규모, 지형, 지질조건 등에 따라 일률적으로 정하기는 어려우나 대략 다음과 같이 정하여 조사한다.

ⓓ 예정된 댐마루를 지형도에 표시하고 댐의 중심선을 댐마루의 양끝에서 댐 높이(H)의 2 배(2H) 거리만큼 연장한다. 그리고 연장된 양끝에서 댐 중심선에 수직이되게 두개의 선을 긋고 각각 댐 상류와 하류방향으로 댐 높이의 4 배가 되도록 연장한다. 이렇게 하여 최종으로 그어진 선 사이의 면적이 조사 구역이 된다.

④ 지표지질 조사시에는 지형, 지질층, 지질구조, 암질 등을 조사할 뿐만 아니라 산사태, 붕괴위험지대, 투수성 지반의 유무, 축조 재료의 분포, 단층, 파쇄대의 유무 등을 조사하여 댐 부지로서의 적지를 선택한다.

⑤ 댐 부지에 대해서는 지표토피의 두께와 성질, 기반암의 종류와 풍화의 정도 및 깊이, 단층 파쇄대의 위치를 추정하고 다음에 기술하는 지반조사의 위치수량, 방법을 결정하는데 쓰여지게 된다.

② 지반조사

ⓐ 댐 기초지반의 조사로서는 시추조사, 탄성파탐사, 횡갱 등이 일반적인 방법이며 그 조사위치와 조사량에 대해서는 댐의 형식, 규모 혹은 기초지반 지질상태에 따라 다르나 일반적인 경우는 다음과 같다.

ⓑ 시추 및 횡갱조사 : 시추조사는 지형상 가장 유리한 댐축을 기준으로 하여 일정한 범위에 대해서 계획을 수립한 후 단계별로 시행하되 댐과 주요 부대시설이 위치할 지역에 대하여 20~30m 격자형으로 시추조사의 위치를 결정한후 기본계획때에는 약 100m 격자로, 타당성 조사때에는 40~60m 격자로, 실시설계 때에는 나머지 지점 중에서 중요한 지점순으로 점차 세분화한다. 시추의 깊이는 댐축과 관련되는 지점에 대한 댐의 높이를 고려하고 부대구조물지점은 기초로 이용이 가능한 암반층을 확인하는 정도가 좋다. 횡갱에 의한 조사는 계획초기에는 지양하되 사업의 경제성이 확인된 후에 타당성 조사나 실시 설계때에 시행하는 것이 바람직하다.

ⓒ 탄성파탐사 : 탄성파탐사의 측선은 시추조사 결과와 비교 검토할 수 있도록 배치한다. 기본조사 때부터 계획된 격자형 시추조사 계획선과 일치하도록 하여 댐축과 평행하는 3 개 측선과 댐축과 직교하는 측선으로 하상과 양안을 대표할 수 있도록 배치하며, 여수로, 도수로 등 주요 구조물이 위치하는 지역에도 추가한다.

③ 기초지반에 대한 시험

ⓓ 조사갱(調査坑)을 이용한 변형시험 및 전단시험은 적어도 1~2 셀(set) 이상 해야 하며, 시추공(孔)을 이용한 공내 재하시험도 수개소 실시하는 것이 바람직하다.

ⓔ 특히 콘크리트댐의 경우에는 계획조사 때에 지반에 대한 시험을 실시하여 기초지반의 지내력을 검토해 둘 필요가 있다.

ⓕ 이상의 지반조사 결과와 지표지질 조사자료를 기초로 해서 1/500 정도의 지질평면도, 지질단면도를 작성하고 다음 단계조사의 기초자료로 한다.

(3) 실시조사

(가) 실시조사는 댐의 실제 세부설계와 공사비 산정에 필요한 지질자료를 얻기 위한 것으로서 이미 실시한 계획조사 결과를 점토하여 질적, 양적으로 정밀도를 더욱 높여간다. 한편 댐 기초지반의 실시조사를 할 때 주요 조사내용을 들면 다음과 같다.

① 지하지질 조사

ⓐ 이 조사는 댐 기초의 지질상황(암질, 층리, 파괴현황), 공학적 특징(물리적, 수리학적 성질 등)에 따라 지반을 분류하며, 댐 형식의 결정, 지반의 개량방법등의 결정을 위한 구체적인 자료를 얻기 위함이다. 지질상황의 조사는 일반적인 시추방법으로 실시하지만 지표의 두께가 얕은

경우에는 트렌치(표토깎기) 방법을 병용한다. 또 탄성파탐사를 실시해서 기본조사 결과를 보완한다. 그리고 이 단계의 시추조사는 기본조사때에 행한 시추공의 배치간격을 더욱 가깝게 조사하는 것으로 댐의 규모와 지질상태에 따라 적정 규정하에 실시해야한다. 그러므로 높이가 70~100m 의 댐을 조사하는 경우의 기본적인 시추와 흉강의 수량 및 배치에 대해서는 다음과 같은 기준을 정하여 사용하고 있으며, 댐의 높이가 70m 이하인 경우에는 댐 규모에 따라 다음 기준을 조정하여 실시한다.

Ⓐ 전단계 조사에서 누락되었다면 댐 형식에 관계없이 댐축에 연한 양안경사부에서는 표고차 25~30m 간격으로 흉강과 시추를 실시하고 하상부에서는 20~30m 간격으로 수직시추 및 양측으로부터 1~2 갭의 경사시추를 실시한다.

Ⓑ 중력식 콘크리트댐의 경우는 ①이외에도 댐축 하류의 경사부 끝에서 수 개소의 시추 또는 흉강을 실시하고, 또 하상부의 댐 부지내에도 시추를 실시한다. 특히, 댐 비탈끝 부분에 유의한다.

Ⓒ 아치 콘크리트댐의 경우에는 댐 상류사면 끝에서 $0.5H$ (H = 댐 높이)되는 지점과 하류측 비탈에 $1.5H$ 되는 범위까지 흉강조사를 실시하며, 하상부의 댐 부지에 대한 시추조사를 실시한다.

Ⓓ 필댐의 경우에는 ①의 규정에 따른다. 그 외에 rock zone 기초에 대하여는 시추공 혹은 견갱을 이용하여 지지지반에 대한 조사를 하며, 또 여수로에 인접해서도 수 개소의 시추를 실시한다. 그리고 최근 농업용 댐의 규모도 상당히 커져 댐높이의 대부분이 20~50m 정도로서 이들 댐의 경우에는 기본적으로 최소한 다음과 같은 수량의 시추조사가 이루어져야 한다.

Ⓔ 댐 형식에 관계없이 댐축을 따라 양안 사면부에 있어서는 20~30m 간격의 시추조사와 양안 경사부에 사교하는 1~2 갭의 경사시추 조사(특히, 하상 너비가 좁은 경우)를 해야 한다. 그러나 댐 높이가 30m 이하의 필댐에 대해서는 지반지지력 시험을 위한 조사갱을 생략할 수도 있다.

Ⓕ 기초지반의 물리적 성질에 대해서는 탄성파탐사법이나 전기비저항법을 실시하고 수리학적 성질에 대해서는 시추공을 이용한 투수시험을 실시하는 등의 방법으로 지반의 공학적 성질을 검토한다. 이상의 조사결과를 기초로 해서 댐의 지지력을 나타낸 암반의 등심선도와 공학적 성질을 나타낸 지질단면도, 그리고 투수성을 나타낸 투수도 단면도를 작성한다.

Ⓖ 암반 등심선도는 댐의 굴착심도나 굴착량을 구하기 위해 필요하고 지질단면도는 기초처리를 필요로 하는 부분과 그 심도를 결정하며, 축제 중에서 기초지반에 작용하는 응력과 지진력에 대한 역학적인 해석을 위한 중요한 자료가된다.

Ⓗ 차수도 단면도는 댐의 차수를 위한 커튼 그라우팅의 심도와 밀도의 결정 및 주입제의 선택을 위한 중요한 자료가 된다.

② 지반시험

Ⓐ 댐 기초로서 요구되는 강도에 대한 검토는 일축하중에 대한 압축정도와 균열이나 절리면에서 발생하는 전단강도 그리고 장기간의 풍화에 대한 댐기초의 안전성 등에 대해서 이루어져야 한다.

Ⓑ 지반의 압축강도는 일반적으로 필댐에 대해서는 별문제가 안되나 콘크리트댐에서는 내하력에 문제가 되는 수가 많으므로, 압축강도 시험은 시추공과 시험굴(試驗窟)에서 채취한 암석시편으로 실시하되 그 결과만으로 기초의 강도를 판단하기에는 어려움이 있으므로 가능한 한 자연지반의 역학적 조건을 반영한 원자반시험 등을 병행하여 지반의 강도를 판정하는 것이 바람직하다.

Ⓒ 아치댐이나 중력식 콘크리트댐 등은 기초에 작용하는 외력이 크므로 기초의 전단파괴에 대한 검토와 전단강도에 관한 시험을 해야 한다.

ⓐ 전단강도시험은 전단파괴가 예상되는 위치에서 그리고 추정되는 응력방향의 하중하에서 실시해야 하며, 이 때 분류되는 각 암반별로 3개 시료 이상에 대하여 시험하는 것이 바람직하다.

ⓑ 댐의 기초에는 높은 응력과 수압이 연속적으로 작용하기 때문에 기초암반의 물리적 풍화파화학적 풍화와 대한 내구성의 검토가 필요하다. 일반적으로 세립퇴적암(이암, 응회암 등)이나 절리가 발달된 암류 등은 풍화에 대한 저항성이 적기 때문에 특별히 주의해야 한다. 여러 종류의 지반강도에 관한 제 시험자료를 평가해서 댐 완성 후에 지반의 역학적 거동을 예측해야 한다. 이들 검토가 완료되면 구체적인 댐 설계를 하고 시공 방침도 확립해야 한다.

2.6.3 저수지 주변조사

(1) 조사목적 및 절차

(가) 저수지 주변의 지질 및 지반조사는 만수시의 누수 또는 저수위(貯水位) 변동에 의한 슬라이딩(sliding), 기타 댐의 기능, 안전성에 지장을 줄 가능성의 유무를 판단하기 위하여 정밀한 조사를 시행해야 한다.

(나) 댐주변 및 제체 기초부에 발달한 단층, 절리, 층리 등 불연속면에 대한 조사는 정밀하게 실시해야 하며 필요에 따라서는 평사투영법과 같은 분석을 실시하여 산사태 및 제체 기초부의 안정성을 평가하는 기초자료로서 사용될 수 있도록 해야 한다.

(다) 댐 계획에서는 댐 기초뿐만 아니라 저수지 주변 산턱에 대해서도 검토하여 해결해야 할 지질상의 문제가 많다. 즉, 저수 후의 산사태 붕괴의 가능성 등 산턱 보전에 관한 문제 및 산턱을 통한 누수문제 등이 있다. 이들 문제는 저수지 주변의 안정성의 문제이며 여기서는 댐 계획에 있어 지반조사의 일환으로서 조사의 순서에 대해서만 간단히 설명한다.

① 계획조사 및 기본조사 : 지표지질조사에 따라 저수지 주변 산턱의 산사태, 붕괴나 누수의 가능성에 대해서 검토하고 그 지점을 명확히 표시한다. 그 결과 제체와 저수에 영향을 끼칠 가능성이 있는 산사태 및 붕괴지점이 발견될 경우에는 가능한 한 이를 피하는 댐 위치를 검토한다. 또 산사태 및 붕괴의 위험이 추정되는 지점에 대하여는 지하지질 조사를 실시해서 누수가 예상되는 경우에는 통수경로나 투수층의 성질과 규모 등을 조사하고 그 대책을 검토해야 한다. 그리고 그 결과를 이용하여 누수량을 계산하고 저수손실량을 분명히 함과 동시에 누수에 따른 파이핑의 위험성에 대해서도 검토한다.

② 실시조사 : 계획 및 기본조사 결과 산사태로 인한 붕괴 혹은 누수에 대한 대책이 필요하게 되면 더욱 상세한 지표지질 조사 및 지반조사를 실시하여 구체적인 대책공법을 결정하고 공사비를 산정하여야 한다.

2.6.4 제체 재료조사

(1) 축제 재료의 조사

(가) 댐지점 주변에 있는 암석, 사력, 흙 등 필댐 축조 재료의 조사는 기술적으로 사용이 가능하다고 생각되는 모든 재료에 대하여 그 분포, 수량, 통일분류, 공학적인 성질을 파악한다. 본 조사는 댐지점에 가까운 곳부터 시작하여 총량이 제체체적의 2~3 배에 달하는 범위까지 점차 확대하여 가도록 한다.

(나) 조사구역

- ① 예정한 지점을 중심점으로 하여 최초는 500m 또는 1km 이상의 지역에 대하여 조사한다. 축제 예정수량에 미달할 때는 점차 그 반경을 확대하여 넓힌다.
- ② 이 조사단계에서는 「어느 곳에, 어떤 자료가, 얼마나 있는가」를 파악하는 것이 주된 목적이므로 특정한 장소에 대하여 집중적으로 조사할 것이 아니라 지형조건에 따라서 다르기는 하나 경제적인 운반관계를 고려하여 범위를 정하고 이 범위내에서 조사를 진행한다. 개략적으로 본다면 재료는 조사의 정도에 따라서 설계수량의 2~3 배를 준비할 필요가 있는 것이다.

(다) 조사방법

- ① 답사결과, 후보지가 결정되었다면 그 지역의 재료의 성질, 수량, 퇴적상황, 종류, 지하수위 등의 개요를 알기 위하여 간략한 시추, 시험굴, 트렌치(trench) 등을 이용하여 관찰 또는 시료를 채취 검토하여 성질을 분명히 파악하여 두도록 한다. 지질학적 또는 지형적 판단에 따라 개략의 깊이와 퇴적상황은 판명되므로 이것을 바탕으로 간단한 조사공을 판다.
- ② 조사공은 일반적으로 10m 이하로 충분하다. 조사공의 배치는 후보지에 50~100m 의 네모꼴로 짜서 1,000~1,500 m² 당 1개공을 표준으로 판다.
- ③ 조사공은 지형이나 상황에 따라 각종 방법을 혼용하여 조사를 추진한다.
 - ⓐ 오거 시추(수동 또는 동력) : 수동식 오거는 간편하며, 7m 정도까지의 조사에 적합하다. 자갈층이나 지하수면하의 사질토에는 부적당하다. 파울린 시료는 지상에 차례로 배열하여 관찰이 편리하도록 한다. 함수비의 변동을 방지하기 위해서는 투명한 푸대에 넣어 둔다. 소정의 깊이까지 파들어가서 시료를 채취하고, 특히 층의 두께가 큰 것 또는 대표적 시료로 볼 수 있는 것에 대해서는 공학적 검토를 실시할 것이므로 충분한 양을 채취하여 두도록 한다. 동력식 오거는 쉽게 15m 정도까지 파들어 갈 수 있으며, 다소간의 자갈이 있어도 굴진되므로 조사속도를 매우 빠르게 하여 효과도 크다. 시료의 취급은 수동식에 준한다.
 - ⓑ 시추 : 회전식의 기계가 사용된다. 빗트(bit)의 직경은 20 mm 이상의 자갈을 포함하는 지반에 대해서는 10 cm 이상의 직경의 것을 사용하고, 20 mm 이하의 사력을 포함하는 지대와 이 이외의 경우에도 4.5 cm 이상의 가급적 큰 것을 사용한다. 토질지반의 경우는 시추시의 흙탕물에 의하여 흐트러지는 것은 절대로 피해야 한다. 시추 코아(boring core)로 부터 공학적인 여러 가지 시험의 시료를 채취하는 것은 양적으로 무리이므로 시험자로서는 그 취급과 시험방법 및 시험의 종류 등에 충분한 검토를 한 뒤에 시험에 착수해야 할 것이다.
 - ⓒ 트렌치(trench) : 이것은 대략 지하수면 이하일 때 시행된다. 퇴적상황이나 종류가 직접 판명되며 시험시료도 충분히 채취할 수 있어서 유리하다.
 - ⓓ 시험굴 : 굴진속도가 느리면 깊게 파던가 지하수가 있는 곳에서는 지보공을 하는 등 작업에 어려움은 있으나 지층의 구조나 변화를 완전하게 조사할 수 있고 시료채취가 용이하며, 또한 기계력 반입이 곤란한 곳에서도 쉽게 실시할 수 있다. 시험굴의 크기는 작업자가 간내에서 작업할 수 있는 최소 크기면 된다.

(라) 토질 시험

- ① 채취한 시료에 대하여는 다음의 시험을 행한다. 시험은 채취된 시료전부에 대하여 시행되는 것이 바람직하나 경비, 시간, 댐의 규모 등에 의하여 전문기술자의 지도에 따라 대표적인 시료를 선정하여 실시해야 한다.

- ⓐ 필수적으로 시행할 시험 : 함수량, 비중, 입도, 콘시스턴시(consistency), 표준다짐
- ⓑ 필요에 따라 시행할 시험 : 투수, 압밀, 일축압축, 전단, 수축, 흡수, 팽창, 유기물 함유량, 가용성분 함유물, 암석에 대해서는 비중, 단위중량, 흡수율, 입축, 내구성 등을 시험하도록 한다.
- ② 토질시료의 시험이 끝나면 공학적 분류를 통일분류법에 의하여 분류한다. 규격이 없는 시험에 대해서는 전문 기술자의 지시를 받아야 하며, 시험결과는 축제재료조사의 총괄표로서 요약 정리해 둔다.

(마) 토질의 통일분류법의 이용 대상

- ① 토질재료에 관한 예비적 추정을 할 경우
- ② 세부설계를 함께 필요한 현장조사의 범위를 결정할 경우
- ③ 경제적인 현장시험 계획의 입안, 실내시험에 필요한 자료의 채취계획을 세울 경우
- ④ 추가조사를 행할 경우

(바) 암석의 시험

- ① 암석의 종류, 풍화상황, 채취시의 암괴의 크기, 채취 가능성을 조사한다.
- ② 비중, 흡수율, 압축강도, 내구성(규산나트리움법), 내마모성의 여러 가지 시험을 행한다.
- ③ 경암의 경우에는 이 밖에도 동결융해, 건습한복시험, 충격시험, 낙하시험, 간극율시험 등을 행한다.

(2) 콘크리트 골재의 조사

- (가) 댐, 여수로, 취수설비 등에 사용하는 콘크리트골재가 댐 지점의 부근에 천연적으로 또는 가공에 의해서 얻을 수 있는가를 조사해야 한다.
- (나) 필댐에서의 콘크리트 사용량은 얼마 안되므로 공사비면에서 별문제가 되지 않으나 콘크리트 댐으로서의 가능성을 검토하기 위해서는 중요한 요소가 된다.
- (다) 골재는 보통 하상퇴적의 모래, 자갈을 사용하던가 암석을 깬 쇄석이나 쇄사를 인공적으로 제조하여 사용하게 된다. 골재의 성질로서는 필댐 축제 재료보다 훨씬 엉격한 조건이 요구되고 있으며, 청정, 견고, 내구적이고 적당한 입경, 입도를 가지면서 먼지나 진흙(진토), 유기물 등의 유해물을 포함하고 있으면 안된다.

2.6.5 시험방법과 정도

(1) 시험항목과 규격

- (가) KS 규정에 명시된 방법을 사용한다.
- (나) 시험항목 : 비중, 입도, 함수량, 액성, 소성, 수축, 일축압축 표준관입, 스웨덴식

사운딩(sounding), 압밀, 투수, 유기물함유량, 전단, 압밀(대형), 현장투수, 현장함수량, 현장밀도.

(다) 기준이 없는 것은 필요에 따라 시험기기를 제작하여 시행하거나 외국의 기준을 이용할 수 있다.

(2) 전단시험

(가) 시험은 전부 삼축압축시험을 실시하는 것을 원칙으로 하며 KS F 2346 규정에 의한다.

(나) 시험기는 현장에 있어서의 시공조건(시료입경, 채움다짐 등)을 고려하여 되도록 대형의 것을 사용하는 것이 좋다.

① 전단시험 조건 : 토질의 전단강도는 전단시험의 조건에 따라 변화되므로 시험목적에 따라 적당한 시험조건을 주어서 시험해야 하며 시험조건을 대별하면 다음의 3 개 항목이 있다.

ⓐ 비압밀비배수시험(UU 시험) : 댐의 시공 중이나 완성 직후의 경우

ⓑ 압밀 비배수시험(CU 시험) : 성토의 압밀이 진행되고 저수한 후 수위가 급강하한 경우 등

ⓒ |overline{CU}시험 : 건설 후 시간이 경과되어 압밀이 진행되었을 때, 어떠한 원인 등으로 생길 수 있는 활동과 같은 경우이며, 많은 경우는 전단시의 유효응력을 결정할 목적을 위하여 시행

② 기초지반에 대한 시험

ⓐ 사력질지반 : 압밀 비배수시험

ⓑ 점토질, 이토질 등 불투성지반 : 비배수시험

ⓒ 시료 : 자연상태(함수비, 밀도, 조직 등)

ⓓ 밀도하중 그 점위에 재하될 성토중량

③ 전단시험용 시료 : 공시체 중에 포화된 입자의 허용 최대입경은 사용하는 시험기와 공시체의 크기에 따라 다르며, 또한 제한을 받게 된다. 이것들의 관계를 표시하면 <표 2.5>와 같다.

<표 2.5> 공시체 치수와 허용 최대입경

시험기	공시체의 치수		허용최대입경	
	직경	높이(두께)	D<10cm	D>10cm
3 축	D	(2.0~2.5) x D	D/15	D/15~4
1 면	D	(0.2~0.3) x D	D/20	-

(3) 다짐시험

(가) 현장상황에 가장 유사한 조건하에서 토질시험의 규격에 맞도록 시험한다.

(4) 투수시험

(가) 각종 시험법 또는 규격에 맞추어 실내 및 현장시험을 시행한다.

(5) 파이핑 (piping)시험

(가) 파이핑에 대한 댐의 안정성을 검토하기 위해서는 한계 동수경사 S 나 크리프비(creep ratio) C 에 의하여 검토한다.

$$S_{cr} = \frac{h}{L} = \frac{G-1}{1+e} \quad (2.5)$$

여기서, h : 파이핑현상을 일으키지 않을 하류측 수위와 상승 가능한 저수지의 최대수위와의 높이차(cm)

L : 침투로의 길이(cm)

G : 침투수가 통하는 지반의 비중

e : 침투수가 통하는 지반의 간극비

$h/L = (G-1)/(1+e)$... 극한 수평상태이므로 안정상으로는 $h/L \leq (G-1)/(1+e)$ 이 아니면 퀵샌드(quick sand) 현상을 일으키게 된다.

테르자기(Terzaghi)는 h/L 을 크리프비 $C_{\{c\}}$ 라고 하여 다음 식으로 표시하였다.

$$C_c = \frac{L}{h} \quad (2.6)$$

여기서, L : 크리프 길이(creep length)

h : 식 (2.5)에서와 같다.

주된 토질의 $C_{\{c\}}$ 의 안정치는 아래 표와 같으며, 현 지반에서는 $k_{\{h\}}$ 와 $k_{\{v\}}$ 는 상이하므로 이것을 수정하여 다음 식을 제시하고 있다.

$$C_c = \frac{\left(\frac{1}{3}B + \sum t\right)}{h} \quad (2.7)$$

여기서, B : 댐 단면의 저폭

t : 온수벽 깊이

$k_{\{h\}}/k_{\{v\}} : 3$

$k_{\{v\}}$: 수직방향의 투수계수

$k_{\{k\}}$: 수평방향의 투수계수

<표 2.6> $C_{\{c\}}$ 의 안정치

구 분	C_c 의 값
미세사 또는 이토	8.5
세 사	7.0
중 사	6.0
조 사	5.0
세 자 갈	3.5
표석을 포함한 큰자갈	3.0
표석과 자갈을 작게 포함한 호박돌	2.5

2.7 댐 입지조건 조사

2.7.1 조사사항 및 조사계획

(1) 조사의 목적

(가) 댐의 입지조건의 조사에 필요한 댐 지점 부근의 수송, 전력, 노동력, 재료의 수급사정, 보상대상이 되는 전답, 택지, 재산, 공공시설, 삼림, 수산자원 등을 정확히 파악하고, 이외에 타사업과의 연관성, 기존 수리권 등에 대해서도 병행하여 조사를 추진해야 한다.

(나) 댐건설은 지역사회에 미치는 영향이 크기 때문에 댐 지점을 중심으로 주위 수원지역을 포함한 사회여건, 경제여건 및 환경조건 등에 관하여 면밀히 조사할 필요가 있다.

(다) 특히, 기존 수리권과의 조정문제 및 수몰보상 등 댐 건설에 필요한 기본적 문제에 있어서는 관계지역 주민의 이해를 얻고 행정기관을 비롯한 공공단체의 협력을 얻어 해결하도록 해야 한다.

(2) 조사사항

(가) 입지여건의 조사는 필요에 따라서 각 조사단계에 있어서 다른 조사와 병행 또는 선행을 하게 되며, 다음과 같은 사항을 실시한다.

① 시공상 필요한 조사 : 시공설계 작성의 기초자료로서 댐위치 부근의 도로상황전력, 노동력, 자재의 수급상황의 조사

② 하천 구조물 및 관리권 등 관련 조사 : 동일 수계내에 있는 다른 댐 등의 치수와 이수상의 관련성, 상·하류의 기득 수리권 등의 상황을 조사하는데 이는 상호 관련성이 있으므로 수계 전체에 대해서 조사를 할 필요가 있다.

③ 보상조사 : 수몰 등의 보상대상으로 전답, 택지, 건물, 공공시설, 삼림, 수산자원등을 조사해야 하며, 수몰 이주자의 생활 재건, 수원지역 정비 등의 수원지역 대책에 대한 조사를 한다.

④ 환경조사 : 공사에 따른 수질오탁 등 인체의 건강과 생활환경에 관계가 있는 사항, 지형, 지질, 식물, 동물 등의 자연환경과 관련되는 사항 및 자연경관 등을 조사한다.

2.7.2 조사

(1) 일반사항

(가) 댐 입지조건의 조사에는 하천구조물·권리 관련조사, 보상조사 및 환경조사로 구분하고 댐 건설 후에 발생이 예상되는 문제점에 대해서 사전에 충분히 조사하여 영향평가를 실시하고 입지선정에 반영될 수 있도록 해야 한다.

(2) 하천 구조물 및 권리 등의 관련조사

(가) 하천 구조물의 관련조사 : 동일 수계내의 하천구조물 특히 댐군에 관련되는 조사를 한다.

① 동일수계내 상·하류 댐군의 치수, 이수 상황과의 관계는 그 수계 하천의 치수와 이수계획을 파악함으로써 알 수 있다. 특히, 치수계획에 있어서는 기본홍수의 유량배분과 홍수조절계획에 대해서 그리고 이수계획에 있어서는 이수량과 신규 이수계획에 대해서 충분히 알아둘 필요가 있다.

② 동일 수계내의 복수의 댐에 도수로를 연결하여 상호 이용하는 계획이나 유황이 다른 복수의 수계간을 연결하는 도수로 계획이 있을 경우 같은 이들에 대한 종합이수계획 및 조사를 한다.

(나) 권리사항의 관련조사 : 관계되는 권리에는 수리권, 어업권, 광업권, 채석권 등이 있으므로 관계지역내 이들 권리의 유무 또는 그 내용 등을 조사한다.

(다) 제한사항의 관련조사 : 댐위치 부근의 가옥의 신·개축, 광업권의 새로운 행위에 대해서는 제한을 해야 할 필요가 있으므로 이에 관련되는 조사를 실시해야 한다.

① 조사설계가 진행되고 댐의 형식과 높이 등이 결정되는 경우에는 가옥 등의 신·개축을 하지 않도록 관계기관에 협조를 요청해야 한다.

② 수몰지와 댐위치 부근에 광업권이 설정되었거나 또는 설정예정인 경우에는 광구금지 지역 지정을 시행하여 새로운 광업권의 설정을 정지시킬 필요가 있다.

(3) 보상조사

(가) 댐건설은 기술적인 건설의 가능성과 더불어 보상문제의 해결은 극히 중요한 조건이다. 그러므로 수몰지와 그 주위지역에 있어서 댐건설이 생산기능과 생활환경등에 영향을 주는 정도를 충분히 조사하여 적정한 보상을 하는 것은 물론 보상에 앞서 댐건설에 의한 영향을 최소로

완화시키고 관계주민의 생활안정과 복지향상을 도모하기 위한 조사가 필요하다.

(나) 보상대책의 조사에 대해서는 지역주민과의 충분한 대화를 통하여 댐건설의 필요성을 충분히 이해시킴과 동시에 주민의 의향을 정확히 파악하는데 노력해야 한다. 한편 수몰 보상문제 등의 생활재건대 책에 있어서는 댐 건설사업의 주체와 서로 대응되는 문제가 많음으로 시, 읍, 면 등의 관계 공공단체와의 긴밀한 연락과 협조를 얻어 추진할 필요가 있다.

(다) 보상조사는 계획조사, 기본조사 및 실시조사의 각 단계에 따른 사항을 다음과 같이 실시한다.

① 계획조사시의 보상조사 : 댐 예정지를 대략 정하고 제 1 단계로 지질조사 등을 위하여 토지소유자와의 이해를 얻는데 주안점을 두어야 한다. 이를 위해서 사업계획개요 및 건설구상 등을 토지 소유자와 시, 읍, 면 등지에 설명하고, 이해를 촉구시키면서 시추 등에 수반되는 토지차용 등에 대한 보상을 한다. 이 때 주로 지형도로서 가옥과 전답 등의 수몰 개요를 조사한다.

② 기본조사시의 보상조사 : 기본단계의 보상조사는 댐 건설에 따른 수몰지의 범위등을 분명히 조사하여 필요한 보상대상 등의 개요를 파악하고 수몰보상을 시행할 준비를 한다. 이를 위하여 현지답사나 지적공부 등의 조사를 하여 수몰되는 가옥, 토지, 공공시설 등의 내용을 알려야 한다. 한편 수몰 관계자와의 설문조사를 통하여 생활기반의 실태, 이주지, 대체농지 등에 대한 의향을 조사한다.

③ 실시조사 시의 보상조사 : 댐의 건설이 결정되면 관계자 입회하에 토지의 측량지상물에 관한 조사 등을 실시조사해서 보상관계 조서를 작성하고 보상기준을 지시하여 보상교섭을 하게 되는데 각 보상의 조사는 ④ 일반보상 관계조사(수몰보상지역의 일필지조사, 수몰관계지역의 건물조사서), ⑤ 특수보상 관계조사(어업조사, 광업권 등), ⑥ 공공보상 관계조사(이설도로 등), ⑦ 수원지역대책조사(생활재건 관계조사, 수원지역 정비 관계조사) 등이 있다.

2.8 환경성 조사

2.8.1 자연환경에 관한 조사

(1) 기상

(가) 온도, 강수량, 일조시간 및 천기일수 등 기본적인 기상인자의 특성을 조사항으로써 댐 건설 전후의 기상 변화를 분석한다.

(나) 댐의 건설로 인하여 생성되는 호수로 인해서 예상되는 가장 큰 기상변화는 안개일수의 증가와 감소이다. 특히 안개일수는 저수면적에 의해 좌우되고 안개일수의 증가는 하층의 구름량을 증가시켜 결국 일조량의 감소를 유발하므로 농작물 생육에 영향을 줄 수 있다. 따라서 안개일수와 일조시수에 대한 예측과 분석이 시행되어야 한다.

(다) 호수의 심층부를 취수하여 발전시키고 방류하는 경우 댐 하류 하천의 수운이 계절별로 달라지게 되므로 이러한 하천의 수온 변화가 하류지역의 기온변화를 초래할 수도 있다. 따라서 담수호 주변지역뿐만 아니라 댐 하류 지역에 대해서도 국지적 기온변화를 조사한다.

(2) 지형 및 지질

(가) 댐 건설로 인하여 필연적으로 수몰지역이 발생하고 이에 따라서 주변지역의 지형이 변할 수도 있으므로 이에 대하여 조사한다.

(나) 댐축조 및 이설도로의 건설에 따라서 골재 및 토석재료 확보를 위한 국지적인 지형의 변화가 예상되며 특히 신설도로에 의해서 산지계곡의 경사면처리에 의한 지형변화의 발생에 대한 조사를 실시한다.

(다) 공사시 진입도로나 이설도로 그리고 댐 부지조성시의 식생제거로 토양침식을 유발하는 등 2 차적인 과정을 거쳐 지형의 변화가 생기는 경우가 발생하므로 댐 건설로인하여 수몰되는 기존도로 및 신규 개설이 필요한 이설도로 현황을 조사한다.

(3) 생태계

(가) 육상생태계의 경우에 댐 건설사업의 시행에 따라서 수몰지역에 분포하는 나무류와 잡초, 귀화식물 등이 소멸 될 수 있고 습생 및 수생식물이 증가하게 되므로 이들 식물 및 동물상의 분포파악과 동시에 공사시 발생되는 생태계훼손을 예측 및 분석한다.

(나) 특히 인가 및 농경지가 수몰되는 경우에는 수중생태계에도 변화를 가져올수 있으므로 호수 생성 후 수중생태계의 변화추이를 조사한다.

2.8.2 생활환경에 관한 조사

(1) 토지이용 변화

(가) 댐의 건설로 인해서 필연적으로 수몰지역이 발생하므로 댐 건설 지역의 토지이용의 개황, 농경지, 임야 등의 분포현황을 조사해야 한다.

(나) 댐 건설 사업으로 인한 토지지목별 수몰예상면적을 조사해야 하며 이에 따른 토지이용의 변화에 대한 예측과 평가가 이루어져야 한다.

(2) 대기오염

(가) 대기오염도 현황을 파악하여 현재의 쾌적성을 조사하며 댐 건설을 위한 공사가 진행됨에 따른 대기의 질적변화를 예측한다.

(나) 댐의 건설로 인한 대기오염은 건설공사시 골재의 운반중에 배출되는 비산분진과 공사시 투입되는 각종 건설장비 등에서 배출되는 배기가스에 의한 오염물질 배출을 들 수 있다.

(3) 수질

(가) 댐의 건설로 인한 댐 상류에서 유입되는 각종 오염물질에 의한 저수지의 부영양화를 예측해야 하며 댐하류에 대해서는 갈수시, 평수시의 수질을 예측하여 하류 하천수질 변화를 파악해야 한다.

(나) 특히 댐 건설 중의 공사시 토사의 유출에 의한 부유물질(SS)로 인한 탁도의 증가가 수질에 영향을 미치므로 이에 대한 대책을 미리 수립해야 한다.

(4) 토양오염

(가) 댐 건설이 주변 토양에 영향을 미친다고 예상되는 지역을 파악하고 이를 주변지역의 토양오염도 현황을 조사하여 가중요인을 파악한다.

(5) 폐기물에 의한 영향

(가) 댐 건설시 발생되는 폐기물은 댐공사시 투입되는 인원에 의해 배출되는 일반폐기물과 생활폐기물이므로 이에 대한 조사 및 처리대책이 수립되어야 한다.

(나) 공사 완료후에도 수몰지역의 인구이동에 따라 발생하는 일반폐기물이 있으며 특히 수몰지역내의 각종 건물과 가옥을 완전히 철거하지 않을 경우에는 담수된 물의 부영양화를 가중시킬 수 있으므로 주의해야 한다.

(6) 소음 및 진동

(가) 댐 건설시 발생하는 소음은 공사장비에 의하여 발생하는 소음과 골재 및 건설재료 운반차량에 의한 소음이 있다.

(나) 댐 건설시에는 발파작업으로 인한 충격성 소음과 진동이 발생하므로 주변 주거지역에 미치는 영향을 조사한다.

(7) 경관

(가) 일반적으로 댐부지로 선정된 지역은 산악지 중심의 자연경관을 이루고 있으나 댐 건설사업의 시행으로 골재채취, 절토, 성토, 댐축조 및 이설도로 등의 건설로 인한 지형변화와 자연환경의 훼손이 발생하게 되므로 이와 같은 지형변화에 대하여 조사한다.

(나) 또한 단순자연경관으로부터 조경시설유치 및 인공편익시설물의 확충이 이루어져서 경관조성 요소의 양적, 질적 변화가 예상되므로 경관의 변화양상에 대하여 조사한다.

(8) 위락 및 관광

(가) 댐으로 인한 주변지역의 관광위락시설과의 연계성, 수몰관광지 및 새로이 조성되는 관광지와의 연계성 등을 충분히 고려하여야 한다.

2.8.3 사회·경제환경에 관한 조사

(1) 인구 및 주거환경

(가) 댐 건설로 인하여 지역주민에 미치는 주요영향은 수몰이주민의 발생이라고 볼 수 있다. 따라서 댐 건설에 의해 수몰되는 지역내에 거주하는 인구 및 가구를 조사한다.

(나) 사업지구의 취락지역내 인구구성 및 주거형태 등의 변화여부를 조사하여 사업시행으로 인하여 주민에게 미치는 영향을 예상, 평가하기 위한 기초자료로 활용한다.

(2) 산업

(가) 수몰예상지역에서 생산되는 미곡, 맥류, 잡곡, 두류, 서류 등의 식량작물 생산량현황과 과실, 특용작물, 엽채류 및 채소류의 생산량을 조사하고 또한 해당 지역의 추곡수매실적 및 하곡수매실적을 파악하여 지역경제에 미치는 파급효과를 분석한다.

(나) 수몰예상지역내의 회사법인체, 기타법인체, 개인사업체 및 조합 등의 사업체를 조사하고 이곳에 근무하는 종사자수를 종야별로 조사한다.

(3) 교육환경

(가) 댐 건설후 교육환경에 매칠 수 있는 주요영향은 수몰지구 발생에 따른 이전에 불가피한 학교와 학생 및 교직원이다. 따라서 수몰지의 교육시설, 교원수 및 교육대상인구를 조사한다.

(4) 문화재

(가) 사업지구내 문화재 존재여부를 파악하고 수몰되는 문화재현황을 조사한다.

제 3 장 댐계획

3.1 계획일반

3.1.1 댐의 분류 및 용어의 정의

(1) 댐의 분류

(가) 정의 및 목적에 의한 분류

① 「댐 건설 및 주변지역 지원 등에 관한 법률」(법률 제 6021 호) 제 2 조에 의하면, "댐"이라 함은 하천의 흐름을 막아 그 저수를 생활 및 공업용수, 농업용수, 발전, 홍수조절 기타의 용도(이하 "특정용도"라 한다)로 이용하기 위한 높이 15 미터 이 상의 공작물을 말한다.

② 댐은 건설하는 목적에 따라 단일목적댐과 다목적댐으로 분류된다.

③ 한가지 용도만을 갖는 댐을 단일목적댐으로 분류하며, "다목적댐"이라 함은 특정용도 중 둘 이상의 용도로 이용하는 것을 말한다.

(나) 기능에 따른 분류

① 댐은 기능에 따라 저수댐, 축수댐 및 지체댐으로 분류한다.

② 저수댐(storage dam)은 풍수기에 물을 저류 하였다가 물이 부족한 시기에 공급하기 위한 댐을 말하며, 그 저류기간은 계절, 년 또는 그 이상 긴 기간이 될 수도 있다. 일반적으로 댐이라 하면 저수댐을 지칭하며, 대부분의 용수댐, 수력발전 댐 등이 여기에 속한다.

③ 취수댐(intake dam)은 수요지로 물을 보내기 위해 상시유량의 조절과 수로, 운하등 송수시설에 수두를 제공하기 위하여 축조된다. 하천에서 물을 취수하는 관개용 취입보가 그 전형적인 예이며 그밖에 발전, 생활 및 공업용수의 취수를 목적으로 하는 댐도 많다.

④ 지체댐(detention dam)은 홍수유출을 지체시킴으로써 갑작스런 홍수로 인한 피해를 경감시키기 위한 홍수조절댐(flood control dam)으로, 유수를 일시 저류하여 하류부의 하도통수능을 초과하지 않도록 자연방류 또는 수문조절에 의해 방류하는 댐이다.

(다) 수리구조에 의한 분류

① 댐체 위로 월류 가능 여부에 따라 월류댐과 비월류댐으로 분류하고, 하부에 방류구를 설치하는 댐은 하부방류댐이라 한다.

② 월류댐(overflow dam)은 그 댐체 마루위로 유수를 월류시킴으로 댐체는 세굴 및 침식되지 않도록 콘크리트로 축조되며 그밖에 석재, 강재 또는 목재 등이 쓰이는 경우도 있다.

③ 비월류댐(non-overflow dam)은 댐체 위로 월류되지 않도록 설계된 댐으로서 훑이나 돌 또는 콘크리트로 축조 가능한 형식이다. 보통은 이러한 2 개 구조를 합성하여, 댐의 월류부 및 비월류부를 조합하여 설계하기도 한다.

④ 하부방류댐(bottom outlet dam)은 댐체 또는 양안의 하부에 설치한 방류구를 통하여 저류된 물을 방류하는 형식으로 홍수조절댐의 특수한 형태이다.

(라) 재료 및 형식에 의한 분류

① 주요 축조재료에 따라 크게는 필댐과 콘크리트댐으로 나눈다.

② 필댐(fill dam)은 재료의 구성비율에 따라 훑댐, 롤필댐, 토석댐으로 나눌 수 있으나 근래에는 훑과 돌의 설계나 시공법에 큰 차이가 없으므로 구별하지 않기도 한다. 설계형식에 따라서는 균일형, 준형, 코아형 및 표면차수벽형으로 나눌 수 있다.

(<그림 3.1> 참조)

③ 콘크리트댐은 축조재료로 콘크리트를 이용하며 설계형식에 따라 중력식, 률러다짐식, 아치식으로 크게 나눌 수 있으며 기타 형식으로는 부벽식과 중공식 등이 있다.

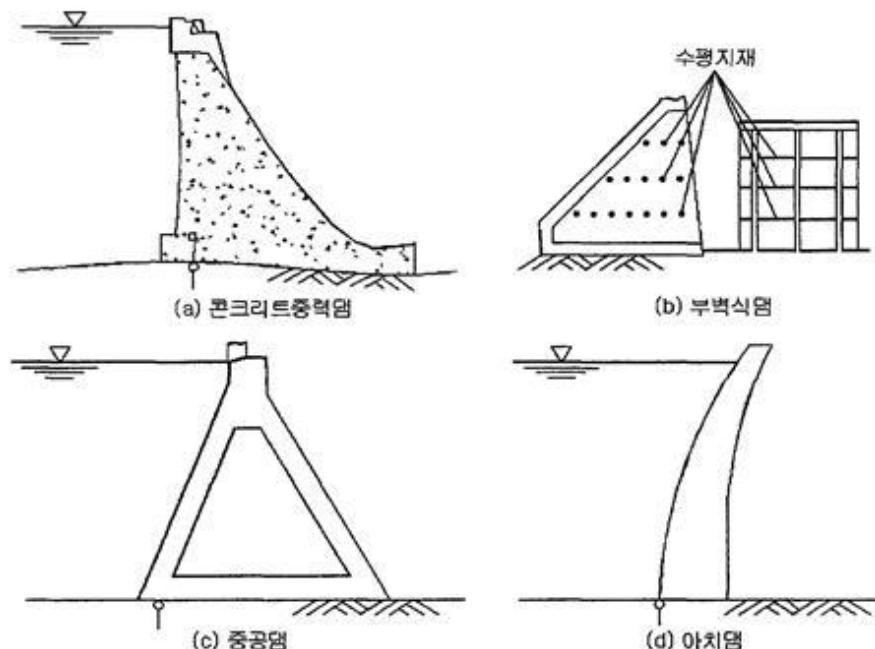
(<그림 3.2> 참조)

(마) 댐의 높이에 의한 분류

① 댐 높이가 15m 이상인 댐은 대규모댐 또는 대댐이라 하고, 그 이하인 댐은 소규모댐이라 한다.

명칭	단면도	정의
균일형	<p>불투수성부 토수성부 배수도랑</p>	제체의 최대 단면에 있어 균일재료 단면이 80% 이상 점유하고 있는 댐
존형	<p>반투수성부 불투수성부 토수성부</p>	불투수성부의 최대 폭이 댐 높이 보다 큰 댐, 심벽재료의 성질이 제체의 단면에 영향을 준다.
중심코어형	<p>불투수성부 반투수성부 중심선 토수성부(코어)</p>	불투수성부(흙 이외의 지수재료를 포함)의 최대 폭이 댐 높이 보다 적고 또한 불투수성부가 댐 중심선 전체를 통한다.
경사코어형	<p>불투수성부 반투수성부 중심선 토수성부(코어)</p>	댐 내부에 있어서 불투수성부(흙 이외의 차수재료를 포함)의 최대 폭이 댐 높이 보다 작고 또한 불투수성부가 댐 중심선에서 벗어나고 있는 댐
표면차수벽형	<p>토수성부 표장</p>	상류 경사면을 흙 이외의 차수재료로 덮은 댐

<그림 3.1> 필댐의 분류



<그림 3.2> 콘크리트댐의 분류

3.1.2 댐 건설의 목적과 용도

(1) 댐 건설의 목적

(가) 댐 시설은 규모와 관계없이 하나 또는 여러 개의 목적을 갖게 되며 적절하게 개발할 수 있는 시설이 되어야 한다. 하천은 국유로서 하천공작물의 하나인 댐의 건설은 주체가 누구이던 관계없이 댐 기능이 공공의 이익을 저해해서는 안 된다.

(나) 댐 사업은 국가 또는 지역의 경제 사회적으로 직접적인 영향을 미치게 되며 다음과 같은 공익목표를 바탕으로 해야 한다.

① 국가 경제발전의 기여

② 삶의 질 개선

③ 균형 있는 지역발전

④ 기타 사회적인 영향

2) 용수공급

(가) 생활용수

① 생활용수의 공급 계획량은 현재의 수요를 충족시켜야 될 뿐만 아니라 장래 수요도 공급할 수 있도록 합리적이고 경제성이 있는 한도 내에서 산정되어야 한다.

② 생활용수는 가정용수와 도시용수로 나눌 수 있다. 가정용수는 주거생활에 필요한 용수를

뜻한다. 도시용수는 공공용수 및 영업용수로 나눌 수 있으며, 공공용수는 소화용수를 포함하여 공익목적의 용수를 뜻하며 영업용수는 대중목욕탕 등과 전용 공업용수에 의존하지 않는 소규모 또는 가내공업용수를 포함한다.

③ 생활용수의 수질은 적절한 처리로서 식용수로 사용 가능토록 세균, 맛, 색, 냄새, 경도 등에 관한 원수의 보건기준에 적합해야 한다.

(나) 공업용수

① 공업용수의 공급 계획량은 현재의 수요를 충족시켜야 될 뿐만 아니라 장래의 공업용수 수요를 충족할 수 있도록 합리적으로 산정해야 한다.

② 공업용수의 수질요건은 일반적으로 생활용수보다 엄격하지는 않지만 기구나 제품에 손상이 없도록 용도에 맞는 적절한 수질을 유지하여야 한다.

(다) 농업용수

① 농업용수의 소비구조는 복잡하며, 작물에 필요한 증발산량과 토양의 수분조절에 필요한 침투량, 관리용수량, 영농용수, 송수손실과 각종 수리시설물의 유지관리를 위한 시설유지용수량 등 농업의 생산환경에 필요한 용수량을 포함하고 있다. 농업용수는 관개용수, 수로유지용수 및 영농용수로 분류하기도 한다. 최근에는 농촌지역에 필요한 생활, 농업, 공업 및 환경용수를 농촌용수라고 정의하기도 한다.

② 농업용수의 공급 계획량은 현재의 수요뿐만 아니라 장래 수요를 고려하여 공급할 수 있도록 산정 되어야 한다.

③ 농업용수의 수질은 토양이나 농작물에 유해해서는 안되며, 수질기준은 다우지역과 건조지역에 따라 다르다. 우리 나라에서는 농작물 식생에 관하여 수중염도의 함유가 주요 기준이 된다.

(라) 하천유지용수

① 저수시에 있어서 하천의 기능이 유지될 수 있는 최소의 유량은 댐 건설사업 후에도 계속 보장되어야 한다.

② 하천유지용수는 주요지점에서 유수의 정상적 기능 및 상태를 유지하기 위하여 필요한 유량이며 평균갈수량 또는 수질보전유량 중에서 산정한다. 평균갈수량이란 자연상태의 하천에서 갈수시에도 흘렀다고 볼 수 있는 유량으로 하천의 건천화방지 등 자연하천이 갖고 있는 최소한의 기능을 수행하도록 하류에 흐르도록 보장해 주어야 할 유량을 의미한다. 평균갈수량은 자연상태 하천의 일년중 355 일 보장유량($Q_{\{355\}}$)의 평균값을 이용하도록 한다. 또한 수질보전유량이란 오염부하량 목표수질을 고려하여 수질예측모형을 수행하여 산정하는 값이다.

③ 한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강 등 5 대 강의 본류는 하천목표수질 확보를 위한 수질보전유량을 하천유지용수로 적용하고, 기타 중소하천은 평균갈수량을 하천유지용수로 적용한다.

(3) 흉수조절

(가) 저수지의 흉수조절은 사업주체가 누구이던 간에 공공이익에 저촉되지 않도록 계획, 건설 및 관리되어야 한다.

(나) 정확한 호우예측 및 유출해석이 어려운 실정에서 이수 · 치수의 균형조작은 어렵고 신뢰도가

낮으므로 홍수조절용량 확보는 홍수기전 적절한 수문조작을 통해 이루어져야 한다.

(다) 홍수기 이전에 예비방류를 하여 법령에 제시된 홍수조절용량을 확보하여야 하며 부적절한 수문조작으로 하류부에 인위적인 홍수피해가 유발되지 않도록 계획하여야 한다.

(4) 수력 발전

(가) 전력공급상 첨두공급을 담당하고 있는 수력발전은 전력수급계획에 따라 경제성을 고려하여 계획하여야 한다.

(나) 수력발전편익은 일반적으로 대체화력비용법으로 평가되나 수력이 갖는 여러 가지 장점 중 무공해 에너지라는 점과 기동성이 높은 점을 감안하여야 한다.

(다) 수력과 화력을 병용하는 전력계통에 대한 기여도가 분석되어야 하며, 부하곡선상에서 첨두부하를 부담하는 수력발전의 발전시설용량 결정은 전력공급계통상 안전한 수력공급을 위해 매우 중요한 결정요소이다.

(5) 친수공간 확보와 레크리에이션

(가) 저수지 주변의 친수공간 확보는 다음 사항을 고려하여 충분한 계획을 수립하여야 한다.

① 위락시설이나 저수지 주변 주거시설에 기본이 되는 최저수위가 확보되어야 한다.

② 저수지 주변은 주거, 캠핑, 피크닉, 수영, 보트 등 몇 개 목적으로 구역이 설정되어야 하며 접근로, 주차장, 선착장, 취사시설, 위생시설 등 공공성 및 안전시설이 구비되어야 한다.

③ 위락 및 휴식구역은 수위강하시 노출되는 경사면이 적은 지역을 선정해야 한다.

(나) 저수지 상하류 주변지역의 환경보전을 위해서 강력한 감독 및 규제 계획이 수립되어야 한다.

3.1.3 사업 절차와 평가

(1) 댐 개발과 유역종합계획

(가) 댐 건설계획은 사업주체에 관계없이 유역종합계획의 일환으로 평가, 검토되어야 한다. 댐 및 저수지 건설계획은 댐 상류와 하류유역에 많은 영향을 주게 되므로 유역종합계획의 일환으로 기본방침을 결정하여 수립하여야 하며 수계의 일관성을 유지하여야 한다.

(나) 유역종합계획은 유역내의 산업, 경제 및 사회적 여건과 수요에 따라 현재 및 장래의 자연조건에 맞추어 이수, 치수 및 수환경을 고려한 총체적 개발의 최적화와 사회복리의 극대화를 추구하는 계획이 되어야 한다.

(다) 유역개발의 수단으로는 댐, 하구언, 제방, 주운, 수력발전, 사방, 수원 함양, 하수처리 등이 있으며, 이러한 개발수단은 그 유역개발에 적합한 시스템 모델을 설정하여 최적해를 얻는 것이 권장된다.

(라) 홍수조절은 제방이나 내수배제시설(유수지, 빗물펌프장 등)에 의한 단독적인 운영보다는 이들의 적절한 조합으로 효과를 더 높일 수 있으며, 하천의 수질관리도 유역의 오염원 관리,

하수처리계획 및 저수지의 조작 기준이 연계될 때 그 개발효율은 극대화 될 것이므로 충분한 사전 검토가 요구된다.

(2) 사업 절차와 범위

(가) 댐 건설을 위한 조사는 제 2 장 「2.1.2 조사계획」에 따라 계획조사, 기본조사 및 실시조사 등의 과정을 거쳐 수립하게 된다.

(나) 조사의 범위나 정도는 사업 규모 및 중요도에 따라 결정되어야 한다. 조사나 설계는 가급적 충분한 기간에 여러 단계에 걸쳐 수행해야 하며, 한 단계가 끝나면 다음 단계 조사의 실시 여부를 판단해 가는 과정을 밟는 것이 바람직하다.

(다) 사업의 단계는 사업의 규모와 성격 또는 투자액에 따라 결정되지만 대체로 유역조사결과에 기초하여 다음과 같은 단계를 더욱 세분하거나 또는 포괄하여 실시된다. 정부는 1999년 3월 예산회계법 시행령을 개정하여 사업예산을 예비타당성 조사, 타당성 조사, 기본설계, 실시설계, 보상, 공사의 순서로 편성하도록 하는 장치를 마련한 바 있다.

① 예비타당성조사(preliminary study)는 타당성조사의 실시여부를 판단하기 위한 사전조사로서 예비조사(reconnaissance study)를 포함하며, 가능하면 기존의 자료나 보고서를 최대한 이용하도록 한다. 현지답사가 병행될 수 있으며 넓은 의미에서 유역조사도 이 단계에 포함된다.

② 타당성조사(feasibility study)는 사업의 추진 여부를 판단하기 위해 시행되며, 사업의 범위와 규모가 결정되고 구조물 계획과 사업 실행을 위한 차관 및 관계기관의 승인 등을 얻기에 충분한 정도로 사업의 비용과 편익을 추정한다. 이 조사는 그 영역에 따라 기술적 타당성, 경제적 타당성 몇 재정적 타당성으로 나뉘며 아울러 근래에는 환경·생태학적 타당성 및 사회적 수용성조사도 요구하고 있다.

③ 설계는 기본설계와 실시설계로 나누어진다. 기본설계는 기본조사를 통하여 주요 설계지침을 설정하며 예비설계 및 개략공사비에 관련된 사항을 포함해야 한다. 실시설계에서는 기본설계와 계획을 검토하고, 실시조사를 시행하여 설계에 필요한 상세한 자료를 수집하고 정리하여 설계방법을 결정해야 한다. 실시설계에서 설계지침, 도면, 계산서, 시방서 및 예정공정표 등을 작성하고, 공사수량 계산 및 공사비 산출 등이 이루어진다. 기본 및 실시설계에는 공사업찰을 위한 제반 서류, 설계 및 시방서가 포함된다.

(라) 앞에 기술한 3 단계에 걸쳐 사업이 진행됨에 따라 사업주의 특정목적, 사업의 목표 및 필요성, 유역내 타사업과의 연관성, 사업의 범위나 규모가 확정되어 총괄계획이 완성된다. 예비조사에서 수집된 지형도, 지질도, 항공사진, 유황자료, 통계자료작물, 전력, 시장자료 및 과거에 조사된 성과 등의 기초자료가 분석 정리되어 타당성 조사에서 수행되는 추가조사, 댐의 위치, 형식, 크기, 발전시설용량 등 기본설계안과 또는 대안이 비교, 제시되고 실시설계에서 이 기본안이 더욱 발전되어 착공 직전까지의 모든 절차가 입안된다.

(3) 공사물량 및 사업비 선정

(가) 기본설계에서는 댐 개발의 규모나 위치선정을 목적으로 한 대안 검토를 하기 위하여 개략적인 비용을 추정한다. 그러나 실시설계에서는 보다 구체적으로 공사물량이 산출되고 단위물량당 공사비를 조사하여 사업의 최적 규모를 결정하고 경제적 타당성을 입증해야 한다. 사업비용은 댐과 저수지에 관계된 비용뿐만 아니라 토지가격, 수리권, 지상 및 지하의 물권, 영업권, 도로 및 철도 등의 공동시설 이전비, 조사, 설계, 감독에 드는 비용, 기타 시설 부대비 등이 총괄되어야 한다.

(나) 공사물량 산출은 댐 및 부대시설의 기본설계가 결정됨에 따라 산정 된다 특히 굴착과

성토작업에 있어서 재료의 손실, 토적변화 석재의 체적증가, 터널의 여굴 등에 대한 여유물량과 계획의 변경 또는 예기할 수 없는 상황에 대처할 수 있는 예비물량이 포함되어야 한다.

(다) 단위물량당 공사비는 지역에 따라 물가나 노임조건이 다르므로 일률적으로 적용할 수는 없다. 여기서 단위공사비 산출은 지역적 경제조건, 포장자원의 가용성, 물가 및 인건비 변동 추세, 운반, 저장조건 등을 고려하여야 한다.

4) 보고서 작성

(가) 자료의 분석, 집성, 개발구상의 연계와 전달 또는 계획 설계안의 보완, 발전을 목적으로 예비타당성조사, 타당성조사 및 설계의 전 과정에 걸쳐 각 단계마다 가능한 한 상세한 보고서를 작성하여야 한다.

(나) 보고서 작성은 수년 내지 수십 년이라는 오랜 기간에 걸쳐 이룩되는 댐 건설사업의 일관성 유지에도 긴요하지만 특히 유역 내에 발생하는 관련사업의 중요한 자료가 될 것이며, 아울러 사업간 또는 기관간에 실시되는 중복조사로 인한 이중투자를 막아준다.

(다) 보고서에 포함되어야 할 사항은 사업주의 요구나 계획, 설계단계에 따라 다르지만 대체로 다음 내용 중에서 필요한 부분을 수록하여야 한다.

① 사업명, 조사단계, 사업주, 조사자

② 위치 및 목적

ⓐ 댐 및 부대시설 위치의 행정구역 경위도 및 하천 유역상황

ⓑ 위치도 및 진입도로

ⓒ 목적

ⓓ 용도(관개, 홍수조절, 발전, 생활 및 공업용수 등)

ⓔ 공급 및 수혜 대상지

③ 설계 개요

ⓕ 댐

ⓐ 댐마루 표고(crest elevation, EL.m)

ⓑ 최고수위(maximum flood water level, EL.m)

ⓒ 설계홍수위(flood water level, EL.m)

ⓓ 상시만수위(normal high water level, EL.m)

ⓔ 제한수위(restricted water level, EL.m)

ⓕ 저수위(low water level, EL.m)

- Ⓐ 사수위 (dead storage level, EL.m)
- Ⓑ 여유고(free board, m)
- Ⓒ 댐높이(height of dam, m)
- Ⓓ 댐길이(crest length, m)
- Ⓔ 여수로 방류능력(spillway capacity, m^3/sec)
- Ⓕ 평면 및 입면도(plan and elevation views)
- Ⓖ 저수지
- Ⓗ 총저수용량(m^3)
- Ⓛ 흡수조절용량(m^3)
- Ⓔ 유효저수용량(m^3)
- Ⓓ 사수용량(m^3)
- Ⓕ 만수면적 (kmm^2)
- Ⓓ 수력발전
- Ⓗ 시설용량(kW)
- Ⓛ 연간발전량(MWh)
- Ⓔ 발전기, 수차 및 송변전 시설
- ④ 설계 자료
 - ⓐ 지형도(축척, 등고선간격, 평면도번호, 측량자, 측량일시 등)
 - ⓑ 지질도, 시추주상도, 시굴보고서
 - ⓓ 수리자료(저류, 월류, 방류, 가배수 등)
 - ⓔ 수문자료(수문곡선, 흡수기록, 설계유입흡수, 기상 등)
 - ⓕ 재료원(흙, 석재, 조골재, 세골재 등) 및 실험성과
- ⑤ 저수지 자료
 - ⓐ 제원(유역면적, 유로연장, 기하학적 특성 등)
 - ⓑ 표고별 저수면적-저수용량 곡선

Ⓐ 지질

Ⓑ 매수, 보상, 이설물건

⑥ 댐 설계

㉠ 일반 재원(마루폭, 마루길이, 단면형상 등)

㉡ 안전율

Ⓐ 기초처리

Ⓑ 지수공, 배수공, 검사로, 어도 등

Ⓜ 여수로

⑦ 건설계획

㉠ 월별 또는 계절별 계획공정

㉡ 장비 및 주요자재 동원

Ⓐ 운송 수단

Ⓑ 공사용 가설비

Ⓜ 유수전환

ⓧ 시공도면

ⓧ 공사시방서

⑧ 공사물량 및 공사비

㉠ 공사물량

㉡ 총공사비

Ⓐ 순공사비

Ⓑ 단위공사비 (공사비/공사물량)

Ⓜ 보상비

⑨ 사업 효과

㉠ 연간 용수공급량(m^3)

㉡ 연간 발전량(kWh)

Ⓐ 총수조절용량(m^3)

⑩ 사업 타당성

Ⓑ 편익비용비(B/C ratio)

Ⓒ 순편익 (NPV)

Ⓓ 내부수익률(internal rate of return, IRR)

Ⓔ 재무적 타당성

Ⓕ 비용배분계획

Ⓖ 환경 및 사회적 적합성

3.2 계획입안

3.2.1 용수수요의 추정

(1) 공제수량의 결정

(가) 댐 건설로 인한 용수편의 산정에서 공제해야 할 수량은 10년중 제 1위의 갈수량 또는 하천유지용수를 기준으로 한다. 다만 여러 개의 댐이 건설되어 있는 유역에서는, 신규 댐이 없는 상태에서 기존 저수지군을 조작하여 공급하여야 할 계획지점의 최저유량을 공제수량으로 함으로써 기득수리권을 보호해야 한다.

(나) 편익공제 수량의 산정은 가능한 장기간(보통 20년~30년)의 유량자료를 분석하여 결정하여야 한다. 계속적인 댐 건설로 유황이 개선되어 과거 유량자료의 일관성이 상실되므로 최근자료의 활용이 불가능한 경우가 많으며 기존 댐 건설 전 과거자료에 의한 갈수량과 하천유지용수의 산정은 현재의 수리기득권이 충분히 보장되지 못할 우려가 있다. 이런 경우에는 기존 댐의 운영 조작에 의한 계획지점의 최저수량의 최대값을 산출하여 이를 보장해 줌으로써 하류부 기득권을 보호해야 한다.

(2) 목적별 용수수요의 추정

(가) 용수수요의 추정은 그 사용 목적별로 구분하여 계획 목표 연도와 추정방법을 결정하고 추정 정도를 평가해야 한다.

(나) 용수수요 추정은 목표 연도를 정하는데 따라서 단기수요추정과 장기수요추정으로 나누어지며, 이에 따라 수요추정 방법과 추정 정확도가 달라지므로 가능하면 추정의 정확도를 명확하게 해야 한다. 일반적으로 단기수요추정은 10년, 장기수요추정은 20년을 대상기간으로 한다.

(다) 용수수요의 추정방법은 용수목적별로 또는 조사단계별로 다르지만 대체로 과거의 추세를

이용하는 외삽법, 각종 사회·경제적 여건 등을 설명변수로 하는 회귀분석법, 각 용도별 물 사용량이나 원단위를 각각의 인자로 분할하여 수요를 예측하는 요인분석법, 지역 또는 국가 경제계획 지표에 의한 방법과, 국내외 선진 도시 또는 지역을 개발 모형으로 하는 시차 상관분석법 등 여러 가지가 있으며 사업의 목적에 따라 방법을 선택하거나 몇 가지 방법에 의한 결과치를 비교하기도 한다.

(라) 용수의 목적에 따라 생활용수, 공업용수, 농업용수, 하천유지용수 등을 과거 및 현재의 경제, 인문, 사회통계자료를 이용하여 분석되어야 하며 정부 또는 지방 자치단체의 중·장기 경제계획 지표도 활용해야 한다.

① 생활용수 : 계획급수 대상지역, 총인구, 급수현황, 장래 추정인구, 수요량 산정기준, 단위급수량, 급수보급율 등(「상수도 통계」와 「수도정비기본계획」 등 참조)

② 공업용수 : 공업단지 개발계획, 수요량 산정기준, 산업별 생산량 및 출하액, 용수원단위, 광공업지표, 업종별용도(냉각, 처리 등), 공업부지면적, 회수율, 해수사용량 등

③ 농업용수 : 경지면적, 축산두수 및 초지면적, 영농방식, 시설관리 용수량, 침투량 대상작물 및 작물계수 등

④ 하천유지용수 : 수질보전, 하천생태계 보존, 적정 취수심 확보, 하구의 염해방지 등

(마) 추정방법 및 정도평가

① 미시적 추정방법은 과거실적 통계치로써 장래를 추정하는 방법으로 단기계획에 적합한 방법이다. 이러한 미시적 접근은 기일이 경과할수록 신뢰도가 갑자기 멀어지는 단점을 갖고 있다. 즉 지역이 개발 성장함에 따라 발전속도가 느려지고 포화치에 접근한다는 점과 주민의 의지나 공공계획의 의지 등 경제사회여건의 변화를 잘 반영할 수 없는 점에 유의해야 한다.

② 장기추정은 각종 경제지표와 실적치의 상관분석에 의하는 방법으로서 시간축에 따른 국부적인 진폭보다는 성향변동이나 추세의 발견에 유의해야 한다. 이러한 거시적 접근법은 전반적으로 신뢰성이 낮고 의욕적인 계획지표 때문에 과다 추정될 우려가 있으므로 주의를 요한다.

③ 농업용수의 수요량은 논용수, 밭용수 및 축산용수로 나누어서 산정하는 것이 일반적이며, 세부적으로는 경지면적, 축산두수 및 초지면적, 영농방식, 시설관리 용수량, 침투량, 대상작물 및 작물계수 등을 산정해야 한다. 또한 유역전체의 수요예산에는 회귀수의 환원율을 65%~80%를 고려하기도 한다.

3.2.2 저수지 용량배분과 운영

(1) 저수지 수위와 용량의 정의

(가) 저수지 수위는 그 목적과 기능에 따라 댐 바닥으로부터 사수위, 저수위, 상시만수위, 제한수위, 흥수위, 최고수위 등으로 나눌 수 있으며 표고로 표시한다.

① 사수위(dead storage level, DSL) : 유사의 퇴적으로 인하여 저수기능이 상실되는 상한표고를 말한다. 저수지의 물리적수명을 100 년이라고 보아서 일반적으로 대댐에선 100 년간의 퇴사량을 대상으로 사수위를 결정한다.

② 저수위(low water level, LWL) : 정상적인 저수지운영에서 사용되는 가장 낮은 수위로서,

일반적으로 최저 취수위를 뜻한다. 댐에서는 이상가뭄 발생시에 비상용수의 공급을 위해서 저수위와 사수위 사이에 비상용수 방류관을 설치하는 것이 일반적이다. 저수위는 다음 사항을 고려하여 결정해야 한다.

ⓐ 유사의 퇴적으로 취수에 지장이 없을 것

ⓑ 저수지내의 어족과 야생동물 생존에 필요한 최저수위

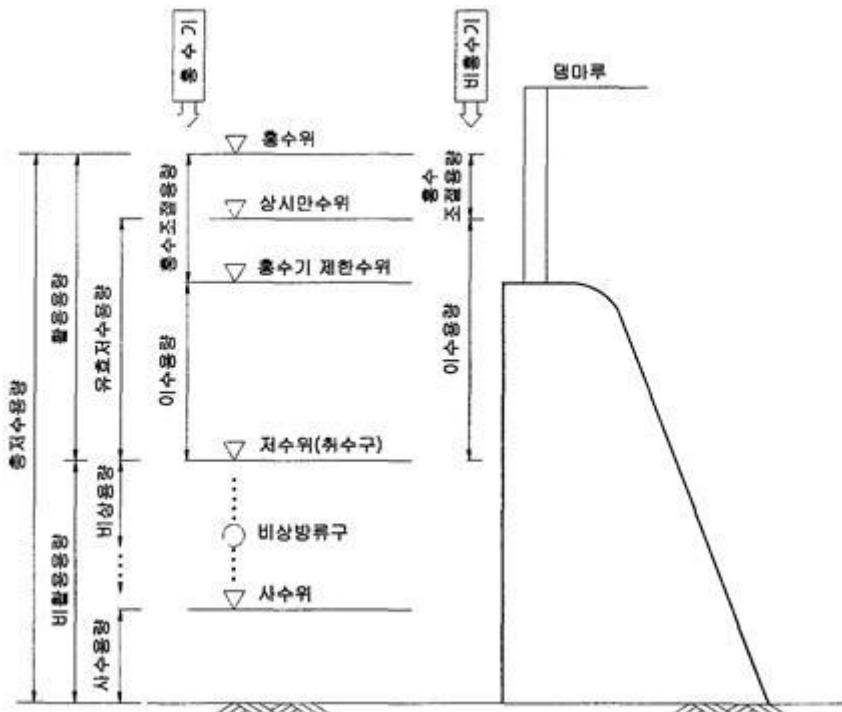
ⓒ 댐 건설과 관련하여 계약이나 행정적으로 구속을 받는 상·하류 수리구조물의 기능유지에 영향을 주지 않는 수위

③ 상시만수위(normal high water level, NHWL) : 비홍수기에 저수할 수 있는 상한 수위로서 이수용량의 최대 범위를 뜻한다.

④ 홍수기 제한수위(restricted water level, RWL) : 홍수조절용량을 더 확보하기 위해 홍수기에 제한하는 저수위로서 일반적으로 상시만수위보다 낮다. 즉 홍수기만수위로서 공용용량의 하한수위가 된다.

⑤ 홍수위(flood water level, FWL) : 홍수조절을 위해 유입홍수를 저장할 수 있는 제일 높은 수위로서 설계홍수위(designed flood level)를 뜻한다. 일반적으로 설계홍수위는 빈도별 홍수를 기준으로 산정한다.

⑥ 최고수위(maximum water level, MWL) : 가능최대홍수(probable maximum flood, PMF)가 저수지로 유입될 경우에 상승할 수 있는 가장 높은 수위이다. 최고수위는 설계홍수위와 같거나, 빈도홍수를 설계홍수량으로 채택한 댐의 경우는 설계홍수위보다 높다. 일반적으로 최고수위에 여유고를 두어 댐의 마루표고(damcrest elevation)를 결정하게 된다.



<그림 3.3> 저수지 용량배분

(나) 저수지의 용량은 그 목적과 기능에 따라 구분되는데 댐 바닥으로부터 댐 마루까지를 배분하면 사수용량을 포함한 비활용용량, 이수용량, 흉수조절용량 및 초과용량으로 나뉘어진다. 용어의 정의는 다음과 같다.

① 비활용용량(*inactive storage*) : 댐 바닥으로부터 저수위 사이의 용량으로서 평시에는 용수목적으로 쓰이지 않는 공간으로 불용용량을 뜻한다. 비활용용량은 사수위를 경계로 퇴사로 이용이 불가능한 아랫부분의 사수용량(*dead storage*)과 가뭄과 같은 비상시에는 이용이 가능한 윗부분의 비상용량으로 나눌 수가 있다. 비상용량은 이상가뭄이나 댐체 보수를 해야 할 경우에 관계당국의 승인을 얻어 방류할 수 있다.

② 이수용량(*water conservation storage*) : 저수위(LWL)로부터 상시만수위(NH WL) 또는 흉수기 제한수위(RWL) 사이의 이수목적으로 사용되는 저수공간을 뜻한다. 이수용량은 계절에 따라 다르며 상시만수위까지의 비흉수기 이수용량과 제한수위까지의 흉수기 이수용량으로 구분할 수 있다.

③ 흉수조절용량(*flood control storage*) : 상시만수위 또는 제한수위에서 흉수위 사이의 저수공간으로서 흉수조절목적으로 사용된다. 상시만수위에서 흉수위 사이의 공간은 흉수조절전용용량(*exclusive flood control storage*)이라고 하며, 여기서 흉수위는 200년 빈도 흉수가 유입하는 경우를 기준으로 하는 것이 일반적이다.

④ 공용용량(*joint use storage*) : 제한수위와 상시만수위 사이의 저수공간을 의미한다. 흉수기에는 흉수조절용량으로, 비흉수기에는 이수용량으로 이용되며 흉수기가 되면 공용용량을 미리 방류하여 이를 치수목적으로 이용하게 된다.

⑤ 초과용량(*surcharge storage*) : 흉수위와 최고수위까지의 용량을 말한다. 이 용량은 설계흉수(*design flood*)와 여수로 방류능력 및 저수지 조작기준에 따라 결정되며 이상흉수용량이라고도 한다.

⑥ 유효저수용량(*effective storage*) : 저수위로부터 상시만수위까지의 용량으로 이수목적으로 이용할 수 있는 유효공간을 뜻한다.

⑦ 활용용량(*active storage*) : 저수위로부터 흉수위 사이의 용량으로 이수목적의 활용용량과 흉수조절용량을 합한 공간으로서 저수지의 이용할 수 있는 유효공간을 뜻한다.

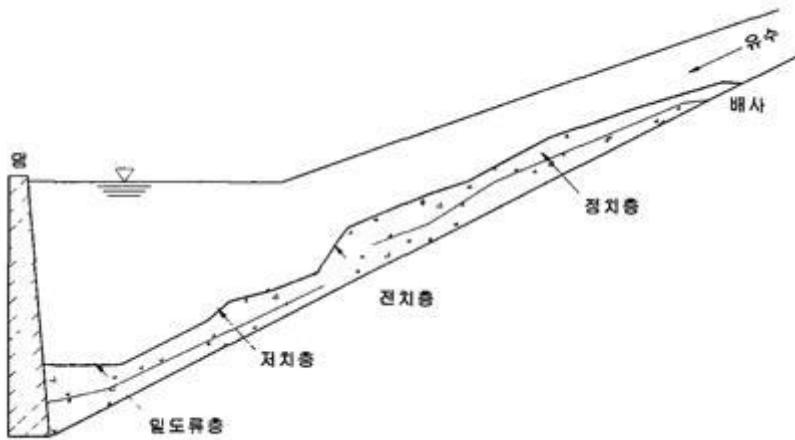
⑧ 총저수용량(*total storage*) : 댐 바닥으로부터 흉수위까지의 물을 저장할 수 있는 총 저수공간을 뜻한다. 비활용용량과 활용용량의 합으로서 초과용량은 포함되지 않는다.

2) 저수지 운영기준과 용수공급능력

(가) 저수지의 용수공급 능력을 판단하기 위해 저수지운영을 해야 한다. 이수목적의 운영은 저수위(LWL)와 상시만수위(NH WL)의 저수량으로 대상으로 한다.

(나) 저수지에 유입되는 유사는 저수지의 전역에 걸쳐 분포되며 기간이 경과함에 따라 저수지용적은 점차 적어진다. 저수지의 물리적 수명은 보통 100년으로 간주하여 저수지의 평균 저수능력을 평가하기 위하여 100년간의 퇴사량 분포를 기준으로하는 것이 일반적이다.

(다) 저수지내의 퇴사 분포형태에 관한 경제적 연구로서 크리스토파노(*Cristofano*)의 면적증분법과 볼랜드-밀러(*Bolland-Miller*)의 면적감소법 그리고 호브스(*Hobbs*)의 지속수위법 등이 널리 알려진 방법이다(<그림 3.4> 참조).



<그림 3.4> 저수지내 퇴적형태

(라) 저수지의 용수공급능력을 결정하기 위하여 저수지를 모의 운영하여야 하며 방법은 조사의 정도에 따라 다르다. 예비조사 단계에서는 유입량 누가곡선(Ripple's mass curve), 또는 조절도와 같은 약산법의 사용이 가능하다. 타당성조사 단계에서 여러 개의 기준저수지와 연결되는 경우는 대상지역의 월별 용수수요를 고려하여 상류로부터 운영조건에 의해 축차계산으로 용수공급능력을 결정하는 것이 일반적이다.

(마) 저수지의 모의운영은 저수지퇴사와 저수지 수면증발손실을 고려해야 한다. 저수지수면 증발손실은 접시증발계수에 의할 경우 보정계수는 연평균 70%로 하거나 또는 월별로 달리 할 수도 있다.

(바) 저수지조작은 실측 유입량자료가 있을 경우는 일 또는 순별로 하고 실측 유입량 자료가 없을 경우는 월 단위로 한다. 저수지 조작기간은 장기간일수록 신뢰성이 높아지며 100년 이상이 바람직하고 최소 20년 이상 기간의 자료를 이용하여 분석해야 한다. 자료기간이 짧은 경우에는 통계학적으로 모의한 자료를 쓰도록 권장한다.

(3) 수력발전계획

(가) 최적규모입안을 목적으로 하는 기본설계에서 수력발전계획은 다음과 같이 한다.

① 시설용량

$$P = 9.8 \cdot \eta \cdot Q \cdot H \quad (3.1)$$

여기서, P : 발전시설용량(kW)

η : 시스템의 합성효율로서 수차효율과 발전기효율을 곱한 값

Q : 발전사용수량(m^3/s)

H : 평균유효낙차(m)

② 발전량은 저수지 모의운영에 의해 계산된 매년도 발전량을 산정하도록 한다.

③ 일발전시간의 결정은 전력계통에서 수력의 기여도를 고려하여 결정하게 된다. 전력의 구성계획과 예상 부하곡선(duration curve)에 의해 요구되는 첨두부하의 조절소요에 따라 결정하여야 한다.

(나) 평균유량은 저수지조작에 의한 평균유량 또는 상시유량(ordinary flow)을 말한다.

(다) 발전사용수량은 평균유량으로부터 환산할 수 있으며 평균유량에 대한 배수를 사용수량계수(water capacity coefficient) $C_{\{w\}}$ 라 정의한다. 예로서, 하루종일 발전하는 기저부하발전소 경우 $C_{\{w\}}$ 는 1이며, 하루 6 시간 발전하는 첨두부하발전소의 경우 $C_{\{w\}}$ 는 4가 된다.

(라) 유효낙차는 저수위와 방수위에 따라 결정되므로 방수위곡선(tail water rating curve)을 이용하여 구하고 손실낙차를 고려하여야 한다. 예비설계나 비교분석을 목적으로 하는 약식계산에서는 빈도가 큰 저수위와 방수위를 구하여 산정할 수 있다.

(마) 수차조작의 범위는 설계낙차의 65%~125%로 하는 것이 일반적이다.

(바) 수차 및 발전기의 효율은 실적자료를 적용하는 것이 바람직하나, 계획 단계에서는 일반적으로 시스템의 합성효율을 85% 내외로 적용할 수 있다.

(사) 수력발전 계획에서 2 차 에너지를 산정하는 경우에는 흡수로 인한 방수위의 상승과 이로 인한 효율저하에 유의해야 한다.

3.2.3 편익 산정

(1) 편익의 정의 및 분류

(가) 댐건설로 인한 편익은 댐사업으로 얻는 이익의 발생, 손실의 감소 또는 편의의 증진 등을 말하며 여기에는 용수편익과 흡수조절편익 이외에도 발전, 레크리에이션, 주운 및 하류수질개선편익 등이 있으며 간접편익을 포함시켜야 한다.

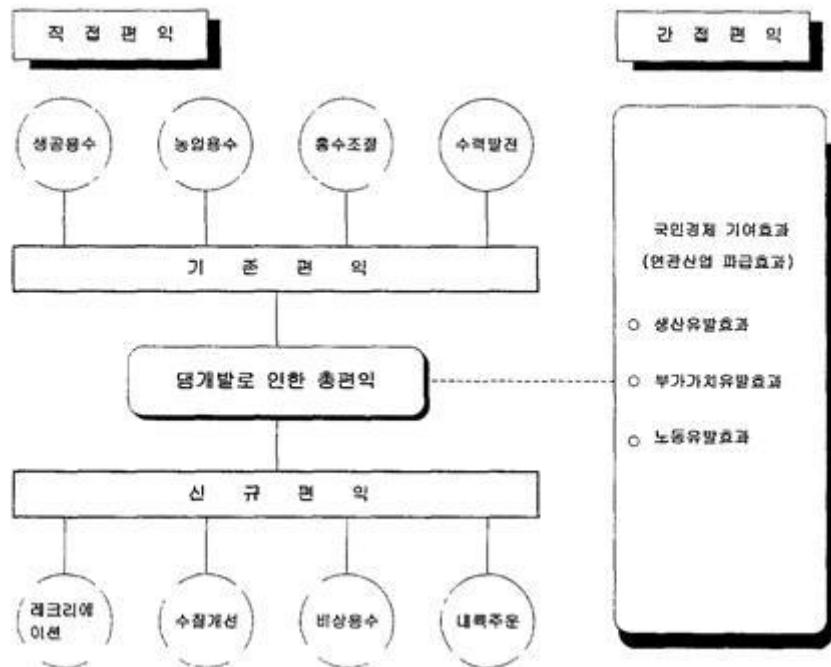
(나) 댐건설로 인하여 발생되는 편익은 크게 직접편익과 간접편익으로 구분할 수 있다.

① 직접편익은 사업효과를 바로 나타낸 것이며 댐건설로 인해 직접적으로 얻는 이익의 증가나 손실의 감소를 말한다. 간접편익은 댐 건설로 파생되거나 유발되어 발생하는 2 차 편익을 의미한다. 예를 들면 흡수조절로 인한 현재의 피해절감 이외에도 장차 인구증가 또는 경제성장에 따라 예상되는 피해가능성의 감소, 토지 가치의 증진 등을 간접편익이라 한다.

② 다목적댐의 직접편익의 항목으로는 <그림 3.5>에서와 같이 기존에는 흡수조절, 생·공용수공급, 농업용수공급 및 수력발전 편익을 고려하였으나 오늘날에 있어 신규편익으로는 레크리에이션, 하류의 수질개선, 비상용수 공급 및 내륙주운 등의 편익을 포함할 수 있다.

③ 간접편익은 사업 지역 또는 인근 지역 주민의 생계 안정이나 고용의 증대 등 금액으로 나타낼 수 없을지라도 공공이익에 관계되는 사회적 편익과 댐건설로 인한 생산, 노동 및 부가가치 유발효과를 포함한 국민경제기여효과, 발전용 유류대체효과와 공해요인 감소효과 등을 포함하게 된다.

④ 댐 건설로 발생하는 역효과는 댐 건설로 장래 발생될 가치의 손실로서 사업의 간접비용으로 고려되기도 한다. 역효과의 예로서, 환경 및 생태변화를 들 수 있다.



<그림 3.5> 다목적댐의 편익산정 항목

(다) 댐의 편익은 시장에서 화폐단위로 평가할 수 있느냐에 따라 유형편익(tangible benefits)과 무형편익(intangible benefits)으로 나눌 수가 있다.

① 유형편익은 통상 시장에서 평가될 수 있는 계량편익(measurable benefits)을 뜻하며, 저수지를 통한 용수공급이나 홍수조절로 인한 피해경감 효과 등과 같이 객관적인 기법을 이용하여 화폐단위로 평가할 수 있는 편익을 말한다.

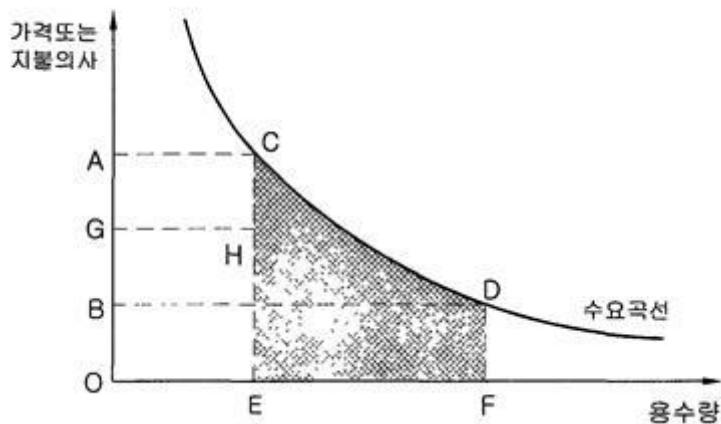
② 무형편익은 댐 건설로 인한 주변환경의 미화, 홍수로 인한 인명피해 감소 등과같이 화폐단위로 평가하기 어려운 것을 말한다. 무형편익은 대부분 시장가격이 없기 때문에 정확한 금전적 평가가 어려우나 최근 여러 가지 측정 기법이 개발되고 있고 공공투자사업의 경제성 평가시 이를 포함시키려는 노력이 이루어지고 있다. 무형편익과 비용을 시장외적 가치(extra market value)라고도 한다.

③ 투자사업의 편익과 비용 항목은 사업마다 다르고 위치와 투자규모에 따라 편익과비용이 다를 수 있다. 계량화하기 어려운 항목은 정성적으로 조사·분석한 결과를 타당성조사보고서에 포함하여야 한다.

(2) 생활 · 공업용수 편익

(가) 생활 · 공업용수 편익은 원칙적으로 사용자의 지불의사를 반영한 수요곡선을 도출하여 편익을 산정하는 직접적인 수요곡선산정법(demand curve approach)이 바람직하나, 현실 및 제도적 한계로 인하여 간접적인 방법인 대체시설비용법(alternative cost approach)을 이용하는 것이 일반적이다.

(나) 수요곡선산정법은 수요곡선에 따라 편익산정을 구하는 직접적인 방법으로 개념을 <그림 3.6>에 나타내었다.



<그림 3.6> 수요곡선에 의한 편익산정 개념

① <그림 3.6>에서 OE는 현재의 용수수요량이고 OE 수준의 수요량 이하에서는 단위당 용수 가격을 최대한 OA 만큼 받을 수 있으나, 여러 가지 정책적 이유에 의해 정부의 관리 가격이 OA 보다 낮은 OG의 수준에서 결정되는 것이 보통이다. 그러나 용수편익을 계산하는 데는 정책적 고려가 아닌 수요자의 지불의사에 의해 산정되어야 하므로 새로운 다목적댐의 건설에 의해 용수의 공급이 OE에서 EF 만큼 증가하여 OF가 되는 경우, 용수공급의 편익은 CEF의 면적에 상응한다.

② 이론적으로는 수요곡선에 기초한 방법이 가장 적절하지만, 이 방법은 미래의 필요한 물의 수요와 지불의사를 나타내기 위해 이질적이고 다양한 수요자의 수요곡선을 얻어야 하는데 이는 수요량의 예측뿐만 아니라 생산자에 대한 정보를 제공할 수 있도록 방대한 양의 자료수집과 분석이 요구된다. 특히, 다목적댐이 건설되는 예정지를 중심으로 광범하게 그리고 각각의 경우마다 실시되어야 한다는 어려움을 가지고 있다.

(다) 대체시설비용법은 다목적댐이 아닌 다른 대안의 방법으로 같은 양의 용수를 공급하려고 할 때 소요되는 비용을 용수공급의 편익으로 사용한다.

① 대체시설의 규모는 외생적으로 주어지며, 다목적댐의 용도중 생활·공업용수 공급계획량이 상위결정변수로 주어진다. 일반적으로 다목적댐의 생활용수와 공업용수의 공급규모가 분리되어 주어지지 않으므로 편익계산도 생활용수와 공업용수의 편익으로 분리하여 산출하지 않는다.

② 생활·공업용수를 공급하기 위해 공급량의 예정규모에 따라 여러 가지 방법(지하수, 생활·공업용수 전용댐, 담수화시설, 재이용 시설 등)과 여러 방법의 조합이 가능하다. 특히, 주어진 공급규모에 대해 여러 대체시설의 혼합을 통하여 최소한의 비용이 얻어지는 경우를 고려하여 대체시설비용을 산정하여야 한다.

③ 다목적댐과 대체시설의 사용년한이 서로 동일하지 않을 경우에는 양자의 편익흐름 기간이 동일하게 되도록 해야한다. 비용은 대체시설의 건설비용(즉 초기 고정비용) 뿐만이 아니라 동일한 기간 동일한 양을 공급하기 위한 고정비용(건설비용)과 가변비용(유지, 관리 및 생산비용)을 합한 총비용이어야 한다.

④ 계획안과 대체안에 의한 용수의 수질이 매우 다르다면 편익계산에 이를 감안해야하며, 대체안으로서 지하수개발이나 소류지를 선정코자 할 때 용수공급의 신뢰도에도 유의해야 한다.

⑤ 최소 대체시설규모를 결정하기 위한 혼합비율의 결정 및 연간 생활·공업용수 편익의 산출을 위한 주요 절차는 다음과 같다.

ⓐ 시점별 용수수요량과 총공급규모의 결정

ⓑ 대체시설의 선정과 비용곡선 도출

ⓒ 공급량의 범위와 최소 비용산정

ⓓ 대체시설 총비용의 현가화

ⓔ 연간균등비용과 생활·공업용수 편익 산출

(3) 농업용수 편익

(가) 농업용수 편익은 관개로 인해 농업소득이 향상되는 것을 평가하는 것이다. 댐이 있을 때와 없을 때의 농가소득차인 농가수지분석을 수행하여 산출해야 한다.

(나) 사업지역 내에 있는 표본농가를 선정하여 수입 및 지출을 토지분류별로 조사하여 관개로 인한 순수익의 변동차액인 직접편익을 산출한다. 선정된 농가가 전체 사업지구를 대표할 수 있도록 적절한 가중치를 부여하여 평가해야 한다.

(다) 사업지구 내의 토지를 지형, 토양 및 관개조건 등에 따라 여러 등급으로 나누고 댐건설로 인한 토지등급의 변동을 조사한다. 토지분류는 생산성을 고려한 편익 가격을 결정하기 위한 하나의 수단이므로 분석 전에 토지분류별 가치를 결정해 두어야한다. 우리 나라는 아직 경제평가에 통용되고 있는 토지분류법이 없으므로 <표 3.1>과 같은 미국 개척국(USBR)의 토지분류기준(soil and land classification)을 사용하고 있다.

<표 3.1> 미국의 토지분류

등급	내용
class 1	경작가능지, 완만한 경사, 다양한 작물재배가능, 관개영농의 최적지
class 2	경작가능지, 1등급보다는 못하지만 관개영농에 적합한 지구
class 3	경작가능지, 관개사업으로 영농가능하나 토양, 지형 배수조건이 불리한 지구
class 4	제한경작가능, 특수한 경제, 기술검토 후 특수용으로 경작이 가능한 지구
class 5	경작불능지, 잠재가치가 있으므로 4 또는 5등급으로 판정하기 전의 잠정등급
class 6	경작불능지로서 기존 시설이나 계획사업으로도 경작불능

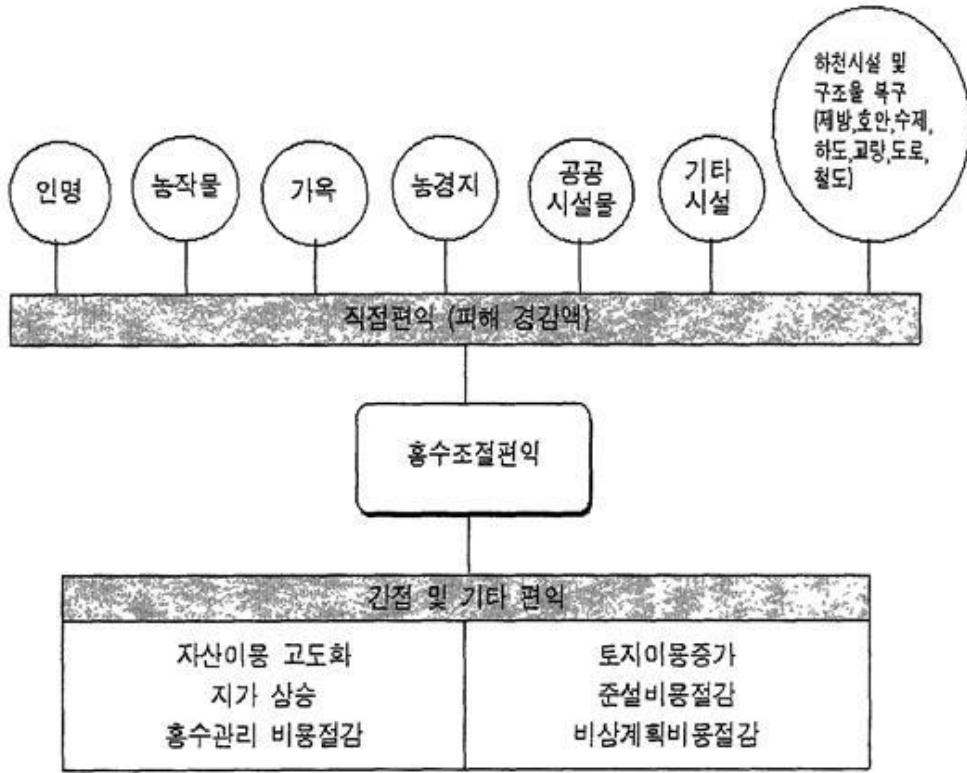
(라) 농가수지분석에 의한 편익의 평가는 그 절차가 복잡하고 방대한 조사가 요구된다. 따라서 수혜대상 지역에 용수를 공급함으로써 관계대상면적은 늘어날 것이므로 토지이용률의 증가에 따른 식부면적의 증가 편익과 생산량증가 편익을 산정하고 여기에 각 수혜대상 농지에 추가적으로 건설되는 양수장, 배수로 등 추가 수리시설의 연간비용을 감한 금액을 농업용수 편익으로 산정하기도 한다.

(4) 홍수조절 편익

(가) 홍수조절편익의 정의와 분류

① 홍수조절편익은 댐에 의한 홍수조절효과로 인해 장차 발생될 홍수피해가 감소됨으로써 얻을 수 있는 기대이익을 말한다. <그림 3.7>에서 홍수조절편익은 직접편익항목과 간접 및 기타편익을

나눌 수 있으나, 댐 건설의 목적에 따라 상대적인 비중이 다를 수 있으므로 직접편익과 간접편익을 명확하게 구분하기는 어려운 일이다.



<그림 3.7> 홍수조절편익의 산정항목

② 도시지역의 직접편익은 가옥을 포함한 건물과 내용물이 손실의 큰 비중을 차지한다고 할 수 있다. 그러나 이러한 부문의 효율적이고 정확한 피해산정을 위한 분석방법의 연구나 기본적인 자료는 우리나라에는 거의 없는 실정이며 외국에는 치수사업을 위한 편익의 산정, 일반적인 피해함수기준의 추정 또는 홍수보험과 연관하여 연구를 한 사례가 있다.

③ 간접편익은 홍수피해지역의 각종 생산활동과 불편에 따른 영업, 교통, 통신 등 서비스상의 손실감소와 대피 및 복구에 소요되는 비용절감이 되며 측정이 어려운 경우에는 간접피해율을 적용하기도 한다.

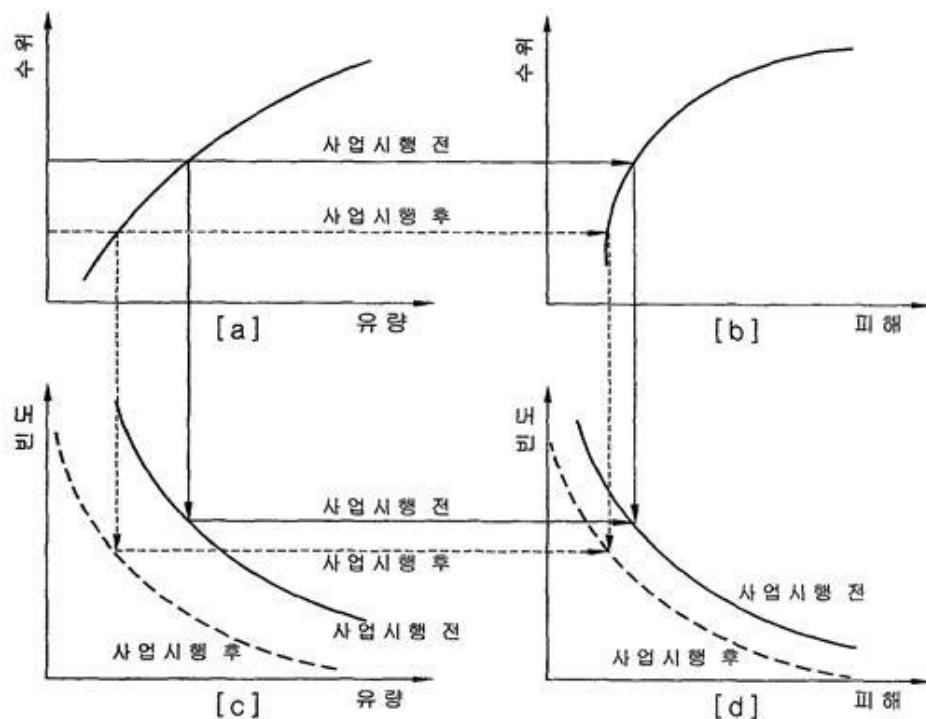
(나) 직접편익의 산정

① 직접편익은 연평균 피해감소액으로부터 산정한다. 연평균 피해감소액은 댐이 없을 경우와 있을 경우의 확률피해액으로부터 구하며, 확률피해액은 현지조사에 의해 수위-피해곡선(stage-damage curve)을 작성하고 각 수위에 대한 빈도분석을 함으로써 구한다.

② 수위별 피해액의 산정은 침수위별 홍수범람지역의 구획을 설정하고, 침수시간 및 침수심에 따라 피해액을 설정하여야 한다.

③ <그림 3.8>은 홍수의 빈도와 피해액의 관계로부터 직접편익을 구하는 과정을 설명하고 있다. 특히 수위별 피해액의 관계는 해당 수계에 이미 조사된 자료가 있으면 분석이 용이하나, 일반적으로 분석된 자료가 없는 실정이라면 정확하게 산정하기는 어렵고 유사한 지역의 기존 값을 사용하거나 경험적인 값을 사용할 수도 있으나 주의를 요한다. <그림 3.8>에서 (a)는 수위와 유량에 대한 곡선으로서 하천의 주요지점에서의 기존 값을 이용하거나 하도의 홍수추적에 의해서 구할 수 있다. (b)는 수위-피해곡선으로 각 수위에 따른 피해액의 관계를 나타내고 있다. (c)는

유량에 따른 빈도(또는 초과확률)를 나타내는 유량-빈도곡선으로 유량대신 수위를 이용해도 된다. 마지막으로 (d)의 피해-빈도곡선(damage-frequency curve)은 위 두 곡선 (b)와 (c)의 관계에 의해서 도출되는데, 댐 건설 사업시행후의 유량-빈도곡선을 추적해 가면 이에 상응하는 새로운 피해-빈도곡선이 유도되며, <그림 3.8>에서 실선과 점선은 각각 사업시행 전후를 나타낸다. (d)에서 두 곡선의 면적차이가 사업시행으로 인한 흥수조절편익을 의미한다.



<그림 3.8> 흥수빈도와 피해액 관계의 결정

④ 연평균 피해액은 다음 식에 의해서 구할 수 있다.

$$E(D) = \int_{h_0}^{\infty} D(h)P(h)dh = \int_{h_0}^{\infty} D(h)dF(h) \quad (3.2)$$

윗 식을 차분화하면,

$$E(D) = \sum D(h) \cdot P(h) \Delta H \quad (3.3)$$

여기서, $E(D)$: 연평균 피해액 기대치

$D(h)$: 수위가 h 일 때 피해액

$P(h)$: 수위가 h 일 때 확률밀도함수의 종거

$F(h)$: 수위가 h 일 때 누적분포함수

$h_{\{o\}}$: 무해수위

Δh : 수위간격

⑤ 연평균 피해감소액은 빈도별 흉수에 대하여 댐 건설로 인한 피해감소액을 구하여 이를 전구간에 대하여 구한다. 즉, 빈도별 흉수의 초과확률을 구간으로 나누고 구간별로 댐 건설전후의 피해액의 차이에 흉수의 구간발생확률을 곱하여 전구간에 대해 합산하게 된다. 연평균 직접피해액은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$B_F = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta D_{i-1} + \Delta D_i}{2} (F_{i-1} - F_i) \quad (3.4)$$

여기서, $B_{\{f\}}$: 연평균 피해감소액으로 직접편익

$F_{\{i\}}$: 초과확률

i : 피해-빈도곡선의 초과확률을 구간으로 나눈 순서. 즉, 재현기간 200년인 경우는 1이 되고, 100년은 2, ……, 1년은 n이 된다. 초과확률은 등간격일 필요는 없다.

$\Delta D_{\{i\}}$: 초과확률 i 에서의 댐 건설전후 피해액의 차이로서 댐건설로인한 피해감소액을 의미하며 다음 식으로 표시된다.

$$\Delta D_i = D_B - D_A \quad (3.5)$$

여기서, $D_{\{B\}}$: 댐 건설전의 피해액

$D_{\{A\}}$: 댐 건설후의 피해액

⑥ 직접피해는 다음의 4 가지 영역에 관한 것을 고려해야 한다.

ⓐ 주거피해 : 택지, 수목, 담장, 보도, 건물, 가구, 시설, 차량의 피해

ⓑ 상업피해 : 토지, 설비, 건물, 물자 등에 관한 상공업 등 영업활동에 주는 피해와 자원, 운송, 저장에 주는 피해

ⓒ 공공피해 : 도로, 교량, 공원 등 공공시설물에 대한 피해

ⓓ 농업피해 : 작물, 가축 등의 유실 또는 저장손실, 영농시설피해, 복구비용 등

(다) 간접편익의 산정

① 치수사업의 결과로서 토지의 가용면적이 늘어나고 또한 토지이용도가 높아짐에 따라 토지가치 상승편익이 발생하며 흉수조절로 인한 토지 용도의 변동, 토지 등급의 상승, 지가 변동 등을 고려하여 산정할 수 있다. 농촌지역인 경우 토지가치 상승편익은 저가의 작물재배에서 고가의 작물재배로의 변화로 인한 순수익의 증가와 일치한다. 도시지역인 경우 토지가치 상승편익은

사업시행의 결과로 발생한지가의 상승분이 이에 해당한다.

② 상류의 댐건설로 인한 하류의 유사의 퇴적으로 인한 준설 및 하상유지비의 감소액 등을 고려하여야 한다. 제방·호안·수제 등의 하천시설물과 도로, 교량, 철도등의 수조물의 피해복구 비용의 감소액도 편익으로 고려하여야 한다.

③ 간접편익은 최근 홍수피해지역의 주민과의 인터뷰, 시장분석에 의한 단위 경제가치의 할당 등 사회, 경제적인 추적조사로 구할 수 있다. 그러나 평가절차상의 복잡성 때문에 일반적으로 사례연구를 통해 제시된 직접피해액에 대한 간접피해액의 비율인 간접피해율로 추정하기도 한다.

④ 간접피해율은 정확한 평가가 요구되나 객관적이고 합리적인 자료를 찾기는 어렵다. 참고로 미국의 뉴잉글랜드-뉴욕 통합위원회(New England-New York Interagency Committee)에서 1938년 대홍수의 조사결과가 많이 이용되고 있으며, 그 이후 도시화와 다양한 산업화 등을 고려한다면 <표 3.2>의 값을 적용할 수 있다. 그러나 최근 정보통신 부문의 중요성을 감안한다면 이의 서비스 부재에 따른 피해는 막대하고 해당 지역내의 여건에 따라 크게 달라질 수가 있으므로 간접피해율의 산정은 적용시에 신중한 판단과 주의를 요한다.

<표 3.2> 간접피해율

피해영역	간접피해/직접피해
공업	6.0
도시(상업, 주거, 공공)	7.5
지방	1.0
도로, 철도	5.0

⑤ 범람대상지역이 결정되면 피해영역별 지역분포와 간접피해율로부터 평균 간접피해율을 구하여야 한다. 피해지역의 지역분포는 재현기간별 홍수에 따라서 각각 다른 값을 가진다면 재현기간별 연평균피해 감소액에 간접피해율을 곱하여 합산하는 것이 정확하나, 정밀한 계산을 요하지 않는 경우에는 전지역이 비슷한 지역분포를 보이고 있다고 가정할 수 있다.

(라) 기타편익의 산정

① 직접편익과 간접편익에서 포함되지 않은 항목은 기타편익으로 고려할 수 있으나 계량화가 어려운 경우에는 정성적으로 자세하게 서술하여야 한다.

② 비계량편익으로는 인명손실과 부상이나 질병으로부터의 보호, 정신적인 피해보상, 자산이용 고도화, 지가상승액 등을 들 수 있으며 사업평가에서 이에 관한 기여효과를 나열하여 언급하여야 한다.

(마) 연간균등편익의 산정

① 홍수조절편익은 직접편익과 간접편익 및 기타편익을 산정하고 이들로부터 경제성장에 따른 자산증가를 감안하여 연간균등편익을 계산하도록 한다.

② 홍수피해 감소에 따른 편익은 평가 당시의 사회, 산업, 경제 상태를 기준으로 산출하는 것이다. 그러나 장래 경제가 성장함에 따라 총자산과 총생산액은 더 늘어날 것이므로, 홍수피해 잠재성은 더욱 커질 것이고 이렇게 증가되는 피해를 홍수조절로 감소시킬 수 있다는 점을 감안하여야 한다.

③ 경제성장 편익은 장래 경제성장에 따른 인명과 재화가 늘어남에 따른 홍수피해의 증가를 막을

수 있다는 점을 편익으로 계산한 것이며 그 개념이 확립되었다고는 보기 어려워 이 편익은 전문가간에 일부 논란이 있을 수도 있다.

④ 홍수범람 예상지역은 자산의 증가를 고려하여 연평균 홍수피해 감소액에 장래에 예상되는 자산증가에 대한 배율계수를 곱하여 산정한다. 앞으로 국가 경제가 선진화될수록 경제성장률이 조금씩 둔화될 것이라는 예상을 편익산정 기준에 포함하여 경제성장률을 장래 년도에 따라 다르게 적용하여 산정하는 것이 더욱 타당하다.

⑤ 일반적으로 경제성장률은 국가경제활동수준 또는 GNP 크기 및 변동에 관계되며 국민소득수준의 지표로 사용되기도 한다. 순수한 의미의 소득성장은 경제성장에서 감가상각의 제외, 간접세 공제 및 국가보조금의 가산 등이 이루어져야 하지만, 이러한 것들의 추정이 어려울 때에는 소득성장을에서 경제성장률을 유사한 개념으로 사용하여도 무방하다. 자산증가에 대한 배율계수의 산정을 정리하면 아래와 같다.

ⓐ 범람지구의 현재의 총자산액 등은 경제성장과 더불어 장래에 증가할 것이며 경제성장률은 소득성을 고려하여 구한 연간(年間)편익을 구한다.

ⓑ 일련의 연간편익을 내구연한동안 합산하여 홍수피해 경감기대액의 현재가치를 구한다.

ⓓ 연간균등편익($W_{\{R\}}$)은 내구연한 동안의 현가화한 총홍수피해경감액($W_{\{T\}}$)에 자본환원계수를 곱하여 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$W_R = CRF \cdot W_T \quad (3.6)$$

$$CRF = \frac{i(1+i)^L}{(1+i)^L - 1} \quad (3.7)$$

여기서, $W_{\{R\}}$: 연간균등편익

$W_{\{T\}}$: 현가화한 총홍수피해경감액

i : 이자율

L : 내구년한

CRF : 자본환원계수(capital recovery factor)

(5) 수력발전 편익

(가) 수력발전 편익은 비용에 대비되는 평가 개념으로 정하게 되며, 발전편익의 산정기준은 시장가격, 행정적 결정가격 및 대체시설비용 등으로 나눌 수가 있다. 일반적으로 수력발전편익의 산정은 대체시설 비용을 근거로 하며, 일반적으로 대체화력평가법(alternative thermal plant method)과 에너지치환법(energy displacement method)으로 나누게 된다. 그러나 최근에는 수력발전 용량의 설비규모와 상시발전 또는 첨두발전에 의한 발전형식에 따라서 행정적 결정가격을 근거로 편익을 산정하기도 한다.

① 대체화력평가법은 계획하는 수력발전소 대신에 화력발전소를 대체, 운영한다는 가정아래 이에 관련되는 모든 비용을 분석하여 수력발전 편익의 근거로 하는 방법이다.

② 에너지치환법은 기존 발전소에서 생산되는 에너지의 치환효과로서 수력발전 편익을 산정하는 방법이다. 에너지 편익만을 반영하므로 보장출력이 아주 작은 경우에 주로 적용하게 되며, 에너지 비용은 고가의 기름 또는 가스터빈 발전소를 기준으로 해야 한다.

(나) 수력발전소의 출력이 저수지 유입량에 크게 의존하는 경우에는 부하담당능력(load carrying capability)을 고려한 보장출력(dependable capacity)을 적용할 수 있으며, 발전편익의 평가도 1 차 및 2 차 에너지로 구분하여 편익단가를 다르게 적용할 수 있다.

① 중소규모의 수력발전소는 이상 가뭄과 같이 극심한 수문상황에서는 출력의 변화가 크므로 유효출력을 산정하기 위해서는 보장출력의 개념을 적용하여야 한다.

② 보장출력은 발전소의 부하담당능력을 말하며, 일반적으로 전력지속곡선으로부터 초과확률 90~95%에 해당하는 출력으로 산정할 수 있다. 이는 90~95%의 공급신뢰도를 갖는 보장출력을 의미한다. 기타 보장출력 방법으로는 극한월법(critical month method), 상시발전소계수법(firm plant factor method), 특정가용율법(average availability method) 등이 있다.

③ 1 차 에너지는 계획된 첨두발전 시간에 생산한 에너지를 뜻하며, 2 차 에너지는 그외의 시간에 생산된 부차적인 에너지이다. 2 차 에너지는 풍수기에 방류수의 에너지 생산을 말하는 것으로서 비첨두 시간 발전량이므로 경제성 평가에서 수력으로 인한 화력연료의 절감효과를 고려하여 정한다. 2 차 에너지를 평가할 경우에 1 차 에너지 가치의 75%로 하는 경우도 있다.

④ 하류에 조정지 댐이나 별도의 댐에 수력발전소가 계획된다면 하류발전소의 출력 및 발전량의 증가량도 편익계산에 포함되어야 한다.

(다) 일반적으로 이용되는 대체화력평가법의 세부적인 설명은 다음과 같다.

① 대체화력평가법은 대체화력의 건설 및 유지관리 비용을 포함하게 된다. 즉, 대체화력발전소의 시설비용(고정비)을 기준으로 수력발전의 용량(kW) 편익을 산정하고 대체화력발전소의 에너지 비용(변동비)을 기준으로 수력발전의 에너지(kWh) 편익을 산정한다.

② 수력발전의 환경친화적 장점 특히 화력발전과는 달리 대기오염이 거의 없다는 점을 경제성 평가에 반영하기 위해서는 화력발전소에서 발생하는 황산화물, 질소산화물, 먼지와 같은 오염물질과 이를 처리하기 위한 각종 시설비와 운영유지비를 대체화력평가법에 반영하여야 한다.

③ 전력계통에서 수력발전소와 화력발전소의 역할과 효과가 다르며 무공해라는 이점과 부가적인 효과를 반영하여야 한다. 특히 수력발전소가 대체화력발전소의 내구연한과 다른 경우에는 이를 조정하여 연간 균등편익을 산출하여야 한다. 편익분석을 위한 주요 영향인자로는 할인율, 에너지 가격, 분석기간이나 보험 및 세금등을 들 수 있다.

④ 일반적으로 대체화력평가법에서 편익의 산정은 대체화력의 초기 수명에 기준하여 산정된다. 결론적으로 미래의 인플레이션이 불확실하고 훗날 교체할 대체화력발전 시설의 현재가치는 적기 때문에 대체화력발전소의 초기 수명에 근거하여 용량편익을 산정하는 것은 합리적이라 할 수 있다. 경제성분석을 위해서는 전기간의 총비용과 편익의 연간균등액을 산정하여 비교할 수가 있다.

⑤ 첨두부하용 발전은 부하율이 극히 낮은 부분에서의 운전용이므로 운전비는 다소 높더라도 고정비가 적은 설비로서, 기동시간이 짧고 변동부하에 대한 우수한 적응성이 요구된다. 첨두부하 전용화력으로는 가스 터보린, 디젤, 저효율 화력 등이 있어 동등한 효과를 갖고 있는 화력의

평가는 쉽지 않다. 일반적으로 발전원가는 기자부하에서부터 첨두부하로 변동됨에 따라 상승하게 되므로 용량(kWh)편익을 산출할 때에는 운전시간대에 따른 발전원가까지를 고려하여 계산하는 방법도 염두에 두어야 한다. 우리나라에서는 일반적으로 대체서설은 동일규모의 화력을 기준으로 삼는다.

(라) 대체화력평가법에 의한 연간균등편익(年間均等便益)의 산정 절차는 다음과 같다.

① 저수지 운영기준에 의한 수력발전소의 유효출력 및 연간발전량 산정

유효출력과 연간발전량은 일반적으로 장기간에 걸친 저수지운영의 시스템 분석을하여 산정하는 것이 바람직하나, 중소규모 수력발전소의 예비조사 단계에서는 전력지속곡선(power duration curve) 등의 간편법을 이용하여 90~95%의 초과확률에 상당하는 보장출력을 유효출력으로 평가할 수 있다.

② 수력발전소의 수명 및 할인율을 적용한 연간균등발전량(kW/년) 산정

수력발전소의 내용연한 동안 구한 연도별 연간발전량을 전기간 동안 할인하여 합산한 값으로부터 연간균등계수를 곱하여 연간균등발전량을 구한다.

③ 대체화력의 선정 및 규모결정

대체시설은 연료의 공급 보장성, 수송 및 저장조건, 환경오염도 등을 고려하여 선정하여야 한다. 대체시설은 반드시 하나의 화력발전소로 제한할 필요는 없다. 대체화력발전 뿐만 아니라 수력발전소도 기존 수력과 계통을 이루는 경우에는 복합시스템으로 평가할 수 있으나 이러한 경우에는 최적화운영 프로그램을 이용하여 분석하여야 한다.

④ 대체화력발전소의 kW 당 건설비 단가(원/kW) 산정

대체화력의 고정비를 기준으로 하며 건설기간중의 시설비, 이자, 세금, 보험료 및 기름 또는 LNG 등 발전원의 저장시설의 비용 등을 포함하여야 한다.

⑤ 대체화력의 연간고정비율 산정

대체화력의 건설비로부터 수명동안의 연간균등비용을 구하기 위해 연간고정비율을 구한다. 연간고정비율은 자본회수계수, 보험료 및 세금, 운전비 및 유지보수비의 비율을 포함하여 산정하여야 한다. 자본회수계수는 초기 투자비에 대한 대체화력의 수명동안의 연간균등부금계수와 같다.

⑥ 시설편익의 조정

수력 대 대체화력의 용량가치에 대한 kW 당 시설편익 조정계수는 수력, 화력의 송전손실률, 소내(所內)소비율, 사고율, 보수율의 비로써 산출한다. 수력 대 화력의 발전손실률 비는 <표 3.3>과 같다.

$$\text{시설편익 조정계수} \left(\frac{\text{수력}}{\text{화력}} \right) \quad (3.8)$$

$$= \frac{(1 - L_f) \times (1 - C_f) \times (1 - D_f) \times (1 - R_f)}{(1 - L_f) \times (1 - C_f) \times (1 - D_f) \times (1 - R_f)}$$

여기서. L : 송전손실율

C : 소내소비율

D : 사고율

R : 보수율

아래첨자 g 는 수력, f 는 화력을 각각 나타낸다.

<표 3.3> 수력 대 화력의 발전손실율 비(단위 : %)

구 분	화 력 (f) (중유사용 발전소)	수 력 (g)
송전손실율(L)	6.1	6.1
소내소비율(C)	5.8	0.53
사고율(D)	8.0	0.5
보수율(R)	12.055(44일/년)	2.192(8일/년)

⑦ 수력발전의 용량편익 산정하여 연간균등편익을 구한다.

수력발전의 용량편익

$$= \text{대체화력의 kW당 건설단가} \quad (3.9)$$

$$\times \text{유효출력} \times \text{연간고정비율} \times \text{시설편익 조정계수}$$

⑧ 대체화력의 연료비(원/1/kWh)의 산정

연료비는 연료소모율(heat rate, ℓ/kWh)에 재료비단가(원)를 곱하여 산정하며, 연료소모율은 단위발전량(kWh)을 생산하는데 소요되는 연료량(ℓ)을 뜻하고 발열량(kcal/ ℓ), 열효율, 소내소비율로부터 다음과 같이 산정한다. 계수는 $1 \text{ kWh} = 857 \text{ kcal}$ 로부터 구한 값이다.

$$\text{연료소모율} = \frac{857}{\text{열효율} \times \text{발열량} \times (1 - \text{소내소비율})} \quad (3.10)$$

⑨ kWh 당 에너지편익의 조정

에너지편익 조정계수는 수력과 화력의 특성을 고려하여 산정하며 간편법과 컴퓨터프로그램을 이용하는 방법이 있다. 간편법은 다음과 같이 구할 수 있으며, 고장률과보수율은 에너지 소모와 무관하므로 송전손실과 소내소비율만을 이용하여 산정한다.

$$\text{에너지편익 조정계수} \left(\frac{\text{수력}}{\text{화력}} \right) = \frac{(1 - L_g) \times (1 - C_g)}{(1 - L_f) \times (1 - C_f)} \quad (3.11)$$

⑩ 수력발전의 에너지편익 산정

수력발전의 에너지편익

$$= \text{대체화력의 보통 kWh당 연료비} \times \text{연료소모율} \\ \times \text{년간평균발전량} \times \text{에너지편익 조정계수} \quad (3.12)$$

⑪ 수력발전의 환경편익 산정

대체화력의 공해방지를 위한 시설의 건설비 및 운전유지비를 산정하여 수력발전의 환경편익을 고려하여야 한다. 배연탈황공정의 처리방법에 따른 시설 투자비와 운전유지비를 이용하면 된다. 배연탈황 시설의 시설투자비는 대체화력평가법상의 용량편익에, 운전비는 에너지 편익에 각각 추가할 수도 있다. 그러나, 선정된 대체화력이 황화물의 배출이 없는 LNG 복합발전소이거나 연료처리기술의 향상 등도 고려하여야 한다.

수력발전의 환경편익

$$= \text{대체화력의 시설용량(kW)} \times \text{kW당 배연탈황시설 투자비} \\ \times \text{배연탈황시설 연간고정비율} + \text{대체화력의 연평균발전량(kWh)} \\ \times \text{kWh당 배연탈황 운전경비} \quad (3.13)$$

⑫ 용량편익과 에너지편익 및 환경편익을 더하여 수력발전의 연간편익을 산출한다.

$$\text{수력발전의 연간편익} = \text{용량편익} + \text{에너지편익} + \text{환경편익} \quad (3.14)$$

⑯ 수력발전의 특성을 고려하기 위하여 부가편익을 고려할 수 있으며, 세계적인 유류가격의 추세와 외화절약, 국가경제에 유익한 영향을 미치는 에너지 자립도 향상, 국내 부존 자원개발 및 이용 등의 측면을 고려하여 결정할 수가 있다. 아울러 수력발전은 무공해성, 운영의 신뢰성과 유연성 등을 추가로 고려할 수가 있다.

(6) 기타 편익

(가) 기존의 편익 외에 댐방류로 인한 하류의 수면공간이나 저수지의 레크리에이션 편익, 하류의 수질개선 편익, 가뭄시의 비상용수공급 편익을 고려할 수가 있다. 댐하류에 주운이 계획되어 있어서 주운을 위한 유량조절이 가능하다면 주운 편익도 고려할 수가 있을 것이다.

(나) 레크리에이션 편익

① 최근 생활여유의 향상과 더불어 레크리에이션에 대한 시민들의 관심이 높아가고 있다. 레크리에이션 편익은 댐방류로 인한 하류의 수변공간이나, 저수지 및 저수지 주위의 수변공간을 활용하여 물과 직·간접적으로 활동하여 얻을 수 있는 레크리에이션의 즐거움 또는 심미적 만족감을 계량화한 편익을 말한다.

② 레크리에이션 편익 산정 방법은 미국이나 일본에서 사용하고 있는 여행자비용법(travel cost method, TCM), 조건부 가치측정법(contingent valuation method, CVM), 일단위 가치측정법(unit-day value method, UVM)이 있으며 국내에는 산정방법이 확립되지 않았으나 여행자비용법을 국내 실정에 맞게 개설하여 제안한개선여행자비용법(improved travel cost method, ITCM)을 소개하면 다음과 같다.

③ 개선여행자비용법

다목적댐의 레크리에이션 총편익(recreation benefits, RB)은 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$RB = \sum_{t=1}^T \beta^t \left\{ \int_{II} P_t(II) \cdot N_t(II) dII \right\} \quad (3.15)$$

여기서, RB : 편익이 발생하는 기간(T)동안의 매년의 편익을 합한 총편익

β : 할인율

$P_{\{t\}}(II)$: II의 함수로써 t년도에 한 가구의 일회 방문시의 지불의사

(t와 II에 따라 변화한다)

$N_{\{t\}}(II)$: II의 함수로써 t년도에 연간 방문 총가구수

(t와 II에 따라 변화한다)

$P_{\{t\}}(II) \cdot N_{\{t\}}(II)$: 이질적인 여러 그룹 중 특정 II 그룹에 속하는 모든 사람의 연간레크리에이션 순편익의 총합

II: 연간 방문 총가구수 $N_{\{t\}}(II)$ 와 일 회 방문시 한 방문가구의 지불의사

$P_{\{t\}}(II)$ 에 영향을 주는 여러 요인(factors) ; 즉, 여행거리(시간), 가구당 연간 방문횟수, 가구당 일회 방문의 체류일수, 방문 가구당 구성원수 등

(다) 하류수질개선 편익

① 하류수질개선편익은 댐 방류로 인한 하천 수질 개선과 레크리에이션 및 주변지역의 생활환경개선의 효과를 계량화한 편익이다.

② 편익 산정방법으로는 희석수의 가치를 희석하지 않고 동일한 수준의 수질을 만드는데 드는 비용보다 크지 않을 것으로 보고 분석하는 대체비용 접근법이 가장 일반적인 방법이다. 그러나 직접적인 편익계산은 계량화가 어렵거나 현 단계에서 불가능함으로 편익을 포괄적으로 나타낼 수 있는 지표를 유황개선의 편익으로 대표하는 것이 적절하다고 판단된다.

③ 하천유지용수의 편익산정 방법은 아직은 확립되어 있지 않으나 하천 수질오염 억제의 필요성과 하천공간의 활용이 높아질수록 하천의 기능을 유지하기 위한 유지용수의 비약적 증가를 예상할 때 빨리 평가방법이 확정되어야 할 것이다.

(라) 비상용수공급 편익

- ① 비상용수공급 편익은 비상시 댐 운영을 통하여 얻을 수 있는 간접편익을 뜻한다.
- ② 편익의 계량화를 위해서는 적정한 이수안전도에 설정과 이에 따른 이수기능의 평가가 선행되어야 하며, 아울러 갈수 규모에 따른 비상용수공급량의 편익화에 대한 기준이 마련되지 않은 실정이다.

(마) 주운 편익

- ① 내륙주운의 첫 번째 선결조건은 주운에 필요한 충분한 유량이 확보되어야 하고, 유황의 변동이 큰 하천에서는 상류에 댐의 개발이 필요하다. 그러므로 주운과 연계하여 계획된 댐의 경우, 다른 교통수단의 비용을 비교하여 산정한 주운 편익을 댐 건설편익으로 포함시킬 수 있다.
- ② 주운 편익의 요소중 가장 중요한 부분은 주운을 이용하는 화물의 수송비용 절감 효과이다. 외부적 요소에 대한 예측이 정확하지 않은 상태에서는 편익의 계량화가 어렵다면 정성적으로 서술하여 의사결정자의 이해에 도움을 주어야 할 것이다. 기타 주운 편익으로는 교통혼잡비용 감소편익, 지가상승편익, 대기오염과 소음공해의 개선 효과인 환경오염감소편익 등이 있다.

3.2.4 비용 산정

(1) 비용의 정의 및 분류

(가) 댐건설에 소요되는 비용은 편익과 마찬가지로 직접비(또는 직접비용)와 간접비(또는 간접비용), 그리고 유형비용과 무형비용으로 분류할 수 있다.

- ① 직접비는 사업의 건설, 운영 및 관리 등에 직접적으로 소요되는 비용을 말한다.
- ② 간접비는 간접편익을 얻는데 들어가는 비용으로 직접적으로 지출되지 않을지라도 경제적 타당성 평가에 포함하는 경우가 일반적이다.
- ③ 무형비용은 직접비와 간접비 모두에 일어날 수 있으며 금전적으로 평가하기 어려운 비용을 뜻한다. 예를 들면 문화재의 상실과 환경생태계의 변화로 야기되는 부정적 효과 등은 무형비용으로 간주될 수 있다.

(나) 비용은 사업계획 및 경제성평가의 목적에 따라 사업비와 유지관리비로 나눌 수 있다. 이를 연간균등액으로 환산한 연간비용은 자본비와 운영·유지·보수(OM&R) 비용으로 구성된다.

- ① 사업비는 댐 및 부대시설에 대한 공사비, 수몰에 따른 용지보상비, 기타 운영유지를 포함한 관리비 및 예비비등으로 구분된다. 사업비는 공사비, 보상비 외에 조사, 설계, 감리에 소요되는 비용과 사업부대비, 임차료, 수수료 등을 포함한 금액으로서 경제성 평가를 할 때에는 건설기간 중 이자도 사업비에 포함시킨다.
- ② 자본비란 댐 건설사업에 드는 총 사업비 또는 이 사업비를 연간 균등계수로 곱한 연간균등비용을 말한다.

③ 운영·유지·보수비(OM&R)란 댐 및 부대시설을 경제수명동안 정상기능을 발휘도록 하는데 소요되는 비용을 말하거나 또는 이 비용의 연간균등액으로 정의된다.

(다) 경제비용이란 간접비용과 같이 사업주가 지출하지 않는 비용일지라도 공공사업으로서의 타당성을 평가하는 데 고려해야 할 비용으로 경제적 손실을 뜻하며, 기회 비용이란 사업비를 다른 사업에 투자함으로써 얻을 수 있는 편익이 본 사업에 투자하기 때문에 얻지 못하게 되는 비용을 뜻한다. 따라서 기회비용의 개념은 사업의 타당성 평가를 위한 비교기준으로서 이자율 적용의 근거가 된다.

(2) 비용의 산정

(가) 최적규모가 결정되면 구조물의 기본설계를 보완 수정하여 정확한 비용을 산정해야 한다. 연간비용에는 공사비 산출액의 약 15~30%정도의 부대비가 포함되며, 공사비와 매수보상비 등의 사업비를 연간균등액으로 환산한 자본비와 연간 운영·유지 보수비(OM&R)로 구성된다. 사업비의 산정시 누락된 잡공중에 대하여는 관리비 및 예비비로써 처리 반영해야 한다.

(나) 사업의 경제성 평가나 비용배분의 기초가 되는 댐 건설사업비는 기술적 분석에서 정한 구조물계획에 따라 공사수량을 산출하고, 각 공종별 단가를 적용하여 공사비를 산출함과 더불어 사업기간의 단계별 공사비, 보상비 및 유지보수비를 포함하여야 한다.

(다) 공사비에는 조사, 설계, 시공·감리 등의 비용을 포함하여야 할 뿐만 아니라 건설기간중의 이자도 고려되어야 하는데 구체적인 공정계획이 없을 경우 건설기간의 1/2 기간에 대하여 단리법으로 건설기간이자를 산출하여 포함시켜야 한다.

(라) 기타 관리비 및 예비비로서 댐 및 부대구조물에 대한 유지관리 개·보수(OM&R)는 공사비의 0.5%로 하고, 예비비는 총공사비의 10%로 산정한다. 보상관리비는 용지보상의 1% 및 이설도로공사비의 2%를 포함한 것으로 산정한다.

(마) 댐 건설로 인해 저수지의 수질저하를 초래한다면, 저수지 상류의 유입수나 저수지의 수질개선 비용을 검토하여야 하며 필요시에는 추가되어야 한다.

(바) 수몰로 인해 문화재의 이전이나 보전이 필요한 경우에는 그 비용을 포함하여야 한다.

(3) 보상비 산출

(가) 수몰지의 매수 보상비는 계획입안에 결정적 요소로 작용하며, 매수보상원칙은 나라마다 그 기준을 달리하고 있으며 우리 나라의 경우 최적규모가 결정되면 200년 빈도 흉수 유입시의 배수위를 수몰보상선으로 한다.

(나) 200년 흉수빈도 배수곡선을 기준으로 하여 침수로 인해 그 기능이 상실되고 인명의 피해가 예상되는 지상구축물, 가옥 등의 보상을 원칙으로 하나 저수지 상류의 수몰지 상황에 따라 판단하여 결정할 수 있다. 즉, 토지이용률을 높이기 위해 농작물 등의 일시적 피해를 피해서 마다 보상하는 것이 경제적일 때는 수몰보상선의 흉수빈도를 낮출 수가 있다.

(다) 수몰예정지의 보상을 평가는 토지, 지장물건, 농업, 권리, 기타 평가로 구분하여 평가하고 있으나, 예비타당성 조사에서는 보상비의 적용항목을 토지, 지장물건, 이설도로 등으로 한정하는 것으로 한다. 다만, 보상비 산정시 누락된 세부 항목에 대해서는 예비보상비로 15%정도를 계상하는 것이 일반적이다.

(라) 수몰예정지의 주요 보상물은 다음과 같다.

- ① 토지 : 전, 답, 임야, 잡종지, 하천부지 등
 - ② 지장물전 : 건물, 공공시설물, 이주비, 이농비, 분묘, 영업권, 문화재 등 기타시설
 - ③ 이설도로 : 국도, 지방도로 및 농어촌 도로
- (마) 토지 보상단가는 정부 표준 공시지가를 기준으로 하되 과거의 실거래 가격이나 다른 지역의 보상실적 등을 감안하여 조정하여야 한다.

3.2.5 타당성 평가

(1) 경제적 타당성분석

(가) 공공사업의 투자계획은 다양하므로 대상 사업들의 비용과 효과를 분석하여, 투자의 최적화를 기하고 우선 순위를 정할 객관적인 기준이 투자사업의 경제성 분석이다. 경제성분석을 통한 타당성 평가는 사업에 포함되는 각 기능과 목적에 적합한 최적개발규모를 결정하고 경제·사회적 목표를 달성하기 위하여 각 대안의 효율을 측정하며 비용배분의 근거를 마련하게 된다.

(나) 최적규모는 순편익이 가장 큰 경우를 뜻하거나 계획의 입안에서 유의해야 되는 것은 순편익이 최대가 되거나 비용·편익비가 가장 큰 사업이 최적 개발규모가 아닐 수도 있는 것이다. 따라서 최적규모로 결정된 시설규모에 대한 세밀한 계획을 기준으로 사업전체에 대한 경제성 검토가 이루어져야 한다.

(다) 지역이나 국가에 대한 간접적 기여도나 인류생활에 대한 잠재적 피해율은 금액으로 나타낼 수 없으나 계획입안에 있어서 중요한 고려요소이며 장차 기술의 발전이나 국민 요구도의 변천으로 각 목적으로 적합성이 달리 평가될 수도 있기 때문이다. 따라서 최종적인 의사결정에는 이런 점을 감안해야 하며 평가과정에서 금액으로 나타낼 수 없는 이익과 손실을 표출하여 검토해야 한다.

(2) 경제성 분석기법

(가) 경제성분석에서 구체적으로 사업을 실시할 필요가 있는지, 투자에 따라 얼마의 순후생이 증가할 것인지, 투자의 적정규모는 얼마인지, 여러 대안에서 투자의 우선순위 등을 평가하는 이론적 분석기술이 편익·비용분석(benefit-cost analysis, BCA)이라고 할 수 있다. 즉, 재원은 한정되어 있을 때 다양한 투자계획들 가운데서 어떤 것을 수행할 것인지를 선택할 수 있도록 도와주는 실무적인 방법이다.

(나) 경제성 평가를 위해서는 일반적인 기준이 필요하다. 이러한 기준을 평가기준(evaluation criteria), 평가지표(evaluation indicator) 또는 투자기준(investment criteria)이라고도 하며, 순현가(net present value ; NPV), 편익·비용비(benefit-cost ratio ; B/C ratio), 내부수익률(internal rate of return ; IRR)의 세가지가 주로 이용되고 있다. 다른 평가기준으로 반환기간산정법(pay back period ; PB)과 평균수익률(average rate of return ; ARR) 등이 있으나 두 방법 모두 편익과 비용의 미래가를 할인하지 않기 때문에 돈의 시간적 가치를 반영하지 못하므로 적절한 평가정보를 제공하기에는 부족하다고 알려져 있다.

(다) 경제성평가 기준

① 순현가(net present value, NPV)

순현가는 투자사업으로부터 미래에 발생할 편익과 비용의 차이인 순편익(netbenefit)을 현재 가치화하여 합산한 것이다. 그러므로 적절한 할인율을 결정하는 것이 중요한 문제이며 고시된 할인율이 없는 경우 외국의 예나 시중 은행의 대출할인율을 고려하기도 한다. 순현가는 미래의 연도별 순편익을 현재가로 할인하여 산출하며, 식 (3.16)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} NPV &= \frac{B_0 - C_0}{(1+r)^0} + \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \dots + \frac{B_n - C_n}{(1+r)^n} \\ &= \sum_{t=0}^n \frac{NB_t}{(1+r)^t} \end{aligned} \quad (3.16)$$

여기서, $B_{\{t\}}$: t 차 년도에 발생하는 편익

$C_{\{t\}}$: t 차 년도에 발생하는 비용

$NB_{\{t\}}$: t 차 년도에 발생하는 순편익 또는 순가(= $B_{\{t\}} - C_{\{t\}}$)

n : 분석기간

r : 할인율

잔존가치를 편익과 별도로 고려하는 경우의 순현가는 식 (3.17)과 같이 계산된다.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \left[\frac{NB_t}{(1+r)^t} \right] + \frac{S_n}{(1+r)^n} \quad (3.17)$$

여기서 $S_{\{n\}}$: 잔존가

② 편익 · 비용비(benefit-cost ratio, B/C ratio)

편익 · 비용비는 현 시점으로 할인된 총편익과 총비용의 비를 나타내며, 투자규모가 큰 사업이 유리하게 나타나는 NPV의 문제점을 피하고 여러 가지 사업을 객관적인 입장에서 비교할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 같은 분석기간내의 할인된 총비용과 총편익을 구하여 이들 값을 이용하거나, 대체사업과 같이 부속시설물이나 대체시설의 내용연한이 다른 경우에는 편의상 할인된 총액의 연간균등부금액을 비교하기도 하며 편익 · 비용비는 같은 값을 가진다. 이러한 편익 · 비용비를 식으로 나타내면 식(3.18)과 같다.

$$B/C \ ratio = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (3.18)$$

③ 내부수익률(internal rate of return, IRR)

내부수익률은 편익 · 비용비가 1이 되는(즉, $B/C=1.0$) 할인율(r)을 의미하며 순현가로 평가할 때는 순현가가 0이 되도록 하는 할인율을 말한다. 이를 식으로 나타내면 식 (3.19)과 같다.

$$\begin{aligned} & \frac{B_1 - C_1}{(1+r)^1} + \frac{B_2 - C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} \\ & = \sum_{t=1}^n \frac{NB_t}{(1+r)^t} \quad (3.19) \\ & = 0 \end{aligned}$$

윗 식에서 최초연도(0 차 연도)에는 편익이 없는 것으로 간주하고 다음 해부터 할인된 순편익의 합계가 0이 되는 r 를 구하면 그 값이 투자사업의 예상수익률을 의미하게 된다. 이 방법은 순현가나 편익 · 비용비를 구하는데 어떤 할인율을 적용해야 할지 불분명하거나 어려운 점이 많을 때 적용하는데, 내부수익률에 관련하여 사업개발자는 최소투자수익률을 설정하고 내부수익률이 최소투자수익률에 미치지 못하는 투자 사업은 참여하지 않게 된다. 또한 할인율이 최소투자수익률과 같은 값을 갖는 경우 편익 · 비용비가 1보다 작으면 이 사업계획도 기각하는 것이 원칙이다.

(라) 주요 경제성 평가 기준의 비교

① 순현가 분석(NPV)은 모든 타당한 경제적 자료를 단일 계산화하여 심사나 순위매김이 가능도록 하여준다. 이 경우 현가를 계산하기 위해서는 적절한 할인율 산정이 요구된다. 현가를 결정하는 일반적인 과정은 순편익 흐름내의 미래가를 현재가로 계산하는 것이다. 일반적으로 심사평가법에서는 순현가가 0보다 작거나 같으면 사업안을 기각하는 것이 원칙이다. 그리고 사업의 예산에 대한 제약이 없을 경우 가장 높은 순현가를 나타내는 사업이 가장 먼저 우선순위 결정을 받게 된다. 또한 예산이 제약될 경우라도 예산집행제약 내에서 가장 높은 순현가를 보이는 사업이 가장 높이 평가된다.

② 편익 · 비용비 분석(B/C)은 통상적인 평가방법으로 순현가 분석과 같이 단일계산 분석법이다. 그런데 편익 · 비용비 분석 하나만으로는 분석이 충분치 못하다. 왜냐하면 실제비용과 편익의 크기가 나타나 있지 않기 때문이다. 타당한 사업규모의 결정에서 순현가와 편익 · 비용비율은 사업 규모의 증가에 따라 어느 규모까지는 증가시킬 수 있다. 이 경우 사업규모를 순현가가 최대가 되는 곳에서 사업규모를 결정할 수 있다.

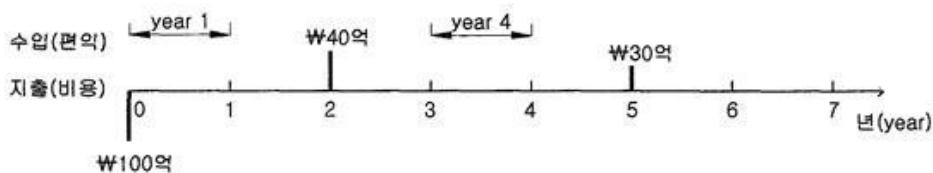
③ 내부수익률(IRR)을 이용하여 결정하는 방법은 사업의 내부수익률이 사업평가에 이용된 수익률보다 작을 경우 사업을 기각하는 것이다. 이 방법은 NPV나 B/C 비율을 구하는데 어떤 할인율을 적용해야 할지 불분명하거나 어려운 점이 많을 때 이용되기도 하나, 사업규모에 대한 정보가 반영되지 못하므로 투자의 우선순위를 결정하는 평가에는 독립적으로 이용이 불가능하다.

(마) 이자율과 할인율

① 투자사업의 타당성을 결정하기 위해서는 산출된 편익과 비용을 비교하여야 한다. 그러나 사업계획기간이 여러 해 또는 수십 년일 경우가 많은 수자원개발과 같은 공공투자사업의 경우

편익과 비용이 동시에 발생하지 않고 비용은 사업초기에 편익은 후기에 장기간에 걸쳐 발생하게 된다.

② <그림 3.9>는 자금 흐름도(cash flow diagram)로서 자금의 수입과 지출에 따른 자금의 흐름을 보여줌으로써 경제성 평가를 이해하는데 도움이 된다. 수평축은 시간을 나타내고, 수평축의 위와 아래에 해당시점의 수입과 지출을 막대기(이산형의 경우) 또는 직선이나 곡선(연속형 경우)으로 나타내며 자금의 크기를 정확한 축척으로 그릴 필요는 없다. 편익과 비용을 비교하는 경우에는 위에는 편익을 아래에는 비용을 표시하게 된다. 시간축은 일반적으로 0에서 시작하며 현재를 뜻하여 숫자는 현 시점(즉 0)에서 경과된 시간을 뜻한다. 숫자를 년(年)이라 가정하면 4년(year 4)은 0에서 시작하여 4에서 끝나며 현재부터 4년 경과된 시점이다. 시간적 가치의 변화에 대한 문제점은 미래의 비용과 편익의 흐름을 하나의 적절한 이자율을 통하여 할인함으로써 해결할 수 있고 할인과정은 잘 알려진 복리이자의 개념을 이용하면 된다.



<그림 3.9> 자금흐름도(cash flow diagram)

③ 이자율이란 어떤 특정기간(보통 1년) 동안의 투자에서 얻어지는 수익과 투자액과의 비율을 말한다. 즉 자금의 시간적 가치의 측정단위이며 자본의 기회비용이라고 할 수 있다. 이자율의 개념은 투자사업의 타당성 평가시 미래의 편익·비용을 현재가치로 환산하는 할인율이라는 개념으로 나타난다.

④ 일반적으로 공공투자의 경우 투자효과는 사업 후 수십 년에 걸쳐 나타난다. 각 기간마다 다른 값의 비용과 편익을 명목가치 그대로 비교하기 어려우므로 이것을 모두 현재가치로 바꾸어 주지 않으면 안 된다. 미래의 편익과 비용을 어떤 할인율로 할인할 것인가는 편익·비용분석에서 대단히 중요한 역할을 한다. 특히, 댐건설 사업과 같이 비용은 사업초기에 발생하고 편익은 일정기간 후 지속적으로 발생하는 경우, 경제성은 할인율의 크기에 따라 많은 영향을 받게 된다. 개발도상국인 경우는 8~10% 수준이거나 10%가 훨씬 넘는 국가도 많고, 선진국의 경우는 보통 6%내외의 수준이 제시되고 있다. 우리 나라는 연간 8~10%가 관례적으로 적용되어 왔으나, 한국개발연구원(KDI)에서 「예비타당성조사 조사보고서 일반지침(1999. 12)」에서는 공공투자사업의 할인율로서 7.5%를 제시하고 있으므로 이 값이 지표가 될 수 있다. 그러나 다목적댐과 같은 수자원부문사업은 수해로 인한 인명구호나 가뭄시에 용수공급을 위한 대안이 없다는 점을 고려하여 보다 낮은 할인율의 적용도 검토할 필요가 있을 것이다.

(바) 내용연수 및 잔존가치의 결정기준

① 해당 투자사업의 효과가 몇 년이나 지속될 것인가 하는 사업계획기간이 결정되어야 한다. 이 사업 효과에 해당하는 지속년수의 기준이 되는 구조물의 수명은 물리적 수명과 경제적 수명으로 구분된다.

② 공공투자의 경제성 분석에서는 시설물의 경제적 측면이 중요하므로 투자시설물의 내용연수를 기준으로 사업분석기간을 결정해야 하며, 물리적으로 남은 시설물은 순잔존가치로 평가하여 편익항목에 합산하면 된다. 즉 투자사업은 각기 내용연수가 다른 여러 가지 설비와 시설물의 복합으로 이루어지는 것이 보통이므로 이런 경우 분석기간 중에 수명이 끝나는 설비와 시설물에 대해서는 대체투자비(용지 보상비 제외)를 계산해 주어야 하고, 또한 이때 잔존가치가 있으면 이를 편익항목에 고려해 주어야 한다.

③ 댐의 내용연수는 60년~150년으로 보고 있고 경제기획원 투자조사편람(농업부문)에서는

저수지의 내용연수를 70년으로 명시하고 있으나, 경제성 분석기간은 50년을 적용하는 것이 일반적이다.

(3) 연간균등편익과 연간균등비용

(가) 경제성 판단의 기준은 편익 또는 수익과 비용을 동일한 비교기준으로 환산하여 적용하는데, 사업분석기간의 총편익과 총비용을 현재가치화 할 수 있다. 그러나 부속구조물이나 시설물의 내용연한이 다르므로 연간균등편익과 연간균등비용을 기준으로 하는 것이 보다 일반적이다.

(나) 연간균등편익과 비용은 총 사업기간에 발생하는 일련의 편익과 비용을 각각 기준년도의 현재가치로 할인하고 이를 합산하여 전 기간동안 균등하게 발생하도록 구한 연간균등액을 뜻한다.

(4) 민감도 분석

(가) 경제성 분석에 사용된 각종 추정치의 오차를 보완하기 위하여 수요, 비용단가, 할인율 등 주요 변수의 변화가 경제성에 미치는 영향에 대한 민감도 분석도 수행하게 된다. 경제성 분석에서 비용과 편익은 조건에 따라 달라지므로, 이러한 변화 경향을 미리 파악하여 편익과 비용에 대한 신뢰성을 검토하여야 한다. 이 경우 사업의 내부수익률을 평가하는 것이 그 방법 가운데 하나이다. 이 내부수익률의 오차 정도를 평가하기 위하여 민감도분석을 하며 정책 결정자에게 유용한 자료로 활용된다.

(나) 내부수익률에 영향을 미치는 주요 인자로는 투자비, 운영비, 산출량 등이며 이들 요소들을 독립적으로 변화시켜서 내부수익률의 변화 영향을 조사하게 된다. 이 변화 경향은 민감도지표(sensitivity index, SI)를 통해 알 수 있다. 민감도지표는 다음 식 (3.20)과 같다.

$$\text{민감도지표(SI)} = \frac{\text{내부수익률의 변화율}(\%)}{\text{개별주요인자의 변화율}(\%)} \quad (3.20)$$

(다) 민감도지표를 계산하여 그 결과가 1보다 크면 해당 주요 인자는 민감도가 크다고 판단하여, 이에 대한 투자비증가요인의 발생을 억제도록 하며 민감도지표가 1보다 적은 경우에는 해당 주요 인자의 민감도가 낮으므로 경제성에 미치는 영향이 적다고 판단한다.

(5) 재무적 타당성

(가) 댐 사업을 평가함에 있어서 사업주체의 재정적 적합성을 검토해야 한다. 이것은 주로 투자비의 회수나 상환계획을 중심으로 평가한다.

(나) 댐 사업은 막대한 자본이 소요되고 그 발생이익이나 비용은 공공집단과 밀접한 관계가 있다. 사업주체가 거둘 수 있는 수입의 한계와 지불해야 할 범위를 조사하여 투자비의 회수와 차입액의 상환능력을 판단해야 한다. 이런 한계와 범위는 관계 법령과 행정당국의 정책에 따라 결정된다. 예를 들면 홍수조절 편익에 대한 자본회수방법이나 건설작업으로 인한 공공도로상의 교통지체에 대한 책임부담 등이 그러한 문제이다.

(다) 특히 국제은행 등 외국차관으로 실시할 댐사업에서는 그 상환계획에 관하여 정부당국의 확고한 방침과 정책을 확인해야 한다. 예를 들면 농업용수 편익은 사업주가 회수가능한 실제적 수입과는 다를 수 있으므로 용수대금과 징수방법 등을 관계당국과 협의하여 재정평가를 해야 한다.

3.2.6 최적규모의 결정

(1) 사업목적별 대안과 시스템분석

(가) 사업의 목표와 목적이 인정되면 여러 가지 대안을 검토하여 최적안을 선정하여야 하며 최적규모를 결정하여야 한다. 대안을 분석할 경우 가장 중요한 문제는 대안 가운데 최적의 투자안을 선택하고 최적규모를 결정하는 것이다.

(나) 대안이란 사업 목적에 부합하는 제반 계획들을 말한다. 일반적으로 대안의 수립은 계획입안의 절차과정의 한 단계이며 대안의 성립 요건으로서는 무엇보다도 타당성이 있어야 된다. 타당성이란 기술적 타당성은 물론이며 정치적, 경제적, 재정적, 법적 및 사회적인 타당성을 모두 포함한다.

(다) 댐 건설은 여러 가지의 목적이나 기능이 혼합되어 있고 또한 경합적인 경우가 많으므로 상호관계를 이해하고 각각의 목적을 성취하기 위한 적정한 기준을 설정하여 이들의 시스템분석을 통하여 최적의 성과를 얻어야 한다. 일반적으로 시스템분석은 다음 단계를 거치게 된다.

① 공공단체 및 사업목적의 설정

② 재화 및 용역에 대한 수요의 계량화

③ 가용자원의 평가

④ 평가, 션정기준의 개발

⑤ 계획, 추진, 관리, 운영을 위한 조직체계의 확립

(2) 저수용량의 결정방법

(가) 댐의 저수용량을 결정하는 방법은 자료의 처리 방법에 따라 극한기간법(critical, period method)과 확률행렬법(probability matrix method), 그리고 모의발생법(procedures based on data generation)으로 나눌 수 있다. 극한기간법은 초기 만수상태에서 방류량과 갈수기간동안 동안의 유입량의 차로부터 저수용량을 구하며, 확률행렬법은 저수용량 및 유입량과 방류량에 관한 적분방정식으로부터 구하고, 모의발생법은 모의 발생된 자료에 근거한 여러 가지 방법을 포함하고 있다.

(나) 분석절차의 정도에 따라 예비설계방법(preliminary design technique)과 최종설계방법(final design technique) 및 특수방법(special technique)으로 분류할 수 있다. 예비설계방법은 누가곡선법, 잔차누가곡선법 등이 있으며 비교적 간단하게 산정할 수 있으나 대략적인 값만을 구할 수 있다. 최종설계방법은 거동해석법과 확률행렬법이 있으며 산정을 위해서는 많은 시간이 소요되나 정확한 저수용량을 산정할 수 있다. 국내에서 많이 이용되는 물수지분석도 이에 속한다고 할 수 있다.

(다) 저수용량의 결정은 이 외에도 경험적 방법, 실험적 방법, 해석적 방법의 세 가지로 나누기도 하고, 확정론적 분석법과 추계학적 분석법의 두 가지로 나누기도 한다.

(3) 최적규모의 결정

(가) 최적 댐규모는 부존 수자원, 저수지 수몰상황 및 개발시기 등을 종합적으로 고려하여 기술적 가능성과 경제적 타당성 양면을 토대로 하여 결정하여야 한다. 아울러 고려 가능한 규모별 건설비, 연간 비용 및 연간 편익 등을 비교·분석하여 최적의 대안을 마련하여야 한다.

(나) 수자원 사업의 개발규모는 환경적, 정치적, 경제적, 재정적, 사회적, 법적 및 제도적 요소들에 좌우되지만 실질적인 규모 결정은 인구 증가, 용수수요 예측, 흥수조절효과 등을 고려하여 결정하게 된다. 또한 수자원 사업 계획을 위해서는 인구추정모형 또는 경제적, 인구통계학적 예측도 고려해야 한다.

(다) 편익 및 비용을 비교·분석하여 최적안을 산출하는데는 단위공사비와 공사물량표로 비용곡선을 작성하여 이용한다. 그러나 공사비는 공사규모와 엄밀하게 선형적관계를 이루어지는 것이 아니고 더구나 공사물량을 산출하기 위한 구조물의 기본설계도 규모에 따라 변경될 수 있다. 따라서 최적안이 결정되면 이에 따른 공사비산출을 보다 더 정밀하게 다시 할 필요가 있다. 물론 다시 산출한 건설비가 당초 산출된 건설비와 현저한 차이가 있다면 최적규모 자체에도 영향을 줄 수 있으나 그 강도는 그렇게 민감하지는 않다.

(라) 시스템분석에서 편익산정은 저수지조작기준의 함수로서 다단계 의사결정과정이므로 최적화기법을 수행하여야 한다. 예비조사나 소규모사업에서는 시스템분석에 의한 최적화가 바람직하지만 계산절차가 복잡하므로 증분분석법 또는 편익비용비를 기준으로 여러 개의 시안에 대한 편익과 비용을 산출하여 최적규모를 결정할 수도 있다.

(바) 사업의 대안 및 최적규모를 결정하는 과정에서 사업의 목표와 개발 이익 그리고 개발에 따른 부작용을 신중히 고려하여야 한다. 이러한 부작용은 자연환경과 사회·경제 전반에 걸쳐 나타날 수 있는데 댐주변지역의 인구감소와 이에 따른 지방세수감소, 재정지출의 증대, 주요자원의 수몰로 인한 경제력의 감퇴, 지역개발의 제한 및 생활의 불편 등이 있을 수 있다.

(바) 사업의 개발 목표에 따라 규모를 결정할 때 최소한으로 고려해야 하는 주요 요소들을 사업 항목별로 다음 <표 3.4>와 같다.

<표 3.4> 사업별 규모결정 고려요소

사업항목	고려요소
생활, 공업용수 및 발전소 용수공급	생·공용수에 대한 현재와 미래의 수요 발전소의 냉각 용수의 총수요량과 소비량 상수도의 수질의 급수결정과 배분
관개와 농업용수	관개에 의한 토지분류 현재의 관개 및 갈수기 때의 영농범위 특정 농작물의 수요와 시장성 농작물의 물수요
홍수조절	상습피해지역 및 피해예상지역 잠재적인 홍수피해
수력발전	발전시스템의 특성(발전, 송전, 배전) 위치, 배치, 용량, 잠재적 수요
주운	현재, 미래의 수상 교통량 예측 대체 교통시설의 영향 레크리에이션 운하의 최소 수심 수심 유지를 위한 최소유량 갑문 이용과 수심 유지를 위해 필요한 용수공급

(4) 대안의 비교

(가) 대안의 분석은 투자사업이 있을 경우와 없을 경우의 편익을 비교하는 방법, 둘 이상의 투자사업을 비교하는 방법, 개발규모를 변화시켜 보는 방법 등으로 나눌 수 있다.

(나) 대안들의 비용이 일정하면 편익만을 비교한다. 이러한 상황은 공공기관이 공공사업의 전체 지역에 대한 특별 예산을 승인하여 지출에 대한 최대의 수익을 기대한 경우 발생한다. 대안들이 등가의 편익을 제공하거나 동일한 사업 효과를 줄 경우비용만을 비교하는데 비용은 소요 투자비 또는 연간등가나 현재가치로 환산하여 비교한다.

(다) 편익과 비용이 다를 경우는 순현가(net present value, NPV), 편익 · 비용비(benefit/cost ratio, B/C ratio), 내부수익률(internal rate of return, IRR) 등의 경제성분석 기준을 이용하여 비교하도록 한다.

3.2.7 비용 배분

(1) 비용배분 방법

(가) 「댐건설 및 주변지역지원 등에 관한 법률」(법률 제 6021 호) 제 20 조에 의하면, 댐사용권 설정예정자는 다목적댐의 건설비용중 대통령이 정하는 바에 의하여 산출한 비용을 부담하여야 한다.

(나) 목적별로 타당성을 검토하고 또한 댐사용권 설정예정자의 부담율을 정하기 위하여 목적별 비용배분을 해야 한다.

(다) 비용배분 방법은 대체타당지출법(alternative costs justifiable expenditures method; ACJE), 우선지출법(priority expenditure method), 우선대체타당지출법(priority alternative costs justifiable expenditures method), 분리비용잔여편익법(separable costs remaining benefits method ; SCRB) 등이 있다. 우리나라에서는 일반적으로 대체타당지출법(ACJE)을 기준으로 산정하여 왔으나, 각 방법마다 논리적인 결함을 갖고 있으므로 댐 계획에 있어서는 상기 방법 외에 한가지 방법을 더 산정하여 배분하는 것이 바람직하다.

(라) 특별한 사유가 없는 한 비교적 합리적이라고 평가되는 분리비용잔여편익법(SCRB)을 적용할 것을 권장한다. 미국에서는 분리비용잔여편익법이 가장 일반적으로 사용되고 있으며 일본에서는 비용부담비율의 기준으로 분리비용 대체타당지출법을 권장하고 있다.

(2) 비용배분 절차

(가) 비용배분 일반적인 계산절차는 다음과 같다.

① 저수용량의 목적별 배분

댐의 총저수용량을 산정하고 각각의 목적별(또는 용도별) 저수용량을 배분한다.

② 공동시설비와 전용시설비의 구분

모든 목적에 공동으로 사용되는 관련시설의 공동시설비를 구한다. 각각의 목적에만 해당되는 전용시설비(수로 · 건물 · 기계 기타의 시설 또는 공작물)를 구한다. 둘 이상의 목적에 겸용되는 시설은 해당목적별로 적절한 방법에 의해 배분해야 한다.

③ 목적별 대체건설비 및 타당투자액 산출

대체건설비는 동일한 지점에서 각 목적별로 동등한 기능을 갖는 땅으로 산정하고 타당투자액은 식 (3.21)과 같이 계산한다.

$$\text{타당투자액} = \frac{\text{연간편익} - \text{연간유지운영관리비}}{\text{자본화원계수}} \quad (3.21)$$

④ 목적별 분리비용 산출

전체 건설비에서 당해 목적을 제외한 사업의 건설비용을 공제하면 목적별 분리비용이다.

⑤ 목적별 잔여편익 산출

목적별로 대체 건설비와 타당투자액을 비교하여 적은 금액인 적정건설비용에서 분리비용을 빼면 잔여편익이 된다.

(나) 비용배분 적용 예

① 다목적댐의 배용배분의 방법에 따라 각 용도별 부담액은 큰 차이를 보여주고 있다. 관개, 치수, 발전의 3 개 용도의 다목적댐을 건설한다고 가정하고 각 비용배분방법의 적용하여 결과를 비교하고 차이를 설명하도록 한다. 다목적댐의 총건설비를 100 이라 하고 공동시설비의 건설비는 80, 전용시설 건설비는 20 이라 하자.

② <표 3.5>에서 대체건설비는(항목 1)은 각 목적별로 동등한 기능을 갖는 단일용도의 대체댐을 건설하는데 소요되는 건설비를 나타낸다. 대체건설비는 관개, 치수, 발전 별로 각각 35, 40, 75 라 하면, 각 용도별로 3 개의 대체댐을 건설하는 경우의 총계는 150 으로서 물론 다목적댐의 건설비 100 보다 큰 값이 된다. 타당투자액(항목 2)은 각 목적별로 식 (3.21)을 이용하여 구한 값이다. <표 3.5>에서 (항목 3)은 각 용도별로 대체건설비와 타당투자액중에서 적은 값이다. (항목 4)는 각 용도별로 공동시설비를 제외한 해당용도만의 전용시설의 건설비를 나타낸다.

㊂ 대체타당지출법의 적용

<표 3.5>의 용도별 투자가능액(항목 3)에서 전용건설비(항목 4)를 뺀 값이 공동시설에 대한 투자한도(항목 5)가 된다. 다시 말하면 관개의 경우는 투자가능액 30 중에서 전용건설비 5 가 필요하므로 공동건설을 위해서는 25 를 부담할 수 있게 된다. 그러나 공동시설비는 80 이므로 용도별 투자한도의 백분율(항목 6)을 곱하여 공동시설부담액(항목 7)을 결정해야 한다. 전용건설비와 공동시설부담액이 각 용도별 사업비가 된다. 비용배분의 결과는 <표 3.6>과 같다.

<표 3.5> 대체타당지출법에 의한 비용배분

항 목		관개	치수	발전	계
1	대체건설비	35	40	75	150
2	타당투자액	30	45	70	145
3	1,2 중 적은 것	30	40	70	140
4	전용건설비	5	5	10	20
5	공동시설에 대한 투자한도(3-4)	25	35	60	120
6	총 투자한도액에 대한 비율(%)	20.83	29.17	50.00	100
7	공동시설부담액	16.7	23.3	40.0	80
8	각 사업비(4+7)	21.7	28.3	50.0	100

④ 우선지출법의 적용

목적별 우선순위를 관개, 치수, 발전의 순으로 가정하자. <표 3.5>의 공동시설의 투자한도액(항목 5)을 이용하여 공동시설비 80 을 우선순위별로 배분하여 각 목적별 부담액을 결정한다. 각 사업의 공동시설부담액(항목 5)은 관개 25, 치수 35 가되고 발전은 20 으로 줄게 된다. 이 값에 전용건설비(항목 4)를 더하면 목적별 각각의 사업비는 30, 40, 30 이 된다.

⑤ 우선대체타당지출법의 적용

공동시설비 80 중에서 우선순위가 첫째인 관개사업에 대하여 25 를 지출한다. 공동시설비의 잔액 55 를 치수 및 발전에 <표 3.5>의 투자비율(항목 6)에 따라 배분하면 공동시설비의 부담은 관개 25, 치수 20.3, 발전 34.7 이 된다. 이 값에 전용건설비(항목 4)를 더하면 목적별 각각의 사업비는 30, 30.3. 39.7 이 된다.

⑥ 분리비용잔여편익법의 적용

<표 3.6>은 분리비용잔여편익법 계산과정을 보여주고 있으며 (항목 1)~(항목 3)의 값들은 <표 3.5>와 같다. 우선 각 사업을 제외한 다른 용도의 건설비를 산정하여야 한다. 관개를 제외한 발전과 치수목적의 땅 건설비가 82 라고 하고, 마찬가지로 치수와 발전을 제외한 건설비가 각각 88 과 85 라 하자. 총건설비 100 에서 이들 값을 뺀 값이 분리비용(항목 4)으로 관개 18, 치수 12, 발전 15 가 되며 합계는 45 가 된다. 남은 비용 55 를 잔여편익의 비율로서 배분하게 된다. 즉, 용도별 공동건설비(항목 3)에서 분리비용을 뺀 값이 잔여편익(항목 5)이고 전체에 대한 백분율(항목 6)을 곱하면 용도별 부담액(항목 7)이 결정된다. 여기에다 분리비용을 더하면 용도별 사업비가 산정된다.

<표 3.6> 분리비용 잔여편익법을 이용한 비용배분

항 목		관개	치수	발전	
1	대체건설비	35	40	75	150
2	타당투자액	30	45	70	145
3	1,2 중 적은 것	30	40	70	140
4	분리비용	18	12	15	45
5	잔여편익(3-4)	12	28	55	95
6	총 잔여편익에 대한 구성 비율(%)	12.6	29.5	57.9	100
7	총 비용의 부담액	7	16	32	55
8	각 사업비(4+7)	25	28	47	100

3.2.8 환경보전계획과 사회경제적 영향

댐의 건설은 긍정적인 효과가 있는 반면에 부정적인 영향도 발생하게 된다. 주변 및 인근 지역의 사회적, 문화적, 역사적 특수성을 고려하고 자연생태계와의 조화를 전제로 계획하여야 하며, 국가 및 지역 관점에서의 경제성 효과를 충분히 검토하여야 한다.

(1) 환경변화의 평가와 보전계획

(가) 댐 사업은 환경보전의 측면에서 그 적합성이 평가되어야 한다. 여기서 환경이라함은 기상, 지형·지질, 동식물 및 수리·수문 등의 자연환경과 토지, 수질, 토양 및 위락·자연경관의 생활환경과 인구, 주거, 산업 및 문화유적을 포함 사회환경에 관한 내용도 포함하는 광범위한 뜻을 갖는다.

(나) 댐이 건설됨으로써 어류나 야생동물의 생활, 토질 및 수문, 생태, 수질, 토지와 물의 이용, 토지개발과 미적 요소, 공기, 주거의 이전, 역사적 문화유산 등에 주는 긍정적, 부정적 영향을 평가, 검토해야 하며 이를 설계 및 공법선정과 저수지 운영계획에 반영해야 한다.

(다) 댐 건설은 특정 지역에 사는 어류와 야생동물의 생활에 영향을 준다. 먹이의 공급양상이 바뀌고 활동권이 달라진다. 한편 연중 용수가 확보되므로 어류와 야생동물이 증식되는 효과도 있다. 어족의 생존점토에는 수질, 수온 및 이동공간이 기본요건이다. 어류 및 야생동물의 환경·생태계의 변화 가능성에 대한 검토와 그 대책은 다음 사항을 유의하여 신중히 수립되어야 한다.

- ① 건기에 야생동물 생존에 필요한 수심 및 유량의 확보
- ② 수면의 급격한 변동이 어류와 야생동물에 주는 해로운 점
- ③ 어류 및 야생동물 번식을 위한 수질조건의 보장
- ④ 어족의 먹이와 은신처가 인위적으로 훼손되는지 여부

(라) 고고학이나 역사적으로 가치가 있는 문화자산에 미칠 영향을 세밀히 분석하여 보전, 이전 등의 대책을 마련해야 한다.

(마) 저수지가 완성되었을 경우에 낚시, 보트, 수상스키, 수영, 스쿠버ダイ빙, 캠핑, 피크닉 등

야외 휴식효과를 극대화할 수 있도록 댐 계획단계부터 검토해야 한다. 또한 수몰지 매수시에 수몰선을 따라 필요한 용지매수를 추가적으로 실시하여 자연경관조성계획도 수립할 수 있어야 한다.

(바) 수몰지 내에 매몰되는 지하자원, 세굴 및 퇴적, 지하수위의 상승으로 인한 영향을 검토한다. 그리고 수질변동, 호안개발, 토지 및 물 이용도의 변화 등에 따른 문제점을 분석한다.

(사) 천수어족의 감소, 낚시터의 제한, 농림업 등 특정산업의 사양화, 특수 동식물에 주는 타격, 하상에 주는 충격으로 인한 하상저하(degradation), 하류 농작물에 주는 냉해 등 불가피한 요소를 분석해야 한다.

(아) 저수지 안으로 유입퇴적량이 많을 경우에는 일정기간이 지난 후에 댐 기능이 상실될 것에 대비한 대책을 구상하여야 한다. 댐이 개발되면 내수면 및 호안지대의 이용도가 향상될 것이며, 장기적으로는 농지로부터 주거지대로 바뀌는 호안지대의 생산성 변동 및 이에 따른 전국 농업생산고에 영향을 줄 것이다. 그러므로 이와 같은 장단기적으로 발생하는 관련문제를 검토해야 한다.

(2) 환경친화적 계획의 수립

(가) 댐의 건설은 자연생태계 외의 조화로운 개발을 전제로 하여야 한다.

(나) 댐 건설에 의한 자연훼손은 최소로 하고, 부득이 훼손된 곳에는 사업구역내의 이용 가능한 자생수목을 최대한 이식하여 자생동식물의 서식지를 제공하고, 동물의 이동로를 설치하는 등의 생물종의 감소에 적극 대처하여야 한다.

(다) 주변생태계의 유지와 복원을 위한 대책을 마련하고 주변자원의 특성과 대상지역의 제반 특수성을 고려하여 자연환경과 인공시설물이 조화를 이루도록 경관을 조성하여야 한다.

(라) 자연환경과 쉽게 접근하여 즐길 수 있는 친자연공간을 조성하여 제공하도록 하고 이로 인한 2차적인 자연훼손 및 환경오염을 예방하기 위한 대책을 마련한다.

(3) 공사중 환경보전대책

(가) 댐 본체와 부대시설의 공사 중에 직접적으로 영향을 받을 수 있는 하류에는 일정한 기준의 수질을 유지하여야 하므로, 시공 중에 오염을 방지하고 환경을 보전하기 위한 적절한 대책을 세워야 한다.

(나) 공사 중에 발생하는 공해를 방지하기 위하여 필요한 조치를 취해야 하며, 필요시 공해대책 시설은 관계 법령을 준수할 수 있는 대책을 세우도록 한다.

(4) 사회경제적 영향

(가) 댐건설로 인한 긍정적 효과와 부정적인 영향은 서로가 상충되는 경우가 많아 의사결정자가 최종결정을 내릴 때는 충분한 효과분석을 비교한 후에 결정을 하여야 한다. 특히 댐 주변지역이나 자치단체에 대한 사회경제적 영향을 종합적으로 분석하여 문제점을 지적하고, 이에 대한 근본적인 대책을 강구하여야 한다.

(나) 댐 건설로 인한 자연환경의 변화는 산업입지, 농업 생산성, 주민 건강 등에 영향을 주어 지역의 경제력에 영향을 미칠 수 있으므로 사전에 충분한 검토를 하여야 한다.

(다) 댐 건설은 순편익을 가지는 반면에 부정적인 영향을 수반하게 되고, 결과적으로 이의 대책을

위한 비용을 발생하게 된다. 이러한 비용은 댐 개발로 인해 자연환경에 미치는 영향, 사회경제적 영향 등의 사회적 비용이 모두 포함되어야 한다. 그러나 환경·생태·사회적 역기능을 정량화하기 위한 노력에 비해 아직은 객관적인 계량화 방안이 마련되어 있지 않는 형편이므로 신중한 접근이 필요하다.

(라) 댐 건설후 바로 발생하는 단기적인 효과와 장기간 관점에서 이용도의 변천이나 기능의 축소 및 단기적 이용이 장기적 생산성에 주는 영향 등을 분석한다. 흉수조절이나 주운, 수력발전, 용수공급 등은 그 효과를 분명히 알 수 있지만 위락이나 이에 관련된 경제개발의 촉진효과 역시 매우 크므로 과소 평가되어서는 안된다. 각 기능별로 동등한 편익을 갖는 대안을 검토 평가해야 한다.

(5) 지역사회와의 협의 및 지원대책의 수립

(가) 댐사업의 초기계획 단계에서부터 전문가를 포함하여 지역사회와의 광범위한 협의가 선행되어야 하며, 각계 의견수렴을 위한 정책협의회 또는 자문단을 구성하는 것이 바람직하다.

(나) 댐과 관련한 민원의 주요내용은 간접보상, 생계대책, 토지보상, 생활피해보상, 세금및 사용료 감면, 자연환경보전지구 해제, 댐 이익금 환원, 행정구역 개편 등이 있다. 앞으로의 민원은 산지나 댐으로 둘러싸여 교통이 불편한 주민들의 간접 피해보상의 문제, 수몰이주단지 주민들의 집단적인 생계대책문제, 댐 이익금의 자치단체로의 환원문제, 이설도로의 정비 및 교량건설의 문제 등이 주요 민원사항으로 제기될 가능성이 클 것이다. 이런 측면에서 주변지역 주민들의 민원환경을 개선과 댐 주변지역의 지원대책에 보다 깊은 관심이 요구된다.

(다) 댐이 주민의 복리증진에 기여할 수 있는 대안을 검토함으로써 댐에 의한 사회적 효과를 측정할 수 있도록 해야 한다. 댐 사업이 시행됨에 따라 주민들이 겪고 있는 역기능적 요소를 해결해 줄 수 있는 가능성을 검토해야 한다. 고용기회 증대, 주거의 개선, 건강, 영양, 교육시설, 청소년의 이주, 성장 등 긍정적인 사회적 효과를 평가하여 밝히도록 한다.

3.3 설계흉수량의 결정

3.3.1 일반사항

(1) 설계흉수결정의 기본개념

(가) 댐 설계에 필요한 흉수에는 유역으로부터 저수지로 흘러 들어오는 유입설계흉수, 주 여수로 및 비상 여수로의 유출 설계흉수, 가배수시설의 설계흉수 등이 있다.

(나) 댐 설계에 필요한 흉수량을 결정하는 데에는 두 가지 개념이 있다. 하나는 경제적인 측면을 고려하여 댐 구조물의 목적에 알맞는 흉수량을 채택하는 경우이고 다른 하나는 순순히 댐의 안전을 목적으로 흉수량을 채택하는 경우이다. 물론 하나의 댐이라 하더라도 구조물 목적에 알맞는 흉수량과 댐의 안전을 꾀하는 흉수량을 각각 둘 수 있다. 여기서의 설계흉수량은 순순히 댐의 안전을 고려한 흉수량으로 간주한다.

(다) 저수지 유입 설계 흉수로 가능최대 흉수량을 선택함이 좋으며, 그 이하 규모의 흉수를 채택하고자 할 때에는 특별한 이유가 있어야 한다.

(라) 국내 실무에서는 여수로의 설계기준 흥수량으로 콘크리트댐의 경우는 100년 빈도의 저수지 유입 흥수량, 필댐의 경우는 200년 빈도의 저수지 유입 흥수량의 120%(500~1,000년 빈도)를 채택하는 등 빈도 흥수량을 사용하였다. 그러나 이와같은 빈도흥수량은 댐의 수명 기간 동안 초과될 확률이 커서 예상파괴로 인한 피해를 감당하기 힘들다. 따라서 댐 여수로나 댐 마루표고의 결정은 가능최대 흥수량(probable maximum flood, PMF)을 기준으로 하되 댐의 가상 파괴로 인한 예상피해 규모를 고려하여 PMF의 백분율로 결정할 수도 있다.

(마) 가능최대 흥수량은 가능최대 강수량(probable maximum precipitation, PMP)으로 인한 흥수량을 말하며, 유역에서의 가능최대 강수량이란 「주어진 지속기간 동안 어느 특정 위치에 주어진 유역면적에 대하여 연중 어느 지정된 기간에 물리적으로 발생할 수 있는 이론적 최대 강수량」이라 정의한다.

(바) 댐의 주 여수로(principal spillway)의 설계 흥수량은 저수지로의 PMF를 유입수문곡선으로 하고 이를 저수지를 통해 흥수추적하여 여수로 단면에서의 최대 방류량을 택함으로서 결정된다.

(사) 비상 여수로(emergency spillway)의 설계 흥수량은 댐의 중요도와 주 여수로의 설계흥수량의 신뢰도를 종합적으로 고려하여 필요 여부를 판단하며, 댐의 주 여수로 및 방수로의 규모를 고려하여 비상 여수로의 설계수문량을 산정 결정해야 한다.

(아) 가물막이 댐(coffer dam)이나 기타 지류에 위치하는 소규모 댐의 경우 댐의 가상파괴로 인한 피해의 위험도가 크지 않을 경우에는 가능책대 흥수량 대신 빈도홍수(frequency flood)를 설계 흥수로 택할 수 있다. 이러한 문제는 일종의 정책적판단이 필요하므로 사업주와 설계자 및 관계 당국이 협의 결정해야 한다.

(2) 댐 설계 흥수량 산정 시 고려사항

(가) 저수지 유입설계 흥수로 채택한 가능최대홍수의 수문곡선의 산정은 댐 유역의 자리적 위치라든지 발생가능 최대 호우의 특성, 유역의 배수구역, 유역의 토양 및 식생피복 및 유출분포 특성 등을 고려하여 수행하여야 한다.

(나) 유역의 흥수 규모는 유역의 자리적 위치에 따른 지형, 지질, 및 강우 특성에 따라 크게 변화한다. 즉, 자리적 위치에 따라 강우가 흥수의 원인이 되기도 하고 강설이 원인이 될 수도 있으며, 경우에 따라서는 강우 및 강설 모두 주요 흥수의 원인이 되기도 한다. 또한 유역의 지형적, 지질적 특성은 강수량과 유출률에 영향을 미쳐 흥수 규모에 큰 영향을 미친다. 따라서 설계 흥수량을 결정할 때에는 대상유역의 이들 영향 인자에 대한 올바른 지식이 필요하다.

(다) 가능 최대호우는 앞에서 정의한 바와 같이 특정위치에서 특정호우면적에 주어진 지속 기간동안 수문기상학적으로 발생 가능한 최대강수량을 내리게 하는 호우로서 대규모 댐의 유입 설계 흥수량 결정을 위한 기준 호우이다.

(라) 가능 최대 강수량은 기 발생한 극대 호우의 강우깊이-호우면적-지속기간(depth-area-duration, DAB) 관계를 이용하여 발생호우의 수분 최대화와 호우전이에 의해 포락과정을 거쳐 결정되며, 강우지속기간별, 유역면적별 최대 가능강수량의 관계 (PMP-DAD)로 표시된다.

(마) 우리나라의 경우는 한국건설기술연구원(한국 가능최대 강수량 추정, 건설교통부 2000, 6)에서 연구 발표한 PMP 가 설계의 기준 강수량이 될 수 있으며, PMP 도는 강우지속기간 1, 2, 4, 6, 12, 24, 48, 72 시간, 호우면적 25, 50, 100, 200, 500, 1,000, 2,000, 5,000, 10,000 km²에 대하여 전국에 걸쳐 등우선도의 형태로 작성되어 있어 PMP 추정 및 검증에 매우 유효하다.

(바) 유역의 배수구역 범위

댐 유역의 상류 배수지역의 배수망, 배수경계 등을 표시하는 유역도는 지형도로부터 작성함으로서 배수면적, 유로 경사 및 연장 등 유역특성에 관한 자료와 기설치된 수문관측소(우량, 수위, 유량)도 총괄하여 표시하여야 한다. 또한, 유역의 토양군의 분포, 식생피복 상태 및 토지 이용현황에 관한 자료도, 토양도 혹은 토지 이용도로부터 획득함이 바람직하다. 유역도 작성의 신뢰도를 높이기 위해 현지 답사를 하는 것도 좋은 방법이다.

3) 가능 최대 홍수량의 산정 방법

(가) 가능 최대 홍수량은 댐 유역의 면적규모와 설계 강우지속기간에 상응하는 가능최대 강수량과 시공간분포를 고려한 가능최대호우를 결정한 후에 단위 유량도법, 역 홍수추적법과 같은 강우-유출 관계 모형을 사용하여 유출계산 과정을 거쳐 저수지로의 유입설계 홍수수문곡선으로 산정한다.

(나) 댐 유역의 가능최대 강수량은 수문 기상학적 분석으로 작성된 PMP 도로 부터 댐유역의 면적크기와 설계 강우지속기간에 해당하는 PMP 를 결정하게 되며, 이를 공간적 및 시간적으로 분포시켜 가능최대호우(probable maximum storm, PMS)를 작성하여 유출계산에 사용토록 한다.

(다) 댐 유역에 대한 가능최대호우가 결정되면 강우-유출관계 모형에 의해 가능 최대홍수 (probable maximum flood, PMF)의 시간분포를 표시하는 PMF 수문곡선을 계산하게 된다. 흔히 사용되는 강우-유출관계 모형으로는 단위유량도법, 합성 단위유량도법, 유역 홍수추적법 등이 있으며 이들 간단한 모형의 적용 방법에 대해서는 후술하기로 한다. 이외 강우-유출관계 모형으로 선형 혹은 비선형의 유출모형들이 많이 개발되어 있으나 우리나라 설계 실무에서는 입력되는 수문 및 기상 자료의 미흡으로 사용이 보편화되어 있지 않다.

(라) 가능최대 홍수량 산정을 위한 구체적인 절차는 다음절(3.2 ~ 3.5 절)에서 다루기로 한다.

4) 빈도홍수량의 산정 방법

(가) 공사용 가물막이 댐이라든지 유수전환용 댐(diversion dam) 또는 용수공급용 댐(water supply dam)과 같은 비교적 규모가 적은 댐의 유입홍수량의 경우는 가능 최대 홍수량 대신 빈도홍수량(frequency flood)을 설계홍수량으로 택하기도 한다. 빈도홍수의 산정은 기왕에 발생한 첨두홍수량 자료계열의 빈도해석에 의하는 것이 원칙이나 홍수량 자료가 없을 경우에는 빈도 분석에 의해 설계강우를 결정한후 강우-유출 모형을 사용하여 설계홍수량을 산정한다.

(나) 빈도 홍수는 특정 발생빈도를 가지는 홍수의 크기로서 발생빈도는 평균 재현기간(average return period)으로 표시된다. 소규모 댐이나 수공구조물을 설계할 경우이들 구조물의 가상파괴로 인한 경제적, 사회적 피해가 극심하지 않다고 판단될 경우에는 가능 최대 홍수량을 기준으로 설계할 경우의 건설 공사비를 절감시키기위해서 빈도홍수를 사용할 경우가 있다.

(다) 빈도 홍수량은 댐 지점에서의 장기간 홍수량 자료가 계측되었을 경우 연 최대홍수량 계열을 작성하여 확률론에 의해 빈도분석(frequency analysis)을 행하여 빈도곡선을 얻음으로서 내삽 혹은 외삽에 의해 재현기간별 홍수량을 추정하여 구하는 것이 원칙이다.

(라) 그러나 실제에 있어서는 댐 지점에서 장기간의 홍수량 기록이 없는 경우가 대부분이므로 빈도분석으로 빈도 홍수량을 얻기란 우리나라의 경우 특히 힘들다. 따라서 비교적 자료가 풍부한 강우자료의 빈도 분석으로 댐 유역의 강우지속기간별 빈도우량을 결정한 후 이를 적절한 강우-유출 모형에 의해서 빈도홍수량을 결하는 방법이 많이 사용되고 있다. 이 방법에서의 가정은 홍수의 발생빈도가 그의 원인이 되는 강우의 발생 빈도와 동일하다는 것이나 강우-유출 관계의 비선형성을 감안하면 문제가 없지는 않으나 실무에서는 다른 대안이 없으므로 많이 적용되고 있다.

(마) 빈도홍수량의 산정을 위한 빈도해석 절차에 관한 상세한 이론과 실제는 거의 표준화되어 있으므로 여기서는 생략하기로 한다(하천설계기준, 한국수자원학회, 1999 참조).

3.3.2 가능최대 강수량의 추정

(1) 가능최대 강수량 추정방법

(가) 가능최대 강수량추정방법에는 두가지 방법이 있는데 하나는 수문기상학적 방법이고 다른 하나는 통계학적인 방법이나 통계학적인 방법은 자료의 한계성과 방법의 불확실성으로 인하여 자주 사용되지 않고 지표로서만 이용된다.

(나) 수문기상학적 방법은 호우효율을 고려하여 관측강우량을 증가시키는 방법을 따르고 있으며, 수분최대화, 호우전이, 그리고 포락의 세 단계로 가능최대강수량을 추정한다.

(다) 관측강우량은 댐 지역과 같은 면적과 형상에 해당하는 면적강우량이어야 하며 호우전이와 포락을 고려하여 우리나라에서 가장 크고 중요한 호우를 모두 선정하여 면적강우량을 산정해야 한다.

(라) 선정된 대상호우지역의 그 계절에 해당하는 최대 12 시간 이슬점을 관측이슬점의 최대치와 50 년 또는 100 년 빈도 이슬점을 이용하여 산정하고, 댐 지역에도 같은 방법으로 최대 12 시간 지속이슬점을 산정한다.

(마) 대상호우 기간의 수분유입을 대표할 수 있는 대표 12 시간 지속이슬점을 호우발생지역내에서 산정한다.

(바) 호우지역별로 최대 및 대표 12 시간 지속이슬점을 이용하여 수분최대화를 실시한후 대상호우를 댐 지역으로 전이시킨다. 이때 전이에 필요한 수평전이비는 호우지대와 전이지대의 최대 12 시간 지속이슬점에 의한 가강수량에 의해, 수직전이비는 두지대간의 표고차이에 따른 가강수량에 의해 산정된다. 물론 지형에 의한 강우량의 변화를 고려한 지형영향비를 고려하는데 두 지점간의 100 년 강수량의 비가 이용된다.

(사) 전이되어 조절된 면적강수량 중에 최대치를 가능최대 강수량으로 채택한다.

(2) 한국 가능최대 강수량도의 작성 배경 및 내용 요약

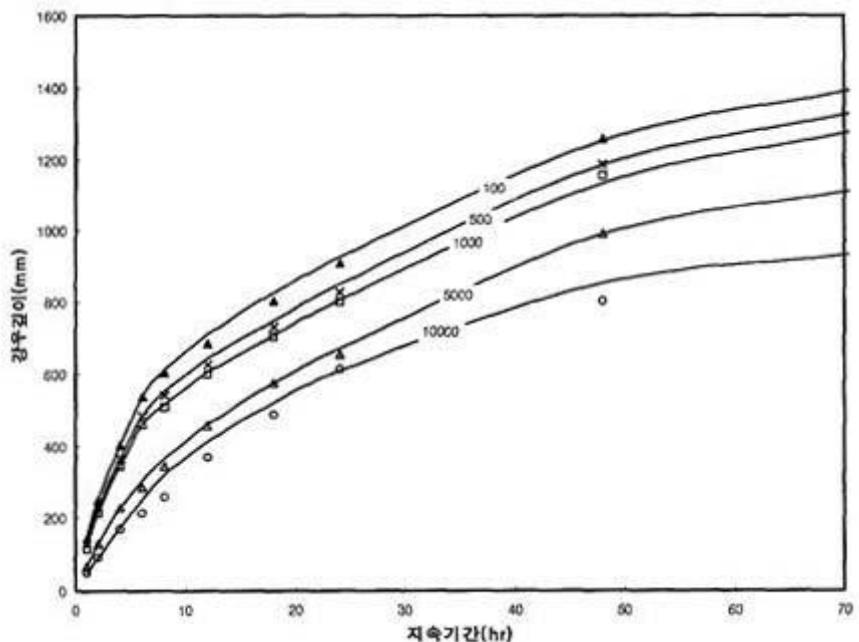
(가) 건설교통부는 댐과 같은 주요 수공구조물의 설계 홍수량 결정을 위해 전국에 일관된 한국 가능 최대 강수량도(PMP 도)를 작성 제시하였다. 이 PMP 도는 건설교통부가 한국건설기술연구원에 조사연구를 위탁하여 2000 년 6 월 한국 가능최대강수량도(99 수자원 관리기법 개발 연구조사 보고서, 「한국 가능최대 강수량 추정」)를 발간하였으며, 이는 우리나라의 공인된 PMP 결정 기준이다.

(나) 위의 연구조사에서 작성한 PMP 도는 수문기상학적 방법을 이용하였으며, 강우지속기간은 1, 2, 6, 12, 24, 48, 72 시간, 호우면적 25 km^2 , 50 km^2 , 100 km^2 , 200 km^2 , 500 km^2 , $1,000 \text{ km}^2$, $2,000 \text{ km}^2$, $5,000 \text{ km}^2$, $7,000 \text{ km}^2$, $10,000 \text{ km}^2$ 를 기준으로 하여 PM 도를 $1 : 1,500,000$ 지형도 위에 <그림 3.10>과 같이 등우선의 형태로 작성하였다.

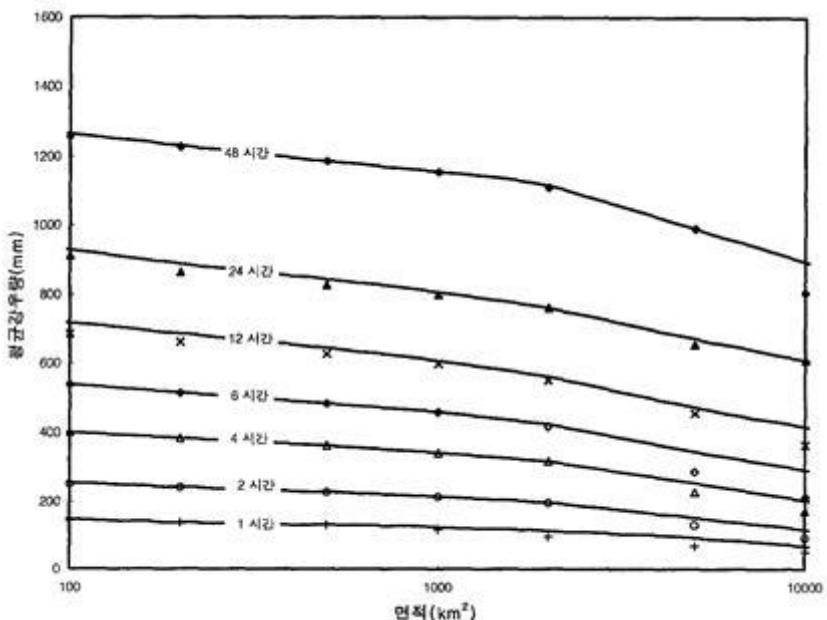
(다) 전국 PMP 도는 전국에 걸쳐 1969~1999 년에 걸쳐 발생한 주요 호우사상의 DAD 분석과 수분 최대화, 호우전이, 포락 등의 과정을 거쳐 작성하였다.



<그림 3.10> 전 계절 24 시간 1,000 km² 가능최대강수량도



<그림 3.11> 대표면적별 강우깊이-지속기간의 포락



<그림 3.12> 대표지속기간별 강우깊이-면적의 포락

(3) 설계유역의 가능최대강수량 추정절차

(가) PMP 를 추정하고자 하는 대상유역의 위치와 유역면적 및 유역중심을 1 50,000 흑은 1 : 25,000 지형도 위에서 결정한 후 유역 중심의 좌표를 전국 PMP 도로 옮겨 위치를 결정한다.

(나) 대상유역 중심을 기준으로 지속기간(1, 2, 6, 12, 24, 48, 72 시간) 별로 유역면적보다 크고 작은 호우면적에 해당하는 가능최대강수량(PMP)을 PMP 도로부터 보간하여 읽으며, 지속기간과 유역면적의 연속성과 일관성을 위하여 <그림 3.11>과 같이 강우깊이-지속기간 관계의 포락 및 균일화 곡선을 그린 후 <그림 3.12>와 같은 강우깊이 -면적-지속기간에 대한 포락 및 균일화를 실시하여 이 곡선으로부터 유역면적에 해당하는 지속기간별 PMP 를 읽어 결정한다.

(4) 가능최대호우의 결정

(가) 설계 유역에 대하여 결정된 지속기간별 가능최대 강수량의 시간적 분포 결정에 의한 PMP 주상도의 결정은 원칙적으로 대상유역에 대하여 분석된 강우의 시간분포형에 따라야 하나 이의 결정이 어려울 때에는 기타 방법에 의존할 수 밖에 없다.

(나) 설계강우인 최대가능 강수량의 시간적 분포는 대상유역의 강우의 시간분포 특성분석에 의한 표준 분포형에 맞추어야 한다. 실무의 경우 전방위, 중방위, 후방위등으로 시간강우량을 배열하는 방법인 **blocking** 방법이 이용되어 왔으나 실제호우와의 비교가 이루어지지 않아서 임의적으로 사용되고 있는 실정이다.

(다) 『한국 가능최대 강수량 추정』에서 추천하고 있는 시간분포방법은 Huff 방법이며, 아울러 공간분포 형상도 실제호우의 경우와 이상적인 형태의 호우로 구분하여 그 적용성을 고찰하였다.

5) 가능최대강수량의 지속기간의 결정

(가) 댐 설계시에는 댐 마루표고, 여수로, 수문 및 배열의 결정, 저수지운영 그리고 강우의 시공간분포까지 고려하고 또한 이들의 상호작용이 매우 복잡하기 때문에 일정하고 고정된 형태로 가능최대강수량의 지속기간을 설정할 수 없다.

(나) 가능최대 강수량의 지속기간은 유역특성, 강우의 시공간특성, 댐의 특성 등의 상호작용을 최적으로 반영할 수 있도록 여러 지속기간을 선택하고, 강우-유출관계 및 저수지 추적을 통하여 최대의 흡수량이 발생하는 시간을 최적의 가능최대 강수량의 지속기간으로 설정해야 한다.

3.3.3 가능최대 강수량의 유효강우량주상도 작성

(1) 가능최대 호우로부터 각종 유출계산모형으로 가능최대 흡수량 계산을 하자 할 경우에는 계산된 PMP 우량주상도로부터 손실우량을 분리하여 유효강우량주상도를 작성할 필요가 있다. 대부분의 강우-유출관계모형은 총 강우 중의 유효우량과 이로 인한 유역출구(댐 지점)에서의 직접유출량간의 관계를 계산하는 모형이며, 총흡수량은 모형으로 계산된 직접유출량에 적절히 추산된 기저유량(지하수유출량)을 합하여 결정한다.

(2) PMF 계산을 위해서는 모형의 입력이 되는 유효우량의 시간적 분포를 표시하는 유효우량 주상도를 PMP 주상도로부터 작성해야 한다. 본 절에서는 PMP 주상도가 결정되었을 경우에 이로부터 시간구간별 손실우량을 제외시켜 유효우량 주상도를 작성하는 절차에 대하여 언급하기로 한다.

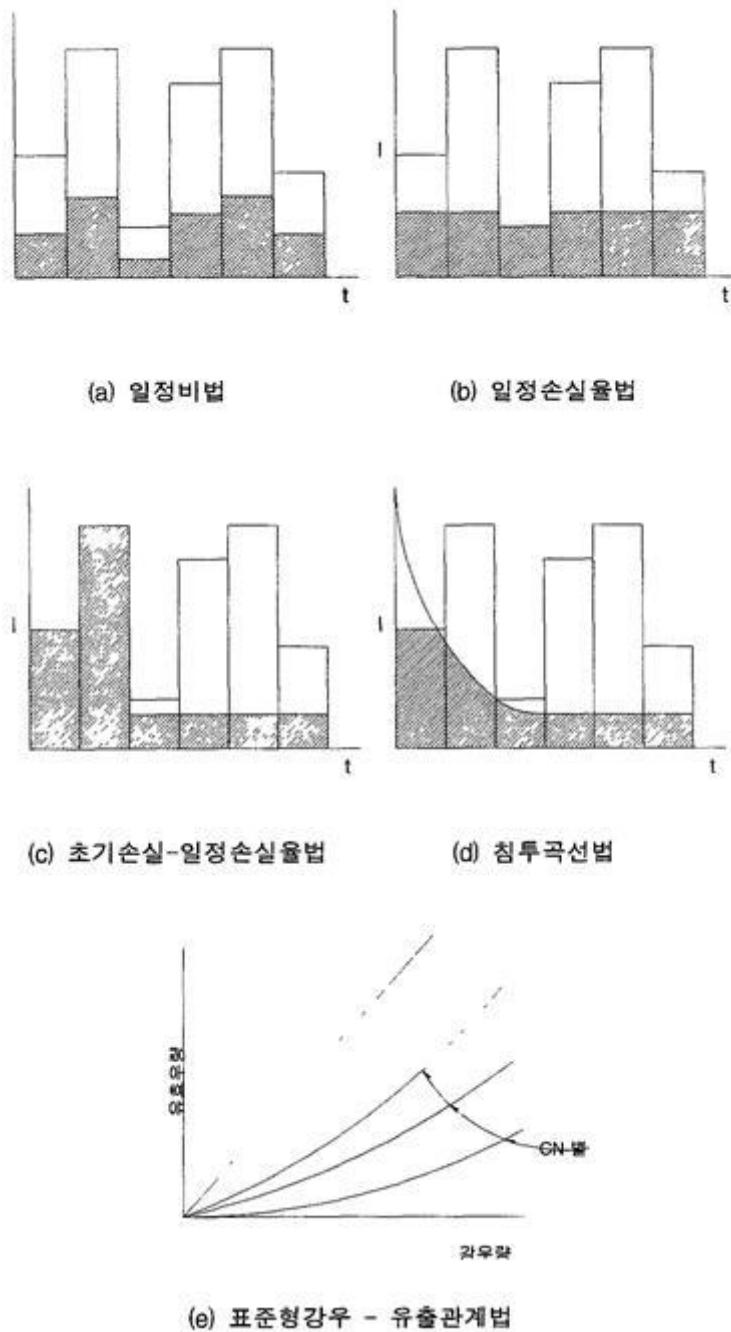
(3) 유효우량 산정방법의 분류

(가) PMP 유효강우량주상도는 PMP 주상도로부터 시간구간별 손실우량을 제외시켜 작성하는 것으로, 그 작성방법에는 일정비법 (constant fraction method), 일정손실률법 (constant loss rate method), 초기손실-일정손실률법 (initial loss-constant loss rate method), 침투곡선법(infiltration curve method), 표준형 강우-유출관계곡선법(standard rainfall-runoff relation curve method) 등이 있다.

(<그림 3.13> 참조)

(나) 일정비법

이 방법은 <그림 3.13 (a)>에서 볼 수 있는 바와 같이 시간구간별 강우량의 일정비가 손실되고 나머지가 유효우량이 된다고 가정하는 것으로서 유출계수(runoff coefficient)와 같은 개념으로 유효우량을 계산하는 방법이다. 이 방법은 과다한 선행강우로 인해 유역의 지표면이 거의 포화되어 있을 경우에는 비교적 적절한 결과를 주는 것으로 알려져 있다.



<그림 3.13> 유효우량 산정방법의 분류

(다) 일정손실률법

이 방법은 <그림 3.13 (b)>에서와 같이 강우기간 동안의 손실률(또는 침투능)이 일정하다고 가정하는 방법으로 Φ -index 방법과 동일한 개념을 가진다. 이 방법은 유역의 선행 토양함수량이 많고 큰 호우를 대상으로 할 경우 적절한 방법이다.

(라) 초기손실-일정손실률법

<그림 3.13 (c)>에서와 같이 유역의 토양수분미흡량이 초기침투량으로 충족될 때까지는 유출이 발생하지 않으며, 초기손실이 발생한 이후에는 일정률로 손실된다고 가정하는 방법으로 유역이 비교적 건조한 상태에 있을 경우 적절한 방법이다.

(마) 침투곡선법

이 방법은 <그림 3.13 (d)>에서와 같이 강우가 계속됨에 따라 토양의 침투율이 감소하는 특성을 표시하는 Horton, Holtan, Phillips 등의 침투능 곡선으로 시간구간별 손실량을 계산하는 방법으로 이론적으로는 가장 합리적인 방법이나 유역의 상태에 맞는 침투능곡선의 계산이 어렵다.

(바) 표준형강우-유출관계 곡선법

이 방법은 <그림 3.13 (e)>에서와 같이 광범위한 수문관측자료의 분석으로 유역의 유출특성 조건에 따라 강우량과 유출량의 관계를 설정해 둠으로써 특정 강우량이 발생했을 경우의 유출량을 산정하는 방법이다. 이 방법에 속하는 가장 대표적인 방법은 미국 토양보존국(US soil conservation service ; S.C.S) 유효우량 산정법으로 유역의 토양형, 식생피복형 및 처리상태 등의 유출특성과 선행토양 함수조건 등을 고려하는 객관성이 높은 것으로 알려져 있다.

(3) 유효우량 산정방법의 선택 및 손실량의 결정

(가) 강우손실량의 계산에 의한 유효우량의 산정을 위한 5 가지 방법은 각각 장단점을 가지고 있으며 적용대상 유역에서의 검증절차를 거쳐 가장 적절한 방법을 선택함이 원칙이나 그려하지 못할 경우에는 적용의 객관성이 높은 방법을 선택하는 것이 바람직하다.

(나) 댐 대상유역의 내외에 강우-유출자료가 있는 경우 PMP 추정시의 강우손실은 주요홍수로 해석된 강우손실값 중 가장 작은 값으로 선정하는 것이 바람직하다.

(다) 국내 실무의 경우는 우리나라 중소유역에 대한 유출량의 실측자료가 부족하여 강우손실량의 계산을 위한 위의 적절한 방법이 설정되어 있지 않아 유효우량의 계산에 어려움이 많으나 비교적 객관성이 높고 유역의 지상인자의 결정에 의해 계산이 가능한 S.C.S 의 유효우량 산정법이 많이 사용되고 있으므로 이 방법의 적용 절차에 대해 상술하기로 한다.

4) S.C.S 의 유효우량 산정법

(가) 총우량-유효우량 관계식

① SCS 유효우량 산정법의 기본이 되는 총우량-유효우량 관계식은 다음과 같이 표시된다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad (3.22)$$

여기서, P 는 강우지속기간동안의 총강우량(혹은 누가우량, mm)이고 S 는 유역의 최대 잠재보유수량(mm)이며, Q 는 총강우량 P 로 인한 직접유출량(mm)으로서 유효우량에 해당한다.

② 식 (3.3.1)은 강우시점으로부터 어떤 시간까지 내린 누가우량 P 로 인한 직접유출량(혹은 유효우량), Q 는 P 와 S 의 함수이며, P 가 커짐에 따라 Q 가 커지고 S 가 커짐에 따라 Q 는

작아짐을 표시하고 있다. 유역의 최대 잠재보유수량(potential maximum retention) S 는 유역이 최대로 보유할 수 있는 수분량을 표시하는 것으로서 침투 및 저류능력을 나타내며, 유역의 직접유출능력을 지배한다.

③ SCS 에 의하면 직접유출능력을 표시하는 유출곡선지수(runoff curve number, CN)는 S 와 다음과 같은 관계를 가진다.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (3.23)$$

④ 따라서 유역의 직접유출능력을 표시하는 유역평균 CN 값이 결정되면 식 (3.23)에 의해 S 가 계산되고 이를 식 (3.22)에 P 와 함께 대입함으로써 누가유효우량 Q 를 계산할 수 있다.

(나) 유출곡선지수의 결정

① SCS 방법에 의한 유효우량의 산정에 필요한 유출곡선지수 CN 은 수문학적 토양형과 식생피복 및 처리상태, 그리고 선행토양함수조건 등을 고려하여 결정한다. 유출곡선지수 CN 은 균등한 수문학적 토양형과 식생피복 및 처리상태 아래에서는 선행토양함수 조건에 따라 일정한 값을 가지며, SCS 는 이를 도표화하여 사용하고 있다.

② 수문학적 토양형의 분류

② SCS 는 미국 전역에 분포된 토양종류와 그 특성을 조사하여 토양의 유출률의 크기 역순으로 A, B, C, D 형의 4 가지 유형으로 분류하였으며, 미국내 분포되어있는 수많은 명칭의 토양종류를 이들 4 개형 중에서 하나로 소속시켜 유출률의 정도를 표시도록 하였다.

④ 우리나라의 경우도 전국에 걸쳐 토양도(1 : 25,000 및 1 : 50,000 도)가 작성되어있고 토양명칭별로 총유출의 정도에 따라 A, B, C, D 형으로 분류할 수 있도록 토양도에 그 특성이 서술되어 있다.

<표 3.7> 선행토양함수조건의 분류

AMC (선행토양수분조건)	5일 선행강수량(mm)	
	비성수기	성수기
I	< 13	< 36
II	13 ~ 28	36 ~ 53
III	> 28	> 53

* AMC : antecedent soil moisture condition

③ 식생피복 및 처리상태

유역의 토지이용형태에 따른 식생피복과 그의 처리상태는 유출률에 영향을 미치므로 대상유역의 상태를 토지이용도 등을 사용하여 파악해야 한다.

④ 유역의 선행토양함수조건

ⓐ 유역의 유출능력은 선행강수량의 크기에 따른 선행토양함수 정도에 크게 영향을 받는다. SCS 는 유역의 선행토양함수 조건(antecedent soil moisture condition, AMC)을 5 일 선행강수량의 크기에 따라 <표 3.8>과 같이 AMC-I, AMC-II, AMC-III 의 세가지로 분류하였다.

ⓑ <표 3.7>에서 우리나라의 경우 비성수기는 대략 10 월~익년 5 월, 성수기는 6 월~9 월로 간주할 수 있으며, 유출율은 AMC-I, II, III 순(토양의 수분함유량이 큰순)으로 높아진다.

⑤ AMC-II 조건하의 토양형-식생피복형별 유출곡선지수

유역의 식생피복형 및 처리상태, 처리상태별 침투조건, 그리고 토양형 등에 따라 SCS 는 장기간 동안의 조사분석에 의하여 유출곡선지수를 결정한 바 있으며, <표 3.9>는 각각 농경지역 및 삼림지역으로 되어 있는 자연하천유역에 대한 CN 값을 표시하고 있다.

⑤ AMC-II 조건으로 부터 타 AMC 조건으로의 CN 치 변환

ⓐ <표 3.8>은 AMC-II 조건하에서의 토양형-식생피복별 CN 치를 표시하며 유역의 선행토양함수 조건이 AMC-I 혹은 AMC-III일 경우는 CN 치를 변경시켜주어야 한다. AMC-I 은 AMC-II 의 경우보다 5 일 선행강수량이 작으므로 침투량이 많아 유출율은 작아질 것이며, AMC-III는 반대로 유출율이 커지는 경우가 된다.

ⓑ SCS 는 이를 감안하여 <표 3.9>와 같이 CN 값의 환산표를 작성하였으며 이를 식으로 표시하면 다음과 같다.

$$CN(I) = \frac{4.2 CN(II)}{10 - 0.058 CN(II)} \quad (3.24)$$

$$CN(II) = \frac{23 CN(III)}{10 + 0.13 CN(III)} \quad (3.25)$$

여기서, CN(I), CN(II), CN(III)는 각각 AMC-I, II, III 조건하에서의 유출 곡선지수이다.

<표 3.8> 농경지역 및 삼림지역의 CN 치 (AMC-II 조건하)

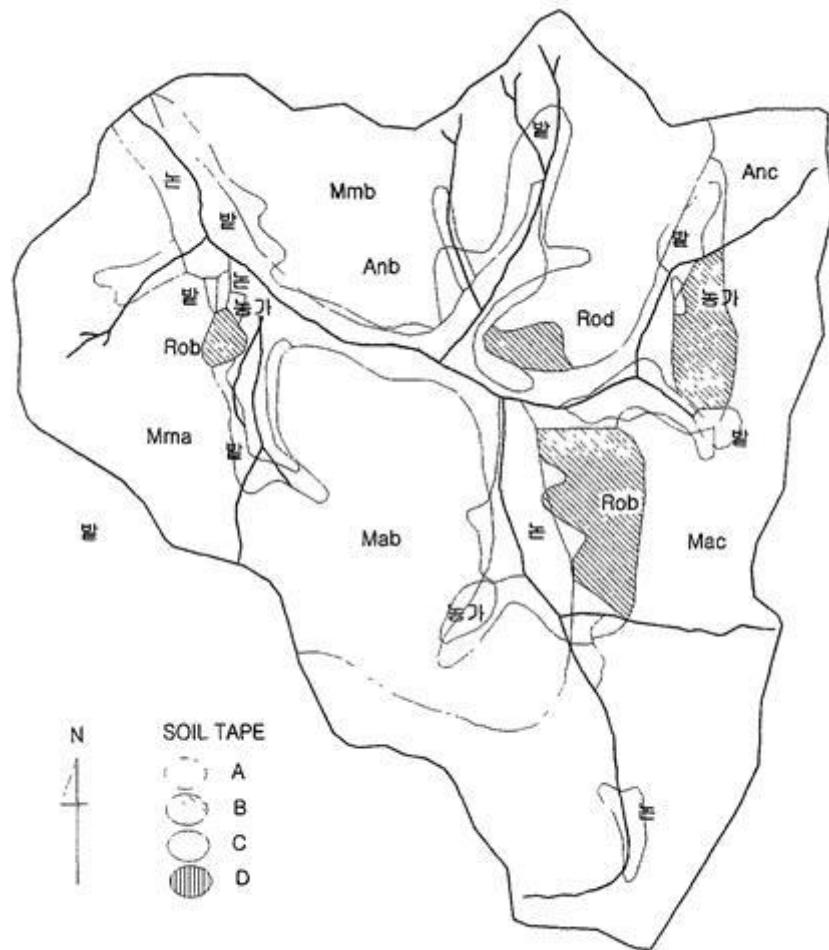
식생피복 및 토지이용상태	피복처리상태	토양의 수문학적 조건*	토양형			
			A	B	C	D
fallow(휴경지) row crops (논 및 밭 작물 경작지)	straight row	-	77	86	91	94
	straight row	poor	72	81	88	91
	straight row	good	67	78	85	89
	contoured	poor	70	79	84	88
	contoured	good	65	75	82	86
	contoured and terraced	poor	66	74	80	82
	contoured and terraced	good	62	71	78	81
	straight row	poor	65	76	84	88
	straight row	good	63	75	83	87
	contoured	poor	63	74	82	85
	contoured	good	61	73	81	84
	contoured and terraced	poor	61	72	79	82
	contoured and terraced	good	59	70	78	81
	straight row	poor	66	77	85	89
close-seeded legumes(콩과 식물) or rotation meadow	straight row	good	58	72	81	85
	contoured	poor	64	75	83	85
	contoured	good	55	69	78	83
	contoured and terraced	poor	63	73	80	83
	contoured and terraced	good	51	67	76	80
		poor	68	79	86	89
		fair	49	69	79	84
		good	39	61	74	80
	contoured	poor	47	67	81	88
	contoured	fair	25	59	75	83
pasture(목초지) or range(목장)	contoured	good	6	35	70	79
		good	30	58	71	78
		poor	45	66	77	83
		fair	36	60	73	79
		good	25	55	70	77
meadow(초지) woods	very sparse		-	56	75	86
			-	59	74	82
forests farmsteads			-	59	74	86

<표 3.9> AMC 조건별 CN 치간의 관계

AMC II	AMC I	AMC III	AMC II	AMC I	AMC III
100	100	100	60	40	78
99	97	100	59	39	77
98	94	99	58	38	76
97	91	99	57	37	75
96	89	99	56	36	75
95	87	98	55	35	74
94	85	98	54	34	73
93	83	98	53	33	72
92	81	97	52	32	71
91	80	97	51	31	70
90	78	96	50	31	70
89	76	96	49	30	69
88	75	95	48	29	68
87	73	95	47	28	67
86	72	94	46	27	66
85	70	94	45	26	65
84	68	93	44	25	64
83	67	93	43	25	63
82	66	92	42	24	62
81	64	92	41	23	61
80	63	91	40	22	60
79	62	91	39	21	59
78	60	90	38	21	58
77	59	89	37	20	57
76	58	89	36	19	56
75	57	88	35	18	55
74	55	88	34	18	54
73	54	87	33	17	53
72	53	86	32	16	52
71	52	86	31	16	51
70	51	85	30	15	50
69	50	84			
68	48	84	25	12	43
67	47	83	20	9	37
66	46	82	15	6	30
65	45	82	10	4	22
64	44	81	5	2	13
63	43	80	0	0	0
62	42	79			
61	41	78			

(다) SCS 유효우량 산정법의 적용 절차

- ① 유역에 대한 PMP로부터 유효우량을 계산하기 위해서는 유역의 토양형, 식생피복 및 처리상태 등을 고려한 국지별 \overline{CN} 값을 결정한 후에 이를 면적가중치로 평균하여 유역평균 유출곡선지수 CN를 계산한 후에, AMC 조건에 따라 \overline{CN} 값을 환산하여 식(3.23)으로 S를 구하고, 이를 식 (3.22)에 대입하게 된다.



<그림 3.14> 경안천 대표시험유역의 토양형-토지이용별 분포도

② 대상유역에 대한 PMP 주상도로부터 유효우량 주상도를 작성하는 절차를 요약하면 다음과 같다.

ⓐ 대상유역의 토양도(1 : 25,000 혹은 1 : 50,000) 상에서 토양명칭을 고려하여 전유역을 SCS 의 토양형 A, B, C, D 로 분류 구분한다.

(<그림 3.14> 참조)

ⓑ 유역의 토지이용 및 식생피복상태를 <표 3.8>의 분류에 따라 토지이용도 혹은 지형도상에 구분하여 ②에서 이미 구분된 토양도와 겹친다.

(<그림 3.14> 참조)

ⓒ 유역의 토양형-식생피복형별 분포면적을 ①에서 작성된 도면상에서 구적기로 구하고 이들 면적을 가중인자로 하여 <표 3.9>를 사용하여 결정한 CN 값을 유역평균함으로써 대상유역의 평균유출곡선지수 CN (AMC-II 조건하)을 계산한다.

ⓓ 선행토양함수 조건은 5 일 선행강수량의 크기에 의해 결정하나 대규모 구조물의 설계에 있어서는 안전성을 중요시해야 하므로 AMC-III 조건을 택하는 것이 바람직하다. 만약 대상유역내외에 자료가 있는 경우 주요홍수로 해석하여 결정된 AMC 조건중 가장 유출이 많은

조건을 선택해야 하여 유역조건에 맞게 결정하는 것이 바람직하다.

ⓐ Ⓛ에서 최종적으로 결정된 CN 를 식 (3.23)에 대입하고, 이 값을 S 를 계산하여식 (3.22)에 대입한다.

ⓑ Ⓛ에서 설정된 총우량-유효우량 관계식에 강우시점으로 부터 어떤 시각까지의 누가우량 P 를 대입하면 그 시각까지의 누가유효우량이 계산된다. 따라서, 주어진 PMP 주상도를 시간구간별로 누가하여 계단형 누가우량곡선을 작성 후에 시각별 누가우량을 $P_{\{t\}}$ 로 하여 식 (3.22)에서 $Q_{\{t\}}$ 를 구하고 다음의 관계식에 의해 시간구간 Δt 별 유효우량 ΔQ 를 계산함으로서 유효우량주상도를 작성할 수 있다. 즉,

$$\Delta Q = Q_t - Q_{t-1} \quad (3.26)$$

여기서, Q_t 와 Q_{t-1} 은 각각 시각 t 와 그 전시각 ($t-1$)에 대하여 계산된 유효우량(mm)이다.

3.3.4 단위 유량도법

(1) 일반사항

(가) 단위유량도(unit hydrograph)는 1932 년 Sherman 에 의해 제안되었으며, 「특정 단위시간 동안 균일한 강도로 유역 전반에 걸쳐 균등하게 내리는 단위 유효우량 (1 cm)으로 인하여 유역 출구에 발생하는 직접유출량의 시간적 변화를 나타내는 곡선」이라 정의할 수 있고 일정기저시간 가정, 비례 가정 및 중첩 가정을 전제로한다.

(나) 단위유량도법은 호우로 인한 흉수유출의 시간적 분포를 표시하는 흉수수문곡선을 선형의 강우-유출 관계를 가정하여 계산하는 방법으로 시간강우 및 유출자료가 관측된 경우에만 단위유량도의 유도와 적용이 가능하다.

(다) 이들 가정 중에서 비례가정과 중첩가정은 강우-유출 관계를 선형으로 취급하는 것으로 비선형인 자연현상과는 차이가 있다. 즉, 흉수사상의 규모가 달라지면 동일한 유역이라도 단위유량도가 같지 않고 상당한 차이를 보임이 밝혀져 있다.

(라) 이와 같은 가정의 불합리성에도 불구하고 지금까지도 흉수유출계산을 위해 단위 유량도법에 의존하고 있는 이유는 간편성과 적용결과의 신뢰도가 비교적 높다는 점이다.

(2) 강우-유출 자료분석에 의한 단위유량도의 유도

(가) 호우사상의 선택 : 단위 유량도를 실측수문자료로부터 유도코자 할 경우에는 다음 사항을 고려하여 가급적 단일 첨두흉수를 가지는 단순호우사상을 택하여 해석함이 바람직하다.

- ① 강우지속기간 동안 강우강도가 가급적 균일하게 분포한 강우사상
- ② 유역 전역에 걸쳐 강우의 공간적 분포가 가급적 균일한 강우사상
- ③ 강우의 지속기간이 유역지체시간의 약 10~30% 정도

④ 호우로 인한 직접유출고(유효우량)가 약 13~44 mm 정도이상이 강우사상

(나) 단위유량도의 유도절차

① 단순호우 사상별 단위유량도의 유도는 직접 유출 수위곡선 및 총우량 주상도의 작성, 직접유출고의 계산에 의한 단위유량도 시간종거의 계산, 단위유량도의 지속기간 결정 등의 순서로 이루어진다.

② 유역내 자기우량 관측소에 기록된 시간별 누가우량자료와 유역출구 지점(댐 지점)에서의 시간수위 자료(수위 수문곡선)가 획득되면 다음의 절차를 따른다.

ⓐ 직접유출 수문곡선의 작성 : 유역 출구지점에서 관측된 수위수문곡선을 rating curve에 의한 유량수문곡선으로 바꾼 후에 기저유출을 분리시킴으로써 직접유출수문곡선을 얻는다. 기저유출을 분리하는 방법에는 주지하수 감수곡선법, 수평직선 분리법, N-Day 법 등이 있다.

ⓑ 총우량 주상도의 작성 : 대상 유역내외의 우량관측점에 기록된 누가우량곡선을 Thiessen 법, 등우선법 혹은 산술평균법 등으로 시간별로 평균하여 유역평균 누가우량곡선을 작성한 후 이로부터 시간구간별 강우강도를 계산하여 총우량주상도(total rainfall hyetograph)를 작성한다.

ⓒ 직접유출고의 계산 : Ⓛ에서 작성된 직접 유출수문곡선에 의해 직접 유출용적(m^3)을 산정하고 이를 유역면적으로 나누면 평균직접 유출고가 계산된다.

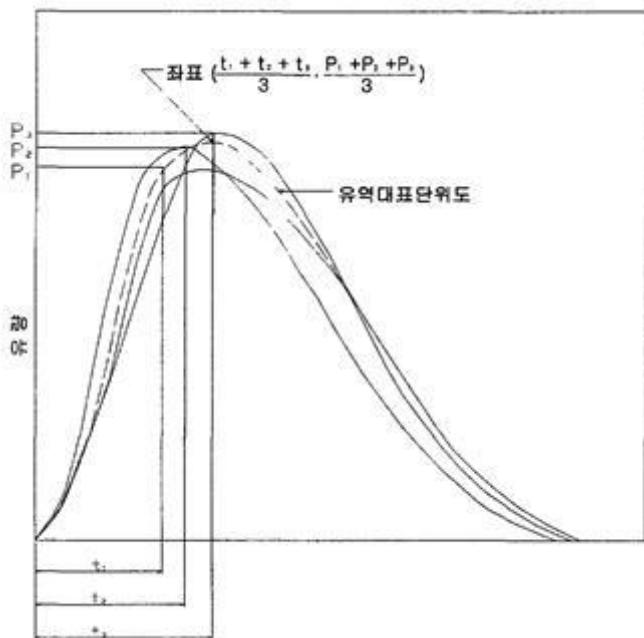
ⓓ 단위유량도의 시간별 종거계산 : 단위유량도는 단위유효우량(혹은 단위 직접유출고, 1 cm)으로 인한 직접유출수문곡선이므로 비례가정에 의거 Ⓛ에서 구한 직접유출 수문곡선의 시간별 종거를 유역평균 직접유출고로 나누어서 유도한다.

ⓔ 유도된 단위유량도의 지속기간 부여 : 단위유량도의 지속기간은 유효우량의 지속기간과 같이 정의되므로 Ⓛ의 총우량주상도로부터 Ⓛ에서 계산된 적접유출고에 상응하는 유효우량을 Φ -index 방법으로 분리했을 때의 유효우량의 지속시간을 정하여 이를 단위유량도의 지속기간으로 한다.

(3) PMF 계산을 위한 대표 단위유량도의 작성

(가) 한 유역을 대표하늘 단위유량도는 여러 개의 단순호우 사상으로부터 유도 된 단위도의 지속기간을 통일시킨 후에 첨두유량점의 좌표를 평균하여 정하고 이를 원점 및 단위도 기저시간의 종점(<그림 3.15> 참조)과 연결시켜 단위도 아래의 면적이 단위유효우량(1 cm)이 되도록 스케치하여 유역의 평균단위도를 유도한다.

(나) 실무에서는 평균단위도를 대표단위도로 사용하고 있으나 강우-유출의 비선형성으로 인하여 유역의 평균단위도로 PMF 를 추정할 경우 실제보다 낮은 결과치가 도출되는 문제가 내재함에 유의해야한다. 참고로 호주의 경우, 유역의 평균 단위도에서 첨두시간을 고정한 채 단위도의 상승부와 첨두부만 15%를 높힌다.



<그림 3.15> 유역의 대표단위도 작성법

(다) 평균단위도 용적이 원래 단위도의 용적과 같도록 단위도의 감수를 조정하여 유역의 대표단위도를 작성한다.

3.3.5 합성 단위유량도법

(1) 일반사항

(가) 합성 단위유량도법은 단위유량도의 특성변수들이 유역의 유출특성을 지배하는 지상인자들과 상관시킴으로써 수문자료가 없는 미계측 유역에 대한 단위유량도를 작성하는 방법이다.

(나) 이 방법은 단위도의 특성변수인 첨두유량점에서의 유량과 발생시각, 유출기저시간의 종점시각 등이 유역의 지상인자인 유역면적, 유로연장 및 경사 등과 높은 상관성을 가진다는 전제하에 이를 특성변수들을 경험공식으로 계산하여 단위도를 작성하는 방법이며, 작도시에 단위도 아래의 면적이 유역전반에 걸친 단위유효우량 (1 cm)과 같아야 한다는 점은 전술한 계측된 유역의 단위유량곡선에서와 동일하다.

(다) 단위도의 특성변수 결정을 위한 경험공식은 광범위한 유역내 여러 중소유역에서 계측된 수문자료로 부터 유도된 단위도의 특성변수를 해당 유역의 지형특성인지와 상관시켜 결정하는 것이므로 지역화된 공식이라 할 수 있다.

(라) 지금까지 제안된 합성 단위유량도법에는 여려가지가 있으며, 대표적인 방법에는 Snyder 방법, 미국 토양보존국방법, 일본의 나까야스(中安) 종합단위도법 등이다.

(2) Snyder 의 합성 단위유량도법

(가) 이 방법은 단위도의 첨두홍수량의 크기 및 발생시각과 단위도의 기저시간의 길이를 유역의 지형특성 인자와 상관시키는 경험공식을 사용하여 3 개점을 매끈하게 연결시킴으로서 단위도를 작성하는 방법이다.

(나) Snyder 의 합성 단위유량도법은 지속시간 $T_{\{r\}}$ 인 단위도를 합성하기 위해 첨두홍수량의 발생시각($t_{\{PR\}}$, h) 및 크기($Q_{\{PR\}}$, ft^3/s)와 유출기저시간의 길이($T_{\{R\}}$, d)각각 다음 식으로 계산해서 사용한다.

(<그림 3.16> 참조)

$$t_{PR} = t_P + \frac{1}{4}(t_R - t_r) \quad (3.27)$$

여기서 $t_{\{p\}} = C_{\{t\}}(L, L_{\{c\}})$, $t_{\{r\}} = t_{\{p\}}/5.5$ 이고 L , $L_{\{c\}}$ 는 각각 유역의 본류연장(mi) 및 유역출구 지점으로부터 유역중심에서 본류에 내린 수선의 교차점까지의 거리(mi)이며, $C_{\{t\}}$ 는 유역특성상수로서 미국 Appalachian 산맥 지역에서는 1.8~2.2의 값을 가지는 것으로 알려져 있다.

한편, 합성 단위유량도에 첨두유량 $Q_{\{PR\}}$ 과 유출기저시간의 길이 $T_{\{R\}}$ 은 다음 식으로 표시된다.

$$Q_{PR} = C_P \frac{640 A}{t_{PR}} \quad (3.28)$$

$$T_R = 3 + 3 \left(\frac{t_{PR}}{24} \right) \quad (3.29)$$

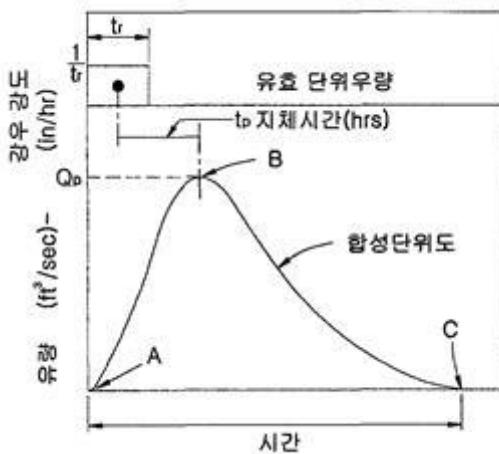
여기서 A 는 유역면적(mi^2), $C_{\{p\}}$ 는 유역특성 변수로서 Appalachian 산맥지역에서는 0.56~0.69의 값을 가지는 것으로 알려져 있다.

Snyder 의 합성단위유량도는 결국 좌표점(0, 0), ($t_{\{PR\}} + 0.5t_{\{R\}}$, $Q_{\{PR\}}$) 및 ($T_{\{R\}}, 0$)을 매끈하게 연결하되 스켓치가 된 단위도 아래의 면적이 1 inch의 직접유출고가 되도록 해야 하며, 이 방법에서 사용되는 단위제도는 영국 단위제이므로 SI 단위제로 계산코자 한다면 단위환산이 필요하다.

미국 육군 공병단(US Corps of Engineers)에서는 Snyder 방법에서 3 점을 사용하여 단위도를 스켓치하는데서 오는 주관적인 오차를 줄이기 위해서 다음과 같은 경험식을 제안하여 4 개점을 추가함으로서 보다 더 객관적인 스켓치가 가능하도록하였다.

$$W_{50} = \frac{770}{q_P^{1.08}} \quad (3.30)$$

$$W_{75} = \frac{440}{q_P^{1.08}} \quad (3.31)$$



<그림 3.16> Snyder 의 합성 단위유량도법

여기서 $W_{\{50\}}$ 와 $W_{\{75\}}$ 는 각각 첨두홍수량의 50% 및 75% 되는 유량에 해당하는 단위도의 시간폭(h)이며, $q_{\{p\}}$ 는 단위유역면적에 대한 첨두홍수량($\text{ft}^3/\text{s}/\text{mi}^2$)이다.

(3) SCS 합성단위유량도법

(가) 이 방법은 미국 토양보존국(US/SCS)이 미계측유역의 유량도를 작성하기 위해서 국내 여러 지역의 대소유역으로부터 유도한 단위도의 특성을 종합하여 만든 무차원 단위도를 이용하는 방법이다.

(나) 이 방법은 <그림 3.17>에 표시된 바와 같은 무차원 수문곡선을 사용하며 이를 위해 첨두홍수량 $Q_{\{P\}}(\text{ft}^3/\text{s})$ 와 유량의 질량중심 시간으로부터 첨두홍수량 발생시각까지의 시간장경 $t_{\{p\}}(h)$ 를 다음 식으로부터 구한다.

$$Q_P = \frac{484 A}{t_p} \quad (3.32)$$

$$t_p = \frac{1}{2} t_r + t_g \quad (3.33)$$

여기서 A는 유역면적(mi^2)이고 $t_{\{g\}}$ 는 유역의 지체시간(lag time, h)이며, $t_{\{r\}}$ 은 유도되는 단위도의 적정 지속시간(h)이다.

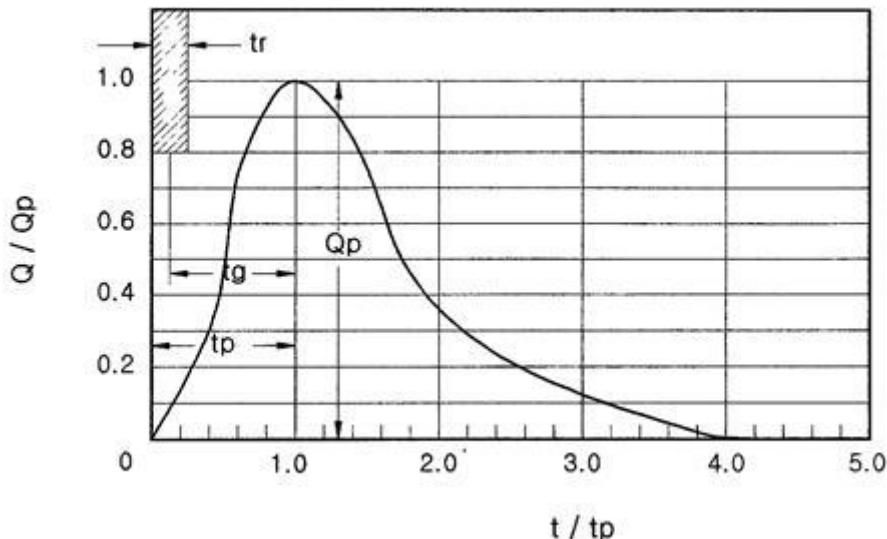
(다) SCS에 의하면 식 (3.33)의 $t_{\{r\}}$ 과 $t_{\{g\}}$ 는 각각 다음의 경험식을 계산하게 되어 있다.

$$t_r = 0.133 t_c \quad (3.34)$$

$$t_g = 0.6 t_c \quad (3.35)$$

여기서, $t_{\{c\}}$ 는 해당 유역의 흉수도달시간(h)를 표시한다.

(라) <그림 3.17>의 표의 형태로 표시한 <표 3.10>의 무차원 시간별 무차원 흉수량의 종거를 사용하여 $t_{\{p\}}$ 와 $Q_{\{p\}}$ 로 차원화하면 Q-t 관계를 얻게 되며 이것이 바로 $t_{\{r\}}$ 시간 합성단위도가 된다.



<그림 3.17> SCS 의 무차원 단위유량도
 <표 3.10> SCS 무차원 단위도의 시간별 종거

t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p	t/t_p	Q/Q_p
0.0	0	0.9	0.990	1.7	0.460	3.0	0.055
0.1	0.030	1.0	1.000	1.8	0.390	3.2	0.040
0.2	0.100	1.1	0.990	1.9	0.330	3.4	0.029
0.3	0.190	1.2	0.930	2.0	0.280	3.6	0.021
0.4	0.310	1.3	0.860	2.2	0.207	3.8	0.015
0.5	0.470	1.4	0.780	2.4	0.147	4.0	0.011
0.6	0.660	1.5	0.680	2.6	0.107	4.5	0.005
0.7	0.820	1.6	0.560	2.8	0.077	5.0	0
0.8	0.930						

(4) 나까야스(中安)의 종합 단위도법

(가) 나까야스(中安)의 종합 단위도법은 US/SCS 방법과 같이 무차원 단위도의 특성치를 일련의 경험공식으로 결정하여 단위도를 합성하는 방법으로 일본내 중소유역을 대상으로 개발되었으며 국내에서도 널리 사용되어 왔다.

(나) 나까야스(中安)는 Horner 와 Flynt 가 소유역에서의 수문자료 분석으로 유도한 단위도를 일본유역에 적용하여 단위도 특성치를 다음과 같이 결정하여 합성단위도를 작도할 수 있도록 하였다. 유효우량의 지속시간, 즉 단위도의 지속시간이 $tr(h)$ 인 단위도는 <그림 3.18>에서와 같이 스케치할 수 있으며 이를 위한 단위도 특성치의 계산공식은 다음과 같다.

$$Q_{\max} = \frac{1}{3.6} \frac{A R_0}{(0.3 T_1 + T_{0.3})} \quad (3.36)$$

여기서 A 는 대상유역의 면적(km^2), $R_{\{0\}}$ 은 단위유효우량(mm)으로 통상 $1 \text{ cm}=10 \text{ mm}$ 가 사용되며, $T_{\{1\}}$ 은 유출시점으로부터 최대유량 Q_{\max} 까지의 시간(h), $T_{\{0.3\}}$ 은 유량이 최대유량의 0.3 배로 감소하기 까지의 소요시간(h)이다.

(다) <그림 3.18>과 같은 단위도의 상승부 곡선은 다음 식으로 표시된다. 즉,

$$0 < t < t_1 \text{ 일 때 } \frac{Q_t}{Q_{\max}} = \left(\frac{t}{T_1} \right)^{2.4} \quad (3.37)$$

(라) 단위도의 하강부곡선은 다음과 같은 3 개의 곡선으로 표시된다. 즉,

$$0.3 < \frac{Q_t}{Q_{\max}} < 1.0 \quad \frac{Q_t}{Q_{\max}} = 0.3^{(t-T_1)/T_{0.3}} \quad (3.38)$$

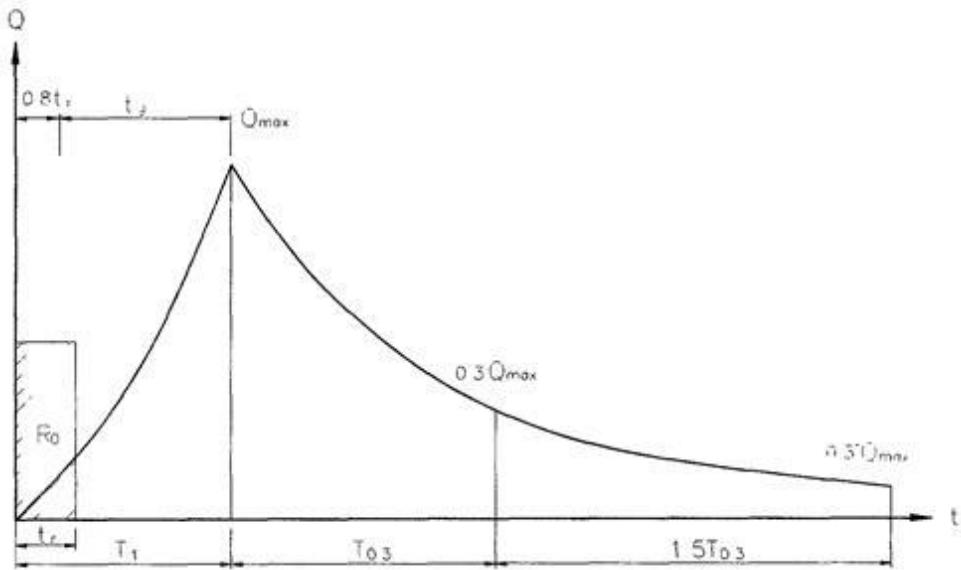
$$0.3^2 < \frac{Q_t}{Q_{\max}} < 0.3 \quad \frac{Q_t}{Q_{\max}} = 0.3^{(t-T_1+0.5T_{0.3})/1.5T_{0.3}} \quad (3.39)$$

$$\frac{Q_t}{Q_{\max}} < 0.3^2 \quad \frac{Q_t}{Q_{\max}} = 0.3^{(t-T_1+0.5T_{0.3})/2.0T_{0.3}} \quad (3.40)$$

(마) 식 (3.37)~식 (3.40)의 $T_{\{1\}}$ 과 $T_{\{0.3\}}$ 은 유역특성인자의 함수로 표시된다.

$$T_1 = t_g + 0.8 t_r \quad (3.41)$$

여기서, $t_{\{g\}}$ 은 유역의 지체시간(h)을 대표하며, 유역의 유로연장(L)의 크기에 따라 다음과 같이 표시된다.



<그림 3.18> 나까야스(中安)의 종합단위도

$$L \leq 15\text{km} \text{ 일 때 } t_g = 0.21 L^{0.7} \quad (3.42)$$

$$L > 15\text{km} \text{ 일 때 } t_g = 0.4 + 0.058 L \quad (3.43)$$

(바) 유량이 최대유량의 0.3 배로 감소하기까지의 소요시간 $T_{0.3}$ 은

$$T_{0.3} = 0.47 (A L)^{0.25} \quad (3.44)$$

여기서, A는 유역면적(km^2)이다.

(사) 식 (3.36)에서 $R_{\{0\}} = 10 \text{ mm}$ 로 하고 $T_{\{1\}}$, $T_{\{0.3\}}$ 을 식 (3.41) 및 식 (3.44)로부터 구하여 $Q_{\{\max\}}$ 을 구한 후 식 (3.37) ~ 식 (3.40)을 이용하면 $t_{\{r\}}$ 시간 단위도의 종거 $Q_{\{t\}}$ 를 구할 수 있어 단위도의 합성이 가능하다.

(아) 나까야스의 종합단위도는 우리나라 유역의 실측자료를 사용하여 검증된 바는 없으나 일본의 하천유역특성이 우리나라 하천유역특성과 비슷하리라는 가정과 국내합성단위도법의 개발이 수문자료 부족으로 현재까지 진행되지 못한 이유 때문에 국내 실무에서 많이 사용되고 있으나 앞으로 검정절차가 필요하며, 사용시 주의를 요한다.

3.3.6 유역 흉수추적법

(1) 개설

(가) 유역 흉수추적법은 대상유역을 한개 혹은 일련의 저수지와 하도로 구성되어 있다고 가정하여 유역으로부터 출구지역으로의 흉수유출량을 저류방정식을 풀이하는 수문학적 흉수추적법에 의해서 계산하는 방법으로 선형방법 혹은 비선형방법 등이 있다.

(나) 유역흉수추적법(watershed routing)은 하천유역을 일련의 저수지 혹은 일련의 저수지와 하도로 구성되었다고 가정하여 각각 지를 통해 다음과 같은 저류방정식(storage equation)이 성립되는 수문학적 흉수추적방법으로 순간단위유량도를 유도한 후 이를 적용하여 특정 호우로 인한 흉수유출 수문곡선을 계산하거나 혹은 저수지로의 유입량을 직접 계산하고, 방정식에 입력하여 유출량을 구함으로서 흉수유출 수문곡선을 얻게 된다. 즉,

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad (3.45)$$

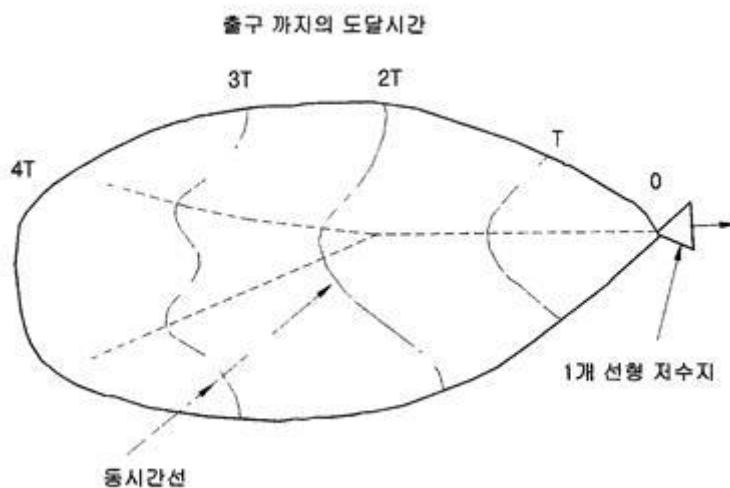
여기서 I 와 O 는 저수지로의 시간별 유입량(m^3/s) 및 유출량(m^3/s)이고 S 는 저수지내(또는 저수지와 하도내) 저류량(m^3 , $(m^3/s) \cdot d$)이다.

(다) 이들 추적방법에는 저수지의 저류량(S)과 유출량(O)의 관계를 선형으로 가정하는 선형모형, 이들 관계를 비선형으로 가정하는 비선형모형이 있으며, 전자에 속하는 대표적인 모형에는 Clark 모형이 있고 후자에 속하는 대표적인 모형은 우리나라 흉수예경보 프로그램에 사용되고 있는 저류함수법이다.

(2) Clark 유역추적법

(가) 기본개념

① Clark 의 유역추적법(watershed routing)은 <그림 3.19>와 같이 해당유역의 출구에 1 개의 저수지가 있다고 가정하여 유역 전반에 순간적으로 내린 단위효우량(1 cm)으로 인한 유수가 단순전이(pure translation)에 의해 저수지에 유입하여 저수지의 저류추적 과정을 거치는 것으로 가정하여 흉수추적을 실시함으로서 유역의 순간단위유량도를 계산하게 된다.



<그림 3.19> Clark model

② 저수지로의 유입수문곡선은 시간-면적곡선(time-area curve)을 이용하여 단순전이에 의해 계산한다.

③ 유역의 순간 단위유량도가 일단 계산되면 원하는 강우지속기간의 단위도로 변환은 정수배방법으로 쉽게 이루어지며, 이를 설계우량 주상도에 적용함으로써 설계홍수수문곡선을 계산할 수 있다.

④ 이 방법을 특정 호우사상에 국한하여 적용코자 할 경우에는 순간 단위유량도의 유도과정을 거치지 않고 시간-면적곡선에 우량주상도를 적용하여 출구저수지로의 유입수문곡선을 계산하고 이 자료를 이용하여 홍수추적을 실시함으로써 직접유역출구지점에 대한 설계홍수 수문곡선을 계산할 수도 있다.

(나) 시간-면적곡선의 작성

① 유역출구 지점의 유출량에 기여하는 시간구간별 배수면적을 표시하는 주상도를 시간-면적주상도(time-area histogram)라 하며, 이는 유역출구까지의 홍수도달시간이 동일한 점을 연결하는 등시간선(isochrone)을 그려 전유역을 몇 개의 소유역으로 구분한 후 작성하게 된다.

② 시간-면적주상도는 <그림 3.20>에서처럼 등시간선에 의한 소유역 구분으로 작성될 수 있다.

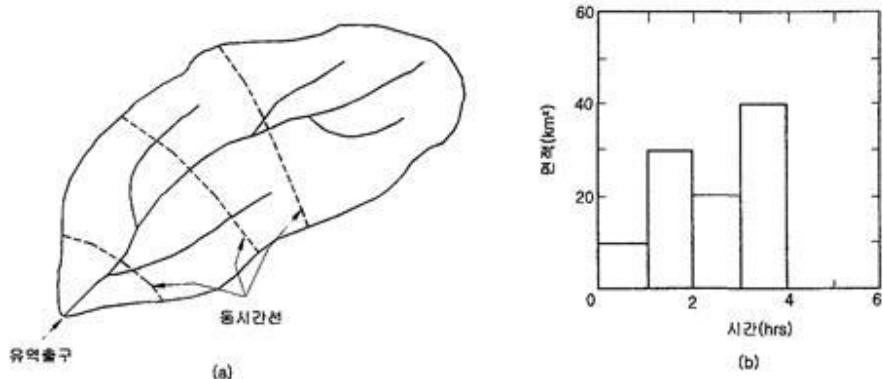
③ 등시간선에 의한 소유역 구분을 위해서는 우선 전 유역의 홍수집중시간(time of concentration) t_c 를 결정해야 하며, 실측유출 수문곡선이 있을 경우에는 <그림 3.21>에서와 같이 결정하고, 없을 경우에는 세계적으로 널리 공표된 여러 가지공식 중에서 우리나라의 여건에 적합한 공식을 선정하여 이용한다. 다만 선정에 판단이 어려울 경우 다음의 식이 판단에 기준이 될 수 있다.

$$t_c = 0.76 A^{0.38} \quad (3.46)$$

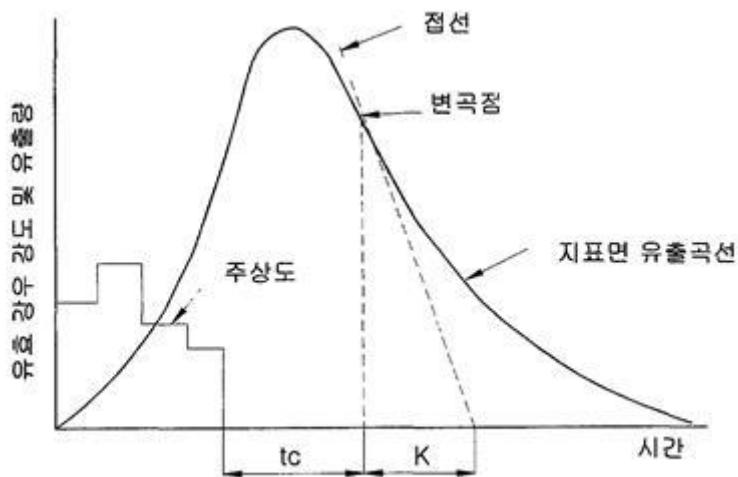
여기서, t_c 는 홍수 집중시간(h), 거는 유역면적(km^2)이다.

④ 전유역의 집중시간(t)이 결정되고 나면 유로연장(L)을 t 로 나눔으로써 평균유속(V)을 계산할 수 있으며, 유로를 따른 홍수류의 평균유속이 전 하도구간에 걸쳐 대체로 일정하다고 가정하고(수원부에서는 약간 빠르다고 가정할 수도 있음) 본류를 따라 등시간구간으로 구분하며, 지표면을 통한 유하속도는 하도에서의 유하속도 보다 느리고 경사가 대체로 큰 지류하천에서의 유속은 본류하도에서 보다는 빠른 점을 감안하여 적절한 판단으로 등시간선을 그리게 된다.

⑤ 작성된 등시간선으로 전유역을 여러개의 소유역으로 구분하고 나면 등시간선간의 면적을 도상에서 측정하여 전시간폭이 t_c 인 시간-면적주상도를 얻게 된다.



<그림 3.20> 시간-면적곡선의 작성



<그림 3.21> K 및 C 값의 정의

(다) 유역추적에 의한 순간 단위유량도의 유도

① Clark 방법에 의한 유역의 순간 단위유량도는 <그림 3.20>과 같은 유역에 순간적으로 내리는 단위유효우량(1 cm)으로 인한 유역출구점으로의 유입 흥수 수문곡선을 계산하여 이를 출구부에 가정한 선형저수지를 통해 흥수추적 하여 유도한다.

② <그림 3.20>과 같은 유역에 순간적으로 내리는 단위유효우량으로 인해 유역출구지점의 저수지로 등시간 구간 Δt 시간 동안 유입하는 흥수량은 다음 식으로 표시된다.

$$I_i = \frac{1}{3.6} \frac{A_i}{\Delta t} \quad (3.47)$$

여기서, $I_{\{i\}}$ 는 시간구간 i 에 있어서의 유입량(m^3/s)이며, A_i 는 i 번째 시간구간에 포함되어 있는 소유역면적(km^2)이다.

③ 선형저수지 가정에 의하면

$$S = KO \quad (3.48)$$

여기서, S 는 저수지의 저류량($m^3/s + h$), O 는 저수지로 부터의 유출량이며, K 는 저수지의 저류상수(h)이다.

④ 식 (3.48)을 저류방정식에 넣고 계산시간 구간 Δt 단위별로 유출량을 계산하는 식으로 정리하면

$$O_2 = m_0 I_2 + m_1 I_1 + m_2 O_1 \quad (3.49)$$

여기서, $I_{\{1\}}, I_{\{2\}}$ 는 시간구간 Δt 의 시점 및 종점시각에서의 유입량(m^3/s)이고 O_1, O_2 는 각각 유출량(m^3/s)을 표시한다.

⑤ 또한,

$$m_0 = \frac{0.5 \Delta t}{K + 0.5 \Delta t} \quad (3.50)$$

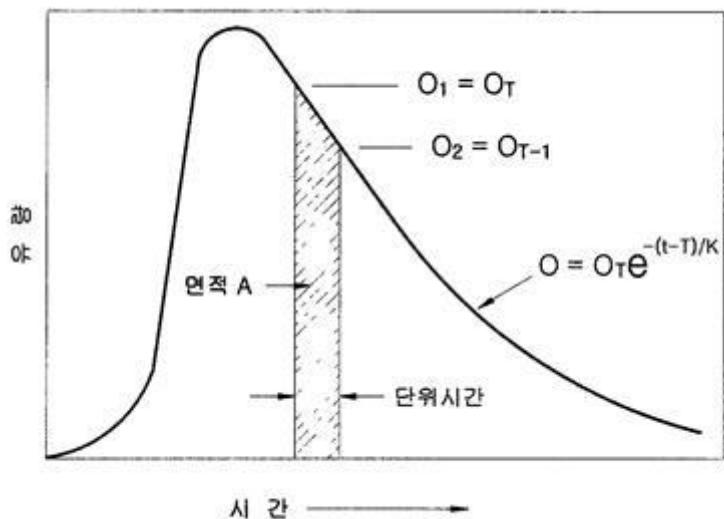
$$m_1 = \frac{0.5 \Delta t}{K + 0.5 \Delta t} \quad (3.51)$$

$$m_2 = \frac{K - 0.5 \Delta t}{K + 0.5 \Delta t} \quad (3.52)$$

⑥ 식 (3.49)에 의한 추적계산을 위해서 $O_1 = 1$ 로 하여 계산을 시작하며 $m_{\{0\}}, m_{\{1\}}, m_{\{2\}}$ 는 식 (3.50) ~ 식 (3.52)에 의해 계산해야 하므로 저류상수 K 값의 결정이 필수적이다.

(라) 저류상수의 산정

① clark 의 흡수추적에 필요한 저류상수 K 는 유역출구에 대한 흡수수문곡선 실측자료가 있을 경우와 없을 경우 각각 상이한 방법으로 추정한다.



<그림 3.22> K 값의 결정

② 흥수수문곡선 자료가 있을 경우

ⓐ 첫번째 방법은 <그림 3.22>에 표시한 바와 같이 수문곡선의 변곡점에서의 유량 $Q_{\{T\}}$ 를 그 점에 그은 접선의 경사(dQ/dt)로 나누어주는 방법이다. 즉,

ⓑ 두번째 방법은 <그림 3.22>에서와 같이 변곡점으로 부터 미소 시간 ΔT 만큼 떨어진 시간구간의 수문곡선하 면적 $A(\text{m}^3/\text{sec} \cdot \text{hr})$ 를 ΔT 의 시점 및 종점시각 유량차 ($O_1 - O_2$), (m^3/sec)로 나누어주어 계산하는 방법이다. 즉,

$$K = \frac{-O_T}{(dO/dt)_T} \quad (3.53)$$

$$K = \frac{A}{(O_1 - O_2)} \quad (3.54)$$

ⓒ 세 번째 방법은 순수히 직접수문곡선의 감수곡선의 특성에만 의존하는 방법으로 <그림 3.22>의 시간구간이 단위시간인 1 시간이라고 할 경우 O_1 과 O_2 의비로 저류상수를 정의하는 것이다. 즉,

$$K = -\frac{1}{\ln(O_1/O_2)} \quad (3.55)$$

ⓓ 이상의 방법은 이론적으로는 타당하나 실제 자료로부터 K 값을 계산할 경우 수문자료나 분석자에 따라 너무 큰 편차를 보이므로 사용에 주의를 요한다.

ⓔ 대부분의 경우 이들 수문실측 자료가 없는 것이 보통이므로 다음과 같은 경험식으로 추정하는데 실제로 상수의 선택 범위가 넓기 때문에 사용에 주의를 요한다.

$$K = C \frac{L}{\sqrt{S}} \quad (3.56)$$

여기서, L 은 유역연장(km), A 는 유역면적(km^2), S 는 유로경사(%), C 는 0.5~1.4 범위를 가지는 상수이다.

④ 우리나라의 경우는 Clark 의 유역추적법을 설계홍수량의 결정에 많이 사용하고 있으나 K 값이나 전술한 바 있는 $t_{\{c\}}$ 의 결정을 위한 지역공식이 아직 개발되어 있지 못한 것이 실정이므로 현명한 공학적 판단을 요한다.

3.3.7 유입설계 홍수의 계산 절차

(1) 설계 대상 홍수의 규모 결정

(가) 댐의 설계 대상 홍수의 규모는 댐 건설비(cost)와 댐 하류의 인명 및 재산에 대한 안정성(safety)을 상대적으로 고려하여 적절히 결정해야 한다.

(나) 댐의 여수로나 댐 마루 높이를 설계하기 위한 대상 홍수의 크기는 댐 건설에 소요되는 비용을 가급적 최소화하면서 댐의 안전성을 보장받을 수 있는 크기로 해야 한다. 댐의 안전성의 보장은 댐의 가상 파괴로 인한 인명 및 재산 피해를 방지함으로서 얻게 되는 편익을 의미하는 것으로 예상 피해액이 막대할 경우에는 댐의 안전성 보장이 댐 건설비의 절감보다 우선 고려되어야 한다.

(다) 일반적으로 댐 건설비와 댐의 안전성을 조화 있게 고려하여 댐의 설계기준 빈도를 일률적인 방법으로 결정할 수는 없으므로 댐의 가상 피해로 인한 인명 및 재산의 피해정도와 댐의 크기 등을 고려하여 과거의 공학적 및 경제적인 경험을 기준으로 하여 설계 대상 홍수를 결정할 수밖에 없다.

(라) 대규모 댐의 경우는 댐의 가상 파괴로 인한 인명 및 재산의 피해가 막대하므로 PMF 를 설계대상 홍수로 선택해야 하며 소규모 댐의 경우도 피해가 막대할 것으로 예상될 경우에는 PMF 혹은 50% PMF 이상을 택해야 한다.

(마) 가배수 시설이나 소규모 취수 댐 등과 같은 소규모 구조물의 경우는 빈도 유량을 설계대상 홍수로 선택할 수도 있으나 세심한 주의를 요한다.

(2) 유입 설계홍수의 계산

(가) 저수지로의 유입 설계 홍수의 규모가 선택되면 그 규모에 상응하는 설계강우를 결정하여 적절한 강우-유출 관계 모형에 의해 유출계산을 함으로서 저수지 유입 설계홍수 수문곡선을 작성하게 되며, 이 때 첨두유량을 유입설계 홍수량으로 채택한다.

(나) 댐 인근 지점에 대한 연 최대치 홍수량 자료가 충분히 있을 경우 확률 홍수량의 결정은 홍수빈도해석에 의할 수도 있다.

(다) 저수지 유입 설계홍수량의 계산을 설계대상 홍수규모에 상응하는 설계강우를 적절한 강우-유출관계 모형에 의해 설계홍수로 변환시켜 결정할 수도 있고 연 최대 홍수량 자료계열의 작성이

가능할 경우 흡수빈도해석에 의해 확률 흡수량을 결정할 수도 있다. 우리나라의 경우 흡수빈도해석에 의한 확률 흡수량 결정은 흡수량 자료의 부족으로 거의 어렵기 때문에 대부분의 경우 강우-유출 관계 모형에 의한다.

(라) 저수지 유입 설계흡수의 계산 절차를 요약하면 다음과 같다.

① 설계 대상 흡수의 규모 결정

전 절 3.3.7 의 (1)에서 기술한 바와 같이 설계대상 흡수의 규모를 PMF 혹은 특정 재현기간의 확률 흡수량으로 선정한다.

② 설계강우량 및 강우지속기간의 결정

강수량의 발생빈도와 강우량의 발생빈도가 동일하다고 가정하여 1 의 흡수규모에 상응하는 설계강우를 유역의 강우지속기간을 고려한 설계강우량의 형태로 결정한다. PMP 의 경우는 「한국 가능최대 강수량도」를 기준으로 결정하며, 확률 강우량의 경우는 「한국 확률 강우량도」를 사용하거나 혹은 유역의 특정 강우지속기간에 해당하는연 최대 강우량 자료계열의 빈도해석에 의한다.

③ 설계 강우량의 시간 분포

전술한 방법(절 3.2.4 의 (4))에 의해 ②에서 결정한 설계 강우량을 시간적으로 분포시켜 설계우량 주상도를 작성한다.

④ 설계 유효우량 주상도의 작성

③의 설계유량 주상도로부터 적절한 유효우량 산정방법(절 3.3.3)을 사용하여 손실우량을 분리시킴으로써 설계 유효우량 주상도를 작성한다.

⑤ 강우-유출 모형에 의한 직접유출 수문곡선의 계산

ⓐ 강우-유출 모형에는 간단한 단위 유량도 개념을 사용하는 모형에서부터 복잡한 컴퓨터 모형에 이르기까지 여러 가지가 있으나 국내 실무의 경우는 단위도를 이용한다.

ⓑ 대상유역의 단위유량도를 직접 유도(절 3.3.4)하거나 합성단위도법 혹은 유역 흡수추적법(절 3.3.5~6)에 의해서 유도하여 설계 유효우량 주상도를 이에 적용함으로서 직접유출 수문곡선을 계산한다.

⑥ 기저 유량 곡선의 추정

댐 지점에서의 흡수기 기저유량 곡선을 적절히 추정한다. 종소규모 유역의 경우 기저유량은 흡수량의 크기에 비해 상대적으로 작으나 무시할 수 없을 정도로 중요하다. 기저유량은 일반적으로 평균적인 기저유량보다 큰 값을 사용한다.

⑦ ⑤에서 계산된 직접유출 수문곡선과 ⑥의 기저유량 곡선을 더하여 유입 설계흡수 수문곡선을 작성하게 되며, 이 때의 첨두흡수량이 저수지 설계 유입흡수량이 된다.

3.3.8 저수지 흡수 추적 절차

(1) 일반사항

(가) 저수지 유입 설계홍수 수문곡선으로부터 댐 여수로를 통해 방류되는 홍수 수문곡선을 계산하기 위해서는 저수지 홍수추적 절차를 거치게 된다.

(나) 저수지로 유입되는 시간별 홍수는 저수지의 저류효과로 인해 그 크기가 둔화되고 발생시각도 자체되므로 홍수방류 지점인 여수로를 통과할 때의 홍수수문 곡선은 유입 설계홍수의 수문곡선과 달라진다. 따라서 댐 여수로의 설계나 저수지의 운영조작을 위해서는 저수지 홍수추적으로 이를 계산하게 된다.

(2) 저류방정식

(가) 저수지로 유입하는 홍수류는 저수지의 저류효과로 인하여 첨두홍수량이 감소되고 발생시각도 자체되며, 이 현상의 지배방정식은 저류 방정식으로 표시된다. 즉,

$$\bar{I} - \bar{O} = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (3.57)$$

여기서 \bar{I} 및 \bar{O} 는 각각 미소시간 Δt 동안에 저수지로의 평균유입량 (m^3/s) 및 저수지로 부터 방류되는 평균유출량 (m^3/s)이며, ΔS 는 Δt 시간 동안의 저류량($m^3/s \cdot d$)의 변화량이다.

(나) 저수지 홍수추적의 기본방정식은 식 (3.57)로 표시되며, 미소시간 구간 Δt 의 시점시각 $t_{\{1\}}$ 과 종점시각 $t_{\{2\}}$ 에서의 유입량을 $I_{\{1\}}$ 및 $I_{\{2\}}$, 유출량을 $O_{\{1\}}$ 및 $O_{\{2\}}$, 저류량을 $S_{\{1\}}$ 및 $S_{\{2\}}$ 라 하면 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{1}{2} (I_1 + I_2) \Delta t - \frac{1}{2} (O_1 + O_2) \Delta t = S_2 - S_1 \quad (3.58)$$

(다) 식 (3.58)에서 Δt 시간구간의 I_1, I_2, O_1 을 알고 O_2 를 계산하는 과정이 홍수추적이며 이를 위해서는 저류량 S 와 유출량 O 사이의 관계가 추가로 필요하다. 식(3.58)을 O_2 에 관해 풀이하는 방법에는 여러 가지가 있으나 가장 널리 사용되고 있는 방법은 저류지표법(storage indication method)이다.

3) 저류지표법에 의한 저수지 홍수추적 절차

(가) 홍수추적 기본식의 변형 및 추적 절차

① 댐 수문에 의한 방류량의 조절이 없는 경우 저류지표법의 기본방정식은 식 (3.58)을 변형시킨 다음 식으로 표시된다.

$$\frac{1}{2} (I_1 + I_2) \Delta t + (S_1 - \frac{1}{2} O_1 \Delta t) = S_2 + \frac{1}{2} O_2 \Delta t \quad (3.59)$$

혹은

$$\frac{1}{2} (I_1 + I_2) \Delta t + (S_1 + \frac{1}{2} O_1 \Delta t) - O_1 \Delta t = S_2 + \frac{1}{2} O_2 \Delta t \quad (3.60)$$

식 (3.60)에서 추적구간 Δt 에 대한 I_1, I_2, O_1 알고 저수지의 $S \sim O$ 관계가 수립되면 O_2 를 계산할 수 있어서 축차적으로 흡수추적을 할 수 있다.

② 식 (3.60)을 다시 쓰면

$$\frac{1}{2} (I_1 + I_2) \Delta t + (SI)_1 - O_1 \Delta t = (SI)_2 \quad (3.61)$$

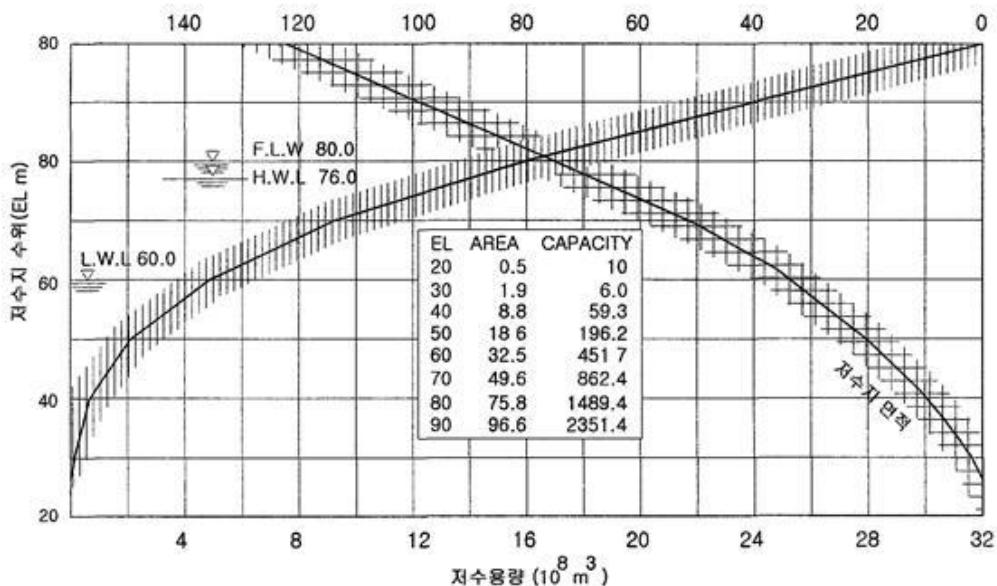
여기서, $SI (= S_1 + 1/2 O_1 \Delta t)$ 은 저류지표(storage indication)라 하고, 단위는 ($m^3/s \cdot d$)가 된다.

③ 저류지의 저류특성 변수인 S 와 방류특성 변수인 O 사이의 관계($S \sim O$ 관계)가 수립되면 시각 $t_{\{1\}}$ 에서의 I_1, O_1, S_1 과 t_1 에서의 I_2 가 기지값이 되므로 식 (3.61)로 부터 (SI_2) 가 계산되며 O_2 는 $(SI) \sim O$ 관계로부터 직접 계산하거나 혹은 컴퓨터내에서 $(SI) \sim O$ 관계도표를 미리 작성하여 이로부터 직접 읽을 수 있다.

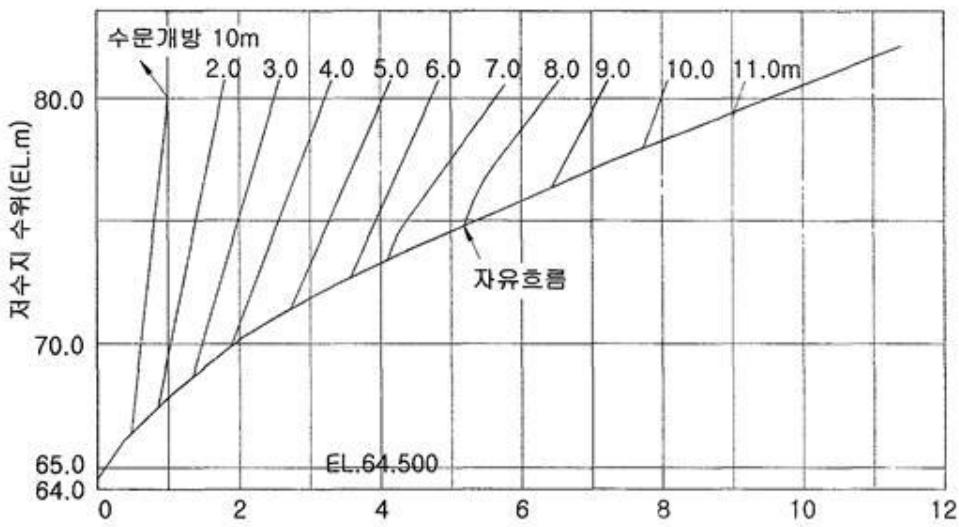
(나) 저류량과 방류량간의 관계 설정

① 저수지의 저류량과 방류량 간의 관계는 저수지내 수면표고별 저류량 곡선과 방류량 곡선을 사용하여 설정할 수 있으며, 저류지표(SI) ~ 방류량(O)사이의 관계도 이로부터 수립할 수 있다.

② 저수지의 저류지표(SI)와 방류량(O)사이의 관계는 다음 절차에 의해서 수립이 가능하다.



<그림 3.23> 대청댐 저수지의 저수위별 저수용량 및 수표면적 곡선



<그림 3.24> 대청댐 저수지 수면표고별 여수로 방류량 곡선

Ⓐ <그림 3.23>와 같은 저수지의 저류특성곡선을 지형도 혹은 측량에 의해 작성한다.

Ⓑ <그림 3.24>과 같이 수문에 의한 방류량의 조절이 있는 경우와 없는 경우(수문개도별)로 나누어 방수로 및 여수로의 수리모형실험 결과로 부터 수면표고별 방류량곡선을 작성한다.

Ⓒ <그림 3.23>과 <그림 3.24>의 수면표고(H)별 저류량(S)과 방류량(O)을 사용하고 추적기간 Δt 를 설정하여 수면표고별 저류지표(SI)를 도표화한다.

(다) 댐 수문에 의한 조절방류시 저수지 흥수추적

① 댐 수문의 개도에 따라 방류량을 조절할 경우에는 다음의 흥수추적 방정식으로 추적하며, 추적점차는 자유흐름의 경우와 유사하다.

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2) \Delta t + (SI)_1 - O_1 \Delta t - O_{\{y\}} \Delta t = (SI)_2$$

여기서, O_1 과 O_2 는 조절되지 않은 방류량이며, $O_{\{y\}}$ 은 Δt 시간 기간 동안의 평균조절방류량(m^3/s)이다.

② 댐 수문에 의해 방류량을 조절할 경우에는 저수지의 운영조작 기준에 의해 수문조작을 하게 되며, 두 가지 경우로 나눌 수 있다. 첫번째 경우는 댐으로부터의 방류가 수문으로 조절되는 여수로와 자유흐름 상태의 여수로의 두 가지로 되어있을 경우로서 식 (3.62)에 조절방류량 $O_{\{y\}}$ 을 시간 구간별로 지정해 주고 O_2 를 계산하면 된다.

③ 두번째의 경우는 자유방류는 없고 수문에 의한 조절방류만을 할 경우로서 식(3.62)의 O_1 및 O_2 항이 없어지므로 다음과 같은 식이 된다.

$$\frac{1}{2}(I_1 + I_2) \Delta t + (S_1 + \frac{1}{2} O_{\{y\}} \Delta t) - O_1 \Delta t = (S_2 + \frac{1}{2} O_{\{y\}} \Delta t) \quad (3.63)$$

여기서 $S + \frac{1}{2} O_{\{r\}} \Delta t = (SI)_{\{r\}}$ 은 조절방류에 대한 저류지표에 해당하며, <그림 3.16>의 수문개도별 방류곡선과 저류량곡선을 사용하여 계산해야 하며, $(SI)_{\{r\}} \sim O_{\{r\}}$ 의 관계 도표의 작성이

필요하다. 이하의 흉수추적 계산절차는 자유흐름의 경우와 동일하다.

(4) 저수지 흉수추적시 기타 고려사항

(가) 저수지 흉수추적 계산에 있어서 계산시간 구간인 추적기간 Δt 와 계산시점에 있어서의 방류량의 결정은 계산의 신뢰도에 영향을 미치므로 이의 결정에 유의함이 좋다.

(나) 흉수추적 방정식에서 추적기간 Δt 시간 동안의 유입량 및 유출량이 직선적으로 변한다고 가정하므로 Δt 는 가급적 짧게 잡는 것이 좋으나 계산량을 고려하여 흉수파가 저수지를 통과하는데 소요되는 시간의 약 1/2 ~ 1/3로 정하는 것이 좋다.

(다) 계산시점에 있어서의 방류량은 추적계산 전과정에 영향을 미친다. 실시간 흉수유출계산의 경우는 계산시점에서 저수위에 해당하는 방류량을 택해야 하나 설계측면에서 흉수유출 계산을 할 경우에는 저수지의 제한수위 혹은 상시만수위에 해당하는 방류량을 시점 유출량으로 택하는 것이 좋다.

3.4 댐 위치와 댐 형식의 결정

3.4.1 댐 위치의 결정

(1) 일반

(가) 댐 위치는 댐의 입지에 대한 기술적인 사항 뿐만 아니라 댐 개발지역의 사회, 경제, 자연환경 및 정치적인 사항까지를 고려하여 결정해야 한다.

(나) 댐 개발 계획은 하천을 최대한으로 이용하기 위한 장기적이고도 종합적인 하천유역 개발 계획하에서 수립할 필요가 있다. 댐의 위치는 하천유역 종합개발계획에 포함되어 있는 많은 후보지점을 조사하여 댐 건설에 관련되는 비용과 편익을 비교 검토하여 가장 경제적인 댐 건설이 가능토록 위치를 선정함이 좋다. 이때에는 댐의 경제성뿐만 아니라 기술적, 사회적, 정치적인 고려 뿐 아니라 자연 환경의 보전측면도 신중히 고려해야 한다.

(2) 댐 위치 결정에 고려할 사항

(가) 댐 위치는 댐 개발 목적과의 적합성, 지형 및 지질 등의 자연조건과 공사상의 문제점, 지역경제와의 연관성과 기득 수리권과의 조정문제, 장래개발 가능성과의 연관성, 단일댐 개발과 댐군 개발의 비교, 자연환경과의 조화와 보전을 면밀히 검토하여 결정하여야 한다.

(나) 댐 개발 목적과의 적합성

댐 위치는 댐의 개발목적에 따라 달라질 수 있다. 다시 말해 댐 위치는 댐이 흉수조절이나 용수공급을 목적으로 할 경우에는 가급적 수혜지(受惠地)에 가까운 지점, 즉 하천의 중·하류부에 선정하는 것이 바람직하며, 수력발전 댐의 경우에는 다소 전력 수요지로 부터 멀더라도 큰 낙차를 얻을 수 있는 상류부에 위치시키는 것이 좋다. 다목적 댐의 경우는 여러 가지 사업목적을 충분히 고려하여 댐 위치를 결정할 필요가 있으나 적정 댐 위치 그 자체가 한정된 자원이라는 점을 감안하여 신중을 기해야 한다.

(다) 지형 및 지질 등의 자연조건과 공사상의 문제점

댐 위치는 그 개발 목적에 따라 필요한 저수용량이나 낙차를 확보할 수 있어야 하고 경제적으로도 가장 유리한 지점을 선정해야 한다. 이를 위해서는 충분한 저수용량이 확보될 수 있는 지형으로 댐 지점의 양안이 좁고 댐 체적이 작아지는 지형을 가진 곳, 기초지반이 댐 하중을 안전하게 지탱함은 물론 차수성이 뛰어나고 장차 열화(劣化)의 우려가 없는 곳, 공사재료를 용이하게 인근에서 획득할 수 있는 곳 등의 댐 설치지점이 단층 또는 지층이 향사구조(向斜構造)이거나 지진발생 예상지역일 경우는 댐 위치선정에 특별히 유의하여야 하며 충분한 조사, 분석 및 대책을 수립해야 한다.

또한 댐의 형식이 필댐(fill dam)의 경우에는 흉수를 안전하게 소통시키기 위한 여수로의 설치 편의성 등도 중요한 고려요소가 된다. 그 외 공사중의 기상조건이라든지 수송조건 등도 댐 위치 선정에 간접적인 영향을 미친다.

(라) 지역 경제와의 연관성과 기득 수리권과의 조정

댐이 건설되면 그 건설 목적에 따라 사업지역에 파급되는 경제적 영향은 지대하다. 댐 위치가 공학적으로 아무리 적절하게 선정되었다고 하더라도 대규모의 중요한 농지나 도시, 촌락, 철도, 도로, 광산, 삼림, 발전소, 관광지, 문화재 등이 수몰로 인해 큰 영향을 미칠 경우에는 부득이 재검토를 해야할 경우가 생긴다. 또한, 댐은 하천유출을 인공적으로 조절하게 되기 때문에 하류의 기득수리권자의 물 이용권리를 보장해 줄 수 있어야 한다. 따라서, 댐 위치의 선정에 있어서는 상 · 하류지역 전체에 걸친 복잡한 사회 · 경제에 미치는 영향에 대한 충분한 배려가 필요하다.

(마) 장래 개발 가능성과의 연관성

댐 위치를 결정할 경우 당면한 수요를 충족시키기 위해서 장래의 개발 가능성을 희생시키지 않으면 안될 경우도 생긴다. 양호한 댐 지점은 유한한 자원이라 생각할수 있으므로 전체적인 종합개발 계획에 따라 수자원의 최적 개발이 되도록 개발의 우선순위를 고려할 필요가 있다.

(바) 단일댐 혹은 댐군 개발의 선택

필요한 저수용량을 본류 하천에 단일댐을 개발하여 확보할 것인지 혹은 지류를 포함한 몇 개의 댐군을 개발하여 확보할 것인지는 사업의 목적 및 유역종합 개발상의 여러 요소들과 연관되어 있으므로 댐의 종합 개발을 가정하여 충분한 경제 분석에 의해 신중히 결정해야 한다.

(사) 자연 환경과의 조화와 보전

댐 위치의 선정에 있어서 댐이 거대한 인공 구조물이라는 점을 인식하여 그 위치는 물론 댐 높이라든지 댐 형식과 함께 주위의 자연환경과 조화를 이루도록 주의해야 할 필요가 있다. 뛰어난 자연환경은 당연히 보전되어야 하며, 자연을 개조하여 인류의 발전에 기여하는 것이 건설공사의 주된 목적이지만 가능한 한 자연과의 조화를 꾀하면서 자연을 보전할 수 있고 또한 소기의 목적을 달성할 수 있는 댐 지점을 선정토록 해야 한다.

(아) 생태계보전

하천에 댐의 구축은 하천생태계 및 육상생태계에도 미치는 영향이 매우 크며 어류같은 생태계는 댐위치를 중심으로 단절될 가능성이 크다. 하천은 여러가지 생물체가 살고 있는 서식공간인 복합적인 생태계이기 때문에 댐 지점선정에 있어서 가능한 생태계의 영향을 최소화 할 수 있는 지점을 선정토록 해야 한다.

3.4.2 댐 형식의 결정

(1) 댐 형식의 결정을 지배하는 물리적 인자

(가) 댐의 형식은 직접적으로는 댐 지점의 지형, 지질, 환경, 기상, 수문, 지진 등의 자연적 조건과 축제 재료의 부존도, 교통관계 등의 지역조건에 의해 좌우되지만, 간접적으로는 댐의 건설 목적, 규모, 공사기간, 기술력, 노동력, 건설장비 등의 조건에 의해서도 영향을 받는다.

(나) 댐 형식의 결정에 있어서는 여러 가지 복잡한 요소가 서로 영향을 미치므로 종합적으로 판단할 필요가 있으며, 특정지점에 최적의 형식을 선정하기 위해서는 댐지점의 물리적 특성, 댐 건설 목적에 대한 적합성 및 경제성, 안전성 등 부대적인 조건에 대해 여러가지 댐 형식의 특성을 충분히 검토해야 한다. 댐 형식의 선정에서 고려할 주요 물리적 인자를 살펴보면 다음과 같다.

① 지형

댐 형식의 선정은 댐 지점의 지형에 크게 영향을 받는다. 하천 골짜기의 횡단형상은 댐의 경제성에 관계가 있으며, 평면적으로 본 양안의 등고선 형상은 댐의 안전성에 관계가 있다. 댐의 양만이 높은 암석으로 되어 있으면서 폭이 좁으면 콘크리트댐이 적합하며, 아치댐은 하천 골짜기의 평면 형상이 아치응력을 안전하게 지지할 수 있는 곳이어야 한다. 필 댐의 경우에는 대형 건설 중장비가 능률적으로 작업할 수 있도록 비교적 넓은 계곡이 적당하다. 여수로의 설치 위치는 댐 지점의 지형조건에 의해 결정되며, 이는 댐 형식을 결정하는데 대단히 중요한 인자가 되기도 한다.

② 지질 및 기초 상태

기초의 상태는 지질특성 및 댐 중량을 지탱하는 지층의 두께, 경사, 투수성 및 그 하부층과의 관계, 단층 및 균열층 등에 좌우된다. 기초에 의해 어느 정도 댐 형식이 한정되지만 그 제약은 댐 높이를 고려한다면 완화할 수도 있다.흔히 접하게 되는 댐 기초의 종류에는 다음과 같은 것이다.

ⓐ 견고한 암반기초

지지력 및 침식과 투수에 대한 저항력이 비교적 큰 기초로서 댐 형식에 대한제약은 적다. 자연환경 등의 조건이 허용되는 경우에는 댐 재료, 혹은 공사비의 경제성이 큰 결정 요소가 된다. 그라우팅(grouting)에 의한 균열부의 처리 풍화암석의 제거 등이 필요한 경우가 많다.

ⓑ 사력기초

사력기초는 잘 처리하면 흙댐이나 사력댐, 혹은 낮은 콘크리트 중력댐에 적합하다. 사력기초는 통상 투수율이 높으므로 효과적인 지수벽(止水壁)을 설치하는 등의 주의를 요한다.

ⓒ 실트 혹은 모래기초

이 기초는 낮은 콘크리트 중력 댐 및 흙댐의 기초로서 이용할 수도 있지만 사력댐에는 적합하지 않다. 이 기초의 주된 문제점은 침하, 관공작용(貫孔作用)의 방지, 투수량의 과다 및 기초의 침식방지 등이다.

ⓓ 점토 기초

이 기초는 흙댐의 기초로서 사용할 수 있지만 특수한 처리를 요한다. 점토기초 지반내에 함수량(含水量)이 많으면 댐의 침하량이 매우 크므로 일반적으로 콘크리트 댐에는 적합하지 않으며, 사력댐에도 적합하지 않다. 바닥다짐 특성 및 하중 저지력을 파악하기 위해 자연상태 하에서의 기초시험을 행하는 것이 좋다.

④ 불균일 기초

기초가 균일하지 않고 암석과 부드러운 물질이 혼재하는 이른바 불균일 기초의 경우라도 특수한 설계에 의해 대처할 수도 있으나 이러한 기초는 가급적 댐 기초로서는 부적합하므로 피하는 것이 좋다.

③ 수문 및 기상

수문 및 기상조건 중에서 댐 형식의 결정에 영향을 미치는 인자는 다음과 같다.

ⓐ 강수와 습도

댐 지점의 강수와 습도는 필댐의 형식선정에 있어서 공사기간에 주로 영향을 미친다. 그러나 최근 토공기계의 발달에 따라 비교적 점토분이 적은 토질재료가 수밀성 코어(core)로 사용되므로 적어도 사력댐의 경우에 대해서는 이러한 제약조건은 점차로 감소하고 있다.

ⓑ 기온

기온의 변화와 그 상·하한치는 콘크리트의 온도응력과 설계 외력으로서의 빙압(冰壓) 등에 영향을 미치지만 설계에서 충분히 처리할 수 있으므로 댐 형식을 좌우하지는 않는다. 그러나 동결 융해에 의한 콘크리트의 열화(劣化)는 중대한 문제이며, 부벽식 댐과 같이 두께가 얕은 콘크리트 댐 형식의 선정에 있어서는 주의를 요한다.

ⓒ 공사중의 홍수

공사 중에 홍수가 댐 제체를 월류할 위험이 있을 경우에는 필댐, 특히 흙댐은 불리하다. 그러나 가배수로 및 가물막이 등을 크게 하는 등의 조치를 취하면 공사비는 약간 커지지만 적절히 대처할 수 있는 경우가 많다.

ⓓ 사용재료

댐 지점 혹은 그 근처에서 구해야 할 댐 재료에는 축제용 흙, 암석 및 콘크리트 골재 등이 있다. 공사용 재료 중에서 특히 많은 양이 사용되는 재료의 운송비를 절감할 수 있으면 전체 공사비를 상당히 절감시킬 수 있다. 댐 지점으로부터 가까운 거리의 장소에서 충분한 양을 구할 수 있는 재료의 형태에 따라서 형식이 결정되는 경우가 많으며 따라서 자연환경의 보전을 충분히 고려하여 댐 재료를 채취하는 장소의 수를 결정할 필요가 있다. 콘크리트의 생산에 적합한 모래와 자갈을 쉽게 구할 수 있는 경우에는 콘크리트 댐이 유리하며, 필댐에 적합한 흙과 암석이 가까운 곳에서 얻어진다면 필댐이 유리하다. 완성될 구조물의 기능과 품질의 유지는 물론이고 자연환경에 부합되도록 하면서 공사비를 최소화 할 수 있도록 댐 지점 인근의 모든 댐 재료를 활용할 수 있도록 해야 한다.

ⓔ 여수로의 크기와 위치

여수로는 댐에서 빼어 놓을 수 없는 부속 구조물로서 그 크기와 형식 및 배치에 관한 자연적인 제약이 댐 형식의 결정에 지배적인 요소가 되는 경우가 많다. 규모가 큰 여수로의 공사비는

때때로 총 공사비의 상당한 부분을 차지할 수 있으므로 여수로와 댐 본체를 일체로 하여 시공함으로서 공사비를 절감할 수 있으며, 이를 위해서는 월류형 콘크리트 댐이 적절하다. 한편 분리형 여수로 시설을 계획할 경우, 굴착도를 댐 본체의 축조재료로 사용할 수 있으므로 흙댐을 선택하는 것이 유리할 수도 있다. 또한 소형 여수로로 흉수배제가 충분할 경우에는 흙댐이나 사력댐이 유리하다. 흙댐이나 사력댐 등 필댐의 본체에 연결하여 월류형 콘크리트 여수로를 설치하는 것은 대체로 피하는 것이 좋은 것으로 되어있다. 왜냐하면, 이러한 구조는 저수지로 인한 하중이 댐에 재하되었을 때 댐 본체 및 기초지반의 부등압밀로 인한 부등침하가 발생할 위험이 있을 뿐 아니라 이로 인한 콘크리트 이음부나 균열을 통하여 제체로 누수가 발생할 가능성 및 계절에 따른 시공조건이 상이하기 때문에 분리형 여수로의 경우보다 공정이 지연되게 된다. 가끔 선택되는 여수로의 노선으로 댐 본체의 좌·우안 끝단을 벗어나 굴착된 방수로와 연계시키는 방법이 있는데, 이 경우는 비월류형 여수로로 할 수 있으므로 흙댐이나 사력댐 등의 필댐 형식을 선택할 수 있다.

⑥ 유수전환의 규모 및 방법

일반적으로 유수전환은 공사중 본댐의 상·하류에 임시의 물막이댐을 만들고 배수관거나 터널로 하천수를 유하시킨다. 유수전환의 대상홍수는 댐의 형식이나 하류부에 대한 위험도를 고려하여 정하지만 일반적으로 낮은 댐에서는 10년 빈도의 흉수로 하며, 큰 하천의 종류나 하류에 대댐을 만들 경우에는 10~25년 빈도의 흉수로 한다. 대댐의 경우는 비용이 상당한 비중을 차지하게 되어 흙댐의 건설이 제한을 받게 된다. 건설중 본댐에 흉수가 월류할 경우 콘크리트댐은 그 피해가 상대적으로 작지만 필댐은 결정적으로 파괴될 수 있다. 따라서 근래에는 월류(overtopping)의 위험성을 안고도 흙댐을 선택하기 위하여 월류중에 세울을 억제하는 공법을 실시하는 경우도 있는데 매우 신중한 검토와 실험 등의 준비가 필요하다.

⑦ 지진

댐의 설계에는 지진으로 인한 하중과 응력증가를 고려해야 한다. 특히, 지진발생의 가능성이 있는 지역에서는 댐의 형식 선정 및 댐 설계에 있어서 반드시 지진의 영향을 고려해야 한다. 자세한 사항은 본 설계기준내에 지진편을 참조하여야 한다.

③ 자연환경과의 조화 및 보전

자연환경을 보전하고 자연과 조화를 이룬 댐 개발은 댐 건설에 있어서 대단히 중요한 문제이다. 댐을 건설하면 과거에 자연의 일부는 수몰 등에 의해 변화하고 댐을 건설하는 것 자체가 자연환경을 건드리는 것이 된다. 어느 정도의 환경 변화는 자연의 복원력이나 건설공사 후의 처리 등으로 과거보다도 더 나은 자연환경을 만들어 낼 수도 있다. 그러나 댐의 예상 수몰지역 내에 중요한 문화적, 역사적 유적이거나 수려한 자연경관이 위치하고 있었을 경우에는 댐의 위치를 변경시키든지, 규모를 축소한다든지 할 필요가 생기게 된다.

(2) 댐 형식결정에 있어서의 환경적 고려사항

(가) 댐 형식을 결정함에 있어서는 전술한 물리적 주요 요소를 고려함은 물론이고 환경적인 사항까지도 포함하여 검토해야 한다.

(나) 지형, 지질 등의 조건으로 보아 필댐을 설치하는 것이 경제적으로 유리하다고 판단되더라도 필댐은 콘크리트 댐에 비해 댐 제체가 커서 그 만큼 자연환경을 더변화시키므로 약한 기초부를 그라우팅으로 상당부분 처리하여 콘크리트 댐으로 건설하는 등의 배려를 함으로서 자연환경과의 조화와 보전에 유의할 필요가 있다.

(다) 경관적 고려사항

댐 사업의 목적이 저수용량이 작은 취수댐인가 또는 높은 댐인가에 따라, 또는 관광 및 위락의 목적도 있는가에 따라 댐의 외형, 주변과의 조화 등이 고려되어 댐 형식이 판단되어야 한다.

제 4 장 필댐

4.1 설계일반

4.1.1 필댐의 정의

사력댐이나 롤필댐 또는 흙댐과 같이 천연재료를 층다짐을 하면서 쌓아 올려 축조한 부분을 주체로 한 것을 필댐이라고 한다.

4.1.2 필댐의 안정조건

필댐에 있어서도 그 역학적 성질은 중력댐과 마찬가지로 제체 재료의 중량을 이용하는 것으로서 그 안정조건은 다음과 같다.

- (1) 제체가 활동(滑動)하지 않을 것
- (2) 댐마루를 저수가 넘지 않을 것
- (3) 비탈면이 안정되어 있을 것
- (4) 기초지반이 압축에 대해서 안전할 것

4.1.3 필댐의 분류

필댐은 균일형, 존형, 코어형 및 표면차수벽형의 4 종류로 대별할 수 있고 코어형은 다시 중심코어형과 경사코어형으로 나눌 수 있다. 거의 대부분의 존형댐은 코어 존을 가지고 있어 코어형은 존형에 포함되는 것으로 간주하는 경우가 많다.

4.1.4 필댐의 특성

필댐은 지형, 지질, 재료 및 기초의 상태에 그다지 구애받지 않고서도 축조할 수 있다는 장점이

있는 반면에 흉수월류에 대해서는 거의 저항력이 없고 침하가 불가피한 구조물이라는 단점을 가지고 있다.

최근 토질공학의 발전, 시공기계의 발달과 대형화 및 수문통계학의 발달에 따른 수문자료의 신뢰도 증가등으로 필댐의 설계 시공에 많은 발전을 가져왔지만 아직도 경험에 의해서 판단해야 할 점이 많으므로 기존의 실례가 중요하다.

필댐의 일반적인 특성은 다음과 같다.

- (1) 단면형상이 크고, 저폭이 넓어 단위면적에 작용하는 하중이 작아 기초에 전달되는 응력은 작다. 따라서 비교적 지지력이 작은 풍화암이나 하천 퇴적층의 기초지반에도 기초처리를 하면 그 축조가 가능하다.
- (2) 댐지점 주위에서 얻을 수 있는 천연재료를 이용할 수 있다. 댐지점 주위로부터 손쉽게 구할 수 있는 재료를 적극적으로 이용하여 합리적이고 안전하게 필댐을 축조하는 것이 중요한 사항이 된다.
- (3) 시공에서 최적의 장비를 투입함으로써 기계화율을 높일 수 있다.
- (4) 구성재료가 입상(粒狀)의 토석(土石)이 되어 소성체로 본다.
- (5) 흉수가 제체를 넘어가서는 절대 않되므로 여수로, 가배수로의 규모, 여유고의 결정등에 세심한 주의가 필요하다.
- (6) 침하가 불가피한 구조물이므로 여수로와 같은 구조물을 제체 위에 설치할 수가 없고 통상 제체와 분리하여 설계한다.
- (7) 제체내부의 강성의 차이는 부등침하의 원인이므로 이에 대한 고려가 필요하다.

4.2 필댐의 설계

4.2.1 확인 조사

예비설계 단계에서 조사 결과를 확인하고 실시설계를 위한 정밀한 자료를 얻기 위하여 댐과 그 부속구조물의 기초지반 또는 선정된 재료채취장에 대해서 정밀한 확인조사 및 시험을 해야 한다. 기초지반의 지질조사 심도는 적어도 댐높이의 1/2 이상으로 해야 한다.

4.2.2 기초설계

(1) 일반

기초는 축조 중 및 축조 후의 재하(載荷)에 대하여 충분한 지지력을 가짐과 함께 침투수를 억제하고 침투 파괴에도 충분한 저항성을 가지도록 해야 한다. 저수기능 유지의 입장으로 보아

제체와 기초는 일체이며, 기초의 특성에 따른 제체설계가 필요하다. 기초는 그 지질조건과 입도조성에 따라 암반기초, 사력(砂礫)기초, 토질기초로 분류한다.

(2) 암반기초

암반기초 위에 댐을 축조할 경우에는 차수부(遮水部)에서 풍화암을 제거하여 그라우팅등의 처리를 해야 한다. 또 층상퇴적암의 경우에는 그 면에 따르는 활동을 검사해야 한다.

(가) 터파기의 깊이

암반기초는 지지력이 충분하나 암반내의 침투수 또는 암반과 축조 재료와의 접촉부를 통과하는 누수에 의하여 파이핑이나 대량의 저수손실이 일어나지 않도록 해야한다. 암반은 보통 하부로 갈수록 투수계수가 작게 되므로 터파기를 하는 것은 유효하나 깊이는 원칙적으로 표면의 풍화 부분까지로 한다. 특히, 경암인 경우에는 그라우팅 효과가 매우 좋으므로 깊이 파는 것은 좋지 않다.

(나) 터파기의 폭

터파기의 폭이 넓을수록 제체의 불투수성부와 암반과의 접촉면적이 크게 되므로 기초접착면에 따른 누수량을 적게 할 수 있다. 그러므로 균일형댐의 경우는 댐저폭을 터파기폭으로 하고 준형댐이나 코어형댐의 경우는 불투수성부의 암반 접촉면만큼을 터파기폭으로 한다. 또 부득이 하여 터파기 폭을 이보다 좁게 할 경우에는 파이핑 현상이 생기지 않도록 필터를 암반과의 접촉면의 하류부측에 배치하도록 한다.

(다) 콘크리트 차수벽

암반과 코어와의 접촉부를 길게 하고 그라우트 캡을 겸할 목적으로 기초암반 위에 몇 개의 콘크리트 심벽을 사용하던 경우도 있으나, 최근에는 평활한 경암 위의 높은 댐이외에는 거의 사용하지 않는다.

(라) 그라우팅

그라우팅은 그 목적에 따라 일반적으로 커튼 그라우팅, 블랭킷 그라우팅, 특수그라우팅으로 나눈다.

커튼 그라우팅은 차수벽의 연장(延長)으로서 기초지반내의 균열, 간극 등에 시멘트점토, 약액(藥液)등의 주입에 의한 지수막(止水膜)을 형성하여 1루전이하의 차수효과를 기대하는 것이다. 그라우팅재료 선정시에는 환경유해여부를 사전에 조사하여 환경영향이 없도록 해야한다.

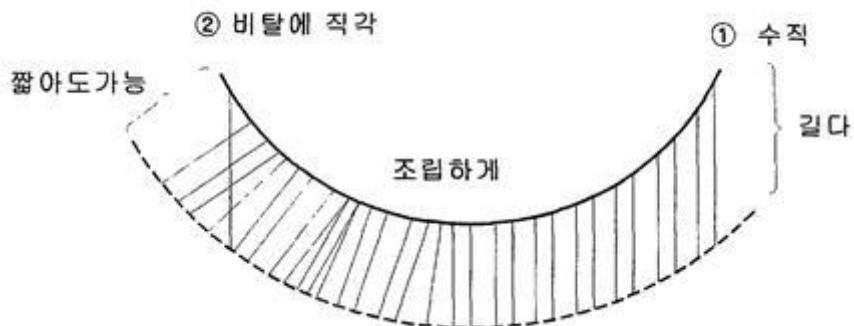
블랭킷 그라우팅은 커튼 그라우트에 앞서 시공되며, 커튼 그라우팅의 양측에 비교적 얇은 그라우팅을 실시하여 표층 가까이의 지반을 불투수로 함으로써 침수로의 길이를 늘리고 또한 커튼 그라우팅의 밀크 유실을 적게 함과 동시에 주입압을 높이기 위한 보강(부토방지)을 목적으로 한다.

특수 그라우팅은 필요하다고 생각되는 부분에 수시로 시공되는 것으로 예를 들면 지지력이 부족한 부분, 용수(淚水), 누수 부분의 처리, 단층, 파쇄대(破碎帶)의 처리 등 기초지반으로서 부적당할 경우 개량을 목적으로 실시되는 그라우팅이다.

효과적인 그라우팅을 실시하기 위해서는 사전에 충분한 지질조사를 함과 동시에 시공에 앞서 루전시험(lugeon test), 그라우트시험 등을 실시하여 이들의 결과를 기초로 시공계획 (구멍의 깊이 몇 간격, 시공순서, 배합비의 변화, 최대주입압력 등)을 작성하여야 한다.

코어 중심 또는 댐 중심에서 약간 상류 부근에 2 열의 차수커튼을 만드는 것이 일반적이다. 시추구멍의 지름은 코어 채취의 필요성이 없으면 커튼공은 6 cm(BX)이상, 블랭킷공은 4.8~6 cm(AX~BX)로 하는 것이 효과적이며 구멍의 간격은 1~3m 정도가 일반적이다. 각 구멍은 동일 평면내에 있도록 하는 것이 중요하며 한 구멍이라도 구멍의 간격의 1/3 정도 벗어나면 차수커튼의 연속성이 불확실하다.

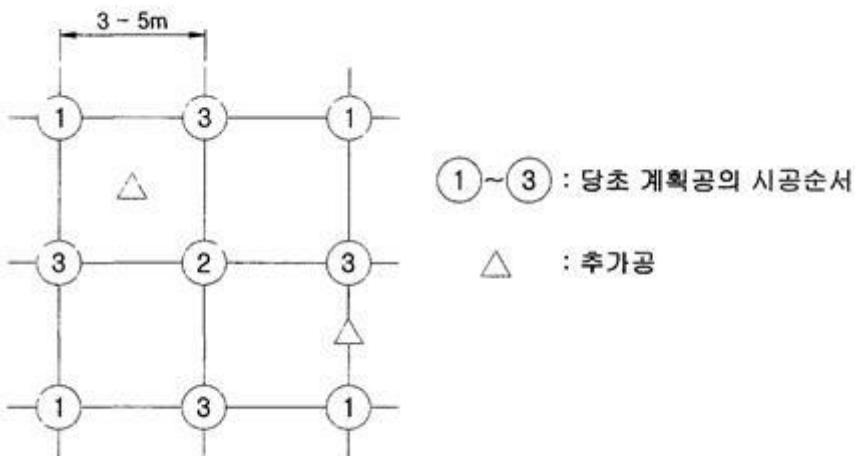
커튼 그라우팅은 <그림 4.1>와 같이 양안 접합부는 ① 수직도 좋고, ② 경사에 직각방향도 좋으나 접합부가 급하게 될수록 ①의 경우에는 긴 시추가 필요하게 된다. 그러나 ②의 경우에도 굴곡부의 구멍 간격을 좁게 하고 차수커튼의 연속성을 확인하기 위하여 1 개 쯤은 빗구멍을 횡단하는 보조공을 추가하는 것이 좋다. 주입시멘트는 1 종 틀랜드 시멘트가 보통이나 암층의 틈이 크면 몰라도 작을 때는(0.2 mm 이하) 점토 시멘트를 쓴다. 점토 시멘트는 값이 싸고 점성이 작고 내구성과 강도가 모두 충분하다.



<그림 4.1> 차수커튼의 방향

그라우팅 계획은 현지 지질조사 성과에 의한 루전도(lugeon map)의 작성후 공의 깊이, 공의 배치를 결정하고 그라우트 시험성과를 기준으로 주교계획을 수립해야 한다. 이때 깊이는 구멍 위치에서의 설계수두의 2/3 범위내로 하되 최소 15m로 하는 것이 일반적이나 그라우트 커튼의 구멍의 깊이는 댐의 종류, 높이, 기초의 암질등에 따라서 그 필요한 깊이가 다를 것으로 개괄적으로 규정할 수는 없다. 지금까지 시공된 실례로 보면 일반적으로 치밀한 조직의 기초암에서는 해당수두의 20~30%, 보통암에서 30~50%의 깊이까지 실시하여 충분히 목적을 달성하고 있다. 그러나 암질이 불량하면 70% 또는 그 이상의 경우도 있다.

암밀 그라우팅은 기초암반의 표층부근을 굳게 하여 투수가 되지 않도록 하는 동시에 지지력도 증가시키기 위해서 실시하는 그라우팅으로 <그림 4.2>와 같이 방안모양으로 구멍을 배치하여 시공한다. 구멍간격은 3~5m의 예가 많고 지질상황에 따라 부분적으로 구멍간격을 2m 정도로 하는 경우도 있다. 시멘트 주입량 혹은 루전치가 개량 목표치를 만족하지 않는 경우에는 인접한 위치에 추가공을 시공한다. 이때 개량목표치는 3 루전 이하를 표준으로 한다. 콘크리트댐의 기초에 쓰이는 것이 보통이지만 필댐에서는 댐 높이가 큰 코어형댐의 경우 적용한다. 암반의 상부가 느슨한 경우 터파기를 할 것인가, 암밀 그라우팅을 할 것인가는 설계를 비교하여 결정한다.

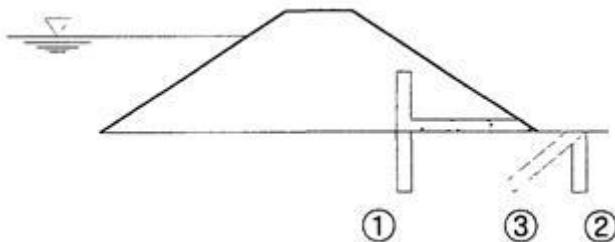


<그림 4.2> 압밀 그라우팅의 구멍배치 및 시공순서

(마) 배수공

기초지반에 용출수가 있는 경우 그 양이 적더라도 반드시 차단되도록 해야한다. 주변 그라우팅으로 차단이 어려운 경우 또는 차단하는 것이 공사비 및 시공속도면으로 보아 곤란한 경우에는 하류부로 배수되도록 배수공을 설치해야 한다.

이것은 기초지반과 코어사이의 파이핑이나 침니(chimney)현상에 의한 댐의 파괴를 예방하는 역할을 할 수 있는 것이다. 이 방법은 아주 최근에 이용하게 된 것이며, 높이가 큰 댐 특히 층상으로 된 퇴적암인 경우에 효과적이다. 배수공의 지름은 5~8 cm 이면 충분하고, 그 위치는 <그림 4.3>과 같이 ① 댐안에도 좋고 ② 비탈끝도 좋다. ①의 경우는 제체 안정상 유리하고 ②의 경우는 누수량을 측정할 수 있어 편리하다. ③의 경우는 댐하류측 비탈면 끝에서 경사진 방향으로 파면 ①, ② 경우의 장점을 병용할 수 있다.



<그림 4.3> 배수공의 위치

(바) 층상퇴적기초의 활동에 대한 검토

암반기초인 경우에는 일반적으로 댐기초의 붕괴는 있을 수 없다고 생각하고 있으나 층상으로 된 퇴적암의 층서(層序)가 활동하기 쉬운 방향으로 기울어져 있고, 수평방향의 전단저항이 작을 경우에는 활동의 위험성도 있으므로 충분한 지질조사를 통해 확인해야 한다.

(사) 코어부 기초암반의 단층·파쇄대 처리

코어부 기초암반의 단층 또는 파쇄대는 댐 완공후 누수경로 또는 압밀침하의 가능성이 크므로 굴착제거하고 양질의 콘크리트로 치환해야 한다. 굴착깊이는 U.S.B.R 방법($H \geq 45m$ 이면 $d = 0.3b + 1.5m$, $H < 45m$ 이면 $d = 1.0067 \pi - 1.5m$)을 사용하고 굴착면의 경사는 1:0.3으로 한다.

(3) 사력기초

사력층과 같은 투수성 지반위에 댐을 축조할 경우에는 지반을 통한 침투수가 4.2.6(7)세 정하는 허용범위 안에 있도록 하는 동시에 이 침투수를 안전하게 댐 밖으로 흘려 보내기 위한 조치를 강구해야 한다.

(가) 침투수량을 감소시켜서 제내의 안정을 확보하려면 <그림 4.4>와 같은 각종 방법이 있으므로 투수층의 두께, 입경의 대소에 따라 적합한 것을 사용한다. 물론 이중에서 두 가지 이상을 혼용할 수도 있다.

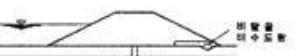
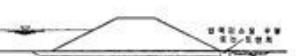
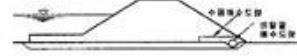
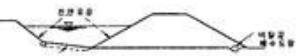
(나) 넓은 코어 : 코어밀의 투수성 기초를 불투수층에 도달 할 때까지 굴착하고 코어재료로 전압(轉壓)하는 방법이다. 파는 깊이가 깊으면 지하수 배제나 굴착량 증대 등으로 비용이 많이 듈다.

(다) 널말뚝 : 현재는 별로 사용하지 않는다. 균질기초일 때는 효과가 있고 일시적으로 대량의 누수를 방지할 필요가 있을 때 좋은 방법이다. 상당한 차수효과를 올리려면 투수층 두께의 95%이상 관입해야 한다.

(라) 특수 그라우팅

시멘트는 굵은 입자 사이에만 들어가는 것이므로 최근 각종의 특수 그라우트가 개발되어 있다. 현장여건과 유사한 시공사례를 조사비교하여 공법을 선정하면 효과적이다.

(마) 완전 차수벽

투수층의 두께	설계법	약도	비고
얕음	넓은코어		투수효과 완전. 단, 투수층의 땅 높이(원지반위) 1/3이내 정도가 한도임.
중간	널말뚝		지수효과 불완전. 큰 조약돌섞인 층과 잔모래 실토층에는 유효적절.
	특수 그라우트		160m 깊이에 주입하여 성공한 예도 있으나 공사비는 위험함.
	완전 차수벽		지수효과 완전. 공사비가 비싸다.
깊음	압성토 쌓기		양압력을 누르기 위하여 허용누수량이를 때 적당.
	압력감소		기초가 투수성, 불투수성의 호층으로 되어 있을 경우 유효.
	불투수성 블랭킷		파이핑 방지에 유효. 공사비가 싸다.
	전면포장		극히 공사비가 높아 허용누수량이 상당히 제한될 경우 이외는 사용되지 않음.

* 일반적으로 「투수성」으로 호칭되는 범위는 투수계수 $> 1 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$ 이나 「반투수성」으로 호칭되는 $1 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ 까지의 기초지반에 대하여는 이 항이 기준이 된다

<그림 4.4> 침투수량을 감소시키는 공법

콘크리트차수벽과 널말뚝의 장점을 겸하여 개량한 형식의 콘크리트 채움 널말뚝, 아이코스공법, 프리팩트공법, 슬러리트렌치공법 등 신공법을 적용한 사례조사가 필요하다.

(바) 압성토

균일형댐에서 침투수의 양압력에 의하여 제체 비탈면이 활동하지 않도록 하는 목적이다. 그러나 누수방지의 역할은 거의 못하므로 기초지반을 통과하는 누수량이 그대로 허용되는 경우에만 사용한다.

(사) 압력 감소용 우물

지표면을 넘고 있는 불투수층이 두꺼울 때 또는 층상으로 되어 있을 때는 배수구의 시공이 곤란하므로 압력감소용 우물이 좋다. 이것은 지표에서부터 투수층의 전깊이를 깨뚫도록 지름 15~60 cm의 우물을 8~30m 간격으로 파는 것이다. 이 우물의 약 1/2의 직경을 가진 유공관을 우물안에 넣고 둘레에 필터를 채운다. 우물안은 가끔 물을 채워서 씻어야 한다. 그러나

압력감소용 우물은 침투수의 침투로장(路長)을 감소시켜 침투수량을 증가시키는 결점이 있으므로 처음에는 개수를 적게 하고 필요에 따라서 신설하도록 하는 것이 좋다.

(아) 불투수성 블랭키트(blanket)

① 자연 블랭키트 : 투수성기초의 표층에 불투수성토가 퇴적하여 자연 블랭키트를 형성하고 있을 경우 블랭키트에 의하여 생기는 유효침투로장 $X_{\{r\}}(m)$ 은 다음 식으로 구한다.

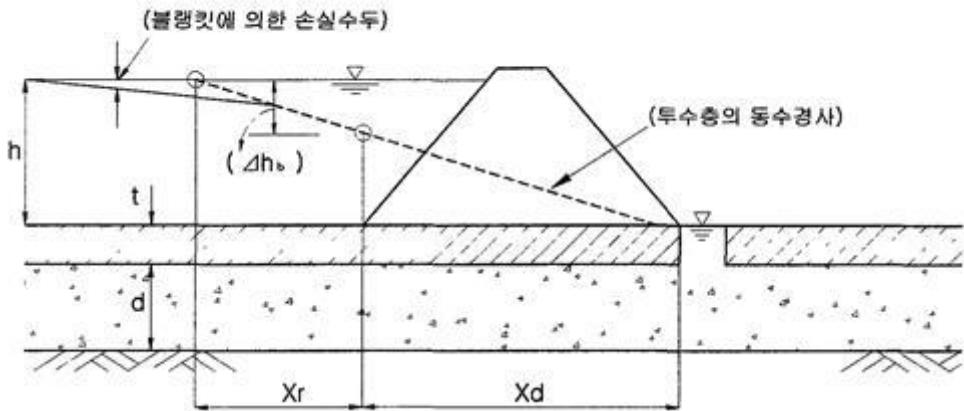
$$X_r = \sqrt{\frac{(t \cdot d \cdot k)}{(k_1)}} \quad (4.1)$$

여기서, t : 블랭키트의 두께(m), d : 기초의 두께(m)

$k_{\{1\}}$: 블랭키트의 연직투수계수(cm/s)

k : 기초의 투수계수(cm/s)

$X_{\{r\}}r$ 은 <그림 4.5>에 표시한 바와 같이, 손실수두 ($\Delta h_{\{b\}}$)를 생기게 하는데 필요한 블랭키트에 의한 손실수두 ($\Delta h_{\{b\}}$)는 댐 상류에 완전 불투수성판을 수평으로 $X_{\{r\}}$ 만큼 깐 것과 동일한 것을 의미한다.



<그림 4.5> 자연블랭키트(불투수성)

② 인공 블랭키트

기초지반에 비하여 어느 정도 불투수성 재료가 얹어질 경우에는 상류측은 불투수성 수평 블랭키트를 연장하는 편이 불완전 차수벽보다도 유효하다. <그림 4.6>에서 표시된 블랭키트의 소요길이(x)와 그 때의 기초지반을 통과하는 침투량(q)은 다음 방법으로써 계산할 수 있다.

브랭키트의 길이는,

$$x = \sqrt{\frac{2 \cdot t \cdot d \cdot k}{k_1}} \quad (m) \quad (4.2)$$

기초침투수량은,

$$q = \frac{k \cdot d \cdot h}{0.63 \cdot x + b} \quad (\text{m}^3/\text{s}/\text{m}) \quad (4.3)$$

여기서, h : 블랭키트위의 전수두(m)

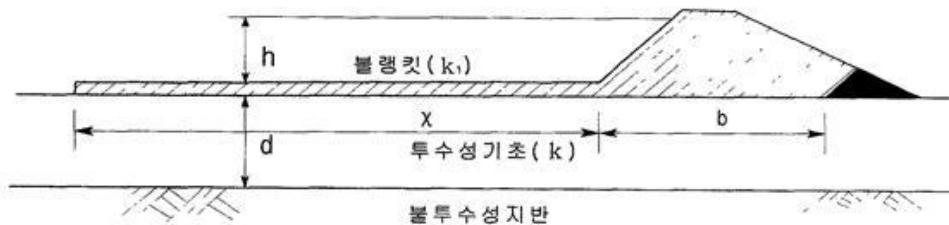
t : 블브랭키트의 두께(m)

d : 투수성기초의 깊이(in)

b : 댐 불투수성 부분의 아래 폭(m)

k : 투수성기초의 수평방향 평균투수계수(cm/s)

k_1 : 블랭키트의 수직방향 평균투수계수(cm/s)



<그림 4.6> 불투수성 블랭키트의 설계법

두께는 수압의 1/10을 표준으로 하며, 보통 1~3m가 많고 제체 부근일수록 두껍고 상류로 감에 따라 얇게 한다. 투수성 지반의 바로 위에 얇은 불투수성 지표가 덮여있을 때는 표면을 평탄하게 하고 다시 전압하는 정도로 충분하다. 그러나 수평방향 투수계수 k 가 큰 지반에서는 블랭키트를 하여도 반드시 파이핑에 대한 충분한 저항성을 주는 것은 아니다.

(자) 배수도랑

배수도랑이라 함은 투수성기초의 침투수를 안전하게 댐 밖으로 배수하여 댐하류측 기초의 간극수압을 낮추기 위한 시설을 말한다. 이것은 비탈끝 배수도랑과 수평 배수도랑으로 나눌 수 있다. 비탈끝 배수도랑은 위의 어떤 방법을 채용하던 간에 반드시 병용해야 한다. 어느 것이나 기초지반과 댐체와의 경계면에 설치하는 것으로 파이핑을 일으키지 않도록 필터조건이 맞는 재료라야 한다.

(4) 토질기초(연약지반)

점토, 실트, 유기질 등으로 된 연약지반위에 댐을 축조할 경우에는 특히 활동파괴와 압밀침하에 대하여 충분한 안전율을 고려해서 설계해야 한다.

필댐의 활동은 대체로 기초지반이 연약하고 소성이 큰 예민성 점토 또는 유기질토일때 생긴다. 공사 중의 활동의 대부분이 그러한 경우이고 완성 직후보다도 완성 후 수년이 경과한 뒤에 활동하는 예가 많으며, 댐체 재료가 점토재료일 때는 이 경향이 더욱 현저하다. 연약

기초지반중에는 반드시 간극수압계를 매설해야 한다.

연약지반에 있어서의 또 하나의 문제는 압밀침하에 의하여 댐높이, 여유고부족을 초래하는 일이 있다. 최종 압밀침하량 ΔH 와 90% 압밀에 요하는 시간 t 는 다음 식으로 계산된다.

$$\Delta H = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} H \text{ (m)} \quad (4.4)$$

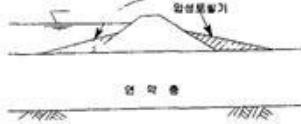
$$t = \frac{1}{C_w} \cdot H^2 \cdot T_w \text{ (m)} \quad (4.5)$$

여기서, H : 압밀되는 토층의 두께(m)

e_1 : 댐 축조전의 간극비, e_2 : 댐 축조후의 최종 간극비

$C_{\{w\}}$: 압밀계수, $T_{\{w\}}$: 시간계수

연약지반의 처리법으로서는 <그림 4.7>과 같은 방법이 있으므로 때에 따라서 그 중에 어느 한 가지나 또는 둘 이상의 방법을 섞어서 사용한다.

연약층의 두께	설계법	약 도	비 고
얕 음	치환공법		연약층의 전부 또는 일부를 제거하여 안전도가 높은 재료로 치환
중 간	급속압밀공법 샌드드레인 웰포인트 페이퍼드레인		기초지반의 압밀을 촉진하기 위하여 수직 또는 수평방향의 모래 배수 도랑을 설치함
깊 음	압성토쌓기		기초면을 통과하는 미끄럼 파괴를 방지하기 위하여 비탈면 끝에 압성토쌓기를 함

<그림 4.7> 연약지반의 처리공법

4.2.3 표준단면의 설계

(1) 용어의 정의

(가) 댐높이

댐높이라 함은 기초지반의 최저지반고와 댐마루 표고의 차이를 말한다. 이때 더쌓기(여성)나 물결막이벽은 포함시키지 않는다.

(나) 여유고

여유고라 함은 설계 최고수위와 댐마루표고의 차이를 말한다.

설계 최고수위라 함은 보통은 설계 흉수위를 말하나 수문식 여수로의 댐에서는 흉수조절시의 만수위가 설계 흉수위 보다도 높을 경우에는 그 최고수위를 말한다. 댐마루는 댐의 상류측 비탈머리의 표고로 하고 더쌓기는 포함하지 않으나 물결막이의 높이는 포함시킬 때도 있다.

(다) 댐 길이

댐마루 표고에서 댐전체 길이를 말하고 양안접합부의 굴착부분도 포함한다. 댐체에 접속하여 물님이가 있을 때는 그것도 포함한 전체의 길이로 한다.

(라) 댐 부피

댐 전체의 부피를 말하며 상하류측 비탈의 사석공, 불투수성 블랭키트, 비탈끝 배수도랑 등 댐체에 접속한 부분인 인공 구조물의 부피를 전부 포함하여 댐부피로 한다.

(마) 비탈 기울기

비탈의 수평길이와 수직길이의 비(比)를 말하고 상하 평균비탈이라 하면 댐마루의 상하류 비탈머리와 상하류 비탈끝과의 비(수평차/표고차)를 백분율로 표시한 것을 말한다. 이 때 압성토 훑쌓기는 포함하고 불투수성 블랭키트는 제외한다.

(바) 더 쌓기 (여성)

축제 완성시에 장래의 침하를 고려하여 댐 단면보다 더 쌓은 것을 말하고 축제 완성시까지 이미 침하된 부분은 더쌓기에 포함하지 않는다.

(2) 여유고

필댐의 여유고는 어떠한 악조건에서도 흉수가 댐마루를 넘지 않도록 충분히 크게 잡아야 하며 빈도흉수량을 설계흉수량으로 정하는 경우 여유고 $H_f(m)$ 은 식 (4.6)으로 나타낸다. 설계 댐마루표고는 상시만수위에 식 (4.6)에 의한 여유고를 더한 값과 최악의 조건으로 볼 수 있는 가능최대흉수(PMF) 유입시 여수로의 흉수배제능력의 초과로 상승하는 저수지 최고수위에 1m 의 여유고(이 경우 불투수성부 0.5m 와 이를 보호하는 보호층 0.5m 를 합한 값)를 더한 값 중 큰 것을 택해야 한다.

$$H_f \geq R + \Delta h + h_1 + h_2 \quad (4.6)$$

여기서, R : 파고(파랑이 올라가는 높이를 포함)(m)

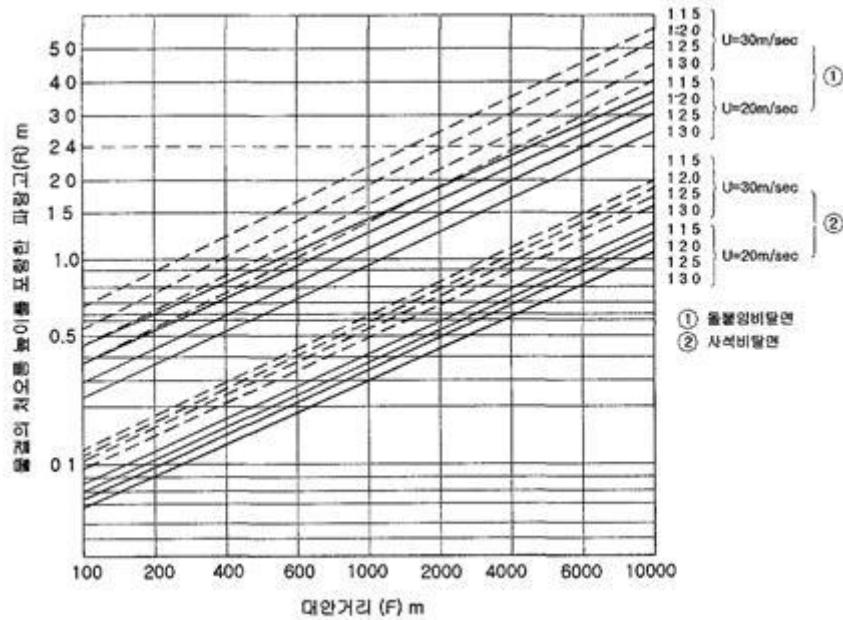
Δh : 이상(異常)흉수에 의한 수위 상승고 (m)

(빈도흉수를 설계 흉수량으로 채택하는 경우)

$h_{\{1\}}$: 여수로 형식에 의한 안전고 (m)

(수문이 있을 경우 0.5m, 수문이 없을 경우 0.0m)

$h_{\{2\}}$: 안전고(보통 1.0 m)



<그림 4.8> 파고의 계산도표

(가) 파고 R

저수지의 파고는 심해파로 생각할 수 있으므로 대안거리(F), 풍속(U)의 요소로서 SMB 법에 의하여 유의파고 $h_{\{w\}}(h_{\{w\}}=0.00086U^{11}F^{0.45})$ 와 파장 $L(L=0.011U^{0.84}F^{0.58})$ 을 구한다. 댐의 비탈기울기 및 조도에 따라 파랑의 처오름 높이가 크게 달라지므로 여기에 다시사빌(T. Saville)에 의한 수정을 가하여 처오름 높이를 포함한 파고 R 을 <그림 4.8>에 의하여 산출한다.

① 대안거리(對岸距離)

대안거리라 함은 바람이 불어서 파랑이 생길 수 있는 자유수평거리를 말한다. 그러므로 본래는 댐에서부터 최고풍속의 방향으로 측정한 직선거리를 취하면 되지만 풍향자료도 적으로 댐측의 직각방향으로 최대로 되는 대안거리를 채택한다.

② 풍속

댐지점에 장기간 관측자료가 없을 때는 인근의 관측자료를 이용한다. 우리나라의 지역별 풍속의 최고치 자료는 <표 4.1>과 같다.

<표 4.1> 우리나라 지역별 풍속의 최고치 자료

지명	최대치 (m/s)	풍향	발생년월일
서울	25.0	서	1954. 4.19
강릉	36.7	서	1958. 1.15
인천	35.0	남	1954. 8.26
추풍령	23.7	서	1978. 2.28
대구	25.3	북북동	1959. 9.17
울산	31.7	북동	1959. 9.17
전주	20.1	남서	1977.11. 1
광주	26.3	남남동	1945. 8. 3
목포	42.4	남동	1904. 8.18
여수	35.5	북동	1959. 9.17
제주	36.1	북북동	1933. 8. 3
원주	13.3	남서	1995. 5. 5
부산	35.0	북동	1904. 8.20
춘천	22.8	서	1976. 1.22
대전	20.0	북동	1970. 8.30

지명	최대치 (m/s)	풍향	발생년월일
안동	18.5	남남동	1986. 8.28
동해	26.7	서남서	1997. 1. 1
구미	17.0	서	1987. 4.21
군산	31.7	서북서	1980.10.25
문경	20.0	남동	1978. 7.18
인제	14.5	남동	1983. 4.27
충주	14.0	남서	1972.11.30
제천	14.0	서	1983. 4.26

③ 댐의 비탈면

돌불임 비탈면은 비교적 평활한 비탈인 콘크리트블록 또는 돌불임 등을 말한다. 사석비탈면은 록필댐과 같이 파랑의 에너지가 큰 바위덩어리의 틈에 흡수되는 경우를 말한다. 그러므로 이 중간의 경우는 각각의 조도에 따라 상당한 값을 취할 수 있다.

④ 댐의 비탈기울기

사석 비탈면인 경우에는 비탈에 의한 파랑의 기어올라가는 변화는 크지 않으나 돌불임인 경우에는 비탈이 급할수록 상승고가 크게 높아져서 이 경향은 대안거리가 짧을 수록 크게 된다. 그러므로 돌불임 비탈이고 또 소규모 댐이라면 비탈을 완만하게 하는 것이 좋다.

(나) 이상홍수에 의한 수위 상승고

설계 홍수량의 기준으로 가능 최대홍수량을 채택하는 대규모 댐의 경우에는 고려하지 않으나, 빙도홍수량을 채택하는 댐의 경우에는 설계홍수량의 1.2 배 이상의 이상홍수에 의한 수위상승을 고려해야 한다.

이 때, 상승되는 수위 Δh 는 저수지 추적계산에 의하던가 다음 식으로 계산한다.

$$\Delta h = \frac{2}{3} \cdot \frac{aQ_0}{Q} \cdot \frac{h}{1 + \frac{Ah}{QT}} \quad (m) \quad (4.7)$$

여기서, $Q_{\{0\}}$: 설계 흡수량(m^3/s)

Q : 설계 흡수량 중에서 월류부로 유하하는 양(m^3/s)

a : 이상 흡수량에 대한 증가율

h : 월류수심(m)

A : 설계 흡수량 때의 저수면적(m^2)

T : 설계 흡수량 이상이 지속되는 시간(s)

(다) 여유고를 계산할 때 지진에 의한 파랑고를 고려하는 경우가 있으나 이 경우 지진파의 주기 및 제체의 진도(震度)에 대한 자료가 필요한 반면 실제의 경우 그 높이는 0.5m 정도이므로 이보다 크게 계산되는 이상흡수에 따른 수위증가 또는 가능 최대 흡수 유입시의 수위증가를 고려하는 것으로 충분하다.

(라) 여유고는 댐의 비탈면 조도에 따라 매우 변화가 크므로 설계하기 전에 미리 여유고와 관련되는 요소를 선택해야 한다. 필댐의 여유고 표준은 2.0-3.0m 가 보통이고 6.0m 이상 높은 수문식 여수로로 한 필댐이라면 3.0m 이상의 여유고를 두어야 한다.

(마) 여유고가 3.0m 를 넘는 부분에 대하여는 물결막이(parapet wall)를 붙여서 여유고의 일부로 해도 좋다. 이 경우 물결막이 높이는 여유고에 포함시킨다. 단, 여유고가 3.0m 이하인 댐에서는 물결막이가 있더라도 여유고에 포함시키지 않는다.

(3) 댐마루 폭

댐마루 폭은 파랑의 투수에 대한 안전성, 댐마루 이용 및 시공 등의 관점에서 결정한다. 특히, 댐완성 후 댐마루를 도로로 이용할 경우에는 양안 접속도로와의 관계를 충분히 고려해야 한다.

4) 더 쌓기

댐마루에는 댐 기초지반과 축제 재료의 완성 후의 침하량을 예측하여 필요하고도 충분한 양의 더 쌓기를 해야 한다. 이때 종단방향으로 캠버(camber)를 붙이는 것이 좋고 양안 접합부는 안전하게 하기 위하여 최저 10 cm 정도 더 쌓고 횡단방향의 비탈면 더 쌓기는 특별한 경우를 제외하고 축제상부를 조금 세워서 쌓는 것으로 한다.

침하량의 대부분은 시공중에 끝나고 완공 후의 침하량은 작으므로 그 지점에서의 댐 높이의 1% 내외로 하면 충분하다. 롱필댐의 최종 침하량은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$S = 0.001 H^{3/2} \quad (4.8)$$

여기서, S : 총침하량(m), H : 댐 높이(m)

(5) 비탈면 기울기와 소단(小段)

비탈기울기와 소단의 배치는 댐 형식과 높이, 축조재료, 존의 형상, 기초지반, 지진의 영향 및 시공조건 등을 고려하여 최소의 축조량으로서 소요의 안전도를 얻도록 결정해야 한다. 여기서 안전도란 댐 상·하류 비탈면의 활동에 대한 안전도를 말하며 다음사항을 고려한다.

(가) 균일형 훑댐은 댐 높이가 클수록 비탈면을 느리게 한다. 일반적으로 상류비탈면은 1:3.0, 하류비탈면은 1:2.5 정도가 좋다. 또 배수도량이 필요하다.

(나) 투수성부가 큰 댐(균일형 이외)에는 댐 높이에 따라 비탈면의 변함은 적으나 불투수부의 위치와 크기에 따라 비탈면이 정해지므로 존(Zone)을 신중히 나누어야 한다.

(다) 경사코어형 롤필댐에서는 하류비탈면을 축조 재료의 안식각과 거의 같게 한다.

(라) 중심코어 롤필댐에서는 하류 비탈면은 1:1.8 내외가 좋으며 사면안정 해석결과에 따라 결정해야 한다.

(마) 콘크리트 표면차수벽형 댐의 비탈면 기울기는 1:1.4~1:1.5 정도로 될수록 암석의 자연안식각에 가깝게 하는 것이 시공 및 안정상 유리하다.

(바) 아스팔트 표면차수벽형 댐의 상류측 비탈은 1:1.5~1.7 이 가장 적당하다.

(사) 안전율이 같으면서 축조량을 적게 하려면 단면을 위는 급하게 하고 아래는 느리게 하는 것이 좋다. 특히, 계곡이 좁은 지형에서는 아래편을 느리게 하는 것이 부피가 늘지 않고 안전성이 증가하므로 유리하다.

(아) 비탈의 변화부는 상류 비탈면에서는 상시 만수위나 최저수위 부근으로 하고 후자의 변화부에는 3~6m 의 소단을 두는 것이 좋다. 시공상, 관리상 편리한 점이 있으면 소단을 만들 수 있으나 소단과 소단의 표고차는 15m 이상이 좋다.

(자) 댐 길이가 긴 댐에서는 전 길이를 통하여 동일 비탈로 할 필요는 없고 그 장소의 댐 높이, 기초지반, 축제 재료에 따라 적당히 단면수정을 하는 것이 경제적이다.

(차) 댐길이/댐높이의 비가 작은 댐에서는 상·하류 방향의 단면의 안전계산에도 댐 축방향이 3 차원의 힘이 있게 되므로 다소 비탈을 급하게 해도 좋다.

6) 댐 축

댐의 축은 양안측 기초 바닥의 지질이 좋고 충분한 두께가 있고 또 댐 축조량이 최소가 될 지형을 택하는 것이 원칙이다. 그러므로 대부분은 직선형으로 되나 불투수부가 얇은 댐에서는 저수암에 의한 변화를 고려하여서 다소 아치 모양으로 해도 좋다. 댐 길이가 짧고 제체의 암석부가 많을 수록 댐 중앙부의 수평이동에 의하여 댐축 방향에 인장 응력이 생기므로 이것을 막기 위하여 댐축을 약간 상류측으로 휘게 하늘 아치형으로 하는 예가 있으며, 그 반지름은 400-1,500m 가 좋다.

(7) 상류측 비탈면의 보호

제체의 상류측 비탈면에 대해서는 사·장석 등을 하여 파랑에 의하여 댐체가 침식되거나 저수위가 급강하 할때 댐체재료가 유실되지 않도록 보호해야 한다. 특히 수위변화 빈도가 높은

양수발전소 상부지 댐이나 일정수위에서 저수지 수위가 유지되어 결과적으로 파랑의 영향을 집중적으로 받게되는 부위의 상류측 비탈면은 제체의 토립자 유출방지를 위한 필터층을 설치해야 한다.

사·장석의 재료는 주로 사석, 돌붙임, 블록, 철근콘크리트를 쓰고 최근에는 아스팔트, 흙시멘트(soil cement)가 개발되고 있으나 사석이 가장 좋다.

사석의 크기와 두께는 각각의 돌이 파랑에 의하여 움직이지 않고 제체의 흙이 흡출작용에 의하여 유출되지 않을 것 등이 조건이며 비중 2.6 이상이고 2.6 cm이하의 입자까지 포함된 입도배합이 좋고 풍화에 강한 단단한 암석재료이어야 한다. 미국 육군공병단에서는 <표 4.2>와 같은 기준을 정하고 있으나 일반적으로 사석두께는 사석최대 입경의 2 배 이상으로 하되 최소두께 1.0m 이상이 좋다.

<표 4.2> 비탈면 사석공의 치수와 두께

파 고 (m)	사석 평균자름(D_{50}) (cm)	최소 사석총두께 *	최소 필터두께 (cm)
0 ~ 1.2	30	45	15
1.2 ~ 1.8	38	60	23
1.8 ~ 2.4	45	75	23
2.4 ~ 3.0	52	90	30

* 사석의 최대입경보다 크고, ($D_{50} \times 1.5$)보다 클 것.

(8) 하류측 비탈면의 보호

하류측 비탈면은 기상작용 특히 호우에 의한 침식을 막도록 보호해야 한다. 빗물이 한곳에 집중되지 않도록 양안부의 표면배수처리를 포함해야 한다.

4.2.4 축제재료의 선택

(1) 축제재료와 기능

댐은 어떠한 경우에도 물을 막을 불투수성부와 댐체의 안정을 유지할 투수성부를 최소한의 구성 요소로서 두고 있다. 대부분의 경우 이 양자의 경계에는 반투수성부를 두어재료급변에 의한 사고를 방지하도록 설계한다. 그러나 이들 3 부분은 서로 상대적인 성질이므로 각각의 축제재료의 안정성이나 불투수성은 물론 댐 전체로서 기능을 잘 발휘하도록 설치하는 것이 중요하다. 특히, 기초암반과 접하는 차수준의 토질재료는 함수비 및 최대입경이 일반 차수재료와는 달라야 하므로 특별한 고려가 필요하다.

(가) 이행부(移行部, transition zone) 재료

불투수성부와 투수성부의 중간에 설치되는 재료를 말하며, 경우에 따라 흙, 모래, 자갈 상태의 것까지 있다. 포장형 댐에서 막돌쌓기도 하나의 이행부로 생각하면 중량 500kg 이상이고 길이가 폭의 2~3 배의 모난 직사각형 암석까지 포함하게 된다.

(나) 암석재료

암석을 주성분으로 하는 재료인데 치밀한 것이 아니고 둥글둥글한 상태의 것을 말한다. 이상적으로는 무게 250~500kg(입경 45~60 cm) 이상이고 10 cm 이하의 입경을 5%이상 포함하지

않을 것, 부릴 때에 파쇄되지 않는 견고함과 비중 2.5 이상, 압축강도 700kgf/cm^2 이상, 내구성(황산나트륨) 0.015% 이하가 좋으나, 댐 높이 50m 이하의 댐에서는 비중 2.3, 압축강도 300kgf/cm^2 , 내구성 15% 정도까지 사용하는 예도 있다. 전단강도는 경암이면 $D_{50} = 2\sim 10 \text{ cm}$ 의 큰 자갈로서 $\Phi = 40^\circ, D_{50} > 15 \text{ cm}$ 의 큰 돌로서 $\Phi = 45^\circ$ 가 기준이나 압축강도가 작은 암(岩)에서는 $\Phi = 35^\circ$ 까지 허용할 수 있다. 암재료로서 가장 요구되는 것은 안전성이다. 견고하고 균열이 적고 물이나 기상작용에 대한 내구성이 커야 한다. 재료는 될수록 크고 모난 것이 좋고 얇은 조각으로 깨지는 것은 좋지 않다. 화성암, 변성암은 좋으나 수성암은 그대로 록필재료로서 쓰지 못할 경우도 있다.

(다) 연암재료

연암을 제체 재료로 사용함에는 세 가지 방법이 있다. 하나는 그대로 공기나 물의 변화에 접촉하지 않는 랜덤층(예를 들면 상류층 저수위 이하의 부분)에 사용하는 방법, 둘째는 비교적 흙처럼 사용하는 방법, 세째는 다른 토취장의 흙과 혼합하여 사용하는 방법이다. 어느 것이나 파쇄하여 중요하지 않은 랜덤존(재료를 따로 선택하지 않는 존)에 사용하는 것이 좋다.

(라) 랜덤(random) 재료

재료외 성질이 엉성하고 고르지 못하여 장래 풍화에 의하여 변질될지도 모르는 재료를 일괄해서 랜덤재료라 한다. 때로는 반투수층에 쓰일 때도 있고 투수층에 쓰일 때도 있다. 그러나 계산을 할만한 신뢰성이 없는 재료이므로 댐의 중요 부분에는 사용해서는 안된다.

2) 축제재료의 선정을 위한 시험

필댐은 불투수성재, 반투수성재 및 투수성재가 상호작용하여 제체의 안정을 이루고 있는 구조물이므로 설계에 적용할 각 재료는 반드시 시험을 거쳐 그 결과를 이용해야 한다. 특히 필터와 록필재료와 같은 조립재료는 부득이한 경우를 제외하고 대형 3 축 압축시험 또는 대형 암전단시험등을 이용하여 강도 및 응력-변형특성을 구해두어야 한다.

3) 시험 성토

이 시험의 주안점은 포설, 다자기의 가장 좋은 방법을 발견하려는 데 있다. 즉, 포설두께, 함수비, 다짐기계, 다짐회수 등을 정하고 특수한 문제점(재료와 혼합법, 큰 자갈의 분리법, 토량환산계수의 결정)을 찾아 내어 현장에 있어서의 투수도, 전단강도와 실내시험의 값들을 비교하는 것이 큰 목적이다. 다음과 같은 경우에는 반드시 시험 성토를 해서 확인해야 한다.

(가) 소량의 세립분을 함유한 악재료를 코어로 쓸 때의 투수도, 분리여부 또 두 가지의 다른 재료를 혼합하는 가장 좋은 방법은 어느 것인가, 어느 정도의 우량일 때까지 시공 가능한가, 함수비가 큰 흙의 건조속도는 어느 정도인가 등을 결정할 때

(나) 록필재료의 다짐을 위한 표설두께, 살수의 가부 및 수량등을 정할 때

(다) 연암을 사용할 때. 이 때 기계로 굴착하여 전압할 때의 파쇄도와 불투수도, 크러셔에 넣었을 때의 파쇄도, 그리고 토취장은 그 깊이에 따라 암과 같이 점차로 견고해지는 것이 보통인데 깊이와 견고도와의 관계를 확인해야 한다.

(4) 필터의 설계

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.

(가) 필터의 중요성

입도가 크게 다른 두 재료(토사와 암괴)를 인접시킬 때 이곳에 물이 흐르게 되면 세립자가 굵은 입자 사이로 유실된다. 그 양자간의 경계에 일정한 입도조건을 만족시키는 필터를 두어 물만이 투과되어서 세립자의 유실이 방지되고 재료가 섞이지 않도록해야한다.

(나) 필터재료의 기준

필터재료는 필터재로 보호되는 재료보다 투수성이 커야 하나 너무 커도 좋지 않다. 필터재료는 일반적으로 다음 조건을 만족시켜야 한다.

$$\textcircled{1} \quad \frac{\text{필터재료의 } 15\% \text{ 입경}}{\text{필터로 보호되는 재료의 } 15\% \text{ 입경}} > 5$$

$$\textcircled{2} \quad \frac{\text{필터재료의 } 15\% \text{ 입경}}{\text{필터로 보호되는 재료의 } 85\% \text{ 입경}} < 5$$

- ③ 필터재료의 입도곡선은 보호되는 재료의 입도곡선과 거의 평행인 것이 좋다.
 - ④ 필터로 보호되는 재료가 조립재료를 함유할 때는 그 재료의 25 mm이하의 부분에 대하여 ① 및 ②를 적용한다.
 - ⑤ 필터재료는 점착성이 없는 것으로 0.074 mm 이하의 세립분 함유량은 원칙적으로 5% 이하로 하는 것이 좋다.
 - ⑥ 필터재료는 보호되는 재료보다 10~100 배의 투수성을 가지는 것이 좋다.
- 상기 ①은 파이핑 방지를 확실히 하기 위한 것이고, ②는 필터의 투수성이 보호되는 재료의 투수성보다 크게 되도록 정한 것이다. 따라서 필터재료는 입경만이 문제이므로 비중이 약간 가벼워도 좋다.
- ⑦ 자연상태의 재료로는 전술의 입도조건을 만족하는 경우가 적으로 최근에는 다음과 같은 방법에 의해 인공적으로 제조하는 일이 많다.
 - Ⓐ 콘크리트 골재를 제조하는 것과 같은 방법으로 씻기 또는 크러셔로 깨뜨린 것을 체가름하는 방법
 - Ⓑ 자연재료와 인공재료를 혼합하는 방법
 - Ⓒ 지오텍스탈(geotextile)을 이용하는 방법

(다) 필터의 두께

필터의 두께는 이론적으로는 얇은 것이 좋지만 시공조건과 지진에 대한 안전성을 고려하여 최소 두께는 2.0~4.0m 정도로 한다.

(5) 파이핑(piping)현상의 방지설계

댐 또는 기초지반을 통과하는 침투수가 토립자를 유동시켜서 마침내 댐을 손상시키게되는 일이 없도록 재료의 선정 및 다짐도에 대하여 충분한 검토를 해야 한다.

4.2.5 댐 형식의 결정

(1) 형식선정 요소

필댐의 형식은 주로 댐 주변에서 쉽게 채취할 수 있는 재료의 질과 양, 댐높이, 댐의 용도, 댐지점의 지형 및 지질, 시공조건 및 여수로의 위치와 형상등에 좌우된다.

여수로는 제체와 분리되어 건설되어야 하므로 지형여건상 여수로의 위치 확보가 어렵거나 대규모의 굴착이 수반되는 기술적, 경제적 관점에서 필댐 건설에 제약요인이 된다.

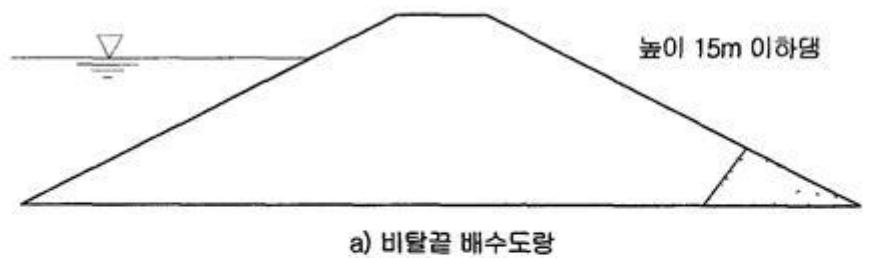
<표 4.2>는 필댐의 형식과 고려요소를 요약한 것이다.

<표 4.3> 필댐의 형식과 고려요소

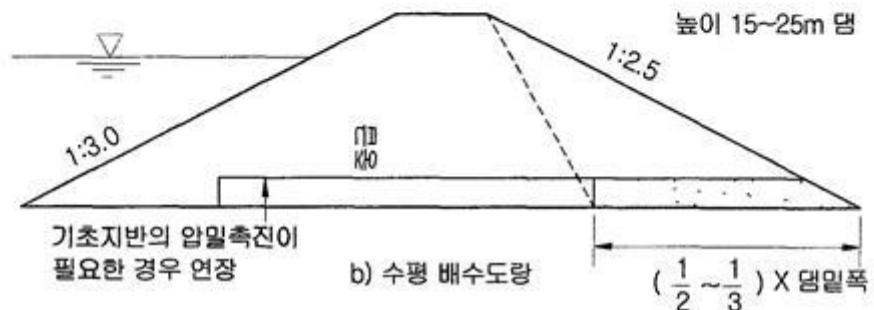
댐형식 요 소	균일형	준 형	표면차수벽형
댐 높 이	재료의 전단강도, 시공 시 간극수압 문제로 50m 이하가 일반적임	특별한 제한 없음	제체의 침하문제로 100m 이하가 일반적임
재료의 질과 양	토질재료가 풍부하고 사력, 암재료의 채취가 어려운 경우	모든재료가 이용가능한 경우	토질재료 채취가 어려운 경우
댐지점의 지 형	특별한 제한없음	특별한 제한 없음	양안이 급경사인 경우 부등침하우려로 선정곤란
댐지점의 지 질	토질기초나 사력기초의 경우 많이 채택함	사력기초나 암반기초의 경우 많이 채택함.	암반기초의 경우 많이 채택함
기상조건	한냉지나 다우지역은 시공성면에서 불리	코아의 시공성에 제약받음	특별한 제한없음
시공조건	급속시공 불가	코아의 시공성에 좌우됨	급속시공 가능
댐 용도	상수도, 관개용이 많음	모든 목적에 적합하나 경사코아형은 단기간에 수위변동이 큰댐에는 불리	특별한 제한없으나 단기간에 수위변동이 큰 댐에 적합

(2) 균일형 댐

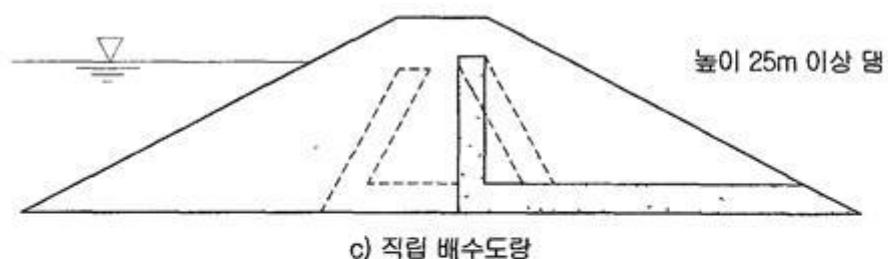
제체의 최대단면의 80% 이상을 균일재료가 차지한 댐을 균일형댐이라 한다. 균일한 점은 비교적 소규모 댐일 때 유리하다. 하류 배수도량은 균일형 댐의 안전성을 확보하는데 가장 중요하다. 높이가 6~7m 이상이 되면 반드시 제체하류부에 배수도량을 만들어야 하는데 이것은 하류 침윤선을 내려 활동에 대한 안정을 갖도록 하기 위한 것이다. 또 누수에 의한 파이핑작용을 막기 위해서 배수도량의 입도는 필터조건에 맞아야 한다.



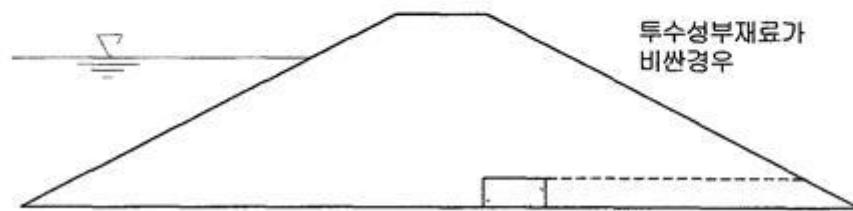
a) 비탈끌 배수도랑



b) 수평 배수도랑



c) 직립 배수도랑



d) 균상 배수도랑

<그림 4.9> 균일형 댐의 배수도랑

<그림 4.9>는 댐 높이에 대한 표준적인 배수도랑의 형식을 표시한 것이다. 수평방향의 투수계수가 클 때는 댐 높이 25m 이하에서도 직립배수도랑이 필요하다. 기초지반의 암밀측진도 겸하게 하려면 훨씬 상류측까지 배수도랑을 연장한다.

(가) 배수도랑의 투수성

배수도랑의 투수성은 적어도 균일토의 20~100 배의 투수성이 필요하나 동일 재료라도 함수비나 전압방법에 따라서는 값의 자리가 두자리 정도 틀리는 수도 있으므로 시공관리는 엄밀히 해야 한다. 특히 기초지반이 투수성일 때 또는 계곡이 좁고 급하기 때문에 댐에 균열이 생길 가능성이 있을 때에는 배수도랑의 투수계수를 훨씬 크게 한다.

(나) 배수도량의 통수능력

배수도량이 메워진다면 댐 하류측은 포화되어 불안전하게 되므로 필터를 특히 주의하여 선택해야 한다. 배수도량의 통수능력은 댐체 및 기초로부터의 침투수량의 배이상의 안전율을 확보해야 한다.

(다) 배수도량의 배치

배수도량의 배치는 평면적으로는 댐으로부터의 투수를 전면적으로 막아낼 수 있도록 제체방향에도 상당한 폭을 주는 것이 필요하다. 또 산바닥으로부터의 투수를 고려할때는 제체와 산지와의 접촉면에 따라 배수구로 물을 유도하도록 지선(支線) 배수도량을 설치해서 하류부 댐체가 포화되는 것을 방지해야 한다.

(3) 준형댐

제체의 최대단면에서 불투수성부의 최대 폭이 댐 높이와 같거나 그 보다 큰 댐을 준형댐이라 한다. 준형댐에 있어서는 불투수성부의 폭이 넓으므로 재료의 질은 코어형에서처럼 연구하지 않아도 좋으나 불투수성부를 중심으로 하여 외측으로 감에 따라 투수성재료를 배치하여 댐의 안정을 도모해야 한다.

(4) 코어형 댐

제체의 최대단면에서 불투수성부의 최대 폭이 댐 높이 보다 작을 때는 이 불투수성부를 코어라 하며, 코어가 있는 댐을 코어형 댐이라 한다. 댐 중심선이 전부 코어로서 포위된 것을 중심코어형 댐, 중심선이 코어에서 떨어져 있는 것을 경사 코어형이라 한다.

코어형 댐은 가장 안전성이 높은 형식이며, 특히 댐 높이가 클수록 그 이점이 두드러진다. 코어 재료로서는 불투수성이 것이 제일 조건이기는 하나 전단강도나 압축성, 균질성에서 충분히 신뢰성이 있는 재료를 택해야 한다.

(가) 코어재료

코어형의 특징은 최소단면으로서 소요의 차수성을 확보하려는 데 있다. 그러므로 코어재료에 가장 요구되는 성질은 수밀성이며, 전단강도나 압축성면에서 다소 불리하더라도 부득이한 경우가 있다. 코어 재료로서 이상적인 재료는 0.05 mm 이하의 입자를 15~20% 함유하는 입도배분이 좋은 점토, 실트, 모래, 자갈의 혼합물이다. 흙의 통일분류법으로 말하면 GC, SC, CL, SM, CH 정도가 적당하고 ML 이 그 다음 가며, OL, MH, OH 는 부적당하다. 착암부 재료는 점착성이 양호하고 균열 발생을 방지도록 $I_{\{p\}} 15$ 이상 세립재료를 사용해야 한다.

(나) 코어의 시공을 고려한 설계

- ① 코어의 상단은 댐 마루에서 50 cm 쯤 내려간 점까지 연장한다.
- ② 중심코어와 경사코어의 우열은 확고한 결론은 없다. 경사코어에서는 암석과 흙을 따로 시공할 수 있는 이점이 있으나 코어의 부등침하에 약한 결점이 있다.
- ③ 자연재료만으로서는 코어로서의 불투수성이 부족할 때는 인공재료를 혼합하여 불투수성을 강화한다.

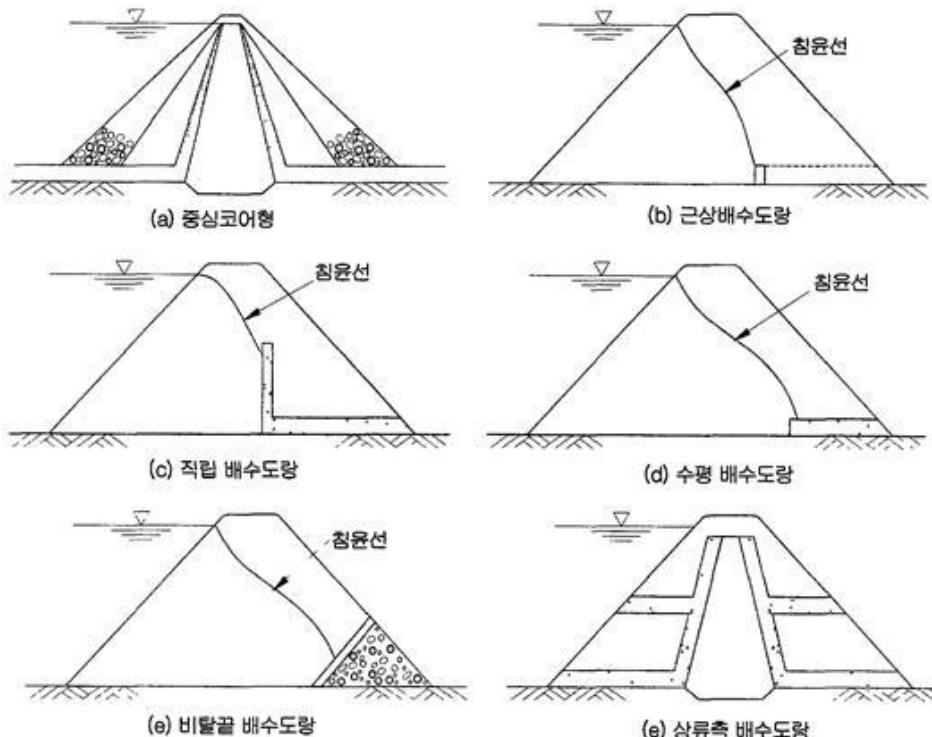
(5) 표면차수벽형댐

상세내용은 제 5 장 표면차수벽형댐에서 다루기로 한다.

4.2.6 침투수의 안전성 검토

(1) 검토의 주안점(主眼點)

저수시에는 제체 또는 기초지반 내의 침투수를 해석하여 침윤선, 유속분포 및 누수량을 확인하고 제체 하류측으로 안전하게 배수되도록 해야 한다. 수위가 급히 저하할 때에도 상류측 비탈면에 대해서 마찬가지다. 필댐의 제체는 장기간에는 반드시 침투수에 의하여 포화되는 것이기 때문에 이것을 제체밖으로 도수(導水)하는 것은 댐의 안전상 가장 중요한 사항이다. 침윤선을 저하시키기 위해서는 <그림 4.10>의 배수도랑을 설계에 반영한다.



<그림 4.10> 침윤선을 저하시키는 방법

(2) 침투류 해석

제체 및 기초의 침투수에 대한 안전성은 도식해법, 수치해석법 또는 모형 실험법을 이용하여 검토해야 한다. 이때 침투류가 정상상태인가 또는 층류인가 난류인가 등을 확실히 규명한 다음 시행해야 한다. 특히 담수 개시후 및 저수후의 수위급저하시 등의 경우에는 비정상 상태라 보고 검토해야 한다.

(3) 침윤선의 도식해법

불투수성 기초지반 위에 균일성 재료로서 축조된 제체의 침윤선의 형상이 포물선형인 것은 이론적으로나 실험적으로 증명되었다. 불투수성 부분의 침윤선은 카사그랜드(Casagrande)의 방법에 의하여 구한다. 침윤선은 어느경우에도 제체밖으로 나와서는 안된다.

4) 유선망(流線綱)의 도식해법

필댐의 유선망이라 함은 제체 및 투수성 지반내에 있어서의 침투수류의 방향과 제체속에 있어서의 흐름의 등수두선(equi-potential line)을 도시한 것이다.

유선과 등수두선은 서로 직교하므로 주의 깊게 수정하여 최종적인 유선망을 그린다.

이 유선망에 의하여 댐체 및 투수성 지반내에 있어서의 침투수의 유동 하는 형상과 침투수압의 분포상태를 파악 해야한다.

(5) 누수량

댐체로 부터의 누수량을 산출하려면 유선망 또는 수식에 의하지만 어느 경우에도 적정한 투수계수를 선정하지 않으면 안된다. 댐체의 불투수성부가 비등방성일 때는 수정한 투수계수 \overline{k} 를 써서 누수량을 산출하는 것이 보통이지만 안전을 보아 수평방향의 투수계수를 사용해도 좋다.

수정투수계수 \overline{k} 는 다음 식으로 주어진다.

$$\overline{k} = \sqrt{k_h \cdot k_v} \quad (4.9)$$

여기서, k : 수정 투수계수

$k_{\{h\}}$: 수평방향 투수계수

$k_{\{v\}}$: 수직방향 투수계수

(6) 수치해석에 의한 침투류 해석

댐체 및 기초의 침투류에 대하여 수치해석 방법으로 침투류의 수두, 유속 분포, 유량 침투수압분포 등을 구한 후 도식해법에 의한 결과치와 비교하여 누수량 및 댐의 안전성을 검토해야 한다. 댐체 및 기초의 침투류에 대한 해석방법으로 일반적으로 유한요소법 (FEM)과 유한차수법이 이용되는 경우가 많다. 해석 결과는 재료 특성을 나타내는 물성치 및 해석시의 경계조건에 따라 좌우되므로 입력치에 대해서는 충분한 검토가 필요하다. FEM 방법보다 정도가 높고 경제적인 수치해석법이 있으면 그 적용도 가능하다.

(7) 침투수에 대한 안전성 검토

필댐의 제체 및 기초는 침투수에 대하여 안전하도록 설계해야 한다.

필댐의 제체 및 기초는 누수를 완전히 차단할 수는 없기 때문에 침투수압, 동수경사등을 검토해야 한다. 침투수압은 차수준의 성질, 댐의 형식 및 규모에 영향을 받고, 또한 허용누수량은 저수지의 목적 및 안전성에 따라 다르기 때문에 따로 정하지는 않으나 어느 한도를 넘어서면 분사현상(quick sand)과 보일링 및 파이핑 등의 침투로 인한 파괴요인이 되므로 신중한 검토와 대책이 필요하다.

파이핑의 원인은 대상재료의 불균일성이나 지질조건의 사소한 변화, 시공상 부주의 등에 의한

경우가 많음으로 이론적인 취급은 곤란하지만 보통은 저스틴(Justin)의 침투유속의 한계치(한계유속)을 구하여 토립자의 이동가능성을 검토하는 방법과 한계동수경사를 구하여 분사현상(quick sand)의 발생가능성을 검토하여 안전여부를 판정한다.

또한 근래에 주의를 해야 할 항목으로 나타난 **hydraulic fracturing**(수압할열, 水壓割裂) 가능성에 대하여 검토하여 이와 같은 현상이 발생하지 않도록 해야 한다. **hydraulic fracturing** 이란 수압에 의하여 재료가 파괴되는 현상으로 이론적으로는 불투수부내의 자중에 의한 유효응력이 그 부근의 수압보다 적을 때에 나타나는 현상으로 설명한다. 통상적인 불투수부의 형상이라면 유효응력이 수압보다 작아지는 일은 없지만 트렌치 굴착부의 위의 불투수층이나 급한 경사의 기초암반부위 부근의 불투수성부에서 부등침하로 인한 아칭(arching)현상에서 유효응력이 수압보다 적어지는 경우가 있을 수 있다.

(가) 한계유속에 의한 방법(Justin 방법)

제체 및 기초의 토립자의 입경에 대하여 소류력에 의하여 입자가 밀려나가는 한계의 침투유속을 다음 식으로 구하고 입자는 그 한계치를 넘으면 파이핑이 발생한다고 본다.

$$V = \sqrt{\frac{Wg}{Ar_w}} \text{ (cm/s)} \quad (4.10)$$

여기서, W : 토립자의 수중중량(g)

A : 물의 흐름을 받는 토립자의 면적(cm²)

γ_w : 물의 단위체적 중량(g/cm³)

g : 중력가속도(cm/s²)

실제의 토립자에는 여러 크기의 것이 혼합되어 있어 입경의 기준을 정하기 어려우므로 침투류 해석에서 얻어지는 침투류의 실유속이 <표 4.4>의 입경에 대한 한계유속의 1/100 이하가 되도록 해야 한다.

<표 4.4> 한계유속

재료번호	입경(mm)	한계유속(cm/s)
1	4.0 ~ 4.8	20.0
2	2.8 ~ 3.4	17.0
3	1.0 ~ 1.2	10.0
4	0.7 ~ 0.85	8.5
5	0.4 ~ 0.7	7.0
6	0.25 ~ 0.5	4.2
7	0.11 ~ 0.25	3.5
8	0.075 ~ 0.11	2.5
9	0.044 ~ 0.075	2.0

(나) 한계동수경사에 의한 방법

분사현상(quick sand)을 이르키는 한계동수경사는 테르자기(Terzaghi)의 다음 식으로 계산한다.

$$i_c = \frac{h}{d} = \frac{G_s - 1}{1 + e} = (1 - n)(G_s - 1) \quad (4.11)$$

여기서 i_c : 한계동수경사

h : 저수지 전수두(m)

d : 분사지점의 수두(m)

G_s : 토립자의 비중

e : 흙의 간극비

n : 흙의 간극율

분사현상에 대한 저항력은 소성지수가 큰 재료일수록 큰 경향이 있으며 점착력이 없는 세립자의 i_c 는 0.5~0.8로 본다. 침투류 해석에 의하여 산출한 동수경사가 한계동수경사의 1/2 이하가 되도록 해야 한다.

4.2.7 사면활동의 안정성 검토

(1) 활동에 대한 최소 안전율

활동에 대한 최소 안전율은 재료의 시험과 안정계산의 정밀도가 불충분하거나 연약지반 위의 댐과 같이 불안정 요소가 포함되었다고 판단되는 경우에는 1.5를 취하되 여타의 경우 <표 4.5>를 기준으로 한다.

(2) 설계하중

제체 및 기초의 활동파괴에 대한 안전성의 검토에 고려되는 하중은 자중, 정수압, 간극수압 및 지진 관성력으로 하고 이를 저수지의 상태에 따라 적용해야 한다.

<표 4.5> 활동에 대한 최소안전율

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

(가) 자중

활동파괴에 대한 안정계산에 사용하는 제체의 자중은 다음과 같다(<그림 4.11> 참조), 그리고 제체재료의 단위체적 중량은 실제 사용하는 재료에 대하여 시험을 실시하고 그 결과에 의해서 결정한다.

- ① 완성직후로서 저수하지 않을 때(<표 4.6>의 5 경우) 제체재료의 습윤단위 체적중량($\gamma_{\{t\}}$)으로 한다.

(<그림 4.11> (a) 참조)

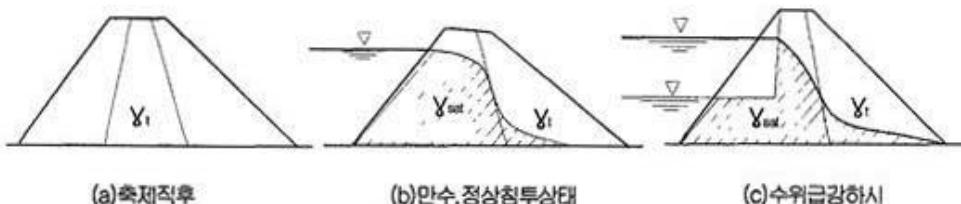
- ② 몇 년 후 저수로 정상 침투상태가 된 경우(<표 4.6>의 1~4 경우) 저수지 침윤선의 윗 부분은 제체 재료의 습윤 단위체적중량($\gamma_{\{t\}}$)을 사용하고 침윤선 아래 부분은 포화단위체적중량($\gamma_{\{sat\}}$)을 사용한다.

(<그림 4.11> (b) 참조)

- ③ 수위 급강하시(<표 4.6>의 6(a) 및 6(b) 경우)<표 4.6>의 6(a) 및 6(b) 경우

침윤선의 윗 부분은 제체재료의 습윤 단위체적중량($\gamma_{\{t\}}$)을 사용하고 침윤선에서 아랫 부분은 포화 단위체적중량($\gamma_{\{sat\}}$)을 사용한다.

(<그림 4.11> (c) 참조)



<그림 4.11> 필댐의 자중에 의한 하중을 계산할 때의 단위체적중량을 취하는 법
 <표 4.6> 활동파괴를 검토하는 경우

경우	저수지의 수위	정수압을 구할 경우의 저수지 수위	침투수(간극수압)의 상태	지진관성력을 구하는 경우의 설계진도	원형 활동면 분할법의 적용	
					응력표시	계산사면
1	설계 홍수위	설계 홍수위	설계홍수위에서 침투류가 정상상태	-	유효용력	상하류측
2	서차아지 수위	서차지 수위	서차지수위에서 침투류가 정상상태	50%	유효용력	상하류측
3	상시 만수위	상시 만수위	상시만수위에서 침투류가 정상상태	100%	유효용력	상하류측
4	중간수위	중간수위	중간수위에서 침투류가 정상상태	100%	유효용력	상류측
5	빈 경우 완성직후	-	축제중 간극수압이 잔류	50%	전용력 또는 유효용력	상하류측
6(a)	수위 급강하	강하후수위 최저 수위	상시만수위에서 최저 수위까지 강하했을 때 이미 간극수압이 잔류	100%	유효용력	상류측
6(b)	수위 급강하			50%	유효용력	

(나) 정수압

활동파괴에 대한 안정계산에 있어서 저수시의 정수압의 활동모멘트 쪽으로의 기여분을 어떻게 고려할 것인가를 생각하여 안전한 값을 주는 방법을 채택하여야 한다.

(다) 지진관성력

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

적용설계진도는 제 11 장 내진설계편에서 정하는 진도를 기준으로 한다.

(라) 간극수압

유효용력표시에 의한 안정계산에서 고려되는 간극수압은 다음과 같은 상태를 고려하여 적용한다.

- ① 시공중 및 완성 직후에 있어서의 흙 속의 응력변화로 발생하는 간극수압
- ② 저수시의 정상침투류에 의한 간극수압
- ③ 수위 급강하시의 간극수압

(3) 설계수치

설계수치는 적절한 토질시험의 결과를 기초로 하여 시공조건 등을 고려하여 신중하게 결정해야 한다.

(가) 설계치

설계밀도 $\gamma_{\{d\}}$ 는 현장 함수비로서 다질 수 있는 밀도를 취하는 것으로 한다. 이것들은 토질, 기상, 시공 조건등에 의하여 변하지만 보통 KS 시험규격에 의한 최대 건조밀도의 90~95%

정도를 적용한다. 이때 전단강도는 같은 다짐도라도 습윤층(OMC+)의 전단강도를 적용한다. 댐 높이 25m 이하인 경우 점토질이 많은 흙으로써 여간해서는 90% 밀도를 얻기 힘드는 경우는 시공 중의 압밀에 의해 증가되는 전단강도에 대하여 설계치를 KS 최대 건조밀도의 85% 정도로 하는 경우도 있다.

(나) 전단시험치

전단시험은 가능한 한 3축압축시험으로 하는 것이 기준이다.

토질재료의 전단강도는 전단시험의 조건에 따라서 변하므로 시험목적에 알맞는 시험 조건으로 해야한다.

전단시험 조건은 다음의 3 종류가 있으며, 이들은 공시체의 전단력 및 전단시의 배수조건에 따라서 분류한다.

- ① 비압밀 비배수시험(UU 시험) - 댐완성 직후의 상태
- ② 압밀 비배수시험(CU 시험) - 수위급강하시, 댐완성후 정상침투 상태
- ③ 압밀배수시험(CD 시험) - 댐완성후 정상침투 상태

시험 중 모든 단계에서 완전히 배수 및 간극수압을 소산시키면서 하는 시험을 말한다. 점토의 경우는 CD 시험이 불가하므로 CU 시험에 의하는 것이 좋다.

(다) 전단시험값의 적용

① 댐완성 직후

댐완성 직후에 간극수압을 결정할 수 없는 경우에는 비압밀 비배수시험(UU 시험)을 통해 구한 C , Φ 를 사용하여 사면의 활동에 대한 해석을 실시해야 한다.

댐완성 직후에 간극수압을 소정의 정밀도로 정량적으로 추정할 수 있는 경우에는 압밀비배수시험(CU 시험)이나 압밀 배수시험(CD 시험)에 의해서 유효응력을 나타내는 C' , Φ' 를 구하여 사면안정 해석에 이용한다.

② 댐완성 후

댐완성 후 충분한 시간이 경과하고, 건설 중에 발생한 간극수압의 대부분이 소산된 경우에는 압밀배수시험(CD 시험)이나 압밀 비배수시험(CU 시험)에 의해서 유효응력을 나타내는 C' , Φ' 를 구하고 안정해석에 이용해야 한다.

이 때 투수성재료의 압밀 배수시험은 비교적 짧은 시간에 용이하게 수행할 수 있으나, 점토분이 많은 불투수성재료의 압밀은 시간이 많이 소요되며, 전단시에도 많은 주의가 필요하다. 따라서 C' , Φ' 만을 구하는 것이 목적인 경우에는 1축전단 시험에 의해도 좋다.

③ 저수위가 급강하는 경우

투수성 재료는 압밀 배수전단시험 값을 사용하여 유효응력을 나타내는 C' , Φ' 를 구하고 불투수성 재료에 대해서 압밀 배수전단시험이나 압밀 비배수시험의 결과를 사용하여 C' , Φ' 를 구하여 투수성부 및 불투수성부에서 유효응력 해석에 의한 사면 활동에 대한 안정을 구한다.

(라) 축제재료의 불균질성

필댐에 있어서 축제 재료가 균질이라고 생각하는 것보다는 오히려 균질이 아니라고 생각하는 것이 좋은 경우가 많다. 따라서 어떤 존의 시험값을 단일의 숫자로 생각하여 설계하면 큰 착오를 범하게 된다. 그래서 가장 안전한 방법으로서는 저수에 의한 포화범위를 조사하는 데는 재료 중에서 가장 투수성이 큰 값을 취할 것이며, 반대로 수위가 저하할 때는 배수범위를 조사하여 가장 투수성이 작은 값을 취하도록 한다.

(마) 축제 후 변화하는 재료의 설계

댐체 재료 중에는 사용전과 후에 성질이 상당히 폭넓게 변화하는 것이 있다. 예로서 풍화가 심한 암석은 전압에 의하여 부서지고 풍화암은 축제 후 여러 해에 걸친 수분 및 공기와의 접촉에 의하여 분리가 촉진된다. 그 결과 전단강도, 투수, 압밀도등에 변화가 생겨서 그것이 제체의 안정에 악영향을 미치는 경우도 있다.

이와 같은 재료는 될 수 있으면 안정계산에 관계가 적은 존에 사용하도록 설계할 때 고려해야 한다.

(4) 안정 계산

댐의 안정 계산은 크게 나누어 임계원에 의한 활동면법과 응력-변형해석법을 사용한다. 가장 일반적인 방법은 활동면법으로, 실제의 활동파괴현상에 잘 부합될 뿐 아니라 안정해석에 안전측이기 때문이다.

활동면법에는 블록해석(block analysis)법, 무한사면해석(infinite slope analysis)법, 평면해석 (plane surface analysis)법과 마찰원법 및 비마찰원법($\phi=0$)이 있는 원호해석 (circular surface analysis)법, 그리고 Ordinary, Bishop, Janbu, Morgenster-Price, Spencer 방법등의 절편법(method of slices)이 있어 이중 적합한 것을 택하여 분석하면되고 검증된 프로그램에 의한 수치해석 결과와 비교해야한다. 이 때 어느 경우나 해당 최소안전율 이상의 안전율이 확보되어야 한다.

(5) 수치해석에 의한 안정성 검토

댐체 및 기초의 응력과 변형등의 크기와 분포상태를 수치해석 방법으로 구하고 이를 활동면법에 의하여 구한 결과치와 비교한 후 이로부터 댐의 안정성을 검토해야 한다. 유한요소법보다 정도가 높고 경제적인 수치해석기법이 있으면 이의 적용도 가능하다.

4.2.8 변형의 안정성 검토

대규모 필댐에 있어서는 제체 및 기초에 대하여 변형 해석을 실시해야 한다. 변형해석은 기존댐의 관측기록과 실내 및 현장시험 등을 통하여 얻은 물성치를 기초로 하여 수치 해석을 한다. 필댐의 변위는 연직방향의 변위(침하), 댐의 상하류방향의 변위 및 댐의 축방향변위의 3 가지 변위로 나눌수 있다. 필댐에 있어서는 이들 세방향 변위는 막을 수 없고 그 양도 콘크리트 댐에 비해서 매우 크다. 변위의 크기 및 시간적인 변화는 부등침하와 사일로(silo) 현상의 방지, 댐의 더쌓기 결정 및 균열발생방지 등의 점에서 중요한 요소가 된다.

변형해석을 실시해야 할 필요가 있는 경우는 다음과 같다.

(1) 댐이 높을 경우

(2) 댐 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

변형해석은 1967년 Clough, 1969년 Duncan 등에 의하여 유한요소에 의한 해석방법이 제안된 이후 여러 유사해석방법이 실시되고 있으나 그 중 Duncan-Chang 방법이 가장 널리 사용되고 있다.

4.2.9 소규모 댐의 설계

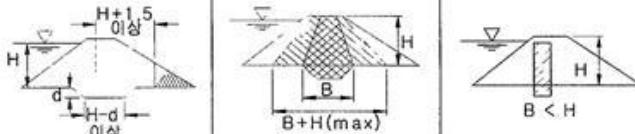
(1) 소규모 댐 규정

댐 높이 15m 미만의 댐을 소규모 댐이라 한다. 소규모 댐의 측제재료의 선택, 댐형식의 선정 및 비탈면 기울기의 결정에 대해서는 이 규정에 의하고 특별한 경우를 제외하고는 안정계산을 생략할 수 있다.

(가) 안정기초상의 비탈기울기

소규모 댐의 설계도 원칙적으로는 큰 댐의 설계기준을 적용 하지만 그다지 엄밀한 설계시공을 한다는 것은 비경제적일 뿐만 아니라 불합리한 경우도 있으므로 댐체설계는 거의 간이화된 <그림 4.12>와 같은 도표 또는 수식을 이용한 방법에 의한다. 그러나 소규모 댐에 있어서도 댐 부피가 클 때는 보다 더 엄밀한 설계시공을 함으로써 공사비를 대폭 절약할 수도 있다.

제체 불투수성부	재료 투수성을 상류	댐의 형식					
		균일형		존형		코어형	
		상류 (수위급강하)	하류	상류 (수위급강하)	하류	상류 (수위급강하)	하류
GC, GM	ROCK	2.5(3.0)	2.0	2.0(2.5)	2.0	2.0(2.0)	2.0
SC, SM	GW, GP	2.5(3.0)	2.0	2.0(2.5)	2.0	2.0(2.0)	2.0
CL, ML	SW, SP	3.0(3.5)	2.5	2.5(3.0)	2.5	2.0(2.0)	2.0
CH, MH	등 무엇이 든 가능함	3.5(4.0)	2.5	3.0(3.5)	2.5	2.0(2.0)	2.0



<그림 4.12> 안정기초상의 소규모 댐의 비탈기울기

(나) 축제재료의 선택

댐 높이가 낮으므로 축제재료로서는 점토의 우위성이 증가된다. 또 전압도 큰 댐과같이 완전하게 되지 않는 것이므로 점토를 사용하는 것이 지수성에 있어서도 안전하다. 이러한 이유로서 큰댐에서는 점토분이 과다하다고 생각되는 재료(0.05 mm 이하가 30~40%, 0.005 mm 이하가 15~25%)가 소규모 댐에서는 최적의 재료로써 사용된다.

(다) 댐 형식의 선택

소규모 댐의 경우 가장 유리한 형식은 준형 그 다음이 균일형이다. 균일형 댐의 배수도량을 설치할 위치는 불투수성부의 폭을 안전을 위해 넓게 잡고 큰댐의 경우보다는 하류로 떼어 두는 것이 좋다.

(라) 연약지반위의 비탈기울기

연약한 지반위의 소규모 댐에 있어서는 상.하류 다같이 1:3.0 이상의 비탈로 하고 다시 압성토를 한다. 압성토의 재료는 중량만 있으면 되며, 다소의 유기질분이 섞여도 무방하다.

(2) 여유고

소규모 댐의 여유고는 다음 식에 의해서 산출한다.

$$\text{여유고} = 0.05 H + 1.0 m \quad (4.12)$$

여기서, $H(m)$ 는 기초지반에서 설계 최고수위까지의 높이이다.

(3) 댐마루 폭

소규모 댐의 댐마루 폭은 다음 식으로 산출한다.

$$\text{댐마루 폭} = 0.2 H + 2.0 m > 3.0(m) \quad (4.13)$$

(4) 상류비탈면의 보호

소규모 댐의 상류 비탈면의 보호공은 댐마루머리에서 1/2 저수위까지를 원칙으로 하며, 보호공 아래끝에는 소단을 설치하여 세굴 및 활동을 방지하는 것이 좋다. 보호재료는 수집하기 쉬운 재료라면 사석, 돌붙임, 자갈등 무엇이든 좋다. 이런 것을 수집할 수 없어서 콘크리트 블록을 사용할 경우에는 블록밑에 두께 20~30 cm 정도의 막자갈을 깔아서 흙이 빠져나가는 것을 방지한다. 또 이음에는 부등침하에 견디며, 물이 잘 빠지도록 메쌓기로 한다.

(5) 암거의 설치

취수량이 적은 소규모 댐에서 암거는 전길이에 걸쳐 균질이고 충분한 지지력을 가진 원지반을 굴착해서 설치하여 침하 및 누수를 방지하도록 설계한다.

4.2.10 가배수로와 가물막이

하천을 가로질러 댐을 축조하려면 댐계획 지점으로 흐르는 유량을 적절한 방법으로 처리하고 댐의 기초처리 및 댐체의 축조에 지장이 없도록 해야 한다.

가배수로의 설계시 고려하여야 할 사항은 제 10 장 10.2 항을 참고한다. 더욱이 가배수로는 댐완공후 취수시설로서 이용되는 일이 많으므로 설계시에 이들을 고려해야 한다.

4.3 필댐의 시공관련 설계검토

4.3.1 기초지반의 처리

(1) 기초굴착면의 정리

댐의 하상기초는 그 자체가 댐의 제 1 층으로 생각하여야 하며 댐체와 기초가 일체가 되도록 접착에 장해되는 요인은 확실히 제거해야하며 댐 기초지질의 확인의 기회로 삼아 단층 절리, 파쇄대 등 지질결함이 있는 경우 대책을 수립할 수 있도록 해야 한다.

(가) 요철부 성형

굴착면 요철부는 돌출부는 절취하고 오목부는 양질의 점토 또는 불투수성 재료로 충전하도록 해야하며 개구부는 규모가 작은 경우 시멘트 몰탈로 충전하고 규모가 큰 경우 콘크리트로 충전한다.

(나) 사면부 성형

사면부(양안부)의 기초굴착후 굴착사면의 최대 경사각은 70° 가 넘지 않도록 성형하고 경사각이 급변할 때 변화각이 20° 를 넘지 않는 성형이 되도록 성형기준이 설계서에 제시되어야 한다.

4.3.2 축조공사

(1) 시험성토

제체의 흙쌓기는 각기 축제 재료에 가장 적당한 전압기계와 전압방법에 의하여 설계 조건에 맞는 다짐정도로 시공되도록 설계에 시험성토 방법을 제시해야 한다. 전압밀도에 영향을 미치는 요소는 다음과 같다.

(가) 로울러의 형식, 중량, 접지압, 통과회수, 속도

(나) 흙의 종류, 함수비, 펴 고르기 두께

로울러의 종류와 흙의 통일분류법에 의한 흙의 종류와의 사이에는 실적으로서 <표 4.7>과 같은

관련이 있음이 밝혀졌다.

<표 4.7> 토질에 따른 로울러의 적성

토질	로울러식	평활동 로울러	타이어 로울러	그리드 로울러	덤 핑 로울러	파 상 로울러	진 동 로울러	다짐기	다짐대	트레터
GW	○	○					○	○	○	
GC		○			○	○	○	○	○	
GP	○	○					○	○	○	
GM	○	○		○	○	○	○	○	○	
SW	○	○	○				○	○	○	○
SC	○	○	○				○	○	○	
SP	○	○	○				○	○	○	○
SM	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
ML		○	○	○	○	○				
CL		○	○	○	○	○				
OL		○	○	○	○	○				
MH		○	○	○	○	○				
H		○		○	○	○				
OH		○		○	○	○				

(2) 롤필의 시공

롤필의 시공에 있어서는 설계에 표시된 치수의 암석을 가장 경제적으로 얻을 수 있는 발파법을 찾으며 또 허용침하량의 범위내에 들 수 있도록 그 쌓는 두께, 살수량, 전압방법 또는 한총올림(리프트)의 높이 등을 규정해야 한다.

4.3.3 흙쌓기의 시공관리

(1) 시공관리 시험

시공중의 품질관리를 위하여 시공과정에서 필요한 시험의 종류, 시험방법, 시험의 빈도, 시료채취방법, 관리기준, 시험실의 운영, 시험자료의 정리 및 분석, 시험기구의 비치, 시험자의 정원규모 등을 미리 정하여 제시하고 그 비용을 계상해야 한다.

(2) 관리결과의 기록

일상관리의 결과는 관리일보에 기록하며, 일정한 시간마다 통계처리를 하도록 하고 그 결과는 항상 관리기준에 적응케 하고 필요하면 표준 규정값을 변경하도록 규정해야 한다.

4.3.4 매설계기

댐을 축조하는데는 여러 종류의 계기를 매설하여 축조과정에서의 안전과 품질관리를하고 댐이 완성되어 담수후에는 댐내부에서의 응력변화와 이에 따른 댐체의 거동을 관측하여 안전관리에 활용한다. 계기설치수량은 기준댐의 설치실례와 운영실적을 참고하여 하되 운영기간중의 고장 등을 고려하여 20% 정도의 여유물량을 추가하여야 한다.

다목적댐이나 높이가 큰 필댐에서는 기본적으로 다음과 같은 계기를 설치해야 한다(표면차수벽형 댐의 경우는 제 5 장 5.6 절 참조)

(1) 간극수압계

주로 차수부에 설치하여 축조공사중 간극수압을 측정하여 축조속도를 관리하고 담수후에는 간극수압의 소산상황의 측정, 침윤선의 추적 및 지진시 제체내의 간극수압의 거동을 측정할 목적으로 적절한 위치에 설치한다. 일반적으로 제체단면중 큰 단면을 갖는댐중앙단면을 포함한 2~3 개 단면에 표고 15~20m마다 댐축에 지각방향의 평면상에 하류측 필터 및 상류측에 설치한다.

(2) 토압계

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

(3) 층별침하계

차수부에 수직으로 일정간격(높이 5m 간격이 일반적임)마다 설치하여 층별 침하량을 측정한다.

(4) 수평변위계

댐의 변형과 수위변화에 따른 수평방향의 변형을 측정하기 위하여 각존간의 수평면상에 일정간격으로 여러개의 변위계를 설치한다.

(5) 누수측정장치

필댐하류에 누수집수벽을 설치하고 일정구간별 누수량 집수정 및 측정장치를 설치하여 구간별 누수량을 측정한다.

(6) 지진계

지진 발생시 댐체의 지진응답을 해명하기 위하여 침투부의 기초암반면, 중간표고부 및 댐 정상부 혹은 댐 경사면에서 설치한다.

(7) 암반변위 측정계

기초암반 부위에 설치하여 암반의 변형특성 및 하중의 내력(내하성, 耐荷性)을 측정한다.

(8) 전단변위 측정계

재료가 상이한 성토면의 상대변위의 측정이나 급한 비탈경사를 갖는 양안부에 설치하여 기초지반과 성토부의 전단변위를 측정한다.

제 5 장 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐

5.1 설계일반

5.1.1 적용범위

(1) 이 장에서 규정하는 사항은 일반적으로 댐높이 15m 이상의 "콘크리트 표면 차수벽형 석괴댐(concrete face rockfill dam, 이하 "CFRD"라 한다.)"의 설계에 적용한다. 이보다 댐 높이가 낮은 경우에도 이 기준을 준용할 수 있다.

(2) 이 기준은 설계시 지켜야 할 최소한의 내용을 규정한 것으로 이용 가능한 선택범위를 제시하는데 있다. 실제 적용시에는 축적된 설계수준의 정도와 개별 댐 지점의 현장여건을 감안하여 탄력적으로 적용하여야 한다.

5.1.2 용어의 정의

(1) CFRD 란 <그림 5.1>과 같이 댐단면이 물과 접하는 상류부에 차수를 위한 프린스(plinth) 및 콘크리트 표면차수벽(이하 "차수벽"이라 한다.)과 차수벽을 지지하는 차수벽 지지존 및 암석존으로 구성되는 댐이다.

(2) 내부마찰각(ϕ)은 암의 재질, 형상, 강도와 암석존 재료의 입도분포 및 다짐도 등에 영향을 받으며, 댐단면의 사면경사등 단면을 결정하는데 기초자료로 활용되는 중요한 인자이다.

(3) 프린스는 차수벽과 기초지반을 수밀(氷密)상태로 연결시키고 기초 그라우트 캡(cap)의 역할을 함과 아울러 차수벽 및 제체에서 전이되는 하중을 지지하여 지반으로 전달하는 차수벽의 주춧돌(toe) 역할을 담당하는 철근콘크리트 구조물이다.

(4) 차수벽(face slab)은 담수후 저수지 물의 흐름을 차단하기 위한 구조물로서 건설중이거나 담수시 일어나는 변형을 수용할 수 있도록 주변이음, 수축이음, 시공이음을 가진 철근 콘크리트 슬라브이다.

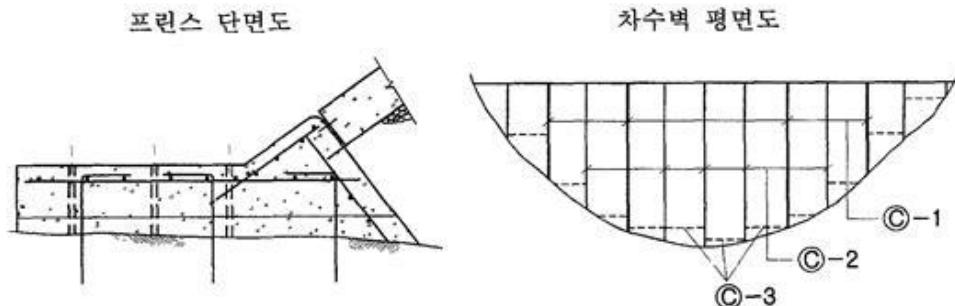
(5) 주변이음(perimetric joint)은 담수후 차수벽의 변형을 수용할 수 있도록 프린스와 차수벽의 접합부에 설치되는 이음이다.

(6) 수직신축이음(vertical contraction joint)은 차수벽 콘크리트의 온도응력등으로 인한 흥방향 변위를 수용하기 위하여 설치되는 수직이음으로서 철근이 절단된다.

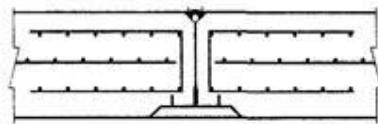
(7) 시공이음(construction joint)은 차수벽 콘크리트의 타설시 시공의 편의를 위하여 설치되는 이음으로 철근은 끊어지지 않으며, 수직시공이음과 수평시공이음으로 구분된다.

(8) 파라페트 월(parapet wall)은 댐체의 일부로서 댐마루의 상류 끝단에 설치되며 저수지 수면의 파랑으로 인한 월파의 방지 역할과 함께 저수공간의 확보기능을 하는 옹벽 구조물이다.

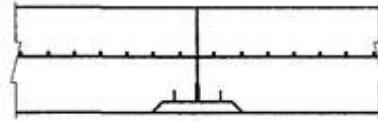
(9) 댐높이는 댐의 기초지반과 댐마루의 표고차를 말하므로 CFRD 에서는 댐의 기초지반인 프린스 바닥에서 댐마루의 하류측 비탈머리까지의 표고차를 말한다.



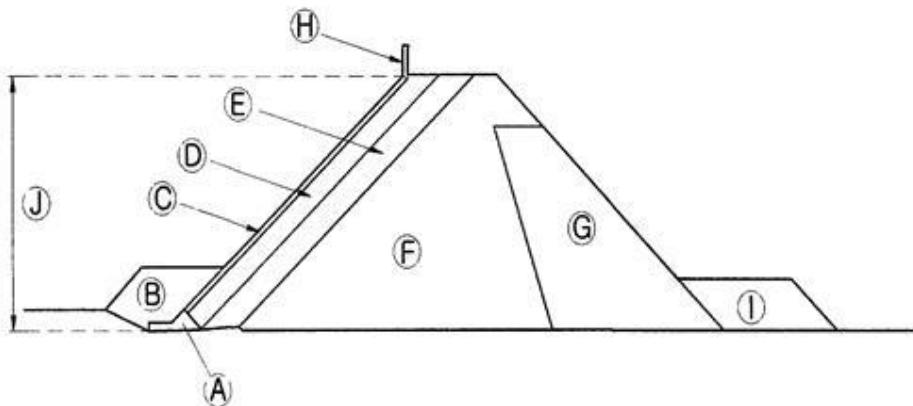
<그림 5.1> CFRD 표준단면도(1)



신축이음



시공이음



- | | |
|--------------|---------|
| Ⓐ 프린스 | Ⓑ 불투수존 |
| Ⓒ 차수벽 | |
| Ⓒ-1 : 수직신축이음 | |
| Ⓒ-2 : 수직시공이음 | |
| Ⓒ-3 : 수평시공이음 | |
| Ⓓ 차수벽 지지존 | Ⓔ 선택존 |
| Ⓗ 파라페트 월 | Ⓕ 주암석존 |
| | Ⓖ 보조암석존 |
| Ⓘ 친환경존 | Ⓘ 댐높이 |

<그림 5.1> CFRD 표준단면도(2)

5.1.3 표면차수벽형 석괴댐의 선정

(1) 일반사항

(가) CFRD의 설계는 확고한 이론에 근거하기보다는 실제 구조물의 거동상태에 따른 분석결과와 현장에서의 시공경험에 기초를 두고 있다. 시공사례를 통해 댐의 안정성은 입증되고 있으나 차수벽의 균열, 각종 이음부의 벌어짐 등으로 인한 누수의 문제점에 대하여 연구가 계속되고 있다.

(나) 일반적으로 CFRD를 댐의 형식으로 고려시 장점은 다음과 같다.

- ① 우리나라에는 지질구조상 CFRD의 주 축조재료인 암석자원이 풍부하고 구득이 쉬워 일반적으로 동일 규모의 다른 필댐보다 경제적인 설계가 가능하다.

② 댐체 축조시 기상의 영향을 비교적 적게 받음으로 다른 형식의 필댐보다 공기상 비교적 유리하다.

③ 댐체가 파이핑등 누수에 대해 저항력이 높은 입경이 큰 암석재료로 구성되므로 구조적으로 안정성이 비교적 높다.

④ 그라우팅 공종이 프린스 위에서 이루어지므로 댐축조와는 별개 공정으로 할 수 있어 공기단축이 가능할 뿐만 아니라 유지관리단계에서 노출된 차수벽에 대한 검사와 보수가 용이하다.

(다) CFRD 형식 선정시 기본적으로 검토하여야 할 사항은 댐규모와 지형지질, 공사용재료, 기상 및 가율막이 계획, 자연환경적 조화, 공사기간 및 경제성, 유지관리, 지진에 대한 안정성 등이다.

(2) 형식선정시 고려할 수 있는 사항

(가) 댐규모와 지형지질

① 양안부의 경사가 급한 경우라도 중심코아형 필댐에서 발생될 수 있는 점토심벽재료의 부등침하로 인한 인장균열 등과 같은 문제점이 적기 때문에 안정성 측면에서 상대적으로 유리하다.

② 지질과 관련해서는 신선한 경암 지반이 가장 좋지만 다른 형식의 댐과는 달리 지질조건에 크게 영향을 받지 않는다. 하지만 압축성 기초지반은 가급적 피하는 것이 좋다.

③ CFRD 의 차수를 담당하는 프린스 기초지반이 신선한 암반이 아닌 층적토, 풍화토와 같은 지반인 경우에도 기초지반의 누수에 따른 세굴이나 파이핑에 대한 대책이 강구되면 기초지반으로 사용될 수 있다.

(나) 공사용 재료

① 압축강도가 큰 암석재의 채취가 경제적으로 가능할 경우 점토 등 다른 차수용 재료의 구득의 난이에 크게 상관없이 대안검토가 될 수 있다.

② 파쇄암을 사용할 경우 암석특유의 층성변형이 발생하므로 이를 고려하여 입도분포등을 적절히 계획하여야 한다.

(다) 수문기상 및 유수전환 계획

① CFRD 는 제체 축조시 대부분의 공정이 암석을 다짐하여 축조하는 것으로 강우등 기상조건에 영향을 비교적 적게 받아 다른 형식의 필댐보다 공사기간이 상대적으로 적게 소요된다.

② 유수전환 계획시 공사중 가율막이댐이 유통되는 경우에도 제체에 미치는 홍수피해가 다른 형식의 필댐보다 상대적으로 적어 낮은 빈도의 확률홍수량을 채택할수 있다. 이러한 경우라도 최근의 기상변화와 홍수로 인한 제반 손실(인명피해, 공사비, 공사기간 등)을 고려하여 유수전환 계획을 수립하여야 한다.

(라) 자연환경적 조화

① 댐제체에 공사용 도로(ramp)를 비교적 용이하게 설치할 수 있어 도로 개착에 따른 자연환경

훼손을 최소로 할 수 있다.

② 댐높이가 동일할 경우 다른 형식의 필댐에 비해 사면경사를 비교적 급하게 할 수 있으므로 댐의 체적이 감소함에 따라 암석개발물량을 줄일 수 있어 자연환경을 적게 훼손할 수 있다.

(마) 공사기간 및 경제성, 유지관리

① 기초처리가 프린스 기초부위로 거의 제한되며, 기초처리를 댐축조와 독립적으로 시공할 수 있어 공사기간이 다른 형식의 필댐보다 상대적으로 짧다.

② 공사중 제체내 간극수압에 따른 문제가 없기 때문에 축조중 함수비 조정이 거의 필요없고 일반적으로 적은 강도의 강우량(약 30 mm 이하/일)이 내릴 경우에도 축조작업에 크게 지장이 없는 등 비교적 전천후 시공이 가능하다.

③ 시공중에 심벽형 필댐과 같이 심벽재나 필터재의 차량 통과에 따른 제한을 크게받지 않아 제체를 거의 운반도로화 할 수 있고 축조용 공사재료의 수송이 비교적 용이하다.

④ 댐체체는 전단강도가 큰 암석재료로 축조점으로써 다른 형식의 필댐보다 댐 상·하류면의 경사를 급하게 할 수 있어 댐체적을 감소시킬 수 있을 뿐만 아니라 댐저폭이 줄어들어 방류관등 부대 시설물의 계획이 경제적으로 된다.

⑤ 차수벽의 균열과 균열부위를 통한 누수가 있더라도 보수부위가 표면부에 국한되어 다른 형식의 필댐에 비해 보수가 비교적 용이하다.

⑥ 다른 형식의 필댐과는 달리 기초부나 차수벽의 누수가 세굴이나 파이핑 작용을 수반하지 않으므로 댐의 안전에 직접적인 영향을 미치지 않는다.

(바) 지진에 대한 안정성

① 기본적으로 댐체에 간극수압이 작용하지 않아 지진진동시 유효응력의 감소가 없으며 암석재의 주 축조 재료인 대형 암괴의 엇물림 작용으로 지진에 대한 안정성이 비교적 높은 것으로 평가되고 있다.

② 프린스는 일반적으로 암반위에 설치되고 제체와 분리되어 있으므로 댐 기초암반으로부터 댐체의 하단에 진동이 전달되면서 나타나는 제체 구성재료의 불균질에 의한 증폭현상이 크지 않은 것으로 평가되고 있다.

③ 지진동으로 차수벽에 균열이 일어날 수 있지만 차수벽의 균열부위를 통과한 물은 적절한 입도 및 투수성을 확보한 차수벽 지지존과 암석준을 통해 안전하게 통과되므로 이로 인해 댐의 안전이 크게 위협되지 않는 것으로 평가되고 있다.

④ 차수벽의 누수로 인한 제체의 세굴이 부분적으로 있을지라도 침식이 완만하여 댐 전체의 급격한 붕괴가 초래될 위험이 적고 부분적인 보수를 신속히 할 수 있다.

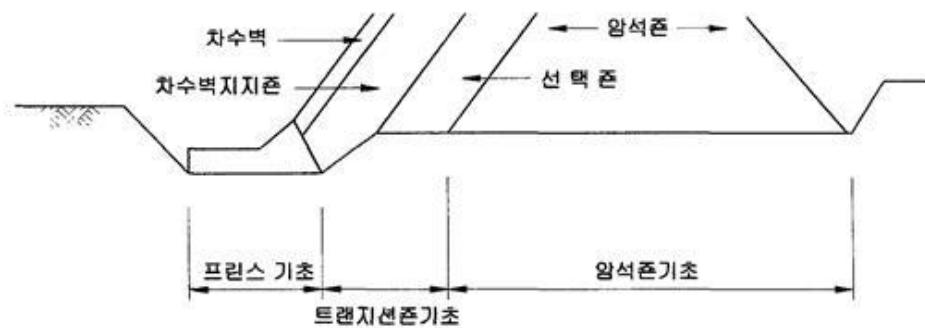
(사) 기타사항

① 흉수에 대비한 여수로 설계시 여수로를 댐체체내에 설치하지 않는 것은 다른 필댐과 마찬가지지만 댐의 규모 및 흉수량의 규모가 크지 않고, 댐체체의 침하량을 최대 한도로 줄이는 것이 가능할 경우 여수로 설치가 검토될 수 있다.

5.2 기초설계

5.2.1 일반사항

(1) 기초설계는 <그림 5.2>와 같이 프린스 기초, 트랜지션(transition)존 기초 및 암석존기초 설계로 나누어진다. 프린스의 위치결정은 기초상태의 확인을 위해 시추조사를 통해 이루어져야 한다.



<그림 5.2> 존 기초의 설정

(2) 기초설계의 주요한 목적은 기초의 요철등으로 야기될 수 있는 제체의 부등침하에 의한 제체의 변위 및 차수벽의 균열발생을 방지하는데 있다.

(3) 댐기초지반의 형상은 기초설계에 크게 중요하지 않으나 프린스 기초 암반부의 굴곡은 가급적 급하지 않는 것이 좋다. 양안부에서 프린스의 사면경사의 가파르기는 가급적 $1:0.25$ 보다 급하지 않게 하여야 한다.

(4) 댐저폭은 통상 댐높이의 2.6 배 이상이고 모든 수압은 댐축의 상류부 기초부에 작용하는 것으로 가정하므로 총활동안전율(제체하중/수평수하중)이 약 7.5 정도인 CFRD 의 경우 제체 하류부 기초굴착 처리기준은 중심코아형 필댐보다 엄격성이 낮다.

(5) 기초처리의 기준은 기초부의 침투수로 인한 파이핑이나 침식 가능성을 제거하는 것으로 기초암반은 견고한 암반이 좋지만 반드시 경암 지반을 요구하는 것은 아니다.

(6) 차수벽의 변형에 영향을 미칠 수 있는 위치에서 기초의 압축성은 중요하다. 정확한 시추 주상도를 이용하여 기초의 압축성을 평가하여야 할 것이다.

(7) 일반적으로 제체 기초의 허용성을 평가하는 주요한 요소는 강도, 압축성, 침식성, 투수성이다.

5.2.2 기초지반의 평가요소

(1) 강도

(가) 기초의 일부분에 있는 충적층이나 풍화암은 제거하지 않는 것이 경제적일 수 있으나 투수에 불리한 방향의 심(seam)이 포함되어 있으면 안정성 검토가 필요하다. 이 경우 기초의 안정성을 확보할 수 있도록 기초보강 공법을 수립하거나 제체 사면경사를 완화하는 것이 필요하다.

(2) 압축성

(가) 기초지반은 예상되는 댐의 하중을 충분히 지지할 수 있고 가급적 침식, 풍화에 강한 신선한 지반을 선택하여야 한다.

(나) 제체 및 차수벽 지지준 기초의 압축성으로 인해 차수벽에 큰 균열을 유발할 수 있는 부등침하를 방지하여야 한다.

(다) 프린스 하류 $0.3H$ 또는 $0.5H$ (H : 그 프린스 단면에서의 댐높이) 내의 기초구간은 가장 높은 수하중을 받으며 이의 변형은 차수벽의 변형에 크게 영향을 미치므로 압축성이 적어야 하고 균등하게 유지되게 하여야 한다.

(라) 기초지반의 압축성에 대한 허용치는 규정할 수 없지만 축조암의 탄성계수보다 큰 기초재료는 허용될 수 있다. 만약 기초의 압축성이 축조 암석존(rockfill zone)의 압축성보다 크거나 같다면 차수벽의 변형에 미치는 기초침하의 영향을 고려해야 한다.

같은 수치해석에 의한 분석이 이루어져야 한다.

(마) 기초의 압축성에 의한 차수벽의 변형의 정도를 평가하기 위하여 유한요소해석과

(3) 침식성

(가) 프린스 기초의 높은 동수경사(hydraulic gradient)로 인한 침식의 방지는 매우 중요하다. 만약 침식성 재료가 적정하게 제거될 수 없다면 동수경사를 줄여 침식으로 인한 재료의 이동과 누수를 방지하여야 한다.

(나) 트랜지션존 기초의 폭은 암질(특히 균열의 빈도, 방향성, 충진물의 특성)과 동수경사에 의존된다. 특별한 기초지반인 경우 침식성을 방지하기 위해 그 폭은 최대 댐높이의 1 배까지 연장될 수도 있다.

(4) 투수성

(가) 프린스 기초는 낮은 투수성을 가져야 하며, 일반적으로 투수성을 낮추기 위해 그라우팅등이 이루어져야 한다.

5.2.3 프린스 및 트랜지션존의 기초

(1) 담수로 인한 수하중은 주로 주변이음의 벌어짐에 작용하기 때문에 프린스 하상부의 하천 횡단방향의 형상은 크게 중요하지 않다. 거의 수직인 안부로 인하여 발생될 수 있는 상대적으로 큰 전단변형은 주변이음에서 감당할 수 있도록 하여야 한다.

(2) 프린스의 기초는 보통 그라우팅이 가능한 견고하고 침식이 되지 않은 신선한 암반이지만 기초지반에 대한 선택기준은 없다. 기초지반의 풍화의 상태를 알기 위하여 지반을 암의 상태에 따라 분류하여야 하며, 다나까(田中, 일본)의 암반분류 기준에 의할 경우 CM 급 이상이면 일반적인 기초처리를 통해 기초지반으로 사용할 수 있다.

(3) 다소 신선하지 않은 기초암반에 대하여는 국부적인 결함을 처리하기 위하여 트렌치굴착을 시행하여 보강방안을 강구하여야 한다.

(4) 프린스의 하류측 끝단에서 하류쪽으로 트랜지션존 기초구간까지 또는 최소 10m 의수평거리 내에는 프린스 지지층 정도의 암반이 요구되므로 일반적으로 프린스의 기초 처리기준을 따른다.

(5) 프린스의 기초부와 댐축사이 구간에는 돌출부분으로 인한 응력집중이 발생되지 않도록 가급적 고르게 처리하여야 한다.

(6) 프린스 기초가 제체기초와 동일 표고상에 위치하지 않을 경우 차수벽의 지지력에 급격한 변화가 일어나지 않도록 경사구간이 필요하다. 통상 프린스 기초보다 제체기초의 표고가 더 높다면 차수벽의 경사보다 트랜지션존 구간의 기초지반 사면경사를 완만하게 한다. 만약 제체기초가 더 낮다면 차수벽의 지지력 및 주변이음의 변위의 크기를 고려하여 트랜지션존 구간의 기초지반 사면경사는 1:1 보다 급하게 하지 않는 것이 적절하다.

5.2.4 암석존의 기초

(1) 암석존의 기초는 제체의 대부분의 하중을 부담하며 암반분류는 다나까에 의한 암반 분류기준으로 CL 급(풍화암급) 정도를 기준으로 한다.

(2) 암반의 수밀성 증대보다는 제체의 부등침하의 방지, 지지력 등의 부족에 대처할 수 있도록 하여야 한다.

(3) 돌출암등에 대하여는 댐체의 거동분석을 통해 부등침하가 발생되지 않도록 제거하여야 한다.

(4) 자갈이외의 토질인 퇴적층등은 제체의 자중에 의한 압축에 의거 부등침하의 우려가 있으므로 제거하거나 안정대책을 강구하여야 한다.

5.2.5 댐의 기초처리

(1) 일반사항

(가) 지반의 침하나 기초 지반의 누수에 의한 세굴 및 파이핑 현상이 발생하지 않도록 설계하여야 한다.

(나) 프린스 기초암반이 신선한 암반이 아니고 풍화암, 단층대, 균열대 등으로 구성되어 있을 경우에는 세부적인 지질조사를 실시하여 지층 또는 지반의 구성상태를 확인한 후 적절한 대응공법을 강구해야 한다.

(다) 지층이 풍화된 사암 또는 이암층으로 구성되어 프린스 접촉면에 침투수 발생이 우려되는 부위에 대해서는 트렌치를 굴착하여 콘크리트를 채워 침투수 발생을 방지할 수 있도록 하여야 한다.

(라) 기초상태에 따른 기초설계의 원칙은 침투장 연장처리, 콘크리트 채우기 처리, 그라우팅의 처리로 대별되며 개별적으로 적용하거나 상호 연계하여 처리방법을 채택할 수 있다. 이중 본

장에서는 그라우팅에 의한 기초설계의 일반적인 내용을 다룬다.

(2) 그라우팅

(가) 일반사항

- ① 그라우팅의 목적은 프린스 기초부 지반의 지질학적 결함을 개량하고 침윤선을 연장시켜 누수량의 감소, 세굴방지 및 기초의 지지력을 증대시키는데 목적이 있다.
- ② CFRD 는 그라우팅 작업이 프린스 위에서 이루어지는 경우가 많기 때문에 댐축조 및 차수벽의 타설공종과 별개 공정으로 수행할 수 있다.
- ③ 그라우팅은 일반적으로 커튼그라우팅을 중심으로 압밀그라우팅을 상호 보완연계되게 시행한다.
- ④ 그라우팅의 설계시 지반 개량범위, 주입재 종류, 대략의 심도, 공간격 등의 개요는 댐의 수심, 지층상태, 지질도와 시공사례(<표 5.1>)를 고려하여 결정하여야 한다.
- ⑤ 그라우팅 주입으로 인해 수질환경에 악영향이 나타나지 않도록 주입재료 선정시 환경유해여부를 반드시 검토하여야 한다.
- ⑥ 그라우팅 최대 주입압은 투수시험 결과에 의거 암반의 균열상태, 물시멘트 농도비, 주입깊이 등에 따라 다르지만 물시멘트 농도비 1 : 10 을 기준으로 할 경우일반적으로 만수시 수압의 3 배 정도로 하고 있다.

<표 5.1> 댐별 그라우팅 처리현황

댐 명	설 계 년도	준 공 년도	댐 높이 (m)	차수그라우팅			암밀그라우팅			
				심도 (m)	공간격 (m)	배 치	심도 (m)	공간격 (m)	배 치	
평화의댐 (1단계)	1987	1989	80.0	30~40	2.5	1열	10.0	2.5	상하류 /2열	
남강댐 (보강)	1989	1999	34.0	11~22	2.0	1열	5.0	2.0	상하류 /2열	
부안댐	1990	1996	50.0	10~35	2.0	1열	5.0	2.0	상하류 /2열	
밀양댐	1991	시공중 (2001)	89.0	45(20)	1.75	1m /2열	5.0	1.75	상하류 /2열	
용담댐	1991	시공중 (2001)	70.0	20~45	1.5	/2열	5.0	1.5	상하류 /1~3열	
산청 양수 댐	상부 댐	1995	시공중 (2001)	97.0	11~42	1.5	1열	5.0	2.0	상하류 /2~3열
	하부 댐	1995	시공중 (2001)	67.5	14~42	1.5	1열	5.0	2.0	상하류 /2~3열
탐진댐	1996	시공중	53.0	25~40	2.0	1.5m /2열	5.0	2.0	상하류 /2열	
양양 양수 상부댐	1997	시공중 (2005)	95.5	30~44	2.0	1.5m /2열	5.0	3.0	상하류 /	
영월댐	1997	미정	98.0	55~70	2.0	1.5m /3열	10.0	2.0	1.5m /2~3열	
대곡댐	1996	시공중 (2002)	52.0	30	2.0	1.0m /2열	5.0	2.0	상하류 /2열	

(나) 커튼그라우팅

- ① 커튼그라우팅의 목적은 암반내의 절리면을 따라 하류로 유출되는 침투수를 억제하고 침투수에 의한 양압력, 파이핑 현상 등으로부터 댐체의 안정성을 확보하기 위한 것이다.
- ② 커튼그라우팅의 공심도, 공간격, 열간격 등은 기초 지반의 상태, 댐높이, 최대수심등에 따라 결정되며, 일반적인 커튼그라우팅 기준은 필댐의 기준에 따른다.
- ③ 그라우팅 작업은 저수위(貯水位), 지질상태, 주입 영향권 등에 따라 결정되지만 통상 1 열 내지 2 열로 배치한다. 2 열시 열간격은 1.0~2.0m 정도이나 프린스의 폭등을 고려하여 시험그라우팅을 통해 결정하여야 한다. 지층이 극히 좋지 않는 곳에서는 저수위(低水位) 이상과 이하로 나누어 지반여건에 따라 상·하류로 보조그라우팅을 실시할 수 있다.
- ④ 그라우팅공 배치를 함에 있어 지질의 상태에 따라 단층구간 같은 곳에서는 수직공에만 의존하지 말고 경사공을 배치하여 단층대와 교차를 확실하게 하여 차수효과를 높힐 수 있도록 하는등 상호 보완적인 그라우팅이 될 수 있도록 하여야 한다.
- ⑤ 양안 접합부에 대하여는 지질상태에 따라 수직공에만 의존하지 말고 경사공을 배치하여 암반의 절리면과 교차되도록 하여 주입효과를 높힐 수 있도록 하여야 한다.
- ⑥ 공간격은 일반적으로 1.5~2.5m 를 기준으로 2 열 이상의 경우 지그재그로 배치하며 암반의 변형성, 기존암반의 강도, 압밀성, 수밀성 등을 개량할 수 있도록 하여야 한다.

⑦ 그라우팅에 의한 투수성 처리기준은 필댐의 처리기준에 따르며 일반적으로 3 루존이하로 한다.

⑧ 그라우팅후 투수성에 대한 확인은 20~30m 간격의 검사공을 천공하여 수압시험을 시행하고 그 결과에 따라 판단하여야 한다.

(다) 압밀그라우팅

① 압밀그라우팅의 목적은 표면부 기초암반의 상태(변형성, 강도, 압밀성, 수밀성)을 개량하기 위한 것이다. CFRD 에서 압밀그라우팅은 프린스 아래의 암반층을 직접통과하는 상대적으로 짧은 침윤선 때문에 다른 형식의 필댐보다 특히 중요하다.

② 공간격은 일반적으로 1.5~2.5m 로 커튼그라우팅을 중심으로 상 · 하류부에 1 열 또는 2 열로 배치한다.

③ 압밀그라우팅의 공심도는 일반적으로 5~10m 를 기준으로 하며, 기초의 폭 혹은 균열대의 폭등 기초지반의 상태에 따라 달리 정할 수 있다. 일반적인 압밀그라우팅의 기준은 필댐의 기준에 따른다.

(3) 단층대등 결함부의 처리

(가) 기초 굴착면 부위에 나타난 단층대에 대하여는 단층대의 특성을 조사하여 기초로서 요구되는 조건을 확보할 수 있도록 하여야 한다.

(나) 프린스 기초부위의 모든 단층, 파쇄대 및 층진절리등은 충분한 깊이까지 굴착하여 깨끗이 청소한 후 콘크리트 등으로 층진하도록 하여야 한다. 프린스 기초로부터 차수별 지지준 구간내 확장된 절리나 침식성 심(seam)은 최소한 이들 폭과 동일한 깊이까지 굴착하여 보강대책을 강구하여야 한다.

(다) 단층대 치환시 치환심도는 아래와 같이 USBR(미)식과 경험적인 방법이 통상 사용되고 있으며 단층대의 특성에 따라 아래 식을 기준으로 탄력적으로 적용보완할 수 있다.

① 경험적인 방법은 공내 수압시험에 의해 D 급 정도의 탄성계수를 나타내는 구간에 대해 치환한다.

② USBR 경험식은 수심에 따라 달리 정한다.

$$H \geq 46m \quad d = 0.006H + 1.5m \quad (5.1)$$

$$H \leq 46m \quad d = 0.276b + 1.5m \quad (5.2)$$

여기서, d : 단층대 치환심도(m),

b : 단층대의 폭(m),

H : 댐높이(m)

(라) 선택존 및 암석존 기초부위의 단층대에 대하여는 단층대의 지질분류를 통해 압축성에 의한 침하량을 계산하거나 현장재하시험등을 실시하여 부등침하 여부를 검토하여야 한다.

5.3 프린스의 설계

5.3.1 일반사항

(1) 본 장은 프린스의 강도, 안정성, 경제성을 유지하기 위한 최소한의 설계조건을 규정한 것으로서 설계자가 반드시 지켜야 하는 것을 정의하는 것은 아니다.

(2) 과거에는 콘크리트지수벽(cut off)공법에 의거 침투수 방지를 도모했으나 기초암반을 굴착하는 과정에서 기초부위에 대한 충격, 파손 등으로 기반암을 약화시키는 결과가 초래되어 프린스 공법으로 정착되었다.

(3) 프린스의 목적은 차수벽과 댐기초를 수밀상태로 연결하고, 그라우트 캡으로서의 역할을 하기 위한 것이다.

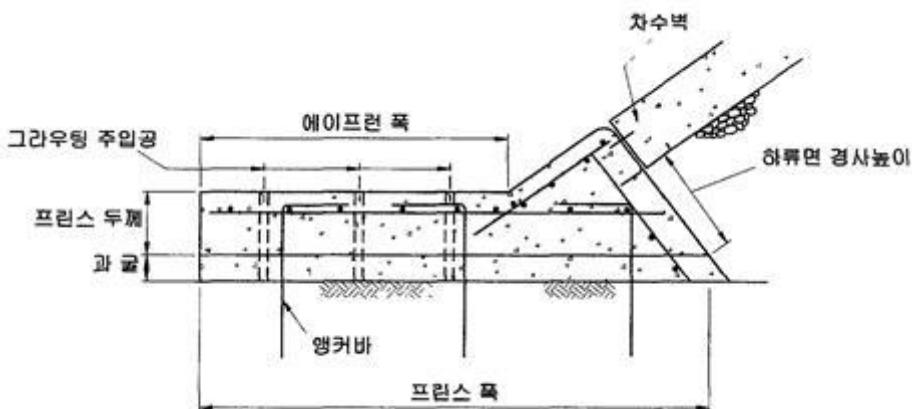
(4) 프린스의 설계는 주로 양안부의 기울기, 기초지질 특성과 기초암반의 심도, 프린스폭에 대한 수두의 비율인 동수경사의 값등에 주로 의존한다.

(5) 프린스는 일련의 직선으로서 놓여진다. 변곡점은 기초조건 및 양안부의 지형특성에 적합되도록 선택된다.

(6) 프린스는 차수벽에 작용하는 수하중으로 인해 주변이음이 벌어진다고 예상하고 프린스와 차수벽 사이에는 상호 작용력이 없는 것으로 가정하여 수평으로 작용하는 수압에 저항하는 구조물로서 설계하여야 한다. 프린스의 두께가 클 경우(1.0m 이상)에는 활동에 따른 안정성 해석이 필요하다.

(7) 프린스의 단면을 결정하기 위한 안정해석시 적용하는 수두는 계획홍수위로서 하중분포는 양압력에 의해 상부 끝단 지점의 최대수두에서부터 시작해서 하류 끝에서는 0 까지 선형적으로 감소하여 슬라브 전폭에 걸쳐서 발생하는 것으로 가정한다.

(8) 이 기준에서 적용하는 프린스의 각 부분의 명칭은 <그림 5.3>과 같다.



<그림 5.3> 프린스의 폭원

(9) 프린스의 폭과 두께의 설계는 통상 시공사례(<표 5.2>)등을 참고하여 경험적으로 정해지고 있다.

(10) 프린스는 시공중 그라우팅 작업등의 시공의 용이성과 완성후 유지관리시 상류사면의 접근성을 고려하여 양안부에서 계단으로 계획할 수 있다.

<표 5.2> 프린스의 폭 및 두께 설계현황

댐 명	설계년도	댐 높이 (m)	프린스 폭 (m)	프린스 두께 (m)	비 고
남강댐(보강)	1989	34.0	5.0	0.6	
부안댐	1990	50.0	3.0	최소 0.6	
밀양댐	1991	89.0	8.0/5.0	1.0	최대/최소
용담댐	1991	70.0	8.0/5.0	1.0	
산청 양수	상부댐 1995 하부댐 1995	97.0 67.5	7.0/5.0 6.0/4.0	0.8/0.6 0.8/0.6	
탐진댐	1996	53.0	6.0/4.0	0.8/0.6	
양양 양수 상부댐	1997	95.5	5.0/4.0	0.8/0.6	
영월댐	1997	98.0	8.5/7.5	1.0	
대곡댐	1996	52.0	5.0	0.6	

5.3.2 프린스의 폭

(1) 프린스의 폭은 경험적인 방법과 기초암반의 상태와 상류 끝단에 작용하는 양압력에 의한 동수경사를 산정하여 정할 수 있다. 암반상태에 따른 허용 동수경사는 <표 5.3>과 같이 적용하고 있다.

<표 5.3> 암반상태에 따른 허용 동수경사

암반상태	허용 동수경사	비고
신선한 기초암	20	- Salvajina 댐은 18을 적용
파쇄대가 없는 기초암	10	- Cirata 댐의 경우 각력암과 사
약간 풍화된 암	5	암은 20, 이암부는 10을 적용
심하게 풍화된 암	2	

(2) 프린스의 기초지반이 대부분 신선한 암반이므로 그라우팅에 의해 별도의 압력이 작용하지 않는다고 보면 폭과 동수경사와의 관계를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

동수경사 = 수두/프린스의 폭

여기서, 수두 = 계획홍수위 - 프린스의 기초표고

(3) 위의 방법에 의하여 프린스의 폭을 결정할 수 있으나 통상 폭의 결정은 경험적으로 다음과 같이 정한 범위내에서 적절히 선택하여 결정한다.

(가) 기초지반이 양호하고 그라우팅이 가능한 댐에서는 총수두의 1/15 ~ 1/25 정도로 한다.

(나) 기초지반이 양호하지 않을 경우에는 총수두의 1/6 까지 적용한다.

(4) 댐수위와 기초지반의 지질상태가 횡단면을 따라 국부적으로 변동이 심할 때는 폭원은 일정치 않을 수 있다. 저수위 이하와 이상 구간으로 나누어 달리 적용할 수 있다.

(5) 프린스의 최소폭은 기초처리시 그라우트 캡 역할을 하므로 전공과 주교작업등 그라우팅 작업에 필요한 공간의 확보를 위하여 일반적으로 3m로 한다. 단, 댐높이가 25m 이하인 경우 2m의 폭도 사용될 수 있다.

5.3.3 프린스의 두께

(1) 설계두께는 차수벽 두께와 거의 비슷하게 시공되며 굴착시의 여굴과 불규칙한 지형으로 인해 최소두께는 통상 0.3~0.4m 정도로 하지만 두께에 대한 허용 기준은 없고 현장 지질조건, 시공기술 수준 등을 고려하여 결정한다. 하상부나 양안 접합부를 구분하여 동일한 두께로 하거나 혹은 달리 적용하여 설계할 수 있다.

(2) 두께는 양반과 구조물의 면위를 고려하여 기초처리시 그라우트 압력에 저항할 수 있도록 특수한 지반을 제외하고는 $2.5\sim4.0 \text{kgf/cm}^2$ 의 압력이 작용하는 경우로써 아래식과 같이 산정할 수 있다.

$$P = S_w + A_f > 2.5\sim4.0 \quad (5.3)$$

여기서, P : 그라우트 압력에 저항하는 힘(kgf/cm^2)

$S_{\{w\}}$: 프린스 자중(kgf/cm^2)

$A_{\{f\}}$: 앙카바 인장력(kgf/cm^2)

(3) 주변이음에 연하여 설치되는 프린스의 하류면 경사방향 높이(downstream face height)는 수하중에 의한 차수벽의 거동이 탄성적으로 지지될 수 있도록 하여야 하므로 댐높이가 40m 이상일 경우 차수벽 하단으로부터 직각방향으로 최소한 500 mm이상 확보되어야 한다.

5.3.4 철근

(1) 철근의 기능

(가) 철근보강의 주된 목적은 온도철근으로서의 기능을 유지하고 흔용력으로부터 진전될 수 있는 균열의 폭을 최소화하고 분산시키기 위함이다.

(나) 과거에는 상, 하 2 열의 종단철근을 사용하였으나 길이방향으로 이중 종단철근은 프린스를 강성으로 만들고 하부 기초암의 적은 부등침하에도 적응하기 어렵다는 의견도 있다. 최근 철근은 1 열로 상부 철근으로만 사용하여 그라우트 캡으로서의 역할과 온도응력에 대비하는 경향이 있으나 기초굴착 깊이에 따른 프린스의 높이를 고려하여 철근배치를 2 열로 정할 수 있다.

(2) 철근비

(가) 철근비는 통상 폭과 길이방향에 걸쳐 일정한 간격으로 각 방향 슬래브 두께의 0.3% 정도가 사용되고 있다.

(나) 철근위치는 일반적으로 상부표면으로부터 10~15 cm 밑에 배근되며 앵커바와 직간접으로 연결된다.

(3) 앵커바

(가) 앵커바의 목적은 콘크리트를 암반에 고정시켜 부착력 확보와 그라우팅 작업시 발생할 수 있는 상향력에 대비하기 위한 것이다.

(나) 앵커바의 길이, 간격, 직경은 암반조건과 시공사례, 하중분할에 따른 응력분포에 근거하여 선정되어야 한다. 경험상 앵커바는 직경이 25~35 mm로써 각 방향 1.0~1.5m 간격이고 길이는 3~5m로 설계되고 있다.

(다) 일반적으로 슬래브를 그라우트 캡으로 이용하여 그라우트 작업시 주입된 시멘트는 암과 콘크리트의 접촉면을 따라 상향력으로 작용하지는 않는다고 본다. 이 경우 그라우팅시 양압력에 의한 슬래브의 융기에 저항하기 위하여 앵커바가 필요하다는 개념은 적합하지 않을 수 있으나 프린스 바닥 하부의 짧은 구간내에서 암의 절리등으로 인해 그라우트 압력은 상향력을 가질 수 있으므로 이를 고려하는 것이 타당하다.

(라) 앵커바는 단순한 철근으로서 암반 근입깊이까지 그라우팅하고 배근되는 철근에 부착시키기 위하여 180° 또는 90° 같고리가 일반적으로 사용된다.

(4) 수직시공이음

(가) 지형과 시공상의 편의를 위해 미리 정해진 위치에 수직시공이음을 둘 수 있다. 일반적으로 수직시공이음의 간격은 15m 정도에서 정해지고 있다.

(나) 과거에는 사전 지정된 지점에 지수판을 가진 시공이음이 통상 사용되었으나 오늘날 시공이음은 지수판 설치에 따른 시공의 어려움으로 구조상 취약부가 될 확률이 높기 때문에 지수판의 설치없이 철근으로 연결하고 있는 경향이 있다. 시공조건이 허용할 경우 지수판의 설치와 병행하여 철근으로 연결할 수 있다.

(다) 차수벽 콘크리트의 건조수축에 의한 균열을 감소시키기 위하여 수직시공이음에 균열유도 출눈을 설치할 수 있다.

(5) 수직신축이음

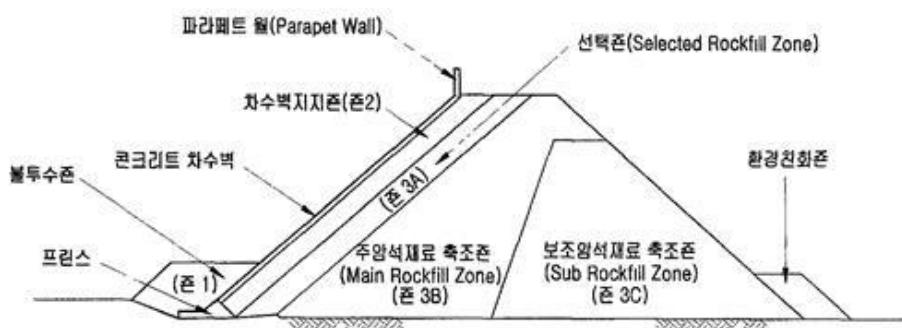
(가) 프린스 횡방향으로 신축이음을 둘 경우 차수벽의 신축이음과 겹치지 않는 위치에 배치하는 것이 좋다.

(나) PVC 지수판을 설치하고 주변이음의 PVC 지수판과 T 자형으로 연결되도록 하여 완전한 지수효과를 얻을 수 있도록 하여야 한다.

5.4 댐 표준단면의 설계

5.4.1 일반사항

(1) CFRD 의 표준단면은 기초암반의 여건에 따라 부분적으로 변화가 있으나 견고한 암반 기초 위에 CFRD 가 건설될 경우 표준단면은 대부분 <그림 5.4>와 같이 구성되고 있다.



<그림 5.4> 댐체의 일반적인 구성

5.4.2 댐체 단면의 구분

(1) 제체단면은 일반적으로 차수벽 지지존, 선택존(트랜지션존), 암석존과 파라페트 월, 불투수존(주변 이음부 보호존) 및 차수벽으로 세분된다.

(가) 존 1은 프린스와 차수벽간의 주변이음을 보호하기 위한 불투수존(upstream blanket zone)으로 사용 재료에 따라 1A, 1B로 세분하기도 한다.

(나) 존 2는 차수벽에 접하여 있는 차수벽 지지존(face slab bedding zone)을 말한다.

(다) 존 3A는 차수벽 지지존 하류부의 암석준으로 일명 선택준(selected rockfill zone transition or filter zone)이라 부른다.

(라) 존 3B는 주 암석재료 축조준(main rockfill zone)이라 부른다.

(마) 존 3C는 보조 암석재료 축조준(sub rockfill zone)이라 부른다.

(2) 이들 준외에 최근에는 댐체의 자연환경적인 조화를 고려하여 댐체 하류 비탈면부에 조경식재등을 위한 환경친화준을 설치하고 있으며, 이러한 사례는 점점 증가하는 추세를 보이고 있다.(1) 일반사항

5.4.3 댐마루 표고와 여유고

(1) 일반사항

(가) 댐마루의 높이는 설계홍수위에 따라 결정되며 이 위에 여유고를 감안하여야 한다.

(<표 5.4> 참조)

CFRD는 다른 형식의 필댐과는 차수벽과 재료특성에 따른 차이가 있다. 일반적으로 댐마루 표고를 결정하는 방법에는 수위를 기준으로 하는 방법과 파라페트 월을 기준으로 하는 방법을 상호 비교하여 설계자의 판단에 의해 선정한다.

<표 5.4> 댐마루 표고 및 여유고 설계사례

댐 명	설계 년도	여수로 조절형식	대상홍수	최고수위 (EL.m)	여유고 (m)	댐마루 표고(EL.m)	파라페트 월 마루표고(EL.m)
남강댐(보강)	1989	문비	PMF	46.0	4.70	51.0	52.2
부 안 댐	1990	자연	PMF	47.5	1.50	49.0	49.0
밀 양 댐	1991	문비	FWL	(210.2)	2.00	212.5	213.5
용 담 댐	1991	문비	PMF	267.46	1.87	268.5	269.5
산청 상부댐	1995	자연	PMF	680.5	0.98	680.5	681.5
양수 하부댐	1995	자연	PMF	276.5	1.17	276.5	277.7
탐 진 댐	1996	문비	PMF	84.0	1.93	85.0	86.0
양양 양수 상부댐	1997	자연	PMF	935.5	1.00	935.5	936.7
영 월 댐	1997	문비	PMF	288.0	3.43	291.5	292.5
대 곡 댐	1996	자연	PMF	124.3	2.30	126.8	-

(나) CFRD 에서 파라페트 월을 설치할 경우 이의 여유(freeboard)에 의해 저수공간을 최대한 활용할 수 있다는 점에서 댐높이를 프린스 바닥으로부터 파라페트 월의 상단까지로 하는 것도 검토할 수 있다.

(2) 수위를 기준으로 댐마루 표고를 결정하는 방법

댐마루 표고는 아래와 같이 2 가지 수위를 기준으로 산정한 여유고중 높은 값을 각기 더하여 결정한다.

$$\textcircled{1} \text{ 빈 도 홍 수 기 준} : H_s = FWL + H_f \quad (5.4)$$

$$H_f = R + \Delta h + h_1 + h_2 \quad (5.5)$$

$$\textcircled{2} \text{ 최고홍수위(PMF기준) 기준} : H_s = Max.FWL + H_f \quad (5.6)$$

$$H_f = R + h_1 + h_2 \quad (5.7)$$

여기서, $H_{\{s\}}$: 댐마루 표고 C(ELm)

$H_{\{f\}}$: 여유고(m)

R : 비탈경사 및 조도에 따라 기어올라가는 높이를 포함한 파고(m)

Δh : 이상홍수에 의한 수위상승(m)

$h_{\{1\}}$: 여수로 형식에 의한 안전고(m)

$h_{\{2\}}$: 댐형식에 의한 안전고(m)

Max.FWL : PMF 유입시 저수지 최고 상승수위(EL.m)

FWL : 설계홍수량 유입시 저수지 최고 상승수위(EL.m)

3) 파라페트 월을 기준으로 댐마루 표고를 결정하는 방법

상시만수위(NHWL)와 최고홍수위의 2 가지 수위를 기준수위로 하고 여기에 시공후 예상 침하량, 파랑고, 여수로 문비 등에 따라 가산되는 여유고 등을 더한 최소 여유고와 상시 여유고중에서 더 높은 값을 파라페트 월의 정부표고로 결정한다. 댐마루고 결정은 저수지 최고수위와 같게 하거나 또는 파라페트 월 정부표고에서 1.0~1.5m 정도 뺀 것을 채택하는 방법이다.

$$\textcircled{1} \text{ 최소 여유고 기준} : H_p = Max.FWL + H_f \quad (5.8)$$

$$H_f = S + H_w + H_a \quad (5.9)$$

$$② \text{상시 여유고 기준} : H_p = NHWL + H_f \quad (5.10)$$

$$H_f = S + H_{sw} + H_{eq} + H_a \quad (5.11)$$

여기서, $H_{\{b\}}$: 파라페트 월의 상단표고(ELm)

S : 시공후 침하량(m)

$H_{\{sw\}}$ (상시파랑고) = $1.5 \times H_{\{w\}}$ (m)

$H_{\{w\}}$ (파랑고) = $0.00086U_{\{1.1\}} \times F_{\{0.45\}}$ (m)

U : 10분간평균풍속(m/s)

F : 대안거리 (m)

$H_{\{a\}}$: 여수로 문비조작에 따른 안전고(있다 : 0.5m, 없다 : 0.0m)

$NHWL$: 상시만수위(EL.m)

$H_{\{ea\}}$ (지진에 의한 파랑고) = $[(K_{\{h\}} \times T)/2 \times 3.14] \times (gH)^{1/2}$ (m)

$K_{\{h\}}$: 수평지진계수

T : 주기 (s)

g : 중력 가속도(m/s^2)

H : 수심(m)

(4) 일반적으로 수위를 기준으로 하는 방법이 파라페트 월을 기준으로 하는 경우보다 댐마루 표고가 다소 높게 나타난다. CFRD에서는 제제재료의 특성상 파라페트 월을 기준으로 하는 방법을 채택할 경우 댐단면을 줄이고 이를 파라페트 월로서 대체할 수 있다.

5.4.4 댐마루 폭의 결정

(1) 댐마루 폭은 댐높이와는 직접 관계없이 시공상의 필요성, 사용목적 등에 따라 정한다.

(2) 댐마루 폭은 구조적인 측면보다 공사중 주장비의 통과나 차수벽 타설공사를 위한 장비설치등 주로 시공시의 편의, 안전, 유지관리 기능 등을 고려하여, 일반적으로 중 소규모 댐에서는 6m, 대댐에서는 10m 정도를 설정하고 있다.

5.4.5 더쌓기

(1) 댐체는 대부분 풍화암층위에 축조하게 되므로 기초의 압축에 의한 침하는 없다고 볼 수 있다. 경험상 댐체의 대부분의 침하는 공사기간중에 발생하는 것으로 추정되지만 댐축조 완료후의 장기 침하량을 예측하여 더쌓기를 하는 것이 필요하다.

(2) 설계단계에서 장기 침하량은 재료의 압축성과 축조시 다짐의 불균등에서 오는 공극등을 고려하여 제체 축조 완료후로부터 댐높이의 통상 0.1% ~ 0.35% 정도로 추정한다.

(3) 더쌓기 하는 방법은 일반적으로 다음의 2 가지 방법에 따른다.

(가) 첫째, 예상 침하량을 고려하여 댐마루에 더쌓기를 하는 방법이다. 파라페트 월의 접합부 및 차수벽과의 이음부 처리문제가 따른다.

(4) 둘째, 댐마루에 더쌓기를 고려하지 않고 단지 예상침하량 높이만큼 파라페트 월의 높이를 높히는 방법이며, 댐의 침하로 인하여 댐마루가 오목하게 변형될 우려가 있다.

(라) 위의 방법중에서 일반적으로 둘째 방법에 의한 것이 시공성, 경제성 측면에서 다소 유리할 수 있다.

(5) 더쌓기는 일반적으로 댐의 중앙부에 댐높이에 따른 장기 침하량을 감안하여 설정한다.

5.4.6 댐체 사면경사의 결정

(1) CFRD 에 있어서는 암축조 특성상 사면안정 문제가 따르지 않기 때문에 일반적으로 단면에 대한 안전도 해석에 의해 사면경사를 구하지 않는다. 사면경사는 기초암반의 압축성, 암축조 재료의 내부마찰각, 댐높이 등을 기초로 기존 설계사례(<표 5.5>)를 참고로 하여 경험적인 결과를 바탕으로 댐체의 특성별로 표준경사 및 사면도로의 규모를 정한다.

<표 5.5> 댐고 및 상·하류 사면경사 시공사례

댐 명	설계년도	준공년도	댐높이 (m)	댐마루폭 (m)	경사도	
					상류면	하류면
동복댐	-	1985	45.0	-	1.5	1.5
평화의댐 1단계	1987	1989	80.0	12.0	1.5	1.5
남강댐(보강)	1989	1999	34.0	7.5	1.5	1.5
부안댐	1990	1996	50.0	9.5	1.4	1.4
밀양댐	1991	시공중 (2001)	89.0	10.0	1.4	1.4
용답댐	1991	시공중 (2001)	70.0	10.0	1.4	1.4
산청 양수 상부댐	1995	시공중 (2001)	97.0	10.0	1.4	1.4
산청 양수 하부댐	1995	시공중 (2001)	67.5	10.0	1.4	1.4
탐진댐	1996	시공중	53.0	10.0	1.4	1.4
양양 양수 상부댐	1997	시공중 (2005)	95.5	10.0	1.4	1.4
영월댐	1997	미정	98.0	10.0	1.5	1.5
대곡댐	1996	시공중 (2002)	52.0	9.5	1.4	1.8

(2) 댐의 상·하류 사면경사는 일반적으로 댐 높이에 따라 1 : 1.3(내부마찰각 37도)에서 1 : 1.6 정도의 범위에 걸쳐 정한다. 내부마찰각 37도는 쓸어놓은 암석의 안식각에 해당되며 암축조로 다짐한 경우 내부마찰각은 약 45도 이상의 값이 될 것이다.

(3) 높이가 높은 댐인 경우나 연암급으로 암축조하는 경우 이보다 경사도를 다소 완만하게 할 수 있다.

(4) 댐 하류사면은 친환경적 측면을 고려하여 사면경사를 다소 조정할 수 있다.

5.4.7 댐체 사면도로

(1) 댐 좌·우안에 도로개설로 인한 자연환경 훼손 범위를 고려하여 댐하류측 사면의 공사용 도로를 배치할 수 있다.

(2) 도로의 평균경사는 10%, 폭은 6~7m 정도이지만 댐축조를 위한 공사용 차량의 구간별 통행을 고려하여 도로폭과 경사를 달리 적용할 수 있고 댐높이에 따라 통과차량의 원활을 위한 회차로를 고려할 수 있다.

5.4.8 댐단면의 구성

(1) 일반사항

(가) 댐 저면의 폭은 최소한 댐 높이의 2.6 배 정도로 나타나고 있다.

(나) 댐마다 <표 5.6>과 같이 각 존별 최대입경 및 입도분포가 다양한 것은 존별 입도분포의 선정이 주로 댐주변의 암재료원 분포를 감안한 설계에 기인한데 따른 것이다.

(다) 각 존별 최대치수 및 입도분포에 대한 절대적인 기준은 규정할 수 없다. 다만 본 기준에서 정하는 표준적인 입도분포를 기준으로 현장의 암재료원 분포 등을 고려하여 탄력적으로 입도분포를 선정하여야 한다.

<표 5.6> 우리나라 CFRD 축조재료의 설계현황

댐 명	설계 년도	댐높이 (m)	Zone	최대입경 (mm)	밀도 (t/m ³)	내 부 미찰각 (도)	디짐 회수	다짐 두께 (cm)	다짐 장비 (V/R)	주행 속도 (km/h)
평화의 댐 (1단계)	1987 ~ 1989	80.0 ~ 135.0	2	75	2.1	49	4	40	10ton	4
			3A	150	2.1	49	4	40		
			3B	800	2.0	46	4	100		
			3C	1,500	1.9	43	4	160		
			3D	2,000	2.8	41	4	200		
남강댐 (보강)	1989	34.0	2	100	2.21	43	6	30	10ton	4
			3A	300	1.89	42	6	50		
			3B	600	2.04	50	6	60		
			3C	1,000	1.96	48	4	100		
부안댐	1990	50.0	2	75	2.10	45	7	30	10ton	4
			3A	150	2.10	43	6	50		
			3B	800	2.00	43	4	100		
			3C	1,500	1.90	41	6	160		
밀양댐	1991	89.0	2	75	2.10	45	6	40	10ton	4
			3A	150	2.10	45	6	50		
			3B	800	2.00	43	4	100		
			3C	1,500	1.90	40	4	160		
용담댐	1991	70.0	2	75	2.20	45	6	-	10ton	4
			3A	150	2.10	43	6	-		
			3B	800	1.95	43	6	100		
			3C	1,500	1.90	41	6	160		
산청 양수 상/하부댐	1995	97.0 /67.5	2	75	2.00	38	6	40	10ton	4
			3A	150	2.10	37	6	40		
			3B	800	2.30	41	6	100		
			3C	1,500	2.30	42	6	160		
양양 양수 상부댐	1997	95.5	2	75	-	-	6	40	10ton	4
			3A	150	-	-	6	40		
			3B	800	-	-	6	100		
			3C	1,500	-	-	6	160		
영월댐	1997	98.0	2	75	2.30	43	6	40	10ton	4
			3A	150	2.20	42	6	40		
			3B	800	2.10	41	6	100		
			3C	1,500	2.10	42	6	160		
대곡댐	1996	52.0	2	75	2.10	45	6	-	10ton	4
			3A	150	1.95	43	6	-		
			3B	800	2.14	43	5	-		
			3C	600	1.96	40	4	-		

2) 차수벽 지지존(존 2 : bedding zone or fine fill zone)

(가) 일반사항

- ① 차수벽을 직접 지지하고 있는 존으로서 반투수성 벽을 만듬으로써 차수벽의 균열이나 결함이 있는 지수판을 통한 누수를 댐체의 손상없이 안전하게 통과시키는 것이 이 존의 목적이다.
- ② 초기 설계시에는 차수벽을 균일하고 단단하게 지지하기 위하여 파쇄암으로 직경이 75~150 mm 이하를 사용하는 것이 보편적이었다.
- ③ 현재 CFRD 설계는 다짐이 잘되고 고른 지지층이 형성될 수 있는 소형 석재공법으로 전환되었다. 이 존은 담수시 제체변위로 인한 차수벽의 거동이 최소로 될 수 있도록 재료의 입도분포가 양호하여야 한다.
- ④ 수압에 따른 차수벽의 거동과 침하, 누수에 대한 안정적인 저항에 직접적으로 영향을 주므로 적합한 투수성(투수계수 : 1×10^{-4} cm/s 정도)을 유지하는 것이 중요하다.
- ⑤ 이 존의 안정성, 압축성, 최적 투수도등은 재료의 입도, 재질, 다짐방법등에 의해서 좌우되고 있다.

(나) 입도범위

- ① 차수벽 중앙부 대부분의 부위에서 균열이나 이음부의 누수문제에 대한 적합한 투수성 확보와 시공시 재료분리가 발생하지 않도록 골재의 최대치수는 75 mm이하면 입도로서 충분하다. 150 mm를 허용한 사례도 있다.
- ② 평균적으로 재료는 최대치수가 75~38 mm, 4.76 mm(No.4 번체)이하 재료의 함유율은 35~55%, No. 200 번체 통과율은 5~15%의 수준을 유지하도록 하고 있다. 이 입도를 유지할 때 시공시 조립재의 분리현상을 방지할 수 있고 다짐한 재료의 투수도를 $K = 1 \times 10^{-4}$ cm/s 범위 정도로 낮출 수 있다. 또한 지지층의 내부가 수압에 대하여 안정을 유지하며 지지층과 이어질 암석존과 잘 부합되어서 시공성이 좋고 건설후에 차수벽의 침하량을 줄일 수 있는 것으로 나타나고 있다.
- ③ 재료의 최대치수를 75 mm를 기준으로 할 경우 입도분포는 일반적으로 <표 5.7>과 같이 적용하고 있다. 하지만 반드시 이 입도범위를 지켜야 하는 것을 규정하는 것은 아니다.

<표 5.7> 존 2 재료의 입도분포 현황(예)

체(Sieve) 규격	중량통과 백분율(%)						
	부안댐	밀양댐	용담댐	USCOLD	ICOLD	탐진댐	영월댐
75mm	-	90~100	90~100	90~100	90~100	90~100	100
40mm	100	70~95	70~95	70~95	70~100	70~95	70~95
19mm	55~80	55~80	55~80	55~80	55~80	55~80	55~80
NO.4	25~50	35~55	35~55	35~55	35~55	35~55	35~55
NO.30	10~25	8~30	8~30	8~30	8~30	8~30	10~30
NO.200	2~10	2~12	2~12	2~12	5~15	2~12	5~12

④ 주변이음과 접합되는 기초부는 시공여건상 다짐시 어려움이 예상되므로 부등침하방지를 위하여 적정한 폭과 두께에 걸쳐 저강도 콘크리트 또는 흙시멘트(soilcement)등으로 보강하는 것이 권장된다.

⑤ 차수벽 지지준의 세립분이 암석준으로 유입되지 않도록 하기 위해 암석준과 접하는 부위에 대해 세립분의 함량을 조절하는 것이 필요하다.

(다) 폭원

① 차수벽 지지준의 수평폭원은 일반적으로 포설 및 다짐장비의 시공성을 고려하여 댐마루에서 3~5m 정도이다.

② 댐높이가 높을 때에는 수심에 따라 상부에서 하부로 적절히 증폭할 수 있다.

(라) 상류사면 보호방법

① 제체 축조중 빗물이나 시공상의 결함으로 인해 상류사면이 유실될 우려가 있으므로 차수벽 타설전까지 축조사면에 대한 보호방법이 강구되어야 한다.

② 사면보호는 단계별 축조 또는 축조가 완료된 후 통상 아스팔트 용액(2~4ℓ/m²)이나 슷크리트(두께 : 4~5 cm)를 사용하여 시공하는 것이 일반적이다. 슷크리트의 경우 강도는 180kgf/cm² 정도이며, 와이어메쉬 또는 보강섬유를 함께 사용하여 인장강도를 보강할 수 있다.

③ 슷크리트 타설후 사면특성에 따른 슷크리트 자체변형 또는 제체침하에 의해 차수벽 지지준 하류면에서 슷크리트 및 지지층 재료의 표면부의 들뜸현상, 제체침하로 인하여 융기현상등이 발생될 수 있다. 이 경우 차수벽 지지준 재료를 제거할 필요성이 있을 수 있으므로 사면보호방법은 제체의 단계별 축조와 병행하여 현장여건에 맞게 탄력적으로 선정할 수 있다.

(3) 선택층(준 3A : transition zone or filter zone)

(가) 일반사항

① 차수벽과 암석부 제체의 강성차이로 응력이 차수벽이나 차수벽 지지준에 과도하게 전달되는 것을 방지하고, 공극의 크기를 제한하여 차수벽 지지준 재료가 암석재료의 큰 공극속으로 씻겨 들어가지 않도록 하는데 이 준의 목적이 있다.

② 중심코아형의 필터존과 같은 역할을 하며, 최대치수는 일반적으로 150 mm를 사용하고 있으나 입도분포는 별도로 규정하지 않고 있으며, 대부분 시공사례를 참고로 하여 입도범위가 결정되고 있다.

(나) 입도범위

① 최대치수를 150 mm로 기준으로 할 경우 시공사례에 따라 선택가능한 재료의 입도 범위는 일반적으로 <표 5.8>과 같다. 하지만 반드시 이 최대치수와 입도범위로 제한하는 것은 아니다.

<표 5.8> 준 3A 재료의 입도분포 현황(예)

체(sieve) 규격	증량통과 백분율(%)				
	부안댐	밀양댐	용답댐	탐진댐	영월댐
150mm	100	100	100	100	100
75mm	70~95	70~95	70~95	70~95	75~100
40mm	45~85	40~85	40~85	40~85	55~90
19mm	25~65	25~70	25~70	25~70	15~55
NO.4	0~35	0~40	0~40	0~40	0~20
NO.30	0~6	0~15	0~15	0~15	0~10
NO.200	-	0~3	0~3	0~3	0~5

② 누수시 차수벽 지지존의 세굴을 방지하기 위해 다음과 같은 입도조건을 참고하여야 한다.

$$\frac{D_{15F}}{D_{85B}} < 5, \quad \frac{D_{50F}}{D_{50B}} < 25 \quad (5.12)$$

$$5 < \frac{D_{15F}}{D_{15B}} < 20 \quad (5.13)$$

여기서, D_{15F} , D_{50F} : 필터존의 15%, 50% 입경크기(mm)

D_{15B} , D_{50B} , D_{85B} : 차수벽 지지존의 15%, 50%, 85% 입경크기(mm)

(다) 폭원

① 포설 및 다짐장비의 시공의 편의성을 고려하여 댐 정상부에서 일반적으로 5m 정도의 폭으로 한다.

② 댐높이가 높을 때에는 수심에 따라 상부에서 하부로 적절히 증폭할 수 있다.

(4) 존 3B (graded rockfill zone or main rockfill zone)

(가) 일반사항

① 이 존의 목적은 수암과 댐자중에 대해 차수벽을 균등하게 지지하기 위한 것이다.

② 댐체의 변형은 암석재료의 특성과 댐높이의 함수로써 차수벽의 표면에 직각방향의 변형률은 암석재의 탄성계수에 반비례한다. 다짐한 암석재의 장기변형은 지속적인 주응력에 의하여 암석접촉면이 파손되어 발생하므로 암석재의 입도는 양호할수록 좋다.

③ 댐체에 작용하는 외력을 대부분 담당하며, 침하나 변형을 가능한 한 최소로 하여야 하기 때문에 좋은 입도와 양질의 암석재로 축조된다.

④ 이 존에 요구되는 암석재는 압축성이 적고 압축강도는 고강도($1,100\text{kgf/cm}^2$)인 신선한 경암이 요구되지만 최근의 설계경향에 따르면 압축강도가 $300\sim400\text{kgf/cm}^2$ 정도의 사암, 이암, 석회암,

점판암과 같은 연질암 등도 댐사면경사의 완화에 의해 성공적으로 활용되고 있다. 하지만 대기에 노출시 풍화에 약한 헐암(shale)계통의 암은 가급적 지양해야 한다. 이 경우 다짐작업시 중량급 진동로라에 의해 암이 부스러져 재료의 세립화를 가져올 우려가 크므로 기초부에 배수총을 계획하여야 한다.

⑤ 큰 입경의 암석을 진동다짐시 다짐을 촉진하고 축조 완료후의 제체침하를 최소로 할 수 있도록 살수가 필요하다. 일반적으로 살수량은 축제량의 10~20%범위를 기준으로 하고 있다.

⑥ 연질암등을 사용하여 제체를 축조하는 경우 사면안정해석을 위한 강도를 결정하는데 기초자료로 활용될 수 있도록 가능한 한 대형삼축압축시험을 실시하여 내부마찰각과 다짐밀도와의 관계를 확인하여야 한다. 부득이 할 경우 대형직접전단 시험에 의해 확인할 수도 있다.

(나) 입도범위

① 이 존에 대해 입도분포를 특별히 규정할 수 없지만 최대치수를 800 mm를 기준으로 할 경우 시공사례에 따라 선택가능한 입도분포는 일반적으로 <표 5.9>와 같지만 최대입경과 입도범위를 이 값으로 제한하는 것은 아니다. 입도분포는 다짐장비의 효율성과 현장여건을 고려하여 양호한 분포가 될 수 있도록 적절히 조정할 수 있다.

<표 5.9> 존 3B 재료의 입도분포 현황(예)

체(sieve) 규격	중량통과 백분율(%)				
	부안댐	밀양댐	용담댐	탈진댐	영월댐
800mm	100	100	100	100	100
500mm	90~100	90~100	90~100	90~100	90~100
150mm	60~85	60~85	60~85	60~85	60~85
75mm	45~70	45~70	45~70	45~70	45~70
40mm	30~60	30~60	30~60	30~60	30~60
19mm	10~45	10~45	10~45	10~45	10~45
NO.4	0~15	0~15	0~15	0~15	0~15

② 댐 기초부에서 1~2m 상부부위는 암반과의 접촉부에 과다한 공극발생 방지, 비교적 큰 응력이 집중됨에 따른 제체의 소요강도 확보, 암반과의 물성변화에 따른 완충역할 등을 위하여 최대입경을 하향 조정할 수 있다.

(5) 존 3C (sub rockfill zone)

(가) 일반사항

① 존 3B 의 인접지역에 위치한 존으로 직접적인 외력을 받지 아니하므로 재료의 선택에 다소 여유가 있어 비교적 조립의 석괴재로 구성되며, 큰 투수성을 가진다.

② 이 존은 댐의 최하류 부분으로 다소의 침하나 변형이 발생하여도 댐전체의 안정성에 크게 영향을 미치는 것은 아니다.

③ 하류사면에 대한 표면부 마감은 미관상 특별히 요구되지 않는 한 인력에 의한 매끈한

경사면으로 반드시 마감할 필요성은 없다.

(나) 입도분포

- ① 이 존에 대해 입도분포를 특별히 규정할 수 없지만 최대치수를 1,500 mm를 기준으로 할 경우 시공사례에 따라 선택가능한 입도분포는 일반적으로 <표 5.10>과 같지만 최대입경과 입도범위를 이 값으로 제한하여서는 아니된다. 입도분포는 다짐장비의 효율성과 현장여건 등을 고려하여 양호한 분포가 될 수 있도록 적절히 조정할 수 있다.

<표 5.10> 존 3C 재료의 입도분포 현황(예)

체(sieve) 규격	중량통과 백분율(%)				
	부안댐	밀양댐	용담댐	탐진댐	영월댐
1,500mm	100	100	100	100	100
800mm	75~100	75~100	75~100	75~100	75~100
500mm	60~100	60~100	60~100	60~100	60~100
150mm	20~85	20~85	20~85	20~85	20~85
75mm	0~70	0~70	0~70	0~70	0~70
40mm	0~60	0~60	0~60	0~60	0~60
19mm	0~30	0~45	0~45	0~45	0~45
NO.4	0~20	0~15	0~15	0~15	0~15

- ② 댐기초부와 접속하는 상부구간은 존 3B 와 유사하게 입도범위를 조정하며, 댐 하류의 환경친화층과 맞닿는 부분의 일정구간은 큰 입도에서부터 작은 입도로 분포되도록 하여 환경친화층의 토립자가 흘러들지 않게 하여야 한다.

(6) 불투수존(존 1 : upstream blanket zone)

(가) 일반사항

- ① 이 존의 설치목적은 주변이음이 변형, 확대되거나 차수벽에 균열이 생겨 누수가 발생할 경우 유입되는 물이 세립분을 함유토록 함으로써 누수차단 효과를 높히는 역할을 하늘 일종의 보조적 기능을 하는 것이다.

- ② 담수이전에 지하수위가 높아져서 댐축조 기초부가 포화되었을 때 차수벽을 들어올리려는 힘을 상쇄하고, 담수후에는 침윤선을 연장함으로써 부가적인 안전확보역할도 한다.

- ③ 이 존은 차수벽의 균열부위를 통한 누수가 존 2 에 의해 안전하게 차단되기 때문에 점점 설치의 중요성이 줄어드는 경향이 있으나 보편적으로 설치하고 있으며, 댐높이에 따라서 높이를 선택적으로 설정할 수 있다.

(나) 단면구성 및 입도범위

- ① 재료는 불투수성으로 비점질성 세립이토가 적당하고 가능한 한 세립분을 많이 함유하여야 한다. 이 존의 입도분포는 별도로 규정하지는 않으며, 재료의 종류에따라 1A(impermeable soil), 1B(random fill)로 구분할 수 있다.

- ② 이 존은 대부분 물에 잠겨 있기 때문에 사면안정을 위한 별도의 사면보호시설은 필요하지 않는다.

(다) 높이 및 사면경사

① 이 존의 높이는 일반적으로 저수지 수위가 저하하여도 차수벽의 보수가 불가능한 최저수위(LWL)이하 구간에 설치하는 것으로 한다. 이 존의 높이는 경험적으로 설정되므로 특별히 규정할 수는 없으나 댐높이에 관계없이 차수벽 하류부에 투수성 암석 부스러기가 퇴적되는 것을 방지할 수 있도록 최소한 원래 하상고까지 높이는 것이 바람직하다. 이 존의 높이는 주변이음의 설계 및 시공수준, 콘크리트 시공수준 등을 종합적으로 고려해서 원래 하상고와 최저수위(LWL)이하 사이에서 적절히 설정한다.

② 이 존의 사면은 사면 자체의 안식각을 최대한 높힐 수 있도록 사면경사는 1 · 2.2 이상으로 완만하게 하는 것이 일반적이다.

(7) 댐하류 환경친화준

(가) 일반사항

① 최근 자연친화적인 댐건설의 경향에 따라 주변환경과의 조화를 이루기 위하여 암석존의 하류 사면에 환경친화준을 두고 있는 경향이 증가되고 있다.

② 환경친화준의 사면은 가급적 완만한 경사를 이루도록 하며 토질은 조경식재가 가능한 토양으로 하여야 한다.

(나) 단면구성 및 입도범위

① 사면경사는 일반적인 성토단면을 기준으로 통상 1 : 1.8 ~ 1 : 2.5 정도로 설계한다. 이 존은 구조물의 안정여부와 직접적인 관련이 없으나 환경친화적인 측면과 안전측면을 고려하여 사면경사를 결정하여야 한다.

② 성토높이는 댐높이와 시공성을 고려하여 적절히 결정하여야 한다.

③ 이 존은 암석존과 경계하고 있으므로 재료가 암석층으로 훌러들지 못하도록 암석층과 접하는 부위에는 필터매트를 부설하는 것이 타당하다.

④ 토양은 다소 투수성이 높은 모래질 점토가 섞인 재료가 좋으며, 수목의 성장에 필요한 일반적인 조건은 다음과 같이 고려한다.

㊂ 최대입경은 수목의 활착정도 및 시공성 등을 감안하여 150 mm 미만으로 한다.

㊃ 보수력과 통기성이 좋고 양분의 흡수력과 점착력을 갖춘 토양으로 한다.

⑤ 부식이 많은 단립구조의 토양으로 한다.

⑥ 토성은 중성(pH 7.5)을 띤 양토로 한다.

(8) 파라페트 월

(가) 일반사항

① CFRD 에서 파라페트 월의 설치목적은 파도로 인한 월류방지 역할과 함께 댐단면을 감소시켜

댐축조량, 차수벽 면적 등을 줄이며 댐의 정부폭을 넓게 하는 역할을 하는 것이다.

② 필댐에서 파라페트 월의 정부표고는 저수지 대안거리에 따른 파고와 시공후 침하량에 따라 결정되나 CFRD에서는 제체의 단면과 관련되어 결정된다.

③ 축조후 발생하는 제체의 침하(장기침하량 0.1~0.35%)를 고려하여 5.4.5 항의 더쌓기에 따라 여유고(camber)를 줄 수도 있으나 파라페트 월의 높이를 댐축을 따라 변화시킬 수도 있다. 일반적으로 댐축의 중앙부에 최대치를 설정한다.

(나) 높이의 결정

① 높이의 적정 규모는 댐축조량, 기초굴착량, 차수벽 면적의 감소로 인한 공사비와의 관계, 제체 월류에 따른 댐안정성 등을 고려하여 결정하여야 한다.

② 초기에는 1.2m 정도의 높이로 하였으나 최근에는 3~5m 정도의 높이까지 L 자형옹벽으로 설계한 사례도 있으며, 높이에 대한 별도의 기준을 두지는 않는다.

③ 파라페트 월의 높이에 따른 경제성은 파라페트 월을 높이는 비용이 상류측 축조단면을 줄임으로써 절약되는 비용보다 적을 때 그 정당성을 확보할 수 있다.

(다) 파라페트 월의 이음부

① 파라페트 월과 차수벽 이음, 파라페트 월의 신축이음과 시공이음은 댐체의 침하, 온도변화, 건조수축 등 부피변화에 의한 인장응력으로부터 콘크리트 균열을 방지할 목적으로 설치되어야 한다.

② 파라페트 월과 차수벽 이음부는 동지수판 또는 PVC 지수판등의 수밀재료를 이용하여 1단지수로 계획하고, 마스틱 필러(mastic filler)로 마무리 한다.

③ 파라페트 월의 이음부는 일반적인 옹벽의 이음과 동일하게 신축이음 및 시공이음을 둔다.

5.5 차수벽의 설계

5.5.1 일반사항

(1) 정수압이 제체에 작용시 제체의 상태에 따라서는 국부적으로 차수벽에 흔들력이 발생할 가능성이 있으나 차수벽은 균일하게 다져진 차수벽 지지존에 의해 지지되기 때문에 제체의 변화에 따른 흔들력을 무시한 단면 설계가 가능하다. 아직까지 큰 흔들력이 차수벽에 작용하여 구조적인 문제를 발생시킨 사례는 없다.

(2) 차수벽 두께 결정시 제체하중에 의한 암축조재의 변형과 콘크리트의 온도변화로 차수벽 표면에 인장 및 압축응력이 작용한다. 이중 인장응력은 그 크기가 미소하여 차수벽의 두께를 결정하는데에 직접적인 영향을 미치는 것은 아니므로 일반적으로 설계시 이를 고려하지 않는다.

(3) 차수벽의 두께는 충분한 강도와 지수성을 가질 수 있고 각종 차수재료의 설치가 가능하며

내구성이 확보되도록 하여야 한다.

(4) 담수후 저수지 수위의 급격한 저하로 차수벽 지지존에 존재할 수 있는 높은 수압으로 인해 양압력이 작용하여 차수벽을 융기시킬 가능성은 차수택 지지존의 투수성을 고려해 볼 때 희박하므로 설계시 이를 고려할 필요는 없다.

(5) 설계자는 댐의 높이와 응력분포, 내구성, 시공사례(<표 5.11>) 및 향후 유지관리, 최근 설계현황등을 감안하여 차수벽의 두께와 철근량을 적절히 결정할 수 있다.

<표 5.11> 우리나라 CFRD 차수벽 두께 및 철근량 설계현황

댐 명	설계년도	댐높이 (m)	차수벽두께 신장식	차수벽두께 (m)	철근량 (%)	비 고
남 강 댐(보강)	1989	34.0	균일한 두께	0.35	0.50	D22@20cm
부 안 댐	1990	50.0	0.3m+0.003H	0.30~0.45	0.40	D19@20cm
밀 양 댐	1991	89.0	0.3m+0.003H	0.30~0.60	0.45	D22@20cm
용 담 댐	1991	70.0	0.3m+0.003H	0.30~0.55	0.50	D25@20cm
산청 양수	상부댐	1995	97.0	0.3m+0.003H	0.30~0.56	D19@20cm
	하부댐	1995	67.5	0.3m+0.003H	0.30~0.50	D19@20cm
탐 진 댐	1996	53.0	0.3m+0.003H	0.30~0.45	0.40	D19@20cm
양양 양수 상부댐	1997	95.5	0.3m+0.003H	0.30~0.50	0.40	D19@20cm
영 월 댐	1997	98.0	0.3m+0.003H	0.30~0.59	0.40	D22@20cm
대 곡 댐	1996	52.0	균일한두께	0.30	0.40	D19@20cm

5.5.2 콘크리트

(1) 차수벽의 유지관리 특성상 차수벽 콘크리트의 품질을 확보하기 위한 주된 기준은 내구성, 수밀성, 낮은 건조수축, 적절한 워어키빌리티의 확보이다.

(2) 차수벽은 다른 구조물과 달리 1 : 1.4 ~ 1 : 1.5 의 사면에서 슬립폼에 의해 주로 콘크리트가 타설됨에 따라 콘크리트의 성형성, 타설속도, 내구성, 수밀성 등을 종합적으로 고려하여 콘크리트 배합설계를 하여야 한다.

(3) 수밀성과 내구성을 증대시키기 위해 최소 단위시멘트량은 275kg/m³, 공기연행량은 5 퍼센트 정도가 일반적으로 사용되고 있다.

(4) 굵은골재 최대치수는 일반적으로 40 mm를 사용하고 있지만 시공이음부와 지수판에서 특별한 주의를 기울이면 이보다 더 큰 골재치수가 사용될 수 있을 것이다.

(5) 알카리골재 반응억제, 내구성(동결융해, 투수성, 마모 저항성등) 향상 및 물-시멘트비를 낮추기 위해 혼화제를 사용할 수도 있다.

(6) 물-시멘트비(W/C)는 일반적으로 45 퍼센트를 기본으로 한다. 물-시멘트비가 높으면 건조수축으로 인한 균열발생의 우려가 있으므로 가능한 한 낮추는 것이 좋다. 허용될 수 있는 최대 물시멘트비는 55 퍼센트 정도이다.

- (7) 슬럼프치는 6.0 ± 1.5 cm를 기본으로 한다.
- (8) 일반적으로 콘크리트의 압축강도는 28일 강도기준으로 $210\sim240\text{kgf/cm}^2$ 를 기준으로 한다.
- (9) 콘크리트의 온도 및 건조수축에 의한 균열방지 목적으로 콘크리트 배합시 적정량의 보강섬유(PE 섬유, PP 섬유, 강섬유 등)를 사용할 수 있다. 이 경우 공사비의 증가와 향후 유지보수비를 비교하여 이의 사용여부를 결정하여야 한다.

5.5.3 블록의 설정

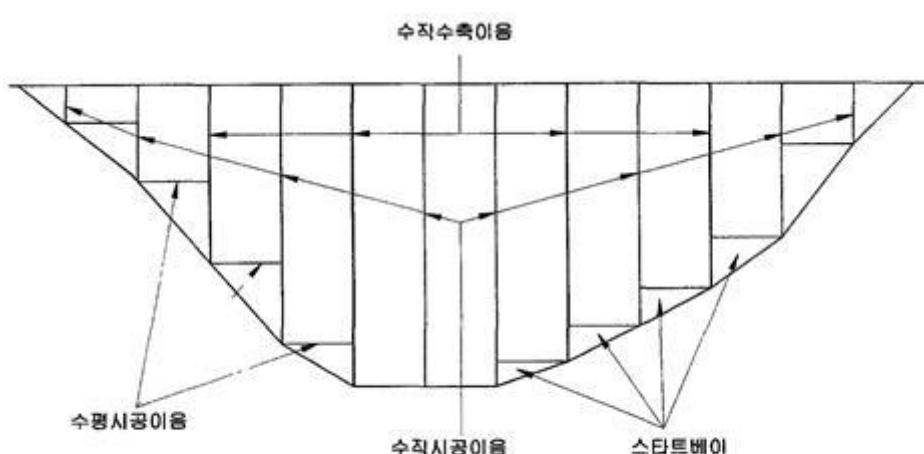
(1) 스타트베이 (starter bay)

- (가) 스타트 베이는 주변이음부터 슬립폼의 시작선을 결정하기 위해 설정되는 슬라브이다.
- (나) 스타트 슬래브와 슬립폼의 시작선과의 연결은 지수판을 설치하지 않는 수평시공 이음으로 처리한다.
- (다) 스타트 슬래브의 높이는 슬립폼의 장비에 맞추어서 자유롭게 선택할 수 있다.

(2) 블록폭의 설정

- (가) 차수벽은 분할하여 설치되며, 그 분할의 폭은 일반적으로 12m, 15m, 18m로 하고있고, 우리나라에서는 일반적으로 15m로 설치되고 있다. 차수벽 분할폭의 치수를 결정하는 것은 설계의 기법이라기 보다는 슬립폼의 무게, 원치크기, 콘크리트 타설기법과 같은 시공방법과 밀접히 관련되어 있다.
- (나) 차수벽의 폭을 줄이면 시공이음의 개수가 증가하며, 폭을 증가하면 타설시간이 증가하므로 설계시 이를 고려하여 적절히 간격을 설정하여야 한다.

([그림 5.5](#) 참조)



<그림 5.5> 차수벽 슬라브 평면도

5.5.4 슬래브의 두께

- (1) 초기의 비다짐 암축조댐의 경우 두께는 $0.3m+0.0067H$ 로 비교적 두껍게 하여 콘크리트 저부의 일부 변형에 의해서도 차수벽에 영향을 주지 않도록 하였다.
- (2) 다짐 암축조댐의 경우 두께는 $0.3m+0.004H$ 로 하였고 최근에는 $0.3m+0.002H$ 까지 점점 얇아지고 있다.
- (3) 댐높이가 낮은 댐인 경우 콘크리트의 기술발전으로 두께를 변화시키지 않고 일정한 두께($0.3m$)로 하는 경향이 있다. 이 두께는 철근을 피복하고 시공성을 향상시키며 표면의 건조수축 균열을 최소화하는데 필요한 최소의 두께이나 댐높이가 높은 댐은 최대동수경사선(potential high hydraulic gradient)이 200 정도이므로 차수벽의 두께를 $0.3m$ 이하로 줄이는 것은 비용절감이나 유연성 증가의 관점에서 불필요하며 바람직스럽지 못하다고 여겨진다.

5.5.5 철근

(1) 일반사항

(가) 철근배근의 목적은 콘크리트의 건조수축과 시공과정에서 지지층의 불균등으로 인한 예측할 수 없는 국부적인 인장영역에서 발전되는 차수벽 균열의 폭을 억제시키며, 또한 주어진 차수벽의 두께로 가능한 한 슬래브 판을 유연하게 하여 양방향으로 동등한 훨저향을 받도록 하기 위한 것이다.

(나) 보통 일반적인 철근이 사용되지만 최근 몇몇 댐에서는 철근량을 변화시키지 않는 범위내에서 고강도 철근을 사용하고 있다.

(다) 차수벽은 정수암을 받는 다져진 암축조위에 일정하게 지지되어 있고 훨응력은 무시할 수 있으므로 철근의 배근위치는 일반적으로 단면의 중심 또는 직상부에 위치하게 된다. 슬래브 두께가 60 cm 이상일 때도 중심에 위치한 철근은 건조수축 균열을 제어하는데 만족스럽고 균열이 발생하여도 상부 몇 cm 내로 제한할 수 있다.

(라) 철근의 간격은 차수벽 두께보다는 적어야 하며 일반적으로 균열에 효과적으로 대처하기 위하여는 $200\sim300 \text{ mm}$ 범위가 적당하다.

(2) 철근비

(가) 종래 비다짐 암축조댐에서 적용된 철근비는 각 방향 콘크리트 단면적의 0.5%이고 다짐 암축조댐의 철근비는 각 방향 콘크리트 단면적의 0.4%를 적용한 것으로 나타나고 있다.

(나) 최근의 철근비는 압축구간인 중앙부에서 0.3%, 주변이음 근처에서 0.4%를 사용하고 있는 경우도 있지만 철근의 감소로 인한 경제적인 효과는 그릴게 크지 않다.

(다) ICOLD(1989a)와 Cooke & Sherard(1987)는 슬래브의 철근비를 다음과 같이 추천하고 있다.

- ① 일반적으로 각 방향으로 콘크리트 단면적의 0.4%의 철근비를 적용한다.

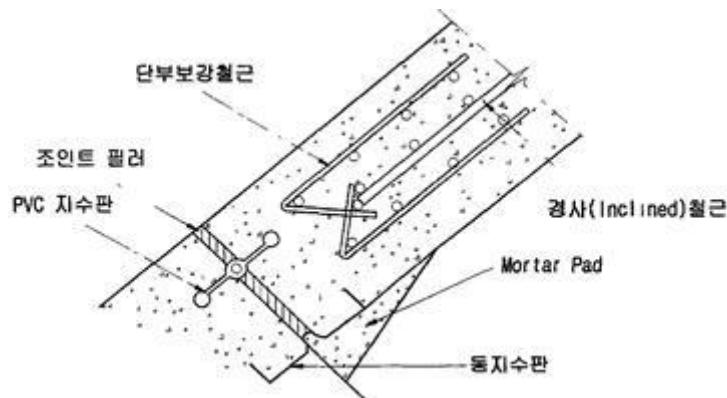
② 명확하게 압축을 받는 곳에서는 0.3 ~ 0.35%의 철근비를 적용한다.

③ 주변이음 근처와 스타터베이 부근에서는 0.45%의 철근비를 적용한다.

(라) 최근의 CFRD 는 효율적인 다짐장비의 도입과 차수벽 지지존이 보편적으로 설치되고 있음을 고려해 볼 때 철근비는 0.4% 정도가 일반적이지만 현장여건에 따라 설계자가 선택적으로 적용할 수 있다.

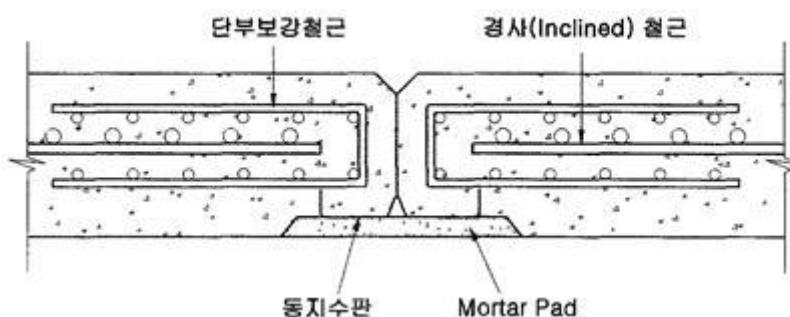
(3) 보강철근

(가) 주변이음부에서 땅높이가 높은 경우 단부보강철근을 <그림 5.6>과 같이 유지하는 것이 바람직하다. 주변이음의 단부보강철근은 단면의 상 · 하부에 배근한다.



<그림 5.6> 주변이음 부근 보강철근 상세도

(나) 수직신축이음부에는 지수판 연결부의 단부철근을 보호코자 <그림 5.7>과 같이 차수벽 슬래브 상 · 하부에 보강철근을 배치한다.



<그림 5.7> 수직신축이음 부근 보강철근 상세도

5.5.6 균열제어

(1) 일반사항

(가) 단부보강구간에 대한 허용균열폭은 일반적으로 다음과 같이 산정한다.

① 철근콘크리트의 최소피복두께(cm) : C

② 허용균열폭(mm) : $Wa = 0.004 \times C$

(나) 기 시공된 댐에서 차수벽 콘크리트의 균열이 대부분 0.1~0.2 mm 범위인 점을 고려하면 균열로 인한 강재부식의 위험도는 적으며 차수벽 콘크리트가 방수성 구조물인 점을 감안하여 0.2 mm 이상 균열에 대해서는 보수의 필요성이 있다. ACI(committee 207, 2R-16) 에서는 0.12 mm 정도의 균열로써 진행성이 아닌 경우는 자가치유가 되는 것으로 보고하고 있다.

(라) 균열에 대한 이론적인 고찰결과에 의하면 동수경사가 200 정도이내이며, 균열폭이 0.2 mm 보다 큰 균열인 경우 균열의 확대를 방지하기 위하여 균열부위는 보수할 필요가 있다고 알려지고 있다.

(마) 차수벽 콘크리트의 수화열과 건조수축에 의한 체적변화를 구속하여 발생하는 균열에 대한 검토를 위하여는 체적-표면적으로부터 최대온도가 발현되는 시점, 콘크리트의 표면온도, 길이-높이비로부터 구속정도가 결정되어야 한다. 차수벽은 일정한 속도로 타설되기 때문에 차수벽의 경사를 따라 최대온도가 발현되는 시점과 콘크리트의 표면온도가 위치마다 다르기 때문에 매스 콘크리트와 같이 설계온도를 산정하여 균열제어를 할 필요성은 없다고 볼 것이다.

(2) 균열제어기법

(가) 콘크리트의 압축강도는 일반적으로 f_{ck} (재령 28 일)를 기준으로 $210\text{kgf/cm}^2 \sim 240\text{kgf/cm}^2$ 이 보편적이다. 이보다 더 큰 강도는 단위시멘트량의 증대를 가져와 수축균열을 초래하므로 바람직스럽지 못하다.

(나) 물-시멘트비를 낮추기 위해 포줄란등과 같은 혼화재의 사용이 바람직하다.

(다) 콘크리트 자체의 인장강도를 확보하기 위한 방법으로 최근에는 보강섬유를 사용하거나 팽창제를 사용하는 설계사례도 있으나 충분한 시공경험이 축척되지 않아 신중한 검토가 필요하다.

(라) 균열발생시 균열부를 통한 누수량의 개략적인 평가는 <표 5.12>와 같이 할 수 있다.

<표 5.12> 균열폭에 따른 누수량의 평가

균열폭	누수량(cm^3/s)
1.0mm	$Q = 0.33KH$
10mm	$Q = 0.44KH$
100mm	$Q = 0.64KH$

K : 투수계수(cm/s), H : 수두(m)

(마) 균열보수는 일반적으로 페인트 계통(rubber latex paint, bituminous paint 등), 하이파론띠(hypalon strap) 및 에폭시 그라우팅등이 주로 사용되고 있다.

(바) 온도 및 건조수축에 의한 균열을 방지하기 위하여 양생을 실시하여야 한다. 양생방법은 타설후 표면의 수분증발을 막기 위하여 막양생제를 2 회 살포하는 피막양생을 실시하고, 타설완료에는 댐상단부에 구멍난 파이프를 설치하여 이용하는 등 콘크리트 표면에 살수양생을 온도응력 소산시까지 실시할 수 있도록 계획하여야 한다.

5.5.7 지수판 및 이름

(1) 일반사항

(가) 차수벽에 설치하는 이음으로는 주변이음, 신축이음, 시공이음이 있다.

(나) 차수벽은 대부분 압축력을 받으므로 시공에 지장이 없는 한 슬래브간의 신축이음의 개소는 줄일 수 있지만 이음부의 구조개선이 이루어지고 있고 차수벽 시공후 균열이 나타나는 점을 고려하여 장·단점 비교 및 <표 5.17>과 같은 시공사례를 참고하여 설정하여야 한다.

(다) 지수판 설계시 일반적으로 설계부위별 이음부 처리기준은 <표 5.13>과 같고, 각 이음재의 기능은 <표 5.14>(3 단 수평형), <표 5.15>(2 단 수직형), <표 5.16>(1 단 지수)과 같다.

<표 5.13> 일반적인 이음부 처리기준(예)

설치 위치	이음부 구분
○ 프린스와 차수벽 사이 (주변이음)	○ 3단지수(수평형)
○ 차수벽간의 접합 부위 (시공이음)	○ 1단지수(수직형)
○ 차수벽의 신축이음 부위	○ 2단지수
○ 차수벽과 파라페트월의 접합 부위	○ 1단지수
○ 프린스 수축이음	○ 1단지수

<표 5.14> 3 단 수평형 지수시 이음재의 기능(예)

구분	공종	기능
○ 하부	- asphalt roofing - copper waterstop - polystrene board	- 동지수판의 횡방향 변형을 원활하게 하기 위함 - 차수용 - 동지수판 만곡부내로 이물질이 끼여드는 것을 방지하여 원활한 변형이 가능하게 함
○ 중앙부	- pvc waterstop	- 차수용
○ 표면	- neoprene cover - mastic filler - chicken wire - neoprene tube - angle - bolt & nut	- mastic filler 표면보호용 - 표면차수용 - mastic filler의 형성 및 길이방향 흐름방지용 - mastic filler의 훌러내림방지용 - pvc cover 고정용 - angle 고정용
○ 하부-표면사이 수직부분	- joint filler	- plinth와 face slab의 팽창용력 흡수용

<표 5.15> 2 단 수직형 지수재료 및 기능(예)

구분	공종	기능
○ 상부	- pvc water stop	- 차수용
○ 하부	- asphalt roofing - polystrene board roofing - copper waterstop - mastic filler	- 동지수판의 양방향 변형을 원활하게 하기 위함 - 동지수판 만곡내로 이물질이 끼여드는 것을 방지하여 원활한 변형을 유도함 - 차수용 - 표면차수용

<표 5.16> 1 단지수 재료 및 기능(예)

구분	공종	기능
차수벽과 파라페트 월의 이음부	- 동지수판 또는 pvc지수판 - mastic filler	- 차수용 - 표면차수용

(2) 주변이음

(가) 주변이음은 누수의 주된 원인이 되는 가장 주의해야 할 이음으로서 담수 및 장기침하에 따른 지수판의 파손없이 댐체 거동을 감당할 수 있어야 한다.

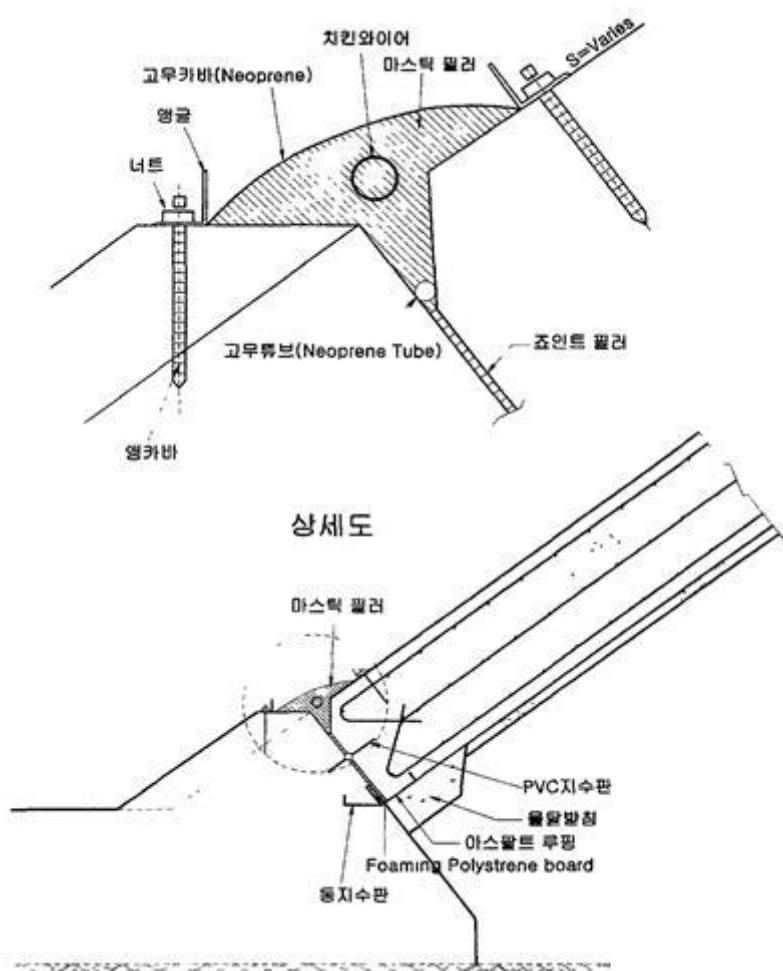
(나) 정수암 하중에 의한 이음의 이동량은 주변이음에 연하여 가장 크게 되므로 수치해석에 의한 변형량을 고려하여 지수장치를 설계하여야 한다. 경험적으로 적정 높이의 댐(75m 이하 정도)에서 주변이음의 이동은 단지 몇 mm 이내에 불과한 것으로 관측되고 있다. 이보다 높이가 높은 댐에서 이음의 변위는 이보다 다소 클 것이다.

(다) 주변이음은 차수벽의 타설종이나 담수후 수압이 차수벽에 작용할 때 열려져 누수가 발생될 가능성이 크므로 이중 지수판과 제 3의 보호장치인 마스틱 필러를 사용하여 <그림 5.8>과 같이 구성하는 것이 일반화되어 있다.

(라) 주변이음에서 이중 지수판은 일반적으로 동 또는 스테인레스 지수판과 PVC 또는 하이파론(hypon) 지수판으로 구성된다. 지수판의 설치위치에 대하여는 PVC 또는 하이파론 지수판은 슬래브의 중앙부에 동 또는 철지수판은 슬래브의 저부에 설치한다.

(마) 이중 지수판과 병행하여 아스팔트필러, 압축성 목재필러 등을 설치하여 차수벽의 회전력, 전단력 또는 압축력등에 대응도록 함으로써 차수벽 콘크리트의 부스러짐을 방지한다.

(바) 동지수판은 차수벽 지지준 재료가 아닌 시멘트 모르타르나 아스팔트가 혼입된 모래기초판(sand pad)에 의해 지지되도록 하며, 그 하단부는 침하방지를 위해 흙시멘트를 일정부분에 설치할 수 있다.

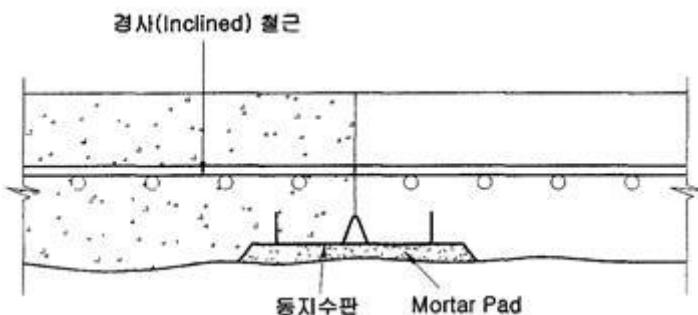


<그림 5.8> 주변이음 설치현황

(3) 시공이음

(가) 수직시공이음

- ① 수직시공이음은 슬립폼 타설장비의 시공성을 고려하여 설치하게 된다.
- ② 수직시공이음은 일반적으로 <그림 5.9>와 같이 구성된다. 수직시공이음에서는 철근이 철단되지 않으며 일반적으로 하부에 동지수판이 설치된다.

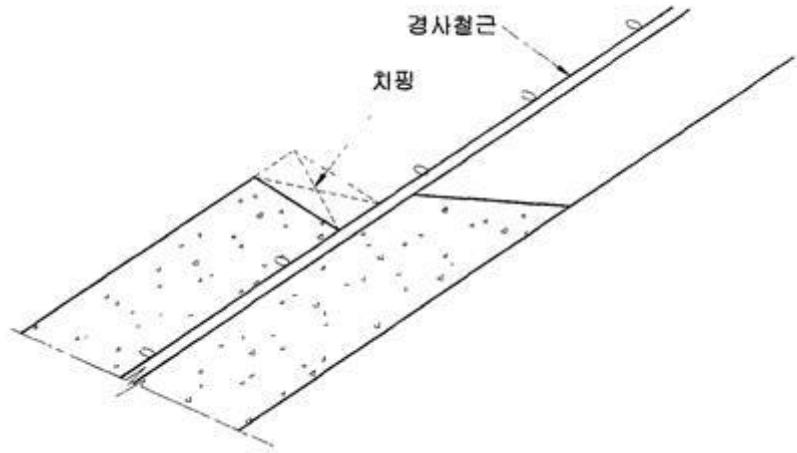


<그림 5.9> 수직시공이음 설치현황
<표 5.17> 차수벽 시공이음 및 신축이음 현황

댐 명	설계년도	댐높이 (m)	수직 시공이음 간격(m)	최대 수직신축이음 간격
남 강 댐(보강)	1989	34.0	15	15m 마다
부 안 댐	1990	50.0	15	6@15m=90m
밀 양 댐	1991	89.0	15	7@15m=105m
용 담 댐	1991	70.0	15	6@15m= 90m
산청	상부댐	1995	97.0	15
양수	하부댐	1995	67.5	15
탈 전 댐	1996	53.0	15	6@15m=90m
양양 양수 상부댐	1997	95.5	15	4@15m=90m
영 월 댐	1997	98.0	15	6@15m=90m
대 곡 댐	1996	52.0	15	15마다
Khao Laem 댐	1984	130.0	15	39@15m=585m
Machadinho 댐	1993	127.0	18	34@18m=612m
Ghase Gulch 댐	1994	40.0	13.7	4@13.7m=54.8m

(나) 수평시공이음

- ① 과거에는 의도적으로 수평신축이음을 설치하는 경우도 있었으나 최근에는 수평신축이음은 설치하지 않고 수평시공이음으로 처리하는 것이 일반적인 추세이다.
- ② 수평시공이음은 주로 스타트베이부, 차수벽 길이에 따라 콘크리트 타설장비능력을 감안하여 인위적으로 수평시공이음을 두는 경우 및 차수벽 콘크리트 타설중 예기치 못한 구간에서 발생한다. 이 부위는 일반적으로 지수판 없이 철근이 관통하는 형태로 처리하고 이음부 처리는 수밀성을 고려하여 <그림 5.10>과 같이 침투길이가 최대한 확보되게 하도록 하여야 한다.



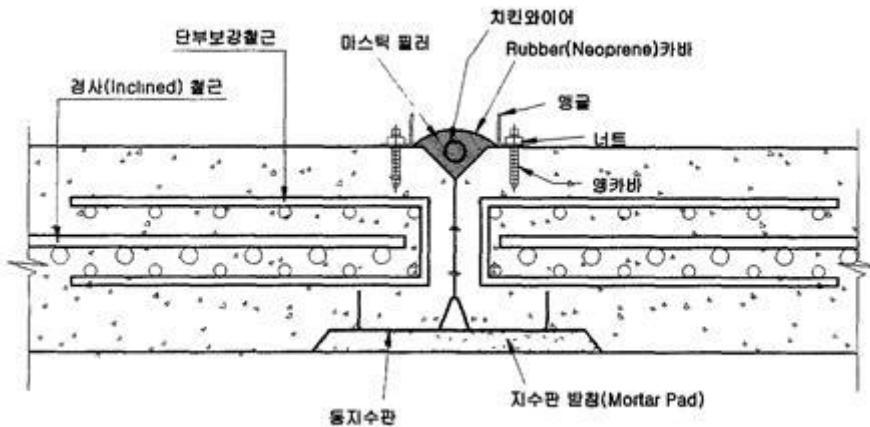
<그림 5.10> 수평시공이음

(4) 수직신축이음

(가) 콘크리트의 온도변화와 건조수축에 의한 영향, 제체의 변위이외에 댐의 양안에 설치되는 주변이음의 벌어짐을 최소로 하기 위해 <그림 5.11>과 같이 설치된다.

(나) 수직신축이음의 형태는 위치에 따라 다르다. 인장력을 받아 이음의 벌어짐이 클 것으로 예상되는 양안부 부근의 차수벽에는 <그림 5.11>과 같이 동지수판외에 차수벽 단면의 중앙부에 PVC 지수판으로 이중 지수판을 설치한다. 압축력을 받는 중앙부는 단일 지수판으로 동 또는 스테인레스 지수판을 하단부에 설치하고 있다. 신축이음 표면부는 매스틱 필러를 설치하고 그위에 PVC 밴드등으로 덮어 씌운다.

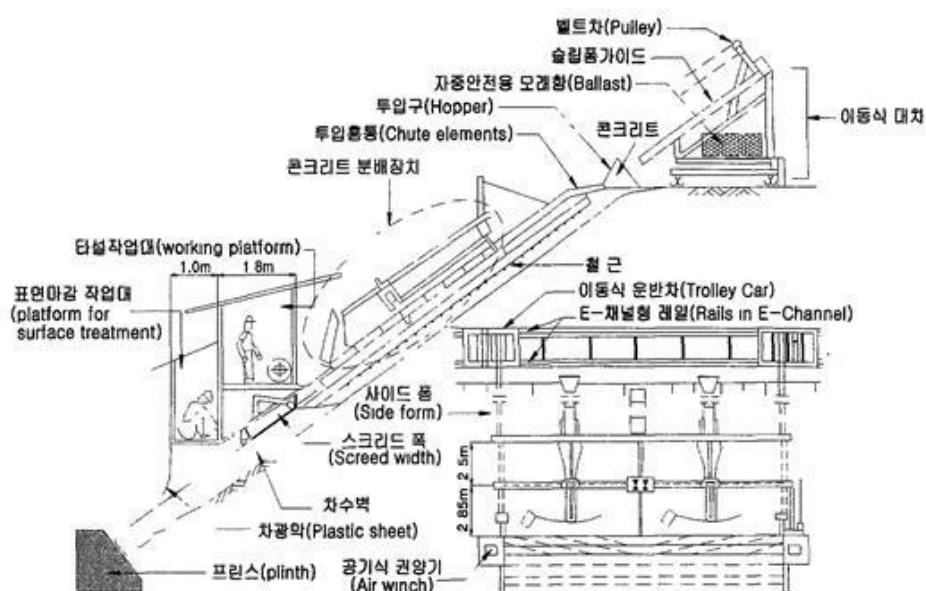
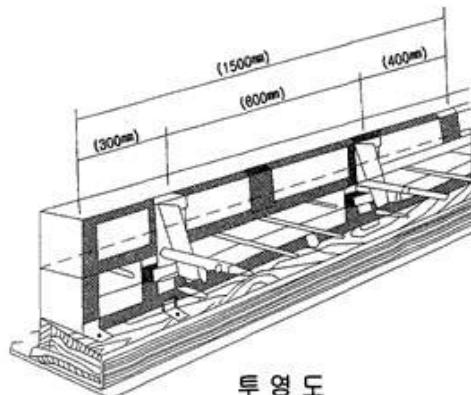
(다) 신축이음은 주로 기초지반의 변화에 따른 응력의 집중이 분산될 수 있도록 양안부와 같이 경사가 심한 곳은 설치간격을 줄이고 하상부는 단일 장대판이 되도록 설치하는 것이 바람직하다. 이의 설치에 따른 명확한 기준은 없으므로 설계자가 시공의 편리성, 균열 가능성, 유지보수등을 고려하여 신축이음 개소를 결정한다.



<그림 5.11> 수직신축이음 현황

5.5.8 슬립폼의 설계

- (1) 슬립폼(slip form)은 콘크리트 타설장비(<그림 5.12>)로 평균진행속도는 일반적으로 1.5~5m/h 정도이다. 이 속도는 콘크리트의 슬럼프치, 스크리드폭, 슬립폼의 전총량 콘크리트 운반방법 등에 따라 다를 수 있다.
- (2) 표준적인 피니셔(finisher)의 길이는 1.5m이고 타설속도는 1.5m/h이다. 이보다 타설속도와 피니셔 길이를 증가시킨 콘크리트 균열발생 여부에 대한 충분한 검토를 거쳐 결정되어야 한다.
- (3) 표면 평탄부의 허용공차(2 mm)를 줄이고 균열을 줄이기 위하여 타설속도와 피니셔의 길이를 동일한 수준으로 유지하는 것이 좋다.



<그림 5.12> 슬립폼의 상세도(예)

5.6 매설계기

5.6.1 일반사항

본 장은 매설계기의 일반적인 배치 및 종류와 그 기능에 대해 최소한의 기준을 정한 것으로 댐의 규모와 지형여건, 댐의 특성 등에 따라 매설계기의 종류와 계측항목이 적절히 결정되어야 한다.

(1) 매설계기의 계측목적

매설계기의 계측목적은 댐체의 거동을 파악하여 댐설계와 시공중 거동해석의 신뢰성을 확인하거나 유지관리단계에서 댐의 이상거동에 대해 원인분석을 통한 안전성 분석을 제공해 줄 수 있도록 하기 위한 것이다. 매설계기의 설치는 CFRD의 구조적인 특성을 고려하여 결정하는 것이 타당하다.

(2) 매설계기의 계측자료

시공중 및 완성후의 제체, 기초지반, 차수벽의 거동관찰과 각종 이음부 및 차수벽의 설계, 암과 암축조의 평가, 암 축조에서의 존의 설계등에 대한 자료획득을 통해 향후 건설될 댐의 설계개선을 위하여 중요하므로 적절히 계획되어져야 한다.

(3) 매설계기의 계측

댐제체의 거동특성, 차수벽의 거동특성 및 누수량 측정과 지진등의 계측으로 구분된다. 이를 위한 매설계기로는 정상침하 점검표석, 누수량 측정장치외에 대별해서 이음부 변형량 계측설비, 차수벽의 응력 및 변형 계측설비, 제체침하 계측설비등이 있다.

5.6.2 계측

(1) 일반사항

<표 5.18> 국내 댐 매설계기 설치현황(예)

계측 항목	계측기 종류	단위	평화의댐		남강댐 (보강)	부안댐	밀양댐	용담댐	산청양수		탐진댐	영월댐	대곡댐
			1단계						상부댐	하부댐			
콘크리트 차수벽 및 이음부변형 측정	주변이음부 변위측정계	set	5	5 (15%)	8 (24개)	9	9	9	9	10	9	9	3
	수직이음부 수평변위 측정계	set	9	9	6	11	8	14	10	9	14	4	-
	변형률 측정기	set	7	9 (27개)	15	11	8	14	10	9	14	-	-
	무응력변형률 측정계	개	2	2	5	2	8	2	2	8	8	-	-
	경사면 변위측정계	set	-	2	1	3	2	3	3	3	3	1	-
댐체 응력-변형 측정	토압계	set		30	54	9	14	12	12	18	18	-	-
	간극수압계	개		8		7			15	15	15	15	11
	수평변위계	개		4	2	8	4	3	3	3	6	-	-
	댐체내 수직침하계	개		12	26	8	10	14	5	11	8	13	-
	연속침하 측정계	개	1	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-
	충돌침하계 및 경사계	개소	-	3	-	3	4	3	3	3	3	1	-
	정부침하 측정점	개소	13	6	5	8	8	3	3	6	6	5	-
누수측정	표면침하 측정점	개소	31	18	12	34	16	22	14	19	23	11	-
	누수측정장치	개소	-	2	-	1	1	1	1	1	1	1	-
	지진계	개소	-	1	-	3	5	1	1	1	7	2	-
기타	터미널 구조물	개소	6	2	2	3	4	2	1	2	2	2	-
	자료기록실	개소	1	1	-	1	1	1	1	1	-	1	-
	회로증계소	개소	5	4	4	3	2	3	3	4	-	1	-

(가) 계측은 일반적으로 댐의 변형 및 변위를 알기 위하여 내부상태를 알기 위한 내부측정과 외부상태를 알기 위한 외부측정으로 분류된다.

(나) 매설계기의 위치선정은 지반조건 및 현장여건에 따라 최대변위와 최대응력이 작용할 것으로 추정되는 위치에 중점적으로 설치해야 한다.

(다) 계측위치 선정은 유한요소 해석과 같은 수치해석법에 의거 해석된 댐의 거동해석결과에 따라 제체의 가장 위험한 단면을 주계측 단면으로 선정한다. 또한 기초지반의 형상으로 인한 부등침하에 의하여 인장균열이 예상되는 곳에 추가로 계측단면을 선정하는 것이 타당하다.

(라) 일반적으로 댐높이가 15m 이상인 댐에서는 종단형상 및 댐의 규모에 따라 3 개소이상의 주계측 단면을 설정하여 각종 매설계기를 매설토록 한다. 매설계기는 지반조건, 현장조건에 따라 최대변위와 최대응력이 작용할 것으로 추정되는 위치에 중점적으로 설치해야 한다.

(마) 계측항목은 크게 차수벽의 응력-변형측정, 댐체의 응력-변위측정, 기초지반의 간극수압측정, 댐체를 통한 누수량 측정, 지진강도 계측등으로 구분된다.

(2) 제체내 매설계기

- (가) 침하 측정점은 댐정상과 하류 경사면에서 댐체의 외부변위를 측정한다.
- (나) 댐체내 수직침하계(settlement cell)는 댐체내에 매설하여 축조중 혹은 완공후의 댐체의 침하량을 파악한다.
- (다) 토압계(pressure cell)는 수직침하계와 병행설치하여 제체중량에 의한 응력측정과 수압에 의한 수직, 수평응력의 증가측정 등 댐체내의 응력상태를 파악하여 하중전이에 의한 국부적인 응력상태 발생여부를 파악한다.
- (라) 층별침하계 및 경사계(multi-layer settlement meter & inclinometer)는 댐체 중심부에 층별로 설치하며 위치별 수직침하량을 파악하여 동일 표고상의 순간의 부등침하를 비교하고 암축조재의 변형계수를 산정하는데 이용한다.
- (마) 수평변위계(horizontal strain meter)는 댐체내 수평변위를 측정하여 계측결과의 절대량과 경사변화로부터 제체의 내부 변형에 대한 수평응력을 파악한다.
- (바) 간극수압계(pore pressure meter)는 댐체 기초지반에 매설하여 댐체 횡단면상의 간극수압을 측정하여 누수발생위치, 커튼그라우팅의 효과등을 개략 파악하는데 이용된다.
- (사) 연속침하측정계(continuous settlement tube)는 차수벽에 인접된 댐체의 거동과 부분변형을 동시에 파악하고자 댐제체 전단면을 일정 구획으로 구분하여 각 지점과 전체의 절대 침하량과 부위별 침하거동의 차이를 연속적으로 측정하며, 제체관리를 통하여 차수벽의 변위발생을 사전에 파악한다.

(3) 차수벽 및 주면이음 측정

- (가) 일반사항
- ① 프린스에 대한 차수벽의 상대적인 이동을 관측하기 위한 것이다.
- ② 주변이음에 직각방향으로 이음부의 개폐도 측정, 이음부에 평행방향으로 차수벽 평면내의 이음부 전단력 측정, 차수벽에 직각방향으로 주변이음에 대한 차수벽의 침하량 측정을 해야 한다.
- (나) 측정계기
- ① 차수벽 슬래브 죠인트 메타(face slab jointmeter)는 신축이음에 설치하여 차수벽의 변위에 따른 수축이음의 개도정도를 감시하여 슬래브 응력상태와 이음 지수판의 안정성 여부를 파악한다.
- ② 변형계(strain gauge)는 차수벽 내부에 매설하여 콘크리트 수축 또는 신축이나 외부응력등에 의한 변형을 감시하여 콘크리트 내부응력을 파악한다. 죠인트메타가 설치되는 신축이음옆에 병행 설치하여 측정결과치를 상호 보완함으로써 신뢰도를 높히는 역할을 할 수 있다.
- ③ 무응력변형계(no stress strain gauge)는 콘크리트 슬래브 내부에 의부응력이 전달되지 않는 밀폐용기내에 매설 콘크리트 자체에서 발생되는 응력을 파악하여 변형계의 측정치를 보완하는 역할을 담당한다. 변형계가 설치되는 위치에 2개소를 선정 설치한다.

④ 경사계변위측정계(inclinometer)는 댐상류 차수벽 경사면에 설치하며 담수후 수압에 의한 변형계수를 산정하는 등 차수벽의 거동을 감시한다.

(4) 누수측정

(가) 일반사항

① 누수측정장치(leakage measuring device)는 댐체를 통해 배출되는 누수량을 감시하기 위한 것이다. 댐하류에 불투수성 재료를 이용하여 기초암반까지 집수벽 (SCW 등 시맨트의 분사·교반 또는 콘크리트 다이어프램 월(con'c-diaphragmwall) 등 지하 연속벽으로 구성되는 차수벽)을 몇 구간으로 나누어 설치하고 누수된 물을 집수하여 구간별 누수량을 측정한다. 이때 집수벽의 상단은 상·하류수위보다 높게 하여 월류하지 않도록 하여야 한다.

② 대부분 댐 기초굴착면은 토사 또는 풍화암 구간이므로 기초지반을 통과하는 누수량을 완전하게 측정한다는 것은 현실적으로 불가능하다. 이를 보완하는 방법으로 댐하류부에 지하수위를 관측할 수 있는 계기를 설치할 수도 있다.

③ 댐하류 사면 및 표토부위의 강우량이 맹암거 인접부위를 통하여 누수량 측정기로 유입될 수 있으므로 상류사면 하부 기초부분에는 유공관을 설치하고, 하류사면 하부 기초부분에서 누수집수벽 까지는 흉관 또는 강관을 설치한다.

④ 침투수가 유공관을 우회하지 못하도록 관의 출구부위에는 점토로 채우도록 하여야 하고, 제체 하류부에는 배수시설을 설치하여야 한다.

(5) 지진의 계측

(가) 일반사항

① CFRD 는 다른 형식의 필댐과 다르게 지진에 반응하는데 그 이유는 차수벽이 불투수막으로 작용하기 때문이다. 제체의 대부분은 불포화 상태이고 정수압은 댐의전 중량의 상류측에 작용하기 때문에 지진으로 인한 흔들림에 강한 저항으로 작용한다. 따라서 CFRD 에 작용하는 지진의 영향은 제체의 국부적인 변형에 미치는 정도이다.

② 과거 기록의 신뢰성 있는 계측기록에 의하면 지진으로 인한 정상부 변위는 댐높이의 0.5%보다 적은 것으로 평가되고 있다.

③ 기록에 의한 최대 지진변위는 칠레의 Cogoti 댐(84m)으로서 측정된 침하변위는 약 0.4m 로 댐높이의 0.45%정도이다. 이때의 지진규모는 7.9~8.3 으로 나타났다.

④ 댐계측과 관련된 현재까지의 모든 경험과 동역학적 계산에 의하면 최악의 지진이 발생시 발생면위는 댐높이의 1%보다 적을 것으로 나타나 CFRD 의 안전을 위협하는 것은 아니라고 보고되고 있다.

(나) 계측기

① 지진계(seismic acclerograph)는 댐부근에서 발생하는 지진의 규모와 지진이 댐체에 미치는 영향을 파악하여 댐의 안전을 감시하기 위해 댐마루와 댐의 좌·우안부, 댐하류부에 각각 설치한다. 표준적인 조합은 3 개소로 구성되나 정밀한 분석을 위하여는 5 개소로 하는 것이 권장된다.

(6) 자동계측 및 분석

(가) 매설계기의 설치목적, 계측기종, 배치계획 및 계측체계의 설정과 더불어 각종 계측장비의 발달로 인하여 계기의 실시간 측정이 가능하므로 자동계측 시스템을 도입하는 방안이 권장된다.

(나) 계측계기의 자동계측 시스템 구축을 통해 설치 초기부터 정확한 계측자료를 실시간으로 제공받을 수 있고 이상치 발생시 신속하게 재측정 및 원인분석을 할 수 있다는 점에서 설계단계에서 자동화와 관련한 구체적인 설치계획, 이용방법, 프로그램등에 대한 검토가 있어야 한다.

5.7 안정계산

5.7.1 일반사항

(1) 댐의 거동을 분석하는 방법으로는 일반적으로 매설계기의 계측자료에 의한 경시변화 분석방법, 해석적인 방법 및 수치해석에 의한 방법이 있다. 본 장에서는 해석적인 방법에 의한 일반적인 안정기준을 다룬다.

(2) 댐은 축조재료, 기초지반, 양안부의 형상, 시공방법, 댐높이, 저수위의 변동 및 지진등의 복합적인 요인에 의하여 상이한 변형을 보인다. 특히 암석재로 축조되는 암축조댐의 경우는 변형성이 다양한 재료로 구성되어 있어 복잡한 거동특성을 보인다. 이러한 변화를 모두 고려하여 안정성을 검토하는 것은 어려운 일이므로 일반적으로 다음과 같은 대표적인 경우를 고려하여 안정해석을 실시한다.

(가) 상·하류쪽에 대해 축조 직후의 안정성

(나) 상류쪽에 대해 1/2 정도의 저수위가 있을 때의 안정성

(다) 상류쪽에 대해 수위 급강하시의 안정성

(라) 하류쪽에 대해 만수시에 지진이 일어났을 때의 안정성

(3) 댐체 안전도 계산시 검토해야 하는 사항은 다음과 같다.

(가) 댐체 사면의 안정성

(나) 저수지 수압에 대한 차수벽의 응력 및 변위 발생정도

(다) 담수에 따른 주변이음의 이동

(라) 댐의 탄성침하와 변형이 단면설계에 영향을 주는지 여부

(마) 댐체 내부의 응력전이 상태와 축조재료의 안정성

(4) CFRD의 일반적인 거동은 대부분이 양방향 압축력을 받으며, 프린스, 댐정상부 및 주변이음부에서 약간의 인장응력을 받는 것으로 나타나지만 인장응력은 시간의 경과에 따라

소산되는 것으로 나타난다고 한다.

(5) 경암 지반위에 암석재료로 축조된 CFRD는 제체내부의 공극에 물이 포화될 수 없으므로 이론적 근거에 있어서나 실제적 경험을 통하여 볼 때 다른 형식의 필댐에서 가정한 바와 같은 전단활동에 의한 사면파괴는 발생할 수 없다고 본다. 최근 CFRD 설계에서는 균일형이나 중앙심벽형 필댐에 적용하는 재래적인 정역학적 안정해석을 생략하는 경우도 많다.

(6) 약선대가 있는 암반이나 절리가 크게 발달한 암반위에 CFRD를 건설할 경우나 또는 댐하류면의 국부적인 사면안정을 검토하는 경우에는 재래적인 안전도 해석을 할 필요성은 있다. 재래적인 안전도 해석은 필댐의 방법을 준용한다.

5.7.2 사면 안정해석

(1) 정역학적 안정해석

(가) 댐체 전면에서 차수를 하고 댐가 암석 재료로 축조되기 때문에 일반적으로 간극수압이 작용하지 않는다. 따라서 댐체의 안정은 주로 축조재료의 내부마찰각과 사면경사 관계에 세 결정된다.

(나) 댐체 안전을 고려할 때 만족해야 하는 조건은 다음과 같다.

① 상류면 차수벽 지지존은 축조후 차수벽 시공시까지 사면활동이 없어야 한다.

② 공사중 혹은 완공후 지진발생시 사면의 활동이 없어야 한다.

(다) 댐하류면은 영구히 노출되는 면으로서 평상시에는 축조재료의 내부마찰각이 사면경사각보다 커 안전하므로 지진시의 안전을 확보여부는 일반적으로 다음의 2 가지방법으로 검토하고 있다. 어느 방법이나 암축조재의 내부마찰각과 댐체 비탈면 경사에 크게 좌우된다.

① 정역학적 방법

$$F.S = \frac{m - kr^1}{1 + mr^1} \tan \varphi \geq 1.1 \quad (5.14)$$

여기서, F.S : 지진시 정역학적 안전율로서 1.1 이상

m : 댐의 사면경사

k : 수평지진계수(제 11 장 내진설계 참조)

φ : 축조재료의 내부마찰각

r^1 : 축조재료의 포화밀도/수중밀도

② Newmark 의 방법

$$F.S = \frac{\tan \phi}{\tan \beta} (1 - R_u \times \sec^2 \beta) \quad (5.15)$$

$$N = (F.S - 1) \sin \beta > K \quad (5.16)$$

여기서, N : 항복지진계수

K : 설계지진계수(제 11 장 내진설계 참조)

$F.S$: 정적 안정계수

ϕ : 측조재료의 내부마찰각

β : 댐체의 사면경사

$R_{\{u\}}$: 간극수압계수으로서 CFRD 에서는 0 의 값을 가진다.

(라) 위 식중 정역학적 방법인 경우 식에 포함되는 계수 γ^1 의 의미가 측조재료의 포화밀도/수종밀도로 나타나고 있으므로 차수벽이 있어 침윤선 형성이 되지 않는다고 보는 CFRD 에서는 적용하기가 곤란하다고 본다. 지진시의 정역학적 안정해석은 대부분 Newmark 방법에 의해 분석되고 있다.

(2) 동역학적 안정분석

(가) CFRD 는 제체가 건조한 상태이므로 지진동시에도 간극수압이 작용치 않는다. 따라서 제체강도가 감소하지 않으며 제체 배면에 약간의 변형이 일어날 수 있다.

(나) 강도가 크고 규모가 큰 지진의 경우 차수벽에 균열을 일으킬 수 있다. 물론 이로 인해 누수량이 증가할 수 있으나 차수벽 지지존과 선택존을 통해 누수가 안전하게 처리됨으로써 댐의 안전에 직접적인 영향을 미치는 것은 아니다.

(다) 댐의 기초부에 0.5g 의 높은 지진가속도를 미치는 강진의 경우에도 동역학적 분석에 의하면 댐 상류부 변형량은 거의 모든 댐지점에서 50 cm 미만인 것으로 계산되고 있다.

(라) 최근에 건설된 CFRD 에 대해 동역학적 안정해석을 실시한 결과에 의하면 다음과 같은 결론이 얻어지고 있다.

① CFRD 는 정역학적 안정해석 절차와 경험자료에 의거 제체의 상·하류면 경사도를 안전하게 설계할 수 있다.

② 복잡한 동역학적 안정분석결과가 댐의 사면경사 결정에 특별히 중요한 영향을 미치지 않는다고 본다.

(마) 지진을 고려한 안전도 검토에 있어서 지진운동을 모의한 동역학적 해석은 절차의 복잡성, 여러 가지 불명확한 사항에 대한 가정, 작업의 번거로움 및 소요시간에 비해 그 성과는 댐의 설계사항 결정에 큰 도움을 주지 못한다고 평가되고 있다. 하지만 내진설계의 중요성이 점점

중요시되는 추세를 감안하여 동적해석을 위한 지반 물성치 자료획득을 통해 동역학적 안정해석을 수행할 필요성은 있다고 할 것이다.

제 6 장 콘크리트 중력댐

6.1 설계일반

6.1.1 설계의 기본

콘크리트 중력댐의 설계는 댐으로서 필요한 기능과 안전성을 가져야 하며, 경제적이고 환경에 적합하도록 설계하는 것을 기본으로 한다.

(1) 설계의 기본

(가) 댐 설계의 기본은 저류기능, 유수에 대한 조절기능, 취수기능 및 안전하고도 합리적인 댐의 관리가 될 수 있는 기능이 확보되어야 한다.

(나) 콘크리트댐의 제체(堤體)와 기타 구조물, 기초지반, 저수지주변의 원지반은 공사중은 물론이고 완공 후에도 안전성을 가져야 한다.

(다) 댐 건설은 자연환경이나 사회환경 등을 고려해서 상호조화가 되도록 해야 하며, 댐의 건설비와 유지관리비는 가능한 한 경제적이 되도록 설계해야 한다.

(2) 설계의 순서

콘크리트 중력댐의 설계는 댐의 시공 및 관리에 있어서 고도의 기술과 풍부한 경험등이 필요하므로 적절한 순서에 따라 설계업무를 원활히 수행할 수 있도록 설계서에 포함될 관련사항을 충분히 검토하여 이를 설계에 반영해야 한다.

6.1.2 댐 위치와 형식의 선정

(1) 댐 위치

댐의 위치는 지형, 지질, 지역사회의 여건 등을 종합적으로 분석하여 적합한 지점을 선정해야 한다. 특히, 콘크리트 중력 댐은 지질의 기초암반 조건과 제체의 축조에 사용될 골재(자갈, 모래 등)의 취득 등과 관련한 사항들을 종합적으로 분석한 후에 선정해야 한다.

(2) 댐 형식의 선정

댐 형식은 댐 지점의 지형, 지질, 기상, 수문 등의 제조건을 종합적으로 검토한 후에 선정해야 한다. 댐 형식의 선정에 있어 개략적인 기준은 다음과 같다.

(가) 일반적으로 콘크리트댐의 형식은 댐의 형상계수인 길이와 높이의 비가 6 이상이면 아치댐 이외의 모든 댐이 가능하며, 4~6 정도이면 중력댐이 적당하고 4 이하이면 아치댐이 적당하다.

(나) 콘크리트 중력댐 기초의 지질 조건은 댐의 하중을 지탱하는 층의 성질과 두께, 종단 기울기, 투수성, 층과 층사이의 관계, 단층 및 균열 등에 좌우된다.

(다) 기초에 가해지는 응력은 댐 높이가 50m 인 중력댐에서는 $80\sim100\text{tf/m}^2$ 을 기준으로 한다.

6.2 설계조건

6.2.1 댐에 작용하는 힘

콘크리트 중력댐은 안정성을 확보하기 위하여 댐의 자중, 정수압, 동수압, 풍하중, 온도하중, 양압력, 파압, 빙압, 퇴사압, 지진력 등을 고려하여 설계해야 한다.

(1) 댐의 자중

댐 콘크리트의 단위중량은 실제에 사용하는 재료의 배합으로 시험을 실시하여 결정한다. 예비설계 등에서 미리 실험을 할 수 없을 때에는 제체의 단위중량을 2.3tf/m^3 으로 한다.

(가) 중력댐의 설계에서 댐의 자중은 중요한 요소이기 때문에 실제로 사용하는 재료에 대해서 시험을 실시하여 결정한다.

(나) 시험의 방법은 한국산업규격 KS F2409 규정에 준하여 실시한다.

(다) 양질의 골재를 사용할 때는 단위중량 시험결과가 보통 2.3tf/m^3 를 넘기 때문에 예비설계에서는 이 값을 취하는 것으로 한다.

(2) 정수압

댐에 작용하는 정수압은 <그림 6.1>과 같으며, 정수압 계산을 위한 설계수위는 일반적으로 상시 만수위에 파의 높이를 더한 수위를 기준으로 해도 좋으나 홍수위가 상시 만수위에 비하여 현저히 높을 때는 이것에 대하여 검토해야 한다.

(가) 물속에 있는 어떤 면적 A에 작용하는 전수압 P는 다음과 같다.

$$P = W_w A h \quad (6.1)$$

여기서, W_w 는 물의 단위중량이고 h 는 설계수위로부터 수압을 받는 면의 중심까지의 깊이이며,

전수압 P 는 그 면에 연직으로 작용한다.

(나) 작용면 A 가 경사져 있을 때 수압은 수평분력과 연직분력으로 분해되며, 이들 분력은 경사면 A 의 수평 및 연직 투영면에 작용된다.

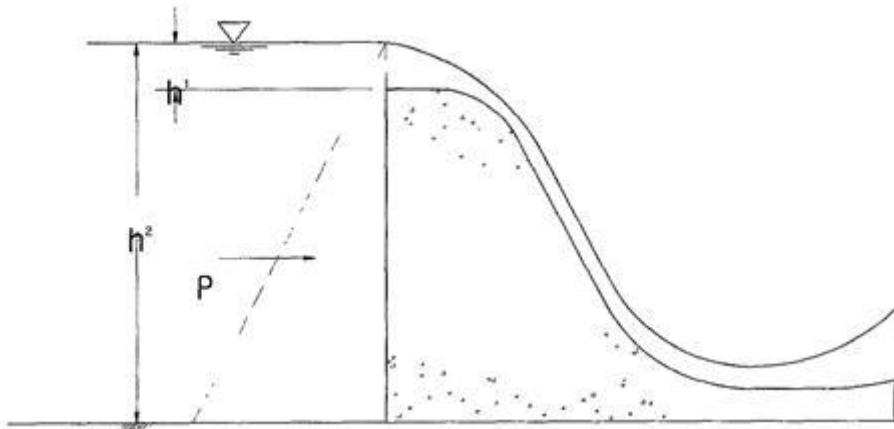
(다) 월류댐 마루에 작용하는 수압 P_1 은 다음과 같다.

$$P_1 = W_w h_1 \quad (6.2)$$

(라) 댐저면에 작용하는 수압 P_2 는 다음과 같다.

$$P_2 = W_w h_2 \quad (6.3)$$

여기서, h_1 은 월류수심이고 h_2 는 댐저면까지의 수심이다.



<그림 6.1> 댐에 작용하는 정수압

(3) 동수압

동수압은 상시 만수위면 이하의 기초지반까지 작용하는 것으로 한다. 지진에 의한 퇴사압의 증가는 퇴사면 이하에도 동수압이 작용하는 것으로 하며, 이 때 퇴사압은 고려하지 않는다.

(가) 월류댐에 작용하는 힘은 물의 운동으로 복잡하게 된다. 접근유속 수두가 있다면 댐 상류면에는 수압의 증가가 일어날 것이다. 댐벽에 작용하는 물의 운동으로 인한 수평반력은 <그림 6.2>에서 a-a 와 b-b 의 두 단면 사이의 수평운동량 변화를 고려하여 결정할 수 있다. 이 두 단면 사이의 수평운동량 변화는 다음 식과 같아된다.

$$\Delta M = W_w \frac{qV_b}{g} - W_w \frac{qV_a}{g} \quad (6.4)$$

여기서, ΔM 은 단위시간에 대한 수평운동량의 변화이고, $V_{\{a\}}$ 와 $V_{\{b\}}$ 는 각각 a-a, b-b의

수평유속 그리고 q 는 단위폭에서 단위시간에 통과하는 유량을 표시한다. 물에 작용하는 힘과 ΔM 사이에는 평형상태가 되어야 한다. 단면 a-a에서 하류로 작용하는 정수압을 P_1 , 상류로 작용하는 댐벽에 대한 반대방향의 정수압을 P_2 라하고 마찰을 무시했을 때, 이와 같은 힘은 유선(流線)에 평행하게 작용한다.

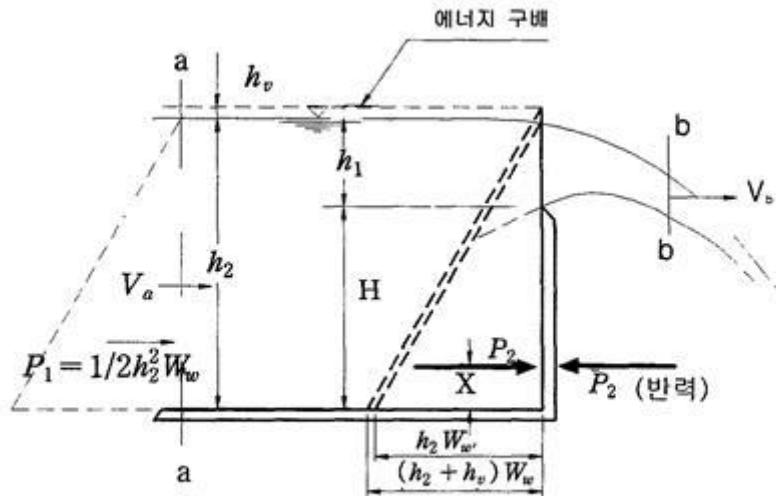
만일 a-a 단면이 웨어마루(crest)가 수축의 영향을 받지 않는 위치에 있다면 식(6.4)는 다음과 같이 된다.

$$P_1 - P_2 = \frac{q}{g} W_w (V_b - V_a) \quad (6.5)$$

여기서, $V_{\{a\}} = q/h_2$, $V_{\{b\}} = C\sqrt{2gh_1}$ 을 대입하면 다음 식 (6.6)과 같이 된다.

$$P_2 = \frac{1}{2} W_w h_2^2 - \frac{q}{g} W_w (C\sqrt{2gh_1} - \frac{q}{h_2}) \quad (6.6)$$

접근유속을 무시할 수 있는 경우 C의 값은 약 0.83이 된다.



<그림 6.2> 예연웨어의 동수압

(나) <그림 6.3>은 실제로 물이 흐르는 낙하수맥 아래 유선형에 맞도록 만든 댐이다. 만일 계획수심 보다 수심이 증가하면 낙하수맥은 댐의 배면을 벗어나서 흘러가게된다. 이와 같은 현상은 부분적으로 진공을 일으키고 어느 정도에 도달하면 다시 공기가 안에 들어가서 정상압력으로 변화하게 되며, 이러한 현상이 계속됨으로써 댐 배면(背面)에서 파괴를 일으키게 된다.

월류(越流) 댐의 하류면은 낙하수에 의한 침식을 감소시키기 위해서 보통 그 저면(底面) 접속부를 곡선으로 만든다. 이 곡선을 따라 흐르는 물은 댐에 반력을 작용시킨다.

반력은 운동량 이론에서 유도된 근사식으로 아래와 같다.

$$\text{수평반력} : P_3 = W_w \frac{g}{g} V (1 - \sin \Phi) \quad (6.7)$$

$$\text{연직반력} : W_3 = W_w V \cos \Phi \quad (6.8)$$

여기서, V 는 곡면상의 평균유속, Φ 는 곡선부 시점에서 연직선과의 경사각이다. 만약 하류수위가 h_3 라면 그 수평력은 정수압 만큼 증가된다.

$$P_3 = W_w \frac{g}{g} V (1 - \sin \Phi) + \frac{1}{2} W_w h_3^2 \quad (6.9)$$

P_3 와 $W_{\{w\}}$ 의 작용점은 투영된 수평면과 연직면의 중심을 각각 통과하는 것으로 취할 수 있다. 하류 도수(jump)의 수위 h_4 는 댐에서 떨어져 있기 때문에 작용하지 않는 것으로 본다.

지진력이 작용하는 경우에 발생하는 동수압은 다음 식 (6.10)에 의해서 계산하며, 이것은 댐의 연직면에 수평으로 작용한다.

$$P_d = \frac{7}{8} W_w K_1 \sqrt{H h} \quad (6.10)$$

여기서, $P_{\{d\}}$: 동수압(tf/m^2)

$W_{\{w\}}$: 물의 단위중량(tf/m^3)

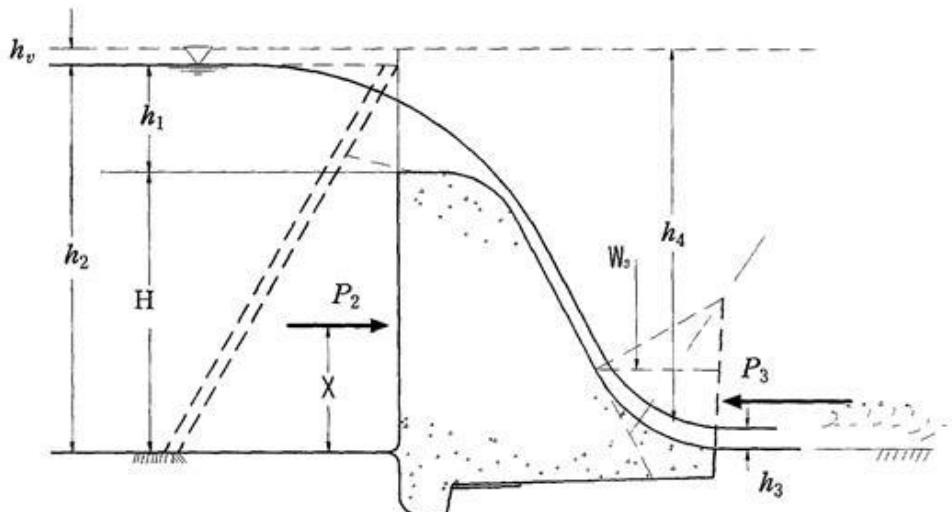
K_1 : 설계지진계수

H : 상시 만수위면 이하에서 기초지반까지 수심(m)

h : 상시 만수위면에서 임의 점까지 수심(m)

총 동수압은 다음 식 (6.11)과 같다.

$$P_d = \frac{7}{12} W_w K_1 H^{1/2} h^{3/2} \quad (6.11)$$



<그림 6.3> 월류형 댐

(4) 양압력

양압력 분포는 <그림 6.4>와 같으며, 이 양압력은 댐 콘크리트와 기초암반의 접촉면, 시공이음이나 공극, 균열 등에서 일어나는 내부수압이며, 임의의 수평단면에 대한 연직방향으로 작용하는 수압이다. 이 양압력은 댐의 안정을 감소시키는 외력이 된다. 이것을 경감시키기 위해서 댐의 상류측에 지수벽(止水壁) 설치 또는 차수 그라우트를 하고 그 하류에 배수공(排水孔)을 설치한다. 댐을 설계할 때는 내부수압을 측정할 수 있는 장치를 하고 장래의 필요에 따라서 내부수압을 감소시킬 수 있도록 해야 한다. 내부수압의 분포는 수평단면의 상류면에서는 상류측 수압과 같고 하류면에서는 하류측 수압과 같으며, 수두의 변화는 직선변화하는 것으로 본다.

하류측에 물이 없을 경우는 하류측 수압은 영(0)이 된다. 내부수압을 감소시키기 위해서 상류측에 설치한 배수공의 위치에서의 압력은 순수두 즉, 상류수압과 하류수압의 차에 대한 최소한 1/5 이상의 값을 하류측 수압에 더한 값으로 한다. 또한 배수공이 없는 낮은 댐의 상류란에서의 압력은 순수두의 최소한 1/3 이상을 하류측 수압에 더한 값으로 한다. 내부수압에 대한 작용면적은 시공상태에 따라 다르므로 안전을 위해서 100% 작하는 것으로 설계해야 한다.

따라서 전 양압력에 대한 공식은 다음과 같이 된다.

$$W_u = W_w C A [H_2 + \frac{1}{2} \tau (H_1 - H_2)] \quad (6.12)$$

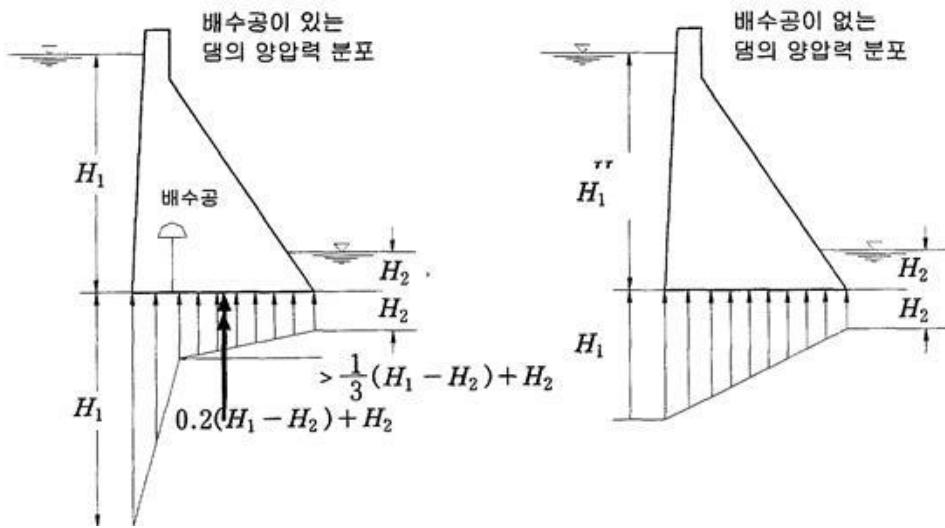
여기서, $W_{\{u\}}$: 전 양압력(tf)

$W_{\{w\}}$: 물의 단위중량 (tf/m^3)

A : 양압력을 받는 저부(底部) 면적(수정단면)(m^2)

C : 정수압이 작용하는 면적비율

τ : 차수그라우트와 매수공((排水孔)의 작용에 의한 순수두 ($H_1 - H_2$)에 대한 비



<그림 6.4> 양압력의 분포형상

(5) 파압

대부분의 댐은 산간지역에 건설되므로 풍속 및 저수지의 대안거리와 파고의 관계에 대해서는 Molitor 및 Stevenson 식을 사용한다.

(가) 수위상승을 정수압 설계에 고려하는 방법은 <그림 6.5>와 같이 파랑에 의하여 상승한 수위만큼을 정수압 계산에 추가하여 계산한다. 또한 대부분의 댐은 산간지역에 건설되므로 풍속 및 저수지의 대안거리와 파고의 관계에서는 다음의 Molitor 공식을 사용한다.

$$H_w = 0.06\sqrt{VF} + 0.76 - 0.27\sqrt[4]{F} \quad (6.13)$$

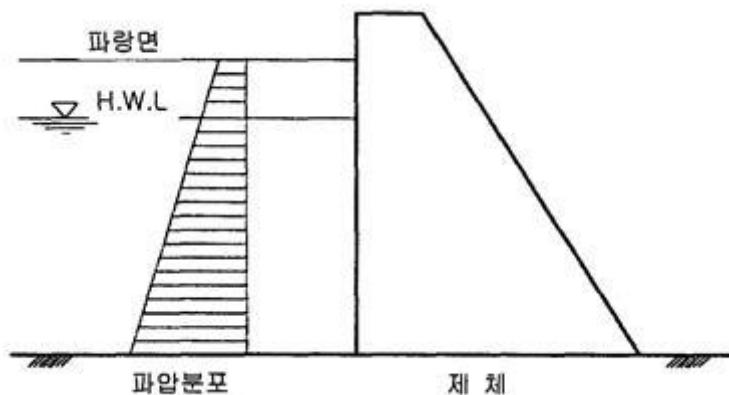
한편 Stevenson 공식은 다음과 같다.

$$H_w = 0.75 + \frac{1}{3}\sqrt{F} - \frac{1}{4}\sqrt[4]{F} \quad (6.14)$$

여기서, H_w : 전 파고(m)

V : 풍속(m/s)

F : 대안거리(km)



<그림 6.5> 파랑에 의한 수압분포

(나) 댐 설계에 적용할 수 있는 파의 작용에 대한 개략적인 형태는 <그림 6.6>과 같다. 최대 단위압력은 정수위상의 약 $1/8 h_{\{w\}}$ 에서 일어나며, 그 값은 대략 다음과 같다.

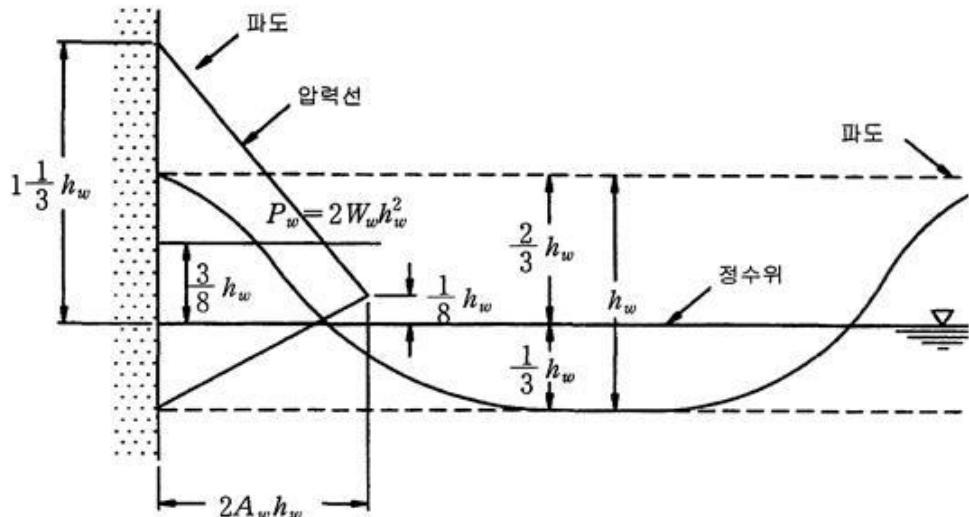
$$P_w = 2 W_w h_w^2 \quad (6.15)$$

여기서, $h_{\{w\}}$: 전파고(m)

$W_{\{w\}}$: 물의 단위중량(tf/m^3)

수압분포는 대략 3각형이 되고 그 작용점은 정수위로부터 $3/8 h_{\{w\}}$ 지점이다.

댐 상류면의 파랑의 상승고는 댐 상류면이 연직인 경우는 정수면에서 $4/3 h_{\{w\}}$ 이고 필(fill)댐과 같이 댐 상류면이 경사인 경우 정수면에서 $1.4\sim1.5 h_{\{w\}}$ 정도가 된다.



<그림 6.6> 파고에 의한 수압변화

6) 퇴사압

저수지에 유입하는 물은 언제나 상당한 양의 토사를 운반하기 때문에 토사의 퇴적을 피할 수

없다. 따라서 댐의 안정계산에는 퇴사의 영향을 고려하지 않으면 안된다.

퇴사의 깊이는 하상, 저수지 면적의 크기, 수심 등에 따라 현저히 다르다. 설계에 사용되는 퇴사의 깊이는 대개 100년간의 퇴사량을 기본으로 해서 확정하게 된다. 만일 배사(排砂) 설비가 효과적이고 믿을 수 있다면 이것에 의한 효과를 고려해 넣을 수 있다.

퇴적토사의 압력은 댐 상류면이 비탈진 경우 비탈면상의 연직토압은 수압과 같은 방법으로 취급하고 수평토압은 Rankine 식으로 계산하는데 다음 식 (6.16)과 같다.

$$P_e = C_e W_s h \quad (6.16)$$

여기서, $P_{\{e\}}$: 퇴사압(tf/m^3)

$C_{\{e\}}$: 토압계수(0.4~0.6), $C_{\{e\}} = 1 - \sin\Phi / 1 + \sin\Phi$

Φ : 안식각(수중에서 $35^\circ, 25^\circ, 15^\circ$)

$W_{\{s\}}$: 퇴사의 수중 단위중량(tf/m^3), $W_{\{s\}} = W_{\{d\}} - (1-n)W_{\{w\}}$

$W_{\{d\}}$: 퇴사의 단위중량(tf/m^3)

$W_{\{w\}}$: 물의 단위중량(tf/m^3)

n : 공극률(0.3~0.45)

h : 퇴사의 깊이(m)

만일 퇴적토사의 비중 G 를 알 수 있다면 수중 단위중량은 다음과 같이 된다.

$$W_s = W_d \left(\frac{G-1}{G_1} \right) \quad (6.17)$$

총 수평 퇴사압은 다음 식 (6.18)과 같이 되며, 작용점은 수압과 같이 퇴사깊이의 $1/3$ 있다.

$$P_e = \frac{1}{2} C_e W_s h^2 \quad (6.18)$$

(7) 지진

(가) 일반

지진은 댐에 가속도를 전달하여 댐에 작용하는 수압과 퇴사압 그리고 댐 내부의 응력을 더해 준다. 지진지대에 축조할 콘크리트 중력댐 설계에는 지진력을 반드시 고려해야 한다.

(나) 수평지진력

콘크리트에 작용하는 관성의 영향은 단면형상에 관계없이 질량의 중심에 작용한다. 수직 또는 경사된 상류면을 가진 댐에 대하여 임의표고에 있어서의 수평지진에 의한 수압 증가량 $P_{\{e\}} \text{kN/m}^2$ 는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$P_e = C \lambda W_w h \quad (6.19)$$

여기서, C : 압력의 분포와 크기를 나타내는 무차원계수

(<그림 6.7> 참조)

(<그림 6.8> 참조)

$$C = \frac{C_m}{2} \left[\frac{y}{h} \left(2 - \frac{y}{h} \right) + \sqrt{\frac{y}{h} \left(2 - \frac{y}{h} \right)} \right]$$

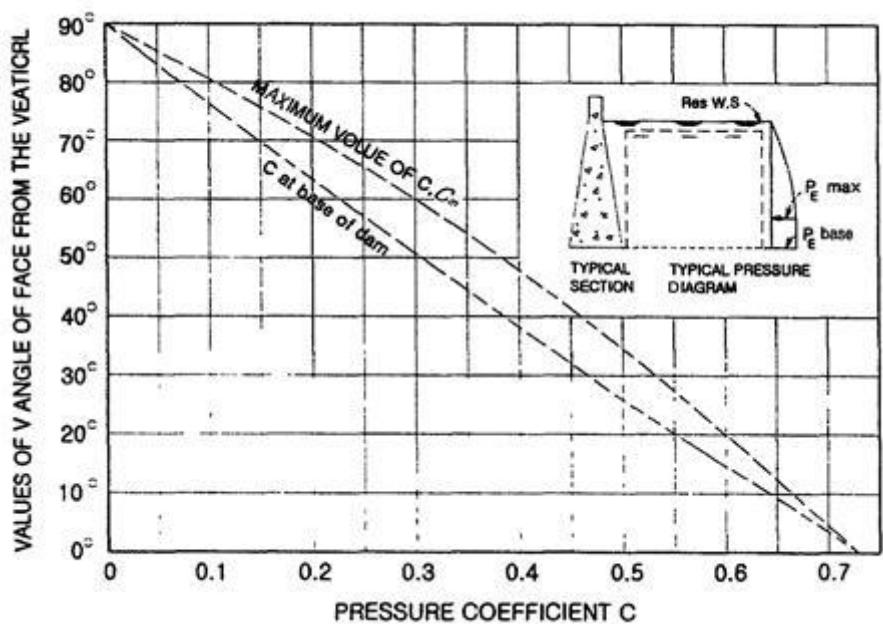
λ : 지진강도 = 지진가속도/중력가속도

$W_{\{w\}}$: 물의 단위중량(kN/m^3)

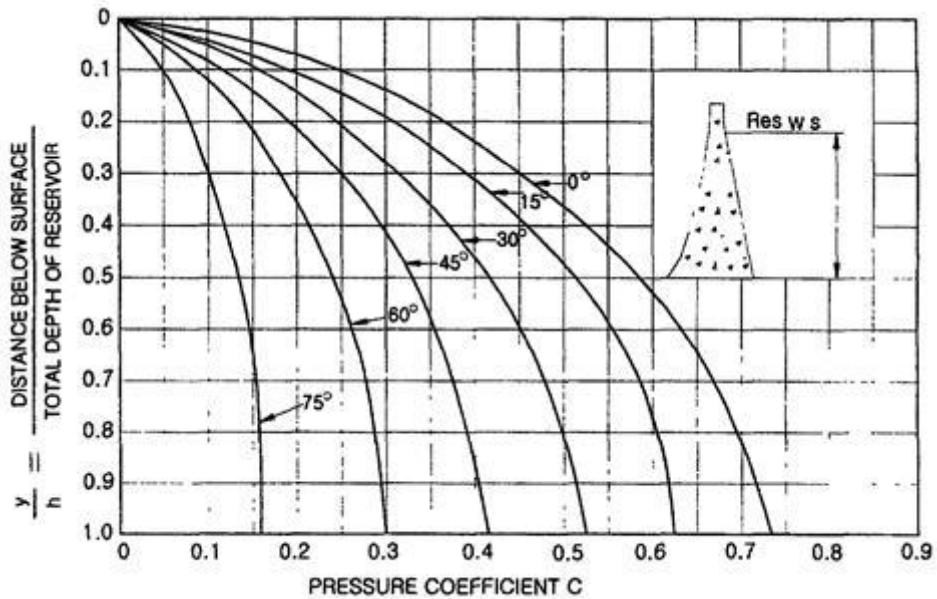
h : 조사할 부분에서의 저수지의 총깊이(m)

y : 저수면에서부터 압력이 작용하는 지점까지의 연직거리(m)

$C_{\{m\}}$: 일정한 경사에 대한 C 의 최대치



<그림 6.7> 일정한 비탈면에 있어서의 기저 및 최대의 압력계수



<그림 6.8> 일정한 비탈면에 대한 압력분포계수

각종 경사도에 대한 C의 값과 y와 h의 관계는 그림에 표시한다. 저수면 아래의 임의 표고 이상의 전 수평력 $V_{\{e\}}$ 및 그 표고 이상의 총 전도모멘트 $M_{\{e\}}$ 가

$$V_e = 0.726 P_e y \quad (6.20)$$

$$M_e = 0.299 P_e y^2 \quad (6.21)$$

으로 표시된다. 연직과 경사면을 겸용한 댐에 사용하는 방법은 총 제고 및 연직부분의 높이의 관계에 따라 좌우되며, 다음과 같다.

① 댐의 상류면의 수직부분의 높이가 총 댐 높이의 $1/2$ 과 같거나 그 이상이라면 전체가 연직인 것과 같이 분석한다.

② 댐의 상류면의 연직부분의 높이가 총 댐높이 이하라면 댐 상류면과 저수면의 교차된 점과 댐 상류면과 기초가 교차된 점을 연결한 경사선에 압력이 작용한다.

(다) 수직 지진력

댐의 경사면에 작용하는 물의 무게는 적당한 진도에 의하여 수정되어야 하며, 콘크리트의 중량 또한 이 진도로써 수정해야 한다.

(8) 빙압

빙압은 빙판이 열에 의한 팽창에 의해서 발생하므로 빙판의 두께, 온도상승률, 저수면(貯水面)의 변동, 저수지내의 상태, 댐 상류면의 경사 등을 고려하여 구조물에 작용하는 빙압을 추산하여 설계에 고려해야 한다.

6.2.2 댐의 표준단면

(1) 기본 삼각형 단면

중력댐은 댐의 자중이 댐에 작용하는 외력에 대하여 안정을 유지토록 단면을 결정하지 않으면 안된다. 이 경우 경제적인 최소단면은 댐 축방향으로 단위폭을 갖는 기본삼각형 단면으로 하는 것이 일반적이다. 댐의 단면형은 다음 순서에 따라서 결정한다.

(가) 댐 지점의 기저 표고를 정한다.

(나) 소요 저수량에서 일정한 만수위를 정한다.

(다) 방수로의 설계와 관련하여 저수지의 흉수시에 대한 최대 흉수위를 결정한다.

(라) 여유교를 산출하여 댐마루 표고를 정한다.

(마) (가), (나), (다)에 의해서 정해진 댐 높이에서 기본 단면형을 정한다.

댐의 안정에 관해서는 전도(轉倒), 활동(滑動), 제체 콘크리트와 기초암반의 사용응력(woking stress)이 이들의 허용응력을 초과하지 않는 등의 3 조건을 만족해야 한다. 기본 단면형에 있어서는 전도에 대한 안정조건으로 결정하고 나머지 항목에 대해서는 안전율을 검토하여 만약 필요하면 기본 단면형을 수정한다.

기본삼각형 단면을 설계한다는 것은 삼각형의 상류면 경사와 하류면 경사를 최소로 조합하여 최소단면에 의한 경제성을 추구하는데 있으며, 그 순서는 다음과 같다.

① 외력의 합력이 제체 수평단면의 중앙 $1/3$ 내에 들어가야 한다.

- ② 전단마찰 안전율이 4 이상을 만족해야 한다.
- ③ 압축응력이 허용응력을 초과하지 않도록 결정해야 한다.

(2) 비월류부의 높이

(가) 계획 최고 수면상의 여유고

비월류부의 높이는 예측하지 않은 대홍수, 수문 조작상 불의의 사고, 바람 또는 지진에 의한 파랑 등에 대비하여 충분한 여유를 취해야 한다.

(나) 비월류부의 높이

- ① 댐의 비월류부의 높이는 여수로 수문의 유무에 따라 다음 <표 6.1>에 게재된 값 중에서 가장 큰 값을 취하는 것으로 한다.

$H_{\{n\}}$: 상시만수위(m)

$h_{\{w\}}$: 바람에 의한 파랑의 저수지 수면부터의 높이(m)

$h_{\{g\}}$: 지진에 의한 파랑의 저수지 수면에서의 높이(m)

$H_{\{s\}}$: 서차지(surcharge) 수위(m)

$H_{\{d\}}$: 설계홍수위(m)

<표 6.1> 여수로 수문의 유무에 따른 댐의 비월류부의 높이

항	구 분	댐의 비월류부의 높이(m)
1 여수로 수문을 갖는 댐		$H_n + h_w + h_e + 0.5(h_w + h_e < 1.5 \text{ 일 때는 } H_n + 2.0)$
		$H_s + h_w + \frac{1}{2} h_e + 0.5(H_w + \frac{h_e}{2} < 1.5 \text{ 일 때는 } H_n + 2.0)$
		$H_d + h_w + 0.5(h_w < 1.5 \text{ 일 때는 } H_d + 1.0)$
2 여수로 수문을 갖지 않는 댐		$H_n + h_w + h_e (h_w + h_e < 2.0 \text{ 일 때는 } H_n + 2.0)$
		$H_s + h_w + \frac{1}{2} h_e (h_w + \frac{h_e}{2} < 2.0 \text{ 일 때는 } H_s + 2.0)$
		$H_d + h_w (h_w < 1.0 \text{ 일 때는 } H_d + 1.0)$

비고) 상기 표에서 H_n , h_w , h_e , h_s 및 H_d 는 각각 다음 수치를 표시하는 것으로 한다.

- ② 바람에 의한 파랑의 저수지 수면에서의 높이는 댐 자체의 상류면이 연직 또는 연직에 가까운 경우 S.M.B 법에 의하여 다음과 같이 산정한다.

$$h_w = 0.00086 V^{1.1} F^{0.45} \quad (6.22)$$

여기서, $h_{\{w\}}$: 저수지 수면으로 부터 바람에 의한 파랑의 높이(m)

V : 10 분간의 최대풍속(m/s)(일반적으로 30~20 m/s 를 취하고 있음)

F : 제체 직각방향의 대안거리(m)

③ 지진에 의한 파랑의 저수지 수면으로부터 높이는 일반적으로 다음 식에 의하여 산정하고 있다.

$$h_e = \frac{k\tau}{2\pi} \sqrt{g H_0} \quad (6.23)$$

여기서, $h_{\{e\}}$: 저수지 수면으로부터 지진에 의한 파랑의 높이(m)

k : 상시 만수위에서의 설계진도

τ : 지진주기(s)(1_{\{s\}}를 적용하는 경우가 많음)

$H_{\{0\}}$: 상시 만수위 상태에서의 저수지 수심(m)

g : 중력가속도(9.8 m/s²)

댐의 비월류부 높이 결정에 있어서 여수로의 수문 유무를 고려하는 것은 여수로 수문조작의 불의의 사고에 따른 저수지 수위의 이상(異常) 상승을 고려한 것으로서 이는 저수지 면적, 수문의 수 등과 관련하여 구체적인 수치예측이 가능하면 그 수치를 안전치로 취해야 한다.

(3) 상 · 하류면의 경사

(가) 하류면의 경사

저수지가 만수시 지진력이 하류로 향하여 작용할 때, 댐 기본단면의 하류면 경사는 댐에 작용하는 모든 의력의 합력이 저면의 중앙 1/3 의 하류지점을 통과하는 조건에서 결정한다.

(나) 상류면의 경사

댐 기본단면의 상류면 경사는 저수지가 비어 있을 때, 상류측으로 지진력이 작용하는 경우에 댐에 작용하는 모든 외력의 합력이 저면의 중앙 1/3 의 상류지점을 통과하는 조건에서 결정한다.

(4) 댐 콘크리트의 강도 및 응력

댐 콘크리트의 배합강도는 재령 91 일 강도를 기준으로 하며, 그 소요강도는 설계응력에 대하여 필요한 안전율을 갖도록 결정해야 한다. 따라서 댐 콘크리트의 배합강도는 소요 압축강도에 압축강도의 변동을 고려한 할증을 하고 댐의 안정계산에서는 댐의 변동상태를 판단할 수 있는 응력해석을 실시하여 제체 내에서 발생하는 응력이 허용응력 내에 있는가를 확인해야 한다.

(가) 댐이 설계하중을 받는 것은 콘크리트를 다져 넣은 후 상당한 시간을 경과한 후이다. 콘크리트를 설계상 편이 등을 위해 콘크리트의 소요강도는 재령 91 일의 강도를 기준으로 한다.

(나) 소요강도에는 미리 친 콘크리트 강도의 표준편차를 고려해야 한다. 또한 콘크리트 시험결과에 따라서 소정의 안전율의 유무를 검토하는 경우에도 표준편차를 고려해야 된다.

(다) 압축강도에 대한 안전율은 표준양생을 한 $15\text{ cm} \times 30\text{ cm}$ 표준공시체를 이용하여 검사한 때는 5 이상으로 하며, 그것을 변동계수에 대하여 정한 비례증가계수에 의하여 <그림 6.9>와 같이 수정하고 다음 식 (6.24)에 의해서 배합압축강도를 구한다.

$$\text{배합압축강도} = (\text{설계용력}) \times (\text{안전율}) \times (\text{비례증가계수}) \quad (6.24)$$

(라) 2 차원적으로 안정계산을 한 때는 원칙적으로 수평단면과 연직단면의 인장응력이 생기지 않게 하여 월류부 가까이에는 단면부족 때문에 인장력이 생기는 부분은 철근으로 보강한다.

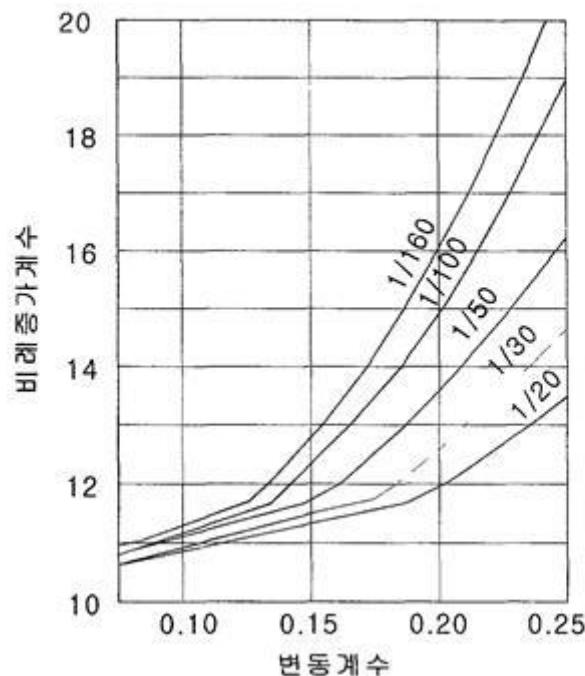
(마) 3 차원적으로 안정계산을 한 때는 2 차원 계산보다 정도 높은 응력을 구할 수 있기 때문에 수평단면에 연직방향의 인장응력은 별도로 하며, 인장응력은 그 방향, 위치 등이 댐의 안정에 큰 영향을 미치지 않을 때는 이것을 인정한다. 안전율은 그 경우에 따라서 정한다.

(바) 압축강도시험은 한국산업규격 KS F 2405에 의해서 실시하고 인장강도 시험은 KS F 2423에 의해서 실시한다.

(5) 댐의 활동(滑動)에 대한 안정 및 기초암반의 안정

댐 콘크리트와 암반의 접촉면 및 기초암반내의 약점으로 나타나는 면에 따라서 마찰저항과 전단력의 비는 4 보다 적게 해서는 안된다. 또한 기초암반에 비하여 과대한 응력이 발생하지 않도록 해야 한다.

(가) 최근에는 높은 댐이나 기초지반의 암반이 약한 경우에도 댐을 축조하고 있다. 따라서 활동안전을 단순한 활동의 문제로 취급하여 활동계수를 검토하는 것은 불합리하기 때문에 전단마찰 안전율을 이용한다.



<그림 6.9> 배합설계시의 평균강도를 정한 비례증가계수

(나) 전단마찰 안전율은 다음 Henny 식으로 결정한다.

$$S \cdot F = \frac{f V + \tau l}{H} \geq 4 \quad (6.25)$$

여기서, $S \cdot F$: 전단마찰 안전율(≥ 4)

f : 댐 제체의 재료 또는 기초암반의 내부마찰계수

τ : 댐 제체의 재료 또는 기초암반의 순 전단강도

V : 전단면에 작용하는 전 연직력

H : 전단면에 작용하는 전 수평력

l : 전단저항의 길이

f 의 범위는 0.65~0.80, τ 의 값은 암반과 콘크리트의 전단저항강도 중에서 작은 값을 취해야 한다. 그러나 암반이 좋은 경우에는 콘크리트의 전단저항강도가 기준이 된다.

(다) 콘크리트의 전단강도는 실험에 의해서 구해야 하지만 댐 기초의 수평단면 내에 있어서 전단응력의 불균일분포, 암반의 불균등성, 시공의 불균등성 등을 고려하여 실험치를 다소 할인한 값을 취해야 한다.

실제로는 실험치의 1/1.5~1/2.0 을 τ 의 값으로 한 예가 많다. 실험에 의하지 않고 τ 의 값을 결정하는 경우에는 안전을 위해서 200~300tf/m²에 따라 콘크리트의 배합 압축강도를 참고하여 결정하는 것이 좋다.

(라) 기초암반 전체의 안정에 관해서는 댐에 전달된 힘, 암반의 자중, 암반 내부에 침투한 물의 내부압력, 관성력 등과 암반 내부의 단층, 절리, 균열 등과 관련하여 악점으로 생각되는 면에 대해서 식 (6.25)에 의해서 활동에 대한 안전성을 검토해야 한다. 기초암반의 안전성 검토는 댐 설계상 극히 중요한 문제이지만 지금까지 역시 해결하기 어려운 점이 많았다.

(바) 기초암반에 있어서 어떤 한정된 부분의 응력을 점토하는 경우 그 평균치가 암반의 강도에 비하여 크게 나타날 때에는 설계의 재검토, 지반개량 등의 적절한 대책을 써야 한다.

(비) 적절한 안전율을 얻기 곤란한 경우에는 암반에 전달된 힘의 방향, 크기, 위치 등을 재검토하거나 혹은 콘크리트 치환 등에 의해서 기초암반의 강도를 개량 해야 한다. 내부압력 등에 대해서는 특히 침투압에 의한 암반강도의 저하를 방지하기 위해서 적절한 배수처리를 해야 한다.

6.2.3 기초암반의 설계

(1) 기초암반의 전단마찰 저항력 및 탄성계수와 변형계수

기초암반의 전단마찰 저항력을 원칙적으로 현장시험을 실시하고 그 결과 및 암반의 성상을

고려하여 판정한다. 기초의 변형을 고려하여 설계를 실시할 경우에 계수는 원칙적으로 현장시험을 실시하여 결정하는 것으로 한다.

(가) 중력댐을 설계할 때 필요한 것은 일반적으로 기초암반의 전단마찰 저항력이며, 기초암반의 변형을 고려하여 설계할 경우에는 전단마찰 저항력 외에 기초암반의 탄성계수 또는 변형계수가 필요하다.

기초암반의 전단마찰저항력 및 탄성계수 또는 변형계수는 암의 종류, 성질 이외에도 풍화, 균열, 시임(seam), 변질, 건습 등의 정도에 따라 다르므로 암반이 양호하고 동시에 실내시험 기타 적절한 방법으로 값을 추정할 수 있는 경우를 제외하고는 원칙적으로 현장시험을 실시하여 결정해야 한다. 중요한 사항은 댐지역의 지질 또는 지질구분이 되어 있는 각 구간내의 지질 시험치 유무에 따라 시험개소의 선정과 시험결과의 해석에 있어서는 충분한 주의를 기울여야 한다.

(나) 전단마찰 저항력 : 암반의 전단마찰 저항력을 구하는 현장시험에는 일반적으로 다음과 같은 블록 전단시험을 사용한다. 암반 위에 강도가 높은 콘크리트 블록을 치기하여 그 상면 및 사면에 연직력을 동시에 가하여 저면의 암반에 전단파괴를 일으킨다. 암반면에 작용하는 연직응력을 여러 가지로 변화시켰을 때의 단위면적당 전단마찰 저항력 τ 를 구해서 다음 식 (6.26)에 의하여 정수 $\tau_{\{0\}}$ 및 f 를 산정한다.

$$\tau = \tau_o + f \cdot \sigma \quad (6.26)$$

여기서, $\tau_{\{0\}}$: 암반의 전단강도(tf/m^2)

f : 암반의 내부마찰계수

σ : 암반면에 작용하는 연직응력(tf/m^2)

콘크리트 블록의 상면 및 사면에 작용하는 힘의 작용점은 시험시에 전단면에 흄 모멘트가 생기지 않도록 정한다. 시험에 사용되는 블록의 바닥면적은 암반에 존재하는 균열, 시임 등의 규모에 따라 결정한다.

또한 상기 전단시험에 의해 얻은 연직응력-전단방향 변위곡선 또는 연직응력-연직방향 면위곡선상에 기울기가 급변하는 초기 파괴점이 나타날 경우에는 다시 그 점에서 구해지는 전단강도 및 내부마찰계수를 써서 암반의 안정을 검토하는 것이 바람직하다.

(다) 탄성계수

암반의 탄성계수를 구하는 현장시험은 일반적으로 동적인 것으로서 탄성파 방법, 정적인 것으로서 잭(jack) 방법 및 수실(水室) 방법 등을 사용한다.

탄성계수 또는 변형계수는 다음 식들에 의해 계산한다.

① Flat Jack 사용시

$$E \text{ 또는 } D = \frac{2(1 - \nu^2)(r_2 - r_1)(P_2 - P_1)}{W_2 - W_1} \quad (6.27)$$

② 강체 원판 사용시

$$E \text{ 또는 } D = \frac{\pi a (1 - \nu^2) (P_2 - P_1)}{2 (W_2 - W_1)} \quad (6.28)$$

여기서, E : 탄성계수(kgf/cm²)

D : 변형계수(kgf/cm²)

v : 포아슨 비

r₁, r₂ : 각 diagram 의 내부반경 및 외부반경(cm)

P₁, P₂ : 하중 (P)-변위 (W) 곡선상 2 점의 하중(kgf/cm²)

W₁, W₂ : 각 P₁ 및 P₂에 대응하는 변위(cm)

a : 강체 원판의 반경(cm)

(라) 수실방법은 암반내에 원통형의 수밀성인 공간을 만들고 수압하중을 작용시켜 수실의 반경방향의 변위를 결정하는 것이다. 수실방법은 재하면적이 큰 이점을 가지고 있으나 공사, 공기 등 때문에 일반적으로는 사용되지 않는다.

동적인 방법에 의해 구한 탄성계수 값은 정적인 방법에 의해 구한 값보다도 상당히 큰 값을 나타내는 것이 보통인데, 지반전반의 상태를 파악하기 위해 극히 유효하다. 따라서 설계에 사용되는 탄성계수 값은 재하면적을 가능한 한 크게 하여 실시한 Jack 방법의 결과에 근거를 두고 정하나, 상당히 광범위하게 이르는 탄성파 방법의 결과 등을 참고로 하여 국부적인 영향을 판단할 필요가 있다.

(2) 기초암반의 안전율

제체와 기초암반의 접촉면 및 기초암반내의 약점이라고 생각되는 전단마찰 저항력은 전단력에 대하여 필요한 안전율을 가져야 한다.

(가) 중력댐과 기초암반의 접촉면에서 전단마찰 안전율은 식 (6.25)로 한다. 암반내부의 단층, 절리 및 균열 등의 약점이 되는 전단마찰 안전율에 대해서는 댐에서 전달되는 힘, 암반의 자중, 간극수압 및 지진력을 고려하여 위의 사항에 준한다.

(나) 댐과 기초암반의 접촉면 또는 기초암반내의 강도 또는 변형성이 크게 다르게 작용하는 부분이 존재하는 경우 등과 같이 응력에 비해서 암반의 강도가 충분치 않는 영역이 생길 수 있으므로 국소 전단파괴에 대한 안전율은 다음 식 (6.29)에서 계산하여 전단면의 위치, 방향, 암반의 성상 등을 고려하여 검토한다.

$$S \cdot F' = \frac{\tau'_o + f' (\sigma - u)}{\tau} \quad (6.29)$$

여기서, $S \cdot F'$: 국소 전단마찰 안전율(2 이상)

$\tau_{\{o\}}$: 국소 전단강도(tf/m^2)

f : 국소 내부마찰계수

u : 국소 전단면에 작용하는 간극수압(tf/m^2)

σ : 국소 전단면에 작용하는 연직응력(지진의 경우를 포함)(tf/m^2)

τ : 국소 전단면에 작용하는 전단응력(지진의 경우를 포함)(tf/m^2)

6.2.4 제체의 안정성 검토

(1) 안정 계산

댐 형상의 설계는 계곡의 형상, 암반의 조건 및 흉수처리 방법 등을 고려하여 댐 및 기초암반의 안전을 유지할 수 있도록 한다. 댐의 안정계산은 댐의 단면형상 및 댐과 기초암반의 접촉면에 관하여 외력 및 자중에 대해서 다음 조건을 만족하도록 한다.

(가) 상류면에는 연직방향의 인장응력을 일으키지 않을 것.

(나) 전단에 대해서 안전할 것.

(다) 허용 압축응력 및 허용 인장응력을 넘지 않도록 할 것.

① 댐의 위치는 계곡의 형상, 기초암반의 형상 및 흉수처리의 방법을 고려하고 정하지만 기초암반에 관해서는 되도록 약점이 적은 장소를 선정한다.

② 댐의 횡단면 형상은 일반적으로 2 차원 설계에 따라서 정한다.

㊂ 조건 (가)는 댐의 기본 삼각형을 정하는 것이고 외력 및 자중의 합력을 기본 삼각형의 수평단면의 중앙 $1/3$ 지점에 놓는다.

㊃ 조건 (나)는 댐의 기본 삼각형이 전단에 대해서는 안전한 것을 구한다. 높은 댐이나 기초암반이 양호하지 않은 댐의 경우에 기본 삼각형은 이 조건을 만족하지 않는 것이 있으며, 댐과 기초암반의 접촉면이 할 수 없이 하류가 낮게 되어 기본 삼각형에서 이 조건을 만족하지 않는 경우가 있다. 이와 같은 경우는 댐의 저부를 두껍게 해서 이 조건을 만족시키는데, 증가부는 기본 삼각형의 상부에 설치하는 것이 보통이다. 증가부를 하류측에 설치하면 상류측에 설치한 경우에 비해서 단면이 크게 되고 국소 전단마찰 안전율이 저하하는 경우도 있다.

㊄ 조건 (다)는 조건 (가) 및 (나)에 따라서 정한 댐 전면의 상 · 하류측의 주응력이 허용 인장응력을 넘지 못하도록 정한 것이다.

㊅ 기초암반 내에 약점이라고 생각되는 면에는 소정의 안전율을 얻을 수 있도록 기초처리 또는 상기 ㊃에서 정한 댐의 형상을 수정한다.

(2) 응력해석

댐의 응력해석은 댐에 작용하는 댐의 자중, 정수압, 동수압, 양압력, 파압, 빙압, 퇴사압 및 지진력 등의 크기와 방향에 따라 응력상태를 적절히 판단되는 방법에서 행한다.

중력댐의 응력해석은 댐축에 직각인 방향의 2 차원적 응력계산을 행하는 것이 일반적이다. 중력댐에서 저수량이 거의 없는 경우에 지진 관성력을 고려한 경우와 제체의 하류측 또는 3 차원적 응력작용을 고려한 경우에 댐체 일부에 인장응력이 일어나는 경우가 있다. 인장응력과 댐체의 기초암반의 접촉면에 연직한 방향의 인장력 이 외에는 응력의 크기, 방향, 위치 등이 댐의 안정에 중요한 영향을 미치지 않는 한도 내에서는 지장을 초래하지는 않는다. 월류부의 마루 인근에서 인장응력이 생길 경우는 철근으로 보강한다. 특히, 현저한 기초변형이 예상되는 댐에서는 저면 부근에 연직방향과 수평방향의 인장응력이 일어날 수도 있어 이 경우에는 이에 대응하는 대책을 강구해야 한다.

한편 댐의 정확한 응력해석을 위해서는 적절한 모형실험도 실시해야 한다.

6.3 세부설계

6.3.1 콘크리트 배합설계

(1) 일반사항

(가) 콘크리트는 내구성 규정을 만족시키도록 배합해야 할 뿐만 아니라, 평균 소요배합 강도가 확보되도록 배합해야 한다. 콘크리트를 생산할 때 f_{ck} 미만의 강도가 나오는 빈도를 최소화해야 한다.

(나) f_{ck} 에 대한 요구조건은 공시체 제작 및 시험 규정에 의해서 시행한 원주 공시체의 시험에 근거를 두어야 한다.

(다) 특별히 다른 규정이 없을 경우 f_{ck} 는 재령 91 일 강도를 기준으로 해야 한다. 다른 재령에 시험을 했다면 f_{ck} 의 시험일자를 설계도나 시방서에 명시해야 한다.

(라) 콘크리트 쪼갬인장강도 f_{sp} 에 관한 설계규정을 적용해야 할 경우 규정된 f_{ck} 값에 해당하는 f_{sp} 의 값을 설정하기 위해서는 시험실 시험을 실시해야 한다.

(마) 쪼갬인장강도 시험결과를 현장 콘크리트의 적합성 판단기준으로 사용할 수 없다.

(2) 콘크리트 배합의 선정

(가) 표준편차 설정

① 콘크리트 배합설비의 시험기록이 있을 경우는 이에 대한 표준편차를 산정해야 한다. 표준편차의 산정에 사용할 수 있는 시험기록은 다음과 같다.

④ 예상되는 실제 상황과 비슷한 재료, 품질관리 절차 및 조건들을 갖추어야 하며, 시험기록에 사용된 재료와 배합비의 변화폭이 실제 현장에 적용되는 것보다 품질관리가 더 잘 되는 조건에서 작성되지 않은 것이라야 한다.

⑤ 계획된 공사에서 요구하는 설계기준강도와 같거나 혹은 설계기준강도에서 그 차이가 70kgf/cm^2 이내의 강도를 갖는 콘크리트에 의해서 구해진 값이어야 한다.

⑥ ⑤에서 요구하는 것을 제외하고 적어도 30 회의 연속시험을 실시해야 한다.

⑦ 콘크리트 배합설비가 ⑨의 요건에 맞는 시험기록을 갖고 있지 않지만 15 회 이상에서 29 회 이하의 연속시험의 기록을 갖고 있는 경우에 표준편자는 계산된 표준 편차와 <표 6.2>의 보정계수의 곱으로 계산할 수 있다. 시험기록을 인정받기 위해서 ①의 ⑨와 ⑤의 요건과 일치하고, 또한 45 일 이상의 기간 동안 실시된 연속 시험 기록이어야 한다.

<표 6.2> 시험이 30 회 미만일 때 표준편차에 대한 보정계수

시험회수	표준편차의 보정계수
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30 또는 그 이상	1.00

* 위표에 명시되지 않은 시험회수에 대해서는 직선 보간한다.

** 소요배합강도를 결정하기 위해서 사용되는 표준편차의 보정계수

(나) 평균 소요배합강도의 결정

① 콘크리트 배합 선택의 기초로 허용되는 평균 소요배합강도 f_{cr} 은 ①의 규정에 따라 계산된 표준편차를 이용하여 다음 식 (6.30)과 식 (6.31)에 의해서 계산된 두값 중에서 큰 값을 취해야 한다.

$$f_{cr} = f_{ck} + 1.64 S \quad (6.30)$$

$$f_{cr} = 0.85 f_{ck} + 3.0 S \quad (6.31)$$

② 평균 소요배합강도 f_{cr} 은 ①의 요건에 맞는 표준편차의 계산을 위한 현장강도의 자료가 없을 경우에 식 (6.30)과 식 (6.31)에서의 표준편차 S 대신에 $0.15f_{ck}$ 를 사용할 수 있다.

(다) 평균 소요배합강도의 감축

평균 소요배합강도는 시공 중에 자료의 취득이 가능하면 f_{ck} 보다 커야 하는 f_{cr} 의 초과치는 다음의 ①과 ③을 동시에 만족하거나 또는 ②와 ③을 동시에 만족하는 경우에는 감소시킬 수 있다.

① 30 회 또는 그 이상의 시험결과를 이용하여 구한 시험결과의 평균이 (가)①의 표준편차를

사용하여 (나)①의 조건을 초과한 경우

② 20 회 이하의 시험결과 값이 얻어지고 그 시험결과의 평균값이 (가)①의 표준편차를 사용하여 계산한 (나)①의 조건을 초과한 경우

③ 특수노출의 필요 사항을 만족한 경우

6.3.2 이음(joint)의 설계

(1) 이음

콘크리트 댐의 이음은 시공이음과 수축이음으로 구분하며, 시공이음에는 1 회 콘크리트치기높이(lift) 경계에 수평방향으로 설치하는 수평 시공이음(lift joint)과 수직방향의 연직 시공이음(cold joint)이 있다.

(가) 시공이음은 댐콘크리트 치기에 따른 시공계획 및 시공조건에 따라서 발생하는 이음이다.

(나) 수축이음은 댐콘크리트의 경화시 발생하는 온도차에 의하여 수축균열(crack)이 발생하게 되므로 이 균열의 발생을 방지하기 위하여 댐을 인위적으로 블록(block)으로 나누고 블럭사이에 이음을 두어 이들의 균열발생을 흡수하도록 해야 한다. 댐 축방향으로 설치하는 이음이 세로수축이음(longitudinal contraction joint)이고 댐축방향과 직각방향으로 설치하는 이음이 가로수축이음(transverse contraction joint)이다.

최근에는 댐 높이가 크지 않은 댐콘크리트의 인위적인 냉각방식, 콘크리트 치기의 발전, RCC 댐과 같은 빈배합 콘크리트의 적용 등으로 세로수축이음만으로 설계하는 층(layer) 콘크리트 치기공법을 적용함으로써 가로수축 이음을 두지 않는 경우도 있다.

(2) 수평 시공이음

시공상 설치하는 수평이음의 간격은 1.5m 를 표준으로 하며, 콘크리트를 치고 나서 장기간 방치한 면에서의 간격은 0.75m 정도로 한다.

(가) 수평시공이음은 시공상 설치하는 것으로 콘크리트의 품질과 온도조절에 대해서도 관계는 있지만 주로 공사용 플랜트의 능력과 거푸집의 문제를 포함한 댐 콘크리트 시공에 관한 종합적인 경제성을 검토해서 리프트 높이를 결정한 후에 이음을 설치해야 한다.

(나) 이 리프트 높이는 미지의 요소가 많고 이론적으로 결정하는 것은 어렵지만 현 단계로는 수평이음의 리프트 높이는 1.5m 를 표준으로 하고 암반에 접근하는 부분을 0.75m 정도로 한다.

(다) 먼저 친 콘크리트의 재령이 리프트 높이가 0.75~1.0m 의 경우에는 3 일, 리프트 높이가 1.5~2.0m 의 경우에는 5 일이 되기 전에는 새 콘크리트를 이어쳐서는 안된다. 장시일 동안 치기를 중단했던 콘크리트를 이어서 칠 때는 0.75~1.0m 의 리프트를 여러 층 두는 것이 좋다.

(라) 콘크리트 치기를 장시일 동안 중지해 두면 이미 친 콘크리트와 새로 칠 콘크리트의 온도차가 커져서 균열이 일어날 우려가 있고 각각의 콘크리트의 성질도 달라지게 된다. 따라서 콘크리트를 장기간 치기를 중지하는 것은 될수록 피해야 한다.

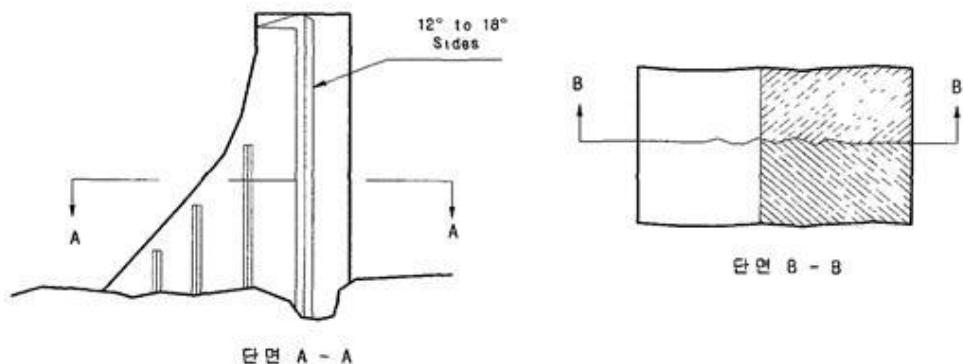
(마) 인공냉각에 의한 온도조절을 할 경우나 온도조절상 유리한 현장조건일 경우, 즉 균열방지 대책이 강구되었을 때는 균열을 일으키지 않는 범위에서 리프트 높이를 크게 해도 좋다.

(3) 가로수축이음

댐 콘크리트를 경화(硬化)시킬 때에는 수축으로 발생하는 균열을 방지하기 위하여 <그림 6.10>과 같이 댐축에 직각방향으로 가로수축이음을 설치해야 한다.

(가) 가로수축이음은 댐 콘크리트의 온도변화에 따라 수축에 의한 균열방지를 위해서 댐 축에 직각방향으로 설치되는 것이며, 그 위치와 간격은 댐지점의 기온, 높이, 콘크리트의 온도조절과 품질의 정도 등 직접 균열방지에 관계되는 요소와 공사용 플랜트의 능력 그리고 기초의 지형, 지질, 수문의 경간 등 시공과 구조상의 여러 가지 사항에도 관계되는 것으로 종합적인 검토가 필요하다.

(나) 이음의 간격은 많은 요소가 관계되므로 이론적으로 결정하기는 매우 어려우며 일반적으로 10~15m 정도로 하고 있다. 그러나 공사용 플랜트의 능력을 증가시키고 댐 콘크리트의 품질개선, 온도조절 등에 의하여 그 간격을 크게 할 수 있으므로 균열방지 대책이 완벽할 경우는 25m 까지 크게 할 수 있다.



<그림 6.10> 가로수축이음

() 세로수축이음

댐 콘크리트의 경화시 수축으로 발생하는 균열을 방지하기 위하여 댐축 방향으로 병행하여 세로수축이음을 설치한다.

(가) 세로수축이음은 수축에 의한 균열방지를 위해서 댐축 방향으로 설치하는 이음인데 횡단면에 연직으로 설치하는 경우와 경사방향으로 설치하는 경우 또는 연직방향으로 지그재그(zigzag)로 설치하는 경우가 있다. 연직 세로수축이음은 댐축방향의 균열방지를 위해서 높은 댐에 설치되는 이음인데 이 때 이음이 벌어진 상태로 두어서는 안된다.

(나) 세로수축이음에는 이음그라우팅을 하는 것이 원칙이나, 그라우팅을 하지 않는 경우에는 경사방향으로 설치하는 세로수축이음이 있으나 이것은 이음을 주응력방향으로 경사시켜 이음면에 생기는 전단응력을 최소로 해야 한다.

(다) 경사수축이음은 일반적으로 단면의 도중에서 그치므로 그 끝에서 균열이 일어날 염려가 있고 이 균열에 대한 처리를 고려해야 된다. 연직방향으로 지그재그로 설치하는 세로수축이음도 경사이음의 경우와 같이 단면의 도중에서 그치므로 균열방지 대책을 반드시 준비해야 한다.

(라) 세로수축이음의 간격은 일반적으로 15~20m 정도로 하고 있는데 가로수축이음의 경우와 같이 콘크리트의 품질, 온도조절 등 균열방지 대책이 완벽하게 수립되었을 경우는 그 간격을

크게 할 수 있다.

(5) 개방이음

댐 건설지점의 계곡형상, 기초지반의 결함 또는 콘크리트의 온도조절 등을 위하여 필요할 경우에는 비틀림이음, 전단이음, 온도조절이음 등을 설치해야 한다.

(가) 비틀림이음은 높은 댐이 수평하중을 받고 비틀림작용에 의하여 댐의 양안 끝에 생기는 인장응력을 감소시키기 위해서 댐의 받침부(abutment) 부근에 설치하는 개방이음이다.

(나) 전단이음은 댐이 단층에 얹혀 있는 경우나 장래 기초의 이동을 예상할 수 있을 때 댐에 전단력이 작용하지 않도록 단면을 통해서 설치한 개방이음이다. 이 경우 상류면에는 특수한 치형이음과 수밀장치를 설치하여 누수를 방지해야 한다.

(다) 온도조절이음은 콘크리트 내부의 온도를 빨리 하강시켜서 콘크리트의 수축을 빠르게 하고 완성한 댐에서 일어나는 응력을 분산 처리할 수 있도록 공사종 블록사이에 0.5~1.50 cm 정도의 개방이음을 설치하는 것이며, 이것은 완성 후에 반드시 충전해야 한다.

(6) 치형이음

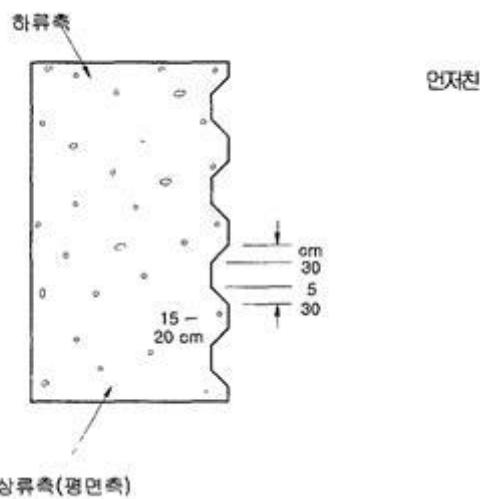
(가) 가로수축이음에 연직치형이음을 설치하는 경우 치형의 형상과 간격은 다음 사항을 고려하여 결정해야 한다.

- ① 소요전단력을 전달할 수 있는 것.
- ② 이음 그라우트공을 실시하는 경우 그라우트 주입액의 흐름을 방해하지 않는 것.
- ③ 극단적인 응력집중 및 표면의 온도변화에 의한 균열이 생기지 않는 것.
- ④ 형틀의 취급 등 시공할 때에 파손되지 않는 것.

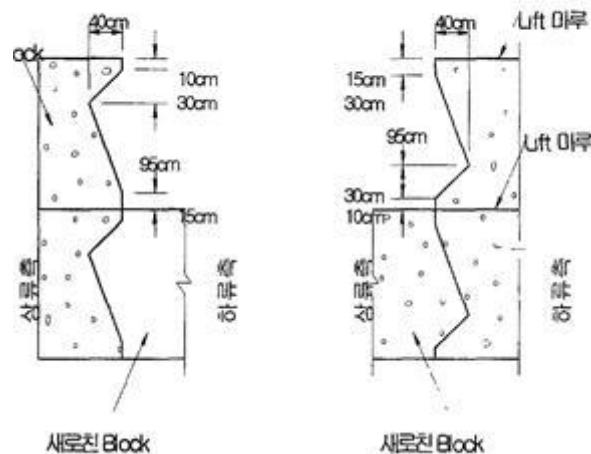
(나) 연직수축이음에는 반드시 수평수축 치형이음을 설치하여 그 형상과 간격은 위에 준하여 결정한다. 가로수축이음에 설치하는 연직시공이음의 치형은 투수거리를 길게 해서 이음을 통한 누수를 방지하고 이음면에 전단저항을 생기게 함으로써 안정을 주기 위해서 설치하는 것으로 작은 댐에서는 주로 누수방지에 더 큰 목적이 있다.

① 연직시공 치형이음을 설치하는 경우 치형의 형상과 간격은 위의 사실을 고려해서 결정하며, <그림 6.11>과 같이 한다.

② 수평치형 이음은 댐의 안정을 증대시키기 위하여 매우 중요한 것이다. 이 치형면은 이론적으로 만수시 댐에 생긴 주응력 방향에 가능한 한 일치하도록 설치해야 한다. 그 형상과 간격은 연직시공 치형이음에 준해서 결정하는데 <그림 6.12>와 같은 형상이 있다.



<그림 6.11> 가로수축이음에 설치하는 치형



<그림 6.12> 세로수축이음에 설치하는 치형

6.3.3 지수판 및 배수공

(1) 가로수축이음의 지수판

가로수축이음에는 지수판과 이음 배수공을 설치해야 하며, 지수판은 콘크리트의 부착력을 충분히 고려하여 수밀성과 내구성이 좋은 재료를 사용해서 신축작용에 적응할 수 있는 형상으로 해야 한다.

(2) 이음 해수공

지수판과 이음 배수공을 댐 상류면 가까운 곳에 기능을 충분히 발휘할 수 있는 구조로 해야 한다.

(3) 수밀장치의 재료

수밀장치의 재료는 동, 스텐레스 등의 금속판, 인조고무, 염화비닐 등의 화학성 재료가 있다. 보통 두께 1~2 mm의 동판이 널리 쓰이고 그 형은 U 형 또는 Z 형이 보통 많이쓰인다. 그 설치장소는

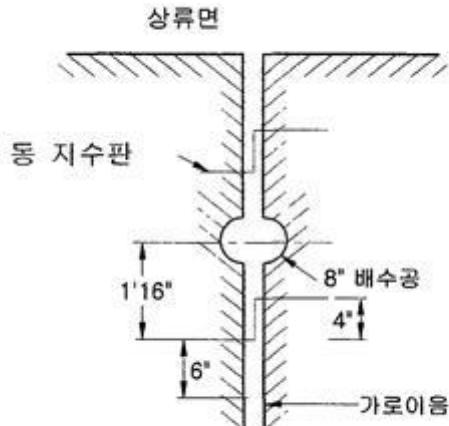
가로수축이음의 상류면 가까이에 대개 연직방향으로 하는데 상류면에 너무 가까우면 온도변화의 영향을 받아서 부착력을 해칠 염려가 있으므로 1.0m 정도 이상 내부에 두는 것이 좋다.

(가) 동판 수밀장치

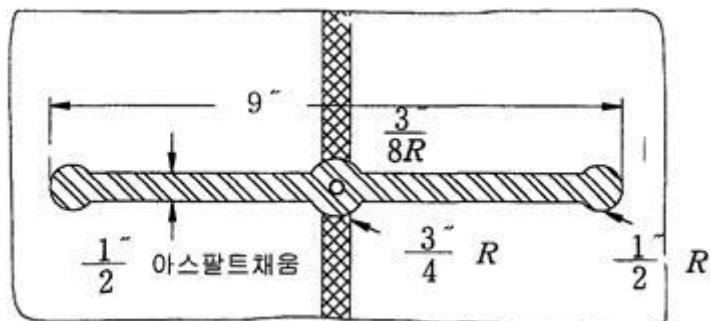
<그림 6.13>은 두 개의 동판 수밀장치의 모양이며, 그 사이에 있는 배수공은 후에 아스팔트나 시멘트 모르타르를 투입하여 채울 수 있다. 이와 같은 형식은 기초지반의 변형이 없다고 확실히 믿을 수 있는 경우에만 사용할 수 있으며, 그렇지 않은 경우는 파괴될 것이다.

(나) Rubber Seal

<그림 6.14>는 고무 수밀장치로서 많은 댐에 사용되고 있다. 이것은 항상 습기가 있는 경우에 좋다.



<그림 6.13> 동판 수밀장치



<그림 6.14> Rubber Seal

6.3.4 온도규제

댐 콘크리트의 인공냉각의 주목적은 콘크리트의 온도상승을 억제하고 균열을 방지하는데 있다. 따라서 인공냉각은 댐의 규모, 댐 지점의 온도조건, 칠 때의 콘크리트온도 등을 고려하여 결정해야 한다. 냉각방법은 일반적으로 파이프 쿨링(pipe-cooling)과 프리쿨링(pre-cooling)을 이용한다.

(1) 파이프 쿨링

파이프 쿨링은 파이프에 의한 인공냉각을 실시하여 댐을 최종 안정온도에 가까운 온도로 내려 콘크리트를 수축시키는 것이다. 이것은 새 콘크리트를 치기 전에 외경 25 mm 정도의 파이프를 수평으로 배치하고 그 안에 자연하천수 또는 인공냉각수를 통과시켜서 콘크리트의 경화열을 빼앗아 온도를 내리는 것이다. 파이프 위에 콘크리트를 침과 동시에 이것을 개시하고 냉각계획에 의하여 정해진 기간 중에서 될 수 있는 대로 중단시키는 일이 없이 통수할 필요가 있다. 이 통수기간은 일반적으로 2~3 주 정도가 된다.

(2) 프리 쿨링

프리 쿨링은 일반적으로 비비기에 사용하는 물, 굵은 골재 등을 미리 냉각시켜 쳐널을 콘크리트의 온도를 내리는 것이다. 시멘트와 세골재의 냉각방법은 효율이 좋지 않으므로 사용하지 않는다.

6.3.5 매설계기

(1) 측정계기의 설치

댐의 유지관리와 안전은 필요에 따라 누수량, 양압력, 퇴사량, 기상상황 등의 측정설비를 하지 않으면 안된다. 또 중요한 댐에서는 온도, 균열, 비틀림, 내부응력, 지진력, 이음의 벌어짐 및 변위 등의 측정계기를 설치해야 한다.

(2) 계측

측정 및 관측은 단시간의 공사 중에도 매우 중요하게 취급되어야 한다. 수축이음에 그라우트를 주입하는 경우 온도계 혹은 조인트메터(joint meter)에 의한 측정을 하여 적기를 결정해야 한다.

또한 댐 구조의 관측은 공사완공 후에도 장기간에 걸쳐서 지속적으로 실시해야 하기 때문에 계측계획을 비롯한 측정결과에 대한 자료의 정리, 보고양식 및 관측방법 등은 미리 정해 두어야 한다.

6.4 시공관련 설계 검토

6.4.1 안전관리

(1) 안전관리

댐 공사는 다른 공사에 비하여 위험성이 많으며, 재해 발생률도 크므로 안전관리에 만전을 기해야 하고 위험이 예상되는 장소에는 사전에 완전한 보호시설을 하여 사고의 방지에 힘을 써야 한다.

(2) 안전교육

사고의 원인을 예측하여 사전에 방지함도 중요하며, 종업원에 대한 안전교육도 필요하다. 만일 사고가 발생하면 그 사고의 원인을 철저히 조사, 분석, 연구하여 널리 작업원에 교육과 계몽을 시키고 같은 사고가 재발하지 않도록 주의해야 한다.

6.4.2 공정관리

각종 공사의 작업추진 실적 및 시공상황을 정확히 알고 공정관리를 실시해야 한다. 공정관리는 공사의 시공 중에 항상 공사실적과 계획을 비교하여 그 차이를 검토하는 과정이 있어야 하며, 댐 공사는 여러가지 공사가 복잡하게 구성되어 있으므로 그 구성요소의 공정상 비중을 고려하여 관리해야 한다.

공사를 크게 나누면 직선형(series group)과 병행형(parallel group)으로 분류된다.

(1) 직선형 공사

직선형은 A 공사가 완성되지 못하면 B 공사가 완성되지 못하고, B 공사가 완성되지 못하면 C 공사가 완성되지 못한다는 형식으로 되는 것이며, 그 중요공사는 동력설비 공사, 가배수로터널 공사, 코퍼댐 공사 등이다.

(2) 평행형 공사

평행형 공사는 시공설비 중에서 골재 생산설비, 콘크리트 혼합설비, 콘크리트 운반과 치기의 설비 등과 같이 서로 관계없이 시공할 수 있는 것을 말한다. 직선형은 한 공사의 공정이 지연되면 다른 공사나 또는 다음 공사에 영향을 주므로 공정관리에 신중을 기해야 한다.

평행형에서도 어떠한 시공설비가 지연되어 다른 공정에까지 영향을 미치며, 공비의 경제적 효과를 약하게 하는 경우가 있으므로 공정관리에 주의해야 한다.

6.4.3 기초굴착 및 처리

(1) 기초암반의 조사

저수(貯水) 지역과 댐 지점 등의 지질조사 결과에 따라서 댐 본체의 형식, 공사비 등이 많이 달라지므로 착공 전에 정밀도가 높은 지질도를 작성해야 한다. 암석은 상태와 성질을 확인하여 단층, 풍화정도, 표토 등의 상황을 다음과 같은 방법으로 조사한다.

① 시추에 의한 조사

② 시험갱에 의한 조사

③ 물리탐사에 의한 조사

④ 기타 방법에 의한 조사

(가) 시추에 의한 조사

시추공은 원칙적으로 댐 예정지점에서 하천을 횡단하는 방향으로 10m의 방향선을 그어 각 선의 교점에 배치한다. 물리탐사의 결과, 추가시추로 기초지반을 정지할 때는 불확실한 지점에 대해서만 실시한다.

① 시추의 심도는 댐 높이의 1/2 정도로 하는 것이 일반적이다. 댐 축조에 있어서 암질이 양호한 곳에서는 저수심의 20~30%, 암질이 다소 나쁘면 저수심 70% 정도의 심도까지 암반개량이 필요하므로 내부 암질이 완전히 판명되지 않았을 때는 대략 50% 정도로 시추한다. 또한 양질의 암질일지라도 10m 이상의 시추를 실시하는 것이 안전하다.

② 시추의 방향은 연직방향만으로는 암반의 상태를 충분히 파악할 수 없으므로 필요에 따라서는 사방향 또는 수평으로도 시추를 실시한다. 특히, 댐의 양안 부분에 있어서의 시추는 그 시공결과로 얻어지는 코아(core)에 의하여 암질을 판정하므로 NX 규격의 3 종 관을 사용하고 다이아몬드 비트로서 코아의 채취율이 좋도록 시행한다. 메탈 크라운(metal crown)이나 쇼트 크라운(shot crown)을 사용한 경우에는 코아 채취율이 나쁘고 지질판정에 지장을 초래하므로 특히 유의해야 한다.

③ 시추후에는 투수 수압시험을 깊이 2~4m마다 시행함으로써 그 시험구간의 코아 채취율과 비교하여 지하에 발달하고 있는 균열의 상태를 판정하고 기초굴착의 필요심도와 기초처리 방안을 결정해야 한다.

(나) 시험갱에 의한 조사

시험갱에는 수직갱(입갱)과 횡갱이 있으며, 시추시공이 곤란한 장소, 시추로서는 충분한 결과를 기대하기 어려운 장소에 적합한 조사방법이다. 횡갱에 의하여 조사될 깊이는 대략 심도가 30m 정도이며, 갱내에는 직접 지지력 시험이나 또는 물리탐사를 하는 것이 일반적이다.

(다) 물리탐사에 의한 조사

물리탐사는 그 원리에 따라 탄성파 탐사법과 전기탐사법 등으로 구분할 수 있으나 댐 기초조사에서는 일반적으로 탄성파 탐사법이 많이 사용된다.

① 댐 지점의 탄성파 탐사는 댐 중심선을 중간에 두고 부근일대에 격자 모양의 측선을 정하고 암반의 깊이, 형상, 기복, 경도, 풍화상태, 단층, 파쇄대 등의 분포 또는 하상에서의 모래, 자갈층의 두께 등을 조사하는데 이용된다. 경우에 따라서는 능선의 협소부분, 담수지역의 상부로부터의 누수지반의 활동가능성 여부 등을 광범위하게 개략적이고 경제적으로 알 수 있는 방법이다.

② 탄성파 탐사는 직선상에 5~10m 간격으로 측점을 잡고 그 곳에 감진기를 배치하고 측선의 양단 또는 측선상에 폭파점을 잡고 폭약으로 폭파시킨다. 이 폭파로 발생한 진동을 기록지상에 기록한다.

(라) 기타 방법에 의한 조사

위에서 설명한 방법 외에 표토굴착 조사법 등이 있으며, 이는 댐 예정지점의 표토를 하천에 평행하게 하거나 또는 직교하는 방향으로 여러 단을 만들면서 굴착하는 원시적인 방법으로서 조사비가 많이 소요된다.

(마) 조사의 기록

시추결과 채취된 코어는 순서대로 상자에 정리해야 한다. 상자는 한쪽 길이가 1m가 되도록 만들고 암반굴착 길이 1m마다 코아 상자의 줄을 사용하며, 채취할 수 없었던 부분은 공간으로

비워 두어야 한다. 코아 상자는 원색사진을 찍어 두어야 하며, 시추자료는 상세히 주상도에 기재해야 한다.

(바) 지질도 작성

지질조사의 결과는 지질도에 종합해서 표시해야 한다. 지질도는 원칙적으로 유역지질도, 저수지역 지질도, 댐지점 부근 지질도 등을 작성하고 시공의 안전을 기해야 한다.

(2) 굴착계획

(가) 굴착계획선은 표토, 풍화암, 단층, 연약지반 등의 소재 및 그 정도, 댐의 형식, 규모, 기초처리의 계획 등을 고려하여 정해야 한다. 굴착개시 후에 예기치 않은 단층이나 불량한 연약지대가 발견되었을 때는 공기 및 공비에 중대한 차질이 생겨서 변경을 하지 않을 수 없는 경우가 있으므로 특히 기초조사는 부족함이 없이 시행해야 하며, 표토굴착, 암반굴착의 깊이, 굴착량 등을 정확히 파악하고 굴착계획을 세워야 한다.

(나) 굴착공정을 단축시키기 위하여 병렬식으로 상세하고 합당한 공정을 세워야 한다. 그러나 소요 중장비 등의 영향으로 공사비가 증대하는 경우가 있으므로 굴착량과 공사전체의 공정을 동시에 감안하여 가장 경제적이고 합리적인 공법을 선택해야 한다.

(다) 기초굴착과 콘크리트 치기가 병렬식으로 시공이 가능하다면 굴착에 지장이 없는 한도내에서 댐체 콘크리트 치기를 개시하는 것이 일반적이다. 일부 콘크리트를 친후 또는 기초처리 후에 그 부근에서 굴착을 할 때는 기 시공된 부분에 나쁜 영향을 주지 않도록 주의해야 한다.

(3) 굴착공법

기초굴착공법은 댐 지점의 지형, 지질, 기상 등의 조건 및 굴착량에 따라 달라지며, 효율적이고 안전한 굴착공법을 결정해야 한다. 또 굴착 중에 최종 기초면을 해치지 않도록 천공(穿孔) 심도와 화약을 조정하여 제한발파를 실시하고 최종 계획면은 인공작업에 의해서 면고르기를 해야 한다.

(가) 천공 발파공법

발파 구멍을 뚫고 폭약을 장진하여 일시에 대량의 발파를 하는 천공작업은 하부의 굴착작업이나 적재, 운반작업과 병렬로 시공할 수 있는 이점이 있다. 그러나 천공에 필요한 기계의 운반과 천공 그 자체의 비용이 비교적 많이 소요되는 결점이 있다. 천공의 크기는 $\Phi 50$ mm(BX)이거나 $\Phi 22\sim34$ mm(AX)로 하는 것이 보통이다.

(나) 벤치커트 공법(bench cut method)

벤치커트 공법은 경사면에 수 개의 계단식 벤치를 만들고 벤치 구성 후에 벤치와 벤치 사이의 작업면 내에 세 굴착작업을 병렬로 진행할 수 있는 이점이 있다.

벤치를 구성하는 장소는 지형적으로 지표의 경사에 제약을 받는 경우가 많으나 최종 굴착예정선을 고려하여 정해야 한다. 최근의 벤치를 구성하는 작업은 지형적으로 곤란한 경우가 많으며, 이러한 때는 천공식 발파공법이나 갹도 폭파공법 등을 부분적으로 병용하고 악조건을 빨리 극복하여 정리된 벤치 커트공법을 사용하는 것이 경제적이다.

(다) 갹도(坑道) 폭파공법

갱토에 폭약을 충진하여 일시에 많은 양의 폭파를 하는 공법이다. 갹도의 굴진을 댐체의 다른 개소의 굴착과 동시시공이 가능한 이점이 있으나 폭파함에 있어 댐의 기초로 될 경암까지도

이완되고 파손시킬 염려가 있으므로 갱도의 위치와 폭약의 양에 대해서 충분히 사전검토와 계획이 필요하다.

(라) 방사선형 폭파공법

댐체 굴착예정선에 따라 상·하류 방향에 갱도를 굴진하고 이 갱도에서 방사선형으로 천공을 하여 폭파하는 공법으로서 갱도 폭파공법에 비하여 암반을 상하게 할 염려가 적어서 유리하다.

(마) 제한발파와 면고르기

최종 굴착은 기준면을 해치지 않도록 천공 심도와 화약의 량을 줄여서 발파하고 최종 계획면은 인공작업에 의해서 면고르기를 실시함으로써 암반의 균열을 방지한다.

(4) 버력 처리

(가) 발파한 버력의 운반방법은 굴착공법, 굴착량, 적재장소와 사토장의 위치 및 넓이에 따라서 결정해야 하며, 적재용 중장비와 운반용 중장비의 균형이 이루어져야 한다.

(나) 사용장비의 능력 및 대수는 굴착 최대일의 1 일 평균 작업량을 기초로 하여 결정한다. 일반적으로 굴착량이 많으면 동력삽(power shovel)과 덤프트럭을 조합하여 이용하게 된다.

(5) 사토장

(가) 사토장의 위치는 부근의 지형, 운반거리, 버려야할 토량 등에 따라 결정되어야 하나 그 용량은 굴착에 의한 증가용량도 포함하여 고려해야 한다. 또 버력의 붕괴유실로 인한 하류의 피해유무도 충분히 검토하고 피해가 있다면 사토장의 비탈보호 등에 만전을 기해야 한다. 댐 상류에 버릴 때는 출수기에 가배수로에 유입되어 흉수소통에 지장이 없도록 주의해야 한다.

(나) 댐의 굴착토량은 일반적으로 많은 토량이고 또한 발파암은 굴착하면 용적이 늘어나므로 재료별 토량환산계수를 고려해서 토사장의 용량은 충분히 여유를 가질 수 있도록 사토장을 계획해야 한다.

일반적으로 기초굴착량은 기초의 불량개소, 시공상 필요한 댐 부지 외의 굴착시공 중에 예기치 않던 법면붕락, 체절(締節), 월류에 의한 토사유입 등에 의해서 당초 설계 이상으로 늘어나게 마련이다. 그러므로 사토장의 선정에 있어서는 다음의 사항을 고려한다.

- ① 저수지의 유효 저수용량을 높이기 위해서 가능한 저수지 밖으로 할 것.
- ② 굴착지점에 보다 깊고 또한 충분한 용량을 확보할 수 있을 것.
- ③ 도중에 주택이 집결되었다든가 교통량이 많은 지역 등이 아닐 것.
- ④ 지형적으로 안전할 것.

(6) 댐 기초면의 정리

(가) 굴착 발파는 댐 기초면에 가까울수록 폭약량을 줄여서 암반을 손상시키지 않도록 유의해야 한다. 일반적으로 기초굴착은 계획굴착면상의 50 cm 정도까지 하고 나머지 50 cm는 지렛대, 브레이커, 핵, 해머 등으로 굴착해야 한다.

(나) 기초암반은 일반적으로 불규칙한 면으로 되기 쉬우나 극심한 요철은 응력의 집중을 초래하는 원인이 되므로 그러한 부분을 적당히 다듬어야 하며, 일반적으로 하류가 다소 높은 완만한 텁니형으로 기초면을 정리해야 한다.

(다) 기초암반의 표면은 암반과 콘크리트를 완전히 밀착시키기 위하여 고압의 분사수등으로 반복하여 씻어내야 하고 부석, 흙 등 유해물은 완전히 제거하고 암반상에 고여 있는 물도 없애야 한다. 정리된 암반면을 장기간 방치해두면 풍화 등에 의하여 손실되므로 콘크리트 치기 공정에 맞추어 면고르기와 마무리를 해야 한다.

(라) 만일 암반에서 용출수가 있으면 이것을 일시적으로 기초면 밖으로 배제하거나 차수하는 등의 적당한 방법으로 처리해야 한다.

(7) 기초 그라우트

(가) 천공

천공기계의 선정은 그라우트공의 천공속도에 큰 영향을 미치므로 천공의 깊이 및 작업조건에 따라 검토하여 적절한 형의 기계를 택해야 한다.

(나) 주입압력

최대압력은 상부암반의 중량, 암반의 물리적 성질, 시멘트 풀의 농도, 설치구조 물의중량 등에 따라 결정해야 한다. 그라우트공의 주입압력이 과대하면 기초암반에 충격을 주어 변위시킬 우려가 있으며, 과소할 때는 시멘트 풀이 암반의 균열을 채우지 못할 우려가 있다.

(다) 그라우트의 농도

그라우트의 농도는 암반의 균열상태, 공동의 크기에 따라 결정한다. 일반적으로 물시멘트 비율 10 : 1(물 10, 시멘트 1)의 엣은 것으로부터 시작하여 점차로 농도를 7 : 1, 5 : 1, 1 : 1로 증가시킨다. 처음부터 농도가 진한 것을 주입하면 작은 균열이나 작은 공동에 시멘트 풀이 미치기 전에 침전되어 응결될 우려가 있다. 주입량이 많고 농도가 진한 시멘트 풀로 장시간 그라우트공을 계속해도 압력이 상승하지 않을 때에는 미립사, 벤투나이트(bentonite), 텁밥 등의 혼합물을 사용하는 수도 있다.

(라) 혼화제

① 그라우트 재료는 다음의 성질이 필요하다.

ⓐ 유동성이 좋고 압력을 가하면 작은 균열을 통과할 수 있도록 미세할 것.

ⓑ 응고한 후에 압력이 클 것.

ⓓ 응고할 때 수축량이 적을 것.

② 재료의 성질에 따라 48μ 체(sieve)를 통과할 정도의 미립사와 암분(岩紛)을 많이 사용하며, 최근 외국에서는 벤투나이트를 사용하기도 한다. 벤투나이트는 응결을 지연시키는 성질이 있으나 부식에 대하여 저항성이 크고 풀의 유동성을 증대시키는 이점이 있다.

(마) 압밀 그라우트(consolidation grout)

① 적용암반

일반적으로 암밀 그라우트는 균열이 심한 암반, 시임이 많은 곳, 댐의 규모 및 구조의 특성상 큰 하중을 받는 기초 등에 대하여 시공한다.

② 주입공의 배치 및 깊이

주입공의 배치는 기초전면을 그라우트 시공구역으로 하여 일반적으로 간격을 2~6m로 하고 격자형 모양으로 배치하며, 천공심을 상·하의 여러 층으로 나누어 주입하거나 또는 일시에 주입하는 수도 있다. 주입공은 1~3공을 건너서 천공하여 그라우팅하며, 이 공에 주입된 시멘트 풀의 양에 따라 다시 그 중간에 천공하여 주입할 필요성 여부를 결정한다. 이러한 순서에 따라 계획 주입압력으로서 시멘트 풀이 사실상 주입되지 않을 때까지 시공을 한다.

주입공의 깊이는 하중상태에 따라 다르지만 일반적으로 10~15m을 표준으로 한다.

③ 주입 압력

주입압력은 일반적으로 5kgf/cm^2 이하로서 암반이나 상부구조물의 변위를 가져오지 않도록 충분히 고려하여 결정해야 한다.

ⓐ 균열, 시임이 많은 암반은 댐의 기초로서 적합하지 못하다. 이러한 암반의 개량을 목적으로 소정의 깊이까지 전면적으로 고결시켜 균일한 수밀성 및 지내력을 가진 기초를 만들기 위하여 암밀 그라우트를 한다. 암밀 그라우트는 댐 콘크리트를 치기전 또는 콘크리트를 친 후에 시공하며, 양자를 병용할 수도 있다. 이것은 암반의 상태, 주입시 시멘트 풀의 새는 정도, 공정, 공비 등을 감안하여 결정 한다.

ⓑ 주입압력은 콘크리트치기 경과 후에 그라우트를 실시하는 경우를 고려하면 전자의 경우 $1.8\sim3.5\text{kgf/cm}^2$, 후자의 경우 $3.5\sim7.0\text{kgf/cm}^2$ 이하로 채택하는 경우가 많다. 주입압력, 농도 및 주입량의 상관관계는 미리 정해지는 것이지만 실제 주입작업을 할 때에는 현장 여건에 따라 적당한 범위로 변경해야 한다.

(바) 차수 그라우트(curtain grout)

① 주입공의 배치 및 깊이

주입공은 댐 상류면에 가깝게 가능한 한 치밀한 간격으로 배치하되 연속된 차수막이 형성되도록 1열 혹은 수열로 배치한다.

② 팩커 그라우트

예정 심도까지 천공을 시행하고 공중의 적당한 위치에 팩커를 설치하여 팩커에서 밑의 부분을 국부적으로 주입하고 그라우트가 끝나면 팩커를 예정의 위치까지 끌어 올려서 새로운 부분에 처음보다 낮은 압력으로 주입한다.

ⓐ 일반적으로 댐 상류면에 따라 주입공을 배치하지만 댐 내부의 감사로(監查路)등에 배치하는 수도 있으며, 또한 필요에 따라 이 두 방법을 병용하는 수도 있다. 5열 이상의 주입공을 배치할 경우에는 한 쪽을 주커튼, 다른 한 쪽의 보조커튼을 주커튼 보다 먼저 주입하고 주입공의 간격은 통상 2~3m를 표준으로 한다. 주입공의 방향은 댐 상류면 부근에서 실시할 때는 5° 정도 하류측에 두고 감사로에서 실시할 때는 다소 상류측에 경사를 둔다. 주입공의 깊이는 수심을 기준으로 암반의 상해, 균열 및 시임의 정도 등을 고려하여 결정하고 보수심의 2/3 정도로 한다.

④ 이 방법은 한 개의 그라우트공을 전부 주입할 때까지 반복하는 방법으로서 동시에 최종 심도까지 천공해야 한다.

(8) 단층 및 시임(seam)의 처리

기초암반의 단층, 현저한 시임 혹은 불량한 암반이 존재할 경우는 연약부분을 제거하고 콘크리트로 치환하거나 또는 그 상태에 따라 적당한 공법으로 처리하지 않으면 안되며, 이러한 연약부분은 특히 누수의 원인이 된다.

(가) 단층부분은 일반적으로 파쇄작용을 받고 있으므로 이 불량부분은 단층의 두께에 따라 깊게 굴착하여 제거하고 견고한 암반이 하중을 받을 수 있도록 뼈기모양의 콘크리트로 치환한다. 파쇄대가 심부까지 점토화되어 있어서 콘크리트로 치환할수 없을 때에는 상·하류측에 보다 깊게 차수벽을 설치해야 한다. 이러한 처리가 끝난 후에는 이 부분에 특히 주의하여 그라우트를 하고 장래에 누수가 일어나지 않도록 해야 한다.

(나) 치환부와 기존 암반부의 접촉부분은 철근으로 보강하는 것이 좋다. 단층의 규모에 따라 부등침하를 방지하기 위하여 블록 쪽을 보강하여 불량부분을 1개의 블록으로 치는 방법도 있다.

6.4.4 시공설비

(1) 시공설비 계획

시공설비 계획은 댐 지점의 지형, 지질, 기상조건, 댐의 규모, 공기, 공사비 등에 의하여 많이 달라지며, 시공 중에도 연구 검토하여 경제적이고 능률적인 시공이 가능하도록 설비계획을 수정해 나가야 한다.

콘크리트 중력댐의 시공설비를 기능상으로 구별하면 다음과 같다.

(가) 골재의 채취 및 수송설비

(나) 골재의 선별 및 파쇄설비

(다) 골재의 저장설비

(라) 시멘트의 수송 및 저장설비

(마) 콘크리트의 혼합 운반설비

(바) 콘크리트의 치기설비

(사) 콘크리트의 냉각설비

(2) 시공설비의 목적

시공설비의 목적은 대부분 동일하므로 설비능력이 과대하거나 과소해서는 안되며, 시설이 정도가 높은 세밀한 것을 사용한다고 해서 반드시 전반적으로 좋은 결과를 얻지 못한다는 점을 유의해야 한다.

(3) 시공설비 용량 결정기준

시공설비 용량을 결정하는 기준은 예정된 공기내에 콘크리트 치기가 완료되도록 그 공기의 최대 타설이 1 일 평균량의 30% 증가한 양을 칠 수 있는 설비로 규모를 정함이 적당하다. 각 설비의 1 일 능력을 결정하기 위해서는 1 일의 실제 작업시간과 실제 가동율을 정해야 한다. 실제 가동율은 기계의 공칭(公稱) 능력에 대한 %이며, 케이블 기중기는 80% 정도이다. 1 일 실제 작업시간은 기계의 종류, 위치 등에 따라 많이 변화하며 대략 16~20 시간 정도이고 트럭, 삽(shovel) 등은 8 시간 정도를 하는 것이 관례로 되어있다. 시공설비의 능력은 평형을 이루면서 운전유지가 용이하며, 안전관리가 적합하고 공사비가 싼 것이라야 한다.

(가) 골재 원석의 채취와 운반설비

사용하는 골재가 천연골재 또는 쇄석일 때에 그 채취장은 댐 지점에서 가깝고 운반에 편리한 곳이라야 한다. 채취장의 선택에는 충분한 조사와 시험을 하고 그 골재의 입도, 암질, 원석의 분포현황, 채취가능량, 파쇄에 대한 적부를 상세히 검토해야 한다.

① 천연골재

채취장의 현황, 1 일 채취량 등에 따라 채취용 기계, 채취방법 등이 결정되나 그 중에서도 능률적이고 경제적인 채취방법을 비교하여 선택해야 한다. 골재의 채취에 일반적으로 삽과 덤프트럭을 조합하여 사용하며, 덤프트럭도 대형인 것이 운반경비가 절약된다.

② 쇄석

원석산의 채굴은 벤치 컷(bench cut)식과 그로리 훌(groly hole)식이 있다. 쇄석 플랜트의 위치는 원석산과 콘크리트 플랜트의 위치에 관련되며, 원석과 생산제조된 골재의 운반을 고려하여 가장 유리한 지점을 선정해야 한다.

(나) 골재의 수송

골재를 채취장에서 댐 지점까지 운반하는 방법은 그 거리, 고저차, 운반량 등에 따라 정해지며, 그 수송능력은 충분한 여유가 있어야 한다.

① 골재의 운반방법은 보통 덤프트럭, 화차, 삭도, 벨트 컨베이어 및 이들의 조합으로 이루어지며, 그 현장에 적합한 가장 경제적이고 능률적인 것이라야 한다. 또 골재수송의 발착지에도 많은 양의 골재를 저장할 수 있는 골재저장 장소를 설치하여 일시적인 사고에 의한 운반의 중단에도 콘크리트 치기에 지장이 없도록 해야 한다.

② 골재의 운반은 덤프트럭에 의하여 시공하고 있으며, 트럭의 수송단가는 수송 거리, 주행시간, 적재, 상·하차 시간, 1 일의 가동시간, 인건비 및 트럭의 수리비, 감가상각비 등에 관련된다.

③ 덤프트럭에 의한 수송일 경우에는 고장에 대비하여 충분한 예비차를 준비시켜 수송력의 확보에 확실성을 기해야 한다. 최근 벨트 컨베이어에 의한 장거리 수송도 많이 이용되고 있다.

(다) 시멘트의 수송 및 저장

시멘트 수송에는 포대시멘트 수송과 벌크 시멘트 수송이 있다. 시멘트 수송은 공장에서 현장까지 직접 트럭으로 수송하지 않는 한 보통은 공장에서부터 현장에 인접한 역까지 철도에 의해서 수송하게 되므로 철도의 수송능력, 배차 등에 대하여 사전에 충분한 조사 및 검토를 해야 한다.

시멘트의 저장은 건설교통부 제정 토목공사 표준시방서에 의해야 한다. 저장량은 콘크리트

치기에 지장을 주지 않기 위하여 통상 7~10일 정도의 사용량을 기준으로 한다.

(4) 콘크리트 혼합

콘크리트 생산설비는 소정배합의 균질한 콘크리트치기 계획에 맞게 생산할 수 있어야 하며, 재료 및 제품의 반출입이 편리한 위치에 설치해야 한다.

(가) 배치 플랜트 가동을 위한 재료의 저장량은 대체로 2~4 시간 동안에 사용할 수 있는 정도의 양이면 된다. 시멘트 저장 빙(bin)에는 골재 등에 의해서 수분이 침투되어서는 안되며, 빙 밑바닥에서 시멘트가 막히는 일이 없도록 주의해야 한다.

(나) 댐 공사에서 보통 사용되는 믹서용량과 대수는 케이블 기중기의 용량 등과 균형을 이루어야 한다. 배치플랜트의 하부에는 큰 배수개거를 설치하고 폐기 콘크리트의 처리에 대한 설비도 고려해야 한다.

(5) 콘크리트 운반

콘크리트 운반선로(bunker line)의 높이는 댐 지점의 지형에 따라 다르나 케이블 크레인의 싸이클 타임과 콘크리트 치기 공정에 가장 유리한 위치에 정해야 한다. 콘크리트치기의 장비는 주로 케이블 크레인과 지브 크레인이 사용된다.

(가) 일반적으로 운반선의 높이는 댐 계획고 보다 약간 낮게 설치한다. 운반선로의 부설에 있어서는 주로 탈선사고를 방지하도록 선형, 경사 등을 신중히 고려하여 시공해야 한다.

(나) 운반차에서 콘크리트가 잘 배출되지 않아 치기에 지장을 초래하는 경우가 자주있으므로 콘크리트가 케이블 기중기 등의 버킷에 순조로이 옮겨 담을 수 있도록 운반차의 배출구를 조작해야 한다. 운반선로는 통상 복선으로 하교 단선일 경우는 도중에 대피소를 설치해야 한다.

(다) 배치 플랜트와 운반선로의 기초공사는 분리하여 시공할 수 없으며, 또한 이 시설은 다른 가설비 배치의 기준이 되므로 운반, 공급의 상호관계를 충분히 연구 검토하여 시공해야 한다.

(라) 케이블 크레인은 탑(tower)의 이동방식에 따라 일단 또는 양단 주행형이나 양단 고정형이 있으며, 케이블 크레인의 형식 및 성능은 다음 사항에 따라서 결정한다.

① 케이블 크레인이 가능한 한 댐 본체의 전부를 할 수 있을 것

② 주행로 또는 고정답의 공사비가 적을 것.

③ 변속운전이 가능하고 능률적인 가동이 가능할 것.

④ 속도의 변화는 물론이고 미동이 정확하고 확실할 것.

(마) 주행로, 고정탑, 기계실은 충분히 안정된 지반 위에 설치해야 하며, 주행로 등의 위치결정에는 댐의 기초굴착과의 관계를 충분히 고려해야 한다.

(바) 주행로와 댐 계획고의 관계는 게이트 크레인의 주삭도가 하중을 받을 때에 버킷 밑바닥이 댐 계획고 보다 약 1.5m 높게 해야 한다.

제 7 장 률러다짐 콘크리트댐

7.1 설계일반

7.1.1 일반사항

(1) 목적

룰러다짐 콘크리트댐(roller compacted concrete dam : RCCD)은 콘크리트댐의 장점을 살리고 필댐의 단점을 보완하면서, 콘크리트댐의 시공상 문제점을 개선하여 건설공기의 단축과 경제성을 높이고 콘크리트댐의 축조가 적합한 지점에서 댐건설을 쉽게 하고 댐지점의 지형, 지질 등의 폭넓은 조건변화에도 대응할 수 있는 합리적인 댐 새공법을 확립하는 것을 목적으로 한다.

(2) 구분

룰러다짐 콘크리트를 다음과 같이 구분한다.

(가) 룰크리트(rollcrete)

- ① 다짐을 위한 최적 함수비에 가까운 상태에서 콘크리트를 친다.
- ② 다짐은 50 ~ 100 톤 률러나 진동롤러를 사용한다.
- ③ 함수량이 크기 때문에 고밀도의 콘크리트 생산이 불가능하다.

(나) 률러다짐 댐콘크리트(roller compacted dam-concrete : RCD 콘크리트)

- ① 시멘트 함량이 많고 포줄란량이 적다.
- ② 2 ~ 3 층을 펴 고른 후에 다짐을 시행한다.
- ③ 표면에 물을 부려서 살수하여 양생시키고 그린 컷(green cut)을 시행한다.
- ④ 댐의 상 · 하류면은 거푸집을 이용한 일반 콘크리트를 친다.

(다) 률러다짐 콘크리트(roller compacted concrete : RCC)

- ① 룰크리트보다 큰 함수비를 적용한다.
- ② RCD 콘크리트 보다 큰 포줄란 배합비를 적용한다.

- ③ 다짐은 일반적으로 콘크리트층을 0.3m로 하여 각 층별로 다진다.

7.1.2 RCC 댐의 특징

RCC 댐은 콘크리트 중력댐을 기초로 시공상의 문제점을 개선하고 경제성을 높이면서 공사기간을 단축시켜 댐건설을 용이하게 하며, 댐 지점의 지형, 지질조건에 적합한 합리적인 적응이 될 수 있는 신공법이다. 그러므로 일반적인 콘크리트댐과는 다른 시공기계의 채용과 더불어 시공방법을 개량할 수 있고 이에 적합한 재료의 선택과 배합변경이 필요하다. 따라서 RCC 댐의 특징은 다음과 같다.

- (1) RCC는 일반 콘크리트에 비해서 매우 된 배합이다.
- (2) 일반적으로 단위시멘트량이 적다.
- (3) 콘크리트 플랜트에서 콘크리트의 운반은 일반적으로 고정케이블, 인크라인, 덤프트럭등을 사용한다.
- (4) 콘크리트 치기능력과 경화열을 고려하여 제체 전면의 충치기방식에 의한 콘크리트치기를 표준으로 한다.
- (5) 1 리프트의 높이는 다짐효과를 고려하여 정하지만, 제체 부분에서는 70 cm 정도를 표준으로 한다.
- (6) 수축이음의 내부 가로수축이음은 콘크리트치기 직후나 다짐 직후에 절단하는 방법으로 시공하며, 세로수축이음은 일반적으로 설치하지 아니한다.
- (7) 파이프 쿨링의 시공은 일반적으로 실시하지 아니한다.

7.1.3 용어의 정의

(1) RCC 댐용 콘크리트

RCC 댐용으로 사용되는 콘크리트는 진동롤러로 다짐하는 매우 된비빔의 콘크리트를 사용한다.

(2) 진동다짐 평가치(vibrating compaction value : VC 치)

VC 치는 RCC 댐용 콘크리트의 반죽질기(consistency)를 나타내는 값으로서 진동대식 반죽질기 시험방법(RCC 댐용)에 의하여 얻어지는 시험치를 나타내는 것이며, 대형 용기를 사용할 경우는 대형 VC 치라 하고, 소형용기를 사용할 경우는 소형 VC 치라 한다.

(3) 단위 굵은골재 용적

단위 굵은골재 용적은 단위 굵은골재 중량을 굵은 골재의 단위중량으로 나눈 값이며, 이 경우 단위중량은 표면건조포화상태인 굵은 골재를 사용하여 측정한다.

(4) 진동롤러

진동롤러는 RCC 댐용 콘크리트를 펴서 다지기 위한 장비로서 강력한 기진력을 가진 축진동기 또는 2 축진동기를 사용한다.

(5) 진동절단기

진동절단기는 수축이음을 시공하기 위한 강재 등의 원판을 가진 기계로서 원판의 자중과 진동 등에 의하여 굳지 않은 콘크리트를 절단한다.

(6) 모타 스위퍼(motor sweeper)

모타 스위퍼는 솔(brush) 작용을 하여 레이탄스를 제거하고 콘크리트 표면을 청소하는데 사용하는 기계이다.

(7) 불도저

불도저는 콘크리트를 다지기 전에 덤프트럭에서 내린 후에도 콘크리트의 분리를 적게하고 진동롤러다짐을 용이하게 사용하기 위하여 콘크리트를 균일한 두께로 펴 고르기할 수 있는 장비이다.

(8) 진동다짐

진동다짐은 펴 고른 콘크리트의 표면에 진동롤러를 사용하여 다짐하는 방법이다.

(9) 층(layer) 치기

RCC 댐에 사용하는 콘크리트의 층치기는 미리 거푸집에 의한 수축이음을 설치하지 않고 제체의 수평전면에 걸쳐 콘크리트를 치는 방법이다.

(10) 수축이음

보통 거푸집을 사용하여 설치하는 수축이음 및 층으로 친 후에 절단에 의하여 설치되는 수축이음은 가로수축이음으로 설치한다.

(11) 시공이음

시공이음은 시공계획상 설치하는 콘크리트치기 마지막 부분의 이음 또는 콘크리트 치기가 도중에 부득이 중지하는 경우에 콜드조인트가 생기지 않도록 처리하는 콘크리트치기 마지막 부분의 이음 등이 있다.

(12) 이음판

이음판은 절단하여 설치된 수축이음이 재 고착되지 않도록 삽입하는 판으로서 아연도강판, 플라스틱판 등을 사용한다.

(13) 이음유제

이음유제는 절단하여 설치된 수축이음이 재 고착되지 않도록 총전하는 액상재료로서 아스팔트 유제 등을 사용한다.

(14) 지수재

지수재는 횡단이음의 지수를 목적으로 설치하는 금속판, 플라스틱판 또는 이음에 공동부분을 설치하여 그곳에 녹여 넣는 재료로서 지수효과를 얻는 아스팔트, 수지 등의 재료가 사용된다.

7.2 재료

7.2.1 시멘트

(1) RCC 댐에 사용하는 시멘트는 보통포트랜드시멘트, 중용열시멘트, 고로시멘트, 플라이애쉬시멘트 등을 사용한다.

(2) RCC 댐용 콘크리트의 성질은 기본적으로 보통 댐콘크리트와 다른 것이 없으므로 어떤 시멘트를 사용하더라도 콘크리트의 온도상승을 가능한 한 적게 하기 위하여 경화초기에 수화열이 적은 것이라야 하며, 프레시콘크리트의 성질을 고려하여 단위수량을 비교적 적게 할 수 있는 플라이애쉬 시멘트를 사용해야 한다.

7.2.2 잔골재

(1) 잔골재는 유기부속물 등을 함유하지 않은 깨끗한 것으로서 다짐이 쉽게 되도록 적절한 입도를 가진 골재를 선택하고 입도는 안정된 것이라야 한다.

(2) RCC 댐용 콘크리트는 매우 된 비빔의 콘크리트이고 소량의 수량증감에도 민감하므로 잔골재의 함수량의 관리가 중요하며, 특히 미립분을 많이 함유한 잔골재에 대해서는 함수량 조정에 세심한 주의를 해야 한다.

(3) 잔골재 입자책 형상이 편평한 경우는 공극률이 크게 되므로 시멘트풀의 양을 증가시킬 필요가 있다.

7.2.3 굵은 골재

(1) 굵은 골재는 유기물을 함유하지 않고 깨끗해야 하며, 다짐이 쉽게 되도록 적절한 최대치수와 입도를 가진 것을 사용해야 한다.

(2) RCC 댐용 콘크리트는 매우 된반죽이며, 운반수단으로서 덤프트럭을 사용하는 일이 많으므로 재료분리에 대하여 충분히 배려해야 한다.

(3) 굵은 골재는 일반적으로 하천골재 또는 쇄석을 많이 사용한다. 그러나 하천골재는 공극률이 적고 쇄석에 비해서 워커빌리티가 좋은 편이나 쇄석은 콘크리트의 재료분리가 적게 일어나므로 유리한 측면이 있음을 유의해야 한다.

(4) 골재의 최대치수는 골재의 재료분리에 주요 원인이 된다. 그러므로 <표 7.1>과 같이 굵은 골재의 재료분리를 감안하여 80 mm 정도로 하고 있으며, 80 mm보다 작은 경우에는 재료분리는 적지만 잔골재율의 증가로 댐콘크리트로서는 시멘트량이 증가하여 온도규제의 측면에서는 좋지 않다.

<표 7.1> 콘크리트 배합(예)

준공년	댐 명	G_{\max} (mm)	C (kg)	F (kg)	C+F (kg)	W (kg)	비고
1980	島地川댐	80	84	36	120	105	RCD
1980	大川댐(기초부)	80	96	24	120	102	RDC
1982	Willow Creek댐	76	47	19	66	107	RCC
1984	Wincheter댐	75	104	0	104		RCC
1984	Middle Fork댐	76	71	0	71	71-95	RCC
1985	Galesville댐	76	53	36	89	72	RCC
1986	Monksville댐	76	62	0	62	136	RCC
1987	Upper Stillwater댐	38	77	170	247	107	RCC
1988	Elk Creek댐	76	70	33	103	113	RCC

주) G_{\max} : 골재의 최대치수, C : 시멘트, F : 플라이애쉬, W : 물

7.2.4 혼화재료

혼화재의 선정과 사용방법은 반드시 시험에 의해야 한다.

(1) RCC 댐용 콘크리트에 사용되는 혼화재료는 일반적으로 혼화제로서 플라이애쉬 등이 있으며, 혼화제로서는 AE 제, 감수제 등이 있다.

(2) 일반적인 RCC 댐용 콘크리트는 시공면적이 넓기 때문에 새로 친 콘크리트 시공이음부의 일체성을 충분히 확보하기 위하여 계절에 따라 변화에 자연작용이 있는 적절한 혼화제를 사용해야 한다.

(3) RCC 댐용 콘크리트는 내부콘크리트로서 사용되기 때문에 내구성 측면에서 공기량을 필요로 하는 것은 아니다. 그러므로 품질이 우수한 AE 제 또는 감수제 등의 혼화제를 적절히 사용함으로써 단위수량을 줄일 수 있고 워커빌리티도 높일 수 있다.

7.3 배합

7.3.1 반죽질기

(1) 시험방법 일반

된비빔 콘크리트의 반죽질기 시험방법은 진동대식 반죽질기시험, 다짐계수시험 등이 시행되고 있으며, RCC 댐용 콘크리트로서는 진동대식 반죽질기시험을 사용한다.

(2) 배합용기 일반

배합설계를 위해서 사용되는 용기는 크고 작은 전 치수(full size) 골재의 콘크리트를 사용할 수 있는 대형용기가 필요하며, 관리시험으로 사용되는 용기는 습식체가름(wet screening)한 콘크리트를 쓰는 소형용기로 한다.

(3) 진동대식 반죽질기 시험방법

(가) 이 시험은 RCC 댐용 콘크리트의 반죽질기를 시험하는데 사용한다.

(나) 시험장치는 진동함, 용기, 미끄럼봉이 부착된 원판, 극하중에 쓰이는 추로 구성되어 있으며, 이들의 성능은 다음과 같다.

① 진동대(진동수) : 대형용기 사용시 4,000rpm 정도, 소형용기 사용시 3,000rpm 정도, 진동수가 가변인 경우에는 전기의 값을 포함한다.

② 용량 : 금속재로서 진동대에 고정될 수 있도록 설계되었으며, 다음의 2 종류가 있다.

대형용기 : 내경 48 cm, 높이 40 cm

소형용기(관리시험용) : 내경 24 cm, 높이 20 cm

③ 원판 : 소요의 극하중에 견디는 재료를 사용하여 다짐에 의하여 생기는 시멘트풀이 떠오르는 것이 확인되는 구조라야 한다.

④ 하중용 추 : 20kg

(다) 시험

① 다짐봉으로 대형용기에 최대 굵은 골재와 작은 입경의 골재가 혼합된 콘크리트를 큰 공극없이 균등질 시료가 되도록 채운다.

② 용기의 상단에서 3 cm 정도 내려온 위치에 콘크리트층이 도달하면 표면을 정리해 원판을 놓고 추를 올려놓는다.

③ 진동대를 회전해서 운전을 계속하면 모르터가 표면에 부상하여 원판 아래에 접한다. 운전시작으로부터 원판의 아래면 전체에 모르터가 접할 때까지 소요된 시간을 측정한다. 원판이 불투명한 경우는 원판의 주변 또는 원판에 만들어진 슬리트(slit)에 생긴 시멘트풀의 부상에 의하여 판정한다.

④ 관리시험을 위하여 시험을 할 경우는 소형용기로 습식 가름한 시료를 써서 전체 임도를 포함한 콘크리트의 경우와 같이 실시한다.

⑤ 반죽질기는 ③에서 언급한 진동시간을 초로 측정하고 이것을 VC 치 몇 초라고 표시한다. 또한 다진 시료는 중량을 측정하고 단위중량을 구하여 표시한다.

7.3.2 단위수량

단위수량은 충분한 다짐이 되도록 시험을 실시하여 정한다. RCC 댐용 콘크리트의 단위 수량은 기존의 댐콘크리트와 비교하면 그 양을 적게 할 수 있으나 한도를 넘으면 충분히 다짐을 기대할 수 없고 오히려 공극을 많이 남겨 콘크리트의 품질이 저하됨으로 특별히 주의해야 한다.

또한 RCC 댐용 콘크리트에서는 단위수량의 결정은 매우 중요하므로 실제의 공사에 사용할 진동률러로 시공실험을 실시하여 결정해야 한다. RCC 댐용 콘크리트의 배합에 관해서는 자료가 부족하므로 시험은 다음의 3 종류에 대해서 시행하여 종합적으로 단위수량을 결정해야 한다.

(1) 모르터의 단위중량시험

단위중량시험은 모르터의 단위중량을 가장 크게 하는 수량을 구하기 위한 시험으로서 단위수량을 알 수가 있다.

(2) 강도시험

강도시험은 진동률러의 진동조건과 거의 같은 과정으로 공시체를 다져서 충분한 다짐 효과를 강도적으로 판정하기 위한 시험이다.

(3) 진동대식 반죽질기실험(RCC 댐용)

진동대식 반죽질기시험은 가장 효율적인 다짐이 되는 단위수량을 알기 위한 시험이다.

(4) 단위수량의 결정

RCC 댐용 콘크리트에서 단위수량의 결정은 콘크리트 강도에 영향을 미치는 요소이므로 실제의 공사에 사용할 진동률러는 시공시험을 실시하여 최종적으로 결정해야 한다.

7.3.3 단위시멘트량

(1) 일반적인 댐콘크리트의 단위시멘트량은 소요의 강도를 얻을 수 있어야 하고 외부콘크리트는 내구성, 수밀성 등을 고려해서 단위시멘트량을 결정해야 한다.

(2) RCC 댐에 사용하는 콘크리트는 단위시멘트량을 적게 할 수 있으나, 시공관리면에서도 충분히 검토하여 필요할 경우에는 플라이애쉬 등의 혼화재를 첨가해서 부족한 미립분을 보충해야 한다.

7.3.4 잔골재 및 단위 굵은골재 용적

RCC 댐에 사용하는 콘크리트는 반죽질기시험을 실시하여 잔골재의 비율을 결정해야 한다. 반죽질기시험은 잔골재의 비율을 다양하게 채택하여 전 치수의 골재를 대상으로 진동대식 반죽질기시험을 실시해야 한다.

7.3.5 배합설계의 순서

배합강도, 내구성 및 수밀성 등에서 필요한 물시멘트비, 굵은골재 최대치수, 콘크리트의 반죽질기 등의 배합설계에 필요한 조건과 순서는 다음과 같이 실시해야 한다.

(1) 사용재료의 물리시험(잔골재와 굵은골재의 비중 및 단위중량 등)을 실시한다.

(2) 단위수량을 결정한다.

(가) 모르터의 단위중량시험을 실시한다.

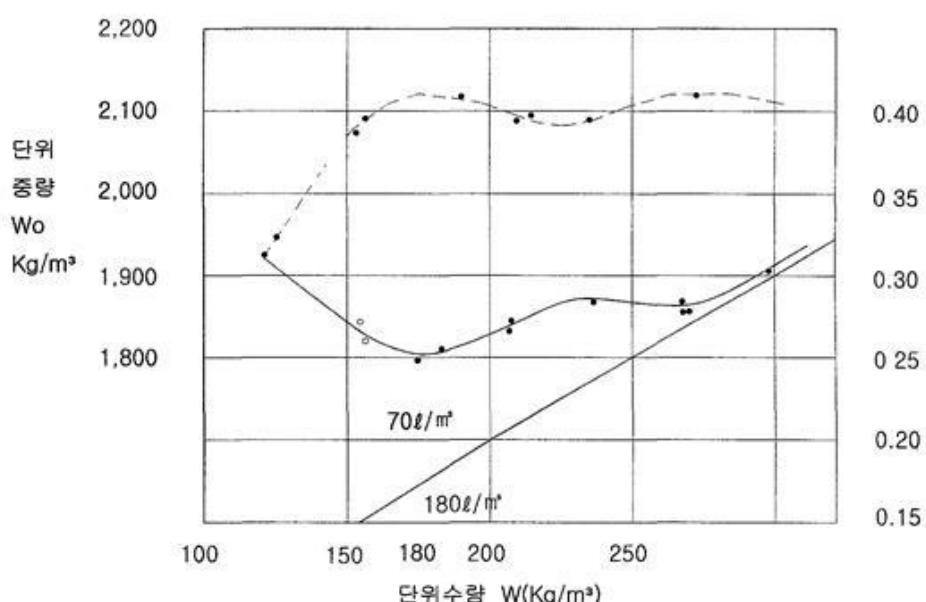
① 이 시험은 RCC 댐용 콘크리트의 배합설계에서 단위중량 차이로부터 다지기가 용이하고 콘크리트의 공극이 가장 적어지는 단위수량을 알기 위한 것이다. 콘크리트의 단위수량은 모르터의 단위수량에서 추정한다.

② 중량측정 용기는 원칙적으로 내경 14 cm, 높이 13 cm의 것을 사용한다. 진동다짐에 의한 경우의 진동대는 진동대식 반죽질기시험에 사용하는 진동대와 같은 성능의 것이라야 한다.

③ 표면건조포화상태의 시멘트와 모래를 RCC 댐용 콘크리트에서의 배합비가 1 : 6 이 되도록 조정하여 소정의 수량을 가해서 비빈 모르터를 시료로 한다. 시료는 처음에 용기의 1/3 정도 넣어 다짐봉으로 25 회 다지고, 다시 다진 자국이 없어질 때까지 시료를 2/3 까지 넣고 다짐봉으로 25 회 다진다. 이 작업을 가득 채워질 때까지 반복한다. 수량이 많아지면 다짐은 용이하지만 물은 분리되기 쉬우므로 다짐 정도를 가감하여 분리가 심하게 일어나지 않도록 주의해야 한다. 필요한 경우는 진동다짐을 하고 봉다짐의 경우와 비교한다.

④ 중량을 측정하여 모르터의 단위수량과 단위중량의 관계를 <그림 7.1>과 같이 작도하고 콘크리트의 단위수량은 다음 식 (7.1)에 의거 추정한다.

$$\text{콘크리트의 단위수량} = (\text{모르터의 단위수량}) \times (1 - \text{굵은골재의 절대용적}) \quad (7.1)$$



<그림 7.1> 모르터의 단위수량과 단위중량 및 공극률과의 관계

(나) 강도시험을 실시한다. 시멘트량을 일정하게 하고 수량을 변경한 배합을 여러 개의 종류를 대상으로 습식체가름한 콘크리트를 사용하여 진동다짐을 실시하고 공시체를 제작한다. 강도시험은 70°C 온수양생에 의한 촉진강도시험을 적용하여도 좋다.

(다) 진동대식 반죽질기시험

적당하다고 판단되는 잔골재율 또는 단위 굵은골재 용적을 가정하고 시멘트량을 일정하게 하여 수량을 변경한 배합을 몇 개의 종류에 대하여 각각 VC 치를 구한다.

(라) (가)~(다)의 시험결과를 종합적으로 판단하여 단위수량을 결정한다.

(3) 잔골재율 또는 단위 굵은골재용적을 결정한다.

시멘트량과 수량을 일정하게 하고 잔 골재율 또는 단위 굵은골재 용적을 변경한 배합은 여러 종류로 만들어 각각 진동대식 반죽질기시험을 실시하여 VC 치를 구하며, 시험과정에서 잔 골재율 또는 단위 굵은골재 용적을 결정한다.

(4) 필요한 경우에는 강도시험을 실시하여 물-시멘트비를 결정한다.

(5) 이상의 실내시험 결과를 바탕으로 시방배합을 설정한다.

(6) (5)에서 정한 시방배합의 콘크리트를 사용하여 현장시험시공을 실시하고 소요의 다짐도 및 콘크리트의 균질성이 얻어지는 것을 확인한다. 또한 시험결과에서 소요의 성능을 갖추지 못하였다고 판단될 경우에는 배합비를 수정하여 시방배합을 결정한다.

7.4 콘크리트 비비기 및 치기

7.4.1 일반사항

RCC 댐용 콘크리트는 매우 된 비빔이고 시멘트풀이 적으므로 재료분리가 가능하면 일이나지 않게 하기 위한 배려가 필요하며, 싣고 내리는 회수를 적게 해야 한다. 재료분리를 적게 하기 위해서는 최적배합이 결정되었다고 하더라도 콘코리트의 혼합에서 치기까지의 공정에 대하여 다음 사항에 유의해야 한다.

(1) 비빔

특히 적은 양의 시멘트풀이 일부분에 편중되지 않도록 균등하게 비빈다.

(2) 운반

믹서에서 버킷이나 덤프트럭, 버킷에서 덤프트릭이나 다른 운반기계로 옮길 경우에는 토출구와 받침대의 거리를 짧게 하여 될 수 있는 대로 한꺼번에 토출하는 장치로 한다. 이를 위해서는 경우에 따라 서징 호피(surging hopper)를 이용한다. 덤프트럭에서 배출할 경우는 높게 쌓이지 않도록 하고 대입경의 굵은골재가 집중하지 않도록 한다.

(3) 펴 고르기

가능한 한 불도저 등으로 균질의 얇은 층으로 펴서 고른다.

(4) 다짐

정해진 회수로 균등하게 진동틀려다짐을 실시한다.

7.4.2 비비기

RCC 댐용 콘크리트는 균등질이 되도록 충분히 비빌 필요가 있으며, 믹서는 가경식 믹서 또는 강제식 믹서를 사용한다. 믹서의 선정은 특히 작업기계의 성능과 조합도 고려하여 판단해야 한다.

(1) 가경식 믹서는 일반 콘크리트댐에서는 사용하는 예가 많고 단위시멘트량 140kg, 슬럼프 2 cm 정도인 댐콘크리트에 대한 사용실적도 있다. 그러나 매우 된비빔에서 시멘트풀량이 적은 콘크리트에 대해서는 믹서의 벽면과 날개주변에 모르터가 부착되는 것과 토출시 대입경의 굵은골재 분리에 대해서 주의할 필요가 있다. 따라서 비빔시간도 짧고 토출구에서 재료의 분리가 적은 이점도 있지만, 단위사용전력량이 큰 것과 회전날개의 마모 등에 대해서 주의해야 한다.

(2) 매우 된 비빔콘크리트의 비비기에서 2 축의 강제식 믹서를 사용하여 좋은 결과를 얻은 예는 있지만, 가경식과 강제식 중에서 어느 것이 최적인가는 현재로서는 시공실적이 적기 때문에 명확하지 않다. 따라서 믹서의 선정은 작업기계의 성능과 조합을 고려하여 판단해야 한다.

7.4.3 콘크리트의 운반

(1) 비벼진 콘크리트는 치는 장소로 신속히 운반하고 분리가 일어나지 않도록 유의하여 싣고 내린다. RCC 댐에서 콘크리트운반은 배치플랜트에서 치기장소까지 직접 덤프트럭으로 하는 방법과 케이블크레인과 덤프트럭을 병행하는 방법이 일반적이다.

(2) 특히 병행하는 방법의 경우에는 취급하는 회수가 많아지므로 그때에 일어나는 재료의 분리에 주의해야 한다. 경우에 따라서는 취급하는 지점에 서지탱크 호퍼(surge tank hopper)를 설치하고 덤프트럭을 장외에서 직접 반입할 때에는 바퀴의 청소에 유의해야 한다.

7.4.4 콘크리트 치기면의 준비

(1) 콘크리트 치기면은 부석 제거 등의 청소를 하고 모타스위퍼(motor sweeper) 등으로 레이탄스를 제거한 후에 제트 수로 깨끗하게 한다.

(2) RCC 댐용 콘크리트는 비교적 시멘트풀량이 적으므로 블리딩이 적고 표면이 평활하여 기존의 댐콘크리트에 비해서 일반적으로 작업은 간단하다. 그러나 종래의 블록공법에 비교하여 대상이 되는 면이 넓어지므로 기능적인 방법을 배려할 필요가 있다.

(3) 동절기에는 그린 컷 작업을 개시할 때까지의 시간이 길어지므로 특히 주의를 요한다.

(4) 콘크리트 치기 전에 모르터를 펴는 것이 일반적이지만, 골재치수가 작은 40 mm 정도의 부배합 콘크리트를 고르게 펴고 그 위에 칠 매우 된비빔 콘크리트를 동시에 다지는 것도 가능하다.

(5) 콘크리트 치기장소에서는 진동롤러, 덤프트럭 등의 많은 기계가 사용되며, 이를 기계의 연료와 기계유의 보급은 깨끗한 치기면을 확보하기 위하여 원칙적으로 작업장외에서 공급해야 한다.

7.4.5 콘크리트의 펴 고르기

(1) 콘크리트의 펴 고르기는 다짐을 충분히 할 수 있는 두께로 해야 하며, 운반 중에 분리된 콘크리트는 거듭비비기를 하여 균질한 상태가 되도록 해야 한다.

(2) 덤프트럭, 벨트컨베이어, 버킷 등에서 분리가 일어나지 않도록 주의하여 직접 배출한 후, 원칙적으로 불도저 등을 사용하여 수회로 나누어서 펴 고른다. 이 때 각 층사이에 골이 생기지 않도록 하는 것이 중요하며, 특정한 개소에 굵은골재가 집중되지 않는 등 될 수 있는 대로 균질한 콘크리트가 되도록 펴 고르기를 해야 한다.

(3) 덤프트럭의 배출장치를 일부 개선하는 일이라든가 펴 고르기용 불도저의 배토판 개량 등의 적절한 조치를 취해야 한다.

7.4.6 콘크리트 다지기

(1) 내부콘크리트의 다짐에는 진동롤러를 사용하며, 진동롤러는 토질재료의 다짐에 쓰이는 기종을 사용하는데, 작업구역이나 다른 시공기계와의 관계를 고려해서 자주식 진동롤러를 사용한다.

(2) RCC 댐 콘크리트의 다짐기계의 성능은 완전히 판명되어 있지 않지만 일반적으로 진동롤러의 진동에 의한 압밀과 진동에 의한 골재간의 마찰감소 및 모르터의 유동작용을 하게 된다. 다짐기계를 사용할 때 가속도의 분포와 코어의 압축강도나 가시관찰의 결과는 반드시 일정하지 않고 콘크리트의 다짐은 각종 요인이 복잡하게 관계되고 있기 때문에 특별한 주의를 해야 한다.

(3) 1 층의 두께는 필요한 다짐의 정도, 기계의 작업능력, 온도규제 등 각종 요인이 있으므로 일률적으로 정할 수 없다. 그러나 자중 7t 정도의 양륜 진동롤러를 사용하여 1 층의 마무리 두께 50~70 cm의 RCC 댐용 콘크리트가 충분히 다져질 수 있음을 참고 하도록 한다.

(4) 다짐회수는 률러의 침하가 거의 없는 상태, 콘크리트의 표면에 시멘트풀이 부상하는 상태 등을 관찰함으로써 판단할 수 있으며, 양륜 진동롤러의 경우 일반적으로 무진동으로 1 왕복 다짐을 한 후에 1 층 50 cm에서 진동다짐을 3 회 왕복 이상인 것이 표준이다. 또한 진동다짐에 따른 바운드(bound) 현상에 의하여 표면에 균열이 생기거나 굵은 골재가 부상하는 경우가 있으므로 최후에는 무진동 다짐을 해야 한다.

(5) 다짐기종에 따라서는 발진시에 다져진 표면을 다시 이완시키는 일이 있으므로 세심한 주의를 요한다. 인접한 전압부분에 률러의 중복은 전압방법이나 사용기종에 따라서 일률적으로 규정할 수 없지만, 수 레인(lane)을 동시에 전압할 경우는 약 50 cm 정도의 중복전압을 해야 한다.

(6) 시공방법의 표준으로 RCC 댐 콘크리트는 사용골재, 배합, 다짐기계, 시공방법에 따라 다짐결과에 상당한 차이가 있으므로 시공개시 전에 현장실험을 실시해서 시공기계의 성능을 바탕으로 다짐두께, 최소 전압회수 등에 대하여 충분히 검토해야 한다.

(7) 진동롤러의 주향속도는 1 km/h 정도가 표준이다. 1 층 다짐후 즉시 다음 1 층의 치기 다짐을 실시하는 추적 2 층방법으로 시공되는 경우는 상층과 하층의 다짐정도에 차이가 생길 수 있으므로 매우 된 비빔콘크리트의 경화속도, 상·하층의 두께, 다짐방법, 시공기계능력 등의 시공방법에 대해서 유의해야 한다.

(8) 외부콘크리트 다짐에는 내부진동기를 많이 사용한다. 외부콘크리트와 RCC 댐 콘크리트의 접합부분의 다짐은 특히 주의하여 시공해야 한다.

(9) 갤러리 주위 등 구조물 주변의 콘크리트다짐에 대해서는 외부콘크리트의 시공에 준해야 한다.

7.4.7 리프트의 높이

(1) 1 리프트의 높이는 일반적으로 콘크리트의 온도규제와 콘크리트치기능력 및 다짐능력으로부터 정한다. RCC 댐 공법은 일반적으로 파이프쿨링을 하지 않으므로 표면서의 열방산에 의하게 된다. 이 자연열 방산에 크게 영향을 끼치는 요소는 콘크리트치기속도이며, 소정의 치기속도를 지키기 위해서는 적절한 1 리프트의 높이와 치기간격의 관계를 정할 필요가 있다.

(2) 1 리프트의 높이와 치기면의 넓이에 따라서 콘크리트의 운반설비 등의 치기능력이 정해진다. 치기면의 넓이는 댐의 착암면으로부터의 높이에 따라서 변하므로, 적절한 공기를 근거로 한 시공설치용량과 치기면의 넓이의 관계에서 1 리프트의 높이를 검토해야 한다.

(3) 온도규제와 콘크리트 치기능력으로부터 정한 적절한 1 리프트의 높이를 사용하는 진동롤러의 다짐능력에 따라서 1 층 또는 수 층으로 나누어서 다진다. 1 리프트를 수 층으로 나누어서 다지는 경우에는 하층을 다진 즉시 상층치기를 실시하여 각 층간이 일체가 되도록 해야 한다.

(4) 1 리프트의 높이를 일괄적으로 규정하는 것은 곤란하지만 제체부분의 시공에 있어서 온도규제, 치기능력 및 다짐능력에서 판단하여 대체로 1 리프트의 높이는 1m 을 넘는 것은 곤란하고 50~70 cm 정도가 표준이 된다.

(5) 착암부나 부득이 장시간 동안 치기를 중지한 콘크리트에 치기를 계속할 때에는 블록의 형상, 콘크리트의 배합, 다짐방법을 고려해서 일반 콘크리트에 준하여 적당한 리프트의 높이로 한다.

7.5 이음 및 지수

7.5.1 수평치기이음

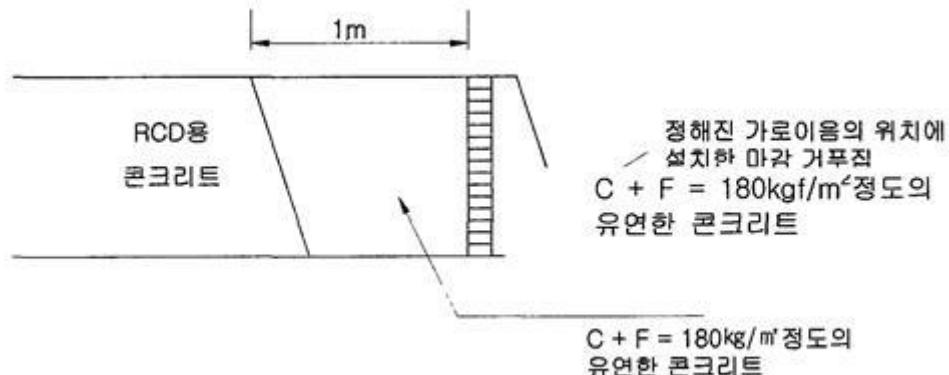
(1) 각 리프트의 상면은 큰 요철이 없는 편평한 면으로 하고 블리딩에 의하여 생긴 표면의 레이탄스는 치기한 콘크리트가 부스러지지 않는 적절한 시기에 모타스위퍼 등으로 제거한다.

(2) 시공설비의 용량 등으로 정해지는 치기계획에 따라 설치하는 시공이음 또는 강우등으로 부득이 치기도중에 중지할 경우에 설치하는 시공이음의 다짐은 될 수 있는대로 진동로울러를 사용하여 마무리부분을 보행이 가능하도록 그림 7.2 의 시공이음예와 같이 가장 급한 경사로

하고 부분적인 마무리에는 다시 인력다짐기(tamper)를 사용하는 것이 유리하다.

(3) 콘크리트 치기능력 등의 이유로 치기면을 복수로 분할한 경우에는 항상 양생하는 인접위치에 콘크리트를 치는 경우가 많으므로 양생수가 친 장소에 유입되지 않도록 처음부터 준비한 블록 주위막이 또는 턱을 높여 차수하든가 콘크리트를 칠 때부터 양생수나 청소용수를 양수할 수 있는 구덩이를 설치해 두면 편리하다.

(4) 새로운 콘크리트를 계속하여 칠 때의 준비는 "7.4.4 콘크리트 치기면의 준비"에 따른다.



<그림 7.2> 거푸집을 이용한 시공이음(예)

7.5.2 수축이음

(1) 진동롤러를 사용하여 콘크리트를 다질 경우, 가능한 넓은 면적으로 시공하는 것이 유리하다. 따라서 수축이음 중에서 가로이음은 콘크리트의 평고르기 직후 또는 다짐 절단하여 설치하는 것을 표준으로 한다. 또 이음매 그라우트의 시공은 곤란한 일도 있어 일반적으로 세로이음은 설치하지 않는다.

(2) 다짐이 끝난 콘크리트의 절단은 기계를 사용해서 진동유액을 압입하는 방법 등으로 시행하는데 다짐 후에 절단을 할 경우 주변의 콘크리트에 악영향을 끼치지 않도록 주의해야 한다.

(3) 콘크리트의 절단은 일반적으로 콘크리트가 경화하기 전에 실시한다. 이때 콘크리트의 배합, 외부온도, 절단에 쓰이는 기계 등에 따라 다르나 콘크리트다짐 후 2~4 시간 사이에 하는 것이 적절하다. 그래서 이음판의 삽입 등에 따라 절단된 이음이 확실히 분리된 상태를 유지하도록 해야 한다.

(4) 거푸집 부근의 이음은 처음부터 거푸집에 묻어 버릴 판을 부착하는 방법을 취하여 절단된 부분과의 연속을 완전하게 한다. 특히, 상류면 부근은 이음공과 관련해서 특별한 배려가 필요하다.

(5) 한편 착암부근은 절단에 의한 이음이 완전해지는 리프트까지 거푸집을 대는 것이 유리하다.

7.5.3 지수공 및 지수재료

(1) RCC 댐의 콘크리트 치기애 있어서는 일반적으로 횡이음 거푸집을 끼우지 않으므로 기존의 같은 방법으로 지수판을 고정하는 것은 곤란하다. 그러므로 지수판을 특수한 장치로 설치하는 방법, 상류면 거푸집에 고정하는 방법, 아스팔트 풋트 등에 따른 충전지수공에 의한 방법, 상류면에 스테인레스판 등을 붙이는 방법, 이들을 복합한 방법 등이 사용된다.

(2) RCC 댐에서 지수장치의 고정은 기존의 공법에 비교해서 시공시의 편압 등에 의하여 변형, 파손이 생길 수 있으므로 주의해야 한다.

7.6 거푸집

7.6.1 일반사항

(1) 거푸집은 형상과 위치를 정확히 유지하도록 재료를 선택하고 필요한 강도를 가지도록 한다. RCC 댐의 콘크리트 치기애 있어서는 일반적으로 15m마다 가로이음 거푸집을 설치하지 아니하므로 상류면 거푸집 및 하류면 거푸집은 길게 연속되는 일이 있으므로 형상 및 위치의 확보에는 충분한 주의를 요함과 동시에 이동이 용이하게 해야 한다.

(2) 슬라이드의 순환이 기준보다 빨라서 C 볼트 주변의 콘크리트가 파손되는 경우가 있으므로 C 볼트의 직경을 크게 하고 매입되는 길이를 길게 한다. 표면 가까운 부분에 면적이 넓은 웃사를 사용하는 등의 배려가 필요하다.

(3) 현장실험에서의 관찰이나 거푸집에 계기를 붙인 계측결과에서 진동률의 사용으로 인하여 거푸집에 걸리는 하중은 통상 예상되는 것이며, 특별한 배려는 필요하지 않다.

7.6.2 거푸집의 떼어내기

(1) 거푸집의 떼어내기는 콘크리트가 충분히 경화하여 소요의 강도에 도달한 후에 실시한다. RCC 댐에서 콘크리트 치기는 층으로 하는 것이 표준이므로 필연적으로 치기간격은 짧고 연속시공으로 해야 하며, 거푸집의 떼어내기는 신속하게 실시해야 한다.

(2) 보통 된반죽 콘크리트의 거푸집 떼어내기는 조기에 할 수 있으므로 내부진동으로 다짐하는 거푸집 주변의 외부콘크리트에 대해서도 될 수 있으면 슬럼프 1~2 cm 정도로 된반죽의 배합으로 하는 것이 바람직하다.

(3) RCC 댐용 콘크리트에서 거푸집을 떼어내기까지의 시간은 콘크리트의 배합, 외부온도등의 재령이 적은 콘크리트의 강도에 영향을 끼치는 제조건에 따라서 달라지며, 적어도 치기종료 후 12시간 이상 경과해야 할 필요가 있다.

(4) 주변 기온이 대단히 낮을 경우에는 콘크리트의 경화가 비교적 늦어지므로 필요에 따라서 거푸집 주위의 콘크리트에 대해서는 보온양생 등의 조치를 취해야 한다.

7.7 콘크리트의 온도규제

- (1) RCC 댐용 콘크리트의 온도규제는 댐시설, 댐지점의 기온, 콘크리트의 배합 등을 고려하여 댐에 균열이 발생하지 않도록 해야 한다.
- (2) RCC 댐의 시공방법에 있어서 파이프 쿨링에 의한 콘크리트의 인공냉각은 적합하지 않다. 댐 높이가 커져서 블록이 댐축의 직각방향으로 길어졌을 때는 특히 구속에 의한 균열의 발생에 주의를 해야 한다.
- (3) RCC 댐용 콘크리트는 경화시의 온도상승을 될 수 있는 한 억제하기 위하여 단위시멘트량을 적게 하고 자연열 방산이 충분하도록 1 리프트의 높이 및 치기속도를 제한해야 한다.
- (4) 또한 콘크리트의 온도응력에 대하여 영향이 큰 치기온도의 배려는 중요하다.
- (5) 서중 시공시는 특히 골재의 온도상승을 피하도록 유의하고 가능한 저온의 물을 사용함과 동시에, 경우에 따라서는 인공냉각장치를 사용한 프리쿨링을 할 필요가 있다.

제 8 장 아치댐

8.1 설계일반

8.1.1 위치 결정

- (1) 아치댐의 위치는 계곡의 높이에 대한 폭의 비, 계곡의 형상, 기초암반의 조건, 수문 · 수리학적 조건 등을 고려하여 결정한다.
- (2) 아치댐은 아치효과를 이용하여 하중에 대응하므로 얇은 아치단면으로 설계되며, 그 댐체 재료의 강도를 충분히 이용할 수 있는 댐이다.
- (3) 댐에 작용하는 외력을 아치작용에 의해서 지지하려면 댐 하부기초와 댐 양쪽 끝의 기초에서 모든 하중을 받게 되므로 이와 같은 댐 기초는 반드시 좋은 암반이라야될 것이다.
- (4) 아치댐의 위치는 기초조건이 만족스럽고 계곡의 높이가 폭의 4 배 이상 되는 경우가 가장 이상적인 조건이나 경우에 따라서는 6 배 또는 10 배의 경우도 가능하다. 적당한 높이에 대한 폭의 비를 결정하는데 있어서 계곡의 형상을 생각해야 한다. 가장 이상적인 계곡의 형상은 V 형 계곡이나 때로는 U 형 또는 비대칭형 계곡에도 아치댐을 설치할 수 있다.

8.1.2 형식 결정

(1) 아치의 형상은 좌우대칭으로 해야 하므로 댐 계획지점의 계곡단면이 국부적으로 좌우 비대칭인 경우는 굴착에 의하거나 또는 인공받침(abutment)을 설치하여 아치형상을 대칭으로 하는 것이 좋다. 이것은 비대칭의 아치댐에 있어서는 응력의 편기를 초래하고 과대, 과소의 응력을 일으키기 때문이다.

8.1.3 암반의 안정성

(1) 기초암반은 중력댐에 비해 견고한 암반이 필요하므로 단층, 미끄럼층, 층리(bedding)등과 같이 불연속면이 발달한 암반은 아치댐 기초로 적당하지 않다. 특히, 퇴적암지반은 가장 적당하지 못하며, 혈암, 점판암, 사암 등도 만족한 기초지반은 될 수 없고 풍화가 심하거나 풍화가 진행중인 암반은 모두 적당하지 않다.

(2) 아치댐을 설치할 수 있는 위치는 예상되는 흉수량을 월류시킬 수 있는 충분한 월류폭이 가능하거나 다른 형태의 흉수방류시설의 설치가 가능하여 흉수조절을 함으로써 흉수피해를 막을 수 있는 위치라야 한다.

8.2 설계조건

8.2.1 설계의 기본

(1) 아치댐은 댐에 작용하는 저수지로부터의 수압하중을 주로 아치작용을 이용하여 양안의 기초암반에 전달하여, 양안의 기초암반의 두께와 강도를 이용하여 수압하중에 저항하는 구조물이며, 일반적으로 3 차원 구조물로서 설계된다. 이 때문에 아치댐에서는 중력댐과 같이 수압하중에 저항하기 위한 제체의 자중(自重)을 필요로 하지 않고, 콘크리트의 강도를 최대한으로 이용한 제체형상이 선정된다. 이 때문에 기초암반에 작용하는 단위면적당 하중은 커지며, 아치댐에서는 견고하고 강도가 높은 기초암반이 요구된다.

(2) 이와 같이 아치댐은 제체와 기초암반의 강도를 최대한으로 이용하는 구조물이며, 그 설계에 있어서는 댐 제체의 응력을 정확하게 구하고, 또한 기초암반의 안정성을 충분히 확인할 필요가 있다.

(3) 아치댐의 구조적 안정성에 관한 조건은 다음과 같다.

(가) 댐 제체 내의 응력은 콘크리트의 허용응력을 넘지 않을 것

(나) 댐 제체와 기초암반의 접촉면 및 기초암반 내의 약점으로 생각되는 면에 있어서 전단에 대해 안정할 것

8.2.2 콘크리트

(1) 콘크리트의 재료특성

콘크리트의 재료특성은 원칙적으로 실제 사용한 재료 및 배합한 콘크리트로 시험을해서 정한다.

(가) 설계에 쓰이는 콘크리트의 재료특성은 콘크리트의 탄성계수, 단위중량, 포아손비 및 열팽창계수 등이 있다. 콘크리트의 단위중량은 실제로 사용하는 재료와 배합한 콘크리트로 시험을 해서 그 결과에 의해 정한다.

(나) 콘크리트의 탄성계수는 재료, 배합, 재령 및 하중의 크기에 따라 다르므로 실험에 의해 구하는 것이 바람직하다. 콘크리트의 탄성계수는 압축강도의 자승근에 거의 비례한다. 잔류변형을 제한 재령 91 일에 있어서 응력-변형곡선은 통상 허용응력의 범위에서는 거의 직선에 가깝다. 그 부근의 탄성계수는 3.0×10^{5} kgf/cm²에서 4.0×10^{5} kgf/cm² 범위의 값을 나타내는 것이 보통이다. 그러나 설계에 쓰이는 탄성계수의 값은 지속하중을 받는 경우의 크리프(creep)의 영향을 고려해서 일반적으로 2.0×10^{5} kgf/cm²에서 3.0×10^{5} kgf/cm² 범위의 값을 채용하고 있다.

(다) 콘크리트의 포아손비(Poisson ratio)는 재료, 재령 및 배합의 영향을 받는다. 실험은 물론 포화된 상태의 콘크리트로 행하는 것이 보통이다. 건조할 가능성이 있는 장소의 콘크리트에 대해서는 건조한 상태로 생각할 필요가 있다. 그 경우에는 과대한 수축을 일으키는 재료를 사용하지 않는다. 그런데 시공중의 응력을 검토할 경우에는 초기재령에 있어서 콘크리트의 재료특성을 쓴다.

(라) 예비설계 및 시험을 하지 않고 설계하는 경우에는 보통 다음 값을 사용한다.

$$\text{단위중량} = 2.3 \text{ tf/m}^3 \text{ (무게계산시) 또는 } 2.35 \text{ tf/m}^3 \text{ (탄성계수 계산시)}$$

$$\text{Poisson's 비} = 0.2$$

$$\text{열팽창계수} = 1.0 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$$

$$\text{탄성계수} = 15,000\sqrt{f_{ck}} \text{ (kgf/cm}^2\text{)...}(f_{ck}) : \text{콘크리트의 설계기준강도})$$

(마) U.S.B.R.의 design of arch dams 에는 압축강도를 $210 \text{ kgf/cm}^2 \sim 350 \text{ kgf/cm}^2$ ($3,000 \text{ psi} \sim 5,000 \text{ psi}$), 인장강도는 압축강도의 4~6 %, 포아손비를 0.2, 단위중량을 2.4 tf/m^3 (150 lb/ft^3)로 규정하고 있다.

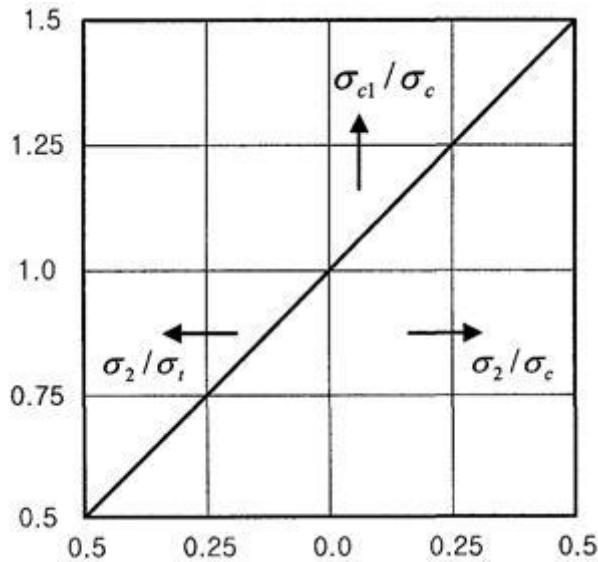
(2) 콘크리트의 강도

콘크리트의 재령기준 및 설계기준강도는 91 일 강도를 기준으로 한다. 콘크리트의 배합강도는 소요 압축강도를 조합해서 응력효과를 고려한 수정계수 및 강도의 변동계수를 고려하여 정하는 할증계수로 보정해서 계산한다.

(가) 콘크리트의 재령기준, 소요강도, 안전율 및 할증계수에 대해서는 중력댐과 동일하게 사용한다. 단, 아치댐에서는 댐체의 조합응력상태가 강도를 뚜렷하게 좌우하므로 이 영향을 고려한 수정계수를 정해서 다음식으로 배합강도를 구한다.

$$(\text{배합강도}) = (\text{설계압축응력}) \times (\text{안전율}) \div (\text{수정계수}) \times \text{할증계수} \quad (8.1)$$

(나) 배합강도의 수정계수는 댐의 표면에 생기는 주응력의 상태를 검토해서 다음과 같이 구한다.



<그림 8.1> 댐체의 조합 응력효과를 고려한 수정계수

(다) 댐의 하류면에 있어서는 이에 직각방향의 응력은 영(零)이 되므로 이차원적 응력상태가 된다. 댐 상류면에 있어서는 이에 직각방향의 응력은 수압과 같으나 이것을 영(零)으로 보아도 아치댐의 경우는 일반적으로 안전하다고 생각할 수 있다. 따라서 상·하류면 어느 경우도 주응력 σ_1 , σ_2 및 표면에 직각방향의 응력 σ_3 가운데 σ_1 과 σ_2 만을 생각하면 된다. σ_1 을 최대 압축응력 σ_{c1} 을 σ_1 방향의 압축강도, σ_c 를 1 축 압축강도라고 하면 댐체의 조합에 의한 응력효과를 고려한 수정계수 σ_{c1}/σ_c 의 값은 <그림 8.1>을 참고해서 구해진다. 이 경우 <그림 8.1>의 횡축은 σ_2 가 압축응력일 때는 σ_2 와 σ_c 의 비 σ_2/σ_c 를, 또 σ_2 가 인장응력일 때는 σ_2 와 1 축인장강도 σ_t 와의 비 σ_2/σ_t 를 취한다.

(라) 수평 및 연직방향의 응력으로부터 설계기준강도를 구하려면 위의 배합강도식에서 5 정도의 안전율을 고려하면 된다.

(마) 인장응력의 허용치는 그것이 생기는 장소 및 원인에 의해 다르므로 각기의 경우에 따라 정한다. 인장응력이 어쩔 수 없이 허용치를 넘는 경우는 그 장소에 균열이 생기는 것으로 보고 유효단면적을 고려해서 하중의 재배분을 행하고 응력을 재검토한다. 균열에 대해서는 수밀에 대한 적당한 처리를 한다.

8.2.3 기초 암반

(1) 기초 암반의 전단마찰저항력 및 탄성계수(변형계수)

(가) 기초암반의 전단마찰저항력 및 탄성계수(변형계수)는 원칙적으로 현지시험을 행하고 그 결과 및 암반의 성상(性狀)을 고려해서 판정한다.

(나) 기초암반의 전단마찰저항력 및 탄성계수 또는 변형계수는 어느 것이나 설계상 필요하고 그 값은 현지시험을 시행하여 판정하는 것을 원칙으로 한다. 시험은 전편에서 다룬 콘크리트 중력댐의 경우와 같은 방법으로 행한다.

(2) 기초 암반의 안전율

댐체와 기초암반과의 접촉면 및 기초암반내의 약점이라고 생각되는 면의 전단마찰저항력은 전단력에 대하여 필요한 안전율을 갖지 않으면 안된다.

댐체와 기초암반과의 접촉면 및 기초암반내의 약점이라고 생각되는 면의 전단마찰 안전율은 다음 사항에 유의해서 가장 위험하다고 생각되는 면에 대해서 계산하고, 또 필요한 경우에는 국소 전단마찰 안전율로 구한다.

(가) 암반이 겉보기에 균일하다고 생각하는 경우에 또 층리(層理)의 면이나 방향에 금간 조각의 집합체를 가져 약점을 형성하는 경우가 있다.

(나) 단층 또는 큰 균열이 있어서 그것들이 단독으로도 위험한 분리면을 형성하고 있는 일이 있다.

(다) 인공받침(abutment)으로부터 떨어진 장소의 암반의 분리면에서도 그 규모가 뚜렷하게 큰 경우에는 기초암반의 안전에 영향을 미칠 때가 있다.

8.2.4 하중과 외력

(1) 하중

댐 설계에서 고려하는 하중은 콘크리트 중력댐에서 규정하는 댐에 작용하는 힘 및 온도하중으로 한다.

(가) 댐설계에 고려하는 하중은 콘크리트 중력댐과 동일하며, 여기에 아치댐은 얇은 구조물이므로 온도하중과 크리프 및 건조수축의 영향을 특별히 고려하여야 한다. 그러므로 온도규제를 하기 위해 필요한 콘크리트의 열확산율, 열전도율, 비열 등을 실험치에 의해 정하는 것이 바람직하다.

(나) 하중은 저수지의 수위에 따라 그 조합을 달리하게 되며 상시 만수위 및 서차지수위일 때에는 자중, 정수압, 흙압력, 지진 때 관성력, 지진 때 동수압, 양압력, 온도하중 등을 고려하고, 설계 홍수위 때에는 자중, 정수압, 흙압력, 양압력, 온도하중 등을 고려한다.

(2) 지진력

설계 진도(震度)는 동력학적 검토를 행해서 정하는 경우를 제외하고 지반진도의 2 배이상을 취하는 것으로 한다.

(3) 온도 하중

온도하중은 수축줄눈의 그라우팅 후에 예상되는 내부온도의 변화량에 의해 정한다.

(가) 댐설계에 고려하는 하중은 콘크리트 중력댐과 동일하며, 여기에 마치댐은 얇은 구조물이므로 온도하중을 고려한다. 온도상승에 의한 흄모멘트 및 반지름방향의 전단력은 수말 등에 의한 흄모멘트와 반지름방향의 전단력과 부호가 반대로 되어 안전하나 이를 값은 댐의 안전을 해칠 정도로 큰 값은 아니다. 따라서 댐의 응력을 계산하는 경우에는 아치댐의 내부온도와 외부온도와의 차이에서 온도강하만을 고려해도 무방하다. USBR 의 design of arch dams 에서 댐의 내부온도는 구조물이 완전한 결합체로 형성되어 아치작용이 시작될 때의 온도를 콘크리트의 평균온도로 규정하고 있다.

(나) 또한 예비설계시에는 USBR 에서 기존 아치댐 재료를 기초로 하여 온도변화량을 나타낸 다음 식을 이용한다. 이때 아치의 이름 그라우팅을 연평균 기온으로 실시할 경우에는 F/2 값을 채용한다.

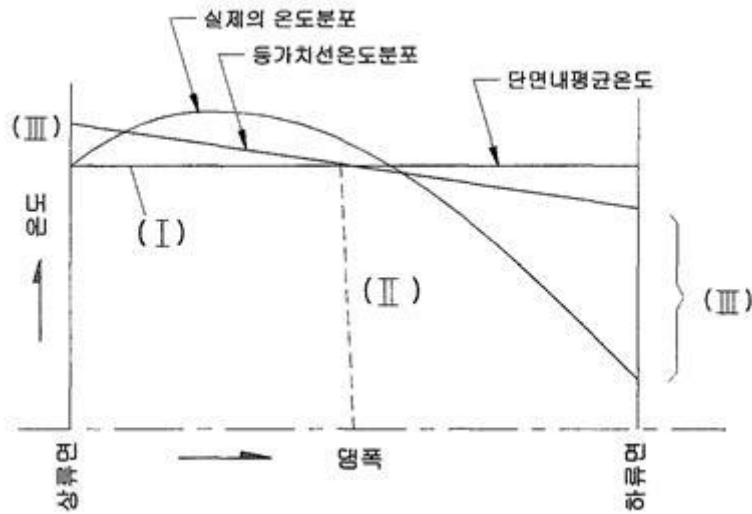
$$F = \frac{650}{t + 8} \quad (8.2)$$

여기서, F : 온도 변화량($^{\circ}\text{F}$)

t = 아치 두께(ft)

(다) 일반적으로 캔틸레버보 및 아치의 온도상승에 의한 휨모멘트 및 반경방향 전단력은 수압하중 등에 의한 휨모멘트 및 반경방향 전단력과 부호가 반대로 되어 안전하게 된다. 또 아치추력에 대해서는 같은 부호가 된다. 이 값은 일반적으로 댐의 안전을 해치는 정도의 것은 아니다. 따라서 댐의 응력계산을 행하는 경우에는 일반적으로 아치작용이 확보된 후의 온도강하만을 고려하면 좋다. 그러나 낮고 얕은 댐에서는 온도상승에 의해 최대응력이 생기는 경우가 있으므로 이와 같은 경우에는 온도상승에 대해서도 고려할 필요가 있다. 또 기초의 안정을 검토하는 경우에는 일반적으로 아치 추력이 온도상승에 의해 증가하므로 온도상승에 대해 검토하는 것이 필요하다.

(라) 댐의 내부온도에 의한 응력을 구하는 경우의 인자로써 다음 3 가지를 들 수 있다.



<그림 8.2> 댐 단면내 온도분포

① 단면내 평균온도

단면내 평균온도는 댐의 두께방향의 평균온도로서 같은 수평단면에서 두께가 다른 경우에는 그에 따라서 다른 값을 취한다.

② 상 · 하류방향의 온도경사

일반적으로 댐의 내부온도분포는 곡선분포를 하고 있으나 여기서 말하는 상 · 하류방향의 온도경사란 실제의 온도분포도를 그 면적과 1 차모멘트가 각기 일치하도록 등가직선온도분포도로 바꾸어 놓았을 때의 경사를 말한다.

③ 상 · 하류면 가까이 형성되는 온도경사란 실제의 온도 분포와의 차에 의해 생기는 것을 말한다.

(마) <그림 8.2>에서 단면내 평균온도(I)의 변화는 댐의 처짐, 아치의 추력, 아치의 흄모멘트 및 캔틸레버보의 흄모멘트에 크게 영향을 준다. 상·하류방향의 온도경사(II)는 아치의 흄모멘트에 상당한 영향을 준다. 아치추력 및 댐의 처짐에 미치는 영향은 적다. 상·하류면 가까이 형성되는 온도경사(III)는 국부응력의 형상으로 영향을 줄 뿐이다. 따라서 설계계산에는 (I) 및 (II)를 합해서 고려하는 것을 원칙으로 하고 (II)를 계산에 넣지 않는 경우에는 종래의 설계 예를 생각해서 크라운(crown)의 설계압축응력은 $5\sim10 \text{ kgf/cm}^2$ 정도 크게 잡을 필요가 있다.

8.3 설계

8.3.1 개설

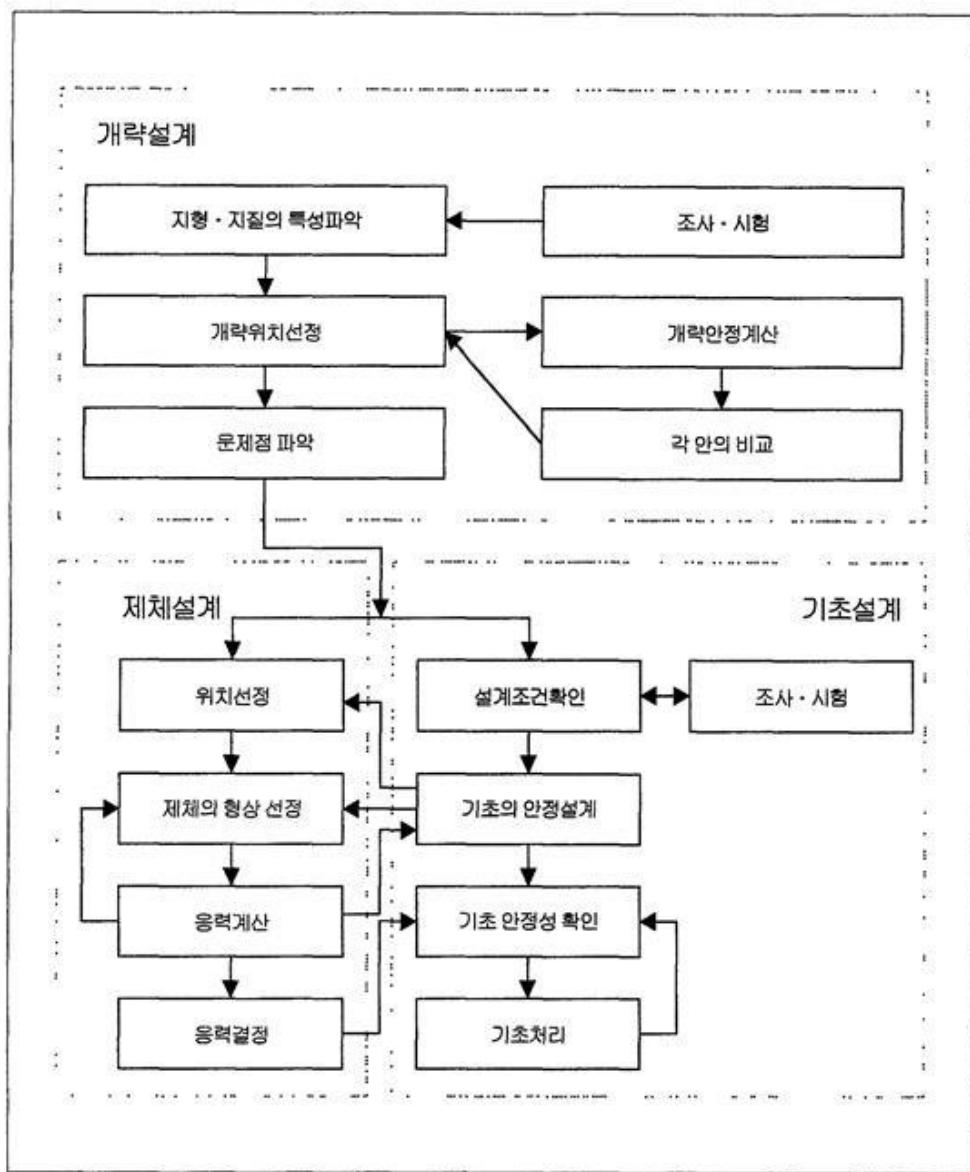
아치댐은 제체와 기초암반이 일체가 되어 저수지의 수압하중에 저항하는 구조물이므로 아치댐의 역학적 안정성은 기초암반의 안정성 여부에 달려 있으며, 아치댐의 제체설계에 있어서는 기초암반의 안정성을 충분히 고려하여 설계를 해야 한다. 이와 같은 조건을 만족하는 아치댐의 제체설계를 위해서는 시산법을 적용하고 있으나, 비교적 적은 노력으로 이것을 행하기 위해서는, 아치댐의 기초암반의 역학적 안정성에 영향을 미치는 댐 위치의 지형·지질적 특성, 아치템의 제체형상을 나타내는 파라메타가 제체응력과 기초암반의 역학적 안정성에 미치는 영향, 다른 댐의 설계 데이터 등에 대한 지식이 필요하다.

아치댐의 설계수순을 정리하면, 대략 <그림 8.3>과 같다.

8.3.2 댐 형상의 설계

(1) 댐 설계시 고려사항

아치댐을 설계할 때에는 댐 길이와 높이의 비율, 대칭성, 계곡형태 등을 고려해야 한다. 댐길이와 높이 비율은 기존댐과 대칭여부, 계곡형상, 지질 등을 비교할 때 이용되며 보통 아치댐의 경제성 여부판단의 기준이 되기도 한다. 통상 댐높이가 댐길이의 6 배 이상되는 경우가 경제적인 것으로 되어 있다. 물론 이 기준에 만족한다 하더라도 댐의 건설비용과 여수로 건설비용 등을 복합적으로 고려하여 댐형식을 결정해야 한다. 이 비율이 3 보다 작으면 아치댐으로 가장 바람직한 경우가 된다.



<그림 8.3> 아치댐의 설계 수순

(2) 응력분포

응력분포의 관점에서 보면 아치의 형상이 대칭인 것이 바람직하다. 부득이 비대칭으로 설계를 할 경우에는 다음 방법을 사용하여 비대칭성을 개선한다.

- (가) 적절한 장소를 더 깊게 굽착한다.
- (나) 인공적인 접안장치를 건설한다.
- (다) 댐축을 재조정하거나 다시 설정한다.

(3) 개선이 불가능한 경우의 설계

개선이 불가능한 경우에는 이심원 아치댐으로 설계를 한다. 이 경우 아치 형상의 연속성을 유지하기 위해서 좌·우측의 중심은 중앙 켄티레버를 포함하는 수직면에 따라 존재해야 한다.

(4) 계곡의 형태

계곡의 형태는 다음과 같이 분류될 수 있다.

(가) U 자형 계곡

① 계곡의 밀폭(b)이 높이(H) 보다 작다.

(나) 좁은 V 자형 계곡

① 계곡의 밀폭(b)이 거의 0이다.

② 댐식 중심각 $\phi < 35^\circ$

(다) 넓은 V 자형 계곡

① 계곡의 밀폭 $b \approx 0$

② 댐의 중심각 $\phi > 35^\circ$

(라) V 자형과 U 자형의 복합계곡

① 계곡의 밀폭 $b < 2H$

② 댐의 중심각 $\phi > 15^\circ$

댐의 중심각, 댐높이 및 아치형태 등의 요소가 서로 같다고 가정하면, 넓은 계곡에 맞는 아치댐은 협곡의 아치댐보다 캔티레버의 강성에 대해 좀더 융통성이 있다.

(5) 댐 형상의 설계

댐형상의 설계는 계곡의 형상, 암반의 성상 및 흉수처리의 방법을 고려해 댐체 및 기초암반의 안전을 확보할 수 있도록 한다.

(가) 아치댐의 형상은 댐지점의 지형에 따라 많은 영향을 받으며, 그 외에도 지질이나 흉수조절 방법에 따라 결정된다. 아치형상은 좌우대칭이 바람직 하나 지형에 따라서는 비대칭인 경우도 있다. 댐의 아치형상은 일정반경형, 일정각형, 부정반경형등이 있다. 일정반경형은 댐마루에서 밑까지 동심원의 원형아치로 된 댐으로 형상이 간단하고 시공이 비교적 용이하다. 응력해석시 연직 캔틸레버(cantilever)로 분할하는 방법 및 그 응력계산이 간단하다. 그러나 댐의 밑부분은 중심각이 작아져 아치효과가 적어지는 것이 큰 단점이다. 따라서 댐 높이가 낮은 댐이나 U 자형 계곡에 건설하는 것이 바람직하다.

(나) 일정각형은 일정반경형의 단점을 보정하기 위해 댐마루에서 밑까지 경제적인 일정한 중심각을 갖는 형상으로, 아치효과는 충분하여 효과적이나 형상이 복잡하게되어 해석시 어려움이 따른다. 아치의 두께는 얇은 부재로 가능하며, 아치중심에서 돌출부분(overhang)이 적어지도록 위치를 선정하므로 양 접안부에서는 상류방향으로 돌출부분을 피할 수 없다. 하부의 아치는 일정반경형에 비해 반경을 짧게 하고, 일정각형에 비해 중심각을 작게 함으로서 돌출부분을 줄여 안전성을 꾀한 아치형상을 부정반경형이라 한다.

(다) 넓은 계곡에 적용시키기 위하여 아치효과와 더불어 댐체의 두께를 밀쪽으로 증가시켜 중력의 효과까지 고려한 형식을 중력-아치댐이라 한다. 일반적으로 축선(軸線)의 형상, 단면의 변화 등이 부정정력에 미치는 영향을 고려하여 아치를 설계해야 한다.

(라) 아치의 축선이 하중에 의한 압축력선과 일치하는 것이 가장 이상적이지만, 하중의 재하상태에 따라 압축력선은 변하게 되므로 완전히 일치하게 될 수는 없다. 통상아치의 축선을 사하중에 의한 압축력선이나 또는 사하중과 등분포 활하중의 $1/2$ 이 재하된 상태하의 압축력선과 일치하도록 하는 것이 보통이다.

(마) 아치는 일반적으로 매우 큰 압축력을 받게 되지만, 축선이 곡선으로 되어 있기 때문에 그 좌굴의 형태는 하중의 재하상태, 부재의 형상이나 단면차수 등에 따라 달라지고, 복잡하게 나타나므로 경간이 긴 아치에서는 좌굴에 대한 안전도가 중요하게 되고, 이에 대한 충분한 검토가 필요하다.

① 형상설계의 요령

댐체의 응력 및 기초암반이 받는 힘의 방향 및 응력의 상태는 댐의 형상에 따라 다르므로 그 형상의 설계는 댐체의 중심각 및 두께를 적절하게 선택하여 댐체응력의 균형을 재는 것과 동시에 기초암반의 안전을 기해야 한다.

그러나 댐체와 기초암반과의 안정에는 서로 모순되는 요소를 포함하고 있다. 예를들면 중심각을 크게 잡으면 댐체의 응력조정에 있어서 유리하지만 기초암반에 전달되는 추력이 하류방향으로 과도하게 되므로 암반의 안정을 잃는 경우도 있기 때문에 댐의 형상은 계곡의 형상, 암반의 성질 및 상태를 아울러 고려해서 정한다.

② 계곡 형상과의 관계

댐의 형상은 그 기반이 되는 계곡의 견암선형(堅岩線形)에 근거해서 검토한다. 통상 댐의 중앙연직단면은 하류측에 캔티레버보와 같은 형상으로 한다. 이것은 양안에 가까운 댐 부분의 상류측에 캔틸레버보 부분을 그 만큼 감해 댐의 상·하부 아치에 적당한 중심각을 주어 유리하게 되고 또 공사중 댐의 안정에도 유리하다. 어쩔 수 없이 상류측에 캔틸레버보가 과도하게 된 댐의 경우에서 콘크리트의 지지대 또는 굴착형에 의한 지지대를 설치할 필요가 있다. 그 반면에 댐의 하류측에 캔틸레버보를 과도하게 내밀면 그 기저부 부근 상류측에 인장응력이 발생할 우려가 있다. 수평단면에 있어서 아치의 곡선형에 대해서는 단심원, 삼심원, 포물선, 쌍곡선등을 이용해서 같은 두께 또는 변단면의 아치를 써서 아치응력의 조절을 도모한다. 동시에 아치추력의 기초에 전달하는 방향에 유의해서 특히 숄더(shoulder)가 되는 견암의 형상 및 크기와의 관계에 있어서 아치의 형상을 검토할 필요가 있다.

③ 암반의 성상 관계

댐의 위치는 그 부근일대의 암반에 대해 행한 상세한 지질조사의 결과를 근거로해서 양안의 암질이 모두 견고하고 구조상 가능하면 약점이 적은 지점을 택해야 하며 최종적으로는 댐의 기초가 되는 부분에서 현지시험을 시행하여 확인하여 가장 안전도가 높은 지점을 선정한다. 그러나 기초암반으로써 부적당하다고 생각되는 장소가 포함되는 경주에는 유효한 기반의 개량을 고려함과 동시에 댐의 형상에 대해서 연구할 필요가 있다. 이러한 경우는 다음과 같은 방법을 취하는 것이 보통이나 그 밖에도 일반적으로 얇은 댐 대신에 두꺼운 댐을 택하는 경우가 있다.

㊂ 중심각을 줄여서 아치추력의 방향을 개량한다.

㊃ 수압면을 확대한다.

Ⓐ 인공받침(abutment)과 같은 보조 구조물을 이용한다.

④ 암반의 탄성계수

본장 8.2.3 (1)에 의해 정한 기초암반의 탄성계수 $E_{\{r\}}$ 는 댐체 콘크리트에 탄성계수 $E_{\{c\}}$ 와 더불어 댐의 응력검토상의 한 요소가 된다.

예를 들면 $E_{\{c\}}/E_{\{r\}}$ 가 클 때에는 아치의 하중분담률이 크게 되어 크라운의 압축응력도 크게 나타나는 경향이 있는 점 등을 고려해서 댐을 설계해야 한다. 저수지 초기 담수시의 기초암반의 변형이 뚜렷하게 댐체의 응력분포에 영향을 미친다고 생각되는 경우는 탄성계수 대신 변형계수를 써서 검토할 필요가 있을 때도 있다.

⑤ 아치 접안부 형상

아치종단과 암반과의 접촉면은 반경방향으로 하는 것이 원칙이다. 비반경방향으로 굴착하면 암반주위 불록형상이 부적당한 것이 되기 쉽고 또 균열이 생기는 원인도 된다. 그러나 캔틸레버보의 저면이 하류로 처지고 숄더(shoulder)가 엎을 때는 기초암반의 안정성을 잃는 경향이 있어서 일반적으로 좋지 않다. 단, 댐하부의 비교적 두꺼운 부분에 있어서 암반에 깊게 틈이 생겨서 상층의 견암(堅岩)을 많이 잃게 되는 경우에는 지나친 굴착을 중지하고 상하측 반분정도를 거의 10° 의 비반경방향으로 해도 안정상 영향은 작다고 생각된다.

(<그림 8.4> 참조)

⑥ 기타 고려해야 할 사항

여수로가 댐체에 설치되고, 그 규모가 큰 경우에는 댐의 안전성에 뚜렷한 영향을 미치는 일도 있으므로 형상의 설계상 주의를 요한다.

댐의 표면은 원활한 곡면으로 해서 국부로 응력이 집중되지 않게 한다.



<그림 8.4> 아치 접안부 형상

(6) 보조구조물의 설계

댐지점의 지형 또는 지질상의 결함을 보정하거나 또는 댐의 안전성을 개선하기 위해서 필렛(fillet), 전추력(thrust), 블록중력인공받침, 새들, 프러그, 날개댐을 쓰는 경우는 댐지점의 실정에 따라 이들의 효용 및 특성을 고려해서 그 규모 및 형상을 정한다.

(가) 필렛(fillet)

필렛이란 댐체의 기본형상에는 관계없고 암반에 작용하는 응력을 완화조정하기 위해서 인공받침 가까운 댐체에 부가하는 국부적인 증후부분이다.

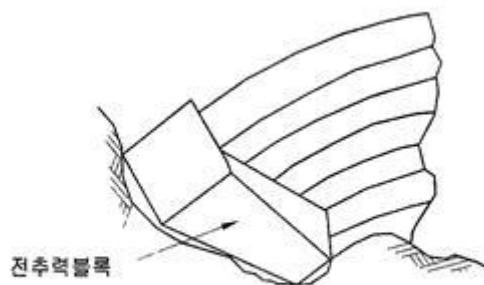
(나) 전추력 (全推力. thrust)

전추력 블록은 댐 마루부근에서 골이 급하게 열려있는 경우 또는 지질상의 결함이 있는 경우는 <그림 8.5>와 같이 댐체와 암반사이에 설치해 댐체로부터의 추력을 암반에 전달하는 것이다. 전추력 블록의 형상을 적당하게 선택함에 의해 댐체의 형상을 지형 또는 지질상의 국부적인 결함에 좌우됨이 없이 정할 수 있다.

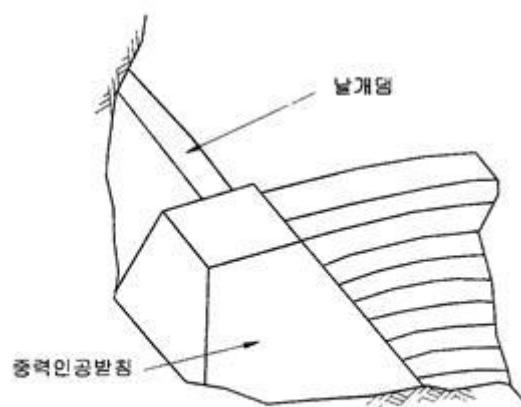
(다) 중력 인공받침

중력 인공받침은 <그림 8.6>과 같이 댐 마루부근에 지형 또는 지질상의 결함이 있는 경우에 쓰인다는 점에서는 전추력 블록과 같으나 이는 암반면에 작용하는 응력을 경감하고 추력을 그대로 배후의 암반에 전하지만 후자는 그 중력작용에 의해 험의 추력을 직하의 암반에 전하는 점이 다르다.

그런데 중력인공발침을 채용하는 경우는 날개댐의 유무를 고려해서 그 규모와 형상을 정할 필요가 있다.



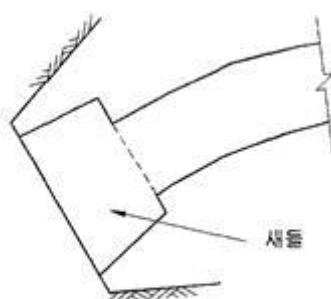
<그림 8.5> 전주력 블록



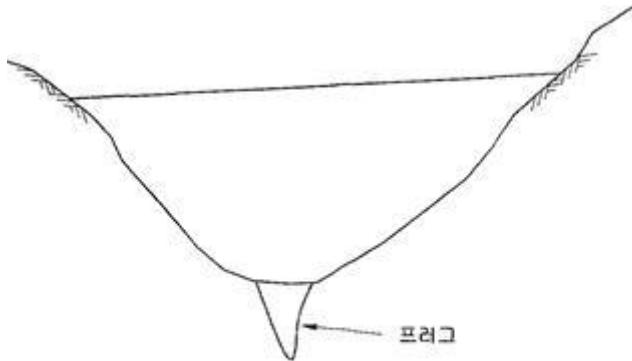
<그림 8.6> 인공발침과 날개댐

(라) 새들

새들은 <그림 8.7>과 같이 댐체와 암반과의 사이에 설치해서 댐체의 주변전체 또는 일부분이 불연속인 단면형상을 갖고 암반에 작용하는 응력을 완화조정하는 것이다. 그러나 최근에는 이것을 쓰는 경우가 적어지고 있다.



<그림 8.7> 새들



<그림 8.8> 프러그

(마) 프러그

프러그는 <그림 8.8>과 같이 지형에 깊은 들이 있는 장소, 또는 단층, 그 밖의 연약층을 제거한 자리에 채우는 콘크리트 부분으로 댐체의 기본 형상과 구별해서 그 크기와 형상을 정할 수 있는 것을 말한다.

(바) 날개댐

날개댐은 <그림 8.6>과 같이 댐 상부의 기초암반면에 저수가 직접 작용하는 것을 피하기 위해, 또 중력인공받침의 채용에 따라 부근의 지하수위를 저하시키기 위해 설치하는 차수구조물이고 댐 종단의 상류에서 지형, 지질의 설정에 따라 보통 아치의 반경방향으로 설치한다.

날개댐에는 각종 형식의 댐체가 쓰이고 이에 의해 암반내의 침투거리를 길게 하고 간극수압을 줄여서 기초암반 전체를 개선해야 한다.

(7) 댐체의 응력 해석

댐체의 응력해석은 그 형상 및 기초의 구속조건이 응력에 미치는 영향을 고려해서 댐체의 응력상태를 적절하게 판정하는 방법으로 계산하고, 필요한 경우에는 모형실험을 행하는 것으로 한다. 계산에는 통상 하중분할 방법을 쓰고 필요에 따라 반경방향의 변위만을 고려할 것인가 또는 반경방향과 접선방향의 변위 및 비틀림의 세가지 성분을 모두 고려할 것인가를 정한다.

(가) 댐의 응력계산방법에는 하중분할방법 외에 수평아치방법, 경사아치방법 및 쉘(shell) 이론에 의한 방법등이 있으나 수평아치방법 및 경사아치방법은 현재로서는 예비계산 이외에는 쓰이지 않고, 또 쉘 이론에 의한 방법은 본격적으로 쓰이는 단계에 이르지 않고 있다. 또 근년에 유한요소법에 의한 응력해석법이 개발실용화되고 있다.

(나) 하중분할 방법에는 중앙캔티레버보 방법, 반경방향변위만을 고려하는 방법 및 반경방향과 접선방향의 변위 및 비틀림 각의 세가지 성분을 고려하는 방법이 있는데, 댐의 형상, 기초의 구속조건, 기초암반의 성질, 설계의 단계 및 모형실험결과를 고려해서 그 방법을 정한다. 예를 들면 예비설계와 같이 그렇게 높은 정밀도를 필요로 하지 않는 경우에는 중앙캔티레버보 방법으로 설계를 진행할 수 있다. 특히 댐의 응력이 큰 경우에는 댐의 형상, 주변조건 등이 특이한 경우, 또는 모형실험결과와 비교할 필요를 인정하는 경우에는 반경방향과 접선방향의 변위 및 비틀림각이 세가지 성분을 고려해서 계산을 행한다.

(8) 자중에 의한 응력계산

댐의 자중에 의한 응력의 계산은 그 형상 및 시공방법에 따라 자중을 캔틸레버보에만 부담시키는 방법 또는 캔틸레버보와 아치에 분담시키는 방법 가운데 하나를 택한다.

(가) 일반적으로 자중 전부를 캔틸레버보에 부담시키는 것으로 해서 응력계산을 행한다. 공사중에 아치작용을 일으키고 있다고 생각되는 경우에는 댐의 자중에 의한 캔틸레버보의 변위의 일부가 아치작용에 의해 경감되는 것으로 해서 응력계산을 행할 수 있다. 이 경우 댐의 시공순서에 따라 여러 단계로 나누어 자중이 걸리는 것으로 해서 댐이 변위를 구하는 것이 정밀한 방법이나 예비설계에 있어서는 간편한 방법으로 자중의 일부(예를 들면 50 %)를 캔틸레버보만으로 부담하고 나머지를 댐전체(아치와 캔틸레버보)에 작용시키는 것으로 계산하는 방법도 있다.

(9) 보조구조물의 응력해석

인공받침 보조구조물에 대해서는 안정계산을 행한다. 위의 계산만으로 불충분하다고 인정되는 경우에는 모형실험도 행해서 안정성을 확인하는 것으로 한다.

필랫, 전추력, 블록 중력인공받침, 새들, 프러그, 날개댐 등의 인공받침 보조구조물의 안전계산은 다음 방법에 의한다.

(가) 필렛(fillet)은 일반으로 댐체의 응력분포에 그렇게 큰 영향을 미치지 않으므로 필렛에 의한 증후부의 응력은 댐 본체의 기본형상에 대해 구한 단면을 그대로 써서 계산해도 좋다.

(나) 전추력(thrust) 블록은 댐체에 비해서 저폭이 충분히 크고 또 강성이 뚜렷하면 댐체의 설계에는 암반과 같은 모양으로 취급할 수 있다. 이 경우 전추력블록은 댐체의 단면력을 직접 작용시켜 그 안전성을 검토하면 좋다. 그러나 그 규모에 대해서는 댐체의 일부로써 취급하지 않으면 안되는 경우가 있다.

(다) 중력 인공받침은 전추력블록과 똑같이 계산한다.

(라) 새들을 실상에 따라 필렛 또는 전추력 블록과 똑같이 취급해서 그 증후부에 대한 응력을 계산하면 좋다. 그러나 새들이 광범위하게 걸치는 경우에는 그 증후단면을 최초부터 고려한 댐체의 응력계산을 행하는 편이 좋다.

(마) 프러그는 그 역학적 작용을 고려한 안전계산을 한다.

(바) 날개댐은 그 형상에 맞는 계산방법에 의해 계산한다.

(10) 댐마루 여수로, 방류관, 통로등이 있는 경우의 계산

댐에 댐마루 여수로, 방류관, 통로등이 있는 경우는 그 규모에 따라 계산 또는 모형실험에 의해 댐의 국부적 또는 전체의 응력해석을 한다.

(가) 댐마루에 여수로등의 흄이 있는 경우에 그 깊이가 크지 않을 때는 그 부분의 아치작용을 무시한 댐의 응력계산을 해도 좋다. 깊이가 클 때에는 흄에 의해 생긴 자유단을 갖는 만곡보를 생각하여 댐전체의 계산을 한다.

(나) 방류관, 수압철관 등은 그 규모에 따라 국부응력으로 계산하거나 개구부의 강성감소를 고려한 응력을 계산함과 동시에 모형실험으로 검토하여야 한다.

(다) 통로는 그 단면의 규모가 댐의 크기에 비해 그렇게 크지 않은 것이 보통이므로 일반적으로 국부응력을 계산하는 것만으로도 지장이 없다.

(11) 모형실험

응력계산만으로는 댐의 안전성을 판단하기 어렵다고 인정되는 경우에는 모형실험을 병용하는 것으로 한다.

(가) 응력계산방법은 기초암반의 조건, 댐의 형상 등에 의한 영향 등에 대해 많은 가정을 해서 간략한 방법을 쓰므로 계산만으로는 불충분하다고 생각되는 경우가 있다. 이 경우에는 적당한 모형실험을 병행해서 응력상태 또는 안전성을 검토할 필요가 있다. 이 판단은 댐의 중요도, 설계조건의 특수사정, 댐형상 등을 고려해서 행한다. 일반적으로 높이가 60m 정도 이하의 댐에 대해서는 비대칭성, 그 밖에 특수한 지형조건, 특이지질, 또는 이들에 근거한 특이한 댐의 형상 등의 특수한 사정이 없으면 응력계산만으로 좋다.

(나) 댐의 기초암반의 안전성을 모형실험에 의해 검토할 필요가 있는 경우는 암반의 역학적 성질 및 총리, 단층등의 약점을 모형에 포함해서 또는 이들을 부분모형중에 반드시 재현해서 여기에 외력, 각 댐체의 추력을 주어 응력분포 및 파괴에 대해 검토하는 것이 바람직하다.

(다) 지진시 댐의 진동모드(mode), 응력분포 등을 조사하기 위한 진동모형실험은 진동대나 이에 대신할 수 있는 전자적 가진장치를 써서 행한다.

(라) 일반적으로 모형실험은 그 결과의 신뢰성을 증가하기 위해 모형의 수를 2 개 이상으로 하는 것이 바람직하다.

제 9 장 여수로와 어도

9.1 설계일반

9.1.1 적용범위

(1) 본 장의 규정은 여수로, 감세공, 방류관, 수은 및 어도의 설계에 적용해야 한다.

9.1.2 용어의 정의

(1) 여수로(餘水路) : 여수로는 할당된 저류공간에 수용할 수 있는 용량을 초과하는 흡수량 또는 전환댐에서 전환계통의 용량을 초과하는 흡수량을 안전하고 효율적으로 방류할 수 있도록 하는 수로를 말한다.

(2) 접근수로 : 여수로에 있어서 접근수로는 저수지에서 조절부에 이르는 수로를 말한다.

(3) 조절부 : 여수로의 조절부는 저수지로부터의 방류를 제한, 차단하고 조절하는 여수로의

율님이 부분을 말한다.

(4) 급경사수로 : 급경사수로는 여수로 조절부의 말단에서 감세공 시점에 이르는 수로를 말한다.

(5) 감세공(減勢工) : 감세공은 여수로의 고유속 흐름을 댐 하류단의 세굴이나 침식 또는 인접 구조물에 손상을 주지 않도록 에너지를 감세시켜 하류하천에 이르도록 하는 부분을 말한다.

(6) 방수로 : 방수로는 감세공으로부터 하류 하천에 이르는 수로를 말한다.

(7) 비상여수로 : 비상여수로는 정상적인 설계가정에서 고려되지 않은 비상사태가 발생할 경우 추가적인 안전을 제공하기 위한 여수로이다.

(8) 공기훈입장치(air entrainment devices) : 급경사수로의 공기훈입장치는 고유속의 흐름이 발생하는 댐의 여수로에 공동현상(cavitation)으로 인한 구조물의 콘크리트 표면의 손상을 방지하기 위하여 설치되는 장치를 말한다.

(9) 방류관 : 방류관은 홍수조절, 저수지 수위조절, 댐 하류 하천유지유량 조절 등의 목적을 위한 방류관로서 수심과 유속이 다같이 크고 배사(排砂)는 생각치 않는 관로를 말한다.

(10) 어도 : 어도는 하천에 어류의 이동을 곤란 또는 불가능하게 하는 장해물이 있을 경우에 어류의 이동을 원활하도록 만들어진 수로 또는 장치를 말한다.

(11) 소상(遡上) : 어류가 하천을 거슬러 올라가는 것

(12) 강하 : 어류가 하천을 내려가는 것

(13) 어도입구 : 어도의 하류단에서 소상한 어류의 어도 진입구

(14) 어도출구 : 어도의 상류단에서 상류하천으로의 출구

(15) 소상로 : 어류를 어도입구로 유도하는 수로

(16) 회유(回遊) : 어류가 산란, 생육 등을 위해 또는 계절에 따라 정기적으로 이동하는 것

9.1.3 관련규정 및 법규

(1) 본 설계기준

(가) '제 3 장 댐 계획'

(2) 타 설계기준

(가) 하천설계기준(건설교통부, 2000)

(나) 콘크리트구조설계기준(건설교통부, 1999)

9.2 여수로 계획

9.2.1 여수로의 위치선정

- (1) 필댐에서 여수로 위치는 댐 본체와 떨어진 저수지 주변의 자연지반이 가장 적당하나 그렇지 못할 경우에는 여수로 자체의 안전은 물론 댐 본체의 안전과 경제성 등을 고려하여 위치를 선정해야하며, 콘크리트댐에서는 일반적으로 댐 본체에 설치하는 것이 경제적이다.
- (2) 지형적 측면에서는 현장여건에 적합한 여수로 형식의 비교검토를 통하여 접근수로와 조절부가 댐 중심선과 이루는 각도, 여수로와 기존 하천과의 접속 문제 등을 고려해야 한다.
- (3) 지질측면에서 여수로는 원칙적으로 경암반위에 위치해야 하나, 암반이 아닌 지반일 경우에는 부등침하의 방지, 구조물 외측으로의 침투방지 등을 고려해야 한다.
- (4) 여수로의 공사비는 댐 축조비 중에서 차지하는 비중이 크므로 굴착량을 최소로 하고, 굴착량의 많은 부분을 댐 축조에 사용할 수 있는 위치로 선정해야 한다.
- (5) 여수로 위치선정시는 본댐과 더불어 경제성뿐만 아니라 및 친환경적인 측면을 고려하여 위치를 결정해야 한다.

9.2.2 여수로 형식의 선정

- (1) 여수로는 수리적, 경제적으로 유리하고 구조상으로도 안전한 형식을 선정해야 한다. 따라서 되도록이면 직선 개수로형을 택하고 관수로형이 불가피할 경우에는 충분한 용량의 여유를 두어야 한다.
- (2) 여수로는 조절부의 조절수문(제수밸브 포함) 유무에 따라 조절형과 비조절형으로 나뉘며 저수지의 규모, 목적, 공사비 및 완전한 유지관리의 가능성 등 여러 가지 관련된 요소를 고려하여 형식을 결정해야 한다.

(가) 조절수문 유무에 따른 구분

① 조절형 : 여수로 조절부에 유량조절시설(수문, 제수밸브 등)을 설치하여 저수지로부터의 방류를 조절하는 방법으로서, 수문조작이 적절하지 않을 경우에는 인위적인 흉수를 야기시킬 가능성이 있으므로 완전한 유지관리와 조작을 기대할 수 있는 저수지에 적용해야 한다.

② 비조절형 : 여수로 조절부에 유량조절시설을 설치하지 않은 형식으로 유지관리비가 적게드는 특성이 있으나, 댐의 안전, 수몰문제, 댐 여유고와의 관계 등으로 월류수두를 크게 취할 수 없는 경우에는 긴 웨어가 필요하게 되어 지형상 설계가 곤란한 경우가 있다.

(나) 조절부의 수리특성에 따른 구분

① 월류형 조절부 : 급경사 여수로의 대표적인 형식으로 여수로 유입부에 월류웨어를 설치하며 일반적으로 댐체에 대하여 거의 직각방향으로 급경사수로의 중심선에 평행하게 유입시키는 구조로 대규모의 여수로에서 수문조절인 경우 많이 채택된다.

② 측수로 유입형 조절부 : 이 형식은 월류웨어를 설치하되 웨어를 월류한 물은 웨어에 평행하게 굴착한 옆도랑(側水路)에 유입시켜 유향을 수로 중심선에 따라 변경하여 흐르게 하는 형식이며 등고선에 나란하게 설치할 수 있어서 굴착량을 줄일 수 있는 잇점이 있으나 방류 흥수량이 큰 여수로에서는 적합하지 않다.

③ 샤프트 조절부 : 여수로 조절부가 원형, 나팔형 모양 및 사각형의 웨어 마루로되어, 그 둘레에서 넘어오는 물을 연직 또는 경사를 갖는 샤프트로 낙하시키는 형식이다. 구조상 물님이 내의 낙하부, 만곡부 등에 부압이 발생할 수 있으며, 공동현상, 샤프트안의 소용돌이, 공기흡입, 진동 등이 설계과정에서 고려되어야 한다.

(3) 여수로는 크게 개수로형과 관수로형으로 분류할 수 있으며 각 형식별 특성은 아래와 같다.

- 개수로형 : 자유낙하 여수로, 월류 여수로, 측수로 여수로

- 관수로형 : 터널 또는 암거 여수로, 샤프트 여수로, 사이펀 여수로

(가) 자유낙하 여수로(free over fall spillway)는 아치댐에 적합한 형으로 여수로의 기초가 견고한 경우에만 채택한다. 자유낙하 수맥의 하부는 맥동류나 변동류를 방지하기 위하여 충분히 통기가 되어야 하며 낙하지점에는 침식이 일어나므로 침식이 허용되지 않는 곳에서는 하류에 부댐을 설치하여 인공 저수지를 만들거나 콘크리트 물받이를 설치해야 한다.

(나) 월류 여수로(ogee spillway)의 마루부는 월류웨어로서 웨어 종단형상은 통기가 잘된 칼날웨어를 월류하는 수맥의 하부곡선에 가깝게 맞춘다. 즉 월류마루부의 흐름이 공기의 유입이 없이 월류부 표면에 밀착하여 경계면의 간섭 없이 마루부를 흐르도록 설계한다.

(다) 측수로 여수로(side channel spillway)는 물의 흐름방향이 바뀜에 따라 수리학적으로 효율적이지는 않으나 월류수심이 제한되어 월류부 연장이 긴 여수로가 필요한 경우, 그리고 웨어 설치지점의 지표경사가 급변하거나 또는 조절부에서 좁은 급경사수로나 터널에 접속되어야 할 경우에 적용되며 주로 필댐에 설치한다.

(라) 터널 또는 암거 여수로(tunnel or conduit spillway)는 댐 주변이나 밑에 터널 또는 암거를 설치하여 흥수량을 배제하는 방식으로 터널내에서 유목 등의 지장을 받지 않고 자유로운 부분흐름을 유지하기 위하여 터널 또는 암거 단면적에 대한 흐름 단면적의 비는 75%이내로 하고 단면의 변화부에서는 50%로 확장하는 것이 필요하다.

(마) 샤프트 여수로(shaft spillway)는 수평으로 설치한 원형이나 사각형 조절부를 월류한 유량을 수직 또는 경사샤프트에 의하여 낮은 위치까지 유도 전향시켜 수평터널이나 암거를 통해서 댐 하류에 방류시킨다. 이는 나팔형(morning glory) 또는 낙하 유입관(drop inlet) 여수로라고도 하며 이 형은 점안부의 경사가 급하거나 공사 중 유수 전환암거를 여수로의 하류부분으로 사용 가능한 계곡에 적합하다. 이형의 장점은 비교적 저수두에서 최대에 가까운 유량을 월류시킬 수 있는 점이고 이는 여수로의 최대 방류량을 제한해야 하는 경우 이상적이다. 그러나 설계수두를 초과하면 방류량의 증가가 미미하므로 설계 유입홍수보다 큰 홍수에는 단점이 되므로 보조 또는 비상여수로와 병행하여 사용해야 한다.

(바) 사이펀 여수로는 역 U 자형의 개수로 여수로로서 역 U 자형 마루의 표고가 저수지의 정상수위와 같도록 위치시킨다. 저수지의 수위가 이 마루고보다 하강하면 사이펀 작용이 중지되도록 여수로의 사이펀작용을 조절할 수 있는 통기구를 유입구 상부에 설치한다. 일반적으로 유입구의 위치는 얼음과 부유물의 유입을 방지하고 와류의 형성과 사이펀 작용을 중단시키는 수위강하를 피하기 위하여 정상수위보다 훨씬 아래에 설치한다. 도관내 특히 마루부에서 공동 또는 불괴에 이르는 부압의 발생을 방지하기 위하여 저수지 수위와 여수로 마루부와의

수두차이를 8m 이하로 제한한다. 사이펀 여수로의 설계시는 다음과 같은 점을 고려해야 한다.

- ① 얼음과 부유물을 소통시킬 수 없고 부유물과 낙엽으로 인하여 수로와 사이펀 중단 통기구가 막힐 가능성이 있다.
- ② 유입구 부분과 통기구의 결빙 우려가 있다.
- ③ 사이펀작용의 간헐적인 중단으로 인한 유출의 과대 또는 중단으로 하류 하천수위의 심한 변동우려가 있다.
- ④ 단일 사이펀이 사용되었을 경우 저수지 유입량을 초과하는 방류 가능성이 있다.
- ⑤ 심한 진동에 견딜 수 있는 견고한 지반이 필요하다.

9.2.3 여수로 규모결정

- (1) 여수로의 규모는 댐과 댐의 관련시설을 종합하여 댐 전체의 계획이 가장 안정하고 경제적이 되도록 결정하며 댐과 여수로의 관계, 여수로와 보조여수로의 조합여부를 고려해야 한다.
- (2) 설계유입홍수량을 수용할 수 있는 댐의 저류용량과 여수로용량에서 최상의 조합의결정에는 수문, 수리, 비용 및 예상 피해액 등 모든 관련 인자들이 고려되어야 한다.
- (3) 부지여건이 허용되면 보조여수로와 연계시켜 여수로의 규모를 작게 하여 전반적인 경제성을 높이는 방안이 고려되어야 한다. 이 경우 여수로는 작은 규모의 홍수량을 감당하고 보조여수로는 이와 같은 작은 홍수가 초과되는 경우에 한해서 작동되도록 한다. 보조여수로에 적합한 지형조건은 저수지 주변에 안부와 요부가 있어서 자연적인 수로에 이르거나 댐과 부속시설에 피해를 피할 수 있도록 댐으로부터 상당한 거리에 굴착수로가 가능한 완만한 경사의 접안부이다.
- (4) 보조여수로는 고정조절부로 설계되거나 저류용량을 증가시키기 위하여 빙지나 수문이 설치될 수 있다. 월류되었을 때 봉괴되어 유실되도록 설계되는 결괴제방(fuseplug)이 수문의 대치용으로 될 수 있다.

9.2.4 비상여수로

- (1) 필댐에 있어 절대안전을 기하기 위하여 여수로를 될 수 있는 대로 큰 용량을 갖게 하는 것이 필요하나, 이 월류능력 증대에 대해서는 공사비, 하류수로의 용량 등으로 제약을 크게 받는다. 따라서 위의 사항들을 검토하여 가능하면 비상여수로를 설치하여 댐의 안전도를 증대시키도록 한다.
- (2) 비상여수로는 비상사태시 본 여수로와는 별도로, 혹은 동시에 작동하여 댐의 월류를 방지하여 댐의 안전을 확보하는 여수로이며 비상사태는 다음과 같다.
 - (가) 방류관의 폐쇄, 여수로 수문의 고장, 또는 여수로 구조물의 부분적인 파손으로 여수로를 우회할 필요가 발생할 경우
 - (나) 유입된 홍수량의 미방류로 홍수조절용량이 확보되지 않은 상태에서 또 다른 대홍수가

유입되는 경우

(다) 설계 유입홍수보다 큰 홍수가 발생하는 경우(이 경우 비상 여수로는 보조여수로로 작용)

(3) 정상 저수지조작에서 비상여수로는 그 기능이 필요하지 않으므로 조절부 마루는 최대 저수지수위에 같거나 보다 높게 위치시킨다. 비상여수로 조절부 높이와 댐의 여유고는 비상여수로 수문곡선의 저수지 추적에 의하여 결정한다.

9.2.5 월류수면 상부구조물의 여유고

(1) 월류수면 상부구조물의 여유고에 있어 계획홍수량이 여수로에서 방류되는 경우 여수로 월류부에 설치되는 수문과 교각 구조물의 공간 높이는 월류수맥의 상부 경계면보다 1.5m 이상의 여유가 있도록 해야 한다. 단, 월류수심이 2.5m 이하일 경우에는 여유고를 1.0m 정도로 취할 수 있다.

(2) 이상 홍수량에 대해서는 이 여유고 제한에 의하지 않아도 좋으나, 흐름이 월류수면 상부구조물에 직접 부딪히지 않게 여유를 갖도록 해야 한다.

9.2.6 여수로의 구성

(1) 여수로는 접근수로, 조절부, 급경사수로, 감세공 및 방수로의 5 개 부분으로 구성되며 각 부분은 설계홍수량을 안전하게 소통시킬 수 있는 단면을 가져야 한다.

(2) 접근수로는 콘크리트댐의 본체에 월류 여수로를 설치할 경우에는 필요 없으며, 댐접안부(接鞍部), 산등성이 또는 안부(鞍部)에 설치되는 경우에 필요하다.

(3) 조절부는 저수지로부터 방류를 제한 또는 차단하고 방류량을 조절하는 부분이며 구조는 웨어, 오리피스 또는 관의 형태이다.

(4) 급경사수로는 여수로 조절부의 말단에서부터 감세공 시점에 이르는 수로이며, 개수로, 터널, 암거, 개수로와 터널의 병용 등의 형태가 있다. 급경사수로가 설치되는 비탈이 완만하고 경임반이 지표면에서 얇을 경우는 일반적으로 개수로가 유리하며 지형조건이 불리하더라도 되도록이면 개수로를 채택하는 것이 수리적, 구조적으로 가장 안전하다.

(5) 감세공은 저수지 수위와 하류하천 수위와의 수위차에 의한 위치에너지가 변환된 고유속의 흐름에 의하여 댐 하류단의 세굴이나 침식 또는 인접 구조물에 손상을 주지 않도록 하는 수단을 말하며 감세공에는 방류하천의 수심에 따라 감세지를 설치해야 한다.

(6) 방수로는 감세공으로부터 하류하천에 이르는 수로이다. 경우에 따라서는 유도수로만 굴착해 놓고 홍수가 유하할 때의 침식작용으로 필요한 수로단면이 형성되도록 할 수 있으며 어느 경우에 있어서도 하류 수위상승으로 인하여 감세공의 기능이 약화되지 않도록 해야 한다.

9.3 접근수로

- (1) 접근수로에서 흉수를 안정적인 수리현상으로 웨어를 월류시킬 수 있도록 하기 위하여 여수로의 접근수로에서 계획방류량 규모에 대한 접근유속은 4m/s 이하가 되도록해야 한다.
- (2) 접근수로의 수심은 월류수심, 유량 등을 감안하여 결정하며 웨어마루에서 접근수로 바닥까지의 깊이는 웨어마루에서 설계수두의 $1/5$ 이상이 되도록 한다.
- (3) 접근수로의 평면형은 흐름에 교란이 생기지 않도록 여수로를 향하여 완만하게 점차적으로 축소시킨다. 특히, 급경사형 여수로의 일부 형식에서는 조절부의 정류작용이 약해서 접근수로에서 발생한 편류가 급경사수로나 감세공까지 계속되어, 감세공의 기능을 감소시키는 수가 있다. 따라서 큰 여수로는 수리모형실험 또는 수치해석 시뮬레이션을 통하여 흐름상태를 개선할 필요가 있다.
- (4) 대량의 굴착을 해서 여수로를 설치했을 경우에는 수류에 접하는 부분 뿐만 아니라 상부 굴착사면에 대해서도 사면의 안정도를 확인하여 원지반의 붕괴에 의한 물넘이 폐쇄를 절대로 피하도록해야 한다.
- (5) 여수로의 접근수로 바닥과 비탈면이 접근유속에 대해서 불안정한 경우 또는 접근수로로부터 누수에 의해서 댐과 여수로의 위험이 예상될 경우에는 라이닝을 해야 한다.
- (6) 누수를 방지하기 위하여 콘크리트 라이닝을 할 경우에는 그 신축이음매에 지수판을 설치한다. 또 콘크리트판에는 적어도 콘크리트 단면의 0.2% 에 해당하는 철근을 넣어야 한다.

9.4 조절부

9.4.1 월류웨어

- (1) 여수로의 웨어는 원칙적으로 그 평면형이 직선형이고, 방류시 효율이 높은 단면형이어야 한다. 조절형 여수로에서는 설계 흉수량 뿐만 아니라 수문을 부분적으로 열었을 때의 유량도 감안하여 부압이 발생하지 않도록 웨어의 단면형과 수문의 위치를 결정해야 한다.
- (2) 웨어의 단면형은 칼날웨어의 통기된 수맥의 하부경계와 같은 형상을 갖게 되는데 웨어단면은 설계수두, 웨어 상류면의 경사 및 웨어의 높이에 따라 다르게 된다.
- (가) 실제수두가 설계수두 $H_{\{d\}}$ 보다 작으면 수맥이 웨어 마루접촉면에 양의 압력을 유발하여 유량(계수)을 감소시키고 실제수두가 설계수두 $H_{\{d\}}$ 보다 크게 되면 웨어마루접촉면에 부압을 유발하고 이는 수두의 증가 효과를 주어 유량(계수)을 증가시키게 된다. 따라서 저수지 최대수위 $H_{\{e\}}$ 보다 작은 설계수두 $H_{\{d\}}$ 에 대하여 웨어의 마루형상을 설계하는 것이 바람직하다.
- (나) 웨어 마루면의 부압이 크게 되면 공동현상이 일어날 가능성이 있으므로 공동손상을 야기하지 않도록 월류종단형을 선정해야 한다. 이를 위해서 미국개척국은 $H_{\{e\}}/H_{\{d\}}$ 는 1.33 을 초과하지 않도록, 미국육군공병단은 부압이 -5m 보다 낮지 않도록 권장하고 있다. 부압 -5m 에 대한 $H_{\{d\}}$ 의 하한계는 다음과 같다.

$$H_d = 0.43H_e^{1.22} \quad (\text{교각이 없을 경우}) \quad (9.1)$$

$$H_d = 0.41H_e^{1.26} \text{ (교각이 있는 경우)} \quad (9.2)$$

여기서, $H_{\{e\}}$: 웨어상의 최대 총수두(접근속도수두 포함), m

$H_{\{d\}}$: 설계수두, m

$H_{\{e\}}$ 가 10m 보다 작으면 $H_{\{e\}}/H_{\{d\}} = 1.42$ (교각이 없는 경우)

$H_{\{e\}}/H_{\{d\}} = 1.35$ (교각이 있는 경우)

(3) 월류웨어의 종단형은 웨어마루를 기준으로 하여 상류 종단형과 하류 종단형의 식의로 구분하며 하류부에 대한 식은 다음과 같다.

$$\frac{y}{H_d} = \frac{1}{K} \left(\frac{x}{H_d} \right)^n \quad (9.3)$$

여기서, $H_{\{d\}}$: 접근속도 수두를 제외한 설계수두

x, y : 웨어마루에 원점을 둔 좌표계

K.n : 상류면 경사와 접근유속에 따른 상수

n 값은 1.85이고 k 값은 <그림 9.2(a)>로 구한다. 식 (9.4)로 주어지는 곡선은 $X=Y_{\{DT\}}$ 에서 끝나고 경사 α 인 여수로 급경사수로의 직선부에 연결된다.

$$\frac{X_{DT}}{H_d} = 0.485(K\alpha)^{1.176} \quad (9.4)$$

여기서, $X_{\{DT\}}$: 원점으로부터 하류 접선점까지의 수평거리

α : 하류 직선부의 경사

(4) 상류 종단형은 타원식으로 나타낼 수 있고 이는 상류면의 경사가 타원의 접선이 되면 어느 상류면 경사에도 적용이 가능하다. 월류마루를 원점으로 하는 타원식은 다음과 같다.

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{(B-y)^2}{B^2} = 1 \quad (9.5)$$

여기서, x : 우측을 양으로 한 수평좌표

y : 하향을 양으로 한 연직좌표

A, B : 타원축의 $1/2$ 로 <그림 9.2(b) 및 (c)>로 주어진다.

경사가 $F_{\{s\}}$ 상류면에 대한 타원형에 접선점의 수평거리를 나타내는 식은 다음과 같다.

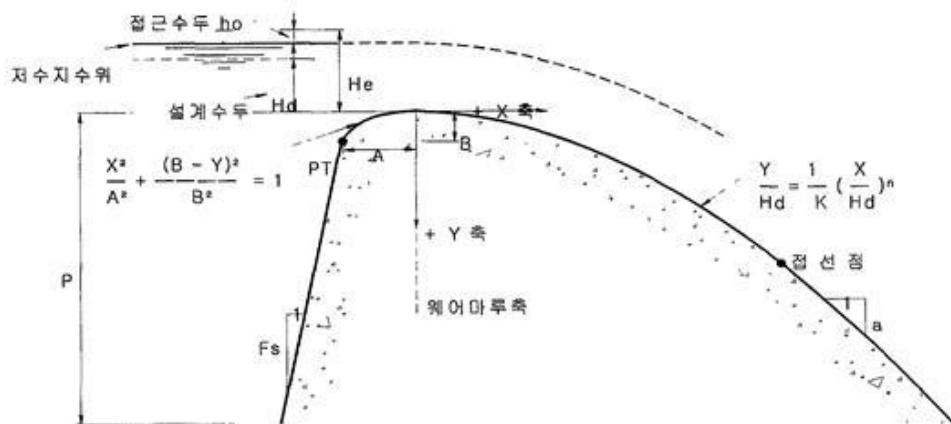
$$X_{UT} = \frac{A^2 F_s}{(A^2 F_s^2 + B^2)^{1/2}} \quad (9.6)$$

여기서, $X_{\{UT\}}$: 상류 접선점의 수평거리

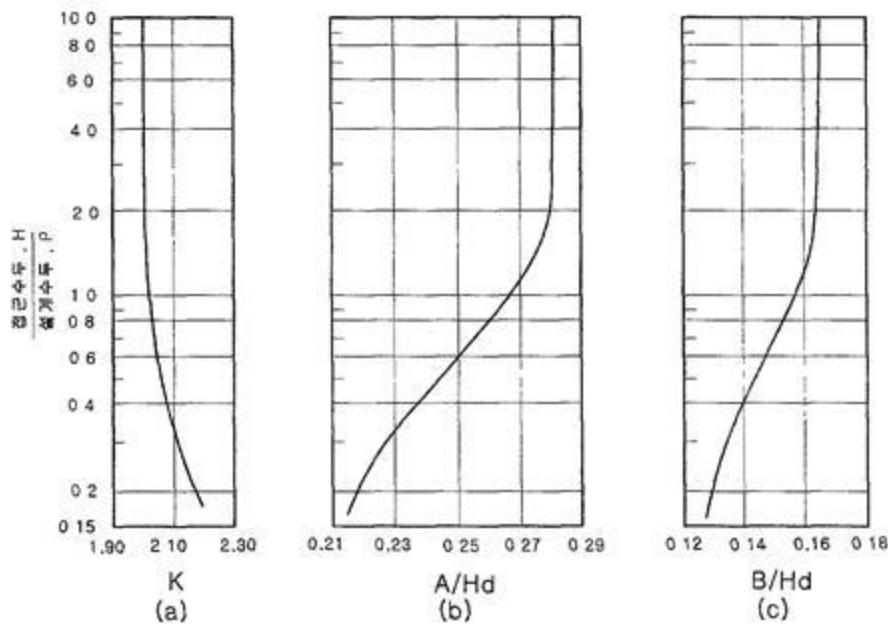
$F_{\{s\}}$: 상류면의 경사

(5) 웨어마루의 유량공식은 다음과 같다.

$$Q = CL_e H_e^{3/2} \quad (9.7)$$



<그림 9.1> 월류 여수로 단면의 정의도



<그림 9.2> 여수로 마루에 대한 좌표계수

여기서, Q : 유량, m^3/s

C : 유량계수

$L_{\{e\}}$: 웨어마루의 유효길이, m

$H_{\{e\}}$: 접근속도수두를 포함한 총수두, m

접근수로에서 마찰 등으로 인한 수두손실이 있다면 이를 $H_{\{e\}}$ 에 포함시킨다. 월류부위의 교각과 교대는 월류의 단수축을 형성하므로 유효길이는 실제길이 보다 작다.

$$L_e = L - 2(NK_p + Ka)H_e \quad (9.8)$$

여기서, L : 웨어마루길이

N : 교각의 수

$K_{\{p\}}$: 교각 수축계수

사각형 두부 $K_{\{p\}} = 0.02$

원형 두부 $K_{\{p\}} = 0.01$

창모양 두부 $K_{\{p\}} = 0.0$

$K_{\{a\}}$: 교대 수축계수

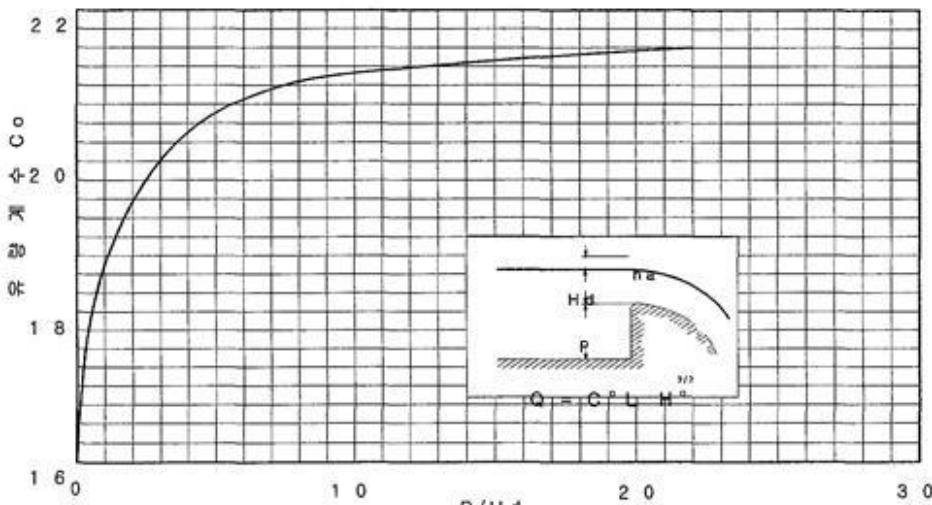
사각형 교대 $K_{\{a\}} = 0.2$

원형 교대 $K_{\{a\}} = 0.1$

교대 곡률반경이 $0.5 H_{\{e\}}$ 보다 큰 경우 $K_{\{a\}} = 0.0$

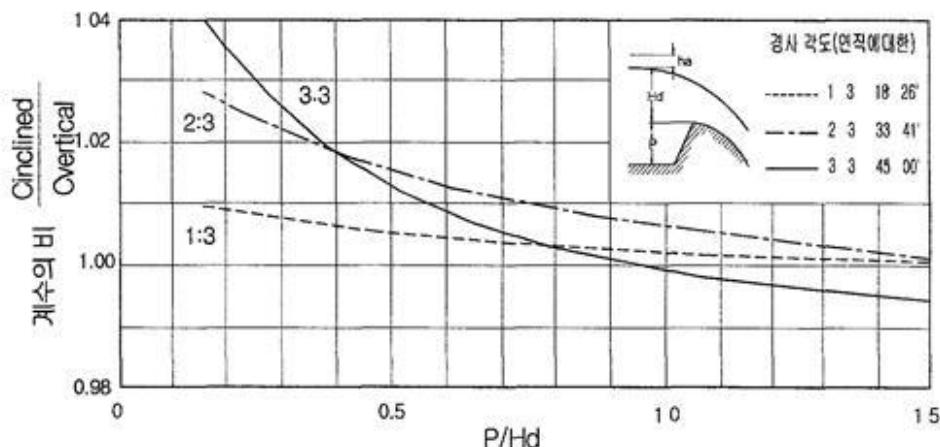
(6) 여수로 웨어의 유량계수에 영향을 주는 인자는 다음과 같다.

(가) 접근수심의 영향 저수지 바닥에서부터 웨어마루의 높이 P 가 $1.33H_{\{d\}}$ 보다 크면 접근유속의 영향은 무시된다. <그림 9.3>은 상류면이 연직인 여수로에서 웨어마루의 압력이 대기압일 경우에 대한 기본유량계수를 제공한다. 즉, 이 계수는 $H_{\{e\}} / H_{\{d\}} = 1$ 인 이상적인 웨어단면에 대해서 유효하다. 주어진 $P/H_{\{d\}}$ 에 대한 기본유량계수 $C_{\{o\}}$ 는 <그림 9.3>에서 결정된다. 국제대댐회 설계기준은 접근수로 바닥에서 웨어 마루까지의 높이 P 는 $P > H_{\{d\}} / 5$ 의 조건을 제시하고 있다.



<그림 9.3> 연직상류면 웨어마루의 유량계수

(나) 상류면 경사의 영향 : 상이한 상류 경사면을 갖는 여수로의 유량계수의 보정인자는 <그림 9.4>에서 주어진다.



<그림 9.4> 상류 경사면에 대한 유량계수의 보정인자

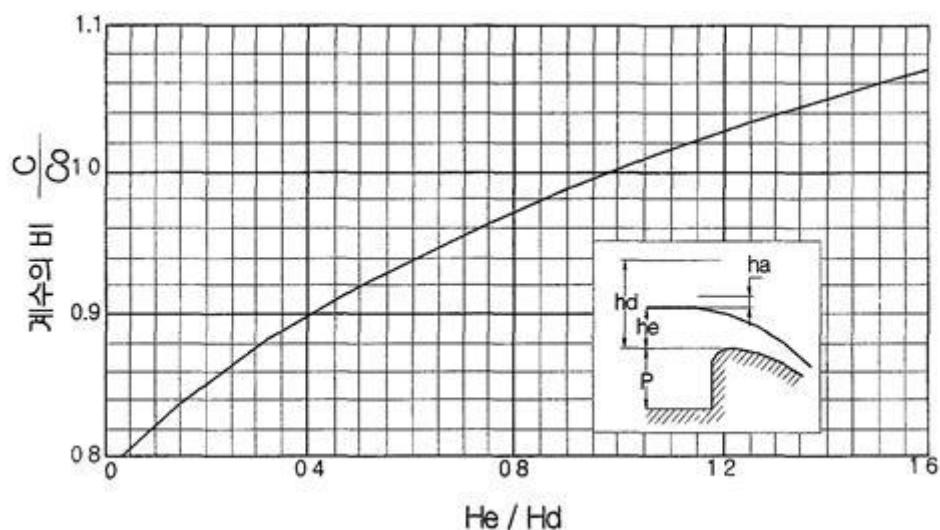
(다) 설계수두와 상이한 수두의 영향 실제수두와 설계수두와의 차이의 영향에 대한 보정인자는 <그림 9.5>에서 구할 수 있다. <그림 9.3>에서 구한 기본유량계수 $C_{\{o\}}$ 에 <그림 9.4>와 <그림

9.5>로 부터 두 보정인자를 구해서 식 (9.7)의 유량계수 C 를 구할 수 있다. 유량계수는 하류가 물에 잠기는 정도에 따라 감소한다. 소규모 여수로에서 접근수로의 수심이 충분히 깊고 완전월류이고 웨어 형상이 표준형이면 $C = 2.0\sim2.1$ 이 취해질 수 있다.

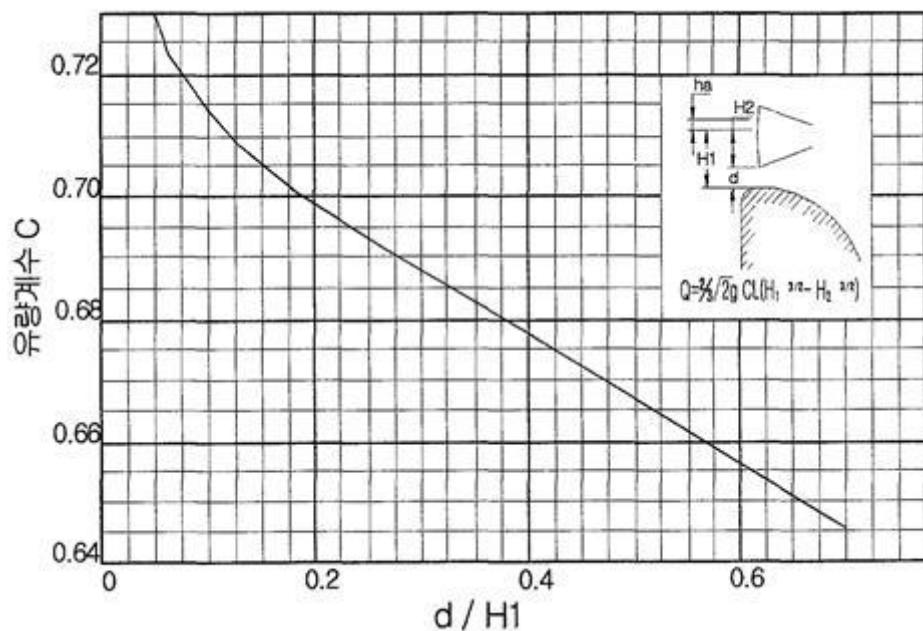
(7) 수문조절형 웨어 마루의 유량계수에서 수문으로 유량이 조절되는 경우 유량은 다음식으로 계산한다.

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} CL (H_1^{3/2} - H_2^{3/2}) \quad (9.9)$$

여기서, H_1 과 H_2 는 접근유속수두를 포함한 웨어마루와 수문하단에 대한 총 수두이다. 수문의 개폐정도에 따른 유량계수가 개문과 총 수두비의 항으로 <그림 9.6>에서 구할 수 있다.



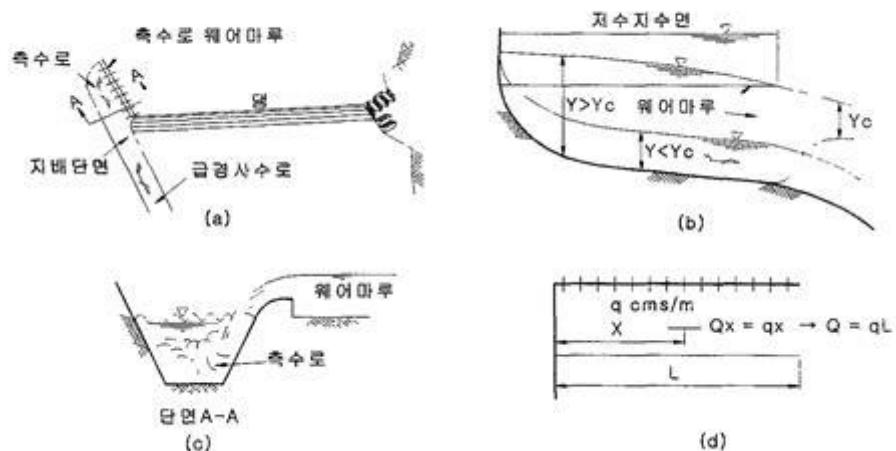
<그림 9.5> 설계수두와 다른 수두에 대한 유량계수의 보정인자



<그림 9.6> 수문이 있는 경우의 유량계수

9.4.2 측수로 여수로

(1) 측수로 여수로는 설계 흙수유량에 대하여 웨어의 어느 부분도 수중웨어가 되지 않도록 설계해야 한다. 또한 최대수위에 대하여 측수로내의 수면이 그 최상류단에서 물류수심의 $2/3$ 보다 높지 않도록 설계되어야 한다.



<그림 9.7> 측수로 흐름특성

(2) 여수로 웨어마루 설계는 전절 9.4.1 에 준하여 측수로의 단면으로는 사다리꼴이 가장 보편적이다.

(가) 측수로의 폭과 수심의 비가 작은 단면형을 갖는 수로가 수리학적으로 좋은 결과를 제공하므로 수로바닥의 폭을 최소로 함이 필요하다.

(나) 측수로는 암반기초에 두고 콘크리트 라이닝을 한다.

(다) 측수로 내에서 유입흐름과의 효과적인 혼합을 확실하게 하고 특히 유량이 작을 때 가속 또는 난류의 발생 가능성을 피하기 위해서는 깊은 수심과 낮은 유속(상류)을 유지해야 한다. 이를 위해서는 측수로의 바닥경사를 완만하게 해서 한계경사 보다 작게 하거나 측수로 하류단에 지배단면을 설치해야 한다. 지배단면은 한계흐름을 발생하도록 측수로 폭을 감소시키거나 바닥의 표고를 높임으로써 얻을 수 있다.

(라) 지배단면의 주요 목적의 하나는 수로에 충분한 수심을 유지하도록 하류단에 한계 흐름을 제공하는 것이다. 즉 측수로의 하류단에 설치되는 지배단면의 목적은 수로에 충분한 수심을 유지하며 물류해서 유입되는 물에 대한 물방석을 제공하여 급경사수로에 유입되기 전에 유입흐름의 에너지를 대부분 감소시키기 위함이다.

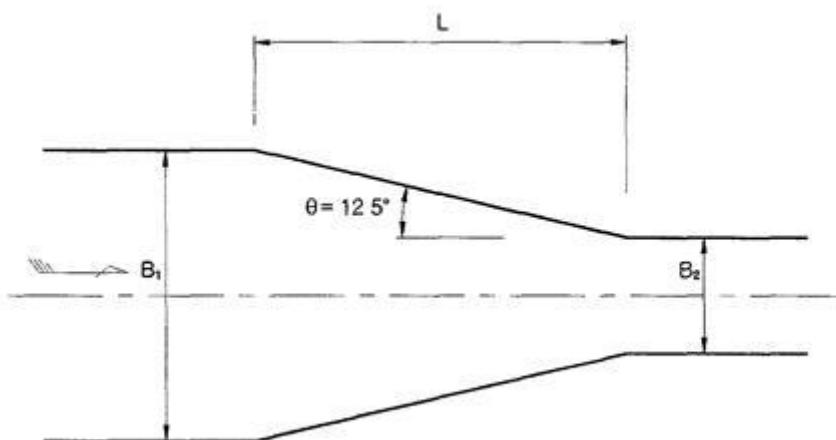
9.4.3 천이부

(1) 여수로의 천이부는 조절부로부터 유하량으로 인하여 조절부 상류에 불리한 수위상승 또는 저하배수가 생기지 않도록, 또 천이부내에 불리한 수면저하, 심한 난류가 일어나지 않고 유하하도록 설계해야 한다. 예상되는 이상홍수유량에 대하여도 수위 유량곡선 등이 현저히 변동하지 않도록 해야 한다.

(2) 급경사 여수로에서 조절부는 땅과 직접 연결되므로 물류수심이 제한을 받지 않도록 일반적으로 폭을 넓게 한다. 측수로 여수로의 수로는 보통 비대칭 사다리꼴 단면이기 때문에 급경사수로 단면으로서는 적당치 못하다. 따라서 경제적인 여수로를 설계하기 위하여 조절부와 급경사수로 사이에 천이부를 설치한다.

(3) 천이부 평면의 모양은 급경사수로의 흐름과 여수로의 방류능력에 큰 영향을 미치므로 편류를 방지하고 안정된 흐름을 유지하도록 조절부, 천이부, 급경사수로가 동일축에 있도록 해야 한다.

(4) 천이부의 흐름이 비교적 급류인 경우는 <그림 9.8>과 같이 천이부시점과 종점의 최외측 유선을 연결하는 직선이 수로중심선과 거의 $12^{\circ} 30'$ 의 각을 취한다. 지형상 촉폭각도를 이 이상 취하여야 할 때는, 흐름의 개선을 위하여 수리모형실험이 필요하고 설계에서는 천이부에서의 수리능력 변화를 충분히 검토해야 한다. 유량이 변동함에 따라 조절부 이외에 새로운 지배단면이 생겨 이 점의 수리능력이 여수로 전체의 수리능력을 규제할 가능성이 있으므로 이와 같은 평면형을 설계함에 있어서는 종단면형의 결정이 특히 중요하다.



<그림 9.8> 천이부의 폭변화

(5) 수리계산은 평면형의 결정과 함께 천이부 종단형상의 필요한 수리능력을 확보하는 관점에서 중요하므로 전기한 사항들을 고려하여 에너지식에 의하여 결정한다. 천이부에서 수면이 역경사 또는 극단적으로 감소되는 평면 및 종단형상은 피해야 한다.

(가) 천이부의 유입부와 유출부의 흐름이 한계류일 경우

여수로의 설계에서 굴착량과 라이닝을 포함한 총공사비를 되도록 적게 한다. 이를 위해서는 주어진 수두로서 최대의 유량을 유하시킬 수 있는 단면과 종단형이 유리하고 이는 한계경사인 경우이다. 그러나 한계류는 수면이 불안정하므로 한계류가 상당히 긴 구간에서 일어나는 수로단면은 적당치 못하다.

그러나 많은 유량을 될 수 있는 한 경제적으로 방류하고자 할 때에 짧은 구간을 거의 한계류로 유하시키기도 한다. 즉, 한계류의 흐름을 조절부에서 천이부에 유입시키고 천이부 종점에서 변화한 단면에 대하여 한계류로 급경사수로에 설계유량을 유하되도록 계획할 경우도 있다.

이때 천이부의 종점의 바닥표고 $Z_{\{c\}}$ 는 다음과 같이 결정한다.

$$z_e + y_e - \frac{V_e^2}{2g} = Z_c + y_c + \frac{V_c^2}{2g} + h_L \quad (9.10)$$

여기서, $y_{\{c\}}$: 천이부 말단 한계수심, $y_{\{e\}}$: 천이부 유입구 수심

$V_{\{c\}}$: 천이부 말단 한계유속, $V_{\{e\}}$: 천이부 유입구 유속

$h_{\{L\}}$: 총손실수두(단면변화 + 마찰 + 기타)

(나) 천이부 유입부의 흐름은 상류이고 유출부의 흐름은 한계류일 경우

이러한 흐름은 급경사 여수로에서 월류부를 월류한 흐름은 일단 도수가 일어나도록한 후 천이부를 거쳐 급경사수로에 유하하는 경우 또는 월류부가 물에 잠겨서 측수로에서 한계류가 일어나지 않고 그대로 천이부를 유하하여 급경사의 급경사수로에 방류되는 경우에 일어난다. 전기한 조건들에 맞는 평면형을 구하고 천이부 종점의 수로바닥 표고는 식 (9.10)으로 결정한다.

(다) 유하능력의 검토

여수로의 천이부는 예상되는 큰 유량의 범위내에서는 유량특성이 현저하게 변하지 않도록 한다. 유하능력의 여유가 작은 천이부에서는 유량의 변화에 따라 지배단면이 이동하고, 경우에 따라서는 수리특성이 크게 변화하는 점에 주의를 요한다. 천이부의 유하능력의 검토는 천이부의 특징적인 지점에 대하여 수리특성과 수로의 바닥표고 등을 포함하여 최소 비에너지, 표고 및 유량곡선을 작성하고 이에 대한 포락선을 수리능력곡선으로 한다.

9.4.4 조절부의 처리

(1) 여수로 조절부의 기초는 그라우팅 또는 기타의 방식에 의해서 완전한 지수를 도모해야 하며 조절부 하류에 불필요한 양압력을 일으키지 않도록 설계한다. 조절부 기초의 지수방법으로서는 그라우팅이 가장 보통이나 기초지반에 따라서는 표면 블랭킷트 등에 의한 방법이 효과적인

경우도 있다.

(2) 조절부의 지수를 완전히 하기 위하여 수축 이음매에 지수판을 설치하여 누수를 방지해서 조절부 하류의 양압력을 최소한으로 억제한다. 또한 수축 이음매가 문받이 철물과 교차할 경우에는 교차점의 문받이 철물도 반드시 수축 가능한 구조라야 한다.

9.4.5 월류웨어의 안정

(1) 조절형 여수로에 있어서의 여수로웨어의 구조계산은 다음 각 항에 대해서 그 안정을 확인해야 한다.

(가) 만수위, 수문 폐쇄

(나) 만수위, 수문 폐쇄, 임시수문 설치

(다) 만수위, 수문 폐쇄, 인접수문 개방

(2) 철근 및 콘크리트의 응력에 관해서는 '콘크리트구조설계기준(건설교통부, 1999)'에 의한다. 또 비조절형 여수로의 경우에 있어서도 이것에 준하여 계산한다.

(3) 수문식 여수로는 수문을 설치하기 위한 문틀홈, 문받이 철물, 앵커, 상부 조작대 등 때문에 상기 기준에 의하여 계산한 단면보다 최종적으로는 큰 단면이 필요하게 될 경우가 있다.

9.5 급경사수로

9.5.1 선형

(1) 급경사수로 평면형의 부적당한 만곡은 일정치 않은 흐름으로 충격파를 일으키므로 가능한 한 만곡이 적은 평면형을 선정하며, 직사각형의 단면을 원칙으로 한다.

(2) 수로폭의 수축과 확대

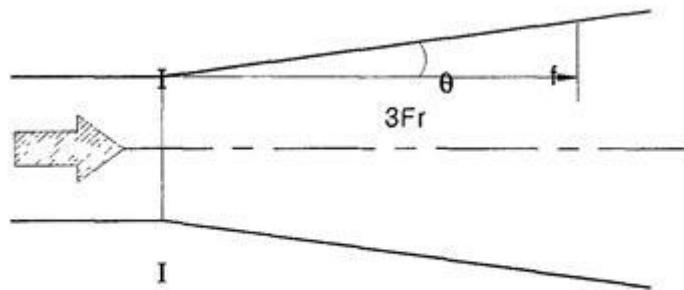
(가) 총굴착량 절감 등 시공상의 경제적인 면을 고려하여 수로폭을 수축시키는 경우 횡파(橫波), 파의 처오름 및 월류, 불안정한 유황 등의 발생을 방지하기 위해서 점진적으로 수로폭을 수축시켜야 한다.

(나) 급경사수로 폭을 확대시키는 경우에도 급경사수로 나비의 확대는 고속사류(高速射流)를 취급하므로 원활한 유황과 완전한 확대효과를 기대하려면 확대폭 각도를 적절히 해야 한다. 과도한 확대나비로는 측벽에 수맥이 퍼져 붙지 않고 중앙부에 수맥이 집중하여 완전한 감세가 되지 않는다. 급경사수로의 확대나비 각도는 다음의 한계각도 이내로 한다.

$$\tan \theta = 1 / (3F_r) \quad (9.11)$$

여기서, θ : 수로의 확대각도, $F_{\{r\}}$: 푸루우드수

시점단면에서의 유속을 V , 수심을 d , 중력가속도를 g 라고 하면 $F_{\{r\}} = V/(gd)^{1/2}$ 이다.



<그림 9.9> 수로폭의 확대

(3) 급경사수로를 부득이 만곡시켜야 할 경우에는 흐름이 상류상태에 있는 부분에서 만곡시킨다. 이 경우에 원심력에 기인하는 편수위 상승 및 흐름의 교란은 피할 수 없으므로 그 양을 작게 하기 위하여 될 수 있는 한 큰 곡률반경으로 만곡시키는데 수면폭의 10 배 보다 작은 곡률반경의 만곡은 좋지 않다. 횡단수면이 수평면과 이루는 각을 $\Phi_{\{c\}}$, 수로중심선의 곡률반경을 r , 유속을 V 라면

$$\tan \Phi_c = 2V^2 / gr \quad (9.12)$$

이며 이 수위상승에 대해서 안전한 측벽고로 설계해야 한다.

(4) 충격파를 감세시키기 위해서는 다음과 같은 방법이 있다.

(가) 수로바닥 돌기 : 수로바닥에 횡단기울기를 붙이는 방법으로서 필요한 횡단기울기를 Φ 라고 하면

$$\tan \Phi = V^2 / gr \quad (9.13)$$

흐름의 급격한 변화를 방지하려면 수로바닥에 부착하는 횡단기울기는 수로 만곡부의 시점과 종점에서는 0으로 시작해서 위의 식으로 주어지는 각도까지 점진적으로 증대시켜야 한다.

(나) 이완(弛緩)곡선 방법 : 만곡구간의 전후에 적당한 천이부 구간을 설치해서 수로만곡에 의해 발생하는 충격파를 감세하는 것도 가능하다. 복합곡선으로서는 만곡부의 2 배의 곡률반경을 갖고 길이가 $b/\tan \beta$ 인 원호(圖弧) 또는 나선 완화곡선등이 사용된다. 여기서, b 는 수로의 폭이고 β 는 충격파의 각도로서 다음과 같이 주어진다.

$$\beta = \sin^{-1} \sqrt{gd} / V \quad (9.14)$$

(다) 구조적 방법 : 구조적인 방법으로서 만곡부 시점 및 종점근처의 수로바닥에 대각선 실(diagonal sill)을 설치하는 것이 사용된다.

(라) 구조적인 방법의 다른 한 가지는 수로 만곡부에 유도제와 유사한 곡선형 날개를 여러 개 설치하여 전체 수로폭을 여러 개의 좁은 수로로 분리하여 편수위 상승 및 유황의 교란을 방지하는 것이다. 그러나 이 방법은 수축된 수로폭 보다 큰 유사, 부유물이 유하하는 경우에는 사용할 수 없다.

(5) 수로바닥의 종단경사의 결정시 급경사수로 예정지의 지질, 지형학적인 제한인자를 고려해야 하며, 종단경사의 변화시 급변화를 가급적 피한다. 급경사수로의 경사는 원칙적으로 상류부에서 완만하고 하류부에서 급하게 한다. 급경사수로의 종단경사 변화시 철형(凸形)인 연직곡선을 삽입할 경우에는 수맥이 수로바닥에서 분리되는 현상을 방지하고, 또한 정압력을 유지하기 위해서 곡선형이 자유사출(自由射出) 수맥의 궤적선(포물선형) 보다 약간 평평한 것을 선택한다. 또한 요형(凹形)곡선을 삽입하는 경우에는 흐름의 방향변화에 따른 원심력에 의해서 수로바닥에 미치는 동수압을 극소화하기 위해서 곡률반경이 충분히 큰 곡선을 선택해야 한다.

(6) 종단곡선형의 결정

(가) 고속류를 비교적 작은 수심으로 유하시키는 경우가 많은 필댐의 급경사수로에서 부적당한 변화부는 수맥이 박리되어 부압이 발생하는 구역이 생기며, 심할 때는 공동현상에 의한 구조물의 손상을 일으키므로 종단곡선형은 적합하게 설계된 변화곡선으로 해야 한다.

(나) 급경사수로의 종단경사 변화부의 철형(凸形) 부분의 곡선은 포물선식에서 유래한 다음 식에 의한다.

$$-y = x \tan \theta + x^2 / K[4(d+hv) \cos^2 \theta] \quad (9.15)$$

여기서, y : 종거(원점은 방사(放射)유로 기점으로 함), x : 횡거

θ : 방사유로 기점에서 수로의 경사각

K : 중력에 관한 가속도가 방사류 운동에 작용하는 비율

(다) 철형(凸形) 곡선부의 전체 구간에 있어서 수맥이 정압력을 유지하도록 하기 위해서는 K 값이 1.5 이상이 되도록 한다. 요형(凹形) 곡선을 삽입하는 경우에 흐름의 원심력에 의해 급경사수로 바닥에 작용하는 수압은 흐름의 에너지에 비례하며, 곡선의 곡률반경에 반비례한다.

(라) 요형(凹形) 곡선부의 최소 곡률반경은 아래 식으로 주어지는 기준을 따른다.

$$R = 0.0312 dV^2 / P \quad (9.16)$$

여기서, R : 최소 곡률반경(m), V : 유속(m/s), d : 수심(m)

P : 동수압 (t/m^3), 단 곡률반경은 최소한 수심의 10 배 이상의 값을 취해야 한다.

9.5.2 급경사수로 측벽

(1) 수로설계의 기본은 정확한 수면추적에 의한 유속 및 수심의 산정이다. 급경사수로를 유하하는 수심으로부터 수로의 크기와 측벽고가 추정되고 유속에 따라서 수로라이닝의 구조상의 제약이, 또 후르드수에 의해서 수로 중에 발생하는 특수한 유황이 추정된다. 부등류 수로의 수면추적법을 상류영역에 있어서는 상류로 사류영역은 하류로 향하여 수행한다.

(2) 급경사수로는 어느 부분에도 댐 본체나 여수로의 안전에 지장을 주는 월류를 일으키게 해서는 안된다. 이러한 이유로 여수로의 급경사수로에는 특히 많은 여유고를 주어 구조물의 안전을 도모한다.

(3) 급경사수로와 같은 급경사 수로에 주는 여유고에 대해서는 수심, 유속의 함수로서 통상적으로 다음 추정식을 사용한다.

$$F_d = 0.6 + 0.037vd^{1/3} \quad (9.17)$$

여기서, F_d : 여유고(m), V : 유속(m/s), d : 수심(m)

(4) 여수로와 급경사수로의 측벽은 그 자체로서 안정된 구조로 하던가 또는 안정되고 견고한 기초암반에 간밀히 밀착시켜야 한다.

(5) 굴착한 여수로에서 안정(주로 토압으로부터)이 유지되지 않을 경우 즉, 비탈면의 보호만으로도 좋을 경우는 기초암반에 콘크리트 라이닝을 앵커철봉으로서 연결한 구조로 한다.

9.5.3 급경사수로의 라이닝

(1) 급경사수로의 바닥과 측벽은 장기간 매끈한 표면을 유지할 수 있도록 콘크리트 라이닝으로 하고 그 최소 두께는 30~40 cm로 한다. 철근은 온도변화에서 산출한 철근량 또는 콘크리트 단면의 0.2% 중 큰 것을 취한다.

(2) 여수로는 고속류의 난류에 의해서 일어나는 침식을 방지하기 위해서 콘크리트 라이닝을 해야하며 시공상의 출눈이음이 어긋나 고속류에 의해서 콘크리트면이 침식되지 않도록 한다.

(3) 견고한 암반에 연결하는 바닥 라이닝 두께는 대부분의 경우 시공상의 형편과 암반의 연결방법에 의해서 결정된다. 이 경우의 록앵커(rock anchor)는 배면 수압과의 차이에 대한 응력이나 지진시의 응력에 대비해야 한다.

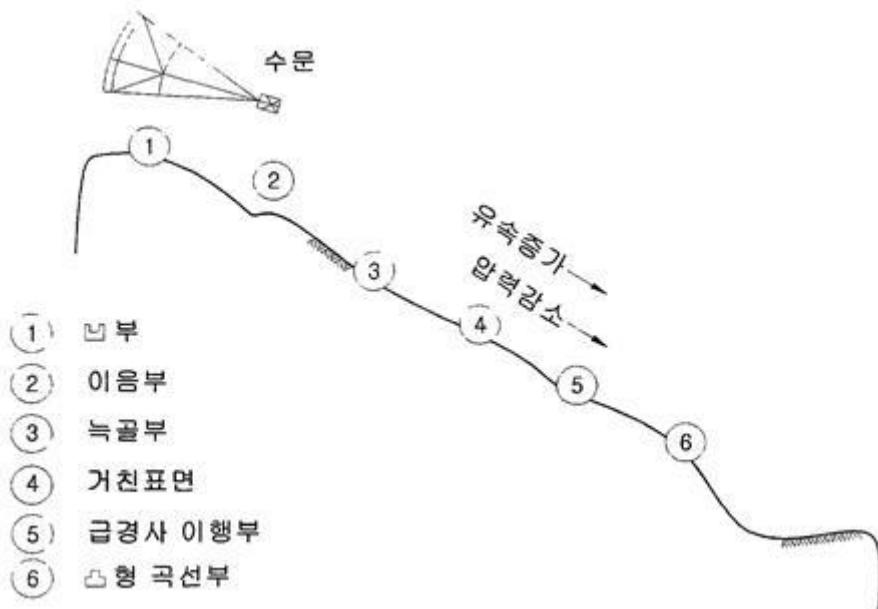
(4) 급경사수로 구조물을 흙, 모래 기초에 설치하는 경우에는 기초와 라이닝 사이에 투수성 블랭킷을 사용한다. 이 때 급경사수로 구조물이 사면에서 활동하는 것을 방지하기 위하여 키(key)를 설치한다. 또한 구형앵커를 설치하여 라이닝 슬래브를 기초에 고정시키는 역할을 하게 한다.

9.5.4 급경사수로의 이음

- (1) 급경사수로에는 횡단방향에 키(key) 및 수축 이음매를 설치해야 한다. 급경사수로에서는 콘크리트 라이닝이 하류로 이동하지 않도록 적당한 간격으로 키(key)를 만든다. 이 간격은 시공속도, 경사각도 등에 의해서 결정되어야 한다.
- (2) 가로수축이음은 수축에 의한 균열방지를 위해 수로 폭에 직각방향으로 설치되는 것이고 그 위치와 간격은 수로 지점의 기온, 수로의 폭, 콘크리트의 온도조절과 품질의 정도 등 직접 균열방지에 관계되는 요소와 공사용 플랜트의 능력, 그리고 기초의 지형, 지질, 수문의 경간 등 시공과 구조상의 여러가지 사항에도 관계되는 것으로 종합적인 검토가 필요하다. 따라서 이음의 간격은 많은 요소가 관계되므로 이론적으로 결정하기는 어려운 것이며, 일반적으로 10~15m 정도로 한다.
- (3) 급경사수로의 이음매는 반드시 콘크리트면에 직각으로 한다. 그러나 콘크리트 단면이 예각인 구석부분은 시공상 콘크리트에 공극이 생기기 쉽고 약점이 되므로 이음매를 피해야 한다.

9.5.5 급경사수로의 공기흔입장치

- (1) 급경사수로내의 평균유속이 $12 \sim 15\text{m/s}$ 이상이면 공동현상에 의한 손상이 발생하기 시작하며, 유속이 20m/s 이상이면 수로의 표면이 원활하고, 수로경계면이 흐름의 유선과 동일하더라도 공동현상에 의한 손상을 방지하기 어렵다는 것이 밝혀졌다. 이같은 공동현상의 손상을 경감하거나 방지하기 위해서 여수로는 고속류 흐름의 공기를 흔입시키는 공기흔입장치(air entrainment device)를 급경사수로에 설치한다.



<그림 9.10> 급경사수로에서의 공동현상에 의한 손상가능지점

- (2) 공동현상에 의한 수로표면의 손상을 방지하기 위해서 적절한 공기흔입 장치를 설치한다. 공기흔입장치의 작동원리는 수로표면에 불연속성을 부여하여 이를 통하여 공기를 물의 흐름속으로 주입시킨다.
- (3) 실제 댐에서 사용되고 있는 공기흔입장치의 형태는 다음의 세가지가 있다.

(가) 굴절형(deflector-type) 공기흡입 장치 : 굴절형 공기흡입 장치는 초기에는 강재로 제작하여 기존 여수로의 손상부의 보강방법으로 널리 사용되어 왔으며, 높이는 0.10 ~ 1.00m 정도이다. 이 형식의 장점은 비교적 낮은 높이로 설치하여도 충분한 공기의 흡입을 보장할 수 있다는 점이나, 수로내에 충격파의 발생을 촉진한다는 것이 큰 단점이다. 따라서 이러한 결점을 보충하기 위하여 본 형식과 다음에 설명하는 벽단식(壁段式, offset-type)을 혼합한 형태의 흡입장치를 많이 사용하고 있다.

(나) 벽단식(offset-type) 공기흡입 장치 : 여수로의 설계단계에서 공기흡입 장치를 설치하기로 결정하였을 때에 주로 사용하는 형식이며, 공기흡입의 효율이 높고, 충격파의 발생 또한 비교적 작다는 것이 장점이다. 그러나 작은 유량에서의 공기흡입량이 감소한다는 것이 단점이다.

(다) 흙형(groove-type) 공기흡입 장치 : 본 형식은 터널수로나 수문하류에 설치하기에 용이하다. 흙의 깊이는 통상 1.00 ~ 2.50m로 한다. 본 형식의 단점으로는 공기흡입량이 작다는 것이다.

9.6 감세공

9.6.1 감세공의 기능

(1) 여수로의 급경사수로 하류단에는 고유속(高流速)의 방류수가 갖는 높은 에너지에 의하여 댐 본체, 여수로 구조물, 하류하천과 관련 제 구조물이 파괴 또는 침식되는 것을 방지하기 위하여 감세공을 설치해야 한다.

(2) 감세공의 대상홍수량은 설계홍수량을 기준으로 하되 경제적 관점에서 댐 본체에 위험을 주지 않는다면 감세공에 다소의 피해를 받는다 하더라도 하류하천의 설계홍수량을 감안하여 설계할 수 있다.

(3) 감세공의 설계에 있어서는 하류부에서 도수 전후의 수심 관계가 유량변화에 선형적인 것이 아니고 설계 홍수량 이하의 유량에서 더 불리한 상태가 생기는 수도 있기 때문에 감세공 규모검토시 설계 홍수량만을 대상으로 하여서는 안된다.

9.6.2 형식의 선정

(1) 방류수의 높은 에너지를 감세시키려면 소정의 수로구간 내에서 도수를 발생 완료시켜 고속사류를 상류로 변화시켜 하류하천에 유하시켜야 하며 이 경우에 도수 후의 수위가 하류수위와 일치되도록 한다.

(2) 도수에 의한 감세의 형식을 취하는 것이 곤란할 경우는 방사형식, 확산식, 버킷식에 의한 댐직하류의 세줄을 방지한다 제 형식의 선택에는 하류수위와 도수위의 관계, 지형, 지질조건 등을 검토하여 공사비와의 관계에서 기술적 판단을 하고 현상해석이 곤란할 경우는 모형실험에 의하여 설계를 확정한다.

(3) 여수로의 감세공은 다음의 제 요소를 고려하여 선정한다.

- (가) 채용하고자 하는 감세공의 수리특성
- (나) 댐 본체와 감세공의 위치관계(거리, 표고 등)
- (다) 여수로 본체의 수리, 구조특성
- (라) 감세공 부근의 지형, 지질, 수리특성(하류수위, 유황 등)
- (마) 하류하천부근의 경지, 택지, 제 공작물의 위치(거리, 표고 등) 및 중요도

방류수의 에너지를 감세시키기 위하여는 하류부의 수위-유량곡선을 미리 정확하게 정하지 않으면 안된다. 하류부 수위-유량곡선 결정은 하류하상의 변동현상을 고려해야 한다.

9.6.3 감세공 형식별 특징

(1) 플립 버킷형(Flip Bucket) 감세공

(가) 이 형식의 감세공은 급경사수로 말단에서 수액을 한 번 공중으로 사출시켜서 하상암반 또는 하류쪽 플런지 푸울(plunge pool)에 충돌, 돌입시켜 충격, 산란 등에 의해서 감세시키는 것이다. 때에 따라서는 방출부의 형상을 변형, 고안하여 방출수액의 방향을 바꾸어 수액을 공중에서 충돌, 분산시켜 감세코자 할 수도 있다.

(나) 이 형식의 감세공은 일반적으로 하류수위가 도수후의 수심에 비해서 현저하게 낮을 경우에 채용되는 형식이나 이 형식을 채용할 때는 지질, 지형 등 제 조건이 좋아야 한다.

(다) 이 감세공은 공사비면에서는 가장 경제적인 형식이지만 감세효과는 보통 다른 형식에 비해서 비교적 작으며, 감세공 하류부의 유황도 거칠다. 따라서 이 형식의 감세공을 채용할 때는 방류수액 낙하지점의 기초는 견고한 암반이어야 하며, 또 감세공 주변 특히 하류 근거리에 경지, 향지 등 거친 흐름에 의해서 손상되는 것이 있어서는 안된다. 일반적으로 기초가 침식을 받기 쉬운 암질일 경우 감세될때의 난류가 자연유로 종에서 정류상태로 되지 않는 범위 내에 공작물, 경지, 향지 등이 있을 때는 이 형식은 부적당하다.

(라) 플립 버킷형 감세공은 급경사수로 말단에 플립 버킷부와 하류부에 설치하는 플런지 푸울로 이루어진다.

(마) 플립 버킷 말단을 좌표의 원점으로 취할 경우에 사출수의 궤도는 다음과 같다.

$$y = x \tan \theta - x^2 / k \{ 4(d + hv) \cos^2 \theta \} \quad (9.18)$$

여기서, y : 플립 버킷 말단부로부터의 수직높이(m)

x : 플립 버킷 발단부로부터의 수평거리(m)

θ : 플립 버킷 말단부와 수평선과의 각도

d : 플립 버킷 말단부에서의 수심(m)

hV : 플립 버킷 말단부에서의 속도수두 ($= V^2/2g, m$)

k : 보정계수(공기의 저항, 흐름 내부의 난류, 제트류의 분산 등을 감안하여 보통 0.9를 가정함)

(마) 플립 버킷의 곡률반경은 충분히 커서 방류수가 원심운동을 유지할 수 있어야 한다. 이 때 플립 버킷의 최소 곡률반경은 급경사수로의 종단곡선의 경우와 같이 다음 식으로 결정한다. 이 때 플립 버킷의 곡률반경은 어떠한 경우에도 $5d$ (d 는 수심) 보다 작아서는 안된다.

$$R = 0.0312(dV^2 / P) \quad (9.19)$$

(바) 플런지 푸울의 바닥폭는 최소한 낙하, 유입되는 사출수의 폭 보다 커야 한다.

2) 정수지형(stilling basin) 감세공

(가) 이 형식의 감세공은 도수작용을 이용하여 수세를 감세시키는 것으로서 하류쪽 수심이 도수 후의 수심과 거의 일치될 경우에 채택한다. 이 형식의 감세방법은 수리학적으로 가장 안전하여 다소 하류수심이 도수 후의 수심과 불일치하여도 정수지 바닥의 굴착 저하 또는 부(副)댐을 설치하여 상대적인 하류수심을 높임으로서 이형식의 감세방법을 채택할 수 있다.

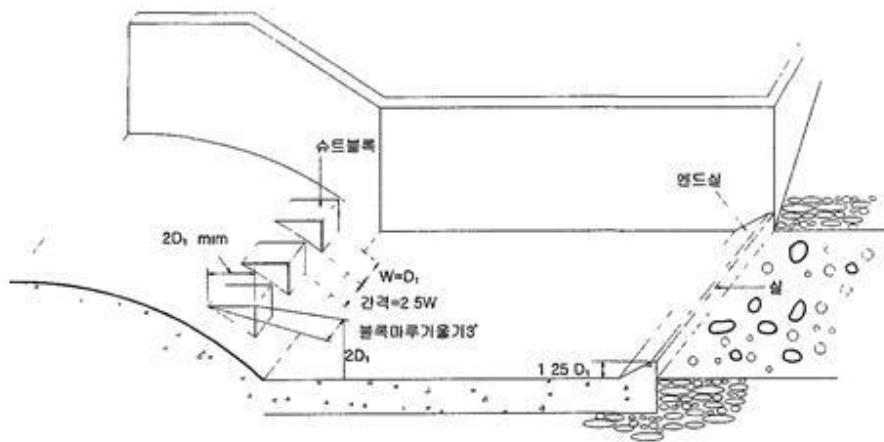
(나) 수평바닥 정수지는 후루드수와 유량에 따라 수리, 구조 등의 면에서 가장 적합한 형식을 선정하여 설계해야 한다.

① I 형 정수지 : 이형식은 자연의 도수에 의하여 감세를 기도한 것이다. 후루드수가 1.7이면 공액수심(共轭水深) D_2 의 변화상태는 유입수심의 약 2배 또는 한계수심보다 약 40% 더 크다. 유출속도 V_2 는 유입속도의 약 1/2이거나 한계유속 보다 약 30% 작다. 후루드수가 1.7보다 작으면 특별히 정수지를 설치할 필요가 없다. 하류수로의 길이가 $4D_2$ 이하이어서는 안된다. 후루드수가 1.7 ~ 2.5 사이의 정수지는 배플(baffle)이나 실(sill)의 설치가 필요치 않으며, 정수지 길이는 감속될 만큼의 소요길이가 있어야 한다.

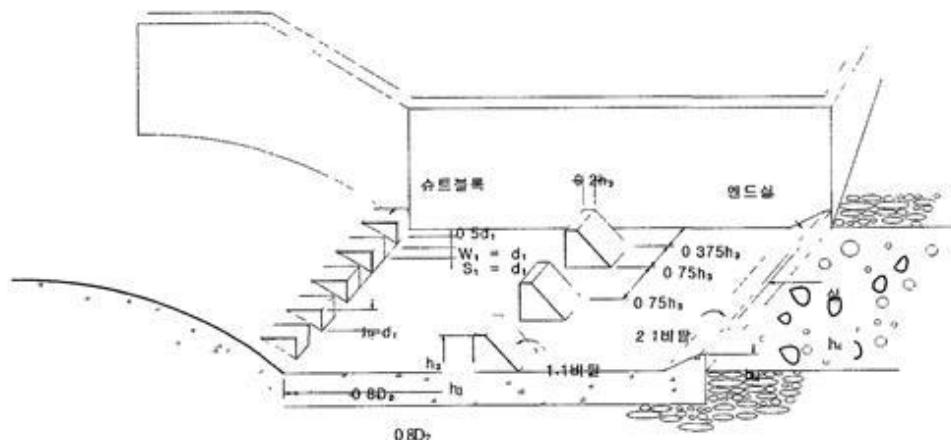
② IV 형 정수지 : <그림 9.11>의 IV 형 정수지는 후루드수가 2.5 ~ 4.5 사이이며, 낮은 수두로서 단위 폭당 유량이 클 때의 사류를 감세하는 데 적합하다. 그러므로 비교적 높이가 낮은 필댐, 낙차공 등의 감세공으로서 사용된다. 이 정수지는 수류를 분산시키는 데는 비교적 유리하나 수류의 동요에 의하여 전파된 파랑작용을 완전히 약하게는 할 수 없다. 도수는 파랑작용을 멀리 퍼지게 하는 경향이 있기 때문에 정수지 안의 수심은 계산된 도수심 보다 약 10% 깊게 해야 한다.

③ III 형 정수지 : <그림 9.12>의 III 형 정수지는 후루드수가 4.5 이상이며, 낮은 수두, 적은 유량(단위폭당 유량 $18.5 \text{ m}^3/\text{s}$, 유속은 18m/s 이하)의 경우에 적용되는 형식으로서 슈우트 블럭(chute block), 배플 블럭 및 엔드 실(end sill) 등을 설치하여 도수의 길이를 감소시키는 동시에 안정시키는 형식이다. 소규모 필댐의 물넓이 감세공으로서 많이 사용된다.

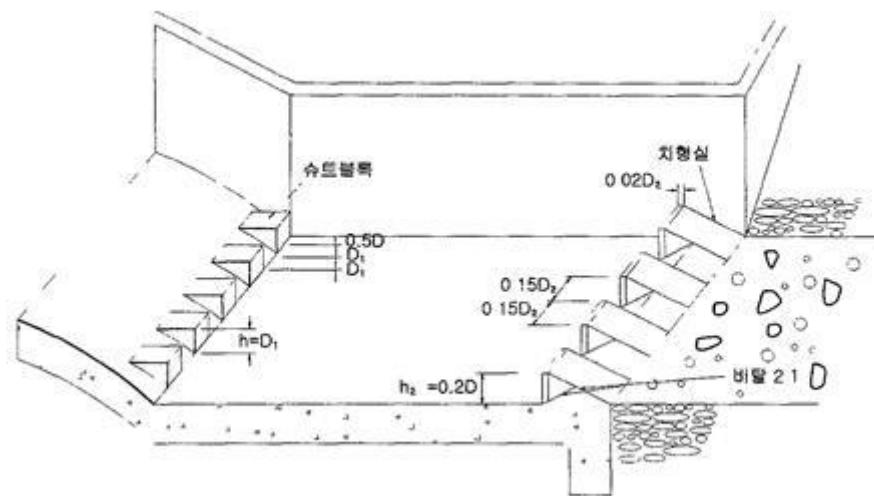
④ II 형 정수지 : <그림 9.13>의 II 형 정수지는 후루드수가 4.5 이상이며, 높은 수두, 많은 유량(유속이 18.5m/s 이상)의 경우에 적용된다. 슈우트 블럭과 치형의 엔드 실은 정수지의 길이를 짧게 하는 데 효과가 있으나 도수가 소산되는 데 대한 안전성이 저하되었기 때문에 정수지의 수심은 계산된 도수깊이 보다 약 5% 더 커야 한다. 이 형식의 정수지는 높은 필댐의 여수로 감세공으로서 널리 사용된다.



<그림 9.11> IV 형 정수지



<그림 9.12> III 형 정수지



<그림 9.13> II 형 정수지

- ⑤ 사아프형 정수지 : 미네소타대학과 미국 농무성 농지보전국에서 공동으로 제안된 것으로 $F = 1.7 \sim 2.7$ 과 같은 작은 구조물에 사용된다. 이 경우에 $LB = 4.5 D_2 / F_{\{r1\}}^{0.76}$ 를 사용한다. 엔드실의 높이는 $C=0.07D_2$ 이고 하류수심 D_2 '에 대해서 다음 식을 사용한다.

$$F_r = 1.7 \sim 5.5 : D_2' = (1.10 - F^2 / 120)D_2 \quad (9.20 \text{ a})$$

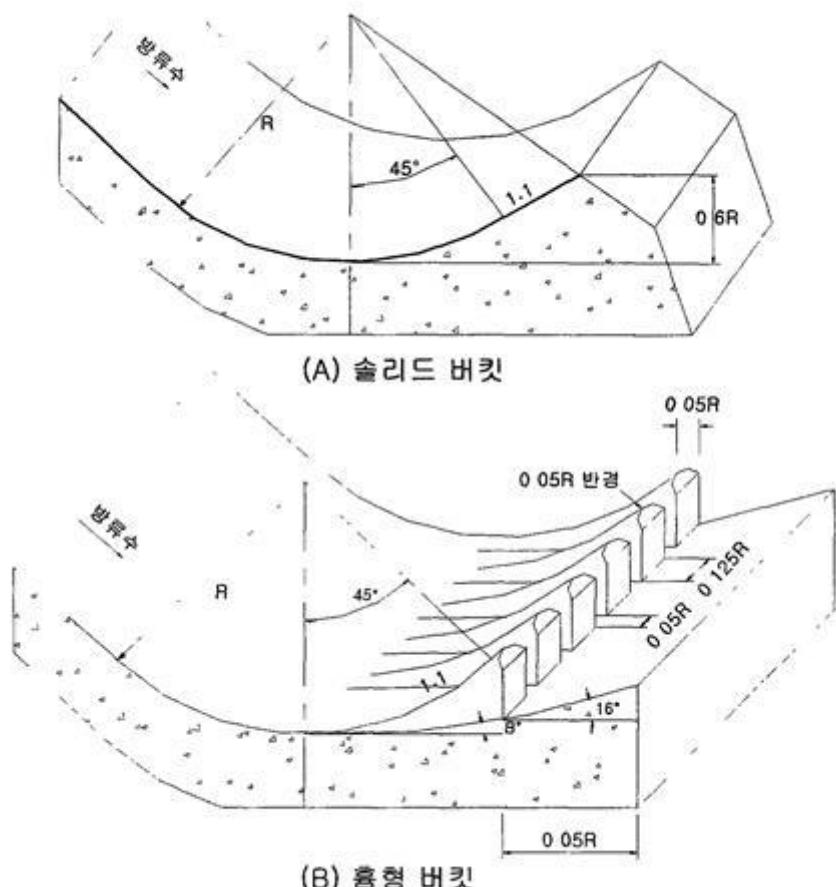
$$F_r = 5.5 \sim 11 : D_2' = 0.85D_2 \quad (9.20 \text{ b})$$

$$F_r = 11 \sim 11 : D_2' = (1.00 - F^2 / 800)D_2 \quad (9.20 \text{ c})$$

여기서, LB : 정수지의 길이

D_2' : 정수지의 수평바닥에서 하류수면까지의 높이

D_2 : 도수깊이



<그림 9.14> 잠수 버켓형 감세공

(3) 잠수 버켓형(submerged bucket) 감세공

(가) 이 형식의 감세공은 수막을 비탈면에 따라 수중으로 관입시켜서 수중에서 이를 반전 하류쪽에 전동류(轉動流, roller)를 생기게 하고 이 전동작용에 의하여 감세하는 방법이다. 이 종류의 감세공은 그 감세의 특성상 깊은 하류수심의 경우에 응용된다.

(나) 이 형식의 감세공은 하류수심이 도수후의 수심보다 클 때에 잠수된 버켓형의

전향장치(轉向裝置)를 써서 흐름의 높은 에너지를 분산시킨다. 이 형식에 있어서도 여러 가지 설계방침이 제안되어 있으나 세부설계의 확정에 있어서는 모형실험에의해서 그 작용상태, 하류 침식상태를 확인해야 한다.

(다) 잠수 버킷의 형식에는 <그림 9.14>에 도시한 2종류의 것이 있다.

9.7 배수공과 유목받이

9.7.1 배수공

(1) 여수로의 조절부 커튼 그라우트(curtain grout)의 하류부 및 급경사수로 측벽의 내부에는 배수구를 설치해서 침투수를 안전한 위치까지 토수하여 방류시켜야 한다. 급경사수로 굴착 사면의 빗물이 측벽마루의 뒷면에 침입하지 않도록 배수장치를 만들어야 한다.

(2) 산사면의 침투수가 조절부로 스며드는 것을 방지하고 저수지 안으로 부터의 침투를 막기 위해서 커튼 그라우팅을 하여 조절부 하류의 구조물에 유해한 양압력을 최소한으로 억제해야 한다. 그러나 그라우트공 만으로는 완전한 지수는 기대하기 어려우므로 커튼 그라우트 이하의 침투수를 배수공에 의해서 완전하게 배제하며 양압력이 일어나지 않도록 설계해야 한다.

(3) 여수로의 측벽에는 물빼기 구멍 또는 횡단배수공을 설치하고 바닥 라이닝 하부에는 바닥배수공을 설치해서 압력의 경감을 도모한다. 여기서 간선 배출구가 한 줄이면 시공이 잘 되지 않았거나 혹은 다른 원인으로써 폐쇄될 경우가 있으므로 간선배수관은 적어도 두 줄 이상으로 하여 서로 연결시켜야 한다.

(4) 배수관의 출구는 고속류의 콘크리트면에 직접 노출시키지 말고 여수로 끝의 유속이 느린 곳으로서 퇴사에 의한 배수의 장해가 일어나지 않는 곳 또는 급경사수로 측벽의 계획수면 보다 높은 곳에 설치한다.

(5) 측벽에 물빼기 구멍이 있다고 해서 측벽마루에서 빗물의 침입을 허용해서는 안된다. 물빼기 구멍의 능력은 보통 작아서 빗물이 침입하면 측벽에 예측하지 않은 수압이 걸려서 파괴의 원인이 되기 때문이다. 측벽마루의 소단은 반드시 점토, 콘크리트, 아스팔트 등으로 빗물이 침입하지 않도록 보호해야 한다.

(6) 급경사수로 측벽에 흐름을 방해할 수 있는 배수공을 설치하지 않는 것이 바람직하며 배면의 배수는 표면차단과 내면배수를 설치하여 급경사수로 바닥과 연결하는 2 가지 방법으로 처리하는 것이 바람직하다.

9.7.2 유목받이

(1) 유목, 흙·모래 등의 유입에 의해서 여수로가 손상되던가 폐쇄될 우려가 있을 경우에는 이러한 피해를 방지하기 위해서 접근수로 또는 그 상류에 적절한 시설을 해야한다.

(2) 수문식 여수로나 터널식 여수로의 경우는 특히 이러한 위험성이 많으므로 방호책에 필요하다.

터널의 경우 유목이 들어갔을 때도 피해를 적게 하기 위해서 가급적 평면적으로는 직선으로 하고 종단방향의 만곡도 가능한 한 느리게 험이 좋다.

(3) 유목밭이 종류는 월류웨어에서 좀 떨어진 곳에 검불막이를 세우거나 상류에 띄운 통나무 또는 드럼통을 연결한 것을 가로질러서 방지하는 방법 등이 있다. 그러나 이것들이 불안정하고 불확실한 것이면 도리어 재해를 발생시킬 수도 있다.

(4) 유목밭이 스크린의 눈살 간격이 너무 작으면 수위를 상승시키게 된다.

9.8 방류관

9.8.1 형식의 선정

(1) 방류관은 여수로 월류마루 이하의 저류수를 가능한 한 단시간에 안전하게 배제시킬 수 있는 구조물로서 큰 댐의 경우 반드시 설치한다. 방류관의 형식은 유량조건, 압력조건, 제체 및 유량조절 구조물의 구조조건, 방수 처리상의 제약, 지형조건 및 유지 관리상의 문제를 고려해서 선정한다.

(2) 방류관은 관내의 유황이 전길이에 걸쳐 관수로 흐름이 되는 전관수로형과 관의 도중에서 단면이 확대되어서 개수로 흐름으로 되는 반관수로형으로 나눌 수 있다. 이형식의 선정에 있어서는 다음과 같은 사항을 고려해서 결정해야 한다.

(가) 방류에 필요한 최저수위와 방류관에 필요한 방류능력

(나) 유입구와 바닥 높이와 최대 수두

(다) 관내 유황의 안전성

(라) 감세처리의 필요성과 그 방법

(마) 제체의 내부응력

(바) 월류 여수로와의 배치관계 및 물받이 나비

(사) 장래 예상되는 퇴사면 형상

(아) 예상되는 조작상황과 그 도수 및 조작불능의 가능성

(자) 수문의 형식과 위치

(차) 수문의 제작 및 제체 시공상의 문제

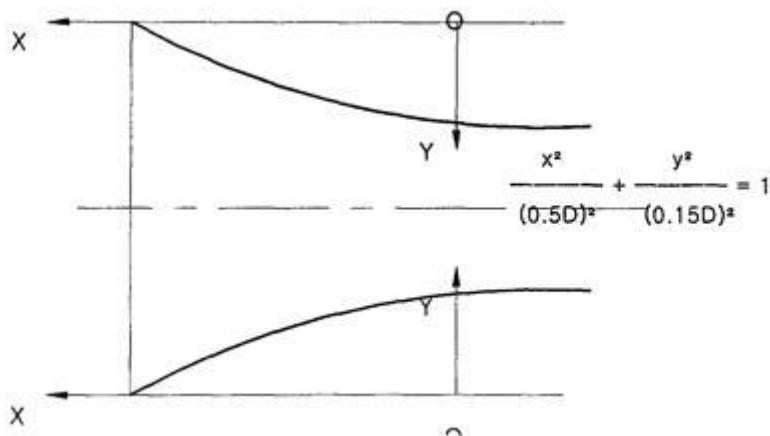
(카) 유사, 유목의 가능성

9.8.2 유입구의 형상

- (1) 방류관 유입구에는 위험한 공동현상이 일어나지 않도록 적당한 나팔형으로 해야 한다. 공동현상에 대하여 허용부압은 0.3kgf/cm^2 이내로 한다.
- (2) 나팔형은 가급적 실험에 의해서 결정함이 좋다. 나팔형에 실험곡선이 사용될 경우에는 방류관 단면형상에 관계없이 타원곡선을 사용할 수 있다.
- (3) 원형방류관의 나팔형입구는 자유사출(自由射出) 수맥의 궤적과 같거나 이보다 약간 작은 형상을 취한다. 입구의 수두 등의 기타조건에 따라 변화하지만 일반적으로 타원곡선을 선택한다.

$$X^2 / (0.5D)^2 + Y^2 / (0.15D)^2 = 1 \quad (9.21)$$

여기서, X 축은 방류관의 중심축과 평행하고 중심축에서 $0.65D$ 떨어진 지점에 위치하며, Y 축은 방류관의 중심축과 수직이고 나팔형 입구면에서 $0.5D$ 만큼 하류쪽으로 떨어진 지점에 위치한다. D는 나팔형 입구 타원곡선이 끝나는 지점의 방류관의 직경이다.



<그림 9.15> 점축류 입구의 형상

- (4) 정사각형 또는 직사각형 입구에서 분사되는 분사류(jet)의 형상은 입구가 원형인 경우처럼 쉽게 정의할 수 없으며, 상.하면의 곡선이 측면곡선과 상이한 경우가 대부분이다. 따라서 공동현상을 일으키는 대기압보다 낮은 압력이 발생되는 것을 방지할 수 있도록 입구곡선을 결정하는 것은 매우 어려운 일이나, 이 경우에도 원형방류관의 나팔형 입구와 같이 타원곡선이 부압의 영향을 최소화할 수 있기 때문에 통상 다음과 같은 타원곡선을 사용한다.

$$X^2 / D^2 + Y^2 / 0.33D^2 = 1 \quad (9.22)$$

여기서, D : 상하면 곡선을 결정하는 경우에는 방류관의 연직 높이이고, 측면곡선을 결정하는 경우에는 급경사수로의 횡방향 폭을 의미

X 축과 Y 축 : 원형 방류관의 경우와 동일

(5) 나팔형의 곡선을 사용하고 원활한 원호를 불인대해도 단면의 높이가 3.0m 이상, 입구의 수두가 25m 이상인 경우에는 공동현상의 발생이 예상되므로 출구로 향해서 단면을 축소하는 등의 방법을 고려해야 한다. 단, 직관부 하류로 하향의 만곡관이 있을 경우 혹은 경사방류관 등으로서 입구와 출구와의 표고차가 있을 경우에는 그것에 적응한 단면축소가 일어나 이것과 겸하여 검사항이 좋다.

9.8.3 공동현상

(1) 방류관의 형상은 소정의 방류능력을 확보하고, 또 위험한 공동현상이 발생하지 않아야 한다. 공동현상에 대한 안전성에 대해서는 가급적 실험에 의해서 확인함이 좋다.

(2) 이 공동현상의 발생을 방지하려면 방류관 출구부근의 관 단면적을 점축시킴과 아울러 문틀ーム, 트랩(trap)안 및 트랩과 제체 하류면 연속부 부근 등 국부적으로 부압이 발생하기 쉬운 곳에 통기공을 설치할 수 있다.

9.8.4 반관수로형 방류관의 개수로부

(1) 반관수로형(半管水路型) 방류관의 개수로부는 공동현상의 발생을 피하는 형식을 취하고 또 유적의 증대에 대해서 지장이 없는 단면을 가져야 하며 개수로의 시점에는 개수로의 흐름에 필요한 공기구멍을 설치한다.

(2) 반관수로형 방류관에서는 관수로부와 개수로부와의 사이에 일반적으로 조절용 수문이 설치되어 하류의 흐름은 고속의 개수로 흐름이 되므로 이 바닥면은 최대유량일때의 수막자유낙하곡선을 설계의 기준으로 한다. 또 개수로 흐름의 수면은 공기의 혼입에 의해서 심한 융기를 나타내므로 출구단면은 상하로 확대할 필요가 있다. 단면설계의 기준으로서는 개수로의 시점단면 높이는 관수로 높이의 1.5~2.0 배, 개수로의 윗 벽면의 종단곡선을 원호로 할 때는 그 곡률반지름은 밑면 반지름의 1.5~2.0 배로 해서 하류로 향해서 단면을 확대할 필요가 있다. 그 외에 수문의 진동을 고려해서 개수로 흐름이 발생하는 것을 확보하기 위하여 개수로시점에는 충분히 큰 용량을 가진 공기구멍을 만든다.

(3) 공기구멍의 설계는 방류관내의 허용부압수두를 1.5~2.0m 수주로 잡고 공기관내의 풍속을 45m/s 이하로 하는 것을 기준으로 한다. 또 공기관내의 풍속에 따라서는 관내의 바람소리나 진동을 유발해서 불쾌감이나 불안감을 주므로 주의해야 한다.

9.8.5 고압수문 및 밸브

(1) 방류관의 고압수문 또는 밸브는 유량조건, 압력조건, 댐의 형식 및 방류관의 구조유지 관리상의 문제 등을 고려해서 선정하고 예비수문을 설치해야 한다. 이 기준에서 말하는 고압수문 또는 밸브라함은 수두 25m 정도 이상 및 방류량 $5 \text{ m}^3/\text{s}$ 정도 이상의 것을 말한다.

(2) 고압수문 및 밸브의 기능으로서 가장 중요한 것은 필요한 유량을 안전하게 방류할수 있는 동시에 고수압에서의 개폐가 확실히 되어야 한다. 모든 급경사수로의 고압수문 및 밸브는 이 목적에 부합되는 것이나 그 구조, 기능 및 수리학상의 특성에 대해서는 많은 점에서 광범한 상이성이 있다. 이 때문에 형식의 선정에는 다음 사항을 고려해야 한다.

- (가) 방류관의 목적 및 사용빈도
 - (나) 방류관의 구조
 - (다) 댐의 형식 및 고압수문 또는 밸브의 위치
 - (라) 방류량
 - (마) 조작수두
 - (바) 조작 및 설치상의 문제
 - (사) 하수(河水)의 성질(흙모래 또는 산의 향유량, 유목(流木)의 가능성)
 - (야) 조작 및 관리의 확실성
- (3) 수두가 25m 미만 혹은 방류량 $5 \text{ m}^3/\text{s}$ 미만의 수문 또는 밸브의 선정에 있어서는 그 수두에 맞추어서 설계한다.
- (4) 주수문 또는 밸브에 고장이 생겼을 때 그 수선을 하기 위해서 예비수문을 설치해둘 필요가 있다.

9.9 수문

9.9.1 수문(水門)의 선정

- (1) 여수로 수문은 다음 사항을 고려해서 선정해야 한다.
 - (가) 수암, 빙암, 지진, 토암, 기타의 외력에 대하여 충분히 견고할 것.
 - (나) 개방시에 수류를 저해치 않도록 충분한 경간과 권양고를 가지며, 또한 개폐운전은 용이, 신속, 확실할 것.
 - (다) 충분한 수밀성을 가지고 있을 것.
 - (라) 경제적이고 내구성이 있으며 수리, 검사가 용이할 것.
 - (마) 흉수의 상승속도에 대응되는 조작이 가능할 것.
 - (바) 요구되는 흉수위 조절의 정확도를 가지고 있을 것.
 - (사) 하천의 유하 부유물, 유목(流木) 및 자갈, 모래의 유입에 대하여 안전할 것.
- (2) 수문에는 여러 종류의 형식이 있으나 대규모의 댐용으로서는 조작이 확실하고 유지와 수리가 편리하며, 수밀이 확실한 점 등의 이유 때문에 인양식 수문(lift gate), 전동식 수문(rolling gate),

테인터 수문(tainter gate), 드럼 수문(drum gate) 등을 사용한다.

9.9.2 수문 설계

(1) 수문 권양기에는 비상용으로 예비동력 설비를 설치해야 한다. 또한 수문의 사고를 고려하여 주 수문은 2개 이상으로 해야 한다.

(2) 수문 구조의 원칙

① 댐의 수문(밸브를 포함)은 확실히 개폐되고, 또한 필요한 수밀성 및 내구성을 갖는 것으로 한다.

② 댐 수문의 개폐장치는 수문의 개폐를 확실히 할 수 있는 구조로 한다.

③ 댐의 수문은 예상되는 하중에 대하여 안전한 구조로 한다.

④ 수문이 있는 여수로에는 예비수문, 축구 등의 대체설비 이 외에 별도로 특별한 예비 여수로를 둘 필요가 있다. 그러나 댐의 보수를 할 경우에 저수지 수위저하를 쉽게 할 가능성이 있을 때는 예비수문을 설치할 필요가 없다.

(가) 댐의 여수로 등의 방류설비에 설치된 수문(밸브)에 사고가 발생하면 방류설비의 유하능력을 작게 하여 저수지 수위의 이상수위 상승을 초래하고, 특히 출수시의 수문(밸브) 조작 중에 사고가 발생하면 댐의 제체에서의 월류의 위험이 있고, 치명적인 피해를 야기시킨다. 또 하류에 대해서도 이상 출수를 가져와 하안 등에 피해를 주거나 이수목적의 취수가 곤란하게 된다. 이런 것에 대처하기 위한 수문(밸브)의 구조 설계시 수문의 개폐신뢰도 확보에 충분히 주의를 해야 한다.

(나) 수문이 파랑 등에 의한 월파에 대해서도 안전한 구조이기 위해 여수로의 월류형 수문에 대해서는 그 수문 본체의 높이를 수직인양 형식에 대해서는 계획홍수위에 30 cm를, 래디얼(radial) 형식에 대해서는 50 cm를 추가한 수치 이상의 높이로 하고 있다.

(다) 수문(밸브)의 개폐를 확실히 할 수 있는 구조로 하기 위하여 특히 수문(밸브)의 개폐장치에 유의하여 규정을 두고 있다. 출수시 송전계통 등에 사고가 생겨도 확실히 소정의 조작이 가능하도록 수문(밸브)의 개폐장치에는 상용하는 주동력설비외에 예비동력 설비를 설치하는 것으로 하고 있다. 수문의 규모가 적고 수동으로 조작하여도 확실하게 개폐할 수 있을 때는 예비동력 설비를 대신하여 수동개폐기구를 설치할 수 있다.

(라) 월류형 여수로의 상시만수위 이하의 여수로 단면에는 하천 관리상 여수로의 수문을 개방할 필요가 생길 경우 그의 대응이 쉽도록 예비의 수문을 설치하고 또는 수문의 부설고와 상시한수위의 수두가 작을 때는 이것에 대체하는 물빈지(각락)의 수문받이 등을 설치해 두는 것이 좋다.

(3) 월류형 여수로의 인양식 수문을 최대로 인양할 때에 수문의 하단 및 월류형 여수로에 부속되어 설치된 다리, 권양기 기타 댐마루 구조물은 최대 홍수위에 해당하는 유수의 월류수면에서 1.5m 이상의 거리를 두는 것으로 한다. 단, 월류수심이 2.5m 이하인 경우에는 월류수면에서 1.0m 이상의 거리를 두는 것으로 충분하다.

(4) 댐의 수문에 작용하는 하중으로는 수문의 자중, 저류수에 의한 정수압, 저수지내에 퇴적하는 이토에 의한 힘, 저류수의 빙결시의 힘, 지진시 수문의 관성력 및 동수압, 수문의 개폐에 의하여 생기는 힘을 고려해야 한다.

9.10 수리모형실험

(1) 여수로의 방류능력 및 방류수가 구조물이나 하류 하상에 미치는 영향에 대해서 수리학적 이론 및 공식, 기존의 모형실험 결과 및 실측자료에 의하여 신뢰할 만한 판단을 할 수 없는 경우에는 수리모형실험을 실시하여 구조물에 대한 각종 수리량 자료를 실측하여 설계에 대한 검토와 재해의 미연 방지책을 강구해야 한다.

(2) 수리모형 실험을 필요로 하는 문제점들은 다음과 같다.

(가) 여수로 위치, 형식의 선정과 기능의 검토

(나) 여수로 조절부의 흉수 배제능력의 검토

(다) 여수로 급경사수로의 선형과 단면형상의 결정

(라) 감세공의 감세기능

(마) 하류하천의 유황과 보호대책의 검토

(3) 수리모형 실험에는 일반적으로 다음과 같은 자료가 필요하다.

(가) 수문자료

(나) 댐계획 일반평면도

(다) 댐 및 여수로의 구조도

(라) 여수로 설계자료(특히 수리계산서)

(마) 하류하천의 종·횡단 평면도

(바) 하류하천의 흉수흔적 등의 자료

(사) 여수로 하류부근의 지질구조도

(아) 여수로 및 감세공의 형식에 대한 현지의 제약조건

(4) 실험결과의 판정에 대하여도 상사율에 있어서의 생략된 물리성질, 모형과 실물과의 경계조건의 상위 및 측정의 정밀도를 고려해야 한다. 모형실험은 구체적인 수리현상의 모습이 재현된다는 점에서 유효한 수단이나 그 결과를 구조물에 적용할 경우에는 주의를 요한다. 즉, 여수로의 실험에서 적용되는 프루드의 상사율은 중력 이외의 영향은 무시하기 때문에 점성에 의한 변형 및 표면장력의 영향에 대한 고려가 필요하다. 따라서 각종의 수리현상 중에서 모형실험에서 해명되는 것과 안되는 것을 올바르게 판별하고, 필요에 따라서 보정해야 한다.

9.11 어도

9.11.1 어도 설계시 고려사항

(1) 댐 건설시 어도설치의 목적은 유용한 수산자원의 보호와 자연생태계의 보전을 위하여 회유성 어류들의 이동이 가능하도록 하여 물고기가 살기 좋은 하천의 상태를 유지하도록 하는데 있다.

(2) 댐에 설치되는 어도의 경우 수산자원의 보호적인 측면보다 자연생태계의 보전적인 측면이 강하므로 대표어종에 한정치 말고 가능한 서식하는 물고기들이 사용할 수 있도록 어도 형식을 결정해야 한다.

(3) 어도 설계시 고려해야 할 좋은 어도의 조건은 다음과 같다.

(가) 소상어가 어도의 입구 이외의 장소에 모여들지 않아야 한다.

(나) 어도의 입구에 모인 모든 소상어가 신속하게 어도에 들어갈 수 있어야 한다.

(다) 어도내에 진입한 모든 소상어가 신속하고 · 쉽고 · 안전하게 그 어도를 소상할 수 있어야 한다.

(라) 어도 통과후에 소상어가 안전하고 신속하게 하천상류로 소상할 수 있어야 한다.

(마) 어류의 손상이나 피로를 피할 수 있어야 한다.

(바) 구조가 간단하고 견고하며, 유지관리가 쉽고 비용이 절감될 수 있어야 한다.

(4) 어도시설의 성격은 어류를 신속히 소상시키는 것이며 좋은 어도를 만들기 위해 어도내부를 좋은 서식환경으로 만드는 것은 잘못된 것이다. 좋은 서식환경은 어도의상, 하류에 확보하도록 하고 어도는 단순히 그 서식환경을 연결하는 역할을 하도록 해야한다.

(5) 어도의 기능에 영향을 미치는 댐 하류부 하상저하를 충분히 반영할 수 있는 어도설계가 되도록 어도설치 댐 하류부의 하상변동 또는 어도 하류부 국부세굴에 대한 검토를 해야한다.

9.11.2 어도의 형식

(1) 어도 설계시 어도형식의 선정에 있어서는 각 어도의 특징을 충분히 검토하고 다음조건에 적합한 형식을 선정해야 한다.

(가) 대상으로 하는 하천유량, 수위의 범위

(나) 어도의 유량

(다) 대표어종의 소상능력의 한계치

(라) 입지조건 및 경제적 조건

(마) 설치대상 댐의 특수성

(바) 유지보수 등

(2) 어도의 다양한 형식에 따른 특징을 참작하여 주요 상황별 어도 선택시 참고사항을 비교한 내용은 <표 9.1>과 같다.

<표 9.1> 상황별 어도 형식 선정시 참고사항

구 분	풀식 어도		수로식 어도		오퍼레이션식 어도		
	계단식 (전면)	아이스 하버식	버티칼 슬롯식	잠공식	엘리베 이터식	리프트 식	볼랜드 식
어도 용수량	×	×	△	○	○	○	○
이용 어종의 다양성	×	×	×	△	○	○	○
어류소상의 자연성	◎	◎	○	○	×	×	×
댐 저수지의 수위변동	×	×	×	×	○	○	○
댐 하류 하천의 수위변동	×	×	○	○	○	○	○
총 수위차가 클 때 설치	×	×	×	×	○	○	○
유지관리비	△	△	△	△	×	×	×
경관 및 친수성	×	△	×	×	×	×	△
조류 피해방지 용이성	×	×	○	○	○	○	○
완공된 댐에 설치 가능성	×	×	×	×	○	○	×
휴식 풀의 필요성	유	유	유	유	무	무	무

(3) 일반적으로 어도의 종류 및 형식은 다음과 같이 분류할 수 있으며, 댐의 경우 상하류의 수위차가 커서 수로식 어도나 오퍼레이션식 어도의 갑문식, 피시점프식 여도와 하이브리드식 어도 등은 실제로 댐에 적용이 어려우므로 제외하였다.

(가) 풀(pool)식 어도 : 계단식 어도, 아이스하버(ice harbor)식 어도

(나) 수로식 어도 : 버티칼 슬롯(verEcal solt)식 어도, 데닐(denil)식 어도, 횡구배돌붙임

(다) 오퍼레이션(operation)식 어도 : 엘리베이터식 어도, 리프트(lift)식 어도, 갑문식 어도, 피시펌프(fish pump)식 어도, 볼랜드(holland)식 어도

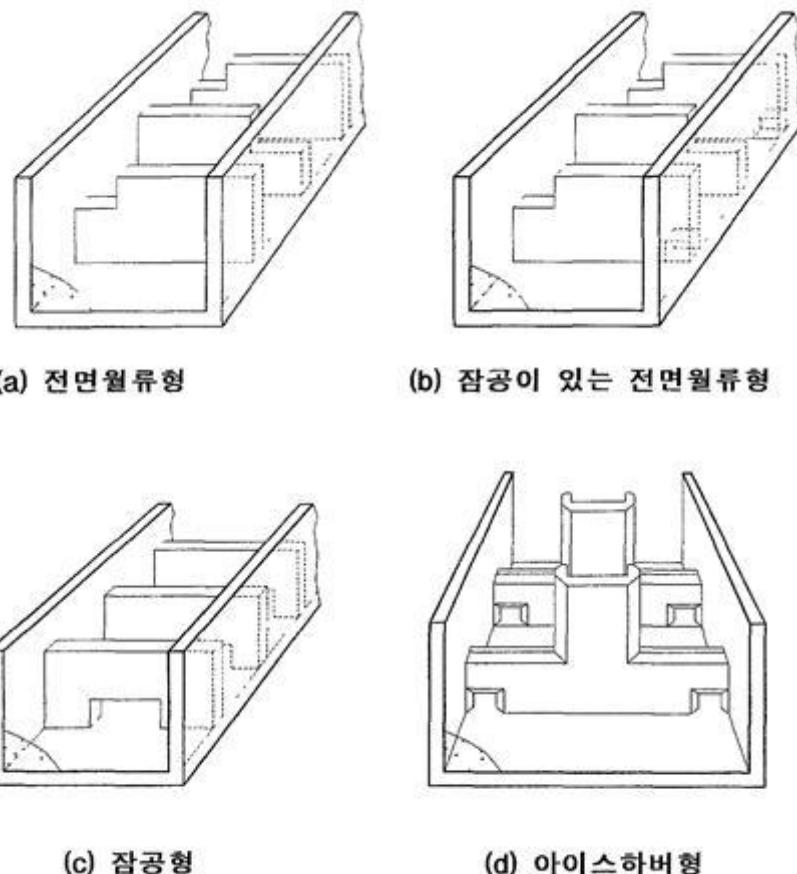
(라) 하이브리드(hybrid)식 어도 : 직선형, 지그재그(zig-zag)형 등이 있다.

(4) 풀식 어도 : 풀식 어도는 어도 내의 격벽에 의하여 풀이 형성되고 흐름은 이 격벽에서 일시 정체되었다가 격벽을 월류하거나 격벽 하부에 있는 잠공(orifice)을 통하여 흐르는 어도 형태이다.

(가) 풀식 어도 설계상의 유의점

- ① 각 풀마다 수리조건이 동일해야 한다.
- ② 통과경로의 최대유속단면의 유속은 대표어종의 돌진속도 이하라야 한다.
- ③ 통과경로의 최소수심은 체고의 1.2 배 이상이 필요하다.

- ④ 통과경로의 최소폭은 체장의 1/2 이상 필요하며, 체장 정도로 확보하는 것이 바람직하다.
- ⑤ 각 풀에는 항상 휴식장소가 확보되어 있어야 한다. 단 풀 내에 소상어가 장기적으로 체류하는 상태는 좋지 않다.
- (나) 계단식 어도 : 계단식 어도는 수로내에 풀과 웨어가 하나의 기본형을 이루며 이것이 연속적으로 반복된다. 이러한 어도는 전면월류형 계단식과 부분월류형 계단식으로 분류되며 잠공을 설치하는 경우와 잠공이 설치되지 않는 경우로 구분할 수 있다.
- (다) 아이스하버식 어도 : 아이스하버식 어도는 격벽에 비월류부를 설치하고 월류부 바닥에 비교적 큰 잠공을 설치하는 구조로 되어 있다. 돌기(hunch)가 설치되어 있다. 어도의 하부에 설치된 잠공의 유속은 수심에 관계없이 풀 사이의 수위차에 의해 결정된다.



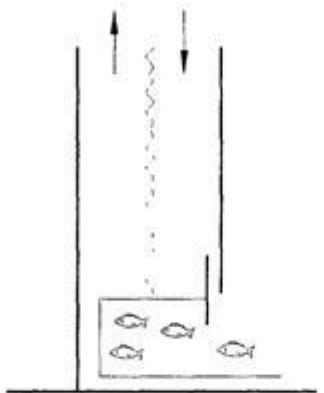
<그림 9.16> 풀식 어도의 형태

- (5) 오퍼레이션식 어도 : 어류가 자력으로 소상하기 어려운 경우에 소상하는 것을 도와줄 수 있도록 인위적으로 시설을 한 어도이다. 이는 어도내에 흐름에 무관하게 어류가 소상할 수 있도록 여러 가지 장치를 한 어도이며 이 장치의 작동에 따라 어류가 상류로 또는 하류로 이동한다.

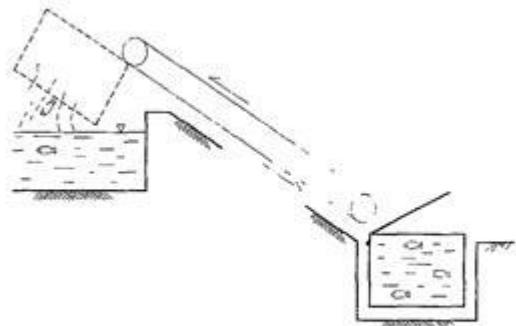
(가) 오퍼레이션식 어도의 설계상 유의점

- ① 오퍼레이션식의 특징
- ② 집어방법에 따라서는 어종에 관계없이 설치할 수 있다.

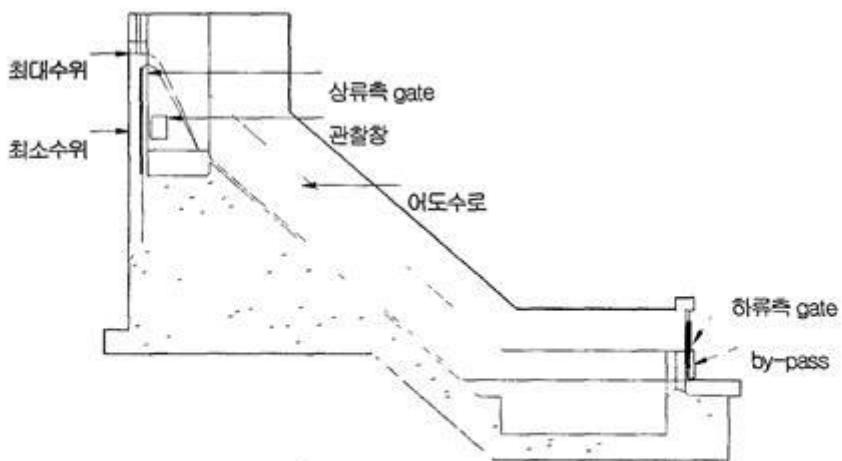
- ④ 상하류의 수위변동에 관계없이 설치할 수 있다.
 - ⑤ 어도를 위한 유량(유인수 포함)이 적을 때도 설치할 수 있다.
 - ⑥ 증수시에 유수의 피해를 주지 않는 구조물로 할 수가 있다.
- ② 설치장소, 집어방법, 집어장소, 유량의 이용방법, 상류담수지로의 방류방법 등을 충분히 검토해야 한다.
- ③ 물고기의 어도 출입시 어류의 손상을 일으키기 쉬우므로, 손상을 방지하는 검토도 필요하다.
- (나) 엘리베이터식 어도 : 낙차가 큰 구조물에 설치되는 것으로서 어류가 제 힘으로 이동할 수 없는 경우에 이용된다. 즉, 엘리베이터 상자에 어류를 모이게 한 후 이를 수직상방으로 들어올리는 구조이다. 이 형식은 높이가 높은 댐에 적합하다.
- (다) 리프트식 어도 : 엘리베이터식 어도와 같은 원리로 물고기를 댐 사면이나 주변의 경사면을 따라 설치된 레일을 따라 저수지 상부까지 들어올려 저수지에 방류하는 방식으로 댐이 완공된 후에도 적은 비용으로 설치할 수 있다.
- (라) 볼렌드식 어도 : 상하류의 수위차가 큰 경우 댐 상, 하류단에 각각 수조 및 수문을 설치하여 상, 하류의 수문조작에 의해 어류의 이동을 가능케 한 일종의 갑문식어도이다.



(a) 엘리베이터식 어도



(b) 리프트식 어도



(c) 블렌드식 어도

<그림 9.17> 오퍼레이션식 어도의 형태

9.11.3 어도의 설계조건 설정

(1) 어도의 기능 및 설계조건을 결정하기 위한 어류의 생태학적 연구는 현재 매우 빈약한 실정이며 일본 中村後六(1993)의 소상어 유영에 관한 정리를 보면 다음과 같다.

(가) 제 1 정리 : 물고기는 그 체장에 상당하는 길이밖에 흐름을 인식하지 못한다.

보조정리 - 따라서 충분히 크지 않은 순환에 대해서는 그것을 순환이라고 인식하는 것은 곤란하다.

(나) 제 2 정리 : 물고기는 공격, 도피, 급류소상 등의 긴급시기 이외에는 보통근을 사용하지 않는다.

보조정리 - 순항속도(헬압근 사용) = $2\sim3BL/\text{초}$, 돌진속도(보통근 사용) = $10BL/\text{초}$

(다) 제 3 정리 : 물고기가 꼬리치는 폭은 체장의 반을 넘지 못한다.

보조정리 - 따라서 체장의 1/2 폭의 통로가 있으면 가능하다.

(2) 어류가 어도를 통하여 소상하기 위한 전제조건은 다음과 같다.

(가) 어도내 최대유속이 어류의 돌진속도보다 작을 것

(나) 흐름이 안정되어 어류가 쉽게 피곤하지 않고 유영할 수 있을 것

(다) 어류가 어도내에서 휴식을 취할 수 있는 적당한 공간이 있을 것

(라) 수심이 충분히 확보되어 어류의 유영능력을 최대한 발휘할 수 있을 것

(3) 어도에서 어류의 소상에 필요한 유량은 많을수록 좋으나 댐의 설치목적이 대부분 용수공급에 있기 때문에 무효방류가 최소화되는 범위에서 어도내 어류의 소상을 위한 최소유량을 결정할 필요가 있다.

(가) 최소유량은 소상어류의 종류에 따라서 달라지게 되며 어도내 최소 유지유량은 회유성 어류의 소상가능 최소유량과 소상촉진 최소유량으로 파악되어야 한다. 어류소상에 필요한 어도 기능유지 최소유량은 소상촉진 최소유량으로 한다.

(나) 어도 내에서 최소한의 유속이 있을 때 어류가 소상의욕을 갖게 된다. 어도내 흐름의 최소수심은 어도형태에 따라서 달라지나 수로식인 경우에는 최소한 체고 이상으로 하고 풀식인 경우에는 도약에 필요한 수심이 되어야 한다.

(다) 하천유지유량은 어도 하단 웅덩이와 어도 입구부간의 연결상태가 양호하게 되고 저수로변 수초의 어류 휴식공간 기능을 할 수 있도록 해야 한다. 저수로의 수심은 소상어류 체고의 1.2 배 이상이어야 한다.

① 회유성 어류의 이동에 필요한 최소수심은 저수로에서 회유성 어류의 체고의 1.2 배로 하고, 최소폭은 체장의 1/2 정도이나 수변식물의 서식과 저수로변 경사 등을 고려하여 체장으로 한다. 따라서 어류이동에 필요한 최소유수단면적 A_{mn} 은 다음 식과 같이 된다. 다양한 어류 중에서 체장과 체고는 가장 큰 회유성 어류를 기준으로 한다.

$$A_{mn} = 1.2H_f \times B \quad (9.23)$$

여기서 B : 체장, H_f : 체고

② 하천생태 기본유량 결정을 위한 유속 V_{cr} 은 안전측으로 보아 회유성 어류 중에서 가장 유영력이 좋은 어류의 순항속도를 적용하여 다음 식과 같이 구한다.

$$Q = A_{mn} \times V_{cr} \quad (9.24)$$

(3) 어도의 폭 : 어도의 폭은 어도의 경사와 함께 어도의 규모 결정시 가장 중요한 인자로서, 일반적으로 댐에서 방류할 수 있는 유량(통수량)과 어도를 이용해서 소상하는 어류의 종류 및 크기를 고려해서 결정한다. 어도의 폭은 최소한 평수기의 유량을 모두 어도로 유하할 수 있을

정도를 추천한다. 일반적으로 어도의 폭이 전체 댐길이의 1~15%의 범위에 들도록 계획한다.

(4) 어도의 길이 : 어도의 길이는 저수지의 높이와 경사에 의해서 결정되나, 길이가 너무 긴 경우 소상어류의 파로를 초래하므로 이에 따른 중간 휴식터 등을 추가해야 한다.

(6) 어도의 높이 : 저수지의 높이에 따라 결정된다.

(7) 어도의 경사 : 평상유량일 때 어도를 이용하여 소상하는 어류에 가장 큰 영향을 주는 것은 어도의 경사이며, 경사는 어도의 입구와 출구의 높이 차이(h), 어도의 길이(l)의 비 h/l 로 계산한다. 일반적으로 $1/10$ 이하로 시공되고 있으나, 이용어종의 다양성을 고려하여 $1/20$ 이하의 경사까지도 검토해야 한다.

(8) 어도의 위치 : 어류가 어도를 소상할 때는 하천의 가장자리를 따라서 이동하므로 어도는 하천의 양안에 설치하는 것이 바람직하다.

(9) 어도입구의 위치는 댐 하류부 하도형상, 월류상황, 소상기의 수문(gate)의 방류방법에 따라서 크게 달라진다.

(가) 어도의 입구방향은 어류가 어도입구에 유도·진입하기 쉽도록 검토해야 한다.

(나) 기설치된 댐에 어도를 설치할 경우는 소상어가 모이고 있는 장소에 어도입구를 설치하는 것이 좋다.

(다) 위 입지조건 등에 의해 어도입구의 집어장소에 설정할 수 없는 경우 어도입구에 유도설비를 만들과 동시에 유도 불가능한 집어장소에는 집어되지 않도록 하는 연구가 필요하다. 그리고 하나의 어도에 대해서 복수의 입구를 두어, 복수의 집어장소에 대처하는 것이 필요한 경우도 있다.

(라) 소상로 : 바닥보호공들 중에 어도입구까지의 소상로를 필요로 하는 경우 별도의 소상로를 설치한다.

9.11.4 어도의 설계절차

(1) 어도의 설계절차 : 어도설계의 절차를 5개의 단계별로 정리하면 다음과 같다.

(가) 제 1 단계 : 기본자료의 수집 및 분석단계로 이러한 자료의 수집은 기존에 발행된 연구 및 통계에 관한 문헌의 조사, 관련전문가나 관리자 또는 하천유역에 거주하는 주민 등에 대한 설문조사, 하천 현지에서의 관찰, 측정, 어류채집 등에 의한 직접조사의 방법을 통하여 확보해야 한다.

① 어도설치 대상 수공구조물에 관한 자료

② 하천의 수문량 및 수리량

③ 하천의 수생 동식물 자료

④ 어도설치 지점의 하천이용 및 기타자료

(나) 제 2 단계 : 어도의 설계조건 설정

- ① 하천생태유지 기본유량
- ② 어도의 설계유량 및 어도의 수
- ③ 수공구조물 하류부의 어도설계 기본하상고
- ④ 수공구조물 상류부 및 하류부의 어도설계 기본수위
- ⑤ 회유성 수생동물의 한계유영속도
- ⑥ 어도 건설비용

(다) 제 3 단계 : 어도기본설계

- ① 어도의 기본형식 선정
- ② 어도의 평면배치 설정
- ③ 어도의 입구부 및 출구부 설계
- ④ 어도 제원의 개략 설계

(라) 제 4 단계 : 어도상세설계

어도기본설계에서 확정된 안에 대하여 다음과 같은 순서에 따라 상세 설계를 한다. 어도 상세설계에서는 흔수시 어도의 안정성과 어도에 의한 흔수시 하천흐름 변동, 어도내 유속분포 및 어류통과 단면적 등을 충분히 고려해야 한다.

- ① 표준어도의 폭과 깊이 산정
- ② 입구부 상세설계
- ③ 어도출구부 상세설계
- ④ 어도경사를 기준으로 하여 어도길이 결정
- ⑤ 어도길이가 긴 경우 어도내 회유성 어류가 휴식할 풀의 장소와 크기 설정
- ⑥ 슬롯간격 및 월류격벽의 제원
- ⑦ 비월류격벽에 의한 풀 규모
- ⑧ 설계유량에 대한 어도내 수면계산
- ⑨ 최대유속 및 월류수심 추정
- ⑩ 월류격벽이나 비월류격벽의 물과 접촉하는 모서리는 흐름의 박리현상이 일어나지 않도록 유선형 등으로 처리

- ⑪ 등류흐름조건 만족 여부 판단
 - ⑫ 하류부 하상저하에 대한 저수로 풀의 제원
 - ⑬ 홍수시 어도가 하천 흐름에 미치는 영향 검토
- (마) 제 5 단계 : 어도시설 유지관리계획 설계

어도의 유지관리계획 설계에서는 다음과 같은 항목을 반드시 포함시켜야 하며 이는 어도 건설 이후 어도의 정상적인 기능유지에 필요하다.

- ① 홍수전후의 어도관리
- ② 주요 회유성 어류 이동시기의 유지관리
- ③ 어도의 효과판정을 위한 계획

9.11.5 어도의 부대시설

- (1) 부대시설에는 통수량 조절장치, 유인수 장치, 찌꺼기제거용 스크린, 입구보호설비, 계수·관찰장치, 유지관리설비 등이 있으며 어도형식 및 필요에 따라서 설치한다.

제 10 장 유수전환

10.1 설계일반

10.1.1 적용범위

- (1) 본 장의 규정은 유수전환의 설계에 적용해야 한다.

10.1.2 용어의 정의

- (1) 유수전환 : 댐 설계에서의 유수전환은 댐 공사기간 중 하천의 유수를 분류시킴으로서 댐 건설공사가 지장을 받지 않도록 하는 것을 말한다.

10.2 유수전환 설계시 고려사항

(1) 유수전환 시설은 흉수의 규모에 따라 다르지만 일반적으로 건설공정을 좌우할 정도로 중요하며, 댐 건설비에도 크게 영향을 주는 경우가 많다. 댐의 건설기간 중 유수전환 시설의 규모는 소요경비와 예상피해 규모를 적절히 조화시킬 수 있도록 다음사항을 종합적으로 고려하여 결정되어야 한다.

(가) 댐지점에서의 흉수특성

(나) 유수전환 대상 흉수량의 규모

(다) 상류 기존댐의 존재 여부

(라) 수질요염 통제의 필요성

(2) 댐 지점에서의 흉수특성

(가) 하천의 유출기록은 댐 지점에서의 흉수특성을 가장 잘 파악 할 수 있는 자료이므로 가용할 수 있는 모든 자료를 구하여 분석하고 유수전환 방법 및 시설 규모를 결정해야 한다.

(나) 배수유역의 크기와 지형적 위치에 따른 흉수의 특성은 유수전환 방법을 결정하는데 결정적인 요소가 된다.

(다) 계절성 호우로 대규모 흉수가 발생하는 댐 지점의 경우 비호우 기간의 흉수에 대한 유수전환은 최소한으로 고려하고 계절성 호우기간에 대비하는 유수전환 시설을 계획해야 한다.

(3) 유수전환 유량의 규모결정

(가) 유수전환 유량은 유수전환 시설의 공사에 드는 비용과 이들 시설이 없을 경우 예상되는 피해를 규모별로 비교하여 가장 경제적인 규모를 선택해야 한다.

(나) 일반적으로 흙 댐의 경우 공사기간 중에 기초부의 노출이라든지 기타 댐 부속구조물을 위한 굴착부가 흉수에 크게 노출되며 흉수발생시 상당한 규모의 피해가 발생하게 되므로 유수전환 유량의 초과 위험도를 가급적 낮추어 큰 규모의 빈도 흉수량을 선택하는 것이 바람직하다.

(다) 콘크리트 댐의 경우는 콘크리트 타설이 어느 정도 진행되고 나면 흉수월류로 인한 피해가 그다지 크지 않으므로 낮은 규모의 빈도 흉수량을 선택하더라도 큰 문제는 없다.

(라) 유수전환 시설의 설계흉수량을 선택하는데 고려해야 할 사항을 요약하면 다음과 같다.

① 댐 건설기간

② 흉수시 공사 중이거나 부분 완공된 공사의 파괴로 인한 예상 피해액의 규모

③ 건설공사의 자연으로 인해 발생하는 총 피해액의 규모

④ 흉수로 인한 유수전환 시설의 파괴가 댐 현장 작업자와 하류 주민의 안전에 미칠영향

(마) 위의 고려사항을 감안하여 유수전환 대상유량의 규모를 점차적으로 증가시키면서 시설공사비와 가상파괴로 인한 피해액을 비교함으로서 수용 가능한 위험도를 결정하여 유수전환 대상유량의 크기를 결정해야 한다.

(바) 댐 지점 상류에 기존 댐이나 기타 저류시설이 있는 경우는 댐 공사기간 중에 흉수량을 상류에서 조절해줌으로서 유수전환 시설의 규모를 축소시킬 수 있으므로 이를 고려하여 유수전환 대상유량의 규모를 결정할 필요가 있다.

(4) 수질오염 통제 대책의 수립

(가) 유수전환 계획에서 고려해야 할 중요한 사항 중의 하나는 댐 지점의 하류부에 미칠 수질오염의 통제방안이다. 가물막이 댐의 축조와 제거작업에 따른 탁도의 증가와 공사기간 중에 발생하는 각종 폐기물로 인한 오염을 억제할 수 있는 대책이 마련되어야 한다.

(나) 공사기간 중 가물막이공사, 굴착, 정지, 골재선별, 파일링, 기계정비 등으로 각종 고형물질, 쓰레기, 시멘트, 콘크리트, 오수, 유류 등의 하천유입과 토공으로 인한 탁도증가로 댐 하류의 수질 및 환경보존에 문제가 발생할 수 있으므로 유수전환 계획 수립시 수질환경보존을 위한 대책을 수립해야 한다.

10.3 유수전환 방식의 선정

(1) 유수전환 시설은 댐 완공 후 취수설비로 이용되는 가배수로와 필댐의 일부가 되는 가물막이댐을 제외하고는 일반적으로 가설비 공사이므로 최저의 공사비로 최대의 효과를 얻을 수 있도록 해야 한다.

(2) 유수전환시설의 계획은 댐 건설공사기간 중에 가장 적절하게 흉수를 처리할 수 있으면서 공사비와 시설파괴 위험도 사이의 적정점을 결정해야 한다. 따라서 유수전환 방식은 다음사항을 고려하여 선정하여야 한다.

(가) 하천유량

(나) 댐 지점의 지형(하폭 및 하천의 만곡도) 및 기초지질, 하상 퇴적물의 두께

(다) 댐 형식 및 높이

(라) 사업의 긴급성과 하류의 안전성

(마) 방류설비, 취수설비 등의 타 구조물과의 관계

(바) 가물막이댐과 가배수로와의 관계

(사) 댐의 건설기간과 가배수로의 통수시기

(아) 가물막이 댐 월류시의 피해규모

(3) 유수전환 시설의 구성은 댐 지점에서 하천수를 차단하는 가물막이댐과 유수의 전환을 꾀하는

가배수로로 구성되며 가물막이 방식은 전면 가물막이, 부분 가물막이 및 단계식 가물막이로 나눌 수 있고 가배수로는 전면 가물막이 경우 주로 터널식을 사용하며, 부분 가물막이의 경우는 암거식 혹은 개수로식으로 하고, 단계식 가물막이 경우는 제내 가배수로식 또는 제체월류식을 사용한다.

(4) 가물막이 방식은 댐 위치에서의 지형, 지질, 하상의 형태, 흥수량의 크기, 공사의 규모 등을 고려하여 경제적이고 안전한 방식을 선택해야 한다.

(가) 전면 가물막이(가배수터널과 연계시공) 방식은 하천수를 가배수터널로 전환시키기 위해 댐 지점 상, 하류의 하천유로를 전부 물막이하여 하천수를 차단하면서 작업구간을 확보하여 육상시공하는 방식이다. 이 방식은 지형적으로 하폭이 좁은 곳이면 댐 형식에 관계없이 가장 적합한 방법이다. 이 방식의 장점은 다음과 같다.

- ① 전면적인 기초굴착이 가능하며, 본 제체 작업에 제약을 받지 않는다.
- ② 댐 완공후에 가배수터널 혹은 가배수관거는 취수 혹은 방류시설로 활용할 수 있다.
- ③ 가물막이둑의 마루는 공사용 도로로 겸용할 수 있다.
- ④ 본 댐형식이 필댐인 경우 가물막이 필댐은 본댐의 일부로 이용할 수 있다.

(나) 부분 가물막이 방식은 하폭이 넓고 하천유량이 많은 경우 적용되는 단계적 가물막이 설치방식으로 콘크리트 중력식댐에서 많이 채택된다. 이방식을 채택하는 경우 1 단계의 가배수로는 열려져있는 유로의 일부가 될 것이며 2 단계 또는 3 단계의 가배수로는 1 단계시 제체에 설치하는 가배수로를 이용하게되면 이 가배수로는 건설기간중 적당한 시기에 폐쇄한다.

10.4 유수전환 대상 흥수량

(1) 유수전환을 위한 대상 흥수량은 댐 지점에서 예상되는 흥수의 특성, 공사기간, 댐의형식, 공사 중에 흥수로 인한 예상피해액의 규모 등을 고려하여 유수전환 대상 흥수량을 크게 잡음으로서 발생하는 공사비 증가분과 예상 피해액의 경감액과의 종합적인 비교 평가에 의해 도출되는 허용위험도를 파악하여 결정해야 한다.

(가) 시공기간 중에 맞이하게 될 흥수기의 회수, 특히 유수전환 시설의 월류에 의해 피해를 받게 될 기초공사 기간의 회수

(나) 기왕 최대흥수량, 흥수 지속시간 등 흥수의 특성

(다) 콘크리트 댐의 경우 콘크리트 타설일정 계획에 따라 대상흥수의 규모설정이 달라질 수 있다.

(라) 필댐은 흥수시 월류에 대한 저항력이 작아 필댐의 축조 기간 중에 흥수가 월류하면 제체의 유실 몇 봉괴를 초래하게 되므로 하류에 큰 피해를 미칠 수 있다. 이에 비해 콘크리트 댐은 특수한 경우를 제외하고는 공사 중의 월류는 치명적인 피해 원인이 되지 않는다는 점을 감안하여야 한다.

(바) 공사중에 가물막이댐의 월류로 인해 예상되는 피해는 흥수피해의 복구 기간 동안에 설비기계의 방치로 인한 피해, 제체 복구공사에 소요되는 비용, 유입토사 제거 비용, 수몰지역에

가설비가 설치되어 있을 경우의 손실비용, 공사기간의 자연에 따른 피해 및 사회적 악영향, 현장의 작업인력과 하류주민에 미치는 위험정도 등이 있다.

(2) 유수전환 대상 홍수량의 발생 확률

(가) 유수전환 대상 홍수량에서 유량 Q 보다 큰 홍수가 발생할 확률(초과확률)을 P 라하고 공사기간 N 년 동안 Q 보다 큰 홍수가 전혀 발생하지 않을 확률 W 는 Q 를 T 년 빈도의 홍수량이라 할 때 다음과 같이 표시된다.

$$W = (1 - P)^N = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N \quad (10.1)$$

혹은 Q 보다 큰 홍수가 N 년 동안 최소 1회 발생할 확률, R (risk, 위험도)은 다음과 같이 표시된다.

$$R = 1 - W = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N \quad (10.2)$$

(나) 필댐의 공사는 홍수로 인한 월류에 대한 저항력이 작으므로 시공 중인 제체에 치명적인 피해 뿐 아니라 하류에도 큰 피해를 미치게 되므로 가물막이의 월류에 의해서 시공 중의 제체나 하류에 중대한 피해가 예상될 경우 유수전환 대상홍수는 20~25년 빈도의 홍수량을 채택하는 것이 일반적이다. 그러나 비홍수기간 중에 시공할 수 있는 소규모 댐의 경우에는 5~10년 빈도의 홍수량을 대상으로 하는 것이 보통이다.

(다) 필댐 중 CFRD(콘크리트 표면차수벽형 석괴댐)와 같이 공사중 월류에도 제체에 큰 피해가 없는 경우 2~5년 빈도의 홍수량을 대상으로 설정할 수 있다.

(라) 콘크리트 댐에서는 특수한 경우를 제외하고는 공사중의 월류가 치명적인 피해를 끼치지 않는 것이 보통이므로 1~2년 빈도의 홍수량을 유수전환 대상홍수로 설정하게 된다.

10.5 가물막이 댐

(1) 가물막이와 가배수로

(가) 가물막이는 가배수로와 연계하여 유수전환 기능을 발휘하는 것으로 가물막이와 가배수로는 가장 합리적이고 경제적인 조합이 되도록 계획하여야 한다. 예를 들어 가물막이 둑마루 제방고를 높게 하면 가물막이댐의 저수용량이 커지며 가배수로에 걸리는 수두가 높아져 가배수로의 단면을 축소시킬 수 있다.

(나) 가물막이 위치는 댐 지점의 지형 및 지질에 제약을 받지만, 댐 본체의 굴착계획에 약간의 변경이 생겨 댐 축이 어느 정도 이동한다든지, 굴착심도가 깊어지더라도 가물막이의 기초까지 영향을 주지 않으면서 댐 본체 공사를 위한 작업장으로서의 공간을 줄 수 있는 곳을 선택하는 것이 좋다. 그러나 댐 본체와의 거리가 너무 멀면 가배수터널의 길이가 너무 길어짐과 동시에 상, 하류 가물막이 사이의 잔유역에서 발생하는 우수의 배제대책도 고려해야 한다.

(2) 가물막이의 설치시기

(가) 가물막이의 설치시기는 과거의 수문자료로부터 갈수가 예상되는 시기를 택하는 것이 좋고 공사는 가급적 단기간에 실시하여야 한다.

(나) 댐 수몰지 보상을 위한 교섭에 어려움이 있다거나 공사의 긴급성 등으로 인하여 갈수기에 가물막이 시공이 불가능한 경우에는 시공 계획을 신중히 검토하여 가물막이 공사의 공기를 단축도록 해야 한다. 예를 들면 토취장이 먼곳에 위치하고 있을 때 축제 재료를 미리 가물막이 부근에 저장해 둘으로서 공기를 단축하는 등의 배려가 필요하다.

(다) 단기간의 갈수기간 동안에 가물막이 공사를 종료하는데는 한도가 있을 뿐 아니라 가배수로 공사도 지형, 지질, 공기 등에 의해 상당한 제한을 받으므로 전체 시공 계획을 고려하여 종합적인 판단을 하여야 한다.

(3) 가물막이의 높이

(가) 상류 가물막이 높이는 가배수로 입구측 설계수위에 약간의 여유교를 더하여 결정한다.

(나) 가배수로 입구측 설계수위는 유입설계홍수량, 가배수로 터널단면 및 경사, 홍수조절능력 등 수리적으로는 터널 입, 출구의 손실수두와 터널자체의 마찰손실 및 만곡손실 등을 고려하여 결정하여야 하며 여유고는 입구측 설계수위에 0.5m 이상을 두어야 한다.

(다) 하류 가물막이의 높이는 일반적으로 (나)에서 계산된 출구측 하천수위로 하되 홍수시 상, 하류의 가물막이 월류가 동시에 발생하도록 결정하여야 한다.

(4) 가물막이의 형식

(가) 계획 댐 지점의 위치에서 가장 적합한 가물막이의 형식은 설계홍수량, 지형, 하천경사, 하상퇴적물의 깊이와 종류, 시공기간 및 가물막이 재료 등을 고려하여 결정해야 한다.

(나) 상류 가물막이댐은 하천 흐름을 막아 흐름을 가배수로로 전환시키는 역할을 하며 하류 가물막이는 가배수로를 통해 전환된 유수가 유출구를 통해 방류되었을 때 댐 본체 공사 현장 내에 역유입하는 것을 방지하기 위해 설치한다. 상류 가물막이와는 달리 하류 가물막이댐은 그 높이가 낮아지고 또한 본체의 일부가 될 가능성이 극히 적으므로 가능한 한 간단한 구조로 하는 것이 좋다.

(다) 가물막이댐은 1, 2 차 단계로 구분하며 평수위 정도를 대상으로 하는 1 차 가물막이댐은 2 차 가물막이댐을 시공하기 위해 설치한다.

(라) 콘크리트 구조체에 의한 가물막이는 일반적으로 중력식, 무근콘크리트 구조체와 옹벽식 철근콘크리트 구조체로 분류된다. 이들 구조체는 가설구조체이므로 지진, 운도응력 등을 고려하지 않고 안전율도 영구구조물의 안전율보다 낮추어 설계하는 것이 보통이다. 하류측 콘크리트 구조체 가물막이는 공사기간 중에서 발생할 수 있는 월류로 인해 수압을 상·하류면에 교대로 받을 가능성이 있으므로 중력식 형태를 취하는 구조물로 하는 것이 바람직하다.

(마) 흙 댐이나 사력댐 형식의 가물막이는 공사 중에 홍수에 의해 제체가 월류했을 경우에 파괴될 우려가 높으므로 댐의 법면을 콘크리트 혹은 아스팔트 피복공으로 보호한다든지, 사력층 표면을 철사망으로 피복하는 등의 처리로 단시간 동안의 월류수에 대해서는 견딜 수 있도록 설계할 필요가 있다. 한편 지수(止水) 형식은 중앙콘크리트 지수벽, 점토 코어형 지수벽, 강판 지수벽, chemical grouting 으로 한다.

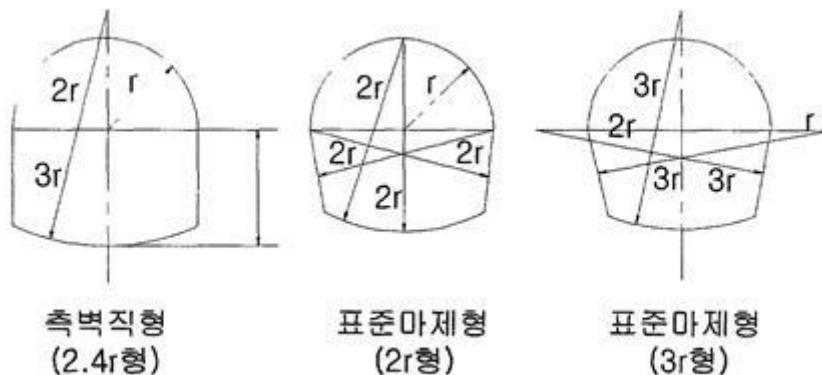
(바) 가물막이의 제체 규모가 클 경우 댐 본체의 일부로 설계하는 것이 경제적이며, 이 경우 가물막이 시공의 품질관리는 댐 본체와 같은 시방에 의해 시행하여야 한다.

10.6 가배수 터널

(1) 가배수 터널의 시공은 가급적 우기를 피하여 실시하여야 하며 가배수 터널의 굴착공사는 공사 중에 발생하는 용출수의 처리를 쉽게하고 또한 공사기간 동안의 흥수유출에 대처하기 위해서 계획터널의 하류단에서 시작하여 상류단으로 시공하는 것이 보통이다. 또한 터널이 관통된 후 콘크리트 라이닝은 굴착과 마찬가지로 우기를 피하는 것이 바람직하다. 그러나 댐 건설 공정상 시급을 요할 경우 가배수터널을 터널 상, 하류단에서 동시에 굴착할 수 있다.

(2) 가배수 터널의 단면형

(가) 가배수 터널의 단면형에는 원형, 표준마제형($2r$ 형), 표준마제형($3r$ 형) 및 측벽직형(側壁直型) 등이 있다.



<그림 10.1> 가배수로 터널의 단면형

(나) 가배수터널은 일반적으로 압력터널이 되며 설계수두가 10m 이상이 되는 경우의 터널단면형은 원형단면이 적절하고, 10m 이하인 경우에는 표준 마제형($2r$ 및 $3r$ 형), 굴착 암반이 양호한 소단면의 경우에는 측벽 직형이 구조적으로 적합하다.

(다) 터널의 상류단에는 나팔형 유입부를 설치하여 가급적 유입순실을 작게 할 필요가 있으나 여타 구간에 대해서는 동일 단면형으로 한다. 터널 단면적의 크기는 설계홍수량, 가물막이댐과 본댐과의 높이관계, 암석의 질 및 시공법에 따라 결정한다.

(3) 가배수터널의 수로 경사

(가) 가배수터널의 수로경사는 댐 지점의 지형에 따라 터널의 유입구와 유출구의 표고가 어느 정도 정해지므로 이를 고려하여 결정하며 일반적으로 터널 전 길이에 걸쳐 단일 경사로 계획한다.

(나) 가배수터널 유입부와 유출부의 지반고차가 심할 경우 가배수터널의 수로경사는 상류단의 유입부에 급경사 부분을 두어 터널 유입부에서의 흐름을 안정시키는 경우도 있고, 이와 반대로 하류단의 유출부에 급경사 부분을 두어 하류 하천과의 접속부에 설치된다.

(4) 가배수터널의 평면 곡선

(가) 가배수터널의 평면선형은 직선이 가장 바람직하지만 대부분의 경우 지형, 지질 등에 의해 곡선부가 들어가는 선형이 되며 이 경우의 곡률반경은 터널 직경의 10 배이상으로 하는 것이 좋다.

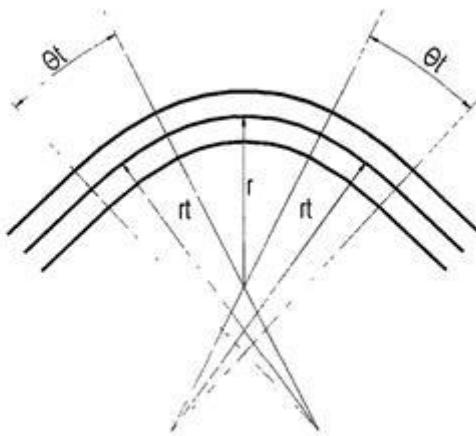
(나) 가배수터널의 만곡부 곡선은 <그림 10.2>와 같이 곡선구간의 시점과 종점 부분에 주 곡선수로의 곡률반경 r 의 2 배, 중심각 θ_t 인 원화곡선 수로를 만들 수 있다.

$$r_t = 2r \quad (10.3)$$

$$\theta_t = \tan^{-1} \left(\frac{b}{(r_t + 0.5b) \tan \beta_o} \right) \quad (10.4)$$

여기서 b : 터널수로의 폭

β_o : 주 곡선수로의 만곡각



<그림 10.2> 곡선 수로의 복합곡선

(5) 가배수터널의 콘크리트 라이닝

(가) 가배수터널 굴착부가 콘크리트 라이닝 없이도 충분히 견딜 수 있는 암반이라고 판단되는 경우 터널 유입부 및 유출부의 일부구간은 콘크리트 라이닝을 하고 나머지부분은 전 둘레 혹은 상반부분을 솗크리트로 처리할 수 있다.

(나) 가배수터널의 콘크리트라이닝 시행여부는 구조적 안전측면도 고려하여야 하지만 터널의 흥수소통능력과 관련된 조도계수와 소요 통수단면적의 크기에도 달라진다. 일반적으로 라이닝의 시행은 구조적으로나 수리학적으로 유리하지만 가배수터널의 폐쇄문제도 고려하여 결정하여야 한다.

(다) 콘크리트 라이닝의 두께는 일반적으로 경암 부분에서는 30 cm이상, 보통 암 부분에서 40 cm이상하고 있으나 암질의 물리적, 역학적 구조등을 충분히 조사하여 결정하여야 한다. 특히 터널의 바닥부분 라이닝은 토석류에 의해 침식되기 쉽고 바닥과 측벽의 접합부는 누수가 발생하기 쉬우므로 각별한 주의가 필요하다.

(라) 터널라이닝의 뒷면과 굴착 암반 사이는 접촉 그라우팅(contact grouting)을 통해 하여야 한다. 터널내의 수압을 굴착암반으로 전달하여야 하고 또한 누수를 방지하여야 한다. 이 때 그라우팅

주입압은 압력터널의 경우 설계수두의 2~3 배 정도로하는 것이 보통이다.

(마) 터널 굴착시 발견되는 단층부위는 낙반에 의한 터널폐쇄 및 인사사고가 발생하지 않도록 해야 한다.

(6) 가배수 터널의 소요 갯수

(가) 가배수 터널의 수는 설계 흡수량의 원활한 소통, 터널 단면의 구조적 한계, 터널전용계획, 최종 폐쇄 등의 여러 가지 문제점 등을 충분히 고려하여 결정하여야 하며 설계흡수량이 클 경우 2개 이상의 복수터널을 설치할 수 있다.

(나) 일반적으로 필댐은 댐 제체내에 구조물을 설치할 수 없으므로 가배수 터널을 예비방류로 전용하게 되며 터널이 복수이면 가배수 터널의 경우 1-Line 은 방류시설로, 다른 1-Line 은 취수시설로 이용할 수 있다.

(7) 가배수 터널의 유입부

(가) 터널 유입부의 위치는 가물막이의 세굴, 침식 및 손상 및 터널 입구측 산지부의 붕괴로 인한 가배수로 폐쇄위험, 취수시설 및 댐 부대시설, 그 배치 등을 종합적으로 고려하여 결정한다.

(나) 터널 입구부의 선형은 등고선에 직각방향으로 하고, 터널 유입구와 접속되는 유입수로(개수로)는 현 하천특성을 고려하여 원활한 접속이 이루어지도록 한다.

(다) 터널 입구의 위치는 일반적으로 터널 상부가 암반일 경우 터널 직경의 1~2 배, 토사인 경우 터널 직경의 2~3 배되는 지점에 설치한다.

(라) 터널과 댐 본체 기초종착지점간의 거리는 터널 및 댐 본체 기초굴착용 발파로 인해 발생할 수도 있는 기초지반의 이완 등을 고려하여 통상 터널직경의 3 배 이상 또는 20m 이상 되도록 하여야 한다.

(마) 터널 유입구 부분은 유수로 인하여 부압, 지반의 편압, 온도변화, 원 지반의 절토로 인한 이완 등 예측 곤란한 이상 하중이 작용할 수 있으므로 지반상태에 따라 철근으로 보강하는 것이 좋다.

10.7 제체내 가배수로

(1) 제체내 가배수로는 주로 하도내 부분 가물막이 방법을 채택하는 경우 1 차 가물막이시 측조된 댐 구체내에 설치하여 2, 3 단계 가물막이가 이루어질 경우 유수전환 관계로 이용된다. 제체내 가배수로는 가물막이 방식(전면 가물막이, 부분 가물막이)에 관계없이 설치할 수 있다. 또한 제체내 가배수로는 전면 가물막이 방식을 채택할 경우 시행하는 가배수터널에 의해 처리할 수 없는 큰 흡수를 가급적 제체를 월류시키지 않고 소통시키기 위해 설치하는 경우도 있다.

(2) 제체내 가배수로의 설계유량은 유수전환 방식을 고려하여 결정해야 한다.

(3) 제체내 가배수로의 바닥 높이는 원지반선에 일치시켜야 한다.

(4) 제체내 가배수로의 위치는 타설 블록의 중앙부에 설치하는 것이 보통이지만 흡수

방류시설이나 댐 감시통로 등을 고려하여 블록의 경계부에 설치할 수도 있다.

(5) 제체내 가배수로의 단면 형상은 일반적으로 원형, 상부 반원 하부 사각형 단면형, 사각형 단면형으로 한다. 제체내 가배수로의 단면형은 위의 세 가지 중의 하나로 선택할 수 있으나 조인트 그라우팅 시공을 고려할 때 윗 부분이 수평인 직사각형단면은 바람직하지 않다. 하나의 배수로 폭은 2~4m 정도가 보통이며, 수로의 중앙부에 1m 정도의 키(key)를 설치하거나 수로 단면을 하류부로 갈수록 작게 하여 공사기간중에 설치할 폐쇄 콘크리트가 빠져나가지 않도록 저항을 증가시키는 것이 좋다. 또한 제체내 가배수로의 종단경사는 일반적으로 시공이 용이하도록 수평으로 하고 있다.

(6) 제체내 가배수로는 공사기간 중 응력이 집중되는 곳이므로 가배수로의 주변을 철근으로 보강해야 한다.

(7) 제체내 가배수로의 유입구는 공사기간 중의 적정시기에 시행하여야 할 폐쇄공사를 위해 물막이용 수문의 흠이나 문받이 등을 만들고 지수판, 그라우트 스톱퍼(grout stopper), 그라우트 배관 등을 처음부터 설치하는 것이 보통이다.

(8) 제체내 가배수로에는 각종 부속물 및 배관을 설치하게 되며, 상류 가물막이와 제체내 가배수로를 개수로로 연결하는 댐의 경우에는 제내 가배수로의 수문 폐쇄시에 상류에 물막이를 이용하여 물을 저류할 수 있으므로 육상공사를 할 수 있는 이점이 있다.

10.8 가배수거

(1) 가배수거는 가배수 대상 흥수량이 너무 커서 가배수 터널이나 제내 가배수로로 처리하는 것이 비경제적일 때 댐 제체의 한쪽 끝 부분에 개수로 형태로 설치하게 되며, 다른 방식에 비하면 경제적이나 단점도 있다.

(2) 가배수거는 타 유수전환 방식에 비하면 공사비가 싸고 공기가 짧은 이점이 있으나 댐의 기초굴착공사를 하천의 전 단면에 걸쳐 할 수 없으므로 댐 본체의 콘크리트타설이나 측조 공정에 제약을 받게 되는 단점도 있다. 이러한 제약을 해결하기 위하여 비교적 작은 댐의 경우에는 제내 가배수로가 설치된 제체의 일부에 개수로를 설치하는 방법이 채택되기도 한다. 또한 이 방법은 비교적 작은 댐에서 댐의 기초암반까지의 굴착을 비교적 간단하게 할 수 있는 경우에 적합한 방법이지만 댐 콘크리트 가설비 플랜트를 미리 설치해야 하므로 공정상의 제약이 있다.

10.9 유수전환 시설의 폐쇄공

(1) 가배수 터널 및 제내 가배수로의 폐쇄시기는 폐쇄 공사 자체의 안전성을 위해 갈수기에 행하는 것이 좋다. 그러나 폐쇄공으로 유수를 차단함으로서 하류의 수리권자에 큰 피해를 미칠 것으로 판단될 경우에는 댐 지점 하류의 잔유량이 많은 시기 혹은비 관개기를 이용함이 바람직하며 하류의 기득 수리권에 영향을 미치지 않도록 유의해야 하며, 다음과 같은 추가적인 방법을 사용할 필요가 있다.

(가) 제체내 가배수로를 다단(多段)으로 설치하여 유수의 차단기간을 짧게 해서 하류에 영향을 적게 미치도록 한다.

(나) 가배수 터널내에 발브 등을 설치한다.

(다) 부득이 한 경우에는 유수 차단기간 중에 임시 방류관 매설에 의한 용수공급 또는 평프양수에 의해 하류의 유황을 유지시킨다.

(2) 가배수 터널의 폐쇄공

(가) 가배수 터널을 폐쇄하려면 먼저 상류측 가물막이의 일부를 붕괴시키게 된다. 만약 상류 가물막이에 스톱로그가 설치되어 있는 경우에는 이것을 개방하여 유수를 제내 가배수로로 전환시킨 후 가배수 터널 유입구의 스톱로그 혹은 수문을 내려서 유수를 차단시키며, 이 때 생기는 누수는 흙푸대나 점토 혹은 토사로 대처하는 것이 일반적인 방법이다.

(나) 플라그 방식

① 폐쇄공을 위한 플라그(Plug)방식에는 다음의 두 가지가 있는데 첫번째 방법은 가배수터널의 폐쇄에 필요한 부분만 콘크리트 라이닝을 제거하고 신선한 암반까지 굴착한 후 플라그 콘크리트를 충전하는 방법이다. 이 방법은 본체 콘크리트와 같은 품질의 콘크리트를 타설할 수 있는 장점이 있는 반면에 시간적인 제약을 받는 폐쇄공사 중에 라이닝을 제거하는데 시간이 걸리며, 댐 본체가 올라간 시점에 발파로 인한 댐 자체에의 악영향을 미치는 등의 단점이 있다.

② 두번째 방법은 폐쇄구간을 미리 정해두고 그 부분의 폐쇄를 고려한 주의 깊은 시공으로 라이닝을 실시하여 폐쇄시 라이닝을 제거하지 않고 플라그 콘크리트를 충전하는 방법이다. 이 방법은 라이닝을 제거하는데 소요되는 시간을 절약할 수 있는 이점이 있으나, 가배수 터널을 통해 공사기간 중 방류된 흥수로 인한 토석류로 손상된 라이닝을 보수해야 할 경우가 생길 뿐 아니라 구 콘크리트와 새로 치는 콘크리트의 밀착 시공이 어려운 점등의 단점이 있다.

(다) 폐쇄플라그의 소요길이

① 폐쇄플라그의 소요길이는 타설면의 전단응력, 활동 및 폐쇄주변장의 고정 등을 고려하여 결정하는데 타설면의 전단응력에 대한 소요길이(L)는 다음과 같다.

$$L = \alpha \frac{\tau A}{\ell} \quad (10.5)$$

여기서 P : 수압강도

A : 수압을 받는 면적

ℓ : 터널의 주변장

τ : 전단응력

α : 안전률로서 보통의 경우 4 이상

② 활동(sliding)에 대한 소요길이

$$L = \frac{n p A_o}{1.35 f A_o + B \tau} \quad (10.6)$$

$$n = \frac{f V + \tau A}{H} \quad (10.7)$$

여기서 f : 내부 마찰계수($f = 0.75$)

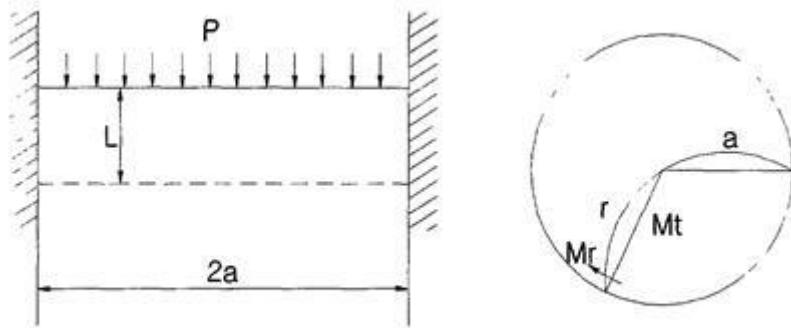
V : 연직 작용력

(폐쇄단면적, A_{o} ×폐쇄길이, L ×콘크리트의 수중 단위중량)

H : 수평력(pA_{o})

A : 전단응력을 받는 면적(폐쇄폭 × 폐쇄길이)

n : 안전률(보통 4 이상)



<그림 10.3> 주변 고정 원형판의 폐쇄 소요길이

③ 폐쇄 주변의 고정을 위한 소요길이

<그림 10.3>에서와 같이 등분포하중 p 가 주변이 고정된 원형판에 작용할 경우 원둘레 방향의 모멘트 Mr 과 반경방향의 모멘트 Mt 는 각각 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$Mr = \frac{p a^2}{16} [(3 + v)(1 - (\frac{r}{a})^2) - 2] \quad (10.8)$$

$$Mt = \frac{p a^2}{16} [(1 + 3v)(1 - (\frac{r}{a})^2) - 2v] \quad (10.9)$$

여기서 a : 폐쇄부의 반경

v : 콘크리트의 포아슨 비($v = 0.2$)

r : 터널 폐쇄부의 중심으로부터 반경방향으로의 거리

따라서 폐쇄부의 주변($r/a = 1.0$)에서는

$$M_r = \frac{p a^2}{8} \quad (10.10)$$

$$M_t = M_r \cdot v \quad (10.11)$$

여기서, 원둘레 방향의 모멘트 M_r 로 인한 콘크리트의 인장응력 σ 는 $M_{\{r\}}$ 을 다음 식으로 표시되는 콘크리트의 단면계수 W 로 나누면 구해진다. 즉,

$$W = \frac{b L^2}{6} \quad (10.12)$$

여기서 b : 단위폭

L : 콘크리트 원형판의 두께

따라서 식 (10.10)을 식 (10.12)로 나누면

$$\sigma = \frac{M_r}{W} = \frac{3}{4} \frac{p a^2}{b L^2} \quad (10.13)$$

따라서 폐쇄공의 소요길이는 식 (10.13)에서 σ 를 콘크리트의 허용인장응력 σ' 로 놓고 L에 관해 풀면 얻어진다.

$$L = \alpha \frac{a}{2} \sqrt{\frac{3P}{\sigma'}} \quad (10.14)$$

여기서 f : 안전율이다.

④ 암반의 누수에 대한 차수길이는 전항(①~③)에 의해 계산되는 폐쇄공의 소요길이에다 암반의 균열 등으로 인한 누수를 방지하기 위해서 추가적으로 길이를 확보하는 것이 좋다.

(라) 폐쇄 콘크리트의 타설시 폐쇄 콘크리트의 운반은 콘크리트 펌프(pump), 벨트콘베이어트럭 등으로 하며, 폐쇄구간에 지표면으로부터 사강(斜坑)을 설치하여 콘크리트를 투입하는 방법이 사용된다. 특히 터널의 아치 크라운(arch crown) 부분에 콘크리트를 충전하는 방법에는 프리팩트 콘크리트를 사용하는 방법, 콘크리트 펌프를 사용하는 방법, 벨트 콘베이어를 사용하는 방법 등이 있다.

(마) 폐쇄 콘크리트와 암반을 밀착시키기 위한 콘크리트 그라우팅은 필수적으로 폐쇄공사는 갈수기를 이용하여 짧은 시간내에 완료해야 하므로 그라우팅한 콘크리트가 빨리 냉각되어 응고되도록 해야 한다. 따라서 그라우팅 파이프의 간격은 조밀해야 하며 가능한 한 온도가 낮은 물을 보내도록 하며, 최종 목표온도는 암반의 온도와 비슷하게 한다.

(3) 제내 가배수로의 폐쇄공

(가) 제내 가배수로를 폐쇄하려면 제내 가배수로의 유입구에 설치된 프랩 게이트, 스루스 게이트, 로울러 게이트 혹은 스톰로그에 의해 유수를 차단하고 콘크리트를 충전한다.

(나) 프랩게이트의 경우는 이를 매달고 있는 와이어롤러(wire roller)를 절단하여 폐쇄하는데, 가배수로 유입구를 완전히 청소할 수 없다든지, 유수로 인한 장애 때문에 완전한 물막이를 할 수 없는 위험이 있으므로 거의 사용되지 않는 방법이다.

(다) 스루스 게이트나 로울러 게이트의 경우 유수의 차단시 수압이나 문받이 부분에 미치는 마찰저항, 부력 등의 외력에 대해 충분한 여유를 가지고 수문의 자중만으로 가배수로가 차단되도록 설계해야 한다. 수문의 자중이 부족할 경우에는 콘크리트 등으로 차단을 보강하는 경우도 있다. 최근에 와서는 차단 작동이 가장 확실한 로울러 게이트가 가장 많이 사용되고 있다.

(라) 스톰로그에 의한 물막이는 시간이 많이 걸리므로 하천유량이 작을 경우를 제외하고는 잘 사용되지 않는다.

제 11 장 내진설계

11.1 설계 일반

이 기준은 댐 및 부속시설의 내진성 확보를 위해 필요한 기준을 규정하는 것으로 신설되는 높이 15cm이상 댐 및 그 부속시설의 내진설계에 적용한다.

11.2 내진설계 기준의 기본개념

이 기준은 건설교통부의 연구과제 "내진설계기준연구(1997. 12)"에서 제시된 내진설계 성능기준 및 기타 연구결과를 참고하고 기존의 설계체계를 정리하여 제정한 것이다. 앞의 연구에서 제시된 내진 설계 개념의 특징은 지진의 발생빈도와 지반운동의 세기, 시설의 중요도에 따라 요구되는 내진성능을 기능수행수준과 붕괴방지 수준으로 구분하여 만족시키도록 규정하고 있으며 이를 설계에 반영하기 위한 조사연구를 거쳐 향후 설계기준에 적절히 적용하도록 할 것으로 예상된다. 따라서 이번의 내진설계 기준은 향후 제정될 설계기준이 확정될 때까지의 중간단계의 기준으로 다음의 기본개념에 기초를 두고 있다.

(1) 댐에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 지진시 또는 지진경과후에도 댐의 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안된다.

(2) 어느 경우에도 댐이 붕괴되지 않도록 댐체의 활동이나 전도의 방지를 위한 충분한 안전율의 확보

(3) 댐의 정상수명 기간내에 설계지진력이 발생할 가능성은 희박하다.

(4) 이 기준을 따르지 않더라도 창의력을 발휘하여 보다 발전된 설계를 할 경우에는 이를 인정한다.

11.3 내진설계일반

11.3.1 내진설계기법

현재 우리나라에서의 댐에 대한 내진설계방법은 지진력을 지진계수에 의한 하중의 관성력과 동수압으로 대치하고 정역학적 방법으로 해석하는 진도법을 기본으로 하고 있고 이 방법은 이미 경험적으로 안정적인 방법임이 입증되고 있다.

이 방법은 간편하고 안정적인 해석결과를 얻을 수 있는 장점이 있으나 댐의 동적 특성을 고려하지 않고 지반과 구조물의 상호작용관계인 설계진도와 최대응답가속도의 관계가 명백하지 않다. 한편 최근 선진국에서는 지진파에 의한 댐의 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법이 많이 개발되어 설계에 적용하고 있다.

그러나 이 방법도 댐 설계에 적용할 때 다음과 같은 사항의 명확한 규명에 문제점이 있어 그 적용에 신중해야 한다.

(1) 설계지진파형의 설정

(2) 댐 축조재료의 동적인 응력왜곡 특성

(3) 해석방법으로서의 3 차원적 응답이나 지하 소산규정

(4) 파괴규준 및 파괴현상의 모의

특히, 우리나라의 경우 빈약한 지진 해석자료 및 연구 미흡으로 여러 가지 불명확한 사항에 대한 가정이 불가피하여 설계기준으로 동적해석방법을 댐의 내진설계기준에 규정하기에는 무리가 따른다.

따라서 지진에 의한 동역학적 거동특성이 잘 반영된 신뢰성 있는 입력자료의 확보가 곤란한 경우 종래의 정역학적 설계 방법인 진도법을 내진설계의 기본으로 하기로 한다.

11.3.2 설계지반운동

(1) 일반사항

- (가) 설계지반운동은 지표면에서의 자유장운동으로 정의한다.
- (나) 설계지반운동은 수평 2 축방향 성분으로 정의되며 그 세기와 특성은 동일한 것으로 가정한다.
- (다) 지진에 의한 수직방향의 영향이 댐 안정에 영향을 주게 되는 경우는 이 방향의 지진력을 고려하여야 하며 그 크기는 수평방향의 지반운동의 $1/2$ 로 본다.
- (라) 모든 댐은 다음에 정하는 설계진도를 반영하여 붕괴되지 않는 충분한 안전율이 확보되어야 한다.
- (마) 댐의 내진설계시에는 댐 상류의 저수지 수위 및 수위의 변화상태에 따라 댐 안전에 가장 불리한 방향으로 가진되는 경우를 상정하고 안정해석을 해야 한다. 이때 해당 저수지 수위의 발생빈도가 특히 낮은 경우에는 그때의 적용지진력을 조정할 수 있다.

(2) 설계진도(震度)

- (가) 지진재해도 해석결과에 근거하여 우리나라의 지진구역을 <표 11.1>과 같이 설정한다. 각 지진구역에서의 평균 재현주기 500 년의 지진지반운동에 해당하는 지진구역계수는 <표 11.2>에 수록된 바와 같이 구역 I에서는 0.11, 구역 II에서는 0.07이다.
- (나) 평균재현주기별 최대 유효지반가속도의 중력가속도에 대한 비를 의미하는 위험도계수는 <표 11.3>과 같다. 이 표에서 기준은 평균재현주기 500 년 지진이다.
- (다) 댐이 위치할 지점의 설계진도는 해당지역의 지진구역계수에 11.3.3 절에서 규정하는 내진등급별 설계지진의 평균재현주기에 따른 위험도 계수, 11.3.4 절의 지반계수 및 11.3.5 절의 댐형식별 활증계수를 곱한 값에 중력가속도를 곱한 값으로 한다. 단 위험도계수, 지반계수 및 댐형식별 활증계수는 정역학적 설계 방법인 진도법에 의한 경우에만 적용한다.
- (라) 그러나 위의 방법으로 산출된 설계진도가 $0.2g$ 이상이어서 우리나라보다 지진규모나 발생빈도가 훨씬 높은 나라에서 적용하는 진도보다 과다하다고 판단되는 경우 설계자는 적용설계진도를 $0.2g$ 이하로 조정할 수 있다.

<표 11.1> 지진구역 구분

지진구역		행정구역
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시
	도	경기도, 강원도남부 ⁽¹⁾ , 충청남도, 충청북도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부 ⁽²⁾
II	도	강원도북부 ⁽³⁾ , 전라남도 남서부 ⁽⁴⁾ , 제주도

- 주 : (1) 강원도 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시
 (2) 전라남도 북동부(군, 시) : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 여천, 화순,
 광양시, 나주시, 여천시, 여수시, 순천시
 (3) 강원도 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양,
 춘천시, 속초시
 (4) 전라남도 남서부(군, 시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진,
 고흥, 함평, 목포시

<표 11.2> 지진구역계수 (재현주기 500년에 해당)

지진구역	I	II
구역계수	0.11	0.07

<표 11.3> 위험도 계수

재현주기 (년)	500	1000	2400
위험도계수	1	1.4	2.0

11.3.3 내진등급과 설계지진수준

- (1) 댐의 내진등급은 <표 11.4>와 같이 댐의 중요도에 따라 내진 I 등급 및 내진특등급의 두 가지 등급으로 분류한다.
- (2) 댐은 <표 11.4>에서 내진등급별로 규정된 평균재현주기를 갖는 설계지진에 대하여 설계되어야 한다.

<표 11.4> 댐의 내진등급과 설계지진

내진등급	댐	설계지진의 평균재현주기
내진특등급댐	<ul style="list-style-type: none"> • 사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 • 법에 의하여 다목적댐으로 분류한 댐 • 높이가 45m 이상이고 총저수량이 50백만m³ 이상인 댐 	1000년
내진 I 등급댐	내진특등급 댐 이외의 모든 댐	500년

11.3.4 기초지반의 영향

지반의 영향은 댐의 지진하중을 결정하는데 고려되어야 한다. <표 11.5>는 기초지반의 구분과 이에 상응하는 지반계수를 나타내고 있다. 이 표는 보통암 이상의 기초를 기준으로 작성된 것이다.

<표 11.5> 기초지반 분류에 따른 지반계수

지반의 종류	지표면 아래 30m 토층에 대한 평균값			지반 계수
	전단파속도 (m/s)	표준관입시험 (N치 [†])	비배수전단강도 (kPa)	
경암지반 보통암지반	760 이상	-	-	1.0
연암지반 매우조밀한 토사지반	360~760	> 50	> 100	1.2
단단한 토사지반	180~360	15~50	50~100	1.5

* 비점착성 토층만을 고려한 평균 N치

11.3.5 댐형식의 영향

지진의 영향은 정역학적 방법으로 해석할 때 댐형식에 따라 달라진다. 일반적으로 롤필댐(표면차수벽형 석괴댐 포함)과 콘크리트 중력식댐(롤러 다짐 콘크리트댐 포함)은 상대적으로 지진에 안전한 댐으로 평가되고 있는 반면 흙댐은 취약한 것으로 되어 있어 흙댐으로 설계하는 경우 설계진도는 20% 크게하고 아치댐의 경우는 설계지반진도의 2 배를 적용해야 한다.

11.3.6 지반조사

- (1) 댐의 안정성 평가에 필요한 지반물성을 파악하기 위하여 지반조사를 실시해야 한다.
- (2) 지반조사는 지층구성, 지하수위, 각지층의 역학적 특성파악 및 실내시험을 위한 시료의 채취 등을 위한 현장시험과 채취된 시료를 이용한 실내에서의 역학적 시험을 포함한다.
- (3) 필요한 경우 전단파 속도주상도 등을 얻을 수 있는 동적현장시험을 실시해야 하며 지진에 취약한 지반의 경우 액상화 특성과 다양한 변형률 크기에 대한 변형계수와 감쇠비 특성을 얻을 수 있는 시험을 실시해야 한다.

11.3.7 입지조건

- (1) 지표면 전단파괴 잠재성이 있는 활성단층에 극히 인접해서 또는 그 단층을 가로지르는 댐을 건설하지 않는다.
- (2) 댐지점 주변 사면의 붕괴로 인하여 댐의 안정성이 위협받을 수 있는 지점에 댐을 건설하지 않는다.
- (3) 액상화 잠재성이 현저한 곳은 가급적 피하고 부득이한 경우에는 지반을 개량하여 액상화 발생가능성을 저하시킨다.

11.3.8 지진하중

- (1) 지진시 댐에 발생하는 응력과 변형을 평가할 때에는 댐에 작용하는 사하중에 설계진도를 급한 지진관성력을 고려하여야 하며 이 관성력의 작용방향은 댐 안정에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 해석해야 한다.
- (2) 지진시에는 유체의 동압력의 영향 뿐 아니라 수면파의 영향이 고려되어야 한다.

11.4 댐의 내진설계

댐은 그 형식에 따라 내진설계에 반영할 지진하중의 종류 및 적용범위가 조금씩 다르므로 다음의 세가지로 구분한다.

(1) 콘크리트 중력식댐

여기에는 률러다짐에 의한 콘크리트 댐이 포함된다.

(2) 필댐

여기에는 표면차수벽형 석괴댐이 포함된다.

(3) 아치댐

11.5 콘크리트 중력식댐의 내진설계

11.5.1 설계거동한계

콘크리트 중력식 댐은 지진이 발생해도 붕괴되어서는 않되며 다음과 같은 조건이 만족되어야 한다.

- (1) 콘크리트의 바탄성 거동은 허용될 수 있다.
- (2) 콘크리트에는 인장균열이 발생할 수 있으나 지진경과 후 저수능력이 유지될 수 있는 한계내에 있어야 하며 지진후 보수가 가능해야 한다.
- (3) 콘크리트에 발생한 응력은 설계 허용응력의 1.3 배를 초과하지 않아야 한다.
- (4) 콘크리트에 발생한 변형은 한계를 초과하지 않아야 한다.

- (5) 이음부의 열림 또는 국부적 파괴로 인해 통제불가능한 유출이 발생하지 않아야 한다.
- (6) 댐체는 들림을 고려한 미끄러짐과 전도에 대하여 소정의 안전율을 유지해야 한다.
- (7) 댐체는 지진으로 인한 수면파에 의해서 월류되거나 수리제어 시설의 기능이 장시간 정지되어서는 안된다.
- (8) 댐기초에는 액상화가 발생해서는 안된다.
- (9) 부속수리구조물의 재료는 탄성거동 한계내에 있도록 설계해야 하며 이때에는 "도로설계기준 내진설계편"을 참조해야 한다.

11.5.2 정역학적 설계기준

콘크리트 중력식댐의 댐 높이가 높거나 암반기초가 연약한 경우를 제외하고는 일반적으로 정역학적 설계방법인 진도법으로 설계한다.

(1) 지진력

설계에 적용하는 지진력은 작용점하중에 대한 지진관성력과 동수압이며 지진에 의한 저수지의 파랑고를 따로 고려해야 한다.

(가) 수평지진관성력

제체의 수평지진관성력은 제체의 자중에 설계진도를 곱한 것으로 하고 그 작용점은 단면형상에 관계없이 질량의 중심이며 작용방향은 수평방향으로 하되 댐안정에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 한다. 따라서 만수시의 안정해석에서는 지진관성력이 상류측에서 하류측으로 댐축에 직각방향으로 수평으로 작용하는 것으로 하고 댐 저수지가 비어있을 경우에는 반대로 하류측에서 상류측으로 작용하는 것으로 하되 설계진도는 소정설계진도의 $1/2$ 을 적용해도 무방하다.

수평지진에 의한 수압증가량은 6.2.1 절에 제시한 식 (6.19)에 의하여 구할 수 있다.

(나) 수직지진관성력

댐상류측 경사면이 있다면 이 경사면에 작용하는 물의 무게와 콘크리트의 중량에 설계진도의 $1/2$ 로 가정한 수직설계진도를 곱한 값에 해당하는 수직관성력을 고려할 수 있으며 작용방향은 상·하 방향 중 불리한 쪽으로 작용하는 것으로 한다.

(다) 지진에 의한 동수압

① 지진력이 작용할 경우에 발생하는 동수압은 댐을 강체로 가정한 Westergaard의 공식(식 6.10)에 의하여 계산하며 이것은 댐의 연직면에 상류측에서 하류측으로 수평으로 작용하는 것으로 한다.

② 동수압 계산시 적용하는 수심은 상시만수위에서 퇴사부의 저면의 기초지반의 지반고까지로 하여 퇴사부위에서도 지진에 의한 동수압이 작용하는 것으로 하는 대신 퇴사압에 대한 지진의 영향은 따로 계상하지 않는다.

(2) 응력해석

(가) 댐의 수평단면에 대한 흙응력의 분포는 선형적이며 댐의 응력은 정적외팔보(캔틸레버)이론으로 산정한다.

(나) 허용압축응력은 설계허용응력에 비하여 30% 증가를 허용한다.

(다) 상류측 선단에서의 인장응력은 발생하지 않도록 엄격히 제한해야하며 하류측 선단의 인장응력은 콘크리트의 인장강도까지 허용한다.

(3) 활동에 대한 안정

(가) 활동에 대한 안정계산은 식(6.25)과 같은 Henny 의 공식에 의하여 안전율 $F_{\{s\}}$ 를 구하며 그 값은 4 이상이어야 한다.

(나) 댐과 기초암반과의 접촉면 또는 기초암반내의 강도 또는 변형성이 크게 다르게 작용하는 부분이 존재하는 경우 기초암반의 안전율을 확보하기 위하여 국부적인 활동 안전율을 검토해야 하며 어느 경우에도 안전율은 2.0 이상이어야 한다.

(4) 전도에 대한 안정

전도에 대한 안정은 지진력을 포함한 모든 외력의 합력의 작용점이 댐전면 중앙 1/3 에 들면 안정한 것으로 판단한다.

(5) 여유고

여유고는 6.2.2 절에서 정한 바와 같이 여러 요인에 따라 정하는 것으로 지진에 의한 파랑고를 고려하여야 한다.

<표 6.1 참조>

지진에 의한 파랑고는 일반적으로 장파의 이론으로부터 수면상승을 산출한다.

<식 6.23 참조>

(6) 댐마루 시설의 설계

댐마루의 진도는 기초부의 진도보다 크므로 댐마루부에 있는 여러 가지 구조물, 특히 수문의 설계에 유념해야 한다. 댐마루에 있는 중요시설물에 적용하는 진도는 설계진도의 2 배를 취하는 것이 보통이다.

11.5.3 동적설계기준

(1) 동적설계법의 필요성

댐의 정적설계방법은 주로 경험을 토대로 한다. 이 방법은 경험적으로 타당성이 입증되고 있으나 본질적으로 지진시 댐의 거동을 정확히 해석할 수 없으며 지반운동과 댐체와의 거동특성이

분명하지 않다. 따라서 높은댐의 안정성이나 기초암반의 거동특성을 가장 과학적으로 해석할 수 있는 방법이 동적응답해석법이라 할 수 있다.

(2) 지진해석 방법과 절차의 기본

(가) 댐의 지진응답 해석시 유체-구조물-지반 상호작용에 의한 유체의 동압력이 고려되어야 한다.

(나) 유체-구조물-지반 상호작용 해석시 유체의 압축성, 구조물의 유연성과 지반의 변형성이 고려되어야 한다.

(다) 보수성이 입증된다면 유체는 비압축성으로 모델링될 수 있다.

(라) 지반을 통한 지진파의 방사조건이 반영되어야 한다.

(마) 지반매질의 변형도 의존 특성이 고려되어야 한다.

(바) 수면파(파장) 해석시에는 유체의 압축성과 구조물 및 지반의 변형성을 고려할 필요는 없다.

(사) 콘크리트의 변형은 비선형으로 모델링되어야 한다.

(아) 부속 구조물의 응답은 비선형거동 특성을 고려할 수 있는 해석법에 의해서 해석하고 일반 구조물의 지진응답 해석법을 준용한다. 단, 입력지반운동에는 댐의 지진응답의 영향이 고려되어야 한다.

(자) 여수로와 수리제어시설의 지진응답은 비선형 해석법에 의하거나 비선형 거동특성을 보수적으로 고려할 수 있는 방법으로 평가한다.

(차) 시간영역 해석법이 사용될 수 있다.

(카) 상세한 수치모델링이나, 보수성이 입증된다면 단순해석법이 사용될 수 있다.

11.6 필댐의 내진설계

11.6.1 설계거동한계

필댐은 지진이 발생해도 붕괴되어서는 안되며 다음과 같은 조건이 만족되어야 한다.

(1) 재료의 항복과 영구변형은 허용될 수 있으나 댐의 강도에는 큰 영향이 없어야 한다.

(2) 제체 및 기초에 액상화가 발생해서는 안된다.

(3) 댐체의 사면활동이나 기초의 활동이 발생하지 않아야 한다.

(4) 댐체에 발생가능한 균열은 댐의 저수능력의 지나친 저하를 초래하지 않는 수준으로 제한되어야 한다.

- (5) 댐체나 기초에 과다한 침하가 발생하지 않아야 한다.
- (6) 지진으로 발생하는 수면파에 의하여 댐체가 월류되거나 수리구조물의 붕괴가 유발되어서는 안된다.
- (7) 지진시나 지진경과후 댐체나 부속구조물과의 경계, 기초와 양안부(abutment)를 통해 제어불가능한 누수가 발생하여 댐의 기능이 손상되어서는 안된다.
- (8) 수리구조물의 구조재료는 소성변형 한계내에 있어야 하며 수리제어시설은 수시간내에 정상작동회복이 가능한 한계를 초과해서는 안된다.

11.6.2 정역학적 설계기준

설계에 적용하는 지진력은 작용정하중에 대한 지진관성력만 고려하고 동수압은 그 영향이 미미하므로 제외한다. 지진에 의한 파랑고는 필요한 경우 따로 고려한다.

(1) 일반사항

필댐을 내진적으로 설계하기 위하여 과거의 지진피해 사례로 보아 설계시 유의해야 할 사항은 다음과 같다.

- (가) 기초지반은 양호한 장소를 선정하는 것이 좋다. 지진동의 최대변위는 견고한 지반에서는 연약지반의 수분의 1에 지나지 않기 때문이다. 그러나 지반이 견고하지 않아서 필댐 형식이 선정되는 경우가 많으므로 이 경우 기초지반의 지진시 안정에 대하여 충분한 검토를 해야한다.
- (나) 코어형댐에서 사력부(쉘부)를 퇴적지반상에 설치하거나 코어를 깊은 기초암반에 설치할 때 축조재료의 강성차이로 균열이 발생할 우려가 있으므로 지진동에 저항하기 위해서는 쉘과 코어 사이에 최소 2~4m의 필터층을 두어야 한다.
- (다) 내진적인 관점에서 중심코어형이 경사코어형보다 유리하다.
- (라) 필댐중 지진에 저항하는 능력이 가장 높은 댐은 표면차수벽형 석괴댐이다.
- (마) 댐의 지진동은 상부가 하부보다 크므로 상부에서 활동과 파괴가 일어나기 쉽다. 따라서 이 부분의 활동 가능성에 대한 세밀한 검토가 필요하다.
- (바) 댐의 비탈면에 소단이 있을 때 사면의 안정은 매우 증가한다.
- (사) 강진이 예상되는 지점에서는 블랭키트에 의한 차수공법은 피하는 것이 좋다.
- (아) 지진동으로 인한 축제재료의 액상화를 피하기 위해서는 적절한 흙의 선정과 충분한 다짐이 필수적이다.
- (자) 서로 다른 종류의 댐이 복합된 댐(필댐과 콘크리트댐의 접속 등)의 접속부는 차수성이 보장되어야 하며 이들 접촉면에서의 지진저항은 각 형식의 댐의 진동특성을 고려하여 평가해야 한다.

(자) 매설관류는 댐과 다른 진동을 하기 때문에 관류는 쉽게 파손된다. 따라서 매설위치는 기초지반과 제체의 접속부를 피하여 선정한다. 가능하면 자연지반으로 하는 것이 좋다.

(2) 지진력

진도법에 의한 정역학적 설계에서 필댐에 작용하는 지진력은 활동면 상의 제체무게에 설계진도를 곱한 지진관성력이며 이 힘의 작용점은 활동면의 중심이며 작용 방향은 수평방향으로 하되 안정에 불리한 쪽으로 정한다. 활동면에 연직으로 작용하는 동수압은 아주 작으므로 무시한다. 활동면에 수직으로 작용하는 지진관성력은 수평관성력의 $1/2$ 로 계산할 수 있으나 수평지진관성력을 적용하는 경우가 가장 불리하므로 실제로는 적용하지 않는다.

(3) 활동면 법에 의한 지진시 사면안정 검토

(가) 필댐의 내진설계에 있어 가장 중요한 부문이 사면안정검토로 내진설계의 거의 전부라 할 수 있다.

(나) 활동면 위의 제체가 활동하도록 하는 힘은 정수압, 해당제체의 자중, 활동면을 따라 작용하는 간극수압 및 수평지진관성력이고 이를 외력에 저항하려는 힘은 활동면에 연직으로 작용하는 반력과 활동면의 접선방향으로 작용하는 점착력과 마찰력이다. 활동원의 중심에 대하여 의력의 모멘트에 설계최소안전율을 곱한 값이 저항 모멘트를 초과하지 않는 한 댐은 활동에 대하여 안전하다고 판단하는 것이다.

(라) 사면안정 검토에 적용하는 지진관성력은 저수지의 수위 상태와 그 수위 발생 빈도 등을 고려하여 <표 4.5>와 같이 차등 적용한다.

(마) 지진관성력 계산을 위한 제체의 무게는 4.2.7 절의 (2)와 같은 계산방법에 의한다.

(바) 지진시 간극수압은 분명히 변화 하지만 현재상태에서는 그 변화의 증감폭을 정량적으로 평가하기 어렵다. 그러므로 설계자의 적절한 판단에 의한다. Bishop 의 원호법에 의한 사면안정 해석에서는 대체로 간극 수압에 설계진도를 곱한 값을 적용하고 있다.

(사) 일반적으로 설계진도는 댐 상부에서 저면에 까지 같다고 가정한다.

(아) 모든 관측결과에 의하면 댐 상부진동은 저부진동에 비하여 상당히 크다. 그러므로 높은 필댐의 경우 댐 상부(댐 높이의 $3/4$ 이상 부분)에 대하여 설계 진도의 2 배 값을 채택하는 것은 합리적이다. 댐 상부에 설치되는 수리구조물의 경우 또한 같다.

11.6.3 동적 설계

(1) 필요성

최근에 건설되는 필댐은 해당 공학의 발전과 시공장비의 발달등에 따라 점차 대형화 되고 있는 추세다. 과거 경험적 방법인 진도법은 보수적으로 채택되어 왔으나 적정지진규모와 기술적 조건이 충분히 고려되지 못했기 때문에 보다 과학적이고 이론적인 동적해석 기법의 적용이 필요하다.

(2) 지진해석 방법과 절차의 기본

(가) 구성재료의 비선형 거동특성이 고려되어야 한다.

(나) 구성재료는 고체와 유체로 이루어진 2 면매체(two phase media)이므로 모델링시 그 특성이 고려되어야 한다.

(다) 경사가 완만하여 유체와 댐의 상호작용이 동압력에 미치는 영향이 작으면 상호작용을 고려하지 않아도 무방하다.

(라) 구성재료의 2 면 매체 거동 특성을 고려한 비선형 모델링 방법을 사용하거나 타당성이 입증된 단순화된 방법으로 해석해야 한다.

(마) 기초지반에 대한 해석은 콘크리트 중력식 댐의 경우를 준용한다.

(바) 부속구조물과 수리제어시설에 대하여는 콘크리트 중력식 댐의 경우를 준용한다.

(사) 동적해석에서 일반적으로 선형적 방법을 응력해석에 이용하고 있으나 면밀한 검토를 위하여 단계적 해석이 사용되어야 하며 흙의 소성적 성질과 동적간극수압을 고려한다.

(아) 응력해석을 위한 유한요소법은 응력과 변형의 시간이력을 각 요소에 대하여 산출이용한다.

(자) 산출한 응력이력에 기인한 흙의 파괴조건은 재료시험이나 제안공식을 이용하여 결정한다.

(차) 각 요소의 파괴와 댐의 대규모 파괴 사이의 관계를 규명하는 데에는 특별한 주의가 필요하다.

11.7 아치댐의 내진설계

11.7.1 설계거동한계

아치댐의 설계거동한계는 11.5.1의 콘크리트 중력식 댐의 경우를 준용한다.

11.7.2 내진설계의 고려대상

아치댐에 있어서 내진설계의 중점목표는 지진력을 포함한 모든 외력에 의한 댐체 내의력이 콘크리트의 허용응력을 초과하지 않도록 댐 단면을 결정하는 것과 댐체와 기초암반의 접촉면, 특히 양안접촉면에서의 기초암반이 지진시에도 전단에 대하여 안정하여 활동하지 않도록 댐 위치와 댐의 형상을 결정하는 두 가지이다.

11.7.3 내진설계 일반

(1) 아치댐의 경우에도 다른 형식의 댐의 경우와 같이 정역학적 해석방법인 진도법과 동역학적 해석방법이 적용될 수 있다.

(2) 동역학적 해석방법을 적용하려면 입력지진과 댐의 응답진도 및 댐체와 기초지반 재료의 동적강도가 정확히 평가될 수 있는 경우에만 채택해야 한다.

(3) 위의 각종 물성치와 신뢰할 수 있는 가정의 결정이 어려울 때에는 진도법으로 해석해도 무방하다.

(4) 다수의 아치댐이 건설되었고 이 형식의 댐 특성이 보다 명확해지고 있을 뿐만 아니라 아치댐은 중력식댐보다 쉽게 변형되므로 외국의 사례를 토대로 면밀한 방법에 의하여 안전하고 경제적인 설계가 되도록 동역학적 해석결과와 비교해야 한다.

11.7.4 정역학적 설계기준

(1) 지진력

응력해석에 사용하는 지진력은 자중에 설계진도를 곱한 지진관성력과 동수압이다.

(가) 지진관성력

아치댐은 기초지반과 일체로 거동하는 구조이므로 지진관성력은 제체자중에 설계진도를 곱한 관성력과 기초지반의 가상활동면 내의 암괴중량에 설계진도를 곱한 관성력을 모두 고려해야 하며 이들 관성력의 작용점은 질량의 중심이며 작용방향은 안정에 가장 불리한 방향으로 수평으로 작용하는 것으로 한다.

저수지가 비어있는 상태에서의 응력해석시 지진관성력의 작용방향은 하류측에서 상류측으로 작용하는 것으로 하되 적용진도는 설계진도의 1/2 만 취한다.

아치댐에서는 수직 지진관성력에 대하여도 반드시 검토해야하며 이때의 적용진도는 설계진도의 1/2 로 가정한다.

(나) 동수압

지진시 아치댐에 작용하는 동수압의 크기는 콘크리트 중력식댐과 같이 Westergaard 의 공식에 의하여 계산하고 그 작용방향은 댐 상류면의 직각방향(곡률중심방향)이다.

(2) 댐체내의 응력해석

(가) 아치댐의 응력해석은 캔틸레버 요소와 수평아치 요소로 해석한다.

(나) 적용설계진도는 상세한 이론적, 실험적 연구결과에 따라 예측되어야 하나 어려울 때는 콘크리트 중력식댐의 경우의 2 배를 취해야 한다.

(다) 댐을 하류측으로 만곡시키면 캔틸레버 요소의 자중응력에 의해 지진응력이 상쇄되고 아치요소에도 자중에 의한 아치응력(축압력)을 일으키게 된다.

(라) 콘크리트의 설계허용응력은 압축응력에 대하여는 4 배 이상의 안전율을 가져야 하며 지진시에는 10kgf/cm^2 까지의 인장응력을 허용하는 것으로 한다.

(3) 기초암반의 안정해석

(가) 지진시 기초암반에 작용하는 지진력은 제체에 작용하는 지진력에 의해 일어나는 추력(淮力)과 기초암반 자체에 작용하는 지진력이다.

(나) 기초암반의 지진력은 가상 활동면 내의 암괴중량에 설계진도를 곱한 지진관성력으로 하며 작용점은 암괴의 중심(重心)이고 작용방향은 하류방향이다.

(다) 활동에 저항하는 힘이 활동하도록 하려는 외력의 합보다 4 배 이상이 되도록 해야한다.

11.7.5 동적설계기준

(1) 아치댐의 지진에 의한 동적거동을 해석하는 방법은 해석적 방법, 실험적 방법 및 수치적 방법이 있다.

(2) 아치댐은 가요성이어서 지진을 받으면 댐체는 처짐을 동반한 탄성진동을 일으키므로 정역학적 방법으로는 지진시의 거동을 정확히 해석할 수 없다. 따라서 높은 아치댐의 설계시에는 응력과 변형은 동적해석에 의해야 한다.

(3) 아치댐의 설계시 경계조건은 복잡하여 유한요소법에 의한 수치적 해석이 가장 간단할 뿐 아니라 해석결과의 상대적 신뢰도가 높으므로 일반적으로 유한요소법을 설계기준으로 한다.

(4) 아치댐 응력-변형 해석시에 사용하는 유한요소법의 기본적 단계는 다음과 같다.

(가) 유한요소의 집합으로서 기초암반의 적절한 부분과 댐의 개념을 설정한다. 이때 기초요소의 확정깊이는 댐높이의 1~2 배를 취한다.

(나) 진동방정식으로 나타내기 위하여 압력지진력 요소의 감쇠와 강성을 평가한다. 이때 저수의 관성력을 부가응력으로 고려한다. 재료가 선형적 탄성체일때 매트릭스 형태의 운동방정식은 식(11.1)과 같다.

$$M\ddot{y} + C\dot{y} + Ky = F(t) \quad (11.1)$$

여기서 **M** : 질량 매트릭스

C : 감쇠매트릭스

K : 강성 매트릭스

F : 지진관성력

y : 절점부의 변위 벡터

(다) 일반좌표에 대한 유한요소좌표로부터 운동방정식의 변형과 댐-기초 계(系)의 진동모드형상을 평가한다. 이 때 생기는 진동형은 규준진동형으로써 취급할 수 있고 그 진폭의 크기는 지진파동의 성질 및 댐의 진동특성, 즉 규준진동형, 진동주기, 진동감쇠성 등에 의해 정한다.

(라) 기준좌표의 각각에서 지진응답 계산은 응합 스펙트럼이나 설계지진의 시간이력해석 중에 어느 하나를 이용해서 전체응답을 얻기 위한 모드를 가정한다.

11.8 지진응답계측

11.8.1 일반사항

(1) 내진특등급 댐의 경우 지진응답 계측기기를 설치하고 정상상태가 유지될 수 있도록 관리해야 한다.

(2) 내진 I 등급댐에 대해서는 유지관리, 내진설계기술개발 및 개선에 필요한 자료확보를 위하여 관할기관은 지진계를 설치하고 운영하도록 요구할 수 있다.

11.8.2 계측기기의 설치와 관리

댐의 지진응답을 계측하기 위한 계측기기의 설치위치와 종류, 개수 및 관리방법은 이 설계기준의 목적을 달성할 수 있도록 지진공학 전문가와 협의하여 결정해야 한다.

부 록

장의 재구성 제 1 장 총칙

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
제 1 장 목 적	1.1 목 적	
제 2 장 내 용	1.2 내 용	
제 3 장 운용방침	1.3 운용방침	

제 2 장 댐 조사

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
제 1 장 조사 계획의 수립 1.1 사업계획의 확인 1.2 조사계획 1.3 참고문헌 및 자료의 수집 1.4 현지답사	2.1 댐 조사 계획의 수립 2.1.1 사업계획의 확인 2.1.2 조사계획 2.1.3 참고문헌 및 자료의 수집 2.1.4 현지답사	
제 2 장 측 량 2.1 댐 지점의 측량 2.2 저수지의 측량 2.3 가설비와 이설도로 측량 2.4 댐의 제측량	2.2 측 량 2.2.1 댐 지점의 측량 2.2.2 저수지의 측량 2.2.3 가설비와 이설도로 측량 2.2.4 댐의 측량	
제 3 장 기상 · 수문조사 3.1 관측소의 설치 3.2 기상 · 수문자료 수집 3.3 기왕의 최대홍수량과 확률강우량의 추정 3.4 확률강우량 3.5 설계홍수량의 산정 3.6 저수용량의 조사 3.7 퇴사량 조사	2.3 기상 · 수문조사 2.3.1 관측소의 설치 2.3.2 기상 · 수문자료 수집 2.3.4 저수용량의 조사 2.3.5 퇴사량 조사	현행의 3.3, 3.4, 3.5절은 제3장 댐계획에서 다룬

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
제 4 장 하천상황 조사 4.1 하천상황 조사사항과 조사 계획 4.2 수질 및 생태환경조사 4.3 하상 상황조사	2.4 하천상황 조사 2.4.1 하천상황 조사사항과 조사 계획 2.4.2 수질조사 2.4.3 댐유역 상 · 하류 상황조사	
제 5 장 지형조사 5.1 지형조사의 항목과 조사계획 5.2 지형조사 5.3 지형분류 조사	2.5 지형조사 2.5.1 지형조사의 항목과 조사계획 2.5.2 지형조사 2.5.3 지형분류 조사	
제 6 장 지질조사 6.1 일반 6.2 저수지 주변의 지질조사 6.3 재료조사 6.4 시험방법과 정도	2.6 지질 및 지반조사 2.6.1 일반 2.6.2 댐부지의 기초지반조사 2.6.3 저수지 주변조사 2.6.4 제체 재료조사 2.6.5 시험방법과 정도	
제 7 장 댐 입지조건 조사 7.1 조사사항 및 조사계획 7.2 조사	2.7 댐 입지조건 조사 2.7.1 조사사항 및 조사계획 2.7.2 조사 2.8 환경성 조사 2.8.1 자연환경에 관한 조사 2.8.2 생활환경에 관한 조사 2.8.3 사회 · 경제환경에 관한 조사	환경성 조사 추가

제 3 장 댐계획

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
<p>제 1 장 총 론</p> <p>1.1 댐의 분류 및 용어의 정의</p> <p> 1.1.1 댐의 분류</p> <p> 1.1.2 용어의 정의</p> <p>1.2 개발의 목적</p> <p> 1.2.1 개론</p> <p> 1.2.2 생활 및 공업용수 공급</p> <p> 1.2.3 농업용수 공급</p> <p> 1.2.4 수력발전</p> <p> 1.2.5 홍수조절</p> <p> 1.2.6 하천유지용수의 확보</p> <p> 1.2.7 위락 및 휴식</p> <p> 1.2.8 어류 및 야생동물</p> <p>1.3 사업의 평가</p> <p> 1.3.1 유역종합계획과 댐 개발</p> <p> 1.3.2 조사의 범위 및 단계</p> <p> 1.3.3 총괄계획의 수립</p> <p> 1.3.4 공사량 및 사업비 견적</p> <p> 1.3.5 보고서 작성</p>	<p>3.1 계획 일반</p> <p> 3.1.1 댐의 분류 및 용어의 정의</p> <p> (1) 댐의 분류</p> <p> (가) 정의 및 목적에 의한 분류</p> <p> (나) 기능에 따른 분류</p> <p> 3.1.2 댐 건설의 목적과 용도</p> <p> (1) 댐 건설의 목적</p> <p> (2) 용수공급</p> <p> (가) 생활용수</p> <p> (나) 공업용수</p> <p> (다) 농업용수</p> <p> (3) 홍수조절</p> <p> (4) 수력발전</p> <p> (5) 하천유지용수의 확보와 환경개선효과</p> <p> (6) 친수공간 확보와 레크리에이션</p> <p> 3.1.3 사업 절차와 평가</p> <p> (1) 댐 개발과 통합유역계획</p> <p> (2) 조사 절차와 범위</p> <p> (3) 공사량 및 사업비 산정</p> <p> (4) 보고서 작성</p>	
<p>제 2 장 계획입안</p> <p>2.1 일반사항</p> <p> 2.1.1 편익 공제수량의 결정</p> <p> 2.1.2 목적별 용수수요의 예측</p>	<p>3.2 계획 입안</p> <p> 3.2.1 용수수요의 추정</p> <p> (1) 공제수량의 결정</p> <p> (2) 목적별 용수수요의 추정</p>	항목추가

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
2.2 저수지 조작 및 수력발전 2.2.1 개론 2.2.2 저수지 용량 배분 2.2.3 저수지 조작 기준 및 용수공급능력 2.2.4 수력발전계획	3.2.2 저수지 용량배분과 운영 (1) 저수지 수위와 용량의 정의 (2) 저수지운영기준과 용수공급능력 (3) 수력발전 계획	
2.3 편익계산 2.3.1 농업용수 편익 2.3.2 생활, 공업용수 편익 2.3.3 수력발전 편익 2.3.4 홍수조절 편익 2.3.5 기타 편익	3.2.3 편익 산정 (1) 편익의 정의 및 분류 (2) 생·공업용수 편익 (3) 농업용수 편익 (4) 홍수조절 편익 (5) 수력발전 편익 (6) 기타 편익	
2.4 최적규모의 결정 2.4.1 개론 2.4.2 시스템 분석 2.4.3 연간비용 및 연간편익 계산	3.2.4 비용 산정 (1) 비용의 정의 및 분류 (2) 비용의 산정 (3) 보상비 산출 3.2.5 타당성 평가 (1) 경제적 타당성분석 (2) 경제성 분석기법 (3) 연간균등편익과 연간균등비용 (4) 민감도 분석 (5) 재무적 타당성	최적규모 결정전 타당성 평가
	3.2.6 최적규모의 결정 (1) 사업목적별 대안과 시스템분석 (2) 최적규모의 결정 (3) 대안의 비교	

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
2.5 총 사업비 및 비용 배분 2.5.1 순 건설비 견적 2.5.2 매수 및 보상비 견적 2.5.3 목적별 비용배분	3.2.7 비용배분 (1) 비용배분 방법 (2) 비용배분 절차	
2.6 타당성 평가 2.6.1 개론 2.6.2 경제적 타당성 2.6.3 재무적 타당성		
2.7 환경보전계획	3.2.8 환경보전계획과 사회경제적 영향 (1) 환경변화의 평가와 보전계획 (2) 환경친화적 계획의 수립 (3) 공사중 환경보전대책 (4) 사회경제적 영향 (5) 지역사회와의 협의 및 지원대책의 수립	
제 3 장 계획홍수의 결정 3.1 개 론 3.2 가능최대강수량의 추정 3.3 가능최대강수량의 유효주상도 작성 3.4 단위유량도법 3.5 합성단위유량도법 3.6 유역 홍수추적법 3.7 유입설계 홍수의 계산 절차 3.8 저수지 홍수 추적 절차	3.3 설계홍수량의 결정 3.3.1 일반사항 3.3.2 가능최대 강수량의 추정 3.3.3 가능최대 강수량의 유효주상도 작성 3.3.4 단위 유량도법 3.3.5 합성 단위유량도법 3.3.6 유역 홍수추적법 3.3.7 유입설계 홍수의 계산 절차 3.3.8 저수지 홍수 추적 절차	계획 홍수량 → 설계 홍수량

댐시설기준(현행)	댐설계기준(개정)	비고
제 4 장 댐 위치와 댐 형식의 결정 4.1 댐 위치의 결정 4.2 댐 형식의 결정	3.4 댐 위치와 댐 형식의 결정 3.4.1 댐 위치의 결정 3.4.2 댐 형식의 결정	(제4장) 순서가 설계 홍수 앞으로 오는 경우가 많이 있으나 일본건설성 사방기 술기준(안) 개정판의 경우는 계획홍수 뒤로 위치하여 있음.
제 5 장 유수전환 5.1 유수전환의 필요성과 고려사항 5.2 유수전환 방식의 선정 5.3 유수전환 대상 홍수량 5.4 가배수 터널 5.5 가물막이 5.6 제내 가배수로 5.7 가배수거 5.8 유수전환 시설의 폐쇄공 5.9 유수전환 공사 시방규정		제5장 유수 전환 ↓ 제10장 유수 전환 으로 이전
제 6 장 유지 및 운영 6.1 개설 6.2 댐의 검사 및 유지관리 6.3 댐의 관리 및 운영		(제6장) 댐시설 유지 관리기준에서 다른 것이 타당할 것으로 보임.

제 4 장 필 댐

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
<p>제 1 장 총 론</p> <p>1.1 필댐의 정의</p> <p>1.2 필댐의 안정조건</p> <p>1.3 필댐의 분류</p> <p>1.4 필댐의 특성</p> <p>제 2 장 필댐의 설계</p> <p>2.1 확인조사</p> <p>2.2 기초설계</p> <p> 2.2.1 일 반</p> <p> 2.2.2 암반기초 위의 댐</p> <p> 2.2.3 투수성지반 위의 댐</p> <p> 2.2.4 연약지반 위의 댐</p> <p> 2.2.5 엉성한지반 위의 댐</p> <p>2.3 표준단면의 설계</p> <p> 2.3.1 용어의 정의</p> <p> 2.3.2 여유고</p> <p> 2.3.3 댐마루폭</p> <p> 2.3.4 더쌓기</p> <p> 2.3.5 비탈면 기울기와 소단(小段)</p> <p> 2.3.6 댐 축</p> <p> 2.3.7 상류측 비탈면의 보호</p> <p> 2.3.8 하류측 비탈면의 보호</p> <p>2.4 축재재료 선택</p> <p> 2.4.1 축재재료와 기능</p> <p> 2.4.2 필터의 설계</p> <p> 2.4.3 파이핑(Piping)</p>	<p>4.1 설계일반</p> <p> 4.1.1 필댐의 정의</p> <p> 4.1.2 필댐의 안정조건</p> <p> 4.1.3 필댐의 분류</p> <p> 4.1.4 필댐의 특성</p> <p>4.2 필댐의 설계</p> <p> 4.2.1 확인조사</p> <p> 4.2.2 기초설계</p> <p> (1) 일 반</p> <p> (2) 암반기초</p> <p> (3) 사력기초</p> <p> (4) 토질기초(연약지반)</p> <p> 4.2.3 표준단면의 설계</p> <p> (1) 용어의 정의</p> <p> (2) 여유고</p> <p> (3) 댐마루 폭</p> <p> (4) 더쌓기</p> <p> (5) 비탈면 기울기와 소단(小段)</p> <p> (6) 댐 축</p> <p> (7) 상류측 비탈면의 보호</p> <p> (8) 하류측 비탈면의 보호</p> <p> 4.2.4 축재재료 선택</p> <p> (1) 축재재료와 기능</p> <p> (2) 축재재료의 선정을 위한 시험</p> <p> (3) 시험 성토</p> <p> (4) 필터의 설계</p> <p> (5) 파이핑(piping)현상의 방지설계</p>	<p>기초지반 처리방법의 명확화</p> <p>,</p> <p>,</p> <p>수면접촉 빈번구간의 기준 보강</p> <p>의미의 명확화</p>

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
2.5 댐형식의 결정 2.5.1 균일형 댐 2.5.2 존형 댐 2.5.3 코어형 댐 2.5.4 표면차수벽형 댐	4.2.5 댐 형식의 결정 (1) 균일형 댐 (2) 존형 댐 (3) 코어형 댐 (4) 표면차수벽형 댐	
2.6 침투수에 대한 검토 2.6.1 검토의 주안점 2.6.2 침윤선 2.6.3 유선망 2.6.4 누수량 2.6.5 침투수에 대한 안정성의 검토 2.6.6 수치해석에 의한 침투류 해석	4.2.6 침투수의 안정성 검토 (1) 검토의 주안점 (2) 침투류 해석 (3) 침윤선의 도식해법 (4) 유선망(流線網)의 도식해법 (5) 누수량 (6) 수치해석에 의한 침투류 해석 (7) 침투수에 대한 안전성의 검토	설계시 검토해야할 사항만 기술
2.7 안정성 검토 2.7.1 활동에 대한 안전율 2.7.2 설계하중 2.7.3 설계수치 2.7.4 안정계산 2.7.5 수치해석에 의한 안정성 검토	4.2.7 사면 활동의 안정성 검토 (1) 활동에 대한 최소 안전율 (2) 설계하중 (3) 설계수치 (4) 안정계산 (5) 수치해석에 의한 안정성 검토 (6) 컴퓨터의 이용	설계시 활용가능 한 이론을 소개 하고 국제적으로 가장 널리 활용 되고 있는 이론 을 추천 제시함
2.8 소규모 댐 규정 2.8.1 소규모 댐 규정 2.8.2 여유고 2.8.3 댐마루 폭 2.8.4 상류비탈면의 보호 2.8.5 취수설비	4.2.8 변형의 안정성 검토 4.2.9 소규모 댐의 설계 (1) 소규모 댐 규정 (2) 여유고 (3) 댐마루 폭 (4) 상류비탈면의 보호 (5) 암거의 설치	

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
<p>2.9 홍수조절댐의 설계 2.10 복합댐의 설계 2.11 가배수로와 가물막이 2.11.1 형식과 위치의 선정 2.11.2 가배수로의 수리계산 2.11.3 가물막이</p> <p>제 3 장 필댐의 시공 3.1 기초지반의 처리 3.1.1 댐터처리 3.1.2 터파기와 배우기 3.1.3 그라우트 주입 3.2 축제공사 3.2.1 토취장 3.2.2 흙쌓기 3.2.3 투수성부의 시공 3.2.4 록·필의 시공 3.2.5 비탈면 포장 3.2.6 비탈면 끌손질과 사석 3.3 흙쌓기의 시공관리 3.3.1 시공관리 시험 3.3.2 시공관리의 기준 3.3.3 관리결과의 기록</p>	<p>4.2.10 가배수로와 가물막이</p> <p>4.3 필댐의 시공관련 설계검토 4.3.1 기초지반의 처리 (1) 하상기초 굴착면의 정리 4.3.2 축조공사 (1) 성토시험 (2) 록·필의 시공 4.3.3 흙쌓기의 시공관리 (1) 시공관리 시험 (2) 관리결과의 기록 4.3.4 매설계기 (1) 간극수압계 (2) 토압계 (3) 충별침하계 (4) 수평변위계 (5) 누수측정장치 (6) 지진계 (7) 암반변위 측정계 (8) 전단변위 측정계</p>	<p>현행 기준은 소규모댐 설계시 적용하는 기준이므로 불필요</p>

제 5 장 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
제 1 장 총 설 1.1 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐의 정의	5.1 설계일반 5.1.1 적용범위 5.1.2 용어의 정의 5.1.3 표면차수벽형 석괴댐의 선정	명칭변경 및 추가
제 2 장 기본적 고려사항 2.1 개 설 2.2 댐의 용도 2.3 댐 규모와 지형지질 2.4 공사용 재료 2.5 수문·기상 및 홍수량 2.6 전체적인 사업 시설물의 배치계획 2.7 공사기간 2.8 공사비/경제성 2.9 운영·유지·관리	5.2 기초설계 5.2.1 일반사항 5.2.2 기초지반의 평가요소 5.2.3 토슬래브 및 트랜지션존의 기초 5.2.4 암석존의 기초 5.2.5 댐의 기초처리	명칭변경
제 3 장 설계세부사항 3.1 개 설 3.2 댐 폭원 및 상하류면 경사도 3.3 토·슬래브/프린스 3.3.1 개 설 3.3.2 기초처리 3.3.3 토·슬래브 제원 기준 3.3.4 토·슬래브의 배근 3.4 암축설 3.4.1 기초처리 3.4.2 암축설 개요 3.4.3 단면구성	5.3 프린스의 설계 5.3.1 일반사항 5.3.2 프린스 폭 5.3.3 프린스의 두께 5.3.4 철근 (1) 철근의 기능 (2) 철근비 (3) 앙카바 (4) 수직시공이음 (5) 수직신축이음	

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
<p>3.4.4 존 · 1(블루수성층) 3.4.5 존 · 2(차수벽 지지층) 3.4.6 존 · 3(암석층) 3.4.7 시공관리</p> <p>3.5 콘크리트 차수벽 3.5.1 차수벽 제원기준 3.5.2 연직 조인트 3.5.3 페리미터 조인트 3.5.4 콘크리트 3.5.5 배 균 3.6 파라페트(Parapet Wall)</p> <p>3.7 댐 마루 침하에 따른 더 쌓기 등 대책</p> <p>3.8 안전도 해석 3.8.1 정역학적 해석 3.8.2 동역학적 해석</p> <p>3.9 매설계기</p>	<p>5.4 댐 표준단면의 설계 5.4.1 일반사항 5.4.2 댐체 단면의 구분 5.4.3 댐마루표고와 여유고 5.4.4 댐마루폭의 결정 5.4.5 더 쌓기 5.4.6 댐체 사면경사의 결정 5.4.7 댐체 사면도로 5.4.8 댐단면의 구성</p> <p>5.5 차수벽의 설계 5.5.1 일반사항 5.5.2 콘크리트 5.5.3 블록의 설정 5.5.4 슬래브의 두께 5.5.5 철근 5.5.6 균열제어 5.5.7 지수판 및 이음 (1) 일반사항 (2) 주변이음 (3) 시공이음 (4) 수축신축이음 5.5.8 슬립폼의 설계</p> <p>5.6 매설계기 5.6.1 일반사항 5.6.2 계 측</p> <p>5.7 안정계산 5.7.1 일반사항 5.7.2 사면 안정해석</p>	

제 6 장 콘크리트 중력댐

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
<p>제 1 장 설계 기준</p> <p>1.1 기준의 적용 범위</p> <p>1.2 설계의 기본</p> <p>1.3 시공의 기본</p> <p>1.4 댐 위치와 형식의 선정</p> <p> 1.4.1 댐 위치</p> <p> 1.4.2 콘크리트댐 형식의 선정</p> <p>1.5 댐 및 저수지의 제원</p> <p> 1.5.1 설계 홍수량</p> <p> 1.5.2 설계 홍수위</p> <p> 1.5.3 저수 용량</p> <p> 1.5.4 퇴사량의 추정</p>	<p>6.1 설계일반</p> <p> 6.1.1 기준의 적용 범위</p> <p> 6.1.2 조사와 계획의 기본</p> <p> 6.1.3 설계의 기본</p> <p> 6.1.4 댐 위치와 형식의 선정</p> <p> (1) 댐 위치</p> <p> (2) 댐 형식의 선정</p>	<p>항목 추가 내용 수정</p>
<p>제 2 장 기본 설계</p> <p>2.1 댐에 작용하는 힘</p> <p> 2.1.1 댐의 자중</p> <p> 2.1.2 정수압</p> <p> 2.1.3 동수압</p> <p> 2.1.4 양압력</p> <p> 2.1.5 파 압</p> <p> 2.1.6 빙 압</p> <p> 2.1.7 퇴사압</p> <p>2.2 댐의 표준단면</p> <p>2.3 기초암반의 설계</p> <p>2.4 제체의 안정계산</p>	<p>6.2 설계조건</p> <p> 6.2.1 댐에 작용하는 힘</p> <p> (1) 댐의 자중</p> <p> (2) 정수압</p> <p> (3) 동수압</p> <p> (4) 양압력</p> <p> (5) 파 압</p> <p> (6) 퇴사압</p> <p> (7) 지 진</p> <p> 6.2.2 댐의 표준단면</p> <p> 6.2.3 기초암반의 설계</p> <p> 6.2.4 제체의 안정성 검토</p>	<p>항목 추가 내용 수정</p>

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
제 3 장 세부 설계	6.3 세부설계	
3.1 이음의 설계	6.3.1 콘크리트 배합설계 (1) 일반사항 (2) 콘크리트 배합의 선정	항목 추가 내용 수정
3.1.1 이음	6.3.2 이음(joint)의 설계 (1) 이음 (2) 수평 시공이음 (3) 가로수축이음 (4) 세로수축이음 (5) 개방이음 (6) 치형이음	
3.1.2 수평 시공이음		
3.1.3 세로 수축이음		
3.1.4 가로 수축이음		
3.1.5 개방이음		
3.1.6 치형이음		
3.2 지수판 및 배수공	6.3.3 지수판 및 배수공 (1) 세로수축이음의 지수판	
3.2.1 세로 수축이음의 지판축 및 이음 배수공	(2) 이음 배수공 (3) 수밀장치의 재료	
3.3 콘크리트 배합설계	6.3.4 온도규제	
3.3.1 배합 설계	6.3.5 측정계기의 설치 및 계측	
3.4 온도규제		
3.5 측정계기의 설치 및 계측		
제 4 장 시 공	6.4 시공관련 설계 검토	
4.1 안전관리	6.4.1 안전관리	
4.2 공정관리	6.4.2 공정관리	
4.3 가설비 공사		
4.3.1 공사용 도로		
4.3.2 공사용 가설건물		
4.3.3 공사용 동력설비		
4.3.4 공사용 급수설비		
4.3.5 공사용 조명 및 통신설비		
4.3.6 공사용 급기시설		
4.3.7 가배수로		
4.3.8 코퍼 댐		
4.3.9 제내 가배수로		

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
4.4 기초굴착 및 처리	6.4.3 기초굴착 및 처리	
4.4.1 기초지반의 조사	(1) 기초암반의 조사	
4.4.2 굴착 계획	(2) 굴착계획	
4.4.3 굴착 공법	(3) 굴착공법	
4.4.4 벼락 처리	(4) 벼락 처리	
4.4.5 사토장	(5) 사토장	
4.4.6 댐 기초면의 정리	(6) 댐 기초면의 정리	
4.4.7 기초 그라우트	(7) 기초 그라우트	
4.4.8 단층 및 시임의 처리	(8) 단층 및 심의 처리	
4.5 시공 설비	6.4.4 시공설비	내용 수정
4.5.1 골재 원석의 채취와 운반설비	(1) 시공설비 계획	항목 추가
4.5.2 골재의 수송	(2) 시공설비의 목적	내용추가
4.5.3 시멘트의 수송 및 저장	(3) 시공설비 용량 결정기준	및 수정
4.5.4 콘크리트 제조	(4) 콘크리트 혼합	
4.5.5 콘크리트 운반	(5) 콘크리트 운반	
4.6 댐체 시공		
4.6.1 블록 나누기		
4.6.2 이음의 구조		
4.6.3 가로이음의 수밀 및 배수		
4.6.4 콘크리트 치기		
4.6.5 수평시공이음의 시공		
4.6.6 양 생		
4.6.7 거푸집		
4.6.8 조인트 그라우트공		
제 5 장 품질검사 및 검사		
5.1 품질관리		
5.1.1 재료의 관리		
5.1.2 기기의 관리		
5.2 콘크리트의 시험		
5.3 압축강도에 의한 콘크리트 품질검사		

제 7 장 률러다짐 콘크리트댐

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
없 음	<p>7.1 설계일반</p> <p>7.1.1 일반사항</p> <p>7.1.2 RCC댐의 특징</p> <p>7.1.3 용어의 정의</p> <p>7.2 재료</p> <p>7.2.1 시멘트</p> <p>7.2.2 잔골재</p> <p>7.2.3 굽은 골재</p> <p>7.2.4 혼화재료</p> <p>7.3 배합</p> <p>7.3.1 반죽질기</p> <p>7.3.2 단위수량</p> <p>7.3.3 단위시멘트량</p> <p>7.3.4 잔골재 및 단위 굽은골재 용적</p> <p>7.3.5 배합설계의 순서</p> <p>7.4 콘크리트 비비기 및 치기</p> <p>7.4.1 일반사항</p> <p>7.4.2 비비기</p> <p>7.4.3 콘크리트 운반</p> <p>7.4.4 콘크리트 치기면의 준비</p> <p>7.4.5 콘크리트 펴 고르기</p> <p>7.4.6 콘크리트 다지기</p> <p>7.4.7 리프트의 높이</p> <p>7.5 아음 및 지수</p> <p>7.5.1 수평치기아음</p> <p>7.5.2 수축아음</p> <p>7.5.3 지수공 및 지수재료</p> <p>7.6 거푸집</p> <p>7.6.1 일반사항</p> <p>7.6.2 거푸집의 떼어내기</p> <p>7.7 콘크리트의 온도규제</p>	신 설

제 8 장 아치댐

댐시설기준(현행)	댐설계기준(개정)	비고
제 1 장 위치조건	8.1 설계일반 8.1.2 위치 결정 8.1.2 형식 결정 8.1.3 암반의 안정성	내용 구분
제 2 장 설계조건 2.1 콘크리트 2.1.1 콘크리트의 물리계수 2.1.2 콘크리트의 강도 2.2 기초암반 2.2.1 기초암반의 전단마찰저항 및 탄성계수(변형계수) 2.2.2 기초암반의 안전율 2.3 하중과 외력 2.3.1 하중 2.3.2 지진력 2.3.3 지진시 동수압 2.3.4 온도하중	8.2 설계조건 8.2.1 설계의 기본 8.2.2 콘크리트 (1) 콘크리트의 재료특성 (2) 콘크리트의 강도 8.2.3 기초 암반 (1) 기초 암반의 전단마찰 저항력 및 탄성계수(변형계수) (2) 기초 암반의 안전율 8.2.4 하중과 외력 (1) 하중 (2) 지진력 (3) 지진시 동수압 (4) 온도 하중	내용검토, 추가, 보완 내용검토, 추가, 보완 내용검토, 추가, 보완
제 3 장 설계 3.1 댐 형상의 설계 3.1.1 댐 설계시 고려사항	8.3 설계 8.3.1 개설 8.3.2 댐 형상의 설계 (1) 댐 설계시 고려사항 (2) 용력분포 (3) 개선이 불가능한 경우 이심 원 아치댐으로 설계 (4) 계곡의 형태	

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
3.1.2 댐 형상의 설계 3.1.3 인공받침 보조구조물의 설계 3.1.4 댐체의 응력 해석 3.1.5 자중에 의한 응력계산 3.1.6 인공받침 보조구조물의 응력해석 및 안정계산 3.1.7 댐마루 여수로, 방류관, 통로 등이 있는 경우의 계산 3.1.8 모형실험 제 4 장 기 초 처 리 4.1 기초암반의 개량 4.2 조인트	(5) 댐 형상의 설계 (6) 보조구조물의 설계 (7) 댐체의 응력 해석 (8) 자중에 의한 응력계산 (9) 인공받침 보조구조물의 응력해석 및 안정계산 (10) 댐마루 여수로, 방류관, 통로 등이 있는 경우의 계산 (11) 모형실험	
		시공관련 사항이므로 설계기준에서는 삭제

제 9 장 여수로와 어도

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
	9.1 설계일반 9.1.1 적용범위 9.1.2 용어의 정의 9.1.3 관련규정 및 법규	항목추가

템시설기준 (현행)	템설계기준 (개정)	비 고
<p>제1장 여수로 계획</p> <p>1.1 여수로의 기능</p> <p>1.2 위치선정</p> <p>1.3 여수로의 구성</p> <p>1.4 여수로 형식의 선정</p> <p>1.5 여수로의 규모결정</p> <p>1.6 비상여수로</p> <p>1.7 월류수면 상부구조물의 여유고</p>	<p>9.2 여수로 계획</p> <p>9.2.1 여수로의 위치선정</p> <p>9.2.2 여수로 형식의 선정</p> <p>9.2.3 여수로 규모결정</p> <p>9.2.4 비상여수로</p> <p>9.2.5 월류수면 상부구조물의 여유고</p> <p>9.2.6 여수로의 구성</p>	항목추가
<p>제2장 여수로의 설계</p> <p>2.1 접근수로</p> <p>2.2 조절부</p> <p>2.2.1 월류웨어</p> <p>2.2.1 측수로 여수로</p> <p>2.2.1 천이부</p> <p>2.3 도수로</p> <p>2.3.1 노선선정</p> <p>2.3.2 수리계산</p> <p>2.3.3 도수로 측벽높이의 산정</p> <p>2.3.4 도수로의 공기흔입장치</p> <p>2.4 감세공</p> <p>2.4.1 감세공의 기능</p> <p>2.4.2 형식의 선정</p>	<p>9.3 접근수로</p> <p>9.4 조절부</p> <p>9.4.1 월류웨어</p> <p>9.4.2 측수로 여수로</p> <p>9.4.3 천이부</p> <p>9.4.4 조절부의 처리</p> <p>9.4.5 월류웨어의 안정</p> <p>9.5 급경사수로</p> <p>9.5.1 선형</p> <p>9.5.2 급경사수로 측벽</p> <p>9.5.3 급경사수로의 라이닝</p> <p>9.5.4 급경사수로의 이음</p> <p>9.5.5 급경사수로의 공기흔입장치</p> <p>9.6 감세공</p> <p>9.6.1 감세공의 기능</p> <p>9.6.2 형식의 선정</p> <p>9.6.3 감세공 형식별 특징</p>	

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
<p>2.5 여유고</p> <p>2.6 이상홍수에 대한 검토</p> <p>2.7 수리모형실험</p> <p>2.8 구조설계</p> <ul style="list-style-type: none"> 2.8.1 접근수로의 라이닝 2.8.2 조절부 기초의 지수(止水) 2.8.3 조절부 수축이음 2.8.4 월류웨어의 안정 2.8.5 여수로 측벽의 안정 2.8.6 여수로의 라이닝 2.8.7 여수로의 이음 2.8.8 배수구 2.8.9 여수로 수문의 선정 2.8.9 유목(流木)받이 <p>2.9 방수관</p> <ul style="list-style-type: none"> 2.9.1 형식의 선정 2.9.2 유입구의 형상 2.9.3 공동현상 2.9.4 반관수로형 방수관의 개수로부 2.9.5 고압수문 및 밸브 <p>제3장 게이트(문비)</p> <p>3.1 선정조건</p> <p>3.2 권양기용 예비동력 설비</p> <p>3.3 문비 구조의 원칙</p> <p>3.4 월류형 여수로의 문비 등의 구조</p> <p>3.5 문비에 작용하는 하중의 종류</p>	<p>9.7 배수공, 유목받이</p> <ul style="list-style-type: none"> 9.7.1 배수공 9.7.2 유목받이 <p>9.8 방류관</p> <ul style="list-style-type: none"> 9.8.1 형식의 선정 9.8.2 유입구의 형상 9.8.3 공동현상 9.8.4 반관수로형 방류관의 개수로부 9.8.5 고압수문 및 밸브 <p>9.9 문비</p> <ul style="list-style-type: none"> 9.9.1 문비의 선정 9.9.2 문비 설계 <p>9.10 수리모형실험</p>	조정 및 정리

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
<p>제4장 어도</p> <p>4.1 어도의 설치목적</p> <p>4.2 어도의 종류</p> <p>4.3 어도설계</p> <ul style="list-style-type: none"> 4.3.1 어도 설계시 고려해야 할 사항 4.3.2 어도의 규모결정 <p>4.4 계단식어도 설계</p>	<p>9.11 어도</p> <ul style="list-style-type: none"> 9.11.1 어도 설계시 고려사항 9.11.2 어도의 형식 9.11.3 어도의 설계조건 설정 9.11.4 어도의 설계절차 9.11.5 어도의 부대시설 	

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (기준)	비 고
<p>제 5 장 유수전환</p> <p>5.1 유수전환의 필요성과 고려사항</p> <p>5.2 유수전환방식의 선정</p> <p>5.3 유수전환 대상홍수량</p> <p>5.4 가배수 터널</p> <p>5.5 가물막이</p> <p>5.6 제내 가배수로</p> <p>5.7 가배수거</p> <p>5.8 유수전환 시설의 폐쇄공</p> <p>5.9 유수전환공사 시방규정</p> <p>제 6 장 유지 및 운영</p> <p>6.1 개설</p> <p>6.2 댐의 검사 및 유지관리</p> <p>6.3 댐의 관리 및 운영</p>	<p>10.1 설계일반</p> <p>10.1.1 적용범위</p> <p>10.1.1 용어의 정의</p> <p>10.2 유수전환 설계시 고려사항</p> <p>10.3 유수전환 방식의 선정</p> <p>10.4 유수전환 대상 홍수량</p> <p>10.5 가물막이댐</p> <p>10.6 가배수 터널</p> <p>10.7 제체내 가배수로</p> <p>10.8 가배수거</p> <p>10.9 유수전환 시설의 폐쇄공</p>	<p>제10장으로 대체</p> <p>(제6장)댐시설 유지관리기준에 서 다루는 것이 타당할 것으로 보임.</p>

제 11 장 내진설계

댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)	비 고
없 음	11.1 설계일반 11.2 내진설계 기준의 기본개념 11.3 내진설계일반 11.3.1 내진설계기법 11.3.2 설계지반운동 11.3.3 내진등급과 설계지진수준 11.3.4 기초지반의 영향 11.3.5 댐형식의 영향 11.3.6 지반조사 11.3.7 입지조건 11.3.8 지진하증 11.4 댐의 내진설계 11.5 콘크리트 중력식 댐의 내진설계 11.5.1 설계거동한계 11.5.2 정역학적 설계기준 11.5.3 동적설계기준 11.6 필댐의 내진설계 11.6.1 설계거동한계 11.6.2 정역학적 설계기준 11.6.3 동적 설계 11.7 아치댐의 내진설계 11.7.1 설계거동한계 11.7.2 내진설계의 고려대상 11.7.3 내진설계일반 11.7.4 정역학적 설계기준 11.7.5 동적설계기준 11.8 지진응답계측 11.8.1 일반사항 11.8.2 계측기기의 설치와 관리	신 설

장별 주요 개정내용 제 1 장 총 칙 (이종태)

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
1.1 목적	<ul style="list-style-type: none"> 본 기준은 댐의 조사, 계획, 설계, 시공 및 유지관리를 실시하기 위하여 필요한 기술적 사항을 설정한 것으로서 	<ul style="list-style-type: none"> 이 댐 설계기준(이하 '기준'이라 함)은 건설기술관리법 제34조의 규정에 의하여 댐의 조사, 계획, 설계를 실시하기 위하여 필요한 기술적 사항을 설정한 것으로서
1.2 내용	<ul style="list-style-type: none"> 본 기준은 총칙, 조사, 계획, 여수로 및 감세공, 필댐, 콘크리트중력댐, 아치댐 콘크리트 표면 차수벽 댐의 8개편으로 구성되며 	<ul style="list-style-type: none"> 이 기준은 총칙, 댐조사, 댐계획, 필댐, 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐, 콘크리트 중력댐, 롤러다짐 콘크리트댐, 아치댐, 여수로와 어도, 유수전환, 내진설계의 11개 장으로 구성되며
1.3 운용방침	<ul style="list-style-type: none"> 본 기준은 건설부 직할사업 및 관계보조사업에 적용하며, 내용 중에서 관계법령(대통령령, 각령, 전술부령)이 별도로 정해지면 그 법령에 따른다. 	<ul style="list-style-type: none"> 이 기준은 「댐 건설 및 주변 지역 지원 등에 관한 법률」이 정하는 다목적댐과 생활 및 공업용수를 공급하기 위하여 건설하는 댐에 대하여 적용한다. 이 기준은 다른 법령에 의하여 건설하는 댐에 대해서도 적용을 권장한다.

제 2 장 댐 조 사 (정상만/이주헌)

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
2.3 기상·수문 조사	<ul style="list-style-type: none"> · 기왕의 최대홍수량과 확률강우량의 추정 · 확률강우량 · 설계홍수량의 산정 	<ul style="list-style-type: none"> · 3장의 댐계획에서 자세히 다루므로 본 절에서는 삭제
2.6 지질 및 지반조사	<ul style="list-style-type: none"> · 시공중의 보완조사 	<ul style="list-style-type: none"> · 시공과 관련된 내용은 본 절에서 삭제
2.6.2 댐부지의 기초지반 조사	<ul style="list-style-type: none"> · 지하지질조사 	<ul style="list-style-type: none"> · 지반조사로 용어 변경 · 전체적으로 해설과 같은 내용을 수정하여 간략하게 조사 방법위주로 설명
2.8 환경성 조사	<ul style="list-style-type: none"> · 환경성 조사에 관한 내용이 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 2.8.1 자연환경에 관한 조사 2.8.2 생활환경에 관한 조사 2.8.3 사회·경제환경에 관한 조사 등을 새로 추가

제 3 장 댐 계획 (심명필/김남원)

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
3.1.3 사업절차 와 평가	<ul style="list-style-type: none"> 조사단계로 예비조사, 타당성조사 및 설계단계로 세분 	<ul style="list-style-type: none"> 사업절차의 단계로 예비타당성 조사, 타당성조사, 기본설계 및 실시설계, 보상, 공사의 순서로 구성
3.2.1 용수수요 의 추정	<ul style="list-style-type: none"> 용수수요의 추정은 장기는 50년, 단기는 50년 미만 	<ul style="list-style-type: none"> 용수수요 추정은 장기는 20년, 단기는 10년 미만으로 수정
3.2.2 저수지 용량 배분과 운영	<ul style="list-style-type: none"> 저수지 수위와 용량의 정의와 구분이 명확하지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> 저수지 수위와 용량을 세분하여 설명함
3.2.3 편익산정	<ul style="list-style-type: none"> 댐 편익의 정의나 분류에 관한 총괄항목이 없음 편익의 순서는 농업용수, 생공용수, 수력발전, 홍수조절 편익의 순서임 생공용수 편익산정을 위한 개략적인 대체시설편익법 설명 	<ul style="list-style-type: none"> 편익의 정의 및 분류항을 신설, 직접편익과 간접편익으로 나누고 직접편익의 항목은 기존편익과 신규편익을 분류하여 설명함 편익의 순서는 생활·공업용수, 농업용수, 홍수조절, 수력 발전 등으로 재배치 생공용수 편익은 수요곡선산정법과 대체시설비용법으로 나누어 설명함

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
3.2.3 편의산정 (계속)	<ul style="list-style-type: none"> 홍수조절편의의 산정방법은 일 반적이고 명확하지 않음 · 수력 발전의 청정성 등 환경편익이 고려되지 않음 기타편의의 설명이 불충분함 	<ul style="list-style-type: none"> 홍수조절편의의 직접편익을 구하는 방법과 과정을 설명하고, 간접피해율의 값을 재 조정하고 연간균등편의 산정 방법설명 함 수력발전편의의 산정을 위해 배연탈황시설의 연간고정비와 운전경비를 고려한 환경편의의 추가를 제시함
3.2.5 타당성 평가	<ul style="list-style-type: none"> 경제적 타당성의 설명이 불충분 함 	<ul style="list-style-type: none"> 기타편의으로 레크리에이션편의 산정을 위한 개선여행자 비용법을 설명하고, 하류수지 개선편의, 비상용수 공급편의 및 주운편의를 설명함
3.2.8 환경보전 계획과 사회경제적 영향	<ul style="list-style-type: none"> 환경보전계획만 서술됨 	<ul style="list-style-type: none"> 경제성분석기법, 평가기준, 비교 및 내용연수 및 잔존가치의 결정기준 등을 제시함 댐건설 주변지역과 자치단체에 대한 사회경제적 영향, 지역사회와의 협의 및 지원 대책 수립의 필요성을 추가함

제 4 장 필 댐 (이희승)

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
4.2.2 기초설계	<ul style="list-style-type: none"> · 암반기초의 그라우팅에 관한 일 반사항만 제시 · 암반기초의 배수공의 필요성 및 설치위치만 설명 · 영성한 토질기초에 대한 처리대책 설명 	<ul style="list-style-type: none"> · 커튼 그라우팅 및 암밀 그라우팅의 개량목표치 규정추가 · 그라우팅 재료의 환경유해여부 사전확인의무 규정 추가 · 그라우팅 구멍의 규격기준추가 · 기초암반 용출수의 처리규정추가 · 코어부 기초암반에 단층, 파쇄대에대한 처리규정 추가 · 영성한 토질기초 위의 댐은 원칙적으로 건설해서는 안되므로 삭제
4.2.3 표준 단면의 설계	<ul style="list-style-type: none"> · 여유고 계산시 필요한 지역별 풍 속의 최고치 자료로 1980년(?) 기준 11개소의 자료 제시 · 여유고 계산시 지진에 의한 파 랑고에 대한 설명 없음 	<ul style="list-style-type: none"> · 1999년 기준으로 23개소의 자료 보완 제시 · 이상홍수 또는 가능최대홍수 유입시 수위 상승을 고려하는 경우 지진의 영향은 고려하지 않도록 명시
4.2.4 축제 재료의 선택	<ul style="list-style-type: none"> · 존별 재료의 입도범위 및 이행부 재료의 공학적 물성치 등을 도표로 제시 	<ul style="list-style-type: none"> · 현행 제시치의 범위가 광범위하여 이로부터 설계기준치를 정하기에는 무리이며 재료의 특성에 맞고 시공기계 및 시공방법에 따라 나타나는 투수성 및 활동에 대한 안정성이 적정하면 충분하므로 삭제하고 축제재료 선정을 위한 시험 및 시험성토에 관한 기준 추가

항 목	댐시설기준(현행)	댐설계기준(개정)
4.2.5 댐형식의 결정	<ul style="list-style-type: none"> 균일형댐, 츠형댐 및 코어형댐으로 구분하고 지나치게 서술식으로 표현 	<ul style="list-style-type: none"> 댐형식 결정에 필요한 고려요소 추가
4.2.6 침투수의 안정성 검토	<ul style="list-style-type: none"> 침윤선의 기본이론 및 도식해법, 유선망의 기본이론 및 작도법 등 지나치게 교과서적 설명 침투류의 해석에 대하여 기본이론 및 기본공식 유도과정과 유한요소법에 대하여 교과서적 서술 안정성 검토 방법으로 한계유속 산출방법과 한계동수경사의 산출방법만 소개 	<ul style="list-style-type: none"> 코어재료 중 착암부의 재료조건 보완 지나치게 교과서적인 내용은 삭제하고 검토의 기본방향만 요약제시 검토해야 할 항목 및 검토방법만 요약제시 산출결과에 따른 안정성 평가 기준 추가
4.2.7 사면활동의 안정성 검토	<ul style="list-style-type: none"> 설계하중의 하나로 지진관성력을 자중에 지진구역별 설계진도를 곱한값을 적용토록 규정 활동에 대한 안정성 계산시 원호활동면법과 수치해석법을 지나치게 교과서적으로 서술 	<ul style="list-style-type: none"> 내진설계의 중요성을 감안 내진설계편을 별도의 장(11장)으로 보완하고 기준도 상향조정 설계에 실제로 적용되는 방법만 요약제시
4.2.8 변형의 안정성 검토	<ul style="list-style-type: none"> 별도의 기준 없음 	<ul style="list-style-type: none"> 검토의 필요성 및 변형해석을 해야하는 경우를 명시하고 해석방법 제시
4.3 펠댐의 시공관련 설계검토	<ul style="list-style-type: none"> 기초지반의 처리, 축제공사, 흙쌓기의 시공관리 등에 관련된 세부공법, 시험방법 및 관리기준을 상술 	<ul style="list-style-type: none"> 시공 관련사항중 설계서에 포함되어야 할 사항만 기준으로 제시 매설계기의 종류, 설치위치 및 수량을 추가

제 5 장 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐 (이규환)

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
5.2. 기초설계	<ul style="list-style-type: none"> 토슬래브의 기초지반은 신선한 암반을 원칙으로 하고 그렇지 못한 지반은 평가에 대한 구체적인 기술없이 적절히 처리도록 하는 일반적 원칙만 언급 	<ul style="list-style-type: none"> 기초지반의 평가요소를 도입하여 강도, 압축성, 침식성, 투수성과 같은 평가요소를 도입하여 기초지반을 평가하고, 암반분류기준을 통해 기초암반의 상태를 규정
5.3. 프린스의 설계	<ul style="list-style-type: none"> 토슬래브의 설계시 폭과 두께의 제원기준과 배근만 간략히 기술 	<ul style="list-style-type: none"> 토슬래브의 폭, 두께, 철근, 앵커 바 등의 기준을 구체적으로 기술
5.4. 댐마루표고와 여유고	<ul style="list-style-type: none"> 댐마루표고의 결정시 여유고와 연계한 검토가 되지 않고 여유고는 침하만을 고려하여 기술 	<ul style="list-style-type: none"> CFRD의 특성을 고려하여 여유고 산정에 따른 댐마루표고의 결정방법을 구체적으로 명시
5.5.8 슬립폼의 설계	<ul style="list-style-type: none"> 차수벽 콘크리트의 주요 타설장비인 슬립폼 설계가 미 기술되어 타설시 발생될 수 있는 균열대책과의 연계가 부족 	<ul style="list-style-type: none"> 슬립폼의 제원과 표준적인 타설속도를 제시하여 타설에 따른 차수벽콘크리트 품질관리기준 제시
5.4.8 댐단면의 구성	<ul style="list-style-type: none"> 댐존별 재료의 표준적인 입도분포가 없어 적용에 어려움 	<ul style="list-style-type: none"> 제체단면을 구성하는 재료의 입도분포와 관련하여 각 존의 적용한계를 명기하고 최근 설계 및 시공되고 있는 댐의 사례를 참고토록 하여 활용성 제고

제 6 장 콘크리트 중력댐 (지중기)

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
6.1 설계일반	<ul style="list-style-type: none"> · 기준의 적용범위 	<ul style="list-style-type: none"> · 기준의 적용범위 · 조사와 계획의 기본 · 설계의 기본 · 댐위치와 형식의 선정
6.2 설계조건	<ul style="list-style-type: none"> · 댐의 자중 · 정수압 · 동수압 · 양압력 · 파압 · 빙압 · 퇴사압 	<ul style="list-style-type: none"> · 댐에 작용하는 힘 · 댐의 표준단면 · 기초암반의 설계 · 제체의 안정성 검토
6.3 세부설계	<ul style="list-style-type: none"> · 기초암반의 전단마찰저항력 및 탄성계수 · 기초암반의 안전율 · 제체의 안정계산 · 이음설계 · 지수필 및 배수공 · 콘크리트 배합설계 · 온도규제 · 측정계기의 설치 및 계측 	<ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트 배합설계 · 이음의 설계 · 지수판 및 배수공 · 온도규제 · 매설계기
6.4 시공관련 설계검토	<ul style="list-style-type: none"> · 안전관리 · 공정관리 · 가설비공사 · 기초굴착 · 시공설비 	<ul style="list-style-type: none"> · 안전관리 · 공정관리 · 기초굴착 및 처리 · 시공설비

제 7 장 둘러다짐 콘크리트댐 (지흥기)

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
7.1 설계일반		<ul style="list-style-type: none"> · 일반사항 · RCC댐의 특징 · 용어의 정의
7.2 재료		<ul style="list-style-type: none"> · 시멘트 · 잔골재 · 굵은 골재 · 혼합재료
7.3 배합		<ul style="list-style-type: none"> · 반죽질기 · 단위수량 · 단위시멘트량 · 잔골재 및 단위 굵은골재용적
7.4 콘크리트 비비기 및 치기		<ul style="list-style-type: none"> · 일반사항 · 비비기 · 콘크리트 운반 · 콘크리트 치기면의 준비 · 콘크리트의 퍼 고르기 · 콘크리트 다지기 · 리프트의 높이
7.5 이음 및 지수		<ul style="list-style-type: none"> · 수평치기이음 · 수축이음 · 지수공 및 지수재료
7.6 거푸집		<ul style="list-style-type: none"> · 일반사항 · 거푸집의 폐어내기
7.7 콘크리트의 온도 규제		<ul style="list-style-type: none"> · 콘크리트의 온도규제

제 8 장 아 치 댐 (전병호)

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
8.2.4 하중과 와력	<ul style="list-style-type: none"> · 지진력에 대해 간략히 기술 	<ul style="list-style-type: none"> · 지진력에 대해서는 원칙만을 제시하고 별도의 장을 신설 (11장 내진설계)
8.3.1 개설	<ul style="list-style-type: none"> · 아치댐의 설계시 고려사항 간략히 기술 	<ul style="list-style-type: none"> · 아치댐의 설계수순 도표화
4장 기초처리	<ul style="list-style-type: none"> · 시공관련 사항 	<ul style="list-style-type: none"> · 삭제

제 9 장 여수로와 어도 (조영호)

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
9.3 접근수로	· 여수로의 접근수로에서의 유속은...	· 접근수로의 규모결정은 계획 방류량을 기준하도록 함
9.4.2 측수로 여수로	· 측수로 여수로의 각종계산 및 해석내용 수록	· 측수로형식은 소규모 관개용 댐에 쓰이는 형식으로 주요 설계기준에 필요한 사항만 요약 하여 수록함
9.5 급경사 수로	· '2.3장 도수로' 관련사항	· 도수로는 용수공급계통에서 수요처에 용수를 인수하는 수로에 사용하는 용어로 급경사수로로 수정

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
9.5.3 급경사 수로의 라이닝	· 바닥라이닝 두께는...	· '차집형 용벽의 라이닝'은 삭제 '배면수압과의 차이에 대한 용력이나 지진시의 용력에 대비하여야 한다.' 추가
9.7 배수공과 유목받이	· 2.8.8 배수구	· 배수구의 내용은 drain system 을 의미하므로 출구를 의미하는 배수구를 배수공(排水工)으로 수정
9.9 수문	· 기존 문비, 수문, 게이트로 기술	· 수문(水門)으로 통일 작성
9.11 어도	· 4면 4장 어도	· 전면 개정하여 댐 설계시 어도의 형식선정, 설계조건, 설계절차 등을 수록

제 10 장 유수전환 (조영호)

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
10.2 유수전환 설계 시 고려사항	<ul style="list-style-type: none"> 건설공사 기간 중에 맞게될 홍수기의 회수를 결정하기 위한..... 	<ul style="list-style-type: none"> 댐 건설기간

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
10.4 유수전환 대상홍수량	<ul style="list-style-type: none"> 필 댐과 콘크리트댐의 홍수빈도 만 규정 	<ul style="list-style-type: none"> 필 댐 중 CFRD와 같이 공사 중 월류에도 제체에 큰 피해가 없는 경우 2-5년빈도의 홍수량을 대상으로 설정할 수 있다.
10.6 가배수 터널	<ul style="list-style-type: none"> 가배수터널의 시공은 가급적 갈 수기간 동안에..... 	<ul style="list-style-type: none"> 가배수터널의 시공은 가급적 우기를 피하여.....
10.7 제체내 가배수로	<ul style="list-style-type: none"> 5.6 제내 가배수로 	<ul style="list-style-type: none"> 제내 → 제체내로 수정하고 본문내용을 설계기준에 맞도록 수정
10장 일반	<ul style="list-style-type: none"> 기준 5.9 유수전환공사 시방규정 	<ul style="list-style-type: none"> 설계기준에서 시방규정은 삭제

제 11 장 내진설계 (이희승)

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
11.2 내진설계 기준의 기본개념		<ul style="list-style-type: none"> 건설교통부의 연구과제 “내진설계기준연구(1997. 12)”에서 제시된 내진성능기준을 토대로 기본개념 제시

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
11.3 내진설계 일반	<ul style="list-style-type: none"> • 우리나라를 3개의 지진구역으로 나누어 각 구역별 설계진도 제시 <p>0구역 : -</p> <p>1구역 : 0.08</p> <p>2구역 : 0.12</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 설계지반운동에 대한 기준 추가 • 설계진도는 우리나라를 2개구역으로 나누고 구역지진계수를 정한 후 여기에 내진등급에 따른 위험도 계수, 기초지반 분류에 따른 지반계수 및 댐형식에 따른 할증계수를 적용하여 정하도록 기준 추가 <p>구역계수</p> <p>I 구역 : 0.11</p> <p>II 구역 : 0.07</p> <p>위험도계수</p> <p>내진특등급 : 1.4</p> <p>내진1등급 : 1.0</p> <p>지반계수</p> <p>암반기초 : 1.0</p> <p>연암기초 : 1.2</p> <p>토사지반 : 1.5</p> <p>댐형식별 할증</p> <p>록펠, 중력식댐 : 1.0</p> <p>흙댐 : 1.2</p> <p>아치댐 : 2.0</p>

항 목	댐시설기준 (현행)	댐설계기준 (개정)
11.4 댐의 내진 설계		<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트중력식댐, 필댐 및 아치댐별로 내진설계기준을 설계거동한계, 경역학적 설계기준 및 동역학적 기준으로 구분 제시
11.8 지진응답 계측		<ul style="list-style-type: none"> 지진응답 계측 및 기기설치에 관한 기본사항 제시

자체자문위원

성명	소속·직위
강종수	한국수자원기술공단 기술전무
고재웅	전국대학교 토목공학과 명예교수
김계호	(주)유신코퍼레이션 고문
서형하	건설교통부 수자원개발과 과장
안상진	충북대학교 토목공학과 교수
윤용남	고려대학교 토목환경공학과 교수
이순탁	영남대학교 토목공학과 교수
이현삼	(주) 우대기술단 부회장
하진규	한국건설기술연구원 원장
황종서	농업기반공사 부장

중앙건설기술심의위원

분야	성명	소속·직위
수자원	고석구	한국수자원공사 사장
	조원철	연세대학교 토목공학과 교수
	김승	한국건설기술연구원 연구위원
상하수도	한광석	(주)한국종합엔지니어링 부회장
	현인환	단국대학교 토목환경공학과 교수
토질	나경준	한국진단보강(주) 대표이사
	박남서	대덕공영(주) 대표이사
	이재현	(주)평원엔지니어링 대표이사
	정형식	한양대학교 토목환경공학과 교수
토목시공	김영하	(주) 건화엔지니어링 전무이사
	류철호	(주) 대우건설 전무이사

참고문헌

강원대학교 지역개발연구소, , 댐 건설에 빠른 문제점 및 효과분석 1989

건설교통부, , 한국수자원공사, , 수자원 정책관리 개선방안 연구 - 용수수요 추정방법
개선방안 2000

건설교통부, , 주요시설물의 내진설계 성능기준 1998

건설교통부, , 콘크리트 표준시방서 대한토목학회, 1996

- 건설부, , 도로교 표준시방서 대한토목학회, 1992.
- 건설부, , 댐시설기준 1993.
- 권기태, , 토목시공학 동명사, 1999
- 나성린, 전영섭, , 공공경제학 학현사, 1996.
- 농어촌진흥공사, , 어도의 설계지침 1997
- 농수산부, , 농지개량 사업계획 설계기준(댐편) 1982
- 남영숙, 구도원, 금기용, , 환경영향평가제도의 사회·경제환경분야 개선방안연구 한국환경정책평가연구원, 1998.
- 농수산부, , 농지개량 사업계획 설계기준(댐편) 1982.
- 도덕현, 고재만, , 내진공학 효성출판사, 1993.
- 산업기지개발공사, , 콘크리트표면차수벽형석괴댐의 설계와 시공 연구보고서 1986
- 성영두, 배종순, 한국지반공학회, , 표면차수벽콘크리트 지지층의 토질특성(입도, 밀도, 투수계수 중심으로) 1996
- 심명필, 수자원 경제성분석 입문(2), 한국수자원학회지 제 33 권, 제 3 호, pp.87-93., 한국수자원학회, 2000.7.
- 심명필, 오경우, 성기원, , 수자원개발사업 및 치수사업의 경제성분석 기법 연구 건설교통부, 1995
- IHP 보고서
- 심명필, 윤용진, 수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침, 제 48 권, 제 3 호, pp.17-23., 대한토목학회지, 2000.3.
- 특집 「공공건설사업의 예비타당성 조사」
- 안동군, , 다목적댐이 주변지역에 미치는 사회·경제적 영향분석 1993.
- 오호성., , 자원·환경 경제학 법문사, 1992.
- 이종남, 신문섭, , 수산토목공학 1987
- (주)삼안건설기술공사, , 상·하부댐 경사면 변위계 산정양수발전소 1,2 호기 설계기술용역
- 진병익, , 댐공학 형설출판사, 1992.
- 최석범, , 수자원공학 도서출판 창원, 1999.
- 한국건설기술연구원, , 댐설계 기준에 대한 비교 검토 1986.

한국개발연구원, , 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 연구 1999.

1999년도 예비타당성 조사보고서

한국개발연구원, , 예비타당성조사 보고서 : 수자원 부문사업의 경제성분석 표준지침 1999.

한국수자원공사, , 콘크리트 표면차수벽형 석괴댐 1997

한국수자원공사, , 댐 건설기술발표논문집 1995~1999

한국수자원공사, , 훨댐설계지침

한국수자원공사, , 댐공사표준시방서 (안) 1998

한국수자원공사, , 울산권광역상수도(취수원)사업 실시설계 보고서 1996

한국수자원공사, , 다목적댐 수력발전의 경제성 평가 및 전력요금 산정방안에 관한 연구 1994.

최종보고서 T4-1-011

한국수자원공사, , 수자원개발의 경제성 분석모델 개발: 다목적댐 편익산정을 중심으로 1998.

한국수자원공사, , 환경 친화적 설계지침 1997

해양수산부, , 어도시설 표준모형 개발에 관한 연구 1999.

日本 建設省 河川局, , 多目的 タムの 建設 : 調査篇, 計劃篇 1987

日本 電力土木技術協會, , 最新フィルグム工學 山海堂, 1981

日本 農林水產省 構造改善局, , 土地改良事業 設計基準 日本農業土木學會,

山材 勤, 電力土木(日本), , 海外における 콘크리트表面遮水壁型 락필댐發展의 歷史的考察. 1995

佐佐木才朗, , 다목적댐의 비용배분에 관한 연구 (재)댐기술연구소, 일본, 1992.

廣瀬 利雄, 中村 中六, , 漁道の設計 1991

Alfred R. Golze., , **Handbook of Dam Engineering** 1977

ANCOLD., , **Guidelines On Concrete-Faced Rock fill Dams** 1991

ASCE., , **Civil Engineering Guidelines for Planning and Designing Hydro-Electric Developments** Energy Division of ASCE, 1989.

ASCE., , **Federal Policies in Water Resources Planning** American Society of Civil Engineers(ASCE), 1985.

prepared by Task Committee on Federal Policies in Water Resources Planning

ASCE. , , **Social and Environmental Objectives in Water Resources Planning and management** ASCE. , 1986.

Chow. V.T. , , **Open-Channel Hydraulics** McGraw-Hill Book Co. , New York. , 1959.

Corbitt. R. A. , **Standard Handbook of Environmental Engineering , Engineering for Dams** Vol.I ~ II. , 1957

Ch.10.Creager, Justin & Hinds

Davis. C.V. , Sorensen. K.E. , , **Handbook of Applied Hydraulics** McGraw-HillBook Co. , New York, , 1969.

Golze, A. R.(ed.). , **Planning and environmental studies , Handbook of Dam Engineering** Van Nostrand Reinhold Co. Inc. , England , 1977.

Ch.1

Hansen. L. T. , Hallam. A. , **National Estimates of the Recreational Value of Stream flow , Water Resources. Research.** 27 , 2 , pp.167 ~ 175 , 1991

Howe. C. W. , **Benefit-Cost Analysis for Water System Planning , Water Resources Monograph 2** American Geophysical Union , 1997

J.Barry Cook , James L. Sherd , , **Concrete Face Rock fill Dams Design Construction and Performance** 1985

Kurtz, M. , , **Calculations for Engineering Economic Analysis** McGraw-Hill, Inc. , 1995.

Linsley, R.G. , Franzini, J.B. , , **Water Resources Engineering** McGraw-HillBook Co. , New York, New York , 1979.

Morris, H.M. , Wiggert, J.M. , , **Applied Hydraulics in Engineering** JohnWilev & Sons , New York, New York. , 1972.

NAVFAC(Naval Facilities Engineering Command) , , **Soil Mechanics Design Manual7.1.** 1982

Robin Fell , Patrick McGregor , David Stapledon , , **Engineering Of Embankment Dams** 1992

Sassone, p. G. , Schaffer, W. A. , , **Cost-Benefit Analysis Handbook** Academic press, Inc. , 1978.

Serge Leliavsky , , **Design Textbooks in Civil Engineering (Dams)** 1981.

Steven L. Kramer. , , **Geotechnical Earthquake Engineering** Prentice Hall, N.J, , 1996.

Thomas. H. H. , , **The Enginnering of Large Dams** A Wiley Inter-Science Publication , 1976.

U.S. Army Corps of Engineers , , **Hydraulic Design Criteria** Water ways Experiment Station , Vicksburg Mississippi , 1973.

USACE. , , **National Economic Development Procedures manual-Overview manual for conducting national economic development analysis** U S. Army Corps of Engineers , Ft. Belvoir. Va , 1991

Institute for Water Resources(IWR), Water Resources Support Center

USACE. , , **Planning Manual** 1996.

IWR Report 96-R-21

USACE. , , **Procedural Guidelines for Estimating Residential and Business Structure Value for Use in Flood Damage Estimations** 1995.

IWR Report 95-R-9

USBR , , **Design of Small Dams, A Water Resources Technical Publication** 1977

USCOLD. , , **Non-Soil Water Barriers for Embankment Dams** 1997

Vincent J. Zipparro , Hans Hansen , , **Davis' Handbook Of Applied Hydraulics**4th Wallace Hayward Baker , ASCE , , **Grouting In Geotechnical Engineering** 1982

Walsh. R. G. , , **Recreation Economic Decision : Comparing Benefits and Costs** Colorado State University , Fort Collins. Colo. , 1986.