

농업생산기반정비사업계획설계기준

필
담
편

농
림
부

농업생산기반정비사업계획설계기준

필
담
편

농
림
부

요 약

1. 개정동기

현행 농지개량사업계획설계기준 (댐편)은 1982년 농림부에서 제정한 지 꼭 20년이 경과되었다. 그 동안 농업과학기술은 급속히 발전하였으며, 농어촌 정비법 등 각종 관련 법규가 바뀌었으며 댐과 관련된 농촌용수 10개년 계획이 추진되고 있다. 이러한 농업과학과 건설기술의 발전과 함께 사회적, 경제적, 환경적 여건이 크게 변화하여 새로운 기술도입이 필요하여 설계기준의 개정이 필요하게 되었다.

이번에 개정되는 농업생산기반정비사업 계획설계기준 (필댐편)은 환경친화적 설계와 관리에 특별히 주안을 두었으며, 그 동안 여건변동에 따라 검토가 논의되었던 설계홍수량, 내진설계, 댐마루나비, 침투류 및 간극수압, 공기공 규모, 가배수공 설계홍수량 등의 내용을 크게 개정·보완하여 실무자들이 활용할 수 있는 계획설계기준(안)을 작성하였다. 또한, 관리에 관한 내용을 대폭 강화하여 이수(利水)-홍수·친수(親水) 관리 및 계측·전기·기계시설 관리를 효율적이고 안전하게 하도록 하였다.

최초의 댐 설계기준은 토지개량사업계획기준 (월댐편, 농림부)으로 한국농공학회의 전신인 대한농업토목학회에서 편수하여 농업기반공사 농어촌연구원의 전신인 토지개량조합연합회 농업토목연구소에서 인쇄하고 당시 농림부에서 발행하여 농림부, 시·도·군, 토지개량조합연합회 및 전국 토지개량조합 등에 배포하여 활용되었었다.

1982년에는 월댐편에 콘크리트댐에 관한 설계기준을 추가하여 농지개량사업계획설계기준 (댐편, 농림부)을 1차 개정하였다.

1989년에는 콘크리트댐에 관한 농지개량사업계획설계기준 (콘크리트댐편, 농림부)을 별도로 제정하여 오늘에 이르고 있다.

이번 개정에는 1982년 농지개량사업계획설계기준 (댐편)을 필(fill)댐을 중심으로 개정하여 농업생산기반정비사업 계획설계기준 (필댐편)으로 하였다.

농어촌정비법에 의한 농업·농촌 종합이용계획에 따라 농촌용수 10개년 계획이 수립되고, 이 계획 하에 댐·저수지를 건설할 때 이 계획설계기준에 따라 계획·설계하게 된다. 이 계획설계기준은 2001년에 한국농공학회에서 1차 집필·편집하였으며, 2002년에는 계획설계기준에 대한 자문과 심의를 통하여 개정하고 농업기반공사에서 인쇄하여 농림부에서 발행한 것이다.

지금까지 실무에서 제기되었던 개정의 필요성에 따라 계획설계기준에 반영한 내용을 요약하면 다음과 같다.

조사항목 가운데 물 관리, 기전, 환경 및 유지관리 분야 내용을 추가하였다. 환경조사는 기본조사단계에서 관련법에 의한 지구지정 여부조사와 기본계획수립에 반영하도록 자연환경·생활환경·자연경관에 관하여 조사하도록 하였다. 실시설계조사단계에서는 저수용량 규모에 따라 환경법에 따라 “환경영향평가”를 받아야 하는 지구조사와 국토이용관리법 및 환경정책기본법에 따라 “사전환경성 검토”를 협의해야 하는 지구에 대하여 전문분야 조사를 실시하도록 하였다. 유지관리조사는 실시설계조사 단계에서 실시하며, 시설관리, 물 관리, 안전관리 및 환경관리로 구분하여 조사, 설계하고 준공 후 유지관리지침 작성에 활용하도록 하였다.

기상 및 수문 조사에서 유역의 강우-유출 해석을 위한 유역답사, 유역임상피복조사, 유역토양조사 등을 추가하였다.

댐 형식 및 위치 결정시 여러 가지 대안에 대한 비교방법을 추가하였다.

저수용량결정에 환경용수량과 홍수조절용량을 추가 확보하도록 고려하였다.

설계홍수량 기준을 강화하여 댐 하류에 도시 또는 집단주거지역, 국가 중요시설 등이 있어 유사시 인명과 재산에 피해가 클 것으로 예상되는 필댐에는 가능최대홍수량(PMF)을 설계홍수량으로 적용할 수 있도록 하였다. 이 경우, 안전한 댐체와 물넘이 설계를 위하여 수리모형실험을 실시할 수 있게 하였다.

유수변환 대상홍수는 20년 빈도 홍수량을 채택하는 것으로 하였다.

홍수수문곡선 산정방법은 계측 유역에는 대표 단위도법을, 무계측 유역에는 SCS 단위도법, 유역추적법, 저류함수법, USDAHL, 탱크모형, HEC-1, FAS 등 수문모형을 사용하며, 산정된 수문곡선 가운데서 댐 규모를 가장 크게 나타내는 것을 채택하도록 하였다.

물넘이 수리 및 구조설계에서 방수로 선형(평면, 종단) 및 옹벽을 추가하고 전기·기계시설을 강화하였다. 취수시설은 사통과 취수탑의 설치기준을 제시하고 기존 내용을 대폭 축소하였다. 취수탑 구조의 내진성, 복통의 지수대책, 신·수축 및 시공이음, 상수도 공급을 위한 예비취수공 설치 등을 반영하였다.

친환경 관점에서 농촌용수 저수지의 어도와 이설·진입도로에 대하여 신규로 상세하게 기술하였다.

기초처리는 설계와 시공을 분리하였으며, 침투류 해석에 파이프링 현상에 대한 규정을 보완하고, 안정성 검토에서는 변형과 내진(耐震)에 대한 내용을 보완하였다.

가배수로와 가물막이의 시공관리 체계를 수립하였다. 유수변경시설은 공사 후에도 가능한 폐쇄하지 않고 본 댐의 일부가 되도록 하여 공사비를 절감하는 것을 기본으로 하였다.

갈수시 효율적인 저수량 관리, 홍수시 수문 조작 및 재해방지 대책, 수변 공간과 친수 위락 관리, 안전계측기기 운영 및 전기·기계류의 유지관리 등 효율적으로 댐을 유지관리 하도록 하였다. 시공관리에 공사기간중의 안전관리와 환경관리 사항을 추가하였다.

제6장에는 기 건설된 댐·저수지의 관리기준을 신설하여 이수·홍수·환경(수질)관리와 계측·기계·전기 시설 관리에 대하여 기술하였다. 댐 청소선과 저수지 완공 직후 수몰지 내 청소에 대한 내용을 기술하였다.

2. 개정의 주안점

2.1 편제

1) 주요항목별로 Box 안에 지역특성이나 현지여건에 관계없이 모든 설계에서 지켜야 할 기본적인 규범적이며, 명확한 사항만을 규정하는 기준을 수록하였다.

2) Box 기준 아래에는 기준에서 규정하지 않은 사항, 지역특성이나 현지여건에 따라 선택적으로 적용할 사항, 일반적인 기술해석, 표준적인 설계사례, 기타 참고가 되는 국내·외 설계 자료 및 설계실무요령 등 편람을 기술함으로써 설계기술수준을 향상시키고 체계화하도록 하였다.

2.2 내용

2.2.1 공통사항

1) 국내외 관련자료 수집하고, 해당분야 전문가의 의견을 최대한 수렴하여 개정하였다.

2) 새로운 계획설계기준의 적정성과 객관성을 도모하여 실용적 활용도를 확대하였다.

3) 새로운 법령이나 제도의 신설에 따라 필요하게 된 사항을 개정하였다.

4) 한글사용을 원칙으로 개정된 한글 새맞춤 표기법에 따른 표준어를 사용하였다. 기술용어는 관련분야 용어사전을 참고하고, 외래어는 외래어 표기법을 준용하였다.

5) 도표 내용은 최신의 자료를 수록하고, 인용된 자료는 근거를 명시하였다.

2.2.2 기술적 사항

환경친화적 설계, 유효 저수용량 확대, 물 관리 자동화시설, 설계 홍수량 기준, 내진 설계, 침투류 해석, 유수변경 시설, 댐마루 나비, 공기공 규모, 기존 필댐의 이수 및 홍수관리 등 과업지시의 기술적 검토사항은 다음과 같다.

설계기준은 새로 건설하는 필댐에는 물론 기존 필댐의 관리기준에도 그대로 적용된다.

1) 환경친화적 설계

물 사용량 증가로 많은 지역에서 과도한 하천취수로 인하여 하류하천 유량이 상류보다 줄고 있으며, 저수지와 지하수 수위는 현저히 감소하고 있다. 그러한 상황에서 유역에서 배출되는 오염물질의 부적절한 처리로 인하여 하천과 저수지 수질은 오염되고, 수생 생태계는 심각한 수준의 위협에 직면하고 있다.

식량증산은 품종개량, 화학비료와 농약 투입과 함께 관개시설의 활성화에 기인한 바 크다. 따라서, 물 수요량에 대응하는 공급량의 부족으로 신규수자원의 개발이 불가피할 것으로 추정하고 있다. 물 부족이 예상되는 상황에서 어떻게 환경친화적 설계로 지속 가능한 농업용수의 개발과 관리를 할 것인지에 대하여 작성하였다.

2) 유효저수용량 확대

하류하천의 생태보전과 환경용수량을 공급할 수 있도록 환경용수량을 저수용량에 추가하도록 하였다. 이 때, 밭 관개용수를 적절하게 공급하기 위한 취수공, 수문, 관수로 및 조정지(Farm pond) 등의 설치를 고려하여야 한다.

하천유출량 추정에 우리 나라 모형인 DIROM모형과 DAWAST모형을 추가하고, 퇴사량 추정에 우리 나라에서 개발된 모형을 소개하였다.

3) 물 관리 자동화 시설

관개면적 100 ha 이상인 저수지 지구에서 유역배율이 낮거나(예, 1 : 4 이하) 농촌용수를 다목적으로 공급하므로 용수부족이 예상되는 필댐에서는 원격 관측/제어(TM/TC)시설을 도입하여 물 관리에 편의를 도모할 수 있고 간단·윤환관개 시스템을 통하여 효율적으로 절수하여 가뭄을 극복할 수 있다.

4) 설계홍수량 기준

설계홍수량 기준을 강화하였다.

가) 농촌용수 저수지의 설계홍수량은 200년 확률홍수량, 기왕최대홍수량, 지

역최대홍수량 중 큰 값을 설계홍수량으로 하며, 필댐에 대해서는 20 %를 증가시킨 유량을 설계홍수량으로 하였다.

나) 일정규모(유역면적 2,500 ha, 저수용량 500만 m³ 수준) 이상의 댐 붕괴 시 인명과 재산에 피해가 클 것으로 예상되는 필댐에서는 가능최대홍수량(PMF)을 설계홍수량으로 적용할 수 있도록 하였다.

다) 가능최대홍수량(PMF)을 적용하여 설계하는 농촌용수 저수지에는 집중호우 및 이상강우에 의한 하류지역의 홍수피해를 줄이기 위하여 홍수조절용량을 저수용량에 추가로 포함할 수 있도록 하였다. 홍수조절용량은 하류하천 및 저수지 규모를 고려하여 결정하며, 홍수조절을 위한 수위별 수문조작 계획을 수립한다.

라) 홍수조절용량을 확보하지 않는 저수지 중 하류부에 도시나 집단주거, 공공시설 등이 있어 유사시 침수로 인명과 재산피해가 예상되거나, 지형적 여건에 따라 과거 집중호우가 자주 발생하여 수해가 우려되는 지역은 이상홍수에 대비하여 사전 수위조절을 위한 비상 수문 등 방류시설을 할 수 있다. 방류시설의 규모는 저수지 규모와 하류지역 홍수피해 정도를 고려하여 결정하되 최소한 1~3일 내에 홍수기 제한수위까지 낮출 수 있는 규모로 설치한다.

마) 수문(Gate)식 물넘이 구조로 된 저수지는 홍수유입량 관측시설, 수위계측시설, 홍수위험경보 시설 등 홍수 예경보시설을 설치하여 홍수피해를 사전에 대비할 수 있도록 한다. 홍수조절용량을 별도로 확보하지 않은 저수지는 홍수기 제한수위를 설정하여 홍수조절을 할 수 있다. 홍수기 제한수위는 하천법 제38조 규정에 의한 댐 관리 규정을 별도로 설정하여 지자체의 승인을 받아 관리하도록 되어 있다.

5) 유수변경 시설

가배수로와 가물막이의 구성과 시공관리 체계를 수립하였으며, 설계홍수량은 20년 빈도 홍수량을 채택하는 것으로 한다.

6) 내진설계

댐체의 활동에 대한 안전성, 변형, 액상화 및 저수지 주변의 안전성에 관한 검토와 함께 필댐의 내진설계 기준을 보완하였다.

7) 침투류 해석

댐체에서의 침윤선과 유선망에 의한 침투류 해석과 침투유량 추정, 수치해석에 의한 침투류와 간극수압 해석 및 파이핑 현상에 대한 규정 보완으로 안정성을 검토하였다.

8) 댐마루 나비

댐마루 나비를 댐 높이 50 m 이상은 8 m(도로 이용시 10 m), 15~50 m는 6 m(도로 이용시 8 m), 15 m 이하는 5 m 정도 등 세부적으로 규정하였다.

9) 스크린의 공기구멍 크기

직경을 최소 10 cm 이상으로 상향 조정하였다.

10) 물넘이 방수로 선형

측수로 및 급경사 방수로는 원활한 홍수배제를 위하여 가급적 직선형으로 계획하며 지형상 부득이 만곡시켜야 할 경우나 특별한 형태의 물넘이 구조 또는 홍수조절을 하는 일정규모(설계홍수량 500 m³/s 수준) 이상 저수지는 필요에 따라 수리모형실험을 통하여 홍수배제능력을 검토한다.

11) 정수지와 하류하천 정비

물넘이 시설과 하류하천의 설계빈도가 서로 달라 예상되는 피해를 줄이기 위하여 정수지와 하류하천 연결부는 이상 홍수 시에도 제방 세굴이 없도록 견고한 구조로 충분히 연장한다.

12) 물넘이 방수로 기초지반

물넘이 방수로의 기초지반은 반드시 견고한 암반지반에 계획하며 지질조건상 부득이한 경우에는 콘크리트 등으로 치환하여 기초지반의 세굴 및 이완이 없도록 한다.

13) 방수로 여유고

방수로 여유고는 USBR 제안 실험식 $F_b = 0.6 + 0.037 Vd^{1/3}$ 으로 구하되, 가능최대홍수량으로 설계하지 않은 저수지는 설계홍수량을 초과하는 이상 홍수 시에도 측벽 월류가 발생하지 않도록 0.5 m를 가산한다.

14) 제당 중심점토 높이

필댐의 제체 내 유로형성 및 누수방지를 위하여 시공하고 있는 중심점토(Core)는 이상 홍수에 의한 수위 상승 등을 고려하여 댐마루에서 0.5 m 낮은 지점에 계획한다. 중심점토의 폭은 설계홍수위 기준으로 최소 2 m 이상으로 한다.

15) 대형 부유물 유입방지 시설

저수지내 토사퇴적 및 홍수시 대형 부유물의 유입을 방지하기 위하여 사방댐 및 스크린 등 부유물 방지시설을 설치하도록 한다.

16) 외측사면부 석력재 보강

일정규모(유역면적 2,500 ha, 저수용량 500만 m³ 수준)이상 필댐에는 호우시 사면붕괴를 방지하기 위하여 외측사면부 성토를 석력재로 보강하도록 한다.

3. 건의사항 :

설계기준 댐편 개정작업 중 2002년 8월 4일에서 9월 1일 사이에 낙동강유역과 강릉지역에 발생한 사상 유례없는 집중호우와 태풍 “루사”로 필댐에도 큰 피해가 발생하였다. 강릉시 장현, 동막 저수지 2개소가 완전 붕괴되었고 성주시 성주댐 및 강릉시 오봉 저수지 등 홍수위를 넘어 붕괴 위험에 처하였고 전국 430개 필댐이 파손 피해를 입었다. 특히, 강릉지역 8월 31일의 1일 강수량 870.5 mm(최대 시우량 100.5 mm)는 기준이 200년 빈도 설계강수량 388.4 mm를 2.24배에 달하는 실로 엄청난 폭우로 설계기준의 의미를 재검토해야 하는 계기를 마련하였다.

3.1 댐 관리기준 제정

이번 개정에서는 설계기준 제6장에 관리기준을 신설하는 것으로 대체하였으나, 앞으로는 신규 필댐 건설과 함께 기존 필댐의 관리가 더욱 중요해지고 있는 실정이므로 필댐 설계기준에 준하는 관리기준을 새로이 제정해야 한다. 이 기준에는 필댐 붕괴의 피해잠재성평가, 피해규모예측 및 홍수범람예측지도 등 예방대책과 필댐 붕괴 위험시 대처요령, 비상연락 및 경보체계 등 행동계획을 포함해야 한다.

3.2 설계기준의 강화방안 연구

강화된 설계기준에 대하여 붕괴 시 예상되는 인명과 재산의 기준, 일정규모(유역면적 및 저수용량 등)의 기준 등에 대하여 기술적, 경제적 측면에서 세부적이고 구체적으로 조사 연구하여 필댐 설계기준을 보완하여야 할 것이다.

3.3 관리기준의 강화 방안 연구

강화된 설계기준에 대하여 붕괴 시 예상되는 인명과 재산의 기준, 일정규모(유역면적 및 저수용량 등)의 기준 등에 대하여 기술적, 경제적 측면에서 세부적이고 구체적으로 조사 연구하여 필댐 관리기준을 보완하여야 할 것이다.

차 례

필댐 편

제 1 장 일 반 사 항	1
1.1 기준의 목적과 적용범위	1
1.1.1 기준의 목적	1
1.1.2 기준의 적용범위	2
1.2 댐의 설계 및 시공	2
1.2.1 설계의 기본	2
1.2.2 시공의 기본	3
제 2 장 계 획	5
2.1 필댐의 분류 및 위치선정	5
2.1.1 필댐의 분류	5
2.1.2 필댐의 특징	7
2.1.3 댐의 위치선정	8
2.2 개발의 목적	11
2.3 환경보전 계획	B
2.3.1 댐 건설과 환경보전	4
2.3.2 댐 건설에 따른 환경영향	4
2.3.3 댐 건설 사업과 환경보전 방안	7
2.3.4 환경 친화적 댐 건설	8
2.3.5 친수공간을 위한 댐 주변 종합개발	2
제 3 장 조 사	23
3.1 조사계획	2
3.1.1 예정지 조사계획	2
3.1.2. 기본 조사계획	2
3.1.3. 세부설계 조사계획	8
3.2. 조사내용	3
3.2.1. 조사의 단계별 시행	3
3.2.2. 예정지 조사	2

3.2.3 기본 조사	8
3.2.4 세부설계 조사	6
제 4 장 설 계	122
4.1 댐 일반 및 형식결정	122
4.1.1 댐 일반	122
4.1.2 댐형식 결정	124
4.2 친환경설계 및 수변정비	127
4.2.1 기본개념	128
4.2.2 수변정비의 기본개념	136
4.2.3 하류하천정비	148
4.3 저수용량 결정	153
4.3.1 이수용량	153
4.3.2 환경용수용량	156
4.3.3 홍수조절용량	161
4.3.4 퇴사량	163
4.3.5 용량배분	166
4.3.6 물 관리 자동화를 위한 원격 관측/제어(TM/TC)시설	166
4.4 설계홍수량 결정	167
4.4.1 설계홍수량 기준	167
4.4.2 사용자료	172
4.4.3 산정방법	189
4.5 기초설계	202
4.5.1 일반사항	202
4.5.2 암반기초	204
4.5.3 미고결층 기초	209
4.5.4 연약지반 기초	209
4.5.5 느슨한 기초지반	228
4.5.6 그라우팅 설계	225
4.6 표준단면 설계	233
4.6.1 댐 축선의 선정	233
4.6.2 제체의 단면구성	255
4.6.3 제체의 비월류부 높이	257

4.6.4	댐마루 표고 및 더돋기	22
4.6.5	댐마루 폭	23
4.6.6	불투수층 존(차수벽)의 두께 및 단면 설계	25
4.6.7	사면경사와 소단(小段)	26
4.6.8	드레인의 설계	29
4.6.9	제체 보호공	22
4.7	축제재료의 선택	26
4.7.1	축제재료	26
4.7.2	필터재료	29
4.7.3	사석재료	23
4.7.4	차수벽 재료	25
4.8	침투수 및 간극수압의 검토	26
4.8.1	침투류 해석	26
4.8.2	침윤선	28
4.8.3	유선망	33
4.8.4	침투유량	37
4.8.5	수치해석에 의한 침투류 해석	39
4.8.6	침투수에 의한 안정성 검토	36
4.8.7	간극압의 검토	34
4.9	안정성 검토	32
4.9.1	활동에 대한 안전성 검토	32
4.9.2	변형에 대한 검토	32
4.9.3	액상화의 검토	36
4.9.4	저수지 주변의 안정성에 관한 검토	38
4.9.5	필댐의 내진설계	31
4.9.6	매설계측 안정관리	37
4.10	물넘이	38
4.10.1	위치 및 규모	38
4.10.2	물넘이 형식	39
4.10.3	수리설계	35
4.10.4	수리모형실험	30
4.10.5	구조설계	42
4.11	취수시설	47

4.11.1 일반사항	47
4.11.2 취수계획	48
4.11.3 취수시설의 위치 및 형식	49
4.11.4 취수부의 수리설계	43
4.11.5 구조설계	45
4.12 어도	44
4.12.1 일반사항	44
4.12.2 어도 설계 시 고려사항	45
4.12.3 어도의 설계조건	47
4.12.4 어도의 형식	48
4.12.5 어도의 설계절차	43
4.12.6 어도의 부대시설	45
4.13 기계, 전기설비	45
4.13.1 적용범위	45
4.13.2 기계설비	49
4.13.3 전기설비	42
4.13.4 관측설비	43
4.13.5 시공	47
4.13.6 검사	43
4.14 이설 및 진입도로	44
4.14.1 일반사항	44
4.14.2 설계시 고려사항	45
4.14.3 도로계획 및 설계 절차	46
4.14.4 기하구조	47
4.14.5 횡단면 구성	49
4.14.6 선형 설계	41
4.14.7 포장설계	48
4.14.8 배수시설	52
제 5 장 시 공	504
5.1 가배수공	504
5.1.1 가배수공의 구성	504
5.1.2 가배수공의 대상유량	55

5.1.3	가물막이	55
5.1.4	가배수로	59
5.1.5	폐쇄(閉塞)공	59
5.2	기초처리	545
5.2.1	댐터의 굴착	55
5.2.2.	그라우팅 시공	56
5.3	축제공사	568
5.3.1	시공기계	58
5.3.2	축제재료의 채취와 운반	56
5.3.3	축제성도	58
5.3.4	사면마무리와 사석	60
5.3.5	아스팔트 포장	60
5.4.	시공관리	601
5.4.1.	품질관리	62
5.4.2	공정관리	64
5.4.3.	원가관리	65
5.4.4.	안전관리	66
5.4.5.	환경관리	67
제 6 장 관 리	619
6.1	관리조직	619
6.1.1	관리조직	69
6.1.2	댐 관리체제의 정비확립	69
6.1.3	댐 관리 기술자	60
6.2	기상 및 수문 관측	621
6.2.1	관측 항목과 목적	62
6.2.2	관측시설의 설치 및 관측	64
6.2.3	유출특성 파악	66
6.3	이수관리	628
6.3.1	일반사항	68
6.3.2	저수운용규칙	69
6.3.3	물 관리 자동화 시설	61
6.3.4	시설 보강시 저수용량 확대	61

6.3.5 자료의 수집과 정보관리	61
6.4. 홍수관리	62
6.4.1 일반사항	62
6.4.2 댐의 조작 규정	63
6.4.3 저류의 최고한도	67
6.4.4 방류량의 증가방법	67
6.4.5 물넘이 게이트 조작	69
6.4.6 댐 방류시의 관계기관에 대한 통지	60
6.4.7 댐방류시 일반인에게 알리는 조치	61
6.4.8 홍수주의보 단계의 조치	63
6.4.9 홍수경보 단계의 조치	65
6.4.10 홍수 발생단계의 조치	67
6.4.11 홍수처리 단계의 조치	68
6.4.12 물넘이 게이트가 없는 댐	68
6.4.13 홍수관리기준 강화에 따른 시설 댐의 시설 보강	60
6.5 환경관리	62
6.5.1 수온관리	62
6.5.2 수질관리	63
6.5.3 퇴사관리	68
6.5.4 생태계 관리	60
6.5.5 경관 관리	62
6.5.6 수림대 관리	63
6.5.7 저수지 주변의 감시	64
6.6 댐의 계측관리	65
6.7 기계·전기시설의 관리	687
6.7.1 일반사항	67

참 고 문 헌

제 1 장 일 반 사 항

1.1 기준의 목적과 적용범위

1.1.1 기준의 목적

이 기준은 농어촌정비법에 근거한 농업생산기반정비사업으로 축조 또는 개수하는 필댐(fill dam)의 계획, 설계, 시공 및 관리에 있어 준수해야 할 일반적 사항을 규정하여 기술수준의 향상과 체계화에 기여함을 목적으로 한다.

이 기준은 농어촌정비법 (1994년 12월 22일 법률 제4823호)에 의거 시행하는 농업생산기반정비사업으로 축조 또는 개수(여기서 개수라 함은 시설의 일부 또는 전체에 걸친 개수를 말함)하는 필댐의 계획, 설계, 시공 및 관리에 있어 준수해야 할 일반적 기술사항을 규정한 것이다.

이 기준은 하천법, 공유수면관리법 및 환경보전법 등 관련법을 참작하여 정한 것이므로 댐 완성 후의 관리에 대하여도 관련법 규정에 의해 적절하게 관리되는 것을 전제로 한 것이다.

개개 댐의 설계와 시공에 있어서는 현지 및 사회여건에 맞도록 적절히 이 기준을 적용할 것이며 특히 높은 댐, 특수한 댐 또는 재산과 인명에 영향이 큰 댐에 대하여는 별도로 특별한 기준을 정해야 한다.

이 기준에 사용되는 용어의 정의는 농공학 용어집의 정의에 따른다.

설계기준의 하위개념으로 설계기준에서 규정하지 않은 사항으로 일반적인 기술해설, 표준적인 설계사례, 국내외 기술소개 및 참고사항 등을 편람으로 BOX 아래에 구체적으로 기술하였다. 이 편람내용은 댐 설계 및 관리자가 원칙적인 사고방법과 계획방향을 제시하여 획일적인 계획과 설계를 피하고, 정확한 판단으로 가급적 합리적인 댐 계획과 설계가 되도록 도움을 주는데 목적이 있다.

1.1.2 기준의 적용범위

이 기준은 댐 높이 15 m 이상인 댐 가운데 농촌용수공급을 목적으로 하는 필댐에 대하여 적용한다. 기준내용은 기술수준의 향상 또는 기타 필요에 따라 개정하여 시행하며, 적용이 적합하지 않은 경우에는 기준이 손상되지 않는 범위 내에서 기술심의 및 자문 등으로 실무지침을 정하여 운용할 수 있다.

이 기준의 적용범위는 높이 15 m 이상의 농촌용수공급을 목적으로 하는 필댐으로 한다. 토사유출방지 및 조절을 위한 사방(砂防)댐이나 특수구조 댐은 적용범위에서 제외한다. 콘크리트댐과 복합댐은 농지개량사업계획설계기준 콘크리트댐편(1989, 농림부)을 기준으로 한다.

문교부 고시(1986. 1) 외래어 표기법에 따라 필(fill)댐으로 표기하였다.

댐은 유수를 저장 또는 취수할 목적으로 축조한 구조물을 말한다. 저수지는 댐에 의하여 조성된 인공호소를 말한다. 축조구조물과 인공호소를 모두 나타내어 댐·저수지로 칭하기도 한다. 댐은 구조물과 저수지를 포함한 시설기능을 총칭하는 광의로 사용되며 이 설계기준에서도 광의로 쓰였다.

댐, 저수지, 댐·저수지 등이 혼용되고 있고, 일반인들은 대규모 및 다목적인 경우는 댐(예 : 대청댐)으로 소규모 농촌용수의 경우는 저수지(예 : 예당저수지)로 부르기도 한다.

1.2 댐의 설계 및 시공

댐 계획, 조사, 설계, 시공 및 관리의 일관된 개략 공정은 표 1.2.1 과 같다.

1.2.1 설계의 기본

설계는 댐에 필요한 기능과 안전성을 갖는 한편 경제적 시설인 동시에 환경에 부합되도록 시행하는 것을 기본으로 한다. 이 경우 관계법규 등을 준수해야 한다.

댐 설계의 기본방침은 댐 건설목적인 필요한 저류기능, 유수에 대한 조절기

능, 취수기능 및 안전하고도 합리적 댐 관리가 될 수 있는 기능이 확보되어야 한다.

댐의 제체 및 기타 구조물, 기초지반, 저수지와 아울러 저수지 주변의 원지반은 공사 중은 물론 완공 후에 있어서도 안전성을 가져야 한다.

댐 건설은 자연 환경이나 사회 환경을 고려해서 상호 조화가 유지되도록 해야하며 상기 기본방침을 세워 최종 댐 건설비와 장래 유지관리비를 가능한 한 경제적으로 해야한다.

하천법의 적용을 받는 하천에 설치하는 댐에 대하여 동법의 규칙을 준수해야한다. 또 댐 건설에 있어서는 하천법 이외에 제정된 관계 법규 등도 준수해야 한다.

댐 설계, 시공 및 관리는 고도의 기술과 풍부한 경험 등을 필요로 한다. 특히 설계는 적절한 순서에 따른 업무수행을 해야하므로 각 작업간의 관련을 충분히 검토하여 작업 효율화를 도모할 필요가 있다.

1.2.2 시공의 기본

시공은 현장여건을 고려해서 설계내용을 만족시킬 수 있는 합리적이고 경제적이며 안전하게 작업을 추진시킬 수 있는 시공계획에 따라 시행하는 것을 기본으로 한다.

시공은 설계의 기본방침에 따라 설계내용을 만족시키도록 경제적으로 축조할 수 있게 현장여건을 충분히 고려한 시공계획의 수립이 가장 중요하다. 또 공사추진 도중 당초 설계조건과 현장조건이 달라질 때에는 이 현장조건으로 설계의 재검토를 할 필요가 있다.

시공에 있어서는 적절한 시공계획 및 시공관리하에 현장조건을 충분히 고려해서 합리적이고 경제적이며 안전한 방법에 의하여 시행한다. 이 때 시공에 있어서 적용을 받는 관계법령 등은 이를 준수해야한다.

제 2 장 계 획

2.1 필댐의 분류 및 위치선정

2.1.1 필댐의 분류

필댐(fill dam)이란 제체 재료가 암석, 자갈, 토사 등으로 이루어진 것을 충칭해서 말하는 것으로 천연재료를 모아 쌓아 올려서 만든 부분을 주체로 하는 모든 댐을 필댐이라 규정한다. 필댐은 분류방식에 따라 균일형, 존형, 표면차수벽형, 코어형 등 4개 형식으로 분류한다.

댐은 기능이나 목적에 따라 단일목적댐(single purpose dam)과 다목적댐(multipurpose dam)으로 분류하고, 용도에 따라 저수댐(storage dam), 취수댐(diversion dam) 및 저류댐(detention dam)으로 분류한다. 또한, 수리구조 형태가 일련의 수문으로 이루어진 가동댐(movable dam)과 그렇지 않은 고정댐(fixed dam)으로 분류할 수 있으며, 고정댐의 경우는 댐체 위로 물이 넘도록 설계했는가의 여부에 따라 월류댐(overflow dam)과 비월류댐(nonoverflow dam)으로 분류된다. 또한 재료 및 형식에 의한 분류도 하고 있다.

필댐(fill dam)이란 제체의 재료가 암석, 자갈, 토사 등으로 이루어진 것을 충칭해서 말하는 것으로 과거에는 흙댐(earth-fill dam), 록필댐(rock-fill dam)으로 구분하였으나 근래에는 이 두 가지 재료를 같이 축제하는 경우가 많아져서 구별이 곤란하게 되었다. 그래서 천연재료를 모아 쌓아 올려서 만든 부분을 주체로 하는 모든 댐을 필댐이라 규정하게 되었다.

이는 종래 제체 최대의 단면에서 차지하는 불투수성부의 최대폭이 댐 높이보다 작은 것을 코어형 필댐이라 칭하였으나 이를 존형에 포함시키고 제체내부에 토질재료 이외의 재료로 차수벽을 형성하는 형식의 댐을 코어형이라 칭한다

가. 균일형

균일형(homogeneous type)댐은 제체 대부분이 흙이나 자갈의 단일 토질재료를 구성되는(제체 최대단면의 80% 이상)댐을 말한다. 일반적으로 이 형식은 중규모 이하에서 대부분 채용되고 있다. 이 형은 불투수성 재료가 댐 인근에서 대량으로 얻기 쉬운 경우에 적합하며, 다른 형의 댐에 비하여 연약지반상

에도 축조가 가능하다. 높은 댐 축조는 어렵고 40 m 정도가 한계이다.

명칭	약 도	정 의
균 일 형		제체의 최대단면에 있어서 균일 재료가 차지하는 비율이 80% 이상인 댐
존 형		토질재료가 불투수성 존을 포함한 여러 층의 존을 갖는 댐
표 면 차 수 벽 형		상류사면을 토질재료 이외의 차수재료로 포장한 댐
코 어 형		토질재료 이외(아스팔트, 콘크리트)의 차수벽을 갖는 댐

그림 2.1.1 필댐의 분류

나. 존형

존형(zoned embankment type) 댐은 불투수성과 투수성의 서로 다른 재료를 여러 존으로 형성시킨 댐이다. 불투수 존의 형상과 설치위치에 따라 엷은 경사형 불투수 존을 가진 경사지수 존형과 불투수성부가 중심 전체를 포함하는 중심지수 존형으로 구분한다. 각 존은 투수계수와 재료의 입도가 급변하지 않도록 불투수 존을 중심으로 상·하류 방향으로 순차적으로 조립질의 재료를 배치한다.

다. 표면차수벽형

물과 접촉되는 댐 상류면에 아스팔트 콘크리트, 철근 콘크리트 또는 기타 인공 또는 천연재료를 설치하여 차수시키는 댐형을 말한다.

라. 코어형 (core type)

체체내에 토질재료 이외에 차수벽을 가진 댐을 말한다. 최근에 연속타설 철근 콘크리트벽이나 아스팔트 콘크리트 차수벽을 체체 중앙부에 배치하는 경우가 있다.

2.1.2 필댐의 특징

필댐은 지형, 재료 등 조건에 크게 구애를 받지 않고 축조할 수 있는 장점이 있는 반면에 홍수 월류에 거의 저항력이 없다는 단점이 있다. 필댐의 가장 큰 특성은 댐 터의 지질, 지형 및 축제재료의 조건을 따지지 않는다는 점이다. 최근 토질공학의 발전과 시공기계의 대형화에 의하여 필댐 축조기술은 크게 향상되었다. 그러나 토질공학의 발전이 필댐 건설상의 모든 문제를 완전히 해결하였다고는 볼 수 없다. 이는 필댐의 구성요소가 복잡하며 시공관리에 따른 변화요소가 많기 때문에 정확한 해석이 어렵다. 그러므로 필댐은 어느 다른 구조물보다도 풍부한 경험을 필요로 한다.

따라서 현장 조건과 기타 여건을 조사하여 경제적이고 자연친화적인 댐을 건설하여야 한다. 또한 기초 지질 등이 어느 정도 나쁜 경우에는 기초처리 공법을 적용시켜야 한다.

댐 설계시 고려해야 할 하중으로는 자중, 정수압, 양압력, 침전물에 의한 압력, 지진력, 동수압, 빙압 등이 있으며 이들 하중에 충분히 견디어 낼 수 있게끔 댐을 설계하여야 한다.

필댐은 기초지반 강도를 콘크리트 댐만큼 필요로 하지 않아 비교적 지질이 나쁜 곳에서도 축조가 가능하다. 가까이에서 구한 재료를 사용하므로 축조비가 적은 것이 보통이지만, 홍수 처리에 비용이 들므로 전체적인 건설비가 적다고 할 수는 없다. 필댐은 물넘이와 방류설비를 체체 가운데나 위 또는 바닥에 둘 수가 없기 때문에 주변의 원지반에 설치한다. 따라서 굴착량이나 콘크리트 사용량이 지형에 따라서는 방대해질 수 있다.

필댐은 월류에 대한 저항력이 작으므로 공사중 가배수로를 크게 해야 한다. 콘크리트 댐에서는 1년에 1~2회 빈도 홍수를 대상으로 하는데 비하여 필댐에서는 20년에 1회 정도의 홍수를 대상으로 하는 것이 보통이다. 그래서 홍수량

이 큰 곳 즉 유역 면적이 큰 곳에서는 우선 홍수 처리 방법을 강구한 다음에 필댐의 채용을 검토하지 않으면 안 된다.

필댐은 될수록 현지에서 얻을 수 있는 재료로 축조한다고 하면 준형을 기본으로 할 수 있는데 적당한 코어 재료를 얻을 수 없는 경우는 표면차수벽형을 채용한다. 또한 표면차수벽형은 저수지 수위의 급상승이나 급강하에 대해서 준형보다 저항력이 크므로 양수발전용 댐에서 잘 채용되고 있다. 암석 재료로 축조하는 것은 코어 재료로 축조하는 것보다 기상의 영향이 적으므로 공기를 단축할 수 있는 장점이 있다.

2.1.3 댐의 위치선정

가. 필요한 저수용량과 저수량을 확보할 수 있는 곳.

나. 누수의 염려가 없고 구조상의 안정을 얻을 수 있는 곳.

다. 단위저수용량당의 건설비가 적게 들고 유지관리가 편리한 곳.

라. 기타 사항

- 1) 댐의 목적에 따라 적합한 위치는 달라진다.
- 2) 지형, 지질 등의 자연 조건과 공사상의 문제점을 검토한다.
- 3) 댐 상하류에 미치는 사회·경제적 영향을 배려한다.
- 4) 수자원의 종합 관리 차원에서 검토한다.
- 5) 자연환경과의 조화와 보전을 고려한다.

댐은 유역 내 몇 개 후보지 중에서 하천 유량을 조절하는 효과, 지형, 지질, 수문 등 자연조건 및 인구, 경제 등 사회 조건과 경제성뿐만 아니라 자연환경 보전측면도 고려하여 각종 용수 공급과 홍수 조절 및 소수력 발전 등의 여러 기능을 효과적으로 할 수 있는 지점을 선정한다. 농업용 저수댐은 우선적으로 다음 조건을 고려하여 위치를 선정한다.

가. 필요한 저수용량과 저수량을 확보할 수 있는 곳.

지형도에 의하여 댐의 위치와 저수지 부지의 지형을 검토해서 수문자료로부터 계산된 필요저수량이 확보 가능한 지를 검토하며 이 필요저수량을 저수하기 위한 제고 및 수몰지 범위 및 집수면적을 도상에서 정한다. 필요저수량의 확보여부는 댐 위치 선정에 기본적인 사항이므로 예정지 조사단계에서 집수면적과 관개면적의 비율에 의해 개략적으로 검토할 수 있다. 우리 나라에서는

집수면적이 관개면적의 3~4배가 되면 필요저수량의 확보가 가능하다고 본다.

집수면적이 클수록 수량 확보면에서는 유리하나 집수면적이 너무 크게되면 물넘이(spillway)의 규모가 증가하게 되어 많은 건설비가 요구된다.

저수지 부지의 지형은 경사가 1/350 보다 완만한 것이 유리하고, 1/250 보다 급한 곳은 내용적상 불리하다.

나. 누수의 염려가 없고 구조상의 안정을 얻을 수 있는 곳.

댐 부근의 표층지질도 또는 답사에 의해 댐 부지와 저수지 부지의 지질조건을 조사하여 누수 및 붕괴매몰의 위험성 여부를 검토한다. 적지로 판정된 후에 기본조사 단계에서는 보링과 물리탐사 등을 하고 필요에 따라서는 암질조사와 누수시험도 해야 한다.

다. 단위저수용량당의 건설비가 적게 들고 유지관리가 편리한 곳.

관개지역과 되도록 가까우며, 유지관리가 용이하고, 수몰지 보상비가 적게 들며, 축제공사에 필요한 재료의 운반이 편한 곳이 유리하다.

라. 기타 사항

기타 다음과 같은 사항도 댐 위치를 선정할 때 검토하는 것이 바람직하다.

1) 댐의 목적에 따라 적합한 위치는 달라진다.

댐의 개발 목적에 따라 댐의 위치 선정이 달라질 수 있다. 어느 경우라도 댐 위치가 수혜지에 가까운 것이 유리하다는 것은 분명하다. 일반적으로 유역면적이 큰 곳에서는 유량도 크고 물을 저류하여 용수를 확보하기 쉬우며 홍수조절 효과도 크게 된다. 그러나 이러한 곳에서는 공사비가 상대적으로 크게 되고 유역면적이 큰 만큼 보호해야 할 수원이 넓어 불리할 수도 있으므로, 적은 용량의 저수지로도 댐 개발 목적을 달성하는 경우는 오히려 유역이 작은 쪽이 경제적이다. 발전의 경우는 낙차를 크게 한다는 관점에서 산간 오지를 선정하는 경우가 많다.

2) 지형, 지질 등의 자연 조건과 공사상의 문제점을 검토한다.

댐은 개발 목적에 따라 필요한 저수용량 또는 낙차를 확보할 수 있을 뿐만 아니라 경제적이고 자연 친화적이어야 한다. 최소의 비용으로 최대의 효과를 얻어야 하며, 이를 위해서는 충분한 저수용량이 확보될 수 있는 지형으로 댐 지점의 하천 폭이 좁고 댐 체적이 작아지는 지형을 가진 곳, 기초 지반이 댐 하중을 안전하게 지탱함은 물론 차수성이 뛰어나야 공사비가 적게 든다. 또한

축조 재료를 쉽게 인근에서 구할 수 있는 곳 등의 자연 조건이 만족되어 있는 것이 바람직하다. 또한 댐의 형식과도 연관되지만 특히 필댐의 경우는 홍수를 안전하게 소통시키기 위한 여수로의 설치가 용이한가를 고려한다. 그 외에 공사중의 기상 조건이라든지 수송 조건 등도 댐 위치 선정에 영향을 미친다.

3) 댐 상·하류에 미치는 사회·경제적 영향을 배려한다.

댐 위치가 기술적으로 아무리 적절하게 선정되었다고 하더라도 대규모의 중요한 농지나 도시, 촌락, 철도, 도로, 광산, 삼림, 발전소, 관광지, 문화재 등이 수몰되어 사업 지역에 파급되는 영향이 크게 되는 경우에는 부득이 댐 위치를 재검토해야 할 경우도 생긴다. 특히 수몰지 보상비는 해가 갈수록 기하급수적으로 증가하여 전체 사업비의 가장 큰 부분을 차지하고 있기도 하므로, 댐 지점을 선정할 때에는 간단히 기술적인 검토만으로는 안 되고 수몰지 상황을 충분히 고려하여야 한다. 또한 댐은 하천 유출을 인공적으로 조절하고자 하는 것이기 때문에 하류의 기득 수리권자의 물 이용 권리를 보장해 줄 수 있어야 한다.

4) 수자원의 종합 관리 차원에서 검토한다.

댐 위치를 결정할 경우 당면한 수요를 충족시키기 위해서 장래의 개발 가능성을 희생시키지 않으면 안 될 경우도 생긴다. 양호한 댐 지점은 유한한 자원이라 생각할 수 있으므로 전체적인 종합 개발 계획에 따라 수자원이 최적으로 개발되도록 댐 지점의 선정에 있어서 우선 순위를 고려할 필요가 있다. 또한 소요되는 저수용량을 본류 하천에 단일 댐을 개발하여 확보할 것인지 또는 지류를 포함하여 몇 개의 댐군을 개발하여 확보할 것인지는 사업의 목적 및 유역종합개발상의 여러 요소들과 연관되어 있으므로 여러 댐의 조합 개발을 가정하여 충분한 경제 분석에 의해 신중히 결정해야 한다.

5) 자연환경과의 조화와 보전을 고려한다.

댐 위치의 선정에 있어서 댐이 거대한 인공 구조물이라는 점을 인식하여 그 취지는 물론 댐 높이라든지 댐 형식과 함께 주위의 자연 환경과 조화를 이루도록 주의해야 한다. 뛰어난 자연 환경은 당연히 보전되어야 하며, 자연을 개조하여 인류의 발전에 기여하는 것이 댐 개발의 주된 목적이지만 가능한 한 자연과의 조화를 꾀하면서 자연을 보전할 수 있고 또한 소기의 목적을 달성할 수 있는 댐 지점을 선정한다. 환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(Environmentally Sound and Sustainable Development)개념을 도입하여 환경영향을 최소화하고, 댐 건설 후에는 주변 지역의 생활환경이 좋아질 수 있도록 하는 것이 오늘날 댐 개발의 방향이다.

2.2 개발의 목적

댐 건설 목적은 관개용수와 농촌지역에서의 생활용수, 공업용수, 축산 및 환경용수 공급, 수력발전 및 홍수조절, 위락용수 및 수변공간 제공, 생태계 보전 및 유량조절에 필요한 물을 저수하는 목적으로 개발한다.

자연상태의 하천유량은 계절적으로 다를 뿐만 아니라 지역적으로도 차이가 있다. 우리 나라는 수자원의 시간·공간적인 불균형이 특히 심하여 예로부터 홍수와 가뭄이 연중 행사처럼 되풀이되고 있다.

강수량의 계절적 편중이 심하여 연강수량의 2/3가 홍수기인 6~9월에 집중할 뿐만 아니라, 연도별 강수량도 754 mm에서 1,683 mm까지 변화 폭이 크다. 특히 유역의 표토층이 얇고 유로연장이 짧고 경사가 급하여 홍수가 일시에 유출되어 하상계수가 300~400 정도나 된다. 이러한 강수·유출 특성으로 홍수 위험이 상존하고 가뭄에 대한 취약성을 가지고 있으며, 특히 갈수기 유출량은 수자원 관리의 대상이 되는 20~30년 갈수빈도에서 급격히 줄어 가뭄에 대한 취약성을 가지고 있다.

또한 지역별 강수 분포의 차이가 커서 낙동강 중하류의 영남 내륙지방은 과우지역으로 연평균 강수량이 1,000 mm 이하인 반면에 제주도와 남해안은 다우지역으로 연평균 1,400 mm 이상을 나타내고 있다. 한편 지하수 이용가능량은 연간 130~140 억 m^3 정도로 추정되지만 대수층 발달이 빈약하여 대규모 지하수 개발은 곤란한 형편이다.

따라서 우리 나라 수자원 특성에서는 홍수 피해를 막고 필요한 용수를 확보하여 물 문제를 해결할 수 있는 일차적 방법은 댐을 건설하여 하천유황을 조정하는 것이며, 일찍이 저수지 개발의 중요성이 강조되어 왔다. 댐 개발의 주요 목적은 다음과 같다.

가. 관개용수 공급

단위면적당 관개용수 공급비용이 경제적이어야 하고 또한 충분한 급수를 할 수 있어야 한다. 수질은 작물이나 토양에 해가 되어서는 안 된다. 중력에 의해 관개용수가 공급되는 경우에는 충분한 수두차를 주기 위하여 저수지는 관개지구 이상으로 상당히 높아야 한다.

나. 생활용수 공급

용수공급은 수요가 충족되도록 충분해야 한다. 수요량 추정에는 현재의 수요량과 미래의 수요 증가량을 예측하는 것이 중요하다. 수질은 경제적인 처리 방법을 거쳐 공급할 수 있어야 하며 박테리아 등에 관한 공중위생기준에 맞아야 한다. 상수도원의 유역전체에 대하여 보호구역으로 지정하여 오염을 방지하는 대책도 고려하여야 한다.

다. 공업용수 공급

생활용수를 위한 수질기준이 일반적으로 공업용수로서 만족스러워도 생산기계나 제품에 대하여 손상을 초래할 수 있는 화학물질의 처리를 위한 수질처리가 필요할 수 있다.

라. 축산용수 공급

가축을 위해 공급되는 용수의 수질은 목적에 적합해야 한다. 저류지는 가축이 직접 접근하거나 또는 수로나 관을 이용한 시설을 설치하여 접근하기 쉬워야 한다.

마. 수력발전

댐에서 수력발전을 목적으로 하는 경우에는 수력발전기의 규모와 필요발전량은 이용가능 수량과 저수량에 밀접한 관계가 있다. 발전용 댐의 높이는 이와 같은 조건에 따라 결정된다.

바. 홍수조절

홍수조절사업과 구조물 조사설계에 있어서는 다음 요소를 고려해야 한다.

- 1) 홍수조절을 위한 비용은 피해를 감소시켜서 얻은 이익을 비교해서 공공이익 측면에서 훨씬 좋아야 한다.
- 2) 일시적 저수는 중요한 피크(peak)를 저하시키거나 또는 홍수의 빈도를 감소시키기에 충분해야 한다.
- 3) 가능한 한 조절방법은 인공적으로 하는 것보다 자동적이어야 한다.

사. 위락용수 공급

다음 요소는 위락사업 개발에서 고려해야 한다.

- 1) 저수지를 이용한 위락시설과 주거시설 개발의 경우에는 증발 손실이나 수위변화를 막도록 충분한 급수를 하도록 되어야 한다.

2) 물은 가능한 한도 내에서 오염되지 않아야 한다.

아. 생태계 보전

야생동물의 보호를 위한 댐 사업은 생물학자의 도움을 받아 추진해야 한다.

1) 건조기간 중에 야생동물이 서식할 수 있는 조건을 유지하도록 충분한 수심을 유지해야 하고 물이 공급되어야 한다.

2) 수위변화가 심하면 어류와 야생동물에게 먹이로서 필요한 수생식물이 감소하거나 멸종되므로 불리하다. 따라서 안정적인 수위의 유지가 필요하다.

3) 만족한 수질을 확보해야 한다. 오물은 수조나 어류에게 유해하며, 용존산소량은 어류가 생존할 수 없는 점까지 감소된다. 과도한 산성과 알카리성 물은 많은 종류의 야생동물에 유해하다.

4) 물이나 유역도 적당한 종류의 먹이 생산을 하기에 적합해야 하며 인간에 의하여 동요되지 않고 충분한 도피소가 되어야 한다.

자. 유량조절에 필요한 저수

연중 어느 기간 하천유량이 전연 없거나 극히 저하되는 지역에서는 이에 대한 대책이 필요하다. 자연하천이 주요한 용수원인 지역에서 유량조절을 위한 저류시설이 필요하다.

2.3 환경보전 계획

물은 인간과 동물에 있어서 매우 중요하다. 인간이 정착할 때 식량, 따뜻한 기후, 거주할 집과 물을 우선적으로 고려하였듯이 앞으로도 인류는 물을 이용하기 위한 다양한 방안을 강구하여야 할 것이다. 댐은 물을 저장하여 홍수를 경감하고 용수를 공급하며 수력발전과 위락시설 등 다양한 목적을 가지고 건설되어 왔으나, 환경·생태적인 측면이 충분히 고려되지 못하고 추진되어 온 것도 사실이다.

따라서 환경가치를 고려하는 국민 요청과 대내외적 건설환경 여건변화에 능동적으로 대응하기 위하여 친환경적 건설 추진기반 구축과 지속 가능한 건설 환경정책이 필요하다. 1992년 6월 UN 환경개발회의의 리우선언과 함께 환경보전을 위한 Agenda 21에서 채택된 환경적으로 건전하고 지속 가능한 개발(ESSD)과 1999년 6월 정부에서 "새천년 친환경 건설선언"으로 자연환경보전·쾌적한 생활환경 창조·지구환경 보전의 3대 원칙과 실천강령의 발표로

새로운 패러다임으로 전환할 시점으로서 국민의 욕구를 충족시킬 수 있는 체계적이고 합리적인 정책 방안의 수립이 요구된다.

댐 건설사업과 환경보전에 대해 많은 논란이 있어 왔고 대댐 건설에 부정적 시각을 갖고 있으며, 일각에서는 무용론을 주장하기도 한다. 하지만 대체 수자원 확보에는 한계가 있는 시점에서 부족한 수자원 여건을 갖고 있는 나라에서는 댐 건설을 고려하지 않을 수가 없는 실정이다. 또한 사회경제적으로 안정된 선진국에서의 상황과 개발도상국 등의 시각과는 상당한 차이가 날 수 밖에 없는 상황이다.

2.3.1 댐 건설과 환경보전

댐 개발 적지의 사전선택과 대안에 대한 타당성 검토와 더불어 사전 환경평가를 거쳐 부정적 영향을 최소화할 수 있도록 계획이 추진되어야 한다. 사전환경평가제도는 댐 건설계획 초기단계에서 정책수립에 영향을 미칠 수 있는 환경영향을 평가할 수 있도록 잠재적 환경문제를 예측하고 지역주민·환경단체 및 관계기관과의 갈등해소와 합리적이고 효율적인 사업계획을 수립할 수 있도록 추진되어야 한다.

환경문제를 해결하기 위하여 다각적인 기술개발이 필요하다.

- 가) 댐 방류수 수온 및 수질 최적화로 하류 하천 어족보호
- 나) 어류의 서식환경 개선을 위한 용존산소 공급
- 다) 생물학적 서식지의 다양성 최대화 및 안전한 휴식지 제공
- 라) 생물학적으로 생산적인 습지 서식지의 제공을 위한 저수지 주변 개발
- 마) 생물의 영향을 최소화 할 수 있는 환경관리 계획
- 바) 문화, 사회, 경제 등의 연구로 사전 자료 획득과 추진 프로그램 개발

2.3.2 댐 건설에 따른 환경영향

댐 건설은 유수 환경을 저수지 환경으로 변화시키는 것이며, 이로 인해 미기상, 유수량 및 수질변화 등이 일어나게 되며 정도의 차이는 있으나, 댐 유역이나 하류지역의 하천 생태계에 영향을 미치게 된다.

가. 기상환경

댐 건설로 인한 미기상 변화는 댐 용량이나 저수면적에 따라 다소 차이가

나게되며, 그 동안의 관측 자료를 분석해 볼 때 지역에 따라서도 상당한 차이를 보이고 있다. 또한 거시기후가 변화될 수 있는 개연성은 있으나, 이러한 영향에 관하여는 불확실한 실정이다. 그런데 댐 건설은 미시적 기상측면에서 저수지, 특히 메마른 불모지에 만들어진 저수지는 수면 인근 지역의 기후에 영향을 미치며, 저수지 수면 부근지역의 습도에 다소 영향을 줄 수 있으나 댐 저수용량 및 수면적에 따라 큰 차이를 보이게 된다. 미시적 기상측면에서 볼 때 습도의 증가는 건조한 지역에서 유익할 것이나, 제한적이다.

댐 건설로 인하여 농작물과 주변지역의 기상, 토양, 식생의 상호작용에 대한 연구자료를 검토해 볼 때 일정한 기여 방향이 없는 것으로 조사되었으며 농작물에 대한 안개의 영향은 작물 종류별로 뚜렷한 영향을 판별하기 곤란하고, 작물의 영양생리 측면에서는 일부 긍정적인 영향도 있는 것으로 나타났다. 즉 농작물의 수확량은 수많은 외부환경 요소들과 관련이 있고 이러한 모든 요소들을 객관적으로 평가하는데는 한계가 있다.

나. 생태계의 영향

저수지의 형성으로 물이 정체됨으로 인해 정도의 차이는 있으나 동식물상의 변화를 가져오게 되는데, 수생식물, 수서곤충, 어류 등이 대표적이며 일부 종은 새로운 저수환경에의 적응이 요구된다. 그러나 물이 부족한 곳에서 수체는 수생, 양서류 또는 물에 의존적인 생물체에 유익할 것이다. 저수지는 생물체에 필요한 공간과 먹이를 제공하고 반면에 저수위와 고수위 사이의 경계지역과 저수지에 의해 지하수위가 영향을 받는 지역에도 또한 이익이 된다. 습지지역 생물의 밀도 증가는 저수지와 인접한 곳에서는 일반적 현상이다. 초식동물과 식물이나 동물을 먹이로 하는 육식동물의 증가와 같은 부수적인 영향이 또한 발생될 것이다.

저수지 바닥으로부터 영양물질의 용출과 물의 저류는 저수지내에서의 생물학적 활동을 증가시킬 수 있는데, 이런 현상은 보통 생물영양을 일으키면서 두드러지게 나타나는 담수효과로서 생물의 활동을 증가시킨다. 이는 직접적으로는 먹이원으로써 간접적으로는 리크리에이션 활동기반으로써 상업적 가치가 있는 조류(鳥類)와 야생종의 번식을 증가시킨다.

하지만 담수는 항상 원하는 결과를 가져오는 것만은 아니다. 어떤 경우에는 기대치 않던 조류(藻類)의 증가나 부영양화를 야기하기도 한다. 또한 댐 건설은 생물 서식종에 있어 기존의 균형을 변화시키는 원인이 되기도 한다. 건조지역이나 습지의 침수와 댐 하류의 유량조절은 결과적으로 서식종의 변화를

야기시킨다. 저수지 상류의 생태계에는 유수상태에서 정수상태로 변화될 것이다. 건조한 지역에 건설된 저수지는 초식동물의 과다 섭식을 유도하여 이들의 개체수가 증가하게 되어 본래 생태계는 불균형을 초래할 것이며, 또한 연어와 같은 유수 어류는 감소될 것이다. 한편 댐 건설로 인한 저수지의 생성은 동물의 이동경로를 블록화하여 동물들이 이동하는데 부정적 영향을 준다. 이동 동물의 서식지 감소는 또 다른 악영향이라 할 수 있다. 댐의 유지관리의 효율화로 이러한 악영향을 어느 정도 완화하는 것은 가능하지만 저수지의 사용에 대한 인위적인 제한은 경제적으로 부정적인 영향을 발생하는 양면성이 있다.

다. 수질의 영향

모든 하천은 엄청나게 다양한 부유물질을 이송시킨다. 높은 농도의 부유물질은 수질문제를 야기하며 물의 사용을 제한하거나 부수적인 처리를 필요로 한다. 저수지에서 부유물질 제거는 하류 수질을 개선시킬 것이고 저수지에서 부유물 침전은 하류 침전물의 공급을 감소시킨다. 침전물 공급이 없다면 하류 하천에서 침식이 증가되고 새로운 평형이 이루어질 때까지 발생할 것이며, 하류 충적지대는 계절적인 특성에 따라 비옥한 퇴적물이 감소될 수도 있다. 매년 홍수와 비옥한 침전물의 퇴적은 그 지역의 농경에 매우 중요하다고 알려져 있다. 영양물질의 자연적인 공급이 홍수조절 수리시설물로 인해 연속적이지 못하게 되면 영양물질이 인공적으로 공급되어야 한다. 인공적인 토지의 비옥화에는 두 가지 영향이 있다. 첫째는 자연적인 영양물질의 퇴적보다 비싸다는 점이고, 둘째는 비료사용으로 장기적으로는 자연환경에 역기능을 유발할 수 있다는 것이다.

또한, 담수로 인한 수질변화는 홍수기 밀도류에 의한 하류 방류수의 장기간 고탁도 발생 등과 장기간 오염물질의 유입으로 하절기 조류발생 등 부영양화를 일으킬 수도 있다.

라. 사회·경제적 영향

댐 건설에 따른 사회경제적 영향은 매우 복잡하게 진행되므로 정확하게 예측한다는 것은 불가능한 일이다. 댐 수몰민은 정든 고향을 떠나 다른 지역으로 이주하여야 하므로 지역사회에 영향을 미치게 된다. 대규모 댐들은 국가 경제발전에 필수적이기 때문에 대단위 경제적 편익은 강조되는 반면에 지역적 효과들은 간과되곤 한다. 또한 대규모 댐 개발 계획은 국가 또는 국제적인 영향을 줄 수도 있으며, 장기간에 걸쳐 영향을 미칠 수도 있다. 이러한 현상은

개발도상국이나 후진국에서 자주 나타난다. 예를 들어 대규모 수력발전사업은 산업이나 도시발전에는 큰 도움을 주지만 지역 기반경제에 일부 생산성 감소가 발생하는 경우가 있으나, 한편 직·간접적으로 지역사회의 노동력 창출과 서비스업 종사 등으로 지역경제발전에 도움을 준다는 것이다.

마. 문화적 영향

역사적, 문화적으로 가치가 있거나 자연경관이 독특한 지역은 댐 건설지로 적합하지 않으며 해당지역 문화유산에 관한 기본방침은 고고학적으로 가치가 있는 지방문화유산의 정밀한 조사를 포함하여 그 지역의 문화적 역사적인 연속성을 유지하는 것이다. 고고학적으로 가치가 있는 지역은 자체적인 조사만으로는 불충분하며, 과거와 현재의 연결고리 뿐만 아니라 진화과정의 파악과 자원조사라는 측면에서 추가적인 분석 및 전시가 뒤따라야 한다. 댐 건설지역 인근의 절, 교회 및 묘지 등을 이전하거나 재건축이 댐 건설 및 담수시점과 적절히 균형을 맞추어 진행될 수 있도록 한다. 댐 사업은 그 지역에 영향을 끼친 고고학적, 역사적 사실에 대한 종합적인 검토를 가속화시킬 수 있다. 댐 건설은 해당지역의 생활환경을 변화시킴으로서 문화적 관습을 바꾸는 경우도 있다. 이러한 문화적 유산들은 기록되고 전시되어야만 하며 문화유산과 훌륭한 자연경관을 보호하기 위해서는 댐 계획시 충분한 보호대책이 필요하다.

2.3.3 댐 건설 사업과 환경보전 방안

댐·저수지 건설은 인간의 거주지를 포함하여 동물상, 식물상 및 강 상·하류 및 지형에 영향을 줄 수 있다. 환경적 영향을 소홀히 한 댐의 건설은 상당한 생태학적 변화를 초래하게 된다. 환경영향을 최소화할 수 있는 계획, 설계 및 댐 운영이 필요하며 댐의 기대 편익에 상반되는 환경에 대한 부정적 영향을 심사 숙고하여야 한다. 이 문제의 해결은 그 나라의 경제적 상황, 물리적인 필요성을 반드시 고려하여야 한다. 물 부족이나 경제적 부담은 다목적 기능 제공을 목표로 계획되어 지는 저수지를 필요로 한다.

기존 댐·저수지의 운영체계는 물론 새로운 댐의 계획에는 생태학적 영향, 수질과 건강, 지구물리학적 영향, 정치적, 사회적 관계를 포함한 환경적 측면이 강조되어야 한다. 환경적 측면에 대한 엄격한 분석과 예측이 필요하다. 옹호하는 측이나 비판하는 측 모두가 수자원계획과 이와 동일한 주요 목적을 달성할 수 있는 대안에 대하여 모든 사회적, 환경적, 경제적 요인을 고려하여야 한다. 예를 들면 수력발전 계획의 경우에 모든 환경적 관계가 있는 유류, 석

탄, 우라늄을 사용하는 열병합발전소 등이 대안으로 선정될 수 있고, 화석연료를 사용하는 화력발전소가 유일한 천연자원을 소비하는 반면, 수력발전은 새로운 에너지원이다.

환경보전의 접근방법은 호소와 하천의 수변과 주변삼림을 전 국토 차원의 생태계 네트워크 맥락에서 시스템으로 접근하고, 댐의 건설에 의하여 나타날 수 있는 자연생태계의 변화에 대해서는 자연생태계 모니터링을 실시하며, 또한 완공 후 효과적인 관리와 보전을 위하여 사후 평가계획을 수립하여 시행하여야 한다. 즉 댐 주변 생태문화공간 조성(망향의 동산, 문화유적 전시공간, 식물이식, 자연학습장 체험교실 등), 어류 및 야생동물 서식지 설치, 생태공원과 다양한 생물이 서식할 수 있는 소생태계(biotope) 조성, 어류 보호방안, 호소 사면 생태복원 및 호수경관개선, 경관을 고려한 시설물의 자연친화적 건설, 사후 생태환경모니터링 실시, 생태 이동통로 설치 등이다. 이러한 새로운 기술들은 기존 댐·저수지에서도 적용될 수 있을 것이다.

2.3.4 환경 친화적 댐 건설

환경친화적 댐 건설을 위해서는 기본설계, 실시설계 및 유지관리단계에서 환경친화적 설계기법이 도입되어야 한다. 자원활용의 효율성을 최대한 극대화시킬 수 있는 개발대안의 선정, 주변 생태계의 유지와 복원을 위한 대책, 주변 자연특성과 대상지역의 사회적, 문화적, 역사적 특수성을 고려한 개발과 보전의 조화를 이룰 수 있는 계획이 수립되어야 한다.

환경보전 접근방법은 호수와 하천의 수변, 수변공간, 주변삼림을 전체 국토 차원의 생태계 네트워크 맥락에서 시스템으로 접근하고, 댐 건설로 나타날 수 있는 자연생태계의 변화에 대해서는 자연생태계 Monitoring을 실시하며, 완공 후 효과적인 시설관리 및 자연환경보전을 위하여 이용 후 평가계획을 수립하여 시행한다.

- 가) 댐 주변 생태문화공간 조성
- 나) 어류 및 야생동물 서식지 설치(은어, 뱀장어, 야생조류, 수달 등)
- 다) 생태공원(eco-park) 및 Biotope 조성
- 라) 어도설치 등 회유성 어류 보호방안
- 마) 호소 사면 생태복원 및 호수경관개선(부도 및 수중폭기시설 등)

- 바) 시설물의 자연친화적 건설
- 사) 사후 생태환경모니터링 실시
- 아) 생태이동통로(eco-corridor) 설치
- 자) 사후환경영향조사 실시

최근 자연경관과 생태계를 보전하려는 국민의식의 확산으로 자연환경의 보전과 인간 삶의 질(quality of life)을 충족시킬 수 있는 방향으로 나아갈 필요가 있는데, 환경친화적 건설사업개념은 단적으로 자연생태계를 고려한 건설사업이라 말할 수 있으며, 우선 지역주민의 공감대를 바탕으로 환경친화적 건설사업이 수행될 수 있도록 사업지역의 자연생태계를 파악하고, 자연환경을 보전하려는 국민의 욕구를 충족시킬 수 있도록 환경보전에 최선을 다해야 할 것이다.

우리 나라도 환경보전 및 복원에 대한 관심을 보이기 시작하였고 관련분야에서도 이에 대한 연구가 활발하게 진행중이며, 특히 수자원사업으로 인한 물의 혜택을 늘리고 사회에 많은 공헌을 하며, 마음이 풍요롭고 여유가 있는 미래로 이어가기 위하여 환경친화적 댐 건설과 이로 인해 발생하는 환경영향들을 해결하기 위해서는 우선 수자원개발과 자연 환경보전을 조화시킬 수 있는 정책 개발이 필요하다.

가. 환경친화적 건설 개념

1) 지속 가능한 개발

지속 가능한 개발(ESSD)은 "다음 세대들이 그들 자신의 수요를 만족시키기 위한 능력을 저해시키지 않고 현재의 수요를 충족시킬 수 있는 개발"로 정의하였다. 개발이라는 의미는 단순히 소득과 연계된 경제적 성장뿐만 아니라 건강, 교육, 환경 등 사회적 복지의 지속적인 증진을 포함한 삶의 질 향상을 위한 포괄적인 의미를 내포하고 있으며, 세대간의 형평성으로서 오늘의 개발행위의 결과가 미래 후손들의 선택 권리를 제한해서는 안되며 단기적인 영향뿐만 아니라 장기적인 영향을 고려한 사전 예방적 조치의 필요성이 강조되고 있다. 즉 현재의 기준으로 다음 세대의 기준에 비추어 볼 때 만족스럽지 못한 결과가 되면 안 된다는 것이다.

댐의 건설은 생태계를 파괴하는 사업이 아닌 새로운 생태계를 창조하고 복원하는 사업임을 인식시킬 수 있도록 자연복원 시스템을 도입하고 자연은 무한재가 아니라 유한재라는 인식을 갖고, 국토의 환경용량을 고려한 자연 생태

적 측면을 추가하여 수자원 개발을 추진할 수 있는 개념의 정립이 요구된다.

2) 댐 건설에 대한 인식의 전환

주변 자연환경과 조화되고 지역 향토문화를 접목시킨 환경친화적 건설개념을 도입하고 기능 위주의 제약성에서 탈피하여 지역 발전의 계기가 되는 기회로 활용하는 인식의 전환이 필요하다.

3) 댐 건설사업의 ESSD 실현 전략

댐 건설사업의 ESSD 실현 전략으로는 주민의 공동체의식을 바탕으로 환경용량을 감안한 댐 건설계획 수립 추진, 환경피해를 최소화할 수 있는 건설시스템으로의 접근, 환경과 경제를 통합한 Green GNP 개념의 도입과 계획수립 단계에서 철저한 환경영향평가서의 작성 및 이행, 환경친화적 개발계획 수립, 환경기초시설의 완비와 자연의 자정능력을 활용한 수질환경개선 기술을 도입함으로써 실현 가능할 것이다.

나. 환경친화적 댐 건설 추진방안

1) 기본방향

환경친화적 댐 건설을 위해서는 기본설계단계부터 환경친화적 설계기법이 도입되어야 한다. 자원활용이 효율성을 최대한 극대화시킬 수 있는 개발대안의 선정, 주변 생태계의 유지와 복원을 위한 대책, 주변 자연의 특성과 대상지역의 사회적, 문화적, 역사적 특수성을 고려한 개발과 보전의 조화를 이룰 수 있는 계획이 수립되어야 할 것이다.

기본적으로는 환경영향평가에서 충분한 검토와 제시한 내용에 따라 저감대책을 수립, 시행하여야 함은 물론이거니와 사전에 미리 예측하지 못한 환경상의 악영향에 대해서도 충분한 대비가 필요하다. 또한 댐은 이수, 치수기능 외에 환경기능으로서 친수공간 기능이 확보되어야 한다. 즉 생태학적, 사회학적, 문화·역사학적, 경제·정치적 차원에서 고려되어야 할 것이다.

여기에서는 추진 방안으로서 친환경적 댐 건설을 위해 고려될 수 있는 사항을 열거하였으며, 각 지역마다 특색이 있으므로 지역의 정체성(identity)을 살릴 수 있는 기법을 연구하여 적용방안을 강구할 필요가 있다.

2) 추진방안

타당성조사 단계에서 주민들에게 댐 건설 전후의 상황전개 및 예상에 대한

시나리오를 계획하고, 댐 건설사업의 Master Plan을 작성하여 『애니메이션』으로 제작하여 지역방송, 학교, 지방자치단체, 언론 등을 통한 입체적 홍보를 함으로써, 댐 건설이 해당지역의 주민들에게는 새로운 지역발전의 계기가 될 수 있다는 사실을 확신시켜 줄 수 있어야 한다.

환경친화적 댐 건설의 조기 가시화와 실질적 추진을 정착하기 위해서 "Pilot project"를 선정하여 추진할 필요가 있다.

2.3.5 친수공간을 위한 댐 주변 종합개발

지역주민에게 실질적 혜택을 주고 내방객에게 휴식공간을 제공할 수 있는 친수 공간을 확보하기 위하여 댐 주변지역을 종합 개발해야 한다. 이 사업은 지방자치단체, 지역주민, 사업시행자 등 관계기관별로 긴밀한 협의로 재원확보 및 건설·관리주체를 결정하여 추진해야 한다.

친수공간을 확보하기 위하여 댐 주변지역을 종합개발 할 때에는 ① 하천 수변 정비, ② 댐 주변지역 개발, ③ 댐 주변 관광지구 개발, ④ 자연휴양림, 자연학습원 등 개발, ⑤ 문화마을 조성, ⑥ 수물지내 문화재를 이전하여 지역문화재촌 설치 등이다.

생태보전 및 경관개선 설계기술(기법) 적용을 위한 지침서를 제정하여 일정 비율 이상의 친환경적 요소(또는 시설)에 대한 투자를 의무화하고, 주변자연과의 조화유지를 위해 환경친화적인 댐 경관 설계기술을 개발 적용하도록 한다.

다목적댐의 인위적 수위변동으로 발생하는 저수지 포락사면(splash zone)에 대한 녹화기술 개발 및 적용을 위한 시험 시공과 친수공간 조성을 통한 지역주민 소득증대 방안을 수립하고, 필요시 댐 운영방식의 조정을 포함하여 댐 상·하류의 자연적, 인공적인 조건을 활용한 종합 레저 공간을 조성하여 제공하도록 하며(역사, 문화, 민속품물, 먹거리, 레저장비 대여, 국제경기장 수준의 카누, 카약, 조정경기 등 수상스포츠 시설 등) 문학, 영화 등 문화적인 테마를 제공할 수 있도록 특색 있는 경관을 연출하여 소설 및 영화의 배경 또는 무대로 제공하여 테마 여행지화 함으로서 주민 소득증대에 기여할 수 있을 것이다. 수물민의 정체성(identity) 확보를 위한 시책으로 이주단지의 생활도구 등을 활용한 고향마을 재현을 통해 수물지역 문화를 재현 보존토록 하고, 생태관찰원, 야생초화원, 습지관찰원, 조류관찰원, 체험학습원, 곤충채집 등 자연학습적 성격의 Event 공간을 조성하여 댐 주변을 홍보와 자연학습의 전략적 시

설로 활용한다면 학교단위 등 단체 및 가족단위 소규모 내방객 등을 동시에 만족시킬 수 있는 친환경적 공간이 될 것이다.

가. 하천수변 정비

① 고무보 설치(하천용수 및 자연경관조성), ② 고수부지 조성으로 수변공간 개발 등

나. 댐 주변지역 개발

기념관, 자료실, 온천, 숙박시설, 전망대, 공원광장, 캠프장, 바베큐장, 미니골프장 등

다. 댐 주변 관광지구 개발

유람선, 선착장, 숙박, 보트, 카누, 물놀이시설, 수상스키, 특산품 판매소 등

라. 자연 휴양림과 학습원

연못 폭포, 야조 관찰실, 삼림공원, 식물공원, 농장, 관찰오두막, 동·식물 관찰 센터, 삼림체험 교류 센터, 암벽 등반, 청소년 수련원 등

마. 문화마을 조성

수공예촌, 미술관, 농산물 가공 실습장, 수상 무대, 민속촌, 가족 여행촌, 정자 등

바. 수몰지 내 문화재를 이전하여 지역 문화재촌 설치

제 3 장 조 사

3.1 조사계획

조사계획은 댐건설 사업목적을 명확히 인식하고 농어촌정비법에 의한 예정지 조사, 기본조사, 세부설계조사의 각 단계별로 수립한다.

농업생산기반정비사업에서의 댐 건설은 농업용수와 농촌지역의 생활용수, 공업용수 및 환경용수를 공급하기 위한 농촌용수개발사업의 수원공으로 계획되고 건설되는 것이 일반적이므로 조사설계는 농어촌정비법에 의하여 1단계 예정지 조사(법 제6조 2항)를 실시하여 댐 건설 가능성을 판단하고 사업가능성이 있다고 판단되는 지구에 대하여 2단계 기본조사(법 제7조)를 실시하여 사업의 기본계획을 수립하도록 하고 있으며, 기본계획에 따라 사업을 시행하고자 할 때에는 3단계 세부설계조사(법 제8조 1항)를 실시하여 세부설계도서를 작성하고 사업시행 계획을 수립하도록 하고 있다. 농업생산기반정비사업의 일환으로 시행되는 댐 건설의 조사설계과정은 법에 따라 3단계로 구분하여 시행하여야 하므로 조사계획 또한 단계별로 수립하여 조사하여야 한다.

조사 순서는 농어촌정비법에서 규정한 예정지 조사, 기본조사, 실시설계 조사의 순서로 조사계획을 수립하여야 하며 조사내용 또한 동 법 시행령에서 규정하고 있는 항목을 충족할 수 있어야 한다.

3.1.1 예정지 조사계획

농촌용수공급을 목적으로 하는 댐 건설 예정지 조사는 댐 위치와 저수 용량으로 해당 관개구역에 농업용수 공급가능여부를 판단하기 위한 것이며, 기준으로는 기술적, 경제적, 환경적, 사회적 타당성이 요구된다. 이를 위해 도상검토, 현장답사, 관련기관 협의, 주민 의견수렴 등의 방법으로 개략적인 사업계획을 구상하고, 사업시행상의 제약여건을 검토하여 사업의 추진과 기술적, 경제적 가능성을 판단할 수 있는 사항을 조사하여 보고서를 작성토록 조사계획을 수립한다.

예정지 조사는 농업생산기반정비사업으로 추진하는 댐 건설사업에 대해 도 면상에서 현황을 파악하여 도상계획을 구상하고 현장을 답사하여 도상에서 구

상한 댐 건설 계획안에 대한 중요사항을 점검, 확인, 보완한다. 한편 관련기관 협의 및 주민의견을 청취하여 타 사업계획의 유무라든가 관련법규의 저촉여부, 댐 건설의 제약 여건 등을 파악, 종합적으로 검토하여 댐 건설에 대한 사회적, 경제적, 기술적 가능성을 판단하는데 목적이 있으므로 이에 합당한 계획을 수립한다. 조사계획은 댐 건설 추진배경과 경위, 조사목적, 조사업무와 범위 및 조사량, 조사방법, 조사일정, 조사담당자, 소요조사비 순서로 수립한다.

① 추진배경과 추진경위는 댐 건설을 추진하게 된 동기와 추진주체 및 관련기관을 파악할 수 있도록 간략하게 기재한다.

② 조사목적은 사업목적과 함께 조사단계에 따른 조사목적을 명확하게 기재한다.

③ 조사업무와 범위 및 조사량은 지형도(1/50,000, 1/25,000)상에서 검토하여 결정하되 사업목적 달성을 위하여 댐 건설이외의 방법 유무에 대한 검토를 포함하여 댐 건설위치의 비교검토(통상 2~3개소)를 고려하여 결정하되 농어촌정비법 시행령 제7조에서 규정한 대상항목이 보고될 수 있어야 한다.

④ 조사방법은 도상검토, 도상계획수립, 현장답사 및 관계기관 협의와 주민의견 청취 등의 방법으로 조사하도록 계획한다.

⑤ 소요 조사비의 산출과 조사일정은 위의 ③항에 대하여 공인된 합리적 기준에 의하여 산출하고 조사일정을 계획한다.

⑥ 조사담당자는 개발가능성이 인정될 경우 향후 기본계획 수립에 필요한 여러 가지 대안을 제시할 필요성이 있다.

3.1.2. 기본 조사계획

기본조사 계획은 종합 및 전문분야별 조사계획으로 구분할 수 있다.

(1) 종합 조사계획은 토목, 지질, 토질, 토양, 농업 및 경제 등 관련 분야별로 전문가로 하여금 기본계획 수립에 필요한 내용을 전문분야별 조사방법으로 조사하고 이를 취합하여 합리적인 기본계획을 수립하도록 한다.

(2) 전문분야별 조사계획은 해당 전문기술분야의 조사팀 (team)을 편성하여 기본계획 수립에 필요한 분야별 내용을 전문적인 조사방법으로 조사하여 기본계획을 수립하거나 활용되도록 수립한다.

댐 건설을 위한 조사는 필요한 모든 분야의 전문가, 기술자들이 모두 참가한 하나의 팀을 편성하여 하나의 계획으로 조사하는 것이 가장 바람직 할 것

이다. 그러나 각 전문분야의 조사업무에 선호가 있고, 분야별 조사량과 소요일수가 다르며 각 분야의 업무특성으로 조사방법, 사용기자재 등이 서로 다르므로 하나의 계획으로 세밀하게 수립하기가 어렵다. 더욱이 각 분야의 전문가, 기술자들을 하나의 계획으로 동원하는데는 각 분야별 인력수급과 운영에 어려움이 따를 수 있으므로 현실적으로 적용하기는 어려운 방법이 된다.

현재는 각 전문분야를 참가토록 하는 종합계획을 수립하고 각 전문분야별로 조사계획을 수립하여 시행토록 하는 방법이 널리 사용되고 있으므로 본 설계 기준에서는 이 방법을 택하였다.

기본조사는 예정지 조사에 의하여 댐 건설사업의 가능성이 인정된 단계에서 댐 건설을 전제로 하여 최적의 기본계획을 수립하고, 제반 여건을 조사 검토 분석하여 사업시행과 경제적, 기술적 타당성을 논리적으로 체계화하는 단계의 조사이므로 이에 합당한 조사가 되도록 조사계획을 수립해야 한다. 조사계획은 사업계획을 수립하고 각 전문분야를 총괄하는 종합 조사계획과 필요한 전문분야에 대한 조사계획으로 구분할 수 있다.

가. 종합 조사계획

댐 건설을 위한 조사와 기본계획 수립에는 많은 업무량과 여러 전문분야가 관련되어 있어 1, 2개 분야의 조사로 기본계획을 수립할 수 없으므로 조사계획의 수립에 있어서는 먼저 댐 건설 기본계획을 수립하고 기본조사 업무를 총괄하는 팀(team)을 편성한 다음 이 팀을 중심으로 조사 및 기본계획 수립업무가 추진되도록 하고, 필요한 전문분야를 선정, 분야별 조사를 실시하여 기본계획 수립에 차질 없도록 총괄 팀과 협조하는 종합계획을 수립한다.

일반적으로 총괄 팀은 토목분야의 댐 계획설계전문가, 구조 설계기술자들로 편성되며 필요에 따라 조직관리 및 행정지원전문가, 경제분석평가 전문가, 환경전문가, 조경전문가, 용지매수 및 보상전문가, 법규전문가 등이 참가할 수도 있다. 총괄 팀은 댐 계획설계 업무를 총괄케 하고, 업무량과 전문성 및 숙련정도를 고려하여 팀원을 배치함으로써 업무를 분담, 협동하여 기본계획을 수립하고 기본설계를 하도록 한다.

토목분야 또한 하나의 전문분야로 참가시켜 조사계획을 수립하고 시행하도록 해야하나 현실적으로 토목분야 조사팀 또한 댐 계획전문가, 구조설계기술자들로 편성되며 기본계획을 수립하여 기본설계를 해야하므로 총괄 팀과의 업무 번잡, 중복은 물론 비용, 인력운영 차원에서 문제가 될 수 있다. 이러한 문제들을 해소, 보완하는 하나의 방법으로 총괄 팀과 토목조사팀을 통합하여 하

나의 팀으로 편성 운영하는 방법이 사용되는 경우가 많다. 바꾸어 생각하면 토목분야 조사설계팀을 편성하고, 이 팀에게 총괄 팀의 업무를 수행토록 임무를 부여하는 방법이라고 말할 수 있다.

나. 토목조사계획

토목조사계획은 조사항목과 조사정밀도, 조사량, 조사자, 조사기간, 소요조사비 등을 계획한다. 또한 토목조사 항목 중 전문성이 인정되는 항목에 대하여는 별도의 전문분야 조사로 분류하여 조사하게 할 수 있다.

1) 조사항목

조사항목은 1/50,000 또는 1/25,000 지형도와 예정지 조사보고서를 검토하여 기본계획 수립에 필요한 항목은 빠짐없이 조사하도록 선정한다. 또한 타 전문분야 조사에 속하지 않으나 필요한 사항은 토목조사에서 조사하도록 계획하여 누락됨이 없도록 신중하게 선정한다.

2) 조사정밀도

조사정밀도는 1)항에서 선정한 각 항목에 대하여 조사결과를 기본계획 수립시 어떻게 활용할 것인가와 세부설계에서의 활용여부를 고려하고 조사의 시급성 등을 감안하여 정한다. 유의할 사항은 건설기술관리법 시행령 제38조의 10, 제 2항 및 당해년도 농림사업 지침서 등을 고려하여 세부 설계시 중요한 계획변경이나 과도한 공사비 증감이 발생하지 않도록 정밀도를 부여하여야 한다.

3) 조사량

조사량은 예정지 조사보고서를 검토하여 1)항에서 선정한 항목별로 조사량을 산정한다. 조사량 계획시에 특히 유의할 사항은 댐 위치는 물론 제반 부대시설에 대한 비교검토가 충분히 이루어지도록 배려해야 한다는 점이다.

4) 조사기간, 조사인원 및 소요조사비

조사기간, 조사인원 및 소요조사비는 위의 1)항 조사항목, 2)항 조사정밀도, 3)항 조사량에 의하여 산출된다.

산출방법은 조사항목별 조사량에 대하여 조사정밀도에 따른 단위당 소요량을 곱하여 항목별 조사인원, 보조원, 소요자재 등을 계산하고 모든 항목을 합하여 총 조사인원, 보조원, 소요자재 등을 산출한 다음 여기에 공인된 단가를 곱하여 보조원 인건비, 소요자재 구입비, 교통운반비, 기타 소요경비를 합하여 소

요 조사비를 산출한다. 조사기간은 총 조사인원을 편성된 조사팀의 인원수로 나누고 여기에 왕복일수, 우천 등 방해일수를 합하여 산출한다. 이때의 조사항목별 단위당 소요량은 “표준품셈”, 농업기반공사 발행 “조사비 적산기준”, 또는 공인된 합리적 기준을 적용해야 하며, 공인된 단가는 당해 연도의 정부 노임단가 기준, 공인된 실 거래가격 (조달청장이 조사하여 통보한 가격, 재무부장관에게 등록한 기관이 조사하여 공표한 가격)을 말한다.

5) 토목조사 항목 중 전문성이 인정되는 유역기상 수문, 하천, 토질 및 재료, 교통운반 품셈 및 환경 조사 등은 전문분야로 분류하여 별도의 조사계획을 수립하여 조사하게 할 수 있다.

다. 전문분야별 조사계획

전문분야별 조사계획은 종합 조사계획에서 지정한 전문분야별로 조사계획을 수립하여 조사하고 분석하여 결과를 기본계획 수립에 활용하도록 총괄팀과 협조하는 계획을 수립한다. 일반적으로 기본조사 계획에서는 지질분야, 토양분야, 농업 및 사회경제분야를 조사토록 선정하고 기전분야를 선정하기도 한다. 또한 토목분야 내에서도 전문성을 인정하고 있는 유역기상 수문(hydrology), 하천조사, 교통운반 상황 및 품셈조사, 토질 및 재료조사, 환경조사 등은 전문분야로 선정하여 타 전문분야와 같이 별도의 조사계획을 수립하여 조사하도록 하는 것이 일반적인 추세이다.

이는 조사항목의 전문성이 현실적으로 인정되고 있고 토목조사 업무량의 과다와 그로 인한 조사기간의 장기화를 방지하기 위해서이지만 조사내용의 전문성으로 인하여 별도 조사가 가능하기 때문이기도 하다.

또한 건설기술관리법 시행령 제38조의 10 및 당해년도 농림사업 시행지침에 의거 세부 설계시 중요한 계획변경이나 과다한 공사비 증액이 있을 경우, 사업추진을 유보하고 원인규명과 책임을 묻게 되어 있으므로 이와 같은 사유가 발생하지 않도록 필요한 전문분야의 조사를 선정해야 한다.

조사계획은 각 전문분야별로 담 기본계획에 필요한 조사항목, 조사정밀도, 조사량을 산정하고 조사비, 조사기간을 산출, 조사자를 지정하는 방법으로 수립한다. 이때에도 토목조사와 같은 방법으로 계획하며, 단위 조사량 당 조사인원, 조사보조원, 소요 기자재 등에 대하여는 건설부 발행 “표준품셈”, 농업기반공사 발행 “조사비 적산기준”, 기타 공인된 합리적 기준을 적용해야 하며, 여타 부대비용 또한 조사에 차질이 없도록 계상해야 하지만 객관성과 합리성이 인정되어야 한다.

3.1.3. 세부설계 조사계획

기 수립된 기본계획에 의하여 사업의 타당성을 판단한 단계에서 사업을 시행하기 위하여 세부설계를 하는 단계의 조사이므로 해당 전문분야 별로 조사팀을 구성하여 기본조사에서의 조사내용을 확인하고, 정밀도를 높여 보완하며 미조사 사항을 조사하여 세부설계에 지장이 없도록 조사 계획을 수립한다.

댐의 세부설계 조사는 예정지 조사에서 댐 건설 가능성이 인정되고, 기본조사에서 기본계획이 수립되어 사회적, 기술적, 경제적 타당성이 있다고 판단된 단계에서 댐 건설을 시행하려는 조사(농어촌정비법 제8조 1항)이므로 이에 합당한 조사계획을 수립해야 한다.

세부설계 조사계획은 전 단계의 예정지 조사, 기본조사 계획서를 검토하고 또한 예정지 조사보고서와 기본계획 도서를 검토하여 기본조사에서의 조사항목과 조사 정밀도, 조사량 등을 분석하고 전문분야별 조사여부와 미조사 전문분야를 찾아내어 세부설계 조사에서의 확인, 보완조사 항목과 조사량을 결정하고 부분조사, 미조사 항목에 대한 추가조사량을 정하며 금회 새롭게 조사할 전문분야를 선정한다.

조사계획은 기본조사와 같이 댐 및 부대시설의 세부설계를 담당할 토목세부설계 조사계획을 수립하고 여기에 총괄업무를 부여하여 전문분야를 지정, 조사 협조하도록 하는 종합 조사계획을 수립하고 이 계획에 따라 수립하게 되는 각 전문분야별 조사계획으로 구분할 수 있다.

종합 조사계획에서는 기본조사시에 참여한 전문분야의 재참가 여부와 참여하지 않은 관련 전문분야를 참여하도록 하고 같은 토목분야 내에서도 세부적으로 전문성이 나누어져 있고, 필요한 경우 세부적인 전문성을 나누어 조사반을 편성하여 조사하도록 하는 계획을 수립할 필요가 있다. 예를 들면 같은 토목 분야 내에서도 댐의 구조설계 조사팀과 토질 및 재료조사팀을 별도로 편성하여 조사한다든지 공사비 적산 팀을 별도로 편성 조사하는 것 등이다.

전문분야별 조사계획에서는 기본조사시의 조사내용을 검토하여 세부설계에 활용가능한지를 확인하고 같은 조사 사항에 대해서도 세부설계가 가능하도록 정밀도를 높여 보완 조사할 필요성 여부와 기본조사시 조사하지 않은 사항이라도 세부설계에 필요한 사항은 빠짐없이 조사하도록 조사계획을 수립해야 한다. 또한 관련된 다른 전문분야의 조사 및 설계일정계획에 차질이 없도록 일

정계획을 수립해야 한다.

조사계획수립의 중요사항은 ① 사업목적 및 조사목적, ② 조사팀의 편성, ③ 조사내용 및 조사방법, ④ 조사기간, ⑤ 조사비 및 집행방법, ⑥ 조사결과의 활용 및 처리 등이다.

가. 종합계획

종합계획은 기본조사에서와 같이 댐 및 부대시설의 세부설계를 담당할 토목조사 계획을 수립하고 이 계획에 의하여 편성된 토목조사반에 총괄업무를 부여함과 동시에 세부설계에 필요한 전문분야를 지정하고 조사 분석하여 토목조사반(총괄반)과 협조하도록 계획을 수립한다.

나. 토목조사 계획

토목조사 계획은 기본조사 계획서와 기본계획 도서를 검토 분석하여 기본조사시에 조사한 항목별로 확인조사, 추가조사 여부를 결정하고 이에 대한 조사량을 산정하며, 기본조사시에는 조사하지 않았으나 세부설계에 필요한 항목을 찾아내어 조사하도록 조사량을 산정하여 조사계획을 수립한다.

1) 조사항목

조사항목은 기본조사시에 조사한 항목에 대하여 기본조사시의 조사정밀도, 조사량 및 기본계획 도서의 검토결과에 의하여 확인해야 할 조사항목, 보완해야 할 조사항목, 추가로 조사해야 할 항목 및 더 이상 조사의 필요성이 없는 항목 (기본조사시의 조사자료와 결과를 세부설계 시에 그대로 활용 가능한 항목)으로 구분하고, 기본조사시에는 조사하지 않았으나 세부설계에 필요한 항목을 빠짐없이 조사토록 선정한다. 또한 여타 전문분야에 속하지 않은 항목으로서 세부설계에 필요한 사항은 총괄업무를 담당할 토목분야에서 조사하게 함으로서 조사에 누락되는 항목이 없어야 한다.

2) 조사정밀도

세부설계 조사에서는 모든 항목에 대하여 가능한한 정밀하고 완전한 조사를 실시하여 세부설계에 지장이 없어야 한다. 세부설계 조사에서 개략조사나 부분조사는 있을 수 없다. 다만 특별한 경우로서 정책 또는 방침상 일부 공중에 대하여 먼저 착공하고 일부 공중은 후에 착공하기로 결정된 경우에는 후에 착공하는 공중에 대하여 개략 조사 또는 부분조사를 하도록 계획할 수 있다.

3) 조사량

기본조사에서 조사한 항목에 대하여 확인조사 항목은 가능한한 부분 또는 구간 확인으로 조사량을 최소화하고 중요한 항목에 대하여는 전 구간 확인 조사한다. 보완조사 항목은 정밀도를 높여 실시설계에 지장이 없도록 조사량을 산정하고, 추가조사 항목은 (기본조사시 부분조사) 기 조사분을 제외하고 잔여분만 조사하도록 조사량을 결정한다.

기본조사에서 조사하지 않은 항목에 대하여는 실시설계에 지장이 없도록 확증하여 조사량을 산정한다.

4) 소요조사비, 조사기간 및 조사인원

소요조사비, 조사기간 및 조사인원은 기본조사계획과 같은 방법으로 산정하며, 이때에도 단위당 소요량은 건설부 발행 “표준품셈”, 농업기반공사 발행 “조사비 적산기준” 또는 공인된 합리적 기준을 적용해야 하며 단위당 가격 또한 “정부 노임단가” 또는 공인된 실거래 가격을 적용해야 한다.

5) 토목분야 중 전문성이 인정되는 부분의 조사

토목분야 내에서도 전문성이 인정되고 있는 부분으로 유역기상 수문, 하천, 토질 및 재료, 교통운반 및 품셈, 환경 조사 등은 전문분야로 분류하여 여타 전문분야와 같이 별도의 조사계획을 수립하여 조사할 수 있다.

다. 전문분야별 조사계획

종합 조사계획에서 지정한 전문분야는 각 분야별로 해당분야에 대한 별도의 조사계획을 수립하여 조사한다.

댐 세부설계를 위한 전문분야 조사는 종합계획과 동시에 계획수립된 토목분야를 제외한 지질, 토양, 농업, 사회, 경제, 환경, 기계, 전기, 건축, 용지매수 및 보상 조사와 토목분야 내에서 전문성을 인정하고 별도 조사하기로 한 토질 및 재료, 교통운반 및 품셈, 유역기상 수문 및 하천, 환경 조사 등에 대하여 결과를 총괄 팀에 보내어 세부설계에 활용하도록 계획한다.

각 전문분야 조사계획도 토목조사와 같이 예정지 조사, 기본조사의 해당분야 조사보고서를 검토하여 기본조사에서 조사한 항목에 대하여 확인 조사할 사항, 보완 조사할 사항, 추가 완전 조사할 사항 및 기본조사 결과를 그대로 실시설계에 이용할 수 있으므로 더 이상 조사할 필요가 없는 사항 등을 분류하고 조사량을 산정하여 조사계획에 반영한다. 기본조사시에 조사하지 않은

사항으로 세부설계에 필요한 항목은 빠짐없이 조사하도록 계획해야 한다. 이 때에도 계획기준은 건설부 발행 “표준품셈” 농업기반공사 발행 “조사비 적산 기준” 또는 공인된 합리적 기준을 적용하여 소요조사비, 조사기간 등을 계획해야 하며, 이의 산출방법은 기본조사에서의 방법으로 산출한다.

기본조사에서 환경조사와 용지매수 및 보상조사는 토목분야의 한 전문 조사로 구분하였으나 엄밀한 의미에서 토목분야로 분류하기는 어려우며 다만 별도의 조사팀을 편성하기 어려울 경우 편의상 총괄업무를 담당하는 토목조사팀에서 조사하도록 계획할 수 있다.

한편, 조사반 내의 업무분담이나 측량작업 계획 등을 광의의 조사계획으로 분류할 수 있으나 이를 조사계획에 포함하는 것은 조사팀의 자율성을 제한할 수 있고, 그때그때 상황변화에 대처하기 어려운 점이 있으므로 이와 같이 세밀한 부분에 대하여는 조사팀의 운영사항으로 보아 조사계획에는 포함시키지 않는 것이 일반적이다.

3.2. 조사내용

3.2.1. 조사의 단계별 시행

예정지 조사, 기본조사, 세부설계 조사의 각 단계별로 조사내용과 조사 방법, 조사 정밀도가 구분되며 조사목적, 조사내용의 활용 또한 구분된다.

댐 건설의 조사설계는 일반적으로 1단계 예정지 조사, 2단계 기본 조사, 3단계 세부 설계 조사의 3단계로 구분, 시행되고 있다. 특별한 경우 1, 2단계를 동시에 시행하거나 1, 2, 3단계를 동시에 실시할 수도 있다.

가. 예정지 조사

예정지 조사는 도상계획과 현장답사, 그리고 관련기관 협의 및 주민의향 조사를 통하여 댐 건설의 추진과 기술적, 경제적 가능성을 검토하는 단계이다.

나. 기본 조사

기본조사는 댐 건설의 기본계획을 수립하는 단계로서 토목, 지질, 토양, 농업, 경제, 문화재 지표조사 등 댐 건설의 기본계획수립에 필요한 사항을 전문

분야별로 조사하여 기본계획을 수립하고, 경제성을 분석하여 댐 건설의 타당성을 판단하는 단계이다.

다. 세부 설계 조사

세부 설계조사는 기본조사에 의하여 기본설계가 완료된 댐 건설사업을 시행하기 위하여 세부설계를 하기 위한 조사로서 기본조사에서의 조사사항을 활용하되 확인해야 하며, 정밀도를 높여 세부 설계를 할 수 있도록 보완조사를 실시하고 기본조사에서 조사하지 않는 사항이지만 세부 설계를 위하여 필요한 사항은 빠짐없이 조사하여 세부설계에 지장이 없도록 한다.

라. 보완 조사

보완조사는 기본조사 또는 세부 설계 조사에서 누락되었거나 불완전하게 조사된 사항이 있어 기본계획수립 또는 세부설계에 지장이 있을 때 실시하는 조사이며, 간혹 기본계획 수립 또는 세부 설계 과정에서 일부 계획이 변경되었을 때에도 실시한다.

3.2.2. 예정지 조사

예정지 조사는 농업생산기반정비사업의 일환으로 추진되는 댐 건설에 대하여 도상계획(안)을 구상하고 현지답사를 실시하여 구상한 도상계획(안)을 보완하며, 관련기관 협의 및 지역주민의 의견을 수렴하여 댐 건설에 대한 기술적, 경제적, 사회적 여건 등을 검토하여 도상계획 구상(안)에 따른 댐 건설의 가능성을 판단하고 기본조사계획 수립의 기초자료로 활용하기 위하여 실시한다.

예정지 조사는 조사계획이 수립되고 이에 따라 선정된 조사자(조사팀)가 조사활동을 개시함으로써 시작된다. 예정지 조사는 자료수집, 자료 및 도상에서의 현황파악, 도상계획(안) 구상, 현장답사, 관련기관 협의 및 주민의견수렴, 자료정리분석, 문제점 검토, 예정지 조사계획(안) 수정보완, 보고서 작성, 보고 순으로 진행된다. 이와 같은 흐름을 그림 3.2.1 로 표시할 수 있다.

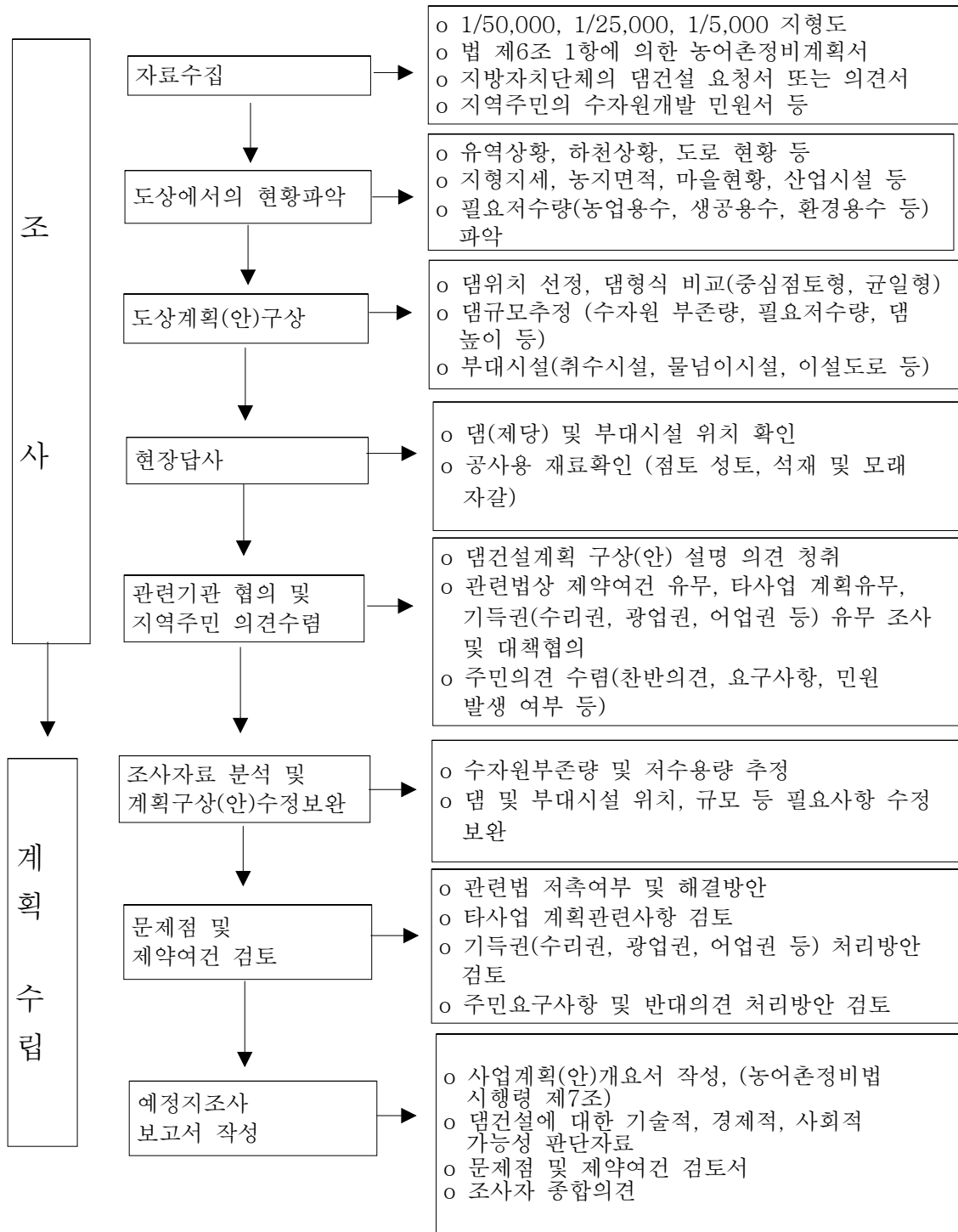


그림 3.2.1 예정지 조사 흐름도

가. 자료수집

① 예정지역과 인근의 1/50,000, 1/25,000, 1/5,000 지형도를 수집한다. 유역과 농어촌용수 수혜지역 전체가 포함되도록 도엽을 파악하여 수집한다.

② 농어촌정비법 제6조 1항에 의한 “농어촌정비계획서”, 동 제3조, 제4조에 의한 자원 조사 및 종합정비계획이 수립되었을 경우에는 해당 예정지역에 대한 자원조사 내용 및 종합정비계획 내용을 수집한다.

③ 지방자치단체의 농어촌용수개발요청서 또는 수자원개발요청서, 댐 건설에 대한 건의서, 의견서 등 행정조치가 있는 경우 이에 대한 사본 등 자료를 수집한다.

④ 지역주민의 농어촌용수개발 건의서, 요청서 등이 있을 경우와 댐 건설에 대한 반대민원서, 의견서 등이 있을 경우 이의 사본을 수집한다.

⑤ 기타 예정지에 대한 필요한 자료를 수집한다.

나. 도상에서의 현황 파악

1) 유역상황 파악

① 1/50,000 또는 1/25,000 지형도에 댐 건설 예정지의 유역경계선을 계획평면도에 표시하고 유역면적을 구적한다.

② 유역내의 유로 연장, 기울기 등을 파악하고 하천상황 등을 파악한다.

③ 유역의 유출상황을 검토하기 위하여 산림, 농경지, 마을 등 분포현황을 파악하고 개략적인 물 수지 분석자료 (유출계수, 삼투량 등)을 산출한다.

2) 도로 현황 및 산업시설 등 파악

① 댐 건설 예정지에의 접근로에 대하여 최단 접근로를 위시하여 도로의 등급(국도, 지방도, 포장, 비포장 등)등을 파악한다.

② 댐 건설 예정지 상류도로의 수몰여부 등을 파악한다.

③ 예정지 상·하류에 산업시설 유무 등을 파악한다.

3) 필요저수량 추정

① 농업용수 공급가능지역을 계획평면도에 표시하고 면적을 구적한다.

② 기타 생·공용수, 환경용수 등의 필요여부 소요량을 추정한다.

4) 댐 건설 위치

예정지 상·하류의 지형, 지세 등을 파악하여 댐 건설 최적위치를 파악한다.

다. 도상계획(안) 수립(구상)

도상계획은 기확보된 정보와 자료, 지형도 검토에 의한 정보를 가지고 댐 건설 계획을 수립하는 것을 말한다. 적은 양의 정밀하지 않은 자료와 정보를 바탕으로 댐 위치, 규모, 저수용량, 기타 필요한 부대시설을 계획하는 것으로 개략적이며, 불확실성을 내포하고 있어 현지조사를 위한 준비 성격이 크지만 현지조사와 여러 분야의 조사자료와 정보에 의하여 수정, 보완을 반복하는 과정에서 댐 건설의 확실한 계획이 수립되는 것이므로 댐 건설을 위한 최초의 계획으로서 금후 각 분야의 조사방향과 방법설정의 기본이 되므로 대단히 중요하며 최적계획이 되도록 면밀한 검토와 노력이 요구된다.

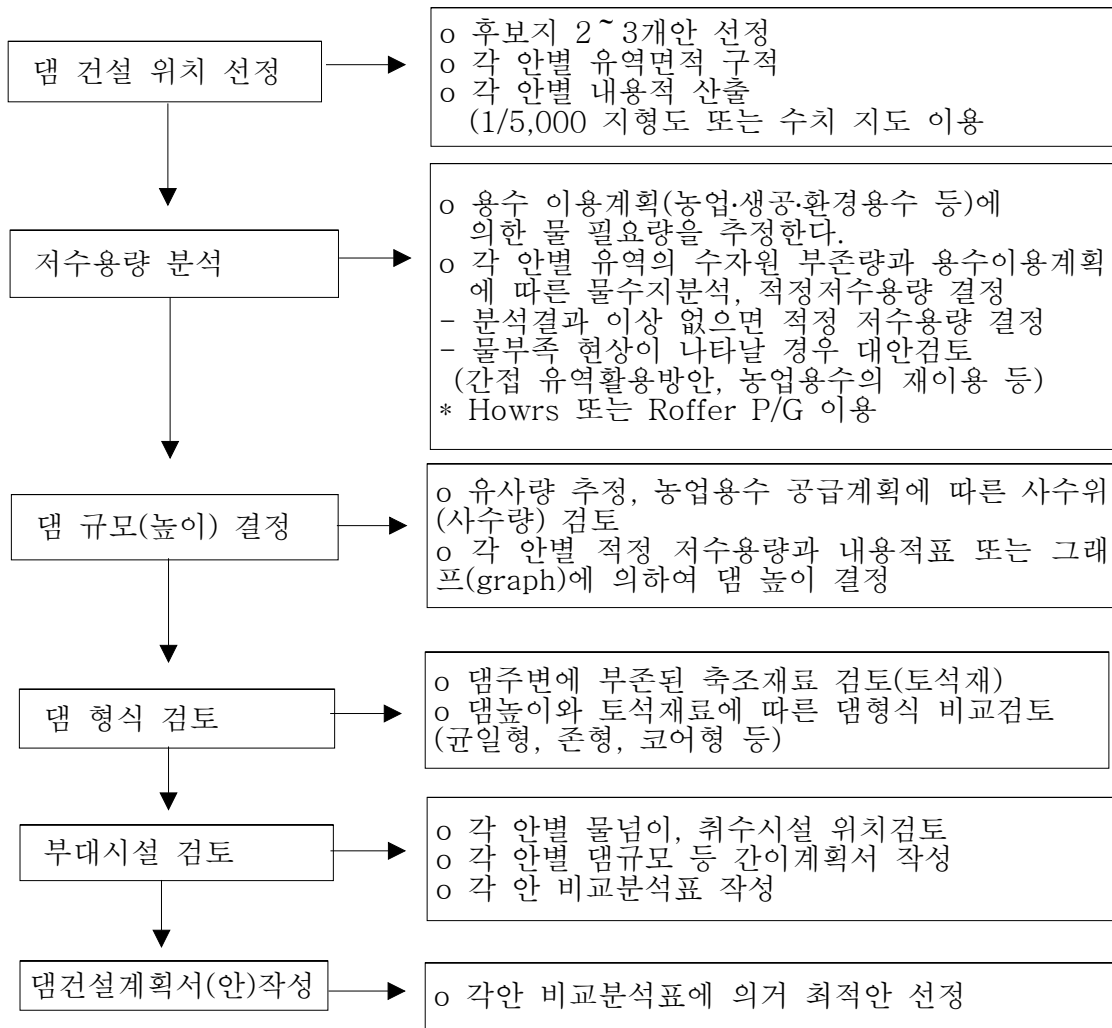


그림 3.2.2 도상계획 수립 흐름도

1) 댐 건설 위치 선정

① 도상에서 파악한 지형정보에 의하여 제4장 1절에서 제시하고 있는 댐터 선정조건에 근접하는 위치를 2~3개소 선정하여 계획평면도(1/50,000 또는 1/25,000)에 표시한다.

② 선정된 2~3개소의 댐터에 대하여 계획평면도에 유역경계선을 표시하고 유역면적을 구적한다.

③ 1/5,000 지형도 또는 Moss P/G 운용이 가능한 수치지도에 댐터를 표시하고 지형도에 표시된 등고선(주곡선)을 이용하여 표고별 면적을 구적하여 내용적표를 작성하고, 필요할 경우 내용적 그래프(graph)를 작성한다.

2) 저수용량 분석

① 용수이용계획(농업용수, 생·공용수, 환경용수 등)을 구상하여 일별 또는 순별 필요수량을 개략 추정한다.

② 물 수지분석 프로그램을 이용하여 유역배율에 따른 물 수지를 분석하고 적정저수용량을 산정한다. 물수지 분석결과 이상이 없을 경우 저수용량을 산정하고 유역상황에 의거 수자원 부족량(유출량)이 부족할 경우 적절한 대안을 검토한다. (간접유역 활용방안, 저류지 설치방안, 용수의 재이용방안, 용수 이용계획 축소방안 등)

③ 물넘이 방수로 규모 결정을 위한 설계강수량 및 홍수량을 개략 산출한다.

3) 댐규모 (높이)결정

① 댐의 경제적 수명기간 유사량 퇴적에 의한 내용적 감소를 추정하고 농업용수의 자연급수를 위한 공급계획에 따라 사수위를 결정한다.

② 홍수위는 물넘이 구조형식(월류식, 측구식, 슈트식, 나팔꽃 형식, 게이트식, 사이펀식 등)과 규모에 따라 달라지므로 물넘이 구조형식을 정하여 규모와 홍수위를 산정한다.

③ 유사량과 사수량, 필요저수량을 합산하여 총저수량을 산정하고 내용적표 또는 내용적그래프에서 계획만수위 표고를 결정하고 여기에 홍수위, 파랑높이, 여유고를 더하여 댐마루 표고를 결정하여 댐높이를 산정한다.

4) 댐 형식 검토

① 댐 예정지 인근에서 쉽게 취득할 수 있는 축조재료 (토석재)를 검토하고, 토취장 및 석산 예정지를 표시한다.

② 댐 높이와 토석 재료에 따른 댐 형식을 비교 검토한다. (균일형, 준형, 코어형)

③ 댐 형식을 결정하고 표준단면을 구상한다.

5) 부대시설 검토

① 각 안별 물넘이, 취수시설 위치를 검토하고 계획평면도상에 표시한다.

② 각 안별 이설도로 노선을 검토하여 계획평면도 상에 기입한다. (이설도로의 노선은 홍수면 표고에 여유고를 더한 표고이상으로 설치해야 하며, 시설 도로와의 접속부에 유의해야 한다.)

③ 기타 공사용 도로, 진입도로, 유지관리 도로 등의 필요성 여부를 검토하고 필요시 노선을 검토하여 계획평면도에 기입한다.

6) 댐 건설계획서(안) 작성

① 각 안별 검토, 분석자료 정리

② 각 안별 댐 건설 간이계획서 작성

③ 각 안 비교분석표 작성

7) 댐 건설 최적안 선정

댐 건설 각 안에 대한 비교분석표에 의거 최적안을 선정한다.

라. 현장답사

현장답사는 기 수집자료와 도상검토자료를 가지고 수립한 댐 건설에 대한 도상계획(안)에 대하여 현장을 직접 답사하여 도상검토 자료를 확인하며 여타 필요한 사항을 조사하고 실내에서 수립한 도상계획(안)을 수정 보완하기 위하여 실시하며 지역의 유관기관을 방문하여 필요한 자료를 수집하고 도상계획에 대한 설명과 의견 및 요망사항을 청취하고 지역주민의 호응도를 파악한다.

1) 유역답사

도상검토자료와 계획내용을 기입한 계획평면도(1/50,000 또는 1/25,000 지형도)를 지참하고 유역을 답사하여 임상상태, 유로연장, 경사도, 피복상태, 농경지 분포와 토질, 하천상황 등을 조사하여 도상검토자료를 확인, 보완, 수정하여 기록한다.

2) 댐 위치답사

① 비교안을 포함한 각각 도상계획(안)에 대한 댐터를 답사하여 도상검토 내용을 확인하고 댐 터로서의 유리한 점과 불리한 점을 조사 기록한다.

② 물넘이 방수로, 취수시설 위치를 답사하여 지형조건에 맞는 구조, 규모, 형식 등을 검토하여 도상계획(안)을 확인, 보완, 변경한다.

③ 가배수 시설(공사기간 중의 배수시설) 계획방안을 검토한다.

④ 댐터 및 물넘이 방수로, 취수 시설 위치의 기초지반에 대하여 암의 노출상태를 관찰 조사하고 청문 및 수목의 식생 상태를 조사하여 지질상황을 파악한다. 노출된 기반암의 풍화정도, 절리 등을 관찰하고 퇴적층의 깊이 등을 청문 파악한다.

3) 유관기관 협의 및 주민의견 조사

① 지방자치단체 (도청, 시청, 군청 등)를 방문하여 댐 건설 계획(안)을 설명하고 지역특성에 맞는 댐 건설을 위하여 계획에 반영할 사항 등을 협의하며 필요한 자료를 조사하고 수집한다. 지방자치단체에서 파악하고 있는 제약여건 유무와 타 사업 계획의 유무, 기득권(광업권, 수리권, 어업권 등)의 설정 유무 등을 조사하고 처리대책을 협의한다. 관련법(도시계획법, 도로법, 하천법, 문화재관리법, 공원법, 환경 관련법 등)과의 관계에서 저촉여부와 제약여건을 조사하고 대책을 협의한다. 수자원 이용계획과 관련하여 용수수요(농업용수, 생활용수, 공업용수, 환경용수 등)을 조사하고 관련자료를 수집한다.

② 댐 건설에 대한 지역주민의 의향을 수몰지역과 수혜지역으로 구분하여 청취 조사하며 수몰 지역민에 대하여는 댐 건설에 대한 호응도(찬반정도)를 조사하고 수혜 지역민에 대하여는 용수 수요에 대하여 의견을 청취한다.

이상 자료수집에서부터 답사까지의 조사사항을 분석, 문제점을 도출하고 처리대책을 검토하며, 도상계획(안)을 수정 보완하여 『예정지 조사보고서』를 작성한다. 『예정지 조사보고서』의 내용은 농어촌정비법 시행령 제7조에서 규정한 사항이 보고되도록 작성해야한다.

3.2.3 기본 조사

기본 조사에서는 토목조사, 지질조사, 토양조사, 농업 및 사회경제조사, 기계, 전기, 건축조사 등을 실시한다.

가. 조사준비

조사계획(전체 조사계획, 전문분야별 조사계획)에 의하여 조사팀 (Team)이

편성되면 팀장은 팀원에게 조사계획과 목적, 내용을 숙지하게 하고 조사계획에 맞추어 조사가 되도록 팀원을 독려하여 조사를 준비한다.

조사준비는 ① 예정지 조사보고서를 검토하여 댐 건설계획과 보고내용을 파악하고, ②필요한 자료를 수집하여 현지 조사는 물론 기본계획 수립에 활용하고, ③ 조사장비 및 필요한 기계기구 및 소모품 등 기자재를 준비해야 하며, ④ 현지 조사활동, 조사반 운용과 조사비 집행방법 등 현지조사의 실시계획을 수립하여 조사에 임한다.

팀장은 팀원으로 하여금 조사목적과 조사계획의 세부적인 내용을 숙지하게 하며, 팀원에게 업무를 부여하고 독려하여 다음 사항들을 준비한다.

- ① 기본조사계획서를 검토하여 계획내용을 숙지한다.
- ② 예정지 조사보고서를 검토하여 댐 건설계획과 예정지 조사 보고내용 중 특이사항을 파악한다.
- ③ 팀원을 독려, 필요한 자료를 수집하여 현지 조사는 물론 기본계획 수립에 활용한다.
- ④ 측량장비와 각종 조사에 필요한 기계, 기구는 물론 소모품 등 자재목록을 작성하여 빠짐없이 준비한다.
- ⑤ 현지에서의 조사활동과 조사반 운용, 조사비의 집행방법 등 현지조사의 실시계획을 수립한다.
- ⑥ 타 전문분야 조사팀과 세부적인 상호 협조사항을 협의하여 원활한 조사가 진행되도록 한다.
- ⑦ 현지조사는 물론 지역유관기관과의 협조가 잘 되도록 협조 및 지원방안을 마련하여 조사에 임한다.

나. 토목조사

토목조사에서는 계획, 구조설계조사, 유역기상 수문 및 하천, 교통운반 및 품셈, 토질 및 재료조사시험, 환경 조사 등 세부 전문성을 갖는 항목에 대하여 조사하며 지역주민 의향조사, 기타 조사는 기본계획 수립을 위하여 필요한 사항을 전문분야와 연관하여 조사한다. 위의 각 조사항목에 대하여 토목분야 내에서의 세부 전문성과 조사업무량 및 조사기간 등을 고려하여 별도의 세부 전문 조사팀을 편성하여 조사할 수 있으며, 상황에 따라 적절히 편성 운영한다.

토목분야는 하나의 전문분야로 분류되나 업무분야가 광범위하고 업무량이 과다하므로 토목분야 내에서 다시 여러 개의 분야로 세분되어 학문적, 기술적

전문성을 가지고 발전되어 왔으며, 현실적으로 세분된 전문성을 인정하고 활용되고 있다.

토목분야 조사에는 계획 구조설계 조사를 위시하여 유역기상 수문 및 하천 조사, 교통 운반상황 및 품셈조사, 토질 및 재료조사 등이 포함되며 통상 토목분야의 계획설계 조사팀에 총괄업무가 부여되어 타 전문분야에 속하지 않은 사항을 총괄 팀에서 조사하는 것이 일반적이다.

크게 중요하지 않은 전문분야 조사는 실시설계 조사시에 조사하기로 하고 기본조사시에는 총괄팀(토목팀)에서 조사하도록 하는 경우가 있어 토목조사팀의 업무량이 과다하게 되므로 토목조사 내에서의 전문성이 분할된 분야는 타 전문분야와 같이 별도 조사반을 편성 조사하도록 하는 것이 바람직하다.

1) 계획 구조설계조사

기본계획 수립을 위하여 수자원 개발방향, 수자원 이용계획, 댐, 물넘이, 취수시설 계획수립을 위한 조사, 댐 건설공사용 도로, 진입도로, 이설도로 등의 계획을 위한 조사를 실시하고 지역주민의향, 관련기관, 기타 필요한 사항을 조사한다.

토목조사팀(총괄팀)에서는 댐 건설에 대한 기본계획 수립을 위하여 당해 지역의 수자원개발방향, 수자원 이용계획, 댐 건설 위치, 부대시설인 물넘이 방수로, 취수시설 위치 등과 댐 건설로 인하여 수몰되는 도로를 대신할 이설도로, 공사용 도로, 댐에의 진입도로 등에 대한 조사를 실시하며 관련기관 협의, 주민의향 조사 등 타 전문분야에 속하지 않은 사항을 조사한다.

가) 자료수집

(1) 기본조사 계획서 사본, 예정지 조사보고서 (원본사용 곤란시 사본), 당해연도 「농림사업 시행지침서」 중 “농업기반정비사업의 기본조사 및 기본계획 수립업무 지침” 사본 등

(2) 예정지역과 인근이 포함된 1/50,000, 1/25,000, 1/5,000 지형도, 수치지도(Moss 등 P/G 사용가능)

※ 댐 유역 전체를 표시할 수 있고, 농어촌용수 수혜 지역 전체를 표시할 수 있도록 도엽 선택에 유의

(3) 기상 및 수문관측 자료 (기상청, 건설교통부)

표 3.2.1 조사단계별 조사 구분

구분	예정지 조사	기본조사	세부설계 조사
근거	<ul style="list-style-type: none"> - 농어촌정비법 제6조 2항 - 같은 법 시행령 제7조 	<ul style="list-style-type: none"> - 농어촌정비법 제7조 - 같은 법 시행령 제8조 1항 	<ul style="list-style-type: none"> - 농어촌정비법 제8조 1항 - 같은 법 시행령 제9조
조사방법	<ul style="list-style-type: none"> - 도상계획 및 답사 	<ul style="list-style-type: none"> - 측량 및 부분조사, 개략조사 - 전문분야별 조사 개산 공사비 	<ul style="list-style-type: none"> - 측량 및 전체조사, 정밀조사 - 전문분야별 세부조사, 세부설계
조사정밀도	<ul style="list-style-type: none"> - 목측, 청문 수준 	<ul style="list-style-type: none"> - 중요부분 정밀측량 및 정밀조사, 그 외 부분 개략 조사 - 기본계획수립에 필요한 전문 분야 	<ul style="list-style-type: none"> - 전체 정밀측량, 정밀조사 - 세부설계에 필요한 모든 전문분야 조사
조사항목	<ul style="list-style-type: none"> - 댐 건설 가능성 판단에 필요한 항목 	<ul style="list-style-type: none"> - 기본계획 수립에 필요한 항목 - 사업타당성 분석에 필요한 항목 	<ul style="list-style-type: none"> - 기본조사 항목 확인, 보완, 추가 조사항목 - 기본조사시 미조사 항목으로 세부설계에 필요한 항목
조사량	<ul style="list-style-type: none"> - 비교검토안포함 (통상 2~3개안) 답사량 선정 	<ul style="list-style-type: none"> - 비교 검토안 포함 조사량 산정 조사 - 기본계획 수립에 필요한 조사량 조사 	<ul style="list-style-type: none"> - 항목별 기 조사분에 대한 확인점검, 보완 추가조사량 산정조사 - 세부설계에 지장 없도록 여유있게 조사
전문분야별	<ul style="list-style-type: none"> - 사업계획 수립 전문분야 (토목전문분야) 	<ul style="list-style-type: none"> - 기본계획수립에 필요한 전문분야 - 사업타당성 분석에 필요한 전문분야 	<ul style="list-style-type: none"> - 세부설계에 필요한 모든 전문분야
조사자	<ul style="list-style-type: none"> - 사업계획 수립 전문가 외 보조원 1인 	<ul style="list-style-type: none"> - 사업계획 수립 전문가 3~4인 - 전문분야별 전문가 각 1~2인 	<ul style="list-style-type: none"> - 세부설계에 필요 인원 - 각 전문분야별 전문가 필요인원
조사기간	<ul style="list-style-type: none"> - 답사 및 관련 기관 협의기간 (통상 5~7일) 	<ul style="list-style-type: none"> - 조사량 및 조사인원에 따라 결정 - 왕복일수 및 우천일수 고려 	<ul style="list-style-type: none"> - 조사량과 조사인원수에 따라 결정 - 왕복, 우천, 현지여건에 따른 손실일수 고려

(4) 타 사업 관련자료

(가) 농림부 관련사업 자료 : 정주생활권 개발계획, 농공단지, 문화마을, 농어촌도로, 밭 기반정비 등 생산기반정비계획, 기타 사업유무와 관련자료

(나) 건설교통부 관련사업 자료 : 수자원개발계획, 하천정비계획, 도로계획, 광역상수도계획 등

(다) 지방자치단체 관련사업 자료 : 지방도로 확포장 사업계획, 관광지 개발계획, 특산단지 개발계획 등

(5) 타 법과의 저촉여부와 관련자료

(가) 국토이용관리법, 도시계획법 등의 저촉여부 자료

(나) 도로법, 하천법 등의 관련자료

(다) 문화재관련법, 공원법 등 저촉여부와 관련자료

(라) 환경관련법 저촉여부와 관련자료

(마) 광업법에 의한 광업권 설정자료

(바) 수리권, 어업권 등의 저촉여부와 관련자료

(사) 기타 관련법의 저촉여부와 관련자료를 수집한다.

(6) 수준점 및 삼각점 (도근점) 측량성과 (국립지리원)

(7) 농업진흥지역 조사자료, 농어촌발전계획 조사자료

(8) 농어촌용수자원 조사자료, 경지정리, 배수개선사업 대상지 조사자료

(9) 기타 필요한 자료

나) 지역수자원 개발방향 검토조사

수자원개발방안으로 댐 건설 이외의 방법은 없는지를 검토한다.

(1) 지하수개발방안 검토조사

(2) 하천수, 호수 등의 이용방안 검토조사

(3) 광역개발 수자원 이용방안 검토조사

다) 수자원 이용계획 조사

지역의 물부족 실태와 각종 용수의 수자원개발 소요량을 조사한다.

(1) 생활용수, 공업용수의 부족실태와 개발소요량을 조사 추정한다.

(2) 농업용수 부족량과 소요량을 조사한다.

(3) 환경용수, 하천유지용수 등의 소요량을 조사한다.

라) 댐 건설 위치조사

댐 건설 위치에 대하여 비교 검토안을 포함 조사한다.

※ 본 항은 4장 1절 댐건설 위치와 댐 형식을 참조할 것.

마) 물넘이 시설 및 취수시설 위치조사

물넘이 시설 및 취수시설 위치에 대하여 예정지 조사결과를 확인 조사한다.

(1) 물넘이 위치는 지질, 지형조건, 수리조건 및 다른 시설과의 관련 등을 고려하고 공사비 및 환경훼손이 적은 방향으로 결정 조사한다.

(2) 취수시설은 지질, 지형조건 및 유지관리 등을 고려하여 위치를 정하도록 조사하고 최대수량을 안전하게 취수하여 공급시설에 연결되도록 고려하여 결정한다.

바) 이설도로 노선 위치조사

예정지 조사에서 선정한 이설도로 노선에 대하여 지형 및 여타조건과의 적합성을 조사한다. 예정지 조사에서와 같이 답사방법에 의한 조사를 실시하며 중요지점에 대하여는 표고 등을 측량 확인해야 하고 비록 개산일지라도 이설도로에 대한 공사비를 추정 계상해야 하므로 횡단구조물의 종류와 크기 및 개소수를 조사하고 대절성토구간에 대하여도 조사한다.

사) 공사용 도로, 진입도로, 유지관리 도로 및 가배수시설 위치 등 조사

댐 건설기간 중의 자재반입 등 공사용 도로와 기설도로로부터 댐에로의 진입도로 댐 건설후 유지관리용 도로 등 필요성 여부와 필요할 경우 위치, 규모 등을 조사해야 하며, 댐 건설 기간중 상류의 물을 하류로 배제시키기 위한 가배수시설의 위치와 규모 등을 조사한다.

2) 기상, 수문, 하천 조사

댐 설치 인근지역의 기상관측 자료조사, 유역, 유로 상황조사, 하천 및 홍수, 평수, 갈수 상황조사, 기존 수리현황 조사, 하천 유사량 조사 등 수자원 분석 및 수자원 이용계획 수립을 위한 조사를 전문성이 있는 별도의 조사팀을 편성하여 조사한다.

이 조사는 계획 구조 설계 조사반에서 직접 조사할 수도 있으나 전문성이 있는 별도의 조사팀을 편성하여 조사하는 것이 바람직하다.

수문 분석에서 가장 기초적인 자료가 기상자료이다. 하천유량의 산정에 필요한 기상자료는 강우량, 증발량, 기온, 풍속, 습도, 일사량에 대한 일별 자료이며 해면기압, 일조시간 등에 대한 자료가 필요한 경우도 있다. 치수계획에서는 강우가 가장 주요한 인자로서 홍수량 산정시 설계강우량과 강우분포를 결정하는 근거가 된다. 최근의 돌발홍수와 국지적 홍수사례에서 알 수 있듯이 치수계획인 원거리의 강우관측자료보다 근거리의 강우자료를 적용해야 해당지

역의 강우특성을 반영한 합리적인 분석이 가능하다.

유역답사는 강우-유출 관계에 영향을 미치는 유역의 형상과 하천의 형태, 토양의 특성, 토지이용상태에 대한 조사를 수행하며 유역의 경계를 확정하여 유역도를 작성하고 유출량 산정 모형에 적용되는 각종 인자를 산출한다.

하천조사의 대상은 댐 건설전의 하천의 현황을 파악하는 것이고 조사사항은 유량, 수질, 수온, 하도 및 하상에 대한 상황 등이다.

3) 교통운반상황 및 품셈조사

댐 건설 예정지 인근의 해로, 철도, 육로, 교통운반 상황과 접근 도로상황을 조사하고 댐건설자재인 성토 점토 토취장, 사토장 현황과 도로, 운반상태, 모래 자갈 석재 등의 생산가격, 운반상황 등을 조사하고 주요자재의 물가, 지가 등 댐 건설 개략공사비 산정에 필요한 사항을 조사한다.

댐 건설공사비 적산을 위한 교통 운반상황 및 품셈조사는 토목조사팀에서 직접 조사하는 사항이지만 토목조사 팀의 업무량 과다, 일정계획의 시급성 등을 고려하여 공사비 적산에 전문성이 있는 별도의 팀을 편성하여 조사하게 할 수 있다.

교통운반상황 및 품셈조사는 전문분야로 조사하는 경우도 있으나 기본조사에서는 개략공사비를 추정하여 계상하게 되므로 계획설계 팀에서 조사하는 것이 일반적이다. 조사항목은 성토 및 점토장 현황조사, 굵은 골재, 잔골재 및 석산조사, 도로망 조사, 주요자재 조사 등이며 현장 가설건물 위치, 중기계 주 기장 위치 등도 조사한다.

가) 점·성토장 현황조사

점토와 성토는 필댐 축조를 위한 기본재료이며 시공의 난이도는 물론 댐 건설 공사비에도 영향이 크고, 공사완료 후의 댐 안전에도 영향이 크므로 점·성토 토취장은 신중하게 선정해야 한다. 토취장 선정 조건을 열거하면 ① 토질이 공사용 재료로 양호할 것, ② 매장량이 풍부할 것, ③ 운반거리가 가깝고, 운반로가 양호하며, 장애물이 적고 유지관리가 용이할 것, ④ 신기가 편리한 지형일 것, ⑤ 용수가 없고 배수가 양호하며 붕괴의 위험이 없는 지형일 것, ⑥ 굴착깊이는 기계작업에 적당할 것, ⑦ 보상비가 적고 지가가 저렴하며 용지매수가 용이할 것 등이다.

이 조사는 토질 및 재료조사와 조사내용에서 중복되고 있어 토질 및 재료조사를 별도의 전문조사 팀을 편성하여 조사하는 경우에는 토목조사에서는 조사하지 않고 토질 및 재료조사 결과를 활용하도록 한다. 토질 및 재료조사를 토

목반에서 조사할 경우에는 시료를 채취하여 실내시험을 통하여 흙의 공학적 성질을 규명하도록 해야 한다.

나) 모래, 자갈 채취장 및 석산조사

(1) 모래는 콘크리트용 잔 골재, 필터모래, 기초모래 등으로 쓰이며, 각 쓰임새에 따라 모래의 질과 단위당 가격에 차이가 있으므로 이를 혼동하지 않도록 구분하여 조사한다.

(2) 자갈 또한 콘크리트용 굵은 골재, 뒤채움 자갈, 도로 부설용, 도로포장용 등 쓰임새가 다르므로 쓰임새를 명확히 하여 조사한다.

(3) 석재는 댐내측 사면보호 피복석으로, 외측 비탈끝의 흙멈춤공에 사용되며 깬 자갈을 사용할 경우 자갈생산원료가 되므로 생산시설 등을 조사한다.

(4) 각 채취장 공히 진입도로의 유무, 운반로 상태, 운반거리, 신고 부리기 작업 조건 등을 조사하고

(5) 특히 중요한 것은 재료의 성질에 대하여 내구성, 강도, 가공하기 쉽고 나쁜 점 등에 대하여 상세히 조사한다.

다) 도로망 조사

도로망조사는 댐 공사를 위하여 자재, 골재, 건설기계 등 공사에 필요한 물품과 장비 등을 현장에 반입하기 위한 운반거리, 운반속도 등을 결정하기 위한 가장 기초적인 조사이다. 조사할 사항을 열거하면 ① 도로의 등급별 거리, ② 각종 도로의 노폭, 노면상태, 포장 상태, ③ 새마을 도로 등 간이 콘크리트 포장인 경우 포장두께, ④ 지방도 이하의 도로 교량에 대하여 교량폭, 통과하중, 공사용 덤프트럭의 통과 가능여부, ⑤ 도로 확장이 필요한 경우 도로 폭과 포장 유무를 조사하고 신설해야 할 경우에는 시점과 종점 구간 등을 상세히 조사한다.

라) 주요 자재 조사

주요자재는 토석류를 제외한 시멘트, 철근, 콘크리트 2차 제품류, 강관, 목재, 레미콘, 아스콘, 철재 등 공장제품으로 공사현장 밖으로부터 조달되는 공사자재를 말한다.

(1) 시멘트 철근 : 댐 건설 예정지에서 가장 가까운 거리에 있는 철도역, 공장, 하치장에서 현장까지의 거리, 운반조건, 상하차비 등을 조사한다.

(2) 콘크리트 2차 제품류 : 공장에서 제작, 양생, 시험과정을 마친 완성제품으로 규격별로 제작되어 현장에서는 설치만 하면 되는 제품을 말하며 종류로는 흙관류, 조립식 플룸(flume), 콘크리트 파일, 콘크리트 전주 등이 있고 공장의 위치, 생산량, 가격, 인도방법, 운반조건, 운반거리 등을 조사한다.

(3) 기타 자재 : 기타 댐 건설에 필요한 주요자재 내역별로 생산공장의 위치, 운반거리, 생산량, KS 여부, 가격, 인도방법, 운반조건 등을 조사한다.

4) 토질 및 재료 조사

이 조사는 토질조사와 재료조사로 구분할 수 있으며 토질조사는 토취장 현황조사와 실내시험으로 진행되고, 재료조사 또한 현장조사와 실내시험을 실시하게 된다. 토취장 현황조사는 교통운반 상황 및 품셈조사에서도 실시하므로 전문분야별 조사를 실시할 경우에는 조사자료의 활용에 따라 중복조사가 최소가 되도록 상호 협조해야 한다.

필댐 건설의 주요재료는 댐체를 구성하는 흙(성토, 점토)과 돌(석재) 그리고 모래와 자갈이므로 이들 재료를 선정하여 매장량을 조사하고 대표성을 갖는 시료를 채취, 시험 분석하여 공학적 성질을 규명 보고함으로써 댐의 계획 설계를 실시케 하고 안전성을 검토하도록 한다.

이 조사 또한 토목조사반의 중요 조사사항이나 시험분석과 재료의 공학적 성질을 규명하는 업무로 전문성이 인정되므로 별도 조사팀을 편성하여 조사하는 경우가 일반적이다.

필댐을 구성하는 주요재료는 댐 형식에 따라 조금씩 다르지만 준형 댐과 중심점토형 댐에 있어서의 중심 점토재와 일반 성토재의 선정은 물론이고 사용량 또한 다량이므로 매장량을 조사한다. 또한 모래, 자갈, 석재 등도 같이 조사하고 시료를 채취하여 실내시험을 실시하고 분석하여 각 재료의 공학적 성질을 규명하여 보고함으로써 시공장비와 시공방법을 선정하고 댐의 계획과 설계를 하도록 하고 댐의 안전성을 검토할 수 있도록 조사한다.

가) 토질조사

(1) 토취장 위치선정 : 지형도(1/25,000)에 의한 댐터 예정지를 중심으로 가까운 곳에서부터 먼 곳으로 현장을 답사하여 주민의견, 보상관계, 운반로, 광업권 및 토취장 선정조건을 고려하여 토취장을 선정하고 계획 평면도(1/25,000)에 표시한다.

(2) 매장량 조사 : 인력수굴 또는 오가보링에 의하여 토심을 조사하고 토취장 위치도(1/25,000) 토취장 시굴도(1/1,200)를 작성하여 매장량을 산정하고, 토취장별로 대표적인 시료를 채취하여 실내시험을 할 수 있도록 조치한다.

(3) 지적도 및 토지대장 발급 : 토취장 위치의 지적 및 소유현황을 파악하기 위하여 지적도를 발급받아 시굴도를 작성하고 토지대장을 발급받아 소유현황을 조사한다.

(4) 보상물조사 : 토취장 위치의 보상물을 조사한다.

(5) 광업권조사 : 토취장 위치에 광업권 설정유무를 조사하고 설정되어 있을 경우에는 채광실적 등을 조사한다.

나) 재료조사

별도 언급이 없는 한 재료는 조세골재 및 석재를 의미하며, 여타 재료(자재)는 교통운반 상황 및 품셈조사에서 조사한다.

(1) 도상검토 : 지형도(1/50,000 또는 1/25,000)를 검토하여 골재원 부존가능지 및 석산을 조사한다. 이때 조사방법은 댐건설 예정지를 중심으로 해당 시·군에서 인접 시·군으로 범위를 확대하여 가면서 골재 및 석재 채취가능지를 조사한다.

(2) 현장답사 : 댐 예정지를 중심으로 범위를 확대해가면서 지형도에서 조사한 골재 및 석재채취 가능지를 답사하여 석재 및 골재의 품질을 육안에 의하여 개략적으로 판단하고 운반로 운반거리, 진입로, 석재 및 골재채취로 인한 환경영향, 인허가 등 제약여건을 조사한다.

(3) 채취장 위치선정 : 답사결과를 종합적으로 검토하여 최종적으로 채취장 위치를 선정하고 대표적인 시료를 채취하여 실내시험을 하도록 조치한다.

(4) 채취료 및 단가조사 : 해당 시·군 건설과를 방문하여 선정된 채취장내 채취가능(인허가)여부를 협의하고 채취료(원석대)를 조사하며 시·군에서 채취장을 개설하였을 경우 골재단가를 조사한다.

다) 레미콘 조사

(1) 위치 : 탐문조사

(2) 사용골재의 품질 : 육안조사 또는 필요시 시료채취

(3) 배합설계 검토 : 레미콘의 배합 설계표 확인

(4) 단가조사 : 일반단가 조사 및 특수배합일 경우, 시멘트 공급시의 경우 등 단가 자료 조사

5) 환경조사

댐의 건설은 지역환경에 적게, 많게, 직접, 간접으로 영향을 받게 되므로 환경의 보전과 최소한의 훼손과 복원, 그리고 환경친화적 댐 계획을 위하여 필요한 환경조사를 실시한다. 환경관계법률(환경보전법, 자연공원법, 도시계획법 등)에 의한 지역지정여부, 문화재보호법에 의한 사적, 명승, 자연기념물의 지정여부, 조수보호 및 수렵에 관한 법률에 의한 조수보호구역 지정여부와 자연환경에 관한 조사에서 수질조사와 함께 육상 및 수중 동식물의 서식분포와 특수

어종의 서식과 이동습성에 대하여 조사하고, 댐 부대시설 (어도 등)계획 여부를 결정할 수 있어야 한다. 이 조사는 세부설계 조사에서의 "사전환경성 검토 조사"와 중복될 수 있으므로 기본계획 수립에 필요한 사항만을 조사하고, 그 외에는 세부설계조사시 "사전환경성 검토" 전문분야 조사에서 조사하게 할 수 있다.

가) 환경관련법에 관한 조사

환경관련법률(국토관리법, 도시계획법, 환경보전법, 자연공원법, 문화재보호법, 조수보호 및 수렵에 관한 법률 등)에 의한 제한사항, 지역 또는 구역지정 사항, 사적, 명승, 자연기념물 등의 지정여부를 조사한다.

- ① 환경보전법에 의한 지역지정 여부와 지정범위 조사
- ② 자연공원법에 의한 지역지정여부와 지정범위 조사
- ③ 도시계획법에 의한 녹지보전지역 (Green belt) 지정범위 조사
- ④ 문화재 보호법에 의한 사적, 명승, 천연기념물의 지정범위 조사
- ⑤ 조수보호 및 수렵에 관한 법률에 의한 조수보호구역 지정여부 조사

나) 자연환경에 관한 조사

사업구역 및 유역내의 식물서식 분포, 동물서식 분포를 조사하고, 특히 법률에 의하여 보호 지정된 동식물, 희귀 동식물, 멸종위기 동식물의 서식여부와 계절적 이동, 생활주기 이동, 조류와 어류의 서식여부를 조사한다.

① 유역내 식물분포 현황조사 및 특수조림(보안림, 방풍림, 방재림 등) 현황조사

- ② 유역내 동물서식 분포 현황조사
- ③ 어류, 양서류, 갑각류 등의 서식 분포 현황조사
- ④ 희귀 동식물 서식여부 및 법률에 의하여 보호 지정된 동식물 또는 멸종위기 동식물 서식여부 조사
- ⑤ 계절적 이동조류 서식지 및 산란 등 생활주기 이동어류서식 조사

다) 자연경관에 관한 조사

기타 자연경관 등 필요한 사항을 조사한다.

- ① 유역 및 인근의 관광명소(유원지, 유명사찰, 자연공원 등) 조사
- ② 유역내의 아름다운 계곡, 울창한 산림지, 하천변 수목 군락지 등 조사
- ③ 유역내의 고목군락지, 기암괴석 등 자연경관 조사
- ④ 농원, 화원 등 인공경관 조성지 조사
- ⑤ 유명하지 않으나 마을 사람이 아끼고 자랑스러워 하는 경관 등 조사

라) 생활환경에 관한 조사

하천수질 및 수량조사, 유역내의 오염원 조사, 생활하수 및 축산폐수 처리실태 등 생활환경 관련사항을 조사한다.

- ① 하천수질과 수량조사
- ② 유역내 오염원 조사
- ③ 생활하수 및 축산폐수 처리실태 조사
- ④ 마을 썸지공원 또는 휴게시설 조사
- ⑤ 장승, 성황당, 효자문 등 역사유적, 문화유적, 풍속유적 등 조사

6) 용지매수 및 보상물 조사

댐 건설에 편입된 용지, 수몰지, 토취장, 토사장 등의 면적, 진입로, 이설도로 등의 편입 용지면적, 편입 용지내의 공공시설, 가옥, 전주, 분묘, 유실수 등 용지매수비와 보상비 계상을 위한 가격, 수량, 면적 등을 개략 조사한다.

용지매수 및 보상비는 댐 건설에 따른 민원 발생의 주요 사항이며, 특히 수몰 지역민의 저항은 지대하므로 이들의 불만이 발생하지 않고, 형평성이 유지되도록 공시지가 및 인근지역 거래실례가격 등을 조사하여 적절한 용지매수 및 보상비가 계상될 수 있도록 한다. 댐 건설 사업비 전체에서 용지매수 및 보상비가 점하는 사업비 비중이 크며 기본조사에서는 사업비를 개선으로 계상하지만 세부설계시의 사업비와 큰 차이가 없어야 하므로 이를 고려하여 조사한다.

가) 용지매수 면적조사

댐 건설을 위하여 사용되는 토지는 정당한 가격으로 매수해야 하므로 지목별 면적을 개략 조사한다.

(1) 수몰면적 : 댐 부지를 포함하여 홍수위까지의 수몰면적을 지목별로 산출한다.

(2) 편입면적 : 이설도로, 기타시설 설치로 인하여 편입되는 용지면적을 현 지목별로 산출한다.

(3) 토취장 및 토사장 : 점성토 토취장 및 사토장의 면적을 산출하여 매수 또는 보상 사용여부를 결정한다.

(4) 기타 댐 건설과 부속시설을 위하여 필요한 토지면적과 매수여부를 조사한다.

나) 보상물 조사

(1) 개인 보상물 조사 : 수몰지 및 편입지내에 있는 개인소유 주택 등 건축물, 분묘 등 시설물, 과수 등 유실수, 기타 개인 보상물건을 조사한다.

(2) 공공 보상물 조사 : 수몰지내의 공공건축물, 전주 등 송전시설, 통신시설, 수리시설 등을 조사한다.

다) 무형자산 조사

(1) 광업권조사 : 광업권의 설정유무와 채광실적 등을 조사한다.

(2) 기타 어업권, 수리권 등 무형자산을 조사한다.

라) 용지매수 가격 및 보상단가 조사

(1) 용지매수 가격 : 지목별 용지매수 단가를 공시지가, 인근지역의 실거래가격, 인근 타 사업의 감정평가 가격 등을 조사한다.

(2) 보상가격 : 주민의견 및 관계자의견 등을 청취하고 답사결과를 토대로 산정한다.

7) 지역주민 의향조사

댐 건설에 대한 지역주민의 의향을 수몰 지역민과 수혜 지역민을 구분하여 조사하며, 수몰 지역민에 대하여는 댐 건설의 호응도(찬반여부) 파악과 민원 발생여부 파악을 하고, 수혜 지역민에 대하여는 용수 수요조사와 댐 건설 홍보 면에 중점을 두고 조사한다.

지역주민 의향조사는 댐 건설 추진 상 중요사항이므로 사전 준비를 철저히 하여 조사에 임한다. 수몰지역 주민에 대하여는 가능한 한 전 가구에 대하여 의향을 조사하고 수혜 지역민에 대하여는 대표성을 갖는 20 % 정도의 표본조사를 실시한다.

가) 수몰지역민 조사 : 가능한한 전가구 조사, 이해정도 %, 호응(찬성 %)

나) 수혜지역민 조사 : 대표성 20 % 조사, 필요성 %, 찬성호응 %

8) 문화재 지표조사

문화재보호법 제74조의 2 및 동법 시행령 제43조의 3에 따라 문화재 지표조사를 실시한다. 문화재 지표조사는 대통령령이 정하는 건설공사의 사업계획수립시 당해 공사지역에 대한 문화유적의 매장 및 분포여부를 확인하고, 공사로 인하여 발생할 수도 있는 문화재의 훼손을 미연에 방지하여 문화재를 보호하며 사업비를 절감하기 위하여 실시하는 당해 공사지역에 대한 개략적 문화재 분포조사이다. 문화의 중요성에 대한 재인식과 함께 1999년 1월 29일 개정된 문화재 보호법에 제74조의 2를 신설하여 건설공사의 사업계획 수립시 문화재

청장이 고시하는 전문기관에 의한 문화재 지표조사를 법적 의무화하고 있다.

문화재 지표조사의 대상은 다음과 같다.

- ① 사업면적이 3 ha 이상인 절토·복토·굴착·수몰 등의 건설공사
- ② 사업면적이 3 ha 이하라도 지자체의 장이 지표조사를 명하는 건설공사
- ③ 농어촌정비법에 의한 사업중 농어촌용수개발, 간척지 내부개답, 문화마을조성 등 (근거 : 문화재보호법 시행령 제43조의 3)

9) 기타 조사

댐 건설지역 내에 기 설정된 수리권, 광업권의 유무와 이들 기득권과 연관된 시설물 등을 조사하고 도시계획법, 도로법, 하천법, 문화재관리법, 공원법 등 다른 법과의 관계에서 저촉여부를 조사하고 관련기관 협의를 통하여 다른 사업계획, 수자원 이용계획 등을 조사한다.

가) 산업자원부 광업등록사무소에서 광업권설정에 대한 제반자료(광업권 설정도면, 권리사항, 해제조건 등)를 조사하여 보상비 추정, 사업시행 가능여부 판단 등 자료로 활용한다.

나) 도시계획법, 도로법 등 다른 법과의 저촉여부를 조사하고 특히 개발제한구역, 국립공원 구역, 철도, 도로 접도 구역, 하천법 등과의 관련여부를 조사한다.

다) 문화유적, 사적지 등을 조사하고 관련기관과 협의하여 보존여부를 조사하고 사업시행의 가능여부판단자료로 활용한다.

라) 상수원보호구역 여부와 기존 상수도시설을 조사하고 관련기관과 협의하여 생활용수공급인원 등 생활용수 공급량추정을 위한 제반자료를 조사한다.

마) 기존수리시설을 조사하여 존폐여부와 활용가능 판단자료로 활용한다

다. 지형조사(측량)

기본조사에서는 다음의 측량을 실시한다.

1) 기준점 측량

기준점 측량은 평면 기준점 (삼각점) 측량과 수준점(BM) 측량을 실시한다.

2) 댐 종단 측량

댐 위치를 조사, 가장 합리적인 위치를 선정하여 댐 종단측량을 실시한다.

3) 물넘이 종단 측량

물넘이 위치와 형식을 선정하여 종단측량을 실시한다.

4) 내용적 측량

댐위치를 선정하고 상류에 대한 내용적 측량을 실시한다.

5) 댐 부근 평면도 작성 측량

6) 기타 측량

하천 기울기 파악을 위한 하천중단 측량, 유량 파악을 위한 하천 횡단면 측량을 실시하고 기타 필요한 측량을 실시한다.

예정지 조사에서는 측량조사를 하지 않으며 기본조사에서는 댐 기본계획 수립을 위하여 필요한 측량을 실시하며 노선설정 측량과 조사측량으로 구분할 수 있다. 기준점 측량에서 새로 설치하는 기준점(수준점 포함)은 실시설계 조사와 시공과정은 물론 공사 준공 후 유지관리과정에서도 사용되므로 지반변동이 없는 위치에 돌 말뚝 등으로 이용하기 편리하도록 설치한다.

내용적 측량은 일반적으로 1 m 등고선을 기입할 수 있는 축척(1/1,000, 1/1,200) 평면도에 측량성과를 기입한 내용적 평면도를 작성하며 지면과 지적선이 기입되어 용지매수도로 이용할 수 있도록 한다. 특수한 경우 (매립지 또는 간석지에 저수할 경우에는 0.5 m 등고선을 기입하여 정확한 내용적을 산출하게 할 수 있다.

측량은 토목조사의 큰 비중을 차지하는 중요한 부분으로 확실한 계획 및 설계자료를 취득하는 방법이며 기술이다. 댐 건설을 위한 기본조사에서의 측량은 지상의 위치를 확실하게 표시하는 설정측량, 계획 및 설계자료를 얻기 위한 조사측량으로 구분할 수 있다.

1) 측량준비

측량준비는 토목조사준비의 많은 부분을 차지하고 있으며, 현지 출발전 준비와 현장준비로 구분할 수 있고 이를 열거하면 다음과 같다.

가) 출발전 준비사항

① 지형도(1/50,000 또는 1/25,000)를 검토하여 예정지 인근의 삼각점(평면기준점)을 조사하고 수준점(BM)을 조사하여 성과표(국립지리원)를 수집한다.(기준점의 분실 및 파괴되었을 때를 대비하여 삼각점은 4~5개소, 수준점(BM)은 2~3개소에 대한 성과표를 수집한다)

② 댐건설 조사설계를 위하여 필요한 신설기준점(삼각점)의 개소수와 위치를 정하고 삼각측량계획(삼각망)을 수립한다.(삼각점의 파괴 및 분실대비 통상 2~3개안 작성)

③ 필요한 신설 수준점(BM)의 개소수와 위치를 대략 정하고 수준점(BM) 측량계획을 수립한다.

④ 필요한 측량장비의 목록을 작성, 목록에 의한 측량장비를 빠짐없이 인수하고 검측을 실시하여 오차를 조정하는 등 필요한 조치를 한다. (측량장비는 가능한 한 컴퓨터와 직접 연결 작업이 가능한 기종을 확보한다. ex : Moss P/G, 삼각측량 계산 P/G 사용가능한 기종)

⑤ 야장, 평면도 작성용지, 왓드망지, 방안지, 필기용구 등 측량업무 수행에 필요한 자재, 소모품 등을 필요한 만큼 준비한다.

⑥ 기타 조사계획서 (조사시행계획 방침 결재 시행분), 지형도 및 수치지형도, 기상자료 등 측량업무 수행에 필요한 자료를 수집한다.

나) 현장 준비상황

① 현장을 답사하여 구체적인 측량작업 계획을 수립한다.

② 측량용 차량준비

③ 측량업무에 종사할 인부, 측부의 확보 및 교육실시

④ 신설 삼각점, 수준점, 돌말뚝제작 주문인수 측점 나무말뚝을 규격(A, B, C 형)별로 필요량을 구입하고, 기타 필요한 자재, 소모품 등을 구입한다.

⑤ 측량작업을 위한 보조용구(해머, 삽, 곡괭이, 낫, 톱 등)를 확보한다. (보조용구는 통상 인부 또는 측부로 하여금 지참하도록 하고 있으나 확실하지 않하도록 용구를 지정하여 수배할 필요가 있다.)

⑥ 필요한 지적도, 임야도, 토지원부를 복사 확보한다.

2) 기초 측량

기준점은 기준점(삼각점)과 수준점(BM)으로 구분되며, 측량 또한 기준점(삼각점)측량과 수준점(BM) 측량으로 구분하여 실시한다.

가) 기준점(삼각점) 측량

기준점(삼각점) 측량은 댐(제당), 물넘이, 이설도로 등 중요 구조물의 위치를 정확하게 좌표로 표시하기 위하여 실시하는 측량이다.

(1) 신설 삼각점의 매설

신설 삼각점은 시야가 넓고 (측량시 타삼각점의 조기 시준이 가능해야 함) 찾기 쉬우며 지반 변동이 없을 것으로 판단되는 안전한 위치를 선정하여 영구 보존이 가능하도록 측량법에서 규정한 기준에 따라 견고하게 매설한다. 필요한 경우 삼각망 구성을 위하여 보조 삼각점을 매설할 수 있다.

표 3.2.2 조사단계별 측량 내용

조사 분야	측량항목	예정지 조사	기본조사	세부설계
토 목 조 사	○ 기준점 측량 - 기준점(삼각점) 측량 - 수준점(B.M) 측량		- 영구기준점 매설, 삼각측량 - 영구수준점 매설 수준점(B.M)측량	- 영구기준점 확인측량 - 임시 기준점, 주요구조물 위치, 골조측량 (Travers측량) - 점검 확인 측량
	○ 댐(제당)측량 - 중심선 측량 - 종단측량 - 횡단측량		- 중심선 측량 - 종단측량	- 확인 점검 측량 - 횡단 측량
	○ 물넘이시설측량 - 중심선 측량 - 종단측량 - 횡단측량		- 중심선 측량 - 종단측량	- 확인 점검측량 - 횡단 측량
	○ 취수시설 측량 - 중심선 측량 - 종단 측량 - 횡단 측량		- 중심선 측량 - 종단측량	- 확인 점검 측량 - 횡단측량
	○ 내용적 측량		○ 내용적 측량	○ 정밀 보완 측량
	○ 제당부근 지형 측량		○ 1/1,200내용적도에 개략 측량	○ 정밀지형측량(1/600 제당부근 평면도 작성)
	○ 진입 및 이설도로 측량 - 노선선정 측량 - 종단측량 - 횡단측량		- 노선선정 측량	- 확인 점검 측량 - 종단측량 - 횡단측량
	○ 하천종단경사 및 횡단면 측량 (필요시)			○ 하천종단 경사 및 횡단면 측량 (필요시)
	○ 가배수로 중심선 및 종횡단 측량		○ 가배수로 중심선 측량	○ 가배수로 중심선 확인측량 및 종횡단 측량
○ 주요구조물 종횡단 및 부근지형 측량			○ 주요구조물 (터널,교량 등) 종횡단 및 부근지형 측량	

(2) 기설 삼각점 및 신설 삼각점에 조기설치

삼각측량 계획시(삼각망 구성시) 기준한 2점 이상의 기설 삼각점을 찾아 조기를 설치하고 신설삼각점에도 조기를 설치한다. 조기는 측량용 폴(pole)을 이용할 수도 있으나 측량용 폴은 2 m로 시준 장애가 예상되므로 통상 3~5 m 길이의 직선 각목 또는 원목 장대 또는 대나무를 사용하며, 상단에는 적, 백색 천의 깃발을 달고 하단은 삼각점에 정확히 맞추어 수직으로 세운 다음 쓰러지거나 삼각점을 이탈하지 않고 수직상태를 유지하도록 단단히 고정시킨다. 고정은 보통 가는 철선으로(통상 #2~#3번선) 조기를 사방에서 당기는 방법으로 하며, 통상 2~3단으로 고정한다.

(3) 기준점(삼각점)측량

(1), (2)항의 작업으로 신설 기준점(삼각점)을 매설하고 기설 및 신설 기준점에 조기를 설치하면 바로 삼각측량을 실시한다. 측량은 계획된 삼각망의 기준선(기설 삼각점 2점간의 직선)의 거리를 기준으로 조기를 설치한 삼각망의 각 삼각점간의 각도를 측정하는 것이며, 삼각망 상호간의 모든 각도가 정확히 측정되면 삼각점 계산법에 의하여 신설 삼각점의 위치(좌표)를 계산함으로써 삼각측량은 완료된다.

최근의 측량기에는 삼각측량 계산 P/G이 내장된 컴퓨터가 병설되었거나 측량 값이 바로바로 입력되는 입력장치가 병설되어 있어 입력자료를 PC 또는 핸드북 컴퓨터를 이용하여 즉시 신설 삼각점의 좌표를 계산할 수 있으므로 오차범위를 초과하였거나 측정을 잘못하였을 경우 삼각망의 조기를 철거하기 전에 재측량해야 하므로 측량즉시 계산하여 결과를 검토한다. 그러므로 삼각측량에 사용하는 측량기는 가능한 한 P/G 사용이 가능한 최신형 측량기를 사용하도록 하는 것이 바람직하다. 삼각측량 결과 산정된 좌표는 삼각좌표이므로 지적좌표로 사용하기 위하여는 지적좌표로 환산해야 한다.

※ 삼각좌표를 지적좌표로 환산하는 방법 (제주도 제외)

X 좌표 : 삼각좌표 + 500,000 m, Y 좌표 : 삼각좌표 + 200,000 m

(4) 기타 사항

삼각측량시 시준 장애를 제거하기 위하여 나무를 베거나 가지치기를 해야할 경우 사전에 관련기관에 신고하고 산주의 양해를 얻어야 하며, 부득이한 경우 사후에라도 반드시 신고하여 산림법 등 법적 문제가 야기되지 않도록 한다. 또한 조기 철거시 벌채한 나무 잔해를 깨끗이 철거해야 한다.

나) 수준점(BM)측량

수준점(BM)은 조사설계 단계뿐 아니라 시공단계, 유지관리 단계에서도 자주 사용해야 하므로 영구 기준점으로 설치해야 한다.

(1) 신설수준점(BM)의 설치

수준점은 영구 수준점(돌말뚝), 임시 수준점(목조 A항)으로 구분하여 BM 측량계획에서 파악한 소요 숫자를 제작 주문하여 계획된 설치지점에 견고하게 매설한다.

(2) 수준점 매설위치

영구수준점(돌말뚝)은 영구보존이 가능하며, 안전하고 발견하기 쉬운 지점에 설치해야 하며 도로의 신설 또는 확장, 건축물 축조 가능성이 있는 곳은 피해야 하며, 임시 기준점은 최소한 조사설계 및 시공과정에서는 사용 가능하도록 안전하고 편리한 곳에 설치한다.

(3) B.M 측량

B.M 측량은 건설교통부 1, 2등 수준점을 기준점으로 하여 측량하는 것을 원칙으로 하며, 인근에 1, 2등 수준점이 없거나 파괴되어 사용할 수 없는 경우에만 한하여 삼각점 또는 타 사업지구의 수준점을 이용할 수 있다.

수준측량은 반드시 왕복측량(1조 측량시) 또는 폐합(2조 측량시) 해야 하며, 허용오차는 측량법에서 정하고 있는 공공측량의 2등 수준측량 오차범위 이내 이어야 한다. (허용오차를 초과할 시는 재측량 실시)

$$\text{허용오차 } E=5\sqrt{S}, \text{ 식중 } E:\text{허용오차(mm)}, S:\text{관측편도거리(km)}$$

$$\text{ex:편도4.0 km의허용오차는 } E=5\sqrt{4}=10 \text{ mm}$$

3) 댐(제당)측량

댐 측량은 중심선측량, 종단측량을 구분하여 실시한다.

가) 댐 중심선 측량

예정지 조사에서 선정된 댐터와 2~3개 비교안에 대한 댐터를 댐터의 적지 조건, 저수역조건 등 기술적, 경제적, 사회적 여건에 대한 장단점을 비교 검토하여 가장 유리한 댐터를 선정하고 필요저수량 및 내용적 표에 의하여 산정한 댐 높이와 댐 마루 표고가 결정되면 중심선 측량을 실시한다.

중심선측량은 선정된 댐터에서 좌측 (하류에서 상류를 바라보는 방향에서의 좌측) 경사면에서 결정된 댐 마루 표고와 같은 표고의 지점을 수준측량으로 찾아 댐 중심선의 시점으로 선점하고 A항을 매설하여 댐 중심선의 시점으로 결정한다. 다음 댐에 굴곡을 주어 건설해야만 하는 경우에는 변곡점을 찾아

다시 A항을 매설하고, 우측 경사면에서 시점과 같은 표고의 종점을 찾아 A항을 매설하여 종점으로 결정한다.

댐에 굴곡을 주지 않고 직선으로 건설할 경우에는 (가능한 한 직선으로 하는 것이 원칙임) 시점에서 시준하여 우측 대안경사면에서 같은 표고의 가장 짧은 거리의 지점을 선점하여 A항을 매설하여 종점으로 결정한 다음 시점과 종점(변곡점이 있을 경우 변곡점 포함)의 좌표, 방위각을 측정(통상 트라버스 측량, 특별한 경우 삼각측량)함으로써 중심선 측량을 완료한다.

나) 댐 종단 측량

댐 중심선 측량이 완료되면 이어서 댐 종단측량을 실시한다. 댐 종단측량은 댐 중심선의 높낮이를 측량하는 것으로 좌측시점을 측점 0(zero)으로 하여 20 m 체인(chain, 측점간 거리)으로 지표면의 표고를 측량하며, 필요한 경우 (지표면의 고저 기복이 심하거나 지질변화 또는 횡단변화가 심한 경우)에는 플러스(+) 측점을 두어 측량한다. 측점에는 측점번호를 표시한 B항을 매설하여 측점임을 표시하고 플러스 측점에는 C항을 매설하여 표시한다. 이와 같이 댐 중심선 시점에서 종점방향으로 측량하여 종점까지 측량함으로써 종단측량을 완료하게 되며 측량 결과를 가지고 댐 종단면도를 작성한다.

4) 물넘이 시설 측량

물넘이는 댐 위치에 따라 결정해야 되므로 많은 제약을 받게 되지만 댐의 안전과 공사비에서 큰 비중을 차지하는 시설이므로 검토에 신중을 기해야 한다. 댐 위치 결정시에 물넘이 위치도 개략적으로 결정해야 하고 물넘이 형식과 규모 등은 댐 높이 결정시에 검토되어야 한다. 물넘이 위치는 댐 위치와 물넘이 형식을 고려하고 지형, 지질상황, 홍수량, 접근수로 등 수리조건 등을 검토하여 결정한다.

가) 중심선 측량

물넘이 형식과 규모, 그리고 위치선정이 되면 중심선 측량을 실시한다.

(1) 측수로 형

측수로형일 때는 월류부 길이를 고려하여 시점에 A항을 매설하고 측수로가 끝나고 조절부가 시작되는 지점(통상변곡점)에 B항을 매설하고 조절부가 끝나고 급류부가 시작되는 지점(대부분 변곡점이 됨)에 B항을 매설한 다음 감세공이 끝나는 지점에 B항을 매설하고 하류하천과 연결되는 연결수로 종점에 또한 B항을 매설한다. 이때에 매설된 B항은 대부분 변곡점이 될 가능성이 크며

급류부 시점부터 감세공 종점사이에는 변곡점을 두지 않는 것이 원칙이다.

(2) 슈트형

슈트형일 때는 월류부 시중점에 A항을 매설하여 월류부 중심선을 결정한 다음 가능한 한 월류부 중앙지점에 B항을 매설한다. 이 지점은 변곡점이 될 가능성은 높으나 아닐 수도 있다. 다음은 측수로형과 같이하여 중심선 측량을 완료한다. 이때 조절부 시점이 월류부 중간지점이 아닐 경우 (월류부와 조절부 중심선이 이루는 각도가 90° 가 아닐 경우), 급류부 시점이 변곡점이 될 경우는 수리현상을 해석하기가 어려우므로 수리 상 문제가 생길 가능성이 있으므로 수리모형시험을 실시하여 세부설계설계를 하도록 조치할 필요가 있다.

(3) 기타형

수문형, 사이편 등에서는 슈트형 방법을 응용하여 중심선 측량을 실시하며 특수형으로 나팔꽃형 (Morning glory 형)에서는 가배수 터널을 이용하는 방법 등을 결정하여 중심선 측량을 실시한다. 이상 중심선 설정이 완료되면 시점(A항 지점)의 좌표와 방위각을 측정함으로써 중심선 측량이 종료된다.

나) 종단측량

중심선 측량이 끝나면 이어서 중심선에 대한 종단측량을 실시한다. 종단측량은 20 m 체인으로 한다.

① 측구식 물넘이는 월류부 시점부터 시작하여 감세부를 지나 하천 합류부까지 중심선을 따라 연속하여 측량하며 측점마다 측점번호를 표시한 C항목을 매설하고 지반표고를 측정한다. 이때에도 지표면의 고저 기복이 심하거나 지질변동 등 필요한 경우에는 플러스 측점을 두고 지반표고를 측정한다.

② 슈트식 물넘이에서는 월류부 시점부터 종점까지의 중심선에 대한 종단측량을 실시함으로써 월류부 종단측량을 마치고, 다시 월류부 중심선 중앙부에 설치한 조절부 시점으로부터 시작하여 조절부가 끝나는 점(급류부 시점)을 지나 급류부, 감세공이 끝나는 점, 그리고 하류하천 합류점까지 이어서 종단측량을 실시함으로써 완료한다.

③ 기타 수문형 물넘이, 사이편형 물넘이 등은 슈트식 물넘이 종단 측량 방법으로 수문부의 종단측량을 먼저하고 조절부, 급류부 및 감세공, 하류하천 합류점까지의 중심선에 대한 종단측량을 이어서 실시한다.

수문형 또는 사이편형 물넘이의 경우 수문부 또는 사이편부의 길이가 1. 체인(20 m)내외로 작을 경우 수문부 또는 사이편부의 종단측량은 생략하고 지형측량 결과를 이용하여 설계하기로 하고 조절부, 급류부, 감세부, 연결부로

이어지는 1개노선의 종단측량만을 실시할 수도 있다.

나팔꽃형 물넘이의 경우는 댐공사를 위하여 설치한 가배수 터널을 이용하여 홍수를 배제할 것인가 별도의 홍수배제 터널(또는 암거)을 뚫을 것인가를 결정하여 나팔꽃 월류부 원의 중심선에서부터 터널입구까지 연결만 하면 되므로 별도의 중심선 측량이나 종단측량을 실시하지 않고 지형평면도 상에서 나팔원의 중심 위치를 정하여 설계하는 방법을 채택한다. 별도의 홍수배제 터널을 설치할 경우 (가배수 터널을 취수시설로 활용하는 경우)에는 월류 원의 중심점을 설치하고 이 점을 신규터널 입구로 하여 신규터널 구간을 결정한 다음 상류하천과 터널 입구를 연결하고, 터널출구와 하류하천을 연결하는 중심선을 설정한 다음 이 중심선에 대한 종단측량을 실시한다.

5) 취수시설 측량

취수시설은 저수된 물을 취수하는 사통 또는 취수탑과 취수한 물을 댐(제당) 밖으로 내보내는 복통으로 구성되며, 취수시설의 위치는 지형조건, 기초지반 조건, 사수위, 유지관리 도로조건, 취수된 물의 공급 루트(route) 등을 고려하여 결정하며 취수부의 형식을 선정하고 도수부인 복통을 설치할 것인가 또는 가배수터널을 이용하여 도수할 것인가를 정한 후 결정내용에 따라 취수시설 측량을 해야 한다.

가) 중심선측량

댐의 시점 또는 종점(우안 또는 좌안) 부근의 사수위보다 조금 낮은 표고의 댐내측 비탈끝과 산의 비탈이 만나는 점을 찾아 B항을 매설하여 복통시점을 정하고 같은 표고의 댐외측 비탈끝과 산비탈이 만나는 점을 찾아 복통종점을 정함으로써 복통의 길이를 최소화하고, 사통으로 할 경우는 산측의 지반과 경사 등 여건이 양호할 경우는 복통 중심선과 직각방향의 산측 홍수면보다 1m(파랑고+여유고) 정도 높은 표고점을 찾아 사통시점을 정한다.

산측 여건이 사통을 설치할 수 없는 경우에는 복통방향의 댐 비탈면에 사통을 설치하도록 계획한다. 취수탑으로 할 경우는 복통시점에 취수탑을 설치하게 되므로 별도 중심선 측량을 하지 않는다.

그러나 가배수터널을 이용하여 도수할 경우도 있고, 복통을 통하여 댐 공사 기간중의 하천수를 배제하는 경우(가배수 터널을 설치하지 않는 경우)도 있으므로 댐의 전체적인 계획을 검토하여 취수계획을 수립하고 그에 따라 측량을 해야 한다.

나) 종단측량

중심선 측량이 완료되면 이어서 종단측량을 실시한다. 사통이 산측으로 설

치될 경우 사통 종단측량을 하고, 복통 종단측량을 20 m 체인으로 측량한다. 사통이 댐 경사면에 설치될 경우 사통종단 측량은 하지 않는다.

6) 내용적 측량 및 제당부근 지형측량

내용적 측량을 하기 전에 내용적도를 지적도와 같은 축척(통상 1/1,200, 지적도가 1/1,000일 경우는 1/1,000)으로 작성한다. 내용적도는 용지도(용지매수도)로도 사용됨으로 지적도와 같은 축척으로 지적, 지번, 지목의 누락됨이 없이 기재되어야 하며, 또한 댐계획 평면도로도 사용되므로 댐하류와 저수역 상류까지 여유있게 작성하여 댐의 각종시설과 이설 및 진입도로 노선 등이 표시될 수 있도록 작성한다. 내용적 도면이 작성되면 내용적 측량을 실시하고 제당부근에 대한 지형측량을 실시하여 결과를 내용적도에 기입하고 1 m 간격의 등고선을 표기한다.

7) 진입도로 및 이설도로 측량

댐 건설에 따른 진입도로 및 이설도로 측량은 노선선정 측량 → 평면선형 측량 → 중심선측량 → 종단횡단측량 → 도로 주요구조물 부근 지형측량 순으로 진행되며 기본조사에서는 노선선정 측량을 실시한다. 노선선정 측량은 ① 도상계획(예정지 조사보고서)에 대하여 정밀한 답사와 수준측량을 병행하여 노선을 선정한다. ② 평면 굴곡부분에서는 I.P 점을 찾아 B항목을 매설하여 표시한다. ③ 500 ~ 1,000 m 간격으로 찾기 쉽고 이용하기 편리한 지점에 가 BM을 설치한다.

8) 가배수로 측량

가배수로는 댐건설기간중 유역으로부터 유하하는 물을 배제하기 위한 임시수로이며, 댐(제당) 시공에 있어 일정구간을 남겨두었다가 최종체절하는 공법을 채택할 시에는 체절구간에 가배수로를 설치하게 되나 댐체 시공에 부실우려가 있으므로 현재는 거의 사용되지 않는 공법이므로 개수로 형태의 가배수로를 계획할 수는 없으며 취수시설에서 복통을 설치할 경우에는 복통을 가배수로로 이용할 수 있고, 그렇지 않을 경우에는 가배수터널(bypass tunnel)을 설치하여 배제하게 된다.

가) 복통을 이용할 시의 가배수로 측량

이 경우 복통이 이미 설치되어 있으므로 상류 하천 중심부에서 복통 유입구까지의 유도수로와 복통 유출구로부터 하류하천 접속지점까지 방류수로의 노

선선정 측량을 한다.

나) 바이패스터널(bypass tunnel)을 계획할 시의 가배수로 측량

바이패스터널의 활용계획과 상류하천 바닥표고, 그리고 가제당(coffer dam)을 검토하고 지형 및 지질조건을 고려하여 가배수터널의 유입구와 유출구를 정한다. 가배수 터널은 직선 (유입구와 유출구의 최단거리)으로 함이 가장 바람직하나 지형상 직선으로 할 수 없는 경우에는 부득이 곡선을 주게되는데 이때 댐 중심선과 가배수터널이 교차하는 부분에서 댐 최종 터파기선과 터널 굴착단면과의 거리가 최소한 터널지름의 3배 이상 되도록 충분한 거리를 확보하여 교차되도록 하고 곡선반경은 터널지름의 10배 이상 되도록 I.P 점을 선정하여 터널중심선을 결정하고 댐 내측 비탈 끝에서 상당한 거리의 상류하천 중심에서 터널 유입구까지의 유도수로 중심선 측량을 실시하고 터널 유출구로부터 하류하천 중심까지의 방류수로 중심선 측량을 실시한다.

라. 지질조사

지질조사는 지표지질조사와 탄성파 탐사, 전기탐사 등 물리탐사 및 시추조사를 실시하고 현장 투수시험, 표준관입시험, 불교란시료 실내시험을 실시하여 지질 구조와 분포, 층적층 두께와 성질, 기반암 종류와 풍화의 정도, 파쇄대 유무, 층리, 엽리, 절리 등과 공학적 성질을 파악 규명하여 댐의 안전성을 검토하고 지내력과 투수성을 분석하여 댐 기초처리계획을 수립한다.

지질조사는 전문분야별 조사계획에 따라 조사되며, 댐 터 조사와 댐 주변조사로 구분되고 토목조사와 같이 단계별로 실시한다. 또한 지질조사는 지표지질조사, 지하지질조사 및 시험조사로 나눌 수 있으며, 지반과 지층의 구조와 제반 성질을 파악하여 댐 건설 계획 및 설계에 필요한 지질공학적인 자료를 얻기 위하여 조사한다.

조사는 자료수집 및 검토와 현지조사 준비, 현지답사 후 현지조사 작업 실시계획을 수립한다. 실시계획에 따라 지표지질조사, 지하지질조사 및 시험조사를 하고 채취한 시료로 실내시험을 실시하여 보고서를 작성하고 기초처리계획 및 설계를 한다.

1) 자료수집 및 검토

가) 지형도 및 항공사진 : 지형파악, 지질분포 및 지질구조의 추정

나) 지질도 : 암석 및 지질구조 파악, 투수성 지층의 분포, 기초지반의 강

도 등 파악

다) 토양도 : 토층의 두께, 토질재료의 성질 등 추정

라) 단층분포도 : 단층의 유무파악

2) 현장조사 준비

지질전문분야 조사팀이 편성되면 자료를 수집하고 현지조사를 실시한다.

가) 조사팀원의 편성 : 조사팀원을 편성하여 조사준비를 착수한다.

나) 자료수집 검토 : 1)항 참조

다) 현장조사 장비의 인수점검 : 물리탐사(탄성과 탐사장비, 전기탐사장비), 시추조사 장비 및 부속기자재를 인수하여 고장유무 등 사용가능여부를 확인

라) 조사장비 및 부속기자재의 운반계획 수립 운반

마) 조사비 수령 및 집행계획 수립

바) 기타 필요한 사항 준비

사) 현장 조사준비 : 관련기관 방문 조사신고 및 협조요청, 조사인부 확보

3) 현지답사

댐 터 및 댐 터 인근, 저수역, 유역에 대하여 가능한 한 광범위하게 답사하여 필요한 사항을 조사한다.

가) 답사지역에 대한 지형파악 및 지표지질조사

나) 산림, 경작지, 하천상황, 지질구조, 노두 등 조사

다) 지하수 상황, 지하수 용출 장소와 개소수, 용출 원인 조사 등

라) 지하지질 조사방법별 조사위치 선정

마) 지질조사용 기자재 운반을 위한 도로 상황 조사 등

4) 현장조사작업 계획 수립

지질분야 조사계획과 답사결과를 토대로 현지조사 작업 실시계획을 날자별로 수립한다. 조사작업 실시계획은 누가, 어디에서, 어떤 조사를, 어떤 장비를 가지고 얼마만큼 조사한다는 것을 계획하며 동시에 작업인부 배치, 장비를 포함한 기자재 사용계획, 기자재 운반계획 등 상세한 계획을 수립하고 이 계획에 따라 현지조사 작업을 실시하며 타 분야 조사반 특히 토목분야의 총괄, 구조계획 설계팀과의 협조체제를 긴밀히 하고 댐, 물넘이 등의 중심선 위치를 정확히 파악하고 특히 시추공의 위치는 토목조사팀과 협의 결정하는 것이 바람직하다.

5) 지표지질조사

예정지 조사시에 수집한 자료와 현지답사 결과를 검토 분석하여 계획하고 있는 댐 터와 비교 검토안의 댐 터에 대하여 지표지질조사를 실시한다.

가) 조사범위

댐 터의 조사범위는 댐의 형식, 규모, 지형, 지질조건 등에 따라 일률적으로 정하기는 어려우나 대략 다음과 같이 정하여 조사한다. 그림에서와 같이 댐 계획선을 지형도에 표시하고, 댐 중심선을 댐 시점과 종점에서 각각 댐 높이의 2배(2H) 거리만큼 연장하고, 연장된 양끝에서 댐 중심선에 수직이 되도록 두 개의 선을 긋고 그 선을 댐의 상류와 하류방향으로 댐 높이의 4배(4H)가 되도록 각각 연장하고 양안을 연결하여 얻어지는 사각형내의 지역을 조사구역으로 한다.

댐 예정지의 기초지반이 석회암이나 함탄층(탄질셰일 포함) 또는 현무암 등의 특수한 지질조건인 경우에는 지하에 존재할 수 있는 공동대, 파쇄대, 단층, 절리 등 구조대의 발달상태를 파악하기 위해서는 댐축의 시점과 종점에서 댐 높이가 4배(4H) 거리만큼 연장하고 연장된 양끝에서 댐 상하류 방향으로 8배(8H)가 되도록 연장한 범위까지 조사구역으로 한다.

나) 조사방법 및 순서

(1) 지표지질 조사는 지질전문 기술자가 지표를 답사하고 노두를 관찰함으로써 지하의 지질상황을 추정하여 지질도를 작성하는 작업이다. 지표지질 조사는 모든 지질조사의 기본이 되며 물리탐사, 시추조사와 같은 지하지질조사, 그리고 지반에 대한 제 시험결과를 해석하고 평가하는데 중요한 자료가 된다.

(2) 댐터의 지표지질 조사순서는 일반적으로 기존 문헌자료의 검토, 노두와 지형의 관찰 및 기록, 기본도면의 작성, 지질구분의 검토, 지질도 설명서 작성 등이다.

이와 같은 일련의 작업은 토목분야의 지식이 많은 지질기술자(토목지질 기술자)가 해야 하며, 이 조사를 다른 사람에게 의뢰할 경우에는 조사의 목적과 방침을 명확히 알려주어 계획 및 설계목적에 맞는 조사를 실시해야 한다. 즉 조사목적이 댐의 기본계획 수립에 있으므로 지반 지지력 및 강도와 투수성을 주안점으로 조사해야 한다.

다) 조사내용

지표지질 조사시의 주요 관찰내용은 표 3.2.4와 같다. 관찰 결과는 지형도에 기재하고 기본도면을 작성한다. 기본도면에는 조사범위내의 암석의 종류, 지층면의 주향(走向)경사, 암석의 균열과 절리의 방향, 폭, 빈도, 단층의 폭, 방향 등을 기입한다. 여기에는 댐터 충전층의 두께와 성질, 기반암의 풍화정도 및 깊이, 파쇄대의 유무, 층리, 엽리, 절리 등 구조물에 영향을 줄 수 있는 제반사항을 기록한다. 조사결과와 정리는 세부설계의 작성요령에 준한다.

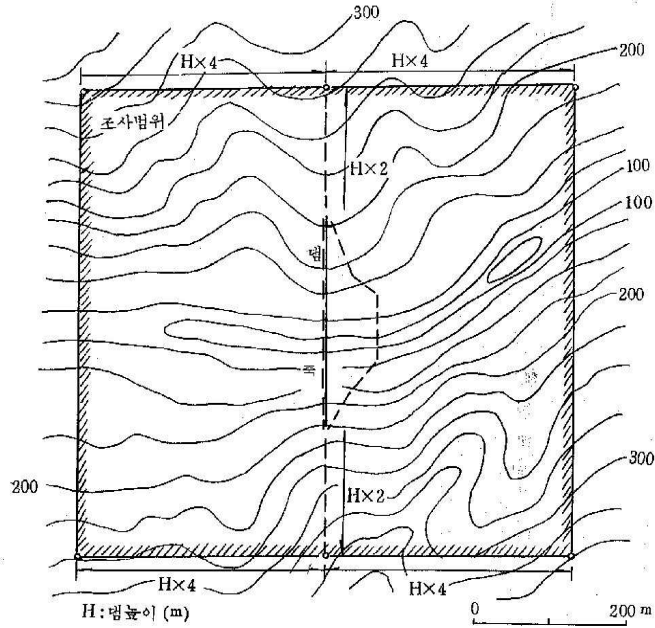


그림 3.2.3 지질조사 범위 작성도

6) 지하지질조사

댐 기초지반의 지하지질 조사는 물리탐사와 시추조사로 조사하는 것이 일반적인 방법이며, 조사위치와 조사량에 대해서는 댐의 형식, 규모, 기초지질 상태에 따라 결정한다.

가) 물리탐사

물리탐사는 지반의 물리적 성질(탄성파의 전파속도, 전기비저항, 밀도, 자기적 성질, 방사능 등)의 차를 측정하여 지반을 분류하고 지하지질 구조를 파악하는 방법이며, 이용하는 물리적 성질의 종류에 따라 탄성파 탐사, 전기탐사, 중력탐사, 자기탐사, 방사능 탐사 등으로 나눌 수 있다.

최근 인공위성 사진의 관독과 분석으로 지반을 분류하고 지하지질 구조를 파악하기도 하지만 아직까지 기술이 넓게 보급되어 있지 않으며 정밀도가 높지 않다. 댐터 지하지질조사에 흔히 이용되고 있는 물리탐사는 시추조사의 보완목적으로 조사한다. 즉, 시간, 비용과 노력이 많이 투입되는 시추조사를 무제한 할 수 없으므로 일정간격 (30~50 m 또는 그 이상)으로 시추조사를 하여 점적인 지질구조를 명확히 파악하고 물리탐사를 병행하여 실시함으로써 점적인 시추조사 결과를 선으로 연결할 수 있기 때문에 전체적인 지질상태를 파악하는데 대단히 유용하다.

표 3.2.3 조사단계별 지질조사 내용

구분	예정지 조사	기본조사	세부 설계 조사
댐터조사	<ul style="list-style-type: none"> ○자료수집검토 (지형도, 지질도, 토양도, 단층 분포도 등) ○인공위성자료 - 지질구조선 추출 ○ 현장답사 <ul style="list-style-type: none"> - 지질분포, 구조 등 파악 - 기반강도, 암질조사 - 절리조사, 투수성추정 -단층의 유무, 기타 석회암등 댐 건설 유해 암층 또는 암맥 유무 등 추정 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지표지질조사 <ul style="list-style-type: none"> -지형, 지질층서, 지질구조, 암질조사 -산사태, 붕괴위험지, 투수성지반의 유무 등 조사 -댐부지의 토층성질과 깊이, 기반암의 종류와 풍화정도 등 조사 -단층, 파쇄대의 유무조사와 위치추정 ○ 지하지질조사 <ul style="list-style-type: none"> -탄성과 탐사:댐중심선 방향, 하천유선방향, 물넘이의 중심선 방향, 취수시설 및 가배수터널의 중심선방향으로 배열 탐사 -전기탐사 : 하상퇴적층 및 풍화대의 분포상황 및 두께 -시추조사 : 댐중심선, 물넘이, 취수시설, 가배수터널에 필요 최소공을 조사 ○ 탄성과/전기비저항 토모그래피 <ul style="list-style-type: none"> -시추조사공을 활용하여 토모그래피를 실시하여 지하지질구조 파악 ○ 물리검층 <ul style="list-style-type: none"> - 시추공영상 촬영 - 시추조사공을 활용하여 공내물리검층을 실시하여 상세한 지하지질구조 파악 ○ 시험조사 <ul style="list-style-type: none"> - 지반시험:표준관입시험, 변형 및 전단시험 -현장투수시험:변수위법 또는 압력식 주수법 -불교란 시료채취 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지표지질조사 <ul style="list-style-type: none"> - 기본조사 내용을 점검, 확인, 보완조사 ○ 지하지질조사 <ul style="list-style-type: none"> - 물리탐사 : 기본조사 시 실시한 탄성과탐사, 전기탐사 결과를 확인 점검조사, 필요시 보완, 추가조사 - 시추조사 : 기본조사 결과를 이용하고 필요시 추가공 조사 ○ 시험조사 <ul style="list-style-type: none"> - 기본조사 결과를 이용 - 필요시 확인점검 보완조사
댐주변조사	<ul style="list-style-type: none"> ○ 댐터와 같이 조사 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 지표 지질조사 <ul style="list-style-type: none"> - 댐터와 같이 조사 ○ 누수가능성 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 현지조사에 의한 지질 및 구조를 파악하여 누수가능성을 판단 ○ 사면의 활동가능성 검토 <ul style="list-style-type: none"> - 현지조사에 의해 활동가능성을 검토하여 자료로 활용 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 기본조사 내용확인 점검조사

표 3.2.4 지표 지질조사시의 주요 관찰 사항

노 두	지층과 암석의 종류와 질	암의 종류, 암색, 경도, 풍화암질의 정도와 두께, 균열의 방향, 빈도, 단층과 파쇄대의 방향과 규모, 주향과 경사, 기타사항
	타 종류의 지층, 암석과의 관계	정합(整合), 부정합, 단층, 습곡, 점이(漸移) 관계 및 다른 암종과의 경계면의 방향과 상황, 기타
	기타 사항	표토층의 종류와 두께, 용출수의 양, 수온, 수질, 기타사항
지 형	하천, 계곡 형상	하천, 계곡의 폭, 하천경사, 산복경사
	평탄지	준평원, 대지, 단구 등
	특수지형	카르스트, 산사태 붕괴, 단층절벽, 단층곡, 기타

(1) 탄성과 탐사

시추조사와 같이 직접 지하지질을 관찰할 수는 없으나 탄성파의 전파속도로 부터 표토 두께, 균열과 풍화의 정도, 단층 유무를 알 수 있으며 암층의 동탄성 계수를 추정할 수 있어 지반강도를 조사목적에 따라 수치화 할 수 있다. 그러나 이 방법은 물리적 계산에 의하여 간접적으로 지질구조를 추정하는 것이어서 미세한 부분에 대한 판정에는 곤란한 점이 있으므로 타방법과 조합하여 판단할 경우에는 대단히 유용하며 광범위한 구역의 지질상황을 비교적 단시일내에 경제적으로 파악할 수 있어 초기지질 조사에 적합한 방법이다.

탄성파 탐사법의 원리는 지질의 종류, 풍화의 정도 등에 따라 지반의 동탄성적 성질과 탄성파의 전파속도가 각각 다르므로 화약 발파 등으로 탄성파를 발생시켜 그 도달시간을 측정해서 탄성파 속도에 반영되는 지하구조를 추정하는 것이다.

(가) 굴절법

탄성파에는 종파(P파), 횡파(S파) 및 표면파 등이 있지만 토목지질 조사에서는 주로 종파에 의한 굴절법이 사용된다. P파에 의한 굴절법으로 댐 터 지질 조사를 계획할 때에는 다음 사항에 유의해야 한다.

① 측선의 배치는 조사목적에 따라 다르나 가능한 한 지형이 평탄하여 작업이 쉬운 장소를 선정한다.

② 탐사심도는 댐높이의 1~2배 이상으로 하고 측선의 길이는 탐사심도의 3~4배 이상으로 한다. 평면적으로는 조사범위 바깥쪽으로 탐사심도의 1~

2배정도 넓게 한다.

③ 댐지점에서의 수진(受振, geophone) 간격은 5 m를 표준으로 한다.

④ 폭파는 수굴(手掘), 핸드오거(hand auger)로 판 구멍에서 행한다.

⑤ 탐사는 시추조사와 연계하여 계획하고 측선의 교점에는 시추공을 배치한다.

P파에 의한 굴절법으로 행한 탄성과 탐사결과를 해석하고 평가할 때의 유의 사항은 다음과 같다.

① 지형변화가 심한 V자형 계곡과 같은 지형에서는 지하심부의 확실한 탄성과 속도값은 구하기 어렵고 해석도 곤란하다. 시추공 등을 이용한 공내검층 자료와 직접파 측정 자료 등으로 보정할 필요가 있다.

② 속도차가 작은 속도층의 경계는 해석하기 어렵고 정밀도가 나쁘게 된다. 상위속도층보다 하위속도층의 종파속도가 낮은 경우 혹은 저속도층이 사이에 끼어 있을 경우에는 굴절법 원리로 그 층을 탐사하는 것은 불가능하다.

③ 기반 중의 저속도대는 파쇄대로 표현되는 경우가 많으나 파쇄대가 아닌 경우에도 기반지형의 영향 등으로 저속도대로 검출되는 수가 많아 일반적으로 저속도대는 실제의 파쇄대보다 많이 나타난다.

④ 측선이 비교적 짧은 경우에는 기반 심도는 약간 깊게, 속도는 약간 작게 나타나는 경향이 있다.

(나) 직접파법

이 조사는 설계에 필요한 암반의 탄성계수를 구하기 위한 것으로서 댐터에 굴착한 횡갱의 갱내, 갱문, 또는 시추공의 공내, 공간에서 발진(發振)과 수진을 하여 지반의 종파속도를 측정하는 방법이다. 이 방법으로 조사계획을 수립할 때는 다음 사항을 유의해야 한다.

① 수진점 간격을 2~5 m로 한다.

② 측정하는 횡갱 또는 시추공간의 거리는 15~50 m로 한다.

③ 조사갱은 방안(方眼) 조직으로 적당한 표고간격을 두고 굴착하는 것이 바람직하며 그 위치를 정확히 측량한다.

(2) 전기탐사법

전기탐사법에는 비저항법, 자연전위법, 전자법 등이 있으며, 토목지질분야에서 전탐이라고 부르는 것은 비저항법을 일컫는 것이다. 지반의 암질과 공극의 다소, 함수상태에 따라 전기저항이 다르게 나타나는 것을 이용하여 지하지질을 추정하는 방법으로 댐터 하상퇴적층의 두께, 풍화대의 두께를 추정하는데 유효하다. 이 조사법에서 기초지반의 조건이 좋으면 심도 200 m 전후까지 지

반의 전기 비저항치가 측정되며 지하지질이 추정된다. 비용 또한 시굴조사나 탄성과 조사에 비하여 매우 적게드는 이점이 있으나 다음과 같은 조건의 경우에만 유효하며 이같은 조건이 만족되지 않을 경우에는 해석이 어렵고 해석된 것이라도 오차가 크다.

- ① 검출하고자 하는 2층간 비저항치의 차가 크다.
- ② 측선 전개구간의 지형이 평탄하다.
- ③ 검출하고자 하는 지층 경계면의凹凸이 적다.
- ④ 지층구조가 단순하고 지층경계가 적다.
- ⑤ 부근의 지질층서가 비교적 잘 알려져 있다.

댐터 기본조사에는 주로 쌍극자배열 전기 비저항탐사법을 적용하는데 댐축 방향으로 3개 측선 이상, 하천방향으로 3개 측선 이상을 조사한다.

(3) 토모그래피 또는 공내물리검층

댐이 높거나 특수한 지질조건인 경우에는 시추조사공을 활용한 토모그래피 또는 물리검층을 실시하여 공동대 등의 주요한 지질구조를 상세하게 파악한다. 이 조사에서 얻은 자료는 현장투수시험자료, 시추코어의 상태와 비교검토하면 그라우팅 설계자료 즉, 주입심도, 주입재료결정 등에 대단히 유용하게 활용된다.

나) 시추조사(Boring)

시추조사는 지하 깊은 곳의 지질상태를 신속하고 정확하게 파악할 수 있고 실내시험용 시료를 채취함과 동시에 공내에서 지지력 시험, 투수시험 등 여러 종류의 필요한 시험을 할 수 있으므로 댐 건설을 위한 지하지질 조사법으로서 가장 널리 이용되고 있다.

댐 건설을 위한 기본조사는 사업의 타당성, 개략사업비 추정 등을 위한 기초자료 제공이 목적이므로 조사량은 최소한으로 한다. 따라서 시추조사는 댐 중심선을 따라 양안 경사부에 각 1~2공을 실시하여야 하며 1공 이상은 경사 보링을 한다. 현 하상을 포함한 평탄부에는 50 m 간격으로 최소 2공 이상을 실시하는 것으로 계획한다. 물넘이 자리에는 50 m 기준으로 2공을, 방수로로는 100 m 기준으로 급류부와 방류부에 2공을 계획하며 방수로에서는 50 m 연장마다 1공을 추가한다. 이외에는 통관 유입·유출구에 각 2공, 터널의 유입·유출구에 각 2공을 실시토록 계획한다. 특수한 지질분포지역에서는 댐터 평탄부에서는 20~30 m 간격으로 1공씩 시추하도록 계획한다.

그러나 하상 또는 양안 경사면, 물넘이, 취수시설 시추 예정지점 인근에 양질의 노두가 있어 지질상태를 바로 판단할 수 있는 경우에는 시추공수를 대폭

감소하여 조사할 수 있다. 시추조사 결과를 지표지질조사 결과 및 물리탐사 결과와 조합하여 종합적으로 분석하면 댐 터와 주변의 지질상태를 거의 정확하게 판단할 수 있다. 이러한 시추조사에는 연속적인 코어채취를 위해서 회전식 시추기를 사용해야 한다.

시추조사시 중점조사 항목은 ① 충적층(토사층) 및 풍화대의 심도, ② 암의 종류, 강도, 신선도, ③ 구조대(단층, 균열, 파쇄대 등)의 발달유무, ④ 상이한 지층의 접촉 경계면의 형태 ⑤ 지층중에 발달하는 절리대의 규모, 방향, 점토의 협재유무, ⑥ 충적층(풍화대 포함), 암반의 투수성 및 지지력 등이다.

이외에도 시추조사로부터 구할 수 있는 지하지질에 관한 자료는 많으며 이중 중요한 것을 정리하면 표 3.2.5와 같다.

댐 터의 시추조사 과정에서 유의할 사항은 다음과 같다.

(1) 시추조사 계획에서의 유의사항

① 시추조사공의 수량과 위치는 조사대상 지역의 상황에 따라 정한다.

② 찬공 구경은 56 mm 이상을 표준으로 하며, 공내검층 즉 TV검층, 시추공영상촬영 등을 계획할 경우에는 66 mm 이상, 암반의 열화부(劣化部)나 미고결부의 시료채취율을 높이고자 할 경우에는 구경을 더욱 크게 해야 한다.

③ 조사심도는 댐 기초지반에서는 $2/3H$ (H = 댐높이)를 표준으로 하고, 암반을 확인하기 위한 심도는 탄성과 탐사결과 등을 고려하여 결정하며 원칙적으로 5 m 이상으로 한다.

(2) 코어채취상의 유의사항

① 코어의 채취율은 100 %를 목표로 한다.

② 채취율이 불량한 곳은 이중코어 튜브나 삼중코어 튜브를 사용하여 채취율을 높이도록 노력해야 한다.

③ 찬공방향이 절리나 균열, 파쇄대의 발달 방향에 평행할수록 채취율이 떨어짐으로 굴착방향은 지질구조에 직교하는 방향으로 함이 바람직하다.

④ 찬공중에 발생한 사항은 대소를 막론하고 정확히 기록해야 한다.

(3) 코어의 정리와 기록

채취한 코어는 코어상자에 넣어 보존한다. 코어상자는 장변 내측길이를 1 m로 하고 5 m의 코어를 넣을 수 있도록 칸을 만든다. 코어상자에는 채취심도를 명기하고 코어가 채취되지 않은 부분이나 시험용 시료로 선별되어 빠진 부분은 그 길이만큼 봉상의 재료로 채우고 이유를 명기한다. 시료가 보관된 각 시료상자마다 칼라사진을 찍고 실제크기의 1/10 이상으로 인화하여 보존한다. 코어의 감정은 지질기술자가 하며, 감정결과를 소정 양식의 시추주상도에

기재한다. 이때 기재해야 할 기본적인 사항은 다음과 같다.

① 암석명, 퇴적물명을 기록하고 또한 규정된 부호로 표시한다.

② 암색은 코어의 습윤상태의 것을 기재한다.

③ 풍화의 정도, 경도(硬度), 균열 등 암의 공학적 성질에 관한 것을 기록한다. 특히 균열에 대하여는性状(性狀)을 가능한 한 상세히 기록한다.

④ 굴진속도, 급배수상태, 채취율, 사용비트, 지하수위, 용출수(湧出水), 일수(逸水)가 있는 장소와 수량 등 작업상황을 정확하게 기입한다. 특히 슬라임이 채취된 부분은 이유를 상세히 기록한다.

다) 시험조사

(1) 현장 투수시험

현장 투수시험은 댐기초지반의 투수성을 평가하여 지수공(止水工, 주로 그라우팅)의 계획, 시공 및 결과를 판단하기 위하여 실시한다. 시험방법은 여러 가지가 있으나 미고결 지층에는 변수위시험법 또는 패커법을 적용하고 암반층에 대해서는 싱글패커를 사용한 루전시험을 주로 적용한다(4.5.6절 참고). 투수시험의 결과는 댐기초의 투수성 단면도로 작성하여 그라우팅 설계와 물푸기 계획의 기초자료로 활용한다.

(2) 표준 관입시험

(가) 댐터의 지지력을 파악하기 위하여 실시하며 암반이외의 점토층, 실트층, 사층, 풍화토에 대하여 실시한다.

(나) 표준관입시험은 KSF-2318 규정에 따라 63.5 kg의 Drive hammer를 75 cm 높이에서 자유 낙하시켜 표준관입용 샘플러(split-barrel sampler)가 30 cm 관입되는데 소요되는 타격회수를 측정하여 N값을 산출한다.

(다) 시험간격을 동일지층이 계속될 때는 2~3 m 간격으로, 불균일 지층일 때는 1~2 m 간격으로 실시한다.

(라) 시험측정은 예비타 15 cm를 삽입한 후 본타 30 cm를 타입시키는 타격회수(N 치)를 기록하며, N 치가 50타를 초과할 때는 50회 타격시의 타입심도를 기록한다.

(3) 지반시험

지반시험은 지반의 변형특성, 즉 탄성계수(변형계수)를 구하는 변형시험(잭시험, 공내재하시험)이 있고, 댐 기초지반의 지내력을 구하기 위하여 원위치 전단시험이 있으나 모두 균질등방(均質等方) 암반인 경우의 탄성 해석을 이용한 것이므로 얻어진 결과는 거시적인 것이 될 수 밖에 없으며 반드시 국부적인 지반특성을 나타내는 것이 아님을 주의해야 한다.

표 3.2.5 시추조사로 부터 구할 수 있는 주요 자료

시추중	용출수, 일수(逸水), 붕괴 등의 구간과 상황, 공동발달, 암석의 경도 (사용비트 종류, 굴진율로부터), 지하수위, 가스누출, 기타
코어의 관찰	표토, 돌서렁, 피복층의 두께와 성질, 암석 종류, 암색, 경도, 풍화 정도, 균열의 발달상황, 지층경사, 단층, 파쇄대 성상, 기타
코어의 시험	암석의 강도, 물리성, 흡수성, 함수비, 기타
공내시험, 검층	N치(표준관입시험), 투수성(투수시험, 루전시험), 전기비저항, 자연전위(전기검층), 변형계수, (공내재하시험), 탄성과 속도, 암석의 경연(硬軟, 반사검층), 밀도, 고결도, 공극률(방사능 검층), 보어홀 카메라(bore hole camera), 토모그래피, 영상촬영 등으로 관찰, 기타

(가) 변형시험

① 잭시험

조사갱내의 암반면을 지압하는 방법으로 실시하는 평판재하에 의한 변형시험이다. 하중을 가하는 방법에 따라 정압력법과 정변위법으로 나누어진다. 전자는 유압잭에 의한 하중을 가소성이 큰 원형 다이어프램을 이용하여 등응력으로 분포시키고 페이스잉 모르타르(facing mortar)를 끼워 암반표면에 가하는 것이며 후자는 유압잭의 스트로크에 의한 변위가 강성이 높은 원형 강판을 매개로 하여 암반표면에 균일하게 가해지도록 한다.

② 공내 재하시험

시추공내에 압력셀(cell)을 삽입하고 내벽에 균일한 압력을 가하여 그때 공벽이 확장되는 정도로서 지반의 탄성계수를 측정하는 방법이다. 이 시험방법에는 주로 팽창계형과 잭형 2종류가 사용된다.

㉠ 팽창계형(膨脹計型)은 팽창성 자켓(jacket)속의 액체에 압력을 가하여 공벽 전주면(全周面)에 균등하게 압력을 가하는 등분포하중 방식이다.

㉡ 잭형은 보어홀 잭(bore hole jack)으로 강성 원판에 재하함에 따라 공벽의 일부에 가압하는 등 변위 방식이다.

(나) 원위치 전단시험

암반의 강도는 주로 절리나 균열 등의 수나 방향에 따라 지배되므로 암석 공시체의 시험결과가 그대로 암반의 특성을 나타내는 것은 아니다. 그러므로 암 기초지반의 지지력을 구하기 위해서는 현지에서 암반을 직접 전단하고 강도를 구하는 원위치 전단시험법이 고안되었다. 그러나 암반의 특성을 대표하

기 위해서는 시험체를 될 수 있는 한 크게 하는 것이 바람직하지만 현실적으로 어렵다. 복잡한 균열의 집합체로 이루어진 암반의 파괴현상에 대해서는 아직까지 해결해야 할 점이 많으며 파괴이론으로 확립된 것은 없다. 따라서 현재로서는 여러 가지 파괴 주응력에 대응하는 Mohr의 포락선에 근사시켜 암반의 파괴강도를 구하고 있다.

7) 실내시험 시료채취

댐 터의 지질조사시에는 댐 터 기반을 구성하고 있는 재료의 공학적 성질을 규명하기 위하여 실내시험용 시료를 채취해야 하며 층적층 및 풍화대에 대한 시료와 기반암에 대한 시료로 구분할 수 있다.

가) 층적층 및 풍화대의 실내시험용 불교란 시료채취

댐터의 기반을 형성하고 있는 층적층 및 풍화대 시료는 흙 시료가 되어 토질 및 재료조사 팀에서 채취하는 경우가 있으나 이 팀에게 특별히 댐터 토질 기반 조사업무가 부여되지 않는 한 지질조사에서 채취하는 것이 원칙이다.

(1) 시험규정(KSF2317)에 따라 구경 76 mm, 두께 1.6 mm, 길이 0.9 m 이상의 강관이나 동관 또는 스테인리스관을 사용하며 N치가 4 이하의 연약지반은 가능한한 피스톤(piston)식 샘플러(sampler)를 사용해야 한다.

(2) 채취 구간은 균일지층일 경우 3~5 m마다 1점, 불균일 지층일 경우에는 2~3 m마다 1점씩 채취한다.

(3) 채취된 시료는 통의 양쪽 입구를 5 cm정도 깊이까지 제거하고 빈공간이 없도록 파라핀으로 즉시 밀봉하고 지구명, 공번, 심도, 시료깊이, 채취일자, 시료 일련번호 등을 기록한다.

(4) 채취된 시료는 동결, 진동의 영향을 받지 않도록 스티로폴 박스, 싸개 등 특수보호장치를 하여 보관 운반해야 한다.

(5) 채취된 시료가 교란 기타 부적격 시료로 판단될 때에는 즉시 재채취해야 한다.

(6) 불교란 시료채취는 표준관입 시험과 병행하여 실시한다. (시료채취후 즉시 N치 시험을 연결시행)

나) 기반암에 대한 시료채취

(1) 암석시료는 시추조사에서 얻어진 코어 중에서 암석의 종류별로 대표성을 갖는 부분을 시료로 채취하여 시험실로 운반한다.

(2) 각각 시료에는 지구명, 공번, 심도, 채취일자 및 시료 일련번호를 기록해야 한다.

8) 댐 주변조사

댐 계획에는 댐 기초뿐만 아니라 저수지 주변의 산턱에 대해서도 조사해야 한다. 즉 저수후의 저수위 변동 또는 이설도로 사면 등의 산사태 발생과 댐 주변의 지반을 통한 누수의 가능성에 대해서 조사해야 한다. 산사태 및 붕괴의 위험이 있는 지점이나 누수가 발생할 가능성이 있는 경우에는 정밀한 지표 지질조사와 지하지질조사를 실시해야 한다. 누수의 가능성이 있는 경우에는 투수층의 성질과 규모 등을 조사하고 대책을 검토해야 한다.

마. 토양조사

조사목적에 따라 토양환경조사(지표조사), 시굴 및 시항조사(토양단면조사), 현장시험조사, 지하수위조사, 객복토원 조사 등을 실시하고, 교란 및 불교란 시료를 채취하여 실내시험 및 분석을 하도록 조치한다.

토양조사는 조사목적에 따라 개략 토양조사, 반정밀 토양조사, 정밀토양조사, 극정밀 토양조사로 구분되며, 농업용수 필요저수량 산정을 위한 댐 기본조사에서는 정밀토양조사를 실시하고, 세부설계 조사에서는 토양조사를 실시하지 않는 방법이 일반적으로 적용되며, 다만 농업용수 공급구역의 변동 및 토양조성이 극히 복잡하고 불량한 구역에 대하여는 세부설계시에 보완조사를 실시하여 세부설계에 차질 없도록 한다.

토양조사는 1/25,000 지형도를 기본도로 농촌진흥청 농업기술연구소 발행(1973) 토양조사편람(제1권, 제2권)에 준하여 실시하며 토양분류법 역시 동 연구소에서 설정한 최소 분류단위인 토양통을 적용한다. 토양조사 항목 및 조사 방법은 다음과 같다.

1) 토양환경조사(지표조사)

토양환경조사는 1/25,000 지형도를 휴대하고 농업용수 공급지역(조사지역)을 답사하여 토양유형의 분포현황을 파악하고, 고도, 지형, 경사, 토양배수상태, 모재, 식생 및 토지이용현황, 지표면의 돌, 자갈, 암반노출 상황, 침식, 염류 및 인위적인 토양변동상황 등을 조사 기록한다.

2) 토양단면 조사(시항 또는 시굴(보링)조사)

시항 및 시굴지점의 토양층위배열, 유효토심, 토색, 토성, 토양구조, 석력함량, 공극, 밀도, 점착성, 식물근의 분포상황, 토양배수 및 반층의 유무 등을 조사 기록한다.

3) 침투량 조사

가) 만수형 침투량 조사 : 원통형 시린다에 의한 감수심법으로 측정하며, 시험결과는 논 농업용수 공급량 산정에 사용된다.

나) 살수형 침투량 조사 : 살수기(sprinkler)로 용수공급후 침투량을 측정하여 침투율(infiltration ratio)을 계산하고, 이를 밭 관개용수량 산정과 공급방법 결정에 사용한다.

4) 지하수위 측정

시굴시의 오거홀(auger hole), 지하수위 측정공, 인근의 우물 또는 배수로의 수위 등을 이용하여 지하수위를 측정한다.

5) 투수시험

현장 투수시험에는 피조미터(piezometer)법, 오거홀법, 튜브(tube)법, 침투계법, 시험포장법 등이 있으며, 시험시에는 시험목적과 토양상태 등에 따라 가장 적합한 방법을 채택 시험해야 한다.

6) 객복토원 조사

토양조사 시험결과 밝혀진 토양종류와 특성에 따라 토양개량 및 관개개선을 위한 객토 및 복토원을 조사하고 객토원의 토심 및 가용토량을 확인한다.

7) 실내시험용 시료채취

토양의 이화학적 성질을 규명하기 위한 실내시험용 시료를 시험굴착 지점의 층위별 교란시료와 불교란 시료를 채취한다. 교란시료는 2 kg 정도 채취하고 불교란 시료는 코어 캔(core can)에 의해 채취한다.

바. 농업 및 사회 경제조사

지역농업의 문제점을 파악하여 개선방향을 모색하고, 댐건설사업의 필요성을 검토하여 사업계획을 수립하기 위하여 토지이용현황조사, 주요작물 및 재배관리 현황조사 및 농업경영사항을 조사하고 사업효과분석을 위하여 지역사회 일반현황조사, 농업구조상황조사, 산업경제 입지조사 및 기타 필요한 사항을 조사한다.

농업조사와 사회경제 조사는 전문분야로서 조사하는 것이 일반적이며, 이들 조사에 의한 댐 건설 효과 추정과 경제성 분석결과는 댐 건설의 타당성을 판단하는 중요한 자료가 된다.

1) 농업조사

① 토지이용 현황조사 : 일모작, 이모작, 유리하우스, 비닐하우스, 휴경지 등 면적조사

② 주요작물 및 재배관리조사 : 재배작물, 재배시기, 재배기술, 작부율, 작부동향 등

③ 농업경영상황조사 : 영농관리조직, 농기계 보유 및 이용현황, 재배작물별 수확량 및 피해량 주요작물의 생산비, 가축사육 등 농업경영 상황조사

2) 사회경제조사

① 농업구조조사 : 영농구조, 소득구조, 소비구조 등 사회경제 구조조사

② 사회경제(영농)입지조사 : 경지조건, 농업기상, 영농기술, 한·수해 등 농업피해현황 작물 생육저해요인 조사 및 분석, 토지생산력 현황 및 개량가능성 등 조사

③ 일반현황 : 행정구역별 인구, 농가호수, 인구증감 동향 등 조사

사. 기계, 전기, 건축조사

댐 계획에 소수력 발전계획이 있는 경우는 물론이고 물넘이 취수시설 등에 기계장치를 하는 경우 기계는 물론 전기공급 방안에 대한 조사와 공사계획 수립을 위한 조사가 필요하며 댐 관리자 등 건축조사도 필요하다.

현대의 댐 건설은 단순한 토목공사만으로 건설되는 예는 거의 없으며, 물넘이 취수시설의 기계장치 도입 및 조작관리의 동력화는 물론 점차 자동화관리 시스템으로 옮겨가는 추세에 있으며, 댐의 다목적 이용방안 등 다양화되고 있다. 그러므로 댐 건설 계획에 포함시켜야 할 기계, 전기, 건축, 전문분야의 계획수립을 위하여 기본조사에서부터 조사가 시행되어야 한다.

1) 기계조사

① 댐의 각종 부대시설에서 기계장치의 설치, 검토 및 계획구상 협의

② 기계장치에 대한 형식 및 규모결정

③ 표준도 작성, 개략공사량 및 개산공사비 산출

2) 전기조사

① 각종 기계시설의 동력화방안 및 전기시설계획(댐 관리 계획과 연계) 검토 및 협의 (TC/TM 및 댐거동 계측장치 연결 등)

② 전기공급방안 조사 및 전기 공사계획 수립

③ 개략물량 및 개산 공사비 산출

3) 건축조사

① 댐 관리 사무실, 관리인사택 등 건축계획 검토 및 협의조사

② 건축규모 결정 및 개산 공사비 산출

3.2.4 세부설계 조사

예정지 조사보고서와 기본조사 보고도서를 검토하여 댐 건설 계획내용을 파악하고 기본계획의 적정성 여부를 검토하여 기본계획의 부분적 변경이나 보완 및 추가계획 여부를 확인하여 세부 설계를 위한 조사계획을 수립하고 조사를 준비한다.

가. 조사준비

조사준비는 조사단계별 보고서의 검토, 조사계획서의 검토, 자료수집, 측량장비의 준비점검, 소모품 조사비 등의 확보 등 사무실에서의 준비와 현장도착 후 조사 착수전의 관련기관 방문 협조 요청에서부터 현지를 답사하여 조사팀의 운영 및 조사작업 계획을 수립하여 조사에 착수하기까지 세밀한 준비가 필요하다.

세부설계 조사준비는 기본조사준비와 대부분 동일하며 일부 다른 사항을 열거하면 다음과 같다.

(1) 세부설계 조사계획서와 기본계획도를 면밀히 검토하여 댐 건설계획의 적정성여부를 검토하고 기본계획 내용에 대하여 부분적으로 변경할 사항, 보완할 사항 및 누락사항을 파악한다.

(2) 기본조사 항목별 조사내용에 대하여 세밀히 검토하여 세부설계를 위하여 기본조사 자료를 그대로 이용할 사항, 확인 조사할 사항, 보완조사 할 사항 및 부분 조사한 내용에 대하여 추가로 조사할 사항을 분류, 발체하고, 세부설계를 위하여 꼭 필요함에도 기본조사시 조사하지 않은 사항 (세부설계 조사로 미루어 놓은 사항)을 파악한다.

(3) 예정지 조사, 기본조사시에 수집한 자료를 인수하고 세부설계를 위하여 필요한 자료를 추가로 수집한다.

(4) 기본조사 팀과의 대화의 장을 마련, 현지의 분위기를 파악하고 기본조사 과정에서 구축한 현지 지역민 및 유관기관과의 협조체제를 인수하며 조사 및 계획내용 상의 특이사항을 인수하여 현지 조사작업계획 수립에 참고, 반영

한다.

(5) 기타 필요한 사항을 준비한다.

나. 토목조사(총괄반)

세부설계 조사에서는 기본조사 내용에 대하여 확인 및 보완하는 일이 중요하며 부분적으로 세부설계에 부적정한 사항에 대하여는 신중히 검토하여 변경하고 새로운 계획을 수립하여 조사한다. 기본조사에서 조사하지 않은 사항으로 세부설계에 필요한 사항은 빠짐없이 조사한다. 토목조사는 시설물 계획설계 조사를 위시하여 유역, 하천, 수문조사, 교통운반상황 및 품셈 조사, 토질 및 재료조사, 환경조사, 용지매수 및 보상조사, 지역주민 의향조사, 기타 세부설계를 위하여 필요한 조사를 실시한다.

1) 시설물 계획 구조 설계조사

시설물 계획 구조설계조사에서는 댐 건설 세부설계를 위하여 댐 위치, 물넘이 방수로 및 취수시설 위치, 이설도로 및 진입도로 노선, 가배수시설, 공사용도로, 유지관리 도로 등 세부설계에 필요한 모든 조사를 실시해야 한다. 그러나 대부분 기본조사시에 조사한 사항이므로 가능한 한 이를 그대로 사용해야 한다. 그러나 반드시 세밀히 검토하고 확인한 후 사용해야 하며 검토결과 계획내용에 대하여 부분적으로 변경해야 할 사항은 사유를 명백히 하여 변경해야 하며 세부설계를 위하여 미흡한 사항은 보완, 추가 조사하여 완전한 자료를 세부설계에 사용해야 한다. 또한 기본조사시 조사하지 않은 사항, 누락된 사항을 빠짐없이 조사하여 세부설계에 차질이 없어야 한다.

2) 기상 및 수문조사

댐 유역 및 댐 지점의 기상 및 수문자료는 관측, 자료수집 등에 의하여 파악한다. 또한, 유역의 강우-유출 해석을 위해 유역답사, 유역 임상피복 조사, 유역토양 조사 등 수문 조사를 실시해야 한다.

기본조사단계에서부터 수문조사 계획을 수립하여 지속적인 수문관측을 실시해야 한다. 관측항목은 기상, 수위, 유량, 유사량 등이다. 기상 및 수위관측은 관측소를 설치하여 장기간 운영하게 되며 수위-유량곡선식, 유량-유사량 관계식을 작성하기 위하여 관측한다.

가) 기상 및 수문조사 사항과 조사계획

기상과 수문조사 대상은 기온, 강수량, 증발량, 풍향, 풍속, 하천유량 등이

있고, 이는 댐의 규모, 댐 설계홍수량의 결정, 제체의 설계, 물넘이 및 취수시설의 설계, 가배수로의 설계, 시공계획의 책정 등 계획, 설계, 시공, 관리 등과 깊은 관계가 있다.

일반적으로 산간 심곡부에 댐 부지를 선정할 경우에 장기간에 걸친 기상 및 수문 기록을 수집할 수 있는 경우가 극히 적고 대부분 조사가 시작되면서 소요되는 기상 및 수문관측을 개시한다. 가능한 한 장기간의 자료를 얻기 위해서는 필요한 개소에 관측소를 설치할 필요가 있다.

그러나 현지 조사기간이 짧고 이들 자료의 해석이 여의치 못할 때에는 댐터의 부근에서 비교적 장기간 관측된 기존자료의 수집에 힘써 이들과 댐터에서 직접 관측한 자료와의 상관관계, 기상, 수문 등의 특성을 면밀히 검토하고 소요되는 기상과 수문자료를 정비하도록 해야 한다. 한편 댐 설계 홍수량의 산정에 있어서는 강수량과 병행하여 하천유량의 자료를 댐 유역 밖까지 광범위하게 수집하도록 할 것이며 만일 자료가 불충분할 때에는 댐터를 중심으로 반경 50km 권역의 자료를 수집해야 한다.

신설하는 기상 및 수문 관측소는 댐의 조사계획 단계를 마친 후에도 폐소하지 말고 시공과 함께 관리 시까지 관측을 계속하도록 한다.

댐의 계획, 설계, 시공에 관하여 필요한 조사사항에 대한 기상 및 수문자료의 내용은 표 3.2.6과 같다.

나) 기상자료

기상관측소는 기상청이나 홍수통제소 등 외부기관에서 기상관측을 시행하지 않는 지역이나 특이기상이 예상되는 지점을 선택하여 관측한다. 특히 기상관측자료가 없는 섬 지역 등은 기본조사단계부터 강수량, 습도, 증발량, 온도 등의 종합기상관측소를 설치하여 장기적으로 운영하고 결과를 이용하여 사업지구의 유출량 및 필요수량 산정의 기본자료로 활용한다.

이수계획을 위한 조사에서는 여러 기상요소에 대하여 장기간의 일단위 기상자료를 수집하고, 치수계획에서는 연최대치 계열의 1시간, 1일, 2일 연속강수량 자료와 특정 강우사상에 대한 시간별 자료도 수집해야 하는 등 분석 목적에 따라 자료의 범위, 자료년수를 정하여 수집, 분석한다.

기상자료를 관측하고 있는 기관은 주무부처인 기상청과 건설교통부 관할 홍수통제소와 한국수자원공사, 지방자치단체, 농림부 계통의 농업기상관측소와 농업기반공사의 기상관측소 등이 있다.

기상청자료는 기상월보, 기상연보에 수록되는 79개소(2001 현재)와 1992년부터 설치하여 운영한 500여개소의 자동기상관측소(AWS) 자료로 구분된다.

AWS 자료는 아직 공개적으로 활용될 정도로 자료가 축적되어 있지 않다.

(1) 강수량

(가) 관측소의 설치

작은 면적의 댐 유역에서의 관측자료는 댐 유역을 포함해서 주변 50 km² 내에 적어도 3지점의 자료를 수집케 할 것이며, 100 km² 이상의 유역을 갖는 댐에서는 적어도 30 km²에 1점 이상의 비율로 자료를 수집함이 바람직하고 필요에 따라서 관측소를 설치하여 자료를 수집함이 좋다.

관측소는 댐유역내의 평균표고 부근에 1점, 나머지는 이를 둘러싼 형태로 균등히 분포하도록 배치함이 바람직하다.

(나) 관측계기

우량계는 원칙적으로 12 mm/h 이상 속도의 1일권 또는 1개월권의 자기 우량계를 사용한다. 유역면적 50 km² 이상의 댐 유역에서는 6 mm/h 이상 속도의 3개월권 자기우량계를 설치해도 좋다.

그러나 최소한 1개소에는 1일권 또는 1개월권 자기우량계를 배치하도록 해야 한다. 자기 우량계에는 전도형, 저수량, 저울형 등의 3종이 있는데 0.5 mm 전도의 전도형 자기우량계가 바람직하다. 설치하는 계측기는 기상 업무법에 의하여 검정 합격된 것이어야 한다. 또한, 겨울철에 적설이 있는 유역에서는 장래 충분한 정밀도의 자기설량계가 개발될 때까지는 히터식의 우설량계를 배치하는 것이 바람직하다.

(다) 자료의 수집정리

① 관측자료는 대장을 작성, 정리하여 두는 것으로 한다.

이 대장은 매 정시 강수량표와 특수 우량표의 2가지를 정비해야 한다. 매정시 강수량표는 유출 해석용으로 하되 유역면적이 5 km² 이하의 댐유역에서는 매 30분 우량을, 그 이상의 유역에서는 매 1시간 우량을 정리함이 좋다.

특수 우량표는 침투유출 특성의 해석에 필요하며 어느 기준치(예를 들면 80 mm/24시간)이상의 호우를 대상으로 하는 바 강우침투를 포함해서 전후 6~12시간의 단시간 우량도 정리해야 한다. 이 때 이 단위시간은 면적에 따라 다르나 5 km² 이하의 유역에서는 10분, 그 이상의 유역에서는 20분으로 한다.

이와 동시에 정시에 구애됨이 없는 1, 2, 4, 8, 24시간 우량 최대치도 병기해야 한다. 기록 대장은 조사하는 단계에서 그칠 것이 아니고 댐 완성후의 관리 단계까지 계속 보관하도록 한다.

② 조사개시후의 신설관측소의 자료는 단기간이므로 댐유역 부근의 장기간의 자료를 필요로 한다. 댐터를 중심으로 반경 50 km 권내에 있는 기상대,

시험소, 학교, 발전소, 공공기관 등의 관측실시사항을 조사하고 동성(同性) 유역권을 고려하여 주요한 자료를 수집해서 전항과 같은 방법으로 대장에 정리한다.

다) 수위자료

수문조사 계획을 수립할 경우에는 사전에 기상 및 수위의 수문관측망을 검토한 후 현장 여건을 고려하여 조사 및 관측계획을 수립한다.

수문관측을 시행하기 전에 사업지구 및 인근의 기상 및 수위관측소 현황자료를 수집한다. 자료수집을 위해서는 관측망을 선정해야 한다. 수문관측망은 하천유출량 산정 등을 위한 수문조사계획에서 어떤 기상자료가 필요한지 또는 지점의 기상자료를 사용할 것인지 인근에 위치한 여러 관측소의 면적평균 기상자료를 사용할 것인지를 결정하는데 도움을 줄 수 있다.

일반적으로 수문조사 계획에서는 관측소별 자료를 적용하는 것이 원칙이다. 대단위 지구에서는 하천유출량을 산정하기 위하여 티센망에 의한 면적평균강우량을 적용하기도 하지만 유역 물 수지 기법에 의해 유출량을 산정할 경우 지점 강우량을 이용하는 것이 바람직하다. 물론 이 경우 소유역을 적당히 분할하고 티센망을 기준으로 소유역 별로 가장 인근에 위치한 관측소의 기상자료를 적용한다.

합리적인 수문조사 계획을 수립하기 위해서는 가장 먼저 수문분석에 필요한 자료의 범위를 정하고 이용 가능한 자료를 어떻게 수집할 것인지를 결정한다. 분석목적, 범위, 시간적 제한, 공간적 범위, 시설물 설치에 따른 개략적인 위험도 평가 등을 고려하여 자료수집계획을 수립하고 수문관측 자료를 수집, 분석하여 체계적으로 정리한다.

이수계획을 수립하기 위한 수문 분석은 장기 관측된 실측자료를 근거로 분석하는 것이 가장 좋으며 사업지구 내 뿐만 아니라 인근의 강우, 수위, 유량, 유사량 등의 관측자료를 수집하여 분석에 활용해야 한다.

치수계획을 위한 자료는 관련 사업의 시간 및 공간적 범위 등을 고려하여 수집계획을 수립하고 체계적으로 정리한다. 자료수집은 이수계획에서 수집한 자료 외에도 하천 제원 및 단면 자료 등 홍수 예·경보시스템 관련자료와 사업지구 유역의 기타 치수관련 자료 등을 대상으로 하며 조사범위는 대상지구 뿐만 아니라 인근 지역의 자료도 함께 수집하여 치수계획에 활용해야 한다.

수문관측자료는 각 연도의 기상월보 및 수문연보, 특정 하천의 특정지점에 대한 유량측정보고서 등을 통하여 수집할 수 있다. 또한 기상청, 홍수통제소, 건설기술연구원을 통하여 수집할 수 있다. 그러나 국지적인 수문관측자료는

현장조사시 사업구역내 읍·면사무소나 작물시험장 등에서 자료를 수집하거나 지방자치단체에서 재난 방재용으로 운영하는 정기수위관측소나 임시관측소의 수위자료를 수집하여 활용할 수 있다.

표 3.2.6 기상 및 수문자료의 조사

목적	조사내용	비고
설계홍수량 결정 및 방류공 설계	1) 1, 2, 4시간 등 3종의 계속시간 우량의 연 최대치 2) 24시간 우량 연 최대치	1) 합리식에 의한 침투유량 추정 단, 지속시간이 짧은 부분 경우는 제외 할 것 2) 유출해석은 수문곡선(hydrograph)에 의하여 추정한다. 단, 1), 2) 모두 댐터의 자료가 단기간 이어서 부근 관측치와의 상관성을 찾을 때는 연최대치에 구애됨이 없이 대응하는 동일 자료를 조사한다.
댐 관리 등의 장기 유량추정	일 강우량, 일평균 유출량 및 계기 증발량	댐터의 일강수량 기록이 단기간이어서 부근 관측치와의 상관성을 검토할 때에는 상응하는 일강수량의 모든 자료를 조사한다.
파랑높이 추정	연최대 풍향 및 연최대 풍속	부근 관측치가 있으면 그것을 이용해도 무방하다.
시공가능일수 추정	소정의 일우량 이하의 일수 및 일평균 기온	부근 관측치가 있으면 그것을 이용해도 무방하다.

대하천 유역에는 수위관측소들이 설치되어 있어 이들 자료를 수집하여 활용하는 것이 일반적이나 사업목적상 수위관측이 꼭 필요한 곳이나 사업지구내 수위관측소가 없는 경우 수위관측소를 운영한다. 장기간의 수위관측자료는 하천유출량 산정, 유황분석, 하천유사량 산정 등의 기초자료로 이·치수계획에서 가장 중요한 자료이다.

수위관측소가 운영되고 있는 지점에서는 보통 유량, 유사량 및 수질측정을 병행하게 되며, 수위-유량곡선식 작성을 통한 유출량을 산정하며 유량-유사량 관계식을 유도하여 유출량에 따른 유사량을 모의할 수 있도록 한다. 또한 BOD, T-N, T-P, SS 등의 수질측정 자료를 부하량으로 환산하기 위해서도 수위(유량)자료가 필요하다.

이와 같은 유량, 유사량, 수질항목 등은 동시에 수위관측자료를 필요로 하기 때문에 장기유출량 산정, 유사퇴적량의 산정, 수질예측 등 장기적인 이수계획을 수립하기 위해서는 수위관측소의 운영이 필요하다.

장기 수위관측 자료가 없거나 무계측 구역의 경우 탱크모형 등에 대하여 매개변수를 보정하여 유출량을 산정하게 된다. 이 경우 평·갈수를 대상으로 단기간의 수위를 측정하여 개략적인 평·갈수위를 추정하고 평·갈수에 대한 유량측정을 실시하여 저수위에 대한 수위-유량곡선식을 작성하는데 활용한다. 홍수시에는 유량측정과 병행하며 하천의 홍수유출 수문곡선을 얻기 위하여 관측한다.

(1) 수위관측시설

수위관측시설은 보통수위표와 자기수위계로 나눌 수 있으며 단기관측시에는 보통수위표를 이용하고 대단위지구 등의 장기수문관측을 위해서는 자기수위계를 설치 운영한다. 보통수위표는 기둥을 세우고 여기에 눈금을 부착하여 고정하거나 교량의 교각 또는 교대 등에 눈금을 색인한다. 눈금판의 눈금 단위는 1cm 단위로 한다. 자기수위계는 견고한 기초위에 설치하거나 교량의 교각 등에 매달아 설치하며 자기수위계 기기가 설치되어 있는 주요부는 침수되지 않아야 한다.

(2) 관측소의 설치

유량관측소의 설치 위치는 다음과 같은 조건을 구비한 장소가 좋다.

① 댐 공사로 인한 지형의 변경, 임시 배수로 설치에 의한 유황변화의 영향을 받지 않는 범위에서 댐에 가까울 것

② 상당구간에 걸쳐 유로가 직선적이고 경사가 일정하며 하천의 단면 변화가 없는 구간일 것

③ 물넘이의 감세공 설계에 필요한 하류수위를 측정하기 좋은 지점 등

(3) 관측소 선정

수위관측소를 설치할 때에는 하상변동 등을 고려해야 하며 갈수량 산정 등을 위하여 평·갈수위를 측정할 때에는 보통 1 cm의 정확도를 필요로 한다. 수위관측소 설치는 다음과 같은 점을 고려하여 선정해야 한다.

① 현지에 관측원을 둘 때에는 관측원이 관측하기 쉬운 곳

② 감조하천구간이나 하류시설물에 의하여 배수영향이 없는 곳

③ 갈수시에 물이 마르지 않은 곳

④ 홍수시 관측소 주요시설들이 침수가 되지 않는 곳

(4) 수위표 영점표고 및 기준표고

수위계 영점표고는 최대갈수위 이하로 잡는다. 하상굴착계획 등이 있을 경우에는 그 영향을 고려해서 설치한다. 수위계 영점표고는 수위의 기준점으로 하상저하 등으로 인하여 (-)값이 나타나지 않아야 한다. 영점표고가 변경될 때에는 나중에도 확실히 알 수 있도록 변경연월일, 변경사유, 변경내역 등을 반드시 기록해야 한다. 수위표를 설치할 경우에는 이에 근접한 높은 위치에 수준점을 설치하고 그 표고를 기준으로 수위계의 영점표고를 조정해야 한다. 수준점의 표고는 기설 1, 2등 수준점을 기준으로 수준측량 요령에 의하여 수준점 표고를 결정하며 수준점에는 표석을 설치해야 한다.

(5) 수위관측

수위관측소는 관측원을 두어 관리해야 하며 하천시설기준의 관측요령에 의하여 관측을 실시하고 기록을 유지해야 한다. 보통 수위표에 의한 관측은 매일 8시 및 20시 정시에 실시한다. 또한 수위는 1 cm 단위로 측정하여 기록한다. 자기수위계에 의해 수위관측을 실시할 경우 되도록 관측원을 두어 수시로 수위계 점검을 실시하고 적기에 기록지를 교환해야 한다. 기록지 교환시에는 수위계의 시계가 정확한 시간과 일치할 수 있도록 시각을 조정하고 매정시의 보통수위표 수위를 읽어서 소정양식에 기록한다.

① 관측수위 및 추정유량의 자료는 대장을 작성하여 정리해야 하며 매정시 수위 유량표와 특수 유량표의 2가지를 준비해야 한다. 매정시 수위 유량표는 유출해석의 기초가 되는 것으로 유역면적에 따라서 5 km² 이하의 하천에서는 매 30분 수위유량, 그 이상의 유역에서는 매 1시간 수위 유량을, 어느 것이나 순간치를 정리한다. 그리고 홍수시 이외에는 위 대장 기록은 2~6시간 마다 실시하여도 무방하며 후에 장기간의 유출해석을 위한 일평균 유출량을 산출할 때에 충분한 정밀도를 갖도록 해둘 필요가 있다.

특수 유량표는 침투유출 특성을 파악하는데 이용되며 특수유량표와 같은 호우를 대상으로 하여 유역면적에 따라서 5 km² 이하의 하천에서는 10분, 그 이상의 유역 하천에서는 20분씩의 유량표를 작성해야 하되 침투유량과 발생시각을 명기해야 한다.

② 댐 예정지의 하천은 과거의 홍수 흔적, 고문서, 노인의 기억 등을 더듬어 기왕최대 홍수시의 자료를 조사하여 유량 추정치와 더불어 기록에 남겨두도록 할 필요가 있다.

③ 댐을 예정하는 하천과 기상, 지형, 표층의 조건 등이 유사한 동일 지방의 하천에 대해서 연최대 홍수의 자료를 조사하여 기록에 남겨두는 것도 필요하다.

(6) 홍수시 수위관측

기존 하천의 홍수시 수위관측 자료가 없거나 부족할 경우에 홍수위를 관측해야 하며 수문조사시 관측기간을 고려하여 조사일정에 반영한다. 특히 홍수위 관측시 기존의 수위 관측지점 상·하류에 보통 수위표를 임시로 설치하여 수위경사를 파악함으로써 측정유량을 검정하기도 한다.

치수계획을 위한 수위관측은 침투수위를 포함한 홍수수문곡선의 작성을 목적으로 하며 관측된 수위는 침수분석에서 외수위로 활용하거나 하천 및 배수로의 제방 및 수리구조물의 규모 등을 결정하는 자료로 활용된다. 특히 홍수시 침투홍수위를 관측하기 위해서는 관측시간 간격을 상류유역 유달시간(T_c)의 $1/4 \sim 1/5$ 이하가 되어야 한다. 수위관측은 유량측정과 병행하여 유역의 유출특성 분석에 이용된다.

(7) 자료의 정리

일 평균수위는 자기수위계 지점의 경우 매정시(24개) 수위의 평균값을 채택하고 보통수위표만 설치되어 있는 수위관측소에서는 8시와 20시 수위의 평균값으로 한다. 일평균 수위는 개발된 수위-유량곡선식을 이용하여 반드시 유량으로 환산하고 소정의 양식에 따라 수위와 유량을 정리 기록한다.

수위자료는 이수계획에 필요한 일평균 수위와 치수계획에 필요한 시간별 수위자료가 있으며 하천유출량 및 홍수량 산정 등에 반드시 필요한 자료이므로 유역내 및 인근의 기왕 수위관측 자료를 수집하여 활용한다.

수위관측자료는 하천에 수위관측소를 설치하여 운영하는 것, 댐과 저수지의 관리를 위하여 설치 운영하는 것으로 나눌 수 있으며, 하천에 설치하는 관측소는 감조 하천과 일반하천으로 나눌 수 있다. 수위관측은 주로 법정하천(국가하천, 지방 1급, 2급)에서 실시되고 있어 중소규모의 사업지구에서는 실측자료를 구하기 어렵지만 사업지구 부근의 수문 자료를 이용하여 인근의 홍수유출특성과 대상사업지구의 홍수유출특성을 비교하는 방안도 좋은 분석방법이다. 최근에는 행정자치부 관리의 방재용 수위관측을 지방 1급, 2급 하천에도 실시하고 있으므로 향후 자료 활용이 활발할 것으로 예상된다. 건설교통부 산하 홍수통제소 및 한국수자원공사에서는 대하천 및 댐 관리를 위하여 관측하고 있고, 지방자치단체와 공사에서 운영하는 수위관측소는 주로 치수목적로서 이수목적에 적용할 수 있을 정도의 장기적이고 신뢰성있는 자료를 구득하기는 쉽지 않다.

시간별 하천수위(홍수위) 수집시 계획지구 근처에 수위관측소가 없을 경우 배수본천 상하류 수위관측 자료를 조사하여 거리에 따른 비례분법으로 외수위

곡선을 작성한다. 실측자료가 없다면 하천조사를 통해 부등류 또는 부정류 수리계산으로 하천의 외수위를 산정해야 한다. 또한 수위자료는 한강홍수통제소에서 관할하는 수문조사연보, 하천정비기본계획보고서 등에서 수집할 수 있다.

라) 유량측정

장기수위 관측자료를 직접 이용하여 유출량을 산정할 경우 평·갈수 뿐만 아니라 홍수기 때에도 유량을 측정하여 연간 일평균수위를 일별 유출량으로 변화해야 한다. 그러므로 홍수 일주기 및 평·갈수에 대한 지속적인 수위-유량 관측으로 수위-유량곡선(rating curve)을 작성해야 한다.

수위관측과 더불어 유량측정을 실시하여 개략적인 평·갈수량을 추정하고 이수계획수립에 필요하다. 평·갈수 유량측정은 보통 1일 2회 측정하며 10회 이상 측정하여 저수위에 대한 수위-유량곡선식 작성에 적용한다. 홍수량은 매시 관측을 통하여 홍수수문곡선을 얻어야 한다. 여기서 중요한 점은 첨두홍수량을 정확히 측정해야 하므로 홍수시 민감한 수위변화에 대비하여 측정계획을 철저히 수립해야 한다.

(1) 측정계기

수위계는 자기수위계이어야 하며 여기에는 부표식과 압력식 등 여러 가지가 있다. 그러나 원리가 간단하고 고장이 적은 기종을 선택함이 좋다 기록지의 수위측척은 1/5, 용지의 기록속도는 10~18 mm/h 정도의 것을 채택한다.

한편 자동계기의 고장시 대비와 수위기록의 필요에 따른 비교 검토를 위해서 반드시 양수표(量水標)를 병설해야 한다.

유량조사는 하천 횡단방향으로 설정한 여러 개의 지점에서 유속을 측정할 것이며 이 측정치를 기초로 하여 유량을 산출하는 유속계측법에 기본을 두어야 한다. 이렇게 얻은 유량(Q)과 수위(H)와의 관계 즉, 수위유량곡선도(H-Q curve)를 만들고 수위계를 통하여 얻은 관측수위로 필요한 시점의 유량을 추정할 수 있게 된다. 유속 측정에는 유속계에 의한 방법, 부자에 의한 방법과 그 외에도 2~3가지의 방법 등이 있지만 유속계에 의한 방법이 가장 일반적이고 정밀도가 높다. 부자에 의한 방법에는 표면부자(surface float), 수중 부자(subsurface float), 쌍부자(twin float), 봉부자(tube float or rod float) 등이 있지만 바람, 물결, 소용돌이 등의 영향으로 정밀도가 낮아서 대홍수시 다른 방법을 사용하기 곤란한 경우에만 사용한다.

(2) 유량조사방법

유량 측정방법은 홍수 및 평수, 저수시 등 현장여건 및 측정목적에 따라 각각 적합한 방법을 선택하도록 한다. 유량측정 방법에는 유속계 측정법, 부자

측정법, 웨어 측정법, 경사면적법 등이 있으며 유량이 극히 적은 경우에는 bucketing 방법도 고려한다.

유속계 측정법은 수위측정에서 얻어지는 유수단면적과 평균유속 측정치를 곱하여 구하는 방법이며, 부자측정법은 해당수심에 적합한 흘수를 가지는 부자를 띄워 부자의 유하시간을 측정한 유속을 이용하여 유량을 구하는 방법이다. 그리고 웨어측정법은 weir, flume 등 유량측정용 수공구조물의 월류수심 또는 수심을 측정하여 월류량 공식으로부터 유량을 계산하는 방식이며, 경사면적법은 직접유량을 측정하지 않고 수면의 경사로부터 유량을 간접적으로 산정하는 방법이다. 각 측정방식은 현장여건 및 측정목적에 따라 적절히 선택해야 한다.

(가) 유속계 측정법

일반적으로 유속계의 유속측정 범위는 3 m/s 이하로 홍수유속이 측정범위 내일 경우에 적용이 가능하다.

(나) 부자측정법

부자에 의한 유량관측은 부자를 투하한 구간을 유하하는 시간으로 측정하고 그 구간의 평균유속을 구하는 방법이다. 이 방법은 유속계 사용이 불가능한 유속이 발생하여 유속계 측정이 곤란할 경우 사용한다. 측정구간은 부자가 유수에 의해 적절히 유하하기 위한 직선구간이 필요하며 보조구간과 측정구간으로 구분해야 한다.

(다) 웨어측정법

흐름을 막아서 그 위를 월류하는 구조물을 웨어라 하며 웨어에 의해 월류하는 흐름은 지배단면이 발생하므로 하류수위의 영향을 받지 않는 곳에 만들며 웨어의 월류수심과 유량과의 관계를 이용하여 유량을 산출한다.

(라) 경사면적법에 의한 방법

대규모 홍수가 발생하였을 때 점유속 측정법에 의한 유량측정은 실질적으로 불가능할 때가 많으므로 홍수량을 간접적으로 추정해야 하며 이때 이용할 수 있는 방법이 경사면적법이다. 즉, 하천유량을 홍수가 지나간 후 홍수흔적조사에 의해 상하류의 수위, 유수의 단면적을 결정하고 수리학적 관계를 이용하여 간접적으로 유량을 추정하는 방법이다.

(3) 하천횡단측량

유량을 측정하기 위해서는 유수에 직각 방향으로 횡단선을 설정하고 횡단측량을 실시한다. 횡단측량 결과는 수심별 단면적 등을 계산하는데 활용하여 홍수시에는 유속망을 측정함으로써 유량으로 환산할 수 있다. 특히, 횡단선은 매

년 정기적으로 횡단측량을 실시해야 하며 홍수로 인한 하상변동이 생겼다고 판단할 경우에도 그러하다.

(4) 유량측정 일반

유량측정은 평수, 저수시로 나누어 측정횟수를 고르게 해야 하며 저수시의 유량측정은 연간 36회 이상을 원칙으로 하여 가능하면 많이 측정해야 한다. 현지에서 유량측정 외에도 유출량을 산정하기 위하여 유량측정 지점의 하천 횡단면을 측량해야 한다.

유량관측은 원칙적으로 해당관측소에서 평수, 갈수시의 수위를 정확하게 산정하여 최상의 수위-유량곡선식을 작성할 수 있어야 한다. 단순히 유출량 추정모형의 검증 및 개략적인 평·갈수량 추정을 위해서는 보통 1일 2회 실시하여 총 10회 이상의 측정자료를 사용한다.

특히 홍수시 첨두유출량을 정확히 측정하기 위해 유속계와 부자에 의한 측정이 병행되는 경우가 많다. 첨두유출은 수위관측 시간간격에 대해 언급한 바와 같이 지속시간이 매우 짧기 때문에 유속계 측정시간(보통 30분에서 1시간) 내에 첨두유출이 종료되므로 신속한 대응이 중요하며 유속계에 의한 측정이 불가능한 경우 부자를 사용하여 첨두유출량을 측정해야 한다.

(5) 측정시 유의사항

(가) 하천 단면변화에 대한 주의가 필요하다.

설정된 수위-유량곡선은 지정 단면에 대해서만 유효한 것이기 때문에 단면형이 변화된 뒤에는 적용할 수가 없는 것이다. 하천단면은 매 홍수시에 크게 변화될 가능성이 있으므로 중횡단면 측량, 유량측정 등을 반복하여 크게 변화가 있게 될 경우에는 수위-유량곡선을 재설정할 필요가 있다.

(나) 일반적으로 큰 유량을 관측할 기회가 적고 이와 같은 유량이 유출될 때의 유속 추정은 오차를 수반하기 쉬우므로 수위-유량 관계의 실측에 있어서는 계획지점에 대한 소(저)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 갖추어 놓는 것이 중요하다.

(6) 자료의 정리

유량조사를 위한 관측자료의 정리와 보전은 중요하며 관측자료를 이용하여 해당 수위관측소에 대해 수위-유량곡선식을 개발하는데 이용한다.

기타 하천특성 유량, 유사량, 홍수예경보 등의 자료가 필요하며 관련기관을 방문하여 수집하거나 문헌을 통하여 수집한다.

수문분석에서 기상, 수위관측자료 외에 하천특성 및 유량, 유사량, 홍수에경보 등의 자료가 필요하다. 하천관련자료 중 유량자료는 보통 수위측정자료와 연계하여 수위-유량곡선식을 작성하여 수위를 유량으로 환산하여 하천 유출량을 산정하는데 적용하며, 유사량 자료는 유량-유사량 관계식을 만들어 저수지 등에서의 장기적인 유사유입량과 퇴적량을 산정하는데 적용할 수 있다. 수위-유량곡선은 정수 a, b, c, d, n 을 사용하여 $Q = (h \pm d)^n$ 또는 $Q = a + bh + ch^2$ 의 식으로 나타내는 형식이 종래 사용해왔지만 조도계수 및 평균유속공식을 이용하여 수위-유량 곡선을 작성하는 방법이 좋다. 또한 유량측정지점이 한 개의 곡선식에 맞지 않을 경우에는 수위의 고저에 따라 몇 개의 곡선식으로 나누어 적용하는 것이 바람직하다.

(가) 하천특성자료

본류하천의 홍수추적에 활용된다. 배수개선사업의 침수분석과 배수시설물의 능력검토를 위해 외수위가 필요하며 실측된 홍수위자료가 없거나 불충분하면 모형에 의하여 외수위를 추정해야 한다. 이 때 하천의 중·횡단, 조도계수 등 하천의 기하학적 자료가 필요하며 기존의 분석 결과와 비교를 통하여 분석결과를 확인할 수 있다. 이러한 자료는 하천정비기본계획보고서와 기타 연구보고서, 조사보고서 등에서 수집 가능하다.

(나) 유량자료

한국수문조사연보나 각종 유량측정보고서에서 구할 수 있으나 자료에 대한 접근이 어려운 경우가 많으며 유량관측자료 대신에 수위-유량곡선식을 구하여 적용하는 경우가 대부분이다. 주요 수위관측소의 수위-유량곡선식은 연보별 한국수문조사연보에서 구할 수 있으며 이를 구할 수 없을 경우에는 직접 유량 측정을 실시해야 한다.

(다) 홍수에경보 자료

기초 수문자료와 더불어 홍수량 및 홍수위 등의 수문분석시 유출모형의 검정 및 매개변수 보정에 홍수에경보 자료를 이용할 수 있다. 특히 장기간 자료 이용 가능여부에 따라 각종 자료의 분석 방법도 달라지므로 이에 대한 정보를 포함시켜야 한다. 조사자료로는 시간별, 일별 홍수위 및 홍수량 등을 수집한다. 현재 건교부에서 관리하는 한강, 금강, 낙동강 홍수에경보시스템이 설치되어 있으며 관할 홍수통제소에서 관측자료를 수집할 수 있다.

마) 유사량 측정

유사량은 장기적인 이수계획 수립시 주요한 설계인자이다. 유사의 침식 및 퇴적은 댐의 설계 및 유지관리를 위한 계획수립시 고려되어야 한다. 장기적으

로는 수리시설물의 내구연한과 관련되어 있으므로 중요구조물의 설계시 유역 조사 및 장기적인 유수량 측정과 모의에 의해 퇴적량을 추정해야 한다.

3) 유역 및 하천조사

강우-유출 관계 규명을 위한 유역 형상과 하천 형태, 토양 특성, 토지이용상태를 조사해야 한다. 유역조사에는 유역답사, 유역피복임상조사, 유역토양조사 등이 있다. 또한, 댐 건설전의 하천상황은 자료수집, 관측 및 시험을 통하여 파악해야 한다.

유역피복임상조사는 유역내 산림, 논, 밭, 수면 등 토지용도별 면적구성비와 투수면적과 불투수피복 면적비 등을 조사하여 유역의 유출계수, 유역증발계수 등을 결정한다.

유역토양조사는 유역의 침투특성과 유출율 등을 평가하여 유출의 정도를 파악하기 위하여 조사한다. 댐 건설전 하천현황을 파악하기 위하여 수질, 수온, 하도 및 하상 등을 조사한다.

가) 유역조사

(1) 유역답사

유역답사는 강우-유출 관계에 영향을 미치는 유역의 형상과 하천의 형태, 토양의 특성, 토지이용상태에 대한 조사를 수행하며 유역의 경계를 확정하여 유역도를 작성하고 유출량 산정 모형에 적용되는 각종 인자를 산출한다.

개략적인 유역조사 과정은 다음과 같다.

① 현장조사 및 내업용 지형도를 수집한다. 지형도는 1 : 25,000도를 기준으로 하며 개략답사일 경우 1 : 50,000도를 사용한다.

② 유역출구로부터 등고선을 따라 유역경계를 결정한다.

③ 경계가 불명확한 지점은 지형도상에 표시하고 현지조사시에 경계를 확인한다.

④ 유역경계가 결정되면 하천망 및 용배수 계통을 따라 소유역을 구분하여 기입한다.

⑤ 현장조사용 지형도를 가지고 소유역별로 유역답사를 실시한다.

⑥ 각 소유역별로 임상상태, 토지이용, 지형특성, 용배수 계통, 수리시설 및 용수이용시설들을 조사하여 도면에 표시한다.

⑦ 토양조사와 병행하여 토양도를 참조하여 토양을 구분하고 차이가 있을 경우 현장조사용 도면에 표시한다.

⑧ 외부유역에서 도수로 등을 통한 간접 유입량이 있을 경우 간접 유입

가능량을 산정해야 하므로 간접유역에 대해 유역답사를 반드시 실시하고, 도수유입시설의 현황 및 규격, 제한 도수량 등의 자료를 수집한다.

⑨ 현장조사도면을 토대로 전체 유역면적 및 소유역별 면적을 확정한다.

⑩ 소유역별로 토지이용현황(산림, 밭, 논, 대지, 수면)도를 작성하고 각 토지이용현황별로 면적을 정리한다.

⑪ 소유역별 유출계수를 정한다.(합리식)

(2) 유역피복임상조사

유역내의 토지용도별 면적구성비를 조사하고 투수면적과 불투수피복면적비 등을 조사한다. 또한 산림, 논, 밭, 수면 등의 구성비를 구하여 유역의 유출계수, 유역증발계수 등을 결정한다.

유역피복임상조사는 유출량 추정모형에 따라 각 모형에 필요한 매개변수나 유출량 산정인자를 결정하는데 필요하다. 유역피복임상조사에서 나타난 자료 중 수정 DIROM 모형을 적용할 경우에는 소유역별 토지이용 면적비가 필요하며 DAWAST 등의 모형을 적용할 경우에는 토양내 수분추적에 필요한 인자를 구하기 위하여 실시하며 홍수유출산정에서는 유출곡선지수(CN)을 구하기 위하여 토양조사를 실시한다.

유역의 유출곡선지수(CN)는 토지이용상태, 피복처리 및 경작상태, 수문학적 토양조건을 고려하여 결정하는 지표유출의 정도를 나타내는 수치이며, 토양조사와 병행하여 실시한다. 장기간 유출량은 총 강수량으로부터 총 증발산량과 지하수 침투량을 뺀 값으로 정의된다. 그러나 지하수 침투량은 상대적으로 적은 값이므로 유역으로부터의 증발산량 추정결과에 따라 유출량이 결정된다. 그러므로 유역증발산계수를 구하기 위한 관련자료를 수집한다. 현장에서 토지이용상태를 조사하는 요령은 다음과 같다.

① 토지이용상태는 계속 변하기 때문에 최근 발간된 지형도를 구입한다.

② 지역의 상황을 잘 아는 인부를 구하여 조사의 효율성을 높인다.

③ 지형도에 표시된 내용과 상이한 부분이 있으면 수정한다.

④ 현장조사시는 현재의 토지이용상태 뿐만 아니라 이용상태별 피복처리 또는 경작상태 수문학적 토양조건 등을 감안하여 구분한다.

⑤ 트레이싱지를 이용하여 토지이용상태를 구분하여 토지이용상태별로 구분을 지어 표시한다. 이때 상태별로 문자로 구분하거나 색깔을 칠하여 알기 쉽게 표시한다.

⑥ 소유역별, 토지이용상태별로 구분하여 면적을 계산하여 정리한다.

(3) 유역토양조사

유역토양조사는 유역의 침투특성과 유출율 등을 평가하여 유출의 정도를 파악하기 위하여 조사한다. 유역 토양조사는 적용하는 유출량 산정모형에 필요한 산정인자를 구하기 위한 것이므로 조사계획시 이를 고려하여 현장 조사계획을 수립한다.

이수계획을 위한 유역 토양조사는 주로 장기유출량 추정을 위한 것이며 치수계획에서는 홍수유출량 추정을 위한 것이다. 유역토양조사를 통하여 적용하는 유출량 산정모형에 필요한 매개변수와 적용인자를 판단해야 한다. 그러므로 현장조사 계획시에는 어떤 목적으로 어떤 모형을 적용하여 유출량을 산정할 것인지가 먼저 결정되어야 한다.

(가) 개략적인 토양조사가 필요한 경우

수정 탱크모형에 의해 유출량을 산정할 경우 유출량은 유역의 지상인자에 매개변수의 상관분석에 의하여 매개변수를 결정하게 되므로 유역답사에 의해 유역 지상인자만을 결정하면 된다. 그러나 매개변수 중 중간유출 성분과 지하수 유출성분은 토양특성과 관련되므로 실측자료에 근거하여 매개변수를 추정하여 적용하고, 유출량을 산정할 경우에는 소유역별로 토양특성 및 토양통의 분포를 자세하고 정확하게 파악해야 한다.

(나) 정밀한 토양조사가 필요한 경우

유역토양수분의 변화를 고려하여 유출량을 산정하는 모형의 경우 정밀한 토양조사가 필요하다. 이런 모형의 경우 유역내 각 토양에 대하여 토양내에서의 물수지 매개변수 결정을 위한 매개변수를 결정해야 한다. 이들 토양과 관련된 매개변수에는 토양층의 최대수분저류량, 포장용수량, 수문학적 토양균이 필요하며, 토양의 공극률, 저류능, 침투능 등의 자료가 필요한 경우도 있다. 이러한 경우에는 치수계획보다 더욱 정밀한 토양조사가 필요하다. 유출량 산정을 위한 개략 유역토양조사의 일반적인 방법 및 주의사항을 서술하면 다음과 같다.

① 유역토양조사를 위해서 유역내의 정밀토양도(1/25,000) 또는 개략토양도(1/50,000)를 구한다.

② 토양도를 복사하여 유역경계 및 소유역 경계를 표시하여 현장조사용과 내업용 2부를 작성한다.

③ 유역조사시 토양도를 기준으로 유역내의 사업목적에 부합하는 대표지점에서 시굴하여 토양의 특성을 조사한다.

④ 자연적인 사면, 인공굴착 지역의 토심, 토색 기타 토양성질을 살펴보고 기록한다.

⑤ 토양도에 표시된 토양의 성질과 현장조사 결과를 토대로 수문학적 토

양그룹을 분류한다.

⑥ 토양그룹별 색깔 등으로 구분하여 경계를 표시하고 면적을 정리한다.

나) 하천 조사

하천조사의 대상은 댐 건설전의 하천의 현황을 파악하는 것이고 조사사항은 유량, 수질, 수온, 하도 및 하상에 대한 상황 등이다.

하천조사 자료는 댐의 설계에 있어서 저수지내의 퇴사, 저수지내의 수질, 수온 변화, 저수지 축조후에 다른 환경에의 영향 등의 검토에 쓰이는 것이다. 그러므로 댐 건설전에 하천상황에 대하여 충분히 파악해 둘 필요가 있다.

유역조사를 수행하면서 소유역별로 하천의 특성을 조사한다. 이수계획과 관련되는 부분은 하천유황, 배수계통, 하천 취수시설 및 용수이용상황 등이며 치수계획에 필요한 인자는 유로연장, 하폭, 유량, 하상경사, 하천밀도, 하상계수, 조도계수 등이다.

(1) 하천특성조사

하천특성조사는 소유역별로 조사를 수행하며 전반적인 유출상황을 판단한다. 하천수계조사는 사전에 준비된 유역도에 따라 분할된 소유역의 경계를 확인하고 배수계통을 확인하여 불확실한 부분을 조정한다.

하천특성조사시 소유역 분할시에 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- ① 하천의 지류 또는 배수로가 합류하는 지점
- ② 저수지, 교량, 양수장, 보, 배수문 등 중요구조물이 위치하는 지점
- ③ 유역특성이 변하는 곳
- ④ 하천의 폭이 급격히 확대 또는 축소되는 지점

이와같은 지점을 소위 하천유출량 조절점이라고 한다.

또한, 하천특성조사 방법은 다음 순서에 따라 진행한다.

① 1/25,000 또는 1/50,000 지형도에 위와 같은 지점을 기준으로 소유역을 구분한다.

② 상기 조절점에서 하천유황을 개략적으로 판단한다. 조사시기, 갈수, 저수, 풍수, 홍수시기 중 어느 시기인지를 알고 이 시기에 해당하는 유황의 정도를 판단한다. 예를 들어 갈수기에 조절점 조사를 하였을 경우 하천의 수량을 갈수량이라고 하는데 이보다 많은 수량이 유하하고 있으면 유역내 어디에선가 외부 유입이 있을 것으로 판단하고 이에 대한 조사를 해야 한다.

③ 각 조절점에서 하천경사도를 상, 중, 하로 구분한다. 매우 급한 하상인 경우 유출은 단기간에 끝날 것이며, 느린 하천 경사일 경우 저수로를 연해 유출이 진행되고 있음을 판단하게 된다.

④ 하상재료도 파악해야 한다. 큰 돌이나 바위가 있으면 깊은 계곡의 하천이며 자갈, 모래, 진흙 등의 하상재료에 따라 점점 평야와 해안에 접근하고 있는 하천임을 알 수 있다.

(2) 하천 측량

하천측량의 성과는 하천의 기본계획, 개수 및 하천의 홍수위 분석시 기초자료로 활용되며 측량의 종류는 기준점 측량, 수준측량, 평판측량 및 중·횡단측량이 있다.

하천측량은 일반적으로 중·횡단측량을 의미하여 하천홍수량 및 홍수위 산정시 지점별 구분을 위하여 측점간 거리표측량을 실시하고 이들 지점에 대한 표고는 국립지리원에서 매설한 B.M표고로 연결한다.

조사전 해당지역 하천에 대한 자료를 수집하고 필요한 횡단지점과 거리표를 설정한다. 또한 국립지리원에서 대상지역에 매설한 수준점 자료를 수집 및 정리하고 수문조사 일정에 하천측량업무를 반영한다.

(가) 거리표(측점) 설치

거리표는 하천 좌우 양안에 설치하되 유심에서 직각방향의 제방 비탈머리에 설치하며 사행하천일 경우에는 하도는 유심의 직각방향으로, 홍수터에서는 흐름선에 직각되게 설치한다.

(나) 수준측량

국립지리원에서 매설한 1등 또는 2등 수준점으로부터 조사구간내에 설치한 측점까지의 수준표고를 연결하는 측량이다.

(다) 중·횡단 측량

중단측량은 하천의 종단형을 구하기 위하여 좌우 양안에 설치한 측점의 표고 및 지반고 등을 측량하는 것이며 횡단측량은 하천의 양안에 설치해 놓은 중단측점을 시·중점으로 하여 시·중점간격의 거리별 고저를 측량하여 하천의 횡단면형이 나타날 수 있도록 한다.

(라) 홍수흔적조사

홍수시 유수가 남긴 하천 중·횡단상의 흔적은 홍수직후 하천양안에 대하여 측량을 해야 하지만 현실적으로 거의 불가능하므로 하천 양안에 거주하는 주민 중 지역에 오랫동안 거주한 노인들에게 자세히 물어보아 탐문조사를 하고 또는 교량, 교각, 배수문, 양·배수장 등의 홍수위 흔적조사를 실시한다.

(3) 수질조사

(가) 일반사항

수질조사는 ㉠ 오탁원 및 오탁부하량 조사 ㉡ 수질오탁 예측조사, ㉢ 대책

조사가 있다. 한편, 수질오탁의 주요원인은 ㉠ 홍수발생에 의한 탁수, ㉡ 생활하수, ㉢ 사업장 계통의 배수, ㉣ 광산, 온천계통의 배수(자연오탁 포함), ㉤ 저수지의 부영양화 등이 있다.

(나) 조사

① 예측조사

지역의 수질에 관한 개황을 기존자료의 활용 및 현지답사에 의하여 명확히 한다. 조사사항으로는 ㉠ 자연조건, ㉡ 사회조건, ㉢ 경제조건, ㉣ 수질상황 등이 있다. 특히, 온천의 존재상황, 광산의 활동상황, 인구동태, 산업활동, 금후의 지역계획(개발 및 변경 등)에 대해서 중점적으로 조사해야 한다. 그리고 수질상황은 도, 시, 군별로 실시한 조사결과(예를 들면 공공용으로 수역에 대하여 실시한 수질측정결과)를 이용한다.

② 수질조사

조사지점은 당해담 소재의 하천 등 관계구역의 수질상황을 파악하는데 필요하고 알맞는 지점으로 ㉠ 댐 건설 예정지점, ㉡ 당해담에 관한 상하류의 이수지점(이수가 대상으로 되는 경우), ㉢ 집수구역의 하천중요지점(지류가 합류하는 위치의 상하류지점 및 지천의 합류 직전의 지점), ㉣ 주요 오염원이 있는 경우에는 배수로 지점 또는 배수가 하천에 유입해서 하천수와 혼합하는 지점 및 유입 전 지점 등은 필히 선택한다.

수질측정은 수위·유량 측정과 병행해야 하므로 조사지점에의 진입의 난이, 유속, 유량, 수심, 하상의 안정성 등을 검토해서 지점을 설정한다. 예를 들어 유량측정지점을 활용하는 것도 좋다.

채수와 함께 수위 및 유량 관측을 실시해야 하며 채수지점, 채수방법, 조사시기, 채수시에 실시할 사항 등에 대해서는 환경보전법 등을 참고로 하여 필요한 사항을 실시해야 한다.

분석은 환경보전법, 수도법, 하수도법, 오물 청소법 등의 과학적으로 확립된 분석방법에 의해야 한다.

③ 오염원의 오염부하량 조사

자료수집 및 현지답사를 거쳐 댐의 집수구역 수계의 오염상황을 살피고 수질조사결과 등에 의해서 당해 오염원의 오염부하량을 파악한다.

한편 오염원조사에서는 필요에 따라 ㉠ 자연조건, ㉡ 토지이용상황, ㉢ 하상상황, ㉣ 이수상황, ㉤ 산업활동, ㉥ 하수도 등 정비상황, ㉦ 지역의 장래계획 등에 대한 자료를 여러 해 수집해서 정리함이 좋다.

그리고 오염부하조사는 오염원조사에서 얻은 자료, 수질조사결과에서 산출

한 실측 오염부하량 및 오염부하 원단위에서 산출한 원단위 오염부하량을 검토해서 오염원의 오염부하량을 분명히 한다.

④ 수질오염 예측조사

오염원 오염부하량 조사결과를 가지고 수질오염의 현황을 양적으로 파악하고 다시 당해 지역의 장래계획을 고려하여 장래의 수질을 예측한다.

⑤ 대책조사

수질오염 예측조사 결과에 따라 현황계획을 수립함에 있어서 댐의 축조에 따라 이루어질 용수의 수질이 농업용수 등에 적당하지 않을 경우 또 하천의 정상기능이 유지될 수 없다고 보일 때는 대책을 검토해야 하는데 다음 사항을 고려한다.

㉠ 선택취수

㉡ 생활하수가 문제가 될 때에는 하수도 등의 정비

㉢ 사업장 계통의 배수가 문제될 경우에는 환경보전법의 규정에 따라 특정 사업장에 대한 배수규제 강화

㉣ 광산, 온천 등지에서 배수문제가 있는 경우에는 퇴적장의 콘크리트 피복과 중화처리장의 건설

㉤ 축제에서 침투수 등이 하류에 영향을 끼칠 염려가 있는 경우에는 축제재료 조사와 병행해서 암석의 성분분석, 암석의 침투시험 등에 의한 축제재료 선택

(4) 수온 조사

하천의 유량, 수질의 조사와 병행하여 수온의 조사를 실시한다. 이 경우 기상조건 등을 파악해야 한다.

(5) 하상 상황조사

하상 상황조사는 하천 형상(종횡단면도) 및 하상 재료조사 등을 실시한다. 여기에는 ① 퇴사량, 퇴사형상의 검토(유량 및 하천상황), ② 저수지 상류의 배수, 퇴사의 검토(하상 상황), ③ 선택취수에 대한 검토(유량, 수질, 수온, 하상 상황), ④ 하천의 정상적인 유지기능의 확보 여부에 대한 검토(수질, 수온, 유량)가 포함된다.

4) 교통운반 상황 및 품셈 조사

댐 건설 공사비 적산을 위하여 소요재료의 현존위치 및 현황, 교통운반 현황, 취득 가격, 시공장비의 가동 가능성과 효율성 등을 결정하기 위한 필요한 모든 사항을 조사한다. 여기에는 도로망, 도로상황, 항로, 항만, 선착장 등 조

사, 성토, 점토, 석재, 골재장 및 사토장 현황조사, 주요자재 및 물가조사, 기타 시공장비의 종류, 규격별 사용료 조사 등이 포함된다.

세부설계 도면과 시방서, 시공방법 등 모든 여건에 의하여 산출된 각종 공사량에 대하여 소요되는 재료의 취득가격, 운반, 가공비용과 운반된 재료와 함께 투입되는 인력, 시공장비 등의 가동비용 등 모든 비용을 계산하여 공사량에 대한 단위당 공사가격을 결정하고 공사비를 산출하기 위하여 필요한 모든 사항을 조사한다. 기본조사시의 조사내용을 확인하여 이용하고, 특히 변동사항을 파악하여 재조사하고 보완, 추가하며 미 조사사항에 대하여 조사한다.

교통운반 및 품셈조사는 필요에 따라 전문분야로 조사하는 경우도 있으나 중규모댐(농업용수 300 ha 공급 이하)에서는 토목분야에서 조사하는 경우가 일반적이다.

기본조사에서는 개산 공사비로 사업비를 추정하므로 품셈조사를 정밀하게 하였더라도 세부설계에서는 세밀히 검토 확인하고 변경사항 등을 보완조사하여 세부설계에 차질이 없도록 해야 한다.

가) 토취장(점토, 성토 채취장) 현황 및 운반상황 조사

점토 및 성토 토취장 현황조사는 토질조사에서도 조사하는 사항으로 토질조사에서는 축제 재료로서의 질과 매장량 등에 중점을 두고 조사하며 품셈조사에서는 채취, 싣고 부리기, 운반을 효율적으로 저렴하게 하는데 중점을 두고 조사하게 되므로 조사내용은 다르다. 주요 조사사항은 토취장 진입도로 유무 및 도로상황, 채취 및 싣기 여건, 댐 건설 현장까지의 운반도로 상황거리 등을 상세히 조사한다. 이 사항은 기본조사시에 조사하는 사항이므로 세부설계 조사에서는 기본조사 내용을 확인하고 미흡한 부분을 보완 조사한다.

나) 모래, 자갈 채취장 및 석산조사

토취장 조사와 같이 채취 및 싣기여건, 채취장 진입도로 상황, 댐건설 현장까지의 운반도로 상황 운반거리 등을 상세히 조사한다. 이러한 사항들은 기본조사시에 조사된 사항이므로 내용을 확인하고 변경사항 또는 미흡한 사항에 대하여 상세히 조사한다.

다) 도로망 조사

도로망조사는 댐 건설을 위하여 건설기계, 자재 등 공사에 필요한 물품과 장비 등을 댐 건설 현장으로 반입하기 위한 운반거리, 운반속도 등을 결정하고 운반비용을 산출하기 위한 기초적인 조사이다. 이 조사 역시 기본조사시의 조사내용을 확인하여 사용하고 필요시 보완 조사한다.

표 3.2.7 조사단계별 토목조사내용 (측량사항 제외)

조사항목	예정지조사	기본조사	세부설계조사
1. 시설물 계획 구조설계조사 - 댐위치 조사 - 물넘이 방수로 및 취수시설, 위치조사 - 이설도로 및 진입 도로노선위치조사 - 공사용도로, 유지 관리 도로 및 가배 수시설 위치조사	- 도상 계획 및 답사	- 댐위치 선정 . 비교안 검토 - 물넘이 방수로 및 취수 시설 위치선정 . 비교안 검토 - 이설도로 및 진입도로 노선선정 . 비교안 검토 - 공사용도로, 유지관리 도로 및 가배수시설 노선 선정	- 기본조사 자료이용 및 확인 . 변경시 재선정 보완 - 기본조사 결과 이용 . 변경시 재선정 - 기본조사 자료이용 및 확인보완조사 . 부분변경시 보완선정 - 기본조사 자료이용 및 확인 . 부분변경시 보완선정
2. 유역, 하천 및 수문조사 - 유역, 하천 현황 조사 - 수문자료수집 및 분석	- 도상 검토 및 답사	- 유역, 하천현지현황조사 . 유역경계, 입상, 유로 연장, 경사, 토지이용 현황 등 조사 - 수문자료수집 및 분석, 설계자료 산정 . 설계강수량 분석 및 홍수량 산정 . 유출량 분석, 각종용수 필요량산정, 저수량 산정	- 기본조사 결과 확인 . 변경시 보완조사 - 기본조사 분석내용 확인 및 필요시 재분석 . 기본조사시 산정 홍수량 확인 사용 . 기본조사시 산정 저수량 확인 사용
3. 교통량 운반 상황 및 품셈조사 - 성토, 점토, 모래, 자갈, 석재 운반 여건조사 - 도로망 조사 - 주요자재 (물가) 조사 - 지가 및 보상 가격 조사 - 기타 자재 단가 조사	- 도상 검토, 답사	- 성토, 점토, 모래, 자갈, 석재의 운반여건 조사 - 도로망조사 도로등급, 포장상태, 거리, 소운반로 등 조사 - 주요자재의 공장위치, 운반방법, 매입가격 및 운 반비 산출자료 조사 . 시멘트, 철근, 레미콘, 아스콘, 콘크리트 2차제품 조사 - 댐수몰지, 토취장, 이설 도로 등 시설편입지의 지 목별 지가조사 및 주요보 상물 가격조사 -	- 기본조사 결과 확인 사용 . 변경시 보완조사 - 기본조사자료 확인 사용 . 필요시 보완조사 - 기본조사 자료 확인 사용 . 필요시 보완조사 - 기본조사 자료 확인 사용 및 보완 추가조사 - 세부설계를 위한 구입가격 조사

조사항목	예정지조사	기본조사	세부설계조사
4. 토질및재료조사 - 토취장조사 - 모래, 자갈 채취장 및 석산조사	- 도상검토, 답사	- 점토채취장, 성토 채취장 선정 . 매장량 조사, 시료채취	- 기본조사 자료이용 및 변경시 보완조사 - 모래, 자갈 채취장, 석산 위치선정 . 모래, 자갈, 석재량, 시료 채취 . 레미콘,아스콘,프랜트장 조사
5. 환경조사 -사전환경성 검토 및 협의자료조사 .자연생태환경조사 .생활환경조사 .사회경제환경조사	- 도상검토 및 답사	- 도상검토 및 현지답사	- 사전환경성검토 및 협의서 작성자료 조사 . 자연,생태환경 영향조사 . 생활환경영향조사 . 사회,경제,환경영향조사
6. 용지매수 및 보상조사 - 용지매수면적 조사 - 보상조사 - 무형자산보상 조사	- 도상검토 및 답사	- 수몰면적, 토취장면적, 이설도로 등 편입면적 개략조사 - 보상물건 개략조사 - 광업권, 수리권, 어업권 등 개략조사	- 용지매수면적정밀조사 . 지번,지목, 지적등 면적 조서 작성 - 보상물건 정밀조사 . 개인보상, 공공보상조서
7. 지역주민 의향조사 - 수몰민 조사 - 수혜민 조사	- 답사시 개략조사	- 수몰민 호응도 조사 . 전가구조사 호응도 % - 수혜민 호응도 조사 . 대표성 20 % 조사, 찬성 %	- 수몰민이해도, 호응도 조사. 전가구조사, 이해도 %, 호응도 % - 수혜민 이해도 및 호응도 조사 . 대표성 20 %조사, 호응도 %
8. 기타 조사 - 관련기관 협의조사 - 타법 저촉여부 조사 - 문화유적, 사적지,천연기념물 등 조사 - 기타 필요한 사항조사	- 직접관련 기관 협의	- 관련기관 협의조사 . 광업권 설정여부, 해소 방안, 보상문제 등 -타법 관련사항 저촉여부 조사 .개발제한구역지정여부 - 문화유적, 사적지, 천연기념물 등 조사 . 지정문화재, 천연 기념물 등 조사 - 기타 기본계획에 필요한 사항 조사	- 관련기관 협의 및 관련 자료 조사 . 광업권 설정도면, 해지 조건, 채광실적 -자법관련사항. 저촉여부 및 해소방안 조사 - 문화유적, 사적 기타 보호구역 조사 . 지정문화재, 비지정 문화재, 기타 보존가치가 있는 유적조사 -기타 세부설계에 필요한 사항 조사

라) 주요자재 조사

주요자재는 토석류를 제외한 시멘트, 철근, 콘크리트 2차 제품류, 강관, 철재, 목재, 레미콘, 아스콘 등 공장제품으로 댐 건설현장 밖에서 조달되는 공사자재를 말하며 기본조사 자료를 확인하여 사용하고 필요시 보완, 추가 조사한다.

5) 토질 및 재료조사

점토, 성토 및 석재와 모래, 자갈 등 공사용 재료의 선정과 매장량에 대하여 기본조사 내용을 확인하고 개략조사 및 추정사항에 대하여 정밀조사를 실시하여 재료의 공학적 성질을 정밀 분석 규명함으로써 세부설계에 지장이 없도록 필요한 사항을 조사한다.

댐 건설에서 성토, 점토재와 석재의 선정은 댐의 안전성 확보에 중요한 사항이며 이들 재료의 취득비용은 전체 댐 공사비에 큰 비중을 차지하므로 저비용으로 취득이 가능하도록 최대한 정밀조사를 실시하고 세부설계에 지장이 없도록 필요한 사항을 정밀 조사한다.

토질 및 재료조사는 축제 재료로서의 질적 적부여부와 재료의 공학적 성질을 규명하는 실내시험과 연계되므로 전문분야로 조사하는 것이 일반적이다.

가) 토질조사

토질조사는 기본조사에서 토취장 위치선정, 매장량 조사, 토취장의 용지매수 및 보상물 조사, 광업권 등 무형자산 설정여부의 조사 순으로 조사하고 실내시험을 위한 시료채취를 하여 실내시험을 할 수 있도록 조치한다. 세부설계 조사에서는 기본조사 내용에 대하여 검토 확인하여 사용하고 변경 시 보완 조사한다.

나) 재료조사

재료조사 또한 기본조사에서 모래, 자갈, 석재의 채취장을 선정하고 채취 가능량을 조사하며 시·군 건설과에서 채취가능여부(채취허가)를 협의하고 채취료(원석대)를 조사하며 실내시험을 위한 시료를 채취한다. 필요시 레미콘 조사를 병행한다. 세부설계 조사에서는 기본조사 자료를 확인하여 사용한다.

6) 환경 조사

환경 친화적 댐 건설을 위하여 기본조사시의 조사내용을 확인하고 환경계획의 세부설계에 필요한 사항은 물론 사전 환경성 검토서 작성 및 협의를 위하여 필요한 사항을 조사한다.

농업생산기반정비사업의 일환으로 계획하는 댐 건설을 위한 세부설계조사에
서의 환경조사는 전문분야 조사로 하여 환경영향평가서 또는 사전환경성 검토
서 작성에 필요한 사항을 평가 또는 검토에 충족할 수 있도록 조사해야 한다.

앞으로 계획되고 건설되는 댐은 생태환경 보존은 물론 댐 주변의 자연경관
과 함께 어메니티(amenity)의 창출로 국민생활환경 개선에 크게 기여해야 한
다. 훼손된 환경은 원상에 가까운 정밀한 복원으로 환경 친화적으로 설계해야
함으로 제반 환경관련법규에 저촉되지 않는 것은 물론 고부가의 어메니티를
창출하여 국민생활환경에 크게 기여해야 한다. 또한 “사전 환경성 검토서”의
작성과 협의를 위하여 필요한 모든 조사를 실시한다.

가) 근거

환경조사는 환경영향평가법 제4조 1항 6호 및 동법 시행령 제2조 2항 별표1
의 바항 2호에 의하여 만수면적 200 만㎡ (저수량 2,000만㎡) 이상의 댐에 대
하여는 “환경영향평가”를 받아야 하므로 이를 위해 조사해야 하며, 그 이하
규모의 댐에 대하여는 국토이용관리법 제6조 및 환경정책기본법 제11조 1항,
2항 및 동 법 시행령 제3조 1항 별표 2에 의하여 “사전 환경성 검토”를 협의
해야 하므로 기본조사에서 조사한 사항을 점검 확인하고 이를 포함하여 “사전
환경성 검토”에 필요한 사항을 조사한다.

나) 조사시기

“환경영향평가”는 사업시행계획 고시 전에 받도록 법에 규정되어 있고 “사
전환경성 검토”는 행정계획에서는 사업계획 확정 전 개발사업의 경우에는 사
업의 승인, 인가, 허가 전으로 규정되어 있으므로 댐 설치를 위한 조사설계 단
계에서는 기본조사시에 답사하여 “환경영향평가” 또는 “사전환경성검토”를 위
한 환경조사계획을 수립하는데 사용하도록 한다. 기본계획이 수립되어 댐 건
설 규모가 결정됨으로서 “환경영향평가”를 받을 것인가 “사전환경성 검토”를
협의를 것인가가 결정된 다음에 환경조사를 해야 하므로 세부설계 조사시에
환경조사를 실시하여 설계확정시에 평가를 받거나 또는 협의를 하도록 한다.

다) 전문분야

환경의 중요성이 크게 부각되지 않았고 폐해가 심각하게 나타나기 전에는
법적 규제도 크지 않았으며, 댐 건설 조사자도 환경의 중요성을 크게 인식하
지 않았으므로 토목조사반에 의하여 필요한 사항을 조사하여 설계에 반영하였
으나 환경의 폐해가 심각해지고 그 중요성에 대한 인식이 확산됨에 따라 법적
규제가 엄격해 졌으므로 이에 대응하여 환경조사는 환경전문가에 의하여 조사

되고 분석되어 “환경영향 평가서” 또는 “사전환경성 검토서”가 작성되고 평가 또는 협의해야 한다.

라) 사전 환경성 검토

농업생산기반정비사업의 일환으로 건설되는 댐에서 환경영향평가를 받아야 할 댐은 특별한 경우를 제외하고는 많지 않으며 대부분의 댐(현실적으로 모든 댐)은 “사전환경성 검토” 협의 대상이므로 여기서는 “사전환경성 검토” 협의를 위한 조사에 대하여 기술한다.

(1) “사전환경성 검토” 협의목적

댐 건설계획 수립 또는 댐 건설사업을 시행함에 있어 타당성 조사 등 계획 초기 단계에서 댐 건설 입지의 타당성, 환경에 미치는 영향, 주변환경과의 조화 등을 고려하도록 함으로서 환경에의 영향을 최소화하고 환경 친화적 댐 건설이 되도록 하는데 목적이 있다.

(2) 환경성 검토의 대상

사전환경성 검토 협의대상은 행정계획과 개발사업으로 구분되고 환경정책 기본법에 의한 경우와 관련법령에 의한 경우로 구분된다.

(3) 환경성 검토서에 포함되어야 할 중요내용

- ① 행정계획 또는 사업의 목적, 필요성, 추진절차 및 사업계획 내용
- ② 대상지역의 용도지역 구분 등 토지이용 현황 및 계획
- ③ 대상지역내의 생태계 보전지역 등 환경정책 기본법 시행령 별표 2의 규정에 해당하는 지역, 지구, 구역 등의 분포 현황
- ④ 대상 지역의 동식물 서식 현황, 주변 지역의 개발 현황 등 생태적 특성에 관한 자료
- ⑤ 대상지역의 현재 오염도 및 오염원 현황
- ⑥ 본 사업 시행으로 인한 생태계 등 자연환경 및 생활환경에 미치는 영향정도 예측 및 저감대책
- ⑦ 기타 환경성 검토에 필요한 당해 지역의 특성 자료

(4) 주요 검토사항

- ① 환경현황 조사 및 예측분석 결과를 토대로 장차 환경기준 유지 가능성 여부
- ② 개별법령, 고시, 지침 등에서 규정하고있는 입지제한사항 저촉여부
- ③ 환경보전정책, 또는 환경보전시책 부합여부
- ④ 동식물의 서식환경 등 자연생태계의 보전 및 자연환경의 보전을 목적

으로 지정된 지역 지구 등의 보전에 미치는 영향정도

- ⑤ 자연생태계의 단절여부 및 녹지 축에 미치는 영향 정도
- ⑥ 토지이용 기능간의 상충여부(주거기능, 생산기능, 휴게기능 등)
- ⑦ 환경오염요인의 공간차단 가능여부(대기, 소음, 진동, 악취, 수질 등)
- ⑧ 자연경관 및 위락경관에 미치는 영향정도
- ⑨ 침수, 화재, 붕괴 등 재해로부터의 안정성
- ⑩ 상수원 및 하천수질보전에 미치는 영향정도

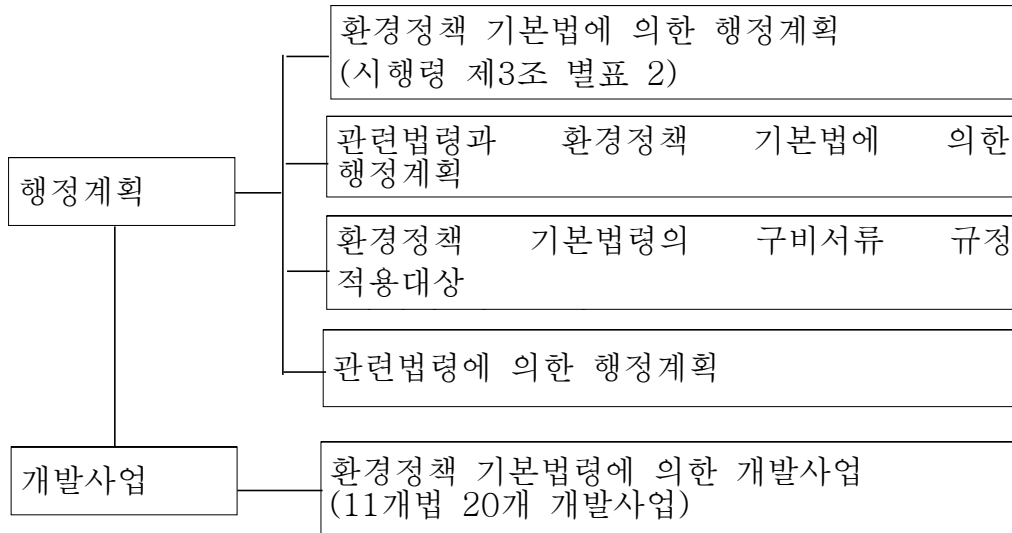


그림 3.2.4 사전 환경성 검토대상

(5) 사전 환경성 검토 절차

(가) 중앙행정기관의 장, 특별시장, 광역시장, 도지사, 시장, 군수, 구청장은 환경에 영향을 미치는 행정계획을 수립 확정(지역, 지구, 단지의 지정포함)하거나 개발사업을 승인, 인가, 허가하고자 할 때에는 환경성 검토서 등 관련 서류를 구비하여 사전에 환경부장관 또는 지방환경관서의 장에게 협의 요청해야 한다.

(나) 협의 요청을 받은 환경부장관 또는 지방환경관서의 장은 동 계획 또는 사업에 관한 환경성을 검토하여 30~40일 이내에 결과를 협의 요청기관에 통보해야 한다.

6) 용지매수 및 보상조사

댐 건설은 인간이 필요로 하는 물을 저수하기 위하여 건설되므로 물이 저수되는 넓은 수몰면적에 생계와 생활의 기반을 두고 있는 사람들에게 적지 않은

영향을 주게 된다. 영향의 정도를 상세히 조사하여 최소화하고 댐 건설의 필요성을 이해시킴과 동시에 그들의 의향을 파악하여 대처하는 노력이 필요하다. 수몰민들의 생계와 생활환경을 재건해주는 별도의 대책(이주계획 등)이 바람직하며 이러한 대책이 없는 경우에는 수몰민 스스로 그들의 생계와 생활환경을 재건할 수 있도록 협조해야 하며 용지매수 및 보상은 이러한 관점에서 실시되어야 한다. 그러므로 용지매수 및 보상조사는 법이 정하는 기준과 절차에 따라 형평성과 공정성이 유지되도록 상세히 조사한다.

용지매수 및 보상물 조사는 개인의 자산 및 공공자산에 대한 것이므로 기본조사 내용을 확인하고 보완하여 누락됨으로써 민원을 야기한다거나 문제를 일으키는 일이 없도록 상세히 조사한다.

가) 용지매수 면적 및 가격조사

댐 건설을 위하여 매수되는 토지는 댐건설로 수몰되는 수몰토지, 이설도로, 진입도로, 유지관리도로에 편입되는 용지, 토취장 용지, 기타 댐건설과 부속시설을 위하여 필요한 용지를 정당한 가격으로 매수해야 한다.

(1) 댐부지를 포함하여 저수역의 홍수위선 이내의 면적을 지번, 지목, 지적, 소유자명 및 주소 등을 기입하는 수몰면적 조서를 빠짐없이 작성한다. 면적은 시·군에 비치된 지적공부의 면적을 기준하여 홍수위선 이내에 일부만 포함되는 지번은 지번별로 포함면적을 산출하여 기록하고 상단에 전체면적을 ()로 표시하여 틀림이 없어야 한다.

(2) 이설도로, 기타시설부지, 토취장, 사토장 등에 편입되는 면적 또한 로선별, 시설별로 편입되는 토지의 지번, 지목, 지적 등이 표시된 면적조서를 작성한다.

(3) 면적조서를 집계한 용지매수 집계표를 로선별, 지목별로 작성한다.

(4) 이들 면적에 대한 지목별 공시지가, 거래실례가격, 인근 개발사업에서의 감정 평가액 등을 조사한다.

나) 보상물 조사

(1) 개인 보상물조사 : 수몰지 및 기타 편입지내에 실존하는 개인소유 주택 등 건축물의 규격, 사용재료, 건축년도 등을 조사하고 분묘 등 시설물, 과수, 유실수, 관상수 등 개인보상물건에 대하여 기본조사 내용을 확인하고 누락물건을 빠짐없이 조사하여 개인물건 보상조서를 작성하고 가격을 조사한다.

(2) 공공보상물 조사 : 수몰지 및 기타 편입지 내의 공공건축물, 전주 등 송전시설, 통신시설, 수리시설 등 공공보상물에 대하여 기본조사 내용을 확인하고 누락된 물건을 보완하여 공공물 보상조서를 빠짐없이 작성한다.

(3) 무형자산 조사 : 광업권 등 무형자산에 대하여 기본조사 내용을 확인 보완하고 보상가액 추정자료를 빠짐없이 조사한다.

7) 지역주민 의향 조사

기본조사 결과를 토대로 변경여부를 파악하기 위하여 지역주민 의향조사를 실시한다.

8) 기타 조사

기타 댐 세부설계에 필요한 사항은 타 전문분야조사에 속하지 않은 사항에 대하여 계획 및 세부설계 총괄업무를 담당할 토목조사팀에서 조사하는 것이 일반적이다. 기본조사의 조사내용을 확인, 보완, 추가조사를 실시하고 세부설계를 위하여 필요한 사항을 정밀 조사한다.

① 국토관리법, 도시계획법, 도로법, 하천법 등 개별 타법과의 저촉여부, 특히 개발제한구역, 철도, 도로, 접도구역, 국립공원 구역 등 구역지정 포함여부를 조사한다.

② 문화유적, 사적지 등을 조사하고 보존, 이전 가능성 등을 조사한다.

③ 기타 댐 건설 시행의 제약여건 등 필요한 사항을 조사한다.

다. 조사측량

댐 건설을 위한 세부설계측량은 기본조사시의 측량성과를 확인하고 보완, 추가하며 기본조사에서 실시하지 않은 사항을 측량하여 세부설계에 지장이 없도록 완전해야 한다.

세부설계조사에서의 측량은 ① 기본조사시 측량성과의 확인점검 측량 ② 부분, 개략측량에 대한 완전 정밀측량 ③ 미측량 공중에 대한 세부측량 ④ 기타 필요한 측량을 실시하여 세부설계에 지장 없도록 한다. 모든 측량은 가능한 수치(좌표)측량을 하여 모스프로그램(MOSS program) 등 측량 프로그램 사용이 가능하도록 한다.

1) 측량준비

측량준비는 기본조사시 측량준비와 비슷하며 다른 사항은 다음과 같다.

① 기본조사시에 실시한 기준점(삼각점, 수준점) 측량성과를 인수하고 이를 검토하여 위치를 파악하고 점검 확인측량 계획을 수립함과 동시에 보조 또는 임시 수준점 필요여부를 검토하여 이의 설치 및 측량계획을 수립한다.

② 기본조사 계획서 및 기본계획 도서와 세부설계 조사계획서를 검토하

여 기본조사시의 측량성과에 대한 점검확인 측량 사항, 보완 추가측량사항 기본조사에서는 측량을 실시하지 않았으나 세부설계를 위하여 필요한 측량사항을 구분하여 측량 업무량을 파악하고 현장측량 작업계획을 구상한다.

③ 기타 세부설계 조사를 위하여 필요한 사항을 준비한다.

2) 기준점 측량

가) 점검 확인측량

(1) 기본조사시의 삼각측량 성과에 대하여 점검확인 측량을 실시한다. 이때 실시하는 삼각측량은 기선(기설 2개의 기준점)으로부터 신설점까지의 가능한 최소 삼각망 측량으로 점검 확인한다.

(2) BM 측량성과의 점검 확인 측량은 기준 BM(건설부 BM)으로부터 신설 BM 1개소까지의 1구간 BM 측량으로 점검 확인한다.

나) 보조 또는 임시기준점 설치 및 측량

(1) 삼각점 매설 및 측량은 기본조사시에 매설 및 측량하였으며, 세부설계 조사시에 보조점 또는 임시 기준점이 필요한 경우는 거의 없을 것이며, 간혹 평면 기준점이 필요한 경우는 도근점을 설치하고 다각측량 또는 트래버스측량(travers)을 실시한다.

(2) 세부설계조사측량시 측량을 신속히 실시하기 위하여 보조 또는 임시 BM이 필요한 경우는 자주 있으므로 기본조사 측량성과를 검토하여 필요한 곳에 보조 또는 임시 BM (A형 목향)을 매설하고 BM 측량을 실시한다.

3) 댐(제당)측량

댐 위치가 변경되었을 경우에는 변경사유를 분명히 하고 변경된 위치에 대하여 중심선, 종단, 횡단측량을 실시한다.

가) 확인점검 측량

(1) 기본조사에서 실시한 중심선 측량을 댐 시점과 종점, 만곡이 있을 경우 IP점을 찾아 위치(좌표), 방위각 등을 측량하여 점검 확인한다.

(2) 시점으로부터 종단측점(B항 매설점)을 찾아 종단측량을 실시, 점검확인한다 (이때 종단측점 표시향이 분실되었을 경우에는 새로운 항목(B항)을 매설한다.)

나) 횡단측량

댐 종단에 대한 확인점검 측량을 실시한 다음, 기본조사시에 실시하지 않은 횡단측량을 종단측점마다(+ 측점포함) 실시한다.

표 3.2.8 세부설계조사 측량표

측량 항목	측량 내용
○ 기준점 측량 (삼각점, 수준점)	○ 기본조사 측량, 성과확인 측량 ○ 필요시 기준점 추가설치 및 측량
○ 내용적 측량	○ 기본조사시 작성된 내용적 평면도 확인 및 보완정밀 측량 ○ 기설댐 승상계획시 수심 정밀 측량
○ 댐(제당)측량	○ 종단측량 : 기본조사 종단면도 확인 및 보완정밀 측량 ○ 횡단측량 : 정밀보완된 종단측점에 대하여 정밀횡단 측량
○ 물넘이 시설 측량	○ 종단측량 : 기본조사 종단측량 확인 및 보완정밀 측량 (위치 변동시 신규정밀 측량) ○ 횡단측량 : 정밀보완된 종단 측점의 정밀 횡단 측량
○ 취수시설 측량	○ 종단측량 : 기본조사 종단면도 확인 및 보완정밀 측량 (위치 변동시 신규종단 정밀 측량) ○ 횡단측량 : 정밀보완된 종단측점에 대한 정밀횡단 측량
○ 댐 부근 평면도 작성 측량	○ 댐 부근 평면도 작성을 위한 세부정밀 지형측량 - 축척: 1/1,000, 1/1,200 또는 1/500, 1/600 축척으로 작성 - 세부정밀 지형측량 실시 - 댐, 물넘이, 취수시설 종단측점 및 중심선 평면위치 측량 - 기타 댐부근의 이설도로, 취부수로의 측점, 중심선 등 필요 사항 설정 측량
○ 이설도로 측량	○ 이설도로 : 평면선형 및 중심선 측량, 종횡단 정밀측량 및 구조물 조사
○ 기타 측량	○ 기타 진입도로, 취부수로 등 계획측량, 토취장, 토사장 면적 측량, 중요보상물 위치측량 등 필요한 측량 ○ 하천기울기, 횡단, 수위표, 지질조사점 위치 등 타전문 분야 지원 측량

4) 물넘이 방수로 및 취수시설 측량

물넘이 방수로 또는 취수시설의 위치가 전체 또는 부분적으로 변경될 경우에는 변경사유를 분명히 하고 변경위치에 대하여 처음부터 다시 즉 중심선 측량, 종단측량을 실시하고 횡단 측량까지 실시한다.

가) 확인점검 측량

기본조사에서 실시한 물넘이 방수로 및 취수시설 노선에 대한 중심선 및 종단측량의 확인 점검 측량을 실시한다.

나) 횡단측량

기본조사에서 물넘이 방수로 및 취수시설에 대한 중심선 및 종단측량만 실시하였으므로 이의 확인점검 측량을 한 후 종단측점에 대한 횡단측량을 실시한다.

5) 내용적 측량 및 제당부근 지형측량

기본계획도의 내용적도를 검토하여 보완, 측량해야할 부분과 추가 측량할 부분을 파악하여 보완 및 추가측량을 실시한다. 이때 인접한 기본조사시에 측량한 지점에 대하여 점검 확인측량을 병행 실시한다.

가) 내용적 측량

기본조사시 작성된 내용적 평면도 확인 및 보완정밀 측량을 실시한다. 기설댐을 승상하는 계획 시에는 수심 정밀 측량을 실시한다.

나) 제당부근 지형측량

기본조사에서는 1/1,200 내용적도에 제당부근 지형측량을 실시하였으나 세부설계 측량에서는 이를 검토하고 1/600 축척으로 제당부근 평면도를 상세하고 면밀한 측량에 의하여 새로이 작성한다. 이때의 측량범위는 제당부근의 모든 중요시설 계획이 전부 표시될 수 있는 범위의 평면도를 작성한다.

6) 이설도로 및 진입도로 측량

가) 노선 선정측량 : 이설도로 및 진입도로에 대한 노선선정 측량은 기본조사에서 실시하였으므로 이에 대한 확인 점검 측량을 실시한다.

나) 노선선정에 대한 점검 확인측량이 완료되면 이어서 평면 선형측량 → 중심선 측량 → 종단 및 횡단측량 → 중요도로구조물 부근 지형측량을 실시하여 세부설계에 차질이 없도록 한다.

다) 노선의 부분적 변경이 있을 때에는 변경부분의 노선선정측량을 실시하

여 전체노선에 대한 선정이 완료된 후에 시점부터 평면 선형측량을 착수한다.

7) 가배수로 측량

가) 기본조사에서는 가배수로에 대하여 중심선 측량만을 실시하였으므로 이를 점검 확인측량을 실시하고 이어서 종단 및 횡단측량을 실시한다.

나) 가배수로는 댐의 위치, 취수시설의 복통이용 또는 가배수터널의 취수 시설 활용계획과 밀접히 연관되므로 댐의 위치 또는 취수시설 계획의 변경이 있을 시는 가배수로 계획이 전면 재검토되어 다시 계획을 세워야 하며 이러한 경우에는 기본조사의 가배수로 중심선 측량방법으로 중심선 측량부터 실시하고 이어 종단, 횡단 측량을 실시해야 한다.

라. 지질조사

실시조사는 댐의 실제 세부설계와 공사비산정에 필요한 지질자료를 얻기 위한 것으로서 이미 실시한 기본조사 결과를 검토하여 질적, 양적으로 더욱 늘여 나간다. 그러나, 지질조사는 기본조사에서 댐 건설에 필요한 대부분의 항목이 조사되었으므로 가능한 한 기본조사 결과를 실시설계에서 사용하도록 하고 보완조사 또는 추가조사는 최소화하는 노력이 필요하다.

1) 댐 터 조사

가) 지표지질조사

기본조사 결과를 확인 점검하고 필요할 경우 보완, 조사한다.

나) 지하지질조사

(1) 물리 탐사 : 기본조사시 실시한 탄성과 탐사, 전기탐사 결과를 확인 점검하고 필요할 경우 보완 조사한다.

(2) 시추조사 : 기본조사 결과를 이용하고 필요시 추가공 시추조사를 실시한다.

2) 댐 주변조사

기본조사결과 산사태로 인한 붕괴 혹은 누수에 대한 대책이 필요할 때 더욱 상세한 지표지질조사, 물리탐사, 시추조사를 실시하여 구체적인 대책공법을 결정하고 공사비를 산정해야 한다.

3) 시험조사

기본조사 결과를 이용하고 필요시 확인점검 및 보완조사를 실시한다.

4) 실내시험 시료채취

가) 토질시료 : 지표퇴적층 지반의 토질시험은 기본조사 결과를 이용하고

필요시 추가시료를 채취한다.

나) 암석시료 : 기본조사 결과를 이용하고 필요시 추가 시추공 코아에서 채취한다.

5) 조사결과의 정리

기본조사 및 실시설계를 위한 모든 자료 즉, 지표지질조사, 물리탐사, 수굴, 시추조사, 현장투수시험, 불교란 시료 채취지점 등의 자료는 설계의 기초자료로 이용할 수 있도록 지질평면도, 지질단면도, 투수계수 또는 루전도(Lugeon map)등을 작성한다. 지질조사 결과는 각종 지질기호와 색채를 사용하여 지질평면도 및 지질단면도 등을 작성하는데 관계가 있음을 유의하여야 한다.

가) 지질평면도

- (1) 지질도 작성의 범위는 댐터 조사구역을 포함한 주변으로 한다.
- (2) 축척은 1/500 ~ 1/1,000으로 한다.
- (3) 체체 및 부대구조물의 개략위치를 표시하고 만수면을 청선으로 기입한다.
- (4) 지질도에는 지표지질조사 때의 주요사항을 가능한 한 모두 기입한다.
- (5) 같은 종류의 암석은 같은 계통의 색깔로 표시하여 다른 암석과 구별한다.

나) 지질단면도

- (1) 댐부지에 한정하나 댐 주변부로서 산사태나 누수발생가능성이 있어 이에 대한 대책수립이 필요한 경우에도 작성한다.
- (2) 지질종단면도, 지질횡단면도가 있으며 종단면도는 댐 중앙선에 대한 단면도이며 댐축 상하류에 많은 조사를 실시한 경우에는 횡단면도를 작성한다. 이 때 종횡의 축척은 같게 한다. 이외에도 취수시설, 물넘이 방수로, 부대터널 등 지질조사가 이루어진 모든 시설물에 대해서 단면도를 작성해야 한다.
- (3) 댐축의 지질단면도에는 시추결과 및 물리탐사결과에 의한 암질분류, 지하수위, 표준관입시험의 N치, 불교란시료채취 지점, 투수시험 구간과 값(투수계수 또는 Lu) 등을 표시하여야 하며, 결정된 터파기 예정선을 기입한다.
- (4) 전기탐사의 자료는 겉보기 비저항 단면도와 2차원 역산단면도를 작성하며, 탄성파탐사결과는 속도층 구분을 하고 그 경계선을 표시한다.
- (5) 조사자료를 근거로 댐터, 물넘이, 부대터널 등 그라우팅 설계도를 작성한다.

다) 시추주상도

- (1) 시추조사결과는 소정의 양식에 위치, 측점, 공번, 표고, 조사기간, 조사

자, 공경, 조사심도, 지하수위, 공경, 케이싱 구경, 사용장비, 지질, 코어상태, 공내시험자료, 특기사항 등 모든 자료가 기록되어야 한다.

(2) 토질명은 일반적인 분류와 가능한한 통일흙 분류기호를 병기하며, 암석명은 암석학에서 구분한 명칭을 사용한다.

(3) 뚜렷한 지질경계선은 실선으로 그리고 점이적인 경계는 점선으로 표시한다. 그리고 회수된 코어에서 나타나는 절리·파쇄대의 위치와 경사각, 점토협재 상황 등을 스케치하여 기록하며 시추코어상자 사진 자료를 첨부한다.

(4) 소정 양식란에 모든 사항을 기록할 수 없을 때는 비고란에 기록하여 향후 설계, 시공에 참고할 수 있도록 한다.

6) 암질의 분류기준

암석의 공학적 성질은 암석의 성인, 생성시대, 구성광물, 입도, 화학성분에 따라 다르며, 생성이후의 물리·화학적 풍화정도와 지질구조적으로 생긴 절리, 균열 등으로 인해 크게 변화한다. 따라서 암질은 동일한 암석이라도 심도별 지점별로도 매우 상이하다.

암질 분류는 육안 관찰, 일축압축강도, 탄성파속도, 인장강도, 반발강도, 햄머 타격시의 방향, 절리·파쇄대면의 풍화정도, 코어의 채취율과 길이, 절리의 간격, 마모시험자료 등 평가요소를 수개씩 조합하여 복합적으로 평가하며, 대상 구조물별로 목적에 따라 여러 가지 분류방법이 국내외에서 제안되고 있다.

농업기반공사에서는 1994년 초부터 농업기반조성사업의 암질분류기준을 표 3.2.9 ~ 11과 같이 ① 현장분류기준, ② 보링조사 분류기준으로 나누어 적용하고 있다.

표 3.2.9 현장 암질분류기준 총괄표

합계 수치	86 이상	85.9 ~ 66	65.9 ~ 46	45.9 ~ 21	20.9 ~ 9	8.9 이하
암질 분류	극경암	경암	보통암	연암	풍화암	풍화토사

표 3.2.10 현장 암질조사 항목별 기준 점수표

구 분	A	B	C	D	E	F
o 암괴상태 - 조직	신선 견고함	대체로 신선 견고함	비교적 견고하며 조암 광물이 다소 인지됨	암내부는 비교적 신선하나 외부는 상당히 풍화변색됨	심하게 풍화되어 황갈색 등으로 변색, 조암광물 인지 곤란	완 전 하 게 풍 화 되 어 토사화 됨
(점수)	(15)	(11)	(7.5)	(4)	(1.5)	
- 풍화도	풍화흔적 전무 (fresh)	약 간 풍화변질 (slightly weathered)	다 소 변질되어 조암 광물 변색	풍화로 인하여 연질화(신선하거나 변색된 암석은 연속적인 구조 또는 핵석으로 존재) (highly weathered)	암조직 파괴되어 굴착에 일부 곡갱이 사용 (신선하거나 변색된 암석은 불연속적인 구조나 핵석으로 존재) (completely weathered)	원암구조를 인지하기 어려움 (residual soil)
(점수)	(15)	(11)	(7.5)	(4)	(1.5)	
o 불연속면의 간격	3 m 이상	1 ~ 3 m	0.3 ~ 1.0 m	5 ~ 30 cm	5 cm 이하	토사화되어 Crack 없음
(점수)	(30)	(25)	(20)	(13)	(7)	
o 불연속면의 상태	밀착 불연속	0.1 mm 이하 약간 불규칙하게 벌어짐, 양반견고, 불연속	0.1 ~ 1.0 mm 다소 벌어져 충전물이 약간 협재, 양반 연약	1 ~ 5 mm 연속적으로 벌어지고 충전물이 많음	5 mm 이상 연속적으로 상당히 벌어짐, 연속충전물 상당히 많음	
(점수)	(13)	(10)	(6.7)	(4)	(1.3)	
- 면 상태	매우 거친면	약간 거친면 (경암반)	거친면 (중경질 암반)	평탄한 면	아주 평탄한 면	
(점수)	(7)	(5)	(3.3)	(2)	(0.7)	
o 강도						
- 암석용 슈미트해머	57 이상	51 ~ 57	44 ~ 51	34 ~ 44	10 ~ 34	
(점수)	(7.5)	(5)	(3.5)	(1.5)	(0.5)	
- 해머 타격	11회 이상	8 ~ 10 회	5 ~ 7 회	2 ~ 4 회	1 회	
·타격음	금속성	경금속성	경금속성 ~ 탁음	탁음	둔탁음	
·타격반응	깨짐없이 반발	약간 깨짐	불연속면을 따라 크게 깨짐	쉽게 깨짐	쉽게 소편으로 깨지거나 손으로도 깨짐	손으로 부서짐
(점수)	(7.5)	(5)	(3.5)	(1.5)	(0.5)	

표 3.2.11 보령조사 분류기준

암 질	극 경 암	경 암	보 통 암	연 암	풍 화 암
종합판정 구분	A Ia	A Ib A II b	B Ib B II b	B III b, B III c B III d, C III b C III c	D III c, D III d D III e
Core log의 상태	A : 신선, 균열없음, 완전성형, R.Q.D=90 % 이상 B : 신선, 상당량균열, 완전성형 R.Q.D=40 ~ 90 % C : 균열, 신선도없음, 불완전파쇄성 R.Q.D=10 ~ 40 % D : 완전 파쇄성 R.Q.D=10 %이내				
Core의 길이	I : 15 cm 이상, II : 5 ~ 15 cm, III : 5 cm이내				
일반 상태	a : 견고하고 Core가 완전성형, Core개수가 1 m 당 5 ~ 6개 형성 b : 견고하고 Core가 다소짧고 1 m 당 6개이상 c : 균열이 많고 Core가 완전 보존되지 않고 봉상을 이루지 않으며 암반상태로 나타남. d : 균열이 많고 복원이 잘 안되며 세균열 상태로의 조합이 가능 e : Core가 완전파쇄상태, 모래나 점토크기로 분쇄된 상태로 회수됨.				

마. 토양조사

토양자료는 기본조사 결과를 이용한다. 농업용수 수혜 구역의 변경이 있을 경우에는 변경된 구역에 대하여 보완, 추가, 정밀 조사를 실시한다.

바. 농업 및 사회경제조사

사회경제 및 영농재배 상황자료는 기본조사 결과를 이용하고 필요시 보완 조사한다.

사. 기계, 전기, 건축조사

소규모 저수지나 순수 토목구조의 댐에서는 전기, 기계, 건축 분야 공사가 포함되지 않은 경우가 있어 이 분야의 조사는 생략될 수도 있다. 그러나 기술 발전과 사회욕구에 따라 물넘이를 게이트로 한다든지 취수시설을 취수탑, 전동화하는 계획이 일반화되고, 안전을 위한 조명시설은 물론 원격 관측/제어(TM/TC) 추세에 있으므로 댐 건설에 있어서 전기, 기계, 건축분야 조사의 중

요성이 증가되고 있다. 기계, 전기, 건축분야의 세부설계에 필요한 사항을 조사한다.

1) 기계조사

- ① 기본계획에 포함된 기계시설의 필요성, 적정성 조사
- ② 댐 건설계획에 포함된 기계시설에 대한 형식, 규모 조사 검토

2) 전기조사

- ① 각종 기계시설의 동력화 방안, 전기시설 계획 및 댐 관리 원격 관측/제어(TM/TC)계획, 댐 거동 계측장치 연결망 조사 검토
- ② 전기공급계획 수립 및 한전협의
- ③ 전기공급시설 공사노선 조사
- ④ 전기공급시설, 내선시설, 동력시설 등 세부설계 자료조사

3) 건축조사

- ① 건축물 위치조사
- ② 건축 세부설계 자료조사

아. 유지관리 조사

댐 안전과 건설목적 및 기능을 지속적으로 확보하려면 이에 합당한 유지관리가 필요하므로 계획단계에서부터 유지관리를 고려하여 설계해야 한다. 댐 유지관리는 댐 시설관리, 물 관리, 안전관리, 환경관리 등으로 구분할 수 있으며 이에 필요한 사항을 조사하여 설계에 반영하고 관리지침 작성에 활용하도록 조치해야 한다.

유지관리 조사내용은 유지관리시설의 설계자료로서 사용하고 댐 건설 후의 유지관리를 위하여 관리시설 내용과 설계이념을 기술한 “유지관리 유의서” 또는 “유지관리 지침서(안)”을 작성하여 설계서의 부록서류로 첨부하거나 댐 공사가 완료된 다음에 유지관리 업무를 수행하는 유지관리팀(기관)에게 전달하여 적절한 유지관리가 되도록 한다.

댐의 유지관리는 첫째, 댐 건설 직후와 같은 댐 상태를 유지하여 댐의 안전성을 확보하고, 둘째 댐의 건설목적과 기능을 지속적으로 확보하는데 목적이 있다. 댐의 유지관리는 댐 시설관리, 물 관리, 안전관리, 환경관리로 구분할 수 있으며 이에 대한 관리시설의 설계자료와 기타 필요한 사항을 조사한다.

1) 댐 시설관리 조사

댐 시설관리는 댐과 부속구조물을 선량하게 관리 조작함으로써 댐과 부속구조물의 안전성과 기능 상태를 건강하게 유지하고 댐 설치 목적과 기능을 유지하도록 하는데 목적이 있다. 댐 관리 방법은 댐의 거동과 구조물의 상태를 정기적으로 세밀히 점검하여 안전성을 확인하고 이상유무를 조기에 발견하여 대처하는 것이 최선의 방법이며, 그러기 위하여는 계측시설 및 관측시설을 설치해야 하며, 이를 위한 조사를 해야 한다.

댐 관리 시설에는 댐과 댐 주변 원지반의 거동상태를 측정하기 위한 계측시설로 누수량 측정장치, 변형 측정장치(종방향 변형, 횡방향 변형), 침윤선 측정장치, 간극수압측정 장치, 토압 측정장치, 지진력 측정장치 등이 있으며, 댐의 조작운용 관리를 위한 시설로 강우관측시설, 수위관측시설, 수질관측시설, 기타 댐의 운영관리를 위한 통신시설 등이 있으므로 이에 대해 조사한다.

댐 거동 측정을 위한 계측시설에는 ① 계측장치 종류별로 댐체 내외의 설치 위치와 개소수를 정하고, ② 계측장치 종류별로 제품의 종류와 규격, 성능, 계측원리, 측정방법, 설치방법, 설치비, 유지관리비 등을 조사하여 제품별 장단점을 분석하고, ③ 추후 유지관리팀(기관)의 조직, 관리요원의 자질, 유지관리비의 재원, 규모 등과 관리체계와 관리방법 등을 추정하여 ④ 계획하고 있는 댐에 적합하고 유지관리 체계와 방법에 합당한 제품을 선정하여 설계한다.

2) 물 관리

댐의 물 관리는 유역에 부존하는 수자원을 언제나 사용 가능한 상태로 최대한 확보하여 물을 필요로 하는 곳에, 필요한 시기에 필요한 양을 적절한 시설을 이용하여 합리적인 방법으로 최소한의 노력과 비용으로 공급하는 것을 말한다. 저수·용수·배(홍)수·수질 관리로 구분할 수 있고, 관리방법으로는 시설관리와 운영관리로 구분한다.

가) 물 관리 시설

물 관리 시설은 넓은 의미로는 댐과 모든 관련시설을 말하며, 협의로는 저수관리시설은 유입량 관측시설, 저수위 관측시설 등이 있고, 용수관리시설은 취수시설의 수문과 개폐장치, 송수시설의 분기 및 제어장치, 급·배수 시설의 급수 및 배수장치와 제어시설 및 유량측정시설 등이 있고, 홍수관리시설은 홍수유입량 관측시설, 수위관측시설 등이 있고, 수질관리시설은 수질관측시설을

들 수 있다. 그러나 물 관리시설만으로는 물 관리를 제대로 할 수 없으며, 관리제도, 관리규정 등 소프트웨어와 경험과 전문성을 가진 관리인이 소프트웨어를 운용하여 물 관리시설을 적절히 조작 할 때 정상적으로 물 관리가 된다.

물 관리 조사에는 ① 기상상황, 상·하류 하천현황 등 자연조건 조사, ② 용수별 공급지역의 이수, 치수 및 관행조사와 물 부족 정도 조사, ③ 공급지역의 용수별 기존 수리시설 자료 및 현황조사, ④ 기존 수리시설물의 관리제도, 관행 및 물 관리에 대한 주민의식, 관리인 자질 등, ⑤ 주요 물 관리 시설물의 설치 위치 조사 등이 있다.

나) 원격 관측/제어 (TM/TC)시설 조사

물 관리 자동화는 종전의 관행적인 물 관리방법으로 관리인이 직접 현장을 관찰하고 경험에 의해 상황을 판단하여 시설물을 조작 개폐, 제어하는 방법을 대체하여 전기, 기계, 전자, 통신 및 컴퓨터기술을 이용한 원격 관측/제어 (TM/TC)기법으로 주요시설의 가동상태와 주요지점의 상황을 감시, 점검, 조작, 제어하는 방법을 말한다. 자료의 수집분석으로 상황을 예측 판단하여 조치함으로써 효율적인 물 관리를 시행할 수 있다.

(1) TM/TC 조사흐름도

(2) 도상계획

댐 계획 평면도 (1/25,000, 1/5,000, 1/1,000) 및 댐 설계자료, 설계도면 등을 검토하여 댐 현황을 파악하고 유역, 하천 특성과 이수, 치수 현황을 파악하여 TM/TC에 대한 다음 사항을 계획한다.

(가) 물 관리 대상 선정

대상 댐의 제반특성과 관리 중요성을 고려하여 물 관리 대상(저수, 용수, 홍수, 수질)을 선정한다. (가능한 한 전체를 선정하여 종합관리 체제로 함이 바람직하나 제반 사정에 의하여 부분 선정할 수도 있다)

(나) 물 관리 범위결정

물 관리 대상이 선정되면 자동화시설의 목표와 방향을 설정하고 시스템의 기본구성을 검토하여 물 관리대상 시설의 범위를 결정한다.

(다) TM 위치선정

물 관리 대상시설이 결정되면 그 시설의 이용계획 또는 이용현황을 검토하여 물 관리를 위한 제어 및 측정항목을 개략 결정하고 측정시설 및 관측시설 설치장치를 선정한다.

(라) TC 계획

대상 댐의 물 관리 운영계획을 개략 검토하여 관리대상시설의 설치목적, 기능, 그리고 관리방법 등에 부합하는 관리항목을 선정 한 후 주요시설과 주요지점에 TC 계획을 수립한다.

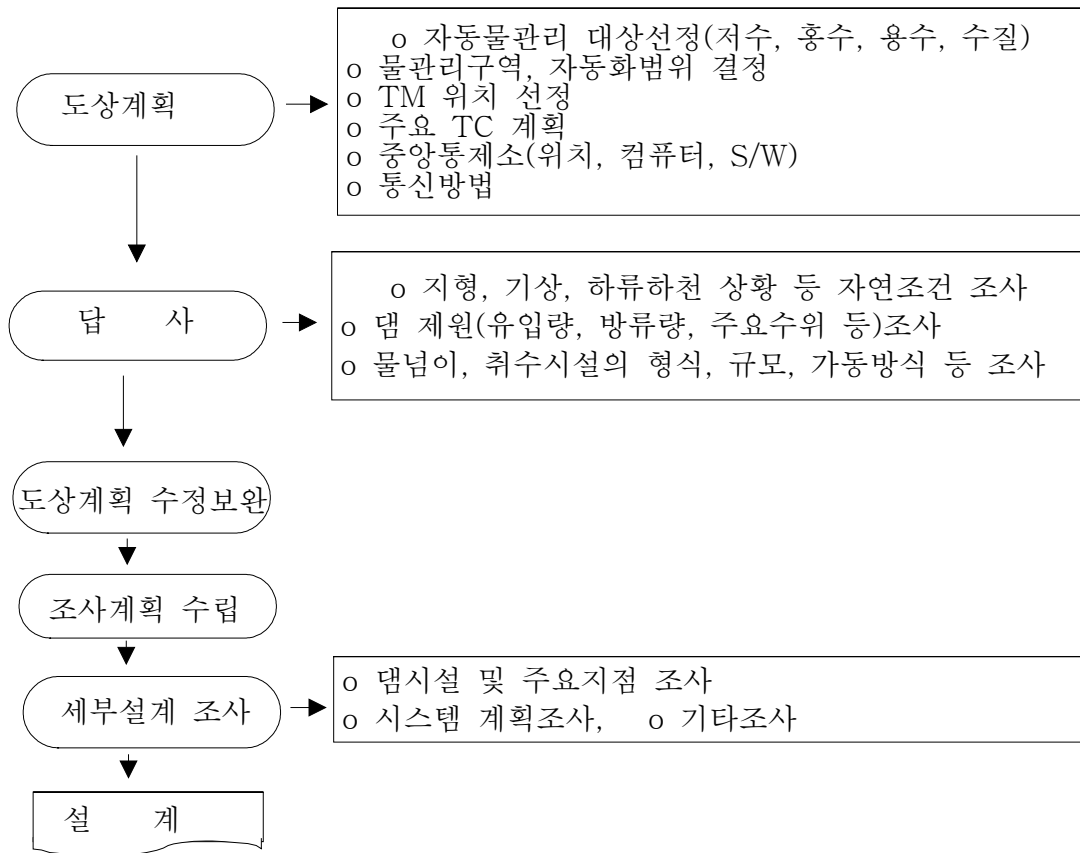


그림 3.2.5 TM/TC 조사 흐름도

(마) 중앙관리소

중앙관리소는 원격제어소(RTU)로부터 신뢰성이 높은 각종 데이터와 정보를 수집하고 신속하게 분석 처리하여 제어명령을 전달할 수 있는가를 검토하여 중앙관리소의 위치와 시스템의 기능 및 구성계획을 수립한다.

(바) 통신방법

관리대상시설과 중앙관리소가 결정되면 여기에 적합한 데이터 전송방식을 개략 선정한다. 전송방식 선정 시에는 회선의 종류(유선, 무선, 유·무선혼용) 별 특징과 지구 여건을 검토하고 경제성을 비교하여 선정한다.

(3) 답사

TM/TC 계획설계를 위한 답사는 토목, 기계, 전기, 건축, S/W 개발담당 기술자와 시설물 관리자, 물 관리 요원이 공동조사 협의하여 보고서를 작성함

로서 계획의 기본구상과 조사계획수립 및 설계의 기초자료로 활용해야 한다. 이를 위하여 각 전문분야별로 필요한 사항을 조사한다.

(4) 도상계획 수정보완

답사결과와 담당전문기술자 협의에 의하여 도상계획 내용을 수정 보완한다.

(5) 조사계획 수립

도상계획, 답사결과에 의하여 분야별 담당기술자가 관리대상시설에 대한 TM/TC 계획을 협의하고 세부설계를 위한 현장조사 계획을 수립한다.

(6) 세부설계조사

(가) 댐 시설 조사

댐 시설 (물넘이 시설, 취수시설 포함)의 규격 및 제원, 유역의 수자원 부존량, 총저수량, 용도별 용수량, 댐 수위 현황 (사수위, 만수위, 홍수위), 표고별 저수량(내용적표) 물넘이 시설의 배제능력, 취수시설의 취수능력 등을 조사하고, 물넘이 시설 및 취수시설의 작동방법, 동력 사용여부, 작동상태 등과 댐 시설 관리규정, 관리기준, 물 관리 지침 등을 조사한다.

(나) 시스템 계획, 설계에 필요한 조사

시스템 계획설계에 필요한 조사는 중앙관리소와 현장시스템의 관리체계, 관리방법, 관리수준 등을 고려하여 중앙관리소의 필요성, 통신시스템(유선, 무선 중계소), 경제성(시설비 및 유지관리비)을 비교검토 후 다음 사항을 조사한다.

- ① 관리대상 시설물의 현장조사
- ② 측정, 감시장치, 선로 RTU 위치
- ③ 관리대상 시설과 중앙관리소간의 유·무선 통신시험
- ④ 중앙관리소 위치

라) 기타 조사

기존 댐의 경우, 댐 구조물의 형식, 작동상태, 유지관리 상태 등을 조사하여 TM/TC 계획 시 조작성이 용이하도록 개보수 필요성 여부를 검토해야 하며 관련시설, 인근지역의 수문 자료, 용도별 용수공급계획, 수질 및 유역의 오염원 등을 조사한다.

3) 안전관리

댐에 있어 안전관리는 대단히 중요하다. 댐은 특성상 넓은 면적에 많은 물을 저수하고 있으며, 여러 가지 부속시설을 설치하고 있어 댐 자체로도 많은

위험요소를 내포하고 있을 뿐 아니라 외부적으로도 위험요소도 있다. 이 많은 요소들을 예측하고 대비하여 사전에 방지하는 것을 안전관리라고 한다. 그 범위 또한 댐 시설의 안전에서부터 절개지의 낙석 방지에 이르기까지 넓게 분포되어 있고 여러 종류가 있으므로 관리 또한 용이치 않다. 중요한 사항에서부터 작은 문제에 이르기까지 세밀하게 관리함으로써 많은 사고를 예방할 수 있으므로 항상 점검하고 대비하며 성실하게 관리해야 한다.

가) 안전관리 시설

댐 시설에는 많은 사람들이 접근하므로 추락 등의 사고가 예측되므로 이를 방지하기 위한 방호 난간 시설이 필요하고, 사람들이 예고도 없이 접근하는 경우가 많으므로 각종 안내 및 경고 표시판을 설치해야 한다. 넘치는 물을 시급히 방류할 때 또는 댐 시설에 위험요소가 예측될 때 비상경고, 통보, 안내 등을 할 수 있는 시설이 필요하다. 댐 시설 건설을 위하여 부득이 굴착 절개지 또는 산턱에서의 낙석 방지 시설, 이설도로에서의 안전시설 등이 필요하다.

나) 안전관리 시설을 위한 조사

(1) 방호난간 : 댐 구조물위에 설치하는 방호난간은 조사할 필요성이 거의 없으나 댐 구조물과 원지형과의 접속지점에 대하여는 방호난간의 조사가 필요하며 이설도로, 유지관리 도로의 저수지 쪽 급경사지에는 방호난간의 필요성 여부를 조사한다.

(2) 안내 또는 경고 표시판 : 사람들의 접근이 예상되는 곳, 위험성이 있는 곳 등의 위치를 조사하여 안내 또는 경고 표시판을 설치한다.

(3) 비상경고(통보, 안내)시설 : 하류하천 현황과 인근부락 및 부락민의 하류하천 이용실태 등을 조사하고 사이렌(siren), 확성기, 통신시설 등의 설치여부와 설치위치, 선로 등을 조사한다.

(4) 낙석 방지시설 : 대절토 구간, 절개지, 산턱의 낙석 위험 개소 등의 지형을 조사하고 낙석 방지시설의 종류와 설치위치, 시설 규모 등을 조사한다.

(5) 기타 저수역 또는 댐 구조물에 대하여 위험성, 안보, 등 사유로 접근을 차단할 필요성이 있는 장소에 대하여 검토하고 이에 필요한 철망, 철책 등의 설치장소, 규모 등을 조사한다.

4) 환경관리조사

댐 공사 완료 후의 유지관리에 있어 환경관리에는 수질관리, 생태관리, 경관관리와 폐기물(쓰레기)관리가 중요하다. 대기, 소음, 진동, 악취 등의 관리도

중요하지만 댐에서 이들이 문제될 가능성은 적기 때문에 중요성은 그만큼 적을 수밖에 없다.

가) 수질관리조사

댐 수질관리는 원칙적으로 중요하며 저수된 물의 이용(생활용수, 공업용수, 농업용수, 환경용수 등)에 따라 수질등급이 결정되지만 이러한 수질등급에 관계없이 가능한 한 맑고 깨끗한 물을 유지하려는 관리노력이 필요하며, 최소한 규정된 수질등급은 유지해야 한다. 최근 수질(하천, 댐, 지하수 등)이 급속히 오염되고 있고, 환경에 대한 관심이 높아짐에 따라 수질에 대한 법적 규제가 강화되어 있으므로 법규를 숙지하고 이에 따라 관리할 필요가 있다.

(1) 수질관리시설

수질관리시설은 수질관측시설과 정화시설을 들 수 있으며, 정화시설은 댐 관리에서 직접관리보다는 간접관리의 경우가 많은 것이 현실이다. 오염된 댐 유입수를 정화하기 위하여 정화시설을 설치 관리하는 것은 특별한 경우가 아니면 어려울 것으로 판단된다.

(2) 수질관리조사

① 오염원조사 : 유역내에서 발생하는 오염원(생활하수, 축산폐수, 산업폐수 등)을 조사하고 정화시설의 유무와 필요성을 조사한다.

② 수질조사 : 댐으로 유입되는 주하천의 수질과 지류별 수질을 조사하고 시료를 채취한다.

③ 수질관측시설 위치조사 : 주하천의 저수역 유입지점, 상류지류 합류점, 댐, 취수구 인근 등 수질관측시설 설치위치를 조사한다.

④ 수질정화시설 조사 : 유역내에 기설치되어 있는 수질정화시설의 위치, 개소수, 규모, 정화방법, 설치 및 관리자, 정화전·후 수질 등을 조사한다.

나) 생태관리조사

댐 건설은 지역의 동물과 식물의 서식환경(생태환경)에 다양한 변화를 수반한다. 이들 변화에서 부정적 요소와 영향을 최소화하고 긍정적 요소와 영향을 최대화하려는 노력을 해야 하며, 이러한 노력을 생태관리라고 한다.

(1) 생태관리조사

(가) 댐의 생태관리시설에서 식물생태관리를 위한 시설은 특별한 경우가 아니면 하지 않는 것이 일반적이다. 그러나 지역에 귀중한 식물군락이나 희귀종 또는 멸종위기의 식물이 있어 보호해야 할 경우에는 보호시설을 할 필요가 있다.

(나) 동물은 수생동물(어류 등), 양서류, 육생동물 등으로 구분할 수 있으나 종이 다양하고 생태 또한 다양하므로 이들을 모두 배려할 수는 없지만 특별한 경우에는 배려해야 한다.

① 어도 : 하천을 차단하여 댐을 건설하게 되므로 하천상류와 하류를 오가며 서식하는 어류에 있어 이를 차단하게 되며, 어종에 따라서는 번식 등 서식환경에 치명적일 수 있으므로 이에 대한 최소한의 대책으로 어도를 설치한다.

② 부도(浮島) : 떠 있는 섬의 의미로서 어류, 곤충류, 양서류, 조류 등의 서식환경을 인공적으로 조성하는 것으로 수질정화 기능을 갖도록 할 수도 있다.

③ 이동통로 : 이설도로, 개수로 등에 설치하며 육상동물, 양서류 등의 이동을 차단하는 시설에 통로를 설치하여 이동을 가능하게 한다.

(2) 생태관리 시설조사

(가) 지역의 식물생태 분류에 대하여 조사하고 주생수종, 군락지 등을 조사하며 특히 희귀종, 또는 멸종위기의 보호대상 식물의 서식여부를 조사한다. 문헌조사와 관련학계 등에 문의하여 조사하고 지역주민에게 청문조사하고 현지를 답사 확인한다.

(나) 하천 서식어종을 조사하고 특히 이동 서식하는 어종의 유무와 서식 습관, 이동사유, 경로 등을 조사한다. 또한 부도시설의 필요성 여부와 설치위치를 조사한다.

(다) 육상동물의 서식분포를 조사하고 동물별 이동 루트(route)를 조사하며 동물별 특성(주식, 성격, 서식 습성 등)을 조사하고 이동통로 설치위치를 조사한다. 필요한 경우에는 유도로(시설) 설치를 고려하여 조사한다.

다) 경관관리

물 자체가 하나의 경관요소가 된다. 즉 댐을 건설하여 많은 물을 저수할 경우 저수자체가 하나의 경관을 형성하게 된다. 더욱이 원근의 높고 낮은 산과 기암괴석 및 산림의 녹색과 조화를 이룰 때 상승효과는 지대하다. 댐 건설은 물과 산과 녹지가 조화된 경관을 형성하므로 많은 사람들이 즐기기 위하여 방문하는 경우가 많다.

댐과 부대시설을 건설하기 위하여 부득이 훼손한 자연지형의 굴착, 절개면에 대하여 가능한 한 원상에 가까운 복구시설을 해야 하며, 조망이 좋은 장소의 관리를 위한 관망시설, 경관에 악영향을 주는 건물이나 시설물에 대한 가림시설, 경관 보존과 훼손 방지를 위하여 설치하는 접근방지 또는 차단시설

등을 들 수 있다. 위락 또는 관광지로 활용하기 위한 시설은 별도로 계획하는 것이 일반적이다.

경관관리 시설조사에는 ① 댐 건설을 위하여 훼손되는 굴착, 절개면에 대하여 지형, 지질, 토질, 주변의 식생 분포, 지하수 유출여부 등, ② 조망이 좋은 장소의 위치, 지형, 진입로 등을 조사하고 관망시설의 필요성 여부와 주변지역 보호를 위한 시설 설치 필요성 등, ③ 경관에 악영향을 주는 건축물, 시설물 등을 조사하고 철거, 변형, 가능성을 조사하며, 은폐림 등의 조성을 위하여 주변 식생수종, 주변과 조화를 이룰 수 있는 수종 등, ④ 경관의 보존과 훼손, 오염 등을 방지하기 위하여 경고, 안내 표지판의 설치와 접근방지 또는 차단 시설의 필요성과 설치위치를 조사한다. 또한 접근방지와 차단만이 능사가 아니므로 역으로 수변에의 접근로, 수변 산책로 등의 설치 필요성 여부도 검토할 필요가 있으며 이에 대한 조사도 필요할 경우가 있다.

라) 폐기물(쓰레기) 관리

댐과 저수역, 주변은 넓은 면적을 차지하고 있고 지형, 수목 등에 의하여 은폐될 수 있는 장소가 많다. 많은 사람들이 저수역 수변을 찾아 휴게, 오락, 낚시 등 행위를 하며, 버리고 간 폐기물(쓰레기)들이 경관을 해치고 수질과 수변을 오염시키는 사례가 많이 있으므로 이에 대한 관리를 해야 한다. 폐기물 관리시설은 폐기물 수거함, 폐기물 처리시설(집적, 분류장소, 소각장 등) 및 폐기물 관리 기자재 창고 등이 있다. 폐기물 관리시설 조사에는 ① 폐기물 관리시설의 설치위치, 개소수 ② 폐기물 집적 장소와 처리시설(소각장 등) 위치 ③ 기타 필요한 사항을 조사한다.

제 4 장 설 계

4.1 댐 일반 및 형식결정

4.1.1 댐 일반

댐높이는 댐기초지반의 최저점과 댐마루의 표고차를 말하며, 여유고는 설계최고수위와 댐마루의 표고차를 취하는 것을 원칙으로 한다. 댐길이는 댐마루에서 종단방향 댐의 총길이를, 댐부피는 댐 전체 부피를 말하며, 비탈면기울기는 비탈면 수평길이와 수직높이의 비를 말하며, 덧쌓기는 댐을 완성한 시점에서 댐설계단면을 초과하는 부분을 말한다.

가. 용어의 정의

댐높이 : 댐마루의 상류단을 통과하는 연직면과 기초면이 교차하는 최저기초지반의 표고차를 말한다. 기초지반에 지수벽의 저폭이 10 m 이상일 때는 지수벽 직하류의 기초지반을 최저기초지반으로 취한다.

여유고 : 설계최고수위와 댐마루의 표고차를 말한다. 설계최고수위는 일반적으로 설계홍수위를 말하며, 게이트식 물넘이를 가진 댐에서는 평상시 만수위 또는 홍수조절시 만수위가 설계홍수위보다도 높을 경우는 높은 수위를 취한다. 댐마루에서 덧쌓기 높이는 포함하지 않으며 파라핏(parapet) 높이가 3 m 이상일 경우는 여유고에 포함시킨다.

댐길이 : 댐마루에서 댐의 종단방향 총길이를 말한다. 양안 접속부의 굴착부분을 포함한다. 댐체에 접속해서 물넘이나 발전소 건물 등이 있을 경우는 이를 포함한 길이로 한다.

댐부피 : 댐 전체부피를 말하며 상류비탈면의 사석공, 불투수성 블랭킷(blanket), 하류비탈끝의 토드레인(toe drain) 등 체체에 접속된 부분의 인공구조물체적은 모두 포함된다.

비탈면기울기 : 비탈면의 수평길이와 수직높이의 비를 “할”로 나타낸 것을 말한다. 상·하류 사면의 평균기울기는 댐마루 상(하)류의 비탈머리와 상·하류 비탈끝의 수평차/표고차를 “할”로 나타낸 것을 말한다. 이 때 압성토가 있을 경우는 이를 포함시키며, 불투수성 블랭킷은 제외한다.

덧쌓기 : 댐을 완성한 시점에서 댐 설계단면을 초과하는 부분을 말한다. 따라서 댐 완성시까지 이미 침하한 부분은 덧쌓기 중에 포함되지 않는다.

나. 필댐의 특성

필댐은 단면형상이 크고 저폭이 넓어서 기초에 전해지는 응력이 적고 댐 부근의 천연재료를 이용할 수 있으며, 시공의 기계화율이 높으나 댐체 구성재료가 괴상 또는 입자상의 흙과 돌이므로 침투수에 유의해야 한다.

1) 필댐은 콘크리트댐보다 단면형상이 크고 저폭이 넓으므로 댐체의 자중과 수압을 폭넓게 기초지반에 전달한다. 따라서 단위면적당 하중이 적고 단단한 암반기초에 비하여 지내력이 적은 풍화암이나 하천퇴적물 위에도 기초지반의 투수성에 대한 처리를 하면 시공할 수 있다. 특히 균일형 필댐은 설계시의 조건이 만족되면 거의 모든 지질의 기초지반에도 시공이 가능하다.

2) 필댐은 부근에서 구해지는 천연재료를 목적에 따라 이용하여 시공할 수 있으므로 도로의 개수, 보수 등을 포함한 운반비를 고려하면 운반조건이 나쁠 때 유리하다.

3) 필댐은 재료채취, 싣고 부리기, 운반, 성토 등 각 공정에서 대형기계의 기계화시공이 가능하여 인력이 거의 필요치 않고 또한 재료의 이용 범위가 넓어 시공의 경제성이 높다.

4) 필댐은 입상재료의 집합체로서 소성체이므로 활동파괴와 토질차수준에서 침투류에 의한 파이핑의 위험이 있고 제체가 침하하며, 유실되기 쉽다.

댐의 활동에 대한 안전성은 보통 원호활동법으로 검토를 하고 있으나 활동면이 직선, 곡선 또는 그 조합의 경우도 있으므로 이들도 고려하여 검토해야 한다.

균일형이나 준형댐에서 침투류에 의하여 제체 재료가 유출되면 파이핑이 일어나 댐이 파괴되는 경우가 있으므로 구성재료 중에서 특히 미세립의 흙입자가 침투수에 의하여 유동되지 않도록 침투유속을 제한시키거나 적절한 필터를 설치하는 등의 배려를 해야 한다,

한편 축제재료의 성질이나 시공법에 따라 약간의 차이는 있으나 댐체는 입상체의 집합체이므로 제체의 침하는 피할 수 없다. 따라서 필댐 위에 다른 구조물을 시공하는 것은 좋지 않으므로 물넘이와 기타 수리구조물은 댐본체와 떨어져서 설치한다. 또한 월류 또는 빗물, 파랑 등에 의한 침식에 대하여 약하다. 따라서 댐이 월류되면 흐르는 물에 의하여 재료가 유실되므로 결괴로 이어지므로 홍수량 산정시는 주의해야 하며, 설계홍수량에 대처할 수 있는 물넘이 단면을 결정하고 댐 높이도 충분한 여유를 가지도록 해야 한다.

4.1.2 댐형식 결정

댐형식은 직접적으로 댐터의 지형, 지질, 기상, 수문, 지진 등의 자연적인 조건과 축제재료의 종류 및 매장량, 교통관계 등 지역적인 조건 및 간접적으로 댐건설 목적, 규모, 공사기간, 기술력, 노동력, 건설장비 등의 조건 등 고려되는 모든 조건을 종합적으로 비교 검토한 후 안전하고 또한 공사비가 저렴한 것을 선정해야 하며, 이는 “1.2.1 설계의 기본”에서 규정하는 사항을 만족시켜야 한다.

가. 일반사항

지형, 지질이 양호한 댐터는 콘크리트댐의 시공이 가능하며, 기초지반이 불량하던가 퇴적층이 깊은 곳에서는 필댐이 유리하다. 일반적으로 댐터의 현상 계수(댐길이/댐높이)가 적을 때는 댐부피가 적은 콘크리트댐이 경제적이다 하고 있다. 필댐은 콘크리트댐보다 기초지반의 접지폭이 넓으므로 지반에 작용하는 응력이 적어 지반의 지지력이 적어도 된다. 경제성비교에서 필댐은 전체 공사비에서 차지하는 물량이 공사비의 비율이 높아질 염려가 있으므로 신중히 검토해야 한다.

{참고} 댐부피를 구하는 계산식

댐터의 지형, 지질조건을 단순한 형으로 가정하여 다음의 계산식으로 댐부피를 구할 수 있다(그림4.1.1 참조).

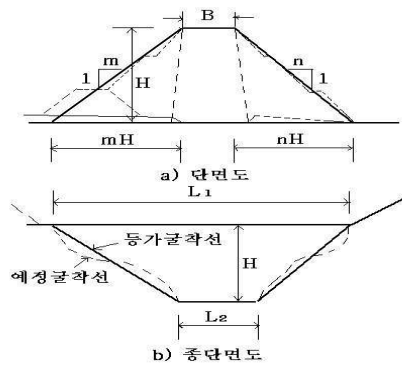


그림 4.1.1 필댐 치수 등의 제원

$$V = \frac{1}{2}BH(L_1 + L_2) + \frac{1}{6}(m + n)H^2(L_1 + 2L_2) \dots\dots\dots(4.1.1)$$

여기서, V : 굴착면의 등고선이 모두 평행할 때의 댐부피(m^3)
 B : 둑마루 나비(m), L_1 : 굴착 후 둑마루 표고에 대한 계곡의 나비(m)
 H : 댐 높이(m), L_2 : 댐의 기초지반표고에 대한 계곡의 나비(m)
 m : 댐 상류 비탈면의 평균 기울기, n : 댐 하류 비탈면의 평균 기울기

나. 필댐 형식의 결정

필댐의 각 형식의 특성을 각 항목별로 정리하면 대략 다음과 같으며, 이러한 특성을 충분히 고려하여 필댐의 형식을 결정 한다.

1) 댐의 높이

가) 낮은 댐에서는 어떠한 형식을 취해도 구조상의 문제는 별로 없으나 일반적으로 시공이 간편하고 쉽게 댐체의 지수성을 확보할 수 있으면 단면이 단순한 균일형이 적합하다.

나) 댐의 높이가 30 m 이상일 경우는 축제재료의 전단강도, 간극수압 발생 등의 문제가 있으므로 보통 균일형 이외의 형식으로 결정하는 경우가 많으며, 일반적으로 존형이 유리하다.

다) 높은 댐에서는 전단강도가 큰 재료를 사용할 수 있고 아울러 불투수준이 얇고 간극수압 소산이 빠른 것 등의 이유로 토석재료에 의한 존형 필댐이 유리하다.

라) 표면차수벽형은 댐 높이가 높으면 제체의 변형량이 증가하여 차수벽에 끼치는 영향이 크므로 불리하다.

2) 재료의 성질과 양

가) 댐터 부근에서 경제적으로 축제재료를 구할 수 있고 또한 댐 및 물넘이, 기타 부대구조물의 기초굴착에서 얻어진 암석, 자갈, 흙 재료의 선택범위가 광범위할 경우는 존형이 유리하다. 이 때 안정상 유효하도록 트랜지션이나 록존을 다시 구분하거나 랜덤을 설정하여 재료를 효과적으로 이용할 수 있게 해야 한다.

나) 댐터 주위에 세립분이 비교적 많고 함수비가 많은 토질재료가 있는 경우는 쌓아 올리는 속도조절, 배수시설 등의 처리 때문에 균일형이 유리하지만 단면형식은 존형에 준하는 것이 좋다. 또한 이러한 재료를 불투수준에 사용할 때는 자갈이나 깬돌을 혼합하여 재료의 강도와 압축성 및 시공성을 개량하면 높은 존형댐에도 사용할 수 있다.

3) 지형

가) 댐의 양안부가 급경사일 경우는 댐체의 부등침하가 일어나기 쉬우므로 차수존형이나 표면차수벽형은 적합하지 않다. 존형으로 할 경우도 높은 댐에서는 불투수성존의 두께를 충분히 취하거나 재질을 잘 개량하여야 한다.

나) 댐 양안부의 원지반 형상에 따라서는 경사차수존형이 투수상 또는 댐 부피면에서 유리하나 댐이 높을 때는 경사차수존형은 댐체의 변형이 문제가 되는 경우가 있으므로 주의해야 한다.

4) 지질

가) 기초가 암반이면 어느 형식으로 결정해도 좋으나 변형량이 큰 연암 또는 다공질의 암, 균열이 발달된 암의 경우는 인공재료의 코어형이나 표면차수벽형은 부적합하다.

나) 기초가 토질이면 균일형이 가장 적합하며, 사력 등의 투수성기초이면 균일형이나 존형이 적당하고 특히 블랭킷공법으로 할 경우는 경사차수존형이 구조설계상 유리한 경우가 많다.

5) 기상조건

가) 한랭지나 강우가 많은 지방에서는 토질재료의 함수비가 높아서 시공성에 예민하게 영향을 주어 시공가능일수에 많은 제한을 받으므로 토질재료가 많이 필요한 균일형은 불리하다.

나) 일반적으로 투수성재료는 기상조건의 영향을 비교적 적게 받으므로 투수단면이 큰 경사차수존형이 강우가 많은 계절에도 차수존 외에는 시공할 수 있으므로 유리하다.

다) 공사기간을 단축해야 할 경우는 불투수성존에 발생하는 간극압을 되도록 빨리 소산시키기 위하여 불투수성존의 두께를 얇게 하고 투수성존의 두께를 크게 하거나 배수시설을 계획할 수 있는 존형이 유리하다.

6) 저수지의 용도

홍수조절용 방재댐이나 양수발전용 등과 같이 공용인 댐의 경우는 수위가 급강하하는 일이 빈번하므로 중심에 차수존이 있는 존형이나 표면차수벽형이 유리하다.

다. 댐형식 결정시 대안비교 방법

전술한 댐형식 결정시의 고려사항을 유의하여 답사 및 기본조사자료를 가지고 일반적으로 다음과 같은 사항을 비교 검토한다.

1) 댐 기초지반

토질 및 지질조사 자료를 이용하여 토질과 암질(강도), 암반의 분포상태, 단층 및 파쇄대유무 등을 검토한다. 필댐의 경우는 기초지반의 반력이 콘크리트댐보다 적어서 일반적으로 기초지반의 건조밀도가 다짐한 성토의 건조밀도 이상이면 기초지반으로서 양호하다고 볼 수 있다.

2) 재료 구득

필댐의 경우는 일반적으로 댐 예정지 부근에서 성토재료를 쉽게 구할 수 있으나 자연환경보호지구로 되어있는 경우는 문제점이 있으므로 취토장을 먼 곳에 선정해야만 하는 경우도 있다.

3) 댐 형식

주변에서 양질의 점토와 포토재료를 쉽게 구할 수 있으면 준형 어스필댐이 유리하고 주변에서 사력재료를 쉽게 구할 수 있는 경우는 록필댐이 유리하다.

4) 수몰지 조건

댐위치에 따른 수몰지의 농경지매수, 이설도로, 이주민 및 민원 대책 등을 검토한다.

5) 종합검토

전술한 바에 따라 댐형식이 필댐과 콘크리트댐 두 종류가 제안되었을 때는 환경영향평가 결과와 함께 종합적으로 검토하여 댐형식을 채택한다.

4.2 친환경설계 및 수변정비

갈수기에 적절한 하천유지용수를 댐에서 공급하여 댐 하류하천의 건천화를 방지하고 정상적인 하천환경과 생태계가 유지되도록 하여야 한다. 댐 건설 시에는 자연훼손을 최소화하고 자원활용을 최대화하는 개발방법을 선정하여야 한다. 댐 건설 후에는 자연환경과 인공구조물이 조화를 이루는 친수·녹지 공간을 조성하여 주민들이 쉽게 접근하여 활동함으로써 삶의 질을 향상할 수 있도록 한다. 갈수기에도 적절한 하천유지용수를 댐에서 공급할 수 있도록 저수용량 설계시 이를 고려하고, 환경친화적 설계와 관리로 지속 가능한 농업용수

개발과 관리가 되어야 한다.

물 사용량의 증가로 많은 지역에서 과도한 하천취수로 인하여 하류하천 유량이 상류보다 줄고 있으며, 저수지와 지하수 수위는 현저히 감소하고 있다. 유역에서 배출되는 오염물질의 부적절한 처리로 인하여 하천과 저수지 수질은 오염되고, 수생 생태계는 심각하게 위협받고 있다. 식량증산은 품종개량, 화학비료와 농약 투입과 함께 관개시설의 활성화에 기인한 바 크다. 따라서, 물 수요량에 대응하는 공급량의 부족으로 신규 수자원 개발이 불가피할 것으로 추정하고 있다. 물 부족이 예상되는 상황에서 어떻게 환경친화적 설계와 관리로 지속 가능한 농업용수의 개발과 관리가 절실히 요구되고 있다.

4.2.1 기본개념

저수지 설치시 자연경관과 주요 생태계에의 영향을 최소화와 저수지의 수질관리에 필요한 조사를 통하여 환경보전계획을 검토한다.

저수지 유역의 환경보전을 기초로 지역주민과 인근 도시민의 휴식, 리크레이션, 자녀교육의 장소 제공을 위한 친수·녹지공간조성 방안에 대해서도 검토한다.

농촌용수개발사업 추진이 환경에 미치는 영향을 최소화하고 관련시설물 및 공간이 주민생활에 활용될 수 있도록 최선의 개발전략과 대안을 마련하고 지역주민 및 관련기관의 의견을 최대한 수렴한다.

친환경적 댐·저수지설계는 농촌지역의 생활·농업·공업·환경용수 등을 확보하는 동시에 자연환경과 인간활동이 조화를 이루는 지속 가능한 개발을 하여 농업의 공익기능을 최대한 살리면서 환경보전과 개발이 조화를 이루도록 한다. 수질개선, 생태계보전, 문화재보호 방안 등에 대해서는 관련분야 전문기관 및 전문가의 의견 수렴과 더불어 도움을 받을 수도 있다. 이를 위해서는 조사단계별로 다음의 환경조사를 실시하여 설계에 반영하여야 한다.

가. 댐이 환경에 미치는 영향

댐·저수지 기능의 긍정적 효과를 극대화하고 부정적 환경영향을 최소화하는 노력이 필요하다. 댐·저수지 건설은 생활·공업·농업용수공급, 수력발전, 내륙운하, 홍수피해경감, 갈수량 증대, 위락시설 등 긍정적인 개발효과가 큰 반면, 환경에 미치는 부정적 영향도 있게 마련이다. 댐이 환경에 미치는 영향은 물리적 영향, 생화학적 영향 및 인간에 미치는 영향에

대한 대책을 수립해야 한다. 이러한 부정적인 생물학적 영향에도 불구하고 저수지는 보다 큰 긍정적인 효과가 있기 때문에 물 관리 기술자는 생물학 자들과 협력하여 부정적 영향을 극복해야 한다.

건설기간 중에는 대규모 토공작업에 따라 주위에 교통장애가 야기되고 소음과 먼지, 하천수질오염이 발생되므로 이를 최소화할 수 있는 현장에 적합한 사전조치를 취해야 한다.

건설 후에는 문화유적지 수몰, 저수지 수변 포락과 산사태 발생, 저수위 변화, 퇴적물, 부영양화발생, 냉해피해, 지하수위 및 지하수량 변화, 하류하천 및 저수지의 유황변화 및 위락시설에 의한 오염 등이 우려되며 이를 최소화할 수 있는 조치를 취해야 한다.

1) 물리적 영향

저수지가 환경에 미치는 물리적 영향은 하류하천유황, 지하수위 하강과 수질악화, 침전물, 포락 및 산사태, 기후변화, 수온변화, 결빙조건, 어류 및 야생동물 이동통로 봉쇄, 문화자산 및 지하자원의 수몰 등이 있다.

가) 하류하천유황

저수지가 하류하천유황에 미치는 변화는 주로 저수용량에 따라 결정된다. 저수용량이 크면 클수록 갈수량, 저수량 및 홍수량 등 하류하천의 유황에 미치는 영향이 크다. 댐저수지에 의하여 홍수기에는 홍수량이 조절되어 홍수피해가 경감되고 갈수기에는 하천유지유량이 공급되어 용수이용과 수질이 개선된다. 홍수조절목적의 댐은 홍수량을 경감시키지만 갈수기의 유황을 개선할 수는 없다. 따라서, 저수지에서 생·공 용수와 농업용수 공급이외에도 하류하천의 최저자연유량보다 큰 하천유지유량을 공급하게 된다. 피크발전에 의한 급격한 유황변동은 하천의 생물학적 기능과 하천바닥 변화에 나쁜 영향을 미치므로 조정지를 설치하거나 하천을 따라 연속적으로 댐을 건설하는 것이 바람직하다. 저수지에서 일시에 많이 취수하는 것도 하천유황을 악화시키므로 저수용량 설계시에 이를 고려해야하며 가끔 하천바닥을 씻어 낼 수 있는 유량도 포함시키는 것이 좋다.

나) 지하수위 하강과 수질악화

저수지는 지하수에도 영향을 미친다. 즉, 저수지 수위가 높아지면 주위 농경지 배수에 문제가 생긴다. 댐 하류측의 하천바닥을 굴착하는 것은 치명적인 수준으로 지하수위를 낮출 수 있다. 저수지로부터의 침투수는 지하수질을 악화시킬 수 있고 댐 하류 계곡부에는 농경지의 지하수 과습이 생길 수 있다. 수문·지질학적 조사, 저수 후 지하수 변동예측에 의하여 조

치해야 한다.

다) 침전물

저수지 침전도 저수용량과 저수지 수명이 감소되므로 중요한 물리적 영향의 하나이다. 저수지로 유입되는 퇴적량이 많을 경우에는 설계수명기간(약 80년 등)을 고려하여 댐 기능이 상실될 것에 대비한 대책을 구상하여야 한다.

라) 포락 및 산사태

저수지 수면부에서 발생하는 지형적 변화인 포락과 산사태현상은 바람, 배운항, 결빙, 저수위변화 및 인위적 작업에 의하여 야기되며 수면부의 토성과 지질에 따라 크기가 결정된다. 저수위가 상승, 하강함에 따라 나지가 노출되어 보기 흉하게 된다.

표 4.2.1 조사단계별 환경조사 항목

조사항목		예정지 조사	기본조사	세부설계
환경조사	경관·생태	- 지역의 주요 생태계 및 식생 현황 조사	- 보전이 요구되는 주요 생태계 및 식생의 특성조사	- 주요생태계보전과 경관과의 조화를 위한 시설물 유형 결정과 유지관리를 위한 조사
	수질관리	- 주요 오염원 조사	- 발생원별 오염부하량 산정 및 수질관리대책 검토	- 수질관리 방안 및 적용공법 결정을 위한 조사
	친수녹지공간	- 조성공간의 접근성 조사	- 문화재 및 문화 특성 조사 - 공간활용방안 및 유형 검토	- 지역주민 호응도 및 시설물 배치와 유지관리를 위한 조사

마) 기후변화

큰 저수지나 저수지군이 기후에 미치는 영향은 오랜 연구과제였으며 아직도 논란의 쟁점이 되고 있다. 스웨덴 기상수문연구소는 20년간 조사하여 저수지에 의한 유량변화가 기온에는 별다른 영향이 없지만 수온에는 변화가 있으며 가을과 초겨울에는 수온증가로 인하여 안개발생이 증가하는 것을 확인하고 있다.

바) 수온변화

저수지 수온변화는 저수량의 크기와 수심의 깊이에 따라 결정된다. 저수지 깊이에 따른 수온변화는 크고 깊은 저수지에서 유입량이 적고 방류량이 일정할 때 가장 일상적인 수직성층을 이루게 된다. 저수지 바닥에 있는 취수구 또는 깊은 수력발전 취수구에서 방류되는 물의 수온은 자연하천수의 수온보다 여름에는 차고 겨울에는 따뜻하다. 이와 같이 여름의 수온이 낮다는 것은 환경에 나쁜 영향을 미치므로 수온이 따뜻한 표층수를 취수하는 것이 바람직하다.

사) 어류 및 야생동물 이동통로 봉쇄

어류의 생존에는 수질과 이동 공간이 기본요건이다. 수질은 어족생존에 매우 중요하며, 부화기에 연어나 송어 등이 상류로 이동할 수 있도록 어도나 부화장 등의 필요성을 판단해야 한다.

농업용 저수지 건설에 따른 하천생태계 교란을 최소화하거나 폭포, 급류와 같이 소하성(溯河性) 어류들의 이동을 차단하는 장애물을 극복하게 하여 기존 하천에서 서식하고 있는 어종의 보존이나 어류분포의 확산을 조장할 수 있도록 대상하천의 등급, 대상어종, 소상시기 및 능력, 댐체의 높이, 댐형식 및 구조, 저수지의 내수위 변화, 하천유지수의 방류, 경제성 및 시공성 등을 종합적으로 고려하여 지역 특성에 맞는 어도 설치를 검토한다. 야생동물에 주는 영향으로는 저수지로 인하여 발생하는 초지 감소, 홍수로 인한 작은 동물의 유실, 물새 등의 안식처 훼손 등을 조사하여 대책을 마련해야 한다.

아) 문화자산 및 지하자원의 수몰

수몰되는 고고학이나 역사적으로 가치가 있는 문화자산과 지하자원에 미칠 영향을 세밀히 분석하여 보전, 이전 및 채취 등의 대책을 마련해야 한다.

자) 결빙조건

하천보다는 저수지 배수구역(backwater reach)에서 일찍 결빙하며 얼음 두께도 두껍고 천천히 녹는다. 얼음이 서리와 함께 제방과 구조물에 미치는 동적, 정적 영향 때문에 수문 조작을 방해하는 수가 있다. 빙압에 의하여 약한 구조물, 철근콘크리트 및 취수탑이 위험할 수 있으며 가열하여 녹이는 방법, 압축공기로 깨뜨리는 방법 등의 대책이 있다.

2) 생화학적 영향

저수지의 물리, 생물학적 변화는 미생물의 구성에 변화를 주고 수생식물과 동물에도 영향을 미치게 된다. 이러한 수생 생태계는 점진적으로 변화

하여 일정시간이 경과하면 새로운 평형을 이루게 되므로 저수지의 생물학적인 영향은 그때 평가할 수 있을 것이다.

저수지 물의 화학적 성분은 수면증발에 의한 광물성분의 상대적 증가와 저수지내의 생화학적 작용에 의하여 변화한다. 수심이 깊어질수록 용존산소량이 감소되고 이 산소가 부족한 물이 댐하류 하천이나 저수지에 유입될 때 다량으로 물고기가 죽게 된다. 또한, 발전 방류시 급격한 유량, 유속과 수온변화에 따라 생물학적으로 크게 교란된다. 여름철 정체기에 부영양화된 저수지의 심수층에서 유기물 분해과정에서 용존산소를 소모하게 되어 이산화탄소 농도가 증가하여 결과적으로 황화수소가 생성된다.

조류발생에 의한 수화(water bloom)현상은 수질을 악화시켜 수처리과정이나 리크레이션에 나쁜 영향을 미친다. 조류는 심수층의 2차 부영양화 현상을 야기하는데 이는 재폭기에 의하여 방지할 수 있다.

용수공급 저수지에서는 위생처리를 위하여 수몰지역의 마을, 묘지, 분뇨더미 등을 제거해야 한다. 수몰되는 나무그루터기는 제거하지 않아도 되지만 자연피복을 단지 갈아엎어 놓는 것은 극히 나쁘다. 저수지의 수질은 유역 내 사람의 활동에 영향을 받으므로 생활용수를 공급하는 저수지 유역에서는 농업생산량이 줄더라도 화약비료 및 농약(제초제, 병충해)사용을 줄여야 하며 가축사육과 분뇨처리에 특별한 조치가 필요하다. 저수지 부근에서 항공기를 이용한 영농은 오염을 확산시킬 위험이 있다.

경제적, 생태적 측면에서 볼 때 저수지는 어류생육에 좋을 수도 있고 나쁠 수도 있다. 유속, 수심, 수온 및 수위의 변화는 어류생육조건에 영향을 미치므로 장기적으로 어종의 구성을 변화시킨다. 열대지방에서는 저수지가 사람과 가축의 질병발생에도 영향을 미친다.

3) 인간에 미치는 영향

댐 사업이 시행됨에 따라 주민들이 겪고 있는 역기능적 요소를 해결해줄 수 있는 대책을 검토해야 한다. 수몰민이 그 지역에 거주할 수 있도록 이주민택지를 조성하여 주거환경을 개선해주고, 직업이 제공되도록 댐 주변에 공단과 농장을 조성하고 관광사업을 활성화하여 이주민들에 대한 고용기회를 증대하여야 한다.

댐터 건설현장은 소음, 먼지, 연기 및 물이 탁해지는 원인이 되며 댐 주변은 이설도로 건설로 영향을 받는다. 작업차량으로 인한 공공도로의 교통장애와 노무자 숙소는 지역주민들에게 불편을 준다. 발파작업과 골재생산

에는 파쇄기 95dB, 선별기 102dB, 콘크리트생산공장 89 dB 등 많은 소음과 먼지를 유발하고 있으며 소음을 줄이는 것은 대단히 어렵다.

댐하류 주민들에게 주는 불안감도 있다. 댐이 붕괴되었을 때 하류 주민들이 안전할 수 있는 조치와 경보시설이 도입되어야 한다. 세계적으로 댐 붕괴 실적은 대단히 적은 편이며, 저수지는 건설 후 처음 담수할 때가 가장 위험하므로 각종 자세한 관측이 필요하다.

댐 건설로 자연경관이 나빠질 수도 있지만 계획에 따라서는 주변 자연경관을 개선할 수도 있다. 옛날에 건설된 수로, 교량, 댐 등 역사적 가치가 있는 유적지가 파손될 수도 있다.

큰 하천이 없는 지역에 작은 댐을 많이 건설하여 환경을 개선하고 매력적인 위락시설을 제공하는 정책은 대단히 중요하다.

나. 댐형식과 친환경적 설계

댐 형식은 안전성, 경제성, 환경친화성을 고려하여 적합한 형식을 선정한다. 자연훼손을 최소화하고 주변경관에 잘 어울려야 한다.

댐 형식은 댐터의 지형, 지질, 기상 및 수문, 축제재료의 종류 및 매립량 등의 자연조건과 댐의 이용목적, 규모, 공사기간 등을 종합적으로 검토하여야 하며, 자연훼손을 최소화하고 주변경관에 잘 어울리도록 선정한다.

1) 필댐은 자연훼손의 최소화와 주위경관과의 조화를 고려한다.

지구여건에 따라 식재 계획을 선택하여 댐이 주위경관과의 조화가 이루어질 수 있도록 댐 경관을 고려한다.

가) 제당안전과 유지관리를 위해 목본류 식재는 지양한다.

나) 홍수터 부지와 제당사면 하류 절토 부분 등에 대하여는 주변경관과의 조화를 위한 식재를 고려할 수 있으며, 식재 종은 주위 식생 분포를 감안하여야 하고 제체의 안전과 유지관리가 용이한 종류의 식생을 선택해야 한다.

2) 콘크리트 댐의 표면은 주위 경관 및 지역적 특성을 반영하는 문양거푸집 사용, 모자이크 타일 부착, 댐체 상단부의 일부 또는 전체 형상을 조형적인 미를 나타낼 수 있는 환경친화적인 설계를 고려해야 한다.

다. 유역변경 댐건설이 환경에 미치는 영향

수자원의 급증과 지역적 불균형으로 수자원이 풍부한 지역의 남는 물을 부족한 지역으로 분배하는 유역변경에 의한 이수광역화 사업이 필요하다. 다만, 기본적으로 현재 시스템으로 이용가능한 수자원 효율을 높여야 한

다. 또한 물류유통, 관광, 자연환경과 사회문제까지 종합적으로 평가해야 한다. 최근 유역변경에 의한 이수광역화 사업에 대한 관심과 구체적 계획이 확대되고 있다. 그러나, 유역변경에 의한 수자원개발에 앞서 현재 시스템으로 이용 가능한 수자원의 효율을 제고하는 것이 기본이다.

1) 유역변경 댐 건설의 필요성

유역변경 댐에 의한 수자원개발에 앞서 현재 시스템으로 이용 가능한 수자원의 효율을 제고하는 것이 가장 중요하다. 즉 물 사용기술의 개선과 물을 적게 쓰는 산업으로의 대체, 절수와 자체 유역 내에 저수지 건설에 의한 현지 수자원 공급량 증대 등 수자원을 가장 효율적으로 이용한 뒤에 최종대안으로 유역변경에 의한 수자원개발로 효율적인 지역적 재분배를 계획하여야 한다. 또한 물류유통, 관광, 자연환경과 사회적 문제까지 종합적으로 평가해야 한다. 우리 나라에서도 수자원 수요-공급의 지역적 불균형으로 유역변경에 의한 댐 건설의 필요성이 점점 증대하고 있다. 섬진강 섬진댐에서 동진강으로 농업용수공급, 낙동강 영천댐에서 형산강으로 공업용수, 한강 도암댐에서 남대천으로 발전용수, 섬진강 주암댐에서 영산강으로 생활용수, 금강 용담댐에서 만경강으로 생공용수를 공급하는 것은 대표적인 유역변경에 의한 수자원개발이다.

2) 유역변경 댐 건설의 고려사항

대규모 유역변경 댐 건설에 고려해야할 사항에는 기술적, 사회·경제적, 법적·정치적 및 환경보전적 측면 등 네 가지 측면이 있다.

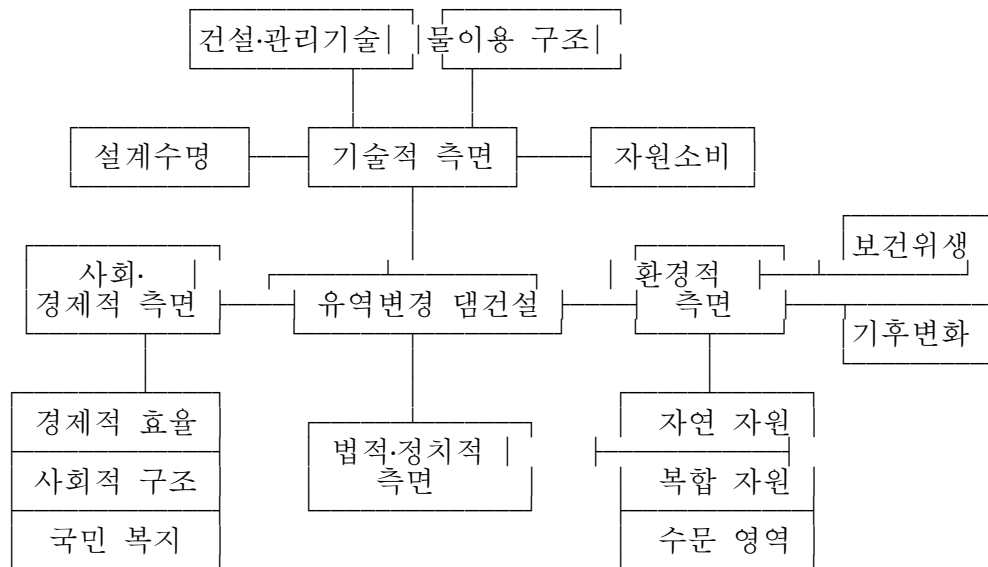


그림 4.2.1 유역변경 댐 건설의 고려사항

기술적 측면은 사업을 수행하고 운영을 관리하는 것이 목적인 반면, 사회경제적 측면과 환경보전적 측면은 사회의 순이익을 극대화시키는 것과 환경의 최적조건을 보전하는 것으로 자연파괴의 최소화를 목적으로 하기 때문에 개발을 억제하는 기능이 있다. 기술적 측면이 강조되다가 경제성을 검토하게 되었고, 뒤이어 환경을 고려하게 되었다. 경제적 효율은 대단히 중요한 사업의 판단기준이 되며 Howe & Easter의 관계식에 환경에 미치는 제반영향(대기, 수질, 소음 등)을 환경비용(EC)으로 나타내면 식(4.2.1)과 같다. 그러나 환경비용을 금액으로 환산하는 것은 대단히 어려운 문제이지만 평가해야 한다.

대규모 유역변경 댐 건설사업은 경제성만으로 평가할 수 없고 종합적으로 평가해야 한다. 평가방법은 정형화된 것도 없고 전문가 평가, 모의발생 게임, 최적화 모형, 모의발생모형 중에서 어느 방법을 선택할 것인가도 문제이다. 우리 나라는 수자원개발에 앞서 경제성 분석으로 사업의 타당성을 평가하였으나 1982년부터는 환경보전법에 따라 환경에 미치는 영향도 평가하도록 규정하고 있다.

$$(DB_m + SB_m) + (DB_t + SB_t) > (DC_x + SC_x) + SC_c + TC + EC \cdots(4.2.1)$$

$$TC + [(DC_x + SC_x) - (DB_t + SB_t)] < TC_a + EC_a$$

여기서, $DB_m + SB_m$: 물을 받는 지역의 직·간접이익, $DC_x + SC_x$: 물을 보내는 지역의 직·간접손해, $DB_t + SB_t$: 통과지역 직·간접이익, SC_c : 경쟁적 지역의 간접손해, TC : 현재안 총비용, TC_a : 최선안 총비용, EC : 환경비용

수리권은 하천유량을 배타적, 독점적으로 사용하는 권리를 뜻하는 것으로 하천의 자연유량은 강우와 기후에 따라 변화한다. 유역변경에 의한 댐 건설에 앞서 지역적, 국가적, 국제적 측면과 법적, 정치적 측면에서 수리권에 대한 검토가 반드시 이루어져야 한다.

미기상, 대기, 기상변화의 가능성, 특히, 증발량 증가와 안개발생 증가도 검토해야 한다. 유역변경 댐 건설은 재활용이 가능한 자연자원과 인간의 보건위생에 미치는 영향도 검토되어야 한다.

3) 환경에 미치는 영향

유역변경에 의한 댐 건설이 환경에 미치는 영향에는 수문학적 변화, 유기물오염, 토양, 침식과 퇴적, 생태계 변화, 보건위생 등이 있으며 일반적인 분류는 표 4.2.2과 같다. 주무 중앙행정부서는 환경영향평가(EIA) 초안

을 작성해야 한다. 이 초안은 관련 부서와 공공기관 및 시민단체의 의견을 종합하기 위하여 공람한 뒤, 의견을 종합한 개선안을 각 기관에 회신해 주어야 한다. 적극적으로 악영향을 경감할 수 있는 대책의 제시, 개발방향의 전환, 또는 사업중단 등을 포함할 수 있다. 합리적인 환경영향평가를 위해서 반복적, 공개적으로 시민이 참여하는 개념도입이 필요하다. 이는 사업수행자로 위임받은 기술전문가들에 의하여 계획된 사업내용이 시민의 관심을 반영할 수 없기 때문이다. 또한 문제점 제시, 대비안 작성, 영향평가, 사업순위 결정 등 전통적인 4단계를 반복적으로 추진하며 각 단계별로 진행과정에 따라 상호보완적으로 추진하는 것이 바람직하다.

표 4.2.2 유역변경 댐건설이 환경에 미치는 영향

지역별	환경에 미치는 영향	
수몰지역	침수에 의한 이주민 발생, 수생·육생생태계 변화(어족, 곤충), 수질과 수온의 변화, 증발량 증가와 국지기상변화, 침식과 침전에 미치는 영향, 지하수와 지질학적 상태 변화, 토지이용 변화 (댐부근의 위락시설)	
하류지역	유출형태 변화, 지하수 충전에 영향, 수생 및 육생 생태계의 변화, 수질과 수온의 변화, 토지이용 변화 (홍수터의 주거지화)	
도수지역	하천 도수	유량 증가와 지하수 충전 변화, 수질과 수온의 변화, 어획고 변화, 하천 식물의 변화, 침식과 침전
	수로 도수	수로에 의한 구역간 접근성 방해, 취수부의 어류손실, 야생동물의 감소, 어린이 익사위험, 위락시설 가능
급수지역	인구급증, 도심확장, 공단확장, 관개확대	

4.2.2 수변정비의 기본개념

지역주민 및 인접 도시민의 휴식·여가공간 및 자녀 교육의 장소로 활용할 수 있는 저수지 주변정비를 지형, 공간이용 및 토지이용을 고려하여 시설물 및 공간조성 계획을 검토한다.

교육적·휴식 및 리크레이션 목적의 접근이 양호한 지역, 생태적 환경이 잘

보전되어 있고 물을 포함한 다양한 서식환경을 지닌 지역, 자연환경이 파괴되어 복원이 필요한 지역 등 입지조건을 고려해야 한다. 사회적 가치관의 변화에 따라 지금까지 방치되었던 저수지 수변(水邊)을 물과 숲이 있는 아름다운 자연환경을 보전, 정비하여 지역주민과 도시민에게 휴식공간을 제공하도록 저수지의 친수기능을 강화해야 한다.

가. 저수지 주변정비

1) 지형에 따른 지역구분

가) 산림계곡

(1) 산림생태계와 계곡생태계를 이해하고 표고와 사면에 따른 다양한 입상구조에 관한 자연학습을 할 수 있다.

(2) 산림·계곡보존지역, 관찰지역, 인공서식환경시설지구 등을 포함한다.

(3) 다양한 학습공간을 제공함과 동시에 심신단련을 통한 정신적 건강을 위해 시설지구(삼림욕 등)의 도입이 가능하다.

나) 초지

산림과 저수지를 연결하는 추이대로서 다양한 동·식물이 서식할 수 있는 환경을 조성하고 생태적으로 자연천이가 되는 과정을 학습을 할 수 있다.

다) 담수지

(1) 저수지로 유입되는 하천의 하류지역에 조성되는 것으로, 자연자원을 보전하고 이용하여 식생구조 및 식물관찰을 목적으로 하여 점이지대로서의 중요성을 일깨워주는 공간을 조성한다.

(2) 수공간의 형태에 따라 특징지어지는 생태적 특성과 육지와 연결되는 점이대의 공간으로 다양한 생물서식환경을 이해하고 체계적 공간별 학습을 할 수 있다.

2) 공간이용에 따른 지역 구분

공간이용정도에 따라 자유허용, 제한허용, 절대보전 지역으로 구분한다.

가) 자유허용지역

(1) 인공시설물 위주의 공간으로 생태공원의 중심역할을 담당하며 관찰동선의 출발점 및 도착지의 역할을 한다.

(2) 방문객센터(visitor center)나 광장을 두어 쉽게 접근할 수 있도록 하며 관리 및 실내학습의 공간 등이 도입될 수 있다.

(3) 이벤트 공간을 통한 리크레이션 지구 등으로 자연과 친근감을 가질 수 있는 공간

나) 제한허용지역

(1) 초지, 산림, 연못, 습지 등의 자연학습 공간으로 관찰로를 따라 안내원의 지시에 따라 소그룹별로 관찰 및 체험을 할 수 있는 지역

(2) 다양한 소생물권(biotope)을 조성하여 종 다양성을 촉진시키고 생태적 안정화를 꾀할 수 있는 지역

다) 절대보전지역

(1) 서식처보호지역으로써 기존 수변이 낮고 갈대 등 서식환경이 잘 조성되어 있으며, 은신처의 조건이 충족되어 있는 장소로서 인간의 간섭을 배제할 수 있는 지역

(2) 관리를 위한 출입을 제외하고는 일체의 접근을 할 수 없도록 한다.

3) 토지이용에 따른 지역구분

전체 토지이용계획을 살펴보면 기존 저수지설계의 기능적인 설계보다는 환경친화적 측면을 고려하여 간섭(활동)정도와 공간이용의 정도에 따라 자유허용지역, 제한허용지역, 절대보전지역으로 구분한다. 그리고 지형단면에 따라 산림계곡, 초지, 담수습지로 구분하여 저수지의 생태적인 특성을 잘 나타낼 수 있도록 기본적인 토지이용 계획기준을 설정한다. 이를 바탕으로 생태공원에 도입될 수 있는 활동유형들을 수용할 수 있도록 공간을 세분한다.

가) 자유허용지역

자유허용지역에는 인간활동의 중심역할을 하는 공간과 인공시설물위주의 공간으로 관리시설지구, 편익시설지구, 리크레이션지구, 휴식 및 여가지구 등 토지이용이 가능하다.

나) 제한허용지역

제한허용지역에는 인간의 활동이 이루어지기는 하나 환경에의 영향이 적은 관찰·학습지구, 연구시설지구 등의 토지이용이 가능하다. 관찰·학습지구는 저수지의 생태적인 특성을 지형단면에 따라 구분하여 관찰할 수 있도록 습지지구, 초지지구, 산림지구로 구분한다.

다) 절대보전지역

절대보전지역은 동식물의 서식환경이 조성되어 생태적인 가치가 높은 공간으로 야생조류보전지구, 서식처보전지구 등의 생태기반시설지구의 토지이용이 가능하다.

나. 친수·녹지공간 정비

저수지 수면은 매력적인 경관요소이며 주변 수림과 더불어 인근 주민의 휴

식 및 관광목적으로 활용할 수 있는 가능성이 크다. 환경친화적 관점에서 환경교육, 휴식, 오락적 기능을 수용하기 위해 저수지 설계에 생태공원의 개념을 근거로 하는 친수·녹지공간 조성을 검토한다.

저수지는 유역의 홍수조절, 농업생산을 위한 관개, 휴양과 휴식 및 생태적 기능을 갖고 있으면서, 독특한 경관을 유지하고 있다.

저수지 수변 친수·녹지공간 정비에는 생태공원조성, 저수지수면 활용시설 및 녹색공간 조성 등이 있다. 이러한 저수지 친수·녹지공간 정비를 계획하는 데는 단계별로 적절한 동선체계에 따라 수립하는 것이 중요하다.

1) 생태공원조성

생태공원은 자연의 생태적 원칙과 지역의 자연적, 역사적 특성에 입각하여 자연지역과 유사한 야생동식물의 서식처를 제공하고 생태적 과정이 일어나게 함으로써 자연생태계의 보전 및 복원, 생태적 순환과정의 회복, 그리고 자연관찰 및 교육의 기회를 제공하기 위하여 조성되는 공원이라 할 수 있다. 이러한 생태공원의 입지조건으로 고려되어야 할 사항들은 다음과 같다.

가) 생태환경이 잘 보전되고 물을 포함한 다양한 서식환경을 지닌 지역

(1) 특정한 생태환경이 잘 보전되어 생태공원으로서 잠재력이 높은 지역

(2) 저수지나 하천과 같이 물을 포함해 수변생태계와 육상생태계의 특징을 잘 보여주는 지역

(3) 천연기념물 등 희귀한 동식물 자원이 풍부한 곳

나) 자연환경이 파괴되어 복원이 필요한 지역

(1) 도시화의 확장으로 파괴되어 가는 지역의 보호와 회복이 필요한 지역

(2) 방치된 지역과 이전의 기능이 상실된 지역

(3) Green network의 거점으로서 인공적으로 조성하는 경우

다) 접근성이 확보되어 교육적·오락적 목적의 접근이 가능한 곳 등이다.

저수지의 물은 수면으로써의 매력적인 경관요소일 뿐 아니라, 저수지 물과 유입하천, 수위변동으로 인한 습지, 수변, 주변의 산림, 농지, 초지 등의 자연환경요소는 수중생태계와 육상생태계가 만나는 곳으로서 다양한 서식환경을 조성하게 된다.

생태공원의 역할에는 생물다양성 증대에 기여, 생태적 순환과정 확립, 생태학습공간의 제공, 생태네트워크 거점 등에 있다.

저수지는 생태공원의 역할과 기능에 대한 양호한 입지조건을 갖추고 있으며, 그 잠재력이 매우 높다. 따라서, 생태공원의 입지조건 및 역할을 충분히 이해하고 저수지 설계시 생태공원의 개념을 근거로 친수 및 녹지공간 조성방

안을 적극적으로 검토하여야 한다.

2) 저수지 수면 활용시설 및 녹색공간 조성

가) 저수지 수면 유지용수

지역자원을 유효하게 이용하기 위하여 저수지를 관광자원으로 이용하려는 것은 당연하고, 커다란 사회적 요청이 되고 있다. 농업수리시설을 관광시설로 이용하는 것은 농어촌정비법에 기초한 규정에 따라 가능하다.

농업기반공사 재산의 타목적 사용 및 수익사업이 가능하지만, 이 경우에는 재산 본래 용도와 목적을 방해하지 않는 범위내에서 농수산부장관의 승인을 얻게되어 있다. 타목적으로 사용하여 얻은 수입은 관리수탁자에게 귀속한다.

저수지 수면을 관광자원으로 이용하려면 원래의 저수지 목적인 관개용수와 농촌관광용수 사이에 저수지 수위와 수질에 대한 조정이 필요하다.

(1) 저수위의 원활한 조정과 유지

관광을 위한 저수위 유지측면에서만 보면 가급적 저수위를 높게 유지하기를 바라지만, 관개용수측면에서는 필요한 용수를 자유롭게 방류하기를 바란다. 관광사업자와의 계약서에는 농업수리 우선 원칙이 명기되어야 한다. 그러나, 관개용수측에서도 관광지 존재는 경제적 이득이 있으므로, 관광에 협조하기 위하여 농업용수 사용을 가급적 줄이려는 경향이 있게 된다. 관개저수지는 10년 빈도 갈수를 대상으로 계획된 경우가 많아 평균 10년에 1번은 댐 바닥이 드러나게 된다. 따라서, 매년 수위가 매우 낮아지는 저수지는 관광이용의 대상으로 적합하지 않고, 도시화에 따라 관개면적이 상당히 감소한 도시 근교지구에서나, 자기 유역외에 별도의 간접유역이 있어 그곳으로부터 풍부한 유입량을 기대할 수 있는 도시 근교지구에서는 관광이용의 대상으로 좋은 조건을 가지게 된다. 또는, 관광 성수기(4월~11월)에 수위가 낮을 때에는 주위에 관정을 설치하여 지하수를 양수하여 저수지에 유입시킬 수도 있다. 보트 승선장은 지형에 따라 차이는 있지만 보통 저수위가 3m 이상 낮아지면 승선에 문제가 있고, 양어의 경우에는 수위가 급격히 저하하거나 댐이 바닥이 드러나는 경우는 피해야 한다.

(2) 저수지의 수질 보전

관광지가 되면 사람이 많이 모이게 되어 적절한 대책을 세우지 않으면 수질은 나빠진다. 여기에 관해서도, 관광측과 조합간에 계약에서 엄격히 규정되어야 한다. 많은 경우에, 식당에서의 배수는 별도로 정화하여 하천으로 방류하던가, 토양식 처리방법으로 지하에 침투시키던가 한다. 이 경우에도 간접유역에서 유입량이 많으면, 저수지의 물의 회전수가 많은 경우에는 수온이 상

승하는 것을 억제하기도 하므로 좋은 조건이 된다. 한편, 여름에 수위가 낮아지면 수온이 상승하고 이끼와 프랑크톤이 번성하여 수질이 악화된다.

나) 저수지 수변 활용 레저시설

여가활동은 정신과 마음에 활력을 재충전하는 행락형과 몸과 신체를 단련하는 스포츠형으로 구분할 수 있으나 보통 둘을 동시에 충족할 수 있는 방법을 모색하게 된다. 이러한 욕망은 자연스럽게 산이 있고 물이 있는 대자연 찾게 되며, 이처럼 산이 있고 물이 있는 곳이 농업용 저수지이다. 농업용 저수지를 활용하여 “레저”시설을 설치하므로서 국민정서에 부합하고 국토의 균형발전을 도모하며 증가되는 여가활동을 건전하게 유도할 수 있다. 농업용 저수지를 활용할 수 있는 수상 레저시설로는 수영장, 스피드 보트 및 수상스키장, 조정, 윈드서핑 및 수상골프연습장 등이 있다.

(1) 수영장

저수지 물을 이용한 안전하고 편리한 야외 수영장을 설치하여 늘어나는 레저 인구를 수용한다. 다양한 설계기법으로 어린이 수영장, 경기규격 수영장, 파도를 일으키는 놀이용 수영장, 물미끄럼대 등 레저기구를 유치하기도 한다.

(2) 스피드 보트 및 수상 스키장

넓은 저수지 면을 활용하여 스피드 보트(speed boat)를 띄우고 수상 스키를 즐기도록 한다. 수상스키 동호인협회에 따르면 수상스키 인구가 '97년말 현재 10만명을 넘을 것으로 추산하고 있으며 서울에만 동호인 클럽이 30개가 넘고 있으며 매년 증가하고 있다.

(3) 조정

조정은 올림픽 정식종목이며 세계적으로 많은 나라에서 즐기고 있으나 우리나라에서는 일부 체육인들만이 하고 있을 뿐이다. 최근에 조정인구는 점차 늘어나는 추세에 있으나 연습장이 마땅치 않아 어려움을 겪고 있다.

(4) 윈드 서핑(wind surfing)

윈드 서핑은 요트와 보드 서핑을 합친 것이다. 윈드 서핑 인구는 1995년 말 현재 50만명을 넘고 있으며 윈드 서핑 스쿨(강습클럽)이 서울에만 28개소가 있으며 서울의 유명 동호인 클럽(협회등록)만 17개가 있다.

(5) 수상 골프연습장

1998년 현재 115개소 골프장이 운영중이고, 30개소가 공사중으로 합계 145개소의 골프장을 갖게 될 것이다. 골프연습장은 넓은 부지가 마련되어야 하는데 토지가 고가이므로 대안으로 수상 골프연습장이 개발 보급되고 있다.

다) 녹색공간조성

물과 숲이 있는 농업수리시설의 미적 환경자원을 개발, 정비하여 도시민에게는 휴식공간을 제공하고 농촌에서는 자연환경을 개선하는 사업이다. 지금까지 농업수리시설은 생산성 향상이 주목적이었으므로 경제성과 효율성이 중요시되었으나, 농촌지역의 사회적 변화와 시대적 가치관의 변화에 따라 주변 환경의 환경보전적, 문화적 기능강화가 요청되고 있다. 농림부에서는 농촌 취락지 개선정비와 복지시설은 물론 농어촌에 쾌적한 녹색공간을 조성함으로써 도농 통합체의 농촌 주거환경 개선을 위한 정책을 수립 추진하고 있다.

주 5일 근무제 등 여가시간의 확대, 과밀화된 도시공간과 공해로부터 탈출하려는 도시민 정서에 따라 주말연휴에는 농촌의 휴식공간을 찾게 된다. 자연공원, 골프 및 스키 이용객도 연간 18%씩 증가하는 추세에 따라 농촌지역에 녹색공간 조성이 절대적으로 요구되고 있다. 이와 같이 경관이 수려하고 청정 지구로서 물과 녹지대를 고루 갖추고 있으면서 토지가가 저렴한 휴식공간으로는 농업용 저수지 주변지역이 우선 대상이 될 것이다.

표 4.2.3 内日댐 환경정비사업 내용

구 분	댐높이 m	댐길이 m	관개면적 ha	유역면적 ha	저수면적 ha	총저수량 10 ⁴ m ³	비고	
내 용	41.2	229	407	318	11.8	126	흑댐	
구 분	내 용				총공사비	비 용 부 담		
						국가	현	시
환경시설	휴게소, 화장실, 벤치, 주차장, 식수				118	1/3	1/3	1/3
기반시설	광장정비, 도로, 안전시설				백만엔	1/2	1/4	1/4
1. 사업주체 : 山口縣, 2. 관리자 : 下關市								

우리 나라 관개저수지의 조직적 녹지공간조성 사례는 아직 없는 실정이다. 일본에서는 1988년 농업수리시설 고도이용사업이 시행되고있다. 下關市 외곽의 관개저수지 内日 (Utui) 댐의 환경정비의 예를 들면 다음과 같다. 댐 주변에 광장, 꽃동산, 체육공원, 휴식광장 기념관 등을 시설하였다.

수리시설 환경정비사업의 사업주체는 山口縣이며 관리자는 下關市이다. 사업은 환경시설과 기반시설로 구분된다. 휴게소, 화장실, 벤치, 주차장, 식수(植樹) 등 환경시설비 부담은 국가, 현, 시가 1/3 씩 부담하고, 광장정비, 도로, 안전시설 등 기반시설비 부담은 국가 1/2, 현과 시가 각각 1/4 씩 부담하고

있다.

愛媛縣 관개저수지 面河댐의 환경정비의 예를 들면 다음과 같다. 面河댐은 표고 680m에 위치하므로 고도이용 사업계획은 표 4.2.4와 같이 화원(난, 라이락 등) 산책도로, 삼림욕장, 낚시터, 어린이 광장, 운동시설 등이 시설되었다. 일화 480,000 ~ 118,000천엔 예산규모로 농업수리시설을 농촌지역의 수변환경, 환경보전적, 문화적 기능을 강화하고 있다.

표 4.2.4 面河댐 환경정비사업 내용

구 분	댐높이 m	댐길이 m	관개면적 ha	총저수량 10 ⁴ m ³	비 고
내 용	73.5	159	13,200	2,830	콘크리트댐, 발전, 공업용수 공급
	내 용				총공사비
환경시설	식수, 휴게소 4개소, 화장실 1개소, 음료수대 1 식, 벤치 8기				480백만엔
기반시설	관리용 도로 폭 3m, 길이 2km, 다리 폭 2 m, 길이 150m, 호안공 900m, 수로공 700m 등				

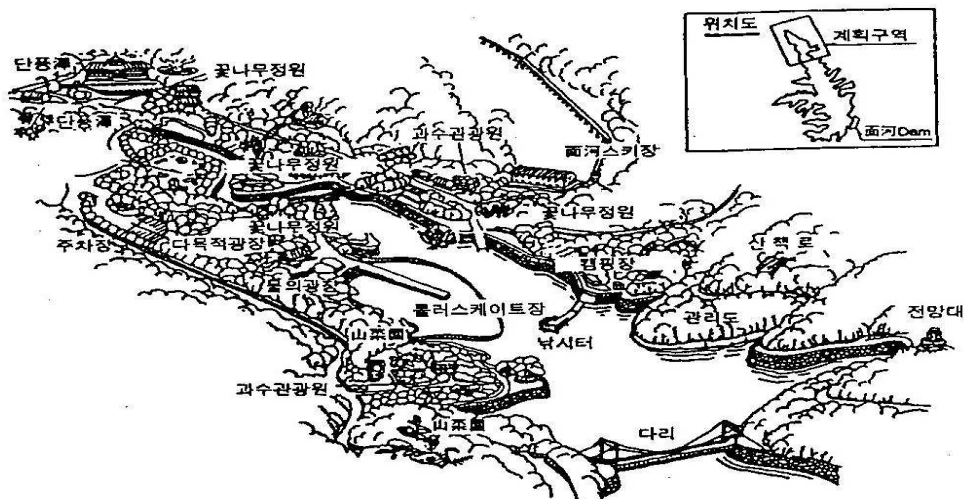


그림 4.2.2 面河댐의 환경정비 구상도

3) 동선체계

이러한 저수지 친수·녹지공간 정비를 계획하는데는 적절한 동선체계에 따

라 수립하는 것이 중요하다.

가) 동선별 계획

저수지 설계에 생태공원의 개념을 도입하려면, 차량진입 허용정도를 최소화하고 동선체계를 3단계로 계층화하는 원칙을 설정한다. 전체적인 동선체계를 주동선, 보조동선 및 관찰로, 차량동선 및 서비스도로 나누며, 계획 대상지 내에서는 보행동선을 위주로 한다. 차량동선 및 서비스도로는 방문객센터가 위치한 편익시설지구까지만 진입을 허용하고, 비상차량을 위한 동선은 보행로를 이용하는 것으로 한다. 주동선은 각 지구의 중심부를 연결하는 보행로 및 자전거거도로 구성되며, 보조동선 및 관찰로는 대상지 내의 자연에 대한 흥미유발과 동시에 자연현상에 대한 이해와 경험을 돕고, 교육적 효과를 얻고자 하는 목적으로 주관찰로, 보조관찰로, 습지 관찰로로 구성된다.

나) 동선체계의 유형

(1) 순환형

① 주 출입구를 중심으로 자전거 동선과 보행동선이 저수지를 순환하면서 각 공간단위를 루프형식으로 연결하는 형식이다.

② 평지형 저수지와 같이 주변을 순환할 수 있는 공간이 있는 저수지에 유리하다

③ 저수지 주변을 모두 관찰할 수 있는 장점이 있으나, 저수지 주변이 모두 인간의 행위에 노출된다는 단점이 있다.

(2) 부분순환형

① 순환할 수 없는 지역이 있는 경우, 이를 제외한 공간을 순환하면서 각 공간단위를 연결하는 형식이다.

② 계곡형 저수지와 같이 주변일부가 급경사지나 절벽과 같이 접근이 불가능한 지역이 존재하거나, 절대적으로 보존해야 할 지역이 있는 경우에 적용할 수 있다.

③ 접근가능한 지역이 동선을 순환시킬 만한 공간이 충분할 때 적용할 수 있는 유형이다.

(3) 비순환형

① 순환할 수 없는 지역이 있는 경우, 이를 제외한 공간을 선형으로 연결하는 형식이다.

② 저수지 주변 일부가 급경사지나 절벽과 같이 접근이 불가능한 지역이 존재하거나, 절대적으로 보존해야 할 지역이 있는 경우에 적용할 수 있다.

③ 접근가능한 지역이 동선을 순환시킬만한 공간이 부족할 때 적용된다.

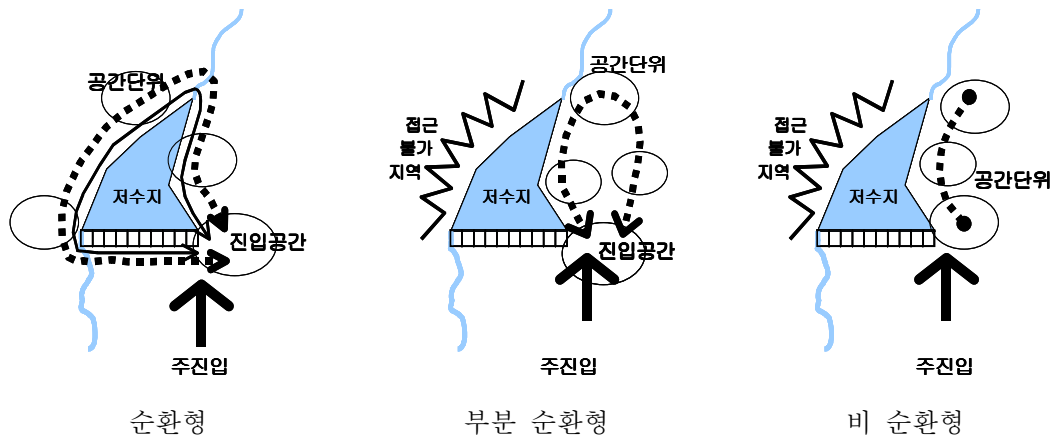


그림 4.2.3 동선체계의 유형

다. 호안 정비

저수지 호안은 육지생태계와 담수생태계가 만나는 전이지대로 다양한 생물 서식처를 제공하는 공간이므로 육지생태계와 담수생태계의 단절을 방지하기 위하여 자연생태계를 고려한 호안정비방안을 검토한다.

저수지 호안을 생태적으로 건강하고, 자연경관과의 조화롭고, 주민의 여가·교육공간으로의 활용성을 높일 수 있도록 호안을 정비해야 한다. 호안 정비공법은 생태적으로 중요한 역할을 담당하는 저수호안을 생태적으로 재생시키고자 하는 것이다.

국토의 도시화에 따라 토지이용이 증대되고 하천 유역에서의 생산 활동이 증대되면서 하천은 이수, 치수 기능만을 고려한 배수로 기능을 담당하는 하천이 되어왔다. 생태공학을 이용한 호안처리기법은 스스로를 보호하는 자생력을 이용하게 된다. 일단 식생의 안정화가 구축되면 식생은 자기 유지가 가능하다. 살아있는 식물들이 홍수나 유사퇴적에 의한 상태의 변화와 같은 외부의 힘에 의해 충격을 받았을 때 식물들은 재생과 적응이 쉽다.

1) 호안(갈수위와 홍수위 사이)사면의 식생 처리

저수지 갈수위와 홍수위 사이의 호안사면과 하천의 저수지 유입부의 하천수 위변동과 수면에서 이는 파도에 의해 사면에서 발생하는 침식을 방지하고 주변 환경과 조화를 이루며 경관적으로 바람직한 식생에 의한 사면처리 방법의 설계요소를 고려하여야 한다.

- ① 식재 대상지역은 경관적으로 민감한 돌출부위와 생태서식공간을 우선

검토한다.

② 수종 선정시 유지관리가 용이하고 자연환경에 적응 가능한 수종을 선정한다.

③ 저수지 주변의 토양분포 및 사면경사를 고려한다.

④ 토양환경의 변화시 인위적 에너지 투입량 최소화한다.

⑤ 주변의 식생과 식재 목적을 고려한다.

⑥ 인간의 이용에 따른 인위적 간섭작용을 고려한다.

2) 수변지구(갈수위에서 평수위의 완만한 경사지)의 식재계획 및 설계

저수지의 하단부에는 댐구조물과 여수호가 위치하고 상단부에는 유입하천이 있다. 그리고 저수지 주변으로는 일반적으로 담수지, 초지 또는 농지, 산림지가 단계적으로 나타난다. 따라서 이러한 토지피복상태를 고려하고 경관생태학적 원리를 도입하여 식재계획을 수립하고 설계한다.

① 저수지의 식생 구조를 고려하여 단계별로 구분하여 설계한다.

② 관찰데크를 따라 다양한 식물의 관찰과 경관을 고려하여 식재한다.

③ 생태학적 추이대로 다양한 생물이 서식할 수 있도록 설계한다.

④ 습기가 많은 곳에서 잘 자랄 수 있는 식물재료를 택한다.

⑤ 수생식물을 이양하지 않아도 자연적으로 수생식물이 번식하도록 유도한다.

⑥ 비오톱(biotope)이 형성되면 이에 적응할 수 있는 동·식물이 자생하게 되므로 처음부터 지나친 경관용 식재를 피한다.

⑦ 침식 위험이 있을 때에는 토목용재료(무생명재료)를 혼합하여 침식에 의한 피해를 가능한 한 최소화한다.

⑧ 수역을 정비할 때는 수변선에 다양한 변화를 주어 급경사지, 완경사지, 돌출부분, 섬 등을 조성하고 특성을 살릴 수 있도록 식재하여 생물상이 풍부하게 한다.

라. 진입 및 이설도로

저수지의 진입 및 이설도로 건설에 따른 저수지 수변과 인접 지역으로의 동물이동 단절 방지 및 서식지 훼손의 최소화 방안을 노선 선정시 충분히 검토하여야 한다.

진입 및 이설도로 사면의 녹화 및 생태이동통로의 계획과 설계에는 도로의 안정성, 지형조건 및 경제성 등을 고려하여 동물(양서류 포함)의 이동통로 설치, 서식처 보호시설 설치를 검토하여야 한다.

1) 진입 및 이설도로 사면의 녹화계획 및 설계

저수지 이설도로 건설에 따른 사면은 토양이나 암반이 그대로 노출됨으로 인해 시각적으로 부정적 영향을 줄 뿐만 아니라 붕괴 등의 위험이 상존하므로 사면안정시설과 함께 주위경관과의 조화를 이룰 수 있는 자연재료를 활용한 사면보호 녹화공법을 적용한다.

2) 진입 및 이설도로의 생태이동통로 계획 및 설계

주변지역에 대한 충실한 생물상 조사를 통하여 생물종, 서식공간의 위치와 이동경로 등을 파악하여 도로가 이들 공간을 우회하거나 불가피할 경우에는 동물들의 이동통로를 확보해주어야 한다.

가) 생태이동통로의 위치 선정

- ① 대상 동물을 선정하고 주요 이동경로를 파악한다.
- ② 대상동물의 서식 특성, 범위, 산란 및 번식 패턴을 고려한다.

나) 이동통로 형식 선정

① 양서류를 위한 이동통로의 경우 도로 개설에 따른 배수 목적으로 설치된 구조를 이용한다. 특히, 저수지 주변의 경우 양서류에게 양호한 서식 조건을 갖추고 있으므로 도로 개설에 따라 고립된 서식지를 배수로를 이용한 생태통로를 조성하여 연계시킨다.

② 야생동물로 하여금 다른 서식지로의 이동을 도와준다. 따라서 저수지 주변에 공원을 조성함에 있어 저수지 주변 도로의 개설로 인하여 야생동물의 서식처가 나뉘게 될 때에 이러한 생태교량을 조성한다.

③ 생태터널은 도로의 하단부에 설치하는 유형으로 교량에 비하여 규모가 작으며 적은 비용으로 많은 장소에 설치가 가능한 장점이 있다. 생태이동통로를 조성함에 있어 저수지 주변 도로에 지형적 여건상 생태교량을 설치할 수 없는 경우나 소형동물의 이동을 위한 경우에는 생태터널을 조성한다.

④ 생태이동 통로의 규모는 박스의 경우에는 가로, 세로 크기가 각각 4.27 m 이상을 권고하고 있으며, 육교, 터널 등의 경우 폭에 대하여는 명시적인 자료가 없으나 하천변 및 저수지 주변의 수변식생을 야생동물 이동 통로로 이용할 경우 약 15 m 정도의 폭이면 될 것으로 본다.

⑤ 노루 및 멧돼지의 경우 도로 주변에 설치된 가드레일에 의해서 이동의 제한을 받는 것이 관찰되는데, 자동차 통행안전에 지장이 없는 경우에 가드레일 1개 정도만 제거해도 대형동물이 이동할 수 있다.

4.2.3 하류하천정비

댐·저수지로 인하여 하류하천유황이 감소될 가능성을 신중히 검토하여야 한다. 특히 건기에도 어류와 야생동물이 생존에 필요한 수심과 유량이 확보되고 수질이 보전되도록 환경용수량을 공급하고 하상과 하안을 정비하여야 한다.

하천유지유량 크기에 따라서 소수력 발전을 실시하는 것이 바람직하며, 이때 하천경관을 개선하여 주민의 정서를 함양할 수 있도록 하류하천의 친수공간확보를 위한 친수용수량을 동시에 검토하여 환경용수량을 결정한다.

하천이 갖는 치수기능과 환경기능은 어느 정도 상반된 면을 가지고 있다. 하천생태계, 경관 및 친수성 등 하천환경 요소들은 하상과 하안 재료에 따라 상당한 영향을 받으므로 저수지 하류하천정비에는 목적에 따라 다양한 재료가 선택되도록 하도 및 지역특성 등을 충분히 반영한다. 하천생태계, 경관, 친수성 등 하천환경 요소들을 보전하고 향상시키며 홍수기에도 유실되지 않도록 최적 재료를 비교 검토한 후 선택하여 적용하거나 재료의 조합도 바람직하다.

중규모 관개저수지 설계 또는 관리에 하류하천의 건천화를 방지하여 하천생태계를 유지하기 위하여 하천유지용수를 공급하는 방안을 강구해야 한다.

가. 하천유지용수의 공급

댐·저수지 하류하천의 기능이 유지될 수 있도록 최소의 하천유지용수를 댐에서 공급하는 것을 보장하여야 한다.

갈수기에 하류측 하천의 기능이 유지될 수 있도록 기득수리권에 대한 책임 방류를 보장하도록 되어있다.

하천유지용수는 주요지점에서 유수(流水)의 정상적 기능 및 상태를 유지하기 위하여 필요한 유량이며 평균 갈수량과 환경보존 유량 중에서 큰 값으로 산정한다. 여기서 평균 갈수량이란 자연상태의 하천에서 갈수 시에도 흘렀다고 볼 수 있는 유량으로 하천의 건천화 방지 등 자연하천이 갖고 있는 최소한의 기능을 수행하도록 하류에 흐르게 보장해 주어야 할 유량을 의미한다. 또한 환경보존유량이란 주운, 하천관리시설의 보호, 수질보존, 어업, 하구폐쇄의 방지, 지하수위의 유지, 동식물의 보호, 경관의 기능을 종합적으로 고려하여 하천환경보전을 위하여 설정하여야 할 유량을 말한다. 또한, 하천의 경관을 개선하고 시민정서 함양을 위한 소하천 환경용수 공급도 친수공간 확보차원에

서의 하천유지용수로 취급할 수 있다.

하천유지용수는 다음 사항을 고려하여 보장되어야 하며 그 수량은 댐 건설로 인하여 감소평가 되어서는 안된다.

① 댐지점 하류에서 유수를 점용하고 있는 수리기득권으로 취수시거나 취수량이 건설부 등 관계기관의 허가를 받았거나

② 하천의 어족을 보호하는데 필요한 최소소요수량, 유속 및 수질

③ 주운, 위락 또는 경관을 해치지 않을 정도의 수심 및 유량

④ 오염희석이나 염해방지 또는 하구 폐색(閉塞)을 막는데 필요한 수량

⑤ 하천 양안의 지하수위 유지라든가 하천시설물이 피해를 받지 않도록 필요한 하천유지용수를 조사, 분석하여 원칙적으로 사용자 관계기관과 협의하여 댐으로부터 우선 공급되도록 해야 한다.

나. 소수력 발전용수로의 활용

댐·저수지 하류하천의 기능이 유지될 수 있도록 최소의 하천유지용수를 댐에서 공급하는 것을 보장해야 한다. 이 때, 하천유지용량의 크기에 따라 소수력 발전 가능성을 검토한다.

하천유지용수는 주요지점에서 유수(流水)의 정상적 기능 및 상태를 유지하기 위하여 필요한 유량이며 평균갈수량과 환경보존유량 중에서 큰 값으로 산정한다. 하류하천에 부족한 하천유지용수로 공급되는 유량의 경제성을 검토하여 소수력발전과 연결하여 개발하는 방안이 바람직하다.(4.3.2 환경용수용량)

하천유황은 연도별, 시기별로 변화가 크고, 용수를 관개기에만 공급하므로 비관개기에는 하천유지용수량을 공급할 수 있어도 수량이 작은 관개저수지에서는 소수력발전을 하는 것은 곤란하다.

1) 우리 나라의 소수력 발전 현황

1974년 1차 석유파동으로 화석에너지 자원이 거의 없는 우리 나라는 특히 심각한 문제로 대두되었으며 대체에너지로서 원자력과 수력 발전 개발로 방향을 정하게 되었다. 전국 19개소의 소수력 발전소에서 민간주도로 34,650 kW의 전력을 생산공급하고 있으며, 건설중인 3개소(3,684 kW)와 허가 추진중인 4개소(6,800 kW)가 있다. 우리 나라는 발전기 1기당 발전능력 3,000 kW 이하를 소수력으로 분류하고 있다.

2) 농업용 저수지를 활용한 소수력 발전현황

2000년 현재 우리 나라에 농업용수시설을 이용한 소수력 발전소는 6개소가

있다. 섬진댐 칠보발전소의 발전 방류수를 계화도 간척지의 농업용수로 공급하기 위하여 설치한 용수로(농업기반공사, 동진지사)의 낙차를 이용하여 발전하는 동진 소수력 발전소(시설용량 2,000 kW)가 전북 정읍시 정우면 우산리에 가동 중에 있다. 그 외 농업용 저수지를 활용하는 소수력발전은 대아저수지(시설용량 3,000 kW), 경천저수지(시설용량 800 kW), 강릉저수지(시설용량 2,300 kW), 성주댐(시설용량 1,800 kW) 및 동화댐(시설용량 2,150 kW) 등이 설치되어 가동 중에 있다.

다. 갈수기 친수용수량

친수용수량은 수혜지구 주민들의 호응도가 높고, 농촌의 경관유지기능 및 주민 친수활동 공간으로 활용가능성이 높을 때 친수공간 조성에 필요한 용수이다.

주민에게 물놀이, 낚시, 보트, 스케이트, 만남의 터, 자연 동·식물의 서식처 등 다목적기능을 가진 친수공간(親水空間)을 제공하기 위해서는 친수용수량이 필요하다. 도시화에 따라 관개면적이 크게 감소한 관개저수지의 경우, 하천경관을 개선하고 시민정서함양을 위한 친수공간 확보차원에서 친수용수량을 결정할 수 있다. 하천유지용수량 범위 내에서 고려하는 것을 원칙으로 한다(4.3.2 환경용수량 참고). 다만, 친수공간조성에 필요한 용수량이 하천유지용수량 및 희석용수량을 초과할 경우 관련기관 및 주민의견을 수렴하여 별도의 초과용수를 고려할 수 있다. 친수공간 제공문제는 경제성보다는 사회적 측면에서 접근해야 할 것이다.

1) 하류하천 친수용수량

저수지를 건설하려면 수질보전과 수리기득권 측면에서 하천유지용수 책임 방류량을 여름철 갈수기 유입량이 0.40 mm/day 이하인 경우 0.40 mm/day 이 되도록 방류하고, 겨울철 유입량이 0.25 mm/day 이하인 경우 0.25 mm/day 이 되도록 방류하는 것을 검토할 수 있다.

갈수기 도시하천의 건천화를 방지하여 하천 생태계를 유지하고, 경관을 개선하여 시민의 정서를 함양하기 위한 친수공간 확보차원에서의 하천유지용수 공급의 필요성이 최근 대두되고 있다. 최근, 서울시에서는 우이천(牛耳川) 하천환경정비 등을 시범적으로 계획하고 있어 이에 대한 연구가 필요하다.

일본에서 도시 하천의 친수기능 확보를 위한 수질과 유황조건(일본, 수환경관리자료)을 참고로 하면 표 4.2.5 와 같다. 일본에서는 저수지 뿐 아니라 관개용수로써 지역의 관개용수와 음용수, 잡용수 공급은 물론, 소방용수, 생활

잡배수처리, 지하수함양과 더불어, 흔히 물놀이, 만남의 터, 자연 동·식물의 서식처 등 가능한 다목적으로 이용하여 자연정화 기능을 가진 공간과 친수 공간을 제공할 수 있도록 활용하고 있다.

표 4.2.5 도시 소하천의 친수기능 확보를 위한 수질과 유황조건

	수 질		유 황			비 고
	BOD mg/l	대장균수 개/100ml	흐름폭 m	수 심 cm	유 속 cm/s	
수 영	< 2	< 400	> 5	> 50	< 50	武藤, 1992 수환경 관점 에서 본 도시하천의 이미지
물놀이	< 5	< 1,000		< 50	< 60	
반딧불이	< 2		5 ~ 30	10 ~ 30		
낚시	< 5		> 30	> 30		
보트놀이	< 10		> 100	< 60		
강변산책	< 10		30	30		

우리 나라의 관개 용수로는 주거지를 관통하는 경우가 거의 없으므로, 신규로 도시하천으로 부터 인근의 도시공원으로의 “친수수로” 설치를 장차 계획할 수 있을 것이다.

가) 수면 폭

일본 여론조사에 의하면 수면폭(B)은 최소 ($0.2 \sim 0.3 \times$ 하천폭(L)) 으로 나타났다으며, 서울시 관내 중·소하천에서는 ($0.3 \times$ 하천폭)을 계획하고 있다.

나) 유속

중·소하천에서 도시경관용 하천유속은 흐름을 매우 완만하게 느낄 수 있고, 수면에는 거의 파가 일어나지 않는 0.2 m/s 이내가 적합할 것이다.

다) 수심

수심은 하상재료가 보이지 않을 정도의 수심인 적어도 10 cm 이상이 좋다. 서울시에서는 하천기울기에 따라 1/100 이상에서는 수심 10 cm , 유속 0.30 m/s , 1/100 ~ 1/300에서는 15 cm , 0.2 m/s , 1/300 이하에서는 20 cm , 0.15 m/s 로 정하고 있다.

라) 유량

이 기준에 의하면 도시 하천의 환경용수는 단위하천폭 1 m 당 최소한 9 l/s ($=0.3 \times 0.1 \text{ m} \times 0.3 \text{ m/s}$) 가 필요하여, 우리 나라 중·소하천의 하천 폭 공식을 적용하면 하천유지용수량은 식(4.2.2)과 같다. 일본에서는 하천 유역면적 100 km^2 에 약 $1 \text{ m}^3/\text{s}$ 를 기준 갈수량으로 취하고 있다.

$$Q = 0.0117 \times A^{0.318} \cdot I^{-0.5} \dots\dots\dots (4.2.2)$$

여기서, A : 유역면적 (km²), I : 하천경사, Q : 하천유지용수 (m³/s)

쌀 농사 위주의 농촌사회에서는 관개용수의 확보와 보전을 통하여 생산과 생활이 이루어졌으나, 농지이용이 범용화되고 농촌이 혼재화, 겸업화됨에 따라 용수로에 대한 관리가 소홀해짐에 따라 수질악화, 쓰레기 방치로 자연경관과 친수성을 상실해가고 있다. 따라서, 관개수로의 물을 가능한한 다목적으로 이용하여 자연정화 기능을 가진 공간과 친수공간을 제공할 수 있도록 하여야 할 것이다.

최근 도시하천의 수질오염방지를 위한 차집관로 매설로 야기되는 하천의 건천화를 방지하여 경관을 개선하고, 시민정서 함양을 위한 친수공간 확보 차원에서 서울 우이천에는 하천공원을 조성하였고 대구시 신천에는 하수처리장의 처리수를 상류로 양수하여 공급하고 있으며 그리고 대전시 대전천에 하천유지용수 공급을 위한 댐 건설도 계획한 바 있었다.

예를 들어, 유역면적이 61.5 km² 인 대도시 하천상류에 하천유지용수 공급과 홍수조절을 위하여 유효저수량이 각각 546만 m³, 467만 m³ 규모인 저수지 두 개를 건설하여 갈수기에도 평수량에 해당되는 0.515 m³/s를 공급하는 기본계획이 표 4.2.6과 같이 제시된 바 있다.

표 4.2.6 도시 하천유지용수 공급 댐 제원

구 분	단 위	제 1 댐	제 2 댐	계
유역면적	km ²	15.7	6.8	22.5
유효저수량	ha-m	546	467	1,013
홍수조절용량	ha-m	130	103	233
하천유지용수량	m ³ /day	26,000	18,600	44,600

2) 하류하천 수질

하류하천 수질은 물고기의 이동, 양생, 정화 등에 결정적으로 영향을 주므로 댐에는 수심별로 저류수를 방류할 수 있는 시설이 필요하며, 다음 사항에 대하여 환경보전 당국과 신중히 협의한다.

- 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

4.3 저수용량 결정

댐 저수용량은 일반적으로 이수용량과 퇴사량으로 구성되었으나, 최근에는 하류하천의 생태보전을 위한 환경용수용량과 재해방지를 위한 홍수조절용량이 추가되고 있다.

4.3.1 이수용량

이수용량은 농업용수, 공업용수, 생활용수 등과 같이 이수 목적으로 사용되는 용수를 확보하기 위한 저수용량으로서, 농업용 저수지에서는 관개 시기별 조용수량(수요량)과 10년 빈도 한발시의 하천유량(공급량)을 기준으로 이를 정한다.

가. 이수용량 산정

이수용량은 관개시기별 조용수량(수요량) 누가곡선에서 기준갈수년의 하천유량(공급량) 누가곡선을 뺀 값 중에서 최대값을 구하고 여기에 저수지에서의 손실량(저수면 증발량)을 더한 값으로 한다. 여기서 기준갈수년의 하천유량이라고 하면 10년 빈도 갈수년의 하천유량을 말한다.

$$\begin{aligned} \text{이수용량} &= \text{최대부족수량} + \text{저수지 손실량} \\ &= \text{Max}\{\text{관개시기별} \Sigma [\text{조용수량} - \text{하천유량}]\} + \text{저수지 손실량} \end{aligned}$$

여기서 저수지 손실량은 최대부족수량의 5 %를 취한다.

나. 하천유량의 산정

저수지점의 하천유량(유입량)을 산정하는 방법에는 실측법과 간접법이 있다.

1) 실측법

가) 기존자료를 활용할 경우

장기간의 수위자료가 있는 곳에서 가능하며 건교부에서 발간하는 수문연보 및 홍수통제소 등에서 20년 이상의 장기간 일평균 수위자료가 있는 지점이 대상이다. 기존의 자료를 활용할 경우에도 상류 유역에 대규모 댐 등의 저류시설이나 취수시설이 설치된 경우에는 설치 전·후를 기준으로 유황이 변하게

되므로 이에 대한 조사 및 분석이 선행되어야 한다. 이 경우 수위자료를 유량으로 환산할 수 있는 수위-유량곡선식이 필요하며 수문연보 및 홍수통제소의 유량측정보고서 등을 참조하여 구할 수 있다. 이수계획을 위한 장기 유출량으로 산정할 경우 평·갈수위를 제대로 반영할 수 있는 수위-유량 곡선식이 필요하지만 우리 나라의 경우 여름철 홍수로 인한 하상변동 및 수위관측소의 잦은 이동으로 평·갈수위를 제대로 반영하는 수위-유량곡선식이 많지 않으므로 수위자료를 수집할 경우에는 수위관측소의 변동상황도 세밀히 조사해야 한다. 일반적으로 분석 절차는 다음과 같다.

① 수문연보 등에서 연도별, 일별 평균수위자료를 수집한다. 자료연수는 20년 이상이 좋다.

② 수문연보 및 유량측정보고서 등에서 수위-유량곡선식 자료를 수집한다. 수위-유량곡선식은 수위표 이동, 하상변동, 영점표고 변동 등이 있을 경우 이를 고려하여 보완 적용한다. 특히 수위-유량곡선식은 하상변동 등의 영향으로 자료기간 중 여러 개가 있을 수 있으므로 빠짐없이 수집해야 한다.

③ 수위자료를 상기 수위-유량곡선식에 대입하여 유량으로 환산한다.

④ 일별 유출량 자료를 토대로 유황분석을 실시하여 갈수량, 평수량 등을 산정하고 연평균유출량 및 유출율 등을 산정한다.

⑤ 연평균 유출량, 유출율을 기준으로 기설지구나 문헌을 참고하여 산정 결과가 일반적인 범위 내에 있는지를 판단한다.

나) 기존자료를 보완하여 적용할 경우

기존 수위관측 자료가 있고 계속적인 수위 관측을 실시하고 있으나 만족할 만한 유량측정 성과가 없을 경우 단기간의 수위-유량측정을 실시하여 수위-유량곡선식을 보완하거나 새로이 작성하여 활용한다. 수위-유량곡선식을 보완할 경우 수위표 이동 등 그 동안 주변 여건의 변동을 고려하여 자료의 연속성(정상성)을 신중히 검토하여 적용한다.

다) 간접유출량 해석

중·소유역의 경우 해당지점에 직접 적용할 장기간의 수위관측자료는 거의 없는 실정이므로 수위-유량해석이 가능한 지점의 유출량 성과자료를 활용하여 해당지점의 유출량 분석을 실시해야 한다. 관측지점의 유출량 산정방법은 가)와 나)와 같으며 계획지구의 유출량은 유역면적비나 비유량에 의하여 유출량을 산정한다.

2) 간접법

하천의 유출량 산정은 실측자료를 근거로 산정하는 것이 바람직하지만, 기

본계획 수립지구나 소규모 지구의 경우 수문 관측을 실시할 시간적, 경제적 여유가 없기 때문에 경험적이고 일반화된 강우-유출 모형을 이용할 수밖에 없다. 이와 같은 무계측 유역에 적용되는 유출모형에는 장기간 수문 관측 자료가 있는 여러 곳의 유출자료를 근거로 통계적인 다중 상관분석을 실시하여 일반화된 매개변수를 유도하여 유출량을 산정하고 있다.

농업용수개발이 주 대상이 되는 중·소유역은 대체로 장기간 수문관측 자료가 없어 일반화된 유출모형을 적용해야 한다. 중·소유역에 적합하고 농업용수개발에 적용되는 일 단위 유출모형에는 DIROM(Daily Irrigation Reservoir Operation Model)과 DAWAST(Daily Watershed Streamflow Model) 등이 있다.

가) DIROM

유역특성인자로부터 탱크모형의 매개변수를 예측하여 무계측유역에서도 하천유량을 추정할 있도록 수정된 모형을 말한다. 지표 및 중간유출과 지하수 유출성분을 나타내는 탱크모형의 매개변수와 유역면적, 논, 밭, 임야 구성비 등 유역별 지상인자와의 다중회귀분석을 실시하여 최적의 매개변수를 추정하여 일단위 유출량을 추정하도록 한 모형이다.

나) DAWAST 모형

DAWAST 모형은 대상유역에서의 물 수지 분석에 의하여 강우시에는 일 강수량에 의한 초기손실, 침투량에 의한 토양수분량 증가, 심층침투에 의한 지하수량 증가를 추적하고, 비강우시에는 유역증발산에 의한 토양수분량 감소와 기저유출 누출에 의한 지하수량 감소를 추적하는 방법으로 일 유출량을 산정하는 모형이다. 토양층의 저류능력과 유역증발산계수-지형 및 토양인자를 매개변수로 우리 나라 하천의 주요 지점에서 관측된 강우-유출자료를 토대로 모형 운전에는 필요한 매개변수를 추정하여 적용성을 확대하고 있다.

다) 가지야마(梶山) 월수수량 공식

지금까지 무계측하천의 유출량 산정에 가지야마 월수수량 공식을 많이 적용하여 왔으나 월 또는 순단위 유출량이라는 구조적 문제점과 유출량의 정확도와 일반성에 있어 많은 문제점이 있다고 지적되고 있다. 개략적인 연평균 유출을 추정 등에 활용이 가능하나 관개용 저수지의 물수지 분석을 위한 유입량 산정 등에는 적합하지 않다. 순(旬) 단위 이상의 유출모형은 하천유출량의 시간적 변화를 파악할 수 없어 갈수량 해석, 일 단위의 물수지 분석을 통한 저수지 거동해석, 일 단위의 물 관리 계획을 수립할 수 없기 때문이다.

4.3.2 환경용수용량

환경용수용량은 농촌지역 내 하천 및 용·배수로의 정상적인 기능을 수행하는데 필요한 최소한의 유지유량 혹은 친수 환경을 위한 친수용수 등을 제공하기 위하여 필요한 저수용량으로서 환경용수량과 기준 갈수년의 하천유량을 기준으로 하여 이를 정한다.

환경용수량은 신규 저수지를 설계하거나 기존 저수지를 손상할 경우 현지여건을 감안하여 저수지 유효저수량 산정에 반영해야 할 수량으로 저수지 지점의 기준 갈수량 또는 관개구역내 중심마을 하수처리 희석수량, 친수용수 등 농촌환경보전에 필요한 수량 중 큰 값을 적용한다.

하류하천의 생태보전과 친수환경에 필요한 환경용수량을 공급할 수 있도록 환경용수량을 저수용량에 추가하도록 하였다.

가. 환경용수의 정의

환경용수는 농촌지역 내 생태계보전, 경관유지, 수질보전, 지하수위 유지 등 하천과 수리시설물의 정상적인 기능을 수행하는데 필요한 최소한의 유지유량과 관개구역내 친수환경에 필요한 친수용수 등 농촌환경보전을 위하여 확보해야 할 수량이다. 성주댐과 같이 농업용 저수지에 하천유지유량을 고려한 저수용량이 설정되어 있는 경우도 있다.

환경용수에 대한 자세한 사항은 “농업·농촌용수종합이용계획”(농림부, 1999), “농업생산기반정비사업 계획설계기준 관개편”(농림부, 1998) 및 “농어촌용수이용합리화계획(기본구상)(농어촌용수개발기획단, 1989)”을 참조한다.

나. 환경용수의 종류

1) 하천유지용수

하천유지용수는 하천의 정상적인 기능 및 상태를 유지하기 위하여 필요한 최소한의 용수를 말한다. 하천유지용수는 갈수량을 기준으로 산정하되, 하천수질 보전·하천 생태계 보호·하천 경관 보전·염수 침입 방지·하구막힘 방지·하천 시설물 및 취수원 보호·지하수위 유지 등을 위한 하천유지유량을 감안하여 산정한다(하천설계기준, 2000).

여기서 갈수량은 과거 자연상태 하천에서 갈수기에 흘렀던 유량으로서 자연과 사람이 공유할 수 있는 최소한의 유량을 말하며 기준갈수량, 평균갈수량 등을 산

정한 후 해당 하천의 규모나 특성 및 유량공급 가능성 등을 고려하여 결정한다.

2) 친수 용수

용수로에 친수공간을 설치하는 경우에는 비관개기에 별도의 친수용수가 필요하다. 친수(親水)용수는 농촌의 경관기능보전 및 친수활동을 위하여 필요한 용수로서 주로 비관개기에 친수환경을 위하여 공급하는 용수를 말한다(그림 4.3.1 참조). 친수활동이란 수변공간 중의 산책, 스포츠, 물놀이, 낚시 등의 리크레이션이나 경관을 통하여 심리적, 정서적 만족을 얻는 활동을 말한다.

친수용수는 농경지에서 관개용수로서 소비되지 않는 용수이므로 송수시의 손실을 제외한 나머지의 양이 그대로 하천으로 환원된다. 친수용수는 수량일부가 독립된 용수로서 관개기에는 관개용수를 친수용수로 활용할 수 있으나, 비관개기에는 별도의 친수용수의 수량이 필요하게 된다. 친수용수량은 하천유지용수량 범위내에서 고려하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 친수공간 조성에 필요한 용수량이 하천유지용수량 및 희석용수량을 초과할 경우 관련기관 및 주민의견을 수렴하여 별도의 초과용수를 고려할 수 있다.



그림 4.3.1 비관개기의 친수용수

친수용수량은 시간에 관계없이 거의 일정한 값을 갖고, 친수용수는 수로식 소수력(小水力)발전과 연계하면 비관개기의 소수력 발전용수로서 유효하게 이용될 수 있다.

다. 환경용수량 산정

1) 적용의 원칙

① 환경용수는 2급 지방하천 이하의 농촌용수구역내 소하천 및 용·배수로에서 일정유량을 보장하기 위한 것으로 저수지를 설계할 경우 필요한 저수

량을 미리 확보해야 한다.

② 환경용수량은 계획지점의 기준갈수량과 관개구역내 중심마을 하수처리수의 희석에 필요한 수량, 친수용수량 등 농촌환경보전에 필요한 유량 중 큰 값을 적용한다.

③ 환경용수를 산정하기 위한 기준갈수량은 10년 빈도 갈수량을 의미하며 농촌환경보전유량은 관개구역내 중심마을의 하수처리 희석수량과 용·배수로 등의 시설물 유지·관리 수행 등 현지 여건에 따라 결정되는 가장 큰 수량을 의미한다.

④ 유역변경을 위한 저수지를 설계할 경우나 수리권 분쟁이 예상되는 곳, 환경보전이 지역사회 문제로 부각된 지역에 용수이용계획을 수립할 경우에는 지역주민, 지자체와 충분히 협의하고 현지여건을 감안하여 환경용수량을 결정하고 필요한 수량을 확보하도록 한다.

⑤ 환경용수는 댐이나 저수지 설치로 인하여 차단되는 기존의 갈수량을 보장해주는 것이므로 시설물을 설계할 경우 적절한 환경용수 방류시설을 설치하도록 해야 한다. 일본에서의 방류시설은 기준갈수량에 해당하는 $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s} \cdot 100 \text{ km}^2$ 의 유량을 방류할 수 있도록 되어 있다. (일본 하천협회, 1999)

2) 기준 갈수량의 산정

기준 갈수량은 10년 빈도 갈수량으로 분석 기간 동안 매년 갈수량을 빈도 분석하여 비초과확률 10 %에 해당하는 갈수량이며 일반적으로 우리 나라의 이수계획의 기준이 된다. 기준 갈수량의 산정은 실측자료가 있는 경우와 실측자료가 없는 경우로 구분할 수 있다.

가) 실측자료가 있는 경우

저수지 계획지점에 장기간 수위관측 자료가 있을 경우 이 자료를 이용하여 기준갈수량을 산정한다. 계획지점이 아닌 수계 내 상·하류부의 수위관측자료를 활용할 경우에는 수위관측지점에서의 기준 갈수량을 산정한 다음, 양 유역의 유역면적비, 비유량비 등에 의하여 계획지점의 기준 갈수량을 결정한다.

나) 실측자료가 없는 경우

실측자료가 없는 경우에는 기존 문헌자료에 나타난 수계별 또는 지역별 비유량자료를 활용하는 방법과 탱크모형과 같은 유출모형을 이용하여 일별 유출량을 모의발생시켜 기준 갈수량을 산정하는 방법으로 나눌 수 있다.

"농업생산기반정비사업계획설계기준 관개편"(농림부, 1998)에는 유역상태에 따른 기준갈수량이 수록되어 있으므로 이를 활용할 수 있다. 위 설계기준에서는 유역상태를 다음의 4가지로 분류하여 10년 빈도 갈수량을 결정하고 있다.

① 유역 내 양수장, 취입보 등 수리시설이 많고 유역내 임상상태가 빈약할 경우 : $0.0902 \text{ m}^3 \cdot \text{s} \cdot 100 \text{ km}^2$

② 유역내 임상이 보통이고 감수심도 보통이어서 갈수량이 보통인 경우 : $0.1804 \text{ m}^3 \cdot \text{s} \cdot 100 \text{ km}^2$

③ 유역내 임상은 보통이나 감수심이 적어 갈수량이 비교적 많은 경우 : $0.2706 \text{ m}^3 \cdot \text{s} \cdot 100 \text{ km}^2$

④ 임상이 좋고 상류부 수리시설물이 적어 갈수량이 가장 많은 경우: $0.3608 \text{ m}^3 \cdot \text{s} \cdot 100 \text{ km}^2$

기타 참고할 수 사항은 “하천유지유량 산정요령”(건설교통부, 1999) 등에 부분적으로 수록되어 있다. 이 자료는 미계측 유역의 갈수량을 비유량 개념으로 추정 가능하도록 수계 내 많은 수위관측소의 장기간 실측자료를 회귀분석하여 유도한 식으로 유역면적만 알면 동일 수계 내 소하천의 기준갈수량을 산정할 수 있으나 소유역별 특성을 반영할 수 없는 단점이 있다.

금강 유역의 경우 유역면적별 기준갈수량 및 평균갈수량을 다음과 같이 제시하고 있다. 여기서 A는 유역면적(km^2)이고 Q는 m^3/s 이다.

$$Q_{\text{기준갈수량}} = 0.00283A^{0.878}$$

$$Q_{\text{평균갈수량}} = 0.00877A^{0.861}$$

실측자료와 적정한 비유량 자료가 없을 경우에는 일별 유출모형에 의한 모의발생 유출량을 이용하여 기준갈수량을 산정할 수 있다.

일유출량은 HOMWRS(Hydrologic Operation Model for Water Balance)의 유출량 부모형(DIROM) 또는 DAWAST모형으로 해당관측소의 강우량 자료를 이용하여 모의발생시켜 결정한다. 무계측 농업유역에서의 기준 갈수량 산정예를 비교하면 표 4.3.1과 같다.

표 4.3.1 무계측 농업유역에서의 기준 갈수량 산정예 (단위 : $\text{m}^3 \cdot \text{s} \cdot 100 \text{ km}^2$)

분 석 방 법	기준갈수량	비 고
농업생산기반 정비사업 계획 설계기준(관개편) 적용	0.18	유역 임상 보통
하천유지유량 산정 요령 회귀식 적용	0.28	금강 수계
HOMWRS에 의해 모의 발생된 유출량 분석	0.15	일반 농업지역

3) 환경용수량을 고려한 저수용량 산정

가) 하천유지유량

하천유지유량은 자연적 요인인 평균 갈수량과 인위적 요인인 환경보전유량 가운데 큰 값을 선택한다. 일본에서는 발전용 댐 하류 하천유지유량으로서 $0.1 \sim 0.3 \text{ m}^3 \cdot \text{s} \cdot 100 \text{ km}^2$ 을 제시하고 있는데, 이것은 우리 나라 기준 갈수량의 범위에 해당된다. 성주댐의 경우에는 하천유지유량으로서 임상이 좋고 상류부 수리시설물이 거의 없는 지역의 기준 갈수량인 $0.36 \text{ m}^3 \cdot \text{s} \cdot 100 \text{ km}^2$ 이 설정되어 있다.

나) 친수용수량

비관개기의 친수용수량을 어느 정도로 할 것인가는 중요한 과제인데, 일본에서는 비관개기의 친수용수량으로서 관개기 조용수량의 약 20~40%의 값을 취한다.

다) 환경용수량을 고려한 저수용량

필요수량으로서 1년에 걸쳐 관개기간의 조용수량 및 환경용수량의 누가곡선과 비관개기간의 환경용수량 누가곡선을 작성하고, 공급수량으로서 하천유량의 누가곡선을 작성하여 그 차이의 최대값(그림 4.3.2)에 저수지 손실량을 더한 것을 환경용수량을 고려한 저수용량으로 정한다.

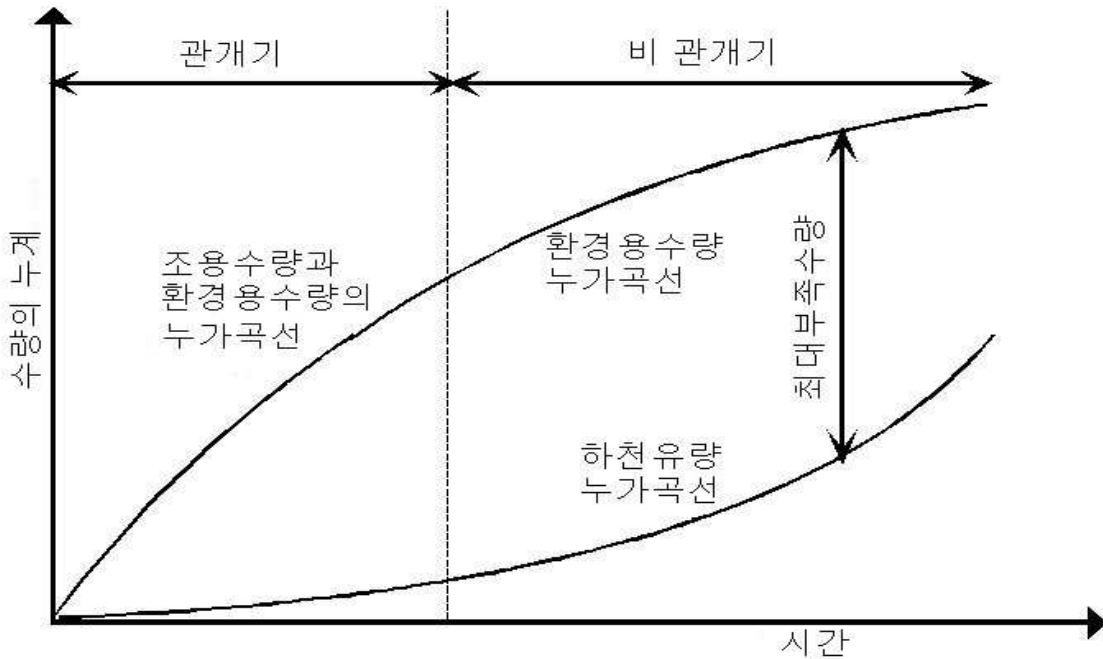


그림 4.3.2 환경용수량을 고려한 저수용량 산정

환경용수량을 고려한 저수용량 = $\max \{ \text{관개시기별 } \Sigma [\text{조용수량} + \text{환경용수량} - \text{하천유량}] + \text{비관개시기별 } \Sigma [\text{환경용수량} - \text{하천유량}] \} + \text{저수지손실량} \dots\dots (4.3.1)$
 여기서 저수지 손실량은 최대부족수량의 5 %를 취한다.

4.3.3 홍수조절용량

하류지역의 홍수피해가 클 것으로 예상되어 PMF를 적용하여 설계하는 저수지에는 집중호우 및 이상강우에 의한 하류지역의 홍수피해를 줄이기 위하여 농업용수 공급에 필요한 유효저수량 외에 홍수조절을 위한 저수용량을 추가로 확보할 수 있다.

가. 홍수조절용량 산정

지금까지 농업용 필댐은 홍수조절기능이 없어 이상 홍수시 급격한 수위상승에 따른 제당월류의 위험이 높고, 유입홍수를 그대로 방류하므로써 하류지역의 홍수피해가 커질 수 있으므로 농업용 필댐에서도 댐 파괴로 인한 인명과 재산피해가 클 것으로 예상되는 일정규모 이상의 댐에 대해서는 홍수조절기능 확보가 필요해졌다.

가능최대홍수량(PMF)을 적용하여 설계하는 농촌용수 저수지에는 집중호우 및 이상강우에 의한 하류지역의 홍수피해를 줄이기 위하여 홍수조절용량을 저수용량에 추가로 포함할 수 있다. 홍수조절용량은 하류하천 및 저수지 규모를 고려하여 결정하며 홍수조절을 위한 수위별 수문조작 계획을 수립한다.

하천설계기준(한국수자원학회, 2000)에 의하면, 홍수조절용 저수지의 홍수조절용량은 대상이 되는 홍수량 및 조절방법에 따라 다르나, 저수용량의 20 % 정도로 한다. 또한, 유역비 홍수량(= 홍수조절용량/유역면적)은 대략 100 mm 이상으로 하는 것이 바람직하며, 그 이하의 경우에는 수문 일정개도 조절 방법, 자연조절 방법 등이 채택될 수 있는지 검토해야 한다. 다목적댐 주암댐, 소양댐, 안동댐, 충주댐, 대청댐의 홍수조절용량은 각각 유효저수용량의 23 %, 26 %, 11 %, 34 %, 32 %이다.

나. 홍수조절 저수위 관리

홍수조절용량을 확보하지 않는 저수지 중 하류부에 도시나 집단주거, 공공시설 등이 있어 유사시 침수로 인명과 재산피해가 예상되거나, 지형적인 여건에 따라 과거 집중호우가 자주 발생하여 수해가 우려되는 지역은 이상홍수에 대비하여 사전 수위조절을 위한 비상 수문 등 방류시설을 할 수 있다. 방

류시설의 규모는 저수지 규모와 하류지역 홍수피해 정도를 고려하여 결정하되 최소한 1~3일 내에 홍수기 제한수위까지 낮출 수 있는 규모로 설치한다.

수문(Gate)식 물넘이 구조로 된 저수지는 홍수유입량 관측시설, 수위계측시설, 홍수위험경보 시설 등 홍수 예·경보시설을 설치하여 홍수피해를 사전에 대비할 수 있도록 한다. 홍수조절용량을 별도로 확보하지 않은 저수지는 홍수기 제한수위를 설정하여 홍수조절을 할 수 있다. 저수지 수위관리는 하천법 제38조 규정에 의한 댐 관리 규정을 별도로 작성하여 지자체의 승인을 받아 관리하도록 되어 있다. 따라서, 홍수기 제한수위는 댐 관리 규정에 따라 설정한다. 다만, 유효저수량의 70~80% 수준에서 설정하는 것을 참고한다.

저수지에 홍수가 유입되면 유입량의 일부가 저수지에 저류되는데, 유입홍수량과 유출홍수량의 차이가 홍수조절량이 된다. 저수지를 통한 홍수조절 방법은 단순하지는 않아, 일반적으로 다음과 같은 경우에 적용한다.

① 유역면적이 5km² 이하이거나 홍수도달시간이 1시간 미만인 농업용 저수지의 경우, 원칙적으로 홍수조절용량을 고려하지 않는다.

② 만수면적이 유역면적의 1/30 보다 크고 홍수도달시간이 상당히 긴 경우에는 홍수조절을 고려한다.

논에서는 20년 빈도 홍수량의 24시간 담수가 허용되지만 도농(都農)혼주화, 논외 범용농지화, 도시지역 확대 및 고밀도화, 하천개수공사의 지연, 양호한 댐터 고갈 등으로 농촌지역에도 높은 치수의 안정성이 요구되고 있다. 따라서, 농업용 저수지에 홍수조절용량을 설정하여 관리함으로써 홍수시 하류하천과 농경지의 침수피해를 경감시키는 방안이 대두되고 있다. 그러나, 홍수조절용량을 두면 치수효과를 기대할 수 있지만 이수측면에서 용수공급에 위험 부담이 될 수 있기 때문에 적절한 홍수조절용량을 설정해야 한다. 홍수기의 저수위 변화는 홍수발생 전에 홍수조절을 위하여 미리 예비 방류하여 인위적으로 저수위를 강하시킨 상태에서 홍수가 유입되는 경우와 관개용수공급으로 이미 자연적으로 저수위가 강하한 상태에서 홍수가 유입되는 경우가 있다.

농업용 저수지의 경우 용수공급의 지장이 없는 범위내에서 방류량 및 방류시간을 정하여 홍수발생 즉시 하류지역에 예비 방류할 수 있도록 되어 있다. 관개저수지 경천댐, 탑정지, 예당지, 성주댐의 경우, 홍수기에는 저수용량의 각각 8~21%에 해당되는 홍수조절용량을 비워두어 홍수를 조절하고 있다.(표 4.3.2). 예당지의 경우 보충강우량은 26.8 mm이며 홍수기인 7월 하순, 8월 초순 농업이수용량과 기준저수라인까지의 홍수조절용량은 약 $2,200 \times 10^4 \text{ m}^3$ 로 관개저수지 홍수조절기능도 높게 평가받아야 한다.(1998, 농공학회지 40(2) 참고)

표 4.3.2 농업용 저수지의 홍수기 제한수위 설정과 일시조절용량 사례

	저수용량 (만m ³)	홍수기 제한수위 설정과 일시조절용량 (만m ³)	비율 (%)
경천댐	2,822	228	8
탐정지	3,193	580	18
예당지	4,710	1,000	21
성주댐	3,824	636	17

4.3.4 퇴사량

설계퇴사량은 20년간의 퇴사량을 추정하여 정한다. 다만, 사방댐 등 효과가 확실한 퇴사방지시설 등이 있을 때에는 효과를 고려해도 좋다.

가. 설계 퇴사량

퇴사량은 20년간의 퇴사량을 추정하여 정한다. 퇴사량은 유역의 기상, 지형, 지질, 식생 등의 요인에 의해 좌우되어 예상하기가 어렵고 인근 기설 댐의 퇴사 실적으로부터 추정하는 방법이 채택되고 있다.

나. 추정 방법

국내·외 퇴사량 추정방법(우효섭, 2001)은 개략 다음과 같다.

1) 우리 나라

저수지 비퇴사량 D_r (m³·km²·yr)은 저수지 상류지역 비유사량, Y_r (tf·km²·저수지의 포착율 E_t (%) 및 퇴적토 단위중량 W (tf/m³)을 이용하여 식(4.3.2)으로 산정할 수 있다.

$$D_r = \frac{Y_r \times E_t / 100}{W} \dots \dots \dots$$

(4.3.2)

국내의 비퇴사량 공식은 모두 통계적 방법에 의한 경험 공식으로, 개발에 이용된 자료도 모두 소규모 농업용 저수지 자료이다. 이 중 윤용남(1981)은 식(4.3.3)을 제안하였다.

$$D_r = 1334A^{0.2}E_t^{6.2668} \dots \dots \dots$$

(4.3.3)

여기서 D_r : 비퇴사량 ($m^3 \cdot km^2 \cdot yr$), A : 유역면적(km^2), E_t : 저수지 포착률에 관련된 계수로서 다음과 같은 초기저수용량 ($ha \cdot m$) C 를 이용하였다.

$$E_t = \left[1 - \frac{1}{1 + 2.1(C/A)} \right] \dots\dots\dots (4.3.4)$$

이 공식은 국내 113개 관개용 저수지 퇴사량 자료를 이용하여 다중회귀분석하여 얻어진 것이다. 서승덕 등(1988)은 유역 면적이 200ha 이상 되는 국내의 122개 농업용 저수지 퇴사 자료를 이용하여 지역별, 저수지 제방 표고별 경험식을 제안하였다.

국내 비유사량 추정연구 일환으로 건설부/건기연(1992)은 100개의 국내 농업용 저수지 퇴사 자료를 이용하여 다음과 같은 비퇴사량 공식을 제안하였다.

$$D_r = 196A^{-1.163} C^{0.301} \dots\dots\dots$$

(4.3.5)

여기서 A : 유역면적(km^2), C : 저수지 초기 저수용량(m^3)

비퇴사량은 비유사량과 마찬가지로 일반적으로 유역 면적에 반비례하고 초기 저수량에 비례함을 알 수 있다. 식(4.3.5)의 개발에 이용된 퇴사 자료는 국내 농업용 저수지 퇴사 자료를 망라한 것으로 비유사량 연구 보고서(건설부/건기연, 1992)의 부록에 수록되어 있다.

이들 자료의 특성을 보면 저수지들은 1920년대부터 1970년대에 건설된 것들이며, 경과 연수는 최소 10년 미만부터 최대 65년까지이다. 유역 면적은 2~53 km^2 이며, 만수면적 10~300 km^2 , 저수량 5만~7백만 m^3 , 연평균 유입량 1백만~5천만 m^3 , 비퇴사량 100~3,000 $m^3 \cdot km^2 \cdot yr$, 저수지 포착률 30~95 %, 퇴적토 단위중량 1.3 t/m^3 정도이다. 저수지 포착률과 퇴적토 단위 중량을 이용하여 역추정한 비유사량은 200~5,000 $t \cdot km^2 \cdot yr$ 이다. 따라서 소규모 농업용 저수지들은 표 4.3.3의 중대형 저수지나 담수호에 비해 비퇴사량이나 비유사량의 변화 범위가 대단히 크다. 담수호는 조석에 따라 배수갑문의 개폐가 저수지와는 다르기 때문에 포착률과 퇴사량이 다르다.

김태철 등(1996)은 아산, 남양, 삼교호에서 조사된 20년간의 퇴사량 자료를 이용하여 식(4.3.6)과 같은 담수호의 비퇴사량 추정공식을 제시하였다.

$$D_r = 6,461 \times A^{-0.47} \dots\dots\dots (4.3.6)$$

여기서 A : 유역면적(km^2)

표 4.3.3 다목적댐과 담수호의 퇴사

하천	댐/방조제	유역면적 (km ²)	저수용량 (10 ⁶ m ³)	비퇴사량 (m ³ /km ² ·yr)	연평균 퇴사량 (10 ³ m ³)	연평균 퇴사율 (%)
낙동강	안동댐	1,584	1,284	230	364	0.03
섬진강	섬진강댐	763	466	460	351	0.05
삽교천	삽교호	1,263	84	279	73	0.09
안성천	아산호	1,369	142	226	309	0.20

2) 일 본

일본에서의 저수지 비퇴사량 추정 방법은 ① 인근 저수지 퇴사 자료를 이용한 방법, ② 퇴사자료의 통계처리에 의한 경험적 방법, ③ 추계적 개념에 의한 방법, ④ 도표식 방법이 있다(댐 기술센터, 1987).

퇴사량 추정방법의 주류를 이루는 통계적 방법 중 하나인 江琦(에사키, 1966) 방법에서는 저수지 퇴사량에 영향을 미치는 인자로서 홍수량, 하상 경사, 유역 내 경사지 크기 등이 고려된다. 江琦는 일본에서 저수량 백만m³ 이상 저수지 40개를 선택하여 퇴사량에 관한 경험 공식을 제안하였다. 그 후 江琦(1977)는 상류 유입 하천의 수를 고려하여 공식을 일부 수정하여 제안하였다. 단일 유입하천의 수정 공식은 식(4.3.7) 이다.

$$D_r = 0.904IS + 1.33I \frac{A_d}{A} \dots\dots\dots(4.3.7)$$

여기서 D_r : 퇴사량(m³), I : 일평균 유입유량(m³/s)과 저수지 유입부 하천의 평균 경사 S 의 곱이 1 이상 되는 유입량의 퇴사기간 동안 누적 부피(m³), A_d : 1:50,000 지형도에서 구한 상류 유역의 경사지 면적(km²), A : 유역 면적(km²)

두 개 이상의 하천이 저수지로 유입하는 경우에는 유입 하천의 개수 n 을 고려하여 다음 식 (4.3.8)와 같다.

$$D_r = 0.904 \left(\sum_{i=1}^n I_i S_i \right) + 1.33 \left(\sum_{i=1}^n I_i \frac{A_{d_i}}{A} \right) \dots\dots\dots(4.3.8)$$

도표식 방법은 저수지 퇴사량은 지역별로 상이하므로, 이를 지역별 지형, 지질, 유역 면적, 하천경사 등 특성 인자와 관련시켜 특성별 비퇴사량 범위를 도표로 제시하는 것으로 일본의 비퇴사량은 50 ~ 1,200 m³·km²·yr 범위에 있다.

4.3.5 용량배분

저수지의 용량배분은 이수용량이나 홍수조절용량과 같은 유효저수용량과 퇴사용량을 포함하는 사수용량으로 구분된다. 이수목적과 홍수조절 목적을 동시에 가진 댐에서는 홍수기에 홍수조절을 위하여 상시만수위보다 낮은 제한수위를 설정하고 있다. 홍수기와 비홍수기의 저수지의 용량배분 및 저수위-용량 곡선은 그림 4.3.3과 같다.

4.3.6 물 관리 자동화를 위한 원격 관측/제어(TM/TC)시설

관개면적 100 ha 이상인 저수지 지구에서 유역배율이 낮거나(예 : 1 : 4 이하) 농촌용수를 다목적으로 공급하므로 용수부족이 예상되는 필댐에서는 원격 관측/제어 (TM/TC)시설을 도입하여 물 관리 자동화를 도모하고 간단·윤환 관개 시스템을 통하여 효율적으로 절수하여 가뭄을 극복할 수 있다.

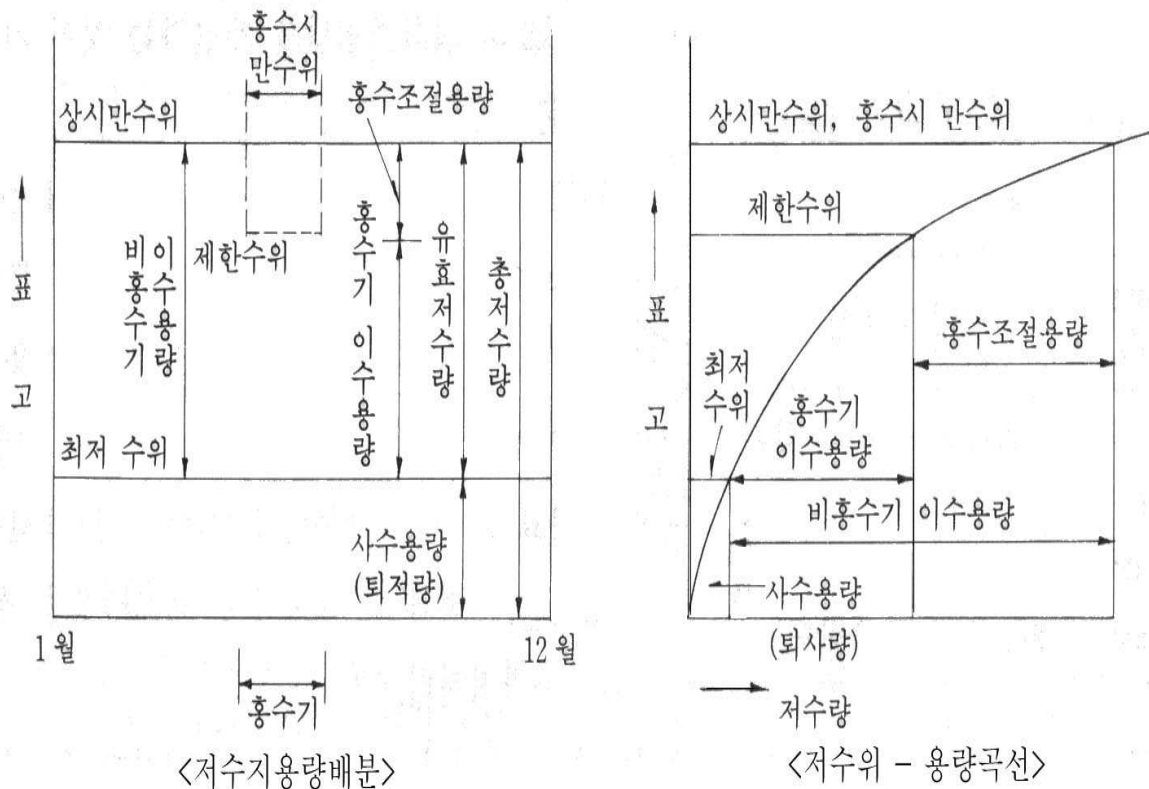


그림 4.3.3 저수지의 용량배분 및 저수위-용량 곡선

4.4 설계홍수량 결정

4.4.1 설계홍수량 기준

농업용 댐의 설계홍수량은 200년 확률홍수량, 기왕 최대홍수량, 지역 최대홍수량 중 큰 값을 설계홍수량으로 하며 필댐에서는 20 %를 증가시킨 유량을 기준으로 하되 붕괴에 따른 인적, 물적 피해가 크게 예상되는 지구는 가능최대홍수량(PMF)을 설계홍수량으로 한다.

일정규모(예 : 유역면적 2,500 ha, 저수용량 500만 m³)이상 필댐 또는 댐 하류에 도시 또는 집단거주지역, 국가중요시설이 있는 필댐은 가능최대강수량(PMP)을 적용하여 설계홍수량을 산정한다. 이 경우, 하류지역 홍수피해를 줄이기 위하여 농촌용수 공급에 필요한 유효저수량 외에 홍수조절용량을 저수용량에 추가로 확보할 수 있다.

수공구조물은 홍수로 인한 피해에 노출되어 있다. 홍수를 완전 방어하는 것은 불가능하며 경제적으로 타당성이 없기 때문에 수공구조물 설계에는 어느 정도 홍수의 위험을 고려해야 한다. 설계목적으로는 허용위험에 상당한 최대홍수를 정의하는 것이 필요하며, 이를 설계홍수라 한다.

설계홍수량은 홍수특성, 홍수빈도, 홍수피해 가능성과 사회·경제적 요인을 종합적으로 고려한 후, 최종적으로 수공구조물 설계나 하천관리를 위하여 채택하는 설계강수량으로 추정되는 수문곡선의 첨두홍수량을 말한다.

이러한 댐의 설계홍수량은 댐 표고의 결정, 댐의 안전성 검토, 저수지 홍수 조절능력의 검토, 홍수추적 등에 필수적인 자료가 된다. 또한 댐은 수공구조물 중에서 규모가 가장 크며, 월류 등 기타 원인으로 댐이 파괴될 때 발생하는 인명 및 재산 손실이 크기 때문에 설계기준이 강하다. 더구나 지구온난화와 엘리뇨 현상 등으로 집중호우 현상이 빈번하게 되어 댐 규모가 큰 경우는 가능최대홍수량을 고려해야 한다.

가. 설계 수리구조물 분류

수리구조물의 종류는 구조물의 규모나 안전도 등을 고려하여 구분하며, 일반적으로 구조물 파괴에 따른 잠재적 피해를 근거로 다음과 같이 분류된다.

1) 소규모 수리구조물

파괴되어도 인명손실이 없으며 피해액은 구조물을 대체하거나 수리비용 정도인 경우로서 배수구, 도시 우수관거, 공항 배수시설, 도로 암거, 도시 우수저류지, 소하천 제방, 소규모 댐의 여수로 및 부속시설 등이 이에 해당한다.

2) 중규모 수리구조물

파괴되었을 경우에 약간의 인명손실이 있을 수 있으며 피해액은 구조물 관리자나 소유자의 재정 능력내에 있는 경우로서 수력발전시설, 관개용 수로, 중규모 댐과 저수지, 도시 홍수조절지, 철도 암거 등이 이에 해당된다.

3) 대규모 수리구조물

파괴되었을 경우에 막대한 인명손실과 광범위한 피해가 초래되는 경우로서 대규모 다목적 댐이나 조정지, 대하천 제방, 여수로, 원자력 발전시설, 대규모 관개수로, 하구언과 같은 것은 대규모 수리구조물의 대표적인 예이다.

나. 설계 빈도

최적 수문 설계빈도는 구조물 공사에 소요되는 비용과 안전이 균형을 이루도록 선정하고, 수리구조물의 파괴로 인한 피해를 함께 고려하여 일반적으로 구조물의 중요도, 구조물의 수명연한, 경제성 등에 따라 결정한다.

수리구조물의 설계를 위한 설계빈도는 추정한계치와 구조물별 설계빈도 개념을 바탕으로 결정될 수 있다.

추정한계치는 수문정보를 최대한 사용하여 어떤 위치에서 발생 가능한 수문사상의 최대크기로 정의된다. 추정한계치는 수리구조물의 크기를 고려하여 빈도를 설정하거나 설계빈도 이상에 대해서는 과거에 발생한 수문사상을 이용하여 수문기상학적으로 가능한 최대치를 추정하여 이용한다.

최종 수문학적 설계값은 공학적 판단과 설계자의 경험에 따라 결정되어야 한다. 이를 결정하기 위해서는 설계강우와 홍수량의 위험도 분석, 치수경제성 분석, 그리고 경험과 표준기준에 따라 결정해야 한다.

수문학적 설계규모를 판단하는 기준은 수문설계자의 공학적 판단과 경험을 바탕으로 결정하는 것이 바람직하다. 특히 극한 수문사상에 대한 수리구조물의 설계값을 결정하기 위해서는 공학적 판단과 함께 내용(耐用)연한을 초과하지 않는 설계기간에 닥칠 위험도를 평가하고, 연평균 비용을 최소화할 수 있는 재현기간에 대한 치수경제분석, 구조물 종류, 중요도, 홍수지역의 개발 정도에 바탕을 두어야 한다.

댐은 규모가 큰 구조물이지만 일률적으로 기준을 적용하는 것보다는 규모별

로 기준을 다르게 적용하는 것이 타당하다. 우리 나라 댐의 규모도 저수용량이 수십만 m³ ~ 수천만 m³의 범위로 매우 다양하다.

따라서, 저수용량이 500만 m³ 이상 유역면적 25 km² 이상인 경우에는 이상호우로 인한 댐의 안전을 고려하여 가능최대홍수량이 유입되는 것을 가상해야 한다. 그리고, 댐 높이가 15 m 이하인 소규모 댐에서는 댐이 범람될 때 침수가 예상되는 하류 유역의 토지이용 현황과 댐 파괴의 손실복구의 경제성을 고려하여 설계빈도를 50년 ~ 200년으로 다양하게 적용하는 것으로 한다.

다. 설계홍수량 결정의 기본

댐 설계에 필요한 홍수에는 유역으로부터 저수지로 흘러 들어오는 유입설계홍수, 물넘이 방류 설계홍수, 가배수 시설의 설계홍수 등이 있다.

국내 실무에서는 여수로의 설계기준 홍수량으로 댐의 경우 200년 빈도의 저수지 유입 홍수량의 120 % (500 ~ 1,000년 빈도)를 채택하여 저수지 추적에 의한 방류량으로 사용하였다.

그러나, 최근 이상호우가 자주 발생하고 있어 이와 같은 빈도홍수량은 댐의 수명 기간 동안 초과될 확률이 높아졌다. 소양강댐의 경우(설계홍수량 1000년 빈도) 최대유입량은 11,995 m³/s (1990년 9월12일)로 500년 빈도에 육박한 값이었으며 현재 댐체를 보강하고 있다. 따라서, 댐의 규모가 큰 경우 댐 여수로나 댐 마루표고의 결정은 댐의 가상 파괴로 인한 예상 피해 규모를 고려하여 가능최대 홍수량을 기준으로 결정할 수도 있다.

가능최대 홍수량은 가능최대강수량으로 인한 홍수량을 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.

댐 물넘이(spillway)의 설계홍수량은 저수지로의 PMF를 유입수문곡선으로 하고 저수지를 통해 홍수 추적하여 물넘이 단면에서의 최대 방류량을 택함으로서 결정된다

라. 댐 설계 홍수량 산정시 고려사항

저수지 유입설계 홍수 수문곡선의 산정은 댐 유역의 지리적 위치에 따른 최대 호우의 특성, 유역의 배수구역, 유역의 토양 및 식생피복 및 유출분포 특성 등을 고려하여 수행해야 한다. 유역의 홍수 규모는 유역의 지리적 위치에 따른 지형, 지질, 및 강우 특성에 따라 크게 변화한다. 따라서 설계 홍수량을 결

정할 때에는 대상유역의 이들 영향 인자에 대한 올바른 지식이 필요하다.

가능 최대호우는 특정위치에서 특정호우면적에 주어진 지속 기간동안 수문·기상학적으로 발생 가능한 최대강수량을 내리게 하는 호우로서 대규모 댐의 유입 설계 홍수량 결정을 위한 기준 호우이다. 가능최대강수량은 기발생한 극대호우의 강우깊이-호우면적-지속기간(DAD) 관계를 이용하여 발생호우의 수분 최대화와 호우전이에 의해 포락과정을 거쳐 결정되며, 강우지속기간별, 유역면적별 최대 가능강수량의 관계 (PMP-DAD)로 표시된다.

우리 나라의 경우는 한국건설기술연구원(한국 가능최대 강수량 추정, 건설교통부, 2000년 6월)에서 연구 발표한 PMP가 설계의 기준 강수량이 될 수 있으며, PMP도는 강우지속기간 1, 2, 6, 12, 24, 48, 72 시간, 호우면적 25, 100, 200, 1,000, 2,000, 10,000, 20,000 km²에 대하여 전국에 걸쳐 등우선도의 형태로 작성되어 있어 PMP추정 및 검증에 매우 유효하다.

댐 유역의 상류 하천망, 유역경계 등을 표시하는 유역도는 지형도로부터 작성하며, 유역면적, 유로 경사 및 연장 등 유역특성에 관한 자료와 기 설치된 수문관측소(우량, 수위, 유량)도 총괄하여 표시해야 한다. 또한, 유역의 토양 분포, 식생피복 상태 및 토지 이용현황에 관한 것은 토양도, 토지 이용도로부터 획득하는 것이 바람직하다. 유역도 작성의 신뢰도를 높이기 위해 현지 답사를 해야 한다.

마. 가능최대홍수량 산정방법

가능최대홍수량은 댐 유역의 면적규모와 설계 강우지속기간에 상응하는 가능최대 강수량과 시·공간 분포를 고려한 가능최대호우를 결정한 후에 단위 유량도법, 유역 홍수추적법과 같은 강우-유출 관계 모형을 사용하여 유출계산 과정을 거쳐 저수지로의 유입설계 홍수수문곡선으로 산정한다.

댐 유역의 가능최대 강수량은 수문 기상학적 분석으로 작성된 PMP도로부터 댐 유역의 면적크기와 설계 강우지속기간에 해당하는 PMP를 결정한다.

이를 공간적 및 시간적으로 분포시켜 가능최대호우(Probable Maximum Storm, PMS)를 작성하여 유출계산에 사용하도록 한다.

댐 유역에 대한 가능최대호우가 결정되면 강우-유출관계 모형에 의해 가능최대 홍수의 시간분포를 표시하는 PMF 수문곡선을 계산하게 된다. 흔히 사용되는 강우-유출관계 모형으로는 단위유량도법, 합성 단위유량도법, 유역홍수추적법 등이 있으며, 이들 간단한 모형의 적용 방법에 대해서는 후술한다. 이외 강우-유출관계 모형으로 선형 혹은 비선형의 유출모형들이 많이 개발되어 있

으나 우리 나라 설계 실무에서는 입력되는 수문 및 기상자료의 미흡으로 사용이 보편화되어 있지 않다.

표 4.4.1 다목적댐의 확률강우량(mm), 유입량(m³/s) 및 최대유입량(m³/s), 방류량(m³/s)

구분 댐명	빈도(년)						댐 운영실적		
	50	100	200	500	1000	PMP	준공	최대 유입량	최대 방류량
소양강	394.0 8,200	446.1 9,400	449.9 10,500	573.7 12,100	631.9 12,390	- -	'73.12	11,995 '90.9.12	5,675 '90.9.12
충주	320 12,500	355 14,000	395 16,000	448 18,000	480 -	- 26,680	'86.10	22,164 '90.9.12	14,000 '90.9.12
안동	272.5 3,900	310.4 4,500	350.0 5,000	- 5,700	- 6,200	- 8,350	'76.12	4,677 '99.9.16	186 '90.7.22
임하	173.8 3,000	193.2 3,500	212.5 3,800	- -	257.3 4,600	426.3 7,550	'93.12	3,910 '99.9.24	2,053 '93.8.10
합천	224 5,190	266 5,720	286 6,250	- -	- -	399 8,900	'89.12	2,364 '98.10.2	102 '89.8.22
남강	354 8,541	396 9,572	438 10,400	495 11,984	539 13,020	- 15,800	'70.12	12,630 '98.9.30	7,847 '81.9.23
대청	306.0 8,500	341.0 9,500	377.0 10,700	- -	- -	531.6 14,700	'81.06	6,557 '87.8.31	3,813 '85.9.20
섬진강	292.3 -	332.9 3,268	374.9 -	433.2 -	479.3 -	- 8,153	'65.12	4,258 '85.9.19	695 '87.8.5
주암(본)	385.3 3,804	427.3 4,239	467.6 4,668	- -	- -	- 6,847	'92.12	1,768.4 '98.8.2	1,000 '98.8.2
주암(조)	297.4 1,601	331.0 1,782	361.8 1,954	- -	- -	- 3,625	'92.12	721 '93.8.21	42 '93.8.26
부안	233 470	257 528	281 585	313 662	337 719	741 1,674	'96.12	191 '97.7.6	115 '97.7.6

바. 빈도홍수량의 산정 방법

빈도홍수의 산정은 기왕에 발생한 침투홍수량 자료계열의 빈도해석에 의하는 것이 원칙이나 홍수량 자료가 없을 경우에는 빈도 분석에 의해 설계강우를 결정한 후 강우-유출 모형을 사용하여 설계홍수량을 산정한다.

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

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

4.4.2 사용자료

설계 홍수량 산정에는 유역의 수문기상자료와 지상자료가 필요하다. 수문기상자료는 설계빈도에 따른 설계강우량과 홍수량 자료를 말하며, 지상자료는 유달시간 계산, 유역망 작성에 필요한 지형자료와 유출곡선지수 및 유출계수 산정에 필요한 토지이용 및 토양자료와 홍수흔적 등 홍수위로부터 수리계산에 의한 홍수량을 산정하는데 필요한 하천 중횡단 자료, 하천재료 등을 말한다.

가. 설계 강우량

설계 강우량은 설계 홍수량을 산정하기 위한 기준강우량으로 설계목적에 따라 1시간, 1일, 2일 연속의 강우지속시간에 해당하는 빈도별 확률강우량, 가능 최대강우량과 강우분포를 산정한다.

1) 자료의 선정 및 수집

유역내와 인근의 모든 관측지점으로 티센망을 구성하여 면적평균강우량을 산정한다.

설계빈도에 따라 20~30년 이상의 연최대치 계열의 1시간, 1일, 2일 연속 최대강우자료를 수집한다.

최근의 집중호우 자료를 고려해야 한다. 과거 연최대 강우량 보다 최근의 연최대 강우량이 크게 나타나 확률분석에서 이상 값으로 처리될 수가 있으나 이를 제외시키지 않고 포함시켜야 한다.

특히 댐·저수지와 배수시설이 건설된 이후에 그 지역에 설계빈도 이상의 강수량이 발생하였을 때, 그 강수량을 포함한 시계열 강수량자료로 분석하고 상향조정된 설계강수량으로 설계홍수량을 추정하고, 이에 안전하도록 배수구조물(물넘이 또는 배수장)를 확장하여 보강하는 방안을 강구하도록 보완해야 한다.

2) 빈도 분석

여러 개의 확률분포함수를 검토하여 적합한 분포를 사용하거나 권장 확률분포함수를 사용할 수 있다. 여러 개의 확률분포함수를 사용할 때는 적합도 검정이 필요하며, “한국확률강우량도 작성”(건설부, 2002) 및 “배수개선 홍수분석 시스템 개발”(농어촌진흥공사, 1997)에서는 권장 확률분포함수로 극치1분포(Gumbel 법)를 추천하고 있다.

3) 확률강우량 산정

기상청 및 건교부에서 관할하는 기상자료를 최근의 자료까지 포함하여 확률분석을 한다. 분석 프로그램은 인정된 프로그램을 활용하거나 새롭게 작성하여 사용할 수 있다.

유달시간이 1시간 미만의 작은 유역의 확률강우량은 IDF 곡선에서 구할 수 있다. 또한 한국 확률강우량도(건설부, 2002)를 활용할 수 있다.

4) 강우분포율

설계수문곡선을 작성하기 위해서는 1일 또는 2일 확률강우량을 1시간 단위의 강우량으로 배분시켜 유출량을 계산해야 한다.

확률강우량 배분방법에는 物部공식, 강우강도식 (건교부 IDF 곡선 등), Huff 4분위법, 삼각우량주상도법(Yen & Chow), Pilgrim & Corderly, Keifer & Chu 등의 방법이 있다.

物部공식의 지역상수 n 값을 우리 나라 각 지점(농업진흥공사, 1982)에 따라 수정하였고 시간별 강우분포율을 산정하였다. n 값이 없는 관측소에서는 연최대치 계열의 1시간 최대강우자료를 이용하여 n 값을 추정할 수 있다.

유달시간이 1시간 이하인 소유역에서는 IDF 곡선에서 해당 유달시간을 강우지속시간으로 하는 강우강도를 직접 읽는다.

PMP 배분에는 미국 NWS(US National weather service) 방법을 적용한다.

나. 홍수량 자료

연최대 홍수량 자료가 있으면 이를 빈도 분석하여 설계 홍수량을 계산하는 것이 모의에 의한 오차를 줄일 수 있기 때문에 바람직하다. 빈도 분석하기 위해서는 적어도 20~30년의 자료가 필요하다.

우리 나라에서는 계획지구에 관측된 홍수량 자료가 있는 경우는 매우 드문 형편이다. 따라서, 통상 설계홍수량은 설계강우량으로부터 모의에 의해 계산하고 있다. 그러나, 홍수량 자료가 빈도 분석에 사용될 정도의 자료수가 되지 못하더라도 가능한 수집해야 한다. 설계강우량으로부터 계산한 결과와 비교하여 홍수량 자료의 적정성을 판단하는데 사용할 수 있기 때문이다.

홍수량 자료는 수위관측소가 있는 경우와 없는 경우로 구분하여 수집한다. 수위관측소가 있는 경우는 수위-유량관계식이 있을 때는 이로부터 직접 유량을 계산하고, 없을 때는 등류 공식 등의 간접 방법에 의해 유량을 계산한다. 수위관측소가 없는 경우는 홍수흔적, 인근 주민의 청취 등으로부터 최대수위를 구하고 경사-면적법 등 간접 방법에 의해 홍수량을 계산한다. 홍수량 자료와 함께 유역과 인근 지역 관측소의 강우량 자료를 함께 수집해야 한다.

다. 유역망 구축

유역면적이 작고 형상이 단순한 경우에는 1개의 단일유역으로 간주하여 분석한다. 그러나 유역이 크고 하천이 복잡하거나 중요구조물이 많은 유역에서는 유역망을 작성하여 홍수유출량을 산정한다.

유역이 큰 경우 전체 유역을 우선 소유역으로 적절히 분할해야 하며, 상류로부터 하류로 축차적으로 유출계산을 하는데 사용된다. 소유역을 구분할 때는 다음 사항을 고려해야 한다.

- ① 분할된 소유역은 단일 유역의 특성을 가져야 한다.
- ② 주요 지류와 본류의 합류점이 분할된 유역의 출구점이 되도록 한다.
- ③ 기설 및 계획댐 지점을 출구점이 되도록 한다.
- ④ 지형적 분수계와 지하수 분수계 등의 지형 및 하도특성을 고려한다.
- ⑤ 홍수예정보를 목적으로 할 경우에는 우량관측소의 분포를 고려하여 본류와 지류상의 수위관측소가 가급적 분할 유역의 출구점이 되도록 한다.
- ⑥ 보나 배수장 등이 수리시설물의 지배구역을 고려한다.

라. 유달시간

유달시간은 유역의 가장 먼 지점으로부터 유역의 출구 혹은 설계지점까지 물이 유하하는 시간으로서 산정방법에는 Rziha, Kerby, Kraven 및 California 도로국 공식 등이 있다.

강우에 의한 유출의 반응을 유역반응이라고 하며 유역반응을 나타내는 시간 변수는 홍수유출량 산정에 있어서 매우 중요한 요소이다. 이러한 시간 변수의 정확도는 설계홍수유출량 추정시 설계강우량과 매우 밀접한 관계를 가지고 있으며 이 때 주로 사용하는 시간변수 중 하나가 유달시간(T_c)이다.

1) 산정절차

① 지형도 상에서 홍수유출량 산정지점과 유역의 최원점 사이의 하천유로를 결정한다.

② 유로를 따라 지형표고와 변곡점간의 거리를 측정한다.

③ 구간별 경사를 경사자승법으로 구한다.

④ 적용조건에 알맞은 유달시간 공식에 표고, 거리, 경사를 적용한다.

2) 산정방법

① Rziha 방법

산간부에서 평야부(경사 1/200 이상)로 옮겨가는 곳에 적용한다. 우리나라에 서와 같이 산간하천과 평야부 하천이 혼재할 때 사용하며, 유로의 경사도가 상이한 구간의 유달시간을 계산하고, 구간별 유달시간을 합산하여 총 유달시간을 구한다.

$$T_c = \frac{L}{W_1}, \quad W_1 = 20 \times \left(\frac{H}{L}\right)^{0.6}$$

여기서, T_c 는 유달시간(s), W_1 은 홍수도달속도(m/s), H 는 최상류지점과 유역출구까지의 고저차(m), L 은 최상류지점과 유역출구까지의 수평거리(m)이다.

② Kerby 방법

산정에서 하천 시발점까지 구간에서 적용한다. 지표면 흐름이 주된 영역에서 유역면적이 0.04 km^2 보다 작고 경사가 1%보다 작으며 또한 지체계수가 0.8 보다 작고 유로길이가 0.4 km 이하인 지구에 적용한다.

$$T_c = 1.44 \frac{(nL)^{0.467}}{S^{0.234}}$$

여기서, T_c 는 유달시간(min), n 은 지체계수(표.4.4.2), L 은 유역의 최원점에서 하도시점까지의 유로연장(m), S 는 유역최원점과 하천발원점까지의 평균경사이다.

③ Kraven 방법

평야부(경사 1/200 이하)에 주로 적용하며 경사도에 따라 개략적인 유속이

정해져 있다.

$$T_c = \frac{L}{W}$$

여기서, T_c : 유달시간(s), L : 유로연장(m), W : 유역평균유속으로 1/100인 경우 3.5 m/s, 1/100 ~ 1/200인 경우 3.0 m/s, 1/200이하인 경우 2.1 m/s를 적용한다.

표 4.4.2 지체계수 n 값

표면상태	n 값
매끄러운 불투수 표면(콘크리트면)	0.02
매끄럽고 잘 다져진 나지	0.10
불량초지, 즐경작 또는 보통 조도의 나지	0.20
목초지 및 보통의 초지	0.40
산림지	0.60
일반적인 산간유역	0.70
산림지(깊은 낙엽퇴적지), 침엽수림, 조밀한 초지	0.80

④ California 도로국 공식

산간지역의 소유역에 적용하며, 각 구간별 경사도가 심할 경우 가중평균을 사용해야 하며 반대로 각 구간별로 적용하면 안된다.

$$T_c = (0.869 \frac{L^3}{H})^{0.385}$$

여기서, T_c : 유달시간(h), L : 가장 긴 유로장(km), H : 평균고저차(m)이다.

마. 토지이용 및 토양자료

유출곡선지수와 유출계수 산정에 토지이용 및 토양자료가 사용된다. 자료조사는 지형도(국립지리원)와 토양도(농촌진흥청)를 기초로 유역면적에 따라 조사의 정도를 다르게 할 수 있으며, 유역면적이 작을수록 상세하게 조사한다. 유역면적이 크면 상세하게 조사하여도 이것이 유출량 계산의 정확도를 크게 개선시키는 것이 아니며, 조사 자체의 업무량이 많기 때문에 유역면적에 따라 조사의 정도를 적절히 한다. 그러나, 수치정보가 구축되어 있으면 새롭게 기준을 정립하여 사용할 수 있다.

바. 하천 중형단 자료 및 하천재료

수위 자료가 있더라도 수위-유량 관계식이 없는 경우나 홍수흔적의 수위자

료로부터 간접적으로 유량을 계산하기 위해서는 하천 종횡단 자료와 하천 하상재료를 조사한다. 하천 종횡단 자료의 조사구간은 경사-면적법에 의해 홍수량을 추정하기 때문에 등류 개념에 가까운 구간을 선정하는 것이 좋다.

사. 가능최대 강수량

1) 추정방법

가능최대 강수량추정방법에는 두 가지 방법이 있다. 하나는 수문·기상학적 방법이고 다른 하나는 통계학적인 방법이나 통계학적인 방법은 자료의 한계성과 방법의 불확실성으로 인하여 자주 사용되지 않고 지표로서만 이용된다.

수문·기상학적 방법은 호우효율을 고려하여 관측강우량을 증가시키는 방법을 따르고 있으며, 다음 식과 같이 수분최대화, 호우전이, 포락의 세 단계로 가능최대강수량을 추정한다.

$$PMP = OP \times RIP \times RHT \times RVT \times RGE$$

여기서 OP : 관측강우량(mm), RIP : 수분최대화비, RHT : 수평전이비, RVT : 수직전이비, RGE : 지형영향 이다.

관측강우량은 댐 지역과 같은 면적과 형상에 해당하는 면적강우량이어야 하며 호우전이와 포락을 고려하여 우리 나라에서 가장 크고 중요한 호우를 모두 선정하여 면적강우량을 산정해야 한다.

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

대상호우 기간의 수분 유입을 대표할 수 있는 대표 12시간 지속 이슬점을 호우발생지역내에서 산정한다.

호우지역별로 최대 및 대표 12시간 지속 이슬점을 이용하여 수분최대화를 실시한 후 대상호우를 댐 지역으로 전이시킨다. 이때 전이에 필요한 수평전이비는 호우지대와 전이지대의 최대 12시간 지속이슬점에 의한 가능강수량에 의해, 수직전이비는 두 지대간의 표고차이에 따른 가능강수량에 의해 산정된다. 물론 지형에 의한 강수량의 변화를 고려한 지형 영향비를 고려하는데 두 지점간의 100년 강수량의 비가 이용된다.

전이되어 조절된 면적강수량 중에 최대치를 가능최대 강수량으로 채택한다.

2) 한국 가능최대 강수량도

건설교통부는 댐과 같은 주요 수공구조물의 설계 홍수량 결정을 위해 전국

에 일관된 한국 가능 최대 강수량도(PMP도)를 작성 제시하였다. 이 PMP도는 건설교통부가 한국건설기술연구원에 조사연구를 위탁하여 2000년 6월 한국 가능최대강수량도('99 수자원 관리기법 개발 연구조사 보고서, 「한국 가능최대 강수량 추정」)를 발간하였으며, 우리 나라의 공인된 PMP 결정 기준이다. 이 PMP도는 수문기상학적 방법을 이용하였으며, 강우지속기간은 1, 2, 6, 12, 24, 48, 72시간, 호우면적 25km², 100km², 200km², 1,000km², 2,000km², 10,000km², 20,000km²를 기준으로 하여 PMP도를 1 : 1,500,000 지형도 위에 등우선의 형태로 작성하였다. 전국 PMP도는 전국에 걸쳐 1969~1999년에 걸쳐 발생한 주요 호우사상의 DAD 분석과 수분 최대화, 호우전이, 포락 등의 과정을 거쳐 작성하였다.

3) 추정절차

PMP를 추정하고자 하는 대상구역의 위치와 구역면적 및 구역중심을 1 : 50,000 혹은 1 : 25,000 지형도 위에서 결정한 후 구역 중심의 좌표를 전국 PMP 도로 옮겨 위치를 결정한다. 대상구역 중심을 기준으로 지속기간(1, 2, 6, 12, 24, 48, 72시간) 별로 구역면적보다 크고 작은 호우면적에 해당하는 가능최대강수량(PMP)을 PMP도로부터 보간하여 읽으며, 지속기간과 구역면적의 연속성과 일관성을 위하여 강우깊이-지속기간 관계의 포락 및 균일화 곡선을 그린 후 강우깊이-면적-지속기간에 대한 포락 및 균일화를 실시하여 이 곡선으로부터 구역면적에 해당하는 지속기간별 PMP를 읽어 결정한다.

4) 가능최대호우의 결정

설계 구역에 대하여 결정된 지속기간별 가능최대 강수량의 시간적 분포 결정에 의한 PMP 주상도의 결정은 원칙적으로 대상구역에 대하여 분석된 강우의 시간분포형에 따라야 하나 이의 결정이 어려울 때에는 기타 방법에 의존할 수밖에 없다. 설계강우인 최대가능강수량의 시간적 분포는 대상구역 강우의 시간분포 특성분석에 의한 표준 분포형에 맞추어야 한다.

실무의 경우 전방위, 중방위, 후방위 등으로 시간강우량을 배열하는 방법인 blocking 방법이 이용되어 왔으나 실제호우와의 비교가 이루어지지 않아서 임의적으로 사용되고 있는 실정이다. 「한국 가능최대 강수량 추정」에서 추천하고 있는 시간분포방법은 Huff 방법이며, 아울러 공간분포 형상도 실제호우의 경우와 이상적인 형태의 호우로 구분하여 적용성을 고찰하였다.

5) 지속기간의 결정

댐 설계시에는 댐 마루표고, 물넘이, 수문 및 배열의 결정, 저수지 운영, 강우의 시공간분포까지 고려하고 또한 이들의 상호작용이 매우 복잡하기 때문에 일정하고 고정된 형태로 가능최대강수량의 지속기간을 설정할 수 없다.

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

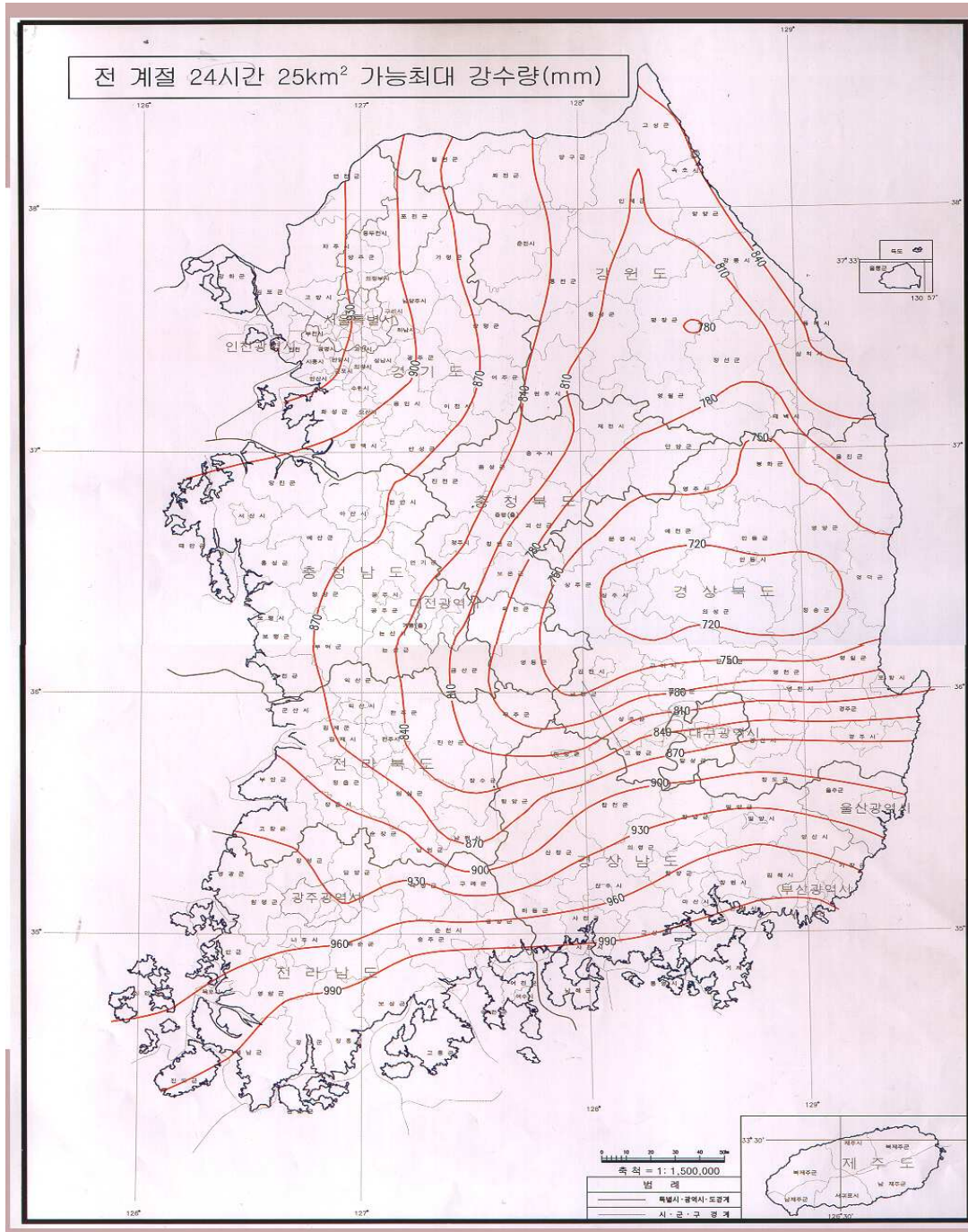


그림 4.4.1 건설교통부 PMP도 (2,500ha, 24시간)

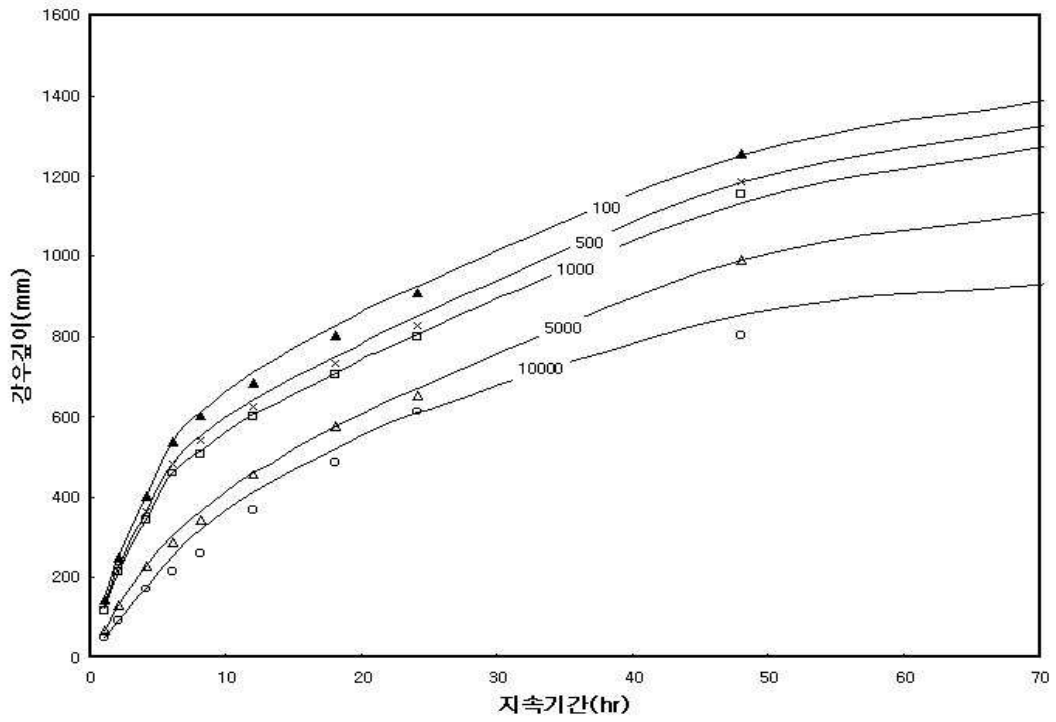


그림 4.4.2 대표면적별 강우깊이-지속기간의 포락

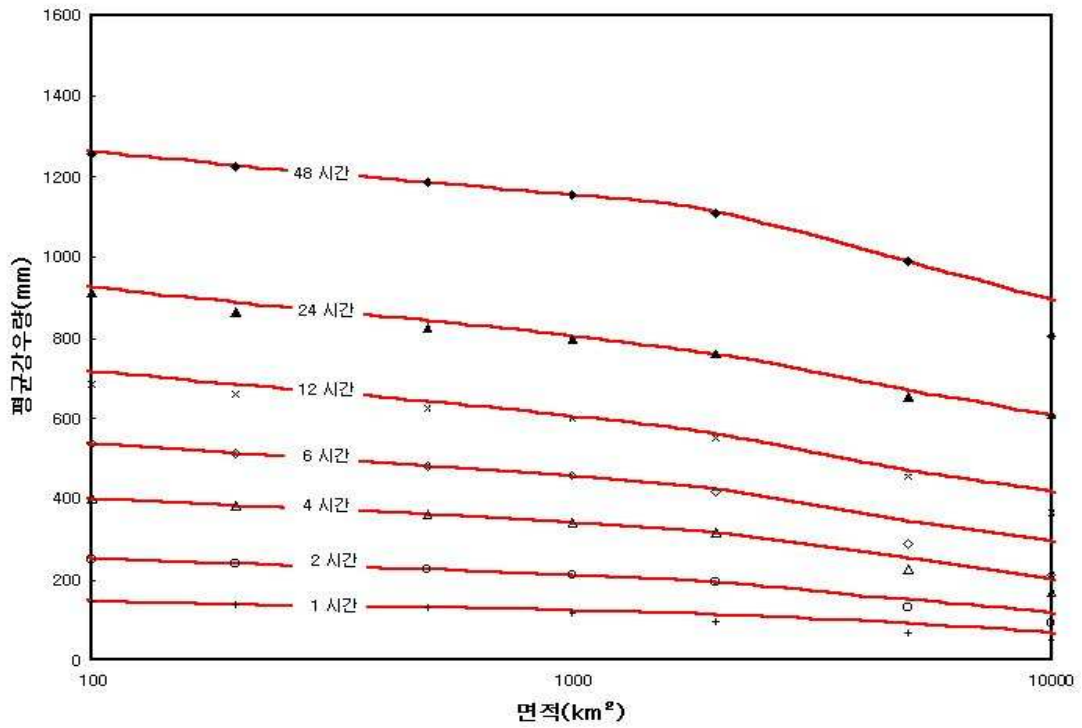


그림 4.4.3 대표지속기간별 강우깊이-면적의 포락

아. 유효강우량주상도 작성

1) 유효우량 산정방법의 분류

설계강수량 주상도로부터 시간구간별 손실우량을 제외시켜 작성하는 것으로, 일정비법, 일정손실률법, 초기손실-일정손실률법, 침투곡선법, 표준형 강우-유출관계곡선법 등이 있다.

가) 일정비법

시간구간별 강우량의 일정비가 손실되고 나머지가 유효우량이 된다고 가정하는 것으로서 유출계수(runoff coefficient)와 같은 개념으로 유효우량을 계산하는 방법이다. 이 방법은 과도한 선행강우로 인해 유역의 지표면이 거의 포화되어 있을 경우에는 비교적 적절한 결과를 주는 것으로 알려져 있다.

나) 일정손실률법

강우기간 동안의 손실률(또는 침투능)이 일정하다고 가정하는 방법으로 Φ -index방법과 동일한 개념을 가진다. 이 방법은 유역의 선행 토양함수량이 많고 큰 호우를 대상으로 할 경우 적절한 방법이다.

다) 초기손실-일정손실률법

유역의 토양수분미흡량이 초기침투량으로 충족될 때까지는 유출이 발생하지 않으며, 초기손실이 발생한 이후에는 일정률로 손실된다고 가정하는 방법으로 유역이 비교적 건조한 상태에 있을 경우 적절한 방법이다.

라) 침투곡선법

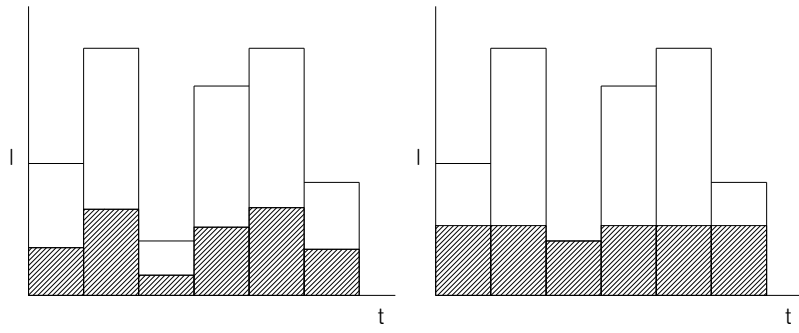
강우가 계속됨에 따라 토양의 침투율이 감소하는 특성을 표시하는 Horton, Holtan, Phillips 등의 침투능곡선으로 시간구간별 손실량을 계산하는 방법으로 이론적으로는 가장 합리적이지만 유역상태에 맞는 침투능곡선 계산이 어렵다.

마) 표준형 강우-유출관계 곡선법

광범위한 수문관측자료의 분석으로 유역의 유출특성에 따라 강우량과 유출량의 관계를 설정해 둠으로써 특정 강우량이 발생했을 경우의 유출량을 산정하는 방법이다. 가장 대표적인 방법은 미국 토양보존국(US Soil Conservation Service ; SCS) 유효우량 산정법으로 유역의 토양형, 식생피복형 및 처리상태 등의 유출특성과 선행토양 함수조건 등을 고려하는 등 객관성이 높다.

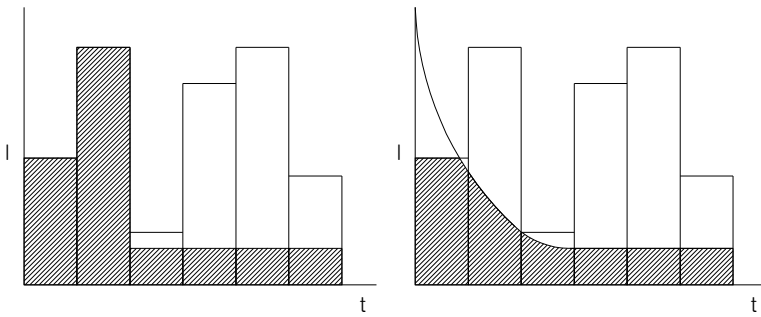
2) 유효우량 산정방법의 선택 및 손실량의 결정

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



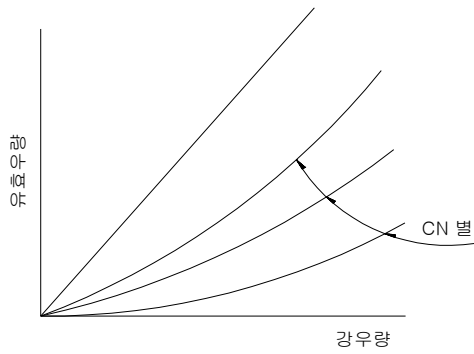
(a) 일정비법

(b) 일정손실율법



(c) 초기손실-일정손실율법

(d) 침투곡선법



(e) 표준형강우 - 유출관계법

그림 4.4.4 유효우량 산정방법의 분류

댐 대상구역의 내외에 강우-유출자료가 있는 경우 PMP 추정시의 강우손실은 주요홍수로 해석된 강우손실값 중 가장 작은 값으로 선정하는 것이 바람직하다. 우리 나라 중·소구역에 대한 유출량의 실측자료가 부족하여 강우손실량의 계산을 위한 적절한 방법이 설정되어 있지 않아 유효우량의 계산에 어려움이 많으나 비교적 객관성이 높고 구역의 지상인자의 결정에 의해 계산이 가능한 SCS의 유효우량 산정법이 많이 사용되고 있으므로 이 방법의 적용절차에 대해 상술하기로 한다.

3) SCS의 유효우량 산정법

가) 총우량-유효우량 관계식

SCS 유효우량 산정법의 기본인 총강우량-유효우량 관계식은 다음과 같다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \dots\dots\dots (4.4.1)$$

여기서, P는 강우지속기간동안의 총강우량(혹은 누가우량, mm), S는 구역 최대잠재보유수량(mm)이며, Q는 총강우량 P로 인한 직접유출량(mm)으로 유효우량에 해당한다.

식 (4.4.1)은 강우시점으로부터 어떤 시간까지 내린 누가우량 P로 인한 직접유출량(혹은 유효우량), Q는 P와 S의 함수이며, P가 커짐에 따라 Q가 커지고 S가 커짐에 따라 Q는 작아짐을 표시하고 있다. 구역 최대 잠재보유수량(potential maximum retention) S는 구역이 최대로 보유할 수 있는 수분량으로 침투 및 저류능력을 나타내며, 구역의 직접유출능력을 지배한다.

SCS에 의하면 직접유출능력을 표시하는 유출곡선지수(runoff curve number, CN)는 S와 다음과 같은 관계를 가진다.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \dots\dots\dots$$

(4.4.2)

따라서 구역의 직접유출능력을 표시하는 구역평균 CN값이 결정되면 식 (4.4.2)에 의해 S가 계산되고 이를 식 (4.4.1)에 P와 함께 대입함으로써 누가유효우량 Q를 계산할 수 있다.

나) 유출곡선지수의 결정

SCS방법에 의한 유효우량의 산정에 필요한 유출곡선지수 CN은 수문학적 토양형과 식생피복 및 처리상태, 그리고 선행토양함수조건 등을 고려하여 결정한다. 유출곡선지수 CN은 균등한 수문학적 토양형과 식생피복 및 처리상태 아래에서는 선행토양함수 조건에 따라 일정한 값을 가지며, SCS는 이를 도표화하여 사용하고 있다.

SCS는 미국 전역에 분포된 토양종류와 특성을 조사하여 토양의 유출률의 크기 역순으로 A, B, C, D형의 4가지 유형으로 수문학적 토양형을 분류하였으며, 미국내 분포되어 있는 수많은 명칭의 토양종류를 이들 4개형 중에서 하나로 소속시켜 유출률의 정도를 표시하도록 하였다. 우리 나라도 전국에 걸쳐 토양도(1 : 25,000 및 1 : 50,000도)가 작성되어 있고 토양 명칭별로 유출 정도에 따라 A, B, C, D형으로 분류할 수 있도록 토양도에 특성이 서술되어 있다.

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

유역의 유출능력은 선행강수량의 크기에 따른 선행토양함수 정도에 크게 영향을 받는다. SCS는 유역의 선행토양수분 조건(Antecedent soil Moisture Condition : AMC)을 5일 선행강수량의 크기에 따라 AMC-I, AMC-II, AMC-III의 세가지로 분류하였다. 우리 나라의 경우 비성수기는 대략 10월 ~ 익년 5월, 성수기는 6월 ~ 9월로 간주할 수 있으며, 유출률은 AMC-I, II, III의 순(토양의 수분함유량이 큰 순서)으로 높아진다.

표 4.4.3 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

유역의 식생피복형 및 처리상태, 처리상태별 침투조건, 그리고 토양형 등에 따라 SCS는 장기간 동안의 조사분석에 의하여 유출곡선지수를 결정한 바 있으며, 표 4.4.4 는 각각 농경지역 및 삼림지역으로 되어 있는 자연하천유역에 대한 CN값을 표시하고 있다.

표 4.4.4 는 AMC-II 조건하에서의 토양형-식생피복별 CN치를 표시하며 유역의 선행토양함수 조건이 AMC-I 혹은 AMC-III일 경우는 CN치를 변경시켜 주어야 한다. AMC-I 은 AMC-II의 경우보다 5일 선행강수량이 작으므로 침투량이 많아 유출율은 작아질 것이며, AMC-III는 반대로 유출율이 커지는 경우가 된다. SCS는 이를 감안하여 표 4.4.5와 같이 CN값의 환산표를 작성하였으며 이를 식으로 표시하면 다음과 같다.

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

(4.4.3)

$$CN(II) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0.13 CN(II)} \dots\dots\dots (4.4.4)$$

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

SCS 유효우량 산정법의 적용 절차는 다음과 같다.

첫째 유역에 대한 PMP로부터 유효우량을 계산하기 위해서는 유역의 토양형, 식생피복 및 처리상태 등을 고려한 국지별 \overline{CN} 값을 결정한 후에 이를 면적가중치로 평균하여 유역평균 유출곡선지수 CN 를 계산한 후에, AMC 조건에 따라 \overline{CN} 값을 환산하여 S를 구하고, 이를 식 (4.4.1)에 대입하게 된다.

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

① 대상유역의 토양도(1 : 25,000 혹은 1 : 50,000) 상에서 토양명칭을 고려하여 전유역을 SCS의 토양형 A, B, C, D로 분류 구분한다.

② 유역의 토지이용 및 식생피복상태를 토지이용도 혹은 지형도상에 구분하여 이미 구분된 토양도와 겹친다.

③ 유역의 토양형-식생피복형별 분포면적을 ②에서 작성된 도면상에서 구적기로 구하고 이들 면적을 가중인자로 하여 결정된 CN값을 유역 평균함으로써 대상유역의 평균유출곡선지수 CN (AMC-II 조건하)을 계산한다.

④ 선행토양함수 조건은 5일 선행강수량의 크기에 의해 결정하나 대규모 구조물의 설계에서는 안전성을 중요시해야 하므로 AMC-III 조건을 택하는 것이 바람직하다. 만약 대상유역내외에 자료가 있는 경우 주요 홍수로 해석하여 결정된 AMC 조건 중 가장 유출이 많은 조건을 선택해야 하여 유역조건에 맞게 결정하는 것이 바람직하다.

⑤ 최종 결정된 CN를 이용하여 S를 계산하고 식 (4.4.1)에 대입한다.

⑥ 설정된 총우량-유효우량 관계식에 강우시점으로 부터 어떤 시각까지의 누가우량 P를 대입하면 그 시각까지의 누가유효우량이 계산된다. 따라서, 주어진 PMP 주상도를 시간구간별로 누가하여 계단형 누가우량곡선을 작성 후에 시각별 누가우량을 Pt로 하여 Qt를 구하고 다음 관계식에 의해 시간구간 Δt별 유효우량, ΔQ를 계산함으로써 유효우량 주상도를 작성할 수 있다.

즉,

$$\Delta Q = Q_t - Q_{t-1} \dots\dots\dots(4.4.5)$$

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

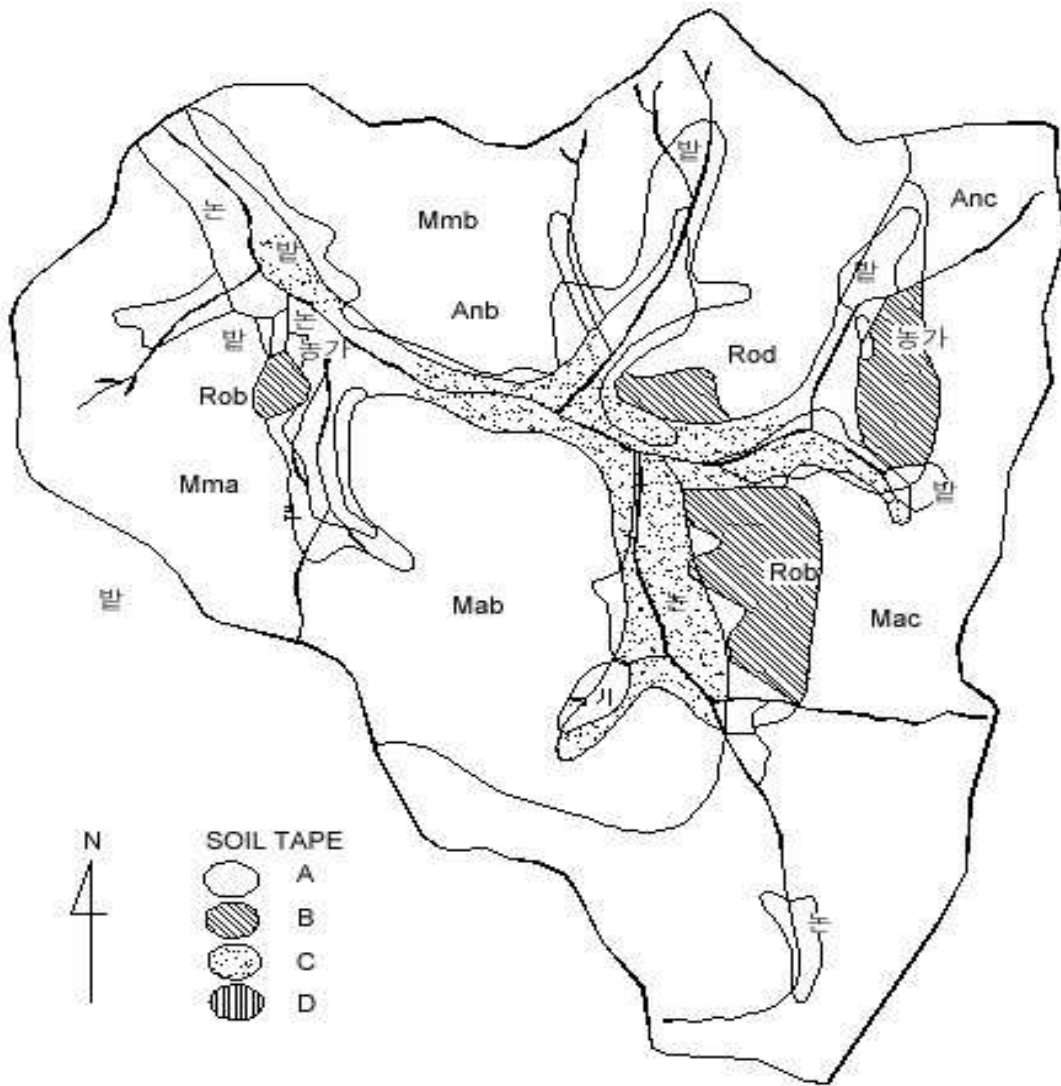


그림 4.4.5 경안천 대표시험구역의 토양형-토지이용별 분포도

표 4.4.4 농경지역 및 삼림지역의 CN치 (AMC-II 조건하)

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

표 4.4.5 AMC조건별 CN치간의 관계

AMCⅡ	AMCⅠ	AMCⅢ	AMCⅡ	AMCⅠ	AMCⅢ
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			

4.4.3 산정방법

설계홍수량 산정 방법은 사용 목적에 따라 첨두 홍수량과 홍수수문곡선 산정으로 구분된다. 또한, 각각의 방법은 홍수유출량 자료의 유무에 따라 계측 유역과 무계측 유역으로 구분된다.

첨두 홍수량 산정은 계측 유역에는 빈도분석 방법을, 무계측 유역에는 합리식 등을 사용한다.

홍수수문곡선 산정은 계측 유역에는 대표단위도 방법 또는 홍수 수문모형을, 무계측 유역에는 합성단위도법을 사용한다.

가. 빈도분석 방법

기왕의 장기간 홍수자료를 확률처리해서 설계홍수량으로 취하는 방법이다. 확률처리의 대표적 방법으로는 대수확률지법, 대수정규분포, Type I 극치분포, Gamma 분포 등에 의한 빈도계수법을 들 수 있다.

나. 합리식에 의한 방법

홍수의 첨두유출량을 계산하기 위한 간편한 방법으로 저류효과를 고려할 필요가 없는 소규모 유역에 적용해야 신뢰도가 높다. 도시배수로, 경지정리 배수로 단면, 소류지 물넘이, 비행장 배수로, 도로 횡단암거 등의 단면결정을 위하여 홍수도달시간이 짧은 단기간 호우시 첨두홍수량을 추정하는데 가장 널리 적용되고 있다. 입력자료는 유역면적, 도달시간을 지속시간으로 하는 설계빈도의 강우강도, 유출계수이며, 도달시간은 토지이용상태, 유역경사, 하천길이에 의하여 결정된다.

$$Q = \frac{1}{3.6} C \cdot I \cdot A$$

여기서, Q 는 피크 유량(m³/s), A 는 유역면적(km²), C 는 유역특성에 따른 유출계수, I 는 홍수도달시간의 평균강우강도(mm/h)이다.

1) 적용범위

합리식을 적용할 수 있는 소유역은 ① 강우가 시간과 공간에 대하여 균일하게 분포하고 ② 강우지속시간이 홍수도달시간 보다 크고 ③ 유출은 주로 표면류(Overland flow) 이고 ④ 하천류의 저류과정은 무시할 수 있는 등의 특성을 가지는 규모를 말한다. 적용범위는 홍수도달시간 1 시간 미만, 유역면적은 도시지역 1.3~2.5 km², 농경지유역 10 km² 까지 일반적이다.

2) 유출계수

합리식 적용에는 적합한 유출계수 C 값 선택이 가장 중요하다. 건설교통부는 유역상태 별 유출계수를 표 4.4.6 과 같이 제시하고 있으나, 우리 나라 유역에서 체계적으로 조사된 유출계수가 없는 실정이므로 이에 대한 실험적 연구가 필요하다.

표 4.4.6 유역상태 별 유출계수

유역상태	밀집 시가지	일반 시가지 및 주택 지역	산지	밭, 임야	논
C 값	0.90	0.80	0.70	0.60	0.70

표 4.4.7 값은 평균 유역토양수분상태이고 5~10년 빈도에 적용하며, 계수 범위에서 큰 값은 25년 빈도에 해당된다. 유역이 습윤하거나, 강우강도와 재현기간이 큰 경우에는 이를 고려하여 더 큰 C 값을 택한다. Stephensen (1981)은 표 4.4.7 값에 설계빈도 2~10년이면 1.0배, 25년 빈도이면 1.1배, 50년 빈도이면 1.20배, 100년 빈도이면 1.25배의 조정계수를 곱하여 적용할 것을 추천하고 있다.

표 4.4.7 미국 도시지역 종류와 지표면 형태에 따른 C 값 (ASCE, 1960)

도시지역 종류	계 수	지표면 형태	계 수
상업지구 중심지역	0.70 ~ 0.95	수밀성 지붕	0.70 ~ 0.95
주변지역	0.50 ~ 0.70	아스팔트 도로	0.85 ~ 0.90
주거지구		콘크리트 도로	0.80 ~ 0.95
단독주택	0.30 ~ 0.50	포장된 차도, 보도	0.75 ~ 0.85
복합주택 (고립)	0.40 ~ 0.60	자갈포설 차도, 보도	0.15 ~ 0.30
복합주택 (연립)	0.60 ~ 0.75		
주거지구 (교외)	0.25 ~ 0.40	잔디밭, 사질토	
아파트지역	0.50 ~ 0.70	2 % 이하 평탄지	0.05 ~ 0.10
밀집 공업지역	0.50 ~ 0.80	2 ~ 7 % 보통경사	0.10 ~ 0.15
기타 공업지역	0.60 ~ 0.90	7 % 이상 급경사	0.15 ~ 0.20
공원, 묘원	0.10 ~ 0.25	잔디밭, 중점토	
운동장 및 놀이터	0.20 ~ 0.35	2 % 이하 평탄지	0.13 ~ 0.17
철도지역	0.20 ~ 0.40	2 ~ 7 % 보통경사	0.18 ~ 0.22
미개발지역	0.10 ~ 0.30	7 % 이상 급경사	0.25 ~ 0.35

표 4.4.8 미국 농업지역의 지형, 피복과 토성에 따른 유출계수 C 값

지형	경사 (%)	토성분류			비고
		사양토	점토·식양토	중점토	
삼림지	0 ~ 5	0.10	0.30	0.40	Schwab, 1981제안
	5 ~ 10	0.25	0.35	0.50	
	10 ~ 30	0.30	0.50	0.60	
목초지	0 ~ 5	0.10	0.30	0.40	
	5 ~ 10	0.16	0.36	0.55	
	10 ~ 30	0.22	0.42	0.60	
경작지	0 ~ 5	0.30	0.50	0.60	
	5 ~ 10	0.40	0.60	0.70	
	10 ~ 30	0.52	0.72	0.82	

다. 단위유량도법

시간강우 및 유출자료가 관측된 경우에만 단위유량도 유도와 적용이 가능하며, 중규모 유역(1,000 ~ 5,000 km²)에 주로 적용하고 있다.

단위유량도(unit hydrograph)는 1932년 Sherman에 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 중첩가정을 전제로 한다.

1) 단위유량도의 유도

가) 호우사상의 선택

단위 유량도를 실측 수문자료로부터 유도할 경우에는 다음 사항을 고려하여 가급적 단일 침투홍수를 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 이상인 강우사상

나) 단위유량도의 유도절차

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

- (2) 유역내 자기우량 관측소에 기록된 시간별 누가우량자료와 유역출구

지점(댐 지점)의 시간수위 자료(수위 수문곡선)로 다음 절차를 따른다.

① 직접유출 수문곡선은 유역 출구지점에서 관측된 수위수문곡선을 rating curve에 의한 유량수문곡선으로 바꾼 후에 기저유출을 분리시킴으로써 작성한다. 기저유출을 분리하는 방법에는 주지하수 감수곡선법, 수평직선 분리법, N-Day법 등이 있다.

② 총우량 주상도(total rainfall hyetograph)는 대상 유역내외의 우량관측점에 기록된 누가우량곡선을 Thiessen법, 등우선법 혹은 산술평균법 등으로 시간별로 평균하여 유역평균 누가우량곡선을 작성한 후 이로부터 시간구간별 강우강도를 계산하여 작성한다.

③ 직접유출고는 직접 유출수문곡선에 의해 직접 유출용적(m^3)을 산정하고 이를 유역면적으로 나누어 계산된다.

④ 단위유량도의 시간별 종거는 단위유량도가 단위유효우량(혹은 단위 직접유출고, 1 cm)으로 인한 직접유출수문곡선이므로 비례가정에 의거 직접유출 수문곡선의 시간별 종거를 유역평균 직접유출고로 나누어 유도한다.

⑤ 유도된 단위유량도의 지속기간은 단위유량도의 지속기간이 유효우량의 지속기간과 같이 정의되므로 총우량주상도로부터 직접유출고에 상응하는 유효우량을 Φ -index 방법으로 분리했을 때의 유효우량의 지속시간으로 한다.

라. 홍수 수문 모형

우리 나라에서 홍수 수문모형이 설계에 적용된 예는 드물지만, 수문자료와 지상 공간자료의 축적과 정보화 시대에 부응하여 수문모형을 사용하는 것도 바람직하다. 수문모형의 수는 많지만 몇 가지를 살펴보면 다음과 같다.

1) 저류함수법

홍수류의 운동방정식에 유역이나 하천에서의 유출량과 저류량의 관계를 표시하는 저류함수를 대입하여 홍수류의 연속방정식을 해석함으로써 홍수유출량을 계산하는 방법이다. 우리 나라에서는 한강홍수예경보, 다목적댐의 홍수기 운영 등에 사용되어 왔고 계산절차가 간편하다.

2) USDAHL

유역의 지표유출, 침투, 증발산, 중간유출, 지하수 등 거의 모든 수문순환과정을 포함한다. 유역 수문자료와 유역특성의 변이를 곧바로 수용할 수 있는 융통성이 있어 실제 유역수문반응을 예측하는 범위가 크다. 이 모형은 경지유역에서의 적용을 위해 개발되었으며, 소하천 유역에 가장 잘 맞으며 건조지역보다는 습윤지역에 더 잘 적용될 수 있는 것으로 알려져 있다.

3) Tank 모형

유역을 일련의 저수지 조합으로 보는 모형으로서 Tank의 측면유출을 통해 유출이 발생하며 바닥출구를 통해서는 침투가 발생하고 Tank 내에서는 저류 성분이 존재하는 것으로 본다.

4) HEC-1

미공병단에서 개발한 종합홍수량 산정 프로그램으로 유역망에 따른 홍수유출량 산정이 가능하다. 소유역 적용에는 주의를 요한다.

마. 합성 단위유량도법

단위유량도의 특성변수들을 유역 유출특성인자들과 상관시켜 수문자료가 없는 무계측 유역에 대한 단위유량도를 작성하는 방법으로 SCS방법, Snyder방법, 나까야스(中安), 유역홍수추적법 등이 있다. 이 중에서 필댐의 설계홍수량 계산에 가장 많이 사용된 방법은 SCS방법이고, 논 유역의 특성을 고려하여 SCS방법을 응용한 FAS(홍수분석시스템)과 하천기본정비계획에서 널리 사용되는 유역 홍수추적법을 소개하면 다음과 같다.

1) SCS 합성단위유량도법

미국 토양보존국(SCS)이 미계측유역의 유량도를 작성하기 위해서 미국내 여러 지역의 소유역으로부터 유도한 단위도의 특성을 종합하여 만든 무차원 단위도를 이용하는 방법이다.

첨두홍수량 $Q_p(m^3/s)$ 와 우량의 질량중심 시간으로부터 첨두홍수량 발생시 각까지의 시간장경 $t_p(hr)$ 은 다음 식으로부터 구한다.

$$Q_p = \frac{0.208 AP_e}{t_p} \dots\dots\dots (4.4.6)$$

$$t_p = \frac{1}{2} t_r + t_g \dots\dots\dots (4.4.7)$$

여기서, A 는 유역면적(km^2), P_e 는 유효우량(mm), t_g 는 유역 지체시간(lag time, hr)이며, t_r 은 유도되는 단위도의 적정 지속시간(hr)이다.

$$t_r = 0.133 t_c \dots\dots\dots(4.4.8)$$

$$t_g = 0.6 t_c \dots\dots\dots(4.4.9)$$

여기서, t_c 는 해당 유역의 홍수도달시간(h)를 표시한다.

무차원 시간별 무차원 홍수량의 증거를 사용하여 t_p 와 Q_p 로 차원화하면

Q-t관계를 얻게 되며 이것이 바로 t_r 시간 합성단위도가 된다.

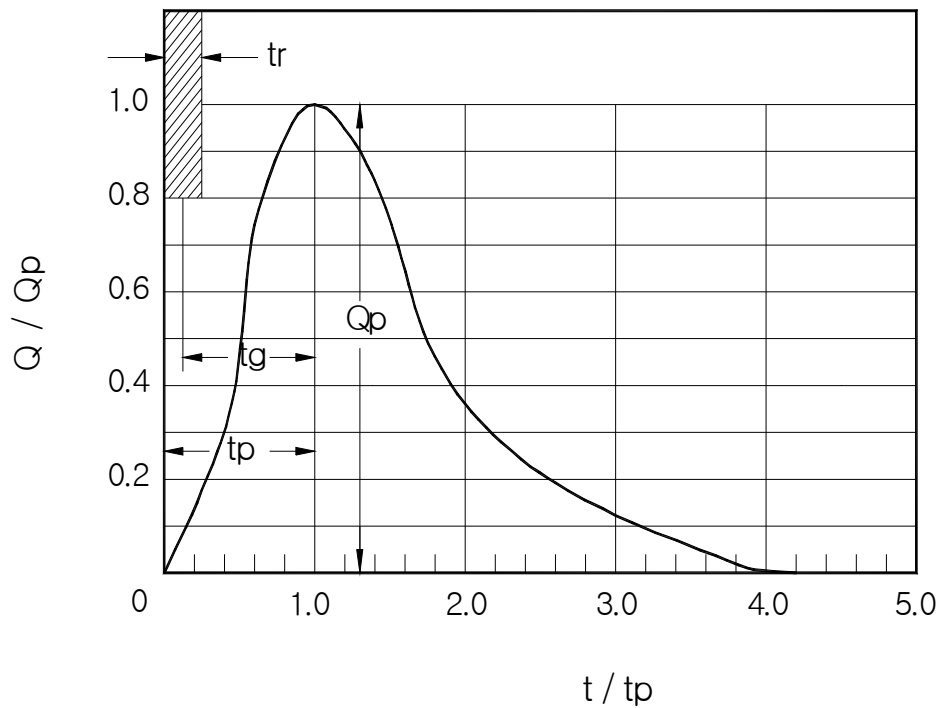


그림 4.4.6 SCS의 무차원 단위유량도

표 4.4.9 SCS 무차원 단위도의 시간별 증거

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						

2) 홍수분석시스템

FAS(Flood Analysis System)는 SCS 홍수유출방법을 우리 나라 논 유역의 유출특성을 고려하여 개발한 홍수유출 해석 전산 프로그램이다.

기존의 홍수유출모형(HEC-1, Complex Method)등은 외국에서 개발된 것으로 대단위 유역을 대상으로 개발되어 산간 소유역에는 적용성이 떨어지며, 우리 나라 유역의 중요한 특징 중 하나인 논 유출을 고려하지 않고 있다. 또한, 첨두홍수량에 직접 영향을 미치는 유역의 경사도 인자를 고려할 수 없는 단점이 있다. 따라서, FAS는 유역경사도를 5가지로 구분하여 보완, 개발한 홍수유출 추정모형으로 기준화된 설계절차에 따라 배수개선사업을 수행하는 것을 목표로 하였으며, 논 유역의 홍수유출량, 일반유역의 홍수유출량 산정 및 홍수추적으로 구성하고 기초자료를 DB로 관리하는 종합홍수분석시스템이다.

가) FAS의 특징

(1) 논 유역의 유출해석

우리 나라 유역의 유출특성인 논을 고려한 홍수유출 해석이 가능하다. 특히 FAS의 논 유출 모형은 현장의 유출자료를 근거로 논의 CN값을 90으로 산정하였으며, 논의 유달시간은 각 공식의 적용성을 검토하여 우리 나라 논 유출특성을 고려할 수 있다.

(2) 유역구분을 통한 유역 Network 해석

유역을 집수단위로 구분하여 소유역의 유출특성을 반영하며 산정지점에서 홍수의 합성과 추적이 가능하다. 유역의 구분은 수문조사시 유역의 지형적 분수계와 수리시설물과 도로, 주택 등에 의한 인위적 분수계를 함께 고려하여 결정한다.

(3) 강우강도

FAS는 우리 나라 기상관측소의 실측자료를 이용하여 시간적, 공간적 분포를 고려할 수 있도록 연구된 한국건설기술연구원의 IDF곡선 및 서울대 농업개발연구소의 강우분포율을 적용하며, 특히 IDF곡선은 DB로 구축하여 설계편차를 최소화하였다.

나) 작업순서

FAS 작업순서는 유역계획, 홍수유출량 산정, 홍수합성, 결과출력 순으로 진행된다.

(1) 유역계획

설계자는 유역조사에서 산정한 유역구분에 따라 대상유역을 집수단위의 소유역으로 구분하고 토지이용에 따라 각 소유역을 논과 일반유역으로 나눈다.

(2) 홍수유출량 산정

유역계획이 완료되면 DB에서 제공하는 강우자료와 유역조사시 결정된 유달 시간과 유출곡선지수를 계산하여 홍수유출량을 산정한다.

(3) 홍수 합성/추적

산정된 홍수유출량을 유역계획에서 구성한 유역망에 따라 산정지점의 홍수 유출량을 계산한다.

다) 입력내용

(1) 유역계획

유역 network 및 강우자료를 처리하는 두 개의 과정으로 구성된다. 강우자료 처리과정은 홍수유출량 산정에 필요한 기초 강우자료를 제공하며 network 처리과정은 소유역의 구분, 홍수유출량 산정지점의 선정 등 소유역 구성에 따른 분석계획을 수립한다.

홍수분석시스템에서 구동이 가능한 소유역의 수는 100개이며 산정지점에 따라 축차적인 계산이 이루어진다. 유역계획은 새 작업과 기존작업으로 구분되는데 새 작업은 유역명을 입력하고 관측소, 설계빈도, 지속시간을 선택하면 설계강우량이 자동으로 산정된다.

기존 작업의 경우 기 수행한 자료의 유역명만 안다면 다시 호출하여 수정할 수 있도록 구성하였다. 또한 스프레드시트로 구성된 유역배치 프레임은 소유역이 논 또는 일반유역을 결정하고 홍수유출량 산정지점과 연계되는 순서를 정한다. 유역계획 자료는 홍수유출량 산정과 홍수합성에서 호출되어 사용되므로 기존작업인 경우 유역계획을 수정하면 홍수유출량 산정이 이루어지지 않으므로 수정이 필요한 경우 새로 작업을 수행해야 한다.

(2) 홍수유출량 산정

논유출 광역/일반모형, 논유출 상세모형으로 구성되어 있다.

(가) 일반 유역의 홍수유출

일반 유역의 홍수유출량을 산정한다. 이 과정은 SCS 삼각단위도를 이용하여 개발하였다. 입력자료 중 기초 수문량(기상자료, 유출곡선지수)은 구축된 DB에서 얻고 사용자는 유역면적, 유역경사도, 유달시간만을 입력하면 된다. 논 유역과 마찬가지로 Tc 산정은 유달시간 모듈을 이용하며, CN값은 유출곡선지수 모듈을 호출하여 DB부터 CN값을 얻는다. 산정결과는 홍수유출량의 시간적 분포, 즉 유효강우의 지속시간별로 홍수수문곡선이 출력되며 논 유역의 홍수유출량 산정 결과와 함께 홍수유출량 산정지점에서 합성·추적과정의 입력자료로 이용된다.

(나) 논 유역의 홍수유출

이 과정은 시험포장의 실측자료를 바탕으로 구성된 논 유역 홍수유출 상세 모형과 광역모형으로 구분되는데 본 시스템에서는 논 유출 광역모형과 일반유역의 홍수유출량 산정을 동시에 수행하도록 구성하였고 논 유출 상세모형은 별도로 운영된다. 논 유출 광역모형은 적용성 검토에서 간단한 입력자료로 높은 정도의 신뢰도를 나타낸 바 있다. 유달시간 산정모듈은 일반유역에서와 같이 유역상황에 따라 각각의 유달시간 산정공식을 적용한다. 운영에 필요한 기초수문량은 유역계획의 DB에서 자동으로 입력 처리된다.

이러한 절차는 사용자의 편의성을 최대한 고려한 것이며 개별 설계자의 차를 제거해 준다. 논 유출 광역모형의 출력자료는 지구내 홍수수문곡선, 첨두유출량, 총유출량, 단위배수량이 되며 출력결과는 자동으로 일반유역(지구외)의 홍수유출량과 함께 홍수유출량 합성·추적모형의 입력자료로 사용된다.

(다) 홍수합성·추적

유역계획에서 입력된 DB부터 기본자료는 자동으로 호출되며, 두 개의 시트로 구성되어 있으며 상부의 시트는 산정지점간의 홍수추적에 필요한 자료를 입력하는 곳이며 하부의 시트는 합성에 필요한 유역명을 입력하는 곳이다.

홍수추적 시트는 상류 산정지점과 추적여부, 시간간격(Dt), 저류상수(K), 상수(x, 0 ~ 0.5) 및 Tc, 하류지점의 필드로 구성되어 있다. 상류와 하류지점은 유역계획에서 입력된 DB로부터 자동으로 검색되고 추적여부는 체크박스로 표시되며 사용자는 하도의 저류상태와 하도길이 등의 자료에서 추적을 유달시간 만큼 지체할 것인지 Muskingum법으로 추적할 것인지를 판단해야 한다. 체크박스를 체크하면 계수를 입력하고 그렇지 않으면 유달시간 버튼을 클릭한다. 유달시간 계산 모듈은 홍수유출량 산정에서와 같다.

하부의 합성시트는 홍수 합성이 이루어지는 지점에 합성되는 유역이나 상류의 산정지점을 입력한다. 사용자는 유역계획에서 작성하는 유역 Network에 의해 유역의 ID를 입력하면 된다. 자료의 입력이 끝나면 저장버튼을 누르고 저장확인 메시지를 확인한 후 계산시작 버튼을 클릭한다. 각 단계별 계산과정을 메시지에 의해 사용자가 확인할 수 있다.

(3) 출력자료의 해석

FAS에서는 각 소유역, 산정지점별로 홍수유출 수문곡선을 출력하게 된다. 화면에서는 그래프와 시트 출력을 지원하고 텍스트 파일을 설계자가 확인할 수 있다.

3) 유역 홍수추적법

유역 홍수추적법은 대상유역을 한 개 또는 여러 개의 저수지와 하천으로 구성되어 있다고 가정하여 유역으로부터 출구지역으로의 홍수유출량을 계산하는 방법이다. 대표적인 방법으로 Nash 모형, Clark 모형 등이 있다.

하천유역을 일련의 저수지 혹은 일련의 저수지와 하도로 구성하여 각 저수지의 저류방정식(storage equation)으로부터 수문학적 홍수추적방법에 의해 순간단위유량도를 유도한 후 특정 호우로 인한 홍수유출 수문곡선을 계산하거나 혹은 저수지 유입량을 직접 계산하고, 방정식에 입력하여 유출량을 구함으로써 홍수유출 수문곡선을 얻는다.,

$$I - O = \frac{dS}{dt} \quad \dots\dots\dots (4.4.10)$$

여기서, I와 O는 저수지로의 시간별 유입량(m³/s) 및 유출량(m³/s)이고 S는 저수지내(또는 저수지와 하도내) 저류량(m³,(m³/s)·d)이다.

Clark 유역추적법을 소개하면 다음과 같다.

가) 기본개념

해당유역의 출구에 1개의 저수지가 있다고 가정하여 유역 전반에 순간적으로 내린 단위유효우량(1cm)으로 인한 유수가 단순전이(pure translation)에 의해 저수지에 유입하여 저수지의 저류추적 과정을 거치는 것으로 가정하여 홍수추적을 실시함으로써 유역의 순간 단위유량도를 계산한다.

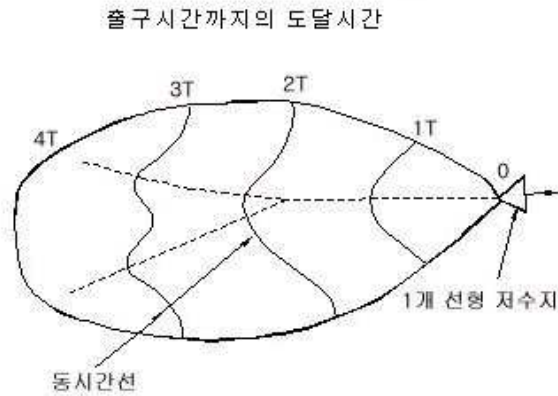


그림 4.4.7 Clark model

저수지로의 유입수문곡선은 시간-면적곡선(time-area curve)을 이용하여 단순전이에 의해 계산한다. 유역의 순간 단위유량도가 일단 계산되면 원하는 강우지속기간의 단위도로 변환은 정수배방법으로 쉽게 이루어지며, 이를 설계우량 주상도에 적용함으로써 설계 홍수수문곡선을 계산할 수 있다.

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

나) 시간-면적곡선의 작성

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 전 유역을 몇 개의 소유역으로 구분한 후 작성한다. 시간-면적주상도는 등시간선에 의한 소유역 구분으로 작성될 수 있다. 등시간선에 의한 소유역 구분을 위해서는 우선 전 유역의 홍수집중시간(time of concentration) t_c 를 결정해야 하며, 실측 유출 수문곡선이 있을 경우에는 수문곡선에서 결정하고, 없을 경우에는 세계적으로 널리 이용되는 공식 중에서 우리 여건에 적합한 공식을 선정한다. 다만 선정에 판단이 어려울 경우 다음의 식이 판단에 기준이 될 수 있다.

$$t_c = 0.76 A^{0.38} \dots\dots\dots (4.4.11)$$

여기서, t_c 는 홍수 집중시간(h), A 는 유역면적(km²)이다.

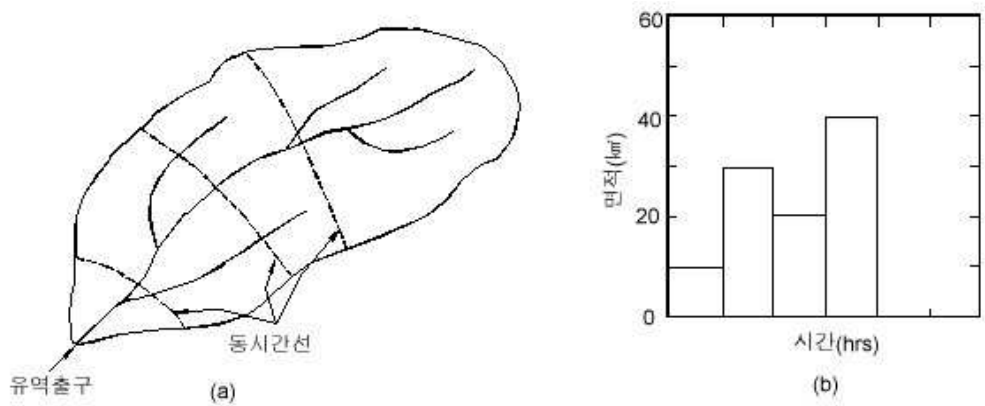


그림 4.4.8 시간-면적 곡선의 작성

전유역의 집중시간(t_c)이 결정되고 나면 유로연장(L)을 t_c 로 나눔으로써 평균유속(V)를 계산할 수 있으며, 유로를 따른 홍수류의 평균유속이 전 하도구간에 걸쳐 대체로 일정하다고 가정하고(수원부에서는 약간 빠르다고 가정할 수도 있음) 본류를 따라 등시간 구간으로 구분하며, 지표면을 통한 유하속도는 하도에서의 유하속도 보다 느리고 경사가 대체로 큰 지류하천에서의 유속

은 본류하도에서 보다는 빠른 점을 감안하여 적절한 판단으로 등시간선을 그린다. 작성된 등시간선으로 전 유역을 여러 개의 소유역으로 구분하고 나면 등시간선간의 면적을 도상에서 측정하여 전 시간폭이 t_c 인 시간-면적주상도를 얻는다.

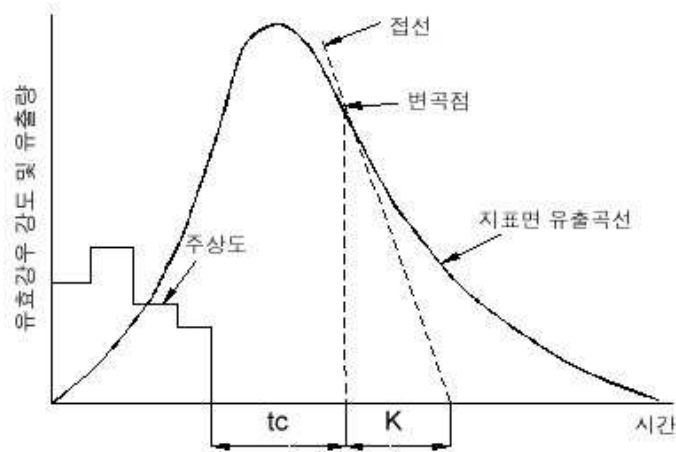


그림 4.4.9 K 및 t_c 값의 정의

다) 유역추적에 의한 순간 단위유량도의 유도

Clark방법에 의한 유역의 순간 단위유량도는 유역에 순간적으로 내리는 단위유효우량(1cm)으로 인한 유역출구점에서의 유입 홍수 수문곡선을 계산하여 이를 출구부에 가정한 선형저수지를 통해 홍수추적 하여 유도한다. 유역에 순간적으로 내리는 단위유효우량으로 인해 유역출구지점의 저수지로 등시간 구간 Δt 시간 유입하는 홍수량은 다음 식으로 표시된다.

$$I_i = \frac{1}{3.6} \frac{A_i}{\Delta t} \dots\dots\dots (4.4.12)$$

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.

선형저수지 가정에 의해 저수지 저류량은 다음 식과 같다.

$$S = KO \dots\dots\dots (4.4.13)$$

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

위 식을 저류방정식에 넣고 계산시간 구간 Δt 단위별로 유출량을 계산하는 식으로 정리하면 다음식과 같다.

$$O_2 = m_0 I_2 + m_1 I_1 + m_2 O_1 \dots\dots\dots (4.4.14)$$

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.

$$m_0 = \frac{0.5 \Delta t}{K + 0.5 \Delta t} \dots\dots\dots (4.4.15)$$

$$m_1 = \frac{0.5 \Delta t}{K + 0.5 \Delta t} \dots\dots\dots (4.4.16)$$

$$m_2 = \frac{K - 0.5 \Delta t}{K + 0.5 \Delta t} \dots\dots\dots (4.4.17)$$

식(4.40)에 의한 추적계산을 위해서 $O_1 = 1$ 로 하여 계산을 시작하며 m_0, m_1, m_2 는 식(4.4.15) ~ 식(4.4.17)에 의해 계산해야 하므로 저류상수 K 값의 결정이 필수적이다.

다) 저류상수의 산정

Clark의 홍수추적에 필요한 저류상수 K 는 유역출구에 대한 홍수수문곡선 실측자료가 있는 경우와 없는 경우 각각 상이한 방법으로 추정한다.

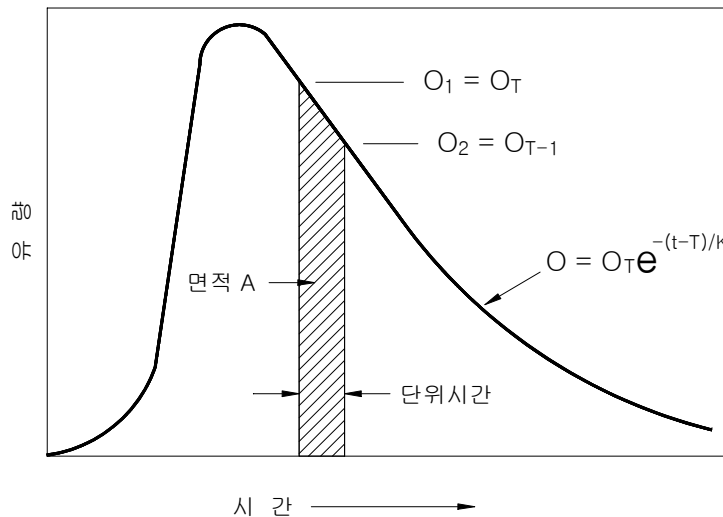


그림 4.4.10 K값의 결정

(1) 홍수수문곡선 자료가 있는 경우

첫째 방법은 수문곡선의 변곡점에서의 유량 Q_T 를 그 점에 그은 접선의 경사(dQ/dt)로 나누어주는 방법이다.

$$K = \frac{-O_T}{(dO/dt)_T} \dots\dots\dots (4.4.18)$$

둘째 방법은 변곡점으로부터 미소 시간 ΔT 만큼 떨어진 시간구간의 수문곡

선하 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 나누어 계산하는 방법이다.

$$K = \frac{A}{(O_1 - O_2)} \dots\dots\dots (4.4.19)$$

셋째 방법은 순수히 직접수문곡선의 감수곡선의 특성에만 의존하는 방법으로 시간구간이 단위시간인 1시간이라고 할 경우 O_1 과 O_2 의 비로 저류상수를 정의하는 것이다.

$$K = -\frac{1}{\ln(O_1/O_2)} \dots\dots\dots (4.4.20)$$

이상의 방법은 이론적으로는 타당하나 실제 자료로부터 K 값을 계산할 경우 수문자료나 분석자에 따라 너무 큰 편차를 보이므로 사용에 주의를 요한다.

(2) 홍수수문곡선 자료가 없는 경우

대부분 수문 실측 자료가 없는 것이 보통이므로 다음 경험식으로 추정하는데 실제로 상수의 선택 범위가 넓기 때문에 사용에 주의를 요한다.

$$K = C \frac{L}{\sqrt{S}} \dots\dots\dots (4.4.21)$$

여기서, L 은 유역연장(km), A 는 유역면적(km²), S 는 유로경사(%), C 는 0.5 ~ 1.4 범위를 가지는 상수이다.

우리 나라의 경우는 Clark 유역추적법을 설계홍수량 결정에 많이 사용하고 있으나 K 와 t_c 의 지역공식이 개발되어 있지 못한 실정이므로 현명한 공학적 판단을 요한다.

4.5 기초설계

4.5.1 일반사항

필댐의 기초설계 내용은 터파기와 기초처리를 포함하여 계획한다. 또한 필댐의 기초는 기초로서의 조건을 만족시켜야 하며, 제체 및 원지반의 특성에 따라 설계한다.

필댐의 기초설계 내용은 댐터의 터파기 및 기초 처리 방법 등을 포함하며, 세부적인 기초처리 방법 및 공법 등은 원지반 특성에 따라 설계할 수 있는 내용을 포함한다. 필댐의 기초는 축제 중 및 축제 후 재하에 대하여 충분한 지지력을 가지며 침투수를 억제하고 침투 파괴에도 충분한 저항성을 가져야 한

다. 저수기능 유지의 입장으로 보아 제체와 기초는 일체이며, 기초의 특성에 따른 제체 설계가 필요하다. 기초설계의 적부는 기초처리 뿐만 아니라 제체 설계, 건설비 및 공기에 영향을 미친다. 이를 위하여 합리적이고 적절한 조사를 하고 기초 상태를 충분히 파악하여 많은 대책방법을 종합적으로 비교 검토하여 최적의 설계를 해야 한다. 기초 상태는 지질과 입도조성에 따라 다르고 기초처리 대책도 기초 상태에 따라 달라져야 한다. 필댐은 견고한 지반뿐만 아니라 연약한 지질의 지반에도 건설이 가능하므로 일률적인 구조로 된 것은 비교적 적고 기초지반의 지질에 따라 댐 형식이 정해지며 또 댐의 규모나 사용목적에 따라서 기초처리를 하게 된다.

댐터 부지의 기초는 지지력, 전단력, 파이핑 등에 충분히 안정하여야 하며, 이들 조건에 만족하지 않는 경우에는 원칙적으로 조건에 맞는 지반이 노출될 때까지 터파기를 해야 한다. 또한, 기초 원지반과 성토재료와의 접촉부가 단단하게 접합하도록 성토하여야 하며, 장래에 부식에 의하여 전단강도가 저하될 것으로 생각되는 초목뿌리 등 유기물을 함유한 표토, 소요 전단강도를 얻을 수 없는 점토나 실트의 슬립층, 파이핑의 원인이 되는 암반의 균열과 모래 부스러기 등을 제거하여야 한다. 다만, 그 양이 많아서 전량을 굴착하면 비경제적일 경우 암반의 정밀조사, 토질시험, 안전성 검토를 하여 이것을 그대로 두어도 좋은 설계구조를 별도로 고려하는 경우에는 구애받지 않아도 된다. 따라서 정밀조사가 되어 있지 않은 경우는 흙쌓기 공사에 앞서 시굴 또는 트렌처 굴착을 실시하고 지층 관찰결과에 따라서 적절한 조치를 해야 한다.

필댐의 기초는 ① 충분한 전단강도를 가질 것, ② 변형 침하량이 적을 것, ③ 침투수량이 충분히 적을 것, ④ 침투파괴를 일으키지 않을 것, ⑤ 지진 시 액상화 현상을 일으키지 않을 것 등의 조건을 만족시켜야 한다. 그러나, 규모에 비하여 굴착깊이가 너무 깊거나 소규모 댐, 적당한 처리에 의하여 조건을 만족시킬 수 있는 경우에는 기초처리를 해야 한다. 이러한 기초처리 방법은 댐의 규모, 하중뿐만 아니라 토질조사, 암반조사 등 충분한 조사결과를 바탕으로 설계하여야 한다.

필댐의 기초는 지질적으로는 암반기초와 토질기초로 대별하고 다시 토질기초를 ① 투수성지반 기초(모래, 사력 등), ② 불투수성지반 기초(실트, 점토 등), ③ 연약지반 기초, ④ 미 고결층 지반 기초 등 4종류로 분류할 수 있다. 그러나, 실제로는 이와 같이 명확히 구분되기보다는 오히려 이들의 조합에 의해 구성된 경우가 많다. 따라서 기초 설계 및 처리 시에는 지질적 특징을 충분한 정밀도를 가지고 명확히 밝혀둘 필요가 있다.

4.5.2 암반기초

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

가. 일반사항

암반기초에는 어느 형식의 필댐이라도 건설이 가능하다. 기초가 암반인 경우에는 그 지지력은 축제재료의 지지력과 비교하면 훨씬 크다. 따라서 제체가 안전하기 위해서는 기초지반의 한계 지지력보다 상당히 작게 되도록 단면을 선정해야 되므로 기초지반의 지지력은 큰 문제가 없다. 보통 충분한 지지력을 가진 기초에 대해서는 주로 절리, 균열 또는 단층 등으로부터의 누수대책을 고려하는 것이 좋다. 또 외력에 의해 간단히 붕괴되는 풍화된 암반 또는 층리, 균열 등이 일정 방향으로 발달하여 있는 퇴적암, 예를 들면 셰일, 점판암, 이암, 실트암 등 및 풍화된 편암 특히 운모를 많이 함유한 경우에는 댐터의 원지반이 활동하는 경우가 있으므로 활동에 대한 검토가 필요하다.

나. 댐부지 굴착

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

다. 암반기초의 터파기 깊이

암반기초는 필댐의 기초로 지지력이 충분하다. 그러나, 암반표면의 풍화암, 균열부분, 모래 부스러기 등의 취약부분을 제거하여 암반내의 침투수 또는 암반과 축제재료와의 접촉부를 통과하는 누수에 의하여 파이핑이나 대량의 저수 손실이 일어나지 않도록 주의해야 한다. 또한, 암반은 보통 깊이가 깊어질수록

투수계수가 작아지므로 터파기를 깊게 하는 것은 좋으나, 깊이는 원칙적으로 표면의 풍화부분만을 제거하는 것이 좋다.

터파기의 깊이는 주로 탄성과 속도, 투수단면도, RQD 등을 바탕으로 결정하며, 저속도층이나 투수층이 얇은 경우에는 그 층을 제거하며 깊은 경우에는 지반개량을 하는 것이 일반적이다.

라. 바닥 터파기 (지수 트렌치)

제체 차수부(코어)의 기초부분의 굴착을 바닥 터파기라 하고 굴착에 의해 이루어진 부분을 지수 트렌치라 한다. 바닥 터파기를 하는 이유는 첫째, 기초 지반의 표층 중에서 풍화된 부분, 균열이 발달된 부분을 제거하여 지수효과와 충분한 지지력을 확보하고, 제체 차수부와와의 접촉도를 높이기 위한 것이고, 둘째 차수부의 종단방향의 부등침하를 적게 하기 위한 것 등이다.

지수 트렌치의 형상 설계시에는 차수부 내부에 침하에 따른 균열이 발생되지 않는 지형, 지질, 저수압 또는 차수재료의 물리적, 역학적 특성 등에 대하여 종합적으로 검토한다.

지수 트렌치의 계획깊이는 일반적으로 시추추상도, 탄성과속도의 분포, 투수 단면도 및 RQD 등으로부터 결정한다. 저속도층이나 투수층이 얇은 경우(10m 정도)에는 그 층을 제거하고, 깊은 경우에는 지반개량이 가능한 깊이까지 굴착하는 것으로 계획한다.

차수부 폭이 넓을수록 암반과의 접촉면적이 크고 접촉성이 좋게 되므로 접촉면을 따라 흐르는 누수량을 적게 할 수 있다. 그러므로 축제재료와의 접촉이 어려운 암반일수록 터파기 폭을 넓게 한다. 그러나 차수부 폭은 안전상 얇게 하는 것이 좋으나 접촉부만은 폭을 넓게 하는 예도 있다. 또 부득이 하여 터파기 폭을 좁게 할 경우에는 파이핑 현상이 생기지 않도록 필터를 암반과의 접촉면의 하류부측에 배치하는 것이 좋다.

[참고] 기초지반의 형상에 대한 구상

(1) 기초지반의 형상설계

지형이 그림 4.5.1과 같이 블록형 또는 계단상으로 된 경우에는 흙쌓기 후 부등침하를 일으켜 균열이 생기고 이에 따라 파이핑이 유발되는 경우가 있다. 이와 같은 형상의 지반에 대해서는 블록한 부분을 제거하여야 하므로 상당히 깊은 터파기(그림 4.5.1(a))를 하여 매끄러운 형상으로 해야한다. 지수 트렌치의 종단경사는 상기와 같이 전체적으로 오목형으로 하는 것이 바람직하다.

(2) 터파기 폭

터파기 폭은 넓을수록 차수부와 기초암반과의 접촉면적이 크게 되므로 경계면을 따라서 흐르는 누수량은 적게 되며, 파이핑 위험성도 그 만큼 적어진다.

차수부 두께는 수심의 30~50% 정도로 결정되지만 보통 시공상 필요한 최소한의 폭으로 하고 저수심, 작업의 난이도 또는 그라우트공의 작업폭 등을 고려하여 결정한다. 예를 들면 그라우팅 계획에 있어 열 간격 1.5~2.0 m의 것을 2~3열 시공하는 경우에는 그림 4.5.2와 같이 터파기 폭은 최소한 6 m 정도로 되고 3~4열이 필요한 경우에는 7.0~8.0 m의 터파기 폭이 필요하다.

그러나, 차수재료는 다른 체체재료와 비교하여 전단강도가 일반적으로 작다. 따라서 전단파괴에 관해서만 생각하면 그 폭은 협소할수록 좋다. 차수부의 폭을 협소하게 할 경우 접암부의 누수나 파이핑에 대한 우려가 있지만 그림 4.5.3과 같이 접암부의 차수부를 넓게 하는 방법이 고려될 수 있다. 또 차수부 폭을 좁게 하는 경우에는 상하류측에 그림 4.5.4와 같이 필터 트렌치를 설치하는 것이 바람직하다.

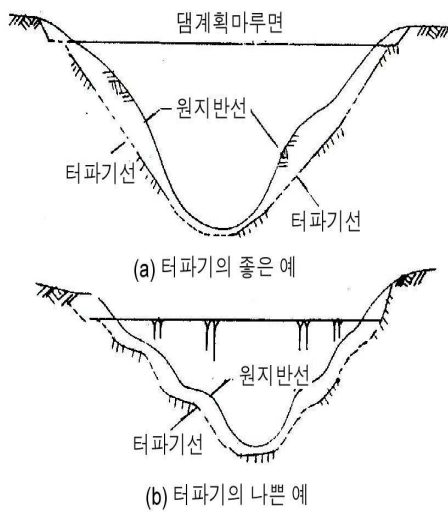


그림 4.5.1 터파기의 종단형상

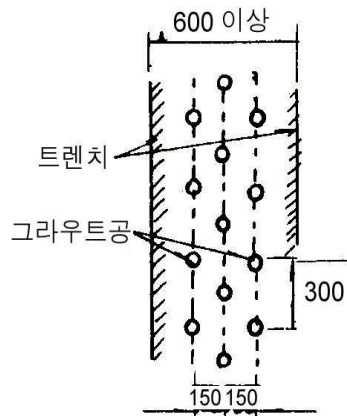


그림 4.5.2 터파기폭과 그라우트공의 배치도

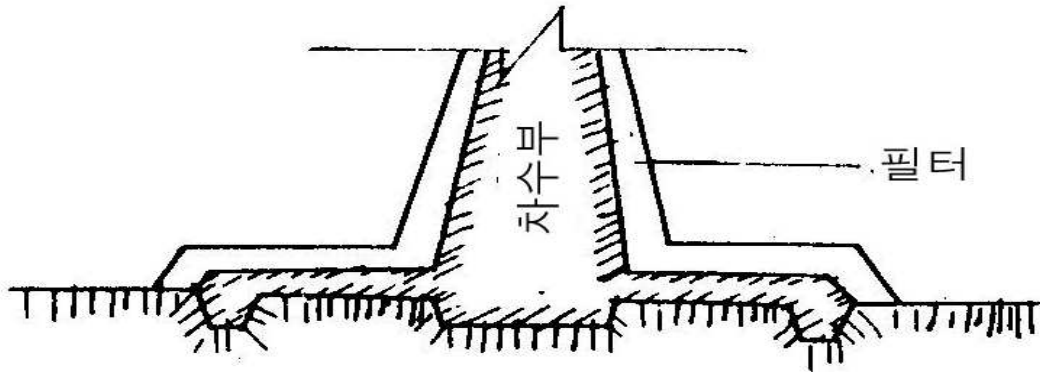


그림 4.5.3 암반과의 접촉부 코어 폭과 필터의 설계예

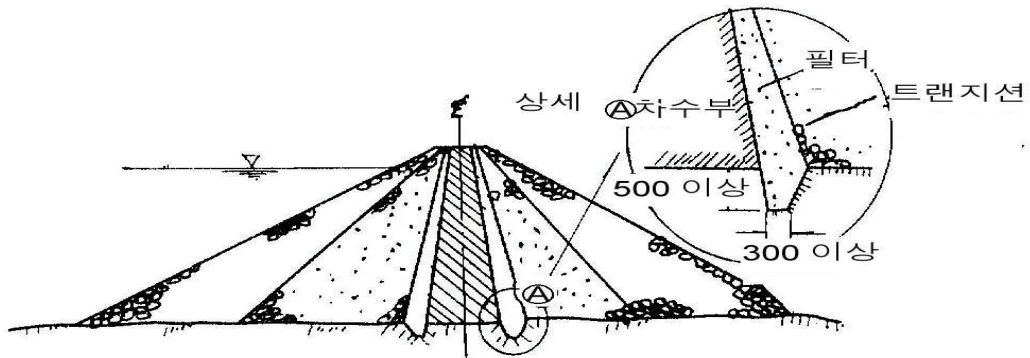


그림 4.5.4 암반에 삽입하여 설치한 필터의 예

마. 암반의 종류에 따른 기초의 설계

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

1) 풍화되기 쉬운 암반기초 및 균열성의 암반기초

세일, 점판암, 이암 또는 실트암 등은 보통 대기에 노출되면 풍화되기 쉽다. 이와 같은 종류의 암반에 대하여는 풍화 방지대책이 필요하다. 또 균열이 많은 암반에는 후술하는 블랭킷 그라우팅이 필요할 때도 있다.

가) 일차굴착, 마무리굴착의 2단계 굴착법이 있고 마무리 굴착면은 장기간 대기에 노출되지 않도록 해야한다. 이 종류의 암반은 보통화약을 사용하지 않고도 굴착가능하며, 그라우팅 종료 후에 큰 해머 등에 의하여 마무리 굴착을 할 수 있다.

나) 그라우팅에 의하여 표면피복을 한다. 기초지반면이 1.0~1.5m 깊이에서 평면적 구멍간격을 1m 전후로 하여 수많은 그라우팅 공법으로 기초 지반면에

페이스트가 유출하는 것을 기대하는 것이다. 그라우트 페이스트를 암반면에 누출시키기 때문에 암반면은 피복 보호되어 풍화방지의 역할을 한다.

다) 아스팔트유제나 우레탄 고무액을 암반표면에 살포하여 불투수 피막을 형성한다. 이와 같은 종류의 재료에 의해 처리한 경우에는 축제시에 이를 제거하지 않고 성토를 할 수 있다. 일본 山村댐은 불투수성지반(제3기 이암층, 두께 2~3 m)으로서 신뢰성에 문제가 있어 이 공법이 채용되었다. 또 풍화방지용으로서 모르타르를 뿜어 붙이는 수도 있다.

2) 층상 퇴적암반기초(제3기층)

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

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

세일층에서 활동한 예로, 미국의 와코댐(Waco dam)은 높이가 겨우 27m인데, 6m 이상이나 하층 암층을 따라 수평방향으로 활동하는 보기 드문 사고가 생겼다. 이 댐의 비탈기울기는 상당히 완만하게 설계하였으나 세일면에 따라 활동하는 안정계산에 대해서는 검토하지 않아 발생한 사건이다.

3) 용암성 암반기초

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

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

4) 화성암기초

화강암, 안산암 등의 기초는 풍화대와 신선한 암반과의 경계면과 절리면이 침투 및 활동에 대하여 약점이 되기 쉬우므로 암반의 경사를 충분히 검토할 필요가 있다. 또 이 종류의 암반에는 관입암맥의 방향에 의하여 심부까지 풍

화를 받아서 점토화하는 경우가 많으므로 단층처리와 같은 처리를 필요로 하는 경우도 있다.

바. 배수공

그라우팅으로 암반내의 누수를 막는 것이 공사비 및 시공 속도면으로 보아 곤란한 경우에는 그라우팅 대신에 약간 하류부에 배수공을 설치하는 것이 좋다. 이것은 누수량이 댐의 경제성으로 보아 허용할 수 없는 정도의 경우를 제외하고는 하류측의 양압력을 감소시키는 점으로나 또는 하층의 조사가 충분한 점으로도 그라우팅공과 같은 역할을 할 수 있는 것이다. 이 방법은 아주 최근에 이용하게 된 것이며, 높이가 큰 댐 특히 층상으로 된 퇴적암인 경우에 효과적이다. 배수공의 지름은 5.1~7.6cm이면 충분하고, 그 위치는 그림 4.5.5와 같이 ① 댐 안에도 좋고, ② 비탈 끝도 좋다. ①의 경우는 체체 안정상 유리하고 ②의 경우는 누수량을 결정할 수 있어 편리하다. ③의 경우는 경사끝에서 경사진 방향으로 파면 ①, ②경우의 장점을 병용할 수 있다. 그림 4.5.6는 배수공이 있는 필댐의 예를 보여준다.

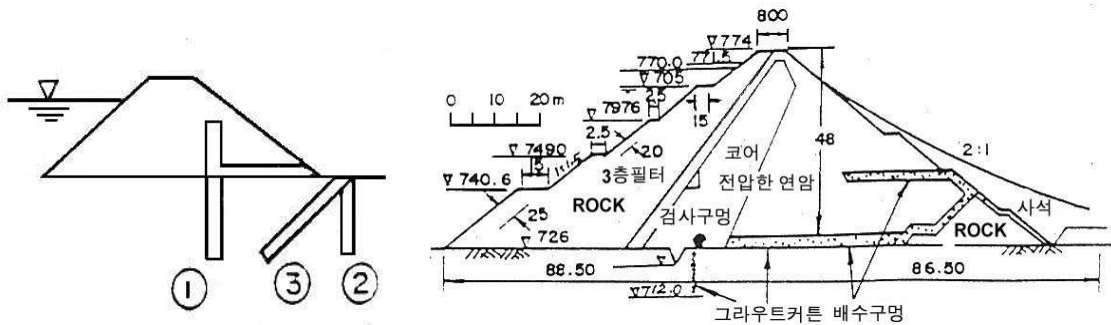


그림 4.5.5 배수구멍의 위치 그림 4.5.6 배수공이 있는 필댐의 설계 예

4.5.3 미고결층 기초

하상의 모래층 또는 사력층과 같은 투수성 지반 위에 댐을 축조할 경우에는 체체나 기초를 통하여 흐르는 투수량이 허용범위 내에 있도록 설계한다. 동시에 침투수를 안전하게 댐 밖으로 흘려보내기 위한 적절한 조치를 강구하여 침투수에 의한 체체나 기초의 파이핑에 대하여 충분한 안정성을 갖도록 한다.

가. 일반사항

투수성 지반 위에 댐을 축조하는 경우에는 기초지반으로 누수가 되더라도 요구되는 저수량을 만족시킬 수 있고, 안정상의 문제가 없다면 댐의 건설이 가능하다.

흙 지반을 지질학적으로 분류하면 ① 비교적 새로이 퇴적한 것으로서 사질 점토를 주체로 한 소위 충적층과 ② 제3기 또는 홍적세의 사력 및 점토층 ③ 풍화잔류토 등 3종류가 있다. 충적층은 하상부 등의 한정된 범위로 두껍게 퇴적하여 투수성이나 지지력면에서 문제가 되는 경우가 많다. 이에 반해서 제3기층이나 홍적층은 성층상태가 좋으며 또 투수층이 호층을 이루고 있는 특징이 있다. 실트와 점토가 층상으로 퇴적되어 있지 않은 한 사질층은 잘 다져지므로 활동이나 변형이 문제되는 경우는 적다. 이 때문에 댐 기초로서의 검토 및 대책은 ① 누수량을 허용범위로 감소시키는 것, ② 침투수에 의하여 생기는 간극수압을 안전하게 처리하는 것 등이 있다.

나. 침투수 억제대책

침투수량이 과다하여 요구되는 저수량을 만족시킬 수 없는 경우에는 침투수 억제 방법을 사용하여 침투수량을 줄이고 댐의 안정성을 확보하여야 한다.

침투수량을 허용치 이내로 감소시켜서 제체의 안정을 확보하려면 투수층의 두께, 입도분포, 기초의 지질구조 등에 따라 적합한 공법을 선택한다. 물론 두 가지 이상을 혼용할 수도 있다.

지질구성은 예를 들면 투수층이 원지반에 이르기까지 연속하는 경우 투수층이 댐터 양안의 구릉을 감아 올라가는 경우 또는 하상에 부분적으로 존재하지만 투수성 모래층이 깊게 존재하는 등 여러 가지 경우가 있다. 그림 4.5.7은 투수지반에 대하여 보통 채용되는 누수대책의 예를 보인 것으로 그 중 가장 일반적인 공법에 대하여 기술한다.

1) 넓은 코어

코어 밑의 투수성 기초를 불투수층에 도달할 때까지 굴착하고 코어용 흙으로 되묻고 전압하는 방법이다. 파는 깊이가 깊으면 지하수 배제나 굴착량 증대 등으로 비용이 많이 든다. 굴착된 재료는 다른 부분에 유용하는 것이 경제적이다. 지하수 배제에는 자갈 또는 난투수성 지반 이외의 경우 웰포인트 공법이 유효하다. 펌프 양수일 때에는 직립관을 세우고 그 속에 자갈을 채우면서 수면을 흠뻑기 면보다 항상 3 m 정도 낮게 하면서 올려 간다. 이 자갈층에는 나중에 그라우팅해도 좋고 그냥 두어도 좋다.

2) 널말뚝

현재는 별로 사용하지 않는다. 균질기초일 때에는 효과가 있고 일시적으로 대량의 누수를 방지할 필요가 있을 때 또는 실트기초의 액상화 현상을 막을 목적을 겸할 때는 좋은 방법이다. 널말뚝이 불투수층까지 도달하지 않을 때에는 차수효과가 감소된다. 널말뚝의 관입깊이가 불투수층 두께의 50 %일 때, 누수량은 3/4이고 80 % 깊이에서 누수량은 1/2밖에 안된다. 상당한 차수효과를 올리려면 투수층 두께의 95 % 이상 관입해야 한다.

3) 투수성 기초

댐은 미고결지층을 터파기한 후 암반위에 축조되는 것이 가장 바람직하다. 이는 미고결층에 대한 그라우팅이 암반에 비해 대단히 어려울 뿐만 아니라 막대한 공사비가 소요되며 시공 효과 즉, 지반개선이 암반에 비해 불량하기 때문이다.

미고결지층에 그라우팅을 한 국내외의 시공사례를 보면 주입열이 4~19열로써 많은 찬공을 하였고, 주입율이 8.9~18.6 %에 달하는 엄청난 주입량이 소모되었음에도 시공 후의 투수계수는 대개 $K=a \times 10^{-4}$ cm/s로 개선되었다.

부득이 미고결 토사층 위에 댐을 축조하여야 하는 경우에는 미고결층에 대해 많은 시료를 채취하여 입도분석을 하고, 손쉽게 구할 수 있는 시멘트계열의 입도분석 자료와 비교하여 적절한 주입재료를 선정한다.

Claude Caron(1982)은 토사층에서 주입재 침투는 토사공극을 채우는 충전(impregnation or permeation), 지반의 약한 부분을 파괴하면서 맥상으로 침투하는 할렬(fracturing) 및 할렬-충전(fracturing permeation) 등 세가지 유형으로 분류할 수 있다. Yeneda 등(1996)도 주입시간이 경과함에 따른 압력변화의 곡선으로부터 세가지 유형의 특징을 보고한 바 있다.

주입재료의 기본성질 중 가장 중요한 요소는 미세립이어야 한다. 즉, 주입재의 입자가 토립자 사이를 무리없이 통과할 수 있을 정도로 미세립질이 요구된다. 이에 대해 G.A. Kravetz, Karol, Yeneda, 미국공병단 등이 주입가능비(groutability ratio) 관계식인 $N = D_{15} / G_{85}$ (D_{15} : 토립자 입경가적곡선상의 15 % 입경, G_{85} : 주입재 입경가적곡선상의 85 % 입경) 을 발표하였는데, $N > 25$ 이상일 때는 충전주입이 되며 $N < 10$ 이하일 때는 할렬주입이 $N = 10 \sim 25$ 범위일 때는 할렬-충전주입이 된다고 하였다. 이때 토사의 입경가적곡선은 No. 4 체(4.76 mm)를 통과하는 모래이하의 세립질로 구성하여야 한다.

주입가능비 검토 결과 시멘트 계열의 주입재료는 충전주입이 되지 않는다고 하여 용액형 그라우트의 대표적 약액인 물유리를 설계해서는 안된다.

투수층의 두께	설계법	로	적요
중간	특수그라우트		160m깊이에 주입하여 성공한 예도 있으나 과신은 위험
	연속지수벽		지수효과완전, 고가임
깊음	압성토		양압력을 누르기 위하여 실시하며, 허용 누수량이 클때 적당
	압력감소정		기초가 투수성, 불투수성의 호층으로 된 때에 효과
	불투수성 블랭킷		파이핑방지에 효과, 공사비 저렴
	전면포장		양압력, 공기 배제를 완전히 하려면 포장 재료선택을 잘 해야 한다.

그림 4.5.7 침투수량을 감소시키는 방법

물 유리는 주입 후 용탈현상에 의해 내구성이 현격하게 저하되며 지하수와 토양을 오염시키는 등 환경적인 측면에서 문제가 있기 때문이다.

4) 완전 차수벽

콘크리트 차수벽과 널말뚝의 장점을 겸하여 개량한 형식의 콘크리트 채움 널말뚝, 이코스(ICOS) 공법, 프리팩터 공법, 슬러리 트렌치 공법 등 신공법이 시험 중에 있다. MIP공법은 조약돌이 없을 때에는 경제적이고 최소 두께 30 cm로서 충분히 차수효과가 있다.

5) 압성토

침투수의 양압력에 의하여 제체 비탈면이 활동하지 않도록 하는 것이 목적이다. 그러나 누수방지역할은 거의 못하므로 기초지반을 통과하는 누수량이 그대로 허용되는 경우에만 사용한다. 누수량만 걱정하지 않는다면 1×10^{-1} cm/s의 기초지반 위에도 안전한 댐이 축조되는 것이다. 다만, 이 경우에도 동수경사가 1/25 이하로 되도록 불투수성부의 밑면을 깊게 해야 한다.

6) 압력감소용 우물

제방부지에 작용하는 침투수압은 수평 블랭킷에 의하여 어느 정도 저하시킬 수 있지만 침투수압을 다시 저하시킬 필요가 있는 경우에는 제체 하류비탈끝에 우물을 설치하여 배수하는데 이를 압력감소용 우물 공법이라 한다.

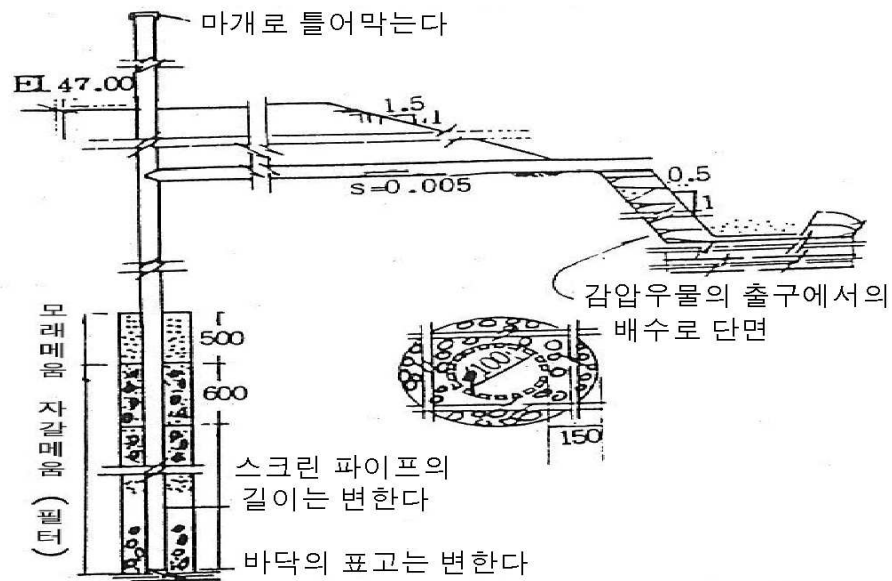
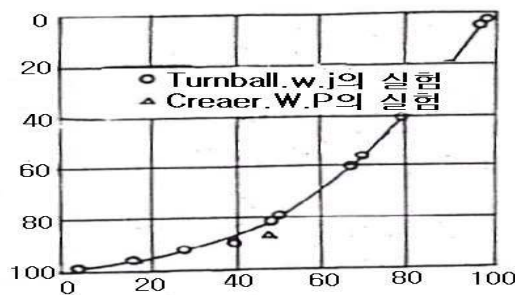


그림 4.5.8 압력감소용 우물의 예

그림 4.5.8은 압력감소용 우물의 예를 보여주고 있다. 지표면을 덮고 있는 불투수층이 두꺼울 때 또는 층상으로 되어 있을 때는 배수구의 시공이 곤란하

므로 압력감소용 우물이 좋다. 이것은 지표에서부터 투수층의 전 깊이를 꿰뚫도록 지름 15~60 cm의 우물을 8~30 m 간격으로 파는 것이다. 이 우물의 약 1/2 직경을 가진 유공관을 우물 안에 넣고 둘레에 필터를 채운다. 관 재료로는 목재, 플라스틱, 아스팔트를 칠한 양철관이 적당하다. 우물 안은 가끔 물을 채워서 씻어야 한다. 압력감소용 우물은 침투수의 침투로 깊이를 감소시켜 침투수량을 증가시키는 결점이 있으므로 처음에는 개소수를 적게 하고 필요에 따라 신설하는 것이 좋다.

기초의 투수성 및 지수 트렌치 바닥의 투수성이 비교적 낮고, 제체 불투수성부와의 접촉이 충분한 경우에는 시공상 필요한 최소치를 채용해야 한다. 시공상 필요한 폭은 굴착기계나 다짐기계가 트렌치 중에서 능률적으로 운행 가능한 보통 4 m 이상을 필요로 한다. Creager의 실험에 의하면 그림 4.5.9과 같이 지수공 50 % 삽입시 약 25 %의 침투량이 감소될 뿐이고 50 % 감소시키려면 80 %까지 막아 넣어야 한다. 따라서 부분 지수공은 특별한 경우를 제외하고는 유효한 것이 아니다.



(b) 투수량($q/Q \times 100$)

단 q : 지수벽의 삽입시의 침투량
 Q : 지수벽을 삽입하지 않았을 때의 침투량

그림 4.5.9 지수벽 삽입량과 침투량

7) 불투수성 블랭킷(blanket)

블랭킷은 기초지반의 침투수 억제뿐만 아니라 댐터 원지반의 투수층에서의 침투억제에 대하여도 효과적이다. 이를 경사 블랭킷 또는 원지반 블랭킷이라 부른다. 산턱의 사면 블랭킷을 시공하는 경우는 댐 본체의 차수부는 완전히 접속시켜야 하므로 댐 본체를 경사차수형으로 하는 것도 바람직하며, 산턱의

사면 블랭킷은 아스팔트 페이스(facing)을 하는 수도 있다.

두께는 수압의 1/10을 표준으로 하며, 보통 1~3 m가 많고 제체 부근일수록 두껍고 상류로 감에 따라 얇게 한다. 투수성 지반의 바로 위에 얇은 불투수성 지표가 덮혀 있을 때는 표면을 긁어서 구멍을 메우고 다시 전압하는 정도로 충분하다. 그러나 수평방향 투수계수 k가 큰 지반에서는 블랭킷을 하여도 반드시 파이핑에 대한 충분한 저항성을 주는 것은 아니다.

가) 자연 블랭킷 : 투수성 기초의 표층에 불투수성 흙이 퇴적하여 자연 블랭킷을 형성하고 있을 경우, 블랭킷에 의하여 생기는 유효 침투로 길이 x_f 는 다음 식으로 구한다. x_f 는 그림 4.5.10과 같이 손실수두(Δh_b)를 생기게 하는데 필요한 길이로, 블랭킷에 의한 손실수두(Δh_b)는 댐 상류에 완전 불투수성판을 수평으로 x_f 만큼 깔 것과 동일한 것을 의미한다. 또 수평 침투수량은 식(4.5.2)으로 나타낼 수 있다.

$$q_f = \frac{k}{x_r + x_d} h \cdot d \quad \dots\dots\dots (4.5.2)$$

여기서, q_f 는 기초의 침투수량, h는 저수위와 하류수위와의 차를 나타낸다.

$$x_f = \sqrt{\frac{t \cdot d \cdot k}{k_1}} \quad \dots\dots\dots (4.5.1)$$

여기서, t는 블랭킷의 두께, d는 기초의 두께, k_1 은 블랭킷의 연직투수계수, k는 기초의 투수계수이다.

나) 인공 블랭킷

기초지반에 비하여 어느 정도 불투수성 재료가 얻어질 경우에는 상류측은 불투수성 수평 블랭킷을 연장하는 편이 불완전한 차수벽보다도 유효하다. 그림 4.5.11에 표시된 블랭킷의 소요길이(x)와 그 때의 기초지반을 통과하는 침투수량(q)은 다음 방법으로써 계산할 수 있다.

블랭킷의 길이는

$$x = \sqrt{\frac{2 \cdot t \cdot d \cdot k}{k_1}} \quad (m) \quad \dots\dots\dots (4.5.3)$$

기초 침투수량은

$$q = \frac{k \cdot d \cdot h}{0.63 x + b} (m^3 \cdot s \cdot m) \quad \dots\dots\dots (4.5.4)$$

여기서, h는 블랭킷 위의 전 수두(m), t는 블랭킷의 두께, d는 투수성 기초의 깊이, b는 댐 불투수성 부분의 아래 폭, k는 투수성 기초의 수평방향의 평균 투수계수, k_1 은 블랭킷의 수직방향 평균투수계수(m·s)이다.

8) 연속지수벽공

기초지반에 좁은 트렌치를 굴착하여 지수벽을 설치하는 공법이다. 되메우기 하는 재료로서는 무전압 점토, 콘크리트 또는 아스팔트 등을 사용한다.

이 공법은 지진시의 거동이 이론적으로 명확하게 밝혀져 있지 않음은 물론 연속벽과 제체의 진동주기의 상이에 따라 양자의 접합부에 틈이 생기거나 균열이 발생하는 위험성이 있으므로 제체부와 떨어져 설치하는 것이 바람직하다. 그러나 특별한 경우 이 접합부에 대하여 특수처리를 함으로써 예를 들면 그림 4.5.12와 같이 약 50 cm의 양질 필터를 시공하고 접합부에 균열이 발생한 경우에는 파이핑이 일어나지 않도록 설계한 예도 있다.

9) 배수도랑

배수도랑이라 함은 투수성 기초 또는 제체로부터의 침투수를 안전하게 댐 밖으로 배수하기 위한 시설을 말한다. 이것은 비탈끝 배수도랑과 수평 배수도랑으로 나눌 수 있다. 비탈끝 배수도랑은 위의 어떤 방법을 채용하던 간에 반드시 병용해야 한다. 하천의 기울기가 아주 급하지 않는 한 댐 지점의 지표면은 대개 불투수층이 얇을 때에는 위험성이 크게 된다. 이 수압을 없애는 가장 간단한 방법이 비탈끝 배수도랑이다.

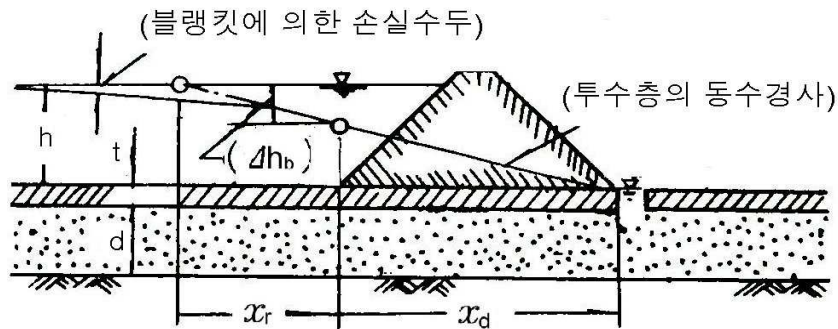


그림 4.5.10 자연블랭킷 (불투수성)

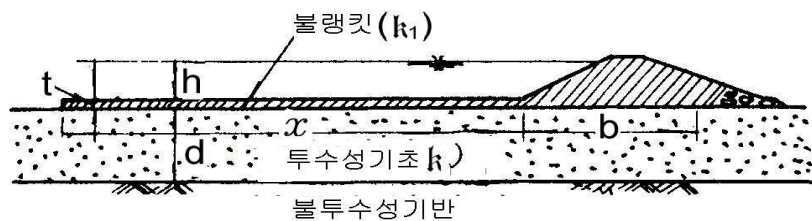


그림 4.5.11 불투수성 블랭킷의 설계법

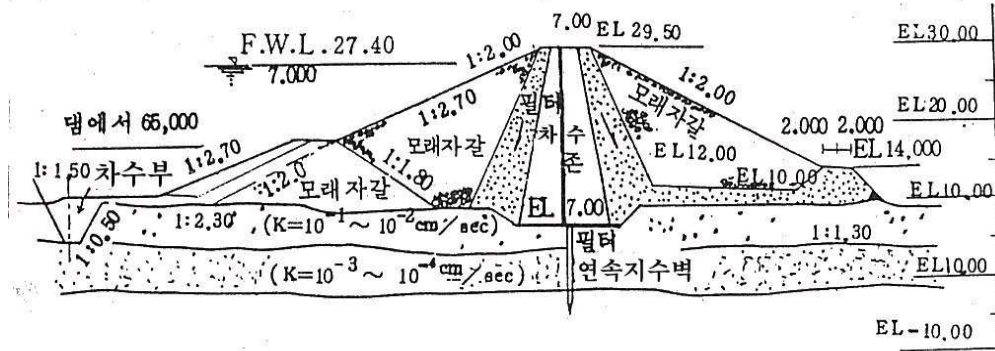


그림 4.5.12 연속 지수벽 필터의 설계 예

그림 4.5.13은 미국 개척국의 비탈끝 배수도랑의 표준설계 예이다. 또한 투수성 지반의 차수방법이 완전하지 않을 때에는 수평 배수도랑을 병용하는 것이 좋다. 수평 배수도랑에는 댐체 단면저부의 하류측에서부터 약 1/3범위 내에서 전면적으로 설치하는 수평 블랭킷 식과 줄모양으로 설치하는 스트라이프 식(stripe)이 있다. 어느 것이나 기초지반과 댐체와의 경계면에 설치하는 것이므로 파이핑을 일으키지 않도록 필터조건이 맞는 재료라야 한다.

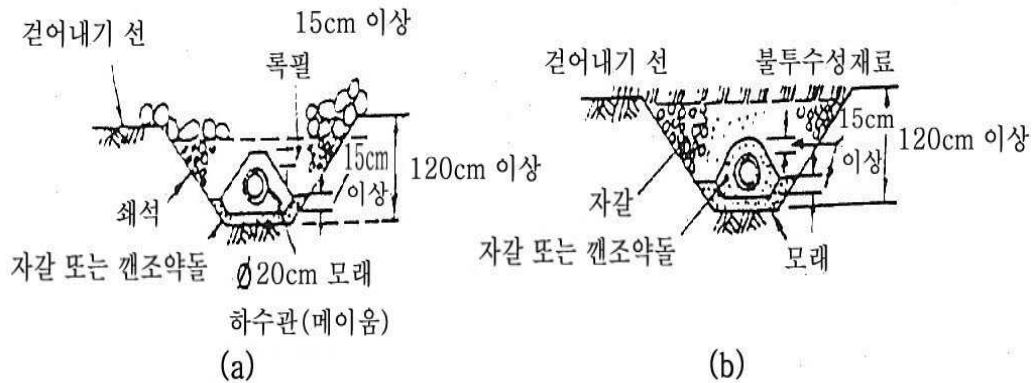


그림 4.5.13 미국 개척국(USBR)의 비탈끝 배수도랑의 설계 예

10) 파이프의 매설

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

11) 전면포장

저수지의 물이 매우 귀중해서 댐 및 기초의 투수계수가 1×10^{-7} cm/s 이하를 요구하는 경우가 있다. 포장재료로서는 아스팔트계 재료, 프린트코트 콘크리트, 벤토나이트계 재료, 플라스틱 등이 있다.

12) 기타의 차수공법

상기의 차수공법 외에 부분 치환공법, 특수 약액주입에 의한 차수공법이 있다. 그러나 이와 같은 공법은 지수의 신뢰성이 적으므로 제고 30 m 이하의 낮은 댐이나 차수를 위한 보조수단으로 사용하는데 지나지 않는다. 또 특수 고압 그라우트에 의한 공법도 사용되고 있다. 약액 주입시에는 사람이나 가축에 대한 위해가 있을 수도 있으므로 공법채용에는 신중한 검토가 필요하다.

다. 양압력의 처리대책

투수성 지반 위에 건설된 댐은 완전한 지수를 유지할 수 없기 때문에 누수에 의한 양압력이 발생하게 된다. 이러한 양압력은 체체의 비탈끝 부분의 킁샌드나 파이핑의 원인이 되어 결국 체체의 붕괴를 유발하게 되므로 기초지반의 지질구조 및 투수성을 고려하여 적절한 공법을 강구하여 안전성을 확보한다. 대표적인 공법은 수평 드레인, 블랭킷 또는 연속 지수벽, 그라우트 공법, 전면포장 등이 사용된다.

투수성지반 위의 댐에서는 완전지수를 기대할 수 없다. 특히 필댐의 특수성에서 다소의 누수가 있는 것을 전제로 하면 상당히 높은 양압력이 생기는 수가 있다. 양압력의 증가는 전체의 안정성의 저하뿐만 아니라 수직응력이 작은 체체 사면끝 부근에서 킁샌드나 파이핑의 현상이 나타나서 체체 붕괴의 위험을 초래한다. 양압력의 처리방법 및 구조는 기초지반의 지질구성과 투수성에 따라 다르다. 다음에 대표적인 것을 기술한다.

1) 균일한 투수성기초인 때에는 수평 드레인으로 처리하는 것이 보통이다. 투수량에 따라서 단면을 결정하지만 그 양에 따라서 드레인 말단을 필터 구조로해서 하류 사면끝 드레인에 접속시킨다.

2) 호층상태의 기초인 때에는 투수, 불투수의 층이 호층으로 존재하는 경우가 많다. 콘크리트 연속벽 등으로 완전지수를 하는 것은 별도로 하고 기타방법 예를 들면 블랭킷 공법, 그라우트 공법 등에 의하여 지수하는 경우는 대부분 기초지반 내에 압력감소용 우물 또는 트랜치형 드레인을 설치한다.

3) 블랭킷에 의하여 지수하는 경우에는 침투로길이를 연장하여 침투량을 억제한다. 이 경우 체체하부의 불투수부는 가장 유효한 침투로 길이로 사용된다.

4) 전면포장인 때에는 포장기초를 투수재료로 조성하고 포장면을 통과한 지하수나 저수지 주변의 강우가 포장면 배면에서 양압력으로 작용하지 않도록 외제로 배제하여야 한다. 포장재료로서는 주로 아스팔트계, 고무시트계 재료가 사용된다.

4.5.4 연약지반 기초

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

가. 일반사항

점토, 실트, 유기질로 이루어진 연약지반(이 기준에는 표준관입시험의 N치가 20 이하의 범위를 연약지반으로 함)인 때에는 특히 활동파괴, 과대한 침하 또는 변형이 생기므로 시공 중에도 충분히 주의 깊게 관찰함은 물론 필요에 따라서 설계 변경을 하는 등 신중한 처리를 해야 한다. 한정된 토질시험으로서 설계단계에서 성토작업에 따른 압밀의 진행과 그에 따른 강도증가 또는 변형을 올바르게 예측하는 것은 상당히 어려우므로 침하계, 변위계, 경사계, 간극수압계 등의 각종계기를 설치하여 시공중의 거동관측은 물론 적당한 기간마다 교란되지 않은 시료를 채취하여 비압밀, 비배수 전단강도를 조사해서 압밀의 진행상황을 확인하면서 시공을 진행할 필요가 있다.

나. 완성 전·후의 진행성 파괴

기초지반이 연약하고 소성이 큰 예민성 점토 또는 유기질토인 경우에는 반드시 활동파괴에 대하여 검토한다. 특히 슬립층이 있는 경우에는 이를 제거하거나 치환하여 완속 파괴에 대하여 대책을 강구한다.

필댐 활동의 대부분은 기초지반이 연약하고 소성이 큰 예민성 점토 또는 유기질 토양인 경우에 일어난다. 더욱이 공사 중 활동의 대부분이 이에 의한 것이며 또 완성 직후는 물론이고 완성수년 후에도 활동하는 예가 많으므로 특히 주의해야 한다. 제체 재료가 점토질인 때에 이 경향은 더욱 현저하다. 그 원인은 연약지반의 전단저항력이 점증하는 댐 하중 또는 완성 후 장기에 걸쳐 반복되는 저수위 변동에 따른 침투수나 간극수압의 복잡한 변화에 적응할 수가 없어 일시적이라도 균형을 잃은 상태가 나타나기 때문일 것이다.

실내시험의 결과로부터 안전계산을 해서 충분한 안전율을 취하였는데도 활동한 예가 있다. 이는 기초 지반 중에 보링 주상도에 나타나지 않는 정도의 얇은 연약층이 있거나 포화시에는 $\phi = 0$ 과 같은 점토층이 있어서 순간적으로 안전율을 저하시키기 때문인 것으로 생각된다.

교란되지 않은 시료에 대한 정밀한 시험을 했다 하여도 안전율은 다른 때보다 세심한 주의를 기울려 정해야 한다. 따라서 연약 기초지반 중에는 반드시 간극수압계를 매설해 두어야 한다.

[참고] 진행성 파괴의 예

연약지반 건설된 댐의 진행성 파괴에 대한 예로 그림 4.5.14에 보인 캐나다의 North Ridge 댐이 있다. 또 샌드 드레인을 시공하였음에도 불구하고 성토 시공중 상당한 측방변위가 생긴 예가 있다(그림 4.5.15 참고).

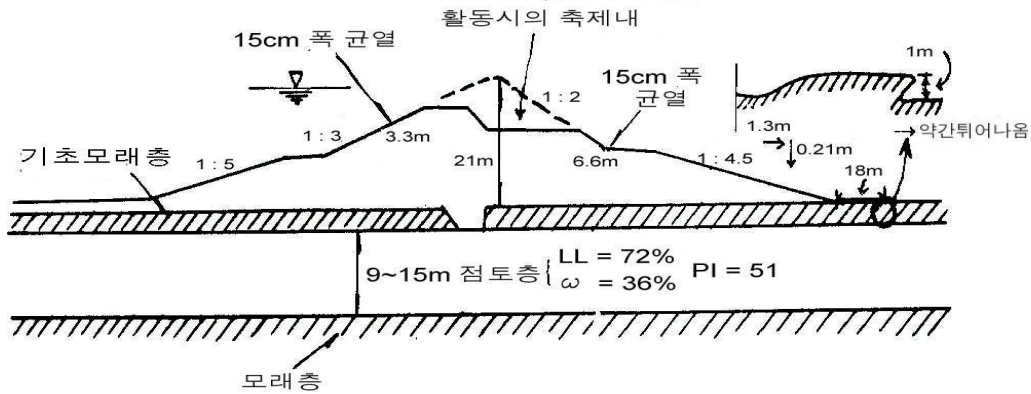


그림 4.5.14 North Ridge 댐(캐나다 1953년 9월 활동)

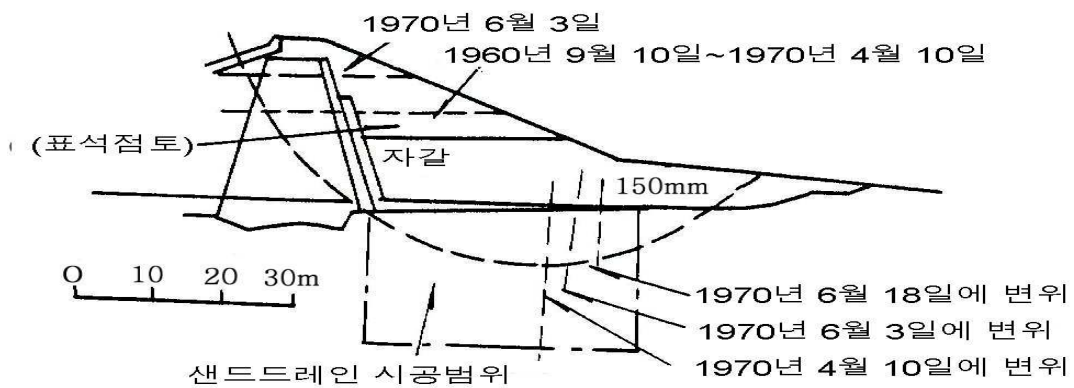


그림 4.5.15 성토시공에 따른 기초지반 및 사면끝의 측방변위

다. 압밀 침하량

연약지반에 있어서의 또 하나의 문제는 압밀침하에 의하여 댐 높이, 여유고 부족을 초래하는 일이다. 따라서, 연약지반에 건설되는 댐인 경우에는 댐 높이, 여유고 등에 압밀침하량을 고려하여야 한다. 침하와 시간과의 관계는 침하량의 대부분이 시공중에 끝나는 것과 동시에 시공 중에는 전침하량의 수분의 일밖에 침하하지 않는 것이 있다. 침하량과 침하에 요하는 시간은 테르자기 (Terzaghi)의 압밀이론에 의하여 실내시험 결과로서 최종 압밀침하량 ΔH 와 90% 압밀에 요하는 시간 t 는 다음 식으로 계산된다.

$$\Delta H = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \cdot H \quad \dots\dots\dots (4.5.5)$$

$$t = \frac{1}{C_v} \cdot H^2 \cdot T_v \quad \dots\dots\dots (4.5.6)$$

여기서, H 는 압밀되는 점토층의 두께, e_1 는 댐 축조전의 공극비, e_2 는 댐 축조 후의 공극비, C_v 는 압밀계수, T_v 는 시간계수이다.

라. 연약지반 처리공법

기초지반이 연약하고 소성이 큰 예민성 점토 또는 유기물이 많은 경우에는 반드시 활동파괴에 대하여 검토하여야 한다. 특히, 슬립층이 있는 경우에는 이를 제거하거나 치환하여 완속파괴에 대하여 대책을 강구하여야 한다.

연약지반의 처리공법을 대별하면 그림 4.5.16과 같으며, 연약지반의 조건에 따라 이 중에서 한 가지 또는 두 가지 이상을 조합하여 사용하기도 한다.

마. 압성토 공법

연약지반 처리공법 중에서 압성토로 사용하는 재료는 중량이 무거울수록 좋고 특별히 선택할 필요는 없다. 압성토 쌓기가 필요한 경우에는 안정계산에 의하여 높이를 결정하는 것이 원칙이나 높이가 낮거나 중요도가 낮은 댐인 경우에는 개략적인 방법으로도 구할 수 있다.

그림 4.5.17과 표 4.5.1은 포화 실트지반, 점토지반 기초 위에 축조되는 댐의 압성토 사면 기울기를 나타낸 것이다.

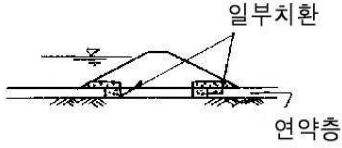
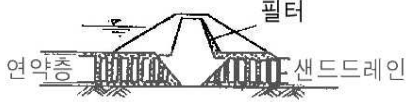

연약층의 두께	설계법	노도 (路圖)	적요
천(淺)	치환공법		연약층의 전부 또는 일부를 제거하여 안전도가 높은 재료로 치환한다.
중(中)	급속압밀공법 샌드드레인 웰포인트 페이퍼드레인		기초지반의 압밀을 촉진하기 위하여 충전 또는 수평방향의 샌드드레인을 설치한다.
심(深)	압성토		기초면을 통한 활동파괴를 방지하기 위하여 비탈끝에 압성토를 둔다.

그림 4.5.16 연약지반 처리공법

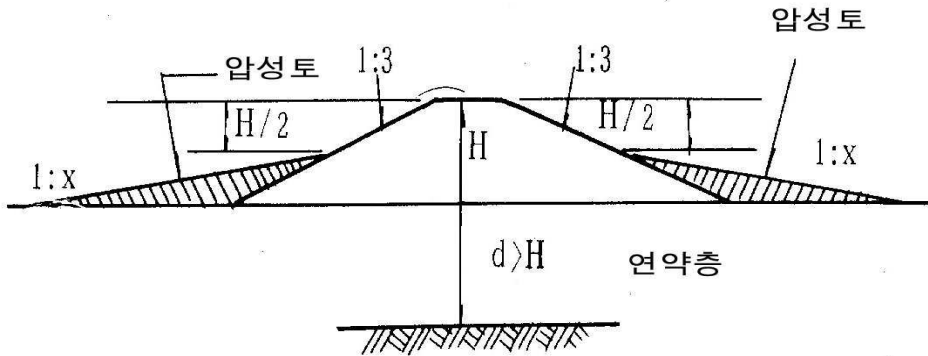


그림 4.5.17 연약지반위에 축조된 댐의 압성토 사면 경사도

표 4.5.1 연약지반 위에 축조된 댐의 압성토 사면 기울기(X)

	기초의 N치	통일분류법	댐의 높이(H)와 압성토의 사면기울기(단위 : 할)				
			H=15 m	12 m	9 m	6 m	3 m
연 약	N < 4		특별한 시험이 필요				
중정도	4 ~ 10	SM	X=4.5	4	3	3	3
		SC	6	5	4	3	3
		ML	6	5	4	3	3
		CL	6.5	5	4	3	3
		MH	7	5.5	4.5	3.5	3
		CH	13	10	7	4	3
단단함	11 ~ 20	SM	4	3.5	3	3	3
		SC	5.5	4.5	3.5	3	3
		ML	5.5	4.5	4.5	3	3
		CL	6	4.5	4.5	3	3
		MH	6.5	5	4	3	3
		CH	11	9	6	3	3
상당히 단단함	20 < N	SM	3.5	3	3	3	3
		SC	5	4	3	3	3
		ML	5	4	3.5	3	3
		CL	5	4	3	3	3
		MH	5.5	4	3	3	3
		CH	10	8	5.5	3	3

4.5.5 느슨한 기초지반

기초지반이 저소성이고 단일 입경의 고운 모래 등으로 되어 상대밀도가 작은 느슨한 지반에 필댐을 축조할 경우에는 액상화에 의한 파괴를 방지하기 위한 적절한 조치를 강구해야 한다.

가. 일반사항

지반이 느슨하고 포화된 실트 또는 가는 모래가 균등한 입도를 가진 경우에는 액상화에 대한 검토를 해야 한다. 특히, 지진 등 횡하중에 의한 파괴시 큰 피해가 예상되는 곳에서는 반드시 안정성을 검토해야 하며, 검토방법은 4.9.3 절을 참고한다. 상대밀도를 이용하거나 한계간극비를 사용하여 개략적으로 액상화의 가능성을 판단할 수 있다. 그러나 간편법의 결과를 맹신해서는 안된다.

나. 액상화 방지를 위한 입도 분포

일반적으로 거칠은 모래일수록, 입도 배합이 좋은 모래일수록 액상화 가능성은 적어진다. 또, 상대밀도가 50 % 이상의 모래는 입도에 관계없이 액상화 현상이 생기기 어렵다. 소성 및 입도배합에 의하여 액상화에 대한 저항성이 큰 것부터 차례대로 나열하면 표 4.5.2와 같다.

$$\text{상대밀도(\%)} = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \dots\dots\dots (4.5.7)$$

여기서, e_{\max} : 흙이 가장 느슨한 상태의 공극비,
 e_{\min} : 흙이 가장 조밀한 상태의 공극비, e : 현장에서의 흙의 공극비

표 4.5.2 느슨한 지반에서의 각종 토질의 액상화의 저항성

순위	소성지수	토성과 입도배합
1	15 이상	고소성 진흙
2	6 이상	중소성 진흙 또는 입도배합이 잘 된 굵은 모래 또는 막자갈
3	6 이하	저소성의 입도배합이 잘 된 자갈 모래 실트 혼합물
4	6 이하	나쁜 입도의 미사와 둥근 모양의 굵은 실트와의 혼합물

다. 액상화 방지대책

액상화 방지대책으로서는 느슨한 재료를 제거하고 좋은 재료로 치환하는 방법과 상대밀도를 증가시키는 방법이 있는데, 현장의 여건과 재료의 구득 가능성, 공사비, 공사기간 등을 고려하여 적당한 공법을 선정한다.

상대밀도를 증가시키는 방법에는 ① 엉성한 재료를 파내서 그대로 다시 전압하는 방법, ② 소량의 발파에 의하여 다지는 방법, ③ 말뚝박기법, ④ 진동 기초법 등이 있다.

[참고] 기초 액상화에 대한 처리

(1) 일반사항

균등계수가 적고 느슨하고 포화된 모래지반은 지진에 의한 반복응력의 작용에 따라 쉽게 액상화하는 수가 있다. 필댐은 모래지반에도 건설되는 수가 있으며, 과거 액상화에 의하여 붕괴한 예도 보고되고 있다. 따라서 이와 같은 지반에 대해서는 설계단계에 있어서, 충분한 검토를 하여 필요에 따라 대책을 강구해야 한다. 액상화 가능성의 평가는 대상이 되는 지반에서 교란되지 않은

흙, 또는 교란된 흙을 채취해서 액상화 시험을 하여 장래 발생할 가능성이 있는 지진 강도 등을 기초로 하여 평가한다.

(2) 대책

액상화의 가능성이 있는 때에는 다음과 같은 기본적인 대책과 제체 구조설계를 고려하여 검토한다.

① 다짐에 의한 밀도의 증대를 도모한다. 제체의 경우에는 설계밀도를 높이고 큰 에너지로 다짐방법을 강구한다. 지반의 경우에는 바이브로플로테이션, 다짐말뚝 등으로 밀도를 높이는 방법을 검토한다.

② 액상화하기 어려운 재료로 개량하는 방법을 검토한다. 예를 들면 다른 재료를 혼합하는 등이 있다.

③ 유효 구속압을 크게 얻을 수 있는 대책을 검토한다. 이 방법으로는 다른 재료에 의한 성토로 상재하중을 크게 하는 방법, 침윤면을 내려 유효상재압을 높이는 방법 등이 있다.

④ 기초부분의 지반재료가 액상화 가능성이 있는 경우에는 그 재료를 비침투부에 사용하거나 다른 장소에 버리는 방법도 고려한다.

이 경우, 기초부분의 모래 입도가 좋지 않고 액상화의 가능성이 염려되면 제체를 경사차수형으로 하고 모래를 사용하는 존(zone)에 차수부에서의 침투수가 들어가지 않도록 필터의 폭을 넓히고, 모래 존과 어버트와의 경계부에는 방수용 고무 뿔어붙임 등으로 설계하면 된다.

⑤ 드레인 등에 의한 간극수압의 소산을 도모한다.

4.5.6 그라우팅 설계

그라우팅 시공에 앞서 지하지질 상태 확인, 주입 영향권 확인, 주입재와 주입공법의 선택, 주입공간격과 주입심도 등을 결정하기 위하여 조사관공과 주입시험을 실시해야 한다. 설계서에 정한대로 일정한 간격으로 실시하나 터파기면의 암질상태, 지질구조 등에 따라 조절할 수 있다.

가. 그라우팅의 종류

1) 시험 그라우팅

대개의 경우 주입공의 설계는 이미 완성한 댐의 실적이나 설계의 기준에 의해 정하고 있으나 대규모 또는 중요한 현장에서는 시공계획을 수립하기 위해 반드시 시험(pilot)그라우팅의 과정을 거쳐 결정해야 한다.

그라우팅 공사비에서 찬공 공사비가 차지하는 비용이 대단히 크다. 따라서 가능한 한 공간격을 넓게 하여야 할 것이다. 그러나 절리, 파쇄대 등의 구조의 방향, 암질의 상태에 따라 주입재의 확산 범위는 댄터마다 다르고 같은 댄터라도 구간마다 차이가 있으므로 이 범위를 확인하기 위해서는 시험구간을 적당히 넓게 잡아 찬공, 주입한 후 루전시험 등으로 주입효과를 판정하여 공간격과 주입량을 결정한다.

필요한 주입공의 공간격, 공수, 배열 형태를 결정하기 위한 시험주입의 형태는 정해진 방법이 있는 것은 아니지만 중간내삽법(中間內插法), 정삼각형 중앙내삽법, 2열 정삼각형 중앙내삽법, 정사각형 중앙내삽법 등이 있는데, 그라우팅의 기본설계 즉, 공간격, 열간격, 열수, 주입재의 종류와 터파기면의 넓이, 지질상태 등을 감안하여 적절한 방법을 택한다.

가) 1열 중간내삽법

이 방법은 가장 단순한 시험주입법으로 시험구간의 양측 끝단에 1차공(primary hole)을 찬공주입하고 다시 1차공의 중간자리에 2차공(secondary hole)을 찬공주입하며 나머지 구간에 대해서도 같은 방법으로 3차공, 4차공 순으로 중간자리에 시험을 하여서 충분한 효과가 있다고 판단될 때까지 즉, 지반개량목표에 도달할 때까지 계속 시험하여 적절한 공간격과 주입량을 결정한다. 외국에서는 시험구간을 넓게 잡아 9차공까지 시험하기도 하나 우리나라에서는 대개 구간을 짧게 잡아 3~4차공까지 시험을 하고 있다.

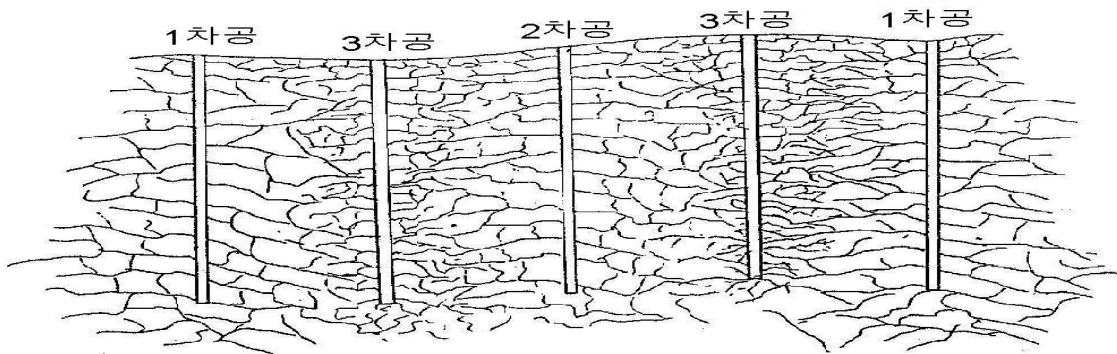


그림 4.5.18 3차공의 주입재 침투

나) 정삼각형 중앙내삽법

정삼각형 중앙내삽법은 시험그라우팅의 가장 기본적인 축차(縮次)배치방법이다. 시험공은 시공계획 깊이까지 찬공하여 코어를 회수하며 전 찬공깊이에 대해 수압시험을 해야한다. 이와 같이 하는 것은 물을 흡수하는 양 즉, 주수량

과 암질조건과의 상관성을 판정하기 위해서 하는 것이며, 삼각형으로 형성된 좁은 면적안에서의 불균질성을 알아내고 아울러 심도별 암반의 파쇄압력 (crack pressure)을 확인할 수 있다. 암반의 주입압력은 각 깊이에 따라 결정되며 공배치계획은 그림 4.5.19와 같다.

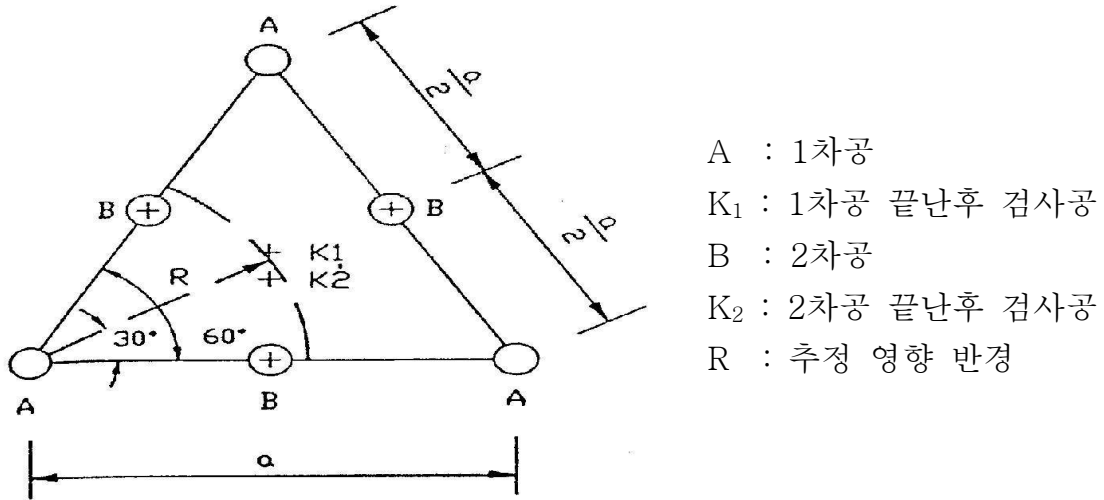


그림 4.5.19 정삼각형 중앙내삽법의 시험공 배열

다) 2열 정삼각형 중앙내삽법

대부분의 댐 기초처리 그라우팅공 배열은 지그재그형 복열 배열을 하고 있기 때문에 2열 또는 3열 배열법은 현장의 시공계획과 잘 일치되는 시험시공이 될 수 있다. 또한 시공계획을 그대로 활용해서 시험할 수 있는 장점이 있기 때문에 추가적인 비용부담을 최소화 할 수 있지만, 작업장이 좁은 경우에는 시행이 어렵다. 2열일 때의 일반적인 시험공 배열패턴은 그림 4.5.20과 같다

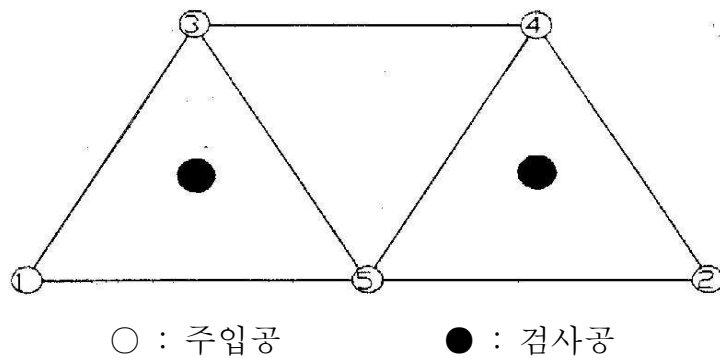


그림 4.5.20 2열 정삼각형 중앙내삽법의 시험공 배열

공사규모가 크고 주입이나 설계시에 불확정 요소가 많았을 경우 본 방법과 같이 현장시험규모를 확대하는 것이 필요하다. 3열일 때의 시험공 배열 패턴은 그림 4.5.21과 같이 한다. 이와 같은 시험주입 패턴은 암반 주입공사는 물론이고 토사층 주입공사에서도 일반적으로 적용되는 방법이다.

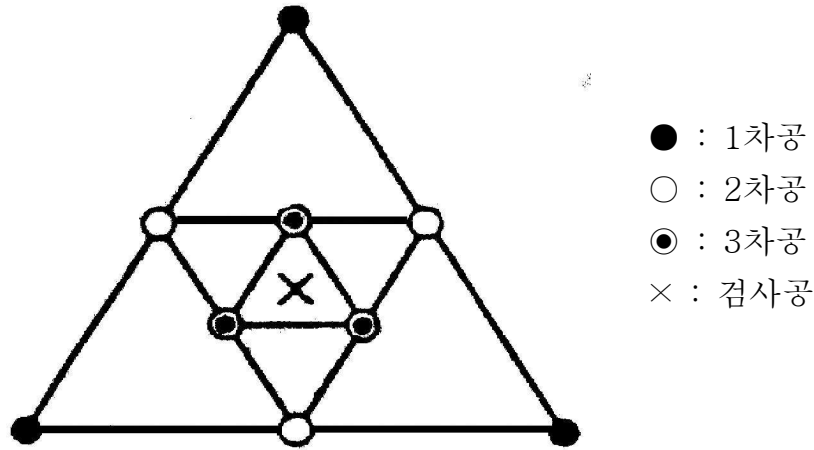


그림 4.5.21 3열 정삼각형 중앙내삽법의 시험공 배열

라) 정사각형 중앙내삽법

정사각형 배열법은 그라우팅 시공영역이 대단위일 경우 적용될 수 있으며, 신재료를 이용할 경우나, 대단위 그라우팅을 해야할 경우에는 세부 설계자료를 얻기 위해서 이 방법을 사용하는 것이 효과적이다.(그림 4.5.22)

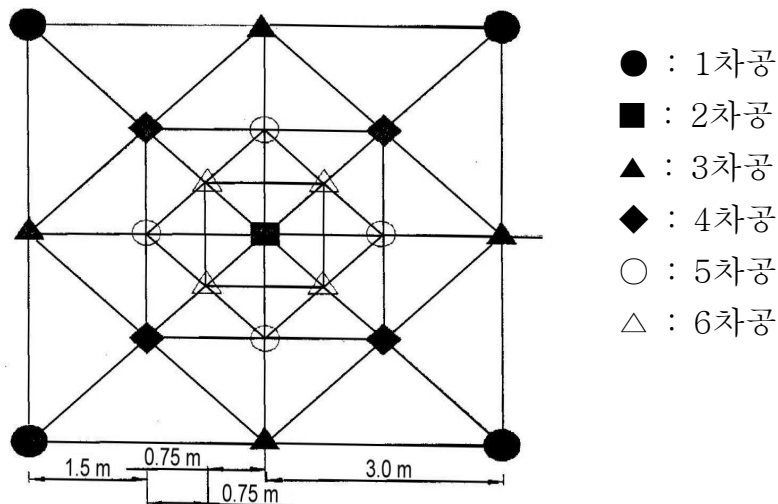


그림 4.5.22 정사각형 중앙내삽법에 의한 시험공 배열

2) 컨솔리데이션 그라우팅

댐체와 접하는 암반이 이완되어 담수후 침투류 발생과 댐체의 하중에 기초 변형이 일어날 우려가 있는 부분에는 암반의 변형성 개량과 지지력 증가를 위한 컨솔리데이션 그라우팅을 설계한다. 특히 균열·파쇄대 등의 틈이 많은 부분과 단층구간에 대하여 중점적으로 설계한다.

가) 목적

컨솔리데이션 그라우팅은 암반의 변형을 개량하고 강도를 증대시켜 기초를 균일화하기 위해 시공하는 것이다. 컨솔리데이션 그라우팅 시공으로 암반이 원래 갖고 있는 균열의 틈과 기초굴착과정에서 생긴 틈새를 충전하여 기초의 변형을 억제하는 것이나, 공극 충전으로 암반자체의 강도가 엄청나게 증가하는 것은 아니다. 그러나 틈새 충전으로 기초암반 전체가 일체화되어 터파기면에 작용하는 응력의 분포가 균일해지면서 지지력이 증대된다.

기초터파기면의 용출수를 막는 효과와 기초지반을 불투수성으로 만들어 침투로장이 길어져 침투류를 억제하는 효과가 있으며 컨솔리데이션 그라우팅 이후에 시공되는 블랭킷그라우팅 또는 커튼 그라우팅의 그라우팅 영역까지 주입재가 확산 고결되므로 초기주입압력을 증대시키며 이 영역의 표면부로 주입재가 누출되는 현상을 억제하는 효과가 있다.

나) 시공범위

댐체에서의 컨솔리데이션 그라우팅 대상범위는 주로 댐체와 접하는 암반표면으로서 암반역학적으로 이완되어 있거나 굴착과정의 발파에 의한 진동과 리핑작업 등으로 이완되어 담수후 침투유속이 가장 크게 될 부분임에도, 암반의 상재하중이 적어서 높은 주입압력을 줄 수 없는 취약 부분이므로 이러한 여건을 감안하여 그라우팅을 계획한다.

컨솔리데이션 그라우팅은 댐 형식에 따라 시공범위가 크게 좌우된다. 즉, 댐의 형식, 규모 등에 따라 암반에 작용하는 응력도 다르며, 또 기초변형이 댐에 미치는 영향도 다르므로 시공영역을 기초바닥면 전부를 잡을 경우와 국부적으로 취하는 경우가 있다.

컨솔리데이션 그라우팅은 균열·파쇄대 등의 틈이 많은 곳, 시임(seam)이 집중해 있는 곳, 단층구간 등에 중점적으로 시행하는 것이 보통이다.

다) 공의 배치와 심도

컨솔리데이션 그라우팅 공의 배치는 그림 4.5.23와 같이 격자형으로 배열하는 경우가 많다. 공간격은 암반의 상태에 따라 정하나 기초지반 전면에 걸쳐

시공을 할 때는 1.5~5 m 정도로 잡고 시공은 정사각형 중앙내삽법으로 한다. 경사부에서는 경사가 급하고 시공영역 즉 터파기 면적이 좁아 위와 같이 시공 할 수 없는 경우가 많으나 가급적이면 이 방법으로 해야 한다. 공의 심도 결정은 일정한 산출공식이 없으나 댐의 규모에 따라 대개 5~10 m 정도로 계획한다. 통상적으로 공간격이 조밀하면 심도는 얕아지고, 단층대나 취약구간을 보강하는 경우에는 심도를 깊게 잡는다. 그러나 커튼그라우팅 심도의 1/2을 넘는 경우는 거의 없다. 공경은 통상 AX~EX로 하며 10 m 미만의 심도에서는 충격식 찬공장비를, 단층대처럼 지질이 불량하거나 공의 심도가 깊은 경우에는 회전식 장비를 사용하기도 한다. 주입공의 찬공방향은 대개 수직으로하나 구조대의 발달이 수직찬공으로 절단되지 않는 방향이라면 공의 위치를 이동하거나 경사찬공으로 효과적인 시공이 되도록 조정한다.

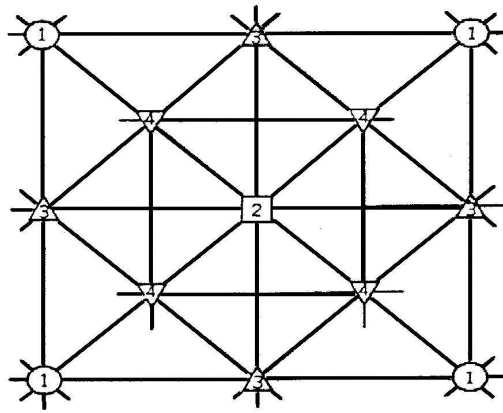


그림 4.5.23 컨솔리데이션 그라우팅 공의 배치

3) 블랭킷 그라우팅

블랭킷 그라우팅은 풍화되거나 약간 풍화된 암석, 심하게 파쇄된 암석 또는 수평의 층상 암석을 따라 새는 물을 막기에는 커튼 그라우팅 만으로는 지수·보강효과를 거둘 수 없을 때 침투로장을 길게 할 목적으로 커튼 그라우팅에 연접하여 설계한다.

가) 목적

컨솔리데이션 그라우팅과 마찬가지로 커튼지수벽 상하류부의 기초지반 강화, 균일화 및 불투수성화 하기 위한 것이다. 컨솔리데이션 그라우팅과의 구분은 다소 애매하며 단층, 파쇄대가 발달한 구간으로 깊은 심도의 그라우팅을 할 때 제일 얇은 것을 컨솔리데이션 그라우팅 조금 깊은 것을 블랭킷 그라우팅으로 분류한다. 일반적으로 외국에서는 이들을 부지 그라우팅(area

grouting)으로 표현하며 대개 한가지를 설계하고 있다.

나) 공의 배치와 심도

블랭킷 그라우팅의 심도는 컨솔리데이션 그라우팅의 심도보다는 깊고 커튼 그라우팅 심도보다는 얇게 함이 보통이며, 대체로 커튼 그라우팅 심도의 1/2정도로 한다. 여러 열의 블랭킷 그라우팅을 할 때는 심도를 서서히 줄여가면서 커튼 그라우팅에 연접하는 심도는 커튼 그라우팅 심도와 비슷하게 하여 지수커튼과 일치하는 소규모 지수커튼(mini curtain)을 만들어 지수벽의 폭을 크게 하는 수도 있다. 공의 간격은 대개 1.5~3.0m로 배치한다. 필댐에서는 심하게 파쇄된 암반으로서 지지력은 충분하나 투수성이 커서 1열의 커튼 그라우팅으로는 충분한 지수벽이 형성될 수 없다고 판단되는 곳에 주로 배치한다.

다) 시공순서

시공순서는 내삽법 혹은 직사각형 모양으로 주로 시공하는데 이렇게 하면 시공과정에서 주입량의 변화, 주입재 확산누출, 시공전후의 수압시험자료 등으로 지반개선의 주요한 정보를 파악할 수 있다.

직사각형 시공패턴에서는 먼저 1차공(P)을 찬공주입하고 2차공(S)은 1차공의 대각선이 만나는 지점에 뚫고 그 다음에 3차공(T)을 1차공 사이에 뚫어 격자형으로 한 구획을 끝내고 양사방으로 시공을 진행하는 것으로 설계한다. 만약에 개선목표만큼 개량이 이루어지지 않을 때는 추가공을 시공한다.(그림 4.5.24)

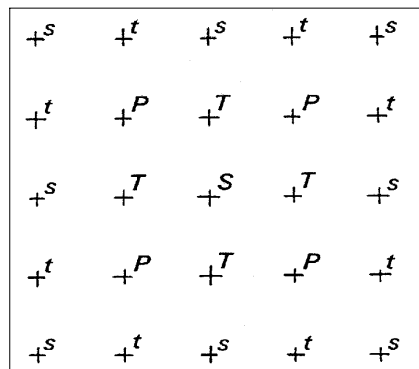


그림 4.5.24 블랭킷 공의 배치와 시공순서

일반적으로 1차공의 간격을 3m로 잡으며 공간의 연결성이 넓을 때는 1차공의 간격을 넓혀야 하고 나중에 그 사이에 중간공을 뚫어서 확인을 하여야 한다.

실제 댐터에서의 블랭킷 그라우팅은 커튼 그라우팅과 연결하여 2~3열을 배치하는 경우가 많은데 커튼 그라우팅 주입열과 같이 중간내삽법으로 시행하는

것이 간편하다. 블랭킷 그라우팅은 커튼 그라우팅에 앞서 시공하므로써 지표의 수밀성을 증대시켜 커튼 그라우팅의 시공효과를 높여야 한다. 때로는 공의 방향을 경사로 잡아 절리의 절단을 많이 할 수 있도록 해야하며 가능하다면 경사는 한 방향으로 잡아야 시공의 효과판단에 혼란이 없다.

블랭킷 그라우팅은 심도가 깊지 않을 때는 1단계로, 깊을 때는 2~3단계로 나눈 단계별 그라우팅을 하며, 주로 하향식으로 주입하나 때로는 지표누출이 심함에도 불구하고 상향식으로 하기도 한다. 공별로 하기도 하나 한 구획의 여러 공을 동시에 하기도 한다.

4) 커튼 그라우팅

댐 기초에서 누수되는 물을 최대한 차단하여 양압력을 줄이고 파이핑 발생을 방지하기 위해서 기초 암반의 깊은 심도까지 커튼 그라우팅을 설계한다.

가) 목적

댐 기초의 침투류가 댐 및 기초에 미치는 영향으로는 양압력이 증대하거나, 과도한 유속 또는 동수경사에 의하여 절리, 파쇄대, 단층에 협재하고 있는 세립질 점토 등이 유거되어 파이핑이 발생하며 더욱 악화되면 댐이 결핵되는 사태가 발생하기도 한다. 또한 기초지반 자체 강도가 저하되어 침하가 발생하는 등 안정성에 치명적인 영향을 줄 수 있다.

따라서 기초암반의 깊은 심도까지 지수커튼을 만들어 기초를 통하는 누수를 최소화해야 한다.

나) 시공위치

저폭이 넓은 중심코어형의 댐에서는 그라우트 커튼을 중심선으로부터 약간 상류부나 하류부에 시공하나 항상 중심코어의 바닥면 내에 시공한다. 그러나 일반적으로 중심선상에 배열하거나 약간 상류부에 시공하며 균일형 댐에서도 마찬가지이다. 만약에 기초지반이 침식을 받을 위험이 있을 때는 커튼 지수벽을 상류부에 시공하여 침투로장을 길게 하므로써 침투수가 필터에 들어가는 지점에서 동수경사를 줄여야 한다.

따라서 규모가 큰 댐으로 기초지반이 좋지 않을 때는 블랭킷 그라우팅을 보통 병행한다. 상류부분에 커튼 그라우트의 위치를 정할 때는 중심선과 중심코어 상류측 끝부분 거리의 1/3을 넘지 않는 범위에 잡아야 한다.(그림 4.5.25) 특별한 지질여건이 없는 한 중심코어 중심선에 수직형태의 지수 커튼을 만드는 것이 가장 무난하다.

주입열을 중심코어 중심선 상류에 배치하면 향후 개보수그라우팅 때 댐마루

중심선에서 찬공·주입하여 연결이 가능한지 검토되어야 한다. 만약 하류부에 커튼지수벽을 만들면 중심코어 하부에 작용하는 양압력이 증가한다.

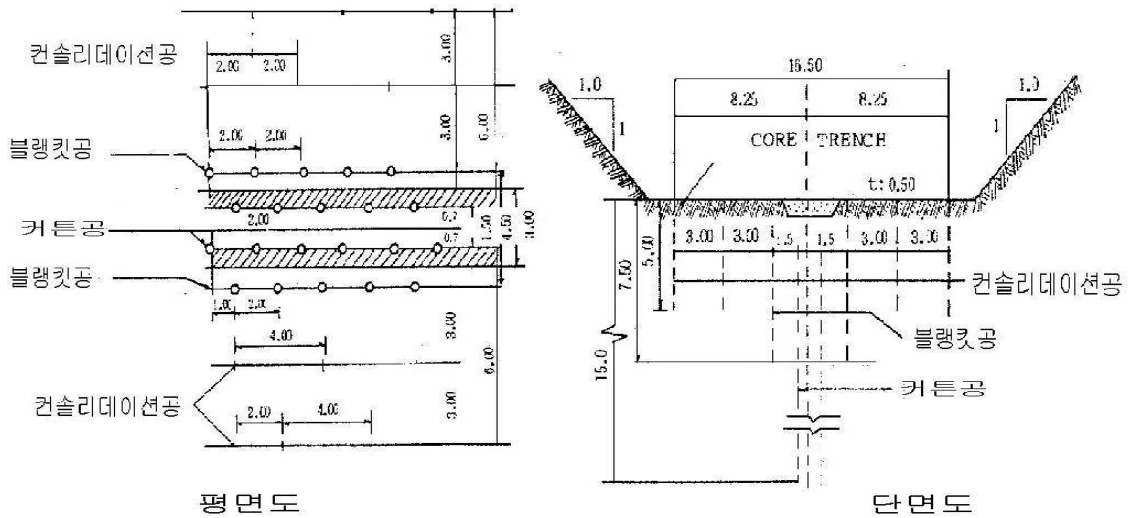


그림 4.5.25 필댐의 커튼 지수벽 위치(장성댐)

다) 주입열

커튼 그라우팅 공의 주입열은 댐체의 규모, 터파기면의 폭, 구성지층, 지질 구조대의 방향, 기초지반의 투수도, 침투로장 등 여러가지 요인에 의해 결정된다. 1열로 설계한 경우도 많으나 동수경사를 줄이고 파이핑 가능성을 억제하기 위해 넓은 커튼지수벽을 만들기 위해 2열 이상의 복수열로 하는 등 다양하다.

주입열의 수를 얼마로 하느냐에 대한 의견은 여러 가지이나 기초지반의 개량을 어느 수준으로 할 것이냐 하는 문제와 얼마나 철저한 조사를 하여 그라우팅을 하여야 하는 취약한 부분을 정확히 파악하였느냐에 달려있다. 즉 1열로 시공하여도 문제가 없다는 판단이 서면 1열로 시공할 수 있다. 예를 들면 절리나 파쇄대가 별로 없는 암반이거나, 지질구조대가 댐축방향으로 평행하게 발달하여 주입재의 확산범위가 축방향으로 우세하게 확산 될 경우에는 굳이 2열 이상으로 시공할 필요가 없다.

그러나 절리·파쇄대의 방향이 커튼 지수벽을 만들고자 하는 댐 종단방향으로만 발달하고 있는 경우는 거의 없다. 따라서 1열만의 커튼그라우팅 시공만으로는 연접한 주입공사이에 주입재 확산이 중첩되지 않으므로 커튼지수벽의 연결이 이루어지지 않아 향후 이 부분에 수압이 집중될 가능성이 크므로 최소 2열 이상으로 계획한다.

복수열의 간격은 1.5 m 를 넘지 않도록 계획하여 주입재의 확산범위가 중첩되도록 하므로써 주입열사이에 주입이 되지 않은 공간이 남지 않아야 한다.

라) 주입공 간격

주입공의 간격은 주입열의 수와 간격, 기초지반의 투수성, 주입량, 주입영향 범위, 주입재의 종류, 그라우팅 목적 등에 의해 좌우되므로 시공직전의 시험 그라우팅 과정에서 표준간격을 결정해야 한다. 암반 그라우팅에서는 공간격을 1.0~3.0 m로 취하며 더 이상 공간격을 좁히는 것은 비효율적이다. 또한 일반적으로 공간격을 3 m 이상으로 취하지는 않는다. 그러나 단층 파쇄대가 발달하는 등 특별히 약한 부분에는 간격을 훨씬 좁혀야 한다.

마) 주입심도

주입심도는 침출수량을 최소화하고 양압력을 줄일 수 있으며 배수시설을 최소화 할 수 있는 심도까지 정하여야 할 것이다. 저수지에서의 누수는 수심이 깊을수록 심할 것이므로 댐이 높을수록 심도는 깊게 잡을 필요가 있다. 가능하면 치밀건고한 불투수성 심도까지 정하면 좋다. 이외에도 댐 형식과 지수 커튼을 따른 침투로장 등이 고려되어야 한다. 경험적으로 커튼 그라우팅 주입공의 심도를 다음의 식으로 구하기도 한다.

① $d = H/3 + C$

d : 공의 깊이(m), H : 댐의 최대수심(m), C : 정수 (8~23)

② $d = a H$

d : 공의 깊이 (m), H : 댐의 최대수심 (m), a : 정수 (0.5~1.0)

미국 개척국은 a 값을 기초가 양호한 경우에는 30~40 %, 불량한 경우에는 70 %까지 취하고 있다. 이외에도 댐 수두의 2/3에 해당하는 심도를 기본계획에서 정하기도 한다. 이와 같은 경험적 방법에는 정수의 폭이 대단히 넓은데 이는 심도결정이 단순한 공식에 의해 결정할 수 있는 것이 아니고, 지형, 지질, 절리, 파쇄대의 발달방향, 댐의 규모 등 여러 가지 조건을 충분히 고려하여야 하며 유사한 조건에서의 댐 기초처리 사례를 참고하여 결정하여야 함을 의미한다. 즉 획일적인 설계·시공은 타당치 않음을 추론케 하고 있다. 그러나 정수의 적용은 이 분야 기술자들 사이에도 의견이 분분할 뿐만 아니라, 일반적으로 암반의 투수성은 심도가 깊어질수록 낮아지므로 시공심도는 루전시험과 주입시험에 의해 결정함이 합리적이다.

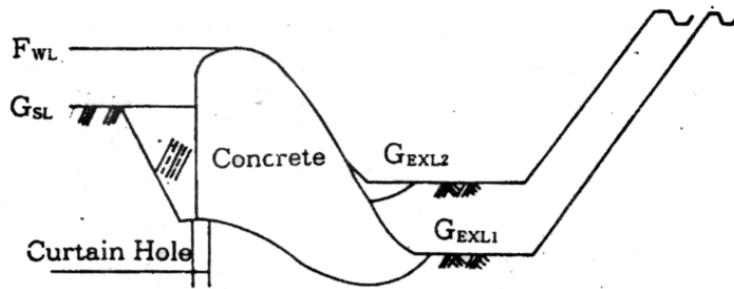
시공심도 결정을 위한 루전시험은 댐터의 평탄부나 경사부에서 최소한 최대수심의 1/2정도까지 한다. 그리고 물넘이 위치의 커튼 그라우팅심도는 다음의 공식에 의해 주로 결정한다.

$$D_{\max} = R + \frac{H}{3}$$

$$= (G_{SL} - G_{EXL1}) + (F_{WL} - G_{EXL1})/3$$

$$D_{\min} = R + \frac{H}{3}$$

$$= (G_{SL} - G_{EXL2}) + (F_{WL} - G_{EXL2})/3$$



바) 시공순서

시험 그라우팅에서 결정한 공의 패턴 또는 미리 계획된 공간격에 의해 지반 개량이 목표치에 도달할 때까지 중간내삽법으로 시공함이 가장 좋은 방법이다.

수압시험의 자료와 시멘트 주입량을 비교하면서 시공을 진행하면 지반의 개량정도를 파악할 수 있어서 계획대로 시공을 시켜야 할지 아니면 공간격을 더 조밀하게 보완시공하여야 할지 또는 계획된 공을 생략할 수 있는지를 판단할 수 있기 때문이다.

커튼 그라우팅 공이 1열만 계획되어 있을 때는 내삽법으로 시공하면 되지만 2열일 때는 하류측열(후열)을 먼저 시공하고 나중에 상류측(전열)을 시공한다. 3열 시공은 하류측열→상류측열→중간열 순서로 시공한다. 이처럼 하류측을 먼저 시공하는 이유는 하류측 주입으로 만들어진 그라우트 지수벽의 영향으로 인해 상류측으로 주입재가 우세하게 확산되기 때문이다. 이 때 모든 열의 주입은 내삽법으로 시공해야 지반개선정도, 주입량의 감소율을 알아 볼 수 있다.

댐체부터 상류방향으로 주입재가 우세하게 확산되면 누수경로의 근원이 되는 상류측이 넓게 지수되는 효과가 있어서 좋으며, 댐체 지수벽을 통과한 침출수는 투수도가 약간 큰 하류측에서는 빨리 배제되는 효과가 있기 때문이다. Houlby는 만약에 하류측의 수밀성이 더 높으면 침출수가 빨리 배제되지 않고 저류되는 현상이 생기므로 상류측의 지반개선을 하류측보다 더 수밀하게 계획하여야 한다고 하였다.

나. 찬공계획

1) 찬공기

회전식시추기는 BX 구경으로 150 m 이상 찬공 할 수 있는 능력이어야 하고 동력은 20 HP 이상, 회전수는 1,200 rpm 이상이어야 한다.

충격식 장비로 컨솔리메이션주입공 또는 커튼 주입공을 찬공토록 설계한 경우에는 설계심도를 무리없이 찬공할 수 있는 능력이어야 하며, 암분의 비산과 스라임의 원활한 배제를 위해 습식으로 찬공할 수 있는 구조이어야 한다.

찬공기는 작업장의 조건, 지질여건, 찬공심도, 찬공구경, 작업내용 등을 고려하여 선정한다. 장비의 능력이 우수해야 함은 물론이고 바퀴, 크롤러 또는 스키드에 탑재되어 장비의 이동이 원활하여야 하며 완만한 경사부에도 무난히 이동할 수 있는 장치가 있으면 더욱 이상적이다.

이외에도 안전사고가 발생하지 않게 안정적이어야 하며 공의 편차발생을 줄일 수 있는 부대장치의 확보도 필수적이다. 어떤 장비이든 룯드의 연결·절단이 신속하여야 하고 360°임의의 각도로 찬공할 수 있어야 하며 이동이 자주식이어야 할 뿐 아니라 암질에 따라 빗트의 회전속도를 조정할 수 있는 다단변속기가 부착된 것이어야 한다.

2) 찬공 구경

토사층의 찬공구경은 BX, 암반층은 AX로 설계하나 암반층의 조사공과 검사공은 BX로 계획하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 주입재의 침투상태를 확인코자하는 경우는 NX 이상의 구경으로 설계한다.

찬공장비의 성능, 찬공도중에 발생하는 스라임의 효과적인 배제, 주입직전의 공내세척의 용이성, 패커사용 여부, 공내 붕락가능성, 암석 상태, 찬공경사각, 찬공심도 등을 고려하여 정한다. 규격별 공경은 표 4.5.3과 같다. 찬공구경은 가능한 한 작은 것을 택해야 찬공공사비를 줄일 수 있다. 주입공은 AX 또는 EX로 계획하나 공내세척의 편리성, 지질구조대의 암편 돌출가능성, 주입수의 배제(bleeding), 공의 편차 발생방지 등을 감안하여 AX로 설계함이 타당하다. 그러나 조사공과 검사공은 시추코어의 관찰을 위해 회전식 공법으로 BX 이상의 구경으로 계획한다.

특히 검사공에서 절리, 균열 등에 주입된 주입재의 상태를 확인하고자 할 때는 최소 NX로 찬공한다. 그러나 찬공수의 압력 분사와 코어바렐의 진동으로

인해 주입재가 제거되어 확인이 어려울 때가 많다. 개보수나 성토과정에서 그라우팅을 할 때는 점토층은 BX구경 이상으로 하여야 하며, 자갈이나 호박돌이 많은 경우에는 케이싱타입 및 주입관 설치를 위해 최소 NX구경으로 하여야 하며 때로는 150 mm 구경 이상으로 찬공을 해야 할 때도 많다. 참고로 미국 USBR의 케이싱 및 빗트의 규격은 표 4.5.4과 같다.

표 4.5.3 찬공규격별 공경

Code	공 경	
	inch	mm
XRT	1.0	25
EX	1.5	40
AX	2.0	50
BX	2.5	65
NX	3.0	75
Roller bit		
소형	2.5	65
대형	3.0	75
Percussion bit		
소형	1.5	40
대형	2.5	65

표 4.5.4 케이싱 및 빗트의 종류와 규격

구 분	빗트규격(mm)		케이싱 규격(mm)		코어직경 (mm)	비 고
	내경	외경	내경	외경		
EX	21.5	37.3	38.1	46.0	21.4	
AX	30.0	47.6	48.4	57.2	30.0	
BX	42.0	59.6	60.3	73.0	42.0	
NX	54.7	75.3	76.2	88.9	54.7	
HX	80.9	98.8	100.0	114.3	76.2	

3) 찬공방향

커튼 그라우팅의 찬공방향과 찬공각도는 절리계의 방향과 경사 그리고 실제 가능한 시공성에 의해 정한다.

주입공은 절리를 직각으로 절단하는 방향이 바람직하다. 이는 주입재가 절리로 침투하는데 가장 유리한 수리조건을 만들기 때문이다. 그러나 절리계가 여러 방향성을 가질 때 각각의 절리를 이상적으로 절단할 수가 없으므로 각 절리의 중요도, 투수성, 시공성을 감안한 절충방향을 택해야 한다.

현장에서 단순한 절리계 일 때는 숙련된 기술자는 적절한 경사 방향과 경사도를 결정할 수 있으나 복잡한 절리계 일 때는 스테레오네트(stereo net) 또는 하반구등면적투영법으로 작성하여 이를 정한다.

컨솔리데이션·블랭킷 그라우팅에서는 특별한 사유가 없는 한 수직찬공을 한다. 수직공을 찬공할 때는 간이수준기와 직각형의 판재를 시추롯드에 대어 보면 수직을 잡을 수 있으며, 한 개의 절리면 절단을 위한 경사공 일 때는 수준기와 기포경사계로 각도를 잡을 수 있으나 두 개 이상의 경사면을 절단하는 찬공방향과 각도를 잡을 때는 프리즘콤파스(prismatic compass)와 같은 측량장비로 합성각과 방위각을 취한다.

절리의 경사가 $30 \sim 60^\circ$ 범위일 때는 수직찬공으로 쉽게 절단되어서 주입재 확산 효과가 좋으며, 수평절리나 수직절리보다 들림현상도 거의 없다. 수직절리가 발달된 곳에서는 찬공능률이 떨어지지만 경사찬공으로 설계해야 한다.

다. 투수시험

1) 일반사항

가) 시험방법

토사층에서는 변수위시험법이나 패커투수시험법 적용을 원칙으로 하며, 이 때 시험구간 상부의 케이싱과 시추공벽 사이에는 공간이 발생하지 않도록 케이싱 타입이 철저하게 되어야 하며, 공간이 발생하였다고 판단될 때에는 이 공간을 주입재로 채워 이 사이에 주수가 되지 않도록 해야한다. 암반층의 투수시험은 패커투수시험법이나 루전시험법으로 하며 하향식으로 싱글패커를 사용해야 하고 시험구간(stage)은 $3 \sim 5$ m로 한다.

나) 펌프, 수량계, 압력계의 규격

펌프는 시험방법에 따라 다르나 기본조사·실시설계 조사공의 투수시험과 시험 그라우팅 때는 $100 \sim 200$ l/min 이상의 송수능력이 있어야 하고 여러

단의 기어가 장착되거나 엔진의 속도조절로 송수량이 조절되어야 한다. 그러나 시공완료 후 확인투수시험 때는 60 ℓ/min 펌프를 사용할 수 있다.

수량계는 흡입·배출구경이 25~40 mm이고 200 ℓ/min 이상을 측정할 수 있는 “디지털” 형태이어야 한다. 압력계는 눈금단위가 0.1 kgf/cm²인 것을 사용하고 오일을 충전한 안전장치(gauge saver)가 부착되어야 한다. 이때 수량계와 압력계는 나란히 배열되어야 하고 지면에서 1 m 정도 높게 설치한다.

다) 시험압력과 시간

시험심도 m당 투수시험 압력은 토사층에서는 0.11 kgf/cm²/m, 암반층은 0.23 kgf/cm²/m를 기준으로 하나, 암반층은 변위가 일어나지 않는 한 조금 높게 적용한다.

Lu시험은 낮은 압력→중간 압력→높은 압력→중간 압력→낮은 압력의 5단계로 실시한다.

시험시간은 패커투수시험 때는 압력별로 안정이 이루어진 후 5분 간격으로 압력과 주수량이 3회 이상 같은 값이 될 때까지 하며, Lu시험은 압력단계별로 5~10분으로 한다.

2) 변수위시험법

투수시험코저하는 구간 윗부분까지 찬공한 후 케이싱을 타입하고 시험구간만큼 더 파낸다. 케이싱내의 물을 퍼내거나 주수한 후의 시간별 수위변화를 측정하여 투수계수를 산출하는데, 구경이 작은 케이싱을 사용하므로 공내의 물을 퍼내기가 어려워 대개 케이싱 정부까지 주수한 후 수위변화를 측정한다. 케이싱과 공벽사이의 공간은 그라우팅을 하여 이 사이로 물이 들어가지 않게 한다. 이 방법은 지층이 점토 또는 실트질점토로서 시험구간이 무너지지 않을 경우에 사용할 수 있다.

$$\text{사용공식은 } K = \frac{r^2}{2L(T_2 - T_1)} \ln\left(\frac{L}{r}\right) \ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right) \text{ 또는}$$

$$= \frac{(2.3)^2 r^2}{2L(T_2 - T_1)} \log\left(\frac{L}{r}\right) \log\left(\frac{H_1}{H_2}\right) \text{ 이다.}$$

K : 투수계수(cm/s), r : 공의 반경(cm)

L : 시험구간(cm), H₁ : 임의의 시간 (T₁)의 수위(cm)

H₂ : 임의의 시간 (T₂)의 수위(cm), (단, L/r > 8의 조건)

시험구간이 무너질 때는 이 구간에 유공관의 케이싱을 설치하여 투수시험을 하는 방법도 있으나 지층의 많은 부분이 케이싱으로 막히게 되어 투수계수의 정확도는 떨어진다.

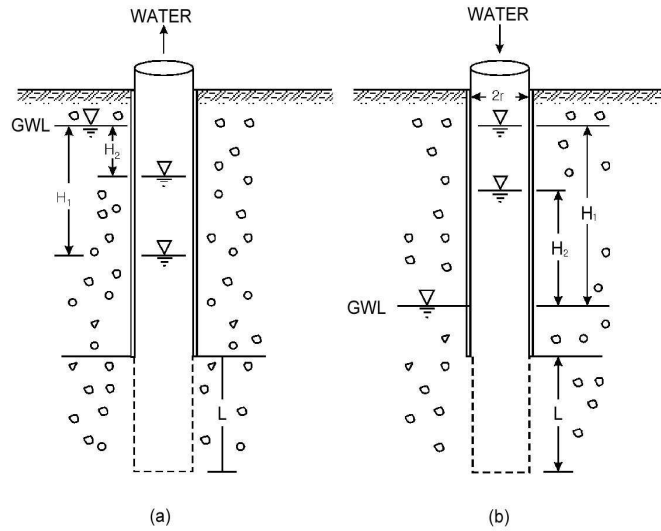


그림 4.5.26 변수위시험법

3) 패커 투수시험법

균열성 암반의 투수성을 평가하기 위하여 일반적으로 널리 이용되고 있는 현장 투수시험방법으로서 그림 4.5.27 과 같이 시추공내 일정한 길이의 주수구간에 압력수를 주입하고 주수량과 주수압의 관계를 이용하여 그 구간의 투수계수를 다음의 공식으로 구하는 방법이다.

$$K = \frac{2.3Q}{2\pi LH} \log\left(\frac{L}{r}\right) : L \geq 10r$$

여기서, K : 투수계수(cm/s), H : 수두(cm) < Hg(gravity) + Hp(pressure) >

r : 공의 반경(cm), Q : 주수량(cm³/s)

위 식에서 투수계수는 주수량에 비례한다고 가정하여 동수경사가 1 일 때의 평균유속으로 투수성을 표현한 것으로서 균열성 암반 중의 물의 흐름과 같이 Darcy의 법칙이 적용되지 않는 조건하에서는 그 자체의 의미를 상실하지만 어느 지반의 투수도를 비교하고 분류하는데는 충분한 의미를 갖는다.

투수시험은 찬공이 끝난 후 특정한 구간의 상하 2개소에 패커를 설치하여 주수하는 더블패커(double packer) 방식이 있고 찬공을 하는 과정에서 필요한 구간을 정하여 시험하는 싱글패커(single packer) 방식이 있다. 전자는 패커를 빼내지 않고 연속적으로 시험을 할 수 있어 능률적이지만 패커의 암반 밀착 불량으로 누수될 가능성이 커서 실제보다 큰 값의 투수계수가 산출될 수 있으므로 후자의 방법이 더 좋다.

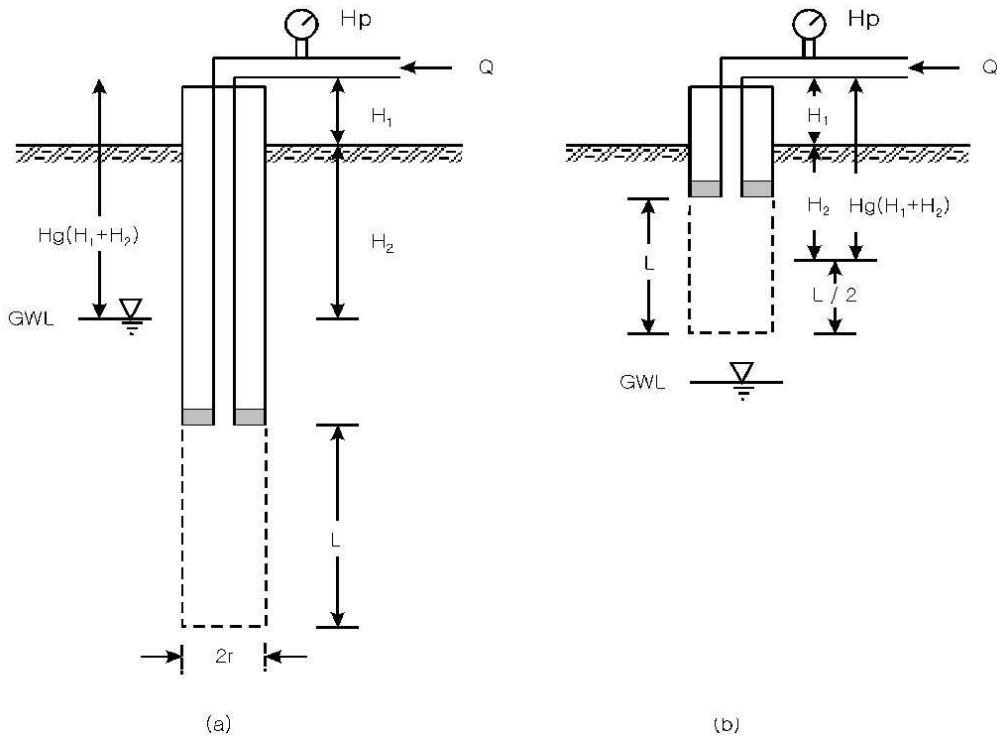


그림 4.5.27 패커투수시험법

일반적으로 투수시험 구간은 높은 댐의 기초지반에서는 5 m로 하나, 낮은 댐에서는 3 m 정도로 구간을 잡아 싱글패커를 사용하여 하향식으로 시험한다. 만약에 무너지는 구간이 길 때는 이 구간을 모두 찬공한 후 투수시험을 하기에는 무리가 있으므로 시험구간을 짧게 하는 방법이 가장 좋으며 시험후 이 구간을 시멘팅하여야 계속 찬공을 할 수 있다. 시험구간을 너무 길게 잡으면 주 투수구간의 위치를 정확하게 잡을 수 없어 주입심도 결정에 오류를 일으킬 수 있다.

4) 루전시험

가) 일반사항

루전시험은 공내에 물을 넣어서 투수도를 구하는 방법으로 1 Lu는 10 bars의 압력에서 시험구간 1 m당 1 ℓ/min의 주수량이 들어가는 조건의 투수도를 의미한다. 그러나 10 bars 압력은 대개 투수시험에서 너무 과다하여 훨씬 적은 압력으로 시험을 한 후 보정하여 Lu값을 산출하는데 이의 보정 방법은 다음과 같다. 실제 터파기 표부의 치밀 견고치 않은 암석에 10 bars의 압력을 적용할 수 없지만, 낮은 시험 압력에서도 만족할만한 시험결과를 얻을 수 있다.

$$\text{Lugeon 값} = \text{주수량}(\ell/\text{m}/\text{min}) \times \frac{10(\text{bars})}{\text{실제압력}}$$

$$1 \text{ Lugeon} = 1.3 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

1 Lu는 그라우팅이 거의 되지 않을 정도로 수밀(水密)하여 물이 새지 않을 정도의 지반상태이며, 10 Lu는 댐 형식에 관련없이 불균질한 지층에서는 대개의 경우 그라우팅을 한다. 100 Lu는 절리가 심하게 발달되었을 뿐 아니라 절리의 틈이 개구상으로써 주입수가 다량 들어가는 지반상태이다.

나) 시험방법

시험방법은 패커 투수시험 방법과 동일하며 시험구간은 5 m 정도로 하나, 낮은 댐에서는 짧게 잡는 것이 투수성 지층심도를 정확하게 파악할 수 있어 그라우팅계획이 과다해지지 않게 된다. 부정확한 Lu값은 주로 패커의 누수에 그 원인이 있다. 또한 집어넣은 물이 시험구간에서 방사상 또는 수평상으로 들어가지 않고 시험구간에서 윗쪽 또는 아래쪽으로 발달된 절리계를 따라 물이 들어가는 경우에도 생긴다. 이와 같은 부정확성을 줄이기 위해서는 싱글패커를 사용하여 찬공과정에서 수시로 시험하는 하향식 수압시험을 채택한다.

펌프는 패커투수시험에서 처럼 200 ℓ/min의 능력이 있는 것을 사용해야 하며 여러 단의 기어가 장착된 것이거나 엔진의 속도를 조절하여 회전수가 빨라질수록 펌프의 송수능력이 증가하는 것을 반드시 사용해야 한다. 밸브를 잠그어야 시험압력을 높일 수 있는 펌프는 송수량이 줄어들므로 이 자료로 구한 Lu값은 큰 의미가 없다.

다) 적정시험압력

시험압력은 낮은 압력→중간 압력→높은 압력→중간 압력→낮은 압력의 5단계로 실시한다. 시험압력은 높은 압력을 적용하여도 암반에 변위나 파쇄가 발생하지 않는다면 최대 10 bars까지 올려 볼 수 있다.

경험법칙으로는 치밀한 암반에서는 최대 시험압력을 심도 m당 0.23 kgf/cm² (= 1 psi/ft²)이 적당하며 암질이 불량할 때는 더 적은 압력을 적용한다.

지표면 또는 터파기면에 가까운 얕은 심도나 연암에 높은 압력으로 주수하면 지반이 교란되므로 적은 압력을 적용하고 Lu값을 보정하여 산출한다.

단계별 시험압력은 주입수가 정류(steady flow)된 상태에서의 압력을 의미하며, 실제 이처럼 안정이 될 때까지는 10분 정도 소요된다. 단계별 실제 시험시간은 5~10분으로 하는데 조사공의 경우에는 보통 10분 정도가 바람직하다.

라) Lu값과 그라우팅 시공범위

Kutzner(1996)는 암반에서 실시한 투수시험자료, 시공경험 및 시멘트 주입

량으로부터 그라우팅 시공범위를 정하는 기준을 표 4.5.5와 같이 제안하였다. 즉 표의 Lu값보다 더 높은 투수성을 보일 때는 그라우팅을 시공한다.

표 4.5.5 암반위에 축조된 댐의 허용누수(Lu값)

암반의 투수성	준등방성		대단히 불규칙한 비등방성			
	투수층의 주향이 계곡에 평행		투수층의 주향이 계곡에 평행		투수도가 적은 지층의 주향이 계곡을 횡단	
투전시험의 특성	층류	난류	층류	난류	층류	난류
·균일형댐 (긴침투로장)	10 ~ 15	8 ~ 12	10 ~ 15	8 ~ 12	<20	<40
·록필댐/중심코어 (중간정도의 침투로장)	8 ~ 12	5 ~ 8	8 ~ 12	5 ~ 8	<15	<30
·록필댐/표면차수벽 (짧은 침투로장)	5 ~ 8	3 ~ 5	5 ~ 8	3 ~ 5	<12	<20
·콘크리트댐 (배수공에 의해 양압력 감쇠)	5 ~ 8	3 ~ 5	5 ~ 8	3 ~ 5	<12	<20
최소 시멘트 주입량 (kg/m)	30	30	30	30	30	30

표에서 허용누수값(Lu값)은 침투로장이 짧을수록 작아진다. 층류의 조건에서는 난류에서보다 약간 큰 값을 허용하는데, 이는 난류발생은 높은 투수도를 보이는 개구상의 절리(open joint)를 의미하며 양호한 시공효과를 거둘 수 있기 때문이다. 투수성지층의 주향이 계곡에 평행한 경우 준등방체나 비등방성의 지반에서 허용되는 Lu값은 차이가 없는데, 이는 상류에서 하류방향으로 발달한 주향을 따라 누수되는 현상은 같기 때문이다.

대개 지반개선 목표 Lu값은 높은 댐, 특별한 위험이 있다고 예상되는 경우 및 상부 터파기면을 포함한 표층부에는 낮은 값을 적용하고, 낮은 댐과 심부 지수커튼에는 비교적 높은 값을 적용한다.

라. 주입체계와 장비

1) 혼합기

주입체계는 주입재료를 혼합기에 투입하여 충분히 혼합되게 한 후 이를 교반기에 보내며, 교반기에서는 주입재료가 가라앉지 않도록 낮은 rpm으로 교반되어야 하며, 이를 주입펌프가 흡입하여 주입공으로 보내는 방법으로 갖추어져야 한다. 혼합기는 동력 25 Hp 이상, rpm 1,000 이상의 고속·고전단 믹서

로써 주입재료가 완전히 분리될 수 있는 것을 현장 투입하도록 설계한다.

시멘트는 미세립 입자로 물과 혼합되면 덩어리가 되려는 성질이 있어 입자의 표면이 흡수(wetting) 상태가 되는 것이 방해받으며 공기가 입자에 달라붙어 있어 흡수를 더욱 지연시킨다. 따라서 고속믹서를 사용하면 시멘트입자가 완전히 분리되므로 덩어리가 만들어지지 않고 입자의 표면이 수막으로 싸여 완전히 흡수될 수 있어서 시멘트 입자간에 화학적으로 충분히 활성화되게 하여 강도와 내구성 증대에 필요한 충분한 수화작용이 일어난다.

입자 개개가 분리되지 않은 덩어리 상태의 주입재는 미세한 절리에 침투되지 못하고, 균열의 좁아진 부분에 다다르면 그 부분에 막혀 버려 더 이상의 주입재 침투를 방해하는 장애물의 역할을 하게 된다.

좋은 혼합기의 조건은 rpm 1500이상의 고속 로터(rotor)를 사용하여 15초 또는 1분 이내에 주입재료의 혼합을 끝낼 수 있어야 한다. 이 고속 로터는 격렬한 와류와 고전단(high shearing) 작용을 하여 신속하게 완전한 혼합이 되도록 할 뿐 아니라 혼합이 다 된 주입재를 교반기로 보내는데 사용된다. 고속혼합기로 시멘트는 물론이고 모래, 벤토나이트, 플라이애시 등 모든 주입재료를 효과적으로 혼합시킬 수 있다. 혼합기를 회전시키는 동력은 15~25 Hp 정도이다.

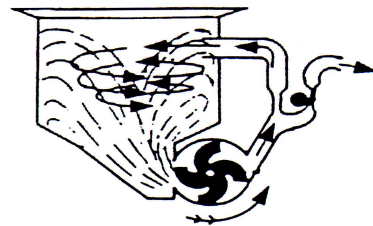


그림 4.5.28 시멘트입자의 막힘현상 그림 4.5.29 고속전단 혼합기

2) 교반기

rpm 100 이상이어야 하며 1조의 용량이 200 ℓ이고 토출관경은 50 mm 이상이어야 한다. 수직축에 2조의 페달이 장착되어야 하며 가장 아래쪽의 페달은 드럼의 바닥 가까이에 부착된 것이어야 한다. 또한 주입량을 측정할 수 있는 계심장치가 있어야 하며, 교반기는 뚜껑이 없어서 육안으로 주입속도를 관찰할 수 있는 구조이어야 한다. 교반기는 혼합기에서 만들어진 주입재를 저장하는 곳으로서 주입펌프에 의해 주입공으로 보내지기 전까지 주입재가 침전되지 않도록 계속 교반하는 장치이며, 주입공으로 주입되지 못하고 패커에서부터 되돌아오는 주입재가 모아지는 곳이기도 하다.

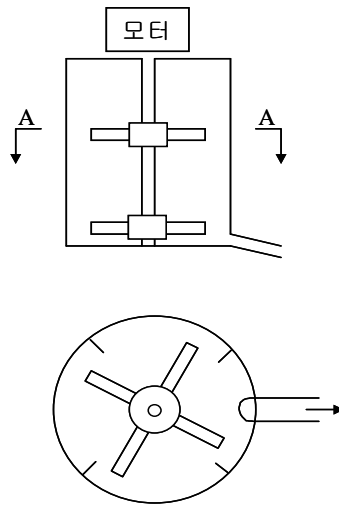


그림 4.5.30 교반기

교반기 크기는 대개 200 ℓ 이고 rpm은 100이 적당하다. 그림 4.5.31과 같이 2조의 페달을 수직축에 부착시키며 가장 아래쪽의 페달은 드럼의 바닥 가까이 에 부착시켜야 주입재의 침전을 막을 수 있다.

교반기에는 주입량을 측정할 수 있는 계심장치(dipstick)를 하여야 하고 주입을 담당하고 있는 기술자들이 항상 주입속도를 관찰할 수 있게 뚜껑이 없는 것이어야 한다.

3) 주입펌프

주입도중 압력의 변동이 적은 피스톤펌프, 나선형 로터펌프, 다이어프램 펌프 등을 사용하고 배출압력 25 kgf/cm² 이상, 배출량 70 ℓ/min 이상, 배출관경 50 mm 이상을 사용토록 설계한다.

펌프는 교반기에 담겨진 주입재를 빨아서 주입배관을 통해 주입공까지 보내는 역할을 하는 것으로 종류가 다양하다. 이들은 발브가 있는 것과 발브가 없는 것 두가지로 나뉘어진다. 발브가 없는 주입펌프에는 나선형로터(helical rotor)펌프, 와권(centrifugal)펌프가 있으며 발브가 있는 것에는 피스톤(piston) 펌프, 다이어프램(diaphragm)펌프, 램(ram)펌프 등이 있다.

4) 주입장착장치

주입량 조절시스템에는 주입재를 주입공내로 들어가게하는 주입량 조절밸브, 순환배관에서 주입공내로 들어가지 않고 교반기로 되돌아가게하는 리턴밸브, 그라우팅이 끝난 후 주입재 역출방지를 위한 역출방지밸브가 있다. 이외에

도 주입공내의 물과 빈배합의 주입재를 지표로 배제하는 브리더밸브와 교반기와 주입펌프 사이에서 양을 조절하는 밸브가 있으며 주입펌프에서 직관으로 주입재를 배출시키는 곳에도 밸브를 설치한다.

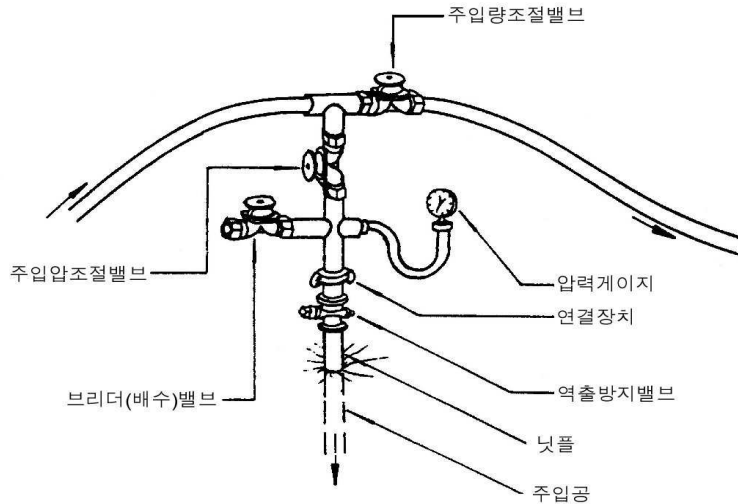


그림 4.5.31 넛플에 설치하는 조절장치

5) 패커

패커는 주입대상구간을 몇 개로 나누어 주입재가 나누어진 구간에만 들어가도록 하며 수압시험 때도 시험구간에만 주수되도록 하는 장치이다. 또한 시추공 상부의 각종 조절장치를 단단하게 고정시키는 역할도 한다. 이는 기본적으로 붕괴된 지층이나 팽창된 지층에도 자유롭게 설치할 수 있어야 하고 주입압력이 가하여지더라도 움직이지 않고 고정될 수 있어야 하며 확실하게 막음(sealing)이 되어야 한다.

패커에는 기계식(mechanical)과 팽창식(inflated) 두 가지가 있는데, 기계식은 부드러운 고무로 만든 슬리브(sleeve)가 팽창하여 공벽에 밀착될 수 있도록 고안된 장치인데 지표에서 나사를 조이면 고무가 길이방향으로 팽창하여 공벽에 부착된다. 팽창식은 조그마한 튜브로 공급되는 압축공기, 질소 또는 수압으로 인하여 고무가 팽창되도록 하는 장치이다. 어느 것이 좋은 장치인가 하는 의견은 분분하나 대개 주입공이 원형이고 편평한 경우에는 기계식이, 공벽이 거칠어서 울퉁불퉁할 때는 팽창식이 좋다. 즉 세일, 사암, 석회암 등이 얇은 층후로 교호하여 발달하고 있어 공경이 불규칙한 퇴적암에는 팽창식이 좋다. 압력은 15 kgf/cm²까지 가능하다.

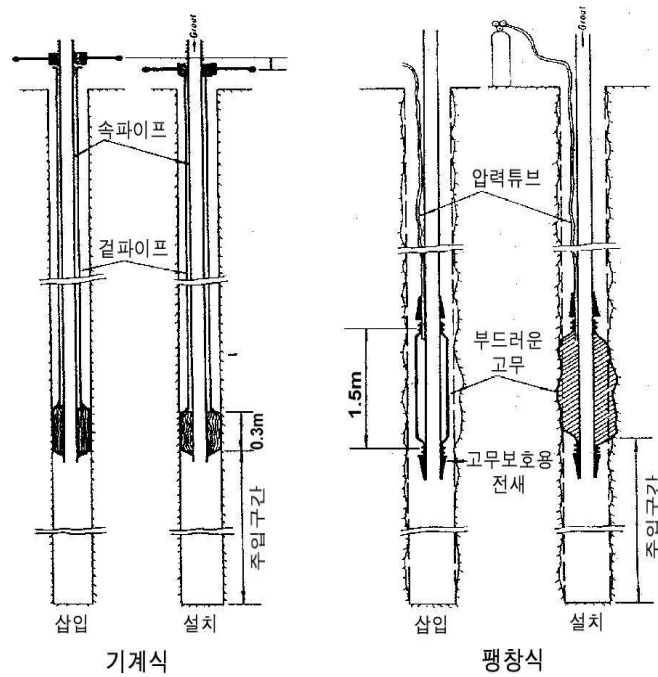


그림 4.5.32 패커

마. 주입재료

1) 주입재료로써 요구되는 기본성질

- 주입재료는 지반의 토립자 공극이나 암반의 절리 등에 침투성이 높아야 한다. 즉 주입재료의 입자가 작아야 한다.
- 그라우트중의 입자는 균등하게 분산하고 블리딩 현상이 적으며 유동성이 좋아야 한다.
- 고강도가 발현되고 수밀성과 내구성이 좋아야 한다.
- 주입재료에는 흙이나 지하수를 오염시키는 물질이 포함되지 않은 무공해라야 한다.
- 경제성이 있어야 한다.
- 주입대상지층의 물성과 유사해야 한다.

2) 물

현탁액이나 약액에 들어가는 물은 주입재의 고결이나 최종 특성에 유해한 영향을 미치는 물질 즉 칼슘이나 나트륨염이 많이 용해되었거나, 강산·강알칼리 성분의 물은 사용하지 말아야하고 또한 유기물질이 함유되지 않은 깨끗

한 것을 사용해야 한다. 음용수나 생활용수로 사용할 수 있는 정도이면 만족하며 특별한 주변여건으로 유해한 성분이 함유되었을 것으로 의심이 되면 수질시험 분석을 해야 한다. 특히 방조제 그라우팅공사 때 담수호의 물을 사용해야 할 경우에는 수질에 대한 검토가 필요하다. 주입수로 사용되는 물의 온도는 10 ~ 37℃ (50 ~ 100°F)이어야 한다.

3) 시멘트

포틀랜드 시멘트는 KSL 5201에 의하면 5가지 종류가 있으며 제1종은 보통 포틀랜드 시멘트로 불리우며 재료값이 싸서 그라우팅 재료로 가장 많이 사용하고 있다. 그러나 다른 포틀랜드 시멘트에 비해 내화학성이 떨어진다. 제2종은 보통정도의 내황산염용으로 만들어졌으며 1종에 비해 수화열 발생이 적다. 제3종은 조강 시멘트로 2주 정도에 강도가 나야하는 긴급한 그라우팅에 사용되며 다른 포틀랜드 시멘트에 비해 입경이 작기 때문에 미세한 공극의 주입재료로 사용하기도 한다. 이의 분말도는 3,300 cm^2/g 이상으로 다른 포틀랜드 시멘트에 비해 세립이어서 빨리 응결되어 조기강도가 실현된다. 강도실현이 빠르나 다른 포틀랜드 시멘트에 비해 강도가 그리 높지는 않다. 수화과정에서 수화열이 격렬하게 발생하나 기온이 높지 않으면 그라우팅에 크게 나쁜 영향은 미치지 않는다. 제4종은 제2종에 비해 수화열이 적고 제1종에 비해 강도실현이 늦으며, 그라우팅 재료로는 일반적으로 사용치 않으나 높은 수화열이 있어서는 안되는 대용량의 그라우트주입에 사용된다. 제5종은 황산염이 많은 토사나 지하수가 있을 때 사용하는 것으로 강력한 내황산염 그라우트 재료이다. 포틀랜드 시멘트의 분말도는 2,800 cm^2/g 이상, 최대입경은 0.1 mm(100 μm)이며 물리적 성능은 표 4.5.6과 같다.

해수나 온천지역과 같이 염소이온이나 황산염이온이 많은 지역의 구조물에 사용될 수 있는 시멘트는 보통 포틀랜드계 5종 시멘트가 사용되고 있다. 5종 시멘트는 내화학성을 높이기 위해서 시멘트 수화물의 화학적 저항성에 영향을 미치는 $\text{C}_3\text{A}(3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3)$ 량을 규격화하여 5 % 미만으로 관리되고 있지만, 다른 물리·화학적 특성은 보통 포틀랜드시멘트와 차이점이 거의 없다.

최근에는 내화학성 시멘트로 고로슬래그 시멘트나 플라이애시 시멘트 등 혼합시멘트가 더 일반적으로 사용되는 경향이다.

4) 초미립자 시멘트

분말도 6,000 cm^2/g 이상인 콜로이드시멘트 또는 8,000 cm^2/g 이상인 건식 마이크로시멘트를 사용하거나, 습식분쇄장치에서 초미립화한 습식시멘트를 사용할 때는 제품의 분말도를 포함한 물리적 특성 분석표를 제출하도록 시방서에

명기하여야 한다.

표 4.5.6 포틀랜드 시멘트의 물리적 성능

항 목		종 류		1종	2종	3종	4종	5종
				(보통)	(중용열)	(조강)	(저열)	(내황산염)
분말도	비표면적(Blaine)		2800 이상		2800 이상		3300 이상	
	cm ² /g		2800 이상		2800 이상		2800 이상	
응결 시간	길모어 시험	초결 분	60 이상	60 이상	60 이상	60 이상	60 이상	
		종결 시간	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	10 이하	
	비 카 시험	초결 분	45 이상	45 이상	45 이상	45 이상	45 이상	
			375 이하	375 이하	375 이하	375 이하	375 이하	
수화열 cal/g	7일		-	70 이상	-	60 이상	-	
	28일		-	(80 이하)	-	70 이하	-	
압축 강도 kgf/cm ²	1일		-	-	130 이상	-	-	
	3일		130 이상	110 이상	250 이상	-	90 이상	
	7일		200 이상	180 이상	280 이상	75 이상	160 이상	
	28일		290 이상	285 이상	310 이상	180 이상	210 이상	

주입재료의 입자가 작을수록 침투성이 좋아지므로 70년대 후반부터 일본에서는 시멘트입자를 보다 더 미립화시켜서 현탁형 그라우트의 주입성을 개선시키고자 노력하였다. 이에선 초미립자 시멘트(마이크로시멘트)와 미립자 시멘트(콜로이드 시멘트) 두 가지가 있으며 국내에서도 생산 공급되고 있다.

포틀랜드 시멘트의 최대 입경은 100 μm, 평균입경 17 μm인데 비해 국내에서 생산판매되고 있는 마이크로 시멘트는 각각 24 μm, 4.2 μm이며, 콜로이드 시멘트는 각각 24 μm, 7.5 μm이다.

표 4.5.8과 같이 마이크로 시멘트나 콜로이드 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트에 비해서 장기강도는 물론이고 초기강도도 매우 우수한 특성을 보이고 있다. 따라서, 주입공사시 보통 포틀랜드시멘트에 비해 주입성이 좋고 고강도가 발현되며 내구성도 향상될 것으로 판단된다.

분말도가 크다는 것은 현탁액 그라우트의 전단저항력이 작아지기 때문에 주입압의 손실을 줄일 수 있으므로 침투력이 향상되고, 주입반경을 넓힐 수 있다는 것을 의미한다.

표 4.5.7 시멘트계 주입재의 일반적인 입도분포 비교 (단위 : 누적통과율 %)

주입재종류 입경크기(mm)	마이크로 시멘트	콜로이드 시멘트	보통 시멘트
1	10.1	8.9	4.7
1.5	13.4	11.1	5.6
2	19.2	16.4	8.3
3	30.1	24.5	11.3
4	48.3	33.4	16.1
6	79.6	44.7	21.7
8	87.3	58.2	28.4
12	98.4	89.6	36.7
16	99.8	95.1	48.0
24	100.0	100.0	62.2
32			77.9
48			93.7
64			97.2
평균입경(d ₅₀)	4.2	7.5	17.1

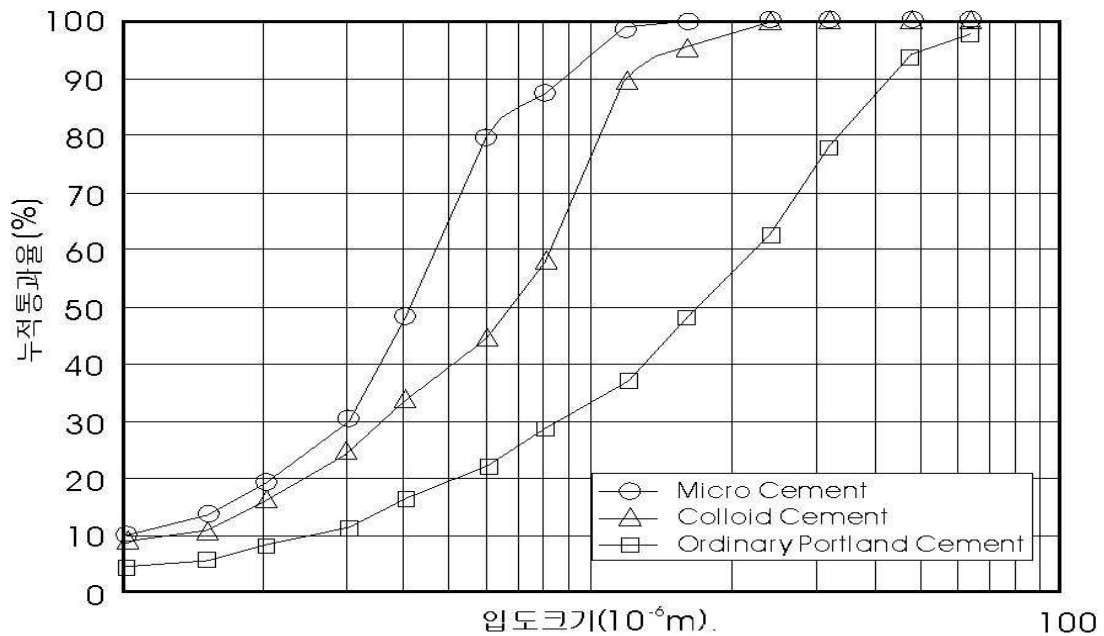


그림 4.5.33 시멘트계 주입재의 입도분포 곡선

표 4.5.8 시멘트계 주입재의 물리적 특성치

항 목		주입재종류			
		KS 규정값	마이크로 시멘트	콜로이드 시멘트	보 통 시멘트
비 중		-	2.94	3.02	3.15
분말도 (cm ³ /g)		2800 이상	8150	6620	3250
응 결 (Vicat)	w/c (%)	-	30.5	29.3	28.7
	초결 (분)	60 이상	205	195	170
	종결(시 : 분)	10 이하	8 : 05	7 : 45	7 : 30
압 축 강 도	w/c(%)	-	50.7	49.4	48.5
	1일(kgf/cm ²)	-	162	162	61
	3일(kgf/cm ²)	130 이상	356	299	202
	7일(kgf/cm ²)	200 이상	535	480	264
	28일(kgf/cm ²)	290 이상	689	570	405

5) 벤토나이트

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

6) 모래

물탈용 모래입도는 No. 16체(1.19 mm)를 통과하여야 하며 No. 100체(0.149 mm)를 통과하는 세립질이 25 % 이하일 때는 주입재의 운반능력이 떨어지므로 세립질을 첨가해야 한다. 사용하려는 모래는 입도분석을 하여야 하며 결과에 따라 벤토나이트 등의 혼화제 사용여부를 검토해야 한다. 모래는 주입 비용을 아끼기 위해 시멘트와 혼합하여 모래질그라우트(모르타르)재료로 사용하는데 이는 대단히 큰 절리나 뒷채움 그라우팅 등에 극히 제한적으로 이용된다. 모래는 반드시 입도분석을 하여 굵은 크기의 입자는 체로 쳐서 제거하는 등 작은 입경만을 사용해야 하며 혼화제 첨가없이 모래 : 시멘트 = 2 : 1 정도의 모르타르 주입이 한계점이다. 더욱이 주입장에서부터 주입공까지의 거리가 100m 이상으로 멀거나 주입장보다 높은 위치에 주입할 때는 주입배관이 막히는 등 시공상에 어려움이 대단히 많다. 모르타르는 침하현상 때문에 바람직한

주입재가 아니므로 가능하면 이의 설계·시공은 하지 말아야 한다.

7) 주입재료의 선정

암반에 대한 주입재료는 보통 포틀랜드시멘트로 설계하는 것을 원칙으로 한다. 그러나 주입성을 증대시키기 위해 벤토나이트를 소량 첨가할 수 있는데 시멘트 중량의 4 %를 초과해서는 안된다.

시험그라우팅 때 미세절리로 인하여 지반개선효과가 개량목표치 이하 일 경우에는 초미립자시멘트 설계를 고려한다.

암반의 강도 및 내구성을 향상시키기 위해서는 포틀랜드시멘트 현탁액을 주입하는 것이 가장 바람직하다. 시멘트는 다른 주입재료에 비해 강도 발현이 우수하고 값이 싸며 쉽게 구할 수 있는 장점이 있어 국내뿐만 아니라 세계적으로 가장 많이 사용하고 있다. 또한 여러 가지 종류가 있어 지반의 여건이나 공사의 목적에 맞게 골라서 사용할 수 있다. 암반에 대한 그라우팅의 종류에 관계없이 보통 포틀랜드시멘트를 일반적으로 사용하고 있으나, 미세한 균열이 발달한 암반에는 시멘트의 입경 때문에 잘 침투되지 않는다. 따라서 절리틈새 크기를 조사하는 것이 설계나 시공에 필요하다. 절리의 크기는 시추코어나 터파기면의 암질조사 때 간단한 도구를 틈새에 집어넣어 보는 방법으로 조사해 보는 것이 가장 편리하다(클립 0.8 mm, 서류핀 0.6 mm, 옷핀 0.5 mm, 사무용칼 0.3 mm, 양면면도날 0.1 mm). 암반균열 주입에서 암반균열 폭과 주입가능한 주입재의 최대입경과의 관계를 J.K. Michel이 제안한 주입가능비는 다음과 같다.

$$N = \frac{D_{fissure}}{G_{max}} > 3$$

여기서, $D_{fissure}$: 암반균열폭, G_{max} : 주입재 입자의 최대 입경

보통 포틀랜드시멘트의 최대입경은 100 μm , 국내산 마이크로시멘트의 최대입경은 24 μm 이므로 주입이 가능한 암반균열의 최저폭은 보통 포틀랜드시멘트를 사용한 경우 300 μm , 마이크로시멘트를 사용한 경우 70 μm 수준이 된다. 따라서, 미세균열이 많이 발달된 암반지역에서는 마이크로시멘트나 콜로이드시멘트를 사용하는 것이 유리하다. T.B. Kennedy(1958)는 보통 포틀랜드시멘트가 0.2 mm 보다 작은 균열에는 주입이 불가능하다고 발표한 바 있으며, A.C. Houlsby(1990)는 주입에 특별한 주의를 기울이지 않더라도 0.5 mm에는 주입 가능하며 0.4 mm의 틈새일 때는 특별한 시공관리가 필요하다고 하였다.

보통 포틀랜드 시멘트보다 더 세립질인 주입재료를 쓰거나 규산소다 등의 약액을 사용하여 지수해야할 정도이면 그 암반은 대단히 양호한 상태이므로 그라우팅공사를 할 필요가 없다는 주장도 있다.

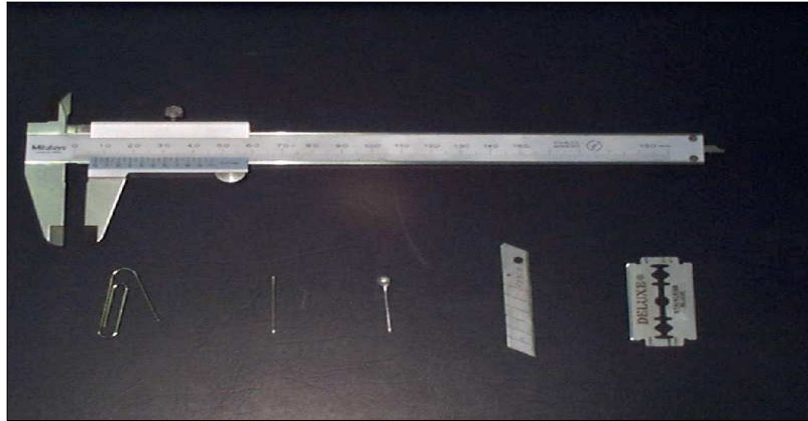


그림 4.5.34 절리의 크기를 측정하는 도구

그러나 시공과정에서 수압시험을 해보면 $K=10^{-4}$ cm/s 정도의 투수도를 나타내는 지층임에도 주입이 잘 되지 않아 지반개선이 거의 되지 않는 경우가 흔하다. 더욱이 규모가 큰 댐의 경우에는 묘안이 없어 약액주입으로 침투성을 높여 보거나 여러 공을 추가 시공하고 있다. 따라서 시험 그라우팅 때 주입 전후의 수압시험자료로 지반의 개선효과를 검토하여 미세절리로 인하여 보통 포트랜드 시멘트입자가 침투하지 못해 기대한 만큼 개선이 되지 않았다고 판단이 되면 다른 주입재 즉 초미립자시멘트나 약액을 사용하는 것으로 검토되어야 할 것이다. 그러나 그라우팅 예정지의 전구간, 전심도가 미세한 균열로 이루어진 것은 아니므로 미세절리구간과 심도에만 초미립자시멘트를 사용하거나, 설계주입량의 20~30% 정도를 초미립자시멘트를 반영하여 현장 주입과정에서 적절하게 사용토록 한다. 벤토나이트 사용은 주입재의 고결강도의 저하와 점성의 증가 같은 좋지 않은 현상이 생기므로, 부배합에서는 2%, 빈배합에서는 4% 정도를 사용하는 것이 좋다.

4.6 표준단면 설계

4.6.1 댐 축선의 선정

댐 축선은 지형 및 지질조건, 체체의 규모, 형식, 부대구조물의 형식 및 배치, 시공의 난이 등을 종합적으로 판단하여 댐 길이가 가장 짧고 체체의 체적이 최소가 되는 지형을 택하는 것이 원칙이다. 그러나 저수압에 의한 댐 중앙부의 인장응력, 댐 축의 수평이동, 미관 등을 고려하여 약간 아치모양을 취하는 경우도 있다.

가. 일반사항

양안부 기초바닥의 지질이 좋고 충분한 두께가 있고, 또 댐 길이가 가장 짧게 될 지형을 택하는 것이 원칙이다. 그러므로 대부분은 직선형으로 되나 불투수부가 얇은 댐에서는 저수압에 의한 변화를 고려하여 다소 아치 모양으로 해도 좋다.

댐 지점의 개략적인 위치가 결정된 뒤에도 댐 축선은 여러 가지로 생각할 수 있으며 그 비교가 불충분한 경우에는 비경제적인 굴착이나 댐의 부피 증대를 가져오기 때문에 표층의 지형적 관점뿐만 아니라 지질도 겸하여 가장 좋은 축선을 정해야 한다.

나. 댐 축선의 선정시 고려할 사항.

1) 댐의 위치가 대체로 결정되면 댐 축의 위치는 다각적으로 검토되어야 한다. 즉 몇 개의 예정선을 취하여 비교 검토하고 또 댐의 형식에 대하여도 비교할 필요가 있다.

2) 댐 축은 지형, 지질조건을 충분히 고려하여 선정해야 한다. 지형상 제체의 체적이나 굴착량을 최소로 할뿐만 아니라 단층이나 파쇄대 또는 산사태, 지층 등의 규모를 확인하여 가장 좋은 위치에 설치해야 한다. 댐 양단부의 두께를 충분하게 취하여 소요의 크리프비가 확보될 수 있도록 댐 축선을 선정해야 한다.

3) 댐 본체와 부대구조물의 위치를 배치함에 있어 특히 댐 축선과 물넘이와의 관계는 매우 중요하다. 물넘이를 산복사면에 설치할 때에는 토공량이 대단히 많아지는 경우가 있으며, 또 홍수시 그 유량이 많을 때에는 보통 물넘이의 방수로 중심선은 가급적 하심에 일치되도록 설정한다. 이와 같은 위치관계를 충분히 고려하여 댐 축을 선정해야 한다.

4) 댐 축선은 일반적으로 직선으로 하는 경우가 많으나, 수압에 의하여 댐 중앙부가 수평 이동하여 댐축 방향에 인장응력이 발생할 가능성이 있기 때문에 댐 축을 상류측에 대하여 볼록한 아치형으로 하는 예가 있다. 이 경우 반경은 400 ~ 1,500 m가 좋다.

댐의 조건에서 댐 축선을 원호로 할 것인지는 명확하게 밝혀지지 않고 있다. 그러나, 일반적으로 안정감과 미관상의 이유로 댐 축선을 원호로 함으로서 제체 체적을 감소시킨 예나 지형지질 조건을 유리하게 한 예도 있다.

4.6.2 제체의 단면구성

필댐의 단면구성은 소정의 기능을 발휘할 수 있도록 기초지반, 제체 재료, 시공조건 및 경제성 등을 고려하여 종합적으로 판단하여 결정한다.

가. 제체 형식의 선정

댐의 제체 단면 구성(Zoning)은 소정의 기능을 발휘할 수 있고, 또 최소의 비용이 되도록 기초지반, 제체 재료, 시공조건 및 시공 사례 등을 종합적으로 판단하여 결정한다

형식의 선정은 물론이고, 각 존의 배치, 순서 및 기하학적 형상으로 된 제체 단면의 설계는 제체 재료의 입도나 조성에 따라 조합 방법이 다르고, 제체의 포화도나 재하상태에 따라 다르기 때문에 일률적인 수학적 해석 방법이라든가 공식을 적용하여 설계할 수는 없다. 또한 상세한 조사나 시험의 결과를 바탕으로 한 댐 제체 내의 응력과 변형의 관계 등도 설계에 반영하여 검토한 다음 최종 단면을 결정해야 한다.

나. 존의 기능

각 존의 기능은 기본적으로 차수, 배수 및 외력에 대한 안정성으로 나누어진다. 일반적으로 댐 높이가 높아짐에 따라, 침투와 역학적 측면에서 투수성 존(shell zone, transition, filter zone 등)과 불투수성 존(차수벽 포함)등이 필요하다.

각 존의 물리적·역학적 특성은 각 존의 기능으로부터 정해지고, 역으로 재료의 특성으로부터 존의 단면을 결정하는 기법이 많이 쓰이고 있다. 따라서 각 존의 기능이나 재료의 물리적·역학적 특성은 인접 존과의 상대적 관계에서 일정한 균형을 이루어야 한다.

최근 높은 댐의 불투수성 존에 대하여는 다만 단순히 차수 존으로서의 투수 계수가 소정의 값이면, 좋다고 하는 사실 이외에 필터나, 트랜지션 존 사이의 탄성적 특성의 차가 크면 불투수성 존에 아치작용이 생기어 균열이 발생하는 일이 있다고 지적되었다.

배수기능에 대해서는 특히 균일형 필댐에서는, 직립 드레인에 의해 침윤선을 저하시키는 최소한 제체 사면 하류단쪽으로 침윤선이 사면에 침출되지 않도록 하기 위하여 하류 비탈끝 드레인(toe drain)을 설치할 필요가 있다.

일반적으로 많이 축조되고 있는 존형 필 댐에서도, 불투수성 존과 투수성

존 사이의 투수계수의 차가 작을 때에는 침윤선이 사면에서 침출하는 수가 있으므로 하류 비탈끝 드레인이 필요하다.

다. 기초지반과 존잉(zoning)

기초지반의 상태도 존잉에 큰 영향을 주는 일이 있다. 특히 투수성 암반에 접했을 때에는, 블랭킷 그라우팅을 광범위하게 시공해야 하므로 차수 존 폭을 넓게 취해야 한다. 또 지수 트렌치의 하류면에는 필터 존을 설치해야 한다.

압축성 지반에 축조된 댐의 존잉은 기초처리공법과의 관계, 투수성 존의 폭이나 위치에 대하여 고려를 해야 한다. 이때에는 폭을 두껍게 하든가, 필렛 혹은 블랭킷을 설치하거나, 경우에 따라서는 기초처리(지수벽) 위치를 불투수성 존과 함께 제체의 상류측 위치까지 이동시키는 것도 고려할 수 있다.

라. 시공방법과 존잉(zoning)

시공방법과 존잉의 관계도 충분히 검토할 필요가 있다. 시공 중에 간극압이 발생하면 여러 가지 사고가 일어나므로 시공 속도의 규제나 피에조미터에 의한 시공관리는 물론이고 균일형 필댐에서는 수평방향의 드레인을 여러층 설치한 사례가 많이 있다.

제체의 일부로 시공된 가물막이 댐 단면이나 표고는 가배수 터널의 단면과 가물막이 댐의 시공 기간의 성토 가능량을 비교해서 결정하는 경우도 있다.

마. 존잉(zoning)의 수정

안정 해석의 결과, 사면이 불안정한 경우 존잉을 재검토한다. 일반적으로 사면의 안전율이 부족한 경우 다음과 같은 방법으로 안전율을 높인다.

- 1) 사면 경사를 완화시킨다.
- 2) 존형에서는 록존(rock zone)을 증가시키든가 혹은 록존을 둘로 나누어 표층존에 전단강도가 높은 신선한 록재를 사용한다.
- 3) 균일형 필댐이나 토질기초에서는 압성토를 실시하여 랜덤 존을 설치한다.
- 4) 균일형 필댐이나 불투수성 존이 두꺼울 때에는 수평 드레인을 증가시켜 간극압을 저하시키거나 전단강도를 증가시키는 방법을 사용하고 있다.

또 응력 변형 해석의 결과로서도, 전항 3)에서 논한 바와 같이 불투수성 존과 트랜지션 존간의 역학적 특성이 너무 차이가 나서 불투수성 존에 아칭작용(arching action)이 일어나는 경우에는 트랜지션 존의 재질을 개량함과 동시에 존의 배치나 혹은 불투수성 존의 단면을 변화시키는 일도 있을 수 있다.

불투수성 존의 기초부분의 굴착을 너무 깊게 하면, 불투성 존에 아칭작용이 일어나고, 또 암반부 인장응력이 생기거나 안전율이 저하하는 존이 발생하는 예도 있다. 이와 같은 경우에는 기초굴착형상을 변경하여 불투수성 존을 넓혀서 가급적 평평한 형으로 접촉시킨다. 또 불투수성 존과 암반기초와의 응력변형 때문에 야기되는 문제에 대하여는 댐 횡단면 방향에서도 극단적인 형상변화는 피하는 것이 좋다. 댐 양안부의 경사가 급하고 더욱이 사면 길이가 길 때에도 침하변형 등으로 균열을 일으킬 위험성이 있어서, 굴착형상을 변경하든가, 이 부분의 불투수성 존 폭을 넓히는 등의 대책을 강구해야 한다.

바. 불투수성 존과 암반접촉부

불투수성 존과 암반접촉부에 접촉 점토(contact clay)를 배치하는데, 이는 층의 시공에 있어 불투수성 존과 암반을 밀착시킴과 동시에 불투수성 존의 댐 어버트에서의 침하시 전단과 변형을 받는 존으로서 효과적이라고 생각된다.

일반적으로 조립부분을 함유하지 않은 토질 재료를 약간 습윤층 함수비로 하여 두께 10 cm 정도로 시공한다.

4.6.3 제체의 비월류부 높이

제체의 비월류부 높이는 상시만수위, 서차지 수위 및 설계홍수위에 안전상 필요한 높이를 더한 높이 중 가장 높은 높이로 한다.

댐마루의 높이는 콘크리트 댐에서는 비월류부 최상면의 높이로 하고 필댐에서는 비월류부의 높이에 필요한 보호층 등을 포함한 최상면의 높이로 한다.

가. 제체의 비월류부 높이

1) 제체의 비월류부 높이 기준

댐 제체의 비월류부 높이는 표 4.6.1로부터 댐종류, 물넘이 게이트의 유무 및 월류수심(H)에 따라 상시만수위, 서차지 수위 및 설계홍수위에 대한 높이를 구하여 그 중에서 가장 큰 값 이상으로 한다.

물넘이 게이트가 있는 댐에서는 게이트가 없는 댐 보다 0.5 m 높게 한다. 이것은 물넘이 게이트가 있는 댐의 게이트 조작의 오차 등을 고려한 것이다. 또한 필댐은 제체를 구성하는 재료 특성상 홍수가 댐마루를 월류하는 위험성을 고려하여 콘크리트댐 보다 1 m 높게 한다.

비월류부 높이 산정의 기준이 되는 저수지 수위는 상시만수위, 서차지 수위

및 설계홍수위를 사용한다. 그러나 비월류부 높이 산정에는 이러한 3가지 수위에 저수면의 파랑의 높이를 더해 주어야 한다.

파랑은 바람에 의한 것(h_w)과 지진에 의한 것(h_e)이 있으나 이중 h_e 는 상시만수위에 대해서는 전파랑고, 서차아지 수위에 대해서는 1/2파랑고를 더하는 것으로 하고 설계홍수위에 대해서는 고려하지 않는 것으로 한다. 이것은 댐설계 홍수량에 상당하는 홍수와 지진이 동시에 일어날 가능성을 고려한 것이나 여기서 h_w 및 h_e 는 모두 저수지 수면으로부터의 높이이고 파랑 높이를 가리키는 것은 아니다.

표 4.6.1 제체의 비월류부 높이

물넘이 게이트 유무	월류수심	
	$H > 2.5 \text{ m}$	$H \leq 2.5 \text{ m}$
물넘이 게이트가 있는 댐	$H_f + h_w + h_e + 1.5$ ($h_w + h_e < 1.5$ 일 때는 $H_f + 3$) $H_s + h_w + h_e/2 + 1.5$ ($h_w + h_e/2 < 1.5$ 일 때는 $H_s + 3$) $H_f + h_w + 1.5$ ($h_w < 0.5$ 일 때는 $H_h + 2$)	$H_f + h_w + h_e + 1.5$ ($h_w + h_e < 1.5$ 일 때는 $H_f + 3$) $H_s + h_w + h_e/2 + 1.5$ ($h_w + h_e < 1.5$ 일 때는 $H_s + 3$) $H_h + h_w + 1.5$ ($h_w < 0.5$ 일 때는 $H_h + 2$)
물넘이 게이트가 없는 댐	$H_f + h_w + h_e + 1$ ($h_w + h_e < 2$ 일 때는 $H_f + 3$) $H_s + h_w + h_e/2 + 1$ ($h_w + h_e/2 < 2$ 일 때는 $H_s + 3$) $H_h + h_w + 1$ ($h_w < 1$ 일 때는 $H_h + 2$)	$H_f + h_w + h_e + 1$ ($h_w + h_e < 1$ 일 때는 $H_f + 2$) $H_s + h_w + h_e/2 + 1$ ($h_w + h_e/2 < 1$ 일 때는 $H_s + 2$) $H_h + h_w + 1$ ($h_w < 1$ 일 때는 $H_h + 2$)

(주) H_f : 상시만수위(m), H_s : 서차아지 수위(m), H_h : 설계홍수위(m), h_w : 바람에 의한 파랑의 저수지 수면으로부터의 높이(m), h_e : 지진에 의한 파랑의 저수지 수면으로부터의 높이(m)

물넘이에 게이트가 없는 필댐에서 댐설계 홍수량이 물넘이를 유하할 때의 비월류심이 2.5m 이하인 경우는 상시만수위 및 서차지 수위에 대하여 부가하는 하한치를 완화한다. 이것은 필댐의 게이트가 없는 물넘이는 게이트가 있는 것에 비하여 일반적으로 월류물넘이가 길고 월류수심이 적으며 더욱이 홍수유

량의 증가에 대하여 수위상승이 작은 것 등을 고려한 것이다. 그러나 설계홍수량에 대한 최소부가값에 대하여는 완화하지 않으므로 이 항의 규정이 유효하기 위해서는 설계홍수위와 서차지 수위 또는 상시만수위와의 차가 1.0 m 미만의 경우로 된다. 이 경우 적용조건의 하나인 “월류수심 2.5 m이하”의 “월류수심”은 설계홍수위를 저수지의 저류효과를 고려하여 정한 댐에 있어서는 설계홍수위시 월류수심이 아닌 것에 주의할 필요가 있다.

필댐의 제체내 유로형성 및 누수방지를 위하여 시공하는 중심점토(Core)는 이상 홍수에 의한 수위 상승 등을 고려하여 댐 마루에서 0.5 m 낮은 지점에 계획한다. 중심점토의 폭은 설계홍수위를 기준으로 최소 2 m 이상으로 한다.

2) 파랑의 저수면으로부터의 높이

가) 바람에 의한 파랑의 저수지면에서의 높이

바람에 의한 파랑의 저수면에서의 높이는 설계홍수위상태에서 풍속 및 대안거리와의 관계 또한 제체상태에 따른 반사체나 도파고 등을 고려하여 정한다.

(1) 제체 상류면이 대개 연직인 경우

콘크리트 댐과 같이 제체의 상류면이 대개 연직인 경우 저수지면으로부터의 파고는 반사체를 고려하여 반파고의 2배 즉 전파고로 한다. 또한 전파고는 풍속 및 대안거리를 고려하여 보통 Sverdrup-Munk-Bretschneider의 방법(SMB법)에 의하여 구한다.

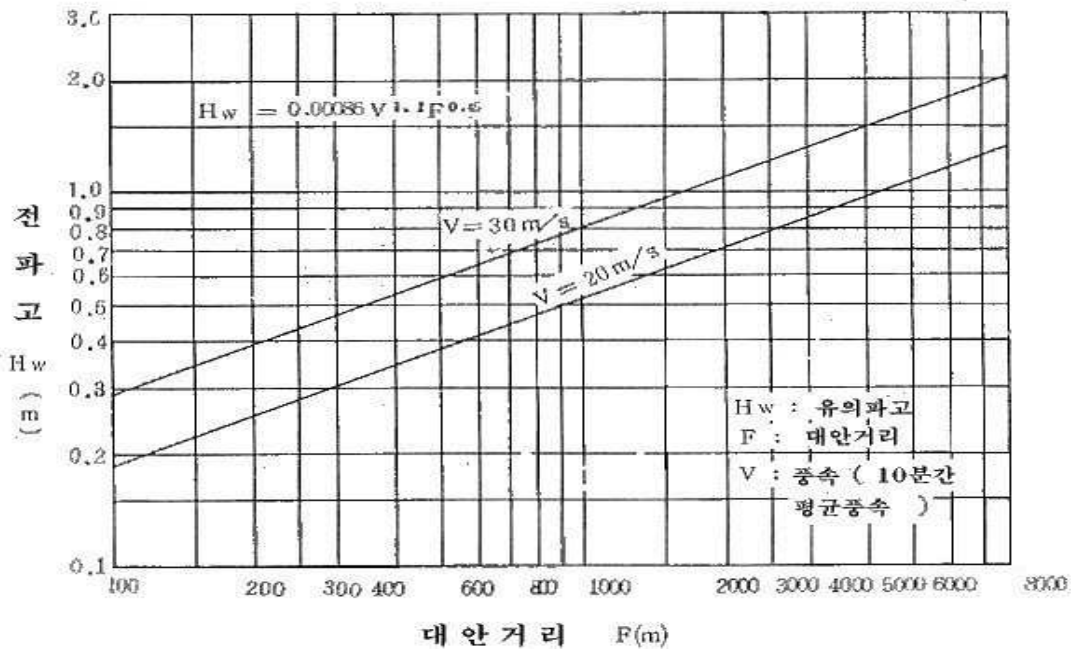


그림 4.6.1 SMB법에 의한 파고

$$h_w = H_w \quad \dots\dots\dots (4.6.1)$$

$$H_w = 0.00086V^{1.1}F^{0.45} \quad \dots\dots\dots (4.6.2)$$

여기서, h_w : 바람에 의한 파랑의 저수지면으로부터의 높이(m), H_w : 바람에 의한 파랑고(전파고) (m), F : 대안거리(m), V : 10분간 평균풍속(m/s)이다.

(2)제체 상류면이 경사져 있는 경우

필댐과 같이 제체 상류면이 경사져 있는 경우는 파랑 도파고를 고려한 식으로 구한다.

$$h_w = R \quad \dots\dots\dots (4.6.3)$$

여기서 h_w : 바람에 의한 파랑의 저수지면으로부터의 높이(m), R : 도파고(m)이다.

도파고 R 의 계산치는 SMB법에 의하여 구한 파고와 파장 및 Saville에 의하여 유도된 그림 4.6.2에 의하여 구한다. 여기서 R 은 상류면 기울기, 사면 보호재료와의 관계를 조합하여 구한 것이다. 바람에 의하여 생기는 파랑의 저수면에서의 높이를 검토함에 있어서 필요한 제요인을 취하는 방법은 다음과 같다.

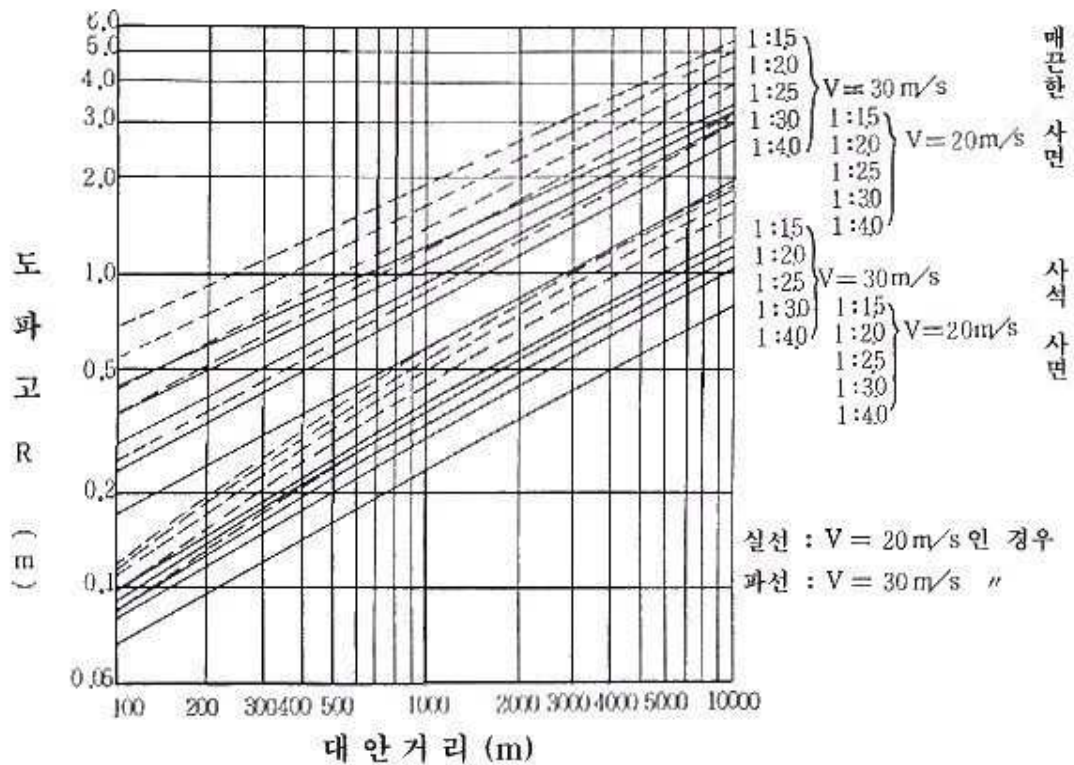


그림 4.6.2 SMB법과 Saville의 방법에 의한 도파고

(가) 대안거리

대안거리는 바람이 불어 파랑을 일으킬 수 있는 자유수면거리를 말한다. 따라서, 본래 댐으로부터 최고풍속의 방향으로 잦 직선거리(그림 4.6.3(a)의 F' 또는 F'')를 사용하면 충분할 것이나 풍향 등의 자료도 적으므로 여기서 댐으로부터 대략 직선거리로 하여 최대가 되는 대안거리를 채용하는 것으로 한다. 대개 직선이 되는 것은 그림 4.6.3(b)와 같이 다소 만곡되어 있어도 파도가 전파되는 경로로서는 F' 보다 F 를 취하는 편이 합리적인 경우도 있기 때문이다.

이 곡선을 어느 각도까지 허용할 것인가는 각각 댐에 대해서 판단한다. 도중에 섬이 있을 때는 F 는 줄어든다(그림 4.6.3(c)참조).

(나) 풍속

댐 부지에서 장기관측자료가 없는 경우에는 원칙적으로 풍속 30 m/s를 채용한다. 단지 약풍대에 해당되는 지역에서 국지적인 강풍의 위험이 없는 댐부지의 경우는 20 m/s의 풍속을 취해도 좋다.

파고 계산을 위한 풍속은 최대 풍속기록보다 낮은 값을 취하는 이유는 다음과 같다.

- ① 순간최대풍속은 파랑을 일으킬만한 취송시간이 없기 때문에 이것을 취하는 것은 불합리하다.
- ② 풍향이 대안거리 최대방향과 일치하지 않는 수가 많다.
- ③ 대부분의 경우 댐부지는 산간부에 있고 따라서 지형, 식생 등의 영향을 받아서 풍속이 약해진다.

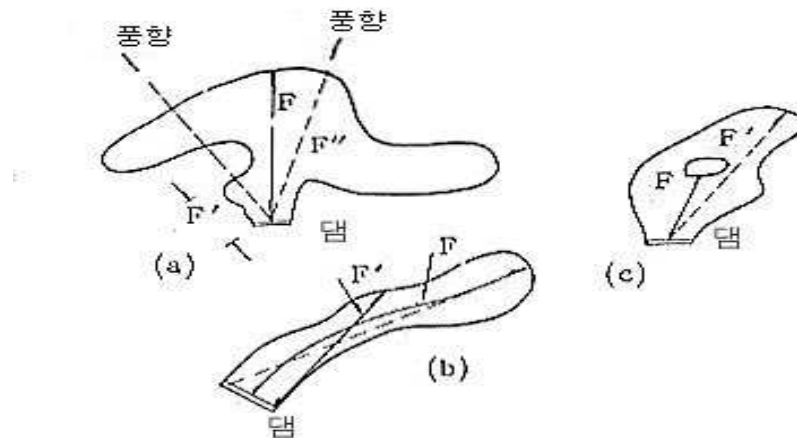


그림 4.6.3 대안거리를 취하는 방법

(다) 댐의 사면조도

“평활사면”이라는 것은 비교적 평활한 사면을 가진 콘크리트 블록, 돌붙임 등의 평활한 사면인 경우이다. “사석사면”이라는 것은 록훔댐과 같이 파랑이 사석의 간극에 흡수되어 버리는 경우를 말한다. 따라서 이 중간경우에 대해서는 각각의 조도에 따라 중간 값을 취할 수 있다.

(라) 댐의 사면기울기

사석사면의 경우에 기울기로 인하여 파도가 기어오르는 높이(도파고)의 변화는 대개 내측이 평활사면인 경우, 기울기가 급할수록 도파고는 크게 되고 이 경향은 대안거리가 길수록 커진다. 따라서 사석사면에 대해서는 너무 지나치게 기울기에 대해서 고려할 필요는 없으나 평활사면에서 낮은 댐일수록 기울기가 급한 것은 도파고를 조장하게 된다.

나) 지진에 의한 파랑의 저수면으로부터의 높이

지진에 의한 파랑의 저수지 수면으로부터의 높이는 상시만수위와 서차아지수위에 대해 각각의 수위상태에서 저수지수면 이상의 높이를 취하는 것이 원칙이다. 일본에서의 실험결과로부터 얻은 佐藤식을 소개하면 다음과 같다.

$$h_e = \frac{1}{2} \frac{K\tau}{\pi} \sqrt{gH_o} \dots\dots\dots$$

(4.6.4)

여기서, h_e 는 지진에 의한 파랑의 저수지 수면에서의 높이(지진파랑의 반파고) (m), K 는 설계진도, τ 는 지진주기(s)로 1초로 취하는 경우가 많다. H_o 는 상시만수위 상태에 있어서 저수지의 수심(m), g 는 중력가속도(9.8 m/s^2)이다.

나. 제체의 비월류부의 높이와 댐마루의 높이

댐마루의 높이는 비월류부에 차수벽 상부의 보호층 등을 포함한 최상면의 높이로 하며 댐 중앙부를 정점으로 한 종단기울기로 인하여 생긴 높이나 댐마루 상류측에 만든 물결막이(parapet)는 포함하지 않는 것으로 한다.

또한 제체의 비월류부 높이는 필댐에서는 차수벽의 최상면 높이로 한다.

4.6.4 댐마루 표고 및 더돋기

필댐의 댐마루 표고는 제체의 비월류부 높이에 불투수층 최상단에 필요한 보호층을 포함한 높이로 한다. 또한, 시공시에는 이 높이에 댐 완성 후 기초지반과 제체 침하량을 예측하여 충분한 더쌓기를 해서 시공한다.

가. 댐마루 표고

댐마루 표고는 4.6.3절에서 결정된 비월류부 높이에 불투수층의 천단 보호에 필요한 보호층의 높이를 더한 것으로 한다. 또한, 불투수층의 최상단은 축제종료 후에 침하가 예상되므로 정해진 댐 관리기간동안의 침하량을 예측하여 더돋기를 하여 소정의 높이로 시공한다. 이 때 댐 관리상 정해진 기간으로 경년 변화에 있어서의 제2기 종료 후(댐의 거동이 정상상태로 달할 때까지의 기간으로 중요한 댐 또는 높은 댐에서는 축조 후 3년 이상 경과된 후)로 한다.

나. 더돋기(더쌓기)

더돋기는 댐 완성 후 댐의 거동이 정상상태에 달할 때까지의 기간 또는 축조 후 3년 이상의 경과한 시점까지 기초지반과 축제재료의 침하량에 충분한 안전율을 가하여 더돋기를 해야 한다. 이 때 종단방향으로 캠버(camber)를 붙이는 것이 좋고 양안 접합부는 안전하게 10 cm 이상 더 쌓는 것이 바람직하다. 횡단방향의 비탈면 더돋기는 축제상부를 조금 세워서 쌓는 것으로 한다.

필요한 더돋기를 결정하기 위한 기초지반 및 제체의 침하량 추정은 이론적 기법으로는 유한요소법을 이용한 축제 과정의 변형해석 또는 토질재료의 경우에는 압밀해석이 연구되어 있다. 그러나 침하량은 기초지반이나 재료의 성질, 시공방법 등의 많은 요인에 의해 지배되므로 현시점에서는 토질공학적 기법에 의하여 실제의 값을 추정하는 것은 곤란하다. 따라서 침하량에 영향을 미치는 요인을 포함하여 과거의 실례에 준하여 추정한다.

제체 각부의 더돋기 양의 판단은 댐 종단면의 최심부를 구하여 이 높이를 횡단방향으로는 댐마루 단부로 취하고 사면하단 또는 적당한 소단을 0으로 해서 직선적으로 구분한다. 침하량은 시공 중에 대부분이 끝나므로 완성 후에는 아주 작고, 특히 최근 댐이 중전압기로 충분히 다져지므로 댐 완성 후 침하량은 1 % 미만이 대부분이다.

4.6.5 댐마루 폭

댐마루 폭은 파랑침식이나 침투수에 대한 안전성, 파이핑 또는 지진시의 붕락이나 활동 등에 대한 안전성과 공용도로나 유지관리용 도로 또는 시공상의 중기계 주행 등에 필요한 폭으로 한다. 특히, 댐 완성 후 댐마루를 도로로 이용할 경우에는 양안 접속도로와의 관계를 충분히 고려해야 한다.

가. 일반사항

통행에 의한 마찰이나 균열을 방지하기 위하여 댐 마루에 적절한 보호를 해야 하며, 단면과 노면포장은 연결도로와 같게 하고 양안에는 주차장을 두는 것이 좋다. 곡선으로 연결되는 곳은 느린 곡선으로 하며, 내제측에는 흉벽(breast wall), 외제측에는 갯돌을 설치할 수 있도록 폭을 결정한다.

나. 댐마루 폭의 결정

댐마루의 폭은 공식에 의한 계산 결과를 참고하여 도로의 이용이나 제단내의 중심점토, 수직필터의 규모, 유지관리, 경제성 및 시공성 등을 고려하여 중심점토와 수직필터를 보호할 수 있는 폭으로 결정한다.

일반적으로 댐 높이가 50 m 이상일 때에는 8~10 m 정도(도로와 겸용일 경우 약 10 m 정도), 댐 높이가 15~50 m일 경우에는 6 m 정도(도로와 겸용일 경우 8 m 정도), 댐 높이가 15 m 이하일 경우는 5 m 정도로 한다. 또한 표면차수벽 필댐일 경우는 6~7 m가 적당하며, 설계상 특별히 고려할 필요가 없는 경우에는 5~10 m 정도가 좋다.

[참고] 댐마루 폭의 결정

댐마루 폭의 결정은 다음 식을 참고하기도 한다.

- 낮은 댐 식 : $b = 0.2H + 2.0$
- 미 개척국 식 (소규모) : $b = 0.2H + 3.0$
- " (대규모) : $b = 3.6H^{1/3} - 1.5$
- Merriman 식 : $b = 0.2H + 1.5$
- 국제대댐회 식 : $b = 3.6H^{1/3} - 3.0$
- Trautwine 식 : $b = 0.6 + 1.1\sqrt{H}$
- Crugnola 식 : $b = 3.0 + \frac{5}{17}(H-3)$

- Wegman 식 : $b = 3.0 \sim 9.0$
- Russel 식 : 낮은 댐 1.8~2.5 m, 높은 댐 2.5~7.5 m
여기서, b는 댐마루 폭(m), H는 댐 높이(m)를 나타낸다.

4.6.6 불투수층 존(차수벽)의 두께 및 단면 설계

불투수층 존의 두께는 투수성의 허용한도, 시공상의 최소 폭, 사용되는 점토재료의 소성 및 점성, 필터층의 유무 등을 고려하여 두께를 결정하여야 하며, 토질이나 댐 높이에 관계없이 수압의 30~50 % 정도의 두께를 가져야 한다.

가. 불투수층 존의 두께와 수압과의 관계

불투수층 존의 두께는 위에서 열거한 요소를 고려하여 결정하는 것이 원칙이다. 그러나, 필댐이 어떠한 나쁜 조건에서도 안전하기 위해서는 토질이나 댐 높이에 관계없이 수압의 30~50 % 정도의 두께를 가져야 한다.

수압의 15~20 % 정도의 두께를 가지는 경우에는 다소 얇은 감은 있으나 주의 깊은 설계와 시공이 필요하며, 이 때 필터의 설계는 엄격한 기준을 지키도록 한다. 수압의 10 % 이하는 누수로 제체의 결괴가 없는 특수조건 외에서는 사용해서는 안된다.

나. 불투수층 존의 단면설계

(1) 단면 기준 (그림 4.6.4 참고)

- 점토 정폭(d_1)의 계산

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

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

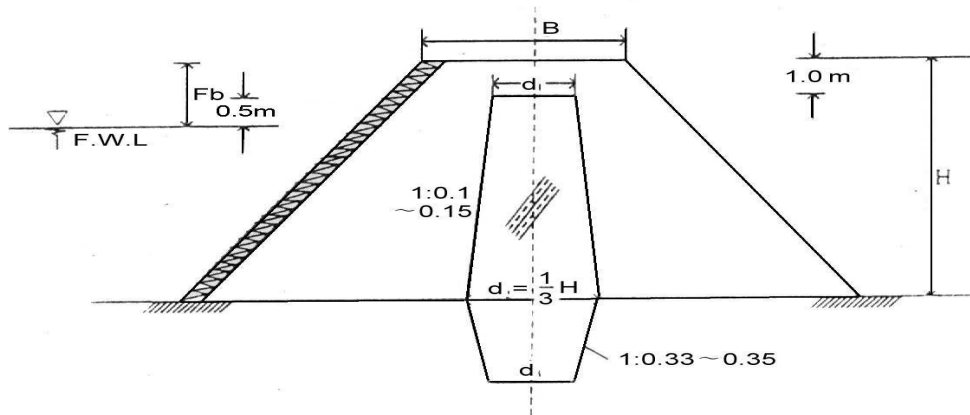
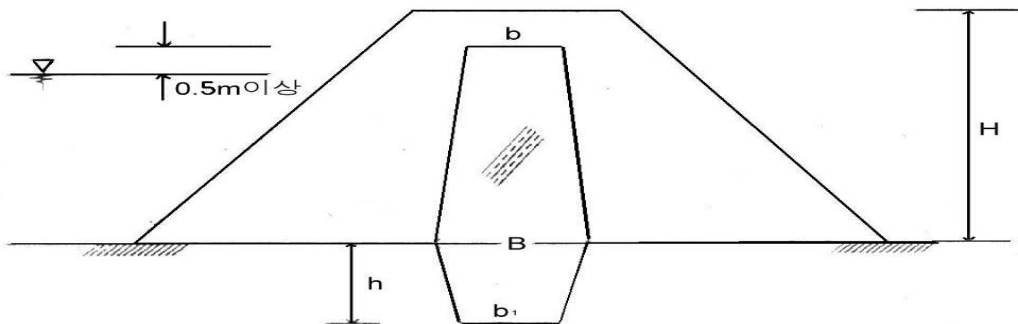


그림 4.6.4 필댐의 불투수층 준의 설계



$$B = \frac{1}{3} H$$

$$b = \frac{2}{3} b_1$$

$$b_1 = \frac{1}{2} B$$

그림 4.6.5 Wagman의 이론에 의한 불투수층 준의 설계

- 점토사면 기울기
지반상부 : $S_1 = 1 : 0.10 \sim 0.15$, 지반하부 : $S_1 = 1 : 0.33 \sim 0.35$
- 홍수위 상부의 점토 높이 : 0.5 m
- 댐마루와 점토 상부와의 간격 : 1 m 이하
다만, 댐 마루에 도로 설치할 경우 도로포장에 필요한 높이로 함.

(2) Wagman 이론(그림 4.6.5 참고)

- 지반면의 점토 폭(B) : $B = \frac{1}{3} H$ (m)
- 터파기 면의 점토 폭(b_1) : $b_1 \geq \frac{1}{2} B$ (m)
- 점토 정폭(b) : $b = \frac{2}{3} b_1$ (m)

설계홍수위 지정폭이 최소 2 m 이상이어야 한다.

- 수면과 점토 상부와의 간격 : 0.5 m 이상

(3) W. L. Strange 이론

- 양질의 지반 : $h \leq \frac{1}{2} H$ (m) •비교적 좋은 지반 : $h \leq H$ (m)
- 견고한 암반(소규모) : $h \geq 1.8$ m •견고한 암반(대규모) : $h \geq 3.0$ m

4.6.7 사면경사와 소단(小段)

사면경사와 소단의 배치는 댐 형식, 제체의 구조, 축제재료, 기초지반, 시공조건 등을 고려하여 최소의 축제량으로서 최대의 안전도를 얻도록 결정해야 한다.

가. 사면경사

제체의 안정상 필요한 평균사면의 경사는 표면 차수벽형 필댐이나 극히 연약지반상의 댐인 경우를 제외하고, 상류측 사면을 하류측 사면보다 5 % 정도 완만하게 하며, 대략 20 ~ 40 %의 범위 내로 한다. 특히 연약지반에서는 40 % 보다 완만하게 하거나, 기초가 양호한 암반이며 축제재료도 양질의 록 재료가 대부분일 경우에는 20 % 보다 급하게 할 때도 있다.

1) 댐 형식에 따른 필댐의 평균 사면경사

가) 균일형 흙 댐은 댐 높이가 클수록 사면을 완만하게 하며, 또 하류측에는 배수도랑을 설치한다.

나) 투수성부가 큰 댐(균일형 이외)에는 댐 높이에 따라 사면의 변화는 적으나 불투수부의 위치와 크기에 따라 사면이 정해지므로 존(zone)을 신중히 나누어야 한다.

다) 경사진 코어형 록·필댐에서는 하류사면은 축제재료의 안식각과 거의 같게 한다. 즉, 둥근 자갈인 때는 17 %, 모난 암석은 12 %, 얇은 층으로 해서 전압하는 경우에는 10 %로 할 수 있다.

라) 중심코어 록·필댐에서는 하류사면은 16 ~ 18 %가 좋다.

마) 철근콘크리트 포장형 댐의 하류사면 경사는 될수록 암석의 안식각에 가깝게 하는 것이 시공 및 안전상 유리하다.

바) 아스팔트 포장형 댐의 상류측 사면은 15 ~ 17 %가 가장 적당하다.

2) 높이가 높은 필댐에 있어서의 검토 요소

가) 제체의 구조

댐 높이가 크게 됨에 따라서 시공 중에 발생하는 공극수압도 증대하므로 완성 직후의 안정만을 유지하기 위해서는 막대한 단면이 필요케 되는 수가 있

다. 특히 불투수성부가 크면 댐체 중에 침윤선을 저하시킬 목적으로 수직 또는 수평 배수도랑을 설치하는 것이 유리하다.

나) 축제재료의 선택

댐 높이가 높게 되면 전단저항이 큰 재료를 사용하는 혼합형 댐이 유리하다. 축제재료가 원거리에 있을 때는 경제성을 분석하여 시공조건, 입지조건 등을 고려하여 기술적으로 유리한 형식을 택해야 한다.

3) 필댐의 사면경사에 따른 유의사항

가) 안전율이 같으면서 축제량을 적게 하려면 단면상부는 급하게 하고 하부는 완만하게 하는 것이 좋다. 이는 댐 높이가 클 수록 또한 기초지반이 약할 수록 유리하다. 특히, 계곡이 좁은 지형에서는 하부측을 완만하게 하는 것이 부피가 늘지 않고, 또 상류측 사면에서 저수압이 최대로 작용하는 점은 밑에서 1/3 ~ 1/4 지점이므로 안전성도 증가되어 유리하다.

나) 사면의 변화부는 상류사면에서는 상시 만수위나 최저수위 부근으로 하고 후자의 변화부에는 3 ~ 6 m의 소단을 두는 것이 좋다. 상류사면의 소단은 암석이 탈락되는 것을 방지할 목적으로 설치하지만 저수시의 사석하단이 메이지 않도록 하기 위하여 또는 시공상, 관리상 편리한 점이 있으면 소단을 만들고 연직높이 10 ~ 15 m 마다 소단을 두는 것이 좋다.

다) 댐 길이가 긴 댐에서는 전 길이를 통하여 동일 경사로 할 필요는 없고 댐 높이, 기초지반, 축제재료에 따라 적당히 단면을 수정하는 것이 좋다.

라) (댐 길이)/(댐 높이)의 비가 작은 댐에서는 상·하류방향 단면의 안정계산에서 댐축 방향의 힘이 있게 되므로 사면을 다소 급하게 해도 좋다.

마) 시공속도가 빨라서 댐 또는 기초지반 내에 큰 공극이 발생할 위험이 있으면 사면을 완만하게 하는 것이 안전하다.

[참고] 사면경사의 설계 예

(1) 사면경사가 40 %이상인 완만한 댐은 드물지만 외국의 예를 들면 Selset 댐은 45 %, Balderhead 댐(댐높이 50.9 m 영국 1965)은 50 % 등이 있다. 20 %보다 급한 댐으로는 일본 압동 댐의 하류측 평균경사가 17.5%, 급한 경사로는 일본 하류측 사면의 평균경사가 15 %이다.

(2) 댐 형식별로 사면경사를 정리하면 그림 4.6.6과 같다.

(3) 또 종래의 시공사례에서 댐 높이와 사면경사의 관계는 다음과 같다.

상류측 : $G_1 = (0.05H + 1.5) \times 10$ (%) (4.6.5)

하류측 : $G_2 = (0.05H + 1.0) \times 10$ (%) (4.6.6)

(4) 록 필댐의 하류사면 경사는 록 재료의 안식각을 표준으로 하여 결정한다. 그러나 현재 안정해석에서 원형 활동면 해석이 규정되어 있기 때문에 상·하류측 사면 모두 록 재료의 표층 활동에 의해 정해진다.

(5) 아스팔트 포장형 필댐의 경우 포장작업과 아스팔트 혼합재료의 처짐 방지를 위해서는 너무 급경사로 하면 좋지 않다.

나. 소단

댐 사면에 소단을 설치하는 목적은 경험상 또는 시공상의 이유가 대부분이고 안정해석상으로는 연약지반상의 댐인 경우, 댐 하부에서는 완만하게 하고 도중에 몇 개의 경사 변화점을 설치해서 마루부에 갈수록 경사를 급하게 하는 것이 유리하다.

경험상 이유로서는 암석 존의 상류측이나 록 재료의 돌붙임(riprap)을 시공하는 경우, 저수위 부근에서 제내수의 침출로 인한 부분적 손상이 생기는 일이 있으므로 소단이 필요하다.

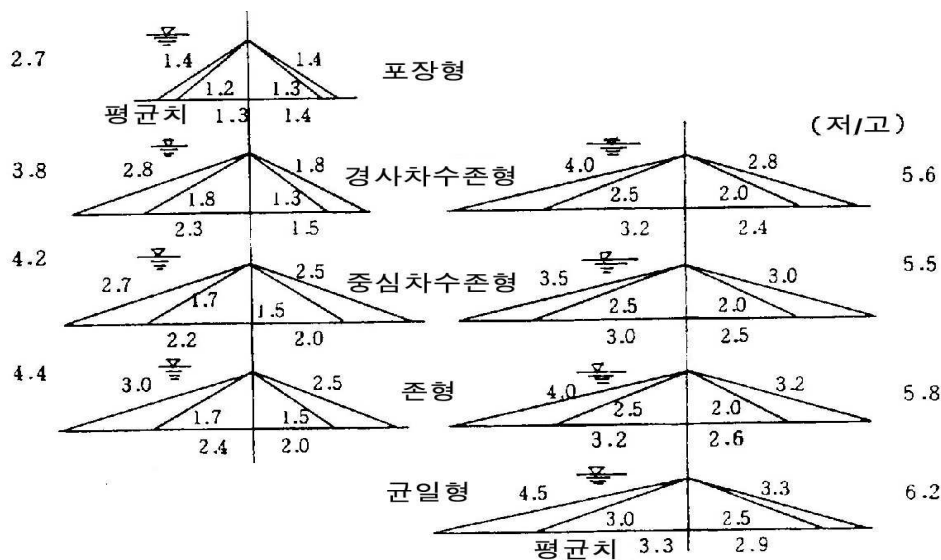


그림 4.6.6 댐 형식별 사면경사의 범위

시공상으로는 암석 존에 소단을 설치하는 것은 사석재료나 표층 록 재료의 정리작업상, 표면활동의 안전상 소단을 설치하는 것이 하는 것이 유리하다.

댐 하류사면에 대해서는 평상시의 댐 관리작업을 위하여 또는 필댐에서 떼붙임 공사를 하는 경우에 우수의 배제를 위해서 높이 10~15 m 마다 폭 3 m 정도의 소단을 설치하는 것이 좋다.

4.6.8 드레인의 설계

침투류에 의한 침투수압의 감소, 파이핑의 방지, 제체의 침하방지, 내부침식 등을 방지하기 위하여 드레인을 설치한다. 드레인은 기능과 목적에 맞는 재료를 선택하여 안정성 또는 침투수에 대한 안정성을 검토하여 설치한다.

가. 일반사항

1) 드레인의 기능

침투류에 의해 침투수압이 토립자에 작용하여 세립자가 조립자의 간극에 씻겨 내려가는 일이 생긴다. 그 결과 제체 내에 파이핑을 유발하고 내부 침식을 일으키며 이것이 제체의 국부적인 침하나 파괴의 원인으로 된다. 이 현상을 방지하기 위해서 배수 존을 설치한다. 배수 존은 토립자의 이동을 방지하고 침투수를 작은 손실수두로서 통수될 수 있는 필터의 기능을 가져야 한다.

2) 드레인의 구분

드레인은 그림 4.6.8과 같이 하류사면끝 드레인, 수평 드레인, 직립 드레인, 복합 드레인, 사면보호공 기초 드레인, 제체와 산턱과의 접촉면에 연하여 설치하는 드레인 등이 있다.

가) 하류 비탈끝 드레인 : 하류사면의 끝에 설치한 드레인으로서 토 드레인(toe drain)이라고도 한다.

나) 수평 드레인 : 제체 내에 어떤 표고차로 블링킷 상이나 줄모양으로 수평하게 설치하는 드레인을 말한다.

다) 직립 드레인 : 직립 드레인과 수평 드레인으로 구성된 드레인을 말하며 직립 부분은 존형에서 불투수성부의 양측에 설치하는 경우 단순히 필터라 하고, 균일형 댐의 중앙부에 설치한 경우에는 차단층이라 한다.

라) 복합 드레인 : 가), 나), 다)를 조합한 드레인을 말한다.

마) 사면보호공 기초 드레인 : 상류사면 보호공의 기초에 설치하는 드레인을 말한다.

바) 기타 : 제체와 산턱과의 접촉면에 연하여 설치하는 드레인 등이 있다.

3) 필터의 설계

필터는 입도가 현저하게 다른 흙 또는 사력 등의 배수 측면에 접촉시켜 설치하고 재료는 「필터재료」에 준한다. 필터층의 두께는 시공시의 재료분리, 필터층 내부의 공극, 시공기계 등을 고려하여 결정한다.

Creager, Justin 등은 필터의 15 % 크기(필터재료의 15 % 입경)의 50배 이

상으로 하고, 특히 제1층은 모래의 두께 30 cm 이상으로 한다. 또 조립 필터 재료는 20 cm 이상, 세립 필터재료는 15 cm 이상의 두께로 한다.

4) 필터의 배수능력

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

$$k = C \cdot D_{10}^2 \dots\dots\dots$$

(4.6.7)

여기서, k는 투수계수(cm/s), D_{10} 는 유효경(cm)으로 입경가적곡선상의 10 % 입경, C는 정수 90 ~ 120(보통 100을 사용)를 나타낸다.

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

나. 드레인의 설계

1) 수평 드레인

제체 내에 수평한 형상으로 배치한 때에는 두께를 30 cm 이상으로 하고, 직립 드레인에 접촉시켜서 설치하는 드레인공은 하류측 댐 부지에 블링킷 상으로 설치한 경우와 집수 배수를 위해서 줄모양으로 설치하는 경우가 있다. 전자의 두께는 30 cm 이상으로 하고 후자는 여러 층의 필터를 조합하여 배수시키는 것으로 한다(그림 4.6.8 참고)

2) 직립 드레인

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

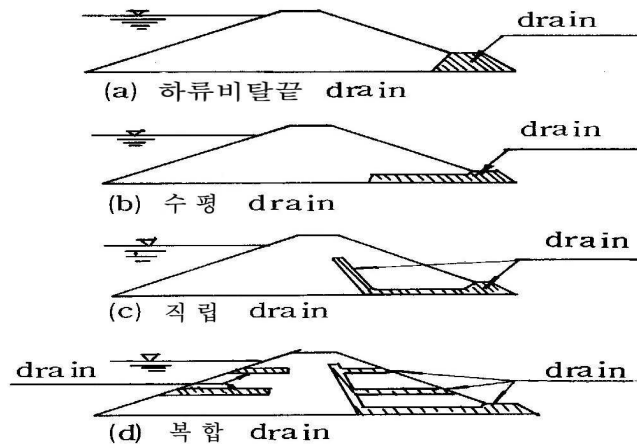


그림 4.6.7 드레인의 구분

3) 하류 비탈끝 드레인

하류 비탈끝 드레인은 여러 층의 필터를 조합시켜 보호층에 접하는 층을 세립필터로 하고 다음에 조립, 자갈, 굵은 자갈 등으로 점차 변화시켜 가고 비탈끝 사면막이 돌쌓기공이나 기타 보호공을 통하여 배수한다.

각 층의 두께는 그림 4.6.8의 수평 드레인(집수배수용)의 설계에 준한다.

4) 사면 보호공 기초 필터

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

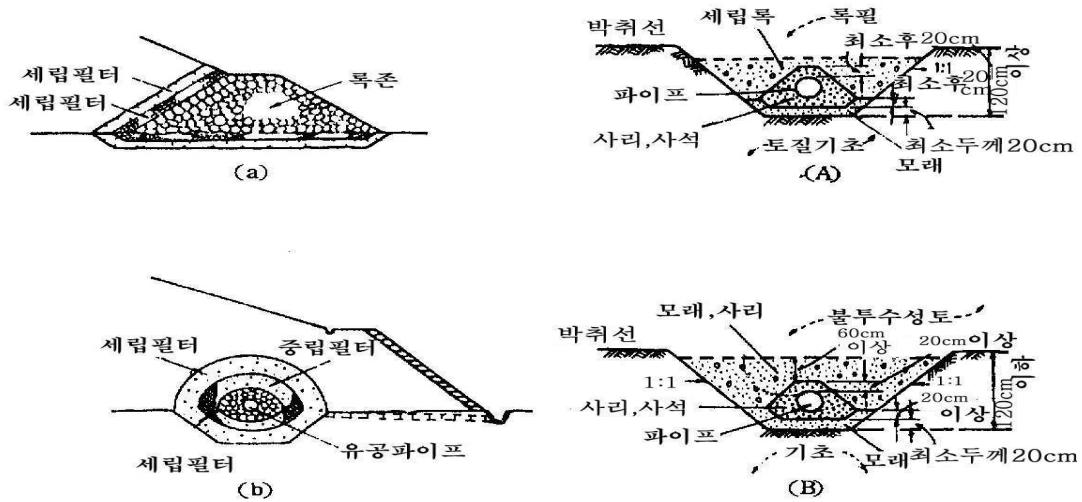


그림 4.6.8 드레인의 설계 예

4.6.9 제체 보호공

제체의 상류사면, 하류사면 및 댐마루 파괴, 침식, 파랑에 의한 침식 또는 손상을 방지하기 위하여 적절한 재료로 보호공을 설치한다.

가. 상류사면 보호공

1) 보호공의 설치

암석, 호박돌 이외의 재료로 이루어진 상류사면은 파랑에 의한 침식, 저수위 급저하시나 진동에 의한 유출 및 기상작용에 의한 풍화 등을 방지하기 위하여 보호공을 설치한다.

파랑에 의한 침식은 저수가 있는 한 항상 계속적으로 작용하여 특히 풍우시에는 사면 전체가 연화상태에서 큰 파랑이 작용하기 때문에 사면이 크게 침식된다. 또 파랑침식은 비점성토가 점성토보다 크게 침식된다.

저수위 급저하시에는 제체 내에 비정상류가 되어, 유선은 상류사면에 침출되고 특히 저수위 직상 부근의 사면에 집중 유출하여 그 침투압에 의해 토립자가 유출된다.

기타 동결, 한해에 의한 균열 등 자연의 기상작용에 의한 풍화가 발생한다. 이들 여러 가지 사면파괴 작용으로부터 제체(어버트먼트나 원지반에 시공된 블랭킷 등 성토공)을 포함한 상류사면을 보호해야 한다.

2) 보호공의 형식

보호공의 형식에는 필터층 위에 설치한 사석, 장식, 콘크리트 블록, 철근콘크리트 슬래브 등이 있다. 일반적으로 다음과 같은 이유로 사석이 가장 좋다.

㉠ 제체의 형식에 잘 대응하고, 파력에 의하여 자연적으로 돌이 낙착되어 안정된다.

㉡ 쇄파력이 커서 파가 높이 올라가지 못하므로 제고를 낮추어도 된다.

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

사석재로 사용되는 재료는 골재로서의 시험에 합격하는 것이 바람직하지만, 지역의 기상조건, 댐의 규모, 석재의 매장현황 등을 검토하여 결정한다. 장식은 뒷채움을 완전하게 하여 파력에 의한 돌의 파쇄나 위치의 변동을 일으키지 않도록 하며, 미관은 좋으나 파의 상승억제 효과가 사석보다 낮고 공사비가 높게 된다.

콘크리트 블록공은 양질의 석재를 경제적으로 얻기 어려운 경우에 쓰인다. 이것의 단점은 제체의 침하 변형에 대한 적응이 곤란하며 틈이나 블록 자체의 파괴가 생기고 그 파괴부에서 제체 표면 세굴이 일어나는 일이 많다.

사석에 비하면 시공 후에 그 면이 평활하여 파의 상승 높이가 높게 되나 구하기가 쉽고 시공이 유용하기 때문에 중규모 이하의 댐에 적용하는 일이 많다. 철근 콘크리트 슬래브는 제체의 침하 변형에 적응할 수 없고 내진성이 약하다. 또 파의 상승높이가 커지는 등 구조상의 단점이 있고 공사비가 고가로 되나 내구성이 좋다. 차수를 겸한 아스팔트 콘크리트, 아스팔트 이차제품, 인조고무, 화학합성 재료 등을 사용하는 일이 많다.

이와 같은 재료를 사용하는 경우에는 일반적으로 파의 상승고가 높아져서 제고를 높게 해야하며, 또 월파에 의하여 재료의 이면에 물이 들어가지 않도록 해야 한다. 또 풍화에 대한 저항성이 낮아서 항시 유지관리에 충분한 주의를 해야 한다. 기타 기초처리에는 배기, 배수에 대한 배려가 필요하다.

3) 보호공의 기초처리

저수위의 변동에 따라 제체 내에 침투류에 의하여 제체의 토립자가 흡출되는 것을 방지할 목적과 보호공 재료의 안정을 조장하고 시공을 용이하게 하는 것 등 때문에 제체 표면에 필터층(주로 모래와 자갈)을 설치한다.

두께는 콘크리트 블록을 설치할 때는 15 cm 이상, 기타 사석, 장식 등 일때는 30~100 cm로 하는 것이 좋다. 보호공은 적어도 최저수위에서 댐마루까지 시공하는 것이 원칙이며 부득이 사면의 중간만을 시공할 때는 저수부의 기초

다짐공을 완전하게 하여 보호공의 활동이 일어나지 않도록 한다.

또 다짐공은 저수부의 파랑에 의하여 세굴되지 않는 구조로 하고, 폭 2 m 이상의 소단을 설치해야 한다.

보호공의 상단은 갯돌, 콘크리트, 도로연석(curb stone) 등을 시공하여 보호공의 파괴를 방지해야 한다.

4) 사석 크기와 두께

사석재로 사용되는 암석은 수압에 대하여 강한 암질로서는 화성암, 변성암, 경사암, 경석회암 등은 좋으며, 사석 크기와 두께는 축제재료의 기준에 준하며 파랑에 의하여 움직이지 않고 제체의 흠이 흡출작용에 의하여 유출되지 않을 것 등이 조건을 만족시켜야 한다. 또한, 사석공에서는 수면 부근에 큰 파력이 작용하여 사석 상호간의 간극이 클 때, 간극 내에서 필터재료의 분리나 유동이 생겨 사석의 변형이나 제체의 흡출현상이 발생하므로 사석의 간극은 최소가 되도록 충전시켜야 한다. 사석 크기와 두께는 4.7.3의 사석재료에 준한다.

나. 하류측 보호공

1) 보호공

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

제체 하류 사면은 록필 댐을 제외하고, 일반적으로 반투수성 또는 투수성 재료로 축제되어 있기 때문에 세립토나 점토분이 빈약하여 우수에 의하여 침식되기 쉽다. 또 한랭지에서는 모세관 현상에 의하여 동결작용이 발생되기 쉽기 때문에 성토재가 조립토일 때에는 수평 폭 1.0~1.5 m로 식물이 성장하기 쉬운 세립분을 함유한 흙을 사용하여 표면처리를 함으로써 식생을 조장하고, 동기 지표면의 동결방지를 함과 동시에 우수에 의한 침식을 방지할 수 있다.

보호공으로서의 기상조건을 고려하여 때불임공(줄때, 평때), 종자 뿌리기 등을 한다. 이들 식생은 필요에 따라 시비, 살수 등을 실시한다.

기타 누수측정 시설이나 하류시설 등의 연락을 위하여 계단을 설치해서 사면을 보호한다(그림 4.6.9 참고). 또한, 빗물이 흘러 한 곳으로 집중되면 침식이 크게 되므로 일정한 높이마다 배수로가 붙은 소단을 설치하는 것이 좋으며, 산바닥과 접속부에는 빗물의 침식을 받지 않도록 처리하여야 한다

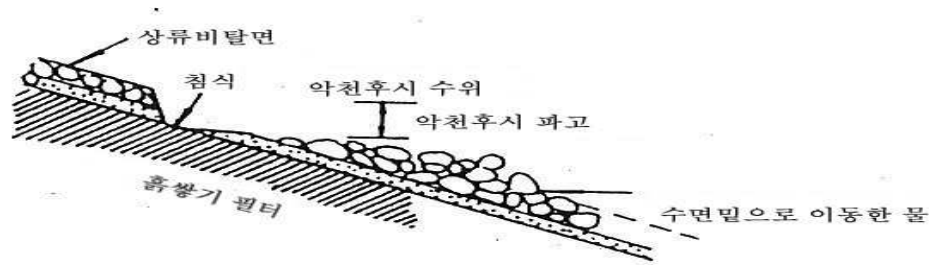


그림 4.6.9 하류사면의 침식

2) 배수공

① 제체 하류사면과 어버트먼트와의 연락부 : 어버트먼트에서의 지표수를 사면과 산턱의 접촉부에 승수로 설치하여 하류의 제외로 배수시킨다. 승수로의 규격은 강우, 지형, 집수면적, 동결상황 및 유출토사, 낙엽 등을 고려하여 결정한다.

② 제체 사면에서의 배수, 사면길이가 긴 경우에는 강우에 의하여 침식되는 일이 있으므로 소단을 설치해서 그곳에 상부사면의 지표수를 받기 위한 승수를 만들어 양안의 어버트먼트의 승수로에 배수한다.

이 승수로의 설계에 있어서는 제체는 구 하안부 또는 계곡의 최심부에서 최대 잔류침하가 일어날 것을 고려하여 수로경사를 결정해야 한다. 제체의 길이가 길 때에는 승수로에 맨홀을 설치하여 거기에서 사면에 슈트 또는 관을 설치해서 하류 제외로 배수한다.

다. 댐 마루부

댐 마루부는 파랑에 의한 물보라, 우수, 동결에 의한 연약화 및 교통 등에 의한 손상으로부터 보호하기 위하여 보호공을 설치한다.

물보라나 우수에 의한 연약화 방지를 목적으로 댐마루면에 포장(아스팔트 콘크리트, 콘크리트, 잘 다짐한 자갈 섞인 점토층 상에 자갈 포설 등)을 시공해야 할 필요가 있다. 포장두께는 댐마루의 이용상황, 기상상태에 따라 다르나, 동결심이나 외부로부터의 침수를 고려하여 보호층의 두께를 결정한다.

일반적으로 토질 차수벽의 경우에는 약 50 cm의 보호층을 설계한 예가 많다. 댐 마루면에는 배수를 위해 소요의 횡단경사를 주어야 한다.

아스팔트 콘크리트 포장, 콘크리트 포장 횡단 기울기 : 1.5 ~ 2.0 %

기타의 횡단 기울기 : 3.0 ~ 5.0 %

댐마루면의 배수는 상하류 비탈머리에 배수구를 설치하고 집수한 다음 저수

지 또는 제외로 배수한다. 한쪽으로만 경사를 둘 때에는 저수지 측에 경사지게 배수한다. 토석재료로 된 표면 보호공일 때에는 우수가 체체 내에 침투하지 않도록 입도배합이 좋은 흙을 잘 다져서 이용하며, 양 끝에는 L형 블록이나 연석을 놓고 댐마루에는 댐마루 보호용 자갈을 포설한다.

폭풍우시의 파랑에 의한 물보라 및 예측할 수 없는 산사태에 의한 이상 상승을 고려하여 상류측 물결막이(parapet)을 설치하는 예도 있다. 보호공은 체체의 일부로서 설계해야 하며 따라서 제고는 보호공 두께를 포함시켜야 한다.

4.7 축제재료의 선택

4.7.1 축제재료

축제재료 선택은 경제적으로 얻을 수 있는 모든 재료의 성질을 활용하여 댐의 차수와 안정 기능을 효과적으로 발휘하도록 구성한다.

가. 재료의 분류

1) 재료의 분류

흙은 토질공학적 분류로서는 입경에 따라 점토, 실트, 모래, 자갈 등의 토질 재료와 암질재료로 분류하고, 암질재료는 사석재료 및 록(rock)재료로 구분한다. 또한, 재료의 성질이 영성하고 고르지 못하여 장래 풍화에 의하여 변질될 지도 모르는 재료를 일괄해서 랜덤재료라 한다.

필댐의 설계 시공상에 있어서 다진 뒤의 투수성에 따라 불투수성 재료, 투수성 재료, 그 중간의 투수성을 가지는 것을 반투수성 재료로 분류하며, 일반적으로 토질재료는 불투수성 재료로서, 사력재료 및 록재료는 반투수성 또는 투수성 재료로서 사용한다. 여기서 불투수성이란 다진 재료의 투수계수가 1×10^{-5} cm/s 보다 적은 것, 투수성이란 다진 재료의 투수계수가 1×10^{-3} cm/s보다 큰 재료, 또 반투수성이란 다짐을 한 재료의 투수계수가 불투수성과 투수성과의 중간정도인 것을 각각 표준으로 한다.

필댐은 물을 막는 불투수성부와 댐체의 안정을 유지할 투수성부를 최소한의 구성요소로 하며, 이 요소의 경계에는 반투수성부를 두어 재료의 급변에 의한 사고를 방지하도록 설계하고 있다. 그러나, 이들 세부분의 서로 상대적인 성질이므로 각각의 축제재료의 안정성이나 불투수성은 물론 필요하나 댐 전체로서 기능을 잘 발휘하도록 설치하는 것이 중요하다. 특히, 기초암반하고 접하는 차

수 준의 토질재료는 함수비 및 최대 입경이 일반 차수재료와는 달라야 하므로 특별한 고려가 필요하다.

2) 축제재료의 입도 범위

흙의 투수성, 강도, 압축성 등을 고려하여 각 부분의 재료를 선택하는 방법에는 여러 경우가 있으나 개략적인 방법으로 입도곡선에 의하는 것이 가장 간편하다.

3) 재료의 혼합

축제재료의 성질을 보다 적절히 하기 위해서 재료를 혼합하여 토성개량을 할 때가 있다. 취토장이 여러 층으로 되어 있을 때는 쇼벨로 채취하면 쉽게 혼합시킬 수 있다. 또 여러 개소의 취토장의 이질재료를 토성개량하기 위하여 스톡파일 방식으로 혼합하여 신뢰성이 높은 재료를 얻을 수가 있다. 이의 단점은 야적장(stock yard)의 확보 및 고가로 된다는 것이다.

성질개량이 필요할 때 가적치장이나 믹싱 플랜트, 해로우 등의 시설에 의하여 대규모로 적극적인 혼합을 한 예도 있다. 혼합한 재료를 사용한 필댐 설계에는 일본 街母衣 댐에서는 점질토와 조립재료를 교호로 층상으로 펴고르고 이것을 쇼벨로 파서 압밀침하나 간극압 발생이 적은 토성으로 개량하는데 성공하였다. 또, 오스트리아의 Gepatsch 댐에서는 차수재료에 1%의 벤토나이트를 혼입해서 함수비는 1% 증가하였으나 투수계수를 1승만큼 감할 수 있었다. 이것은 불투수성부 폭을 10배하는 것과 같은 효과가 있다.

4) 큰 입자의 제거

축제재료중의 허용 최대 입경은 보통 전압후의 층 두께보다 다소 적은 정도이다. 불투수성부에서 양쪽식 롤러일 때, 12~15 cm 타이어 롤러인 경우는 이보다 약간 커진다. 그러나 랜덤부나 투수성부에서는 60 cm에서 100 cm 정도까지 허용된다. 특히 큰 자갈을 적게 함유한 때에는 손으로 고를 수 있으나 20~40% 이상 함유한 때는 스크린 플랜트를 설치하는 것이 유리하다. 실트나 모래에 큰 자갈이 있는 재료는 그대로 불투수성 재료 또는 랜덤 재료로 쓰는 것이 좋은가 또는 체를 통하여 투수성 재료와 불투수성 재료로 나누어서 쓸 것인가를 비교 검토할 필요가 있다.

나. 토질재료

1) 토질재료의 일반적 성질

토질재료는 댐 안정에 미치는 팽창 및 압축(수축)성이 적고, 수용성 물질이나 유기물을 포함하지 않은 재료를 사용하여야 하며, 다짐이 용이하고 시공시

간극압의 발생량이 적은 재료로서 다짐 상태에서 소요의 투수계수와 전단강도를 만족시켜야 한다.

토질재료는 일정한 다짐에너지로 다질 때, 최대건조단위중량이 되는 최적함수비를 가지며 일정 함수비일 때는 고함수비 점성토를 제거하면 다짐에너지가 클수록 건조단위중량이 커진다.

토질재료의 다짐상태에서의 투수계수 및 전단강도는 재료의 종류 및 입도에 따라 다르고 함수비 및 건조단위중량에 따라 크게 영향을 받는다.

일반적으로 동일 토질재료는 건조단위중량이 클수록 전단강도가 크고 투수계수 및 변형량은 적은 경향이 있다. 표 4.7.1 및 표 4.7.2에 토질 및 사력재료의 통일분류와 특성과 재료의 적용도 관계를 나타내었다.

2) 투수계수

투수계수는 세립분을 많이 함유하는 재료일수록 작다. 동일재료를 일정한 다짐에너지로 다졌을 때 최적함수비보다 다소 습윤 측에서 투수계수는 최소가 되고 다짐에너지를 크게 하여 건조단위중량이 커질 때 투수계수는 작아진다.

3) 토질재료의 전단강도

토질재료의 전단강도는 일반적으로 겉보기 점착력과 전단저항각의 강도정수로 표시한다. 이들 정수는 유효응력 표시에 의한 정수(c' , ϕ')와 전응력 표시에 의한 정수(c , ϕ)의 2종으로 구분된다.

전단강도는 동일재료를 일정한 다짐에너지로 다질 때 최적함수비보다 습윤 측 또는 건조측이 될수록 저하되며, 다시 다짐에너지를 크게 하여 건조단위중량이 커질 때에는 전단강도는 커진다.

전응력 표시(비압밀비배수 조건)일 때, 강도정수는 동일재료, 동일건조단위중량일 때, 포화도 또는 함수비 및 구속압에 큰 영향을 받는다.

전단시험시의 포화도가 높을수록 점착력성분(이하 점착력이라 한다)이 커지고 전단저항각은 작아진다. 역으로 포화도가 낮아지면 점착력이 작고 전단저항각은 커진다.

유효응력으로 표시할 때에는 강도정수에 미치는 포화도의 영향이 적고 동일재료, 동일건조밀도이면 거의 일정한 점착력과 전단저항각을 나타내는 경향이 있다. 또 조립분을 많이 함유한 재료일수록 점착력이 작고 전단저항각이 큰 경향을 나타낸다. 더욱이 건설단계에서는 다짐할 때의 함수비가 높고 투수성이 낮은 재료일수록 성토시 과잉 간극수압이 높아진다. 또 저류수의 침투에 의하여 체체 내에 간극수압이 작용한다.

표 4.7.1 토질 및 사력재료의 성질과 재료로서의 적응도

분류 기호	중요한 성질(전압후)				재료의 적성도				
	투수성	전 단 강도	압축성	작업성	재 체			기 초	
					균 일 형 태	차 수 존	투 수 존	침 투류 고 려	침 투류 무 시
GW	투수성	우	거의없음	우	-	-	1	-	1
GP	큰 투수성	양	"	양	-	-	2	-	3
GM	반-불 투수성	양	"	"	2	4	-	1	4
GC	불 투수성	양-가	극소	"	1	1	-	2	6
SW	투수성	우	거의없음	우	-	-	3*	-	2
SP	투수성	양	극소	가	-	-	4*	-	5
SM	반-불 투수성	양	소	"	4	5	-	3	7
SC	불 투수성	양-가	"	양	3	2	-	4	8
ML	반-불 투수성	가	중	가	6	6	-	5	9
CL	불 투수성	가	"	양-가	5	3	-	6	10
OL	반-불 투수성	불가	"	가	8	8	-	7	11
MH	반-불 투수성	가-불가	대	불가	9	9	-	8	12
CH	불 투수성	불가	"	"	7	7	-	9	13
OH	불 투수성	불가	"	"	10	10	-	10	14
Pt	-	-	-	-	-	-	-	-	-

- (주) 1. * 자갈의 함유가 많은 것
 2. 재료의 적성도 난의 숫자가 클수록 적성도가 낮음

이와 같은 압력은 전단강도에 크게 영향을 끼치므로 시공중 성토완료 직후 및 성토완료 수년 후 각 단계에서의 제체 내의 간극수압을 정밀하게 추정하여 이것을 안정해석에 쓸 필요가 있다.

4) 토질재료의 다짐

다짐은 일반적으로 조립분을 많이 함유하는 재료일수록 용이하며 동일재료를 일정한 다짐에너지로 다질 때는 최적함수비 부근의 다짐이 더욱 용이하다. 이토와 같은 고함수비 점성토는 자연함수비가 최적함수비보다 상당히 높고 실제시공이 어려울 뿐 아니라 다짐에 의한 뒤섞임 영향으로 전단강도가 저하되는 일이 많다.

또 자연함수비가 최적함수비보다 적은 토질재료도 있다. 따라서 다짐에너지에 특히 유의하여야 하며 때에 따라서는 재료를 효과적으로 다지기 위하여 함수비를 조정해야 한다.

5) 토질재료의 변형량

조립분을 많이 함유하고 건조밀도가 클수록 다짐 후의 변형량은 적다. 조립분을 많이 함유한 재료는 압축변형이 주가 된다.

또 세립분을 많이 함유한 재료는 압밀변형이 주로서 압밀은 장시간을 요하며 성토완료 후까지 계속할 때도 있다. 체체의 변형을 될 수 있는 대로 적게 하기 위하여 재료의 압축지수를 0.2 정도 이하로 하는 것이 좋다.

6) 유기물

재료중 유기물은 화학변화에 의하여 재료의 성질을 변화시키는 경향이 있으므로 유기물을 많이 함유하는 재료는 좋지 않다.

재료 중 나무뿌리 초류는 부패 용출하여 간극을 생기게 함으로 제거해야 한다. 재료중의 유기물 함유량은 재료 종류, 기후, 식생, 수분, 환경 등에 따라서 다르나 이탄과 같이 대부분이 미분해 유기물인 흙이나 일부 연약축적 지반에서와 같이 10 % 정도의 유기물을 함유하는 흙 또는 화강토와 같이 1% 내외의 부식분을 함유한 흙 등이 있다. 유기물 함유량이 2~4 % 정도가 되면 전단강도나 압축성에 영향을 주므로 이러한 재료는 사용하지 않는 것이 좋다.

다. 사력재료

1) 사력재료의 일반적 성질

사력재료는 단단하고 입도가 양호하며 건조단위중량이 큰 재료로서 다짐이 용이하고 변형량이 적은 재료가 바람직하다. 특히 세립분의 함유량이 많은 경우 시공 중에 과잉간극수압이나 수위 급강하시의 잔류 간극수압이 발생하지 않도록 주의한다.

사력재료의 전단강도는 입자의 형상, 입도, 건조단위중량은 물론이고 응력상태에 따라서도 다르다. 일반적으로 재료가 단단하며 입도가 좋고 건조단위중량이 클수록 전단강도가 크다. 투수성은 입도에 따라 특히 세립분 함유량에 따라 현저하게 다르다.

동일재료에서는 건조단위중량이 클수록 투수계수는 작다. 다짐은 일반적으로 입도가 양호할수록 쉽고 큰 건조단위중량이 얻어진다. 변형량은 건조단위중량이 클수록 적다.

2) 사력재료의 전단강도

사력재료의 전단강도는 일반적으로 마찰력 성분이 지배적이고 토질재료보다 록재료에 가까운 경향을 나타낸다. 그러나 투수성이 낮은 사력재료에서는 시공중의 과잉 간극수압이나 수위급강하시의 잔류간극수압에 대하여 검토하는

것이 필요하다. 다짐정도는 토질재료의 다짐특성에서와 같이 최적함수비나 최대건조단위중량이 뚜렷하게 나타나지 않으므로 상대밀도로 나타내는 때가 있다. 그림 4.7.2는 사력재료의 전단강도와 전단저항과의 관계를 나타낸 것이다.

표 4.7.3 사력재료의 상대밀도와 전단저항각과의 관계 예

입경 및 입도 배합	상대밀도		
	> 70 %	70 ~ 50 %	< 50 %
	치밀함	보통	느슨함
세사와 조사가 균등하게 배합되어 있을 때 입도 배합이 좋은 조사 및 입도 배합이 불량한 모래, 자갈의 혼합재료 입도 배합이 좋은 모래, 자갈의 혼합재료	34 ~ 38°	32 ~ 34°	28 ~ 30°
	37 ~ 45°	33 ~ 36°	30 ~ 33°
	40 ~ 45°	36 ~ 41°	33 ~ 36°

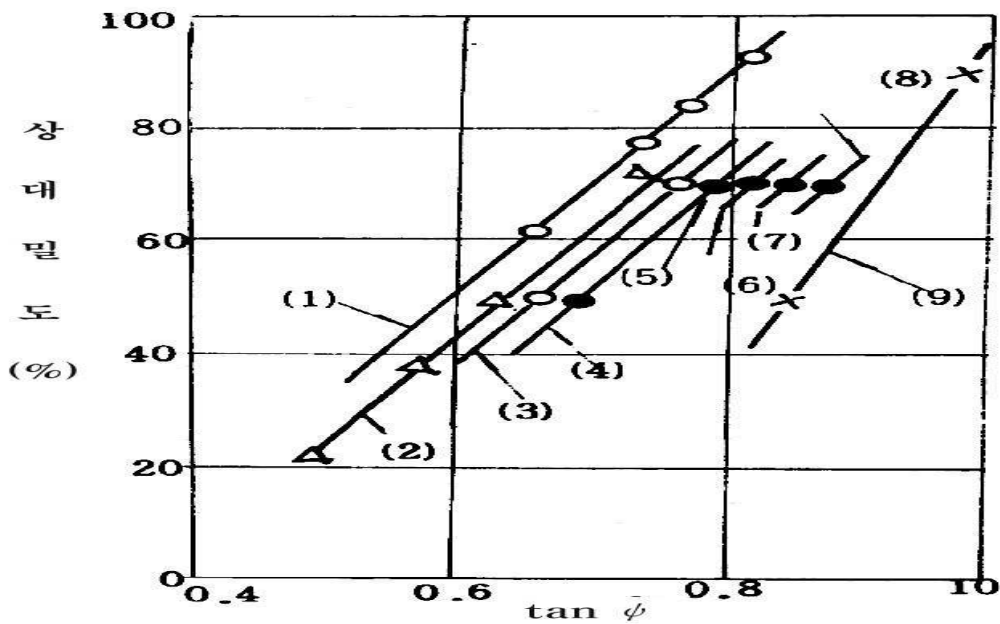


그림 4.7.2 사력재료의 상대밀도와 전단저항의 관계

라. 록재료

1) 록재료의 일반적 성질

록재료는 다진 상태에서 소요의 전단강도와 투수성(투수계수는 일반적으로 1×10^{-3} cm/s보다 클 것)을 만족하고, 유해물질을 함유하지 않은 단단하고 내

구성이 크고 변형이 적은 재료가 바람직하다. 특히, 록재료로서 가장 요구되는 것은 안전성이므로, 견고하고 균열이 적고 물이나 기상작용에 대한 내구성이 커야 한다. 또한 될수록 크고 모난 것이 좋고 얇은 조각으로 깨지는 것은 좋지 않다. 화성암, 변성암은 좋으나 수성암은 그대로 록재료로서 쓰지 못할 경우도 있다. 암석에서 가장 문제되는 것은 발파에 의한 입도이다.

록재료는 주로 평균입경이 15 cm 이상의 것을 말하며, 이상적으로는 무게 250~500 kgf(입경 45~60 cm)이상, 10 cm이하의 입경을 5% 이상 포함하지 않을 것, 부릴 때에 파쇄되지 않고, 비중 2.5이상, 압축강도 700 kgf/cm² 이상, 내구성(황산나트륨) 0.015% 이하를 추천하고 있으나 현장 조건, 댐의 규모 등에 따라 조절하여 사용할 수도 있다. 만약, 암에 황철광이 함유되어 있으면 물이나 산소와 화학반응하여 유해물질이 발생될 우려가 있으며, 단층 파쇄대의 점토광물에 의하여 강알카리성 물이 발생하는 경우도 있으므로 암의 화학적 작용과 영향에 대하여도 충분히 고려할 필요가 있다.

록재료에는 시공 중에 파쇄되어 세립화하는 재료나 풍화할 우려가 있는 재료도 있고 또 반투수성 재료의 범위에 속하는 때도 있다. 따라서 이들 재료를 사용할 때는 설계치 결정이나 준의 배치에 있어 적절한 고려를 해야 한다.

록재료의 전단강도는 재료의 경도, 입자의 형상, 입도 및 응력상태에 따라 다르다. 일반적으로 재료가 굳은 것, 입도가 좋고 밀도가 클수록 전단강도는 크고 축재 후의 변형량도 적다.

표 4.7.4는 록재료로서 적합한 암을 나타내었다. 대부분의 화성암이나 변성암은 록필부분의 재료로 축재에 사용되지만 퇴적암의 대부분(응회암, 연사암, 셰일, 이암 등)은 중량, 강도, 굳기 내구성 등으로 볼 때 축조 후 풍화가 예상된다. 연암을 체체재료로 사용함에는 세 가지 방법이 있다. 하나는 공기나 물의 변화에 관계없이 랜덤층(예를 들면, 상류층 저수위 이하의 부분)에 사용하는 방법, 둘째는 파쇄하여 흙처럼 사용하는 방법, 세째는 다른 토취장의 흙과 혼합하여 사용하는 방법이다. 어느 것이나 파쇄하여 중요하지 않은 랜덤층(재료를 선택하지 않고 되는대로 쌓은 층)에 사용하는 것이 좋다.

이 때에는 특히 파쇄시험이 필요하다. 리퍼나 스크레이퍼로서 굴착할 수 있는가, 발파하면 어떻게 되는가, 롤러 전압에 의하여 어느 정도 파쇄되는가, 침투시키면 붕괴되는가 등을 현장 실시공과 관련시켜서 명백히 해두어야 한다. 이암, 셰일은 연암의 전형적인 것으로 광범위하게 분포하고 있다.

표 4.7.4 목재료로 적합한 암석

적합한 암종	사용할 때 주의할 암종
심성암(화강암, 섬록암, 반려암) 반심성암(석영반암, 반암, 휘록암 등) 화산암류(유문암, 안산암, 현무암 등) 중생대 이전의 퇴적암(혈암, 점판암 등) 층리가 많은 암석을 제외한 사암, 휘록 응회암, 석회암, Chert 등)	초염기성 암류(사문암 등) 변성암류(편리가 발달한 결정편암, 편마암 등) 화산암류(신제3기 이후의 응회암, 온천작용을 받은 암석) 퇴적암류(셰일, 점판암, 신제3기이후 사암 및 용기 산호초, 석회석 등)

특히 충분한 고결작용을 받지 않은 점토 셰일은 일반적으로 무르고 전압에 의하여 파쇄된다. 실내 시험기준은 아직 규정이 없으나 압축강도, 흡수량, 충격시험, 로스앤젤레스 마모시험, 풍화도 시험(건습 반복법, 황산나트륨법, 동결융해법) 등 과거부터 콘크리트 골재시험으로서 해온 것을 참고로 하고, 화학적 성질에 관한 시험, 직사일광 등으로 유화작용을 결들인 시험 등 암의 역학적, 화학적 성질을 파악해서 축제재료로서의 적부를 검토할 필요가 있다.

또, 공기에 노출되어 건습의 반복을 받으면 쉽게 슬래킹(slaking)되어 세편으로 부서지는 것이 많다. 그 결과 재료의 중요한 성질인 전단강도, 투수성, 압밀도 등 중요한 성질에 변화가 생겨서 이것이 제체 안정에 좋지 못한 영향을 끼치는 경우가 있다고 생각되어 종래 댐의 축제재료로서 의문시되는 일이 많았다. 그림 4.7.3는 댐 축제에 사용한 이암의 전압 전후의 입도곡선을 비교한 것이다.

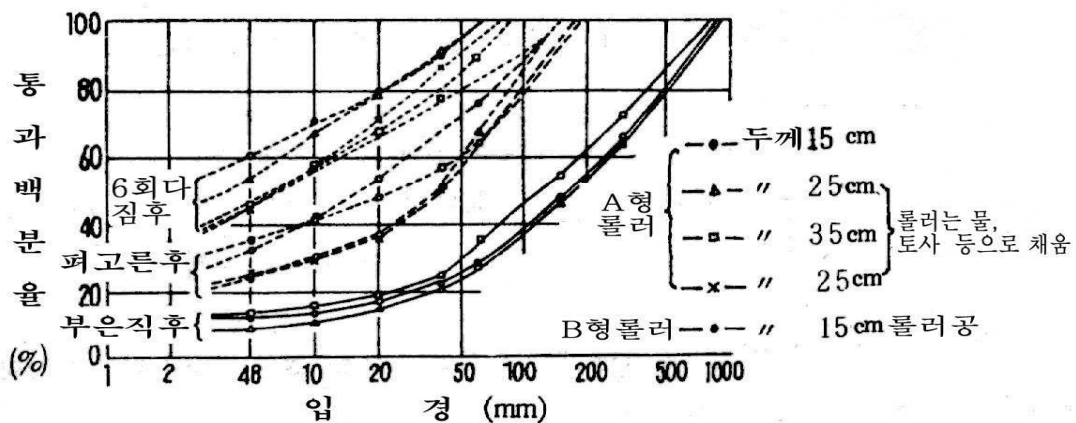


그림 4.7.3 댐 축제에 사용한 이암의 다짐전후의 입도곡선 비교

2) 록재료의 전단강도

록재료의 전단강도는 사력재료와 같이 전단저항각이 지배하며 다짐정도도 상대밀도로 나타내는 일이 많다.

[참고] 록재료의 전단강도에 영향을 끼치는 요소

록재료의 전단강도에 영향을 끼치는 요소는 다음과 같다.

(1) 재료의 굳기와 전단강도는 조성광물, 풍화, 변질의 정도 등에 따라 다르나 일반적으로 일축압축강도가 클수록 전단저항각이 크다. 록 재료에 필요한 압축강도의 기준은 이상적으로는 700 kgf/cm², 제체 50 m 이하의 댐에서는 300 kgf/cm²로 하는 예가 있다. 러시아에서는 록의 등급구분은 최소압축강도는 낮은 댐 200~280 kgf/cm², 중간 댐 280~350 kgf/cm², 높은 댐 350~450 kgf/cm²으로 규정하고 있다.

(2) 재료의 입도와 전단강도와의 관계

일반적으로 균등계수가 크고 광범위한 입경으로 이루어진 입도분포가 좋은 재료일수록 밀도가 크고 전단저항각(ϕ)도 크다. 미국 개척국에 의하면 19 mm 이하의 자갈질 모래의 양을 20%에서 35%로 증가하면 7 kgf/cm²의 수직하중에서 ϕ 값이 3.5° 증가하고, 76 mm이하의 록의 양을 65 %에서 81 %로 증가하면 ϕ 값이 2° 증가하였다.

(3) 재료의 밀도와 전단강도와의 관계

다짐밀도는 상대밀도(D_r)또는 간극비로 나타내며 이는 전단저항각(ϕ 값)에 가장 큰 영향을 준다.

ϕ 값은 다짐정도에 따라 10~15°라고 보고된 예가 있다. 즉 입도 분포가 좋고 모가 난 재료일 때 $D_r = 0$ 에서 $\phi \approx 35^\circ$, $D_r = 100$ 에서 $\phi \approx 50^\circ$ 균일 입도의 둥근 재료일 때 $D_r = 0$ 에서 $\phi \approx 30^\circ$, $D_r=100\%$, $\phi \approx 40^\circ$ 정도이다.

또 조립재료를 입상체라고 생각하여 통계역학의 방법으로 유도한 전단저항각에 관한 최상의 이론식에 의하면 전단저항각(ϕ)은 간극비(e)의 관계식으로서 표시되며 평면변위 조건에서는 식 (4.7.1)으로 나타내어진다.

$$\sin\phi = \frac{k}{1+e} \dots\dots\dots$$

(4.7.1)

여기서, k는 재질이나 입도 등에 의한 정수로 과거의 실험 예에 의하면 k와 $\log U_c$ (U_c 는 재료의 균등계수)와는 직선적 비례관계가 있고 $k = 0.7 \sim 1.3$

의 범위의 값이다(그림 4.7.4 참고).

(4) 재료의 응력 상태와 전단강도와의 관계

일반적으로 구속압이 커지면 전단강도의 포락선은 위로 볼록하게 되며 전단 저항각(ϕ)는 응력이 증가와 더불어 감소한다.

그림 4.7.5 는 미 개척국에서 시행한 대형 삼축시험의 결과로 재하중의 증가에 따른 ϕ 값의 감소를 나타낸 것이다. 이와 같이 ϕ 값은 모든 재료와 공식체의 치수에 관계없이 하중의 증가에 대하여 어떤 비율로 감소하나 45.5 kgf/cm² 이상의 하중에서부터는 ϕ 값의 현저한 감소는 없다고 보고되고 있다.

3) 록 재료의 투수성

록 재료의 투수성을 지배하는 요인은 전단강도에서와 같이 여러 가지 있으나 크게 영향을 미치는 것으로 입도와 단위중량이 있다. 입도 중에서도 재료와 세립분 함유량은 투수성에 큰 영향을 끼친다. 그림 4.7.6은 재료의 10 % 입경과 투수계수와의 관계를 다짐 밀도를 변수로 하여 나타낸 예이다.

4) 록 재료의 내구성

록 재료는 물 및 기상작용에 대하여 안전하고 내구성이 큰 것이 요망되나 부득이 시공 중에 파쇄되어 세립화되는 재료나 풍화의 염려가 있는 재료를 쓸 때는 설계치의 선정을 신중히 함은 물론 존의 배치에 있어 물 및 기상작용에 대하여 영향을 적게 받도록 충분히 고려한다. 재료 풍화의 용이성을 표시하는 법은 확립되어 있지 않으나 콘크리트 골재의 안정성 시험, 동결융해시험의 결과나 비중, 흡수량 등을 참조하여 내구성을 판단한다.

재료의 내구성에 관하여 황산나트륨법에 의한 손실중량이 15 %때나 비중이 2.5 이상이고 흡수량이 3 % 이하의 재료일 때는 내구성이 좋다고 판단한다.

5) 록 재료의 화학적 성질

종래 암에 대하여서는 화학적 작용에 의한 환경오염원이 되는 예는 볼 수 없었다. 그러나 근래 어떤 종류의 암은 자연퇴적상태에서는 활발한 화학반응을 일으키지 않은 경우에도 굴착, 성토에 의해서 대기나 물의 작용을 받아 화학반응이 촉진되어 유해물질이 발생해서 오염원이 되는 것이 밝혀졌으므로 암의 화학적 성질에 대해 유의할 필요가 있다. 더욱이 암의 화학적 성질에 관한 표준시험 방법은 확립되어 있지 않으므로 타 분야 전문지식을 도입하여 화학적 성질을 명확히 하는 것이 요망되나 적어도 광물성분의 화학분석을 함과 동

시에 압편을 물에 담구어 용출 시험할 필요가 있다.

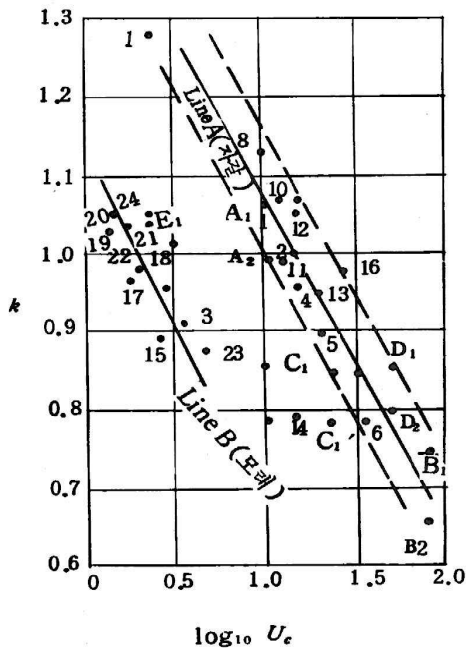


그림 4.7.4 자갈의 균등계수와 전단저항각의 관계

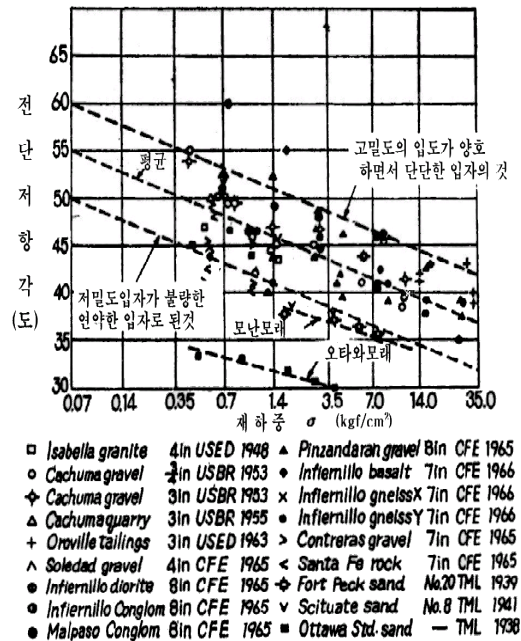


그림 4.7.5 각종 록재료의 재하중과 전단저항각의 관계

마. 이행부 재료

불투수성부와 투수성부와의 중간에 설치되는 재료를 말하며, 경우에 따라서는 흙, 모래, 자갈 상태의 것까지 있다. 포장형 댐에서 막돌쌓기도 하나의 이행부를 생각하면 중량 500 kg 이상이고 길이가 폭의 2~3배의 모난 직사각형 암석까지 포함하게 된다. 불투수성 범위를 벗어날 정도의 조립재료가 되면 건조단위중량, 내부 마찰각, 점착력 등의 시험을 하기 위해서는 대규모의 시설과 시간을 필요로 한다.

트랜지션의 주목적은 투수성준과 불투수성준의 중간에 배치하여 그 사이 입도의 급격한 변화를 피하여 양측의 투수성, 응력 및 변형의 영향을 완화하는데 있다. 따라서 이 재료는 필터재료에 비하여 떨어지는 입도 조건으로 사용할 수가 있다. 일반적으로 사력재료가 사용되나 때에 따라서는 자갈이나 암설 또는 반투수성의 범위를 벗어날 수 있는 정도의 조립재료를 써도 좋다.

또 필터에 비하여 트랜지션의 폭은 넓으므로 체체의 역학적 안정에 충분한 전단강도를 가진 재료일 것이 요망된다. 그림 4.7.1 및 표 4.7.5는 미 육군 공

병단과 프랑스 전력회사에서 이행부 재료로서 사용한 재료(67개의 시료)의 여러 성질을 모은 것으로, 크게 분류하면 다음과 같다.

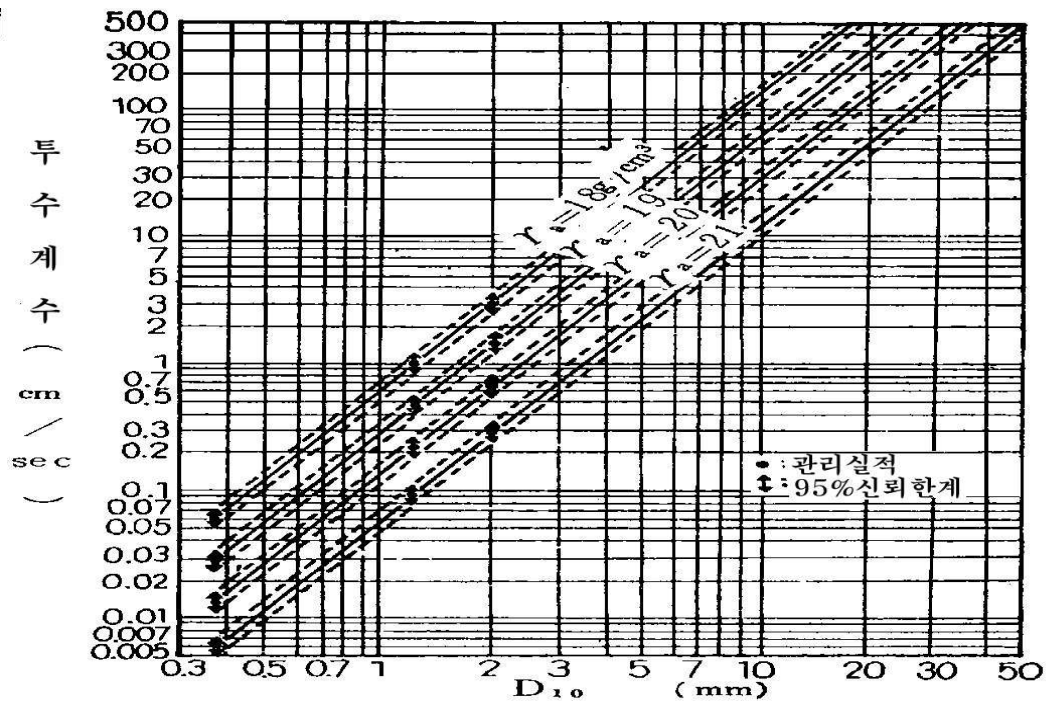


그림 4.7.6 록재료의 10 % 입경과 투수계수와의 관계

A : 불투수성 재료의 범위 중 세립분이 많은 부분, 약 1/3부분은 건조상태로 전압되었을 때 균열이 생기기 쉬운 범위이다.

이것은 미국 개척국에서 17개댐의 조사결과 저~중소성($PI < 15$)의 무기질 점토에 속하는 것은 그 전후의 입도로 된 재료에 비해서 균열에 대하여 위험한 재료라 할 수 있다.

B : 스웨덴의 습식 전압법(함수비를 최적함수비 부근까지 낮추는 것이 어렵기 때문에 가벼운 롤러를 써서 포화도를 조절하면서 불투수성을 확보하도록 전압하는 방식)에 따라 시공되는 차수재료의 범위는 미국 개척국 불투수 범위의 거의 중앙 1/3 부분에 해당한다.

C : 미 육군공병단, 프랑스 전력회사 등에서는 차수재료로서 미국 개척국의 불투수 범위를 약간 벗어나는 조립재료를 써서 성공하고 있다. 일본 牧尾댐, 프랑스 Serre Ponsom 댐, 미국 Hills Creek 댐 등 4.76 mm 이하의 세립분이 40 % 이하인 것이 10개소 이상의 예가 있으나 여기서 주의할 것은 0.074 mm 이하의 세립자가 7 % 이하인 때는 불투수성은 얻기 어렵다.

D : 미국 서부 65개소의 균일형댐 중 활동을 일으킨 14개소 댐의 흙의 입

도는 모두 D_{50} 이 0.06 mm 이하로 되어 있지만 이것을 입도곡선표에 그려보면 역시 미국 개척국 범위의 불투수부의 상방 1/3보다도 세립에 가까운 쪽이다. 개척국의 불투수부 상한선은 활동 여부의 한계라고 할 수 있다.

E : 실제의 축제재료의 입도분포 및 재료는 대단히 광범위하고 입도곡선도 여러 가지 형태를 나타낸다.

표 4.7.5 이행부 재료의 대형 3축시험 결과(미육군 공병단, 프랑스전력회사)

입도(group)	개 수	$T_d(\text{tf/m}^3)$	$\phi(\text{deg.})$	$c(\text{kgf/cm}^2)$
A	10	1.97 ~ 2.17(2.04)	38 ~ 48(41)	0.04 ~ 0.46(0.34)
B	22	1.78 ~ 2.40(2.07)	36 ~ 43(40)	0 ~ 1.31(0.41)
C	32	1.57 ~ 2.19(1.94)	29 ~ 41(38)	0 ~ 1.21(0.31)
D	1	1.57	32	0.17
E	2	1.46 ~ 1.68(1.07)	36 ~ 37(36)	0 ~ 0.54(0.34)

* ()안은 평균값을 표시

바. 시험성토

중소 댐에서는 시험성토를 필요로 하지 않으나 대규모 댐 일수록 경비를 들여서라도 시험을 하는 것이 훨씬 경제적인 공사비가 될 수 있다. 보통 시험성토는 착공초기에 하는 것이나 필요하면 설계 중에도 시도하여 공사를 실시하기도 한다. 이 시험의 주안점은 굴착, 다지기의 가장 좋은 방법을 발견하려는 데 있다. 즉, 다짐 두께, 함수비, 전압기계, 전압횟수 등을 정하고 특수한 문제점(재료와 혼합법, 큰 자갈의 분리법, 토량계수의 결정)을 찾아내어 현장에 있어서의 투수계수, 전단강도와 실내시험의 값들을 비교하는 것이 큰 목적이다. 다음과 같은 경우에는 반드시 시험성토를 해서 확인해야 한다.

1) 소량의 세립분을 함유한 막재료를 코어로 쓸 때의 투수도, 분리여부 또는 두 가지의 다른 재료를 혼합하는 가장 좋은 방법은 어느 것인가, 어느 정도의 강수량일 때까지 시공이 가능한 가, 함수비가 큰 흙의 건조속도는 어느 정도 인가 등

2) 록필의 시험성토는 층상으로 해서 전압 가능 여부, 사수의 가부 및 수량 등을 알기 위해서 더욱 중요하다.

3) 연암을 사용할 때는 반드시 시험성토를 한다. 기계로 굴착하여 전압할 때의 파쇄도와 불투수도, 크러셔에 넣었을 때의 파쇄도, 그리고 토취장은 깊이에 따라 암과 같이 점차로 견고해지는 것이 보통인데 깊이와 견고도와의 관계

를 확인해야 한다.

4.7.2 필터재료

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 역할 및 중요성

필터(filter)는 토공 구조물에서 침투수의 침투를 촉진하면서 흙입자의 유동을 방지하기 위하여 설치한 것을 말한다.

필터는 어떠한 재료라도 좋다는 사고방식이 보급되어 갈수록 필터의 중요성도 더욱 강조되어야 한다. 댐 기초 취수관으로 부터의 누수도 대부분 필터의 잘못된 설계에서 기인하는 경우가 많으므로, 필터재료는 투수성이 크게 다른 두가지 재료(불투수성 존과 투수성 또는 반투수성 존)의 중간에 위치하여 투수성에 의한 불투수성 재료의 유출을 방지하고 침투수를 완전히 배출 유하시켜 파이핑 등에 의한 침투과괴를 방지할 수 있는 사력재료를 사용해야 한다.

나. 필터의 법칙

필터재료는 바닥재료보다는 투수성이 커야 하나 너무 커도 좋지 않다. 필터재료는 크게 ① 필터재료의 공극 크기는 현장에서 보호재료보다 더 큰 입자를 보유할 수 있도록 충분히 적어야 하며, ② 필터재료는 필터 속에서 침투력과 정수압의 상승을 방지하기 위하여 투수성이 커야 하는 전제조건을 만족시켜야 하며, 보통 다음 조건을 만족시켜야 한다.

1) $\frac{\text{필터재료의 15 \% 입경}}{\text{필터로 보호되는 재료의 15 \% 입경}} \geq 4 \sim 5$

(4.7.4)

2) $\frac{\text{필터재료의 15 \% 입경}}{\text{필터로 보호되는 재료의 85 \% 입경}} < 4 \sim 5$

(4.7.5)

3) 필터재료의 입도곡선은 보호되는 재료의 입도곡선과 거의 평행인 것이 좋다.

4) 필터로 보호되는 재료가 조립재료를 함유할 때는 재료의 25 mm 이하의

부분에 대하여 1) 및 2)를 적용한다.

5) 필터재료는 점착성이 없는 것으로 0.074 mm 이하의 세립분 함유량은 원칙적으로 5 %이하로 하는 것이 좋다.

6) 필터재료의 최대치수는 보호되는 층이 흙이나 모래일 때 75 mm로 하는 것이 좋다.

7) 필터재료는 보호되는 재료보다 10 ~ 100배의 투수성을 가지는 것이 좋다. 상기에서 1)은 파이핑 방지를 확실히 하기 위한 것이고 2)는 필터의 투수성이 보호되는 재료의 투수성보다 크게 되도록 정한 것이다.

8) 미국 공병단은 다음과 같은 조건을 제시하였다.

$$\text{㉠} \frac{\text{필터 재료의 50 \% 입경}}{\text{필터로 보호되는 재료의 50 \% 입경}} \leq 25 \quad \dots\dots\dots$$

(4.7.6)

$$\text{㉡} \frac{\text{필터 재료의 15 \% 입경}}{\text{필터로 보호되는 재료의 85 \% 입경}} \leq 5 \quad \dots\dots\dots$$

(4.7.7)

다. 필터의 두께

필터 두께는 이론적으로 얇은 것이 좋지만 시공조건과 지진에 대한 안전성을 고려하여 여유있게 설계한다. 수평필터의 최소두께는 모래 15 cm, 자갈 30 cm 이지만 보통 1.0×1.0의 모래를 10 ~ 15 m 간격으로 설치한다.

수직필터는 토-드레인(toe drain)을 연결하며, 최소두께는 2.0 ~ 3.0 m가 보통이지만 재료 구하기가 어려운 경우에는 거푸집을 사용하여 1.0 ~ 1.5 m 정도로 설계할 수도 있다. 일반적인 필터의 설계 두께는 표 4.7.6과 같다.

라. 필터의 제조

자연상태의 재료로는 전술한 입도 조건을 만족하는 경우가 적으므로 최근에는 ① 콘크리트 골재를 제조하는 것과 같은 방법으로 씻기 또는 크러셔로 깨뜨린 것을 체가름하는 방법, ② 자연재료와 인공재료를 혼합하는 방법, ③ 토목섬유(geotextile)를 이용하는 방법 등 인공적으로 제조하는 일이 많다.

표 4.7.6 필터의 설계기준

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

[참고] 미국 개척국의 예

- ① 균일 필터*¹ : $5 < \frac{\text{필터재료의 50\% 입경}}{\text{보호되는 재료의 50\% 입경}} < 10$
- ② 둥근입자의 입도조정 필터*² : $12 < \frac{\text{필터재료의 15\% 입경}}{\text{보호되는 재료의 15\% 입경}} < 40$
 $12 < \frac{\text{필터재료의 50\% 입경}}{\text{보호되는 재료의 50\% 입경}} < 58^*$
- ③ 모난입자의 입도조정 필터*² : $6 < \frac{\text{필터재료의 15\% 입경}}{\text{보호되는 재료의 15\% 입경}} < 18$
 $9 < \frac{\text{필터재료의 50\% 입경}}{\text{보호되는 재료의 50\% 입경}} < 30$
- ④ 필터재와 배수관의 유공경 또는 : $5 < \frac{\text{필터재료의 50\% 입경}}{\text{유공경 또는 틈의 크기}} < 10$
- 파이프이음 매 틈의 크기

(註) * 1. 균등계수 3~4 정도, 2. 세·조립자가 적당히 혼합되어 있는 입도

3. 미국 개척국, 미국공병대 모두 25이하를 권장

[참고] 토목섬유 필터의 설계기준

토목섬유 필터는 합성섬유로 만들어진 것으로 부직포(non-woven fabrics), 직포(woven fabrics) 및 편직포(knitted fabrics)로 분류된다. 그러나 토목섬유가 필터로 사용될 때는 다음 문제가 생길 수 있으므로 시공시 주의해야 한다. 이러한 문제점이 설계, 시공 및 품질관리 측면에서 해결된다면 토목섬유 필터는 매우 유용하게 사용될 수 있으며, 특히 공사기간을 단축시킬 수 있다.

- ① 햇빛이나 자외선에 노출되면 품질이 저하된다.
- ② 구멍막힘(clogging) 현상이 생길 수 있다.
- ③ 압축력을 받으면 투수성이 감소된다.
- ④ 흙 속에 화학물질이 있으면 부패될 우려가 있다.
- ⑤ 토목섬유 내에 미생물이 성장할 수 있다.
- ⑥ 부주의한 시공으로 취약점이 생길 수 있다.

Giroud에 의하여 제안된 토목섬유 필터의 설계기준은 다음과 같다.

(1) 투수성을 기준으로 할 때

$$k(g) > 0.1 k(s) \dots\dots\dots$$

(4.7.8)

여기서, k(g)는 토목섬유의 투수계수, k(s)는 보호용 흙의 투수계수이다.

(2) 보전(retention)을 기준으로 할 때

	상대밀도(%)	흙의 균등계수	
		$1 < C_u < 3$	$C_u > 3$
느슨한 흙	$D_r < 35$	$O_{95} < C_u d_{50}$	$O_{95} < \frac{9}{C_u} d_{50}$
중간정도의 촘촘한 흙	$35 < D_r < 65$	$O_{95} < 1.5 C_u d_{50}$	$O_{95} < \frac{13.5}{C_u} d_{50}$
촘촘한 흙	$D_r < 65$	$O_{95} < 2 C_u d_{50}$	$O_{95} < \frac{18}{C_u} d_{50}$

여기서, D_r 는 상대밀도, C_u 는 흙의 균등계수, O_{95} 는 토목섬유의 겉보기 구멍의 크기, d_{50} 은 흙의 평균입경이다.

4.7.3 사석재료

상·하류면의 보호 및 안정을 위하여 사면 보호공을 설치하며, 여기에 사용되는 사석은 요구되는 강도 및 내구성을 가져야 한다.

가. 보호공

일반적으로 필댐에서 암석, 호박돌 이외의 재료로 이루어진 상류사면은 파랑에 의한 침식, 저수위 급저하시나 진동에 의한 유출 및 기상작용에 의한 풍화 등을 방지하기 위하여 보호공을 설치한다. 또는 저수위 급저하시에는 제체 내에 비정상류가 되어, 유선은 상류사면에 침출되고 특히 저수위 상부 부근의 사면에 집중 유출하여 그 침투압에 의해 토립자가 유출되는 것을 방지하기 위

하여 설치한다.

과랑에 의한 침식은 저수가 있는 한 항상 계속적으로 작용하여 특히 풍우시에는 사면 전체가 연화상태에서 큰 과랑이 작용하기 때문에 사면이 크게 침식된다. 또 과랑침식은 비점성토가 점성토보다 크게 침식된다.

기타 동결, 한해(旱害)에 의한 균열 등 자연의 기상작용에 의한 풍화가 발생한다. 이들 여러 가지 사면과괴 작용으로부터 체체(어버트먼트나 원지반에 시공된 블랭킷 등의 성토공)을 포함한 상류사면을 보호해야 한다.

나. 사석의 크기와 두께

사석의 크기와 두께는 각각의 돌이 과랑에 의하여 움직이지 않고 체체의 흙의 흡출작용에 의하여 유출되지 않을 것 등의 조건을 만족해야 한다.

일반적으로 보호공으로 사용되는 사석재는 비중은 2.5 이상, 흡수율은 3% 이하, 압축강도는 400 kgf/cm² 정도를 가져야 하며, 최대 입경은 1.5×D₅₀로 하고, 2.5 cm 이하의 입자까지 포함된 배합이 좋은 재료이어야 한다. 따라서 이보다 불량한 암석재료는 다시 사석 두께에 안전치를 둘 필요가 있으며, 사석 두께는 사석최대 입경의 2배 이상으로 하되 최소 1.0 m 이상이 좋다.

미 육군 공병단에서는 표 4.7.7과 같이 기준을 정하고 있으며 이 표를 사용하려면 다음 점을 유의해야 한다. 또한, 사석두께는 사석최대 입경의 2배 이상으로 하되 최소 1.0 m 이상이 좋다.

1) 사석재료의 비중은 2.60, 최대 입경은 1.5×D₅₀로 하고, 2.5 cm 이하의 입자까지 포함된 배합이 좋은 재료이어야 한다. 따라서 이보다 불량한 암석재료는 다시 사석 두께에 안전치를 둘 필요가 있다.

2) 체체 재료는 점토에서 조립자까지 포함한 입도배합이 양호한 경우를 기준으로 하고 이 때문에 실트분이 많은 경우에는 필터의 두께를 증가시킬 필요가 있다.

3) 상류면 경사가 1 : 50 보다 완만할 때에는 표 4.7.7보다 작아도 좋다. 또 사면 경사가 1 : 10보다 완만할 때에는 하류측 쪽에는 사석 평균경이 15 cm의 입도배합이 좋은 재료로 두께 30 cm로 하면 충분하다.

사석공에서는 수면 부근에 큰 과력이 작용하여 사석 상호간의 간극이 클 때, 그 간극 내에서 필터재료의 분리나 유동이 생겨 사석의 변형이나 체체의 흡출현상이 발생하므로 사석의 간극은 최소가 되도록 충전시켜야 한다.

콘크리트 블록을 사용할 때, 두께는 10 cm 이상으로 하며 과랑이 높을 때에는 연결 블록을 쓰면 좋다. 블록의 안전상 사면 위에는 틀을 설치하여 평면방

향을 충분히 고정시켜야 한다. 틀의 구획 나누기는 블록의 치수, 사면의 경사에 따라 다르나 100 m² 정도로 하는 것이 좋다.

표 4.7.7 사면 사석공의 규모

과 고 (m)	사석 평균경 (D ₅₀ , cm)	최소 사석두께 (cm)	최소 필터두께 (cm)
0 ~ 0.6	25	30	15
0.6 ~ 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

(주 : 사석의 최대 입정보다 크고 1.5×D₅₀보다 클 것)

4.7.4 차수벽 재료

양질의 불투수성 재료를 구득할 수 없는 경우에는 차수벽 형을 적용하며, 차수벽 재료는 아스팔트 콘크리트와 철근콘크리트가 주로 사용한다. 여기에 사용되는 재료는 소요의 차수성, 강도 및 내구성을 가져야 하며, 댐의 안정에 영향을 미치지 않는 재료를 선정한다.

가. 재료일반

양질의 불투수성 재료를 구득할 수 없는 경우 또는 구득이 가능하더라도 비경제적인 경우에는 차수벽 형을 적용하며, 차수벽 재료는 아스팔트 콘크리트와 철근 콘크리트가 주로 사용된다. 또한, 여기에 사용되는 재료는 소요의 차수성, 강도 및 내구성을 가져야 하며, 댐의 안정에 영향을 미치지 않아야 한다. 따라서, 차수벽에 사용되는 재료는 충분한 시험을 통하여 소요의 조건을 만족하는 재료를 선정하여 사용한다.

1) 재료의 분류와 적용

차단벽재료는 아스팔트 콘크리트와 철근콘크리트로 분류한다. 일반적으로 양재료 모두 불투수성의 필재료가 없을 때의 포장용 댐에 적용한다. 재료는 소요의 차수성, 강도 및 내구성을 가질 것이 필요하다.

2) 재료의 사용범위

차수벽 재료에는 과거에 목재, 철근콘크리트, 강판 등이 이용되어 왔으나 최근에는 재료로서의 성질의 이점이나 신뢰성 등에서 아스팔트 콘크리트를 이용

하는 일이 많다.

기타의 조건이나 기술의 진보 등에 의하여 철근콘크리트를 사용하든가 고분자계 재료, 프리팩트 콘크리트 등 다른 재료의 사용도 가능하다고 생각된다.

나. 아스팔트 콘크리트

1) 재료의 성질

아스팔트 콘크리트는 투수성, 강도, 기능성, 사면에서의 안정성 및 내구성이 아스팔트, 골재, 필러(filler) 등 재료의 종류, 입도 및 혼합물 배합에 따라 크게 영향을 받으므로 구성재료의 선정에 있어서는 신중한 검토가 필요하다.

특히 온도변화나 반복하중에 의한 영향도 크기 때문에 충분한 주의를 요한다. 차수벽 재료에 쓰이는 아스팔트 콘크리트는 일반적으로 아스팔트, 골재, 필러로 되고 또 보호막을 형성하는 아스팔트 매스틱은 아스팔트와 필러로 이루어지나 어느 것이든 가열 처리하여 포설하는 혼합물로 사용목적에 따라 첨가물을 혼입하는 때가 있다.

2) 아스팔트

아스팔트는 기상상황, 사면경사 및 시공조건을 고려하여 설계조건에 적합한 성질을 가지고 있는 것을 사용한다.

3) 골재

① 조골재는 일반적으로 천연 또는 파쇄골재 및 슬래그 등으로 그 성상은 깨끗하고 단단하며 내구적이고 적당한 입도를 가지고 가열에 의한 품질의 변화 및 다짐에 의한 파쇄를 일으키지 않고 얇은 암편, 세장석편, 유기물 및 석분 등의 유해량을 함유하지 않은 것으로 한다.

② 세골재는 천연사 또는 파쇄사 및 슬래그 등으로 그 성상은 깨끗하고 단단하며 내구적이고 가열에 의하여 품질의 변화를 일으키지 않으며 점토, 실트, 유기물 등의 유해량을 함유하지 않은 것으로 한다

4) 필러

일반적으로 시멘트, 석회석분말, 소석회 분말, 기타의 광물질분말을 사용하나 먼지, 흙 등을 함유하지 않고 또 덩어리가 없는 것으로 한다.

5) 첨가물

첨가물로서 사용하는 아스베스트는 아스팔트 콘크리트의 안정성 등을 증강하기 위하여 첨가하는 것이나 아스팔트 콘크리트의 재료특성 및 시공성에 영향을 주므로 사용량에 대한 검토가 필요하다.

다. 철근 콘크리트

철근 콘크리트는 콘크리트 표준 시방서에 따라 소요의 수밀성, 강도 및 내구성을 가지는 것으로 한다.

4.8 침투수 및 간극수압의 검토

4.8.1 침투류 해석

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

가. 침투류 해석의 필요성

필댐을 설계할 때 침투현상에 대하여 다음과 같은 사항을 검토한다.

- ① 제체 및 기초지반 내에서의 침투유량(누수량)의 결정
- ② 침투수가 제체 및 기초지반의 안정성에 미치는 영향
- ③ 침투 조절방법

누수량은 댐의 저수 효율면에서 허용 누수량을 1일당 총 저수량의 0.05 %의 값을 한도로 하고 있는 경우가 많다. 침투수가 제체 안정성에 끼치는 영향을 검토하는 방법으로는 파이핑과 보일링(boiling)에 대한 안정성을 검토하는 방법과 제체 내의 침윤선을 결정하는 방법 및 제체와 기초의 안정해석을 하기 위하여 유선망을 결정하는 것 등이 있다.

침투 조절방법을 검토하는 데는 다음과 같은 방법이 기본적으로 고려되어야 하며, 이의 방법을 선택하고 검토하는 데에는 침투류의 해석이 필요하다.

- ① 파이핑이나 보일링을 방지하기 위하여 필터를 설치한다.
- ② 침투수 자체를 감소시킨다.
- ③ 배수를 안전하게 촉진시킨다.

일반적으로 이들 3가지 방법을 조합해서 채택하는 것이 보통이다.

나. 침투류 해석의 기본 방정식

2차원의 정상 침투류에서 임의의 미소요소에 대하여 흐름의 연속성법칙으로부터 다음 식이 성립한다.

$$\frac{\partial V_z}{\partial z} + \frac{\partial V_x}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots$$

(4.8.1)

여기서, V_z 는 V_x 는 각각 연직방향(z) 및 수평방향(x)의 침투유속이다. 또한, 각 방향의 침투유속을 Darcy의 법칙을 적용하면 다음과 같다.

$$V_z = -k_z \frac{\partial h}{\partial z} \quad \dots\dots\dots (4.8.2)$$

$$V_x = -k_x \frac{\partial h}{\partial x} \quad \dots\dots\dots (4.8.3)$$

여기서, h 는 고려되는 지점의 동수압, k_z 및 k_x 는 z방향 및 x방향의 투수계수이다.

위의 식((4.8.2) 및 식(4.8.3))을 식(4.8.1)에 대입하면 2차원의 Laplace 방정식이 된다.

$$k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} + k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = 0 \quad \dots\dots\dots$$

(4.8.4)

4.8.2 침윤선

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

가. 일반사항

제체 내의 침투수의 흐름은 주로 재료의 투수계수와 동수경사에 지배 즉, 제체재료의 투수에 관한 성질 및 저수위 등이 경계조건에 의해 지배되며, 일반적으로 자유수면을 갖는 흐름으로 된다. 이 자유수면을 침윤선(또는 침윤면)이라고 한다.

침윤선의 위치를 결정하는 것은 제체 안정계산을 위한 수압조건의 결정 및 제체 내의 침투류에 대한 안전성 검토에 필요하며, 또 침투유량의 결정 및 침출점의 위치의 조절 등을 하기 위한 배수 대책공을 검토에 필요하다.

침투수에 영향을 주는 재료가 이방성인 경우에는 수평 및 수직방향의 투수계수 비가 달라지므로 이에 대하여도 충분히 검토한다.

이와 같이 필댐을 설계할 때에는 침투수에 대하여 검토하고 침윤선을 결정

해야 한다. 또한, 댐체를 구성하는 흙이 극히 굵은 입자로 된 경우에는 모세관 현상은 거의 볼 수 없으나 반대로 고운 입자로 되었을 때는 모세관현상에 의하여 비교적 높은 곳까지 수분이 상승하므로 이에 대해서도 고려한다.

나. 침윤선 구하는 방법

침윤선을 구하는 방법은 A. Casagrande 방법이 주로 사용되는데, 불투수성 기초지반 위에 균일성 재료로 축조된 침윤선은 포물선 형상을 가진다. 그러나, 제체의 수평 및 수직 투수계수의 비, 하류사면의 경사각, 드레인의 설치여부, 차수벽의 위치 등에 따라 침윤선은 수정되어야 한다. 이 경우 침윤선은 어느 경우에도 제체밖으로 나와서는 안된다. 여기서는 균일형 필댐에 대해서만 언급한다.

침윤선은 그림 4.8.1에서 제체 하류 비탈면 점 A점을 초점으로 하고 A점에서 하류측 $y_0/2$ 만큼 떨어진 점 A_0 와 상류측 수면상의 B_2 점을 통과하는 포물선이 침윤선의 기본 방정식이다. 이 기본 포물선을 점 A를 원점으로 하고 횡축에 x , 종축에 y 를 취한 좌표에서는 식(4.8.5)으로 표시된다.

$$y = \sqrt{2y_0x + y_0^2} \quad \dots\dots\dots (4.8.5)$$

$$\text{단, } y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \quad \dots\dots\dots (4.8.6)$$

여기서, h 는 A, B 점의 수직거리, d 는 B_2 , A점의 수평거리, l_1 는 B, E점의 수평거리, l_2 는 B, A점의 수평거리, A는 제체 하류 비탈끝(불투수성부) - 기본 포물선의 초점, A_0 는 A보다 하류측으로 $y_0/2$ 만큼 떨어진 점(좌표의 원점), B는 상류 비탈면과 저수면과의 접점(기본포물선을 통과하는 점), B_1 은 기본 포물선과 B점의 연직선과의 교점, B_2 는 B점에서 수평방향으로 $0.3 l_1$ 배만큼 상류측으로 떨어진 곳을 나타낸다.

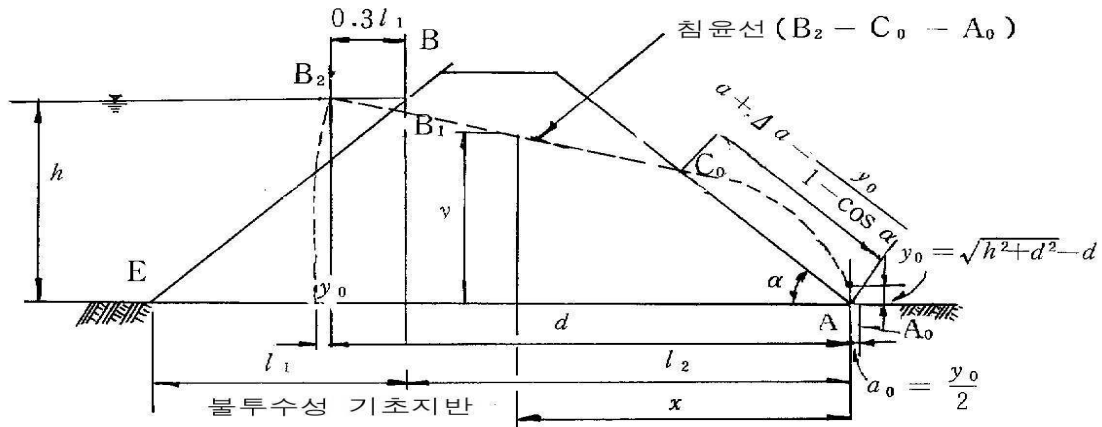


그림 4.8.1 균일형 필댐의 침윤선(기본 포물선)

기본 포물선이 구해지면, 체체 상류의 비탈면은 등수두면이므로 이 면에 대해서 직각으로 수정하고, 또 하류의 비탈면에 대해서는 체체 밖으로 포물선이 나오는 일은 없도록 다음과 같이 수정한다.

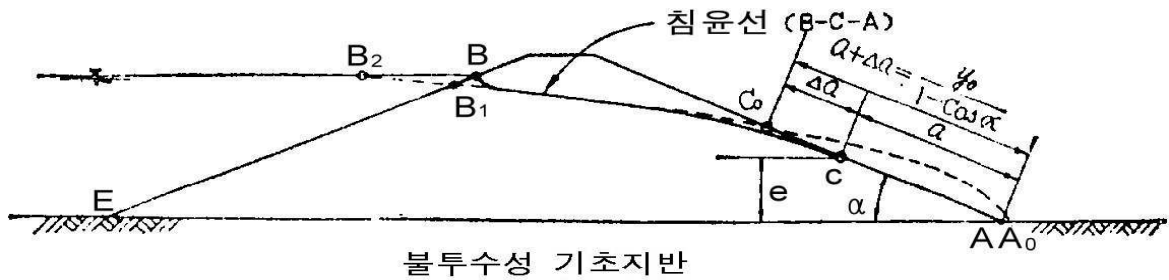


그림 4.8.2 균일형 필댐의 침윤선(수정 포물선)

그림 4.8.2의 침윤선(B-C-A)은 그림 4.8.1의 기본 포물선(B₂-C₀-A₀)을 수정한 것으로 유입점에서 유선은 사면에 직각으로 되고, C₀점은 C점 즉 사면거리 Δa만큼 아래쪽으로 내려오게 된다. 이 Δa는 유출면 경사각에 따라 다르고 식(4.8.7)으로 구한다.

$$a + \Delta a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha} \quad \dots \dots \dots (4.8.7)$$

단, a는 사거리 AC, Δa는 사거리 C₀C, α는 침출면의 경사각을 나타낸다.

α의 값으로부터 $C = \frac{\Delta a}{a + \Delta a}$ 를 그림 4.8.3에서 구하고, a 및 Δa의 값을 윗 식에서 구한다.

침출면의 경사각(α)가 α < 30°의 경우는 α를 다음 식에서 구한다.

$$a = \sqrt{h^2 + d^2} - \sqrt{d^2 - h^2 \cot^2 \alpha} \quad \dots\dots\dots (4.8.8)$$

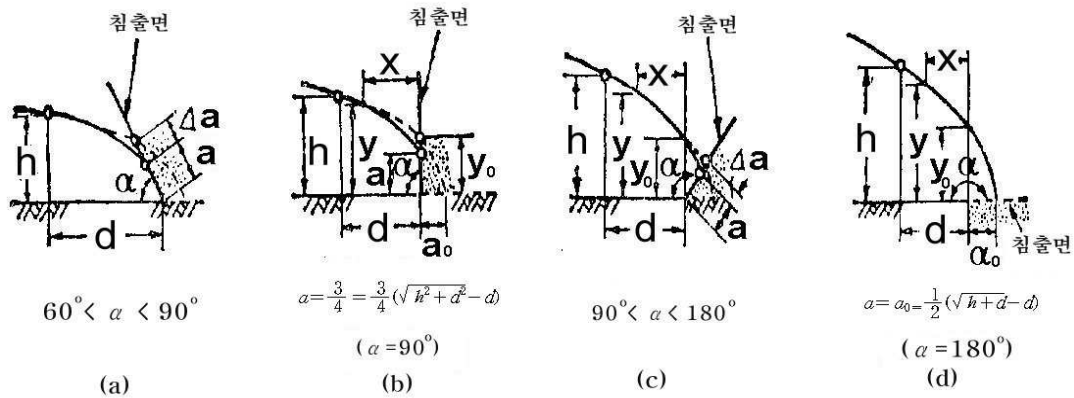


그림 4.8.3 침출면 경사각(α)의 변화에 따른 Δa

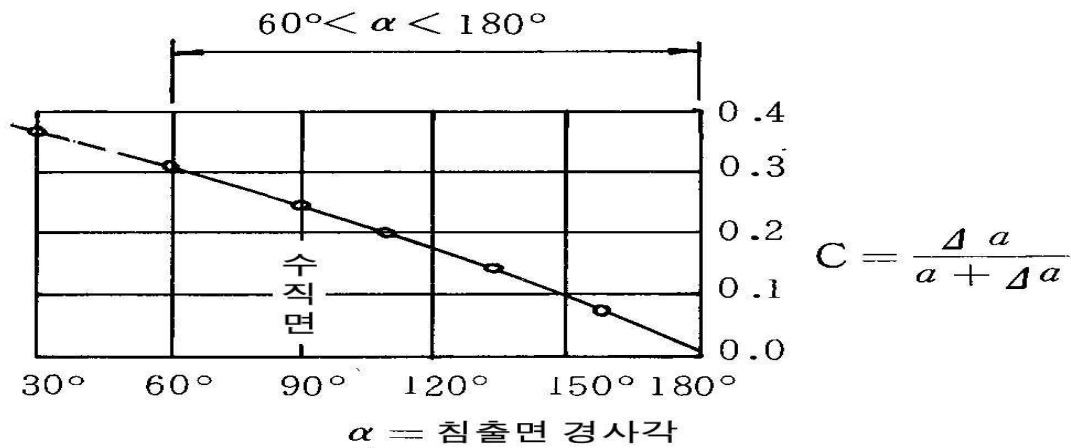


그림 4.8.4 침출면 경사각에 따른 a 와 C 의 관계

다. 투수계수의 비등방성

일반적으로 필댐과 같이 층상으로 다져서 축조되는 흙 구조물은 역학적 제성질이 비등방성인 것이 보통이다. 이와 같은 제체의 투수계수의 비등방성은 제체 내의 침투수의 흐름에 영향을 주기 때문에 가능한 이 비등방성에 대해서 명확히 밝혀두는 것이 좋다. 일반적으로 수평방향의 투수계수(k_h)와 수직방향의 투수계수(k_v)와의 비(k_v/k_h)의 값은 텀핑 롤러로 다진 경우는 1/2 ~ 1/10(평균 1/5), 타이어 롤러인 경우는 1/20 ~ 1/30(평균 1/25)로 된다. 또한 토질에 따른 투수계수의 비는 표 4.8.1과 같다.

표 4.8.1 흙의 종류 및 상태에 따른 이방성

구 분	세립 균질토층	조립섞인 세립토층	극히 불규칙한 토층
흙의 종류	(CL, GM)	(GL, GM)	100 이상
k_h / k_v	9	25	

현장투수시험 등에 의하여 필댐의 투수성의 비등방성을 구하는 것은 곤란하며, 실제로 건설된 필댐의 투수계수의 비등방성을 알기 위해서는 건설 후 필댐 체체내 침윤선의 포텐셜을 측정해서 얻은 값과 건설시의 확정치인 투수계수의 비등방성을 기초로 해서 얻은 이론적인 값을 비교해서 개략적인 결정을 하고 있다. 예를 들면 조립토가 균일하게 퇴적되어 이루어진 체체에서는 비등방성을 이보다 크게 된다고 한다. 미국 Guntersville댐에서는 $k_h/k_v = 50$, 일본의 西原댐은 5, 東郷댐은 3.5로 보고되고 있다.

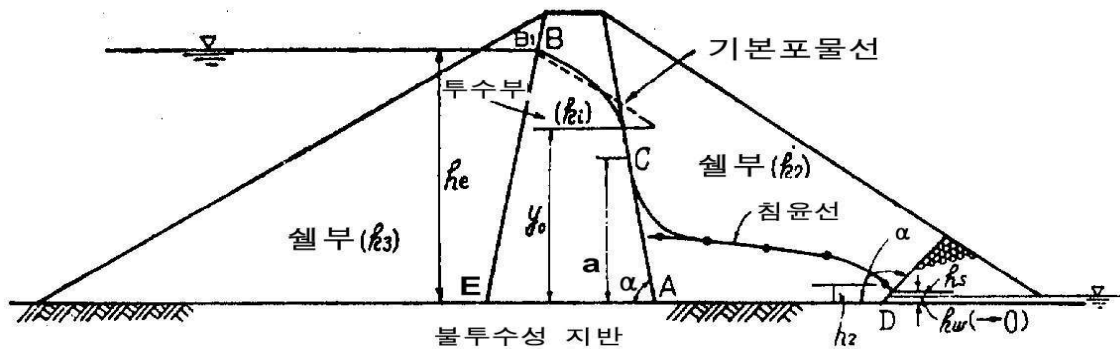


그림 4.8.5 중심 차수준형 필댐의 침윤선

그림 4.8.5는 준형 필댐(중심 차수준형)의 침윤선을 비등방성(k_h/k_v)의 값과의 관계와 차수부와 셀부의 투수계수 비와의 관계를 나타낸 것으로, 등방성의 경우($k_h/k_v = 1$)와의 비교에서 비등방성의 영향은 차수부와 셀부의 투수계수가 작을수록 크게 됨을 알 수 있다.

라. 침윤선을 저하시키는 방법

침윤선이 높은 경우에는 침투수량의 증가는 물론이고 파이핑이나 유효응력의 감소에 따른 체체의 안정에 지대한 영향을 미치게 되므로 적당한 방법을 통하여 침윤선을 저하시켜야 한다. 그림 4.8.6는 필댐에서 주로 사용되는 방법을 예시한 것이다.

중심 코어형댐을 선정하는 것이 가장 이상적이지만 댐형식은 현지에서 수집

할 수 있는 축재재료에 의해 정해지기 때문에 그 때마다 적절한 배수시설이 필요하다. 배수시설에는 ① 제체인 종단방향에 띠 모양으로 몇 줄 설치하는 줄모양 배수도랑, ② 종단방향 전면에(두께 1~3 m) 설치하는 직립배수도랑, ③ 하류측 제체 바닥면에 부설한 수평배수도랑, ④ 하류 비탈 끝에 설치하는 비탈끝 배수도랑 등이 일반적으로 쓰이고 있으나 그밖에 용도에 따라서는 적절한 배수도랑, 예를 들면, 그림 4.8.6(f)의 상류측 배수도랑을 선택해야 한다.

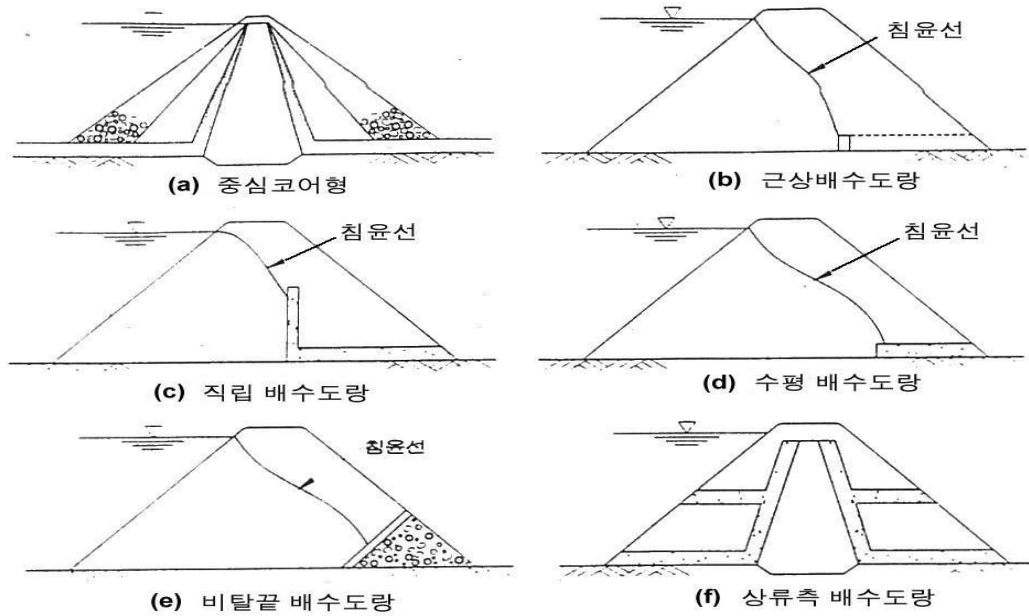


그림 4.8.6 침윤선을 저하시키는 방법

배수도랑 재료의 입경은 인접하는 재료에 따라 정해지며, 세립재료를 중간 층으로서 사용하여 제체 재료가 배수도랑 안에 유입하는 것을 방지해야 한다.

4.8.3 유선망

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

가. 제체의 유선망

유선망을 그리는 방법으로는 모형실험 또는 도해법에 의하는 것이 일반적이다. 특히, 투수계수가 달라지는 층을 통과하는 경우에는 굴절의 원리를 사용하

여 유선망을 수정하여야 한다.

유선망에 의하여 제체 및 투수성 기초지반 내의 침투수 유동형상과 침투수압의 분포상태를 파악하며, 또 이것을 응용하여 댐의 계획 및 댐체와 기초의 구조설계상 필요한 침투수량을 계산하여 댐체의 안정검토에 필요한 제체의 간극수압의 분포를 알 수 있다.

그림4.8.7에서 $A_0B_0A_0'B_0'$ 는 침윤선, $A_0D_1, B_0C_1, A_0'D_1', B_0'C_1'$ 는 서로 인접한 등수두선, $ABA'B', DCD'C'$ 는 유선이다. 유선망구획 $ABCD$ 또는 $A'B'C'D'$ 는 등수두선과 유선을 적당한 폭으로 취해서 정방형이 되도록 그린다.

이와 같이 2개의 유선사이의 정방형의 구획이 2개 위치하고, 제체의 종단방향으로는 단위길이를 취해서 Darcy 법칙을 적용하면 다음 관계가 얻어진다.

$$q = k \cdot i \cdot b \quad \dots\dots\dots (4.8.9)$$

여기서, q 는 침투수량(cm^3/s), b 는 침투면적(cm^2), k 는 투수계수(cm/s), i 는 등수경사를 나타낸다.

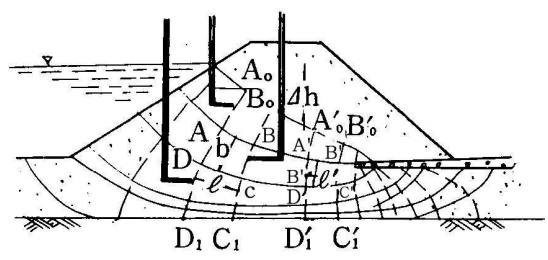


그림 4.8.7 유선망

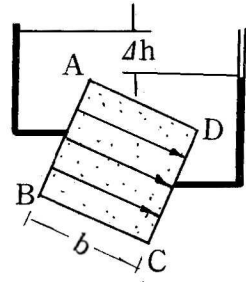


그림 4.8.8 침투압

정사각형 ABCD에 대하여 유선방향의 길이를 l , 폭을 b 라 하면 b 와 l 은 같으므로, 임의의 유선망을 단위길이당 흐르는 침투수량은 다음 식으로 표시된다.

$$\Delta q = k \cdot i \cdot b = k \cdot \frac{\Delta h}{l} \cdot b = k \cdot \Delta h \quad \dots\dots\dots (4.8.10)$$

여기서, Δh 는 침투수가 l 만큼 흐르는 사이에 일어난 손실수두(cm)로서 보통 손실수두의 h 를 N_p 구분하여 $\Delta h = h / N_p$ 로 된다.

정사각형 ABCD에 대한 침투수량은 $\Delta q = k\Delta h$ 또는 정방형 $A'B'C'D'$ 에 대해서는 $\Delta q = k\Delta h$ 로 되어 당연히 $\Delta q = \Delta q'$ 로 되고, 2개의 유선사이에 있는 영역을 흐르는 침투수량은 같게 된다.

나. 침투수압(침투압)을 구하는 방법

1) 침투수압을 구하는 방법

침투수가 흙 속에서 손실되는 에너지가 침투수압이 되며, 토립자 표면과 침투수와의 사이에 일어나는 점성 마찰력 등에 저항하는 힘이다. 이 침투수압은 토립자를 흐름의 방향으로 이동시키려고 하는 힘이 되어 체체의 안정성을 검토하는데도 관계하는 양이 된다. 침투수압을 구하는 데는 유선망에서 구한 임의의 정방형 ABCD를 사용한다.

그림 4.8.9에서 AB, CD를 등수두선, AD, BC를 이와 직교하는 유선으로 한다. 이 경우 흙덩어리 ABCD에 작용하는 침투수압(J)는 AB, BC의 길이를 b라 할 때, 체체 종축방향의 단위길이당 침투수압은 식(4.8.11)로 표시된다.

$$J = \gamma_w \cdot \Delta h \cdot b \quad \dots\dots\dots (4.8.11)$$

여기서, γ_w 는 물의 단위중량이다.

이것을 체적 $b^2 \times 1$ 로 나누면 단위체적당의 침투수압(j)이 식(4.8.12)와 같다.

$$j = \gamma_w \cdot i_w \quad \dots\dots\dots (4.8.12)$$

여기에서 i_w 는 $\Delta h / b$ 로서 등수두선에 직각이며, 유선에 의한 등수경사를 표시한다. 또한 이 침투수압은 등수두선에 직각방향으로 작용한다.

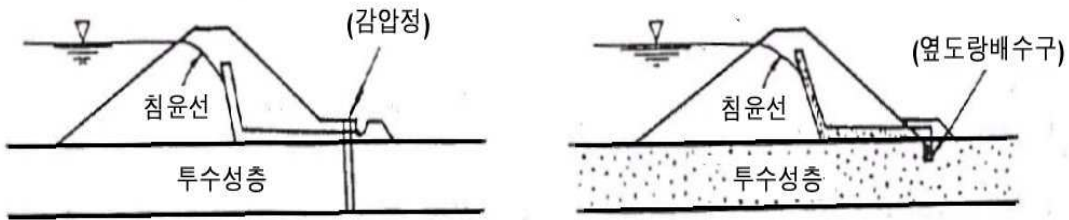


그림 4.8.9 기초의 침투압을 처리하는 시설

2) 기초의 침투압을 처리하는 방법

기초의 침투압을 처리하려면 그림 4.8.9와 같이 체체 하류비탈끝 부근에 적당한 간격으로 압력감소용 우물 또는 트렌치형 배수도랑 등을 설치한다.

다. 기초의 유선망

1) 체체부와 기초부의 투수성이 같을 때는 체체부의 유선을 그림 4.8.10와 같이 기초부까지 확장하여 그리면 된다. 그림에서 k_e 는 체체의 투수계수, k_f 는 기초의 투수계수, k_h 는 수평방향의 투수계수, k_v 는 수직방향의 투수계수이다.

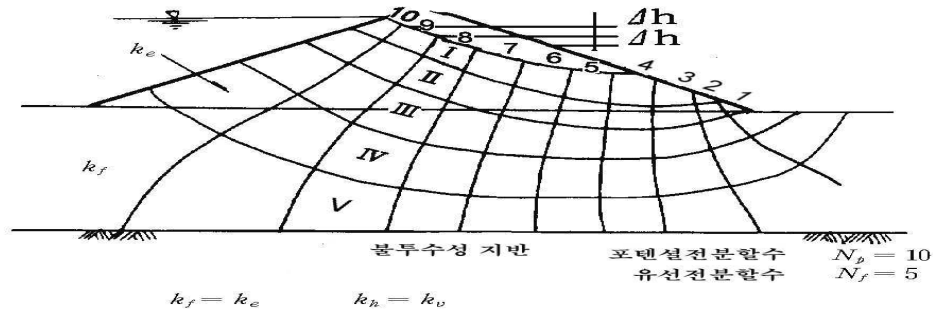
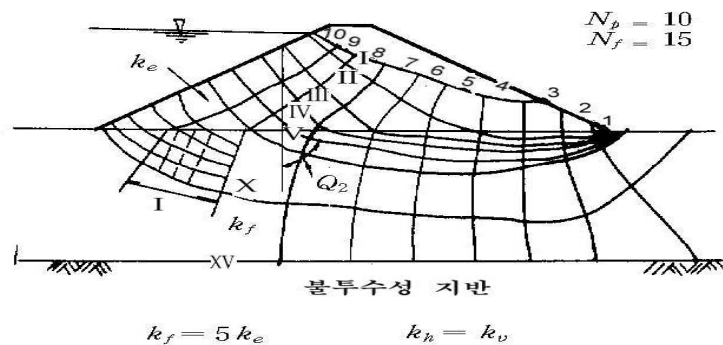


그림 4.8.10 기초의 유선망(제체와 기초의 투수성이 같을 때)

2) 제체부와 기초부와의 투수계수가 다를 때는 그림 4.8.11과 같이 그의 배수만큼 유선을 증가시킨다. 즉, 그림과 같이 정사각형의 면은 유선 5와 포텐셜 1에 의하여 형성된다. 또 그림에서 유선의 굴절각은 다음 식으로 주어진다.

$$\theta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{k_f}{k_e} \cdot \tan \theta_1 \right) \quad \dots \dots \dots (4.8.13)$$



$$\theta_1 = 34^\circ (0.674), \quad k_f / k_e = 5, \quad \frac{k_f}{k_e} \tan \theta_1 = 3.370 : \theta_2 = \tan^{-1} 3.37 = 73^\circ 30'$$

그림 4.8.11 기초의 유선망(제체와 기초의 투수성이 다를 때)

라. 저수위가 급격히 저하할 때

제체내의 침투면은 저수위의 저하속도, 재료의 투수성 및 경계조건 등에 의하여 다르나 일반적으로 제체의 투수계수가 $k = 1 \times 10^{-3}$ cm/s보다 작을 때는 순간적으로 임의의 수위까지는 저하한 것으로 보고 유선망을 그린다. 즉, $k = 1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-4}$ cm/s의 범위에서는 저수위 강하에 따라 어느 정도 제체 수위도 강하하지만 비워 두었을 때 호우가 있으면 저수위가 순간적으로 저하한 경우와 같은 유선으로 생각한다.

[참고] 유선망의 예

(1) 저수시(정상류)

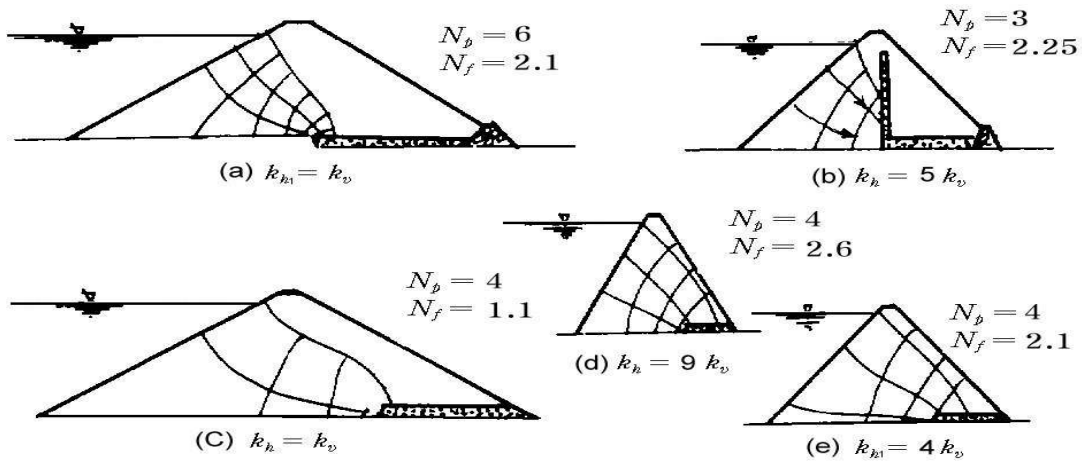


그림 4.8.12 저수시의 유선망(정상류)

(2) 기초의 유선망

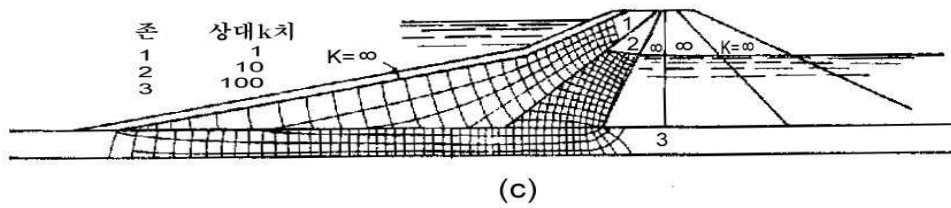
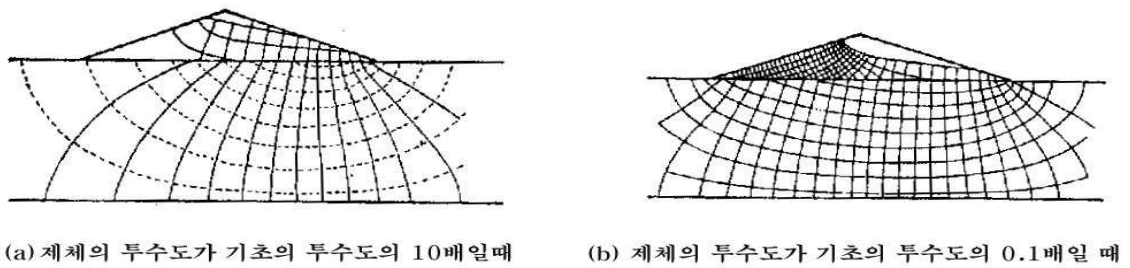


그림 4.8.13 기초의 유선망(정상류)

(3) 저수위가 급격히 저하할 때(비정상류)

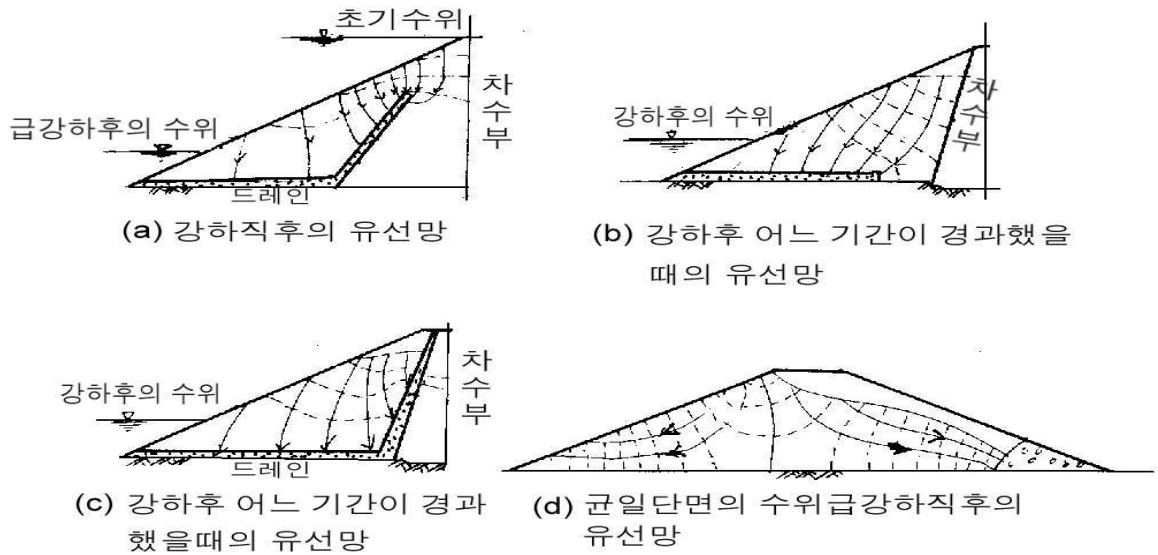


그림 4.8.14 저수위가 급격히 강하했을 때 제체의 유선망

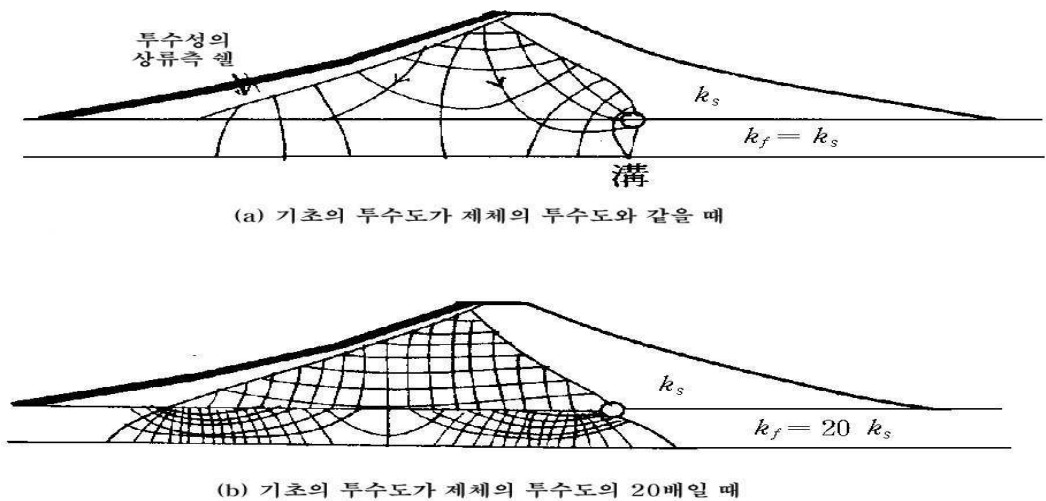


그림 4.8.15 저수위가 급격히 강하할 때 제체와 기초의 유선망

4.8.4 침투유량

유선망 또는 수식에 의하여 제체 또는 기초지반을 흐르는 침투유량을 산출하며, 이 때 어느 경우에도 적절한 투수계수를 선정한다.

가. 일반사항

필댐을 설계할 때, 침투유량(누수량)에 대한 검토가 중요하다. 저수위에서의 누수는 ① 제체의 누수, ② 기초의 누수, ③ 산턱에서의 누수 등이 있으며 이들 누수량을 정확히 분리하여 알아둘 필요가 있다.

허용 누수량은 저수지의 목적에 따라 다르지만 관개용 댐에서는 저수량의 0.05 %/일 이하를 표준으로 한다.

나. 침투유량의 계산

침투유량을 계산하는 방법은 유선망을 이용하는 방법과 수식에 의하여 구하는 방법이 주로 사용된다. 이 때 댐체의 불투수성부가 비등방성일 때는 수정한 투수계수 \bar{k} 를 써서 누수량을 산출하는 것이 보통이지만 안전을 보아 수평방향의 투수계수를 사용해도 좋다.

1) 균일형 필댐 및 존형 필댐(중심 차수존형)

① 유선망을 사용할 경우

$$Q = k \cdot h \cdot L \cdot \frac{N_f}{N_p} \dots\dots\dots$$

(4.8.14)

② 수식을 사용할 경우

$$Q = k \cdot y_o \cdot L \dots\dots\dots$$

(4.8.15)

여기서, Q 침투유량(cm³/s), N_f 유선의 분할수, N_p 등수두선의 분할수, h 전수두(cm), k 투수계수(cm/s), L 종단길이(cm), $y_o = \sqrt{h^2 + d^2} - d$ 이다.

2) 존형 필댐(경사 차수존형)

① 유선망을 사용할 경우

균일형과 동일하며, 식(4.8.10)을 적용한다.

② 수식을 사용할 경우

$$q = \frac{H - 0.5 h_2}{b + CM} \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{H}{\sin\theta_1} + \frac{h_2}{\sin\theta_2} \right) \cdot k \dots\dots\dots (4.8.16)$$

여기서, q는 침투유량(cm³/s), CM은 경사 차수존의 하류면의 최하단을 통하는 유선이 길이이다.

그림 4.8.16에서 L로부터 MQ에 평행선을 긋고 M에서 수선을 세웠을 때 이 수선과 LP와의 교점을 C라고 하면, CM은 식(4.8.17)으로 구한다.

$$\overline{CM} = B \cdot \frac{\sin\theta_1}{\cos(\theta_2 - \theta_1)} \dots\dots\dots (4.8.17)$$

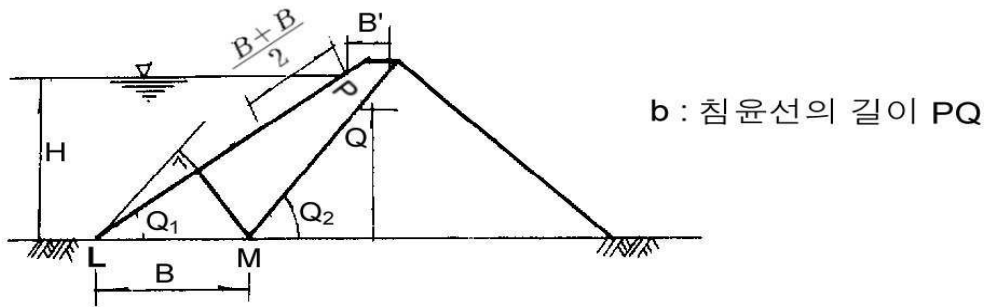


그림 4.8.16 존형 댐(경사 차수존형)의 침투유량을 구하는 방법

다. 제체의 투수계수

제체의 투수계수가 비등방성일 때는 수정한 투수계수(\bar{k})를 사용하여 침투유량을 산출하는 것이 보통이나 안전을 고려하여 수평방향의 투수계수(k_h)를 사용하는 것이 좋다. 수정 투수계수(\bar{k})는 식 (4.8.18)로 구한다.

$$\bar{k} = \sqrt{k_h \cdot k_v} \quad \dots\dots\dots (4.8.18)$$

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

4.8.5 수치해석에 의한 침투류 해석

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

가. 수치해석에 의한 검토

제체 및 기초지반의 침투류에 대한 해석방법으로 일반적으로 유한요소법이 이용되는 경우가 많다. 유한요소법은 해석대상 구조물을 다수의 요소로 분할(2차원 해석에서는 삼각형 혹은 사각형 요소로 분할)하고 분할된 각각의 요소는 절점으로 연결되어 있는 각 요소에 미치는 수리학적 성질(투수계수, 동수경사)에 근거하여 모든 절점 및 요소의 수두, 유량 등을 구하는 방법이다.

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

이러한 수치해석적 방법의 이점을 다음과 같다.

- ① 비균질이나 비등방성의 재료도 취급이 간단하다.
- ② 임의의 경제조건에 적용하도록 요소의 형상과 크기를 달리하기 쉽다.
- ③ 3차원 침투문제에도 적용할 수 있다.

나. 수치해석

2차원의 정상 침투류는 미소요소에 대한 흐름의 연속성과 Darcy법칙으로부터 유도한 Laplace 방정식을 바탕으로 해석한다.

식 (4.8.4)에서 투수성이 다른 방향으로부터 유·출입하는 유량Q를 고려하면 유량에 관한 연속방정식은 식 (4.8.19)과 같다.

$$k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} + k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + Q = 0 \quad \dots\dots\dots (4.8.19)$$

위치수두의 기준면을 $z = 0$, 점(x,z)에서 동수압을 P, 물의 단위체적중량을 γ_w 로 하면 점(x, z)에서의 수두 h는 다음과 같다.

$$h = \frac{P}{\gamma_w} + z \quad \dots\dots\dots (4.8.20)$$

또한 일반적인 경계조건을 고려하면 다음과 같다.

1) 고정조건 : 경계상에서 h가 주어진 경우

$$h = h_t \quad \dots\dots\dots (4.8.21)$$

2) 자유조건 : 경계상에서 q가 주어진 경우

$$k_z \frac{\partial h}{\partial z} \cdot L_z + k_x \frac{\partial h}{\partial x} \cdot L_x + q = 0 \quad \dots\dots\dots (4.8.22)$$

여기서, q는 단위표면으로부터의 유·출입량, L_z , L_x 는 경계표면에서 법선의 방향을 나타낸다.

또한 자유수면을 갖는 필댐의 비정상 포화 침투해석 때에는, 자유수면의 변동에 착안한 해석이 일반적으로 행해지고 있다. 자유수면의 변동에 의한 비정상상을 고려하면 체체내의 침투류 방정식은 식(4.8.23)으로 나타내어진다.

$$k_z \frac{\partial h}{\partial z} \cdot L_z + k_x \frac{\partial h}{\partial x} \cdot L_x = q \quad \dots\dots\dots$$

(4.8.23)

그리고 경계조건은 다음 3조건을 생각할 수 있다.

- 1) 제체내의 자유수면상 $h = Z(x, y, t)$
- 2) 수면하의 제체 사면상 $h = h(t)$
- 3) 제체 기초 경계면상

이러한 기초식 및 경계조건식에 대한 연립방정식은 최종적으로 다음과 같이 행렬식으로 표시할 수 있다.

$$[K] \cdot \{h\} + \{F\} = 0 \quad \dots\dots\dots (4.8.24)$$

여기서, $[K]$ 는 침투성 행렬 (k_z, k_x 등이 포함), $\{h\}$ 는 각 절점에서의 미지 수두치의 함수, $\{F\}$ 는 q 및 기저 수두치의 함수를 나타낸다.

이상의 경계조건을 고려한 식(4.8.24)의 연립 1차방정식에 의해서 각 절점의 수두가 구해지면 요소내의 수두분포가 구해지고, 요소 내를 통과하는 유량을 구할 수 있다.

자유수면이 존재할 경우의 정상 침투류 해석시에는 기본적으로 자유수면의 위치가 미지이기 때문에 경계조건을 정하는 것이 불가능하다. 그러나 통상 자유수면에서의 경계조건 $(\partial h / \partial n) = 0$ 과 $P = 0, h = z$ 의 조건을 만족할 때까지 자유수면의 위치를 수정하면서 반복하여 계산하는 방법이 이용되어 왔다. 자유수면이 존재할 경우의 비정상 침투류 해석은 침투류가 시간과 함께 자유수면이 변화하기 때문에 시간을 유한한 미소시간으로 분할하여 분할된 미소 시간내를 정상침투류 상태로 해석함으로써 비정상류 상태의 해석을 행할 수 있다.

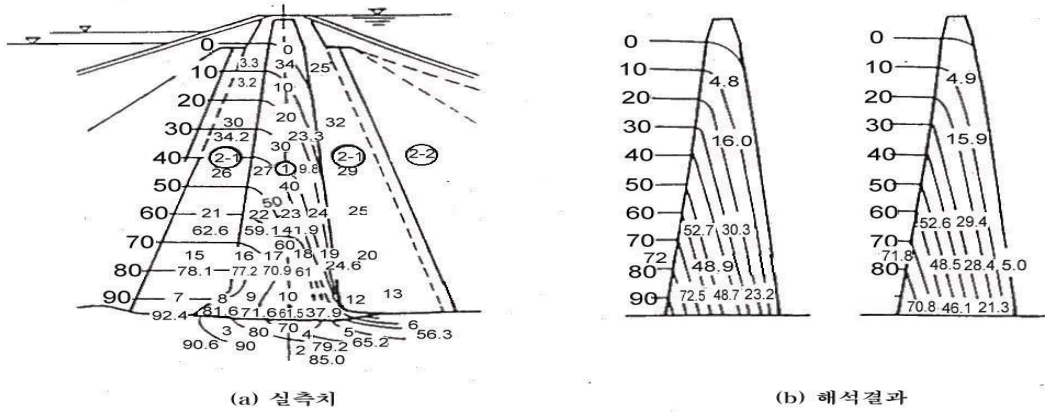


그림 4.8.17 코어내부에서 간극수압의 실측치와 해석 예

그러나 이 경우에 비정상류 상태에서 자유수면에 수직방향의 속도를 고려하는 것이 필요하다. 그림 4.8.17은 필댐의 코어존 내부의 간극수압분포에 대해서 정상상태에서의 실측치와 해석치를 비교한 것이다.

다. 유한요소법에 의한 결과의 비교

1) 침윤선의 비교

A. Casagrande의 방법과 유한요소법을 비교 검토한 결과에 의하면 균일형 필댐에서는 여러 가지 기울기를 갖는 댐에 대한 검토에서 전반적으로 침출면의 위치는 유한요소법에 의한 계산치가 높게 나타났다. 특히 상류측 수위에 비하여 댐 폭이 좁은 경우는 A. Casagrande의 방법을 적용하는 것은 위험한 것으로 나타났다. 또 유한요소법의 계산치는 수학적으로 엄밀한 해석에 의하여 상당히 근사한 값을 구할 수 있다고 한다.

준형 필댐(중심 차수준형)에서는 차수부의 침투류의 침출면의 위치에 대하여 검토한 바 침출면의 위치는 유한요소법에 비하여 A. Casagrande의 방법이 40~55% 정도 낮은 값을 나타내는 것으로 밝혀졌다.

그림 4.8.18은 준형 필댐(경사 차수준형)에 대해서 福田의 방법과 비교 검토한 것인데, 상류측 비탈면의 기울기가 20%까지는 FEM에 의한 방법과 福田식에 의한 방법이 잘 일치되고 있음을 나타내었다. 따라서, 경사 차수준형 필댐의 경우 福田 식은 거의 문제가 없는 것으로 생각된다.

그림 4.8.19은 FEM의 방법에 의하여 투수계수의 비등방성을 변화시켰을 때 코어부의 침출점의 위치를 변화시켜 검토한 예를 나타낸 것이다.

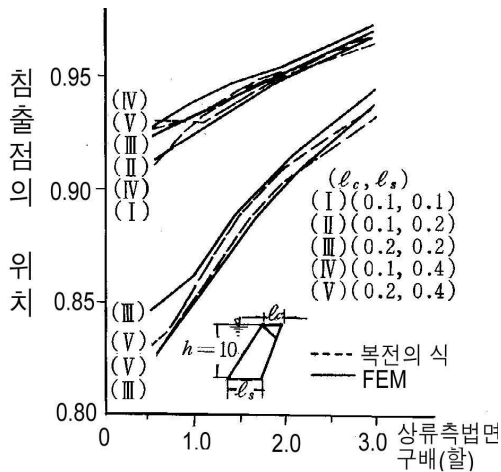


그림 4.8.18 경사형 차수준형내의 침출점의 위치(k=1)

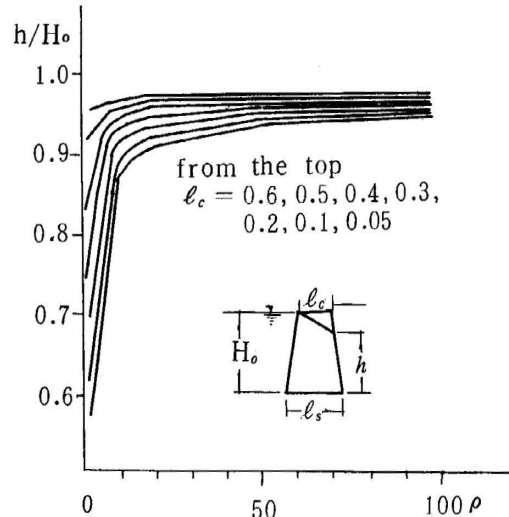


그림 4.8.19 중심 차수준형 내의 침출점 위치

그림에서 ρ 는 투수계수비(k_h/k_v), l_c 는 불투수부(코어)의 마루폭과 상류측 수위와의 비를 나타내고 있으며, 차수부의 저폭이 상류측 수위의 70%일 때의 계산치이다. 이것으로부터 정폭이 상류측 수위의 5~10% 정도에서의 등방성의 경우($k_h=k_v$)로서 이미 침출점의 높이는 상류측 수위의 90% 이상으로 되어 있어 비등방성의 영향을 받고 있지 않음을 알 수 있다.

2) 유선망의 비교

정상상태의 것은 그림 4.8.20 및 그림 4.8.21과 같다. 그림 4.8.20는 균일형 필댐의 예로 수평방향의 투수계수가 수직방향의 투수계수의 10배가 되는 경우이다. 그림 4.8.21은 중심 코어형의 예를 나타낸 것이다. 비정상 상태 때의 것은 그림 4.8.22에서 그림 4.8.24에 나타낸 바와 같다.

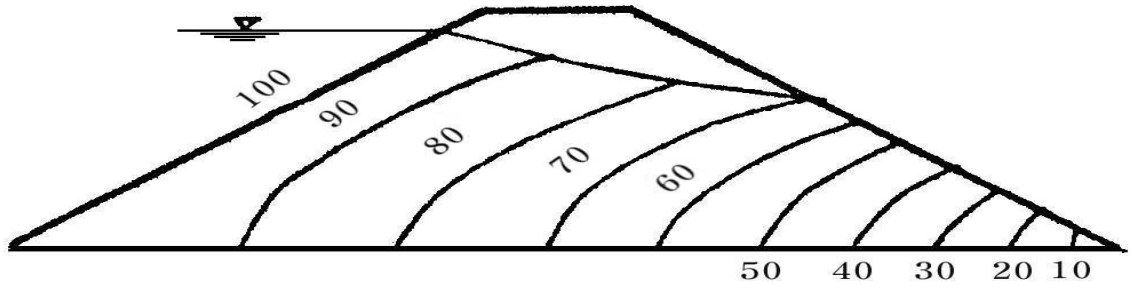


그림 4.8.20 등수두선도

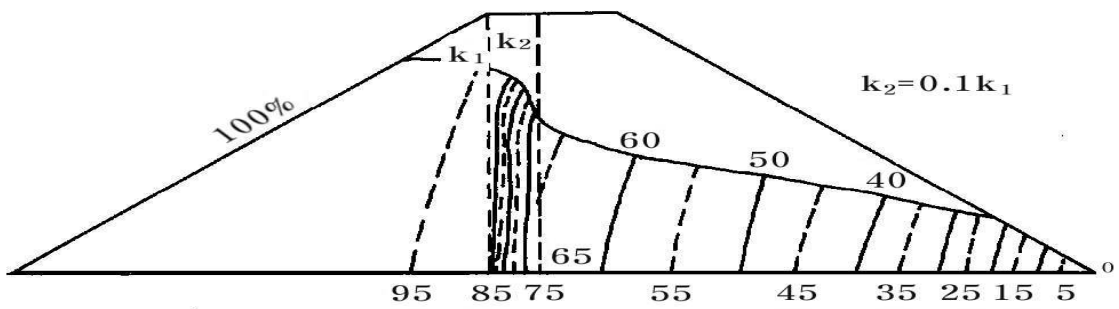


그림 4.8.21 불투수성부를 포함한 체제에서 침윤선과 포텐셜 분포

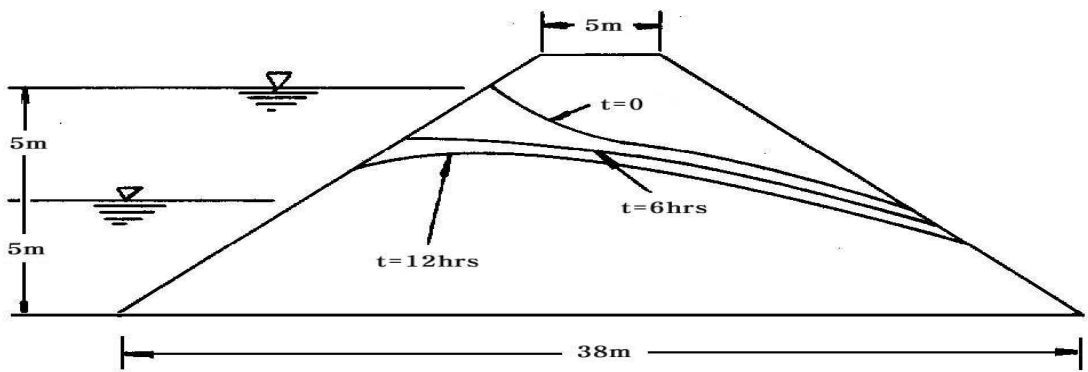


그림 4.8.22 상류측 수위가 급격히 강하할 때의 자유수면형

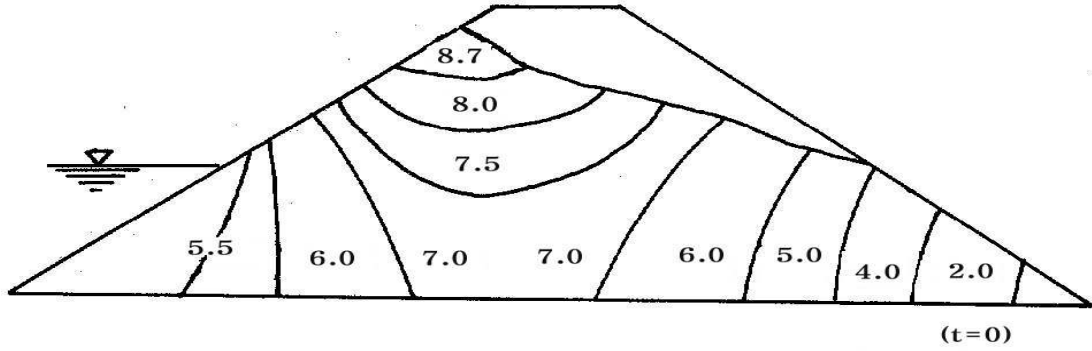


그림 4.8.23 등수두선도($t = 0$ 일 때)

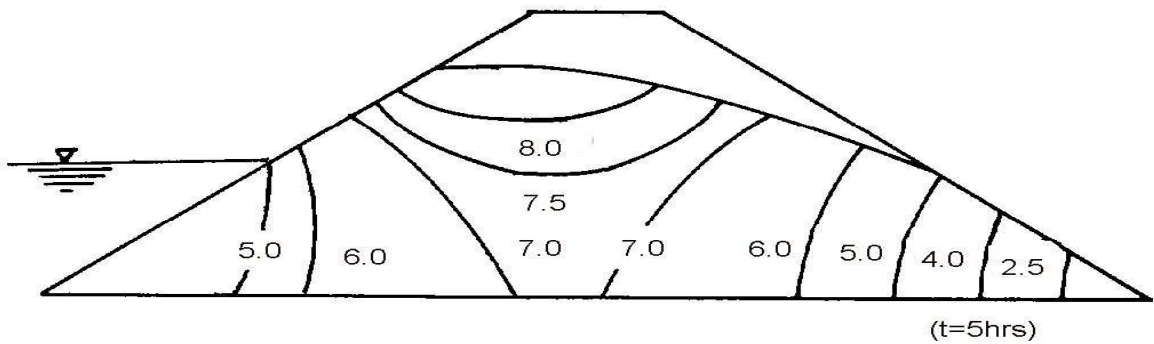


그림 4.8.24 등수두선도($t = 5$ hr 후)

이상의 필댐내의 침윤선 해석에 FEM을 적용한 예를 들었다. 침투류 해석에서는 ① 자유수면의 위치를 구하는 방법, ② 침투점의 위치를 구하는 방법이 있으며 이 두가지 문제점에 대해서는 FEM만이 아니고 수치해석법에서도 문제로 되는 경우가 있다.

3) 침투유량의 비교

침투유량에 대하여 A. Casagrande의 방법과 유한요소법에 의한 방법을 비교 검토한 바, 균일형 댐의 경우 하류측 비탈면 기울기가 30° 보다 큰 경우는 유한요소법에 의한 계산치가 크게 되고 마루폭이 좁을수록 차는 크게 된다.

다음에 하류측 비탈면 기울기가 30° 보다 작은 경우는 유한요소법에 의한 계

산치와 Casagrande의 방법에 의한 계산치는 잘 일치하고, 상류측 비탈면 기울기가 급할수록 유한요소법에 의한 계산치와의 차가 적게 나타났다.

그러나 상류측의 비탈면 기울기가 30 % 정도로 완만하게 되면 정폭이 좁은 경우는 유한요소법에 의한 계산치가 20 % 이상 크게 된다. 또 엄밀해와의 비교에서 하류측 비탈면 기울기가 급할 때는 유한요소법에 의한 방법으로 계산한 값이 엄밀해와 잘 일치하고 있으므로 전반적으로 Casagrande의 방법에 의한 계산치가 과소하게 산출되고 있다.

중심 차수존형 필댐의 경우에 제체폭이 상류측 수위에 비하여 작게 되면 Casagrande의 방법은 과소한 침투유량을 나타내고 있다.

유한요소법에 의한 방법과의 차는 상당히 크고 특히 차수부 저폭이 상류측 수위의 30 % 정도로 얇은 차수부인 경우는 이 차이가 145~216 %로 크게 되어 Casagrande의 방법이 훨씬 과소하게 산출되고 있다.

따라서 중심 차수존 내의 침투류에 대하여 Casagrande의 방법을 적용하는 것은 실정에 맞지 않는 것으로 되어 있다.

경사차수존형 댐의 경우는 福田 방법에 의한 계산치와의 차이는 10 % 이내로서 유한요소법(FEM)에 의한 계산치와 잘 일치하는 결과를 나타내고 있다.

이와 같은 형의 댐에서는 福田 방법을 적용하는 것은 침출점 위치에서와 같은 문제는 적은 것으로 알려지고 있다. 침투유량에 대해서 福田 식의 결과치와 FEM에 의한 결과를 비교한 것을 그림 4.8.25에 표시하였다.

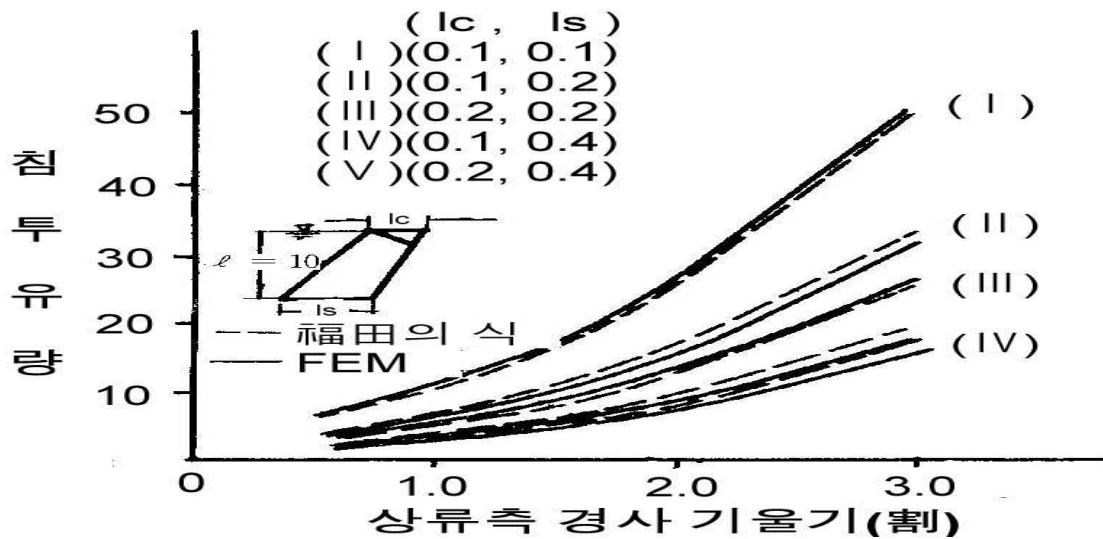


그림 4.8.25 경사 차수부 내의 침투유량(k=1)

4.8.6 침투수에 의한 안정성 검토

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

가. 파이핑의 원인

필댐의 제체 및 기초는 누수를 완전히 차단하지 않고 허용 한도내로 제한하는 것이므로 침투수압, 동수경사 등을 검토해야 한다. 침투수압은 차수존의 성질, 댐의 형식 및 규모에 영향을 받고, 또한 허용누수량은 저수지의 목적 및 안전성에 따라 다르기 때문에 일률적으로 결정할 수는 없지만 어느 한도를 넘어서면 분사현상(quick sand)과 보일링 및 파이핑 등의 침투로 인한 파괴요인이 되므로 신중한 검토와 대책이 필요하다. 파이핑이란 제체 및 기초의 내부에 동수경사 또는 침투압이 클 때 입자가 유출되고 침식을 받아 터널을 형성하여 단면이 확대되고 침식이 상류에까지 미치게 되어 결국 유속이 증대하여 일거에 파괴되는 현상이다. 침투압이란 침투수가 단위체적의 입자에 주는 힘으로 동수경사와 물의 단위중량의 곱으로 표시된다.

파이핑의 원인은 대상재료의 불균일성이나 지질조건의 사소한 변화 등에 의한 경우가 많으므로 이론적인 취급은 곤란하지만 파이핑의 원인을 분류하면 다음과 같다.

① 다지기 불충분 : 흙쌓기의 다지기 불충분 이외에 암거 여수로 등 콘크리트 구조물 주변의 다지기 불충분 및 기초 접합부 암반과의 접촉부의 다지기 불충분 등이 때때로 파이핑 유발의 원인이 된다.

② 수용성 물질의 존재 : 기초지반내 백악층(白堊層)이 있을 때 그것이 낙출한다. 그러나 흙 중에 함유되어 있는 가용성 염분은 흙쌓기의 시공관리만 좋으면 유출위험은 없다.

③ 균열 : 흙쌓기의 부등침하에 의한 균열, 흙쌓기의 건조나 동물이 만든 구멍에 의한 균열, 암거 자신의 균열 또는 파괴에 의해 쌓은 흙의 균열 등이 있다.

1) 파이핑의 진행

댐이 처음으로 만수되었을 때에 생기는 누수와 몇 해 지난 후에 비로소 생기는 누수가 있다. 전자는 위험하지 않고 멀지 않아 일정한 양의 맑은 물로 되나 후자의 경우에 흙탕물이 점점 커갈 때는 댐 파괴의 원인이 되므로 저수지 물을 신속히 방류하지 않으면 위험하다. 이러한 때는 처음의 누수량은 적어도 하류 비탈끝이 침식되어 포화되어 진탕이 되고 작은 활동이 생기어 그것이 진행성 파괴로 되어 수 시간 또는 수 일 때로는 수 개월 사이에 결괴(決潰)하기에 이른다.

2) 균열의 발생 원인

파이핑을 일으키는 누수는 균열로 기인하는 것이 많은데 여기에 대한 관심은 적다. 이것은 발견이 어렵고 결괴의 직접 원인으로 된 현상이 보이지 않고 그 원인은 균열이 현저하지 않았기 때문이다. 균열의 종류는 여러 가지가 있으나 대개 3~5 cm 정도인 것이 많고 15 cm까지 되는 것은 드물다.

가) 댐 축에 직각방향의 균열

기초지반이 불규칙하기 때문에 일어나는 댐의 부등침하, 제체의 침하로 인한 인장변형에 의해서 그림 4.8.26(a)와 같은 균열이 발생한다. 이는 어느 경우에도 댐 축에 직각방향으로 일어나고, 또 침투수의 수로 역할을 하기 때문에 매우 위험한 것이지만 그 중에서도 연약지반에서 기초암반이 돌출해 있는 경우에는 가장 심한 균열이 발생한다.

나) 댐 축에 평행방향의 균열

그림 4.8.26(b)와 같이 댐마루 부근에서 나타나는 것이 특징이지만, 댐 직각방향의 균열과 같이 직접수로로서의 역할을 하지 않기 때문에 그다지 위험하지는 않다. 균열의 깊이도 얇은 것이 보통이며 트렌치를 파서 되메우면 되지만, 너무 깊은 경우에는 물을 주입하여 관측을 해보는 것이 좋다. 주원인으로서 압축성 기포상의 트렌치식 댐, 축제재료 및 시공기술의 불균질성에서 오는 제체의 부등침하 등을 들 수 있으며, 지진시의 균열도 대부분 이 원인에 의한 것이다.

다) 제체 내부의 균열

댐표면이 모래, 자갈, 암 등으로 덮여있는 경우에 균열은 외부에서 보이지 않는다. 그러나, 그림 4.8.26(c)와 같이 압축성 차수 존이 침하하려는 것을 양

측의 비압축성 존이 지지하여 자유로운 침하를 방해하기 때문에 차수 존과의 경계면에 균열이 발생하는 일이 있다.

라) 수리적 파쇄(수압할렬, hydraulic fracturing)

수압할렬(수리적 파쇄) 가능성에 대하여 검토하여 이와 같은 현상이 발생하지 않도록 한다. 수압할렬이란 수압에 의하여 재료가 파괴되는 현상으로 이론적으로는 불투수부내의 자중에 의한 유효응력이 그 부근의 수압보다 적을 때 나타나는 현상으로 설명한다. 통상적인 불투수부의 형상이라면 유효응력이 수압보다 작아지는 일은 없었지만 트렌치 굴착부위의 위의 불투수층이나 급한 경사의 기초암반부위 부근의 불투수성부에서 부등침하로 인한 아칭(arching) 현상에서 유효응력이 수압보다 적어지는 경우가 있을 수 있다.

그림 4.8.26(d)와 같이 키 트렌치(key trench)의 폭이 좁으면 아칭작용에 의하여 트렌치 중의 차수 존에 작용하는 연직응력이나 측방응력이 침투수가 갖는 수압보다 작게 되어 수리적 파쇄가 발생하게 된다.

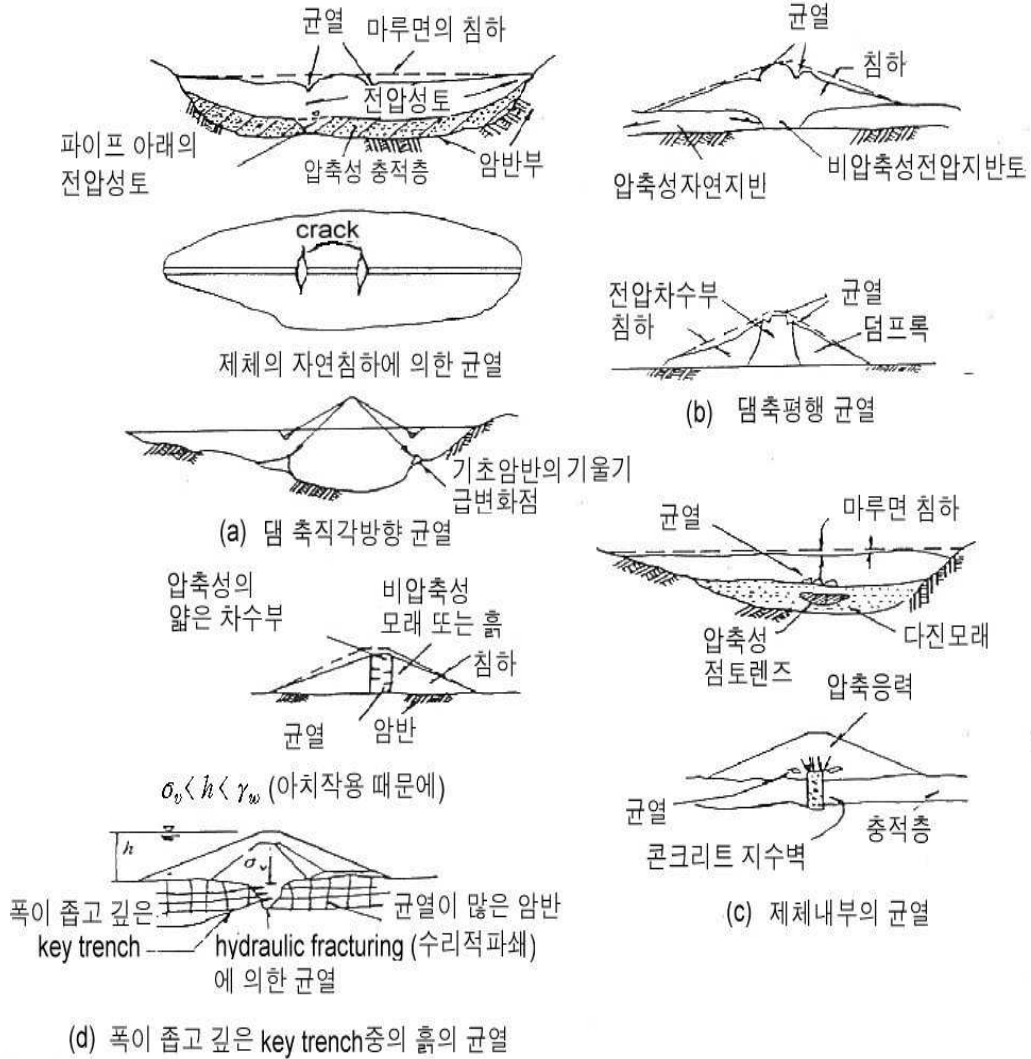


그림 4.8.26 균열의 종류

나. 파이핑의 검토 방법

1) 한계유속에 의한 방법(Justin의 방법)

제체 및 기초의 흡입자 입경에 대하여 소류력에 의하여 입자가 밀려나가는 한계의 침투유속을 구하는 식 (4.8.25)을 제안했다. 입자는 그 한계치(즉, 입자가 이동하여 파이핑이 발생하는 한계유속)를 넘으면 파이핑이 발생한다.

$$V = \sqrt{\frac{W \cdot g}{A \cdot \gamma_w}} \quad (\text{cm/s}) \quad \dots\dots\dots (4.8.25)$$

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

표 4.8.2 입경과 한계유속

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

실제의 흡입자에는 여러 크기의 입자가 혼합되어 있어 입경의 기준을 정하기 어려우므로 침투류 해석에서 얻어지는 침투류의 실제 유속은 표 4.8.2의 입경에 대한 한계유속의 1/100이하가 되도록 한다.

[참고] 한계유속에 관련된 최근에 제안된 식

(1) 투수계수와 관련된 한계유속

•kovacs(1982)의 경험식

- 제 1 한계유속 : 세립자의 이동시작을 나타냄

$$V_{cr} = 9.33 \times 10^{-2} \cdot \sqrt[3]{k} \quad \dots\dots\dots (4.8.26)$$

- 제 2 한계유속 : 방사선방향의 침투공간에서 microchannel이 발달

$$V_{cr} = \frac{1}{3} (1 \pm \frac{1}{3}) \cdot \sqrt[3]{k} \quad \dots\dots\dots (4.8.27)$$

- 허용한계유속 : 물이 스며들 때 우물이 붕괴될 정도의 침투유속

$$V_{cr} = (3 \pm 1) \cdot \sqrt[3]{k} \quad \dots\dots\dots$$

(4.8.28)

•Sichardt(1928) : $V_{cr} = 6.6 \times 10^{-2} \sqrt{k}$ $\dots\dots\dots (4.8.29)$

•Abramov(1952) : $V_{cr} = 3.2 \times 10^{-2} \cdot \sqrt[3]{k}$ $\dots\dots\dots (4.8.30)$

•Schmieder(1966) : $V_{cr} = 5 \times 10^{-2} \cdot \sqrt[4]{k}$ $\dots\dots\dots (4.8.31)$

여기서, V_{cr} 는 한계유속(cm/s), k 는 투수계수이다.

(2) 흡입자의 입경과 관련된 한계유속

•Koslova의 제안식

$$V_c \geq 0.26 d^2 \cdot [1 + 1000 \frac{d^2}{D^2}] \quad \dots\dots\dots (4.8.32)$$

•Sughii et al.

$$V_c = \sqrt{\frac{4}{3 C_D} (G_s - 1) \cdot d \cdot g} \quad \dots\dots\dots (4.8.33)$$

•Richardson의 제안식

$$V_n = \frac{n^{1/m}}{18 \nu} (G_s - 1) \cdot d^2 \cdot g \quad \text{단, } Re \leq 1.0 \quad \dots\dots\dots (4.8.34)$$

$$V_n = n^{1/m} \sqrt{\frac{4}{3 C_D} (G_s - 1) \cdot d \cdot g} \quad \text{단, } Re > 1.0 \quad \dots\dots\dots (4.8.35)$$

여기서, V_c 는 한계유속(cm/s), D 는 시료의 평균입경(cm), d 는 입의 입경(cm), G_s 는 비중, n 은 간극률, ν 는 점성계수(cm^2/s), C_D 는 저항계수(Renolds수의 함수), m 은 Re 에의해서 정해지는 지수, g 는 중력가속도이다.

2) 한계동수경사에 의한 방법

물이 정지상태에 있는 경우 흙 입자에 작용하는 수압은 간극수압이지만 흐름상태에 있는 경우에는 침투수압을 받는다. 침투수압이 어느 한도 이상이 되면 입자는 부유상태로 되며, 이 현상을 분사현상(quick sand) 이라 하고 파이프므로 확대될 위험성이 있다. 그림 4.8.27의 A점에서 침투수압과 토피중량과의 균형을 생각하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \gamma_w \cdot h &= (\gamma_t + \gamma_w) \cdot d \\ &= \frac{G_s - 1}{1 + e} \cdot \gamma_w \cdot d \quad \dots\dots\dots (4.8.36) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_c &= \frac{h}{d} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \\ &= (1 - n) \cdot (G_s - 1) \quad \dots\dots\dots (4.8.37) \end{aligned}$$

기서, γ_w 및 γ_t 는 흙과 물과 단위체적중량, e 및 n 는 흙과 간극비 및 간극률, G_s 는 토립자 비중을 나타낸다.

i_c 는 분사현상의 발생유무를 판단하는 기준치로 한계동수경사라 한다. 흙입자간의 저항력은 입자의 점착력, 중량, 입자구조에 따라 변하지만 정상적으로는 소성지수가 클수록 저항력이 크고 점착력이 없는 세립토에서는 $i_c = 0.5 \sim 0.8$ 로 알려져 있다.

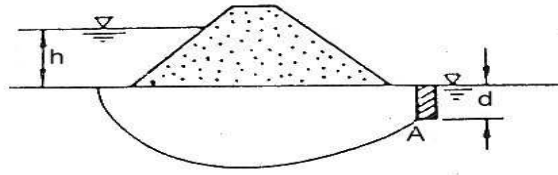


그림 4.8.27 분사현상

3) Lane의 간편법

Lane(1935)은 가중 크리프비(weighted creep ratio)를 기준으로 파이핑에 대한 안전율을 검토하는 방법을 제시하였다. 크리프비는 식 (4.8.38)과 같다.

$$CR = \frac{l_w}{h_1 - h_2} \dots\dots\dots (4.8.38)$$

여기서, $h_1 - h_2 = \Delta H$ 는 상하류면의 수두차, l_w 는 유선이 구조물 아래 지반을 흐르는 최소거리를 나타낸다. 그림 4.8.28에서

$$l_w = \frac{\sum l_h}{3} + \sum l_v, \quad l_w = l_{h1} + l_{h2}, \quad l_v = l_{v1} + l_{v2} \text{의 관계를 가진다.}$$

위식에서 만일 가장 짧은 유선이 45°보다 더 가파르면 이것은 연직거리로 간주하고 45°보다 더 완만하면 수평거리로 간주하여 유선의 최소거리를 계산한다. 식 (4.8.38)으로 계산된 크리프비가 표 4.8.3에 제시된 각 흙에 대한 값보다 크면 파이핑에 대하여 안전하다.

표 4.8.3 크리프비 안전치(Lane, 1935)

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

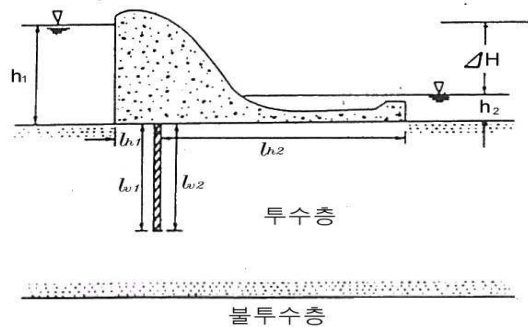


그림 4.8.28 최소유선거리를 계산하는 방법

다. 파이핑의 방지책

댐체의 차수준은 소요차수기능을 갖도록 설계되어야 함은 물론이고 파이핑

에 대해서도 세심한 주의를 기울여야 한다. 침투파괴에 대한 안전대책으로 다음을 들 수 있다.

- 1) 파이핑, 균열에 대하여 저항성이 큰 차수재료를 사용한다.
- 2) 적절한 입도의 필터 재료를 사용한다.
- 3) 지진발생시 균열 및 부등침하가 발생하지 않도록 신중히 설계한다.
- 4) 시공시 주의를 요한다.
- 5) 균일형 댐의 경우 배수구를 적절히 배치하고, 침투로 인한 파괴가 예상되는 경우 재료선정에 신중을 기한다.

- 6) Curtain grouting (지수주입) 등 지수공 설치
- 7) 파쇄대 단층처리
- 8) 블랭킷 또는 전면 포장형 지수
- 9) 감압정(Relief well)설치

일반적으로 점토인 경우, $IP > 15$ 의 고소성(塑性) 점토는 파이핑에 대하여는 최대의 저항성이 있으며, 다음으로 $IP > 6$ 의 중소성 점토이거나 입도 분포가 좋은 굵은 모래 또는 가는 자갈, 셋째는 $IP < 6$ 의 저소성 재료 중에서 입도 분포가 좋은 자갈, 모래, 실트의 혼합물이며, 최서는 $IP < 6$ 이고 특히 균일한 입경의 잔모래인 경우가 가장 저항성이 적은 것으로 알려져 있다. Sherard는 누수에 대한 저항성에 따라 재료를 다음과 같이 분류하였다.

- 1) 대단히 좋은 재료
 - ① 자갈과 모래의 세립분(細粒分)이 혼합된 입도분포가 좋은 조립 재료
 - ② D_{85} 가 2" 보다도 굵고, D_{50} 이 1/4 " 보다도 굵은 재료
 - ③ 세립분이나 점착성이 없으면서 #200 이하는 20 % 정도인 재료
- 2) 좋은 재료
 - ① 자갈, 모래, 점토질 세립분이 혼합된 입도분포가 좋은 재료
 - ② D_{85} 는 1 " 보다도 굵은 재료
 - ③ 세립분은 소성지수 12 이상의 무기질 점토(CL)
 - ④ 소성지수가 12 보다 큰 프라스틱한 점토(CH)
- 3) 약간 좋은 재료
 - ① 점성이 없는 세립분을 포함하고 입도분포가 약간 좋은 자갈질로 중간 점토부터 세립까지를 함유한 재료
 - ② D_{85} 는 3/4 " 보다 굵고 D_{50} 은 0.5 mm와 3.0 mm 사이에 있으며, #200 이하는 25 % 정도인 재료
 - ③ 소성지수가 12보다 큰 중위의 점성을 갖는 점토(CL)

4) 나쁜 재료

① 조립한 것을 함유하지 않고 점성이 낮은 점토(CL 및 CL~ML)로 소성지수는 5~8 사이에 있고 액성한계는 25 보다 큰 재료

② 조립한 것을 함유하지 않는 중정도로부터 고소성의 실트로 소성지수는 10 이상(ML 혹은 MH)인 재료

③ 점성이 없는 세립분을 함유한 중정도의 모래

5) 대단히 나쁜 재료

① 세립이며, 입도가 나쁘고 점성이 없는 실트질 모래인 경우는 D_{50} 이 0.3 mm 보다 세립인 재료

② 점성이 중정도부터 전혀 없는 실트(ML)질로 소성지수 10 이하인 재료

4.8.7 간극압의 검토

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

가. 일반사항

일반적으로 흙이 건조하여 불포화 상태에 있으면 물은 토립자 표면의 흡착수 또는 토립자 접촉부에 존재하여 초생달 모양(meniscus)을 형성하고 간극수압은 부(-)압의 상태로 된다. 또 포화상태(때에 따라서는 불포화 상태의 경우도 있음)에서 외력이 작용한 경우 흙덩어리는 흙의 골격응력과 간극압의 양자로서 평형을 유지하고 이 경우 간극압은 정(+)압의 상태로 된다. 이러한 정의 간극압이 커지면 유효응력이 작아지고 따라서 전단저항력이 감소하기 때문에 체체의 안정성에 큰 영향을 미치므로 반드시 안정 계산시 검토한다.

특히, 수위가 급격히 저하할 때는 간극압은 정상상태에 있는 저수위가 강하할 때 체체 수위가 저수위에 따라서 같이 저하하지 못하기 때문에 저수위에 의하여 상류측 사면에 작용하고 있던 수압이 감소되고 체내와 저수지측의 수위차가 크기 때문에 침투는 저수지측에 향해서 일어나므로 체체 안전상 위험한 상태가 되므로 반드시 체체 안정계산에서는 간극압을 검토한다.

나. 간극압의 추정

1) 시공중 및 완성직후의 간극압의 추정

가) 간극압의 소산을 고려하지 않을 경우

불투수성부 또는 포화도 85% 이상인 점성토에서는 시공중(하중증가기간)의 성토중량에 의한 제체의 압밀로 인하여 간극수압(과잉수압)이 발생한다.

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

(1) 압밀시험을 하지 않고 경험치를 사용하는 방법

- MH, CH, CL, ML 활동면상의 토주중량의 60~80 %
- 기타의 점성토 50 %
- 낮은 댐 또는 대댐으로 시공속도에 문제가 없는 대댐
..... 활동면상의 토주중량의 50 %

(2) 압밀시험에 기인한 Hilf의 방법

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

① 흙쌓기 시에 중지기간이 없을 때

$$u = \frac{P_a \cdot \Delta}{V_a + h \cdot V_w - \Delta}$$

$$= \frac{P_a \cdot \frac{\Delta H}{H_o}}{n_o \left(1 - (1-h) \frac{S_o}{100} \right) - \frac{\Delta H}{H_o}} \quad \dots\dots\dots (4.8.39)$$

② 흙쌓기 시에 중지기간이 있을 때

$$u = \frac{(P_a + u_2) \cdot \frac{\Delta H'}{H_o}}{n_o \left(1 - (1-h) \frac{S_2}{100} \right) - \frac{\Delta H'}{H_o}} \quad \dots\dots\dots (4.8.40)$$

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

$$\sigma = \sigma' + u \quad \dots\dots\dots (4.8.41)$$

여기서, u는 간극압, σ는 전응력, σ'는 유효응력(=σ-u), P_a는 댐 지점의 대기압, Δ는 원용적에 대한 압축량(%)(=Δh/H_o), H_o는 압축시료 두께, ΔH는 시료

압축량, V_a 는 처음 다진 후의 간극내 자유 공기량(%)($= n_o(1-S_o)$), h 는 수중에서의 공기 용해도(Henry의 계수로 20℃일 때 0.0198), V_w 는 당초 다진 후의 간극내 수량(%)($= n_o \cdot S_o$), n_o 는 당초 다진 후의 간극율(%), S_o 는 당초 다진 후의 포화도(%), $\Delta H_2/H_o$ 는 성토 재개시의 흙의 압축량(%), u_2 는 흙쌓기 재개시의 간극율(%)($= n_o - \Delta H_2/H_o$), S_2 는 성토 재개시의 포화도

$$\left(= \frac{S_o \left(1 + \frac{u_2}{P_a} \right)}{1 + \frac{u_2}{P_a} (1-h) \frac{S_o}{100}} \right), n_2 \text{는 흙쌓기 재개시의 간극율(}\% \text{)} (= n_p - \Delta H_2/H_o), \Delta$$

H'/H_o 는 흙쌓기 재개시의 압축량 증가분(%)($\Delta H_2/H_o$ 로부터의 증가분)을 나타낸다.

이 Hilf 식으로 추정된 간극압과 전응력과 관계를 구하기 위해서는 시공시의 함수비와 밀도를 갖는 흙의 불포화 시료에 대하여 압밀시험을 하고, 그림 4.8.29(a)와 같이 압밀응력과 압축량 $\Delta = \Delta H/H(\%)$ 의 관계를 구해 두어야 한다. Hilf 식은 최적함수비보다 습윤측의 함수비로 다진 흙에 대하여 성립한다. 또 최적함수비의 건조측에서는 재하중에 의한 압밀은 간극 속의 공기만을 배제하므로 간극압의 증가는 아주 작게 된다.

나) 간극압의 소산을 고려한 경우

전 항에서는 성토 진행중 간극압은 소산되지 않는 것으로 해서 유도하였다. 그러나, 간극압은 시공속도나 차수존의 나비, 드레인의 유무 등에 의하여 정도의 차이는 있으나 소산되고 있다. 이것을 고려해서 간극압을 구하면 더 실제의 상태에 가까운 값을 얻을 수 있을 것이다. 이것을 구하는데 다음과 같은 진행방법이 있다.

(1) 경험치에 의한 경우

Hilf의 방법(식(4.8.37) ~ 식(4.8.38) 참고)에 의하여 소산계수를 사용해서 식(4.8.39) ~ 식(4.8.40)에 의하여 추정한다.

① 성토 중지기간이 없을 때

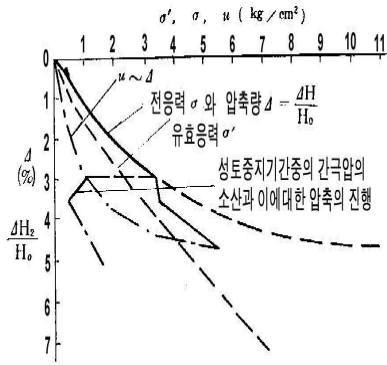
$$u = \frac{P_a \Delta}{V_a + h \cdot V_w - \Delta} \cdot (1 - A) \dots\dots\dots (4.8.42)$$

② 성토 중지기간이 있을 때

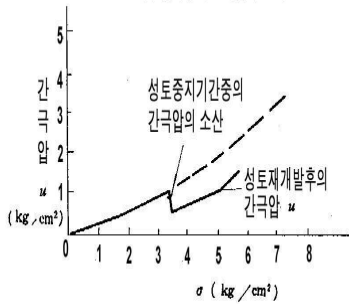
$$\Delta u = \frac{(P_a - u_2) \frac{\Delta H'}{H_o}}{n_2 \left(1 - (1-h) \frac{S_2}{100} \right) - \frac{\Delta H'}{H_o}} (1 - A) \dots\dots\dots (4.8.43)$$

여기서, A는 소산계수(표 4.8.4 참고)

여러 가지 댐 형식에 대하여 시공기간 Δt 를 고려해서 배수면까지의 거리 H, 압밀계수 C_v 의 실측치를 사용해서 $T = \frac{C_v \Delta t}{H^2}$ 와 간극압 소산계수(A)와의 관계를 나타내면 그림 4.8.31과 같다.

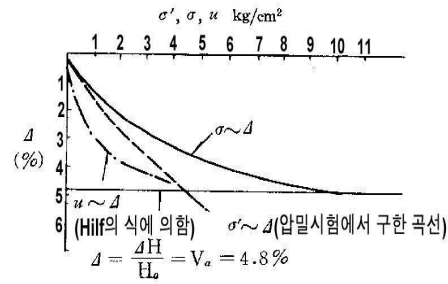


(a) 압축량과 간극압의 관계

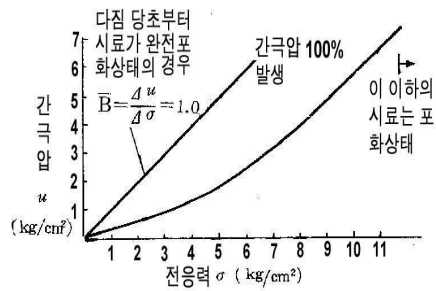


(b) 전응력과 간극압의 관계

그림 4.8.29 압축량, 전응력과 간극압의 관계(성토중지기간이 없을 때)



(a) 압축량과 간극압의 관계



(b) 전응력과 간극압의 관계

그림 4.8.30 압축량, 전응력과 간극압의 관계(성토중지기간이 없을 때)

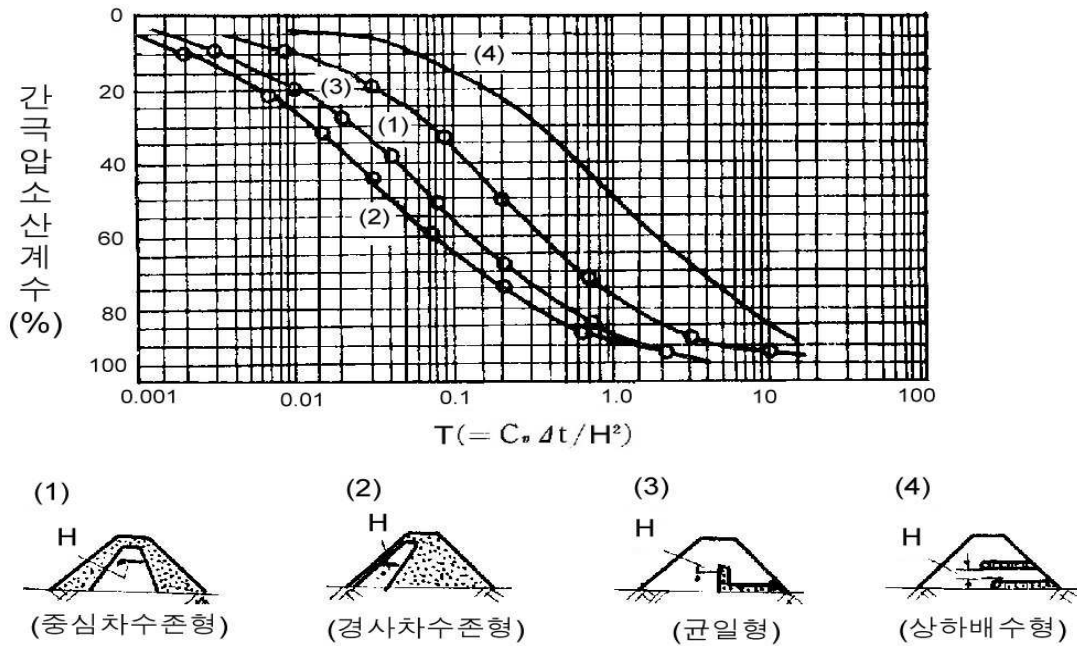


그림 4.8.31 필댐 형시결 평균 간극수압 소산계수

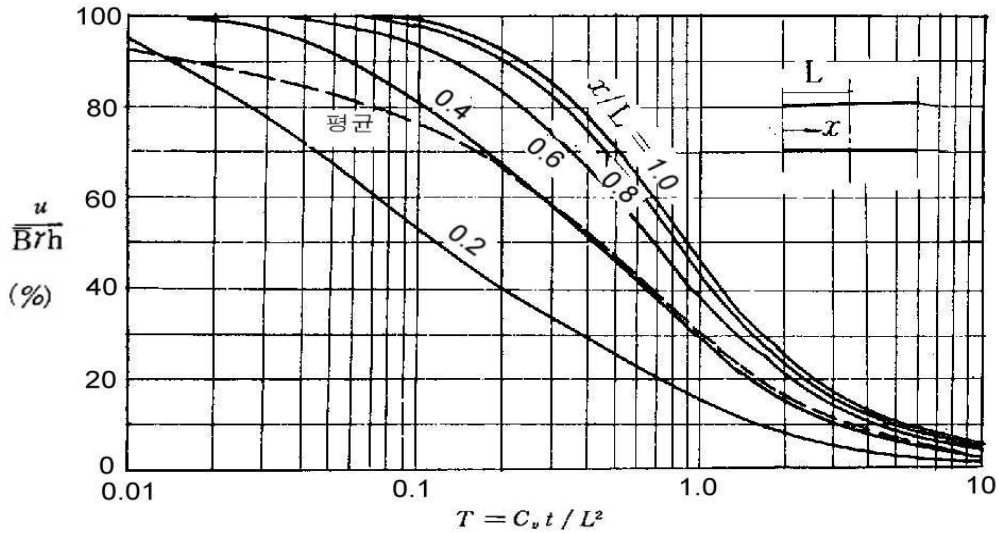
표 4.8.4 소산계수(A)

댐의 형식	배수도랑의 유무	A
존형 댐(중심차수존형 댐)	유	0.5 ~ 0.8
균일형 댐	무	0.3 ~ 0.5

(2) 압밀이론에 의하여 간극압의 소산을 계산하는 방법

① 얇은 차수 코어부에서 배수는 수평방향으로만 생긴다고 가정한 경우 배수거리는 일정하여 하중만이 시간에 따라 일정속도로 증가할 경우 즉, 성토고가 일정속도 a 로 시공될 때는 Terzaghi의 압밀해를 Duhamel의 정리에 따라서 적분하면 간극압 u 는 그림 4.8.32과 같이 된다.

② 성토 높이에 비하여 성토 폭이 큰 완경사의 균일형 필댐 이 경우는 간극압은 근사적으로 연직방향으로만 소산된다. 성토가 일정속도 $h(t) = at$ 로 시공될 경우의 간극압 u 는 Gibson에 의하여 구하고 $(\frac{u}{B\gamma h})$ 는 배수조건에 대하여 그림 4.8.33 및 그림 4.8.34과 같이 된다.

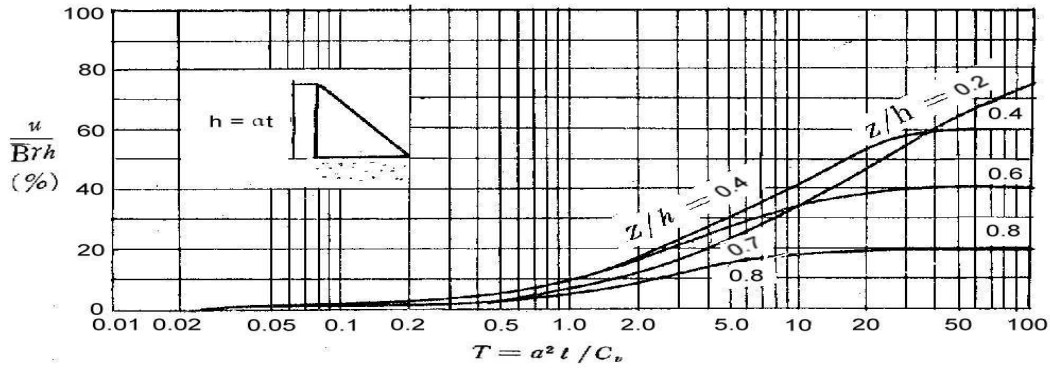


※ B : 간극압계수 τ : 성토의 단위체적중량 L : 불투수성부의 두께의 1/2
 x : 필터와 불투수성부의 접촉면부터 불투수성부내까지의 수평거리

그림 4.8.32 배수거리 일정, 하중이 일정 속도로 증가하는 경우의 간극수압과 시간과의 관계

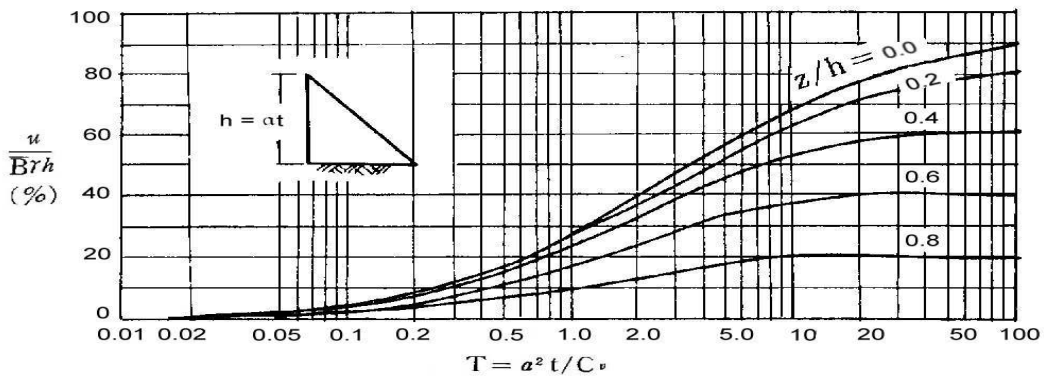
2) 상시 저수시의 간극압

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



z : 성토저면부터 연직상향의 거리
 a : 성토의 시공속도

그림 4.8.33 토층두께 하중과 함께 시간에 비례해서 증가하는 경우의 간극수압(기초는 투수성)



z : 성토저면부터 연직상향의 거리
 a : 성토의 시공속도

그림 4.8.34 토층두께, 하중과 함께 시간에 비례하여 증가하는 경우의 간극수압(기초는 불투수성)

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

3) 수위가 급격히 저하할 때의 간극압

수위가 급격히 저하하는 경우란 정상상태에 있는 저수위가 강하할 때 제체 수위가 저수위에 따라서 같이 저하하지 못하는 경우를 말한다.

이 때 저수위에 의하여 상류측 비탈면에 작용하고 있던 수압이 감소되고 제내와 저수지측의 수위차가 크기 때문에 침투는 저수지측에 향해서 일어나므로 제체의 안전상 극히 위험한 상태로 된다. 제체 수위의 저하속도는 축제재료의 투수성, 간극율 및 저수위의 강하속도에 따라서 다르나 일반적으로 투수계수가 10^{-7} cm/s 차수(order) 이하의 재료에서는 제내 수위의 저하는 거의 없는 것으로 생각된다.

따라서 일반적으로 불투수 재료에는 만수시의 정상 침투상태의 간극수압이 100 % 잔류하는 것으로 생각된다. 이 경우 여러 가지 경사의 사면에 안전율을 간편하게 구하는 표가 Morgenstern에 의해서 주어졌다.

그림 4.8.35는 투수계수가 $k = 10^{-1} \sim 10^{-4}$ cm/s 정도의 재료로서 기울기가 30 %인 비탈면에서의 수면강하 속도와 비탈면 붕괴의 위험성과의 대략적인 관계를 나타낸 것이다. 그러나 수면상하 속도가 1일에 30 cm정도면 $k = 10^{-2} \sim 10^{-3}$ cm/s 이하 재료에서는 비탈면 기울기가 30 %라도 활동할 가능성이 있으므로 이 경우는 비탈면을 암괴(岩塊) 또는 콘크리트 블록 등으로 보호해야 한다.

록 필댐에서 압축성 불투수성 재료의 상류측이 저수지의 수면강하와 거의 동시에 수위가 내려갈 수 있을 정도의 투수성 재료로 되어 있는 경우, 급속 강하직후의 간극수압은 Bishop의 식에 의하여 구할 수 있다(그림 4.8.36 참고).

$$u_1 = \gamma_w \{ h_1 + h_2(1 - n_s) - h' \} \dots\dots\dots (4.8.44)$$

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

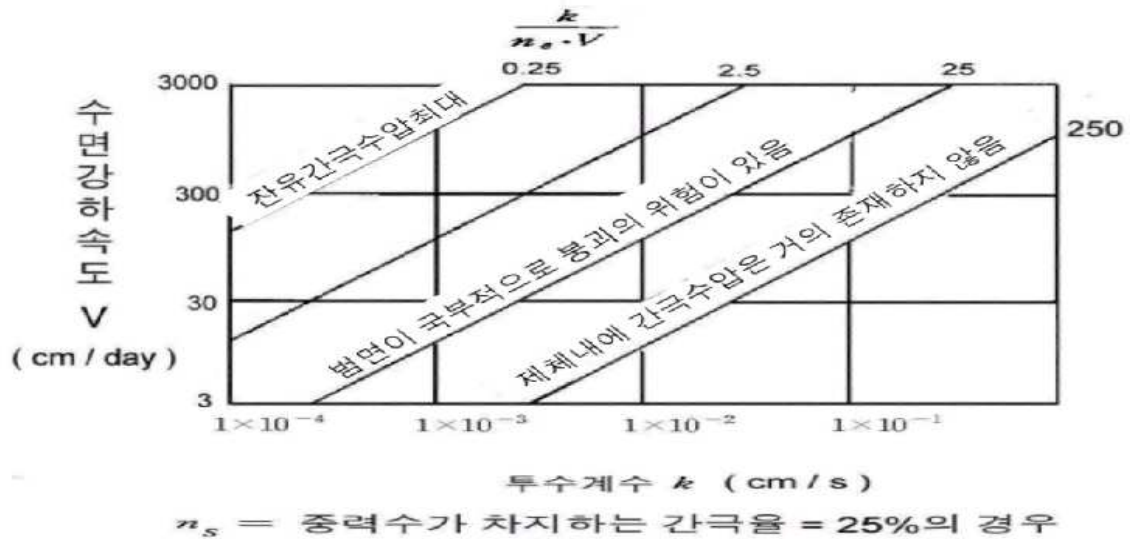


그림 4.8.35 수면강하속도와 사면의 안정성의 관계
(다만, 사면 경사도 30%인 경우)

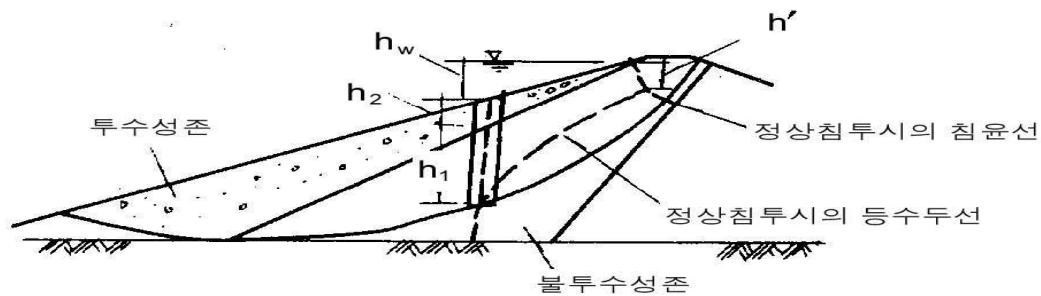


그림 4.8.36 급속 강하시의 간극수압의 계산

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

가) 상류측 투수성 존에서는 간극압은 발생하지 않고 수위변동에 따른다.

나) 불투수성 존의 간극압 분포는 수위 강하의 경계조건을 그대로 사용해서 제체는 비압축성이며 모세관현상이 없다는 가정에서의 유선망으로 구한 수압에 가깝다.

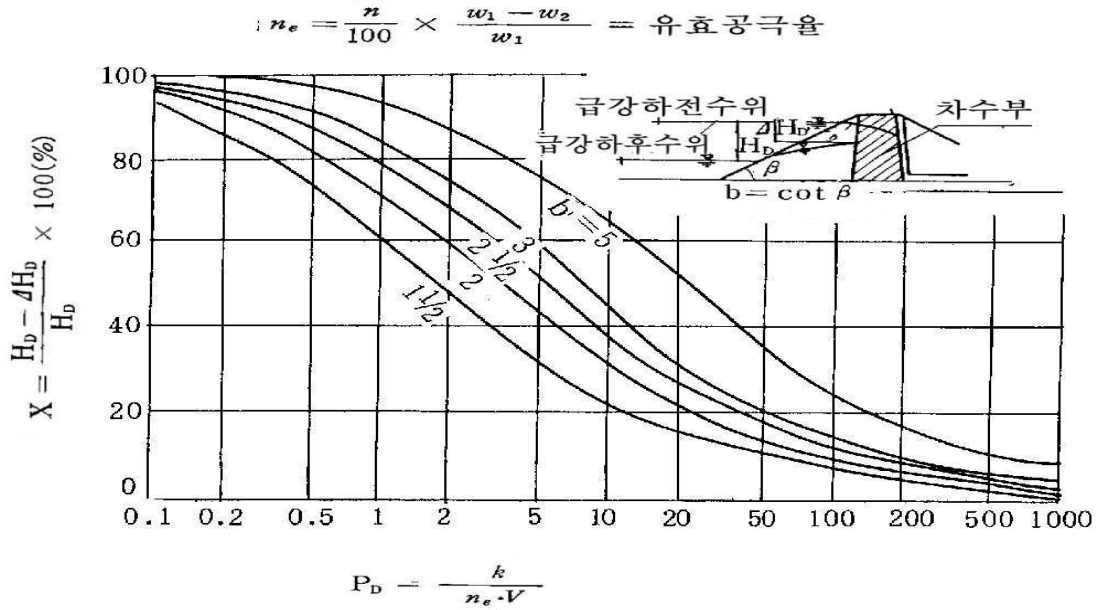


그림 4.8.37 수면 급강하시 셀재의 침윤선과 차수부 전면과의 교점위치를 구하는 그림

다) 불투수성 존의 간극압은 수위저하가 완만할 때는 수위강하에 따르며 수위저하가 급격한 경우는 그 영향을 받는다.

라) 극히 세립의 점토질로 된 불투수성 존의 간극압에 대해서는 아직도 믿을만한 측정결과는 없다. 또 원형 활동면 분할법(slice method)에 의하여 제체의 활동과괴를 검토하는 경우에 수위가 급격히 저하할 때의 반투수성 존 중의 수위(간극압)는 그림 4.8.37을 사용해서 간단히 구하는 것이 좋다.

4.9 안정성 검토

4.9.1 활동에 대한 안전성 검토

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

가. 활동에 대한 안전율

필댐은 제체재료의 성질과 기초지반 상태 등을 고려해서 제체내부, 제체와

기초지반과의 접합부 및 부근에서의 활동에 대해서 충분한 활동저항을 갖도록 설계한다.

제체의 활동에는 일반적으로 제체사면의 활동(사면붕괴)과 제체의 기초면에 의한 활동(사면성 붕괴)을 생각할 수 있으며, 기초지반의 강도가 약한 경우에는 기초지반 내를 통과하는 활동면(저부붕괴)에 대해서도 검토한다. 또한 안정 계산에 사용하는 축제재료의 설계 강도정수는 적절한 토질시험에 의해서 얻어진 결과를 바탕으로 시공조건 등을 고려하여 결정해야 한다.

표 4.9.1 필댐의 안전율

구분	제체 조건	저수위	지진	안전율		비고
				상류	하류	
1	완성 직후 (간극압 최대)	바닥상태	없음	1.3	1.3	1) 상류측 비탈면의 하부준이 암석 등으로 되어 있어 간극압이 발생하지 않을 경우에 한함.
2		일부저수	"	1.3	-	
3		급강하	"	1.2	1.2	
4	평상시	만수	있음	1.2	1.2	2) 수위는 보통 댐높이의 45~50%를 취하여 계산함
5		일부저수	"	1.15	-	

표 4.9.2 활동파괴를 검토하는 경우

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

필댐 사면의 활동에 대한 안전율은 재료시험이나 안정계산의 정밀도가 불충분한 경우나 또는 연약한 지반상의 댐과 같이 불확정한 요소가 포함되기 쉬운 경우에는 1.5를 표준으로 하고 정밀도가 충분한 경우라도 표 4.9.1의 값 이상의 안전율을 취해야 한다.

안전율을 얼마로 하느냐 하는 것은 그 상태가 일어날 확률과 파괴된 경우의 위험도에 따라 정해지는 것이다. 표 4.9.1에서 구분란 1, 2의 안전율이 1.3으로 최대인 것은 어떤 댐에서도 반드시 있을 수 있는 상태이기 때문이다. 이에 대해서는 구분 4, 5의 경우는 극히 드물게 발생하는 상태이고 특히 5의 경우는 파괴된 경우라도 물이 흘러 넘쳐 피해가 생길 염려가 없으므로 안전율을 작게 취해도 된다. 활동파괴를 고려하는 경우는 표 4.9.2에 의거하여 실시한다.

[참고] 제체의 활동파괴의 특성

제체의 활동파괴의 특성에 대해서 설명하면 다음과 같다.

(1) 축제재료의 성질에 따른 활동

미국의 필댐에 대한 조사에 의하면 축제중이나 완성 후에 활동한 댐의 대부분은 ① 댐 기초 지반의 토질이 소성이 높고 함수비가 높은 점토인 경우, ② 축제용 토질이 소성이 높은 세립토인 경우 등이다.

미국 65개 균일형 필댐 중에서 활동한 14개의 예를 보면 비탈면의 기울기, 시공법 및 저수위의 변동 등의 요인보다는 50 % 입경 D₅₀과의 상관성이 가장 컸다는 결과가 나와 있다(표 4.9.3 참고). 미국 Middle Brooks가 종합한 통계에 의하면 댐이 완성된 1년 이내에 활동한 것이 활동 전체의 약 1/3이고 5년 이내가 약 1/2을 차지하고 있다. 또 축조한 연도상으로 보면 1940년 이전의 것이 전체의 93 %에 달하고 있다. 1940년 이후에는 100 m를 넘는 높은 댐을 포함하여 많은 댐이 축조되었어도 활동 예는 드물다.

표 4.9.3 D₅₀ 입경과 댐의 활동

D ₅₀	활동률 (%)
0.006 mm 이하	100
0.006 ~ 0.02 mm(세립)	50
0.02 ~ 0.06 mm (중립)	10 ~ 20
0.06 mm 이상 (조립)	0

(2) 시공 중 상하류 방향으로의 활동

과거에 시공된 물다짐식 댐(수제식 댐)에서는 이러한 종류의 활동이 많았으나 최근 기계 다짐식(전압식)에서는 별로 일어나지 않았다. 그러나 이와 같은 종류의 활동은 전술한 바와 같이 기초가 소성이 높고 함수비가 높은 점토 또는 이암 및 혈암으로 된 경우나 성토재료로서 소성이 높은 점토를 사용하는 경우 또는 시공속도를 빨리 하는 경우에 발생하는 수가 있다.

활동에는 완속활동과 급속활동의 두 종류가 있는데, 완속활동은 1~2 주간에 걸쳐 천천히 일어나고 모르는 사이에 서서히 안정되어 버리게 되며, 이는 대부분 기초가 연약한 균질인 비예민성인 점토에서 일어난다.

이에 대하여 급속활동은 2~3분 동안에 주활동이 끝나고 그 후부터 몇 시간 동안 활동이 계속 되는 것인데, 기초 점토 중에 렌즈(lens)모양의 층이나 실트, 세립질층 등이 있어 이들 층을 따라 간극수압이 바깥측의 연약층에 전달되기 쉬운 상태에 있을 때 일어난다. 한편 시공 중의 활동은 기초점토가 연약하고 함수비가 많은 것이 원인이므로 기초 중의 간극수압을 빨리 소산시키는데 전력을 해야 하며 그때까지는 성토를 중지하는 것이 좋다.

이와 같은 사고를 피하기 위해서는 간극압 소산용 드레인을 설치함과 동시에 축제 중 간극압이나 변형률 관측을 실시해서 큰 사고가 일어나기 전에 성토를 중지하는 등의 조치를 할 필요가 있다.

(3) 저수위가 급강하시의 상류방향으로의 활동

상류측 비탈면이 활동하는 것은 시공 중의 활동을 제외하면 대부분 수위의 급강하에 기인된 것으로 특히 최초의 수위 급강하인 경우에 활동이 일어날 수 있다. 미국에서 12개소의 사고에 대한 조사결과에 의하면 만수위에서 1/2 정도의 수위까지의 사이에 9~15 m/day의 속도로 수위가 급강하인 경우에도 활동이 일어났다. 최초의 수위 급강하 시에는 활동이 일어나지 않고 오랫동안 안정되어 있던 것이 어떤 수위 급강하에서는 활동이 일어나는 예도 간혹 있지만 이와 같은 경우는 수위 급강하 속도나 수면강하 범위가 그때까지의 어느 경우보다도 큰 것이 보통이다. 따라서 그와 같은 수위조작을 해야 할 경우에는 충분히 주의를 해야 한다.

(4) 저수 중의 하류측 방향으로의 활동

하류측 방향의 활동에는 깊은 활동과 얇은 활동으로 나눌 수 있는데, 전자의 경우는 저류수가 하류측에 넘쳐 흐르게 되므로 큰 재해를 가져오게 된다.

깊은 활동은 제체나 또는 기초활동을 통한 침투수가 원인이며 기초점토까지

활동하는 경우도 있고, 댐 마루의 상류면까지 달하여 댐의 여유고를 깎아 버리는 경우도 있다. 활동의 속도는 대개 첫날에는 하류쪽에 0.9~1.2 m/day 정도 그 후 몇 주간에 걸쳐 하류에 0.3 m/day 정도가 일어난다.

얕은 활동은 큰 비가 내림으로써 하류측 비탈면에 생기는 경우가 많으며, 깊이는 1.2~1.5 m 정도이고 하류측 사면 가까이에 배수불량의 재료를 사용하거나 사면다짐이 불충분할 때 생기게 된다.

나. 설계하중

제체 및 기초의 활동과괴에 대한 안전성을 검토함에 있어 자중, 정수압, 간극수압 및 지진시 관성력을 하중으로 고려하고, 지진시에 작용하는 동수압은 외력으로서는 작고 안전측으로 작용하기 때문에 이들은 고려하지 않는 것이 일반적이다.

1) 자중

활동과괴에 대한 안정계산에 사용하는 제체의 자중은 그림 4.9.1과 같이 실제 사용하는 재료의 단위체적중량에 체적 또는 면적을 곱하여 계산한다. 제체 재료의 단위체적중량은 실제 사용하는 재료에 대한 시험으로 결정한다.

① 완성 직후로서 저수하지 않을 때

표 4.9.1 경우, 제체재료의 습윤단위체적중량(γ_t)으로 한다(그림 4.9.1(a)참고).

② 몇 년후 저수로 정상 침투상태가 된 경우(경우 1~4), 저수지 침윤선의 윗부분은 제체재료의 습윤 단위체적중량(γ_t)을 사용하고, 침윤선 아랫부분은 포화 단위체적중량(γ_{sat})을 사용한다(그림 4.9.1(b) 참고).

③ 수위 급강하시(경우 6)

침윤선의 윗부분은 제체 재료의 습윤 단위체적중량(γ_t)을 사용하고 침윤선 아랫부분은 포화 단위체적중량(γ_{sat})을 사용한다(그림 4.9.1(c) 참고).



그림 4.9.1 필댐의 자중에 의한 하중을 계산할 때의 단위체적중량을 취하는 방법

2) 정수압

저수에 의한 정수압력은 댐 제체와 저수와의 접촉면에 대하여 수직으로 작용하는 것으로 하고, 식(4.9.1)과 같이 물 단위중량에 수심을 곱하여 계산한다.

$$p = \gamma_w \cdot h \quad \dots\dots\dots (4.9.1)$$

여기서, p 는 정수압, γ_w 는 물의 단위중량, h 는 표 4.9.1에 따라 정해진 저수 위로부터 제체와 저류수의 접촉면상의 정수압력을 구하고자하는 점까지의 수심을 나타낸다.

또한, 활동과괴에 대한 안정계산에 있어서 저수시의 정수압은 활동 모멘트 쪽으로의 기여분을 어떻게 고려할 것인가는 그림 4.9.2와 같이 ① 사면에 작용하는 정수압, ② 활동원을 수중까지 연장시키는 방법, ③ 수평방향의 정수압과 사면상의 물의 체적을 고찰하는 방법, ④ 제체의 유효하중만 고려하는 방법 등이 있지만, 이 기준에서는 안전측의 값을 주는 그림 4.9.2(d)의 방법을 선택하기로 한다. 구체적인 계산방법은 원형 활동면 분할법에 제시한다.

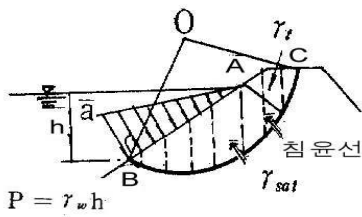
3) 지진 관성력

제체에 작용하는 지진관성력은 댐의 자중에 제체의 설계진도를 곱한 값으로 하고 제체에 작용하는 것으로 한다.

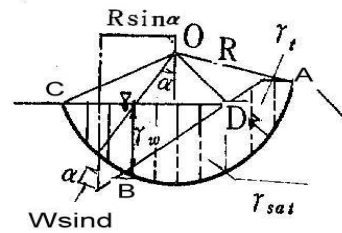
$$I = \gamma_s \cdot K \dots\dots\dots$$

(4.9.2)

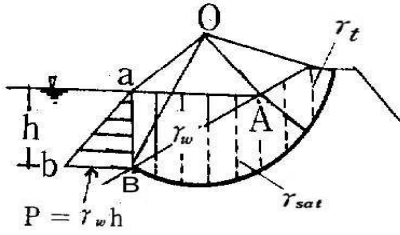
I : 지진시 제체의 관성력(tf/m^3), γ_s : 제체의 자중, K : 설계진도



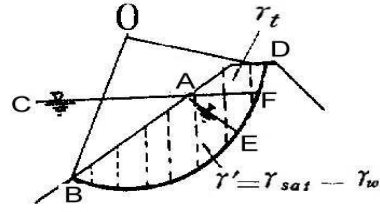
(a) 사면에 작용하는 정수압으로 보는 방법



(b) 활동원을 중심까지 연장시키는 방법



(c) 수평방향의 정수압과 사면상의 수피를 고려하는 방법



(d) 저수지내의 물과 제체내의 물이 모멘트에 대해서는 균형되어 있는 것으로 하고 ABEFD에 대해서만 생각하는 방법

그림 4.9.2 정수압 활동면의 중심선에 관한 모멘트

제체의 자중은 침윤선 윗부분은 습윤중량에, 침윤선 아랫부분은 포화단위중량을 기준으로 한다. 작용위치는 절편의 활동면상으로 하며 작용방향은 수평으로 작용하는 것으로 한다. 그리고 설계진도는 내진설계 평가에서 정하는 진도를 기준으로 한다.

4) 간극수압

필댐의 제체 및 기초지반 내에서는 간극압은 안정을 검토하려는 가상면의 전면적에 분포하고 그 면에 수직으로 작용하는 것으로 본다. 유효응력 표시에 의한 안정계산에서 고려되는 간극수압은 다음과 같은 상태를 생각할 수 있다.

- 가) 시공중 및 완성 직후의 흙 속의 응력변화로 발생하는 간극수압
- 나) 저수시의 정상 침투류에 의한 간극수압
- 다) 수위 급강하시의 간극수압

토립자 골격의 변형에 의하여 발생하는 간극압은 압밀시험기 또는 삼축압축시험에 의한 토질시험 결과를 사용하여 구할 수 있다. 필댐 및 기초 등의 간극수압은 저수위, 지형, 배수공, 투수계수의 분포, 지수벽의 배치 등을 고려하여 유한요소법, 전기상사법, 모래모형 등을 사용하여 검토할 수 있다. 간극수압에 관하여 파랑, 지진 등에 의한 단시간적인 변화의 영향은 일반적으로는 무시하는 것으로 한다. 단 수위급강하에 의한 간극압의 시간적 변화는 고려하여, 「4.8.7의 간극압의 검토」에 의하여 구한다.

5) 기타 설계하중

위에서 언급한 하중 외에 설계시 또는 안정계산 시에는 지진시의 동수압, 이토(泥土)에 의한 수평압, 빙압 등이 고려될 수도 있다.

가) 지진시의 저수에 의한 동수압

지진시의 저수에 의한 동수압력은 제체와 저수와의 접촉면에 대하여 수직으로 작용하는 것으로 하고 댐의 상류면이 연직에 가까운 경우에는 다음 식에서 구한다.

$$p_d = \frac{7}{8} \gamma_w K \sqrt{Hh} \dots\dots\dots$$

(4.9.3)

여기서, p_d 는 지진시에 저수에 의한 동수압력, γ_w 는 물의 단위중량, K 는 설계진도, H 는 댐의 직상류부의 수위로부터 기초지반까지의 수심, h 는 댐의 직상류부의 수위로부터 댐의 제체와 저수와의 접촉면상의 동수압을 구하고자 하는 점까지의 수심을 나타낸다.

나) 저수지내에 퇴적한 이토에 의한 힘

저수지내에 퇴적한 이토에 의한 힘은 제체와 저수지내에 퇴적한 이토와의 접촉면에서 연직방향 및 수평방향으로 작용하는 것으로 하여 연직방향으로 작용하는 힘은 퇴적한 이토의 수중단위중량을 기초로 하여 계산하는 것으로 하고 수평방향으로 작용하는 힘은 다음 식에 의하여 계산한다.

$$p_e = C_e \cdot \gamma_1' \cdot d \dots\dots\dots (4.9.4)$$

여기서, p_e 는 퇴적한 이토에 의한 수평압력, C_e 는 적절한 시험의 결과 또는 유사한 댐의 구조계산에 사용되었던 값을 기초로 하여 정해지는 이압계수, γ_1' 는 퇴적한 이토의 수중단위중량, d 는 퇴적한 이토의 깊이를 나타낸다.

퇴적이토는 토사의 입자가 수중에 떠 있는 것은 아니고 퇴적이토의 간극을 물로 채워서 일체로 되어 있는 상태로서, 퇴적이토의 중량은 $\gamma_1' = \gamma_2 - (1-v)\gamma_w$ 로 표시된다. 여기서, γ_2 는 퇴적이토의 겉보기 단위중량, γ_w 는 물의 단위중량, v 는 퇴적이토의 간극률이다. 이 경우 대략적 값은 $\gamma_2 = 1.5 \sim 1.8$, $v = 0.3 \sim 0.45$, $C_e = 0.4 \sim 0.6$, $\gamma_w = 1.0$ 와 같다.

퇴적이토의 깊이는 일반적으로 하상, 저수면적의 광협, 수심의 대소 등에 따라 현저하게 변화한다. 설계에 사용되는 퇴적이토의 깊이는 대략 100년간의 퇴적량을 기초로하고 이것이 저수지내에 수평으로 퇴적한 것으로 계산한다.

다) 빙압

한랭지에서 댐의 대안거리가 짧고 큰 빙압이 예상되는 경우 및 게이트가 빙압의 영향을 크게 받는 경우에는 각각 댐본체 및 게이트에 빙압을 고려한다.

저수지의 표면이 결빙하는 경우, 얼음의 온도가 상승하면 빙압이 발생하지만 얼음의 하면에 저수와 접하고 있는 부근에서는 생기지 않는다. 빙압은 상승기온차, 얼음 두께, 저수지 양안의 구속정도, 결빙면에 대한 직사일광의 정도에 따라 변한다. 그림 4.9.3는 기존의 실측자료로부터 구한 얼음두께와 제축에 직각수평방향 빙압과의 관계를 보인 것이다.

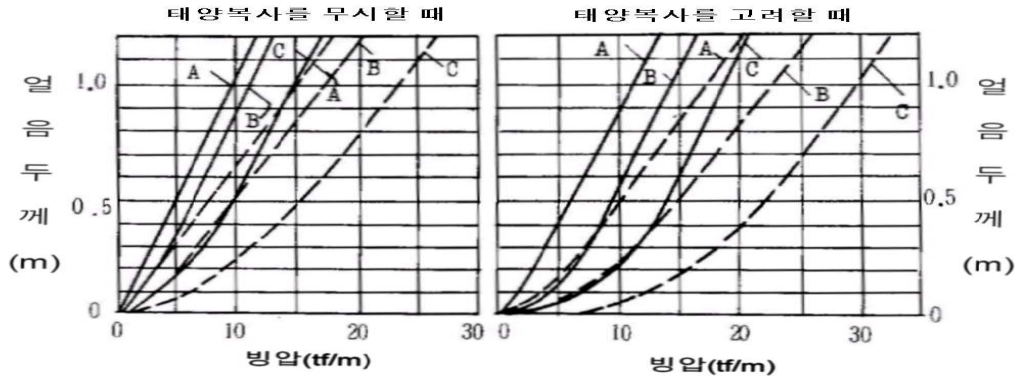


그림 4.9.3 얼음두께와 빙압의 관계

(주) 1. 횡축의 빙압 : 빙판의 제축방향 1m당의 값

2. 기호의 의미

———— : 저수지 양안 무구속(내안이 완경사로 얼음의 갯부분이 미끄러져 올라가는 상태)

- - - : 저수지 양안 완전구속(내안이 급경사로 결빙이 부동인 상태)

A : 기온 상승률 2.8 °C/hr B : 기온 상승률 5.6 °C/hr C : 기온 상승률 8.4 °C/hr

다. 강도정수의 선정

1) 필 재료의 설계 강도정수를 구하는 실험 조건

가) 토질재료 및 사력재료인 경우

설계단위체적중량(γ_{ds})는 원칙적으로 현장 함수비로 다짐을 하는 단위중량을 취해야 한다. 설계단위중량은 토질, 기상, 시공 조건 등에 따라 변하지만 점성토인 때에는 보통 KS에서 규정한 최대건조단위중량의 95%(D치 95%) 정도를 적용하면 된다.

일반적으로 그림 4.9.4 사선부의 범위가 흙쌓기의 시공조건이 된다. 다만 투수계수는 최적함수비보다 약간 습윤측에서 최소치를 나타내고 이보다 함수비가 증가하여도 투수계수의 변화는 적으나 최적함수비보다 건조측에서는 급격

히 증가하기 때문에 단위중량의 관점에서 결정하는 허용 건조측 함수비보다 약간 큰 함수비 w_2 를 실제 시공시의 허용 최적함수비로 할 필요가 있다. 흙의 전단시험은 그림에서 각 점 즉, 최적함수비보다 건조측 및 습윤측에서 허용 최소건조단위중량(이 예에서는 최대 건조밀도의 95 %)까지 다짐을 한 흙 및 최적함수비에서 최대건조단위중량 및 D치 95 %까지 다짐을 한 흙에 대하여 실시하는 것이 보통이다. 다만 차수폭이 얇은 록필댐에서는 차수재의 전단강도가 사면 활동 안전율에 끼치는 영향이 작기 때문에 D치 95 %에 상당하는 습윤측 함수비 w_{95} 에서 다짐을 한 흙에 대해서만 전단시험을 하는 것이 좋다.

전단시험 값은 원칙적으로 삼축시험의 결과를 선택해야 한다. 전단시험의 주요 목적은 전응력 표시의 c , ϕ 또는 유효응력 표시 c' , ϕ' 를 구하는 것이지만 축차응력과 변형율의 관계를 나타내는 곡선, 체적 변형율의 관계를 나타내는 곡선 등의 자료는 유한요소 해석의 경우에 유용하므로 정확한 기록을 해두는 것이 바람직하다. 또한 압밀배수 전단강도정수 c' , ϕ' (유효응력 표시)만을 구하는 목적이라면 세립토에 한하여 일면 전단시험에 의해 구하여도 좋다.

나) 록 재료의 경우

시료의 입경에 대해서 최소한으로 필요한 공시체의 크기에 대한 정설은 아직 없으나 높이가 직경의 2배 정도의 공시체를 사용하는 삼축시험에서는 공시체의 직경은 시료의 최대 입경의 적어도 6배 이상이어야 한다. 따라서 록 재료의 경우는 대형 공시체를 사용하여도 실제재료를 그 상태대로 시험에 사용하는 것은 불가능하다. 그러므로 큰 입경의 재료를 제거하거나 또는 파쇄하여 입도조정을 한 것에 대해 시험하여 그 성질을 추정하는 방법이 일반적이다.

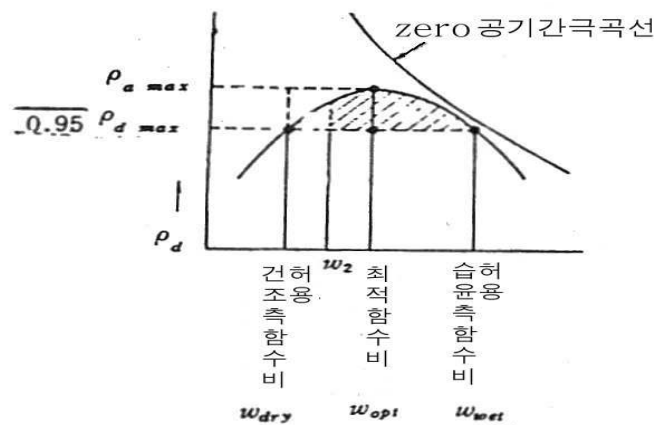


그림 4.9.4 함수비와 단위중량과의 관계

그림 4.9.5 및 그림 4.9.6은 현무암 및 각섬석류의 록 재료에 대한 전단시험

의 결과를 축압의 크기에 따른 전단 저항각을 도시한 것이다. 전단 저항각 α_3 가 증가함에 따라서 감소하는 경향을 나타냈고, 공시체 크기에 불구하고 거의 같은 경향을 나타내고 있다. 단, 전단 저항각 ϕ' 의 크기는 공시체가 클수록(최대입경이 큰 정도에 따라서) 작아진다. 그러나 그 차이는 근소해서 공시체 직경 90 cm에서의 ϕ 는 공시체 직경 7 cm의 ϕ' 에 비하여 3~4°, 공시체 직경 30 cm에서의 ϕ' 에 비해서 1~1.5° 정도 작다. 이러한 결과는 현무암을 파쇄한 록 재료나 각섬석류의 록 재료에 대하여 거의 동일한 결과를 보여준다.

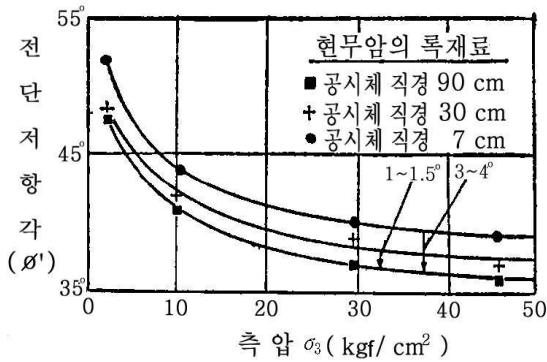


그림 4.9.5 현무암류의 전단저항각

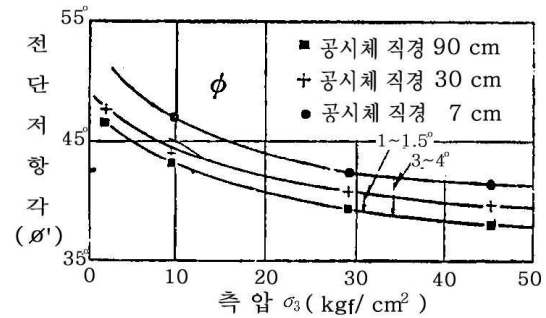


그림 4.9.6 각섬석류의 전단저항각

2) 성토의 설계 강도정수 선정방법

제체의 어느 준을 구성하는 재료가 단일하다고 볼 수 있는 것이라도 조성 및 성질이 각각 약간씩 다른 몇 종류의 재료로 구성된 것이 많다. 이러한 경우 결정된 설계 단위체적중량이 γ_{ds} 일 때, 각 재료에 대하여 사용 가능량 등을 고려하여 적당한 c' , ϕ' (또는 c , ϕ)를 구하는 것이 필요하다. 구체적인 결정방법은 각각의 경우에 부합되는 여러 가지 방법이 있지만 일반적으로 아래의 방법이 널리 이용되고 있다(그림 4.9.7 참고).

$$\phi_m = \frac{\sum_{i=1}^n \phi_i}{n} \dots\dots\dots (4.9.5)$$

$$\sigma_\phi = \sqrt{\frac{1}{n-1} \{(\phi_1 - \phi_m)^2 + (\phi_2 - \phi_m)^2 + \dots + (\phi_n - \phi_m)^2\}} \dots\dots\dots (4.9.6)$$

$$\phi_{ds} = \phi_m - \frac{1}{2} \sigma_\phi \dots\dots\dots (4.9.7)$$

여기서, ϕ_{ds} 는 전단 저항각의 설계치이다.

이 방법 외에 아래와 같은 방법이 있다.

가) 혼합단일시료에 대한 단일시험을 하여 설계치를 결정하는 방법(야적재료(stock pile) 등의 혼합에 의해 대표시료를 단일하게 선정할 수 있는 경우)

나) 몇 종류의 복수시료에 대한 복수시험을 하여 하한치를 설계치로 하는 방법(차수재 토취장이 몇 개 있는 경우)

다) 여러 가지 건조밀도 ρ_d 마다 몇 가지씩의 시험을 하여 ϕ' 와 ρ_d 와의 관계를 구하고 그 분산의 95 % 신뢰한계의 하한을 설계치로 하는 방법(그림 4.9.8 참고).

라) 분산되어 있는 시험치의 2/3 이상을 설계치보다 크게 되도록 설계치를 결정하는 방법(미 공병단의 방법)

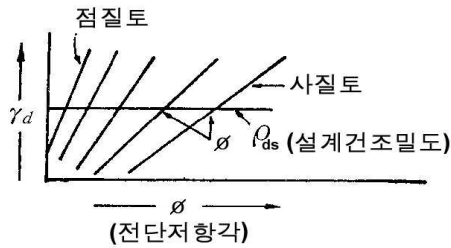


그림 4.9.7 γ_d 와 ϕ 의 관계

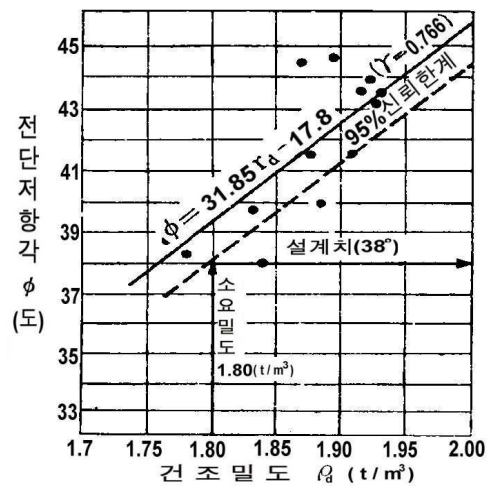


그림 4.9.8 95% 신뢰한계에 의한 설계치 선정 예

3) 배수조건

축제재료의 전단강도는 전단시험의 조건에 따라서 변하므로 시험 목적에 맞는 배수조건을 선택하는 것이 바람직하다. 전단시험의 배수조건은 다음의 3종류로 분류한다.

가) 비압밀 비배수시험(UU 시험)

시험 중에 공시체의 어떠한 부분이라도 배수(배기)나 간극수압의 소산을 허용하지 않는 시험을 말한다.

나) 압밀 비배수시험(CU 시험)

시험 초기에 공시체를 소정의 압력으로 압밀시키고 간극수압이 소산하는 중에 불포화 또는 포화되면서 비배수조건으로 전단시키는 시험(CU시험)이며 압밀 후에 포화한 경우 전단시 간극수압을 측정하는 시험을 \overline{CU} 시험이라 한

다.

다) 압밀 배수시험(CD 시험)

시험 중에서 모든 단계에서 완전히 배수 및 간극수압을 소산시키면서 하는 시험을 말한다. 이들 시험 중에서 어느 것을 선택하는가는 체체의 안정해석법이나 재료의 투수성 등에 의하여 정해진다.

4) 전단 시험치의 적용

전단시험의 결과 도출된 전단상수는 댐의 상태와 응력 조건 등을 고려하여 시험 값을 적용해야 한다. 즉, 댐 완성 직후, 댐 완성 후, 저수위가 급강하는 경우 등에 대하여 전응력 상태 또는 유효응력 상태로 해석하느냐에 따라 전단 상수를 달리 적용한다.

가) 댐 완성 직후

(1) 전응력 해석

댐 완성 직후의 간극압의 값을 정량적으로 추정할 수 없는 경우는 비압밀비 배수시험(UU 시험)에서 구한 전응력 표시의 c , ϕ 를 사용하여 사면의 활동에 대한 안전율을 전응력으로 구한다. 이 시험에서 불포화토는 일반적으로 Mohr의 포락선이 곡선으로 되기 때문에 c , ϕ 는 활동면에 가해지는 수직응력의 크기에 의해서 변화한다. 강도정수를 결정할 때마다 이 곡선을 그림 4.9.9에 나타낸 것과 같이 몇 개의 직선에 의해 근접시키고 각각의 응력 범위에서는 c , ϕ 는 일정하다고 보고 안정계산을 하는 것이 좋다. 또한 전응력 표시의 c , ϕ 는 시료의 단위중량이나 함수비의 변화에 의해서 현저하게 달라지므로 공시체의 단위중량과 함수비는 현장조건과 잘 일치되도록 세심한 주의를 해야 한다. 또 이 c , ϕ 에는 전단시에 간극압의 영향을 이미 고려하였기 때문에 사면의 안전율을 구할 때는 식 중에 간극압을 다시 고려해서는 안된다.

(2) 유효응력 해석

댐 완성 직후 간극수압을 높은 정밀도로 추정할 수 있는 경우는 압밀비배수 시험(\overline{CU} 시험) 또는 압밀배수시험(CD 시험)에 의해서 유효응력 표시의 강도정수 c' , ϕ' 구하고 사면의 활동에 대한 안전율을 유효응력 해석으로 구한다.

나) 댐 완성 후

댐 완성 후 충분한 시간이 경과하고 시공중에 발생한 간극압이 거의 소산된 경우의 검토는 압밀배수시험(CD) 또는 압밀비배수(단, 전단시 간극압을 측정하는 \overline{CU} 시험)에 의해서 유효응력 표시, c' , ϕ' 구하고, 사면의 활동에 대한 안전율을 유효응력 해석으로 구한다.

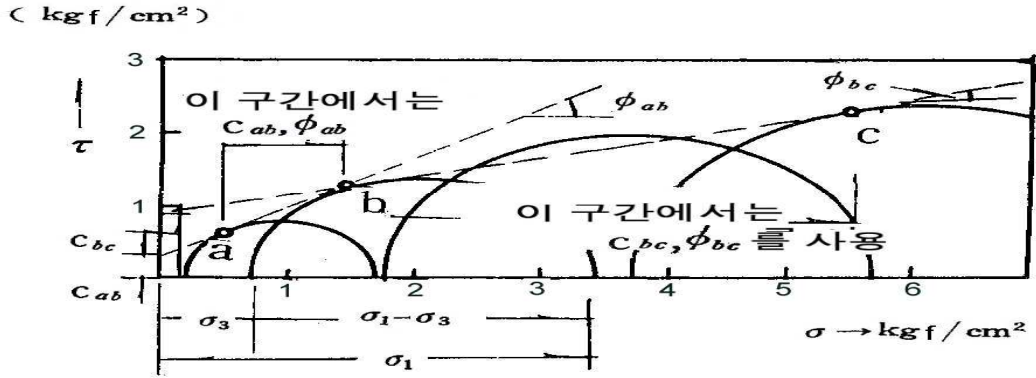


그림 4.9.9 Mohr의 파괴원과 포락선

다) 저수위 급강하

투수성 재료는 압밀배수전단시험을 사용하여 유효응력 표시의 c' , ϕ' 를 구하고 불투수성 재료에 대해서 압밀배수전단시험(CD 시험) 또는 압밀비배수전단시험(단, 전단 중에 간극압을 측정한다. 즉 \overline{CU} 시험)의 결과를 사용하여 유효응력 표시의 c' , ϕ' 를 구하고 투수성부 및 불투수성부에서도 유효응력 해석에 의한 사면활동에 대한 안전율을 구한다.

라. 안정계산 방법

댐의 안정계산은 크게 활동면법과 응력해석법으로 나눌 수 있다. 활동면법은 블록해석법, 무한사면법 등의 평면해석법과 마찰원법, 비마찰원법 등의 원호해석법, Ordinary, Bishop, Janbu, Morgenster-Price, Spencer 방법 등의 절편법이 있는데, 현장의 조건, 재료상태 등의 제반조건을 고려하여 적당한 방법을 선정하여 사용한다. 제체 내 또는 기초지반 중의 가장 약한 부분을 잇는 활동 추정선이 원형이 아닌 경우에는 쪼기법(Wedge법) 등을 사용한다. 그림 4.9.10은 활동면의 여러 경우를 나타내고 있다.

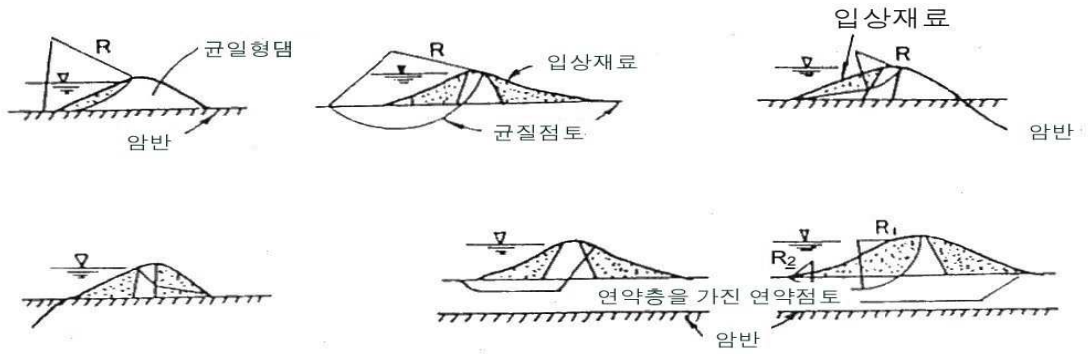


그림 4.9.10 활동면의 여러 경우

1) 원형활동면 절편법

원의 중심에 관한 각 절편의 활동면에 작용하는 활동모멘트와 저항모멘트의 총합의 비로서 안전율을 정의한 것으로 다음 식에 의하여 구한다.

① 전응력 표시에 의한 강도정수 c, ϕ 를 사용하는 경우

$$F_s = \frac{\sum \{c/l + (N - N_e) \tan \phi\}}{\sum (T + T_e)} \dots\dots\dots (4.9.8)$$

② 유효응력 표시에 의한 강도정수 c', ϕ' 를 사용하는 경우

$$F_s = \frac{\sum \{c'/l + (N - U - N_e) \tan \phi'\}}{\sum (T + T_e)} \dots\dots\dots (4.9.9)$$

여기서, F_s 는 안전율, c, c' 는 각 절편 활동면의 재료의 점착력(c 는 전응력으로 표시, c' 는 유효응력으로 표시), ϕ, ϕ' 는 각 절편 활동면의 재료의 전단 저항각(ϕ 전응력으로 표시, ϕ' 는 유효응력으로 표시), l 는 각 절편 활동면의 길이(= $b / \cos \alpha$), b 는 각 절편 폭, N 는 각 절편 활동면상에 작용하는 하중합력의 수직분력, T 는 각 절편 활동면상에 작용하는 하중합력의 접선분력, N_e 는 각 절편 활동면상에 작용하는 지진하중의 수직분력, T_e 는 각 절편 활동면상에 작용하는 지진하중의 접선분력, U 는 각 절편 활동면상에 작용하는 간극압(침투수의 간극압 및 축제시에 생기는 과잉간극수압의 합력)을 나타낸다.

위의 식에 의한 안전율의 계산은 표 4.9.2에 나타낸 각각의 경우에 실시하고 어떠한 경우도 안전율은 표 4.9.3의 값 이상이 되도록 설계해야 한다. 위 식에서 $N, N-U, T, N_e, T_e$ 등은 각 절편의 중량을 바탕으로 다음과 같이 구한다.

가) 축제직후에 저수가 되지 않았을 때(그림 4.9.11 참고)

절편의 전 중량을 W 로 하면

$$W = \gamma_t A \quad (\gamma_t : \text{필 재료의 습윤단위중량}, A : \text{절편의 면적} = bh)$$

$$N = W \cdot \cos \alpha, \quad T = W \cdot \sin \alpha, \quad l = b / \cos \alpha, \quad W_e = K \cdot W,$$

$$N_e = W_e \cdot \sin \alpha, \quad T_e = W_e \cdot \cos \alpha, \quad K = \text{설계진도}$$

$$U = \Delta u l = \Delta u \frac{b}{\cos \alpha} \quad (\Delta u \text{는 축제시에 생기는 과잉간극수압으로 활동면의 단위면적당 작용하는 압력})$$

과잉간극수압을 절편중량의 β %로 취한 경우는

$$N - U = W \left(1 - \frac{\beta}{100} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha} \right) \cdot \cos \alpha$$

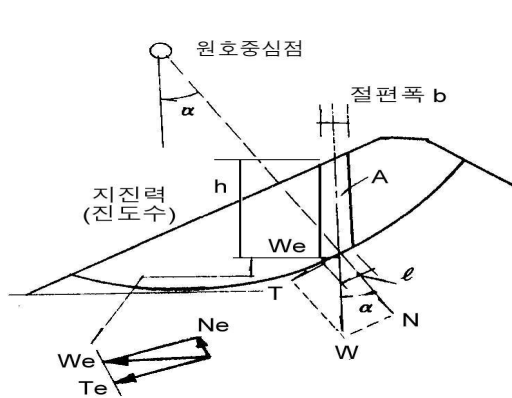


그림 4.9.11 원형 활동면상의 절편에 작용하는 힘(저수가 안된 경우)

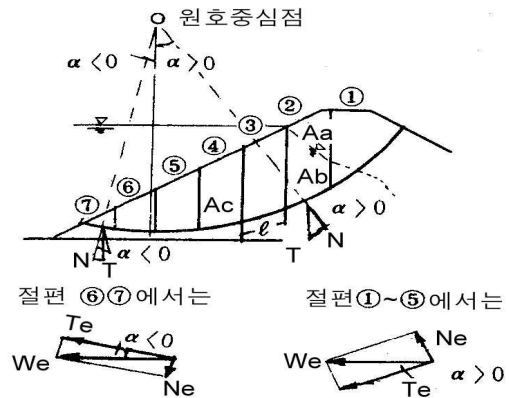


그림 4.9.12 원형 활동면상의 절편에 작용하는 힘(경년후, 저수시)

나) 경년후 저수시에 정상침투상태로 될 때(그림 4.9.12 참고)

(1) 침윤면에 있는 절편(그림 4.9.12의 예에서 절편 ①, ②)

$$W = W_a + W_b, \quad W_a = \gamma_t \cdot A_a, \quad W_b = \gamma' \cdot A_b,$$

$$N - U = W \cdot \cos \alpha = (W_a + W_b) \cdot \cos \alpha, \quad T = W \cdot \sin \alpha$$

$$W_e = K(\gamma_t \cdot A_a + \gamma_{sat} \cdot A_b) = K(W + \gamma_w \cdot A_b), \quad N_e = W_e \cdot \sin \alpha$$

$$T_e = W_e \cdot \cos \alpha$$

여기서, A_a 는 절편 침윤면 위의 면적(m^2), γ_{sat} 는 축제재료의 포화단위 체적중량(tf/m^3), γ_t 는 필 재료의 습윤단위체적중량(tf/m^3), A_b 는 절편의 침윤면 아래의 면적(포화영역, 단 이 부분에서는 수중단위체적중량을 취한다, m^2), γ' 는 필 재료의 수중단위체적중량($= \gamma_{sat} - \gamma_w$), γ_w 는 물의 단위체적중량(tf/m^3)을 나타낸다. 특히, 그림 4.9.2의 (b), (c)에 의하면 저수면의 연장선에서 윗 부분의 절편면적을 A_{a1} , 연장선과 침윤선간의 면적을 A_{a2} 라 할 때, 절편 ①, ②에 대해서는 다음과 같이 된다.

$$T = \{ \gamma' \cdot A_b + (\gamma_t - \gamma_w) \cdot A_{a2} + \gamma_t \cdot A_{a1} \} \cdot \cos \alpha$$

$$= (W - \gamma_w \cdot A_{a2}) \cdot \cos \alpha$$

그러나, 보통 A_{a2} 의 크기는 작으므로 간단히 하기 위해서 이것을 생략하여도 좋은 것으로 하고 유도한 것이 윗 식이다(생략하지 않는 경우보다 분모는 커지므로 안전율은 작게 평가된다. 즉 공학적으로는 안전측으로 평가된다).

(2) 수면 아래에 있는 절편(그림 4.9.12의 예에서 절편 ③ ~ ⑦)

$$W = \gamma' \cdot A_c, \quad N - U = W \cdot \cos \alpha = (\gamma' \cdot A_c) \cdot \cos \alpha$$

$$T = W \cdot \sin \alpha$$

그림 4.9.12의 예에서 절편 ③, ④, ⑤에 대해서는 $\alpha > 0$, 절편 ⑥, ⑦의 범위에서는 α 가 부(-)가 되는 것에 주의해야 한다.

$$W = K \cdot \gamma_{sat} \cdot A_c = K \cdot (W + \gamma_w \cdot A_c), \quad T_e = W_e \cdot \cos \alpha$$

$$N_e = W_e \cdot \sin \alpha$$

여기서, A_c 는 수면 아래 축제재료의 면적을 나타낸다.

다) 수면 급강하의 경우(그림 4.9.13 및 그림 4.9.14 참고)

그림 4.9.12의 상태에 있었던 상시 만수위의 저수위가 갑자기 그림 4.9.13 및 그림 4.9.14의 위치까지 급저하한 것으로 한다.

(1) 제체가 모두 불투수성 재료로 된 경우(그림 4.9.13의 균일형 댐)

이 경우는 상시 만수위일 때에 침투수에 의해 제체 중에 발생한 공극수압이 100 % 잔류한 것으로 한다. 상시 만수위에의 침윤선에서 저수위선까지의 재료에 대해서는 포화중량을, 저수위선 이하의 재료에는 수중중량을 사용한다.

① 침윤선이 있는 절편(그림 4.9.13의 예에서는 절편 ①, ②)

$$W = W_a + W_b + W_c, \quad W_a = \gamma_t \cdot A_a, \quad W_b = \gamma_{sat} \cdot A_b, \quad W_c = \gamma' \cdot A_c$$

$$N - U = (W_a + \gamma' \cdot A_b + W_c) \cdot \cos \alpha = (W - \gamma_w A_b) \cdot \cos \alpha$$

$$T = W \cdot \sin \alpha, \quad W_e = K(\gamma_t \cdot A_a + \gamma_{sat} \cdot A_b + \gamma_{sat} \cdot A_c) = K(W + \gamma_w A_c)$$

$$N_e = W_e \cdot \sin \alpha, \quad T_e = W_e \cdot \cos \alpha$$

② 수위 급강하전에는 수면아래에 있었으나 수위 급강하후에는 비탈면에 물이 없어진 절편(그림 4.9.13의 예에서는 절편 ③, ④, ⑤)

$$W = W_b + W_c, \quad W_b = \gamma_{sat} \cdot A_b, \quad W_c = \gamma' \cdot A_c$$

$$N - U = \{ \gamma' \cdot (A_b + A_c) \} \cdot \cos \alpha = (W - \gamma_w \cdot A_b) \cdot \cos \alpha$$

$$T = W \cdot \sin \alpha, \quad W_e = K(\gamma_{sat} \cdot A_b + \gamma_{sat} \cdot A_c) = K(W + \gamma_w \cdot A_c)$$

$$N_e = W_e \cdot \sin \alpha, \quad T_e = W_e \cdot \cos \alpha$$

③ 저수위면 아래의 절편(그림 4.9.13)의 예에서는 절편 ⑥, ⑦)

$$W = \gamma' \cdot A_c, \quad N-U = W \cdot \cos \alpha, \quad T = W \cdot \sin \alpha$$

$$W_e = K \cdot \gamma_{sat} \cdot A_c = K(W + \gamma_w \cdot A_c)$$

$$N_e = W_e \cdot \sin \alpha, \quad T_e = W_e \cdot \cos \alpha$$

(2) 제체가 불투수성 존과 투수성 존으로 된 경우(그림 4.9.14 참고)

① 수위급강하시 제체내에 잔류 간극압이 남아있지 않는 존이 있는 경우 투수성 존의 간극중의 물이 저수위 급강하와 거의 동시에 저하한다고 생각 하는 경우는 다) (1) ①의 경우와 거의 같으나 저수위보다 위에 있는 투수성 존에서의 증량은 포화단위체적증량 γ_{sat} 이 아니고 습윤단위체적증량 γ_t 를 취한다. 예로는 그림 4.9.14의 절편 ③에 대해서는

$$W = \gamma_t \cdot A_b' + \gamma_{sat} \cdot A_b + \gamma' \cdot A_c$$

$$N-U = \{ \gamma_t \cdot A_b' + \gamma' \cdot (A_b + A_c) \} \cdot \cos \alpha = (W - \gamma_w \cdot A_b) \cdot \cos \alpha$$

$$T = W \cdot \sin \alpha, \quad N_e = W_e \cdot \sin \alpha, \quad T_e = W_e \cdot \cos \alpha$$

$$W_e = K(\gamma_t \cdot A_b' + \gamma_{sat} \cdot A_b + \gamma_{sat} \cdot A_c) = K(W + \gamma_w \cdot A_c)$$

여기서, γ_t : 투수성 재료의 습윤단위체적증량(tf/m³)

② 수위 급강하시 제체 내에 잔류 간극압이 남아 있는 경우 상당히 투수성이 좋은 재료로 된 존에 대해서는 침윤면은 저수지의 수위와 동시에 저하하는 것으로 해도 좋으나, 반투수성 재료로 된 존에 대해서는 수위 급강하시의 침윤면의 위치를 구하고 다음 식으로 안전율을 계산한다.

차수부(그림 4.9.14의 예에서는 절편 ②에 대해서)

$$W = W_a + W_b + W_c, \quad W_a = \gamma_t \cdot A_a, \quad W_b = \gamma_{sat} \cdot A_b, \quad W_c = \gamma' \cdot A_c$$

$$N-U = (W_a + \gamma' \cdot A_b + W_c) \cdot \cos \alpha = (W - \gamma_w \cdot A_b) \cdot \cos \alpha$$

$$T = W \cdot \sin \alpha, \quad W_e = K(W_a + W_b + \gamma_{sat} \cdot A_c) = K(W + \gamma_w \cdot A_c)$$

$$N_e = W_e \cdot \sin \alpha, \quad T_e = W_e \cdot \cos \alpha$$

셀부(그림 4.9.14의 예에서는 절편 ④에 대해서) 계산을 하면, 결과적으로 차수부와 같게 된다.

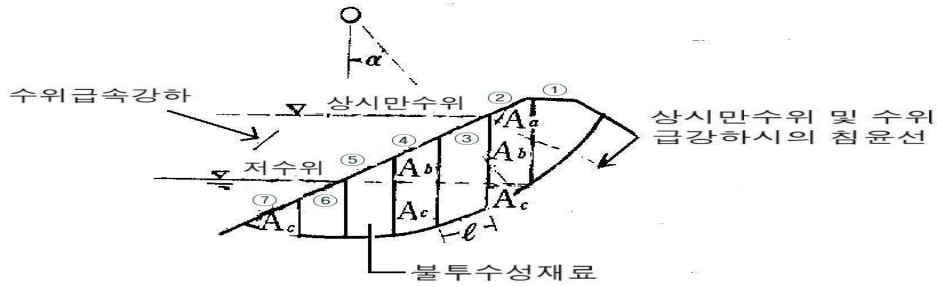


그림 4.9.13 원형 활동면상의 절편에 작용하는 힘

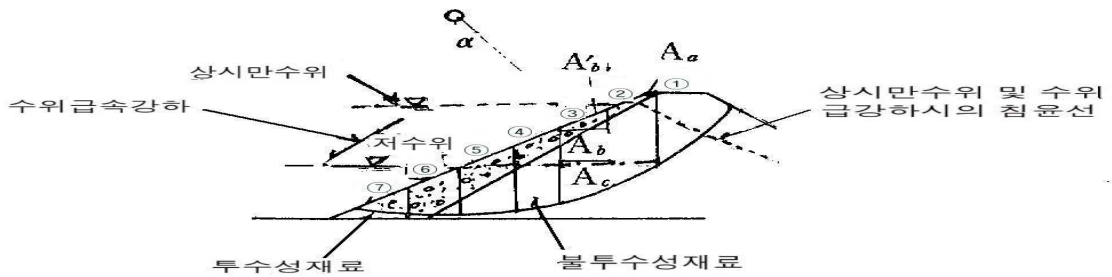


그림 4.9.14 원형 활동면상의 절편에 작용하는 힘

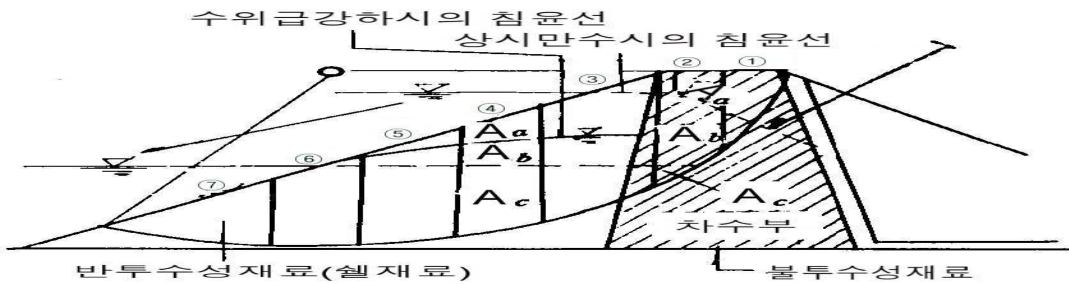


그림 4.9.15 원형 활동면상의 절편에 작용하는 힘
(급강하시 준형 필댐)

2) Wedge 법

이 방법은 그림 4.9.16에 나타난 활동면을 직선의 연결로 생각하여 절편 대신 수개의 블록으로 분할하여 이 블록에 작용하는 힘에 대하여 힘의 다각형을 그려서 완전히 폐합될 때의 안전율을 구한다. 그림 4.9.17 예는 $\triangle ABC$ 와 $\triangle BCD$ 2개의 블록으로 분할되었으며 $\triangle ABC$ 의 중량을 W_1 (단위 두께를 고려) $\triangle BCD$ 의 중량을 W_2 (단위 두께를 고려)라고 할 때 계산 순서는 다음과 같다(그림 4.9.17(b)).

- ① W_1 과 W_2 의 크기에 비례한 연직 벡터를 그린다.

② W_1 의 벡터의 화살표 종점에서 $\triangle ABC$ 의 저변 AC에 평행하게 직선을 그리고 다음 이것에 연직으로 선을 긋는다.

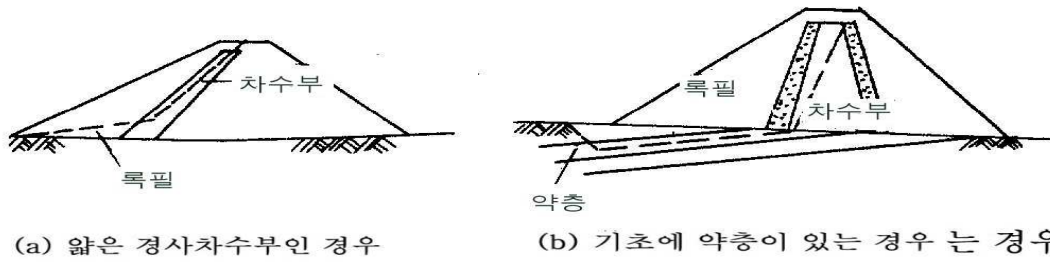


그림 4.9.16 직선상의 활동면을 가장하여 Wedge법으로 안전율을 검토하는 방법

③ 이 연직선에서 ϕ_{D1} 을 이루는 방향에 직선을 긋는다.

이때 ϕ_{D1} 은 록 재료의 전단저항각을 ϕ_1 가정한 안전율을 F_s 라고 할 때

$$\phi_{D1} = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\phi_1}{F_s}\right) \text{로서 구한다.}$$

④ W_1 의 시점에서 사면 AB에 평행하게 직선을 긋고 이 직선과 ③에서 그은 직선과의 교점을 구한다.

⑤ ④에서 구한 교점에서 차수부와 록재료의 경계를 지나는 것으로 추정되는 활동면 CD에 평행하게 직선을 긋고 다시 여기에 직각으로 직선을 긋는다.

이 직선으로부터 $\phi_{D2} = \tan^{-1}\left(\frac{\tan\phi_2}{F_s}\right)$ 을 이루는 방향으로 직선을 긋는다(단, ϕ_2 : 차수재의 전단저항각).

⑥ W_2 벡터의 시점에서 활동면 \overline{CD} 에 평행하게 직선을 긋고 ⑤에서 구한 직선과의 교점을 구한다. 이 교점에서 \overline{CD} 에 평행하게 그은 직선상에

$$\frac{c_2}{F_s} \cdot \ell \text{되는 크기의 벡터를 표시한다.}$$

여기서, c_2 는 차수재료의 점착력, ℓ 는 차수부 속을 지나는 활동면의 길이, F_s 는 가정한 안전율이다.

⑦ ⑥에서 그려진 벡터의 선단이 정확히 W_2 벡터의 시점과 일치하면 힘의 다각형은 폐합되는 것으로 가정한 안전율 F_s 는 정확히 맞는다. 폐합되지 않으면 폐차 $\triangle E$ 와 가정한 F_s 의 값을 그림 4.9.17(c)와 같이 표시하고 F_s 의 가정한 값을 변경하여 다시 ①~⑥의 순서를 반복하고 이때 $\triangle E$ 와 F_s 의 값을 그림 4.9.17(c)에 표시한다. 이와 같은 계산을 3~4회 반복하여 $\triangle E = 0$ 에 대응하는 F_s 값을 보간법으로 구한다. Wedge 법에 의한 검토를 유효응력해석으로 하는

경우 간극압도 Wedge에 작용하는 외력으로 고려해야 한다.

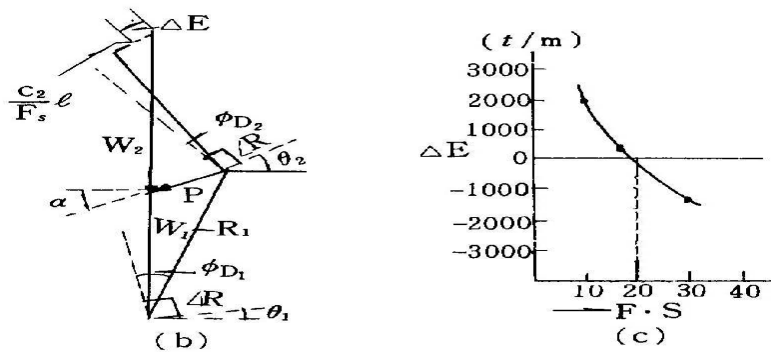
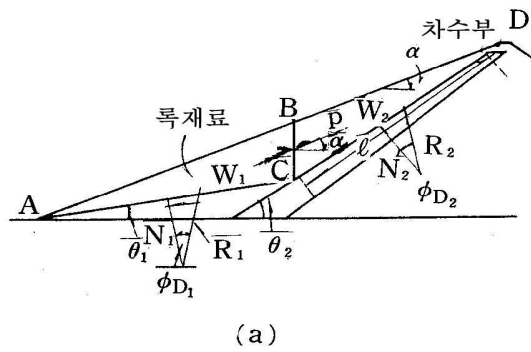


그림 4.9.17 Wedge법

3) 사석재의 표층활동의 안전율에 대한 검토

점착력이 없는 록재료의 표층사면안정 및 표면보호공으로 콘크리트블럭을 모래층 필터위에 놓은 경우의 표층면 안정에 대해서는 사면의 마찰저항에 대하여 성립하는 다음 식으로 검토한다(그림 4.9.18 참고).

① 저수지가 비어 있는 경우

$$F_s = \frac{1 - mK}{m + K} \cdot \tan \phi' \quad \dots\dots\dots (4.9.10)$$

② 사면이 정수면 아래에 있는 경우

$$F_s = \frac{(1 - mK \frac{\gamma_{sat}}{\gamma'}) \cdot \tan \phi}{m + \frac{\gamma_{sat}}{\gamma'} \cdot K} \quad \dots\dots\dots (4.9.11)$$

여기서, F_s 는 안전율, ϕ' 는 전단저항각(유효응력표시), α 는 사면의 경사각, m 은 사면의 기울기(= $\tan \alpha$), K 는 설계진도, γ_{sat} 는 록재료 또는 사력재료의 포화단위 체적중량, γ' (= $\gamma_{sat} - \gamma_w$)는 록재료 또는 사력재료의 수중단위체적중량, γ_w 는 물의 단위체적중량을 나타낸다.

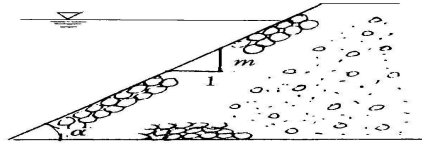


그림 4.9.18 사면의 경사각

4) 수치해석에 의한 안정성 검토

원호활동면법이나 복합활동면법은 가상활동면에 관한 모멘트의 평형으로부터 재료의 강도(c' : 점착력 성분, ϕ' : 내부마찰각)를 바탕으로 계산한 것이므로 체체의 국부적 응력이나 변형으로부터 안전성을 검토할 수는 없다.

따라서 이러한 국부적인 안전성 검토와 기초에 연약층이 존재할 경우 체체에 미치는 영향조사와 기초압반에 설치하는 검사로의 설계를 행할 경우 유효한 판단자료를 얻는데 수치해석인 유한요소법(FEM)을 이용하는 경우가 많다. 유한요소법은 해석대상 구조체를 몇 개의 요소로 분할하고 분할된 각각의 요소는 절점으로 연결되어 각 요소에 미치는 역학적 성질(탄성계수, 포아송비 등)로부터 모든 절점과 요소의 변위와 응력을 구할 수 있다. 응력·변형해석은 해석대상 구조체에 따라 요소의 역학적 성질을 탄성체로 가정하는 경우와 응력 및 변형률의 증감에 따라 양자의 관계가 비선형으로 변화할 경우를 고려한 해석을 할 경우가 있다.

4.9.2 변형에 대한 검토

필댐은 필요에 따라 기존 댐의 관측치나 실내 및 현장시험 등을 통하여 얻은 물성치를 바탕으로 체체 및 기초에 대하여 변형해석을 실시하여 변형에 대한 안정성을 검토한다.

대규모 필댐에 있어서는 체체 및 기초에 대하여 변형 해석을 실시해야 한다. 변형해석은 기존 댐의 관측기록과 실내 및 현장시험 등을 통하여 얻은 물성치를 기초로 하여 수치해석을 한다.

필댐의 변위는 연직방향의 변위(침하), 댐의 상하류방향의 변위 및 댐의 축방향변위의 3가지 변위로 나눌 수 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 더 쌓기 결정 및 균열 발생방지 등의 점에서 중요한 요소가 된다.

변형에 대한 검토가 필요한 경우는 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 등이다. 변형에 대한 검토방법은 Clough(1967), Duncan(1969) 등이 유한요소법에 의한 해석방법을 제안한 이후 여러 유사해석방법이 실시되고 있으나 그 중 Duncan-Chang 방법이 가장 널리 사용되고 있다.

[참고] 응력~변형률에 대한 검토 예

필댐의 안정해석은 원형활동 절편법으로 하는 것을 원칙으로 하지만 이 방법은 단순히 제체에 작용하는 중력, 지진력, 물의 중량 등으로 인한 활동력에 의한 회전 모멘트에 대한 축제재료의 저항모멘트의 비를 나타낸 것에 불과하며 이들의 힘이 작용할 때의 제체내에 발생하는 변형과 응력의 관계는 하등 고려되어 있지 않다. 이같이 기존의 댐 안정해석법에는 이러한 단점이 있기 때문에 연약지반상의 댐 등에서는 제체내에 발생한 변형이나 응력을 정량적으로 해석하여, 정적 응력조건하에 있어서 제체 또는 기초암반의 변형이나 파괴역의 발생 유무를 검토할 필요가 있다. 이러한 목적을 위해서는 설계단계에서는 유한요소법에 의한 해석이 가장 적합하다.

또한, 필댐은 흙이나 암괴의 혼합물로 축조된 구조물이지만 이 축제재료의 응력과 변형의 관계는 축압 σ_3 에 의하여 변할 뿐만 아니라 변형이 진행됨에 따라 비선형적으로 변화하는 대단히 복잡한 것이다.

이와 같은 비선형 거동을 나타내는 구조물을 정확히 해석하기 위해서는 응력경로를 추적하면서 증분법적으로 하나 하나 계산을 하는 것이 필요하다. 즉 축제가 진행되는 과정을 모의해석(소위 축제해석)을 할 필요가 있다. 이와 같은 해석을 유한요소법으로 할 경우, 필댐의 구성재료의 응력~변형률 관계식(구성방정식)을 어떻게 나타낼 것인가가 중요한 기본적 문제가 된다. 이 점에 대해서는 응력 증분과 변형률 증분의 관계를 탄성적으로 가정하여 관계를 연결시키는 탄성계수와 포아송 비가 응력변화와 함께 변화한다고 생각하는 비선형 탄성해석법과 축제재료를 탄성체로 생각하는 탄소성 해석법의 2가지가 있다. 전자는 제체내에 파괴역이 발생하지 않던가 혹은 파괴역이 어느 정도 국한되어 있는 경우에 유효하며 좋은 결과를 얻고 있다.

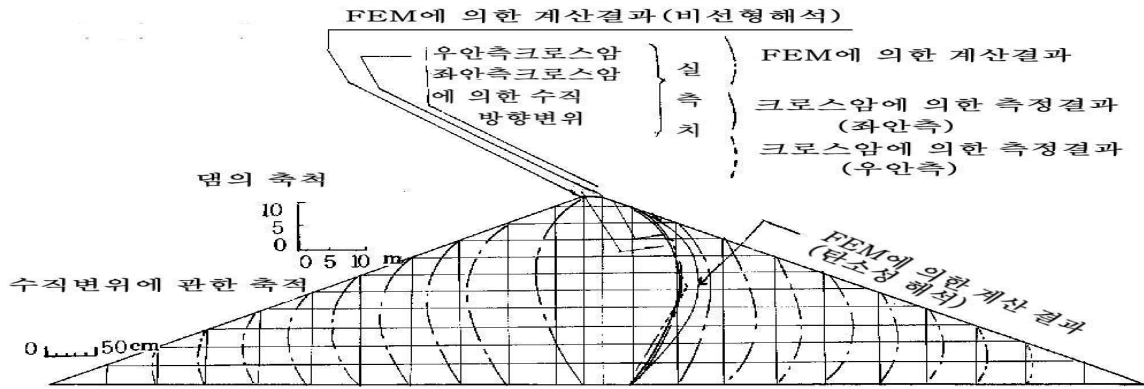


그림 4.9.19 深山댐의 축조완료시 변형에 대한 FEM결과치와 실측치의 비교

이 방법은 재료가 파괴점에 달한 거동을 충분히 나타낼 수 없기 때문에 제체내에 파괴역이 광범위하게 발생하는 경우는 적용할 수 없다. 탄소성 해석법은 이 같은 단점을 해결할 수 있는 가능성이 있으나 응력~변형률 관계식에 대해서는 아직 미진한 부분이 있기 때문에 각각의 시점에서 가장 좋다고 생각되는 방법으로 응력-변형률 해석을 하여 댐의 안전성을 검토하는 것이 바람직하다. 그림 4.9.19 및 그림 4.9.20은 미국 Duncan 및 Seed 등이 제안하여 미국 개척국에서 실용화되고 있는 「비선형탄성 해석법」을 적용한 결과이다. 그림 4.9.19 필댐인 심산댐에 적용한 것으로 축조완료시의 변형응력 분포 등을 도시한 것이고, 그림 4.9.20은 토압의 분포를 실측치와 비교한 것이다.

존형 필댐을 축제해석한 것으로 그림 4.9.21은 최대 주응력 등고선과 연직응력 및 변위를 도시한 것이고, 그림 4.9.22는 만수시의 차수부의 연직응력 및 최대 주응력을 도시한 것이다.

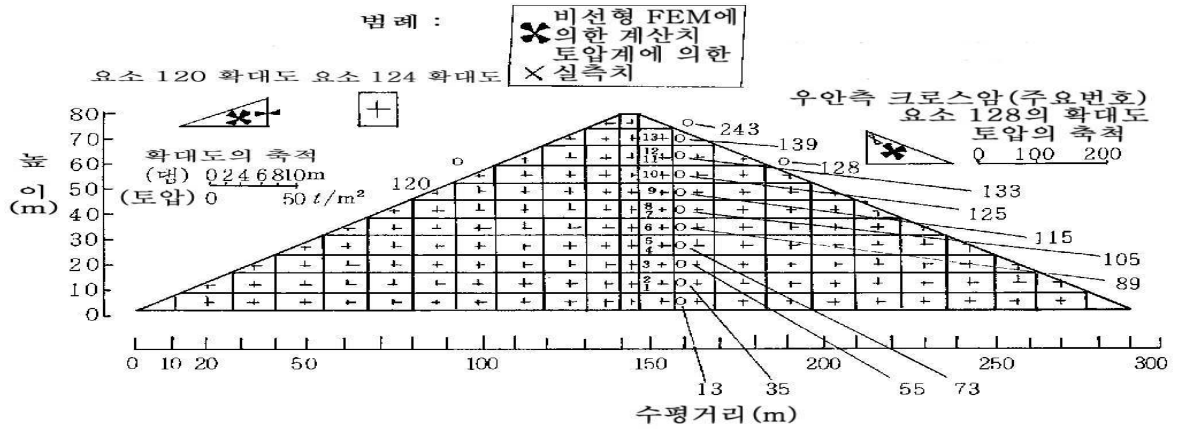


그림 4.9.20 축제완료시의 토압(주응력) 분포도

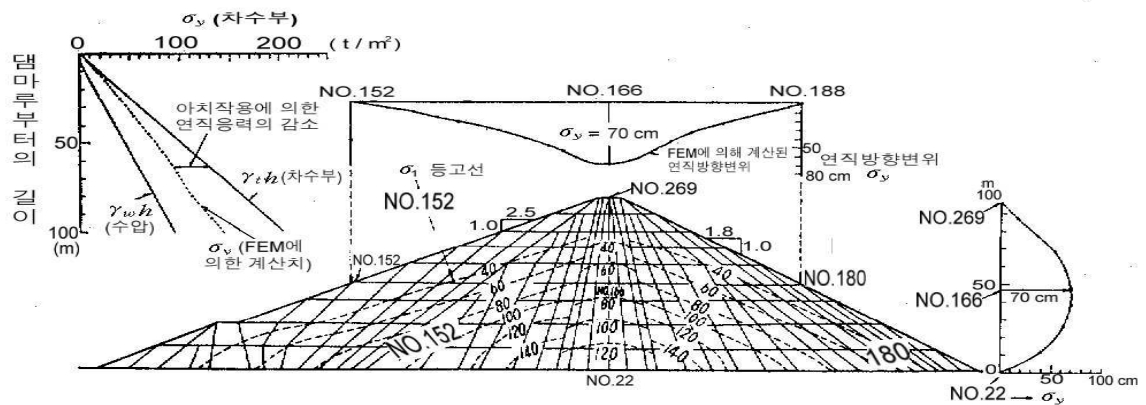


그림 4.9.21 축제완료시의 주응력의 분포, 연직변위 및 아치작용에 의한 차구부의 연직응력의 감소현상

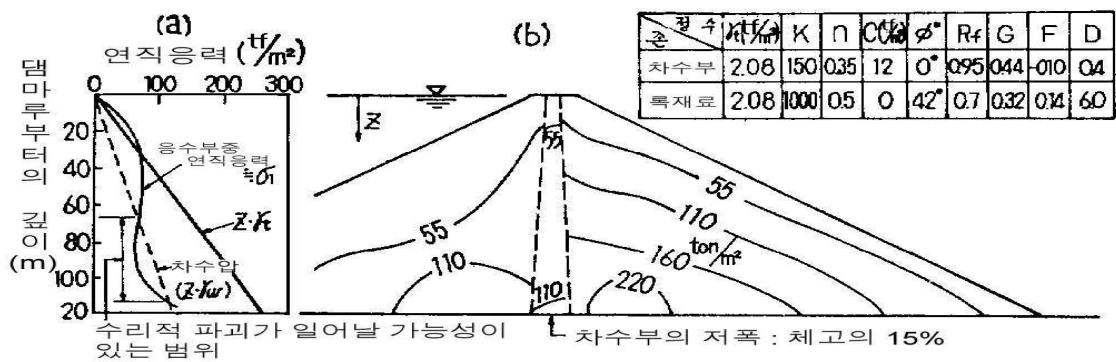


그림 4.9.22 만수시 (a) 차수부 상류면의 연직응력 (b) 제체의 최대 주응력 분포 상태

4.9.3 액상화의 검토

필댐이 느슨한 사질지반에 축조된 경우나 지진 등의 외력에 의하여 과잉 간극수압의 상승에 의하여 전단강도가 저하될 것으로 예상되는 기초지반이나 제체에 대하여는 액상화에 대한 안정성을 검토한다.

가. 액상화 현상

필댐의 축조지반이 모래나 실트 등으로 구성되어 횡하중에 의하여 과잉간극수압이 증가하여 유효응력을 초과할 것으로 예상되는 곳에서는 반드시 액상화에 대한 안정성을 검토한다.

제체 또는 기초지반을 구성하고 있는 흙이 느슨한 경우 지진력에 의하여 과잉간극수압이 발생하여 토립자 사이의 전단강도를 상실하는 것을 액상화라 한다. 액상화에 관계하는 인자를 들면 다음과 같다.

- ① 토질조건 : 토질, 점토, 다짐도
- ② 정적응력조건 : 지진적의 유효구속압의 크기, 비등방성 등
- ③ 동적응력조건 : 지진력 (하중의 크기, 계속시간 및 방향)

액상화의 기구는 완전하게 규명되지는 않았으나 모래나 실트로 구성된 흙이 포화상태로 되고, 또한 느슨하게 쌓인 상태에서 지진력이 가해지면 체적이 수축되는 것과 같이 되므로 그에 따라 간극수압이 상승하여 간극수가 배출될 때까지 토립자가 간극수중에 일시적으로 뜬 상태로 되어 토립자간의 전단강도가 상실되는 것으로 해설할 수 있다. 따라서 사질토도 근대적 공법으로 치밀하게 다짐을 하면 제체에서의 완전 액상화 발생은 거의 생각할 수 없다. 그러나 느슨한 사질지반상에 축조된 경우 또는 과잉간극수압의 상승에 의해 전단강도가 저하될 것으로 예상되는 때에는 기초지반이나 제체의 액상화에 대해서 검토하여 충분히 안전하도록 설계할 필요가 있다.

나. 액상화의 검토 방법

액상화를 검토하는 방법은 반복 삼축압축시험의 결과를 이용하는 방법과 동적 응력조건을 바탕으로 모의 해석하는 방법, 간편법 등이 있는데, 댐 규모, 안전도, 재료상수의 정확성, 파괴시 피해 등을 고려하여 적절한 방법을 선정한다. 제체나 기초지반의 토질은 일반적으로 한정되어 있으나 특히 액상화에 강한 흙 즉 점착성이 큰 흙의 유무 또는 다른 토질과의 혼합에 의한 토질개량에 대해서 검토한다. 다른 양질재료를 얻기 어려운 경우에는 입도시험 또는 반복

삼축 압축시험 등에 의해 액상화의 난이를 검토한다. 액상화 가능성이 있다고 판단되는 경우에는 다음과 같은 검토를 한다.

흙을 치밀하게 다질수록 액상화의 저항력이 증가하므로 시공상 가능한 다짐도의 검토, 다짐도(지반인 때는 N치)와 액상화의 관계를 반복 삼축 압축시험 또는 유사재료의 자료 등으로 검토한다. 액상화의 가능성이 있다고 판단되는 경우에는 다음 1) 2) 3)항목을 추정하여 흙의 액상화 저항력과 정적, 동적응력 조건을 고려한 해석을 한다.

1) 제체 또는 기초지반내의 지진전의 응력상태를 추정한다. 이 추정방법으로는 가) 댐 마루를 반무한의 지표면으로 가정하여 침유면의 위치와 흙의 단위체적중량으로부터 유효구속압을 구하는 방법, 나) 댐의 축조과정 ~ 저수를 고려하여 유한요소법에 의한 유효응력을 구하는 방법이 시행되고 있다.

2) 제체 또는 기초지반의 지진시 작용응력상태를 추정한다. 이 방법에는 가) 기존 연구성과를 실용화하는 방법, 나) 유한요소법에 의한 지진응답해석법 등이 시도되고 있다.

3) 흙의 액상화 응력비는 반복삼축압축시험에 의해 구하는 것이 바람직하다. 이 경우 압밀 조건으로서는 가) 등방압밀조건, 나) 비등방압밀조건이 있다.

상기 2)항에 있어서 나)를 채용할 경우에는 비등방압밀조건으로 시험하는 것이 바람직하다. 물론 액상화응력비는 τ_{IN} / σ_{co} (여기서 τ_{IN} : n회의 반복재하회수로 액상화할 때의 동적전단응력, σ_{co} : 초기 평균유효구속압)로 나타낼 수 있다.

4) 1)항에 의해 구한 유효구속압과 2)항에 의해 구한 지진시 작용응력으로부터 지진시의 응력비를 구하고 여기에 3)항에 의하여 구한 응력비와 비교해서 1 이 넘는지 여부에 의해 액상화의 가능성을 판정한다.

다. 액상화 방지 대책

액상화의 가능성이 있는 지반이나 제체에 대해서는 상대밀도를 증가시키거나 치환, 드레인의 설치 등 충분한 대책을 강구한다.

액상화 대책으로는 ① 다짐에 의하여 상대밀도를 증대, ② 액상화하기 어려운 흙으로 치환, ③ 상재하중의 증가와 지하수위를 저하, ④ 드레인으로 간극수압의 소산 촉진 등이 있다.

[참고] 입도와 액상화의 가능성

(1) 입도와 액상화 저항력의 관계

이 관계는 상당히 많은 시험에 의해 구할 수 있다. 예를 들면 점토함유량 10 %이하, 평균입경 $D_{50} = 0.075 \sim 2.00$ mm (특히 $D_{50} = 0.15 \sim 1.0$ mm), 균등계수 10 이하 (특히 5 이하)가 되고 지표면하 15~20 m 깊이 이내에 있는 모래층인 때에는 액상화의 검토를 한다. 또는 액상화의 가능성이 있는 흙에 대해서 그림 4.9.23에서 입도범위를 제시하고 있다.

(2) 상대밀도와 액상화의 가능성

Seed 등은 포화사질지반의 액상화 가능성에 대하여 실내시험, 현지조사, 동적해석 등을 하여 표 4.9.4의 관계를 제시하였다.

표 4.9.4 상대밀도와 액상화의 가능성

최대지반 면가속도(1)	액상화가 가장 일어나기 쉽다(2)	액상화가 토질과 지진력에 좌우된다(3).	액상화가 가장 일어나기 어렵다(4).
0.10g	$D_r < 33$	$33 < D_r < 54$	$D_r > 54$
0.15g	" < 48	$48 < " < 73$	" > 73
0.20g	" < 60	$60 < " < 85$	" > 85
0.25g	" < 70	$70 < " < 92$	" > 92

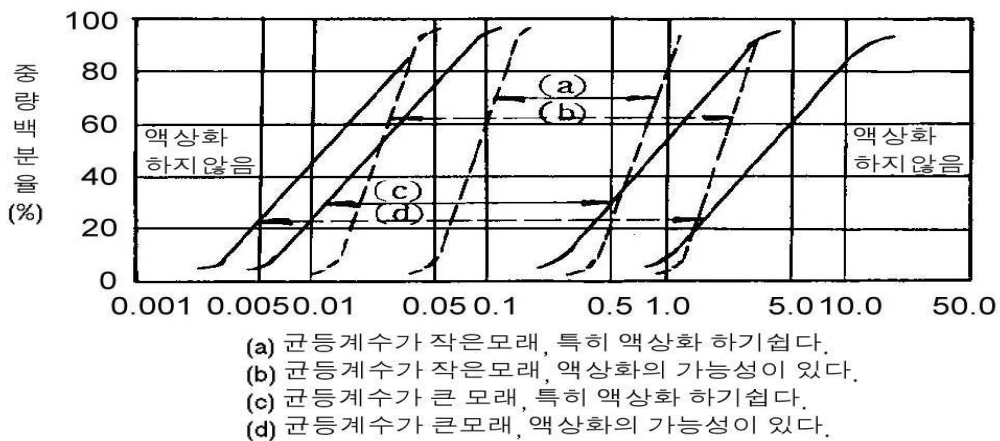


그림 4.9.23 액상화 가능성이 있는 흙의 입도분포

4.9.4 저수지 주변의 안정성에 관한 검토

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

가. 누수의 검토

저수지 주변의 조사는 댐조사의 초기단계부터 시행하여 투수성 지반의 분포 구조의 개요를 파악하고 저수면이 투수성 지반에 걸리지 않도록 저수지의 규모를 결정하는 등 댐터의 선정에 대해서는 충분히 검토한다.

다음에 열거하는 종류의 것은 투수성 지반으로 취급하여 누수를 검토한다.

1) 미고결 조립 퇴적물 : 화산회, 제4기층의 사력, 부분적인 제3기층의 사암, 역암

2) 입상으로 느슨한 풍화암 : 석비레, 화산암

3) 절리, 불규칙한 틈새기 : 화산암의 수축절리(판상, 주상) 세일의 망목상의 절리, 단층파쇄대, 광맥

4) 용해성 공극 : 다공질 석회암, 석회암 동굴, 용암 터널

또한, 지형도, 항공사진, 지질광산도, 수리지질도, 토질분류도 등으로부터 구성 지질과 표층지질을 판독하고 투수성지반 풍화대, 단층파쇄대, 저부(saddle) 및 단층곡 지형 등의 분포와 구조를 해석하여 저수에 따른 주변 산턱으로부터의 누수의 유무에 대해서 관찰하여 누수기구를 파악하고 누수량을 예측한다.

저수지 지반으로부터 누수량 및 동수경사를 예측한 결과, 허용한계를 넘었다고 인정되는 경우에는 누수에 대한 조치를 강구해야 한다. 누수의 허용한계를 결정하는 근거로는 저수의 경제적 측면(저수효율)과 안전성 확보(파이핑) 등의 두 측면에 두고 있는데, 저수효과를 올리기 위해 지반의 파이핑을 방지하는 방법으로는 지하연속벽 공법, 그라우팅 공법, 불투수 블랭킷 공법, 전면포장 공법 등이 사용된다.

나. 원지반의 보전

1) 저수지 주변의 산턱 형상과 보전

대지에는 여러 가지 변형 에너지가 축적되어 있으며 침식작용에 의해서 계곡이 깊어지게 되면 상부에 있던 암석의 하중이 제거되어 암석내부의 형태가 변하여 응력의 재분배 현상이 일어나고 절리나 틈새기가 생기게 된다. 이 틈새기를 통해서 여러 가지의 풍화작용이 암석의 내부로 진행된다. 저수지 주변의 산턱은 원래 이와 같은 풍화가 이루어지기 쉬운 조건하에 있으며 급경사면은 자중에 의한 전단력이 끊임없이 작용해서 불안정한 요소가 많아진다. 또한 저수지 주변의 산턱은 저수, 이설도로, 수로, 기타의 시설공사 등을 하게 되므로 여러 가지의 영향을 받는다. 따라서 저수지 완성후 산턱에서의 산사태나 토지붕괴 등이 예상되는 불안정한 개소를 조사 검토하여, 해석한 결과치가 장

기적인 안정을 확보할 수 없다고 예측되고 노선의 변경이 곤란하다고 인정되는 블록에 대해서는 보전공을 실시한다.

2) 저수지가 산턱의 안정에 미치는 영향

산턱의 안전도를 환경항목으로 설정하여 댐 공사에 의해서 발생하는 영향인자를 도출, 분석하여 예측과 평가를 한다.

댐 후보지의 모든 것을 대상으로 해서 지형도, 항공사진, 지질광산도, 산사태분포도, 토지분류도, 대해복구 관계자료 등을 모집해서 저수지 주변 원지반의 지형지질의 개요를 파악하고, 댐공사 중 및 저수지 완성 후에 산턱이 받는 영향은 표 4.9.5과 같이 정리한다.

3) 산턱 보전공의 설계

산턱의 보전에는 그림 4.9.24에서 보여주는 공법이 고려될 수 있다. 이들 가운데 주된 보전공의 적용은 다음과 같다. 자연 상태 하에서 지하수위를 낮추며 저수시 또는 강우시에 지하수위의 상승을 방지하기 위하여 지하수 배제공이 널리 시공되고 있다.



그림 4.9.24 산턱 보전공의 분류

표 4.9.5 산터의 안정에 미치는 영향

종목	영향 종류	산터이 받는 영향의 양상			
구분	상 태	지반형상변화	사면붕괴	세굴, 침식	파이핑
저수관리	1.저수위 상승	•절리면의 풍화 촉진 •붕적토의 점착력 저하	•수면부근붕괴		
	2.저수위 급강하	•과잉간극수압 발생 •연직유효감소	•산사태 •붕괴		•지하수 흡출에 의한 파이핑
	3.호우	•과잉간극수압 발생 •연직유효감소	•붕괴 •낙석	•도량형태의 침식	•용수에 의한 관공 작용
이설도로건설	4.성토공	•사면상부의 전단력 증가	•산사태, 붕괴 유발 •성토자체의 미끄러짐	•도량형태의 침식 •시트상 침식	•성토저면의 용수에 따른 파이핑
	5.절토공	•지반이완 •사면하부를 절토하는 경우 전단증가	•산사태 •비탈머리붕괴 •낙석	•우수의 침투 증가 •절토사면의 도량형태의 침식	
	6.터널공	•지반이완 •풍화촉진 •지하수의배제	•사면안정도가 증가하는 경우도 있음		
공사중	7.발파 8.중기작업	•진동에 의한 지반이완 •동적수평응력 증가	•붕괴 •낙석 •설봉		•포 화 모 래 층의 분출

4.9.5 필댐의 내진설계

필댐 및 부속시설의 내진성 확보를 위해 필요한 최소 요구조건을 만족하도록 신설되는 높이 15 m 이상인 총저수량 50만 m³ 이상의 댐 및 부속시설에 대하여 내진설계를 적용한다.

가. 내진설계 방법

지진시에는 댐 및 기초의 직접 파괴 이외에 저수지주변 또는 물넘이 사면의 활동이나 저수의 진동에 의한 간접 피해도 발생할 수 있기 때문에 이에 충분히 검토해야 한다.

1) 기본 개념

댐에 상당한 변형과 부분적 손상이 발생하는 것은 허용할 수 있으나 지진시 또는 지진 경과 후에도 댐의 저수기능은 유지되어야 하며 통제 불가능한 저수량의 유출상태는 있어서는 안된다. 어느 경우에도 댐이 붕괴되지 않도록 댐체의 활동이나 전도를 방지하기 위한 충분한 안전율을 확보하여야 하며, 댐의 정상수명기간 내에 설계 지진력이 발생할 가능성은 희박한 것으로 본다.

2) 설계 방법

내진설계방법은 지진력을 지진계수에 의한 하중의 관성력과 동수압으로 대치하고 정역학적인 방법으로 해석하는 진도법과 지진파에 의한 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법이 있다.

댐 내진설계 방법은 정역학적 방법으로 해석하는 진도법을 기본으로 하고 있는데, 이미 경험적으로 안정적인 방법임이 입증되고 있다. 이 방법은 간편하고 안정적인 해석결과를 얻을 수 있는 장점이 있으나 댐의 동적 특성을 고려하지 않고 지반과 구조물의 상호작용 관계인 설계진도와 최대 응답 가속도의 관계가 명백하지 않다.

선진국에서는 지진파에 의한 응답을 구하여 동적인 파동으로 해석하는 동역학적 안정해석 방법이 많이 개발되어 설계에 적용하고 있다. 이 방법도 댐 설계에 적용할 때는 ① 설계 지진파형의 설정, ② 댐 축조재료의 동적인 응력 왜곡 특성, ③ 해석방법으로서의 3차원적 응답이나 지하 소산 규정, ④ 파괴규준 및 파괴현상의 모의 등의 문제점이 있어 적용에 신중해야 한다.

특히, 우리 나라의 경우 빈약한 지진 해석자료 및 연구 미흡으로 여러 가지 불명확한 사항에 대한 가정이 불가피하여 설계기준으로 동적 해석방법을 댐의 내진설계기준에 규정하기에는 무리가 따른다.

나. 설계 지반운동 및 설계진도

1) 설계지반운동

설계지반운동은 지표면에서의 자유장 운동으로 정의한다. 설계지반운동은 수평 2축 방향성분으로 정의되며 세기와 특성은 동일한 것으로 가정하고, 지진에 의한 수직방향의 영향이 댐 안정에 영향을 주게 되는 경우는 이 방향의

지진력을 고려하여 하며 크기는 수평방향의 지반운동의 1/2로 본다. 또한, 댐의 내진설계 시에는 댐 상류의 저수지 수위 및 수위의 변화상태에 따라 댐 안전에 가장 불리한 방향으로 가진되는 경우를 상정하고 안정해석을 해야 한다.

2) 설계진도

우리 나라의 지진구역을 표 4.9.6과 같이 설정한다. 각 지진구역에서의 평균 재현주기 500년의 지진 지반운동에 해당하는 지진구역계수는 구역 I에서는 0.11, 구역 II에서는 0.07이다. 평균 재현주기별 최대 유효지반가속도의 중력가속도에 대한 비를 의미하는 위험도 계수는 평균 재현주기 500년일 때 1.0이며, 1,000년일 때는 1.4이다.

필댐 설계시 적용되는 설계진도는 지진 구역계수에 내진 등급별 설계지진의 평균 재현주기에 따른 위험도 계수, 지반계수 및 댐 형식별 할증계수를 곱한 값에 중력가속도를 곱하여 구한다. 단, 지반계수와 댐 형식별 할증계수는 정역학적 설계방법인 진도법에 의한 경우에만 적용한다.

그러나 위의 방법으로 산출된 설계진도가 0.2 g 이상이어서 우리 나라보다 지진규모나 발생빈도가 훨씬 높은 나라에서 적용하는 진도보다 과다하다고 판단되는 경우 설계자는 적용 설계진도를 0.2 g 이하로 조정할 수 있다.

표 4.9.6 지진구역 구분

지진구역	행정구역	
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시
	도	경기도, 강원도남부 ⁽¹⁾ , 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부 ⁽²⁾
II	도	강원도 북부 ⁽³⁾ , 전라남도 남서부 ⁽⁴⁾ , 제주도

(주) : (1) 강원도 남부 : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시,

(2) 전남 북동부 : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 여천, 화순, 광양시, 나주시, 여천시, 여수시, 순천시

(3) 강원도 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시

(4) 전남 남서부 : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도, 해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

3) 내진등급과 설계지진 수준

댐 내진 등급은 표 4.9.7과 같이 댐의 중요도에 따라 내진 I 등급 및 내진 특등급의 두가지 등급으로 분류한다.

4) 지진하중

지진시 댐에 발생하는 응력과 변형을 평가할 때에는 댐에 작용하는 사하중에 설계진도를 곱한 지진 관성력을 고려하여야 하며, 이 관성력의 작용방향은 댐의 안정성에 불리한 방향으로 작용하는 것으로 해석하여야 한다. 이는 유체의 동압력의 영향뿐만 아니라 수면과의 영향이 고려되어야 한다.

표 4.9.7 댐의 내진 등급과 설계지진

내진 등급	댐	설 계 지 진 의 평균재현주기
내진 특등급 댐	·사회, 안보, 경제적인 측면에서 특별한 댐으로 발주처가 지정하는 댐 ·법에 의하여 다목적 댐으로 분류한 댐 ·총저수량 2천만 m ³ 이상인 댐	1,000 년
내진 I 등급 댐	높이 15m 이상이고 총저수량 50만 m ³ 이상인 댐	500 년

다. 필댐의 내진설계

필댐은 형식에 따라 내진설계에 반영할 지진하중의 종류 및 적용범위가 조금씩 다르다.

1) 내진설계상의 주의점

내진 설계상의 일반적인 주의점은 다음과 같다.

가) 연약기초의 침하나 느슨한 모래 기초에 의한 액상화 현상을 일으키지 않도록 충분한 기초처리를 한다.

나) 콘크리트관, 철관 등의 피해는 암반위보다도 토질기초위에서 더욱 크기 때문에 물넘이 취수관 등의 중요한 구조물은 모두 암반위에 설치하도록 설계한다.

다) 지진에 의한 진동 및 지진시의 단층이동에 의한 댐마루의 침하에 대비하여 충분한 여유고를 둔다.

라) 균열이 발생하기 어려운 재료에 의해 폭 넓은 트랜지션 존을 설치한다.

마) 제체의 중심부 부근에 직립 및 수평 드레인(drain)을 설치한다.

바) 배수층에는 충분한 단면을 주어 비록 지진시에 균열이 발생하여 제체 침투량이 증가해도 이것을 안전하게 장외로 배출시킬 수 있도록 한다.

사) 점토차수 존은 균열이 발생하기 어려운 소성이 있는 재료로 만들고 또

한 차수재 폭은 충분히 크게 한다.

아) 점토차수 존의 상류부에도 입도배합이 좋은 재료로 된 필터 존을 설치한다. 이것은 점토차수 존의 균열 스톱퍼(crack stopper)로서의 역할을 하기 때문이다.

자) 지진에 의하여 저수지에 발생한 과랑이 제체를 월류해도 제체가 쉽게 침식당하지 않도록 댐마루를 보호한다.

차) 점토차수 존의 어버트먼트 암착부에 있어서 폭을 넓게 해둔다.

카) 제체의 침투수에 의한 포화부분이 될 수 있는 한 적게 되는 위치에 점토차수 존을 설치한다.

타) 주변 산의 사면이 지진시에 저수지내로 붕락하지 않도록 사면의 안정 대책공을 해 둔다.

파) 만일 파괴되었을 때의 하류 마을까지의 홍수도달시간이나 재해의 규모를 추정하는 동시에 피해를 극소화하기 위한 구체적 대책 등을 고려해 둔다.

2) 설계 거동 한계

필댐은 지진이 발생해도 붕괴되어서는 안되며, 다음과 같은 조건이 만족되어야 한다.

가) 재료의 항복과 영구변형은 허용될 수 있으나, 댐의 강도에는 영향이 없어야 하며, 제체 및 기초에 액상화가 발생하지 않아야 한다.

나) 제체의 사면활동이나 기초의 활동이 발생하지 않아야 하며, 제체에 과도한 침하가 발생하지 않아야 하고, 균열은 댐의 저수능력의 저하를 초래해서는 안된다.

다) 지진으로 발생하는 수면파가 제체를 월류하거나 수리구조물, 부속구조물 및 양안의 붕괴나 누수에 의해 댐의 기능이 손상되어서는 안된다.

라. 정역학적 설계기준

설계에 적용하는 지진력은 작용 정하중에 대한 지진 관성력만 고려하고 동수압은 영향이 미미하므로 제외한다. 지진에 의한 과랑고는 필요한 경우에만 따로 고려한다.

1) 지진력

진도법에 의한 정역학적 설계에서 필댐에 작용하는 지진력은 활동면 상의 제체 무게에 설계진도를 곱한 지진 관성력이며, 이 힘의 작용점은 활동면의 중심이며 작용 방향은 수평방향으로 하되 안정에 불리한 쪽으로 정한다.

활동면에 연직으로 작용하는 동수압은 아주 작으므로 무시하며, 활동면에 수직으로 작용하는 지진관성력은 수평 관성력의 1/2로 계산할 수 있으나 수평 지진 관성력을 적용하는 경우가 가장 불리하므로 실제로는 적용하지 않는다.

2) 활동면법에 의한 지진시 사면안정 검토

필댐의 내진설계에 있어 가장 중요한 부분은 사면안정 검토이다.

활동면 위의 체체가 활동하므로 하는 힘은 정수압, 해당 체체의 자중, 활동면을 따라 작용하는 간극수압 및 수평 지진 관성력이고 이를 외력에 저항하려는 힘은 활동면에 연직으로 작용하는 반력과 활동면의 접선방향으로 작용하는 점착력과 마찰력이다. 활동원의 중심에 대하여 외력의 모멘트가 저항 모멘트를 초과하지 않는 한 댐은 활동에 대하여 안정하다고 판단하는 것이다. 사면안정 검토에 작용하는 지진 관성력은 저수지의 수위 상태와 발생빈도 등을 고려하여 차등 적용한다. 지진 관성력 계산을 위한 체체의 무게와 같은 계산 방법에 의한다. 지진시 간극수압은 변화하지만 현재는 그 변화의 증감폭을 정량적으로 평가하기 어려워 설계자가 적절하게 판단한다. Bishop법에 의한 사면안정 해석에서는 대체로 간극수압에 설계진도를 곱한 값을 적용하고 있다. 일반적으로 설계진도는 댐 상부에서 저면까지 같다고 가정한다.

마. 동적 설계

최근에 건설되는 필댐은 해석법의 발전과 시공장비의 발달 등에 따라 점차 대형화되고 있는 추세이다. 과거 경험적인 방법인 진도법은 보수적으로 채택되어 왔으나, 적정지진 규모와 경제적인 조건이 충분히 고려되지 못했기 때문에 보다 과학적이고 이론적인 동적해석 기법의 적용이 필요하다.

이러한 동적인 방법은 축제재료의 비선형 거동특성이 고려한 비선형 모델링 방법을 사용하거나 타당성이 입증된 단순화된 방법으로 해석해야 한다.

부속 구조물의 응답은 비선형 거동특성을 고려할 수 있는 해석법에 의해서 해석하고 일반 구조물의 지진응답 해석법을 준용한다.

동적해석에서 일반적으로 선형적 방법을 응력해석에 이용하고 있으나 면밀한 검토를 위하여 단계적 해석이 사용되어야 하며, 흙의 소성적 성질과 동적 간극수압을 고려하며, 주로 유한차분법이나 유한요소법을 사용하여 해석한다.

동적해석을 위해 이용 가능한 상용프로그램은 FLAC (ITASCA Consulting Group Inc.), FLUSH(NISEE), DYANA-SWANDDYNE II(O.C.Zienkiewicz and A.H.C Chan) 등이 소개되고 있다.

4.9.6 매설계측 안정관리

댐을 축조하는데는 여러 종류의 계기를 매설하여 축조과정에서의 안전과 품질관리를 하고 댐이 완성되어 담수호에는 댐내부에서의 응력변화와 이에 따른 댐체의 거동을 관측하여 안전관리에 활용한다.

계기설치수량은 기존댐의 설치실례와 운영실적을 참고하여 정하되 운영기간 중의 고장 등을 고려하여 20 % 정도의 여유물량을 추가하도록 한다.

연약지반 위에 댐이나 높이가 큰 필댐에서는 기본적으로 다음과 같은 계기를 설치해야 한다.

(1) 간극수압계

주로 차수부에 설치하여 축조공사중 간극수압을 측정하여 축조속도를 관리하고 담수 후에는 간극수압의 소산상황 측정, 침윤선의 추적 및 지진시 체체내의 간극수압 거동을 측정할 목적으로 적절한 위치에 설치한다. 일반적으로 체체단면 중 큰 단면을 갖는 댐중앙 단면을 포함한 2~3개 단면에 표고 15~20 m마다 댐축에 직각방향의 평면상에 하류측 필터 및 상류측에 설치한다.

(2) 토압계

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

(3) 층별침하계

차수부에 수직으로 일정간격(특이 5 m 간격이 일반적임)마다 설치하여 층별 침하량을 측정한다.

(4) 수평변위계

댐의 변형과 수위변화에 따른 수평방향의 변형을 측정하기 위하여 각 존간의 수평면성에 일정간격으로 여러 개의 변위계를 설치한다.

(5) 누수측정장치

필댐하류에 누수집수벽을 설치하고 일정구간별 누수량 집수정 및 측정장치를 설치하여 구간별 누수량을 측정한다.

(6) 지진계

지진 발생시 댐체의 진진응답을 해명하기 위하여 침투부의 기초암반면, 중

간표고부 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.

4.10 물넘이

물넘이는 댐의 계획저수량 이상으로 유입되는 설계홍수량을 자연하천으로 안전하게 유하시키는 구조물이다. 물넘이를 유하하는 유수의 수세를 완화시킬 필요가 있는 경우에는 적당한 감세공을 설치하도록 한다. 물넘이는 댐의 제체 및 기초지반에 지장을 주지 않는 구조로 한다.

4.10.1 위치 및 규모

물넘이의 위치는 댐과 떨어진 저수지 주변이 가장 적당하나 그렇지 못할 경우에는 물넘이 자체의 안전은 물론 댐 본체의 안전과 경제성 등을 고려하여 위치를 선정해야 한다. 댐 설계 홍수량을 안전하게 유하시킬 방류능력을 갖는 물넘이를 설치해야 한다.

가. 물넘이 계획

물넘이는 댐의 계획저수량을 초과하는 홍수량을 안전하고 효율적으로 방류할 수 있도록 하는 수로를 말한다. 물넘이는 수리학적으로 유리하고 구조상으로 안전해야 하며, 물넘이 방류수의 높은 에너지에 대한 하류의 침식과 세굴을 방지하는 시설을 물넘이 끝부분에 설치해야 한다. 물넘이 월류부는 현지 지형과 암반 추정선을 고려하여 등고 방향으로 설치함으로써 절토량이 최대한 적게 되도록 계획하고, 방수로는 자연경사와 제당 성토경사면을 고려하여 최대한 연장이 짧고 방류수가 하천방향으로 흐르도록 하며, 방수로 끝의 정수지는 홍수 유하에 의한 충격에도 안전하도록 철근콘크리트로 계획한다. 특히, 물넘이는 콘크리트 구조물로서 주변경관과의 조화를 고려하는 식재 방안을 검토한다.

나. 물넘이 위치

필댐의 물넘이 위치 선정에 있어서는 지질적 요인을 우선 고려하고, 그 외에 지형조건, 수리조건, 다른 시설과의 관련 및 재료의 유용 등 통합적인 면에서 고려하도록 한다.

다. 설계 홍수량

저수지의 물넘이 설계에 사용되는 설계홍수량은 200년도 빈도 홍수량 또는 기왕최대홍수량 중에서 큰 값을 선택하며 필댐의 경우 이 값에 20 %를 가산한 값을 사용한다. 일정규모(유역면적 2,500 ha, 저수용량 500만 m^3 수준) 이상으로 붕괴 시 인명과 재산에 피해가 클 것으로 예상되는 필댐에서는 가능최대홍수량(PMF)을 설계홍수량으로 적용할 수 있다. 또한, 홍수조절을 하는 일정규모(설계홍수량 500 m^3/s 수준) 이상 저수지는 필요에 따라 수리모형실험을 통하여 홍수배제능력을 검토한다.

라. 물넘이 규모

1) 물넘이 규모는 댐 취수시설 등과 관련하여 댐 전체의 계획이 가장 경제적으로 완성되도록 결정해야 한다. 물넘이의 규모는 물넘이 깊이와 물넘이 폭으로, 공사비와 최고 저수면, 월류 수심의 관계를 이용하여 결정할 수 있다.

2) 물넘이 단면은 어느 부분이나 계획홍수량을 안전하게 통과시킬 수 있는 충분한 크기로 설계되어야 한다.

3) 물넘이 용량을 결정하려면 유입홍수량곡선, 저수량곡선과 물넘이 유출량곡선이 필요하다. 여기서 유출량곡선은 물넘이 크기와 형식에 따라 다르다. 일반적으로 물넘이 유량은 수심의 증가에 따라 증가하나, 수문조작에 의해서도 유출량이 변화될 수 있다.

4.10.2 물넘이 형식

물넘이 형식은 댐의 형식이나 구조 등을 고려한 후에 안전성, 경제성, 유지관리의 방법 등에 따라 결정된다.

물넘이 형식은 댐 전체, 물넘이 관련 구조 등 여러 가지의 조합을 고려하여 가장 합리적인 물넘이 제원을 결정하는 방법을 선택하도록 한다. 물넘이 형식,

수리구조적 특성, 위험도(Risk) 등에 따라 문제점이 있는 경우에는 비상 물넘이 설치를 검토한다.

가. 물넘이의 구성

물넘이는 접근수로, 조절부, 급경사수로(방류부), 감세공 및 출구수로 등으로 구성되며, 각 부분은 설계홍수량을 안전하게 유하시킬수 있는 단면을 가져야 한다. 물넘이 형식은 댐의 형식이나 구조 등을 고려한 후에 안전성, 경제성, 유지관리의 방법 등에 따라 결정된다.

1) 접근수로

물넘이에서 접근수로는 저수지로부터 조절부에 이르는 수로를 말한다. 저수지에서 물넘이 조절부까지를 도수해야 하는 지형, 즉 댐접안부, 산등성이 또는 안부(鞍部)에 설치되는 경우에 접근수로가 필요하다. 접근수로에서의 손실수두를 최소로 하기 위하여 유속을 제한해야 하고 수로의 곡률도 완만하게 해야 한다.

2) 조절부

조절부는 저수지로부터 방류시 유출을 조절하는 것으로 물넘이의 주요 부분을 형성하며, 일반적으로 유입부에서부터 이행부를 포함한 급경사수로 시점까지를 말한다. 조절수문의 유무에 따라 조절형식과 비조절형식이 있고, 조절부의 수리특성에 따라 월류식, 측수로식, 선굴식 등이 있으며 각각 장단점이 있으므로 저수지의 규모, 목적, 공사비 및 완전한 유지관리의 가능성 등 여러 가지 관련된 요소를 고려하여 조절부의 형식을 결정해야 한다.

가) 조절수문 유무에 따른 분류

① 조절형 : 물넘이 조절부에 수문, 제수밸브 등의 유량조절시설을 설치하여 저수지로부터의 방류를 조절하는 형식이다. 이 방법은 완전한 유지관리와 조작을 기대할 수 있는 저수지에 적용해야 한다.

② 비조절형 : 물넘이 조절부에 유량조절시설을 설치하지 않은 형식으로 자연의 수리특성에 따르므로 유지관리비가 적게드는 특성이 있으나, 댐의 안전, 수물문제, 댐 여유고와의 관계 등으로 월류수두를 크게 취할 수 없는 경우에는 긴 웨어가 필요하게 되어 지형상 설계가 곤란한 경우가 있다.

나) 조절부의 수리특성에 따른 분류

① 월류형 조절부 : 급경사 물넘이의 대표적인 형식으로 물넘이 유입부에 월류웨어를 설치하며 일반적으로 댐체에 대하여 거의 직각방향으로 급경사수로의 중심선에 평행하게 유입시키는 구조로 대규모의 물넘이에서 수문조절형식으로 많이 적용된다.

② 측수로 유입형 조절부 : 이 형식은 월류웨어를 설치하고 웨어를 월류한 물은 웨어에 평행하게 굴착한 옆도랑(側水路)에 유입시켜 유향을 수로 중심선에 따라 변경하여 흐르게 하는 형식이다. 이 형식은 수리학적으로 효율이 떨어지나, 댐 접합부가 급기울기인 산바닥에 접하여 슈트식으로 할 수 없는 경우에 이용된다.

③ 선굴식 조절부 : 물넘이의 조절부가 원형, 나팔형 모양 및 사각형의 웨어 마루로 되어, 주위에서 넘어오는 물을 수직 또는 경사를 갖는 선굴(shaft)로 낙하시키는 형식이다. 구조상 물넘이 내의 낙하부, 만곡부 등에 부압이 발생할 수 있으며, 공동현상, 샤프트안의 소용돌이, 공기혼입, 진동 등이 설계과정에서 고려되어야 한다.

3) 급경사수로

급경사수로는 물넘이 조절부의 끝에서부터 감세공 시점까지를 말하며, 개수로, 암거, 터널, 이들의 병용 등이 있다. 방수로가 설치되는 산바닥의 비탈이 완만하고, 깊이 굴착하지 않더라도 경암반이 지표면에서 얇을 경우에는 일반적으로 개수로식이 유리하며, 지형이 약간 불리하여 어려운 점이 있더라도 가능하면 이 형식을 채택하는 것이 수리적 및 구조적으로 바람직하다. 그러나 굴착량이 많아 비경제적인 경우 또는 방수로를 임시배수로의 일부로 이용하는 경우에는 터널식 또는 개수로와 터널병용식을 선택할 수 있다.

표 4.10.1 물넘이의 구성요소와 형식

구분	구성	형식
물넘이	유입부	·월류식 : 직선월류형, 곡선월류형, 측수로형, 나팔형 ·오리피스(orifice)식
	도류부	·슈트(chute)식 ·터널 또는 암거식 ·체체유하식
	감세공	·정수지형 ·플립형(flip bucket type) ·롤러버킷형(roller bucket type)

4) 감세공

감세공은 급류부의 빠른 유속을 가진 흐름으로부터 댐하류단의 침식과 세굴의 방지와 아울러 인접한 구조물에 손상을 주지 않고 원래 하천에 유하시킬 수 있도록 하기 위한 시설로서 현지 상황에 따라 방사식, 정수지식, 롤러버킷식, 플립버킷식 등이 적용된다.

5) 출구수로

출구수로는 감세공에서 높은 에너지를 잃어 버린 흐름을 감세공 하류끝에서 자연하천으로 유하시키기 위한 수로를 말한다.

나. 물넘이 형식

1) 물넘이는 수리학적으로 유리하고 경제적이며 구조상으로 안전한 형식이어야 한다. 따라서, 가능하면 직선개수로형으로 하는 것이 좋으며, 비조절형을 채용하는 것을 원칙으로 한다. 조절형의 물넘이는 계획홍수량이 매우 커서 연장이 길고 수심이 얕은 것으로 인하여 비경제적인 경우에 조절형이 유리하게 된다.

2) 물넘이의 형식은 댐 전체, 물넘이 관련 구조 등 여러 가지의 조합을 고려하여 가장 합리적인 물넘이 제원을 결정하는 방법을 선택하도록 한다. 특히, 지형과 지질조건, 다른 시설과의 관련성을 고려하여 제체 월류식과 자유낙하식을 제외한 다른 모든 형식을 검토하고 수리학적으로 가장 안정되고 경제적인 형식을 선정한다.

3) 유수가 필댐의 제체를 월류하는 것은 절대로 안되므로 물넘이는 대단히 중요한 구조물이다. 따라서, 물넘이의 능력을 검토함에 있어서는 수리모형실험에 의하는 것이 바람직하다. 특히 유입부가 나팔형이거나 오리피스식인 경우 및 도류부가 터널식 경우에는 수리학적으로 충분한 검토가 필요하다.

4) 물넘이 형식은 조절형과 비조절형으로 구분하고, 다시 개수로형과 관수로형으로 세분하며, 각각 저수지 규모, 목적, 공사비 및 완전한 유지관리의 가능성 등 여러 가지 관련된 요소를 고려하여 물넘이 형식을 선정해야 한다.

가) 조절형과 비조절형

나) 개수로형과 관수로형

① 개수로형 : 측수로형 물넘이, 슈트식 물넘이, 자유낙하식 물넘이, 월류식 물넘이

② 관수로형 : 터널 또는 암거 물넘이, 선굴식 물넘이, 사이폰식 물넘이

5) 보통 물넘이 형식의 종류에는 수문조작에 의한 조절형 물넘이, 자유낙하식, 월류식(ogee), 측수로식, 슈트(chute)식, 나팔형식, 암거식, 터널식, 사이펀(siphon)식 등이 있다.

가) 자유낙하식 물넘이(free over fall spillway)는 아치댐에 적합한 형으로 물넘이 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) 월류식 물넘이(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) 측수로형 물넘이(side channel spillway)는 물의 흐름방향이 바뀔 때 따라 수리학적으로 효율적이거나 경제적이지는 못하나 물넘이 배치에 유리한 점이 있다. 댐의 안전, 수몰문제, 필요한 댐의 여유고와의 관계 등으로 월류수심이 제한되어 월류부 연장이 긴 물넘이가 필요한 경우, 그리고 웨어 설치지점의 지표경사가 급변하거나 또는 조절부에서 좁은 급경사수로나 터널에 접속되어야 할 경우에 가장 유리하게 적용되며 주로 필댐에 많이 설치된다.

라) 터널식 또는 암거식 물넘이(tunnel or conduit spillway)는 댐 주변이나 밑에 터널 또는 암거를 설치하여 홍수량을 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) 선굴식 물넘이(shaft spillway)는 수평으로 설치한 원형이나 사각형 조절부를 월류한 유량을 수직 또는 경사 샤프트에 의하여 낮은 위치까지 유도 전향시켜 수평터널이나 암거를 통해서 댐 하류에 방류시킨다. 이는 나팔형(morning glory) 또는 낙하 유입관(drop inlet) 물넘이라고도 하며 이 형은 접안부의 경사가 급하거나 공사 중 유수 전환암거를 물넘이의 하류부분으로 사용 가능한 계곡에 적합하다. 이 형의 장점은 비교적 저수두에서 최대에 가까운 유량을 월류시킬 수 있는 점이고 이는 물넘이의 최대 방류량을 제한해야 하는 경우 이상적이다. 그러나 설계수두를 초과하면 방류량의 증가가 미미하므로 설계 유입홍수보다 큰 홍수에는 단점이 되므로 보조 또는 비상물넘이와 병행하여 사용해야 한다.

바) 사이펀 물넘이는 역U자형의 개수로 물넘이로서 역U자형 마루의 표고가 저수지의 정상수위와 같도록 위치시킨다. 저수지의 수위가 이 마루고보다 하강하면 사이펀작용이 중지 되도록 물넘이의 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 붕괴에 이르는 부압 발생을 방지하기 위하여 저수지 수위와 물넘이 마루부와의 수두차이를 8 m 이하로 제한한다.

다. 물넘이 마루 수문 (crest gate)

물넘이는 댐의 운용상 수문에 의한 조절을 계획하는 경우가 있다. 그러나 이 방식의 채택여부, 형식 및 치수의 결정은 조절시설의 유량특성, 기후, 홍수의 빈도와 특성, 방류에 대한 제약, 유지관리의 체제와 조직, 유지관리비(계측, 기록장치, 예측과 제어장치, 통신연락시설, 경보시설등의 유지와 인건비) 등의 제 조건을 충분히 검토해야 한다. 또한 저수지 조절시설로서의 기능, 신뢰성 및 안전성 등 모든 관계요소를 고려해야 한다. 특히 수문의 동력이 고장난 경우의 예비 동력의 병설을 잊어서는 안된다.

1) 물넘이 마루 수문의 설치

물넘이 월류부에 마루 수문을 설치하는 경우에는 유출특성, 댐형식 및 관리체제 등을 충분히 검토해야 한다. 물넘이 월류부에 수문을 설치하는 경우의 일반적인 사항을 들면 다음과 같다.

가) 물넘이에 수문을 설치하면 월류수심을 크게 취할수 있어 수리학적으로 효율이 좋은 물넘이를 만들 수가 있다. 그러나 조작이 적절하지 못하면 인공홍수를 유발할 가능성이 있으므로 유지관리 등에 대하여 충분히 검토할 필요가 있다.

나) 유역면적이 작은 댐에서는 홍수조절시간이 짧고 홍수시의 수문조작이 늦어지는 경우 등을 고려하여 일반적으로 수문이 없는 구조로 하여 검토하는 것이 바람직하다.

2) 물넘이 마루 수문의 규모

물넘이 월류부의 수문 규모는 신중이 검토하여 결정해야 한다. 규모 결정에 있어서의 일반적인 사항을 들면 다음과 같다.

가) 수문의 규모는 수문의 높이(여유고를 제외한 높이)를 월류수심으로 하

여 수문을 전부 개방한 상태로 물넘이를 유하하게 되는 유량이 댐 직하류 지점에 있어서 200년 빈도 확률로 예상되는 홍수량 이하가 되도록 정하는 것을 원칙으로 한다.

나) 상시만수위 또는 서차아지수위 중 더 높은 수위보다 저수지 수위가 높아질 때 빨리 물넘이 수문을 전개하고 자유월류의 상태로 홍수를 방류한다.

3) 물넘이 수문과 댐마루 구조물

가) 물넘이 유입부에서의 월류수맥은 공기연행과 저수지 수면의 변동에 의하여 진동이 생기는 것, 부유물에 의한 폐쇄 또는 수문 권양기 불가능 등에 의하여 저수지 수위가 이상 상승하므로써 댐 하류의 범람, 제체의 비월류부에서의 월류, 수문 및 교량 등 댐 마루의 주요구조물이 파괴되는 일이 있다. 이에 대응하기 위하여 월류형 물넘이의 인상식수문의 최대 인상시에 수문의 하단 및 월류형 물넘이에 부속하여 설치하는 교량, 권양기, 그 외의 댐마루 구조물은 설계홍수위로 방류 되도록 한 유수의 월류수면에서 1.5 m 이상 거리를 두는 것으로 한다. 다만, 설계홍수량의 유수가 물넘이를 유하하는 경우 월류수심이 2.5 m 이하인 경우는 월류수면에서 1.0 m 이상 떨어져 있으면 된다.

나) 설계홍수위의 부분에 최대인상시의 게이트의 하단 및 월류형 물넘이에 부속되어 설치된 교량, 권양기, 기타 댐마루 구조물이 있어서는 안된다.

라. 비상물넘이

1) 필댐에서 물넘이의 형식, 수리구조특성, 홍수유량 계산의 정밀도중에서 어느 것이나 문제점이 있는 경우에는 비상물넘이의 설치를 검토해야 한다.

2) 비상 물넘이는 물넘이가 어떤 원인으로 소정의 홍수능력을 발휘할 수 없을 경우가 예상되는 때에 정상 물넘이와는 별도로 또는 동시에 작동하여 제체 안전을 확보하기 위하여 설치하는 방류시설로, 물넘이 형식이나 조작방법 등에 의하여 필요에 따라 검토한다.

3) 비상용 물넘이의 방류량 및 월류부의 표고와 설치위치 등은 각각의 댐에 대한 제요소를 검토한 후에 설계하도록 한다.

4.10.3 수리설계

가. 접근수로

접근수로는 수심을 크게 하고 유속을 작게 하며, 유수의 방향으로 유속의 변화를 완만하게 하여 흐름에 교란을 일으키지 않도록 한다. 접근수로의 수리조건은 다음과 같다.

1) 접근수로에서 유속이 과대하면 유입손실수두가 커질 뿐만 아니라 충격파가 발생하여 수면이 동요하고 공기가 혼입하여 통수능력을 저하시키며, 흙모래가 유입하므로 안정적인 수리현상을 위하여 접근수로 유속은 4 m/s 이하로 한다.

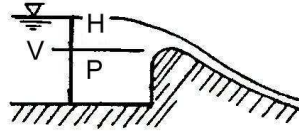


그림 4.10.1 접근수로 수심

2) 접근수로에서의 평면형은 흐름에 교란이 생기지 않도록 물넘이를 향하여 완만하게 점차적으로 축소시킨다. 접근수로의 흐름상태는 조절부 하류에서의 흐름상태에 영향을 미치는 일이 있으므로 평면형의 결정에는 신중을 기해야 한다. 특히 슈트형 물넘이의 일부 형식에서는 조절부의 정류작용이 약하여 접근수로에서 발생한 편류가 방수로나 감세공까지 계속되어 감세공의 기능을 감소시키는 수가 있다. 따라서 큰 물넘이에 대해서는 수리모형실험 등을 통하여 흐름의 상태를 개선할 필요가 있다.

3) 접근수로 수심은 월류수심, 월류계수, 유량 등을 고려하여 결정하며, 물넘이 웨어마루에서 접근수로 바닥까지의 깊이는 적어도 웨어마루에서의 설계수두의 1/5이상이 되도록 한다. 일반적으로 월류수심은 0.8~1.2 m가 적당하다.

나. 조절부

1) 월류웨어

물넘이의 배수능력은 접근수로, 조절부, 방수로 등 각부의 능력에 따라서 영향을 받는다. 방수로는 지형상 급경사일 경우가 많기 때문에, 또 물넘이 능력은 조절부의 크기에 지배되는 경우가 많고 조절부 유입구에서 한계수심이 될 때가 많다. 조절부에 곡울반지름이 작거나 하류이행부나 방수로의 형상이 특수한 경우에는 수리모형실험을 하여 능력을 확인해야 한다.

가) 월류웨어 마루의 단면형

월류웨어의 종단형상은 자유월류시의 유량계수를 크게 유지하는 한편 월류면에는 위험한 부압이 생기지 않도록 하는 것을 설계의 기본조건으로 한다. 이 조건을 만족시키기 위해서는 예정형 웨어의 수맥하연과 일치시킨다. 표준형 월류웨어 마루를 기본형으로 하지만, 또 이들과 유사한 월류웨어 마루로서

2차 포물선형 월류웨어 마루도 사용된다.

나) 유량공식

유입부의 수리계산에 있어서 수리조건상 얇은 월류웨어와 높은 월류웨어로 구분할 수 있다.

이 양자의 구분은 웨어 상·하류 흐름의 영향을 받기 쉬운 수리조건으로 되는 경우를 얇은 월류웨어라고 한다. 접근수로의 조건이 $H/P < 0.75$ 이고, 월류웨어 하류의 흐름이 사류이면 높은 월류웨어라고 볼 수 있다.

물넘이 유량공식의 일반형은 다음과 같다.

$$Q = C L H^{3/2} \dots\dots\dots (4.10.1)$$

식에서, Q : 유량 (m³/s), C : 유량계수, L : 물넘이 웨어의 유효길이 (m)

H : 접근속도수두를 포함한 물넘이 마루부에서의 총수두(m)

다) 물넘이의 유량계수

물넘이 웨어의 유량계수는 여러 가지 인자의 영향을 받아 변하므로 설계시 각 인자에 대하여 검토하고, 영향을 적절히 반영해야 한다. 그러나, 소규모 물넘이인 경우 접근수로가 충분히 깊고 완전월류이며 웨어마루의 형상이 표준형이면 설계유량을 계산할 때 $C = 2.0 \sim 2.1$ 을 사용하여도 된다.

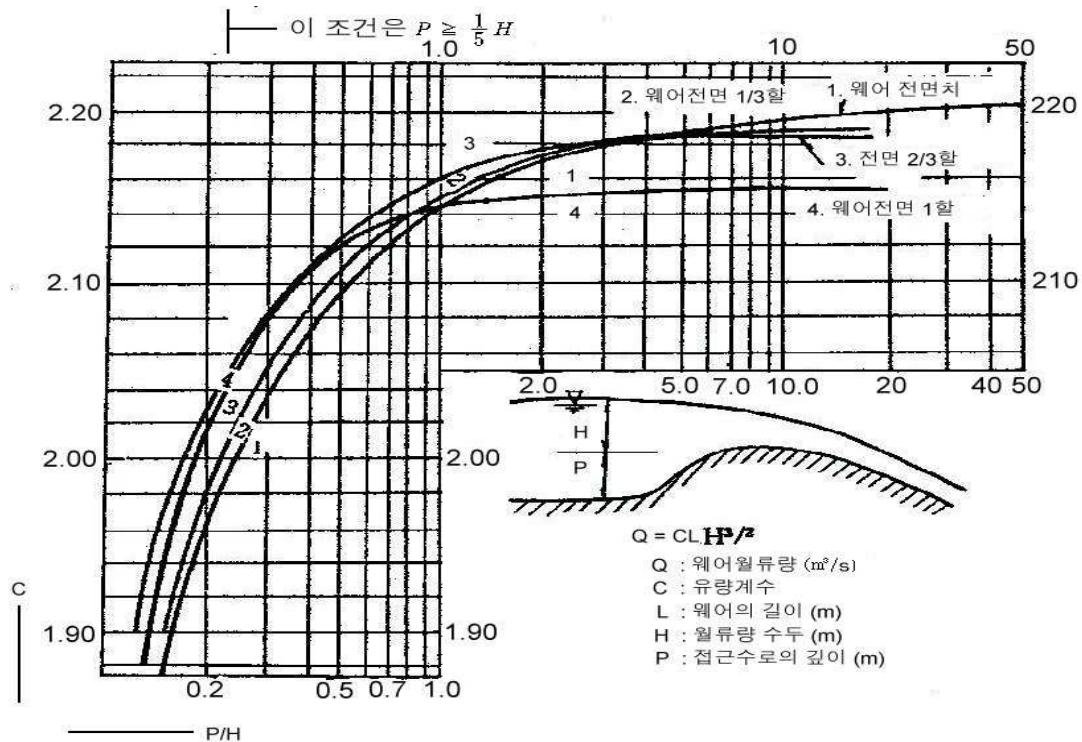


그림 4.10.2 웨어의 유량계수

① 접근수로 깊이의 영향 : 유량계수는 접근수로에서의 수심의 영향을 받으며, 유량계수 C는 P/H_0 에 따라 약 1.8에서 2.2까지 20 % 정도 변화한다. 보통 웨어마루에서 접근수로 바닥까지의 깊이 P는 $H_d/5$ 이상으로 한다.

② 웨어 상류면 기울기의 영향 : 접근수로의 수심이 월류수심에 비하여 작을 때, 즉 P/H_0 가 작을 때에는 웨어상류면 기울기를 주의해서 정해야 한다.

③ 실수두와 설계수두와의 차로 인한 영향 : 유량계수는 실수두와 설계수두와의 차에 의하여 변화하며, 실수두와 설계수두와의 비 $H_e/H_d = 1.0$ 일 때 실유량계수와 설계유량계수의 비가 1.0에 가까우며 그 외는 약간의 차이가 생긴다.

④ 수문조절형 웨어 마루의 유량계수에서 수문으로 유량이 조절되는 경우 유량은 다음 식으로 계산한다.

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} CL (H_1^{3/2} - H_2^{3/2}) \dots\dots\dots (4.10.2)$$

여기서, H_1 과 H_2 는 접근유속수두를 포함한 웨어마루와 수문하단에 대한 총수두이다.

라) 웨어의 유효길이

월류웨어의 능력은 유량계수, 월류수두, 웨어의 유효길이에 의해 결정된다. 월류웨어에서의 유량은 전체 길이에서 능력을 발휘하는 것은 아니고 웨어의 양안 접합부나 교각(pier)주변의 수리적인 수축에 의하여 능력이 감소한다. 이 월류웨어의 수리능력의 감소는 보통 웨어의 전체 길이 중 수축부분을 제외한 것을 흐름의 유효길이라고 하여 수리설계에서 고려한다. 여기서 이 수축은 교각, 어버트먼트의 형상에 의하여 변화할 뿐 아니라, 설계수두와 임의의 수두와의 관계에 의해서도 변화된다.

웨어의 유효길이는 다음과 같이 계산한다.

$$L = L' - 2(NKp + Ka) He \dots\dots\dots (4.10.3)$$

- | | |
|---------------------|--------------------|
| 여기서 L : 유효 웨어길이 (m) | L' : 웨어의 실제길이 |
| N : 교각의 수 | Kp : 교각의 수축계수 |
| Ka : 교대의 수축계수 | He : 웨어마루의 전수두 (m) |

필댐 물넘이에서는 보통 설계 월류수두에 대하여 웨어길이가 크며, 또 설계 홍수량의 결정에 있어서 저수지의 홍수조절능력을 고려하지 않는 것이 보통이므로, 비조절형 물넘이의 경우 월류웨어 양안접합부의 형상, 교각 등에 의한 수축은 고려하지 않는다. 단, 조절형 물넘이를 설계하는 경우, 또는 월류웨어 길이에 대하여 월류수심이 큰 경우에는 이들의 영향을 고려해야 한다.

2) 측수로형 물넘이 설계

가) 일반 설계사항

① 측수로형 물넘이는 설계 홍수량에 대하여 웨어의 어느 부분도 수중웨어가 되지 않도록 설계해야 한다. 또한 최대수위에 대하여 측수로내의 수면이 그 최상류단에서 월류수심의 2/3 보다 높지 않도록 설계되어야 한다.

② 물넘이 측수로의 단면으로는 사다리꼴이 가장 보편적이다.

나) 수리설계

측수로형 물넘이 수리설계에는 Hinds 설계이론이 가장 널리 적용되고 있다.

다) 측수로 단면의 설정

측수로의 단면형을 결정하는 경우는 설계조건에서 수리적으로 가장 유리한 단면과 지형을 고려하여 굴착단면을 최소로 하는 방법 등이 고려되어 왔다.

① 측수로의 월류측 기울기는 1 : 0.7, 대안(보통 원지반측)은 직벽으로 한다. 단, 지형의 상황 등에 의하여 대안을 직벽으로 하는 것이 부적당한 경우는 적당한 기울기를 정한다. 이 경우 모형실험 등에 의하여 재원을 정한다.

② 측수로의 바닥 경사는 $I \leq 1/13$ 으로 한다.

③ 측수로 말단의 바닥 나비 B와 수심 d와의 비는 $d/B = 0.5$ 정도가 바람직하다.

④ 측수로 말단의 프루드수(F_r)는 0.5 이하로 한다. 일반적으로 0.44정도가 바람직하다.

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}} \dots\dots\dots$$

(4.10.4)

여기서, D : 수리수심(= A/T), A : 단면적, T : 수면나비

⑤ 측수로 상류단 수위(웨어마루 기준)를 월류수심의 1/2.5 이하로 한다.

⑥ 측수로에 연속되는 완경사 방수로는 ④의 조건을 만족하도록 충분히 완만한 경사를 준다.

⑦ 측수로에 연속되는 완경사 방수로 말단에 월류웨어를 설치하여 급경사 수로에 접속한다.

⑧ 측수로와 완경사 방수로와의 접속부에서의 월류측의 측벽은 점축, 급축의 어느 것이라도 좋다.

라) 측수로내 수면형의 계산과 물넘이 치수의 결정

① 측수로 물넘이의 수면형계산은 운동방정식에 의한다. 지금 측수로 임의의 단구간에 대하여 구간 상류단에 있어서의 운동량에 그 구간내에서의 증가운동량을 더한 것은 구간하류단에서의 운동량과 같아야 한다. 이 운동량방

정식은 다음 식으로 표시된다.

$$\Delta h = \frac{Q_1(v_1 + v_2)}{g(Q_1 + Q_2)} \left(\Delta v + \frac{q \cdot v_2 \Delta x}{Q_1} \right) \dots\dots\dots (4.10.5)$$

여기서, Δh : Δx 구간 수위상승량, Q_1 : 하류단면의 유량, Q_2 : 상류단면의 유량, v_1 : 하류단면의 평균유속, v_2 : 상류단면의 평균유속, q : 단위폭당의 유입량(이때는 월류량), Δv : $v_1 - v_2$, g : 중력가속도

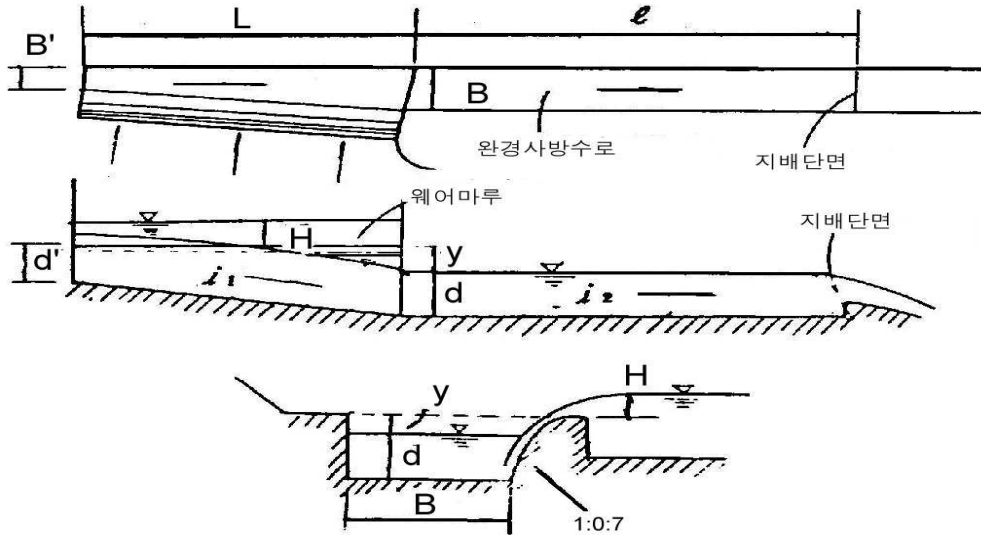


그림 4.10.3 측수로형 물넘이

② 이 식에 의한 계산은 하류에서 상류로 향하여 진행한다. 위 식의 우변에 마찰손실의 항을 더한 계산식도 있으나 측수로내에서의 심한 수면동요를 생각한다면 마찰손실의 항은 그다지 중요하지 않다.

③ 상기 식으로 수면추적을 하려면 시산법에 의한다. 먼저 Δh 를 가정하고 이로부터 구해지는 상류단면의 수리량 A_2 , V_2 와 식 4.10.5에서 Δh 를 산출하여 이 값이 가정한 값과 일치할 때까지 계산을 되풀이한다. 수면형 중 가장 높은 수위에 대하여 물넘이 웨어마루에서의 월류가 완전월류의 조건을 만족시키도록 웨어마루고에서, 측수로 하류단 바닥면표고를 정한다. 현지조건이 이를 만족시키지 못하면 수로폭 B, 수로장 L, 경사 I 등을 바꾸어 이 조건을 만족하도록 한다.

3) 나팔형

유입부 형식에서 나팔형은 저수지속에 수몰되어 있는 기초지반이 양호한 언덕을 이용하여, 여기에 탑을 세우고 이 상부 원주를 월류시키는 것이다.

이 형식은 탑을 월류한 흐름이 터널 또는 관로를 통하여 댐하류로 방출된

다. 이 형식의 흐름의 형상은 월류바닥의 직경과 관로의 규모 및 유량에 따라 변화한다. 특히 터널 또는 관로가 만류로 되었을 경우에는 관수로의 흐름으로 되어 유량계수는 급격히 감소한다. 또 수리구조의 특성에서 유황은 월류, 오리피스 및 관수로 등의 흐름으로 변화하며, 오리피스에서 관수로의 흐름으로 이행될 때에는 대단히 불안정한 유황을 나타낸다. 따라서 이 형식을 채용하는 경우에는 실험에 의한 확인이 필요하고 홍수시는 유목 등이 유입되지 않도록 하는 시설을 생각해야 한다.

4) 오리피스식

오리피스식 유입부에 있어서는 오리피스내의 유황은 상류측수위에 따라 자유월류 상태에서 관수로흐름 상태로까지 변화하며 양자의 변이구간에서는 관내 흐름이 불안정하여 유량도 안정되지 못하므로 오리피스의 배치와 설계에는, 상시 사용하는 상태에서 이와 같은 유황이 가급적 일어나지 않도록 고려하는 것이 좋다. 오리피스의 유량계수는 유황에 따라 유출기구도 달라서 일률적으로 표시할 수 없으므로 모형실험 또는 기존의 실례에 의하여 정한다.

오리피스 및 이의 부대 구조물의 설계는 조작수두가 2.5 m 정도 이내인 경우는 월류식 유입부에 준하고 그 이상인 때는 방류관의 취급에 준한다.

5) 이행부

가) 물넘이의 이행부는 조절부로부터 유하량으로 인하여 조절부 상류에 불리한 수위상승 또는 저하배수가 생기지 않도록, 또 이행부내에 불리한 수면저하, 심한 난류가 일어나지 않고 유하하도록 설계해야 한다. 예상되는 이상홍수량에 대하여도 수위유량곡선 등이 현저히 변동하지 않도록 해야 한다.

나) 급경사 물넘이에서 조절부는 댐과 직접 연결되므로 월류수심이 제한을 받지 않도록 일반적으로 폭을 넓게 한다. 측수로 물넘이의 수로는 보통 비대칭 사다리꼴 단면이기 때문에 급경사수로 단면으로는 적당치 못하다. 따라서 경제적 물넘이를 설계하려면 조절부와 급경사수로 사이에 이행부를 설치한다.

다) 이행부 평면의 모양은 급경사수로의 흐름과 물넘이의 방류능력에 큰 영향을 미치므로 편류를 방지하고 안정된 흐름을 유지하도록 조절부, 이행부, 급경사수소가 동일축에 있도록 해야 한다.

라) 이행부 흐름이 비교적 급류인 경우는 그림 4.10.4과 같이 이행부 시점과 종점의 최외측 유선을 연결하는 직선이 수로중심선과 거의 $12^{\circ}30'$ 의 각을 취한다. 지형상 축폭각도를 이 이상 취해야 할 때는 흐름의 개선을 위하여 수리모형실험이 필요하고 설계에서는 이행부에서의 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.

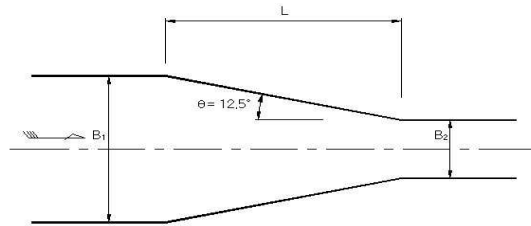


그림 4.10.4 이행부의 폭변화

마) 수리계산은 평면형의 결정과 함께 이행부 종단형상의 필요한 수리능력을 확보하는 관점에서 중요하므로 전기한 사항들을 고려하여 에너지식에 의하여 결정한다. 이행부에서 수면이 역경사 또는 극단적으로 감소되는 평면 및 종단형상은 피해야 한다.

이행부에서의 종점의 바닥표고 Z_c 는 다음과 같이 결정한다.

$$z_e + y_e + \frac{V_e^2}{2g} = Z_c + y_c + \frac{V_c^2}{2g} + h_L \quad \dots\dots\dots (4.10.6)$$

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)

다. 방수로

측수로 및 급경사 방수로는 원활한 홍수배제를 위하여 가급적 직선형으로 계획하며 지형상 부득이하게 만족시켜야 할 경우 또는 특별한 형태의 물넘이 구조는 수리모형실험을 통하여 홍수배제능력을 검토하도록 한다.

방수로의 기초지반은 반드시 견고한 암반지반에 계획하며 지질조건상 부득이한 경우는 콘크리트 등으로 치환하여 기초지반의 세굴 및 이완이 없도록 한다.

1) 방수로 형상

물넘이 방수로는 조절부에서 유입하는 홍수량을 안전하게 유하시키도록 하는 것으로 공사의 경제성과 구조물의 안정성을 유지하기 위하여 다음 사항에 유의해야 한다.

가) 방수로의 수리학적 흐름상태를 좋게 하기 위하여 직사각형 단면과 커브가 적은 평면형으로 측벽을 평행하게 하여 수로단면내 유수가 균일하게 흐르도록 직선으로 한다.

나) 수로 기울기는 상류부에서는 완만하고 하류부에서는 급하게 하는 것을 원칙으로 하고 감세공에 유도되도록 한다.

다) 기울기를 변화시키려면 수맥이 수로바닥에서 떨어지지 않게 사류 유로를 설치한다.

라) 암거 또는 터널에서의 만류를 피하고 이행부에서는 설계유량에 대한 수면계산을 터널 또는 암거높이의 1/2 이하로 하는 것을 원칙으로 하고, 등류 또는 이와 비슷한 경우에는 약 0.7배 이하로 유지해야 한다. 부득이 만류시킬 때에는 만류구간을 짧게 한다.

마) 수로 바닥의 경사 변환에 있어 철(凸)형인 연직곡선을 삽입할 때는 흐름이 수로바닥에서 분리하는 것을 막기 위하여 단면의 평균유속을 시점의 유속으로 한 포물선으로 한다. 또 철형인 연직곡선을 삽입할 때는 흐름의 원심력에 의한 수로바닥으로의 동수압을 작게 하기 위하여 곡률반경을 충분히 크게 한 곡선으로 해야 한다.

2) 수리계산

가) 방수로의 수면추적은 한계수심이 발생하는 방수로 시점 또는 이행부 시점으로부터 Bernoulli 정리를 적용하여 수면을 계산한다.

나) 개수로의 종단경사의 변환에 있어 철형인 연직곡선을 삽입하는 때는 다음과 같은 포물선 식으로 한다.

$$y = x \tan \theta + \frac{Kx^2}{4h_v \cos^2 \theta} \dots\dots\dots (4.10.7)$$

여기서, y : 종거 (원점은 방사류부 기점으로 한다), x : 횡거

h_v : 방사류로 기점의 속도수두, θ : 방사류 기점에서의 수로의 경사각

K : 중력에 의한 가속도가 방사류의 운동에 작용하는 비율 (보통 0.5 이하)

다) 방사류부 구간길이는 지형여건을 감안하여 결정하고, 방수로의 확대나비의 각도는 다음의 한계각도 이하로 한다.

$$\tan \theta = 1 / (3 F_r) \dots\dots\dots (4.10.8)$$

여기서, θ : 확대나비 각도, F_r : 프루드 수로(= V / \sqrt{gd})

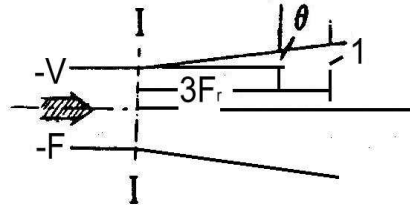


그림 4.10.5 사류수로의 확폭

라) 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 10배 보다 작은 곡률반경의 만곡은 좋지 않다. 횡단수면이 수평면과 이루는 각을 θ_c , 수로중심선의 곡률반경을 r , 유속을 V 라면 다음과 같으며, 이 수위상승에 대해서 안전한 측벽고로 설계해야 한다.

$$\tan \theta_c = 2V^2 / gr \quad \dots\dots\dots (4.10.9)$$

마) 수로만곡부에 있어서 충격파를 소거하는 방법으로는 수로바닥에 다음 식에서 얻어지는 횡단기울기를 준다.

$$\tan \beta = \frac{V^2}{gR} \quad \dots\dots\dots (4.10.10)$$

여기서 θ : 수로바닥의 경사각

바) 일반적으로 고속류의 도류부에서는 공기혼입 현상이 발생하고 공기의 혼입에 의하여 수면이 상승함으로 모형실험 및 계산에 의하여 구한 수위를 보정해야 한다. 공기 혼입량은 다음 식과 같이 표시된다.

$$m = \frac{1}{200} \frac{V^2}{gh_{na}} \quad \dots\dots\dots (4.10.11)$$

여기서, m : 혼입된 공기량과 수량의 비, V : 유속 (m/s), h_{na} : 수심 (공기가 혼입된 수심), g : 중력가속도

사) 급경사수로 여유고에 대하여 제안된 USBR 계산식은 다음과 같다.

$$F_b = 0.6 + 0.037 Vd^{1/3} \quad \dots\dots\dots (4.10.12)$$

식에서, F_b : 여유고 (m), V : 유속 (m/s), d : 수심 (m) 이다.

여기서 수심, 여유고는 모두 급경사 수로바닥의 비탈면에 수직으로 취한다.

그러나, 가능최대홍수량으로 설계하지 않은 저수지는 이상 홍수에도 측벽 월류가 발생하지 않도록 USBR 제안식 $F_b = 0.6 + 0.037 Vd^{1/3}$ 으로 구한 값에 0.5m 를 가산한다.

3) 터널내의 흐름

터널 또는 암거단면을 채용하는 경우는 만류를 피하고, 이행부에서는 설계 홍수량에서의 수심을 터널 또는 암거높이의 1/2 이하를 원칙으로 하며, 등류 또는 이에 가까운 경우에는 대개 3/4 이하로 한다.

도류부의 평면형을 직선형으로 하고 또한 단면을 직사각형으로 하는 이유는 이 부분의 흐름 영역은 당연히 사류이고 사류수로에서 일단 충격파가 발생되면, 도류부 전체에 걸쳐 소멸되지 않고 감세공의 기능에 영향을 끼치기 때문이다. 또한 사류 흐름은 대개 7m/s 이상의 유속이 되면 다량의 공기를 연행하기 때문에 이 흐름은 한층 복잡하게 된다.

이 때문에 터널내의 수류를 사류로 할 때는 실험적으로 충분한 검토를 하는 것이 바람직하다. 그러나 설계의 기본적인 사고 방법은 이와 같은 유황 예측이 곤란하나 경우가 일어나지 않도록 하는 것이 중요하다. 또한 흐름이 개수로에서 관수로로 이행하면 터널은 셀프프라이밍 (self priming)에 의한 파동이나 위험한 압력 변동이 생기기 때문에 좋지 않다.

셀프프라이밍의 발생방지를 위하여 설계홍수위에 대한 최대방류량의 유적 A_w 와 터널 단면적 A_0 의 비는 3/4 정도를 상한으로 한다. 그러나 강한 흐름에 의한 공기 연행 현상과 이에 의하여 발생하는 수면의 상승이나 공기의 압축성 등을 충분히 고려해야 한다. 한편 유입구가 잠기고 흐름이 오리피스로부터 개수로의 흐름으로 되는 경우에도 개수로 흐름의 시점에 공동현상이 발생하기 쉽고 이 부분에 충분한 공기의 공급이 필요하다.

터널내 수류가 한계류 이상의 고속류로 되는 경우에도 평면만곡은 절대로 피해야 한다. 평면만곡이고 또한 고속류인 경우의 터널내 흐름은 이미 보통의 흐름의 개념에서 벗어나 터널 단면의 중심에 공기핵이 폐쇄된 나선류로 된다. 물론 공동현상의 발생, 흐름의 불안정은 피할 수 없다.

터널내의 흐름이 상류라 하여도 프루드수가 0.40보다 큰 경우에는 수면만동이 큰 불안정한 흐름이 되기 쉽다는 것도 유의해야 한다. 이 결과 터널은 직선형으로 하고, 충분한 공기의 유통이 가능한 수리구조로 하는 것이 중요하다.

라. 감세공

감세공은 방수로의 고속사류를 상류화시켜 에너지를 약화시킴으로써 구조물

의 침식과 파괴를 막기 위하여 설치하는 구조물을 말한다. 감세공의 형식은 다음과 같은 여러 가지 요소를 고려하여 선정해야 한다.

- ① 선정하고자 하는 감세공의 수리특성
- ② 댐 본체와 감세공의 거리, 표고 등의 위치 관계
- ③ 물넘이 본체의 수리 및 구조특성
- ④ 감세공 부근의 지형, 지질, 수리특성(하류수위, 유황 등)
- ⑤ 하류 하천 부근의 경지, 택지, 제 공작물의 위치 및 중요도

한편, 감세공의 형식에는 플립(flip)형, 정수지(stilling basin)형, 롤러버킷(roller bucket)형 등이 있으며, 각각의 특징을 보면 다음과 같다.

1) 플립버킷형(flip bucket) 감세공

이 형식의 감세공은 방수로 말단에서 수맥을 공중으로 사출시켜 하상암반 또는 하류측 풀속에 충돌 돌입시키므로써 충격 교란 등에 의하여 감세하는 것이다. 경우에 따라서는 방출부의 형상을 변형 또는 고안하여, 방출수맥의 방향을 바꾸어 수맥을 공중에서 충돌 분산시키므로써 감세를 도모하는 일도 있다.

이 감세공은 공사비면에서는 가장 경제적인 형식이지만 감세효과는 보통의 다른 형식에 비하여 떨어지고 감세공 하류부의 유황도 거칠다. 따라서 이 형식의 감세공을 채용하고자 할 때는 방출수맥 낙하지점의 기초는 견고한 암반이어야 하고, 또 감세공 주변, 특히 하류 근거리의 경지, 택지 등이 거치른 흐름에 의하여 손상되어서는 안된다.

플립 하류끝은 예상되는 하류의 최고수면보다 1.5~2.0 m 높게 하고, 감세공 선단의 양각은 20°정도로 하며, 버킷의 반지름은 10~15 m로 한다. 그러나 이것은 수맥의 낙하위치에 따라 변경될 수 있다. 이 형식은 이전의 설계 예나 수리모형실험 자료를 참조하고, 현지 지형, 지질조건을 고려하여 기본설계를 실시한다. 수리모형실험에서는 방사류 상태, 낙하지점의 침식모양과 양, 하류 하천에서의 유황 등을 확인하고 필요에 따라 수정을 해야 한다. 플립 버킷 말단을 좌표의 원점으로 하는 경우에 사출수의 궤도는 다음과 같다.

$$y = x \tan \theta - x^2 / k \{ 4(d + h_v) \cos^2 \theta \} \quad \dots\dots\dots (4.10.13)$$

여기서, y : 플립 버킷 말단부로부터의 수직높이(m), x : 플립 버킷 말단부로부터의 수평거리(m), θ : 플립 버킷 말단부와 수평선과의 각도, d : 플립 버킷 말단부의 수심(m), h_v : 플립 버킷 말단부에서의 속도수두(= $V^2/2g$, m), k : 보정계수

2) 정수지형

이 형식의 감세공은 도수작용을 이용하여 수세를 감세시키는 것으로서 하류 쪽 수심이 도수 후의 수심과 거의 일치될 경우에 채택한다. 수리학적으로 가장 안전하여 다소 하류수심이 도수 후의 수심과 불일치하여도 정수지 바닥의 굴착 저하 또는 부(副)댐을 설치하여 상대적인 하류수심을 높임으로서 이 형식의 감세방법을 채택할 수 있다. 수평바닥 정수지는 프루드수와 유량에 따라 수리, 구조 등의 면에서 가장 적합한 형식을 선정하여 설계해야 한다.

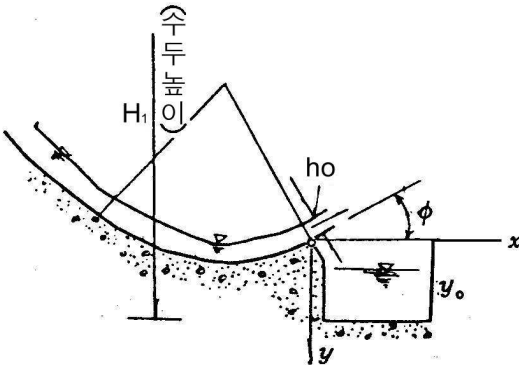


그림 4.10.6 플립(flip)부

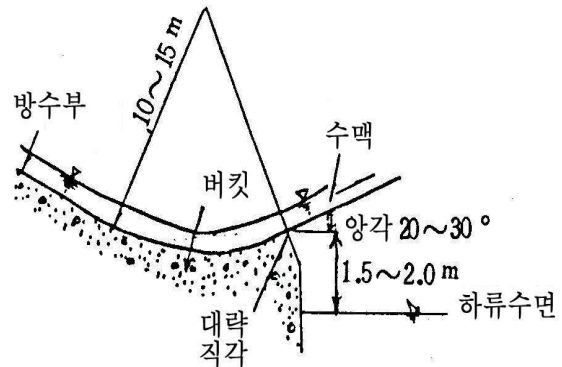


그림 4.10.7 플립형 감세공 버킷 제원

가) USBR I형 정수지

자연도수에 의하여 감세를 도모하는 것이다. 프루드수가 1.7이면 공액수심(共軛水深) D_2 의 변화상태는 유입수심의 약2배 또는 한계수심 보다 약 40% 더 크다. 유출속도 V_2 는 유입속도의 약1/2이거나 한계유속 보다 약 30% 작다. 후루드 수가 1.7 보다 작으면 특별히 정수지를 설치할 필요가 없다. 하류수로의 길이가 $4D_2$ 이하는 안된다. 프루드수가 1.7~2.5 사이의 정수지는 배플(baffle)이나 실(sill)의 설치가 필요치 않으며, 정수지 길이는 감속될 만큼의 소요길이가 있어야 한다.

나) USBR II형 정수지

도수의 시점에 슈트블록, 정수지의 중간에 배플피어 (baffle pier) 정수지의 말단에 엔드실을 설치한다. 이 형식의 적용조건은 저수두, 소유량 (단위폭당 유량 $18.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{m}$ 이하, 유속은 대개 18 m/s 이하, 유입수맥의 프루드수 4.5 이상)의 경우에 사용되며 특히 소규모의 필댐 물넘이 감세공으로서 많이 이용된다. 정수지의 길이 L_{III} 는 $3d_2$ 정도이다. 또 배플피어와 엔드실의 치수는 프루드 수의 증가에 따라 변화함으로 그림 4.10.8 에 의하여 구한다.

다) USBR III형 정수지

도수의 시점에 슈트 블록을 설치하고 있다. 적용조건은 높은 수두와 큰 유량(단위폭당 유량 $45 \text{ m}^3 \cdot \text{s} \cdot \text{m}$ 이상, 수두 60 m 까지, 유입수맥의 프루드수 4.5 이상)의 경우에 사용되며, 정수지 길이를 줄일 수 있고, 도수를 안정시킬 수 있다. 도수후의 하류수위는 수평형인 경우 도수후의 수심 d_2 보다 5% 높게 하여 정수지의 길이 L_{II} 는 $4.5 d_2$ 정도로 하면 좋다.

라) USBR IV형 정수지

도수의 시점에 간격이 넓은 슈트블록 정수지의 하류단에 엔드실을 설치한다. 이 형식의 적용조건은 수두가 낮고 단위폭당 유량이 큰 즉, 저 프루드수 $F_r = 2.5 \sim 4.5$ 인 사류의 경우에 적합하다. 프루드수가 $2.5 \sim 4.5$ 범위의 흐름은 감세처리가 매우 어렵다. 어느 형식의 정수지에 있어서도 하류수로내에서의 파동의 발생을 완전히 없앨 수는 없다. 이 형식을 사용하는 경우에는 도수후의 하류수위는 수평형인 경우는 d_2 가 10% 증가하는 것으로 하고, 정수지 길이 L_{IV} 를 $6 d_2$ 로 하는 것이 바람직하다. 엔드실 높이는 그림 4.10.10에 의한다. 또 감세공의 하류에 소파공을 설치하여 흐름의 파동을 방지하는 것도 생각할 수 있다. 이상 도수형(II ~ IV)에 대하여 d_2 / d_1 과 프루드수의 관계 및 도수길 이와 F_1 의 관계를 정리하면 그림 4.10.8, 4.10.9, 4.10.10과 같다.

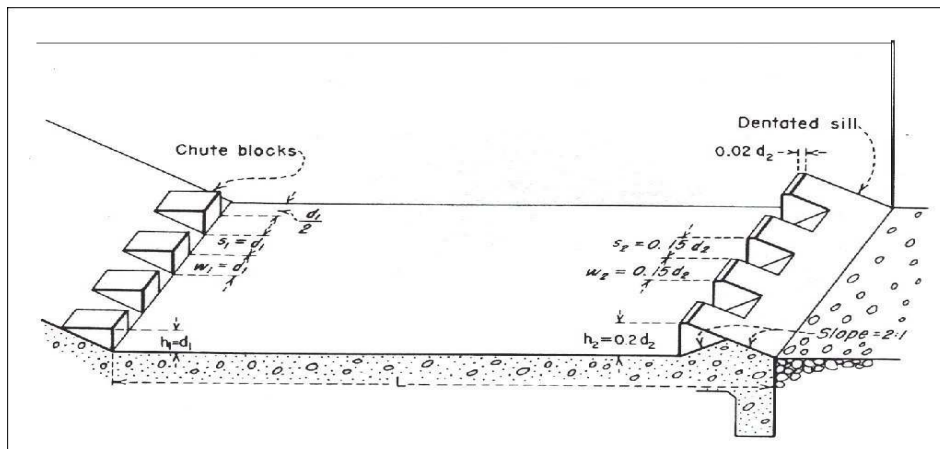


그림 4.10.8 II형 정수지의 제원

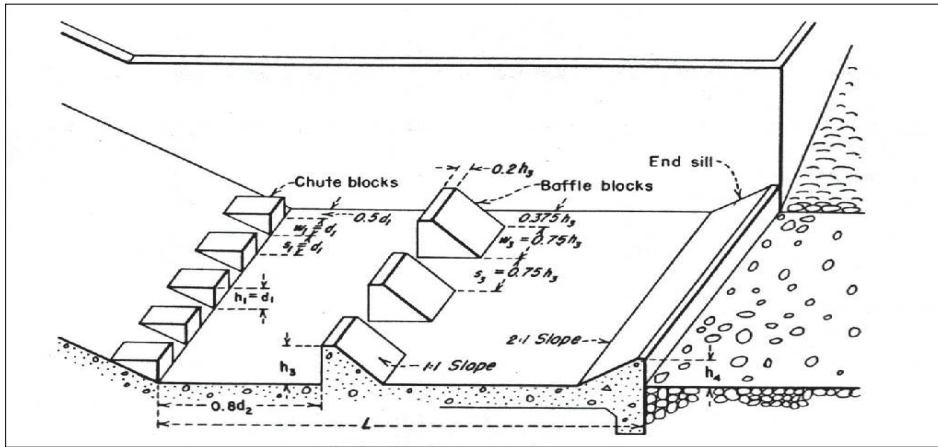


그림 4.10.9 III형 정수지의 제원

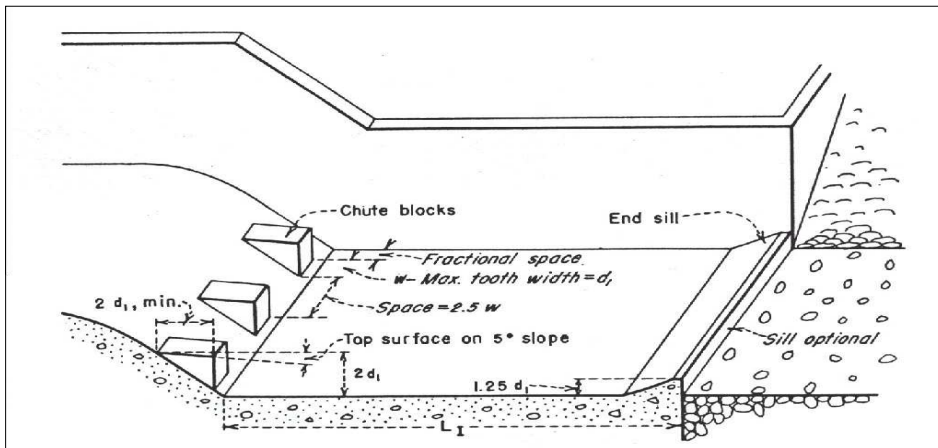


그림 4.10.10 IV형 정수지의 제원

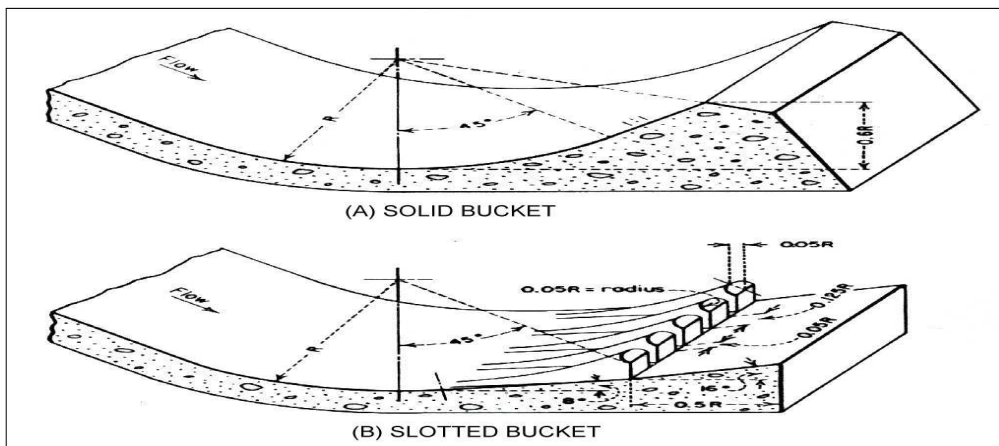


그림 4.10.11 롤러버킷형 감세공

3) 롤러 버킷 (roller bucket)형 감세공

감세공은 수맥을 비탈면에 따라 수중으로 관입시켜서 수중에서 이를 반전 하류쪽에 전동류(轉動流, roller)를 생기게 하고 이 전동작용에 의하여 감세하는 방법이다. 이 종류의 감세공은 감세 특성상 깊은 하류수심의 깊은 경우에 적용된다.

감세공은 하류수심이 도수후의 수심보다 클 때에 잠수된 버킷형의 전향장치(轉向裝置)를 써서 흐름의 높은 에너지를 분산시킨다. 그러나, 감세효과는 하류수위, 버킷반경, 립(lip)경사각, 버킷인버트와 하상과의 고저차, 실(sill)의 형상 등 많은 요인이 있고, 여러 가지 설계방침이 제안되어 있으나 세부설계의 확정에는 모형실험을 실시하여 작용상태, 하류 침식상태를 확인해야 한다.

마. 방수관

방수관은 홍수조절 등의 방류를 위한 관로이므로 수심, 유속이 다 같이 크고 배사는 생각하지 않는 관로이다. 방수관 형식은 유량조건, 압력조건, 제체 및 유량조절구조물의 구조조건, 방수처리상의 제약, 수로형태적 조건 및 유지관리상 문제를 고려하여 선정한다. 방수관 유입구에는 위험한 공동현상이 일어나지 않도록 적당한 나팔모양으로 해야 한다. 나팔모양은 가급적 실험에 의해서 결정하는 것이 좋다. 나팔모양에 실험곡선이 사용될 경우에는 방수관 단면형상에 관계없이 타원곡선을 사용하는 경우가 많다. 공동현상에 대하여 허용부압은 0.3 kgf/cm^2 이내로 한다. 방수로 형상은 소정의 방류능력을 확보하고 위험한 공동현상이 발생하지 않아야 한다.

바. 하류하천 정비

물넘이 시설의 설계빈도(보통 200년)과 하류하천의 설계빈도(보통 50~100년)가 서로 달라 예상되는 피해를 줄이기 위해 정수지와 하류하천 연결부는 이상 홍수에도 제방 세굴이 없도록 견고한 구조로 충분히 연장한다.

4.10.4 수리모형실험

측수로 및 급경사 방수로는 원활한 홍수배제를 위하여 가급적 직선형으로 계획하며 지형상 부득이 만족시켜야 할 경우나 특별한 형태의 물넘이 구조 또는 홍수조절을 하는 일정규모(예 : 설계홍수량 500 m³/s 수준) 이상 저수지는 필요에 따라 수리모형실험을 통하여 홍수배제능력을 검토할 수 있다.

물넘이의 방류능력 및 방류수가 구조물이나 하류 하상에 미치는 영향에 대하여 수리공식, 기존 모형실험결과 및 실측자료에 의하여 신뢰할 만한 판단을 할 수 없는 경우에는 수리모형실험을 실시하여 구조물에 대한 각종 수리현상을 실측하여 설계에 대한 검토와 재해를 미리 방지하기 위한 대책을 강구하고 아울러 공사비의 절감을 도모할 필요가 있다.

필댐에서 물넘이 안전은 대단히 중요하므로, 수리공식으로 물넘이 수리현상을 해석하는 것은 이상적 흐름상태에서 실시한 계산 값으로, 현지조건과의 적용범위를 확인하여 안전상 흐름을 입체적으로 해석할 필요가 있을 경우에는 물넘이 수리모형실험을 실시한다. 즉, 수리모형실험을 통하여 방수로부의 공동현상에 의한 구조물 파손방지와 정수지의 적정규모 결정, 댐 붕괴 시 하류 침수피해를 예측하고 대책을 수립한다.

가. 수리모형실험의 필요성

물넘이의 방류 능력, 감세 기능 및 하류하천에 미치는 영향 등은 신뢰할 수 있는 해석방법이 보장되어 있지 않다면 반드시 수리모형실험을 실시하여 설계를 검토해야 한다. 특히 필댐에서는 물넘이가 댐의 안전을 위하여 극히 중요한 구조부이므로 설계에 신중한 배려가 필요하다.

수리모형실험의 장점은 고속으로 흐르는 흐름의 수리현상을 비교적 용이하게 밝힐 수 있다는 점 외에도, 설계과정에서 고려하지 못하였던 사항이나 부주의로 말미암아 잘못 계산된 수리조건도 바로 잡을 수 있다는 것이다.

방수로의 형식과 형상이 설계기준에 따라 일반적인 구조로 설계되었다고 하더라도, 방류량이 커지게 되면 구조상의 작은 결함에 의한 고속류와 난류의 교란이 방수로 또는 감세공의 안전에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 홍수방류량이 큰 대규모 물넘이와 입지의 지형조건에 따라 변형된 물넘이 형식을 적용해야 할 경우에도 반드시 수리모형실험을 통해 안전을 검증 받아야 한다.

나. 수리실험을 필요로 하는 문제점

물넘이 구조설계를 위한 설계홍수량은 200년 빈도 강우량을 기준으로 하더라도 저수지 제당마루의 높이와 물넘이 벽체 높이는 가능최대강우량(PMP)에 의한 홍수량 방류에도 월류하지 않도록 결정하는 것이 바람직하며 수리모형실험을 통해 이를 확인할 수 있다. 저수지의 파괴원인은 일반적으로 물넘이 배제능력 부족이나 공동현상에 의한 콘크리트 파손이 원인이 되는 경우가 많으므로 단순계산에 의해 검토하기 어려운 다음 사항을 수리모형실험으로 검토할 필요가 있다.

1) 접근 흐름의 안정성과 물넘이 위치 및 형식의 선정

물넘이를 넘어 방류부를 흐르는 흐름은 보통 20 m/s를 넘는 고속류로 작은 교란으로도 예상치 못한 피해를 줄 수 있다. 안정된 접근흐름은 방류부의 안전과 물넘이의 홍수배제 능력에 큰 영향을 미친다. 지형적인 여건 때문에 물넘이의 위치와 형식 선정이 까다로울 때는 수리모형실험을 통해 수리적으로나 경제적으로 유리한 위치 및 형식을 선정해야 한다. 또 이론적으로 유향을 해명하기 어려운 특수한 형식의 여수로는 수리모형실험으로 수리적 기능을 검토하고 개선시킬 수 있다.

2) 물넘이의 홍수배제능력과 비상방수로의 필요성

물넘이의 홍수배제능력이 부족하면 저수지 수위를 상승시키게 되어 제방을 월류하게 되는 등 위험한 결과를 초래할 수 있다. 이상홍수로 인해 설계홍수량을 초과하는 홍수유입량을 안전하게 배제시키려면 비상방수로 설치를 고려해야 한다. 비상방수로를 물넘이와 병행설치하여 이상홍수 배제 시 서로의 흐름에 간섭을 일으키는 경우에는 반드시 수리모형실험을 통해 배제능력을 확인한다.

물넘이에서의 지배단면이 유량의 변화에 따라 이동하여 흐름이 원활하지 못하게 되거나 배제능력을 저하시키는 경우가 있으므로, 이와 같은 염려가 있는 사업지구의 수리구조물은 수리모형실험을 통해 물넘이의 배제능력을 확인한다. 특히, 개수로 형태가 아닌 관로형태의 물넘이나 비상방수로는 유량이 증가함에 따라 수리조건이 급격하게 변화하는 경향이 있으므로 주의를 요한다. 이에 관련된 설계요소로는 유입구의 구조와 형상, 방수로부의 단면과 수면형, 관내 도수현상, 잠류의 발생으로 인한 배제능력 저하 등이 있으므로 수리모형실험을 통해 충분히 검토해야 한다.

3) 방수로의 노선과 단면형상의 결정

방수로는 가능한 한 직선으로 배치하는 것이 바람직하다. 그러나 방수로 입

지의 지형이나 경제성 때문에 만족시켜야 할 경우나 특별한 형태의 물넘이 구조 또는 홍수조절을 하는 저수지는 필요에 따라 수리모형실험을 통해 홍수배제능력과 안전성을 확인해야 한다.

4) 공동현상(cavitation)

물넘이 월류부 곡면에서의 작은 결함이나 유속이 30 m/s 이상인 고속류의 방류부 및 강한 난류의 영향으로 압력변동이 심한 감세공 등에서는 공동현상에 의한 콘크리트 파손 가능성을 고려해야 한다. 소규모 저수지의 경우 부압에 의한 공동현상을 무시하는 경향이 있으나, 구조물의 안전과 직결되어 있는 만큼 소홀하게 취급해서는 안 된다.

5) 감세공(정수지)의 적정규모

감세공(정수지)는 고속류의 수리에너지를 충분히 감쇄시켜 하류하천의 안전을 보장하는 중요한 홍수방어시설이나, 이론적으로 길이나 높이 등 적정한 규모를 계산하는 방법이 모호하다. 일반화된 형식도 있으나 지형, 지질 및 하류수위의 조건에 따라 감세공의 기능과 역할이 달라질 수 있으므로 일반화된 형식을 그대로 적용하는 것이 불가능한 경우가 많다. 이에 대해서는 설계단계에서 현지의 여건에 알맞은 기본안을 작성하여 수리모형실험을 통해 감세기능을 검토한다. 실험을 통해 제 조건을 만족할 수 있는 최적의 안을 도출해야 하며, 특히 위험도가 큰 지역이라면 반드시 수리모형실험을 통해 안전도를 검증해야 한다.

6) 하류하천 접속부의 안정성

감세공을 지나온 수류가 세굴 및 편류에 의해 하류하천을 손상시키지 않도록 해야 하며 필요에 따라 보호대책을 수립한다.

다. 모형실험 계획

1) 실험계획의 수립

모형실험은 원형(prototype)에서의 수리현상을 일정한 상사법칙에 따라 모형(model)을 제작하여 수리인자를 계측하고 원형의 값으로 환산하여 수리특성을 파악하는 것이다. 이를 위해 우선 원형에서의 정확한 자료와 설계조건 등을 파악한다.

실험계획은 원형에서의 수리적 현상을 잘 이해하고 있는 전문지식을 갖춘 경험자가 수립해야 하며, 모형은 원형에서의 수리현상이 잘 재현될 수 있도록 설계하고 제작되어야 한다. 일반적으로 축척에 의한 영향을 최소화하기 위해 소축척으로 계획하는 것이 좋으나, 실제 수리모형을 설계할 때에는 이용할 수

있는 모형수조의 공간과 실험용수의 양 및 실행기간 등을 검토하여 적절한 축척을 결정해야 한다.

모형은 보정(calibration)과정을 거쳐 제작을 완료하고, 현장관측자료나 기왕에 알려진 조건으로 검증(verification)하여 정확한 실험이 될 수 있도록 해야 한다. 저수지 수리모형실험 계획수립을 위한 일반적인 순서는 다음과 같다.

2) 수리조건의 검토

모형실험의 목적과 대상이 되는 항목에 따라 다소 차이가 있지만, 일반적으로 기본설계에 적용한 수문 및 수리계산의 수리량을 참고하여 수리조건에 대한 검토가 필요하다. 수리모형실험에서 검토해야 할 수리량에는 다음과 같다.

가) 물넘이 월류부, 비상방수로, 배사시설 등

물넘이의 홍수배제 능력, 물넘이로 접근하는 흐름과 제정 구조물과의 관계, 여수로에서의 흐름, 작용압력, 관로형 물넘이의 경우 와류발생과 공기흡입, 수문식 물넘이의 경우 교각의 영향과 교차파(cross wave)의 발생 등

나) 방류부

측벽의 높이, 작용압력, 흐름의 안정성 등

다) 감세공(정수지)

도수길이 및 감세공의 규모, 도수고와 측벽의 높이, 부딪 등 에너지 감세시설에 작용하는 힘, 흐름의 안정성 등

라) 하류하도

수위변화, 유속 등의 유황변화, 하상토의 구성과 세굴 등

3) 실험내용 및 방법

수리모형실험의 내용과 방법은 실험을 실시하고자 하는 사업지구 여건과 설계안에 따라 차이가 있다. 다음은 여수로 수리모형실험의 일반적 실험항목을 실험순서를 고려하여 작성한 것으로, 각 사업지구의 설계안과 하류하천의 지형 및 단면, 이용 가능한 실험계측 장비의 종류에 따라 다소 달라질 수 있다.

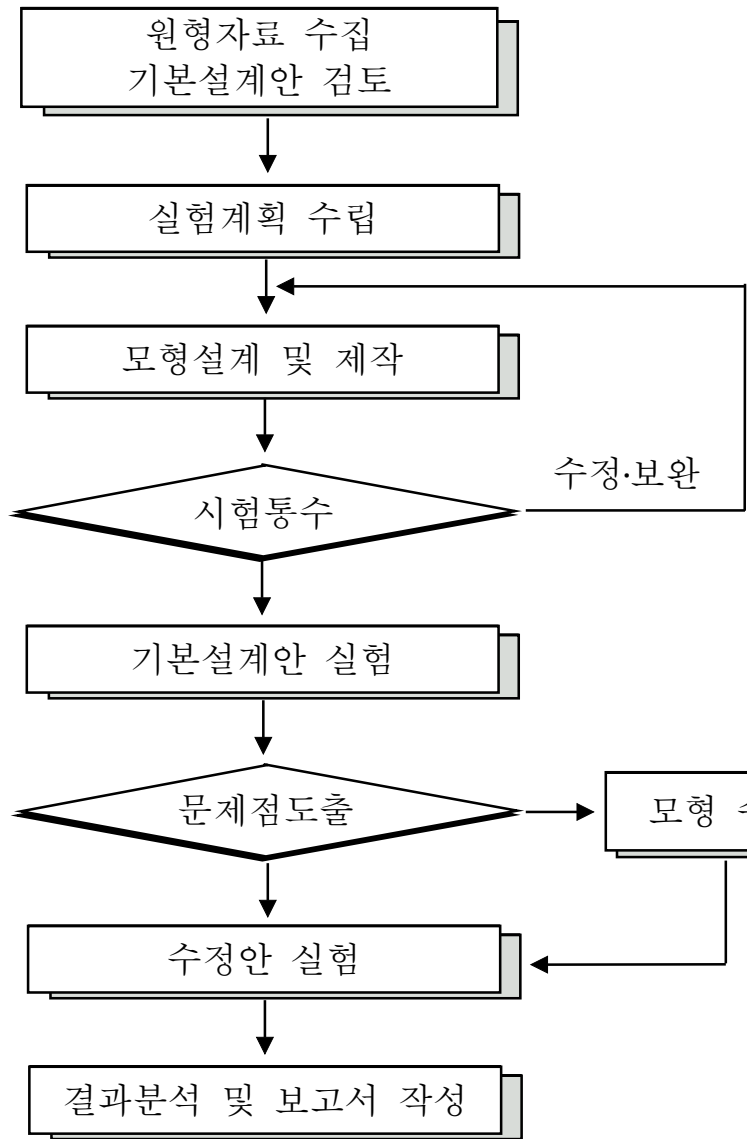


그림.4.10.12 수리모형실험계획의 수립

가) 계측기 및 유량측정용 웨어의 보정(calibration) 실험

모형실험에 사용하는 모든 수위계, 유속계, 압력계 등은 검정을 거쳐 허용오차의 범위 안에 들어오도록 준비한다. 유량측정용 웨어는 유량과 모형의 규모에 따라 삼각웨어, 사각웨어 및 전폭웨어를 선택적으로 선정하여 사용할 수 있으나, 규격품 사용을 원칙으로 하며, 예비실험을 거쳐 월류수심과 유량과의 관계를 명확하게 해 놓는다.

나) 물넘이로 접근하는 흐름

물넘이를 통하여 계획홍수량을 안정적으로 배제시킬 수 있는가를 검토하기 위해 여수로 직상류부에서의 수위, 유속, 유향 등 수리량을 측정한다. 지구 여

건에 따라 비상방수로를 상용여수로와 병행하여 설치할 경우, 이상 홍수시 상당히 복잡한 흐름 양상을 보이게 되며 결과적으로 물넘이의 배제능력에 영향을 미치게 된다. 특히, 관로형 물넘이의 경우 직상류부에서의 난류가 강해 질 것이며, 저수지 수위에 따라서는 관 유입 흐름에 와류(vortex)가 발생하여 공기가 유입되므로 여수로의 배제능력을 갑자기 저하시킬 가능성도 있다. 그러므로 여수로 직상류부에서의 복잡한 흐름 특성을 분석하고 안정된 흐름을 유도할 수 있는 대안을 찾아야 한다. 이 때 수리모형은 가능한 한 원형과 유사한 흐름을 재현하기 위하여 저수지 직상류 일부의 원래 지형을 고려하여 모형을 제작해야 한다.

저수지의 수위측정은 오차범위 0.5 mm 이내의 수위측정기나 또는 포인트게이지를 사용하여 흐름이 안정된 위치에서 측정한다. 유속 및 유향은 전자식 유속계를 사용하여 몇 개의 수심별 평면유속을 측정하며, 필요할 경우 3차원 유속계를 사용하여 수직방향의 유속성분을 측정한다.

평면에서의 유황과 수리에너지는 입자영상추적장치(PIV)를 이용하여 측정하면 효과적이며, 관로 유입부에 발생하는 와류와 공기흡입여부는 색소를 주입한 후 육안관찰에 의해 판단할 수 있다.

다) 물넘이 월류부

물넘이의 월류수위와 홍수배제량 관계를 측정하여 수위-유량 곡선($H \sim Q$) 도표로 나타내고, 유량계수를 구해 물넘이의 홍수배제능력을 평가한다. 공동현상에 의한 콘크리트 구조물의 손상 가능성 여부를 파악하기 위하여 월류면에서 과도한 부압이 발생하는지를 측정한다. 월류정부를 따라 월류면 압력수두 분포를 측정하여 그래프로 나타내며, 발생하는 최대부압이 평가허용치(-3 m 이하)를 초과하지 않는가 확인한다. 부압측정은 모형의 바닥에 피조메타를 설치하여 측정할 수 있다.

수문식 물넘이의 경우, 교대 및 교각에 의한 흐름의 영향을 포함하여 월류수면과 제정구조물과의 간격이 확보되어야 한다. 계획 홍수위에 대하여 월류부에서 자유월류할 때 월류수면과 교량상관하부의 간격이 충분히 확보되어야 하며, 이상홍수시에도 안전해야 한다. 이 이격거리는 월류부의 수면형상 측정 결과에 의해 판정할 수 있다. 도류벽은 가능최대홍수량(PMF)을 방류할 때 제체의 도류벽 높이가 충분한가를 확인한다.

물넘이를 월류하는 흐름의 유황을 관찰하여 기록하고 월류수맥의 안정성을 검토하며, 수면형을 측정하여 도표로 나타낸다.

라) 비상 방류공

비상방류공은 사업지구의 여건과 규모에 따라 설치하지 않는 지구도 많이 있을 것이나, 여기서는 관로형 비상방수로 설치를 계획하는 지구의 모형실험을 대상으로 작성한 것이다. 비상방수로의 문비를 전개 또는 부분 개방할 때의 개도와 방류수두 및 이상홍수 배제능력에 대한 실험을 수행하여 구조물의 안전을 검증한다.

저수지측은 수위-유량 관계($H \sim Q$)에 따라 와류발생의 유무를 관찰한다. 와류의 형태를 관찰하는 것은 색소를 물에 타서 비닐호스로 수면부근에 산포하여 관찰한다. 일반적인 와류의 분류는 다음과 같이 한다.

- ① 와류 중앙부근에 기둥이 없이 회전하는 평면 와류
- ② 와류중심부에 기둥이 있는 와류
- ③ 공기를 연행하고 있다고 생각되는 와류 또는 공기연행 와류
- ④ 기타 이동하는 와류, 발생 후 곧 소멸하는 와류를 기록한다. 또 방류관부는 방류관내 및 개수로부의 유황을 관찰한다.

⑤ 개수로 ~ 관수로류로 변화하는 유황을 관찰 기록하고 실험조건, 유황사진, 스케치를 포함하여 기록한다.

작용압력은 방류관 모형에 매설한 각 피조메타를 마노메타에 접속하여 각부의 피조메타 위치에 작용하는 압력수두를 측정, 평가한다. 방류관내의 평균압력은 대기압 이상을 유지해야 하며, 유황이 안정된 범위에 대하여 -3.0 m까지의 부압을 허용한다. 저수지 수위와 수문의 개도 조건에 따라 관내의 개수로부에서 관내도수를 발생시키는 경우도 생각할 수 있다. 특히 저수지 수위가 높을 때는 수문으로부터 유출되는 사류의 수세가 강하여 관의 하류는 개수로 흐름으로 흐를 것이다.

마) 방류부

물넘이를 넘어오는 고속의 사류 흐름은 작은 교란으로도 큰 변화가 일어날 수 있으며 방류부의 구조상 우각부가 있다면 직접 충돌에 의한 파괴위험도 있다. 특히 유황이 나빠질 위험이 있는 구간이므로 월류부로부터 유하하는 흐름을 안정시키도록 계획되어야 한다. 물넘이에 수문을 설치하는 경우, 월류부를 넘는 흐름이 교대나 교각의 영향을 받아 과도한 교차과가 발생하는지를 검토하고, 이를 최소화할 수 있는 방안을 도출한다.

방류부에서 공동현상에 의해 콘크리트 구조물이 손상되지 않도록 과도한 부압이 발생하는지를 계측해야 한다. 부압측정은 모형 바닥에 피조메타를 설치하여 측정할 수 있다. 방류부 측벽 높이는 가능최대홍수(PMF) 배제량을 방류할 때 수면이 측벽을 넘지 않아야 한다. 도류벽을 따라 종단수면형의 조사결

과를 토대로 필요한 도류벽의 높이를 검토한다.

바) 감세공

감세공의 구조는 설계기준인 200년 빈도 홍수방류량 이하의 유량에 대해서 검토를 시행하며, 가능최대홍수(PMF) 방류량에 대하여 유황을 검증하는 것을 원칙으로 한다. 감세공은 방류부를 통하여 물받이부로 고속으로 유입하는 수류의 에너지를 충분히 감세시켜, 하류하천에서 안정된 흐름이 유지될 수 있도록 해야 한다. 또한, 감세지(정수지) 내에서의 도수현상을 관찰하여 감세공의 규모가 적절하게 결정되었는가를 평가해야 한다.

일반적으로 감세공은 물받이 시점부에서 균일한 단위 유량 폭을 얻을 수 있도록 가정하여 부댐의 높이와 물받이 길이 및 측벽의 높이를 결정한다. 그러나, 실제로는 수문이 있는 물넘이에서의 수문조작 방법, 비상방류공이 병행하여 운영되는 여수로 및 기타 지형적 이유 등으로 유출부로부터 집중된 흐름의 영향을 받을 수 있다. 유량이 집중된 곳에는 단위 폭당 유량이 증가하게 되고, 따라서 공액수심이 커져 물받이부의 수심이 부족하게 되므로 안정된 도수가 형성되지 않는 경우가 있어 수면변동이 커지고 유황이 나빠질 가능성이 있다.

감세지 내에서의 유황과 수면형 등 도수현상을 조사하고 감세기능의 타당성을 검증하기 위해 ① 물받이 시점부에서 수류의 집중 및 분산현상 유무, ② 도수에 의한 와류의 형성과 안정성, ③ 물받이 길이, 측벽의 높이 및 부댐고와 감세기능의 관계 등을 점검해야 한다.

감세공 물받이 시점부에서 과도한 수류의 집중현상이 발생한다면 슈트블록(chute block) 등 보조 구조물을 설치하여 유입수맥의 균일화를 도모할 수 있는가를 검토할 필요가 있다. 슈트블록의 설치가 어렵다면 물받이 길이를 늘리거나, 부댐의 높이를 변화시켜 유황의 안정화를 도모할 필요가 있을 것이다.

바) 하류하천

하류하천은 설계빈도 홍수방류량에 대하여 유황을 검증한다. 하류하도 모형은 저수지 방류로 인한 침식형태를 평가하기 위하여 가능한 한 이동상 모형으로 제작하는 것이 바람직하다.

하류하도의 유황, 감세지 직하류부의 유황, 하천 종단방향의 수위 및 유속 분포를 파악하기 위해 하류하도부의 유황을 관찰하여 기록하고, 하천의 좌안, 중앙, 우안의 종단 수면을 측정하여 그림으로 도시한다. 이와 함께 저수지 방류의 영향범위를 파악하기 위해 하류하도 내의 유속분포를 측정하여 그림으로 도시하고 수리자료를 얻는다. 저수지 방류가 하류하천에 미치는 영향을 검토

하기 위하여, 이동상으로 제작한 모형에서 유황, 수위, 유속분포 및 침식량의 정성적 분석자료로부터 방류에 의한 영향범위를 평가한다.

라. 수리모형 설계

1) 상사법칙과 축척결정

원형의 수리현상을 모형에서 재현하기 위해서는 두 흐름사이의 수리학적 상사성이 보장되어야 하며, 모든 모형실험은 원형과 모형 사이의 수리학적 상사성을 근거로 실행되어야 올바른 의미를 가지게 된다. 모형과 원형을 일정한 축척에 따라 작게 만들기 때문에 완전한 의미의 상사란 생각할 수 없으나, 모형을 가능한 한 크게 만들어(소축척 사용) 축척에 의한 영향을 어느 정도 극복할 수 있다.

물넘이를 월류하는 흐름, 즉, 방수로, 감세공, 하류하천에서의 흐름을 지배하는 힘은 중력과 관성력이므로, 수리모형실험에서는 원형과 모형의 프루드(Froude) 수를 같게 하는 프루드 상사법칙을 적용하여 실험을 수행한다.

가능한 한 축척을 작게하여 모형을 크게 제작하는 것이 유리하지만, 실제 실험에 있어서는 실험설비의 규모(모형수조의 면적, 급배수설비의 능력 등), 필요한 정확도 및 수리현상의 상사성과의 관계를 고려하여 축척을 결정한다.

방수로 수리모형에서는 물의 점성과 표면장력의 영향을 무시하고 수리현상의 상사성을 만족시키기 위하여, 일반적으로 다음과 같은 규모의 한계가 적용될 수 있다.

- 물넘이 월류수심 : 모형의 설계 월류수심이 8 cm 정도 이상
- 방류공 등 관로의 규모 : 모형 관수로의 규모가 10 cm 이상

고수조는 모형축척과 펌프능력을 고려하여 실험용수를 원활하게 순환시키기 위한 수두의 높이를 확보해야 한다.

정수조는 강제수조로 내부는 정류관, 수위조절장치(웨어)로 구성된다. 수조, 정류관, 수위조절장치는 수압에 의해 처짐과 누수가 발생하지 않도록 통상 두꺼운 철판을 용접하여 사용하고, 외부에 ㄷ형강 부재로 보강한다.

수위조절장치의 원치는 충분한 강도와 장력을 갖도록 하며, 힌지부는 수압에 견딜 수 있도록 한다. 또 수위조절판은 상·하의 이동이 가능하도록 하고, 누수를 방지하기 위해 고무판을 사용하여 지수한다.

정수조와 연결되는 인입수조는 강제수조로 정류관 및 마노메타를 설치한다. 인입수조는 유량계측기의 하나로서 생각할 필요가 있고, 유수시에 비틀림과 휨이 없도록 하고, 정확한 치수와 누수가 없도록 한다.

표.4.10.2 프루드 상사법칙에 의한 수리량의 축척

수 리 량	축 척	길이 축척 관계식
길이	L_r	L_r
면적	A_r	L_r^2
시간	T_r	$L_r^{1/2}$
유속	V_r	$L_r^{1/2}$
가속도	a_r	1
유량	Q_r	$L_r^{5/2}$
힘	F_r	L_r^3
압력	P_r	L_r
조도계수	n_r	$L_r^{1/6}$

2) 모형의 설계 및 제작

물넘이 수리모형의 일반적인 실험용수 순환계통은 다음과 같다.

인입수조에서 모형 저수지로 유입하는 부분에 웨어를 설치하여 유량을 측정한다. 이 유량측정용 웨어는 공인규격에 따라 스테인리스제의 삼각웨어, 사각웨어, 전폭웨어를 선택적으로 사용할 수 있다.

방수로는 월류부~방류부~감세공부로 구성되며, 경우에 따라 비상방수로가 있는데, 구조는 조도를 고려하여 아크릴 또는 목재를 사용하며, 일체구조로 제작하는 것을 원칙으로 한다.

월류면, 교각, 교대 및 수문 모형(수문식 물넘이의 경우)은 재료의 조도 및 물과 접촉하였을 때 재료가 팽창하지 않는 재료를 사용하여 정밀 제작한다. 피조메타의 매설은 월류마루 축으로부터의 거리, 표고를 미리 설정해 제작자가 정확하게 만들 수 있도록 한다.

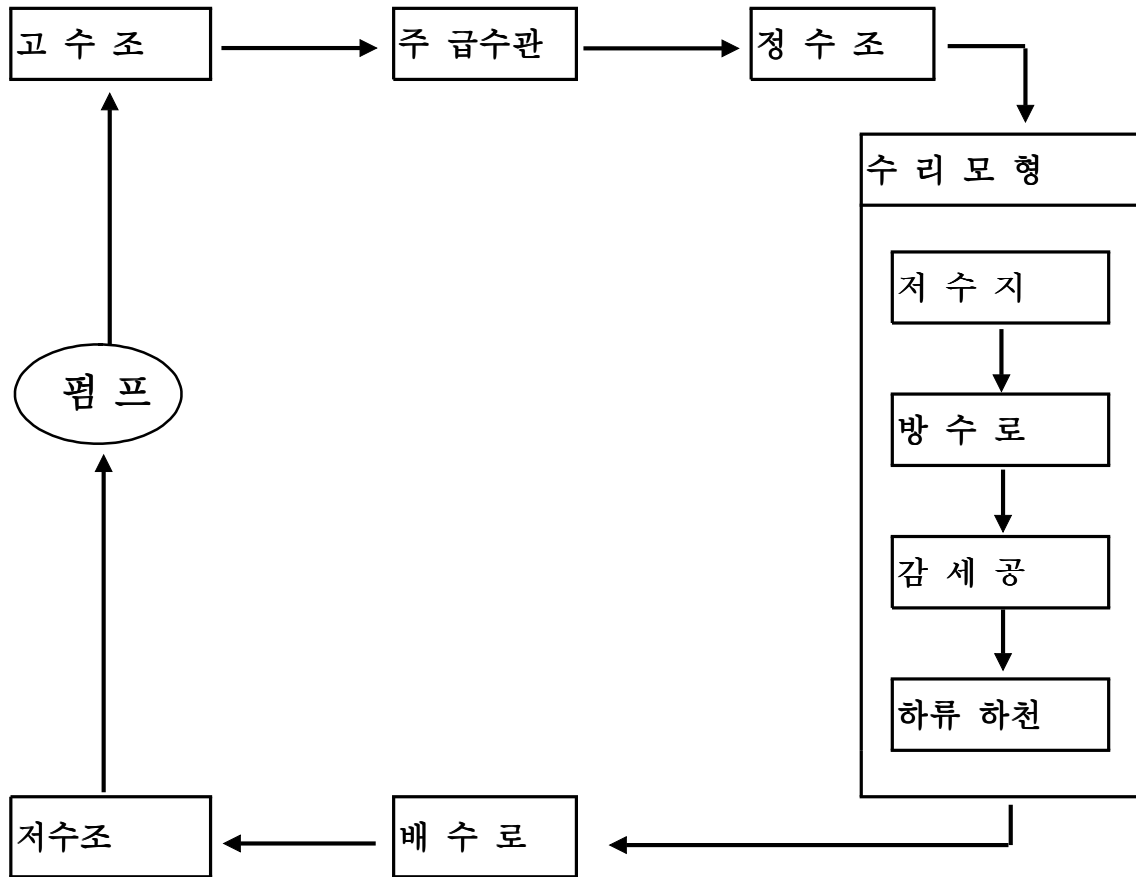


그림 4.10.13 물넘이 수리모형의 실험용수의 순환계통도

비상방류공은 유황을 관찰할 수 있도록 투명 아크릴로 제작하는 것을 원칙으로 한다. 아크릴 모형의 내면, 특히 피조미터의 구멍을 뚫을 때는 세심한 주의가 필요하므로 아크릴 모형 제작의 경험자가 필요하다.

방류부 수로면과 벽면은 위에서 언급한 바와 같이 투명 아크릴 또는 목재를 사용하여 제작한다. 모형 도류벽에는 유황 관찰과 수면측정에 편리하도록 미리 매직 잉크 등을 사용하여 저수지축에서의 거리를 수직선과 수평선으로 기입해 놓는다. 감세공 모형은 기본적으로 목재나 콘크리트 블록으로 만들 수 있지만, 한쪽 측벽은 유황을 관찰하기 위해 반드시 투명 아크릴 판의 사용하는 것이 좋다.

아크릴 판의 상하, 좌우 및 중간부에는 변형이 오지 않도록 플렌지를 설치, 스크루볼트, 또는 볼트로 고정한다. 실험은 물받이 길이와 부딪 높이를 변화시키면서 실험을 진행하여 타당한 감세공 용량을 결정한다.

필요한 경우 부딪의 상류면에 피조메타(또는 압력게이지)를 매설하여 수류

의 충격에 의한 압력을 측정한다.

하류하천의 모형은 현장의 측량자료를 기초로 지형 횡단도를 모형에서 1.0 m 간격 이하의 범위 내에서 작성한다. 모형으로 사용하는 재료는 목재 또는 콘크리트를 사용할 수 있으며, 필요할 경우 이동상 모형으로 제작한다.

기타 부대설비로는 수위, 수면형 및 유속 측정을 위한 계단, 발판 및 측정대 등의 제작이 필요하다.

수위측정은 1/10 mm 눈금자를 이용하는 것을 원칙으로 하며, 필요한 경우 오토 레벨을 사용한다.

인입수조에 설치하는 유량측정용웨어는 유량에 따라 삼각웨어, 사각웨어, 전 폭웨어를 이용한다.

유속 측정은 전자식 유속계, 프로펠라 유속계, 피토(Pitot)관을 이용할 수 있으나, 어느 계측기를 사용할 것인가는 실험의 유황을 확인하고 결정한다.

작용압력의 측정은 피조미터와 수주 마노미터를 이용한다. 모형 목재나 아크릴재에 매설하는 피조미터는 외경 $\varnothing 7$ mm, 길이 2~3 cm 정도로 중앙에 $\varnothing 1$ mm의 구멍을 뚫은 투명 아크릴로 한다. 마노메타는 투명비닐호스로 내경 $\varnothing 6$ mm, 외경 $\varnothing 8$ mm 정도의 것을 이용해서 제작한다. 비닐호스에는 매직잉크로 피조미터의 번호를 명기한다.

유황관찰은 흐르는 물에 색소를 투입하여 칼라사진과 비디오로 촬영하여 기록한다. 필요할 경우 입자영상추적장치(PIV)를 도입하여 유속 및 수리에너지를 계측 분석하는 동시에 유황을 정밀 관측한다.

마. 실험에 필요한 자료

저수지 여수로 수리모형실험에 필요한 자료는 실험의 목적과 정도 및 모형의 규모에 따라 다르나, 일반적으로 다음과 같은 자료가 필요하다.

1) 수문자료

홍수유출기록 또는 홍수량 산정에 사용한 강우기록, 저수지 홍수유입량 및 배제 계획량, 유역의 상황 (지형, 지질, 이용구분, 식물 피복상태 등) 및 사업 계획 평면도

2) 저수지 설계 일반 평면도

댐의 위치, 규모, 물넘이의 위치와 방수로 등의 배치, 상류 및 하류하천의 위치를 파악할 수 있는 평면도

3) 댐체 및 물넘이 구조도

수리모형 제작 및 수리계산을 점검하기 위해 사용되는 자료로 물넘이 유입

및 조절부, 방수로 및 조절부, 감세공의 중·횡단 평면도 등 각부의 상세도

4) 방수로 설계자료 (수리계산서)

5) 하류하천의 중·횡단 평면도

배수계산과 하류하천 모형의 제작에 사용되는 자료로 모형에서 1.0 m 이하 간격의 횡단도가 필요하나, 단면이 급변하는 지점은 0.2~0.5 m 간격의 횡단도가 필요함

6) 하류하천 홍수흔적 등의 자료

7) 물넘이 하류부근의 지질구조도 및 하류하천의 하상저질분포도

8) 물넘이 및 감세공의 형식에 대한 현지의 제약조건

9) 기타 필요한 자료

바. 실험결과 해석

모형실험 결과의 해석은 상사법칙을 적용할 때 생략된 물리적 성질, 모형에서 적용한 경계조건이 원형과 차이가 나는 부분 및 측정의 정밀도를 고려해야 한다. 모형실험은 원형에서의 구체적 수리현상이 모형에서 재현된다는 점에서 유효한 수단이지만 원형 구조물에 적용할 때는 주의를 요한다. 예를 들어, 저수지 여수로 수리모형실험에서 적용되는 프루드 상사법칙은 중력과 관성력의 관계만 고려하고 그 이외의 힘은 무시하나 실험 값에는 점성에 의한 변형 등이 포함되어 있다. 따라서, 여러 수리현상 중에서 모형실험을 통해 규명할 수 있는 것과 할 수 없는 것을 올바르게 판별하고 필요에 따라 보정해야 한다.

4.10.5 구조설계

가. 구조 일반

1) 물넘이의 위치 및 구조

가) 물넘이 설치는 매우 양호한 기초를 요구한다.

구조물 기초에서 요구되는 지지력은 개략적인 기준으로서 소요암반지지력 $R \approx 3.0 \times H$ (tf/m²), H : 벽높이 (m)이상이 필요하다고 한다. 특히 유입부, 감세부는 유수에 의한 충격이 가하여지므로 매우 양호한 암반(N치 50 이상) 위에 설치한다.

나) 굴착면은 산사태지대, 유반, 다량의 용출수지반을 피하고 안정된 원지반을 선정함과 동시에 필요에 따라 충분한 처리를 한다. 또한 사면의 붕괴문제는 굴착에 따른 원지반의 안정성의 상실 또는 강우지대에 있어서의 눈사태 등 복잡하므로 이들의 제 문제에 대비하기 위하여 지질조건 등을 충분히 조사

할 필요가 있다.

다) 유입부 부근은 침투수의 영향을 크게 받으므로 내구성이 있고 차수, 커튼 그라우팅 효과가 발휘될 수 있는 기반을 선정한다.

라) 노선전체로서는 직선형상이 바람직하고 또한 하류하천과의 연결이 원활하게 되도록 선정한다.

마) 댐 본체, 특히 차수부와의 평면적 연결은 하류폐쇄 (교각 $70 \sim 80^\circ$ 이하)로 하는 것이 바람직하고 하류로 벌어지는 것은 피하는 것이 좋다.

바) 필댐에서는 물넘이 굴착에 따라 생기는 굴착재료를 축제용 도로의 전용 및 시공진입로와의 관계를 고려하여 선정하는 것도 중요하다.

2) 측벽의 안정

물넘이의 측벽은 그 자체로서 안정한 구조로 하던가 또는 안정된 견고한 암반 지반에 완전하게 밀착시켜야 한다.

가) 캔틸레버로 한 높은 측벽에서는 구조 단면을 취하는 방법에 따라서는 큰 처짐이 예상된다. 신축이음매 또는 수축이음매에서 측벽의 처짐으로 인하여 이음매를 경계로 하여 측벽표면상에 단차가 생긴 경우는 유수를 저해하고 미관상도 좋지 않기 때문에 이음부에는 반드시 타월 바(towel bar)를 배치하고, 또 최대처짐은 예상한 하중이 작용하였을 때 측벽고의 $1/1,000$ 이하로 되는 구조단면을 채용한다.

나) 측벽을 옹벽구조로 하는 경우에는 다음 조건을 만족시켜야 한다.

① 전도에 대한 안전성

· 상시 $e \leq B/6$ · 지진시 $e \leq B/3$

여기서, e : 편심거리(m), B : 바닥판 폭(m)

② 활동에 대한 안정성

· 상시의 안전율 1.5 이상 · 지진시의 안전율 1.2 이상

③ 측벽을 앵커로 원지반에 고정하는 때는 앵커의 극한 내력은 원칙적으로 인장실험을 하여 결정해야 한다.

3) 측벽구조 형식

측벽 구조계산은 옹벽계산에 준하여 현지여건에 따라 L형 옹벽, 앵커형 옹벽, 역T형 옹벽, 부벽식 옹벽 중에서 가장 경제적인 측벽형태로 설계한다.

4) 드레인

물받이 유입부 그라우트 커튼의 하류에 있어 도수로 측벽의 배면이나 수로 저하부에는 필요에 따라 드레인을 설치하고, 침투수를 안전한 위치까지 도수로 방류한다. 또 도수로 굴착 비탈면의 우수가 측벽 마루의 뒤측에 침입

하지 않도록 배수로를 설치하는 것이 바람직하다.

드레인의 설계에 있어 일반적 사항을 들면 다음과 같다.

① 유입부로의 원지반 침투수를 방지함과 동시에 저수지내로부터의 침투를 방지하기 위해서는 그라우트 커튼을 시공하여 유입부 하류의 구조물에 유해한 양압력을 최소한으로 한다. 또 그라우트 커튼 이후의 침투수를 드레인에 의하여 안전하게 배제하여 양압력이 생기지 않도록 설계하는 것이 중요하다.

② 도수로 측벽에는 원칙적으로 횡단 드레인을, 바닥부에는 언더드레인(underdrain)을 설치하여 양압력의 경감을 도모한다.

③ 간선 드레인이 한 줄이면 폐쇄되는 일이 있고, 이때 침투수가 이곳에 집중하여 드레인이 없을 때 보다도 피해를 크게 받을 염려가 있으므로 간선드레인 파이프는 적어도 두줄 이상으로 하여 서로 연결시키는 것이 바람직하다.

④ 드레인 파이프의 유출구는 고속류의 콘크리트면에 직접 나오지 않도록 하며, 도수로 말단의 유속이 느린 위치, 체사(滯砂)에 의한 배수의 장애가 일어나지 않는 위치, 또는 배수로 측벽의 계획수면보다 높은 위치로 한다.

⑤ 측벽의 배수공(weep hole)의 능력은 보통 작으므로 우수가 침입하면 측벽에 예상하지 않았던 수압이 걸리므로 인하여 파괴의 원인이 된다. 측벽말단의 소단은 반드시 점토, 콘크리트, 아스팔트 등으로 우수가 침입하지 않도록 보호해야 한다.

나. 유입부의 구조설계

1) 접근수로

가) 접근수로의 라이닝

물넘이 유입수로의 바닥면 및 사면의 지질이 불량한 경우 또는 이 부분이 유수에 의한 세굴등이 생길 염려가 있는 경우에는 라이닝을 해야 한다. 라이닝에는 콘크리트 라이닝, 사석공, 블랭킷 등이 있으나 현지 조건에 적합한 방법을 선택한다. 다량의 흙깎기를 하여 물넘이를 설치하는 경우는 유수가 접하는 부분뿐만 아니라 상부절토 사면에 대하여도 사면의 안정도를 확인하며, 원지반 붕괴에 의하여 물넘이가 폐쇄되지 않도록 처리해야 한다. 누수를 방지하기 위하여 콘크리트라이닝을 하는 경우에는 이음부에 적당한 동지수판을 설치한다.

나) 유목제거

유목, 토사 등 유입에 의하여 물넘이가 손상하거나 폐쇄될 염려가 있는 경우에는 이들의 침입을 확실히 방지하기 위하여 유입수로 또는 상류에 적절한

시설을 해야 한다. 게이트가 있는 물넘이 유입부가 오리피스식이고 도류부가 터널식인 물넘이일 때에는 특히 이와 같은 위험성이 많으므로 이에 대비할 수 있는 보호책이 필요하다. 터널의 경우, 유목이 유입했을 때에도 피해를 작게 하기 위하여 가능한한 평면적으로는 직선으로 하고 종단방면의 만곡도 되도록 완만하게 하는 것이 바람직하다.

보호책의 종류로서는 월류면에서 조금 떨어진 곳에 스크린을 세우거나, 월 상류에 플로트(float)를 단 것을 횡단시키므로써 방지하는 방법 등이 있다. 그러나 이들이 불확실하면 오히려 재해를 크게 하는 수도 있다. 스크린바의 간격이 너무 작으면 소정의 통수능력을 얻지 못할 수 있음을 유의해야 한다.

2) 조절부

가) 조절부 기초의 지수

물넘이와 제체의 접합부 및 물넘이 조절부의 기초는 그라우팅 또는 기타의 방법에 의하여 완전한 지수를 도모해야 한다.

원지반에 설치한 물넘이의 기초는 완전하게 지수하고 불필요한 양압력이나 유입부하류에 과대한 누수가 생기지 않도록 한다. 방법으로는 그라우팅이 가장 많이 채용된다. 측수로형 물넘이, 월류식 물넘이, 슈트식 물넘이의 조절부 기초는 완전하게 지수하고, 조절부 하류에 불필요한 양압력을 일으키지 않도록 설계한다. 이 방법으로서의 그라우팅이 가장 보통이나 기초지반에 따라서는 표면 브랑켓 등에 의한 방법이 효과적인 경우도 있다.

나) 조절부의 수축이음

물넘이 조절부 바닥부의 이음에는 모두 동지수판을 설치하여 누수를 방지한다. 지수판은 그라우팅 커튼의 최상단부에서 최상면(crest) 또는 문틀홈의 철물에 견고하게 연결시켜야 한다. 조절부의 지수를 완전히 하기 위하여 수축이음매에 동지수판을 설치하여 누수를 방지하고 동마루 하류의 양압력을 최소한으로 억제한다. 이때 수축이음이 문받이의 철물과 교차하는 경우에는 교차점의 문받이 철물도 반드시 수축 가능한 구조이어야 한다.

다) 월류웨어의 안정

조절형 물넘이에서 웨어의 구조계산은 ① 만수위, 수문 폐쇄, ② 만수위, 수문 폐쇄, 임시수문 설치시, ③ 만수위, 수문 폐쇄, 인접수문 개방 등 각 항에 대하여 안정을 확인해야 한다.

라) 방수로 측벽의 안정

물넘이와 방수로의 측벽은 그 자체로서 안정된 구조로 하던가 또는 안정된 기초지반에 견고하게 밀착시켜야 한다.

마) 안정성의 검토

유입부의 구조는 댐 제체 및 기초지반과 저수지의 지장을 끼치지 않는 구조로 하고 또 고려되는 하중에 대하여 안정된 구조이어야 한다.

게이트가 있는 물넘이는 게이트를 설치하기 위한 문받이의 철물, 앵커, 상부 조작성 등으로 인하여 상기의 기준에 의하여 계산한 단면보다 최종적으로는 큰 단면을 필요로 하는 경우가 많다. 또 구조물은 단순한 모양이 설계상 편리한 경우가 많다. 이는 하중조건이 단순하게 되기 때문에 실제에 가까운 응력 상태로 설계된다는 이점이 있다.

다. 도류부의 구조설계

1) 슈트식

가) 도수로의 라이닝

물넘이 도수로의 바닥면 및 측벽은 장기간 평활한 면을 유지하도록 콘크리트 라이닝을 하고 수류에 의한 내구성을 고려하여 수밀성 구조로 하고 최소두께는 30~50 cm로 한다.

나) 수로터

도수로는 일반적으로 급경사임으로 콘크리트 라이닝이 하류에 이동하지 않도록 적당한 간격으로 지수벽이나 앵커 등을 설치한다. 이 간격은 시공속도, 경사각도 등에 따라 결정해야 하지만 지수벽인 경우는 보통 30 m 전후로 한다.

라. 감세공

1) 감세공의 구조

감세공내에 물이 흐르지 않을 경우에는 수로바닥에는 하류측 수위의 수두 또는 이보다도 높은 수압원에서 수압을 받는 경우는 이에 알맞는 수두와 같은 양압력이 작용한다.

물이 흐르고 있는 경우에는 도수에 의한 수면형과 같은 물의 중량과 하류측 수위의 수두와 같은 양압이 작용한다. 이 경우 감세공의 상류측에서는 양압력이 물의 중량보다도 훨씬 크게 되기 때문에 충분한 배수시설을 설치함과 동시에 감세공의 바닥은 이 수압의 불균형에 대해서도 충분히 저항되도록 무겁게 하여둘 필요가 있다.

2) 호안 및 바닥보호공

하천의 상황에 따라서는 감세공에 있어 유수의 수세를 어느 정도 완화한 후에도 종전의 하상에 있어서의 유수의 수세상태로 회복되지 않는다고 생각되는 구간에는 적당한 호안이나 바닥보호공 등의 시설을 설치한다.

4.11 취수시설

4.11.1 일반사항

취수시설 및 물넘이 이외의 방류시설은 최대취수량 이하의 유수를 안전하게 취수 또는 방류할 수 있는 구조로 한다. 유수의 수세를 완화할 필요가 있을 경우에는 적당한 감세공을 설치하도록 한다. 이들 시설은 제체 및 기초지반과 더불어 저수지에 지장을 주지 않는 구조로 한다.

취수시설은 저수지로부터 물을 취수하기 위한 제반 시설을 말하며, 저류수를 관개용수 등에 이용하려면 적합한 취수시설을 설치한다. 특히, 관개용 댐은 수량 및 수질은 물론 온수취수를 위하여 저수지 표층의 온수를 취수할 수 있도록 적당한 취수방법 등을 고려해야 한다. 또한, 취수탑 및 연결교량 등은 주변경관과 지역의 문화적 특성을 고려하여 주변환경과의 조화를 도모하고 경관 훼손을 최소화하도록 한다.

가. 설계시 유의 사항

- ① 원칙적으로 저수지의 표면 온수의 취수가 가능할 것
- ② 취수기구가 복잡하지 않을 것
- ③ 유지관리가 편리할 것
- ④ 유수 때문에 진동 또는 진공 등이 발생하지 않는 구조로 할 것

나. 취수시설의 선정

취수시설을 설계함에 있어 우선 취수탑과 사통을 먼저 결정한 후 지형여건을 고려하여 가배수로를 선택하고 취수목적 및 경제성과 취수량에 의해 위치와 형식을 선정한다.

1) 일반적으로 취수탑은 댐 높이(H)가 30 m 이상인 경우, 사통은 30 m 이하의 낮은 댐의 경우에 적용되지만, 긴급적 취수탑을 선택하는 것을 우선으로 고려한다. 또한, 사통은 제체와 분리시켜 설치하고, 복통은 가능하면 터널로 하는 것이 바람직하다.

2) 취수시설의 조합

취수부와 방류부의 조합 유형을 결정할 때에는 지형, 지질, 이용수심, 취수

의 목적 및 규모, 향후 유지관리, 시공성, 경제성 등을 검토해야 한다.

① 댐 높이가 30 m 이상인 경우에는 취수탑과 가배수로로 이용한 취수터널과의 조합을 원칙으로 한다.

② 취수탑과 복통, 또는 사통과 취수터널을 조합하는 것은 소규모 댐의 경우에 적용될 수 있다.

③ 댐 높이가 30 m 이하인 경우에는 제반여건에 따라 사통과 복통을 고려할 수 있다. 그러나, 가능하면 ①의 경우를 선택하도록 한다.

다. 설계순서

사통 및 취수탑의 설계절차는 수리설계와 구조설계로 구분된다.

1) 취수시설의 구성 및 형식 결정

① 취수시설의 위치와 형식을 선정한다.

② 취수의 규모를 결정한다.

③ 취수형식별 장점과 단점을 비교한다.

2) 취수공의 수리 계산

취수공을 배치하고, 취수공의 유량을 계산한다.

3) 구조 설계

① 사통 또는 취수탑에 대한 구조를 설계한다.

② 스크린, 공기구멍(air-vent), 게이트 등 부대시설에 대한 설계를 한다.

4.11.2 취수계획

가. 온수 취수

댐을 신설하는 경우 온수 취수에 대하여 충분히 고려해야 하며, 온수취수시설의 형을 결정함에 있어서는 효과, 가능성, 공비 등을 검토할 필요가 있다.

댐의 수심수온곡선의 추정은 지리적, 시기적 조건, 유입하천의 유입량, 댐으로부터의 유출량과 수온, 일조, 기온, 바람, 저수지의 규모 형식 등을 고려하면서 부근의 유사한 댐으로부터 추정하는 것이 보통이다. 온수 취수의 방법으로서 표층취수가 있으며, 이를 위해서 플로우팅 게이트, 실린더 게이트, 다단 게이트, 다공 오리피스 등이 이용되고 있다.

나. 탁수대책

댐을 설치한 경우 일반적으로 홍수시의 저수지내에는 물이나 토사와 함께 미세점토 입자 등에 의한 탁수가 장시간 저장되기 때문에 댐에서 방류수의 탁

수현상이 장기화하는 경향이 있다. 이런 경우 홍수시 및 그 이후의 방류시에 될 수 있는 한 고농도의 탁수를 방류하여 빨리 탁수를 저수지 외로 내보냄과 동시에 필요한 경우에는 선택 취수를 한다.

4.11.3 취수시설의 위치 및 형식

취수시설은 지형, 지질, 취수의 목적, 취수규모, 경제성 등을 검토하여 위치와 형식을 선정한다.

가. 취수시설의 구성

취수시설은 취수부, 조절부, 도수부로 구성되며, 적시 적량의 취수를 용이하게 할 수 있도록 가장 적절한 조합이 되도록 선정해야 한다. 취수시설의 형식에는 무압식과 유압식이 있고, 설치하는 장소에 따라 분리형과 제체부속형으로 구분된다. 또한, 취수방식에 의하여 일반취수방식과 선택취수방식으로 분류하기도 한다. 취수설비는 취수구 본체와 각종 게이트류, 개폐장치, 스크린 등의 부속설비, 수위계, 각종 경보 및 보안장치에 의하여 구성된다. 각 부별 구성요소는 다음과 같다.

1) 취수부는 저수지의 유수를 취수하기 위한 사통 또는 취수탑을 말한다. 취수탑은 취수목적에 따라 농업관계, 발전, 상수도, 공업용수 등의 단일 또는 복합 공용인 것이 있고 목적에 따라 구조형식이 달라진다. 보통 취수탑은 원형철근 콘크리트 탑에 여러 개의 밸브 또는 수문을 붙인 형식이 많으며, 관개용의 온수취수 형식으로는 부표형과 같은 특수한 방법이 이용되고 있다. 사통의 주요부는 관체와 부속물인 밸브 및 게이트, 조작장치, 스크린, 관리용 계단 등으로 구성된다.

2) 조절부는 취수량을 조절하기 위한 게이트 및 밸브류이며, 조절위치는 취수공부, 취수터널 또는 플러그(plug)부 압력관로의 입구, 중간 또는 출구부를 말한다.

3) 도수부는 취수를 제외로 도수하기 위한 취수터널, 복통 및 감세공이다 여기서 취수터널이란 제체의 원지반을 관통한 수로터널을 말하며, 또 복통이란 제체하의 기초지반내에 매설한 통관을 말한다. 댐 부대터널 외 댐축과의 교점부근에는 플러그, 지수벽을 설치하고, 또 커튼 그라우팅을 하여 댐내의 물이 터널을 따라서 유출하는 것을 방지하는 공법을 취하고 있다. 이 플러그부는 압력관로로 도수하게 된다. 도수부는 취수부와의 연결부에서 압력관로로 하여 그대로 제외까지 도수하고, 제외의 감세공에서 감세해서 도수도로 도수

하는 방식과 압력관로로 플러그 직하류까지 도수하고 터널내로 방류하여 개수로의 흐름으로 해서 취수터널, 제외 도수로로 도수하는 방식이 있다.

4) 필댐은 제체의 점검, 수리 등으로 인하여 방류 시설을 해야 하나 이를 위해서 방류시설을 취수시설이 겸할 때에는 계획통수량이 커지고 터널 내의 감세가 곤란해지는 경우도 생각할 수 있다. 취수시설의 각부의 구조, 기능 등을 분류하면 표 4.11.1와 같다.

표 4.11.1 취수시설 각부의 분류

구 성	항 목	분 류
취수부	종 류	·사통, 취수탑, 기타(입통, 복통)
	구 조	·철근콘크리트제, 철제, 기타
	취수 형식	·월류형 : 완전월류형, 수중월류형 ·오리피스형 : 자유유출형, 수중유출형 ·표층취수형, 저수취수형
조절부	수문 위치	·취수공부 ·취수터널 : 복통입구, 복통중간부, 복통출구
	수문 종류	·게이트 : 슬루스게이트, 롤러게이트, 제트플로게이트 ·밸브 : 슬루스밸브, 버터플라이밸브, 콘밸브, 할로제트 밸브 ·유량측정장치 : 전자유량계, 초음파유량계, 벤투리미터
	조작 방법	·권양기 : 스피들식, 윈치식, 유압실린더식, 유압램식, 유압 모터식 ·동력 : 인력식, 모터식, 엔진식 ·조작방법 : 현장조작, 원격조작, 전동조작, 수동조작
도수부	종 류	·취수부 연결부 : 플러그 관로, 제외감세공, 개수로(제외) ·취수부 접속부 : 플러그 관로, 터널내감세공, 개수로(터널, 제외)
	제 내 유 로형식	·압력형 ·비압력형

나. 취수시설의 위치

지형과 지질면에서 댐의 계획평면도, 댐 부근의 지질도와 현지조사를 통하여 사통, 취수탑, 복통, 터널 등의 형식을 선정하고, 설치 위치를 정한 후 예정된 위치에 대해서는 시굴, 보링, 기타 적당한 방법으로 지질을 확인한다. 주요 구조물의 기초 조건은 어느 경우이던 암반이어야 하며, 사통이나 연결박스의

경우에는 물에 의해 세굴되지 않은 경우라면 치밀한 토질도 가능하다. 주요 구조물의 기초조건은 표 4.11.2과 같다.

1) 취수탑

취수탑은 충분한 지지력과 내구성이 견고한 암반에 건설되어야 한다.

2) 사통

사통은 양호한 원지반에 설치해야 한다. 낮은 댐의 경우 부득이 체체 비탈면에 설치해야 할 경우에는 압밀침하로 인한 고장이 생기지 않도록 설계해야 한다. 또한 사통 주변의 토사가 취수공 및 슬루스 밸브에 영향을 주지 않는 구조로 설계한다.

3) 복통

복통은 취수탑 또는 사통, 그리고 임시배수로와 연결하기에 적합하고 지반이 좋은 위치에 설치하여야 하며, 높은 필댐에서는 댐 밑에 복통을 설치하지 않는 것이 좋다. 특히 복통을 통한 누수를 방지하기 위한 지수대책에 유의하여야 한다.

4) 취수터널

취수터널은 취수탑, 임시배수로와 연결하기에 적합하고 지반이 좋은 위치에 설치해야 한다.

표 4.11.2 구조물의 기초조건

구조물별	기 초 의 조 건
사 통	·되도록이면 암반일 것. 암반이 아닌 경우에는 저수에 의해서 포화되어도 붕괴하거나 필요한 지지력을 잃지 않는 양호한 지반일 것.
취수탑	·저수에 의해 포화되어도 필요한 지지력을 잃지 않는 내구성이 있는 암반일 것
취수터널	·되도록 피복이 두꺼운 수밀하고 안정된 암반일 것
연결박스	·대댐에서는 취수탑과 같음. 소규모댐에서는 유수의 진동에 의해서 침하하거나 유동하지 않는 지지력이 충분하고 안정된 토질이면 암반이 아니더라도 좋다.
복 통	·양질의 원지반일 것. ·일부분이라도 성토되어서는 안 된다. ·대댐에서는 암반이 바람직하다.

터널은 될수록 산에 직각으로 통하도록 들어가서 충분한 덮이에 달한 지점에서 하류쪽으로 만곡시키는 것이 좋으며, 길이를 짧게 하기 위하여 댐에 너무 접근시키는 것은 누수방지를 위해 좋지 않다. 터널 단면의 크기는 계획최대 취수량 또는 임시배수로 가운데 큰 것을 택해야 되나 시공과 유지관리상 지름은 1.8 m 이상으로 한다. 터널의 댐 상류쪽에는 반드시 수밀 그라우팅을 하여야 한다.

다. 취수시설의 형식 선정

1) 취수의 목적 및 규모

취수설비를 설치하는 목적으로는 ① 관개, ② 발전, ③ 상수도 등을 위한 취수, ④ 홍수의 방류, ⑤ 홍수조절, ⑥ 하천의 정상적 기능유지를 위한 방류, ⑦ 점검·수리 및 유지관리를 위한 방류, ⑧ 공사중의 가배수, ⑨ 저수지 저위부의 냉수를 방류하여 온수층을 두껍게 하는 등의 목적을 가지고 있다. 취수시설은 이와 같은 목적에 알맞고, 그 중에서 최대의 취수량을 안전하게 취수 및 방류할 수 있어야 한다.

표 4.11.3 구조물별 장·단점 비교

구 분	구조물	장 점	단 점
취수부	사통	· 취수탑 보다 공사비가 적다. · 지지력이 약한 지반도 가능하며 시공이 용이하다. · 구조적으로 안정하고 유지관리가 용이하다.	· 원지반 경사가 느리면 연장이 길어지고 축관조작의 경우는 고장을 일으키기 쉽다.
	취수탑	· 수문의 조작용이 용이하다. · 위치의 선정에 제약이 적다. · 온수의 취수가 용이하다.	· 공사비가 사통보다 비싸다. · 유지관리가 사통보다 어렵다 · 원칙적으로 견고한 기초암반이라야 한다.
도수부	취수터널	· 저수 침투에 안전하다. · 토압, 지진력에 안전하다. · 유지관리가 용이하다.	· 소단면 시공이 곤란하다. · 소규모의 것은 복통보다 공사비가 비싸다.
	복통	· 취수터널에 비하여 공사비가 적다.	· 저수침투에 위험성이 있다. · 성토, 토압, 지진에 불안정하다. · 유지관리가 곤란하다.

2) 형식에 의한 특징

지형, 지질, 취수목적, 규모 등이 정해지면, 구조물의 위치, 형식은 저절로 정해지는 경우가 많은데 보통은 저수의 침투에 대해서 위험한 요소가 많으므로 대규모의 댐에서는 가급적 피하도록 한다. 그리고 사통은 소규모의 댐에 많이 사용되어 왔으나 대규모의 댐에서도 경우에 따라 취수탑에 비해서 유리한 요소가 많으므로 적용을 고려하기도 한다. 각 구조물의 형식별 특성을 비교하여 주요 장·단점을 정리하면 표 4.11.3 과 같다.

3) 가배수로와의 겸용

취수터널 또는 보통은 경제적인 면을 고려하여 공사중의 가배수로와 겸용할 수 있도록 설계한다. 가배수 터널은 물넘이 방수로로 이용되는 경우도 있으므로 이런 점을 종합하여 계획단계에서 비교해 둘 필요가 있다.

취수터널 또는 보통에 부대되는 연결박스, 토사토 수문, 조절 수문 등은 가배수로로서 사용하기 전에 완전히 시공하여 두는 것이 바람직하지만 계획 최대취수량에 비해서 가배수량이 과대할 경우에는 댐을 완성한 후에 단면을 축소하여 이용하는 편이 유리한 경우가 있다.

4.11.4 취수부의 수리설계

가. 취수공의 수리 계산

1) 취수공 배치시 고려사항

취수공에 수문을 달아서 취수량을 조절할 경우에는 수문조작의 안전을 위하여 조작수심을 가능하면 10m 이하, 특히 상부는 5m 이하가 되도록 취수공을 배치하는 것이 좋다. 농업용수댐에서 온수취수가 필요한 경우에는 온수층을 고려하여 취수공을 배치하여야 하며 저수지의 수위-저수량곡선을 참고로 하여 취수공의 간격을 하부로 내려 갈수록 크게 하는 것이 합리적이다.

2) 취수공의 표고 결정

온수취수 및 원활한 관개를 위하여 취수공의 간격을 하부로 내려 갈수록 크게 하고, 최하부의 취수구멍은 가급적 배사구를 겸하도록 하는 것이 좋다. 제1 취수공은 만수위에서 2~3 m 아래에 설치하고 내용적 곡선에 의하여 일정량의 수량을 등분하여 결정한다.

3) 취수공의 유량 계산순서

취수공의 취수게이트의 형식을 결정하고, 이에 따른 완전월류와 수중월류, 오리피스 등의 수리현상을 파악하여 해당 수리공식을 적용하여 계산한다. 유량 계산은 작은 오리피스, 큰 오리피스 및 원형 오리피스로 나누어 계산한다. 그러나, 실제 설계에서는 구멍이 벽면의 수평면과 이룬 각도에 의하여 보정해야 하고, 취수의 조절을 위하여 2~3개 구멍을 동시에 개방하여 최대 소요수량이 유출되도록 구멍의 지름, 간격 및 구멍 수를 결정하는 일이 많다.

나. 설계취수량의 결정

댐의 저수위와 취수량의 관계에서 가장 엄격한 조건을 만족하는 취수조건을 결정한다. 이때 하천의 정상적인 기능유지를 위하여 방류량을 포함하는 경우도 있다.

취수부에 있어서 전수두를 H, 각종 손실계수를 f_i (고수위시는 취수부 스크린손실, 웨어손실, 취수탑내 마찰손실, 취수터널 입구손실, 마찰손실, 출구손실, 게이트손실 등, 저수위시는 고수위시의 손실중 웨어손실, 취수탑내 마찰손실을 제외함)라 하면 식 (4.11.1)의 관계를 얻는다. 여기서, 마찰손실은 $f = \lambda \frac{\ell}{D}$ 로 나타내며, λ : 마찰손실계수, ℓ : 관로장, D : 직경이다.

$$H = \sum f_i V_i^2 / 2g \quad \dots\dots\dots (4.11.1)$$

여기서, V_i : 각 부분의 평균유속, a_i : 각 부분의 단면적

또, $\sqrt{\sum (\frac{f_i}{a_i^2})} = \frac{1}{K}$ 로 놓으면 식 (4.11.2)은 식 (4.11.3)와 같이 표현된다.

여기서 K는 각 구조물의 크기, 배치에 의해서 정해지는 양이며, 유량에 관계가 없는 양이다.

$$K = Q / \sqrt{2gH} \quad \dots\dots\dots (4.11.2)$$

과거 자료에서 K가 최대가 되는 Q, H의 조합을 구하면, 이것이 설계조건이 된다. 갈수년에 대하여 과거의 자료에서 Q, H의 조합, 즉 K의 연간 변화곡선을 구하고, K의 최대치 K_{max} 을 결정한다. 최저수위 H_{min} 로 K_{max} 를 만족하도록 설계유량 Q_a 를 결정한다.

$$Q_a = K_{max} \sqrt{2gH_{min}} \quad \dots\dots\dots (4.11.3)$$

$$\text{또, } K_{max} = 1 / \sqrt{\sum (f_i / a_i^2)} \quad \dots\dots\dots (4.11.4)$$

식 (4.11.4)을 만족하도록 각부의 단면적, 길이 등의 치수를 결정한다.

다. 취수탑 및 사통의 유량식

1) 월류형 취수게이트의 유량

가) 완전월류인 경우 (측벽에 의한 축류가 없는 경우)

$$Q = CBh^{3/2} \dots\dots\dots (4.11.5)$$

여기서, Q : 월류량(m³/s)

C : 유량계수로 후란시스(Francis) 공식 C = 1.84,

레복 공식 C = 1.785 + 0.237(h/D), B = 게이트의 폭(m),

h : 월류수심(m), D : 월류웨어마루에서 저수지바닥까지의 깊이(m)

나) 수중월류인 경우

$$\text{벨몬트 공식 } Q = Q_1 \left\{ 1 - \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^n \right\}^{0.385} \dots\dots\dots (4.11.6)$$

여기서, Q : 월류량, Q₁ : 월류수심 h₁에서 완전 월류시의 유량,

h₁ : 웨어마루기준의 상류수심, h₂ : 웨어마루기준의 하류수심

n : 계수로 측벽에 의한 축류가 없을 때 n = 1.50, 축류가 있을 때 n = 1.45

2) 오리피스형 취수게이트의 유량

가) 작은 오리피스인 경우

$$Q = CA\sqrt{2gH} \dots\dots\dots$$

(4.11.7)

여기서, Q = 유입량(m³/s), C : 유량계수 대략 0.62, A : 구멍의 단면적(m²), g : 중력가속도(9.8 m/s²), H : 수면에서 구멍 중심까지의 깊이(m)이다.

나) 큰 오리피스인 경우

① 원형 오리피스

$$Q = C\pi r^2\sqrt{2gH} \dots\dots\dots$$

(4.11.8)

② 직사각형 오리피스

$$Q = \frac{2}{3} Cb\sqrt{2g} (H_2^{3/2} - H_1^{3/2}) \dots\dots\dots (4.11.9)$$

여기서, r : 구멍의 반지름(m), b : 구멍의 나비(m), H₁ : 구멍 상단까지의 수심(m), H₂ : 구멍 상단까지의 수심(m)이다.

4.11.5 구조설계

가. 취수부

취수시설의 취수부 구조는 입지조건이나, 규모, 목적에 따라 사통방식, 철근콘크리트취수탑방식, 철골취수탑방식, 플로트방식 등 많은 종류가 있다.

1) 사통

가) 사통 기초

- ① 관체의 지반 조건은 양호한 원지반에 설치해야 한다.
- ② 관체 종단방향의 기울기가 급한 경우에는 활동방지를 위하여 5~10 m 마다 활동방지 층따기를 실시한다.
- ③ 기초 기울기가 60°를 넘는 것은 장시간에 걸쳐 원지반이 붕괴할 우려가 있으므로 특히 양질 암반일 경우를 제외하고는 피하도록 한다.
- ④ 기초지반의 상황에 따라 부득이 직선으로 할 수 없을 때에는 유압식 개폐장치를 사용하도록 한다.
- ⑤ 사통을 지지하는 기초형식은 기둥 또는 벽체기초를 원지반에 설치하여 지지하는 방법과 원지반을 기초로 하여 원지반에 직접 관체를 설치하는 방법이 있으나, 제체 비탈면위에 사통은 될 수 있는 한 피하도록 한다.

나) 관체 단면

- ① 사통 관체는 규모가 큰 것은 현장타설 철근콘크리트구조 또는 원형관 구조로 하고, 관내부 전체 또는 굴곡부를 철제로 하는 경우도 있으나 보통의 경우는 흡관을 철근콘크리트로 보강하여 사용한다.
- ② 관체에 작용하는 외력은 계획 최대 저수위에서의 수심에 상당하는 수압, 관체를 되메운 토압, 게이트, 권양기, 스크린 등의 중량 및 조작력, 유수의 동수압, 기초면에 100 %의 양압력이 작용할 경우는 관체적에 상당하는 부력, 관내에 진공이 생길 때의 부압, 빙압, 관의 경사에 의한 추력, 지지력 등이 있으나 이중에서 특히 주의할 것은 동수압, 부력, 부압이다.
- ③ 동수압에 대한 대책으로는 관의 굴곡부 또는 기초 층따기 등에 앵커를 설치한다.
- ④ 부력에 대해서는 덧씌움 콘크리트를 하여 중량을 키우거나 ③의 방법을 사용한다.
- ⑤ 부압 발생을 방지하기 위해서는 필요한 개소에 공기구멍(air-vent)을 설치한다.
- ⑥ 관체의 통수단면적은 취수공 단면의 2배 정도를 표준으로 한다.

2) 취수탑

취수탑의 구조 형식은 취수 목적과 규모, 경제성, 안정성을 고려하고 향후의 유지관리에 편리한 것으로 한다. 취수탑의 구조는 철근콘크리트와 철골구조로 대별할 수 있으며, 어느 것이나 저수지내에서 자립 또는 반자립하여 각종 게이트, 밸브나 도수부의 일부를 유지하고 있다. 취수탑의 수리 및 구조설계 방법은 「취수탑설계자동화시스템 개발보고서(농어촌진흥공사, 1999)」의 메뉴얼을 참고로 하고 지진에 대한 안전도를 검토한다.

가) 구조설계 조건

취수탑의 설계에서는 먼저 각 부의 크기를 적당하게 정하고 그것이 안정한가를 계산한다. 만일, 안정되지 않은 경우 다시 그 크기 또는 두께를 변경하고 철근량을 증가시키는 등의 방법을 강구하며, 그후 다시 취수탑의 몸체 및 각 부의 안정에 대한 검토를 하여 크기, 두께, 철근량 등을 확정한다.

나) 철근콘크리트 취수탑의 경우 벽 두께는 하위부에서는 수심에 따라 1~2 m 이상, 최상부는 0.5 m 이상, 기초의 푸팅두께는 균열이 없는 암반상에서도 60 cm 이상이 바람직하다. 취수탑 안지름은 시공상 최소 2.0 m 이상으로 한다.

다) 취수탑의 안정도 검토

(1) 기초지반은 탑체의 중량 즉 압력에 대하여 충분히 견딜 수 있어야 한다. 편심하중, 파압, 풍압 등의 전도에 대한 안정한계 내에서 최대압축응력이 지반의 허용내압강도보다 작으면 기초지반은 안전하다.

(2) 탑체가 외력의 활동에 대하여 안전하여야 한다. 탑체 및 기타 수직하중에 대한 푸팅(footing) 하부의 마찰력이 수압, 풍압 등 수평방향의 외력보다 커야 한다.

$$n = \frac{\mu \sum V}{\sum H}$$

식에서, n = 마찰안전율(≥ 2), μ = 마찰계수, $\sum V$ = 푸팅접촉면에 작용하는 총연직력(tf), $\sum H$ = 총수평압력(tf)

(3) 탑체의 전체가 외력의 전도에 대하여 안전하여야 한다. 전도에 대한 취수탑의 자중 및 기타 수직력에 의한 저항모멘트와 풍압, 파압, 교량의 편심하중 등에 의한 전도모멘트와의 비가 1.5 이상의 안전율을 확보하여야 한다.

$$n = \frac{\sum VL_v}{\sum HL_b}$$

식에서, n = 전도에 대한 안전율(≥ 1.5), V = 취수탑의 자중과 교량의 편심하중(tf), L_v = 각 하중의 작용선에 사용하는 풍압, 파압 등을 받는 쪽과 반대쪽의 푸팅 하단에 이르는 수직거리(m), H = 풍압, 파압 및 교량의 편심하중

(tf), L_h = 각 압력 및 편심하중의 작용선에 사용하는 푸팅 밑면 및 취수탑의 중심선에 이르는 거리(m),

라) 취수탑 전체에 대한 안정 검토외에 탑체 각부에서도 풍압, 파압, 교량의 편심하중 등에 의한 전도모멘트 때문에 일어나는 압축응력 및 인장응력에 대한 안정검토를 실시하고, 아울러 저판돌출부분, 탑마루, 슬라브, 연락교량의 단면 등에 대해서도 검토한다.

나. 조절부

1) 게이트와 밸브

가) 지형적으로 하천이 낮고 사수위가 높은 경우(30 m 이상)에 용수로 표고를 낮추지 못하고 취구관을 취수터널로 겸용하면 부득이 압력을 받기 때문에 밸브를 설치하여야 한다. 게이트와 밸브는 해당 취수시설의 입지조건이나 규모, 목적에 따라 가장 적합한 것을 선택하도록 한다. 게이트 및 밸브에 대한 상세한 내용은 4.13절을 참조한다.

나) 게이트 설계시 고려사항

게이트 설계시에는 ① 하중에 대하여 안전할 것, ② 개폐가 용이할 것, ③ 閉止시 수밀성이 확보될 것, ④ 유량조절이 사용목적에 따라 가능할 것, ⑤ 내구성이 있을 것, ⑥ 보수 점검이 용이할 것 등을 고려해야 한다.

2) 감세공

감세공의 구조상 유의할 점은 고속방류수에 대한 콘크리트부재 등의 수압과 더불어 마모침식의 문제이다. 일반적으로 댐의 방류에는 방류설비에서나 취수설비에서도 상당한 고속류가 나타나므로 이에 대한 유지관리를 위하여 구조설계 및 재료 선택면에서 고려할 필요가 있다.

가) 수류에 의한 동수압

(1) 사출수가 충돌하는 판의 경우

$$P = C W_o \frac{V^2}{2g} A \dots\dots\dots$$

(4.11.10)

여기서, P : 동수압의 총량 (판의 항력)(t)

C : 항력계수로 사출수가 판에 충돌하여 직각으로 유향을 바꾸는 경우 0.5, 역방향으로 튕겨서 되돌아 오는 경우 1.0, 임팩트 박스(impact box)의 충격판과 같은 경우도 안전측을 채택하여 C = 1.0. W_o : 물의 단위중량 (tf/m³), V

: 사출수의 유속 (m/s), g : 중력 가속도 (m/s^2), A : 사출수가 충돌하는 면적 (m^2)

(2) 정수지의 배플피어의 경우 : 식 4.143 에서

P : 배플피어 (baffle pier)에 가하는 항력(t), C : 항력계수

V : 도수직전의 유속(m/s), A : 배플피어의 상류면 면적(m^2)

나) 고속류에 의한 마모침식

일반적으로 콘크리트 수로의 허용 최대유속은 3 m/s이고, 방수로 등에서 일시적 유수인 경우는 이것의 1.5배 (4.5 m/s) 이내로 되어 있다. 그러나 댐 수리시설에서는 이것보다 훨씬 유속이 크게 되므로 콘크리트의 두께를 늘리거나 철근, 기타의 방법으로 보강할 필요가 있다. 특히 취수시설에서는 기능상으로도 토사류를 동반하는 예도 있으므로 주의를 요한다. 수로구조물의 마모, 충격 대책으로는 다음과 같은 것이 있다.

(1) 진공처리나 숏크리트 등의 공법으로 콘크리트의 물-시멘트비를 낮게 한다.

(2) 콘크리트의 유체와 같은 합성수지 등의 약품을 주입한다.

(3) 콘크리트에 짧은 섬유를 분산시킨 보강 콘크리트를 사용한다.(유리 섬유 콘크리트 등)

(4) 콘크리트 표면에 내마모층을 만든다.(합성수지라이닝, 스틸라이닝 등)

3) 조절부의 위치와 주변 구조물의 설계

조절부의 형식 및 위치는 취수터널 등의 주변 구조물과 댐본체의 지수벽의 일연성을 확보하도록 결정해야 한다. 또 주변 구조물의 구조는 지수벽과의 위치관계에 따라 하중조건을 고려해야 한다. 여기서 주변 구조물이란 특히 필댐의 취수터널이 대표적인 것이다. 이것은 또한 가배수터널을 전용하는 경우가 대부분이고, 이 터널은 댐 공사용 뿐만 아니라 댐 담수후의 상태도 고려하여 설계시공할 필요가 있다. 사업상 부득이 가배수터널의 완성후에 취수조건이 변경되는 경우가 있는데, 이런 경우에 개조나 보강은 상당히 곤란하므로 유의할 필요가 있다.

다. 도수부

1) 구조의 기준

취수시설의 도수부는 철관로 또는 콘크리트 관로(터널의 경우도 포함)로 성립되며, 유수는 관로류 또는 자유 수면류로서 유하하게 한다. 만류시키지 않는 단면에서는 Manning 공식 등을 이용하고, 만류된 경우에는 관로의 공식에 의

하여 유속을 결정하여 통수단면을 산정한다. 종단기울기는 수로의 허용유속에 따라 제한을 받지만, 복통에서는 대략 1/50 ~ 1/100, 취수터널에서는 1/100 ~ 1/200의 범위가 적당하다. 그리고, 용수절약 및 소수력 발전을 고려한 콘벨브를 반영하여 설계한다. 구조상의 기준은 각각 「농업생산기반정비사업설계기준 수로터널편」을 참조한다.

2) 취수터널

가) 취수터널은 취수탑에 연결되므로 기초지반의 지질이 양호해야 하며, 단면은 표준마제형을 원칙으로 한다. 그리고 시공단면은 안전성과 경제성을 고려하여 시공상 필요한 최소 단면을 확보해야 한다.

나) 취수터널을 가배수로로 이용할 경우에 파이프라인은 압력을 받을 경우 설치하는 방향을 검토한다.

다) 취수터널은 임시 배수로와 겸용하는 경우가 많으므로 양호한 지반위에 설치하며, 댐터와 가능한 근접시키지 않는 것이 좋다. 지형에 따라서는 반 배수를 타유역에 방류하는 것이 유리하기 때문에 취수터널과는 별도로 가배수터널을 설치하는 경우도 있다.

터널은 되도록 양호한 원지반에 직각방향으로 내고, 충분히 피복한 후부터 하류로 곡선을 주는 것이 좋으며 연장을 짧게 하려고 댐 부지에 너무 접근시키는 것은 덧씌움을 두껍게 하거나 누수방지에 다액의 공사비가 소요되는 등 결국 비경제적인 결과를 초래하는 경우가 많으므로 주의를 요한다.

라) 터널 단면의 크기는 계획최대취수량 또는 가배수량중에서 큰 것으로 계획하는데, 터널공사, 그라우트공사의 시공 및 유지관리 측면에서 최소 단면은 내경(D)을 1.8 m 이상으로 하는 것이 좋고, 보통 표준 마제형을 사용한다.

원형단면의 터널은 내압에 대해서나 외압에 대해서도 적당하고, 수리상으로도 효율이 양호하여 대규모의 압력터널에 적합한데, 소규모의 터널에서는 시공이 약간 곤란하다.

외압을 주로 받는 터널 및 소규모터널에서는 보통 표준말발굽형 단면으로 하는데, 특히 소규모의 터널인 경우에는 인버트(invert)가 공사중의 토사 때문에 중앙부가 극단적으로 마모되는 경우가 있고 사람의 보행에도 불편하며 공사의 시공도 불완전하게 되기 쉬우므로 인버트에 철근을 넣거나 반경을 적당히 크게 하거나 내측을 평탄하게 시공하는 방법도 있다.

또 과도하게 굴착된 단면은 반드시 콘크리트를 쳐서 충전하고 덧 씌우는 콘크리트의 배면에는 간극이 생기지 않도록 주의한다.

마) 댐축의 상류측에는 터널을 따라 흐르는 투수방지와 감아쌓기 콘크리트

의 누구수지를 위하여 상류측에 반드시 수밀 그라우팅을 하여야 한다.

바) 연결박스과 접속하는 터널입구 부근은 취수의 충격에 의한 진동, 원지반의 토압 등을 고려하여 철근으로 충분히 보강한다.

3) 복통

가) 댐의 신축과 개축에 있어서 방류 또는 취수시설로서 원칙적으로 복통은 피한다. 단, 소규모의 댐에 한하여 대부분을 기초지반내에 묻고, 제체와 복통구조물과를 원할하게 접촉시켜 외력 및 투수에 대하여 안전한 구조인 경우에 한하여 설치할 수 있다. 그러나 이의 설계·시공에 대해서는 세심한 주의를 해야 한다.

나) 기초

① 유효 저수량을 증대시키기 위하여 될수록 낮고, 지지력이 충분한 불투수성의 산바닥을 깎아 내어서 설치해야 한다.

② 일부분이라도 흙쌓기를 기초로 하는 일은 절대로 피해야 한다.

③ 완제품(흡관, 철관 등)을 사용할 경우 그 기초에는 모래바닥이 아니고 반드시 콘크리트 기초로 한다.

다) 복통 관체

① 복통은 보통 토압, 수압 등에 견디도록 작은 단면에서는 완제품관은 철근콘크리트로서 전체를 감아 짠 구조로 하나 큰 단면인 경우에는 원형, 반원형, 말굽형 등의 철근콘크리트구조로 한다.

② 관 단면의 크기 결정은 취수터널과 마찬가지로 장래의 유지관리를 고려하여 안지름은 80 cm 이상으로 내구성이 크고 방청된 재료의 관이 좋다.

라) 복통의 지수벽

① 특히 지수성에 유의하여 복통을 따라서 생기는 침투수를 방지하기 위해서 관체에 지느러미 모양의 지수벽을 설치하고 누수나 파이프 등이 생기지 않도록 해야 한다.

② 지수벽높이는 통관표면에서 50~100cm, 두께는 30cm, 간격은 지수벽 높이의 7~10배 정도로 하고 댐 불투수성부를 중심으로 상류쪽에 설치한다.

마) 관체의 이음

① 기초가 암반이어서 부등침하가 일어나지 않을 경우에는 현장치기 철근콘크리트관은 단체구조로 하고, 약 10m 이내에 시공이음을 설치한다.

② 수밀성을 확보하기 위하여 동지수관을 넣는다.

③ 완제품관을 사용할 경우에는 기초상태에 관계없이 신축이음을 설치하고 철관 등 내구성이 큰 것을 사용한다.

바) 보통 지수공법

보통설계는 누수를 방지하고 구조물의 수명을 증대시킬 수 있도록 지수대책을 설계에 반영한다. 지수대책은 방수 모르타르법을 원칙으로 하고 시트 방수법은 내구성, 경제성 등을 검토하여 지구여건에 따라 적용한다.

라. 부대시설

1) 스크린

가) 스크린의 주요 형식

(1) 스크린은 저수지내의 먼지, 유목, 기타 수면 부유물이 취수구멍에 유입되지 않도록 설치하는 것으로, 구조는 먼지의 종류와 양, 취수구조 및 취수 목적에 따라 다르다. 보통은 로프를 댐의 상류에 걸고 플로트에 의해서 방진용 스크린을 매달리게 한 구조이다. 특수한 것으로는 취수공의 전면에 반원형으로 뜨도록 고안된 것도 있다. 이와 같이 형식은 대규모의 댐에서 표본취수를 할 때에 제 1단계의 방진에 사용되며 취수공에는 다시 제2의 스크린을 설치하는 것이 보통이다.

(2) 스크린 구조는 취수공 전면에 환강, 평강재를 사용하여 격자형으로 하는 것이 보통이며, 고정식의 것과 청소하기 위해서 떼어낼 수 있게된 것 또는 방진장치를 붙인 것 등 여러 가지로 고안되어 있는데 격자의 간격과 크기 등도 사용목적과 먼지의 상황에 따라 여러 가지가 있으나 일반적으로 격자의 간격은 10~20 cm 이다.

먼지의 양이 특히 많은 경우나 먼지를 제거하기 위하여 저수위를 내릴 수 없는 경우에는 집진장치를 수면상에 두고 먼지를 제거할 수 있게 한다.

취수공 하류에 먼지 때문에 지장을 줄만큼 시설이 미비된 경우에는 방진은 취수공을 막히지 않게 하고 문짝을 유목으로부터 보호하면 되므로 되도록 눈이 큰 것이 유리하다.

(3) 공사중에 가배수로가 유수 등으로 폐쇄되지 않도록 임시로 가설한 것으로 보통 현 레일 등을 써서 격자간격을 20~30 cm 정도로 하다. 소규모 취수터널, 보통 등을 가배수로로 사용하는 때는 홍수시 입구가 폐쇄되어 중대한 사고가 발생하는 경우가 있으므로 스크린을 반드시 설치해야 한다.

나) 스크린에 걸리는 하중

스크린이 받는 하중은 먼지가 없을 경우에는 극히 적지만 눈이 막혀서 통수되지 않는 경우에는 수량이 상당히 수압을 받게 되므로 안전을 유지하기 위해서는 이 수압에 견디도록 설계해야 한다. 미국 개척국에 의하면 스크린 위의

수두의 1/2에 해당하는 수압 또는 스크린이 완전히 수중에 있을 경우 및 스크린의 통수단면적이 작을 경우에는 최대 12.5 m 의 수두(12.5 tf/m²)의 하중에 견디도록 하고 또한 스크린의 통수단면적에 여유가 있을 경우나 스크린 틀이 물위에 노출되어 있을 경우에는 최대 6 m 수두의 하중에 견디도록 설계한다.

다) 스크린에 의한 손실수두

物部 공식에 의하면,

$$h_r = B \cdot \sin a \cdot \left(\frac{t}{b} \right)^{3/4} \cdot \frac{V_o^3}{2g} \dots\dots\dots (4.11.11)$$

여기서, B : 스크린 격자가 원형인 경우 1.79, 장방형 2.42, 유선형 0.76, Vo : 유입속도(m/s), a : 스크린 경사도, t : 스크린 두께, b : 격자간격이다.

2) 공기구멍

공기구멍 설계는 계산에 의해서 정하기도 하지만 되도록 모형실험에 의해서 결정하는 것이 바람직하다. 모형실험을 하지 않는 경우에는 다음과 같은 요령으로 설계한다.

가) 공기구멍의 효과

(1) 게이트 또는 밸브가 열려 있을 때 (공기의 배제) : 게이트에서 유로 내로 들어간 물이 고압류이기 때문에 일부 유로 내에서 만류되고 그 곳에서 도수가 상류쪽으로 이동하는 과도적인 기간 중에는 게이트 직하류위 압축된 공기를 유로 외로 배제할 수 있다.

(2) 게이트 또는 밸브가 닫혀 있을 때 (공기의 공급) : ①항과 반대되는 현상으로 도수가 하류쪽으로 이동하는 순간 게이트 직하류부에 진공이 되는 것을 공기를 공급할 수 있게 된다.

(3) 게이트 또는 밸브가 반쯤 열려 있을 때 (공기의 공급) : 게이트 또는 밸브가 반개상태에 있어서 하류부가 수류로 만류되고 게이트 직하류 부근이 만류되어 있지 않은 경우 그 곳의 압력이 대기압 이하로 내려가지 않도록 공기를 공급하여 공동현상이 생기지 않도록 할 수 있다.

나) 공기구멍 설계시 고려사항

(1) 공기구멍의 최소직경은 10 cm 이상이 되도록 한다

(2) 게이트 직하류부근에 설치하는 공기구멍 위치는 모형실험에 의해서 결정하는 경우 이외에는 게이트 높이에 상당하는 거리만큼 하류로 정한다.

(3) 게이트 하류의 방수로중에 상류부 및 하류부에서 각각 만류하고 중간부에 간극단면을 일으키는 경우에는 그 부분에도 공기구멍을 설치한다.

(4) 소단면의 유로에서 더 큰 단면의 터널 등에 고압류를 방류할 경우도 고압류에 의해서 터널의 일부가 만류되려고 할 때는 만류점보다 상류에 공기구멍을 설치한다.

(5) 사통에서의 공기구멍은 종래에는 사통관체의 상부에만 개구할 정도의 설계 예가 많은데 사통과 취수터널과의 연결부에서는 난류로 인한 공동현상을 일으키는 경우가 있으므로 이때에는 이곳에도 공기구멍을 설치한다.

(6) 공기관을 취수탑에 설치할 경우 소규모의 것은 철관을 사용하여 탑체벽에 매설하나 대구경의 것은 탑체벽의 외측에 설치하게 되므로 이 경우에는 지진, 수압, 온도차로 인한 신축 등을 고려한 이음매로 해야 한다.

(7) 공기구멍은 조작실에 개구해서는 안된다.

다) 공기구멍의 크기 결정

공기구멍의 크기는 원칙적으로 다음식에 의해서 소요공기량을 산출하여 결정한다. 단, 소규모 또는 간이적인 것은 계획최대취수량의 15 %에 해당하는 공기량을 소요 공기량으로 결정해도 된다.

(1) 소요공기량 산정식

$$Q_a/Q_w = 0.04(F-1)^{0.85} \dots\dots\dots (4.11.12)$$

여기서, Q_a : 소요공기량, Q_w : 게이트를 80 % 개방하였을 때의 유량

F : 게이트 직후방 수축단면에서의 사류의 프루드수

한편, 공기량의 최고수요는 게이트가 약 80 % 열렸을 때 또는 극히 적게 열렸을 때 일어난다.

(2) 공기구멍 규모의 결정 : (1)에서 산정한 소요공기량에서 공기구멍 내의 풍속은 45 m/s를 기준으로 하고 90 m/s를 초과하지 않는 범위내에서 공단면을 산정하고 이에 해당하는 관제품 규격에 맞추어 관내경을 정한다. 공기구멍의 재료도 강관, 주철관 등을 사용하는데 규모, 설치공법에 따라서 관종을 결정한다.

4.12 어도

4.12.1 일반사항

하천개발에 따라 부수적으로 나타날 수 있는 하천생태계 교란과 파괴를 최소화하거나 폭포나 급류와 같이 어류의 이동에 대한 장애물을 극복하게 하여 하천에서 어종의 보존이나 어류분포의 확산을 조장할 수 있도록 어류의 이동통로를 인위적으로 설치한 하천 수리시설물을 어도라고 한다. 필댐의 경우 농업용 저수지의 본래 기능인 관개용수 확보 및 홍수조절, 그리고 안정성 확보에 기초하여 어도 설치를 고려한다.

가. 어도의 필요성과 설치목적

하천에 댐이나 취입보를 포함한 하천횡단 수공구조물을 설치하게 되면 하천에 서식하는 회유성 어류는 물론 계절에 따라 국지회유(局地回遊)하던 어류들의 이동통로가 막혀 서식환경에 접근하기 어렵게 함으로써 하천에서 어류 개체수를 급격히 감소시키거나 자취를 감추게 하는 역할을 한다.

어도는 하천에서 어류 이동에 장애물이 있을 경우에 어류의 원활한 이동을 위하여 만들어진 인공적인 수리시설물을 말하며, 어도의 설치 목적은 댐건설로 인하여 소하성 어류들의 이동이 차단되는 경우 이러한 어류들의 이동을 가능하도록 하여 유용한 수산자원을 보호하고 자연생태계를 보전하는 데 있다.

필댐의 경우에는 소하천에 설치되는 경우가 대부분으로 법정하천과는 달리 어도설치가 의무화되어 있지는 않으나 생태계의 영향을 최소화하기 위하여 댐 주변 하천환경의 중요도에 따라 어도의 설치를 고려하도록 한다.

나. 어도가 필요한 생물

우리 나라 하천에 분포하는 생물 중에서 어도가 필요한 대표적 어종은 표 4.12.1과 같다.

표 4.12.1 어도 이용 생물의 소하 습성

습 성	어 종	비 고
성어가 소상하여 산란한 후 치어가 바다로 나감.	웅어, 빙어, 황복, 황어, 연어, 송어, 칠성장어 등	
치어가 소상하여 성장한 후 산란을 위해 강하	은어, 뱀장어, 꺾정어, 꼭지구, 참게 등	뱀장어 외는 하구에서 산란
수시로 왕래	송어, 가송어, 농어, 전어, 줄공치, 가실망둑 등	
담수호에서 배수갑문을 열 때 잘못 나간 담수어	붕어, 잉어, 강준치, 가시납지리 등	
국지회유	어종피라미, 쉬리, 열목어, 납자루 등	

다. 어도 관련 법규

우리 나라에는 수산업법(1995), 수산자원보호령(1996) 및 댐시설기준(2001)에 어도설치 관련 규정이 있으며, 1996년 이후 법정하천에 설치하는 댐에는 어도를 설치하도록 법으로 의무화 되어 있다. 일반적으로 유용 어종자원의 보호보다는 생태계보호 차원에서 어도를 설치하고 있다.

1) 어도차단의 금지 규정(수자원보호령 제12조 제2항)

① 하천의 전유폭을 차단하는 공작물을 설치하고자 하는 자는 해양수산부장관과 협의하여 하천의 일부를 개방하거나 어도를 설치하여 소하어류의 통로를 확보해야 한다. (1996년 12월 31일 개정)

② 법정하천에 설치하는 취입보, 댐 설치시 어도설치 의무 규정

2) 농업기반조성사업과 관련 사항

① 하천법 제2조(정의) 및 하천법 시행령 제1조의 2(하천의 명칭과 구간)의 하천구간에 대하여는 농촌정비사업 기본조사시에 해양수산부장관과 지방환경청장과 협의하여 댐 및 보를 설치하되 어도의 설계지침(농업기반공사)을 참고하여 어도설치 방안 및 관련 사업비를 반영해야 한다.

② 하천법 시행령 제1조의 2 (별표 1)의 하천구간에 대하여는 세부설계 및 사업계획수립시 어도의 설계지침을 참고하여 사업을 추진해야 한다.

③ 한편, 대부분 소하천에 설치되는 필댐의 경우 어도설치가 의무화되어

있지는 않지만 향후 주변환경 및 어류 등 생태계의 보전을 위하여 어도 설치를 고려하도록 한다. 어도의 설계지침을 참고로 하여 설계한다.

4.12.2 어도 설계 시 고려사항

어도 설계는 하천의 특성이 일정하지 않고 시간적으로나 공간적으로 변하기 때문에 매우 어려운 문제이다. 따라서 하천에 서식하는 다양한 어류가 이용할 수 있는 어도를 설계하기 위해서는 다음과 같은 점을 고려한다.

1) 어도 설치로 인하여 치수상의 문제가 있어서는 안된다. 어떤 경우의 어도를 설치하더라도 수문 및 지형적 제약, 법적인 조건을 만족시켜야 하며, 특히 홍수시 안전문제가 발생되지 않는 시설이 되어야 한다.

2) 어류가 어도를 따라 이동할 때에는 안전하게 빨리 통과할 수 있게 한다.

3) 어도설계를 위해서는 어도 형태에 따른 수리학적인 특성과 이를 이용할 어류의 유영특성 및 하천의 거동을 잘 파악해야 한다. 어도의 수리학적인 특성은 최종 수리모형실험을 통하여 확인되어야 하고, 어류의 유영특성으로는 하천에 서식하는 회유성 어류의 종류와 회유시기, 어도내의 선호하는 흐름조건, 어류의 크기 등과 같은 어류의 생태학적 특성을 파악해야 한다.

4) 어도내 유속과 소상어의 휴식공간은 어종에 따라 돌진속도나 순항속도 같은 유영력이 달라지므로 다양한 형태의 유속분포와 소상중에 있는 어류가 완전한 휴식을 취할 수 있는 공간이 어도설계에 충분히 반영되어야 한다.

5) 어도 설계시에 어도 설치로 인한 하상 저하를 예상하여 고려해야 하고 어도내의 구조가 너무 복잡하여 홍수 후에 유목이나 토사가 쉽게 퇴적되지 않도록 해야 한다.

4.12.3 어도의 설계조건

가. 소상어의 조건

어도를 이용할 어류의 생태는 하천에 서식하는 회유성 어류의 종류, 회유시기와 조건, 회유시기 어류의 크기 및 유영력, 선호하는 소상방법, 성장과 산란 조건 등과 같은 특성을 잘 파악하여야 한다. 이는 어도의 형식선정과 설계유량 결정에 큰 영향을 미친다.

나. 소상경로의 조건

어류의 소상경로 구간에서 고려해야 할 조건은 다음과 같다.

1) 수심

- ① 새에게 잡혀 먹이지 않도록 충분한 수심을 가져야 한다.
- ② 최소 수심은 소상어류 체고의 1.2배 이상이어야 한다.

2) 유속

- ① 물거품이 생기지 않고 난류가 발생하지 않아야 한다.
- ② 소상통로의 최소폭은 체장의 1/2 보다 큰 폭이어야 한다.
- ③ 유영길이는 체장의 2~4배 이상이어야 한다.
- ④ 유속은 소상어의 순항속도 이하이어야 한다.

3) 낙차

사면길이는 소상어의 점프력, 사면 소상력을 초과해서는 안된다.

4) 유폭

소상통로의 최소폭은 소상어류 체장의 1/2 보다 큰 폭이어야 한다.

5) 기타

수온을 포함한 수질, 일광조건, 물 흐르는 소리, 하천 가장자리의 수초와 같이 어류가 긴급시에 피난할 수 있는 장소, 수중 색채와 탁도 등 어류 이동에 영향을 미칠 수 있는 중요한 환경요인 등도 어도의 설계에 반영하도록 한다.

다. 어도의 수리조건

어도의 수리 조건중 가장 중요한 것은 대상 어종인데 우리나라 하천에 가장 많은 피라미의 소상능력을 기준으로 하여 설계하는 것이 바람직하다.

1) 어류의 소상에 필요한 최소유량은 소상촉진 최소유량으로 한다.

2) 어도내 최소 수심은 소상어류 체고의 1.2배 이상이어야 한다.

3) 어도폭 전체에 유속이 1.0 m/s를 넘는 곳이 있어서는 안되고 수표면은 새의 공격을 받을 가능성이 있으므로 깊은 곳의 유속의 작은 것이 중요하다. 어도의 유속은 소상의욕을 상실할 정도로 작아서는 안된다. 유속이 너무 작으면 올라가지 않고 머무른다. 어도내에서 거품이 나지 않고 안전하게 쉴 수 있는 장소를 만들어 주는 것이 필요하다.

4) 어도의 폭은 댐에서의 방류량과 소상 어류의 종류 및 크기를 고려하여 결정한다.

5) 어도의 길이는 댐의 높이와 경사길이에 따라 결정되지만, 너무 긴 경우에는 중간에 휴식장소를 고려한다.

6) 어도의 높이는 댐의 높이에 따라 결정된다.

7) 어도의 경사는 어도의 높이와 어도의 길이의 비로 계산한다.

8) 어도의 위치는 하천의 양안에 설치하는 것을 우선으로 한다.

라. 설치비

어도는 저수지 시설 중 지속적인 유지관리가 필요한 시설이므로 시공 후 유지관리를 포함하여야 한다.

4.12.4 어도의 형식

가. 어도의 분류

하천에서 보나 댐과 같은 어류의 이동에 대한 장애물이 있는 경우에도 이동할 수 있도록 설치한 인공 수리시설물을 어도라 하며, 어도의 목적, 어도의 수리학적 기구, 어도의 형상, 어도 설치장소에 따라 어도의 종류를 분류한다.

- 1) 어도의 목적 : 소상용 어도, 강하용 어도, 채포용 어도, 선별용 어도, 관찰용 어도
- 2) 수리학적 기구 : pool식, 수로식, 갑문식, 엘리베이터식, 기타 어도
- 3) 어도형상 : 선형 또는 나선형으로 어도가 배치되었는지에 따른 것
- 4) 장소별 : 사방댐, 보, 댐, 하구언 등 하천횡단 수공구조물의 종류에 따른 것이다.

나. 어도의 형식

1) 풀(pool)식 어도

풀식 어도는 풀이 계단식으로 연결된 형태의 어도를 말하며, 전면월류형, 부분월류형, vertical slot식, 잠공식 어도가 있으며, 부분월류형 어도는 Ice harbor형과 노르웨이형이 있다.

한편, 풀식 어도는 설치가 비교적 쉽고 공사비도 적게 들지만 유속이 빠르고, 낙차가 있으므로 유영력(遊泳力), 도약력(跳躍力)이 좋은 일부 어종만이 이용할 수 있는 단점이 있다. 풀식 어도는 격벽 부분에서 유속이 크고 수심이 최소이기 때문에 이 부분이 소상(遡上)하기 가장 어려운 곳이므로 이 부분의 설계가 중요하다. 풀식 어도는 풀이 있어 소상중인 어류가 수시로 쉴 수 있고, 어도로 보낼 물이 적을 때도 운영이 가능하며, 댐의 높이가 높고 경사가 급한 곳에서도 설치할 수 있는 장점이 있다.

가) 계단식 : 물고기가 주로 격벽을 월류하는 흐름을 뛰어넘어 올라가는 형식을 말하며, 격벽 전체로 물이 넘는 것을 전면월류형, 노치가 양측에 있는 것을 Ice harbor식 이라 한다.

나) 버티칼슬롯식 : 격벽에 설치된 수직의 틈새(vertical slot)를 통하여 이동하는 형식을 말한다.

다) 잠공식 : 격벽에 뚫어놓은 잠공(orifice)을 통하여 이동하는 형식을 말한다.

2) 수로식 어도

수로식 어도는 어도 수로내의 유속을 줄여 물고기를 소상(遡上)하도록 하는 방법으로 유속을 줄이는 방법에 따라 Denil식 어도, 조석붙임 경사곡면식 어도, 도류벽식 어도, 인공하도식 어도가 있다.

3) 조작식 어도

고기가 소상하려면 항상 인위적인 조작을 해야만 되는 것을 조작식 어도라 하며, 이 형식은 댐의 높이가 높아 수로식으로 충분한 소상효과를 낼 수 없을 때 사용하는 방법이다. 운영조작식 어도에는 리프트(lift)식, 엘리베이터(elevator)식, 갑문식, 펌프식 등이 있다. 갑문식은 순수한 갑문식 어도와 Borland식 어도가 있다.

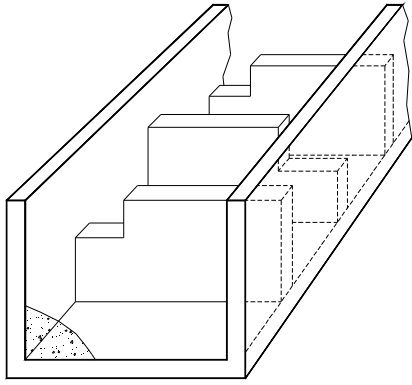
조작형 어도는 이용할 어종의 유연력, 도약력에 상관없이 다양한 어종이 이용 가능하고, 댐에서 방류할 물이 적을 때도 적용 가능하며, 하구에서는 조차(潮差)에 상관없이 적용이 가능하다. 댐의 높이가 높고, 저수지의 수위변동이 클 때도 편리하게 적용할 수 있다. 그러나 인위적으로 조작을 해야 물고기가 올라갈 수 있고, 운영비가 많이 드는 단점이 있다.

가) 리프트식 : 물고기가 든 용기를 제방 사면을 따라 설치한 궤도로 끌어올려 저수지에 붓는 형식을 리프트식이라 한다.

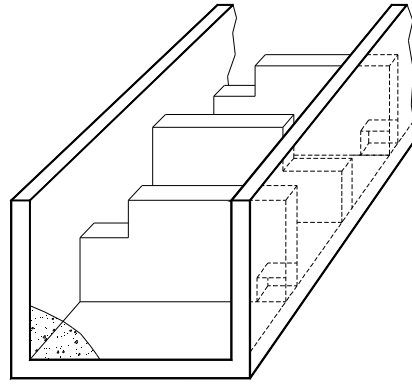
나) 엘리베이터식 : 수직으로 설치한 엘리베이터로 물고기를 끌어올리는 것을 엘리베이터식이라 한다.

표 4.12.2 어도의 분류

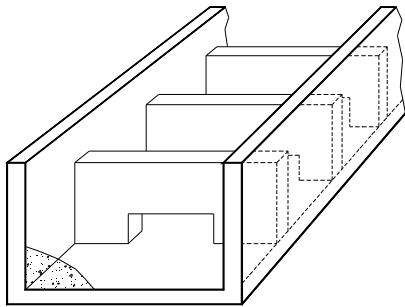
어도 구분	어도 명칭	주요 특징
pool식	계단식 어도 전면월류식 어도 부분월류식 어도 Ice harbor식 어도 잠공식 어도	격벽에 의하여 pool이 형성되고 평상시 흐름은 낙하류 상태임
수로식	사다리식 어도 vertical slot식 어도 Denil식 어도 culvert식 어도 계단돌망태식 어도 평면수로식 어도 횡기울기 돌붙임식 어도 인공하도식 어도	유량에 관계없이 표면류 흐름상태 가 수로를 따라 존재하고 연속성 이 유지됨
운영조작식	엘리베이터식 어도 갑문식 어도 fish pump식 어도 Borland식 어도	인위적인 장치나 시설의 작동으로 어류가 소상
혼합식	기능혼합식 어도 기능불변형 어도 표준 어도 남경수리학 연구소식 기능변화형 zig-zig형 혼합식 어도 병렬배치식 어도 사다리-계단식 어도	pool식, 수로식, 운영조작식 어도 의 중요한 특징이 2가지 이상 혼 합되어 있음



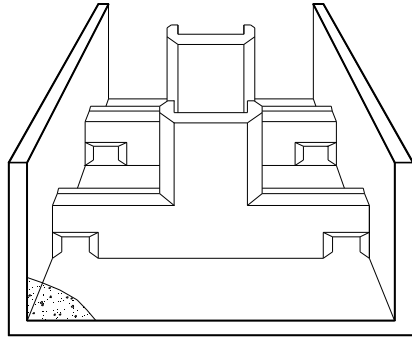
(a) 전면월류형



(b) 잠공이 있는 전면월류형

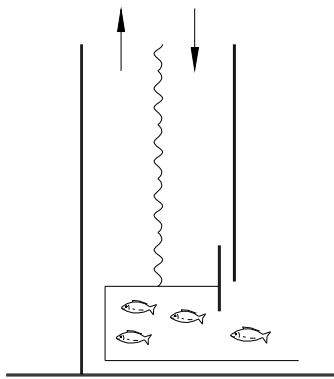


(c) 잠공형

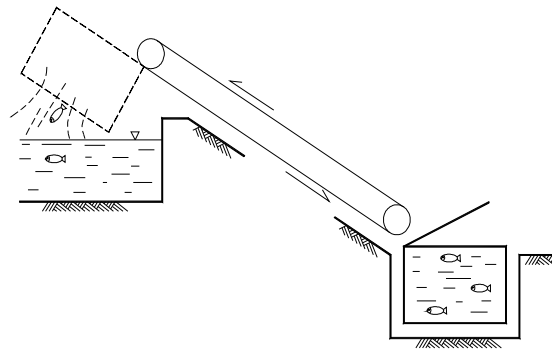


(d) 아이스하버형

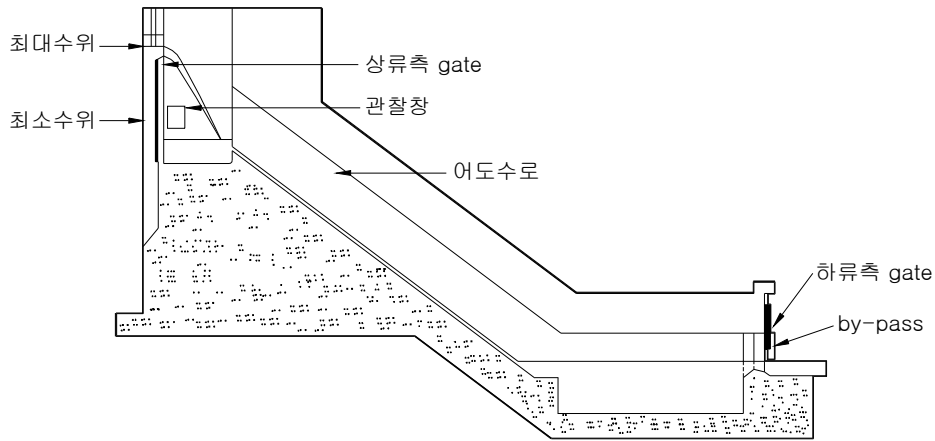
그림 4.12.1 풀식 어도의 형태



(a) 엘리베이터식 어도



(b) 리프트식 어도



(c) Borland 식 어도

그림 4.12.2 조작식 어도의 형태

다) 갑문식 : 통선문에 배가 드나드는 것과 마찬가지로 원리로 어도 갑실(閘室)을 만들고 내외측 갑문을 만들어 갑문조작으로 물고기가 올라갈 수 있는 어도를 갑문식이라 하고, 낙차가 큰 댐에서는 갑문의 높이를 무한정 키울 수 없으므로 댐의 진수지 부근에 하부풀을 만들고 댐위에 상부풀을 만들어 각 풀을 샤프트(Shaft)로 연결하고 갑문을 만들어 갑문식과 마찬가지로 물고기를 올라가게 하는 방법을 Borland식이라 한다.

4) 기타 어도 : 병용식과 혼합식(hybrid)식 등의 어도가 있다.

다. 어도형식의 선정

어도 형식을 선정할 때에는 지형적 여건과 어도 형식에 따른 특징을 충분히 검토하고 ① 대상 하천유량 및 수위의 변화, ② 어도의 설계유량, ③ 어종의 다양성 및 어류의 생태, ④ 현장조건 및 설치비용, ⑤ 하천과의 조화 및 설치 대상 댐의 특수성, ⑥ 유지관리 등을 고려하여 선정한다. 댐의 경우 상하류의 수위차가 커서 수로식 어도나 조작식 어도의 갑문식, 피시펌프식 어도와 혼합식 어도 등은 실제로 댐에 적용하기가 어렵다. 표 4.12.3은 상황별로 참고할 수 있도록 어도의 선택 기준예를 제시한 것이다.

표 4.12.3 형식별 어도 선택 기준표 (常住直人, 1995)

구 분	풀식		수로식		수로식		조작식
	계단식 (전면)	아이스 하버식	버티칼 슬롯식	잠공식	테널식	돌붙임 斜路式	엘리베 이터식
어도방류량(적은 경우)	○	○	○	○	○	×	◎
어도방류량의 파악	○	○	○	○	○	△	○
보 상류의 수위변동	×	×	○	○	△	△	◎
고낙차	△	△	×	×	○	×	◎
어도내 유속분포의 다양성	△	△	△	△	○	○	◎
유지관리비	△	△	△	△	×	○	×
경관 및 친수성	×	×	×	×	×	◎	×
조류피해방지	×	×	○	◎	○	×	◎
토구 집어효과	△	△	△	△	△	○	×
휴식 Pool의 필요성	무	무	무	무	유	유	무

(범례) ◎ 매우양호, ○ 약간양호, △ 약간불량, × 매우불량

4.12.5 어도의 설계절차

어도 설계는 댐자료, 어류자료, 수리조건 등을 충분히 고려하여 합리적인 설계가 되도록 하며, 일반적으로 설계의 주요 절차를 정리하면 다음과 같다.

1) 기초자료의 수집 및 파악

기초 자료의 수집은 기존 문헌조사, 설문조사, 하천 현지에서의 직접조사 등의 방법을 통하여 수집한다.

가) 댐 관련자료 : 위치, 지형, 구조 및 제원, 취수조건

나) 하천의 수리·수문학적 자료 : 하천의 수위, 유량, 유사량, 하상 구성재료, 취수 및 하천개발 등

다) 하천의 생태학적 특성 : 하천에 서식하는 회유성 수생동물의 종류와 크기, 회유의 시기와 조건, 성장과 산란조건 등

라) 기타 운영 및 유지관리

2) 설계조건 설정

- 가) 어종의 선정 : 대표 어종, 소상시기, 소상능력
- 나) 하천 수위 및 유량
- 다) 어도의 설계유량
- 라) 상·하류측의 수위조건
- 마) 어도의 설치 위치 및 규모 확인
- 바) 어도 설치비용

3) 개략 설계

- 가) 어도의 위치 및 기본형식 선정
- 나) 어도의 평면배치 설정
- 다) 어도의 본체 개략설계
- 라) 대안설계 및 비교 검토

4) 세부설계

세부설계에서는 홍수시 어도의 안정성과 하천의 흐름 변동, 어도내 유속분포 등을 충분히 고려해야 한다.

- 가) 어도의 폭과 깊이 산정
- 나) 입구부 및 출구부 설계
- 다) 어도길이, 풀의 위치와 크기
- 라) 슬롯간격 및 월류격벽의 제원
- 마) 비월류격벽에 의한 풀 규모
- 바) 설계유량에 대한 어도내 수면계산
- 사) 최대유속 및 월류수심 추정
- 자) 월류격벽이나 비월류격벽의 물과 접촉하는 모서리는 흐름의 박리 현상이 일어나지 않도록 유선형 등으로 처리
- 차) 등류흐름조건 만족 여부 판단
- 아) 하류부 하상저하에 대한 저수로 풀의 제원

5) 어도시설의 유지관리계획

- 가) 홍수전후의 어도관리
- 나) 주요 회유성 어류 이동시기의 유지관리
- 다) 어도의 효과관정을 위한 계획

4.12.6 어도의 부대시설

어도 형식과 필요에 따라서 게이트 등의 통수량 조절장치, 집어를 위한 유인수 장치, 어도 폐쇄방지를 위한 찌꺼기제거용 스크린, 입구 보호공, 어도의 효과 및 기능 등의 조사를 위한 계수·관찰장치, 유지관리설비(토사·유목 제거, 조류피해 방지, 경계시설, 방호책) 등의 부대시설을 설치하도록 한다.

4.13 기계, 전기설비

4.13.1 적용범위

이 기준은 필댐에 설치되는 모든 게이트(Gate), 밸브(Valve) 및 스크린(Screen)에 적용한다.

가. 일반

이 기준은 댐에 설치되는 설비기기로 취수용, 홍수조절용 및 방류에 사용되는 모든 게이트(Gate), 밸브(Valve) 및 스크린(Screen)에 적용한다.

이들 설비에 있어서는 관련 법규나 기준이 많으므로 이를 고려하여 설계할 필요가 있다. 관련법규 및 기준으로는 다음과 같은 것이 있다.

관련법령에는 ① 농어촌정비법 ② 하천법 ③ 건설기술관리법 ④ 산업안전보건법 ⑤ 환경정책기본법 ⑥ 수질환경보전법 ⑦ 하수도법 ⑧ 전기사업법 ⑨ 전기공사업법 ⑩ 전력기술관리법 ⑪ 전기통신사업법 ⑫ 전파법 ⑬ 소방법 ⑭ 국가기술자격법 ⑮ 건축법 16) 근로기준법 17) 소음·진동규제법 등이 있다.

관련규정에는 ① 농업기반시설관리규정(농림부 훈령 제1030호 2000. 6. 7) ② 농업용수수질관리지침 ③ 전기안전관리업무처리지침 ④ 전기공사업 면허관리지침 ⑤ 한국전력공사전기공급약관 ⑥ 내선규정 ⑦ 전기설비기술기준 ⑧ 한국공업규격 ⑨ 수문 철관 기술기준 (농업기반공사) 등이 있다.

나. 설비의 종류

댐에 설치되는 설비는 게이트 등의 기계설비와 수·배전설비 등의 전기설비, 원방감시제어 설비 등의 통신·제어설비, 기상이나 수문관측을 위한 관측설비를 말한다. 각 설비의 종류를 설치목적별로 분류하면 표 4.13.1 과 같다.

표 4.13.1 설비의 종류와 분류

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

다. 정의

1) 이 기준에서 게이트(Gate)라 함은 강재를 주요구성재료로 하는 비체(扉體 - Gate Leaf), 호구(戶溝 - Guide Frame), 고정부(固定部), 개폐장치(Hoist)를 말하며 기타의 게이트(Stainless강제, Aluminum제, 강화Plastic제)는 이 기준의 적용에서 제외한다. 다만, 강재 각낙판(Stop Log)은 이 기준이 적용된다. 일반적으로 필댐에 사용되고 있는 게이트의 형식과 명칭은 다음과 같다.

가) 롤러 형식

- 롤러게이트 (Roller Gate) (fixed Wheel Gate)
- 캐터필러게이트 (Caterpillar Gate) (Roller mounted Gate)
- 다단식(多段式)롤러게이트

나) 힌지(Hinge) 형식

- 레이디얼게이트 (Radial Gate)·기복게이트(起伏Gate, Flap Gate)

다) 슬라이드(Slide) 형식

- 슬라이드게이트 (Slide Gate) ·각낙판 (Stop Logs)

이들 게이트는 일반적으로 문비(門扉), 지승부(支承部), 호구(戶溝), 고정부(固定部), 개폐장치(開閉 裝置)로 구성된다.

① 문비라 함은 수압을 직접 받는 부분과 문비에 걸리는 하중을 고정부에 전하는 부분으로 구성된다.

② 호구라 함은 콘크리트 속에 묻혀서 문비에 걸리는 수압하중을 받거나 문비의 지수부와 접촉하여 지수하는 부분을 말한다.

③ 고정부라 함은 문비의 지수부로부터 콘크리트에 하중을 전하는 부분을 말하지만 힌지형식 이외에서는 일반적으로 호구라고 칭하고 있다.

④ 개폐장치라 함은 문비를 개폐하기 위한 장치를 말한다.

2) 이 기준의 적용을 받는 고압밸브라 함은 수두 25 m 이상으로 통수량 5 m³/s 이상의 밸브를 말하며 일반적으로 구경은 600 mm 이상이다.

일반적으로 고압밸브에는 슬리브밸브(Sleeve valve), 콘-밸브(Cone valve), 게이트밸브(Gate valve), 스루스밸브 (Sluice valve), 접형밸브(Butterfly valve) 등이 있다.

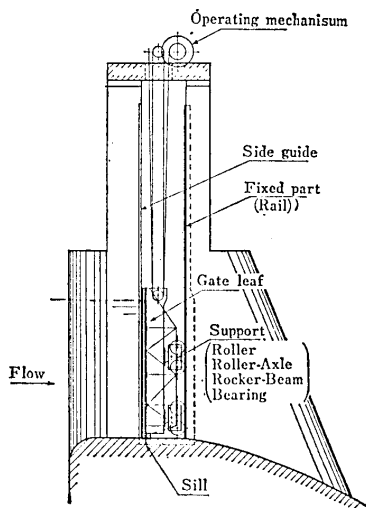


그림 4.13.1 롤러 게이트
(fixed roller gate)

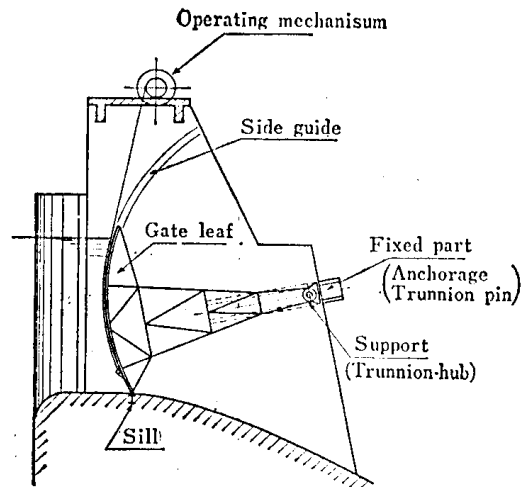


그림 4.13.2 레이디얼 게이트
(Radial gate)

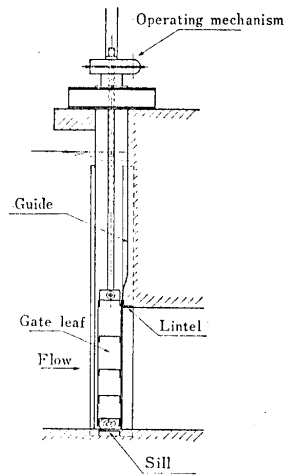


그림 4.13.3 슬라이드 게이트
(Slide gate)

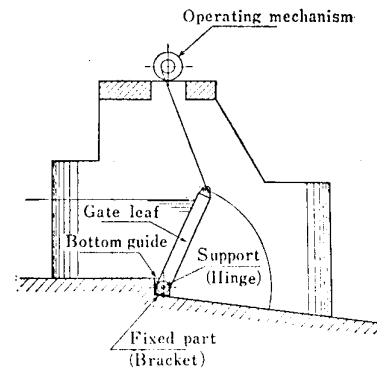


그림 4.13.4(起伏) 기복 게이트
(기복(起伏)게이트, Flap gate)

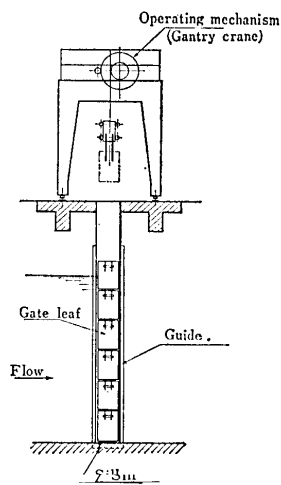


그림 4.13.5 각낙판
(Stop logs)

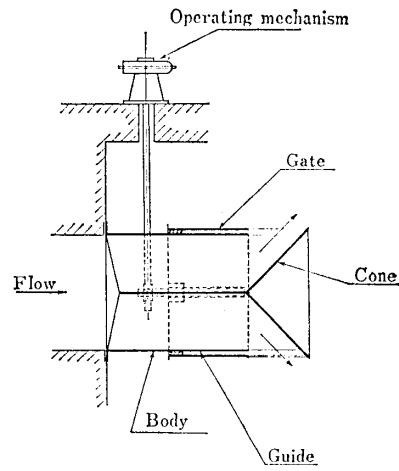


그림 4.13.6 콘 밸브
(Cone valve)

3) 이 기준에서 소형, 중형, 대형 게이트의 크기라 함은 3방지수형 게이트에 있어 소형 게이트 10 m² 이하, 중형 게이트 50 m² 이하, 대형 게이트 50 m²을 초과하는 것을 표준으로 한다.

4) 그림 4.13.1 에서 그림 4.13.8 까지는 위에서 언급한 각종 게이트 및 밸브 중에서 필댐에서 일반적으로 많이 사용되는 시설의 설치도면을 표시하였다.

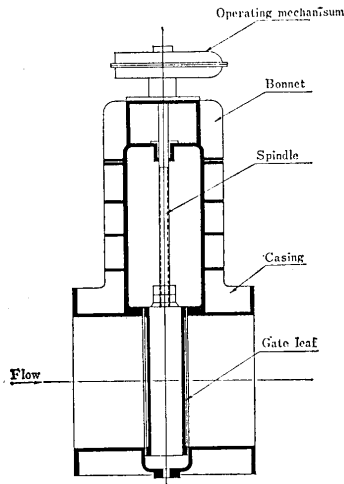


그림 4.13.7 게이트 밸브
(Gate valve)

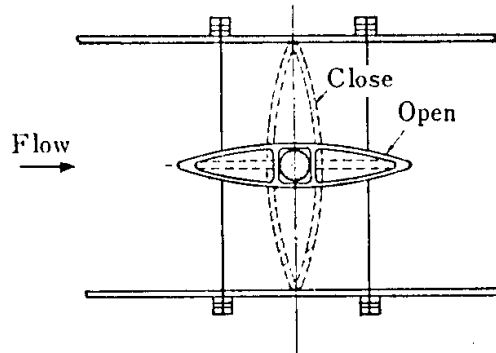


그림 4.13.8 접형밸브
(Butterfly valve)

4.13.2 기계설비

게이트 및 밸브의 종류, 형상, 크기, 문수(門數)는 설치장소, 사용목적 및 사용조건 등에 따라 결정한다. 게이트 및 밸브는 예상되는 하중에 대한 안전, 충분한 수밀성 유지, 개폐의 용이성과 정확성, 내구성, 진동에 대한 안전, 보수의 편리성 등이 고려되어야 한다.

가. 게이트 및 밸브의 설계

게이트는 설치장소, 사용목적 및 조건에 따라 표 4.13.2 와 같이 분류된다.

나. 설계일반

1) 설계조건

설계할 경우에 고려하여야 할 기본적인 조건은 다음과 같다.

표 4.13.2 게이트의 선정

게이트 명칭	설치장소	설치목적	게이트의 형식(표준)
Crest gate	댐 월류부	·댐 안전을 확보하기 위한 홍수방류	·롤러 게이트·레이디얼 게이트 ·드럼 게이트·기복(起伏) 게이트 ·기복(起伏)게이트가 있는 2단롤러 게이트 ·Hook식 2단 롤러 게이트
대용량 방류 게이트	방류관 중간부 또는 하류말단	·유량조절	·고압 레이디얼 게이트 ·고압 롤러 게이트 ·고압 슬라이드 게이트
소용량 방류 게이트·밸브	·게이트형식에 따라 방류관 중간부 또는 하류말단 ·밸브형식에 따라 방류관 하류 말단	·저수(低水)방류 ·홍수조절 ·수위유지관리	·고압 슬라이드 게이트 ·제트 플로우 게이트 ·할로우 제트 밸브 ·콘 밸브 ·콘스리브 밸브
취수구·침사지·수조 게이트	취수구·침사지·수조	·침사지·도수로·수조·방류관의 점검·수리시의 폐쇄	·저수심의 경우 ·롤러 게이트·슬라이드 게이트 ·고수심의 경우 ·고압롤러게이트·캐터필러게이트
방류철관용 밸브	방류철관 시단부 또는 말단	·방류철관의 점검·수리시의 폐쇄	·접형 밸브 ·슬루스 밸브 ·로터리 밸브
방수구 게이트	방수구	·수차 및 Draft tube의 점검, 수리용 ·홍수시의 역류방지	·롤러 게이트 ·슬라이드 게이트
배사(排砂) 게이트		·댐·침사지·도수로·수로 등에서 토사와 물을 함께 배출한다	·슬라이드 게이트 ·롤러 게이트 ·레이디얼 게이트
표면 취수 게이트 및 선택 취수 게이트	·저수지내 ·제체(堤體)	·저수지표층운수취수 ·저수지 임의층의 선택 취수 (탁수처리 등)	·슬라이드 게이트 ·롤러 게이트 ·직선다단식 게이트 ·반원형다단식 게이트 ·원형다단식 게이트 ·다공식 및 복식 게이트 ·다관식 게이트
예비 게이트	방류관 입구	·점검·수리시 폐쇄 ·긴급시 유수차단	·고압롤러 게이트 ·롤러 게이트
부(副)게이트·밸브	관로 도중	·소용량방류관게이트, 밸브의 점검·수리시 폐쇄 및 유수 차단	·슬라이드 게이트 ·고압슬라이드 게이트 ·링폴로 게이트 ·슬루스 밸브
수리용 게이트	수로의 입구, 도중, 출구	·점검·수리시 폐쇄	·롤러 게이트·슬라이드 게이트 ·각락판(Stop Logs) ·플로팅게이트

(가) 게이트는 예상되는 개폐하중에 대하여 확실하게 개폐조작이 가능해야 한다. 개폐하중에는 중량, 각종마찰력, 상향력, 하향력 등이 작용하므로 이들을

고려하여 충분한 능력을 갖는 개폐장치를 설치하여 비체의 개폐를 용이하고도 확실하게 해야 한다.

(나) 게이트는 본항에서 언급하는 “고려하는 하중”, “하중의 조합”, “개폐하중과 조합”항에 따라 안전한 구조로 한다.

(다) 게이트는 사용환경, 사용조건에 따라 적절한 수밀성을 가져야 한다. 문비의 수밀을 유지하기 위해서는 여러 형상의 탄성재료를 사용하고 있으나 일반적으로 저수압에서는 연질고무, 고수압에서는 경질고무를 사용한다.

특히 고수압에서는 고무를 접촉면에 압력으로 눌러 붙게 하는 방법이 취하여 지고 있다. 또한 수밀재로 금속을 사용하는 경우도 있다.

(라) 게이트는 장시간 사용하는 것이므로 설치장소의 환경, 사용조건, 수질, 조작빈도 등에 따라 부식, 마모를 고려하여 적절한 내구성을 가져야 한다.

(마) 고수압에서 개폐할 문비를 설계할 경우에는 비체의 형상, 호구의 형상, 비체배면에 대한 공기보급 등이 진동의 원인이 되므로 주의하여야 한다.

(바) 게이트의 성질상 특히 운전, 보수가 용이하게 될 수 있도록 고려한다.

나) 고려하는 하중

비체 설계에는 비체중량, 물의 중량, 정수압하중, 부력, 상하방향수리력, 개폐력, 지진시동수압하중, 지진시관성력, 이압하중, 풍하중, 설하중, 빙압에 의한 하중, 온도하중, 유수에 의한 수압 변화 및 이로 인한 진동에 따른 하중 증가를 고려한다.

(1) 정수압하중

저류수에 따른 정수압은 비체와의 접촉면에 대해 수직으로 작용하는 것으로서 다음 식으로 계산한다.

$$P = W_o \cdot h_o$$

여기서 P : 접촉면상의 임의의 정수압 (kN/m^2) $\{\text{tfm}^2\}$, W_o : 물의 단위체적 중량 (kN/m^3) $\{\text{tfm}^3\}$, h_o : 비체의 직상류의 수위에 파랑고를 가한 것에서 접촉면상의 임의점까지의 수심 (m)

(가) 상기의 h_o 를 계산하는 경우의 파랑고는

- ① 비체의 직상류의 수위가 상시 만수위가 될 경우
바람에 의한 파랑고 + 지진에 의한 파랑고
- ② 비체의 직상류의 수위가 서차지(Surcharge)가 되는 경우
바람에 의한 파랑고 + 지진에 의한 파랑고의 1/2
- ③ 비체의 직상류의 수위가 설계홍수위가 되는 경우
바람에 의한 파랑고

(나) 바람에 의한 파랑고

댐의 상류면이 연직에 가까운 콘크리트댐과 같은 경우에는 S.M.B법 (Sverdrup Munk Bretchneider)으로 Wilson의 개량식이 일반적으로 사용된다.

$$h_w = 0.00077 V \cdot F^{0.5}$$

여기서 h_w : 모든 파고(유의파) (m), F : 대안거리 (m)

V : 수면위 10m에서 10분간 평균풍속(m/s)(보통 20 ~ 30m/s)

댐 상류면이 경사하고 있는 필댐과 같은 경우에는 S.M.B법에 의한 Wilson의 개량식과 Saville법을 조합시킨 것이 있다.

(다) 지진에 의한 파랑고

$$h_e = \frac{k \cdot \tau}{2\pi} \sqrt{g \cdot H}$$

여기서 h_e : 반파고 (m), k : 설계진도, τ : 지진주기 (s) (일반적으로 1 sec) g : 중력가속도 9.80665(m/s²), H : 상시만수위에서 기초지반까지의 수심 (m)

(2) 설계진도

게이트의 설계진도는 댐의 종류 및 지역의 구분에 따라 표 4.13.3 에 표시된 값 이상으로 한다.

표 4.13.3 설계진도

댐 종류		지역 구분		
		강진대 지역	중진대 지역	약진대 지역
중력식 콘크리트 댐		0.12	0.12	0.10
아치식 콘크리트 댐		0.24	0.24	0.20
필 댐	댐 제체가 균일한 재료에 의한 것	0.15	0.15	0.12
	기타의 것	0.15	0.12	0.10

(3) 지진시 동수압 하중

게이트에 작용하는 동수압의 계산식은 Westergaard의 식에 따른다.

$$P_d = \frac{7}{8} W_o K \sqrt{H \cdot h}$$

여기서 P_d : 수심 h에서의 동수압 (kN/m²) {tfm²}, W_o : 물의 단위중량 (kN/m³) {tfm³}, h : 동수압이 작용하는 점, K : 설계진도

H : 저수지 수면에서 기초지반까지의 수심 (m) (바람 및 지진 에 의한 파고는 포함하지 않음), h : 저수지 수면에서 임의의 점까지의 수심 (m)

지진시 체체에 작용하는 외력은 지진시 관성력 이외에 지수동수압이 있다.

동수압을 구할 경우 Westergaard식 및 Zanger의 실험식이 많이 쓰여지고 있으나 여기에서는 Westergaard의 간이식을 표시하였다.

(4) 지진시 관성력

비체에 작용하는 지진시관성력은 비체의 중량에 설계진도를 승한 값으로 하여 수평방향에 작용한다.

$$I = K \cdot W$$

여기서 I : 지진시 비체의 관성력 (kN) {tf}, K : 설계진도

W : 비체의 중량 (kN) {tf}

또한 쉘구조나 원통형 등의 폐단면내에 물이 있을 경우에는 물 중량도 가산한다.

(5) 이압하중(泥壓荷重)

이압은 연직력에 있어서는 퇴적물의 수중에서의 중량을 취하는 것으로 하고 수평력에 있어서는 다음 계산식으로 구한다.

$$P_e = C_e \cdot W_1 \cdot d$$

여기서 P_e : 접촉면상의 임의점에서의 수평방향의 이압(kN/m²) {tf/m²}

C_e : 이압계수 (0.4 ~ 0.6)

W_1 : 퇴적물의 수중에서의 단위중량 (kN/m³) {tf/m³}

d : 퇴적물면에서 접촉면상의 임의점까지의 깊이 (m)

퇴적물은 이토의 입자가 수중에 부유하고 있는 것이 아니고 퇴적물의 공극에 물이 충전되어서 일체로 되어있는 상태에 있으므로 퇴적물의 수중에서의 단위체적중량은 다음 식으로 구한다.

$$W_1 = W - (1 - v) W_o$$

여기서 W : 퇴적물의 개산단위체적중량 (14.7 ~ 17.7 kN/m³), (1.5 ~ 1.8tf/m³)

v : 퇴적물 공극율(0.30 ~ 0.45), W_o : 물 단위체적중량(9.807kN/m³) {1.0tf/m³}

(6) 풍하중

풍하중은 수직투영면적에 작용 것으로 하여 다음의 값으로 한다.

$$P_w = P \cdot C \cdot A$$

여기서 P_w : 풍하중 (kN) {tf}, A : 수직투영면적 (m²)

P : 단위투영면적당 작용하는 풍하중 (2.94kN/m²) {0.3tf/m²}

c : 형상계수 (평면형상 : 1.2, Truss형상 풍상측 : 1.6, Truss형상 풍하측 : 1.2, 원통 형상(1개 있는 것) : 0.7)

(7) 설하중

설하중은 눈의 단위체적중량에 따라 크게 다르다.

갓내린 눈 : $1.47 \text{ kN/m}^3 \{0.15 \text{ tf/m}^3\}$, 내린지 좀 지난 눈 : $2.94 \text{ kN/m}^3 \{0.30 \text{ tf/m}^3\}$
 압축된 눈 또는 다량의 물을 함유한 눈 : $4.90 \sim 6.86 \text{ kN/m}^3 \{0.50 \sim 0.70 \text{ tf/m}^3\}$

(8) 빙압(氷壓)에 의한 하중

빙압에 대해서는 현지에서의 기온의 상승률, 얼음두께, 저수지의 양안의 상황, 결빙면에 대한 직사일광의 정도 등 여러 조건에 따라 고려한다.

이것에 관한 일례를 그림 4.13.9 에 표시한다.

(9) 온도하중

온도변화에 의한 영향이라 함은 문비를 설치할 상태를 기준하여 온도변화에 의한 비체의 신축을 말하며 비체가 구속되면 볼러지승부, 호구, 콘크리트 등에 악영향을 미칠 우려가 있으므로 호구강과 보조롤러 등은 간격을 두어 온도변화에 대하여 고려할 필요가 있다.

저수지 양안측 자유상태의 경우	A : 기온상승율 2.8°C/h (5°F/h)
양측 완전구속상태의 경우	B : 기온상승율 5.6°C/h (10°F/h)
	C : 기온상승율 8.4°C/h (15°F/h)

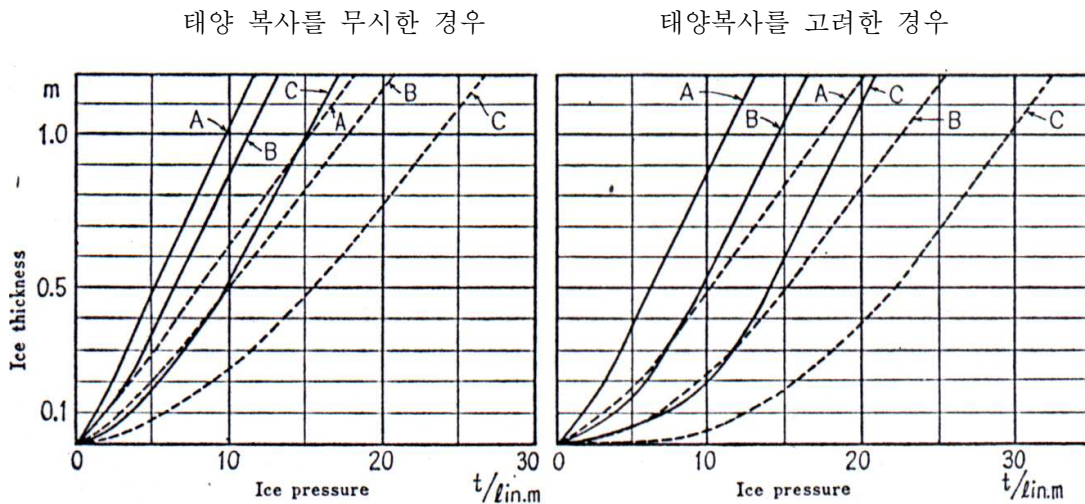


그림 4.13.9 빙후(氷厚), 빙압(氷壓)과의 관계

(주) 저수지양안 무구속 : 양안경사가 완만하고 얼음의 끝이 떠올라갈 수 있는 상태
 저수지양안 완전구속 : 양안이 급경사로 결빙이 부동의 경우

(10) 유수에 의한 수압의 변화

유수에 의한 수압의 변화라 함은 유수 중 비체를 조작할 경우 비체사방의 물의 압력분포가 비체형상 및 호구형상에 따라 변화하여 비체에 걸리는 수평 및 연직방향하중이 정수중의 경우와 다르므로 비체강도 및 조작하중에 대하여 영향을 고려할 필요가 있다. 진동에 의한 하중증가는 종래의 실적에 의하여 최고로 설계정하중의 10 % 정도로 한다.

다) 하중의 조합

(1) 전항의 하중은 다음 각항의 조합에 대하여 고려하여야 하며 게이트의 용도, 종류, 설치장소에 따라 결정한다.

(가) 문비의 경우

- ① 상 시 : 비체중량, 물의 중량, 정수압하중, 부력, 상하방향 수리력, 개폐력, 풍하중, 설하중, 온도하중, 이압, 파압, 수격압, 빙압에 의한 하중
- ② 지진시 : 비체중량, 물의 중량, 정수압하중, 부력, 상하방향 수리력, 설하중, 이압, 파압, 빙압, 지진시 동수압에 의한 하중, 지진시 관성력

(나) 방류관의 경우

① 매설관

- ㉠ 관내만수시 : 내압, 수격압, 온도변화에 의한 하중
- ㉡ 관내빈 경우 : 침투수압, 콘크리트타설압, 그라우트주입압에 의한 하중

- ② 노출관 : 내압에 의한 하중, 관의 중량, 물의 중량, 설하중, 수격압, 토압, 온도변화에 의한 하중

- ③ 내장관 : 침투수압, 콘크리트타설압, 그라우트주입압에 의한 하중

(2) 일반적으로 각 하중은 다음에 표시하는 경우에 대하여 고려한다.

(가) 비체중량 : 경간에 대해 비체의 높이가 약 1/10 이하의 비체

(나) 물의 중량 : 기복(起伏)게이트를 갖인 2단 롤러게이트에서 비체권상시 비체내외에 물을 갖인 상태에서 권상하는 경우

(다) 개폐력 : 래디얼게이트의 경우는 와이어로프의 장력, 지승부의 마찰력 등, 기타 문비에의 개폐력의 전달부에 대하여 검토한다.

(라) 풍하중 : 수면위에 권상된 비체의 경우

(마) 설하중 : 대설지역에서의 문비의 수평주빔 및 각주 등에서 적설하중을 고려할 필요가 있을 경우

(바) 온도하중 : 온도변화에 의한 영향을 받는 특히 장경간게이트

등의 경우에 고려한다.

- (사) 이압 : 퇴적물이 있는 장소에 설치하는 문비
- (아) 파압 : 파의 충돌에 의한 압력을 특별히 고려할 필요가 있을 경우
- (자) 수격압 : 수로내의 수격작용에 의한 압력을 받는 경우
- (차) 빙압 : 극한지에서 결빙방지장치가 없는 경우
- (카) 유수에 의한 수압변화 및 이것에 기인하는 진동에 의한 하중증가 :
고수심에서 조작하는 게이트, 비교적 수심이 있는 대형게이트의 저부
부근, 장경간게이트, 배면에 물이 있는 상태에서 방류하는 게이트, 다만
진동억제를 고려한 고압게이트는 이에 한하지 않는다.

라) 개폐하중과 조합

(1) 게이트 개폐하중

다음 항목을 안전한 방향으로 조합시켜 계산한다.

- ① 비체의 중량(ballast 중량 포함) ② 지승부 마찰력 ③ 수밀고무마찰력
- ④ 이압에 의한 마찰력 ⑤ 부력 ⑥ 월류에 의한 상향력·하향력
- ⑦ 하단방류시의 상향력·하향력 ⑧ 기타 하중

(2) 개폐하중의 계산법

개폐하중의 조합은 다음과 같이 표시한다.

(가) 지승부 롤러 회전마찰력

① Roller Gate

$$F_w = \frac{\mu_1 + (\mu_2 \text{ 또는 } \mu_3) \cdot r}{R} \cdot P$$

여기서 F_w : Roller 회전마찰력 (kN) {tf}, μ_1 : Roller의 회전마찰계수 (1.0mm) {0.1cm}, μ_2 : 미끄럼베어링의 미끄럼마찰계수, μ_3 : 굴림베어링의 회전마찰계수
 r : Roller축의 반경 또는 베어링 평균반경 (mm) {cm}, R : Roller의 반경 (mm){cm}, P : 조작시의 전수압하중 (kN) {tf}

② Caterpillar Gate

$$F_u = \frac{\mu_4}{R} \cdot P$$

여기서 F_u : Roller회전마찰력 (kN){tf}, μ_4 : Roller회전마찰계수(1.0mm) {0.1cm}
 R : Roller의 반경 (mm) {cm}, P : 조작시의 전수압하중 (kN) {tf}

(나) 금속간의 미끄럼마찰력

$$F_s = \mu_s \cdot P$$

여기서 F_s : 금속과 금속간의 미끄럼마찰력 (kN) {tf}

μ_s : 금속간의 미끄럼마찰계수, P : 조작시의 전수압하중 (kN) {tf}

(다) 수밀고무의 미끄럼마찰력

$$F_r = \mu_r \cdot (q + P \cdot b) \cdot \Sigma l$$

여기서 F_r : 수밀고무와 금속간의 미끄럼마찰력 (kN) {tf}, μ_r : 수밀고무와 금속간의 미끄럼마찰계수, q : 수밀고무의 초기 압착력 (kN/m) {tf/m}, P : 수밀고무에 작용하는 평균수압 (kN/m²) {tf/m²}, b : 수밀고무의 유효수압폭 (m) {m} Σl : 고무의 접동총길이 (m) {m}

(라) 퇴적물과 금속간의 미끄럼마찰력

$$F_e = \mu_e \cdot P_e$$

여기서 F_e : 퇴적물과 금속간의 미끄럼마찰력 (kN) {tf}, μ_e : 퇴적물과 금속간의 미끄럼마찰계수, P_e : 개폐시의 전퇴적물의 압력에 의한 하중 (kN) {tf}

(마) 부력

$$F_b = W_0 \cdot V$$

여기서 F_b : 부력 (kN) {tf}, W_0 : 물의 단위체적중량 (9.807kN/m³) {1.0tf/m³} V : 비체가 배제하는 물의 체적 (m³) {m³}

(바) 월류수에 의한 상향력·하향력

$$F_u = k_1 \cdot W_0 \cdot H \cdot D \cdot B$$

여기서 F_u : 월류수에 의한 상향력·하향력 (kN) {tf}, k_1 : 월류부의 형상에 따라 추정하는 계수로서 과거의 실적이나 모형실험에 따라 정함, W_0 : 물의 단위체적중량 (kN/m³) {tf/m³}, H : 월류수심 (m) {m}, D : 월류관의 상하류방향의 폭 (m) {m} B : 좌우월류관간의 거리 (m) {m}

(사) 하단방류시의 상향력·하향력

$$F_d = k_2 \cdot W_0 \cdot H_d \cdot A$$

여기서 F_d : 하단방류시의 상향력·하향력 (kN) {tf}, k_2 : 일반적으로 0.15 ~ 0.5 정도의 범위에서 취한다. 비체하부의 형상과 토목형상에 따른 계수로서 과거의 실적이나 모형실험 등으로 정함, W_0 : 물의 단위체적중량 (kN/m³) {tf/m³}, H_d : 설계대상 수심 (m) {m}, A : 게이트리프의 상류측의 저면관의 투영면적 (m²) {m²}

(아) 기타의 하중

① 비체중량에는 와이어로프, 스프링, Rack봉 등의 비체와 개폐장치를 연결하는 등등의 중량이 포함된다. 또한 자중하강시에 대하여도 비체중량을 고려한다.

② 셀구조게이트의 경우에는 장기간 수중에 있게되면 게이트 내부에 토사가 퇴적될 가능성이 있다. 설치환경에 따라 퇴적에 따른 토사의 하중을 고려한다.

③ 필요에 따라 비체내부의 물의 중량, 파에 따른 하중, 비체상의 설하중 등도 고려한다.

(3) 대표적인 게이트형식에 따른 개폐하중의 조합의 예를 표시한다.

(가) Roller Gate, Slide Gate

$$\textcircled{1} \text{ Roller Gate} : W = G + F_w + F_r + F_e + F_b + F_u + F_d$$

$$\textcircled{2} \text{ Slide Gate} : W = G + F_s + F_r + F_e + F_b + F_u + F_d$$

여기서 W : 개폐하중 (kN) {tf}, G : 비체의 자중 (kN) {tf}

F_w : Roller 회전마찰력 (kN) {tf}, F_s : 금속과 금속간의 미끄럼마찰력 (kN)

{tf}

F_r : 수밀고무와 금속간의 미끄럼마찰력 (kN) {tf}

F_e : 퇴적물과 금속간의 미끄럼마찰력 (kN) {tf}, F_b : 부력 (kN) {tf}

F_u : 월류수에 의한 상·하향력 (kN){tf}, F_d : 하단방류시 상·하향력(kN){tf}

(나) Radial Gate

$$W = \frac{G \cdot r + P_1 \cdot \mu_1 \cdot r_1 + P_2 \cdot \mu_2 \cdot r_2 + P_3 \cdot \mu_3 \cdot r_3}{R}$$

여기서 W : 개폐하중 (kN){tf}, G : 비체자중 (kN) {tf}

r : Trunnion pin 중심(中心)부터 중심(重心)까지의 거리 (m) {m}

P_1 : 조작시의 수압 + 개폐력의 합력 (kN) {tf}

μ_1 : Trunnion pin 베어링의 마찰계수, r_1 : Trunnion pin의 반경 (m) {m}

P_2 : 수밀고무에 작용하는 전수압 + 초기압착력 (kN) {tf}

μ_2 : 수밀고무의 미끄럼마찰계수

r_2 : Trunnion Pin 중심(中心)부터 수밀고무 접촉면 중심까지의 거리 (m) {m}

P_3 : Trunnion부분의 Thrust력 (kN) {tf}

μ_3 : Trunnion Boss와 Thrust를 받는 미끄럼마찰계수

r_3 : Trunnion Boss와 Thrust를 받는 미끄럼면의 평균반경 (m) {m}

R : 회전중심(Trunnion중심)부터 와이어로프 또는 Cylinder Rod 중심까지의 거리 (m) {m}

(다) 기복(起伏)게이트

$$W = \frac{G \cdot r + P_1 \cdot r_1 + P_2 \cdot \mu_1 \cdot r_2 + R_h \cdot \mu_2 \cdot r_3}{R}$$

여기서 W : 개폐하중 (kN) {tf}, G : 비체자중 (kN) {tf}

R : 회전중심부터 개폐력 작용선까지의 거리 (m) {m}

r : 회전중심부터 중심(重心)까지의 거리 (m) {m}

P_1 : 조작시의 수압하중 (kN) {tf},

r_1 : 회전중심부터 수압중심까지의 거리 (m) {m}

P_2 : 수밀고무에 작용하는 전수압 + 초기압착력 (kN) {tf}

μ_1 : 수밀고무의 미끄럼마찰계수

r_2 : 회전중심부터 수밀고무 접촉면 중심까지의 거리 (m) {m}

R_b : 하부지승축의 반력 (kN) {tf}

μ_2 : 지승베어링의 미끄럼마찰계수, r_3 : 지승축의 반경 (m) {m}

마) 개폐속도

비체의 개폐속도는 사용목적에 적합한 것이어야 한다. 방류에 의한 상하류에 대한 영향, 기타를 고려해서 보통 0.3~0.5 m/min 정도로 한다. 다만, 자동제어 또는 기타의 목적으로 개폐속도를 저속으로 했을 경우 0.1 m/min 정도, 갑문 등에 있어 고속으로 했을 경우는 1.0~5.0 m/min 정도로 한다. 기복(起伏)게이트에서 유량을 조절할 경우 열고 닫는 시간은 일반적으로 10~20분 정도로 한다. 고압밸브류는 0.05~0.1 m/min 정도로 한다. 또한 정전 등 비상시에 예비동력을 사용하는 경우에는 속도를 0.05~0.1 m/min 정도로 하는 것도 많다.

바) 양정

비체의 양정은 전개시에 유수에 대하여 안전하여야 하며 보수관리를 고려하여 결정한다. 댐의 홍수용 문비에 대해서는 권상후 비체의 하단과 유수면과의 간격은 배수시 예상되는 유하물의 형상, 크기 등에 따라 결정해야 하지만 권상후의 비체의 하단은 댐 설계홍수량을 방류할 경우에는 월류수면보다 1.5 m 이상의 간격이 필요하다. 다만 월류수심이 2.5 m 이하에서는 1.0 m 이상이면 좋다. 기복(起伏)게이트의 경우에는 전개시(倒伏時)비체의 높이가 하천의 계획하상고 이상으로 되어서는 안된다.

사) 게이트의 사용재료

(1) 게이트 제작자는 사용 전에 재료시험을 하여 KS에 합격되는가를 확인한다. 다만, 재료가 제철회사가 시행한 재료시험성적표로서 명백히 되어 있는 것은 게이트 제작자의 시험으로 대체할 수 있다.

(2) 화학성분 및 기계적 성질 등을 충분히 검토했을 경우에는 표에 기재한 종류 이외의 재료에 대해서도 사용할 수 있다.

(3) 고압밸브 및 스크린에 사용하는 재료는 본 조항을 적용한다.

(4) 철관두께에 따른 강 종류의 선정은 표 4.13.4 에 기초하여 선정하는 것을 표준으로 한다.

(라) 두께가 특히 두꺼운 경우 및 특수한 재료를 사용할 경우에는 가공성, 용접성, 기타 제작상 등의 문제가 생기므로 전항의 “강재의 검사기준”에 포함하는 일반적인 시험 이외의 문제점에 대해 시험하도록 했다. 각각의 강재에 대해 KS에 규정된 시험 이외에 시행되는 시험에는 다음과 같은 것이 있다.

특수한 것에 대해서는 내식성시험, 구조물시험 등이 있다

모재 : 가공성시험, 열영향시험, 취성시험, 자기탐상시험(대형주단강품)

용접부 : 경도시험, 균열성시험, 이음강도시험, 취성시험

용접재료: 작업성시험

아) 마찰계수

(1) 게이트 접동부 및 회전부와 개폐장치의 마찰계수는 표 4.13.5-6 와 같다.

(2) 본 조항의 마찰계수는 게이트의 개폐하중 및 개폐장치의 용량 계산에 사용하는 표준치이다.

(3) 마찰계수는 접촉면의 건습상태, 윤활상태, 온도, 운전시간, 표면 상태(精度, 오염 등)등에 따라 다르므로 사용상태에 따라 적절한 값을 써야한다.

(4) 비체의 중량에 비하여 마찰저항력이 큰 경우에는 특히 접촉면의 윤활, 방청에 유의한다.

표 4.13.4 판 두께에 따른 강 종류의 선정기준 (단위 mm)

판두께 \ 강종	8	16	22	25	32	40	50	100
SS400								
SM400A								
SM400B								
SM400C								
SM490A								
SM490B								
SM490C								

(주) ① 용접구조용 재료후판(厚板)은 길드(killed)강을 사용함이 바람직하다.

② 기온이 현저하게 낮은 지방에서는 저온시의 인성(靱性)이 양호한 재료를 선정한다.

- ③ 용접구조용내후성강재(SMA)는 용접구조용강재(SM)에 준한다.
- ④ 동일한 문비에서 다종의 강종류를 사용하는 것을 피해야 한다.
- ⑤ 문비는 교량에 비해서 충격하중이 작으므로 상기 두께를 초과했을 정도에도 용접성에 대하여 주의해서 시행관리를 하면 사용하여도 지장이 없다.

표 4.13.5 문비 각부의 마찰계수

항 목	마찰계수
1. 지승부 롤러의 회전마찰	1.0 mm {0.1cm}
2. 지승부 베어링의	
(가) 미끄럼 베어링의 미끄럼마찰	0.2
(나) 굴림 베어링의 회전마찰	0.01 ~ 0.02
3. 수밀고무와 스테인리스강관과의 미끄럼마찰	
(가) 물에 젖어있는 상태	0.5 ~ 0.7
(나) 건조한 상태	0.9 ~ 1.2
(다) 수밀고무에 4불화에티렌 수지를 바른 경우	0.1
4. 수밀부, 또는 지승부금속간의 미끄럼마찰	0.3 ~ 0.6
5. 금속과 퇴적물의 미끄럼마찰	0.3 ~ 0.5

표 4.13.6 개폐장치 각부의 마찰계수

항 목	마찰계수
1. 스프링들이 Screw면	0.2
2. Worm gear의 Screw면 (기동시)	0.06 ~ 0.1
3. Worm gear의 Screw면 (운전시)	0.03 ~ 0.06
4. Brake의 마찰면	
(가) 주철과 주철, 또는 주강 (건조)	0.1 ~ 0.2
(나) 주철과 주철, 또는 주강 (윤활)	0.08 ~ 0.12
(다) 강관과 주철, 또는 주강 (건조)	0.15 ~ 0.20
(라) 강관과 주철, 또는 주강 (윤활)	0.10 ~ 0.20
(마) 청동과 주철, 또는 주강 (건조, 윤활)	0.10 ~ 0.20

자) 기계효율

(1) 개폐장치 각부의 기계효율은 표 4.13.7 을 표준으로 한다. 다만, 이들의 효율이나 계수는 윤활의 정도, 주위온도, 운전시간 등에 따라 변하므로, 특

수한 환경에 사용할 경우, 그에 합당하도록 수정하여 사용한다.

(2) 감속기는 치차의 단수, 온도, 부하율 등에 따라 기계효율은 크게 달라 지므로 종전대로 개개의 기기의 신뢰가 있는 데이터를 근거로 하여 효율을 정할 필요가 있다.

표 4.13.7 개폐장치 각부의 기계효율

항 목	마찰계수
1. Sheave (미끄럼베어링이 붙어 있는 것)	0.95
2. Sheave (구름베어링이 붙어 있는 것)	0.98
3. Drum (미끄럼베어링이 붙어 있는 것)	0.95
4. Drum (구름베어링이 붙어 있는 것)	0.98
5. 평치차, Bevel gear(개방형, 미끄럼베어링이 붙어 있는 것, 1단)	0.95
6. 평치차, Bevel gear(유곡형, 미끄럼베어링이 붙어 있는 것, 1단)	0.97
7. Rack Gear(Rack 와 Pinion)	0.90
8. Chain(Sprocket 1개당)	0.95

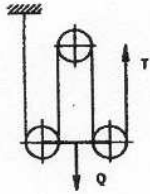
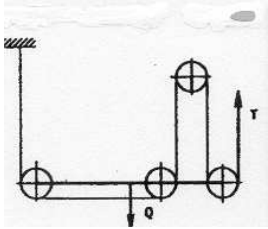
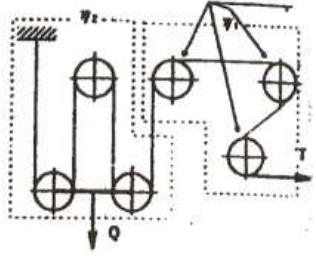
표 4.13.8 각종 감속기의 기계효율

Helical 감속기		Worm 감속기		Cyclo 감속기		
단수	기계효율	단수	기계효율	단수	감속비	기계효율
3단형	0.82 ~ 0.96	1단형	0.37 ~ 0.59	1단형	1/59 ~ 1/11 1/121 ~ 1/87	0.80 ~ 0.85 0.65 ~ 0.75
4단형	0.80 ~ 0.94	2단형	0.35 ~ 0.57			
5단형	0.77 ~ 0.93	3단형	0.34 ~ 0.56			
조건 : 주위온도 0℃, 부하율 100%				조건 : 주위온도 20℃		

(3) Cyclo 감속기의 기계효율은 Roller type, Pin type에 따라서 다르며 또 윤활유의 종류, 주위온도, 운전기간에 따라 변화하므로 설계 시 충분히 검토할 필요가 있다. 각종 감속기의 기계효율은 표. 4.13.8 로 구한다.

(4) Sheave의 전 효율은 ① 표준적인 형식 ② 와이어로프로 끄는 경우 ③ 전향(轉向)Sheave로 조립한 경우에 따라 표. 4.13.9 로 구하는 것이 좋다.

표 4.13.9 Sheave 전효율

① 표준적인 형식	② 와이어로프로 끄는 경우	③ 전향(轉向)Sheave로 조립한 경우
		
$\eta_0 = \frac{1}{n+1} \cdot \frac{1-\eta^{n+1}}{1-\eta}$ <p>여기서, η_0: Sheave 전효율 η: Sheave 1개 효율 = 0.95 n: Sheave 총수</p> <p>(상기 그림의 경우) $n = 3$</p>	$\eta_0 = \frac{1}{n} \cdot \frac{1-\eta^m(1-\eta)-\eta^{n+1}}{1-\eta}$ <p>여기서, η_0: Sheave 전효율 η: Sheave 1개 효율 = 0.95 n: Sheave 총수 m: Drum측 Sheave수</p> <p>(상기 그림의 경우) $n = 4, m = 3$ (Sheave 가 역배치의 경우) $n = 4, m = 1$</p>	$\eta_0 = \eta_1 \cdot \eta_2$ <p>여기서, η_0: Sheave 전효율 η_1: 전향Sheave의 효율 = $\eta^{m'}$ η: Sheave 1개 효율 = 0.95 m': 전향 Sheave수 η_2: ①, ②식으로 구한 효율</p> <p>(상기 그림의 경우) $m' = 3$ η_2는 ①식으로 계산한다. 여기서 Sheave의 수 $n = 3$ 이다.</p>

2) 허용응력

가) 비체, 호구, 고정부, 스크린에 사용하는 구조용강재, 주철재, 단강품 및 기계구조용 탄소강의 허용 응력은 다음 사항을 고려해야 한다.

- (1) 상시 물에 잠긴 상태에 있는 게이트의 경우
- (2) 상시 물에 잠긴 상태에 있지 않는 게이트의 경우
- (3) 위에서 규정하고 있지 않은 재료를 사용할 때의 허용응력에 대하여는 위의 규정에 준하여 각 응력을 결정하는 것으로 한다.

(4) 동일 축방향의 응력만이 아닌 경우는 합성응력을 다음 식으로 계산하여 허용치 이내에 있어야 한다.

$$\sigma_g = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 + 3\tau^2}$$

여기서 σ_g : 합성응력(kgf/cm²), σ_1 : 축응력×(인장을 정(正)으로 함) (kgf/cm²), σ_2 : σ_1 에 직각방향의 축응력(인장을 정(正))(kgf/cm²), τ : 전단응력 (kgf/cm²)
 합성응력에 대한 허용치 : 상시 1.5 σ_a , 지진시 0.9 σ_y

여기서 σ_a : 허용응력 (kgf/cm²), σ_y : 항복점응력 (kgf/cm²)

- (5) 접합용강
- (6) 마찰접합의 고력볼트

나) 지진시 허용응력의 증가

게이트에 가해지는 지진시 관성력 및 동수압은 최대진도를 받는 일은 드물고 지진계속시간은 극히 단시간이므로 이때의 허용응력을 상기 “가)항”의 값보다 50 % 증가할 수가 있다. 다만, 지진시 합성응력이 90 %를 넘지 않도록 할 필요가 있다.

다) 허용면압

- (1) 접동부, 회전부의 허용면압은 표 4.13.10 을 표준으로 한다.

표 4.13.10 허용 면압

재 료 명	허 용 면 압(단위 : N/mm ² {kgf/cm ² })				
	접 동 부		회 전 부		
	접동시	정지시	비체지승부	개폐장치베어링	정지시
청동주물 인청동주물 연청동주물	6 {60} 이하	18 {180} 이하	14 {140} 이하	6 {60} 이하	28 {280} 이하
오일리스베어링	-	-	23{230}이하	23{230}이하	45{450}이하

(2) 본 항은 슬라이드게이트의 지승부, 롤러게이트, 래디얼게이트, 기복(起伏)게이트 등의 회전지승부 및 개폐장치의 베어링 등의 접동시·회전시와 정지시의 허용면압의 표준치를 표시한 것이다.

롤러와 핀(Pin), 래디얼게이트의 트러니온보스(Trunnion Boss, Hube)와 핀, 기복(起伏)게이트의 베어링과 핀 등은 모두 비체에 걸리는 수압하중을 지

지하면서 회전하고 또 그 하중을 완전히 고정부에 전하는 것이므로 충분한 강도와 강성을 가지면서 근소한 회전각도에서도 확실히 회전하고 비체의 처짐으로 한쪽만 닿지 않는 구조로 한다.

일반적으로 문비의 회전지승부는 대하중을 받을 경우가 있어 회전속도는 아주 느리고 제한된 범위내의 각도에서 회전하는 경우가 많아서 윤활제 주입이 곤란한 경우가 많다.

비체의 회전지승부에 사용되는 베어링은 외부급유형의 플랜베어링(Plane bearing), 오일리스(Oilless)형의 플랜베어링, 롤러베어링 등이 사용되고 있다.

외부급유형의 플랜베어링은 부시(Bush)에 BC, LBC, PBC등의 재료를 사용하고 이것에 적당한 유구를 파서 구리스건(Grease gun), 집중윤활방식 등으로 윤활한다.

이 경우 하중에 따라 내후성이 좋은 유지를 사용하면 회전허용면압은 축의 투영면적에 대해 $150 \sim 200 \text{ kgf/cm}^2$ 정도의 값을 취할 수 있고 미끄럼마찰계수는 0.2 정도이다. 최근에는 고체윤활제를 부시(Bush)에 내장한 오일리스베어링(Oilless bearing)이 편리성이 인정되어 널리 지승부의 베어링에 쓰여지고 있다. 이 베어링은 본래 급유의 필요가 없으나 축의 재질 및 수질에 따라서는 발청도 생각하여야 하므로 축의 방청을 고려한 급유가 바람직하다. 따라서 급유하는 경우에는 고체윤활제에 적합한 성분의 구리스를 사용하는 것이 좋다.

고체윤활제에는 2유화몰리브덴, 흑연, 불소수지 등이 사용되어 이것으로 축수성능이 변한다. 또 윤활제의 부시가 수중에서 전식작용(Galvanic Action)을 일으키지 않을 것도 수중베어링의 경우에는 필요하다.

오일리스베어링을 사용할 경우, 베어링의 회전허용면압은 250 kgf/cm^2 정도까지 취할 수 있고 미끄럼마찰계수는 0.1~0.2 정도이다.

따라서 정지허용면압은 회전허용면압의 2배 이내로 함이 좋다.

고압게이트에서 강하력이 부족한 롤러게이트나 래디얼게이트의 트러니언핀의 베어링에는 롤러베어링이 사용되는 수도 있다. 그 경우 자동조심효과가 있는 스페리컬롤러베어링의 사용이 바람직하다. 또 수분(水分)의 침입을 방지하기 위해 내부에 구리스를 충전해서 씰(Seal)장치를 부착할 필요가 있다.

롤러베어링의 로울링마찰계수는 0.01~0.02 정도이고 하중계수는 기본정정격 하중(基本靜定格荷重)에 대하여 1.2~1.5 정도로 한다.

라) 개폐장치용 재료의 안전율

개폐장치에 사용하는 재료의 안전율은 표 4.13.11 과 같다.

표 4.13.11 사용재료의 안전율

종 류	안 전 율		
	인 장	압 축	전 단
일반 및 용접 구조용 압연강재(SS, SM)	5	5	8.7
탄소강 단강품용 강편(SF)	5	5	8.7
기계 구조용 탄소 강재(SM-C)	5	5	8.7
스테인리스 강봉(STS)	5	5	8.7
탄소 주강품(SC)	5	5	8.7
회 주철품(GC)	10	3.5	17
구상흑연 주철품(GCD)	7	2.5	12
청동 주물(BC)	8	8	10
와이어로프	8 (개폐정하중에 대하여)		
판 Link Chain	6.5 (개폐정하중에 대하여)		

마) 허용처짐도

비체의 휨에 의한 처짐도는 구조물로서 필요한 강성·수밀성·동적 안정성 및 조작시의 안전성을 고려해서 표 4.13.12 에 표시하는 값 이하로 한다.

경간이라 함은 롤러게이트의 경우는 지점간, 레이디얼게이트 및 기복(起伏) 게이트의 경우는 순경간을 취하는 것으로 한다.

표 4.13.12 허용처짐도

형 식	허용 처짐도
문비(고무 수밀)	1/800
저압 문비(금속 수밀)	1/1,000
고압 문비(금속 수밀)	1/2,000
셀구조 롤러 게이트	1/800(수평, 연직), 1/600(합성)
수리용 게이트	1/600
기계대	1/2,000
개폐장치가대	1/1,000
스크린 주빔	1/600
점검대 등 빔	1/600

※ 저압문비 : 설계수심 25 m 미만, 고압문비 : 설계수심 25 m 이상

탄성수밀재료를 수밀부에 사용한 문비에서는 상기의 처짐으로도 충분한 수밀성이 얻어지지만 특수한 경우는 별도로 고려한다.

예컨대 수밀부가 금속접촉형인 문비에 있어서는 수밀성을 확보하기 위하여 1/1,000 ~ 1/2,000일 것이 바람직하다. 더욱이 장경간 게이트에서는 최대한도를 1/600로 인상하여도 좋다.

수밀의 정도가 통상의 문비보다도 떨어지는 것이 허용되는 각낙판과 같은 문비에 있어서는 1/600을 넘어도 좋다. 다만 상기의 것은 레이디얼게이트의 각주와 같은 좌굴, 압괴의 우려가 있는 부재의 처짐에는 적용되지 않는다.

3) 부재에 관한 사항

문비에 관련된 각종 부재를 설계함에 있어 ① 여유두께 ② 최소 판두께 및 세장비(細長比) ③ 플레이트 거어더(Plate girder) ④ 스킨플레이트(Skin plate) 등에 대하여 충분히 검토해야 한다.

4) 비체·호구·고정부

비체·호구·고정부를 설계함에 있어 ① 비체, 호구, 고정부의 형상 ② 수밀부 ③ 회전 지승부 등에 대하여 충분히 검토해야 한다.

가) 비체, 호구, 고정부의 형상

비체, 호구, 고정부의 형상은 사용목적에 따라 적절한 조합을 선택한다. 문비는 사용방법에 따라 장시간 비체상부에서의 월류, 저부에서의 사류(射流)에 당게되는 수도 있어 이들의 수류 때문에 과도한 진동을 일으키는 수가 있다.

이들의 진동은 어느 정도 비체, 호구, 고정부의 형상을 연구개량하므로써 제거할 수 있다. 이들 형상의 조합은 과거의 경험, 실험 또는 수리시험으로서 결정함이 좋다. 예컨대 장경간의 문비에서 월류가 있을 때는 비체정부의 형상은 월류로 유해한 진동을 일으키지 않는 형상으로 하고, 비체 배부에 공기공급을 완전히 할 수 있도록 연구한다. 공기공급장치의 일례로서 비체 정부(頂部) 양측에 그림 4.13.9와 같은 도류판이나 스포일러(Spoiler) 등을 설치한다.

일반적으로 고수심에서 조작하는 문비에서는 비체(Gate leaf)의 저면폭이 크면 개도에 따라서 저면의 압력은 불안정하게 변동하여 비체의 진동이 야기된다. 따라서 비체저면의 수평부분을 수밀상 허용할 수 있는 한까지는 작게 함이 좋다. 10 m 정도 이상의 수심에서 장시간 부분 개방되는 게이트의 호구형상은 그림 4.13.10 과 같은 형상으로 하고 오프셋(Offset)은 호구폭W에 대하여 $0.075W \sim 0.10W$ 정도로 하고 호구하류부의 기울기는 수심에 따라 다르지만

1/12 ~ 1/24로 할 필요가 있다.

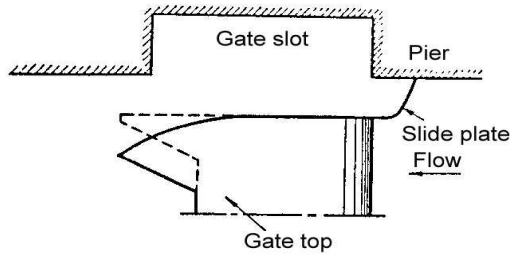


그림 4.13.9 공기공급장치

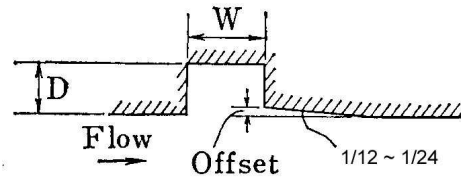


그림 4.13.10 호구부의 형상

나) 수밀부(水密部)

수밀부의 형식, 구조는 문비 형식, 사용목적에 따라 적절한 수밀을 확보하여야 하며, 수밀재는 문비의 사용조건에 따른 형상, 재질로서 내구성이 우수한 것이어야 한다.

문비의 수밀부는 일반적으로 금속판에 금속판, 고무, 목재 등을 접속시키고 있으나 스테인리스강판과 고무로 수밀부를 구성하고 있는 경우가 가장 많다. 이들 수밀고무는 ① 간단하게 교체가 가능 ② 개폐 시 적절한 마찰력 유지 ③ 어느 정도의 처짐에도 수밀성 유지 ④ 내구력이 있어야 한다.

일반적으로 사용되는 수밀고무는 천연고무 또는 합성고무(Chloroprene계)가 있으며 전자는 강도가 크고 후자는 내후성이 우수하여 보통 합성고무의 사용이 권장되고 있다.

다) 회전 지승부

회전지승부는 지지하는 외력, 회전속도, 사용빈도를 고려하여 적절한 구로로 하고 비체를 원활히 조작할 수 있고 보수, 관리가 용이한 것이어야 한다.

롤러 게이트의 롤러와 핀(Pin), 래디얼 게이트의 트러니온 보스(Trunnion boss, Hube)와 핀, 기복 게이트의 베어링과 핀 등은 모두 비체에 걸리는 수압 하중을 지지하면서 회전하고 또 그 하중을 완전히 고정부에 전하는 것이므로 충분한 강도와 강성을 가지면서 근소한 회전각도에서도 확실히 회전하고 비체의 처짐으로 한쪽만의 당기가 생기지 않는 구조로 해야 한다.

5) 개폐장치

개폐장치를 설계함에 있어 ① 형식 선정 ② 원동기의 용량과 시간정격 ③ 예비동력설비의 형식과 용량 ④ 보호장치와 부속설비 ⑤ 제동기구 ⑥ 비상폐쇄장치 ⑦ 와이어로프 ⑧ 유압펌프 및 전동기용량 등에 대하여 충분히 검토해야 한다.

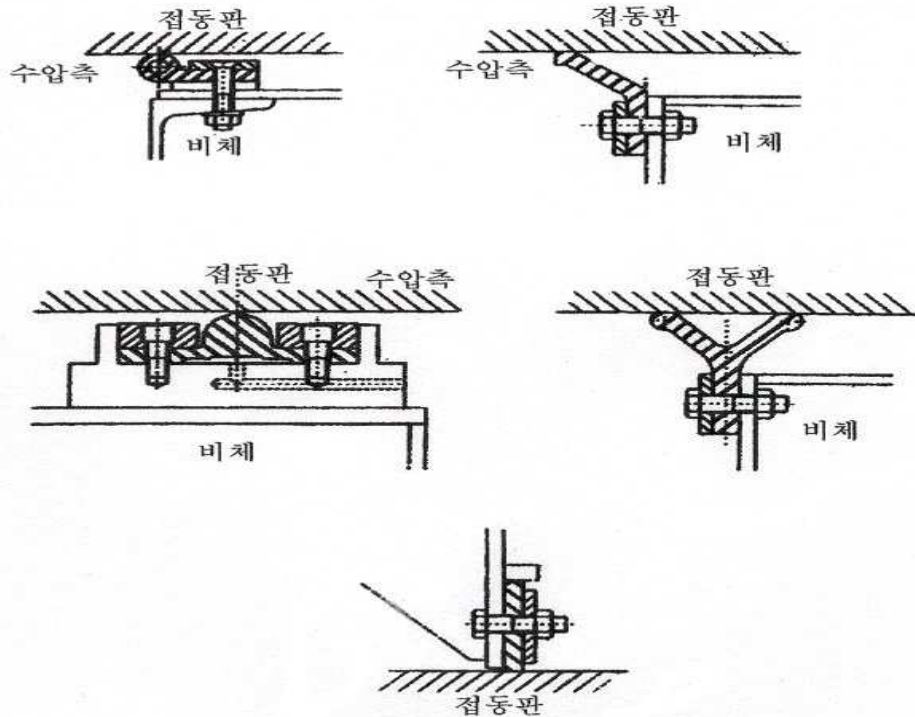


그림 4.13.11 수밀부의구조

가) 형식 선정

개폐장치의 형식을 선정할 때에는 게이트의 종류, 크기, 사용목적, 사용빈도 및 설치장소를 고려하여 결정한다.

개폐장치의 형식에는 기계식과 유압식이 있으며, 각종 문비에 대한 개폐장치의 적용 예를 표 4.13.13 에 표시한다.

기계식에는 ① 와이어로프 윈치식(Wire rope winch) (1 motor 2 drum winch식, 1 motor 1 drum winch식, 2 motor 2 drum winch식 등) ② 스피들식(Spindle) ③ 랙크식(Rack) 등이 있다.

유압식에는 ① 유압실린더식 (고정실린더식 직결식 및 링크식, 요동(搖動)실린더 직결식 및 레버식 ② 유압실린더 와이어로프식 ③ 유압모터 와이어로프식 ④ 유압모터랙크식 등이 있다.

나) 원동기의 용량과 시간정격

(1) 개폐장치에 사용하는 원동기의 용량과 시간정격에 대하여 다음 사항을 고려하여 결정한다.

(가) 원동기용량은 계산된 개폐력에 대하여 100 % 이상의 용량의 것으로

하고 원동기의 정격토크에 대해 기동토크는 200 % 이상, 최대토크가 300 % 이하로 한다.

(나) 전동기의 시간정격은 전양정을 운전하는데 필요한 시간 이상으로 한다. 다만 1회당의 운전계속시간 이상으로 한다.

(다) 자동제어 등에서 기동, 정지를 빈번하게 되풀이하는 경우는 장시간의 반복운전을 해도 지장이 없는 것으로 한다.

(라) 개폐장치에 직결해서 사용하는 내연기관의 용량은 계산 개폐력의 150 % 이상의 용량의 것이어야 한다.

(2) 일반적으로 문비의 개폐장치에는 특수농형삼상유도전동기가 사용되고 있고 그 용량은 개폐력에 따라 결정한다.

개폐력의 계산치는 비체의 자중, 베러스트(ballast)의 자중, 지승부, 수밀고무 및 퇴적물에 의한 마찰력, 부력, 월류수에 의한 상향력 하향력, 하단방류시의 상향력 하향력 기타 필요한 하중을 고려해서 산정해야 한다.

특히 소용량의 개폐장치에서는 감속기, 전달기구의 고유의 저항이 계산출력에 비하여 크므로 개폐출력 산정에는 주의를 요한다.

최대개폐력은 전개의 기동시에 생기는 것이 보통이나 수침(水侵)하는 문비나 고압문비에서는 부분개방류시에 생기는 것이 있으므로 충분히 검토해서 산정할 필요가 있다.

특수농형삼상유도전동기를 사용하는 경우는 전전압기동을 원칙으로 하고 있으므로 기동전류에 의한 전선 및 전선로의 전압강하나 기동시 저항토크의 증가를 고려해서 그 기동토크는 200 % 이상으로 했다.

권선형유도전동기를 사용하는 경우는 최대토크는 200 % 이상 300 % 이하이면 좋다.

전동기의 정격에는 연속정격, 단시간정격, 반복정격 등이 있으며 문비의 사용목적이나 조작방식 등에 따라 적절한 정격을 선정해야 한다.

(3) 각 개폐장치의 특징은 다음과 같으며, 형식을 선정할 때에는 각각의 특징을 고려한다.

(가) 와이어로프 윈치식(wire rope winch)의 경우
이 형식은 중형 문비 및 대형 문비에 널리 사용된다.

(나) 스피들식(spindle) 및 랙크식(rack)의 경우
이 형식은 소형 문비에 적합하다. 또한 대형 문비 또는 고양정의 문비에는 구조상 무리가 있으므로 사용하지 않는 것이 좋다.

(다) 유압 실린더식(cylinder)의 경우

이 형식은 고압케이트에 널리 사용된다. 비체의 개도를 정확하게 조정할 필요가 있는 경우 또는 개폐장치를 협소한 장소에 설치해야할 경우 등에 유리하나 다른 형식에 비하여 기름교환 등 유지관리에 비용이 요한다. 또한 유압실린더의 지지부분은 개폐력의 반력을 지지하기가 곤란한 경우가 있으므로 충분히 주의해야 한다.

(라) 유압실린더 와이어로프(cylinder wire rope)식의 경우

이 형식은 상기 (가)항 및 (나)항의 사용이 곤란할 시, 즉 개폐장치의 설치면적이 협소할 때, 개폐장치를 비체 또는 각주내에 설치할 경우 등에 사용된다. 선정에는 사용빈도, 유지관리 등을 충분히 검토해야 한다. 따라서 고양정, 대하중의 문비에서는 구조상 무리가 있는 것은 사용하지 말아야 한다.

(마) 유압모터 와이어로프(motor wire rope)식의 경우

복수의 문비가 설치될 경우는 밸브의 절환에 의한 한 대의 유압펌프로 복수의 문비를 조작하는 이점이 있다. 개폐속도를 무단변속으로 할 경우 등에 편리하다.

다) 예비동력설비의 형식과 용량

(1) 예비동력설비는 문비의 중요성을 충분히 검토해서 결정해야 한다. 대표적인 형식으로서는 다음과 같은 것이 있다.

개폐용 동력이 전동기인 경우는 ① 비상전원이 정지했을 때 내연기관에 직결된 예비발전기에서 수전하는 것 ② 전동기가 고장 등의 경우에 개폐장치에 직결된 내연기관 또는 수동장치에 의하여 조작하는 것 등이 있다.

(2) 개폐용 예비동력의 용량은 문비의 사용목적에 따라 확실히 조작되는 용량 이상의 것으로 해야한다. 또 예비발전기의 용량은 전동기의 시동전력, 조명용전력, 기타 필요한 사용부하를 고려해서 충분한 것으로 해야한다.

(3) 예비동력설비에 대해서 개폐장치에 직결된 내연기관의 용량은 일반적으로 배치상 될수록 소형의 것이 좋으므로 비체승강속도를 0.05 ~ 0.1 m/min 정도로 하고 특히 대형 문비에서는 0.05 m/min 정도가 채용되고 있다.

라) 보호장치 및 부속장치

(1) 개폐장치에는 필요에 따라 다음에 표시한 안전장치 및 부속설비를 설치한다.

(가) 보호장치 : ① 제한개폐시 ② 비상용제한개폐기 ③ 과부하검출장치 및 과부하방지장치 ④ 비체경사보정장치 ⑤ 와이어로프 이완검출장치 ⑥ 와이어로프이탈방지장치 ⑦ 인터록(inter lock) 장치

표 4.13.13 개폐장치 형식의 선정

문비의 종류	용도		개 폐 장 치 의 형 식					
			기계식			유압식		
			와이어 로프식 원치식	스핀들식	랙크식	실린더식	실린더 와이어 로프식	유압모터 와이어 로프식
롤러 게이트	댐 및 발전용		○	△	△	△	△	△
	언(堰) 용		○	△	△	△	△	△
	문 비 통선문	대형문비	○	×	×	△	△	△
		중형문비	○	△	△	△	△	△
		소형문비	△	△	○	△	×	×
갑 문 용		○	△	△	×	△	△	
고압 롤러 게이트	댐 및 발전용		○	△	△	△	×	△
레이디얼게이트	댐 및 발전용		○	×	×	△	△	△
고압 레이디얼 게이트	댐 및 발전용		×	×	×	○	×	×
슬라이드게이트	댐 및 발전용	고압	○	○	×	○	×	×
		기타	○	○	○	○	×	△
	언(堰) 용		×	○	○	△	×	×
	수문·통선문		○	△	○	×	△	△
표면취수게이트 및 선택취수 게이트	댐 및 발전용		○	×	×	×	×	×
댐 Flap부 게이트	댐용		×	×	×	○	×	×
기복 게이트	언(堰) 용		△	×	×	○	△	△
마이터 게이트 스윙 게이트	갑문용		×	△	○	○	×	×
섹터 게이트	갑문용		○	×	×	○	△	△
횡인 게이트 *	육갑용(陸閘用)		△	△	△	△	×	×

주: ○ : 사용하기에 적당한 형식, △ : 경우에 따라 사용하기에 적당한 형식
 × : 사용하기에 부적당한 형식, * : 횡인게이트는 자주식 형식이 많다.

(나) 부속장치 : ① 비체휴지장치 ② 비체개도지시장치 ③ 와이어로프 단말조정장치 ④ 계장장치 ⑤ 기타

(2) 개폐장치의 종류와 안전장치 및 부속설비의 일반적인 조합을 표 4.13.14 에 표시한다.

표 4.13.14 안전장치 및 부속설비의 일반적인 조합

안전장치 및 부속설비의 종류	개 폐 장 치 의 형 식					
	전동개폐장치			유압개폐장치		
	와이어 로프식	스핀들 식	랙크 식	실린더식	실린더와이어 로프식	유압모터와이 어로프식
1. 제한개폐기	○	○	○	○	○	○
2. 비상용제한개폐기	○	○	○	○	-	○
3. 과부하방지장치	○	○	○	○	○	○
4. 문비휴지장치	○	-	-	○	○	○
5. 문비경사조정장치	○	-	-	○	○	○
6. 비체개도지시장치	○	○	○	○	○	○
7. 와이어로프이완 방지장치	○	-	-	-	○	○
8. 와이어로프이탈 방지장치	○	-	-	-	○	○
9. 와이어로프단말 조정장치	○	-	-	-	○	○
10. 인터록장치	○	○	○	○	○	○

(가) 제한개폐장치

이 개폐기는 양정의 상한, 하한 및 특정한 위치에서 비체를 자동적으로 정지시키는 것으로 방수성, 방진성 등이 우수하고 확실하게 작동하는 것이어야 한다.

(나) 비상용 상한제한개폐장치

이 개폐장치는 제한개폐장치가 고장 등의 경우에 작동하는 것으로 일반적으로 비체의 움직임이 직접 리미트스위치를 작동시키는 것이 많다.

(다) 과부하검출장치 및 과부하방지장치

이 장치는 개폐장치에 과부하가 발생했을 경우 동력을 자동적으로 차단하는 것이다. 개폐용동력에 내연기관을 사용할 경우는 이 장치를 설치하지 않아도 좋다. 원치식, 스프인들식 및 랙크식의 경우는 과전류계전기, 토크리미터, 미끄럼 클러치, 샤프, 좌굴방지장치등이 일반적으로 사용되고 있다.

샤프의 경우는 핀이 절단해도 비체가 자중강하지 않도록 고려해야 한다.

유압실린더식 및 유압실린더 와이어로프식의 경우는 일반적으로 릴리프 밸브가 설치되고 있다.

(라) 비체경사조정장치

1문의 비체를 2대의 개폐장치를 권장되는 형식에 있어서 비체의 경사를 조정할 때는 차동싱크로가 일반적으로 사용되고 있다.

(마) 와이어로프이완검출장치 및 이탈방지장치

와이어로프로 개폐하는 문비에 있어서 이물 등으로 와이어로프가 이완되거나 시브에서 이탈하는 경우가 있으므로 와이어로프이완검출장치, 이탈방지장치를 설치하는 것이 바람직하다.

(바) 인터록(inter lock) 장치

개폐장치에는 오동작 또는 중복작동 등에 의한 사고방지를 위하여 인터록장치를 설치해야 한다.

인터록장치에는 ① 기측 및 원방조작으로 할 수 있는 경우는 기측조작을 우선하고 기측조작중에는 원방조작은 되지 않도록 하는 것 ② 개폐용동력을 절환으로 조작하는 경우는 일방의 개폐용동력이 운전중에는 다른 개폐용동력은 작동치 않거나 또는 동력을 전달치 않도록 하는 것 ③ 비체가 휴지장치로 유지되고 있는 경우는 폐작동되지 않도록 하는 것 ④ 압착식의 문비에서는 압착식 비체는 개폐되지 않도록 하는 것 등이 있다.

(사) 비체휴지장치

이 장치는 비체를 장시간 휴지할 때, 개폐장치 및 비체를 보수 점검할 경우에 사용하는 것으로 수동 또는 자동조작으로 되는 것이어야 한다.

와이어로프원치식의 경우는 훅식, 유압실린더식 및 유압실린더 와이어로프식 일 때는 훅 또는 스크류가 각각 일반적으로 사용되고 있다.

랙크식의 경우는 랙크부분을 췌기등으로 고정하는 방법이 일반적으로 채용되고 있다.

(아) 비체 개도지시장치

이 장치는 비체의 개도를 회전에서 검출하는 것으로 비체의 작동에서 직접 검출하는 것도 있으나 제어에 적합한 것을 사용해야 한다.

표시는 기측조작의 것은 기측에, 원방조작을 하는 경우는 기측 및 원방조작반에 각각 설치하는 것이 바람직하며 방법은 아날로그(Analogue)표시와 디지털(Digital)표시가 있다. 개도검출장치에서 개도지시장치까지의 전송방법에는 A/D converter, Potential meter 및 Synchro 전기(Selsyn)가 일반적으로 사용되고 있다.

(자) 와이어로프 단말조정장치

좌우의 와이어로프의 길이를 조정하기 위하여 와이어로프 단말에 스크류식

(Turn buckle식)의 조정장치를 설치하는 것이 일반적이다.

(차) 계장장치

조작반의 계기류 및 표시류는 문비를 안전, 확실하게 조작할 수 있게 설치되어야 한다.

(카) 기타

개폐장치에는 위험방지를 위하여 필요에 따라 급유장치, 보호카바, 오일웬, 생물진입방호설비를 설치한다.

마) 제동기

(1) 개폐장치에는 비체를 소요개도에서 확실하게 정지할 수 있는 제동기구를 설치한다.

(2) 비체를 소요개도에서 정지하고 개도를 유지하고, 동력절환시의 비체강하방지를 위하여 제동기구가 필요하다.

개폐장치의 예비동력으로서 수동 또는 내연기관을 사용하는 경우는 동력절환시 무제동에 따른 비체 자동강하를 방지하기 위하여 제동기구 또는 록(Lock)기구를 설치한다.

브레이크의 용량은 너무 과대하면 정지시의 충격력이 커지므로 전동기의 경우는 정격토크에 대해, 내연기관의 경우는 최대토크에 대해 각각 150 % 정도로 하는 것이 바람직하다.

유압개폐장치에서는 체크밸브(Check valve) 또는 스톱밸브(Stop valve)로서 비체를 제동하는 것이 많다.

바) 비상용 폐쇄장치

(1) 문비의 급폐쇄를 필요로 하는 경우에는 안전, 확실하게 작동하는 비상용 폐쇄장치를 설치한다.

(2) 취수구, 방류관, 수조 등에 설치되는 문비의 개폐장치에는 도수로, 방류관 등에 사고가 일어날 때 무동력으로 급속폐쇄할 필요가 있을 경우는 유수 차단가능한 비상폐쇄장치를 설치한다.

장치는 클러치로 동력설비와 분리해서 비체를 강하시키는 것이 많고 강하속도는 4~8 m/min의 실례가 많다.

속도제어에는 수동브레이크, 전동브레이크, 원심브레이크, 팬브레이크(Fan brake), 유압펌프브레이크, 발전브레이크 등이 사용된다.

이들의 브레이크의 구성재료는 고압, 고회전에 견뎌야 하므로 강인한 재료

를 사용하고 설계, 운전에 대해서는 세심한 주의를 기울여야 한다.

(3) 참고로 개폐장치의 종류와 급강하장치와의 일반적 조합은 표 4.13.15와 같다.

표 4.13.15 개폐장치와 급강하장치와의 조합

비상용 폐쇄장치	개 폐 장 치 의 형 식					
	전동개폐장치			유압개폐장치		
	와이어 로프 원치식	스핀들식	랙크식	실린더식	실린더 와이어 로프식	유압모터 와이어로프식
팬 브레이크	○	×	△	×	×	×
유압 브레이크	○	×	△	×	×	×
발전 브레이크	○	×	△	×	×	×
원심 브레이크	○	×	○	×	×	×
유압제어	×	×	×	○	○	○
극수변환 전동기	○	△	△	×	×	×

주: ○ : 사용하기에 적당한 형식, △ : 경우에 따라 사용하기에 적당한 형식

× : 사용하기에 부적당한 형식

사) 와이어로프 및 드럼, 시브

(1) 와이어로프 및 드럼, 시브의 직경

(가) 와이어로프는 인장력, 사용빈도, 사용조건, 환경 등의 영향을 고려하여 적합한 것으로 하여야한다.

(나) 와이어로프가 드럼이나 시브에 감길 때는 와이어 로프의 소선은 굽힘응력을 받는다. 드럼이나 시브의 직경이 너무 작으면 굽힘응력이 커져서 소선은 빨리 피로하여 단선하기 쉽게되며 또 와이어로프의 무리한 굴곡으로 변형, 내부마찰 그리고 드럼 또는 시브와의 접촉응력이 커져서 와이어로프는 빨리 손상한다.

와이어로프의 수명(내피로성)은 일반적으로 인장력과 드럼, 시브의 직경과 와이어로프경과의 비 및 와이어로프의 종류로 결정되나 소선경이 일정치 않는 종류도 있으므로 드럼, 시브의 직경은 와이어로프의 직경과의 비로 결정했다.

드럼, 시브의 직경은 큰 편이 와이어로프의 안전에서는 바람직하며 발전소의 천장크레인 등에는 와이어로프경의 20배 이상이 채택되고 있으나 문비에서

는 일반적으로 운전회수가 적고 와이어로프의 권취속도나 충격력도 비교적 적기 때문에 와이어로프경에 대하여 드럼경은 19배 이상, 시브경은 17배 이상으로 했다.

(다) 일반적으로 문비용 와이어로프는 운전시간, 회수, 와이어로프권취속도나 충격력이 적으므로 내식성이 우수한 교차연(交叉燃)와이어로프를 사용하고 동종내에서 가장 내피로성이 좋은 KS 6호 6×37이 바람직하다.

(라) 자동제어를 하는 문비, 갑문등과 같이 빈번하게 동작하는 문비의 와이어로프는 내피로성(조반급힘피로)이 우수한 것이 바람직하므로 특히 우수한 특성을 가지고 또 모양이 이그러지기 어려운 평행연 와이어로프로 라이너형(Liner)[KS 13호 6×Fi(29)] 또는 워링톤셀형[KS 6호 6×37]의 3배 [6×Fi(29)] 또는 6배[6×WS(36)]정도로 한다. 또한 와이어로프의 선정은 내피로성이 특히 우수하고 또 시각검사가 유리한 [6×WS(36)]적당하나 시장성을 고려해서 선정할 필요가 있다.

(마) 수침하는 문비 등의 와이어로프는 유수에 의하여 유수중의 쓰레기의 요동으로 와이어로프에서 진동하는 수가 있으므로 주의를 요한다.

(2) 와이어로프의 권취층수(卷取層數), 플리트앵글(Flit angle) 및 여유감기

(가) 와이어로프의 플리트앵글은 표 4.13.16에 표시된 값 이내로 한다.

문비를 2분의 와이어로프를 사용해서 수평으로 권상하기 위해서는 드럼상에서 와이어로프가 불규칙으로 겹쳐서는 안되므로 본 조항에서 플리트 앵글을 규정했다.

표 4.13.16 플리트앵글

드 럼	일층권부	다층권부
홈이 없는 드럼	2°	1.5°
홈이 있는 드럼	4°	1.5°

(나) 여유감기 수는 3번 이상으로 하고 와이어 로프의 단부는 드럼에 적절한 방법으로 고착시켜야 한다.

드럼의 와이어로프감기 층수는 상기의 후리트 앵글을 만족시키고 또한 비체의 양정, 와이어로프의 걸림수 및 개폐장치의 스페이스(Space)를 고려해서 결정할 필요가 있으며 층수변환부의 와이어로프의 겹치기가 불규칙하여서 와이어로프의 수명을 단축케 할 수가 있으므로 2층권 이하로 하는 것이 많다. 와이어로프 감기층수에 의한 직경변화는 토크변화, 권상속도변화를 가져오므로

주의를 요한다. 드럼의 두께는 다음 계산식에 따른다.

$$t = K \cdot \frac{T_0}{\sigma P} \dots\dots\dots$$

(4.13.1)

여기서, t : 드럼의 평균두께(mm){cm}, K : 층권계수(1층권 : 1.0, 2층권 : 1.7, 3층권 : 2.2, 4층권 : 2.4, 5층권 : 2.6, 6층권 : 2.7), T_0 : 와이어로프에 걸리는 개폐 정하중 (N){kgf}, σ : 드럼의 원주방향의 허용압축응력 (N/mm²){kgf/cm²}, P : 드럼의 홈피치(Pitch) (mm){cm}

와이어 로프의 드럼에 감기는 단부는 클립(Clip)으로 눌러 놓던가 드럼에 구멍을 뚫어 와이어 로프를 관통시켜 소켓 메탈(Socket metal) 채우기 등으로 와이어 로프가 드럼에서 이탈치 않도록 견고히 취부해야 한다.

아) 유압펌프 및 원동기용량

(1) 유압펌프

(가) 유압개폐장치의 설계압력 및 설계유량은 일반적으로 각각 유압펌프의 정격토출압력의 80 %, 정격토출량의 90 % 이하로 한다.

또 펌프의 구동용원동기의 출력은 설정된 펌프의 성능에 대하여 충분한 것이어야 한다.

(나) 문비의 유압개폐장치에서는 내압성, 누유를 고려하면 너무 높은 압력을 사용한다는 것은 좋지 않으므로 일반적으로 유압펌프의 정격토출압력을 70 kgf/cm², 140 kgf/cm² 정도로 하는 것이 많다.

이들 유압개폐장치는 장시간 방치될 경우도 있으므로 유압배관내의 손실, 가동부분의 자중이나 패킹(Packing)등의 마찰손실, 배압 등도 고려해서 설계압력을 유압펌프의 정격토출압력의 80 % 이하로 했다.

설계유량은 유압펌프의 용적효율저하, 유압밸브의 유누출을 고려해서 유압펌프 정격토출량의 90 % 이하로 했다.

유압개폐장치에 유압모터를 사용할 경우는 유압 모터의 기계효율, 피구동부의 속도, 감속기구의 관성력 등을 고려해서 유압 모터의 기동력을 결정할 필요가 있다.

관내의 압력손실은 관의 길이, 직경, 작동유의 점도 등에 따라 좌우된다.

이들의 손실은 특별한 경우를 제외하고 통상 정격토출압력의 20 % 의 여유로 대체된다. 다만 배관길이 및 배관 굽힘회수가 특히 큰 경우에는 압력손실을 산출해서 결정할 것이 필요하다.

또 한냉지에는 작동유의 점도가 높지 않으므로 펌프용량 및 배관저항 등에 따라 특별한 고려가 필요하다.

유압펌프구동용의 원동기는 유압펌프의 최대소요축입력 이상의 용량이 있으면 좋고 일반적으로 유압펌프 기동시에는 전부하가 걸리지 않으므로 특별히 기동토크는 규정치 않는다.

(2) 유압실린더(Cylinder)

유압실린더에 대해서는 KS에 규격화되어 있으나 문비 설계의 경우는 반드시 규격대로가 아니어도 지장이 없다.

지침상의 계산식은 강관의 내압시험에 쓰이는 식에서 도출한 것으로서 안전율은 내압시험의 경우 정격토출압력의 1.5배의 시험을 해서 $\frac{\text{인장응력}}{3}$ 의 응력이 되도록, 또 두꺼운 관이라는 것을 고려해서 $1.5 \times 3 \times 1.1 \approx 5$ 로 했다.

부식대 a 에 관해서는 유압실린더의 점검, 도장을 하기 어려운 경우는 비체의 여유두께 정도를 취함이 바람직하다.

유압실린더의 소요내경은 개폐력과 설계압력에 따라 결정한다.

또한 유압실린더의 튜브(Tube)의 두께는 다음 식에 따라야 한다.

$$t = \frac{PD}{200\sigma_a} + a$$

여기서 t : 튜브의 최소두께(最小肉厚)(mm){cm}, P : 정격토출응력(N/mm²){kgf/cm²}, D : 튜브 내경 (mm){cm}, σ_a : 허용응력 = $\frac{\text{인장강도}}{5}$ (N/mm²){kgf/cm²}, a : 부식대 (mm){cm}

(3) 유압배관

(가) 유압배관은 KS D 3562 압력배관용탄소강관 또는 KS D 3564 고압배관용 탄소강관을 사용하고 접합부는 기름유출이 없도록 완전히 접합한다.

(나) 토목구조물의 신축부나 온도변화에 따른 신축에 대해서는 신축이음을 사용하던가 또는 적절한 조치를 강구해야 한다.

(다) 유압배관내의 유속이 과대하게 되지 않도록 내경을 결정한다.

(라) 유압배관을 시행한 후에는 플러싱오일(Flushing Oil) 등으로 청소를 해야 한다.

(마) 1문의 게이트에 복수의 유압실린더를 설치하는 경우는 각 유압실린더가 동조하도록 배려해야 한다.

(바) 배관용 강관은 보관중에 발청 및 먼지의 침입이 없는 상태로 보관해야 한다. 배관시공에 있어서는 정격압력의 2분간 이상으로 내압시험을 하여

기름누출, 변형 등이 없는 것을 확인해야 한다.

배관은 부식을 고려해서 콘크리트속에 완전히 매입하든가 노출의 경우는 외부도장이 용이하게 할 수 있도록 시공할 것이 필요하다. 특히 콘크리트매설의 경우는 매설에 충분한 내압누유시험을 해야 한다. 관로내의 유속은 유압배관의 계통에서는 펌프 흡입회로측은 1.5 m/s 이하, 펌프 압력회로측은 4.0 m/s 이하로 하는 것이 좋다.

배관용 강관은 신설의 경우는 물론 수리후 기름을 새로 충전하는 경우도 필히 스케일(Scale), 슬래그(Slag), 수분, 먼지, 모래등을 제거해서 유압기기의 작동불량이 일어나지 않도록 양호한 플라싱오일(Flushing Oil)을 사용해서 충분한 청소를 해야 한다.

1문의 게이트에 대해서 복수의 실린더에 유압배관을 할 때는 되도록 압력손실이 동등하도록 해서 동기작동이 되도록 해야한다.

(4) 작동유

(가) 작동유는 펌프, 사용압력, 사용온도범위, 내구성 등을 고려하여 적당한 것을 사용해야 한다.

(나) 작동유는 특별한 경우를 제외하고 석유계가 사용되고 있으며 적절한 점도를 가진 산화안정성, 항유화성, 유동성, 방청방식성, 소포성, 항착화성 등의 제 성질이 우수한 것이어야 한다.

한냉지에서 사용할 경우는 저온유동성이 양호한 것으로서 사용최저온도보다 적어도 10℃ 낮은 유동점의 작동유를 사용할 필요가 있다. 작동유의 사용온도범위가 넓은 경우는 점도지수가 보통 90~150 정도가 적당하다.

유조내의 유온은 55℃ 이하, 유압계 내부의 국부적 최고온도는 80℃ 이하로 유지해야하며, 자동조절게이트에서 사용빈도가 큰 것은 유온이 올라가기 쉬우므로 유량을 증가하던가 유냉각기를 설치할 필요가 있다. 저온한계는 -20℃ 정도이므로 이와 같은 온도에서 사용할 경우에는 유압펌프의 운전을 장시간 warming-up을 피하던가 또는 유조내에 가열기를 넣을 것이 바람직하다.

6) 스크린(Screen)

가) 취수탑 취입문비 유입구에 설치되는 스크린은 다음 사항을 고려하여 설계한다.

(1) 스크린은 손실수두가 작은 형상의 것으로 하고 유수에 의한 진동이 발생치 않도록 유속을 고려해서 형상, 치수 및 지지조건 등을 정해야 한다.

(2) 스크린 및 지지구조물은 예상되는 쓰레기 양 등을 고려해서 정해지는

수위차에 견딜 수 있도록 구조를 정해야 한다.

나) 취수탑 취입문비 유입구에 설치하는 스크린은 취수탑 취입문비 개방시 유입하는 유목, 낙엽, 수초, 생활쓰레기, 농업용 폐자재 등의 유입으로 문비, 밸브 등에 손상을 주거나 유수를 저해하는 우려가 있어 유입수로 입구에 설치된다. 스크린에는 고정형과 가동형, 수직형과 경사형 등이 있다. 스크린에 유착하는 각종 부유물을 제거하기 위한 여러 종류의 체진 설비가 사용된다.

체진 설비는 저수지 취수탑에 유입되는 부유물을 제거하기 위하여 꼭 필요한 시설물이라고 말할 수는 없지만 양·배수장 및 용수로 잠관 입구에는 반드시 설치해야 할 설비이다. 체진 설비에는 ① 체인(Chain)식 (Rotary type), ② 로프(Rope)식 ③ 스윙암(Swing arm)식, 링암(Ring arm)식 ④ 레이크(Rake)식 ⑤ 네트(Net)식 ⑥ 트래블링스크린(Traveling Screen) 등이 있다.

이러한 여러 종류의 스크린도 설치하는 취수탑 형식에 따라 모양이 결정되며 취수탑 형식을 분류하면 ① 원형 철근콘크리트 취수탑, ② 부표형 취수탑, ③ 실린더 문비형 취수탑, ④ 복식 취수탑, ⑤ 정량표층수 취수장치, ⑥ 부표식 암(Arm)형 취수장치, ⑦ 권양 문비식 온수 취수장치, ⑧ 반원형 롤라 문비장치, ⑨ 빈지식 취수장치 등이 있다.

스크린 바의 간격은 통과해서는 안될 쓰레기 크기에 따라 정한다. 통상 스크린바는 유선에 평행하게 설치되며 간격은 60 ~ 150 mm 정도이다. 스크린 바의 폭은 두께의 12배 이하로 하는 것이 보통이고 최소는 50 mm 정도이다. 스크린 바의 횡방향좌굴을 방지하기 위하여 지지간격은 두께의 70배 이내로 하는 것이 보통이고 횡방향좌굴을 고려한 허용응력은 다음 식으로 계산된다.

$$\text{허용응력} = 0.6 \times \text{항복점응력} \times \left(1.23 - 0.0153 \frac{L}{t}\right)$$

여기서 L : 횡방향의 지지간격(mm){cm}, t : 바(Bar)의 판두께(mm){cm}
 스크린을 통과하는 유속은 0.6 ~ 1.0 m/s 정도의 것이 많지만 양수발전소의 취·방수구 스크린을 통과하는 평균유속은 3 ~ 4 m/s 정도의 것도 있다.

스크린 바에 의한 손실수두의 계산에는 Kirschmer식이 사용된다.

$$h_r = K \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^{4/3} \cdot \frac{V^2}{2g} \cdot \sin \alpha$$

여기서 h_r : 스크린 통과시 손실수두(mm){cm}, t : 스크린 바의 판두께(mm){cm}, b : 바와 바간의 간격(mm){cm}, V : 접근유속(m/s), g : 중력가속도(m/s²), α : 스크린이 수평면과 이루는 각도, K : 그림 4.13.12 에 표시하는 계수

강도계산에 쓰이는 스크린 내외면에 생긴 수위차는 저수두의 경우는 0.6 ~

1.5 m 정도가 보통이지만 쓰레기 등이 많고 청소가 불충분한 경우에는 스크린 높이의 60~100 %를 스크린의 설계수두로 잡는다.

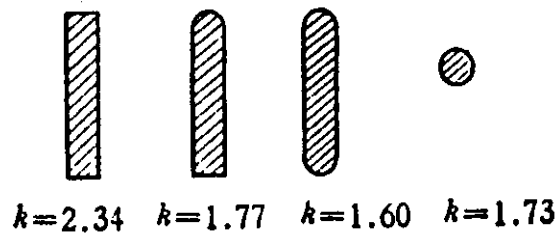


그림 4.13.12 스크린 바의 형상과 계수

스크린 바는 수위차에 견딜 수 있도록 적당한 간격으로 하류면에 수평빔을 설치하여 스크린 바에서 전달된 수압은 수평빔을 통해서 측벽에 전달된다. 또 수평빔의 굵힘에 의한 처짐은 경간의 1/600 이하로 한다. 스크린 바는 휨이 없는 것으로 하고 또한 연결재가 레이크(Rake)에 닿지 않도록 주의할 것이 필요하다. 유수 중에 있는 스크린에는 수류방향력이 작용하지만 스크린을 통과하는 유속이 크면 스크린 바의 하류영역에 발달된 Karman와(渦)가 발생하고 스크린 바에는 어떤 진동수의 수류직각방향력이 작용한다. 힘과 진동수는 유속에 비례하여 크게 된다. 따라서 스크린을 통과하는 유속이 큰 경우에는 특히 수류직각방향력에 의하여 일어나는 진동에 대해서 검토할 필요가 있다.

또한, 홍수시 저수지내로 유입되는 대형 부유물의 유입을 방지하기 위하여 스크린과 함께 사방댐을 설치한다.

4.13.3 전기설비

댐 시설에 있어서의 전기설비는 수·변전설비와 배전 설비로 되어 있으며, 댐 시설의 규모, 입지조건, 신뢰도, 경제성 및 운전관리의 편의성 등을 고려하여 설계한다.

전기설비라 함은 수·변전설비 및 배전 설비를 말하며 전기설비의 설계에는 ① 댐 시설의 목적과 규모에 적합 ② 환경 및 주위조건에 적합 ③ 점검 및 보수가 용이 ④ 설비비, 운전비가 경제적 ⑤ 관계법규 및 제 기준에 합치 등을 고려한다. 이상 전기설비의 설계기준은 “농지개량사업계획설계기준(양배수장편, 1984년도, 농수산부)”에 따른다.

4.13.4 관측설비

관측설비는 저수지의 기계, 전기설비의 합리적인 운용을 위해서 필요한 수위, 유량, 우량 등의 데이터를 관측하는 것으로서 적절한 기기를 선정하여 사용목적, 사용조건, 경제성 등을 고려하여 설계한다.

가. 설계일반

저수지 시설의 기계설비에서 사용하는 관측설비는 저수지내의 저수된 용수를 필요한 수량만큼 합리적으로 공급하기 위한 유량측정장치, 저수지내·외의 수위를 검측하여 시설된 각종 문비의 개폐여부와 개폐정도를 결정하기 위한 수위측정설비 등으로 이루어진다.

나. 수위계

다음 사항에 유의하여 설치한다.

1) 설치위치는 댐설비의 운전방식에 따라 운전목표수위, 제어수위 및 감시수위등의 측정에 적합한 위치로 하고 하천이나 수로 등에서는 안정된 흐름의 장소로 한다. 또 수위계 설치장소에는 필요에 따라 양수표를 병설한다.

2) 계측정밀도는 댐설비의 운전, 감시, 제어등에 적합한 것으로 하고 평상시에는 물론 이상시에도 안정된 작동이 유지되고 유수 및 쓰레기 등의 피해나 영향을 방지할 수 있는 기구나 방식을 선택한다.

3) 수위계의 분류

수위계란 일반적으로 수위를 검출하는 액면측정용 계기를 말하며 댐이나 하천 및 저수지 등의 수위를 검출하기 위한 수위검출기로 또는 월류수심 제어 등에서 볼 수 있듯이 취수량을 조절하여 수위를 일정하게 하기 위한 수위조절기의 감시제어용 검출기로 사용된다.

현재 가장 널리 사용되고 있는 수위계류로 수위를 검출하는 방법과 검출된 수위를 모니터(monitor)하거나 또는 텔레메터에 신호를 전송하기 위해서 신호변환을 하는 방법의 2가지로 크게 나누어서 분류한다.

가) 검출방법에 의한 분류

검출방법에 따라서 수위계는 직접 수면에 부자(Float)등을 띄어서 수면의 변화를 직접 검출하는 것과 수면에서 직접 수위를 검출하는 것이 아니고 압력대 등을 이용해서 어떠한 간접적인 방법에 의해서 검출하는 것이 있다. 즉 직접검출방법과 간접검출방법의 2가지인데 이것을 근거로 해서 각종 수위계를

분류하면 표 4.13.17 와 같다. 또한 수면을 검출하는 방법에는 여기에 나타난 것 이외에 빛의 굴절률을 이용하는 것, 수압을 전기적으로 검출하는 것, 그리고 저항선을 이용하는 것 등이 있다.

나) 신호변환방법에 의한 분류

신호변환에 의한 분류로는 검출방법에 의한 분류와 같이 수위를 직접 전기 신호로 검출하는 직접변환방법과 어떤 방법으로 검출된 수위를 신호변환기를 사용해서 변환하는 간접 변환방법의 2종류로 구분되어 수위계를 분류하면 표 4.13.18 와 같다.

4) 수위계의 비교

표 4.13.17 와 표 4.13.18 에서 설명한 수위계의 특성을 비교하여 수위계를 분류하면 표 4.13.19 와 같다.

표 4.13.17 검출방법에 의한 수위계의 분류

수위계	직접검출	부자식	부자식, 자력식
		탐침식	추미식, 전극식
	간접검출	압력식	기포식, 압력바란스식
		정전용량식	
		음파식	

표 4.13.18 신호변환방식에 의한 수위계의 분류

수위계	직접변환	자력식	ON-OFF 신호
		압력바란스식	전압신호
		정전용량식	전류신호
		음차식	전류신호
		전극식	ON-OFF신호
	간접변환	부자식 추미식 기포식	싱크로전기
			포텐셔메타
			사후트엔코다
			마이크로스위치

다. 유량계

1) 유량계 분류

유량계는 측정 유로에 의해 개방수로형과 폐관로용으로 나누어 표 4.13.20 와

같이 분류하고, 유량계를 측정원리에 의하여 분류하면 표 4.13.21 과 같다.

표 4.13.19 수위계의 비교

수 위 계	검출소자	검출 정도	양 정	출 력 신 호
부자식수위계	부자	$\pm 0.2 \sim 0.5\%$	대, 중, 소	조합되는 발신기 종류
자력식수위계	리드수위치	$\pm 1 \text{ cm}$	대	접점신호
추미식수위계	세이브전극	$\pm 0.3\%$ (검출감도 3mm)	중, 대	조합되는 발신기 종류
전극식수위계	전 극	$\pm 0.5\%$	소	접점신호
기포식수위계	기포(가스)압	$\pm 0.1 \sim 1\%$ (검출감도 1cm)	중, 대	조합되는 발신기 종류
압력밸런스 수위계	벨로즈	$\pm 0.5 \sim 1\%$	소	전압신호
정전용량식 수위계	정전용량	$\pm 1\%$	소, 중	전류신호
음파식수위계	음파	$\pm 1\text{cm}$	중, 대	전류신호

표 4.13.20 측정 유로에 의한 유량계의 분류

개 방 수 로 형	폐 관 로 형
Weir 유량계, Flume 유량계, Parshall, Flume 유량계, Parmer-Bowlus Flume 유량계, 전자기 유량계, 초음파 유량계, 잠수전자기유량계, Pito관(차압), Turbine 유속계	차압유량계, 전자기유량계, 초음파유량계, 면적유량계, 와류유량계, 용적유량계, Turbine유량계, 질량유량계 (열, Coriolis힘, 각 운동량)

2) 유량계의 특징

관로 도중에 설치하는 유량계의 종류, 원리, 특징 등을 표 4.13.22에 표시하지만 어느 것이나 관로내에 유체가 충만해 있어야 한다.

표 4.13.21 측정원리에 의한 유량계의 분류

유 량 계	체 적 유 량	실 측 식	용 적 유 량 계
		유 속 식	전자기 유량계, 초음파 유량계
			Turbine 유량계, 와류 유량계
		추 측 식	차압 유량계, 면적 유량계
	Weir 유량계, Flume 유량계		
질 량 유 량		열 유량계, Coriolis 힘 질량 유량계	

표 4.13.22 관로 도중에 설치하는 유량계

종류 항목	오리피스식	벤투리식	전자유량계	초음파유량계	용적식유량계
측정 원리	관로에 조리개를 설치해서 전후의 차압 ΔP 를 측정, 유량계산 $Q = K\sqrt{\Delta P}$	오리피스와 동일	자계(磁界)중에서 운동하는 액체에 발생하는 기전력 E에서 액체속도로 유량 측정 $Q = KED$	유수에 동일방향과 반대방향에 초음파를 발진하여 전파속도 차이 Δf 로 유량측정 $Q = K \cdot \Delta f$	회전자와 케이스 사이에 일정용적을 두어 회전자의 회전수를 측정으로 통과체적을 측정 $Q = K \cdot q \cdot N$
적합성	25 Φ ~ 100 Φ 측정범위는 작음	50 Φ ~ 3,000 Φ 측정범위는 작음	6 Φ ~ 2,400 Φ 유속 1m/s ~ 10m/s 최고압 20kgf/cm ² 측정범위가 크다. 액체가 전도성일 것	300 Φ ~ 3,000 Φ 구경에 관계없음	20 Φ ~ 250 Φ 정도 소구경에 적합 스트레이너가 필요
압력손실	$\Delta P \cdot (1 - \text{비})$ 손실은 큼	차압의 10 ~ 30% 정도, 오리피스에 비하여 작음	없음	없음	손실은 작음
최소직관 정류부분	상류(10 ~ 50)D 하류측 5D	상류측 (10 ~ 50)D 하류측 (3 ~ 5D)	상류측 5D ~ 10D 하류측 3D ~ 5D	상류측 10D ~ 50D 하류측 5D	불필요
고형물, 부유물의 영향	·영향이 있다 ·부적합	·오리피스 보다 양호, ·부적합	·영향이 적다.	·영향이 있다. ·부적합 ·미량기포도 유해	·부적합
보수	공기빼기, 차압산출부, 도압관청소	·오리피스 와 같음	·액체에 따라 전극봉청소필요	·없음	·스트레이너 청소 ·미터 본체 검정 필요
적용	·상수, 공업 용수	·상수, 공업용수, 우수	·상수, 하수, 공업용수, 우수	·상수, 공업용수 ·특히 대구경 관에 적합하다.	·엔진연료, 공급 수도용의 계측
비고	·비교적 저렴 ·저레이놀즈 수의 측정은 불가	·오리피스 에 비하여 고가	·비교적 고가 ·외부전원의 영향을 받기 쉬워 접지, 실트 등의 대책을 요함	·대구경에 비해 비교적 저렴 ·정류가 불충분 하면 펄즈발진 으로 맥동류발생 ·전자유량계에 보다 응답성 늦음 ·자동제어계에 추가한 사용 실적이 적다.	

라. 기타 계측설비

댐 설비의 제어방식, 계측기기의 사용목적, 또는 사용조건에 의해 필요한 경우에는 압력계, 개도계 등의 계측설비를 하는 것으로 한다.

4.13.5 시공

게이트 제작 및 설치는 다음 사항을 고려하여 시공한다.

(1) 스킨플레이트(Skin plate)의 가공

굽히는 스킨플레이트는 밴딩롤러(Bending roller)나 기타 기계로 같은 모양이 되도록 정확히 굽힘시켜야 한다.

(2) 조립

(가) 비체, 호구, 개폐장치등을 조립할 경우는 각부의 치수, 형상이 설계와 잘 합치하고 기능이 충분히 발휘될 수 있도록 정확히 조립한다.

(나) 호구, 비체가 공장에서 완성할 수 없는 것은 형상 및 치수가 설계에 합치한다는 것을 확인하기 위해서 공장내에서 정확히 가조립한다.

(3) 설치

(가) 운반상의 취급

문비는 제작 및 설치시의 운반과정에서 변형 및 파손이 생기지 않도록 취급에 만전을 기한다.

(나) 설치

문비는 형상 및 치수가 기능을 충분히 발휘될 수 있도록 정확히 설치한다.

(다) 설치시 홍수에 대한 고려

홍수의 우려가 있는 시기에 문비를 설치할 때는 홍수에 의한 피해가 생기지 않는 상태에서 작업한다.

(라) 호구, 고정부의 설치

호구 및 고정부는 비체를 원활히 개폐할 수 있도록 정확하게 설치한다.

(마) 수밀부의 설치

수밀부는 누수를 극력 적게 하도록 조절해서 설치한다.

(바) 도장사양

도장사양은 문비가 설치될 환경에 가장 적응되는 것으로 선택한다.

가. 제작

1) 스킨플레이트의 가공

가) 스킨플레이트를 제작하기 위해서 철판을 원형으로 굽힘하는 데는 롤(Roll)기 또는 프레스(Press)로 해야한다.

상온에서 가공함을 원칙으로 하지만 특히 후판이어서 롤기 또는 프레스의 능력을 넘을 경우는 철판을 가열해서 열간가공으로 해도 지장이 없다.

다만 열처리강판과 같이 가열로 재질에 변화를 가져오는 강재를 사용하고 있는 경우는 열간가공방식을 채용해서는 안된다.

나) 3분 Pyramid roll기를 사용할 경우는 판의 양단을 롤기로 굽힐 수가 없으므로 양단 약 30 cm는 프레스 등으로 규정의 원호상으로 굽힘가공을 해주어야 한다. 이 가공은 일반적으로 단곡(端曲)이라고 칭하고 있으나 해머(Hammer) 등으로 타설해서는 안된다. Pinch roll형의 롤기를 사용할 때는 단곡도 할 수 있으므로 프레스로 단곡을 할 필요는 없다.

2) 조립

문비의 조립에 있어서는 각부치수가 설계치수에 합치하도록 조립되지 않으면 완성후의 문비개폐나 수밀성이 불완전하게 되기 쉽다. 비교적 소형 문비로서 공장에서 조립된 것을 그대로 현지에 운반할 수 있는 경우는 공장내에서 충분히 치수 계측을 하고 설계치수(도면치수)와 합치시켜 이것을 적당히 보강해서 현장으로 운반한다.

대형의 호구, 비체는 일반적으로 공장에서 가조립을 하여 각부치수를 조정하고 또 변형을 수정해서 설계치수(도면치수)에의 실측표를 작성하고 합치된 마크를 한 후 해체하여 현장으로 운반한다. 이때에 만약 호구가 설치되어 있으면 설치치수를 실측표와 대조하여 필요하면 비체를 조정하여야 한다.

롤러 축, 핀 등은 미리 편심축이나 라이너(Liner)로 조절할 수 있다.

용접구조의 경우는 특히 변형이 일어나기 쉬우므로 장경간게이트의 용접에 의한 수축, 호구평면의 용접에 의한 변형 등에 특히 주의한다.

나. 설치

1) 운반상의 취급

문비 설치장소는 수송조건이 나쁜 곳에 있는 것이 많다. 나쁜 길을 장거리 운반하므로 수송도중에 파손이나 변형할 우려가 많다. 그러므로 부재는 수송조건을 고려하여 되도록 큰 블록으로 함이 바람직하며 블록의 강성이 부족한 부분은 적당하게 보강할 필요가 있다.

또 기계가공면 등은 목재 등으로 보호하고 수송 중에도 녹이 발생하지 않도록 적당한 도료나 그리스 등을 도포할 필요가 있다. 크레인설비가 없는 장소에서의 상·하차에는 특히 부재를 손상치 않도록 주의를 요한다. 전기부품, 기계부품은 특히 주의해서 취급하여 되도록 비에 젖지 않도록 한다.

수밀고무는 보통 감아서 수송하기 때문에 도중에 감은 자리가 생기므로 취부전에 퍼두는 것이 바람직하다.

2) 설치

문비의 개폐조작 및 수밀성의 양부는 설치에 크게 영향을 받는 것이므로 비체, 호구 다같이 공장내에서 가조립한 실측표를 참조하고 기능을 발휘할 수 있도록 설치한다. 특히 수밀관계는 신중히 설치할 필요가 있다.

레이디얼게이트의 각주와 같이 매우 큰 압축력과 밴딩모멘트를 받는 부재에서는 초기 변형이 각주의 좌굴에 대해 매우 중요한 요소가 되므로 초기변형이 각주길이에 대해 1/1,000 이내가 되도록 특히 주의 깊게 설치한다.

3) 설치시 홍수에 대한 고려

일반적으로 문비의 설치는 홍수기를 피하는 것이 바람직하지만 부득이 홍수기에 설치할 경우는 설치중의 문비가 침수되어 부재의 손상, 유실 또는 문비에 의한 유수저해 때문에 막대한 손해가 생길 우려가 있으므로 미리 홍수대책을 세워두어야 한다. 대책으로는 개폐장치를 먼저 조립해 놓고 홍수예보가 있을 경우는 바로 조립중의 비체를 권상하든가 또는 비체의 조립장소를 높은 곳에 놓고 그 하부로 홍수가 유하할 수 있도록 한다.

또 건기에 문비를 조립하고 우기의 조립은 되도록 피할 것이 바람직하다.

4) 호구, 고정부의 설치

비체를 원활하게 개폐할 수 있도록 하기 위해서는 비체의 수압을 집중해서 받는 호구, 고정부를 정확하게 설치함이 가장 중요하다.

롤러게이트의 경우는 각 롤러의 롤러 답면이 동일평면상에 있어야 하고 롤러 레일답면도 좌우 동일평면상에 설치되어 각 롤러가 전부 균등하게 롤러레일답면에 접촉하여야 한다.

만일 접촉이 같지 않는 경우는 일부의 롤러에 하중이 집중하고 그 때문에 롤러가 파손되거나 조작용이 원활하지 않을 우려가 있다.

레이디얼게이트의 경우 양호한 수밀, 원활한 개폐조작을 가능케 하기 위하여 좌우의 트러니언핀 중심이 정확하게 동일선상에 있고 그 핀의 주위를 회전하는 비체의 측면은 정확히 피어측면 호구위를 슬라이딩하도록 하여야 한다.

설치의 정확을 기하기 위하여 적당한 지그(Jig)를 사용함이 좋고 또 설치시의 조정을 가능케하기 위해 라이너, 웨지, 조정볼트를 사용하는 경우가 많다.

호구의 설치작업은 가장 중요하므로 정확히 설치되지 않으면 양호한 수밀, 원활한 개폐조작을 기대할 수 없다.

호구의 설치에 있어서는 1차 콘크리트 타설시에 되도록 블록아웃(Block

out)하여 설치용 조정볼트 또는 철근을 매입해 놓고 이것으로 호구를 소정의 위치에 정확하고 견고하게 고정해 놓고 2차 콘크리트 타설시의 압력으로 이동되지 않도록 유의한다. 또 호구 설치 후, 설치치수 실측표를 작성해서 그것을 문비를 조립할 때 참고하는 것이 좋다.

인상식 문비의 경우 원칙적으로 호구는 다소 위가 넓은 경향이 있게 설치함이 바람직하다.

5) 수밀부의 설치

문비는 지수를 목적으로 하는 것인 이상 완전 지수가 바람직 하지만 일반적인 경우에는 대단히 어렵다. 그러나 누수를 가급적 적게 하는 것이 꼭 필요한 일이다. 문비는 각 모퉁이가 누수하기 쉽고 다단식 문비에서는 상하비의 접촉부가 누수하기 쉽다. 누수량의 허용범위를 정의하는 것은 어렵다. 즉 문비의 종류에 따라 허용량도 변하여야 한다. 선택(표면)취수설비의 비체에서는 어느 정도의 누수는 허용되는 것도 많다.

수밀부에서의 누수는 수밀접촉면의 부정(不整)에 의한 것, 호구부재와 콘크리트간의 틈에 의한 것 등이 있다.

수밀고무의 접촉불완전에 의한 것은 고무조임볼트를 조정해서 고무의 돌출량을 조정하거나 고무에 강제첩재를 붙이는 등으로 조절하여 지수한다.

공사중의 세멘트풀이 호구에 부착 또는 철근의 잔재 등으로 수밀고무가 손상을 받을 수 있으니 주의를 요한다. 수밀고무는 적당한 압력으로 호구에 접촉하도록 현장조립시 잘 조정할 필요가 있다.

6) 도장사양

문비에는 방청이나 미관상 도장이 필요하다.

일반적으로 문비는 항상 태양광선 및 풍우에 의하여 퇴색되는 부분과 수중에 침적 되는 부분이 있고 또는 수위의 변동에 따른 건·습상태의 변화가 반복하는 조건하에 수면상에 있는 부분, 혹은 태양광선의 영향은 적으나 항상 고습도하에 노출되어있는 부분 등 통상의 철구조물과 다른 극심한 부식환경에 있다고 말할 수 있다.

도장은 최종적으로는 도막으로 성능을 발휘해서 비로소 효과가 있는 것으로 도막성능의 좋고 나쁨은 환경에 따른 도료의 선택 즉 도장의 사양과 시공이 적절한지의 여부에 좌우되는 것이다.

근래 고분자화학의 진전에 따라 도료도 다종 다양한 것이 생산되고 있으나 안정된 기술, 작업성에서 이것을 환경별로 구역별로 사용토록 했다.

가) 환경의 종류와 설명

(1) 해수 : 구조물이 상시 해수에 침적되거나 해수 물방울에 노출되거나 해서 해수의 영향을 심하게 받는 경우, 또는 오염수의 영향을 심하게 받는 도시지역의 오염하천 등을 말한다.

(2) 담수 : 구조물이 상시 저수지에 침적되거나 물의 영향을 받는 환경을 말한다. 산간대부분을 점하고 있는 일반적으로 청정한 하천을 말한다.

(3) 해안 : 해상 및 해안선으로부터 약 2 km 이내를 말하고 주로 해염입자의 영향을 받는 지역을 말한다.

(4) 공업도시 : 공업지대 및 도시의 시가지를 말하고 아류산 가스의 영향을 극심하게 받는 지역을 말한다.

(5) 기타 : 해안지역, 공업도시와 같은 가혹한 조건 이외의 산간부 및 전원지대를 말한다.

나) 도장계(塗裝系)

도장계는 시공시 도장전문업체에서 제출한 승인된 특수사양에 따라 조정되어야 한다.

다) 도장계는 각 도료의 전색제를 주체로 한 일반적 명칭으로, 액폭시수지계, 염화고무계, 후탈산수지계 등과 같이 분류되어 있으며 1차 프라이머, 하도, 중도, 상도라는 도료의 조합, 도장회수 및 도장장소까지 구분했다.

도막두께에 대해서는 소지면의 조도, 용접부, 강재의 모퉁이부분 등의 문제가 있으므로 표준치를 표시해서 최저치를 두었으나 특히 핀홀이 생기기 쉬운 용접부는 반드시 도장할 필요가 있다.

또한 개폐장치의 기계류는 통상 블라스트클리닝(Blast cleaning)을 적용하는 것은 어려우나 전동공구나 디스크샌더(Disc sander)등을 써서 커머셜블라스트(Commercial blast)에 준한 수준으로 하는 것이 바람직하다.

해수 중에 설치되는 문비에서 해중 미생물의 부착을 방지할 필요가 있는 것은 방오도료를 칠할 수가 있다.

다. 도장시공

1) 하지처리

강재의 하지처리는 제철소 또는 공장에서 블라스트장치를 써서 모래, 광재, 그리트(Grit) 또는 쇼트(Shot)등의 연소재(研掃材)를 강재면에 압축공기로 뿜어서 밀스케일(Mill scale)(흑피), 적청, 또는 기타의 때를 제거하는 작업이지만 전처리로서 강재면에 부착해 있는 유지류(그리스, Machine 유)를 신너(Thinner)등의 유기용제를 이용하여 닦아내야 한다.

피도장물의 소지면의 하지처리 판정은 주관적인 것이므로 판정하기가 어렵지만 SSPC 및 SIS로 미리 하지처리의 급수를 표준사진으로 표시하고 있으므로 이 사진과 대비하면서 판정하는 것이 바람직한 방법이다.

하지처리는 제철소에서 일반적으로 시행하고 있는 SSPC의 커머셜블라스트로 했다. 제품가공 전에 블라스트한 것은 가공 후 용접한 자리, 손상부를 샌더, 파워브러쉬(Power brush)등으로 녹을 제거한 다음 소정의 도장을 하여야 한다. 또한 블라스트 이외의 하지처리로서 염산, 유산, 인산 등의 산용액에 의한 산세법도 있으나 소지면은 커머셜블라스트면과 같은 정도로 제청되어 있어야 한다.

2) 도장시공의 제한

다음과 같은 경우에는 원칙적으로 도장시공을 하여서는 안된다.

- (가) 기온이 5℃ 이하일 때
- (나) 습도가 85 % 이상일 때
- (다) 도료가 경화 건조되기 전에 비가 올 염려가 있을 때
- (라) 강재의 표면에 습기가 있을 때
- (마) 염천으로 인하여 도장면에 기포가 생길 염려가 있을 때
- (바) 중복되는 도장의 경우 전도막의 건조가 불충분할 때

도장할 때의 기상조건, 기온은 매우 중요하므로 습도 90 % 이상에서 워시 프라이머 (Wash primer)를 도장하면 백화현상이 생겨 층간 박리의 원인이 되므로 다른 도료를 감안하여 85 % 이상으로 규정하였다. 기온이 낮아지면 도료의 점도가 증가해서 작업성이 나빠지고 더구나 도료 건조는 극단으로 나빠진다. 특히 에폭시수지계, 탈-에폭시는 10℃ 이하가 되면 극단으로 건조시간이 늦어지지만 다른 도료의 종합적 견지에서 5℃ 로 규정하였다.

탈-우레탄(Tar-Urethane)수지도료는 10℃ 이하에서도 도장간격은 24H ~ 7D으로 할 수 있다. 또 피도장면의 온도가 35℃ 이상이 되는 여름에는 도료의 건조가 빨라지지 않도록 주의가 필요하다.

앞에서 기재한 도장간격은 기온 20℃, 습도 75 % 를 기준으로 하고 있으나 조건이 다른 경우는 간격에 다른 점이 있다는 것에 주의해야 한다.

특히 탈-에폭시수지계, 에폭시수지계에 대해서는 최대 도장간격이 7일 이내이므로 운반, 설치까지의 사이가 장기간이 걸리는 것은 공장에서 도장하는 것을 원칙으로 하나 부득이할 경우에는 피도면을 거칠게 하는 등의 필요한 조치를 취한다. 상시수중에 있는 문비의 경우는 도장과 전기방식을 병용하면 효과가 있다. 이 경우에도 도장에 의한 방식이 주이고 전기방식은 보조여야 한다.

3) 전기방식법

전기방식법에는 유전양극방식과 외부전원방식이 있으나 문비의 경우에는 시공이 간단한 유전양극방식이 주로 쓰인다. 전기방식법의 종류와 장단점을 비교하면 표 4.13.23 와 같다.

표 4.13.23 전기방식법의 종류와 장단점 비교

구분	유전양극방식	외부전원방식
장점	<ol style="list-style-type: none"> 1. 설치방법이 간단하다. 2. 방식대상체가 작은 경우 비용이 경제적이다. 3. 근접 타배관에 간섭 영향이 없다. 4. 과방식의 염려가 없다. 5. 외부의 전원이 필요 없다. 6. 유지관리비가 적다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 방식효과의 범위가 넓다. 2. 방식 대상체가 클 경우 비용이 경제적이다. 3. 양극 소모가 적다. 4. 전압, 전류의 조정이 쉽다. 5. 양극 설치 수량이 적다. 6. 비저항으로 인한 제한이 적다.
단점	<ol style="list-style-type: none"> 1. 방식효과의 범위가 작다. 2. 방식대상체가 클 경우 비용이 크다. 3. 양극 소모로 일정기간 보충해야 한다. 4. 방식전류의 조절이 곤란하다. 5. 비저항이 낮은 물이나 토양환경 외에는 활용하지 못한다. 6. 양극 설치 수량이 많다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 방식대상체가 작은 경우에는 초기 투자비가 많이 든다. 2. 강력하여 근접 타배관에 간섭을 준다. 3. 과방식에 주의해야 된다. 4. 외부전원이 필요하다. 5. 유지관리비가 많다. (전력비, 인건비)

4.13.6 검사

문비의 제작과정에서는 재료검사, 치수검사, 용접검사, 공장가조립검사, 현장검사를 할 것이 필요하다. 그러나 문비의 종류, 규모, 중요도에 따라서 그 일부를 생략할 수도 있다.

문비의 제작, 설치에 있어서는 사용재료가 계획대로 일 것, 치수가 도면치수대로 일 것, 계획대로의 성능을 얻을 수 있을 것 등을 확인하기 위하여 필요에 따라 지침에 있는 검사를 한다.

재료검사에 있어서는 사양대로의 재료가 사용되고 있는지의 여부를 검사하고 공장가조립검사서 각종 주요치수의 측정 및 필요에 따라서 개폐장치의

하중시험 등을 한다.

현장검사에서는 제작설치된 것이 소정의 능력을 발휘하고 사용에 견딜 수 있는 것이란 것을 확인하기 위하여 각부치수, 운전검사, 수밀의 양부 등에 관하여 검사를 행한다.

또한 용접검사에 관해서는 별도의 용접검사기준에 따라 행한다.

4.14 이설 및 진입도로

4.14.1 일반사항

이설도로 및 진입도로 건설은 합리적인 계획과 설계가 이루어지도록 하여야 하며, 저수지 수변과 인접 지역으로의 동물이동 단절방지 및 서식지 훼손의 최소화 방안을 노선 선정시 충분히 검토한다.

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

가. 도로의 분류

우리 나라의 도로는 도로법(1992), 노면의 재료, 도시계획 시설기준, 도로의 구조·시설기준에 관한 규정(1999), 농어촌 도로의 구조·시설에 관한 규칙(1992, 내무부령) 등에 따라 다음과 같이 분류하고 있다.

① 도로법에 의한 분류 : 도로법에서는 도로관리 주체가 어느 기관에 있는가에 따라 고속국도, 일반국도, 특별시도·광역시도, 지방도, 시도, 군도, 구도로 분류한다.

② 노면 재료에 의한 분류 : 도로의 노면에 사용된 표층재료에 따라 토사도(earthen road), 자갈도, 쇠석도, 아스팔트 콘크리트 포장도, 시멘트 콘크리트 포장도, 블록 포장도로 분류한다.

③ 도시계획 시설기준에 관한 규칙에 의한 분류 : 도시계획 시설기준에 관한 규칙에서는 도로를 폭에 따라 광로, 대로, 중로, 소로로 구분하고 있다.

④ 도로의 구조·시설기준에 관한 규정에 의한 분류 : 도로의 구조·시설기준에 관한 규정에서는 도로를 자동차전용도로와 일반도로로 구분하되, 소

재지역에 따라 지방지역도로와 도시지역도로로 분류하며, 자동차전용도로는 소재지역에 따라 지방지역은 고속도로, 도시지역은 도시고속도로로 구분하고 일반도로는 소재지역과 기능에 지방 및 도시지역 모두 주간선도로, 보조간선도로, 집산도로, 국지도로로 구분한다. 특히, 지방지역에 소재하는 일반도로에 대한 도로의 종류 및 등급은 주간선도로는 국도, 보조간선도로는 국도 또는 지방도, 집산도로는 지방도 또는 군도, 국지도로는 군도를 말한다.

⑤ 농어촌도로정비법에 의한 분류 : 농어촌도로는 농어촌도로정비법에 의거 도로법에 규정되지 않은 도로로서 면도, 리도, 농도로 분류한다.

나. 적용범위

필댐이 설치되는 되는 지리적 여건을 감안하여 도로의 구조·시설기준에 관한 규정에서 분류한 지방지역의 일반도로 중 집산도로(지방도 또는 군도)와 국지도로(군도), 그리고 농어촌도로정비법의 면도와 리도 및 농도를 필댐의 이설 및 진입도로의 설계를 위한 주요 적용대상으로 한다.

4.14.2 설계시 고려사항

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

을 특히 고려한다. 따라서 진입도로의 규모는 도로 건설비와 댐 축조비의 경제성 검토에서 결정된다.

4.14.3 도로계획 및 설계 절차

도로의 계획 및 설계는 도로 현황 및 교통, 노선, 경제, 환경, 토질, 그리고 용지 및 보상, 물가, 기상, 장애물 등에 대한 조사가 이루어져야 한다. 이설 및 진입도로의 설계는 관련계획 검토, 조사예정지 검토, 예정지 노선답사, 현장조사, 노선측량, 설계기준사항 검토, 도로구조 계획, 도로설계 등의 순서로 실시한다.

도로는 도로계획에 의거하여 경제성 평가와 투자 우선 순위 결정의 단계를 거쳐 사업대상노선 선정, 타당성 조사, 교통 및 환경영향평가, 기본설계 및 실시설계 등의 과정으로 이루어진다.

가. 관련계획 검토

1) 상위개발계획검토

국토종합개발계획, 시(도)종합개발계획, 시(군)도시계획 및 정주권 개발, 문화마을, 군도 및 농어촌도로개발계획 등을 검토한다.

2) 수원공 개발 관련 계획 검토

기존도로와 연결계획 검토(공사용 진입도로와 임도 등), 수원공 암절 유용상황 및 계획, 홍수위 검토, 지형조건 및 교통량 검토, 지역민 및 관련기관의 의견을 검토한다.

나. 조사예정지 검토

조사 예정지는 도상 검토, 대안노선 설정, 지형도(1/5,000) 준비, 개략적인 통과노선 작도, 비교노선 작도 후 분석평가(경제적, 사회적, 기술적 요인 등), 최적노선계획, 예정지 노선답사의 순으로 검토한다.

다. 예정지 지구에 대한 노선답사

수원공 예정지구에 대한 이설 및 진입도로 계획에 필요한 노선답사는 관련 기관협의, 계획노선답사, 답사보고서 작성, 대상노선개발여부 결정, 현장조사 순으로 실시한다.

라. 현장조사

수원공과 관련된 이설도로의 현장조사는 조사준비, 현장조사, 노선측량을 포함한 조사측량, 수문·토지이용 현황, 도로계획과 관련된 분야의 현장조사, 토질 및 농업경제조사 의뢰 및 협의, 제반 자료의 취합 정리 및 보고서 작성 등의 순으로 실시한다. 이설도로에 대한 현장조사시 노선측량은 측량준비, 기준점과 수준점의 현지 확인 및 이용 적정성 판단, 기준점 및 수준점 측량, 노선 선정 및 선점, 중심선 및 평면선형측량, 종·횡단측량, 지형현황측량 등을 실시한다.

마. 설계기준 검토

도로의 구조·시설기준에 관한 규정(건설교통부, 1999) 및 농어촌 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙(내무부, 1992)에서 정한 제반 설계기준사항을 검토하여 설계한다.

바. 도로 구조계획 및 설계

도로구조계획에서는 도로구분, 설계속도, 횡단면 구성을 계획한다. 도로의 설계는 평면선형설계, 종단선형설계, 횡단설계, 토공설계, 포장설계, 구조물설계로 구분된다.

4.14.4 기하구조

도로의 설계속도와 기하구조는 도로의 중요도, 계획교통량, 지형, 환경조건을 고려하여 결정한다.

도로의 기하구조는 횡단면 구성, 평면선형 및 종단선형, 교차시설 등의 기하학적 제원을 말하며, 기하구조 설계에서는 이들 도로의 물리적 요소를 검토하는 것이다. 따라서 설계자는 기하구조 설계시 운전자 특성과 차량특성에 적합한 도로의 물리적 요소를 결정한다.

가. 기하구조 설계시 고려하여야 할 사항

도로의 기능, 교통량과 이의 구성, 설계속도, 지형, 경제성, 차량특성, 인간특성, 안전성, 환경적 측면을 고려한다.

나. 설계기준자동차

설계기준자동차는 도로 구조설계의 기준이 되는 자동차를 말하며, 이설 및 진입도로의 설계에는 중·대형자동차가 안전하고 원활하게 통행할 수 있도록 한다.

다. 설계속도

1) 설계속도

설계속도는 도로의 기하구조를 결정하기 위해 사용되는 것으로 도로의 구조면에서 보는 경우와 차량의 주행면에서 보아 다음과 같이 정의한다. 즉, 도로 구조면에서 보면 차량의 주행에 영향을 미치는 도로의 물리적 형상을 상호 관련시키기 위하여 정해진 속도를 말하며, 차량 주행면에서 보면 도로설계요소의 기능이 충분히 발휘될 수 있는 조건하에서 보통의 운전자가 도로의 어느 구간에서나 쾌적성을 잃지 않고 안전하게 주행할 수 있는 속도를 말한다.

2) 주행속도

주행속도는 지형이나 연도(沿道)상황 및 도로의 실제 선형을 따라서 운전자가 선택하는 속도를 말하며, 일반적으로 주행속도는 설계속도의 70~90 % 정도이다.

3) 설계속도의 결정

설계속도는 도로설계의 기본이 되는 속도로서 도로의 구분, 도로의 중요도, 계획교통량, 지형, 환경조건을 고려하여 결정하며, 지방지역의 국지도로(군도) 및 면도에서는 50 km/h, 산지는 40 km/h 이상으로 한다. 다만, 지형상황 등을 고려하여 부득이하다고 인정되는 경우에는 위의 속도에서 20 km/h 를 뺀 속도를 설계속도로 할 수 있다.

4) 설계속도와 기하구조의 관계

설계속도와 기하구조의 관계에서 직접 관련되는 요소는 곡선반경, 곡선 길이, 완화곡선길이, 종단기울기, 종단곡선길이, 시거, 편기울기 등이며, 간접 관련 요소는 차선평, 길어깨 폭, 확폭 등이다.

라. 설계구간

설계구간은 도로 기능, 지역 및 지형과 계획교통량에 따라 동일한 설계기준을 적용하는 구간을 말하며, 노선의 성격이나 중요성, 지역 및 지형 상황이 대체로 같은 구간은 원칙적으로 동일한 설계구간으로 함이 바람직하다.

1) 설계구간의 길이

동일한 설계구간은 자동차가 안전하고 쾌적하게 주행할 수 있는 충분한 길이를 가져야 하며, 지방지역의 기타 도로에 대한 설계구간의 표준 길이는 15~10 km로 하며, 부득이한 경우 설계속도만을 떨어뜨리는 최소구간의 길이는 2 km로 한다.

2) 설계속도가 다른 구간을 접속시킬 경우에는 인접한 설계구간과의 설계속도의 차이는 20 km/h 이하가 되도록 하되, 점차적으로 감속을 유도한다. 또한, 급격한 기하구조 변경은 운전자의 기대감 상실로 사고를 유발할 우려가 있으므로 충분한 거리에서 운전자가 인지할 수 있도록 접속한다.

마. 횡단면 구성

도로의 횡단면을 구성하는 데는 계획도로의 기능, 계획목표년도의 계획수준, 교통의 안전성과 효율성 등을 고려할 필요가 있다. 횡단 구성면의 표준은 보도가 없는 경우와 한쪽 또는 양쪽에 보도를 설치하는 경우로 구분한다.

바. 선형 설계

도로의 선형 설계시에는 자동차 주行的 충분한 안전성, 쾌적성, 경제성을 확보할 수 있도록 배려하고, 동시에 선형이 지형, 지질, 경관 등의 조건에 대하여 적응성을 가지며 기술적·경제적으로 타당하여야 한다. 평면선형은 직선, 원곡선 및 완화곡선으로 구성되고, 종단선형은 2차 포물선과 직선으로 구성되며, 선형설계시 평면 또는 종단선형을 개별적으로 검토하지 않아야 한다. 종단선형 설계시 지형과 적합하며, 원활한 선형이 되도록 한다.

4.14.5 횡단면 구성

가. 횡단면 계획시 유의사항

일반적으로 도로의 횡단면을 구성하는데 있어서 고려하여야 할 사항은 다음과 같다.

- 1) 계획도로의 기능에 따라 횡단면을 구성하며, 설계속도가 높고 계획교량량이 많은 노선에 대해서는 높은 규격의 횡단구성요소를 갖출 것.
- 2) 계획목표년도에 대한 교통수요와 요구되는 계획수준에 적응할 수 있는 교통처리 능력을 갖출 것.
- 3) 교통의 안전성과 효율성을 검토하여 구성할 것.
- 4) 교통상황을 감안하고 필요에 따라서는 자전거 및 보행자를 분리할 것.
- 5) 교차접속부의 교통처리 능력, 교통처리 방식 및 필요한 경우 출입제한

방식도 검토할 것.

6) 인접지역의 토지이용 실태 및 계획을 충분히 감안하여 연도에 대한 생활 환경보전에 노력할 것.

7) 도로의 횡단구성 표준화를 도모하여 도로의 유지관리, 양호한 경관확보, 유연한 도로기능을 확보할 것.

나. 횡단면 구성요소

도로의 횡단 구성요소는 차도, 중앙분리대, 길어깨, 주정차대, 자전거도로, 자전거보행자도, 보도, 식수대 및 측대로 이루어지며, 지방지역도로의 횡단면 구성은 표 4.14.1 값을 표준으로 하고, 지형적 조건에 따라 조정한다.

표 4.14.1 지방지역의 도로 횡단 구성면의 표준

구 분	설계 속도 (km/h)	차선평 폭 (m)	길 어깨(m)		측대 (m)	보도 (m)
			우측	좌측		
집산도로 (지방도 및 군도)	50~60	3.0	1.25	0.5	0.25	1.5
국지도로 (군도)	40~50	3.0	1.0	0.5	0.25	1.5

(1) 차도

도로의 차선수(차선폭)는 도로의 구분 및 기능, 지형 상황, 설계시간 교통량 등을 고려하여 정한다. 차로의 폭은 도로의 구분, 설계속도 및 지역 등에 따라 다르나 설계속도 60 km/h 미만인 경우에는 3 m 이상으로 한다. 2차선 이상인 도로의 차선평 폭은 노면표시의 중심선에서 중심선까지로 하며, 폭은 3 m 이상으로 한다. 리도를 1차선으로 설계하는 경우에는 5 m 이상 차선평 폭을 원칙으로 하되 지형상황 등을 참작하여 부득이하다고 인정하는 경우에는 차선평 폭을 4 m 이상으로 할 수 있다.

(2) 길 어깨

도로의 주요 구조부를 보호하거나 차도의 효용을 유지하기 위하여 도로에는 차도와 접속하여 길 어깨를 설치한다. 차도의 오른쪽 길 어깨의 폭은 도로의 구분과 설계속도에 따라 최소폭은 0.5 ~ 1.0 m 이상으로 한다.

4.14.6 선형 설계

가. 선형 설계요소

이설 및 진입도로의 선형은 도로의 특성상 설계속도 최고 60 km/h 까지를 주 고려대상으로 하며, 선형(alignment)은 도로 중심선이 입체적으로 그리는 형상으로, 평면선형과 종단선형으로 구분된다.

1) 평면선형

평면선형은 도로의 중심선이 입체적으로 그리는 형상을 평면적으로 본 것으로, 평면선형은 자동차의 주행궤적에 따르도록 직선, 원곡선 및 완화곡선으로 구성되며 고려해야할 요소는 곡선반경, 곡선 길이, 곡선부의 편기울기, 곡선부의 확폭 및 완화구간 등이다.

2) 종단선형

종단선형은 도로의 중심선이 입체적으로 그리는 형상을 종단적으로 본 것으로, 종단선형은 직선과 곡선으로 구성된다. 설계요소로는 종단기울기, 종단기울기구간의 제한길이, 종단곡선, 오르막차선 설치 등이 있다.

3) 선형 설계시 고려 사항

- 가) 평면, 종단선형을 개별적으로 검토하지 말 것
- 나) 개개의 선형이 아닌 일련의 선형으로 검토할 것
- 다) 직선을 우선으로 하고 곡선을 보조적인 선형으로 하지 말 것
- 라) 최소규격에 구속되지 말고 여유있게 할 것

나. 평면선형

1) 평면선형 설계의 일반 원칙

- 가) 선형은 주변 지형에 적합해야 한다.
- 나) 선형은 연속적이어야 한다.
- 다) 도로 교각이 작은 경우에는 곡률이 실제보다 크게 보이는 착각을 방지하기 위하여 충분한 곡선길이를 확보하여야 한다.
- 라) 높은 성토가 연속되는 구간에는 가능한한 곡선반경을 크게 한다.
- 마) 직선과 원곡선 사이에 클로소이드(clothoid) 곡선을 삽입할 때 클로소이드의 파라미터 $A(m)$ 와 원곡선 반경 $R(m)$ 과의 사이에는 $\frac{R}{2} \leq A \leq R$ 이 되게 하고, 곡선반경 R 이 큰 경우에는 $\frac{R}{3} \leq A \leq R$ 가 되도록 한다.
- 바) 배향곡선 사이에 짧은 직선을 삽입하는 것은 피하도록 한다.
- 사) 평면선형의 설계시 종단선형과 조화를 이루도록 한다.

2) 평면선형의 설계 방법

가) 평면 선형구성의 종류는 긴 직선-짧은 곡선에 의한 선형구성, 긴 곡선-짧은 직선에 의한 선형구성, 연속적인 곡선에 의한 선형구성으로 구분한다.

나) 긴 직선-짧은 곡선에 의한 선형 구성은 과거에서부터 전통적인 설계수법으로 이용되어 왔으며, 이는 주어진 지형조건에서 기본이 되는 도로축선의 직선을 먼저 설정하고, 이들을 원곡선과 클로소이드곡선으로 연결하는 방법으로, 보통 도시내 또는 평야부 지역에서 사용된다.

다) 연속적인 곡선에 의한 선형 구성은 곡선이 연속될 수록 시각적으로 원활함의 정도가 증대되며, 이는 주어진 지형조건 등에서 먼저 기본이 되는 원곡선을 설정하고, 이들 원곡선을 적절한 클로소이드 곡선으로 연결하는 새로운 선형설계방법이다. 일반적으로 산이나 골짜기가 많은 지방지역인 저수지 이설도로 및 농어촌도로에 적합한 방법이다.

3) 평면선형설계요소중 원곡선(최소곡선반경, 최소곡선길이), 완화곡선길이 산정 및 완화곡선 생략 등에 대한 계산 및 적용은 농어촌 도로의 구조·시설 기준과 도로의 구조·시설기준(건설교통부, 1999)의 곡선반경, 곡선의 길이, 완화구간을 참조한다.

4) 평면선형요소 설계

가) 평면곡선반경

(1) 자동차가 곡선부를 안전하게 주행할 수 있도록 곡선부의 최소 회전반경을 정하여야 하는데, 이설 및 진입도로에서는 차도의 곡선부의 곡선반경은 당해차도의 설계속도에 따라 표 4.14.2 의 길이 이상으로 한다.

최소 곡선반경의 규정치는 안전성과 쾌적성이 확보되도록 정해져 있지만 이들은 최소한의 값이며, 선형의 균형(balance)을 생각하여 최소곡선반경의 규정치를 적용하는 것을 될 수 있으면 피하고 가능하면 최소곡선반경의 규정치의 1.5배 정도를 최소치로 하여 설계하는 것이 바람직하다.

(2) 노면에서 횡방향으로 미끄러지지 않기 위한 최소 회전반경은 설계속도와 편기울기, 노면 마찰계수 사이에 다음 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$R > \frac{V^2}{127(i+f)} \dots\dots\dots (4.14.1)$$

여기서, R = 최소곡선반경(m), V = 설계속도(km/h), i = 편기울기(%), f = 노면과 타이어 사이의 마찰계수이다.

표 4.14.2 최소 평면곡선반경

설계속도 (km/h)	최소 평면곡선반경 (m)		
	적용 최대 편기율기		
	6 %	7 %	8 %
60	140	135	130
50	90	85	80
40	60	55	50
30	30	30	30
20	15	15	15

평면곡선부의 최소곡선반경에서 편기율기 최대치는 도로의 구분 및 지역의 기상조건에 따라서 $i = 6\%$ 및 8% 로 규정되어 있으며, $f = 0.10 \sim 0.15$ 이다.

나) 도로의 곡선길이

도로의 최소 곡선길이는 다음과 같은 조건을 고려하여 정한다.

(1) 운전자가 핸들조작에 불편을 느끼지 않을 조건

곡선부 길이를 $L(m)$, 곡선부 통과시간을 $t(s)$, 속도를 $V(m/s)$ 라 하면 L 은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 운전자가 핸들조작에 불편을 느끼지 않을 곡선부의 통과시간은 4 초간의 곡선길이도 무리가 없다고 알려져 있으며, 이는 최소완화구간의 2배가 된다.

$$L = t \cdot V \quad \dots\dots\dots (4.14.2)$$

(2) 곡선반경이 실제보다 짧게 보이는 착각을 일으키지 않을 조건

외선길이를 N , 최소완화구간의 길이 ℓ , 도로교각을 θ 라 하면, 곡선의 길이 $L(m)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L = 2\ell = 688 \frac{N}{\theta} \quad \dots\dots\dots$$

(4.14.3)

(3) 이상 계산에서 차도의 평면곡선부의 중심선 길이는 표 4.14.3의 길이 이상으로 한다. 도로 구조·시설기준에 관한 규칙에서는 도로의 교각이 5° 이상일 경우는 (1) 조건을, 5° 미만일 때는 (2) 조건을 만족하도록 하고 있다.

다) 곡선부의 편기율기

평면곡선부에서 자동차가 원심력에 저항할 수 있도록 하기 위하여 설치하는 횡단기율기로서, 당해도로의 구분, 지역의 적설정도, 설계속도, 평면곡선반경 및 지형상황 등을 고려하여 편기율기를 둔다.

(1) 편기율기 설치 요령

도로의 곡선부를 주행하는 자동차는 원심력을 받게 되는데 노면과 타이어

간에 생기는 마찰에 의해서 이에 대항하며, 횡단방향으로도 안정된 주행을 유지할 수 있도록 편기울기를 설치한다. 공사의 시공성 및 유지관리면에서 도로 곡선부의 최대 편기울기는 지방지역의 적설 한냉지역은 6 %, 기타지역은 8 %로 이내로 한다.

표 4.14.3 평면곡선의 길이

설계속도 (km/h)	평면곡선의 최소 길이 (m)		
	도로 교각이 5° 미만인 경우	도로 교각이 5° 이상인 경우	비 고
60	350/θ	70	θ 는 도로 교각의 값으로 2° 미만이면 2° 로 한다.
50	300/θ	60	
40	250/θ	50	
30	200/θ	40	
20	150/θ	30	

(2) 편기울기 접속설치 비율

곡선부를 확폭하는 경우에는 완화구간내에서 편기울기를 접속 설치하며, 편기울기 접속 설치비율은 주행 쾌적성에 문제가 없는 범위에서 설치한다.

표 4.14.4 편기울기 접속설치 비율

설계속도 (km/h)	60	50	40	30	20
편기울기 접속설치비율	1/125	1/115	1/100	1/75	1/50

(3) 편기울기 설치길이 산정식

편기울기 설치는 원칙적으로 완화곡선 전체길이에 걸쳐서 시행하며, 길이 산정식은 다음과 같다.

$$L_s = \frac{B \cdot \Delta i}{q} \dots\dots\dots (4.14.4)$$

여기서, L_s : 편기울기의 설치 길이(m), B : 기준선에서 차도까지의 거리(m), Δi : $|i_1 - i_2|$ 시점과 종점의 기울기차이 절대값, q : 편기울기 설치율(m/m)

라) 평면곡선부의 확폭

차도 곡선부의 차선 폭은 당해 곡선부의 곡선 반경에 따라 결정한다.

주) 설계차량과 확폭량의 산정기준 : 설계차량은 중대형 자동차를 대상으로 해서 확폭량을 산정하며, 확폭을 필요로 하는 최소 곡선반경은 계산으로 구한 확폭

량이 0.20 m 이상이 되는 반경을 대체로 기준으로 해서 그 보다 큰 곡선반경의 경우에는 확폭하지 않는다. 또한 차선당 최소 확폭량은 설계 및 시공상의 편리를 고려하여 0.25 m 단위로 확폭량을 정하며, 설계속도 40 km/h미만의 저속에 대하여는 차량의 차선중심선상에서 어느 정도까지는 차선의 좌측으로 이동하여 운전이 가능하다는 점과 경제성을 고려하여 확폭량을 정한다.

표 4.14.5 곡선부의 확폭량

(단위 : m)

곡선 반경	차선당 최소확폭량	곡선반경	차선당 최소확폭량
100 이상 150 미만	0.25	25 이상 30 미만	1.25
55 이상 100 미만	0.50	20 이상 25 미만	1.50
40 이상 55 미만	0.75	18 이상 20 미만	1.75
30 이상 40 미만	1.00	15 이상 18 미만	2.00

다. 종단선형

1) 종단선형 설계시 일반 유의사항

- 가) 선형은 지형에 적합하고 원활하여야 한다.
- 나) 앞쪽과 뒤쪽 끝만 보이고 중간이 폭 패여 보이지 않는 오목형 종단곡선은 피하도록 한다.
- 다) 오목부에 삽입하는 종단곡선은 충분히 길게 하여 시각적으로 원활한 선형이 되도록 한다.
- 라) 동일 방향으로 굴곡하는 두 종단곡선 사이에 짧은 직선 구간을 두는 것은 피하도록 한다.
- 마) 길이가 긴 오르막구간에서는 오르막기울기가 끝나는 정상부근에서 기울기를 비교적 완만하게 선형을 계획한다.
- 바) 종단기울기는 완만하게 할수록 좋지만 노면배수를 위하여 최소 0.3~0.5 %의 종단기울기를 둔다.
- 사) 오르막길이가 길고 종단기울기가 큰 경우에는 오르막 차선 설치와 기울기를 낮추어 설치하지 않는 방안을 비교한다.
- 아) 터널내 환기를 고려하여 장대터널의 오르막 기울기는 2 % 이내로 하고, 특별한 경우에도 3%를 넘지 않도록 한다.
- 자) 교량 위치가 오목선형에 있지 않도록 한다.

2) 종단선형의 설계 방법

종래 종단선형의 설계방법은 평면선형 설계와 마찬가지로 먼저 지형의 변화에 따른 요철에 맞추어 기준점이나 절성토의 균형 등의 조건을 고려하여 직선형으로서 종단기울기를 설정하고 이들을 연결하는 직선에 따라 종단형상의 기본형이 정해지며, 다음에 종단기울기의 변화점에 종단곡선을 필요에 따라 적절한 길이로 삽입시키는 방법이다.

새로운 설계 방법은 먼저 지형에 맞추어 종단곡선을 설정하고, 인접하는 종단곡선끼리는 접하도록 하거나 직선을 삽입하여 연결해 가는 방법이다. 두 종단곡선을 포괄하는 하나의 종단곡선으로 치환한다.

종단곡선을 될 수 있는 대로 크게 잡는 것은 설계와 시공의 양면에서 어려우나, 완성되면 도로는 지형에 잘 어울리고 연속적으로 흐르는 듯한 인상을 주어 쾌적한 주행을 할 수 있다.

3) 평면 및 종단선형을 이상적으로 조합시키는 요령

가) 직선부에서 종단선형은 긴 연장의 일정한 기울기 구간에서 국부적인 작은 굴곡을 피하도록 한다.

나) 곡선부에서 종단선형은 단구간의 둥근 언덕모양의 굴곡을 피하고, 긴 구간에 걸쳐 종단기울기를 일정하게 하도록 한다.

다) 종단곡선상에 긴 연장의 직선기울기에 있는 굴곡은 멀리 떨어진 옆에서 보이지 않는다.

라) 두 평면곡선 사이에 종단선형상 정점부의 짧은 직선구간 : 곡선사이의 짧은 직선구간과 정점부의 반향곡선(reverse curve)은 피한다.

마) 종단곡선상 굴곡의 바닥에 변곡점의 설치를 피한다.

바) 언덕 등에 의하여 도로의 일부가 보이지 않아서 도로가 불연속된 것처럼 보이는 불연속 효과를 줄인다.

사) 평면곡선과 종단곡선이 다른 방향으로 대응하여 균형된 도로인 경우에 시각 효과가 좋다.

아) 평면곡선 반경에 있어서 교각이 매우 작을 때는 작은 곡선반경보다 큰 곡선반경이 바람직하다.

자) 긴 연장의 직선부와 평면곡선이 적은 것을 조합하여 원활하지 못한 경우에는 직선부와 곡선부 사이에 완화구간을 설치한다.

4) 식재에 의한 시각환경

하향기울기의 좌회전 커브에서 도로 우측의 식재는 운전자에게 불안감을 해소시키며, 직선부 또는 곡선부의 변곡점 부근에 정점이 있을 때 도로 우측의 식재는 도로의 선형을 운전자에게 미리 알리는 역할을 해준다.

5) 종단기울기 및 종단곡선 설치

가) 종단기울기 및 종단곡선 설계시 유의사항은 다음과 같다.

(1) 서로 다른 종단기울기를 접속시키는 경우 연속된 급기울기의 중간에 극히 짧은 구간의 평탄구간이나 완기울기를 삽입하지 말 것

(2) 적설 및 한냉지에서는 급기울기를 피할 것

(3) 대형차가 많은 경우, 오르막차선을 설치하는 것의 경제성을 검토할 것

(4) 긴 평탄구간은 좋지 않으며, 노면배수를 고려하여 0.3~0.5 %의 종단기울기를 설치한다.

(5) 하나의 평면곡선내에서 종단선형의 요철을 반복하는 것은 피한다.

(6) 긴 곡선구간에 오목형 종단곡선의 삽입은 피한다.

(7) 같은 방향으로 굴곡하는 두 직선사이에 짧은 직선의 삽입은 피한다.

나) 종단기울기 및 종단곡선 길이

종단기울기는 도로의 진행방향 중심선의 길이에 대한 높이의 비율을 말하며, 도로의 구분, 지형상황과 설계속도에 따라 차도의 종단기울기 및 종단길이는 다음과 같다. 종단곡선의 길이는 종단곡선의 최소변화비율에 의하여 산정한 길이와 표 4.14.6 의 종단곡선의 최소길이 중 큰 값 이상으로 한다.

표 4.14.6 차도의 종단기울기 및 종단길이

설계속도 (km/h)	종단 기울기 (%)		종단곡선의 최소길이 (m)
	표 준	부득이한 경우	
60	5	7	50
50	6	9	40
40	7	10	35
30	8	11	25
20	10	13	20

6) 평면선형과 종단선형의 조합

평면선형과 종단선형의 조합은 도로환경과 조화를 이룰 수 있도록 설계시 ① 선형의 시각적 연속성을 확보할 것, ② 선형의 시각적, 심리적 균형을 확보할 것, ③ 노면의 배수 및 자동차의 운동역학적 요구에서 적합한 기울기가 취해질 수 있는 조합을 택할 것, ④ 항상 도로환경과의 균형을 고려할 것 등에 유의한다.

4.14.7 포장설계

차도는 교통량, 노상의 상태, 기후조건, 경제성, 시공성 및 유지관리 등을 고려하여 적절한 두께 및 재질 등의 구조로 포장한다. 포장은 아스팔트 콘크리트 포장 또는 시멘트 콘크리트 포장으로 하고, 계획교통량, 자동차의 중량, 노상의 지지력, 기상상황, 경제성 등을 고려하여 포장구조를 결정한다. 다만, 교통량이 적거나 특별한 사정이 있는 경우에는 토사계 포장 구조로 할 수 있다.

이설도로 포장을 계획하기 전에 포장형식 검토, 포장단면 가정, 최적단면 결정, 동결깊이 검토, 포장구조 결정과 같은 순서에 의해서 포장형식을 먼저 결정한다.

가. 포장의 종류

도로는 교통량, 노상의 상태, 기후조건, 경제성, 시공성 및 유지관리 등을 고려하여 자동차가 안전하고 원활하게 통행할 수 있는 공법으로 포장한다. 도로의 포장은 가요성 포장인 아스팔트 콘크리트 포장과 강성포장인 시멘트 콘크리트 포장, 토사계 포장 등으로 분류되며, 포장공법을 선정할 때는 재료, 장비, 지형, 지세와 기후조건 등과 같은 영향인자와 구조적 특성, 시공성, 주행성, 경제성, 내구성, 미끄럼 저항 및 노면안정성 등을 고려한다.

나. 아스팔트 포장과 시멘트 콘크리트 포장

아스팔트 포장은 노반 위에 아스팔트 혼합물로 포장하여 표면을 노면으로 사용하는 것을 말하며, 표층, 중간층, 기층, 보조기층으로 이루어져 있다. 콘크리트 포장은 콘크리트 슬래브를 표층으로 하는 포장을 말하며, 콘크리트 슬래브 및 보조기층으로 구성되어 있다. 일반적으로 아스팔트 콘크리트 포장과 시멘트 콘크리트 포장의 장단점은 표 4.14.7과 같다.

또한, 아스팔트 포장과 콘크리트 포장에 대하여 토질, 지역교통, 재료, 기상, 공사기간, 경제성 등의 적용 조건을 비교하면 표 4.14.8 과 같다.

표 4.14.7 아스팔트 포장과 시멘트콘크리트 포장의 장·단점

포장 항목	아스팔트 포장	콘크리트 포장
내구성	· 중차량 증가로 포장수명 단축 · 5~10년마다 덧씌우기 필요	· 중차량에 대한 내구성 양호 · 포장수명 20~30년
주향성	· 소음, 진동이 적고 평탄성 및 승차감 양호	· 소음, 진동이 있고 평탄성 불리
시공성	· 시공경험 풍부, 포장설비 유리 · 품질관리에 숙련도 요함	· 포장 장비가 까다로우나 슬립폼 페이퍼 사용으로 시공성 향상
미끄럼 저항성	· 다소 불리	· 초기에는 아스팔트포장에 비해 다소 유리함
양생기간	· 양생기간이 짧아 즉시 교통 개방 가능	· 양생기간이 길어 교통 중단
유지보수 및 경제성	· 유지보수가 잦아 보수비 고가 · 부분 보수작업 용이함 · 유가변동에 영향을 받음	· 유지보수가 없어 보수비 저렴 · 보수작업이 어려움 · 시멘트 수급 파동에 영향을 받음

다. 아스팔트 및 콘크리트 포장 설계법

이설 및 진입도로 포장은 농어촌 도로의 구조·시설기준에 있는 포장설계 방법을 적용하고, 기타 세부내용은 도로포장 설계·시공지침(건설부, 1991)을 참조한다. 우리 나라는 AASHTO방법(1972) 및 TA법을 주로 사용하고 있다.

1) 포장설계는 다음과 같은 조건을 만족하도록 한다.

- ① 작용하중에 의해 발생하는 노상응력이 허용치 이하가 되도록 한다.
- ② 환경조건에 맞는 내구적인 구조물이어야 한다.
- ③ 안전하고 쾌적한 자동차 주행이 되도록 한다.

2) 아스팔트 포장 설계법

- AASHTO INTERIM GUIDE METHOD (1972)
- 개정 AASHTO METHOD (1986)
- TA법

3) 콘크리트 포장 설계법

- PCA 방법(Portland Cement Association Method)
- AASHTO INTERIM GUIDE METHOD (1972)
- 개정 AASHTO METHOD (1986)

표 4.14.8 아스팔트 포장과 콘크리트 포장의 적용조건 비교

구분 항목	아스팔트 포장	콘크리트 포장
토질조건	· 토질 적용성 유리	· 불균질 토질에는 불리
지역교통 조건	· 중차량이 많은 구간은 불리 (내구성 불리) · 조기 교통개방이 필요한 곳 적용에 유리 : 양생기간이 짧다.	· 내구성 양호로 중차량 구간 유리 · 조기개통구간은 불리 : 양생기간이 길다
현지재료 조건	· 노반공사비가 많이 소요 · 노반재료입수가 곤란한 곳에 불리	· 노반재료 입수가 곤란한 곳에 적용시 유리
기상조건	· 강우, 강설량이 많거나 고온 다습 지대 등에 불리 · 수분에 약함	· 기상작용(수분)에 대한 저항성 유리
공사기간	· 공사기간 급박한 경우 유리 · 시공성, 양생 등 유리	· 공사기간 급박한 경우 불리
경제성 (유지보수)	· 초기 건설비 다소 유리 · 유지보수가 잦아 보수비는 고가, 보수작업은 용이 · 유가변동에 영향을 받음	· 초기 건설비 다소 비싸다 · 유지보수 별로 없어 보수비는 유리, 보수작업은 어려움 · 시멘트 수급 파동에 영향

라. 토사계 포장

토사계 포장은 자연 흙을 이용하거나 노상 위에 자갈, 쇄석, 모래 등을 깔고 표면을 노면으로 사용하는 것으로 다른 포장 형식보다 훨씬 경제적이므로 교통량이 적은 도로에 많이 사용한다. 현장조건에 따라 적용하며, 토사도와 사리도의 특징은 다음과 같다.

1) 토사도

토사도는 자연토사만을 사용하는 도로로서 구조가 간단하지만 노면이 약하기 때문에 파손이 크다. 물에 약하고 동상 피해 및 배수에 유의하여야 하며, 토사도의 재료는 조립분이 많고 결합재로서 적당량의 점토가 섞인 것이 좋다. 표면배수를 위한 횡단 기울기는 3~6 % 정도로 크게 하며, 종단기울기는 0.5~4 %의 범위를 사용한다. 표면건조를 위해서 햇볕이 잘 드는 곳을 택한다.

2) 사리도

사리도는 노면을 자갈, 쇠석, 모래 등으로 만든 도로로서 배수에 유의하고, 사리도의 노반두께는 일반적으로 10~20 cm 정도이다.

마. 동결에 대비한 포장설계

한냉지에는 교통하중에 대하여 필요한 두께와 동결깊이를 비교하여 도로가 동상으로 파괴되지 않도록 한다. 동결깊이(depth of frost penetration)는 노면에서 지중온도가 0℃인 선까지의 깊이를 말하며, 이를 결정하는 방법에는 직접 측정하는 방법과 그 지방의 일평균기온 및 열전도율 등의 기상자료로부터 추정하는 방법이 있다. 이중 동결지수와 동결깊이와의 관계는 다음과 같다.

$$z = C\sqrt{F} \dots\dots\dots (4.14.7)$$

여기서, z는 동결깊이(cm), F는 동결지수(℃·day), C는 노면의 일조조건, 토질, 배수조건 등에 따라 결정되는 계수로서 3~5의 값을 사용한다.

보통, 북쪽으로 향한 산악도로에서 용수의 침투가 많고 실트질이 많은 토질의 경우 C = 5 정도, 햇빛이 적당히 있고 토질 및 배수조건이 양호하면 C = 3, 중간조건이면 C = 4 를 사용한다. 그리고, 전체 동결깊이로부터 비동상재료층의 두께를 산정한다. 동상방지층 재료는 배수성이 양호한 재료로서 최대입경은 100mm 이하, 직경 0.075mm 이하의 함유량이 15% 이하, 0.02mm 이하의 함유량이 3 % 이하인 쇠석 또는 모래를 사용한다.

표 4.14.8 전국 지점별 동결지수 (단위 : ℃·day)

지점	지반고 (m)	동결지수	동결기간	지점	지반고 (m)	동결지수	동결기간
춘천	74.0	823	79	보은	170.0	786	61
강릉	26.0	309	60	영동	40.0	708	60
수원	36.9	801	60	보령	33.0	515	60
서산	19.7	613	60	정읍	30.0	439	61
청주	59.0	630	60	남원	115.0	465	60
포항	5.6	213	56	무주	190.0	675	59
군산	26.3	430	60	함평	9.0	435	26
전주	51.2	393	60	장흥	40.0	328	60
울산	31.5	174	56	순천	23.0	802	112
충무	32.2	97	44	영주	145.6	708	60
목포	53.4	150	56	의성	73.0	515	60
제천	220.0	947	102	울진	11.0	626	60
충주	50.0	802	112	거창	224.9	626	61

4.14.8 배수시설

도로에는 도로구조의 안정과 도로시설의 보전, 교통안전, 유지보수 등을 위하여 측구, 우수집수정 및 도수로, 배수관 등 적절한 배수시설을 설치한다.

도로 파괴는 직접 또는 간접적으로 물이 원인이 되어 일어나는 경우가 많다. 그러므로 도로의 설계, 시공 및 유지에 있어서는 포장이나 구조물 못지 않게 배수시설에도 유의한다. 도로설계에서 고려하여야 할 배수의 종류는 표면배수, 지하배수, 횡단배수 등으로 분류할 수 있다.

가. 배수시설 계획시 유의사항

1) 배수계획 및 설계를 위해서는 ① 지형 및 지표면의 피복상황, ② 강우량, 기온, 일사 등의 기상자료, ③ 토질, 지질 및 투수성, ④ 기존 배수시설 단면과 배수계통 등을 조사하여 배수시설의 위치, 형식, 수량 등을 결정한다.

2) 배수시설에는 측구, 배수구, 배수관, 암거(culvert) 등이 있는데 각각의 기능에 따라 설계유량을 흐르게 하도록 충분한 배수능력과 적절한 유속을 얻을 수 있도록 배려하고 교통에 지장이 없도록 구조나 배치에 주의한다.

3) 노면배수를 위하여 도로의 횡단기울기를 차도부 1.5~2 %, 길어깨는 4 %를 원칙으로 하고 노측으로 집수되는 표면수는 측구를 통하여 신속한 배수가 되도록 한다.

4) 절토부의 경우에는 노측에 측구를 설치하여 노면수 및 표면수를 종방향으로 유도시키며 종단기울기에 따라 측구의 형식 및 재료를 결정한다.

5) 도로를 횡단하는 수로와 종단 배수된 유수를 집수하여 유출시키기 위하여 배수관 및 암거 등의 횡단배수시설을 설치한다.

나. 배수 유말처리

도로배수는 반드시 하천 또는 배수로까지 유도하도록 계획한다. 소규모 측구에서 넘친 우수나 비탈 끝에 측구를 설치하지 않는 경우에 비탈면을 흐른 우수 등은 자연방류하도록 설계하는데 인근 전, 담 등에 유입되지 않도록 계획한다.

다. 배수시설의 규모 결정

배수시설의 규모 결정은 축척 1/25,000 지형도상의 계획노선에 대하여 유역 면적과 구조물 설치 위치별 유량을 배수구조물 설계법에 의거 계산을 한 후 현지조사를 실시하여 과거의 최고 홍수위, 기존 구조물 규격 등의 필요한 자료를 수집한다. 현지조사 항목은 과거 최고 홍수위, 부근 기존 구조물의 규격, 부근 수리시설 현황 및 용량, 하천 현황 등이며, 자료수집 항목에는 강우강도, 강우시간(지속시간), 강우빈도 등이다.

1) 설계빈도 적용

구조물의 종류별 설계빈도 기준은 다음과 같다.

- ① 교량 : $L < 100$ m의 소교량은 50년, $L \geq 100$ m의 장대교는 100년
- ② 측구 : 5년 ③ 암거 및 배수관 : 25년 ④ 노면 및 비탈면 배수 : 3년

2) 표면 배수시설의 크기를 결정하기 위한 계획유출량은 식(4.14.8)의 합리식 또는 단위도법 등을 이용하여 산정한다.

$$Q = \frac{1}{3.6} CiA \dots\dots\dots (4.14.8)$$

여기서 Q : 유출량(m^3/s), C : 유출계수, I : 강우강도(mm/h), A : 집수면적(km^2)

제 5 장 시 공

5.1 가배수공

5.1.1 가배수공의 구성

가배수공은 공사기간중의 댐 지점을 유하하는 유수를 댐의 공사에 지장이 없도록 통과시킬 수 있는 구조라야 한다. 가배수공은 가물막이와 가배수로로 구성되며, 현장조건에 따라 가장 합리적이고 경제적인 조합이 되도록 계획되어야 한다.

가배수공의 선정에는 ① 유역의 유출특성(홍수의 도수, 침투 유출량, 홍수의 유출 총량, 홍수의 계속 시간 등), ② 댐터의 지형(하천의 폭, 하천의 굴곡상황 등), ③ 기초지질, ④ 댐 형식, ⑤ 취수시설, 방수관 등의 방류시설과의 관계, ⑥ 댐의 축제공기와 가배수로의 통수기간, ⑦ 가배수로의 능력부족으로 인하여 일어나는 공사기간 중의 피해의 대소 등을 고려한다. 가배수공은 가물막이와 가배수로로서 구성되며, 가배수공의 구성요소는 표 5.1.1과 같이 구분된다.

표 5.1.1가배수공의 구성

가물막이	가배수로
전면 물막이 반 물막이 단계 물막이	터널식 개거·암거 제내 가배수로·제체월류식

가배수공은 보통 가시설로 계획되지만 가물막이를 본제방으로 이용, 가배수로를 취수 또는 방류시설 등으로 이용하는 등 종합적으로 관련지어 최소 공사비로 홍수피해를 최소한으로 막고 시공이 원활하게 이루어지는 것이 가장 적합한 계획이다. 필댐은 월류에 대한 저항력이 약하기 때문에 가배수공의 규모 부족이나 불완전한 시공은 본 제방 공사의 극단적인 공정 지연, 제체결괴에 따라 하류에 중대한 손실을 초래하므로 특히 적절한 설계, 시공이 요구된다.

5.1.2 가배수공의 대상유량

필댐의 대상유량은 20년 확률유량으로 한다.

대상유량은 댐의 형식, 홍수특성, 공사기간중의 유출빈도 및 월류시의 피해를 고려해서 계획되어야 한다.

필댐은 일반적으로 홍수의 월류에 대한 저항력이 적어 공사기간 중에 예상되는 홍수에 대해 충분히 대처할 수 없어 하류에 큰 피해가 예상되는 경우에는 20년 이상의 확률유량을 대상으로 하는 경우도 있다.

또 소규모 댐이라든가 성토고가 다음 연도 홍수기까지의 가물막이 제방보다 높아 20년 확률유량에 대해서 안전한 정도의 높이가 확보될 수 있다고 판단될 때는 5~10년 정도의 확률유량을 써도 되는 경우도 있다.

5.1.3 가물막이

가물막이는 가배수로와 연계하여 효과적인 유수전환을 위해 합리적이고 경제적인 조합이 되도록 계획되어야 한다. 가장 적합한 가물막이의 형상, 높이, 시기, 단면은 하천유량, 지형, 하천경사, 하상퇴적물의 깊이와 종류, 시공기간 및 가물막이 재료 등을 고려하여 결정한다.

가. 가물막이 시기

가물막이 시기는 과거의 수문자료로부터 상당히 장기간 동안 갈수가 예상되는 시기를 택하는 것이 좋고, 가급적 단기간에 공사를 실시하는 것이 좋다.

단시간의 갈수기간 동안에 가물막이 공사를 종료하는데는 한도가 있을 뿐 아니라 가배수로 공사도 지형, 지질, 공기 등에 의해 상당한 제한을 받으므로 전체 시공계획을 고려하여 종합적으로 판단한다.

그러나, 댐 수몰지 보상을 위한 교섭에 어려움이 있다거나 공사의 긴급성 등으로 인하여 갈수기에 가물막이 시공이 불가능한 경우도 생긴다. 이와 같은 경우에는 시공계획을 신중히 검토하여 가물막이 공사의 공기를 단축토록 해야 한다. 예를 들면 토취장이 먼 곳에 위치하고 있을 때, 축제재료를 미리 가물막이 부근에 저장해 둬므로써 공기를 단축하는 등의 배려가 필요하다.

나. 형식의 선정

가물막이의 형식은 지형, 지질, 하상의 상황, 홍수유량, 공사의 규모 등을 고

려해서 경제적이고 안전한 것을 선정해야 한다. 가물막이의 형식과 특성을 표시하면 다음과 같다.

1) 전면 물막이

전면 가물막이는 하류를 원지반에 설치한 가배수 터널로 바꾸고 하천의 상·하류를 전면적으로 물막이해서 작업구간을 확보하고 기초굴착, 본체체 타설 또는 흙쌓기를 하는 것이다.

전면 물막이에 의한 가배수는 하폭이 좁은 곳에서는 댐 형식 여하를 불문하고 가장 적합한 방법이다. 터널은 댐 지점의 한쪽 또는 양쪽에 설치해서 하천의 흐름을 공사구역의 원지반으로 우회시킨다. 특히 하천이 만곡해서 댐 양단부가 돌출되어 터널에 의해 쇼트컷할 수 있는 지형에서는 유리하다. 이 방식의 이점은 ① 전면적으로 기초굴착이 가능하고 본체체 타설 또는 흙쌓기 공정에 제약을 받지 않는다. ② 공사완성 후에는 가배수터널을 취수·방류시설 등으로 전용할 수 있다. ③ 공사용 도로와 겸용할 수 있다. ④ 필댐의 경우에는 가물막이가 본체체 흙쌓기공의 일부로서 이용할 수 있다. 그렇기 때문에 15 m 이상의 필댐에서는 거의 이 방법이 이용되고 있다.

2) 반물막이

이 방식은 하천의 한쪽을 체절하여 하류를 다른 쪽으로 옮기고 물막이 내부의 기초굴착 및 본체체 타설 또는 필댐의 흙쌓기를 하고 뒤에 유수를 이 부분의 체내 또는 기초지반에 설치하는 가배수로 또는 콘크리트댐의 건설중인 블록을 교대로 낮추어서 그 위를 월류시키고 다른 부분을 체절하여 나머지 부분의 시공을 하기 때문에 하폭이 넓을 때 채용된다.

3) 특수한 가배수

댐을 유수에 직접 관계되지 않는 장소에 설치해서 체체 및 부속공사를 완료하여 홍수가 전부 내지 일부 완성된 물넘이를 통하여 안전하게 배수될 수 있게 되면, 종전의 하천을 물막이해서 유수를 가배수하고 종전 하천의 물막이 내측에서 기초굴착, 흙쌓기, 콘크리트치기가 실시된다. 이 방법은 두수공을 하천의 만곡 또는 사행하고 있는 장소에 설치하는 경우에 흔히 볼 수 있다.

4) 상류 가물막이와 하류 가물막이

상류 가물막이는 댐 지점으로서의 하천 흐름을 막아 가배수로로 전환시키는 역할을 한다. 지질이 양호하고 지형이 적합한 경우에는 공사비를 절감하기 위하여 소형 아치댐으로 하는 경우도 많다.

또한, 체내 가배수로의 유수전환에 편리하도록 상류 가물막이에 통수공을 설치하여 수문을 달기도 한다. 이렇게 하면 유수전환이 간단할 뿐 아니라 제

내가 배수로의 폐쇄용 수문을 닫을 때 상류 가물막이의 수문을 닫는다면 일시적으로 상류 가물막이를 월류할 때까지 시간적인 여유가 생기게 되며, 이 사이를 이용하여 건조상태에서 폐쇄작업을 할 수 있게 된다.

하류 가물막이는 가배수로를 통해 전환된 유수가 유출구를 통해 방류되었을 때, 댐 본체 공사 현장내에 역유입하는 것을 방지하기 위해 설치한다. 상류 가물막이와는 달리 위험성은 없고, 또한 양면에서 수압을 받을 가능성이 있으므로 가능한 한 간단한 구조로 하는 것이 좋다. 즉, 사력댐의 형식을 취한다거나 혹은 중력식 콘크리트 형식을 채택하는 것이 좋다.

5) 1차 가물막이와 2차 가물막이

댐 지점의 상류측에 평수위 정도를 대상으로 하는 1차 가물막이를 토석으로 그 하류에 홍수위를 대상으로 하는 콘크리트 구조물의 2차 가물막이를 설치하는 경우가 많다. 이 때 1차 가물막이는 2차 가물막이를 위해 시공하는 것으로 하상 퇴적물의 깊이가 별로 깊지 않을 경우에 이용된다.

댐 지점의 하류측에는 홍수위를 대상으로 한 사력댐 형태의 1차 가물막이를 설치하고 그 하류에 평수위를 대상으로 하는 콘크리트 구조물의 2차 가물막이를 설치하는 경우가 많다. 이 경우에는 1차 가물막이로 유수의 공사장내 역류를 방지하고 2차 가물막이로 침투수를 방지하게 되며, 이는 하상 퇴적물의 깊이가 매우 두꺼울 경우에 이용된다.

6) 콘크리트 구조물에 의한 가물막이

콘크리트 구조물식 가물막이로는 중력식, 아치식 및 철근 콘크리트 옹벽식 등이 채택되고 있다. 이들은 가설비로서의 구조물이므로 지진, 온도, 옹벽 등은 고려하지 않고 안전율을 어느 정도 떨어뜨려서 설계하는 것이 보통이다. 하류측 가물막이는 상류 및 하류로부터의 수압을 받을 가능성이 있으므로 중력식을 택하는 것이 좋다. 한편 상류 가물막이는 상류측에서의 수압이 크므로 하폭과 가물막이 높이의 비가 너무 크지 않는 한 아치식을 채택하는 것이 경제적인 경우가 많다. 이 때 특수한 경우를 제외하고는 원통 공식 등의 간단한 공식에 의해 표고별 옹벽을 계산하게 되며, 하중으로서는 정수압만을 고려한다. 즉,

$$\sigma = \frac{\gamma h r}{t} \dots\dots\dots (5.1.1)$$

여기서, σ 는 응력, γ 는 물의 단위중량, h 는 수심, r 은 아치의 반경이고, t 는 두께이다.

또한, 아치댐 형식으로 할 경우, 가물막이를 월류한 물이 홍수가 둔화된 후에 설계와는 반대방향의 수압으로 작용하여 댐 제체를 파괴할 위험성을 동반

하므로 가물막이 아랫부분에 개구부를 설치하는 등 수위를 감소시킬 수 있는 시설을 설계해 줄 필요가 있다.

7) 필댐 형식의 가물막이

흙 댐이나 사력댐 형식의 가물막이는 공사 중에 홍수에 의해 제체가 월류했을 경우에는 결괴 현상으로 파괴될 우려가 높으므로 댐의 비탈면을 콘크리트 혹은 아스팔트 피복공으로 보호한다든지, 사력층 표면을 철사망으로 피복하는 등의 처리로 단시간 동안의 월류수에 대해서는 견딜 수 있도록 설계할 필요가 있다. 한편 지수는 중앙 콘크리트 지수벽과 점토 코어를 설치하는 경우와 강관을 타입하는 경우가 많다. 또한 가물막이의 제체 체적이 어느 정도 클 경우에는 이를 댐 제체의 일부로서 설계하는 것이 경제적이며, 이 경우 가물막이의 시공은 댐 본체와 같은 정도의 충분한 시공 및 품질관리가 요망된다.

다. 가물막이의 위치 및 높이

가물막이의 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 크면 가배수 터널의 길이가 너무 길어짐과 동시에 상하류 가물막이 사이의 유역으로 발생하는 우수의 배제 대책도 고려해야 한다. 따라서, 가물막이의 위치와 높이는 가배수로의 위치 및 용량과 관련시켜 결정한다. 위치 및 높이 결정에 있어서 일반적인 사항을 열거하면 다음과 같다.

1) 가물막이의 위치는 다소의 변동이 있더라도 댐 축선, 구조 또는 굴착선에 지장이 없도록 고려하고, 또 굴착, 흙 운반작업, 제체 축조작업 등의 능률에 저해 당하지 않는 작업공간을 확보해야 한다. 그리고 가물막이 기초에서의 누수가 제체 터파기에 지장이 없도록 하상으로부터의 침투수도 고려해서 위치와 구조를 선정해야 한다.

2) 가물막이의 높이와 가배수로의 크기와의 관계는 몇 가지의 비교설계 결과로써 결정된다. 필댐의 경우 가물막이의 부피가 커질 때에는 될 수 있는대로 본체당의 일부로서 계획하는 것이 바람직하다.

3) 가배수로의 유입부에서는 유입에 의한 손실수두와 유속 변화에 따른 손실수두가 발생하므로 이로 인한 수두 증가량 Δh 와 여유고 0.5 m 정도를 합한 높이를 상류 가물막이의 높이로 정한다.

$$\Delta h = f_1 + \frac{V^2}{2g} + \frac{1}{2g}(V^2 - V_o^2) \dots\dots\dots (5.1.2)$$

여기서, f_1 은 유입부 손실계수, V 는 가배수로내 평균유속, V_0 는 가배수로 유입되기 전의 유속이다. 또한, 하류 가물막이의 높이는 홍수시 상·하류의 가물막이 월류가 동시에 발생하도록 결정하는 것이 보통이다.

4) 상·하류측 가물막이의 높이는 가배수로에 계획배수량을 유하시킬 때의 상·하류측 수위를 각각 기준으로 해서 결정한다. 상류측 가물막이 높이는 보통 다음과 같이 생각한다.

(가) 콘크리트 구조인 경우

(가배수로 상류측 설계수위) + (0.5 ~ 1.0 m 정도의 여유)

(나) 필댐 구조인 경우

(가배수로 상류측 설계수위) + (1.0 ~ 2.0 m 정도의 여유)

라. 구조 및 시공

가물막이의 구조는 홍수시의 월류에 의해서 쉽게 파괴되지 않는 것이라야 한다. 또 가물막이가 댐 본체의 일부가 되는 경우에는 본체와 같은 정도로 정밀한 시공이 필요하다. 이에 관한 일반 사항을 열거하면 다음과 같다.

1) 가물막이의 구조로서는 토사의 퍼고르기, 거푸집공, 콘크리트, 널말뚝, 프리팩트 주입 등과 이들의 조합이 있다.

2) 가물막이가 공사기간중 특히 하상부의 굴착, 흙쌓기, 콘크리트 타설중 월류에 의해서 파괴되면 복구하는데 시간과 비용이 드는 것이므로 구조는 쉽게 파괴되지 않는 것이라야 한다.

3) 가물막이의 시기는 홍수시기를 피해서 상당히 장기간에 걸쳐 갈수가 계속되는 시기를 택하여 단번에 체절하는 것이 좋다.

가물막이의 시공은 급속을 요하므로 예를 들어 취토장이 먼 곳에 있는 경우에는 어느 정도 가물막이 부근에 축제재료를 저장해 두어 공기를 단축시키는 것도 필요하다.

5.1.4 가배수로

유수전환을 위한 가배수로는 대상 홍수량, 댐 지점의 지형, 지질조건, 댐의 형식, 부대구조물(물넘이, 취수시설 등) 및 댐의 시공순서 등을 고려하여 가장 적합한 것을 채택한다.

가. 형식 및 노선의 선정

가배수로의 형식과 노선은 가배수 방식, 가물막이와의 조합, 지형 및 지질, 완성 후의 취수시설 등을 고려하여 선정한다.

형식 및 노선의 선정에 있어서 일반적인 유의사항을 열거하면 다음과 같다.

1) 가배수의 방법은 원지반을 통과하는 터널, 제체내 또는 제체 아래에 설치하는 수로, 댐을 통과하는 일시적 수로 또는 콘크리트댐 건설중의 블록을 교대로 낮게 해서 그 위로 월류시키는 공법 등을 한가지 공법 또는 이것을 조합해서 실시한다.

2) 가배수 공사는 전체의 공정을 고려하여 유기적으로 계획할 필요가 있으며 본 공사를 지연시키는 일이 없어야 한다.

3) 가배수로와 가물막이 조합

가배수로는 가물막이와 관련해서 기능을 발휘하는 것이므로 설계에 있어서도 양자를 충분히 관련시켜서 고려해야 한다. 가물막이 제당을 높게하면 가배수로는 높은 수두를 주는 결과가 되어 가배수로의 단면을 축소할 수 있어서 가배수로의 공사비를 절약할 수 있다. 그러나 반면 가물막이에 요하는 흙쌓기량은 많아지고 가배수로와 가물막이의 조합은 시공의 난이, 흙쌓기 계획 및 공사비의 증감을 비교 검토하여 댐 전체의 시공계획에 적합하고 또한 경제적인 조합을 선정한다.

4) 가배수로의 노선 선정

가배수로의 기능은 가장 안전하고 경제적으로 공사기간 중에 발생하는 홍수를 유하시킬 수 있는 것이라야 한다. 가배수로의 노선은 보통 지형, 지질 등이 가배수로 노선 결정의 지배적인 요소가 되는데, 터널의 경우 터널 굴착단면과 댐 본체 최종굴착 예정선과의 거리는 굴착시의 발파 등의 영향을 받지 않도록 적어도 가배수 터널의 지름의 3배 이상 떼어놓는 것이 좋다.

가배수로는 댐 완성 후 취수시설 등의 일부로서 이용되는 경우도 있으므로 이러한 관점도 노선 결정에 고려되어야 한다. 또한, 가배수로 노선과 댐 완성 후에 설치되는 취수시설 등과의 관계도 충분히 검토한다.

5) 가배수로 유입구의 선정

가) 가배수로 유입구의 위치

가배수로 유입구 위치는 ① 댐 흙쌓기가 미치는 범위, ② 가물막이 흙쌓기 재료의 성질과 보호공, ③ 지질, ④ 취수시설과의 관계, ⑤ 하상고, ⑥ 가배수 폐쇄방법, ⑦ 퇴사 상황 등 여러 가지 요소를 고려해서 결정하는 것이 보통이다. 그리고 가배수호가 터널로 만들어질 때까지 그 시점은 충분한 흙두께가

있고 신뢰성있는 암반까지 들어간 후에 설치되어야 함은 물론이다. 또 암거식으로서 토질 기초 위에 댐을 건설하는 경우는 단순히 그 시점뿐만 아니라 전 길이에 걸쳐서 될 수 있는 대로 견고한 기초위에 설치되도록 노력함과 동시에 필요시에는 치환 말뚝공 그 밖의 공법에 의해 기초개량의 수단을 강구해야 한다. 이것은 댐 시공중 또는 완성직후 기초의 결함으로 인한 고장이 표면에 나타나는 예가 많기 때문에 충분히 주의해서 시행할 필요가 있다.

가배수로 시점은 홍수시에 가물막이 제체의 침식, 손상을 방지하기 위하여 흙쌓기 말단에서부터 충분한 거리를 떼어놓는 것이 좋다. 물론 현지의 상황에 따라서는 이 부분에 충분한 거리를 잡을 수 없는 경우도 있는데 이런 때는 상류끝 가배수로 유입구에 가까운 부분의 보호공을 충분히 해둘 필요가 있다.

나) 가배수로 유입구의 배치

가배수로는 시점에서 종점까지 직선인 것이 수리적이거나 시공면에서 볼 때 가장 좋지만 터널 유입구의 유황 및 안정 등의 측면에서 가배수 터널 유입구는 등고선에 직각으로 향하는 것이 바람직하다. 그러나 저수지 부지내의 기존 유로는 반드시 이 조건에 일치하도록 되어 있지 않은 경우가 많기 때문에 가배수 터널 유입구의 방향에 대해서는 일정한 법칙을 찾기는 어렵다. 그러나 등고선에 대해 과도하게 사방향(등고선에 평행)인 유입구 배치는 수리, 구조적인 면에서 바람직하지 못하다. 이러한 제약 때문에 기존 수로에 대해서는 직각에 가깝게 향하도록 하는 것이 보통이다.

6) 가배수로의 유입구 높이

가배수 터널 유입구의 표고는 대략 현 하상높이와 일치시키는 것이 보통이다. 필요에 따라서는 유입구의 표고를 현 하상보다도 상당히 낮게 한 예도 있다. 이 방법은 하상 기울기가 느린 하천에서는 채택하기 어렵고 터널의 길이가 증가되고 시공시 터널의 굴진 배수에 좋지 않다. 그러나 가배수 터널 유입구까지의 구간에서 흐름을 가속시킴으로써 터널 안을 개수로 상태로 흐르게 되므로 흐름을 터널 유입구로부터 안정시킬 수 있다. 또 만류상태의 흐름에 대해서는 작용수두를 증가시켜 터널 단면적을 축소시키며 가물막이 높이를 감소시킬 수 있다.

7) 가배수로의 하류 유출구

가배수로의 종점은 가배수로부터의 방류수가 댐 하류측 및 하천에 좋지 않은 영향을 끼치지 않는 위치여야 하며, 설계에 있어서는 단순히 평면적인 위치관계 뿐만 아니라 하천의 종단기울기, 하류 수위 등도 검토해서 결정해야 한다. 현지상황에 따라서는 하류측 가물막이 또는 특별히 도수를 위한 시설을

해야 할 때도 있다.

8) 가배수로와 취수시설의 조정

가배수로는 저수지 완성 후 취수시설 등의 일부로서 사용되는 경우가 많으며, 이에 따라 가배수 터널 유입구의 위치가 규정되는 수가 있다. 이 때 가배수로 유출구의 위치의 결정은 상기한 여러 가지 요소 외에 완성 후의 분수공, 수로와의 접속 배치, 공사 중 가배수 터널 유출구에서 현 하천까지의 도수방법 등도 고려해야 한다.

9) 가배수로의 평면 형상

가배수로는 제체 밑의 기초지반 내를 통과하는 저통형식일 경우, 노선은 직선으로 하는 경우가 많은데, 산록 원지반을 통과하는 터널로 하는 경우 가배수로 노선은 직선, 곡선이 연결된 것으로 하는 경우가 많다. 이 때 직·곡선의 조합은 될 수 있는 대로 안정된 지반 위에 설치할 수 있도록 선정되는 것이 당연하지만 곡선의 반지름은 수리학적인 관점에서 생각하는 것이 바람직하나, 터널직경의 10배 이상되는 것이 좋다.

10) 가배수로의 종단 기울기

가배수로의 종단 기울기는 주로 현지의 지형에 의해서 결정되며, 일반적으로 개수로의 부분까지 포함해서 가배수로 전체길이에 걸쳐 단일 기울기 ($i=1/50 \sim 1/200$ 정도)로 하는 경우가 많다. 그런 경우에 따라서는 상류단에서 높은 위치에 도수한 가배수 터널에서 흐름을 하향의 자연하천에 이끌기 위해 급한 기울기 부분을 두는 예가 있다.

11) 가배수로의 단면형

가배수로의 단면형은 개수로 방식에 의한 경우는 장방형 또는 사다리꼴로 하고 암거 또는 터널에 의하는 경우는 원형 또는 마제형으로 하는 것이 보통이다. 입구는 둥글게 해서 가능한 유입손실을 적게 하는 것이 유리하다.

12) 폐쇄용 게이트

가배수 터널, 제내 배수로의 유입구에는 폐쇄용 게이트의 문틀홈, 문받이 등을 미리 설치해두는 것이 좋다.

나. 제내 가배수로

제내 가배수로로는 유수를 하류로 전환시키기 위해 시공중인 댐 제체를 횡단하여 설치하는 가배수로를 의미하며, 가배수로 처리방식이 전면 가물막이, 부분 가물막이 혹은 개수로식 배수로 방식에 관계없이 설치할 수 있다. 또한 제내 가배수로로는 가배수 터널로 처리할 수 없는 큰 홍수를 가급적 제체를 월류

시키지 않고 소통시키는 기능도 함께 하지만, 실제에 있어서는 제내 가배수로의 홍수 소통 능력을 무한정 크게 할 수는 없으므로 제체에 타설 제한 블록을 설치하는 것이 일반적이다.

제내 가배수로의 대상 홍수량은 공사일정 및 진척상황을 고려해서 정해야 한다. 구조는 댐 본체에 좋지 않은 영향을 주지 않도록 해야 한다.

제내 가배수로의 설계에서 일반적 유의사항을 열거하면 다음과 같다.

1) 제내 가배수로의 유량

제내 가배수로의 유량은 사용시기에 따라 결정된다. 가배수로 터널의 폐쇄 공사를 위한 제내 배수로는 시기에 있어서의 하천 유량, 반물막이 또는 가배수 개거방식인 경우에는 새로 물막이한 제체의 나머지 공사의 타설공정과 가물막이의 높이, 체절을 월류한 경우의 피해 등을 고려해서 대상유량을 결정한다. 또한 제내 배수로 사용중에 대상유량 이상의 홍수가 발생해서 이설도로 공사중에 구도로가 침수한 사례도 있으므로 댐 부지안의 수몰보상 및 이설도로공사 진척 등도 종합적으로 고려한다.

2) 제내 가배수로의 단면 형상

제내 가배수로의 단면을 크게 잡는 것은 댐 구조로 보아서는 바람직한 일이 못되는 것이므로 제체에 타설 제한블록을 두고 설계 이상의 홍수유량에 대해서는 콘크리트의 치기높이가 낮은 블록 위를 월류시키는 방식이 일반적이다.

제내 가배수로의 단면 형상은 원형, 상부 반원 하부 사각형 단면형 또는 사각형 단면형이 상용된다.

특히, 조인트 그라우팅을 충분히 행하기 위해서도 윗 부분이 수평인 직사각형 단면은 바람직하지 않다. 배수로 폭은 2~4 m 정도가 보통이며, 수로의 중앙부에 1 m 정도의 키(key)를 설치하거나 수로단면을 하류부로 갈수록 작게 하여 폐쇄 콘크리트가 빠져나가지 않도록 저항을 증가시키는 것이 좋다. 또한 제내 가배수로의 종단경사는 시공이 용이하도록 수평으로 하는 것이 좋다.

3) 제내 가배수로의 위치 및 높이

제내 가배수로의 위치는 타설 블록의 중앙부에 설치하는 것이 보통이지만 홍수 방류시설이나 댐 감시통로(inspection gallery) 등의 위치 관계상 어쩔 수 없는 경우에는 블록의 경계부에 설치할 수도 있다.

제내 가배수로의 바닥높이는 하류수위보다 낮으면 곤란하지만 가능한한 낮게 하여 원래의 하상에 가까운 위치에 설치함으로써 가급적 수압이 작게 걸리도록 하여 제내 가배수로의 폐쇄공사를 쉽게 하는 것이 바람직하다. 또한, 제내 가배수로를 여러 개 설치할 경우에는 바닥높이에 고저차를 둬서 폐쇄

를 용이하게 하는 배려가 필요하다.

4) 제내 가배수로의 보강

댐에 작용하는 수압 및 자중에 의해 가배수로 주변에 생기는 집중응력이나 관내수압에 의한 압력에 의해서 생기는 인장력에 대해서 그 주변을 철근으로 보강할 필요가 있다.

5) 제내 가배수로의 배관

제내 가배수로의 배관 등 제내 가배수로의 유입구에는 물막이용 게이트의 문틀홈, 문받이 등을 만들고 지수관 그라우트 스톱퍼 그라우트 배관 등을 처음부터 설치하는 것이 보통이다.

상류 가물막이부와 제내 가배수로를 개수로로 연결하는 방법을 채택하고 있는 댐에서는 제내 가배수로 게이트 폐쇄에 있어 상류 가물막이를 이용해서 물을 저류할 수 있기 때문에 게이트 폐쇄작업을 건조상태로 공사할 수 있는 이점이 있다.

6) 제내 가배수로의 폐쇄공

제내 가배수로를 폐쇄하는데는 제내 가배수로의 유입구에 설치된 플랩 게이트(flap gate), 슬라이드 게이트, 롤러 게이트 또는 각낙판에 의해 유수를 차단하고 폐쇄콘크리트로 채운다.

가) 플랩 게이트의 경우는 이를 매달고 있는 외이어 롤러를 절단하여 폐쇄하게 되는데, 가배수로 유입구를 완전히 청소할 없다든지, 유수로 인한 장애 때문에 완전한 물막이를 할 수 없는 위험이 있으므로 거의 사용되지 않는 방법이다.

나) 슬라이드 게이트나 롤러 게이트의 경우, 유수의 차단시 수압이나 문받이 부분에 미치는 마찰저항, 부력 등의 외력에 대해 충분한 여유를 가지고 수문의 자중만으로 가배수호가 차단되도록 설계해야 한다. 수문의 자중이 부족할 경우에는 콘크리트 등으로 차단을 보강하는 경우도 있다. 최근에는 차단작동이 확실한 롤러 게이트가 가장 많이 사용되고 있다.

다) 스톱 로그에 의한 물막이는 시간이 많이 걸리므로 하천 유량이 작을 경우를 제외하고는 잘 사용되지 않는다.

다. 가배수 개거

가배수 개거는 가배수 대상 유량이 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.

이 방식은 타 유수전환 방식에 비하면 공사비가 싸고 공기가 짧은 이점이 있으나 댐의 기초 굴착공사를 하천의 전 단면에 걸쳐 할 수 없으므로 댐 본체의 콘크리트 타설이나 축조공정에 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.

가배수 개거의 계획에 있어서는 폐쇄공사를 충분히 검토한 뒤에 설계해야 한다. 설계에 대한 유의사항을 열거하면 다음과 같다.

1) 대상유량이 너무 커서 터널 또는 방수관을 설치하는 것이 비경제적인 지점에서는 댐의 제체 축조시 잘룩한 부분을 만들어 가배수로로서 이용하는 일이 있으나 이는 폭이 넓은 하곡에 적합하다.

2) 이 때 폐쇄공정을 단축시키기 위해 가배수로 부분의 기초처리는 가배수로로 사용하기 전에 미리 완료하도록 해야 한다.

3) 끝막이는 제내 배수로에 의해서 가배수함과 동시에 물넘이도 사용할 수 있는 상태가 된 다음에 하는 것이 바람직하다.

4) 1)과는 반대로 대상 홍수유량이 적고 하천 폭이 비교적 넓은 경우에는 한쪽의 하안에 따라서 개거를 설치해서 가방류하는 일이 있다.

라. 가배수 터널

1) 일반사항

가배수로로서 사용된 암거 또는 터널을 사용 후, 취수시설 및 긴급 방류공용수로로서 사용하는 경우에는 구조설계에 대해서 신중하게 해야 한다.

구조설계상의 요점은 ① 구조상의 원리, ② 가배수로(취수시설로서 오랫동안 이용되는 수도 있다.), ③ 누수의 방지 등이다.

이러한 면에서는 배려를 소홀히 했기 때문에 댐 완성 후 비교적 조기에 고장을 일으킨 예도 있으므로 주의를 요한다.

산을 통과하는 터널식 가배수로로는 주로 ②, ③항이 중요하며 댐 부지를 상·하류에 가로지르는 암거식 가배수로에서는 상기 ①, ②, ③항이 설계상 중요하다.

특히, 가배수 터널의 시공은 가급적 갈수기간 동안에 실시하는 것이 좋다. 가배수 터널의 굴착공사는 공사 중에 발생하는 용출수의 처리를 쉽게 하고 또

한 공사기간 동안의 홍수유출에 대처하기 위해서 계획터널의 하류단에서 시작하여 상류단으로 시공하는 것이 보통이다. 또한 터널이 관통된 후 콘크리트 라이닝을 하는 시기는 갈수기로 정하는 것이 바람직하다. 그러나 댐 건설 공 정상 어쩔 수 없이 홍수기에 터널을 시공할 경우에는 터널의 상류단 부근에 일부 굴착부를 남겨두어 관통시키지 말고 굴착구간에 대한 라이닝을 실시하는 것이 바람직하다.

2) 가배수 터널의 수

설계유량이 비교적 큰 필댐의 경우는 가배수 터널 1개로 설계할 경우 너무 큰 단면이 되어 시공상 문제가 있을 수가 있으므로 2개 이상의 복수터널을 설치하는 경우가 많다. 2개 이상의 터널을 설치할 경우 터널 유입구 높이에 고저차를 주면 높은 쪽의 터널은 공사용 자재 운반도로로 이용할 수도 있고, 담수를 시작할 때에는 수위차가 있으므로 폐쇄작업을 비교적 안전하게 수행할 수 있다.

또한 다른 댐 형식과는 달리 필댐의 경우에는 댐 제체 내에 구조물을 설치할 수 없으므로 방류설비 등으로 가배수 터널을 전용하는 경우가 많은데 터널이 복수이면 한쪽은 배수(排水)에 이용하고 다른 한쪽 터널은 방류시설로 사용할 수 있다.

복수터널을 설치함으로써 다음과 같은 이점이 있다.

가) 각각의 터널의 유입구 표고에 고저차를 두어 높은 쪽의 터널을 평상시에는 공사용 기자재 운반도로 등으로 이용할 수 있다.

나) 담수 개시할 때 수위에 제한이 가능하게 되어 폐쇄시의 작업을 비교적 안전하게 실시할 수 있다.

다) 특히 필댐에서는 가배수 터널을 방류시설 등으로 전용하는 예가 많은데 터널이 복수면 한쪽을 배수로로 쓰면서 다른 쪽에 방류시설을 설치하는 등 시공성이 좋다.

따라서 가배수 계획에 있어서 이와 같은 여러 가지 점과 경제성을 비교 검토하면서 적절한 터널 수를 결정해야 한다.

3) 복수 터널의 경우 중심간격

터널을 평행하게 설치하는 경우에는 지압의 상호 간섭에 기인하는 편압의 발생에 의한 동바리의 붕괴, 시공 등의 발파의 영향에 의한 라이닝의 손상 등을 방지하는데 필요한 노선의 간격을 확보해야 한다.

일반적으로 노선의 중심간격을 터널 내경의 5배 이상이면 이들의 정해가 방지된다는 사실이 이론해석 또는 시공 실적에 의해 입증되고 있다.

4) 터널 유입구

터널의 유입구는 등고선에 될 수 있는 한 직각방향으로 향하고 또한 개수로 등으로 현 하천에 원활하게 접속하도록 검토할 필요가 있다.

터널 유입구의 위치는 취수시설 등의 부대공사의 위치관계를 잘 검토하고 또 가물막이의 침식을 방지하기 위해 가물막이와는 적당한 거리를 떼어놓는 것이 좋다. 설계에 있어서의 유의사항을 열거하면 다음과 같다.

가) 터널 입구의 위치는 보통 터널 상부의 덮인 부분의 암반인 경우 터널 지름의 1~2배, 토사인 경우 터널 지름의 2~3배가 되는 지점에 설치하는 일이 많다.

나) 터널 예정위치와 댐 본체 최종 굴착 예정선간의 거리는 댐 본체 굴착을 위한 발파 등의 영향을 피할 수 있도록 통상 터널 직경의 3배 이상 또는 20cm 이상 되도록 하는 것이 좋다.

다) 터널 유입구 부근은 유입수에 의한 부압, 원지반의 편압, 온도변화, 원지반의 절토에 의한 이완 등 예상하기 어려운 하중이 작용하기 때문에 원지반의 지질상황에 맞추어 철근콘크리트 보강 구간을 두는 것이 좋다.

5) 가배수 터널 단면의 형상

가배수 터널의 단면형에는 그림 5.1.1과 같이 원형, 표준 마제형(2r형), 표준 마제형(3r형) 및 측벽직형 등의 네가지가 있다.

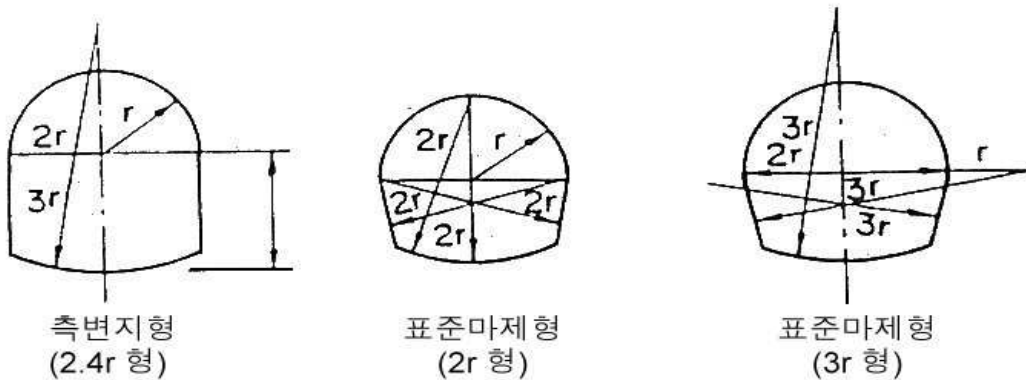


그림 5.1.1 가배수로 터널의 단면형

가배수 터널이 압력터널이고 설계수두가 10m 이상이 되는 경우에는 원형단면이 적절하며, 무압터널의 경우에는 표준 마제형(2r 및 3r형)이 많이 사용되고, 무압터널이면서 굴착 암반이 양호한 소단면의 경우에는 측벽직형이 적합하다.

터널의 상류단에는 나팔형 유입부를 설치하여 가급적 유입손실을 작게 할

필요가 있으나 다른 구간에 대해서는 동일 단면형으로 하는 것이 경제적이다. 터널 단면적의 크기는 터널의 길이, 암석의 질 및 시공법에 따라 다르다.

6) 가배수 터널의 평면선형

가배수 터널의 평면선형은 직선이 가장 바람직하지만 지형, 지질 등에 의해 곡선부가 들어가는 경우가 대부분이다. 곡선부를 설계할 경우 곡률반경은 터널 직경의 10배 이상으로 하는 것이 좋다.

특히, 가배수 터널이 댐 축조 후 취수시설의 일부로서 이용되는 경우에는 곡률반경에 대한 충분한 검토가 필요하다. 곡선수로에서 문제가 되는 것은 사류가 발생하는 경우로서 만곡수로 내의 외측과 내측벽 부근에서 사출되는 고속흐름이 서로 간섭효과를 일으켜 진동을 동반하는 복잡한 수면형상을 발생시키게 되어 터널 라이닝에 손상을 줄 가능성이 생긴다. 이를 방지하기 위한 방법으로 복합곡선의 만곡부로 설계하는 경우가 많다.

이 방법은 그림 5.1.2에서와 같이 곡선구간의 시점과 종점 부분에 주 곡선수로의 곡률반경 r 의 2배, 중심각 θ_t 인 완화곡선 수로를 설치하는 방법이다.

$$r_t = 2r \quad \dots\dots\dots (5.1.3)$$

$$\theta_t = \tan^{-1} \left| \frac{b}{(r_t + 0.5b) \tan \beta_o} \right| \quad \dots\dots\dots (5.1.4)$$

여기서, b 는 터널수로의 폭이며, β_o 는 주 곡선수로의 만곡각이다.

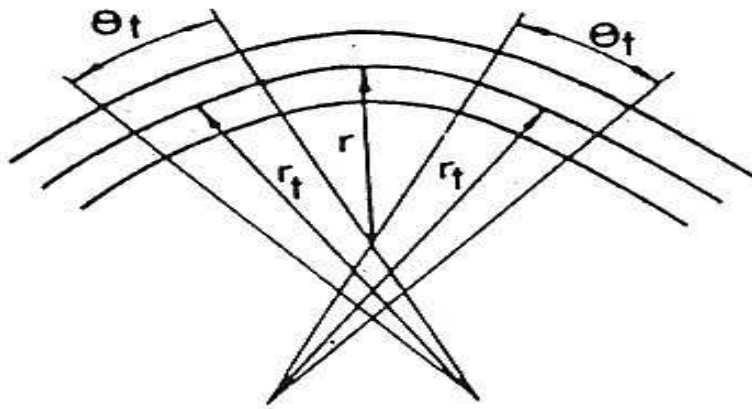


그림 5.1.2 곡선수로의 복합곡선

7) 가배수 터널의 수리조건과 라이닝

가) 가배수 터널의 단면은 계획 홍수 유량을 안전하게 하류에 유하시킬 수

있는 단면이라야 한다. 가배수 터널의 라이닝 설계에 있어서의 일반적인 사항을 열거하면 다음과 같다.

(1) 가배수 터널의 라이닝이 유무는 공사비의 비교 및 터널 통과지의 암반이 통수 보호공없이 견딜 수 있는지의 여부 또는 통과수량의 양에 의해 검토한다.

(2) 라이닝은 전주(全周), 반주, 인버트의 콘크리트 라이닝, 전주 또는 일부 모르타르 콘크리트 뿔어 붙이기, 전주 바르지 않는 것, 이의 조합이 있다.

(3) 가배수 터널로서의 사용기간은 완성 후 5년 정도의 단기간인 경우가 많으므로 라이닝의 내구성의 변화를 고려할 필요가 없기 때문에 조도계수 n 은 라이닝 초기의 값을 채용해도 좋다.

나) 가배수 터널의 수로경사는 터널 전 길이에 걸쳐 단일경사로 하는 것이 보통이나 상류단의 유입부에 급경사 부분을 두어 흐름을 가속시킴으로서 터널 유입부에서의 흐름을 안정시키는 경우도 있고, 이와 반대로 하류단의 유출부에 급경사 부분을 두어 하류 하천으로서의 흐름을 유도하는 경우도 있다. 또한 터널 수로상에 낙차가 심한 곳이 있으면 낙차 구조물을 설치하여 수로의 안정을 도모할 필요도 있으며, 이 때에는 단면 변화 지점에 단면변화(transition section)를 설계함으로서 손실수두를 감소시키도록 배려해야 한다.

일본의 실례를 보면 터널의 수로경사는 약 $1/30 \sim 1/200$ 정도이다.

다) 터널 내벽의 라이닝 여부에 따라 터널의 조도계수가 달라지므로 소요 통수 단면적의 크기도 달라진다. 일반적으로 라이닝하는 편이 수리학적으로 유리하지만 가배수 터널의 폐쇄시 시공성의 문제도 함께 검토해야 한다.

콘크리트 라이닝의 두께는 경암부분에는 30 cm 이상, 보통 암부분에서 40 cm 이상하는 것이 보통이다. 터널의 바닥부분은 토석류에 의해 침식되기 쉽고 바닥과 측벽의 접합부는 누수가 발생하기 쉬우므로 바닥의 라이닝을 시공할 때에는 각별한 주의가 필요하다.

터널 라이닝의 뒷면과 굴착 암반 사이에 충분한 그라우팅하므로써 터널 내의 유수로 인한 내압을 굴착암반으로 전달할 뿐만 아니라 누수를 방지토록 할 필요가 있다. 이 때 그라우팅 주입압은 압력터널의 경우 설계수두의 2~3배, 무압터널의 경우에는 $2 \sim 5 \text{ kgf/cm}^2$ 정도로 하는 것이 보통이다.

또한, 터널 굴착이 완료된 후에 단층 등이 있어 터널폐쇄 등의 사고가 발생하지 않도록 해야 한다.

8) 내외수압에 대한 설계조건

댐 저수에 의해 터널 라이닝에 작용하는 내외수압의 크기는 터널 중심선에

서 계획 만수까지로 하고 각 터널형식에서의 유의사항은 다음과 같다.

가) 터널 유출구에 제수 및 조절게이트 또는 밸브를 설치하는 경우

취수시설 등에 이용하기 위하여 터널 출구에 제수, 조절게이트 또는 밸브를 설치하는 경우에는 터널 구간을 댐 만수위까지의 내수압을 받는 압력터널이라고 보고 설계해야 한다. 댐 축 중심부근에 설치하는 지수존의 상류는 외수압도 작용하므로 내외수압은 균형을 이루는 일이 많지만 일시적으로 외수압이 라이닝에 작용하기 전에 내수압이 작용하는 수도 있기 때문에 전구간을 압력터널로서 설계한다. 또 댐의 수위가 급강하했을 경우 외수압이 잔류하는 일이 있으므로 지수존 상류는 외수압에 대해서도 검토해야 한다.

충분한 지수존을 설치하고 내수압과 그라우트압을 고려해서 구조설계한 경우 하류측에 대해서는 외수압에 대해서 검토하지 않아도 좋은 경우가 많다.

나) 터널입구에 제수, 조절게이트 또는 밸브를 설치하는 경우

터널 입구에 제수, 조절게이트 또는 밸브를 설치하는 경우로서 이들을 닫아 자유류가 될 때, 그리고 입구를 폐쇄한 경우 터널 안이 비는 경우에는 지수존에서 상류는 댐 만수위까지의 외수압을 받을 가능성이 있으므로 이 구간은 댐 만수위까지의 외수압에 대해서 견딜 수 있도록 설계해야 하며, 댐 축 부근에 충분한 지수존을 설치해서 산턱의 누수를 방지해야 한다. 또 하류에 배수공(weep hole)을 설치해서 외수압을 저하시킬 수 있는 경우에는 하류에 대해서 외수압을 고려할 필요가 없다.

다) 가배수 터널로서 사용 후 댐 축 부근을 플러그로 완전 폐쇄하는 경우

가배수 터널을 다른 목적으로 사용하지 않는 경우, 공사기간 중 홍수시 일시적으로 만류관이 되어 내수압이 생겨서 압력터널이 되는 경우에는 입구에서 출구까지의 각 점의 내수압을 산출해서 최대치를 가지고 설계한다. 일반적으로 이 값은 적기 때문에 터널 입구부근의 철근보강 및 저압 그라우팅을 실시하면 충분한 경우도 있다. 댐축 부근에 플러그 및 지수존을 설치함과 동시에 지수존에서 하류에 배수공을 설치하면 외수압에 대한 검토는 필요치 않다.

라) 내외 수압에 대한 구조적 검토는 압력터널의 항에 준해서 설계한다.

9) 라이닝의 구조설계

가배수 터널의 라이닝의 구조설계는 설계조건에 의해서 무압터널 또는 압력터널에 준하여 적절하게 해야 한다. 단, 가배수 터널에서 고속의 토사류에 의해 라이닝의 손상을 받기 쉬운 경우에는 인버트 라이닝에 대해서 특히 고려할 필요가 있다. 설계조건은 표 5.1.2에 의한다.

표 5.1.2 가배수 터널 라이닝의 설계조건

설 계 조 건		경 우
무압터널	외수압이 없는 경우	1
"	" 있는 경우	2
압력터널	" 없는 경우	3
"	" 있는 경우	2, 3

(주) 경우 1 : 무압터널과 동일조건이므로 구조설계는 무압터널에 준한다.

경우 2 : 외수압을 받는 경우이며 구조설계는 무압터널에 준한다.

경우 3 : 압력터널과 동일조건 구조설계이므로 압력터널에 준한다.

10) 그라우팅

가) 시공구간

댐 부대터널에서는 라이닝 배면과 원지반사이의 공간충전, 터널주변의 암반 강화 및 터널을 따른 침투수를 저지하기 위해 뒷채움 그라우팅과 컨솔리데이션-커튼 그라우팅을 한다. 따라서 전구간에 대해 저압충전 그라우팅하며, 그 다음에 지수 존(플러그 또는 지수구간)에 3~4열 이상의 커튼 그라우팅을 링형(後光形)으로 시공하여 제체 기초의 그라우트 커튼과 가능한 한 연결토록 계획한다. 또한 터널 굴착 때의 발파로 인하여 라이닝 주변의 암석은 상당히 느슨해졌으므로 지수존 구간은 커튼 그라우팅과 함께 컨솔리데이션 그라우팅을 실시해서 터널 주변의 지반강화 및 누수를 방지한다.

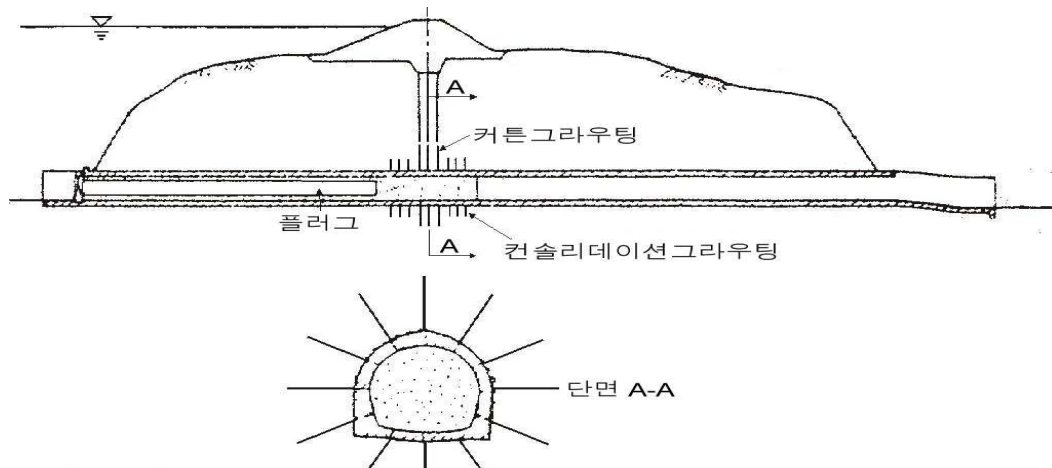


그림 5.1.3 부대터널의 그라우팅

나) 뒷채움 그라우팅 주입재

(1) 현탁액

가장 많이 사용하는 주입재는 시멘트현탁액이며, 보편적으로 적용하는 배합비는 표 5.1.3과 같다. 시멘트현탁액의 강도는 설계기준치를 만족하고 있으나 블리딩이 크게 발생하여 뒷채움 그라우팅용 충전재료로는 부적합하다. 이러한 재료는 결국 2차 주입을 하여도 완전충전의 품질확보를 보장받을 수 없다.

표 5.1.3 시멘트현탁액의 강도

배합량(kg/m ³)		플로우치 (cm)	블리딩 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)	비 고
W	C			7일	
759	759	57	24.3	85.0	

(2) 모르타르

국내 터널시방서에는 뒷채움 그라우팅용 주입재는 모르타르를 주로 설계하고 있으나 시공을 해보면 재료분리가 심하고 블리딩율이 대단히 커서 완전한 충전을 기대할 수 없다. 어떤 시방서에는 입경 1~2 mm인 중립질 모래를 사용토록 규정하고 있으나 혼화제나 기포제의 첨가없이 주입공에서부터 주입공까지의 거리가 약 10 m 이상일 때는 주입배관이 막혀버린다.

미 공병단에서 정한 모래입도기준 즉 No. 16체를 통과하며 No. 100체를 통과하는 세립질이 25 % 정도되는 모래로 만든 모르타르 블리딩율도 11.4 %에 달한다. 그러나 벤토나이트를 혼합한 모르타르는 침전분리가 적으며 유동성이 양호하고 블리딩율도 적다. 이의 고결강도는 떨어지나 10 % 정도의 벤토나이트 혼합으로는 설계기준강도를 확보할 수 있다.

(3) 신기술제품

뒷채움 그라우팅에서 가장 중요한 요소는 공간이 완전히 충전되어야 하고 시공이 용이해야 한다. 그러나 대부분의 주입재는 소요주입압력 상태에서 공간에 충전되었음에도 많은 블리딩 발생으로 다시 공간이 형성되어 2차 또는 그 이상의 재주입을 해야 하는 현실적인 어려움이 있다. 또한 재료분리 현상에 의해 주입관이 막히는 등 시공성이 대단히 불량하다.

최근에는 이와 같은 문제점을 해소하기 위해 시멘트에 벤토나이트, 플라이애시 등을 섞어서 블리딩율을 최소화(1 % 이내)하고 소요강도가 10 kgf/cm² 이상(개발재료 30 kgf/cm²) 발현되는 신제품(벌크단위)이 개발되었다. 건설교통부로부터 신기술로 지정 받은 DAST-2000은 재료비가 일반시멘트와 비슷하며 주입효과가 뛰어나 2차주입 시공비용이 절감되는 장점이 있다.

(4) 주입재 선정

주입재는 구조물의 중요성, 지질여건, 경제성 등에 의해 선정되며 현장에서 모래, 점토 등의 충전재료를 값싸고 쉽게 구할 수 있느냐에 의해서도 결정된다. 일반적으로 철도, 도로터널과 같이 중요한 구조물에서는 시멘트현탁액을 사용한다. 이때도 불리딩을 최소화하기 위해서 벤토나이트를 시멘트 중량의 3~4 % 첨가해야 하며 w/c=1~2로 주입해야 한다. 그래도 불리딩율은 10 % 정도가 되므로 2차 주입이 필수적이다.

특히 더욱 철저한 뒷채움이 요구되는 댐 부대터널과 같이 수밀성이 요구되는 경우에는 여러 가지 단점을 보완한 신규제품의 사용도 깊이 검토되어야 할 것이다. 모르타르 주입에 사용하는 모래는 세립질을 써야 하며 재료분리 방지와 유동성 증대를 위해 시멘트중량의 10 % 정도 벤토나이트를 혼합 사용하는 것이 효과적이다.

다) 주입장치

일반적으로 주입은 너트플에 패커를 설치하고 펌프에 의한 압력으로 공극을 채우는 방법을 쓰고 있는데, 패커 끝에 주입관을 설치하지 않으면 주입이 어느 정도 진행된 후에는 패커 바로 위에 주입재가 쌓이게 되어 압력이 급격하게 상승하게 된다. 그 결과 공간이 모두 채워진 것으로 오판하게 된다. 또한 공간이 채워져 소정의 주입압력까지 도달하였다 하더라도 주입재의 불리딩으로 인한 공극이 있을 때는 주입공이 이미 막혀 버려서 추가주입을 하기가 어렵다. 즉 재천공을 해야 하는 번거로움이 생긴다. 이외에도 인접공으로 주입재가 누출되면 주입공이 막히게 된다.

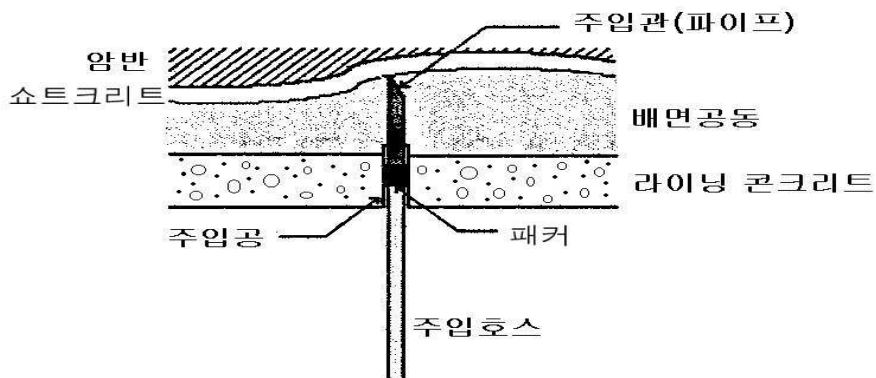


그림 5.1.4 새로운 너트플 설치 방법(2000 대덕공영 외)

작업의 불편을 해소하기 위해 끝 부분을 엇비스듬하게 절단한 파이프(PVC, 스테인리스, 강관 등)를 공동의 수직높이만큼 설치한 후 급결성 코킹제 등으

로 파이프와 구멍사이를 막아 주입재가 누출되지 않도록 조치를 한 다음 여기에 패커를 연결하여 주입하는 구조가 고안되었다. 이 때 파이프의 나사눈에 코킹제가 묻지 않도록 보호해야 한다. 1차 주입이 완료된 후 주입호스와 패커를 분리시키면 파이프내부에 있는 주입재는 아래로 쏟아져 나가고 빈 공간으로 남아 있게 되어 재천공이 불필요하다. 주입재가 어느 정도 고결된 후 다시 주입호스와 패커를 연결하여 주입하면 굴착면 가까이에 남아 있는 공간을 다시 채울 수 있는 장점이 있다. 주입 완료 후 주입공 입구부를 밀폐시키는데 파이프는 공동 안에 그대로 남겨 둔다.

라) 시공순서

터널 뒷채움 그라우팅의 주입공간격은 4~6 m가 표준이다. 주입순서는 좌우측을 먼저 하고 중앙열 즉 아치부분은 하부주입공에서 집어넣은 주입재의 유출을 확인하면서 나중에 하는 것이 좋다.

터널 방향에서 본 시공순서는 양끝부분에서 중앙으로 이동시키는 방법과 한쪽으로 밀어나가는 방법이 있다. 한쪽에서 해나가는 경우에는 하류측에서 개시하는 것이 원칙이다.

링 커튼 그라우팅은 댐 터파기면 하부에 취수터널이 횡단할 때 그 사이를 따라 누수되는 것을 방지하기 위해 터널내부에서 방사상으로 찬공·주입하여 상부 댐체 커튼 지수벽과 연결되는 지수벽을 만들고자 실시하는 것이다. 단계(stage)별 그라우팅을 실시하면 시공의 결과가 양호하다.

터널의 종단방향을 따라 누수되는 것을 방지하기 위해 댐 기초지반 커튼그라우팅에서 주입열을 2열 이상으로 실시하는 것처럼 수 개의 방사상 링이 계획되어야 하며, 주입공의 심도와 간격 등은 굴착과정에서 자세히 확인 관찰한 암반의 조건과 수두압에 따라 결정되어야 한다.

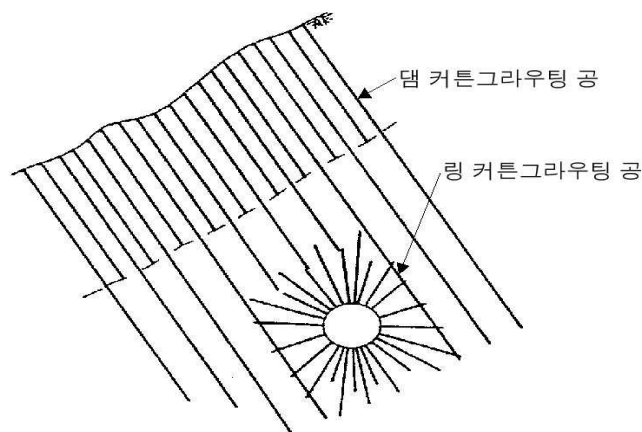


그림 5.1.5 링 커튼그라우트

지수벽 링은 1개소의 굴착단면에 4개 정도의 공을 등간격으로 배치하여 찬공·주입을 하면 무리없이 만들어 질 것이나, 주입공 끝부분에서 인접한 공과의 거리를 고려하여 결정하여야 할 것이다. 주입재가 많이 들어가면 내삽법(split spacing)을 적용하고 링간의 공배치는 지그재그(zig-zag)로 배치한다. 링은 콘크리트라이닝의 이음부를 비켜난 자리에 설치해야 주입재 누출을 최소화할 수 있다. 지반 강화와 지하수 및 누수억제를 위한 그라우팅에서는 찬공 주입의 범위가 터널굴착으로 인한 이완범위까지 미쳐야하며, 암반자체의 절리·파쇄대, 용해공동 및 불완전한 부분까지 처리되어야 한다.

마) 주입압력과 설계기준강도

저압충전 그라우팅 주입압력의 표준은 2 kgf/cm²이며, 주입재의 고결 후 강도는 10 kgf/cm²이면 충분하다.

바) 뒷채움 주입량 계산

주입량은 암질, 터널의 규모, 시공방법, 주입압력, 주입재 종류 등에 따라 차이가 많으므로 정확히 결정하는 것은 어렵다. 무엇보다도 콘크리트라이닝 배면의 공간 즉 그라우트 주입량은 굴착의 양부(良否)에 달려있는데 설계상의 굴착지불선(B선)보다 더 많이 굴착된 경우는 시공업자의 부담으로 주입하여야 하는 것이 마땅하다. 다만 특별한 지질여건으로 생긴 여굴은 암질검사시 객관적인 원인을 규명하고 설계량에 반영할 수 있다. 일반적으로 설계 주입량 계산방법은 설계굴착단면(허용여굴량 포함)에서 설계 라이닝콘크리트량(여분 라이닝량 포함), 설계 널판량(라이닝콘크리트 중에 포함되는 널판량)과 터널내면의 단면을 뺀 것을 설계 주입량으로 한다. 이 때에는 원지반이 발파에 의해 이완된 공극에 충전되는 양을 반영하여야 하는데 경험적으로 시공구간 밖으로의 유출량, 주입공의 공매에 필요한 주입량, 주입도중의 허실량 등을 감안하여 설계주입량의 20 % 정도를 추가로 반영한다.

$$\text{주입량} = [\text{설계 굴착단면} - (\text{설계 라이닝콘크리트량} + \text{설계 널판량} + \text{터널내면의 단면})] \times 1.2 \times \text{시공구간}$$

11) 배수공(weep hole)

배수공 설치는 댐 축에서 하류로 상시 압력터널로서 사용하지 않는 구간에 대해 실시한다. 일반수로 터널에서는 원지반으로부터의 외수압에 기인하는 라이닝의 파괴를 방지하기 위해 배수공을 설치하는 것으로 되어 있는데, 가배수 터널에 있어서도 똑같은 견지에서 필요에 따라 배수공을 설치한다.

배수공을 설치하지 않는 구간을 두는 것은 다음과 같은 이유 때문이다.

가) 상시 압력터널이 되는 구간에서는 저수압으로 인해 누수가 발생할 가능성이 크기 때문에 설치하지 않는다.

나) 무압터널인 경우, 댐축 상류는 저수에 의한 외수압에 견딜 수 있도록 설계되어 있으므로 배수공은 설치하지 않아도 된다. 또 그라우팅이 불완전한 경우에는 원지반의 균열을 통해서 토사가 유출될 가능성도 있으므로 외수압에 대하여 고려가 된 경우에는 배수공을 설치하지 않는 것이 바람직하다.

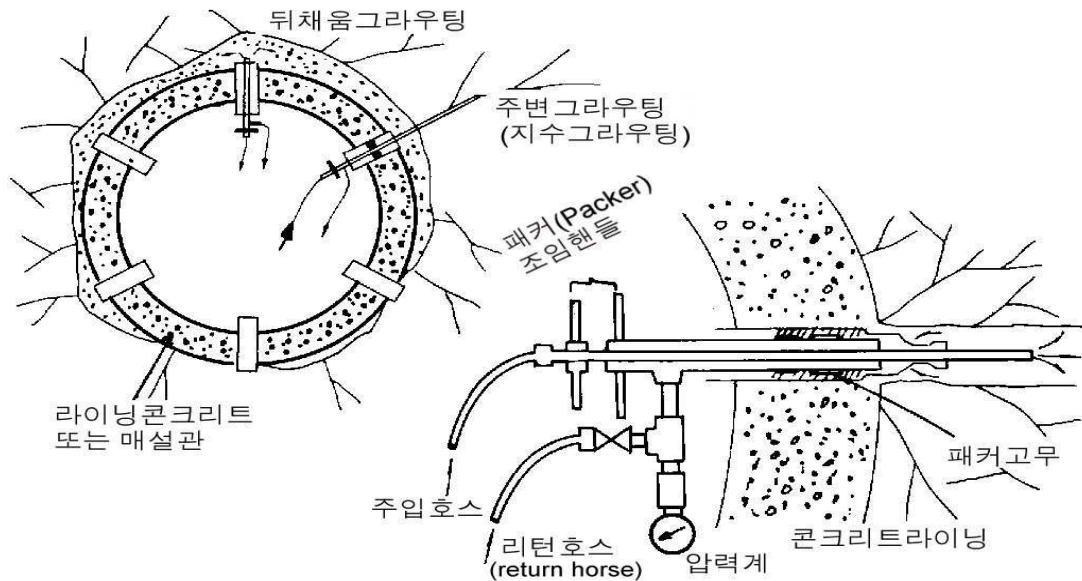


그림 5.1.6 터널 뒤채움 및 그라우팅의 표준장치

마. 가배수로 수리계산

가배수로 및 가물막이는 공사기간중에 일어날 가능성이 있는 홍수를 가물막이 위를 월류시키지 않고 안전하게 하류에 유하시킬 수 있는 것이라야 한다.

설계에 있어서의 일반사항을 열거하면 다음과 같다.

1) 가배수로의 형식으로서의 앞의 항에서 기술한 바와 같이 개수로 방식에 의하는 경우와 터널, 암거 등의 관수로로 하는 경우도 있고 수리학적으로 오리피스 또는 관수로의 흐름이 되는 경우도 있어서 배수로의 수리를 단순한 형태로만 볼 수는 없다. 이 항에서는 가배수로로서 가장 일반적인 가배수 터널의 여러 가지 상황하에서 일어나는 흐름의 상태를 기술한다.

이것은 개수로형의 가배수로에도 적용되며 가배수로의 능력, 수위-유량 관계를 정확하게 파악하는데는 우선 전반적인 유황의 추이를 정확하게 알고 있

는 것이 중요하기 때문이다. 가배수로의 흐름의 성질을 결정하는 요소는 기울기, 크기, 형상, 길이, 수로의 조도, 유입부·유출부의 형상 등으로서 이것들은 서로 조합되어 유로의 능력을 규정한다.

이들 여러 요소의 조합된 영향에 의해서 수리적 규정점의 위치가 결정되고 이 수리적 규정점의 성질에 의해서 가배수터널의 유량특성이 결정된다.

2) 가배수 터널의 기울기는 상류기울기로 하는 경우도 있고 사류기울기로 하는 경우도 있다. 어떤 경우에도 규정점은 유입부의 형상과 수두의 관계, 유출구에 있어서의 유황 등에 관계되며 일반적으로 각각 터널의 유입구 또는 유출구에 나타난다. 가배수로의 능력 추정에 있어서 가장 중요한 사항은 이 규정점의 위치의 판정과 유량특성의 적절한 이해이다. 터널을 통과하는 흐름의 여러 가지 조건, 각각에 대한 규정점의 위치, 유황 등을 열거하면 그림 5.1.7과 같다.

3) 상류 기울기의 가배수 터널

터널 유입구가 잠기지 않는 경우 상류기울기의 가배수 터널의 수리학적 규정점은 일반적으로 유출구에 있다. 그리고 유출구에서 흐름이 자유방류가 되는 경우에는 터널 유입구에서 한계수심이 발생한다(그림 5.1.7(a)①).

터널 유출구의 하류수위가 한계수심보다 높은 경우는 하류수위가 상류터널내의 흐름을 규정한다(그림 5.1.7(a)②).

위의 두 가지 경우 모두 터널내의 수심은 항상 한계수심보다 크게되는 점은 공통적이지만 터널내의 수면종단은 현저하게 성질을 달리한다. 전자에서는 터널 유출구에 향해서 저하배수가, 후자 경우는 웨어상 배수가 일어난다. 그리고 유량은 전자가 터널 유출구의 크기, 형상에 지배되는데 대해서 후자는 하류의 흐름에 규정되며 규정점은 하류수로조건에 관계된다.

하류수면이 터널 유출구를 잠기게 하는 경우, 상류 기울기의 터널에서는 전장에 걸쳐서 만류하고 유입구까지 잠기는 경우가 많다(그림 5.1.7(c)⑥). 이 경우에는 터널 전장이 만류가 될 때까지는 터널내의 흐름은 여전히 상류상태에 있고 수위 유량관계는 베르누이 공식에 의해서 구할 수 있으며, 터널 전장이 만류된 경우의 능력은 사이편 공식에 의해 계산된다.

터널 유입구가 잠기고 H/D 가 1.2이상이 되어 터널 안에서 도수가 일어나지 않을 정도로 터널이 짧은 경우 한계수심인 규정점이 터널 입구에서 일어날 수 있다(그림 5.1.7(b)④).

4) 급한 기울기의 가배수터널

중소규모의 필댐에서는 공사비면에서 낙차를 충분히 이용해서 될 수 있는

한 작은 단면으로 최대한의 유량을 유하시키기 위해서 가배수 터널을 급한 기울기로 하는 경우가 많다.

가배수 터널이 급한 기울기이고 유입구가 잠기게 된 경우(그림 5.1.7(a)③)는 유입구에 일어나는 한계수심에 의해서 규정된다. 수면은 가물막이댐 상류측의 정수면으로부터 터널 유입구로 급속하게 한계수심으로 강하하고 그 후 일반적으로 터널내에서는 전장에 걸쳐서 사류의 자유수면을 가진 흐름이 일어난다. 그리고 어떤 주어진 저수지 수위에 대한 유하 유량은 터널 유입구에서 한계수심이 일어나는 것으로 보고 수로 또는 댐웨어의 유량-한계수심의 관계에 의해서 구할 수 있다.

터널 유입구가 잠기거나 또는 상류수심이 터널 지름 D 의 1.2배 이상이 된 후에도 만일 규정점이 터널 유입구 부근에 머무른다고 하면 터널내에서 사류상태의 개수로 흐름이 일어나는 일도 있다(그림 5.1.7(b)⑤).

이와 같은 유황은 급한 기울기의 터널 전장에 걸쳐서 개수로의 흐름이 일어날 수 있도록 즉 터널의 정상부에 따라서 공간이 유지될 수 있도록 유입구 정상부에 축류가 흐르는 것과 같은 형태가 주어져야 한다는 것을 조건으로 하고 있다. 이와 같은 경우의 유입구에 있어서의 유량은 오리피스 또는 수문의 그것과 유사하다.

터널 유입구에 있어서 수두가 증가하며 이에 따라 유량이 증가하면 수로표면의 요철 또는 국부적인 난류현상이 유출구 근처에서 터널을 만류시키도록 작용하는 일이 있어서 먼저 유입구에서 상당히 하류 또는 하류단에서 터널을 폐쇄시키는 수가 있다. 이렇게 되면 터널 내의 고유속은 터널 내의 정상부에 거두어졌던 공기의 어느 부분을 몰아내 버려서 터널내의 압력을 대기압이하로 저하시킨다. 유입구가 완전한 축류를 일으키지 않는 형태로 되어 있으면 터널은 유입구 부근에서 만류가 시작된다. 그리고 이것에 이어서 만류역은 급속하게 터널안을 내려가서 유출구로 향해 확대된다.

이 만류상태의 영향에 의해서 사이펀 작용과 흡사한 흡입작용이 일어나고 그것에 의해서 터널의 통수량은 일시적으로 증가한다. 그러나 유하수량의 급격한 증가에 따라 유입구 직상류에는 큰 수면저하와 와류현상이 생겨서 터널내에 공기를 흡인하여 스스로 만류상태를 파괴하고 흡입작용을 파괴하게 된다. 즉 유량을 감소시키고 오리피스형의 유입상태로 복원된다. 그리고 즉시 만류상태로 이행이 시작된다. 이렇게 같은 변화가 되풀이된다(그림 5.1.7(c)⑦). 이 시기의 흐름은 앞의 설명에서도 이해가 되는 바와 같이 극히 불안정하며 유황은 흐트러지고 유량은 맥동해서 정확하게 파악하기 어렵다.

상류측 저수지 수위가 터널지름의 1.5배 이상이 되면 유입구가 만류상태가 되고 전구간이 만류상태가 된다(그림 5.1.7(c)⑧). 흐름은 안정되고 유량은 보통 관수로의 흐름으로써 구할 수 있다.

5) 전항에서 기술한 바와 같이 가배수로는 제원, 유량에 따라서 여러 가지로 유황을 달리해서 유량특성을 변화시키기 때문에 설계에서는 단일 유황의 검토만으로는 불충분하며 실제 설계에 임해서도 제원, 유량 등으로부터 유황 및 수리특성을 정확하게 추정하면서 여러 가지 유황을 예상하여 상당한 수위, 유량의 범위에 대해 계산하고 적절한 판단 결정을 해야 한다. 단순하게 단면 기울기를 가지고 등류수심을 계산해서 설계수량에 대해 안전하다고 하는 방법은 극히 위험한 일이다. 이 사고방식은 정수에서부터 등류 유속을 갖기에 이르는 구간에 대한 것은 고려되어 있지 않는 경우가 많고 설계 계산에서 나온 유속과 달라서 수면이 터널 유입부에서 만류를 일으켜 터널 내의 유황, 가배수 터널의 수리특성을 완전히 바꾸어 놓는 일이 있기 때문이다.

이하 가배수로의 설계에 필요한 2~3의 수리공식에 대해 설명한다. 그리고 어떤 유황에서 다른 유황으로 이행하는 한계점 근처에서는 설명에서도 알 수 있는 바와 같이 유황, 수리능력이 불안정하게 되기 쉬우므로 설계에서 긴요한 것은 이와 같은 영역을 될 수 있는 대로 피하도록 고려해야 할 것이다.

가) 가배수 터널의 제원 결정

가배수터널은 상황의 변화에 따라 상황을 바꾸어서 수리능력이 달라지기 쉬우므로 적절한 제원의 결정이 단순하지는 않다. 그러나 유하시키는 유량, 터널의 기울기, 터널 여유공간, 터널의 조도 등에 의해 소정 유량을 소정의 등류조건으로 유하시키는데 필요한 터널의 지름을 구하는 방법은 가배수로의 크기를 결정하는데 유용한 기초가 된다.

터널의 단면형, 기울기 I, 조도계수 n, 수심, 반경비(터널내 등류수심 H의 터널반경 r 에 대한 비 H/r 로서 일반적으로 1.6~1.8정도) 및 유량이 결정되면 터널 반경은 다음 식으로 구한다.

$$r = \left[\frac{nQ}{\alpha\beta^{2/3} I^{1/2}} \right]^{2/3} \dots\dots\dots(5.1.5)$$

여기서, $\alpha\beta^{2/3}$ 은 터널의 단면형, 수심, 반경비 H/r 에 따라 달라지는 계수.

가배수 터널의 통수능력검토에 있어서도 개수로와 마찬가지로 한계수심, 한계조건의 계산이 중요하다. 또 가배수로 단면의 선정에 있어서 어느 정도의 여유공간을 남기고 소정의 유량으로 한계수심을 가질 수 있도록 해서 터널의

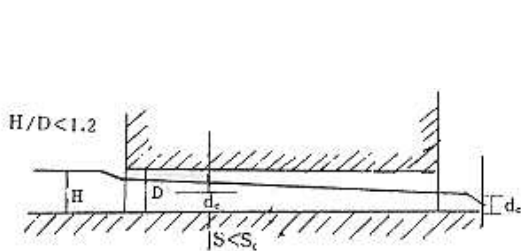
지름을 결정할 수도 있다.

한계수심의 계산 방법, 공구, 관수로 상태인 경우의 유량은 각각 해당되는 수리공식에 의해서 계산한다.

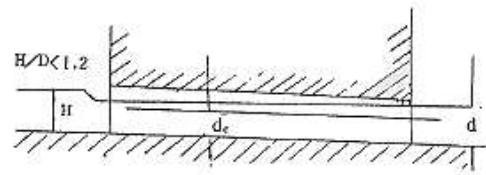
나) 만류시의 수로기울기와 유입구에 있어서의 수축

수로의 기울기가 마찰기울기 보다 급하면 만관류인 경우의 압력 기울기는 그림 5.1.8와 같이 관 중심선으로부터 아래쪽이 된다.

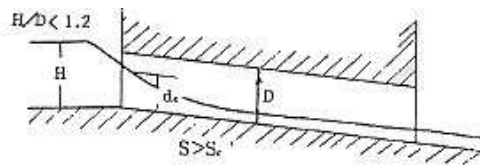
(a) 부분류 - 유입구가 잠기지 않는 경우



①느린기울기, 상류, 수리적 규정점은 유출구



②한계기울기, 상류, 규정점은 유출구에 있어서의 한계수심 또는 배수의 영향이 있는 경우는 동점에 있어서의 수심(d_c 보다 큼)



③급기울기, 사류, 규정점은 유입구에 있어서의 한계수심

(b) 부분류 - 유입구가 잠긴 경우

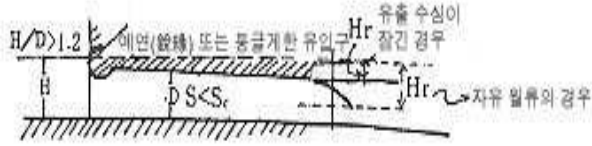


④완기울기, 사류, 규정점은 유입구



⑤급한 기울기, 사류, 규정점은 유입구

(c) 만류 - 유입구는 잠김



⑥ 느린기울기, 규정점은 유출구, 유효수두



⑦ 급한기울기, 맥동하는 교란된 사류, 규정점은 유입구와 Conduit 내에 있는 단면사이에서 움직임

그림 5.1.7 터널내의 수리

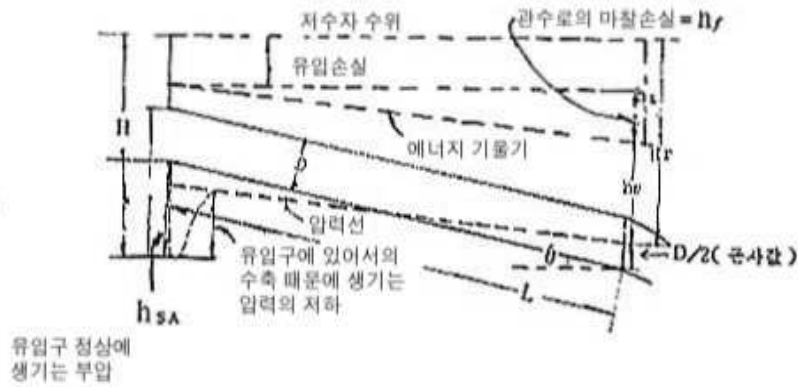


그림 5.1.8 만류의 수리특성

이 동수기울기가 거기서부터 수직으로 측정한 관수로내의 어떤 점과의 높이 차이가 그 점에서 생기는 부압의 크기를 나타낸다.

이 부압이 기압에 가까워지면 절대 압력이 증기압에 가까워지므로 공동현상이 발생한다. 관내의 잔존압력이 대기압보다 낮으면 압피가 일어날 염려가 있다. 관수로의 표면에 따라서 공동현상이 발생하는 것을 피하기 위해서는 절대 압력의 최저치를 증기압보다 큰 어떤 값으로 제한해야 한다.

관내 압력저하는 유입구 직하류의 관수로 정상에서 최대가 된다. 이 점의 압력은 유입구의 형상에 따라 더욱 저하할 수 있다.

$$h_v + h_e + h_r = h_{SA} + (H-D) \dots\dots\dots(5.1.6)$$

여기서, h_r 은 수축에 의한 압력수두의 저하, h_v 는 속도수두, h_{SA} 는 부압의 크기이다.

물의 증기압은 온도에 의해서 변화한다. 0°C의 경우에는 증기압은 약 6 cm의 수두와 같고, 15°C에서는 약 0.42 m가 된다.

공동현상을 확실하게 피함과 동시에 다른 불확정 요소를 예상해서 보통 압력으로 3 m를 내려가지 않도록 해야 한다. 해면으로부터의 표고에 따라 일어날 수 있는 최소 기압에 의거해서 구한 부압의 한계치를 참고로 제트의 수축에 의한 압력수두의 저하는 유입구의 기하학적 형상에 좌우된다.

유선형의 유입구에서의 압력저하는 거의 일어나지 않지만 예정이 돌출된 유입구에서는 거의 속도수두와 동일한 만큼의 압력저하가 있다. 예정의 4각 유입구에서는 압력저하는 0.7 kgf에 가깝다.

식 5.1.2 를 손실계수의 항으로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$\frac{V^2}{2g}(k_v + k_e + k_r) = h_{SA} + (H - D) \quad \dots\dots\dots(5.1.7)$$

$$\frac{V^2}{2g} = h_v \frac{h_{SA}(H - D)}{R_v + k_e + k_r} \quad \dots\dots\dots(5.1.8)$$

여기서, k_r 은 압력저하계수, k_e 는 유입계수, k_v 는 속도수두계수이다.

표 5.1.4 만관류 관수로의 부압의 허용량

표고(EL.m)	허용부압, $h_{SA}(m)$
0	6.6
600	6.0
1200	5.4
1800	4.8
2400	4.2

구석이 모서리진 유입구에서는 $k_e = 0.5$, $k_r = 0.7$, $k_v = 1.0$ 이며 지금 $H = 1.5D$, $h_{SA} = 4.8$ m 라고 하면 속도수두는 다음과 같이 된다.

$$h_v = \frac{4.8 + 0.5D}{1.0 + 0.5 + 0.7} = \frac{4.8 + 0.5D}{2.2}$$

지름 1.2 m의 원형수로에 있어서는 속도수두는 2.45 m이며 수로내의 유속은 약 6.93 m/s로 제한해야 할 것이다. 길이 60 m의 암거에 있어서 하류단 중심선과 저수지 수면간의 전낙차를 $D = 1.2$ m, $f = 0.023$ 이라 하면 손실수두 H_T 는 다음 값이 된다.

$$H_T = \frac{V^2}{2g} \left(1.5 + f \frac{L}{D} \right)$$

$$H_T = 2.45(1.5 + \frac{0.023 \times 60}{1.2}) = 6.49 \text{ m}$$

6) 가배수 터널의 수로기울기는 댐터의 지형에 의해 유입구, 유출구 표고가 어느 정도 결정되고 제한되므로 이에 따라 좌우되나 보통의 경우 전장에 걸쳐서 단일 기울기로 계획되는 일이 많다. 그러나, 상류유입구에서 급한 기울기 부분을 만들어 수류를 가속시켜 터널에 유입시킴으로써 수류를 터널 입구로부터 안정시키는 경우라든가 하류유입구에서 하류하천에 잘 유도하기 위해 급한 기울기 부분을 설치하는 경우가 있다.

[참고] 가배수 터널의 계산 예

예 1 : 터널지름 $D = 5.10 \text{ m}$, 대상유량 $Q = 205 \text{ m}^3/\text{s}$ 일 때 수리계산하라. 터널 전구간에서 개수로의 등류흐름을 확보하는 것으로 하며, 등류 발생에 필요한 에너지 H (상류측 저수지수위)를 산정하면 다음과 같다.

$$H = (1 + f_e) \frac{V_o^2}{2g} + h_o$$

여기서, V_o 는 터널내 등류유속(m/s), h_o 는 터널내 등류수심(m), f_e 는 유입손실계수(벨마우스 0.2), H 는 10.59 m가 된다.

$H/D = 2.09$ 로서 완전한 만류가 된다. 따라서, 다음 그림의 단면 I의 위치에 웨어를 설치해서 완전 월류시키고 월류후 가속해서 개수로 등류의 흐름으로 하려는 것이다.

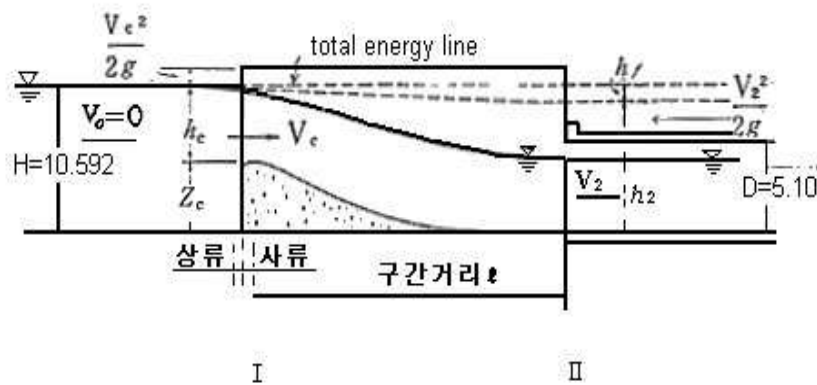


그림 5.1.9 터널입구의 예

단면 II에 있어서 등류가 발생하게 하는 단면 I의 웨어높이 Z_c 를 베르누이의 식과 완전월류에 의해 웨어마루점에 생기는 한계류로부터 결정한다.

$$\frac{V_c^2}{2g} + h_c + Z_c = (1 + f_e) \frac{V_2^2}{2g} + h_2 + h_f$$

$Q_c = A_c \cdot V_c = B h_c \cdot V_c$ 에 의해서 $V_c = Q_c / B h_c$ 가 된다.

구간거리 l 의 마찰에 의한 손실수두 h_f 는 미소하기 때문에 무시할 수 있다.

$$\frac{\left[\frac{Q_c}{B h_c}\right]^2}{2g} + h_c + Z_c = (1 + f_e) \frac{V_2^2}{2g} + h_2$$

단면 I의 웨어 마루에서 완전 율류에 의한 한계류가 생기고 그 후 사류로 변화하는 흐름이라고 하면 한계수심은 다음과 같다.

$$h_c = \left(\frac{Q_c^2}{g B^2}\right)^{1/3}$$

$Q_c = Q_{1\max} = 205 \text{ m}^3/\text{s}$, $B = D_1 = 5.10 \text{ m}$, $h_c = 5.483 \text{ m}$

이를 위 식에 대입하여 웨어높이 $Z_c = 2.40 \text{ m}$ 를 얻는다.

예 2 : 가배수 터널은 댐터의 지형상 우안에 설치하고 장래 취수시설에 이용한다. 구조는 취수시설로서 이용할 때의 개수로와의 접속 및 시공을 고려해서 표준말굽형 2r 단면으로 한다. 그리고 가배수로는 $Q = 16 \text{ m}^3/\text{s}$ 이상의 유량에 대해서는 압력터널에 의해 유하시킨다.

터널연장은 170 m(직선이며 단면 점변부 4.80 m), 터널단면은 표준 말굽형 2r 형, 터널단면적은 $3.317r^2$ 으로 한다.

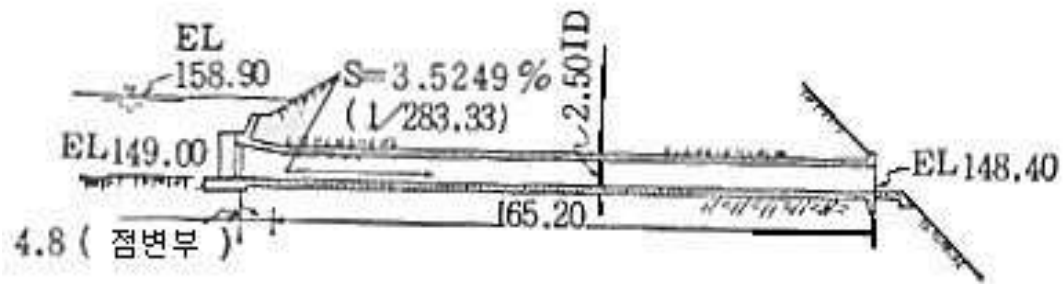


그림 5.1.10 터널설계의 예

(1) 터널의 수리계산

계획홍수량 $Q = 38.2 \text{ m}^3/\text{s}$ (10년 확률), 터널을 만류로 해서 계산한 결과의

수두-유량곡선은 그림 5.1.11와 같다. 그림을 참조하여 각 터널 내경에 대응하는 상류측 수위는 가배수 터널의 만류출구 바닥 높이가 EL.148.40 m 이므로 만류조건에 의해 표 5.1.5와 같이 된다.

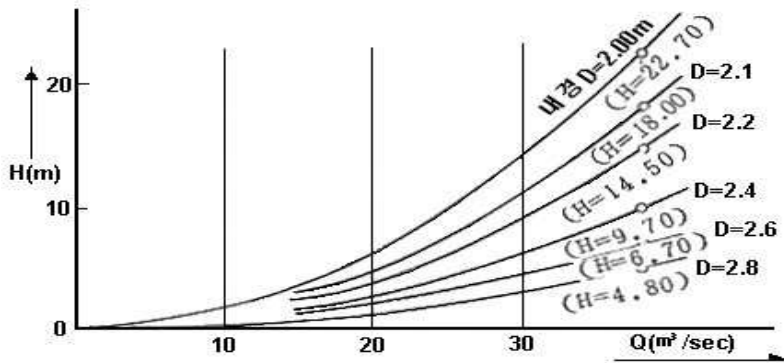


그림 5.1.11 수두-유량 곡선

위의 계산결과에 의해 상류측수위와 터널이 만류되기 위한 조건(터널의 기울기)에 관계없이 유입구에 있어서의 수위가 터널 내경의 1.5배 이상이면 관수로가 된다. 가물막이 댐의 설계 예를 표 5.1.6, 5.1.7에 표시한다.

표 5.1.5 터널상류측 수위계산 예

터널 내경 (m)	H(m)	계산식	상류측 수위 (EL.m)	터널입구 정상부 표고 (EL.m)	유속 (m/s)
2.00	22.70	148.40 + 22.70 + 2.00	173.10	151.80	11.516
2.10	18.00	148.40 + 18.00 + 2.10	168.50	151.90	10.446
2.20	14.50	148.40 + 14.50 + 2.20	165.10	152.00	9.518
2.30	11.70	148.40 + 11.70 + 2.30	162.40	152.10	8.708
2.40	9.70	148.40 + 9.70 + 2.40	160.50	152.20	7.998
2.50	8.00	148.40 + 8.00 + 2.50	158.90	152.30	7.371
2.60	6.70	148.40 + 6.70 + 2.60	157.70	152.40	6.814
2.70	5.60	148.40 + 5.60 + 2.70	156.70	152.50	6.319
2.80	4.80	148.40 + 4.80 + 2.80	156.00	152.60	5.876

주) 1) 하류접속수로의 영향이 터널수위에 영향을 끼치므로 D를 취했다(공중방류의 경우는 D/2로도 좋다).

2) 터널유입부에는 점변부를 설치해서 수맥 이탈을 방지하는 구조를 채택한다.
따라서 유입부 터널 높이가 EL.149.0m 이므로 정상부 표고는 EL.149.00+(터널내경)+0.80(단면점변고)이 된다.

표 5.1.6 가물막이 댐 설계 예

내경(m)	2.00	2.10	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80
상류측 수위 (EL.m)	173.10	168.50	165.10	162.40	160.50	158.90	157.70	156.70	156.00
가물막이댐 마루표고(EL.m)	174.00	169.50	166.00	163.50	161.50	160.00	158.70	157.70	157.00
가물막이댐 축제량(m ³)	-	236.00	156.70	112.20	85.30	67.20	53.00	43.50	37.50
가물막이댐 시공일수(월)	-	10.1	6.4	4.8	3.6	2.9	2.3	1.9	1.6

주) 가물막이 댐마루 표고는 여유를 보아 상류측 수위 +1.0m로 한다.

표 5.1.7 상류측 수위 만류조건 계산 예

내경(m)	2.00	2.10	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80
상류측 수위	173.10	168.50	165.10	162.40	160.50	158.90	157.70	156.70	156.00
만류조건(EL.m)	152.00	152.15	152.30	152.45	152.60	152.75	152.90	153.05	153.20

(2) 터널내경의 결정

터널내경은 수리적 조건, 가배수로의 유속, 가물막이의 축제량 및 취수시의 유속 등에 의해 결정된다.

(가) 가물막이댐의 축제량

각 터널 내경에 대응하는 가물막이의 댐마루표고 및 축제량은 그림 5.1.12에 의해 결정하였다. 시공 일수는 댐의 전체 공기 및 총 축제량에 의해 1일당 시공량을 1,800 m³, 월간 시공일수를 13일, 23,400 m³/월 로 산출하였다.

가물막이댐은 본체 일부로서 축제되는 것이므로 공사비에는 직접적으로 관계가 없다. 따라서, 유입부 터널 높이가 EL.149.00 m 이므로 정상부 표고는 EL.149.00 + (터널내경) + 0.80(단면점변고)이 된다.

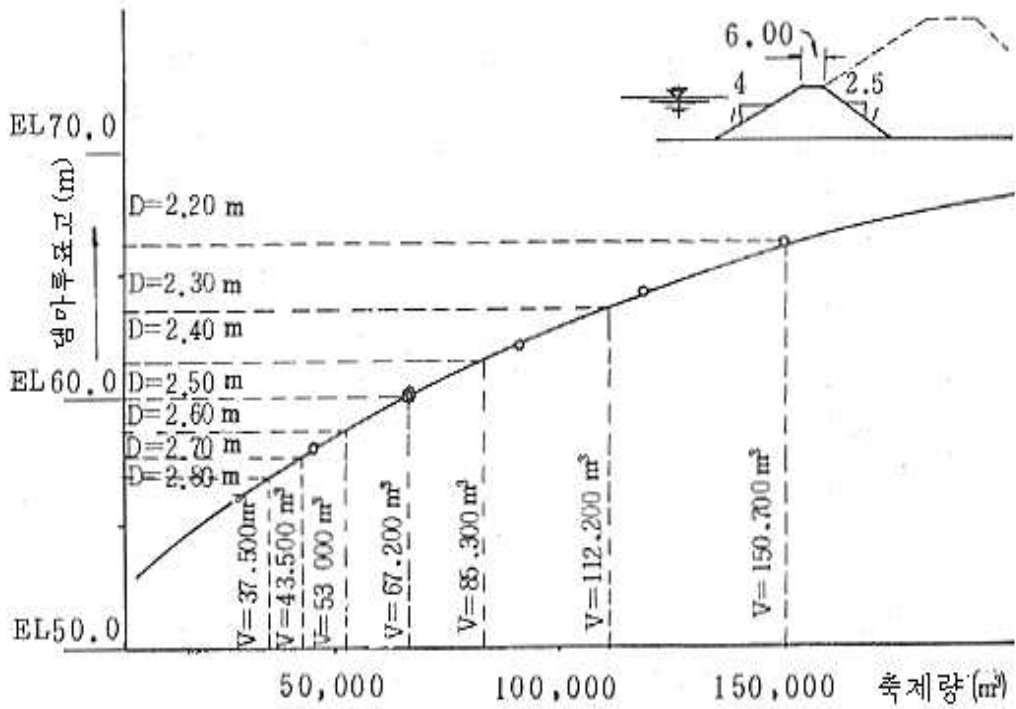


그림 5.1.12 가체질의 댐마루 표고·축제량 곡선

(나) 취수시의 유속

취수시의 $Q = 3.1 \text{ m}^3/\text{s}$ 는 사면에 의해 취수한다. 터널 안은 개수로로서 유하시므로 각 터널 내경에 따른 한계 기울기 및 유속은 표 5.1.8와 같다.

표 5.1.8에 의하면 터널내의 유속은 모두 허용범위내에 있다. 따라서, 터널 기울기는 1/283.33로 하고 출구바닥 높이를 EL.148.40 m로 한다.

(다) 터널 내경의 결정

위의 터널 수리계산 및 (가), (나)항에 의해 가배수 터널의 내경은 가배수시의 유속 및 가물막이의 시공 월수에 의해 결정된다.

① 가배수시에 있어서의 유속

가배수로는 일시적인 것이며 평상시는 개수로로 유하한다(유량 약 $16 \text{ m}^3/\text{s}$ 이상에 있어서 만류가 되고 개수로에서의 최대유속은 약 3.10 m/s 이다). 따라서 가배수로 터널내 유속의 허용범위를 대략 8.0 m/s 로 한다.

② 가물막이의 축제공기

가물막이는 갈수시에 시공할 필요가 있으며 따라서 대규모의 것을 축제하는 것은 공기적으로 홍수의 위험이 따른다. 갈수기라고 생각되는 11월~1월의 3

개월간에 가물막이를 축제하는 계획으로 하고 위의 결과를 생각해서 터널 내경은 2.5 m로 한다.

(3) 상류개수로

상류개수로는 저폭 4.00 m, 옆비탈면 1 : 1.5 의 굴착단면으로 한다. 수로바닥 기울기는 터널입구에서 EL.149.00 m, 상류 끝에서는 현 하상인 대략 EL.150.0 m 에 접속하도록 1 : 167.9 정도의 기울기로 한다. 필댐에서 가배수로의 규모(터널직경)와 설계홍수량의 예를 작도하면 그림 5.1.13와 같이 된다.

표 5.1.8 터널내경에 따른 한계기울기 계산 예

터널내경 (m)	$D^{2.5}$	$Q/D^{2.5}$	D_c	A_c	V_c	R	$(\frac{n \cdot V_c}{R^{2/3}})^2$	I
2.00	5.656	0.531	0.823	1.219	2.463	0.437	0.0041	1/243.9
2.20	7.178	0.418	0.799	1.245	2.412	0.437	0.0039	1/256.4
2.40	8.923	0.337	0.780	1.275	2.356	0.436	0.0038	1/263.2
2.60	10.900	0.276	0.762	1.296	2.317	0.434	0.0037	1/270.3
2.80	13.120	0.229	0.746	1.318	2.278	0.432	0.0036	1/277.8

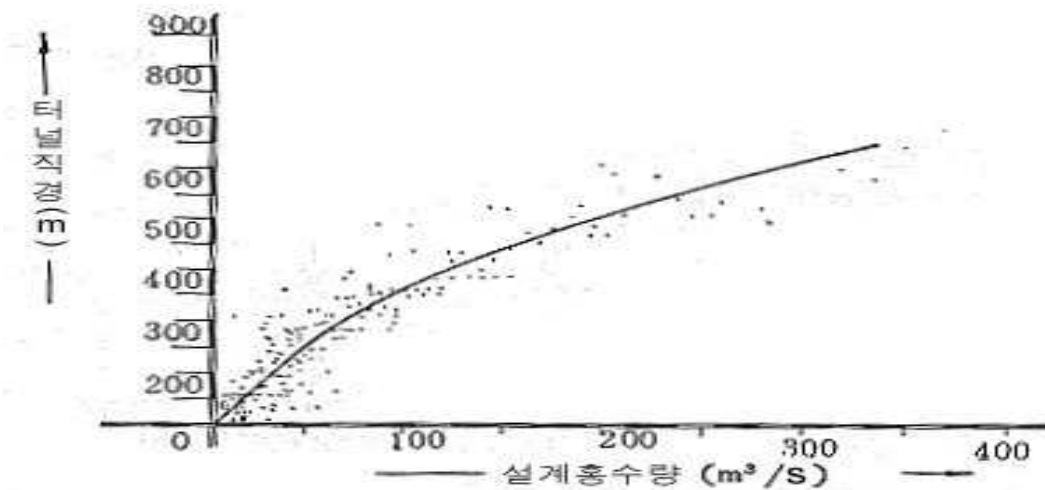


그림 5.1.13 가배수로 설계홍수량 계산 예

5.1.5 폐쇄(閉塞)공

가배수 터널 및 제내 가배수로는 사용 후 폐쇄하는 것을 원칙으로 하며, 터널이나 가배수를 통하여 누수되는 것을 방지하도록 설계한다. 또한, 폐쇄시기는 안전성을 고려해 갈수기에 행하는 것이 좋으며, 유수를 차단함으로써 하류에 발생하는 수리권자의 피해를 최소화할 수 있도록 검토한다.

가. 폐쇄 위치와 길이

가배수 터널은 사용 후 폐쇄(플러그)되지만 댐의 저수가 터널을 따라서 유출하는 것을 방지하기 위해서 원칙적으로 댐축과의 교점 또는 댐 커튼 그라우팅의 교점에 플러그 및 그라우트 커튼을 설치한다.

플러그의 위치 및 길이는 원지반의 지질, 구조, 강도, 투수성 등에 의해 위치, 길이를 검토해야 한다. 설계 시 고려사항은 다음과 같다.

1) 최근까지 건설된 제고 30 m 내외의 농업용 필댐에서 가배수로를 취수터널로서 이용하는 경우에는 터널과 댐축과의 교점 부근에 콘크리트 플러그를 설치하는 사례는 거의 볼 수 없고 터널 입구에 게이트를 설치해서 그것을 단음으로써 저수가 되도록 하였다. 또 비관개기에는 게이트를 열어 유입수나 토사를 배제하도록 해왔다. 농업용 댐에서는 지금까지 이 장치가 많이 채용되어 왔으나 댐의 높이가 비교적 낮고 수압이 작기 때문에 시공 후 큰 문제는 생기지 않았다.

2) 댐 높이가 30 m 이상인 경우에는 높은 수두에 의해서 라이닝 자체에 완전한 차수기능과 구조적 안전성을 갖도록 하기가 곤란하며 비경제적이 되기 때문에 댐축과의 교점 또는 댐 커튼 그라우팅선의 교점 부근에 플러그를 실시하는 것을 원칙으로 한다.

3) 폐쇄 플러그의 필요한 길이의 검토

폐쇄 플러그의 길이는 플러그 위치의 원지반의 흙 두께, 터널주변의 지질상태 등이 지형지질적 조건, 작용수압 등을 고려해서 결정해야 한다. 따라서 특히 플러그의 길이를 결정하는 공식이나 명확한 수치 등의 근거가 있는 것은 아니므로 보통 과거의 실시 예 등을 고려해서 결정하는 경우가 많다.

또 수치적으로 플러그의 길이를 구한다고 하면 터널주변의 암반과 플러그 콘크리트의 전단저항강도에 의거해서 구하는 방법을 생각할 수 있다.

가) 타설면의 전단응력에 대한 소요길이(L)

(1) 소규모 댐인 경우

$$L = a \frac{P \cdot A}{\tau \cdot l} \dots\dots\dots (5.1.9)$$

여기서, L은 플러그의 길이(m), P는 작용수압 강도(tf/m²), A는 플러그의 면적(m²), τ는 플러그 콘크리트와 암의 접촉면의 전단강도(tf/m²)로서, 작은 댐인 경우에는 τ=0.46·√σ_{ck}, 큰 댐인 경우에는 τ=0.23·√σ_{ck}을 사용한다. l는 플러그 콘크리트와 암의 접촉부의 주변길이(m), a는 안전율(a=4로 하면 충분히 안전하다).

(2) 대규모 댐인 경우

플러그의 길이는 내외의 시공실적 등으로부터 L=(0.3~0.8)·H(여기서, H는 플러그 중심에서 저수지 수면까지의 높이)로 하고 있는 경우가 많지만, 필댐에 있어서는 지수벽을 하나의 기준으로 하는 것도 좋다(필댐의 지수벽은 보통 수압의 30~50%의 폭을 잡으면 웬만한 악조건하에서도 안전하다고 한다).

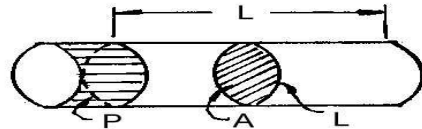


그림 5.1.14 전단강도를 구하는 예

나) 활동(sliding)에 대한 소요길이

$$L = \frac{npA_o}{1.35fA_o + B\tau} \dots\dots\dots (5.1.10)$$

$$n = \frac{fV + \tau A}{H} \dots\dots\dots (5.1.11)$$

여기서, f는 내부 마찰계수(f = 0.75), V는 연직응력(= 폐쇄 단면적(A_o) × 폐쇄길이(L) × 콘크리트의 수중단위중량), H는 수평력(= p·A_o), A는 전단응력을 받는 면적(= 폐쇄폭 × 폐쇄길이), n은 안전율(보통 4 이상)이다.

다) 폐쇄 주변의 고정을 위한 소요길이

그림 5.1.15에서와 같이 등분포하중 p가 주변이 고정된 원형판에 작용할 경우, 원둘레 방향의 모멘트 M_r과 반경방향의 모멘트 M_t는 각각 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$M_r = \frac{pa^2}{16} \left[(3 + \nu) \left\{ 1 - \left(\frac{r}{a} \right)^2 \right\} - 2 \right] \dots\dots\dots(5.1.12)$$

$$M_t = \frac{pa^2}{16} \left[(1 + 3\nu) \left\{ 1 - \left(\frac{r}{a} \right)^2 \right\} - 2\nu \right] \dots\dots\dots(5.1.13)$$

여기서, a 는 폐쇄부의 반경, ν 는 콘크리트의 포아슨 비($\nu = 0.2$), r 은 터널 폐쇄부의 중심으로부터 반경방향으로의 거리이다.

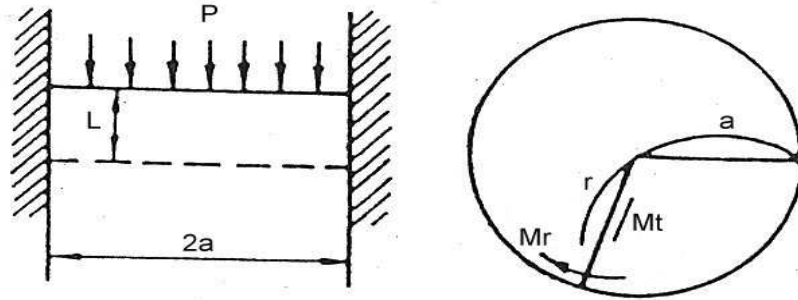


그림 5.1.15 주변 고정 원형관의 폐쇄 소요길이

따라서, 폐쇄부의 주변($r/a = 1.0$)에서는

$$M_r = \frac{p a^2}{8} \dots\dots\dots$$

(5.1.14)

$$M_t = M_r \cdot \nu \dots\dots\dots$$

(5.1.15)

여기서, 원둘레 방향의 모멘트 M_r 로 인한 콘크리트의 인장응력 σ 는 M_r 를 다음 식으로 표시되는 콘크리트의 단면계수 W 로 나누면 구해진다. 즉,

$$W = \frac{b L^2}{6} \dots\dots\dots$$

(5.1.16)

여기서, b 는 단위 폭이며, L 은 콘크리트 원형관의 두께이다.

따라서, 식(5.1.14)을 식(5.1.16)로 나누면

$$\sigma = \frac{M_r}{W} = \frac{3}{4} \frac{p a^2}{b L^2} \dots\dots\dots (5.1.17)$$

따라서, 폐쇄공의 소요길이는 식(5.1.18)에서 σ 를 콘크리트의 허용인장응력 σ' 로 따로 놓고 L 에 관해 풀면 얻어진다.

$$L = a \frac{a}{2} \sqrt{\frac{3p}{\sigma'}} \dots\dots\dots (5.1.18)$$

여기서, a 는 안전율이다.

라) 암반의 누수에 대한 차수길이

전항 1~3에 의해 계산되는 폐쇄공의 소요길이에다 암반의 균열 등으로 인한 누수를 방지하기 위하여 추가적으로 길이를 확보하는 것이 좋다.

4) 플러그의 보강

얕은 흙이 얇은 터널 또는 원지반의 지질이 좋지 않은 터널을 댐축 부근에서 플러그하는 경우, 플러그보다 상류는 반영구적으로 보수 등의 손을 쓸 수 없게 되기 때문에 플러그보다 상류부분에 대해서는 충분한 구조적 보강을 해 둘 필요가 있다. 그림 5.1.16에 플러그 상류측 터널의 보강 예를 표시하였다. 보강방법으로서는 충분한 컨솔리데이션 그라우팅을 실시하든가 콘크리트에 의한 내부보강을 하는 방법이 있다.

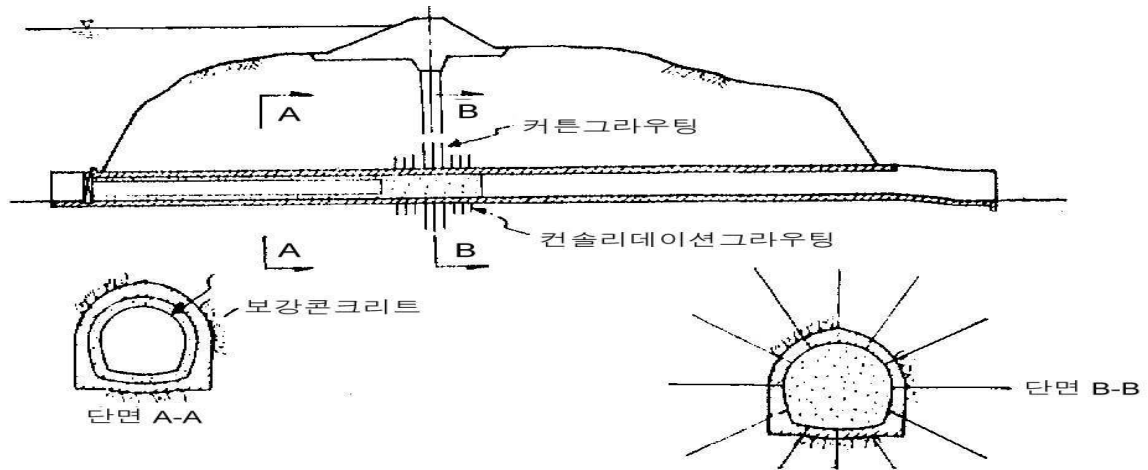


그림 5.1.16 플러그 상류부의 터널 보강 예

원지반의 지질이 나쁜 곳에서는 그라우팅 효과가 얻어지기 어려운 경우가 많으므로 후자의 콘크리트에 의한 내부 보강방법이 유효할 것이다.

특히 화산암지대에서는 원지반의 깊은 곳까지 암질이 불량한 경우가 많으므로 어느 정도 길게 할 필요가 있다.

나. 폐쇄의 시기와 형식

1) 폐쇄의 시기

가배수 터널의 폐쇄시기에 대해서는 폐쇄공사 자체의 안전성으로 보아 갈수기에 하는 것이 바람직하다. 그러나, 폐쇄공으로 유수를 차단함으로써 하류의 수리권자에 큰 피해를 미칠 것으로 판단될 경우에는 댐 지점 하류의 잔유량이 많은 시기 혹은 비 관개기를 이용함이 바람직하며, 다음과 같은 추가적인 방법도 검토해야 한다.

- ① 제내 가배수로를 다단(多段)으로 설치하여 유수의 차단기간을 짧게 해서 하류에 영향을 적게 미치도록 한다.
- ② 가배수 터널 내에 밸브 등을 설치한다.

③ 부득이 한 경우에는 유수 차단기간 중에 펌프 양수에 의해 하류 유황을 유지시킨다.

2) 플러그 형식

가배수 터널의 전용계획이나 터널의 수에 따라 형식은 달라진다. 표준적 플러그의 형식을 그림 5.1.17에 표시하였다.

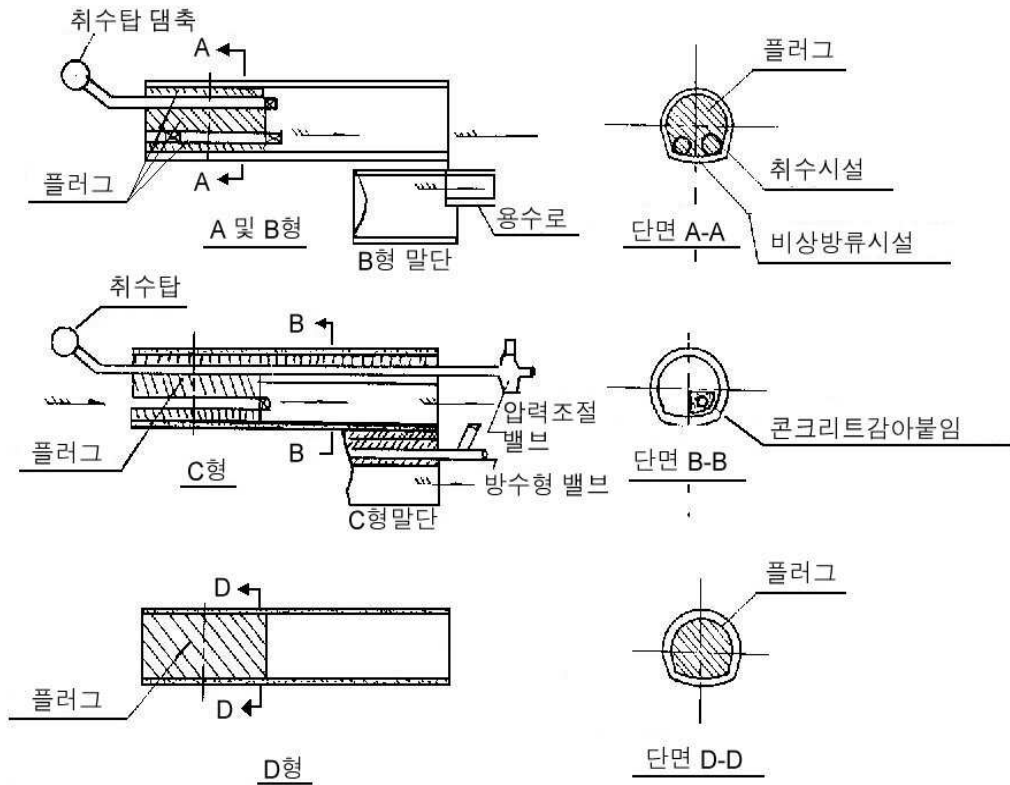


그림 5.1.17 플러그의 형식

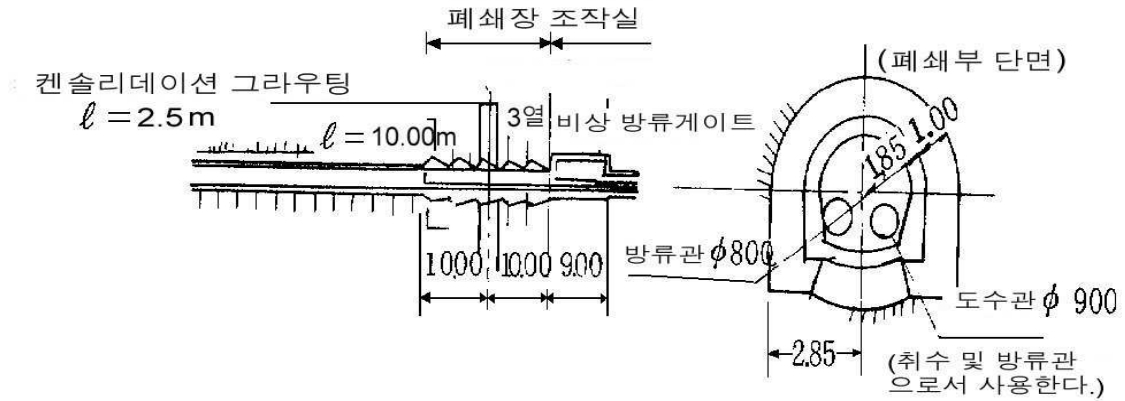


그림 5.1.18 가배수 터널을 방류시설 등에 전용하는 경우의 폐쇄 예

그리고 폐쇄 플러그의 적용 예를 표시하면 다음과 같다.

① 터널 수가 복수 또는 콘크리트 댐 등에서 가배수 터널을 다른 목적으로 전용하지 않는 경우에는 내공단면을 모두 충전 폐쇄한다. 이 때에는 다른 쪽 터널 또는 콘크리트 댐에 있어서는 제내 가배수로를 이용해서 흐름을 배제 하면서 폐쇄 플러그를 시공한다.

② 터널 수가 하나이고 또한 단면내에 취수시설, 방수시설 등을 설치하는 경우에는 갈수기를 이용해서 미리 방류관로 등을 매설해 두고 그 후에는 이 관을 통해서 유수를 배제하면서 폐쇄 플러그의 시공을 할 수 있다. 이와 같은 보기를 그림 5.1.18에 표시하였다.

다. 시공

플러그 콘크리트는 될 수 있는 대로 원지반과 일체화시켜서 활동, 누수방지를 힘써야 한다. 플러그의 설계, 시공의 일반적 사항을 들면 다음과 같다.

1) 플러그 방식

플러그 방식에는 다음과 같은 2가지 방법이 있다.

가) 가배수 터널 중에서 폐쇄할 부분(보통 댐 본체의 커튼 그라우팅선과 교차하는 위치가 좋다.)만큼 라이닝을 부수고 신선한 암반까지 굴착해서 확폭부(key)를 교차하게 설치한 후 플러그 콘크리트를 충전하는 방법.

장점 : 본체 콘크리트와 같은 품질관리가 잘된 콘크리트 치기를 할 수 있다.

단점 : 시간적 제약이 있는 물막이 공사중에 라이닝을 부수는데 시간이 걸

린다. 댐 본체가 타설된 시점에서의 발과는 제체에 악영향을 줄 염려가 있다.

나) 당초부터 물막이 구간을 정해놓고 그 부분만은 미리 확폭부를 설치하거나 강제 널말뚝을 사용함으로써 물막이할 때 라이닝을 부수지 않고 속에 묻는 콘크리트만을 충전하는 방법.

장점 : 라이닝을 부수는 시간이 절약된다.

단점 : 가배수 터널은 공사중 여러 차례의 홍수에 의한 토사류로 콘크리트 라이닝이 상당히 손상을 입고 있기 때문에 보수해야 할 경우가 많고 또 신규 콘크리트의 밀착에 만전을 기하기 어렵다.

2) 플러그 콘크리트는 암반과 밀착하는 것이 필요하며, 따라서 플러그 부분은 나무 널말뚝을 사용하지 않고 록 볼트, 콘크리트 뿔어 붙이기 등으로 산턱의 붕괴를 방지하는 것이 바람직하다. 때에 따라서는 강제 널말뚝을 사용하는 경우도 있다.

나무 널말뚝은 콘크리트 치기전에 철거한다. 원지반이 나빠서 널말뚝 공법을 실시한 경우에는 콘크리트를 감아 붙인 후 시멘트 그라우팅으로 컨솔리데이션을 실시하고 그 뒤에 콘크리트를 펴고 널말뚝을 제거한 예도 있다.

3) 본 플러그와 중공 플러그 또는 가 플러그

플러그 부분의 넓히기, 널말뚝 제거는 터널이 큰 단면일수록 곤란하게 되므로 넓히기, 널말뚝 제거를 하는 본 플러그의 부분은 가급적 최소한으로 하고 누수에 대비함과 동시에 검사로로 하는 경우도 있다(그림 5.1.19 참고).

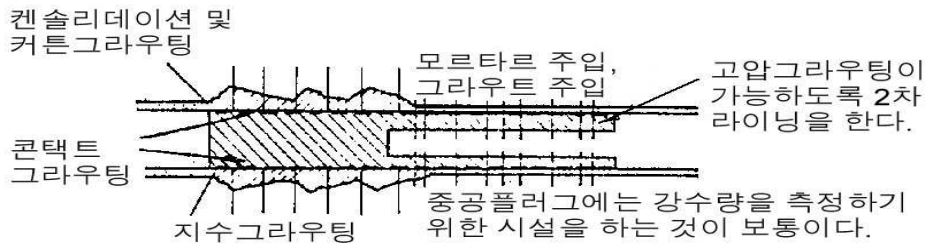


그림 5.1.19 본 플러그와 중공 플러그

4) 폐쇄 콘크리트의 타설 및 냉각

폐쇄 콘크리트의 운반은 콘크리트 펌프, 벨트 컨베이어, 트럭 등으로 하며, 폐쇄 구간에 지표면으로부터 사갱(斜坑)을 설치하여 콘크리트를 투입하는 방법이 사용되는데, 터널의 아치 크라운(arch crown) 부분에 콘크리트를 충전하는 방법에는 프리팩트(prepack) 콘크리트를 사용하는 방법, 콘크리트 펌프를

사용하는 방법, 벨트 컨베이어를 사용하는 방법 등이 있다.

플러그 콘크리트는 돌레가 암반 및 콘크리트로 둘러싸여 있기 때문에 열 발산 면적이 적고 콘크리트에는 고온상태가 발생된다는 것은 충분히 예측할 수 있는 일이므로 단시간에 실시하는 경우에는 냉각 필요성을 충분히 검토한다.

5.2 기초처리

5.2.1 댐터의 굴착

댐터는 축제의 기초가 되는 부분이므로 지반에 따라 적절한 방법으로 굴착하고 설계도에 따라 정형하거나 부적당한 부분을 제거하여 댐터와 댐체의 접착을 긴밀히 해야 한다.

가. 굴착의 예정선

1) 댐터부

댐터부의 기초는 지지력, 파이핑 등에 충분한 저항력을 갖는 것이 요구되며, 이들 조건을 만족하지 않는 경우에는 원칙적으로 이를 파내야 한다.

장래에 부식에 의하여 전단강도가 저하할 것으로 생각되는 초목뿌리 등 유기물을 함유한 표토, 소요 전단강도를 얻을 수 없는 점토나 실트, 파이핑의 원인이 되는 암반의 틈새기나 요부에 흐트러져 있는 모래 등은 모두 제거해야 한다. 다만, 그 양이 많아서 전량을 굴착하면 비경제적이므로 암반의 정밀조사, 토질시험, 안전성의 검토에 의해 이것을 그대로 두어도 좋은 설계구조를 별도로 고려하는 경우에는 이의 구매를 받지 않아도 된다.

일반적으로 하상 사력이나 연암은 그대로 기초로 할 수 있다. 댐 규모와 기초의 역학적 성질에 따라서 제거하는 편이 경제적인 수가 있고, 이런 경우는 전단시험, 지지력 시험 등을 실시하여 제거여부를 검토할 필요가 있다. 하상 사력층에서는 연속성을 가진 실트층이 존재하는 일이 자주 있다. 사력층은 보링조사가 가장 어려운 대상지질이므로 실트층의 형상을 알기 어렵다.

따라서 정밀조사가 되어 있지 않은 경우는 흙쌓기 공사를 하기에 앞서 시굴, 견강 또는 트렌치 굴착을 실시하고 지층의 관찰결과에 따라서 안전한가를 확인을 해야 한다.

기초와 축조재료와의 입도 조성이 극히 상이한 경우, 예를 들면 세립자를

함유한 돌서링 퇴적물이나 사력 또는 비교적 풍화되기 쉬운 기반과 조립의 자갈이나 암괴가 인접하는 경우 또는 벌어진 균열이 많은 기반과 세립의 구축재료가 인접하는 경우 등에는 특히 양안 접합부에서 강우나 저수위의 변동에 의하여 세립자가 유실되어서 부등침하를 초래하는 일이 있다. 또 단계식 요상 또는 오버행상의 기반 위에 토질손상의 원인이 되는 수가 있다. 그러므로 이와 같은 기반에 대하여는 다음과 같은 조치가 필요하다.

가) 입도조성이 극히 상이한 경우는 이들을 제거하든지 또는 적당한 입도로 된 존을 설치한다. 선택기준은 경제성과 안전성을 비교하여 결정해야 한다.

나) 굴착면이 용이하게 풍화될 수 있는 경우는 장차 풍화되어도 유실이 일어나지 않게 표면을 필터로 피복하든지 표면에 얇은 아스팔트 등을 바르는 등의 처리를 한다.

다) 개구균열이 많은 기초에 대하여는 균열의 틈새를 시멘트 페이스트나 모르타르로 충전하여 불투수성 코어가 침식되는 것을 방지하고 터파기면에 불투수성표면부를 만들어 침투수의 양과 압력을 줄여야 한다.

보통 이와 같은 균열의 처리는 그리 중요시하지 않고 있지만 특히 균일한 필댐의 경우에는 강우나 침투수의 집중으로 균열을 통하여 세립토가 제외에 유실된 예가 있으므로, 이 점을 충분히 주의해야 한다. 터파기 장소는 균열이 거의 보이지 않을 때까지 굴착하고 이 때 제체지반은 그대로 두고 산측의 균열부에서는 20×20cm의 트렌치를 파서 필터를 충전하는 것이 좋다.

라) 오버행상, 계단상, 요상 등의 기반 위에 조립재료를 성토하는 경우는 그리 문제가 없다. 그러나 세립재료를 쌓는 경우는 부등침하가 일어나는 것으로 생각하면 된다. 상기의 형상을 이루는 기반의 경우 암반에서는 그림 5.2.1과 같이 볼록한 부분을 굴착하여 제거하든가 오목한 부분을 콘크리트, 모르타르 등에 의하여 되메움한다. 또 토질기초의 경우는 그림 5.2.1과 같이 축제재료를 깔 때, 까는 두께 정도의 소계단상으로 파서 흠쌓기함으로써 이미 쌓은 성토와의 결합을 좋게 되도록 한다.

댐 터파기면에 용출수가 있는 경우는 성토재료의 전단강도의 저하나 파이핑 경로의 형성을 방지하기 위하여 그라우팅으로 지수하거나 제외로 용출수를 배출시켜야 한다.

보통 잡석, 호박돌을 사용한 드레인을 부설하면 좋다. 용출수량이 많은 경우는 유공관을 설치하는 일도 있다. 이 경우는 부식하든가 장차 지진 등의 외력에 의하여 파괴되지 않는 내구성이 있는 관을 사용해야 한다. 또 드레인의 주변은 장차 파이핑이 일어나지 않게 엄선한 사력의 필터나 토목섬유필터 등으

로 피복하는 것을 잊어서는 안된다.

2) 물넘이

물넘이는 댐 설계 홍수량 이하의 유량을 원활하게 제체 하류하천으로 유도하는 것이므로 수리적 조건과 지형, 지질, 구조적 조건이 밀접하게 조합되어 설계되는 것이다. 따라서 굴착개시를 한 후의 암반의 상태에 따른 굴착선의 변경은 물넘이의 일부 또는 대부분이 설계변경에 관계되는 일이 많다. 이 때문에 충분한 사전조사가 필요하게 된다.

물넘이 굴착 예정선의 결정에 있어서 유의할 사항은 다음과 같다. 이들 사항은 주로 필댐의 물넘이에 작용되는 것이지만 기타 댐 부대구조물에 대하여도 적용되는 면이 많다.

가) 물넘이의 굴착으로부터 나오는 재료가 질적으로나 시공상으로 보더라도 제체재료로서 양호한 경우에는 문제가 없지만 근래 축체재료에 대한 기준이 까다로와 굴착된 재료중 상당한 양을 버려야 하는 예가 많다. 이런 경우는 미리 굴착선을 검토하여 사토를 가급적 줄일 수 있는 선형으로 한다.

나) 전체의 굴착량을 줄이고 싶다는가 수리상의 요구에서 물넘이 노선의 전체 또는 일부의 기초가 견고한 암반에 접하지 않는 경우가 있으나 이 때에는 지반의 지지력 특성 또는 변형특성을 충분히 조사한 후에 적절한 설계를 할 필요가 있다.

연약한 층이 극히 부분적인 경우에는 플러그 콘크리트로의 치환 등의 방법이 있다.

다) 다른 구조물과 물넘이 굴착선이 근접하는 경우, 예를 들면 터널 병렬의 경우는 내경의 5배 이상이 서로 떨어져 있어야 하는 등의 기준을 참고로 한다.

나. 굴착

1) 터파기

터파기는 그 지반에 가장 적합한 방법으로 소정의 수밀성 또는 소정의 전단강도 및 소정의 기초처리를 할 수 있는 깊이까지 굴착해야 한다. 또 터파기한 바닥은 잡물이나 이완된 암편은 제거하고 큰 요철은 골라 매끈하게 만들고 강수나 용출수를 배제하여 기초와 제체를 완전히 밀착시켜야 한다.

굴착면은 흙쌓기가 개시된 후에는 육안 관찰이나 추가처리는 곤란하므로 흙쌓기를 시작하기 직전에 공사감독의 검사를 받는 이외에도 반드시 전문가의 의견을 들어 안전성을 확인해야 한다.

굴착은 지질에 따라 사용하는 굴착기계나 방법이 다르지만 여하한 방법에 의한 경우에도 굴착 시에는 다른 부분까지 이완되게 해서는 안된다. 토질기초와 같은 경우는 충분한 굴착 기울기를 취하든지 또는 웰포인트 공법 등에 의하여 주위를 충분히 안정시킨 후에 굴착하는 것이 바람직하다.

암반 특히 경암의 경우는 보통 발파에 의하여 굴진을 하지만 계획심도에 가까워짐에 따라 화약량을 줄여서 암반의 이완을 최대한으로 억제한다.

발파는 암반의 이완을 적게 하는 외에 가급적 큰 요철면의 형성방지, 착암면의 부식 방지, 끝마무리 천공 또는 발파의 경감, 착암부에 절리가 많은 경암이 있는 경우는 벤치컷 공법이 효과적이다.

터파기의 종단형상은 양안 접속부에서는 가급적 느린 기울기로 하는 것이 바람직하다. 지형상 느린 기울기가 무리한 경우는 전체를 요형으로 할 것이며 철형의 것은 가급적 피하는 것이 좋다. 접속부가 철형인 경우는 기울기가 만곡점 부근의 축제부분이 부등침하에 따른 균열이 생기기 쉽다.

산측으로 기울어진 역경사 부분은 절대로 만들어서는 안된다. 이 경우에는 굴착 제거해야 하지만 국부적인 것으로 굴착에 의한 정형이 어려운 경우에는 콘크리트에 의하여 정형하는 것이 좋다.

돌출한 암석부분은 굴착하여 제거하는 것을 원칙으로 한다. 단, 비교적 규모가 작은 것으로 제거하기 어려운 개소는 콘크리트를 충전하여 정형을 하여도 좋다(그림 5.2.2 참고). 규모가 큰 개구균열에 대해서는 자갈을 충전한 후 그라우팅 및 배기용 파이프를 삽입하고 그 입구에 콘크리트 캡을 씌워 저압 그라우팅에 의하여 처리하면 좋다(그림 5.2.3 참고).

횡단방향의 터파기 단면은 저수압에 의한 차수부의 압착효과를 기대하며 여하한 단면에 있어서도 약간 하류측이 높도록 하는 것이 바람직하다. 사면의 정형 굴착의 최대 기울기는 그림 5.2.4과 같다. 그림 5.2.4에서 ①수직 또는 수직에 가까운 기초암반은 최대 기울기를 70°까지 정형 굴착한다. ②볼록한 부분의 기울기 변화에 의하여 생긴 기초암반의 기울기는 최대 20°내외까지로 정형 굴착한다.

2) 굴착공법

굴착공법은 댐 지점의 지형, 지질, 기상 등의 제조건 및 굴착량에 따라 효율이며 안전한 굴착공법을 결정해야 한다. 암석굴착에는 보통 벤치컷 공법이 이상적이지만 기타 공법이라도 댐 지점에 따라 가장 효율적이며 안전한 공법을 결정한다. 암석굴착 중 기반이 이완되지 않도록 가급적 집중장약을 피함과 동시에 단발뇌관의 사용이 바람직하다. 갱도발파는 댐 기초굴착에는 원칙적으

로 채용되지 않는다.

최종 기초면은 노출암반을 실제로 검사한 후에 결정하는 것이므로 댐의 설계조건에 따라 견고한 암반에 도달 할 때까지 굴착해야 한다.

풍화되거나 이완되기 쉬운 암반에서는 굴착을 완료한 후 가급적 단기간 내에 축제나 콘크리트 치기를 해야 한다. 기초 굴착작업은 매우 위험한 작업이므로 안전관리에 유의해야 한다.

3) 대발과 제한

최종 기초면을 이완시키지 않게 제체 기초면에 가까운 곳에서는 화약의 사용 및 사용량을 제한하고 기초에 과도한 충격을 주지 않도록 한다.

4) 굴착 끝마무리

가) 댐터의 처리

댐터는 그 자체를 축제의 제1층으로 생각하며, 표토, 기타의 부적당한 재료를 제거함과 동시에 특히 댐터와 제체의 접촉을 긴밀히 해야 한다. 댐터 처리의 유의사항을 들면 다음과 같다.

(1) 초목뿌리 등 유기물을 함유한 표토, 암반 틈새기나 요부에 있는 모래, 실트의 연약층 등 축제재료로서 적합하지 않은 재료가 댐터를 덮고 있는 경우는 그들을 완전히 제거하여 그 위에 축제재료의 흠쌓기를 하는 것이 원칙이다. 다만, 그 양이 많으면 전부 굴착하는 것이 비경제적이기 때문에 그것을 존치할 수 있게 적절한 설계로 되어 있는 경우는 이의 제한을 받지 않는다.

(2) 댐터와 제체의 접촉면이 누수의 원인이 되어 파이핑을 일으키는 일도 많다. 특히 제체의 불투수 존보다 상류부분으로부터의 누수는 터파기 작업에도 지장을 주므로 배수를 하여 댐터와 제체를 완전히 밀착시킬 필요가 있다.

(3) 록존의 댐터가 되는 부분은 댐 완성 후도 직접 자유수면에 접하여 습윤, 건조가 반복되므로 풍화하기 쉬운 연암의 경우에는 표면에 얇은 아스팔트 코트 등을 하는 것이 좋다.

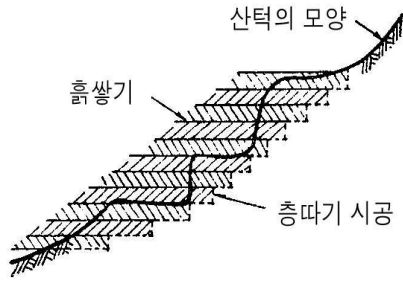


그림 5.2.1 토질기초의 처리

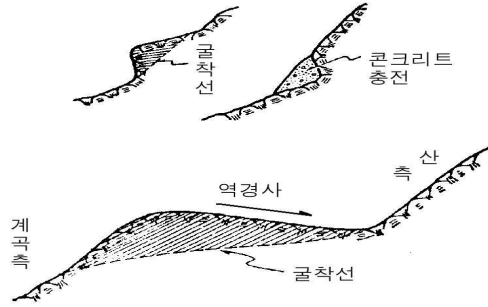


그림 5.2.2 양안부를 정형하는 방법

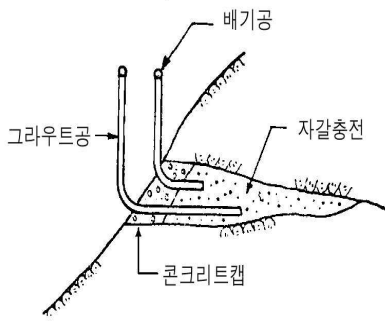


그림 5.2.3 개구 균열의 처리

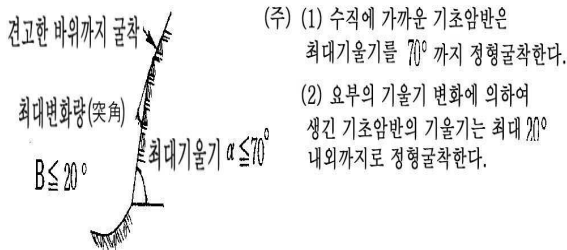


그림 5.2.4 사면정형굴착의 최대기울기

(4) 지수 트렌치 이외의 구역의 기초는 일반적으로 암굴착 필요가 없다.

나) 터파기와 끝마무리면

터파기를 마친 표면은 평활하게 할 필요는 없으나 과도한 요철은 제거해야 하며 한계는 암반 기초인 경우 바닥에서 50~100 cm 정도로, 양안 접속부에서 30~50 cm 정도로 한다.

암표면에 부착한 암설면지 등의 잡물은 압축공기나 워터제트 등을 이용하여 완전히 제거하고 암표면의 균열이나 오목한 부분은 그나이트, 모르타르, 사력분을 함유하지 않은 점성토 등으로 메워야 한다.

암반 기초에서도 풍화하기 쉬운 것, 예를 들면 셰일이나 이암 등의 경우는 끝마무리면을 조금 두었다가 되메움을 하기 직전에 최종 끝손질을 한다든지 또는 최종 단면으로 끝손질을 하여 놓고 그나이트나 아스팔트 스프레이 등으로 풍화를 방지한다.

토질기초에서는 표면이 건조되어 경화되어 있거나 미세 균열이 있는 경우에는 되메움 전에 살수하여 충분히 다진 후 시공한다.

기반과 차수부 축제의 접속부에서는 기반 및 흙쌓기의 변형이 생기더라도 확실한 밀착이 되도록 사력분이 함유되지 않고 전단변형에 대하여 팽창하지 않는 소성토를 사용하여 흙쌓기를 하는 것이 좋다. 되메움하려면 흙을 얇게 펴서 램머나 탬퍼 등으로 다진다. 탬핑류 롤러는 그나이트를 떨어지게 한다든지 암모서리에 충돌하여 암모서리를 파괴시키기도 하므로 이 단계의 전압에서는 적당하지 않다. 또 플레이트 롤러를 사용하는 경우에도 사용상의 점성이 강하고 펴는 두께가 얇은 때에는 롤러면에 부착하여 흙의 전압이 잘 안되는 일이 있으므로 가급적 인력시공에 의한 전압이 바람직하다.

소성토 두께는 암반의 요철의 정도에 따라 다르다. 일반적으로 10~20 cm 정도로 한다.

다) 양안부 처리

양안 접착부는 가능하면 1 : 6 정도의 완만한 경사로 굴착하여 롤러를 사용하여 다지는 것이 좋다. 그림 5.2.5는 양안 접합부의 굴착 예를 보여주며, 표 5.2.1은 양안 접합부의 굴착단면의 예를 나타내고 있다. 되메움할 때 제일층은 점질토의 함수비를 크게 하여 고루 펴고 평롤러 또는 램머로 다진다. 양측 롤러(sheep foot roller)는 암석 표면을 거칠게 하거나 암 모서리에 충격을 가하여 기반을 파괴 손상시키기 쉬우므로 이 때의 전압에는 적합치 않다.

또 평탄한 넓은 부분이 있더라도 절대로 산측으로 경사된 역경사 부분을 만들면 안된다. 단, 국부적인 것으로 굴착에 의한 정형이 곤란할 때는 콘크리트로 정형하는 것도 무방하다. 횡단방향의 단면에 대해서는 어떠한 단면에 있더라도 약간 하류가 높도록 경사를 두도록 한다.

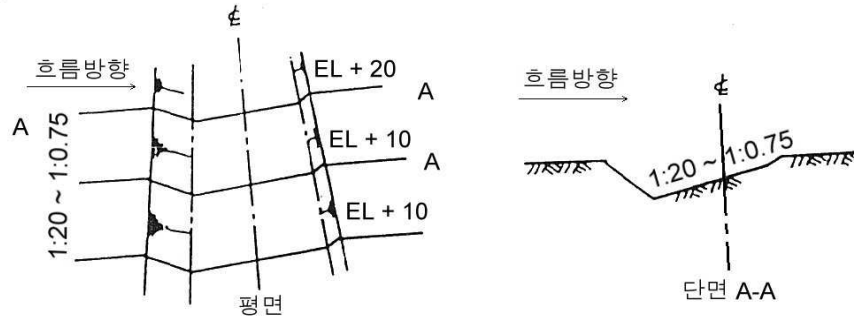


그림 5.2.5 양안 접합부의 굴착

표 5.2.1 차수벽 트렌치 양안 접합부의 굴착단면의 예

코어 트렌치 암반선의 종단기울기	1 : 20보다 느린 기울기	1 : 15	1 : 10	1 : 7.5보다 급한 기울기
횡단기울기	1 : 20	1 : 15	1 : 10	1 : 7.5

라) 배수처리

(1) 지하수 처리

댐터의 굴착 기초처리 및 축조시에는 필요에 따라 지하수위의 저하를 도모할 필요가 있다. 지하수위 저하공법에는 일시적인 경우와 장기적인 경우에 따라 다르지만 공법을 분류하면 ① 중력배수식 지하수위 저하공법(깊은 우물 공법), ② 강제배수식 지하수위 저하공법(웰포인트, 전기침투공법, 진공배수(압기배수)공법) 등이 있다. 또 집수터널 등의 공법도 있다. 공법의 선택에는 사전에 지하수의 용출량, 지하수두, 지반의 투수성 등을 충분히 검토할 필요가 있고 장기적인 목적에서 보면 지하수 관측용 우물은 반드시 설치해야 한다.

(2) 용출수, 강수의 처리

지수 트렌치 내의 용출수는 완전히 막아서 항상 건조상태 또는 습윤상태의 기초면에 불투수성 재료를 깔아야 한다. 콘크리트의 시공에 있어서는 콘크리트 치기도 같은 방법에 의한다.

지수 트렌치 하상부의 굴착에 있어서는 자주 다량의 용출수를 만나게 된다. 특히 하상 퇴적층이 깊은 경우에는 가물막이 댐의 기초를 침투한 물이 지수 트렌치 안으로 유입하기 때문에 이 수량을 충분히 배제할 수 있는 펌프시설이 필요하다. 이 경우 펌프장은 차수부 밖에 설치해야 한다. 용출수 상황에 따라서는 웰포인트 공법이나 지수벽에 의한 차수공법을 사용할 수도 있다. 동결공법도 있지만 경비면에서 볼 때 특수한 경우 이외는 이용되지 않고 있다.

지수 트렌치의 양날개부에서는 누수 또는 보링, 그라우팅의 배수 등 지수 트렌치 안으로 유입되는 모든 표면수도 차단해야 한다.

이를 위해서는 축제 시공면보다 높은 위치에 배수구를 설치하여 양측부로부터의 유입수를 모아서 이를 차수부 밖으로 배제하도록 해야 한다.

차수부 축제 작업면과 암반과의 접촉부에서 집수시키면서 순차로 성토작업을 해나가는 것은 가장 중요한 암반과의 접촉면을 항상 습윤상태로 다지는 것이 되므로 이와 같은 방법은 피해야 한다.

지수 트렌치안의 기반으로부터의 용출수는 원칙적으로 그라우팅에 의하여 완전히 막아야 한다. 일반적으로 그라우팅은 시멘트를 사용하지만 용출수가 많은 경우에는 쉽게 막을 수 없으므로 급속히 경화하는 약액주입을 실시하는 것도 유효한 때가 있다. 파이프를 용출수를 일시적으로 외부로 모이도록 하고 그 주변을 콘크리트로 고결시키고 어느 정도 제당이 올라간 후에 파이프를 통하여 역으로 그라우팅을 하는 방법도 있다.

용출수가 작은 경우에는 적당한 크기(일반적으로 30~50 cm)의 원통을 용출하는 곳에 세워 주위의 차수재료를 잘 다지고 30~50 cm의 두께가 되면 원통을 빼내어 즉시 안의 물을 퍼내고 빨리 차수재료로 되메움한다(그림 5.2.7 참고). 용출수가 좀 많은 경우에는 상기 원통속에 $\phi=12.7\sim 25.4$ mm 정도의 파이프 한 개를 세우고 주위를 작은 자갈 또는 잡석으로 메우면서 원통을 빼내며 주위의 차수부를 다져 나간다(그림 5.2.8 참고).

용출량에 따라 적당한 깊이에 달하면 다시 파이프를 한 개 추가하여 세우고 원통을 빼내어 2개의 파이프를 세운 그대로 차수부를 축제하여 간다.

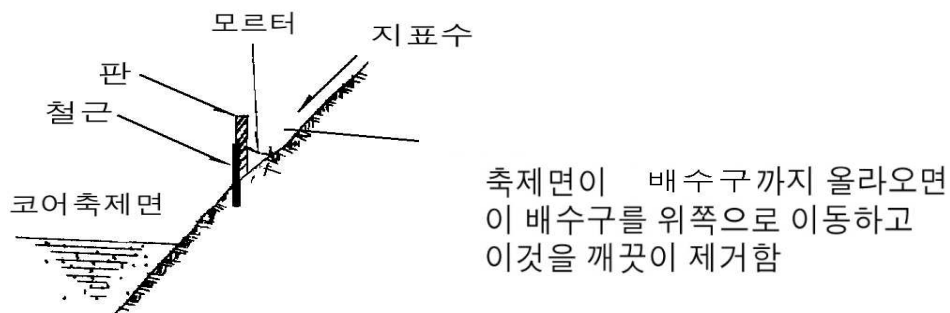


그림 5.2.6 차수벽 트렌치 양안으로부터의 우수 처리법

4~5 m의 두께로 차수부가 올라온 후 깊은 쪽의 파이프를 통하여 짙은 농도의 그라우팅을 아주 저압으로 주입한다. 이 경우 다른 한 개의 파이프는 배기공이므로 이 파이프로부터 그라우트재가 나오기 시작하면 주입을 그친다.

주입시의 압력은 상재하중의 최대 80 % 이하로 하고 농도는 물-시멘트비로

1 : 1 ~ 0.5 : 1(중량비)인 것이 적당하다.

지수 트렌치 하상부 전역으로부터 용출하는 경우에는 원칙적으로 그라우팅으로 막아야 한다. 그러나 기초에 대하여 요구되는 수밀성 이상으로 지수할 필요는 없고 임의로 수밀성을 증대하여도 비경제적이다.

따라서 기초의 투수성이 허용범위로 개량된다면 다소의 용출수가 있다 하여도 그라우팅을 종료시키는 일이 있다. 이런 경우는 지수 트렌치 양측에 도랑을 설치하여 용출수가 많은 경우와 같이 두 개의 파이프를 설치하여 적당한 높이까지 성토된 시점에서 그라우팅을 한다.

이 경우 최초는 배기용 파이프로부터 물이 배출하게 되므로 주입 페이스트와 같은 정도의 주입재가 나올 때까지 주입한 후 본격적인 주입을 실시한다. 또 지수 트렌치의 양측만으로는 충분한 배수가 불가능한 경우가 있는데, 이런 경우는 지수 트렌치의 중앙부에도 도랑을 설치하여 같은 방법으로 그라우팅 처리를 한다.

마) 단층처리

기초압반에 나타난 단층 또는 파쇄대는 지지력 부족을 초래하여 부등침하를 일어나게 하거나 누수의 원인이 되며, 세립분이 유출되면서 파이핑 현상을 일으키게 하는 등의 위험이 있다. 소규모의 것은 그라우팅으로 처리할 수 있으나 적어도 폭 50 cm 이상의 단층점토를 갖는 것은 특별한 처리가 필요하다. 단층이 존재하는 위치, 방향에 따라 보통 연약한 부분을 가능한 심도까지 굴착하고 콘크리트로 치환하는 방법이 채용되고 있다.

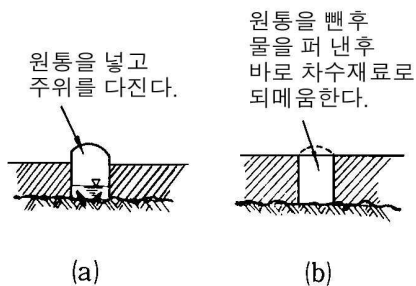


그림 5.2.7 차수재료 축제공법 (용수 소량)

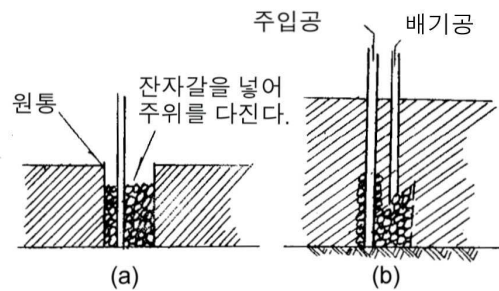


그림 5.2.8 차수재료 축제공법 (용수다량)

필댐에서는 지지력 문제는 콘크리트 댐보다는 중요한 요소가 되지 않을 때가 많으나 단층점토 표면의 연약화를 방지하고 그라우트의 누출을 방지하며

코어 접촉면을 주위의 암반과 같은 상태로 하여 전압을 균일하게 하는 목적 등으로 코어 트렌치 안에 나타나는 단층의 전 구간에 걸쳐 콘크리트 캡을 설치하는 것이 좋다. 콘크리트 캡의 길이는 4.5.2의 기준을 적용하여 결정한다.

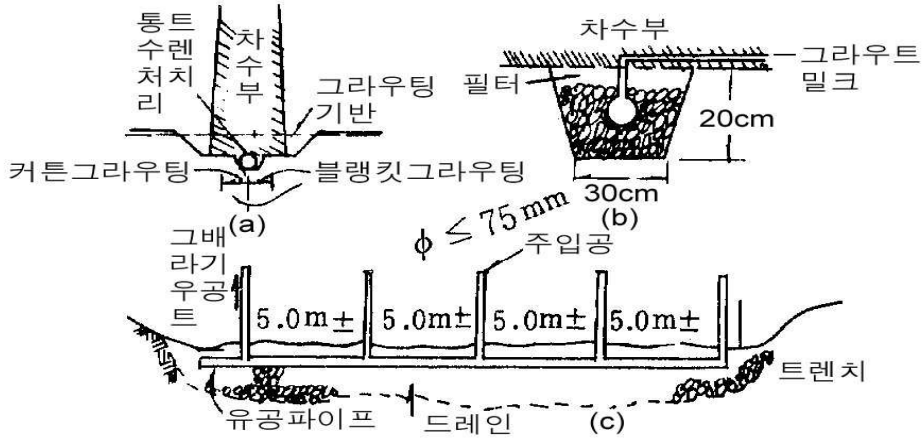


그림 5.2.9 그라우트용 슬러리 트렌치의 종단

이상 기술한 콘크리트 캡 외에 침투로 길이를 길게 하여 유속을 제한하며, 단층점토의 유출을 방지하기 위한 깊은 지수벽이 필요하다. 지수벽 깊이는 단층의 상태, 위치, 각도, 방향 등에 의하여 경험적 판단으로 깊이를 결정하는 것이 보통이다. 지수벽의 시공은 보통 단면에 연한 도갱(shaft)을 파고 이를 수밀성 콘크리트로 충전하고 암반과의 접촉면은 그라우팅에 의하여 보다 수밀성을 높이도록 한다. 도갱을 설치하는 그라우트 커튼과 교차되는 것에 1개를 세우거나 또는 상하류로 나누어 2개를 설치하는 등의 방법을 사용하고 있다. 2개의 경우는 일반적으로 상류측을 깊게 하고 하류측 1/2 정도로 한다. 이러한 지수벽은 콘크리트 댐에서 특히 많이 사용한다.

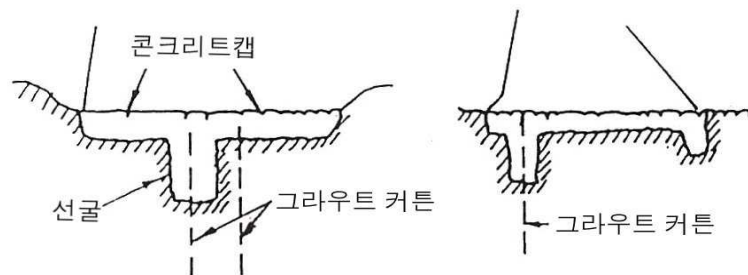


그림 5.2.10 코어 트렌치의 차수벽

바) 풍화성 암반의 임시 보호대책

대기에 접촉되면 급격히 풍화한다든지 지하수로 팽윤한다든지 하는 암반에서는 흠쌓기 개시전에 충분히 보호하여 두어야 한다. 방법으로는 다음과 같은 것이 있다.

(1) 최종의 터파기 바닥면까지 도달하기 이전에 지수 트렌치 양측의 배수구를 최종 터파기 바닥면보다 50 cm 이상 파내려서 지하수위를 저하시킨다. 다음에 최종 바닥까지 굴착하여 청소한 후 곧 가열 아스팔트 또는 우레탄 고무 등을 암반에 뿔어붙여 불투수 피막을 형성한다.

(2) 그라우팅을 사전에 실시하고 터파기 부근의 심도까지 플러그 그라우팅을 한다. 그리고 단기간에 차례로 소성토의 흠쌓기를 개시한다. 더욱이 모르타르의 뿔어붙임 등 흠쌓기 개시 전에 제거해야 하는 공법은 피한다.

또 모래지반의 사면에 있어서는 강우에 의한 도량형태의 침식이 문제가 된다. 이것은 지표수가 한 개소에 집중되는 일이 제일 큰 원인이고 임시의 배수시설을 충분히 하는 동시에 모래사면에는 가열 아스팔트나 수밀성 우레탄 고무액 등을 뿔어 붙여 불투수 피막을 형성시키는 방법도 있다.

다. 사토처리

사토의 적재방법 및 운반방법은 굴착공법, 굴착량, 적하장 및 사토장의 위치 및 넓이와 관련시켜 결정하는 것으로 하고 적재기계와 운반기계와는 잘 균형이 잡히도록 조치한다. 하상부에서의 작업은 출수시, 발파시에 중기가 용이하게 대피할 수 있는 노선을 설치할 필요가 있다. 사토장의 위치는 부근의 지형, 운반거리, 사토량 등에 의하여 정해지지만 그 용량은 굴착에 의한 증가량 또는 감소량을 고려해야 한다.

사토의 붕괴 유출에 의하여 하류에 피해를 끼칠 우려가 있는 경우는 사토장의 기초처리, 지하수 배제, 주위로부터의 지표수의 배제 계통을 확립함과 동시에 사토사면의 보호 또 탁수처리 등 실정에 맞는 적절한 처리를 강구할 필요가 있다. 댐의 상류에 사토하는 경우는 출수시에 가배수로에 퇴적되어 홍수의 유입을 저해하지 않도록 해야 한다.

5.2.2. 그라우팅 시공

가. 찬공 및 공내세척

찬공 빗트는 설계서에 명기한 규격의 것을 사용하여야 하나 설계보다 더 큰 구경의 빗트사용은 허용될 수 있다. 찬공 룯드에는 그리스 또는 기타 윤활유

가 도포 또는 점착되어서는 안되며 찬공수는 청수를 써야 하고 이수를 쓸 경우에는 감독원의 지시를 받아야 한다.

계획심도까지 찬공이 끝나면 빗트를 공저로부터 약간 들어올린 후 펌프로부터 물 공급량을 증가시키면서 파쇄물을 배제 시켜야 한다. 이때 롯드를 30~60cm 정도 오르내려 파쇄물이 뜨도록 하여 가능한 한 대부분의 파쇄물을 제거한다.

찬공빗트, 케이싱, 공경은 4.5.6절의 표를 기준으로 한다. 중심점토 또는 토사층의 찬공 때 굵은 자갈 또는 호박돌이 혼재되어 원활한 찬공이 되지 않을 때 또는 시추공벽과 케이싱 사이의 공간을 주입해야 할 경우에는 드래그 빗트(drag bit) 또는 Odex 빗트를 사용 할 수 있다.

공내세척을 할 때 기초지반 자체에 많은 양의 풍화물이 있거나 분산하는 성질의 점토 성분이 있어 덩어리가 만들어지는 경우로서 물 사용만으로는 깨끗이 제거되지 않을 때는 압축공기를 함께 사용 할 수도 있다. 이때 플라스틱 호스나 고압호스 끝에 엷비스듬하게 자른 쇠파이프를 달고 이를 위에서부터 아래로 내리면서 공내를 세척한다.

나. 투수시험

암반층에 대하여 주입직전에 실시하는 루전 투수시험은 15분 동안하며 매 5분 마다의 주수량과 압력을 기록한다. 시험압력은 시험공의 수압시험처럼 저압→고압→저압을 적용치 않고 1 bar를 적용한다.

암반층에 대하여 주입직전에 실시하는 루전투수시험은 그라우팅 설계단계의 투수시험이나 시험공(pilot hole) 투수시험과는 다소 다르다. 이 시험의 목적은 주입코저하는 구간의 투수성을 파악하여 초기 w/c비 결정에 참고하고 주입예상량을 대략 추정하거나 가까운 위치에서 앞서 주입된 공의 주입영향이 여기까지 미쳤는지를 평가해 보기 위해 즉 내삽법의 효과를 판단해 보고자 함이다. 그리고 주입된 물이 지표로 또는 인접공으로 누출되는지를 확인하므로써 주입재의 누출에 대비함에 있다.

후속해서 시행하는 시공주입압력과 같은 압력을 적용코자하는 사람도 있으나 그럴 필요가 없다. 물이 주입재보다 쉽게 들어가며 불필요하게 높은 압력의 물을 보내면 주입때보다 오히려 쉽게 암반이 변위될 위험이 있기 때문이다.

다. 주입압력

주입압력은 지층이 변위하거나 절리계에 탄성이 미치지 않는 범위에서 최대

로 가한다. 주입압력은 4.6.3절의 투수시험을 기준으로 하나, 현장에서 주입시험을 실시하여 파쇄 또는 변위되는 압력을 찾아서 이의 85 %를 적정주입압력으로 채택한다.

주입공에 적용하는 압력은 지층이 변위하거나 절리계에 탄성(spring)이 미치지 않는 범위에서 최대로 가한다. 그러나 적정주입압력을 결정하는 확실한 정량적 방법은 없다. 이는 절리의 크기, 형태, 방향, 연속성과 암석의 강도, 주입구간의 길이 및 인근공의 주입효과 등 영향을 미치는 인자가 너무나 많기 때문이다. 층리가 수평상인 퇴적암에서는 상재하중만큼 주입압력을 가할 수 없는 경우가 있는가 하면 괴상인 경암에서는 상재하중의 10배에 달하는 압력을 가할 수 있는 경우도 있다.

믿을만한 최대 주입압력 결정은 각 현장의 시험그라우팅 과정에서 압력을 조금씩 증가시켜가면서 파쇄가 일어날 때까지 시험을 해보는 것이다. 이 시험 때는 빈배합의 묽은 주입재를 계속 보내어 주입재로 인해 틈새가 빨리 막히지 않도록 하면서 파쇄압력을 찾아내야 한다. 이때는 주입구간의 길이와 심도를 다양하게 해보는 것이 좋다. 주입량은 낮은 압력에서보다 압력이 증가하면 비례하여 서서히 더 많아지나 파쇄압력에 달하면 새로이 생겨난 틈새 또는 틈새 확대에 의해 주입량이 급격히 증가한다.

주입시험의 결과를 그림 5.2.11 처럼 그려보면 적정한 주입압력을 찾아낼 수 있다. 일반적으로 파쇄압력의 85 % 정도를 적정 주입압력으로 한다. 경험법칙에서 암반의 주입압력은 1 psi/ft로 정하고 있는데, 미터법 단위로 환산하면 0.23 kgf·cm²/m 이다. 이는 단순히 주입대상심도 상부 암반의 중량만을 생각하고 (144 lb/ft³, 2,300 kgf/m³) 암반의 형상, 물리적 조건, 주입재의 농도, 상부구조물의 종류 및 상부지층의 그라우팅 시공여부 등을 고려치 않은 것이다.

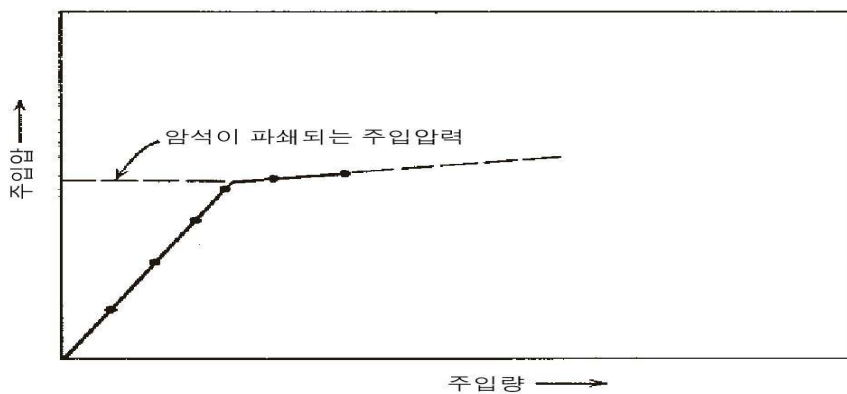


그림 5.2.11 주입시험에서 파쇄압력 확인

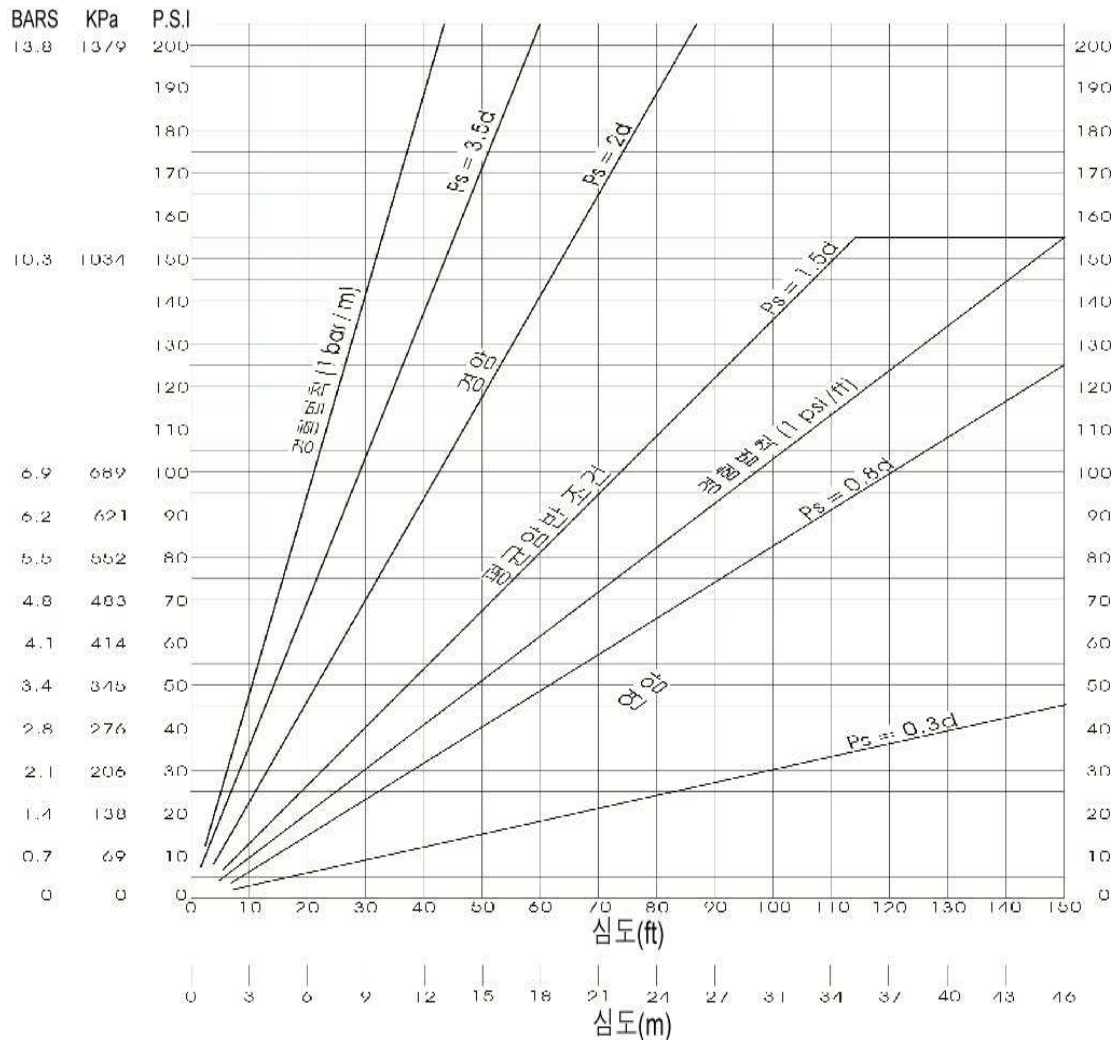


그림 5.2.12 심도별 적정 주입압력

이 기준은 psi 단위를 사용하는 국가에서 오랫동안 지켜온 규정으로서 대개의 압력 그래프에서 기준선이 되고 있다.

그러나 이는 가장 안전한 압력으로서 이것을 초과하는 높은 압력을 적용하고 있다. 미터법 단위를 사용하는 국가에서는 1 bar/m 를 기준으로 하고 있어 미국보다 훨씬 높다.

이 두 가지 기준은 약 4배의 차이가 있어서 어느 것이 좋은 것인지 헷갈리게 하나 두 가지 다 널리 적용하고 있다. 이는 주입압력에 대한 기본개념이 다른 것으로 낮은 압력기준은 적절한 압력을 적용하여 주입대상지층을 교란(disruption)시키지 않겠다는 의미이고, 또 다른 기준은 신중하게 높은 압력을 적용하여 암반을 변위시키고 균열을 확대시켜 주입체의 침투를 용이하게 하려는 개념이다. 즉 수직방향으로도 균열을 확장시키고 수평방향으로도 들림현상

이 일어나도록 전방향으로 수압파쇄시켜서 주입하는 방법이다.

라. 주입공법

1) 단단식(單段式 single stage) 그라우팅 공법

주입공의 심도에 관계없이 한번에 전심도를 찬공·주입하는 방법으로서 보통 얕은 공일 때 적용한다. 이 방법은 컨솔리데이션·블랭킷 그라우팅에 적용되며 암반표부에 패커를 물려서 주입하며 고품질의 그라우팅이 요구되지 않는 다소 질이 떨어져도 괜찮은 경우에만 적용한다. 기초표면 부근의 암반이 좋지 않으면 표면에서의 누출이 심하므로 주입재의 누출방지에 노력해야 한다.

2) 하향식 (down stage or descending) 그라우팅 공법

주입공이 10 m 이상으로 깊을 경우에는 주입구간을 몇 단계로 나누어서 주입하는데, 이렇게 단계별로 주입을 하면 시멘트의 침하와 블리딩되는 물의 양이 줄어서 양호한 주입효과를 가져오며 주입압력을 단계별로 다양하게 적용할 수 있다. 그리고 주입재의 표면 누출과 절리의 연결로 생기는 누출현상을 쉽게 처리할 수도 있다. 이 공법은 1단계 심도를 찬공주입한 후 주입재가 다소 경화된 후 2단계를 찬공주입하는 것으로 단계(stage)의 길이는 지표에 가까운 곳에서는 짧게 하고 깊은 곳에서는 길게 하는 것이 일반적이다. 1단계의 길이는 일반적으로 5 m 를 잡으나 암질이 좋지 않은 경우에는 3 m 정도로 하는 것이 더 좋다. 그 다음에 2단계 주입을 끝낸후 아래단계로 공사를 계속 진행시키는 방법이다. 다음 단계의 찬공은 앞 단계에서 주입 후 어느 정도 시간이 경과하여 종결 시작단계에서 실시하는데 너무 오래두면 주입재가 경화되어 재찬공 비용이 많이 들기 때문이다. 철저한 시공이 요구되는 경우에는 24시간 경과 후 찬공을 하는 것이 좋다.

2단계를 찬공 후 주입할 때는 패커를 1단계의 하단부분에 물려야 하는데 이는 2단계 시작부분에 패커를 설치하면 물린 부분의 균열이 주입되지 않고 남아 있을 위험이 있기 때문이다.

이 공법은 주입을 완료한 구간에 패커를 설치하기 때문에 주입재가 패커와 공벽사이로 새는 일이 없으며 붕괴되는 층이 있어도 주입·고결후 하부 찬공을 계속하므로 붕괴에 의한 패커 및 주입관의 재밍현상 (jamming)이 없는 장점이 있다.

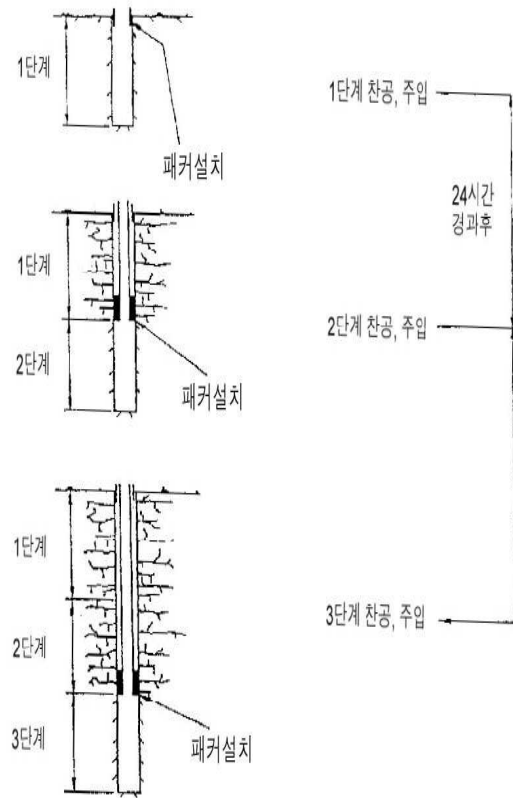


그림 5.2.13 하향식 그라우팅공법

3) 상향식 (upstage or ascending) 그라우팅 공법

전 심도를 찬공하고 나서 깊은 심도부터 몇 단계로 나누어 상부로 올라오면서 주입을 하는 방법이다. 전심도를 찬공하고 나서 단계별로 수압시험을 한 후 단속적(斷續的)인 주입을 하게되므로 미국 공병단에서는 이 공법을 “stop grouting”이라고 한다. 그러나 찬공수가 다량 누수되거나 지하수가 피압되는 구간에서는 예외적으로 찬공을 중단하고 주입을 한 후 계획심도까지 찬공해야 한다. 상향식으로 찬공주입을 할 때는 내삽법에 의한 인근 공의 찬공주입이 있어서는 안된다. 주입압력은 심도가 깊은 곳에서는 높은 압력을 가할 수 있으나 상부로 올라 갈수록 상재하중이 줄어들어 적용 압력은 줄어든다.

이 공법은 주입공이 무너지지 않을 경우에만 적용이 가능하다. 찬공장비가 대기하여야할 필요가 없으며 재찬공이 없어 작업이 신속하므로 비용이 적게 드는 장점이 있다. 또한 1회 찬공으로 지반상태를 모두 파악할 수 있다.

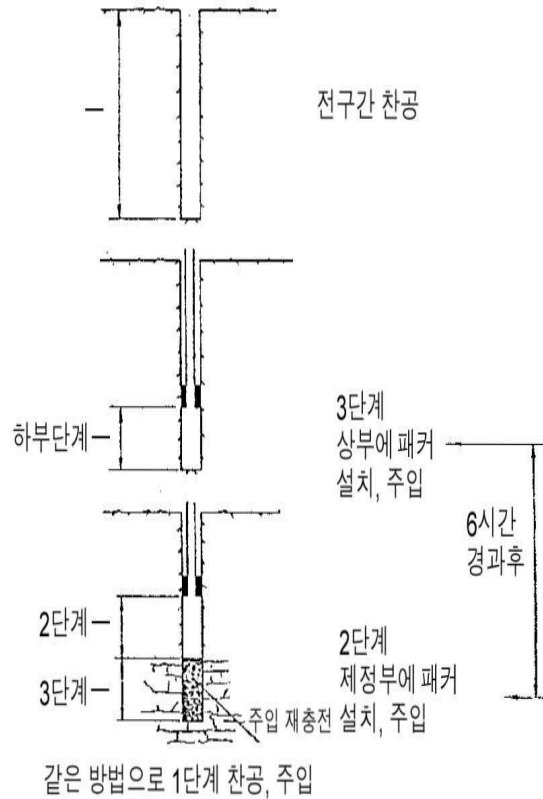


그림 5.2.14 상향식 그라우팅공법

패커를 다음의 상부 단계로 옮기는 시간은 방금 끝난 단계의 주입압력이 소멸되고 나면 패커를 위의 단계로 올려 주입을 하는 경우와 최소 6시간이 지난 후 다음 단계의 주입을 하는 경우가 있다. 첫째의 경우는 찬반의 의견이 있다. 찬성하는 측은 하부 단계에 주입된 주입재가 위의 단계에서 가해지는 주입압력에 의해 교란되지 않는다는 주장이고 반대하는 측은 높은 지하수 압력으로 인해 주입재가 고결되기 전에 패커를 제거하면 주입재가 공내로 밀려들어 온다는 주장이다. 실제 패커를 고결에 필요한 수 시간 동안 설치한 자리에 두면 나중에 인양하더라도 패커와 주입관에 끼어 있는 주입재를 깨끗하게 청소하기란 불가능하다. 이러한 상황 발생이 상향식의 가장 큰 결점이기도 하다.

4) 넛플 (nipple or down stage without packer) 그라우팅 공법

이 방법은 1단계의 찬공주입을 마친 후 2단계를 찬공주입하는 것으로 하향식과 같은 순서로 지표부터 심부로 그라우팅하는 방법이다. 틀리는 점은 하향식이나 상향식과 같이 단계를 구분하기 위해 패커를 사용하지 않는다는 것이다. 즉 지표에 설치한 넛플에 주입장치를 연결하여 1단계부터 마지막 단계까지 넛플로부터 공내로 주입재가 공급된다는 것이다.

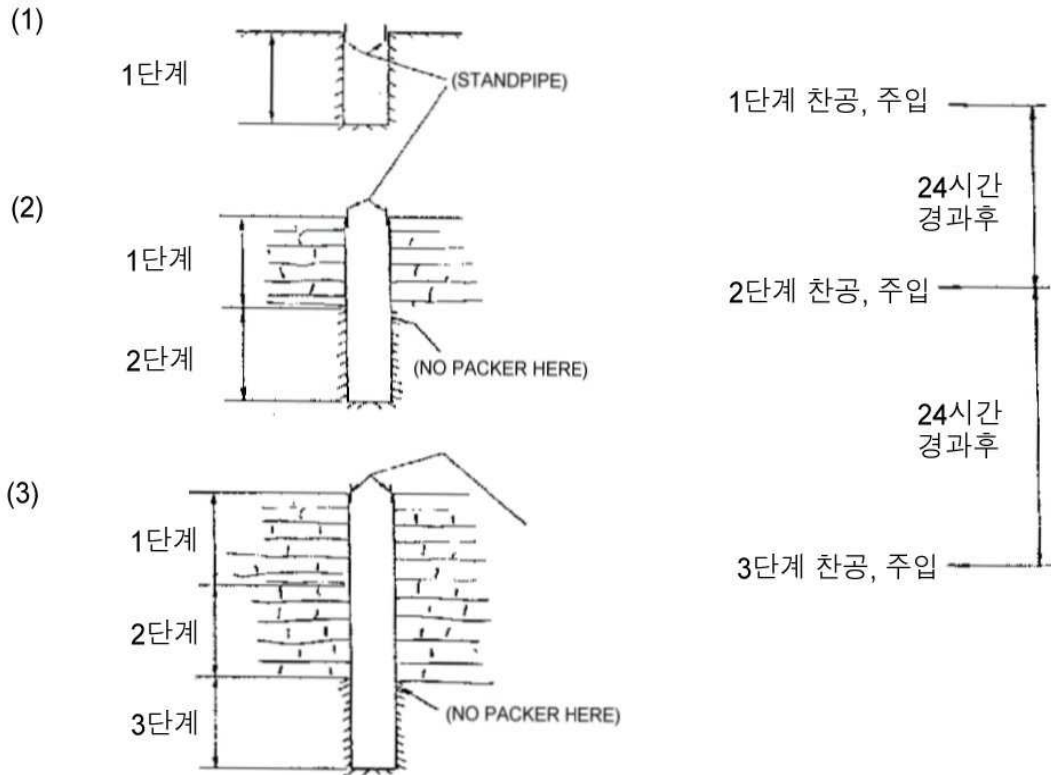


그림 5.2.15 넛플 그라우팅공법

주입장치는 비교적 단순하며 설치와 제거가 편리하다. 패커를 사용하지 않으므로 위에 주입재가 쌓이는 염려도 없다. 최초 1단계에서는 높은 주입압력을 적용할 수 없으나 높은 주입압력이 적용되는 2단계 이후의 주입압력이 계속하여 1단계를 포함한 지표에 가까운 부분에 적용되므로 앞 단계 주입에서 부실한 부분이 남아있을 때는 계속하여 보장되는 효과가 있다. 결국 1단계에 가해지는 주입압력은 당초보다 점점 더 커지는 효과가 있으며 압력변화는 시공중에 확인이 된다.

이 방법은 수두압이 1단계 그라우팅에 가해지는 주입압력보다 더 큰 댐의 커튼 그라우팅에 적용하면 누수의 위험이 가장 큰 최상부단계의 보강이 계속 이루어지므로 높은 댐에서는 이 공법을 적용하면 지반개량의 효과가 크다.

주입후 24시간 정도 경과후 다음 단계 그라우팅을 하므로 대단히 번거롭고, 비교적 약한 지반에서는 주입재의 지표누출이 심하여 귀찮은 방법이기도 하나 공내에 패커를 물려 주입할 때 불가피하게 남을 수 있는 시공불량 구간이 없다는 장점이 있어 고품질의 그라우팅이 요구되는 중요한 댐에서는 이 방법이

가장 많이 적용되고 있다. 패커를 설치하는 불편이 없다는 것도 큰 장점이다. 패커를 너트에 설치하여 주입하면 똑같은 시공효과를 거양할 수 있을 것으로 생각할 수 있으나 패커에는 브리더발브를 설치할 수 없어 블리딩되는 물 또는 빈배합의 그라우트를 배제시킬 수 없으므로 질 개선에 한계가 있다. 미국 공병단에서는 이 방법을 stage grouting이라고 한다.

마. 주입재의 물 : 시멘트비

포대(40kg 들이)단위를 사용할 때는 용적비를 원칙으로 하며, 이때 양회 1대의 절대용적은 12ℓ, 흐트러진 상태의 용적은 27ℓ를 기준으로 한다.

기본이 되는 물 : 시멘트비는 5 : 1, 4 : 1, 3 : 1, 2 : 1, 1 : 1, 0.8 : 1, 0.6 : 1, 0.5 : 1 이며 주입재 농도는 이의 순서에 따라 변환시키는 것을 원칙으로 한다. 그러나 균열 틈새가 클 때는 3 : 1 또는 더 부배합으로 시작한다. 특별한 경우 이외에는 부배합에서 다시 빈배합으로 변환시켜서는 안된다.

표 5.2.2 중량 배합비 사례

물 : 시멘트	100 ℓ믹서		200 ℓ믹서		비 고
	kg	대	kg	대	
10 : 1	10	0.25	20	0.50	
10 : 2	19	0.47	38	0.95	
10 : 3	27	0.68	35	1.38	
10 : 4	35.5	0.88	71	1.75	
10 : 5	43.5	1.08	87	2.18	
10 : 6	50.5	1.26	101	2.53	
10 : 7	57.5	1.43	115	2.88	
10 : 8	63.7	1.59	127.5	3.18	
10 : 9	70.7	1.74	140	3.5	
10 : 10	75.8	1.90	151.6	3.79	

시멘트량에 대한 물량의 비 즉 물 : 시멘트 표시는 용적비와 중량비 두가지이다. 콘크리트 공사에서는 중량비를 사용하는 것이 일반적이거나 그라우팅 공사에서는 두 가지가 모두 쓰이고 있다. 그러나, 벌크(bulk)를 쓰지 않고 포대에 담긴 양회를 쓰는 그라우팅 현장에서는 용적비가 더 편리하다. 저울을 현장에 비치하여 매 배치당 양회의 무게를 달고 유량계로 물의 양을 계량할 수 있는 현장에서는 중량비가 유용할 수 있다.

물론 40kg 단위 양회를 포 단위로 믹서에 집어넣고 이에 맞추어 물을 중량개념

으로 집어넣는 중량비 방법이 불가능한 것은 아니지만 용적비에 비해 불편하다. 용적비 시멘트 1포의 용적은 시멘트 자체의 절대용적이 아니라 흐트러진 상태의 용적이며 흐트러진 상태의 용적에는 공기가 포함되어 있다.

시멘트의 비중은 3.15정도이므로 시멘트 1포 40 kg의 절대용적은 $40/3.15=12.7$ ℓ이다. 다짐의 상태에 따라 다르나 흐트러진 상태의 환산계수는 대개 2.1이므로 실제의 흐트러진 상태의 용적은 $12.7 \times 2.1 \approx 27$ ℓ이다. (양회 $1 \text{ m}^3 = 1500 \text{ kg} = 37.5$ 대 \therefore 양회 1대 ≈ 27 ℓ) 벌크로 반입되는 시멘트일 경우에는 중량비로 하며 이때의 배합비 기준은 표5.2.2와 같다.

바. 주입의 완료

주입을 언제까지 하여야 할 것이냐 하는 기준, 즉 주입의 완료기준은 미국 개척국에서는 주입압력이 $\circ 3.5 \text{ kg/cm}^2$ 에서 $28 \text{ ℓ}/20\text{min}$ 이하 $\circ 3.5 \sim 7.0 \text{ kg/cm}^2$ 에서 $28 \text{ ℓ}/15\text{min}$ 이하 $\circ 7.0 \sim 14.0 \text{ kg/cm}^2$ 에서 $28 \text{ ℓ}/10\text{min}$ 이하 $\circ 14.0 \text{ kg/cm}^2$ 이상에서 $28 \text{ ℓ}/5\text{min}$ 이하의 주입량이 될 때까지로 정하고 있다.

미국 공병단의 기준은 첫째, 15분 간 측정결과 주입재가 전혀 들어가지 않을 때까지 둘째, 최대 주입압력의 $3/4(75\%)$ 에서 전혀 들어가지 않을 때까지 셋째, 5분 간격으로 2회 10분을 측정하였을 때 $28 \text{ ℓ}(1 \text{ ft}^3)$ 이하가 들어갈 때까지($\approx 30 \text{ ℓ}/10\text{분}$) 주입하여야 한다는 등 여러 가지가 제안되고 있다.

어떠한 기준이 좋은지는 현장여건에 따라, 즉 적용 주입재의 농도와 압력에 의해 결정하여야 할 문제이나 미국공병단의 세 번째 방법이 시공전의 수압시험 자료와 비교 판단할 수 있어 가장 실용적인 기준으로 생각된다.

사. 재주입

$w/c=2$ 또는 더 빈배합으로 최종 주입을 완료하였을 때 $25 \text{ ℓ}/\text{m}$ 이상의 시멘트가 들어 갔거나, $w/c=1$ 또는 더 부배합으로 최종주입을 마감하였을 때 $50 \text{ ℓ}/\text{m}$ 이상의 시멘트가 들어갔을 때는 재주입한다. 이 경우 1차 주입 완료후 최소한 24시간이 경과한 후에 재주입을 착수한다.

이는 빈배합 주입재를 사용함으로써 블리딩 통로나 공극이 남아있을 가능성이 크며, 부배합 주입으로 많이 들어간 후자의 경우는 주입재 확산이 한 방향으로만 집중되어 충분히 틈새가 메워지지 않았을 가능성이 있기 때문이다.

위의 경우와는 달리 주입재의 누출, 주입공간의 연결, 암석의 변위가 있었던 경우는 응급조치만을 한 상태이므로 균열의 틈새가 양호하게 채워졌을 가능성이 거의 없기에 재주입한다.

1차 주입 완료후 최소한 24시간이 경과한 후에 재주입을 실시하여야 하는데, 주입재가 고결되고 블리딩된 물이 빠져 나가기를 기다리기 위해서이다. 그러나 $w/c=2$ 정도로 주입완료 하였다면 대기시간은 그리 길지 않다

아. 발파영향검토

그라우팅을 시공하고 있는 현장주변의 발파가 주입재의 고결에 영향을 미치는지 판단한다.

발파는 고결되지 않은 주입재 특히 압력상태에 있는 주입재에 파동을 미쳐 고결에 나쁜 영향을 미친다. 그러나 댐 공사현장의 공정관리가 모든 발파작업을 끝내고 나서 그라우팅 시공을 할 수 있으면 좋겠지만 대부분의 경우 그렇지 못하다. 따라서 그라우팅 공사관계자는 발파에 의한 진동영향에 대해 많은 걱정을 하게 된다. 화약류의 폭발에 의해 생기는 에너지는 대부분 매질의 파쇄에 소비되고 남은 에너지 일부는 매질을 전파하면서 지반진동을 일으킨다.

이처럼 복잡한 지반진동의 영향을 현장에서 손쉽게 측정할 수 있는 방법은 발파현장에서 가까운 곳에 2~3개의 시추공을 간격을 두어(발파현장부터 100, 70, 50 m 등) 찬공하고 단계별로 투수시험을 실시한다. 이를 단계별로 주입하고 나서 1~2일 경과후 재찬공을 하고 나서 투수시험을 실시한다. 그 다음 발파 직후에 투수시험을 실시하여 재찬공 직후에 실시한 투수시험 자료와 비교하여 발파에 의한 지반진동의 영향이 있는지를 판단하고 영향이 있으면 장약량, 발파패턴을 조정토록 한다.

이 때 재찬공 직후와 발파직후에 실시하는 투수시험은 패커시험으로 하기도 하나 물이 케이싱 정부를 넘치지 않게끔 밸브를 조절하여 유량계로 단위시간당의 주수량을 측정하면 발파 전후의 영향을 알아 볼 수 있다.

자. 공매작업

철저하게 메우지 않은 시추공이나 주입공에 저수압이 작용하면 압력감소정(relief well)의 역할을 하게 되어 누수나 파이프이 일어나기 쉽다. 따라서 주입이 완료된 공은 4 % 정도의 벤토나이트를 첨가한 w/c 비 0.5 : 1 정도의 부배합의 그라우트로 메워야 한다. 주입호스 끝에 1" 정도의 철재파이프를 붙여 공 밑바닥까지 내린 후 주입펌프를 가동하여 주입재를 공내로 보내고 서서히 주입호스를 인양하면서 공 정부까지 채우는 방법이 좋으며, 만일 침하가 일어나 공 정부까지 채워지지 않으면 재충전한다.

분말 시멘트를 공내에 집어 넣으면서 긴 막대기로 밀어 넣는 방법은 절대로

하지 말아야 한다. 기대와는 달리 공벽에 분말이 달라 붙어 브리지 현상이 일어나 공저까지 채워지지 않는다.

차. 주입효과분석

1) 시공중의 효과분석

암반의 공극, 절리, 파쇄대 등에 들어가는 주입재는 눈으로 확인 할 수 없다. 따라서 부실 시공으로 인한 경제적 손실과 구조물의 훼손을 고려하여 시공 효과를 평가하지 않을 수 없다. 평가는 시공 중에 하는 방법과 시공 후에 하는 방법이 있다. 시공 중에 하는 평가는 경험이 많은 기술자가 작업의 각 단계마다 하는 것이다. 따라서, 주기적인 주입량 검측자료를 근거로 투수성, 지질적인 상황, 연결성, 누출가능성 등을 판단하면서 주입재의 농도변경을 하여 적절하게 시공하는 것이 가장 훌륭한 주입효과를 거둘 수 있다.

중간 내삽법으로 시공하면서 기시공된 주입공 사이를 찬공·주입해야 하는지는 연접한 주입공의 시공전 Lu값, 주입압력, 주입회수별 시멘트주입량, 누출 또는 연결성여부, 암반의 변위 여부 등 시공자료를 종단도에 매일 기록하여 검토한다. 기록된 자료를 자세히 검토하여 어느 부분이 만족스럽지 못하거나 의심이 생기는 부분이 나오기 마련이다.

2열 이상으로 설계시공될 경우에는 각 열별로 작성하여야 하며 동일한 축적으로하며 가능한 한 투명용지에 작성하면 중첩시켜 대비할 수 있다.

블랭킷 또는 컨솔리데이션 그라우팅 때는 평면도에 공별로 원을 그리고 그 안에 각종 시공자료를 기록한다. 만약에 2단계 이상일 때는 단계별로 그리는 것이 좋다. 평가는 1단계부터 하며 그 공에 대해서 뿐만 아니라 연접공과 연결성에 대해서 검토하는데 가장 최근에 시공된 주입공의 자료를 깊이 검토해야 한다. 특히 최근에 시공된 공의 주입직전에 실시한 수압시험 자료에 주목하고 Lu값이 지반개선 목표치에 근접하였는지를 검토하는데, 내삽법으로 시공하면서 1, 2차공의 Lu값이 검토공에서 어느 정도 감소되었는지에 대해 면밀히 평가해야 한다.

2) 공사완료 후의 주입효과 판단

가) 물리탐사

시공전후에 실시한 쌍극자배열 전기비저항탐사 또는 솔렘버저배열 전기비저항탐사 자료의 비저항값 변화를 비교하여 그라우팅에 의한 시공효과를 분석한다. 필요시에는 쌍극자배열 전기비저항탐사 뿐만 아니라 자연전위탐사를 실시하여 복합적인 해석을 해야 한다. 컨솔리데이션 그라우팅에서는 투수시험이나

탄성파탐사를 실시하여 시공전후의 효과를 분석한다.

나) 투수시험

커튼 그라우팅 시공으로 지수벽이 목표한 만큼의 투수도로 개선되었는지를 확인하기 위하여 시공전후의 투수시험 자료를 비교하는 방법이 가장 많이 사용되고 있다. 검사공의 위치는 지수벽의 중앙부에 선정하며 물리탐사 자료와 시공중의 여러 평가과정에서 주입효과에 의심이 되는 부분과 잘 되었다고 판단이 가는 부분 등 골고루 검사공을 배치하여야 전체적인 평가가 될 수 있다.

투수시험에 적용하는 시험압력은 시험구간에 시공당시 적용한 주입압력의 80% 를 적용하는 것이 합리적이다. 댐 수두압의 1.5~2.0배 압력을 적용해야 한다는 주장도 있으나, 이 기준압력이 시공당시의 주입압력보다 더 높을 때는 잘 만들어진 커튼 지수벽을 파괴할 수 있기 때문에 좋은 기준이 될 수 없다. 시공후의 지반 개선 값이 얼마가 되어야 잘 되었다고 판정하느냐 하는 문제는 오랫동안 논란되어 왔다. 최고의 기술과 최고의 장비로 훌륭한 시공관리를 하였더라도 주입대상 암반의 조건이 천차만별이고 같은 댐터라도 구간별로 틀리며, 암반의 틈새크기와 주입재료의 입경범위도 넓어서 결과치가 다양하다.

암반층의 지반개선은 1종 포틀랜드시멘트를 주입재료로 사용할 때는 개선목표를 3~7 Lu 범위로 정하는 것이 좋다. 그러나 그라우팅 본 공사에 앞서 시험그라우팅 과정에서 지반개선 목표를 정하는 것이 가장 합리적이다.

5.3 축제공사

5.3.1 시공기계

시공기간, 재료의 성질, 공사물량, 설계조건, 공사현장의 입지조건, 공정 및 시공법을 고려하여 굴착기계, 적재기계, 운반기계, 다짐기계 등의 시공기계 종류와 대수를 결정하고 운영관리를 한다.

가. 굴착기계

불도저(bulldozer), 쇼벨(shovel)계 굴착기계. 스크레이퍼(scraper), 휠엑스캐베이터(wheel excavator) 등이 있다. 굴착기계 중에서는 불도저가 굴착은 물론 벌채, 벌근, 단거리 흙운반, 스크레이퍼의 견인, 성토전압, 도로정비 및 작업장 정리 등에도 이용되고 있으므로 기종을 결정할 때는 굴착공사 이외에 사용할 불도저를 고려하여 선정한다.

쇼벨계 굴착기계는 굴착의 초기단계 및 작업상 제약이 있는 좁은 장소 등에

불도저의 보조기계로 이용되며, 스크레이퍼는 큰 댐에서는 별로 사용되지 않으나 지형, 지질에 따라서는 적용이 가능하다. 휠엑스커베이터는 벨트컨베이어와 병용하여 계속 굴착을 할 수 있는 기계로서 이를 선정할 때는 공사하는 곳의 지형, 지질을 고려한 후에 운반을 포함한 전면적으로 검토한다. 굴착기계 중에서 토공장치를 장착한 대형불도저의 제원은 표 5.3.1과 같다.

표 5.3.1 대형 불도저의 제원

제 원 \ 형 식	D115A-1	D355A-3	D455A-1	D8K77V	D9H90V	D10
중 량 (t)	38.85	50.85	76.00	31.60	42.05	single ripper 86.00
전체길이 (mm)	8,560	9,630	11,180	6,580	7,420	10,190
전 폭 (mm)	4,310	4,320	4,800	3,940	4,390	5,490
전 고 (mm)	3,460	4,040	3,980	3,120	3,760	4,570
캐터필러 중심거리(mm)	2,140	2,260	2,650	2,130	2,290	2,900
출력 (PS/rpm)	320/2000	410/2000	620/2000	304/1330	416/1375	710/1800
토공관형식	straight	straight	straight	straight	straight	straight
토공관조작방법	유 압	유 압	유 압	유 압	유 압	유 압
토공관폭 (mm)	4,130	4,320	4,800	3,940	4,390	5,490
토공관높이 (mm)	1,590	1,880	2,140	1,520	1,800	2,160

나. 적재기계

트랙터 쇼벨 및 쇼벨계 굴착기계가 있다. 트랙터 쇼벨은 순수한 적재기계이며, 쇼벨계굴착기계는 굴착작업이 주용도이나 적재용으로도 이용된다. 종래에 제체의 굴착, 댐성토재료의 적재에는 일반적으로 쇼벨계 굴착기계인 0.6~2.0 m³의 파워쇼벨(power shovel)이 사용되고 있다. 트랙터 쇼벨은 쇼벨계 굴착기계보다 범용성과 기동성이 훨씬 뛰어나지만 돌진력은 부족하므로 경암발과 후이를 실을 때는 보조기계로서 불도저를 병용하면 좋다.

1) 트랙터쇼벨

주행방식에 따라 캐터필러식과 차륜식으로 분류된다. 캐터필러식은 차륜식보다 주행속도와 기동성이 느리지만 돌진력이 뛰어나므로 토사를 떠내는 힘이 크고 지반이 고르지 못한 곳에서도 사용할 수 있다. 차륜식은 작업장소가 산재해 있거나 이동이 빈번하여 주행속도가 빨라야 할 경우에 효과적이다. 캐터필러 및 차륜식 트랙터 쇼벨의 제원은 표 5.3.2 및 표 5.3.3과 같다.

표 5.3.2 캐터필러식 트랙터 쇼벨

기종 제원	997L	983B	D75S-3	D75S-2	D155S-1
버킷용량(平積) (m ³)	1.8	3.2	1.8	2.7	3.8
" (山積) (m ³)	2.1	3.9	2.2	3.2	4.5
전 중 량 (t)	22.2	36.7	20.7	29.8	41.8
정격출력 (PS)	193	279	200	250	350
dumping clearance (mm)	2,985	3,430	3,020	3,060	3,460
dumping reach (mm)	1,335	1,350	1,395	1,430	1,690

2) 쇼벨계 굴착기계

굴착이나 적재기계로 이용되는 경우가 많다. 작업공간이 다른 기계보다 적고 굴착기계 본체는 각종 장착장치의 교체로 파워쇼벨, 백호, 드래그라인, 크램셸 등 각종 작업에 적합한 기계로 전용할 수 있으므로 용도가 다양하여 제체 기초지반의 굴착, 적재, 하상사력의 굴착, 적재, 가적치한 성토재료의 적재 및 기타 공사용 도로공사나 경사면 공사에 많이 이용되고 있다.

표 5.3.3 차륜식 트랙터 쇼벨 (휠로더)

기종 제원	992B	992C	988	988B	KLD 110Z	475B	275B	560
버킷용량(平積)(m ³)	6.4	8.2	4.0	4.5	5.0	7.9	4.5	4.5
버킷용량(山積)(m ³)	7.65	9.6	4.59	5.4	5.6	9.2	5.4	5.2
전 중 량 (t)	54.8	85.15	30.8	39.95	37.5	71.0	35.3	35.35
정격출력 (PS)	558	700	330	380	388	630	350	415
dumping clearance (mm)	4,125	4,165	2,760	3,175	3,500	4,080	3,230	3,580
dumping reach (mm)	2,160	2,310	1,850	2,110	1,650	1,850	1,520	1,440

다. 운반기계

덤프트럭, 스크레이퍼, 벨트컨베이어 등이 있는데 필댐 시공에는 덤프트럭이 많이 이용되고 있다.

1) 덤프트럭

근래 필댐공사의 대형화로 덤프트럭이 많이 이용되고 있으며, 일반적으로 덤프트럭을 11t이하의 보통덤프트럭과 11t이상의 중덤프트럭으로 나누어 장단

점을 열거하면 다음과 같다.

가) 보통덤프트럭(11 t 이하)

장점은 수송에 제약이 없고 쉽게 구할 수 있으며, 사용대수를 쉽게 조정할 수 있고 고장이 났을 때 대응하기 쉽다. 단점으로는 많이 신지 못하므로 많은 대수를 투입하면 운반로, 작업장이 혼잡하여 전체적으로 시간적인 손실이 많아지며, 중덤프트럭보다 운전기사가 많으므로 노무관리가 어렵고 운반재질에 따라 적재함을 보장한다.

나) 중덤프트럭(11 t 이상)

장점은 적은 대수로 운반을 많이 할 수 있으므로 전체의 시간적인 손실이 적고 운반로나 작업장의 안정성이 높으며, 운전기사의 수가 적다. 적재함이 크기 때문에 적재가 쉽고 대형적재기계를 사용할 수 있다. 단점으로는 일반도로를 통행할 수 없고 공사용 도로의 건설비 및 유지보수비가 많이 들고 부품조달이 쉽지 않다. 차량이 고장 날 경우 운반량에 미치는 영향이 크다. 대형 덤프트럭의 제원은 표 5.3.4와 같다.

표 5.3.4 대형 덤프트럭의 제원

형 식	최대량 적재(t)	적재함 용량((m ³)	차 량 중량(t)	전 장 (mm)	전 폭 (mm)	전 고 (mm)	엔진출력 (PS)
777	77	51.3	57.55	9,785	4,880	4,900	882
HD680-2	68	44.0	46.5	9,790	4,675	4,535	775
HD460-1	46	30.0	37.5	8,900	4,050	4,260	615
773B	45.4	34.1	38.85	9,120	4,065	4,065	659
HD320-2	32	24.0	27.2	7,800	3,670	3,950	405
35C	32	20.6	26.47	7,720	3,780	3,990	482
769B	32	20.5	27.6	7,800	3,650	3,910	421
769C	32	23.5	31.3	8,005	3,650	3,970	456
D320	32	23.8	28.5	8,560	3,700	3,750	430
HD680-2	20	15.2	18.5	7,450	3,360	3,450	280
HD680-2	18	14.2	16.79	7,295	3,000	3,330	230
ZG150D	15	11.5	15.15	6,595	3,000	3,275	210

2) 스크레이퍼(scraper)

굴착, 운반, 포설 기능이 있으며, 일반적으로 트랙터로 견인하여 작업하는 캐리올 스크레이퍼(carryall scraper)와 트랙터를 일체로 한 모터 스크레이퍼로 구분된다. 캐리올 스크레이퍼는 단거리의 굴착, 적재, 운반기계로서 모터 스크레이퍼보다 험한 도로 주행을 할 수 있고 연약한 지반이나 급경사지에서 사용하는데 적합하다. 모터 스크레이퍼는 캐리올 스크레이퍼보다 굴착력은 뒤지나

장거리에는 우수하다. 스크레이퍼의 특징은 굴착에서 포설에 이르기까지 일관하여 공사를 할 수 있고 주행로의 건설과 유지보수가 덤프트럭을 사용할 때보다 쉽다. 경암이나 전석이 혼입된 경우는 부적당하다.

3) 벨트컨베이어(belt conveyer)

재료 채취지와 성토사이의 고저차가 크고 공사용 도로 조성이 어려운 경우에 적합하며, 일단 설치하면 연속적으로 재료를 운반할 수 있고 운반에 소요되는 노동력을 줄일 수 있는 이점이 있으나 공사량 변화에 대응이 어려운 결점이 있다.

라. 다짐기계

대형으로 탬핑롤러, 진동롤러, 타이어롤러 등이 있고 소형으로는 컴팩터, 래머, 에어탬퍼 등이 있으며, 이외에 덤프트럭, 불도저 등도 이용할 수 있다. 기계의 종류를 선정할 때는 성토재료의 성질에 적합하고 시공성이 뛰어나며, 설계조건이나 성토기준 등을 만족시키는 성능을 가진 기계를 선정한다. 대형다짐기계의 제원은 표 5.3.5와 같다.

1) 탬핑롤러(tamping roller)

가운데 탬핑 푸트(tamping foot)의 형상이 원추형 또는 이와 유사한 것을 보통 양족(羊足, sheep's foot)이라 하며, 가장 많이 사용되고 있다. 이것이 각추형(角錐形)에 가까운 것을 테이퍼 푸트(taper foot)라 하여 자주식 탬핑롤러에 많이 이용되고 있으며, 자주식 탬핑롤러는 컴팩터 도저라고도 한다.

롤러의 중량은 5~30 t 정도의 범위로서 드럼(drum)은 단동식(單胴式), 복동식(復胴式) 및 4동식(胴式)이 있는데 여기에 물이나 모래 등을 넣어 중량을 조절할 수 있다. 이 롤러는 사력재 등 큰 자갈이 많이 섞인 재료의 다짐에는 부적합하므로 주로 불투수준 재료를 다지는데 사용된다.

2) 진동롤러(vibration roller)

진동에너지에 의하여 다짐을 하는 기계로서 소형이고 가볍더라도 보통 3~4배의 자중을 가진 정적 롤러에 상당하는 선압(線壓)을 가지고 있어 다짐효과가 크다. 진동수는 다짐효과에 영향을 주며, 기계에 따라서는 진동수 또는 진폭을 바꿀 수 있는 것도 있다. 대형 진동롤러에는 머캐덤(macadam)형과 탠덤(tandem)형이 있으며, 또한 후륜이 타이어인 복합형도 있다. 드럼은 평활드럼이 일반적이며, 주행방식은 자주식과 피견인식이 있다.

사력 및 암재료를 사용하는 반투수준, 투수준에 이용하는 경우가 많으며, 불투수준에서는 점성이 비교적 적은 화강암질 풍화토 등의 재료를 전압하는데

이용된다.

표 5.3.5 대형 다짐기계의 제원

형 식	진동 롤러				탬핑 롤러			타이어 롤러
	자주식 진동 롤러	견인식 진동 롤러	자동식 back muster	자주식 back muster	자주식 컴팩터	자주식 컴팩터	양족식 롤러	자주식
규 격	BW -210	SAW -186	SPF-54	SP-60	825C	WF22A	RF14-1	TS360
총중량								
밸러스트 있음	7	15.4	12	21	30.8	22.5	13.5	16.2
밸러스트 없음	-	-	-	-	34.5	26.5	17.3	35.7
전 장 (mm)	1,980	6,178	5,410	6,030	7,690	7,200	4,980	5,420
전 폭 (mm)	2,520	2,500	2,560	2,970	4,540	4,130	3,700	2,430
유효전압폭(mm)	2,000	2,040	2,160	2,540	-	4,600	3,310	2,430
공칭속도(km/h)	1 ~ 3	2.4	3 ~ 5	0 ~ 16	6 ~ 8	6 ~ 8	4 ~ 6	0 ~ 12
차륜지름 (mm)	800	1,800	1,620	1,520	1,675	1,400	1,520	-
차륜폭 (mm)	950	2,040	2,160	2,540	-	1,050	1,520 ×2	-
기진력 (tf)	32	-	17.3	32.5	-	-	-	-

3) 타이어 롤러(tire roller)

1축식과 2축식이 있으며, 주행방식은 자주식과 피견인식이 있다. 다짐을 잘 하려면 각 타이어가 평지가 아닌 곳을 지날 때라도 일정한 하중으로 주행하는 것이 좋다. 롤러의 중량은 보통 20~50 t 정도가 많이 사용되는데 모래나 자갈을 이용하여 중량을 가감할 수 있다.

4) 소형다짐기계

소형진동컴팩터, 래머, 탬퍼 등은 대형 롤러로서는 다지기 어려운 부위 즉, 불투수준의 착암부(着岩部)나 구조물 주변, 각종 계측기 매설위치를 다지는데 사용된다.

마. 천공기계

원석채취, 체체기초굴착 등을 위한 발파공 굴착에 많이 이용된다. 벤치컷(bench cut)공법에 이용되는 천공기는 보통 회전식, 회전-충격식, 충격식의 3종이 있다. 회전식은 회전력과 추진력을 비트(bit)에 가하여 구멍을 뚫는 기계

로서 연암에 구멍을 뚫는데 적합하다. 비트 지름은 보통 150~230 mm가 이용된다.

회전-충격식은 비트에 타격과 회전력을 주어 구멍을 뚫는 것인데 타격력은 로드를 매개로 하는 것과 직접 비트에 전해지는 것이 있다. 보통 사용되는 비트의 지름은 85~165 mm이며 연암, 중경암의 구멍을 뚫는데 적합하다.

충격식은 압축공기에 의한 타격력으로 구멍을 뚫는 것인데 보통 사용되는 비트의 지름은 65~100 mm가 많다. 유압식천공기의 제원은 표 5.3.6과 같다.

표 5.3.6 유압식 천공기 제원

형 식 (호 칭)	중 량 (t)	등 판 각 도 (도)	air motor 마 력 (PS×수)	공 기 소비량 (m ³ /min)	드리프터 형 식	로 드 최대지름 (mm)	비트지름 (mm)		비 고
							최 대	최 소	
CDH-750	7.8	35	디 젤 78×1	블로우에어 5	YH-60	6각·원 38	120	60	
THCD-100	7.3	35	디 젤 76 (2100 rpm)	(블로우용 5.5kgf/cm ²) 1.5	H-100 (유압)	6각 38	90	65	
HCR-200	7.5	38	디 젤 71 (2000 rpm)	블로우에어 5	HD-200	6각 38	120	65	익스텐션 붐
HCE-200	8.1	38	디 젤 71 (2000 rpm)	블로우에어 5	HD-200	6각 38	120	65	

바. 기타 기계

성토재료의 입도나 함수량을 조절, 스톡 파일(stock pile)장과 성토면의 과대입경 재료의 제거 등을 할 때는 레이크 도저(rake dozer), 리퍼(ripper), 디스크 해로우(disk harrow) 등의 기계를 이용한다.

1) 레이크 도저(rake dozer)

스톡파일장과 성토면에서 과대입경 재료의 제거, 성토면 긁어 일으키기, 사석 재료의 부설작업에 이용된다. 레이크는 30 t 급 불도저에 사용할 수 있는 것이 제작되고 있으나 보통 10~20 t 급 불도저가 많이 이용된다. 톱니의 간격은 용도에 따라 다르며 과대입경의 불투수성 재료를 제거하는데는 150 mm 정도의 것이 이용되고 있다.

2) 리퍼(ripper)

연암의 리핑(ripping)에 의한 굴착, 성토면 긁기, 과대입경 재료의 제거에 이용된다. 연암의 리핑에는 보통 20~40 t 급 불도저가 이용되며, 최근에는 80 t

급 불도저가 등장하고 있다. 성토면을 긁어 일으키는데는 10~30 t 급 불도저, 과대입경 재료제거에는 하상의 사력, 밧과암 등 재질에 따라 다르나 보통 15 t 급 이상의 불도저가 사용된다. 굴착이나 전압작업을 하는 불도저에 리퍼를 장착하여 리퍼작업을 겸하는 것이 일반적이다.

3) 디스크 해로우(disk harrow)

비가 온 후 불투수준의 표면을 긁어 일으키고 통기(通氣)를 시켜 함수비를 조절하고, 성토면에 운반된 습윤토를 긁어 일으켜 통기시키고 건조토에 살수를 할 때의 혼합작업에 이용된다.

4) 살수차

불투수준 성토면의 건조방지와 공사용 도로에 물을 뿌리는데 사용된다. 살수차의 용량이나 대수는 공사규모에 따라 다르나 보통 5~10 m³ 급이 많이 이용된다.

5) 모터 그레이더(motor grader)

공사용도로의 유지관리에 주로 이용되며, 사용기종, 대수 등은 공사규모, 공사용도로의 폭, 연장에 따라 다르나 공사가 대형화됨에 따라 공사용 도로폭이 커지는 추세이므로 사용되는 그레이더도 대형화하는 추세이며, 현재는 3~5 m급이 많이 사용된다.

6) 진공차(vacuum car)

용출수나 강우 후의 불투수준 표면에 고인 물을 배수하는데 이용된다. 용량은 1~10 m³급이 이용된다.

사. 성토재료 입도조정시설

소요의 품질을 갖는 성토재료를 얻을 수 없는 경우는 성토재료의 입도조정시설이 있어야 한다. 성토재료 중에 불투수준 및 필터재료로서 자연상태재료를 그대로 이용할 수 없는 경우는 인공적으로 선별하여 사용해야 하며, 이의 제조설비에는 그리즐리(grizzly)와 필터플랜트(filter plant)가 있다.

1) 그리즐리(grizzly)

이 시설은 불투수준이나 필터재료를 만드는데 이용되는 재료의 과대입경을 제거하기 위한 것인데 눈 간격은 재료의 최대입경에 따라 한정되며, 일반적으로는 150~200 mm가 많다.

2) 필터플랜트(filter plant)

그리즐리만으로는 소요의 재료를 얻을 수 없는 경우에 사용되는 설비로서 기계규모는 재료의 필요량이나 입도에 따라 결정되며, 일반적으로는 파쇄능력

80 ~ 390 tf/h인 것이 많다.

5.3.2 축제재료의 채취와 운반

필댐 축제재료는 특수한 것을 제외하고는 부근에서 구할 수 있는 모든 토질재료, 사력재료 및 암 재료를 이용할 수 있도록 계획을 세워야 한다.

가. 재료의 취토계획

1) 축제재료

필댐의 축제재료는 선정된 취토장, 석산 등을 개발하여 굴착, 운반하는 재료와 댐공사에 관련된 물넘이 등의 굴착으로 발생하는 굴착재료가 있다.

가) 취토장(석산 포함)에서 운반한 재료

취토장은 제체 축조공정에 맞추어 취토와 운반이 가능한 곳에 있어야 한다. 재료의 분포상태와 축제공정에 따라서 취토장의 심층부 흙을 먼저 반출해야 할 때는 부득이 상층부의 일부를 가적치 또는 사토를 해야 하는 경우가 있으므로 이를 충분히 고려한다.

석산이나 취토장에서는 설계조건에 적합한 양질의 재료를 얻기 위하여 상당량의 표토를 굴착해야 하는 경우가 많으므로 석산이나 취토장을 결정할 때는 지질, 지층 및 부존상태 등을 충분히 조사한다. 또 설계에 적합한 재료를 얻기 위하여 복수의 채취장 재료를 혼합할 필요가 있을 경우는 가적치장을 마련하여 쌓아 놓아야 한다.

나) 유용재료

제체, 물넘이, 가배수로 및 기타 부대구조물 시공을 위한 굴착시에 발생하는 재료는 취토장에서 채취하는 것보다 굴착비용이 저렴하므로 설계조건에 적합한 재질인지를 파악하여 축제공사 때 유용하여야 한다. 발생시기는 댐축조 공정과 일치하고 바로 운반이 가능하면 좋으며, 그렇지 못할 경우는 사토하거나 가적치 후에 유용한다.

2) 유용계획

재료의 채취지점과 부존량이 판명되면 유용계획을 세우는데 이 때 재료의 유용률, 토량환산계수 등을 고려한다.

나. 재료의 채취

재료채취장에서 벌채 및 표토처리를 한 후 채취한 축제재료는 적절한 함수비와 입도조성을 가진 것이어야 한다.

1) 토질재료 채취

가) 벌채 및 표토처리

재료채취장에서는 벌채 및 표토처리 범위를 전반적으로 할 것인가 부분적으로 할 것인가는 시공과정, 재료의 분포상태, 성질 등에 따라 판단하여 정한다. 재료가 젖어있는 경우는 미리 표토처리를 하면 일광이나 통기로 재료를 건조시킬 수 있으며, 필댐공사에서는 시공이 몇 년이 걸리는 경우가 많아 표토처리 후 재차 잡목이나 잡초가 나오기도 하므로 주의한다.

나) 토질재료의 조정

축제재료는 적절한 함수비와 입도조성을 가져야 하므로 자연상태에서 소요조건을 만족시키지 못하면 조정이 필요하며, 함수비조정시에 유의할 사항을 들면 다음과 같다.

(1) 습윤재료의 경우는 취토장 주변에 측구를 설치하여 표면수의 유입을 방지하고, 아울러 배수구를 설치하여 지하수위를 저하시키며, 레이크 도저 등으로 긁어 일으켜 일광이나 통기를 하여 건조시킨다. 한냉지에서는 흙속에 서릿발이 생기는 수가 있으므로 이를 방지하기 위하여 미리 성토면에 시트나 토사를 피복하고 성토하기 전에 이를 제거하는 경우도 있다.

(2) 건조재료는 살수를 하여 함수비를 증가시켜야 하므로 이 방법은 적재장, 운반도중 및 성토현장에서 하는 방법이 있다. 살수방법은 호스에 의한 분사, 스프링클러, 살수차 등이 이용된다.

(3) 취토장의 토질재료가 세립분 또는 조립분이 과다하여 사용할 수 없는 경우는 다른 취토장의 적절한 재료를 혼합하여 설계에 적합한 입도조성으로 조정한다. 일반적으로 그림 5.3.1와 같이 세립토와 화강토를 가적치장에 호층으로 얇게 펴 쌓고 함수비가 최적함수비보다 약간 습윤측에 있으면 트럭쇼벨로 혼합하여 소요의 입도가 되도록 조정을 한다.

이 때 가적치장에서 층두께는 세립재료를 펴 고를 수 있는 최소두께를 한도로 가급적 얇게 펴 고르는 것이 좋다. 이는 입도조정의 확실성, 배수촉진, 유기불순물이나 과대입경 재료의 제거를 확실히 할 수 있기 때문이다. 가적치장의 기초 및 바닥면은 배수를 고려하여 경사지게 하고 쌓는 높이는 사용하는 트럭쇼벨의 적정한 굴착 높이인 3~5 m로 한다.

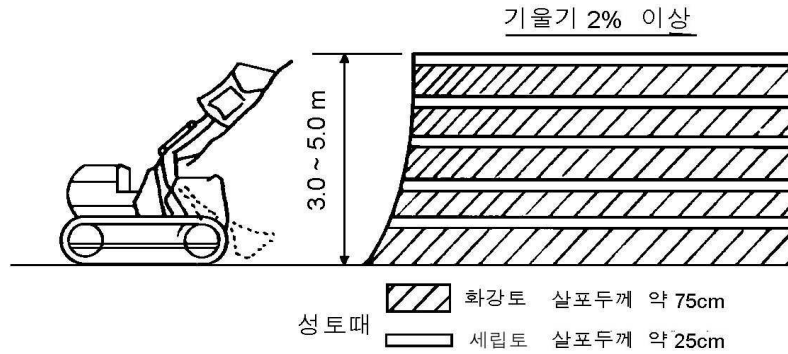


그림 5.3.1 토질재료 혼합용 저장장

2) 사력재료 채취

일반적으로 사력재료는 대부분 하천에 퇴적되어있기 때문에 실트질이 많은 것은 함수비가 많아 그대로 사용할 수 없는 경우는 물질을 돌리거나 수위를 저하시킨 후 채취하거나 가적치하여 수분을 배출시켜야 한다. 한편 입도조성이 설계조건에 일치하지 않을 경우는 그리즐리(grizely)나 체가름 플랜트를 설치하여 입도를 조정한다.

3) 암석재료 채취

가) 발파하지 않는 암석채취

(1) 리퍼에 의한 채취

리퍼로 작업할 수 있는 암질의 분류는 리퍼 및 불도저의 능력과 암질에 의하여 결정되는데 원지반의 탄성파속도에 의한 분류가 하나의 기준이 되고 있으며, 표 5.3.7은 리퍼의 적용례를 나타낸 것이다.

(2) 기타 기계에 의한 채취

최근 기계의 대형화로 로프식 파워 쇼벨은 그 충격력에 의하여 연암 영역의 암도 굴착할 수 있게 되므로 축제시공능력에 따라 이들 대형기계 사용을 검토한다. 또한 중경암부터 경암 영역까지의 굴착에 대형 록 블레이커가 출현하여 시공능력으로 보아 댐의 암재료 채취용으로 단독 투입은 어려우나 작게 파쇄하는 일에는 사용되고 있다.

나) 발파에 의한 암석채취

발파에 의한 굴착공법으로는 벤치컷공법, 갱도발파공법, 기타공법으로 크게 분류할 수 있다.

(1) 갱도식 발파

갱도식 발파는 석산에 작은 단면의 갱도를 굴착하고 약실을 설치하여 집중

발파법으로 발파하여 대량의 암석을 채취할 때 사용되는 방법이다. 사전굴착이나 두터운 풍화대의 제거, 중기계의 반입이 불가능한 지형 등에 사용된다. 갱도약실은 T자형이 원칙이며, 단면형상은 높이 1.5~1.6 m, 폭 0.9~1.3 m 를 표준으로 한다.

표 5.3.7 원지반 탄성파속도와 불도저의 규격 및 장착한 리퍼의 날 수

원지반의 탄성파속도 (m/s)		리퍼의 날수 (개)	
A군 암	B군 암	21 t급	32 t급
600 이하	900 이하	3	3
600 ~ 1,000	900 ~ 1,400	2	3
600 ~ 1,000	1,400 ~ 1,800	1	2
600 ~ 1,000	1,800 ~ 2,100	-	1

주) A군은 사암, 화강암, 안산암, 규암, 편마암 등 비교적 단단한 암,
B군은 혈암, 흑색편암, 응회암, 점판암 등과 같은 비교적 연한 암을 말한다.

(2) 벤치컷 발파

벤치를 만들어서 일반적으로 평탄하게 시공된 벤치 위에서 비트 지름 7.6 cm 정도 이상의 날을 장착한 대형굴착기로 수직(또는 70°)으로 천공하고 2 자유면 발파를 실시하여 시공벤치를 점차 아래쪽으로 옮겨가면서 진행하는 공법인데 일정량을 공정에 맞추어 굴착하면 노동력을 절약할 수 있어 가장 많이 사용되고 있다.

4) 발파시험

암석재료나 트랜지션 재료를 석산에서 채취할 경우에는 효과적인 재료채취 방법을 검토하기 위하여 발파시험을 실시한다.

발파시험은 암석재료나 트랜지션 재료를 석산에서 채취할 경우 더욱 경제적인 채취방법, 이상적인 입도분포를 가진 재료를 채취하는 방법을 검토하기 위하여 실시하며, 시험은 발파방법, 사용 장약량 및 종류에 따라 몇 회를 실시한다. 이 시험은 암석, 트랜지션 재료의 필요량에 따라 시행하며, 일반적으로 10만 m³ 이상이 필요할 경우에 한다. 따라서 소요량이 적을 경우는 시험시에 간편하게 예를 들면 암의 노두를 이용하여 단순히 발파에 의한 암의 파쇄경향을 알고 폭약량 등을 조사하는 정도에서 그치고 있다. 한편 다량의 암석과 트랜지션 재료가 필요할 경우는 원칙적으로 석산을 이용하여 상세한 시험을 하여야 한다.

다. 운반시설의 선정

운반시설을 선정할 때는 현장조건, 설계조건, 공정계획, 경제성 및 범용성을 고려하고 또한 과거의 시공자료도 참고로 하여 종합적으로 검토하여 가장 유리한 것을 선정한다.

필댐에서 운반시설은 ① 도로(공사용도로 포함) ② 벨트컨베이어 ③ 전용레도(專用 軌道) ④ 가공색도(架空索道) ⑤ 특별 장비차 등이 있다.

필댐에 있어서 운반시설로는 도로가 가장 많이 이용되며, 운반시설로서 상기의 2), 3), 4)는 적재나 하치지점에 상당한 제약을 받으며, 5)는 소규모운반에 적합한 주행차로서 발판이 나쁜 현장에서 능력이 좋으며, 휠형(4륜 또는 6륜)과 크롤러형이 있다. 크롤러형 덤프트레일러는 불도저로 견인하는 4.5 m³, 7.0 m³의 것이 있다.

라. 재료채취 및 운반기계의 선정

재료채취 및 운반기계를 선정할 때는 취토장과 댐 사이의 지형적 특성, 시공계획을 고려하여 그림 5.3.2의 기계선정순서를 고려하여 선정한다.

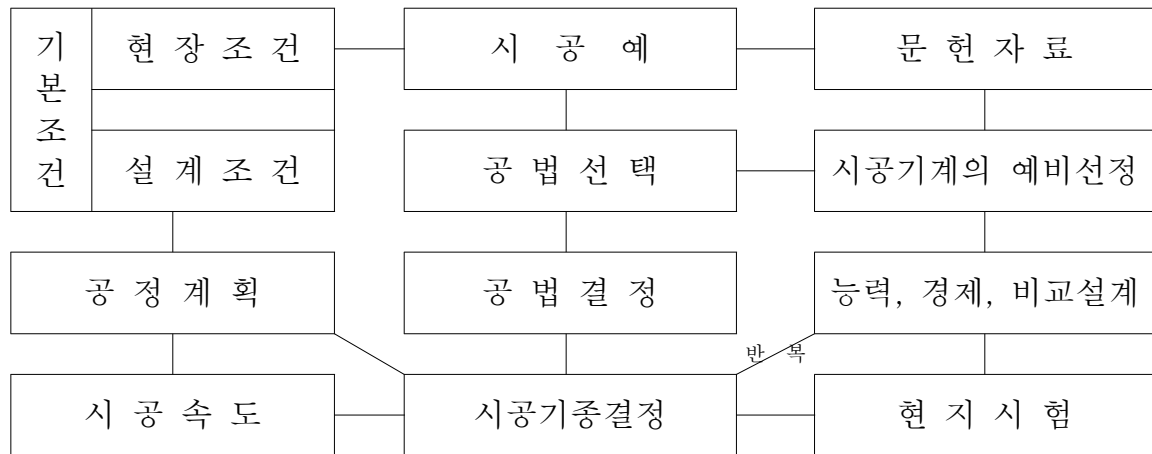


그림 5.3.2 기계선정순서

필댐의 시공조건은 동일한 것이 없다고 해도 과언이 아니므로 기계선정을 할 때는 각각의 시공조건에 적합한 기계의 대체적인 경향과 개요를 파악해야 하며, 기계 선정시 일반적인 주의사항을 들면 다음과 같다.

- 1) 일반적인 토공기계는 대형기종일수록 능력이 커서 1 m당 단가가 싸다.
- 2) 1일 계획량(시간당 계획량)이 정해져 있을 경우는 그 양과 같은 능력을

발휘하는 기계를 조합하는 것이 일반적으로 싸다.

3) 운반기계는 동일계통의 것으로 통일하는 것이 좋다. 특히 같은 축제재료를 동시에 덤프계와 스크레이퍼계로 운반하는 일이라든지 속도가 매우 다른 트랙터 스크레이퍼와 덤프계가 교차하는 것과 같은 기계조합계획은 작업효율이 저하하므로 가급적 피한다.

4) 특수기계를 도입할 경우는 충분히 검토한다. 특정작업에만 한정되는 기계는 연간가동률이 나쁘면 기계손료가 늘어나서 오히려 비경제로 될 경우가 있다. 특히 기계의 반입, 반출이 쉽지 않은 현장은 이 점을 유의해야 한다.

5) 1대의 기계가 다른 다수의 기계(적재기계나 전압기계)에 영향을 줄 경우는 그 1대의 고장으로 모든 작업이 중지되는 일이 없도록 대책을 세우거나 위험분산을 고려해 두어야 한다

6) 운반 단가가 싼 대규모 적재기계와 이와 비슷한 운반기계의 조합이라도 덤핑거리가 부족하여 실제로 적재할 수 없거나 기계적으로 불가능한 조합이 되지 않도록 주의한다.

7) 설계상으로 기종이 한정될 경우가 있으므로 주의한다.

5.3.3 축제성토

가. 기종의 선정

시공기종은 시공기간, 재료의 성질, 공사물량, 설계조건, 공사현장의 입지조건, 공정 및 시공법을 고려하여 선정한다.

1) 펴 고르기 기계

펴 고르기 기계로는 일반적으로 불도저를 사용되며, 성토면 요철부의 정지 등에는 보조적으로 그레이더도 사용된다. 운반시에 스크레이퍼나 저개(底開)식 덤프트럭을 사용할 경우는 직접 펴 고르기를 하게 되는데 이때도 일반적으로 펴 고르용 기계로 한다. 불도저 규격 및 대수는 성토속도, 성토치수에 의하여 결정되며, 재료의 종류나 성토면의 면적도 고려하여 적당한 것을 선정한다.

2) 다짐 기계

토질재료의 다짐용 기계로는 타이어 롤러, 웨이브 롤러, 탬핑 롤러, 진동 롤러, 진동 컴팩터, 래머, 에어 탬퍼 등이 사용되며, 이외에 불도저, 덤프트럭, 휠로더 등도 사용하는 경우가 있다. 또한 암재료는 다짐을 하지 않고 덤핑으로 축제하는 방법이 있다. 어느 것이나 소요설계수치를 만족시키는 다짐기계는 펴 고르기 두께, 다짐회수 등에 따라 다르므로 일반적으로 시험성토를 하여 이 수치를 결정한다.

토질에 대한 적성기종 혹은 표준다짐방법 등에 따라 2~3종의 적성기계를 선정하여 시험성토를 하여 최종 결정을 하면 좋으며, 다짐기계는 경우에 따라서 운행속도를 규제한다.

3) 함수비조절 및 입도조정용 기계

토질재료의 함수비조절이나 입도조정, 과잉전압부를 긁어내는데는 레이크도저와 함수비조절에는 살수차가 이용되며, 해로우(harrow)나 플라우(plow) 등도 사용되는 경우도 있다. 함수비조절에 건조기를 사용한 특수 예도 있다. 또한 투수준의 성토면을 긁어 일으키는데는 리퍼가 사용되고 살수에 모니터(monitor)가 사용된다. 레이크 및 리퍼는 보통 펴 고르기용 불도저의 뒤에 장착하여 사용한다. 축제재료 중에서 과대입경을 제거할 경우는 불도저의 앞면에 레이크를 장착한 전용 레이크도저가 이용된다.

나. 시험성토

소요의 성토를 경제적으로 시공하는 방법과 시공관리기준을 결정하기 위하여 축제작업을 하기 전에 시험성토를 한다.

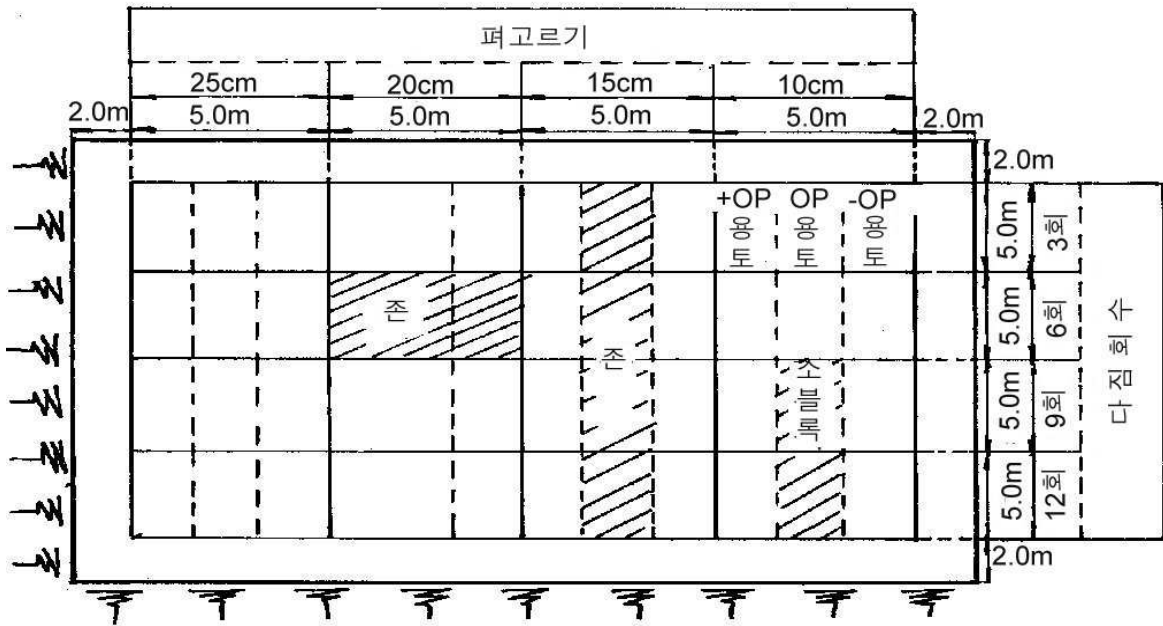
1) 일반사항

설계단계에서 토질재료의 특성, 설계수치 및 성토시방서 등은 주로 취토예 정지에서 채취한 대표적인 시료의 실내시험결과를 검토하여 정하고 있다. 그러나 성토에서 펴 고르기 두께, 다짐회수, 다짐하중 등의 상세한 시방은 실내 시험으로는 결정하기 어려우므로 축제작업을 개시하기 전에 소요설계수치를 만족시키는 가장 경제적인 시공방법을 찾아내어 시공관리기준을 결정하고 동시에 현장감독원 및 시공담당자에게 축제공 및 축제재료에 대한 예비지식을 깊이 인식시켜 적절한 축제공사가 이루어질 수 있도록 시험성토를 한다. 시험은 실제의 시공에 준해서 재료의 취토에서 운반, 펴 고르기, 다짐에 이르기까지 모두 본 공사와 같이 실시한다.

2) 시험구 및 시료채취

가) 시험구

시험구 위치는 가급적 평탄하며, 배수조건이 좋은 장소에 선정한다. 크기는 시험수량, 사용기종, 기계의 선회반경 등을 고려하여 결정하며, 지형조건이 허용하는 한 시험구는 많은 것이 좋다(그림5.3.3 참조). 시험구의 원지반은 표토를 제거한 다음 시험에 사용할 기계를 이용하여 지지력이 충분한 기반으로 조성한다. 이 경우에 미리 기반의 현장밀도, 함수비를 측정해두어야 한다.



- + OP : 최적 함수비보다 약간 습윤측 재료
- OP : 최적 함수비의 재료
- OP : 최적 함수비보다 약간 건조측 재료

그림 5.3.3 축제시험구의 예

나) 시료채취

시험용 흙은 각 시험항목에 대하여 동일재료를 얻을 수 있는 방법으로 채취한다. 구덩이를 파는 것과 같은 취토는 좋은 재료를 얻을 수 없으므로 피해야 한다.

3) 시험계획

가) 다짐기종 선정

다짐기종은 공사규모, 토질에 따라 과거의 실적을 고려하여 가급적 표준적인 기계를 선정하며, 원칙적으로 2기종 이상을 선정하여 시험을 한다. 동일기종을 사용할 경우는 접지압을 다르게 하는 방법도 있다. 표 5.3.8은 토질에 따른 다짐기계의 적성을 개략적으로 나타낸 것이다. 필댐에 가장 널리 쓰이고 있는 기계는 타이어 롤러, 탬핑 롤러 및 진동 롤러 등이며, 코어부는 일반적으로 탬핑 롤러가 사용된다.

대표적인 다짐기계는 타이어 롤러, 탬핑 롤러 및 진동 롤러 3종이 있으며, 특성은 “5.3.1 시공기계 라. 다짐기계”와 같다.

표 5.3.8 토질에 따른 다짐기계의 적성

토 질	롤러의 종류							
	평활통 롤러	타이어 롤러	그리드 롤러	탐 핑 롤러	웨이브 롤러	진 동 롤러	컴팩터	래 머
GW	○	○				○	○	○
GC		○		○	○	○	○	○
GP	○	○				○	○	○
GM	○	○		○	○	○	○	○
SW	○	○	○			○	○	○
SC	○	○	○			○	○	○
Sp	○	○	○			○	○	○
SM	○	○	○	○	○	○	○	○
ML		○	○	○	○			
CL		○	○	○	○			
OL		○	○	○	○			
MH		○		○	○			
CH		○	○	○	○			

나) 시료의 선정

시료는 축제량, 취토장의 시료 분포, 시료채취방법 등을 고려하여 선정하며, 너무 세분화하여 시험수를 많이 하는 것은 좋지 않으므로 대표적인 시료로 시험을 하면 좋다.

다) 다짐함수비

토질재료의 다짐함수비는 자연함수비, 현장의 기상조건, 재료의 다짐특성을 고려하여 자연함수비와 건조축 또는 습윤축 함수비(예를 들면 최적함수비 부근 또는 최대건조밀도의 95 % 에 대한 습윤축 함수비)에 대하여 시험성토를 하는 것이 좋다. 대표적인 다짐곡선은 그림 5.3.4와 같다.

라) 펄 고르기 두께

펄 고르기 두께는 사용기계, 시공능력, 재료에 함유된 자갈크기 등을 고려하여 3가지 정도를 선정한다. 일반적으로 차수재료의 경우는 15~40 cm, 랜덤, 트랜지션 재료는 20~60 cm, 암재료는 50~100 cm의 범위에서 선정되고있다.

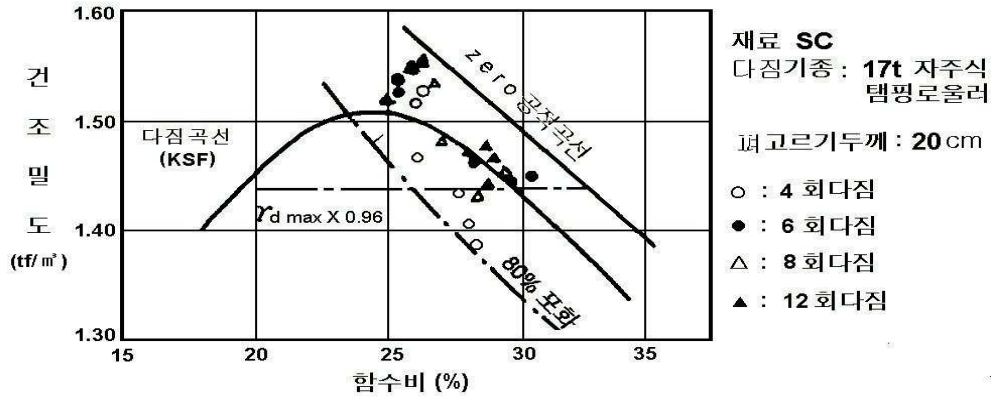


그림 5.3.4 탬핑롤러에 의한 다짐곡선

마) 다짐회수와 속도

사용기계와 재료의 토성을 고려하여 4가지 정도를 선정한다. 일반적으로 2~14회 범위에서 선정하는데 함수비가 많은 재료는 과전압에 의한 강도저하를 고려한다. 다짐기계에 따른 다짐회수와 다짐정도의 예는 그림 5.3.5와 같다. 일반적으로 다짐속도는 표준속도로 시험을 하며, 표준적인 다짐방법은 표 5.3.11와 같다.

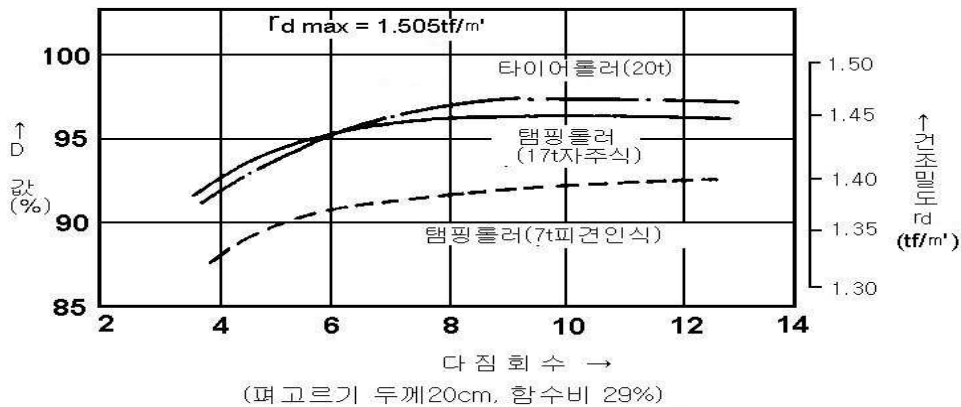


그림 5.3.5 탬핑 및 타이어롤러에 의한 다짐 상황

4) 시험 및 측정

가) 인원배치

시험 및 측정은 실내재료시험과 현장측정시험 두 가지가 있는데 여기에 필요한 인원은 시험수량, 시험기간 등을 고려하여 결정하며, 인원배치 예는 그림 5.3.6과 같다.

나) 시험 및 시험항목

주요 시험 및 시험항목은 표 5.3.10과 같다. 이 시험 외에 필요에 따라 진단 시험, 입밀시험을 실시한다. 특수시료에는 간극수압계 등을 성토 내에 매설하는 경우도 있다. 그리고 롤러 전압작업 중에 육안관찰(사진촬영)을 한다.

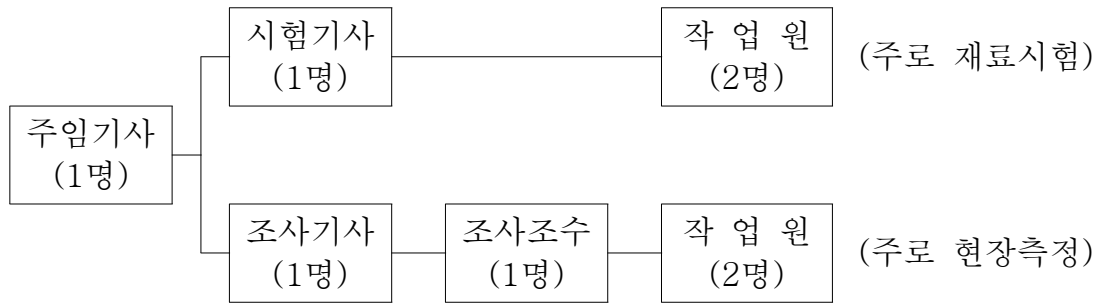


그림 5.3.6 인원배치예

다) 시험기구

일반적으로 사용되는 시험용 기계 및 기구는 표 5.3.11과 같다.

5) 시험결과의 정리와 해석

가) 시험결과의 정리

시험결과는 설계의 기본조건을 충분히 고려하여 정리하고 해석해야 하며, 목적과 내용에 따라 정리 및 해석방법이 다르나 시험결과를 정리할 때의 주요한 사항은 다음과 같다.

- (1) 시험 중의 기상조건
- (2) 다짐회수와 침하량 관계
- (3) 다짐회수와 밀도, 다짐도 관계도(그림 5.3.7 참조)
- (4) 다짐회수와 강도 및 투수계수의 관계
- (5) 다짐작업에 따른 입도분포의 변화(그림 5.3.8 참조)
- (6) 함수비와 밀도, 강도 및 투수계수의 관계
- (7) 포화도 또는 간극비와 투수계수의 관계
- (8) 최적함수비와 최대건조밀도의 관계(그림 5.3.9 참조)
- (9) 입도와 밀도의 관계

나) 시험결과의 해석

시험결과에 대한 주요 해석 항목은 다음과 같다.

- (1) 축제재료로서 시료의 적부
- (2) 축제시방(다짐기준, 다짐하중, 펴고르기두께, 다짐회수, 다짐속도) 결정
- (3) 토량환산계수

표 5.3.9 표준다짐방법

형 식	기 계	적용토질	펴고르기 두께(cm)	다짐회수 (회)	비 고
다 짐 중력식	타이어 롤러	점토질 시료(건)	15 ~ 25	6 ~ 10	다축식 10 ~ 30t 이상이 좋다. 3 ~ 6t 견인식 22t 자주식(특수예)
	양축식 롤러	점토질 시료(습)	15 ~ 25	6 ~ 10	
	탬 핑 롤러	호박돌혼입토 및 파쇄암	30 ~ 45	5 ~ 7	
진동식	타이어 롤러	점토질시료(건)	20 ~ 25	6 ~ 8	3 ~ 11t 3 ~ 5t 다짐면 굵기 0.5 ~ 2t 다짐면 굵기 50 ~ 500kg 탬핑래머, 바이브레이션 래머
	플래트 롤러	사력혼합토	25 ~ 30	5 ~ 7	
	컴 팩 터	사 력	20 ~ 30	5 ~ 7	
	탬 퍼	사력혼합토 또는 접합부	20 ~ 30	3 ~ 5	
충격식	래 머	접합부 등 좁은 곳	10 ~ 20	3 ~ 5	

(주) 소규모인 경우나 예비다짐에 불도저의 크롤러에 의한 다짐도 사용되는 예가 있다.

표 5.3.10 주요 시험 및 측정항목

구분	항 목	비 고
재 료 시험	흡입자의 비중시험	KS F 2308(한국산업규격)
	자갈의 가비중 및 흡수량 시험	KS F 2503
	흙의 함수량시험	KS F 2306
	흙의 입도시험	KS F 2302
	흙의 액성, 소성한계시험	KS F 2303, 2304
	다짐시험	KS F 2312
	투수시험	KS F 2322
현 장 측정	침하량측정 밀도측정 성토의 투수계수측정 원위치강도측정 다짐속도측정	표면침하량 및 토층내 침하량 측정 성토 및 취토장의 자연상태 밀도 일반적으로 밀도측정공에서 측정 콘지지력시험, 현장CBR시험, 평판재하시험

표 5.3.11 축제시험용 기계 및 기구

기계 기구명	수 량	사용기간	사 용 목 적
쇼 벨	1	전기간	취토장에서 굴착
덤프트럭	1	필요시	시험용 재료운반
불도저	1	"	흙의 펴 고르기
스케리화이어	1	전기간	흙의 혼합 및 다짐
탬핑롤러	1	"	투수재료의 다짐
고무타이어롤러	1	"	"
레 벨	1	"	다짐현황 측정
스톱워치	2	"	운행속도측정
대형다짐시험기	2	"	다짐시험
투수시험기	10	"	투수시험
현장투수시험기	30	"	현장투수시험
대형건조기	2	"	토질시험
현장밀도측정기	2	"	"
저 울	2	"	" (10kgf 이상)
삽	2	"	"
곡괭이	2	"	"
철 봉	2	"	" 길이 100 cm, 지름 25 mm
나무틀 체	1	"	"
비닐봉지	1,000	"	"
고무줄	3,000	"	"
이식삽	10	"	"
셀룰로이드판	30	"	"
자	5	"	"
철제평남비	2	"	" 지름 약 30cm
석유폭로	1	"	" 현장건조
빗물막이	2	"	시험구 전면을 덮을 수 있는것

(4) 시공관리기준결정

- (가) 시공함수비 범위
- (나) 다짐율(도) 또는 다짐밀도
- (다) 포화도와 투수계수
- (라) 입도, 자갈함유율 및 재료의 혼합
- (마) 강도
- (바) 급속시공관리도 작성

(5) 설계조건을 감안한 시공상의 주의사항

상기의 해석을 한 결과 필요에 따라 제체의 침투수 및 활동에 대한 안전성에 대하여 검토하고 설계에 반영하는 것이 좋다.

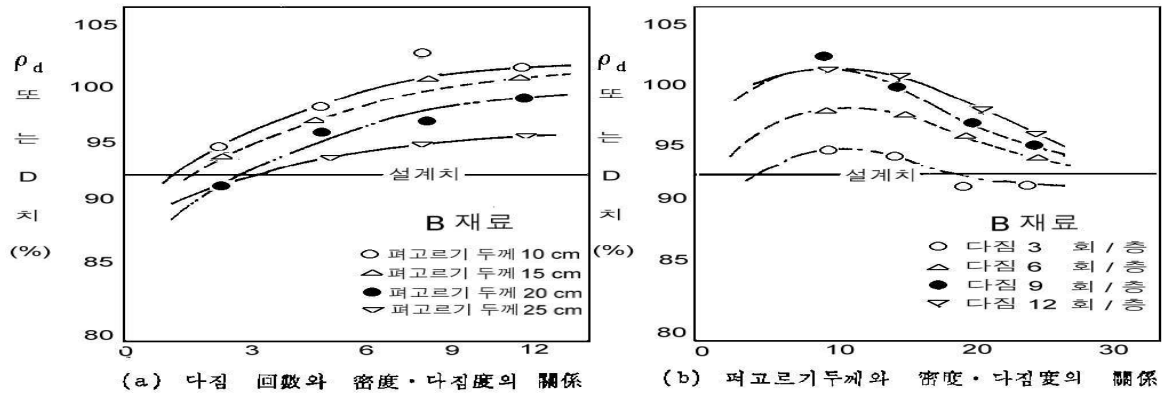


그림 5.3.7 다짐회수, 밀도(ρ_d), 다짐도(D)의 관계

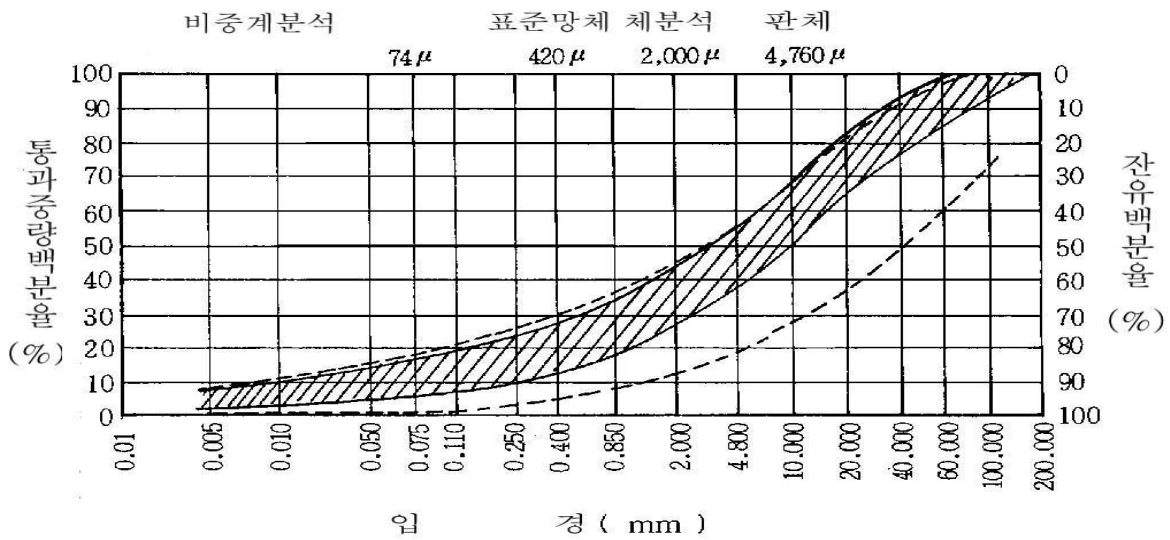


그림 5.3.8 다짐등 작업에 따른 입도분포의 변화(예)

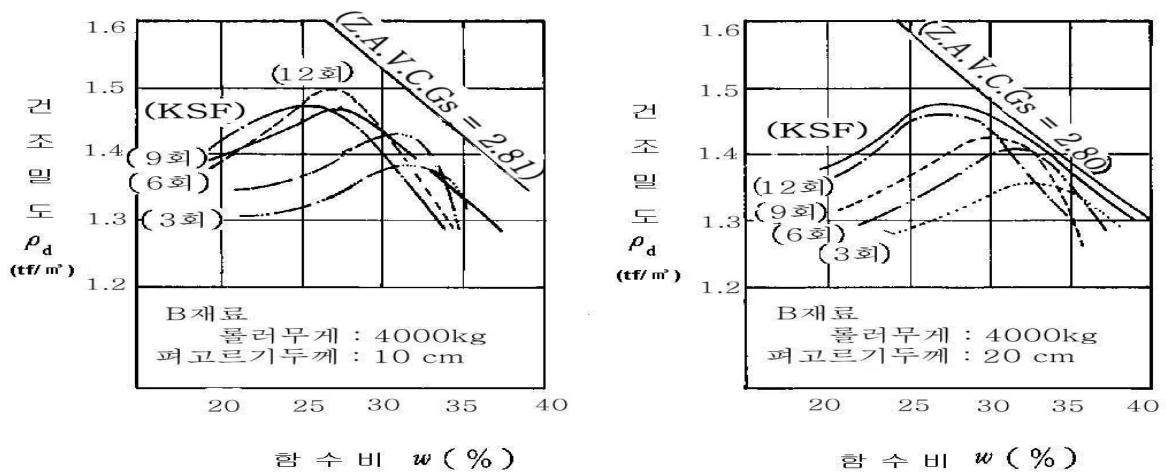


그림 5.3.9 최적함수비와 최대건조밀도

다. 토질재료의 시공

토질재료를 시공할 경우는 펄 고르기 두께의 검사, 과대입경의 제거 및 소요 품질의 성토가 얻어지도록 다짐을 하고 다짐종료 후 다음 층의 펄고르기를 하기 전에는 반드시 검사해야 한다.

1) 일반사항

가) 펄 고르기 두께의 검사

평상시 펄 고르기 두께의 검사는 시공블록의 시공면적과 차량의 대수로 점검하며, 월별 성토고는 수준측량으로 점검하고 그 달(月)의 성토층수로 일층당 펄 고르기 두께를 검사한다.

나) 펄 고르기 방향

축제재료의 펄 고르기는 원칙적으로 댐축과 평행하게 시공하며, 투수성인 랜덤부 등에서는 방향을 설정할 필요가 없다.

다) 과대입경 제거

과대입경의 규정은 펄 고르기 두께의 $\frac{1}{2}$ 정도가 표준인데 각 댐의 사정에 따라 $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ 까지 규정하고 있다. 과대입경의 제거방법은 취토장에서 레이크도저, 스크린플랜트로 제거하고 연암재료는 세립화하여 성토면 위에 산포하고 성토면 위에서는 작업인이 제거한다.

라) 다짐

다짐장비의 주행속도를 미리 정하고 다짐회수 검사는 시공블록의 면적과 다짐차량의 다짐폭, 주행속도 등을 고려하여 다짐시간수로 전체적인 검사를 한다. 다짐작업은 먼저 다져진 부분과 새로 다질 부분은 30~50 cm가 중복되게 한다. 준의 경계부는 양쪽 준의 다짐기계가 인접하는 준을 20 cm 정도 겹치게 다진다. 또 원지반과의 접합부는 원지반까지 다지도록 다짐차량을 진입시켜 다짐을 충분히 해야 하며, 다짐방향은 원칙적으로 펄 고른 방향과 같게 한다.

마) 다짐종료후의 검사

다짐종료 후 다음 층의 펄고르기를 하기 전에 반드시 검사해야 한다. 이 검사는 정기적으로 하는 관리시험과 공사감독원이 다짐구역을 관찰하여 다짐의 양부를 확인한다. 이때 주의해야 할 것은 원지반과의 접합부, 인접 준과의 경계부, 운반장비의 주행로 등이다. 차수부에서는 다음 층을 펄 고르기 전에 운반차량에 의하여 만들어진 바퀴자국이나 표면이 판판하게 된 부분을 긁어 일으켜 다음 층과 접합이 잘 되도록 한다.

바) 강우 대책

필댐에서 기상조건에 따른 성토작업 가능일수는 매우 중요한 사항이며, 강

우대책으로는 다음과 같은 방법이 있다.

(1) 가설도로의 정비(아스팔트포장 또는 생석회나 쇠석 등으로 노면정비를 하여 강우 직전에도 주행할 수 있도록 한다.)

(2) 취토장 정비(교란된 부분은 플레이트 롤러, 타이어 롤러 등으로 다짐을 하여 빗물이 침투하지 않도록 한다.)

(3) 성토면 위는 플레이트 롤러 등을 사용하여 표면을 평활하게 다짐하여 배수가 잘 되게 하고 또한 강수의 침투를 방지한다.

(4) 함수비가 많은 재료가 생산되는 지구는 사질계 재료와 혼합하기 위한 가적치장 설치도 검토한다.

사) 동계성토

-4~ -6 °C 정도까지 성토작업을 할 수 있으나(-12°C까지 작업을 한 예도 있다) 0°C에서의 건조밀도와 24°C에서의 건조밀도를 비교하면 0.1 tf/m³나 낮으므로 사용토가 동결되지 않도록 1일 24시간, 1주 7일간을 계속하여 성토하는 방식이 좋다. 캐나다의 Kenny댐에서는 소금을 1 % 혼입하여 빙점을 내려 시공을 한 예도 있다.

아) 건조기의 시공

소요의 함수비보다 더 건조되는 시기에는 성토재료의 투수계수가 커지므로 야간작업으로 바꾸거나 살수를 하고 다짐차량의 중량을 증가시키는 등의 조치를 취한다.

2) 차수부의 시공

가) 댐 양안부의 다짐

차수부의 다짐은 댐축에 평행히 다짐용 롤러를 운행시키는 것이 원칙이며, 일반적으로 댐 양안부는 다짐용 롤러에 의한 다짐이 곤란하고 또한 기초암반이 파괴될 우려가 있으므로 양안부 다짐은 소형다짐기계를 사용한다.

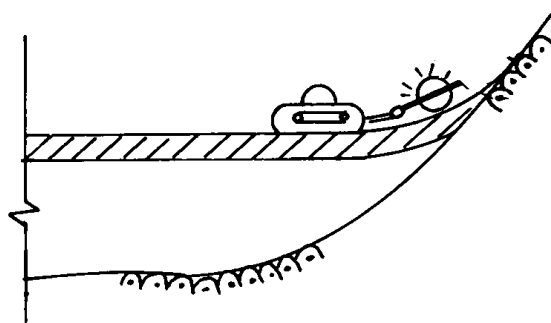


그림 5.3.10 양안부의 전압

그러나 소형다짐기계는 다짐능률이 나쁘고 일반적으로 다짐효과도 적어서 보통 그림 5.3.10과 같이 양안부 성토를 선행시켜 경사를 붙여 시공해 두면 이 경사에 의하여 암반이 손상되는 일이 없어 기초에 더욱 가까이 접근한 부분까지 롤러로 다짐을 할 수 있다.

나) 펴 고르기

차수부를 시공할 때 코어재료의 펴 고르기는 댐축에 평행하게 하여 고르는 것을 원칙으로 하며, 댐축에 대하여 직각방향(상하류방향)으로 재료를 펴 고르기를 하여 시공하는 것은 좋지 않다.

다) 다짐(전압)

롤러에 의한 다짐은 펴 고르기와 같이 댐축에 평행이 다지는 것을 원칙이다. 특히 타이어 롤러를 사용할 경우 댐의 상하류방향의 다짐은 피한다. 그러나 기초에 접하는 부분은 댐 상하류 방향으로 다짐하게 되는 경우도 있으므로 이 때는 다음 층을 펴 고르기 전에 다짐면을 충분히 교란하여 층상호간에 접촉이 잘 되도록 한다.

소요 폭의 다짐이 끝나면 인접한 다음 폭의 다짐부로 옮길 경우는 다짐완료 부분과 30~50 cm 정도 중복되게 폭을 넓게 잡아 전압이 안된 부분이 남지 않도록 한다. 성토 모양은 거의 수평이거나 또는 배수가 잘 되게 상하류로 약간 경사지게 하면서 시공을 한다.

다짐에 의하여 그 면의 전단강도가 극단적으로 저하하는 경우(예를 들면 풍화된 운모편암 등을 함유한 흙의 경우)는 전단저항이 저하하는 면을 통과하는 활동을 방지하기 위하여 중앙부를 약간 낮추어 성토하는 경우가 있는데 이 때는 배수에 유의한다.

기초의 굴착이나 그라우팅 또는 재료운반을 위하여 차수부를 횡단하는 통로를 설치하는 경우 종단기울기는 보통 3할보다 느리게 한다. 작업상 뒤떨어진 부분에 성토를 할 경우는 선행성토부를 1 m 이상 단절(段切)하여 양자를 밀착시킨다.

라) 고탐수비 토질재료의 다짐

(1) 복합다짐법

토질재료의 다짐에는 주로 탬핑 롤러나 타이어 롤러가 사용된다. 재료의 함수비가 비교적 많을 경우는 탬핑 롤러 잇발 사이에 흙이 끼어서 다짐이 곤란한 경우는 타이어 롤러를 사용한다. 이 때 다짐면이 반질반질하게 되어 층의 상호간에 접촉이 나쁘게 되고 또한 깊이 방향의 밀도가 고르지 못하게 되는 등의 문제가 발생한다. 이들의 단점은 탬핑 롤러를 조합하여 사용하면 해결할

수 있다. 즉, 먼저 타이어 롤러를 사용하여 충분히 다져서 토층의 지지력을 증가시킨 후 탬핑 롤러를 사용하여 다지면 밀도가 균일하게 되고 층상호간의 접착성도 향상된다.

(2) 습윤다짐법

함수비가 많은 재료는 접지압이 낮은 불도저, 트랙터 등의 다짐기계를 사용하여 다진다. 이 경우는 기초의 형상, 차수부의 폭, 공기 등을 충분히 검토하여 침하 등이 발생하지 않도록 대책을 강구한다.

라. 투수성재료의 시공

1) 드레인의 시공

드레인은 다른 성토층과 평행하게 쌓는 방법과 성토를 먼저 한 다음 굴착을 하고 드레인재를 메우는 방법으로 시공한다.

가) 일반사항

드레인은 배수를 주목적으로 하는 것이므로 보통 필터와 드레인을 병용하는 경우가 많다. 이 때는 필터에 대한 주의사항도 고려해야 하며, 드레인의 시공상 주의해야 할 사항은 다음과 같다.

(1) 강우 후에 반드시 드레인 시공면을 점검하여 표면에 점토입자, 피복물 등이 퇴적되어있으면 제거한다.

(2) 시공중에는 드레인재료 내부로 인접한 재료가 혼입되지 않도록 한다.

(3) 1층의 성토가 완료되면 주수(注水)검사를 하여 통수능력을 검사한다.

(4) 드레인의 경계부가 느슨하게 되기 쉬우므로 경계부근은 과다짐이 될 정도로 충분히 다진다.

나) 단일 드레인 시공

드레인은 다른 성토층과 평행하게 쌓아올리는 방법과 성토를 먼저 한 다음 굴착을 하고 드레인재를 메우는 방법으로 시공을 한다. 굴착에 의한 방법은 성토면이 1.5 m 정도 올라간 시점에서 보통 백호우 등으로 드레인을 트렌치를 굴착하여 소요의 재료를 퍼 고르고 다짐을 한다.

이 작업에서 트렌치 굴착 때 성토 내부에 과대한 인장응력이 작용하여 점토재에 균열이 생기는 경우는 굴착높이를 1 m 이하로 설계하는 등의 배려를 해야 한다. 또한 앞서 시공한 드레인 붕괴를 방지하기 위하여 드레인 표면을 철판이나 거적으로 피복하는 것은 좋지 않다(그림 5.3.11 참조).

드레인을 성토와 평행하게 시공할 경우는 거푸집을 이용하거나 성토와 드레인을 번갈아 쌓아올리는 2가지 방법이 있다.

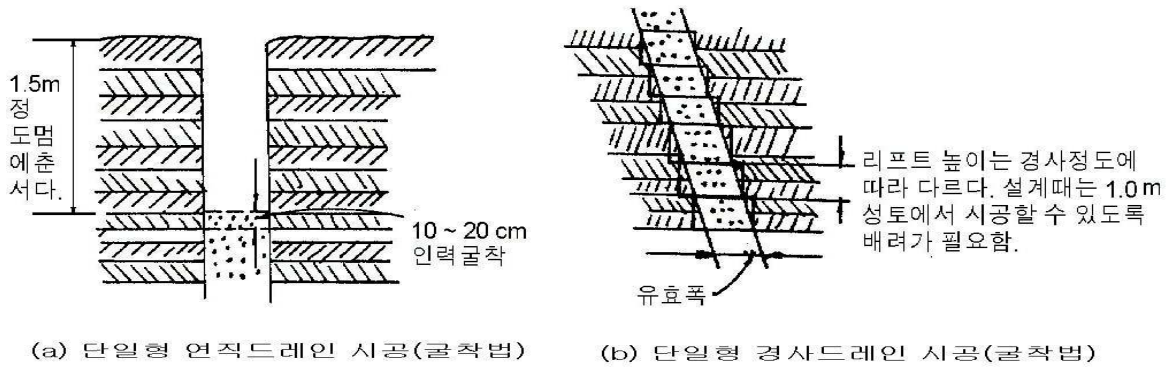


그림 5.3.11 단일형 드레인의 시공

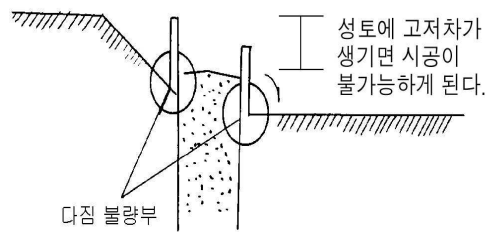


그림 5.3.12 단일형 수직 드레인의 시공(거푸집 사용)

거푸집을 사용하는 방법은 그림 5.3.12와 같이 성토작업 중 성토면과 수평을 유지하지 않으면 경계부근의 성토다짐이 잘 되지 않거나 거푸집을 뽑아 올릴 때 경계면이 느슨하게 되는 등의 결점이 있어 이 시공법은 일상의 공정관리가 까다롭다. 성토와 드레인재를 번갈아 쌓아올리는 방법은 그 경계가 지그재그 형태로 되어 드레인 재료의 사용량은 증가하지만 기계시공이 가능하고 경계면이 잘 형성되지 않으며, 또한 다짐이 잘 되는 등의 이점이 있다. 그러나 드레인면 위에 성토재료가 살포되어 불투수 피막이 형성될 우려가 있으므로 항상 작업원을 2인 정도 배치하여 이를 방지해야 한다(그림 5.3.13 참조).



그림 5.3.13 수직드레인의 시공

다) 다층형 드레인의 시공

다층형 드레인의 시공방법에는 거푸집을 사용하는 굴착방법과 동시에 성토 끌어올리기(거푸집 없이) 2가지 방법이 있는데 그림 5.3.14 및 그림 5.3.15는 시공 예이다.

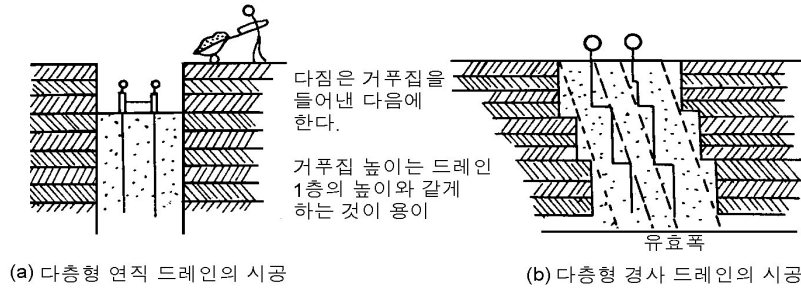


그림 5.3.14 굴착 + 거푸집 법

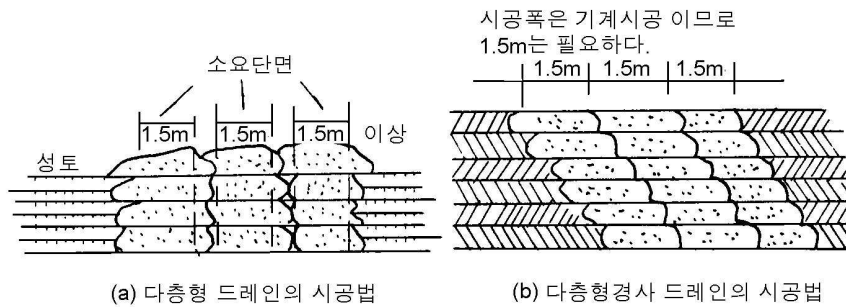


그림 5.3.15 축제와 동시에 시공하는 방법

2) 필터의 시공

흙댐에서는 대부분 드레인과 필터의 양 목적을 겸하는 준으로 시공되기 때문에 이 경우는 전술한 드레인 시공에 준한다.

가) 일반사항

필터는 재료가 다른 투수준과 불투수준의 중간 재료로 사용되는 것으로서 경우에 따라서는 준형으로 만드는 경우도 있다. 설계조건에 따른 입도배합의 필터를 시공할 때는 필터의 기능을 잃지 않도록 계속 관리해야 한다.

나) 단일 필터의 시공

흙댐에서는 대부분 드레인과 필터의 양 목적을 겸하는 준으로 시공되는 경우는 전술한 드레인 시공에 준한다. 여기서는 록필댐의 차수부와 트랜지션 사이에 설치하는 필터와 같이 폭이 넓어서 하나의 준으로 취급되는 필터에 대하여 기술한다. 재료는 사력이므로 재료의 실편이나 살포 등의 작업 중에

재료의 분리가 생기기 때문에 이점을 유의해야 하며, 단일 필터의 시공은 다음 방법에 따르는 것이 좋다.

- (1) 재료는 차수부 쪽을 향하여 부린다.
- (2) 트랜지션 쪽으로 향하여 퍼 고르기를 한다.
- (3) 살수를 하면서 다진다.

이렇게 하면 차수부 쪽에 세립재료, 트랜지션 쪽에 조립재료가 시공되어 급격한 입도변화를 막을 수 있다. 살수는 저수 후 재료의 이동을 방지하기 위한 것이므로 트랜지션과의 경계부에서는 특히 필터재료가 트랜지션 쪽으로 유출되는 일이 있으므로 주의한다.

다) 존형 필터의 시공

전술한 “다층형 드레인의 시공” 참조.

3) 트랜지션의 시공

트랜지션의 살포두께는 재료 최대입경의 1.1~2.0배가 적당하며, 다짐은 타이어 롤러나 진동 롤러를 사용한다. 밀도는 모래치환법, 물 치환법으로 측정하여 관리한다.

가) 살포두께

트랜지션의 살포두께는 사용재료 최대입경의 1.1~2.0배가 적당하며, 일반적으로 1.3배 정도가 채용되고 있다.

나) 다짐

트랜지션의 다짐에는 타이어 롤러나 진동 롤러를 사용하며, 최근의 경향은 진동 롤러가 많이 쓰이고 있다. 트랜지션은 살수 후 다짐하거나 다짐 후 살수하는 것이 저수시의 침하가 적다고 한다.

다) 밀도관리

작은 입경재료의 트랜지션재료는 모래치환법, 입경이 큰 재료는 물치환법으로 밀도를 측정하는데 다음 방법을 병용하면 좋다.

먼저 운반차량 10대(n대) 정도를 검량(檢量)하여 1대당 재료운반량 W(t/대)를 평균치로 산출하고, 3~5층을 살포, 다짐할 때마다 수준측량을 하여 성토고 H(m)를 산출한 후 평면도로 시공면적 A(m²)를 구한다. 이 때 성토밀도 γ_t 는 다음 식으로 구한다.

$$\gamma_t = \frac{nW}{HA} \dots\dots\dots(5.3.1)$$

라) 시공

비교적 세립을 많이 함유한 트랜지션 재료의 성토는 장래 침하를 방지하기 위하여 퍼 고르고 다짐을 하면서 쌓아 올려야 한다. 퍼 고르기를 할 때는 필

터와 같이 재료분리가 일어나므로 이를 방지하기 위하여 적당한 간격으로 덤프 하여 퍼 고르기를 한다. 그러나 석산에서 암재료와 트랜지션 재료를 구분할 수 없는 경우는 상기의 성질을 이용하여 차수부 쪽에서 체체의 외측을 향하여 퍼 고르기를 하여 트랜지션의 과대입경재료를 록존으로 밀어낸다. 이 때 퍼 고르기 기계는 레이크 도저를 사용한다.

4) 록존의 시공

암재료를 시공할 때는 운반차량의 운행을 쉽게 하기 위하여 불도저로 노면을 고르고, 쌓아 올릴 때 기초지반이나 트랜지션 존과의 경계부는 재료를 급변시켜서는 안 된다

가) 일반사항

(1) 시공 중 각 리프트의 표면

암재료 운반차량의 운행을 쉽게 하기 위하여 불도저로 노면을 고르며, 경우에 따라서는 암부스러기로 고르게 하여 평활하게 하기도 한다. 때로는 다짐작업이나 기계의 주행에 의하여 살포층의 표면이 세립화되는 경우도 있다. 이러한 경우는 투수성, 저수후의 침하, 필요한 전단강도 확보에 지장이 있으므로 사수(射水)를 하여 세립분을 암재료 간극 안으로 혼입시키거나 리퍼로 표면을 긁어 일으켜야 한다.

(2) 트랜지션 등과의 경계부 시공

암재료를 쌓아 올릴 때 기초지반이나 트랜지션 존과의 경계부는 재료를 급변시켜서는 안 된다. 즉, 기초지반이 토질재료로 구성된 경우는 필터층을 설치하거나 가급적 세립의 암을 덮는 등의 배려를 해야 하고 트랜지션과의 경계도 이 재료가 암재료 속으로 혼입되지 않도록 가끔 시험하여 검사한다.

(3) 겨울철 시공

기온이 빙점 이하로 내려가면 살수하는 물이 얼어서 처리가 불완전하게 되고 또한 눈이 쌓여 있을 때의 작업도 불완전하게 되기 쉽다. 따라서 이는 침하요인이 되기 때문에 눈이 많이 오는 추운 지방에서는 원칙적으로 겨울철에 시공을 해서는 안 된다.

(4) 시공관리

뜬돌 형태로 된 재료의 안정 및 각 존 경계부에 대해서 관리해야 하며, 밀도는 트랜지션의 밀도측정법과 같은 방법으로 한다.

나) 퍼 고르기 두께

암재료의 한 층당 퍼 고르기 두께는 다짐을 할 경우 최대입경의 1.1~2.0배가 적합하며, 일반적으로 1.3배 정도가 채용되고 있다. 투석방식에 의할 경우

도 최대입경의 5배 정도를 1리프트로 한다.

다) 쌓기

록을 쌓는 방법에는 (1)투석방법, (2)떠 고르기 다짐방법, (3)양자의 중간으로 투석자연다짐방법이 있다. 편의상 (1)은 높은 리프트공법(리프트 4 m를 넘는 투석쌓기), (2)는 떠 고르기 다짐공법, (3)은 낮은 리프트공법(리프트 1~4 m의 투석쌓기)라 한다. 최근 암재료는 입자가 견경(堅硬)하고 큰 것이 적어서 높은 리프트공법보다 떠 고르기 다짐공법이 많이 채용되고 있다.

(1) 높은 리프트공법

이 공법은 리프트가 높으면 높을수록 좋다. 운반도구가 적어도 되며, 다음과 같은 사유로 치밀한 다짐을 얻을 수 있다고 보기 때문이다.

(가) 투석을 하여 쌓으면 재료분리가 일어나 침하되기 쉬운 세립분이 리프트 상층에 집중된다.

(나) 리프트가 높을수록 투석에너지가 크다.

(다) 암재료가 긴 사면을 굴러 떨어질 때 장차 재하량에 의하여 파괴되어 침하요인이 될 모난 것이 파괴된다.

이러한 사항을 전제조건으로 재료가 견경(堅硬)하고 세립분이 적어야 하며, 높은 리프트공법으로 시공한 댐의 예를 들면 표 5.3.12와 같다.

표 5.3.12 높은 리프트공법에 의한 투수준의 시공예

댐 명 칭	소재국명	쌓는 방법				재료의 크기
		리프트 (m)	사 수 (射水)			
			수량/쌓는 양	수압(kgf/cm ²)		
Salt springs	미 국	20~50	-	-	최대 25 t	
Nantahala	"	40	4	-	최대 19 t	
Bear creek	"	53	4	-		
Kenny	커나나	12	2	7		
野 反	일 본	13~17	4	12	0.2~2 t	
岩 洞	"	10	3	5		

(2) 낮은 리프트공법

이 공법은 투석에너지와 떠 고르기 작업 및 운반 차량의 통과에 의하여 다짐을 하는 것이므로 재료가 세립일수록 투석효과가 적기 때문에 기계다짐효과를 기대해야 할 경우에 이 공법을 채용한다. 재료분리가 적고 조밀한 다짐을

할 수 있다는 점에서 볼 때의 투석방법은 그림 5.3.16(a)의 방법을 채용하는 경우가 많으며, 퍼 고르기 다짐공법의 경우에도 해당된다. 이 공법에서는 일반적으로 살수를 하지 않고 쌓아올리는 경우가 많으나 경우에 따라서는 살수를 하기도 한다.

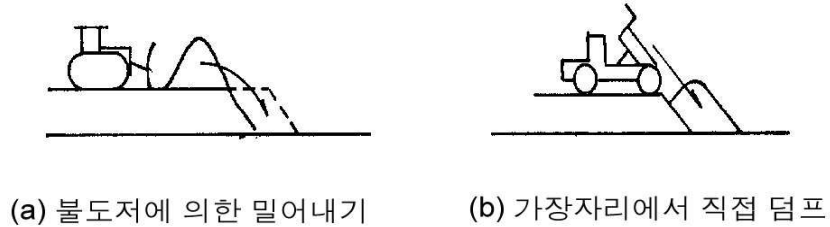


그림 5.3.16 투석(dump) 공법

운반차량의 다짐효과를 위하여 차량의 진입로를 가끔 바꾸고 먼저 쌓아올린 리프트면을 요철 없이 평평하게 하여 주행할 수 있게 해야 하며, 차량을 통과시키면 상면이 평활하게 되어 다음 층과 접촉시킬 때는 반드시 리퍼 등으로 긁어 일으켜야 한다.

이 공법과 퍼 고르기 다짐공법은 먼저 쌓은 부분과 현재 쌓고있는 부분 사이에 공정에 따라 1층 또는 몇 층의 고저차가 생기는 수가 있다. 또한 먼저 쌓은 부분에서도 사면은 다져지지 않으며, 또 비탈면에는 분리된 조립자가 모여있는 것이 보통이다. 이러한 조립자는 제거하고 사면은 잘 다져진 곳까지 잘라 무너트려서 쌓고 있는 리프트와 일체로 그 위에 쌓아 올려서 제체가 고르게 시공한다. 낮은 리프트공법의 시공 예는 표 5.3.13과 같다.

표 5.3.13 낮은 리프트공법에 의한 투수준의 시공예

댐 명 칭	소 재 국 명	평균입경(mm)			쌓는 방법			다짐정도	
		D ₁₀	D ₅₀	D ₈₀	사 수 량 (수량/쌓는 양)	사수압 kgf/cm ²	리프트 (m)	건조 밀도	간극비
El Infiernillo 투석준	멕시코				3	5	2	1.77	0.54
Goscheneralp	스위스	0.5	15	50	0.5	2.5			
水 窪 造 립 世 립	일 본	8	35	130	3	5	2	1.9	0.42
		1	25	100		5	1	1.97	0.36

(3) 펴고르기 다짐공법

이 공법은 효과가 미치는 깊이 이내의 두께로 재료를 펴 고르고 20 t 정도 이상의 중불도저, 50 t 정도의 타이어 롤러 및 5~13 t 정도의 평동형(平胴型) 진동 롤러 또는 진동형 타이어 롤러가 등으로 다짐을 하는 방법이다. 타이어 롤러는 비교적 세립재료에 적합하고 효과가 미치는 범위는 비교적 얇다. 진동 롤러는 큰 덩이를 함유하는 조립재료에도 효과가 있으며, 그 효과가 미치는 깊이는 2.0 m 정도에 달한다.

다만, 세립분이 많은 재료를 진동 롤러로 다지면 세립분이 위로 떠올라와 오히려 약한 층을 만들므로 주의한다. 층두께는 재료 및 기계에 따라 다르나 최대입경의 1~2배로 정하고 있다. 다짐장비에 따른 펴 고르기 두께는 일반적으로 타이어 롤러가 60 cm이하, 중불도저가 1 m 전후, 그리고 진동 롤러의 경우는 중량에 따라 0.5~2 m 정도의 범위이다.

앞서 말한바와 같이 다짐면이 평활하게 되므로 다음 층을 쌓기 전에 먼저 긁어 일구어야 하는데 진동롤러로 50 cm 정도의 얇은 층을 채용할 경우는 아래층과 상부의 밀착 다짐이 가능하므로 긁을 필요가 없다. 펴 고르기 다짐공법에서는 다지기 전에 무압수(無壓水)를 살수하거나 사수(射水)를 하는 경우도 있다.

5.3.4 사면마무리와 사석

축제사면은 표면이 붕락되지 않도록 충분히 다져서 마무리한다.

축제사면은 규정된 사면치수보다 조금 바깥까지 축제하고 롤러로 충분히 다짐을 한 다음 불도저 또는 인력으로 규정된 면까지 깎아 내는 것이 좋다. 사석은 저수위의 급저하 또는 파랑에 대해서 축제사면이 충분히 보호되도록 시공한다. 표면사석재료의 입도는 채석장에서 미리 조정을 하고 시공은 축제보다 조금 늦게 시공을 하며, 윈치가 붙은 트럭으로 운반하여 내리거나 아래에서 불도저로 밀어 올리거나 또는 평행높이로 토운차 레일을 설치하고 점차 레일을 높여 가면서 운반을 한다.

5.3.5 아스팔트 포장

배합설계, 구조, 시공방법을 최종적으로 결정하기 위하여 현장에서 포장시험하고 다짐을 할 때는 차수벽 포설을 동시에 하며, 일반적으로 세로마무리 및 가로마무리로 다짐시공을 한다.

가. 다짐

다짐을 할 때는 차수벽 포설을 동시에 하는 것이 좋으며, 일반적 다짐 시공 방법은 다음의 2가지가 있다.

1) 세로마무리

사면방향으로 상하로 다져 마무리하는 공법이다. 일반적으로 다지는 작업이 가능한 단면 반경은 곡률반경으로 25 m 정도까지이며, 곡선부는 이어 붙여 시공한다.

2) 가로마무리

사면방향에 직각으로 다져 마무리하는 공법이다. 일반적으로 다지는 작업이 가능한 평면 반경은 곡률반경으로 15 m 정도까지이며, 곡면부는 곡면 그대로 시공이 가능하다.

나. 구조물과의 접합

1) 일반사항

콘크리트 구조물과 아스팔트 콘크리트는 기본적으로 완전히 접촉되지 않는다는 것을 충분히 고려하여 시공한다.

2) 검사로와의 접착

검사로와 차수벽하단 및 지수벽의 접합부는 가급적 직선 또는 느린 곡선이 되도록 접합시켜야 한다.

5.4. 시공관리

댐 시공은 관계법령, 지방서, 기준 등 제반 법규를 준수하고 합리적이고 효과적인 방법으로 관리한다.

댐 공사는 완벽한 시공준비와 치밀한 시공계획, 철저한 시공관리에 의해서만 설계에서 정한 품질의 댐을 소정의 공사기간 내에 경제적으로 시공할 수 있게 된다. 시공관리는 시공계획, 시공준비와 밀접하게 연결되어 있으므로 이들(시공계획, 시공준비)에 의하여 시공관리가 가능해지고 또 이들에 의해 시공을 관리해야 한다고 할 수 있다.

시공관리는 일차적으로 품질관리, 공정관리, 원가관리로 구분되며 일차적 구

분을 전문화하고 효율적으로 보완하기 위하여, 자재관리, 노무관리, 장비관리, 시설관리, 안전관리, 환경관리, 기술관리, 재무관리 등으로 세분된 이차적 관리 구분을 사용하기도 한다.

시공관리를 위하여 사전에 시공준비 상황을 점검하여 준비가 안되었거나 미흡한 사항이 있을 때에는 촉구, 유도하여 완벽한 준비가 되도록 해야 하며, 시공계획을 분석 숙지하여 계획상의 모순이나 무리한 부분이 있을 시에는 수정, 보완하도록 해야 한다. 다시 말하면 시공준비, 시공계획, 시공관리는 상호 유기적으로 작용하여 보완 추진되는 것이다. 그러나 무엇보다 중요한 것은 관련 법령과 KSF 규정, 그리고 시방서를 준수하고 이에 따라 관리해야 한다.

5.4.1. 품질관리

필댐 시공에 있어서의 품질관리는 설계에서 정한 품질의 댐이 시공 되도록 통제 관리하는 것이며, 품질규정 방법과 공법규정 방법이 있고 이 두 방법을 병행하여 관리하는 복합규정 방법이 있다. 이 방법들은 각기 장단점이 있으므로 공사의 성격, 규모, 토질조건 등 현장상황과 방법의 장단점을 고려하여 채택 관리한다.

필댐의 품질은 축제재료와 시공방법에 의하여 대부분 결정되며 시공 전에 시공결과 얻어지는 품질의 기준 값을 정하여 놓고 시공후의 품질이 정해진 품질기준치에 부합여부에 의하여 관리하는 것을 “품질규정방법”이라 하며, 일반적으로 많이 이용되는 방법이며 “공법 규정방법”은 설계에서 정한 품질기준을 얻기 위한 시공방법 (전압기중, 전압회수, 전압속도, 성토부설 두께 등)을 정하여 엄격히 준수함으로써 시공을 관리하는 방법이며 토질의 함수비 변화가 없는 경우에 유효한 방법이고 자갈, 호박돌 등 품질검사가 어렵고 공정이 늦어졌을 때 등 제한적으로 이용되는 방법이다.

이상 각각의 품질관리방법은 장단점이 있으므로 각 방법의 장점을 살려 공사의 성격, 시공규모, 토질조건 등 현장상황을 고려하여 선택하도록 한다.

가. 품질규정 방법

품질규정방법에는 다짐을 규정방법, 포화도 규정방법, 공기공극율 규정방법, 강도규정방법 등이 있으며, 각기 특성과 장단점이 있으므로 2~3개의 표준값

을 규정하여 관리하는 것이 바람직하다.

1) 건조밀도 규정방법

이 방법은 일반적으로 많이 이용되는 방법으로서 성토의 건조밀도와 다짐 최대건조밀도의 비율(다짐률)이 규정치 이상이고, 허용함수비가 최적 함수비를 기준으로 규정치 범위 안에 있도록 규정하는 방법이다. 즉, 다짐율과 허용함수비를 규정하는 방법이다.

표 5.4.1 품질관리 방법

품질관리방법		일반적인 품질관리기준
품질규정 방법	건조밀도 규정방법	다짐율 (D) = 95 ~ 100 %
	포화도 규정방법	포화도(S) = 85 ~ 95 % 이상
	공기공극율 규정방법	공기공극율(Va) = 2 ~ 10 %
	강도 규정방법	qc값, K값, CBR값
공법 규정방법		성토 부설두께, 전압기종, 전압회수, 전압속도
복합 규정방법		품질규정방법과 공법규정 방법의 병용

2) 포화도 또는 공기공극율 규정방법

이 방법은 모든 흙의 함수 비에 적용할 수 있는 장점이 있으나 함수비가 낮으면 낮을수록 큰 다짐에너지가 필요하며, 반대로 함수비가 높으면 적은 에너지로도 허용한계에 들게되어 강도면 에서는 약한 상태에서 규정 치에 합격하게 되므로 성토의 안전과 시공에 필요한 강도가 얻어지는 가를 확인할 수 없다. 그러므로 이 방법을 규정할 때는 소요의 강도를 얻을 수 있는 허용 함수비를 동시에 규정하는 것이 바람직하다.

3) 강도규정방법

이 방법은 물의 투수에 의한 팽창 및 강도저하가 적은 필(fill)재료(모래, 자갈, 호박돌 등)에 적합하다. 특히 자갈, 호박돌 등은 건조밀도의 측정이 곤란할 때가 많으므로 이 방법이 편리하다. 이 방법은 일반적인 강도의 기준치가 없으므로 현장에서 정해야 한다.

나. 공법 규정방법

전항의 품질규정 방법 중 어느 한 규정치를 기준으로 성토의 전압시험을 하여 기준에 합격한 방법, 즉 성토부설두께, 전압기종, 전압회수, 전압속도 등을

규정하고, 이 규정을 엄격히 준수하도록 관리하는 방법으로서 특히 자갈, 호박돌 등의 다짐에 적합하다.

다. 복합규정방법

전항의 각 방법의 장점을 살려서 품질규정방법과 공법 규정방법을 효율적으로 이용하는 방법으로서 공법규정에 따라 시공을 하고, 성토품질은 품질규정으로 관리하는 방법이다. 필댐의 축제 품질관리는 이 방법으로 관리하는 것이 가장 바람직하다. 위와 같이 품질관리방법에 대하여 설명하였고, 실제 위의 방법으로 관리하더라도 공사현장에서 현실적인 관리방법은 관찰과 시험에 의하여 관리한다고 말할 수 있다.

라. 관찰관리

필댐 시공에 있어 가장 중요하고 일차적인 관리는 관찰관리이다. 제체시공 작업의 출발점인 토취장의 상태, 즉 흙의 균질성, 공학적 성질, 함수비, 이물질 포함여부 등 중요한 사항의 일차적인 관리는 육안관찰에 의하여 이루어진다.

토취장에서의 주요 관찰항목을 ① 흙의 용도별 (중심점토용, 일반성토용, 포토용 등) 공학적 성질의 분별과 적합성 여부, 균질성, ② 흙의 함수상태 (허용 함수비 이내 또는 과다), ③ 나무뿌리 등 유기물질 포함여부와 자갈, 호박돌 등의 포함정도 등을 관찰한다. 일차적으로 현 상태에서 사용가능여부를 판단하여 조치(사용가능 할 경우 굴착, 적재, 운반작업 허용조치, 불가능 할 경우 작업중지 등 조치)하고 시료를 채취, 시험하여 관리하게 된다. 축제 현장에서는 운반된 흙의 허용함수비, 펴고르기 두께, 다짐 상태 등을 관찰하고, 이에 따라 일차적으로 관리하고 시료를 채취, 시험하여 후속 관리하게 된다.

마. 시험에 의한 관리

품질관리를 위한 토질시험은 재료시험과 관리시험으로 구분한다. 재료시험은 설계시에 성토재료 선정을 위하여 실시하고, 시공시에는 자료를 그대로 사용하므로 실시하지 않는 것이 일반적이나 토취장의 변경 또는 동일 토취장에서도 전혀 다른 흙이 나타날 때는 재료시험을 하여 품질을 관리해야 한다. 품질관리시험은 함수비 측정, 다짐시험, 현장밀도 측정, 투수시험을 실시하며, 시험은 시험규정(KSF), 지방서, 시험기준에 따라 종목별 빈도로 실시한다.

1) 함수비 측정

흙의 함수비 측정은 KSF 2306 규정에 의하여 온도 $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 의 건조로에서

시료를 건조시켜 습윤토로부터 증발된 수분중량과 그 흙의 건조중량과의 비를 백분율로 표시하는 것으로 표 5.4.3 과 같이 계산하며 건조시간은 일반적으로 16시간이다.

2) 다짐시험

가) 표준다짐시험

다짐시험은 KSF 2312에서 규정한 시험방법으로 용적 1,000 cc 몰드에 시료를 삼층으로 나누어 넣으면서 각층마다 2.5 kg의 래머(rammer)로 25회씩 낙하(낙하높이 30 cm)시켜 다지고, 다져진 시료의 무게와 함수비를 측정하여 건조밀도를 구하는 시험이다.

표 5.4.2 일반적인 품질관리시험

시험구분	시험종목	시험규정	시험목적
재료시험	입도	KSF 2302 KSF 2309	입도에 의한 흙의 분류
	액성한계	KSF 2303	소성도에 의한 흙의 분류
	소성한계	KSF 2304	“
	비중	KSF 2308	흙의 기본적 성질
	함수비	KSF 2306	“
	다짐	KSF 2312	다짐률 및 시공허용함수비
관리시험	함수비	KSF 2306	건조밀도로 관리할 때
	다짐	KSF 2312	“
	현장밀도	KSF 2311	“
	현장투수	-	필요시

표 5.4.3 함수비의 계산표(예)

계산순서	측정회수	
	1	2
① 용기번호	18	15
② (용기+ 습윤시료)중량, g	126.16	134.34
③ (용기+ 건조시료)중량, g	107.51	113.91
④ 용기중량	20.75	18.46
⑤ 수분중량 ②-③ g	18.65	20.43
⑥ 건조시료 중량 ③-④ g	86.76	95.45
⑦ 함수비 ⑤/⑥×100. %	21.50	21.40
⑧ 평균함수비 W, %	21.45	

표 5.4.4 함수비의 계산표(예)

계산순서	측정회수						
	1	2	3	4	5	6	7
① (몰드+ 습윤시료) 중량 g	4,012	4,175	4,296	4,359	4,332	4,289	4,207
② 몰드 중량, g	2,280	2,280	2,280	2,280	2,280	2,280	2,280
③ 습윤시료중량, ①-②g	1,732	1,895	2,016	2,077	2,052	2,009	1,927
④ 몰드용적	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
⑤ 시료의 습윤단위 중량 ③/④ g	1.732	1.895	2.016	2.077	2.052	2.009	1.927
⑥ 함수비 %	11.45	14.87	16.40	18.75	20.83	22.60	24.30
⑦ 시료 건조밀도⑤/(1+⑥/100) g/cm ³	1.554	1.654	1.732	1.749	1.698	1.639	1.550

시험방법은 시료의 함수비를 건조측에서 습윤측으로 변화시켜 가면서 4~7 회 정도의 다짐시험을 실시하여 다짐곡선(함수비-건조밀도 곡선)을 그리고 최적함수비와 최대건조밀도를 구한다. 허용함수비는 최적함수비의 ±5 % 이내로 하는 것이 일반적이다.

나) 급속다짐시험

표준 다짐시험으로 다짐한 성토층의 최대건조밀도 및 최적함수비의 측정치를 현장건조밀도 및 현장함수비와 비교하려면 최소한 24시간이 소요된다. 그러나 급속다짐시험은 시공현장에서 불과 1시간 내외로 현장함수비를 직접 측정하기 전에 현장밀도와 시험실 최대밀도의 비율(%)를 알 수 있으며, 같은 시간대에 현장함수비와 최적함수비의 차를 구할 수 있으므로 성토의 품질관리를 신속히 할 수 있다. 시험방법은 다음과 같다.

(1) 시료의 조제

① 현장 시험공에서 파낸 시료는 No. 4 체로 쳐서 통과분(-No. 4)을 다짐시험에 사용한다. 1회의 현장시험에서 다짐시험을 2~4회 해야하므로 1회분 시료를 3.5 kg으로 하면 약 14 kg 이상의 시료가 필요하다.

② 시료에 물을 가할 때는 신속하게 시료표면에 고루 뿌리고, 5분 이내에 물기가 완전히 퍼질 때까지 손으로 잘 혼합한다. 또한 시료를 말릴 때는 난로 건조 또는 자연건조를 시키며 시료를 자주 저어서 고르게 마르게 한다.

(2) 급속다짐(rapid compaction)

① 4번체 통과시료를 현장함수비 상태로 표준다짐방법에 의하여 다진 다음 그 시료에서 습윤밀도를 측정한다.

② 4번체 통과시료 3.5 kg에 물 70 cc (2 %)를 가하여 잘 혼합하고 표준

다짐 방법으로 다진다. 이때 습윤밀도를 1.02로 나누어 환산 습윤밀도를 구한다. 이때 도표를 이용하면 계산을 하지 않고 환산습윤밀도를 구할 수 있다. 이렇게 하여 얻은 결과로 포물선법에 의한 다짐곡선을 그린다.

(3) 품질관리 시험치

① 현장 건조밀도와 시험실 최대 건조밀도의 비율, 즉 다짐율 D(%)는 다음식으로 구할 수 있다.

$$D = \frac{\text{현장습윤밀도}}{\text{시험실최대건조밀도}} \times 100 \dots\dots\dots$$

(5.4.1)

현장 시험에서 함수비를 알기 전에 D를 구하려면 현장습윤밀도를 다짐곡선의 정점에 해당하는 습윤밀도로 나누면 된다.

$$D = \frac{\text{현장습윤밀도}}{\text{다짐곡선정점의습윤밀도}} \times 100 \dots\dots\dots (5.4.2)$$

② 현장 건조밀도와 현장 함수비 상태의 시료로서 표준다짐한 건조밀도의 비율인 C값은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$C = \frac{\text{현장건조밀도}}{\text{현장함수비로표준다짐한건조밀도}} \times 100 \dots\dots\dots (5.4.3)$$

위의 C값은 현장 함수비로 다질 수 있는 최대밀도에 대한 현장밀도의 비율을 말하는 것이며, 함수비를 알기 전에 이 C값을 구하려면 현장 습윤밀도를 함수율 0%시의 습윤밀도로 나누면 된다.

$$C = \frac{\text{현장습윤밀도}}{\text{다짐곡선상0\%의습윤밀도}} \times 100 \dots\dots\dots (5.4.4)$$

③ 시험실 최적함수비(W_o)와 현장함수비(W_f)의 차 (W_o - W_f)를 함수비 측정전에 구하려면 좌표의 0% 축과 곡선정점을 통과하는 수직축의 수평거리에 수정치를 더하면 된다.

④ 이상으로 산출한 D값, C값 및 W_o - W_f 값은 성토의 품질을 관리하는데 충분한 자료가 되며, 현장밀도 측정 및 다짐한 시료의 함수비를 측정하면 다음과 같은 값을 구할 수 있다.

○ 현장건조밀도 = $\frac{\text{현장습윤밀도}}{a + (W_f/100)} \dots\dots\dots (5.4.5)$

○ 시험실최대건조밀도 = $\frac{\text{다짐곡선정점(0점)의습윤밀도}}{1 + (W_f/100)} \dots\dots\dots$

(5.4.6)

○ 현장함수비로 다짐한 건조밀도 = $\frac{\text{다짐곡선상0\%시의습윤밀도}}{1 + (W_f/100)} \dots$

(5.4.7)

$$\circ \text{ 최적함수비} = W_f + \left(1 + \frac{W_f}{100}\right) \times (W_o - W_f) \quad \dots\dots\dots (5.4.8)$$

3) 현장밀도측정

품질을 관리하기 위한 성토의 밀도측정법은 물치환법, 코어커터(core cutter)법, 모래치환법, RI법 등이 있다. 모래치환법은 점성토, 사질토에 적합하며 최대입경 5 cm이하인 흙에 대해서도 측정이 가능하다. 보루메저(volumeasure)에 의한 물치환법은 사질이 많으면 고무 박막이 잘 터지므로 조립질이 적은 점성토에 적합하며 팽창성이 있는 흙에서는 시험공의 용적이 적게 측정되어 밀도가 커지므로 주의해야 한다. 코어커터(core cutter)법은 자갈을 함유하는 흙이나 비점성질토에서는 몰드가 잘 들어가지 않고 시료가 교란되므로 부적당하며, 점성토에 유효하다. 각 측정법에 대하여 설명하면 다음과 같다.

가) 물 치환법(KSF 2347 참조)

이 방법은 “보루메저”를 사용하여 밀도를 측정하며 이 시험기는 몸체와 밀도측정판으로 분리된다. 밀도측정은 다음 순서로 한다.

- ① “보루메저” 몸체를 분해하고 시린더에 물을 가득 넣은 후 조립한다.
- ② 성토표면의 느슨한 흙을 제거하고 평탄하게 고른 후 밀도측정판을 설치하고 그 위에 몸체를 올려 놓는다.
- ③ 몸체가 떠오르지 않도록 누르고 몸체에 있는 밸브를 열고서 고무밸브를 눌렀다. 놓는 동작을 반복하여 고무주머니를 흙바닥면에 밀착시켜 시린더의 수위가 최저점에 도달하도록 한 후 시린더에 나타난 눈금(용적)을 읽어 최초 읽은(Rs)값을 기록한다.
- ④ 고무밸브를 빼서 반대로 끼우고 고무밸브를 조작하여 시린더 안의 공기를 빼내서 고무박막이 시린더 안으로 되돌아오게 하고 밸브를 잠근다.
- ⑤ 몸체를 치우고 밀도측정판의 구멍을 통하여 소요의 심도로 시험공을 파고 파낸 흙을 전부 모아 흙의 무게(Ws)와 함수비를 측정한다.
- ⑥ 밀도측정판 위에 몸체를 올려놓고 고무밸브를 반대로 끼우고 밸브를 연다.
- ⑦ 몸체가 떠오르지 않게 잡고 고무밸브를 조작하여 고무박막이 시험공 안으로 들어가 밀착되어 수위가 최저점에 도달되도록 하고 이때의 눈금을 읽어 최종 읽음(Re)을 기록한다.
- ⑧ 고무밸브를 빼서 반대로 끼우고 고무밸브를 조작하여 고무박막이 시린더 안으로 들어가게 한 후 밸브를 잠그고 다음 측정장소로 옮겨 이와 같은

작업을 반복하여 밀도를 측정한다.

⑨ 밀도계산은 다음과 같이 한다.

$$V = Re - Rs, \gamma_t = \frac{W_s}{V}, \gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + \left(\frac{\omega}{100}\right)} \dots\dots\dots (5.4.9)$$

여기서 V : 시험공의 용적(cm³), Re : 보루메저 수위의 최초 읽음(cm³)
 Rs : 보루메저 수위의 최종 읽음(cm³), γ_t : 성토의 습윤 단위중량(g/cm³)
 Ws : 시험공에서 파낸 흙의 무게(g), γ_d : 성토의 건조단위중량(g/cm³),
 ω : 성토의 함수비(%)

나) 코어커터법

이 방법은 코어커터를 사용하여 밀도를 측정하며, 측정순서는 다음과 같다.

① 성토표면의 느슨한 흙을 제거하고 평탄하게 고른 후 코어커터를 올려 놓고 코어커터 주변을 파내려 가면서 코어커터를 천천히 압입한다. 이 때 충격하중을 주면 안되며 불가피 할 때는 햄머나 각목으로 가볍게 타입한다.

② 코어커터의 카라까지 성토 중에 압입하고 코어커터의 외측과 밀을 파서 코어커터를 들어 올린다. 이때 코어가 교란되지 않도록 조심해야 한다.

③ 코어커터에서 카라와 선단 날을 빼고 시료의 상·하면을 곧은 날로 원통 중심부에서 가장자리를 향하여 깎아서 평평하게 정형한다.

④ 정형한 시료가 들어 있는 원통의 무게(Ws+c)를 측정하고 아울러 시료의 함수비도 측정한다.

⑤ 밀도는 다음과 같이 구한다.

$$V = \frac{\pi D^2}{4} H \text{ (cm}^3\text{)}, W_s = W_{(s+c)} - W_c \text{ (g)} \dots\dots\dots (5.4.10)$$

$$\gamma_t = \frac{W_s}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)}, \gamma_d = \frac{\gamma_t}{1 + (\omega/100)} \text{ (g/cm}^3\text{)} \dots\dots\dots (5.4.11)$$

여기서 V : 원통의 용적(cm³), D : 원통의 안지름(cm), H : 원통의 높이(cm),
 Ws : 원통에 들어있는 흙의 무게(g), W(s+c) : 원통에 들어있는 흙과 원통의 무게
 (g) Wc : 원통의 무게(g), γ_t : 성토의 습윤단위중량(g/cm³), γ_d : 성토의 건조단위중
 량(g/cm³), ω : 성토의 함수비(%)

다) 모래치환법(KSF 2311 참조)

이 방법은 모래밀도측정기를 이용하여 성토의 단위중량을 측정하는 방법으로서 측정순서는 다음과 같다.

(1) 병과 연결부의 부피검정

- ① 모래밀도 측정기를 조립하여 측정기의 무게를 단다.
- ② 측정기를 세우고 밸브를 연다.
- ③ 밸브의 구멍이 넘칠 때까지 측정기의 깔대기 위로 물을 넣는다. 이때 연결부에 공기가 남지 않도록 해야한다.
- ④ 밸브를 닫고 깔때기에 고인 물을 버린 후 마른 걸레로 측정기의 외측 및 깔때기의 내면을 잘 닦고 말린다.
- ⑤ 물로 채운 측정기의 무게(W_2)를 달고 측정기내 물 온도를 측정한다.
- ⑥ ①~⑤ 조작을 3회 이상 되풀이하여 다음과 같이 병과 연결부의 부피(V_1)를 구한다. (표 4.3.2참조)

$$V_1 = \frac{W_2 - W_1}{Y_{wt}} (\text{cm}^3) \quad \dots\dots\dots (5.4.12)$$

여기서 V_1 : 밀도측정기 중 연결부와 밸브구멍의 부피를 포함한 병 부피(cm^3)
 W_2 : 병과 연결부분에 물이 찼을 때 무게(g), W_1 : 측정기 전체 무게(g)
 Y_{wt} : $t^\circ\text{C}$ 일 때의 물의 단위중량(g/cm^3)

(2) 시험용 모래의 단위중량 검정

- ① 내부를 잘 말린 측정기를 수평한 면 위에 세우고 밸브를 잠근다.
- ② 시험용 모래를 깔때기의 상단까지 넣은 후 밸브를 열고 모래를 병과 연결부에 찰 때까지 넣는다. 이 때 깔때기 안의 모래는 하부로 내려가기 때문에 모래면이 깔때기 높이의 1/2이상이 항상 유지되도록 모래를 보충한다.
- ③ 모래의 움직임이 멈추고 병과 연결부가 모래로 찬 것이 확인되면 밸브를 잠그고 남은 모래를 제거한 후 모래로 찬 측정기의 무게(W_4)를 단다.
- ④ 모래를 채운 측정기의 무게(W_4)에서 측정기 자체무게(W_1)을 빼서 측정기 속의 모래무게(W_5)를 구하고 다음과 같이 모래의 단위중량을 계산한다.

$$Y_{ts} = \frac{W_4 - W_5}{V_1} (\text{g}/\text{cm}^3) \quad \dots\dots\dots (5.4.13)$$

여기서 Y_{ts} : 시험용 모래의 단위중량(g/cm^3), W_4 : 병과 연결부분에 모래를 채웠을 때의 무게(g), W_1 : 측정기의 무게(g)

V_1 : 밀도측정기의 연결부와 밸브구멍의 부피를 포함한 병 부피(cm^3)

(3) 깔때기를 채우는데 필요한 모래의 무게 검정

- ① 깔때기를 채우기에 충분한 양의 모래를 병에 넣은 후 밸브를 잠그고 무게(W_6)를 단다. (2)의 측정으로 검정할 경우는 나)측정의 W_4 를 그대로 사용한다.
- ② 편편한 나무판을 수평으로 놓고 그 위에 깔때기가 나무판과 밀접하게

되도록 측정기를 세운다.

③ 밸브를 열고 병안의 모래가 깔때기 안으로 내려가게 한다. 이 때 모래의 이동이 멈추면 밸브를 잠근다.

④ 깔때기에 이동한 모래를 제거하고 측정기와 남은 모래의 무게(W_7)를 달고 ($W_4 - W_7$)로 깔때기를 채우는데 필요한 모래무게(W_8)를 구한다.(표 4.3.2 참조)

(4) 현장밀도측정

① 시험 할 장소의 지표면을 수평으로 고른다.

② 편편히 고른 지표면에 밀판을 밀착시킨다.

③ 밀판구멍안의 흙을 오거, 끌, 숟가락으로 파서 전부 용기에 담는다.

④ 시험공에서 파낸 흙과 용기의 무게(W_{sc})를 달고 흙을 잘 혼합한 후 시료일부는 취하여(함수량 시험용 시료) 함수량(W)을 측정한다.

⑤ 모래로 찬 측정기의 무게(W_4)를 단다.

⑥ 밀판 구멍에 측정기를 세워서 깔때기를 맞춘 후 밸브를 열고 병속의 모래가 구멍 안에 차서 모래의 이동이 중지되면 밸브를 잠근다.

⑦ 측정기와 남은 모래의 무게(W_9)를 달고 $W_4 - W_9$ 로부터 시험공 및 깔때기에 들어간 모래의 무게(W_{10})을 구한다.

W_{10} 에서 깔때기를 채우는데 필요한 모래무게(W_8)를 빼서 시험공을 채우는데 필요한 모래의 무게(W_{11})를 구한다.

⑧ 시험공의 부피를 다음과 같이 구한다.

$$V = \frac{W_{10} - W_8}{\gamma_s} = \frac{W_{11}}{\gamma_s} \dots\dots\dots (5.4.14)$$

여기서 V : 시험공의 부피(cm^3), W_8 : 깔때기를 채우는데 필요한 모래무게(g)
 W_{10} : 시험공 및 깔때기속 모래무게(g), W_{11} : 시험공을 채우는데 필요한 모래무게(g)

$$\text{함수비}(\omega) = \frac{W_{wd} - W_d}{W_d} \times 100(\%) \dots\dots\dots (5.4.15)$$

$$\text{습윤단위중량}(\gamma_t) = \frac{W_s}{V} (\text{g/cm}^3) \dots\dots\dots (5.4.16)$$

$$\text{건조단위중량}(\gamma_d) = \frac{\gamma_t}{1 + \frac{\omega}{100}} (\text{g/cm}^3) \dots\dots\dots (5.4.17)$$

여기서 ω : 시험공에서 파낸 흙의 함수비(%), W_{wd} : 흙의 습윤중량(g)
 W_d : 흙의 건조중량(g), W_s : 시험공에서 파낸 흙의 건습윤중량(g) V : 시험공의 부피(cm^3), γ_t : 흙의 습윤단위중량(g/cm^3), γ_d : 흙의 건조단위중량(g/cm^3)

⑨ 흙의 밀도측정은 시험공에서 파낸 흙의 무게 W_s , V 및 W 의 값을 사용하여 구한다.

시험공에서 파낸 시료로 다짐시험을 할 경우 시험공 크기는 표5.4.6와 같다.

표 5.4.5 흙의 최대입경에 대한 시험공 용적

흙의 최대입경(mm)	시험공 최대용적(cm^3)
5.0	700
12.5	1,400
25.0	2,100
50.0	2,800

표 5.4.6 흙의 상태와 시험공의 크기

흙의 상태	시험공의 내경(cm)	시험공의 깊이(cm)
76.2 mm 이상의 돌이 적거나 없는 흙	15 ~ 20	25 ~ 30
76.2 mm 이상의 돌이 많은 흙	25 ~ 30	30 ~ 35
76.2 mm 이상의 돌이 많은 비점성토	60 ~ 90	45 ~ 60

라) RI법

이 방법은 방사성동위원소를 이용하여 성토의 함수비와 밀도를 측정하는 방법이다. 현재 사용되고 있는 것이 중성자 수분계와 γ 선 밀도계이며 현장에서 직접 측정하여 결과를 구할 수 있으므로 성토의 시공에 지장을 주지 않는다. 또한 조작이 간편하고 숙련을 필요로 하지 않으며, 개인 오차가 없다. 그러나 이 것은 과학기술처의 방사능 동위원소 취급 면허가 있어야 사용할 수 있으며, 운반 및 보관 시에는 특별한 주의가 요망된다. 미국에서 이 방법으로 측정 한 결과와 재래법에 의한 결과를 비교한 바 함수비는 2 %, 건조밀도는 0.08 g/cm^3 의 오차를 나타내었으나 측정속도가 빠른 것을 고려하면 실용성은 충분히 있으며, 여기서는 측정원리를 생략하기로 한다.

4) 현장투수시험

현장 투수시험법은 여러 가지가 있으나, 불투수성 재료일 때는 모래 밀도측정 시험공을 이용하여 다음과 같이 간단히 측정할 수 있다.

① 시험공을 지름 10 ~ 40 cm 정도의 수직공(깊이 > 20 cm)으로 정형한다.

② 수직공 안에 깨끗한 쇠석 또는 자갈을 수직공 깊이의 1/2 ~ 2/3 정도 채우고 그 위에 파이프 2개(지름 약 5 cm)를 세운 다음 나머지 부분에 깨끗한

자갈을 채운다.

③ 수조에 연결된 파이프를 통하여 일정한 수위를 유지시키면서 물을 주입하고 침투량이 일정하게 될 때 수위측정관과 유량계를 이용하여 수직공 안의 수위와 주수량 및 주수시간을 측정한다. 수위측정관을 통하여 수위를 측정할 때는 부자(浮子)를 띄워서 하며 이것이 곤란할 때는 나무 판자에 못을 박아서 못끝이 항상 수면과 닿도록 일정한 수위를 유지시켜서 수직공 안의 수심(H)를 계산한다.

④ 측정한 수위로 수직공 안의 수심(H)를 구하고 주수량을 주수시간으로 나누어 단위시간당 주수량(Q)을 계산하여 다음식으로 현장투수계수를 구한다.

$$k = \frac{Q}{2\pi H^3} \left[H \log_e \left\{ \frac{H}{Y} + \sqrt{1 + \left(\frac{H}{Y}\right)^2} \right\} - \sqrt{Y^2 + H^2} + Y \right] \dots\dots\dots (5.4.18)$$

여기서 Q : 단위시간당 주수량(cm³/s), Y : 수직공의 반경(cm)

H : 수직공 안의 수심(cm)

현장투수시험을 할 때에는 직선광선이나 바람에 의한 증발을 막기 위하여 수위 측정관을 제외하고는 얇은 비닐로 덮는 것이 좋다.

5) 시험결과의 판정과 활용

품질관리시험으로 구한 각 측정결과를 표 5.4.7과 같이 지방서에 규정된 규격치와 비교하여 부족하면 재시공을 하도록 조치한다. 공사감독원은 이러한 조치 이외에도 다짐부족 현상이 생기게 된 원인의 제거에 중점을 두어 관리해야 한다.

표 5.4.7 현장밀도 및 다짐시험 결과표

시료명 (공번)	측점 No	위치 (m)	표고 (m)	현 장 밀 도			다 짐 시 험			다짐률 (%)	다짐 기준 (%)	건(-) 습(+)	결과
				함수비 (%)	습윤 밀도 (g/cm ³)	건조 밀도 (g/cm ³)	최적 함수비 (%)	습윤 밀도 (g/cm ³)	최대건 조밀도 (g/cm ³)				
포토1 (15)	8	좌10	18.5	15.85	1.909	1.648	17.10	2.056	1.730	95.3	≥95	-1.25	합격
점토1 (16)	8	0	18.0	21.30	1.901	1.567	23.60	1.999	1.617	96.9	≥95	-2.30	합격
포토2 (17)	8	우10	18.3	15.50	1.888	1.635	17.10	2.056	1.730	94.5	≤95	-1.60	불합격

종합의견 : 시료명 포토 2는 다짐이 불량하므로 재시공 할 것

재발방지를 위하여 결과를 검토할 때는 구해진 측정치가 어느 범위의 상태를 나타내는 것인가를 파악하고 이와 같은 결과를 가져오게 한 과정으로 추적

해 가야한다. 즉 성토 함수비가 과다하면 취토장의 관리로서 굴착계획을 세울 때 취토장의 용수처리, 빗물 배수처리 등을 해야하며 성토의 함수비가 허용함수비 이내이면 전압회수를 증가시키도록 시공회사의 토공기술자에게 지시하여 작업과정을 시정해야 한다. 또한 불량토의 반입이 없는지도 관리해야 한다.

5.4.2 공정관리

공정관리는 댐시공의 종합적 관리개념에서 공종별 공사내용을 분석하고 시공순서, 시공시기, 시공량, 시공기간이 포함된 공종별 공정계획을 수립하고 각종 공종별 계획을 시공순서, 시공계통에 맞추어 유기적으로 종합조립하여 종합공정계획을 수립하며, 이에 의거 시행함으로써 소정의 품질을 확보한 댐을 소정의 공사기간내에 완성하도록 관리해야 한다.

댐 시공의 공정은 여러 공종과 종류의 공사가 복합되고 연결된 복합공정이며, 일부공사의 지연으로 전체 공사에 큰 영향을 줄 수 있으므로 공사기간중의 기상, 하천, 유량의 증감 등 공사에 영향이 미치는 자연현상을 파악 예측하고 각종시설, 장비, 자재, 인력, 시공방법 등 모든 요소를 밀접하게 유기적으로 운영 관리해야 되며, 품질 또한 시공과정에서 결정되며 공사원가에도 큰 영향을 미치게 되므로 종합관리 개념에서 관리해야 한다.

공정관리는 단위작업을 유효 적절히 조합하여 각 단위 공정을 구성하고 그러한 공정계획에 따라 자재, 노무, 건설장비 및 예산을 합리적으로 운영하여 소정 품질의 댐을 소정기한 내에 완성하도록 효율적으로 관리하는 것을 말하며, 공정계획의 수립과 공정계획의 관리로 구분할 수 있다.

가. 공정계획의 수립

공정계획은 댐 건설의 모든 공사를 소정의 공사기간 내에 완성시키기 위하여 각 단위공사의 시공순서 및 시공속도를 규정하는 것이고, 이것을 도표화한 것이 공정도(표)이다.

공정도(표)는 공종별 공정도인 기본공정도와 각종 공정도 전체를 종합한 종합공정도로 크게 구분되며, 종합공정도는 기본공정도를 기본으로 하고, 기준으로 하여 작성한다.

시공계획을 수립함에 있어서는 먼저 개별공종의 공사내용을 분석하고 다음 단위작업을 순서적으로 정리하여 공사 계통도를 만들어 공종별 단위공정 상호

간의 관련성을 표시하여 공종의 흐름을 명확히 한 공정도(표)를 작성한다. 여기에 사용자재, 인력, 건설장비를 넣어서 표준작업량의 검토를 한다. 그리고 휴일, 우천, 준비, 기타 장애일수를 고려하여 공정을 계획한다.

공정표의 작성양식은 횡선식, 그래프식 등이 있으나 어느 경우든지 계획과 실적을 비교할 수 있게 해야 한다. 막대 그림표는 계획과 실적을 기입할 수 있도록 이단으로 만들고 계획은 흑선, 실적은 적선으로 표시하도록 하는 것이 일반적이다. 종합공정에서는 각각의 단위 공종의 공정을 집계한 전체적인 진도를 표시해야 하므로 각 공종의 공사량을 금액으로 환산하여 표시하는 기성고 표시법이 일반적이거나 때에 따라서는 %로 표시하기도 한다.

나. 공정계획의 관리

(1) 시공량 관리

계획된 표준작업량을 일정에 맞추어 시공하도록 하는 관리로서 여기에는 PERT (Program Evaluation and Review Technique)식과 CPM(Critical Path Method) 등의 네트워크(net work) 법이 유효하게 사용될 수 있다.

작업량 관리의 주요관리 사항은 ① 기후변동 등 공사장애 일수에 의한 작업량 변동과 만회대책, ② 기계, 장비의 고장, 수리에 따른 작업능률 저하, ③ 자재, 인력 등의 적기 조달, ④ 기타 작업방해(민원 등), 작업능률 저하 등이다.

(2) 진도관리

공사 진척사항을 파악하기 위한 기성고 측정시기를 일률적으로 규정하기는 어려우나 최소한 매월 1회 이상 측정해야 하며, 그 결과를 기본공정 및 종합공정계획과 대비 점검하여 계획 대 실적의 차이 유무를 파악해야 하며, 계획공정에 미달할 경우 이를 조기 발견하여 원인을 분석 대처해야 한다.

계획과 실적의 차가 크고 원인이 불가피 하였을 경우에는 작업시간의 연장, 장비, 인력의 증대 등 공정계획을 재 작성하여 추진해야 한다.

5.4.3. 원가관리

원가관리는 최소의 공사비 투입으로 소정의 공사기간 내에 소정의 품질을 확보한 댐 공사를 완료하기 위하여 최소단위의 노임, 자재비 등에서부터 기타 제 경비에 이르기까지 모든 비용을 유효 적절하게 운영하는 재무관리이며, 공정관리, 품질관리와도 밀접하게 연관되어 있으므로 상호 유기적으로 관리해야 한다.

공사원가는 사전원가와 실적원가로 구분되며 사전원가는 실행예산으로서 설계원가, 도급공사의 경우 입찰시의 견적원가(낙찰가)를 말하고, 실적원가는 공사중에 실제로 투입된 비용을 말하며, 일정기간 또는 기성고별로 실적원가가 사전원가를 초과하지 않도록 관리통제하는 것을 원가관리라고 할 수 있으며, 각 공종별, 작업별 최소단위의 공사에 소요되는 직종별 노임, 자재비, 시설, 장비사용료 등 경비에서부터 체세공과금, 기타 비용에 이르기까지 모든 비용을 적정 관리해야 하며 공종 관리, 품질관리와도 연계하여 관리해야 한다.

공사 원가관리는 사전원가(설계원가 또는 입찰시의 견적원가)와 실제공사에 투입된 실적원가로 구분되며, 원가관리는 실적원가를 사전원가와 비교하면서 실적원가가 사전원가를 초과하지 않도록 관리하는 것을 말하며, 공정관리에서 비용면을 따진 것으로 생각할 수 있다.

공사비 내역의 분류는 사전원가와 실적원가가 같아야 하며, 각 단위 공종별로 재료비, 노무비, 건설기계비, 기타 경비 등으로 직접 비용을 산출하고, 일반관리비 및 체세공과금 등 간접비용을 산출하며, 이를 합친 금액을 각 단위 공종의 공사원가로 계산하고 이를 집계하여 총 공사원가를 산출한다.

공사원가관리는 공정관리시의 기성고 측정시기와 같이 하는 것이 일반적이며 이는 공사의 진척도를 금액으로 환산하여 표시하는 공정관리의 표시방법과도 관련이 있으나 기성고 측정자체가 원가관리의 한 방법이기 때문이다.

그러므로 원가관리는 품질관리, 공정관리와 밀접히 연계하여 유기적으로 관리해야 한다. 이는 가장 적은 비용을 투입하는 원가관리의 특성과 가장 좋은 품질을 만들려는 품질관리 목적의 특이성을 적절히 조화해야 하기 때문이다.

5.4.4. 안전관리

댐 공사기간중 공사현장에서의 안전시공은 물론 여타 안전사고 방지를 위하여 관계법규, 지방에서 규정한 사항 등을 이행하고, 기타 안전을 위하여 필요한 조치, 계획, 훈련, 점검 및 제반안전 시설을 설치하는 등의 안전관리를 해야 한다.

댐 공사에는 위험물(화약, 유류, 가스, 전기 등)을 사용하게 되고, 공사를 위하여 임시로 설치한 시설물들이 있으며, 여러 종류의 중장비를 고르지 않은 지형에서 가동하게 되므로 많은 위험요소를 내포하고 있으므로 안전관리에 특별히 주의해야 한다. 그러므로 제반 법규를 충실히 이행하고 필요한 조치와 시설을 해야 되며, 안전관리 계획을 수립하여 훈련, 점검을 시행해야 한다. 불

의의 사고 발생 시에 대한 대책도 마련되어야 하고 호우, 홍수, 태풍, 지진 등 자연재해에 대한 대비도 있어야 한다.

가. 일반사항

(1) 댐 공사현장 책임자는 관련법규, 지방서, 기준 등에 따라 관련기관에 신고(인,허가 포함)하고 안전관리 조직의 편성과 안전관리 계획을 수립하여 필요한 조치, 점검, 훈련 등을 실시해야 한다.

(2) 공사현장 출입구 등 필요한 곳에 안전표지판을 설치하여 경고, 주의를 환기시키고 안전을 위하여 일반인의 출입을 제한해야 할 경우에는 그 구역을 정하여 “출입금지” 표지판, 철책, 철조망 등 필요한 시설을 해야 한다.

(3) 공사현장에서는 공사근로자 및 관련 출입자에게 안전모 등 필요한 안전보호용구를 착용하도록 해야 하며, 준비없이 출입하게 되는 자를 위하여 일정량의 안전모 등 안전보호구를 준비해 놓아야 한다.

(4) 공사 시공중 안전사고가 발생하였거나 발생할 우려가 있을 때는 즉시 적절한 응급조치를 취하고 상황을 상급기관 및 관련기관에 보고 또는 통보해야 한다.

(5) 화약, 유류, 가스, 전기 등 위험물의 보관, 관리, 사용은 관계 법령이 정하는 바에 따르며, 사용시에는 사전에 관계 감독자의 지시를 받아야 한다.

(6) 기타 안전에 필요한 시설과 조치 등을 취해야 한다.

나. 안전시설

(1) 공사현장의 필요한 곳에 각종 안내표지판 및 위험표지판을 설치한다.

(2) 화약, 유류, 가스등 위험물은 관계법령에 따라 보관시설을 하여 보관하고 출입 또는 접근방지 시설을 해야 한다.

(3) 기타 추락 등 위험지역의 출입제한 및 접근방지를 위한 난간, 철책 등 필요한 시설을 한다.

(4) 낙하물 방지망을 필요한 곳에 설치한다.

(5) 기타 안전을 위하여 필요한 시설을 설치한다.

5.4.5. 환경관리

댐 공사를 위하여 일하는 사람들의 보건위생관리와 댐 공사기간 중 공사로 인한 환경에의 영향을 최소화하고 인근 부락주민의 환경피해를 방지하기 위하여 관련 법규를 준수하고 필요한 조치와 시설을 해야하며, 훼손된 환경을 복원하는 등 성실하게 환경관리를 해야 한다.

댐 공사기간중 공사현장과 인근지역 주민과 근로자의 보건위생을 위한 조치와 시설의 설치 및 유지관리를 해야 하며, 공사로 인한 환경에의 영향(생태환경, 대기, 수질, 소음진동, 폐기물 처리)을 최소화하기 위하여 관련법규를 준수하며 필요한 시설을 설치하고 조치하는 등 성실하게 환경관리를 해야 한다.

가. 생태환경관리

댐 건설을 위한 수림제거를 최소화하고, 하천수 배제를 위한 가배수 터널 등 임시배수시설을 통하여 가급적 어류 등의 이동이 가능하도록 조치한다. 또한 상하류의 늪지 등을 가능한 한 보존 또는 피해를 최소화하여 하천 및 인근에 서식하고 있는 어류, 곤충류, 양서류 등의 보호 및 영향 저감에 노력한다.

나. 대기관리

댐 건설은 화약의 발파, 지표의 굴착 이동 및 각종 중장비의 가동으로 대기 환경에 영향을 주게 되므로 대기환경보전법 제28조와 같은 법 시행규칙 제62조 2항 및 별표 16에 따라 시, 도지사 및 지방환경관리청장에게 “비산먼지사업장 신고”를 해야 하며, 비산먼지의 발생을 억제하기 위한 시설을 하거나 필요한 조치를 취해야 한다. 비산먼지 억제시설로는 분진덮개, 분진망, 방진벽, 집진시설, 세륜시설 등이 있으며 살수차 운행 등의 조치를 취해야 한다.

다. 수질관리

강우시 굴착지, 성토지로부터의 토사유출, 배처 플랜트(batcher plant)에서의 폐수, 굴착, 매립으로 인한 오타 부유물질의 발생, 생활오수 등 공사로 인한 수질오염 방지 및 영향 최소화를 위하여 임시배수로, 물막이공, 침사지, 응집침전 분리 처리시설, 오타 방지막, 간이여과지 등 필요한 시설을 한다.

라. 소음, 진동관리

사업장 및 인근의 소음 진동 피해를 줄이기 위하여 발파 등의 사전통보, 중

장비의 야간가동 억제 등 필요한 관리를 실시한다.

마. 폐기물 관리

중장비 등의 폐유, 사용재료의 잔재, 기타 생활 폐기물 등을 관계 법령에 따라 처리함으로써 토양오염, 수질오염 등을 방지한다.

제 6 장 관 리

6.1 관리조직

6.1.1 관리조직

댐 관리는 물관리 기관에 의하여 물 이용의 기본방침, 비용부담의 조정, 갈수 조정, 물 이용 등을 결정한다. 댐 관리자는 이 결정사항을 존중하여 댐을 관리, 운용한다.

댐 관리는 물 관리 기관에 의하여 물 이용의 기본방침, 비용부담의 조정, 갈수 조정, 물 이용 등을 결정한다. 댐 관리자는 이 결정사항을 존중하여 댐을 관리, 운용한다.

댐 관리자는 관리에 있어서 하천법 시행규칙에 정해진 규정, 기타 관계법령을 준수해야 한다. 관리의 목적이 수혜자(농민)에의 용수공급이 혹은 관리의 구체적인 운용(시설조작, 유지관리)에 있어서 수혜자의 의지를 충분히 반영해야 한다.

따라서 수혜자 측의 물 이용의 기본 방침, 비용부담 갈수시의 조치 등 중요 사항에 대하여 수혜자 내부 혹은 복수의 수혜자간의 조정 및 의사 결정을 하기 위한 관리조직을 만들어 기능 및 권한을 명확히 할 필요가 있다.

6.1.2 댐 관리체제의 정비확립

댐 관리에서는 관리기술의 향상을 위해 노력하는 동시에 댐의 기능, 규모에 맞는 관리요원을 확보하여 관리체제의 정비를 도모하며 안전하고 적절한 관리를 수행한다.

댐 관리체제에 있어서는 종래 사람에게 의존했던 부분의 기계화를 도모한 관리시스템의 도입에 의해 인건비의 절감, 노동시간의 단축 등의 합리화가 이

루어지지만 관리설비 기계류의 고도화에 따른 관리기술의 향상이 요구된다. 또한, 댐 조작용 홍수, 지진 등 예측하기 어려운 자연현상을 대상으로 하고 있어 일단 재난이 발생하면 사회에 미치는 영향이 중대하다. 현재의 기술이나 기계의 신뢰성의 수준에 있어 사람의 판단에 의존하지 않을 수 없는 경우가 많기 때문에 댐 규모에 맞춘 관리요원을 확보하고 관리체제의 정비를 도모하여 적정의 댐 관리를 실시한다.

관리조직체제는 평상시는 물론 홍수, 지진 등 긴급시 관리체제, 명령계통, 통보연락처, 작업내용 등을 조직기구도로 명기하여 관계자에게 주지시킬 필요가 있다.

6.1.3 댐 관리 기술자

댐 설치자는 댐의 적정한 관리를 위하여 건설교통부령이 정하는 자격을 가진 관리 기술자를 두어야 한다. 댐 관리 기술자는 댐 및 저수지에 관한 사무를 성실히 수행하며, 댐 규모, 관리시설의 규모 내용 등에 따라 필요 인원을 확보·배치한다.

댐 관리기술자가 갖추어야 할 자격은 하천법 시행규칙 제 11조에 규정되어 있다. 댐 설치자는 당해 댐 등의 적정한 관리를 위하여 건설교통부령이 정하는 자격을 가진 관리기술자를 두어야 한다(하천법 23조). 댐 규모, 관리시설 규모에 따라 적정한 관리자를 확보·배치한다. 댐 관리는 여러 법 규제를 받는 경우가 있으므로 주의가 요망된다.

댐 관리기술자가 갖추어야 할 자격은 다음과 같다(하천법 시행령 제 11조).

1. 고등교육법에 의한 4년제 대학 또는 이와 동등 이상의 학교를 졸업한 자로서 토목공학 또는 농공학을 전공하고 하천 또는 댐 등의 관리에 관한 업무에 3년 이상 종사한 실무경력이 있는 자
2. 고등교육법에 의한 전문대학 또는 이와 동등 이상의 학교를 졸업한 자로서 토목공학 또는 농공학을 전공하고 하천 또는 댐 등의 관리에 관한 업무에 5년 이상 종사한 실무경력이 있는 자
3. 초·중등교육법에 의한 고등학교 또는 이와 동등 이상의 학교를 졸업한 자로서 토목공학 또는 농공학을 전공하고 하천 또는 댐 등의 관리에 관한 업무에 7년 이상 종사한 실무경력이 있는 자
4. 제1호에 해당하는 학교를 졸업한 자로서 전기공학을 전공하고 하천 또는 댐 등의 관리에 관한 업무에 5년 이상 종사한 실무경력이 있는 자

5. 제2호에 해당하는 학교를 졸업한 자로서 전기공학을 전공하고 하천 또는 댐 등의 관리에 관한 업무에 7년 이상 종사한 실무경력이 있는 자

6.2 기상 및 수문 관측

6.2.1 관측 항목과 목적

댐 관리를 적절히 하기 위해서는 댐 지점 및 근방의 기상, 수문, 수질의 여러 항목을 관측한다.

댐 설치자는 당해 하천의 적정한 관리와 피해 방지를 위하여 대통령령이 정하는 바에 의하여 관측시설을 설치하고 수위, 유량, 강수량 등을 관측해야 한다(하천법 24조).

댐 관리상 댐 지점 및 근방에 있어서 관측이 요망되는 기상, 수문 관측항목은 표 6.2.1 과 같다. 물넘이 게이트를 갖는 댐에서는 표 6.2.2에 정해진 관측을 한다. 한편, 물넘이 게이트가 없는 댐에서는 하류하천 등의 상황을 고려하여 필요에 따른 관측을 한다.

표 6.2.1 기상 및 수문 관측항목

항 목	필요한 관측		요망되는 관측	
	항 목	횟 수	항 목	횟 수
기 상	일기, 기상, 강수량	매 일	일사량, 일조시간 풍향, 풍속, 증발량, 기압, 습도	매 일
수 문	저수지수위, 유입량, 하천 수위, 취수량, 방류량	매 일	수온, 결빙	정 기

표 6.2.2 홍수시의 관측할 사항 및 최소횟수

관측 사항	홍수경보시	홍수주의보시	예비경계시
저수위 및 유입량	30분 마다	1시간 마다	1시간 마다
수위 및 유량	1시간 마다	1시간 마다	1시간 마다
강수량	1시간 마다	1시간 마다	1시간 마다

가. 필요한 관측

1) 일기

매일의 일기(맑음, 흐림, 비, 눈)의 상황을 기록하는 것은 유출해석, 환경평가, 기타의 점검 상 매우 중요하다.

2) 기온

많은 경우 일 최고최저기온, 혹은 3시간 기온의 평균산술치로서 구해지는 일 평균기온을 구하면 충분하나, 유역이 적설지대로서 융설 해석을 할 필요가 있는 경우에는 시별 기온자료가 필요하다.

3) 강수량

저수지의 이수 및 홍수관리를 위해, 특히 물넘이 수문을 갖고 있는 댐에 대해서는 홍수시의 수문 조작의 기본적인 정보원으로서 강수량 관측은 불가결하다. 이것에는 자기우량계를 이용하는 것을 원칙으로 하여 수문 조작에 필요한 정보가 즉시 댐 관리소에 통보될 수 있는 시스템이 되어야 한다.

적설지대에서는 적설량의 관측도 중요하다. 적설량의 관측은 어렵지만, 히터가 달린 우량계 등을 설치하여 적설량을 강수량으로 환산한다. 적설척(積雪尺)을 유역내의 적당한 장소에 수 개소 설치해 두면 이른 봄의 융설 유입량의 예상에 도움이 된다.

4) 저수지의 수위, 유입량 및 방류량

저수지의 수위 변화 관측은 이수관리상 중요하다, 물넘이 게이트를 갖는 댐에서는 홍수시의 수문 조작상 필요한 유입량 예측 때문에 가장 신경을 써야할 사항이다. 유입량은 상류하천의 수위로부터 수위-유량곡선을 이용하여 추정하기도 하고, 저수지의 수위 변화로부터 계산하여 구한다. 방류량은 이수방류량, 발전방류량, 홍수방류량 등으로 구분하여, 게이트 혹은 밸브의 개도 및 저수지의 수위변화로부터 계산에 의해서 구한다. 더욱, 갈수 등에 의해 방류제한을 하는 경우에는 방류량을 명확히 해 둔다. 따라서, 자기수위계에 의한 저수지 수위의 관측은 필수이며, 특히 물넘이 게이트를 갖고 있는 댐에서는 텔레미터링(telemetry) 방식의 자기수위계를 설치해야 한다.



그림 6.2.1 댐유입하천에 설치된 수위계

5) 하천수위

물넘이 수문을 갖는 댐에서는 댐의 상류부에 수위계를 설치할 필요가 있다 (그림 6.2.1). 특히, 저수지로의 유입량을 예측하는 경우 혹은, 하류 수위의 정보를 얻을 필요가 있는 경우에는 각각 댐 상류 및 하류에 자기수위계를 설치하고, 이것을 데이터 로깅 또는 텔레미터링 방식으로 할 필요가 있다.

6) 취수량

계획적인 저수관리를 위해서는 수혜지구의 취수량을 파악할 필요가 있다.

나. 요망되는 관측

1) 증발산

장기유출해석, 물수지 해석의 기초자료로서 증발량의 계측이 중요하고 연속적인 관측이 필요하지만, 관리의 실태를 고려한 관측을 한다. 통상 표준 증발계를 사용하여 9시부터 다음날 9시까지의 감수심을 전일의 증발산량으로 한다. 증발계는 자기수위계 병설방식이 바람직하다. 더욱 새나 개와 같은 소동물의 음용(飲用)에 의한 수심감소, 동계빙결에 의한 결측에 주의가 필요하다. 표준증발계 이외의 자기증발계를 사용하는 경우에는 표준증발계와의 관계를 명확히 해야한다.

2) 일사량

일사량 및 일조시간의 계측은 절대적인 것은 아니나 증발량의 결측보완 등

유출해석의 참고자료로서 수온 변화의 예상 등 참고 자료로서 도움이 된다.

3) 풍향, 풍속

평상시의 풍향 풍속은 환경평가 기타의 기초자료가 되지만, 강풍시의 풍향, 풍속은 일반적으로 순간값 뿐만 아니라 10분간의 평균치를 기록하는 자기 풍향풍속계를 설치하여 관측한다.

4) 기압

기압계측은 태풍이나 저기압의 통과상황 등 판단 재료로서 이용될 수 있다.

5) 습도

습도의 계측은 절대적인 것은 아니나 일기예보나 증발량의 결측 및 보완에 이용될 가능성도 있으므로 기초 자료로서 관측해 둘 필요가 있다.

6) 수온 및 빙결

냉수장애가 문제가 되는 지역에서는 저수지 표층 수온의 감시가 동계 빙결이 있는 지역에서는 빙결의 유무나 개시종결일 등의 상태 파악이 중요하다. 또한, 저온의 저류수의 방류가 하류부의 내수면 어업에 중대한 영향을 미칠 수 있는 댐에서는 수온의 심도 분포의 관측과 대응책이 불가결하다.

6.2.2 관측시설의 설치 및 관측

기상·수문의 관측에 있어서 정확도가 높은 기계를 선정하고 적절한 장소에 설치하여 신뢰성있는 관측 데이터를 얻는다.

가. 관측시설의 설치

댐 관리의 근간이 되는 수위 및 강수량 설치시설의 개요 및 설치장소를 설명한다.

1) 수위관측시설

가) 수위계

수위계는 저수지의 상류와 댐 등에 가까운 저수지의 안쪽에 설치하되, 방류량을 측정하고자 하는 때에는 댐 등의 하류부에 설치해야 한다. 수위계는 플로트형이거나 수압식과 같은 구조가 간단하고 고장이 적은 것이 좋다. 최근에는 데이터 로거(data logger)에 데이터를 기록하여 PC로 데이터를 정리하는 방식이 보급되어 있다.

물넘이 게이트가 있는 댐에서는 저수지수위, 댐 직상류 하천수위 등 댐 관리상 필요로 되는 시시각각 정보전달은 텔레미터링 방식으로 한다. 댐 저수위는 댐 설계홍수량 이상의 홍수가 발생할 때는 게이트를 전부 열어도 서차하지

수위를 넘어 저류되는 것이 예상되므로 수위계는 비월류의 높이까지 완전히 기록될 수 있는 것이어야 한다.

나) 설치장소

저수지 수위 관측은 상류로부터의 유입수 영향을 받지 않는 장소, 물넘이나 취수구를 흐르는 유수의 영향을 받지 않는 장소를 선정된 후에 관리동으로부터 감시가 가능한 장소에 수위탑을 설치할 원칙으로 한다. 일반적으로 상류하천에서의 수위관측은 댐으로의 유입량을 예측하기 위하여 하고 있지만, 시간적 여유가 충분하지 않은 경우가 많고, 큰 기대를 할 수 없다. 저수위 관측시설의 설치장소의 선정은 무선텔레미터에 적합한 장소라는 점을 제외하면, 일반적으로 하천의 설치장소와 같다. 즉, 가능하면 하천의 직선부이고, 하상경사가 안정되어 있는 단면변화가 적은 장소, 토사의 유입이 적은 장소, 늘 유수가 있는 장소를 선정하면 좋다.

댐 하류측에 하천의 협착부나 마을의 상류부, 댐으로부터의 방류가 영향을 받는 지점이 있으면 그곳에도 수위관측시설을 설치한다. 물넘이 게이트가 없는 댐의 관측시설도 상기의 기준에 준한다.

2) 강수량 관측시설

가) 우설량계

우설량계는 자동으로 기록되는 것이어야 한다. 우량계는 전도식 우량계가 바람직하고 데이터로거 등의 기억매체에 기록하여 PC로 데이터를 정리하는 방식을 사용한다(그림 6.2.2). 물넘이 게이트가 있는 댐에서 시시각각 정보의 전달이 필요한 장소의 우량계는 무선 로보트 방식으로 한다.



그림 6.2.2 데이터로거가 장착된 우량계

설량계는 강설량을 측정하는 기계로 구경이 정해진 수수기(受水器)에 들어

간 눈의 중량을 측정하는 형태와 눈을 녹여 그 물의 용적을 측정하는 형태가 있다. 히터를 포함한 우량계의 사용이 가장 좋은 방법으로 설량계를 적설척으로 바꾸는 경우도 있다. 이것은 아주 면밀한 계획에 따라 유역 내에 적설척을 세워 자주 조사관측을 하지 않으면, 유역 평균강수량의 추정 정확도는 의문이지만 이른 봄의 융설 유입량의 예상에 도움이 되는 경우도 있다. 적설척은 기온과 강수량으로부터 추정되는 적설량의 점검용을 겸하여 우량계 근방에 설치하는 경우가 많다.

나) 설치장소

물넘이 게이트를 갖고 있는 댐에서는 해당 댐 유역의 강수량이 정확히 파악할 수 있도록 지형특성, 강수특성을 충분히 고려하여 관측시설을 설치한다. 우량계는 당해 댐등의 집수지역 안의 적당한 장소에 설치하되, 집수지역의 면적이 200 km² 미만인 경우에는 1개 이상, 200~600 km² 인 경우에는 2개 이상, 600 km² 이상인 경우에는 3개 이상을 설치해야 하는데, 필요에 따라 관측소를 설치하여 데이터를 수집한다.

관측소는 댐 집수역내 평균 표고 부분에 1점, 나머지는 이것을 둘러싸서 균등히 분포하도록 배치하는 것이 바람직하다고 하지만, 관리의 이행 후도 이것의 관측시설을 계속하여 관측하는 것으로 한다.

3) 수질 관측시설

필요에 따라 수질 관측을 실시한다. 설치 장소는 수위계가 설치되어 있는 저수지의 유입점이나 방류지점, 저수지 내부로서 수질계측기는 관측할 수질항목에 따라 설치한다. 물넘이 게이트가 없는 댐의 관측시설도 상기의 기준에 준한다.

나. 관측요령

일반적인 관측요령은 표 6.2.3과 같다. 최소단위는 통상 홍수관리를 상정하여 정한 것이고, 이수관리 등 더욱 상세한 관측 정확도가 필요한 장소에는 필요에 따라 운용한다. 한편, 이런 데이터의 정리작업에 있어서 관측시간이나 최소단위는 명시하여 둔다.

6.2.3 유출특성 파악

댐 관리에서는 기상·수문의 관측 결과에 기초하여 해당 댐 유역의 기상 및 유출특성을 충분히 파악해야 한다. 큰 강우가 예상되는 경우에 댐 관리상 ① 저수지가 만수되어 월류하는 것, ② 저수지 수위가 급상승하는 것, ③ 시시각각 수위를 예상하

는 것, 등을 알아야 한다. 이러한 사태에 대처하기 위해서는 각 댐마다 적합한 예측기법을 준비해야 한다.

①에 대하여, 각각의 댐 유역에서의 호우시의 유효강우를 추정하기 위한 유역보류량곡선을 준비하는 정도로도 충분하다. 이 경우 표준곡선 뿐만 아니라 유역 건습 정도에 따른 곡선(예를 들면, 무강우일수, 강우직전유량 혹은 API(선행강우지수) 등을 지표로 하여) 준비해 두는 것이 바람직하다.

②, ③에 대하여 각각의 댐에 대응한 유출모형과 그 모형 정수를 미리 정해 두고 예상되는 강우과형을 입력하여 수문곡선을 예측할 필요가 있다. 이 경우 탱크모형을 운용하여 평상시의 댐 관리를 하고 있으면 예상되는 강우과형 혹은 시시각각 우량을 그대로 입력하면 좋지만, 기타 홍수유출 모형을 운용할 때에는 해당 유역의 보류량 곡선을 이용하여 유효강우 주상도를 추정할 필요가 있다.

유출모형을 운용하여 유입예측을 하는 경우에는 해당 유역에서 과거에 발생한 강우과형을 분류·정리 해두면 실무상 편리하다. 이런 자료를 참고로 하여 예보된 우량에 따른 우량주상도(hyetograph)를 작성하고 모형에 입력하면 ①과 ②의 문제에 충분히 대응할 수 있다. 더욱이 시시각각 입수되는 우량 정보에 기초를 두어 우량주상도를 계속 수정해 가면 ③의 문제에도 정확도 높게 대응할 수 있다. 물론, 여러 가지 형태의 관측오차나 예측시스템오차가 개입함으로써 이와 같이 하여 예측된 수문곡선에는 상당부분의 오차가 포함되어 있다. 이 예측 정도를 향상시키기 위하여 필터링 기법의 도입을 검토해 두는 것이 바람직하다.

표 6.2.3 기상수문의 관측요령

항 목		관측시간	최소단위	비 고
기상	일기	0-24시	-	맑음 후 구름 등
	풍향	9	16방위	
	풍속	9	0.1 m/s	
	최대풍속	0-24	"	
	기온	9	0.1℃	
	최고기온	0-24	"	
	최저기온	9	"	
	습도	9	0.5%	
	기압	9-9	1hPa	
	강수량	0-14	0.5 mm(혹은 1.0 mm)	
	적설심	9	"	
	증발량	0-24	0.5 mm(혹은 1.0 mm)	
	일사량	0-24	0.1 MJ/m ² d	
	일조시간	0-24	0.1h	
	저수위	9	1 cm	
	저수량	9	1,000 m ³	
	유입량	9-9	0.1 m ³ /s, 1,000 m ³ /d, 혹은 최대저수량의 1/1,000 을 목표로 정한다	
	방류량	9-9	"	
	취수량	9-9	"	
	수온	9	0.1℃	
	결빙상황	9	-	
기타	일기예보			기상대 예보 TV 등의 보도
	경보			
	계절 상황			

가. 단기유출 모형

강우량으로부터 유출량을 추정하기 위한 단기 유출해석 모형은 4.4.3의 설계 홍수량의 산정방법에서 언급한 내용에 준한다.

나. 장기유출해석

장기유출 해석은 4.3 저수용량 결정에서 언급한 내용에 준한다.

6.3 이수관리

6.3.1 일반사항

평상시 혹은 갈수시에 수혜지의 용수량을 확보하려면 적절한 저수관리를 수행한다.

가. 이수관리의 목적

관개, 생공용수, 발전 등 각각의 이수목적과 홍수나 가뭄에의 대응을 고려하여 시기별로 저수관리계획을 수립할 필요가 있다. 배수관리 책정에 있어서는 수혜지구 내의 기준배분수량을 정할 필요가 있다. 기준배분수량은 그 지구의 용수계통별, 시기별의 기준이 되는 배분수량이며 이것을 기준으로 일별 배분수량이 결정된다.

나. 이수관리의 기본 원리

수혜지구에서의 용수 수요량의 시간적 변화와 수원 하천에서의 유량의 시간적 변화의 차이를 조정하는 것이다. 하천유량에 잉여가 있을 경우에는 저류하여 부족이 발생할 경우에는 저류수를 방류하여 하천에 보급하여 하천유량을 증가시킨다.

통상, 5년 정도(풍수년, 갈수년, 평수년이 포함되므로 수혜지구의 필요수량이 명확히 된다)의 기간을 통하여 수혜지구의 배분수량이 안정되어 간다. 그 후 적절배분의 실태로부터 기준배분수량을 수정한다. 기준배분수량의 책정하는 데에는 사업계획, 배분실태조사 이것을 기초로 한 용수배분의 시안 작업, 계획과 실태 등의 작업이 필요하다.

다. 유량조정의 기간

유량 조정 기간으로서는 다음을 생각할 수 있다.

- 1) 어느 해에 저류하여 다음 해에 공급한다(경년저류).
- 2) 같은 어느 계절에 저류하여 다른 계절에 공급한다(계절저류).
- 3) 같은 계절의 어느 기간에 저류하여 다른 기간에 공급한다 (기간저류)

라. 저수관리의 기본적 제약

저수지는 일반적으로 상시만수위와 최저수위 사이의 유효저수용량의 범위에서 유량조절을 한다. 이수 댐에서 홍수기에 홍수조절을 하는 경우에는 홍수조절용량을 확보하기 위해 이수용량은 적어지게 된다. 이 때의 이수용량을 홍수기의 이수용량이라고 하며, 이 때의 수위를 홍수기 제한수위라고 한다.

마. 기준배분수량 설정에서의 유의점

1) 물 관리 기관과의 연락조정

물 배분 기구, 물배분 조직, 수도작부 계획과 장래 품종개량 , 작부체계의 변화에 대응하여 수리시설을 관리하고 배분조작을 하는 물 관리기관과 긴밀한 연락을 취하고 기준배분수량을 책정 혹은 개정한다.

2) 단위용수량

단위용수량은 용배수분리, 건답화 등에 의한 지하수위의 저하로 감수심이 증가하므로 계획시와 장래와의 변동요소에 대하여 정확히 상황을 파악할 필요가 있다.

3) 유효수량

수혜지구에 일감수량 미만의 강우가 있어도 실제 관리상 이것을 고려한 감량방류조작은 이상 갈수기 이외에는 실시하지 않는다는 것을 염두에 둘 필요가 있다.

4) 용수로 말단의 유행과악

분수공에 있는 분수량, 말단에서의 만족도 혹은 말단에서의 무효방류 등을 정확히 파악해야 한다.

6.3.2 저수운용규칙

저수운용규칙은 저수지를 운용하기 위하여 필요한 객관적인 기준을 말한다. 댐의 이수관리에 있어서는 관개 기간 및 비관개 기간의 저수운용규칙을 정해 이를 근거로 하여 저수된 물을 이용한다.

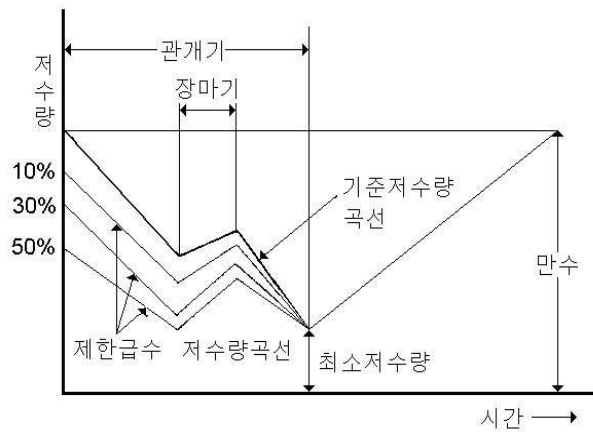


그림 6.3.1 저수관리의 개념도

다. 장마기에는 저수지로부터의 취수량보다 많은 강우로 인한 저수지의 유

그림 6.3.1는 우리 나라 농업용 저수지의 저수량의 시기적 변화를 나타낸다. 일반적으로 관개초기의 저수량은 만수를 나타내고 관개말기의 저수량을 최소를 나타낸다. 관개기를 저수량의 상태에 따라 3개의 소기간, 즉 장마전기, 장마기 및 장마후기로 나눌 수 있다. 저수량은 장마전기(이앙기로부터 장마 직전까지의 분담기) 동안에는 계속적으로 감소한

입량이 크게 되어 저류량이 다소 증가하며, 장마후기(장마가 끝난 후 관개말기까지)에는 저류량은 다시 감소한다. 비관개기에는 저수지로부터의 취수량이 거의 없어 저수량은 계속적으로 증가하여 관개기 직전에 저수량은 최대가 된다.

농업용 저수지는 두 가지의 대립하는 목표를 조정하면서 운영하지 않으면 안된다. 목표의 하나는 유효급수(방류)를 촉진하여 수혜지의 물 수요에 적극적으로 대응하는 것이고, 또 다른 하나는 현재 또는 장래의 가뭄에 대비하여 급수(방류)를 억제하는 것이다.

이러한 두 개의 서로 상반되는 목표를 조정할 수 있는 객관적 기준으로서 기준저수량곡선(基準貯水量曲線)을 설정한다. 이것은 관개기간 중 계획적으로 저수운용을 하기 위해 관개기 말일까지의 저수량이 0이 되지 않도록 하는 확률로 보증하는 시기별 저수량을 표시한 것이다. 저수지의 저수량이 기준저수량곡선보다 큰 저수역(수요주도역)에서는 수요에 응하여 적극적으로 급수하고, 이것보다 낮은 저수역(공급주도역)에서는 가뭄에 대비하여 급수를 제한한다.

실제의 저수량이 기준저수량곡선보다 낮게 되면 급수제한을 하게 된다. 급수제한율 S (= 급수제한량/필요수량)을 나타내는 저수량곡선을 급수제한 곡선이라고 하는데, 이것을 복수 설치(예를 들어 10, 30, 50 %의 급수제한율)할 필요가 있다. 급수제한은 기준저류량곡선까지의 회복을 목표로 하지만 단 기간 내 회복을 원할 경우에는 급수제한율을 크게 하고, 관개말기까지 급수제한을 계속해도 좋은 경우에는 급수제한율을 작게 한다.(1992, 농공학회지 34(1) 참고) 또한, 비관개기 말일(관개기 개시의 전일)까지 소정의 저수량(만수량)까지 저류하는데, 각 시기별 목표 저수량 곡선을 비관개기 저수량 곡선이라고 한다.

이상의 저수운영규칙을 적용하면 효율적으로 물 관리를 운영할 수 있다.

6.3.3 물 관리 자동화 시설

관개면적 100ha 이상인 저수지 지구에서 유역배율이 낮거나(예 : 1 : 4 이하) 농촌용수를 다목적으로 공급하므로 용수부족이 예상되는 필담에서는 원격 관측/제어(TM/TC)시설을 도입하여 물 관리 자동화를 도모하고 간단·윤환관개 시스템을 통하여 효율적으로 절수하여 가뭄을 극복할 수 있다.

간단·윤환관개 시스템에 의한 물 관리를 위해서는 관리인이 직접 현장을 관찰하고 경험에 의해 상황을 판단하여 시설물을 조작 개폐·제어하는 관행적인 물 관리방법보다는 전기·기계·전자·통신 및 컴퓨터 기술을 이용한 원격 관측·제어(TM/TC)기법으로 주요 급수시설의 상황을 감시, 점검, 조작, 제어

할 수 있도록 시설을 보강해야 한다.

6.3.4 시설 보강시 저수용량 확대

저수용량 500만 m^3 이상의 기존 필담 가운데 하류하천의 생태보전과 친수 환경에 필요한 환경용수를 공급할 수 있도록 저수지 승상과 물넘이에 수문을 설치하여 저수용량을 추가로 확대해야 한다. 이 때, 밭 관개용수를 적절히 공급하도록 취수공, 수문, 관수로 및 조정지(Farm pond) 등의 설치를 고려한다.

6.3.5 자료의 수집과 정보관리

계획적으로 저수관리를 수행하려면 물 수지 자료에 관한 기록을 작성하고 이를 적극적으로 활용해야 한다. 저수운영규칙을 계획적으로 관리하기 위해서는 강수량, 유입량, 방류량, 저수지 수위 등의 기상 및 수문에 관한 자료의 데이터 수집, 정리가 불가피하다. 이러한 자료는 일별, 혹은 시계열 데이터로서 수집·기록되고, 일 단위의 물 수지로서 기록되어야 한다.

저수운영규칙을 계획적으로 관리하려면 다음의 자료수집정리가 불가피하다.

저수량 V m^3 : 저수위를 측정하고, 이를 수량으로 환산하여 저수위 H 와 저수량 V 을 함께 기록한다.

방류량 Q m^3/s : 이수방류량, 발전방류량, 홍수방류량, 총방류량 등 방류의 목적별로 기록한다.

유입량 I m^3/s : 저수량과 방류량의 수지로부터 유입량을 계산하여 기록한다.
방류요청량 R m^3/s : 수혜지구가 요청한 방류량 또는 계획 예정된 방류량

취수량 O m^3/s : 수혜지구의 간선수로에서의 실제의 취수량을 기록한다.

방류제한량 S m^3/s : 방류요청량 R 과 방류량 Q 의 차를 구하여 기록한다.

6.4. 홍수관리

6.4.1 일반사항

홍수시 댐 관리는 댐조작규정에 따라 실시하여 기상, 수문상황을 파악하는 동시에 댐으로의 유입량, 저수위 등을 예측하여 방류를 결정한다.

가. 관리조작의 기본

농업용 저수지의 홍수시의 관리조작의 기본은 댐으로부터의 방류에 의하여 하류에 피해가 생기지 않도록 하는 것이며 동시에 댐 시설자체가 직접 피해를 받지 않도록 하는 것이다.

대규모 농업용 저수지는 큰 저수용량을 가지고 있어 홍수시 유출수를 전부 저류할 수 있는 경우에는 유출수의 예측도 비교적 빨리 할 수 있으므로 홍수시 어려운 조작이 필요한 일은 거의 없다. 문제가 되는 것은 관개기의 비교적 단기간의 홍수유출로 이것을 단기간에 조작 방류하는 경우이다. 논의 관개기와 홍수기가 겹쳐 있어 또한 소유역, 소저수용량의 소규모 저수지에서는 홍수시의 관리조작은 중요하나 간단하지 않다.

홍수시 방류 관리조작의 방법은 1) 게이트를 갖는 물넘이와 2) 게이트를 갖지 않는 물넘이의 경우로 구분된다.

홍수시 댐 관리는 댐 조작 규정에 따라 실시한다. 상세한 것은 이하의 각절에서 언급하는데, 방류에 이르는 과정을 정리하면 다음과 같다.

1) 기상 및 수문 상황의 파악

기상 및 수문상황 관측은 조작규정에 정해 있지만 댐으로부터의 방류가 예상되는 경우에는 분마다로 단축하여 실시한다. 또는 조작 간격마다 관측한다.

2) 유입량 예측

제 1단계 예측: 예상되는 강우량과 댐의 현재 수위에 있어서의 비어 있는 용량으로부터 방류의 필요성을 검토한다.

제 2단계 예측: 현재의 기상 수문 상황 및 기존의 데이터를 기초로 하여 유이한 기상 패턴을 추출하여 댐으로의 유입량 및 저수위의 예측을 방류량 및 시각 등을 결정한다.

3) 기계 및 기구의 점검

댐 관리에 관계하는 기계 및 관측, 통보, 경보시설이 정상적으로 기능하는가를 점검하며 신속한 대응을 필요로 한다.

4) 댐 조작 상황의 통보

댐의 설치자는 홍수가 발생 혹은 발생할 염려가 있는 경우에는 하천관리청 혹은 관계 시·도지사에게 통보하지 않으면 안 된다. 또는 댐의 설치자는 통보를 빠르고 정확히 전달하기 위해 필요한 통보시설을 설치해야 한다.

5) 방류결정

방류시각 및 방류량은 기상 수문 상황 및 유입량 예측 등에 근거하여 결정한다. 방류는 댐조작규정에 따라 가능한 하류하천에 큰 수위 변동이 없도록 실시한다.

6) 방류시 관계기관에의 통지

댐의 물넘이 혹은 방류관으로부터 방류를 개시하기 적어도 한 시간 전에는 방류수가 통과하는 지역을 관리하는 시·도지사, 하천수위의 변동에 영향을 미칠 염려가 있는 하천이 있는 지방자치단체장, 해당지구를 관할하는 경찰서 및 하천관리청에 댐의 방류일시, 방류량, 방류에 의하여 상승할 수위 등을 통지한다.

7) 방류시 일반인에의 통지

댐 하류지역의 주민에게 피해 발생의 우려가 있을 때에는 게시판에 게시하는 것 이외에, 사이렌, 확성기 등에 의해 일반인에게 통지해야 한다.

8) 기록의 정리

댐 조작에 관한 기록을 작성 보관하는 것에 의해 댐의 원활한 관리 운영을 도모하여 홍수가 발생 혹은 발생할 염려가 있는 시기로부터 홍수의 위험이 사라진 후의 기상, 수문 상황 및 게이트의 조작내용, 방류시의 관계기관에의 통지 및 일반인에의 주지에 관한 사항에 대하여 기록한다.

6.4.2 댐의 조작 규정

댐을 유수의 저류 혹은 취수를 위해 준비할 때에는 댐의 조작 규정을 정해 관리해야 한다.

댐에 관한 조작 규정은 홍수시의 댐의 원활한 관리를 위해 규정한 것으로 댐이나 저수지의 제원에 관한 규칙, 댐 등의 관리의 규칙, 홍수시의 조치 등에 관한 규칙을 정한다.

가. 댐 및 저수지의 제원

댐 및 저수지 관리상 필요한 제원은 다음과 같다.

1) 댐

높이, 제방의 표고, 월류제방의 표고, 물넘이 게이트(규모 및 개수), 방류관 밸브(규모 및 개수, 개폐에 관계되는 개도변화율) 등

2) 저수지

유역면적, 담수구역면적, 최대배수(背水)거리, 설계홍수위, 상시만수위, 예비 방류수위, 최저수위, 유효저수용량 등

3) 최대사용수량

나. 홍수로 지정된 유량

홍수로 지정된 유량은 해당 댐 하류부 하도의 협착부 등에서 사유지의 경작 기타 재해 재해를 생기게 하지 않는 최대 유량을 말하며 댐 지점으로 환산하여 정한 최대 무해유량으로 한다. 댐 지점의 유량 환산에는 해당 지점과 댐 지점의 유역면적비를 이용해도 좋다.

다. 저수지 유입량 산정

홍수시의 유입량 산정은 저류 및 방류의 관리상 매우 중요하다. 유입량의 단기예측은 유역에서의 강수량과 시간적, 공간적 분포에 의해 이루어진다. 예측된 강수를 이용하고 유출모형을 이용하여 유출량을 예측할 수 있다. 홍수시의 관리조작에는 유역에서의 적당한 기상 수문관측이 필요하고, 이 기록을 가능한 짧은 시간에 댐 관리조작에 이용할 수 있도록 하는 것이 중요하다.

댐 관리상 가장 중요한 데이터가 되는 저수지 유입량의 산정방법은 ① 저수지 유입하천의 유량으로부터 산정하는 방법과 ② 저수지 수위 변동과 방류량으로부터 산정하는 방법이 있다. 일반적으로 홍수가 저수지에 유입하기 전에 그 양을 예측할 수 있는 이점이 있으므로 전자의 방법을 사용하지만, 이것이 곤란한 경우에는 후자의 방법으로 산정한다.

1) 저수지 유입하천의 유량으로부터 추정하는 방법

$$Q = \sum \alpha_i Q_i \dots\dots\dots(6.4.1)$$

Q : 저수지 유입량

Q_i : 저수지에 유입하는 하천의 수위관측소 i 에서의 추정유량

α_i : 보정계수, Q_i 와 Q 의 관계, 유량관측소의 유역면적과 댐지점 유역면적의 비율로부터 정한다.

이 방법은 저수지에 유입하는 하천에 설치된 수위 관측소의 관측수위로부터 수위-유량곡선에 의해 추정되는 유량을 기초로 하므로 댐 지점의 순간유량이 빨리 추정할 수 있으나, 수위-유량곡선의 정확도가 떨어지는 경우가 있다.

2) 저수지 수위변동과 방류량으로부터 산정하는 방법

$$Q = \frac{V[H(t_2)] - V[H(t_1)] + \sum_{i=1}^n \Delta t_i Q_{oi}}{t_2 - t_1} \dots\dots\dots(6.4.2)$$

Q : 저수지 유입량

$V[H(t_2)]$: 현재시각 t_2 에서의 저수위 $H(t_2)$ 에 대응하는 저수량

$V[H(t_1)]$: 현재시각 t_2 시보다 일정시간 전의 시각 t_1 에서의 저수위

$H(t_1)$ 에 대응하는 저수량

$\Sigma \Delta t_i Q_{oi}$: $t_1 \sim t_2$ 시간 내의 전 방류량으로 n 은 $t_1 \sim t_2$ 시간의 구분수

이 방법은 시각 $t_1 \sim t_2$ 의 평균유입량을 산정하는 것이므로 시각 t_2 의 순간 유입량을 표현할 수 없는 결점이 있다. 이것은 $t_1 \sim t_2$ 의 시간 간격을 단축하는 것에 의해 어느 정도 개선할 수 있지만 유입량 변화가 급격할 경우에는 저수지내 수면경사가 일정하지 않아 $t_1 \sim t_2$ 을 짧게 취하면 오히려 유입량 추정값이 진동하는 난점이 있다. 따라서 식(6.4.2)에서 $n=1$ 의 형태로 되어 있지 않다.

라. 방류량의 증가한도

1) 방류량 증가 제한곡선의 작성

댐으로부터의 방류의 비율은 하류하천(기준지점의 하도)의 수위 상승량이 30분에 30 ~ 50 cm 정도 이하로 되는 방류량과 일정시간내(10분간)의 방류량의 변화량으로부터 작성한 것으로, 이 제한곡선은 방류의 개시로부터 방류량이 홍수량에 도달될 때까지 작성한다.

2) 경과시간과 방류량과의 관계도 작성

댐하류 하천(기준지점)의 수위를 댐으로부터 방류개시로부터 상승시켜 가장 안전하고 효과적으로 무해방류를 시키기 위해 경과시간에 따른 방류량 곡선을 작성하여 무해방류의 소요시간으로부터 홍수시 이후의 대응에 필요한 관계 자료로 한다(그림 6.4.2)

마. 방류시의 통지

1) 통지 구간의 설정

댐 조작에 따른 하류에서 급격한 수위변동(30분간에 30 ~ 50cm 이상)가 생기는 경우에는 관련 지방자치단체장이나 관계경찰서장에 통지하는 동시에 일반인에게 주지시키는 조치가 필요하다.

댐 방류에 따른 급격한 수위변동이 발생하는 구간가지를 기본으로 하나, 댐이 지천인 경우에는 본천과의 합류점, 댐이 본천인 경우에는 몇 개의 지천이 합류하여 큰 지천이 합류하여 댐 지점 유역면적의 2배 이상의 유역면적으로 되는 합류점까지로 하는 경우가 많다.

2) 하류수위 상승에 따른 경고 시각의 설정

하천법 시행령 15조에 의해 댐 설치자는 댐 조작에 의해 방류하고자 하는

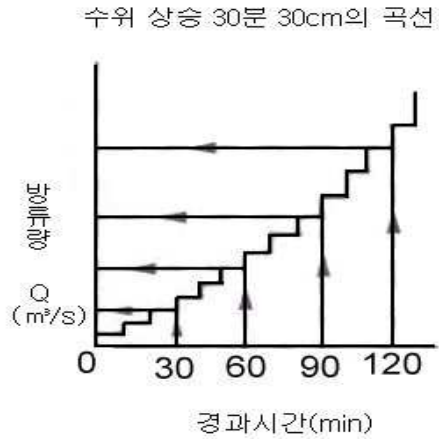
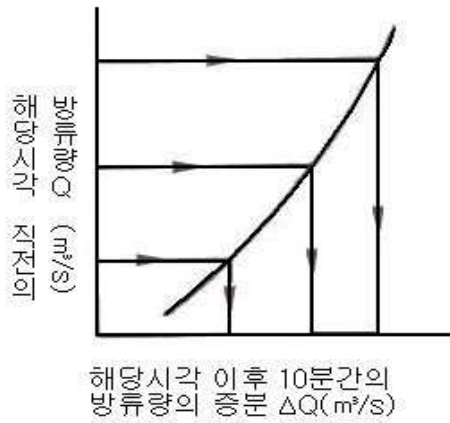


그림 6.4.1 방류량 증가 제한곡선

그림 6.4.2 경과시간에 따른 방류량

때에는 이로 인한 재해를 예방하기 위하여 사이렌·경종·확성기 등을 이용하여 경고하고, 방류시기 기타 필요한 사항을 공고하며, 관계기관에 대하여 통지해야 한다. 사이렌 등에 의한 경고는 하류 수위 상승에 맞춰 적절한 시각의 설정이 필요하다. 하천의 상황이나 지역의 지형 상황 등을 감안하여 시간의 설정이 필요하다. 일반적으로 대피하는데 걸리는 시간을 10분 정도로 생각하여 경고 시각은 15분 전에 설정한다.

바. 방류관 밸브나 물넘이 게이트의 개도와 방류량의 관계

하천유량의 확보는 주로 방류관 밸브에 의해 이루어지고, 홍수시는 물넘이 게이트에 의해 대응는데, 방류관 밸브의 저수위와 취수량 및 물넘이 게이트의 개도와 방류량과의 관계를 나타내면 그림 6.4.3과 같다.

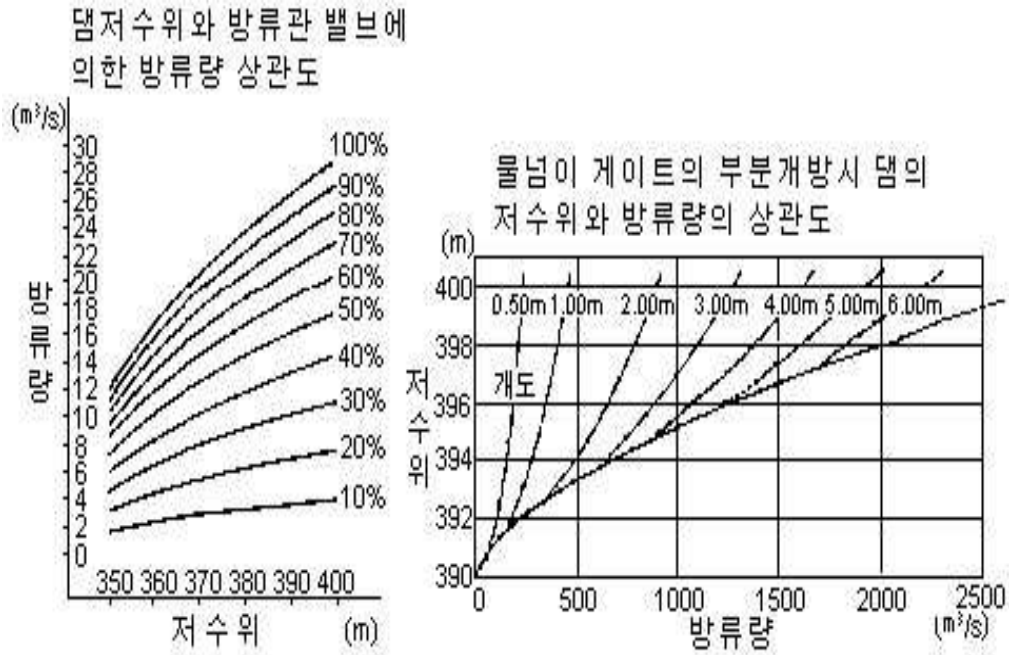


그림 6.4.3 방류관 밸브 및 물넘이 게이트의 개도와 방류량과의 관계

6.4.3 저류의 최고한도

저수지에서의 저류는 홍수시 일시적으로 유입수를 저류하는 경우를 제외하면 상시 만수위 이하로 한다.

댐 방재의 입장으로부터 댐 상시만수위를 확인하고 홍수시의 서차지수위 (surcharge water level) 등의 특별한 경우를 제외하고는 저수지의 수위를 상시 만수위 이하로 유지하는 것을 규정하고 있다. 홍수시 하천 기능을 감쇄시키지 않도록 증가하는 유량을 서차하지 방식으로 조절하게 되어 있는 댐은, 홍수시 경과 후 저수지의 수위를 빨리 상시만수위까지 하강시킬 필요가 있다.

6.4.4 방류량의 증가방법

댐으로부터의 방류는 하류 수위에 급격한 변동이 일어나지 않도록 해야 한다.

댐으로부터의 방류는 홍수시에 급격한 대응해야 하는 경우를 제외하면 하류의 수위에 급격한 변동이 발생하지 않도록 방류량 증가 제한곡선도에 의해 실시한다. 단, 유입량이 급격히 증가하는 경우에는, 해당 유입량의 증가율의 범위에서 저수지로부터의 방류량을 증가시킬 수 있다.

가. 무해방류에 의한 대응

댐 방류에 의해 하류하천 수위가 급격히 증가하는 경우에는 인명 피해가 일어나지 않도록 방류량의 최대 변화량을 설정한다. 방류량 변화의 한도는 방류의 영향이 미치는 구간에서 가장 위험한 개소를 대상으로 약 30분에 30~50 cm를 목표로 한다.

방류량 증가 제한곡선도는 댐 방류량의 증가 비율의 최대 한도를 규정한 것으로 댐방류에 따른 하류하천 수위상승 비율이 30분에 30~50 cm 범위가 되도록 방류량과 일정시간 내의 방류량의 변화와의 관계를 나타낸 것으로 댐 조작의 기본이 된다. 또한, 방류량의 변화를 가능한 한 완만히 하기 위해서 방류량 증가 제한 곡선도에 있어 시간 간격을 10분간으로 짧게 하고 있다.

나. 증가율방류

댐으로부터의 방류는 하류수위에 급격한 변동이 발생하지 않도록 하는 것을 기본으로 한다. 그러나, 유입량이 급격히 증가하는 경우에는 조작규정에 단서사항을 설치하여 해당유입량의 증가율의 범위 내에서 방류량을 증가시키는 것을 용인하고 있다. 이 방류는 댐 유입량이 급증하는 경우에 댐안전 관리를 도모하는 긴급의 대응이다. 또 단서조건 방류에 의한 현재 유입변화율(d) 및 방류할 수 있는 한도량(Q_o)은 다음 식으로 구해진다.

$$\text{현재유입변화율 } (d) = \frac{Q_2 - Q_1}{\frac{Q_2 + Q_1}{2}} \dots\dots\dots(6.4.3)$$

Q_2 : 현재유입량, Q_1 : 일정시간 전의 유입량

$$\text{방류할 수 있는 한도량 } (Q_o) = Q_3 \left\{ 1 + \frac{2(Q_2 - Q_1)}{Q_2 + Q_1} \right\} \dots\dots\dots(6.4.4)$$

Q_3 : 현재방류량

6.4.5 물넘이 게이트 조작

댐으로부터의 방류는 방류관 혹은 물넘이 게이트로부터 실시하여 조작에 있어서는 안전성에 주의를 기울일 필요가 있다.

댐으로부터의 방류는 방류관 밸브 또는 물넘이 게이트 등에 의해서 실시된다. 하류 하천의 유량 확보는 주로 방류관 밸브로 하며, 홍수시의 대응은 물넘이 게이트를 주체로 방류관 밸브를 병용하여 실시하게 되어 조작에 있어 안전성에 주의를 기울일 필요가 있다. 게이트 등의 기능 및 조작 제한은 다음과 같다.

가. 방류관 밸브

방류관 밸브의 조작은 평상시의 하류 하천유량의 확보에 이용되는 것이 일반적이다. 그러나, 홍수시에도 물넘이 게이트를 조작하는 단계까지의 사이에서의 댐유입량에 대응한 조작을 하게되고 방류초기의 대응으로서 방류량의 짧은 시간에 증가 혹은 방류량의 미조정 등의 조작에 매우 효과적이다.

나. 물넘이 게이트의 명칭

물넘이 게이트의 명칭은 게이트 조작 및 점검, 정비 등에 있어 착오가 없도록 명칭을 정할 필요가 있다. 댐 조작단계 및 게이트의 점검, 정비에서의 게이트 명칭의 착오는 중대한 사고를 일으키므로 이것을 방지하기 위한 통일된 명칭을 정한다. 이것은 물넘이 게이트를 조작하는 직원은 물론 댐 관리에 종사하는 종사자에 대해서도 주지를 철저히 할 필요가 있다.

다. 물넘이 게이트의 조작순서

물넘이 게이트로부터의 방류는 하류 하천에 대하여 안전하게 대처하는 것이 기본이며 조작방법에 따라 유입에 이상 사태가 발생하는 것도 생각할 수 있다. 따라서, 게이트 개폐순서, 방법, 1회 조작에 의한 개도(開度)의 제한을 정하는 것은 댐의 안정 조작상 매우 중요하다. 즉, 물넘이 게이트를 조작하여 방류하는 경우 한 개 혹은 일부분만의 게이트 개폐를 하지 않도록 규정하는 것으로 1회 조작에서 게이트 1개를 여는 정도를 정해 두고 전 게이트가 정해진 양만큼 열린 후에는 최초의 게이트로 돌아가 연다. 이와 같은 것을 반복함으로써 방류조작을 원활히 처리한다. 단, 유입량이 급증하고 있는 경우에는 저수지 수위를 상시 만수위로 확보하기 위한 조치를 하지 않을 수 없다고 인정할 때에는 이 제한이 없다.

라. 물넘이 게이트 개폐의 제한

홍수시 게이트의 개폐폭은 하류하천의 수위변동 등에 미치는 영향이 크고, 과도한 개폐로 조작한 경우에는 하류하천으로의 유입량이 일시적으로 증대하여 급격한 수위변동을 일으키고, 편중된 방류가 하류 하천의 흐름을 교란시켜 피해 발생을 일으키는 경우가 많다. 따라서 각각의 게이트의 1회 개폐의 움직임이 일정치를 넘지 않도록 제한하는 것에 의해 저수시로부터의 안정된 방류가 되도록 한다.

마. 물넘이 게이트의 시동간격

홍수시 댐 방류에 있어 게이트 조작의 시동에 가장 주의가 요망된다. 게이트 조작이 순조로울 때는 문제가 없지만, 댐 저수위가 높고 댐으로의 유입량이 급증하고 있는 경우에는 복수의 게이트를 연속적으로 운전하게 되어 사고를 일으키는 경우가 많다. 그러므로 게이트의 시동 간격에 제한을 두어 원활한 게이트 조작을 하여 기계적, 전기적으로 과부하가 걸리지 않도록 1 개의 게이트가 시동한 후에 다른 게이트를 조작한다. 한편, 이 간격은 해당 게이트 혹은 동력 설비에 따라 다르지만, 일반적으로 30초가 바람직하다.

바. 조작의 제한

방류관 밸브나 물넘이 게이트는 아래 사항에 해당하는 경우 혹은 댐의 물넘이, 방류관의 점검정비를 위해 필요한 경우를 제외하고는 개폐해서는 안 된다.

- 1) 하류에서 하천의 사용을 위하여 필요한 하천유량을 확보하는 경우
- 2) 상시만수위를 확보하는 경우
- 3) 홍수시에 저수지로부터 방류하는 경우
- 4) 댐 기타 저수지내의 시설 혹은 공작물의 점검이나 정비가 필요한 경우
- 5) 긴급을 요하는 부득이한 사유가 발생했을 경우

6.4.6 댐 방류시의 관계기관에 대한 통지

댐 조작에 의하여 유입수를 방류하고자 할 때에는 이에 의한 재해를 방지하기 위하여 관계기관에 통보해야 한다.

물넘이 혹은 방류관으로부터의 방류(해당방류의 도중에 있어서 방류량의 큰 증가에 의하여 하류에 피해를 생길 위험이 있는 경우를 포함함) 개시의 적어도 한 시간 전에

는 댐 방류수가 통과하는 지역을 관할하는 시·도지사, 댐 방류에 의하여 하천의 수위 변동에 영향을 미치는 하천구역에 인접한 시장·군수, 해당 지역을 관할하는 관계 경찰서장 및 하천관리청에 대하여 방류일시, 예정방류량 등을 통지하는 적절한 조치를 취해야 한다.

가. 관계기관에의 통지 및 내용

관계기관에의 통지는 댐 하류지역의 수해방지를 확보하는데 있어서 매우 중요한 것으로 관계자와 충분한 협의를 한 후 의견을 수렴하여 구체적으로 통지 방법 및 내용을 정한다. 기상·수문의 관측 결과, 해당 댐의 조작상황, 앞으로의 전망 등에 대한 정보 연락이 신속하고 정확히 이루어지도록 노력해야 한다. 방법으로서 통지양식 등을 인쇄하여 배포해 두면 연락 방법을 보다 효과적으로 수행할 수 있다.

통신시간을 단축을 시키며 여유를 가진 방류 체제를 정비하기 위해 통지 전에 분할 통신 체제를 확립해 두는 것도 중요하다.

또한, 댐 방류에 의해 발생하는 위험을 방지하기 위하여 관계 시·도지사, 시장·군수, 경찰서장 및 하천관리청에 대한 통지는 댐을 조작하는 날짜 외에 댐 조작에 의한 방류량 또는 댐 조작에 의해 발생하는 하류수의 상승의 예상 등을 표시하는 것이 필요하다.

나. 통신체계의 확립

관계기관에 대한 통지는 전화를 활용하는 경우가 많으나, 전화는 태풍 등의 이상 기상시에는 통신 회선의 용량부족, 통신시설의 재해 등에 의해 통지 불능이 되는 경우가 많으므로 예측하기 어려운 사고 등을 고려하여 폭풍이나 홍수에 의해 재난을 입지 않도록 통신체계를 확립하는 것이 요망된다. 본 통지에 관련된 조치는 일반에의 주지를 위한 조치와 함께 댐 관리상 중요한 것이므로 미리 통신 연락체계도를 작성해 둘 필요가 있다.

6.4.7 댐방류시 일반인에게 알리는 조치

댐 조작에 의해 유수의 변동이 발생하는 경우에는 일반인에게 주지시켜 댐 방류에 의한 재해가 발생하지 않도록 한다.

댐 설치자는 댐을 조작하는 것에 의해 유수의 상황이 크게 변화된다고 인정될 때는

댐 방류에 의한 피해를 방지하기 위하여 미리 관계 시·도지사, 시장·군수, 경찰서장에게 통지하는 동시에 일반에게도 주지시키는 조치를 취해야 한다. 수영이나 낚시, 캠프, 모래채취 등을 하고 있는 사람들이 위험을 알고 충분한 여유를 가지고 대피하기 위한 조치를 실시할 필요가 있다. 사이렌, 경종, 확성기 등으로 일반인에게 위험을 주지시킨다.

일반에의 주지는 댐 지점으로부터 특정 지점까지의 특정 구간에 대하여 정해지게 되지만, 댐으로부터의 방류의 정도에 따라 하류수위에 대한 영향을 검토하고 6.4.2의 댐 조작 규정에서 정한 바에 따라 위치를 결정하고 철저히 주지시킨다.

일반에 주지시키는 조치는 게시판, 사이렌, 경종, 확성기 등으로 실시한다.

가. 게시판에 의한 주지

게시판에 의한 주지는 해당 주민이나 지역에 익숙한 사람에 대해서는 효과적이나 외래인에 대해서는 효과가 없는 면이 있다. 그러나, 설치 장소에 따라 효과가 증대하므로 자동차 등의 진입하게 쉬운 곳을 비롯해 어린이들이 물놀이 또는 고기잡이를 하는 장소를 선택하여 설치한다. 내용은 어린이들이 쉽게 이해할 수 있도록 하고 해당 하천의 특징, 강우, 증수상황 등에 대하여 설명하는 동시에 사이렌, 경종에 의한 경고 내용을 게시하는 것에 의해 방류에 대하여 이해를 시키는 것이 필요하다.

나. 사이렌에 의한 주지

사이렌에 의한 주지는 댐 지점 및 하류 지역으로 나누어 실시한다. 댐 지점에 설치된 사이렌에 의한 경고는 댐 방류 개시 약 수 십분 전에 수 십분간, 또한 댐 지점 이외에 설치된 사이렌에 의한 경고는 댐 방류에 의해 해당지점의 수위상승이 개시되기 약 수 십분 전에 수 십분간으로 정한다. 사이렌 방법에 대해서는 게시판 등에 일반인에게 충분히 주지시켜 둔다.

다. 확성기에 의한 주지

확성기에 의한 주지는 게시판이나 사이렌에 의한 경고로는 효과적이지 못한 외래자에게 적합하며, 방류 및 하천수의 상승의 정도 등으로 가능한 한 위험한 상황을 주지시키는 것으로 하천수위 상승 15분전에 실시한다. 한편, 하천에 들어간 사람을 포함하여 확실히 주지시키기 위해 하천변을 따라 경보차(警報車)를 주행시켜 위험 구역에 들어있는 사람들에게 철저히 주지시킬 필요가 있다. 또한, 주지를 위한 조치로서 경보 내용, 경보차의 순회경로, 시간적 조건

등이 들어있는 경보계통도를 작성해 두는 것도 필요하다.

라. 일상활동에 의한 주지

댐 방류시 위험방지를 인식시키기 위하여 다음 사항에 대하여 일상적인 주지활동을 하는 것이 효과적이다.

- 1) 해당하천에서의 강우량과 하천유출 특성에 관한 사항
- 2) 수영, 낚시, 캠프 등 외래자에 대한 해당 하천의 특징에 관한 사항
- 3) 기타 댐 방류에 관한 사항

또한, 방류시의 경보에 관한 설명회, 홍보 등에 의한 계몽시키는 것도 하류 지역 주민으로부터 방류에 관하여 협력을 얻는데 효과적이다.

6.4.8 홍수주의보 단계의 조치

홍수주의보 단계는 홍수예보를 발령하는 지점의 수위가 경계홍수위를 초과할 것이 예상되는 경우에 발령한다. 홍수주의보 단계에는 댐을 적절히 관리하기 위해 요원의 확보, 기상 수문자료 수집, 하천관리청에의 통보, 관리에 필요한 기계류 및 자재의 점검 및 정비, 유입량의 예측 및 조작 등의 조치를 취해야 한다.

홍수예보는 홍수주의보와 홍수경보로 구분한다.

홍수주의보 단계는 댐 상류 유역에 호우주의보(일 예상 강우량 80 mm 이상)가 발령되어 홍수가 발생할 염려가 있는 때로부터 홍수경보 단계에 들어갈 때까지 혹은 홍수경보가 해제된 시기부터 홍수주의보가 해제되어 홍수가 발생할 염려가 없다고 판단할 때까지의 기간을 말한다

홍수주의보 단계에는 요원을 확보하면서 기상·수문 관측, 유입량 예측, 하천관리청 등에의 통보, 댐 조작을 위한 기계기구의 점검, 정비 등을 실시함으로써 댐의 관리체계를 강화해야 한다.

더욱, 예비 방류가 홍수주의보 단계만으로 소정의 예비방류 용량을 확보하기 어려운 댐에서 사전 방류가 필요한 경우에는 홍수경보 단계 시에 규정된 조치를 용이하게 하기 위해 필요한 유량을 댐으로부터 방류한다.

홍수주의보는 홍수예보를 발령하는 지점의 수위가 계속 상승하여 경계홍수위(수위가 더 이상 상승하면 제방·수문·교량 등에 대한 경계가 필요한 수위로서, 계획홍수량의 100분의 50에 해당하는 유량이 흐를 때의 수위를 말한다)를 초과할 것이 예상되는 경우에 발령한다.

가. 요원의 확보

홍수 발생단계에 댐이나 저수지를 적절히 관리할 수 있는 요원을 확보한다.

나. 기상 수문자료의 수집

기상 수문에 관한 정보 수집은 예비 경계시 대응 기본이 되기 때문에, 정확·신속히 파악하는 것이 필요하다.

기상 수문 관측은 평상시는 1일 1회의 관측이 통례지만 예비경계시가 되면 관측시간을 대폭 단축하여 1시간마다 경우에 따라서는 더욱 시간을 단축하는 것이 필요하다.

다. 유입량 예측

홍수기에 큰 강우가 올 것으로 예상되는 경우, 그 강우에 따른 댐으로의 유입량을 예측하고 댐의 저류가능 용량에 따라 방류의 가부, 시간경과마다 방류량과 방법 등을 확립해야한다.

라. 하천관리청에의 통보

댐 관리자는 하천관리청에 홍수주의보 단계에 들어간 것을 댐 조작규정에 기초하여 통보함과 동시에 기상 수문관측 결과 및 해당 댐의 조작상황을 합하여 보고한다.

기상·수문 및 댐 조작 상황에 관한 보고는 다음 사항에 대하여 행한다.

- 1) 관측지점에서의 시간 우량, 누가우량, 저수지의 유입량 및 저수위
- 2) 방류예정 시각, 예정 방류량, 게이트의 조작상황 등

마. 기계류의 점검 및 정비

댐 조작에 관계되는 기계기구, 관측시설, 통보시설, 경보시설 등에서 예비 경계시에 대응으로서 다음과 같은 것을 점검하고 정비할 필요가 있다.

- 1) 수전(受電)설비 : 수전(受電)설비, 조명설비, 배선 등
- 2) 예비 발전기 : 엔진 및 발전기 작동, 연료오일, 냉각수, 절환장치 등
- 3) 개폐기구 : 원동기, 주동력의 작동조건 등
- 4) 물넘이 게이트 (물넘이 게이트의 작동조건 확인)
 - 가) 댐저수위가 마루(堤頂, crest)보다 낮은 경우의 게이트 작동
 - 나) 댐저수위가 마루보다 높은 경우 클러치 레버의 중립에 의한 작동
- 5) 관측시설의 관계 : 우량계, 수위계의 작동

- 6) 통신설비 관계 : 전화, 무선 전화의 통화
- 7) 경보시설 관계 : 경보시설(사이렌)의 작동
- 8) 경보차의 작동 및 부속시설

바. 댐 기록에 관한 기록의 작성

댐 관리자는 홍수 발생단계의 댐 조작에 관한 기록을 작성하고 보관하며 후일 참고하는 것에 의해 댐의 원활한 관리운영을 도모한다. 또한, 홍수가 발생하거나 발생할 위험이 생겼을 때부터 홍수가 지나가 다시 발생할 염려가 없게 된 때까지 행한다. 작성내용은 다음과 같다.

- 1) 시우량 및 누계우량(한 시간마다 기록한다)
- 2) 저수지 상류 또는 댐 하류에 수위계가 설치된 때에는 해당 지점의 수위 및 유량(한 시간마다 기록한다.)
- 3) 저수지 수위, 게이트의 개도, 방류량 및 저수지의 유입량(한 시간마다 또는 게이트 조작에 맞춰 조작한다.)
- 4) 하천법 제 15조의 규정에 의해 통지 및 일반에게 주지시키는 조치에 관한 사항
- 5) 기타 참고할 만한 사항

6.4.9 홍수경보 단계의 조치

홍수경보 단계에는 기상, 수문의 정보 수집에 노력하고 유입량을 예측하여 댐 방류에 대처해야 한다.

홍수경보 단계는 댐 상류 유역에 호우경보(일 예상 강우량 150 mm 이상)가 발령되어 홍수가 발생할 염려가 크다고 판단되는 시점으로부터 홍수경보가 해제된 시점까지의 기간에서 홍수발생 단계를 뺀 기간을 말한다.

홍수경보는 홍수예보를 발령하는 지점의 수위가 위험홍수위(경계홍수위를 초과하여 제방·수문·교량 등의 붕괴 위험이 예상되는 수위로서 계획홍수량의 100분의 70에 해당하는 유량이 흐를 때의 수위를 말한다)를 초과할 것이 예상되는 경우에는 발령한다.

홍수경보 단계는 홍수주의보 단계보다 요인의 배치 등에 유의하고 기상 수문 정보의 수집을 강화하고, 최대 유입량 및 유입량의 시간적 변화를 예측한다. 이 예측 결과를 활용하여 방류시 관계기관에 통보하는 동시에 일반에게 주지시켜야 한다.

방류하는 경우에는 댐 방류에 관련한 기록을 작성하며 실시해야 한다.

가. 요원의 배치

기상청이나 기상대로부터 홍수경보가 발령되어 댐 관리자가 홍수 발생이 있다고 판단될 때에는 기상 수문의 관측시간 간격에 의한 정보의 수집, 수집된 자료에 의한 유입량 예측 및 저수위 시간적 예측 혹은 방류시의 대응, 댐 관리에 있어 가장 인원이 필요할 시기와 인원 배치에 유의할 필요가 있다.

나. 기상, 수문 자료의 수집

기상수문관측에 있어 홍수주의보 단계에 이어 실시하는 것으로 정확한 데이터가 필요하다. 댐으로의 유입량을 정확히 파악하기 위해서는 관측시간 간격을 줄일 필요가 있다.

다. 하천관리청에의 통보

홍수경보 단계의 조치로서 하천관리청이나 시·도지사 등 관계기관에 홍수경보단계에 들어온 것을 통보함과 동시에 매 정시마다 댐의 조작상황 혹은 유입량이 홍수경보 유량(댐으로의 유입량이 계획 홍수량의 70 %에 달한 경우), 혹은 최대 유입량에 달한 유입량 및 시각에 대하여 보고한다.

라. 기계류의 점검 및 정비

홍수경보 단계에 방류를 개시하고 있는 댐에는 기계기구 관측, 통신, 경보의 각종 시설에 대하여 작동상황을 확인한다. 또는 방류검토 중의 댐에 대해서는 계속하여 점검, 정비를 실시한다.

마. 댐 조작에 관한 기록 작성

홍수경보 단계에는 시에는 기상 수문의 관측데이터 및 댐 조작 상황 등에 대하여 기록하는 것이 기상수문의 관측자료는 매 정시 데이터를 혹은 댐으로의 유입량이 최대로 도달한 유입량 및 시각을 기록하는 동시에 관계기관에 보고 혹은 하류역에 대한 통지 등을 기록할 필요가 있다.

바. 댐으로부터의 방류

홍수경보 단계에는 예비방류계획을 설정한 댐에 있어서는 댐을 조작하는 것에 의하여 예비방류수위에 접근시키고 예비방류 계획을 하고 있지 않은 댐에 대해서는 방류하거나 방류결정에 대한 판단을 행한다.

1) 예비방류계획이 설정되어 있는 댐.

예비방류계획은 홍수시 댐조작의 곤란성을 파악하고 미리 용량을 비워둔다.

가) 댐 저수위가 예비방류수위보다 높을 때에는 댐으로의 유입량이 홍수량이 될 때까지의 시간에 예비방류수위에 접근시킨다. 저수위가 예비방류수위와 같게 된 시점에서 유입량에 상당하는 유량을 저수지로부터 방류한다.

나) 댐 저수위가 예비방류 수위와 같을 때에는 유입량에 상당하는 유량을 저수지로부터 방류한다.

다) 댐 저수위가 예비방류 수위보다 낮을 때에는 저수지로부터 유입수를 방류하거나, 저수지에 유수를 저류하고 저수위가 예비방류 수위와 같게 된 시점에서 유입량에 상당하는 유량을 저수지로부터 방류한다.

2) 예비방류가 설정되어 있지 않은 댐.

예비방류가 설정되어 있지 않은 댐에서는 유입량에 상당하는 유량을 저수지로부터 방류한다. 저수지로부터의 방류에 있어서는 하류수위에 급격한 변동이 없도록 방류하는데, 유입량이 급격히 증가하고 있는 경우에는 해당 유입량의 증가율의 범위에서 저수지에서 방류하고, 홍수에 들어간 단계에서는 가능한 빨리 유입량에 상당하는 유량을 댐으로부터 방류한다.

6.4.10 홍수 발생단계의 조치

방류계획을 기초로 한 댐으로부터의 방류는 안전한 방류가 되도록 하는 동시에, 하천관리청이나 시·도지사 등의 관계기관에게 통보하고 일반인에게 철저히 주지시킨다. 또한, 하류 유역을 충분히 고려하여 조작에 관한 기록 등을 작성해야 한다.

홍수발생단계는 실제로 홍수가 발생하여 저수위가 이상홍수위에 접근하거나, 하류 하천 수위가 위험수위에 육박하는 단계를 말한다.

홍수발생단계 조치로서 기상 수문에 관한 정보 및 데이터의 수집, 댐으로의 최대 유입량, 댐 저수지의 예측 등을 행하여 댐으로부터 안전한 방류가 되도록 하게 하는 동시에 하천관리청 등의 관계기관에 통보하고 댐 조작 상황 등에 대하여 보고한다. 더욱 일반인에게는 철저히 주지시키며 댐 조작에 관한 기록을 작성한다.

가. 저수지로부터 방류하고 저수지에 유입수를 저류한다.

저수지로부터의 방류는 하류 수위의 급격한 변동이 생기지 않도록 최소 한도로 한다.

나. 하천관리청에의 통지

하천관리청 등 관계기관에 대하여 홍수 발생단계라는 것을 통지하는 동시에 매 시각마다의 댐 조작 상황 및 댐으로의 유입량이 경계홍수량의 50 %에 달한 경우와 최대유입량에 달한 경우의 유입량 및 시각에 대하여 보고한다.

다. 댐조작에 관한 기록 작성

홍수경보 단계부터 계속하여 기상 수문의 관측자료 및 댐 조작 상황에 관하여 기록한다. 기상 수문의 관측자료는 정시마다의 자료, 댐으로의 유입량이 계획홍수량의 50 %에 달한 시각, 댐으로의 유입량이 최대에 달한 유량 및 시각에 대하여 기록한다. 또한 관계 기관에 보고 혹은 하류역에 대한 통보에 대해서도 기록한다.

6.4.11 홍수처리 단계의 조치

홍수처리 단계에는 기상, 수문 등을 충분히 검토하여 댐 저수위의 조정에 노력해야 한다.

홍수처리 단계는 홍수발생 단계가 끝난 시점으로부터 홍수경보단계가 해제될 때까지의 기간, 혹은 홍수경보단계가 해제되지 않고 저수지에 유입량이 다시 증가하여 홍수발생단계에 들어갈 때까지의 기간을 말한다.

홍수 처리 단계에서 예비방류 계획이 있는 댐에 있어서 2개 이상의 피크를 갖는 홍수가 예상될 때에는 첫 번째 피크가 경과한 후, 다음의 홍수에 대비하여 홍수시에 저류된 유수를 빨리 방류하여 저수위를 예비방류수위까지 저하시킨다.

한편 예비방류계획이 없는 댐에서는 홍수복구 단계의 저수위는 상시 만수위와 같도록 한다. 현재의 댐저수위가 상시만수위보다 높은 경우에는 상시 만수위로 만들며, 현재의 댐저수위가 상시 만수위보다 낮은 경우에는 유입수를 댐에 저류하면서 댐방류를 실시하여 상시만수위가 확보되도록 노력한다. 댐저수위가 상시 만수위와 같게 된 시점에서는 유입량에 해당하는 유량을 댐으로부터 방류한다(그림 6.4.4).

6.4.12 물넘이 게이트가 없는 댐

홍수시의 댐 관리는 기상 및 수문 상태의 파악하는 동시에 하류 하천에 적절한 조치를 강구한다.

가. 관리규정 등의 작성

하천법 23조에 의하여 댐 등 관리에 관한 기록을 작성하여 설치하고 관리청의 요구가 있는 때에는 지체없이 이를 제출해야 한다. 그러나, 댐 조작규정은 주로 홍수시의 적정한 댐 관리를 도모하기 위한 것이라는 관점으로부터 댐 조작이 없는 댐에 대하여 조작 규정을 작성할 필요가 없는 것으로 운영되어 오고 있다. 그러나, 하류 하천 등의 상황을 고려하여 작성하는 관리규정에 있어 홍수 정보 단계 등의 조치에 관해서는 명확히 할 필요가 있다.

나. 홍수발생 단계 등의 조치

물넘이 게이트를 갖고 있지 않는 댐에서도 물넘이 게이트를 갖고 있는 댐의 항목에 준하여 필요한 조치를 강구해야 하며 특히, 이하의 사항에 대하여 유의할 필요가 있다.

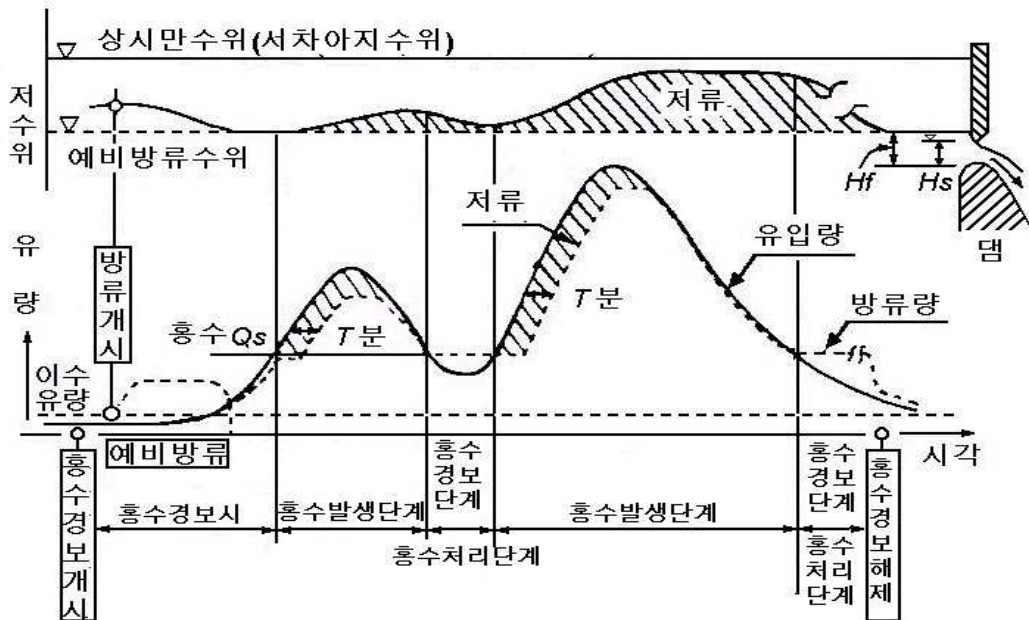


그림 6.4.4 홍수시의 체제 설명도

1) 정보 구간의 설정

물넘이 게이트를 갖고 있지 않은 댐에서 홍수시에 문제가 되는 것은 갈수 혹은 이수 공급을 위하여 저수위가 매우 저하하고 있는 경우에 홍수가 유입하여 수위가 상승하고 물넘이로부터의 방류개시 시각과 홍수피크가 합치된 경우 등에는 돌연 물넘이로부터 상당량의 방류가 생기므로 이것을 충분히 감안하여

하류 하천수위 상승 속도가 30~50 cm/30분을 넘지 않는 검토를 하고 경보 구간을 설정할 필요가 있다. 주지 구간의 설정 방법은 6.4.2에 준한다. 하류 하천의 수위 상승속도가 30~50 cm/30분 이하라도 댐 하류에 필요한 경고를 주지시킬 수 있도록, 최저 댐 지점에는 경보시설을 설치한다.

2) 경계체제

홍수시에는 현재의 우량과 유입량으로부터 저수위의 상승 속도, 만수면에 달하는 시각, 그 때의 방류량을 예측하여 필요한 경우에는 하류 하천에 경계체제를 취한다.

3) 홍수시 연락체제

물넘이 게이트가 없는 댐에도 하천관리청, 관계 시·도지사, 시장·군수·구청장, 경찰서장 중, 비상시 필요로 하는 기관에 대하여 전화를 이용하고, 정확·신속하게 필요한 통보가 이루어질 수 있도록 통신망을 정비하여 둔다. 특별히 필요한 경우 이외에는 전용전화의 신설은 고려하지 않는다.

6.4.13 홍수관리기준 강화에 따른 시설 댐의 시설 보강

홍수관리기준이 강화됨에 따라 시설 댐의 홍수배제 능력을 검토하여 시설을 보강한다.

가. 100년 빈도 설계홍수량의 기준강화

'82년 이전 100년 빈도 설계홍수량으로 설계된 댐은 200년 빈도×1.2배 이상으로 증축 보강한다.

나. 인명과 재산피해가 큰 댐의 PMF에 의한 설계홍수량

붕괴시 인명과 재산에 큰 피해가 예상되는 기존 댐, 일정규모(예 : 유역면적 2,500 ha, 저수용량 500만 m³)이상인 기존 댐에서는 가능최대홍수량(PMF)에도 안전하도록 댐체와 물넘이 단면을 확장, 보강할 수 있다.

이 경우, 하류지역 홍수피해를 줄이기 위하여 홍수조절용량을 저수용량에 추가로 포함하여 확보할 수 있다.

참고로 2001년 현재, 홍수조절용량을 저수용량에 추가로 포함하여 댐체와 물넘이 단면을 확장해야할 대상 저수지 현황은 기존 댐 49개소(전체 3,290개소 중 1.5%)와 건설중인 댐 12개소(전체 155개소 중 8%) 정도이다.

다. 필댐의 홍수조절을 위한 물넘이 수문 설치

홍수조절용량을 별도로 확보하지 않은 저수지중 하류부에 도시나 집단주거, 공공시설 등이 있어 유사시 침수로 인명피해가 예상되거나 지형적인 여건에 따라 과거 집중호우가 자주 발생하는 지역은 이상 홍수에 대비하여 사전 수위조절을 위한 비상 수문 등 방류시설을 설치할 수 있다.

참고로 2001년 현재, 저수용량 500만 m^3 이상이며 별도의 홍수조절용량이 없고 수문이 없는 기존 필댐은 32개소(전체 52개소 중 62%)이며, 건설중인 필댐은 12개소(전체 15개소 중 80%)로 수위조절용 수문을 설치할 수 있는 대상 저수지이다.

라. 홍수기 제한수위 설정과 홍수 예경보 시스템 구축

수문이 있는 필댐의 경우, 홍수유입량 관측시설, 수위계측시설, 홍수위험경보 시설 등 원격 관측/제어(TM/TC) 시설에 의한 홍수 예경보시스템을 도입하여 홍수피해를 사전에 대비할 수 있도록 보장한다.

홍수조절용량을 별도로 확보하지 않은 저수지는 홍수기 제한수위를 설정하여 홍수조절을 할 수 있다. 저수지 수위관리는 하천법 제38조 규정에 의한 댐 관리 규정을 별도로 작성하여 지자체의 승인을 받아 관리하도록 되어 있다. 따라서, 홍수기 제한수위는 댐 관리 규정에 따라 설정하여야 한다. 다만, 유효저수량의 70~80% 수준에서 설정하는 것을 참고한다.

마. 수리모형시험 실시

일정 규모(예 : 설계홍수량 500 m^3/s 수준) 이상인 기존 필댐의 물넘이는 수리모형시험을 통하여 방사류부 공동현상에 의한 구조물 파손과 감세공의 적정규모, 댐 붕괴시 하류 침수피해를 예측하여 이에 안전하도록 보장한다.

바. 이상 호우를 고려한 설계강수량

기존 필댐이 있는 지역에 최대홍수량 또는 설계빈도 이상의 강수량이 발생하였을 때, 그 강수량을 포함하여 상향조정된 설계강수량으로 설계홍수량을 추정하여 이에 안전하도록 댐체와 물넘이를 확장, 보장한다.

사. 외측사면부 석력재 보강

일정규모(유역면적 2,500 ha 저수용량 500만 m^3)이상의 기존 필댐에는 호우시 사면붕괴를 방지하기 위하여 외측사면부 성토를 석력재로 보강한다.

6.5 환경관리

저수지의 환경관리에는 수온관리, 수질관리, 퇴사관리, 생태계관리, 경관관리, 수림대(樹林帶)관리, 주변감시 등이 있다.

6.5.1 수온관리

저수지로부터 취수(방류)하는 경우에는 비교적 수온이 높은 표층으로부터 취수하여 농작물에 냉수온 장애가 발생하지 않도록 해야 한다.

댐으로부터 취수(방류)하는 경우에는 취수 수온이 댐으로의 유입수온보다 낮은 냉수현상이 발생하므로 비교적 수온이 높은 표층에서 취수하는 경우가 많다. 이를 위해 적절한 수심에서 취수할 수 있는 구조로 만들 필요가 있다.

저수지로부터 관개용으로 취수(방류)하는 경우 취수의 수온관리가 필요하다. 저수온의 저수를 공급하여 하류나 수혜지구 등에 악영향을 미치지 않도록 한다. 벼의 생육상 적당한 수온은 30~34℃로 이것보다 저하하면 수량은 감소한다. 그러나 논안에서 수온은 비교적 단시간 내에 상승하므로 논에 들어가는 용수의 수온은 25℃ 정도이면 문제가 없다.

가. 냉수현상

하천에 저수지가 축조되면 댐으로 유입되는 수온과 댐에서 방류되는 수온이 차이가 난다. 이것은 저수지의 수온분포와 취수구 위치와의 관계에 의해 생기는 현상이다. 냉수현상이란 봄으로부터 가을에 걸쳐 저수지의 수온 성층이 형성되면서 따뜻한 유입수는 표층 부분을 흐르고 방류구가 중저층인 경우에 비교적 수온이 낮은 중저층으로부터 취수되기 때문에 방류수온이 유입수온에 비하여 낮게 되는 현상을 말한다.

나. 냉수대책

냉수대책으로는 표면취수 설비 혹은 선택취수 설비가 유효하다. 일반적으로 성층부의 표층 수온은 유입하천의 수온보다 상당히 높으므로 냉수만으로 문제가 된 경우는 표면취수 설비를 설치하여 표층수를 취수하는 것으로 해결된다(그림 6.5.1). 기타 탁수의 장기화, 부영양화 등이 문제되는 경우에는 수질상황을 판단하여 적절한 깊이에서 취수할 필요가 있고 이 경우 임의의 수심으로부터

터 취수할 수 있는 선택적 취수설비의 설치가 바람직하다.

또한 깊은 저수지의 물을 관개용수로 사용하는 경우에는 선택 취수장치가 필요하다. 표층의 높은 온도의 물만을 방류하는 경우에는 역으로 난수화(暖水化)의 장애가 일어날 가능성이 있어 주의가 필요하며, 경우에 따라서는 생태계 보전(예를 들면 하류에 서식하는 특정의 어류보호)를 위해 저온의 물을 방류할 필요가 있다.

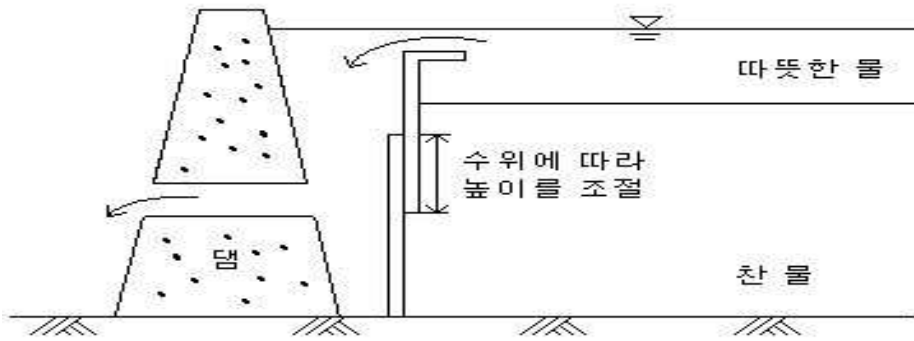


그림 6.5.1 저수지의 선택 취수 장치

6.5.2 수질관리

저수지 수질은 농업용수의 수질 기준을 만족할 수 있도록 관리해야 하며, 수질이 저하하여 문제가 생기는 경우에는 집수구역 내의 오염원에 대한 발생원 대책이 필요하다.

저수지 수질관리는 취수 방류수의 수질의 확보뿐만 아니라 저수 그 자체의 수질의 악화를 방지하기 위하여 필요하다. 저수지 완공 직후에는 수몰지 내를 청소하여 잔류물에 의한 수질악화를 방지해야 한다. 댐 건설에 의한 대규모 저수지가 출현한 경우, 하천의 유수가 체류되는 것에 의하여 탁수(濁水) 장기화 현상, 부영양화 현상이 발생할 수 있으므로 이에 대한 대책이 필요하다.

가. 농업용수 수질기준

농업용수 수질기준으로 환경정책 기본법에 규정된 수질환경기준의 IV 등급을 채택하고 있다(표 6.5.1). 관리해야 할 수질 항목으로는 pH, 화학적산소요구량(COD), SS(부유물질량), 용존산소(DO), 총질소(TN), 총인(TP) 등의 부영양화의 지표가 될 항목이 중요하다. 이 외에 필요에 따라서 중금속이나 미량요소의 농도가 중요하다.

표 6.5.1 농업용수 수질기준 (호소)

항 목	기 준
pH (수소이온 농도)	6.0 ~ 8.5
COD (화학적 산소요구량)	8 mg/L 이하
SS (부유물질량)	100 mg/L 이하
DO (용존산소)	2 mg/L 이상
T-N (총질소)	1 mg/L 이하
T-P (총인)	0.1 mg/L 이하

나. 저수지의 수질현상

댐 건설에 의한 대규모 저수지가 출현한 경우 하천의 유수가 체류하는 것에 의하여 수리학적 변화가 생겨 댐 건설 전과는 다른 수질환경을 나타낸다. 그 결과로 생기는 중요한 수질현상으로서 탁수(濁水) 장기화 현상, 부영양화 현상이 있다. 이 중 부영양화 현상이 큰 문제가 되고 있다.

1) 탁수 장기화 현상

저수지의 탁수 장기화는 일반적으로 홍수시에 유입한 탁수가 저수지 내부에 혼합 저류되어 홍수 후에는 서서히 방류되는 것에 의하여 댐 건설전에 비하여 홍수 후 하류 하천이 탁해지는 기간이 장기화되는 것을 말한다. 이와 같은 현상은 저수지의 연회전율이 크고 물의 교체가 빠른 혼합형 저수지에서는 적고 저수지의 연회전율이 작은 성층형 저수지에서 자주 볼 수 있다.

2) 부영양화 현상

유역개발과 함께 저수지에 유입하는 영양염류의 양이 비약적으로 증대하면 생물생산이 활발하게되어 조류(식물성 플랑크톤)의 현존량이 높게 된다. 부영양화란 이와 같이 저수지의 생물생산성이 인위적으로 증가하는 것을 말한다.

하천과 같이 유속이 비교적 빠른 수역에서는 증식에 필요한 시간이 없는 상태로 유하하여 버리므로 조류의 대증식이라고 하는 형태의 부영양화는 나타나지 않는다. 그러나, 저수지와 같이 체류시간이 자연하천에 비하여 큰 수역에서는 온도, 일조 등의 조건이 좋으면 부영양화에 따라 조류의 대증식에 기인하는 담수적조, 녹조 등의 현상이 발생한다. 이런 현상을 부영양화라고 한다. 부영양화로 야기되는 문제로는 담수적조나 녹조에 의한 저수지 수면의 변색이나 정수장에서의 냄새, 응집 침전의 장애, 여과지 장애, 착색장애 등이 있다. 부영양화는 조류의 증가와 낮은 투명도를 나타내는데, 미국에서는 표 6.5.2과 같은 기준으로 호소의 부영양화를 판단한다.

표 6.5.2 미국 호소의 부영양화 지표

영양상태	클로로필 (Chl-a) 농도 (µg/L)	총인 농도 (µg/L)	투명도 (Secchi depth) (m)
빈영양	< 4	< 10	> 4
중영양	4 ~ 10	10 ~ 20	2 ~ 4
부영양	10 >	20 >	< 2

조류 증식에 필요한 영양염류 중 어느 물질의 농도가 다른 물질의 농도에 비하여 상대적으로 낮을 때 다른 물질의 농도가 아무리 높아도 조류의 증식이 제한을 받는다. 이와 같은 경우 상대적으로 낮은 농도의 물질을 제한인자 (limiting factor)라고 부른다. 조류 증식에 필요한 영양염류 중에서 질소(N)와 인(P)이 가장 중요한 제한인자로서 특히 인이 제한인자로 되는 예가 많다.

조류의 평균적 원소구성비 중 N : P 비(Redfield 비라고 함)는 몰(Mol)비로서 16 : 1이며, 중량비로는 7 : 1이 된다. Chaudani 와 Vighi (1974)는 N : P 비가 23 : 1 (중량비로 10 : 1) 이상이 되면 인이 제한인자가 된다고 보고하였는 바, 미국내 임의의 49개 호수 중 71 %는 인이 제한인자로 나타나고 있다.

다. 저수지 수질 관리의 종합화

1) 수질 관리의 기본

수질문제가 발생할 염려가 있는 경우 혹은 수질문제가 발생했거나 진행되고 있는 경우에는 수질대책을 실시하는 것이 필요하다. 수질문제 발생은 오염특성 등 유역의 자연적·사회적 조건에 크게 좌우된다. 따라서 오염물질의 저수지로의 유입부하량 저감을 제외한 저수지 및 유입하천에서의 대책만으로는 한계가 있고 유역 대책을 기본으로 하는 종합적인 대책이 필요하게 된다. 또한 동일 저수지에서의 탁수 장기화 현상과 부영양화 현상이 복합적으로 발생하는 경우에는 복수의 목적에 맞춘 수질 관리대책을 수립할 필요가 있다.

2) 탁수 장기화 대책

탁수 장기화 대책은 탁질(濁質) 발생 및 유송 저류 과정에서의 대책과 유역, 하천(계류) 및 저수지에서의 대책으로 구별된다. 탁질 생산량을 억제하여 탁수의 농도를 경감시키는 것이 기본적인 대책이다. 유역대책으로는 저수지 유역의 토사붕괴 방지를 위한 보안림(保安林) 등에 의한 산림 정비, 산복공 등에 의하여 식생을 도입해야 하고, 치산대책이나 붕괴지가 많은 지역에서는 산사

태 방지대책이 중요하다. 또한 유역의 난개발의 방지도 필요하다.

계류대책으로서는 침식이나 토사의 운반을 억제하는 유로공이나 사방댐, 저수지 우회수로가 효과적이다. 저수지 내부대책으로는 선택취수 설비가 일반적이다. 또한 저수지 호안 비탈면 보전이나 유입부 퇴적 토사의 세굴방지 대책도 취할 수 있다.

3) 부영양화 대책

가) 유역대책

부영양화 대책으로서 근본적으로 영양염류의 유입량을 저감할 필요가 있다. 따라서 기본적으로 오염부하 발생원을 대상으로 하는 유역대책(유역으로부터의 유입부하 저감에 대한 대책)을 실시하는 것이 가장 효과적이다.

저수지에서의 영양염류 유입부하량으로서는 가축분뇨 및 생활배수에 의한 비율이 높은 경우가 많다. 따라서 가축분뇨의 퇴비화, 고도의 하수처리시설을 설치하여 인의 배출부하량을 저감함으로써 인 농도를 저하시키고 조류의 양을 줄일 수 있다. 미국 대호수(Great lake)에서는 도시하수의 51~67%를 처리함으로써 조류량을 크게 삭감할 수 있었다.

그러나 많은 경우 점오염원의 처리만으로 충분하지 않아 비점오염원의 제어도 필요하다. 농경지 표토로부터 유출되는 토사에는 다량의 영양염류가 포함되어 있어 표토의 유출을 방지하는 것이 중요하다. 비점오염원의 경우에는 시비량 저감이나 완효성 비료의 사용 등과 같은 시비관리나 절수 물 관리로 유출부하량을 줄여야 한다. 한편, 유역대책에는 대상으로 하는 오염원이 광범위하여 오랜 시간과 많은 투자가 필요하므로 필요에 따라 유역대책과 합한 저수지 내부 대책을 함께 취한다. 또한 저수지 유입구 근처에 인공습지, 저류지 등을 조성하여 유입하는 영양염류의 일부를 제거한다.

나) 유입부 및 저수지 내 대책

(1) 저수지로 유입하는 영양염류의 제거

하천으로부터의 질소나 인의 영양물질을 저수지에 유입하기 직전에 저감하는 방법이다. 이 방법에는 사상(絲狀)조류의 활용, 낙엽회수, 유입수 우회, 소홍수 저류 등이 있다.

① 사상(絲狀)조류의 활용: 사상조류가 증식할 수 있는 환경을 인위적으로 저수지 부근에 조성함으로써 평상시 유입하천의 무기성 질소 및 인을 사상조류에 흡수제거한다.

② 낙엽회수: 초기 유출수에 포함되어 있는 낙엽을 제거한다.

③ 유입수 우회: 초기 유출수에 포함되어 있는 영양염류를 효율 좋게 흡

수제거한다. 평상시에 질소나 인이 많이 포함된 유입지천 혹은 유입본천에 있는 유입수를 전량 혹은 일부를 저수지에 들어가지 않도록 우회시킨다.

④ 소홍수 저류: 중소홍수의 초기 유출수에 포함된 무기성 질소나 인의 제거를 목적으로 초기유출수를 유입구의 습지에 저류시킨 후 녹조류나 규조류를 흡수시켜, 부유조류를 제거한 후에 방류한다.

(2) 저수지 내의 흐름 및 온도의 제어

저수지 내의 흐름이나 수온분포를 제어하여 남조류나 편모조류가 표층에서 증식하기 어려운 환경으로 만드는 방법이다. 흐름 제어방법은 폭기(그림 6.5.2), 선택 유입, 선택방류를 결합시켜 저수지의 표층에 있는 온수이면서 수온분포가 균일한 순환혼합층을 수심 10~20 m 두껍게 형성시켜 표층에서 서식하는 남조류나 편모조류에 대한 영양염류나 빛을 제어한다. 또한, 온도제어 방법은 흐름제어 방법을 보완하는 것으로 열펌프에 의하여 순환혼합층의 수온을 상승시키거나, 유입하천 혹은 심층의 수온을 저하시켜 남조류나 편모조류가 이상증식하기 어려운 수온분포로 제어한다.

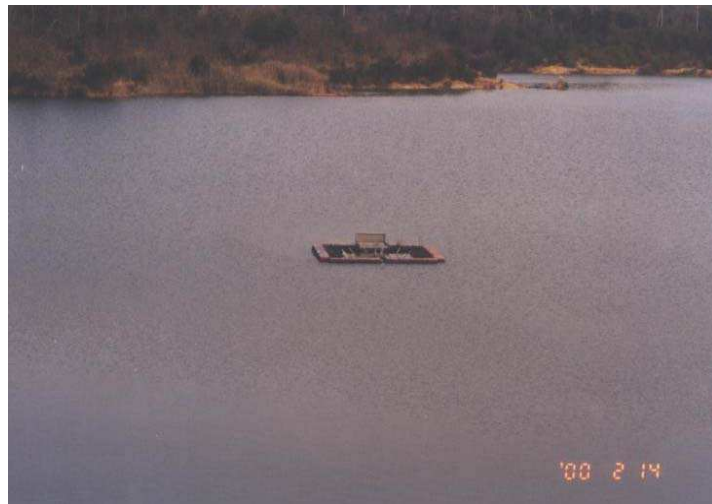


그림 6.5.2 저수지 내의 폭기 장치

(3) 저수지 내 부유조류의 제거

유수지나 저수지에서 발생한 남조류나 편모조류가 이상 증식하여 녹조류나 담수적조가 되기 전에 부유(浮游)조류를 제거하는 방법이다. 경석(硬石)여과는 경석을 이용하여 부유조류를 여과하여, 자동화한 간편한 방법으로 경석층을 정기적으로 세정하는 것에 의하여 질소, 인의 용출이나 막힘이 생기지 않도록 반영구적으로 활용하는 것이 특징이다. 갈대정화 방법은 유수지 등에 있어서 부유조류가 이상 증식했던 호수 물을 갈대밭으로 효율적으로 통수시켜 부유조

류를 제거한다.

(4) 생태계 제어 방법

생태계를 제어하여 부유조류가 이상증식하기 어려운 환경으로 만든다. 동물 프랑크톤, 부착조류, 저생동물, 어류 등을 활용하여 부유조류의 증식을 억제한다. 이 방법은 생태환경관리와 수질환경관리를 결합한 것으로 앞으로 기술발전이 기대된다.

6.5.3 퇴사관리

저수지에서는 저수 능력을 감소시키는 토사의 유입을 최소화해야 하며 이를 위해서는 퇴사상황의 정기적인 파악 및 퇴사의 진행을 억제하는 대책을 강구해야 한다.

퇴사 관리에는 유입 토사의 억제, 퇴사의 제거, 퇴사의 배출 등의 대책이 있는데, 퇴사의 배출에는 배사문(排砂門)이나 배사관(排砂管)과 같은 장치가 필요하다.

가. 퇴사상황 파악

저수지의 퇴사상황을 파악하기 위해 정기적으로 퇴사상황을 조사할 필요가 있다. 퇴사는 저수용량을 감소시켜 이수 목적인 저류기능을 저하시킨다. 특히 최근에는 댐의 유입구 부근의 퇴사에 의한 하상 상승에 따라 홍수범위가 광역화하고, 담수에 의한 호안(湖岸)지형의 붕괴, 산사태 등을 유발시켜 댐 관리상 중요 문제가 되고 있다.

퇴사의 측정에 있어서는 퇴사측정을 위해 설치된 측점을 기준으로 횡단측량을 실시하여 퇴사의 형상 및 수량을 확인한다. 퇴사 측정시기는 저수지 이용 현황이나 보고의 기간 등을 고려하여 적당한 시기를 정해 정기적으로 행한다.

나. 퇴사관리

저수지 내의 퇴사는 불가피하여 저수지 계획 혹은 설계 시에 퇴적할 용량을 확보해 두는데, 퇴사의 진행을 억제하는 것은 저수용량의 확보에 매우 중요하다. 저수지의 퇴사관리에는 다음과 같은 방법이 있다.

1) 유입토사의 억제

저수지에 유입하기 직전에 토사를 우회시켜 하류로 흘러버리는 방법이 있

다. 또한, 저수지 상류에 침전지(settling basin)를 설치하여 토사를 퇴적시켜 저수지에 들어가지 않도록 한다. 침전지를 이용한 퇴사관리는 상류에 담수피해를 초래할 수 있으므로 주의가 필요하다. 또한, 상류구역의 산림 및 토양보전을 실시하여 토사의 유출을 경감시킨다.

2) 퇴사의 제거

저수지에 쌓인 퇴사를 준설하거나 굴착하여 인위적으로 제거한다.

3) 퇴사의 배출

저수지로부터 물의 흐름을 이용하여 퇴사를 배제한다. 댐 본체에 배사문(排砂門)이나 배사관(排砂管)이라고 하는 토사를 하류로 배출시키는 장치를 설치하여 물 흐름을 이용하여 퇴사를 배출하는 방법이다 (그림 6.5.3).

가) 큰 침식력을 발생시키기 위하여 홍수 후에는 저수위를 일시적으로 저하시킨다.

나) 배사문을 열어 물과 함께 저수지에 쌓인 토사를 배출한다.

다) 배사문을 닫아 저수위(이수용량)를 회복시킨다.

저수지가 정기적으로 저수위가 되거나 의도적으로 사수용량(死水用量) 이하로 저하시킨 경우에는 퇴사를 직접 배출할 수가 있다. 그러나, 이 때 댐의 배사기능이나 하류의 지형이나 환경에 미치는 영향 등에 대한 주의 깊은 관측이 필요하다.

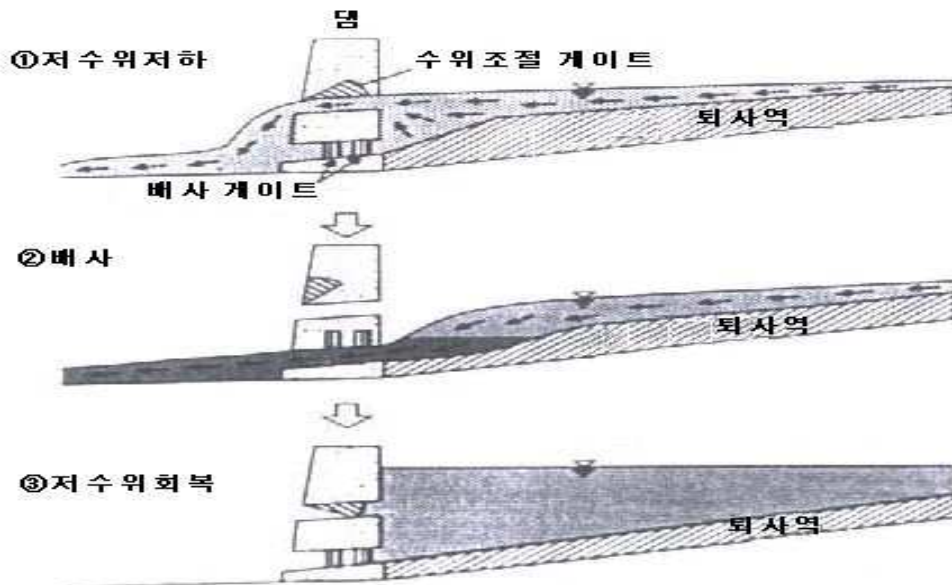


그림 6.5.3 댐의 배사 방법

6.5.4 생태계 관리

댐의 출현에 의하여 어류, 조류, 곤충, 동물, 식생 등의 생태계가 변화되는 것을 최소화해야 하며 이를 위한 시설의 설치 및 관리가 필요하다.

가. 생태계 변화

댐의 건설, 존재 및 운용은 자연 생태계에 여러 가지의 영향을 미친다. 물이나 토사의 연속적인 흐름을 댐이 제한하는 것에 의하여 물리적으로 어류의 이동을 곤란하게 하고, 유속, 수온, 수면폭 등 환경조건이 변화됨에 따라 새로운 환경에 적응하는 새로운 생물이 출현하게 된다. 또한, 댐의 출현은 동물들이 이제까지 비교적 자유롭게 왕래했던 하천의 좌안과 우안을 광범위한 범위에 걸쳐 차단하게 되어 반대쪽으로 이동하려고 할 때, 수영하든지, 댐 상류부 혹은 댐 터로 돌아가야 한다.

나. 생태계 보전 시설의 설치

댐의 설치에 따라 분단된 생태계를 회복하는데 노력해야 하며, 이에 대한 대책으로서 다음과 같은 시설이 필요로 되고 있다.

1) 인공부도(浮島) : 인공부도는 부체(浮體)에 수생식물을 심은 구조물로서, 수질정화나 경관의 향상에 기여할 뿐만 아니라 조류나 어류의 서식 환경을 제공하고, 조류들을 포식자로부터 격리시킬 수 있다.

2) 어도 : 종래 어도 외에도 어류의 풍부한 수환경을 창조할 목적으로 생물 서식지를 고려한 자연형 어도(그림 6.5.4)가 시도되고 있다. 자연형 어도에 완만한 경사와 주위의 식재로 치어와 저유속성 어류 뿐만 아니라 저서동물이나 수생곤충 등의 다양한 생물종에 대응해야 한다. 중간마다 휴식 장소를 확보해야 한다.

3) 동물의 이동로 확보: 동물의 이동로를 확보하는 시설로서 부교(浮橋), 수변 통로, 댐 중의 소형댐 등을 고려할 수 있다

가) 부교 : 매우 불안정하지만, 박스의 형태로 만들면 소동물의 이동로로서 활용될 수 있다(그림 6.5.5).

나) 수변통로 : 동물의 유영이나 음용을 위해 수위의 변화에 대응한 수변에의 접근이 필요하다. 어떤 높이에도 동물이 육상에서 수면, 수면에서 육상까지 용이하게 접근할 수 있도록 한다(그림 6.5.6).

다) 댐 중의 소형 댐: 만수시에 수몰하는 일정한 높이의 소형 댐을 만들면,

동물은 이것을 따라 저수지 수면까지 도달할 수 있고, 물이 고인 곳에서는 음용이나 양서류의 번식이 가능하다.



그림 6.5.4 자연형어도

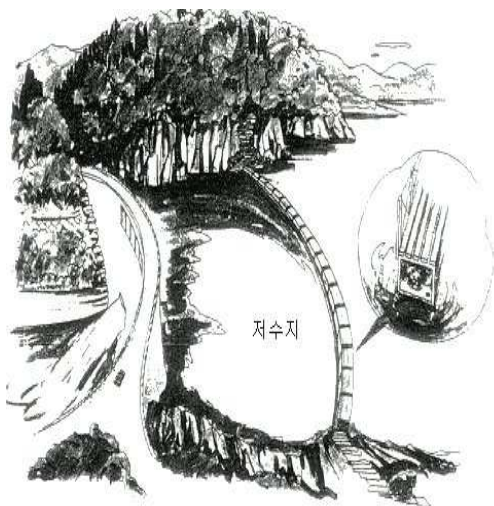


그림 6.5.5 박스형 부교의 이동로



그림 6.5.6 수위변화에 대응한 동물의 이동

6.5.5 경관 관리

저수지가 공원이나 리크레이션을 위한 친수공간으로서 이용되는 경우에는 경관보전을 위한 관리가 필요하다.

정비된 시설을 유효하게 관리하기 위해서는 유지관리의 기본방침, 체계를 정할 필요가 있다.

가. 기본 방침

저수지 주변에 설치된 친수시설(그림 6.5.7)은 침수, 토사의 퇴적 등의 자연 조건 속에서 이용자의 안전 등을 배려하여 유지되는 것이 보통의 공원 관리와 다르다. 또한 친수시설의 성격으로부터 지역주민이 많이 이용하고 생활과 밀착한 형태로 사용되는 것이 특징이라고 할 수 있다.

정비된 시설이 유효하게 활용되어 적절히 유지관리 되는가의 여부는 시설이 그 목적을 발휘하기 위한 중요한 조건이 된다. 기본 방침을 책정할 때 시설의 예정관리자, 유지관리비용의 부담 예정자, 지역 주민과의 충분히 협의할 필요가 있다.



그림 6.5.7 군립공원으로 지정된 농업용저수지(고복저수지)

나. 녹지관리

식물은 이용자에게 쾌적하고 안전하며 매력있는 수변공간을 만드는데 중요한 역할을 하고 있다. 따라서 보다 많은 사람들이 항상 이용할 수 있도록 경

년적인 관리를 할 필요가 있다. 식재는 식재 후 예상되는 관리내용에 대하여 충분히 검토해야 한다.

녹지관리 작업은 식물의 생육과정에 맞추어 적기에 행할 수 있도록 연간 관리 방침을 확립할 필요가 있다.

다. 쓰레기 관리

저수지 내에 스크린이나 로프 등을 설치하여 쓰레기나 유목(流木) 등이 저수지 내에 유입하는 것을 방지하며, 저수지 주변의 공간에는 정기적으로 청소하여 쓰레기를 제거한다. 또한 대규모 저수지의 경우에는 수면 청소를 위한 관리선(管理船)의 확보가 필요하다. 작업용 자재나 제거한 쓰레기의 보관 방법에도 주의가 필요하다.

라. 관리·운영 계획

관리·운영의 계획에서는 이하의 내용을 기재할 필요가 있다.

1) 예정관리자 : 정비된 시설이 유효하게 활용되려면 관리운영체제를 정비하여 시설마다 관리자를 두어야 한다. 공공기관 및 개인을 포함한 지역전체의 관리 및 운영체제를 정비할 필요가 있다.

2) 관리의 내용 : 유지관리작업은 시설의 목적과 내용에 따라 다르나, 각 시설마다 계획된 작업상황을 최대한 추출한다.

3) 관리일정 : 유지관리작업의 실시에서는 최소 비용으로 최대 효과를 올리기 위해 작업 항목마다 적기를 선정하고, 연간 일정을 설정할 필요가 있다.

6.5.6 수림대 관리

저수지에 설치하는 수림대(樹林帶)는 저류수의 오염 또는 저수지의 토사 유입의 방지에 대하여 적절히 배치하고 관리해야 한다.

수림대는 저수지의 수변을 따라 설치되는 대상(帶狀)의 수목을 말한다. 저수지에 설치하는 수림대는 황폐지로부터 저수지에 토사나 탁수의 유출을 억제함으로써 저수지의 용량을 감소시키거나, 저수지 물의 혼탁을 방지할 목적으로 설치한다. 수림대 정비는 생물의 서식 생육환경을 향상시킴으로써 저수지 주변의 자연환경의 보전에 기여할 수가 있다. 토사가 유입하는 거리는 수림대의 경사, 수림대가 인접하는 토지이용상태(예, 임도, 밭 등), 경사나 폭, 총강수량, 강우강도 등에 따라 달라진다. 일본은 1997년도 하천법 개정예 따라 수림

대를 저수지의 치수 혹은 이수상의 기능을 유지하고, 증진하는 효용을 갖는 하천관리시설로서 규정하고 있다(일본 하천협회, 1999).

가. 수림대 구조

수림대의 식재는 지역의 특성을 고려하여 수목의 선정, 수목의 배치 등을 적절히 실시한다. 또한, 수림대의 수목은 지역의 자연환경이나, 토지의 상황, 재래의 수목 등을 적절히 선정한다. 수림대 구조는 성목(成木)에 도달한 수목의 수관투영면적이 수림대를 설치하는 토지의 구역면적의 8/10 이상이 되어야 한다. 성목(成木)의 수림대가 저수지에의 토사유입의 방지를 효과적으로 발휘하기 위해서는 토양 등이 적절히 보전될 필요가 있으므로 적절히 토지가 피복되어 있는 양호한 산림의 상태를 8/10을 목표로 하였다.

나. 수림대의 범위

수림대는 하반림(河畔林)과 같은 자연 수림대와외의 구역 경계는 불명확하므로 수림대 구역을 지정해야 한다. 저수지의 수변을 따라 설치하는 수림대는 댐에 의해 저류되는 유수의 최고수위면이 토지에 접하는 선으로부터 50 m 이내의 토지에 있도록 한다.

도로, 농로 혹은 임도가 담수선보다 50 m 이내에 있는 경우에는 수림대는 도로, 농로 혹은 임도의 하부에 설치하고, 더욱, 산책로와 같은 소규모 시설 이외에는 저수지와 수림대 사이에는 두지 않는다.

다. 수림대의 관리

수림대 토양은 산림토양이 발달되도록 한다. 만약 산림이 과도하게 밀집하여 산림의 적절한 육성에 지장이 생기는 경우에는 적절한 관리가 필요하다. 수림대가 너무 울창하여 임상(林床)에 태양이 도달되지 않아 임상식물(林床植物)이 생육할 수 없으면 임상은 나지가 되기 쉽다. 이런 경우 수관(樹冠)으로부터 도달한 빛방울에 토양구조가 파괴되어 수림대 자체가 토사의 생산원이 될 수 있다. 따라서 침투성이 높은 산림토양이 파괴되지 않도록 하는 관리가 필요하다.

6.5.7 저수지 주변의 감시

댐 유역의 환경 변화에 따른 댐기능 장애 방지 및 안전관리를 위하여 유역의 감시, 주변 지형의 산사태 등의 감시가 필요하다.

가. 유역 감시

댐 완성후, 유역이 개발되면 유역이 불안정하게 되고, 예상을 넘는 홍수가 발생하고, 개발에 의해 토사의 붕괴, 유실된 토사가 저수지 내로 유입하므로 수질 오염, 퇴사량의 증가 등을 초래하고, 댐 운용을 저해하기도 하고, 내용(耐用) 연수를 단축시키는 등의 악영향을 초래하게 된다. 또한, 산림의 대규모 벌채는 대량의 유사를 발생시켜 댐 관리의 장애가 된다. 이것을 방지하기 위하여 관계기관과의 연락을 긴밀히 하여 유역 내의 환경변화를 감시함으로써 난개발을 방지할 필요가 있다. 또한, 호수로의 전락(轉落) 방지 등의 안전관리 면에서 유역감시도 필요하다.

나. 주변의 산사태

댐의 저수운용에 따른 산사태나 토사붕괴 등이 예측되는 불안정한 장소에 대해서는 계속적으로 감시한다. 산사태 발생 원인에는 ① 수몰(水沒) 사면의 포화에 의하여 표층토의 강도가 점점 감소하여 풍화암 상면에서의 소붕괴 발생 ② 저수지의 상승에 따라 사면의 지하수위가 높게 되어 평형을 상실 ③ 이상 강우나 용설이 있는 경우, 댐의 급속한 저수에 따른 예상외의 지하수 변동 영향 등이 있다. 이와 같은 산사태 발생 원인을 저수관리상 고려하여 예상되는 불안정한 장소에 대하여 계속적으로 감시한다.

6.6 댐의 계측관리

댐 안전을 확보하기 위해 축제부터 만수 이후 댐 거동이 정상상태에 도달할 때까지의 기간 및 그 이후 기간에 이르기까지 각각 적절한 관리를 해야 한다. 특히, 높이가 15 m 이상인 댐에서는 종단형상 및 댐 규모 등을 고려하여 필요한 경우 계측기를 설치하여 안전관리를 한다. 기초 지반이 연약지반인 경우에는 15 m 이하인 경우에도 계측기 설치를 고려한다. 계측기는 지반조건, 현장조건 등을 고려하여 최대변위와 최대응력이 작용할 것이라고 추정되는 곳에 집중적으로 설치한다.

가. 계측관리의 역할

국내 계측현황은 계측의 목적에 대한 인식부족으로 형식에 치우치거나 결과에 대한 정리에 지나지 않는 계측이 시행된 경우가 많았고, 대부분 시스템을 수입에 의존하는 관계로 현장여건에 적합한 시스템 도입이 어려웠고 적절한 조치가 불가피한 상황이었다. 이를 보완하기 위해서는 올바른 시스템의 도입, 설치, 자료수집 및 해석을 위한 시방서 작성, 안정성 및 품질관리에 참여할 수 있는 여건 확보, 현실성있는 계측을 위한 이론적 확립 및 계측결과의 활용방법 설정이 이루어져야 할 것이다.

흙이나 돌로 만들어진 댐은 구성재료 자체의 공학적 성질이 다양하고 불균질하다. 이와 같은 건설재료는 극히 일부분에 대한 시험을 통해서 설계에 쓰여질 계수들을 정하지만, 시공 후 흙의 다양한 성질을 대표할 수 없다. 더욱이 흙이나 암석으로 이루어진 댐은 시공시부터 수명기간 동안 환경에 따라 거동이 크게 변화될 수 있으며, 또 이 거동은 시공성에도 크게 좌우된다. 이러한 이유 때문에 흙 댐은 다른 구조물보다 훨씬 불확실한 요소를 많이 갖고 있다. 그러므로 흙댐에서 계측의 목적은 제체의 실제 거동을 파악함으로써 새로운 이론이나 제안에 대한 확실한 평가를 할 수 있으며, 아울러 계측을 함으로서 안전시공과 보수유지관리에 크게 기여할 수 있다는 것이다.

ICOLD 자료에 의하면 세계적으로 댐 사고로 인하여 위험이 발생한 것으로 확인된 경우는 총 15만개의 댐이 넘으며 과거에 사고를 일으킨 댐 중 많은 경우는 설계대로 축조되지 않았거나 관리 소홀이 주원인인 것으로 나타났다. 개략 추정해 보면 12세기 이후 국부적인 파괴를 포함해서 약 2,000여개의 댐이 파괴되었으며, 대부분 소규모 댐에 해당되고 20세기에 이르러서는 약 200개의 댐 파괴가 발생되어 사망자만 해도 8,000명 이상이나 된다.

댐의 안전관리를 위한 프로그램 중 댐의 상태를 점검하는 방법에는 두 가지 접근방법이 포함되어야 한다. 첫째는 댐의 점검 및 진단이고, 두 번째는 계측으로부터 얻어지는 자료의 수집 및 평가이다.

댐 계측의 잠재적 이익은 댐 손상방지, 시설물 운용에 필요한 시간 및 경비 절약, 댐 운용방식 선택, 댐체 및 부속물의 최신 설계기술의 개발 등으로 이들 중 댐 손상방지 측면에서 계측은 현장의 제 현상을 실측한 자료라는 점에서 가치는 대단히 크다고 할 수 있다. 미국 토목학회 및 미국대댐회(ASCE/USCOLD)에서 1980년대 발생한 사력댐 붕괴사례 77건을 수집하여 붕괴 원인 및 계측관리의 역할을 분석하여 표 6.6.1과 같은 결과를 제시하였다.

표 6.6.1 계측관리의 역할

붕괴 원인	전체 붕괴사례와 비교한 구성비율	계측관리를 잘 했더라면 붕괴를 막을 수 있었던 비율	잠재적 붕괴 가능비율
댐체 누수 및 파이핑	30	100	30
월류(overtopping)	23	11	3
침식(flow erosion)	18	86	16
기초누수 및 파이핑	14	100	14
하류측 사면 붕괴	7	100	7
변형(deformation)	4	33	1
열화(deterioration)	4	0	0
수문조작 실패	1	0	0
계 (%)	100	-	71

나. 계측관리의 개념

1) 계측관리의 기간 구분

계측관리기간은 댐의 거동특성을 고려해서 시공 중 관리와 시공 후 유지관리로 구분하며, 시공 후 유지관리는 다시 3 가지로 구분한다.

가) 시공 중 관리 :

체체 시공중에 발생될 수 있는 과대변형, 활동파괴 등을 방지하기 위하여 계측결과로부터 시공속도를 조절하는 등 계측안정관리를 실시한다.

나) 시공 후 관리

(1) 제1기 : 담수 개시부터 만수이후 소요기간을 경과할 때까지

제1기는 담수를 개시해서부터 만수에 의한 영향이 계측치에 나타날 때까지는 상당한 시간이 걸리는 항목도 있으므로 만수 후에도 어느 기간은 만수될 때까지와 마찬가지로 감시를 계속할 필요가 있으며, 이 기간을 2개월 이상으로 한다. 또 여기서 말하는 만수란 일시적으로 저수위가 상시 만수위에 달했을 때이다.

(2) 제2기 : 제1기 경과이후 댐의 거동이 정상상태에 달할 때까지

제2기는 제1기 경과 이후 댐의 거동이 안정되었다고 확인될 때까지의 기간이며, 제1기의 계측자료를 정리 검토해서 확인할 필요가 있다. 콘크리트 댐의 크리프는 일반적으로 2년 정도에서 안정되는 것이 많다는 판단에서 검토기간을 포함하여 중요한 댐에서는 제2기의 기간은 3년 이상으로 한다.

(3) 제3기 : 제2기 경과이후 수년까지의 기간을 가리키는 것으로 댐 거동이

거의 안정되어 누수량, 침하량도 거의 나타나지 않고 양압력도 거의 변동이 없는 기간이다.

2) 계측관리의 기본 개념

근래에 계측이 일반화되면서 댐의 계측 즉 계측의 종류, 위치, 측정 등이 통상 기준에 이미 정해져 있는 정형화된 방식에 따르는 것으로 생각하기 쉽다. 그러나, 계측의 목적 및 계측 결과의 활용성 측면을 고려해 본다면 계측계획이 단순한 것만은 아닐 것이다.

일반적으로 댐에서의 계측은 시공안전관리를 위한 계측과 사후 안전관리를 위한 계측 두 가지를 만족시켜야 하는 경우가 대부분으로 댐 및 기초의 거동 특성, 환경 및 외력조건, 계측기기의 특성 및 내구성, 계측자료 수집 및 분석 방법까지 사전에 치밀한 검토가 필요하다. 특히, 댐의 효율적인 안전관리를 위해서는 계측자료 분석기술이 확립되어야 한다. 이러한 측면에서 계측자료 분석방법의 기본개념을 정리해 보면 다음과 같다.

가) 누수량, 양압력, 변위, 응력 등의 계측치가 외하중의 변화에 따라 증감하지만 동일한 하중상태에서 볼 때 시간의 경과와 함께 감소하는 경우

나) 계측치가 동일하중 상태에서 시간과 관계없이 일정한 경우

다) 계측치가 동일하중 상태에서 시간의 경과와 함께 증가하든지 그 증가율이 시간과 함께 감소하는 경우

라) 계측치가 동일 하중 상태에서 시간과 함께 증가하고 그 증가율이 일정한 경우

마) 계측치가 수위상승 등의 증가에 따라 증가하지만 하중감소시 감소하지 않는 경우

바) 측정치가 동일하중 상태에서 시간과 함께 증가하고 그 증가율도 시간과 함께 증가하는 경우

사) 측정치가 동일하중 상태에서 증가하는 경우

이들 중 가), 나)는 완성 후 수년이상 경과한 댐에서 잘 나타나는 현상으로 이와 같은 상태가 되는 시점을 제 3 기에 도달했다고 생각한다. 일반적으로 과다한 누수량에 대해서는 이러한 상태에 이르는 시기가 빠르고 초기 만수 이후 이와 같은 상태에 이르는 경우가 많지만 변위에 대해서는 비교적 느리고, 최초 만수 후 2~3년 경과한 후에 이와 같은 상태에 이르는 경우가 많다.

다)는 일반적으로 제 2 기에서 보여주는 현상으로 안정화하는 경향을 나타낸다. 라)는 제 1 기, 제 2 기에서 보여주는 현상으로 하나의 위험신호로 볼 수도 있다. 그러나, 다)의 상태가 되어 조치가 늦어진 경우에도 라)의 상태가

된다고 보는 수가 많다. 따라서 이와 같은 경우에는 측정간격을 줄이는 등의 조치를 취하여 세심한 관찰을 지속적으로 수행하는 것이 필요하고, 측정치가 기존 상식과 크게 다를 때 혹은 증가율이 클 때에는 위험신호로 간주하여 원인 및 대책 등에 대해서 조사할 필요가 있다.

마)는 가)~나)의 상태와는 다소 차이가 있으나, 그것이 다)의 상태가 되어 발생된 것인가, 라), 바) 또는 사)의 상태가 되어 발생된 것인가 명확하게 밝힐 필요가 있다. 적어도 이러한 현상은 댐의 안정에 여유가 없다는 것을 나타내는 것으로서 위험신호인 것만큼은 틀림이 없다.

이와 같은 경우에는 수위의 상승을 제한하고 모든 상태에 대하여 세심한 관찰이 필요하다. 바)~사)는 분명한 위험신호이지만, 그것이 부분적인 현상으로 나타나고 있는 것인지 혹은 종합적인 현상으로 나타나는 것인지에 따라 대응책이 다르겠지만 경우에 따라서는 수위를 저하시키는 등의 응급대책도 고려되어야 한다.

다. 계측기의 종류 및 특성

1) 누수량 측정 장치

제체 하류부의 제체 및 원지반에서의 누수가 집수 될만한 위치에 콘크리트 박스를 만들고 삼각웨어를 설치하여 누수량을 측정하고 동시에 누수의 탁도까지도 관찰하여 댐의 안전 관리에 도움이 되도록 해야한다. 삼각웨어 직상류부의 수두는 수위계에 의하여 자기 기록이 되도록 하는 것이 바람직하다.

제체 및 기초의 이상 변형, 수리적 파쇄(hydraulic fracturing) 등에 의한 균열이나 파이핑 작용 등으로 유로가 제체 또는 기초 암반 속에 형성되면 누수량 관측은 매우 중요하다. 따라서 어떠한 댐에 있어서도 이와 같은 종류의 측정장치를 반드시 설치해야 한다. 예로서 영국의 Bolderhead댐에서 누수 탁도와 간극 수압계 값의 변화를 보고 조기에 제체내에 균열이 생긴 것을 발견하여 큰 사고가 발생하기 전에 적절한 조치를 강구하는 것은 전형적인 예이다.

그러나, 댐 하류 경사면상 및 댐 주변에 내린 비가 수평배수 드레인을 통하여 누수량 측정 장치 박스부에 집수됨으로 강우는 누수량 측정에 큰 영향을 끼치게 되어 제체 속을 침투해 오는 누수량을 정확하게 파악하기 어렵다.

또한 집수박스는 댐터 하류 측 지반의 가장 낮은 곳(하상부)에 설치하는 경우가 많으며 이는 저수점부터 지표수와 천층부의 지하수가 이 부분에 고이게 되어 정확한 누수량을 파악하는데 지장을 야기시키는 요인이 되고 있다.

따라서 댐 축조중부터 댐 완공 후 저수개시까지의 기간도 강수량의 관측과

누수량의 계획을 하여 강우의 영향이 없을 때의 기저유량을 조사해서 저수로 인한 누수량의 증가를 정확히 파악하기 위한 기초 자료를 많이 모집하도록 힘써야 한다. 그리고 배수 드레인을 수열 배치 하고 각 말단부의 집수 박스와 삼각 웨어를 독립설치 해서 산턱에서의 물과 제체로 부터의 누수를 따로따로 측정하는 것도 정확한 누수량을 알아내는데 효과적이다. 균일한 필댐에서는 제체하류 사면에 불투수성 점토를 바르고 특히 사면 위에는 수열의 승수로를 설치하여 사면상에 내리는 비가 제체안에 침투되지 않도록 하는 것도 정확한 누수량 측정에 효과적이다.

2) 변형량 측정장치

가) 변형량 측정장치

필댐의 제체 및 기초는 축제중은 물론 축제후에도 댐의 자중과 저수압 등으로 변형되므로 어떤 형식의 필댐이던 변형량을 정확하게 측정해서 댐의 안전 관리에 도움이 되도록 해야 한다. 필댐 및 기초의 변형량 측정장치에는 다음과 같은 것이 있다.

(1) 제체

(가) 연직방향 변위(침하량 측정장치) : 변위측정용 표적(측량에 의함), 크로스암 침하계(전기식 및 기계식 연통관식 연직변위계)

(나) 수평방향 변위 : 변위측정용 표적(측량에 의함), 인바선 수평변위계(기계), 경사계(전기식)

(다) 경계면 활동변위 : 경계면 활동변위식(전기식)

(라) 제체내부변형 : 지중변형계(전기식)

(2) 기초 : (어버트먼트부의 암반포함)

(가) 연직방향 변위 : 암반변위계(전기식)

(나) 수평방향 변위 : 삽입형 지중경사계(전기식)

(3) 댐 본체와 암반과의 경계부에서의 형상 : 경계면 활동변위계(전기식)

(4) 연약지반 : 기초지반의 연직방향 변위, 측방변위

그 중 가장 널리 쓰이는 변형량 측정장치는 변형측정용 표적과 크로스암인데 그 밖의 계기도 목적에 따라 적절하게 사용되고 있다.

그러나 어떤 경우이든 계기설치직후의 값(영점) 과 그 후의 측정치와의 차에 의해서 변형량을 구하여야 하므로 영점을 정확하게 기록해 두어야 한다.

나) 변위측정용 표적

변위측정용 표적을 설치하는 목적은 제체표면의 누적침하량과 댐 중심선에 대하여 직각방향의 수평변의를 측정하기 위함이다.

설치위치는 댐정부의 양어깨 부근과 상하류 비탈면으로 정하는 것이 일반적이다. 연약지반상에 댐을 축조할 때에는 상하류 비탈면 근처에 측량말뚝을 설치하여 측제에 따른 지반의 상승과 측방이동을 관측하는 것도 중요하다.

다) 크로스암 침하계(일명 : 층별 침하계)

층별 침하계는 성토기간중 연직방향의 압력변위와 분포를 측정하여 설계단계에서의 계산치와 대조함으로써 설계치와 실제 측정치와의 차이를 확인할 수 있도록 한다. 이러한 차이는 재료의 물리정보다 시공기술에 기인하는 것으로 층별 침하계는 이것이 댐의 완공 후 댐의 안정에 어느 정도 영향을 주는가를 파악하여 시공재료의 특성 및 외부하중 여건의 변화에 따른 댐의 거동양태를 파악하는 것을 목적으로 설치한다.

크로스암 침하계는 성토내부의 임의의 점 및 기초지반과 성토부와의 접촉부의 침하량을 조사하기 위하여 설치된다.

여러 종류의 형식이 있으며, 한 예를 그림 6.6.1에 도시하였다.

공사중에는 크로스암이 설치될 때마다 새로 설치한 크로스암의 표고 및 지표부에 나타나 있는 파이프 상단부의 표고를 레벨로 정확하게 측정하며 그때 까지 설치해 있는 크로스암의 위치를 픽요를 이용해서 측정하며 표 6.6.1에 예시한 방법으로 표고를 환산한다.

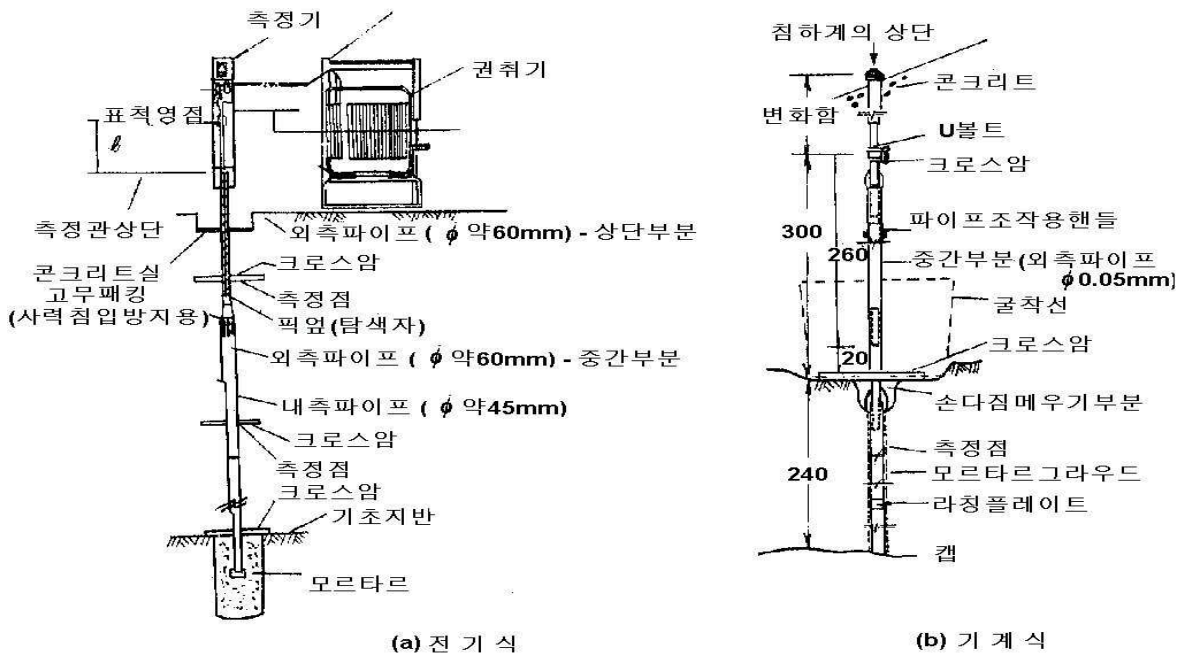


그림 6.6.1 크로스암 침하계(층별침하계)의 예

공사를 중지할 때는 30일간, 완공 후는 제1기내, 담수 중은 1개월에 2회, 만수이후부터는 소요시간을 경과할 때까지는 1개월에 1회, 제2기는 2개월에 1회, 제3기는 1년에 1회 측정을 한다. 단 진도 5이상의 지진이 발생했을 때는 특별한 측정을 하여 지진에 의한 댐의 침하 상황을 조사한다. 그림 6.6.2은 크로스 암 침하계 및 수평연직 변위계에 의한 변형의 실측결과를 도시한 예이다.

라) 수평연직변위계

크로스 암(Cross arm)식 수평 변위계는 설계단면의 수평방향 변위를 측정하는 계기로써 댐의 내부 변위 분포를 감지하는 동시에 연직방향의 압밀변위와 수평방향의 측방유동을 관측하여 변위망을 통해서 거시적으로 각 준별로 박리현상을 파악할 수 있어 시공관리와 안정성 해석을 가능하게 한다.

크로스암 침하계는 연직방향 변위밖에 측정할 수 없으나 체체내부에서는 축조중 및 저수시에 수평방향의 이동이 생기므로 이와같은 변형을 찾아내는 것도 댐의 관리상 매우 중요하다. 축조중 댐사면이 활동할 때에는 사고발생전에 체체내에 상당한 수평이동이 생겼을 것이지만 육안관찰에 의하여 알았을 때는 이미 늦은 경우가 많으므로 이러한 종류의 측정장치로 높은 정밀도의 관찰을 하고 객관적 자료를 기초로 하여 이 같은 징조를 속히 알아내어 시공속도의 조정을 하는 등 적절한 조치를 취해야 한다.

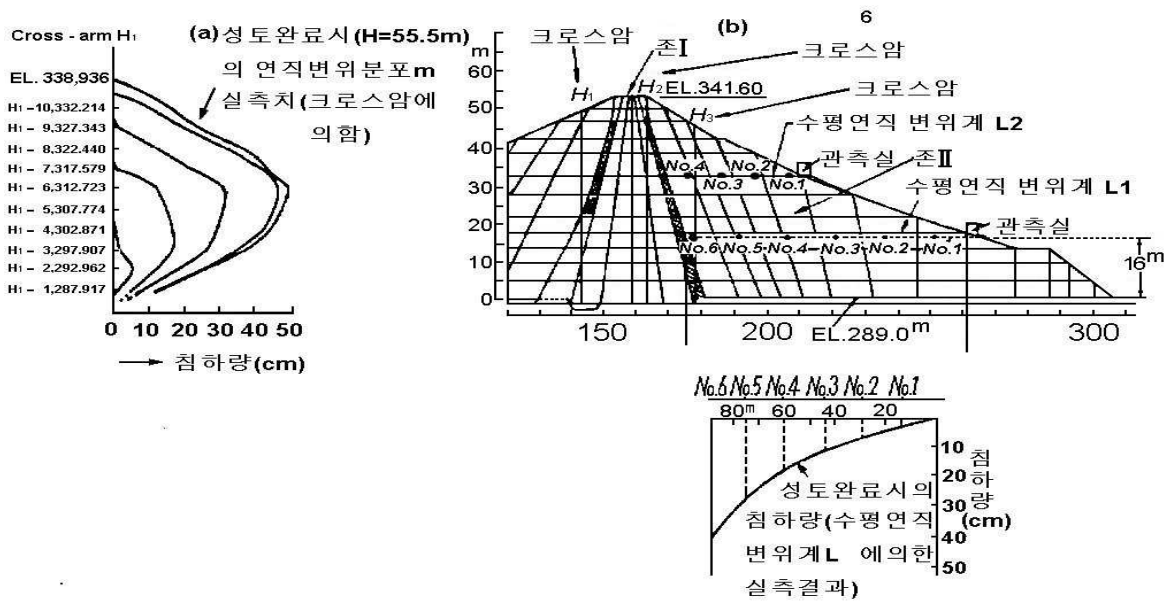


그림 6.6.2 (a)크로스암 침하계 및 (b)수평연직 변위계에 의한 연직방향 변형(침하) 실측 결과의 예

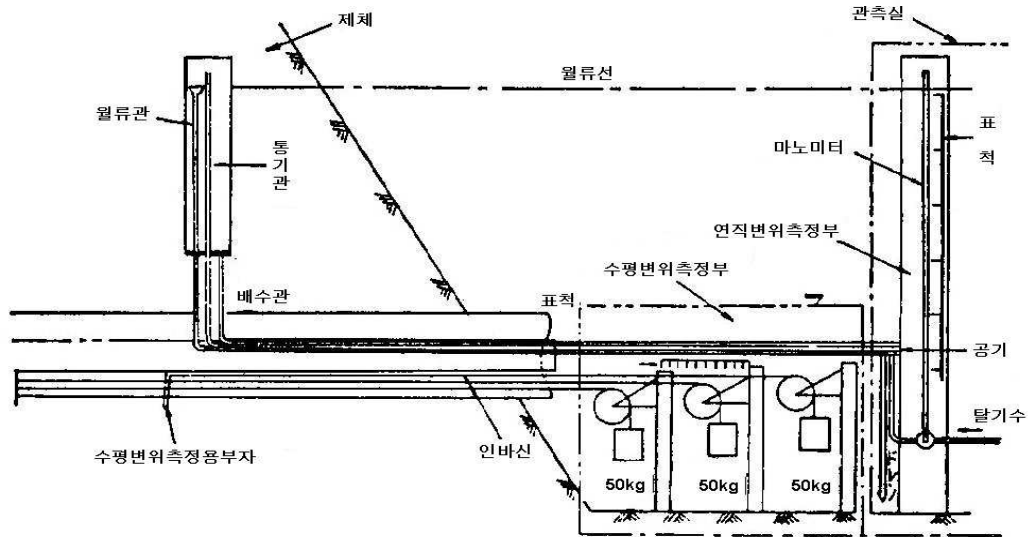


그림 6.6.3 수평연직 변위계

장치의 구성개요는 그림 6.6.3와 같다. 변위 측정용 소자(element)하부의 보호관과의 이음부에 인바선을 고정하는 쇠붙이가 있으며 이것이 이 부분의 필 재료의 수평이동과 함께 이동하므로 인바선의 변위량을 관측실내의 표척에 의하여 읽으므로 소자를 설치한 부분의 이동량을 측정할 수 있다.

이 소자의 내부에는 관측실의 마노미터와 연결된 연통관이 세워져 있으므로 이 연통관에 관측실에서 물 또는 석유 등의 액체를 압송하여 연통관의 정부 위치를 그것과 연결한 관측실의 마노미터의 읽음으로부터 측정한 값에 의하여 연직 방향 변위도 알 수 있다.

이 장치는 관측실과의 상대변위밖에 측정할 수 없으므로 절대변위량을 알아 내기 위하여는 측정시에 매회 측정에 따른 관측실 자체의 수평연직 변위량을 확인해야 한다.

3) 침윤선의 측정

제체 내의 침윤선의 위치를 알아내기 위하여 직경 약 6 cm의 방청강관 또는 플라스틱관을 제체 횡단면에 연하여 설치한다. 최소한 제체의 최대횡단면에 따라 1열로 배치하고 양안 원지반에 가까운 부분 등 침윤선의 변화가 예상되는 개소에 설치하는 것이 좋으며 댐 길이가 긴 경우 댐길이 100 m마다 1 개 정도의 간격으로 설치한다.

파이프는 지상에서 약 3 m부분을 제외하고는 전장에 걸쳐 소공을 뚫어둔다. 흙이 공내에 유입하지 않도록 흙벽과의 사이에 필터를 설치하는 것이 좋다. 파이프상단은 댐표면에서 최소 15 cm정도 지상에 나오도록 뚜껑을 붙인다.

파이프의 심도는 기초지반에 도달하는 것이 원칙적이며 공내의 수위측정은 줄자의 끝에 수면감지용 픽엃을 붙여서 이를 파이프중에 늘어뜨려 픽엃이 수면에 닿았을 때의 음 또는 전기저항의 변화 등에 의하여 위치를 결정하고 그때의 테이프를 읽으면 된다.

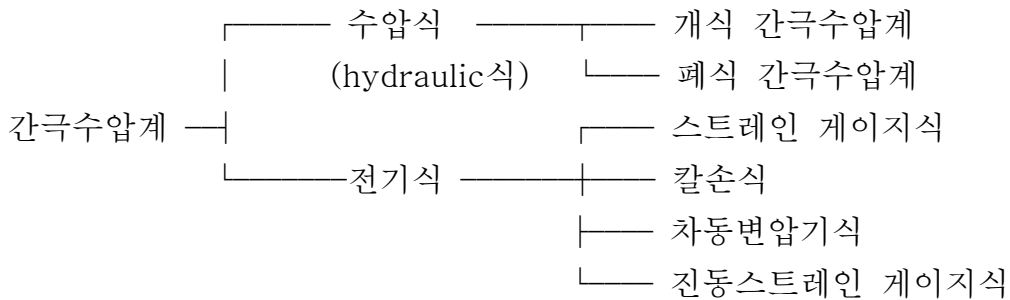
이 방법은 간단하지만 측정결과의 신뢰성이 높고 제체내 침투수의 상태를 알아내는데 효과적이다. 또 간극수압계에 의한 간극수압의 실측치의 신뢰성을 점검하는데 좋다. 한편 이 방법으로 침윤선의 위치를 측정할 때 특히 중점적으로 조사하여야 할 것은 연직드레인 상하류측의 침윤선의 위치로서, 드레인 하류측의 수위가 그 상류측에 비하여 충분히 저하되어 있지 않은가를 판별하고 누수량이 매우 커지면 원인을 구명하여 적절한 조치를 취해야 한다.

4) 간극수압 측정장치

가) 간극수압 측정장치

간극수압 측정은 성토기간 중에 전압에 의하여 생긴 과잉간극수압의 형태를 파악함으로써 시공관리에 안전을 기하기 위하여 실시한다. 댐 완공 후에는 만수로 인한 침투수압이 작용하여 시공 후의 잔류간극수압의 소산과 중복하는 기간이 있으며, 설계상의 불확정 요소를 규명하는 기능을 한다.

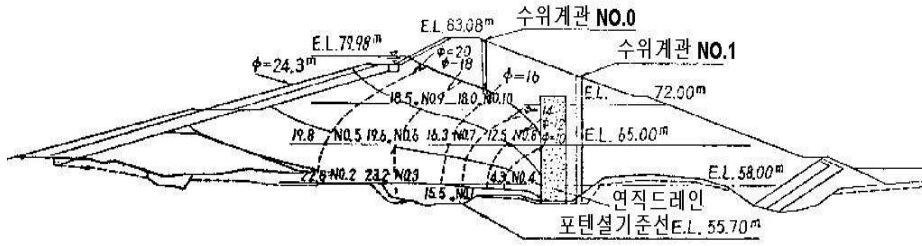
간극수압계에는 다음과 같은 것이 있다.



최종적으로는 댐 내부의 유선망을 작성하여 설계시 특수성과 비교, 검토하여 수위저하시 잔류간극수압을 관측하여 안정계산의 자료제공이 가능하여 가장 이용도가 높다.

간극수압계 매설위치는 흙쌓기의 최대단면 부분에서 댐 중심선에 직교하도록 하여 기초부분 및 제체 내부에 매설한다. 간극수압계의 수감부(수압식인 때는 팁, 전기식인 때는 픽엃이라 정한다)에 대하여는 토층의 성층상황, 토질 등을 고려하여 위치 및 깊이를 선택한다. 어버트와의 접속부나 성토의 콘크리트 구조물과의 사이 등에서 부등침하에 의한 균열이 발생하여 파이핑이 생길 우려가 있는 부분에도 설치할 필요가 있다.

그림 6.6.4은 간극수압 및 유선망의 측정예를 도시한 것이다. 그림 6.6.5은 나주댐(1967)의 간극수압 곡선을 도시한 것이다.



간극수압계 No.	간극수압측정치	포텐셜
1	1.55 kgf/cm ²	15.5 m
2	2.05	22.8
3	2.09	23.2
4	0.20	4.3
5	1.05	19.8
6	1.03	19.6
7	0.70	16.3
8	0.32	12.5
9	0.22	18.5
10	0.17	18.0

(간극수압과 포텐셜의 표)

그림 6.6.4 간극수압 및 유선망의 실측예

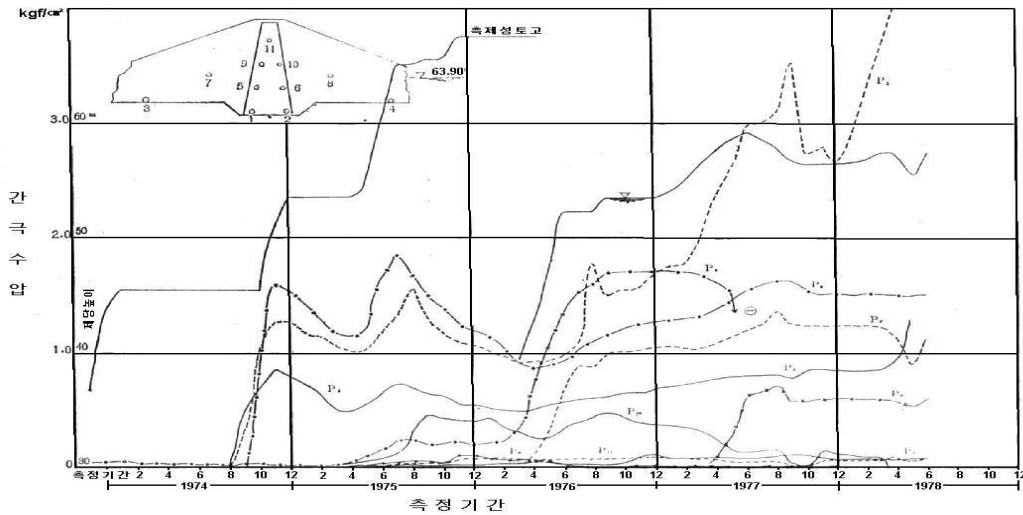


그림 6.6.5 나주댐의 간극수압 측정예

5) 토압측정장치(earth pressure meter)

가) 토압측정장치

지반 내 연직방향의 토압은 정지상태에 있을 때에는 이론적으로 간단히 구해지지만, 흙의 압축성의 차이 때문에 각 존의 크기 및 형태에 따라 응력 전이현상이 발생되어 수압할렬의 가능성을 높여 댐의 안정에 해를 끼친다. 토압계는 이러한 응력 전이현상과 체체 내의 응력분포를 파악하는 것을 목적으로 설치한다.

토압계는 필댐 체체 중의 한 점에 작용하는 토압을 계측하기 위한 것이다. 토압계의 기구는 토압의 크기에 비례하여 생기는 수압면의 다이어프램의 변화량을 변환하여 전기적으로 측정하는 방식이 가장 일반적이다. 전기적 변환방법에 의한 간극수압의 경우와 똑같이 와이어 스트레인 게이지식, 칼손식, 차등변압기식, 진동현식 등으로 분류된다. 또 특수한 방식인 것으로는 토압에 의하여 다이어프램의 처짐을 원위치로 하는데 요하는 유압으로부터 토압을 구하는 것(그레셀 형식)도 있다.

이와 같은 종류의 계기는 대략 다음과 같은 목적으로 매설된다.

(1) 중심 차수부내에서의 연직응력을 측정하여 아치작용에 의한 연직응력의 감소정도를 알아낸다.

(2) 차수부중에서의 수평방향응력을 측정하여 측방토압계수를 알아냄으로서 체체 중에 보링공에 의해 투수시험이나 그라우팅을 할 때의 수리적 파쇄위험성의 유무에 대해서 검토할 때 참고자료가 된다.

(3) 기초지반이나 체체중의 두 주응력(2차원적으로 검토할 때)의 크기를 알아내고 이를 기초로 Mohr의 응력원을 그려 필재료의 선행전단시험과는 별도로 전단강도가 얻어진다. 이것과 설계시 파괴의 기준선 $\tau = c' + (\sigma - u) \tan \psi'$ 와 비교함으로써 토압계 매설지점에서의 국부적 안정상태를 알아낸다.

나) 토압계 설치시의 주의사항

(1) 토압계에 큰 충격을 주어서는 안된다.

(2) 변압판에 접하는 토립자는 세립자일수록 좋다. 입경은 수압판 직경의 2%를 초과해서는 안된다.

(3) 토압계 매설용 피트의 폭은 충분히 크게 함과 동시에 이를 되메움할 때에는 되메움용 필재료가 피트 주변에 아치작용을 발생시키지 않도록 주의할 필요가 있다.

(4) 토압계에서 측정된 것은 전응력이므로 유효응력 표시의 토압을 구하기 위하여는 토압계의 부근에 간극수압계도 매설해 두어야 한다. 전토압에서

간극수압을 빼면 유효응력 표시의 토압이 구해진다.

(5) 토압계의 번호, 위치(표고, 댐축에서의 거리, 토압계를 설치한 경사면이 매설 피트의 상류측인가 하류측인가 등)은 정확하게 기록해두어야 한다.

그림 6.6.6는 나주댐의 토압측정예를 도시한 것이다.

6) 지진동 측정장치

가) 지진동 측정장치를 설치하는 목적

필댐과 같은 흙 구조물이 지진력을 받을 때의 동적 거동은 특히 복잡하므로 지진력을 수평 또는 연직에 정적으로 작용하는 힘으로 치환하여 정적 안정해석을 해야 한다(소위 [진도법]).

그러나 최근 유한요소법의 발달에 따라 입력지진파가 알려졌는바 체체를 선형 또는 비선형, 탄성체 내지 탄소성체로 가정하여 댐의 동적응답 거동을 계산에 의해 구할 수 있게 되었다. 동적 반복응력을 받을 때 필재료의 파괴기준의 정식화에 아직 문제가 남아있는 것과 입력지진파의 결정법이 미확립되어 있는 것 등으로 내진설계법으로서 동적해석법이 종래의 진도법을 대신할 정도까지는 도달하지 않았지만 현단계에서도 응답해석 결과는 체체내에 발생한 응력에 대해서 극히 유익한 판단재료를 제공하고 있으며 이 같은 종류의 해석법이 금후 내진설계방법의 중요한 수단이 될 것으로 전망된다.

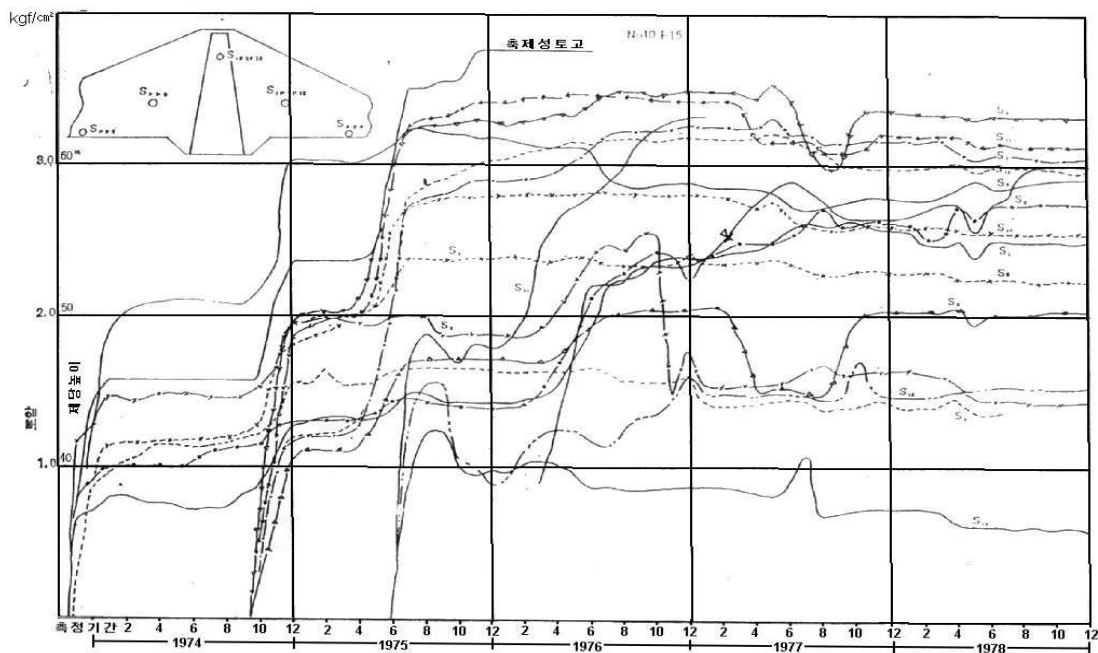


그림 6.6.6 나주댐의 토압 측정예

따라서 중요한 댐에서는 지진계를 설치하여 지진시 댐의 동적거동의 실태를 밝혀서 댐의 안전관리자료로 함은 물론이고 미해결문제의 해명에 유효한 자료를 제공하도록 노력해야 한다.

나) 지진계의 종류와 선택

지진계의 종류로는 중소규모의 지진파의 기록을 주목적으로 한 전자식 지진계와 진도 5이상의 강진 내지 열진에서의 지진파를 기록하는 것을 주목적으로 하는 기계식지진계(강진계)의 두 가지로 대변할 수 있다. 목적에 따라서 가장 적절한 형식의 것을 선택할 필요가 있다.

(1) 전자식 지진계 : 지중 매설이 가능하며 미소지진도 정밀하게 지진파형을 기록하지만 유지관리가 힘들고 낙뢰에 의한 이상전류 등으로 피해를 받는 수가 있다. 또 지진시의 정전에 대비하여 무정전 전원장치가 필요하다.

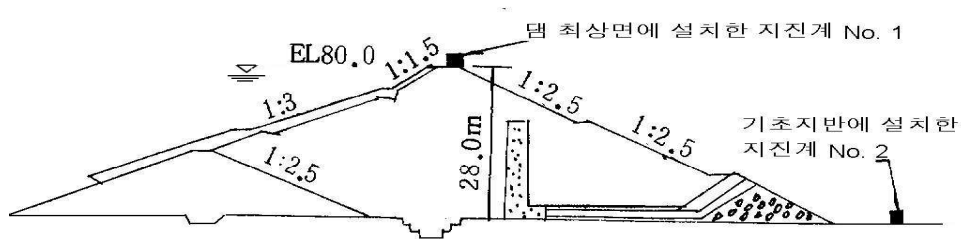


그림 6.6.7 댐 지진계(스마크형 강진계) 배치도(예)

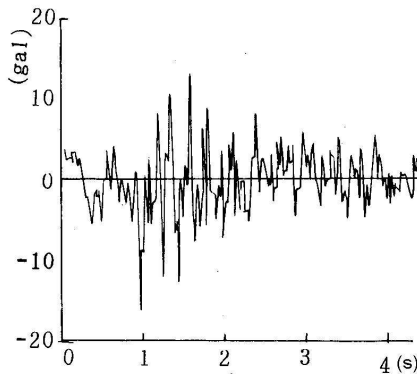


그림 6.6.8 댐 기초의 지진파
댐축 연직방향(예)

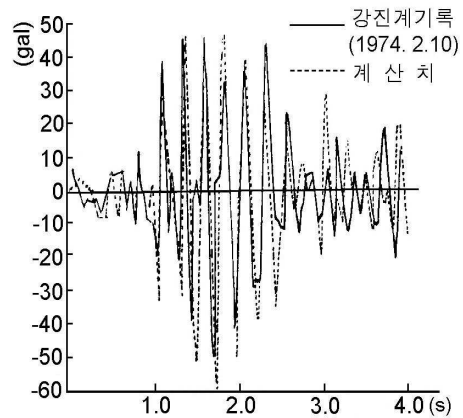


그림 6.6.9 댐 최상면의 가속도의
응답(예)

(2) 기계식 지진계 : 미소지진은 기록할 수 없지만 강진시의 진동이 확실하게 기록되는 가능성이 높다. 유지관리가 용이하며 정전 시에도 내장전지에 의한 기록이 가능하다. 그림 6.6.7은 기계식 지진계를 설치한 댐의 예이고, 그림 6.6.8 및 그림 6.6.9는 기록파를 1/100정도로 읽어서 수치화한 기초지반의 입력파를 입력자료로서 FEM에 의해 댐의 응답해석으로 댐 최상면의 응답가속도의 계산치와 지진계에 의한 응답가속도 실측치를 비교 검토한 것이다.

다. 계측장치의 설치표준 및 계측항목

1) 댐의 계측시설 설치표준

댐의 계측기는 높이가 15 m 이상인 댐에 대하여 적용하는 것을 원칙으로 한다. 특히, 기초지반이 연약지반이면 15 m 이하인 경우에도 계측기 설치를 고려한다.

제체에 설치하는 시설표준을 들면 다음과 같다.

가) 누수량 측정 장치 : 누수가 예상되는 곳

나) 변형량 측정 장치 : 최대 변위가 발생할 것으로 예측되는 지점

(1) 댐마루 표면 측정 장치 : 설치

(2) 기타 변형량 측정 장치 : 필요에 따라 설치

다) 침투선 측정 장치 : 균일형 댐 그리고 기타 형식의 대댐에 대하여도 설치하는 것이 바람직하다. 산턱의 균열이 많고 투수성이 높다고 생각되는 댐에서는 어버트먼트 주변의 산턱에도 설치한다.

라) 간극수압 측정 장치 : 기초 또는 축재재료가 점질토인 댐 및 시공중 큰 간극 수압 발생이 예상되는 댐

마) 토압 측정 장치 : 특히 높은 댐, 특수한 설계를 한 댐

바) 지진동 측정 장치 : 특히 높은 댐, 특수한 설계를 한 댐

2) 계측항목 및 계측내용

댐의 거동 및 상태를 감시하기 위해서 필요한 계측항목 및 계측내용은 표 6.6.2와 같으며, 계측항목별 계측회수는 표 6.6.3과 같다. 댐 본체 접속부 주변 산턱과 방류시설의 상태를 감시하기 위해 정기점검 또는 임시점검을 해야 하는데 정기점검 부위별 점검회수는 표 6.6.4과 같다. 그림 6.6.10은 광주댐(1967)의 매설계기의 배치 예를 보여준다.

표 6.6.2 계측항목 및 계측내용

계측항목		댐 형식 등의 구분	계 측 내 용	비고
누수량		누수가 예상되는 댐	개개의 누수위치	
간극수압 토압계	높은 댐			누수량이 비교적 적고 또한 양압력이 작은 것은 제3기의 계측을 생략할 수 있다.
침윤선		균일형 필댐	대표단면을 1개소 이상 선정해서 각 단면에 댐 축에서 하류측으로 3개소 이상	
변위 변위계	지중 연직 및 수평	높은 댐	대표적 정상부, 댐마루가 긴 댐, 양안 사면이 급한 기울기의 공동중력댐 및 중요한 아치댐에는 대표 단면의 좌우양측의 정상 부에도 추가한다.	
	변위계	높은 댐		
변형	표층 측정점	모든 댐	댐 중심선 댐 하류사면 1~2측선 댐 상류사면 1측선에 50m 간격	상류측 비탈면에서는 저수지 수위가 저하했을 때 측정하면 좋다. 높이70m 미만 필댐은 제2기는 반년마다 1회 실시해도 좋다.

표 6.6.3 계측항목별 계측회수

계측항목		댐 형식 등의 구분	관리기간별 계측회수			
			시공 중	시공 후		
				제1기	제2기	제3기
누수량		누수가 예상되는 모든 댐	1회/일	1회/일	1회/주	1회/월
간극수압 토압계		높이 30 m 이상	1회/일	1회/주	1회/월	1회/3월
침윤선		균일형 필댐	1회/일	"	"	"
변위 변위계	지중 변형		1회/일	1회/일	1회/주	1회/월
	표면 변위계	최대변위가 예상되는 지점	1회/일	"	"	"

주1) 준형 필댐의 하류측 준에서 배수기능이 낮아질 염려가 있는 것에 대해서는 균일형 필댐에 준해서 계측항목 중에 침윤선을 추가한다.

주2) 준형 및 균일형 필댐에서 저수위의 변동이 심하고 또한 급변하며 잔류 간극수의 영향을 조사할 필요가 있다고 인정되는 것 및 시공중의 과잉 간극수압이 잔류할 염려가 있는 것에 대해서는 적당한 기간 간극수압을 계측한다.

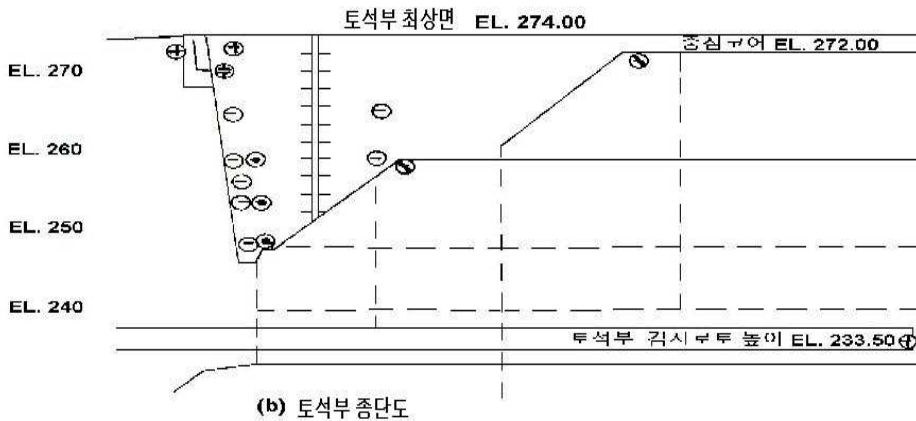
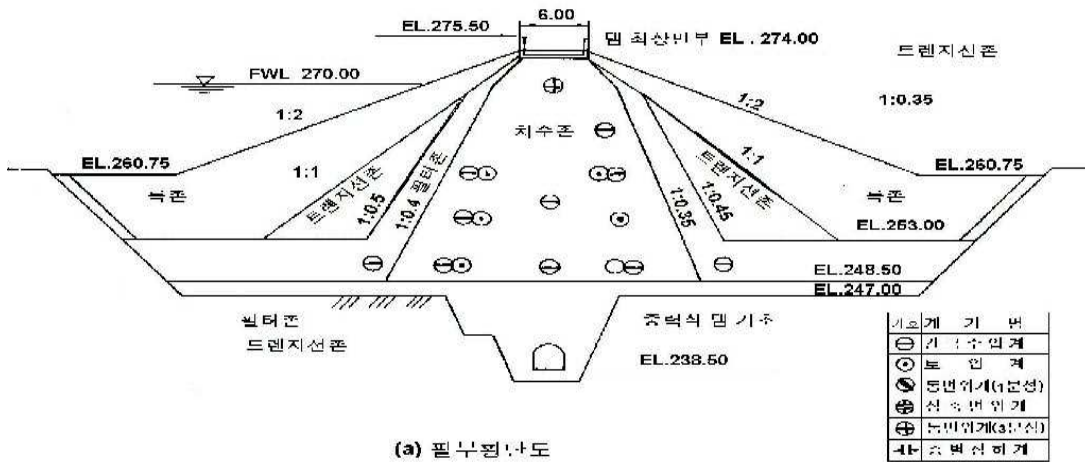


그림 6.6.10 필댐의 매설계기의 배치 예(광주댐, 1967)

표 6.6.4 정기점검의 개요

점검부위	점검상의 유의사항	관리별 기간구분별 점검회수			비 고
		제1기	제2기	제3기	
댐 본체	누수, 콘크리트 표면의 균열, 표면 차수벽의 상태, 콘크리트의 동해, 필댐의 비탈면의 상태	1회/주	1회/2월	3회/년	홍 수 기 의 전 후 및 유 설 기
접 속 부 주 변 의 원 지 반	누수, 균열, 붕락, 산사태	"	"	"	
방류시설	누수, 물넘이 마모 및 세굴, 장애물 유무, 무기의 손상, 변형 및 상태, 예비전원 장치의 조작상태, 그밖의 시설의 상태	1회/월	1회/월	1회/월	

마. 계측자료의 분석

댐에 있어서 계측은 댐의 거동에 대한 통찰력을 길러줄 뿐만 아니라 댐 설계와 시공에 대한 안전성 및 신뢰성을 제공해 준다. 그러나, 계측 자체만으로는 댐의 거동을 정확히 파악할 수 없으므로 주기적으로 측정과 더불어 자료의 정확한 분석이 시기 적절하게 이루어져야 댐 사고 전에 위험요소를 탐지할 수 있다. 그러므로 주기적인 측정과 분석이 매우 중요하다.

계측주기는 위의 관리기에 맞도록 적절히 조절할 필요가 있으며, 댐이 안정화된 후에 지나치게 짧은 주기로 계측을 하는 것은 인력낭비와도 무관하지 않다. 계측항목에 따라서는 계절적 변화 또는 외력의 영향 요소 등이 고려되어 계측주기가 변화되어야 한다. 계측자료의 분석은 다음 요령으로 실시한다.

(1) 댐 체체 및 기초암반의 체 현상을 분석하기 위해서는 계측결과를 분석하여 적당한 그림으로 나타내야 한다.

(2) 계측자료를 분석하기 위한 그림은 각각의 계측항목에 대하여 위치별 경시변화로 나타내는 경우와 댐체 내부에서의 계측항목별 계측치의 분포도로 나타낸다.

(3) 계측자료의 분석은 댐체의 시공, 담수, 운용과정을 충분히 반영하여야 하며, 지진, 일기, 계절 등 주변 환경변화를 고려하여야 하고, 상관성을 나타내야 한다.

(4) 정상적인 댐 운용상태에서 계측치가 갑자기 큰 폭으로 변화하거나 특정 부위에서 지나치게 크거나 작아 이상형상으로 간주되는 경우 기타 진단방법에 의한 분석결과와 상호 비교 검토하여 원인을 규명한다.

(5) 계측자료의 분석 전에는 자료의 신뢰도를 확보하기 위하여 계측기 및 계측자료의 고장여부를 점검한다.

1) 변형

제체의 표면에서 일어나는 외부의 변형은 표면 침하점의 측정자료를 분석하여 판단할 수 있으며, 내부에서 발생하는 수평변위와 침하량은 각각 수평 변위계와 층별 침하계의 계측자료를 가지고 평가할 수 있다.

매설 초기부터 현재까지의 변위를 평가하려면 변위 결과를 위치에 따라 경시변화로 나타내는 것이 바람직하며, 침하량의 경우에는 실측자료로부터 장래 침하량을 예측한 다음 실측치를 예측치와 비교하여 평가하는 방법이 있다.

측정치가 동일한 하중조건에서 시간이 경과함에 따라 일정하거나 점차 감소하는 경우에는 댐이 안정화되는 것으로 간주할 수 있다. 만일 측정치가 동일한 하중조건에서 시간이 경과함에 따라 증가하나 변화량의 합이 일정할 경우에는 측정간격을 줄여 관찰해야 하며, 그 결과 변화량의 합이 증가하는 것으로 나타날 경우에는 위험한 것으로 판단하고 원인을 밝혀 대책을 강구해야 한다. 또한 측정치가 동일한 하중조건에서 시간이 경과함에 따라 증가하며 변화량의 합이 시간에 따라 계속 증가할 경우에는 확실한 위험신호로 보고 이러한 현상이 국부적인가 또는 전반적인가를 판단하여 수위저하와 같은 응급조치를 취해야 한다.

침하량의 경우 측정치의 단순한 변화뿐만 아니라 침하량에 대한 수평변위를 계산하여 평가하는 방법이 있다. 즉 가로축에 침하량에 대한 수평변위의 비를, 세로축에 침하량을 도시하여 실측치의 변화곡선이 미리 정한 기준치에 접근하면 위험신호로 보고 벌어지는 방향으로 가면 안정한 것으로 판단한다. 이는 침하량이 작아도 수평변위가 계속 증가하면 위험한 상황을 초래할 수 있음을 뜻한다.

시공 중에 발생하는 수평변위와 침하는 축조재료의 압축성, 다짐방법, 성토층 두께 및 시공속도 등에 영향을 받으므로 이러한 인자들을 종합적으로 분석하여 평가해야 한다.

완공 후에는 시공 중의 인자와 더불어 저수위의 변화를 고려한다. 완공 후 실측된 자료를 가지고 장래의 침하량을 예측하는 방법으로는 쌍곡선법, Hoshino법, Asaoka법 등이 있으며 일반적으로 쌍곡선법이 사용된다.

2) 간극수압

간극수압은 일반적으로 댐 축조기간동안 증가하다가 댐 완공직후 담수가 시작되면서 서서히 소산되는 것이 일반적인 현상이다. 간극수압의 완전한 소산은 동일 수위에 대한 간극수압을 비교함으로써 확인할 수 있다. 만일 특이한 현상이 나타나게 되면 댐 내부에 이상현상이 일어난 것으로 간주할 수 있으며, 간극수압에 영향을 미치는 여러 가지 요소들을 분석하여 원인을 찾아 대책을 강구해야 한다. 간극수압에 영향을 미치는 요소로는 다짐방법과 다짐함수비, 성토속도, 담수속도 및 시기 등이 있다.

시공 중 댐의 심벽 내부에서 발생하는 간극수압은 유효응력과 전단응력을 저하시킨다. 만일 간극수압이 증가하여 토압에 접근하면 전단파괴의 발생가능성이 높아진다. 시공중 동일 표고에서의 간극수압은 심벽의 중앙이 가장 높고 필터층에 가까울수록 소산되어 작은 값을 나타낸다. 그러나, 완공 후에 담수가 시작되면 심벽 상류측에서 가장 높고 하류측으로 갈수록 낮아진다.

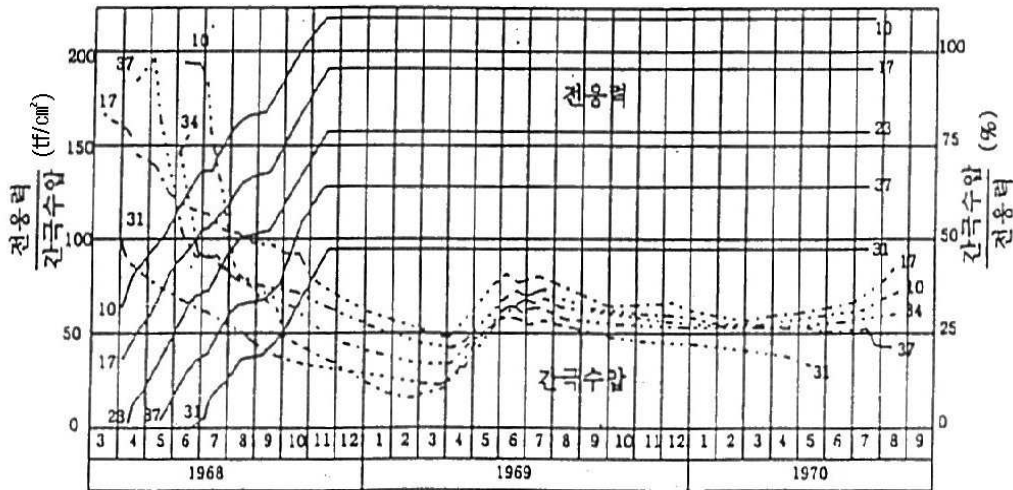


그림 6.6.11 댐 건설 중, 완공 후의 간극수압 변화도

댐이 정상침투에 이르면 수위가 변화함에 따라 간극수압이 같은 양상으로 변화하면 두 변화량 사이에는 일정한 시간 간격이 존재한다. 따라서, 간극수압과 수위를 같은 경시변화로 나타냄으로써 간극수압의 이상현상을 보다 입체적으로 규명할 수 있다.

그림 6.6.11은 간극수압의 경시변화를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 간극수압은 토압계에서 나타나는 전응력과 함께 검토되어 댐체 내부의 유효응력을 검토할 수 있어야 하며, 이들로부터 댐 안전상 취약부위를 인지하게 된다.

물론 간극수압을 단순히 경시변화와 댐체 내부에서의 분포상태를 파악함으로써 이상현상을 손쉽게 파악하는 것도 의의가 있으니 최종적으로는 그림 6.6.11과 같은 분석방법을 검토하여야 한다고 생각된다.

3) 토압

토압은 주로 상재하중에 의한 것이므로 건설기간 동안 증가하다가 건설 직후부터는 담수의 영향을 받는다. 심벽의 상하류에 필터를 둘 경우, 심벽의 상하류측 토압은 중앙에 비하여 상당히 크게 발생할 수 있다(그림 6.6.12 참조). 이는 필터와 심벽의 강성차로 인하여 아칭현상이 발생하여 응력이 전이되기 때문이다. 또한 댐의 기하학적 측면에서 양안이 급경사일 경우에도 응력이 양안에서 중앙을 향하여 집중하므로 양안부에 인장균열이 발생하여 이 부분으로 누수가 발생할 가능성이 높다. 토압은 간극수압 및 저수위와 직접 관계되므로 이들 세 가지 계측치를 하나의 경시변화로 나타내면 체체 내의 유효응력 변화를 쉽게 파악할 수 있다. 만일 담수 초기에 일시적으로 간극수압이 토압보다 높게 나타나면 이는 수압할렬의 가능성이 있으므로 주위 깊게 관찰해야 하며 계속 높게 나타나면 응급조치를 취해야 한다.

토압으로 댐의 안정성을 평가하는 방법에는 주응력비를 검토하는 방법이 있다. 주응력비가 시간이 경과함에 따라 커질수록 댐이 안정화된다고 볼 수 있으며, 이를 이용하여 수압할렬에 대한 저항의 정도를 파악할 수 있다.

4) 누수량

누수량은 기초암반을 통한 누수와 심벽을 통한 누수로 구분되며, 기초암반을 통한 누수는 상류측 암반과 하류측 암반의 간극수압을 비교하여 판단할 수 있으며, 누수 정도에 따라 그라우팅의 효과를 판단할 수 있다. 그라우팅이 양호할 경우 주로 누수는 심벽을 통하여 발생한다.

사력댐에서 누수를 완전히 피할 수는 없으며, 다만 양과 탁도가 문제이다. 누수량은 심벽재료의 투수계수에 따라서 좌우되며, 탁도는 필터의 설계에 따라 다르다. 만일 심벽의 점토가 침식되는 경우라도 미립자가 빠져 나오지 않도록 필터의 설계가 양호하면 탁도는 증가되지 않을 것이다.

심벽의 투수계수가 작을 경우, 누수량은 매우 적을 것으로 예상되지만 시공상 아칭현상에 의한 응력전이와 수압할렬로 인하여 국부적으로 균열이 발생하면 집중적인 누수현상이 발생할 수도 있다. 이 현상은 체체 내부의 각 위치별 간극수압을 비교함으로써 누수의 방향과 크기를 추정할 수 있다. 경우에 따라 수치해석을 통하여 응력전이와 수압할렬의 가능성을 판단할 필요가 있다.

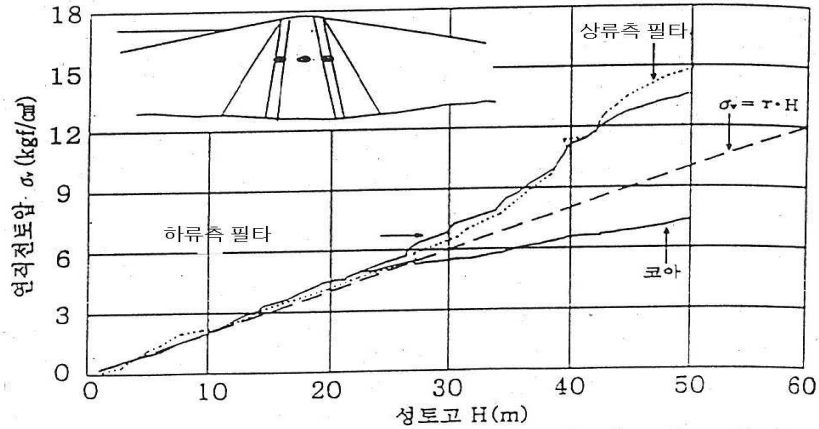


그림 6.6.12 준별 토압의 미소변화 특성

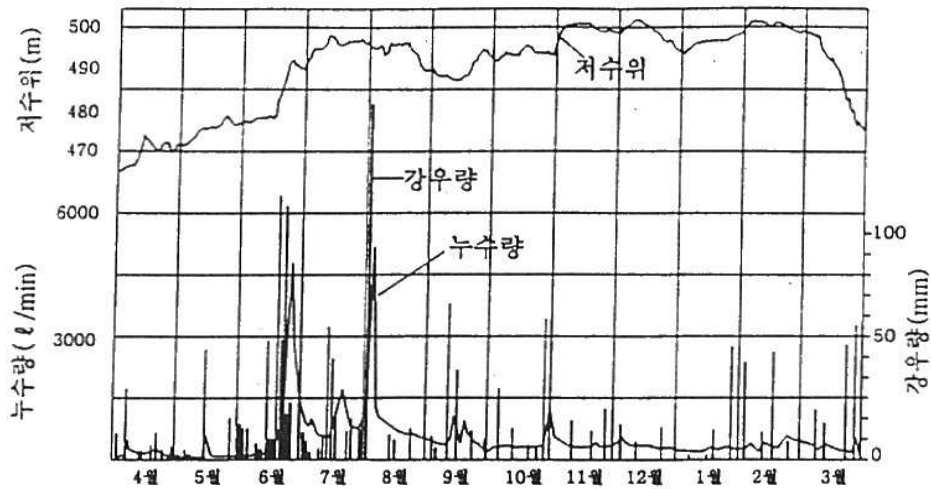


그림 6.6.13 누수량 미소 변화도

누수량의 계측위치는 일반적으로 하류에 집수정을 설치하여 총누수량을 계측하는 경우와 누수경로별로 집수정을 설치하여 계측하는 경우로 대별된다. 현재 댐에 설치된 누수량 측정기의 대부분은 기반암과 심벽을 통한 누수량과 강우로 인한 사면의 누수량을 함께 측정하기 때문에 수위와 강우강도를 고려하여 누수량의 변화를 관찰해야 한다. 즉 강우시와 비강우시를 구분하여 저수위별 누수량을 경시변화로 나타냄으로서 각각 독립된 누수량을 파악할 수 있다. 일반적으로 누수량은 저수위의 상승에 따라 증가하다가 시간이 지나면서 감소하는 경향을 보인다.

제체에 누수량 측정기가 없는 경우, 육안으로 누수를 파악하여 안정성을

평가해야 한다. 댐의 하류 사면에서 습지현상이나 분사현상이 발견되면 즉시 누수량과 탁도를 측정하여 침식과 세굴의 진행성을 파악한다. 측정 결과 누수량이 시간에 따라 증가하거나 누수되는 물의 색이 점점 흐리게 되면 우선 수위를 낮추고 여러 가지 다양한 계측결과를 종합적으로 분석하여 원인을 밝히고 영구적인 대책을 수립해야 한다.

그림 6.6.13 는 누수량의 경시변화를 나타낸 것으로 누수량이 저수위와 강수량과의 관계로부터 보다 정확한 누수특성을 파악할 수 있다고 보며, 이들로부터 댐체의 이상징후를 쉽게 인지할 수 있다.

5) 상관관계분석

계측기에 의하여 획득된 데이터중 변위-간극수압, 변위-토압, 간극수압-토압, 간극수압-누수량 등은 서로 연관성이 있어 자료간 경시변화를 추적하여 상관관계를 분석하므로써 자료 상호간에 신뢰성을 확보할 수 있다. 또한, 예상되는 체체 거동에 대한 정밀한 예측이 가능할 수 있다.

6.7 기계·전기시설의 관리

6.7.1 일반사항

댐에 설치되어 있는 기계·전기설비는 설비의 정상적인 운용을 유지하기 위하여 점검, 정비, 보수 등을 계획적으로 실시한다.

설비의 정상적인 운용, 댐 건설의 기능발휘 및 기능유지, 예측할 수 없는 사고의 미연방지, 신뢰성을 확보하기 위해서는 설비·기기를 적정하게 유지관리하는 것이 중요하다. 유지관리라 함은 설비·기기의 점검, 정비, 보수 등이 중점으로 이들을 계획적으로 실시하는 것이 효과적이고 나아가서 적절한 설비·기기의 교체에 큰 영향을 주게 된다.

실제로 보수관리를 실시하는데는 소프트웨어면으로서 조직·체제(기술력, 요원, 재정)를 정비할 필요가 있고 각 지구의 시설내용이나 조건에 맞는 조직·체제 정비를 행하는 것이 중요하다. 하드웨어면으로서는 보수관리의 편의성, 작업의 안전성을 배려한 시설(작업공간, 관리용 도로, 통로, 안전방호책 등을 부대로 하는 시설), 요컨대 점검·정비환경에 중점을 둔 시설을 건설하도록 의무화하는 것이 절대적이다.

가. 보수·점검·관리

게이트 기능은 설치부터 경과년수에 따라 또 개폐 빈도에 따라 달라지고 있다. 따라서 “시설물의 안전관리에 관한 특별법” 제6조 2항과 “농업기반시설관리규정- 농림부” 제10조에 의거 일상점검, 정기점검, 긴급점검 등을 통하여 시설물을 점검하고 사고를 미연에 방지하기 위하여 기능유지에 노력해야 한다.

게이트의 이력, 사양, 설계도서, 시험기록, 조작요령 외에 점검기록, 조작기록, 보수경력 등을 상시 정비하여 두어야 한다.

나. 누수 방지

문비의 누수는 설치후부터 경과년수에 따라 또는 개폐할 때마다 다소 발생하게 된다. 3방 지수의 물넘이 수문의 경우는 일반적으로 게이트 하류 월류부의 콘크리트표면의 양 모서리 부분만이 젖어있고 중앙부 60~80 % 정도가 말라있는 정도면 지장이 없다고 해도 좋다. 지수고무가 노화하여 누수가 많아질 경우는 신규 고무로 교체한다.

댐의 신축이음과 밀바닥 호구와의 교차부위도 누수하기 쉬운 곳이다. 이러한 곳의 누수는 아스팔트 또는 기타의 충전재를 주입하면 좋다.

다. 결빙 방지

문비는 동절기에도 이상 온난기후나 강우에 의한 하천유량 급증으로 문비를 조작할 필요가 있으며 또는 사고 발생이나 점검 등으로 게이트를 개폐할 필요가 있으므로 문비, 호구, 개폐장치는 항상 결빙이나 동결(凍結)을 방지하여 게이트 조작에 지장을 주어서는 안된다. 다만 동절기간에 수위가 저하하는 등으로 문비를 조작할 필요가 없을 때 또는 결빙한 상태대로 두어도 지장이 없는 경우 등에는 고려하지 않아도 좋다.

문비 및 호구의 결빙방지방법에는 다음과 같은 형식이 있다.

- 1) 열전도에 의한 것 : 매설 전열선식 스페이스 히터(Space Heater)식
- 2) 대류에 의한 것 : 열풍순환식
- 3) 수면교란에 의한 것 : 주수주탕식(注水注湯式), 기포식
- 4) 복사에 의한 것 : 적외선 방사식

지수 부분에서 누수된 물이 동결하여 빙괴(氷塊)로 되어 문비, 호구에 부착하여 장애가 되는 경우가 많으므로 누수방지에 항상 주의할 것이 바람직하다.

누수는 없어도 극한지에서는 문비 전면에 두꺼운 얼음이 어는 일이 있으므로

로 이럴 경우에는 인력에 의한 얼음깨기 작업이 필요하게 된다. 개폐장치가 동결되어 조작이 안되는 경우도 있으므로 필요한 방지책을 강구한다. 조작할 때는 외부에 결빙이 없다고 판단되어도 우선 수동으로 조작하여 지수부에 동결이 없는 것을 확인한 후 전동조작으로 절체할 필요가 있다. 또한 수동조작이 불가능한 개폐장치에서도 순간적인 조작으로 확인한 후에 개폐장치를 조작할 필요가 있다.

라. 지승부의 정비

문비의 지승부는 문비에 작용하는 수압이 집중하는 곳이므로 수압하에서 원활히 개폐할 수 있도록 항상 정비를 완전히 해 두어야 한다. 특히 롤러게이트의 롤러축은 수도 많고 비계도 좋지 않은 경우가 많으므로 정비가 소홀하게 되기 쉬우므로 주의를 요한다. 문비의 회전 지승부는 큰 압력을 받고 더욱이 저속회전이며, 래디얼 게이트의 트러니언 핀은 1회전도 하지 않는다.

롤러게이트에서도 부분 개방시에는 주 롤러가 1회전도 하지 않는 경우도 있으므로 이와 같은 경우에도 윤활제가 전면에 골고루 퍼지도록 특별히 주의를 요한다. 윤활이 불충분할 때는 베어링의 용착(熔着)현상이나 롤러축이 롤러와 같이 회전하는 일이 일어나서 문비개폐에 지장을 주는 경우도 있으므로 급유를 충분히 해야 한다.

마. 개폐장치의 정비

개폐장치는 언제라도 문비를 작동할 수 있도록 정비해 두어야 한다. 그러기 위해서는 문비의 점검내규를 만들어 정기점검방법, 운전하기 전의 시동점검방법을 정해둘 필요가 있다. 개폐장치 각 부분의 윤활, 녹발생, 조임볼트의 이완, 베어링의 온도상승, 전기부품, 와이어 로프 소선(素線)의 점검, 리미트 스위치와 브레이크 등의 작동확인, 와이어 로프의 그리스 도포 등에 주의를 기울여야 한다. 또한 부유물 등이 지수고무와 롤라에 끼이지 않도록 청소해야 한다.

바. 예비동력설비의 정비

예비동력설비의 엔진은 언제라도 기동할 수 있도록 상시정비하고, 기동방법에 익숙해 두는 것이 필요하다. 기동방법에는 축전지에 의한 것, 압축공기에 의한 것, 인력에 의한 것 등이 있다.

축전지에 의한 기동방식에서는 축전지가 극한 시에서도 기동할 수 있도록 충전과 보온에 주의하고 압축공기에 의한 기동에서는 압축공기가 항상 소정의

압력을 유지 할 수 있도록 유의한다. 또한 발전기 성능을 잘 이해하고 운전
에 숙달해 있어야 한다.

사. 보수 또는 교체

문비 보수 또는 교체는 ① 각 부재의 응력이 각각 사용재료의 허용응력을 초
과해서 파괴될 우려가 있을 때, ② 진동으로 구조가 불안전하고 위험이 있다고
판단될 때, ③ 성능 저하가 현저하여 운영에 지장이 있을 때에 실시한다. 보수
또는 교체하는 부분은 주로 지수고무와 와이어로프 등이다.

유압장치에서는 작동유의 열화, 이물질 혼입, 유량 등에 유의하고 유압강하
나 유압상승 등이 있는 경우에는 작동유의 여과 혹은 보충해야 한다. 와이어
로프는 소선의 단선수(斷線數)가 전체의 10 % 이상 또는 와이어로프의 직경
이 공칭경의 7 % 이상 감소했을 경우에는 교체한다.

아. 재도장

문비의 도장은 일정기간마다 재도장을 하는 것이 필요하다. 재도장할 때에
는 전에 도장할 때 사용한 도료를 잘 조사하고 이것에 적합한 도료를 사용할
필요가 있다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, 2001, 댐 설계기준.
2. 건설교통부, 2000, 하천설계기준
3. 건설교통부, 2000, 하천유지유량 산정요령(안)
4. 건교부/건기연, 2000, 기존시설물에 대한 내진성 평가기법개발 연구보고서
5. 건설교통부/시설안전기술공단, 1999, 사력 댐의 안전성 평가기법 개발
6. 건설부/건기연, 1992, 댐 설계를 위한 유역단위 비유사량 조사연구
7. 건설부(1990) 도로의 구조·시설 기준에 관한 규정
8. 내무부, 1992, 농어촌도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙
9. 농림부, 1999, 농업토목공사 표준시방서
10. 농림부, 1999, 농업기반시설 관리지침 저수지 편
11. 농림부, 1998, 농업생산기반정비사업계획 설계기준 관개 편
12. 농림수산부, 1989, 농지개량사업계획 설계기준 콘크리트 댐 편
13. 농수산부, 1983, 농지개량사업계획 설계기준 관개 편
14. 농수산부, 1982, 농지개량사업계획설계기준 댐 편
15. 농림부, 1968, 토지개량사업계획 설계기준 횡댐 편
16. 농업기반공사, 2000, 농업생산기반정비사업 조사·설계 실무요령
17. 농업기반공사, 2000, 공사감독업무지침
18. 농업기반공사, 2001, 댐 그라우팅 설계 및 시공실무지침서
19. 농어촌진흥공사, 1994 토목지질실무시침서
20. 농어촌진흥공사, 1999, 대단위농업종합개발 총람
21. 농어촌진흥공사, 1998, 농업생산기반정비사업계획 설계기준 수로터널 편
22. 농어촌진흥공사, 1998, 농어촌용수계획 설계편람
23. 농어촌진흥공사, 1997, 어도의 설계지침
24. 농업진흥공사, 1990, 공사감독 지침
25. 농업진흥공사, 1989, 품질관리 지도서
26. 농어촌진흥공사, 1989, 미호천(I)지구 준공 기록지
27. 농어촌진흥공사, 1979, 영산강 개발
28. 농업진흥공사, 1984, 수문철관 기술기준, 기술자료 29집
29. 농어촌정비법, 건설기술관리법, 국토이용관리법, 측량법, 하천법, 문화재보호법, 산림법, 수질환경보전법, 환경정책기본법, 소음진동규제법의 법령·규칙
30. 권순국 외 4인, 1995, 신고 수리구조공학, 향문사

31. 권호진, 진명섭, 2001, 최신 도로공학, 기문당
32. 김태철, 이재용, 윤오섭, 박승기, 1996, 담수호의 침전량과 분포예측에 관한 연구, 농공학회지, 38(2)
33. 김태철, 노재경, 1992, 관개저수지의 이수관리방법, 농공학회지 34(1)
34. 김태철, 문종필, 1998, 관개저수지의 홍수조절용량 설정방법, 농공학회지 40(2)
35. 김태철, 박승기, 1996, 한국하천의 일 유출량(DAWAST)모형, 한국수자원 학회지 29(5)
36. 김형수 외 4인, 1969, 토목시공법, 치정문화사
37. 서승덕 외 3인, 1988, 유역의 지상적 요인과 저수지 비퇴사량과의 상관 분석, 한국농공학회지, 30(4).
38. 우효섭, 2001, 하천수리학, 청문각
39. 윤용남, 1981, 관개용 저수지의 연평균퇴사량과 저수용량 감소년의 산정, 대한토목학회논문집, 1(1)
40. 양윤모, 1980, 토목용어사전
41. 이의중 편저, 1997, 금속재료대조 핸드북
42. 한국도로공사, 1992, 도로 설계요령 (토공 및 배수편)
43. 한국수자원학회, 1999, 건설교통부 제정 하천공사표준시방서
44. 한국공업표준협회, 최신판, KS규정
45. 日本 (사) 수문철관협회, 2001, 수문철관 기술기준
46. 日本 (주) EBARA제작소, 1994, EBARA 펌프설비 편람
47. 日本 농업토목학회 편, 농업토목 핸드북(개정4판)
48. 江琦一博, 1977, 貯水池の堆砂量の豫測に關する研究, 土木學會論文報告書, 第262卷
49. 江琦一博, 1966, 貯水池の堆砂に關する研究, 土木研究報告, 第128卷
50. ダムの技術センタ、1987, 多目的ダムの建設、第二券、調査編
51. 日本河川協會, 1999, 解説 河川管理施設等 構造令, 山海堂
52. 農林水産省構造改善局, 1993, 土地改良施設管理基準ダム編
53. USBR, 1987, Design of Small Dams, A Water Resources Technical Publication.

집필자 및 심의, 편집자 명단

집필자

김태철 김진수 노재경 송창섭 이남호
유기송 장의웅 최신일 최진규 한중희

심의자

허유만 구광희 김진식 변양석 이기윤
이병호 이상익 이원규 이정재 조범호
정진호 정병호 천병선 최우현

편집자

이영일 김현수 이재면 박찬제 서승필 이정선

비매품

농업생산기반정비사업계획설계기준

필 댐 편

2002년 12월 발행

발행 : 농 립 부

농업기반공사

편수 : 한국농공학회

인쇄 : 이화