

KDS 67 10 40 : 2018

농업용댐 가배수공 설계

2018년 04월 24일 제정

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





건설기준 코드 제·개정에 따른 경과 조치

이 코드는 발간 시점부터 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여
발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대
로 사용할 수 있습니다.

건설기준 코드 제·개정 연혁

- 이 기준은 KDS 67 10 40 : 2018 으로 2018년 04월에 제정하였다.
- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준 간 중복·상충을 비교 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준의 제·개정 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요사항	제·개정 (년. 월)
농업생산기반정비사업 계획설계기준 필댐편	<ul style="list-style-type: none">• 농업생산기반정비사업 계획설계기준 필댐편 제정	제정 (1968. 12)
농업생산기반정비사업 계획설계기준 댐편	<ul style="list-style-type: none">• 콘크리트댐에 관한 사항을 종합하여 댐편으로 개정	개정 (1982. 12)
농업생산기반정비사업 계획설계기준 콘크리트댐편	<ul style="list-style-type: none">• 농업생산기반정비사업 계획설계기준 댐편으로부터 분리하여 콘크리트댐편 제정	제정 (1989. 12)
농업생산기반정비사업 계획설계기준 필댐편	<ul style="list-style-type: none">• 농업생산기반정비사업 계획설계기준 필댐편 개정	개정 (2002. 12)
KDS 67 10 40 : 2018	<ul style="list-style-type: none">• 국토교통부 고시 제2013-640호의 “건설공사기준 코드체계” 전환에 따른 건설기준을 코드로 정비• 건설기술진흥법 제44조 및 제44조의 2에 의거하여 중앙건설심의위원회 심의·의결	제정 (2018. 04)

제 정 : 2018년 04월 24일

심 의 : 중앙건설기술심의위원회

소관부서 : 농림축산식품부 농업기반과

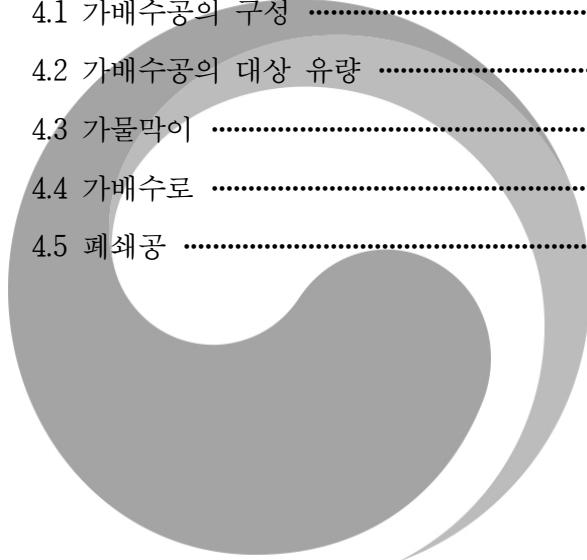
관련단체(작성기관) : 한국농어촌공사(한국농공학회)

개 정: 년 월 일

자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회

목 차

1. 일반사항	1
1.1 목적	1
1.2 적용 범위	1
1.3 참고기준	1
1.4 용어의 정의	1
1.5 기호 정의	1
2. 조사 및 계획	1
3. 재료	1
4. 설계	1
4.1 가배수공의 구성	2
4.2 가배수공의 대상 유량	2
4.3 가물막이	2
4.4 가배수로	6
4.5 폐쇄공	23



농업용댐 가배수공 설계

1. 일반사항

1.1 목적

- 내용 없음

1.2 적용 범위

- 내용 없음

1.3 참고기준

- (1) 농지개량사업계획 설계기준, 1989 : 콘크리트댐편
- (2) 농업생산기반정비사업계획 설계기준, 2002 : 필댐편
- (3) 댐 설계기준, 2011

1.4 용어의 정의

- 내용 없음

1.5 기호 정의

- 내용 없음

2. 조사 및 계획

- 내용 없음

3. 재료

- 내용 없음

4. 설계

4.1 가배수공의 구성

- (1) 가배수공은 공사기간중의 댐 지점을 유하하는 유수를 댐의 공사에 지장이 없도록 통과 시킬 수 있는 구조라야 한다. 가배수공은 가물막이와 가배수로로 구성되며, 현장조건에 따라 가장 합리적이고 경제적인 조합이 되도록 계획되어야 한다.
- (2) 가배수공의 선정에는 ① 유역의 유출특성(홍수의 도수, 첨두 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 4.1.-1> 가배수공의 구성 과 같이 구분된다.

<표 4.1.-1> 가배수공의 구성

가물막이	가배수로
전면 물막이	터널식
반 물막이	개거·암거
단계 물막이	제내 가배수로·제체월류식

- (3) 가배수공은 보통 가시설로 계획되지만 가물막이를 본제방으로 이용, 가배수로를 취수 또는 방류시설 등으로 이용하는 등 종합적으로 관련지어 최소 공사비로 홍수피해를 최소 한으로 막고 시공이 원활하게 이루어지는 것이 가장 적합한 계획이다. 필댐은 월류에 대한 저항력이 약하기 때문에 가배수공의 규모부족이나 불완전한 시공은 본 제방 공사의 극단적인 공정 지연, 제체결과에 따라 하류에 중대한 손실을 초래하므로 특히 적절한 설계, 시공이 요구된다.

4.2 가배수공의 대상 유량

- (1) 필댐의 대상유량은 20년 확률유량으로 한다.
- (2) 대상유량은 댐의 형식, 홍수특성, 공사기간중의 유출빈도 및 월류시의 피해를 고려해서 계획되어야 한다.
- (3) 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.

4.3 가물막이

- (1) 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.

4.3.1 가물막이 시기

(1) 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 단축도록 해야 한다. 예를 들면 토취장이 먼 곳에 위치하고 있을 때, 축제재료를 미리 가물막이 부근에 저장해 둠으로서 공기를 단축하는 등의 배려가 필요하다.

4.3.2 형식의 선정

(1) 가물막이의 형식은 지형, 지질, 하상의 상황, 흥수유량, 공사의 규모 등을 고려해서 경제적이고 안전한 것을 선정해야 한다. 가물막이의 형식과 특성을 표시하면 다음과 같다.

① 전면 물막이

가. 전면 가물막이는 하류를 원지반에 설치한 가배수 터널로 바꾸고 하천의 상하류를 전면적으로 물막이해서 작업구간을 확보하고 기초굴착, 본체 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 본체 타설 또는 흙쌓기 공정에 제약을 받지 않는다. ② 공사완성 후에는 가배수터널을 취수방류시설 등으로 전용할 수 있다. ③ 공사용 도로와 겸용할 수 있다. ④ 필댐의 경우에는 가물막이가 본체에 흙쌓기공의 일부로서 이용할 수 있다. 그렇기 때문에 15m 이상의 필댐에서는 거의 이 방법이 이용되고 있다.

② 반물막이

가. 이 방식은 하천의 한쪽을 체절하여 하류를 다른 쪽으로 옮기고 물막이 내부의 기초굴착 및 본체 타설 또는 필댐의 흙쌓기를 하고 뒤에 유수를 이 부분의 제내 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

가. 댐을 유수에 직접 관계되지 않는 장소에 설치해서 제체 및 부속공사를 완료하여 흥수가 전부 내지 일부 완성된 물넘이를 통하여 안전하게 배수될 수 있게 되면, 종전의 하천을 물막이해서 유수를 가배수하고 종전 하천의 물막이 내측에서 기

농업용댐 가배수공 설계

초굴착, 흙쌓기, 콘크리트치기가 실시된다. 이 방법은 두수공을 하천의 만곡 또는 사행하고 있는 장소에 설치하는 경우에 흔히 볼 수 있다.

④ 상류 가물막이와 하류 가물막이

- 가. 상류 가물막이는 댐 지점으로서의 하천 흐름을 막아 가배수로로 전환시키는 역할을 한다. 지질이 양호하고 지형이 적합한 경우에는 공사비를 절감하기 위하여 소형 아치댐으로 하는 경우도 많다.
- 나. 제내 가배수로의 유수전환에 편리하도록 상류 가물막이에 통수공을 설치하여 수문을 달기도 한다. 이렇게 하면 유수전환이 간단할 뿐 아니라 제내가배수로의 폐쇄용 수문을 닫을 때 상류 가물막이의 수문을 닫는다면 일시적으로 상류 가물막이를 월류할 때까지 시간적인 여유가 생기게 되며, 이 사이를 이용하여 건조상태에서 폐쇄 작업을 할 수 있게 된다.
- 다. 하류 가물막이는 가배수로를 통해 전환된 유수가 유출구를 통해 방류되었을 때, 댐 본체 공사 현장내에 역유입하는 것을 방지하기 위해 설치한다. 상류가물막이 와는 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

- 가. 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

- 가. 콘크리트 구조물식 가물막이로는 중력식, 아치식 및 철근 콘크리트 옹벽식 등이 채택되고 있다. 이들은 가설비로서의 구조물이므로 지진, 온도, 옹벽 등을 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 표고 별 옹벽을 계산하게 되며, 하중으로서는 정수압만을 고려한다. 즉,

$$\sigma = \frac{\gamma h r}{t}$$

여기서, σ 는 응력, γ 는 물의 단위중량, h 는 수심, r 은 아치의 반경이고, t 는 두께이다.

- 나. 아치댐 형식으로 할 경우, 가물막이를 월류한 물이 홍수가 둔화된 후에 설계와는 반대방향의 수압으로 작용하여 댐 자체를 파괴할 위험성을 동반하므로 가물막이 아래부분에 개구부를 설치하는 등 수위를 감소시킬 수 있는 시설을 설계해 줄 필요가 있다.

⑦ 필댐 형식의 가물막이

- 가. 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 강판을 탑입하는 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.

4.3.3 가물막이의 위치 및 높이

- (1) 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 상류가 물막이의 높이로 정한다.

$$\Delta h = f_1 + \frac{V^2}{2g} + \frac{1}{2g}(V^2 - V_o^2)$$

여기서, f_1 은 유입부 손실계수, V 는 가배수로내 평균유속, V_o 는 가배수로 유입되기 전의 유속 이

농업용댐 가배수공 설계

다. 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)

4.3.4 구조 및 시공

(1) 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 펴고르기, 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 체결하는 것이 좋다.
- (2) 가물막이의 시공은 급속을 요하므로 예를 들어 취토장이 먼 곳에 있는 경우에는 어느 정도 가물막이 부근에 축제재료를 저장해 두어 공기를 단축시키는 것도 필요하다.

4.4 가배수로

(1) 유수전환을 위한 가배수로는 대상 홍수량, 댐 지점의 지형, 지질조건, 댐의 형식, 부대구조물(물념이, 취수시설 등) 및 댐의 시공순서 등을 고려하여 가장 적합한 것을 채택한다.

4.4.1 형식 및 노선의 선정

(1) 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 자연시키는 일이 없어야 한다.

③ 가배수로와 가물막이 조합

가. 가배수로는 가물막이와 관련해서 기능을 발휘하는 것이므로 설계에 있어서도 양자를 충분히 관련시켜서 고려해야 한다. 가물막이 제당을 높게하면 가배수로는 높은수두를 주는 결과가 되어 가배수로의 단면을 축소할 수 있어서 가배수로의 공사비를 절약할 수 있다. 그러나 반면 가물막이에 요하는 흙쌓기 양은 많아지고 가배수로와 가물막이의 조합은 시공의 난이, 흙쌓기 계획 및 공사비의 증감을 비교검토하여 댐 전체의 시공계획에 적합하고 또한 경제적인 조합을 선정 한다.

④ 가배수로의 노선 선정

가. 가배수로의 기능은 가장 안전하고 경제적으로 공사기간 중에 발생하는 홍수를 유하시킬 수 있는 것이라야 한다. 가배수로의 노선은 보통지형, 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.

나. 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

(가) 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 가배수로가 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 기초 위에 설치되도록 노력함과 동시에 필요시에는 치환 말뚝공 그 밖의 공법에 의해 기초 개량의 수단을 강구해야 한다. 이것은 댐 시공 중 또는 완성직후 기초의 결함으로 인한 고장이 표면에 나타나는 예가 많기 때문에 충분히 주의해서 시행할 필요가 있다.

(나) 가배수로 시점은 홍수시에 가물막이 제체의 침식, 손상을 방지하기 위하여 흙쌓기 밀단에서부터 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.

농업용댐 가배수공 설계

나. 가배수로 유입구의 배치

(가) 가배수로는 시점에서 종점까지 직선인 것이 수리적이나 시공면에서 볼 때 가장 좋지만 터널 유입구의 유황 및 안정 등의 측면에서 가배수 터널 유입구는 등고선에 직각으로 향하는 것이 바람직하다. 그러나 저수지 부지내의 기준 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 기준 수로에 대해서는 직각에 가깝게 향하도록 하는 것이 보통이다.

⑥ 가배수로의 유입구 높이

가. 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 축소시 키며 가물막이 높이를 감소시킬 수 있다.

⑦ 가배수로의 하류 유출구

가. 가배수로의 종점은 가배수로부터의 방류수가 댐 하류측 및 하천에 좋지 않은 영향을 끼치지 않는 위치여야 하며, 설계에 있어서는 단순히 평면 적인 위치관계뿐만 아니라 하천의 종단기울기, 하류 수위 등도 검토해서 결정해야 한다. 현지 상황에 따라 하류측 가물막이 또는 특별히 도수를 위한 시설을 해야 할 때도 있다.

⑧ 가배수로와 취수시설의 조정

가. 가배수로는 저수지 완성 후 취수시설 등의 일부로서 사용되는 경우가 많으며, 이에 따라 가배수 터널 유입구의 위치가 규정되는 수가 있다. 이때 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

가. 가배수로가 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 10 배 이상되는 것이 좋다.

⑩ 가배수로의 종단 기울기

가. 가배수로의 종단 기울기는 주로 현지의 지형에 의해서 결정되며, 일반적으로 개수로의 부분까지 포함해서 가배수로 전체길이에 걸쳐 단일기울기($i=1/50\sim1/200$ 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

가. 가배수로의 단면형은 개수로 방식에 의한 경우는 장방형 또는 사다리꼴로 하고 암거 또는 터널에 의하는 경우는 원형 또는 마제형으로 하는 것이 보통이다. 입구는 둑글게 해서 가능한 유입손실을 적게 하는 것이 유리하다.

⑫ 폐쇄용 게이트

가. 가배수 터널, 제내 배수로의 유입구에는 폐쇄용 게이트의 문틀홈, 문받이 등을 미리 설치해두는 것이 좋다.

4.4.2 제내 가배수로

(1) 제내 가배수로는 유수를 하류로 전환시키기 위해 시공중인 댐 자체를 횡단하여 설치하는 가배수로를 의미하며, 가배수로 처리방식이 전면 가물막이, 부분 가물막이 혹은 개수로식 배수로 방식에 관계없이 설치할 수 있다. 또한 제내 가배수로는 가배수 터널로 처리할 수 없는 큰 홍수를 가급적 제체를 월류시키지 않고 소통시키는 기능도 함께 하지만, 실제에 있어서는 제내 가배수로로의 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

가. 제내 가배수로의 유량은 사용시기에 따라 결정된다. 가배수로 터널의 폐쇄공사를 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

가. 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.

나. 제내 가배수로의 단면 형상은 원형, 상부 반원 하부 사각형 단면형 또는 사각형 단면형이 상용된다.

농업용댐 가배수공 설계

다. 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 종 단경사는 시공이 용이하도록 수평으로 하는 것이 좋다.

③ 제내 가배수로의 위치 및 높이

가. 제내 가배수로의 위치는 타설 블록의 중앙부에 설치하는 것이 보통이지만 흉수 방류시설이나 댐 감시통로(inspection gallery) 등의 위치 관계상 어쩔 수 없는 경우에는 블록의 경계부에 설치할 수도 있다.

나. 제내 가배수로의 바닥높이는 하류수위보다 낮으면 곤란하지만 가능한한 낮게 하여 원래의 하상에 가까운 위치에 설치함으로서 가급적 수압이 작게 걸리도록 하여 제내 가배수로의 폐쇄공사를 쉽게 하는 것이 바람직하다. 또한, 제내 가배수로를 여러 개 설치할 경우에는 바닥높이에 고저차를 둠으로서 폐쇄를 용이하게 하는 배려가 필요하다.

④ 제내 가배수로의 보강

가. 댐에 작용하는 수압 및 자중에 의해 가배수로 주변에 생기는 집중응력이나 관내 수압에 의한 압력에 의해서 생기는 인장력에 대해서 그 주변을 철근으로 보강할 필요가 있다.

⑤ 제내 가배수로의 배관

가. 제내 가배수로의 배관 등 제내 가배수로의 유입구에는 물막이용 게이트의 문틀 홈, 문받이 등을 만들고 지수판 그라우트 스토퍼 그라우트 배관 등을 처음부터 설치하는 것이 보통이다.

나. 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

가. 제내 가배수로를 폐쇄하는데는 제내 가배수로의 유입구에 설치된 플랩 게이트 (flap gate), 슬라이드 게이트, 롤러 게이트 또는 각낙판에 의해 유수를 차단하고 폐쇄콘 크리트로 채운다.

(가) 플랩 게이트의 경우는 이를 매달고 있는 외이어 롤러를 절단하여 폐쇄하게 되는데, 가 배수로 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 가배수로가 차단되도록 설계해야 한다. 수문의 자중이 부족할 경우에는 콘크리트 등으로 차단을 보강하는 경우도 있다. 최근에는 차단 작동

이 확실한 롤러 게이트가 가장 많이 사용되고 있다.

- (다) 스텁 로그에 의한 물막이는 시간이 많이 걸리므로 하천 유량이 작을 경우를 제외하고는 잘 사용되지 않는다.

4.4.3 가배수 개거

(1) 가배수 개거는 가배수 대상 유량이 너무 커서 가배수 터널이나 제내 가배수로로 처리하는 것이 비경제적일 때, 댐 자체의 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 ①과는 반대로 대상 홍수유량이 적고 하천 폭이 비교적 넓은 경우에는 한쪽의 하안에 따라서 개거를 설치해서 가방류하는 일이 있다.

4.4.4 가배수 터널

(1) 일반사항

① 가배수로로서 사용된 암거 또는 터널을 사용 후, 취수시설 및 긴급 방류공 용수로로서 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 초기에 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 또한 공사기간 동안의 홍수유출에 대처하기 위해서 계획터널의 하류단에

농업용댐 가배수공 설계

서 시작하여 상류단으로 시공하는 것이 보통이다. 또한 터널이 관통된 후 콘크리트 라이닝을 하는 시기는 갈수기로 정하는 것이 바람직하다. 그러나 댐 건설 공정상 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

① 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 수위 차가 있으므로 폐쇄작업을 비교적 안전하게 수행할 수 있다. 또한 다른 댐형식과는 달리 필댐의 경우에는 댐 자체 내에 구조물을 설치할 수 없으므로 방류설비 등으로 가배수 터널을 전용하는 경우가 많은데 터널이 복수이면 한쪽은 배수에 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.
- 라. 따라서 가배수 계획에 있어서 이와 같은 여러 가지 점과 경제성을 비교 검토하면서 적정한 터널 수를 결정해야 한다.

(3) 복수 터널의 경우 중심간격

① 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

① 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

① 가배수 터널의 단면형에는 원형, 표준 마제형(2r형), 표준 마제형(3r형) 및 측벽직형 등의 네가지가 있다. 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. 터널단면적의 크기는 터널의 길이, 암석의 질 및 시공법에 따라 다르다.

(6) 가배수 터널의 평면선형

① 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 곡선구간의 시점과 종점 부분에 주 곡선수로의 곡률반경 r 의 2배, 중심각 θt 인 완화곡선 수로를 설치하는 방법이다.

$$r_t = 2r$$

$$\Theta_t = \tan^{-1} \left| \frac{b}{(r_t + 0.5b) \tan \beta_o} \right|$$

여기서, b 는 터널수로의 폭이며, β_o 는 주 곡선수로의 만곡각이다.

(7) 가배수 터널의 수리조건과 라이닝

① 가배수 터널의 단면은 계획 홍수 유량을 안전하게 하류에 유하시킬 수 있는 단면이여야 한다. 가배수 터널의 라이닝 설계에 있어서의 일반적인 사항을 열거하면 다음과 같다.

가. 가배수 터널의 라이닝이 유무는 공사비의 비교 및 터널 통과지의 암반이 통수보호 공없이 견딜 수 있는지의 여부 또는 통과수량의 양에 의해 검토한다.

나. 라이닝은 전주(全周), 반주, 인버트의 콘크리트 라이닝, 전주 또는 일부 모르타르

농업용댐 가배수공 설계

콘크리트 뿐만 아니라 불이기, 전주 바르지 않는 것, 이의 조합이 있다.

다. 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.

② 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 감소 시키도록 배려해야 한다.

③ 터널 내벽의 라이닝 여부에 따라 터널의 조도계수가 달라지므로 소요 통수 단면적의 크기 도달라진다. 일반적으로 라이닝하는 편이 수리학적으로 유리하지만 가배수 터널의 폐쇄시 시공성의 문제도 함께 검토해야 한다.

가. 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.

나. 터널 라이닝의 뒷면과 굴착 암반 사이에 충분한 그라우팅하므로 터널 내의 유수로 인한 내압을 굴착암반으로 전달할 뿐만 아니라 누수를 방지도록 할 필요가 있다. 이 때 그라우팅 주입압은 압력터널의 경우 설계수두의 2~3배, 무압터널의 경우에는 0.2~0.5 MPa 정도로 하는 것이 보통이다.

다. 또한, 터널 굴착이 완료된 후에 단층 등이 있어 터널폐쇄 등의 사고가 발생하지 않도록 해야 한다.

(8) 내외수압에 대한 설계조건

① 댐 저수에 의해 터널 라이닝에 작용하는 내외수압의 크기는 터널 중심선에서 계획 만수까지로 하고 각 터널형식에서의 유의사항은 다음과 같다.

가. 터널 유출구에 제수 및 조절게이트 또는 벨브를 설치하는 경우

(가) 취수시설 등에 이용하기 위하여 터널 출구에 제수, 조절게이트 또는 벨브를 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 전 구간을 압력터널로서 설계한다. 또 댐의 수위가 급강하했을 경우 외수압이 잔류하는 일이 있으므로 지수존 상류는 외수압에 대해서도 검토해야 한다.

(나) 충분한 지수존을 설치하고 내수압과 그라우트압을 고려해서 구조설계한 경우 하류 측에 대해서는 외수압에 대해서 검토하지 않아도 좋은 경우가 많

다.

나. 터널입구에 제수, 조절게이트 또는 밸브를 설치하는 경우

(가) 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 플리그로 완전 폐쇄하는 경우

(가) 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 플리그 및 지수존을 설치함과 동시에 지수존에서 하류에 배수공을 설치하면 외수압에 대한 검토는 필요치 않다. 내외 수압에 대한 구조적 검토는 압력터널의 항에 준해서 설계한다.

(9) 라이닝의 구조설계

① 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. 설계 조건은 <표 4.4.-1>에 의한다.

<표 4.4.-1> 가배수 터널 라이닝의 설계조건

설계조건		경우
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

① 시공구간

가. 댐 부대터널에서는 라이닝 배면과 원지반사이의 공간충전, 터널주변의 암반강화 및 터널을 따른 침투수를 저지하기 위해 뒷채움 그라우팅과 컨솔리데이션·커튼 그라우팅을 한다. 따라서 전구간에 대해 저압충전 그라우팅하며, 그 다음에 지

농업용댐 가배수공 설계

수 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 지수 존 구간은 커튼 그라우팅과 함께 컨솔리데이션 그라우팅을 실시해서 터널 주변의 지반강화 및 누수를 방지한다.

② 뒷채움 그라우팅 주입재

가. 혼탁액

(가) 가장 많이 사용하는 주입재는 시멘트혼탁액이며, 시멘트혼탁액의 강도는 설계기준치를 만족하고 있으나 블리딩이 크게 발생하여 뒷채움 그라우팅용 충전재료로는 부적합하다. 이러한 재료는 결국 2차 주입을 하여도 완전충전의 품질확보를 보장받을 수 없다.

나. 모르타르

(가) 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 첨가없이는 주입공에서부터 주입공까지의 거리가 약 10 m 이상일 때는 주입배관이 막혀버린다.

(나) 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.

다. 신기술제품

(가) 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.

(나) 최근에는 이와 같은 문제점을 해소하기 위해 시멘트에 벤토나이트, 플라이 애시 등을 섞어서 블리딩율을 최소화(1 % 이내)하고 소요강도가 10 kgf/cm^2 이상(개발재료 30 kgf/cm^2) 발현되는 신제품(밸크단위)이 개발되었다.

라. 주입재 선정

(가) 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 시멘트 혼탁액을 사용한다. 이때도 블리딩을 최소화하기 위해서 벤토나이트를 시멘트 중량의 3~4 % 첨가해야 하며 $w/c=1\sim2$ 로 주입해야 한다. 그래도 블리딩율은

10 % 정도가 되므로 2차 주입이 필수적이다.

- (나) 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.

③ 주입장치

- 가. 일반적으로 주입은 낫풀에 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 블리딩으로 인한 공극이 있을 때는 주입공이 이미 막혀 버려서 추가주입을 하기가 어렵다. 즉 재천공을 해야 하는 번거로움이 생긴다. 이외에도 인접공으로 주입재가 누출되면 주입공이 막히게 된다.
- 나. 작업의 불편을 해소하기 위해 끝 부분을 엔비스듬하게 절단한 파이프(PVC, 스테인리스, 강관 등)를 공동의 수직높이만큼 설치한 후 급결성 코킹제 등으로 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 남아있게 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 공동안에 그대로 남겨 둔다.

④ 시공순서

- 가. 터널 뒷채움 그라우팅의 주입공간격은 4~6 m가 표준이다. 주입순서는 좌우측을 먼저 하고 중앙열 즉 아치부분은 하부주입공에서 집어넣은 주입재의 유출을 확인하면서 나중에 하는 것이 좋다.
- 나. 터널 방향에서 본 시공순서는 양끝부분에서 중앙으로 이동시키는 방법과 한쪽으로 밀어나가는 방법이 있다. 한쪽에서 해나가는 경우에는 하류측에서 개시하는 것이 원칙이다.
- 다. 링 커튼 그라우팅은 댐 터파기면 하부에 취수터널이 횡단할 대 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.
- 라. 터널의 종단방향을 따라 누수되는 것을 방지하기 위해 댐 기초지반 커튼그라우

농업용댐 가배수공 설계

팅에서 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.

마. 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 찬공주입의 범위가 터널굴착으로 인한 이완범위까지 미쳐야하며, 암반자체의 절리·파쇄대, 용해공동 및 불완전한 부분까지 처리되어야 한다.

⑤ 주입압력과 설계기준강도

가. 저압충전 그라우팅 주입압력의 표준은 2 kgf/cm^2 이며, 주입재의 고결 후 강도는 10 kgf/cm^2 이면 충분하다.

⑥ 뒷채움 주입량 계산

가. 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.

나. 주입량 = [설계 굴착단면 - (설계 라이닝콘크리트량 + 설계 널판량 + 터널내면의 단면)] $\times 1.2 \times$ 시공구간

(11) 배수공(weep hole)

① 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.

4.4.5 가배수로 수리 계산

(1) 가배수로 및 가물막이는 공사기간 중에 일어날 가능성이 있는 홍수를 가물막이 위를 물류시키지 않고 안전하게 하류에 유하시킬 수 있는 것이라야 한다. 설계에 있어서의 일반사항을 열거하면 다음과 같다.

① 가배수로의 형식으로서는 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.

가. 이것은 개수로형의 가배수로에도 적용되며 가배수로의 능력, 수위-유량 관계를 정확하게 파악하는데는 우선 전반적인 유황의 추이를 정확하게 알고 있는 것이 중요하기 때문이다. 가배수로의 흐름의 성질을 결정하는 요소는 기울기, 크기, 형상, 길이, 수로의 조도, 유입부·유출부의 형상 등으로서 이것들은 서로 조합되어 유로의 능력을 규정한다.

나. 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.

③ 상류 기울기의 가배수 터널

가. 터널 유입구가 잡기지 않는 경우 상류기울기의 가배수 터널의 수리학적 규정점은 일반적으로 유출구에 있다. 그리고 유출구에서 흐름이 자유방류가 되는 경우에는 터널 유입구에서 한계수심이 발생한다.

나. 터널 유출구의 하류수위가 한계수심보다 높은 경우는 하류수위가 상류터널내의 흐름을 규정한다.

다. 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.

농업용댐 가배수공 설계

라. 하류수면이 터널 유출구를 잠기게 하는 경우, 상류 기울기의 터널에서는 전장에 걸쳐서 만류하고 유입구까지 잠기는 경우가 많다. 이 경우에는 터널전장이 만류가 될 때까지는 터널내의 흐름은 여전히 상류상태에 있고 수위유량관계는 베르누이 공식에 의해서 구할 수 있으며, 터널 전장이 만류된 경우의 능력은 사이펀 공식에 의해 계산된다.

마. 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.

④ 급한 기울기의 가배수터널

가. 중소규모의 필댐에서는 공사비면에서 낙차를 충분히 이용해서 될 수 있는 한 작은 단면으로 최대한의 유량을 유하시키기 위해서 가배수 터널을 급한 기울기로 하는 경우가 많다.

나. 가배수 터널이 급한 기울기이고 유입구가 잠기게 된 경우는 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.

다. 터널 유입구가 잠기거나 또는 상류수심이 터널 지름 D의 1.2배 이상이 된 후에도 만일 규정점이 터널 유입구 부근에 머무른다고 하면 터널내에서 사류 상태의 개수로 흐름이 일어나는 일도 있다.

라. 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.

마. 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.

바. 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. 이 시기의 흐름은 앞의 설명에서도 이해가 되는 바와 같이 극히 불안정하며 유황은 흐트러지고 유량은 맥동해서 정확하게 파악하기 어렵다.

- 사. 상류측 저수지 수위가 터널지름의 1.5배 이상이 되면 유입구가 만류상태가 되고 전구간이 만류상태가 된다. 흐름은 안정되고 유량은 보통 관수로의 흐름으로 써 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.

- 가. 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

⑥ 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 소정유량을 소정의 등류조건으로 유하시키는데 필요한 터널의 지름을 구하는 방법은 가배수로의 크기를 결정하는데 유용한 기초가 된다.

⑦ 터널의 단면형, 기울기 I , 조도계수 n , 수심, 반경비(터널내 등류수심 H 의 터널반경 r 에 대한 비 H/r 로서 일반적으로 1.6~1.8정도) 및 유량이 결정되면 터널 반경은 다음 식으로 구한다.

$$r = \left[\frac{nQ}{\alpha \beta^{2/3} I^{1/2}} \right]^{2/3}$$

여기서, $\alpha \beta^{2/3}$ 은 터널의 단면형, 수심, 반경비 H/r 에 따라 달라지는 계수

⑧ 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 해

농업용댐 가배수공 설계

서 터널의 지름을 결정할 수도 있다.

- ④ 한계수심의 계산 방법, 공구, 관수로 상태인 경우의 유량은 각각 해당되는 수리공식에 의해서 계산한다.

(나) 만류시의 수로기울기와 유입구에 있어서의 수축

- ⑤ 수로의 기울기가 마찰기울기 보다 급하면 만관류인 경우의 압력 기울기는 관 중심선으로부터 아래쪽이 된다.
- ⑥ 이 동수기울기가 거기서부터 수직으로 측정한 관수로내의 어떤 점과의 높이 차가 그 점에서 생기는 부압의 크기를 나타낸다.
- ⑦ 이 부압이 기압에 가까워지면 절대 압력이 증기압에 가까워지므로 공동현상이 발생한다. 관내의 잔존압력이 대기압보다 낮으면 압괴가 일어날 염려가 있다. 관수로의 표면에 따라서 공동현상이 발생하는 것을 피하기 위해서는 절대압력의 최저치를 증기압보다 큰 어떤 값으로 제한해야 한다.
- ⑧ 관내 압력저하는 유입구 직하류의 관수로 정상에서 최대가 된다. 이 점의 압력은 유입구의 형상에 따라 더욱 저하할 수 있다.

$$hv + he + hr = hSA + (H-D)$$

여기서, hr 은 수축에 의한 압력수두의 저하, hv 는 속도수두, hSA 는 부압의 크기이다.

- ⑨ 물의 증기압은 온도에 의해서 변화한다. 0°C의 경우에는 증기압은 약 6cm의 수두와 같고, 15°C에서는 약 0.42 m가 된다.
- ⑩ 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.
- ⑪ 유선형의 유입구에서의 압력저하는 거의 일어나지 않지만 예정이 돌출된 유입구에서는 거의 속도수두와 동일한 만큼의 압력저하가 있다. 예정의 4각 유입구에서는 압력저하는 0.7 kgf에 가깝다.

- ⑫ $\Delta h = f_1 + \frac{V^2}{2g} + \frac{1}{2g}(V^2 - V_o^2)$ 를 손실계수의 항으로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$\frac{V^2}{2g}(k_v + k_e + k_r) = h_{SA} + (H - D)$$

$$\frac{V^2}{2g} = h_v \frac{h_{SA}(H-D)}{R_v + k_e + k_r}$$

여기서, k_r 은 압력저하계수, k_e 는 유입계수, k_v 는 속도수두계수이다.

<표 4.4.-2> 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 $ke = 0.5$, $kr = 0.7$, $kv = 1.0$ 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 수면 간의 전낙차를 $D = 1.2 m$, $f = 0.023$ 이라 하면 손실수두 HT 는 다음 값이 된다.

$$H_T = \frac{V^2}{2g} (1.5 + f \frac{L}{D})$$

$$H_T = 2.45 (1.5 + \frac{0.023 \times 60}{1.2}) = 6.49 m$$

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.

4.5 폐쇄공

(1) 가배수 터널 및 제내 가배수로는 사용 후 폐쇄하는 것을 원칙으로 하며, 터널이나 가배수로를 통하여 누수되는 것을 방지하도록 설계한다. 또한, 폐쇄 시기는 안전성을 고려해 갈수기에 행하는 것이 좋으며, 유수를 차단함으로서 하류에 발생하는 수리권자의 피해를 최소화할 수 있도록 검토한다.

4.5.1 폐쇄 위치와 길이

(1) 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. 플러그의 위치 및 길이는 원지반의 지질, 구조, 강도, 투수성 등에 의해 위치, 길이를 검토해야 한다. 설계 시 고려사항은 다음과

농업용댐 가배수공 설계

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 닫음으로써 저수가 되도록 하였다. 또 비관개기에는 게이트를 열어 유입수나 토사를 배제하도록 해왔다. 농업 용 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 차수기 능과 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)

(가) 소규모 댐인 경우

$$L = \alpha \frac{P \cdot A}{\tau \cdot I}$$

여기서, L은 플러그의 길이(m), P는 작용수압 강도(tf/m³), A는 플러그의 면적(m²),

τ 는 플러그 콘크리트와 암의 접속면의 전단강도(tf/m²)로서,

작은 댐인 경우에는 $\tau = 0.46 \cdot \sqrt{\sigma_{ck}}$,

큰 댐인 경우에는 $\tau = 0.23 \cdot \sqrt{\sigma_{ck}}$ 을 사용한다.

I는 플러그 콘크리트와 암의 접속부의 주변길이(m),

α 는 안전율($\alpha = 4$ 로 하면 충분히 안전하다).

(나) 대규모 댐인 경우

- ⓐ 플러그의 길이는 내외의 시공실적 등으로부터 $L = (0.3 \sim 0.8) \cdot H$ (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).

나. 활동(sliding)에 대한 소요길이

$$L = \frac{n p A_o}{1.35 f A_o + B \tau}$$

$$n = \frac{fV + \tau A}{H}$$

② 여기서, f 는 내부 마찰계수($f = 0.75$), V 는 연직응력(= 폐쇄 단면적(A_o) × 폐쇄길이(L) × 콘크리트의 수중단위중량), H 는 수평력($= p \cdot A_o$), A 는 전단응력을 받는 면적(= 폐쇄폭 × 폐쇄길이), n 은 안전율(보통 4 이상)이다.

다. 폐쇄 주변의 고정을 위한 소요길이

④ 등분포하중 p 가 주변이 고정된 원형판에 작용할 경우, 원둘레 방향의 모멘트 M_r 과 반경방향의 모멘트 M_t 는 각각 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$M_r = \frac{pa^2}{16} \left[(3 + v) \left\{ 1 - \left(\frac{r}{a} \right)^2 \right\} - 2 \right]$$

$$M_t = \frac{pa^2}{16} \left[(1 + 3v) \left\{ 1 - \left(\frac{r}{a} \right)^2 \right\} - 2v \right]$$

여기서, a 는 폐쇄부의 반경, v 는 콘크리트의 포아슨 비($v = 0.2$), r 은 터널 폐쇄부의 중심으로부터 반경방향으로의 거리이다.

따라서, 폐쇄부의 주변($r/a = 1.0$)에서는

$$M_r = \frac{pa^2}{8}$$

$$M_t = M_r \cdot v$$

여기서, 원둘레 방향의 모멘트 M_r 로 인한 콘크리트의 인장응력 σ 는 M_r 을 다음 식으로 표시되는 콘크리트의 단면계수 W 로 나누면 구해진다. 즉,

$$W = \frac{bL^2}{6}$$

여기서, b 는 단위 폭이며, L 은 콘크리트 원형판의 두께이다.

$$\sigma = \frac{M_r}{W} = \frac{3}{4} \frac{pa^2}{bL^2}$$

따라서, 폐쇄공의 소요길이는

$$L = a \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{3p}{\sigma}}$$

여기서, α 는 안전율이다.

라. 암반의 누수에 대한 차수길이

⑤ 폐쇄공의 소요길이에다 암반의 균열 등으로 인한 누수를 방지하기 위하여 추가적으로 길이를 확보하는 것이 좋다.

⑥ 플러그의 보강

가. 덮인 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

농업용댐 가배수공 설계

있다. 보강방법으로서는 충분한 컨솔리데이션 그라우팅을 실시하든가 콘크리트에 의한 내부보강을 하는 방법이 있다.

나. 원지반의 지질이 나쁜 곳에서는 그라우팅 효과가 얻어지기 어려운 경우가 많으므로 후자의 콘크리트에 의한 내부 보강방법이 유효할 것이다.

다. 특히 화산암지대에서는 원지반의 깊은 곳까지 암질이 불량한 경우가 많으므로 어느 정도 길게 할 필요가 있다.

4.5.2 폐쇄의 시기와 형식

(1) 폐쇄의 시기

- ① 가배수 터널의 폐쇄시기에 대해서는 폐쇄공사 자체의 안전성으로 보아 갈수기에 하는 것이 바람직하다. 그러나, 폐쇄공으로 유수를 차단함으로서 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.
- 가. 제내 가배수로를 다단(多段)으로 설치하여 유수의 차단기간을 짧게 해서 하류에 영향을 적게 미치도록 한다.
- 나. 가배수 터널 내에 밸브 등을 설치한다.
- 다. 부득이 한 경우에는 유수 차단기간 중에 펌프 양수에 의해 하류 유황을 유지시킨다.

(2) 플러그 형식

- ① 가배수 터널의 전용계획이나 터널의 수에 따라 형식은 달라진다. 그리고 폐쇄 플러그의 적용 예를 표시하면 다음과 같다.

가. 터널 수가 복수 또는 콘크리트 댐 등에서 가배수 터널을 다른 목적으로 전용하지 않는 경우에는 내공단면을 모두 충전 폐쇄한다. 이 때에는 다른 쪽 터널 또는 콘크리트댐에 있어서는 제내 가배수로를 이용해서 흐름을 배제하면서 폐쇄 플러그를 시공한다.

나. 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.

4.5.3 시공

- (1) 플러그 콘크리트는 될 수 있는 대로 원지반과 일체화시켜서 활동, 누수방지를 힘써야 한다. 플러그의 설계, 시공의 일반적 사항을 들면 다음과 같다.

① 플러그 방식

가. 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 화폭부(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 걸린다.

댐 본체가 타설된 시점에서의 발파는 제체에 악영향을 줄 염려가 있다.

- 나. 당초부터 물막이 구간을 정해놓고 그 부분만은 미리 확폭부를 설치하거나 강재 널 말뚝을 사용함으로써 물막이할 때 라이닝을 부수지 않고 속에 묻는 콘크리트 만을 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 신구 콘크리트의 밀착에 만전을 기하기 어렵다.

- ② 플러그 콘크리트는 암반과 밀착하는 것이 필요하며, 따라서 플러그 부분은 나무널 말뚝을 사용하지 않고 록 볼트, 콘크리트 뽑어 붙이기 등으로 산턱의 붕괴를 방지하는 것이 바람직하다. 때에 따라서는 강재 널말뚝을 사용하는 경우도 있다.

- 가. 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

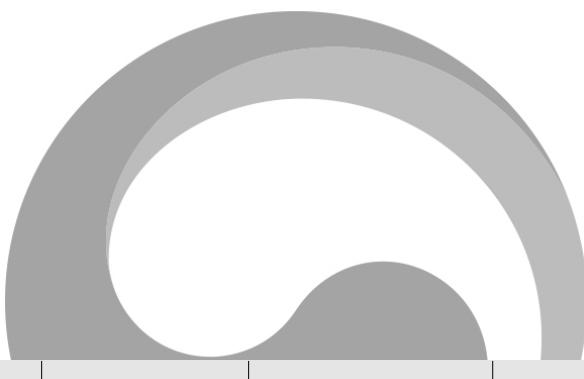
- 가. 플러그 부분의 넓히기, 널말뚝 제거는 터널이 큰 단면일수록 곤란하게 되므로 넓히기, 널말뚝 제거를 하는 본 플러그의 부분은 가급적 최소한으로 하고 누수에 대비함과 동시에 검사로 하는 경우도 있다.

- ④ 폐쇄 콘크리트의 타설 및 냉각

- 가. 폐쇄 콘크리트의 운반은 콘크리트 펌프, 벨트 컨베이어, 트럭 등으로 하며, 폐쇄 구간에 지표면으로부터 사畋(斜坑)을 설치하여 콘크리트를 투입하는 방법이 사용되는데, 터널의 아치 크라운(arch crown) 부분에 콘크리트를 충전하는 방법에는 프리팩트(prepact) 콘크리트를 사용하는 방법, 콘크리트 펌프를 사용하는 방법, 벨트 컨베이어를 사용하는 방법 등이 있다.

- 나. 플러그 콘크리트는 둘레가 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.

집필위원	분야	성명	소속	직급
관개배수	김선주	한국농공학회	교수	
농업환경	박종화	한국농공학회	교수	
토질공학	유 찬	한국농공학회	교수	
구조재료	박찬기	한국농공학회	교수	
수자원정보	권형중	한국농공학회		책임연구원



자문위원	분야	성명	소속
	농촌계획	손재권	전북대학교
	수자원공학	윤광식	전남대학교
	지역계획	김기성	강원대학교
	수자원공학	노재경	충남대학교
	농지공학	최경숙	경북대학교
	관개배수	최진용	서울대학교

건설기준위원회	분야	성명	소속
	총괄	한준희	농림축산식품부
	농업용댐	오수훈	한국농어촌공사
	농지관개	박재수	농림축산식품부
	농지배수	송창섭	충북대학교
	용배수로	정민철	한국농어촌공사
	농도	조재홍	한국농어촌공사 본사
	개간	백원진	전남대학교
	농지관개	이현우	경북대학교
	농지배수	남상운	충남대학교
	취입보	김선주	전국대학교
	양배수장	정상옥	경북대학교
	경지정리	유 찬	경상대학교
	농업용관수로	박태선	한국농어촌공사 본사
	농업용댐	손재권	전북대학교
	농지배수	김정호	다산컨설턴트
	농지보전	박종화	충북대학교
	농업용댐	김성준	전국대학교
	해면간척	박찬기	공주대학교
	농업수질 및 환경	이희억	한국농어촌공사 본사
	취입보	박진현	한국농어촌공사 본사

중앙건설기술심의위원회	성명	소속
	이태욱	평화엔지니어링
	성배경	건설교통신기술협회
	김영환	한국시설안전공단
	김영근	전화
	조의섭	동부엔지니어링
	김영숙	국민대학교
	이상덕	아주대학교

농림축산식품부	성명	소속	직책
	한준희	농업기반과	과장
	박재수	농업기반과	서기관

설계기준
KDS 67 10 40 : 2018

농업용댐 가배수공 설계

2018년 04월 24일 발행

농림축산식품부

관련단체 한국농어촌공사
58217 전라남도 나주시 그린로 20(빛가람동 358) 한국농어촌공사
☎ 061-338-5114 E-mail : webmaster@ekr.or.kr
<http://www.ekr.or.kr>

(작성기관) 한국농공학회
06130 서울시 강남구 테헤란로 7길 22(역삼동 365-4) 과학기술회관 본관 205호
☎ 02-562-3627 E-mail : j6348h@hanmail.net
<http://www.ksae.re.kr>

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

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