

# 농업생산기반정비사업계획설계기준

수 로 편

농 립 부

# 요 약

## 1. 개정의 동기 및 주안점

1988년 농림부에서 제정한 「농지개량사업계획설계기준 수로공편」은 16년이 경과되어 여러 가지 개정과 보충이 필요하게 되었다. 그 동안 과학기술의 발달에 힘입어 농업과학 기술도 발전하였으며, 농어촌정비법, 환경관련법령 등이 제정 또는 개정되어 이에 따른 수정도 요구되었다. 또한 농업과학의 기술과 건설기술의 발전과 함께 사회적, 경제적, 환경적 여건이 크게 변화하여 새로운 기술도입이 필요하여 설계기준의 개정이 필요하게 되었다.

금번 개정된 「농업생산기반정비사업계획설계기준 수로편」은 환경친화적인 수로의 설계, 시공 및 관리에 특별히 주안점을 두었으며, 그 동안의 여건의 변화와 기술의 발전에 따라 검토되었던, 조절시설, 수로교, 관수로 계측시설, TM/TC의 물관리 도입, 콘크리트의 신·수축이음 설계 및 환경친화적인 수로의 설계, 시공 및 유지관리가 되도록 연구 검토하여 수록하였고, 종전의 유지관리에서 더 나아가 수로의 개보수편을 신설하여 보수보강에도 역점을 두었다.

기존의 수로공편에서는 다루지 않았던 환경 친화적인 수로를 만들고 관리하기 위하여 수로의 계획에 환경적 적용, 환경 친화적 수로의 기본방향, 환경조사, 환경친화적 수로계획, 환경친화적 수로설계, 공사기간 중 환경관리 등을 각 장별로 해당하는 부분에 소항목을 신설하여 설명을 수록하였다.

또한 우리나라 농업물관리 구역에서 집중물관리를 시행하여 물을 절약하고 인력을 줄여서 효율적이고 능률적인 물관리를 하도록 TM/TC의 물관리체제로 점차 확대 실시해야 한다고 본다.

그리고 신규 농업용 댐의 신설이 여러 가지 사회적인 여건상 어려워짐으로 보다 효율적이고 합리적인 물관리를 위하여 기존 수리시설과 더불어 수로공의 개보수에도 중점을 두어 유지관리뿐만 아니라 농업용수의 합리적 이용이 가능하도록 보수보강함으로써 부족한 농업용수를 보충할 수 있게 하였다.

따라서 수로편은 현대적 과학기술에 부응함으로써 21C의 농업용수 수요와 공급을 원활히 하고 친환경적인 농어촌의 개발과 선진 농어촌건설에 크게 기여하도록 하는데 역점을 두어 개정하게 되었다.

## 2. 개정의 주안점

### 2.1 편제

- 1) 주요 항목별로 Box 안에 특성과 이론 및 현지 여건에 부합되는 설계, 시공, 유지관리가 되도록 기본적이고, 규범이 되며, 명확한 사항만을 규정하는 기준을

기록하였다.

- 2) Box 기준 다음에는 기준과 이론을 적용할 사항과 일반적인 기술해석, 표준적인 설계사례, 기타 참고가 되는 국내·외 설계자료 및 설계 실무요령과 계산 예를 기술함으로써 기술자와 실무자가 쉽게 접근할 수 있게 하였다.

## 2.2 내용

### 2.2.1 공통사항

- 1) 국내·외 관련자료 수집을 하고, 해당 전문가의 의견을 최대한 수렴하여 개정하였다.
- 2) 새로운 계획설계기준의 객관성과 적합성을 검토하여 실용적 활용도를 높이도록 하였다.
- 3) 새로운 법령이나 기준 및 제도의 개정 및 신설에 따라 필요한 사항을 개정하였다.
- 4) 기존의 한글·한문 혼용에서 새 맞춤표기법에 따른 한글 표준어로 통일하였다. 전문적인 기술용어는 필요한 경우 외래어 또는 한문을 병기하여 이해를 증진시켰다.
- 5) 도표내용은 최신의 자료를 수록하고, 인용된 자료는 근거를 명시하였다.

### 2.2.2 기술적 사항

- 1) 환경친화적 수로는 수로계획 시에 수로의 이수기능에 환경과 조화 되도록 환경 기능을 고려한 계획이 수립되도록 하였으며, 「2.2.5 환경에 관한 조사」에서 예시를 통하여 개황조사와 세부조사를 통하여, 수로 건설로 인한 환경과 어울리고 환경영향평가를 통한 안정성과 경관이 조화되고, 위험지역이나 쓰레기 및 수질오염장소에 보다 더 세밀한 계획을 수립하도록 하였으며, 「3.1.10 친환경 수로계획」을 신설하여 수로계획단계부터 친환경성을 고려하여, 아름답고 수로와 조화된 농촌이 되도록 배려하였다.
- 2) 개수로는 일반적으로 개거를 많이 추진하다가 최근에는 관수로로 변경하여 시공하는바 유지관리면에서는 어려움이 있을 수 있으나 오염을 방지하는 효과는 있는 것으로 예상된다.
- 3) 관수로는 농업용수에도 여러 가지 지형상, 또는 수리학상 수리구조물(관수로, 암거, 낙차공, 급류공 등)이 필요로 하지만 유지관리에 보수보강이 지속적으로 이루어지고 보다 적극적인 면으로 관재료와 시공성을 제고시키는 방향이 내구연한을 연장시킬 수 있는 효과가 있다고 사료된다.
- 4) 개수로에 작용하는 하중에서는 매설수로에 작용하는 하중분포조합을 도로횡단 부인 경우 박스형 암거 및 사이편에 작용하는 하중의 조합을 수록하여 하

중작용에 안전성을 고려하였다.

- 5) 「4.2.4 환경친화적 수로」를 신설하여 기존의 수로설계에 필요한 기능과 안전성을 확보하고 합리적인 물관리가 이루어지도록 하는 동시에 자연이 가진 다양성의 존중, 수로의 아름다운 수변과 물 순환의 보전 및 창출, 생태계가 고립되지 않도록 물과 수변식물의 상호연계가 되도록 하는 방향으로 설계를 하도록 구상하였다. 특히 환경친화적 수로설계는 궁극적으로 이수 및 치수 목적상 정비가 필요한 수로에서 가급적 수로의 환경을 크게 훼손하지 않고 자연 상태의 모습에 가깝게 유지하도록 하고, 우리나라의 수로의 특성에 적합한 구조와 안정성을 갖추면서 주위의 문화재, 경관 등을 고려하여 지역주민에게 쾌적한 생활 공간을 제공할 수 있도록 배려하였다.
- 6) 환경친화적 설계, 시공, 관리를 위하여 각 장별로 해당분야에 수록하였고, TM/TC을 응용한 물관리 자동화 설계와 개수로 및 관수로, 수로교, 터널, 암거, 낙차공 및 급류공은 새로운 설계기준에 맞도록 개정하여 수록하였다.
- 7) 「5.5 공사기간 중 환경관리」는 환경·교통·재해 등에 관한 영향평가법에 근거하여 시행하고, 환경영향평가 내용과 환경에 대한 협의 내용을 준수하는 것을 언급하였다. 뿐만아니라 공사기간중 환경관리에 대하여 세심한 주의를 요하는바 자연환경·생태계 및 주민의 생활환경 등 시공중에 인위적으로 훼손 또는 오염이 안되도록 보호해야 하는 것으로 했다.
- 8) 「6.5 친환경 수로의 유지관리」와 「제 7장 개보수 대책」을 신설하여 시공 후 장기간이 경과한 용·배수로시설의 개보수에 도움이 되도록 하였다. 그러나 개보수 의 정도는 현재의 노후화 정도, 그 원인, 내구성, 기능성 등의 판단에 따라 달라 진다. 실제의 개보수계획에 있어서는 목적, 현장조건, 내구성, 유지관리대책, 시공 성, 경제성 등을 종합적으로 검토하고, 기술개발 동향이나 경험있는 기술자의 의 견을 들어서 적절히 처리하는 것이 중요하다.

# 차 례

<b>제1장 일반사항</b> .....	1
1.1 적용범위 .....	1
1.1.1 적용 수로 .....	1
1.2 수로의 분류 .....	2
1.2.1 목적에 의한 분류 .....	2
1.2.2 계통에 의한 분류 .....	3
1.2.3 형식에 의한 분류 .....	3
1.3 수로의 조직 .....	4
1.3.1 통수시설 .....	4
1.3.2 분수공, 계측시설 및 합류시설 .....	4
1.3.3 조절시설 .....	4
1.3.4 보호시설 .....	5
1.3.5 안전시설 .....	5
1.3.6 관리시설 .....	5
1.3.7 부대시설 .....	5
1.3.8 기타 관련 수리시설 .....	5
1.4 수로설계의 기본 .....	5
1.4.1 설계의 기본 .....	6
1.4.2 관계 법령의 준수 .....	7
1.5 수로설계의 순서 .....	7
1.5.1 설계의 일반적 순서 .....	7
1.5.2 수로계획과 환경과의 조화 .....	7
1.6 수로시공의 기본 .....	10
1.6.1 시공의 기본 .....	10
1.6.2 시공 .....	10
1.7 수로의 개보수 및 변경사업 .....	11
<b>제2장 조사</b> .....	12
2.1 조사의 기본 .....	12

2.1.1 조사계획	12
2.1.2 조사의 단계	12
2.1.3 조사항목	14
2.2 조사	15
2.2.1 지형조사 및 측량	15
2.2.2 지질·토질조사	17
2.2.3 기상·수문조사	30
2.2.4 입지조건 조사	33
2.2.5 환경에 관한 조사	36
2.2.6 관리에 관한 조사	44
<b>제3장 설계의 기본사항</b>	<b>46</b>
3.1 일반사항	46
3.1.1 기본구상	46
3.1.2 설계순서	47
3.1.3 설계유량·설계수위	59
3.1.4 수로형식의 선정	64
3.1.5 노선선정	66
3.1.6 통수시설의 공중선정	69
3.1.7 공중선정시의 유의사항	73
3.1.8 수두배분	76
3.1.9 구조물의 비교설계	82
3.1.10 친환경 수로계획	83
3.2 수리설계	91
3.2.1 일반사항	91
3.2.2 평균유속 및 등류계산	92
3.2.3 손실수두	107
3.2.4 허용유속	115
3.2.5 수로의 여유고	119
3.2.6 부등류	122
3.2.7 부정류	130
3.3 구조설계	133
3.3.1 일반사항	133
3.3.2 하중	133

3.3.3 기초반력	136
3.3.4 개수로에 작용하는 하중	138
3.3.5 매설구조물에 작용하는 하중	148
3.3.6 무근 및 철근콘크리트	157
3.3.7 토공구조물	170
3.3.8 연약지반	172
<b>제4장 수로시설의 설계</b>	<b>179</b>
4.1 수로시설의 분류	179
4.1.1 일반사항	179
4.1.2 수로시설의 구성 및 분류	179
4.2 개수로	180
4.2.1 개수로 형식의 선정	180
4.2.2 개수로 설계의 기본사항	182
4.2.3 구조설계	187
4.2.4 환경친화적 수로	204
4.3 터널	228
4.3.1 일반사항	228
4.3.2 구조설계	231
4.4 암거	239
4.4.1 일반사항	239
4.4.2 수리설계	241
4.4.3 구조설계	250
4.4.4 설계 세부사항	254
4.5 수로교	261
4.5.1 일반사항	261
4.5.2 수로교의 분류	262
4.5.3 수리설계	266
4.5.4 구조설계	267
4.5.5 철근콘크리트 수로교 설계	274
4.6 역 사이편	279
4.6.1 일반사항	279
4.6.2 수리계산	280
4.6.3 구조설계	282

4.6.4 부대시설	288
4.7 낙차공 및 급류공	291
4.7.1 일반사항	291
4.7.2 설계 순서와 요령	292
4.7.3 형식선정	308
4.8 조절시설	341
4.8.1 일반사항	341
4.8.2 수위조절 시설	343
4.8.3 수로 물넘이	357
4.8.4 방수공	365
4.8.5 조절지	370
4.8.6 배수문, 배수통문	372
4.9 분수공, 합류공 및 계측시설	375
4.9.1 분수공	375
4.9.2 합류시설	394
4.9.3 계측시설	401
4.10 보호시설 및 안전시설	414
4.10.1 보호시설	414
4.10.2 안전시설	426
4.11 관수로	427
4.11.1 일반사항	427
4.11.2 농업용 관수로 시스템 계획	429
4.11.3 관수로 수리(水理)설계	447
4.11.4 관수로 구조설계	513
4.11.5 관 설계	554
4.11.6 밸브설계	577
4.11.7 부대시설	586
4.12 물관리 자동화시설(TM/TC)	607
4.12.1 일반사항	608
4.12.2 TM/TC 조사	611
4.12.3 TM/TC 기초단계 설계	615
4.12.4 TM/TC 시설계획	620
4.12.5 자동화시스템 설계	622
4.12.6 물관리 S/W	628



<b>제5장 시공</b>	632
5.1 시공계획 및 시공관리	632
5.1.1 시공계획	632
5.1.2 시공관리	634
5.2 가설공사	643
5.2.1 일반사항	643
5.2.2 설비계획	644
5.2.3 준비 및 뒷정리	648
5.3 본공사	649
5.3.1 일반사항	649
5.3.2 토공	651
5.3.3 콘크리트 공사	653
5.3.4 콘크리트 공장제품의 시공	667
5.3.5 관수로의 시공	670
5.4 시험통수	685
5.4.1 일반사항	685
5.4.2 관수로의 통수시험과 계측	686
5.5 공사기간 중 환경관리	691
5.5.1 일반사항	691
5.5.2 공사 환경관리	692

<b>제6장 관리</b>	696
6.1 관리개요	696
6.2 관리계획	697
6.2.1 일반사항	697
6.2.2 기본사항	698
6.2.3 시설의 관리방법	699
6.3 물관리	699
6.3.1 용수계통 물 관리	700
6.3.2 배수계통 물 관리	700
6.3.3 용수로 침투 손실에 대한 관리	701
6.4 시설관리	702
6.4.1 관리계획	702
6.4.2 보수 점검계획	703

6.4.3 시설 유지관리 .....	705
6.5 친환경 수로의 유지관리 .....	707
6.5.1 유지관리의 목적 및 범위 .....	707
6.5.2 유지관리 내용 .....	708
<b>제7장 개보수</b> .....	<b>709</b>
7.1 개보수 대책 .....	709
7.1.1 구조물의 개보수를 위한 조사 및 시험 .....	709
7.1.2 개보수를 위한 진단 .....	715
7.1.3 개보수에 대한 유의사항 .....	720
7.1.4 조사시험 예 .....	722
7.2 보수, 보강공법 .....	725
7.3 개보수사례 .....	728
7.4 개보수 설계상 유의사항 .....	730

# 제 1 장 일 반 사 항

## 1.1 적용범위

이 설계기준은 합리적이고 이상적인 수로의 설계와 시공을 위하여 일반적으로 표준이 되는 기술기준을 정한 것이다. 여러 가지 다른 조건하의 각각의 수로설계 및 시공에 대해서는 그 수로의 목적, 계통, 조직, 규모, 지형, 지질, 환경 및 기타 입지조건에 따라서 이 기준을 기술적, 환경적 및 경제적으로 검토하여 적절히 적용하여야 한다.

### 1.1.1 적용수로

이 기준은 농업용수의 송수 및 농지의 배수를 주목적으로 하는 수로에 적용한다. 용도, 규모 등의 조건이 달라져 이 기준을 적용하기 어려울 경우에는 별도로 검토를 한다.

#### 가. 수로의 구분과 적용수로

1) 수로는 계획된 목적을 가지고 정해진 양의 물을 어느 지점에서 다른 지점까지 보내는 일련의 구조물(분수, 계측, 합류 등의 구조물 포함)이다. 그 기능이나 수리특성 면에서 물의 송수(送水)를 주목적으로 하는 조직과 배수(配水) 또는 집수(集水)를 목적으로 하는 조직으로 나눈다.

이 기준에서는 주로 농업용수 및 농지배수를 목적으로 하는 수로조직에 대하여 취급한다.

2) 수로 중 농업용수의 송수 및 농지의 배수를 주목적으로 하지 않는 경우, 즉 운수로, 이송수로(泥送水路), 생활용수 수로 및 농촌마을 배수로 등과 같은 수로는 원칙적으로 적용대상에서 제외한다. 또한 수로터널의 설계 및 시공에 대하여는 「농업생산기반정비사업계획설계기준 수로터널편」을 따른다.

#### 나. 적용수로 규모

일반적으로 농업생산기반정비사업의 대상이 되는 수로의 규모는 용수로에서 대략  $0.1 \sim 40 \text{ m}^3/\text{s}$ , 배수로에서  $0.2 \sim 100 \text{ m}^3/\text{s}$  정도의 범위이다. 이 기준에서는 용수로에서  $0.1 \sim 20 \text{ m}^3/\text{s}$ , 배수로에서  $0.2 \sim 50 \text{ m}^3/\text{s}$  정도의 수로를 주요설계 대상 규모로 한다.

반면에, 규모가 더 큰 수로에 대해서는 구조물의 중요도 등을 감안하여 물이용의 형태와 수리특성에 따라 수로 기능의 유지 및 안전성의 확보 등에 특별한 검토가 요구된다.

## 다. 대상유체

이 기준의 대상유체는 관개용수로서 사용가능한 물과 농지에서 배출되는 보통수질을 가진 물을 대상으로 한다. 그러므로 온수, 약액, 액비, 축산폐수 및 가정오수 등을 포함하는 경우는 수로의 재질이나 구조 등에 대하여 특별한 검토가 필요하다.

## 1.2 수로의 분류

이 기준에서는 수로를 사용목적, 계통 및 형식에 따라 다음과 같이 분류한다.

- 1) 목적에 따른 분류 - 용수로, 배수로, 용·배수 겸용수로
- 2) 계통에 따른 분류 - 용수로계(간선, 지선, 지거), 배수로계(간선, 지선, 지거)
- 3) 형식에 따른 분류 - 개수로 형식, 관수로 형식

### 1.2.1 목적에 따른 분류

#### 가. 용수로

용수로는 주로 농업용수를 송수하기 위한 농업용수 전용수로와 상수도용수, 공업용수, 발전용수 등을 겸하여 송수하는 다목적 수로가 있다.

#### 나. 배수로

배수로는 주로 농지 및 마을의 배수 또는 농지의 지하배수를 촉진하기 위한 수로로서 농작물의 양호한 생육조건을 확보하고, 영농작업의 기계화 등에 지장을 주는 잉여수를 배제하기 위한 수로와 농지의 침식 등을 방지하는 농지보전을 위한 수로 등이 있다.

#### 다. 용·배수 겸용수로

용수로와 배수로는 원칙적으로 분리하지만, 경사지 등에서 용수와 배수의 두 가지 기능을 갖는 수로로서, 예를 들면 ① 관개 시에는 용수로로, 홍수 시에는 배수로로 사용되는 수로, ② 상류부 논의 배수를 하류부에서 용수로로 사용하는 수로 등이다. 이들 수로는 소요단면 등의 수리적 여건을 확보하기 위하여 일반적으로 배수로 기능을 위주로 설계된다. ①의 수로를 용수로로 사용할 때는 적당한 보를 설치하기도 하나 이런 경우는 배수로로 사용할 때의 수로관리에 특히 주의해야 한다.

## 1.2.2 계통에 따른 분류

수로는 계통별로는 용수로계와 배수로계로 나눈다.

### 가. 용수로계

용수로는 간선용수로, 지선용수로 및 지거용수로로 구분한다. 이 기준에서는 수원 취수점에서 도수하여 주요 관개지역에 송수하는 기간적 기능을 갖는 수로를 간선용수로라 하고, 여기서 분기하여 각 관개구역에 송수하는 수로를 지선용수로로, 여기서 다시 분기하여 경지에 직접 급수하는 수로를 지거용수로라고 한다. 또한 간선용수로 중 수원의 취수점에서 취수한 조정지나 대형 분수공과 주요 간선용수로에서 도수하는 도수로도 있으며 지선용수로 중에서 2차적, 3차적으로 분기하는 수로를 파선수로 또는 분선수로라고도 한다.

### 나. 배수로계

배수로계는 용수로의 역으로 하류 끝에서부터 간선배수로, 지선배수로, 지거배수로로 나눈다. 그 외에 수로의 계통 또는 기능에 의한 분류로서는 산록이나 기계배수지역과 자연배수지역의 경계 등에 지형조건에 따라 등고선과 거의 평행한 배수로를 설치하여 고위부의 물을 받아 배제함으로써 저위부의 피해 등을 경감하기 위한 승수로(承水路)나, 홍수처리, 토사배제, 수로유지관리 등의 목적으로 홍수량과 용수량의 일부 또는 전부를 하천, 바다 또는 호소에 방류하기 위한 방수로(放水路) 등이 있다.

## 1.2.3 형식에 따른 분류

이 기준에서는 수로계 전체를 그 주요부분의 수리특성과 구조 등에 따라 개수로 형식과 관수로 형식으로 구분한다.

### 가. 개수로 형식

자유수면을 갖는 수로의 형식이다. 이는 수로 조직으로 개수로, 터널, 암거, 사이펀, 수로교, 낙차공 등으로 구성된다. 사이펀 등과 같이 자유수면을 갖지 않는 관수로가 부분적으로 있어도 수로전체로서는 개수로 형식이라 한다.

### 나. 관수로 형식

자유수면을 갖지 않고 내수압을 받는 수로조직을 관수로(pipeline) 형식이라 한다. 이 형식은 구조적으로는 상류부에서 말단부까지 폐수로로 연결된 폐쇄형(closed type)

과 관수로의 도중 또는 말단에 자유수면을 갖는 스탠드(stand)를 설치한 개방형(open type)이 있다.

#### 다. 복합 형식

이 형식은 개수로 형식과 관수로 형식을 조합한 수로조직으로, 간선계통의 수로에서 상류부는 개수로, 하류부는 관수로로 하는 경우 등이 있다.

### 1.3 수로의 조직

수로의 조직은 다음과 같은 여러 가지 시설로 구성된다. 즉 통수시설, 분수공, 계측시설 및 합류시설, 조절시설, 보호시설, 안전시설, 관리시설 및 부대시설 등이다. 또한 수로는 여러 가지 시설로 구성되어 있고 그들이 서로 유기적으로 결합되어 수로조직을 형성하고 수로계 조직으로서의 기능을 하고 있다. 각 시설의 기능 및 분류는 다음과 같다.

#### 1.3.1 통수시설

통수시설은 물을 계속하여 흐르게 하기 위한 수로 조직의 주요한 부분을 구성하는 시설이며, 노선의 지형, 토지이용, 장애물 등의 입지조건에 따라 개수로 형식과 관수로 형식으로 나누고, 다시 개수로 형식 수로에는 개수로, 터널, 암거, 수로교, 사이펀, 낙차공, 급류공 등이 있다.

#### 1.3.2 분수공, 계측시설 및 합류시설

분수공은 간선용수로에서 지선용수로로 혹은 지선용수로에서 지거용수로나 포장 내 소용수로 등에 물을 그 필요한 양만큼 조절 배분하기 위한 시설이다.

계측시설은 용수이용의 효율화를 도모하기 위하여 통수량을 측정, 기록하는 시설로서, 보통은 분수공과 조합하여 분수량을 측정하고, 합리적인 배수(配水)를 하기 위하여 사용한다.

합류시설은 주로 배수로에 설치되는 것으로 지선배수로에서 간선배수로에 또는 포장 내 소배수로 등에서 지선배수로에 배수량을 합류 또는 유입시키기 위한 시설로 합류공 및 유입공 등이 있다.

#### 1.3.3 조절시설

수로의 분수 및 합류 등의 기능, 또는 수로의 안전성을 확보하기 위하여 수로내의

수위, 수압, 유속, 유량을 조절하는 시설로서 수위·유량조절시설, 물넘이, 방수공, 조압시설, 배수문 등이 있다. 또한 물의 효율적인 이용, 배수기능의 확보, 수로조직기능의 탄력화 및 수로시설의 합리화를 꾀하기 위하여 용배수 계통에서 유량 및 수위의 시간적 변동을 조절하는 시설인 조정지, 유수지, 팜폰드 등이 있다.

#### 1.3.4 보호시설

통수시설 등의 여러 수로시설 자체를 기능적 또는 구조적으로 보호하기 위한 시설로서 횡단배수구조물, 유입구조물, 배수구(排水溝), 침사지 및 비탈면보호공 등이 있다. 또한 물넘이와 방수공을 수로의 보호시설로서 분류하는 경우도 있으나 이 기준에서는 1.3.3 항의 조절시설로 취급한다.

#### 1.3.5 안전시설

수로 관리자 및 그 밖의 수로의 출입자의 안전을 보호하기 위한 시설로서 가드레일(guard rail), 펜스(fence), 구조 로프, 구명대, 사다리, 안전표지 등이 있다.

#### 1.3.6 관리시설

물관리 시설 및 기타 수리시설의 유지관리를 위한 시설로, 관측시설, 제어시설, 통신시설, 관리용 도로, 체진시설(除塵施設) 등이 있다.

#### 1.3.7 부대시설

수로의 신설 및 개보수에 따라 영향을 받는 기존의 다른 시설물 등의 기능을 확보하기 위한 보조시설로서 교량 및 기타 횡단 구조물 등이 있다.

#### 1.3.8 기타 관련 수리시설

수로는 위와 같은 여러 시설로서 구성되는 수로조직 외에 댐이나, 취입보 등의 수원시설, 펌프장 등의 관련 수리시설 또는 수원이나 배수출구로서의 하천, 호소, 바다 등을 포함하여 일련의 용배수 계통을 형성하여 용수공급 또는 배수의 기능을 하고 있다.

따라서 수로 조직의 설계 및 물 관리는 관련된 수리시설을 종합적인 수로조직으로 보고 계획·검토해야 한다.

### 1.4 수로설계의 기본

수로의 설계는 그 목적 및 입지조건 등을 정확하게 파악한 후에 실시하며, 일련의

용배수로계로서 필요한 기능을 확보하고 안전하고 합리적인 물관리 등이 이루어지며, 동시에 경제적인 시설로 하는 것을 원칙으로 하고, 관계 법령들을 준수하여 시행하여야 한다.

### 1.4.1 설계의 기본

수로의 설계는 수로조직 전체가 하나의 시스템적 기능을 갖도록 하여야 한다.

수로설계는 용수로계나 배수로계가 필요한 물을 흘려보내고, 배분하고 합류하는데 정확하고 효율적인 기능을 확보하여 안전하고 합리적인 물관리 및 시설관리가 되도록 한다. 또한, 수로의 건설비와 장래의 유지관리비가 될 수 있는 한 경제적이 되도록 검토하여 계획해야 한다. 또한 수로의 설계는 기능성, 안전성 및 경제성을 추구함과 동시에 수로 주변의 자연환경과 경관에도 조화를 고려하여 시행하여야 한다. 수로 주변의 자연환경과 경관에도 조화를 이룬다는 것은 해당 수로의 설치나 개보수를 할 때, 주변의 자연환경과 경관에 미치는 영향을 최소화하고, 주어진 조건에 맞도록 생태계 등 자연환경의 보전과 경관의 정비 등을 검토하는 것이다.

#### 가. 설계를 위한 필요한 정보

수로를 설계할 때는 다음과 같이 수로조직의 목적, 입지조건 등 수로설계에 필요한 정보를 정확히 파악하여야 한다.

- 1) 수로의 용도구분과 수로조직: 논용수, 밭용수, 홍수시 배수, 상시배수 등의 수로용도 구분에 따른 수로조직.
- 2) 용배수량과 송수위: 용배수의 필요성, 필요한 용배수량, 필요한 송수위 등.
- 3) 수로계획지역의 현황: 계획지구의 범위, 지형, 지질, 기상, 수문, 토지이용, 영농상황, 용배수 계통 및 관행, 주위 환경과 경관 등.
- 4) 수원과 배수구: 댐, 저수지, 취입보, 펌프장, 하천, 호소, 바다 등의 수원과 배수구의 종별, 규모, 위치, 수량, 수위 및 하천상황 등.
- 5) 수로노선의 상황: 노선 주위의 지형, 지질, 토지이용, 각종 이권관계 및 주위환경 등.
- 6) 수로의 관리예정: 수로 완성 후의 관리체계, 관리방식, 관리비 및 주위 환경과의 조화 등.

#### 나. 수로의 기본설계

수로설계의 기본은 수로조직을 구성하는 여러 설비 및 관련 수리시설 등을 하나의



조직체로 하여 유기적으로 결합함으로써 용배수계로서 필요한 물을 흘려보냄과 동시에 배분 등의 기능을 구비하여 안전하고 합리적인 물 관리 및 시설관리가 되며 경제적인 수로조직이 되도록 설계하는 것이다.

수로설계에서는 다음 사항에 유의하여야 한다.

- ① 물의 송수능력의 확보
- ② 분수, 합류 및 조절기능의 확보
- ③ 수로의 안전성의 확보
- ④ 물 관리 및 시설관리의 합리성
- ⑤ 건설비 및 유지관리의 경제성
- ⑥ 수로 주변과의 환경적 조화 등이다.

### 1.4.2 관계 법령의 준수

수로는 하천, 호소, 바다 등에 접속하는 장대한 구조이며 그 노선도 광역에 걸쳐 있으므로, 설계시에는 하천법 등과 같은 여러 법령에 있는 수로건설과 관련된 규정을 준수하여야 한다.

수로 건설에 관련된 법령은 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 하천법, ② 도로법, ③ 농어촌도로정비법, ④ 산업입지및개발에관한법률, ⑤ 자연공원법, ⑥ 내수면어업법, ⑦ 도시공원법, ⑧ 국토의계획및이용에관한법률, ⑨ 광업법, ⑩ 공유수면매립법, ⑪ 공유수면관리법, ⑫ 방조제관리법, ⑬ 항만법, ⑭ 산업안전보건법, ⑮ 폐기물관리법, ⑯ 근로기준법, ⑰ 지하수법, ⑱ 농어촌정비법, ⑲ 농지법, ⑳ 자연환경보전법

## 1.5 수로설계의 순서

### 1.5.1 설계의 일반적 순서

수로공의 일반적인 설계순서는 다음 그림 1.5.1에 표시되어 있다. 실제로 설계 작업은 각각의 검토과정에 대한 상세한 흐름도(flow chart)를 참조할 필요가 있다.

### 1.5.2 수로계획과 환경과의 조화

환경에 대한 인식을 높이기 위하여 농업용 용배수로에 대해 수로가 갖는 본래의 송수기능에다 지역자원의 다양한 공익적·다원적 기능을 더하는 수로정비를 실시해야 한다 (그림 1.5.1 참조). 각종의 환경기능의 향상을 도모함과 동시에 지역주민에게 쾌적한 생활환경을 제공하도록 추구해야 하며, 이를 위해 송수(이수) 기능에다 환경기

능을 더해 관리하는 것에 대한 이해를 높이는 것이 중요하다.

### 가. 수로계획의 환경적 적응

친환경적인 수로설계는 수로의 조사, 설계, 시공 및 유지관리에 친환경적인 마인드를 적용한다.

수로계획 및 사업을 시행할 경우 자연환경 훼손 및 생태계 파괴를 최소화하고 주위의 문화재 및 지역특성, 경관 등을 고려하여 지역주민과 인접한 도시민에게 쾌적한 생활공간을 제공하는 환경친화적인 수로가 되도록 조사, 설계, 시공 및 유지관리에 도움을 주기 위하여 설계시부터 검토할 기본적인 사항을 규정한다.

농어촌정비사업의 친환경적인 조사, 설계를 위하여 제반 설계의 일반적인 사항을 「농업생산기반정비사업계획설계기준」을 기준으로 하되 친환경적인 요소를 고려하여 물리적, 사회적 지역여건 및 경제적 관점에서 본 종합적인 분석 평가를 통하여 합리적인 조사, 설계가 이루어질 수 있어야 한다.

### 나. 환경친화적 수로의 기본방향

환경친화적 수로정비의 기본방향은 수로 본연의 기능을 유지활용하고 자연환경의 보전과 조화, 농촌생활환경개선과 어메니티의 창출 및 농촌관광과의 연계를 통하여 균형과 조화를 추구한다.

자연환경은 생태환경과 자연경관으로 구분되어 용배수로가 설치되는 지역의 자연환경뿐만 아니라 생활환경, 생산환경과 이들이 창출해낸 경관까지도 보전하고 개선하며, 이러한 것들과 수로본래의 기능인 물을 흘려보내는 특성을 살리고 활용하여 계획하는 것을 환경친화적 수로계획의 기본방향으로 하여 계획을 수립하여야한다.

#### 1) 수로본래의 기능을 유지활용

수로의 설치목적과 기능은 농경지에 필요한 물을 공급하고 잉여수 등을 적기에 배제하는 것이다. 이러한 목적과 기능을 항상 만족시킬 수 있는 상태를 유지해야 한다. 용수로는 하류로 갈수록 단면규모가 축소되는 특성이 있다. 그러나 규모가 축소되고 지형이 변화해도 용수로의 본래의 기능은 유지되어야 한다.

용배수로에는 물이 흘러간다는 특성을 활용하여 생태환경, 생활환경, 어메니티를 보전하고 창출한다는 기본자세를 유지해야한다.

#### 2) 자연환경의 보전과 조화

수로설치로 인한 생태환경의 변화에 따라 생태환경을 보전하고, 피해를 극소화하여 부득이한 피해에 대해서는 빠른 시일에 복원되도록 조치한다.

수로공사로 인한 자연경관의 훼손을 최소화하고 보전 및 복원하는 계획이 되도록 한다.

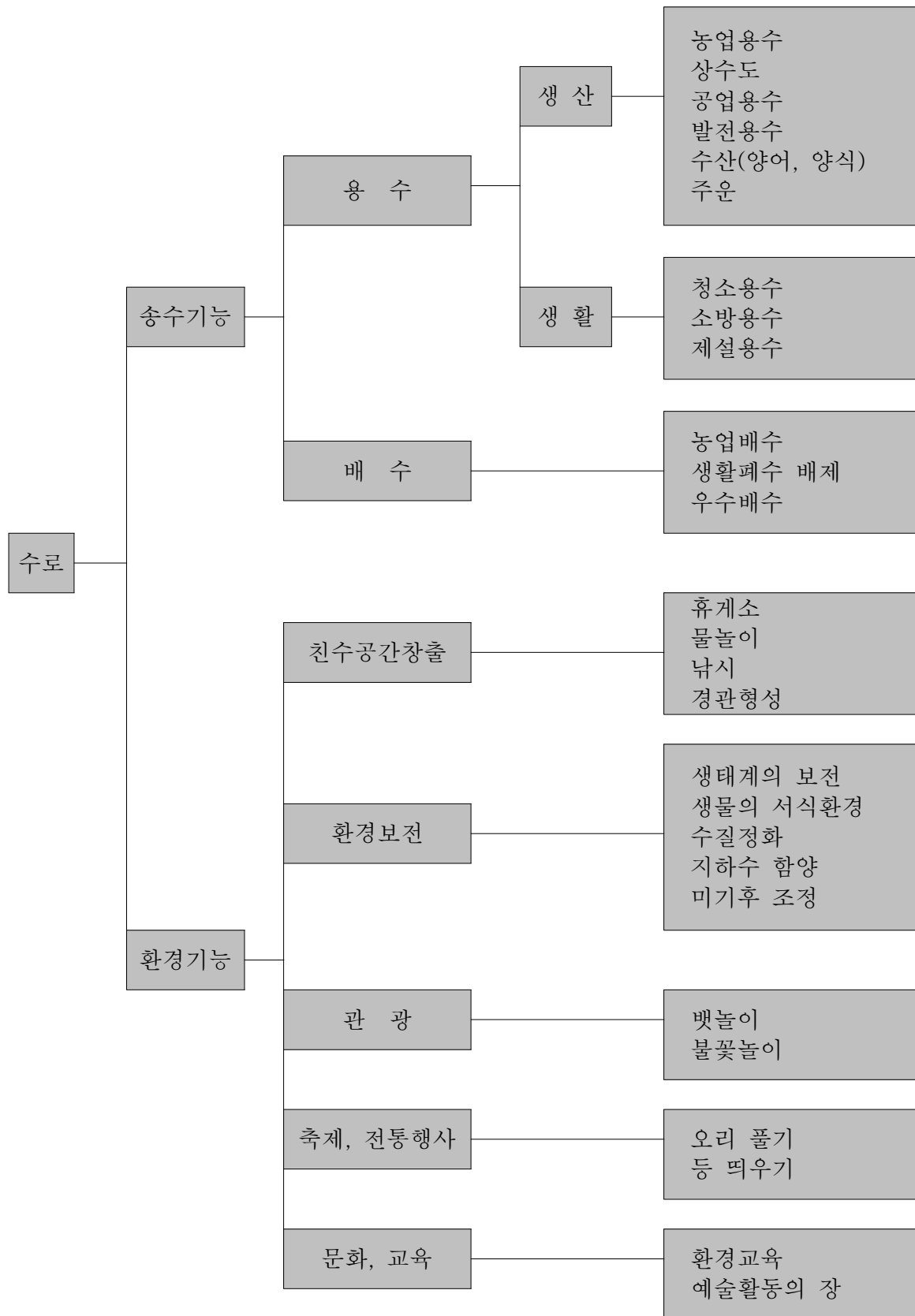


그림 1.5.1 수로의 공익적 다원적 기능의 예

### 3) 농촌생활환경의 개선과 어메니티의 창출

수로설치에 따라서 일어나는 지역농민의 생활환경에 대하여는 충분한 배려가 필요하며, 주민의 용배수로 이용형태에 대해 다양한 방법으로 검토한다.

수로의 기능을 달성하면서 지역주민의 생활에 보탬이 되도록 배려하는 계획이 되어야 한다. 흘러가는 물이 있으므로 이를 직·간접으로 이용하는 수단을 강구하거나 주변에 수변환경을 창출하여 휴식의 장, 교육의 장으로 활용하는 등 다양한 이용형태의 창출로 지역주민의 생활에 편리함과 활력을 제공하는 수단을 고려해야 할 필요가 있다.

### 4) 농촌관광과 연계되는 정비

농촌관광의 구성에 있어서는 지역별 농업여건, 자연자원 및 인문자원 등의 입지적 특성을 고려하고 있으므로 농촌(사) 체험, 생태체험 등을 매개로 한 농촌관광의 활성화를 도모하는 차원에서 새로운 사회적 요구 및 변화를 수용하는 수로정비방안을 고려해야 한다.

수로가 인접한 지역의 여건을 감안하여 다양한 친수시설 및 수변정비를 고려한다. 특히 용배수로가 겸용수로로서 소하천의 기능을 가진 수로의 경우 주변 농촌관광지와 연계성을 고려해야 한다.

## 1.6 수로시공의 기본

### 1.6.1 시공의 기본

수로 시공은 현장조건을 고려하여 환경친화적인 설계내용을 충족시키고, 합리적이고, 경제적이며, 안전한 작업을 추진할 수 있는 시공계획에 따라 실시하는 것을 기본으로 한다.

시공은 설계의 기본적인 방침에 따라 그 설계내용을 만족시키고 경제성과 안전성을 고려하여 필요한 공기 내에 건설하는 것을 기본으로 한다. 이를 위하여 설계의도와 현장조건을 충분히 검토하여 시공계획을 수립하며, 동시에 공사의 진행상황을 면밀히 파악하여 당초의 설계조건과 다른 현장조건일 경우는 새로운 현장조건하에서 설계를 재검토하여 여건에 맞는 시공을 해야 한다.

### 1.6.2 시공

시공은 현장조건을 고려하여 적절한 시공계획 및 시공관리 하에 합리적이고, 경제적이고, 또 안전한 방법으로 해야 한다. 더욱이 이 경우에 시공에 적용해야 할 각종

관계법령 등을 준수해야 한다.

## 1.7 수로의 개보수 및 변경사업

수로는 그 내구연한과 사회정세의 변화, 물수요의 변화, 농업형태의 변화 등에 따라 개보수 및 변경이 필요하다. 수로의 개보수나 변경을 계획하는 경우 잔여내구연한과 기능 저하의 정도, 필요한 경비 산출 등 사업효과의 평가를 하고 그 위에 최적의 계획을 세우는 것이 중요하다.

개보수 및 변경사업을 실시하는 주목적은 다음과 같다.

- ① 시설의 노후 대책이나 유지관리비의 절약
- ② 물 관리의 효과나 조작기능의 개선
- ③ 유지관리, 보수의 용이성 (수로의 복선화나 관수로화)
- ④ 물이용 형태의 변경에 따른 변경 (예: 수로 말단을 공급주도형에서 수요주도형으로 바꾸어 농업형태의 변화에 대응)
- ⑤ 물수요량의 증감이나 수질의 개선
- ⑥ 기타

## 제 2 장 조 사

### 2.1 조사의 기본

조사는 수로의 노선 선정, 공중, 설계, 시공방법 및 관리계획의 검토에 필요한 기초 자료를 얻기 위해 행하는 것이다. 그러므로 조사는 초기 단계에서 계통적인 계획성을 갖고 실시하는 것이 바람직하다.

#### 2.1.1 조사계획

조사는 큰 항목에서 세부항목으로 진행되는 것이 일반적이지만 단계에 따라 조사항목, 범위, 방침, 내용, 정밀도 등을 다룰 수 있다. 그래서 해당 수로에 필요한 조사가 되도록 사전에 충분히 조사계획을 수립하고 그것에 따라 조사를 추진한다.

수로의 조사에는 계획, 설계, 시공, 유지관리, 그 밖의 조건에 따라 필요한 조사가 있다. 또 조사 내용에 있어서는 ① 자료의 수집·청취, ② 답사, ③ 현지조사·측량·현지시험·현지관측, ④ 실내실험, ⑤ 시험시공·시공후의 관측, ⑥ 보충조사 등이 있다.

조사는 단지 기술적인 문제뿐만 아니라 광범위한 사회적 영향 때문에 제약을 받는 경우가 많다. 조사 개시부터 공사시공까지 장기간이므로 각 단계에서 착오를 방지하기 위해 수시로 보완하여 실시해야 한다. 조사의 단계구분은 어렵지만, 사업실시의 순서와 같이, ① 계획조사, ② 전체설계조사, ③ 공사실시조사, ④ 보충조사로 구분한다. 조사의 순서는 그림 2.1.1과 같다.

#### 2.1.2 조사의 단계

##### 가. 계획조사 단계

계획조사는 수로계의 기본적인 계획을 개략적으로 정하기 위한 조사로서 기상, 수문, 지형, 지질, 입지조건 등에 대해서 기존의 자료들을 광범위하게 검토함과 동시에 현지답사나 기타 필요한 조사를 병행하여 몇 개의 후보노선을 비교 검토한 결과에 따라서 2~3개 안의 노선을 정한다.

##### 나. 전체설계조사 단계

전체설계조사는 전체실시설계 등을 행하기 위한 조사이며, 계획조사에서 구한 노선을 확정하고, 기본적인 설계·시공 및 개산공사비 등의 검토에 필요한 자료를 수집하기 위한 측량, 현지조사, 토질시험 등을 행한다. 이 단계에서는 수로의 최종적인 기본

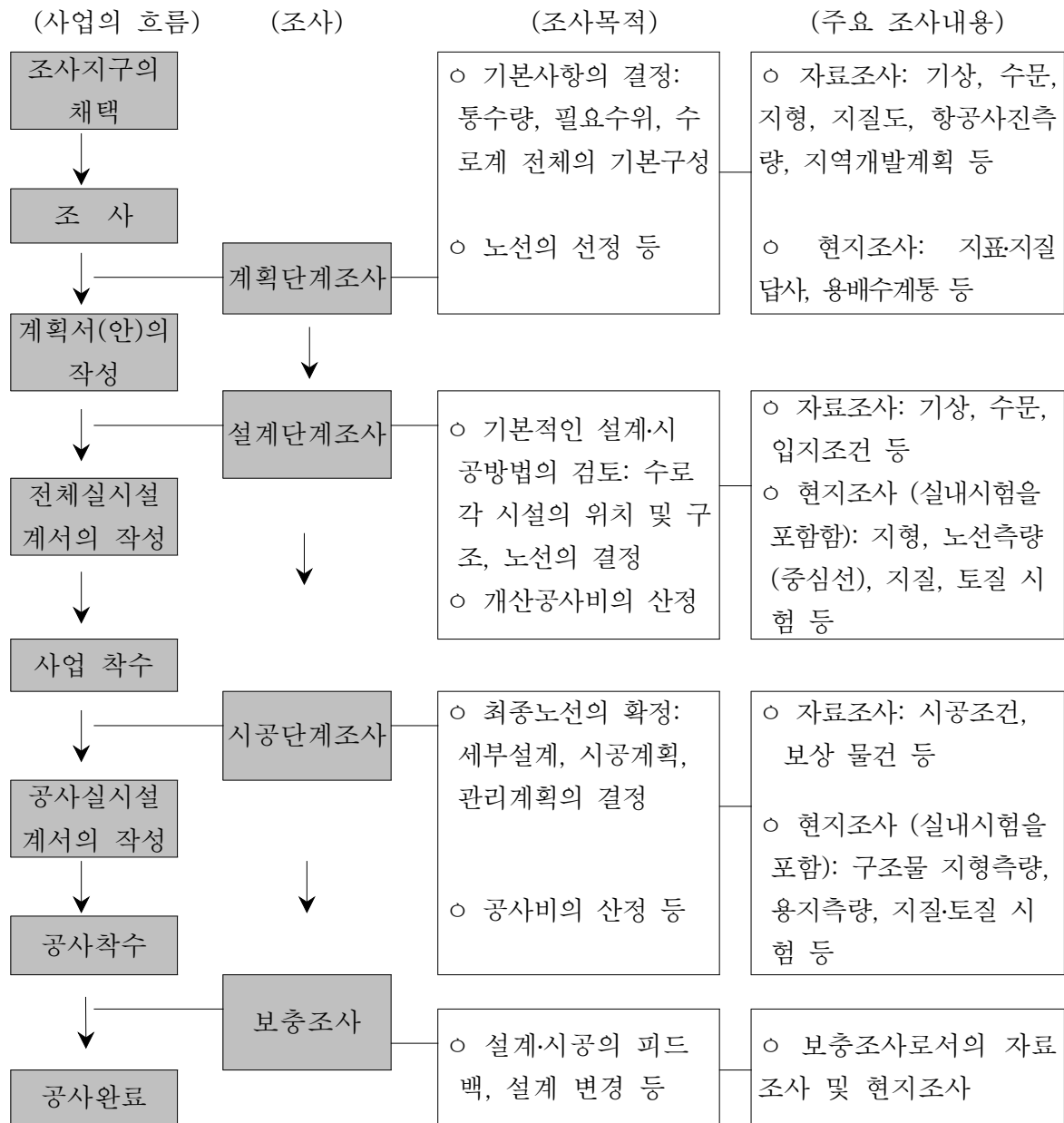


그림 2.1.1 조사의 순서

계획을 책정한다.

계획책정 후에 사회 정세의 변화와 기술 발전 등에 따라서 계획의 수정이 필요한 경우도 생길 수 있지만 기본적인 사항에 대해서는 변경을 하게 되지 않도록 충분히 조사를 행할 필요가 있다.

#### 다. 공사실시 조사 단계

공사실시조사는 공사의 실시를 위한 조사로서, 전체설계조사결과를 기초로 세밀한

설계, 공사비의 산정 및 시공계획의 검토를 하는데 필요한 자료를 수집하는 것으로, 측량, 현지조사, 토질시험 등을 행한다.

#### 라. 보충조사

보충조사는 공사착수 후, 당초에 비해 큰 차이가 있는 현장 조건, 예측하지 못한 사태가 발생하는 경우, 자연적 또는 사회적인 조건에 따라 수로구조물의 위치나 구조의 재검토가 필요한 경우 등에, 그리고 상세한 조사가 필요한 사항에 대한 자료를 얻기 위한 조사이다.

### 2.1.3 조사항목

수로의 계획 및 시공에 있어서의 조사는 단계마다 필요한 조사항목을 사전에 설정하여 적절한 순서와 방법에 의해 합리적이고 효율적으로 행한다. 각 단계에 있어서 주요 조사항목은 다음과 같다.

#### 가. 계획에 관한 조사항목

사업계획의 책정에 필요한 조사항목은 주로 지구내외의 상황, 다른 사업과의 관련, 각종의 지역계획, 기왕의 자료에서 얻은 각종 정보 등을 확인하고 검토하는 것이다.

- ① 지구의 범위                      ② 용배수 계통 현황
- ③ 용배수 시설 현황              ④ 용배수 관행
- ⑤ 장기 물수요 전망              ⑥ 농업용수 합리화의 가능성
- ⑦ 토지이용상황                  ⑧ 지역 및 지구의 사회, 경제, 영농개황
- ⑨ 하천유황 실태                  ⑩ 다른 사업과의 관련
- ⑪ 지역개발 계획

#### 나. 설계·시공에 관한 조사항목

구체적인 설계·시공계획의 결정에 필요한 기초 자료를 얻기 위한 조사항목이며, 주로 자연조건, 입지조건 등을 파악하는 것이다.

- ① 지형
- ② 지질, 토질
- ③ 기상, 수문 (기온, 강수, 강설, 수위, 유량, 조위, 하천상황, 지하수위)
- ④ 입지조건 (사회적 조건, 시공조건, 환경조건)

#### 다. 관리에 관한 조사 항목

수로 건설후의 관리 방식, 관리 시설 등을 결정하기 위하여 필요한 조사항목이며,



장래의 관리체제의 구상에 기초하여, 인근의 유사지구의 사례, 관리기구류 등의 조사를 한다.

- ① 기상, 수문
- ② 하천의 상황
- ③ 관측, 제어, 통신, 기록설비의 기초자료
- ④ 기존 수로의 물 관리시스템 및 관리데이터
- ⑤ 수로 완성후의 물 관리형태 및 관리수준
- ⑥ 도로상황, 교통량 등

### 라. 기타 조사항목

공사실시 및 유지관리에 따르는 필요한 용지의 취득 또는 보상, 자연환경, 사회·생활환경, 역사·문화환경 등에 관한 조사이며, 공사장소뿐만 아니라 공사의 영향을 받는 모든 범위를 대상으로 한다.

- ① 보상조사
- ② 환경조사 (자연, 사회생활)
- ③ 유적·문화재 조사

## 2.2 조사

### 2.2.1 지형조사 및 측량

지형조사 및 측량은 계획대상지역 전역에 대한 자료를 수집하여 지형도를 작성하고, 계획노선에 대해 노선측량과 용지측량을 하는 것이다.

또한, 측량작업에는 기존자료 수집부터 시작해서 개략적인 것에서부터 정밀한 작업으로 진행해 나가도록 한다.

#### 가. 자료수집

자료수집은 지리원에서 발행한 지형도 (축척: 1/25,000 또는 1/50,000), 국토 기본도 (축척: 1/2,500 또는 1/5,000), 토지 이용도 (토지 분류도) 또는 지방자치단체(시, 도, 시, 군 등)에서 발행한 도면 (축척: 1/1,000 ~ 1/10,000) 등을 수집해서 조사계획의 입안이나 설계에 이용한다.

#### 나. 지형도 작성

지형도는 일반적으로 도상 작업에 필요한 자료를 수집하여 기존 지형도 등을 계획

지역에 맞는 도면으로 재정비하는 것이나, 기존 자료가 없는 경우에는 현지 조사 및 청문을 참고로 하여 지형도(1/2,400 ~ 1/5,000)를 작성한다. 또한 최근의 지형도의 작성은 주로 항공사진 측량에 의해 시행하고 있다. 항공사진 측량에 있어서는 그 사용목적과 토지의 상황을 고려하여 지도의 축척을 정하고 요구되는 정밀도와 표현내용 등에 따라 기준점의 배치, 개수, 위치 등을 결정한다. 그리고 항공사진측량은 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

- ① 각점의 정밀도가 크다.
- ② 측량점의 동시성이 높다.
- ③ 현장에 들어가지 않고서 측량할 수 있다.
- ④ 축척 1/100 ~ 1/400의 큰 축척에는 부적당하다.
- ⑤ 소지역의 측량에는 단가가 높다.

#### 다. 노선측량

노선측량은 먼저 기존의 지형도 및 항공사진측량을 근거로 개략적인 노선선정 등의 도상작업을 실시하고, 이 도상작업에 의해 선정된 노선에 대해 지상측량을 실시한다. 지상측량은 현장에서 실제로 측량을 하고, 전체실시설계 및 공사실시설계에 이용한다. 표 2.2.1은 측량도의 작성표준이다.

표 2.2.1 측량도의 작성표준

측량도	측량방법	측량범위	축척	등고선간격	측점간격	비고
지형도	항공사진측량 등	관계지역전체	1/5,000 ~ 1/2,400	2.0 ~ 1.0 m		<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 종단면(수평)의 축척과 평면도의 축척을 같게 하여 동일도면상에 나타내면 편리하다.</li> <li>◦ 배수로의 등고선간격은 침수심-침수량-침수면적 등을 파악하기 위해 적어도 0.5m 정도로 할 필요가 있다.</li> </ul>
평면도	노선측량 - 중심선측량 - 종횡단측량 - 평면측량	노선 한쪽 30 ~ 100m 정도	1/1,000 ~ 1/200	◦ 용수로: 1.0 m ◦ 배수로: 0.5 m	100 ~ 50 m 정도	
종단도			1/500 ~ 1/100			
횡단도			1/200 ~ 1/100			
구조물 평면도	구조물평면측량		1/200 ~ 1/50	◦ 용수로: 1.0 m ◦ 배수로: 0.5 m		
용지도	용지측량		1/1,000 ~ 1/1,200			

### 1) 중심선 측량

중심선 측량은 수로의 중심선을 정하기 위한 측량이다. 중심 말뚝은 일정한 간격으로 정밀하게 박고 기점에서부터 번호를 기입하지만 필요에 따라 그 사이에 플러스 말뚝을 설치한다.

### 2) 종단측량

종단측량은 중심선 측량에 의해 설치한 측점 및 플러스 말뚝의 표고 및 지반고를 측정하여 수로중심선의 종단도를 작성하기 위한 측량을 말한다. 종단도는 조직설계 및 구조물 설계에 이용되는 측량도면이다. 종단도에는 계획수위, 수로바닥높이 등을 기입한다. 또한 기준이 되는 수준점은 노선에 따라 일정한 간격으로 설치한다.

### 3) 횡단측량

횡단측량은 측점의 중심말뚝 및 플러스 말뚝이 설치된 지점에서 중심선에 대해 직각방향의 지형 및 지물의 변화점의 위치와 높이를 구하여 횡단도를 작성하기 위한 측량을 말한다.

횡단도에는 절토와 성토의 단면 등을 기입해서 수로조직의 설계 및 구조물설계에 이용한다.

### 4) 평면측량

평면측량은 평판을 사용하여 지형, 경계 등을 측정하고, 도면화하며 여기에 지명, 지물 등을 기입해서 평면도를 작성하는 측량이다. 평면측량에는 노선에 따른 평면측량과 중요 구조물 지점의 평면측량이 있으며 각각의 필요한 범위와 축척을 가져야한다. 평면도는 설계나 시공계획 등에 이용한다.

## 라. 용지측량

용지측량은 중심선을 기준으로 해서 직각방향으로 용지의 경계에 말뚝을 설치한다. 용지측량으로 작성된 용지도는 주로 용지 보상에 사용된다.

## 2.2.2 지질·토질조사

지질·토질조사는 계획노선에 대한 자료를 수집하여 답사 및 시험 등에 의해 지질구조, 토질 및 지하수위 등을 조사하는 것이다.

### 가. 조사항목 및 조사방법

지질 및 토질조사는 수로노선의 위치, 공종, 구조물의 형식, 설계 및 시공을 하는데

필요한 조사로서 충분히 유의하여 신중한 조사를 실시해야 한다.

① 계획조사, ② 전체설계조사, ③ 공사실시조사, ④ 보충조사, 각 단계에 따른 자료 조사나 현지답사의 결과로부터 노선결정, 공종결정 등의 목적에 따라 조사항목을 정리하여 조사방법, 시험방법 등의 조사계획을 세워 지질 및 토질조사를 합리적으로 실시한다.

조사내용은 일반적으로 다음과 같으며 조사방법으로는 수로형식, 규모, 중요도, 대상 토질 등에 따라 다음 사항을 참고로 하여서 결정한다.

#### 1) 물리탐사법

이 탐사법은 비교적 얇은 지반의 지질조사에 적합하며, 지표탐사법과 공내탐사법으로 나눈다.

일반적으로 지표탐사법 중에서 지진탐사법이 이용되고 있으나, 필요에 따라 공내탐사법인 속도검층, PS 검층 등이 쓰인다. 이 방법들을 이용할 경우에는 그 방법의 적용성과 한계를 이해하고 각종 정보를 종합해서 결과에 대한 고찰을 해야 한다.

#### 2) 사운딩(Sounding)

사운딩은 로드(rod)에 부착된 저항체(콘)를 지중에 삽입하고, 관입, 회전, 빼기 등에 대한 저항을 연속적으로 측정하여 토층의 성상을 탐사하는 조사방법으로 지질구조를 알 수 있을 뿐만 아니라, 시험치로부터 흙의 성질을 간접적으로 추정할 수 있다.

또한 콘의 관입 중 지중의 간극수압의 크기를 함께 측정할 수 있으므로 지층을 세밀하게 분류할 수 있고 흙의 공학적 특성(설계정수)을 정밀도 높게 추정할 수 있다. 보링이나 표준관입시험으로 구분할 수 없는 세밀한 지층까지도 판정할 수 있고 불교란시료도 채취할 수 있으며, 경제적이므로 주로 연약지반에서 많이 사용되고 있다 (표 2.2.2 참조).

#### 3) 보링(Boring)

보링은 지중의 흙이나 암의 시료를 채취하거나 구멍을 이용해서 여러 가지 원위치 시험이나 계기를 매설하는 경우에 실시한다. 물리탐사나 사운딩이 간접적으로 지반을 조사하는 방법인 반면, 보링은 직접 현지의 대표적인 시료와 교란되지 않은 시료의 채취를 연속적으로 할 수 있는 조사방법으로, 설계나 시공계획에 직접 이용되는 시료를 얻을 수 있는 중요한 조사방법이다 (표 2.2.3 참조).

#### 4) 표준관입시험

이 시험은 원위치시험에서 흙의 경연, 그리고 흙의 상대밀도를 추정하기 위해 N값을 구하는 실험이다. 또 보링 조사와 병용하여 중요한 구조물 지점의 조사에 여러 모

표 2.2.2 지반의 토질과 강도범위에 적합한 사운드링(Sounding)

지반	적합한 사운드링	비고
1. 미지의 지반	표준관입시험	토질과 개략강도를 동시에 알 수 있다. 탐사능력이 커서 최초의 조사수단으로서 최적
2. 사력이 주체를 이루는 지반 (N값에 관계없이)	1) 표준관입시험 2) 대형동력관입시험 ----- 1) 더치콘관입시험(10t 용) 2) 스웨덴식 사운드링	해머식 동적관입은 자갈층의 경우에 유리하다. 보링을 이용하지 않는 단관 사운드링은 주변마찰로 인하여 능력이 저하된다.
3. 중 이상의 강도를 갖는 모래, 실트질층 및 점토지반 (4<N<30)	1) 표준관입시험, 대형동력관입 시험 2) 중형동적관입시험 ----- 1) 더치콘관입시험 2) 스웨덴식 사운드링, 더치콘관입 시험(2t 용 )	탐사 깊이가 큰 경우에는 1), 작은 경우에는 2)로서 좋다.
4. 중 이하의 연약한 실트, 점토지반 (2<N<4)	1) 중형동적관입시험 2) 더치콘관입시험(2t 용), 스웨덴식 사운드링 ----- 1) 휴대형 원추관입시험(2중관) 2) 베인시험(공중)	탐사 깊이가 큰 경우에는 1), 작은 경우에는 2)로서 좋다. 단관사운드링은 주변마찰이 문제
5. 극히 연약한 점토, 실트, 유기질토로 되어있는 지반 (N<2)	1) 휴대형 원추관입시험 (단관, 이중관) 2) 베인시험, 이스키미터	정적시험기라도 소형인 것은 사용할 수 있는 범위, 로드의 자중과 주변마찰을 모두 수정할 필요가 있다.

표 2.2.3 조사목적과 시료채취방법에 의한 보링의 분류

분류명칭	목적	시료채취기구	시료채취의 질과 용도	적용되는 보링 방법
오거 보링	미고결지반의 구성상태, 흙의 개략적인 함수비, 지하수위의 조사와 흙의 분류를 목적으로 한다.	오거	많이 교란되었지만 대표적인 시료채취이다. 흙의 분류, 표본	수동식 오거 보링 기계식 오거 보링
드라이 샘플 보링	드라이 샘플의 채취, 경암, 호박돌을 제외한 모든 지반의 구성상태, 두께, 깊이, 층 및 기초지반 또는 취토장재료로서의 흙의 성질조사	드라이샘플러 드라이브배럴(스플릿 스푼, 표준관입 시험기구) 그 밖의 타입 또는 압입용 샘플러	교란되어 있지만 대표적 시료이다. 흙의 분류, 함수비측정, 표본	기계오거 보링 로터리 보링 위취 보링 디스플레이 시멘트보링 파일 보링
불교란 시료채취 성토	원위치상에 가까운 성질을 시험에서 나타내는 점성토의 시료채취를 목적으로 한다. 점성토의 역학적 성질조사	신월튜브, 그 밖의 불교란 시료를 채취할 목적의 시료채취기구	원위치상에 가까운 성질의 교란이 적은 시료. 흙의 분류 함수비측정, 전단시험, 압밀시험, 표본	기계오거 보링 로터리 보링 휠 샘플링
코어 보링	지반 코어의 연속샘플링을 목적으로 한다. 암반조사	코어튜브배럴 다이아몬드 또는 합금 삽입 코어링 비트	불교란 또는 교란이 적은 록코어 압축시험, 인장시험, 경도 시험, 표본	로터리(코어) 보링
시굴조사	가장 교란이 적은 시료의 채취와 원위치지반의 직접관찰이 목적, 기초지반의 안정과 투수성이 중요한 경우의 특별조사나 대량 시험시료가 필요한 취토장조사	인력에 의한 블록 샘플링, 박스샘플링, 선행 트리밍 샘플링, 삽	교란이 가장 적다. 흙의 분류, 함수비측정, 전단시험, 압밀 시험, 표본, 성토재료시험	시굴갱, 구(도랑), 케 이슨 공법, 대구경오 거보오링, 대구경코어 보링

양으로 사용한다. 일반적으로 표준관입시험에 의해 구해진 N값은 옥석이나 전석을 제외한 모든 지반의 강도 특성을 표시한다. 점토에서는 일축압축강도나 점착력, 사질 토에서는 내부 마찰각 등을 추정한다. 그러나 사력층이나 지하수의 유무, 심도 등에 따라 N값이 영향을 받으므로 보정을 하거나 시험에 상당한 주의가 요구된다.

### 5) 시굴조사

토질이나 지질상황의 관찰 및 필요한 시료를 채취할 목적으로 인력이나 기계력에 의해 시굴갱(test pit)이나 구(溝, trench)를 굴착해서 직접적으로 지질을 관찰하거나

교란된 시료 또는 불교란시료를 채취하는 신뢰성이 높은 조사 방법이다. 그러나 경제성 등으로 볼 때 너무 깊은 지층의 조사에는 부적당하다. 시굴갱은 횡갱과 수직갱이 있으며, 갱의 크기에도 달렸지만, 지보공이나 방책을 설치해서 굴착하며, 그 뒤의 안전관리에 유의해야 한다.

#### 6) 지하수 조사

이 조사는 주로 지하수위의 측정과 현장투수시험으로서 지하수위의 측정은 앞에서 설명한 보링식이나 우물을 이용해서 실시한다. 현장투수시험은 지반의 투수계수를 구하기 위하여 실시하며 표 2.2.4와 같은 방법이 있다. 주수법(注水法)은 지하수위가 낮은 경우 보링공이나 오거공 등에 주수해서 투수계수를 구하는 방법이다. 양수법(揚水法)은 지하수위가 높은 경우 양수에 의해 지하수위를 저하시켰을 때 수위의 저하상황 또는 회복상황으로부터 대수층의 투수계수를 구하는 방법이고, 양수정과 관측정을 조합해서 실시된다.

이외에 트레이서(tracer)법이 있는데 이것은 염료나 전해 물질 등을 보링공 또는 수직갱에 투입해서 다른 보링공, 수직갱, 횡갱 혹은 지표의 용출구에서 그것을 검출해서 지하수의 실유속이나 누수(통수) 경로를 조사하는 경우에 이용된다. 보링공을 이용하는 시험을 하는 경우 물을 사용하지 않는 굴착을 원칙으로 하고, 공벽유지를 위해 벤토나이트 용액 등을 사용해서는 안 된다.

#### 7) 지반의 지지력 변형조사

이 조사는 지지력이나 변형에 관한 역학정수를 구하기 위해 실시한다. 지반의 지지력이나 변형특성은 재하시험에 의해 직접 구하는 것이 좋지만, 다른 시험 결과(예를 들면, 콘관입시험, 표준관입시험, 전단시험 등)로부터 필요한 자료를 추정하는 경우도 있다. 재하시험에는 평판을 놓고 연직방향으로 하중을 가하여 침하량을 측정하는 평판재하시험과 보링공 벽을 수평으로 가압하여 그 변위량과의 관계에서 지반의 변형계수를 구하는 횡방향 지반재하시험 등이 있다. 사질지반인 경우 액상화의 문제가 있으므로 이 재하시험만으로는 지진시의 지지력을 검토할 수 없다.

표 2.2.4 투수시험법

구분	투수시험법	특징
주수법	못·수로법	얕고 균질인 지반에 적합하고 간단함.
	수직법	얕고 균질인 지반에 적합하고 간단함.
	공저법	공벽이 자립하기 힘든 지반에 적합.
	패커(packer)법	암이나 단단한 지반에 적합.
양수법	평형법	피압면지하수층이나 자유면지하수층에서 비교적 투수성이 큰 지반에 적합.
	비평형법	결과의 정리방법에 따라 Theis법, Jacob법, 회복법 등으로 분류됨.

8) 토질시험

토질시험은 크게 나누면 물리적, 역학적 및 화학적 성질시험이 있다. 조사에는 먼저 물리적 성질시험을 실시해서 대상 흙을 통일분류법에 의해 분류한다. 물리적 성질시험은 과거의 자료에 의해 얻어진 토질분류와 그 특성을 개략적으로 추정하는데 이용하는 이외에 흙의 기본적 성질(간극비, 포화도, 밀도 등)을 파악하기 위해 이용된다.

역학적 성질시험은 토질공학적인 검토대상사항에 따라 실시한다. 지반토의 경우는 불교란시료를, 성토, 퇴매움 등의 토질재료인 경우는 교란시료를 대상으로 함으로 시료 채취에 있어 보링이나 시굴조사 시에는 충분히 검토할 필요가 있다.

화학적 성질 시험이나 암석시험은 현지상황의 필요에 따라 실시한다. 표 2.2.5는 주요 토질시험항목과 그 결과의 이용을 나타내고 있다.

나. 계획조사

1) 자료조사

자료조사는 기존자료를 수집을 해서 대상지역의 개괄적인 토질을 파악하는 것이다. 자료조사에서는 전체설계조사 이후의 조사를 효과적이고 정확하게 진행시키기 위해 필요에 따라 다음에 열거한 자료를 수집한다.

- ① 지질도 (1/50,000 , 1/75,000 , 1/200,000 등), ② 지반도 (1/25,000 등), ③ 토성도 (1/200,000 등), ④ 항공사진, ⑤ 토질조사 기록, ⑥ 공사의 기록, 관리기록, ⑦ 우물, 지하수에 관한 기록, ⑧ 재해에 관한 기록, ⑨ 환경에 관한 자료.



표 2.2.5 주요 토질시험항목

구분	시험명칭	시험결과에서 구해지는 값	시험결과 이용
물리적 성질 시험	토립자의 비중	토립자의 비중	비중계에 의한 흙의 입도 분석, 흙의 기본적 성질의 계산
	함수량	함수비	흙의 기본적 성질의 계산, 토질의 개략판정 (자연함수비의 경우)
	액성한계, 소성한계	액성한계, 소성한계, 소성지수, 컨시스턴시 지수	비중계에 의한 흙의 입도분석, 흙의 분류, 재료로서의 흙의 규정, 자연상태인 점성토의 안정성판정
	입 경	입도가적곡선, 유효경, 균등계수, 곡률계수	재료로서의 흙의 규정, 흙의 분류
	습윤밀도	습윤밀도, 건조밀도	흙의 기본적 성질의 계산, 흙의 다짐도
역학적 성질 시험	다짐	함수비-건조밀도곡선, 최대건조밀도, 최적함수비	다짐특성의 파악, 성토의 설계, 시공조건의 결정, 다짐도의 계산
	전단	전단강도정수(c, $\Phi$ ) c: 점착력, $\Phi$ : 내부마찰각 <sup>1)</sup>	활동에 대한 안정해석, 토압의 계산
	압밀	간극비-하중곡선, 선형압밀하중, 압밀계수 등	점성토의 침하량, 침하속도의 계산
	투수	투수계수	재료로서의 적성판정, 침투류의 해석
암석 시험	세·조골재의 비중, 흡수율	표건비중, 절건비중, 흡수율	암질의 판정, 기본적 성질의 계산
	일축압밀	일축압축강도	암질의 판정

주) <sup>1)</sup> 전단저항각을 말한다. 단, 이 기준에서는 일반적으로 호칭되는 용어인 내부마찰각을 쓴다.

## 2) 현지 조사

현지조사는 조사방법을 선정하는데 중요한 조사로 자료조사에서 얻은 지역의 개요를 현지에서 확인함과 동시에 필요에 따라 시료의 채취나 사운딩을 실시하는 조사이다. 대규모 수로계획에서는 각종 전문기술자와 동행하는 것이 좋으며, 특히 지질전문가와 함께 광범위하고 거시적인 관찰을 하는 것이 바람직하다.

현지 조사에서는 다음과 같은 사항을 조사함이 좋다.

- ① 지형·지질의 개요
- ② 노두의 지질 및 토질
- ③ 불안정 지형 및 기왕의 재해지

- ④ 표층 퇴적물
- ⑤ 비탈면의 상황
- ⑥ 토지 이용, 식물의 종류 및 무성한 정도
- ⑦ 기존시설의 상황
- ⑧ 용출수의 위치, 우물의 수위
- ⑨ 가연성의 가스
- ⑩ 토지에 대한 노인들의 의견

## 다. 전체 설계 조사

### 1) 조사내용

전체설계조사는 계획조사에 있어서 자료조사 및 현지조사에 의해 얻은 지질·토질의 개황을 기초로 해서 개략적으로 정한 노선의 지질·토질을 총괄적으로 분명하게 하는 것이다. 조사방법은 수로의 목적, 공종, 토질, 규모, 중요성에 따라 다르나, 다음에 표시한 사항에서 선정한다.

- ① 사운드 (관입시험 등)
- ② 오거 보링에 의한 시료채취
- ③ 기계 보링에 의한 시료채취 및 표준관입시험
- ④ 물리지하탐사 (탄성파탐사, 음파탐사, 전기탐사, 물리검층 등)
- ⑤ 시굴갱, 트렌치, 절취 등에 의한 관찰과 시료채취
- ⑥ 현장투수시험 (양수시험, 주수시험)
- ⑦ 터널 횡갱에 의한 관찰과 시료채취
- ⑧ 흙의 물리적 성질 및 역학적 성질시험

### 2) 조사지점의 선정

조사지점은 수로의 규모, 중요도, 문제점의 유무, 지형 및 그 조사내용에 따라 정하지만, 선정의 기본이 되는 사항은 다음과 같다.

- 가) 수로 노선에 따라 조사지점의 표준간격은 표 2.2.6을 참조한다. 사운드, 오거 보링 등이 가능한 지질에서는 그 간편성을 이용해서 될 수 있는 한 많은 수를 조사한다.
- 나) 펌프장, 사이펀, 터널의 출입구, 수로교의 교대, 교각 기초, 방·여수공, 게이트 부 등 중요한 구조물의 예정 위치 및 연약지반지대, 투수성 지반, 팽창성 점토지대 및 단층지대 등을 중점적으로 조사한다.
- 다) 조사결과는 설계시공의 자료가 될 뿐 아니라, 거시적인 지반의 이해에도 도움이 되는 것이므로 될 수 있는 대로 연약지반의 지지층이라고 생각되는 조밀한

층에 도달해도 그 층의 두께를 확인하기 위해 더 깊게 조사할 필요가 있다.

표 2.2.6 조사지점의 표준간격

공 종	지형구분, 공종규모	표준중단간격 (m)	비 고
개수로 (암거를 포함)	넓은 층적평야	300 ~ 600	1. 지질이 균일할 때는 조사간격을 크게 잡는다. 2. 지형의 변화가 심할 때는 조사간격을 작게 잡는다. 3. 표준 깊이는 그림 2.2.1을 참조해서 결정 한다. 4. 횡단방향의 조사는 필요에 따라 실시한다.
	좁은 층적평야	200 ~ 400	
	골짜기의 층적평야	100 ~ 200	
	평탄한 홍적대지 기복이 많은 대지	300 ~ 600 150 ~ 300	
사이편	긴 사이편	150 ~ 300	
	짧은 사이편	100 ~ 200	
터널	긴 터널	200 ~ 700	
	짧은 터널	100 ~ 200	
구조물		필요에 따라 정한다.	

## 라. 공사실시조사

### 1) 조사내용

전체설계조사에 의해 노선이 결정되고, 공종 및 그 배치가 개략적으로 정해지면, 조사대상 별로 정밀한 조사를 집중적으로 실시한다. 그 결과는 공종과 그 배치의 결정, 기초처리공법의 설계, 시공 및 공사비산정을 위해 사용한다.

그 조사 내용은 목적에 따라 다르지만 각 구조물의 종류, 규모, 지반 조건 등에 따른 조사항목, 조사범위, 조사방법 및 정밀도를 결정하는 것이 일반적이다. 수로 구조물의 각 부분에 대해 실시하는 표준적인 조사사항 및 토질 시험은 표 2.2.7과 같다. 또한 조사 깊이는 구조물의 형식, 설계상 고려해야 할 조건 및 지반의 상황에 따라 다르지만, 공사실시조사의 단계에서 필요한 조사공의 표준적인 깊이의 기준은 그림 2.2.1 과 같다.

표 2.2.7 기초지반, 토질재료에 대한 주요 조사항목과 조사방법

대 상	주요 조사항목	지질토질 조사법	토질조사	비 고
1. 기초지질	지질구조, 지지력	기존자료의 수집 분석, 답사, 보링, 사운딩		1) 1~3항의 조사 및 시험은 원칙적으로 실시한다. 2) 기초 지반이란 수로, 사이편 등 구조물의 기초가 된 지반을 말한다.
2. 성토재료	흙의 분류, 채취 가능량, 채취조건	기존자료의 수집 분석, 답사, 보링, 시료채취	함수량, 토립자의 비중, 액성 및 소성한계, 입도	
3. 터널지반	지질구조, 지질(암의 종류, 암질을 포함), 지하수	기존자료의 수집 분석, 답사, 물리탐사, 보링, 지하수탐사, 현장투수, 시굴조사	일축압축, 비중, 흙수량, 기타	
4. 성토재료	다짐특성, 전단강도, 투수성, 침식저항, 사용가능량	시굴조사, 보링	다짐, 삼축압축 또는 일면전단, 투수, 기타	3) 4~8항의 조사, 시험은 필요에 따라 실시한다.
5. 수로의 굴착지반	지하수상태, 전단강도, 밀도, 투수성	지하수조사, 현장투수, 시료채취	압밀, 전단, 흙의 물리적 성질시험, 기타	
6. 수로의 기초지반	지하수상태, 압밀침하, 전단강도, 침하, 투수성	지하수조사, 현장투수, 시료채취	압밀, 전단, 흙의 물리적 성질시험, 기타	
7. 펌프장, 교량 등의 중요구조물의 기초지반	지하수상태, 지지력, 침하, 압밀침하, 전단강도	지하수조사, 평판재하시험, 기초말뚝시험	압밀, 전단, 흙의 물리적 성질시험, 기타	
8. 사이편의 기초지반	지하수 상태, 지지력, 전단강도	지하수조사, 현장투수, 평판재하시험, 기초말뚝시험		

## 2) 조사결과의 정리

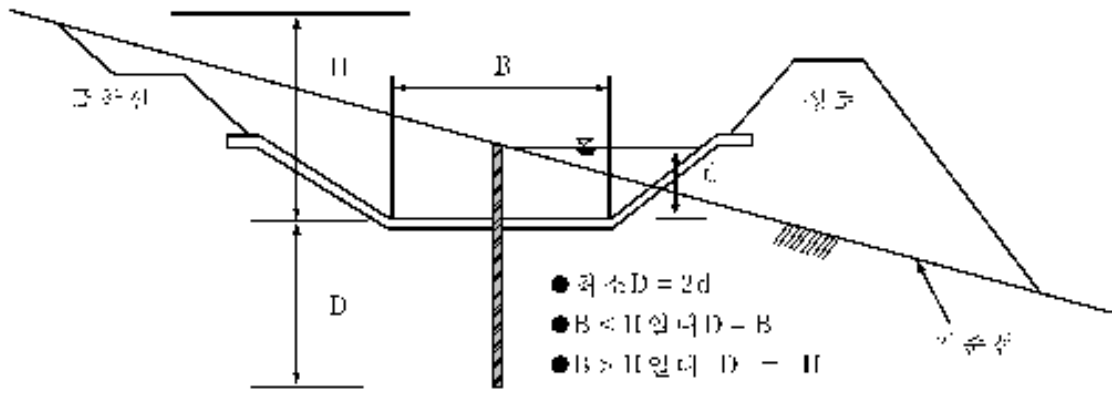
지질·토질 조사 및 시험 결과로 주상도 또는 토질 종단도를 작성하여, 최종노선의 지질·토질 상태를 확인함과 동시에 상세한 수로설계를 위한 기초 자료로 한다.

### 가) 흙의 분류

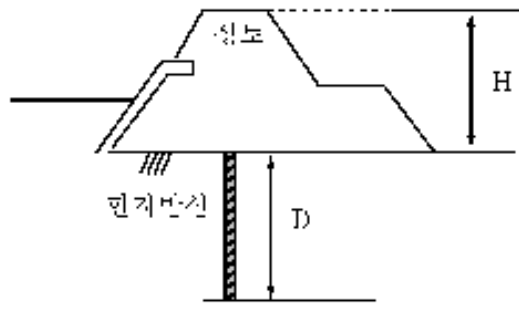
흙의 분류는 통일토질분류법(표 2.2.8)에 따른다. 흙의 분류 후에 투수, 다짐, 전단 등의 역학적 특성을 표 2.2.9에 의해 개략적으로 파악할 수 있다.

### 나) 토질 주상도 및 종단도

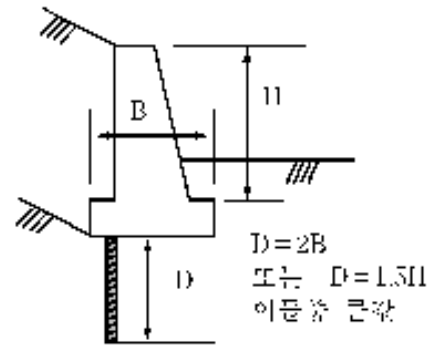
보링 조사 및 사운딩 등의 현지조사결과는 각종 실내시험의 결과와 함께 정리해서 토질 종단도를 작성한다.



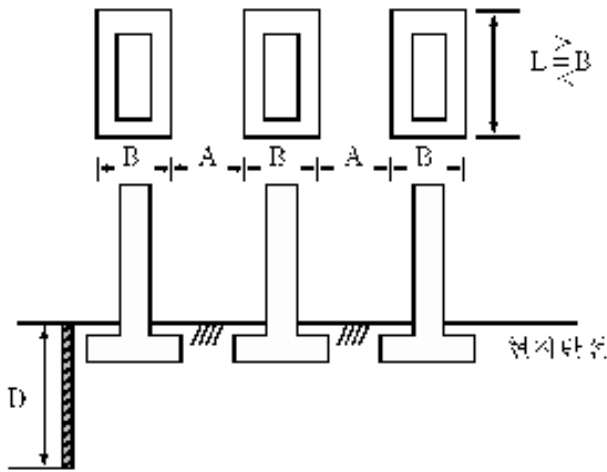
(a) 사면부



(b) 교상부



(c) 유체

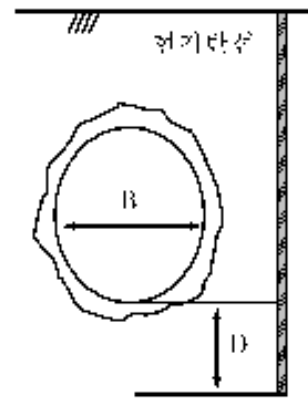


(d) 연속된 기둥을 갖는 수모교 ( $A > 2B$ )

$D = 2B$

(e) d단기 또는 연속된 기둥을 갖는 수모교 ( $A < 2B$ )

$D = 2L$



(f) 원단, 원기, 사이클

그림 2.2.1 조사공 깊이의 표준

표 2.2.8 통일분류법에 따른 흙의 분류표

현장관별법			분류 기호	대표적인 명칭	실험실 분류의 기준		
조립토 (50% 이상 74 $\mu$ m 보다 크다.)	자갈 (조립자 50% 이 상 이 4.76mm 보다 크 다.)	깨끗한 자갈	입경이 광범위하게 분포되어 있다. 입도가 양호하다.	GW	좋은 입도의 자갈, 자갈모래의 혼합물(세립분은 약간 혹은 포함하지 않는다.)	(i) 자갈 및 모래의 입도가 적곡선에서 결정한다. (ii) 세립분의 백분율에 의하여 조립토를 다음과 같이 분류한다. (420 $\mu$ m 이하의 백분율)	
			어느 입경이 특히 많다. 입도가 불량하다.	GP	입도가 불량한 자갈, 자갈, 모래의 혼합물(세립분은 약간 혹은 포함하지 않는다.)		
		세립분을 포함한 자갈	소성이 없는 세립분을 포함한다.	GM	실트질 자갈, 입도가 불량한 자갈, 모래, 실트의 혼합물	PI가 4 이하 또는 A선보다 아래 (420 $\mu$ m 이하의 입경을 갖는 흙에 대한)	
	소성이 있는 세립분을 포함한다.		GC	점토질 자갈, 입도가 불량한 자갈, 모래, 점토의 혼합물	PI가 7 이상으로 A선보다 위 (420 $\mu$ m 이하의 입경을 갖는 흙에 대한)		
	깨끗한 모래		입경이 광범위하게 분포되어 있다. 입도가 양호하다.	SW	입도가 좋은 모래, 자갈이 섞인 모래(세립분은 약간 혹은 포함하지 않는다.)	· 5% 이하: GW, GP, SW, SP · 12% 이상: GM, GC, SM, SC · 5~12%: 이 사이에서는 복기호로 표시 한다.	
		어느 입경이 특히 많다. 입도가 불량하다.	SP	입도가 불량한 모래, 자갈이 섞인 모래(세립분은 약간 혹은 포함하지 않는다.)	C <sub>w</sub> 는 6보다 크고, C <sub>u</sub> 는 1~3 SW에서 요구된 조건 이외의 입도		
세립분을 포함한 모래	소성이 없는 세립분을 포함한다.	SM	실트질 모래, 입도가 불량한 모래, 실트의 혼합물	PI가 4 이하 또는 A선보다 아래 (420 $\mu$ m 이하의 입경을 갖는 흙에 대한)			
	소성이 있는 세립분을 포함한다.	SC	점토질 모래, 입도가 불량한 모래, 점토의 혼합물	PI가 7 이상 A선보다 위 (420 $\mu$ m 이하의 입경을 갖는 흙에 대한)			
세립토 (50% 이상 74 $\mu$ m 보다 작다.)	420 $\mu$ m 보다 작은 입자의 흙에 대한 현장관별시험	건조강도	dilatancy	toughness		<p>&lt;세립토 분류용 소성도&gt;</p> <p>A선의 방정식 PI=0.73(LL-20)</p>	
		무~소	빠름~느림	무	ML		무기질 실트 및 미세사, 압분, 실트질 혹은 점토질 세사
		중~대	무~극히느림	중	CL		소성이 작은 무기질 점토, 자갈이 섞인 점토, 사질점토, 실트질 점토
	실트 및 점토 LL가 50% 이하	소~중	느림	소	OL		유기질 점토와 유기질 실트, 점토 혼합물
		소~중	느림~무	소~중	MH		무기질의 실트, 운모질의 세사 혹은 실트질토, 강성이 큰 실트
				대~극대	무		대
중~대	무~극히느림	소~중	OH	소성이 중 내지 높은 점토			
극히 유기질의 흙	색, 냄새, 해면과 같은 감촉을 느끼고 가끔 섬유질 입도조성에 의하여 식별이 용이하다.			P <sub>t</sub>	peat(이토), 극히 유기질의 흙		

표 2.2.9 흙의 역학적 특성

분류		투수특성				다짐특성			
기호	표시	순위	투수성 (다짐 시)	투수계수 (cm/s)	라이닝의 요·불요	순위	위 커 빌리티	건조밀도 (kN/m <sup>3</sup> )	다짐적성기계
GW		14	극히 대	$>10^{-2}$	필요	15	대단히 양호	2.0 ~ 2.1	타이어롤러, 진동롤러
GP		16	극히 대	$>10^{-2}$	필요	8	양호	1.8 ~ 2.0	타이어롤러, 진동롤러
GM		12	중~소	$10^{-3} \sim 10^{-6}$	필요~불필요	12	양호	1.9 ~ 2.1	타이어롤러, 탬핑롤러 진동롤러
GC		6	소	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	불필요	11	양호	1.8 ~ 2.1	타이어롤러, 탬핑롤러
GW GC		8	소	$10^{-5} \sim 10^{-7}$	불필요	16	양호	1.8 ~ 2.1	타이어롤러, 탬핑롤러
SW		13	대	$>10^{-3}$	필요	13	대단히 양호	1.8 ~ 2.1	진동롤러
SP		15	극히 대	$>10^{-3}$	필요	7	보통	1.6 ~ 1.9	진동롤러
SM		11	중~소	$10^{-3} \sim 10^{-6}$	필요~불필요	10	보통	1.8 ~ 2.0	타이어롤러, 진동롤러 탬핑롤러
SC		5	소	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	불필요	9	보통	1.7 ~ 2.0	타이어롤러, 탬핑롤러
SW SC		7	소	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	불필요	14	양호	1.7 ~ 2.1	타이어롤러, 탬핑롤러
ML		10	중~소	$10^{-3} \sim 10^{-6}$	필요~불필요	5	보통	1.5 ~ 1.9	타이어롤러, 탬핑롤러
CL		3	소	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	불필요	6	보통	1.5 ~ 1.9	타이어롤러, 탬핑롤러
OL		4	중~소	$10^{-4} \sim 10^{-6}$	불필요	3	불량	1.3 ~ 1.6	타이어롤러, 탬핑롤러
MH		9	중~소	$10^{-4} \sim 10^{-6}$	불필요	2	불량	1.1 ~ 1.5	탬핑롤러
CH		1	소	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	불필요	4	불량	1.2 ~ 1.7	탬핑롤러
OH		2	소	$10^{-6} \sim 10^{-8}$	불필요	1	불량	1.0 ~ 1.6	탬핑롤러
Pt		-	-	-	-	-	-	-	-
비고	순위는 작은 숫자 순					작은 숫자 순			

전단특성				침식저항		팽창수축		동결작용	
순위	전단강도	점착력	내부마찰각	순위	저항력	순위	성 상	순위	성 상
1	극히 대	소	극히 대	2	극히 대	14	거의 없음	15	없음~극히 적음
3	대	소	대	3	극히 대	16	거의 없음	17	없음~극히 적음
7	대	보통	대	5	대	12	극히 적다	10	약간~보통
9	대	보통	보통	4	대	10	약간	11	약간~보통
4	대	보통	대	1	극히 대	11	약간	12	약간~보통
2	극히 대	소	극히 대	8	보통	13	거의 없음	14	없음~극히 적음
6	대	소	대	9	보통	15	거의 없음	16	없음~극히 적음
8	대	소	대	10	소	9	극히 적음~보통	7	약간~대
10	보통	보통	보통	7	약간~보통	7	약간~보통	8	약간~대
5	대	보통	대	6	대	8	약간~보통	9	약간~대
12	보통	소	보통	-	극히 대	6	약간~보통	1	보통~극히 대
11	보통	대	소	11	소	5	보통	3	보통~대
15	소	불명	불명	-	극히 소	4	보통~대	4	보통~대
14	보통~소	대	소	-	극히 소	3	대	2	보통~극히 대
13	보통~소	대	소	12	소	2	대	5	보통
16	소	불명	불명	-	극히 소	1	대	6	보통
-	소	-	-	-	극히 소	-	극히 대	13	약간
큰 숫자 순				큰 숫자 순		큰 숫자 순		큰 숫자 순	

### 2.2.3 기상·수문조사

기상·수문 등의 조사를 위해 계획대상 지역의 강수량, 하천의 수위, 유량 및 유로 등에 대한 자료를 수집하고 관측 등을 시행한다.



## 가. 일반사항

기상·수문 등의 조사 항목에는 기온, 강수량, 강상일수, 증발산량, 하천의 수위, 유량, 지하수위, 하천상황, 조위 등이 있다. 이것들은 설계유량의 결정, 수로단면의 규모, 부대시설의 설계, 시공계획의 책정 등 계획, 설계, 시공, 관리의 각각에 관해 깊은 관계가 있다.

이들의 조사는 일반적으로 계획조사에서 전체설계조사까지의 단계에서 계속적으로 실시되며, 전체실시설계서, 공사실시설계서의 작성을 위한 기본적 조건의 결정에 이용한다. 또 공사실시조사단계에서는 이러한 자료를 재확인하고, 계획에서 설계, 시공단계까지 상당한 기간을 경과하는 경우도 있으므로 최신의 자료를 보충 수집해야 한다.

특히, 배수계획의 경우 유출률 등에 대해서는 지형, 지표의 변화가 크게 영향을 끼치므로 충분히 조사해야 한다. 따라서 계획단계부터 필요한 지점의 강우, 유량 등의 관측시설을 설치해서 관측을 계속한다. 또 관리단계에서도 필요하다고 생각되는 관측소에서는 계속해서 끊임없이 관측을 하고 최신 자료를 수집, 검토해야 한다.

## 나. 기상

개수로로 주체로 하는 수로계획은 일반적으로 평야부에 많기 때문에 기상관계의 자료는 기설 측후소 및 관측소의 자료를 이용할 수 있는 경우가 많다. 일반적으로 크고 긴 수로계획에서는 계획지구가 상당히 광범위하게 걸치므로 가능한 한 블록별로 10~30년 정도 이상의 기상 기록을 수집해서 지역의 기상상황을 파악함과 동시에 계획 및 설계에 이용한다. 우량 관측소는 바람의 영향이 적은 곳이나 침수될 염려가 없는 곳에 설치한다. 관측계기로서는 자기우량계와 보통우량계가 있다. 보통우량계에 의한 관측은 매일 일정한 시각에 실시한다.

관측 결과는 소정의 양식에 따라 다음과 같이 표시한 항목으로 정리해 둔다.

1) 용수로 계획에 사용되는 기상자료 정리항목: 하기, 동기 및 연간평균 강수량, 월별평균기온, 월별평균강수일수, 최대연속한발일수, 적설기간, 무상기간 등.

2) 배수로계획에 사용하는 기상자료 정리항목: 1)항에서 열거한 항목 외에 최대일우량, 최대시우량, 최대4시간우량, 3일 연속우량, 최대연속우량, 최대풍향, 최대풍속 등.

## 다. 수문

### 1) 수위 및 유량

수로의 설계, 시공, 관리에 필요한 수위 및 유량은 다음과 같다. 용수로계획에서는 하천 등의 취수원에서 1관개기 이상 계속해서 관측한다. 또 배수로 계획에서는 외수위 즉, 배수본천의 고수위 및 계속시간이 중요한 요소가 되는 것이므로 장기간에 걸

쳐 최신의 자료를 수집할 수 있도록 고려해야 한다. 특히 배수본천이 하천인 경우 하천개수의 상황, 하상의 변화 및 하천 상류의 치산치수, 지표수의 변화 등에 의해 수위 및 유량에 영향을 끼치므로 이들의 상황변화에 충분히 유의함과 동시에 필요에 따라 관측시설을 신설해서 관측하는 것이 바람직하다. 그리고 수로의 설계, 시공, 관리에 필요한 수위 및 유량을 관측하는 항목은 다음과 같다.

- 가) 홍수위, 홍수량
- 나) 고수위, 고수량
- 다) 풍수위, 풍수량
- 라) 연평균수위, 연평균수량
- 마) 평수위, 평수량
- 바) 저수위, 저수량
- 사) 갈수위, 갈수량

## 2) 조위 및 조류

배수로의 계획에서는 조위변동의 양 및 지속시간이 중요한 요소가 되기 때문에 장기간에 걸쳐 최신의 자료를 수집해야 한다.

- 가) 기왕 최고조위
- 나) 삭망 평균만조위
- 다) 상하현 평균만조위
- 라) 평균조위
- 마) 상하현 평균간조위
- 바) 삭망 평균간조위
- 사) 기왕 최저조위

## 3) 하천상황

하천상황조사는 수로의 기능 확보를 위해 수로에 접속하는 하천상황을 파악하는 것이다. 조사는 주로 하상형상(평면도, 종횡단면도), 하상변동 및 하상재료에 대해 실시한다.

취입구, 또는 배수구의 바닥 높이를 결정하는 경우나 접속도수로 또는 방수로 등의 설계를 하는 경우에는 하상의 상승, 저하 등의 변화사항을 조사해 두어야 한다. 기존 자료를 얻기 어려운 경우는 청문 등에 의해 하상의 상승, 저하 등의 변화사항을 조사해 두어야 한다.

또 배수로의 말단이 바다에 접속되어 있는 경우에는, 배수로가 표사 등에 의해 폐쇄될 경우가 있으므로 유심의 변화 등 기왕의 자료를 수집함과 동시에 필요에 따라 수심측량 등을 실시한다.

#### 4) 지하수위

지하수나 용출수 또는 다른 시설로부터의 누수는 수로 구조물의 설계, 시공법에 크게 영향을 끼치기 때문에 계획단계에서부터 충분한 조사를 해야 한다. 자료조사, 현지 답사로 얻는 자료와 함께 보링 등의 지질조사 시에 될 수 있는 한 세밀한 조사를 해서 관개지구내의 지하수위(최종안정수위), 용출수(용출수의 위치, 용출량), 누수(누수 위치, 누수량)를 명확히 해 두는 것이 중요하다.

### 라. 기타

#### 1) 수질

부유물질 및 토사가 수로벽, 수로바닥 등의 구조물에 부착 또는 퇴적해서 수로의 기능이 저하하거나 수로의 내구연수가 단축되거나 하는 경우가 있다. 따라서 취수하천의 수질이나 배수에 대해서 수질조사를 실시한다. 조사항목은 유수중의 토사 및 부유물질, 수소이온농도, 염분농도 등을 조사한다.

#### 2) 쓰레기

쓰레기는 그 체류에 의한 수두손실 및 통수저해, 유지관리노력 등 수로의 기능 및 안전 확보에 큰 영향을 끼치기 때문에 유입이 예상되는 쓰레기의 양 및 질에 대해 충분한 실태조사를 해 두는 것이 중요하다.

#### 3) 기타

재해발생기록, 지표면에 관한 자료, 동결심, 적설심, 수온 등은 필요에 따라 조사해야 한다.

### 2.2.4. 입지조건 조사

수로 건설의 입지조건 조사는 수로 조직의 사회적 조건, 건설에 관계되는 시공조건, 환경조건 및 용지취득과 물건 등의 보상에 관한 자료의 수집, 답사 등을 통해서 조사한다.

#### 가. 일반사항

수로의 건설에 있어서는 자연 조건 외에 사회적 조건 및 환경적 조건도 중요한 요건이 됨으로 이들의 입지조건 조사는 필요에 따라 다른 조사와 병행 또는 선행해서 실시한다.

## 나. 사회적 조건에 관한 조사

수로의 조사, 설계에 있어서 토지이용, 영농개선, 기존시설, 권역의 보호조정에 이용하기 위해 이들에 관련된 사회조건을 조사한다.

### 1) 토지이용상황 및 지역개발계획

수로의 노선 배치는 그 주변지역의 관개 또는 배수에 의한 토지이용조건 및 생활환경조건 등을 규정하는 중요한 요건이 됨으로, 토지이용상황, 마을상황, 영농상황 및 지역개발계획 등에 대해 충분히 조사하고 지역사회에 있어서 토지이용이나 생활환경과의 조화에 대해 고려해야한다.

### 2) 용배수계통

현황 용배수계통을 파악하는 것은 수로의 노선과 규모를 결정하는데 있어서 중요하므로 계획 단계에서부터 충분히 이것을 조사함과 아울러 기존시설의 기능 유지개선에 대한 검토를 해야 한다.

### 3) 하천구조물 및 수리권

한 시스템의 용배수계통에 있어서 하천수리구조물의 현황, 치수, 이수와의 관련, 기득수리권 및 수리관행 등의 상황을 조사한다. 이것들은 서로 광범위하게 관련이 되는 것이므로 한 시스템의 용배수계통 전체를 보고 조사를 한다.

### 4) 기타

수로의 노선 선정을 위해서는 노선 주변의 물건, 광업권 및 그 밖의 여러 가지 권리를 조사함과 동시에 산사태지역, 보안림, 공원지역, 조수보호, 사방 등의 각종 구역지정, 그리고 매장문화 등에 대해서도 조사해 두어야 한다. 또 각종 법령에 의한 제한등도 있으므로 충분히 유의해야 한다. 노선이 모든 기술, 경제성만으로 결정할 수 없는 경우도 있으므로 모든 각도에서 사회조건을 조사해야 한다.

## 다. 시공조건에 관한 조사

수로의 조사·설계에 있어서는 시공설비의 위치, 규모, 재료의 공급과 처리, 동력취득 등의 시공조건에 대해서도 조사해야 한다.

### 1) 공사용 설비

공사용 도로, 취토장, 그 밖의 시공을 위한 설비 등은 시공의 기본이 되는 중요한 문제이므로 노선의 개략결정시에 예비조사를 하고 시공단계에서 큰 변동사항이 생기지 않도록 한다.

특히, 긴 터널의 경우, 노선은 공사용으로서 횡갱, 사갱, 수직갱 등의 계획이 모두

밀접한 관련성을 가지므로 시공상 가장 경제적인 방법을 생각해야 한다. 공사용도로는 그 배치계획, 주행성능 등의 현장조건을 중심으로 하여 조사해야 하며, 기설 및 장래의 공도 또는 관리용 도로 등도 관련이 될 경우가 있으므로 단순히 공사상의 경제성에만 그칠 것이 아니라 그 밖의 사회조건 등도 조사해서 결정한다.

## 2) 공사용 기자재

수로공사는 일반적으로 연속된 긴 구조물을 차례로 구축해 나가는 것이므로 공사현장 근처에서 그 진척속도에 맞추어 공사에 필요한 기자재를 확보할 수 있는지 여부에 대해 수급동향을 조사한다. 또 특수한 가설자재, 시설기계 등을 계획하는 경우에는 입수 가능한 것인지를 사전에 충분히 조사 검토해야 한다.

## 3) 기타

수로공사에서는 인력작업도 많기 때문에 필요에 따라 노무자의 수급사정을 조사함에 아울러 수로계통에 큰 구조물이 포함되어 있는 경우에는 공사용 동력으로서의 전력사정도 조사할 필요가 있다. 또 적절한 시공방법의 선정에 위해 지하수위나 지반여건을 파악함과 동시에 현장발생재해의 처리방법 등도 아울러 조사 검토한다.

## 라. 용지 및 보상에 관한 조사

수로의 건설에 필요한 수로 등 시설용지의 취득, 매설 구조물에 대한 지상권의 설정 등 또는 여기에 부대하는 각종 보상 및 공사에 필요한 차용지 등의 보상이 필요하게 된다. 보상조사는 수로건설에 따라서 필요한 용지확보를 목적으로 한 각종 보상대상에 대하여 조사한다.

### 1) 계획조사시의 조사

수로의 노선을 개략 결정하기 위해 제1단계로서 노선조사 등을 위해 토지 내에 출입하는 일 등에 대해 그 지방관계자 및 시, 도, 군 등에 설명해서 그 이해를 구하고, 또 들어가서 조사하는데 대한 양해를 얻어야 한다. 따라서 이 조사단계에서는 주로 지형도 및 답사에 의해 가옥, 논, 밭 등의 보상개요를 조사한다.

### 2) 전체설계조사시의 조사

이 단계에서의 보상조사는 수로의 노선결정에 따른 용지의 범위 등을 분명히 하여 보상대상의 개요를 파악하고 보상을 실시하기 위한 준비를 한다. 이를 위해 현지조사 및 대장 등의 조사에 의해 가옥, 토지, 공공시설 등의 내용을 명백히 한다.

### 3) 공사실시조사시의 조사

수로의 설계가 확정되면 관계자의 입회를 부탁해서 토지의 측량, 물건에 관한 조사

등의 실시조사에 의해 보상관계조서를 작성하고, 보상기준을 제시해서 보상교섭을 한다. 각종 보상의 조사는 다음과 같다.

가) 용지 및 일반보상관계에 관한 조사

(1) 일필지조사

보상구역이 결정되면 그 구역 내의 토지의 권리내용을 토지의 단위인 일필지 마다 조사하는 일필지 조사를 한다. 조사의 목적은 위치, 형상, 면적, 권리관계, 수익성, 입지조건 등을 조사하는데 있으며, 그 결과를 당해 토지의 소유자, 그 밖의 권리자에게 확인을 받아서 토지조서를 작성한다.

(2) 물건조사

보상 지역 내에 가옥, 그 밖의 공작물이 있을 때는 그 물건에 대해 용도, 규모, 구조, 물품, 품질, 경과연수, 권리관계 등을 조사한다. 입목이 있는 경우는 수종, 수령, 축적량, 품질, 권리관계, 상거래상황 등의 입목조사를 한다. 그리고 분묘와 피해를 입게 되는 농작물 등에 대한 조사도 포함한다.

나) 특수보상관계에 관한 조사

어업보상을 위한 어획량 조사는 상당히 장기간의 자료가 필요하므로 관계어업조합과 협의하든가 또는 관계 관공서 등의 협력을 얻어서 조사하는 경우가 많다.

광업권에 대해서는 광구의 유무, 광물의 종류와 분포 등을 조사한다.

다) 공공보상에 관한 조사

공공보상관계에서는 종전의 기능회복을 도모하기 위해 시설의 이전 등에 대해 관계 기관과 충분한 협의를 한다.

## 2.2.5 환경에 관한 조사

수로 건설계획이 확정되면 자연과 사회 환경, 역사·문화 환경 및 생태계 환경 등의 변화나 보전에 대하여 충분히 고려해야 한다. 환경의 영향에 대하여 관계법령 등을 준수하고, 대책에 필요한 자료를 작성한다.

### 가. 일반사항

1) 환경친화적 수로 설계 적용범위

수로의 설계 적용범위는 환경친화적 수로의 계획 및 설계에 적용한다. 이 적용 범위는 일정규모 이상의 용배수로 간선 및 지선에 적용할 수 있다. 본 적용범위는 「농업생산기반정비사업」, 「농촌생활환경정비사업 및 농어촌관광휴양단지사업」 등 모든 농업·농촌관련 사업에 적용할 수 있다.

## 2) 지역선정시 고려사항

자연친화적인 수로를 조성하기 위한 지역을 선정하는데는 기술적인 부분과 인문사회적인 부분, 주변생태계 등을 종합적으로 고려해야 하며, 일정량의 물이 계속적으로 흐르거나 용수확보가 용이한 수로를 대상으로 한다.

지역선정시 고려해야 할 사항들은 크게 다음과 같이 4가지로 나눌 수 있다.

### 가) 수로의 기능적 요소

- (1) 수로 바닥의 폭이 일정폭 이상이며, 사면경사가 완만한 수로
- (2) 상류지역에 일정유량 및 조절이 가능한 용수원이 확보된 수로
- (3) 기존의 홍수시 범람이 없었거나, 통수단면이 계획홍수량에도 안정성이 보장되는 수로
- (4) 인접마을의 오폐수가 별도의 배수로로 배제되는 수로
- (5) 가능한 한 흙수로이며 퇴적량이 적은 수로

### 나) 생태적 요소

- (1) 기존의 수로에 갈대나 부들, 억새 등의 수질정화능력을 갖는 식물이 자라며, 제방부에 버드나무나 느티나무 등의 수종이 서식하는 수로
- (2) 용수로의 상류지역에 자연습지나 인공연못이 있는 수로
- (3) 주변의 자연이 비교적 잘 보존되어 있거나 기존의 생태계와 연결성을 지닌 수로
- (4) 수로내 수생생물의 성장·번식에 적합한 수준의 수량 및 수질이 유지되는 수로
- (5) 기존의 수로 내에 어류가 서식하고 있거나, 상류나 하류부분에 어류가 서식하고 있는 자연하천이 위치한 수로
- (6) 상류지역에 특정 오염원이 없는 수로
- (7) 풍부한 종다양성을 유지할 수 있는 수로

### 다) 친수활동적 요소

- (1) 인접마을에서 300m 이내에 위치하거나, 마을 내를 통과하는 수로
- (2) 지역주민들의 주요 통행로와 인접한 수로
- (3) 마을의 가구수가 50가구 이상인 지역
- (4) 수변 및 수변시설에서 휴식을 취하며 원경을 감상할 수 있는 지역
- (5) 인근에 초등학교나 어린이 놀이시설이 있는 지역
- (6) 주변에 악취나 다량의 오염물 발생시설이 없는 지역

### 라) 개발의 용이성

- (1) 주민들의 대다수가 친환경적 수변공간 시설의 유치를 희망하는 지역
- (2) 사업시행시 계획과 유지관리에 대한 지역주민의 참여의지가 높은 지역
- (3) 마을구성원 중 해당지역의 장기거주자가 많은 지역
- (4) 마을에 청년회나 마을발전추진위원회 기타 유사한 단체가 있거나 이미 마을 단위의 사업을 시행한 경험이 있는 지역

- (5) 주민들간의 화합이 잘되며, 정기적인 마을행사가 있는 지역
- (6) 대상수로 부근에 개간 등의 신규개발이 없는 지역
- (7) 친수공간으로서의 활용을 위한 접근이 용이하고, 인근 생태관광자원과의 연계가 가능한 지역

환경조사의 내용은 표 2.2.10에 표시한 바와 같이 예시한다. 필요한 조사항목을 검토하여 실시한다. 또 계절의 변화에 의해 변동되는 자연환경에 대응할 필요가 있는 경우에는 필요한 조사항목에 대하여 연간에 걸쳐 실시하는 등 규모나 범위와 시기에 대하여 충분히 검토한다.

표 2.2.10 환경조사 내용의 예

구 분	개황조사	상세조사
공 간	지역수준	지구·지점수준
목 적	지역의 개요, 동, 면, 리, 마을의 장래 방향을 파악한다.	환경의 현황과 개선의 과제를 파악한다.
관 점	전문가, 계획자 수준	생활자 수준
자 료	주로 범용적 자료	주로 현지조사에 의한 자료
내 용	자연환경 사회환경 지역진흥의 방향 주민의 의식조사 (지역 전체에 관한 사항)	수로환경 환경영향평가 주민의 의식조사 (수로에 관한 사항)

### 나. 일반개략조사

일반 개략 조사는 수로계획이 지역의 어떤 위치에 배치되는가를 종합적으로 정리·분석하고, 수로의 목적 및 입지조건에 따라서 필요한 조사 항목을 결정하고, 환경의 각 요소를 조사한다 (그림2.2.2 참조).

기본적인 조사 항목 및 내용은 기존 지침 및 조사·설계실무요령 등을 참고한다.

환경친화적 수로를 계획하기 위하여 그 지역의 생태환경, 인문·사회 환경, 역사문화환경, 자연경관 등의 현황을 조사하여 파악한다. 또한, 오염 발생원 및 오염부하량을 조사하여 대책을 강구한다. 특히 해당 용배수로의 주변에 농촌관광 시설물이 입지한 경우에는 시설물의 용도 및 그에 따른 친수 및 수변공간조성 등, 신규 요구사항을 파악하여 설계에 반영할 수 있도록 한다.



### 1) 자연(생태)환경조사

자연(생태)환경조사의 경우 여러 조사 항목 및 방법에 있어 전문성이 필요하기 때문에 조사계획의 작성 및 조사업무를 관련전문가와 협의할 수 있다 (행정자치부 「소하천설계기준」의 생태환경조사 참고).

#### 가) 지형조사

수로노선에서 보존해야 할 지형, 암석 등을 조사하고, 이용 가능한 지점과 특징 있는 지점을 조사한다.

#### 나) 주변환경조사

수로주변의 아름다운 계곡, 하천, 저류지, 습지 등을 조사하고, 용배수로의 정비사업과 연계하여 정비가 가능한지를 파악한다.

#### 다) 식물

수로주변의 식생에 대한 수종, 군락지 등을 문헌 등에 의하여 조사하고 현지 확인한다. 희귀 및 천연기념물의 유무를 확인한다.

#### 라) 동물

수로주변에 서식하는 동물종류(어패류, 양서류, 곤충류, 조류, 포유류 등)를 조사하고 서식 습성을 조사한다. 희귀, 천연기념물 및 보호종의 유무를 확인한다.

### 2) 인문·사회 환경조사

#### 가) 마을조사

(1) 생활측면에서 수로의 이용형태, 불편사항 등을 검토하기 위하여 마을 현황을 조사한다.

(2) 마을오수 및 기타 유입수의 유무를 확인한 후 마을주민 및 관계기관과 협의하여 그 대책을 수립할 수 있다.

#### 나) 산업조사

(1) 지역의 산업, 농산물, 특산물 등을 조사하여, 산업 및 영농활동에 요구되는 현재 및 미래 수요 용수량을 파악하여 대책을 수립할 수 있다.

(2) 특히, 관광사업과 관련된 시설 및 단지의 입지현황을 파악하여 향후 주변 시설의 입지에 따른 영향을 파악할 수 있는 기초자료로 활용할 수 있다.

#### 다) 토지이용

수로주변의 토지이용을 조사한다. 논, 밭, 과수원, 산림, 대지, 습지 등을 조사하고 농촌관광시설 관련 토지이용상황을 조사한다.

### 3) 역사·문화 환경조사

수로주변의 역사적 시설물, 유적지 등을 파악하고 역사적 배경 및 의의 등을 조사한다. 즉, 사찰, 공원, 서원, 향교, 고분 등이다.

당해 시설물 및 유적지의 보존 및 관리상태를 파악한다. 또한 당해 시설물 및 유적지의 이용 및 개발 가능성을 파악한다. 신규로 발견되는 역사 시설물 및 유적은 「문화재 지표조사」 관련담당자의 협조를 받는다.

#### 4) 자연경관조사

자연경관의 조사는 수로노선 주변에서 보존해야할 경관, 조망이 좋은 지점 등을 조사한다.

수로의 정비사업을 통해 자연경관의 훼손을 최소화할 수 있는 방안을 검토한다.

#### 5) 오염발생원 및 오염부하량 조사

##### 가) 일반사항

- (1) 오염발생원 및 오염부하량 조사는 전문가에게 의뢰할 수 있다.
- (2) 사전 환경 검토서 및 환경영향평가의 결과를 활용할 수 있다.
- (3) 기타사항은 「환경친화적 농어촌정비사업 설계지침 농어촌 용수편」을 참고한다.

##### 나) 오염발생원 조사

- (1) 오염발생원 조사는 수질관리에 중요한 정보를 제공하므로 가능한 한 높은 정확도를 갖도록 조사한다.
- (2) 오염발생원 조사는 답사나 지방행정자치부처의 조사결과를 활용할 수 있다.
- (3) 오염발생원은 하천, 호수 및 저수지 또는 이들에 유입하는 수로, 또는 이들에 유입하는 배수로는 시설 배수구역별로 분류하여 정리한다.
- (4) 오염발생원 조사는 최종적으로 연단위의 통계를 필요로 하나 보다 구체적인 수역의 수질관리 목적을 달성하기 위해서는 오염발생원별 원단위의 자료가 요구된다.
- (5) 오염원의 배출특성에 따라 월별 변동이 매우 심한 축산폐수, 관개용수(용수의 배수특성 및 비료 사용 특성), 관광객 수 등은 월별 통계가 요구된다.

##### 다) 오염부하량 조사

##### (1) 발생 오염부하량 산출

오염발생원 조사 결과에 기초하여 실측치 또는 원단위를 이용하여 산출한다. 발생 오염부하량은 인간의 생활, 생산활동, 가축분뇨 등의 발생원에서 발생된 오염물의 전체부하량으로 한다.

발생 오염부하량은 이들 오염원별로 배출 총량을 구하고, 실측결과 또는 기타 지역에서 측정되어 산출된 오염원별 오염 부하 원 단위를 이용하여 계산한다.

##### (2) 배출 오염부하량 산정

발생 오염부하량을 산출한 모든 오염 발생원에서의 처리 또는 별도 처리에 의한 부

하의 감소상황을 고려하여 원칙적으로 실측치를 기준으로 필요한 수질항목에 대하여 산정한다.

처리시설에서 처리되지 않은 오염부하량(예를 들면 가정하수, 농경지배수, 삼림오염 부하 등)은 발생 부하량과 동일한 값으로 한다.

### (3) 유출 오염부하량

유출 오염부하량은 해당 수역이 하천인 경우 하천에 유입하는 지천, 배수로에 의한 오염 부하량이며, 해당수역이 저수지 등 폐쇄수역일 경우는 하천, 배수로 등에 의한 오염 부하량이다.

이들 오염 부하량 측정은 대상 유역으로부터의 모든 배수가 배출된 후에야 가능하다. 단, 해당 수역이 감조하천인 경우의 관측지점은 조석간만의 영향을 받으므로 그 영향이 없는 곳으로 하고, 하류의 오염 부하량은 별도의 방법으로 측정한다.

### 6) 주변 여건 조사

가) 수로주변에 각종 체험시설의 일반현황(명칭, 규모, 관리주체 및 운영상태 등) 등을 파악한다.

나) 각종 수련장의 일반현황(명칭, 규모, 관리주체 및 운영상태 등) 등을 파악하고 조사한다.

다) 각종 관광지의 일반현황(명칭, 규모, 관리주체 및 운영상태 등)을 파악한다.

라) 관련기관 및 주민의견을 수렴하여 이들 시설물과 연계하는 수로정비계획을 수립할 수 있게 한다.

마) 사업대상지 부근에서 이용 가능한 자연재료를 조사하여 용배수로 정비사업에 활용할 수 있게 한다.

### 7) 주민의향 조사

수로에 대한 이용방법 및 형태에 대한 주민의견과 요망사항, 용배수로 주변의 수변 환경 조성 및 휴게소 설치 등의 의견 및 용배수로 주변에서의 양어장 등 용배수로를 이용한 산업활동의 가능성 등을 조사하고, 용배수로 준공후의 유지관리 관한 사항을 조사한다.

## 다. 세부조사

세부조사는 개략조사에 밝히지 못한 것을 설계에 반영하는 과제에 대해서는 필요한 항목의 세부조사를 하게 되며, 지역자원의 재발견이나 보전할 것, 개선할 것, 제거할 것 등을 분명히 한다. 해당 수로계획이 환경과 조화되도록 내용을 명확히 한다 (그림 2.2.3 참조).

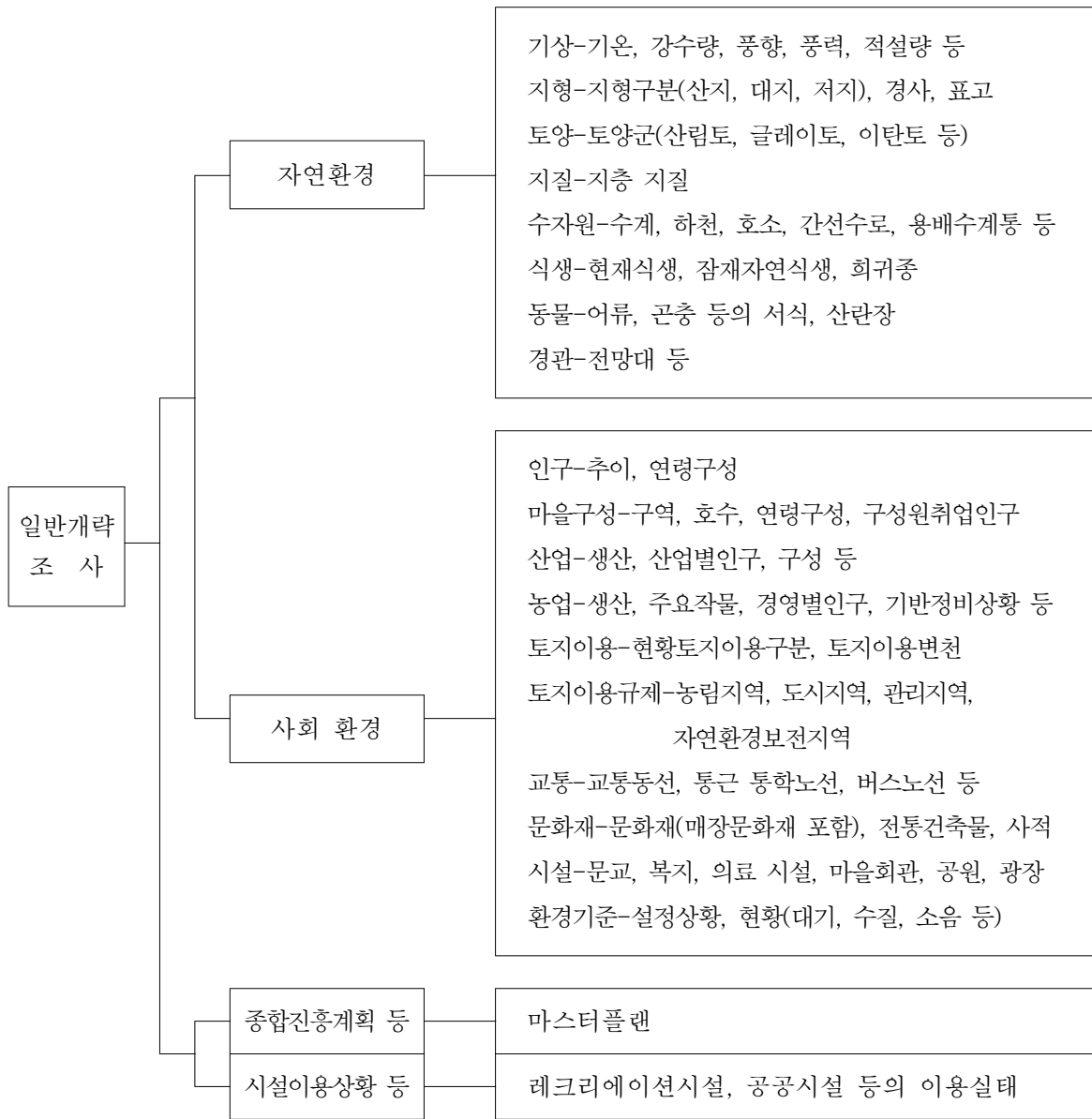


그림 2.2.2 일반개략조사 항목의 사례

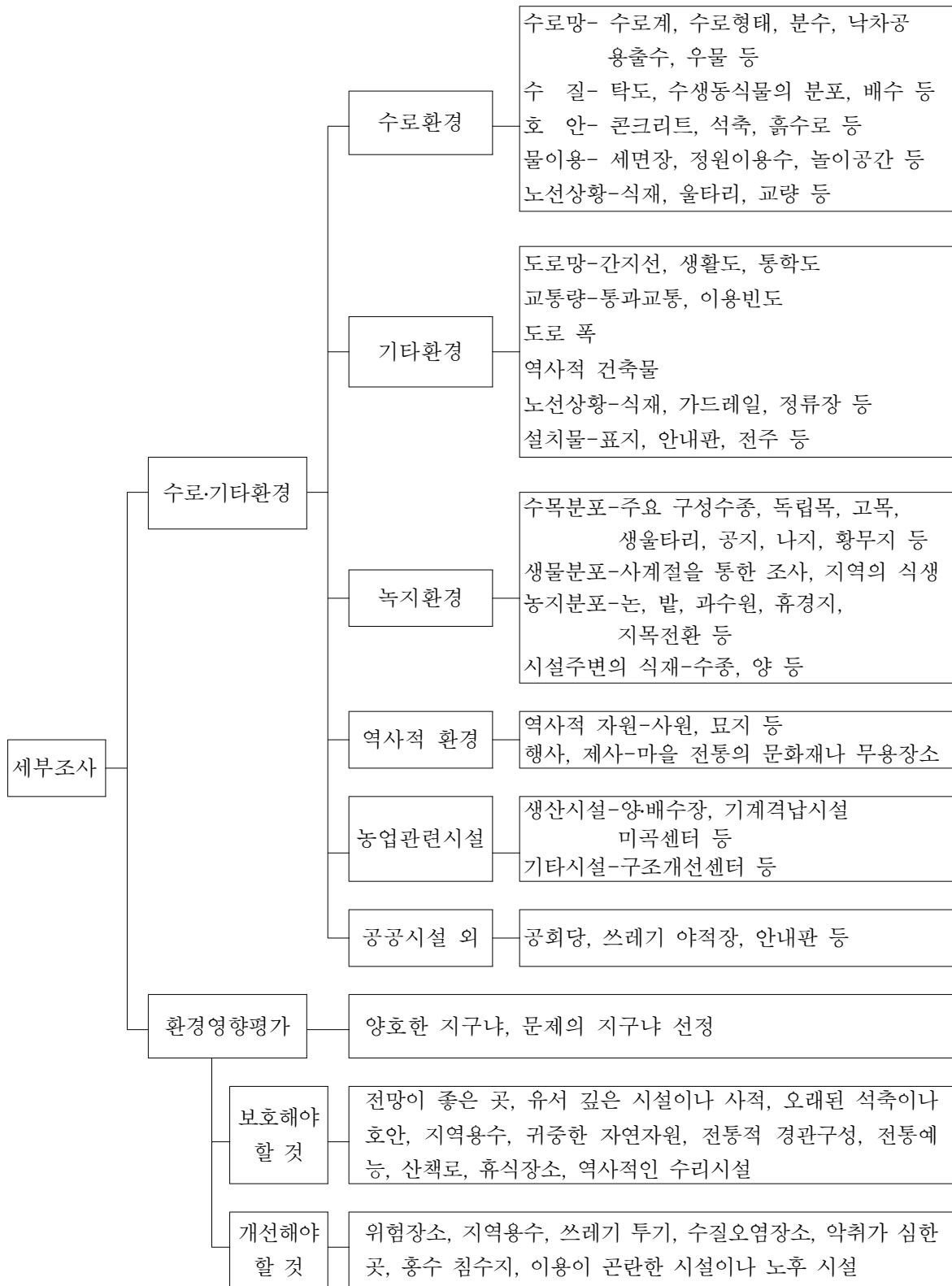


그림 2.2.3 세부조사 항목의 사례

### 1) 수로의 환경

수로의 환경과의 조화를 생각하면, 기존 또는 대체 수로의 환경기능을 강화시키는 것이 많다. 기존의 수로에 관한 조사는 제일 중요하다. 세부조사 항목 표에서 수로의 역사나 서식하는 동식물, 보전을 위한 호안 등의 수리구조물, 수로가 통과하는 지역의 지하수 함양의 효과, 기타 지역용수의 각종용도 등, 수로에 관련되는 여러 가지 관점에서 필요한 조사를 한다.

환경조사에 특히 귀중한 식물, 동물, 어류 등에 관한 조사가 필요한 경우 유의점은 다음과 같다.

#### 가) 식물(귀중한 식물 및 식물 군락)

##### (1) 귀중한 식물

(가) 학술상 중요한 종: 고유종, 격리분포종, 희귀종

(나) 멸종위기의 야생생물: 국내희귀야생식물, 국제희귀야생식물, 특정희귀야생식물, 지정한 동식물

(다) 문화재보호법에 의한 천연기념물

##### (2) 귀중한 식물군락

(가) 자연환경보전기초조사에 대한 특정 식물군락

(나) 문화재보호법에 근거한 천연기념물

(다) 자연식생 또는 그것에 준하는 식물군락

#### 나) 동물(귀중한 동물)

(1) 학술상의 중요한 종: 고유종, 격리분포종, 희귀종

(2) 멸종에 처한 야생동물: 국내희귀야생동물종, 국제희귀야생동물종, 특정희귀야생동물종, 지정된 동물종

(3) 문화재보호법에 근거한 천연기념물

(4) 자연환경보전 기초조사에 의한 귀중종

#### 다) 자연경관자원(귀중한 자연경관자원)

라) 경관(외부경관: 먼 곳에서 계획노선을 바라보는 경관)

### 2) 공사시공에 따른 조사

공사에 수반하는 기존의 생태계에 대한 영향이나 진동, 소음 등에 대해서 필요한 조사나 관찰을 하며, 영향을 회피할 대책이나 시공방법의 검토자료로 사용한다.

### 2.2.6 관리에 관한 조사

수로조직, 물 관리 방식 및 관리시설은 시설이 완성된 후의 관리체제를 종합적으로 예상한 후에 계획한다. 따라서 관리에 관한 조사는 먼저 기존 또는 인근의 유사지구의 관리형태나 관리조직을 조사하고 거기에서 얻어지는 물 관리 방식이나 관리자료

를 참고로 해서 관리로 이행했을 때의 물 관리방식이나 관리수준 등을 결정한다. 또, 관리를 위탁하는 경우는 그 위탁하는 시설의 범위, 위탁비용의 배분 및 유지관리의 방법 등에 대해서도 조사하고, 그 처리방침도 결정해 두면 좋다.

장래의 물 관리방식은 관리수준이 개략 결정되면, 그 관리 방법에 따라 구체적인 관리시설을 결정하게 된다. 이를 위해 지구내의 기상, 수문, 하천상황 등의 관리대상 자료가 필요하게 되어 이들 자료를 수집·정리·분석하고, 관리해야할 항목을 명백히 함과 동시에 관측, 제어, 통신, 기록설비 등의 각종 관리기기류의 선정에 위한 기초 자료로 사용한다. 관리기기류는 해당지구의 관리수준에 적합한 것 중에서 경제성과 조작성이 가장 우수한 것을 선정하는 것이 중요하다.

## 제 3 장 설계의 기본사항

### 3.1 일반사항

#### 3.1.1 기본구상

수로의 설계에 있어서는 수로의 필요한 기능성, 경제성 및 안전성을 확보하고, 합리적인 물 관리를 해야 하는 동시에 수로조직 전체가 유기적으로 구성될 수 있게 수로조직의 설계를 하고, 이에 따라 조직의 구성요소인 각 시설이 주어진 목적을 달성할 수 있도록 시설설계를 해야 한다.

수로는 각종시설로 구성되어 있고, 각 시설이 유기적으로 결합되어 조직을 이루고 수로전체의 기능과 역할을 하고 있다. 수로가 전체적으로 소기의 목적을 달성하기 위해서는 조직구성요소인 각 시설이 적절히 설계되어야 하고, 전체 수로조직의 전체기능에 대하여 충분히 검토한 후에 설계하여야 한다.

이 기준에서는 수로 전체에 대한 설계를 수로조직의 설계라 하고, 조직구성 요소인 각 시설의 설계를 시설설계라 한다.

#### 가. 용수로 수로조직의 구상

용수계의 수로조직의 설계는 지역 및 기존시설의 특성이나 목표로 하는 물이용 계획에 기초를 두고, 개수로 형식이나 관수로 형식 또는 양형식을 조합한 복합형식을 선정하여 수행한다.

용수로는 관개용수를 취수지점에서 관개구역까지 필요한 조건을 최대한 만족시키면서 송배수(送配水)하는 기능을 갖게 하는 것이 필요하다. 수로형식에 따라 수리상, 구조상, 수리관리상 특성이 크게 다르므로 수로특성을 충분히 고려하여 계획을 세워야 한다.

개수로 형식의 수로는 취수공, 양수장, 도수로, 간선수로, 지선, 지거, 분선의 각 수로나 조정지, 수위조정시설, 분수공, 사이판, 수로교, 낙차공, 방수공, 여수로, 그리고 스크린 등의 제진시설, 난간 등의 안전시설과 물 관리 제어시설 등으로 구성되어 있다.

또한 관수로 형식의 수로도 똑같이 간선, 지선의 각 관로나 조정지, 조압시설, 펌프, 분수공, 스크린 등의 제진시설이나 물 관리 제어시설 등으로 구성되어 있다.

용수계 수로조직의 설계는 용수계획에 기초한 관개용수를 과부족 없이 효율적으로 송수하도록 관개구역의 자연적·사회적 조건을 고려하여 계획에서 요구하는 송배수



기능을 만족시키며 조정된 시설의 기능성, 안전성 및 관리의 합리성을 확보하고 유지관리비를 포함하여 경제적인 용수조직이 되게 하는 것이 중요하다.

#### 나. 배수로 수로조직의 구상

배수계에 있어서 수로조직의 설계는 관개지역의 침수피해를 미연에 방지하고, 강우유출을 관개지역에서 배출하여 신속하고 안전하게 제거하는데 목적을 두고 계획한다. 배수시설은 간선, 지선, 승수로 등의 각 수로와 배수장, 배수문, 합·분류공, 낙차공, 유수지, 스크린 등의 제진시설, 난간 등의 안전시설과 관리시설 등으로 구성되어 있다. 배수계 수로조직의 설계는 배수유입구에서 배수본천까지 통일된 방법으로 관개지역의 계획목표를 달성하기 위하여 시설을 적절히 조합하고 유지관리비를 포함한 경제적인 배수조직이 됨이 중요하다.

### 3.1.2 설계순서

#### 가. 용수로조직의 설계

용수로조직의 설계는 기본사항에 대해 충분히 검토한 후에 다음의 순서에 따라 설계를 진행한다. 수로시점의 수위는 수원의 위치와 종류에 따라서 정하고, 이에 맞추어 설계수위를 설정한다. 또한 관개지에서는 경지의 표고, 경구의 배치, 관개방법 등에 따라 용수로의 위치, 용수량 및 수위가 결정된다.

용수의 송수에 필요한 유효수두는 수원의 수위와 말단수로의 필요수위(수두)와를 연결하는 선이다. 이것을 기초로 하고 수로의 송배수기능, 안전성, 건설비와 유지관리비의 경제성, 주변과의 환경조화 등을 고려하여 공중에 따른 수두배분을 하고, 수로조직의 최적설계를 수행한다. 또한 자연압으로 유송이 불가능해지면 말단 고위부에는 가압시설을 검토한다.

#### 나. 배수로조직의 설계

배수로조직은 홍수시와 평상시에 대해서 배수불량을 개량할 관개지 및 유역의 현 배수계통과 함께 토지이용상황 등을 고려하여 배수로 하류말단의 유량 및 수위를 설정한다. 또한 배수와 이어지는 하천 등의 외부조건에 따라 배수방법(자연배수 및 기계배수 또는 두 가지 병용), 배수출구의 위치 및 수위를 설정하는 경우가 있다.

배수로조직의 설계에서는 이러한 수위를 기초로 하여 배수시설의 위치와 규모를 결정하는 것이 중요하다. 특히, 도시지역을 흐르는 하천 등에서는 하천자체의 유하능력에 한계가 있어 배수량의 규제를 받는 경우도 있다. 이 경우에 배수의 일부를 지구 내에 일시적으로 저류하는 시설 등이 필요하다.

## 다. 용수로조직설계의 기본사항

### 1) 일반사항

용수로에서는 관개에 필요한 수위를 확보하는 것뿐만 아니라 송수구간별로 분수계획에 따른 필요용수량을 여러 개의 분수공(분수구) 지점에 필요한 시기에 송배수 하는 것이 요구된다. 이 때문에 용수수요의 변동에 대해서는 송배수 효율을 높이기 위해 신속한 송수중지, 손실수량의 조정지 등에 저류 등, 물의 유효이용, 적절하고 생력적인 제어를 실현하는 물관리방식으로 하는 것이 중요하다.

수로조직설계에서 송배수관리상의 검토과제로 다음사항에 유의하여야 한다.

- ① 공급주도, 또는 수요주도 등의 물관리방식 설정
- ② 수위 유량 조절 기능과 제어 방식의 설정
- ③ 용수도달시간의 파악과 송배수 관리용수의 절수방법
- ④ 용수수요와 공급의 조정방법
- ⑤ 분수량의 적정배분 방식
- ⑥ 수로의 안전과 유지관리기능

### 2) 물관리 방식의 설정

말단부의 물 사용 형태와 수원공급량의 관계에서 물 관리 계획상 최적의 관리방식을 설정할 필요가 있다. 용수로는 일반적으로 간선용수로계(송수계)를 공급자가 관리하고 지선수로계(배분수계)는 농민이나 농민조직 등의 사용자가 관리하는 경우가 많고, 전체를 공급자가 관리하는 경우도 있다. 말단부에 대한 용수공급방식은 말단용수 사용조건이나 그 지역의 실태에 적합한 물 관리 방식으로 한다는 것이 수로조직설계의 조건도 된다. 주요 물 관리 방식은 다음과 같다.

#### 가) 공급주도형 물관리 방식

공급주도형 물관리 방식은 상류 수위제어의 개수로나 개방형 관수로로 되어 있고 수원측(공급측)의 조작으로 물을 보내는 방식인데 말단에서는 물이용이 일정하게 제한을 받는다.

#### 나) 반수요주도형 물관리 방식

반수요주도형 물관리 방식은 상류 수위제어의 개수로나 개방형 관수로를 이용하여 말단의 물 사용자의 필요수량에 근거하여 수원측(공급측)이 계획적으로 송수하는 방식이다.

#### 다) 수요주도형 물관리 방식

수요주도형 물관리 방식은 주로 하류수위제어의 개수로, 폐쇄형 또는 반폐쇄형의 관수로를 이용하여 말단의 물 사용자가 필요로 하는 배분수량을 결정하여 즉시 공급을 받는 것이 가능한 방식이다. 보통 이 방식은 수원의 수량 및 시설용량의 범위 내

에서 관리되며, 이 범위 내에서는 물 사용의 제한을 받지 않는다.

그림 3.1.1은 반수요주도형 방식에 의해 운영되는 경우의 흐름도이다.

용수관리의 간소화와 용이성을 위해 지선수로 이하의 분배수로에서 관수로에 의한 수요주도형 물 관리 방식을 도입하면 편리하다. 송수를 주목적으로 하는 간선수로에는 한정된 수원의 수량을 계획적으로 송수하기 위해서 공급주도형이나 반수요주도형이 바람직하며, 한편 말단 관개지에는 물 사용자에게 물 사용의 자유도가 높은, 수요주도형이 바람직하기 때문에 전체적으로는 복합형의 수로조직이 좋다. 그러므로 두 시스템의 조정을 수행하는 분수공이나 조정지 등의 검토가 중요하다.

### 3) 수위·유량조절기능과 제어방식의 선정

일반적으로 용수로는 길이가 길고, 여러 개의 분수공이 설치되어 각 분수공 지점마다 수위확보와 유량의 제어 등이 필요하므로 소규모인 수로를 빼고는 상류수위 제어 방식을 택하는 경우가 많다 (그림 3.1.2). 이 방식은 수로의 상류에서 우선 취수하는 특성이 있는 반면, 하류부에 물 부족을 초래하여 용수도달시간이 늦어지는 등의 문제가 많다. 이런 문제를 해소하는 데는 하류수위제어방식(그림 3.1.3)이 있지만 이 제어 방식은 수로구조 변경시 문제가 있고 공사비 상승의 이유 때문에 경사가 있는 개수로에서 채용한 예는 드물다.

이러한 문제를 개선하기 위해 중간 방식인 저류량제어방식이 개발되어 있다. 저류량제어방식은 그림 3.1.4에 표시된 바와 같이 설정수위는 체크게이트(check gate) 사이의  $V_u$ 와  $V_a$ 를 거의 같은 양으로 하는 수위로 하고 하류측의 수량증가 요구가 있는 경우는 당초  $V_a$ 의 저류량으로 충당하고, 차례로 상류의 체크게이트를 열어 조작한다. 수요주도형 물 관리 방식에 적용할 수 있는 방식이지만 이 방식을 도입한 예는 별로 없다. 시스템으로서의 하류수위제어방식의 기능을 유지하는 한편, 수로구조적으로는 상류수위제어 방식에 가까운 제어방식이다.

### 4) 용수도달시간의 파악과 송배수관리용수의 절약방법

개수로계의 수로는 자유수면을 가지고 있어 취수지점에서 분수지점까지 수로 내 저류량에 대응하는 용수도달 시간이 필요하다. 용수관리자는 경험적으로 이 필요시간을 개략 파악하고 있지만 금후 한층 고도화되고 복잡한 농업형태에 대응하려면 합리적이고 효율적인 물관리가 필요하기 때문에 설계 시에 용수도달시간을 파악해 두는 것이 바람직하다.

상류수위제어방식은 분수지점까지의 용수도달시간 만큼 조작을 미리 해서 말단관개지에 필요한 시간에 필요한 분수량을 보내는 것이 가능하다. 또한 분수가 불필요한 경우에도 똑같은 조작을 해서 용수의 합리화를 도모한다. 이러한 조작을 행할 경우 최말단보다 상류의 분수지점에 용수의 도달이 빠르고, 또, 불필요한 경우에도 한동안

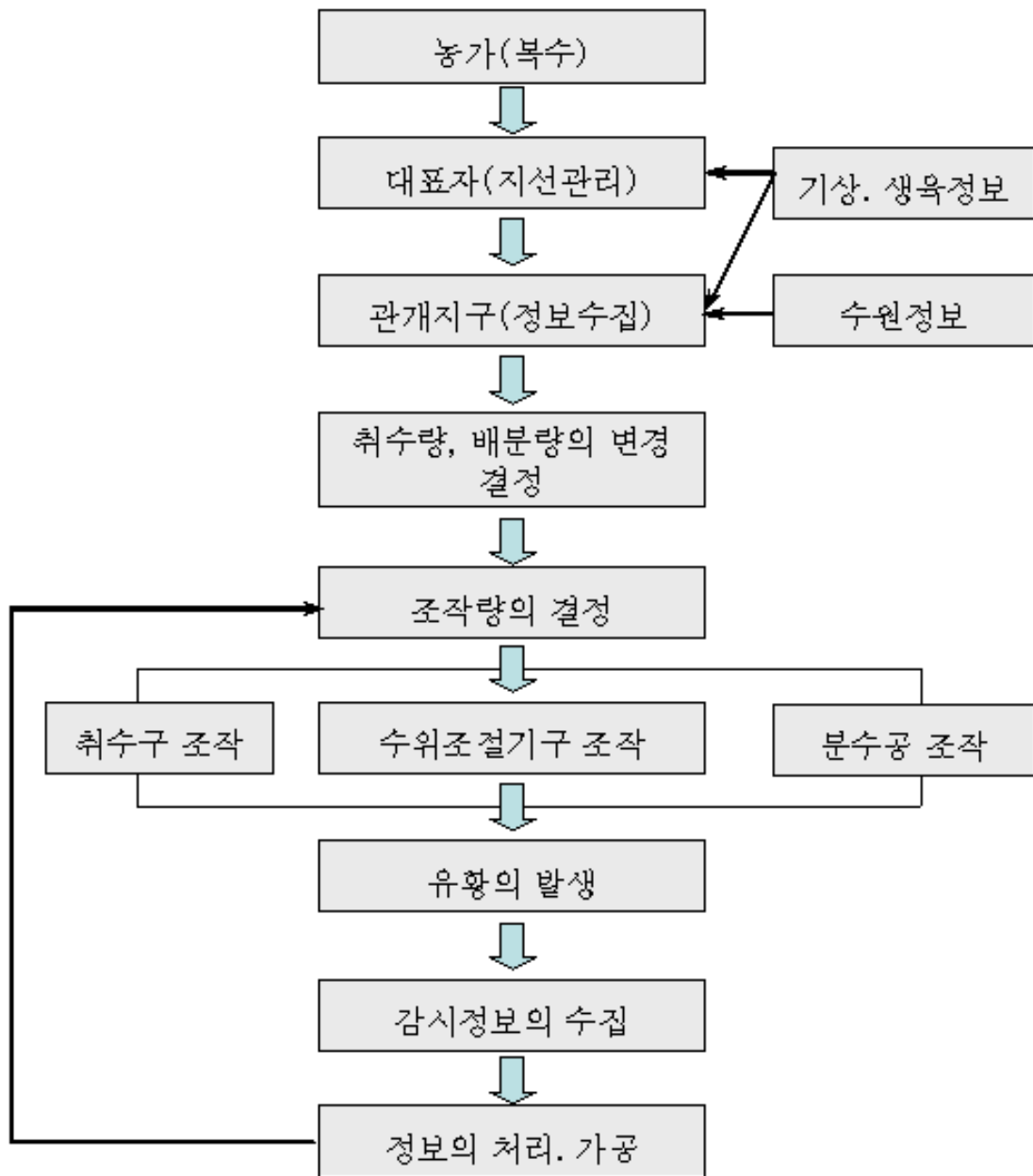


그림 3.1.1 용수관리에 있어 정보의 흐름처리도  
(반수요주도형 물관리 방식의 경우)

통수가 계속되기 때문에 조정지나 기타 저류 기능이 없는 수로에서는 송배수관리용 물의 손실을 초래하게 된다. 용수의 효율적인 운용을 도모하려면, 수로조직의 계획(설계) 단계에서 수위유량제어방식이나 조정지의 도입계획 등 종합적인 검토가 필요하다.

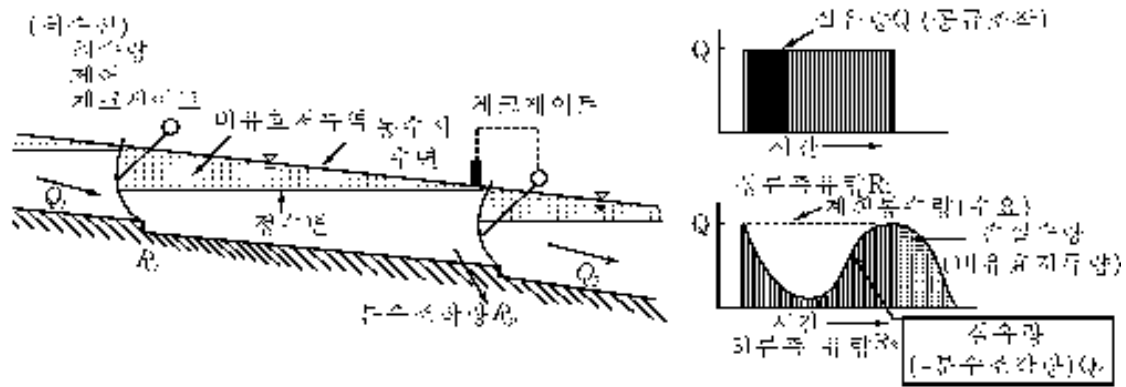


그림 3.1.2 상류수위제어방식

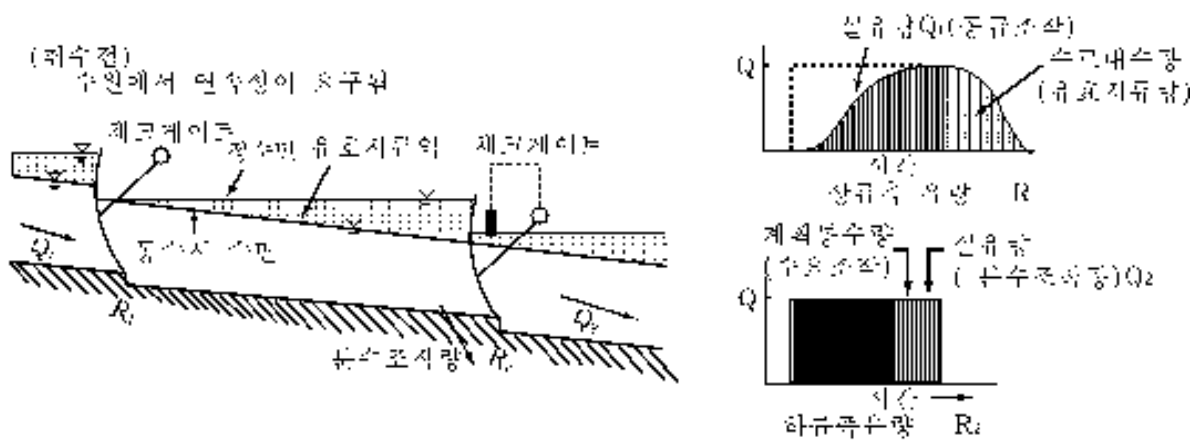


그림 3.1.3 하류수위제어방식

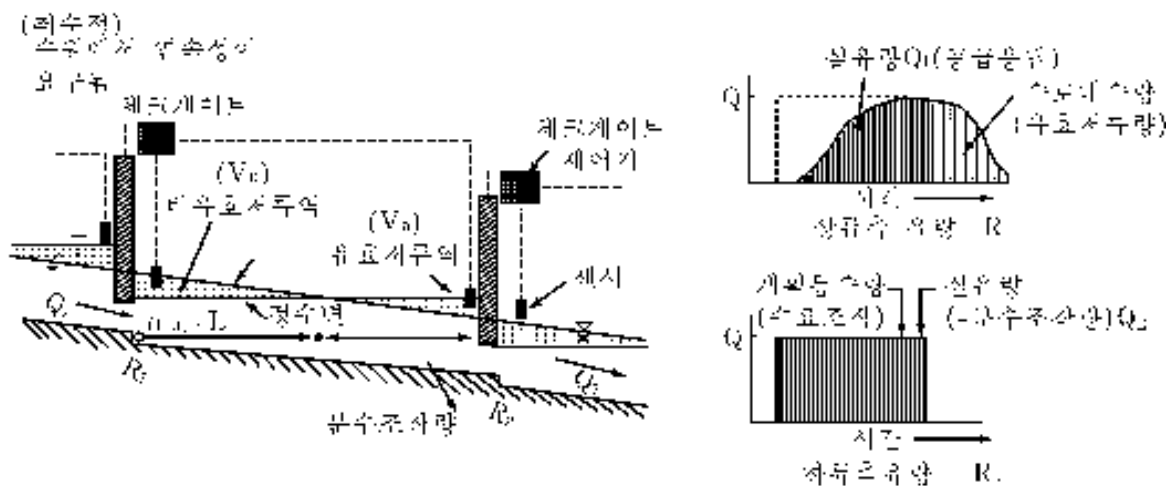


그림 3.1.4 저류량 제어 방식

#### 5) 용수수요와 공급의 조정방식

최근에 작물, 품종, 농업형태, 관개방식의 다양화와 관수로의 도입 등에 의해 용수 수요의 변동이 크게 일어나고 있다. 특히, 겸업화에 따른 농업형태의 변화는 관개시기나 사용시간의 집중화를 초래하고 있다. 그러나 시설비용 면에서 현 상황의 농업용수 공급은 24시간 일정량을 송수할 필요가 있지만 금후의 수로조직의 계획에서는 수로 조직 자체가 이러한 변동을 흡수하고 물 이용효율을 높이는 조정방식을 찾아야 한다.

관개시기나 사용시간의 집중화에 대해 물 이용효율을 높이는 조정방법으로는 영농 계획에 근거해 연간 물배분계획의 책정, 영농의 실태에 따른 필요수량의 변화점의 점검, 조정을 행하는 등, 항상 영농의 변화점에 착안하여 수원(댐, 취입보)에서 조정시설, 말단부까지의 일원화된 물관리가 중요하다.

#### 6) 분수량의 적정배분

간선수로의 수로조직과 분수공 형식의 관계는 분수량을 적당히 배분하는데 대단히 중요하다. 개수로계의 수로에서 분수량을 적정히 배분하려면, 특히, 물관리방식이나 간선의 수위유량조정기능이 분수공 형식과 조화를 이루는 것이 중요하다. 이것은 물 관리방식에서 분수공들의 유량배분 및 제어성이 어떤지, 그리고 이를 위해서 간선의 수위조정기능을 어떻게 할 것인가 등을 검토할 필요가 있다.

간선수로 ~ 분수공의 유량조정 형태를 그림 3.1.5에 표시하였다.

#### 7) 수로의 안전과 유지관리기능

##### 가) 수로의 안전성 확보

개수로계의 수로에는 수로주변에 택지가 있는 경우가 많다. 이로 인해 인명사고가 증가하여 안전에 대한 문제가 많이 발생하고 있다. 그러므로 시가지나 민가가 많은 지역을 통과하는 경우, 암거(사이편을 포함)와 터널을 포함한 수로형식의 검토와 함께 안전대책을 충분히 검토하는 것이 중요하다.

또한 만일의 사고에 대비하여 망식올타리, 안전로프(ropes), 스크린, 램프 등의 안전 시설을 적절히 배치하며, 스크린은 경사각을 완만하게 하여 쉽게 수로 밖으로 탈출할 수 있도록 강구할 필요가 있다.

##### 나) 물관리 및 시설관리 기능의 확보

수로의 대형화에 따라 물관리 및 시설관리가 복잡하게 됨으로 관리를 안전하고 경제적으로 행하려면 관리시설의 배치 및 구조 등에 대한 검토가 필요하다.

수로의 유지관리시설은 물관리를 포함한 비용대 효과의 관점에서 경제적이고 효율적인 시설계획이 되도록 해야만 한다. 또 일상적인 유지관리를 줄이려면 수로의 안전성 확보와 함께 청소나 잡초관리의 비용절감에 대한 연구가 요구된다. 한편 수로교, 수로교의 시설점검이나 붕괴방지, 터널, 암거, 사이편 등의 출입구의 점검, 보강 등,

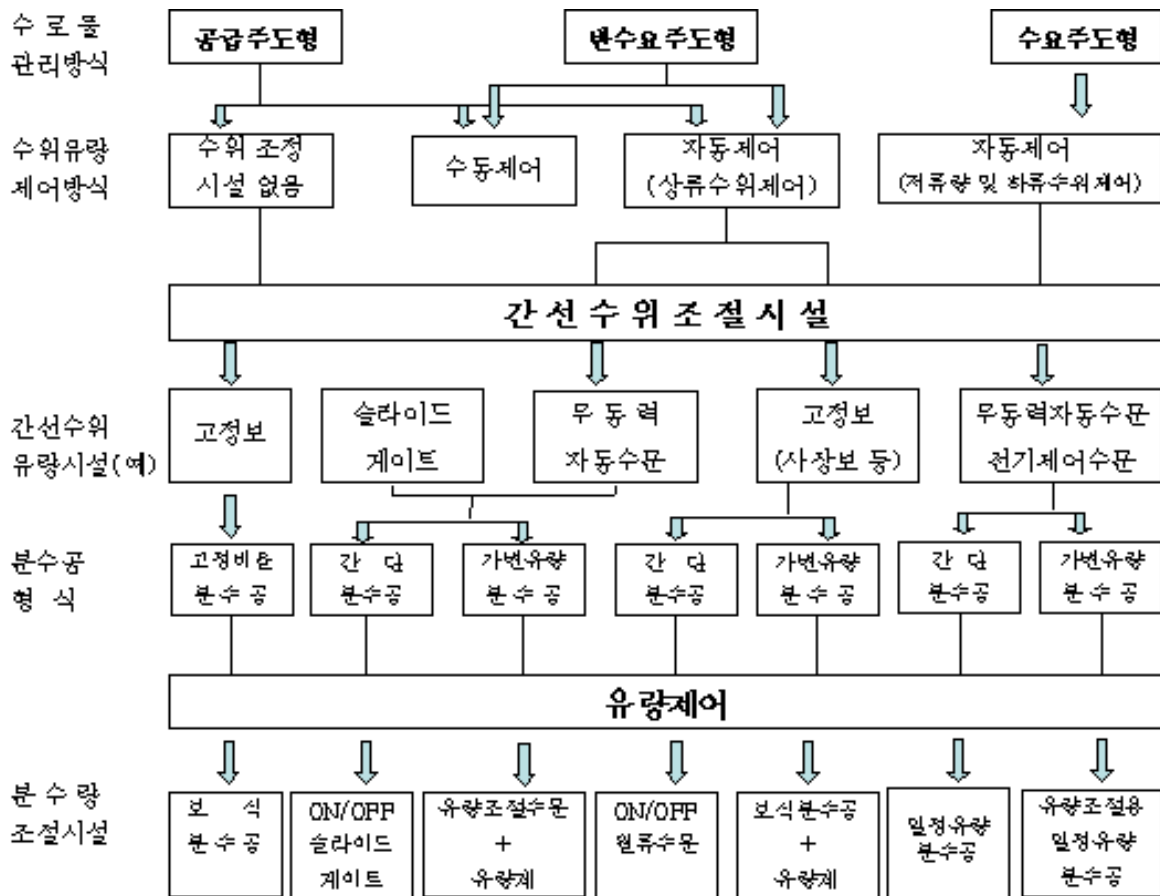


그림 3.1.5 간선수로 ~ 분수공의 유량조정 형태

지진에 대응 및 2차 재해의 방지 등, 지진재해대책에 대해서 검토가 필요하다.

다) 수로 구조물의 안전성 확보

(1) 수로 구조물은 홍수, 지반의 활동, 지진 등의 재해로 인해 시설의 손괴, 파손, 기능정지 등의 사고가 발생하는 경우가 있다. 설계에서는 이러한 사고나 2차 재해를 방지하기 위해 수로조직 중에 방류공, 여수로, 조정지 등의 조정시설을 유효하게 배치하는 등 안전성의 확보에 노력해야 한다.

(2) 수로조직은 시설 전체의 기능이 균형을 이루지 못하는 경우 가장 기능이 약한 부분에서 제약이 생기므로 시설설계의 정밀도 및 내구연한 등은 수로조직 전체에 대해 통일적으로 검토할 필요가 있다.

8) 수로의 송수 기능과 환경기능

가) 수로정비의 정세변화

(1) 농업·농촌 정비에 관한 오늘의 현황

브라질의 리오데자네이로에서 개최된 지구 정상회담(환경과 개발에 관한 국제회의)에서 야생동식물의 종의 존중과 미래세대의 생존권의 보증을 위한 「환경윤리」(인간

→토양→대기→물→식물→동물→인간)가 세워진 이래 지구환경의 보전이 세계의 조류를 타고 있다. 이것을 받아들여 우리나라 정부는 「환경보전법」을 제정하여 공해에서 환경보전의 시책대상을 확대하여 각 지자체에서 시민참여와 「환경기본계획」의 제정을 추진하게 되었다.

농업기반공사에서는 「환경친화적농어촌정비사업설계지침」의 「용배수로편」을 편찬하여 농어촌정비사업으로 시행하는 각종 사업에 대한 환경피해를 최소화하고 지속 가능한 방향으로 용배수로를 유도하기 위하여 조사·설계시 고려할 사항을 제시하였다.

## (2) 농업·농촌의 다원적 기능과 수로정비

농업·농촌이 갖는 공익적, 다원적 기능의 발현을 도모하는 것이 농촌환경정비의 기본적 요건의 하나이고 이것을 풍성하게 하는 친수공간의 정비와 농촌경관의 유지·형성, 그리고 생태계의 보전을 도모하는 것이 중요하다. 이러한 배경 때문에 원래 농업용 용배수의 송수를 목적으로 하는 용배수로의 건설에 공익적 또는 다원적 기능에 초점을 둔 수로정비방법을 고려할 필요가 생긴다.

수로정비에 필요한 기능개념도의 예를 그림 3.1.6에 나타내었다. 수로계획에서 구하는 기능이 수로의 송수기능을 중요시 하는가, 환경 기타의 다원적 기능을 중요시 하는가에 따라 수로정비방법이 달라진다. 수로정비방법의 선택에서는 계획을 책정하는데 지역종합계획 등의 상위 계획과 합치되도록 하는 것이 중요하다.

### 나) 수로의 송수기능과 환경기능

#### (1) 환경정책의 방향과 농촌종합계획에 있어서의 위치

환경을 배려하는 것은 농업농촌정비사업에 있어서도 중요한 국정과제의 하나가 되고 있다. 여러 가지 시설의 설계 및 시공에 있어 자연환경과의 조화, 국토보전기능의 유지 등을 충분히 고려하여, 각종 환경정비사업이 수립되도록 농촌지역에서의 환경보전에 유효한 정책이 전개되고 있다.

수로의 환경기능이란 수로기능이 지역의 환경개선에 기여하는 친수, 경관형성, 생태계보전, 수질정화, 교육·문화 등의 다원적 기능이라 불리는 공익적인 기능이다 (그림 3.1.6 참조).

환경과의 조화가 되도록 수로주변의 지역 환경이나 입지조건, 역사적 사회 환경 등을 고려하여 종합적인 검토를 하여야 한다.

국토의 계획 및 이용에 관한 법률에서는 용도지역으로 도시지역, 관리지역, 농림지역, 자연환경보전지역 등 4종의 법정지역으로 구분한다. 이러한 지역구분을 고려하여 그 특성에 맞도록 수로를 설계하고 시공하는 것이 필요하다. 농림지역에서의 수로계획은 공학적인 검토조건과 송수기능에 중점을 두어야 하지만, 자연환경보전지역에서는 지역환경의 보전과 개선에 초점을 맞추는 것이 필요하다.

#### (2) 송수기능과 환경기능의 균형정비



농업용 용배수로는 종래에 돌쌓기나 나무말뚝 등 자연의 소재로 호안을 축조하여 친수성을 좋게 하고 독특한 전원풍경을 창출하였다. 또 이러한 수로는 어류, 곤충류, 기타 소동물의 서식처로 적당하며 자연 정화작용으로 수질도 좋게 보전하였다.

그러나 이와 같은 수로구조는 유량의 제어와 수로의 보수관리 면에서 합리적이지 못함으로 지역 및 농업의 근대화와 함께 콘크리트 블록, 콘크리트 라이닝, 개거 또는 관수로로 개축되었다. 인공소재의 수로는 송수기능의 확보에는 유리하지만, 생태계보전이나 경관의 면에서는 불리하여 환경기능의 강화를 위한 새로운 시도가 필요하게 되었다.

농업용 용수로는 농업생산성의 향상을 주목적으로 하기 때문에, 송수기능에 중점을 두는 것이 기본이지만, 수질이나 생물상의 보전 등 다원적 기능을 적극적으로 발현하여 송수기능과 환경기능의 양자가 균형을 유지하도록 정비하는 것이 필요하다.

### (3) 지역에 대응하는 수로의 기능분류

수로의 기능은 정비의 목적이나 지역의 실태에 비추어 분류된다. 수로기능의 분류에 따라서 수로정비계획을 세운다고 가정하는 경우의 유의사항은 다음과 같다.

- (가) 송수기능과 환경기능은 지역구분을 기본으로 수로건설비, 입지조건, 환경과의 조화를 고려한 수로의 다원적 기능의 중요성 및 관리의 관점에서 충분히 검토하여 계획한다.
- (나) 정비지구의 용도지역 구분을 존중하여 지역구분에 근거한 수로의 특징을 부각시켜서 행한다.
- (다) 자연환경과의 조화 및 조정을 도모한다.
- (라) 지역용수기능의 확보와 그의 적극적인 이용을 도모한다. 또 정비후의 유지관리에 대해서도 기술적인 대응을 포함하여 충분한 검토를 한다.
- (마) 수로의 안전성은 친수와 일체가 되는 관점에서 필요하고 환경과의 조화를 고려하여 수로를 충분히 활용하기 위한 안전대책을 강구한다.
- (바) 환경과의 조화를 위한 구체적인 사항에 대해서는 수로의 정비목적에 따라 수로의 역할과 지역의 특징을 고려하여 정한다.

## 라. 배수로조직의 설계의 기본사항

### 1) 일반사항

배수로조직의 설계는 강우유출계산과 침수해석 그리고 배수진단 등에 의해 계획·결정된 배수계획에 기초를 두고 행하는 것이 기본이다. 배수계획은 주로 배수시설의 위치, 노선, 규모, 개략 단면 등을 가정하여 행하며, 그 후 배수로 설계에서는 이들 계획조건을 만족시키지 않으면 안 된다.

배수계획의 책정은 「농업생산기반정비사업계획설계기준 배수편」 등에 기초하여 실

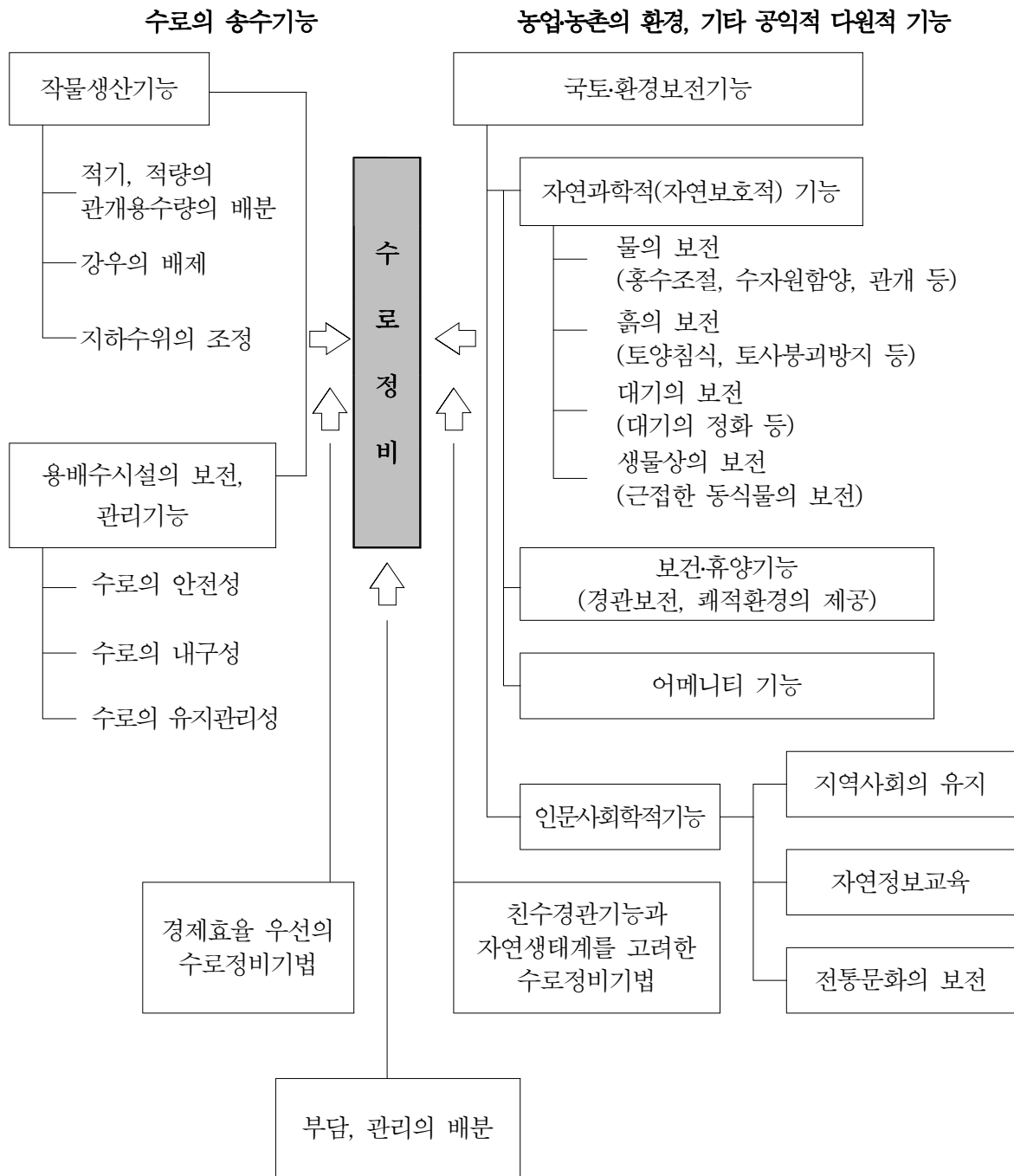


그림 3.1.6 수로정비에 필요한 기능개념도 예시

시하며, 배수로조직설계에 있어서도 동기준의 내용을 충분히 이해할 필요가 있다.

배수로조직설계의 특징은 이러한 상위계획에 따라 필요한 기능의 확보를 도모하고, 사회적, 경제적인 검토를 추가하여 진행한다. 일반적으로 배수로조직설계를 추진하는데 필요한 기본사항을 들면 다음과 같다.

- 가) 배수계획과 배수목적
- 나) 배수단면과 호안공법
- 다) 기계배수에 있어서 수로계획상의 유의할 점
- 라) 수로의 안전과 유지관리

## 2) 배수계획과 배수목적

농지배수의 목적은 지표수의 배제와 과잉 토양수분의 배제이다. 계획배수는 토지이용구역마다 구하는 정비수준에 따르고 농지배수나 주변의 시가지를 포함하는 광역적인 배수계 내의 배수개선을 목적으로 계획한다.

논지역에서는 논이 고도 이용을 위한 발전환을 가능하게 하는 배수로 정비가 요구되고, 특별히 논을 밭으로 이용할 경우 용수로와 배수로를 분리한 배수조건의 정비가 불가피하다. 이러한 배수로는 농지의 홍수배수나 잉여지하수의 배제가 목적이지만, 배수사업구분에 따라 정비 수준이나 목표가 변하므로 주의할 필요가 있다.

배수계의 능력은 담면상의 허용담수심과 소비수로의 능력에 좌우되는 경우가 많다. 범용농지화를 위해서 무담수 상황을 고려할 것인가, 허용담수심을 어느 정도 인정할 것인가는 농지 등의 배수목적이나 조건설정에 큰 변화를 준다. 전후를 생각하지 않고 배수능력을 크게 하면 전체의 시설능력이 커지고 배수구역의 정비수준 이상의 시설이 되어 유지관리비등의 부담도 커지기 때문에 배수 능력을 결정할 때는 특히 전체의 균형을 취하는 것이 중요하다.

또 농지의 범용화를 도모하는 경우에는 홍수배제와 상시배수의 양면을 검토하여 배수로의 계획홍수위나 상시배수위의 설정이 논 단일작의 경우와 다르게 해야 한다. 일반적으로 표 3.1.1에 나타난 계획 기준치를 만족시킬 필요가 있다. 배수노선이 시가지를 통과하는 경우 관계기관과의 조정이 필요하고, 경관에 대한 배려와 안전대책 그리고 저수시의 토사나 쓰레기의 소류 등의 문제를 해결할 필요가 있다.

표 3.1.1 농지의 토지이용별 계획수위 및 바닥표고의 설정

수위·표고 토지이용구분	계획수위의 설정	바닥표고의 설정
논 단일작 지역	계획수위=최저논바닥높이+ 허용담수심(0.3m) 이하 보통, 수로에 의한 논바닥높이 이하	유속조건과 용지비를 고려하여 경제적 최고 유리단면이 되는 표고
범용농지 또는 밭 지역	계획수위=최저논바닥높이 이하 (5cm 미만의 담수를 허용) 보통, 수로에 의한 논바닥높이 이하	암거배수 출구높이 이하에서 상시 배수량의 흐름을 가능케 하는 표고

### 3) 배수단면과 호안공법

#### 가) 설계유량

단순한 자연배수로 등의 설계유량은 내부유역을 포함하는 배수계 내의 최하류점에서 유출량에 의해 구해진 비유량과 배수로 구간마다의 지배단면적의 곱으로 산정한다.

또 기계배수로 계획한 지구의 설계유량은 펌프최대 배출량과 지구 내 최대 유출량 중 작은 값으로 답수해석결과를 고려하여 결정한다. 그리고 광역배수의 설계유량은 일반적으로 부정류 해석으로 구하지만, 원칙적으로 내부유역을 포함하는 배수계 내의 비유량을 같게 하여 산정한다. 단, 부정류 해석에 의해 배수불량 지구가 특별히 정해지고 배수개선이 되지 않을 것이 예상되어, 동일 비유량을 적용하는 것이 부적당하다고 판단될 경우는 각각 해당되는 비유량을 이용하여 계획을 세운다.

또 배수로에서는 정비목표에서 구해진 계획대상유량을 초과하는 유량이 발생할 가능성이 있는데 이러한 경우의 수로의 보전 및 조정기능에 대해서도 검토하지 않으면 안 된다. 구간별 설계유량은 계획유량의 1/4 정도의 변화가 있는 경우에 변경하는 것을 원칙으로 한다.

#### 나) 계획기울기

배수로의 설계기울기는 배수계획에 기초하여 주요지점의 계획수위(제한수위)와 바닥표고(제한 바닥높이)를 만족시키도록 설정하고, 제한수위와 함께 제한 바닥높이를 만족시키는 전체적인 유속조건을 조합하고, 단면변화지점에서의 급격한 변화를 피하며 퇴사, 세굴방지를 고려하여 간선, 지선배수로에 적절한 기울기배분을 하여 결정한다. 즉, 필요에 대응한 경제적 비교·설계를 행한다.

또한 범용농지화를 목표로 하는 지구에서는 상시 배수량에 대해서도 제한조건을 만족시키는 기울기가 필요하다. 보통 홍수량에 의해 계획된 수로단면 및 바닥표고에서 상시배수량이 제한조건(상시배수 기준수위 등)내에서 유하 가능한가, 아닌가를 등류 또는 부등류 계산에 의해 확인한다.

이외에 지선배수로 및 소배수로의 높이나 간선배수로까지의 거리, 배수구의 바닥표고, 펌프의 운전수위조건, 펌프의 ON-OFF에 수반하는 수위변동 등에 대해서도 검토할 필요가 있다.

#### 다) 호안공법

배수로의 호안은 그 필요성을 검토하여 필요가 있는 최소한의 범위로 한다. 호안공법과 단면형은 용지비, 유지관리비를 포함하는 경제성 검토를 하여 결정한다. 그리고 친환경적인 재료를 사용하는 것을 적극 검토해야 한다.

호안은 수로사면의 안정성이나 유지관리비의 경감 및 호안으로 인한 용지폭의 축소를 피할 경우 필요하다. 저수호안의 높이는 1년 또는 2년 확률 유량시의 수위를 원칙으로 하며 다음의 경우에는 호안고를 높여도 좋다.

- (1) 용지비 및 유지관리비 등을 포함한 호안고의 경제성 비교를 하고 호안을 높이는 것이 유리한 경우
- (2) 사면침식의 우려가 있는 토질의 경우
- (3) 배수장 주변, 낙차공, 분류·급류공 등 수위변동이 심한 곳

4) 기계배수의 수로 계획상 유의할 점

간선배수로의 지구외로의 배수구는 통문, 통관에 의해 하천으로 방수하는 경우와 하해공작물이 있어 해안으로 방수하는 경우가 있고, 이들 모두 자연배수와 기계배수가 가능하다.

자연배수는 통상의 유하능력을 확보하면 좋지만, 하해공작물로 해안에 방수하는 경우는 조류나 풍파의 영향으로 여러 가지 대책이 필요하다 (「농업생산기반정비사업계획설계기준 해면간척편」 참조).

기계배수는 펌프기동에 수반하여 배수로 수위가 급격히 저하하는 경우가 많다. 그래서 기계배수능력과 배수로 유하능력이 균형을 잃는 경우 펌프의 과잉부하 등이 발생하기 때문에 전체적으로 균형 잡힌 수로계획이 필요하다.

그러므로 다음 사항을 검토하여 정상적인 상황이 확보되도록 한다.

- 가) 적절한 유수지의 규모
- 나) 펌프의 운전제어방식
- 다) 간선배수로의 선형개선이나 수심 및 단면의 확대

5) 수로의 안전과 유지관리

배수로는 원칙적으로 개수로로 계획하기 때문에 특히 증수시에는 안전대책에 충분한 배려를 할 필요가 있다. 보통 농지배수에서는 논지대에 노선을 선정하지만 주택이 있는 지역이 있으면, 펜스, 가드레일, 가드파이프, 손잡이 등의 안전대책이 중요하다.

배수로의 유지관리는 보통 보수점검에 제초, 퇴적토사의 제거 등이 있어 수로관리원의 부담이 된다. 생태계보전이나 경관에 대한 배려가 중요시 되는 구간에서도 특히 유지관리의 부담을 경감하는 방안을 검토하는 것이 필요하다.

**3.1.3 설계유량·설계수위**

수로설계시에는 계획용수량, 계획배수량, 계획수위, 용배수계통 등의 기본적인 사항에 대하여 확인하고, 수로조직의 각 시설에서는 그 목적에 적합한 설계유량 및 설계수위를 설정해야 한다.

## 가. 설계 유량

이 기준에서 설계유량이란 용수계획에 있어서의 시기별·용수계통별 계획최대유량, 배수계획에 있어서의 계획 최대유량을 말한다. 또 용배수계획에서 가장 적은 유량을 최소유량이라 말하고, 가장 많이 발생하는 유량을 최다빈도유량이라 말한다. 일반적으로 수로의 규모는 설계유량으로 나타내지만 단면, 구조 등의 결정에는 그 이외의 유량에 대하여도 검토해야 한다.

### 1) 용수로

용수로의 설계유량은 용수계획에서 정해져 있는 기별·용수계통별 계획최대유량이 일반적으로 사용된다. 다만, 상류 구간에서 계획대로 분수되지 않는 현상이 일어날 우려가 있는 경우 또는 지형제약상 홍수의 유입을 피할 수 없는 경우 등에는 계획분수량이나 유입 홍수량을 더하여 이를 설계유량으로 한다.

일반적으로 설계유량은 구간마다 분수공, 방수공, 물넘이와의 관련성을 고려하여 결정한다. 따라서 설계유량은 구간마다 방수공, 물넘이의 신설 및 방류하천의 개수계획 등을 포함한 전체의 시설비를 비교 검토한 후 결정한다.

또한 관개지구계획의 여러 가지 조건은 계획, 설계, 시공의 각 단계별 시행시기에 따라 변동되는 경우도 많으므로 일정기간마다 용수량결정요인(감수심, 작부체계, 관개면적, 토지이용, 분수점, 관개방식 등)의 확인을 하여 그 변화에 대응한다.

### 2) 배수로

배수로에서는 배수계획에서 정해진 계획최대유량을 설계유량으로 한다. 또 용수로에서는 보통 설계유량을 초과하는 유량의 흐름은 고려하지 않지만, 배수계획에서는 유출이 계획확률을 초과하여 수로시설에 지장을 초래하는 일이 있다. 이 유량은 수로시설의 중요도 등에 따라 수로의 유송능력을 확인하기 위해 사용한다.

더욱이 배수계획에서는 일반적으로 집수면적의 변경은 없지만 수문조건, 토지이용구분, 입지사회적환경 등의 변화에 따라 유출제원의 변동이 일어날 수 있으므로 계획, 설계, 시공의 각 단계에서 이들을 항상 점검하며, 필요한 대응조치를 함께 하면서 작업을 진행시켜야 한다.

## 나. 설계수위

이 기준에서 설계수위란 용수계획에 있어서의 시기별·용수계통별 계획최대유량, 배수계획에 있어서의 계획최대유량을 통수하는 수위이다. 설계수위는 설계유량과 같이 수로시설의 규모, 단면, 구조 등을 정하기 위한 중요한 기준치이며 각종 시설마다 그 기능이 안전하고 충분하게 발휘될 수 있도록 검토하여 설정하여야 한다.

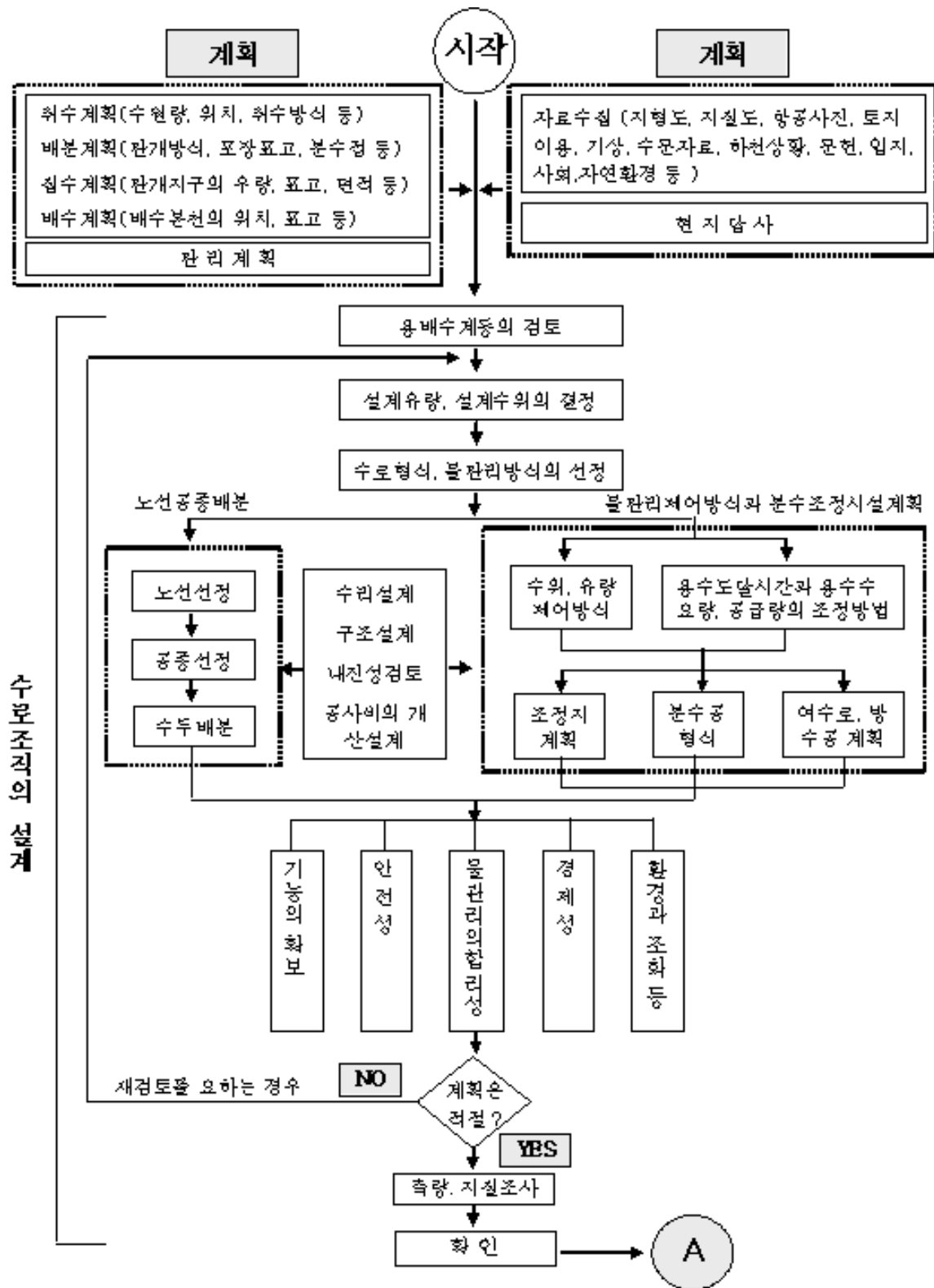


그림 3.1.7 수로공 설계의 순서 흐름도

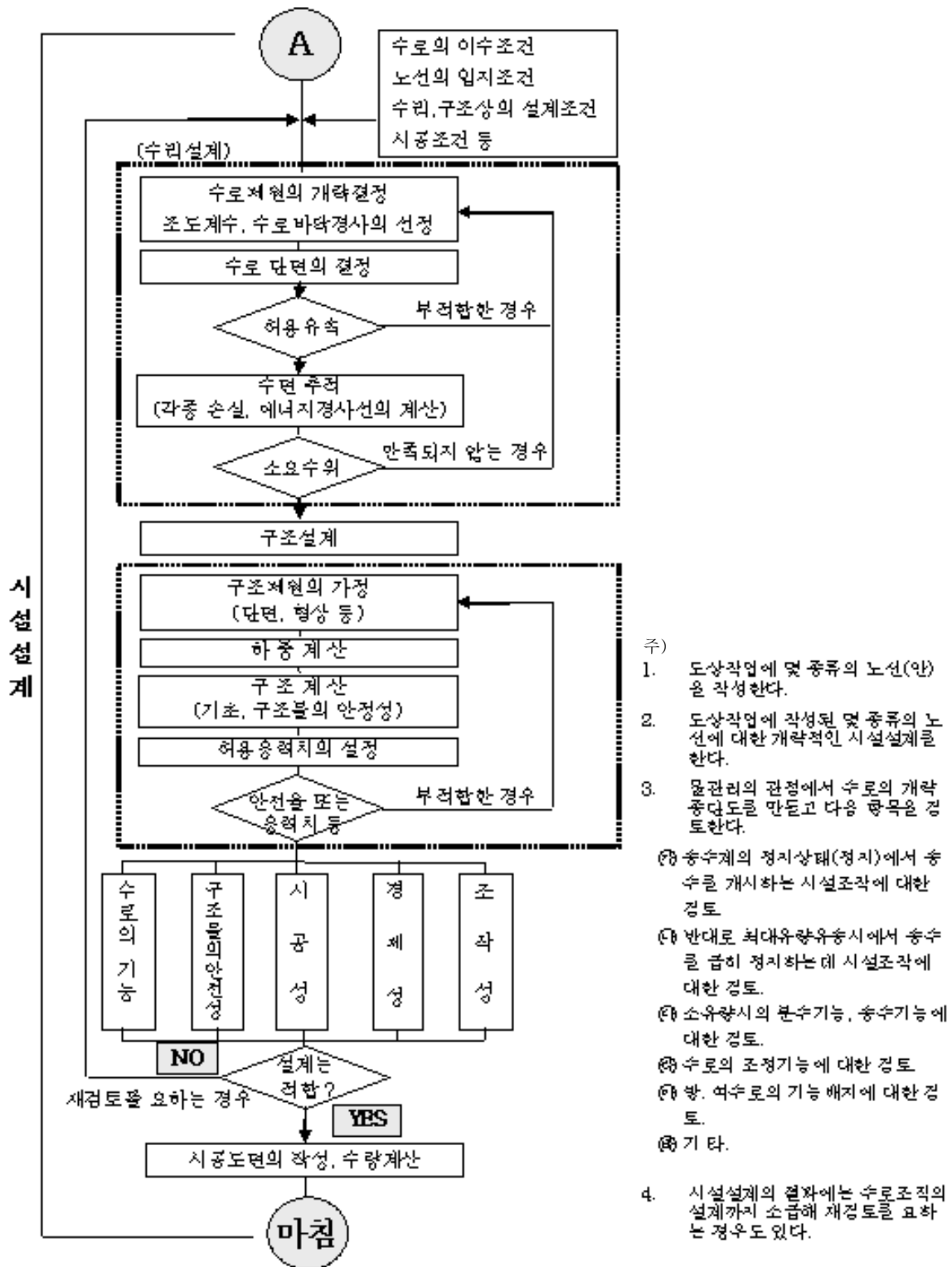


그림 3.1.7 수로공 설계의 순서 흐름도 (계속)



## 1) 용수로

설계수위라 함은 위의 설명과 같이 용수계획에 정해져 있는 시기별·용수계통별 계획최대유량을 통수하는 수위이다. 다만, 상류구간에서 계획유량이 분수되지 않아 유량이 증가되는 구간에서는 이에 해당하는 값을 더하여 설계수위로 한다.

또 용수계획에서 가장 적은 유량에 대응하는 수위를 최저수위라 하고 가장 많이 발생하는 수위를 최대빈도수위라고 한다. 최저수위나 최대빈도수위는 분수공, 낙차공, 계측시설 및 수위조절시설 등이 원활하게 기능을 다하고 있는지를 검토하기 위하여 사용된다.

수로 각 지점에서의 설계수위는 수로조직이 단순한 경우 각점의 수위를 연결함으로써 구할 수 있다. 수로가 긴 경우 노선상의 지형의 변화, 이에 따른 각종 수로시설의 배치 등으로 인하여 단순하게 설정하기 곤란하므로 조직설계의 단계에서 공중, 노선의 배치를 고려하여 종합적으로 검토한다.

## 2) 배수로

설계배수위란 배수계획에 정해진 계획최고수위를 말한다. 또한 배수계획에서 가장 적은 유량에 대응하는 수위를 최저배수위라고 한다. 배수로에 호안을 설계하는 경우에 그 설치목적이 물의 흐름에 의한 세굴 또는 침윤에 대하여 사면의 안정성을 높이려고 하는 호안에서는 해당 호안계획의 대상으로 하는 유황에서의 수위를 정하여야 한다. 이를 호안계획수위라 한다.

평상시 배수위는 포장의 지하수를 배제하고 있는 암거(속도랑)배수의 출구표고 이하로 정한다. 또 수로주변 경지에 침출수에 의한 피해가 예상되는 배수로의 설계수위는 수로주변 경지의 표고 이하로 정하는 것이 바람직하다.

설계수위, 수로단면 및 규모 등은 배수로의 각 구간의 상호표고관계를 감안하여 설계유량이 안전하게 흐를 수 있게 정한다. 이와 같이 하여 구한 수로단면에 대하여 평상시 및 호안계획대상유량에 대한 수면추적을 하여 암거배수구, 호안 등의 배수시설을 설계한다.

또한 일반적으로 자연배수, 기계배수 등의 배수방식은 계획시 정해지지만 토지이용형태 및 사회적 입지환경의 변화에 따라 계획배수량의 변동도 일어날 수 있다. 따라서 계획, 설계, 시공의 각 단계에서 항상 계획 기초값을 검토하여 작업을 진행시켜야 한다.

### 3.1.4 수로형식의 선정

수로형식은 설계유량과 설계수위를 기초로 하여 노선의 자연적, 사회적 입지 환경, 경제성과 이수조건, 물관리 조건과 환경친화적 조건 등을 고려하여 수로 조직 전체의 목적과 기능이 충분히 발휘될 수 있게 결정해야 한다.

수로형식은 수로조직 전체의 기능을 좌우하고, 수로건설비에 크게 영향을 준다. 따라서 수로조직 전체의 목적과 기능이 충분히 발휘될 수 있게 경제성, 물관리 목표, 체제, 유지조건 등을 고려하여 수로형식을 선정한다.

수로형식에는 개수로, 터널, 사이펀 등을 주체로 하는 개수로 형식과 관수로로 주체로 하는 관수로 형식 또는 개수로와 관수로의 복합형식이 있다.

다음과 같은 개수로 형식과 관수로 형식의 특성을 충분히 감안하여 수로형식을 선정하지만 입지환경의 제약 등에 의하여 생기는 부대시설의 비용증가 때문에 개수로 형식의 경제적 유리성이 차차 저하되고, 최근에는 이용이 편리하고 노선선정의 자유도가 큰 관수로 형식도 많이 채용되고 있다.

#### 가. 개수로 형식의 특성

- 1) 일반적으로 수로건설비가 싸고 널리 활용되고는 있지만 노선의 지형조건에 좌우되므로 지형의 기복이 큰 곳에서는 터널, 사이펀 등 공중의 복잡화 또는 개수로의 우회 등으로 인하여 공사비가 높아지는 경우도 있다.
- 2) 게이트조작에 의하여 유량을 조절할 경우 유량변화의 전달속도는 구조물에 의한 반사, 수로통수단면의 변화 등 각종 요인에 따라 다르지만, 관수로 형식에 비하여 반응이 느리고, 특히 길이가 긴 수로에서는 정상상태에 이르게 하기까지 많은 시간이 걸린다.
- 3) 관수로 형식의 수로와 비교할 때 유량변동에 대한 자유도가 높음과 동시에 수로 단면의 폐쇄에 대한 우려가 적다는 점에서 배수로나 용배수겸용수로에서 채용되는 일이 많다.
- 4) 관수로 형식에 비해서 상부가 개방되어 있으므로 통수저해요인을 제거하기에 비교적 용이한 반면 최근 수로 도중에서 쓰레기를 버리는 경우가 많으므로 이를 방지하기 위한 대책이 필요하다.
- 5) 수로의 경관 및 친수기능을 고려한다.
- 6) 인명사고 등에 대한 대책이 중요시되고 있다.

## 나. 관수로 형식의 특성

- 1) 관체는 압력수두선(동수경사선) 이하로 설치하는 것이 원칙이며 노선선정에 있어서는 비교적 지형조건에 좌우되는 일이 적다.
- 2) 게이트 및 밸브 조작에 의하여 유량을 조절할 경우 유황의 변화는 수격파로서 전달되고, 비교적 단시간에 정상상태에 이른다. 특히 이 경향은 폐쇄형 관수로 형식의 수로에서는 현저하다. 이 경우 수요자측의 수요변화에 따라 공급량을 신속히 변경할 수 있지만 과잉의 수격압이 발생하지 않도록 신중히 유량조절을 해야 한다.
- 3) 송수손실이 적으므로 물이용의 효율화를 도모할 수 있다.
- 4) 농업용수에서는 특수한 경우 외에는 미세한 먼지, 모래, 부유이토 등이 함유되어 이들의 부착, 침전에 의한 통수저해가 예상된다. 유지관리상 이들의 통수저해요인에 대한 관내제거가 일반적으로 개수로에 비하여 곤란하기 때문에 상류유입부에 침사지나 체진시설을 설치하여 수로 중에 먼지, 쓰레기나 침전물이 들어가지 않도록 해야 한다. 또한 이들 통수저해요인에 의한 유입구의 폐쇄에 대한 우려가 있어 관수로 형식의 수로는 배수로에는 적당치 않은 경우가 많으므로 배수로에 사용할 경우에는 적절한 관내유속이 부여되고, 관설치 기울기가 역기울기가 되지 않도록 특별히 고려해야 한다.
- 5) 상하류의 압력차에 의하여 유량을 흐르게 하는 시설이므로 개수로 형식의 수로와 비교할 때 유량변동에 대한 자유도가 작아서 배수로나 용배수겸용수로로 채용할 경우 제약이 따른다.
- 6) 수로에 의한 켈폐지(수로가 차지하는 부지)가 적기 때문에 수로부지의 유효이용을 고려하는 경우에는 유리하다.
- 7) 일반적으로 개수로형식에 비하여 건설비는 비싸지만 용지의 제약이 적고 용수관리가 용이하다는 점에서 비교적 대유량의 수로에서도 채용되는 경향이 있다.

## 다. 개수로와 관수로의 복합형식의 특성

- 1) 도시화에 의한 개수로 용지의 확보가 곤란하든가 또는 수질보전, 물관리의 생력화 등의 이유로 상류부가 개수로, 하류부가 관수로로 계획된다든지, 또는 반대의 경우 양자를 조합시킨 복합형식이 많아지고 있다.
- 2) 복합수로에서는 개수로와 관수로 특성의 차이점에 대하여 주목하고 접합부에서 물흐름의 연속성이 유지될 수 있게 조절용량의 결정 또는 물넘이 등의 설치에 유의해야 한다. 개수로는 제수문(check gate) 등에 의해 상류의 수위를 제어할 수 있기 때문에, 분수게이트의 조작 등과 조합시키면, 상류우선의 물관리가 용이한 시스템이 된다. 또 송수량의 증감에 따라 용수도달시간도 달라지는데 관수로에서는 하류의 말단 밸브의 개도 조작에 의해 관로입구의 유량까지 변화를 일으

킴으로 개수로의 용수도달시간과 비교하면 대단히 단시간에 유황변화가 계통 내에 일어난다.

- 3) 복합수로는 개수로, 관수로 형식의 장단점을 공유하고 있기 때문에 양자의 특성이 모순되지 않도록 사용개시후의 물관리 조작을 고려하여 수로조직의 설계를 하여야 한다.

### 3.1.5 노선 선정

수로의 노선은 설계유량 및 설계수위를 기초로 하여 그 목적과 함께 구조물의 안전성 및 경제성을 고려한 후 노선의 자연조건, 사회적 조건 등도 고려하고 전체적 관점에서 결정해야 한다.

#### 가. 일반사항

수로의 노선은 용배수계획에 따라 정하여져 있는 설계유량과 설계수위를 확보하고 심사숙고하여 정한 수로형식에 적응될 수 있도록 선정해야 한다.

이 경우에는 통수시설의 공중선정은 물론, 수로 조직 내의 각종 시설의 배치와 구조에도 배려를 하여 노선을 결정한다.

노선 선정에서 용지의 취득, 용배수 관행의 변동 등 사회적인 문제도 일어나기 때문에 도상에 몇 개 노선에 대한 비교검토를 하여 최적노선을 선정해야 한다.

#### 나. 노선의 선정 유의사항

노선선정에 관하여 일반적인 유의사항은 다음과 같다.

##### 1) 수로조직으로서의 유의사항

가) 용수로는 원칙적으로 관개지에 자연관개가 될 수 있게 취수지점의 수두를 가능한 한 활용하도록 배려하여 노선을 선정한다. 단, 고위부에 위치한 관개지의 면적이 전체에 비하여 적은 경우 등은 그 일부를 펌프양수관개로 계획하고 전체의 공사비, 장래의 물관리 등을 고려하여 비교검토를 한 후 노선을 결정한다.

나) 배수로는 원칙적으로 지구의 최저위부를 통과시키도록 한다. 지구의 일부를 기계배수로 하는 지구에 있어서도 고위부, 저위부 또는 중위부 등으로 분할하고 배수로를 2단 또는 3단식으로 배치하는 경우 배수기의 운전경비가 절감되는 경우도 있으므로 비교 검토할 필요가 있다.

다) 용수로의 물넘이, 방수공 및 분수공 등은 이들의 시설에 관계되는 하천과 함께 관개지 상태 등을 충분히 조사하여 적절한 위치에 선정한다.

- 라) 발관개를 포함하는 장대한 용수로계 또는 발관개를 주체로 하는 용수로계에서는 도중에 조정지를 설치함으로써 수로 단면의 축소를 기하고 공사비의 절감, 수로구조의 단순화, 물의 유효이용, 배분관리의 합리화 등 좋은 결과를 기대할 수 있다.
- 마) 농업용수는 지역의 환경보전 기능 또는 농업이외의 사회적 역할을 지니는 것도 있다. 구수로의 개수 도는 이설에서는 이러한 관점에 대해서도 충분히 고려하여 설계해야 한다. 또 노선선정에 있어서 다른 지역개발계획을 충분히 조사하여 이것과 조화를 이루도록 함이 좋다.

## 2) 노선선정상의 유의사항

- 가) 관수로 형식의 수로는 지형상의 제약이 비교적 적으므로 노선은 가급적 직선으로 하고 단거리를 관통하도록 하는 것이 바람직하다. 또한 개수로 형식의 수로는 많은 절성토를 피하고, 수로의 허용유속을 만족시키도록 노선을 선정한다.
- 나) 토질이 나쁜 지점을 피함과 동시에 인가와 교통에 지장을 주지 않도록 배려한다.
- 다) 보안, 보전 등의 면에서 성토 위에 수로를 설치하는 것은 가급적 피하도록 한다.
- 라) 수원으로부터 관개지까지에 상당한 낙차가 있는 경우는 농업용수시설의 유지관리비 절감 차원에서 그 낙차를 유효하게 이용하여 발전 등에 이용하는 사례도 있다. 앞으로 노선선정에 있어서는 이와 같은 잉여수두의 이용 방법에 대하여도 함께 검토하여야 한다.
- 마) 수로를 농업용수 이외의 타목적 용수와 함께 이용하는 경우 보수점검 등을 위한 단수로 인해 경제적 손실을 입는 일이 있다. 이런 경우는 2련 수로 등 복단면 수로에 대하여도 검토하는 것이 필요하다.

## 다. 노선선정의 순서

노선선정에 관계되는 측량 등의 조사에 대해서는 「2.2 조사」에 따르지만 여기서는 이 조사를 바탕으로 노선을 선정하는 작업에 대하여 기술한다.

노선선정은 주로 계획, 조사단계에 있어서의 노선개략결정과 전체실시 설계, 또는 공사 실시단계에 있어서의 결정과의 2단계로 나누어진다.

노선의 개략결정이란 기존 또는 조사 시에 작성된 지형도를 바탕으로 현지조사 등에 의해 가능한 몇 개의 비교노선에 대하여 주로 수로의 목적 및 기능, 구조물의 안전성과 경제성을 고려한 후 비교설계를 하여 가장 유리한 노선을 정하는 일이다. 노선의 결정이란 개략결정노선을 근거해서 평면도를 작성함과 동시에 상세한 현지조사

를 하여 노선의 중심선을 현지에 설정하는 작업이다. 이 작업순서는 다음과 같다.

1) 노선의 개략결정작업

가) 소규모 수로조직에서는 직접 현지조사에 의해 노선의 개략결정이 가능하지만

보통의 수로조직에서는 관계지역 전체를 포함하는 축척  $\frac{1}{5,000}$  ( $\frac{1}{25,000}$   
 $\sim \frac{1}{50,000}$  또는  $\frac{1}{5,000} \sim \frac{1}{50,000}$ )의 지형도에 의거 작업을 실시한다.

나) 가) 작업에서는 가능한 몇 개의 비교노선을 심사숙고하여 정하고 각각의 노선에 대하여 공중배치, 수두배분 등의 개략설계를 하며 용배수 계획상의 타당성과 건설비를 비교검토하여 가장 유리한 노선을 선정한다. 또 현지답사는 단순히 지형, 지표, 지질 등의 조사에 그치지 않고 비교노선의 선정에 필요한 설계, 시공, 관리 및 사회조건 등의 요소를 검토하는데 기여하는 것들도 포함하여야 한다.

2) 노선의 결정작업

가) 노선의 개략결정에 의하여 가장 유리한 노선이 결정되면, 그 노선을 따라 수로규모에 따라, 노선 양쪽에 거의 30~100m 정도의 폭으로 축척  $1/500 \sim 1/1,200$ 의 평면도를 작성한다. 이 평면도는 노선결정 및 설계, 시공의 중요자료가 되므로 정밀도가 높은 것이어야 한다. 또한 이 경우 작성하는 평면도가 이후의 용지취득 등에도 쓰일 수 있는 축척, 기사 등을 포함하는 것이면 편리하다.

나) 수로의 공중, 각 수로공중마다의 단면, 구조 및 수위를 개략 정하고 이들 공중간의 모순이 생기지 않도록 노선을 결정하고, 평면도에 노선의 중심선을 기입한다.

다) 도상에서 결정된 노선에 대하여 현지에서 확인함과 동시에 필요에 상응하는 토질, 지질 등의 조사를 하고 현지에 중심선 말뚝을 설치한다. 이 단계에서도 아직 미해결의 문제가 남아 있는 경우, 그 결론 여하에 따라 노선이 좌우되는 일이 있으므로 중심선을 현지에서 확정하기 전에 노력하여 모든 문제를 처리하여 두는 일이 필요하다.

### 3.1.6 통수시설의 공중선정

개수로, 터널, 암거, 사이편, 수로교, 낙차공, 급류공 등 통수시설의 공중은 구조물의 안전성과 경제성, 노선의 지형, 노선연변의 토지이용상황 등 자연적, 사회적 제조건을 고려한 후 수로조직 전체의 목적 및 기능이 충분히 발휘되도록 선정한다.

수로조직은 개수로, 터널, 암거, 사이편, 수로교, 낙차공 및 급류공 등의 통수시설과 분수공, 계측, 합류, 조절, 보호, 안전, 관리 및 부대시설 등으로서 구성된다.

공중선정은 수로조직 전체의 목적 기능이 충분히 발휘 될 수 있게 심사숙고하여 정한 수로형식 및 노선에 대해 가장 타당한 통수시설을 선정하는 작업이며 구조물의 안전성과 경제성, 노선의 지형, 노선연변의 토지이용상황 등 사회적 제조건에 대하여도 충분히 고려하여야 한다.

특히 통수시설은 수로조직의 주요부를 차지하므로 그 시설의 양호나 불량은 그 수로조직의 기능을 좌우하며, 수로의 건설비에 크게 영향을 주기 때문에 충분한 검토를 하여야 한다.

그리고 분수공, 계측, 합류, 조절시설 등은 수로조직의 기능상 통수시설과 밀접한 관계를 갖기 때문에 이들의 배치 및 규모를 생각하고, 통수시설의 공중선정을 하여야 한다.

또한 관수로 형식은 단일의 통수시설이기 때문에 개수로 형식과 같이 특정한 공중의 선정작업은 필요하지 않다. 그러나 송수형식이나 부대시설의 구조 및 배치에 대한 검토가 중요하다.

#### 가. 개수로

- 1) 개수로는 옹벽형, 라이닝, 무라이닝 수로로 대별할 수 있다. 이들의 선정에는 개수로의 목적, 구조물의 안전성, 사회적 제약조건, 건설비, 유지관리 등의 비교 검토가 필요하다.
- 2) 개수로는 일반적으로 관수로에 비하여 수리적으로 유리하며, 더욱이 절·성토량이 평형을 이루고 있는 경우 경제적으로 되는 경우가 많다.
- 3) 장대한 흙쌓기 또는 흙깎기는 수로의 안전성, 경제성의 면에서 불리하므로 가능한 한 피하도록 한다. 단, 짧은 구간에서 다른 공중(예를 들면 사이편, 암거 등) 보다 유리한 경우에는 상당히 큰 흙깎기나 흙쌓기를 피할 수 없는 경우도 있다. 이 때는 기초, 토질, 흙깎기와 흙쌓기의 안전 등에 대하여 충분한 검토와 처리를 하는 것이 좋다.
- 4) 무라이닝 수로는 일반적으로 누수방지를 할 필요가 없고 만곡, 합류 등에 의해

침식, 세굴의 우려가 없는 배수로에 많이 채용된다. 또한, 지형, 기울기가 비교적 급해서 침식, 세굴이 예상되는 수로에서는 낙차공 또는 급류공을 설치하여 수로 기울기를 느리게 하여 무라이닝 수로로 하는 것이 유리한 경우가 있다. 그리고 무라이닝 수로에서의 합류부, 만곡부 등에서 침식, 세굴의 우려가 있는 구간에서는 필요에 따라 라이닝 또는 호안을 한다. 상시 물흐름이 있는 경우는 복단면으로 하여 저수위부를 호안하며, 고수위부는 굴착한대로 또는 평매 등의 간이 보 호공으로 하는 수도 있다.

- 5) 라이닝 수로란 수로배면의 토질재료에 의해 수로비탈면을 안정시켜 지수, 수로 표면의 평활화, 또는 잡초의 방지를 목적으로 표면을 비교적 얇은 피복재로 덮는 수로이다. 이에 대해 옹벽형 수로는 수로측면이 내·외수압 및 배면토압 등을 지지하는 벽에 의하여 구성되는 수로이다. 따라서 라이닝 수로와 옹벽형 수로는 어느 것이나 누수방지, 단면의 축소 등을 목적으로 한 수로형식이지만, 용지취득 등 수로연변의 입지 제조건의 제약이 없는 경우 라이닝 수로는 옹벽형 수로 보다 경제적이며, 수로의 규모가 커질수록 그 경향은 현저하다. 그러나 최근 사회, 입지환경 등의 제조건으로 인하여 옹벽형 수로가 많이 채용되고 있다.

일반적으로 다음의 경우는 옹벽형 수로의 채용을 고려할 수 있다.

- 가) 통수단면이 작고 용지매수비 등을 생각하면 라이닝 수로에 비하여 건설비가 유리한 경우
- 나) 옹벽형 수로의 기초공이 비교적 싼값으로 건설될 수 있는 경우나 라이닝 수로에서 토공에 고액의 공사비를 요하는 경우
- 다) 수로가 급경사지의 비탈면 또는 흙막기 높이가 큰 안장부를 통과할 때 라이닝 수로에서는 다량의 토석을 처리하여 토공에 고비용을 요하는 경우
- 라) 터널과 사이펀 등 구조물 간의 길이가 짧은 개수로에서는 트랜지션(이행부)을 포함한 전체의 공사비를 생각하여 옹벽형 수로의 공사비가 더 싸게 드는 경우

## 나. 터널

터널은 산악, 대지 등의 고위부에서 개수로로 통과하는 것이 불가능한 경우 또는 개수로로 우회하는 것보다도 연장이 단축되며 전체적으로 경제적인 경우 등에 채용된다.

선정에 있어서의 유의사항은 다음과 같다.

- 1) 개수로에 비하여 2~3배의 공사비를 요하고 지질이 나쁜 경우 공사비는 더욱 증가함으로 될 수 있는 한 지질이 좋은 노선을 선정함과 동시에 최단거리를 통과하도록 한다.
- 2) 단층, 파쇄대 및 연약지대 등의 통과는 가급적 피하는 동시에 유해가스의 발생에 대하여도 충분한 조사를 하여야 한다. 부득이 단층이나 연약지대 등을 통과



하는 경우에는 시공 중의 대책에 대하여도 충분히 검토하는 것이 필요하다.

- 3) 터널 유입부에서는 낙석방지 등의 안전대책이나 유지관리상 터널 내에 토사퇴적이 일어나지 않도록 대책을 세울 필요가 있다. 또한 긴 터널에서는 공기의 단축, 경제성 등의 관점에서 도중에 횡갱, 수직갱 등을 설치하는 것이 필요하다.
- 4) 노선상에 지하수를 이용하고 있는 경지나 주택이 있는 경우에는 관개용수나 생활용수의 고갈 등의 문제가 일어나는 것도 예상된다. 따라서 지하수의 분포, 수량 및 수질 등에 대하여 사전에 충분히 조사하여 대책을 세우도록 고려하여야 한다. 그리고 기타 상세한 것은 「농업생산기반정비사업계획설계기준 수로터널편」을 참고한다.

#### 다. 암거

암거는 절취 비탈면이 길어지고 지하수위가 높고 따라서 부력 또는 양압력을 받거나, 또는 용출량이 많아 개수로로서 구조적으로 불안정하거나, 또는 경제적으로 불리한 경우, 혹은 흩딤이 두께가 작아 터널시공이 곤란한 철도, 도로, 제방 등을 횡단하는 경우에 적용된다.

- 1) 암거는 지질조건이 허용하는 한 최단거리를 통과시키도록 한다.
- 2) 암거는 일반적으로 지하에 매설하므로 크고 긴 절취비탈면을 남기는 일이 없고, 지하수위의 상승에 대하여도 구조의 안정성이 떨어지는 일이 적음으로 깊은 흩딤을 요하는 개수로에 비하여 경제적인 때가 많다.
- 3) 암거의 매설깊이는 수리적으로 정하는 수위와 함께 지상물이나 이용방법에 상응하여 필요한 흩딤이 등도 고려하여 결정해야 한다.
- 4) 철도, 하천, 도로 등을 횡단하는 경우에는 가능한 한 직각으로 교차토록 한다. 시공에 있어서 상부시설에 영향을 적게 끼치는 추진공법이 굴착공법과 비교하여 전체적으로 볼 때 경제적으로 유리한 경우가 있으므로 교통량이 많은 주요도로, 철도 등에서는 가설비를 포함한 전체 공사비의 비교설계를 하는 것이 필요하다.
- 5) 도시근교나 시가지를 통과하는 경우 개수로처럼 전락방지나 쓰레기 등의 투기방지 등에 대한 특별한 대책이 필요 없으므로 경제적으로 유리한 경우가 많다.
- 6) 특히 깊은 암거에서는 공사의 시공시에 지하수위의 저하, 지하수의 고갈 등 주변에 지장을 주는 일이 있으므로 환경조사를 하여 노선의 적부 또는 그 대책을 검토하여야 한다.

#### 라. 사이편, 수로교

사이편 또는 수로교는 하천, 철도, 도로, 계곡 등의 저위부를 개수로로 통과할 수 없는 경우 또는 우회하는 것보다도 길이가 단축되어 경제적인 경우 등에 채용된다.

그 어느 것을 채용하는가는 그 지점의 지형, 지질, 수리조건, 안전성, 건설비 등을

비교·검토하여 결정한다.

사이편, 수로교를 선정하는 경우의 유의사항은 다음과 같다.

- 1) 개수로에 비하여 3~4배의 공사비를 요하므로 될 수 있는 한 최단거리로 횡단한다.
- 2) 일반적으로 사이편은 관체를 지상에 부설 또는 지중에 매설하지만 지형, 지질에 따라서는 관체의 일부를 수로교 또는 터널로 하는 것이 유리한 경우도 있다. 예를 들면, 견고한 기반이며, 깊은 계곡을 형성하는 지형에서는 하상에 매설하는 것 보다는 홍수위보다 높은 부분을 수로교로 횡단하는 방법이 유리하다. 또, 사이편 입출구의 산턱이 급하고 험하며 암반인 경우는 터널로 하는 것이 유리한 경우도 있다.
- 3) 도로, 하천, 철도 등 중요시설을 횡단하는 경우는 가급적 직각교차로 한다.
- 4) 입출구는 가능한 한 흙쌓기 위에 설치하지 않는 것이 바람직하다. 부득이 흙쌓기 위에 설치하는 경우에는 구조상의 약점이 되지 않게 충분한 배려를 하여야 한다.
- 5) 사이편의 매설 깊이의 결정방법은 암거에 준한다.

#### 마. 낙차공, 급류공

수로가 큰 낙차를 가지는 경우는 필요에 따라 낙차공, 급류공 등의 낙차구조물을 설치하여 수로의 보전을 도모해야 한다. 또 낙차구조물에 의하여 생기는 낙차를 유효하게 이용하는 관점에서 소수력 발전을 계획하는 것도 고려해 볼 필요가 있다.

낙차구조물의 배치 및 공종은 비교설계에 의해 안전하고 전체 수로조직이 가장 경제적이 되게 선정한다. 낙차구조물의 위치, 형상의 선정에 있어서의 유의사항은 다음과 같다.

- 1) 수로가 전체적으로 급한 기울기로 될 경우에는 유속이 커져서 수로표면의 재질에 따라서는 수로가 세굴 또는 침식을 받는다. 이 때문에 수로표면의 재질과 세굴 또는 침식유속을 감안하면서 낙차구조물의 위치 및 공종 등을 비교·설계하여 검토한다.
- 2) 지형기울기가 비교적 급한 경우 수로바닥기울기는 수로의 구조 또는 그 재질에 대한 유속의 한계와 낙차구조물에 의한 기울기 수정과의 조합에 의해 비교·검토하여 결정한다. 수로의 흐름이 한계유속에 가까우면 수면이 불안정하게 된다. 이 때문에 특히 용수로에서는 과도하게 유속을 크게 하는 것은 피하여야 한다. 수로조직에 조절지나 팜폰드(farm pond)를 설치할 필요가 있는 경우는 잉여낙차를 이용하는 것이 유리한 경우도 있지만 조절시설의 검토에 있어서는 충분히 유의하지 않으면 안 된다.
- 3) 산간부 농경지의 배수계획에서는 비교적 기울기가 급한 수로가 되므로 낙차공,

급류공을 적절하게 설치하여 수로바닥기울기를 수정하여 수로의 전체적 안전성과 경제성을 기할 수 있다. 또 이 경우 지선배수로와 간선배수로의 합류점은 낙차공의 정수지 또는 급류공의 감세공으로 설계하고 이들의 시설과 합류구를 겸용시키면 유리한 경우가 있다.

- 4) 인가 등에 접근하여 낙차공을 설치하는 경우는 진동, 소음, 비말 등의 영향도 고려해야 한다.

#### 바. 유수지 및 승수로

유수지는 내수의 배출량을 완화하여 배수구나 펌프의 용량을 줄이는 효과를 갖기 때문에 필요한 경우 수로의 도중이나 제방의 내측에 만든다.

유수지의 크기는 지형에 따라 정하고 그 효과는 인접지나 지구 내에서 유수지로의 유입량, 유수지에서의 유출량, 유수지 수위의 시간적 경과를 추적함으로써 판단한다.

승수로는 관개지구 밖으로부터의 유출수를 지구내로 유입시키지 않고 직접 배수 본천에 보내는 수로이며, 유역의 조사결과에 기초하여 상시 배수는 물론이고 홍수시의 유량도 안전하게 배제하도록 계획해야 한다.

노선은 지구의 주변에 연해서 배치하지만 제방의 내측에 설치하여 침투수 처리를 목적으로 하는 경우도 많다. 수로 단면 등의 설계는 배수로에 준한다.

### 3.1.7 공중선정시 유의사항

수로조직을 구성하는 각 시설 및 공중 등의 구조물의 배치는 노선의 입지조건에 맞추어 선형, 종단기울기, 흠뎀이 등의 제한조건을 지켜서 결정해야 한다.

다음에 제시하는 각종의 기준수치는 일반적인 허용수치이며, 이 범위를 넘는 경우에는 수리, 구조 또는 시공(건설), 유지관리 등의 면에서 불합리한 일이 일어날 수 있으므로 신중히 평가한 후 필요한 조치를 강구해야 한다.

#### 가. 최소곡률반경

수로의 선형은 수리적으로 직선형이 바람직하지만, 곡선을 채용하는 경우에 수로의 최소곡률반경으로서 다음에 나타낸 값을 만족시키는 것이어야 한다.

##### 1) 개수로 및 상자형 암거

가) 개수로는 포장 내의 용배수로를 제외하고, 노선중심선의 곡률반경은 급류공(사류)의 경우 수로상폭(수면나비)의 10배 이상

나) 개수로 및 상자형 암거에서 메탈폼(metal form)을 사용하는 경우는 대략 30m

이상.

다) 배수로는 수위상승, 수두손실 및 토사퇴적 등을 고려하여 안전성을 가지도록 그림 3.1.8에 표시한 만곡선형을 표준으로 계획을 세우는 것이 좋다.

최대만곡도  $\theta$ =약  $60^\circ$  이하

곡률반경  $R$ =약  $10B$  이상

부득이한 경우에는 대략  $3B$  이상으로 하고 수리적으로 검토하여야 하며 만곡에 의한 손실수두나 편류에 의한 측벽의 손상 등을 고려한다.

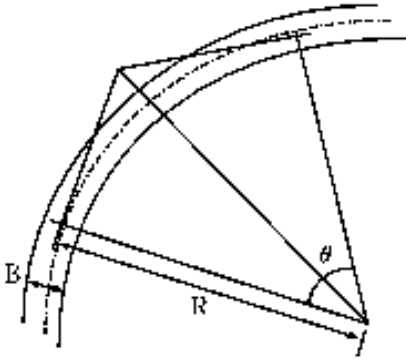


그림 3.1.8 수로의 만곡선형

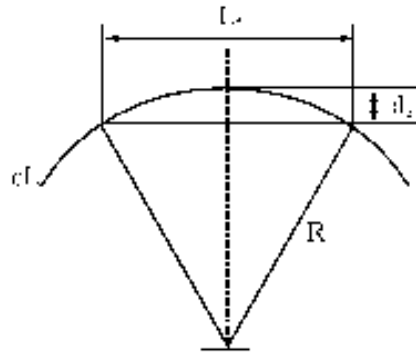


그림 3.1.9 최소곡률반경

## 2) 터널

가) 슬라이드 폼(Slide form)을 사용하여 복공을 하는 경우 (그림 3.1.9 참조)

$$R = \frac{L_f^2}{8d_e} \text{-----(3.1.1)}$$

여기서,  $R$ : 터널중심선의 곡률반경 (m)

$L_f$ : 슬라이드폼의 길이 (m)

$d_e$ : 원호양단을 직선으로 연결한 때의 중앙중거 (m),

보통 0.05m 정도, 최대 0.1m

나) 실드(Shield)공법에 의해 굴착하는 경우

실드공법에서 굴진 가능한 최소곡률반경은 지반의 조건, 굴착단면의 크기, 실드의 길이, 시공방법 및 실드의 구조 등에 의하여 다르지만 일반적인 경우 그 최소치는 실드의 길이와 굴착단면으로부터 다음과 같이 정해진다.

$$R = m \cdot D \quad \text{또는} \quad R = n \cdot L \quad \text{-----} \quad (3.1.2)$$

- 여기서, R: 터널 중심선의 최소곡률반경 (m)  
 m: 최소 30 (시공 예는 50 내외가 많음)  
 n: 최소 20 (시공 예는 100/3 내외가 많음)  
 D: 터널 굴착단면의 지름 (m)  
 L: 실드의 길이 (m)

다) 터널 보링기에 의해 굴착하는 경우  
 시공 예에서 본 최소곡률반경은 대략 다음과 같다.

$$R = m \cdot D \quad \text{-----} \quad (3.1.3)$$

- 여기서, R: 터널 중심선의 최소곡률반경 (m)  
 m: 로빈슨 또는 월마이어식에서 30 내외가 많음  
 D: 터널 굴착단면의 지름 (m)

### 3) 사이편

- 가) 사이편은 내외압이 작용하기 때문에 기성 제품을 사용하는 경우 이음매구조에 상응한 허용휨각도를 만족시키도록 한다. 일반적으로는 곡선으로 하지 않고 곡관 등을 사용하여 수밀성을 보존시키는 일이 많다.
- 나) 편각이 큰 사이편의 굴곡점에서는 굴곡점에 양측으로부터 수압이 작용하기 때문에 굴곡부분은 밀어내는 방향으로 큰 힘을 받는다. 이 때문에 편각이 큰 사이편 굴곡부에서는 보통 드리프트 블록(thrust block)을 설치하여 구조의 안정과 수밀의 유지를 도모한다.
- 다) 현장타설 콘크리트의 사이편에서는 박스형암거의 곡률반경을 준용하지만 특히 수압이 큰 경우에는 이음매 구조의 설계에 신중을 기해야 한다.

### 나. 종단기울기 및 종단곡선의 제한

각종 통수시설의 수로바닥 기울기는 보통 지형기울기 또는 지점마다 필요한 수위로부터 구하지만 허용되는 최대 기울기를 취하면 단면적이 작아 경제적이 된다. 그러나 과대하게 유속이 증대하면 유황의 악화, 수로단면의 세굴 등을 일으켜 문제가 생긴다. 따라서 수로바닥 기울기 또는 유속 등에 수리적, 구조적 제한이 필요하다. 유속은 수로의 재질에 따라 세굴 또는 심한 마모 등의 지장이 생기지 않는 범위에 있어야 한다.

단, 배수로와 같이 유량의 변동에 따라 크게 유속이 변화하고 이 한계를 넘는 경우에는 유사한 시공 예를 참고하여 심한 세굴에 의해 구조물의 안정이 해치지 않도록 조치를 강구한다.

또한, 개수로 형식의 용수로에서 유속이 빠른 경우 수리적으로 불안정하게 되어 분수 등에 지장을 일으키지 않도록 설계해야 한다. 또 용배수로를 불문하고 수로 내에 토사의 퇴적이나 수중식물이 무성하게 되면 흐름에 지장을 일으키지 않는 정도의 유속이 필요하고 과소한 유속도 좋지 않다.

노선선정 및 다음에 기술할 수두배분에 있어서는 이런 점도 고려하여야 한다. 불가피하게 허용최소유속 보다 작은 경우에는 수로구조 또는 토사의 침입방지시설 등에 대하여 특별한 대책을 강구한다.

#### 다. 최소 흙덮이

암거, 사이펀, 관수로 등 지중에 매설되는 시설에는 그 구조물의 보호, 지하수에 의한 부상의 방지, 지상의 이용 등 목적에 상응하여 적절한 흙덮이를 확보하여야 한다.

일반적으로 관수로 등 관을 사용한 통수시설의 최소 흙덮이 두께의 표준치는 통과하는 위치에 따라 다음과 같다.

- (1) 경지: 0.6m 이상
- (2) 도로: 1.2m 이상, 단 도로관리자와 협의한 후 결정한다.
- (3) 하천: 2.0m 이상, 단 하천관리자와 협의한 후 결정한다.
- (4) 농도 및 사도: 관경 450mm 이하의 경우 1.0m 이상,  
관경 500mm 이상의 경우 1.2m 이상
- (5) 한랭지방에서는 동결의 염려가 없는 깊이로 한다.

박스형 암거 또는 사이펀의 경우도 이를 준용한다.

최소 흙덮이 두께를 줄이든가 또는 흙덮이를 하지 않는 경우에는 차량 등에 의한 집중하중이 재하된다 하더라도 구조물의 안전을 해치지 않게 충분히 고려한다.

또 흙덮이 두께는 물관리면에서도 충분히 고려하여 결정한다. 터널의 최소 흙덮이 두께에 대하여는 「농업생산기반정비사업계획설계기준 수로터널편」을 참고한다.

### 3.1.8 수두배분

용수로의 각 형식 및 각 구간의 수두배분에 의한 종단 기울기는 수로의 기능과 안전성을 확보하며, 허용유속의 범위 내에서 수로조직 전체의 공사비를 절감할 수 있는 방향으로 결정한다.

## 가. 일반사항

용수계획에 있어서 취수지점에서 경작지까지의 노선이 정해지면 수로의 전체 길이와 전체 낙차에서 평균기울기가 정해진다. 개수로 계통은 일반적인 원칙에서 수로가 지구의 고위부를 통과하는 경우가 많으므로 지형적으로 개수로, 사이편, 터널 등 여러 가지 공종으로 구성된다. 수로계통 전체의 경제성을 확보하기 위하여 주어진 전체 수두를 각 공종에 어떻게 배분할 것인가는 수로의 효율적인 배치에 있어서 중요한 문제이다.

특히 대규모 수로는 수두의 배분에 의해 경비절감 효과가 큰 경우가 많다. 그러므로 소규모 수로에 대하여는 상황을 판단하여 기울기 배분을 생략해도 좋다.

배수로나 용배수겸용수로에서도 수로의 성격과 지형 조건상 대부분 개수로가 되므로 공종별 수두배분이 용수로에 비하여 큰 문제가 되지 않는다.

용수로의 수위계획은 최종적으로 농경지에 물이 들어가도록 분수위를 확보하는데 있다. 길이가 긴 수로에서는 경작지의 지형, 표고, 영농상황 등에 따라 각 지점의 분수위가 다르므로 이런 점을 고려하여 각 구간별로 이용수두를 개략 결정하고 각 구간의 공종별 수두배분을 고려한다. 이 경우 지선분수위는 가급적이면 자연관개가 되도록 수위를 유지시켜야 하지만 경작지의 일부를 양수관개함이 유리할 때 있으므로 수로전체에 대한 기능을 고려한 비교검토가 필요하다.

## 나. 경제적인 기울기의 배분

구간별 이용수두가 정해지면, 각 구간에서 공종별 종단기울기의 배분을 한다. 이때 경제적인 기울기의 배분이 가장 중요한 요소이며 기본적인 고려사항은 다음과 같다.

### 1) 경제적인 기울기의 배분 기본방법

경제적인 기울기 배분 기본방법은 공종별 수로종단기울기와 공사비와의 관계에서 결정된다. 취수시설의 표고와 수로기울기의 관계는 전체공사비의 경제성을 결정한다.

예를 들면 그림 3.1.10은 자연하천 A의 수위를 댐 B에 의하여 상승시키고, 터널 CD에 의하여 하류의 기설소류지 E에 유입시키는 경우를 나타내고, 터널의 기울기와 댐 및 터널 공사비와의 관계는 그림 3.1.11과 같이 나타냈다. 곡선 AB는 댐, CD는 터널, EF는 터널과 댐의 공사비 합계를 나타낸다.

합계공사비가 가장 적은 G점의 기울기가 경제적인 기울기가 된다. 이때 G점에 수직선을 그어 AB 곡선 및 CD 곡선과 만나는 점 I와 H에서의 기울기(tangent)는 그 절댓값이 같고 부호가 반대로 되며, 곡선 EF에서 G점의 접선은 수평이 된다.

이러한 방법을 "Cost-Slope Tangent Method"라 부르며 경제적인 기울기 배분의 기본방법으로 쓰고 있다.

2) 수로의 공중별 기울기의 배분

“Cost-Slope Tangent Method”를 응용하여 각종 수로형식이 있을 경우 경제적 기울기 배분을 생각할 수 있다.

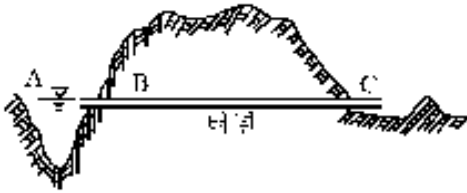


그림 3.1.10 터널 기울기

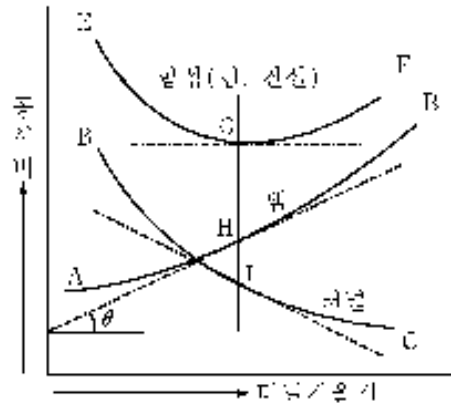


그림 3.1.11 기울기와 공사비

그림 3.1.12에서 AB 구간을 터널, BC 구간을 개수로로 통과할 경우 B점의 수위를  $x$  m로 하고  $x$ 의 증감에 따라 터널과 개수로의 공사비는 그림 3.1.13에 나타난 바와 같이 증감한다. 그러므로 경제적인 기울기 배분은 총공사비를 최소로 되게 하는  $x$ 를 구하는 일이다. 그렇게 하기 위하여 수두 1cm당 공사비를 구하여 그 값을 구간 내에 모두 공중에서 동일하게 되도록 수두를 배분하면 된다.

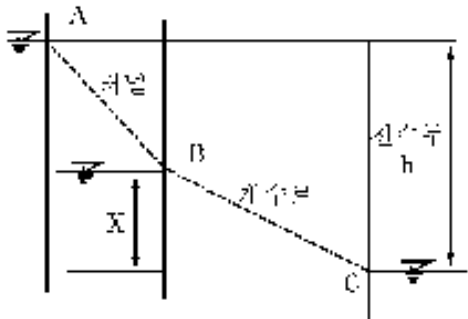


그림 3.1.12 수로의 전수두와 공중

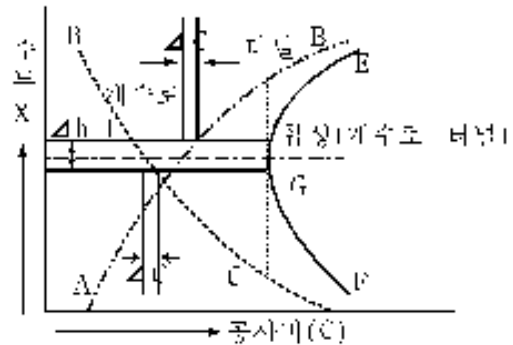


그림 3.1.13 공중과 공사비

수두 1cm당 공사비는 그림 3.1.13에서 각 곡선의 기울기(tangent) 즉  $x$ 의 1cm에 대한 각종마다 공사비의 변화량을 나타내고 있다. 총공사비의 최소가 되는 점은 실선 EF의 G점이며, 이 점은 곡선 EF의 기울기가 0이 되는 점이다.

이 점을 구하려면 곡선 AB 및 BC의 수두 cm당 공사비  $\Delta C/\Delta h$ 의 값이 같고 방향이 반대로 되는  $x$ 를 구하는 것이며, 이렇게 하여 경제적 기울기의 배분이 이루어진다.

이밖에 경제적 기울기 배분법으로는 통수 단면적과 공사비와의 관계를 공중별로 조



사하여 그 관계를 지수식으로 표시하고, 1차미분하여 최소치를 구하고 경험적인 수치 (전체공사비의 합이 대략 최소가 되는 기울기의 배분비율은 단위길이당의 공사비비율 0.90 ~ 1.10승에 비례한다)를 대입함으로써 구한 예가 있다.

### 다. 수두배분의 유의사항

- 1) 수두가 충분하여 모든 공중이 최대허용유속을 나타내게 되는 기울기로 설계되는 경우나 유량이 적고, 모든 공중의 통수단면이 시공상 또는 유지관리상 필요로 하는 최소단면인 경우에는 수두배분은 필요치 않다.
- 2) 수두배분은 시설의 건설비합계치를 최소로 하기 위한 기법이며, 시설의 유지관리 물관리 등에 관한 경비는 고려되지 않는다. 따라서 유지관리, 물관리에 요하는 경비가 큰 공중에서는 이들의 비용도 포함한 총경비를 기초로 검토할 필요가 있다.
- 3) 수리적으로 종단기울기를 검토하는 경우에는 수두배분뿐만 아니라 수로바닥의 종단기울기에 대하여도 검토할 필요가 있다. 각 공중 단면의 수위를 단순히 연결하면 일반적으로 터널로부터 개수로에 이어지는 부분으로 바닥이 높아진다. 이런 경우 터널의 바닥에 토사의 퇴적이 생기는 경우가 있다. 또 보수, 관리시의 배수에 대해 불편한 경우가 많다. 따라서 이러한 곳에 대해서는 토사의 유입, 배수공, 수로의 단면형과 공사비의 관계를 충분히 검토할 필요가 있다.
- 4) 수두 배분에 따른 수로유속은 수로의 수면기울기에 따르는데, 침식 등에 대해 안전하면서도 토사의 침전을 일으키지 않는 범위여야 한다.
- 5) 단면 혹은 형상의 변화지점에서는 가급적이면, 수두손실이 적은 형상의 완화공을 설치하여 수두를 효과적으로 이용한다.

### 【계산 예】

#### 1) 자료

계획통수량:  $5.4\text{m}^3/\text{s}$

수로 길이: 15.46km(개수로 7.8km, 터널 5.4km, 사이펀 2.26km, 이용가능수두 9.30m)인 경우 수두 1cm당의 공사비의 계산과 경제적인 기울기를 배분하라.

#### 2) 수두 1cm당 공사비의 계산

그림 3.1.14의 공중별 내부치수와 공사비에서 수두 1cm당 공사비를 구함.

$\Delta h$ : 수두의 변화량 (cm)

$\Delta C$ : 수두가  $\Delta h$ 만큼 변화했을 때의 공사비 차 (원)

$\Delta S$ : 기울기의 차 (cm/m)

$\Delta cm$ :  $\Delta S$ 만큼 기울기가 변화할 때의 m당 공사비의 차 (원/m)

L: 수로의 전체 길이 (m)

수두 1cm당 공사비 =  $\Delta C / \Delta h = \Delta cm \times L / \Delta S \times L = \Delta cm / \Delta S$ 로 되어 표3.1.2와 같이 공종별, 기울기별 수두 1cm당 공사비를 산정할 수 있다. 이것을 그림표로 표시하면 그림 3.1.15와 같다. 또한 1cm당 공사비가 동일한 각 공종별 기울기에 각각의 연장을 곱하여 얻는 전체수두와 수두 1cm당 공사비와의 관계는 표 3.1.3과 그림 3.1.16이다.

3) 경제적인 기울기 배분

그림 3.1.16에서 이용수두 9.30m에 대한 수두 1cm당 공사비를 1,980천원이며 그림 3.1.15에서 1,980천원에 대한 기울기를 읽으면 개수로 1/3,000, 터널 1/1,200, 사이펀 1/1,050로 된다.

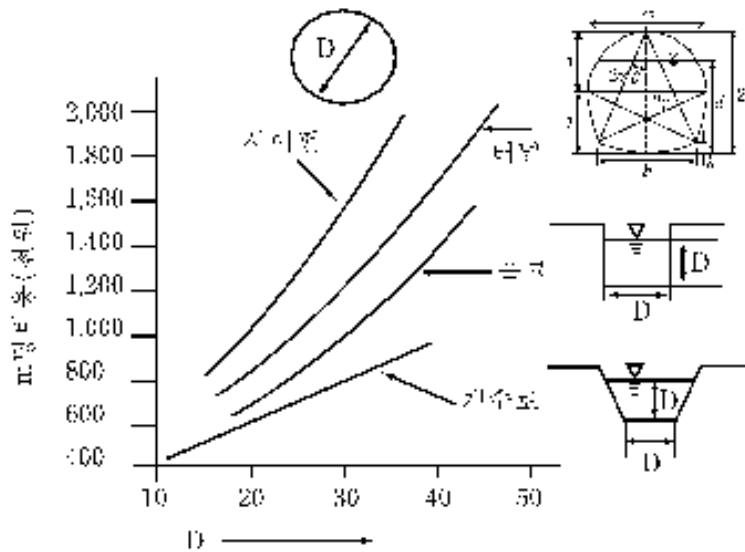


그림 3.1.14 공종별 내부치수와 m당 공사비 (실적)

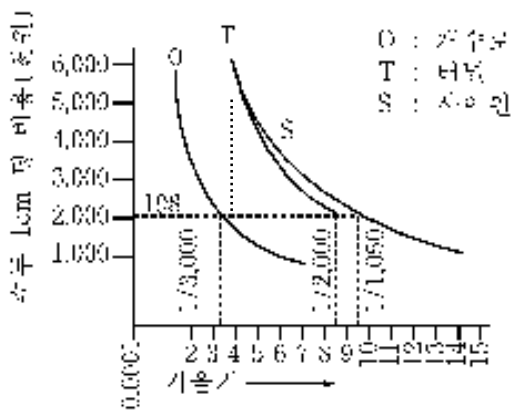


그림 3.1.15 수두 1cm당 공사비와 기울기

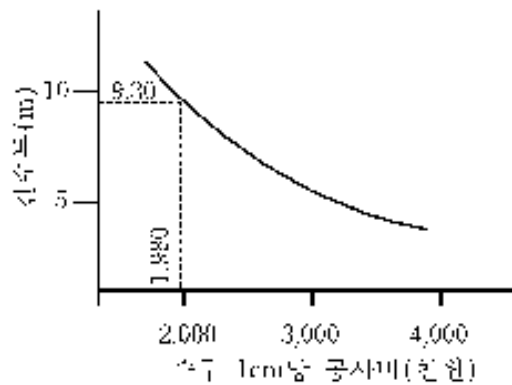


그림 3.1.16 전체 수두와 수두 1cm당 공사비

표 3.1.2 공종별 수두 1cm당 공사비

① 개수로  $Q = 5.4\text{m}^3/\text{s}$      $n = 0.014$ ,    비탈면 1:1.25

기울기	수심 (m)	m당 공사비 (천원)	수두차/m	공사비차/m (천원)	수두 1cm당 공사비 (천원)	평균기울기
0.00010	1.840	605	0.0001	55	5,500	0.00015
0.00020	1.619	550	0.0002	45	2,250	0.00030
0.00040	1.412	505	0.0002	25	1,250	0.00050
0.00060	1.316	480	0.0002	15	750	0.00070
0.00080	1.245	465	0.0002	10	500	0.00090
0.00100	1.211	455	0.0002			

② 터널  $Q = 5.4\text{m}^3/\text{s}$      $n = 0.014$ ,     $d/D=0.80$

기울기	수심 (m)	m당 공사비 (천원)	수두차/m	공사비차/m (천원)	수두 1cm당 공사비 (천원)	평균기울기
0.00030	2.650	1,105	0.0002	110	5,500	0.00040
0.00050	2.401	995	0.0002	60	3,300	0.00060
0.00070	2.254	935	0.0003	60	2,000	0.00085
0.00100	2.111	875	0.0004	50	1,250	0.00120
0.00140	1.981	825	0.0008	65	810	0.00180
0.00220	1.820	760				

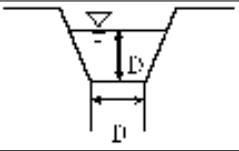
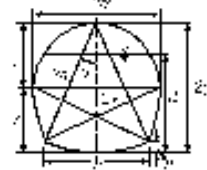
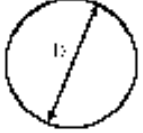
③ 사이편  $Q = 5.4\text{m}^3/\text{s}$      $n = 0.014$ ,     $d/D=0.80$

기울기	수심 (m)	m 당 공사비 (천원)	수두차/m	공사비차/m (천원)	수두 1cm당 공사비 (천원)	평균기울기
0.00040	2.548	1,260	0.0002	90	4,500	0.00050
0.00060	2.365	1,170	0.0004	100	2,500	0.00080
0.00100	2.147	1,070	0.0007	80	1,140	0.00135
0.00170	1.943	990	0.00130	70	540	0.00235
0.00300	1.758	920				

표 3.1.3 전체 수두와 수두 1cm당 공사비

공종 길이(m)	개수로		터널		사이편		계
	7,800		5,400		2,260		15,460
기울기 수두 수두 1cm 당 공사비 (천원)	기울기	수두 (m)	기울기	수두 (m)	기울기	수두 (m)	전수두 (m)
1,500	0.00043	3.35	0.00107	5.78	0.00112	2.53	11.66
2,000	0.00034	2.65	0.00084	4.54	0.00093	2.10	9.29
2,500	0.00027	2.12	0.00070	3.78	0.00080	1.81	7.71
3,000	0.00023	1.79	0.00061	3.30	0.00069	1.56	6.65
3,500	0.00020	1.56	0.00054	2.92	0.00059	1.33	5.81
4,000	0.00017	1.33	0.00048	2.59	0.00052	1.17	5.09

표 3.1.4 공종별 유속

공종	계획유량 (m <sup>3</sup> /s)	조도계수	내부치수 D (m)	유속 (m/s)	비고
개수로	5.4	0.014	1.47	1.11	
터널	5.4	0.014	2.18	1.59	
사이편	5.4	0.013	2.10	1.56	

### 3.1.9 구조물의 비교 설계

구조물의 설계시에는 미리 몇 개의 비교설계를 하여 기술적, 경제적, 사회적 여러 조건을 종합·판단하여 가장 적합한 형식을 선정하여야 한다.

수로 설계에서는 노선선정과 공종배치에 의하여 수로조직의 골격이 형성되며, 각 구조물의 기본설계에 있어서는 몇 개의 비교설계를 하는 것이 일반적이다. 비교설계에서는 구조물상의 안전성과 경제성을 주로 검토하며 사회적 조건에 대하여도 검토

를 하여야 한다.

수로에는 여러 종류와 다양한 구조물이 있어 이들 하나하나에 대하여 비교·검토하는 것은 곤란하다. 따라서 과거의 많은 설계 예와 실적자료, 계산도표, 기타 표준화된 것은 가급적이면, 이것을 활용하고 설계의 정밀도의 향상과 능률화를 도모해야 한다. 이들 설계자료는 비교설계를 용이하게 할 수 있는 자료가 되므로 소중하게 정리·보관하는 것도 매우 중요하다.

### 3.1.10 친환경 수로 계획

수로의 환경친화적 계획은 현황조사 결과를 활용하여 현황특성 분석, 계획수립의 과제도출, 계획의 기본방침 설정 등의 절차를 거친다. 수로계획에는 유지관리 내용도 포함한다.

#### 가. 일반사항

환경친화적 수로의 계획은 기술적인 부분과 인문사회적인 부분, 주변생태계 등을 종합적으로 고려하고, 특히 지역의 문화, 수로의 기능적 요소, 친수성, 생태계 보전, 경관, 수질정화, 개발의 용이성 등을 고려하여 계획한다.

#### 나. 수로계획

용배수로의 환경친화적 정비계획은 현황조사 결과를 활용하여 현황특성 분석, 계획수립의 과제 도출, 기본방침의 설정 등의 과정을 걸쳐 수립한다.

##### 1) 현황특성의 분석

조사내용을 분석하여 자연환경, 사회환경, 역사·문화적 환경 요소 등에 대한 특성을 정리하고 분석함으로써 환경친화적 용배수로 정비목표를 설정하고 계획수립에 활용한다.

##### 가) 자연환경요소

지형적 특성, 노선주변의 수변환경, 동물의 서식환경, 주요경관 등

##### 나) 사회환경요소

마을의 위치와 규모, 학교, 수련장, 체험시설, 도로교통상황, 농업시설, 농산물, 지역특산물, 인근의 농촌관광지(관광지) 등

##### 다) 역사문화적인 환경요소

용배수로 인근의 사원, 종교행사, 역사·문화적 유적지, 마을고유의 풍속, 의례 등

## 2) 계획수립의 과제 도출

정리된 현황특성 요소에 대하여 환경친화적 관점에서 보존할 것인가, 개선할 것인가, 현 상태로 활용할 것인가 등을 검토하여 과제를 발굴한다.

### 가) 보존되어야 할 요소

- (1) 보존해야 할 요소들 중 자연생태계 및 역사문화재에 관한 것들에 대하여는 특별한 고려가 있어야 한다.
- (2) 희귀동물의 서식처, 지정문화재 등은 물론이고, 현재 지정되지 않은 것들에 대하여도 지역주민이 애착을 가지고 있는 요소, 경관형성에 유리한 요소들은 보존하도록 노력해야 한다.
- (3) 지역경관은 지역주민 뿐만 아니라 필요한 경우 전문가 의견 및 자문을 통해 판단할 수 있다.

### 나) 개선이 필요한 요소

- (1) 개선을 요하는 요소들 특히 농촌관광과 연계할 수 있는 경우에는 가능한 현재 시점에서 개선될 수 있도록 정비하는 것이 바람직하다.
- (2) 주변에 학교, 농촌체험시설 및 수련장이 있는 경우 친수공간과 주변환경 정비를 고려할 수 있다.
- (3) 절개지의 나지는 주위경관에 악영향을 주므로 자연식재를 통하여 주위경관과 조화를 이루게 하는 등의 방법이 있다.

### 다) 현재 상태를 유지할 필요가 있는 요소

- (1) 수로 주변에 위치한 것으로서 용배수로 환경과 일체적으로 활용 가능한 요소가 대상이 된다.
- (2) 또한 현재로서는 별로 이용되지 않지만 앞으로 보다 유용하게 활용될 수 있는 요소들의 발굴도 포함된다.

### 라) 신규로 조성되어야 할 요소

- (1) 현재는 없지만 필요한 요소들을 찾아내어 정리한다.
- (2) 용배수로를 이용한 친수공간, 주변 휴게시설, 낙수기에 어류의 피난처가 될 수 있는 어도, 침사지 겸용 여울, 팜폰드(farm pond) 등 환경친화적인 요소들을 발굴하여 정리한다.

## 3) 계획의 기본방침 설정

### 가) 일반사항

용배수로 전 노선(시점부터 종점까지)을 지형 등 주변환경과 용배수로 이용형태, 용배수로 주변의 특징물 등 특성을 고려하여 몇 개의 구간으로 나누고 각 특성에 따라 정비한다. 친환경수로 정비구간(구역)은 다음 사항을 고려하여 설정한다.

(1) 용배수로 주변환경

용배수로 노선주변의 지형이나 토지이용형태의 변화 등 노선의 환경 변화에 유의한다.

(2) 용배수로 이용형태

용배수로는 농업생산뿐만 아니라 그 지역의 산업이나 마을주민의 생활면에서 다양하게 이용될 수 있으므로 그러한 이용형태에 대하여 유의한다.

(3) 용배수로 주변의 특징물

용배수로 주변에 있는 특징물에 유의한다.

나) 용수로계획

(1) 용수간선

용수로는 해당지역의 농경지보다 높은 곳에서 등고선방향으로 유하하면서 가능한 한 높은 지대의 농경지에도 자연급수가 되도록 설치하는 것이 일반적이다. 최근에는 구릉 경사지대의 용수개발을 많이 하고 있으므로 용수로 노선 전 구간이 평탄한 지역만을 지날 수 없는 실정이다. 용수로의 경우 하천 상류에 설치된 수원공(저수지, 양수장, 보 등)에서 하류의 평야부까지 송수되기까지는 하천변 또는 경지를 통과하는 구간, 마을을 통과하는 구간 또는 산지의 경사면을 통과하는 구간, 기타(환경용수 확보를 통해 연중 물이 흐르는 지구) 등 여러 경우를 생각할 수 있다.

(가) 하천변 또는 경지를 통과하는 구간

- ① 수로와 연계하여 사적지, 문화유적지 또는 나대지 등이 있고, 영농 활동에 지장을 주지 않는 범위 내에서 주민들의 의견을 청취하여 쉼터(소공원 등)를 계획할 수 있다.
- ② 조절지 또는 팜폰드를 계획하여 영농편의를 제공하고 비오톱을 형성하여 낙수기에 수서생물의 피난처를 제공하고 논과 수로, 수로와 늪지(조절지)를 연결하는 생태환경의 조성을 검토할 수 있다.

(나) 마을을 통과하는 구간

마을종합정비계획을 검토하고 그 일환으로 수로계획을 수립하며 특히 수로의 다각적인 이용방안을 검토하고 주민의견을 청취하여 계획수립에 반영할 수 있다.

- ① 수로의 다각적 이용방안과 경관형성에 특히 유의하여 계획을 수립한다.  
(수변공원, 쉼터, 산책로, 정자 등)
- ② 안전에 유의하여 그에 대한 대책을 계획한다.
- ③ 경관을 고려한 수로 구조물을 계획한다.

(다) 산지의 경사면을 통과하는 구간

- ① 이 구간에서 특히 고려해야 할 사항은 수로의 안전성이다. 따라서 이 구간

은 수로의 안전과 유지관리를 고려하여 콘크리트 개거, 암거, 관수로 등으로 계획한다.

② 콘크리트 개거로 계획할 때에는 개거에 들어간 양서류, 작은 동물 등이 빠져나올 수 있는 탈출로 등을 계획한다. 작은 동물들이 자주 이동하는 곳에는 이런 동물들이 빠지지 않고 이동할 수 있도록 암거 또는 덮개를 갖춘 콘크리트 개거 등으로 계획한다.

③ 수로 설치로 인하여 단절되는 생태환경에 대한 대책을 수립한다(동물의 이동통로로서 생태다리를 계획하고 이에 대한 안전대책과 유도로 등).

④ 수로설치로 인한 절·성토면의 보호와 나지의 경관복구에 대한 계획을 수립한다.

(라) 기타 (환경용수 확보를 통해 연중 물이 흐르는 지구)

① 생태계의 보전을 위하여 물 흐름의 연속성을 유지하도록 계획한다.

② 지형여건과 수로의 수리안정성 등을 고려하여 설치하는 낙차공은 완만한 기울기의 전단면 어도구조(계단공 등)로 하여 어류 등의 생물이동이 가능하도록 배려한다.

(2) 용수지선 및 지거

(가) 용수로 마을 계획할 때는 수로의 형식과 구조에 있어 먼저 관수로 및 암거화에 의한 수로망으로 계획하는 것을 검토한다.

(나) 용수지선을 관수로 또는 암거화로 하지 않고 개수로로 할 경우에는 수로 단면의 형식은 수리적, 구조적 안정성과 수로의 기능성, 물관리의 생력화 등을 고려한 구조형식으로 한다.

(다) 용수지선을 환경친화적으로 계획할 시에는 병행하는 농로의 길잡이나 수로 독을 이용하여 꽃나무, 정원수, 과일나무 등을 심어 비오톱을 연결하는 녹지선의 구축을 검토하고, 콘크리트 수로 안에 들어갔던 동물이 빠져나올 수 있도록 탈출로는 검토한다.

(라) 용수지거를 관수로 또는 암거가 아닌 개수로로 계획할 경우에는 물관리 생력화를 고려하여 생태계의 영향을 최소로 하는 구조물 형식으로 계획한다.

다) 배수로 계획

배수로의 경우 그 특성에 따라 단순 농경지 배수뿐만 아니라 집단 거주지의 생활하수까지를 배제하는 시설로 용수로와 차별되고 있다.

(1) 배수간선

(가) 하천변 또는 경지를 통과하는 구간 및 마을을 통과하는 구간

세부 정비방안은 용수로와 유사하며, 배수로 구간의 특성을 파악하고 그 특성에 따라 각 구간에 맞는 단면형상, 구조, 경관조성, 이용계획 등을 수립토록 고려한다.

(나) 다른 수계와 연결구간



- ① 배수로 종점부에서 다른 수계와 구조물 없이 직접 연계(낙차 유무)되는 구간과 배수문, 배수장, 배수갑문을 통해 연계되는 구간으로 구분하여 각 특성에 맞는 정비계획을 고려한다.
- ② 상시 흐름이 유지되어 수생 생태계가 양호한 지역의 경우에는 이에 대한 대책을 수립한다 (어도 등).

(2) 배수지선

(가) 생태·환경적인 측면에서 볼 때 하천의 생태계가 배수로를 거슬러 올라와 배수지선으로 연결된다고 할 수 있으므로 생태 환경을 고려한 단면으로 계획한다. 그러나 배수지선부터는 치수 목적 및 기능 수로이므로 이를 소홀히 할 수도 없다. 그러므로 수로 바닥을 흙으로 하고 가능한 한 갈수기에도 바닥에 물이 있도록 하는 것이 좋다. 또한 계획수위까지는 호안을 하되 콘크리트가 아닌 환경친화적인 재료를 사용토록 계획수위 높이에 소단을 두는 등 이상수위에 대비토록 계획한다.

(나) 배수지선의 종점과 배수로가 만나는 지점에서는 가급적 단차(표고차)를 가급적 없도록 계획하고, 수로 바닥의 표고차에 대한 처리는 낙차가 급류형의 구조물을 지양하고 어도 구조의 여울공 구조로 계획한다.

라) 환경친화적 물꼬

흡관에서 콘크리트 수로에 폭포와 같이 떨어지는 접속 형태에서는 양서류의 이동이 불가능하다.

수로사면을 경사진 구조물을 설치하여 소규모 어도로서의 기능을 가지게 하는 것이 바람직하다.

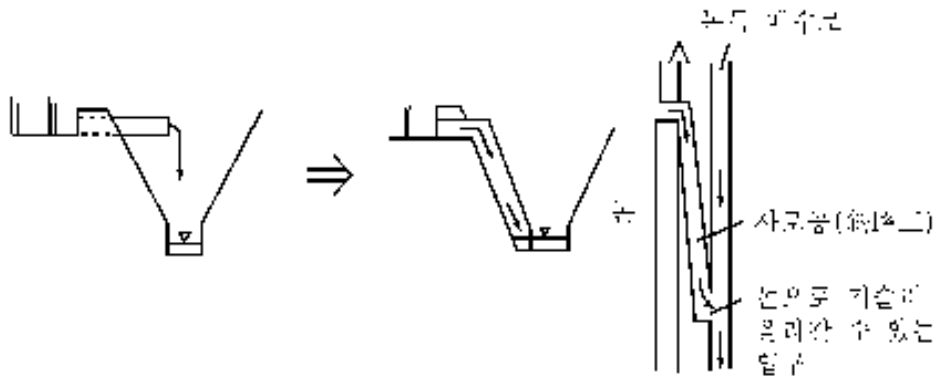


그림 3.1.17 낙수공(落水工)의 사로공화(斜路工化)

4) 유형별 예시

가) 생태환경보전형

생태환경보전형의 기본목표는 수로의 자연성을 최대한 살려서 하천 생물의 다양

성을 높일 수 있는 서식공간을 마련하여 인간과 다른 생물이 공존하는 환경을 조성하는데 있다. 이를 위한 공간을 조성하기 위해 계획구간 중 치수상 제약을 받지 않고 비교적 수질이 양호한 상류 쪽을 대상으로 한다.

생태경관보전형으로 정비하기 위한 기본적인 사항으로는 다음과 같은 것들을 들 수 있다.

- ① 저수로는 기본적으로 사행처리를 검토한다.
- ② 저수로 내에 여울과 못을 배치하고 중간에 사주를 만든다.
- ③ 저수로 내에 자연석을 이용한 자연수체를 배치한다.
- ④ 수변을 따라서 수목 및 수생식물을 식재하고, 호안을 완경사로 조성한다.

생태계보전형 정비에서는 수로의 기본기능에서 벗어나지 않는 한계 내에서 인간의 친수활동이나 경관적인 요소보다는 생태계의 보전 즉, 식물과 동물의 서식지를 우선적으로 배치하도록 설계해야 한다. 사람의 접근을 최대한 억제하여 자연상태의 생태계가 보전될 수 있는 환경을 조성하여야 한다. 가능한 한 인공재료나 콘크리트구조물을 배제하여 설계하는데, 지역의 특성이나 수로의 안전을 고려해야 할 경우에 일반 토목재료의 사용을 고려한다. 정비기법을 식생과 자연재료를 이용한 경우와 일반 토목재료를 사용한 경우로 나누어 살펴보면 다음과 같다.

#### (1) 식생과 자연재료를 이용하는 경우

사람의 접근이 어렵고, 쇄굴을 방지하기 위하여 주로 호박돌과 같은 자연석을 이용하여 수충부를 보강하고, 사면은 자연식생의 뿌리를 이용하여 안정시키는 방법이다. 이러한 방법은 자연생태계를 보전하기 위해 가장 좋은 방법이지만, 유량이 많거나 통수 단면적이 큰 수로에는 적합하지 못하며 유수가 흐르는 지역에서만 시공이 가능하다는 단점을 지니고 있다.

#### (2) 일반 토목재료를 이용하는 경우

통수단면적이 크거나 유속이 빨라 사면이 세굴되거나 붕괴될 우려가 있는 지역에 사용되는 방법이다. 이 경우 주로 일반 토목재료를 이용하여 수충부를 보강한 후 식생을 보강재 사이에 식재하거나, 보강재 윗 부분에 식재하여 생태계를 유지하도록 하는 방법이다. 일반 토목재료를 식생의 성장이 가능하도록 배치를 하거나 또는 식생의 성장이 가능하도록 고안된 콘크리트 제품을 사용하기도 한다.

#### 나) 친수접근형

친수접근형은 물과 접촉할 수 있는 공간의 조성을 목표로 하는 정비방법으로서 수로에 대한 이용자들의 쾌적성을 높여 줄 수 있는 친수공간조성 및 수로와의 연계를 목표로 한다. 친수접근형은 기존의 보 시설로 인해 수량이 풍부하고, 주변이 평야부로서 접근이 용이한 구역을 대상으로 하여 적용한다.

친수접근형으로 정비하기 위한 기본적인 사항으로서는 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 자연형 호안에 계단식 접근로를 배치한다.
- ② 수로의 마루부는 산책로로 활용한다.
- ③ 수면을 바라볼 수 있는 공간을 배치하고, 하안에 열린 공간을 확보한다.
- ④ 기존의 보 시설을 경관과 어울리도록 자연스럽게 정비하고, 어도를 설치한다.

#### 다) 이수 및 치수관리형

이수 및 치수관리형은 자연친화적인 수로경관정비 계획에서 가장 중요한 수로기능에 주안점을 둔 것이다. 안정성이 확보된 친수환경 창출을 목적으로 하기 때문에 홍수시 수로독의 안전에 영향을 미칠 가능성이 있는 하류의 굴곡부를 주 대상으로 한다. 자연친화적으로 하천을 정비하면서도 이수 및 치수기능이 충분히 확보될 수 있도록 정비하는 기법으로서 산간지역이나 마을인근 하천에 주로 적용된다.

자연소재를 사용하여 외형상 자연친화적인 느낌을 주도록 설계하며, 낙차공, 취입보 등의 수리시설물에 자연재료를 사용하거나, 일반 토목재료와 혼용하여 사용하는 것이 특징이다.

또한 이수 및 치수를 위하여 설계된 사면이나 호안에 식물을 식재함으로써 자연적인 요소를 가미하기도 하지만, 이러한 경우 수층부에 서식하는 수생식물과 육상식물이 단절되기 때문에 생태계측면에서 볼 때는 좋은 방법이라고 할 수는 없다. 또한 식생공간의 단절은 곤충류의 서식을 감소시키며, 수생생태계에도 많은 문제점이 발생하므로 근래에는 일반 토목재료를 사용하는 경우에 제품의 모양과 특성을 변화시킨 여러 제품들을 개발하여 사용하고 있다.

이수 및 치수관리형으로 정비하기 위한 기본적인 사항으로서는 다음과 같은 것들이 있다.

- ① 인공재료를 이용한 저수로를 곡선처리하여 하도형상에 변화를 준다.
- ② 치수상 제약이 심하지 않은 호안의 상부에는 식재를 하여 자연성을 살린다.

#### 5) 정비계획의 수립

대상 수로의 정비과제 및 구간별 정비목적을 설정하여 그에 맞게 정비계획을 수립하고, 동일 정비구간내에서도 필요할 경우 세부 구간을 설정하여 정비계획을 수립할 수 있다.

#### 6) 유지관리 수준의 설정과 관리방안

환경친화적 시설의 유지관리는 계획내용에 따라 크게 달라질 수 있다. 당초 훌륭한 환경시설을 시공하였다 하더라도 유지관리가 적절히 시행되지 않는다면 기대한 효과를 발휘할 수 없게 된다. 또한 설치 후의 시설이 기대만큼의 효과를 거두고 있는지 여부를 조사 평가하는 것도 유지관리의 중요한 내용이 될 수 있다.

환경친화적 용배수로를 계획하는 단계에서는 시설 완공후 큰 줄기의 유지관리 수준을 설정하고 이에 대응한 계획수립을 검토할 수 있다. 시설물 유지관리 수준은 누가 어떻게 어떠한 수단을 이용하여 가장 최적의 관리방법을 찾는 것이고 이때 비용의 최소화가 요구된다.

유지관리의 수준은 다음과 같은 사항을 검토할 필요가 있다.

- ① 누가 ----- 유지관리 주체
- ② 어느 정도의 시간과 노력으로 ----- 유지관리 내용, 일정, 빈도
- ③ 어느 정도의 금액으로 ----- 유지관리비

이러한 사항을 검토하여 관리방안을 설정하고 그에 합당한 계획을 수립하며, 공공근로사업과 취로사업을 활용한 시설물 유지 및 관리방안을 관련기관과 협의할 수 있다. 또한, 당해 사업지구가 농촌체험단지 및 유사시설 범위 내에 위치한 경우에는 해당 단지의 관리자에게 수리권을 제외한 유지관리 업무를 위탁하여 체험프로그램으로 활용할 수 있도록 관련기관 및 관리자(당사자)와 협의할 수 있다.

#### 다. 중단계획

수로의 중단계획은 연속성이 유지되도록 시설물을 계획한다. 팜폰드, 조정지, 유수지, 저류지 등 수생생물의 서식처 제공을 위한 시설물을 계획한다.

- (1) 친환경 수로정비지구에서는 수리·수문학적 분석을 통해 수로단면의 다양화를 고려할 수 있다.
- (2) 수로의 연속성을 유지할 필요가 있는 지구에서는 일정 흐름이 지속될 수 있는 용수량(환경용수, 하천유지수, 관광용수 등) 확보를 계획할 수 있다.
- (3) 용배수로 특정 구간에 팜폰드, 조정지, 유수지, 저류지라고 할 수 있는 넓은 수로단면의 계획을 검토한다.
- (4) 용수여건이 가능하다면 비관개기에도 일정량의 물흐름이 유지되도록 계획한다. 낙수기에 어류 등의 피난처로서 팜폰드 등을 검토하고 양서류의 탈출로 등을 계획한다.

## 3.2 수리설계

### 3.2.1 일반사항

수로의 수리설계는 원칙적으로 설계유량을 기준으로 한다. 그리고 최다유량과 기타 위험스러운 조건을 발생시키는 유량에 대해서는 자세히 검토해야 한다. 또한 수로설계는 수로조직 내 각 시설의 수리학적 및 구조적인 일관성이 있도록 해야 한다.

#### 가. 수로의 수리설계

수로의 수리설계는 설계유량을 대상으로 설계수위가 확보되도록 설계한다. 또 수로조직내의 각 시설의 설계에서는 그 수로시설이 소기의 목적과 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 설계유량 이외의 유량에 대해서도 검토해야 한다.

설계유량 이외의 유량으로서 용수로에서는 최다빈도유량 및 최소유량, 배수로에서는 저수호안(低水護岸) 등을 검토하기 위한 유량 및 기타 중요시설에 지장을 준다고 생각되는 유량 등이 있고 각각 다음과 같은 검토를 하는 경우에 사용한다.

##### 1) 용수로

###### 가) 최다빈도유량

수로시설에서 최소허용유속을 검토하는 경우에는 최다빈도유량을 사용하여 유황을 확인한다.

###### 나) 최소유량

통수량이 감소했을 때의 분수공 및 그에 부속된 수위조절시설 등의 기능을 확인하는 경우에는 최소유량을 사용한다.

##### 2) 배수로

###### 가) 저수호안 등을 검토하기 위한 유량

배수로에 저수호안을 설치하는 경우에는 당해 수로의 유속, 토질, 유황의 발생빈도 등을 검토하여 결정할 필요가 있으나, 일반적으로는 1년 또는 2년 확률유량이 많이 사용된다. 유량 등에 의해 구해진 수위를 사용하여 호안높이를 결정하는 것에 의하여 배수로의 구조설계 등을 한다. 이 유량은 낙차공의 기능을 검토하는데도 사용한다. 또한 배수로에서의 최소허용유속을 검토함에 있어서도 이 저수호안 등을 검토하기 위한 유량이 많이 사용되고 있다.

###### 나) 기타 중요시설에 지장을 준다고 생각되는 유량

수로단면을 만수하여 흐르는 유량 등으로 그 시설의 규모에서 볼 때 상당한 피해가 예상되는 경우, 수로의 유황 능력을 확인함과 동시에 시설의 구조, 배치 등 그 대책

방법을 검토하는 경우에 사용된다.

### 나. 수로설계의 일관성

수로설계에서 수리학적인 일관성의 확보는 본 계획설계기준이 기본적으로 고려해야 할 사항의 하나이다. 그러나 여기서 말하는 일관성이란 단순 획일적인 통일을 뜻하는 것이 아니고 통일적인 기능성, 안전성 및 경제성 확보의 관점에서 일관된 기술적 판단을 뜻한다.

## 3.2.2 평균유속 및 등류계산

수로단면의 치수는 원칙적으로 설계유량에 대해 평균유속공식을 사용하여 구한다. 개수로의 등류계산을 위한 평균유속공식으로는 Manning 공식이 많이 사용되고 있으며, 관수로에서는 일반적으로 Hazen-Williams 공식에 의하여 평균유속을 계산한다.

### 가. 평균유속

#### 1) 개수로의 평균유속공식

개수로의 평균유속은 일반적으로 Manning 공식에 의하여 계산한다.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \text{-----}(3.2.1)$$

여기서,  $V$ : 평균유속 (m/s)       $n$ : 조도계수

$R$ : 경심(동수반경) (m)     $I$ : 동수경사

#### 2) 조도계수

##### 가) 조도계수의 결정

Manning 공식의 적부는 조도계수의 결정이 적절한가의 여부에 달려있다. 따라서 이를 결정하는데 있어서는 표면조도, 초생수로의 불규칙성, 수로의 만곡, 단면형상, 유속, 경심, 침전과 세굴, 부유물질 등 여러 가지 요인에 따라 변화하기 때문에 신중히 고려할 필요가 있다. 유속이 매우 느리거나 경심이 극히 작은 경우에는 조도계수의 값이 크게 되는 경향이 있으나 설계에서는 일반적으로 표준값을 사용한다.

표 3.2.1 ~ 3.2.4는 여러 가지의 수로에 대한 조도계수  $n$  값을 표시한 것으로 각 수로에 대해서 최소치, 표준치, 최대치를 나타내고 있다. 조도계수는 시간이 지나면서 변하는 것이 보통이지만 설계에 적용하는 조도계수는 표 3.2.1 ~ 3.2.4에서 보는 바와 같다.

표 3.2.1 라이닝 또는 조립식 개수로의 조도계수  $n$  값

수로의 재료 및 운변의 상태	조도계수		
	최소치	표준치	최대치
매끈한 강철표면 (칠하지 않음)	0.011	0.012	0.014
매끈한 강철표면 (칠함)	0.012	0.013	0.017
파상표면 (강철판)	0.021	0.025	0.030
시멘트 (모르타르)	0.011	0.013	0.015
콘크리트 (이동식 강철제 거푸집)	0.012	0.015	0.016
콘크리트 (고정식 강철제 거푸집)	0.012	0.015	0.016
콘크리트 (철제 패널형 거푸집)	0.012	0.015	0.016
콘크리트 (매끈한 목재 거푸집)	0.012	0.015	0.016
콘크리트 (거친 목재 거푸집)	0.015	0.017	0.020
콘크리트 (기성제품 플럼)	0.012	0.014	0.016
콘크리트 블록쌓기 (줄눈 평활)	0.014	0.016	0.017
콘크리트 블록쌓기 (줄눈 불규칙)	0.015	0.017	0.018
흙 라이닝	-	0.025	-
아스팔트 (매끈한 면)	-	0.014	-
아스팔트 (거친 면)	-	0.017	-
석공 (막돌 찰쌓기)	0.017	0.025	0.030
석공 (막돌 메쌓기)	0.023	0.032	0.035
초생피복 (떼 입히기)	0.030	0.040	0.050

표 3.2.2 터널, 암거, 사이펀 및 관수로의 조도계수  $n$  값

수로의 재료 및 운반의 상태	조도계수		
	최소치	표준치	최대치
강철 (Rockbar 및 용접)	0.010	0.012	0.014
강철 (리벳)	0.013	0.016	0.017
주철 (칠함)	0.010	0.013	0.014
주철 (칠하지 않음)	0.011	0.014	0.016
시멘트 (모르타르)	0.011	0.013	0.015
콘크리트 (강철제 거푸집)	0.012	0.015	0.016
콘크리트 (철제 패널형 거푸집)	0.012	0.015	0.016
콘크리트 (매끈한 목재 거푸집)	0.012	0.015	0.016
콘크리트 (거칠은 목재 거푸집)	0.015	0.017	0.020
나무 (큰 통관)	0.010	0.012	0.014
나무 (Creosote 처리된 얇은 판)	0.010	0.017	0.020
도관(陶管)	0.011	0.014	0.017
콘크리트관	0.012	0.014	0.016
철근콘크리트관	0.011	0.013	0.014
석면시멘트관	0.011	0.013	0.014
염화비닐관	-	0.012	-
암터널 (라이닝 없음)	0.030	0.035	0.040
암터널(저면만 콘크리트친 라이닝)	0.020	0.025	0.030



표 3.2.3 굴착 또는 준설수로의 조도계수  $n$  값

수로의 재료 및 윤행의 상태	조도계수		
	최소치	표준치	최대치
<u>직선적이고 균일한 흙수로</u>			
1. 잡초가 없고 최근에 완성됨	0.016	0.018	0.020
2. 잡초는 없으나 원상태로 방치됨	0.018	0.022	0.025
3. 잡초는 없으나 자갈이 있음	0.022	0.025	0.030
4. 짧은 풀이 있지만 잡초는 적음	0.022	0.027	0.033
<u>만곡되고 불균일한 흙수로</u>			
1. 잡초가 없음 (완공 직후)	0.023	0.025	0.030
2. 잡초가 없음 (원상태로 방치)	0.025	0.030	0.033
3. 잡초 또는 수초가 밀생하고 깊음	0.030	0.035	0.040
4. 흙바닥이고 측면에 막돌이 있음	0.028	0.030	0.035
5. 돌바닥이고 측면에 잡초가 있음	0.025	0.035	0.040
6. 호박돌바닥이고 측면에 잡초 없음	0.030	0.040	0.050
<u>드래그라인(Dragline) 굴착 또는 준설</u>			
1. 식물피복이 없음	0.025	0.028	0.033
2. 독에 약간의 관목이 있음	0.030	0.050	0.060
<u>압반 굴착</u>			
1. 매끈하고 균일함	0.025	0.035	0.040
2. 거칠고 불규칙적임	0.035	0.040	0.050

표 3 2.4 자연수로의 조도계수  $n$  값

수로의 재료 및 윤편의 상태	조도계수		
	최소치	표준치	최대치
<u>평야의 소수로</u>			
1. 잡초가 없고 직선이며 만수위일 때 물이 고여 있는 곳이 없음	0.025	0.030	0.033
2. 위의 1.과 같은 상태에서 돌과 잡초가 많음	0.030	0.035	0.040
3. 잡초는 없지만 만곡되고 약간의 얇은 웅덩이나 여울이 있음	0.033	0.040	0.045
4. 위의 3.과 같은 상태에서 약간의 돌과 잡초가 있음	0.035	0.045	0.050
5. 4.와 같은 상태이나 저수위에서 기울기와 단면의 변화가 작지 않음	0.040	0.048	0.055
6. 4.와 같은 상태에서 돌이 더 많음	0.045	0.050	0.060
7. 흐름이 완만한 구간으로 잡초와 깊은 웅덩이가 많음	0.050	0.070	0.080
8. 잡초가 밀생한 구간으로 깊은 웅덩이가 있고 입목이 많음	0.075	0.100	0.115
<u>산지의 하천으로 수로내에 식물이 없고 하안은 급경사이며, 하안에 연해서 있는 나무나 관목이 고수위일 때 물에 잠기는 수로</u>			
1. 수로바닥에 호박돌 및 자갈이 있음	0.030	0.040	0.050
2. 수로바닥에 큰 호박돌이 있음	0.040	0.050	0.070
<u>대수로</u>			
1. 큰 호박돌이나 관목이 없는 규칙적인 단면	0.025	-	0.060
2. 거칠고 불규칙적인 단면	0.035	-	0.100

나) 합성조도계수의 계산

운변의 조도가 부분적으로 서로 다른 수로단면에 Manning 공식을 적용하는 경우에는 전체 운변에 대한 합성조도계수를 구하여 전단면의 평균유속을 계산한다.

합성조도계수를 결정하기 위하여 유수단면적을 조도계수에 따라 소구간으로 나누는 다음 각 소구간의 평균유속이 전단면의 평균유속과 같다는 가정조건 아래 Manning 공식을 사용하여 유도한 합성조도계수  $n_i$  는 다음 식 (3.2.2)와 같다(그림 3.2.1 및 표 3.2.5 참조).

$$n_i = \left[ \frac{1}{\sum P_i} (P_1 n_1^{1.5} + P_2 n_2^{1.5} + \dots + P_i n_i^{1.5}) \right]^{2/3} \quad \text{-----}(3.2.2)$$

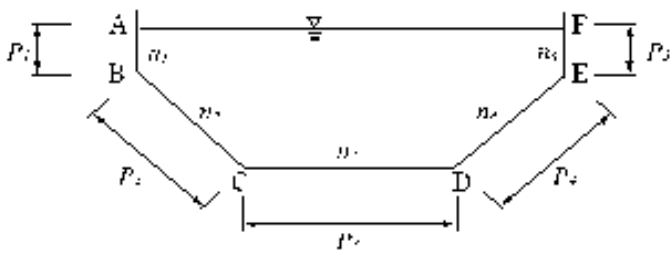


그림 3.2.1 운변도

표 3.2.5 합성조도계수

운변	조도계수	운변길이
AB	$n_1$	$P_1$
BC	$n_2$	$P_2$
CD	$n_3$	$P_3$
DE	$n_4$	$P_4$
EF	$n_5$	$P_5$
전운변	$n_i$	$\sum P_i$

나. 등류계산

1) 유량의 계산

개수로의 흐름에 있어서 수심, 유속, 유수단면적, 유량 등 흐름의 특성이 수로구간의 모든 단면에서 시간적으로나 장소적으로 항상 일정한 흐름을 등류라고 하며, 등류로 흐르는 수로내의 유량은 다음 식에 의하여 계산한다.

$$Q = A \cdot V \quad \text{-----}(3.2.3)$$

여기서,  $Q$ : 유량 ( $m^3/s$ )  $A$ : 유수단면적 ( $m^2$ )  $V$ : 평균유속 ( $m/s$ )

배수로 및 자연하천 등에서 그림 3.2.2와 같이 고수부지의 수심이 얇은 복합단면수로에서는 전술한 합성조도계수에 의해 평균유속을 산출하여 유량을 계산하는 것은 부적당하며, 그림에 나타난 바와 같이 유수단면적을 구분해서 계산하는 것이 합리적인 경우가 많다. 유량계산 구분의 경계면은 운변으로 취급하지 않는다.

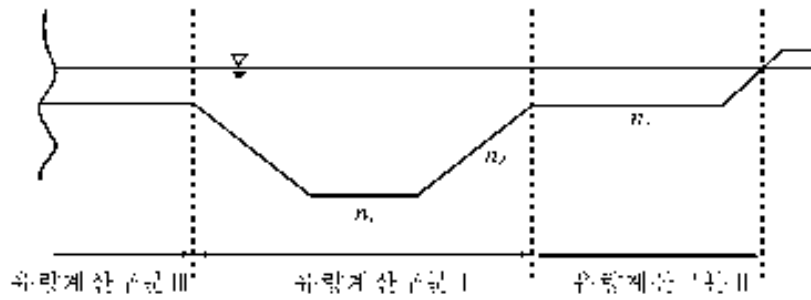


그림 3.2.2 유량계산 구분도

## 2) 등류수심의 계산

수로의 유량, 수로바닥기울기, 조도계수, 단면형상을 표시하는 여러 가지 수치가 주어지는 경우에는 등류수심을 Manning의 평균유속공식에 의하여 계산하지 않고 직접 계산법에 의하여 간편하게 구할 수 있다. 일반적으로 사용하는 직사각형, 사다리꼴, 원형 및 말굽형단면의 등류수심 직접계산법은 다음과 같다.

### 가) 직사각형 및 사다리꼴단면 수로의 등류수심 직접계산법

유량  $Q$ , 수로바닥폭  $b$ , 수로비탈면 경사  $m$  ( $m = \cot\theta$ ,  $\theta$ 는 비탈면과 수평면이 이루는 각도), 수면기울기 또는 수로바닥기울기  $I$ , 조도계수  $n$  이 주어지면 다음과 같은 순서에 의해 등류수심  $d$  를 구한다.

(1)  $\frac{n \cdot Q}{I^{1/2} \cdot b^{8/3}}$  의 값을 구한다.

(2) 표 3.2.6에서 주어지는  $m$  에 대하여 행을 따라 (1)에서 구한 값에 대한  $d/b$  의 값을 구하여  $d$  를 계산하며, 필요에 따라서 보간법을 사용한다.

### 【 계산 예 】

비탈면 경사  $1:m = 1:1.5$ , 수로바닥기울기  $I = 1/1,000$ , 수로바닥폭  $b = 2m$  인 콘크리트 사다리꼴단면 수로( $n = 0.015$ )에서 유량  $Q = 4m^3/s$  가 흐를 경우 등류수심  $d$  를 구하라.

$$\frac{n \cdot Q}{I^{1/2} \cdot b^{8/3}} = \frac{0.015 \times 4}{0.001^{1/2} \times 2^{8/3}} = 0.299, \quad \text{표 3.2.6(a)의 } m=1 \frac{1}{2} \text{ 난에서}$$

$\frac{d}{b}$	$\frac{n \cdot Q}{I^{1/2} \cdot b^{8/3}}$	비례부분
0.42	0.288	$(0.43-0.42) : x = (0.301-0.288) :$ $(0.299-0.288)$ 따라서 $x = 0.0085$ , $\frac{d}{b} = 0.4285$ $\therefore$ 등류수심 $d = 2 \times 0.4285 \approx 0.857$ m
$0.42 + x$	0.299	
0.43	0.301	

표 3.2.6 (a) 등류수심 직접계산표 (직사각형 및 사다리꼴단면)

$d/b$	$m = 0$	$m = \frac{1}{4}$	$m = \frac{1}{2}$	$m = \frac{3}{4}$	$m = 1$	$m = 1\frac{1}{4}$	$m = 1\frac{1}{2}$	$m = 2$	$m = 2\frac{1}{2}$	$m = 3$	$m = 4$
0.010	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005
0.020	0.0014	0.0014	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015	0.0015
0.030	0.0028	0.0028	0.0028	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0029	0.0030	0.0030	0.0030
0.040	0.0044	0.0045	0.0046	0.0046	0.0047	0.0047	0.0047	0.0048	0.0048	0.0049	0.0050
0.050	0.0064	0.0065	0.0066	0.0067	0.0067	0.0068	0.0069	0.0070	0.0070	0.0071	0.0073
0.060	0.0085	0.0087	0.0089	0.0090	0.0091	0.0092	0.0093	0.0095	0.0096	0.0098	0.0101
0.070	0.0109	0.0112	0.0114	0.0116	0.0118	0.0119	0.0121	0.0123	0.0126	0.0128	0.0132
0.080	0.0135	0.0139	0.0142	0.0145	0.0147	0.0150	0.0152	0.0155	0.0159	0.0162	0.0168
0.090	0.0162	0.0167	0.0172	0.0176	0.0179	0.0182	0.0185	0.0190	0.0195	0.0199	0.0208
0.100	0.0191	0.0198	0.0204	0.0209	0.0214	0.0218	0.0221	0.0228	0.0234	0.0241	0.0253
0.110	0.0221	0.0231	0.0238	0.0245	0.0251	0.0256	0.0261	0.0269	0.0278	0.0286	0.0302
0.120	0.0253	0.0265	0.0275	0.0283	0.0290	0.0297	0.0303	0.0314	0.0324	0.0334	0.0355
0.130	0.0286	0.0300	0.0313	0.0323	0.0332	0.0340	0.0347	0.0361	0.0374	0.0387	0.0412
0.140	0.0320	0.0338	0.0352	0.0365	0.0376	0.0386	0.0395	0.0412	0.0428	0.0444	0.0475
0.150	0.0356	0.0376	0.0394	0.0409	0.0422	0.0434	0.0445	0.0466	0.0485	0.0504	0.0542
0.160	0.0392	0.0416	0.0437	0.0455	0.0471	0.0485	0.0498	0.0523	0.0546	0.0569	0.0614
0.170	0.0429	0.0458	0.0482	0.0503	0.0522	0.0538	0.0554	0.0583	0.0610	0.0637	0.0691
0.180	0.0467	0.0500	0.0529	0.0553	0.0575	0.0594	0.0612	0.0646	0.0678	0.0710	0.0772
0.190	0.0507	0.0544	0.0577	0.0605	0.0630	0.0653	0.0674	0.0713	0.0750	0.0787	0.0859
0.200	0.0547	0.0589	0.0627	0.0659	0.0687	0.0713	0.0737	0.0783	0.0826	0.0868	0.0952
0.210	0.0587	0.0636	0.0678	0.0715	0.0747	0.0777	0.0804	0.0856	0.0905	0.0954	0.1049
0.220	0.0629	0.0683	0.0731	0.0772	0.0809	0.0842	0.0874	0.0932	0.0989	0.1043	0.1152
0.230	0.0671	0.0732	0.0785	0.0832	0.0873	0.0911	0.0946	0.1012	0.1076	0.1138	0.1260
0.240	0.0714	0.0781	0.0841	0.0893	0.0939	0.0981	0.1021	0.1096	0.1167	0.1237	0.1374
0.250	0.0757	0.0832	0.0898	0.0956	0.1007	0.1055	0.1099	0.1182	0.1262	0.1340	0.1494
0.260	0.0801	0.0884	0.0957	0.1021	0.1078	0.1131	0.1180	0.1273	0.1361	0.1448	0.1619
0.270	0.0846	0.0936	0.1017	0.1087	0.1151	0.1209	0.1263	0.1366	0.1465	0.1561	0.1751
0.280	0.0891	0.0990	0.1078	0.1156	0.1226	0.1290	0.1350	0.1464	0.1572	0.1678	0.1888
0.290	0.0937	0.1045	0.1141	0.1226	0.1303	0.1373	0.1439	0.1564	0.1684	0.1801	0.2032
0.300	0.0983	0.1100	0.1205	0.1298	0.1382	0.1459	0.1532	0.1669	0.1800	0.1928	0.2181
0.310	0.1029	0.1157	0.1271	0.1372	0.1464	0.1548	0.1627	0.1777	0.1920	0.2060	0.2337
0.320	0.1077	0.1214	0.1338	0.1448	0.1547	0.1639	0.1725	0.1889	0.2045	0.2198	0.2499
0.330	0.1124	0.1272	0.1406	0.1526	0.1633	0.1733	0.1827	0.2004	0.2174	0.2340	0.2668
0.340	0.1172	0.1332	0.1476	0.1605	0.1721	0.1829	0.1931	0.2123	0.2307	0.2488	0.2843
0.350	0.1220	0.1392	0.1547	0.1686	0.1812	0.1928	0.2038	0.2246	0.2446	0.2641	0.3025
0.360	0.1269	0.1453	0.1619	0.1769	0.1904	0.2030	0.2149	0.2373	0.2588	0.2799	0.3214
0.370	0.1318	0.1514	0.1693	0.1853	0.1999	0.2134	0.2262	0.2504	0.2735	0.2962	0.3410
0.380	0.1368	0.1577	0.1768	0.1940	0.2096	0.2241	0.2378	0.2638	0.2887	0.3131	0.3612
0.390	0.1417	0.1640	0.1844	0.2028	0.2196	0.2351	0.2498	0.2777	0.3044	0.3306	0.3822
0.400	0.1468	0.1705	0.1922	0.2118	0.2297	0.2463	0.2621	0.2919	0.3206	0.3486	0.4038
0.410	0.1518	0.1770	0.2001	0.2210	0.2401	0.2579	0.2747	0.3066	0.3372	0.3671	0.4262
0.420	0.1569	0.1836	0.2081	0.2304	0.2507	0.2697	0.2876	0.3216	0.3543	0.3863	0.4493
0.430	0.1620	0.1902	0.2163	0.2399	0.2616	0.2817	0.3008	0.3371	0.3719	0.4060	0.4731
0.440	0.1671	0.1970	0.2246	0.2497	0.2727	0.2941	0.3144	0.3530	0.3900	0.4263	0.4977
0.450	0.1723	0.2038	0.2330	0.2596	0.2840	0.3067	0.3283	0.3693	0.4086	0.4472	0.5231
0.460	0.1774	0.2107	0.2415	0.2697	0.2955	0.3196	0.3425	0.3860	0.4277	0.4686	0.5492
0.470	0.1827	0.2176	0.2502	0.2800	0.3073	0.3328	0.3570	0.4031	0.4474	0.4907	0.5760
0.480	0.1879	0.2247	0.2590	0.2904	0.3193	0.3463	0.3719	0.4207	0.4675	0.5134	0.6037
0.490	0.1931	0.2318	0.2680	0.3011	0.3315	0.3600	0.3871	0.4387	0.4882	0.5367	0.6322
0.500	0.1984	0.2390	0.2770	0.3119	0.3440	0.3741	0.4027	0.4571	0.5094	0.5606	0.6614

표 3.2.6 (b) 등류수심 직접계산표 (직사각형 및 사다리꼴단면)

$d/b$	$m = 0$	$m = \frac{1}{4}$	$m = \frac{1}{2}$	$m = \frac{3}{4}$	$m = 1$	$m = 1 \frac{1}{4}$	$m = 1 \frac{1}{2}$	$m = 2$	$m = 2 \frac{1}{2}$	$m = 3$	$m = 4$
0.510	0.2037	0.2463	0.2862	0.3229	0.3567	0.3884	0.4186	0.4759	0.5311	0.5851	0.6914
0.520	0.2091	0.2536	0.2955	0.3341	0.3697	0.4031	0.4348	0.4952	0.5534	0.6103	0.7223
0.530	0.2144	0.2611	0.3050	0.3455	0.3829	0.4180	0.4514	0.5150	0.5762	0.6361	0.7540
0.540	0.2198	0.2685	0.3146	0.3571	0.3964	0.4332	0.4683	0.5352	0.5995	0.6625	0.7865
0.550	0.2251	0.2761	0.3243	0.3688	0.4100	0.4487	0.4856	0.5558	0.6234	0.6896	0.8199
0.560	0.2305	0.2837	0.3341	0.3808	0.4240	0.4645	0.5032	0.5769	0.6479	0.7173	0.8541
0.570	0.2360	0.2915	0.3441	0.3929	0.4381	0.4807	0.5212	0.5985	0.6729	0.7457	0.8892
0.580	0.2414	0.2992	0.3542	0.4052	0.4526	0.4971	0.5395	0.6205	0.6985	0.7748	0.9251
0.590	0.2469	0.3071	0.3644	0.4177	0.4672	0.5138	0.5582	0.6430	0.7246	0.8046	0.9619
0.600	0.2523	0.3150	0.3748	0.4304	0.4822	0.5308	0.5773	0.6660	0.7514	0.8350	0.9996
0.610	0.2578	0.3230	0.3853	0.4433	0.4973	0.5482	0.5967	0.6894	0.7787	0.8661	1.0381
0.620	0.2633	0.3311	0.3959	0.4564	0.5128	0.5658	0.6165	0.7133	0.8066	0.8979	1.0776
0.630	0.2688	0.3392	0.4067	0.4697	0.5284	0.5838	0.6367	0.7377	0.8350	0.9304	1.1180
0.640	0.2744	0.3474	0.4176	0.4832	0.5444	0.6021	0.6572	0.7626	0.8641	0.9635	1.1593
0.650	0.2799	0.3557	0.4286	0.4968	0.5605	0.6207	0.6781	0.7880	0.8938	0.9974	1.2015
0.660	0.2855	0.3640	0.4397	0.5107	0.5770	0.6396	0.6994	0.8138	0.9241	1.0321	1.2446
0.670	0.2911	0.3724	0.4510	0.5247	0.5937	0.6588	0.7211	0.8402	0.9550	1.0674	1.2887
0.680	0.2966	0.3809	0.4624	0.5390	0.6106	0.6783	0.7431	0.8670	0.9865	1.1034	1.3337
0.690	0.3022	0.3894	0.4740	0.5534	0.6278	0.6982	0.7656	0.8944	1.0186	1.1402	1.3797
0.700	0.3079	0.3980	0.4856	0.5681	0.6453	0.7184	0.7884	0.9222	1.0513	1.1777	1.4266
0.710	0.3135	0.4067	0.4974	0.5829	0.6631	0.7389	0.8116	0.9506	1.0847	1.2160	1.4745
0.720	0.3191	0.4155	0.5094	0.5979	0.6811	0.7598	0.8352	0.9795	1.1187	1.2550	1.5234
0.730	0.3248	0.4243	0.5214	0.6132	0.6993	0.7810	0.8592	1.0089	1.1533	1.2948	1.5733
0.740	0.3304	0.4332	0.5336	0.6286	0.7179	0.8025	0.8835	1.0388	1.1885	1.3353	1.6241
0.750	0.3361	0.4421	0.5460	0.6442	0.7367	0.8243	0.9083	1.0692	1.2245	1.3766	1.6760
0.760	0.3418	0.4512	0.5584	0.6601	0.7557	0.8465	0.9335	1.1002	1.2610	1.4186	1.7288
0.770	0.3475	0.4603	0.5710	0.6761	0.7751	0.8690	0.9591	1.1317	1.2982	1.4614	1.7827
0.780	0.3532	0.4694	0.5838	0.6923	0.7947	0.8918	0.9851	1.1637	1.3361	1.5050	1.8376
0.790	0.3589	0.4787	0.5966	0.7088	0.8146	0.9150	1.0114	1.1962	1.3746	1.5494	1.8935
0.800	0.3646	0.4879	0.6096	0.7254	0.8347	0.9386	1.0382	1.2293	1.4138	1.5946	1.9505
0.810	0.3703	0.4973	0.6228	0.7423	0.8552	0.9624	1.0655	1.2630	1.4537	1.6406	2.0085
0.820	0.3761	0.5067	0.6361	0.7594	0.8759	0.9867	1.0931	1.2972	1.4942	1.6873	2.0675
0.830	0.3818	0.5162	0.6495	0.7766	0.8969	1.0112	1.1211	1.3319	1.5354	1.7349	2.1276
0.840	0.3876	0.5258	0.6630	0.7941	0.9181	1.0362	1.1496	1.3672	1.5773	1.7833	2.1888
0.850	0.3934	0.5354	0.6767	0.8118	0.9397	1.0614	1.1785	1.4030	1.6199	1.8325	2.2511
0.860	0.3991	0.5451	0.6905	0.8297	0.9615	1.0870	1.2078	1.4394	1.6632	1.8826	2.3144
0.870	0.4049	0.5549	0.7045	0.8478	0.9836	1.1130	1.2375	1.4764	1.7072	1.9334	2.3788
0.880	0.4107	0.5647	0.7185	0.8661	1.0060	1.1394	1.2676	1.5139	1.7519	1.9851	2.4444
0.890	0.4165	0.5746	0.7328	0.8846	1.0287	1.1660	1.2982	1.5520	1.7972	2.0377	2.5110
0.900	0.4223	0.5846	0.7471	0.9033	1.0516	1.1931	1.3292	1.5907	1.8433	2.0910	2.5787
0.910	0.4281	0.5946	0.7616	0.9223	1.0749	1.2205	1.3607	1.6299	1.8901	2.1453	2.6476
0.920	0.4339	0.6047	0.7763	0.9414	1.0984	1.2483	1.3926	1.6697	1.9377	2.2004	2.7175
0.930	0.4398	0.6149	0.7911	0.9608	1.1223	1.2764	1.4249	1.7101	1.9859	2.2563	2.7887
0.940	0.4456	0.6251	0.8060	0.9804	1.1464	1.3049	1.4576	1.7511	2.0349	2.3131	2.8609
0.950	0.4514	0.6354	0.8210	1.0002	1.1708	1.3338	1.4908	1.7927	2.0846	2.3708	2.9343
0.960	0.4573	0.6458	0.8362	1.0202	1.1955	1.3630	1.5245	1.8349	2.1350	2.4294	3.0089
0.970	0.4631	0.6562	0.8516	1.0404	1.2205	1.3927	1.5586	1.8776	2.1862	2.4888	3.0846
0.980	0.4690	0.6667	0.8670	1.0609	1.2458	1.4227	1.5931	1.9210	2.2381	2.5491	3.1614
0.990	0.4749	0.6773	0.8827	1.0815	1.2714	1.4530	1.6281	1.9650	2.2908	2.6103	3.2395
1.000	0.4807	0.6879	0.8984	1.1024	1.2973	1.4838	1.6636	2.0095	2.3442	2.6725	3.3187

표 3.2.6 (c) 등류수심 직접계산표 (직사각형 및 사다리꼴단면)

$d/b$	$m = 0$	$m = \frac{1}{4}$	$m = \frac{1}{2}$	$m = \frac{3}{4}$	$m = 1$	$m = 1 \frac{1}{4}$	$m = 1 \frac{1}{2}$	$m = 2$	$m = 2 \frac{1}{2}$	$m = 3$	$m = 4$
1.100	0.5398	0.7980	1.0638	1.3235	1.5729	1.8123	2.0436	2.4892	2.9207	3.3440	4.1777
1.200	0.5993	0.9148	1.2436	1.5674	1.8797	2.1803	2.4713	3.0327	3.5768	4.1107	5.1624
1.300	0.6592	1.0384	1.4382	1.8348	2.2189	2.5896	2.9490	3.6432	4.3165	4.9776	6.2797
1.400	0.7195	1.1688	1.6480	2.1265	2.5917	3.0418	3.4787	4.3237	5.1438	5.9493	7.5361
1.500	0.7800	1.3062	1.8733	2.4432	2.9993	3.5384	4.0625	5.0771	6.0625	7.0306	8.9380
1.600	0.8408	1.4506	2.1146	2.7856	3.4428	4.0811	4.7024	5.9063	7.0764	8.2261	10.4918
1.700	0.9018	1.6020	2.3721	3.1546	3.9233	4.6715	5.4004	6.8142	8.1890	9.5403	12.2035
1.800	0.9630	1.7606	2.6462	3.5508	4.4420	5.3109	6.1584	7.8035	9.4040	10.9776	14.0792
1.900	1.0243	1.9265	2.9373	3.9749	5.0000	6.0011	6.9784	8.8769	10.7250	12.5423	16.1249
2.000	1.0858	2.0998	3.2458	4.4277	5.5985	6.7435	7.8622	10.0372	12.1555	14.2388	18.3464
2.100	1.1473	2.2805	3.5721	4.9099	6.2384	7.5395	8.8118	11.2871	13.6988	16.0712	20.7494
2.200	1.2090	2.4688	3.9164	5.4221	6.9208	8.3906	9.8290	12.6291	15.3584	18.0437	23.3395
2.300	1.2708	2.6648	4.2791	5.9651	7.6469	9.2982	10.9156	14.0658	17.1376	20.1604	26.1223
2.400	1.3327	2.8685	4.6607	6.5395	8.4176	10.2638	12.0733	15.5998	19.0397	22.4253	29.1033
2.500	1.3946	3.0800	5.0614	7.1461	9.2340	11.2888	13.3040	17.2336	21.0679	24.8423	32.2879
2.600	1.4567	3.2995	5.4816	7.7854	10.0971	12.3745	14.6095	18.9696	23.2255	27.4154	35.6814
2.700	1.5187	3.5271	5.9216	8.4582	11.0079	13.5224	15.9914	20.8103	25.5155	30.1484	39.2891
2.800	1.5809	3.7628	6.3819	9.1651	11.9674	14.7337	17.4515	22.7582	27.9412	33.0452	43.1163
2.900	1.6431	4.0068	6.8626	9.9067	12.9767	16.0099	18.9914	24.8156	30.5056	36.1096	47.1680
3.000	1.7053	4.2592	7.3643	10.6838	14.0367	17.3522	20.6129	26.9850	33.2119	39.3452	51.4493
3.100	1.7676	4.5200	7.8871	11.4969	15.1483	18.7620	22.3176	29.2686	36.0629	42.7559	55.9653
3.200	1.8299	4.7893	8.4315	12.3466	16.3126	20.2405	24.1071	31.6688	39.0617	46.3452	60.7209
3.300	1.8923	5.0673	8.9977	13.2337	17.5304	21.7891	25.9831	34.1879	42.2114	50.1167	65.7211
3.400	1.9546	5.3541	9.5862	14.1588	18.8028	23.4091	27.9472	36.8282	45.5147	54.0742	70.9707
3.500	2.0171	5.6497	10.1972	15.1223	20.1307	25.1017	30.0010	39.5918	48.9746	58.2210	76.4746
3.600	2.0795	5.9543	10.8310	16.1251	21.5150	26.8681	32.1461	42.4812	52.5940	62.5608	82.2375
3.700	2.1420	6.2679	11.4880	17.1676	22.9565	28.7097	34.3840	45.4985	56.3758	67.0971	88.2643
3.800	2.2045	6.5906	12.1685	18.2506	24.4564	30.6276	36.7163	48.6457	60.3227	71.8331	94.5594
3.900	2.2670	6.9226	12.8729	19.3745	26.0154	32.6230	39.1446	51.9253	64.4377	76.7725	101.1278
4.000	2.3295	7.2639	13.6014	20.5400	27.6345	34.6973	41.6703	55.3393	68.7234	81.9187	107.9740
4.100	2.3921	7.6147	14.3543	21.7476	29.3146	36.8516	44.2951	58.8898	73.1827	87.2749	115.1023
4.200	2.4547	7.9749	15.1320	22.9981	31.0565	39.0871	47.0204	62.5791	77.8183	92.8444	122.5177
4.300	2.5173	8.3448	15.9347	24.2919	32.8611	41.4051	49.8478	66.4091	82.6329	98.6309	130.2247
4.400	2.5799	8.7245	16.7628	25.6296	34.7293	43.8065	52.9785	70.3821	87.6292	104.6373	138.2273
4.500	2.6425	9.1139	17.6167	27.0119	36.6620	46.2927	55.8144	74.5000	92.8098	110.8670	146.5301
4.600	2.7052	9.5132	18.4965	28.4392	38.6601	48.8649	58.9566	78.7650	98.1774	117.3233	155.1378
4.700	2.7678	9.9226	19.4027	29.9122	40.7244	51.5241	62.2068	83.1792	103.7348	124.0093	164.0547
4.800	2.8305	10.3420	20.3354	31.4314	42.8557	54.2715	65.5663	87.7444	109.4845	130.9283	173.2848
4.900	2.8932	10.7716	21.2950	32.9974	45.0550	57.1083	69.0367	92.4629	115.4290	138.0834	182.8328
5.000	2.9559	11.2115	22.2819	34.6108	47.3229	60.0357	72.6192	97.3365	121.5710	145.4781	192.7027
5.100	3.0186	11.6618	23.2962	36.2720	49.6606	63.0546	76.3154	102.3673	127.9132	153.1146	202.8992

나) 원형단면 수로의 등류수심 직접계산법

유량  $Q$ , 반경  $r$ , 수로기울기  $I$ , 조도계수  $n$  이 주어지면 다음과 같은 순서에 의해 등류수심  $d$  를 구한다.

(1)  $\frac{n \cdot Q}{I^{1/2} \cdot r^{8/3}}$  의 값을 구한다.

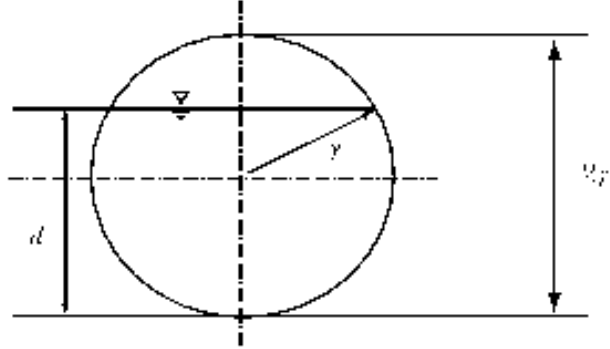
(2) 표 3.2.7에서 주어지는 단면형에 대하여 (1)에서 구한 값에 대한  $d/r$  의 값을 구한다. 필요에 따라서 보간법으로 계산한다.



(3)  $(d/r) \times r = d$  에 의해 등류수심  $d$  를 구한다.

**【계산 예】**

반경  $r = 1.2\text{m}$ , 수로기울기  $I = 1/1,000$ 인 콘크리트 원형단면 관수로( $n = 0.015$ )에서 유량  $Q = 4\text{m}^3/\text{s}$ 가 흐를 경우 등류수심  $d$  를 구하라.



주어진 조건에 의하여  $\frac{n \cdot Q}{I^{1/2} \cdot r^{8/3}} = \frac{0.015 \times 4}{0.001^{1/2} \times 1.2^{8/3}} = 1.167$

표 3.2.7의 등류수심 직접계산표와 보간법을 이용해서 등류수심을 구하면 다음과 같다.

$\frac{d}{r}$	$\frac{n \cdot Q}{I^{1/2} \cdot r^{8/3}}$	비례부분
1.08	1.125	$(1.12 - 1.08) : x = (1.193 - 1.125) : (1.167 - 1.125)$ 따라서 $x = 0.025$ , $\frac{d}{r} = 1.105$ $\therefore$ 등류수심 $d = 1.2 \times 1.105 = 1.326 \text{ m}$
$1.08 + x$	1.167	
1.12	1.193	

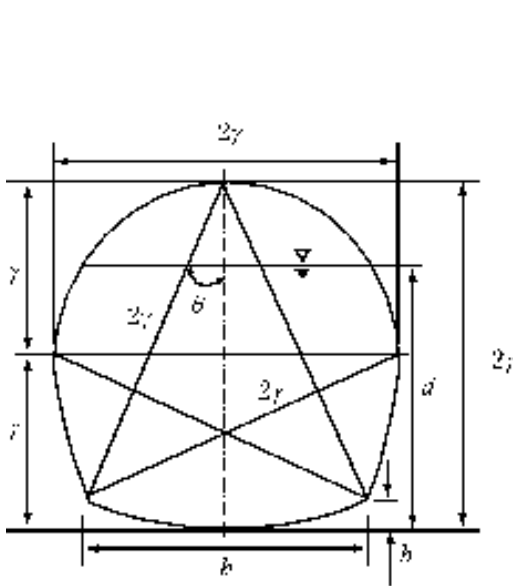
표 3.2.7 등류수심 직접계산표 (원형단면)

$d/r$	$\alpha = A/r^2$	$p/r$	$\beta = R/r$	$\beta^{1/2}$	$\beta^{2/3}$	$\alpha\beta^{2/3} = \frac{n \cdot Q}{I^{1/2} \cdot r^{8/3}}$
2.000	3.1416	6.2832	0.5000	0.7071	0.6300	1.9791
1.960	3.1266	5.7156	0.5470	0.7396	0.6689	2.0913
1.920	3.0994	5.4778	0.5658	0.7522	0.6841	2.1203
1.880	3.0646	5.2933	0.5790	0.7609	0.6947	2.1289
1.840	3.0239	5.1362	0.5887	0.7673	0.7024	2.1241
1.800	2.9781	4.9962	0.5961	0.7721	0.7083	2.1093
1.760	2.9281	4.8682	0.6015	0.7755	0.7125	2.0863
1.720	2.8743	4.7492	0.6052	0.7780	0.7155	2.0565
1.680	2.8171	4.6371	0.6075	0.7794	0.7173	2.0208
1.640	2.7571	4.5306	0.6085	0.7801	0.7181	1.9799
1.600	2.6943	4.4286	0.6084	0.7800	0.7180	1.9345
1.560	2.6291	4.3304	0.6071	0.7792	0.7170	1.8851
1.520	2.5618	4.2353	0.6049	0.7777	0.7152	1.8323
1.480	2.4925	4.1429	0.6016	0.7757	0.7127	1.7764
1.440	2.4215	4.0528	0.5975	0.7730	0.7094	1.7178
1.400	2.3489	3.9646	0.5925	0.7697	0.7054	1.6570
1.360	2.2749	3.8781	0.5866	0.7659	0.7007	1.5942
1.320	2.1997	3.7931	0.5799	0.7615	0.6954	1.5297
1.280	2.1234	3.7092	0.5725	0.7566	0.6894	1.4640
1.240	2.0462	3.6263	0.5642	0.7512	0.6828	1.3972
1.200	1.9681	3.5443	0.5553	0.7452	0.6756	1.3296
1.160	1.8894	3.4630	0.5456	0.7387	0.6677	1.2616
1.120	1.8102	3.3822	0.5352	0.7316	0.6592	1.1933
1.080	1.7306	3.3018	0.5242	0.7240	0.6501	1.1251
1.040	1.6508	3.2216	0.5124	0.7158	0.6403	1.0571
1.000	1.5708	3.1416	0.5000	0.7071	0.6300	0.9895
0.960	1.4908	3.0616	0.4869	0.6978	0.6189	0.9227
0.920	1.4110	2.9814	0.4733	0.6879	0.6073	0.8569
0.880	1.3314	2.9010	0.4589	0.6774	0.5950	0.7921
0.840	1.2522	2.8202	0.4440	0.6663	0.5820	0.7288
0.800	1.1735	2.7389	0.4285	0.6546	0.5683	0.6669
0.760	1.0954	2.6569	0.4123	0.6421	0.5540	0.6068
0.720	1.0182	2.5740	0.3956	0.6289	0.5389	0.5487
0.680	0.9419	2.4901	0.3783	0.6150	0.5230	0.4926
0.640	0.8667	2.4051	0.3604	0.6003	0.5064	0.4389
0.600	0.7927	2.3186	0.3419	0.5847	0.4889	0.3876
0.560	0.7201	2.2304	0.3228	0.5682	0.4706	0.3389
0.520	0.6491	2.1403	0.3033	0.5507	0.4514	0.2930
0.480	0.5798	2.0479	0.2831	0.5321	0.4312	0.2500
0.440	0.5125	1.9528	0.2624	0.5123	0.4099	0.2100
0.400	0.4473	1.8546	0.2412	0.4911	0.3875	0.1733
0.360	0.3845	1.7526	0.2194	0.4684	0.3638	0.1399
0.320	0.3245	1.6461	0.1971	0.4440	0.3387	0.1099
0.280	0.2673	1.5340	0.1743	0.4175	0.3120	0.0834
0.240	0.2135	1.4150	0.1509	0.3885	0.2835	0.0605
0.200	0.1635	1.2870	0.1270	0.3564	0.2527	0.0413
0.160	0.1177	1.1470	0.1026	0.3204	0.2192	0.0258
0.120	0.0770	0.9899	0.0777	0.2788	0.1822	0.0140
0.080	0.0422	0.8054	0.0523	0.2288	0.1399	0.0059
0.040	0.0150	0.5676	0.0264	0.1625	0.0887	0.0013
0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

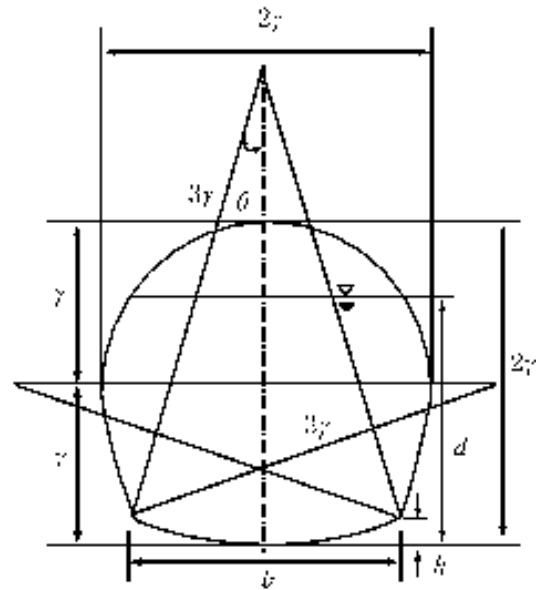
다) 말굽형 단면 수로의 등류수심 직접계산법

원형단면 수로에서와 같이 유량  $Q$ , 반경  $r$ , 수로기울기  $I$ , 조도계수  $n$  이 주어지면 다음과 같은 순서에 의해 등류수심  $d$  를 구한다.

- (1)  $\frac{n \cdot Q}{I^{1/2} \cdot r^{8/3}}$  의 값을 구한다.
- (2) 표 3.2.8 및 표 3.2.9에서 주어지는 단면형에 대하여 (1)에서 구한 값에 대한  $d/r$  의 값을 구한다. 필요에 따라서 보간법으로 계산한다.
- (3)  $(d/r) \times r = d$  에 의해 등류수심  $d$  를 구한다.



[ 표준말굽형 단면  $2r$  형 ]



[ 표준말굽형 단면  $3r$  형 ]

표 3.2.8 등류수심 직접계산표 (표준말굽형 단면  $2r$  형)

$d/r$	$\alpha = A/r^2$	$p/r$	$\beta = R/r$	$\beta^{1/2}$	$\beta^{2/3}$	$\alpha \beta^{2/3} = \frac{n \cdot Q}{I^{1/2} \cdot r^{8/3}}$
2.000	3.3169	6.5331	0.5077	0.7125	0.6364	2.1109
1.960	3.3019	5.9655	0.5535	0.7440	0.6741	2.2259
1.920	3.2747	5.7277	0.5717	0.7561	0.6889	2.2558
1.880	3.2399	5.5432	0.5845	0.7645	0.6991	2.2649
1.840	3.1992	5.3861	0.5940	0.7707	0.7066	2.2605
1.800	3.1534	5.2461	0.6011	0.7753	0.7122	2.2460
1.760	3.1034	5.1182	0.6063	0.7787	0.7164	2.2232
1.720	3.0496	4.9991	0.6100	0.7810	0.7193	2.1935
1.680	2.9924	4.8871	0.6123	0.7825	0.7211	2.1578
1.640	2.9324	4.7805	0.6134	0.7832	0.7219	2.1170
1.600	2.8696	4.6785	0.6134	0.7832	0.7219	2.0716
1.560	2.8044	4.5803	0.6123	0.7825	0.7211	2.0222
1.520	2.7371	4.4852	0.6103	0.7812	0.7195	1.9692
1.480	2.6678	4.3928	0.6073	0.7793	0.7172	1.9132
1.440	2.5968	4.3027	0.6035	0.7769	0.7142	1.8546
1.400	2.5242	4.2146	0.5989	0.7739	0.7105	1.7935
1.360	2.4502	4.1281	0.5936	0.7704	0.7063	1.7305
1.320	2.3750	4.0430	0.5874	0.7664	0.7014	1.6659
1.280	2.2987	3.9591	0.5806	0.7620	0.6960	1.5998
1.240	2.2215	3.8763	0.5731	0.7570	0.6899	1.5327
1.200	2.1434	3.7942	0.5649	0.7516	0.6834	1.4647
1.160	2.0647	3.7129	0.5561	0.7457	0.6762	1.3962
1.120	1.9855	3.6321	0.5467	0.7394	0.6686	1.3275
1.080	1.9059	3.5517	0.5366	0.7325	0.6604	1.2586
1.040	1.8261	3.4715	0.5260	0.7253	0.6516	1.1899
1.000	1.7461	3.3915	0.5148	0.7175	0.6424	1.1216
0.960	1.6661	3.3115	0.5031	0.7093	0.6326	1.0540
0.920	1.5862	3.2315	0.4909	0.7006	0.6223	0.9870
0.880	1.5064	3.1514	0.4780	0.6914	0.6114	0.9209
0.840	1.4268	3.0712	0.4646	0.6816	0.5998	0.8558
0.800	1.3474	2.9909	0.4505	0.6712	0.5877	0.7919
0.760	1.2684	2.9104	0.4358	0.6602	0.5748	0.7291
0.720	1.1898	2.8297	0.4205	0.6484	0.5612	0.6677
0.680	1.1116	2.7488	0.4044	0.6359	0.5469	0.6079
0.640	1.0339	2.6676	0.3876	0.6226	0.5316	0.5496
0.600	0.9568	2.5861	0.3700	0.6083	0.5154	0.4931
0.560	0.8804	2.5043	0.3516	0.5929	0.4981	0.4385
0.520	0.8047	2.4221	0.3322	0.5764	0.4797	0.3860
0.480	0.7298	2.3394	0.3119	0.5585	0.4600	0.3357
0.440	0.6557	2.2563	0.2906	0.5391	0.4387	0.2877
0.400	0.5826	2.1728	0.2681	0.5178	0.4158	0.2423
0.360	0.5105	2.0886	0.2444	0.4944	0.3909	0.1996
0.320	0.4395	2.0039	0.2193	0.4683	0.3637	0.1598
0.280	0.3696	1.9185	0.1926	0.4389	0.3336	0.1233
0.240	0.3009	1.8323	0.1642	0.4053	0.2999	0.0903
0.200	0.2336	1.7455	0.1338	0.3658	0.2617	0.0611
0.160	0.1686	1.6109	0.1047	0.3235	0.2221	0.0374
0.120	0.1099	1.3927	0.0789	0.2809	0.1839	0.0202
0.080	0.0600	1.1352	0.0528	0.2299	0.1408	0.0084
0.040	0.0213	0.8014	0.0265	0.1629	0.0890	0.0019
0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

표 3.2.9 등류수심 직접계산표 (표준말굽형 단면 3r 형)

$d/r$	$\alpha = A/r^2$	$p/r$	$\beta = R/r$	$\beta^{1/2}$	$\beta^{2/3}$	$\alpha\beta^{2/3} = \frac{n \cdot Q}{I^{1/2} \cdot r^{8/3}}$
2.000	3.3889	6.6748	0.5077	0.7125	0.6364	2.1568
1.960	3.3739	6.1073	0.5524	0.7433	0.6733	2.2716
1.920	3.3468	5.8694	0.5702	0.7551	0.6876	2.3014
1.880	3.3120	5.6850	0.5826	0.7633	0.6975	2.3103
1.840	3.2712	5.5278	0.5918	0.7693	0.7049	2.3057
1.800	3.2254	5.3878	0.5987	0.7737	0.7103	2.2911
1.760	3.1754	5.2599	0.6037	0.7770	0.7143	2.2682
1.720	3.1216	5.1409	0.6072	0.7792	0.7171	2.2384
1.680	3.0645	5.0288	0.6094	0.7806	0.7188	2.2027
1.640	3.0044	4.9222	0.6104	0.7813	0.7196	2.1618
1.600	2.9416	4.8203	0.6103	0.7812	0.7195	2.1164
1.560	2.8765	4.7220	0.6092	0.7805	0.7186	2.0671
1.520	2.8092	4.6270	0.6071	0.7792	0.7170	2.0142
1.480	2.7399	4.5346	0.6042	0.7773	0.7147	1.9582
1.440	2.6689	4.4444	0.6005	0.7749	0.7118	1.8996
1.400	2.5963	4.3563	0.5960	0.7720	0.7082	1.8387
1.360	2.5223	4.2698	0.5907	0.7686	0.7040	1.7758
1.320	2.4470	4.1847	0.5848	0.7647	0.6993	1.7112
1.280	2.3707	4.1008	0.5781	0.7603	0.6940	1.6452
1.240	2.2935	4.0180	0.5708	0.7555	0.6881	1.5782
1.200	2.2155	3.9360	0.5629	0.7503	0.6817	1.5103
1.160	2.1368	3.8546	0.5543	0.7445	0.6748	1.4419
1.120	2.0576	3.7738	0.5452	0.7384	0.6674	1.3732
1.080	1.9780	3.6934	0.5355	0.7318	0.6595	1.3044
1.040	1.8981	3.6133	0.5253	0.7248	0.6511	1.2358
1.000	1.8181	3.5333	0.5146	0.7173	0.6421	1.1675
0.960	1.7381	3.4532	0.5033	0.7095	0.6328	1.0998
0.920	1.6582	3.3732	0.4916	0.7011	0.6229	1.0328
0.880	1.5783	3.2932	0.4793	0.6923	0.6124	0.9666
0.840	1.4986	3.2131	0.4664	0.6829	0.6014	0.9013
0.800	1.4190	3.1329	0.4529	0.6730	0.5898	0.8369
0.760	1.3397	3.0527	0.4388	0.6625	0.5775	0.7736
0.720	1.2606	2.9724	0.4241	0.6512	0.5645	0.7116
0.680	1.1818	2.8920	0.4086	0.6392	0.5507	0.6508
0.640	1.1033	2.8115	0.3924	0.6264	0.5360	0.5914
0.600	1.0253	2.7309	0.3754	0.6127	0.5204	0.5336
0.560	0.9476	2.6501	0.3576	0.5980	0.5038	0.4775
0.520	0.8705	2.5691	0.3388	0.5821	0.4860	0.4231
0.480	0.7938	2.4880	0.3191	0.5649	0.4669	0.3707
0.440	0.7178	2.4066	0.2982	0.5461	0.4464	0.3204
0.400	0.6423	2.3251	0.2762	0.5256	0.4242	0.2724
0.360	0.5675	2.2433	0.2530	0.5030	0.4000	0.2270
0.320	0.4934	2.1613	0.2283	0.4778	0.3735	0.1843
0.280	0.4200	2.0790	0.2020	0.4495	0.3443	0.1446
0.240	0.3474	1.9965	0.1740	0.4171	0.3117	0.1083
0.200	0.2757	1.9136	0.1440	0.3795	0.2748	0.0757
0.160	0.2048	1.8305	0.1119	0.3345	0.2322	0.0476
0.120	0.1350	1.7028	0.0793	0.2815	0.1845	0.0249
0.080	0.0736	1.3888	0.0530	0.2302	0.1411	0.0104
0.040	0.0261	0.9810	0.0266	0.1631	0.0891	0.0023
0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

### 3.2.3 손실수두

수로 내에서의 유수는 흐름중 내부마찰이나 벽면 또는 장애물로 인한 외부마찰 외에도 유입, 유출, 단면변화, 형상변화, 기타 각종 수로구조물에 의해 에너지 손실이 발생하며 이에 따라 수두가 감소한다. 따라서 수로의 수리설계에서는 이러한 손실수두를 고려해야 한다.

수로의 수리설계에서는 일반적으로 다음과 같은 손실수두를 고려한다.

- 마찰에 의한 손실수두
- 유입·유출에 의한 손실수두
- 단면변화에 의한 손실수두
- 스크린에 의한 손실수두
- 만곡 및 굴절에 의한 손실수두
- 기타 교각, 밸브, 분류 등에 의한 손실수두

### 가. 마찰에 의한 손실수두

마찰에 의한 손실수두를 계산하는 경우는 일반적으로 유량계산에 사용되는 Manning의 평균유속공식에 의한다.

#### 1) 관수로의 마찰손실수두

##### 가) 원형단면인 경우

$$h_f = f \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{-----}(3.2.4)$$

$$f = \frac{124.5 n^2}{D^{1/3}}$$

##### 나) 일반단면인 경우

$$h_f = f' \frac{L}{R} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \text{-----}(3.2.5)$$

$$f' = \frac{2g n^2}{R^{1/3}}$$

여기서,  $h_f$ : 마찰손실수두 (m)       $L$ : 구간거리 (m)  
 $D$ : 관의 직경                       $V$ : 평균유속 (m/s)  
 $R$ : 경심 (m)                       $f, f'$ : 마찰손실계수  
 $g$ : 중력가속도 (m/s<sup>2</sup>)         $n$ : 조도계수

#### 2) 개수로의 마찰손실수두

관수로의 일반단면인 경우와 같은 식 (3.2.5)를 이용하여 계산한다.

### 나. 유입·유출에 의한 손실수두

#### 1) 유입 손실수두

접근유속을 무시할 수 있는 정수면에서 유입에 의한 손실수두는 식 (3.2.6)에 의하여 계산한다.

$$h_i = f_i \frac{V_2^2}{2g} \quad \text{-----} (3.2.6)$$

여기서,  $h_i$ : 유입손실수두 (m)     $V_2$ : 유입후 평균유속 (m/s)

$g$ : 중력가속도 (m/s<sup>2</sup>)     $f_i$ : 유입손실계수 (그림 3.2.3 참조)

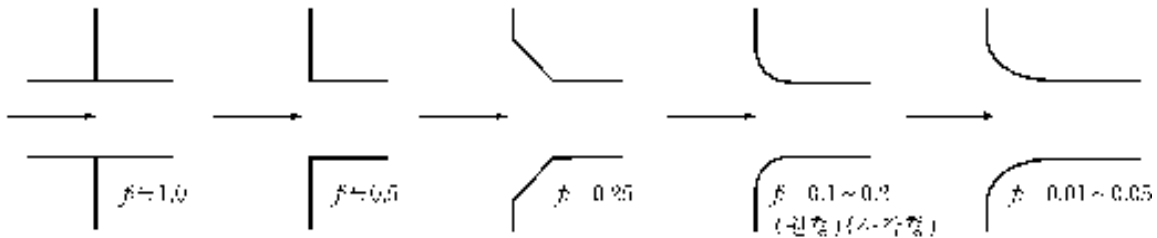


그림 3.2.3 유입구의 형상과 유입손실계수

#### 2) 유출 손실수두

유출에 의한 손실수두는 식 (3.2.7)에 의하여 계산하며 유출손실계수( $f_o$ )는 일반적으로 1.0 을 취한다.

$$h_o = f_o \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{-----} (3.2.7)$$

여기서,  $h_o$ : 유출손실수두 (m)     $V_1$ : 유출전 평균유속 (m/s)

$g$ : 중력가속도 (m/s<sup>2</sup>)     $f_o$ : 유출손실계수

### 다. 단면변화에 의한 손실수두

#### 1) 관수로의 경우

##### 가) 급확대 손실수두

$$h_{se} = \frac{V_1^2}{2g} \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 = f_{se} \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{-----} (3.2.8)$$

여기서,  $h_{se}$ : 급확대에 의한 손실수두 (m)

$V_1$ : 급확대 전의 평균유속 (m/s)

$A_1$ : 급확대 전의 관수로 단면적 (m<sup>2</sup>)

$A_2$ : 급확대 후의 관수로 단면적 (m<sup>2</sup>)

$g$ : 중력가속도 (m/s<sup>2</sup>)

$f_{se}$ : 급확대 손실계수  $f_{se} = (1 - \frac{A_1}{A_2})^2$  (표 3.2.10 참조)

표 3.2.10 급확대 손실계수 ( $D_1, D_2$  는 급확대 전후의 관직경 )

구 분	$D_1/D_2$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
관수로	$f_{se}$	1.0	0.98	0.92	0.82	0.70	0.56	0.41	0.26	0.13	0.04	0.00

나) 급축소 손실수두

$$h_{sc} = f_{sc} \frac{V_2^2}{2g} \text{-----} (3.2.9)$$

여기서,  $h_{sc}$ : 급축소에 의한 손실수두 (m)

$V_2$ : 급축소 후의 평균유속 (m/s)

$g$ : 중력가속도 (m/s<sup>2</sup>)

$f_{sc}$ : 급축소 손실계수 (표 3.2.11 참조)

표 3.2.11 급축소 손실계수 ( $D_1, D_2$  는 급축소 전후의 관직경)

구 분	$D_2/D_1$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
관수로	$f_{sc}$	0.50	0.50	0.49	0.49	0.46	0.43	0.38	0.29	0.18	0.07	0.00

다) 점확대 손실수두

$$h_{ge} = f_{ge} \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} \text{-----} (3.2.10)$$

여기서,  $h_{ge}$ : 점확대에 의한 손실수두 (m)

$V_1$ : 점확대 전의 평균유속 (m/s)

$V_2$ : 점확대 후의 평균유속 (m/s)

$g$ : 중력가속도 (m/s<sup>2</sup>)



$f_{ge}$ : 점확대 손실계수 ( $\theta = 7.5 \sim 35^\circ$  인 경우,  $f_{ge} \doteq 0.011\theta^{1.22}$ ,  $\theta =$  점확대각 )

$f_{ge}$  의 크기는 점확대각의 크기에 따라 정해지는 계수이며, 일반적으로  $\theta$ 가  $8 \sim 10^\circ$ 를 넘으면 유선이 주위의 관벽에서 이탈되어 와류가 생긴다. 이 때  $f_{ge}$  의 값이 급격하게 커지기 때문에  $\theta$ 를  $8^\circ$  이하로 하는 것이 바람직하다.

라) 점축소 손실수두

$$h_{gc} = f_{gc} \frac{V_2^2}{2g} \text{-----}(3.2.11)$$

여기서,  $h_{gc}$ : 점축소에 의한 손실수두 (m)

$V_2$ : 점축소 후의 유속 (m/s)

$g$ : 중력가속도 (m/s<sup>2</sup>)

$f_{gc}$ : 점축소 손실계수

$f_{gc}$  의 값은 점축소각의 크기에 따라 정해지는 계수이다.

2) 개수로의 경우

가) 급확대 손실수두

$$h_{se} = \frac{V_1^2}{2g} \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 = f_{se} \frac{V_1^2}{2g} \text{-----}(3.2.12)$$

여기서,  $h_{se}$ : 급확대에 의한 손실수두 (m)

$V_1$ : 급확대 전의 평균유속 (m/s)

$A_1$ : 급확대 전의 단면적 (m<sup>2</sup>)

$A_2$ : 급확대 후의 단면적 (m<sup>2</sup>)

$g$ : 중력가속도 (m/s<sup>2</sup>)

$f_{se}$ : 급확대 손실계수  $f_{se} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2$  (표 3.2.12 참조)

표 3.2.12 급확대 손실계수

구 분	$A_1/A_2$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
개수로	$f_{sc}$	1.0	0.81	0.64	0.49	0.36	0.25	0.16	0.09	0.04	0.01	0.00

나) 급축소 손실수두

$$h_{sc} = f_{sc} \frac{V_2^2}{2g} \text{-----}(3.2.13)$$

여기서,  $h_{sc}$ : 급축소에 의한 손실수두 (m)

$V_2$ : 급축소 후의 평균유속 (m/s)

$g$ : 중력가속도 ( $m/s^2$ )

$f_{sc}$ : 급축소 손실계수 (표 3.2.13 참조)

표 3.2.13 급축소 손실계수 ( $A_1, A_2$  는 급축소 전후의 단면적)

구 분	$A_2/A_1$	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
개수로	$f_{sc}$	0.50	0.48	0.45	0.41	0.36	0.29	0.21	0.13	0.07	0.01	0.00

다) 점확대 손실수두

$$h_{ge} = f_{ge} \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} + I_m \cdot L \text{-----}(3.2.14)$$

여기서,  $h_{ge}$ : 점확대에 의한 손실수두 (m)

$V_1$ : 점확대 전의 평균유속 (m/s)

$V_2$ : 점확대 후의 평균유속 (m/s)

$I_m$ : 완화부구간의 평균동수경사 ( $I_m = \frac{I_1 + I_2}{2}$ )

$I_1, I_2$ : 완화부 전후의 동수경사

$L$ : 완화부의 길이 (m)

$g$ : 중력가속도 ( $m/s^2$ )

$f_{ge}$ : 점확대 손실계수 (표 3.2.14 참조)

라) 점축소 손실수두

$$h_{gc} = f_{gc} \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + I_m \cdot L \text{-----}(3.2.15)$$

여기서,  $h_{gc}$ : 점축소에 의한 손실수두 (m)

$V_1$ : 점축소 전의 평균유속 (m/s)

$V_2$ : 점착소 후의 평균유속 (m/s)

$I_m$ : 완화부구간의 평균동수경사 ( $I_m = \frac{I_1 + I_2}{2}$ )

$I_1, I_2$ : 완화부 전후의 동수경사

$L$ : 완화부의 길이 (m)

$g$ : 중력가속도 ( $m/s^2$ )

$f_{gc}$ : 점착소 손실계수 (표 3.2.14)

완화부의 형상에 따른 점착대 및 점착소에 의한 손실계수는 표 3.2.14와 같다.

표 3.2.14 점착대 및 점착소 손실계수

완화부의 형상변화 상태	점착대 손실계수 $f_{ge}$	점착소 손실계수 $f_{gc}$
◦유선형 (유선형에서 직사각형 단면으로)	0.20	0.10
◦개량직선형 (벽끝이 직선이 되도록 비틀어서 직사각형 단면으로)	0.30	0.20
◦개량직선형 (벽끝이 직선이 되도록 비틀어서 원형 단면으로)	0.40	0.30
◦직선형 (평면을 조합하여 직사각형 단면으로)	0.50	0.30
◦직선형 (평면을 조합하여 원형 단면으로)	0.70	0.40
◦폐쇄완화공이 있는 경우 (정사각형 또는 직사각형에서 원형단면으로)	0.20	0.10

표 3.2.14는 사다리꼴 또는 직사각형단면에서 사다리꼴, 직사각형 또는 원형단면으로 옮겨가는 경우를 제시한 것이다.

#### 라. 스크린에 의한 손실수두

스크린에 의한 손실수두는 다음 식 (3.2.16)에 의하여 계산한다.

$$h_r = f_r \frac{V_1^2}{2g} = \beta \sin \theta \left( \frac{t}{b} \right)^{4/3} \frac{V_1^2}{2g} \text{-----}(3.2.16)$$

여기서,  $h_r$ : 스크린에 의한 손실수두 (m)

$V_1$ : 스크린 상류측 유속 (m/s)

$f_r$ : 스크린 손실계수       $t$ : 격자봉의 굵기 (m)

$b$ : 격자의 간격 (m)       $\theta$ : 격자의 경사각 (°)

$g$ : 중력가속도 ( $m/s^2$ )

$\beta$ : 격자봉의 단면형상에 의한 계수 (그림 3.2.4 참조)

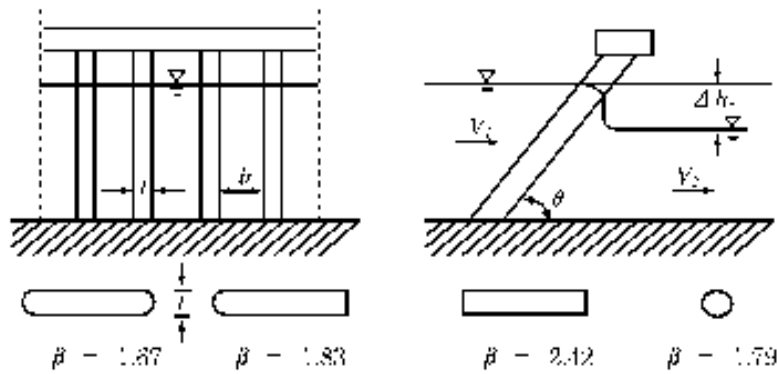


그림 3.2.4 격자봉의 단면형상과 계수

식 (3.2.16)은 스크린에 부유물이 전혀 없는 상태의 실험치에 의한 값이며, 부유물의 유입이 예상되는 경우에는 식 (3.2.17)에 의하여 손실수두를 계산한다.

$$h_s = 6.69 \sin \theta \left( \frac{t}{b} \right)^{4/3} \exp(7.4 r_a \frac{a}{h}) \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{-----(3.2.17)}$$

여기서,  $h_s$ : 부유물에 의한 손실수두  $\theta$ : 격자의 경사각 ( $^\circ$ )

$a$ : 부유물의 부착높이 (m)  $h$ : 스크린 상류측 수심 (m)

$t$ : 격자봉의 굵기 (m)  $b$ : 격자의 간격 (m)

$V_1$ : 스크린 상류측 평균유속 (m/s)  $g$ : 중력가속도 ( $m/s^2$ )

$r_a$ : 부유물의 단위체적중량 ( $kN/m^3$ ), 단  $r_a = 2.0 kN/m^3$  정도

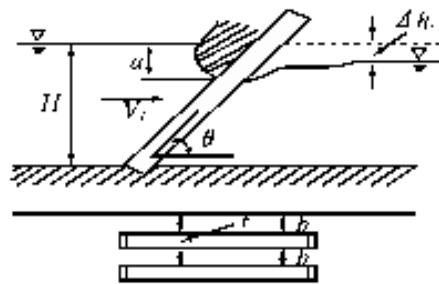


그림 3.2.5 부유물이 유입되는 경우 스크린에 의한 손실수두

#### 다. 만곡 및 굴절에 의한 손실수두

1) 만곡 손실수두

$$h_b = f_b \frac{V^2}{2g} \quad \text{-----}(3.2.18)$$

여기서,  $h_b$ : 만곡에 의한 손실수두 (m)

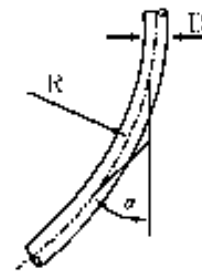
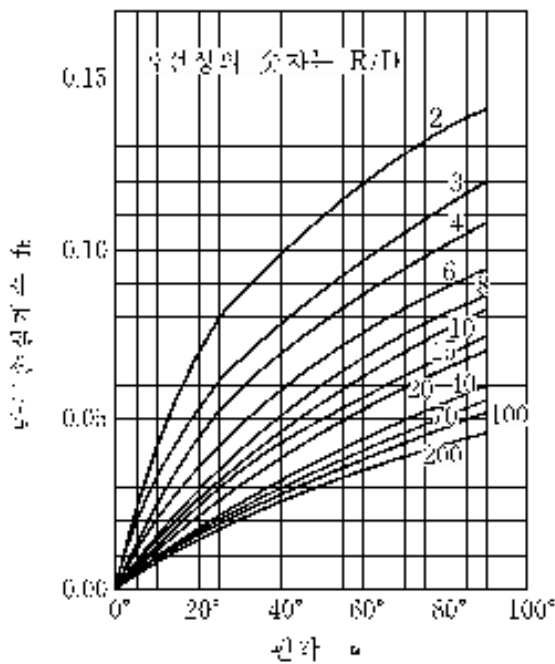
$V$ : 관수로 내의 평균유속 (m/s)

$g$ : 중력가속도 ( $m/s^2$ )

$f_b$ : 만곡 손실계수 (그림 3.2.6 참조)

$f_b$ 의 값은 만곡의 곡률반경( $R$ )과 관직경( $D$ )의 비인  $R/D$ 와 편각  $\alpha$ 에 의해 정해지는 손실계수로 그림 3.2.6에서 구한다. 그림에서 해당하는  $R/D$ 의 값이 곡선상에 없을 경우는 가장 가까운 하위의 수치를 취한다.

관수로의 만곡에 의한 손실수두를 가능한 한 작게 하기 위해서는  $R/D$ 를 크게 하는 것이 바람직하며 적어도 4.0 이상 되어야 한다.



$$f_b = \frac{90\pi}{\alpha} \left( \log \frac{R}{D} - \frac{\alpha \cdot \pi}{180} \right)$$

$\alpha$ : 편각(°)

그림 3.2.6 만곡의 곡률반경과 관직경의 비( $R/D$ )와 편각( $\alpha$ )에 의해 정해지는 만곡손실계수 ( $f_b$ ) ( $R/D \geq 2$ 인 경우)

2) 굴절 손실수두

$$h_{be} = f_{be} \frac{V^2}{2g} \quad \text{-----(3.2.19)}$$

여기서,  $h_{be}$ : 굴절에 의한 손실수두 (m)

$V$ : 관수로 내의 평균유속 (m/s)

$g$ : 중력가속도 (m/s<sup>2</sup>)

$f_{be}$ : 굴절 손실계수 (그림 3.2.7참조)

$f_{be}$  의 값은 레이놀즈 수( $R_e$ )와 편각( $\alpha$ )에 의해 정해지는 손실계수로 그림 3.2.7에서 구한다.

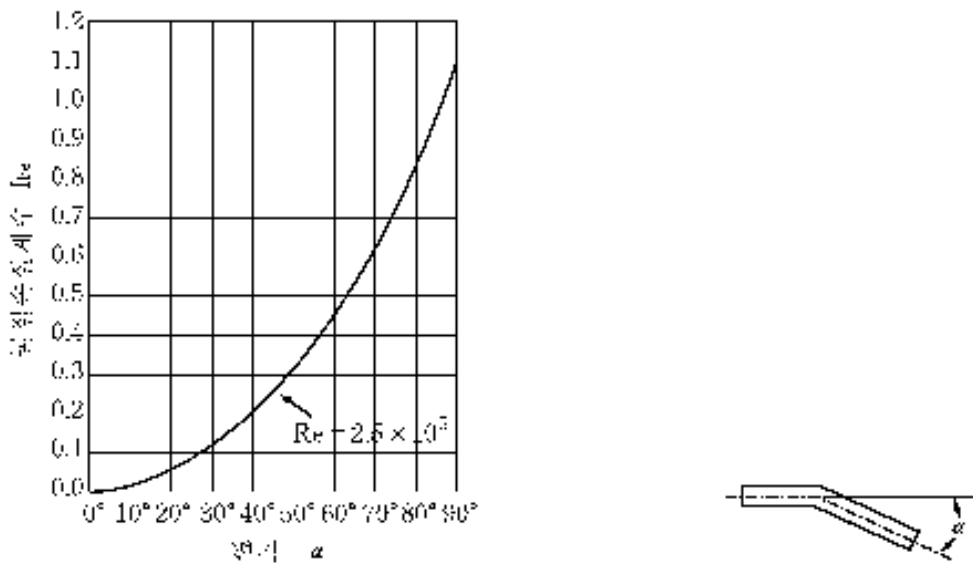


그림 3.2.7 레이놀즈 수( $R_e$ )와 편각( $\alpha$ )에 의해 정해지는 굴절손실계수( $f_{be}$ )

### 3.2.4 허용유속

수로의 유속은 토사가 퇴적되지 않고 수로에 수중식물이 자라지 못하는 최소유속과 수로단면을 구성하는 재료가 유수에 의해 침식을 일으키지 않으며 수리학적으로 흐름이 불안정한 상태가 발생하지 않는 최대유속의 범위 내에 있어야 한다.

수로와 수리구조물의 단면을 결정할 경우, 최소 및 최대허용유속을 결정하는 것이 매우 중요하므로 양자를 고려하여 수로의 기능, 구조 등에 적합한 설계유속을 결정해야 한다.

### 가. 최소허용유속

최소허용유속을 제약하는 요소는 매우 불명확하여 정확한 값을 쉽게 결정한다는 것은 간단하지 않다. 일반적으로 실트(silt) 및 그 보다 큰 입경의 부유토사가 적은 경우에는 0.45~0.90m/s의 평균유속이 있으면 부유토사의 퇴적을 일으키지 않고, 또 유수를 현저하게 방해하는 식물의 생육도 평균유속이 0.7 m/s 이상이면 방지할 수 있다.

사이펀(잠관), 암거 및 터널 등에서 토사가 퇴적되면 이를 배제하는 유지관리가 곤란하기 때문에 적어도 인접한 개수로에서의 유속보다 빠르게 해야 한다. 보통 표준으로 하는 유속비는 다음의 값을 취하는 경우가 많다.

사이펀: 개수로 유속의 1.5배 이상

암거 및 터널: 개수로 유속의 1.3배 이상

배수로의 경우는 흘러내리는 유량의 변동범위가 넓기 때문에 최소유속의 결정은 더욱 어렵다. 설계유량에 관해서는 물론 적은 유량에 대해서도 최소허용유속 이상의 유속이 얻어질 수 있게 수로의 제원을 결정해야 한다.

### 나. 최대허용유속

최대허용유속은 일반적으로 라이닝을 한 수로에서는 크게 문제가 되지 않지만, 흙수로 또는 흙 라이닝 수로, 매설막 라이닝 수로 등에서는 특히 내면의 침식이 큰 문제가 된다. 이 유속은 수로를 형성하고 있는 재료에 따라 현저하게 다르며 확정적이지 않기 때문에 경험과 다른 사례로부터 판단해야 하는데 수로와 수로구조물의 내면이 갖는 재질에 따라 대략 표 3.2.15에 있는 값이 제한치로 되어 있다.

표 3.2.15 최대허용평균유속

종 류	유 속 (m/s)	종 류	유 속 (m/s)
사 질 토	0.45	두꺼운 콘크리트 (18 cm 정도)	3.00
사 질 롬	0.60	얇은 콘크리트 (10 cm 정도)	1.50
롬	0.70	아 스 팔 트	1.00
점 질 롬	0.90	호 박 돌 메 쌓 기 (뒷길이 30 cm 미만)	1.50
점 토	1.00	호 박 돌 메 쌓 기 (뒷길이 30 cm 미만)	2.00
사 질 점 토	1.20	호박돌찰쌓기	2.50
연 암	2.00	철근콘크리트관	3.00
중 경 암	2.50	철근콘크리트 제품	3.00
경 암	3.00	강 철 관	5.00
		염화비닐관	5.00

용수로에 설치하는 방수로, 수로 물넘이 등 일시적으로 물이 흐르는 구조물내의 최대허용유속은 표 3.2.15 값의 1.5배까지로 한다. 또 급류공, 급경사 배수로 등에서 해당 시설에 바닥보호공 및 콘크리트의 두께를 크게 하거나 철근 등으로 보강하는 경우에는 유속을 제한하지 않아도 된다.

### 【참고】

(1) 미개척국(USBR)의 설계기준에서는 얇은 콘크리트라이닝 수로에 대해 최대허용유속을 2.4m/s로 하고 있다. 그 이유는 라이닝의 균열을 통해서 유수가 라이닝 뒷면에 침입하여 속도수두가 정수두로 바뀌어지며 라이닝의 뒷면에서 양압력이 작용하기 때문이다. 그러나 실제로는 이 제한보다 상당히 빠른 유속을 적용하고 있는 경우도 있다.

(2) 흙 수로에서 퇴적이나 세굴을 일으키지 않는 평균유속에 대해서는 1985년 인도의 Kenedy가 다음과 같은 공식을 제안하였으며, 흙 수로의 유속결정을 위한 개략적인 산정방법으로 널리 사용되고 있다.

$$V_s = C \cdot D^{0.64} \quad (\text{맑은 물의 경우 } V_s = C \cdot D^{0.50} )$$

여기서,  $V_s$ : 퇴적이나 세굴이 생기지 않는 평균유속 (m/s)

$D$ : 수심 (m)



C: 토질에 따른 계수 (세사질토 0.46, 조사질토 0.51, 사질흙 0.56, 거친 실트 및 경질토 0.60)

(3) 1926년 Fortier와 Scobey는 토질에 따른 최대허용유속을 다음 표와 같이 발표하였다.

[ Fortier와 Scobey의 최대허용유속 ]

토 질	맑은 물	콜로이드 함유 물	유사 함유 물
세 사	0.45 m/s	0.75 m/s	0.45 m/s
사질흙	0.50	0.75	0.60
세립흙	0.60	0.90	0.60
충적실트 (콜로이드 미함유)	0.60	1.00	0.60
보통 다짐 흙	0.75	1.00	0.70
화 산 회	0.75	1.00	0.60
세립자갈	0.75	1.50	1.10
경점토층	1.10	1.50	0.90
자갈지반	1.10	1.50	1.50
충적실트 (콜로이드 함유)	1.10	1.50	0.90
경질 자갈지반	1.20	1.70	1.50
조립자갈	1.20	1.80	2.00
조 약 돌	1.50	1.70	2.00
수 성 암	1.80	1.80	1.50

#### 다. 유속결정시 유의사항

개수로에 대한 설계유속을 결정할 때는 수로의 수리학적 상태에 관하여 고려해야 한다. 특히 한계상태에 가까운 흐름에서는 본질적으로 수면이 불안정하게 되기 쉬우며 일단 파가 발생하면 이것이 소멸되기 어렵고 수로의 기능 저하를 초래하는 경우가 있다.

그러므로 개수로의 설계유속을 결정하는데 있어서는 한계상태에 가까운 흐름을 피하는 것이 바람직하다. 따라서 유속을 한계유속의 2/3 (Froude 수: 0.54) 정도 이하로

되게 하면 일단 안정된 수면이 기대된다. 또한 유속이 빠른 만곡부에서는 수면이 한 쪽으로 치우치게 되어 분수공, 양수시설, 낙차공 등 구조물의 정상적인 기능을 방해하는 경우가 있으므로 설계유속을 결정하는데 있어서는 충분한 주의가 필요하다.

### 3.2.5 수로의 여유고

수로의 설계시에는 수리상 안전을 확보하기 위하여 계획최대유량에 대응하는 설계수면 위에 여유고를 가산해서 통수허용단면을 결정해야 한다.

#### 가. 여유고의 정의

여유고라 함은 계획최대유량에 대한 수면으로부터 ① 라이닝수로에서는 라이닝 정상부까지, ② 플룸형 수로에서는 플룸 정상부까지, ③ 터널 및 암거 단면에서는 정상면까지, ④ 굴착수로에서는 양안 토공높이까지의 높이를 말한다. 여유고는 원칙적으로 수로 조도계수의 변동에 대한 여유, 유속수두의 정수두 변환 가능성에 대한 여유, 수면동요에 대한 여유 등을 가산해서 결정한다.

#### 나. 여유고 결정을 위한 요인

##### 1) 조도계수

실측결과에 의하면 수로표면의 조도계수는 수로의 시공이나 배치에 따라 상당한 폭의 변동이 생긴다. 가능성 있는 변동에 대해서 전량을 여유고의 요인으로 보고 계산하면 안전하겠지만, 발생의 가능성과 변동폭 등의 불확실성 때문에 콘크리트 라이닝에 대해서는 조도계수  $n = 0.001$  정도의 변동을 가산한 실례도 있다. 조도에 따라 필요한 여유고는 수로의 재료, 단면형 등에 따라 다르지만 콘크리트 수로의 경우는 수심의 5~7% 정도로 하는 것이 통례이다.

##### 2) 속도수두

수로를 흘러내리는 흐름은 운동상태에 있기 때문에 항상 속도수두를 가지고 있으며 이 수두는 정수두로 변해서 수면을 상승시킬 가능성이 있다.

##### 3) 수면동요

수로내의 흐름은 수문, 낙차공, 급류공, 펌프장 등의 수로구조물이나 바람 등에 의해 파동을 일으키고 수면을 동요시키게 된다.

수면동요의 정도는 ① 수로내의 구조물 배치, ② 풍향과 수로 방향과의 관계, ③ 폭, ④ 수심 등에 따라 변하지만 보통 10~30cm 정도이며, 수로의 상황에 맞추어 반

파고인 5~15cm를 수면동요에 대한 여유고로 덧붙인다.

#### 4) 유량비율에 의한 수로의 여유고

여유고는 수로가 예측할 수 없는 사태에 대응하기 위한 것으로 여유고의 부분을 포함하여 흐를 수 있는 유량에 의해서도 그 대소가 판단된다. 여유고를 포함한 단면으로서의 통수가능량과 설계유량과의 비는 (통수가능량)/(설계유량) = 1.25~1.35 정도로 하고 적어도 1.2 이하로 내려가지 않게 한다.

### 다. 여유고 결정을 위한 착안점

전술한 요인에 의하여 수로의 여유고를 판단하지만 담당기술자는 각 현지조건에 대하여 검토하고 현지에 적합하도록 수정할 필요가 있다.

#### 1) 규모 및 중요성

여유고를 결정함에 있어서는 수로의 규모 및 중요성에 대하여 우선 고려해야 한다. 넓은 지역에 관개하는 간선수로와 한정된 관개면적만 갖는 지선, 분선 또는 지거수로와를 동격으로 취급하는 것은 불합리하므로 수로의 규모를 고려하여 여유고를 결정하는 것이 바람직하며, 또한 인가에 가까운 성토수로와 산간부 수로의 여유고도 어느 정도 차이를 둘 수 있다.

#### 2) 공 종

수로는 통수시설의 공종이나 수로의 단면형에 따라 예측할 수 없는 사태에 대한 적응성이 다르다. 터널이나 암거 등은 어느 한계를 넘으면 수두의 증가와 통수능력 증가의 관계가 변화한다. 따라서 여유고의 결정에 있어서는 수로의 공종이나 수리특성에 대해서도 고려해야 한다.

#### 3) 구조물의 배치와 수로의 만곡

수로내의 어떤 종류의 구조물과 수로의 만곡부는 배수현상(背水現象)을 일으키거나 파동의 원인이 된다. 이 때문에 여유고를 결정함에 있어서 이와 같은 관계를 고려하여 수로에 따라서는 표준치 이상의 여유고로 설계하는 것이 필요한 경우도 있다.

#### 4) 홍수의 유입

원칙적으로는 홍수를 수로에 유입시키지 않는 것이 바람직하지만 할 수 없이 유역으로부터 홍수류를 유입시켜야 하는 경우 또는 수로부지에 강하하여 유입하는 우수에 대해서는 그 수량도 고려하여 여유고를 결정해야 한다.

이 경우 중요한 수로에서는 라이닝 정상부까지 10cm 정도의 여유가 있는 것이 바

람직하다.

5) 관 리

유량의 변화 가능성, 분수공 및 물넘이의 구조와 관리상황에 따라서 예상 이상의 유량이 수로를 흐르는 경우가 있으므로, 이와 같은 수로의 경우에는 취입구 부근의 여유고를 결정할 때 이러한 요소들도 고려해야 한다.

라. 여유고의 결정방법

1) 홍수로 및 라이닝 수로

홍수로 및 라이닝 수로의 여유고는 원칙적으로 식 (3.2.20)에 의하여 계산한다.

$$F_b = 0.05 d + \beta \cdot h_v + h_w \text{ -----(3.2.20)}$$

여기서,  $F_b$ : 여유고 (m)       $d$ : 설계유량에 대한 수심 (m)

$h_v$ : 속도수두 (m)       $h_w$ : 수면동요에 대한 여유 (m)

$\beta$ : 속도수두의 정수두 변환계수 ( $\beta = 0.5 \sim 1.0$ )

2) 옹벽형 수로 (플롭, 옹벽수로, 직사각형 암거, 기성품 수로 등)

옹벽형 수로의 여유고는 원칙적으로 식 (3.2.21)에 의하여 구한다.

$$F_b = 0.07 d + \beta \cdot h_v + h_w \text{ -----(3.2.21)}$$

여기서,  $F_b$ : 여유고 (m)       $d$ : 설계유량에 대한 수심 (m)

$h_v$ : 속도수두 (m)       $h_w$ : 수면동요에 대한 여유 (m)

$\beta$ : 속도수두의 정수두 변환계수 ( $\beta = 0.5 \sim 1.0$ )

3) 터널 및 암거

터널과 암거(직사각형 암거의 경우는 플롭에 준함)의 여유고는 원칙적으로 다음 가), 나) 중에서 큰 쪽을 택하여 단면의 크기를 결정한다.

가) 설계유량에 대한 경우

$$d_1/D_1 = 0.80 \sim 0.83$$

여기서,  $d_1$ : 설계유량에 대한 수심 (m)       $D_1$ : 높이 (m)

단,  $(D_1 - d_1) \geq 0.30$  (m)

나) 홍수를 유입시키는 경우

$$d_2/D_2 = 0.90 \sim 0.93$$

여기서,  $d_2$ : 홍수를 가산한 유량에 대한 수심 (m)       $D_2$ : 높이 (m)

이상은 일반적인 경우이고 최소시공단면의 터널, 부등류의 터널 및 암거의 여유고는 상기한 값보다 크게 할 수 있다. 또한 도수터널과 같이 도중에서 홍수의 유입이 없는 경우 ① 유량의 변화가 없고, ② 급한 만곡이 없으며 흐름이 난류가 아니고, ③ 조도계수의 추정이 정확하며 악화될 염려가 없는 경우 등의 조건에서는  $d/D = 0.90$  정도로 할 수 있다.

일반적으로 원형 또는 표준말굽형 단면의 수로에서는  $d/D = 0.80$  부근에서 최대 유속을 나타내고  $d/D = 0.90 \sim 0.93$  부근에서 최대유량이 되기 때문이다.

#### 4) 급류수로

흐름이 사류인 직사각형단면 급경사수로의 여유고는 일반적으로 식 (3.2.22)에 의하여 계산한다.

$$F_b = 0.6 + 0.037 V \cdot h^{1/3} \quad \text{-----}(3.2.22)$$

여기서,  $F_b$ : 여유고 (m)     $V$ : 유속 (m/s)     $h$ : 수심 (m)

#### 5) 수로교

원칙적으로 직사각형단면의 경우는 옹벽형 수로, 원형단면의 경우는 터널 및 암거에 준한다. 다만, 짧은 수로교인 경우 연결되는 구조물과 같은 여유고를 사용할 수 있다.

### 3.2.6 부등류

개수로의 흐름에서 수심, 유속, 유수단면적, 유량 등 흐름의 특성이 시간적으로는 변하지 않지만 장소에 따라서 변하는 흐름을 부등류라고 한다. 수로 내에서 수로단면의 변화, 웨어의 높임, 저하배수 등으로 인하여 흐름의 단면이 균일하게 되지 않는 구간의 유황은 부등류의 계산에 의하여 해석한다.

#### 가. 부등류의 기본방정식

부등류는 일반적으로 불임수로, 분수공, 낙차공 등과 같이 수로단면의 변화 또는 수로기울기의 변화, 웨어의 높임 등으로 배수(背水)의 영향이 생기는 곳에서 볼 수 있으며, 수로바닥기울기의 각도  $\theta$ 가 비교적 작은 경우에 일반적으로 사용하는 부등류의 기본방정식은 식 (3.2.23)과 같이 표시된다.

$$-i + \frac{dh}{dx} + \alpha \frac{Q^2}{2g} \cdot \frac{d}{dx} \left( \frac{1}{A^2} \right) + \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}} = 0 \quad \text{-----}(3.2.23)$$

여기서,  $i$ : 수로바닥기울기  $h$ : 수심 (m)  
 $x$ : 수로바닥에 따라 흐름방향으로 취한 거리 (m)  
 $Q$ : 유량 ( $m^3/s$ )  $A$ : 유수단면적 ( $m^2$ )  $g$ : 중력가속도 ( $m/s^2$ )  
 $n$ : 조도계수  $V$ : 평균유속 (m/s)  $R$ : 경심(동수반경) (m)  
 $\alpha$ : 에너지보정계수 (보통 1.1, 개략적인 계산에서는 1.0으로  
 사용해도 무방)

### 나. 부등류의 수면곡선 계산방법

부등류의 수면추적은 부등류의 기본방정식을 풀거나 또는 축차계산법 및 도해법 등에 의한다. 이 경우 기지의 점을 시점으로 하여, 상류(常流)의 경우는 상류(上流)로, 사류(射流)의 경우는 하류(下流)를 향하여 각각 계산을 진행한다. 흐름의 도중에 지배 단면(한계수심)이 생길 가능성이 있는 경우는 지배단면의 유무를 확인하고 지배단면이 생기는 점을 계산시점으로 한다.

일반적으로 사용되는 부등류의 계산방법은 수치계산법, 축차계산법, 기타 방법 등이 있다.

#### 1) 수치계산법

부등류의 기본방정식을 상미분방정식의 수치적분법에 따라 직접 적분하여 부등류의 수면곡선을 구하는 방법이다. 이 방법은 단면이 일정하고 규칙적인 수로에 대해서만 적용할 수 있다.

한편 단면이 일정하지 않고 불규칙적인 수로에 대해서는 다음에 설명하는 축차계산법 또는 도해법을 적용하여 부등류의 수면곡선을 구할 수 있다.

#### 2) 축차계산법

일반적으로는 베르누이(Bernoulli)의 에너지방정식을 차별화하여 수로의 계산구간마다 순차적으로 수면형을 추적해가는 방법 즉, 수로를 적당한 계산구간으로 분할하여 경계조건이 주어진 지점부터 각 구간마다 베르누이정리가 성립하도록 시산법을 사용하여 순차적으로 수면형을 계산해 나가는 축차계산법(step method)이 많이 사용된다. 다음 그림 3.2.8의 I, II 단면에 베르누이정리를 적용하면 식 (3.2.24)를 얻는다.

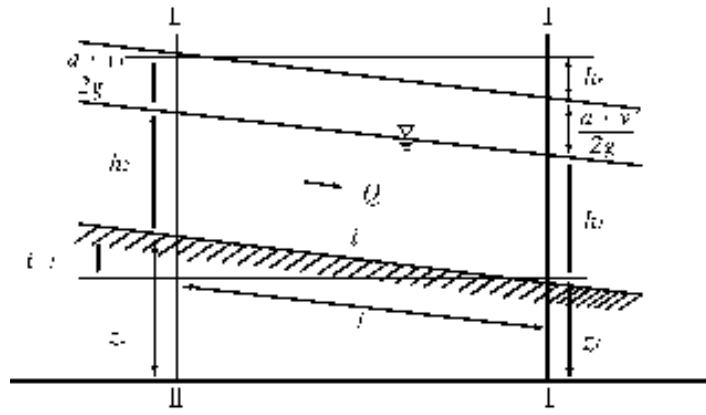


그림 3.2.8 축차계산법 설명도

$$h_1 + \frac{\alpha Q^2}{2gA_1^2} + z_1 + h_f = h_2 + \frac{\alpha Q^2}{2gA_2^2} + z_2 \quad \text{-----}(3.2.24)$$

$$h_f = \frac{Q^2 l}{2} \left( \frac{n_1^2}{R_1^{4/3} A_1^2} + \frac{n_2^2}{R_2^{4/3} A_2^2} \right)$$

- 여기서,  $h$ : 수심 (m)                       $Q$ : 유량 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 $A$ : 유수단면적 ( $\text{m}^2$ )               $V$ : 유속 ( $V = Q/A$ ) ( $\text{m}/\text{s}$ )  
 $z$ : 기준면에서 수로바닥까지의 높이 (m)  
 $h_f$ : I, II 단면에서 생긴 손실수두 (m)  
 $l$ : I, II 단면 사이의 구간거리 (m)  
 $R$ : 경심 (m)                       $n$ : 조도계수  
 $\alpha$ : 에너지보정계수               $g$ : 중력가속도 ( $\text{m}/\text{s}^2$ )  
 첨자 1, 2는 단면 I, II를 표시함.

I 단면에서 에너지선의 높이가 주어졌을 때 여기에 I, II 단면 사이의 손실수두를 더한 것이 II 단면의 에너지선의 높이가 되도록 II 단면의 수심을 계산하여 구한다.

식 (3.2.24)를 사용하여 축차계산결과가 수렴될 때까지 계산하여 작성한 총괄표는 표 3.2.16에서 보는 바와 같다.

표 3.2.16 부등류 수면추적 계산표 (예)

지구명: ○○ 지구                                  시점수심: 1.60 m                                  사다리꼴단면 수로바닥폭: 1.50 m 세부위치: No.10 ~ No.12                                  유량: 5.00m <sup>3</sup> /s                                  비탈면기울기: 1 : 1 시점(No.12): 바닥표고 40.00m                                  n: 0.013															
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
측점	구간 거리 l(m)	수심 h(m)	통수 단면적 A (m <sup>2</sup> )	유속 V (m/s)	속도 수두 V <sup>2</sup> /2g (m)	윤변 P (m)	경심 R (m)	R <sup>4/3</sup>	마찰 기울기 S <sub>f</sub>	마찰 기울기 S <sub>f</sub>	마찰 손실 수두 (m)	바닥 표고 (m)	전 에 너지선 높이 (m)	전 에 너지선 높이 (m)	오 차
No.12		1.500	5.250	1.143	0.067	6.242	0.841	0.794	0.00028			47.500	49.067		
No.11	50	1.400	4.760	1.261	0.081	5.959	0.799	0.741	0.00036	0.00032	0.016	47.550	49.031	49.083	-0.052
		1.490	5.200	1.154	0.068	6.214	0.837	0.789	0.00029	0.00029	0.015	47.550	49.108	49.082	0.026
		1.465	5.076	1.182	0.071	6.143	0.826	0.775	0.00030	0.00029	0.015	47.550	49.086	49.082	0.004 (ok)
No.10	50	1.440	4.954	1.211	0.075	6.072	0.816	0.763	0.00033	0.00032	0.016	47.600	49.115	49.102	0.013
		1.420	4.856	1.236	0.078	6.016	0.807	0.751	0.00034	0.00032	0.016	47.600	49.089	49.102	-0.004 (ok)

주) 제1행 (1)~(9), (13): 시점에서 주어진 조건하의 값을 기입

(10) 마찰기울기:  $S_f = n^2 Q^2 / A^2 R^{4/3} = (V^2 / 2g) \times 2gn^2 / R^{4/3}$ , n 이 정해지면 (6)에 정수  $2gn^2$  을 곱하고 (9)로 나누어 계산한다.

(14): (3)+(6)+(13)

제2행 (3): 가정한 수심을 기입, (4)~(10), (13), (14): (3)에 대응한 값을 기입

(11): 제1행 (10)과 제2행 (10)의 평균값, (12): (11)×(2)

(15): 제1행 (14)에 제2행 (12)를 더한 값, (16): 각 행의 (15)와 (14)의 차이 오차가 허용될 때까지(±0.01이하) 수심을 가정하여 계산을 반복한다.

### 3) 기타 방법

임의의 유량과 계산시점의 수위에 대한 부등류의 수면곡선을 도식적으로 간단히 구할 수 있는 방법으로 가장 대표적인 도식적 방법에는 Escoffier의 도해법이 있다. 그 밖에 널리 쓰이는 공식으로는 Bresse, Chow 등에 의하여 유도된 수면곡선식이 있다. 또한, HEC-RAS 등 컴퓨터 프로그램을 이용하기도 한다.

## 다. 한계수심

### 1) 한계수심의 정의

낙차공의 낙수구 부근 또는 급류공과 같이 기울기가 급하게 변화하는 지점에서는 상류와 사류의 경계가 되는 한계수심이 발생한다. 한계수심은 여러 가지로 정의되며



식 (3.2.25) ~ 식 (3.2.27)을 만족시키는 수심이다.

$$\frac{Q^2}{gA^3} \cdot \frac{dA}{dh} = 1 \quad \text{-----}(3.2.25)$$

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} \quad \text{또는} \quad \frac{Q}{\sqrt{g}} = A\sqrt{D} \quad \text{-----}(3.2.26)$$

$$\frac{V^2}{2g} = \frac{D}{2} \quad \text{-----}(3.2.27)$$

여기서,  $Q$ : 유량 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  $A$ : 유수단면적 ( $\text{m}^2$ )  $g$ : 중력가속도 ( $\text{m}/\text{s}^2$ )  
 $h$ : 수심 (m)  $T$ : 수면폭 (m)  $D$ : 수리수심 ( $D = A/T$ ) (m)

한계수심이 생기는 단면을 지배단면이라 하며 이보다 상류(上流)측은 상류(常流), 하류(下流)측은 사류(射流)의 흐름이 되어 지배단면의 영향을 받는다.

## 2) 한계수심의 계산방법

### 가) 해석법

수로단면이 기하학적으로 단순한 경우는 통수단면적  $A$ 와 수면폭  $T$ 를 수심  $h$ 를 사용하여 표시하고, 식 (3.2.25) 또는 식 (3.2.26)을 사용하여 한계수심  $h_c$ 를 구한다.

수로폭이  $b$ 인 직사각형단면 수로의 경우 식 (3.2.26)에서  $T = b$ ,  $A = bh_c$ 이며, 단위폭당 유량  $q = \frac{Q}{b}$ 의 관계가 있고, 한계수심  $h_c$ 는 식 (3.2.28)로 표시된다.

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A^3}{T} = \frac{b^3 h_c^3}{b} = b^2 h_c^3$$

$$\therefore h_c = [Q^2/gb^2]^{1/3} = [q^2/g]^{1/3} = 0.467 q^{2/3} \quad \text{-----}(3.2.28)$$

여기서,  $h_c$ : 한계수심 (m)  $Q$ : 유량 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  
 $b$ : 수로저폭 (m)  $T$ : 수면폭 (m)  
 $q$ : 단위폭당 유량 ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )  $g$ : 중력가속도 ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

또한 직사각형 단면 수로의 한계수심은 다음과 같은 관계식도 성립한다.

$$h_c = \frac{2}{3} H_e$$

----- (3.2.29)

여기서,  $H_e$ : 한계수심  $h_c$  가 생기는 지배단면에서의 비에너지 (m)

나) 도해법

그래프를 이용하여 복잡한 단면의 한계수심을 간편하게 구하는 방법이다. 주어진 수로단면에서 수리수심을  $D = A/T$  로 정의하고 수심  $h$  와  $A\sqrt{D}$  와의 관계곡선을 작성한다. 한편 주어진 유량  $Q$  로부터  $Q/\sqrt{g}$  를 계산하고 이 값과 같은  $A\sqrt{D}$  에 대한  $h$  를 그림표상에서 구하면 이 값이 한계수심  $h_c$  이다. 원형단면 수로의 경우  $h$  와  $A\sqrt{D}$  와의 관계곡선을 도시하면 그림 3.2.9와 같다.

여기서,  $Q$ : 유량 ( $m^3/s$ )       $D$ : 수리수심 (m)  
 $h$ : 수심 (m)                       $g$ : 중력가속도 ( $m/s^2$ )  
 $A$ : 통수단면적 ( $m^2$ )       $T$ : 수면폭 (m)

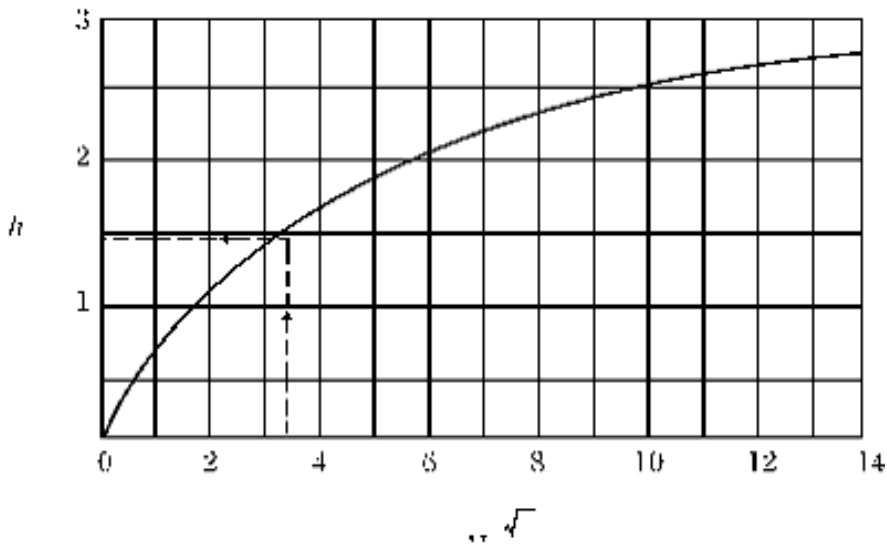


그림 3.2.9 원형단면 수로의  $h$  와  $A\sqrt{D}$  와의 관계곡선

다) 직접계산법

사다리꼴단면 수로나 터널에 대하여 통수단면적  $A$ , 수면폭  $T$  를 수로바닥폭  $b$ , 수심  $h$ , 직경  $d$  등의 관계로 표시하고, 식 (3.2.27)에 대입하여  $Q/b^{2.5}$  또는  $Q/d^{2.5}$  의 형태로 정리한다.

이들 값을 미리 실용범위 내에서 구하여 표나 그림으로 정리하고  $Q$  와  $b$  또는  $Q$

와  $d$  가 주어질 때  $Q/b^{2.5}$  또는  $Q/d^{2.5}$  를 계산하여 이에 대응하는  $h/b$ ,  $h/d$ 를 구함으로써 한계수심  $h_c$  를 얻는 방법이다.

(1) 사다리꼴단면 수로의 한계수심

사다리꼴단면 개수로의 경우 수로비탈면기울기  $m$  및  $Q/b^{2.5}$  에 대응하는  $h_c/b$  와의 관계곡선을 도시하면 그림 3.2.10과 같다.

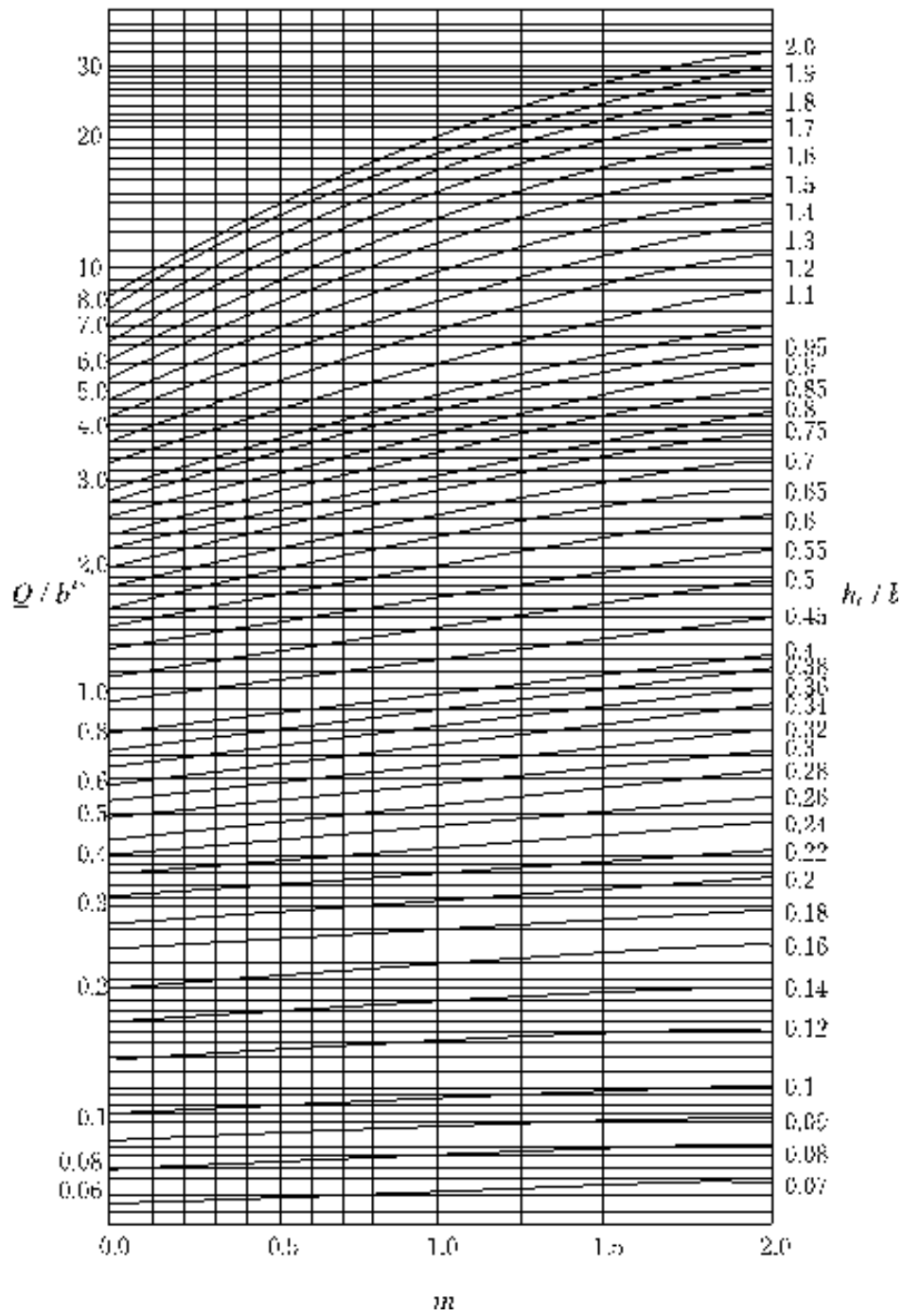


그림 3.2.10 사다리꼴단면 개수로의 한계수심 계산도표

표 3.2.17 터널의 한계수심 직접계산표

$h_c/d$	$Q/d^{2.5}$		$h_c/d$	$Q/d^{2.5}$	
	원형단면	표준말굽형 단면 ( $2r$ 형)		원형단면	표준말굽형 단면 ( $2r$ 형)
0.01	0.0003	0.0005	0.51	0.8001	0.9346
0.02	0.0014	0.0019	0.52	0.8304	0.9664
0.03	0.0030	0.0044	0.53	0.8611	0.9938
0.04	0.0054	0.0077	0.54	0.8924	1.0317
0.05	0.0084	0.0120	0.55	0.9239	1.0652
0.06	0.0121	0.0172	0.56	0.9566	1.0992
0.07	0.0164	0.0235	0.57	0.9895	1.1338
0.08	0.0215	0.0306	0.58	1.0230	1.1690
0.09	0.0271	0.0388	0.59	1.0570	1.2047
0.10	0.0334	0.0485	0.60	1.0916	1.2410
0.11	0.0404	0.0590	0.61	1.1267	1.2780
0.12	0.0479	0.0702	0.62	1.1625	1.3155
0.13	0.0561	0.0821	0.63	1.1989	1.3536
0.14	0.0649	0.0946	0.64	1.2359	1.3924
0.15	0.0744	0.1078	0.65	1.2735	1.4319
0.16	0.0845	0.1216	0.66	1.3117	1.4720
0.17	0.0952	0.1361	0.67	1.3506	1.5128
0.18	0.1064	0.1510	0.68	1.3902	1.5544
0.19	0.1184	0.1666	0.69	1.4305	1.5967
0.20	0.1309	0.1828	0.70	1.4716	1.6398
0.21	0.1440	0.1996	0.71	1.5135	1.6838
0.22	0.1577	0.2168	0.72	1.5562	1.7286
0.23	0.1720	0.2347	0.73	1.5998	1.7744
0.24	0.1869	0.2530	0.74	1.6442	1.8211
0.25	0.2024	0.2720	0.75	1.6898	1.8690
0.26	0.2184	0.2913	0.76	1.7363	1.9179
0.27	0.2351	0.3113	0.77	1.7840	1.9682
0.28	0.2524	0.3317	0.78	1.8329	2.0197
0.29	0.2701	0.3527	0.79	1.8832	2.0727
0.30	0.2885	0.3741	0.80	1.9350	2.1274
0.31	0.3074	0.3961	0.81	1.9885	2.1839
0.32	0.3269	0.4186	0.82	2.0438	2.2423
0.33	0.3469	0.4414	0.83	2.1013	2.3030
0.34	0.3675	0.4649	0.84	2.1611	2.3664
0.35	0.3887	0.4888	0.85	2.2236	2.4326
0.36	0.4104	0.5132	0.86	2.2892	2.5023
0.37	0.4326	0.5380	0.87	2.3585	2.5760
0.38	0.4554	0.5634	0.88	2.4322	2.6544
0.39	0.4787	0.5892	0.89	2.5112	2.7386
0.40	0.5026	0.6154	0.90	2.5966	2.8297
0.41	0.5270	0.6422	0.91	2.6900	2.9296
0.42	0.5518	0.6694	0.92	2.7937	3.0407
0.43	0.5774	0.6970	0.93	2.9109	3.1664
0.44	0.6034	0.7252	0.94	3.0465	3.3122
0.45	0.6299	0.7537	0.95	3.2086	3.4868
0.46	0.6569	0.7827	0.96	3.4111	3.7052
0.47	0.6845	0.8122	0.97	3.6819	3.9980
0.48	0.7126	0.8421	0.98	4.0889	4.4659
0.49	0.7413	0.8724	0.99	4.8728	5.2878
0.50	0.7704	0.9032			

【그림 3.2.10 사용방법】

유량  $Q$ , 수로바닥폭  $b$ , 수로비탈면 경사  $m$ 이 주어지면  $Q/b^{2.5}$  를 계산한다.

그림 3.2.10에서 주어진  $m$ 에 대하여 직선상으로  $Q/b^{2.5}$  의 값에 해당하는 점을 구하고 이 점에서 곡선을 따라가서 우측의  $h_c/b$  값을 구한 다음  $(h_c/b) \times b = h_c$  에 의하여 한계수심을 계산한다.

(2) 터널의 한계수심

원형 및 표준말굽형 단면 터널의 경우 유량  $Q$ , 직경  $d$  가 주어지면  $Q/d^{2.5}$  를 계산한 표 3.2.17에서 이에 대응하는  $h_c/d$  를 구하여 한계수심  $h_c$  를 계산한다.

### 3.2.7 부정류

개수로의 흐름에서 수심, 유속, 유수단면적, 유량 등 흐름의 특성이 시간적으로 변화하는 흐름을 부정류라고 하며, 수심 및 유속 등의 시간적 변화가 수로의 흐름에 크게 영향을 주는 경우에는 부정류의 계산에 의하여 유황을 해석한다.

#### 가. 부정류의 기본방정식

부정류 계산을 위한 기본방정식은 운동방정식과 연속방정식으로부터 유도할 수 있다. 식 (3.2.30)은 마찰저항에 Manning 공식을 적용하여 표시한 것으로 수평선과 수로바닥이 이루는 각도가 작은 경우에 사용되는 일반식이다.

$$-i + \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{1}{2g} \cdot \frac{\partial V^2}{\partial x} + \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}} = 0 \quad \text{----- (3.2.30)}$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \text{----- (3.2.31)}$$

- 여기서,  $i$ : 수로바닥기울기     $h$ : 수심 (m)  
 $V$ : 평균유속 (m/s)     $g$ : 중력가속도 (m/s<sup>2</sup>)  
 $x$ : 수로바닥에 따라 취한 거리 (m)  
 $t$ : 시간 (s)     $n$ : 조도계수     $R$ : 경심 (m)  
 $A$ : 통수단면적 (m<sup>2</sup>)     $Q$ : 유량 (m<sup>3</sup>/s)

식 (3.2.30) 및 식 (3.2.31)은 통수단면적  $A$  (또는 수심  $h$ ) 및 유량  $Q$  (또는 유속  $V = Q/A$ )를 시간  $t$  및 장소  $x$  의 함수로 규정하는 부정류의 기본방정식이다. 이 두 식은  $V^2$  이나  $VA$  의 미지함수에 대한 2차항을 포함하는 비선형방정식이다.

이 방정식에서 직접 해답을 구하는 것은 대단히 어려우므로 일반적으로 미소진폭이론에 의하여 방정식을 선형으로 고쳐서 이론해를 구하는 근사해법이나, 기본방정식의 각 항을 문제에 따라 생략하여 해석하는 방법이 있다. 그러나 이들의 이론해를 실제 문제에 적용하는 것이 불충분한 경우가 많으므로 최근에는 전자계산기를 사용하여 직접차분법이나 특성곡선법 등으로 구하는 경우가 많다.

짧은 수로구간에서 수리현상의 전달속도, 시간 등의 개략치를 파악할 때는 단파의 속도를 토대로 하여 구할 수 있다.

### 나. 단 파

정상상태의 흐름에서 수문을 폐쇄하거나 개방하면 그림 3.2.11과 같은 불연속파가 형성되어 전파속도  $w$ 로 상하류에 전파되는데 이것을 단파라고 한다.

수로에서 발생하는 단파는 그 발생원인에 따라 그림 3.2.11에 표시한 바와 같이 4종류로 분류할 수 있다. 즉 (1) 상류수문의 개방 등에 의하여 상류에서 갑자기 다량의 물을 공급하는 경우, (2) 상류수문의 폐쇄 등에 의하여 상류에서 급격히 유량을 감소시키는 경우, (3) 하류수문의 폐쇄 등에 의하여 하류에서 급격히 유량을 감소시키는 경우, (4) 하류수문의 개방 등에 의하여 하류에서 급격히 유량을 증가시키는 경우이다.

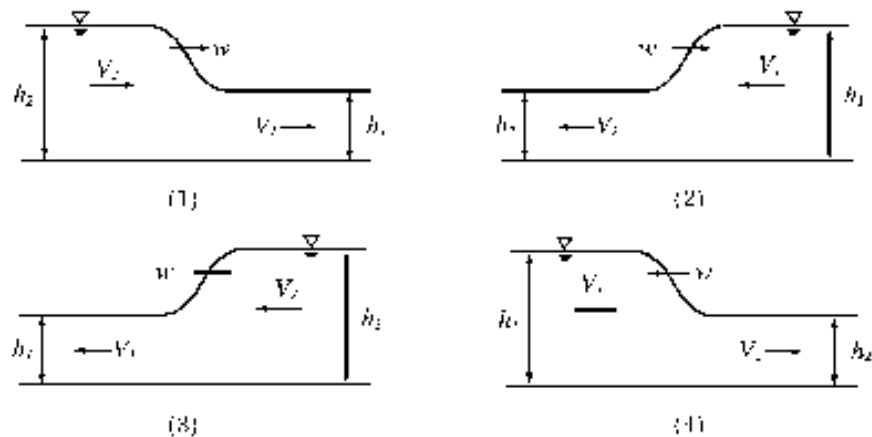


그림 3.2.11 단파의 종류

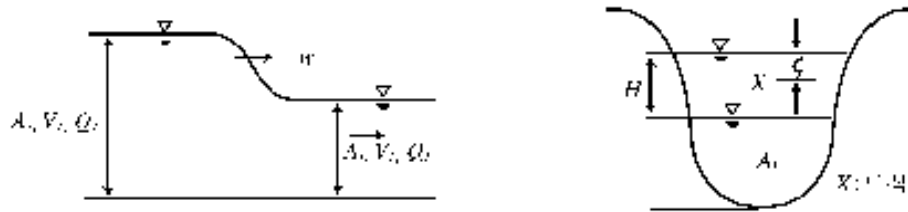


그림 3.2.12 일반단면에서의 단파 설명도

단파는 일반적으로 식 (3.2.32)와 같이 표시된다.

$$\omega - V_1 = \pm \sqrt{g \left( \frac{A_1 H}{A_2 - A_1} + \zeta \right) \frac{A_2}{A_1}}, \quad \omega = \frac{Q_2 - Q_1}{A_2 - A_1} \quad \text{-----}(3.2.32)$$

여기서,  $\omega$ : 전파속도 (m/s)       $V_1$ : 1 단면의 평균유속 (m/s)  
 $H$ : 상하류 수심차 (m)       $A_1, A_2$ : 1, 2 단면의 통수단면적 ( $m^2$ )  
 $g$ : 중력가속도 ( $m/s^2$ )       $Q_1, Q_2$ : 1, 2 단면의 유량 ( $m^3/s$ )  
 $\zeta$ : 수면에서 ( $A_2 - A_1$ ) 부분 도심까지의 깊이

식 (3.2.32)의 +부호는 파가 하류방향으로, -부호는 상류방향으로 전달되는 경우이다.

직사각형단면의 일정한 단면수로에서는 식 (3.2.33)과 같이 표시된다.

$$\omega - V_1 = \pm \sqrt{g h_1 \left[ \frac{1}{2} \frac{h_2}{h_1} \left( \frac{h_2}{h_1} + 1 \right) \right]}, \quad \omega = \frac{h_2 V_2 - h_1 V_1}{h_2 - h_1} = \frac{q_2 - q_1}{h_2 - h_1} \quad \text{---}(3.2.33)$$

여기서,  $\omega$ : 전파속도 (m/s)       $V_1, V_2$ : 1, 2 단면의 평균유속 (m/s)  
 $h_1, h_2$ : 상하류 수심 (m)       $g$ : 중력가속도 ( $m/s^2$ )  
 $q_1, q_2$ : 1, 2 단면의 단위폭당 유량 ( $m^3/s/m$ )

그림 3.2.11의 (1) 및 (3)에서 보는 바와 같이 처음 수심보다 파가 발생한 후의 수심이 증가하는 단파를 정단파라 하고, (2) 및 (4)에서 보는 바와 같이 처음 수심보다 파가 발생한 후의 수심이 감소하는 단파를 부단파라 한다.

정단파는 수면의 불연속면이 그대로 유지되며 안정된 파형을 이루지만, 부단파는 수면의 불연속면이 점점 연속적인 수면형으로 변해가며 특히 파고가 큰 부단파는 불



안정하고 바로 평활해진다.

### 3.3 구조설계

#### 3.3.1 일반사항

수로의 구조설계에서는 구조물이 받는 하중, 지반의 역학적 성질, 기상조건 등에 대응하는 시공조건 및 경제성 등을 고려하여 구조물의 형식, 설계수치 및 구조세목 등을 결정해야 한다.

수로의 구조설계를 함에 있어서는 본 기준 외에 「한국산업규격」, 「콘크리트구조 설계기준」, 「도로교설계기준」, 기타 필요한 규정 등에 따른다.

#### 3.3.2 하 중

구조물의 설계에서 고려해야 할 하중은 그 구조물의 중요도, 형식, 사용재료, 설치장소, 시공방법, 자연조건 등에 따라서 정해지며, 자중, 수압, 토압, 부력 또는 양압력, 자동차하중 및 충격하중, 균집하중, 궤도하중, 지진하중, 풍하중, 설하중, 시공시 하중, 온도변화, 동상압 등 필요한 하중을 고려한다.

##### 가. 자 중

자중의 계산에는 표 3.3.1에 표시한 단위중량을 사용할 수 있다. 단, 실험 등에 의하여 실중량이 명확한 재료 또는 기준 등에 의하여 정해져 있는 경우는 그 값을 사용한다.

##### 나. 수 압

정수압은 작용면에 수직으로 작용하며 다음 식 (3.3.1)에 의하여 구하고, 동수압은 필요에 따라 고려한다.

$$P = w h \quad \text{-----}(3.3.1)$$

여기서,  $P$ : 작용면에 수직으로 작용하는 수압강도 ( $\text{kN/m}^2$ )

$w$ : 물의 단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )     $h$ : 수심 (m)

표 3.3.1 단위중량표

재 료	단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )	재 료	단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )
강 철	77.0	화 강 압	27.0
주 철	71.0	사 압	26.0
알루미늄 판	27.5	아스팔트 (방수용)	11.0
철근 콘크리트	24.5	아스팔트콘크리트 포장	22.5
무근 콘크리트	23.0	물	9.8
모르타르	21.0		

**다. 토 압**

토압은 일반적으로 수평토압과 연직토압으로 대별된다. 수로벽에 작용하는 수평토압은 Rankine 및 Coulomb 공식으로 구하며, 매설구조물에 작용하는 수평토압은 Rankine 및 스펡글러 공식을 사용하여 구한다. 또한 매설구조물에 작용하는 연직토압의 계산은 마스톤 및 연직토압공식에 의한다.

**라. 부력 또는 양압력**

부력 또는 양압력은 연직상방향으로 작용하는 것으로, 구조물의 안정계산 중에서 부상, 전도, 활동 등의 경우에 고려하고 지반지지력 검토의 경우에는 무시한다. 부력 또는 양압력을 하중으로 고려하는 경우에는 구조물의 벽면과 흙과의 마찰각을 고려해도 좋다.

**마. 자동차하중 및 충격하중**

1) 자동차하중

자동차하중의 크기, 위치 및 치수는 표 3.3.2에서 보는 바와 같다.

표 3.3.2 DB 하중

교량등급	하중 $W$	총중량 (kN)	전륜하중 $0.1W$ (kN)	후륜하중 $0.4W$ (kN)	전륜폭 $b_1$ (cm)	후륜폭 $b_2$ (cm)	차륜접지폭 $a$ (cm)
1 등급	DB 24	423.36	23.52	94.08	12.5	50.0	20.0
2 등급	DB 18	317.52	17.64	70.56	12.5	50.0	20.0
3 등급	DB 13.5	238.14	13.23	52.92	12.5	50.0	20.0
※경작도교	DB 9	158.76	8.82	35.28	12.5	50.0	20.0

## 2) 충격하중

자동차하중이나 궤도하중 등의 활하중은 충격을 발생한다. 단, 군집하중에 대해서는 충격을 고려하지 않는다. 충격하중을 고려할 때 트럭하중의 충격계수는 표 3.3.3의 값을 표준으로 한다. 궤도하중의 충격계수는 철도건설물 설계기준에 따르며, 교량설계에 사용하는 충격계수는 「도로교설계기준」 규정에 준한다.

표 3.3.3 충격계수(트럭하중)의 표준치

구분	피복토(m)	충격계수	피복토(m)	충격계수
DB 24	4.0 미만	0.3	4.0 이상	0
DB 18	3.5 미만	0.3	3.5 이상	0
DB 13.5	3.5 미만	0.3	3.5 이상	0

### 사. 군집하중

군집하중은 보도(歩道) 등에 대해 고려하며 대형 자동차가 출입하지 않는 경작도에 대해서는  $2.94 \text{ kN/m}^2$ , 공도(公道)는  $4.9 \text{ kN/m}^2$ 을 표준으로 한다. 단, 자동차하중과 군집하중은 동시에 작용하지 않는 것으로 본다.

### 아. 궤도하중

궤도 위를 운행하는 표준 활하중은 「국유철도건설규칙」에 의하여 LS표준활하중이나 EL표준활하중을 사용한다.

### 자. 지진하중

중요한 구조물의 설계에서는 지진하중을 고려할 필요가 있다.

내진계산법에는 진도법(震度法), 수정진도법, 변위법 및 동적해석법 등이 있다. 수로 구조물의 내진설계에는 일반적으로 진도법을 적용하며, 해당 구조물의 용도, 규모, 입지조건 및 기왕의 지진피해 경험 등을 고려해서 더욱 상세한 검토가 필요한 경우에는 진도법 이외의 계산법을 사용한다.

진도법에서는 구조물에 끼치는 지진하중이 구조물에 가해지는 정적하중이라고 생각하여 정하중에 설계진도를 곱해서 구한다.

### 차. 풍하중

대규모 수로교 등 바람의 영향을 받는 구조물의 설계에 있어서는 풍하중을 고려해야 한다. 풍하중은 구조물의 규모, 부재의 재질, 형상 등을 고려해서 「도로교표준시

방서」에 준하여 정한다.

### 카. 설하중

설하중을 고려할 필요가 있는 지방에서는 그 지방의 실정에 맞추어서 적당한 값을 정한다. 눈의 단위중량은 계절이나 지방에 따라 다르지만 대체적인 표준은 표 3.3.4와 같다.

표 3.3.4 적설의 단위중량

적설의 종류	단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )
강설 직후의 눈	1.47
강설 후 가라앉은 눈	2.94
압축된 눈 또는 다량의 수분을 함유한 눈	4.9 ~ 6.86

### 타. 시공시 하중

시공시에는 시공방법과 시공중의 구조물을 고려해서 구조물의 자중, 시공기계 등에 대해 검토해야 한다.

## 3.3.3 기초반력

기초지반의 반력은 지반과 구조물을 탄성체로 보고 해석해야 되지만 편의상 구조물에 뒤틀림이 생기지 않는다는 가정하에서 계산한다.

### 가. 보통지반에 등분포하중이 작용하는 경우

토사와 같은 압축성 지반의 기초반력은 엄밀히 말해서 탄성기초 위에 놓인 보 또는 슬래브로 그 반력과 침하량(변형)과의 관계에 의하여 구하는 경우 그 계산이 매우 복잡하므로 등분포로 간주하고 계산하게 되는데 그 결과는 큰 차이가 없다.

### 나. 비압축성 지반(암반)에 등분포하중이 작용하는 경우

암반과 같은 비압축성 지반의 기초반력은 등분포 또는 대칭하중을 받을 때 그림 3.3.1(b)와 같이 지반에 밀착한 판일지라도 하중이 분산되지 않는다고 가정하여 측벽 하단의 집중반력이라고 보고 계산한다.



그림 3.3.1 기초반력

다. 보통지반에서 편심하중으로 되는 경우

기초지반에 걸리는 전하중의 합력이 편심되어 있는 경우는 식 (3.3.2) 또는 식 (3.3.3)에 의하여 지반반력을 구한다. 단, 지반의 압축성으로 인한 영향은 없는 것으로 가정한다.

1) 합력의 작용점이 중앙 1/3 이내에 있는 경우

$$q_1 \quad \square\square \\ \square\square = \frac{\sum V}{L} \left(1 \pm \frac{6e}{L}\right) \quad \text{-----(3.3.2)} \\ q_2 \quad \square\square$$

여기서,  $q_1, q_2$ : 바닥면 양단에서의 반력강도 ( $\text{kN/m}^2$ )

$\sum V$ : 합력의 수직분력 ( $\text{kN/m}$ )       $L$ : 기초면의 길이 (m)

$e$ :  $\sum V$  작용점의 편심거리 (m)

2) 합력의 작용점이 중앙 1/3 이외에 있는 경우

$$q = \frac{4}{3} \left( \frac{\sum V}{L - 2e} \right) \quad \text{-----(3.3.3)}$$

여기서,  $q$ : 바닥면의 반력강도 ( $\text{kN/m}^2$ )       $\sum V$ : 합력의 수직분력 ( $\text{kN/m}$ )

$L$ : 기초면의 길이 (m)       $e$ :  $\sum V$  작용점의 편심거리 (m)

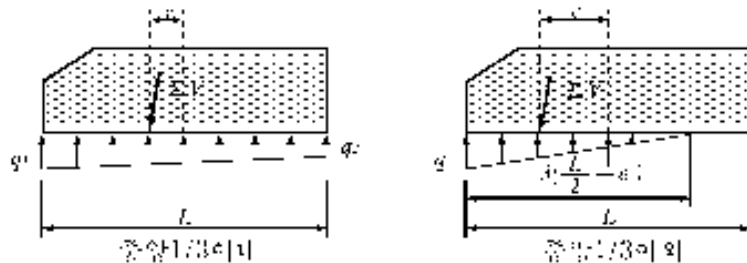


그림 3.3.2 편심하중의 경우 지반반력

### 3.3.4 개수로에 작용하는 하중

개수로의 구조계산에서 고려해야 할 하중은 일반적으로 자중, 내수압, 외수압, 부력 또는 양압력, 토압, 자동차하중, 충격하중, 균집하중, 지반반력 등이며, 중요한 구조물에서는 지진하중과 기타 하중을 고려해야 할 경우도 있다.

#### 가. 하중의 조합

보통지반에 설치되는 수로에 작용하는 하중의 일반적인 조합은 그림 3.3.3 및 표 3.3.6과 같다.

지반반력의 산정에는 바닥판의 자중을 고려하여 구하고, 그림 3.3.3의 ①, ②, ③의 경우에는 바닥판에 작용하는 물의 중량을 고려하여 구한다. 단, 구조계산에 있어서 바닥판에 작용하는 지반반력은 바닥판 자체의 자중과 바닥판에 작용하는 물의 중량이 상쇄되기 때문에 자중을 빼 값을 취한다.

수로벽의 구조설계에서는 자중을 무시할 수 있다.

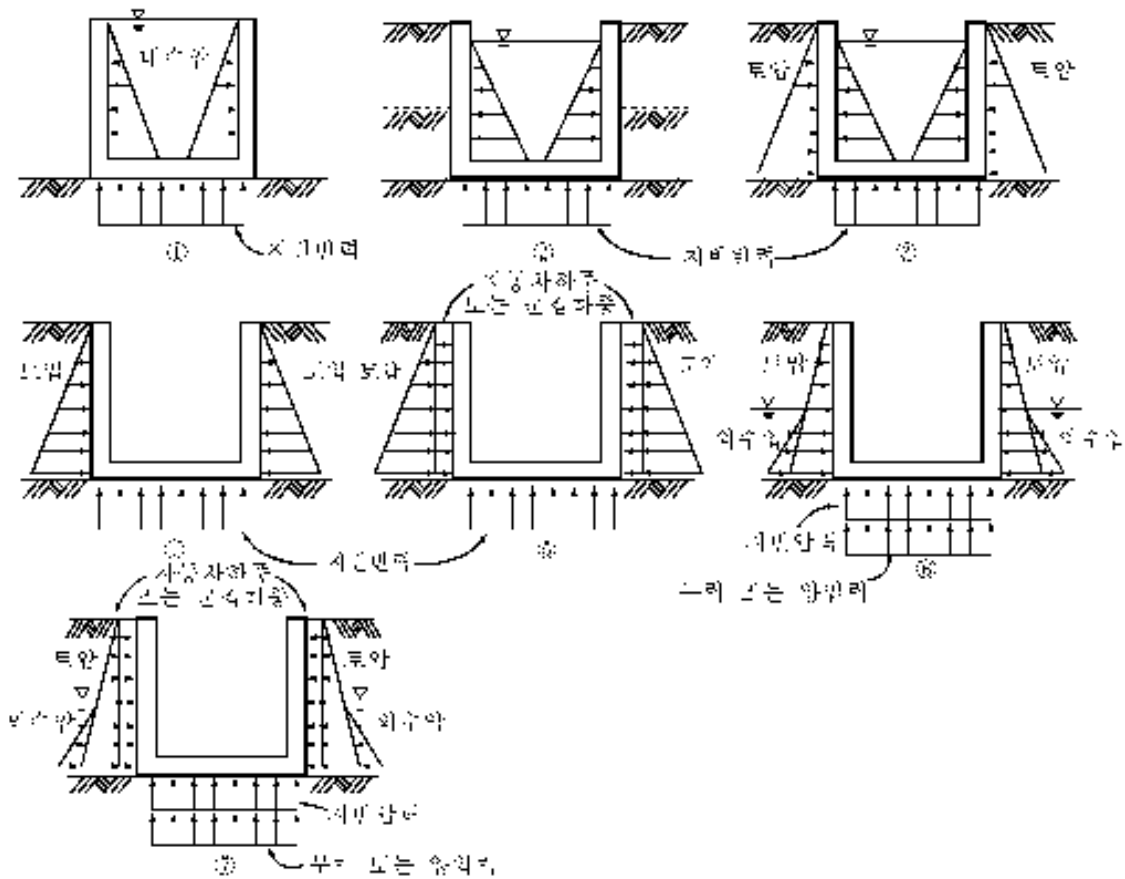


그림 3.3.3 수로에 작용하는 하중의 조합

표 3.3.5 수로에 작용하는 하중의 조합

구분	벽의 상태	내 하 중	외 하 중	비 고
①	노 출	벽마루까지의 내수압	지반반력	되메우지 않는 경우
② <sup>1)</sup>	되메움	예상되는 최고수위까지의 내수압	지반반력	되메움한 흙의 토압이 작용하지 않는 경우
③	되메움	예상되는 최고수위까지의 내수압	되메움면까지의 토압 + 지반반력	되메움한 흙의 토압이 작용하는 경우
④	되메움		토압 + 지반반력	지하수, 자동차하중 또는 균집하중이 예상되지 않는 경우
⑤ <sup>2)</sup>	되메움		토압 + 자동차하중 또는 균집하중 + 지반반력	지하수가 예상되지 않는 경우
⑥	되메움		토압 + 외수압 + 부력 또는 양압력 + 지반반력	자동차하중 또는 균집하중이 예상되지 않는 경우
⑦ <sup>2)</sup>	되메움		토압 + 외수압 + 자동차하중 또는 균집하중 + 부력 또는 양압력 + 지반반력	

주) 1) ②의 경우는 되메움 흙이 마찰각 또는 점착력으로 자립하는 경우나, 되메움 높이가 낮아 토압이 작용하지 않거나 미미할 것으로 예상되는 경우이다.

2) 자동차하중 및 균집하중은 동시에 작용하지 않는 것으로 한다.

#### 나. 수로벽에 작용하는 하중

##### 1) 수압 (내수압 및 외수압)

연직벽의 내면 및 외면에 작용하는 정수압  $P$  는 수심을  $h$  라 할 때  $P = wh$  로 표시되며 벽면에 수직으로 작용한다. 여기서  $w$  는 물의 단위중량이다.

## 2) 토 압

### 가) 토질정수

토압을 계산하기 위해서는 흙의 단위중량, 내부마찰각 및 점착력 등의 토질정수가 필요한데 이들 토질정수는 토질, 배수조건, 시공법 등에 따라 다르므로 토질시험 등을 실시해서 그 적정치를 정하는 것이 바람직하다. 그러나 이러한 시험과 조사에는 많은 노력과 시간이 필요할 뿐만 아니라 적절한 토질정수를 결정하는데는 풍부한 경험과 고도의 기술이 필요하므로, 특히 중요한 구조물, 대규모 토목공사 및 대단히 연약한 점성토 등의 특수한 토질 이외는 다음 표 3.3.6에 표시된 값을 참고로 해서 설계할 수 있다.

표 3.3.6 흙의 단위중량 및 내부마찰각

흙의 종류	포화단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )	습윤단위중량 (kN/m <sup>3</sup> )	내부마찰각 (°)
세립자를 거의 함유하지 않는 자갈, 거친 모래 등 (GP, GW, SP, SW) (세립분 5% 미만)	20	18	30
세립자를 함유한 자갈, 모래 등 (GC, GM, SC, SM) (세립분 5 ~ 15%)	20	18	25
실트질, 가는 모래, 점토를 함유한 자갈 등 (SM, GC) (세립분 15 ~ 50%)	20	18	20

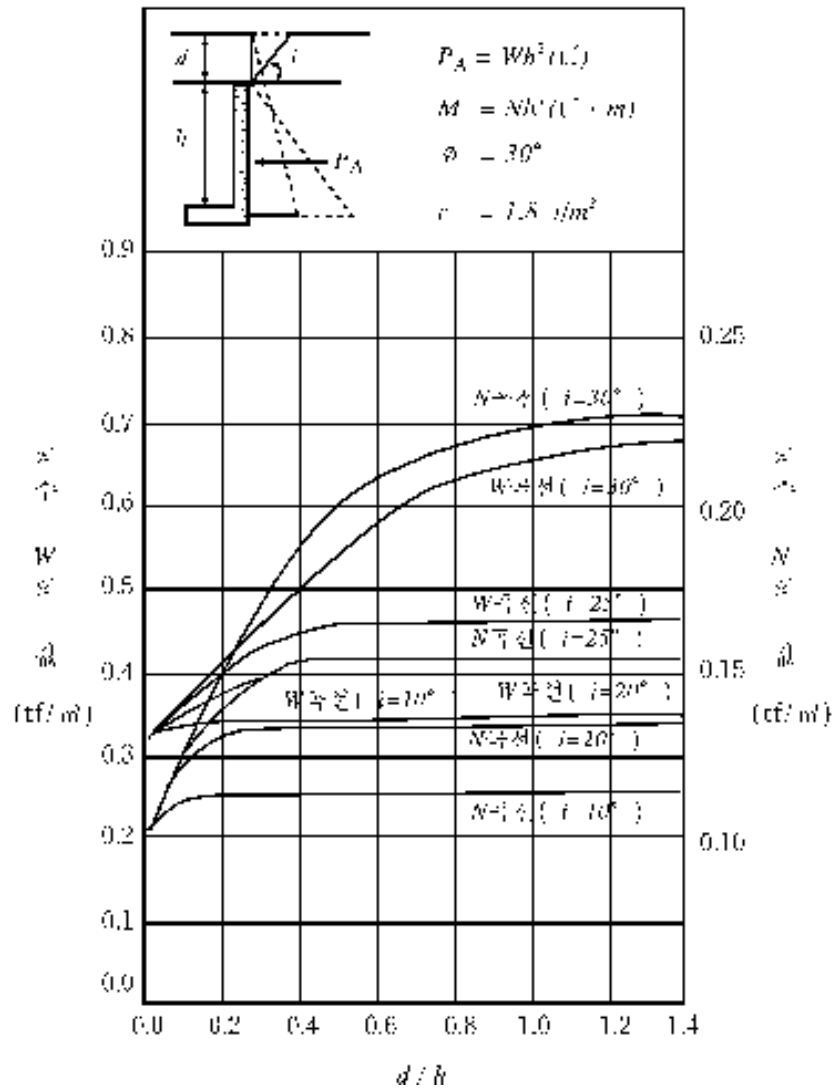
### 나) 토압의 구분

수로 연직벽에 작용하는 토압의 구분과 그 계산방법은 다음과 같다.

#### (1) 변형만을 고려하는 구조물 (예: 플룸)

이 경우의 토압은 벽의 구조계산에 쓰이는 값이며 벽면마찰을 무시하고 벽면에 직각으로 작용하는 주동토압을 고려한다. 주동토압은 지표면의 경사상황, 재하상황 등에 따라 달라진다. 표 3.3.6에 표시된 흙의 종류별로 연직벽의 경우 토압과 모멘트를 도시하면 그림 3.3.4 ~ 그림 3.3.6에 나타난 바와 같다.





주) 그림에 나타난 계수 W(토압) 및 N(모멘트)는 흙의 습윤단위중량을  $1.8 \text{ t/m}^3$  ( $1.8 \times 9.8 \text{ kN/m}^3$ )로 해서 구한 값이므로 이 밖의 다른 중량  $\gamma$ 의 경우에는 계수에  $\gamma/1.8$ 을 곱하여 사용한다.

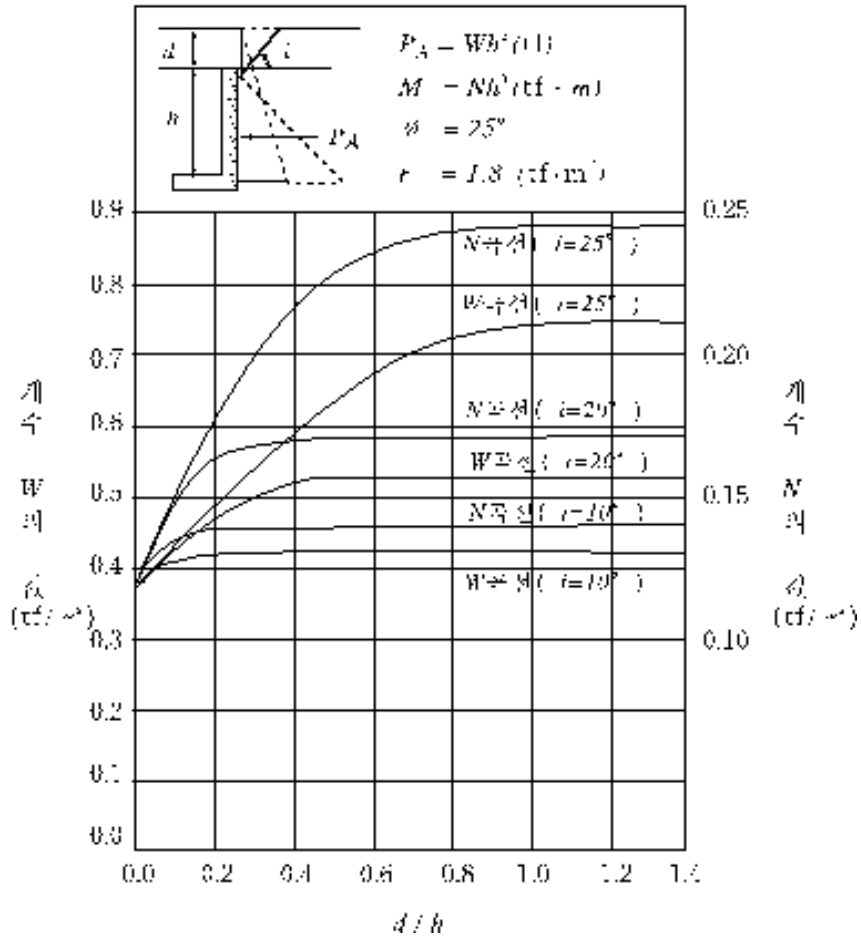
그림 3.3.4 연직벽의 토압과 모멘트 (내부마찰각  $\phi = 30^\circ$ )

**[보기]**  $h = 2.0\text{m}$ ,  $d = 0.5\text{m}$ ,  $i = 30^\circ$ ,  $\gamma = 1.7 \text{ t/m}^3$  ( $1.7 \times 9.8 \text{ kN/m}^3$ ) 일 경우의 토압과 모멘트를 구하라.

$d/h = 0.5/2.0 = 0.25$  이 경우 그림 3.3.4에서  $W = 0.43$ ,  $N = 0.16$

$$\therefore P_A = 0.43 \times 16.66 / 1.8 \times 2.0^2 = 15.92 \text{ (kN)}$$

$$M = 0.16 \times 16.66 / 1.8 \times 2.0^3 = 11.85 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$



주) 그림에 나타난 계수 W(토압) 및 N(모멘트)는 흙의 습윤단위중량을  $1.8 \text{ t/m}^3$  ( $1.8 \times 9.8 \text{ kN/m}^3$ )로 해서 구한 값이므로 이 밖의 다른 중량  $\gamma$ 의 경우에는 계수에  $\gamma/1.8$ 을 곱하여 사용한다.

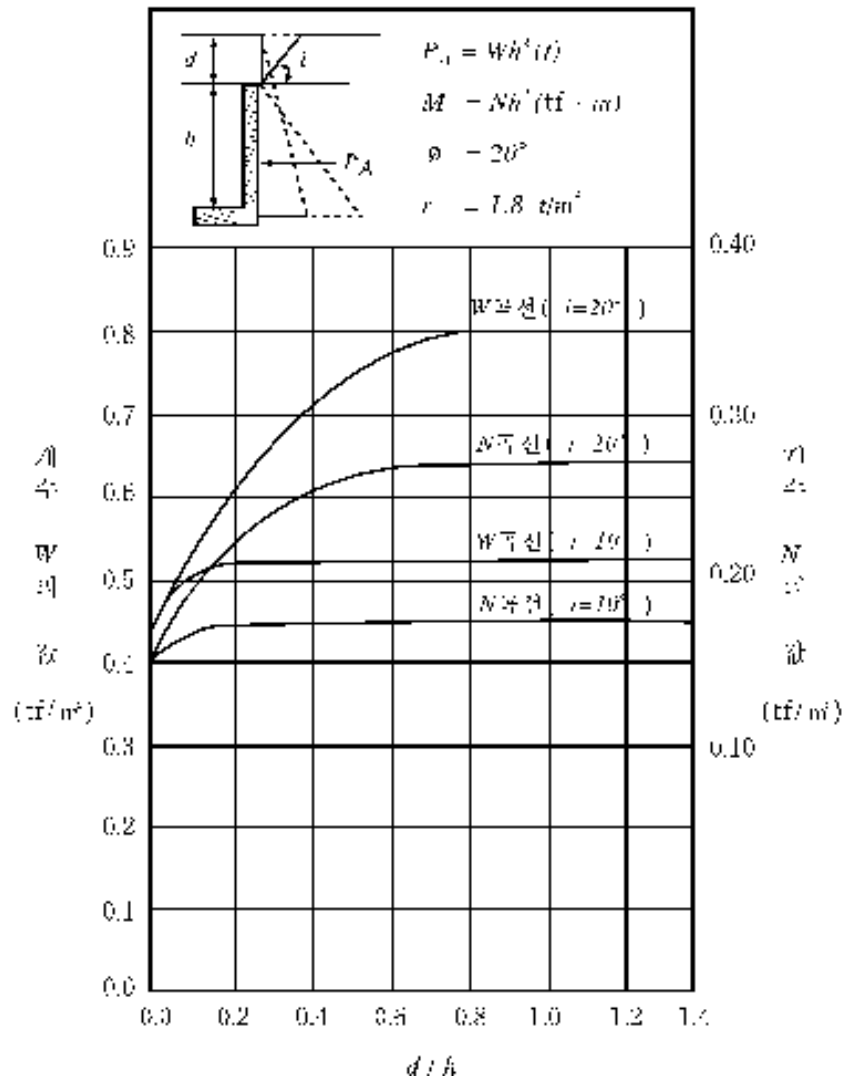
그림 3.3.5 연직벽의 토압과 모멘트 (내부마찰각  $\phi = 25^\circ$ )

**[보기]**  $h = 2.0\text{m}$ ,  $d = 0.5\text{m}$ ,  $i = 25^\circ$ ,  $\gamma = 1.7 \text{ t/m}^3$  ( $1.7 \times 9.8 \text{ kN/m}^3$ ) 일 경우의 토압과 모멘트를 구하라.

$d/h = 0.5/2.0 = 0.25$  이 경우 그림 3.3.5에서  $W = 0.53$ ,  $N = 0.19$

$$\therefore P_A = 0.53 \times 16.66 / 1.8 \times 2.0^2 = 19.62 \text{ (kN)}$$

$$M = 0.19 \times 16.66 / 1.8 \times 2.0^3 = 14.07 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$



주) 그림에 나타난 계수 W(토압) 및 N(모멘트)는 흙의 습윤단위중량을  $1.8 \text{ t/m}^3$  ( $1.8 \times 9.8 \text{ kN/m}^3$ )로 해서 구한 값이므로 이 밖의 다른 중량  $\gamma$ 의 경우에는 계수에  $\gamma/1.8$ 을 곱하여 사용한다.

그림 3.3.6 연직벽의 토압과 모멘트 (내부마찰각  $\phi = 20^\circ$ )

**[보기]**  $h = 2.0\text{m}$ ,  $d = 0.5\text{m}$ ,  $i = 20^\circ$ ,  $\gamma = 1.7 \text{ t/m}^3$  ( $1.7 \times 9.8 \text{ kN/m}^3$ ) 일 경우의 토압과 모멘트를 구하라.

$d/h = 0.5/2.0 = 0.25$  이 경우 그림 3.3.6에서  $W = 0.63$ ,  $N = 0.23$

$$\therefore P_A = 0.63 \times 16.66 / 1.8 \times 2.0^2 = 23.32 \text{ (kN)}$$

$$M = 0.23 \times 16.66 / 1.8 \times 2.0^3 = 17.03 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

(2) 이동변형을 고려하는 구조물 (예: 옹벽)

이 경우의 토압은 벽의 구조계산 및 구조물의 안정계산에 모두 사용되는 값이며 벽면마찰을 고려한다. 벽면마찰각은 콘크리트 타설조건, 되메움조건 등에 따라 다르지만 여기서는 일단 사면의 경사각과 동일하게 보고 주동토압을 식 (3.3.4) 및 식 (3.3.5)에 의하여 구한다.

$$P_A = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot K_A, \quad K_A = \left[ \frac{\cos \emptyset}{\cos i + \sqrt{\sin^2 \emptyset - \sin^2 i}} \right]^2 \quad \text{-----}(3.3.4)$$

$$P_h = P_A \cdot \cos i, \quad P_v = P_A \cdot \sin i \quad \text{-----}(3.3.5)$$

여기서,  $P_A$ : 주동토압 (kN)

$K_A$ : 주동토압계수

$P_h$ :  $P_A$ 의 수평분력 (kN)

$P_v$ :  $P_A$ 의 연직분력 (kN)

$h$ : 옹벽바닥에서 지표면까지의 높이 (m)

$\gamma$ : 습윤단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

$\emptyset$ : 흙의 내부마찰각 ( $^\circ$ )

$i$ : 사면과 수평면이 이루는 각도 ( $^\circ$ )

외수압을 고려하는 경우 지하수위 이하의 되메움 흙의 단위중량은 수중 단위중량을 취하고 토압계수는 변하지 않는다고 간주한다.

다) 성토하중에 의한 토압과 모멘트의 간이계산법

(1) 연직벽일 경우의 계산법

$$\text{토 압: } P_q = D \cdot H \cdot q \cdot K_A, \quad q = h \cdot \gamma \quad \text{-----}(3.3.6)$$

$$\text{모멘트: } M = \frac{H}{2} \cdot P_q = \frac{H^2}{2} \cdot D \cdot q \cdot K_A \quad \text{-----}(3.3.7)$$

여기서,

$P_q$ : 토압 (kN)  $M$ : 모멘트 ( $\text{kN}\cdot\text{m}$ )  $D$ : 체감률 (그림 3.3.7 참조)

$H$ : 수로벽의 높이 (m)

$q$ : 성토에 의한 연직하중강도 ( $\text{kN/m}^2$ )

$h$ : 성토고 (m)

$\gamma$ : 흙의 단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

$K_A$ : 랭킨의 주동토압계수 [ $K_A = \frac{1 - \sin \emptyset}{1 + \sin \emptyset}$ ],  $\emptyset$ : 흙의 내부마찰각 ( $^\circ$ )

그림 3.3.7에서 1:  $m$ 의 기울기를 갖는 성토단면에 대해서  $X_b$ 는 다음과 같이 구한다.

$$m < 1.0 \text{ 인 경우: } X_b = X_e \quad \text{-----(3.3.8)}$$

$$1.0 \leq m \leq 3.0 \text{ 인 경우: } X_b = 0.75X_e + 0.2m \quad \text{-----(3.3.9)}$$

여기서,  $X_b$ ,  $X_e$ : 수로 끝에서 성토 비탈끝까지의 거리 (m)

$m$ : 성토 비탈기울기

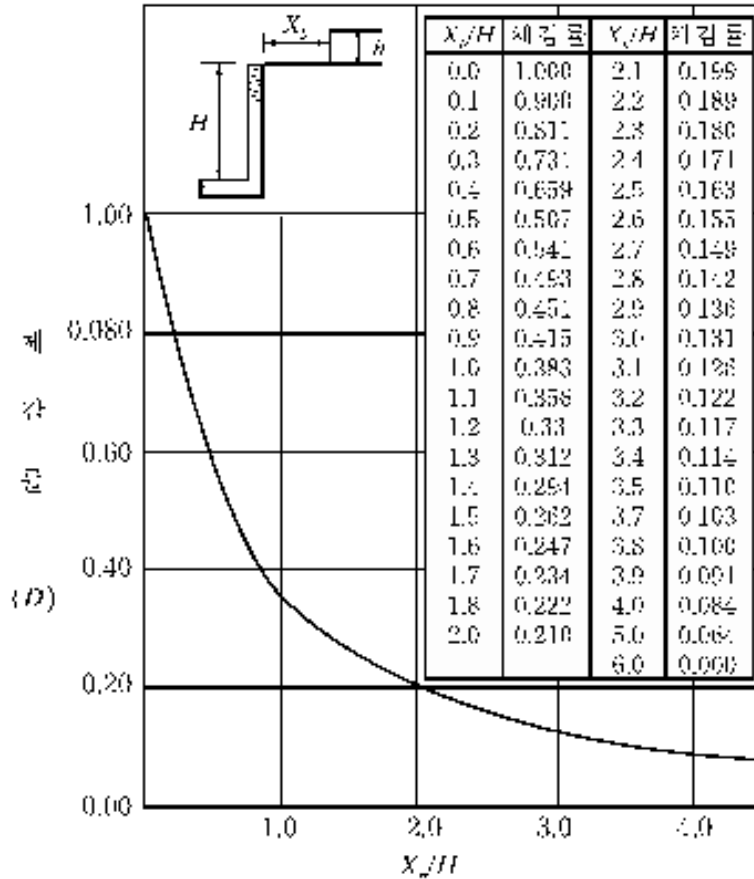
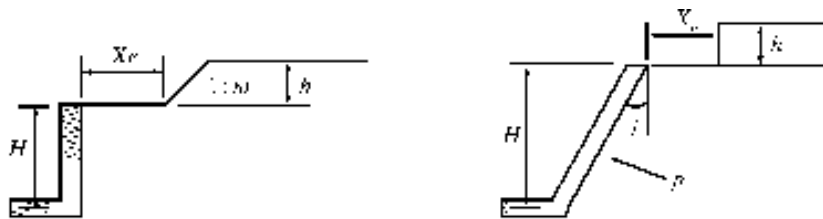


그림 3.3.7-1 체감률(D)과  $X_b/H$ 와의 관계



[1:1의 기울기를 갖는 성토면인]

[경사면에 적용하는 성토비탈]

그림 3.3.7-2 체감률(D)과  $X_b/H$ 와의 관계

[보기] 수로벽의 높이  $H=2.0\text{m}$ , 흙의 단위중량  $\gamma=1.8 \text{ t/m}^3(1.8 \times 9.8\text{kN/m}^3)$ , 성토고

$h=1.0\text{m}$ , 흙의 내부마찰각  $\phi=30^\circ$ , 수로 끝에서 성토 비탈끝까지의 거리  $X_e=0.50\text{m}$ , 성토 비탈기울기 1:1.5 ( $m=1.5$ ) 일 때 성토하중에 의해 수로벽에 생기는 토압과 모멘트를 구하라.

$$K_A = \frac{1 - \sin 30^\circ}{1 + \sin 30^\circ} = 0.33, \quad q = 1.0 \times 1.8 \times 9.8 = 17.64$$

$$X_b = 0.75 \times 0.5 + 0.2 \times 1.5 = 0.675, \quad X_b / H = 0.675 / 2.0 = 0.34$$

$$\text{그림 3.3.7-1에서 } X_b / H = 0.34 \text{에 대한 } D = 0.70$$

$$\text{따라서, 토압: } P_q = D \cdot H \cdot q \cdot K_A = 0.70 \times 2.0 \times 1.8 \times 9.8 \times 0.33 = 8.15(\text{kN})$$

$$\text{모멘트: } M = \frac{H}{2} \cdot P_q = 2.0/2 \times 8.15 = 8.15 (\text{kN}\cdot\text{m})$$

### (2) 경사벽일 경우의 계산법

$$\text{토 압: } P_q = D \cdot H \cdot q \cdot K_A \cdot D_B, \quad q = h \cdot \gamma \quad \text{-----}(3.3.10)$$

$$\text{모멘트: } M = \frac{H}{2} \cdot P_q = \frac{H^2}{2} \cdot D \cdot q \cdot K_A \cdot D_B \quad \text{-----}(3.3.11)$$

여기서,  $P_q$ : 토압 (9.8kN)

$M$ : 모멘트 (9.8kN·m)

$D$ : 체감률 (그림 3.3.7-1 참조)  $H$ : 수로벽의 높이 (m)

$q$ : 성토에 의한 연직하중강도 (9.8kN/m<sup>2</sup>)

$h$ : 성토고 (m)

$\gamma$ : 흙의 단위중량 (9.8kN/m<sup>3</sup>)

$K_A$ : 랭킨의 주동토압계수 [ $K_A = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$ ]

$\phi$ : 흙의 내부마찰각 (°)

$D_B$ : 경사벽과 연직벽에 작용하는 성토하중의 비 (표 3.3.7 참조)

표 3.3.7 경사벽과 연직벽에 작용하는 성토하중의 비 ( $D_B$ )

벽의 경사 1 : $m$	1 : 0.0 (연직)	1 : 0.3	1 : 0.5	1 : 0.7	1 : 1.0	1 : 1.5	1 : 2.0
$D_B$	1.00	0.73	0.63	0.57	0.52	0.50	0.46

### 3) 자동차하중 및 충격하중

자동차하중 및 충격하중이 수로벽에 작용하는 경우는 집중하중으로 생각하고 이것에 의한 임의점의 벽높이에서 수평방향의 하중강도가 벽의 길이 1m에 등분포하는 것으로 본다.

설계에 사용하는 모멘트는 그림 3.3.8을 이용하여 간편하게 계산할 수 있다.

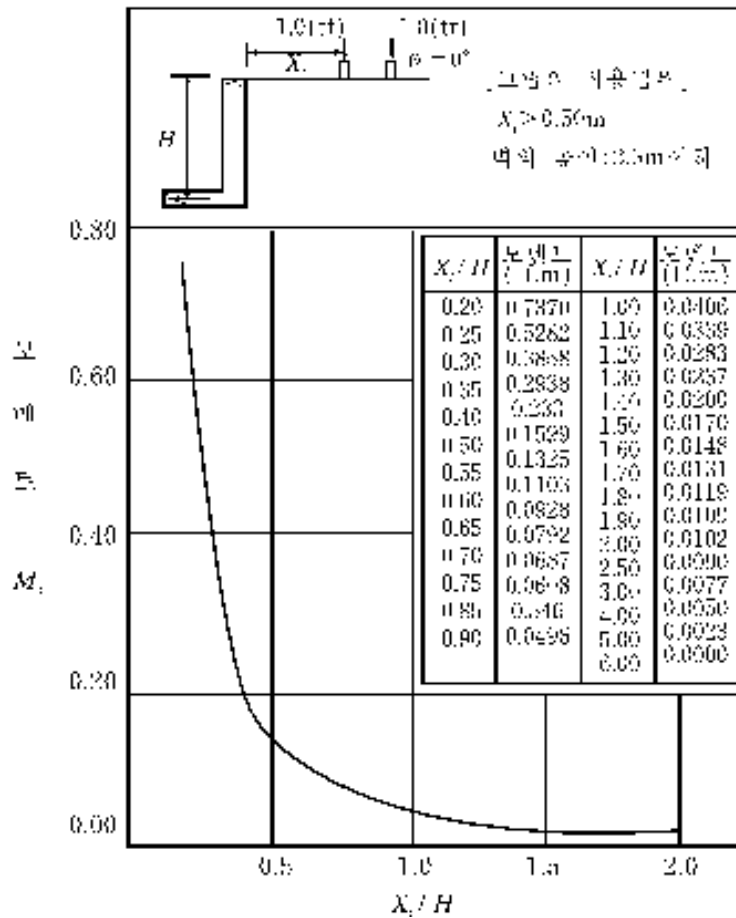


그림 3.3.8 부시네스크(Boussinesq)의 응용식에 의한 모멘트와  $X_t/H$

가) 연직벽일 경우의 계산법

$$M = q \cdot (1 + i) \cdot M_o \cdot K_A \quad \text{-----}(3.3.12)$$

여기서,  $M$ : 모멘트 (9.8kN·m)  $q$ : 후륜하중 (9.8kN)  $i$ : 충격계수 ( $i = 0.30$ )

$M_o$ : 그림 3.3.8에 의해 구함

$$K_A: \text{랭킨의 주동토압계수} \left[ K_A = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right]$$

$\theta$ : 흙의 내부마찰각 (°)

**[보기]** 자동차하중 DB 13.5, 하중에서 벽까지의 거리  $X_t = 0.60\text{m}$ , 수로벽의 높이

$H = 2.0\text{m}$ , 흙의 내부마찰각  $\phi = 30^\circ$ 일 경우 수로벽에 발생하는 모멘트를 구하라.

DB 13.5 일 경우 후륜하중  $q = 13.5 \times 3.92 = 52.92 \text{ (kN)}$  (표 3.3.2 참조)

충격계수  $i = 0.30$

$X_t/H = 0.60/2.0 = 0.30$  이 경우 그림 3.3.8에서  $M_o = 0.3858$

랭킨의 주동토압계수  $K_A = \frac{1 - \sin 20^\circ}{1 + \sin 20^\circ} = 0.49$

$$\begin{aligned} \therefore M &= q \cdot (1 + i) \cdot M_o \cdot K_A \\ &= 52.92 \times (1 + 0.30) \times 0.3858 \times 0.49 = 13.0 \text{ (kN}\cdot\text{m)} \end{aligned}$$

나) 경사벽일 경우의 계산법

$$M = q \cdot (1 + i) \cdot M_o \cdot K_A \cdot D_M \quad \text{-----}(3.3.13)$$

여기서,  $M$ : 모멘트 (9.8kN·m)  $q$ : 후륜하중 (9.8kN)  $i$ : 충격계수 ( $i = 0.30$ )

$M_o$ : 그림 3.3.8에 의해 구함

$K_A$ : 랭킨의 주동토압계수 [ $K_A = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$ ]

$\phi$ : 흙의 내부마찰각 ( $^\circ$ )

$D_M$ : 경사벽과 연직벽에 작용하는 모멘트의 비 (표 3.3.8 참조)

표 3.3.8 경사벽과 연직벽에 작용하는 작용하는 모멘트의 비 ( $D_M$ )

벽의 경사 1 : $m$	1 : 0.0 (연직)	1 : 0.3	1 : 0.5	1 : 0.7	1 : 1.0	1 : 1.5	1 : 2.0
$D_M$	1.00	0.57	0.44	0.36	0.30	0.25	0.20

### 3.3.5 매설구조물에 작용하는 하중

매설구조물의 구조계산에서는 지상의 재하조건, 토질, 지하수상황, 시공조건 등을 잘 파악하여 구조물에 대한 하중의 크기와 분포상태를 구하고, 구조물의 부재에 최대응력이 작용하는 하중조건에 의하여 부재의 소요강도를 결정한다.

#### 가. 하중의 분포



사이펀이나 암거 등의 매설구조물에 작용하는 하중은 일반적으로 그림 3.3.9에 표시한 여러 종류의 하중분포의 조합으로 구성되어 있다. 따라서 관체의 구조계산에서는 이들의 하중을 각각 분리하여 생각하는 것이 편리하다.

- 1) 그림 3.3.9에 표시된 하중상태는 박스형단면의 경우를 나타내고 있으나, 원형이나 기타 단면의 경우도 이에 준한다.
- 2) 등분포 수직하중  $P_{v1}$  및  $P_{v2}$ 의 크기는 되메움 흙 및 자동차하중, 충격하중 활하중의 크기를 나타낸다.
- 3) 등분포 수평하중, 삼각형 수평하중의 크기는 “3.3.4 개수로에 작용하는 하중”에 따라서 계산한다.
- 4) 그림 3.3.9(f)의 압력수에 의한 정수압은 사이펀 등의 내수압이 작용하는 구조물에 적용하며, 그림 3.3.9 (e)의 만수에 의한 정수압과의 조합에 의해서만 사용을 고려한다.

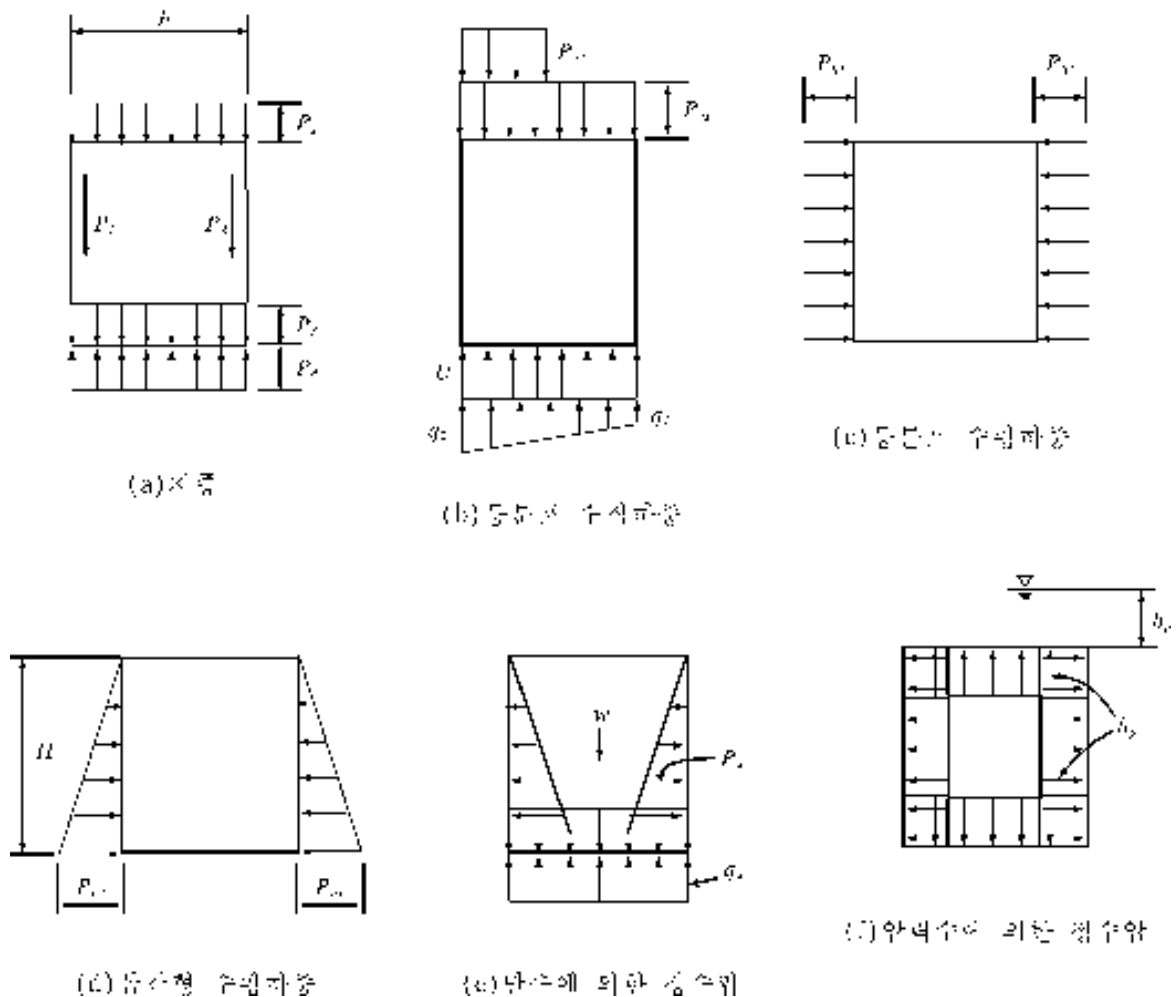


그림 3.3.9 매설구조물에 작용하는 하중의 조합

## 나. 하중의 조합

관체의 각 부재, 각 점의 외력에 대한 응력은 등분포의 조합에 의하여 변화한다. 따라서 매설구조물의 응력계산에 있어서는 각각 입지조건에 의한 하중상태를 감안하여 구조물 부재에 최대응력이 생길 수 있는 하중조건을 조합을 생각한다.

### 1) 도로 횡단부

매설된 박스형 단면 하중의 조합은 표 3.3.9와 같다.

표 3.3.9 매설 수로에 작용하는 하중분포조합(도로 횡단부)

흙덮이(m)		번호	조합의 경우(흙덮이 4m 미만)						
하 중	종 별		I	II	III	IV	V	VI	VII
자 중		①	○	○	○	○	○	○	○
연직토압	습윤토	②		○	○	○	○	○	○
	포화토	③	○						
등분포수평토압	습윤토	④		○	○	○	○	○	○
	포화토	⑤	○						
삼각분포수평토압	습윤토	⑥				○	○	○	○
	포화토	⑦	○	○	○				
삼각분포하중		지하수	⑧	○	○	○			
활하중	후륜정판중앙재하	⑨				○			
	후륜중앙+ 전륜재하	⑩	○						
	후륜정판단부재하	⑪		○					○
	연직등분포하중(흙덮이 4m 이상)	⑫	○						○
	수평등분포하중	⑬			○				
부 력		⑭	○	○	○				
만수에 의한 정수압		⑮				양쪽○	양쪽○	한쪽○	한쪽○
압력수에 의한 정수압		⑯	공허	공허	공허		양쪽○	한쪽○	한쪽○

주) 1) 흙덮이  $H \geq 4.0m$ 의 경우

하중조합 II, VI인 경우는 생략가능. 단, 활하중은 I, VII의 경우는 재하 위치에 관계없이 연직등분포하중(⑫)를, III의 경우는 수평등분포하중(⑬)을 재하 한다.

2) 일련의 박스형 암거의 하중조합은 I ~ V의 다섯 개의 경우로 한다.

3) 소구조물에 대해서는 일반적으로 I 또는 V만을 고려해도 좋다.

4) 표에서 나타나는(양쪽)은 이런 박스형 암거의 양내공단면의 만수상태를 나타내고

(한쪽)은 한쪽방향의 내공단면이 만수이고, 다른 한쪽은 공허한 상태를 말한다.

- 5) 하중조합 I, II, IV, VII인 경우 흙덮이나 부재치수 등의 크기에 따라 앞바퀴의 영향(연직하중과 수평하중)을 받는 경우가 있으므로 유의할 필요가 있다.
- 6) 하중조합 I 경우의 연직토압은 지하수위에 따라 달라지므로 유의할 필요가 있다.
- 7) 조합 각 경우의 조건은 ②항의 표 3.3.11의 주 6) ~ 12)를 참조하면 된다.

2) 종단방향의 박스형 암거

관리용 도로 등이 병설된 구간에서 부재설계에 있어서는 하중 조합은 표 3.3.10을 표준으로 한다.

표 3.3.10 도로종단 방향의 박스형 암거 및 사이편에 작용하는 하중의 조합

흙덮이 (m)		번호	조합의 경우(흙덮이 4m 미만)						
하 중	종 별		I	II	III	IV	V	VI	VII
자 중		①	○	○	○	○	○	○	○
연직토압	습윤토	②		○	○	○	○	○	○
	포화토	③	○						
등분포 수평토압	습윤토	④		○	○	○	○	○	○
	포화토	⑤	○						
삼각분포 수평토압	습윤토	⑥				○	○	○	○
	포화토	⑦	○	○	○				
삼각분포하중		⑧	○	○	○				
활하중	후륜박스중앙재하	⑨	○			○			
	후륜하중+ 중앙재하	⑩		○					
	후륜정판단부재하	⑪							○
	연직등분포하중 (흙덮이 4m 이상)	⑫	○						○
	수평등분포하중	⑬			○				
부 력		⑭	○	○	○				
만수에 의한 정수압		⑮				양쪽○	양쪽○	한쪽○	한쪽○
압력수에 의한 정수압		⑯	공허	공허	공허		양쪽○	한쪽○	한쪽○

- 주) 1) 일련의 박스형 암거의 하중 조합은 I ~ V의 다섯 개의 경우로 한다.
- 2) 소구조물에 대해서는 일반적으로 I 또는 V 만을 고려해도 좋다.
- 3) 표에서 나타나는(양쪽)은 이런 박스형 암거의 양내공단면의 만수상태를 나타내고, (한쪽)은 한쪽방향의 내공단면이 만수이고, 다른 한쪽은 공허한 상태를 말한다.

- 4) ⑩의 재하는 박스의 폭  $b \geq 2.75m$  이상의 경우는 ⑪하중으로 변경한다.
- 5) 하중조합 I의 경우 연직토압은 지하수위에 따라 달라지므로 유의할 필요가 있다.
- 6) I의 조건은 정판 및 상판의 내측에 최대인장응력이 생기든가 또는 각 절점의 외측에 최대 인장력이 생긴다.
- 7) II의 조건은 각 절점의 외측에 최대인장응력이 생긴다.
- 8) III의 조건은 측벽내부에 최대인장응력이 생긴다.
- 9) IV의 조건은 정판 또는 저판 또는 측벽의 중앙외측에 최대인장응력이 생긴다.
- 10) V의 조건은 측벽의 중앙 외측 또는 각 절점 내측에 최대인장응력이 생긴다.
- 11) VI의 조건은 내수압을 한쪽만 고려한다.
- 12) VII의 조건은 내수압을 한쪽만하고 자동차 하중을 고려한다.

## 다. 토압공식

### 1) 관체에 작용하는 경우

관체에 작용하는 수직토압은 일반적으로 수직토압 공식 또는 마스톤 공식을 사용하여 계산하며, 수평토압은 랭킨공식 또는 스팅글러 공식을 적용하여 구한다. 상세한 내용은 4.11 관수로를 참조한다.

### 2) 박스형 암거에 작용하는 경우

박스형 암거에 작용하는 토압은 보통 다음의 토압공식을 사용하여 구한다.

$$\text{수직토압: } W_v = \gamma \cdot H \quad (\text{수직토압공식}) \quad \text{-----}(3.3.19)$$

$$\text{수평토압: } P_h = K_A \cdot \gamma \cdot h \quad (\text{랭킨공식}) \quad \text{-----}(3.3.20)$$

여기서,  $\gamma$ : 되메움 흙 또는 성토의 단위중량 ( $kN/m^3$ )

$H$ : 되메움면 또는 성토면에서 박스형 암거 정상부까지의 깊이 (m)

$h$ : 되메움면 또는 성토면에서부터의 깊이 (m)

$$K_A: \text{랭킨의 주동토압계수} \left[ K_A = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right]$$

$\theta$ : 되메움 흙 또는 성토의 내부마찰각 (°)

## 라. 자동차하중, 충격하중, 균집하중 등의 활하중

매설구조물에 작용하는 자동차하중, 충격하중, 균집하중 등 활하중의 계산은 3.3.2의 5. 자동차하중 및 충격하중, 3.3.2의 6. 균집하중 등의 계산에 의한다.

**마. 휨모멘트, 축방향력 및 전단력의 크기**

3.3.5의 1. 하중의 분포에 표시한 하중분포가 매설구조물에 작용하는 경우, 특정 단면에 작용하는 부재의 휨모멘트 ( $M$ ), 축방향력 ( $N$ ) 및 전단력 ( $S$ )의 계수는 표 3.3.11 및 표 3.3.12에서 보는 바와 같다.

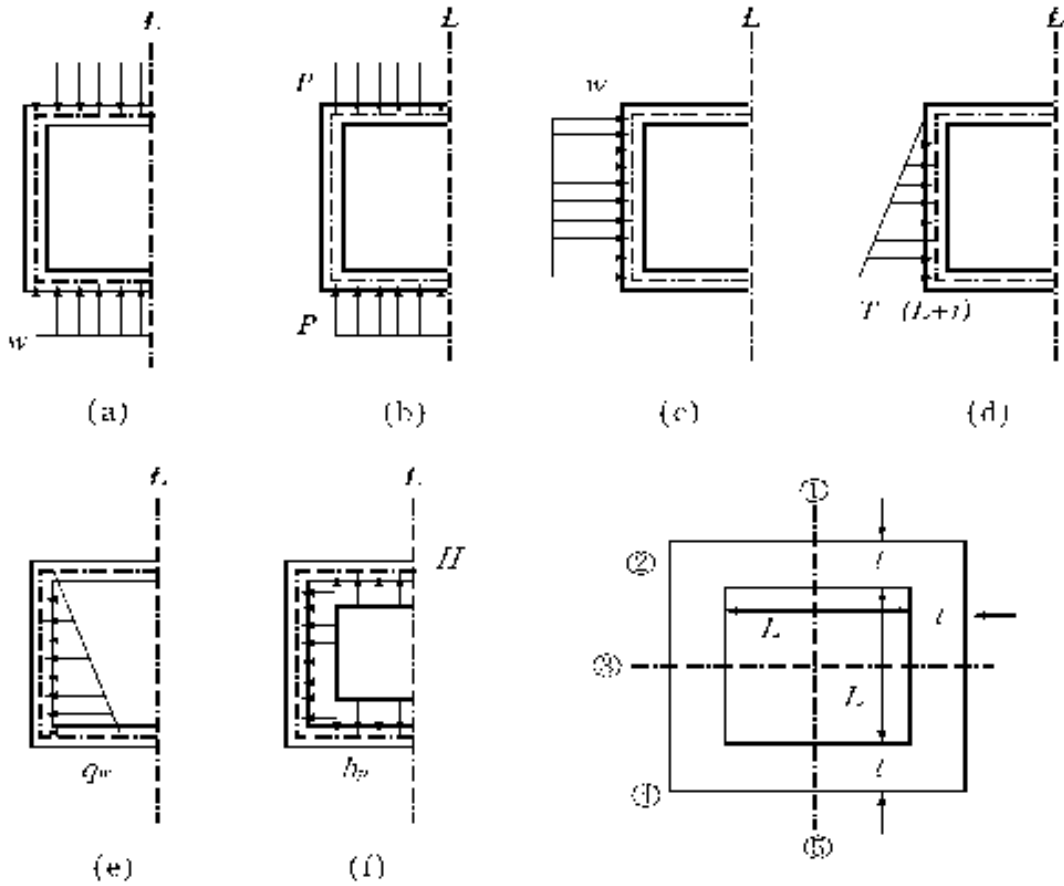
휨모멘트, 축방향력 및 전단력은 하중마다 구하여 합산해서 결정한다. 각각의 값은 계수표내에 있는 계산식의 위치에 대응하는 계수를 곱함으로써 구할 수 있다.

표 3.3.11 1런 정사각형 단면에서의 단위길이당

휨모멘트 ( $M$ ), 축방향력 ( $N$ ), 전단력 ( $S$ )의 계수표

위치	(a)			(b)			(c)		
	자 중			등분포 수직하중			등분포 수평하중		
	$M$	$N_v$	$S_v$	$M$	$N_v$	$S_v$	$M$	$N_h$	$S_h$
	$0.0208 \gamma_c \times t(L+t)^2$	$\gamma_c t(L+t)$		$0.417P \times (L+t)^2$	$P(L+t)$		$0.417w \times (L+t)^2$	$w(L+t)$	
①	+5			+2			-1	+0.50	
②	-1	+0.50	+0.50	-1	+0.50	+0.50	-1	+0.50	-0.50
③	-4	+1.00		-1	+0.50		+2		
④	-7	+1.50	-1.50	-1	+0.50	-0.50	-1	+0.50	+0.50
⑤	+11			+2			-1	+0.50	

위치	(d)			(e)			(f)				
	삼각형 수평하중			만수에 의한 정수압			압력수에 의한 정수압				
	$M$	$N_h$	$S_h$	$M$	$N_h$	$S_h$	$M$	$N_h$	$N_v$	$S_h$	$S_v$
	$0.0188 T \times (L+t)^3$	$0.1667 T \times (L+t)^2$		$184.2 \times (L+t)^3$	$1,634 \times (L+t)^2$		$816.3 h_p \times (L+t)^2$	$9,800 h_p (L+t)$			
①	-1	+0.98		+1	-0.98		-0.5	-0.5			
②	-1	+0.98	-0.98	+1	-0.98	+0.98	+1	-0.5	-0.5	+0.5	-0.5
③	+2.22			-2.22			-0.5		-0.5		
④	-1.22	+2.02	+2.02	+1.22	-2.02	-2.02	+1	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
⑤	-1.22	+2.02		+1.22	-2.02		-0.5	-0.5			



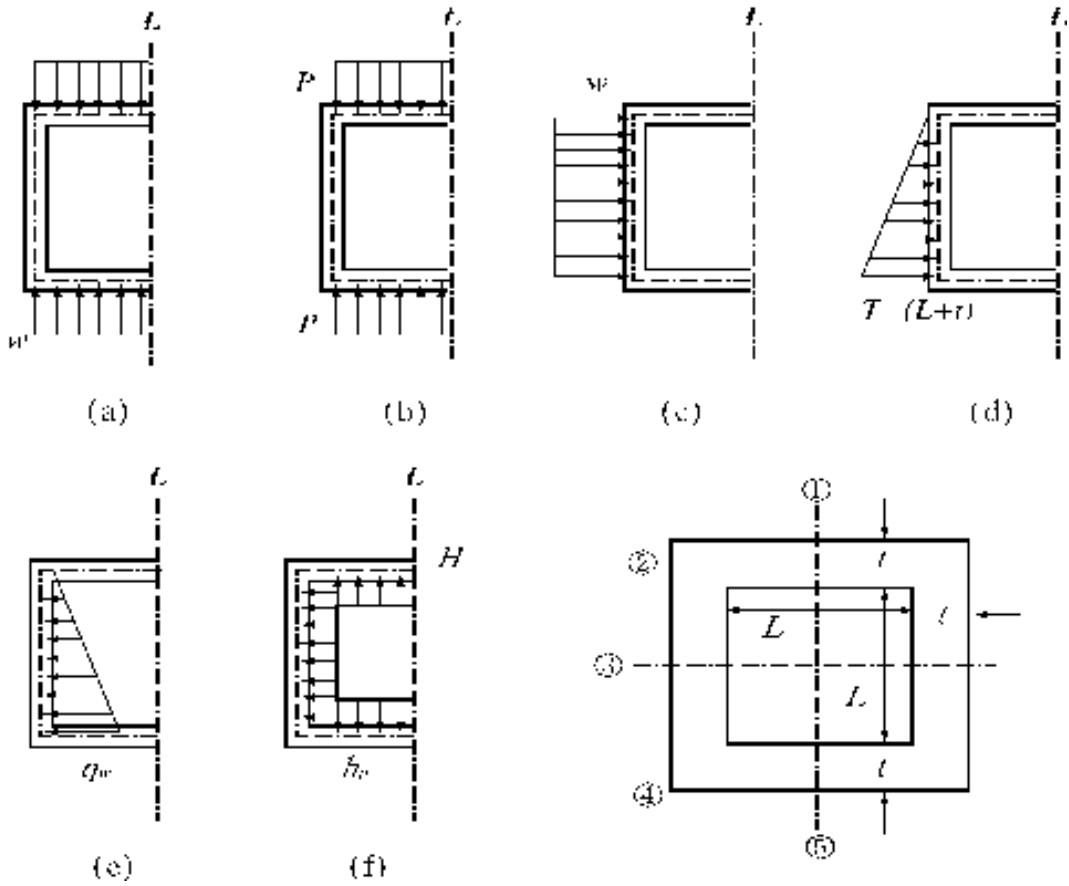
- +  $M$ : 부재의 내측에 인장응력을 생기게 하는 휨모멘트 (kN·m)
- +  $N$ : 부재에 압축응력이 생기게 하는 축방향력 (kN)
- +  $S$ : 부재를 내측에서 보았을 때 단면좌측외력의 합력이 외측 방향으로 작용하는 전단력 (kN)
- $N_v$ : 수직축방향력 (kN)
- $S_v$ : 수직방향 전단력 (kN)
- $N_h$ : 수평축방향력 (kN)
- $S_h$ : 수평방향 전단력 (kN)
- $M$ : 휨모멘트 (kN·m)
- $\gamma_c$ : 콘크리트의 단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )
- $P$ : 등분포 수직하중 (kN/m)
- $w$ : 등분포 수평하중 (kN/m)
- $T$ : 단위깊이 당 수평하중강도 증가량 ( $\text{kN/m}^2$ )
- $h_p$ : 박스 정상판 중심선까지의 압력수두 (m)
- $L$ : 박스내측의 나비 및 높이 (m)
- $t$ : 박스 부재의 두께 (m)

표 3.3.12 2런 정사각형 단면에서의 단위길이당

휨모멘트 ( $M$ ), 축방향력 ( $N$ ), 전단력 ( $S$ )의 계수표

위치	(a)			(b)			(c)		
	자 중			등분포 수직하중			등분포 수평하중		
	$M$	$N_v$	$S_v$	$M$	$N_v$	$S_v$	$M$	$N_h$	$S_h$
	$0.0208 \gamma_c \times t(L+t)^2$	$0.0208 \gamma_c \times t(L+t)$		$0.0208P \times (L+t)^2$		$0.0208P \times (L+t)$	$0.0208w \times (L+t)^2$		$0.5w \times (L+t)$
①	-5.7		-29.1	-5.31		-27.96	+1.31	+1	
②	+2.9			+2.67			-0.68	+1	
③	-0.6	+18.9	+18.9	-1.35	+20.04	+20.04	-2.66	+1	-1
④	-2.4	+42.9		-1.35	+20.04		+3.34		
⑤	-4.2	+66.9	-51.3	-1.35	+20.04	-20.04	-2.66	+1	-1
⑥	+6.4			+2.67			-0.68	+1	
⑦	-12.9		+68.7	-5.31		+27.96	+1.31	+1	

위치	(d)			(e)			(f)				
	삼각형 수평하중			만수에 의한 정수압			압력수에 의한 정수압				
	$M$	$N_h$	$S_h$	$M$	$N_h$	$S_h$	$M$	$N_h$	$N_v$	$S_h$	$S_v$
	$0.0167T \times (L+t)^3$	$0.0167T \times (L+t)^2$		$163.3 \times (L+t)^3$		$163.3 \times (L+t)^2$	$816.7 h_p \times (L+t)^2$				$9,800 h_p (L+t)$
①	+0.72	+9.60		-0.72	-9.60		+1	-0.5			
②	-0.37	+9.60		+0.37	-9.60		-0.50	-0.5			+0.5
③	-1.46	+9.60	-9.60	+1.46	-9.60	-9.60	+1	-0.5	-0.5	-0.5	
④	+2.09		-2.10	-2.09			-0.50		-0.5		-0.5
⑤	-1.86	+20.4	+20.4	+1.86	-20.4	-20.4	+1	-0.5	-0.5	-0.5	
⑥	-0.47	+20.4		+0.47	-20.4		-0.50	-0.5			+0.5
⑦	+0.92	+20.4		-0.92	-20.4		+1	-0.5			-0.5



- +  $M$ : 부재의 내측에 인장응력을 생기게 하는 휨모멘트 (kN·m)
- +  $N$ : 부재에 압축응력이 생기게 하는 축방향력 (kN)
- +  $S$ : 부재를 내측에서 보았을 때 단면좌측외력의 합력이 외측 방향으로 작용하는 전단력 (kN)
- $N_v$ : 수직축방향력 (kN)
- $S_v$ : 수직방향 전단력 (kN)
- $N_h$ : 수평축방향력 (kN)
- $S_h$ : 수평방향 전단력 (kN)
- $M$ : 휨모멘트 (kN·m)
- $\gamma_c$ : 콘크리트의 단위중량 (kN/m<sup>3</sup>)
- $P$ : 등분포 수직하중 (kN/m)
- $w$ : 등분포 수평하중 (kN/m)
- $T$ : 단위길이 당 수평하중강도 증가량 (kN/m<sup>2</sup>)
- $h_p$ : 박스 정상판 중심선까지의 압력수두 (m)
- $L$ : 박스내측의 나비 및 높이 (m)
- $t$ : 박스 부재의 두께 (m)



### 3.3.6 무근 및 철근콘크리트

무근 및 철근콘크리트의 구조설계는 원칙적으로 「콘크리트 표준시방서」에 정해진 기준을 따른다.

#### 가. 일반사항

콘크리트의 설계 및 시공은 이에 관해서 상세하게 규정되어 있는 건설교통부 제정 「콘크리트 표준시방서」의 기준에 따른다.

#### 나. 철근의 종류

철근콘크리트에 사용하는 봉강(棒鋼)은 원칙적으로 KS D 3504(철근콘크리트용 봉강) 및 KS D 3527(철근콘크리트용 재생봉강)에 적합한 철근을 써야 하며, 이의 단면형상에는 원형철근(SR 24, SR 30의 2종류)과 이형철근(SD 30A, SD 30B, SD 35, SD 40, SD 50의 5종류)이 있다.

이들의 기계적 성질은 다음 표 3.3.13과 같다.

표 3.3.13 철근의 종류 및 기계적 성질

종류	기호	기계적 성질			
		항복강도 (N/mm <sup>2</sup> )	인장강도 (N/mm <sup>2</sup> )	시험편	연신율 (%)
원형철근	SR 24	235 이상	382 ~ 520	2 호 3 호	20 이상 24 이상
	SR 30	294 이상	441 ~ 598	2 호 3 호	18 이상 20 이상
이형철근	SD 30A	294 이상	441 ~ 598	2 호 3 호	16 이상 18 이상
	SD 30B	294 ~ 392	441 이상	2 호	14 이상
				3 호	18 이상
	SD 35	343 ~ 441	490 이상	2 호	18 이상
				3 호	20 이상
SD 40	392 ~ 510	559 이상	2 호	16 이상	
			3 호	18 이상	
SD 50	490 ~ 628	618 이상	2 호	12 이상	
			3 호	14 이상	
재생 원형철근	SBCR 24	235 이상	382 ~ 520	2 호	20 이상
	SBCR 40	392 이상	637 이상	3 호	12 이상
재생 이형철근	SBCR 24 D	235 이상	382 ~ 520	2 호	18 이상

이형철근은 원형철근에 비해 콘크리트에 대한 부착강도가 크고 인발력에 대해 강한

마찰저항을 가지며 또한 콘크리트에 발생하는 균열폭을 감소시키는데 효과가 있다. 또한 이형철근은 철근의 이음이나 정착에 있어서 원형철근보다 효과가 크기 때문에 10~15% 정도 그 수량을 절감할 수 있는 이점이 있다.

수리구조물에 있어서 인장력이 큰 철근을 쓰는 경우는 균열폭, 비틀림 등에 대해 충분히 안전한가를 확인해야 한다.

#### 다. 허용응력

콘크리트의 28일 설계기준강도 및 허용응력은 구조물의 규모, 내구성 및 수밀성, 설비 및 재료 등 시공조건, 경제성 등에 의하여 결정한다. 철근의 허용응력은 철근의 종류, 콘크리트의 강도 등에 의해 결정 하지만 사이편 등과 같이 내수압을 받는 구조물에서는 콘크리트의 균열을 방지하고 수밀성을 유지할 수 있도록 철근의 허용응력을 감소시키는 것이 일반적이다.

##### 1) 콘크리트의 설계기준강도 및 허용응력

수로라이닝 및 수로구조물에서 일반적으로 사용되고 있는 콘크리트의 28일 설계기준강도( $f_{ck}$ ) 및 허용응력은 표 3.3.14에 나타난 바와 같다.

##### 2) 철근의 허용응력

###### 가) 휨부재의 철근허용응력

콘크리트 구조설계기준에서는 일반적인 철근의 허용응력은 표 3.3.15에서 보는 바와 같다.

표 3.3.14 철근의 허용응력

철근의 종류	허용응력 $f_{sa}$ (kN/cm <sup>2</sup> )
SD 30	$f_{sa} = 15.0$
SD 35	$f_{sa} = 17.5$
SD 40, SD 50	$f_{sa} = 18.0$

특별한 경우에는 철근을 사용할 때 주의를 기울여야 한다. 예를 들면 교량의 바닥판에 배치하는 철근은 바닥판이 활하중에 의하여 반복하중을 받고 있기 때문에 일반 철근콘크리트 부재에 비하여 과도한 하중상태에서 풍우에 노출되어 해로운 균열발생의 위험도가 높다. 바닥판이나 슬래브교의 파손은 인장철근의 파손에 기인되는 경우는 적은 반면, 콘크리트에 발생된 균열이 반복하중에 의해 더 벌어지고 최종적으로 콘크리트가 떨어져 나가게 된다.

표 3.3.15 콘크리트의 허용응력 (N/cm<sup>2</sup>)

허용응력의 구분	기호	공식	$f_{ck}$ 의 값 (N/cm <sup>2</sup> )			
			1,764	2,058	2,744	3,430
탄성계수비 (보통골재의 철근콘크리트)	$n$	$\frac{136}{\sqrt{f_{ck}}}$	98	88.2	78.4	68.6
(1) 허용휨응력 (무근의 확대기초와 벽)						
① 허용휨압축응력	$f_{ca}$	$0.40 f_{ck}$	705.6	823.2	1,098	1,372
② 허용휨인장응력	$f_{ta}$	$0.42 \sqrt{f_{ck}}$	54.9	59.8	68.6	77.4
(2) 허용전단응력: $\tau = \frac{S}{b_o d}$						
① 사인장철근을 두지 않는 보	$\tau_a$	$0.25 \sqrt{f_{ck}}$	33.3	35.3	41.2	46.1
② 사인장철근을 두는 보		$1.15 \sqrt{f_{ck}}$	150.9	163.7	188.2	210.7
③ 사인장철근을 두지 않는 슬래브와 확대기초		$0.46 \sqrt{f_{ck}}$	60.8	65.7	75.5	84.3
④ 사인장철근을 두는 슬래브와 확대기초		$0.70 \sqrt{f_{ck}}$	92.1	99.0	108.8	304.8
(3) 허용부착응력: $\tau_o = \frac{S}{U_j d}$ (휨부착)						
① 이형인장철근: 일반 상부철근	$\tau_{oa}$	$0.80 \sqrt{f_{ck}}$	104.9	113.7	131.3	147.0
		$0.56 \sqrt{f_{ck}}$	73.5	79.4	92.1	102.9
② 원형인장철근: 일반 상부철근		$1/2 \times 0.80 \sqrt{f_{ck}} \leq 11$	52.9	56.8	65.7	73.5
		$1/2 \times 0.56 \sqrt{f_{ck}} \leq 11$	37.2	40.2	46.1	51.0
③ 이형압축철근 (정착부착)		$1.72 \sqrt{f_{ck}} \leq 28$	226.4	244.0	274.4	274.4
④ 인장철근의 정착길이를 산출할 때의 허용부착응력은 ①, ② 값의 80%를 취한다.						
⑤ 압축주철근의 정착길이를 산출할 때의 허용부착응력은 이형철근의 경우 ③의 값, 원형철근의 경우 원형 인장철근의 허용응력과 같다.						
(4) 허용지압응력						
① 전면적에 재하된 경우	$f_{ba}$	$0.25 f_{ck}$	441.0	514.5	686.0	857.5
② 전면적의 1/3 이하로 부분 재하된 경우		$0.37 f_{ck}$	651.7	761.5	1,015	1,269

또한 물속이나 지하수위 이하에 설치된 부재는 철근이 부식되기 쉬운 환경에 놓이게 되므로 일반 부재의 철근보다 취약한 점이 많게 된다. 따라서 「도로교 설계기준 콘크리트교편」에서는 철근의 허용응력을 표 3.3.16에 나타난 바와 같이 규정하고 있다.

표 3.3.16 콘크리트교의 철근 허용응력 (도로교 설계기준 콘크리트교편)

(단위: kN/cm<sup>2</sup>)

응력 및 부재의 종류		철근의 종류			
		SD 30	SD 35	SD 40	
인장응력 (MPa)	하중의 조합에 충돌 하중이나 지진의 영향을 포함하지 않는 경우	일반적인 부재	14.7	17.15	17.64
		바닥판 및 지간 10m 이하의 슬래브교	14.7	15.68	15.68
		수중 또는 지하수위 이하에 설치하는 부재	14.7	15.68	15.68
	하중의 조합에 충돌 하중이나 지진의 영향을 포함하는 경우	14.7	17.15	17.64	
압 축 응 력 (kN/cm <sup>2</sup> )		14.7	17.15	17.64	

나) 연직기둥의 압축철근

(1) 나선 및 띠철근 기둥에서 축방향 철근의 허용압축응력은 항복응력 최소치의 40%를 취하되, 20.58 kN/cm<sup>2</sup>를 넘지 않게 한다.

(2) 합성 및 조합 기둥에서 축방향 철근의 허용압축응력은 다음과 같다.

$$\text{보통 구조용 강: } f_{sa} \leq 12.74 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{주 철: } f_{sa} \leq 6.86 \text{ kN/cm}^2$$

다) 풍하중 및 지진을 고려할 경우

풍하중이나 지진력 등의 횡하중과 연직하중의 조합응력에 대해 설계하는 경우에는 나)항의 (1), (2)에 규정한 허용응력을 1.33배까지 높여서 설계할 수 있다.

라) 온도변화와 건조수축을 고려할 경우

온도변화나 건조수축을 주하중과 함께 고려하는 경우에는 2)항의 가), 나)에 규정한 허용응력을 1.15배까지 높일 수 있다.

**라. 철근콘크리트의 설계계산**

철근콘크리트 구조물은 원칙적으로 탄성이론에 의해 해석하여 철근 및 콘크리트의 응력이 각각의 허용응력 이하임을 확인해야 한다.

1) 부정정력 또는 탄성변형의 경우

부정정력 또는 탄성변형의 계산에서는 단면2차모멘트 및 탄성계수를 다음과 같이 구한다.

가) 단면2차모멘트는 철근의 영향을 고려해서 부재의 콘크리트 전단면에 대해 계산한다. 단, 부정정력의 계산에는 일반적으로 철근을 무시하고 부재의 콘크리트 전단면에 대해 계산한다.

나) 철근의 탄성계수는  $E_s = 19.992 \times 10^3 \text{ kN/cm}^2$ 으로 한다.

다) 콘크리트의 탄성계수는  $E_c$ 는 표 3.3.17의 값을 표준으로 한다.

표 3.3.17 부정정력 또는 탄성변형의 계산에 사용되는 콘크리트의 탄성계수

설계기준강도 $f_{ck}$ (kN/cm <sup>2</sup> )	0.113	2.058	2.352	비 고
콘크리트의 탄성계수 $E_c$ (kN/cm <sup>2</sup> )	$19.698 \times 10^2$	$21.266 \times 10^2$	$24.5 \times 10^2$	$E_c = W^{1.5} \times 4,270 \sqrt{f_{ck}}$ (kN/cm <sup>2</sup> )
철근콘크리트의 탄성계수비 $n = E_s / E_c$	10	9	8	$E_s = 19.992 \times 10^3$ (kN/cm <sup>2</sup> )

주)  $W$ : 콘크리트의 단위중량,  $W = 22.5 \text{ kN/m}^3$ 일 때는  $E_c = 15,000 \sqrt{f_{ck}}$  로 계산  
표 3.3.17에서는  $W = 24.5 \text{ kN/m}^3$ 로 계산하고 복철근보인 경우  $2n$  을 사용

2) 단면결정 또는 응력을 계산하는 경우

단면결정 또는 응력계산에서는 일반적으로 콘크리트의 인장응력을 무시하고 변형도는 단면의 중립축으로부터 거리에 비례하는 것으로 한다.

가) 철근의 탄성계수는  $E_s = 19.992 \times 10^3 \text{ (kN/cm}^2)$ 으로 한다.

나) 콘크리트의 탄성계수는  $E_c = W^{1.5} \times 4,270 \sqrt{f_{ck}}$  (kN/cm<sup>2</sup>)으로 하고, 탄성계수비는  $n = E_s / E_c$  로 한다.

다) 철근부재의 설계단면에 직각으로 교차하지 않는 경우에는 철근단면적에 철근이 그 단면과 이루는 값의 Sine값을 곱하여 철근의 유효단면적으로 한다.

**마. 단면 또는 응력의 산정**

직사각형단면의 부재에 축방향 인장력 및 휨모멘트를 받는 경우와 축방향 압축력 및 휨모멘트를 받는 경우에는 표 3.3.18 또는 표 3.3.19의 각 경우에 대응한 산출식에 의하여 필요철근량을 개략적으로 결정할 수 있다. 단, 이렇게 정한 철근량에 대해서는 응력검산을 할 필요가 있다.



주) 표 3.3.18의 경우 I 은 축방향 인장력 N이 철근의 내측에 작용할 때로서, 이 경우는 단면 전체에 작용하는 인장력을 모두 철근이 받는 것으로 보고 철근량을 계산한다.

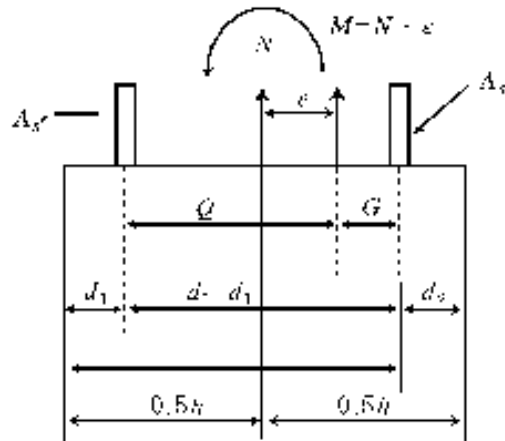
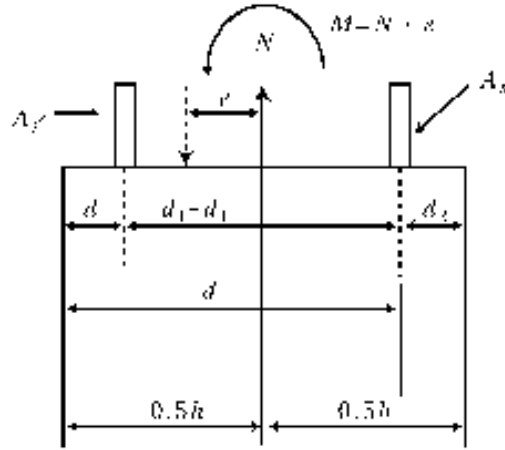


표 3.3.19 직사각형단면에 축방향 압축력과 휨모멘트를 받는 경우의 계산식

경우 I: $e \leq \left(\frac{h}{2} - \frac{d}{3}\right)$ (인장철근 불필요)	
경우 I-A: $(0 \leq e \leq \frac{h}{6})$	경우 I-B: $\frac{h}{6} < e \leq \left(\frac{h}{2} - \frac{d}{3}\right)$
$f_{c1} = \frac{N}{bh} \cdot \left(1 + \frac{6e}{h}\right)$ $f_{c2} = \frac{N}{bh} \cdot \left(1 - \frac{6e}{h}\right)$	$f_{c1} = \frac{4}{3} \cdot \frac{N}{b(h-2e)}$
경우 II: $e > \left(\frac{h}{2} - \frac{kd}{3}\right)$ (인장철근 필요)	
$M_1 = M + N(d - 0.5h), \quad M_2 = 0.5 f_{ca} \cdot k \cdot j \cdot b \cdot d^2, \quad M_3 = M_1 - M_2$	
경우 II-A: $(M_1 \leq M_2)$ (압축철근 불필요)	경우 II-B: $(M_1 > M_2)$ (압축철근 필요)
$A_{s'} = 0, \quad A_s = \frac{M_1}{f_{sa} \cdot j \cdot d} - \frac{N}{f_{sa}}$	$A_{s'} = \frac{M_3}{f_{sa}} \cdot \frac{n}{n-1} \cdot \frac{d(1-k)}{(kd-d_1)(d-d_1)}$ $A_s = \frac{M_2}{f_{sa} \cdot j \cdot d} + \frac{M_3}{f_{sa}(d-d_1)} - \frac{N}{f_{sa}}$

주) 표 3.3.19의 경우 I-A는 직사각형단면의 어느 곳에도 인장력이 생기지 않는 경우로 그 때의 최대 및 최소 압축응력의 산정식을 나타낸 것이며, 경우 I-B는 인장철근층의 연응력(緣應力)이 인장되는데 인장철근 위치에서 응력이 0이 되는 범위까지의 최대 압축응력을 산정하는 계산식을 나타낸 것이다. 따라서 경우 I-A 및 경우 I-B는 어느 것이나 인장철근이 필요 없다.

$\frac{h}{2} - \frac{d}{3} < e \leq \frac{h}{2} - \frac{k \cdot d}{3}$  인 경우에는 인장철근량을 적당하게 가정한 다음 중립축을 계산해서 압축연응력 및 인장철근의 응력을 구하여 각각 허용응력 이내에 있는지를 확인해야 한다. 단, 단면내의 최대압축응력  $f_{c1}$  이 콘크리트의 허용응력을 초과하는 경우에는 압축철근을 삽입해야 한다.



#### 바. 철근의 간격

철근의 간격은 부재의 종류 및 치수, 골재의 최대치수, 철근의 크기 등에 따라 다르지만, 철근의 조립 및 콘크리트의 타설철근과 콘크리트와의 부착강도 등을 고려해서 정해야 한다.

1) 보에서 철근의 수평간격은 2.5cm 이상이고, 굵은 골재 최대치수의 4/3배 이상, 철근의 지름 이상으로 한다. 정철근 또는 부철근을 2단 이상으로 배치하는 경우에는 일반적으로 그 연직 순간격을 2.5cm 이상으로 해야 하고, 상하 철근은 동일 연직면내에 두어야 한다.

2) 슬래브에서 주철근의 중심간격은 최대휨모멘트의 단면에서 슬래브 두께의 2배 이하, 30cm 이하로 한다. 기타의 단면에서는 슬래브 두께의 3배 이하, 40cm 이하로 하는 것이 바람직하다.

3) 기둥에서 축방향철근의 순간격은 4cm 이상, 굵은 골재 최대치수의 1.5배 이상, 철근 지름의 1.5배 이상으로 한다.

4) 이형철근을 묶어서 배치하는 경우의 철근 간격은 묶은 철근 단면적의 합과 같은 단면적 1개의 철근으로 간주하고 (1)~(3)을 적용한다.

#### 사. 철근의 덮개

철근의 덮개는 구조물의 중요도, 현장 상황 등에 의해 결정해야 하며, 일반적으로는



건설교통부 제정 「콘크리트구조설계기준」에 규정한 수치 이상이 되어야 한다.

- 1) 일반적으로 철근의 덮개는 철근의 지름 이상으로 해야 한다.
- 2) 지중에 직접 타설되는 확대기초, 플룸, 암거, 사이펀 등의 바닥판 외측 덮개는 8.0cm 이상으로 한다.
- 3) 그 밖의 부재에서 되메움하여 직접 흙에 접하는 부분, 유수에 접하는 경우 및 기상작용이 심한 경우의 덮개는 철근 직경 D29 이상일 때 6cm 이상, 직경 25mm 이하일 때 5cm 이상, D16 이하일 때는 4cm 이상으로 한다.
- 4) 해수의 작용을 받는 구조물에 대해서는 철근콘크리트의 피복 덮개를 일반적으로 8.0cm 이상, 모서리에서는 10cm 이상으로 한다.
- 5) 수중에서 시공하는 철근콘크리트의 덮개는 10cm 이상으로 한다.
- 6) 유수 또는 그 밖의 경우에 마모될 염려가 있는 부분의 철근 덮개는 적당하게 늘려야 한다.
- 7) 이형철근을 묶어서 배치하는 경우의 철근 덮개는 묶은 철근 단면적의 합과 같은 단면적 1개의 철근으로 보고 (1)~(6)를 적용한다.

#### 아. 철근의 이음

철근의 이음은 구조상 약점이 되기 때문에 가능한 범위에서 이어대지 말고 긴 철근을 사용하는 것이 좋지만, 공장제품 철근의 최대길이가 10m 정도이므로 부득이 철근을 이어서 사용할 경우가 생긴다.

철근을 이을 때는 철근의 힘을 원활하게 전달시키기 위해서 맞이음 용접(직경 35mm 이상인 경우)을 하거나 겹이음 하여 직경 0.9mm 이상의 풀림철선으로 몇 군데 잘 묶어야 한다.

철근이음에 대한 강도설계법 및 허용응력설계법의 자세한 내용은 「도로교 설계기준」을 참조한다.

#### 자. 표준갈고리와 철근 구부리기

1) 표준갈고리 (콘크리트 구조설계기준 참조)

- 가) 반원형 갈고리는 반원 끝에서 철근 직경의 4배 이상 또는 6cm 이상 더 연장해야 한다 (그림 3.3.10(a) 참조).
- 나) 90°갈고리는 90°원의 끝에서 직경의 12배 이상 더 연장해야 한다 (그림 3.3.10(b) 참조).
- 다) 스테럽과 띠철근에서 90°갈고리 또는 135°갈고리는 철근 직경의 6배 이상 또는 6cm 이상 더 연장해야 한다 (그림 3.3.10(c) 참조).

표준갈고리 철근의 구부리는 내면 반경은 표 3.3.20의 값 이상이어야 한다. 단,  $f_y$

가 27.44 kN/cm<sup>2</sup>를 초과하는 경우에는 10mm, 16mm까지 표준갈고리 철근의 내면 반경은 철근 직경의 3배 이상이어야 한다.

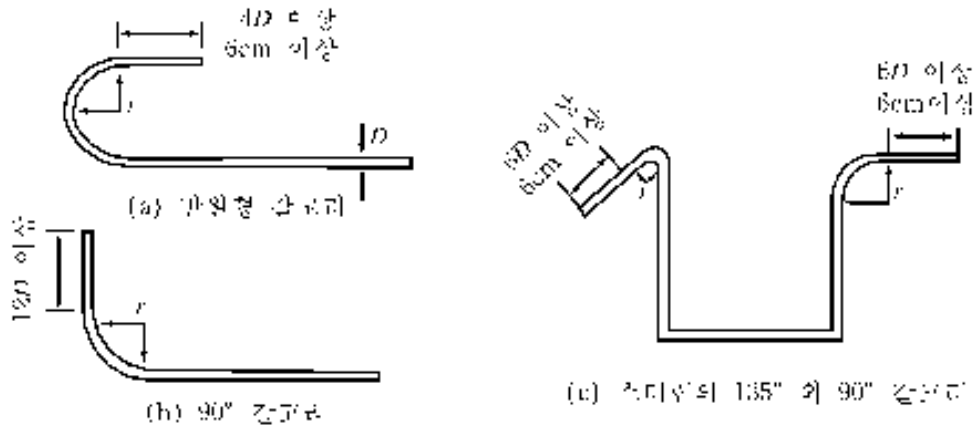


그림 3.3.10 표준갈고리

표 3.3.20 표준갈고리의 최소 반경

철근의 공칭 직경 (mm)	최소 반경
D10 ~ D25	철근 직경의 3배
D29 ~ D35	철근 직경의 4배
D38 이상	철근 직경의 5배

## 2) 철근 구부리기

표준갈고리 이외의 부분에서 철근을 구부리는 방법은 다음과 같다.

- 가) 스테럽이나 띠철근에서 내면 반경은 철근 직경 이상이어야 한다.
- 나) 절곡철근의 구부리는 내면 반경은 철근 직경의 5배 이상으로 해야 한다.
- 다) 라멘 구조의 모서리 부분 외측에 연하는 철근의 구부리는 내면 반경은 철근 직경의 10배 이상으로 해야 한다 (그림 3.3.11(b) 참조).
- 라) 기타 철근의 구부리는 내면 반경은 표 3.3.20에 규정된 표준갈고리 반경 이상으로 해야 하지만, 큰 응력을 받는 곳에서 철근을 구부릴 때는 그 구부리는 반경을 더 크게 하여 철근 반경 내부의 콘크리트가 부서지는 것을 방지해야 한다.

또한 현치, 라멘 부재의 접합부 안쪽에 연하는 철근을 슬래브 또는 보의 인장 철근을 구부려서 사용해서는 안 되며 (그림 3.3.11(a) 참조), 현치에 연해서 별개의 곧은 철근을 사용해야 한다 (그림 3.3.11(b) 참조). 그러나 아치와 같

이 인장철근이 꼭면에 따라서 배치되고 스테럽으로 이동을 방지하도록 되어 있는 것은 지장이 없다.

마) 모든 철근은 상온에서 구부려야 한다. 콘크리트 속에 일부가 매립된 철근은 현장에서 구부리지 않는 것을 원칙으로 한다.

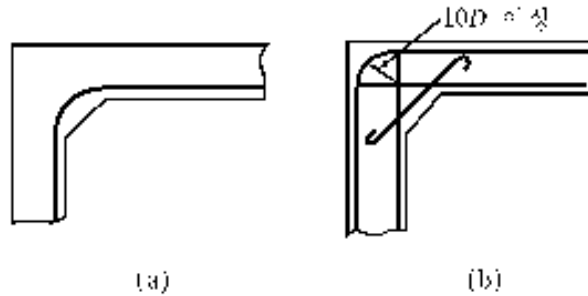


그림 3.3.11 현치에 대한 철근

#### 차. 최소 또는 온도철근량

아주 작은 수로구조물을 제외하고 일반 구조물에 필요한 최소 또는 온도철근량을 결정하는 기준은 다음의 범위를 표준으로 한다. 단, 배력철근의 최소량은 온도철근량으로 한다. 다음에 표시하는 백분율(%)은 콘크리트 부재의 전단면적에 대한 비율을 나타내는 것으로 부재의 두께 45cm를 한도로 해서 철근량을 계산한다.

##### 1) 단철근의 경우

- 가) 3.5 ~ 4.5m 간격으로 맹(盲)줄눈을 둔 두께 10cm 이하의 철근콘크리트 라이닝: 0.10%
- 나) 이음매의 간격이 9m 이하이고 동결이나 직사광선을 받지 않는 슬래브나 라이닝: 0.15 ~ 0.25%
- 다) 이음매의 간격이 9m 이하이고 동결이나 직사광선을 받는 슬래브나 라이닝: 0.20 ~ 0.30%
- 라) 이음매의 간격이 9m 이상이고 상기 2)의 경우: 0.25 ~ 0.35%
- 마) 이음매의 간격이 9m 이상이고 상기 3)의 경우: 0.30 ~ 0.40%
- 바) 벽 및 기타의 구조 부재에 대해서는 다음 항에서 기술하는 양면에 필요한 철근량의 총량과 동일한 수평철근을 사용한다.

##### 2) 복철근의 경우

- 가) 이음매의 간격이 9m 이하이며 흙에 접하는 면: 0.10%
- 나) 이음매의 간격이 9m 이하이며 흙에 접하지 않고 동결이나 직사광선을 받지

않는 면: 0.15%

다) 이음매의 간격이 9m 이하이며 흠에 접하지 않고 동결이나 직사광선을 받는 면: 0.20%

라) 이음매의 간격이 9m를 넘는 경우에는 그 방향의 철근량을 각각 상기 수치에 0.05%를 추가한다.

마) 슬래브의 1단이 고정되어 있는 경우는 고정단에서 자유단까지 길이의 2배가 9m를 초과하는지의 여부에 따라 1)~4)를 준용한다.

### 카. 부재의 최소두께

일반적으로 수로구조물 부재의 최소두께는 시공성 및 수밀성 등에 의하여 정해진다. 시공상으로 높이 2.0m 이상의 연직벽에서는 복철근이 되는 경우가 많다. 복철근이 되는 경우에는 최소두께를 20cm로 하고 단철근이 되는 경우에는 최소두께를 15cm로 한다. 사이편 등 수압이 걸리는 구조물의 경우는 시공 및 수밀성을 고려할 때 벽의 두께를 20cm 이상으로 해야 한다.

### 타. 이음매

이음매는 그 목적에 따라 시공, 수축 및 신축의 3종류로 분류되며, 구조물의 종류, 규모, 입지조건 등에 따라 각각 적절한 위치, 간격 및 형식을 선정해야 한다. 일반적으로 이음매는 구조물의 강도 및 외관을 해치지 않도록 하며, 내부 응력이 작은 곳에 콘크리트가 받는 압축력의 방향과 직각으로 두는 것을 원칙으로 한다.

#### 1) 시공이음매

구조물의 형식, 규모, 그 밖에 시공 등의 형편에 따라 연속해서 콘크리트를 타설할 수 없는 경우에는 시공이음매를 둔다.

가) 이음매의 위치는 구조물의 형식, 규모, 그 밖에 시공의 요소에 따라 결정되는데 구조물에는 가능한 한 전단응력이 작은 점에 둔다.

나) 전단력에 대해서 안전을 도모하는 경우에는 V자형 홈으로 수직이음 또는 이형철근을 사용한다. 사이편 관체와 같이 내수압을 받는 구조물에서 물의 흐름에 대해 직각방향의 시공이음매에는 지수관을 삽입한 수밀성 구조로 한다.

#### 2) 수축이음매

콘크리트의 수축에 의한 균열을 방지하기 위해 수축이음매를 둔다. 일반적으로 사이편, 암거, 터널 등의 지표에 노출되지 않는 매설구조물에서는 수축이음매가 주체가 된다.

이음매의 위치는 구조물의 종류, 기초, 기타 시공의 요소 등에 의해 결정된다. 소규모 수로나 10cm 이하의 얇은 콘크리트 라이닝에서는 3~5m 간격으로 하고 그 밖의

수로구조물에서는 9m를 표준간격으로 한다. 부등침하 또는 지진시에 구조물의 이동을 방지하기 위해 V자형 홈을 두거나 이형철근을 사용한다.

### 3) 신축이음매

콘크리트의 신축에 의한 균열을 방지하기 위해 신축이음매를 둔다. 일반적으로 지표에 노출되는 구조물에 마련하지만, 지표에 노출되지 않는 구조물에서도 시공 중의 견습, 온도변화 등에 의한 신축에 의해 균열이 발생할 염려가 있는 경우에는 신축이음매를 둘 수 있다.

가) 이음매의 위치는 구조물의 종류, 기초, 그 밖의 시공요소 등에 따라 정해지며, 원칙적으로 구조, 단면 및 형식의 변화지점에 둔다. 예를 들어 개방완화공의 앞뒤는 구조의 변화지점이므로 신축이음매를 둔다. 플룸 등 지표에 노출되는 구조물의 경우 신축이음매의 간격은 27m 정도를 표준으로 한다.

나) 이음매의 공극에는 이음매판을 삽입하며 원칙적으로 지수판을 사용한다. 또한 부등침하나 지진시에 구조물의 이동을 방지하기 위하여 V자형 홈을 두거나 이형철근을 사용한다.

## 파. 수밀구조

수밀성이 요구되는 철근콘크리트 구조물에서는 균열이 생기는 것을 방지할 수 있도록 배근, 타설이음매 및 신축이음매의 간격과 배치 등을 정해야 한다.

### 하. 지수벽

지수벽은 구조물의 둘레에서 물이 침투하는 것을 방지할 필요가 있는 경우에 설치하고, 일반적으로 개수로에 접속하는 개방완화공의 양단 등에 설치한다.

#### 1) 구조 및 표준치수

지수벽의 구조 및 표준치수는 표 3.3.21에서 보는 바와 같다.

표 3.3.21 지수벽의 표준치수

수 심 (cm)	깊 이 (cm)	두 께 (cm)
90 이하	60	15
90 ~ 180	75	20
180 이상	90	20
소구조물	45	15

#### 2) 철근

연직방향의 철근은 개방완화공의 배력철근과 동일한 크기로 하고 벽의 중심에 삽입한다.

### 가. 헌치 (Haunch)

헌치는 구조물의 직각 또는 예각의 우각부(隅角部)에 설치하고 이 부분의 응력집중을 방지함과 동시에 부재의 강도를 증가시키기 위해 설치한다.

헌치는 박스형 단면 또는 연직옹벽의 규모에 따라 표 3.3.22의 값을 표준으로 한다. 또한 헌치의 내측에는 보강을 위해 그림 3.3.12와 같이 헌치 내측에 따라 배근해야 하며, 이 때 인장철근을 절곡(折曲)하여 배근해서는 안 된다.

표 3.3.22 라멘의 헌치 및 내측 보강철근

박스형단면의 치수 (cm)	연직옹벽의 높이 (cm)	헌치의 크기 (cm)
150 미만		7.5 ~ 10 × 7.5 ~ 10
150 ~ 250	100 ~ 250	15 × 15
250 이상	250 이상	20 × 20

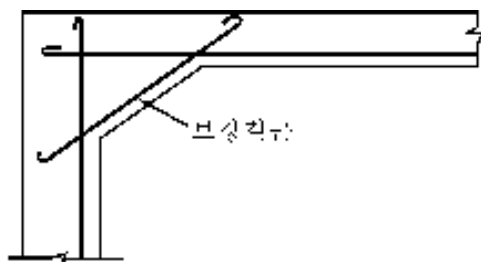


그림 3.3.12 라멘의 헌치 및 내측 보강철근

### 나. 모따기

부재의 모서리는 모따기 할 필요가 있다. 특히 한랭지, 기상작용이 심한 곳 등에서는 모따기의 크기에 대해서도 고려해야 한다.

### 3.3.7 토공구조물

성토나 지반의 굴착에 의해서 축조된 흙수로 및 라이닝 수로 등의 토공구조물에 대해서는 수로의 기능을 유지하기 위하여 침하, 사면붕괴 등에 대해서 충분히 안전하도록 검토해야 한다.

### 가. 성토재료의 선정

성토재료는 그 우열이 시공의 난이와 완성후 성토의 성질에 크게 영향을 끼치므로 경제적으로 가능한 범위 내에서 양질의 재료를 선택해야 한다. 또한 성토는 토취장 조건, 사토장 조건, 굴착토의 이용 등 토공 계획에 따라 공사비가 좌우되므로 계획시 성토에 굴착토를 이용하는 것을 가장 우선적으로 검토해야 한다.

성토재료는 성토고, 성토형식, 사용위치, 시공방법 등에 따라 그 적부를 정하지만 기본적으로는 다음 조건을 만족시키는 재료를 써야 한다.

- ① 시공기계의 주행성능이 확보된다.
- ② 성토 비탈면의 안정에 필요한 전단강도를 갖는다.
- ③ 성토의 압밀침하가 완성후의 수로에 악영향을 끼치지 않는다.
- ④ 라이닝을 하지 않는 수로와 같이 성토 자체로서 누수를 방지해야 하는 경우에는 그에 필요한 불투수성이 확보될 수 있는 토질재료이어야 한다.
- ⑤ 라이닝 수로의 라이닝 부분에 접하는 성토의 토질재료는 라이닝의 손상이나 누수의 방지 목적에 따라서 적당한 입도나 불투수성 또는 배수성을 만족시켜야 한다.
- ⑥ 옹벽형 수로나 라이닝 수로에서 지하수를 배제하여 부력 또는 양압력을 경감시키는 층을 설치하는 경우에는 필터로서의 조건을 만족시키는 토질재료 또는 인공재료를 쓴다.

### 나. 흙쌓기의 다짐조건

토질재료의 다짐밀도는 소요 전단강도를 만족시키는 밀도로 한다. 또한 누수방지를 목적으로 하는 경우에는 적당한 불투수성이 유지될 수 있도록 밀도 및 함수비로 다짐 필요가 있다. 규모가 큰 성토를 갖는 수로에서는 다짐시험, 전단시험, 투수시험 등을 실시하여 다짐밀도, 함수비 등의 설계치나 시공조건을 결정하는 것을 원칙으로 한다. 단, 소규모 수로에서는 경험적 지식에 의한 판단에 따라 다짐밀도, 함수비 등의 설계치를 결정할 수 있다.

### 다. 사면안정 검토

일반적인 수로에서는 기존 수로비탈면 또는 도로토공, 비탈면공, 사면안정공 등의 지침에 비탈면기울기를 참고해서 당해 수로의 규모, 구조, 토질 등의 여러 조건으로부터 경험적인 판단에 의해 토공구조물의 비탈면기울기를 결정한다. 특히 토공구조물에서 사면안정검토가 필요한 경우에는 원호활동면 또는 복합활동면 등에 의해 안정성을 검토한다.

이러한 검토는 라이닝수로나 라이닝을 하지 않는 수로의 안비탈면, 성토의 바깥비

탈면, 본바닥 산지의 굴착비탈면 등 비탈면의 역학적 안정을 흩이 지탱하는 경우에 실시한다. 즉 흩의 단위중량, 전단강도정수 등의 설계치를 사용하여 유효응력법 또는 전응력법에 의해 활동에 대한 안정성을 검토한다. 경사진 암반상의 비탈면이나 토질이 다른 층으로 구성된 비탈면의 경우는 지하수의 작용과 비탈면 안정에 대한 특별한 검토가 필요하다. 또한 대규모의 성토를 갖는 수로 등 특히 중요한 수로구조물에 있어서는 필요에 따라 지진에 대해서도 검토한다.

원호활동면법(분할법)에 의한 안정계산방법은 원의 중심에 대한 각 분할편의 활동면에 작용하는 활동모멘트와 저항모멘트의 합계의 비에 따라서 안전율을 정의한 것으로 식 (3.3.21)과 식 (3.3.22)에 의하여 구한다.

1) 전응력 표시에 의한 전단강도 정수  $c$ ,  $\emptyset$ 를 이용하는 경우

$$F_s = \frac{\sum [c \cdot l + (N - N_e) \tan \emptyset]}{\sum (T + T_e)} \text{-----}(3.3.21)$$

2) 유효응력 표시에 의한 전단강도 정수  $c'$ ,  $\emptyset'$ 를 이용하는 경우

$$F_s = \frac{\sum [c' \cdot l + (N - U - N_e) \tan \emptyset']}{\sum (T + T_e)} \text{-----}(3.3.22)$$

여기서,  $F_s$ : 안전율

$c, c'$ : 각 분할편 활동면 재료의 점착력 ( $\text{kN/m}^2$ )

( $c$ : 전응력을 표시함,  $c'$ : 유효응력을 표시함.)

$\emptyset, \emptyset'$ : 각 분할편 활동면 재료의 내부마찰각 ( $^\circ$ )

( $\emptyset$ : 전응력을 표시,  $\emptyset'$ : 유효응력을 표시함.)

$l$ : 각 분할편 활동면의 길이 (m)

$N$ : 각 분할편 활동면상에 작용하는 하중합력의 수직분력 ( $\text{kN/m}$ )

$T$ : 각 분할편 활동면상에 작용하는 하중합력의 접선분력 ( $\text{kN/m}$ )

$N_e$ : 각 분할편 활동면상에 작용하는 지진하중의 수직분력 ( $\text{kN/m}$ )

$T_e$ : 각 분할편 활동면상에 작용하는 지진하중의 접선분력 ( $\text{kN/m}$ )

$U$ : 각 분할편 활동면상에 작용하는 간극수압 ( $\text{kN/m}$ )

상세한 내용은 「농업생산기반정비사업계획설계기준 댐편」 참조

### 3.3.8 연약지반



토질이 연약지반인 경우에는 지반의 침하, 변형, 파괴 등에 대해 검토하고 수로에 악영향을 끼칠 것으로 판단될 때에는 적절한 대책공법을 강구해야 한다.

### 가. 일반사항

수로의 노선 예정지에 연약지반이 있고 그 위에 부득이 수로를 축조해야 되는 경우에는 기초지반 및 수로의 안전성이나 침하에 대해 검토하고 지반 개량이나 기초공 등의 대책을 강구해야 한다. 역학적인 검토는 지반의 활동파괴, 압밀침하, 부등침하, 지진시의 액상화, 기타 필요한 경우에 대해 실시해야 한다. 또한 지반처리공법이나 기초공법은 경제적이며, 지반 및 수로의 구조와 규모에 적합한 방법을 선정해야 한다. 특히 수로가 완성된 후 수년에 걸쳐 침하가 진행되는 지반에 대해서는 설계수위를 유지할 필요를 고려하여 대책을 강구해야 한다,

지반이 연약한가의 여부는 토질분류, 자연함수비, 일축압축강도, 표준관입시험 등의 결과로부터 표 3.3.23 및 표 3.3.24에 의해 대략 판단한다. 보통 연약지반은 밀도가 낮은 사질토층, 함수비가 높은 점토층과 실트층, 공극이 큰 유기질토 등이다. 연약지반 중에서 하중에 의해 장기간에 걸쳐 서서히 압밀침하를 일으키는 지반은 점토, 실트 및 유기질토이며, 지진시에 액상화되기 쉬운 지반은 밀도가 낮은 사질토이다.

표 3.3.23 세립토의 자연함수비에 의한 구분

자연함수비 (%)	일축압축강도 (N/cm <sup>2</sup> )	적용토	성토의 안정 및 침하
40 이하	5.88 이상	깊은 위치에 있는 압밀이 진행된 충적점토, 건조한 표토, 화산회토를 제외한 홍적점토	침하나 안정에 대해서 거의 문제가 없다.
40 ~ 70	5.88 ~ 3.92	일반적인 충적점토	침하에 대해 검토할 필요가 있으며, 성토가 높아지면 안정성이 문제가 된다.
70 ~ 100	3.92 이하	비교적 얇은 위치에 있는 충적점토 (유기물이 혼합되어 있는 경우가 많음)	침하에 대한 대책이 필요하며, 안정에 대해서도 주의해야 한다.
100 ~ 300	3.92 이하	유기물이 많은 충적점토	안정대책에 대하여 충분한 검토가 필요하다. 전침하량 및 잔류침하량이 크다.
300 이상	2.94 이하	유기질토	안정대책에 대하여 충분한

			검토가 필요하다. 전침하량 및 잔류침하량이 극히 크다
--	--	--	-------------------------------

표 3.3.24 기초지반의 허용지지력

지 반		허용지지력도 (N/m <sup>2</sup> )	비 고	
			N 값	일축압축강도 q <sub>u</sub> (N/cm <sup>2</sup> )
암 석		980	100 이상	
자갈층	조밀함	588		
	조밀하지 않음	294		
사질 지반	조밀함	294	30 ~ 50	
	중간 정도	196	20 ~ 30	
		98	10 ~ 20	
	느슨함	49	5 ~ 10	
	아주 느슨함	0	5 이하	
점토질 지반	아주 단단함	196	15 ~ 30	24.5 이상
	단단함	98	8 ~ 15	9.8 ~ 24.5
	중간 정도	49	4 ~ 8	4.9 ~ 9.8
	연약함	19.6	2 ~ 4	2.45 ~ 4.9
	아주 연약함	0	0 ~ 2	2.45 이하

#### 나. 검토의 기본방침

연약지반상에 수로를 설계하는 경우에는 우선 하중에 의한 접지압을 경감시키는 방법을 검토하고 그 다음에 조건에 맞추어 지반처리공법이나 기초공법을 검토한다. 또한 침하는 하중에 의한 지반의 압밀현상에 기인하는 경우 외에 지하수의 채수나 유기물의 분해작용 등에 의한 경우도 있다. 침하에 대해서는 될 수 있는 대로 이것을 억제하거나 원활하게 대응할 수 있는 수로구조로 하는 것이 바람직하다. 종단방향에 대해서는 지반의 토질이나 층의 두께가 변화하기 때문에 수로에 지장을 초래할 만한 부등침하가 생기지 않도록 설계하는 것이 중요하다. 특히 연약지반과 그렇지 않은 지반의 경계 부근에 대해 주의해야 한다.

지진에 의한 지반의 액상화는 지하수면 이하의 느슨한 사질지반에 생길 가능성이 있다. 액상화의 가능성이 있는 경우에는 수로의 규모나 중요성과 파괴 손상되었을 경우의 복구공사비나 사회적 영향 등을 고려하여 대책공사 시행여부를 결정한다.

### 다. 압밀침하에 관한 검토

일차원압밀을 받는 점토층의 최종침하량 및 침하속도에 대해서 다음과 같은 방법으로 검토한다.

- 1) 연약한 불투수층의 두께와 투수층의 위치 등의 지질구조, 입도, 컨시스턴시, 함수비, 단위중량, 간극비, 포화도 등 흙의 성질이나 상태 및 지하수위 등을 조사한다.
- 2) 점토층에서 대표적인 불교란시료를 채취해서 압밀시험을 실시하여 침하계산에 필요한 간극비 ( $e$ ) -하중강도 ( $P$ ) 곡선, 압밀계수 ( $C_v$ ) 등의 여러 계수를 구한다.
- 3) 점토층 속에 현재 발생하고 있는 유효응력  $P_1$ 을 산정한 다음 점토층 위에 축조되는 수로구조물에 의해 점토층 속에 생기는 유효응력  $P_2$ 를 구한다. 압밀시험에 의하여 구한 간극비 ( $e$ )-하중강도 ( $P$ ) 곡선으로부터 하중강도가  $P_1$ 에서 ( $P_1 + P_2$ )로 증가하므로 점토층 속에 발생하는 간극비의 변화와 압밀되는 점토층 초기의 두께로부터 최종 압밀침하량을 계산할 수 있다. 최종 압밀침하량  $S$ 는 식 (3.3.23)에 의하여 구할 수 있다.

$$S = \frac{e_o - e}{1 + e_o} H_o \quad \text{-----} \quad (3.3.23)$$

여기서,  $S$ : 최종 압밀침하량 (cm)       $e$ : 구조물 축조후의 최종 간극비  
 $e_o$ : 구조물 축조전의 간극비       $H_o$ : 압밀되는 토층의 두께 (cm)

- 4) 압밀이론에 의해 압밀속도를 계산한다. 비교적 균일하고 재하면이 넓은 경우에는 테르자기(Terzaghi)의 1차원 압밀이론에 의해 압밀시험에서 구한 여러 계수를 사용하여 계산한다. 기초 이론식은 식 (3.3.24)와 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = C_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad \text{-----} \quad (3.3.24)$$

여기서,  $z$ : 임의의 위치 (m)       $t$ : 임의의 시간 (s)  
 $u$ : 과잉간극수압 (98.1 kPa)       $C_v$ : 압밀계수 ( $m^2/s$ )

위의 식을 실제로 적용하려면 과잉간극수압  $u$ 에 대한 초기조건과 경계조건을 부여하여 풀고 임의의 시각  $t$ 에 있어서  $z$ 의 위치에서 과잉간극수압  $u$ 를 계산하고 압밀도  $U$ 를 [ $U = (1 - \frac{u}{P}) \times 100 (\%)$ ]식에 의하여 구한다.

점토층 속의 초기 과잉간극수압  $u_i$ 의 분포와 그에 대응한 시간계수  $T_v$  및 압밀

도  $U$  의 관계를 도시하면 그림 3.3.13 및 그림 3.3.14와 같다.

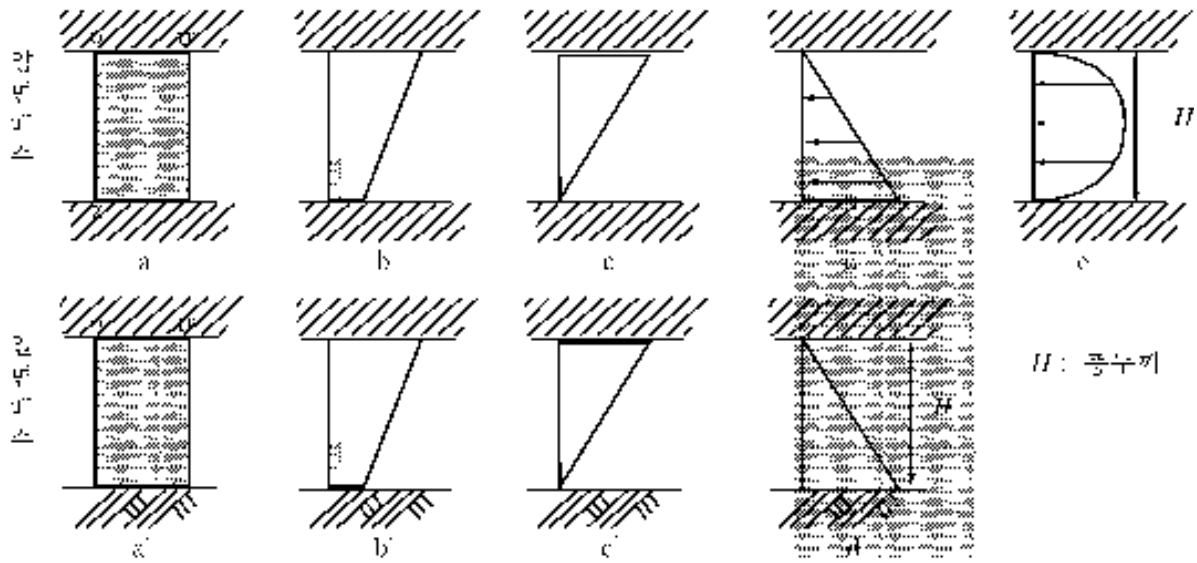


그림 3.3.13 점토층 속의 초기 과잉간극수압 ( $u_i$ ) 분포 (압밀하중분포)

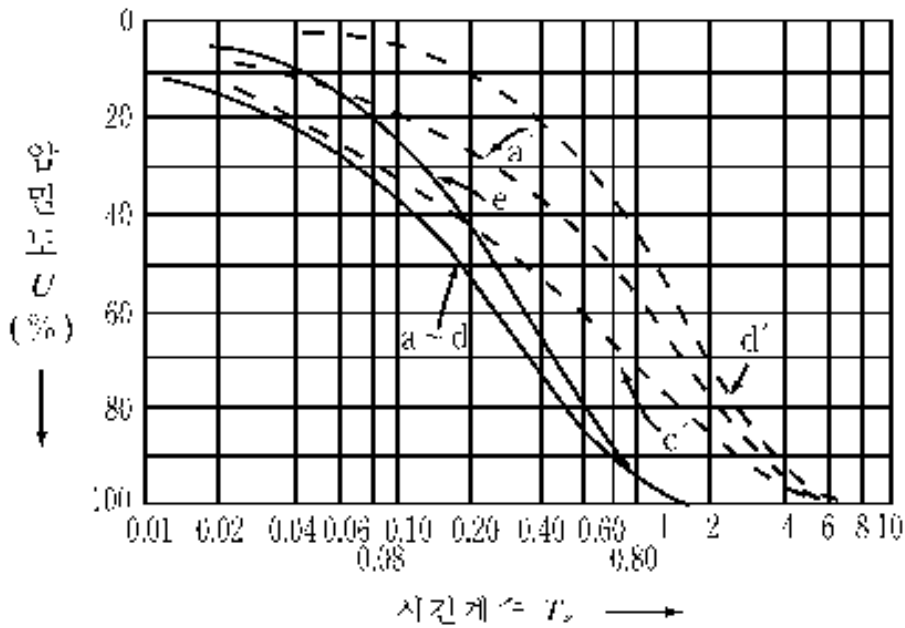


그림 3.3.14 시간계수  $T_v$  와 압밀도  $U$  와의 관계

시간계수  $T_v$  는 식 (3.3.25)와 같이 정의할 수 있다. 또한 어떤 압밀도  $U$  에 도달하는데 소요되는 실제의 시간  $t$  는 식 (3.3.26)에 의해 구할 수 있다.

$$T_v = C_v t / \left(\frac{H}{2}\right)^2 \quad \text{-----}(3.3.25)$$

$$t = \frac{\left(\frac{H}{2}\right)^2 \cdot T_v}{C_v} \quad \text{-----}(3.3.26)$$

여기서,  $T_v$ : 시간계수                       $C_v$ : 압밀계수 ( $\text{m}^2/\text{s}$ )  
 $t$ : 소요시간 (s)                       $H$ : 압밀되는 토층의 두께 (m)

상기한 1차원 압밀이론 외에 2, 3차원 압밀이론 등도 있으므로 현지조건에 적합한 해석법을 선정하는 것이 바람직하다.

### 라. 연약지반 처리공법

연약지반 처리공법은 기초의 변형, 활동 파괴, 침하 및 유동 등의 방지 또는 경감을 목적으로 하는 것에 따라 분류된다. 연약지반 처리공법은 각각의 목적에 따라 효과가 다르므로 이를 적용할 때는 수로의 구조나 현장조건 등을 충분히 검토한 후에 결정해야 한다.

개수로의 연약지반 처리공법은 다음과 같다.

#### 1) 치환공법

연약층이 비교적 얇은 경우에 적용되는 공법으로서 양질의 성토재료에 의해 전면적으로 치환하는 공법이다.

#### 2) 프리로딩 공법

성토 등에 의해 계획고 이상의 하중을 가해서 압밀을 촉진시켜 규정한 침하량에 도달하게 한 다음 이것을 제거하는 공법이다. 웰포인트 공법과 병용해서 지하수를 저하시켜 간접적으로 하중을 증가시키는 경우도 있다.

#### 3) 수직 드레인 (vertical drain) 공법

지중에 모래말뚝(砂杭)을 설치하여 수평방향의 압밀배수거리를 단축시켜 압밀침하를 촉진시키고 아울러 강도의 증가를 도모하는 공법으로 샌드 드레인(sand drain) 공법, 페이퍼 드레인(paper drain) 공법 등이 있다.

#### 4) 샌드 콤팩션 파일(sand compaction pile) 공법

충격하중이나 진동하중으로 모래를 지중에 밀어넣어 모래말뚝을 설치하여 연약층을 다지는 강제 치환공법으로 점성토지반에서는 샌드 드레인과 마찬가지로 압밀

을 촉진하는 효과도 있다. 또한 사질지반에서는 액상화 저항력을 높이는 효과가 있다.

5) 압성토 공법

지반의 상재 하중을 고르게 분포시켜 활동파괴에 대한 저항력을 크게 하기 위하여 성토본체의 비탈끝 부분에 성토하는 공법이다.

6) 안정처리공법

흙에 첨가제를 넣어 혼합해서 다진 다음 필요에 따라 양생하여 끝마무리하는 공법이다. 첨가제로서는 시멘트, 석회 또는 석회 플라이 애시, 역청제, 화학적 재료 등이 있다.

7) 기 타

상기한 공법과 병용하여 배수축진을 하기 위한 샌드매트 공법이 있으며, 그 외에도 약제주입공법 등의 고결공법 및 항타공법 등이 있다.

## 제 4 장 수로시설의 설계

### 4.1 수로시설의 분류

#### 4.1.1 일반사항

수로시설은 수로조직 전체의 기능 및 경제성을 지배하는 것으로 공중선정이나 수두배분 등의 수로조직설계에 있어 소요유량을 안전하고 경제적으로 통수할 수 있도록 수로의 이수(利水)조건이나 노선의 입지조건, 수리·구조상의 설계조건, 시공조건 등을 충분히 검토하여 이에 적절한 설계를 해야 한다.

수로의 기본적 역할은 물을 운반하는 것, 물을 배분(용수)하는 것, 물을 배제(배수)하는 것이며, 수로를 목적에 의해 분류할 경우 용수로, 배수로, 용·배수겸용수로, 용수계통에 의해 분류할 경우 간선수로, 지선수로, 지거수로, 형식에 의해 분류할 경우 개수로, 관수로 등으로 분류할 수 있다.

#### 4.1.2 수로시설의 구성 및 분류

##### 가. 통수시설

물을 송수하기 위한 수로부분을 구성하는 시설이며 개수로 및 관수로, 터널 및 암거, 잠관 및 수로교, 낙차공 및 급류공 등이 있다.

##### 나. 분수 및 조절시설

수로의 분수 및 합류, 필요한 용수량의 조절 배분 기능, 혹은 수로의 안전성을 확보하기 위하여 수로내의 수위, 수압, 유속, 유량을 조절하는 시설로 분수공, 양수시설, 제수공, 방수공, 물넘이, 조압시설 등이 있다.

##### 다. 보호 및 보안시설

수로시설 자체를 기능적, 구조적으로 보호 및 안전을 확보하기 위한 시설이며, 횡단 배수구조물, 유입구조물, 배수도랑, 울타리 등이 있다.

##### 라. 관리시설

물관리 및 수로 제어시설의 유지관리를 위한 시설로 관리용 도로, 관측시설, 제어시설, 통신시설, 제염시설, 관리건물 등이 있다.

## 4.2 개수로

### 4.2.1 개수로 형식의 선정

개수로 형식선정에 있어서는 공사비가 적게 들고 큰 유량변동에도 대응할 수 있으며 용수의 공급 및 관리에 무리가 없는 범위에서 그 형식을 채택함을 원칙으로 하고, 그 구조의 특성에 알맞도록 안전하고 경제적인 설계를 해야 한다.

개수로는 그 노선지형의 기복이 큰 곳을 통과할 때는 터널, 사이펀 등 여러 공종이 계획되는 관계로 공사비가 비싸지는 경우도 있지만 일반적으로 관수로에 비하여 건설비가 저렴한 편이어서 널리 적용되고 있는 수로형식이며 유량변동에 대한 자유도가 높으므로 배수로나 용·배수겸용수로에서 채택하는 일이 많다. 또 개수로는 개구부(開口部)가 전 노선의 많은 부분을 차지하므로 통수저해요인의 제거가 비교적 용이한 이점이 있으나 수로 도중에 쓰레기 투기가 많아 이를 방지하는 대책이 필요함은 물론, 인명사고 등에 대한 대책을 강구하여야만 되는 단점도 있다. 또한 유량변화에 대한 전달속도의 응답이 관수로 형식에 비하여 늦어서 긴 수로의 경우 정상상태가 되기까지는 상당한 시간이 필요하다. 따라서 유속변화에 의한 유량전달이 그리 늦어지지 않는 중소규모의 용수로에서는 용수의 이용 및 물관리에 무리가 없는 범위내에서 용수로 형식을 채택하는 것이 좋은 것으로 알려져 있다.

개수로는 낙차공, 급류공, 수로교, 잠관, 분수공, 방수공 등의 각종 구조물을 조합하여 수로계(水路系)를 구성하지만 용수로의 구조형식으로는 흡수로, 라이닝 수로, 옹벽형 수로로 구분한다 (그림 4.2.1 참조). 이 수로형식들은 수로의 기능, 규모, 지형, 경제성, 안전성 및 시공조건 등을 검토하여 선정한다. 개수로의 형식에 따른 특징은 다음과 같다.



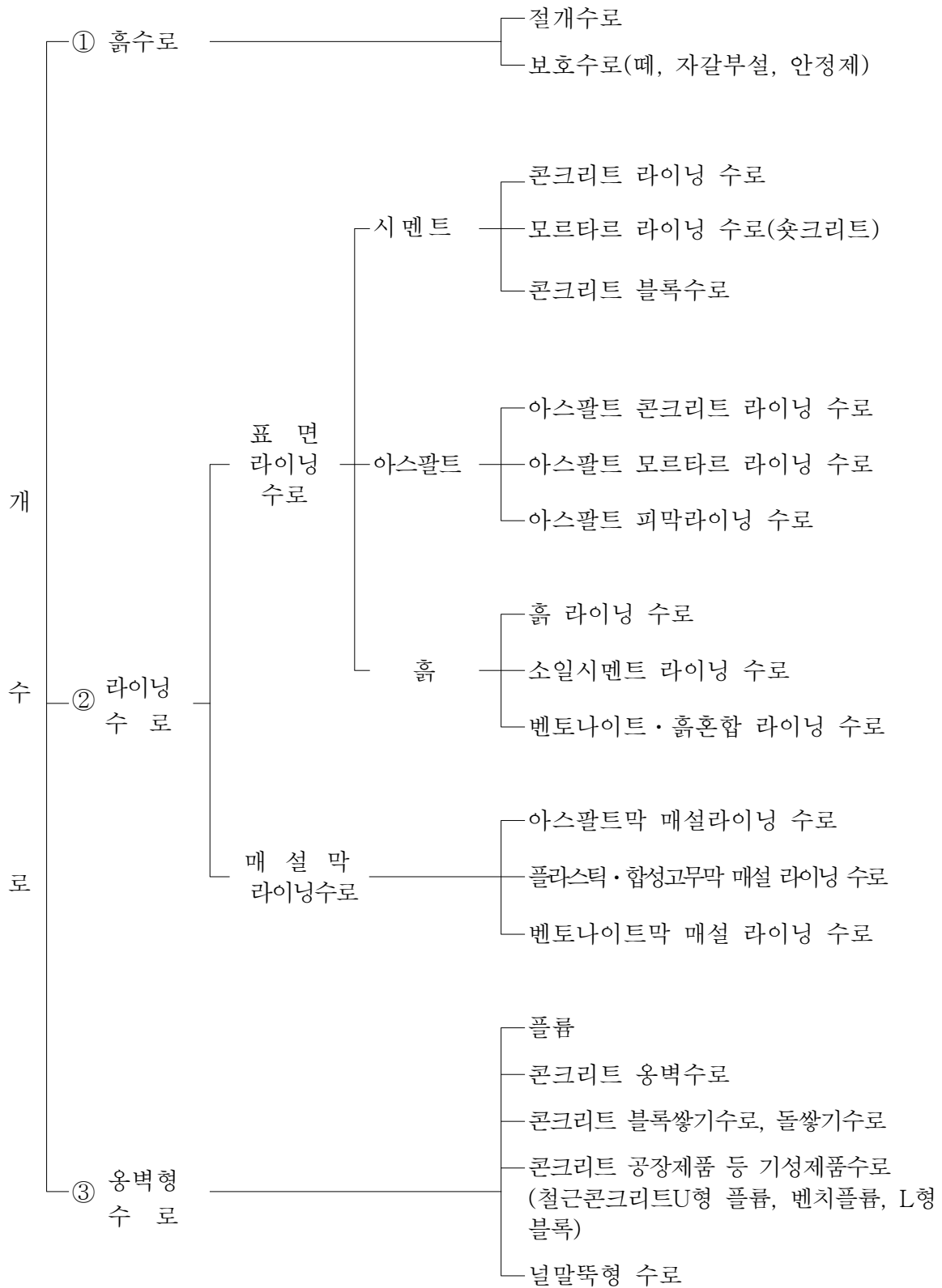


그림 4.2.1 개수로의 형식

### 가. 흙수로

수로단면이 순전히 굴착 또는 흙쌓기에 의해서 성형되며 수로내면의 통수부분에 특별한 시설을 하지 않은 수로를 말한다. 이 형식의 수로는 침식방지, 침투방지를 위하여 어떠한 처리도 하지 않은 절개수로와 떼붙임 등 식생에 의하여 침식방지공을 시행한 떼수로, 토질안정제, 자갈부설 등에 의해 침식방지 또는 침투방지를 위해 시공한 보호수로의 형식으로 분류된다.

### 나. 라이닝 수로

지반을 굴착 또는 흙쌓기를 하여 수로단면을 성형하고 통수면의 침식방지, 누수손실의 방지, 수로단면의 축소 및 수초 등으로 인한 통수장애의 방지를 목적으로 표면을 비교적 얇은 라이닝 재료로 피복한 수로를 말한다. 지형, 토질, 지하수 등의 입지 조건 외에 시공조건이 수로의 안전성에 크게 영향을 주므로 설계 및 시공은 신중을 요한다.

이 형식의 수로는 재료에 따라 시멘트, 아스팔트, 흙 등에 의해 포장한 표면라이닝 수로와 아스팔트 합성고무, 벤토나이트 등의 막을 부설하여 그 위를 자갈, 모래, 흙 등으로 피복한 매설막 라이닝 수로로 나눈다.

### 다. 옹벽형 수로

수로측면이 내수압 및 배면토압을 지지하는 벽으로 형성되며 구조적으로 측벽과 저판이 일체가 된 플립 수로, 블록이나 견치돌 등을 수로측면에 쌓은 블록쌓기나 돌쌓기 수로, 배면토압을 지지하는 콘크리트 옹벽에 의하여 만들어진 콘크리트 옹벽수로 및 패널 등 콘크리트 공장제품으로 조립되는 조립수로가 포함된다.

## 4.2.2 개수로 설계의 기본사항

### 가. 개수로의 단면형

개수로의 단면형을 결정할 때에는 수리구조 및 시공상 유리한 단면에 대하여 충분히 검토하고 가장 경제적인 단면을 선정한다.

일반적으로 수리, 침투 및 구조적으로는 비교적 깊은 단면이 유리하고 안정성, 경제성 면에서는 얇은 단면이 유리하나 이들이 원칙상에서 서로 상반되는 점은 수로의 종류, 목적, 지형 등을 고려하여 조정·결정한다.

#### 1) 수리상 유리한 단면

수리상 유리한 단면은 소정의 통수단면적(A)에 대하여 윤변(P)이 최소로 되는 경우 즉, 경심(R)이 최대가 되어 최대유속능력을 가진 수로단면이다. 또 이는 경제적으로도

유리한 경우가 많다. 사다리꼴 및 직사각형단면의 수리학적 유리한 단면은 식 (4.2.1)에 따른다.

$$b = 2H \cdot \tan \frac{\theta}{2}, \quad \ell = \frac{B}{2}, \quad R = \frac{H}{2} \quad \text{-----(4.2.1)}$$

$$H = \sqrt{\frac{A \cdot \sin \theta}{2 - \cos \theta}}$$

여기서,

- H: 최대수심 (m)
- B: 수면의 폭 (m)
- b: 수로의 저폭 (m)
- $\theta$ : 측벽과 수평면에 이루는 각도 (°), 직사각형단면  $\theta=90^\circ$
- A: 통수단면적(m<sup>2</sup>)
- R: 경심 (m)
- $\ell$ : 통수단면의 안비탈 길이 (m)
- m: 측벽의 기울기 (cot  $\theta$ )

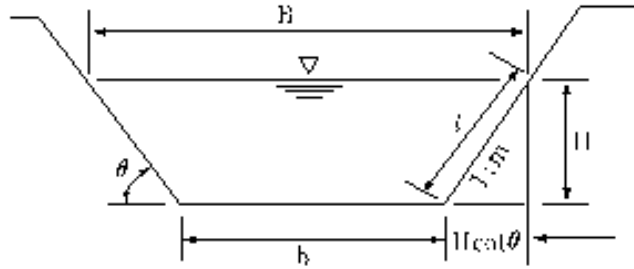


그림 4.2.2 사다리꼴 단면도

사다리꼴 및 직사각형 수로단면에서 비탈면기울기(m)에 대한 수리상 유리한 단면의 치수는 표 4.2.1과 같다.

표 4.2.1 수리학적으로 가장 유리한 단면의 치수

m	0.0	0.3	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0
$\theta$	90°	73°18'	63°26'	53°08'	45°	38°40'	33°41'	26°34'	21°48'	18°26'
sin $\theta$	1.000	0.958	0.894	0.800	0.707	0.625	0.555	0.477	0.371	0.316
cos $\theta$	0.000	0.287	0.447	0.600	0.707	0.781	0.832	0.894	0.928	0.949
$\ell / H$	1.000	1.044	1.118	1.250	1.414	1.600	1.803	2.236	2.696	3.165
m	0.0	0.3	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0
B/H	2.000	2.088	2.236	2.500	2.828	3.200	3.606	4.472	5.392	6.329
b/H	2.000	1.488	1.236	1.000	0.828	0.702	0.606	0.472	0.386	0.324
$H/\sqrt{A}$	0.707	0.748	0.759	0.756	0.739	0.716	0.689	0.636	0.589	0.549

주) 기호는 식 (4.2.1) 설명참조

2) 침투방지상 유리한 단면

수로의 침투손실량은 표토 및 하층토 성질, 지하수의 고저 외에 경심, 수심 등에 관계된다. 침투손실량은 수심의 평방근에 비례한다고 하면 침투손실이 최소가 되는 단면에 있어서 그 수로치수사이에는 다음 관계가 성립된다.

$$H = \sqrt{\frac{A \cdot \sin \theta}{4 - 3 \cos \theta}} \quad \text{---(4.2.2)}$$

$$b = 4H \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

상기 식을 조합하면 다음과 같다.

$$b = 4\sqrt{\frac{A \cdot \sin \theta}{4 - 3 \cos \theta}} \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad \text{---(4.2.3)}$$

여기서,

- $b$ : 수로의 저폭 (m)
- $H$ : 수심 (m)
- $\theta$ : 측벽과 수평면이 이루는 각도 (°)
- $A$ : 통수단면적 (m<sup>2</sup>)

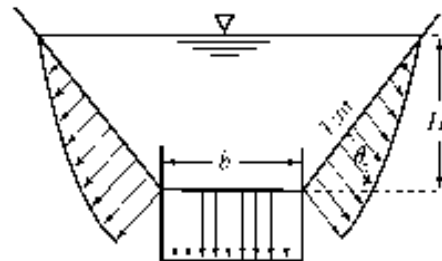


그림 4.2.3 사다리꼴 단면수로의 침투손실량 분포

즉, 최소침투단면의 저폭과 수심비는 수리상 유리한 단면일 경우의 2배이다.

3) 구조상 유리한 단면

플룸의 경우 수로의 단면형은 저폭과 수심비가 1:1 ~ 2:1 정도의 것이 유리한 것으로 되어 있어 많이 이용되고 있다. 이 이상의 비가 되는 경우에는 콘크리트 옹벽 또는 블록쌓기 수로 등의 수로벽이 자립하는 형식과 비교·검토하는 것이 좋다.

또 콘크리트 옹벽 등에서 좌우안의 하중조건이 크게 다른 경우에는 수로벽 구조가 좌우안에서 달라지는 형식이 되는 수도 있다.

4) 시공상 유리한 단면

굴착 심도, 성토 높이 등 지형조건이 시공상 제약조건으로 작용할 경우에는 이를 고려하여 단면을 검토하고, 주변입지 조건, 지상·지하 보상조건, 수로 구조의 시공성·경제성, 완성후 유지관리 등도 검토하여 개수로 단면형을 결정한다.

## 나. 기초지반의 처리

조사에 의해 파악된 기초지반의 상태에 따라 수로구조물의 안전성을 검토하여 적절한 설계를 해야 한다. 연약한 지반이 수로의 기초에 존재하는 경우 이를 피하여 계획하는 것이 바람직하나 수로의 선형상에서 경제성, 시공성 등의 제반조건상 부득이 계획하는 경우에는 적절한 지반개량공법 또는 기초공법을 선정하여 부등침하 등에 대한 방지대책을 강구하여 설계해야 한다.

### 1) 연약지반

지반이 연약하기 때문에 침하·활동이 일어나는 것은 상재하중에 의한 접지압의 증가, 지반의 압밀현상에 기인하는 외에 지하수의 양수나 유기물의 분해작용 등에 의한 경우도 있으므로 침하, 활동에 대한 장기적인 안전성을 검토한 후 그 처리방법을 결정해야 한다. 특히 연약지반과 그렇지 않은 지반과의 경계부근에서는 기초처리는 물론, 개수로의 구조자체에도 주의하여 설계해야 한다.

### 2) 팽창성 점토

라이닝의 지면에 고결된 점토가 있는 경우에는 일반적으로 통수후 점토가 흡수팽윤되고 라이닝에 과잉압력이 작용하여 부상에 의한 손상을 받을 위험성이 있다. 또 팽윤에 의해 점토의 전단강도가 현저히 저하하여 비탈면이 활동하는 수도 있다. 이와 같이 극단적으로 건조고결한 점토를 만나는 일은 많지 않지만 대절토의 경우에 심층에 있는 점토에 대하여는 충분한 주의를 해야 한다. 팽창성 점토의 처리방법으로 라이닝을 하기에 앞서 살수하여 팽창시키는 방법과 양질재료로 치환하는 방법이 있지만 어떤 경우에 있어서도 팽창성 점토의 성질을 충분히 파악하여 구조물의 안전성에 대하여 검토해야 한다.

### 3) 전석, 암반

기초지반이 전석이나 부분적으로 암반이 형성되어 있는 경우에는 수로구조물의 하중이 이 부분에 집중함으로써 구조물에 균열 등을 일으키는 원인이 되는 경우가 많아 전석의 제거, 치환공법 등 적당한 조치를 강구하는 일이 필요하다. 또 암반이 연속되어 있는 경우 특히 압축성 지반과의 경계부근에서는 용수로의 구조, 이음매 등에 대하여 신중히 설계해야 한다.

## 다. 토공

토공은 절·성토량의 평형, 흙깎기량의 유용 및 사토 등에 대한 검토를 하여 적절한 토량배분을 함과 동시에 구조물의 종류, 공사규모, 시공조건 등을 감안하여 토공계획을 세운다.

1) 흙깎기

절개한 안비탈면 기울기는 지질, 흙깎기의 높이, 용출수(湧出水) 상황, 강우량, 풍화도, 균열, 성층상황, 함수량 등을 고려하여 판단하지만 일반적으로 비탈면의 기울기는 표 4.2.2의 값을 표준으로 한다. 특히 필요한 경우에는 토질시험 등을 거쳐 안정계산에 의하여 결정한다.

흙의 내부 마찰각( $\phi$ )과 점착력( $c$ )을 토질시험으로 알고 있으면 비탈기울기( $\beta$ )에 의해서 안정계수  $N_s$  를 구할 수 있으며 비탈면의 안전율( $F$ )은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F = \frac{N_s \cdot c}{r_t \cdot H} \text{-----}(4.2.4)$$

여기서,  $r_t$  는 흙의 습윤밀도( $\text{kN/m}^3$ )이며  $H$ 는 성토고이다.  $F$ 값이 1.2 이상이면 활동이 발생하지 않고 안전하다고 생각한다.

흙깎기면의 소단은 원칙적으로 흙깎기 높이 5m마다 설치하며 그 나비는 토사의 경우 0.5~1.0m를 표준으로 한다.

그리고 빗물에 의하여 비탈면이 세굴 또는 붕괴의 우려가 있는 경우에는 비탈면어깨 소단에 집·배수구를 설치하여 지표수처리를 할 필요가 있다.

표 4.2.2 흙깎기 사면 기울기

토질구분	사면높이	임시시공을 위한 사면깎기 기울기	영구노출에 대한 사면깎기 기울기
토 사	5m 이상	1:1.0	1:1.5
	0~5m		1:1.2
풍 화 암 (리핑암)	5m 이상	1:0.8	1:1.0
	0~5m		1:1.0
경 암 (발과암)	5m 이상	1:0.3	1:0.5
	0~5m		1:0.5

2) 흙쌓기

개수로의 흙쌓기 둑은 구조물의 일부가 되어 계획수위를 보전하는 역할을 가지며 동시에 관리용 도로로 이용되는 경우가 많으므로 침하, 변형 등에 대해 안전해야 한다.

흙쌓기 재료는 그 우열성이 시공의 난이, 완성 후 흙쌓기의 안전성을 좌우한다. 따라서 경제적으로 가능한 범위에서 양질의 재료를 선택할 필요가 있고 수로공사에 있어서는 흙깎기를 유용하여 흙쌓기 재료로 하는 경우가 많으므로 토공계획에 있어서는 흙깎기에서 나온 재료를 어떻게 잘 이용할 것인가에 대하여 검토할 필요가 있다. 흙쌓기 재료는 흙쌓기 높이, 흙쌓기 형식, 사용개소, 시공방법 등에 따라 그 적부를 결정하지만 ① 시공기계의 주행성이 확보 될 수 있을 것, ② 흙쌓기의 비탈면 안정에 필요한 전단강도를 가질 것, ③ 흙쌓기의 압밀침하가 완성후의 수로에 나쁜 영향을 미치지 않을 것, ④ 라이닝을 하지 않은 수로에서 누수방지 필요시는 필요한 불투수성을 확보할 것 등의 조건을 만족하는 재료를 사용하여야 한다. 흙쌓기의 비탈면기울기는 일반적으로 1:1.5를 표준으로 한다.

### 3) 독마루폭

통수단면 양안의 독마루폭은 수로의 안전성의 확보는 물론, 수로의 유지관리 및 보수공사를 위해서 필요한 폭과 경제성 등을 고려하여 결정한다. 또 독마루는 수로의 순시용, 게이트 조작용 등 관리용 도로로서의 기능을 갖도록 설계할 때도 있다. 일반적으로 지선급은 1.0m, 소규모 수로(지거급)에서는 0.5m, 부설도로가 있는 경우 4.0m 이상으로 계획하고 필요한 경우 관리용 도로 4.0m를 둘 수도 있다.

수로에 방책, 배수측구 등을 설치하는 경우에는 그 설치폭을 감안한 것으로 설계해야 한다.

## 4.2.3. 구조설계

### 가. 플룸

#### 1) 적용개요

플룸은 측벽과 저판이 구조적으로 일체가 되어 토압, 수압 등의 하중을 지지하는 형식의 수로이며, 일반적으로 철근콘크리트 직사각형 단면수로로 되어 있다.

지형이 종단적으로 급한 경우에는 수로에 낙차공, 급류공을 설치하여 적정한 수로 기울기가 되게 공중배치를 할 필요가 있다.

기초기반이 연약한 경우에는 침하, 활동 등에 대한 플룸의 안전성을 검토하고 이에 필요한 침하방지대책을 강구하여야 한다.

연약지반과 그렇지 않은 지반과의 경계부지에서는 이음매의 설계 및 시공에 대하여 충분한 주의를 하여야 한다.

#### 가) 사용조건

일반적으로 플룸의 사용을 생각할 수 있는 것은 ① 통수단면의 규모가 작은 경우,

② 수로가 급경사지 또는 흙깎기 높이가 큰 곳을 통과하는 경우로서 토공량이 많을 경우, ③ 용수로 부지폭이 한정되어 있는 경우, ④ 지하수위가 높은 경우 등이다.

나) 수로단면

플룸은 가급적 직벽으로 하는 것이 바람직하다.

직사각형 단면에서 수리적으로 가장 유리한 저폭, 수심비는 2:1이지만, 현장조건에 따라서는 수리적으로 유리한 단면이 반드시 구조적, 경제적으로 우월하다고는 할 수 없으므로 플룸의 특징, 입지조건 등을 충분히 고려하여 경제성, 안전성, 시공성을 비교검토하여 단면을 결정하는 것이 바람직하다. 일반적으로 구조상 유리한 저폭, 수심비는 1:1 ~ 3:1이다.

여유고는 다음 식으로 정한다. 홍수유입시의 최소여유고는 0.1m로 한다.

$$F_b = 0.07d + h_v + (0.05 \sim 0.15) \text{ -----(4.2.5)}$$

여기서,  $F_b$ : 여유고 (m),                     $d$ : 계획최대유량에 대한 수심 (m),  
 $h_v$ : 유속수두 (m)

다) 흙쌓기

흙쌓기의 최저 높이에 대한 제한은 없지만 흙쌓기 높이가 플룸의 상단부보다 아래에 있는 경우에는 세굴방지나 플룸의 횡이동에 대한 방지대책 등을 검토해야 한다.

또 수로의 노선이 현지면보다 고위부를 통과하는 경우에는 월류하면 큰 재해를 일으킬 위험성이 있으므로 이를 충분히 고려하여 설계해야 한다.

2) 구조

가) 단면구조

플룸의 각 부재의 두께, 철근량은 구조계획에 의하여 결정되지만 일반적으로 부재의 가정두께는 높이 또는 스팬(span)의 1/8 ~ 1/12로 한다. 소규모의 수로에서는 시공을 고려한 최소의 부재두께로 하는 경우가 많다.

주어질 하중은 토압, 수압, 활하중, 자중, 기초반력 등에 대하여 고려한다. 측벽은 이들의 하중이 작용하는 경우의 외팔보로 단면 및 철근량을 산정하고 저판은 지반반력, 측벽의 고정단 모멘트 및 축방향력을 받는 보로 설계한다.

나) 부상(浮上)에 대한 검토

양압력에 대한 검토도 하여야 하며 양압력에 대한 안전율은 1.2를 표준으로 하고 위험한 경우에는 부재두께를 증대시켜 자중을 증가시키거나 푸팅(footing)을 설치하여 그 위의 흙중량에 의하여 부상에 저항시키고 또는 배수공(weep hole), 언더드레인(under drain)을 설치한다. 부상에 대한 안전율은 다음 식에 의하여 구한다.





- $T_B$ : 푸팅의 나비 (m)
- $\gamma_c$ : 플룸의 단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )
- $\gamma$ : 습윤에서 흙의 단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )
- $\gamma'$ : 수중에서의 흙의 단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )
- $\gamma_w$ : 물의 단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )
- $P_v$ : 토압의 연직성분 ( $\text{kN/m}$ )
- $F_s$ : 안전율, 일반적으로 1.1 ~ 1.2

배수공(weep hole) 및 언더드레인(under drain)은 플룸의 측벽 및 저판에 작용하는 외수압을 저감시켜 수로의 부상방지를 목적으로 설치하는 것이다 (표 4.2.3 및 그림 4.2.6 참조). 배수공 등으로부터의 누수가 원인이 되어 수로구조물의 안정을 해치는 등의 염려가 있다고 생각되는 높은 흙쌓기 구간 또는 외수를 개수로 내에 유입시킴으로써 주변에 악영향을 미치게 될 염려가 있는 수로구간에서는 그 설치에 대하여 충분한 검토를 해야 한다.

배수공 및 언더드레인은 플룸의 기초지반 및 배면의 토질상황에 따라 필터재료를 적절하게 선정하여 토립자 유출을 막고 외수만을 안전하게 투과할 수 있게 선정하여야 한다. 필터재료는 자연산의 모래, 자갈과 같이 구형에 가까운 것이 좋다.

표 4.2.3 배수공 및 언더드레인 설치 예

벽높이 (m)	지하수위가 높은 투수성지반	지하수위가 높은 불투수성지반	지하수위가 낮은 지반
$H < 2.5$	언더드레인을 설치해도 좋고 설치하지 않아도 됨	배수공을 설치해도 좋고 설치하지 않아도 됨.	
$2.5 \leq H < 5.0$	배수공(1~2단) 및 언더드레인(밸브간격 40m 정도)을 병설	배수공(1~2단)	배수공(1단 또는 무설치)
$H \geq 5.0$	배수공(2~3단) 및 언더드레인(밸브간격 40m 정도)을 병설	배수공(2~3단) 및 언더드레인(밸브간격 60m 정도)을 병설	배수공(1~2단)

- 주) ① 투수성지반과 불투수성지반과는 투수계수  $1 \times 10^{-5}$  cm/s 정도로 구분한다.  
 ② 지하수위가 낮은 경우라 함은 흙쌓기 지반 등에서 수로바닥으로부터 지하수면까지 2.0m 정도 되는 것을 말한다.

- ③ 배수공에는 원칙적으로 수평 드레인을 병설한다. 투수성 지반에서는 생략할 수도 있다.
- ④ 언더드레인은 종단방향의 경우 수로밑나비 5m마다 최소 1열을 설치한다.

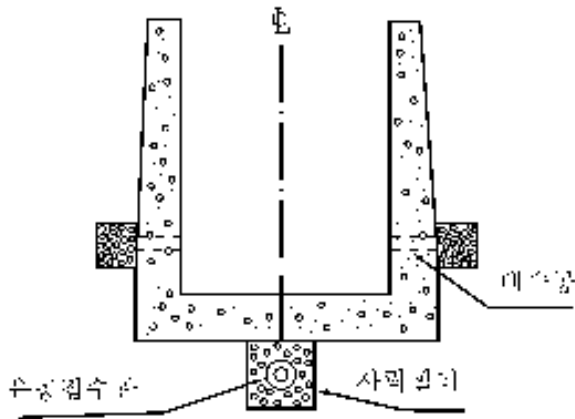


그림 4.2.6 배수공 및 언더드레인 설치 예

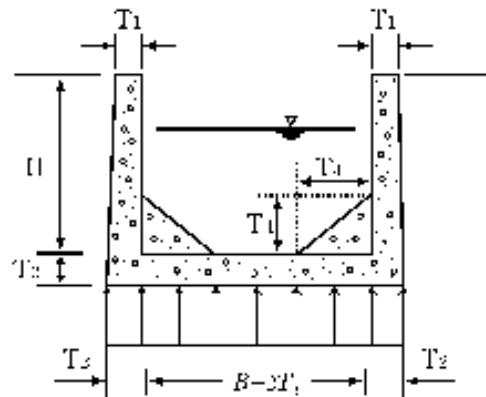


그림 4.2.7 플룸에 작용하는 최대지반반력

다) 기초지반의 검토

플룸의 기초지반의 지지력은 식 (4.2.8)에 의해 검토한다.

$$q_{\max} \leq q_a$$

$$q_{\max} = \frac{\{(T_1 + T_2)H + T_3(2T_2 + B) + T_4^2\} \gamma_c + B \cdot H \cdot \gamma_w + 2P_v}{B + 2T_2}$$

-----(4.2.8)

- 여기서,  $q_{\max}$ : 최대지반반력 (kN/m<sup>2</sup>)                       $q_a$ : 허용지반지지력 (kN/m<sup>2</sup>)
- $H$ : 벽높이 (m)     $B$ : 수로의 내폭 (m)
- $\gamma_w$ : 물의 단위중량 (kN/m<sup>3</sup>)                       $T_1, T_2, T_3$ : 수로단면부재 두께 (m)
- $T_4$ : 현치의 크기(m)
- $P_v$ : 토압의 벽면마찰에 의한 연직성분(kN/m)

지반의 허용지지력은 평판재하시험, 토질시험의 결과에 따라 구하기도 하지만 Terzaghi의 수정지지력공식을 사용하여 산정한다.

단기허용지지력은 장기허용지지력의 2배를 취할 수 있다.

급경사지를 통과하기 때문에 비대칭단면형상이 되는 수로에 있어서는 플룸을 포함

한 전체의 활동에 대한 안전성을 검토하고 필요에 따라 그 대책을 고려한다. 또 기초의 지지조건이 동일단면 또는 한 스패 앞에서 서로 다른 경우에는 지지조건이 같게 되도록 적절한 처리를 해야 한다.

라) 이음매

이음매는 플룸의 구조상 및 시공상 필요에 따라 설치하는 것으로 신축이음매, 수축이음매, 시공이음매가 있으며 이들 이음매는 겸용되는 경우가 많다.

신축이음매는 콘크리트의 신축에 의한 균열방지를 위하여 설치하는 것으로 가소성 구조로 해야 한다. 이음매의 간격은 온도변화 및 시공성을 고려하여 일반적으로 27m 전후를 표준으로 하며 구조물의 변화점에는 반드시 설치한다. 이음매의 두께는 20mm 내외이다. 구조물이 하중조건 등에 의하여 집중응력이 발생하기 쉬운 개소 또는 부등침하나 지진시에 구조물의 이동이 일어나기 쉬운 개소에는 받침대 등을 설치한다 (그림 4.2.8 참조).

특히 기초지반이 불안정한 경우 또는 플룸의 규모가 특히 큰 경우에는 반드시 받침대를 설치하는 것으로 한다.

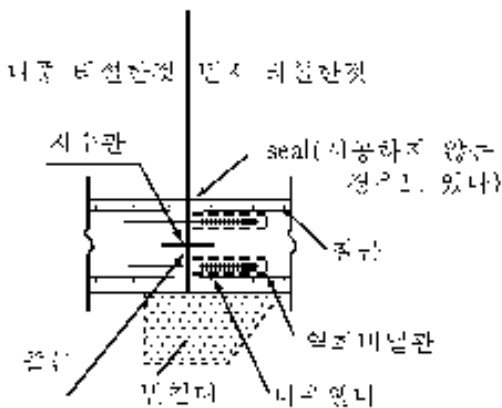


그림 4.2.8 신축이음매

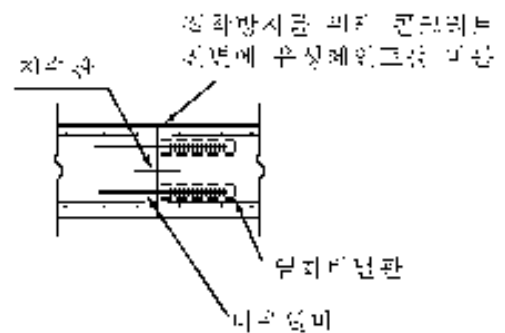


그림 4.2.9 수축이음매

수축이음매는 콘크리트의 수축에 의한 불규칙적인 균열을 방지하기 위하여 설치하는 것이며 이음매 간격은 9m 전후를 표준으로 한다. 이음매는 타설된 콘크리트와 접촉되지 않게 접촉면에 유성페인트 등을 바른다. 부등침하 또는 지진시의 구조물의 이동을 방지하기 위하여 부재 두께에 따라서는 다우웰바(dowel-bar) 등을 설치한다.

시공이음매는 콘크리트를 치는데 있어 시공상 필요해서 설치하는 것이며 먼저 친 콘크리트와 일체가 되게 시공해야 한다. 일반적으로 타설 후는 레이탄스를 제거하고 모르타르를 까는 일을 하는 등 충분한 시공이 요구된다.

## 나. 콘크리트 옹벽수로

### 1) 적용개요

벽체가 수로저판으로부터 독립하고 그 자체가 배면으로부터의 토압, 수압 및 내수압 등에 대해 안정을 유지시키는 형식의 수로이며, 배수로 등 폭이 넓은 수로에서 채용되는 일이 많다. 이 형식은 대규모수로의 경우에 유리하다. 기초지반이 연약한 경우에는 말뚝기초 등이 필요하게 되며 플룸과 비교할 때 비경제적인 경우가 있다.

콘크리트 옹벽수로에는 ① 중력식 옹벽수로, ② 역T형 옹벽수로 등의 형식이 있다.

중력식 옹벽수로는 일반적으로 무근콘크리트 구조이며 흙막이공을 겸하는 동시에 벽높이가 2m 정도까지의 배수로 및 용배수로 겸용수로에서 채용되는 경우가 많다. 또 반중력식의 옹벽수는 중력식에 비하여 콘크리트의 양을 경감시키고 인장응력이 발생하는 개소는 철근으로 보강한 것인데 높이 2~3m 정도의 것이 많다.

역T형 옹벽수는 측벽과 저판이 강결된 구조로서 측벽과 저판이 각각 외팔보로 설계되는 수로이며 측벽이 2~5m 정도의 비교적 높은 수로 또는 교량의 하부공과 일체가 되는 수로에서 채용되는 경우가 많다.

수로단면의 여유고는 플룸에 준하고 저폭과 수심비는 플룸에 비하여 큰 경우가 경제적이다.

### 2) 구조설계

콘크리트 옹벽수의 설계에서는 주어져야 할 하중을 결정하고 수로구조물의 각부를 검토한다. 구체적인 검토내용으로는 전도, 활동, 지지력에 대한 검토를 들 수 있다.

#### 가) 전도에 대한 검토

구조물의 전도에 대한 안정조건은 다음 값을 만족시키는 것이어야 한다.

$$\begin{array}{l} \text{평상시: } e \leq \frac{L}{6} \\ \text{지진시: } e \leq \frac{L}{3} \end{array} \quad \text{-----(4.2.9)}$$

여기서,

$e$ : 합력의 작용선이 밀면과 만나는 점과 밀면의 중심과의 거리 (m),

$L$ : 밀면의 길이 (m)

그러나,  $e > \frac{L}{2}$  이면 구조물은 전도하며,  $\frac{L}{6} < e \leq \frac{L}{2}$  이면 전도하지 않으나 구조물의 밀면 후부에 인장응력이 생긴다.

나) 활동에 대한 검토  
 활동에 대한 검토는 다음 식에 의한다.

$$\frac{R_H}{\sum H} \geq F_s$$

$$R_H = \sum V \cdot f \quad \text{-----(4.2.10)}$$

여기서,  $R_H$ : 활동저항력 (kN/m),  $\sum H$ : 전수평력 (kN/m),  
 $\sum V$ : 전수직응력 (kN/m),  $F_s$ : 안전율(정상시 1.5, 지진시 1.2),  
 $f$ : 밑면과 기초지반과의 마찰계수 (표 4.2.4 참조).

또 활동에 대한 안전율이 부족한 경우에는 돌기를 설치하는 등 활동저항을 증대시킬 수 있는 구조로 설계하여 소정의 안전율을 확보해야 한다.

표 4.2.4 저면과 기초지반과의 마찰계수

재 료	$f$
흙과 콘크리트 (현장타설로 거푸집을 사용하지 않은 면)	$\tan \phi$
흙과 콘크리트 (상기 이외의 면)	$\tan \left( \frac{2}{3} \phi \right)$
암과 콘크리트	0.70 정도

주)  $\phi$ : 기초지반의 흙의 내부마찰각 (°)

다) 기초지반의 지지력에 대한 검토  
 콘크리트 용벽수로와 같이 얇은 기초에 대한 지반의 지지력은 흔히 Terzaghi의 수정지지력공식에 의해 검토한다.

지반의 장기허용지지력은

$$q_a = \frac{1}{3} (\alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q) \quad \text{-----(4.2.11)}$$

단기허용지지력은

$$q_a = \frac{2}{3} (\alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_\gamma + \frac{1}{2} \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q) \quad \text{-----(4.2.12)}$$

여기서,

$q_a$ : 허용지지력 ( $\text{kN/m}^2$ )       $c$ : 기초하중면 하부지반의 점착력 ( $\text{kN/m}^2$ )

$\gamma_1$ : 기초하중면 하부지반의 단위중량(지하수위하에 있는 경우에는 수중단위  
중량 ( $\text{kN/m}^3$ ))

$\gamma_2$ : 기초하중면상부 지반의 평균단위중량 (지하수위하에 있는 부분은 수중단  
위중량 ( $\text{kN/m}^3$ ))

$\alpha \cdot \beta$ : 형상계수 (표 4.2.5 참조)

$N_c \cdot N_\gamma \cdot N_q$ : 지지력계수 (내부마찰각  $\phi$ 의 함수이며 표 4.2.6 및 그림  
4.2.10으로부터 구한다)

$D_f$ : 기초에 근접한 최저지반면에서 기초하중면까지의 깊이 (m)  
(인접지에서 굴착을 할 경우에는 그 영향을 고려해야 한다)

B: 기초하중면의 최소폭 (m)

기초지반의 지지력은 다음 식에 의해 검토한다.

$$q_{\max} \leq q_a \quad \text{-----}(4.2.13)$$

여기서,  $q_{\max}$ : 최대지반반력 ( $\text{kN/m}^2$ ),

$q_a$ : 허용지반지지력 ( $\text{kN/m}^2$ )

표 4.2.5 형상계수

기초하중면의 형상	연속	정사각형	직사각형
$\alpha$	1.0	1.3	$1 + 0.3 \frac{B}{L}$
$\beta$	0.5	0.4	$0.5 - 0.1 \frac{B}{L}$

주) B: 직사각형의 단변의 길이, L: 직사각형의 장변의 길이

표 4.2.6 지지력계수

$\phi(^\circ)$	$N_c$	$N_\gamma$	$N_q$
0	5.3	0	3.0
5	5.3	0	3.4
10	5.3	0	3.9
15	6.5	1.2	4.7
20	7.9	2.0	5.9
25	9.9	3.3	7.6
28	11.4	4.4	9.1
32	20.9	10.6	16.1
36	42.2	30.5	33.6
40 이상	95.7	114.0	38.2

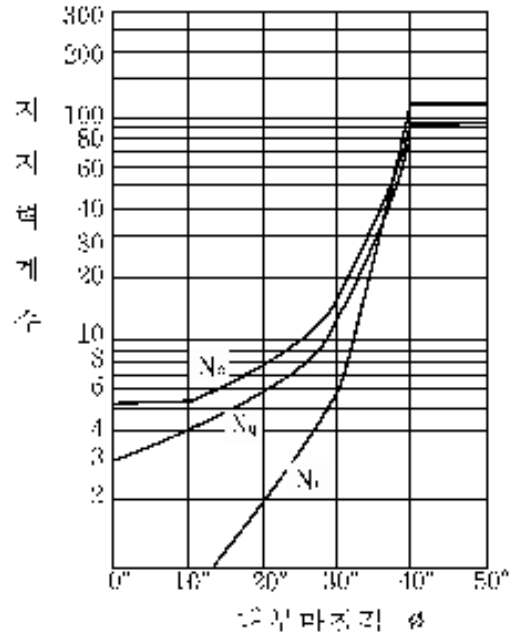


그림 4.2.10 내부마찰각과 지지력 계수와의 관계

라) 이음매 및 배수공

콘크리트 옹벽수로의 이음매는 플룸의 경우와 같이 구조상 및 시공상 필요에 따라 설치하며 배수공은 수로측벽에 작용하는 외수압을 저하시키는 것을 목적으로 설치한다. 상세한 것은 플룸을 참조한다.

다. 콘크리트 블록쌓기 수로, 돌쌓기 수로

1) 적용개요

수로호안을 콘크리트 블록, 호박돌, 견치돌 등으로 쌓아 올린 수로로 폭이 넓은 수로에서 채용하는 일이 많다. 용수로의 경우는 유속 및 수로기능상 벽은 찰쌓기, 저판은 콘크리트 타설로 하는 일이 많고 배수로에서는 메쌓기로 하는 일이 많다. 찰쌓기의 형식에서는 배면의 수압저하를 위하여 배수공 등을 설치한다. 수로의 단면형은 플룸에 준한다.

2) 구조

구조설계에서는 주어질 하중을 결정하고 구조물 각부의 응력검토를 한다. 콘크리트 블록쌓기 및 돌쌓기는 구조적으로 각각의 콘크리트블록, 호박돌, 견치돌 등이 서로 맞물림으로써 그 안정을 유지한다.



이 형식의 안정성검토는 옹벽(블록쌓기, 돌쌓기)의 자중과 토압의 합력을 나타내는 시력선이 옹벽단면의 중앙 1/3 안에 들어가게 하는 동시에 지반의 최대반력이 지반의 허용지지력 이하가 되게 하여야 한다.

가) 전도에 대한 검토

먼저 시력선의 위치  $X_h$ 는 다음 식에 의해 구한다.

$$X_h = \frac{K_A \cdot \gamma}{6\gamma_b \cdot b \cdot \csc\theta_0} \cdot h^2 + \left\{ \frac{K_A \cdot q \frac{\sin\theta}{\sin(\theta+i)}}{2\gamma_b \cdot b \cdot \csc\theta_0} + \frac{\cot\theta_0}{2} \right\} \cdot h \quad \text{---(4.2.14)}$$

여기서,

$X_h$ : 깊이  $h$ 에 있어서의 시력선의 위치 (m)

$b$ : 블록쌓기 또는 돌쌓기에서의 뒷길이 + 뒤채움콘크리트 두께 (m)

$h$ : 벽마루로부터의 깊이 (m)

$m$ : 비탈면 기울기

$\theta$ : 블록 또는 돌쌓기의 경사각(°)

$$\theta_0 = \pi - \theta = \cot^{-1} m$$

$K_A$ : 랭킨의 주동토압계수

$$= \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi}$$

$\phi$ : 흙의 내부마찰각(°)

$\gamma$ : 흙의 단위중량 (kN/m<sup>3</sup>)

$\gamma_b$ : 블록 또는 돌의 단위중량 (kN/m<sup>3</sup>)

$q$ : 상재하중 (kN/m<sup>2</sup>)

$i$ : 벽 배면의 흙쌓기 경사각 (°)

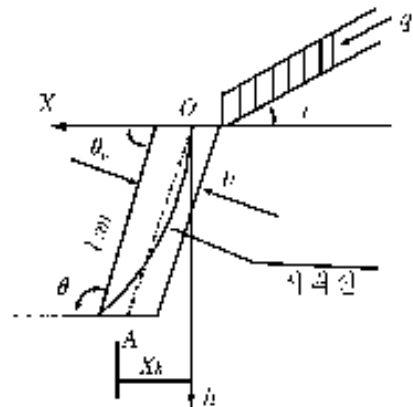


그림 4.2.11 시력선의 위치

블록쌓기 및 돌쌓기의 단면중앙 1/3의 가장 외측위치는 다음 식에 의하여 구한다.

$$X' = h \cdot \cot\theta_0 + \frac{b \cdot \csc\theta_0}{6} \quad \text{-----(4.2.15)}$$

$X_h = X'$ 인 조건에서 블록쌓기 및 돌쌓기의 한계높이  $h_a$ 를 구하는데 다음 식에 의한다.

$$\frac{K_A \cdot \gamma}{6\gamma_b \cdot b \cdot \csc\theta_0} \cdot h_a^2 + \frac{K_A \cdot q \frac{\sin\theta}{\sin(\theta+i)} - \gamma_b \cdot b \cdot \csc\theta_0 \cdot \cot\theta_0}{2\gamma_b \cdot b \cdot \csc\theta_0} h_a - \frac{b \cdot \csc\theta_0}{6} = 0 \quad \text{-----(4.2.16)}$$

나) 활동에 대한 검토

활동에 대한 안정을 위해서는 다음 식이 만족되어야 한다.

$$\frac{R_H}{\sum H} \geq F_s$$

$$R_H = \sum V \cdot f = b \cdot \gamma_b \cdot h \cdot \csc\theta_0 \cdot f$$

$$\sum H = \left\{ \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot K_A + q \frac{\sin\theta}{\sin(\theta+i)} h \cdot K_A \right\} \sin\theta$$

]-----

여기서,

- $R_H$ : 활동저항력 (kN/m)     $\sum H$ : 전수평력 (kN/m)     $\sum V$ : 전연직력 (kN/m)
- $f$ : 기초의 저면과 지반과의 마찰계수 (표 4.2.4 참조)
- $F_s$ : 안전율 (평상시 1.5)

기타기호는 앞의 전도에 대한 검토에서 나온 기호와 같다.

다) 기초지반의 지지력검토

지지력검토는 다음 식에 의한다.

$$q_{\max} \leq q_a$$

$$q_{\max} = \frac{b \cdot h \cdot \gamma_b \cdot \csc\theta_0 + \text{기초하중}}{B}$$

]----- (4.2.18)

여기서,

- $q_a$ : 지반의 허용지지력 (kN/m<sup>2</sup>)     $q_{\max}$ : 최대지반반력 (kN/m<sup>2</sup>)
- $B$ : 기초폭 (m)

기타기호는 앞에 나온 것과 같다.

## 라. 콘크리트 공장제품 및 기성제품 수로

1) 적용개요

미리 규정된 설계제원에 따라 공장 등에서 제조된 구체 또는 부재를 콘크리트 재료 등으로 조립접합한 수로이다.

일반적으로 소규모의 수로일수록 시공성이 유리하며 경제적인 경우에 이용된다. 또 이는 거푸집 비용을 절약하고 공기를 단축시키는 이점이 있다.

가) 기성제품 수로의 종류

하중에 대하여 충분한 강도와 수밀성이 있고 수류에 대한 저항이 적고 내구·내식성이 강하고 시공이 용이한 동시에 저렴한 것이 바람직하다.

수로단면이 커서 시판규격품으로 충당할 수 없는 경우에는 설계조건 등을 만족시키는 특별주문품을 별도 제작하여 이를 사용하는 일이 있다. 이런 경우에는 현장타설 콘크리트 수로와 비교 검토해야 한다.

나) 수리설계

복잡한 수리특성을 갖지 않으므로, 수리계산은 등류로 취급하며 여유고, 저폭과 수심비는 플룸에 준한다.

2) 구조

구조설계에 있어 검토할 사항은 주어질 하중을 결정하여 구조물을 검토하는 것인데 주로 저항모멘트 및 부상에 대한 검토를 한다.

가) 저항모멘트에 대한 검토

제품이 가지는 저항모멘트와 현장조건에 의한 휨모멘트와를 비교한다. 저항모멘트의 산출에는 ① 콘크리트의 허용압축응력, ② 철근의 허용 인장응력, ③ 콘크리트의 휨인장강도 및 휨시험에서의 균열하중에 의하여 구하는 방법이 있다. 이들 방법에 의하여 구한 계산치중 최소의 값을 허용저항모멘트로 채용한다.

나) 부상에 대한 검토

부상에 대한 검토에 있어서는 측벽과 흙과의 마찰저항력을 고려하는 경우도 있지만 일반적으로 다음 식에 의해 검토한다.

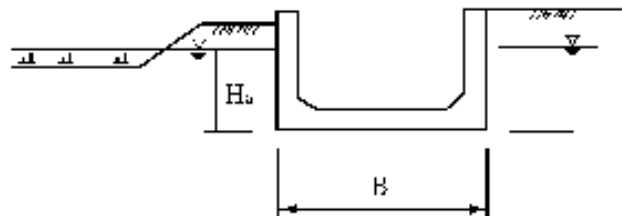
$$F_s \leq \frac{W}{B \cdot \gamma_w \cdot H_a} \text{-----(4.2.19)}$$

여기서,

$H_a$  : 저판밑면으로부터 외수위까지의 높이 (m)

$W$  : 수로 1m당 중량 (kN/m)

$B$  : 수로의 측폭 (m)



$\gamma_w$  : 물의 단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )      그림 4.2.12 공장제품 및 기성제품수로의 치수

$F_s$  : 안전율(수로의 목적, 규모, 현장조건 등을 고려해서 정한다.)

부력이 구조물의 자중보다 큰 경우에는 외수위를 저하시키기 위하여 부설높이를 검토하거나 배수공 또는 언더 드레인을 설치하여 이들의 부력에 대처해야 한다. 배수로에는 줄눈 또는 이음매를 통하여 외수가 들어올 수 있게 시공하여 부력에 대처한다.

### 마. 콘크리트 라이닝 수로

#### 1) 적용개요

콘크리트로 포장된 수로로 다른 재료에 의한 것 보다 침식저항력이 높고 비교적 빠른 유속에 적응하며 특히 양호하게 설계시공된 것은 조도도 작아 널리 채용되고 있다. 이 수로의 안정성은 기반의 안정에 관계되므로 라이닝두께는 필요최소한도로 하면 충분하다.

그러나 지하수위가 높고 용출수량이 많은 경우 또는 기반이 불량한 경우에는 구조적으로 불안정하므로 구조의 검토와 함께 다른 공법을 선정해야 한다.

#### 가) 콘크리트 라이닝 수로의 종류

콘크리트 라이닝 수로에는 ① 얇은 콘크리트 라이닝 수로, ② 철근 콘크리트 라이닝 수로가 있는데, 전자는 라이닝 두께 10cm 정도로 안비탈 기울기가 느린 무근 콘크리트 라이닝을 시공한 수로이다. 설계상 유의할 점은 ① 콘크리트 타설에 있어 슬립폼(slope form) 방식의 경우의 라이닝 기부는 규정두께보다 두껍게 하고 저판부에 10cm 정도 돌출시키며 슬립폼(slip form) 방식의 라이닝 기부는 원호를 부치는 것이고 (그림 4.2.13 참조), ② 측벽고가 2.5m 이상인 경우에는 저판으로부터 벽 높이 1/3의 위치에 수축이음매를 설치하고 후자의 철근콘크리트 라이닝 수로는 얇은 콘크리트 라이닝 수로의 두께를 증대시켜서 최소철근량의 철근을 배치한 수로이며 얇은 수로보다 양압력에 대한 저항력의 증가, 마모에 대한 내구성의 강화, 부등침하, 온도변화 등에 의한 균열의 발생을 가급적 방지하는 형식의 수로이다. 이외에 현장타설 콘크리트 대신 패널을 사용한 것도 있다.

철근콘크리트 라이닝 수로의 시공은 일반적으로 ① 수위조절보로부터 상류에 20m 정도, 하류에 30m 정도의 구간, ② 플룸, 터널, 암거, 잠관 등의 타 공종과의 트랜지션 접속부 8m 정도의 구간, ③ 분수공의 상하류 각각 4m 정도의 구간에 적용된다.

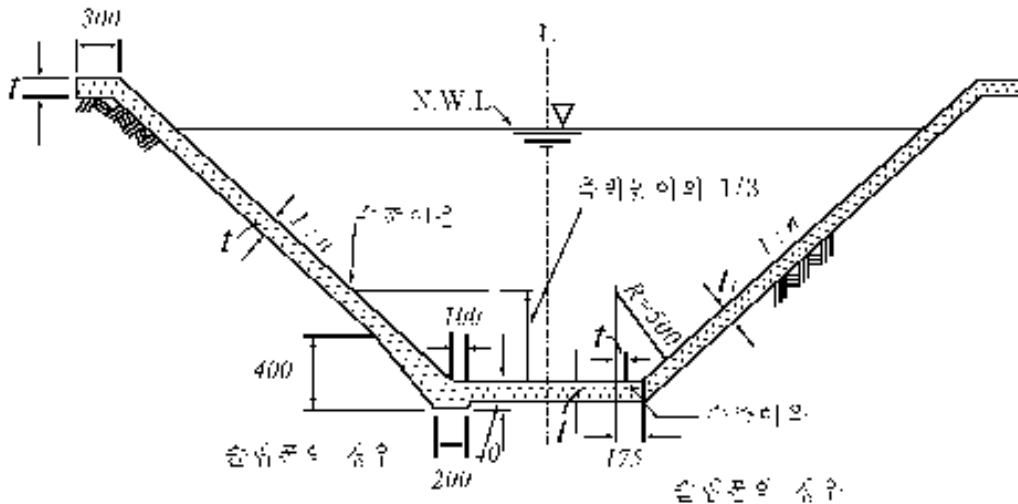


그림 4.2.13 무근콘크리트 라이닝 수로

철근 배치에 있어서 횡단방향철근은 비탈면 라이닝부와 저판부를 연결시키는 것이지만 종방향 철근은 각 패널마다 독립시키고 연결시켜서는 안 된다.

나) 라이닝의 기반

흙쌓기부의 기반은 흙쌓기 재료와의 밀착을 피하기 위하여 표토를 긁어냄과 동시에 잡물을 제거하여 적절한 재료로 흙쌓기를 한다. 그리고 라이닝 수로의 일부 또는 전부가 기초지반을 굴착하여 설치되는 경우에는 그 기초지반의 적부를 판단하여 처리한다. 비탈면이 안정될 수 없는 불량한 토질의 경우에는 치환흙쌓기의 가능성을 검토한다.

다) 수로단면

저폭과 수심비는 수리특성, 경제성, 시공조건 등에 의하여 결정하지만 비교적 유량이 많은( $Q \geq 3.0 \text{m}^3/\text{s}$ ) 경우에는 1:1, 소유량인 경우에는 1:1 ~ 1:0.5의 범위에서 적용되는 일이 많다. 수심에 비하여 폭을 넓게 하면 토공의 기계화에 시공이 용이하게 될 뿐만 아니라 비탈면을 낮춤으로써 경제적인 시공이 가능하고 안정성도 향상한다. 그러나 폭을 너무 넓게 하면 수로부지의 폭 등에서 제약을 받는 일이 있다.

조도계수의 값은 현장타설 콘크리트 라이닝의 경우  $n=0.015$ , 줄눈이 평활한 콘크리트 블록에서  $n=0.016$ , 줄눈이 부정합(不整合)한 경우  $n=0.017$ 이 표준이다.

여유고는 다음 식에 의하여 정한다.

$$F_b = 0.05d + h_v + (0.05 \sim 0.15) \text{ -----(4.2.20)}$$

여기서,  $F_b$ : 여유고 (m),  $d$ : 계획최대유량에 대한 수심 (m),  
 $h_v$ : 유속수두 (m)

라이닝 마루로부터의 흙쌓기 높이는 규모에 따라 0.2~0.6m를 표준으로 한다.

## 2) 구조

### 가) 비탈면기울기

수로의 규모, 토질, 시공법 등에 의하여 결정하지만 일반적으로 대규모 수로에서 1:1.5, 중규모 수로에서 1:1.25, 소규모 수로에서 1:1을 표준으로 한다.

시공상의 제약으로는 장대수로에서 슬랩폼, 슬립폼 등의 이동식 거푸집을 사용하는 경우에는 콘크리트의 슬랩폼을 적절히 선정함과 동시에 타설 후의 콘크리트 비탈면이 안정될 기울기로 한다.

### 나) 라이닝 두께

라이닝 두께는 수로규모, 목적, 중요도 및 장애의 유지관리상황 등을 검토하여 결정하며 10cm 정도가 표준이다. 특히 철근콘크리트 라이닝 수로, 한랭지 및 수로규모가 큰 경우에는 이 값보다 크게 하는 것을 검토한다.

### 다) 배수공 및 언더드레인

라이닝 수로에 지하수위 등이 존재하여 라이닝 면에 양압력이 작용하면 균열 또는 부상을 일으키는 위험이 있으므로 언더드레인 및 배수공에 의하여 지하수를 배제하는 것이 중요하다 (그림 4.2.14 참조).

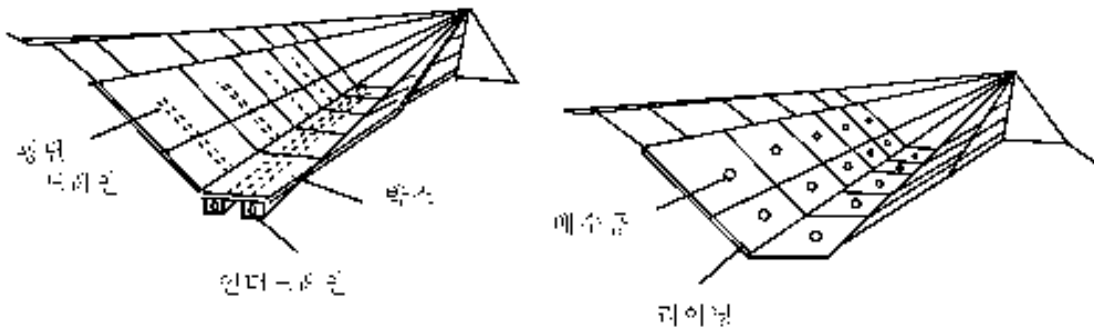


그림 4.2.14 언더드레인 및 배수공 배치도

지하수위가 높고 투수성이 큰 기초에서는 언더드레인으로 하고 지하수가 소량인 경우에는 배수공을 설치한다. 배수공은 배면 필터의 유출을 방지하기 위하여 파이프 후단에는 메시 스트레이너 또는 투수매트 등을 설치한다.

### 라) 이음매

콘크리트 라이닝의 신축이음매는 개수로와 다른 구조물과 접하는 개소에 설치하며 개수로의 중간에는 설치하지 않는다. 콘크리트 블록 라이닝의 경우 신축이음매는 비탈면 길이의 3배 정도의 거리에 1개소를 설치함을 표준으로 한다.

## 바. 흙수로

### 1) 적용개요

흙수는 일반적으로 누수방지를 고려할 필요가 없는 수로에서 채용된다. 설계에 있어서는 수로가 역학적으로 안정되고 유수에 대한 세굴 및 침식을 일으키지 않는 구조가 되게 수로의 선형, 종단기울기, 단면 등을 충분히 검토하여 안전하고 경제적인 것으로 해야 한다.

### 2) 수로설계

#### 가) 선형계획

선형은 되도록 직선형에 가깝게 하는 것이 바람직하고 부득이 곡선으로 하는 경우는 되도록 완만한 곡선이 되게 하여 수류의 완화를 기하여야 한다.

만곡부의 선형은 수로규모 등에 따라 결정하며 최대만곡도  $\theta$ 는 약  $60^\circ$ 이며 곡률반경(R)은 수로폭의 약 10배로 하며 반곡선이 될 경우는 곡선의 연속을 피하고 수로폭의 6배 이상의 직선을 삽입한다.

#### 나) 종단계획

수로를 구성하는 토질 및 유속을 고려하여 종단계획을 수립하지만 인접한 유사수로의 값과 일치여부를 확인한다. 크게 다른 경우에는 이 유사수로의 유황 등을 감안하여 적절한 수정을 한다.

#### 다) 수로단면

저폭과 수심비는 유량이 적은 경우 2:1, 유량이 많은 경우 8:1까지 채용한다.

흙수로의 사면 기울기는 유수 및 자연조건에 대하여 활동, 세굴 및 침식이 발생하지 않도록 안정을 유지하는 기울기가 필요하며 원칙적으로 사면안전도 분석결과에 따라 결정하되, 토질시험치가 없는 경우에는 현지의 상황에 따라 결정해야 하는데 일반적으로 표 4.2.7의 값을 채용한다. 호안공이 있을 때에는 사면 기울기를 더 급하게 할 수 있다.

특히 토질이 좋고 소규모인 것은 비탈면 안정에 지장이 없는 범위에서 안비탈면 기울기를 1:0.8 ~ 1:1.1까지 급하게 할 수도 있다.

여유고는 계획최대유량에 대한 수면으로부터 양안 독마루까지의 높이이며 콘크리트 라이닝 수로에 준하여 결정한다.

표 4.2.7 수로의 사면 기울기 1:n (수직:수평)

토질	성토 (안비탈)		성토 (바깥비탈)	
	3m 미만	3m 이상	3m 미만	3m 이상
사질토	2.0 ~ 2.5	2.5	2.0	2.5
사력토	1.5 ~ 2.0	2.0	2.0	2.0
양 토	1.0 ~ 2.0	2.0	1.5	2.0
점질토	1.0 ~ 2.0	2.0	1.5	2.0
자갈혼입점토	1.0 ~ 2.0	2.0	1.5	2.0

라) 배수로의 바닥높이

배수로의 바닥높이는 대상이 되는 지반면보다 낮을수록 그 기능이 확보되지만 토공비가 많아지기 때문에 지하수 배수를 위한 암거 매설깊이, 포장배수접속기울기 및 기반면의 침하예상량 등을 고려하여 결정한다.

마) 설계유속

유속은 수로의 종단기울기 및 단면형상으로부터 결정되지만 이 유속으로 세굴이 발생하는지 또는 미사(silt)의 퇴적이 생기는지를 확인하여 결정한다.

바) 유로단면 및 종단기울기

유로단면(폭, 수심, 통수단면적) 및 종단기울기는 하류로부터 상류로 향하여 대체로 일정한 정합성(整合性)을 갖도록 하는 것이 바람직하나 전후 구간에 비하여 대단히 협소하여 수위가 높아지게 되는 구간이 설치되어서는 안 된다.

사) 호안계획

수로는 토질, 안전성, 유지관리 등을 고려하여 라이닝 또는 보강을 하는 것을 검토한다. 흙수로에 있어서는 경제성, 효율, 유로의 형상 및 구조물의 접속 등을 검토하고 부분적으로 수충부, 구조물주변부 등에 호안을 하는 것도 필요하다.

4.2.4 환경친화적 수로

가. 일반사항

환경친화적 수로설계는 수로에 필요한 기능과 안전성을 확보하고 합리적인 물관리가 이루어지도록 하는 동시에 자연이 가진 다양성의 존중, 수로의 아름다운 수변과



물 순환의 보전 및 창출, 생태계가 고립되지 않도록 물과 수변식물의 상호연계가 되도록 설계를 해야 한다.

환경친화적 수로설계는 궁극적으로 이수 및 치수 목적상 정비가 필요한 수로에서 가급적 수로의 환경을 크게 훼손하지 않고 자연상태의 모습에 가깝게 유지되도록 하는 것이다. 또한 우리나라 수로의 특성에 적합한 구조와 안정성을 갖추면서 주위의 문화재 및 경관 등을 고려하여 지역주민에게 쾌적한 생활공간을 제공할 수 있도록 배려해야 한다. 따라서 설계에서는 수로의 기능과 규모, 주변환경 등을 종합적으로 고려하여 종단설계와 횡단설계를 해야 한다.

## 나. 종단설계

1) 수로 종단은 하도 및 하상경사와 아울러 수로의 횡단설계와 밀접한 관계를 두고 설계한다.

2) 수로의 연속성이 유지되도록 시설물을 계획한다.

3) 팜폰드, 조정지, 유수지, 저류지 등 수생생물의 서식처 제공을 위한 시설물을 계획한다.

- 친환경 수로정비지구에서는 수리·수문학적 분석을 통해 수로단면의 다양화를 고려할 수 있다.
- 수로의 연속성을 유지할 필요한 있는 지구에서는 일정 흐름이 지속될 수 있는 용수량(환경용수, 하천유지수, 관광용수 등) 확보를 계획할 수 있다.
- 용배수로 특정 구간에 팜폰드, 조정지, 유수지, 저류지라고 할 수 있는 넓은 수로단면의 계획을 검토한다.



그림 4.2.15 유수지 사례

- 수로에서 침식구간은 특정생물의 서식처가 될 수 있기 때문에 퇴적 구간 하류에 나타날 침식구간을 미리 점검하여 이를 허용할 것인지 또는 방지할 것인지 검토한다.
- 용수여건이 가능하다면 비관개기에도 일정량의 물흐름이 유지되도록 계획한

다. 낙수기에 어류 등의 피난처로서 팜폰드 등을 검토하고 양서류의 탈출로 등을 계획한다.



그림 4.2.16 물고기 웅덩이 사례



(a) 연못 이미지도



(b) 연못 시공 사례

그림 4.2.17 연못의 이미지도 및 시공사례

## 다. 횡단면 설계

### 1) 일반사항

일정 구간의 수로 횡단면은 설치목적과 기능, 안전 등을 충족시키면서 어류, 곤충류, 양서류 등의 서식이 가능하도록 설계한다.

#### 가) 단면 형상

단면 형상은 설정된 구간별로 설계하며, 같은 구간 내에서도 필요한 경우 다른 형상으로 설계할 수 있으며, 특히 유의할 사항은 어류, 곤충류 등의 휴식장소, 대피장소, 산란장소가 형성될 수 있도록 배려한다.

나) 갈수기에는 가능한 한 깊은 수심이, 홍수기에는 낮은 수심이 유지될 수 있어야 한다.

#### 다) 수로 바닥 및 호안

수로 바닥과 양측 사면은 흙, 돌, 모래, 자갈 등 자연재료의 이용을 고려한다.

#### 라) 수로둑

수로둑은 흙둑으로 하고, 식생으로 보호하며, 둑마루폭은 가능한 한 넓게 하여 산책로, 자전거로(유지관리도로) 및 식수대의 활용을 검토한다.

### 2) 횡단면 설계

수로의 횡단면은 수로기능 확보 측면에서 중요하다. 최근에는 경제적 측면(용지매수 및 보상비 절감)과 유지관리 측면(수로의 안전 및 유지관리 곤란)에서 흙수로를 기피하고, 콘크리트 라이닝 또는 콘크리트 개거로 설계하는 것을 선호하는 경향이 있으나 환경적 측면에서는 바람직하지 않다.

수로 횡단면 설계는 여러 가지 요인에 의하여 결정되지만 바람직한 환경친화적인 횡단면계획을 위해서는 완경사의 흙수로에 경사면 호안은 식생(줄때 또는 평때) 호안으로 하여 수로 바닥에는 물의 흐름과 유지관리에 지장을 주지 않는 범위내에서 놓임돌, 뜬돌을 놓아 어류 등의 피난처, 휴식처, 산란처를 만들어 주고, 둑마루 폭은 넓게 확보하여 산책로, 자전거로 등으로 이용할 수 있게 하고, 식수대(植樹帶)로도 활용할 수 있도록 배려하는 것이라고 할 수 있다.



그림 4.2.18 산책로 시공 사례

### 3) 횡단면 설계의 고려사항

일부 배수로는 자연하천의 한 지류로서 하천과 함께 어류, 곤충류, 양서류 등의 서식장소, 산란장소로서의 생태환경을 형성하고 있다. 그러한 배수로를 계획함에 있어 어류, 곤충류, 양서류 등의 생활습성을 파악하고 있어야 한다.

#### 가) 배수로 단면 형상 계획에 고려할 사항

- (1) 어류의 서식과 산란장소에 대한 배려
- (2) 수서곤충의 서식장소와 산란장소에 대한 배려
- (3) 양서류의 번식과 서식지

#### 나) 배수로의 벽면 또는 경사면의 호안

- (1) 수리적으로 안전한 친환경 호안공법을 검토
- (2) 부득이한 경우에 한하여 콘크리트 호안을 검토

#### 다) 수로바닥

- (1) 수로바닥은 흙, 모래, 자갈, 돌망태 등 자연재료를 활용한다.
- (2) 누수, 안전 등 문제가 있을 때에는 별도의 대책을 수립한다.
- (3) 콘크리트 바닥으로 할 경우 바닥위에 돌, 자갈 등의 포설을 검토한다.



그림 4.2.19 자연석을 이용한 수로바닥 시공 사례

#### 라) 배수로 독

- (1) 수로독은 가능하면 흙독으로 하고 식생으로 보호한다.
- (2) 독마루 폭은 가능한 한 넓게 계획한다.
- (3) 기타 사항은 「환경친화적 농어촌정비사업 설계지침」의 「농촌도로편」 경지내 농도를 참고

#### 라. 용배수로 수질관리

용배수로 일정구간에 침사지를 설치하여 수중 부유물의 침전을 유도한다.

침사지 이후에는 수질관리 수로 설치를 검토한다. 식물에 의한 수질관리구간, 접촉여재(돌, 자갈 등)의 산화구간과 포기 또는 여울 등을 두어 물속의 산소를 증대시키는 방안을 강구하는 수질 관리 대책을 계획할 수 있다.

지역 또는 수원공에 따라 수질관리를 계획할 수 있다. 특히 중소하천에서 직접 취수하는 경우(취입보 또는 양수장)와 주변에 점오염원(축사 등)이 위치하여 오염물이 직접 유입되고 있는 지구에는 수질관리계획을 검토할 수 있다.

지구 여건에 따라 침사지만을 설치하든지 식물정화구간을 설치하는 방법, 여울이나 포기장치를 배제하는 방법 등을 검토할 수 있다. 수중 산소량을 증대시키는 방법은 여러 가지가 있으므로 적절한 방법을 택하여 설계한다.

#### 마. 용수로 바닥표고

- 1) 용수로 바닥표고에 변화를 주어 유속이 빠른 구간, 반대로 유속이 느린 구간을 두어 다양한 생태환경을 조성한다.
- 2) 이때 유의할 사항
  - 전체적인 유량의 변동이 없어야 한다.
  - 수로의 안전(빠른 유속에 의한 세굴 등)을 고려하여 대책을 수립한다.
  - 전체적인 수두배분에 지장이 없어야 한다.

현실적으로 용수로 설계시 종단계획은 수로 바닥 기울기로 설계하는 기술자들이 많이 있다. 용수로 바닥기울기가 곧 수면기울기라는 인식이 있기 때문이다. 그러나 이것은 잘못된 생각이다. 용수로 종단기울기는 반드시 수면기울기로 설계하여야 한다. 그러므로 용수로 바닥표고가 일정 기울기를 유지할 필요는 없으며, 높았다 낮았다하여 여울을 형성하기도 하는 것은 수중 산소량을 증대시킬 수 있는 수단으로서 생태환경에 여러 측면에서 바람직하다. 그러나 이러한 설계는 어디까지나 용수로 본연의 목적, 기능(유량문제, 안전문제, 수두배분 문제 등)에 지장이 없어야 한다.

## 바. 용배수로 종점 처리

용배수로 종점은 배수로 또는 세류하천 등으로의 연결을 고려할 수 있으며, 용수로 종점의 바닥과 연결되는 배수로 또는 하천의 바닥과는 단차가 없는 것이 제일 바람직하며, 단차가 생길 때는 완경사의 어도공 구조로 하여 어류 등의 이동이 가능하도록 검토한다.

일반적인 계획 및 설계는 기존의 지침을 참고하고, 저류지 등의 사면에 대한 안정성 검토를 수행하여 콘크리트 이외의 친환경 재료의 사용을 검토한다.

### 1) 용수로 종점 처리

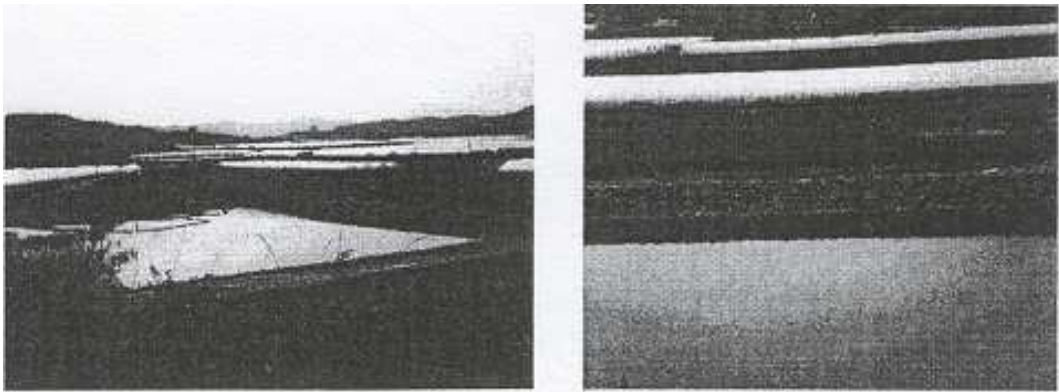
하천에서 취수한 물이 용수로를 흘러 농지에 공급되고 농지에 공급된 물은 배수로로 흘러나와 배수로 말단에서 다시 하천으로 합류하는 것이 일반적인 농업용수 시스템이라고 할 수 있다.

용수로에는 취수된 물뿐만 아니라 유역에서 흘러 들어오는 물도 있으며 농경지에서 물이 필요 없을 때는 농경지로 유입시키지 않고 배수로 또는 하천으로 직접 유하시켜야 한다.

물의 연속성이 유지되는 수계의 경우 어류 등이 하천에서 용수로로 들어왔다가 하천으로 다시 이동할 수 있도록 배려해야 한다.

### 2) 배수로 종점 처리

일반적인 계획 및 설계는 기존의 지침을 참고하고, 저류지 등의 사면에 대한 안정성 검토를 수행하여 콘크리트 이외의 친환경 재료의 사용을 검토할 수 있다.



(a) 배수말단부의 배수지 전경

(b) 배수지의 양서류 이동을 위한 돌쌓기 정비

그림 4.2.20 배수지 돌쌓기 호안 정비 사례



그림 4.2.21 배수시설 관리지역 이미지도

### 사. 수로의 연속성 유지

용배수로의 물 흐름이 단절되지 않도록 연속성을 유지하도록 한다.

- 용배수로에서 낙차공이 필요한 경우에는 전단면 환경사의 어도공 구조를 채택하여 계획 설계한다.
- 단, 상시 물흐름이 가능한 수로를 대상으로 한다.

낙차공은 과거의 구조는 완전히 턱이 질뿐만 아니라 단차가 커서 어류의 이동이 불가능하게 되어 있다. 즉 종전의 낙차공 구조에서는 어류 등의 소상이 불가능하며, 낙차공 밑에 갇히게 되는 등 생태적 단절이라는 폐해가 없지 않다.

따라서 다음 그림과 같이 한번의 큰 낙차를 지양하고 여러 개의 작은 낙차공을 적절한 방법으로 배치하는 어도공 구조의 시설물로 검토 설치토록 한다.

어도의 자세한 사항은 「환경친화적 농어촌정비사업 설계지침 농촌용수편」 참고.

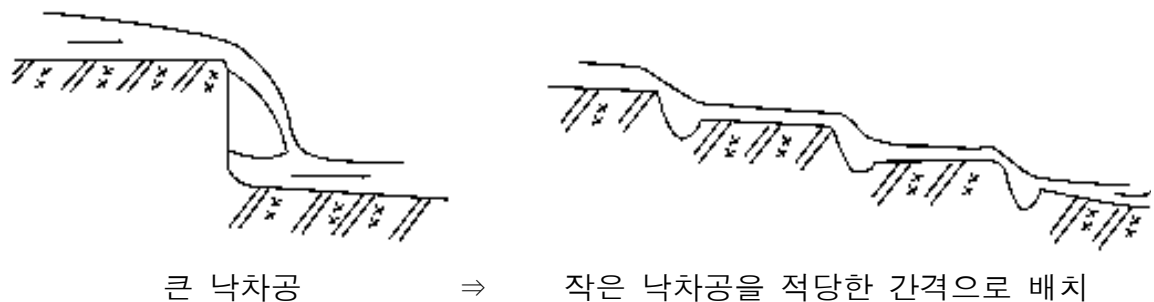


그림 4.2.22 낙차공 구조의 변경 예

## 아. 수변환경 조성

### 1) 일반사항

수변공간은 생태공간과 친수공간으로 구분되며, 용배수로 수변생태공간과 친수공간에 수변환경 조성계획을 수립한다.

#### 가) 수변생태공간

(1) 라이프사이클(life cycle)에서 물과 육지를 오가는 곤충류, 양서류 등의 서식환경을 위하여 수로 독은 풀과 나무의 식재를 검토한다.

(2) 동물의 이동통로

- 양서류, 파충류 등 작은 동물의 이동로(탈출로) : 수로와 육지를 오가면서 생활하는 양서류(개구리, 도롱뇽 등), 파충류(뱀, 자라 등)등이 수로와 육지를 오갈 수 있는 통로로서, 환경사의 등선로(촉구) 또는 단차 15cm 이하의 계단 또는 수로와 육지를 이어주는 박스(box) 또는 콘크리트 통로 등의 설치를 검토한다.

- 용배수로가 갈라놓은 서식환경을 이어주는 통로(포유류 등) : 용배수로는 하나의 생태환경을 인위적으로 갈라놓은 시설물이다. 따라서 이를 이어주는 포유류의 작은 동물, 큰 동물의 이동로를 설치해 주어야 한다. 이때에 유의할 점은 이동통로에의 유도장치와 수로에의 추락방지시설이다.

#### 나) 친수공간

(1) 비오톱(biotope)을 겸한 팜폰드 설치 : 어류의 비관개기 대피소가 될 수 있는 팜폰드 또는 조정지 주변에 수풀과 수목을 조성하고, 산책로, 수면 접근로 그리고 벤치(bench) 등을 설치하여 비오톱을 겸한 생태공원을 조성하여 자연학습장 등으로 이용토록 한다.

(2) 마을과 가까운 용배수로 변에 썸지공원 설치 : 용배수로 양쪽에 큰 나무를 심고, 꽃밭을 만들고 산책로, 벤치 등을 설치하여 마을 썸지공원 조성을 검토한다.

(3) 기간농도 또는 지방도와 용배수로가 교차하는 지점에 휴게소, 또는 대기소 설치를 검토한다.

(4) 용배수로 독을 이용한 산책로, 또는 자전거도 설치를 검토한다.

(5) 용배수로변에 어린이 놀이터 설치 : 수질 및 접근성이 양호한 용배수로변에 놀이시설 조성을 검토한다.

(6) 경관이 좋은 곳 또는 전망이 좋은 곳에 전망대 설치를 검토한다.

### 2) 수변환경 조성계획의 수립

#### 가) 수변 생태공간계획

용배수로에서 어류를 포함한 생태와 관련된 요소는 수리적 요소로서 유량, 유



속, 수심, 수질적 요소로서 물의 온도, BOD(생물학적 산소요구량), 물이 함유된 무기물, 유기물의 농도, 형태적 요소로서의 윤택의 재료, 종·횡단상의 굴곡 등이 다.

- (1) 유량에 변동이 없도록 유속과 수심에 변화를 계획
- (2) 어류, 양서류 등의 휴식, 대피, 산란장소가 형성되도록 계획
- (3) 수로둑에 군데군데 나무를 심어 그늘지게 함으로서 수온의 상승을 방지하고 어류 등의 휴식, 대피, 산란장소가 형성되도록 조치
- (4) 수로둑에 잔디나 잡초가 생장토록 하여 곤충, 양서류, 조류 등의 서식환경 조성
- (5) 수로내에 들어갔던 작은 동물(뱀, 개구리, 도롱뇽 등)들이 다시 나올 수 있도록 등선로(탈출로) 계획
- (6) 수로가 양분한 동물들의 서식환경을 이어주는 계획, 즉 작은 동물, 큰 동물들의 이동통로 계획
- (7) 비관개기 또는 단수시의 어류 피난장소(팜폰드, 수로와 연결된 웅덩이, 조정지 등) 계획

#### 나) 친수공간계획

- (1) 용배수로 둑의 조경계획 검토
- (2) 마을과 가까운 용배수로 변에 쌈지공원 검토
- (3) 용배수로 둑을 이용한 산책로, 자전거 도로 검토
- (4) 기간농도 또는 지방도 등과의 교차점 부근에 휴게소 또는 대기소 설치 검토
- (5) 자연학습장 또는 어린이 놀이터 검토
- (6) 전망이 좋은 곳 또는 경관 조망이 좋은 지점의 전망대 설치 검토

#### 다) 생태계 조성방안

##### (1) 생물조식을 위한 식생조성

###### (가) 소생물권 조성의 생태적 접근

모든 생물은 물을 떠나서는 살 수 없다. 따라서 연중 지속되는 수환경의 조성이 매우 중요한데 수역에서는 한 곳은 다소 깊게 연못형태로 만들지만 다른 한곳은 깊이 보다는 면적을 넓게 하되 다양하고 복잡한 지형을 만들 필요가 있다. 여기서는 물웅덩이와 저습지가 많이 포함되도록 하는 것이 필요하다. 이와 같이 소생물권의 무기적 요인들이 다양하게 조성된다면 기능적으로 다양한 식물종과 식생군집의 형성이 가능해지며 연쇄적인 생태계의 먹이사슬구조를 형성할 수 있다.

한편 용·배수로변에서 가장 적응력이 우수한 갯버들류를 최대한 활용하되 환경에 적응력이 뛰어난 목본식물을 적절하게 도입할 필요가 있다. 수변환경 주변이나 군데군데 다양한 높이와 수관을 지니는 목본식물을 도입하는 것은 생

물의 수직적 서식공간을 확보해 줄 뿐만 아니라 그늘을 드리움으로써 생태계의 기능을 촉진시킬 수 있다.

(나) 식생도입과 조성

소생물권 조성시 고려할만한 식물은 수변에 자생하는 갈대, 부들 등 수 십종에 이르는 습지성 식물들을 충분히 활용할만하다. 양서·과충류와 육상곤충 및 수생생물의 서식을 위해 다양한 서식공간의 창출도 중요하지만 어떤 식물을 도입하는 가는 바로 이들 생물의 서식처로서 또는 먹이자원으로서 밀접한 상호관련을 지니기 때문에 더욱 중요하다.

따라서 습지성 식물과 수생식물의 유형을 구분하여 적절하게 배치하는 것이 중요하다.

① 습지성 목본 식물 : 버드나무류, 오리나무, 느릅나무 등을 우선적으로 고려할 수 있을 것이다.

② 습지성 초본 식물 : 관상 경관적으로 아름다우며 다양한 곤충을 유인할 수 있는 식물종으로서 국화과의 쑥부쟁이류, 부들과의 부들, 벼과의 줄, 천남성과의 창포와 석창포, 붓꽃과의 노랑꽃창포, 미나리아재비과의 개구리자리 등은 우선적으로 고려할 만한 식물들이다.

③ 수생식물은 수환경의 깊이에 따라 생활형적으로 적응한 부엽식물, 정수식물, 침수식물, 부유식물 등 수생식물의 유형에 따라 적절하게 도입하는 것이 중요하다.

(2) 곤충의 서식환경조성

(가) 잠자리 관찰로 조성

① 용·배수로변에는 잠자리류가 풍부하여 잠자리들의 다양한 생태가 관찰 가능하다.

② 용·배수로면에 소로를 설치하여 관찰로로 이용한다.

③ 관찰로 입구에 서식하는 잠자리에 대한 생태 등을 기술한 생태 설명판을 설치하면 교육적인 효과와 흥미유발이 가능하다.

(나) 나비 산책로

① 산책로 주위에 다양한 관목류(가급적 꽃이 아름답고 개화기간이 다양할 것)를 설치하면 보다 많은 나비들의 서식이 가능할 것으로 예상된다.

② 나비류는 대개 트인 공간을 선호하므로 산책로를 다소 넓게, 키가 높은 나무들의 식재를 금한다.

(다) 초지조성

초본을 이용한 잔디를 조성하여 메뚜기 서식지 및 휴식공간을 조성한다.

(라) 자연 정화 습지 조성

- ① 용배수로의 오염은 자연 비오톱의 이미지와 어울리지 않고 하천의 오염이 다양한 곤충들의 서식을 방해함으로 수질정화가 필요하다.
- ② 용배수로의 물을 습지에 끌어 들여 수질정화 능력이 우수한 수생식물(생이가래, 쯤개구리밥, 물옥잠, 갈대, 왕버들)들을 이용하여 수질을 정화시킨다.

(3) 양서류 서식환경조성

(가) 서식처내 도입 개구리 선정조건

- ① 양서류 도입에 있어서는 국내 서식하고 있는 11종 중에서 우선 시작적인 면과 청각적인 면을 고려하여야 하는데, 국내에서는 전국적으로 분포하고 있으며, 개체군도 우점종을 차지하고 있고, 주로 수변과 논 주변에서 생활하고 있는 참개구리를 선정하는 방식이 바람직하다고 본다.
- ② 용배수로변 습지에 오래전부터 살고 있었던 청개구리도 습지의 형태가 복원이 되면 인위적으로 도입하더라도 회복이 가능하리라 판단되며, 청개구리는 시각적인 면과 울음소리가 크고 쉽게 들을 수 있어서 청각적인 면에서 사람들에게 친근감을 줄 수 있으리라 본다.

(나) 서식처내 도입할 개구리 채집 및 생존확인

- ① 인위적으로 도입하였을 경우 자연생태계를 유지하고 지속적으로 관리할 수 있는 방안이 모색되어야 한다.
- ② 외부에서 도입할 경우 현재 서식하고 있는 종과 과거 서식조건이 양호한 상태에서 서식하고 있었던 종류를 방사하여야 하며, 방사전에 표시를 하고 일정기간이 지난 뒤 재채집하는 방법을 이용하여 생존유무 및 개체수 증감변동을 확인하여야 한다.
- ③ 도입종 종의 유전적 다양성과 기존에 서식하고 있는 개체군들과의 친화성을 고려하여 근접한 지역에서 종을 채집하여 도입하여야 한다(유전적 단절화 방지와 유전적 다양성 고려).

(다) 교육적인 효과 증대

저습지안에는 생태관찰을 위한 생태통로를 설치하여 개구리류의 관찰로를 만들어주고 교육적인 효과를 증대하기 위하여 설명판을 세워주어 학습효과를 증대시킨다.

(라) 최소 서식공간 조성

- ① 서식처내 수질변화의 저감방안 : 개구리 산란에 대한 요인으로는 수질의 상태이며, pH 4.0 이하로 산성화가 되면 산란에 장애가 되므로 수환경의 정화 및 회복이 전제되어야 한다.
- ② 최소 서식공간 조성 : 개구리 최소 서식공간을 위한 저습지 조성을 위해서는 저습지의 수심이 1m에서 수변부위는 35cm 내외로 만들어 주어야하며, 중

양부분에는 턱을 만들어 가끔 개구리가 휴식할 수 있는 공간을 확보해 준다.

- ③ 서식처내 수생식물 유치방안 : 저습지 수변 주변에는 좀개구리밥, 개구리밥, 생이가래, 물옥잠 등 물위에 떠서 사는 수생식물들을 다양하게 이식하여 개구리의 은신처 제공 및 수질을 정화하도록 하며, 물가에 자라는 풀을 이식하여 산란장소로 이용하게 하여야 한다. 또한 검정말, 나사말 등 물에 잠겨서 생활하는 종을 유치하면 물속의 용존산소량의 증가를 가져오게 되고, 수서곤충의 다양성을 회복하게 되어 먹이원이 풍부하게 되므로 개구리의 생존율과 개체수의 증가를 가져오게 된다.

#### (4) 어류 서식환경 조성

##### (가) 최소 서식공간(Biotope) 조성

습지 조성단지내에 어류 비오톱을 조성하여 붕어, 송사리, 버들치 등을 인위적으로 방사하여 서식처 및 기존에 서식하고 있던 종을 도입시키고 주기적으로 생존율과 개체수 변동요인을 확인하여야 한다.

##### (나) 서식처내 수온변화의 저감방안

습지내 수온의 급격한 변화(최고수심 1m, 최저수심 0~35cm)에 유의하여야 하며, 겨울철에도 어류가 동면을 유지할 수 있도록 온도의 변화를 최소화하기 위해 주변에 자생하고 있는 갯버들류를 수변에 식재하고 여름에는 그늘을 조성하여 어류의 피난처를 제공해 주어야 한다.

##### (다) 서식처내 방사어류 채집

개구리 비오톱 조성 사례와 동일하게 어류 종류도 유전적 변이 차이를 극소화하기 위해 인접지역에서 종을 채집하여 방사하여야 한다.

##### (라) 생태 설명판

생태 설명판은 가로 1m×세로 1m의 설명판에 서식종의 일반적 및 형태적인 모습과 분포, 습성, 생태, 인간과의 관계 그리고 생물학적인 가치를 기술하여 비오톱을 이용하는 사람들에게 시각적인 면과 현장실습 교육적인 효과를 증대하여야 한다.

##### (마) 생물학적인 효과

어류 비오톱에 송사리, 버들치, 붕어 등과 같은 담수어류를 방사하면 생태계의 먹이사슬 연계성의 차원에서 다양한 생물이 하나의 소공간에서 서로 상호공존하며 생활하게 됨으로 생물 다양성의 증가를 유발할 수 있다(양서류, 곤충, 어류).

#### (5) 조류 서식환경조성

##### (가) 서식지 복원을 위한 목표종 선정

서식지를 복원할 때, 모든 종을 위해 서식지를 복원하는 것보다는 대상지역에 적절하며 적은 비용으로 최대의 효과를 기대할 수 있는 종을 목표로 복원하는

것이 바람직하다.

(나) 서식지 기반조성

- ① 자갈모래 기반조성 : 자갈모래 언덕은 주로 물떼새류, 알락할미새의 번식장으로 이용된다.
- ② 저습지 : 저습지는 되도록 담수지에 접하도록 한다. 도요·물떼새류 등이 주로 채식·휴식장소로 이용하기 때문에 전체적으로 평평하게 하면서 20~30cm凹凸이 있는 지형으로 만들고 미묘한 환경의 변화가 있게 한다. 오리류가 채식하는데 이용토록 하기 위하여 종자식물, 화본과(禾本科)나 마디풀과의 초본을 조성한다. 물가에는 이들 조류가 보행하기 수월하도록 완만한 경사로 한다. 때때로 침수되더라도 무관하다. 지반은 다른 환경과 같이 모래 진흙으로 한다.
- ③ 조류유치전략 (틔새의 정주화) : 계절에 관계없이 생태연못에 항상 야생조류가 모이게 하기 위해서는 야생조류들이 안심하고 찾아들 수 있도록 몇 개종의 틔새를 가금화하여 상주시키는 전략이 요구된다.

3) 수변환경 조성

가) 동물의 이동통로

동물의 이동통로는 크게 두 가지로 구분할 수 있다.

- ① 수로와 육지를 쉽게 이동할 수 있는 시설
- ② 생태계를 연결시키는 시설 (수로가 갈라놓은 생태환경을 이어주는 것)

(1) 수로와 육지를 쉽게 이동할 수 있는 시설

수로와 육지를 오고가는 동물은 주로 곤충류, 양서류, 파충류이며, 완경사의 흙수로에 식생호안으로 설계하는 것이 제일 좋다. 이러한 구조일 경우 별도의 이동통로는 필요 없게 된다. 완경사의 자연석 호안도 같은 결과를 얻을 수 있다.

그러나 급경사의 수로에서는 식생호안으로는 수로가 유지될 수 없으므로 돌쌓기나 콘크리트 벽체로 호안을 해야 하므로 이때에는 이동통로를 별도로 만들어 주어야 한다.

이동통로의 구조는 수로의 종방향 또는 횡방향의 완경사 측구, 15cm 미만의 단차로 된 계단형이 있으며, 구형 콘크리트 암거나 관을 완경사로 설치하는 경우 등 여러 종류가 있다.

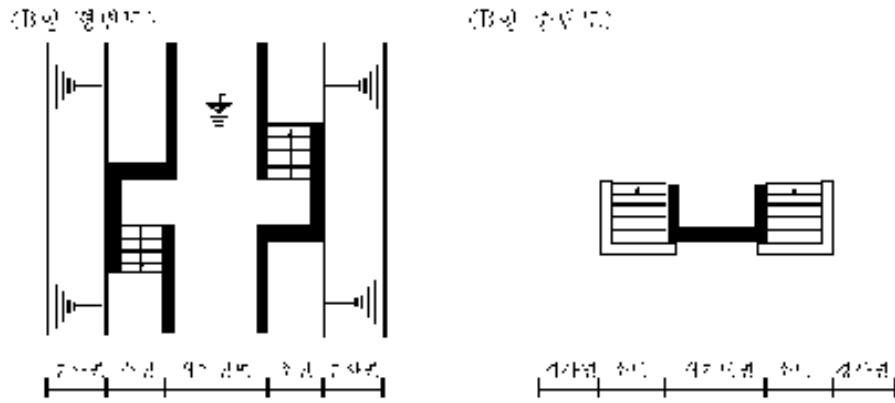
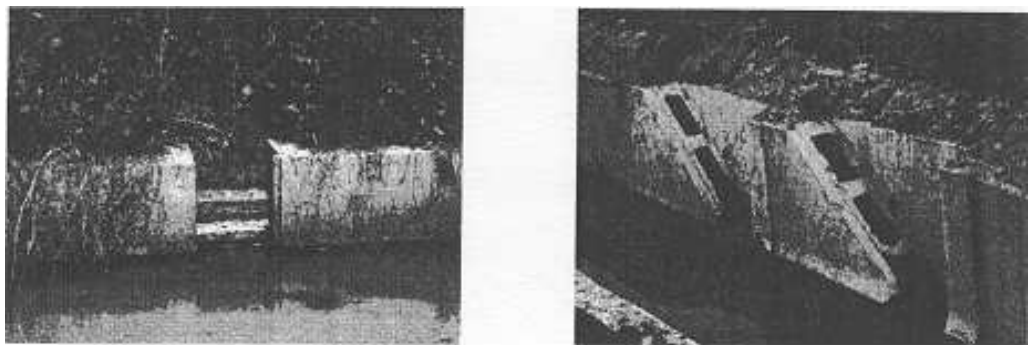


그림 4.2.23 수로와 육지 이동 통로 모식도



(a) 배수로 측면에 계단식으로 시공

(b) 배수로 측면에 양서류 이동 시설

그림 4.2.24 등선로 (촉구) 시공 사례

### 【등선로 시공사례】

- 설치구간 : 24 ~ 32m (양방향으로 한다)
- 계단입구 : 약간의 낙차 (10 ~ 20cm)로 계획
- 계단폭 : 지구 여건에 따라 결정하고 높이 20cm 이하

### (2) 생태계를 연결시키는 시설

용배수로나 갈라놓은 양쪽 지역을 이어주는 통로는 주로 포유류를 대상으로 하여 설계하는 것이 바람직하다.

이때는 그 지역에서 서식하는 동물을 파악하고 그들의 습성에 대하여 고려할 필요가 있다. 동물에 따라서는 어둡고 좁은 공간으로 이동하는 습성을 갖는 동물(너구리, 족제비, 담비 등)이 있는가 하면 밝고 넓은 공간을 선호하는 동물(노루, 사슴, 멧돼지 등)이 있기 때문이다.

설치 간격 또는 위치에 대하여는 동물들이 다니는 길목을 조사하여 설치하고 유도로 또는 유도시설 등의 배려도 필요하다.

기타 자세한 사항은 「환경친화적 농어촌정비사업 설계지침 농촌도로편」참고.

#### 4) 친수공간 계획

##### 가) 팜폰드 또는 조정지

팜폰드의 기능이나 필요성에 대한 설명은 필요가 없지만 환경적 측면에서도 이들의 설치가 필요하고 바람직하다는 것을 인지할 필요는 있다. 특히 기왕에 설치하는 팜폰드를 이용하여 비오톱을 형성하고 이를 발전시켜 생태공원 또는 자연학습장으로 활용하는 방안이 검토될 수 있다.

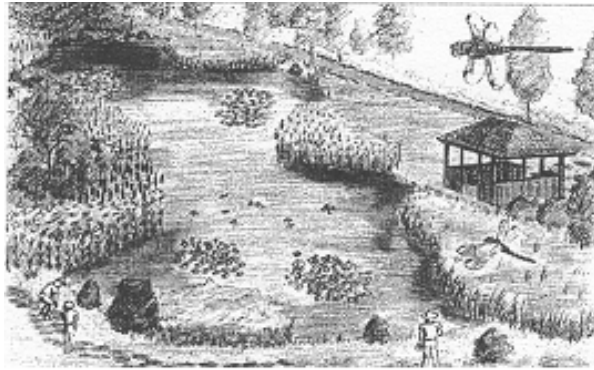


그림 4.2.25 수생곤충의 비오톱 이미지도

나) 마을과 가까운 용배수로 주변에 썸지공원을 설치하여 마을사람들의 대화의 장을 마련하고 문화공간으로 활용한다.



그림 4.2.26 친수광장 이미지도

다) 마을로의 진입로 인근에 도로와 용배수로가 교차하는 지점에는 휴게소 또는 대기소를 설치하고, 마을경관을 고려하여 지역에 맞는 식생을 식재하여 휴식공간으로 조성한다.

라) 용수로 독을 이용한 산책로 또는 자전거도로를 설치하여 유지관리 도로로 활용할 수 있다.

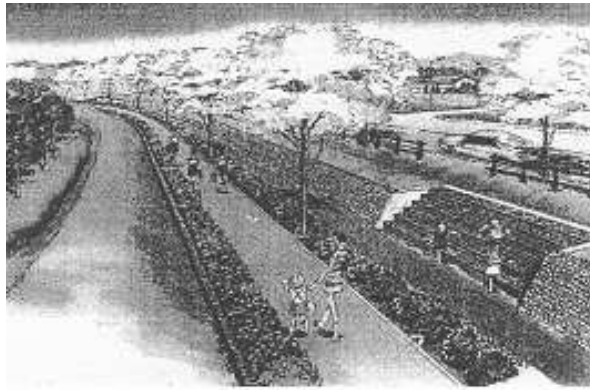


그림 4.2.27 산책로 이미지도

- 마) 전체 들판을 바라볼 수 있는 곳 또는 아름다운 산과 하천을 바라볼 수 있는 곳에 주민들의 동의를 얻어 전망대(팔각정 등) 설치를 고려한다.
- 바) 「환경친화적 농어촌정비사업 설계지침 마을정비편」 공원 녹지계획 참고.
- 사) 「환경친화적 농어촌정비사업 설계지침 농촌도로편」 농촌가로공원 참고.

#### 자. 용배수로의 다각적 이용시설

용배수로의 다각적 활용방안을 검토하여 이용시설을 계획할 수 있다. 즉 주민생활과 관련된 이용시설, 산업과 관련된 이용시설, 농촌관광, 위락과 관련된 이용시설 및 기타 이용시설을 들 수 있다.

##### 1) 용배수로의 다각적 이용계획 수립

용배수로와 주변 토지이용 상황을 고려한 시설이용계획을 수립한다.

- 가) 주민생활과 관련된 이용시설로서 수로변의 농작업장 시설 등
- 나) 산업관련 이용시설로서 수로와 연결된 양어장, 양식장 등
- 다) 농촌관광, 레크리에이션 관련으로는 어린이 고기잡이 체험장, 물놀이장, 성인들을 위한 낚시터, 산책로, 수변 전망대 등
- 라) 기타 관련시설로서 어린이 학습을 위한 곤충 생육장, 자연학습장 등





그림 4.2.28 친수공원 이미지도

## 2) 용배수로의 다각적 이용시설

용배수로의 이용방법은 다양하게 고려될 수 있다.

- 가) 용배수로 변에 양어장을 만들어 농가수입을 올리게 하고 유료낚시터로 이용하게 하는 방법도 생각할 수 있다 (단, 수질오염에 대한 대책 및 저감방안을 강구하고, 이를 관리하는 주체를 주변 지역주민들을 중심으로 구성하여 관리책임을 위임한다. 만약, 관리주체가 불분명할 경우에는 시설을 설치하지 않을 수도 있다).
- 나) 용배수로에 우회수로(By pass)를 만들고 그곳에서 고기잡이 체험장, 물놀이터 등으로 활용할 수 있다.

## 차. 친환경 호안공법

### 1) 친환경 시공재료

#### 가) 콘크리트 화분블록계

- (1) 콘크리트 화분블록은 다양한 식생도입이 가능하나 콘크리트 화분의 표면이 노출되고 식생조절이 불가능하며 생태통로의 연결이 불가능 하여 단절되거나 연결에 한계가 있다.
- (2) 화분형 어소블록은 물고기 및 수서곤충의 서식공간 확보는 가능하나 식생도입이 불가능하고 생태통로가 단절된다 (「환경친화적 농어촌정비사업 설계 지침」 친환경 시공재료 참조).

#### 나) 식생계 호안블록

식재형 호안블록은 부분적인 식생도입이 가능하나 콘크리트 표면이 노출되고 부자유스러운 경관이 나타나고 개방된 공간을 통한 토사유출이 발생할 위험성이 존재한다.

다) 자연석계

- (1) 호박돌 보강토형은 자연석으로 표면을 연출하며 사면의 안정성은 확보할 수 있으나 식생도입이 불가능하다.
- (2) 돌상자는 다공성의 확보로 수서생물의 서식공간을 확보할 수 있고 유속이 큰 곳에 안정성 확보가 가능하나 돌상자의 두께가 두꺼울수록 식생도입이 어렵고 절망의 노출로 쓰레기가 부착될 우려가 있다.
- (3) 나무 돌상자는 수서생물의 서식공간과 친수 접근로의 확보가 가능하나 식물의 정착이 불가능하다.
- (4) 콘크리트 돌상자는 흙의 충전을 통한 식생도입이 가능하나 수층부의 식생도입이 어렵고 유속이 큰 곳은 유실 가능성이 크다.

라) 다공성 식생블록

- (1) 다공성 식재블록은 전체적인 사면에 식생의 도입이 가능하고 식생의 정착과 배수기능 확보로 사면의 안정성 확보가 가능하나 도입식생에 한계가 있으며 식생이 정착되지 않았을 때 건조에 대한 피해가 발생할 수 있다.
- (2) 이형 다공성 식재블록은 복토층을 보호하고 개구부를 통해서만 식생의 도입이 가능하고 배면 토양 유실의 방지 기능이 있으나 수층부의 식생 도입의 한계와 공극의 크기가 작아 도입 식생에 한계가 있다.
- (3) 다공성 콘크리트 구는 물고기와 수서생물의 서식공간을 확보할 수 있고 구면체 사이에서의 식생 도입이 가능하며 구면체의 일체화를 통한 안정성을 확보할 수 있다.
- (4) 다공성 식재블록은 전체적인 사면에 식생의 도입이 가능하고 공극의 크기를 키워 도입식생의 폭을 넓힐 수 있으나 공극 사이의 충전율을 높여 건조피해가 감소하고 식생의 정착과 배수기능 확보로 사면의 안정성을 확보할 수 있다.
- (5) 다공성 용벽블록은 뿌리가 큰 목본류의 도입이 가능하고 전체의 일체화를 통한 안정성 확보 및 배수성의 확보가 가능하다.
- (6) 다공성 어소블록은 물고기와 수서생물의 서식공간을 확보하고 전체의 일체화를 통한 안정성 확보 및 배수성의 확보로 사면의 안정성 확보가 된다.

마) 어소 및 어도블록

- (1) 어소블록은 어소공간만의 존재로는 물고기가 이용하기 어렵기 때문에 사용된다.
- (2) 어도블록은 층계식 이동통로로 되어있다.

## 2) 친환경 호안공법

친환경 호안공법에는 식생계 호안공법, 목재계 호안공법, 망태(바구니)계 공법, 자연석계 공법, 블록계 호안공법 등이 있다.

### 가) 식생계 호안공법

#### (1) 일반사항

(가) 유수에 대한 저항력이 크지 않기 때문에 비탈경사가 완만하고 유속이 느린 구간에서 일반적으로 많이 사용되고 있으며 다른 호안공법들과 병행하는 경우가 많다.

(나) 비탈면은 식생의 보호를 위하여 토목섬유나 블록매트 등으로 보강하는 공법이 일반적으로 많이 사용된다.

(다) 비탈기초의 보호를 위해 사석과 나무말뚝 등의 보강재료가 사용된다.

#### (2) 천연섬유망과 식생을 이용한 공법

##### (가) 시공방법

평수위 윗부분의 완경사 비탈면에 천연섬유망(황마망 등)을 핀으로 고정하고 식생을 식재한다. 평수위 아랫부분에는 원통형 천연섬유롤과 나무말뚝을 설치하고 그 앞면에 강자갈이나 사석을 쌓는 방법으로 시공한다.

##### (나) 적용구간

경사가 작은 절개지로 식생이 활착되면 세굴에 저항할 수 있는 곳에 적용한다.

##### (다) 특징

공사 직후 수로하천(하천)변이 세굴되는 것을 방지하여 자연식생이 잘 활착되며 물가의 서식환경을 조성한다.

#### (3) 사석쌓기와 갯버들을 이용한 공법

##### (가) 시공방법

사석을 쌓으면서 틈에 식생을 꺾꽂이 하여 식생들이 활착하도록 하는 공법으로서 돌 뒤로 뺀 나무뿌리로 배후의 토사를 안정시키고 줄기의 성장에 의하여 돌끼리 결합력을 증가시킨다.

##### (나) 적용구간

홍수류의 강도가 비교적 큰 곳에 적용한다.

##### (다) 특징

버드나무의 줄기에 의하여 홍수류가 호안부근에서 완화되며 물고기를 비롯한 수생식물에 피난처를 제공하는 특징이 있다.

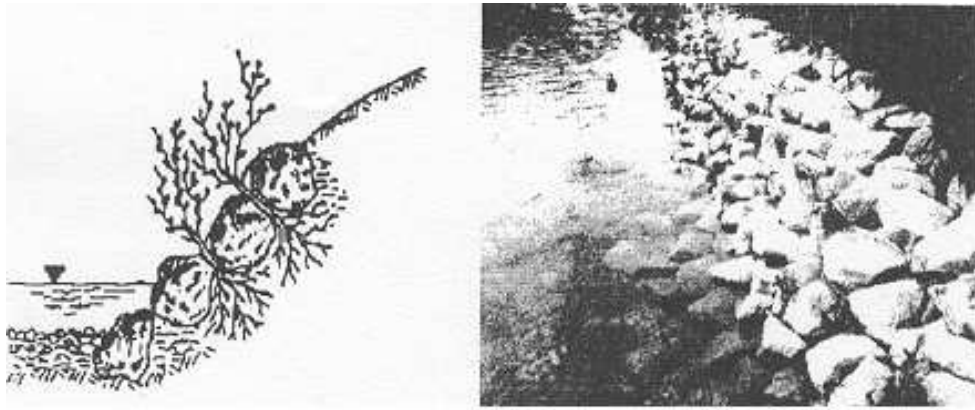
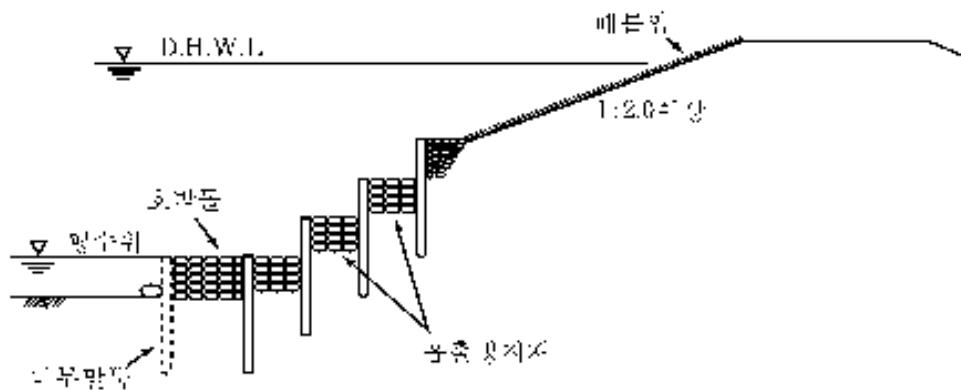


그림 4.2.29 사석쌓기와 갯버들을 이용한 공법

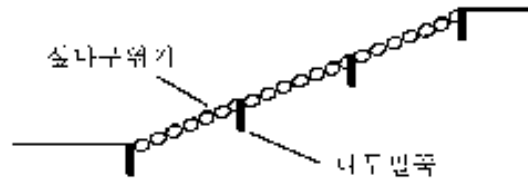
나) 목재계 호안공법

(1) 일반사항

- (가) 목재만을 사용하는 공법은 거의 없고 사석, 자연석등 돌을 보강하는 경우가 일반적이다.
- (나) 완만한 비탈경사와 유속이 크지 않은 곳에 일반적으로 많이 사용되며 직선이 적은 하천에 적용하도록 해야 한다.
- (다) 다양한 비탈경사에 적용할 수 있는 공법들이 많이 개발되어 있으며, 간벌 목 등을 이용하면 경제성을 높일 수 있다.
- (라) 경관성이 있고 생물의 서식처 제공 등 생태학적으로도 양호한 특성을 가지고 있으므로 일반 하천에 많이 적용한다.
- (마) 식생계 호안 기초부의 세굴 방지 공법으로 널리 이용된다.



(a) 나무 말뚝 울타리공



(b) 쇼나무 공법

그림 4.2.30 목재계 공법의 전형적인 예

(2) 나무방틀과 식생조합 호안

(가) 시공방법

- 통나무로 틀을 만들고 그 안에 많은 사석을 넣어 조성하는 호안이다.
- 돌 틈사이에 토사가 채워지면 식생이 활착되고 식생이 성장할수록 더욱 튼튼해진다.

(나) 적용구간

- 완만한 비탈경사와 유속이 크지 않은 곳에 적용한다.
- 직선이 적은 하천에 적용한다.
- 침식이 많이 일어나는 곳에 적용한다.

(다) 특징

- 돌틈에서 미생물과 물고기들이 서식한다.
- 홍수시 토사가 퇴적되면 식물의 성장기반이 마련된다.
- 돌망태에 비해 좀 더 자연스러운 경관을 연출한다.

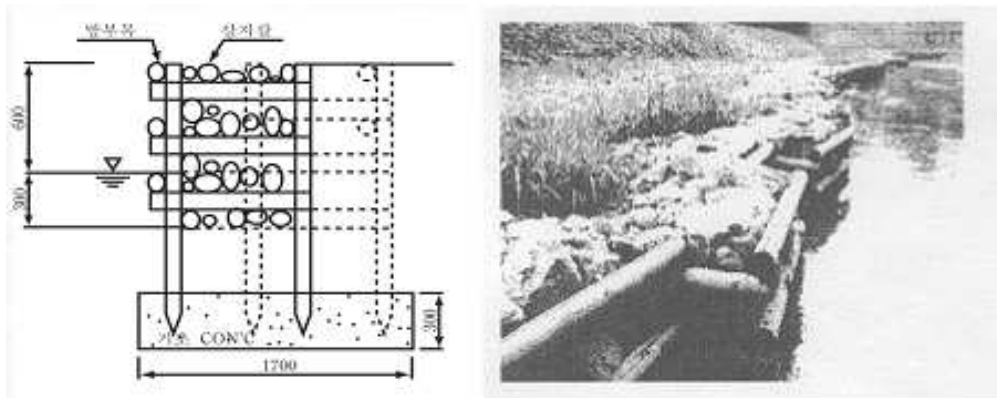


그림 4.2.31 나무 방틀과 식생조합 호안

(3) 나무 말뚝 울타리 호안

(가) 시공방법

- 나무말뚝으로 울타리를 설치하고 갠 잡석으로 채우고, 하상보호를 위해 하상바닥에도 나무방틀 밀다짐공 시공을 한다.

(나) 적용구간

- 완만한 비탈경사와 유속이 크지 않은 곳에 적용한다.
- 직선이 적은 하천에 적용한다.
- 침식이 많이 일어나는 곳에 적용한다.

(다) 조성사례

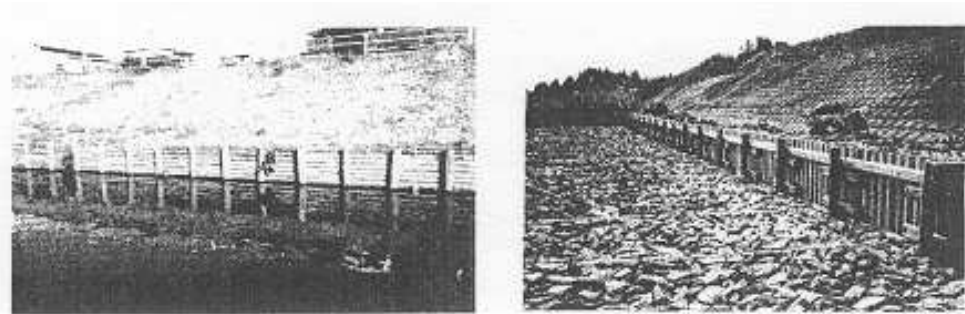
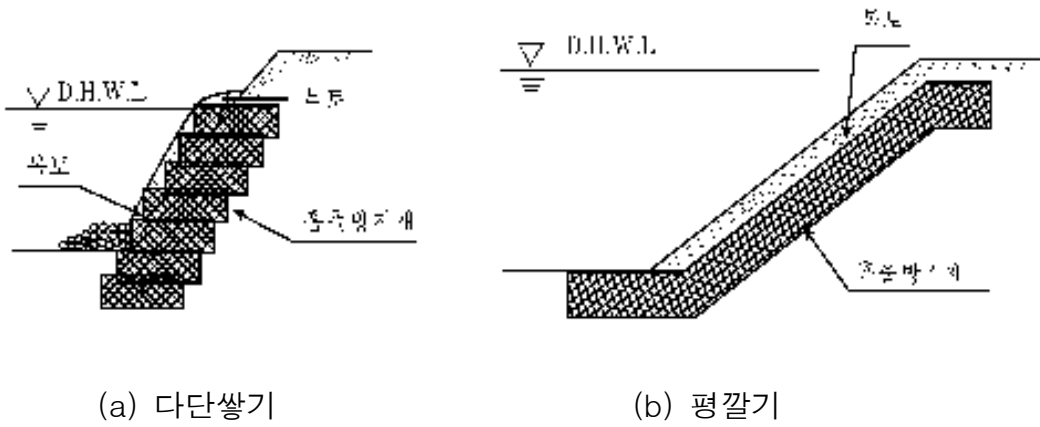


그림 4.2.32 나무말뚝 울타리 호안

다) 망태(바구니)계 공법

- (1) 철선으로 짜여진 망태(바구니)에 돌을 채우거나 돌무더기를 철망으로 고정하는 방법으로 호안을 하는 공법이다.
- (2) 수세가 급하고 석재를 구하기 힘든 곳, 응급 복구 또는 미관이 필요 없는 곳에 적합한 공법으로 소하천등에 많이 이용된다.
- (3) 내구성과 굴요성이 크기 때문에 유속이 빠른 하천지역과 수공구조물의 상·하류 지역 등 흐름의 영향을 많이 받는 곳에서 제방과 하상의 보호공으로 적합하다.
- (4) 유속이 빠른 수충부에도 적용할 수 있으며 경제적으로도 유리하기 때문에 많이 사용된다.
- (5) 철선 부식 및 비닐 등 호안의 미관을 해치는 물질이 많이 걸리기 때문에 도시하천 구간에서는 사용하지 않는 것이 좋다.



(a) 다단쌓기

(b) 평깔기

그림 4.2.33 바구니계 공법의 전형적인 예

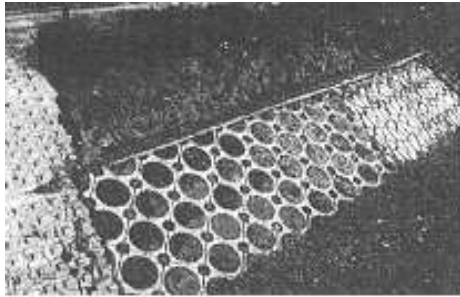
라) 자연석계 공법

- (1) 찰쌓기, 메쌓기 또는 찰붙임, 메붙임 등 비탈면에 돌을 설치하는 방법에 따라 여러 가지 형태가 있으며 크고 작은 자연석을 서로 조화시킴으로서 노출면은 미적으로 아름다운 조경효과를 낼 수 있다.
- (2) 내침식성 등 내구성이 크기 때문에 유속이 큰 곳에도 적용 가능하여 소하천 호안공사에 많이 사용되는 공법이다.
- (3) 큰 유속 및 소류력에 저항력이 크고 재료의 취득이 용이하기 때문에 하천 경사가 급하고 유속변화가 큰 소하천 호안공사에 널리 사용되어 오던 공법이다.
- (4) 하상경사가 급하고, 유속의 변화가 큰 소하천 등에서는 가장 많이 사용되고 있는 공법이다.
- (5) 호안용 재료로 사용되는 돌은 자연석, 깬돌, 폐석, 가공석 등 다양하며, 제방비탈 돌깔기, 돌쌓기(찰쌓기, 메쌓기), 돌붙임 등 시공방법도 다양하고 적용범위도 넓다.
- (6) 일반적으로 돌깔기는 비탈경사가 완만한 곳, 돌쌓기는 비탈경사가 급한 곳에서 적용되는 방법이다.
- (7) 어류의 산란 및 서식장소등 양호한 생태환경을 조성하기 위해서는 가급적 모르타르의 사용을 지양하는 것이 바람직하다.
- (8) 표층이 양력, 항력, 유수의 충격 및 침식작용에 견딜 수 있는 충분한 강도를 가지고 있다고 하더라도, 기초토양의 포화에 의한 강도의 약화, 표층과 기초토양의 경계면에서 발생하는 한계류 흐름 등의 원인에 의해 기초토양이 유실되고, 표층의 공극을 통해 씻겨 나가게 된다.
- (9) 석재계 호안에서 특히 유의하여야 할 사항은 이러한 흡출에 의한 호안하층(제방비탈면)의 토양유실을 방지하는 것이다. 과도한 흡출은 호안을 파괴하

게 되고 급기야는 제방의 파괴를 초래하게 되므로, 이러한 흡출에 대한 방지대책이 필요하다. 하천공학에서 주로 사용되는 흡출방지 대책은 토목섬유(지오텍스타일)와 자갈필터이다. 토목섬유나 자갈필터의 수리학적 특성은 유사하기 때문에 재료와 공간의 유용성, 시공의 편리성, 위치 등과 같은 점을 고려하여 선택한다.

마) 블록계 호안

- (1) 공법에 사용되는 블록은 치수 목적으로 많이 사용되어온 일반 호안블록과 식생, 어류 등 수변·수생 생물의 서식지를 고려한 환경블록 등이 있다.
- (2) 환경블록과 식생블록은 식재공간을 두어 식재도 가능하며 큰 유속에도 견딜 수 있으므로 수층부나 수공구조물 상·하류의 제방보호가 필요한 구간에 적용할 수 있어 치수적으로나 경관적으로 양호한 호안형태이다.
- (3) 블록자체의 모양을 자연석과 같은 형태로 제작하여 자연석과 같은 경관을 창출하기도 하며 블록사이의 공극에 채워진 객토는 지반과 연결되어 식물, 곤충, 미생물 등 생육가능한 수변생물의 서식공간을 제공한다.



중공호안공법



식생호안공법

그림 4.2.34 호안블록 시공사례

카. 자연형 호안공법에 대한 허용유속

호안공법별 대표유속 기준은 「환경친화적 농어촌정비사업 설계지침」의 부록 11. 참고

## 4.3 터널

### 4.3.1 일반사항

이 기준에 명시되어 있지 않은 사항에 대해서는 「농업생산기반정비사업계획설계기준 수로터널편」에 따른다.



### 가. 적용범위

이 기준은 농업생산기반정비사업의 용·배수의 송수를 주목적으로 하는 수로터널에 적용한다.

이 기준은 내공단면의 직경이 6.0m 미만인 수로터널에 적용되며 그 밖의 특별한 것은 별도의 검토가 필요하다.

일반적인 굴착공법 및 지보공공법 이외의 특수한 공법에 의할 경우에는 부분적으로 이 기준을 준용할 수 있으나 별도의 검토가 필요하다.

### 나. 노선 선정

터널의 노선은 지형·지질적, 기술적, 경제적, 사회적 조건 및 환경에 미치는 영향 등을 고려하여 가장 적합하게 위치를 선정해야 한다.

터널은 안전하고 경제적으로 시공되어야 하며 기존시설이나 인근 주민의 생활에 미치는 영향을 최소화해야 한다. 이를 위해서 노선선정에 있어 다음 사항에 유의하여야 한다.

- 1) 시공 및 구조상 안전을 위하여 지형 및 지질조건이 양호한 노선을 선정 해야 한다.
- 2) 터널은 개수로에 비하여 공사비가 고가이기 때문에 지형, 지질조건을 고려하여 될 수 있는 한 최단거리가 되도록 노선을 선정한다.
- 3) 노선의 선정은 가능하면 2~3개의 노선을 비교 선정하여 공사비를 적산하고 종합적으로 검토한 후 가장 적합한 노선을 선정해야 한다.
- 4) 필요 최소 흙덮이 두께를 고려하여 노선을 선정한다.
- 5) 철도, 기타 중요한 기존시설에 접근시켜 터널을 설치할 경우에는 굴착단면 직경의 5~10배 정도 떨어지게 하는 것이 바람직하다.

### 다. 터널의 선형

터널의 선형은 계획노선에 따라 지형, 지질의 조건, 가설갱, 기존시설 등과의 위치 관계 및 시공방법 등을 종합적으로 검토하여 선정할 것이나 되도록 직선 또는 곡률 반경이 큰 곡선이 되도록 설계해야 한다.

### 라. 터널의 최소 흙덮이 두께

터널은 시공 상의 안전, 경제성, 구조상의 안전 및 수로보전을 위하여 최소의 흙덮이 두께가 필요하다.

흙덮이 두께는 라이닝의 유무 및 재질, 동바리의 종류, 원지반의 지질, 내수압의 크기 등에 따라 다르지만 일반적으로 표 4.3.1의 값을 표준으로 한다.

표 4.3.1 터널 최소 흙덮이 두께(Dc)의 표준

구분	암터널	토사 터널
모르타르 또는 콘크리트 뿔어 붙임 단면	$Dc=10De \geq 30m$	-
무근 콘크리트 라이닝 단면 (동바리 없음)	$Dc=3De \geq 6m$	$Dc=5De \geq 10m$
무근 콘크리트 라이닝 단면 (동바리 있음)	$Dc=2De \geq 4m$	$Dc=3De \geq 6m$
철근콘크리트 라이닝 단면 (동바리 있음)	$Dc=1.0De \geq 2m$	$Dc=1.5De \geq 3m$

- 주) 1. De: 터널굴착단면의 직경 (m)  
 2. 토피두께(Dc)는 터널 본체상단에서 지표까지의 높이

### 마. 터널의 기울기 및 단면형

터널의 기울기 및 단면형은 수리, 구조 및 시공 상의 문제점을 고려하여 적절한 설계를 하여야 한다.

#### 1) 터널의 기울기

터널의 종단기울기는 수리, 경제 및 시공적 요소 등의 상호관계를 고려해서 결정해야 한다. 수리 및 경제적 요소에서는 수로조직 전체의 수두배분에 의해서 결정되어야 하지만 터널은 개수로와 비교해서 단위 길이당 공사비가 고가이기 때문에 되도록 종단기울기를 급하게 해서 단면을 작게 하는 것이 경제적이며, 시공적 요소로서 갱내 용출수의 처리대책 및 갱내 사용기계의 주행조건이 있지만 수로터널에서는 1/500 ~ 1/5,000의 범위이다.

#### 2) 터널의 단면형

수로터널의 내공단면 형상은 수리, 경제구조 및 시공적 요소를 고려하여 결정하지만 종래의 시공예로 보아 무압터널에서는 표준마제형, 압력터널에서는 원형을 채택하는 것이 일반적이다.

### 바. 최소시공단면

터널단면의 크기는 통수량에 의해서 결정되는 것이 원칙이나 시공의 안전성과 경제성이 확보될 수 있도록 최소단면을 결정해야 한다.

시공 상의 최소단면은 지반의 지질, 터널의 길이, 시공방법 및 시공기계의 종류와 규모 등에 따라 다르나, 널판공법을 사용하여 굴착 및 라이닝을 기계시공으로 할 경우 시공완료 후 내공단면 기준으로 내폭 1.80m, 높이 1.8m 이상이 되도록 한다 (완성 후 내공단면 기준 내폭 1.8m, 높이 1.8m는 동바리 내폭이 2.3m, 킅업 시점부까지

2.1m에 상당함).

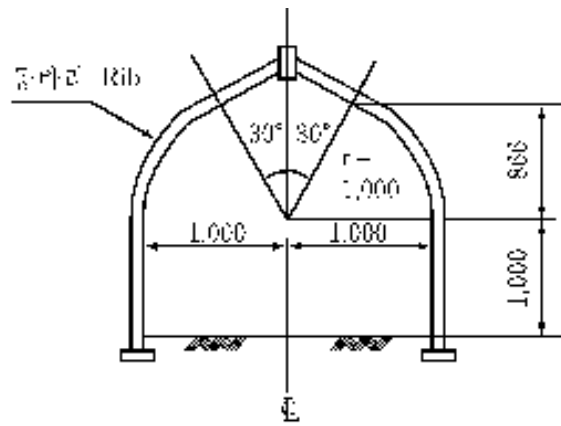


그림 4.3.1 터널의 최소시공단면표준도

### 4.3.2 구조설계

#### 가. 터널의 형식

터널의 표준단면은 지질조건에 적합한 터널형식으로 설계하여야 한다.

터널공사의 주요부분인 터널본체의 표준단면도와 설계는 특히 중요하며 착공 후 공법의 기본을 변경하든가 또는 터널형식을 대폭으로 변경하는 것은 공사비의 증대, 공기의 연장 등이 수반되기 마련이다. 따라서 면밀한 지질조사결과를 토대로 세밀한 설계를 해야 하며 시공법에 적합하고 지질변화에 따라 터널형식을 선정할 수 있도록 해야 한다. 터널형식의 종류는 주로 라이닝의 유무, 재질, 동바리의 유무 및 형식, 종류 등에 따라 결정되지만 본 기준에서는 표 4.3.2와 같이 4종류로 분류한다.

표 4.3.2 터널의 형식분류

터널 형식	지질상황		널판공법의 경우		뿔어붙임 콘크리트·록 볼트공법의 경우					
			동바리	라이닝	뿔어붙임 콘크리트	록 볼트 길이 (cm)	록 볼트의 간격 원둘레 방향 (m)    길이 방향 (m)		강제 동바리 설치간격 (m)	라이닝
A	균열이 적은 신선한 암		동바리가 없거나 록 볼트	무근 콘크리트 또는 뿔어붙임 콘크리트	0 또는 5	-	-	-	-	무근 콘크리트 또는 뿔어붙임 콘크리트
B	B1	균열이 있는 약간 풍화된 암, 또는 연암	강제 동바리 (아치, 측벽은 끼움 널판)	무근 콘크리트	10	0.4De	1.5	2.0	-	무근 콘크리트
	B2							1.5		
C	풍화암, 파쇄대, 경토		강제 동바리(아치: 보내기널, 측벽: 끼움널)	무근 콘크리트	10	0.5De	1.2~1.0	1.2	1.2 (H-1.0 정도)	무근 콘크리트
D	D1	심한 풍화암	막장이 자립하는 원지반	강제 동바리(아치: 빗끼움널, 측벽: 끼움 및 빗끼움 널, 인버트 스트럿)	무근 콘크리트 또는 철근 콘크리트	15~20	0.6De	1.0이하	1.0~0.8 (H-1.0 정도)	무근 콘크리트 또는 철근 콘크리트
	D2	단층, 파쇄대, 연질토사 등								

- 주) (1) 압력터널과 댐부대 터널에서는 내외수압을 고려하여 라이닝의 종류를 결정.  
 (2) De: 터널굴착단면의 직경, H: 동바리 높이 (m)  
 (3) 뿔어붙임 콘크리트 두께는 평균치이며, 여유 라이닝 두께는 고려하지 않음.  
 (4) 록 볼트는 표에 의한 계산 값과 가장 비슷한 시판품을 사용  
 (5) 뿔어붙임 콘크리트·록 볼트공법의 경우에는 원칙적으로 C형식에서는 록 볼트와 강제 동바리 중에서 택일하고, D형식에는 양쪽을 병용.  
 (6) 연질토사 등 록 볼트 시공이 불가능한 곳에서는 록 볼트를 적용하지 않는다.

1) A형식

균열이 적은 신선한 암반으로 폭파굴착 후 그대로 장시간 자립 가능한 지질인 경우 또는 국부적으로 존재하는 균열에 대해서는 록 볼트(rock bolt)를 시공함으로써 일정 기간 굴착부분이 자립하는 경우에 적용한다. 라이닝은 원칙적으로 무근콘크리트, 뿔어붙임 콘크리트로 한다.

2) B형식

경암질이지만 균열이 발달하고 굴착 직후 막장은 자립하지만 용출수 등의 영향으로

시간이 경과함에 따라 풍화가 진행되어 표층이 떨어질 염려가 있는 지질의 경우 또는 연암 또는 매우 잘 다져지고 용출수가 적은 균질인 경토로서 굴착 후 막장은 자립하지만 시간이 경과함에 따라 지압이 발생할 염려가 있는 지질의 경우에 적용한다.

널판공법 사용시 강제동바리를 사용하여 끼움널공법으로 지반을 지지하나 지질의 형태에 따라 어느 정도 굴착을 선행시킨 후에 동바리를 설치하는 경우가 있고, 굴착 후 신속하게 강제동바리를 설치하는 경우가 있다. 전자의 동바리 설치간격은 작업안정상 1.5m 이내로 하며 이 형을  $B_1$ 형식으로 한다. 후자의 동바리 설치간격은 일반적으로 굴착진행 길이와 동일하게 하고 막장 끝까지 설치한다. 이것을  $B_2$ 형식으로 한다. 라이닝은  $B_1$ ,  $B_2$ 형 모두 무근콘크리트로 하는 것을 원칙으로 한다.

뿔어붙임 콘크리트·록 볼트공법의 경우 아치·측벽부에 사용하며 강제동바리는 사용하지 않는다.

### 3) C형식

풍화암, 파쇄대 및 경질토 등의 지반은 굴착시 동바리를 신속히 설치하여 굴착부를 받치지 않으면 굴착토사 반출작업에 위험이 있는 경우에 적용한다. 널판공법 사용시 강제동바리를 사용하고 아치부는 보내기널공법, 측벽부는 끼움널공법으로 하고 동바리 간격은 1.0~1.2m 간격으로 하며 라이닝은 무근콘크리트를 원칙으로 한다.

### 4) D형식

심하게 풍화된 암, 단층파쇄대 및 용출수가 많은 연질토사지대 등 지압이 크게 작용하는 경우에 적용한다. 이와 같은 지질에 있어서는 막장의 지지력에 따라 동바리공형식이 달라지며, 지반지지력이 부족하거나 측압의 증대로 인버트 스트럿(invert strut)이 필요한 경우도 있으므로 D형식은 다음의 2종류로 나눈다. 동바리의 설치간격은 0.8~1.0m로 한다.

#### 가) D1 형식

아치 부분의 토압은 크지만 측벽토압은 작고 비교적 용출수가 적기 때문에 막장이 자립할 수 있어 전단면 굴착이 가능한 지질에 적용한다. 널판공법의 경우, 강제 동바리를 사용하고 아치부는 빗끼움널판공법, 측벽부는 빗끼움널판과 끼움널판공법을 병용한다. 뿔어붙임 콘크리트·록 볼트공법의 경우는 강제 동바리를 병용한다. 라이닝은 특별한 경우 외에는 무근콘크리트로 한다.

#### 나) D2 형식

아치 부분의 토압이 크고 다량의 용출수 때문에 막장이 자립할 수 없어 흠막이공이 필요하다든지 지반의 지지력이 없기 때문에 동바리가 침하한다든지 측벽토압에 의해서 압출된다든지 하는 지질에 적용한다. 널판공법에서는 강제 동바리의 인버트 스트

릿 붙임으로 하고 아치부, 측벽부 다 같이 빗끼움널공법으로 한다. 뿔어붙임 콘크리트·록 볼트공법 사용시 강재 동바리를 병용하고 저반부에도 뿔어붙임 콘크리트로 시공하고, 필요시 인버트 스트럿을 설치한다. 라이닝 콘크리트 상황에 따라 철근으로 보강한다.

## 나. 하 중

동바리나 라이닝에 작용하는 하중은 조사결과와 시공실적 등을 기초로 하여 적절히 결정하여야 한다.

동바리나 라이닝에 작용하는 하중은 토압, 자중, 수압 등이 고려되고 있지만 이들을 착공 전에 정확히 파악하는 것은 현재의 기술단계에서는 어려운 실정이다. 그러나 지질조사를 상세하게 함으로써 어느 정도 추정이 가능하므로 지표답사 및 보링 등에 의하여 지질상태를 명확하게 하도록 정리해야 한다.

하중은 지질조건 이외에 터널 직경, 시공법에 따라 현저히 다르므로 하중의 추정에 있어서는 지질과 터널공학의 양면에 걸쳐 넓은 지식과 경험을 가진 기술자에 의하여 정하는 것이 필요하다.

### 1) 동바리에 작용하는 하중

동바리에 작용하는 하중은 지질, 시공법 등을 고려하여 결정해야 하며, 예컨대 무압 터널과 압력터널에 있어서의 제반특성을 고려 하중상태를 면밀히 분석한 후 적용하여야 하고, 널판공법, 뿔어붙임 콘크리트·록 볼트공법 등 시공방법에 따른 특성들을 비교 검토하고 하중상태를 결정한다.

표 4.3.3의 값은 지질이 견고한 암석으로 극히 양호한 경우와 지질이 현저히 불량하고 또 용출수도 있어 토사가 유동상태이며 큰 압출성 및 팽창성 토압을 발생시키는 경우를 제외한 보통 터널에서 일반적인 상태를 대상으로 한 것이다.

표 4.3.3 동바리에 작용하는 이완높이의 표준 (m)

터널형식	B형식	C형식	D형식	비고
이완높이	0.5 De	1.0 De	2.0 De	De: 굴착단면의 직경 (m)

### 2) 라이닝에 작용하는 하중

#### 가) 무압터널

라이닝에 작용하는 하중은 자중, 토압, 지반반력 및 외수압 등이며 이들 작용 하중 등을 적절히 선정하여 터널구조상 안정성과 내구성 등을 확보하고, 특별한 조건의 경

우를 제외하곤 무근콘크리트로 한다.

나) 압력터널

라이닝에 작용하는 하중은 내수압, 외수압 및 그라우트 주입압 중에서 선정하고, 하중조건을 감안하여 부재에 발생하는 최대응력에 따라 설계하며, 구조설계에 채용되는 콘크리트나 철근의 허용응력은 터널의 목적, 구조 등 조건에 따라 적절한 값을 적용한다.

다. 라이닝 두께

터널 설계에서는 원지반의 조건 등을 고려하여 라이닝의 구조상 소요되는 두께를 결정하고, 하중조건과 공법에 따라 적정하게 결정하여야 한다.

1) 무압터널 설계라이닝 두께

가) 널판공법의 설계라이닝 두께

널판공법을 사용할 때의 설계 라이닝의 두께는 표 4.3.4를 표준으로 하되 다음 사항에 유의한다.

표 4.3.4 널판공법의 설계 라이닝 두께의 표준

터널의 형 식	설계두께 (cm)		비 고
	아치, 측벽	인버트	
A	$\frac{1}{20} D_i \geq 15$	$\frac{1}{20} D_i \geq 15$	인버트의 최소두께는 토압이 있는 경우에는 아치, 측벽과 같다
B	$\frac{1}{20} D_i \geq 20$	$\frac{1}{20} D_i \geq 15$	
C	$\frac{1}{15} D_i \geq 20$	$\frac{1}{15} D_i \geq 20$	
D <sub>1</sub>	$\frac{1}{12} D_i \geq 20$	$\frac{1}{15} D_i \geq 20$	
D <sub>2</sub>	$\frac{1}{12} D_i \geq 25$	$\frac{1}{12} D_i \geq 25$	

주) ①  $D_i$  : 터널의 내공단면의 직경 (cm)

② 본 표의 값은 콘크리트 라이닝 내면으로부터 두께임

(1) 무압터널일 것

(2) 무근 콘크리트 라이닝일 것

(3) 내공단면의 형상은 원칙적으로 마제형으로 한다. 측벽수직형 단면의 경우 필요에 따라 라이닝 두께를 증가시키거나 철근으로 보강한다.

(4) 외수위는 배수공이나 배수구를 이용, 아치 정점 이하로 저하시킨다.

(5) D형은 필요에 따라 철근으로 보강한다.

나) 뿔어붙임 콘크리트·록 볼트 공법의 설계라이닝 두께

설계 라이닝의 두께는 표 4.3.5를 표준으로 하되 적용할 때는 다음 사항에 유의한다.

(1) 무압터널일 것

(2) 무근 콘크리트 라이닝일 것

(3) 외수위는 배수공이나 배수구를 이용하여 아치 정점 이하로 저하시킨다.

표 4.3.5 뿔어붙임 콘크리트·록 볼트공법에서의 설계 라이닝 두께의 표준

터널의 내공 단면직경 (m)	설계라이닝 두께 (cm)			
	아치·측벽		인버트	
	A, B 형식	C, D 형식	A, B 형식	C, D 형식
3.0 미만	15	15	15	20 (15)
3.0 이상	20	20	20	25 (20)

주) ① C, D형식에서 인버트에 뿔어붙임 콘크리트를 시공한 경우와 들뜸이 없는 경우에는 인버트의 설계라이닝 두께는 ( )와 같이 아치·측벽부와 같게 한다.

② 본 표의 값은 콘크리트 라이닝 내면으로부터 두께임.

## 2) 압력터널 설계라이닝 두께

압력터널의 라이닝 두께는 터널의 목적과 라이닝 종류에 따라서 충분한 안전성과 내구성 확보에 필요한 두께로서 표 4.3.6의 값을 표준으로 한다.

표 4.3.6 압력터널 라이닝의 설계두께

구분	설계두께	비 고
무근 콘크리트	$D_i/10 \geq 20$	$D_i$ : 터널 내공단면의 직경 (단위: cm)
단철근 콘크리트	$D_i/10 \geq 25$	
복철근 콘크리트	$D_i/10 \geq 30$	

라이닝 설계 두께는 다음과 같이 정의하고 있다.

가) 무근 콘크리트의 경우: 무압터널과 같이 취급한다.

나) 단철근 콘크리트 및 복철근 콘크리트의 경우: 동바리공 공법에 관계없이 동바리 리브 내면선을 설계라이닝 두께선으로 한다 (무압터널의 A선에 해당).



## 라. 동바리

원지반에 터널을 굴착함에 따라 터널주변에는 새로운 응력집중이 발생한다. 이러한 응력에 충분히 저항하며 지반을 보호하고 굴착단면을 유지함과 아울러 안전하고 능률적으로 갱내 작업을 진행할 수 있도록 시공성과 경제성을 고려하여 동바리를 설계해야 한다.

### 1) 일반사항

동바리는 지질조건, 터널단면의 크기, 굴착방식, 라이닝 방법 등을 고려하여 시공의 안전성과 경제성을 기할 수 있도록 설계해야 한다. 암질이 양호하여 동바리를 생략할 수 있는 경우에는 암편붕락 등의 위험방지를 위해 필요에 따라서는 록 볼트, 뿔어붙임 콘크리트 등을 설계해야 한다.

#### 가) 동바리의 기능

- (1) 지압에 저항하여 라이닝 완료시까지 소정의 굴착단면을 유지해야 한다.
- (2) 라이닝콘크리트와 일체가 되든지 또는 공동으로 최종지압에 저항 할 수 있어야 한다.
- (3) 시공 중의 안전성을 확보하여야 한다.

#### 나) 동바리의 선정

터널굴착에 따른 동바리에 작용하는 지압은 굴착 후 시간이 경과함에 따라 증가하는 경우가 많으므로 굴착 후 신속히 설치가능한 동바리이어야 한다.

### 2) 강재 동바리

강재 동바리는 지질조건, 시공성 및 터널 규격규모 등을 고려하여 적절하게 설계하여야 한다.

#### 가) 강재 동바리의 종류

- (1) 강재리브(rib)식 동바리
- (2) 강관동바리
- (3) 라이너 플레이트(liner plate) 동바리

#### 나) 굴착방식과 강재 동바리형식

강재 동바리의 형식은 다음과 같이 분류한다.

- (1) 연속리브형
- (2) 반단면리브 포스트형
- (3) 전주리브형
- (4) 리브 월 플레이트형
- (5) 리브 월 플레이트 포스트형

다) 강제 동바리의 구조계산방법

강제 동바리의 구조계산에 대해서는 일반적으로 이용되고 있는 R.V. Proctor, T.L White 저서 "Rock Tunnelling with Steel Supports"에 제시된 방법에 따른다. 이 방법에 의하면 축방향력은 일반적으로 힘의 다각형(force polygon)을 이용하여 산정하고 있으나 본 적용기준에서는 근사계산식으로 계산한다.

$$T = \frac{1}{2} D_e h_v D \text{ -----(4.3.1)}$$

여기서,

- T: 동바리에 작용하는 축방향력 (kN)
- D<sub>e</sub>: 터널굴착단면의 직경 (m) (굴착지불폭)
- h<sub>v</sub>: 수직토압 (kN/m<sup>2</sup>)
- D: 동바리의 설치간격

3) 강제 동바리의 표준규격과 설치간격

강제 동바리의 규격과 설치간격은 구조 및 시공성을 고려하여 결정해야 한다. 표 4.3.7에 표준치를 표시하였다.

표 4.3.7 강제 동바리의 규격과 설치간격

Di 형식	2.0m 미만			2.0m ~ 3.0m			3.0m ~ 4.0m		
	B	C	D	B	C	D	B	C	D
동바리의 종류	강 관 H형강	강 관 H형강	H형강	강 관 H형강	H형강	H형강	H형강	H형강	H형강
동바리의 규격 (mm)	∅89.1~ 101.6 H-100 ×100	∅114.3 H-100 ×100	H-100 ×100	∅89.1~ 114.3 H-100 ×100	H-100 ×100 H-125 ×125	H-100× 100 H-125 ×125	H-100 ×100 H-125 ×125	H-125 ×125 H-150 ×150	H-125× 125 H-150 ×150
설치간격(m)	1.2~1.5	1.0~1.2	0.8~1.0	1.2~1.5	1.0~1.2	0.8~1.0	1.2~1.5	1.0~1.2	0.8~1.0

이 표에 의한 동바리의 규격과 설치간격은 구조와 시공성을 고려하여 결정한 것이지만 적용할 때는 다음 사항에 유의한다.

- 가) 동바리에 작용하는 이완높이에 의하여 2)의 다)항의 강제 동바리의 구조계산 방법을 사용하여 구조상의 안전성을 확인한다.
- 나) 구조계산 결과에 관계없이 최대 설치간격은 1.5m로 한다.
- 다) 특별한 경우는 설치간격을 0.6m까지 단축할 수 있다.
- 라) 구조상 경제성을 고려하여 그림 4.3.2과 같이 H형강 동바리를 편심시켜 사용하는 경우도 있다.

마) 암의 단위체적당 중량 - B형; 26.46kN/m<sup>3</sup>, C형; 24.5kN/m<sup>3</sup>, D형; 19.6kN/m<sup>3</sup>

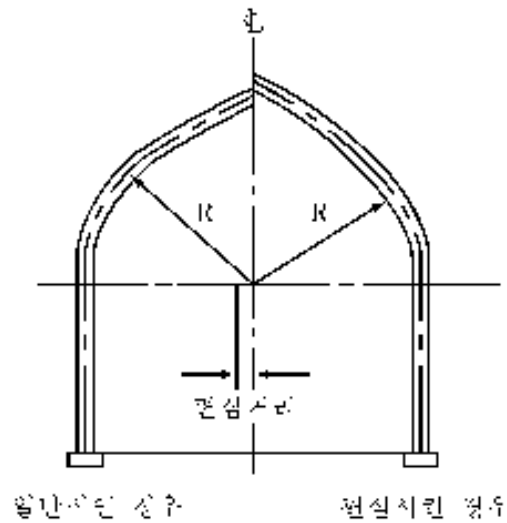


그림 4.3.2 강재 동바리의 설치

## 4.4 암 거

### 4.4.1 일반사항

암거를 계획할 때는 지형, 공사비, 시공성, 유지관리 등을 종합 검토하여 터널과 비교 판단해야 한다. 일반적으로 흙깎기 높이가 1~10m 범위 내이면 공사비 면에서는 암거로 계획하는 경우가 많으나 토질분포상태, 작업조건 등을 고려하여 결정하여야 한다.

#### 가. 적용범위

이 기준은 농업용수 및 농지배수를 위하여 수로, 제방, 도로 및 철도 등을 횡단하는 경우 설치하는 암거에 적용한다.

#### 나. 암거의 분류

##### 1) 사용목적에 따른 분류

##### 가) 용수암거

용수의 송수를 위해 계획되는 모든 암거를 총칭하며 용수로계획시 자유수면의 기울

기를 가지고 물을 통과하도록 설치한다.

나) 배수암거

용수암거와 같이 자유수면의 기울기를 가지고 배수시키는 구조물로서 배수를 위하여 계획되는 모든 암거를 총칭한다.

다) 용·배수겸용암거

지형 및 기타의 관계로부터 용·배수 겸용의 목적으로 설치하는 형식이다.

2) 단면형에 의한 분류

가) 원형암거

특별한 경우를 제외하고는 공장에서 제작된 관을 사용하며 관종은 철근콘크리트관, 원심력철근콘크리트관, 무근콘크리트관, 몰전압철근콘크리트관, 프리스트레스트콘크리트관 등의 강성관과, 변형성이 좋은 파형관(이하 파형암거라 한다) 등, 많은 기성제품이 사용되고 있으며 공사기간이 짧을 때 채택하며 시공이 편리한 경우가 많다.

나) 박스형 암거

단면형상이 정방형이나 직사각형으로 1련(連)으로부터 2련(連) 또는 수련(數連)의 경우도 있으며 일반적으로 현장 콘크리트 타설로 제작하므로 규모의 제한을 받지 않는 특성이 있다. 최근 박스형암거를 공장 콘크리트제품으로 조립화되는 추세에 있으며 이 경우 수밀성에 대한 충분한 대책이 필요하다.

다) 마제형 암거

이 형식은 일반적으로 대형단면이나 지형적 특수성 또는 터널과 연결되는 부분에서 사용되며 상부는 반원형의 아치로 하며 측벽은 직선 또는 곡선으로 한다. 마제형 암거는 직사각형 암거보다 흙덮이 두께가 클 때에 경제적이며 일반적으로 흙덮이 두께 3.0m 이상일 때가 많으며 길이가 길어 철제형틀을 사용하면 경제적으로 될 때가 있다. 따라서 터널 전후에 연결되는 장경간의 암거 등에서 많이 사용된다.

**다. 평면형상**

암거의 계획은 도로 또는 수로의 상황에 적합하고, 본선과 평면교차각은 되도록 직각이 되게 계획한다. 사각을 이루는 경우 한쪽면만 토압의 영향을 받아 부재에 생기는 응력이 직각의 경우보다 커지며 이 영향은 연약지반에 설치하는 암거의 경우 현저하다.

**라. 암거단면 형식의 결정**

암거의 단면형식은 역학적 특성, 관중, 시공방법 등을 고려하여 결정해야 하며 각각의 단면형식에 따라 장단점이 있으므로 어떤 형식을 채택할 것인가는 다음 사항을 고려하여 결정하여야 한다.

- 1) 계획수량 및 통수능력을 고려하여 수리학상 유리한 형식일 것
- 2) 구조적으로 안전하고 경제적인 형식일 것
- 3) 시공성이 좋고 공사비가 저렴할 것
- 4) 주변환경 등을 고려하여 현지상황에 적응되고 유지관리가 용이할 것

암거단면의 형상은 원형, 박스형, 마제형, 계란형, 포물선형 등 여러 형태가 있으나 일반적인 형태는 원형, 박스형, 마제형이고, 이 세가지 형식의 장단점은 다음과 같다.

표 4.4.1 암거형상의 장단점

구 분	장 점	단 점
원 형	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 수리학상 유리하다.</li> <li>2. 일반적으로 관경 3.0m까지 공장제작제품을 사용할 수 있으므로 공기가 단축된다.</li> <li>3. 역학상 계산이 간단하다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 안전하게 지지시키기 위해서 별도의 기초공이 필요하다.</li> <li>2. 기성제품의 사용으로 관점합부가 많아져 누수 및 지하수 침투가 우려된다.</li> </ol>
박스형	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 설치장소의 토심폭에 제한을 받는 경우에 유리하다.</li> <li>2. 역학상 계산이 간편하다.</li> <li>3. 공장제작제품의 경우 구조물의 안전성 증가 및 공기 단축을 기할 수 있다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 현장타설이 일반적이므로 공기가 지연된다.</li> <li>2. 소형암거의 시공이 곤란하다 (최초 시공가능 높이: 0.9~1.0m).</li> </ol>
마제형	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 흙덮이 두께가 크고 길이가 길며 대형 단면일 경우 경제적으로 유리하다.</li> <li>2. 수리학상 유리하다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 공기가 길다.</li> <li>2. 시공이 타 형식에 비하여 어렵다.</li> <li>3. 역학상 계산이 복잡하다.</li> </ol>

#### 4.4.2 수리설계

암거의 수리계산은 상·하류의 수위, 출입구의 접속수로형태 등에 따라 다르며 허용최대유속은 3~4m/s, 허용최소유속은 0.7m/s를 기준으로 한다. 일반적으로 사용되는 수리공식은 개수로 등과 같이 매닝(Manning) 공식을 사용한다.

## 가. 암거의 수리계산

### 1) 암거의 수리형태

암거의 수리 형태는 그림 4.4.1과 같이 6가지로 분류할 수 있다. 그림 4.4.1에서 ①과 ②는 관수로의 흐름이고 기타는 개수로의 흐름이다. 또 ③은 오리피스 역할을 하고, ④는 관체 전부가 상류로 흐르고, ⑥은 사류로 흐르며 조절단면(control section)이 입구에서 일어난다.

일반적인 경우 용수암거의 흐름은 ⑤의 흐름을, 배수암거의 흐름은 ④, ⑤, ⑥의 흐름을 보인다.

이 가운데 ①, ②, ③의 흐름은 수리학적으로 분리할 뿐만 아니라 상류측에 담수하여 세굴, 침투, 제방월류 등 악영향이 발생할 수 있으므로 설계에서 피해야 한다.

### 2) 허용유속

일반적으로 콘크리트 암거의 허용최대유속은 3~4 m/s로 하며 그 이상일 경우는 출구에 배플드 아웃렛(baffled outlet)을 설치하여 유속을 조절한다. 또한 부유물의 침전 등으로 통수단면이 축소되는 것을 방지하기 위해 암거의 최소유속을 0.7m/s 이상으로 하며 통수시 잠관작용의 우려가 있는 곳에서는 0.8~1.0m/s 이상의 유속을 취한다.

### 3) 단면결정

암거의 단면은 유량 및 유속에 따라 정한다. 일반적인 경우 자유수면을 갖는 등류로 가정하여 개수로 체계의 수리계산과 같이 계획한다. 원형암거의 경우 수심은 관경의 0.8배로 함을 원칙으로 하며 최소단면은 1개소의 길이가 20m 미만인 경우  $D=0.6m$ , 20m 이상인 경우는  $D=0.8m$  이상을 사용한다. 박스형 암거의 최소단면은 시공성 등을 감안하여 높이 및 나비를 1.0m로 한다.

단면의 여유고는 지형조건에 따라 충분한 검토가 필요하며 특히 단기간에 급격하게 유출량이 증가하는 배수암거나 상류부로부터 토사유입량이 많아 단면이 매몰될 우려가 있는 곳에서는 암거입구에 침사지를 설치하지 않는 한 단면상에 충분한 여유를 주어야 한다.

### 4) 손실수두계산

#### 가) 마찰손실수두

마찰에 의한 손실수두계산은 식 (3.2.4)에 따라 산출한다. 단, 관암거의 마찰손실수두 계산을 위한 마찰손실계수  $f$ 는 다음과 같다.

$$f = \frac{124.6 n^2}{D^{\frac{1}{3}}}$$

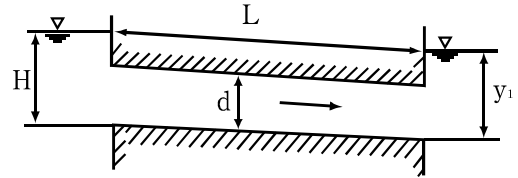
----- (4.4.1)

여기서,  $h_f$ : 마찰손실수두 (m)  
D: 관경 (m)

n: 조도계수  
f: 마찰손실계수

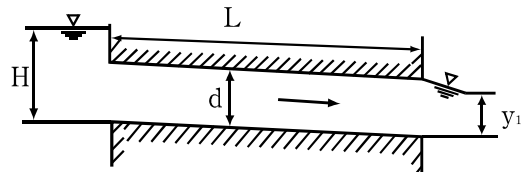
① 출구가 수중

$$H > H^*, y_1 > d, \text{ 만류}$$



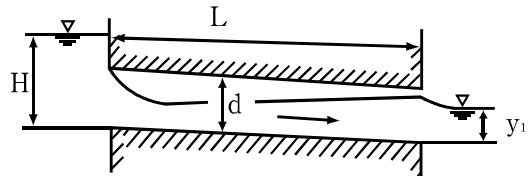
② 출구가 수중 아님

$$H > H^*, y_1 < d, \text{ 만류}$$



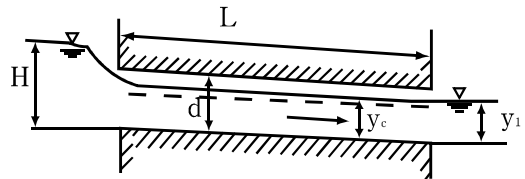
③ 출구가 수중 아님 (관내 사류)

$$H > H^*, y_1 < d, \text{ 입구만류}$$



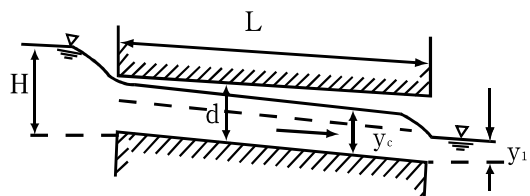
④ 출구가 수중 아님

$$H < H^*, y_1 > y_c, \text{ 상류}$$



⑤ 출구가 수중 아님

$$H < H^*, y_1 < y_c, \text{ 상류}$$
  
 조절단면은 출구



⑥  $H < H^*, y_1 < y_c$ , 출구

조절단면은 입구

(  $H^*$ : 입구에서 만류될 충분한 수위,  
 $y_c$ : 한계수심)

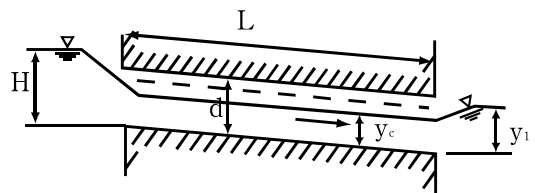


그림 4.4.1 암거의 수리형태

나) 유입손실수두

유입손실수두 계산 및 유입손실계수는 그림 3.2.3에 따른다.

다) 유출손실수두

$$h_o = f_o \left( \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \right) \text{-----}(4.4.2)$$

여기서, 유출구의 모양이 급변하는 접속이면  $f_o=1.0$  이고 종구형(bell mouth)이면  $f_o=0.2$  로 적용한다.

라) 단(段)에 의한 손실수두

$$h_s = f_s \left( \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \right) \text{-----}(4.4.3)$$

여기서,  $f_s$ 는 단(段)의 모양에 따른 손실수두계수로서

(1) 둥근 경우

조금 둥근 경우  $f_s=0.1$

아주 둥근 경우  $f_s=0.01$

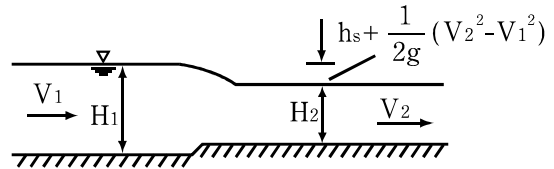


그림 4.4.2 단의 모양

(2) 모가 진 경우는 표 4.4.2와 같다.

표 4.4.2 단(段)에 의한 손실계수 ( $f_s$ )

$H_2 / H_1$	0.10	0.32	0.45	0.63	0.77	0.89	1.00
$f_s$	0.50	0.45	0.42	0.33	0.22	0.13	0.00

5) 오리피스형의 수리계산

오리피스로 되는 용수암거 또는 배수암거는 암거입구의 수위가 암거정부보다 위에 있는 경우로서 일종의 오리피스가 되고 이때의 수리계산은 식 (4.4.4)에 의한다.

$$Q = CA \sqrt{2g(H - D)} \text{-----}(4.4.4)$$

여기서,



D: 원관의 직경

H: 상류수위 (접근유속이

있는 경우는  $\frac{V^2}{2g}$  을

가산함)

C: 유량계수로 0.81 ~ 0.91의

범위

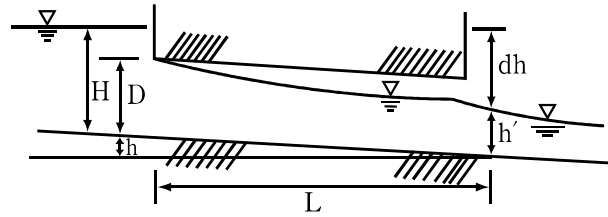


그림 4.4.3 오리피스형 암거

입구가 각형일 때 손실계수  $f_o = 0.5$  로 하면  $C \approx 0.81$ , 직사각형 암거인 경우는 D대신 높이 d로 한다.

밀바닥 상하류의 낙차가 마찰손실수두보다 큰 경우는 자유흐름으로 한다.

### 나. 완화공의 수리계산

완화공은 단면이 변화되는 구간에서 발생하는 수두손실 및 수류(水流)의 흐트러짐 현상을 완화시키기 위하여 설치하는 것으로 상하류 수로단면과 암거단면에서의 수면 중에 연결하는 직선과 중심선 사이의 각은  $12^{\circ}30' \sim 25^{\circ}00'$ 가 되도록 완화공의 길이를 결정한다.

#### 1) 완화공의 종류

완화공의 형태는 종구형, 유선형과 직선형으로 대별되며 종구형과 직선형의 절충적인 개량직선형도 사용된다. 양수장 지구와 같이 손실수두의 절약이 필요한 경우나 대형수로에서는 종구형을 채택한다.

#### 2) 완화공의 길이계산

완화공의 길이는 완화공의 수면과 중심선이 이루는 각이 유입부에서는  $27^{\circ}30'$ , 유출부에서는  $22^{\circ}30'$ 을 초과하지 않는 범위 내에서 식 (4.4.5)에 의해 결정하며,

$$L = \frac{B-b}{2} \cot \theta \quad \text{-----(4.4.5)}$$

여기서,      L: 완화공 길이 (m)                      b: 저면폭 또는 수면폭 (m)  
                   B: 수면폭 (m)                                 $\theta$ : 접속각 ( $12.5^{\circ} \leq \theta \leq 25^{\circ}$ )

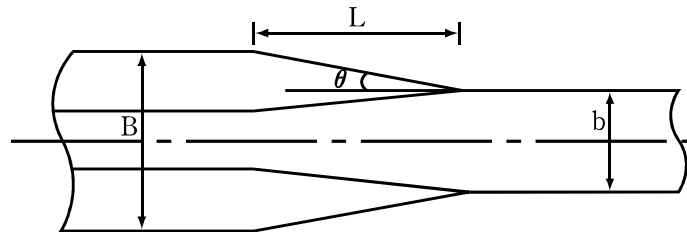


그림 4.4.4(a) 완화공

완화공의 유입부 및 유출부 바닥의 최대기울기는 각각 1:4 및 1:6보다 완만하도록 계획한다.

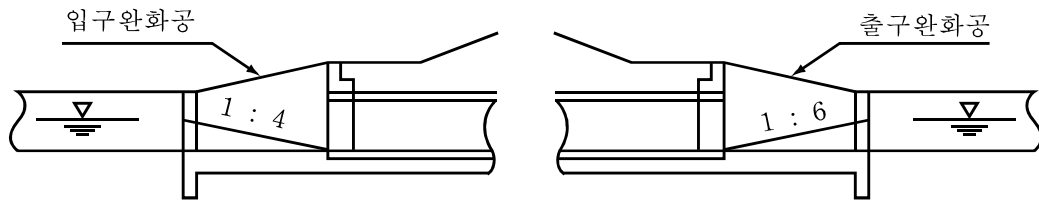


그림 4.4.4(b) 완 화 공

### 3) 단면변화에 의한 손실 및 수면저하량

단면변화에 의한 손실 및 수면저하량 계산은 3.2.3 다.항을 참조한다.

#### [설계 예]

상·하류수로 및 박스형암거의 수리조건이 표 4.4.3과 같을 때 종구형(bell mouth) 완화공의 설계를 실예로 들어 설명하면 다음과 같다.

완화공의 시점(始點)수면고는 EL=(+)10.0 으로 가정한다.

#### 1) 완화공 길이

완화공의 길이는 식 (4.4.5)을 사용하며 여기서  $B=11.0$  m,  $b=3.5$  m,  $\theta=12.5^\circ \sim 25^\circ$ 의 범위로 적용하면  $l = \frac{11.0-3.5}{2} \cot\theta = 16.9 \sim 8.04$ m 가 되므로 중간정도의  $l=13.0$  m 로 잡는다.

#### 2) 접속수로의 손실수두 및 수면저하량 (마찰손실제외)

가) 입구접속수로에서의 손실수두

$$h_{gc} = f_{gc} \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \text{ 에서 접속계수 } f_{gc}=0.10 \text{ 로 보면,}$$

$$h_{gc}=0.01284$$

나) 입구접속수로에서의 수면저하량

$$\Delta h_{gc} = h_{gc} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = 0.1412$$

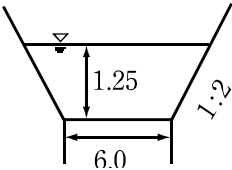
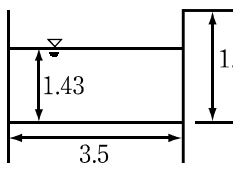
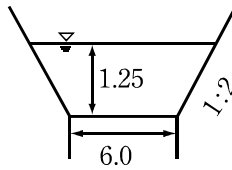
다) 출구접속수로에서의 손실수두 및 수면저하량

$$h_{gc} = f_{gc} \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} \text{ 에서}$$

점확계수  $f_{ge} = 0.20$  로 보면  $h_{ge} = -0.02568$  이므로

$$\Delta h_{ge} = h_{ge} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = -0.02568 + 0.1284 = 0.1027\text{m}$$

표 4.4.3 완화공 계산자료

구 분	상 류	암 거	하 류
단 면			
구 조	토 공	콘크리트 구형	토 공
조도계수 (m)	0.025	0.015	0.025
바닥기울기(I)	1/2,000	1/1,000	1/2,000
유속(V=m/s)	0.844	1.797	0.844
유량(Q=m³/s)	8.970	8.970	8.970
접속수두 { $h_r = V^2/2g$ (m)}	0.0363	0.1647	0.0363

3) 수면곡선

접속수로를 10등분해서 그 중간지점에서 반곡하는 포물선으로 가정하면,

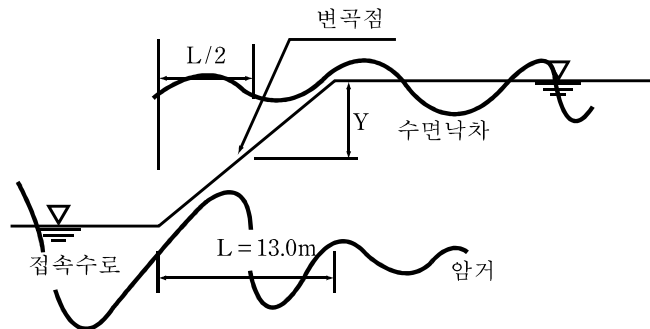


그림 4.4.5 수면곡선

$$y = ax^2 \text{ -----(4.4.6)}$$

여기서,  $a = \frac{y}{x^2} = \frac{2 \Delta h_g}{L^2}$

$y = \frac{\Delta h_g}{2}$  로서 접속시점에서는 x의 거리의 수면저하 (m)

x=접속시점으로부터의 거리 (m)

따라서, 유입부  $a = \frac{2 \times 0.1412}{13^2} = 0.001671$

유출부  $a = \frac{2 \times 0.1027}{13^2} = 0.001215$

표 4.4.4 완화공구간 수면곡선좌표

등 분	x	$ax^2$	유입부 (y)	유출부 (y)
0	0	0	0	0
1	1.3	1.69 a	0.0028	0.0021
2	2.6	6.76 a	0.0113	0.0082
3	3.9	15.21 a	0.0254	0.0185
4	5.2	27.04 a	0.0452	0.0329
5	6.5	42.25 a	0.0706	0.0513
6	7.8	$\Delta h_g - 27.04 a$	0.0960	0.0698
7	9.1	$\Delta h_g - 15.21 a$	0.1158	0.0842
8	10.4	$\Delta h_g - 6.76 a$	0.1299	0.0945
9	11.7	$\Delta h_g - 1.69 a$	0.1384	0.1006
10	13.0	$\Delta h_g$	0.1412	0.1027

이상의 계산된 수면곡선에 의해 계산표를 작성하면 그림 4.4.6과 같은 수면계획 및 바닥계획을 세울 수 있다.

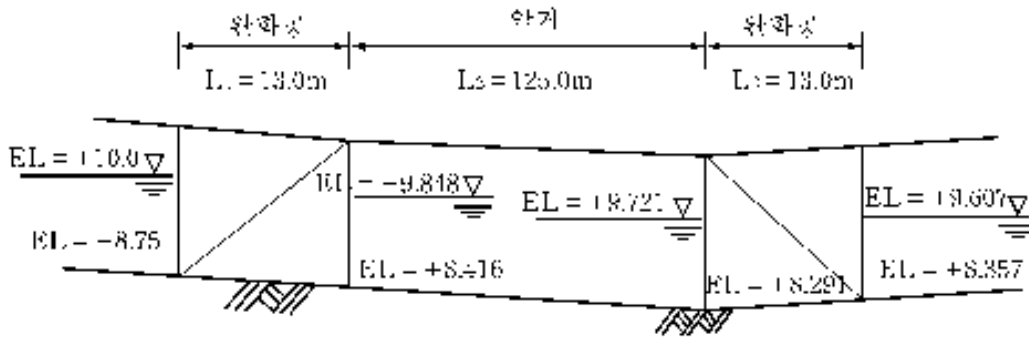


그림 4.4.6 완화공 계획도

#### 다. 세굴방지공 (Scouring Protection)

수로공작물 상하류에서 유수의 에너지는 완화공으로 제거되고도 상당히 남아서 접속수로를 세굴하기 쉬우므로 완화공에 접속시켜 장식 또는 콘크리트 블록 등의 세굴방지공을 설치해야 하며 그 규격과 길이는 그 지점에서의 유속과 수심 및 공작물의 중요도 등에 의하여 결정된다. 세굴방지공은 다음 표 4.4.5와 같이 4개형으로 구분되며 배수횡단공작물을 제외하고는 유속이 1.5m/s가 넘는 곳에서는 수심에 관계없이 최소 3형의 방지공을 사용해야 한다.

표 4.4.5 장식보호공(Riprap protection)의 종류

구분	장식 두께 (m)	뒤채움 두께 (m)
1형	0.15	-
2형	0.30	-
3형	0.30	0.15
4형	0.45	0.15

(단, 콘크리트 블록 방지공의 경우는 별도로 그 기준을 정한다.)

표 4.4.5는 최소규격을 표시하므로 공작물 설치지점의 조건과 운영관리조건 등이 불리할 경우에는 수정, 적용해야 한다.

- 가) 수심이 3.0m가 넘을 경우에는 별도설계를 한다.
- 나) 유속이 0.75m/s 이하인 수로에서는 유입부의 세굴방지공을 생략할 수 있다.
- 다) 유량이 17m<sup>3</sup>/s를 초과하는 배수횡단공작물은 별도 설계한다.
- 라) 관로기울기가 급하여 관로말단에서 유속이 4.5m/s를 초과하는 경우에는 등급 큰 형을 채택하되 최소 3형을 사용한다.
- 마) 세굴방지공의 길이는 유입부에서는  $l=d$ (수심: 1.0m)

유출부에서는  $\ell=2.5d>1.5m$  및 문비나 빈지판(stop log) 등으로 난류가 일어나는 유출부에서는  $\ell=4d$ 를 원칙으로 하며 길이는 상기 수치를 최소치로 하여 0.5m 단위로 정리한다.

### 4.4.3 구조설계

#### 가. 암거구조의 결정

암거는 유량, 입지조건, 사회적조건 및 공사기간 등을 종합 검토하여 가장 경제적인 구조로 하여야 한다.

일반적으로 대유량의 경우에는 현장타설 철근콘크리트 구조, 소유량의 경우에는 콘크리트 공장제품 등이 사용되고 있으나 어느 것이 경제적인가는 각종의 설계조건에 따라 다르므로, 시공성과 유지관리 등도 포함하여 충분히 비교 검토해야 한다.

#### 나. 설계하중

암거를 설계할 때 고려해야 할 하중의 종류는 토압, 노면하중, 궤도하중, 암거자중, 관내수하중 및 수압, 기초반력, 기타 하중 등이 있다. 그러나 이와 같은 하중이 동시에 작용하는 것은 아니며 지형 등의 제 조건과 구조 등을 고려하여 적절히 조합하는 것이 타당하다.

##### 1) 토압

암거에 대한 토압은 여러 가지 이론적 연구가 있겠으나 일반적으로, 상부상판에는 그 폭만큼의 연직토압, 측벽에는 그 높이에 대한 수평토압, 하부상판에는 그 폭만큼의 지반반력이 작용한다. 토압은 시공 중에 되메움 직후의 자연침하시 순간토압이 발생 되는 것을 감안하여 검토되어야 한다.

암거의 경우 수평토압을 무시하는 경우가 있으나 상세한 토압사항은 4.11 관수로를 참조한다.

##### 2) 노면하중

노면하중은 균집하중과 자동차하중을 고려한다. 이들의 노면하중에 의하여 매설암거에 연직하중과 수평하중이 작용하지만 일반적으로 강성관 및 180° 이상의 고정받침이나 소구경의 연성관인 경우는 수평토압을 무시하는 것이 보통이다.

##### 가) 균집하중

- (1) 국도 및 지정 지방도의 횡단:  $4.9 \text{ kN/m}^2$
- (2) 지방도 및 읍면도 등:  $3.92 \text{ kN/m}^2$
- (3) 경작도:  $2.94 \text{ kN/m}^2$

#### 나) 자동차하중

일반적으로 도로설계기준에 따르되 국도 및 지정 지방도에 있어서는 주무관청의 도로구조에 관한 세칙에 의하며(표 3.3.2 참조), 하중의 적용구분은 도로의 현황 혹은 계획의 폭, 시공시의 사용중기 등에 따라 정하고 하중계산시 사용되는 충격계수는 표 3.3.3과 같다.

#### 3) 궤도하중

3.3.2 의 아.항 참조

#### 4) 자중, 물의 무게

##### 가) 원형암거

관의 횡단방향의 설계에 있어서 매설관의 자중 및 관내 물의 무게는 연직토압이나 노면하중에 비하여 경미하므로 보통의 경우는 무시하여도 된다.

그러나 연직토압이나 노면하중이 작을 때는 자중 및 물의 무게를 고려할 필요가 있으며 관의 종단방향의 검토에 있어서는 당연히 자중 및 관내 물무게를 고려하여야 한다.

##### 나) 박스형 암거

1련의 암거에 대하여는 양측벽의 자중, 상부상판의 자중 및 내부의 물무게가 저판에 전달되어 반력으로 작용되며 2련 또는 수련(數連)의 것은 측벽과 중간벽 및 상부상판, 내부 물무게의 합계량이 저판에 전달되는 것으로 본다.

대형의 박스형 암거일 경우 측면에 작용하는 내수압을 고려하여 수평토압과 상쇄된다고 볼 수도 있다.

#### 5) 기초반력

기초에 생기는 반력은 기초의 지지상태에 따라 변화하지만 일반적으로 기초면에 균등분포하는 것으로 생각한다. 그러나 관거의 경우는 어느 범위(관체의 지지각내)에만 등분포하는 것으로 보는 스팅글러(Spangler)설을 채택한다.

관거의 지지범위에 대한 상세한 내용은 4.11 관수로에 준한다.

#### 6) 기타의 하중

기타의 하중으로는 온도와 부력 등을 고려한다. 일반적으로 암거는 매설하는 것이 원칙이므로 특별한 경우를 제외하고는 온도변화에 의한 영향은 무시하는 것이 보통이나 지상에 노출되었거나 시공 중 온도의 변화가 크게 발생될 우려가 있는 경우 등은 온도변화에 대한 영향을 고려한다.

부력은 특히 하천 또는 하천부근 지대의 사력지반을 통과하는 암거에서 고려할 사

항으로 암거 본체가 비었을 때 부상치 않도록 설계하여야 한다. 부력을 방지하는 수단으로는 흙쌓기의 증가, 자중의 증가, 암거의 양단에 푸팅(footing)을 부치는 방법이 있다.

공사 중 시공장비의 도입이나 현지여건 또는 시공시의 부주의로 시공장비가 하중으로 작용되는 경우가 있는 점 등을 감안하여 결정해야 한다.

#### 다. 횡단방향의 설계

매설암거의 횡방향 단면설계는 원형과 박스형으로 구분하여 암거내외에 동시에 작용하는 하중에 대하여 안전하게 견딜 수 있게 설계하여야 한다. 부재에 발생하는 응력은 원형암거 및 박스형 암거 모두 부정정구조로 해석하여야 한다.

##### 1) 원형암거

관거의 횡단방향의 계산을 할 때 가장 중요한 것은 기초의 지지조건으로 하중상태 및 기초지반의 양부에 따라 기초를 설치하지 않는 경우와 모래나 콘크리트 기초를 하는 경우로 구분하여 각각에 따라 집중하중 또는 등분포하중을 받는지 여부를 판단하여 기초의 두께, 관중의 선정 등을 하여야 한다. 관거의 횡단방향 설계에 대한 상세한 내용은 4.11 관수로에 준한다.

##### 2) 박스형 암거

철근콘크리트 박스형 암거는 관거가 제품의 치수에 따라 그 규모가 제약되는데 반하여 어떠한 크기로도 만들 수 있는 특징이 있다. 길이가 긴 암거로서 종방향의 강도를 필요로 하는 경우, 관거에 있어서는 단면형상도 불리하고 공사비면에서도 불리한 수가 있다.

현장타설 콘크리트 박스형 암거는 내부의 거푸집조립 및 제거 등 시공성을 감안하여 최소내측면의 높이를 1.0m 이상으로 제한한다. 박스형암거의 응력계산은 부정정의 산식에 의한다. 기초가 견고한 암반이거나 또는 상판의 두께가 정판(頂板)과 측벽에 비해 현저하게 두꺼운 경우에는 문형(門型) 라멘으로 계산한다. 각부의 소요두께는 경간의 크기에 비례하여 근사적으로 정하고 높이에 비해 폭이 넓은 경우에는 중간에 격벽을 설치하여 2련 이상으로 계획하는 것이 1련 박스형으로 계획하는 것보다 경제 적일 수 있다.

##### 3) 석조 아치 또는 콘크리트 아치 암거

부근에서 양질의 석재를 용이하게 얻가로 구할 수 있을 때나 철근콘크리트 아치보다 다소 단면이 커져도 현장여건상 유리한 경우에 석조 아치를 채택하는데 석조 아치의 각 단면에 인장응력이 발생되지 않는 것으로 가정한다. 철근콘크리트 아치 암거



는 일반적으로 터널과의 접합수로에서 수리현상의 원활을 기하기 위한 경우에 계획된다.

일반적으로 아치형 암거가 안정하려면 다음 여러 조건을 만족시켜야한다.

- 가) 분할된 각 단면에 있어서 압력선은 중앙 1/3에 들어갈 것 (석조 또는 콘크리트 블록 아치)
- 나) 중앙 1/3을 벗어날 때라도 아치의 구축재료의 허용인장력을 넘지 않을 것
- 다) 각 단면에 일어나는 압축응력이 구축재료의 허용압축응력 이내에 있을 것
- 라) 석조 및 콘크리트 블록 아치의 경우에는 추력(thrust) 아치환(環)의 이음방향 분력이 환(ring) 상호의 마찰력을 넘지 않을 것 (돌 상호간 또는 돌과 콘크리트, 콘크리트 상호간의 마찰계수는 0.6으로 한다)
- 마) 아치형 암거에 의한 지반반력이 그 지반의 내압력(耐壓力) 이내에 있을 것

### 라. 종단방향의 설계

암반이나 굳게 다져진 자갈층과 같이 비압축성지반 위에 암거를 설치할 때는 횡방향의 검토만으로 충분하나 연약지반을 횡단하거나 하천제방을 횡단하는 경우와 같이 상부재하하중이나 기초반력이 일정하지 못할 때는 종방향에 대해서도 검토하여야 한다.

하중은 암거위의 토사의 중량과 암거의 자중이다. 교통에 의한 하중은 종방향인 경우 무시해도 좋다.

암거의 자중은 전길이에 걸쳐 동일하다고 생각하고 단일길이에 대해  $q$ 인 것으로 한다. 토사의 중량은 피복토의 두께가 변화할 때마다 그림 4.4.8의 굽은 선과 같이 된다.

이 하중상태는 계산을 간단히 하기 위하여 직선이라고 가정 한다. 세선(細線)을 암거의 폭과 동일한 폭의 토사의 중량이 작용하는 것으로 볼 때의 하중을 나타낸다.  $B$ 를 암거의 너비라 하고  $q_1, q_0, q_2$ 를 각 A, B~C구간, D점의 암거에 걸리는 토사의 단위폭당의 중량이라고 하면,

$$p_1 = q + Bq_1, p_0 = q + Bq_0, p_2 = q + Bq_2 \quad \text{-----}(4.4.7)$$

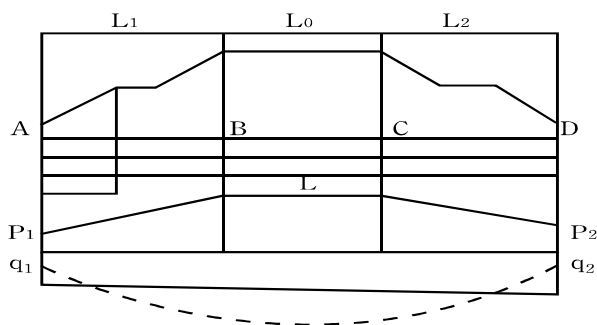


그림 4.4.8 피복토의 중량

지반반력은 지질, 기초말뚝의 장단 등에 따라 달라지기 때문에 실제의 반력분포상태를 확인하기는 거의 불가능하다. 그림 4.4.8와 같은 경우는 B~C구간에 정점을 가지는 고차(高次)의 포물선으로 되는 것으로 생각한다. 그러나 수치적으로 표시하기에는 곤란하기 때문에 보통지반반력의 분포는 A부터 D로 향해  $q_1$ 로부터  $q_2$ 로

변화하는 것으로 가정한다. 이 가정은 암거의 휨모멘트에 대해 가장 위험한 상태에 대한 것으로 이 가정에 의해 산출되는 휨모멘트는 실제의 경우보다 크다. 단, 암거 중앙부의 지반압력은 이 가정에 의한 수치보다 크게 되므로 말뚝, 기타의 기초공은 이 반력도의 반력보다 큰 반력에 견딜 수 있도록 설계하지 않으면 침하를 일으키고 대단히 큰 휨모멘트가 일어나 암거에 균열이 생겨 파괴된다.

#### 4.4.4 설계 세부사항

##### 가. 기초처리

암거파괴의 주원인은 지내력 부족에 의한 침하에 기인하는 것이므로, 충적평야 특히 소택지(沼澤地) 등에서는 주의해야 한다. 간척지이거나 구릉에 둘러싸인 답지대는 불량지반으로 생각해야 하며, 이런 불량지반에 대하여는 토질을 충분히 조사하여야 하는데 구조물의 규모와 중요도에 따라 중방향 또는 횡방향으로 여러 곳을 보링조사한 후 토질주상도나 재료분포결과를 설계자료로 하여 기초처리에 임해야 한다.

##### 1) 연약지반에 대한 대책

연약지반상의 암거설계에는 다음 사항을 고려해야 한다.

- 가) 침하량은 길이의 3승에 비례하므로 지형, 기타의 조건이 허용하는 범위 내에서 길이를 짧게 하는 것이 바람직하다.
- 나) 기초말뚝은 하중이 많이 걸리는 중앙부에 긴 것을 설치한다.
- 다) 기초말뚝은 시험말뚝에 다소의 여유를 보고 긴 것을 써야 한다.
- 라) 암거의 길이가 길면 휨모멘트가 길이에 비례해서 증가하고 철근량도 증가할 뿐만 아니라 균열이 생기기 쉬우므로 암거에 이음을 설치하는 방법 등이 강구되어야 한다. 이때 이음은 전단력발생에 대한 대책이 필요하며 누수가 없도록 해야 하고 이음에는 휨모멘트가 생기지 않는 것으로 보고 계산하고 구조도 휨모멘트가 일어나지 않는 것으로 한다.
- 마) 기초말뚝은 이음부근에 집중시켜 이음부분의 지반반력을 고려하지 않을 수도 있다.

##### 2) 기초처리방식

암거를 철근콘크리트로 만들 때는 기초에 반드시 빈배합 콘크리트(lean concrete)를 설계해야 한다. 지질이 양호해서 깬 조약돌이나 호박돌에 자갈을 1/3 정도 혼합해서 다진 것만으로도 충분히 상부하중을 지반에 널리 균등하게 분포할 수 있을 때라도 배근의 정확을 기하기 위하여 10cm 이상의 린 콘크리트를 치는 것으로 해야 한다. 용수가 있거나 배수가 잘 되지 않는 바닥 파기에서는 작업 중 지반상태가 불량해 지

므로 갠 조약돌이나 모래를 최소 20cm 이상을 갠 위에 린 콘크리트를 친다. 암거가 하천의 제방을 횡단하는 경우에는 조약돌 기초를 두껍게 하면 조약돌을 투수하여 하천수위가 높을 때 물이 침입할 우려가 있다. 이러한 때는 빈배합(1:4:8)의 콘크리트를 조약돌이나 모래 대신에 사용한다.

#### 나. 침투수방지

암거에서 침투수는 저면을 따라 이동하는 것과 다짐이 불충분하기 때문에 주변을 통해 이동하는 것이 있다.

암거의 기초를 통하는 침투수는 기초부터 1m 내외의 곳에 암반 또는 점토 등의 불투수층이 있다면 불투수층까지 굴착하여 1:3:6 정도의 콘크리트 차수벽을 설치하여 지수할 수 있다. 콘크리트의 폭은 깊이에 따라 30~50cm로 하며 이 차수벽은 일반적으로 얇은 것을 여러 줄로 하는 것보다 깊은 것으로 수를 줄여 설치하는 것이 효과적이다. 기초가 투수성의 모래, 자갈 등의 경우에는 널말뚝을 박아서 방지할 수 있다.

널말뚝은 지반의 양부, 암거의 중요성 및 암거가 받는 수두에 따라 길이나 두께가 결정된다. 널말뚝의 위치는 암거의 입구 및 출구이고 칼라(collar)를 붙일 때는 그 하부에 박는다. 하천제방을 횡단하는 암거의 출구에는 물받이를 설치하고 물받이 전면에도 널말뚝을 박는 것으로 해야 하고 널말뚝은 암거의 본체 밑의 널말뚝보다 짧아도 좋다.

널말뚝 두부(頭部)는 1:3:6 정도의 콘크리트로 폭 30~40cm, 두께 30~50cm 정도로 둘러쌓고 좌우에의 연장은 본체 또는 물받이의 폭보다 1~2m 길게 한다. 투수의 위험이 많을 경우나 암거 상하류의 수위차가 클 때 또는 홍수하천의 제방횡단에 대해서는 널말뚝공을 생략해서는 안 된다.

#### 다. 터파기와 되메움

터파기나 되메움을 어떤 방식으로 할 것인가에 따라 공사비와 공기에 큰 영향을 준다. 따라서 그 방법에 대하여는 장비, 토질, 진입도로 등 현장여건을 충분히 조사하여 정한다.

##### 1) 터파기

터파기의 폭은 구조물의 저폭에 0.2~0.5m 이상의 여유를 둔다. 즉, 지질의 양부, 지하수위의 고저, 용출수량의 다소, 터파기공법 및 거푸집과 동바리 등을 고려하여 정한다. 공사 중 배수가 필요한 경우는 별도의 배수로를 설치하고 배수로말단에는 양수에 적합한 요부(凹部)를 설치하여 공사 중 건조상태를 유지토록 한다.

터파기의 비탈면 기울기는 토질, 함수량 및 공기의 장단에 의해 좌우되며 단단한 점토 또는 잘 다져진 점토분의 토질이고 공기가 짧은 경우에는 3~5m는 수직으로 파

낼 수도 있다. 비탈면 기울기는 토사의 내부마찰각, 점착력 및 굴착심도를 고려하여 정할 것이고 공기가 긴 때는 점착력을 고려치 않는다.

## 2) 되메움

되메움은 양질토를 사용하고 암거의 바닥으로부터 정부까지는 다짐 되메움을 하는 것을 원칙으로 한다. 되메움층의 한 층 두께는 20cm 정도로 하고 래머(달구), 바이브레이터, 탬핑 롤러 등을 사용하며 잘 다져지지 않는 구석부분은 다짐봉을 사용하여 충분한 다짐을 해야 한다. 또한 양측을 균등하게 동시에 메우도록 주의하고 구조물에 충격을 주거나 이동이 생기지 않도록 한다.

롤러나 불도저 등 다짐기계를 사용하는 경우에는 암거정부 위로 최소 60cm 이상을 되메움 한 후에 주행시키지 않으면 안 된다. 다짐방식은 현장의 상태에 따라 다소의 차이가 있을 수 있으나 일반적인 경우의 되메움방식은 아래 그림에 따른다.

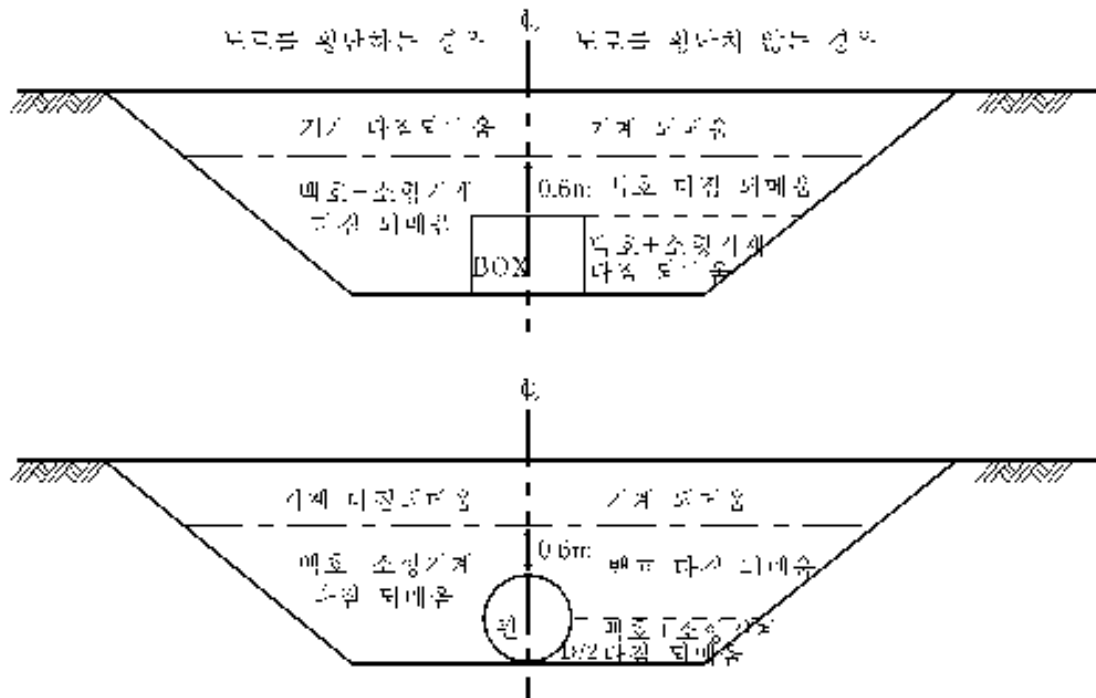


그림 4.4.9 암거의 되메움 표준도

## 라. 동해방지

기온이  $-10^{\circ}\text{C}$  이하로 되는 지방에서는 동해에 대한 고려를 해야 한다. 암거의 동해에는 서리기동에 의한 동상과 암거내부의 물이 누수해서 외부로 침출하여 결빙하는 경우가 있다. 어느 경우도 암거의 흙덮기 두께가 작아서 지상에 노출되어 있는 플룸이나 암거의 유출입구에서 일어나기 쉽다. 그늘지는 북쪽에서는  $-5^{\circ}\text{C}$  전후에서도 암

거 유출입구 측벽이 결빙에 의한 동해를 입는 경우도 있다.

암거의 노반이 동상할 우려가 있는 곳에서는 그 지역의 동결심도를 조사하여 그 이상의 흙덮기를 해야 하고 암거의 양측에 흙을 쌓거나 지하의 동결하는 깊이까지 기초자갈을 깔아서 지하수의 모세관작용을 단절시켜 서리기둥이 생기지 않도록 한다.

지역여건에 따라서는 동절기에도 생활용수나 방화용수, 기타 용수의 이용을 위하여 수로에 물을 단수시킬 수 없는 경우가 있다. 이러한 경우 현장타설 콘크리트 암거는 누수에 의한 동해를 받기 쉽다. 콘크리트 내의 공극을 통한 누수가 결빙하기 때문에 암거외측의 콘크리트벽이 벗겨져 철근이 노출하여 부식, 파괴되는 경우도 있다.

#### 마. 맨홀, 침사지

암거내의 퇴적토사의 제거, 수리 등의 유지관리를 위하여 맨홀과 침사지의 설치여건을 검토해야 한다.

##### 1) 맨홀 (Manhole)

일반적으로 암거에는 맨홀을 설치하지 않으나 암거가 길고 내부검사나 보수를 요할 때 또는 퇴적 토사를 제거해야 할 경우를 고려하여 설치하는 경우도 있다. 단순히 검사 때문에 설치되는 맨홀은 직경 60cm면 충분하나 토사제거나 기타의 목적이 있을 때는 각각의 경우에 맞게 크기를 결정한다.

맨홀은 원형, 정방형 또는 직사각형으로 하고 승강용 사다리를 붙인다.

##### 2) 침사지

지형상 암거의 기울기를 급하게 할 수 없거나 수로 내 유송토사가 많은 경우는 암거 내 퇴적 등을 고려하여 암거입구에 침사지를 설치한다. 침사작용을 균일하게 하기 위하여 수로폭을 점차 넓히고 배사가 잘 되도록 모난 부분을 두지 않는다. 배사의 위치는 모래흙의 양과 지형에 따라 결정하며 물로 배사가 되지 않을 때는 인력에 의한 제거가 편리하도록 통로를 미리 설치하기도 한다. 소수로의 암거 특히 흙수로에 접한 작은 암거의 입구에는 반드시 침사지를 설치하며 침사지 바닥은 암거 밑바닥보다 30~50cm 낮게 하는 것이 보통이다.

#### 바. 부상(浮上)에 대한 검토

부상에 대한 검토는 암거의 단면형상에 따라 다음 각 식을 사용하여 필요한 흙덮기 두께를 확보한다.

##### 1) 원형암거

원형암거가 부상하지 않기 위한 흙덮기 두께 H는 식 (4.4.8(a))에 의해 구한다 (그림 4.4.10 참조).

$$H \geq H_1 \quad \text{-----(4.4.8)(a)}$$

$$H_1 = \frac{\pi D_c}{4} \cdot \frac{F_s \cdot r_w - [1 - (\frac{D}{D_c})^2] \cdot r_c}{r_s - r_w} \quad \text{-----(4.4.8)(b)}$$

여기서,  $H$ : 암거가 부상하지 않기 위한 필요한 흙덮기 두께 (m)

$H_1$ : 암거가 부상하지 않기 위한 최소 흙덮기 두께 (m)

$D$ : 암거내경 (m)                       $r_c$ : 암거의 단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

$D_c$ : 암거외경 (m)                       $r_s$ : 되메움 흙의 포화단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

$F_s$ : 안전율은 1.2로 한다.

$\pi$ : 원주율                                       $r_w$ : 물의 단위중량, 보통  $9.8 (\text{kN/m}^3)$

식 (4.4.8(b))는 지표면까지 지하수로 포화되어 있을 경우이다. 현지의 지하수위가 출현가능성이 없는 경우에는 별도로 그 조건을 전제로 하여 검토한다.

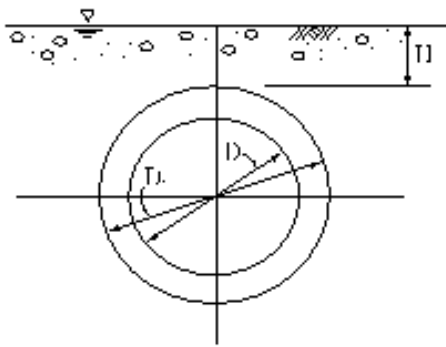


그림 4.4.10 원형암거의 경우

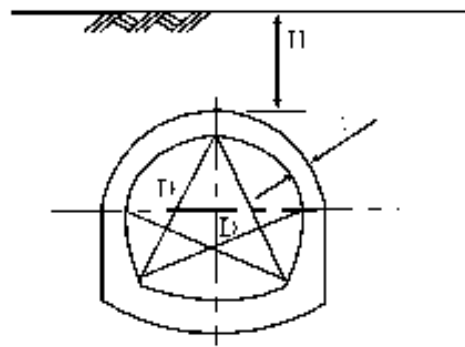


그림 4.4.11 표준마제형의 경우

## 2) 표준마제형암거

표준마제형암거가 부상하지 않기 위한 필요한 흙덮기 두께  $H$ 는 식 (4.4.9(a))에 의해 구한다 (그림 4.4.11 참조).

$$H \geq H_1 \quad \text{-----(4.4.9)(a)}$$

$$H_1 = \frac{0.83 [ F_s (D + 2t)^2 - r_c (4t^2 + 4Dt) ]}{(r_s - 1.0)(D + 2t)} \quad \text{-----(4.4.9)(b)}$$

여기서,  $H$ : 암거가 부상하지 않기 위하여 필요한 흙덮기 두께 (m)

$H_1$ : 암거가 부상하지 않기 위하여 필요한 최소 흙덮기 두께 (m)

$D$ : 암거직경 (m)                       $r_s$ : 되메움흙의 포화단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

$t$ : 암거의 부재두께 (m)               $r_c$ : 암거의 단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

$F_s$ : 안전율은 1.2로 한다

식 (4.4.9(b))는 지표면까지 지하수로 포화되어 있는 경우이다. 현지의 지하수위가 확실하고 지표면까지의 지하수위의 출현가능성이 없는 경우에는 별도로 그 조건을 전제로 하여 검토해야 한다.

### 3) 박스형 암거

박스형 암거가 부상하지 않기 위한 흙덮기 두께  $H$ 는 식 (4.4.10(a))에 의해 구한다 (그림 4.4.12(a), 그림 4.4.12(b) 참조).

$$H \geq H_1 \quad \text{-----(4.4.10)(a)}$$

$$H_1 = \frac{F_s D_0 B_0 - [B_0(T_1 + T_2) + (2T_3 + aT_4)D] r_c}{(r_s - 1.0) B_0} \quad \text{--(4.4.10)(b)}$$

여기서,  $H$ : 암거가 부상하지 않기 위한 흙덮기 두께 (m)

$H_1$ : 암거가 부상하지 않기 위한 최소 흙덮기 두께 (m)

$D_0$ : 암거의 전높이 (m)       $D_0 = T_1 + T_2 + D$

$B_0$ : 암거의 전폭 (m)      1련인 경우       $B_0 = 2T_3 + B$

2련인 경우       $B_0 = 2T_3 + T_4 + 2B$

$D$ : 암거의 내측높이 (m)       $a$ : 1련인 경우  $a=0$ , 2련인 경우  $a=1$

$B$ : 암거의 내측폭 (m)

$T_1, T_2, T_3, T_4$ : 암거단면 부재두께 (m)

$F_s$ : 안전율은 1.2로 한다.       $r_c$ : 암거의 단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

$r_s$ : 되메움흙의 포화단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

식 (4.4.10(b))는 지표면까지 지하수로 포화된 경우이다. 현지의 지하수위를 확인하고 지표면까지 지하수위의 출현가능성이 없는 경우에는 별도로 그 조건을 전제로 하여 검토해야 한다.

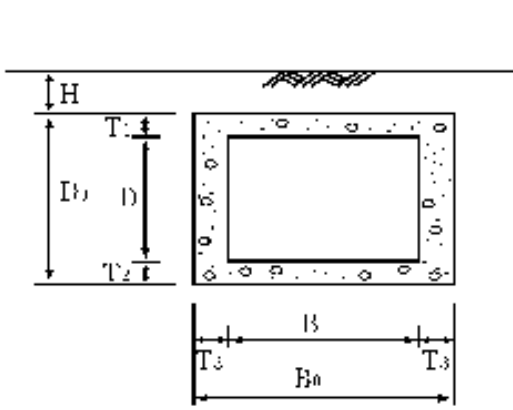


그림 4.4.12(a) 1선의 경우

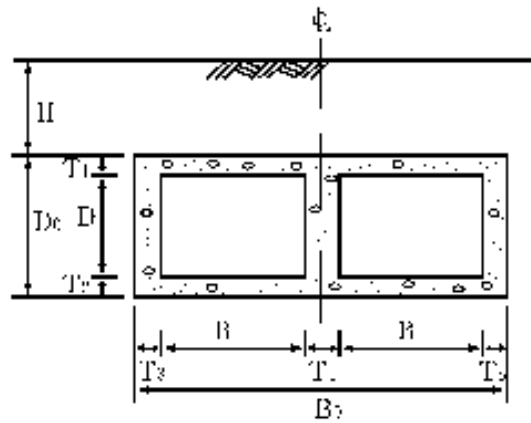


그림 4.4.12(b) 2선의 경우

### 사. 부재두께의 검토

부재두께는 원칙적으로 각각의 하중조건에 따라 구조계산을 하여 결정한다. 암거의 최소부재두께는 20cm로 한다. 또한 기성제품암거에서의 관체의 상세설계는 4.11 관수로 항에 따른다.

### 아. 이음매

#### 1) 시공이음매

암거의 단면현상 및 콘크리트의 타설방법 등에 따라 시공상 필요한 종방향 시공이음매의 위치, 구조는 이를 도면에 명시하고 시공자가 임의로 그 위치를 변경하는 것은 원칙적으로 피해야 하며 구조물의 시공은 신·수축이음 구간단위로 계획하여 불필요한 시공이음이 발생치 않도록 해야 한다.

#### 2) 수축이음매

현장타설 철근콘크리트 암거는 구조상 종방향 안전성, 온도변화 등에 의하여 생기는 수축응력의 완화 및 시공구분의 필요성 등으로 일정간격마다 횡단적으로 연속하여 수축이음매를 설치한다. 그 표준간격은 9.0m 정도이다.

#### 3) 신축이음매

암거본체(관체 또는 함체)는 신축이음매를 설치할 필요는 없으나 특별히 기초지반이 좋지 않을 때는 종방향의 검토를 해야 한다.

오픈완화공은 지표에 노출되어 일조를 받기 때문에 시공후의 신축이 생기므로 오픈완화공과 암거의 구체사이에는 신축이음매를 설치한다.

신축이음의 간격은 통상 2cm로 하는데, 그 구조는 안전함과 동시에 충분한 방수처



리가 되어 있어야 하며 박스형 압거용 지수관 재료로는 합성고무, 염화비닐 등 유연하고 신축성이 큰 것을 사용해야 한다.

## 4.5 수로교

### 4.5.1 일반사항

수로교는 수로가 하천, 계곡, 도로 등을 횡단할 때 설치된다. 이것을 설계할 경우는 당해지점의 지형, 지질 등을 충분히 조사함과 동시에 사이편, 터널 등 타 공종과 비교·검토하여 수리적, 구조적으로 안전하고 경제적이 되도록 해야 한다.

수로교 또는 잠관을 설치하는데 이때에 고저차가 크거나 그 하천의 하상이 불안정한 경우 또는 수리계획상 잠관으로는 손실수두가 지나치게 클 때에는 수로교가 유리할 때가 많다.

더욱이 수로교 계획에 있어서는 그 위치와 선형, 통수단면 결정, 형식과 경간 등에 대하여 경제성, 안전성 및 시공의 가능성, 마을의 경관 훼손 등을 충분히 검토해야 한다.

#### 가. 위치와 선형

수로교의 위치와 선형은 수로 전체를 검토하여 결정하는 것으로 그 개략적인 것은 대개 수로조직의 설계 단계에서 검토한다.

- 1) 기초가 얇고 견고할 것
- 2) 교체 하부의 공간높이(clearance)를 충분히 취할 것
- 3) 하도가 좁고 직선이며 안정되면서 기초가 안정될 것

#### 나. 통수단면 결정

플룸형 수로교의 통수단면은 전·후 수로와의 접속, 수로바닥높이, 경제적인 주보로서 유리성 등을 고려하여 결정한다.

또 높이와 폭의 관계는 1:1.2~1.5 정도가 많다. 플룸형 수로교 및 개수로의 일부를 구성하는 파이프 형식의 수로교에서는 매닝 공식에 의해 단면을 계산하나 관내를 만류로 계획할 때의 통수단면 결정은 관수로에 준하여야 한다.

## 4.5.2 수로교의 분류

수로교는 상부의 통수부분과 하부의 기초와 구체로 되어 있다. 일반적으로 상부 통수부분의 구조 형식에 따라 플룸(flume) 형식과 파이프(pipe) 형식으로 분류된다.

수로교에서 일반적으로 경간 12m 이하 구간에는 철근콘크리트 수로교가 많이 사용되고 수로의 관이 그대로 다리의 빔(beam)으로 되어 있는 파이프 빔 수로교도 있다.

15~40m 정도의 긴 경간에는 PC콘크리트 수로교와 빔(beam) 부분이 강관으로 되어 있어 자중이 가벼운 플레이트 거더(plate girder) 수로교가 경제적으로 시공될 수 있다.

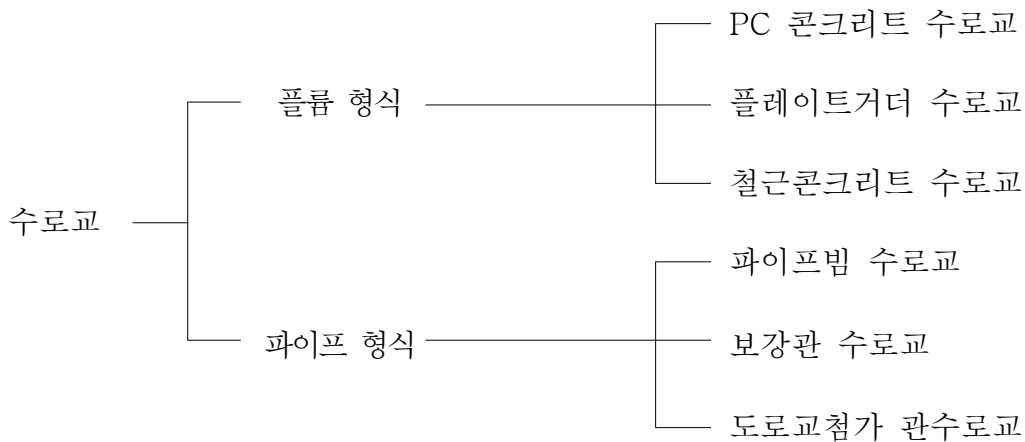


그림 4.5.1 수로교의 분류

### 가. 플룸 형식의 수로교

#### 1) 철근콘크리트 수로교

수로교에서 일반적으로 많이 채용되는 것으로 그 구조형식은 단순보 형식, 연속보 형식, 라멘 형식, 아치 형식 등이 있다. 철근콘크리트 수로교에서 특히 주의하여야 할 것은 기초지반의 침하에 따른 균열발생이며 이를 방지하기 위해서는 견고한 기초위에 설치하여야 한다. 더욱이 일반적인 구조로는 통수부를 구성하는 플룸 측벽을 주보로 겸하는 것이 많다.

또한 경간이 긴 것은 측벽의 정상부에 플랜지를 붙여 콘크리트 유효단면을 크게 함과 동시에 플랜지부를 관리용 보도로 한 구조의 것이 많다.

주보의 구조계산은 각 구조형식에 따라 자중, 물, 보도상의 하중 등을 고려하여 보, 라멘 또는 아치 구조로 계산한다.

측벽은 일반적으로 외팔보로서 그 상단까지 만수된 정수압으로 하고 필요에 따라서는 지진시의 동수압에 대하여도 고려하여 계산한다.

저판은 양측의 주보에 따라 지지되는 슬래브로서 측벽에서 전달되는 모멘트를 고려하여 계산한다. 양측의 주보 간을 횡보로 연결하고 저판은 주보와 횡보로 지지하는 이방향판으로 하는 것도 있다.

또한 횡보의 간격에 비하여 적을 때는 횡보를 지점으로 하는 연속보로 다루는 경우도 있다.

## 2) PC 콘크리트 수로교

이 형식의 수로교는 설계하중에 의하여 발생하는 인장력에 대해 측벽부에서는 일반적으로 PC 강선을, 저판에서는 PC 강봉을 긴장시켜 미리 인장부재에 압축력을 가하여 제작한 부재로 인장력에 대응시키고 있다.

PC 콘크리트교는 철근콘크리트 구조보다 긴(25~60m 정도) 경간에 쓸 수 있어 경제적으로 유리한 때가 많다. 구조단면은 철근콘크리트교와 같이 통수부의 측벽을 주보로 한 것이 많으나 대규모 수로교에서는 양측의 측벽뿐 아니라 중간에 PC 보를 넣어 그 플랜지 부분을 양측의 PC 보와 함께 횡방향에 프리스트레스를 걸어 일체화 시키고 그 강도와 강성을 높인 것도 있다.

## 3) 플레이트 거더(Plate girder) 수로교

이 형식은 측벽 및 저판을 강판으로 이어 맞추어(용접) 만든 것으로 철근콘크리트와 PC 콘크리트 구조에 비하여 자중이 가벼워 경간을 길게 할 수 있다. 그러나 강판의 부식에 대한 표면도장의 문제가 있어 보다 안전하고 경제적인 부식방지를 계획함과 동시에 유지관리상의 문제도 함께 검토하여 구조형식을 결정해야 한다.

## 나. 파이프 형식의 수로교

### 1) 파이프 빔(Pipe beam) 수로교

강관은 그 자체로 커다란 강도와 강인성을 가지고 있다. 이 형식의 수로교는 파이프를 보로 하여 자중, 물, 바람, 눈 그 밖에 지진시의 하중 등에 대응하는 것으로 수로교에 널리 채용되고 있으며 설계시 허용처짐량은 지간의 1/350 이하로 한다. 파이프빔 수로교 형식은 다음과 같이 4가지로 대별된다.

#### 가) 단순지지 형식

단순보식의 관수로교로서 가장 간단하여 양단을 지점이 되는 링 베어링으로 한 단순보로 된 것이 많다 (그림 4.5.2 참조).

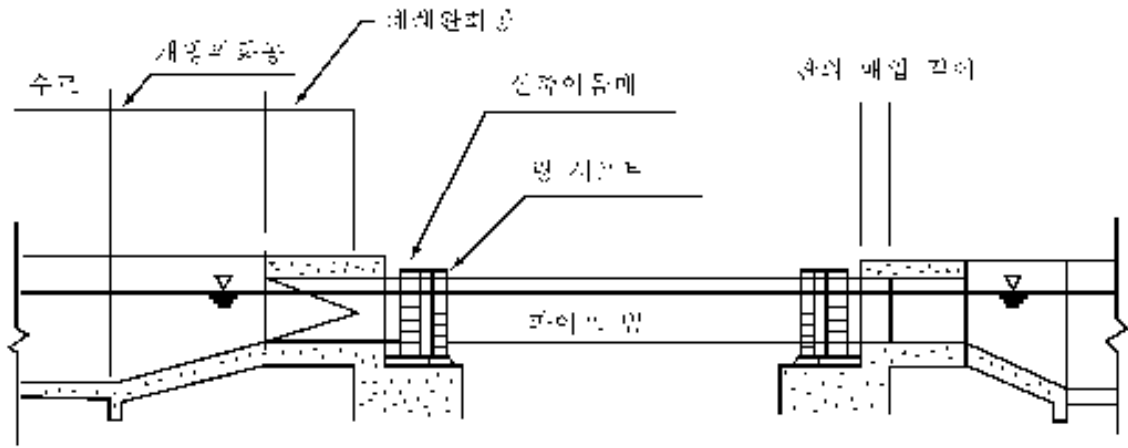


그림 4.5.2 단순지지 형식의 파이프 빔 수로교

나) 일단고정, 일단자유지지 형식

이 형식은 한쪽을 고정하고 다른 한쪽 끝에 신축이음매를 설치한 것으로 처짐량이 작고 관두께, 재질의 조합에 따라 단순지지의 경우보다 긴 경간을 가설할 수 있다 (그림 4.5.3 참조).

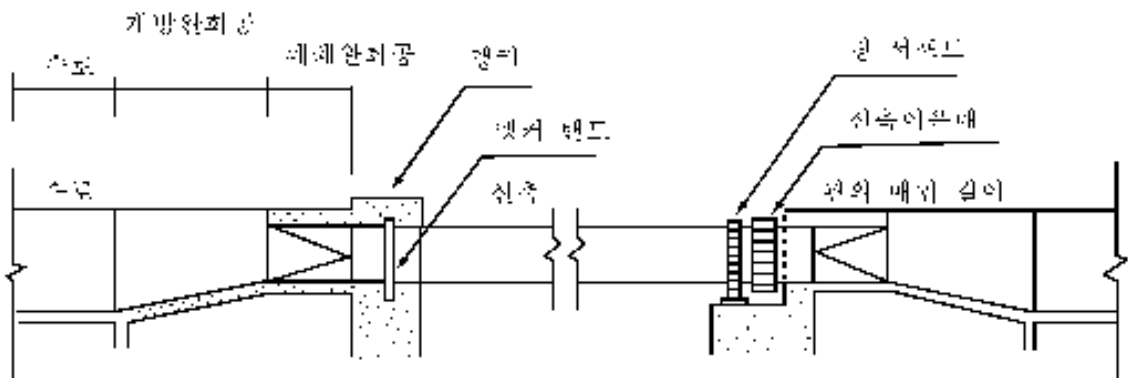


그림 4.5.3 일단고정, 일단자유지지 관수로교

다) 양단고정 형식

이 형식은 일반적으로 짧은 경간의 경우에 사용되나 온도에 대한 신축이 제약되어 온도변화를 고려하지 않아도 될 경우에 채용된다.

라) 연속지지 형식

중간에 교각이 있는 연속보로서 교각수와 경간은 주로 지형조건 등에 따라 결정된다.

관두께의 조합에 의해 경제적으로 긴 지간의 가설도 가능하다. 양단교대에는 신축이음매를 설치하고 중간교각에는 링 서포트를 설치하거나 온도변화에 의한 신축이 클 경우에 신축이음매를 설치하는 경우도 있다 (그림 4.5.4 참조).

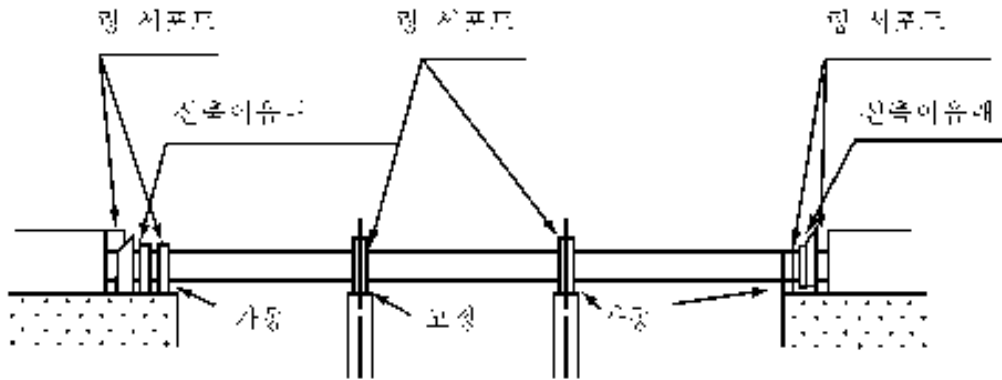


그림 4.5.4 연속지지 관수로교

2) 보강 관수로교

이 형식의 관수로교는 지형상 또는 경제적 견지에서 지간이 길게 되며 파이프빔 형식에서는 강도 또는 강성이 부족한 경우 파이프빔을 보강한 것으로 보강 관수로교의 종류에는 다음과 같은 것이 있다 (그림 4.5.5 참조).

가) 플랜지 보강 수로교

관의 상부 또는 하부에 T.Y.  $\pi$ 형 등의 보강재를 용접한 것으로 순 연직보강 형식이다.

나) 트러스 보강 수로교

관을 트러스의 상현재 또는 하현재로 이용하는 것으로서 일반적으로 삼각트러스가 중량 면에서 경제적이며 또 수평보강의 측면에서도 유리하여 많이 사용된다.

다) 고정아치 보강 수로교

강관을 아치로 이용한 것으로 양단지지가 된다. 이 경우는 사이편 작용으로 물이 흐르기 때문에 강관 정부에 강제배기장치를 반드시 설치해야 한다.

라) 랑카 보강 수로교

지간 및 관경이 클 때는 강관을 랑카교의 보강보로 이용한 것으로 미관도 좋아 일반적으로 많이 사용된다.

마) 현수교 보강 수로교

지간이 경간에 비하여 극히 크고 강관이 요성인 것을 이용한 구조이며 이 형식은 흔들림을 멈추게 할 것을 충분히 고려하여 설계하여야 한다.

바) 사장 보강 수로교

일반적으로 다지간인 경우 경제적이지만 풍하중에 약하기 때문에 이점을 충분히 검토해야 한다.

파이프빔 수로교 및 보강 관수로교의 구조설계에 있어 일반적으로 고려해야 할 설계조건에는 자중, 물, 외압(지진하중, 풍하중, 설하중, 온도변화, 균집하중 등), 허용응력(축방향인장응력, 축방향압축응력, 변곡응력, 전단응력, 지압응력), 부식, 처짐, 캠버

등이 있으며 필요에 따라 검토해야 한다.

보강 관수로는 강성이 크기 때문에 파이프빔 형식보다 적용지간이 크지만 보강재 때문에 풍압면적이 늘고 횡하중에 대하여 상당한 내력을 필요로 하는 경우가 많다. 어느 형식을 채택할지는 그 지점의 지형, 상하류의 수로형식, 전체공사비, 유지관리비, 내구성, 시공성 등을 비교 검토하여 결정한다.

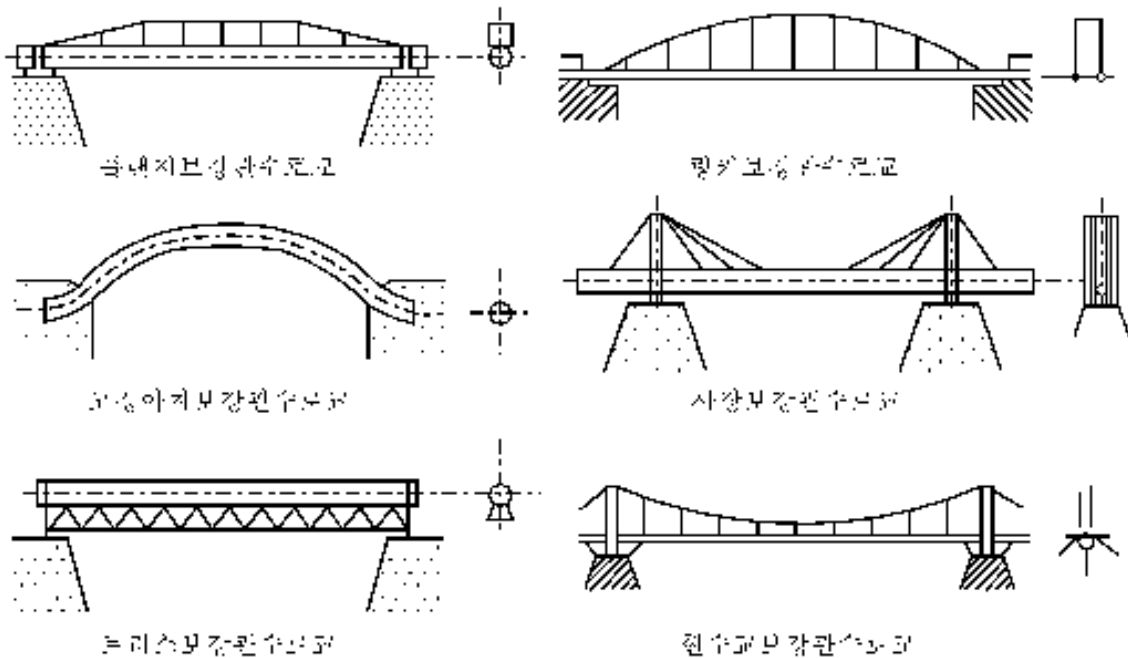


그림 4.5.5 보강 관수로교

### 4.5.3 수리설계

수로교의 수리설계는 경제성을 특히 배려하여야 한다. 그러므로 수로단면의 결정에 있어서는 수리상 가장 유리한 단면을 기본으로 하여 검토한다. 수리계산은 원칙적으로 매닝(Manning) 공식을 적용한다.

일반적으로 유속은 수로교 전·후의 유속보다 빠르게 하고, 긴 수로교에서는 20~50% 증가시키고 짧은 수로교에서는 비율을 작게 하여 손실수두를 작게 하는 것이 경제적이다.

대개 수로교의 여유고는 그 위치 또는 수로의 규모에 따라 결정되나 연결되는 전·후의 수로 여유고의 1.5배 정도 크게 하는 것이 바람직하다.

다만 상류 수로의 구조가 잉여수를 방수하는 등으로 수로교에서 월류의 위험이 없을 때는 접속하는 수로와 같은 정도로 할 수 있다.

#### 4.5.4 구조설계

수로교의 설계에 있어서는 자중, 수압, 외압 등 필요한 하중을 결정하고 수리설계에서 결정된 수로단면을 설치장소의 입지조건, 시공조건을 고려하여 상부 및 하부구조 등 안전하고 경제적으로 설계하여야 한다.

##### 가. 경간장

수로교의 길이가 길게 되는 경우에는 교각을 설치하지만, 수로교가 지정하천을 횡단하는 경우는 홍수유하에 현저히 지장을 초래하는 경우가 있는 것으로 「하천설계기준」에 따라서 결정한다. 또한, 지정하천 이외의 배수로에 관해서는, 가장 경제적이 되도록 경간장을 결정한다.

각각의 형식에 있어서의 수로교 슬래브 내면고에 대한 지간장의 관계는 그림 4.5.6에 나타나 있다.

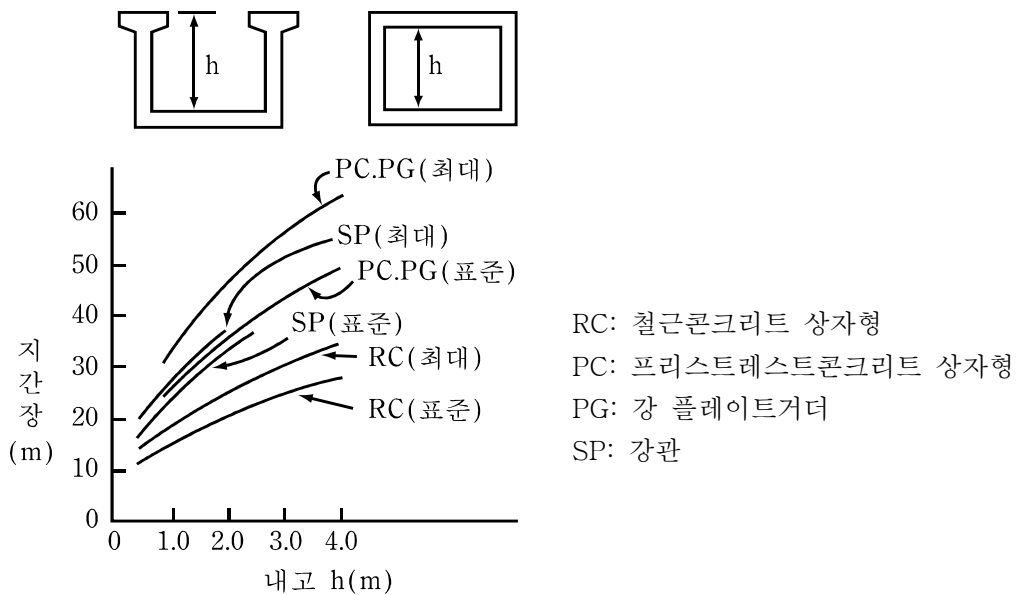


그림 4.5.6 수로교의 슬래브 내면고와 지간장의 관계

##### 나. 여유고

여유고, 즉 홍수위상의 다리밑 공간은 계획홍수량을 안전하게 소통시키기 위해서 하천에서 발생할 수 있는 여러 가지 불확실한 요소들에 대한 안전 값으로 주어지는 여분의 높이로 수로교 상부구조는 하천홍수위 + 여유고 이상에 있어야 한다.

수로교가 범정하천을 횡단할 경우의 여유고는 계획홍수량에 따라 도로의 구조 시설 기준에 관한 규칙에서 규정한 표 4.5.1 값을 적용함을 원칙으로 하나 현지 여건을 고려하여 결정한다.

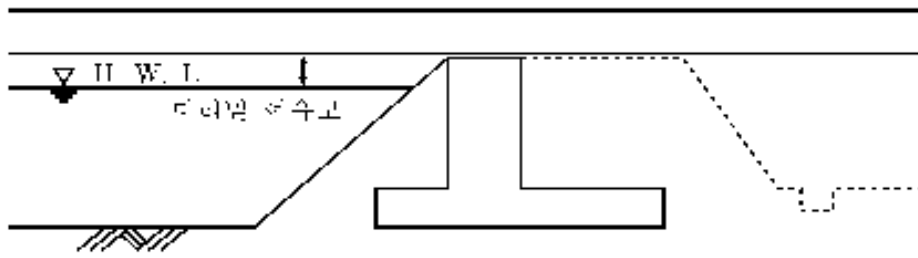


그림 4.5.7 여유고 (하천의 경우)

표 4.5.1 계획홍수량과 여유고 (h)

계획홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	여유고 (m)	계획홍수량 (m <sup>3</sup> /s)	여유고 (m)
200 이하	0.6 이상	2,000 ~ 5,000	1.2 이상
200 ~ 500	0.8 이상	5,000 ~ 10,000	1.5 이상
500 ~ 2,000	1.0 이상	10,000 이상	2.0 이상

주) 수로교가 계획홍수량 50m<sup>3</sup>/s 미만의 소하천이나 배수로를 횡단하는 경우에는 여유고를 0.3m 이상으로 한다.

#### 다. 교대 및 교각의 위치와 근입심

##### 1) 교대의 위치

교대는 설치지점의 지형, 지질상황 및 교량전체의 배치를 고려하고 관리상 지장이 없는 위치에 선정한다. 교대를 하천제방에 설치시는 하천폭이 50m 미만의 경우 교대의 전면이 제방법선보다 앞으로 나가지 않도록 한다. 단지 산간의 좁은 부분, 기타 하천 및 지형의 상황 등에 따라 치수상 지장이 없다고 인정될 때는 그렇지 아니하다. 또한 배수로에 설치하는 교대에 관해서는 계획최대유량을 만족하는 단면을 확보할 수만 있으면 경제성을 고려하여 제방법선보다 전면에 계획하는 것도 좋다. 하천폭 50m 이상의 경우는 고수법선 이내이어야 한다.



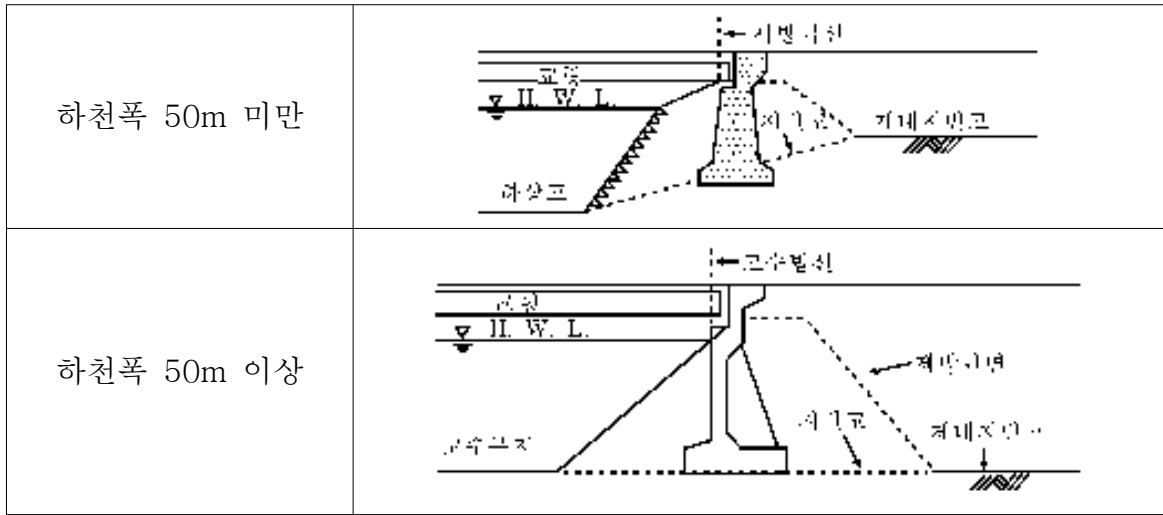


그림 4.5.8 교대의 위치

### 2) 교각의 위치

교각의 위치는 경간장에 의해서 정해지는 것이지만, 하천을 횡단하는 경우에는, 홍수 유하에 현저히 지장을 미치게 하지 않는 위치를 선정한다.

복단면을 갖는 하천에 교각을 설치하는 경우, 교각의 위치는 원칙적으로, 하안 또는 제방의 법선 및 저수하안(低水河岸)의 법선으로부터 각각 10m(계획최대유량 500m<sup>3</sup>/s 미만의 하천에 있어서는 5m) 이상 거리를 둔다.

하천 또는 배수로에서, 할 수 없이 하안 또는 제방의 법선, 또는 저수호안(低水護岸)의 법선에 설치하지 않을 수 없는 경우는 필히 호안을 보다 견고한 것으로 함과 동시에, 호안공 또는 고수부지 보호공을 마련한다.

### 3) 교각의 근입깊이

교각의 근입깊이는 계획 하상고를 고려하고, 하상변동과 홍수시의 국부적인 세굴 등에 충분히 안전하도록 하여야 한다.

일반적으로 하천의 계획 하상고(계획 하상고가 없을 경우는 현상태의 최심 하상) 보다 2m 이상 근입이 필요하다.

교각이 고수부지 내에 설치되는 저수로의 하안 법선으로부터 제방측으로 20m 이상 일 때 고수부지 하상고로부터 1m 이상 근입하여 설치하여야 한다.

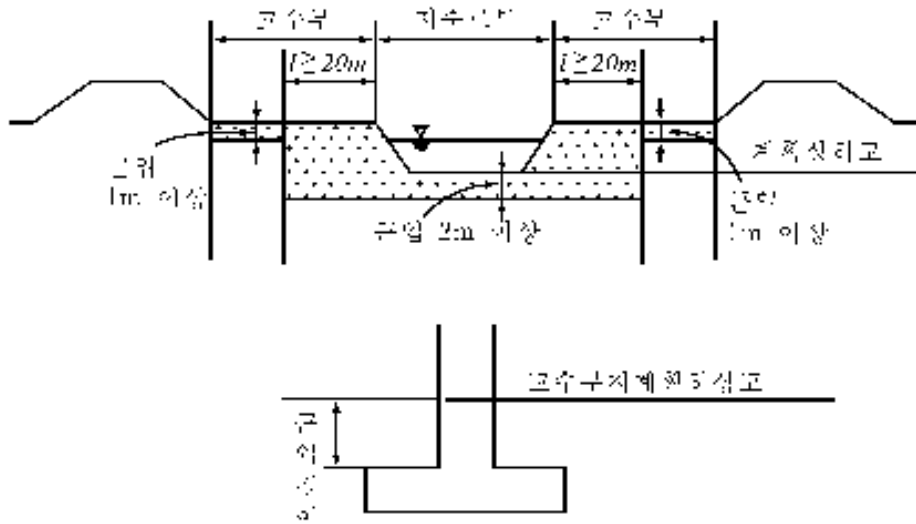


그림 4.5.9 교각의 근입깊이

#### 4) 교각의 형상

하천에서의 교각의 평면형상은, 유수에 대한 저항이 적고, 또 하천 단면적을 저해하는 것이 적도록 가늘고 긴 타원형 또는 이것과 닮은 형상의 것으로 한다.

타원형 외에 직사각형, 원형 등을 들 수 있지만, 다음 사항을 고려하여 선정한다.

- 가) 직사각형 단면은 하천 이외의 차도, 철도를 횡단하는 경우에는 좋다.
- 나) 유수의 방향이 일정하지 않은 하천이나 합류부 등에 원형단면이 좋다.
- 다) 하천에서 유수방향이 일정한 경우는 좁은 단면의 것이 좋다. 원형단면보다 나비를 작게 할 수가 있고 하천의 유수 저해가 작아 유리하다.

하천단면적 저해율(교각의 총폭이 강폭에 차지하는 비율)의 목표치는 일반적으로 3~5%이다.

#### 라. 이음설계

시공이음이나 신·수축이음은 수로교의 특성상 일반적으로 1경간인 철근콘크리트교 5~12m, PC 콘크리트교 25~30m의 간격을 원칙으로 하며 누수가 생기지 않도록 수밀성이 있는 재료로 한다.

##### 1) 시공이음

단면형상 및 콘크리트의 타설 방법 등에 따라 시공상 필요한 종방향 시공이음의 위치·구조는 이를 도면에 명시하고 압축력의 방향에 직각으로 하는 것이 원칙이다.

특히 수로교는 미관을 고려 시공해야 하므로 이음의 처리를 다음과 같이 하여야 한다.

- 가) 수평면의 레이탄스와 시멘트풀을 제거한다.
- 나) 연직면의 구콘크리트 치핑(chipping), 신콘크리트 와이어 브러싱 처리후 콘크리트를 타설한다.
- 다) 콘크리트+철근+철골이 일체가 되게 신·구콘크리트를 관통하게 한다.

2) 신축이음

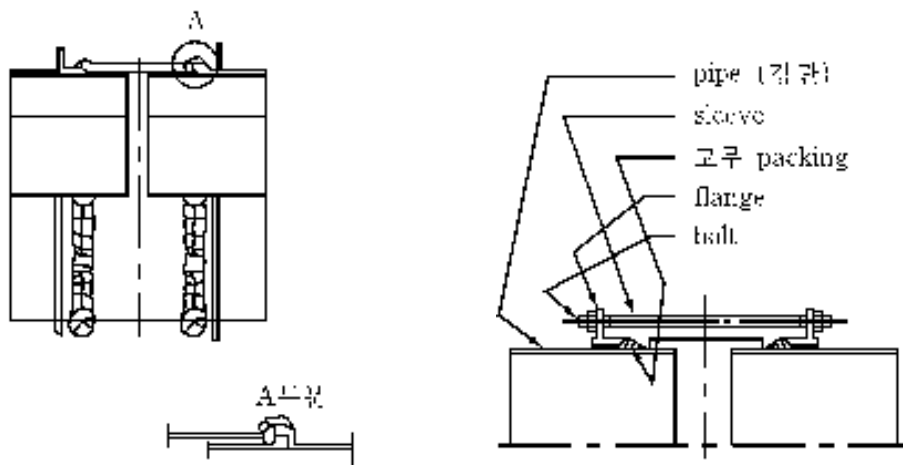
가) 플랩 형식

신축이음매는 고정측, 가동측의 구별에 관계없이 마련하는 것으로 하여 교체(橋體) 및 교체와 완화구간과의 사이에 설치되고, 수밀이 보장되는 것이 아니면 안 된다. 사용재료로 엘라스틱 필러(elastic filler) 등을 쓴다.

나) 관 형식

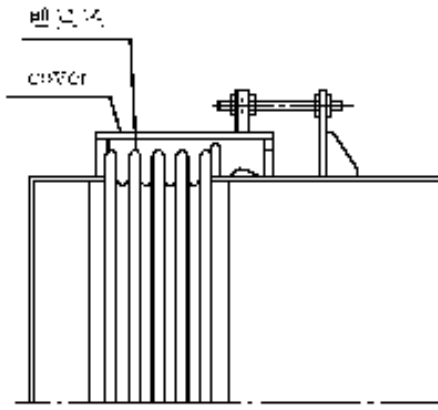
관 형식의 신축이음장치는 기온 및 관내수온의 변화에 대응하고, 보로서의 각변형을 흡수시키는 것을 목적으로 한다. 따라서 경간의 나눔 및 교체구조의 형식에 따라 신축길이, 이음 위치에서의 각변형(변위각) 및 부등침하 등을 검토하여 결정한다. 신축이음에 사용하는 형식으로는 드레서(dresser)형, 클로저형 및 벨로즈(bellows; 주름통)형 등이 있다 (그림 4.5.10 참조). 수밀고무는 합성고무가 바람직하다.

비관개기에 파이프 빔(pipe beam)을 떼어내는 경우가 있으며, 드레서형과 클로저형은 탈착이 가능하다.

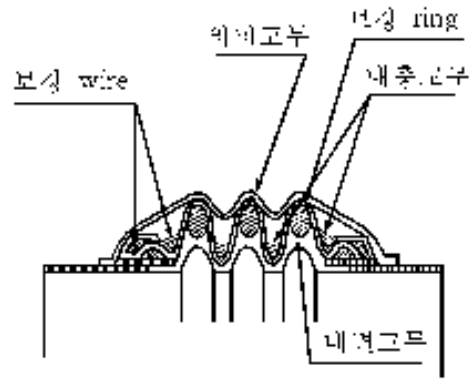


(a) 드레서형 (sleeve joint)

(b) 클로저형



(c) 벨로즈형 (금속)



(d) 벨로즈형 (고무)

그림 4.5.10 신축이음 (관형식)

### 마. 받침장치

수로교의 상부구조와 하부구조의 접점에 위치하면서 상부구조로부터 전달되는 연직 하중을 하부구조로 전달하는 장치로 고정단, 가동단이 있으며, 지진, 바람, 온도변화 등에 안전하게 적응토록 하는 장치이다.

#### 1) 받침장치의 형식

받침장치에는 일반적으로 상부구조에 따라 플류 형식과 관 형식 있다.

##### 가) 플류 형식

받침장치의 종류에는 고무 받침장치, 미끄럼 받침장치 등 여러 종류가 있으나 설계자가 경제성, 내구성, 사용성 및 안전성 등을 감안하여 설계한다.



그림 4.5.11 고무 받침장치의 예

##### 나) 관 형식

관 형식의 받침장치에는 새들 지지(saddle support) 형식과 링 지지(ring support)

형식이 있고 각각 다음과 같은 특징이 있다.

(1) 새들 지지

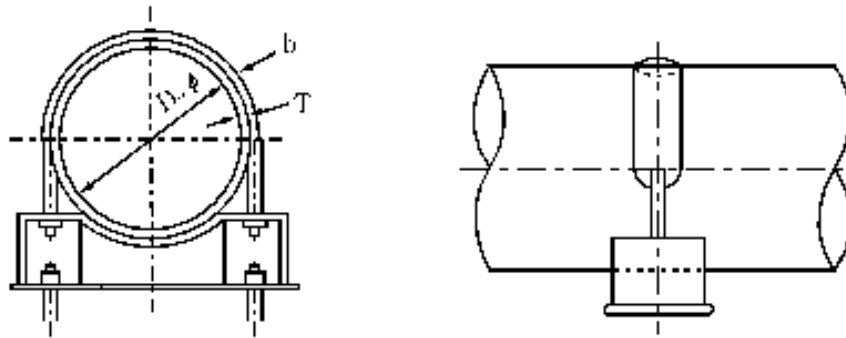


그림 4.5.12 새들 지지(saddle support)의 예

- (가) 강관을 강재(鋼製)의 새들 위에 놓아 지지하는 것으로 구조가 간단하다.
- (나) 새들과 강관과의 접촉부분에 큰 모멘트가 생기기 때문에 지간장에 제약이 따르며, 소구경  $\phi 150 \sim 450\text{mm}$ , 지간 16m 이하에 잘 쓰인다.

(2) 링 지지

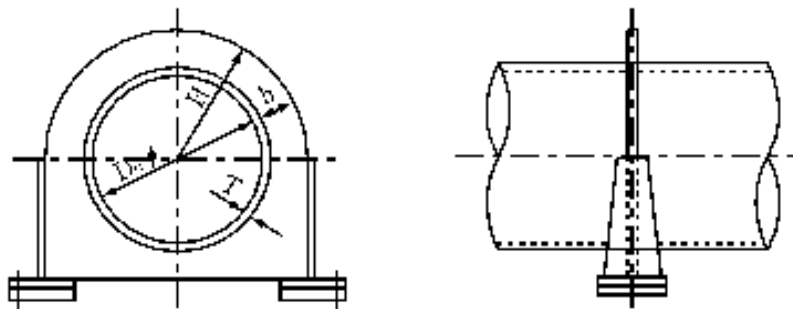


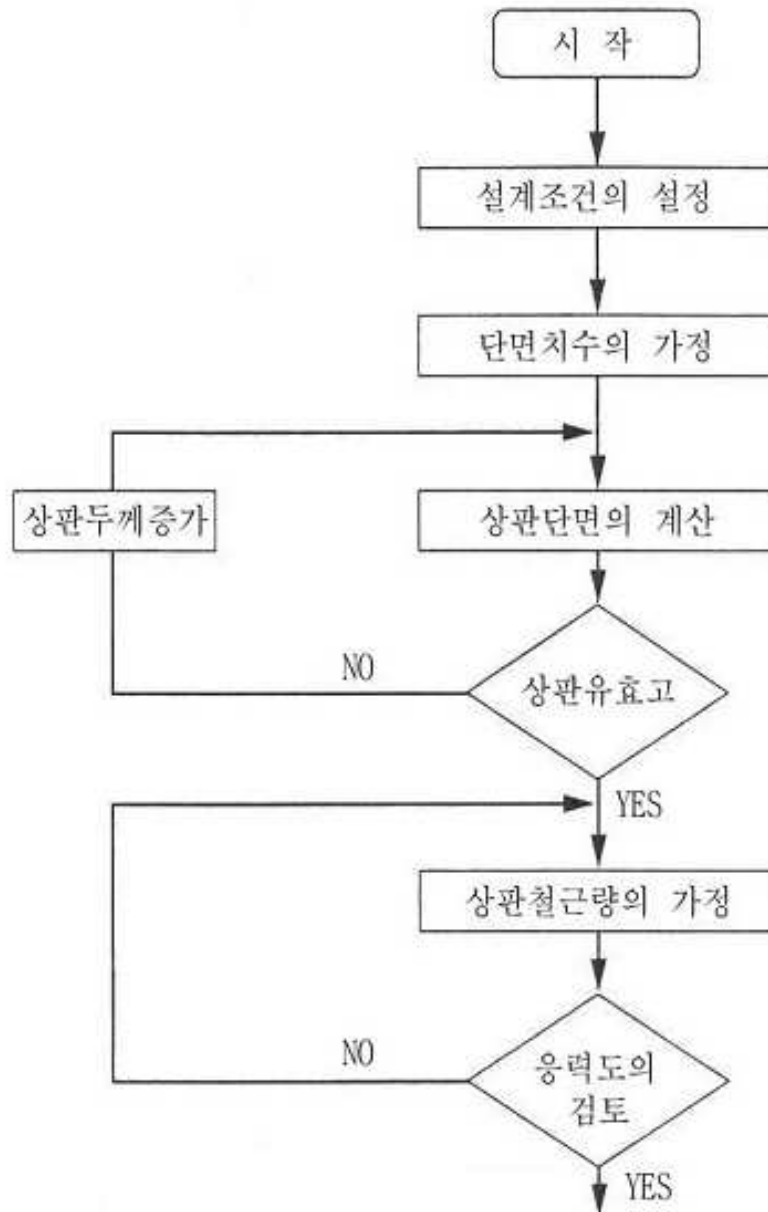
그림 4.5.13 링 지지(ring support)의 예

- (가) 강관에 용접된 보강 링(ring)에 의해 지지하는 것으로, 새들 지지 에 비교하여 관체의 응력해석을 엄밀히 할 수 있다.
- (나) 관(pipe)형식의 수로교에서 구경  $\phi 500\text{mm}$  이상, 지간 17m 이상에 잘 쓰인다.

#### 4.5.5 철근콘크리트 수로교 설계

##### 가. 설계순서

철근콘크리트 수로교의 설계순서는 그림 4.5.14의 흐름도에 따른다.



①

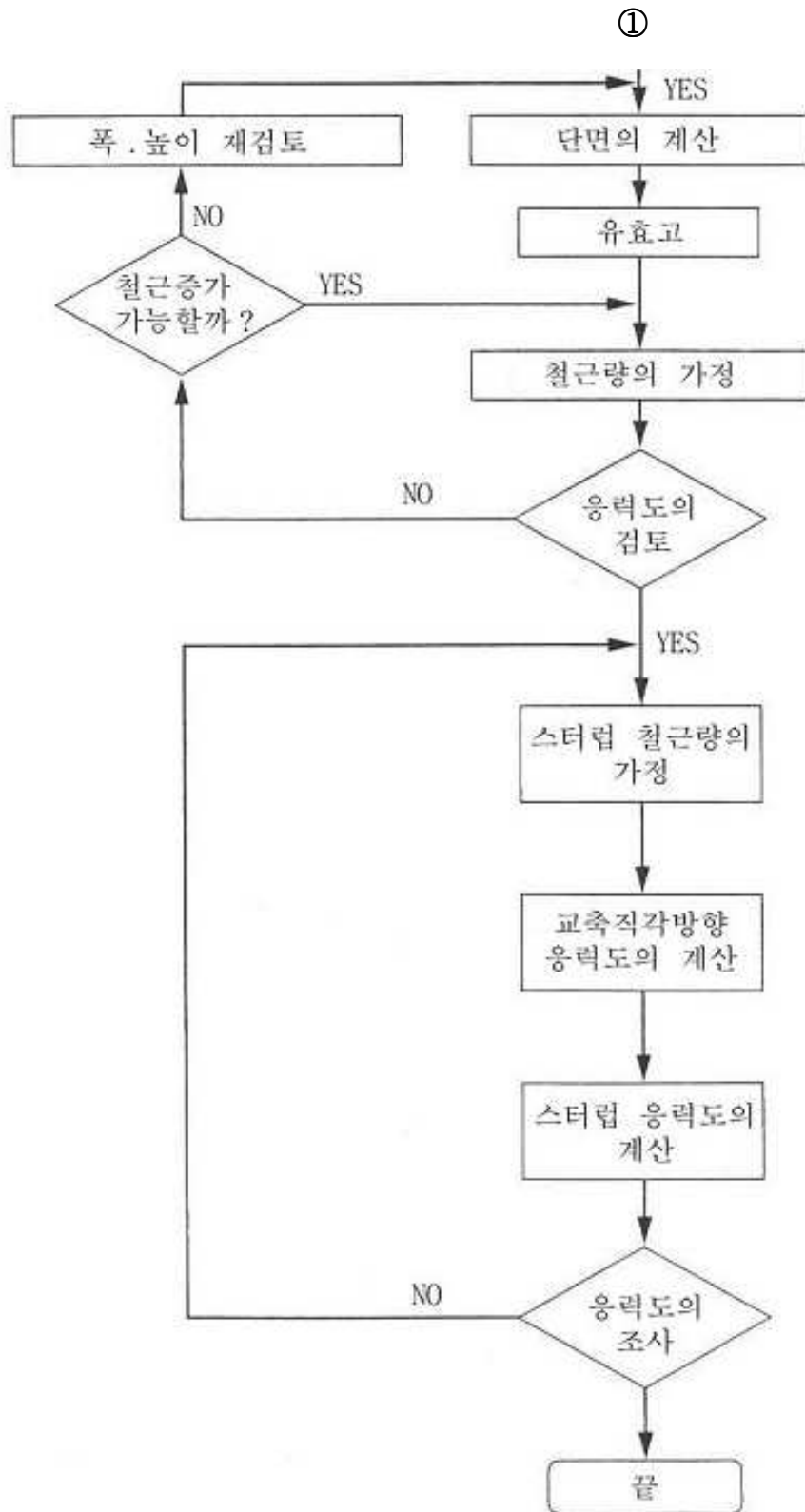


그림 4.5.14 흐름도

## 나. 단면치수의 가정

철근콘크리트 수로의 표준단면은 그림 4.5.15와 같다고 가정한다.

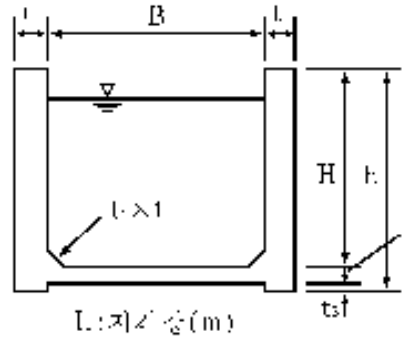


그림 4.5.15 표준단면도

## 다. 하중의 계산

1) 상판에 작용하는 하중 (단위폭당)

$$\text{자중} \quad W_c = t_2 \cdot r_c$$

$$\text{내부물하중} \quad W_{w1} = H \cdot r_w$$

---


$$\text{계} \quad W_1 = W_c + W_{w1} \quad (\text{kN/m}^2)$$

$r_c$ : 철근콘크리트의 단위부피중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

$r_w$ : 물의 단위부피중량 ( $\text{kN/m}^3$ )

단, 개거 안쪽 물의 중량과 설하중을 비교하여, 큰 쪽의 값을 사용한다.

2) 주형(主桁)에 작용하는 하중 (1분당)

$$\text{자중} \quad W_d = t_1 \cdot h \cdot r_c + \frac{1}{2} B \cdot W_c + \frac{1}{2} t_4^2 \cdot r_c \quad (\text{kN/m})$$

$$\text{물하중} \quad W_{w2} = \frac{1}{2} \cdot (B \cdot H - t_4^2) \cdot r_w \quad (\text{kN/m})$$

---

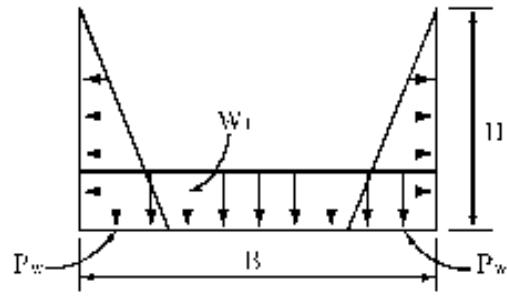

$$\text{계} \quad W_2 = W_d + W_{w2} \quad (\text{kN/m})$$

$$\text{수압강도} \quad P_w = H \cdot r_w \quad (\text{kN/m}^2)$$

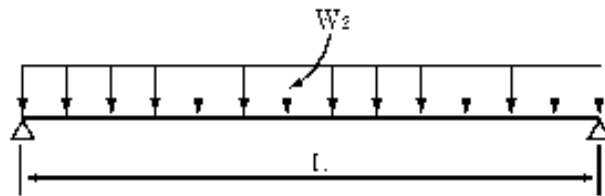


3) 하중상태

횡단방향과 종단방향의 하중상태는 그림 4.5.16과 같다.



횡단방향



종단방향

그림 4.5.16 하중상태도

라. 응력해석

1) 상판에 작용하는 휨모멘트 및 전단력

가) 휨모멘트

상판에 작용하는 휨모멘트는 다음 두 가지 경우에 관해서 계산을 하여 그 중 큰 값을 채용한다.



그림 4.5.17 상판의 휨모멘트도

(1) 측벽을 포함시킨 일체구조라고 생각한 경우

$$M_1 = \frac{1}{6} P_w \cdot H^2 \quad (\text{kN}\cdot\text{m/m})$$

$$M_2 = M_1 - \frac{1}{8} W_1 \cdot B^2 \quad (\text{kN}\cdot\text{m/m})$$

(2) 상판을 양다리에 고정되었다고 생각한 경우

$$M_1 = \frac{1}{12} W_1 \cdot B^2 \quad (\text{kN}\cdot\text{m/m})$$

$$M_2 = -\frac{1}{24} W_1 \cdot B^2 \quad (\text{kN}\cdot\text{m/m})$$

상기 두 가지 경우의  $M_1$ ,  $M_2$  중 최대치를 채용한다.

나) 전단력

전단력의 검토는 그림 4.5.18에서 보는바와 같이 상판단부보다  $\frac{t_2}{2}$  떨어진 단면에 있어서 한다.

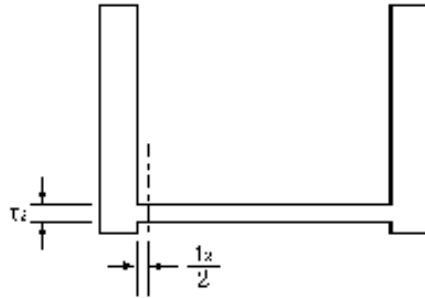


그림 4.5.18 전단력을 검토하는 위치

$$S = \frac{1}{2} \cdot W_1 \cdot B - \frac{1}{2} \cdot W_1 \cdot t_2 = \frac{1}{2} W_1 (B - t_2)$$

다) 축방향력

상판에는 수압강도에 의해 축방향에 인장력 N이 생긴다.

$$N = -\frac{1}{2} P_w \cdot H \quad (\text{kN/m})$$

2) 주형에 작용하는 휨모멘트 및 전단력

주형을 단순보로 보고 전단력을 계산한다.

가) 휨모멘트

$$M = \frac{1}{8} \cdot W_2 \cdot L^2 \quad (\text{kN/m})$$

#### 나) 전단력

전단력은 그림 4.5.19에서 보는바와 같이 주형의 전단력은 지점보다  $h/2$  위치에서 검토한다.

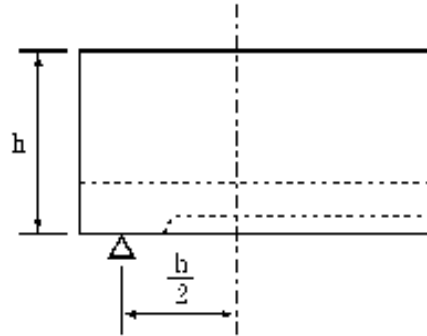


그림 4.5.19 전단력을 검토하는 위치

$$S = \frac{1}{2} W_2 \cdot L - \frac{1}{2} W_2 \cdot h = \frac{1}{2} W_2 (L - h) \quad (\text{kN/m})$$

#### 마. 응력의 검토

응력의 검토는 「콘크리트구조설계기준」을 참조한다.

## 4.6 역사이편(Inverted siphon)

### 4.6.1 일반사항

역사이편은 도로·철도 또는 하천이나 계곡과 같은 뚝부 혹은 장애물을 횡단해야 할 경우, 낮은 곳에 만류 관수로를 설치하여 상·하류의 수두차로 필요수량을 흐르게 하는 구조물이다. 설계는 해당 지점의 지형·지질·하천상황·시공조건 등을 검토하고, 관체 내에 발생하는 내수압을 고려하여 수리·구조적으로 안전하고 경제적이어야 한다.

잠관 관체에는 자유수면의 높이와 관체의 위치와의 낙차에 상응하는 내수압이 작용하는데, 이 내수압에 견딜 수 있도록 구조적으로 안정성이 있어야 하고 또 누수가 생기지 않도록 하는 구조가 필요하다. 역 사이편은 관이 만류되어 내압인 상태로 흐르도록 설계된 폐쇄 관수로 이므로 설계용량으로 흐를 경우 잉여 수두 없이 잘 흘러야 한다. 역 사이편은 경제적으로 만들어 물 흐름을 원활히 할 수 있는 방법의 하나이며

정상적인 경우 사이펀 말단에서 흡수로와 접속되는 부분에 완화공 구조물을 설치하여 침식을 방지 한다.

#### 4.6.2 수리계산

통수량·관의 길이·낙차·관 단면적 등의 관계를 통하여 통수로·관내유속 및 손실수두를 계산해야 한다.

##### 가. 최소단면과 유속

1) 최소단면: 원형  $D=0.8\text{m}$ , Box형  $h=1.0\text{m}$  이상

2) 유속

가) 허용최대유속

- 현장타설 콘크리트:  $2.0\text{m/s}$
- 철근콘크리트관:  $2.5\text{m/s}$
- 철관:  $4.5\text{m/s}$

나) 최소평균유속:  $1.3\text{m/s}$  이상

다) 표준유속:  $1.5\sim 2.5\text{m/s}$  (개수로 유속의  $1.5\sim 2.0$ 배)

배수로의 역사이편에서는 콘크리트관에서 최대  $4.0\text{m/s}$ , 최소  $0.75\text{m/s}$ 를 사용하며 보통  $1.20\sim 1.30\text{m/s}$ 가 되도록 한다.

##### 나. 수리계산

역사이편은 일반적으로 통수량( $Q$ ), 관의 길이( $L$ ), 허용낙차( $H$ )를 정하고 관의 단면을 구하는 경우와, 낙차를 자유로이 취할 수 있는 곳에서는  $Q\cdot L\cdot D$ ( $D$ : 관의 내경)를 미리 정하고 필요한 낙차를 구하는 경우가 있다. 즉 수리계산은 관내유속·손실수두 등에 대한 것은 4.11 관수로의 수리설계를 참조하고, 역사이편의 수리계산은  $Q\cdot L\cdot H$ 가 주어졌을 때 다음과 같이 계산한다.

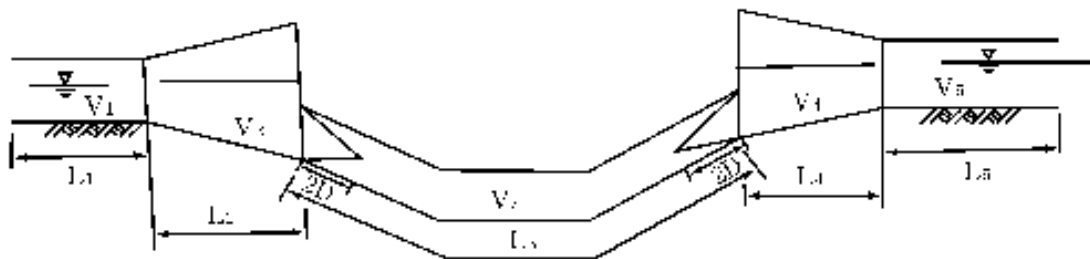


그림 4.6.1 역사이편의 일반도

표 4.6.1 수리조건

구분 \ 조건	유속	속도수두	조도계수	동수경사	길이
상류수로	$V_1$	$h_{v1} = \frac{V_1^2}{2g}$	$n_1$	$I_1$	$L_1$
유입구 개방완화공	$V_2$	$h_{v2} = \frac{V_2^2}{2g}$	$n_2$	$I_2$	$L_2$
유출입구 폐쇄완화공 및 관체	$V_3$	$h_{v3} = \frac{V_3^2}{2g}$	$n_3$	$I_3$	$L_3$
유출구 개방완화공	$V_4$	$h_{v4} = \frac{V_4^2}{2g}$	$n_4$	$I_4$	$L_4$
하류수로	$V_5$	$h_{v5} = \frac{V_5^2}{2g}$	$n_5$	$I_5$	$L_5$

1) 유입구 개방완화공

$$\begin{aligned} \text{마찰손실수두: } & L_1 \times (h_{v3} - h_{v1}) \times \frac{I_1 \times I_2}{2} \\ \text{단면축소 손실수두: } & K_1 \times (h_{v3} - h_{v1}) \end{aligned} \quad \text{----- (4.6.1)}$$

여기서,  $k_1$ : 유입구의 단면축소에 의한 손실계수로서  
 직선형인 경우: 0.2, 유선형인 경우: 0.1

2) 유입구 폐쇄완화공

$$\text{마찰손실수두: } 2D \times \frac{I_2 \times I_3}{2} \quad \text{----- (4.6.2)}$$

여기서,  $2D$ : 폐쇄 완화공의 길이,  $D$ : 관의 내경

3) 관체

$$\begin{aligned} \text{마찰손실수두: } & (L_3 - 2 \times 2D) \times I_3 \\ \text{굴곡손실수두: } & \sum f_b \times h_{v3} \end{aligned} \quad \text{----- (4.6.3)}$$

여기서,  $f_b$ : 굴곡에 의한 손실계수

4) 유출구 폐쇄완화공

$$\text{마찰손실수두: } 2D \times \frac{I_3 + I_4}{2} \quad \text{----- (4.6.4)}$$

5) 유출구 개방완화공

$$\begin{aligned} \text{마찰손실수두: } & L_4 \times \frac{I_4 + I_5}{2} \\ \text{단면확대손실수두: } & K_2 \times (h_{v3} - h_{v5}) \end{aligned} \quad \text{----- (4.6.5)}$$

여기서,  $K_2$ : 유출구의 단면확대에 의한 손실계수로

직선형인 경우: 0.3, 유선형인 경우: 0.2

6) 스크린에 의한 손실수두 및 수면저하량

「3.2.3, 라. 참조」

7) 총 손실수두

총손실수두는 계산값의 10%를 안전율로 고려하여 가산된 값으로 한다. 또한 앞에 설명한 손실 합계가 소요낙차가 된다.

#### 다. 단면변화에 의한 손실수두 및 수면저하량

여러 가지 경우와 형식에 따라 단면변화에 의한 손실수두 및 수면저하량을 고려할 수 있다 「3.2.3 참조」.

### 4.6.3 구조설계

역 사이편은 완화부와 관체부로 구성되며, 에너지 손실 및 배수현상(背水現象)이 완충될 수 있고, 수면의 불연속으로 배수(背水)가 생기지 않도록 실(sill) 표고를 계획하여야 한다.

#### 가. 관체의 구조설계

4.11 관수로 참조

#### 나. 완화부(Transition)

트란지손은 개수로 구간에서 역 사이편의 구간으로 진입할 때 단면변화와 표고차로 생기는 에너지손실 및 배수현상을 완충할 수 있는 부분을 설계하여야 한다.

1) 완화공 형식

에너지손실과 배수현상은 사이편에서 단면·유속·높은 플룸·흠각기 또는 피복한 단면 및 터널 등의 갑작스런 변화에 의해 일어난다. 완화공 유입부와 유출부의 형식은 여러 가지이며 다음과 같이 5종류로 구분한다.

가) 연직식(vertical transition)

나) 비틀림식(warped transition)

다) 직선식(straight lined transition)

라) 유선식(streamlined transition)

마) 탱크식(tank typed transition)

2) 완화공의 기울기

완화공의 기울기는 직선식 완화공에서 유입부 및 유출부 바닥의 최대기울기가 그림 4.6.2와 같이 각각 1:4, 1:6 보다 완만해야 한다.

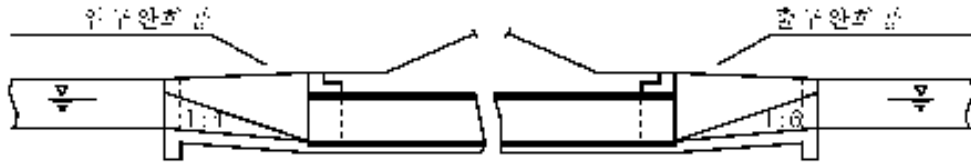


그림 4.6.2 완화공의 기울기

3) 완화공의 길이

완화공의 길이는 유입부 단면과 유출부 단면 간에서 측벽을 연결한 직선이 수로측과 이룬 각도를 12°30′으로 한 경우의 실험치이다. 또한 완화공의 수면과 중심선이 이루는 각은 유입부 완화공에서 27°30′, 유출부에서 22°33′을 초과할 수 없다. 어떤 경우에는 구조물의 입구·출구를 다같이 25°로 설계하는 것이 경제적이다.

제수공에서는 유입부 완화공의 각도를 30°로 하고 유입손실수두로는 상류수로와 제수문개구의 유속수두 차의 0.5배, 즉  $(0.5 \cdot \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g})$ 를 취한다.

길이가 긴 완화공을 제외하고는 완화공 내의 마찰손실수두는 무시한다.

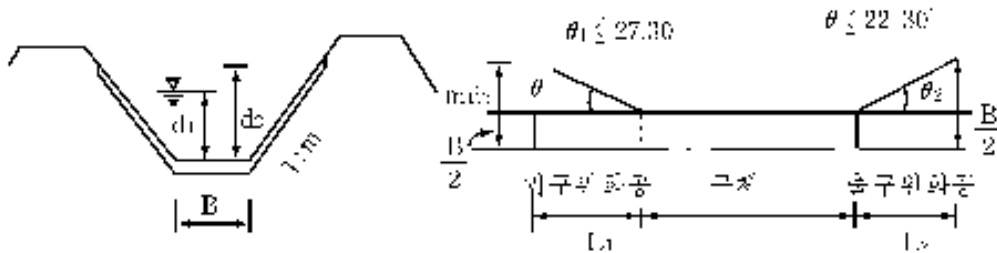


그림 4.6.3 완화공의 길이

그림 4.6.3에서

$$L_1 = \left( \frac{B}{2} + md_2 - \frac{D}{2} \right) \times \cot \theta_1$$

$$L_2 = \left( \frac{B}{2} + md_2 - \frac{D}{2} \right) \times \cot \theta_2 \quad \text{..... (4.6.6)}$$

여기서,  $d_1$ : 수면고       $d_2$ : 수면고+lining 여유고 (0.1~0.2)

일반적으로  $L = \frac{B-D}{2} \cot\theta$ 로 하기도 하는데 이때  $\theta$ 는 완화공 유입구에서 수로폭과 관경이 이루는 축소각이다.

#### 4) 유입구·유출구의 개방완화공

유입구·유출구의 개방완화공은 될 수 있는 한 손실수두를 작게 하기 위한 시설이다. 그 형태 및 손실계수는 그림 3.2.3과 표 3.2.15를 참조로 하고, 유입부에서 길이는 상류 수로의 측벽과 유입구 단면의 측벽을 연결한 직선이 수로축과 이루는 각도를  $12^\circ 30' \sim 25^\circ$ 로 한 길이이다. 유출부에 있어서는 유출구 단면의 측벽과 하류수로 측벽을 연결한 직선이 수로축과 이루는 각도를  $12^\circ 30' \sim 25^\circ$ 로 한 길이이다. 수로공과 개방완화공과의 접속부분의 보호공은, 보통 유입부에서는 설치하지 않으며, 유출부에서는 개방완화공의 종점의 유속이 0.7m/s 이상일 때 설치하여야 한다.

#### 5) 유입구·유출구

유입구에서는 관체 속으로 토사나 공기가 유입되지 않도록 한다. 침사작용을 완전히 하기 위해서는 유입구 바로 상류에 침사지를 설치하는 경우도 있다. 유입구의 상단은 그림 4.6.1과 같이 완화공의 속도수두에서 토공수로의 속도수두를 뺀 값의 1.5배 이상의 깊이가 필요하며, 최소 0.45m 이상이어야 한다. 유입구 상류에는 스크린을 경사지게 설치하여 부유물의 침입을 방지하고 안전조치도 겸한다. 유출구의 상단은 그림 4.6.1과 같이 관체의 속도수두와 수로의 속도수두의 차이만큼의 깊이로 하든가 수로 내의 수위와 같게 하여도 된다.

#### 6) 유입구·유출구의 폐쇄완화공

개방완화공과 관체를 연결하는 구간으로 손실수두를 될 수 있는 한 작게 하기 위한 시설이다. 유입구·유출구 폐쇄완화공의 개방완화공 쪽 단면은 관체의 내경을 변으로 하는 정사각형으로 하고, 길이는 관경의 2배로 하여 관체와 연결한다.

### 다. 역사이편 입출구의 실(Seal)

역사이편 입출구의 수면에서 폐쇄완화공 또는 관의 내측 정부(頂部)까지의 수직 높이이며 유입구에서는 관내로 공기가 들어가는 것을 방지하는 역할을 하고 유출구에서는 에너지 손실에 관계됨으로 적절하게 정해야 한다.



1) 유입구의 실

유입구의 실은 관 또는 폐쇄완화공의 천정이 물에 잠길 수 있게 하기 위해 필요한 높이이며, 식으로 표시하면 식 (4.6.7)과 같다.

$$\Delta WS_1 = (1 + K_1) \Delta hv_1 + h_{f1} = (1 + f_{gc}) \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} + h_{f1} \quad \text{--(4.6.7)}$$

여기서,  $\Delta WS_1$ : 개방완화공 상하류 끝 사이의 수면표고차

$K_1, f_{gc}$ : 점속손실계수

$\Delta hv_1$ : 수로와 관체의 속도수두의 차

$h_{f1}$ : 완화공 구간의 마찰손실수두

가) 관경 300~900mm인 경우

유입구의 실은 식 (4.6.7)에서 계산된 값 또는 10cm 이상 혹은 속도수두 차의 1.5배 즉  $1.5 \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g}$  중 큰 값을 취한다.

나) 관경 900mm인 경우

유입구의 실은 식 (4.6.7)에서 계산된 값 또는 최소 45cm 혹은 속도수두 차의 1.5배 중 큰 값을 취한다.

다) 관경 1,800~4,000mm인 경우

유입구 실은 50cm를 취한다.

2) 유출구의 실

유출구에서는 관체나 폐쇄완화공 끝의 천정이 물에서 뜨지 않고 또 너무 많이 잠기지 않게 하여야 하며 수면과 일치시키는 것이 가장 좋다.

유출구 단면 높이의 1/6 이상 물에 잠기면 완화공의 점속 손실계수 대신 급속 손실계수를 적용하게 되어 출구손실이 커지게 된다. 유출구의 실은 완화공 하류끝의 수면과 출구의 관체나 폐쇄완화공 끝의 천정과의 표고차이며 식 (4.6.8)로 구한다.

$$\Delta WS_2 = (1 - K_2) \Delta hv_2 - h_{f2} = (1 - f_{ge}) \frac{V_2^2 - V_3^2}{2g} - h_{f2} \quad \text{-----(4.6.8)}$$

여기서,  $\Delta WS_2$ : 유출구의 개방완화공 상하류 끝 사이의 수면표고차

$K_2, f_{ge}$ : 수로공의 점속손실계수

$h_{f2}$ : 완화공구간의 마찰손실수두

$\Delta hv_2$ : 수로와 관체의 속도수두차

완화공 길이가 짧은 경우  $h_{r1}$ ,  $h_{r2}$ 는 계산된 값이 아주 작기 때문에 완화공이 특히 길지 않은 경우는 계산에서 생략하여야 좋다.

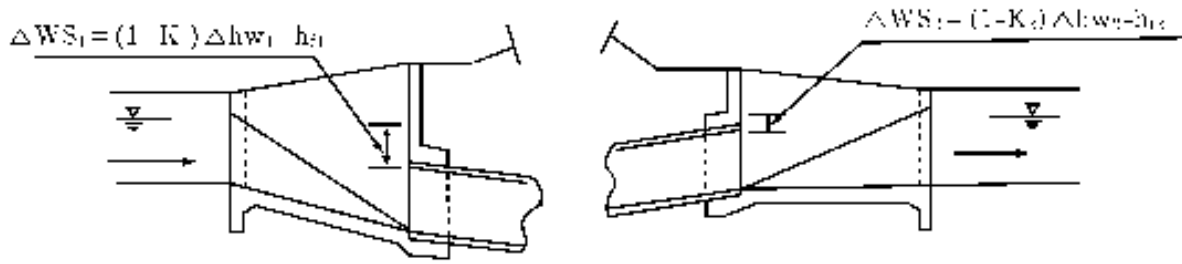


그림 4.6.4 역사이편 유입구, 유출구 실

### 라. 구조물 설계의 유의사항

역사이편은 관의 매설과 관의 시공을 지형 및 지질에 부합되도록 설치해야 한다. 특히 용수로를 횡단하는 배수잠관(배수 역사이편)은 토사 퇴적으로 배수기능을 상실할 우려가 있으므로 이를 피하고, 다른 방법을 찾는 것이 필요하다.

#### 1) 관의 선택

역사이편은 일반적으로 공장제 원심력 콘크리트 원형관 또는 철근콘크리트 원형관을 사용하는 것이 좋다. 이들을 규격품으로 사용하게 되면 응력계산을 생략할 수 있다. 다음과 같은 곳에서는 현장타설 상자형이 유리한 경우가 있으므로 비교·검토할 필요가 있다.

- 가) 내압이 적고 통수량이 많은 경우
- 나) 지형상 매설의 깊이를 얇게 하지 않으면 안 될 경우
- 다) 관의 길이가 짧고 내경이 큰 경우
- 라) 다른 구조물의 일부를 이용하는 경우

#### 2) 관의 연수(連數)

관의 연수는 1련이 원칙이지만 다음과 같은 경우는 2련으로 할 것을 고려한다.

- 가) 교통이 불편하거나 또는 용수 등으로 대형 관의 운반·취급이 곤란한 경우
- 나) 지질상 대형 관을 깊이 매설하기가 곤란하거나 부적당한 경우
- 다) 개척지와 같이 전 수량을 필요로 하고 상당히 장기간을 필요할 때 1련만 먼저 부설하고 나머지를 차기 공사로 하는 경우

3) 매설깊이

매설깊이는 다음 사항을 유의하여 결정한다.

- 가) 경지 내에서는 경작에 지장이 없는 깊이로 한다.
- 나) 터널식 구조는 피한다.
- 다) 이동성 지반에서는 활동면 이하로 매설한다.
- 라) 한랭지에서는 동결선 이하로 매설한다.
- 마) 중요한 도로·궤도 밑에 매설하는 경우는 관의 재료·기초공 여하에 따라 표 4.6.2를 표준으로 한다.

표 4.6.2 매설 깊이의 표준

매설재료	도로	궤도
콘크리트관	$H > 0.6m > D$	$H > 0.9m > 1.5D$
철근콘크리트관 (기초 없음)	$H > 0.3m$	$D < 1.0m, H > 0.75m,$ $D > 1.2m, H > 1.0m$
철근콘크리트관 (콘크리트 기초)	-	$D < 1.0m, H > 0.3m$ $D < 1.2m, H > 0.5m$

주) H: 흙두께, D: 관지름 (m)

4) 기초공

역사이편의 관체는 구조물로서는 가벼운 것이므로 0.6m 이하의 소구경 관인 경우에는 부등침하를 방지할 정도로 하고 특별한 기초공을 하지 않는다. 관경 0.6m 이상의 기초공 종류와 지반과의 관계는 표 4.6.3과 표 4.6.4를 표준으로 한다.

표 4.6.3 관경 0.6m 이상의 원심력관의 기초공

지반의 점토함량	기초공의 종류	비 고
10% 까지	모래두께 0.2m	
20% 까지	모래두께 0.3m	
30% 이상	모래두께 0.4m	

그 밖에 특수한 경우나 지지력이 부족한 경우는 기초설계를 하며, 경사부의 기초는 흙다짐을 잘하거나 또는 모래를 깐다. 유입구와 유출구는 접속수로·침사지·기타의 부대시설과의 관계를 고려하여 침하·이동이 없게 한다.

표 4.6.4 관경 0.6m 이상의 보통콘크리트관의 기초공

지반	기초공의 종류
암반, 사력토	굴착상태 그대로 함
사토, 톱, 배수 양호한 곳	다짐질만 함
톱, 배수 불량한 곳	모래를 깐다
실트, 연약지반	항목, 기초공
궤도 및 제방의 밑	항목, 사다리 토대 기초공

5) 신축이음

원심력 콘크리트관이나 흙 속에 매설하는 관체에 대하여는 신축을 고려하지 않는다. 그러나 현장타설로 할 때는 지표면에 노출되는 구조에서는 수축이음을 생략하고 팽창이음 간격을 20m (B·H=1.5×1.5m 이상), 또는 30m (B·H=1.5×1.5m 이하) 범위 내에서 신축이음을 설치한다.

4.6.4 부대시설

역사이편은 계획된 유량·유속을 확보시키기 위하여 침사조·물넘이·맨홀 등 유지관리에 편리한 시설을 계획하여야 한다.

가. 침사조

관내 유속으로 운반할 수 없는 크기 입경의 실트가 유하하는 수로에서는 반드시 역사이편 상류에 침사조를 설치하며, 집적된 실트나 모래를 배사문으로 배제한다. 낙차가 없는 평야지에서 유수에 의한 배사가 불가능한 곳에서는 비관개기에 제거한다.

나. 물넘이

역사이편이 수원에서 취수한 수로의 바로 하류에 있는 경우나, 다른 곳에서 유입하는 수로에 연결되는 경우에는 예기치 못한 홍수에 대비하여 수로 내의 물을 배제할 수 있도록 역사이편 상류에 물넘이를 설치하는 것이 좋다.

다. 맨 홀

길이가 긴 사이편에는 유지관리상의 목적으로 500m에 한 곳 정도의 맨홀을 설치한다. 맨홀은 작업상 사람이 출입할 수 있는 크기가 필요하며 일반적으로 600~800mm

정도의 크기를 기준으로 한다. 맨홀의 설치 목적은 사람이 출입하는 것을 생각하면 관체의 1/3에 설치하는 것이 바람직하나, 점검을 위한 여건도 생각하여 배니(排泥) 시설의 배치도 고려하여 결정한다.

**[원형 역사이편의 설계 예]**

계획통수량 Q가 5.5m<sup>3</sup>/s이고, 홍수유입량 Q<sub>f</sub>가 2.55m<sup>3</sup>/s, 역사이편을 원형으로 하고 설계조건이 그림 4.6.5와 같고 각 단면조건이 표 4.6.5와 같다.

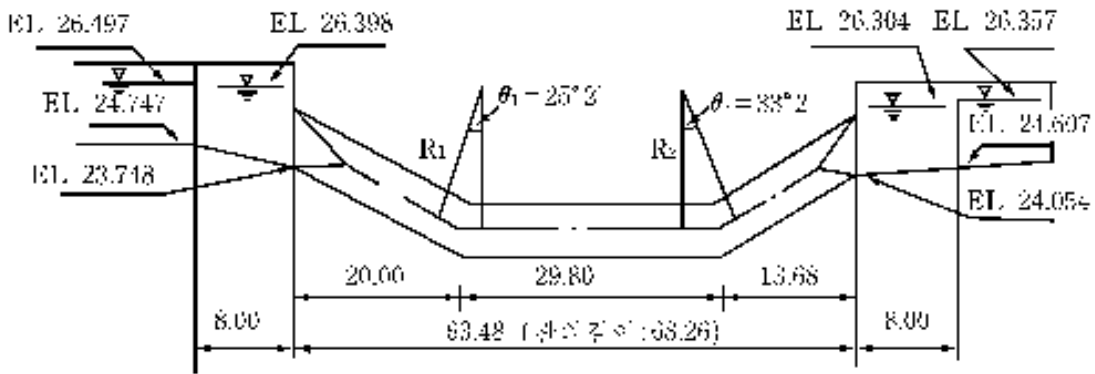


그림 4.6.5 역사이편의 단면도

표 4.6.5 역사이편의 단면조건

구분	상류수로	폐쇄완화공	관체	하류수로
단면				
A	6.453	4.543	3.631	6.453
V	0.853	1.210	1.515	0.853
h <sub>v</sub>	0.037	0.075	0.117	0.037
R	-	0.637	0.538	-
n	0.014	0.015	0.015	0.014
I	0.00017	0.00061	0.00118	0.00017

### 가. 계획용수의 손실수두

1) 유입구 개방완화공

$$\text{마찰손실수두: } 8.0 \times \frac{0.00017 + 0.00061}{2} = 0.0032$$

$$\text{단면축소: } 0.2 \times (0.117 - 0.037) = 0.016$$

0.0192

2) 유입구 폐쇄완화공

$$\text{마찰손실수두: } 4.3 \times \frac{0.00061 + 0.00118}{2} = 0.0039$$

3) 관 체

$$\text{마찰손실수두: } (68.26 - 8.60) \times 0.00118 = 0.0704$$

$$\text{굴절손실수두: } (0.049 + 0.062) \times 0.117 = 0.0130$$

$$\text{그림 4.6.5에서, } \Delta_1: 25^\circ 02' \rightarrow 0.049$$

$$\Delta_2: 33^\circ 23' \rightarrow 0.062$$

4) 유출구 폐쇄완화공

$$\text{마찰손실수두: } 0.0039$$

5) 유출구 개방완화공

$$\text{마찰손실수두: } 0.0032$$

$$\text{단면확대 손실수두: } 0.30 \times (0.117 - 0.037) = 0.024$$

0.0272

6) 스크린

$$\text{스크린에 의한 손실수두: } 0.030$$

$$\text{총 손실수두: } \sum h_1 = 0.1406$$

### 나. 역사이편의 실(Seal)

1) 유입구의 실

$$\textcircled{1} \Delta WS_1 = (1 + f_{gc}) \times \frac{V_2^2 + V_1^2}{2g} + h_n$$

$$= (1 + 0.2) \times \frac{1.515^2 - 0.853^2}{2 \times 9.8} + 0.0231 \quad (\text{1항의 가+나}=0.231)$$

$$\approx 0.119\text{m}$$

$$\textcircled{2} 1.5 \times \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = 1.5 \times \frac{1.515^2 - 0.853^2}{2 \times 9.8} \approx 0.12\text{m}$$

③ 관경이 2.15m으로 1,800 ~ 4,000mm 사이이므로 실은 0.5m로 한다.

2) 유입구 개방완화공의 바닥기울기

$$\text{EL. } 26.398\text{m} - 0.50\text{m} = \text{EL. } 25.898\text{m} \quad (\text{관체 상단 표고})$$

EL. 25.898m-2.15m=EL. 23.748m (관채 바닥표고)

완화공 바닥경사(EL. 24.747-EL. 23.748):8≒1:8

따라서, 1:4 보다 완경사이므로 범위 내에 있다.

### 3) 유출구 개방완화공

실은  $2.15 \div 6 = 0.35$  이하이므로 0.10m로 하면, 완화공 바닥경사(EL. 24.607-EL.24.054):8=1:14 범위 내에 있다.

위의 계산결과를 표로 만들면 표 4.6.6과 같다.

표 4.6.6 수면 및 바닥표고 계산표

구분	측점	유량	길이	명칭	공중	에너지 기울기	에너지 손실	에너지 선표고	유속	유속 수두	수면 표고	수심	수로바닥 표고
계획 용수 시	7	5.5	-				-	26.5343	-	0.037	26.497	1.750	24.747
	-	5.5	8.00				0.0192		-	-	-	-	-
	15	5.5	-				-	26.5151	-	0.117	26.398	2.650	23.748
	-	5.5	63.48 (68.26)				0.0943		-	-	-	-	-
	78.48	5.5	-				-	26.4208	-	0.117	26.304	2.250	24.054
	-	5.5	8.00				0.0272		-	-	-	-	-
홍수 유입 시	86.48	5.5	-				-	26.3936	-	0.037	26.357	1.750	24.607
	7	-	-				-	26.9360	-	0.039	26.897	2.150	24.747
	-	-	8				0.0454	-	-	-	-	-	-
	15	-	-				-	26.8906	-	0.238	26.653	-	-
	-	-	63.48 (68.26)				0.1908	-	-	-	-	-	-
	78.48	-	-				-	26.6998	-	0.238	26.462	-	-
홍수 유입 시	-	-	8				0.0635	-	-	-	-	-	-
	86.48	-	-				-	26.6363	-	0.045	26.591	2.052	24.539

위의 계산표로부터 유출구 개수로 바닥표고는 계획용수시 24.607m, 홍수시 24.539m로서 계획용수시에 24.607m-24.539m=0.068 m 높다. 따라서 상류 수로 월류방지를 위해 역사이편 하류 수로의 바닥표고를 0.068m 낮은 24.539m로 결정한다.

## 4.7 낙차공 및 급류공

### 4.7.1 일반사항

수로의 잉여 낙차가 있을 경우에는 낙차공 및 급류공을 설치하여 수로의 안전성을 도모하여야 하고, 설계에서는 수리·입지조건 등을 충분히 고려하여 수로 조직 전체의 기능과 경제성이 확보되도록 해야 한다.

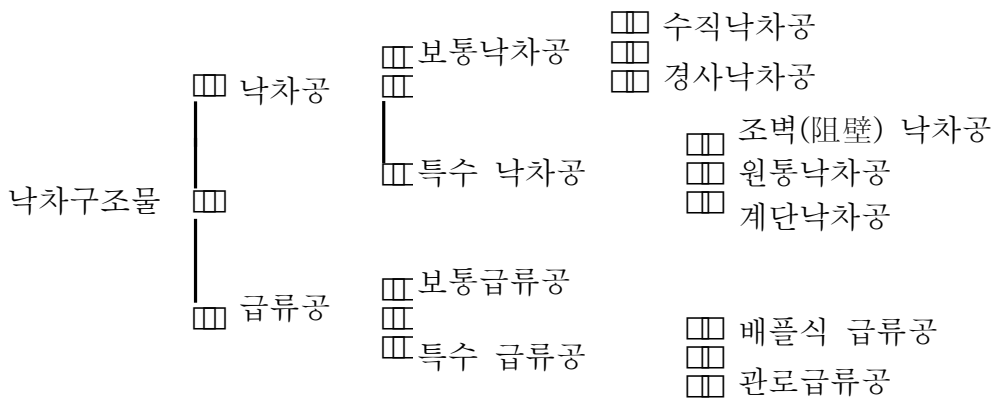
수로조직 설계에 있어서 적절한 경사배분·노선선정을 하여도 잉여 낙차가 생길 경우, 이 낙차를 조절하여 수로의 안전성을 확보하고, 수로조직 전체의 기능을 발휘시키기 위하여 수로 중에 낙차공 또는 급류공을 설치한다.

낙차공은 일반적으로 입구접속수로·낙차부·정수지·출구접속수로 등으로 구성되며 급류공은 낙차부 대신에 높은 곳에서 낮은 곳에 이르는 사면의 사류부가 있다.

낙차공과 급류공의 형식은 일반적으로 그림 4.7.1과 같이 분류되며, 그 형식선정은 주로 구조물의 설치위치의 조건·기능·경제성의 비교를 통해서 선정해야 한다.

낙차공과 급류공은 높은 수두의 물을 처리하는 구조물이며 일반적으로 충격을 받아 진동을 동반한다. 따라서 이에 견딜 수 있는 견고한 자연지반이나 충분히 경화된 기초위에 설치해야 한다.

수로 노선상의 구조물로서 흐름을 규제하는 낙차공과 급류공 등의 구조물은 기본적인 설계대상 유량 이외의 유량에 대하여서도 유향을 검토한다. 검토대상 유량은 적어도 계획유량의 0.5 ~ 1.2배의 범위를 취하는 것이 바람직하다.



주) 이외 협폭낙차공, 막아올림 낙차공 등의 분류도 있다.

그림 4.7.1 낙차구조물의 형식분류

#### 4.7.2 설계 순서와 요령

낙차공 및 급류공은 입구접속수로·낙차부(급류공에서는 급류부)·정수지·출구접속수로의 순으로 설치하며, 각 부분은 수리 및 구조상으로 안전하고 경제적이야 한다.

##### 가. 수리계산

유량이 2.0m<sup>3</sup>/s 이하에서는 최대 수면차를 보통 0.90m 정도로 하고 유량이 2.0m<sup>3</sup>/s



이상이고 구조물 하류가 라이닝 수로가 아닌 경우에는 0.45m 정도로 한다. 최대 낙차가 1.85m 이상인 경우에는 낙차공 입구에 제수문을 설치하여 상류부의 침식을 방지하고 수면을 조절하는 것이 보통이다.

1) 입구 접속수로

상류의 흐름이 상류(常流)인 때 낙차공의 낙구에서 흐름이 한계수심이 되기 때문에 수면은 상류 수로보다 저하되고 통수단면도 축소되어 유속이 증가된다.

따라서 양측 비탈면과 수로바닥이 세굴 또는 침식되므로 이를 보호하기 위한 보호공이 필요하다.

그 소요길이  $L_1$ 은 식 (4.7.1), 식 (4.7.2)로 계산한다.

$$q=0 \sim 2\text{m}^3/\text{s} \text{ 일 때} \quad L_1=1.2+3/2\cdot Q^{1/2} \text{ (m)} \quad \text{-----(4.7.1)}$$

$$q>2\text{m}^3/\text{s} \text{ 일 때} \quad L_1=2.1+3/2\cdot Q^{1/2} \text{ (m)} \quad \text{-----(4.7.2)}$$

$$\text{또는 } L_1=4H \quad \text{-----(4.7.3)}$$

여기서,  $Q$ : 전 유량 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$q$ : 단위폭당 유량 ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ )

$L_1$ : 유입구구 접속수로 길이 (m)

$H$ : 상·하류수면차 (m)

$q>2\text{m}^3/\text{s}$  의 경우, 식 (4.7.2) 및 식 (4.7.3) 중에서 큰 길이를 채택한다.

입구 접속수로의  $L_1$ 구간 손실수두는 근사적으로  $0.1\Delta h_v$ 로 보아도 좋다.  $\Delta h_v$ 는 접속부에서 상류수로와 낙구와의 유속수두의 차이이다.

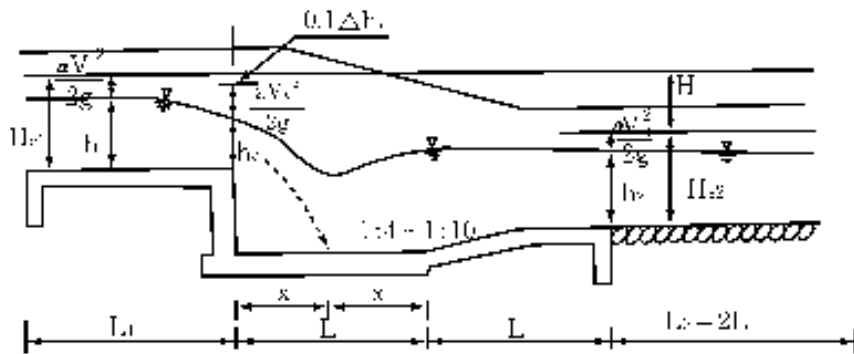


그림 4.7.2 낙차공 표준단면

2) 낙구(落口)

낙구에서 한계수심이 일어난다고 보고 낙구에서의 비에너지는 상류 등류부에서의 비에너지보다 손실수두  $0.1h_v$ 만큼 저하한다 (그림 4.7.2 참조).

낙차공 상류유속이 필요 이상으로 증가하는 것을 방지하기 위하여 상류 등류수로의 비에너지와 낙구의 비에너지가 균형이 잡히도록 하는 방법은 ① 낙구의 폭을 좁힌다 (협폭낙구), ② 낙구의 턱을 높인다 (막아올림 낙구), ③ 낙구의 턱을 높이는 동시에 폭을 좁힌다 (협폭막아올림 낙구), ④ 노치(notch) 로 하는 것 등이 있다.

가) 협폭 낙구

(1) 완전월류의 경우

낙구의 폭은 상류 등류수로 비에너지(수심 + 유속수두, 즉  $H_e = h + a \frac{V^2}{2g}$ )와 같은 비에너지가 되도록 정한다. 낙구 위에서 한계수심이 생기며 지배단면(상류(常流)에서 하류로 변하는 단면)이 생긴다.

직사각형일 때,

$$H_c = \left( \frac{aQ^2}{gb^2} \right)^{1/3} = \left( \frac{aQ^2}{g} \right)^{1/3}$$

$$q = a^{-1/2} g^{1/2} H_c^{3/2} = 2.98 H_c^{3/2} \quad \text{-----(4.7.4)}$$

$$b = \frac{Q}{q} = \frac{Q}{2.98 H_c^{3/2}} \quad \text{-----(4.7.5)}$$

일반적으로 한계수심  $H_c$ 는 비에너지의 2/3로, 즉  $H_c = \frac{2}{3} H_e$ 이므로 낙구의 폭  $b$ 는

$$b = \frac{Q}{2.98 H_c^{3/2}} = \frac{Q}{2.98 \left( \frac{2}{3} H_e \right)^{3/2}} = \frac{Q}{1.62 \left( h_1 + \frac{V^2}{2g} \right)^{3/2}}$$

----- (4.7.6)

- |                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| 여기서, $H_c$ : 한계수심 (m)     | $Q$ : 전 유량 ( $m^3/s$ ) |
| $H_e$ : 상류 등류수심의 비에너지 (m) | $a$ : 에너지 보정계수 (1.1)   |
| $q$ : 단위폭당 유량 ( $m^3/s$ ) | $b$ : 낙구의 폭 (m)        |

(2) 잠류의 경우

하류의 수면이 낙구의 비에너지의 2/3 이상 높아지는 경우이고, 즉 하류수심  $h_2 > \frac{2}{3} H_e$  일 때를 말하며 낙구를 직사각형단면으로 하면

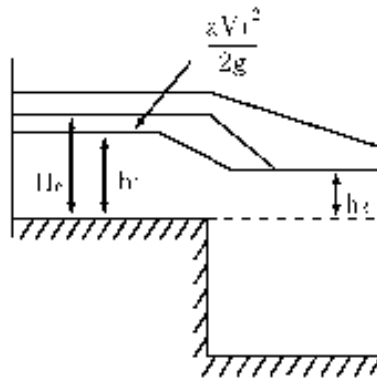


그림 4.7.3 잠류인 경우의 낙구

$$Q = mb h_2 \{ 2g(H_e - h_2) \}^{1/2} \text{-----(4.7.7)}$$

여기서,  $m$ : 계수 (0.7 ~ 0.9)

$H_e$ : 상류 등류수로의 비에너지 (m)

$h_2$ : 하류 수심 (m)

나) 막아올림 낙구

낙구를 직사각형 단면으로 할 때 낙구폭은 협폭낙구 보다는 넓게 취하며, 보통 수로저폭 또는 평균폭을 표준으로 한다.

낙구의 막아올림 높이는 상류 수로의 비에너지에 맞도록 높인다.

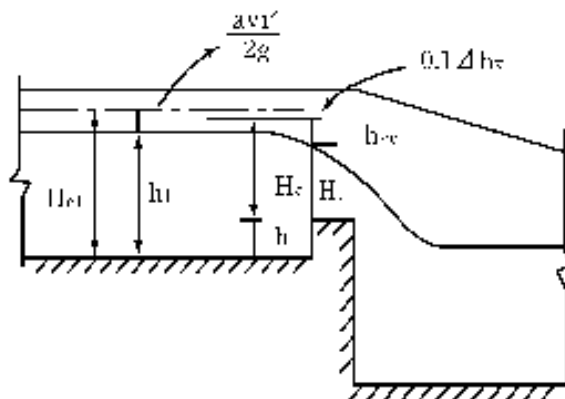


그림 4.7.4 막아올림 낙구

$$\begin{aligned}
 q &= \frac{Q}{b}, & b &= \frac{A}{h_1} \\
 H_c &= \left( \frac{q^2}{g} \right)^{1/3}, & H_e &= 1.5 H_c \\
 h &= H_{e1} - H_e - 0.1 \Delta h_v
 \end{aligned}
 \tag{4.7.8}$$

여기서, h: 막아올림 높이 (m)

A: 상류 등류수로의 통수단면적 (m<sup>2</sup>)

H<sub>e1</sub>: 상류 등류수로의 비에너지 (m)

H<sub>e</sub>: 낙구의 비에너지 (m)

b: 낙구의 폭 (m)

Δh<sub>v</sub>: 상하류 유속수두의 차 (m)

#### 다) 협폭 막아올림 낙구

폭을 좁게 하는 것은 위의 협폭낙구와 같게 하고 막아올림도 막아올림 낙구의 중간으로 하고 계산은 막아올림 낙구와 같이 한다.

#### 라) 노치(notch) 낙구

막아올림 없이 밀폭을 좁게 한 사다리꼴 단면형으로 수로의 수심과 낙구의 수위가 유량 증감에 관계없이 만족시킬 수 있게 설계하는 것으로서 노치부와 상류 수로의 비에너지는 같게 한다.

### 3) 한계류

낙구 또는 급류공 입구를 한계점으로 보고 수리계산에 사용되는 기호는,

A: 통수단면적 (m<sup>2</sup>)

h<sub>v</sub>: 유속수두 (m)

A<sub>c</sub>: 한계단면에 대한 통수단면적 (m<sup>2</sup>)

h<sub>c</sub>: 한계단면에서의 유속수두 (m)

a:  $\frac{H_c}{E}$ , 즉 한계수심에 대한 총 에너지의 비

K:  $(Q^2/g)^{1/3}$

M: 한계수심 계산의 약호

B: 수로의 저폭 (m)

N: 한계수심 계산의 약호

B<sub>c</sub>: 한계단면의 저폭 (m)

n: 조도계수

H: 수로의 수심 (m)

Q: 유량 (m<sup>3</sup>/s)

H<sub>c</sub>: 유량 Qm<sup>3</sup>/s에 대한 한계수심 (m)

S: 옆비탈면 기울기

E: 비에너지, H+h<sub>v</sub>, H<sub>c</sub>+h<sub>c</sub>

T: 수면폭 (m)

g: 중력가속도 (9.8m/s<sup>2</sup>)

T<sub>c</sub>: 한계단면의 수면폭 (m)

가) 한계단면의 계산식

통수단면적 A:

$$\begin{aligned}
 \text{사다리꼴단면} \quad A &= \frac{1}{2}(T+B)H \\
 \text{직사각형 단면에서는 } T &= B \text{ 이므로 } A = BH \\
 \text{삼각형 단면에서는 } B &= 0 \text{로서 } A = \frac{T \cdot H}{2}
 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4.7.9)$$

일반적으로 어떤 단면이든 한계수심의 조건은

$$\frac{Q^2}{g} = \frac{A_c^3}{T_c} \quad \dots\dots\dots (4.7.10)$$

식 (4.7.10)에 식 (4.7.9)를 대입하면,

$$\frac{Q^2}{g} = \left\{ \frac{(T_c + B_c)^3}{2^3 T_c} \right\} H_c^3 \quad \dots\dots\dots (4.7.11)$$

한계단면의 유속수두는

$$h_c = \frac{A_c}{2 T_c} \quad \dots\dots\dots (4.7.12)$$

$$H_c = \frac{(Q^2/g)^{1/3} 2 T_c^{1/3}}{T_c + B_c} = \frac{2 K T_c^{1/3}}{T_c + B_c} = a E \quad \dots\dots\dots (4.7.13)$$

다만,  $K = \left( \frac{Q^2}{g} \right)^{1/3}$

$$\begin{aligned}
 h_c &= \frac{V_c^2}{2g} = \frac{Q^2}{2gA_c^2} = \frac{2Q^2}{\{g(T_c + B_c)^2 H_c^2\}} \\
 &= \frac{2K^3 (T_c + B_c)^2}{(T_c + B_c)^2 2^2 K^2 T_c^{2/3}} = \frac{K}{2 T_c^{2/3}} = (1-a)E \quad \dots\dots\dots (4.7.14)
 \end{aligned}$$

$$T_c = \left\{ \frac{1}{2}(1-a) \right\}^{3/2} \frac{K^{3/2}}{E^{3/2}} \quad \dots\dots\dots (4.7.15)$$

$$H_c \cdot (1-a) = h_c a \quad \text{또는} \quad \left\{ \frac{2KT_c^{1/3}}{(T_c + B_c)} \right\} (1-a) = \frac{K \cdot a}{2 T_c^{2/3}} \quad \dots\dots (4.7.16)$$

$$a = \left( \frac{4 T_c}{T_c + B_c} \right) (1-a) \quad \dots\dots\dots (4.7.17)$$

$$B_c = T_c \left\{ \frac{4(1-a)}{a} - 1 \right\} = \left\{ \frac{1}{2}(1-a) \right\}^{3/2} \left\{ \frac{4(1-a)}{a} - 1 \right\} \cdot \frac{K^{3/2}}{E^{3/2}} \quad \dots\dots (4.7.18)$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{T_c - B_c}{2 H_c} = \frac{T_c - T_c \left\{ \frac{4(1-a)}{a} - 1 \right\}}{2 a E} \\
 &= \left\{ \frac{1}{2}(1-a) \right\}^{3/2} \left\{ \frac{2-4(1-a)}{a} \right\} \frac{K^{3/2} / E^{5/2}}{2 a} \quad \dots\dots\dots (4.7.19)
 \end{aligned}$$

$$\text{지금 } M = \left\{ \frac{1}{2}(1-a) \right\}^{3/2} \left\{ \frac{4(1-a)}{a} - 1 \right\} \text{-----}(4.7.20)$$

$$N = \left\{ \frac{1}{2}(1-a)^{3/2} \right\} \left\{ 2 - \frac{4(1-a)}{a} \right\} / 2a \text{-----}(4.7.21)$$

$$\text{라 놓으면, } B_c = M \left( \frac{K}{E} \right)^{3/2} \text{-----}(4.7.22)$$

$$S = N \left( \frac{K^{3/2}}{E^{5/2}} \right)$$

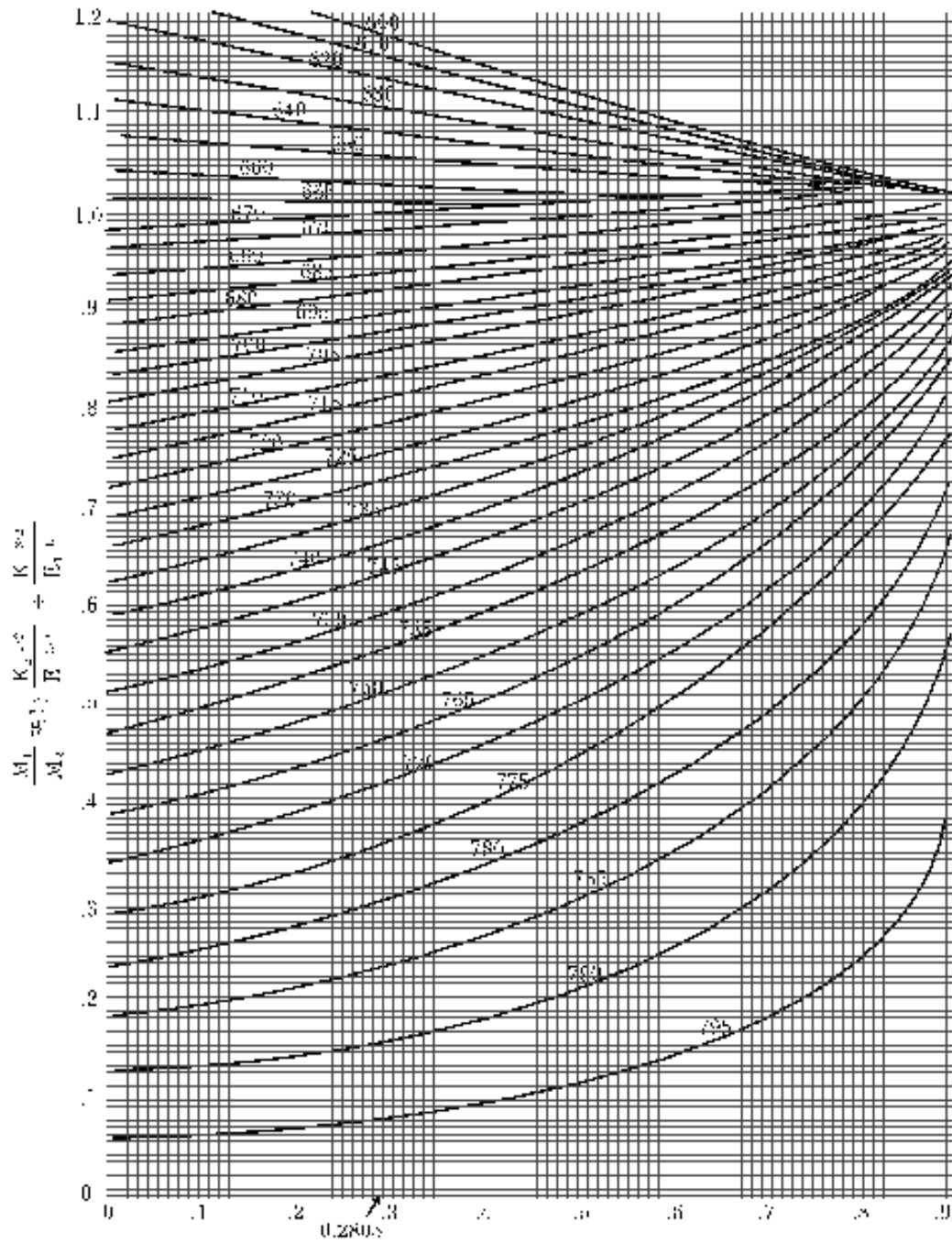
$$\text{-----}(4.7.23)$$

a=0.1 ~ 0.9에 대한 M, N의 값은 표 4.7.1과 같고, 이에 따라 Bc 및 S는 식 (4.7.22)와 식 (4.7.23)에서 구한다. 또한, 그림 4.7.5는 M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, N<sub>1</sub>, N<sub>2</sub> 값을 유량의 변화에 따라 상류 수로의 등류수심을 유지하도록 각 모양의 낙구단면을 결정하는데 사용된다.

표 4.7.1 M, N의 값

a	M	N	a	M	N	a	M	N	a	M	N
.10	14.50	-70.41	.678	1.739	.143	.719	1.337	.721	.760	.791	1.457
.20	7.41	-17.29	.679	1.730	.156	.720	1.326	.737	.761	.776	1.479
.25	5.99	-10.89	.680	1.722	.169	.721	1.314	.753	.762	.760	1.500
.30	5.03	-7.38	.681	1.713	.182	.722	1.303	.768	.763	.744	1.521
.35	4.34	-5.23	.682	1.704	.195	.723	1.291	.784	.764	.727	1.543
.40	3.80	-3.80	.683	1.695	.208	.724	1.280	.800	.765	.710	1.565
.45	3.37	-2.78	.684	1.687	.222	.725	1.268	.817	.766	.694	1.586
.50	3.00	-2.00	.685	1.678	.235	.726	1.256	.833	.767	.677	1.609
.51	2.93	-1.86	.686	1.669	.248	.727	1.244	.849	.768	.660	1.631
.52	2.86	-1.73	.687	1.660	.261	.728	1.232	.865	.769	.642	1.653
.53	2.80	-1.60	.688	1.651	.275	.729	1.220	.882	.770	.625	1.676
.54	2.73	-1.48	.689	1.642	.288	.730	1.208	.899	.771	.607	1.699
.55	2.66	-1.36	.690	1.633	.301	.731	1.196	.915	.772	.588	1.722
.56	2.60	-1.24	.691	1.623	.315	.732	1.184	.932	.773	.571	1.745
.57	2.53	-1.12	.692	1.614	.329	.733	1.171	.949	.774	.553	1.769
.58	2.46	-1.00	.693	1.604	.342	.734	1.159	.966	.775	.534	1.793
.59	2.40	- .89	.694	1.595	.356	.735	1.146	.983	.776	.516	1.817
.60	2.33	- .78	.695	1.585	.370	.736	1.133	1.001	.777	.497	1.841
.61	2.26	- .66	.696	1.575	.384	.737	1.120	1.018	.778	.478	1.865
.62	2.19	- .55	.697	1.566	.398	.738	1.107	1.036	.779	.459	1.890
.63	2.12	- .44	.698	1.556	.412	.739	1.094	1.053	.780	.439	1.915
.64	2.05	- .32	.699	1.546	.426	.740	1.081	1.071	.781	.420	1.940
.65	1.97	- .20	.700	1.536	.440	.741	1.068	1.089	.782	.400	1.966
.660	1.892	- .0819	.701	1.526	.454	.742	1.055	1.107	.783	.380	1.991
.661	1.883	- .0697	.702	1.517	.468	.743	1.041	1.125	.784	.359	2.017
.662	1.875	- .0575	.703	1.507	.482	.744	1.027	1.144	.785	.339	2.044
.663	1.867	- .0452	.704	1.496	.497	.745	1.014	1.162	.786	.318	2.070
.664	1.859	- .0329	.705	1.487	.511	.746	1.000	1.181	.787	.297	2.097
.665	1.851	- .0206	.706	1.477	.525	.747	.986	1.200	.788	.276	2.124
.666	1.838	0	.707	1.467	.540	.748	.971	1.219	.789	.234	2.151
.667	1.835	.00405	.708	1.458	.555	.749	.957	1.238	.790	.233	2.178
.668	1.826	.0166	.709	1.446	.569	.750	.943	1.257	.791	.210	2.206
.669	1.818	.0290	.710	1.435	.584	.751	.928	1.276	.792	.188	2.234
.670	1.809	.0418	.711	1.424	.598	.752	.914	1.296	.793	.166	2.262
.671	1.800	.0543	.712	1.414	.613	.753	.899	1.316	.794	.143	2.291
.672	1.792	.0669	.713	1.403	.629	.754	.884	1.335	.795	.120	2.320
.673	1.783	.0795	.714	1.392	.644	.755	.869	1.355	.796	.0963	2.349
.674	1.774	.0922	.715	1.381	.659	.756	.854	1.375	.797	.0726	2.379
.675	1.766	.105	.716	1.371	.674	.757	.838	1.396	.798	.0487	2.409
.676	1.757	.118	.717	1.360	.690	.758	.823	1.416	.799	.0245	2.440
.677	1.748	.131	.718	1.348	.705	.759	.807	1.437	.800	0	2.471





$$\frac{N_1}{N_2} \text{ 또는 } \frac{K_2^{3/2}}{E_2^{5/2}} \div \frac{K_1^{3/2}}{E_1^{5/2}}$$

(두 유량에 대한 지배단면의 바닥폭 및 옆 비탈값 a 표)

그림 4.7.5  $M_1/M_2$  과  $N_1/N_2$ 에 대한 a의 그림표

[한계단면 계산 예]

유량  $Q_1=2.28\text{m}^3/\text{s}$ ,  $Q_2=0.347\text{m}^3/\text{s}$ 의 두 유량에 대하여 상류 수로가 등류로 유지하도록 저폭 ( $B_c$ )과 옆면 비탈기울기(S)를 구하라. 다만 상류측 수로는 수로저폭 1.50m, 옆비탈 기울기 1:1.5,  $n=0.025$ , 수로기울기  $\frac{1}{2,000}$ ,  $H_1=1.10\text{ m}$ ,  $H_2=0.30\text{ m}$ 이다.

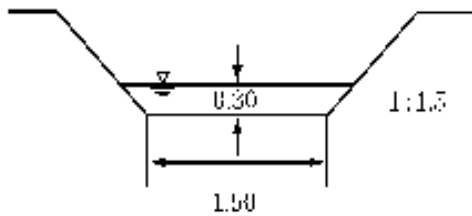


그림 4.7.6 상류측 수로

$$A=3.465 \quad v=0.658$$

$$R=0.6339 \quad Q=2.28$$

$$n=0.025 \quad h_v=0.0221$$

$$I=\frac{1}{2,000}$$

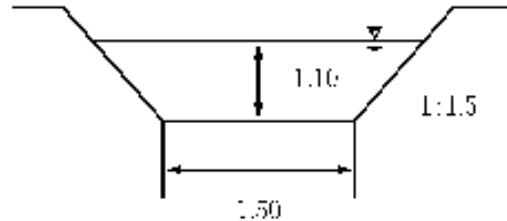


그림 4.7.7 하류측 수로

$$A=0.585 \quad v=0.593$$

$$R=0.5408 \quad Q=0.347$$

$$n=0.025 \quad h_v=0.0180$$

$$I=\frac{1}{2,000}$$

주어진 조건에서 풀어보면,

①  $Q_1=2.28\text{m}^3/\text{s}$ 에 대해

$$K_1 = \left( \frac{Q_1^2}{g} \right)^{1/3} = 0.8095 \quad E_1 = H_1 + h_v = 1.10 + 0.0221 \doteq 1.122$$

②  $Q_2=0.347\text{m}^3/\text{s}$ 에 대해

$$K_2 = \left( \frac{Q_2^2}{g} \right)^{1/3} = 0.231 \quad E_2 = H_2 + h_v = 0.30 + 0.018 \doteq 0.318$$

$$\text{①에 대한 } M_1, \quad \left( \frac{K_1}{E_1} \right)^{3/2} = \left( \frac{0.8095}{1.122} \right)^{3/2} = 0.6128$$

$$\text{②에 대한 } M_2, \quad \left( \frac{K_2}{E_2} \right)^{3/2} = \left( \frac{0.231}{0.318} \right)^{3/2} = 0.6191$$

$$\therefore M_1/M_2=0.9898$$

$$\text{①에 대한 } N_1, \quad K_1^{3/2} / E_1^{5/2} = 0.8095^{3/2} / 1.122^{5/2} = 0.5462$$

$$\text{②에 대한 } N_2, \quad K_2^{3/2} / E_2^{5/2} = 0.231^{3/2} / 0.318^{5/2} = 1.9469$$

$$\therefore N_1/N_2=0.2805$$

그림 4.7.5에서 좌측  $M_1/M_2$  값 0.9898과 하측  $N_1/N_2$  값 0.2805와의 점에서  $a=0.667$ 을 구한다.

표 4.7.1에서  $a=0.667$ 에 대한  $M=1.835$ ,  $N=0.00405$

$$B_c = M (K_1 / E_1)^{3/2} = M \cdot M_1 = 1.835 \times 0.6128 = 1.124$$

$$S = N (K_1^{3/2} / E_1^{5/2}) = N \cdot N_1 = 0.00405 \times 0.5462 = 0.0022$$

이를 그림으로 나타내면,

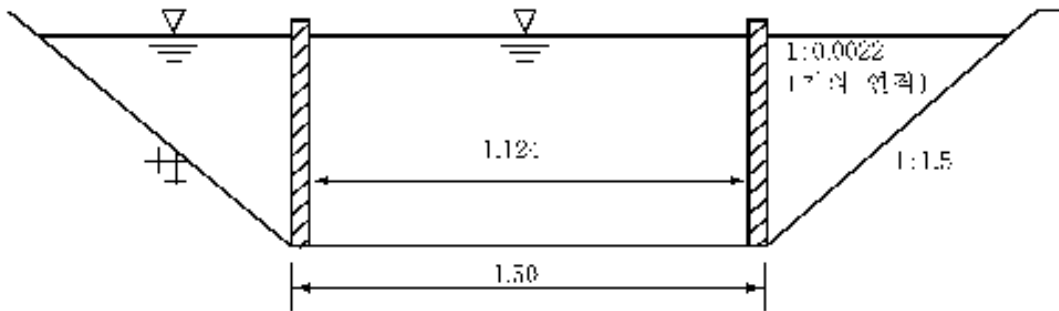


그림 4.7.8 한계단면 저폭

나) 한계수심 계산

(1) 구형단면

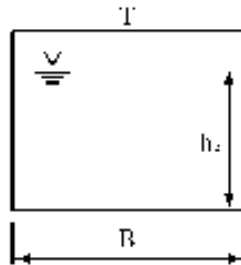


그림 4.7.9 구형단면 수로

$$h_c = \left( \frac{Q^2}{g B^2} \right)^{1/3} = 0.467 \left( \frac{Q}{B} \right)^{2/3} \text{-----(4.7.24)}$$

$$h_c = 2/3 H_e \text{-----(4.7.25)}$$

$$V_c = \sqrt{g h_c} \quad \text{-----(4.7.26)}$$

(2) 사다리꼴 단면

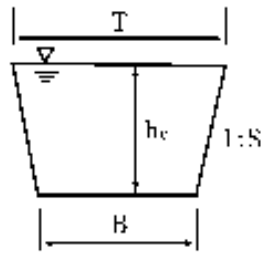


그림 4.7.10 사다리꼴 단면수로

$$A = B h_c + S h_c^2 \quad \text{-----(4.7.27)}$$

$$T = B + 2 S h_c \quad \text{-----(4.7.28)}$$

$$\frac{Q}{B^{2.5}} = \sqrt{g} \left( h_c / B \right)^{3/2} \left( 1 + S \frac{h_c}{B} \right)^{3/2} / \left( 1 + 2 \cdot S \frac{h_c}{B} \right)^{1/2} \quad \text{-----(4.7.29)}$$

[낙차공 낙구폭 계산 예]

Q=23.5m<sup>3</sup>/s, h<sub>o</sub>=1.91m, A=28.20m<sup>2</sup>, R=1.46m, R<sup>2/3</sup>=1.287, n=0.025, B=11.0m인 토공수로에 같은 옆비탈면 낙구폭을 계산하라.

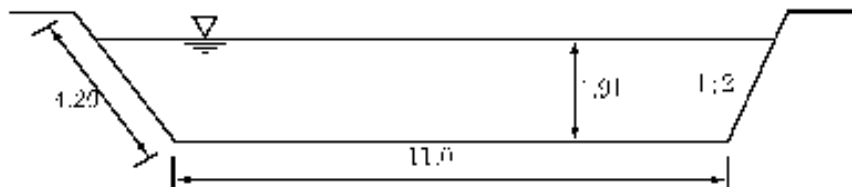


그림 4.7.11 토공수로 단면치수

$$V_o = \frac{Q}{A} = \frac{23.50}{28.2} = 0.833$$

$$H_e = h_o + \frac{V_o^2}{2g} = 1.91 + \frac{0.833^2}{19.6} = 1.95$$

$$H_0 = h_c \frac{V_c^2}{2g} + h_s \quad \text{여기서, } h_s: \text{마찰손실수두}$$

$$h_s = \frac{n^2 V^2}{R^{4/3}} \quad \ell = \frac{0.025^2 \times 0.833^2}{1.287^2} \times = 0.0013$$

$$V_c = \sqrt{gh_c}, \quad \frac{1}{2} h_c = \frac{V_c^2}{2g}$$

$$H_o = h_c + \frac{V_c^2}{2g} = h_c + \frac{1}{2} h_c = 1.5 h_c = 1.95$$

$$h_c = 1.30$$

$$h_c = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{1/3}, \quad q = \sqrt{gh_c^3} = \sqrt{9.8 \times 1.3^3} = 4.64$$

$$b = \frac{Q}{q} = \frac{23.50}{4.64} = 5.10 \text{ m}$$

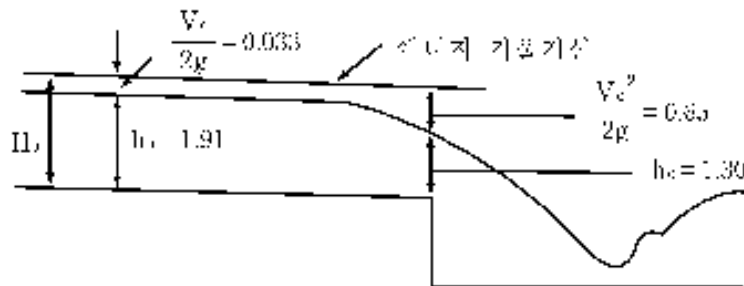


그림 4.7.12 낙차공 종단도

에너지 보정계수  $\alpha = 1.1$ 을 사용할 때,

$$b = \frac{Q}{1.62 \left( h_o + \frac{V_o^2}{2g} \right)^{3/2}} = \frac{23.5}{1.62 \left( 1.91 + \frac{0.833^2}{19.6} \right)^{3/2}} = 5.34 \text{ m}$$

에너지 보정계수  $\alpha = 1.0$ 을 사용할 때,

$$b = \frac{Q}{1.70 \left( h_o + \frac{V_o^2}{2g} \right)^{3/2}} = \frac{23.5}{1.70 \left( 1.91 + \frac{0.833^2}{19.6} \right)^{3/2}} = 5.09 \text{ m}$$

#### 4) 정수지(Stilling basin)

낙수의 충격은 수량이 적고 높이가 낮을수록 적으므로 흐름을 얇게 분산시키는 노치낙차공은 충격이 적으나, 폭을 좁히면 흐름이 집중되어 충격이 크다. 막아올림 방법은 높이가 증가하나 단위 폭당의 수량이 좁아지므로 충격은 상쇄된다. 낙하수를 받는 정수지는, ① 견고한 물받이를 설치하는 것으로, 지반이 견고한 암일 때는 이를 생략

할 수도 있으며 보통지반에서 많이 사용한다. ② 배플 블록(baffle block)에 의하여 충격을 완화시키는 것으로 지반이 약하거나 수량이 많은 경우에는 사용한다.

가) 정수지의 길이 (L)

정수지의 길이는 낙하수가 중앙에 오도록 한다. 즉,  $L=2x$  가 되도록 한다.

$$x=0.697 C\sqrt{H_e g} \quad \text{-----}(4.7.30)$$

따라서,  $L=2x=2\times 0.697 C\sqrt{H_e g}=1.394 C\sqrt{H_e g}$  -----(4.7.31)

또는  $L= \sqrt[3]{H_e \cdot F}$  -----(4.7.32)

여기서,

$H_e$ : 상류의 비에너지 (m)

C: 웨어의 유량계수 (2.15)

x: y의 높이로부터 낙하할 때의 수평거리 (m)

L: 정수지의 길이 (m)

y: 원점 A로부터 정수지까지의 높이 (m): (h+h')

A점: 낙구유훈류수심의 1/2 (m)

F: 상·하류의 비에너지의 차 (m)

나) 정수지의 깊이(D) 및 수심

$$D= \frac{1}{2} ( H_e \cdot F )^{1/2} \quad \text{-----}(4.7.33)$$

단,  $\frac{1}{2} F > D > \frac{1}{3} F$

수심  $H=D+ H_2+ \frac{V_2^2}{2g} + 0.2\Delta h_v^2$  -----(4.7.34)

여기서,  $H_2$ : 하류수심 (m)

$V_2^2/2g$ : 하류의 속도수두 (m)

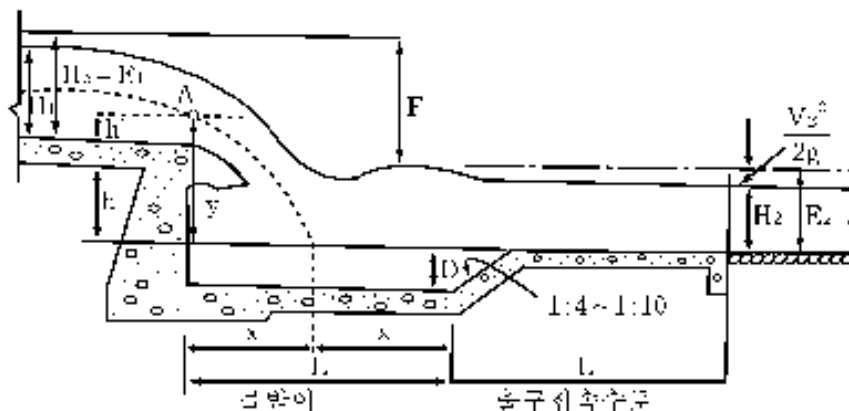


그림 4.7.13 낙차공의 표준도

5) 출구 접속수로

정수지 바닥과 하류수로 바닥이 접속하는 부분의 기울기는 1:4 ~ 1:10으로 하고 길이는 정수지의 길이와 같게 한다. 단, 연약지반의 경우는 2배로 한다.

6) 여유고

가) 유입구 접속수로의 여유고

수로의 수심을 H라 하면 유입구 접속수로의 끝부분의 여유고는  $\frac{1}{3}\sqrt{H} > 0.3$  (m)를 표준으로 한다. 여기서 H는 수로의 수심이다.

나) 정수지의 여유고

$0.1 + 0.3\sqrt{Q}$  (m)를 표준으로 한다.

다) 유출구 접속수로의 여유고

정수지 여유고와 하류 수로의 여유고를 연결한 것으로 한다.

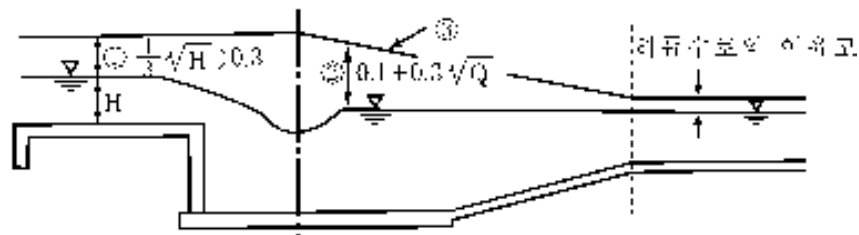


그림 4.7.14 낙차공의 여유고

나. 구조설계

낙차공은 입구접속부·낙차부벽·정수지·출구접속수로 등으로 구성된다. 라이닝수로 또는 지반이 양호한 수로에서는 입구·출구의 접속부 또는 하류수로의 보호공을 생략할 수 있다. 또 유량이 적고 규모가 작은 것으로 지질이 양호한 경우에는 낙차부만으로 할 수도 있다.

1) 입구 접속부

입구의 접속수로는 수리계산에 의하여 단면을 결정하고 상류로부터의 침식에 대하여 위험이 없는 길이 여부를 검사한다. 측벽은 토압을 받는 벽으로 취급하고, 현장에서 얻기 쉬운 호박돌 찰쌓기 또는 콘크리트로 축조한다.

입구 접속수로 끝의 여유고는 수로의 수심을 H라고 하면  $\frac{1}{3}\sqrt{H} > 0.30$  (m)를 표준으로 한다. 접속시점의 콘크리트 지수벽은  $0.6\sqrt{H} > 0.60$ m를 표준으로 한다. 두께

는 수로바닥 두께와 같게 하고 콘크리트이면  $0.2+0.1\sqrt{H}$  (m)를 표준으로 한다. 접속 수로와 낙차부의 벽은 직각으로 접속시키는 경우와,  $35^\circ \sim 45^\circ$ 로 접속시키는 경우, 또는 원활하게 접속시키는 경우가 있으며, 직각으로 접속시키는 경우가 경제적이며 시공이 용이하다.

손실을 적게 하는 것은 낙차공에서 바람직한 것이 못된다.

### 2) 낙차부의 벽

낙차부의 벽은 폭이 수심에 비해 클 경우에는 옹벽으로 하고, 작은 경우에는 측벽으로 지지되는 보로서 계산한다. 안식각  $\theta=30^\circ$ 라 할 때  $b=h^{2/3}/1.5$ 의 폭을 보로 생각하는 경우와, 옹벽으로 계산하는 경우의 경계가 되고, 보로 계산할 경우의 토압은 하부와 상부가 다르다. 폭에 비하여 높이가 높은 경우는 낙차부가 정수지 밑바닥으로 고정된 판으로 계산하는 것이 유리하다. 또 구조물 전체로서 전도에 대해서 검사하는 것이 필요하다.

막아올림에 의하는 경우 또는 물 빈지에 의하여 수위를 조절하는 구조에서는 수압을 고려하고, 토압은 건조토가 아닌 습윤상태의 토압을 고려한다.

낙차부 벽의 하부는 정수지 밑바닥의 하단과 일치시키고 낙차부 벽의 길이는 수로 양측의 침투에 안전할 만큼 흠 속으로 연장시켜 놓는다.

### 3) 정수지

정수지의 측벽은 흐름의 방향으로 평행하게 되고 토압에 대하여 견딜 수 있는 단면을 주어 정수지의 상판에 접속시킨다.

콘크리트나 철근콘크리트로 축조할 경우에는 측벽을 낙차벽과 지수벽으로 지지하는 보로서 계산할 때에는 지수벽과 낙차벽은 충분히 고정되도록 축조해야 한다.

정수지의 길이는 높이에 비해서 긴 것이 일반적으로 이 경우에는 부벽 또는 외팔보 옹벽으로 계산한다. 정수지의 바닥두께  $t(m)$ 는

$$t = a(0.1 + 0.1\sqrt{qF})^{1/2} > 0.15 \quad \text{-----}(4.7.35)$$

식에서,  $q$ : 낙구 1m당 유량 ( $m^3/s/m$ )

$F$ : 낙차 (m)

$a$ : 토질재료에 따른 계수



표 4.7.2 토질재료에 따른 계수 (a)

구 분	호박돌콘크리트	콘크리트	철근콘크리트 (철근경: mm)
암 질	0.8	0.6	0.4 (D 13일 때)
보 통 흙	1.2	1.0	0.6 (D 16일 때)
경 토	1.5	1.2	0.7 (D 19일 때)

밑바닥을 철근콘크리트로 할 때에는 철근을 0.3m 간격으로 상측에 넣는다. 정수지의 바닥폭은 상류 수로의 통수단면의 평균 폭을 표준으로 하고 정수지의 단면은 상류 수로단면의 두 배 이상으로 한다. 토질에 따라서는 정수지의 상류단에 낙수벽에 접하여 배수공을 설치하여 정수지 상판에 양압력이 걸리는 것을 방지한다.

#### 4) 출구 접속수로

출구 접속수로는 낙차에 의하여 일어나는 소용돌이나 부정류를 속히 정류되게 하기 위하여 하류 수로와의 사이를 원활하게 접속시킨다. 접속수로의 말단에는 지수벽을 설치하든가 측벽에 대한 계산법 등은 입구 접속수로에 준한다. 여유고는 정수지 여유고와 하류 수로의 여유고를 연결한 것으로 하고 하류 수로의 여유고가 높을 때에는 그 득마루 높이를 연장해서 정수지의 득마루(천단)에 접속시킨다.

### 4.7.3 형식선정

낙차공과 급류공의 구조는 현지 지형에 적합하고, 수로의 세굴이나 침식이 일어나지 않게 기술적·경제적으로 가장 알맞은 형식으로 결정해야 한다.

낙차공·급류공 등의 배치와 공종은 비교·설계하여 안전하고 전 수로 조직이 가장 경제적이 되도록 선정한다.

#### 가. 낙차공

일반적으로 낙차공은 다음 흐름도와 같은 과정을 거쳐 그 형식을 선정한다.

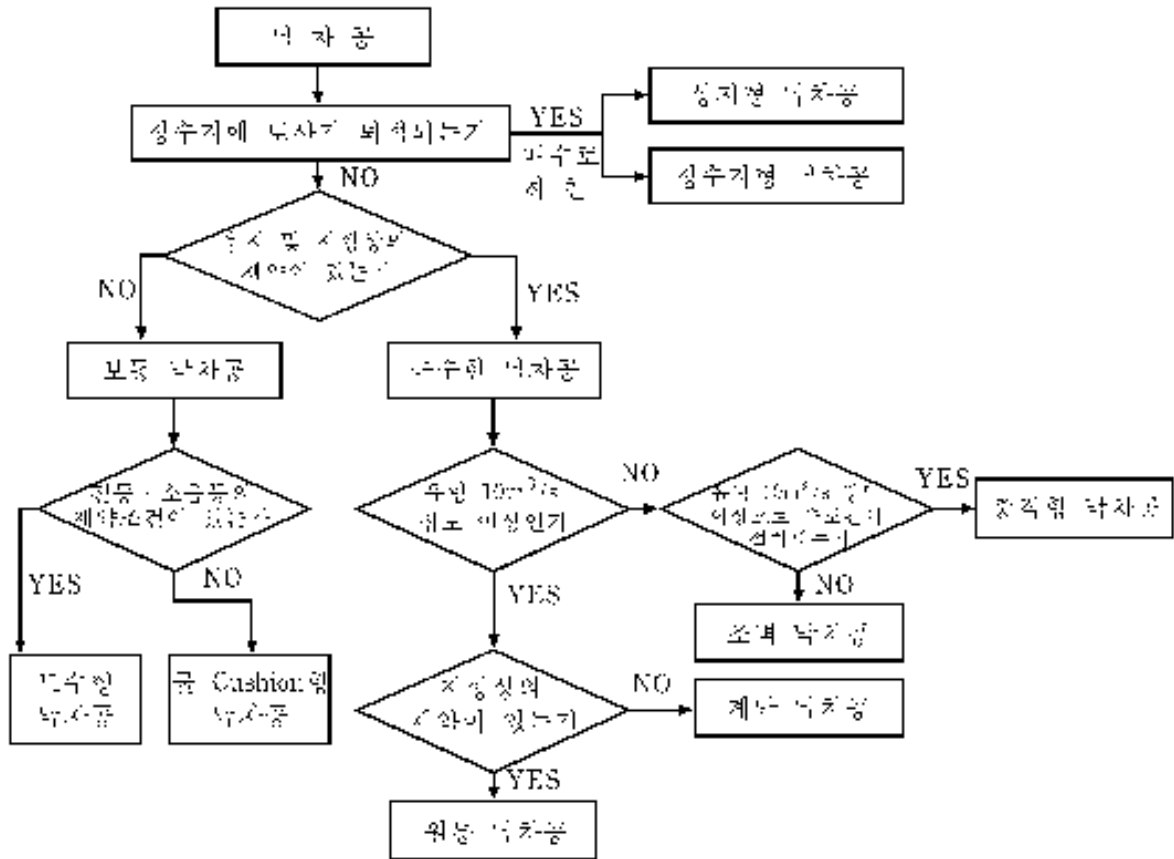


그림 4.7.15 낙차공 형식 선정의 흐름도

1) 수직낙차공

수직낙차공(vertical drop)은 낙구가 수직의 단락으로 되어 있으며 낙차가 그리 크지 않는 장소에서 채용되는 일반적인 낙차공이다.

가) 충격블록 수직낙차공(Straight drop spillway with impact)

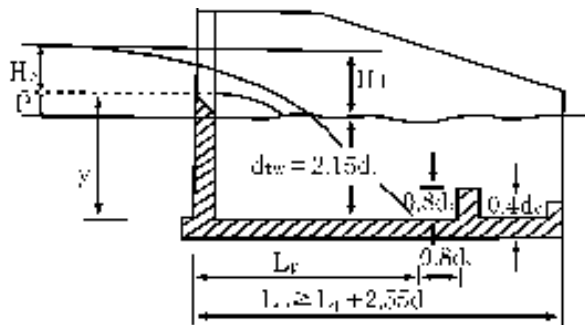


그림 4.7.16 충격블록 물받이 수직낙차공 표준도

- 물넘이 유효폭

$$B = \frac{Q}{C_b H_e^{3/2}} \quad q = \frac{Q}{B}, \quad D = \frac{q^2}{g y^3} \quad \text{-----}(4.7.36)$$

D: 낙차수(drop number)

표 4.7.3에서 D와  $\frac{H_d}{H_e}$ 에 해당하는  $\frac{L_p}{y}$ 를 찾고  $\frac{L_p}{y}$ 로부터  $L_p$ 를 계산한다.

- 최소정수지의 길이

$$L_B = L_p + 2.55 d_c \quad \text{-----}(4.7.37)$$

- 배플블록(baffle block)의 최소 위치는  $L_p + 0.8 d_c$ , 배플블록의 높이는  $0.8 d_c$

- 최소 말단수심

$$d_{tw} = 2.15 d_c \quad \text{-----}(4.7.38)$$

- 최적 배플블록의 폭 및 간격은  $0.4 d_c$
- 최적 엔드실(end sill)의 높이는  $0.4 d_c$

표 4.7.3 충격블록 낙차공의  $L_p$  대  $y$

D	$\frac{L_p}{y}$					비고
	$\frac{h_d}{H_e}$	0.6	1.0	2.0	5.0	
0.0001	-			0.62	0.50	0.47
0.0002	-		0.90	0.67	0.52	0.50
0.0003	-		0.94	0.68	0.55	0.52
0.0005	-		0.98	0.70	0.60	0.58
0.001	1.57	1.00		0.77	0.65	0.65
0.002	1.58	1.15		0.82	0.72	0.72
0.003	1.59	1.17		0.87	0.80	0.80
0.005	2.00	1.20		0.93	0.87	0.87
0.01	2.15	1.25		1.10	0.97	0.97
0.02	2.20	1.30		1.20	1.15	1.15
0.03	2.30	1.40		1.25	1.20	1.20
0.05	2.40	1.50		1.30	1.30	1.30
0.10	2.60	1.70		1.50	1.50	1.50
0.20	2.80	1.80		1.70	1.70	1.70
0.30	2.90	2.00		1.80	1.80	1.80
0.50	3.20	2.20		2.00	2.00	2.00
1.00	2.50	2.30		2.30	2.30	2.30

[정수지의 폭·실 높이 계산 예]

$Q=10\text{m}^3/\text{s}$ ,  $y=2.2\text{m}$ ,  $H_e=1.0\text{m}$ ,  $h_d=1.5\text{m}$ , 말단수심=1.70m,  $P=0.60\text{m}$ 일 때 정수지폭  $L_p$ ,  $L_B$ , 엔드실 높이를 구하라.

$$\frac{P}{H_e} = \frac{0.6}{1.0} = 0.6 \text{ 일 때 } C_o=2.12 \text{ (표 4.7.4 참조)}$$

$$\text{유효폭: } B = \frac{10}{2.12 \times (1.0)^{3/2}} = 4.70 \text{ m}$$

$$\text{정수지폭: } B = L + 2(NK_p + K_a)H_e$$

여기서, 피어(pier)가 없으므로  $N=0$ ,  $K_a=0.2$

$$B' = 4.70 + 2 \times 0.2 \times 1.0 = 5.10 \text{ m}$$

$$q = \frac{10}{4.70} = 2.127 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$D = \frac{q^2}{gy^3} = \frac{2.127^2}{9.8 \times 2.2^3} = 0.0434$$

표 4.7.4 월류 계수표(C<sub>0</sub>)

$\frac{P}{H_0}$	C <sub>0</sub>	$\frac{P}{H_0}$	C <sub>0</sub>	$\frac{P}{H_0}$	C <sub>0</sub>
0.1	1.868	1.1	2.149	2.1	2.173
0.2	1.967	1.2	2.155	2.2	2.174
0.3	2.033	1.3	2.157	2.3	2.175
0.4	2.075	1.4	2.160	2.4	2.177
0.5	2.094	1.5	2.162	2.5	2.177
0.6	2.113	1.6	2.163	2.6	2.178
0.7	2.124	1.7	2.166	2.7	2.178
0.8	2.132	1.8	2.168	2.8	2.179
0.9	2.141	1.9	2.169	2.9	2.179
1.0	2.145	2.0	2.172	3.0	2.179

표 4.7.3으로부터 D=0.0434 대해서  $\frac{h_d}{H_e} = 1.5$ ,  $\frac{L_p}{y} = 1.36$

(표 4.7.3 값을 비례해서 계산한 값임)

$$L_p = 1.36 \times 2.2 \approx 3.0 \quad d_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} = \sqrt[3]{\frac{2.127^2}{9.8}} = 0.77 \text{ m}$$

$$L_B = L_p + 2.55 d_c \quad L_B = 3.0 + 2.55 \times 0.77 = 4.96 \text{ m}$$

배플블록 블록의 최소위치

$$L_p + 0.8 d_c = 3.0 + 0.8 \times 0.77 \approx 3.60 \text{ m}$$

배플블록의 높이=0.8×0.77=0.6m

배플블록의 폭과 간격=0.4×0.77=0.3m

엔드실의 높이=0.4×0.77=0.3m

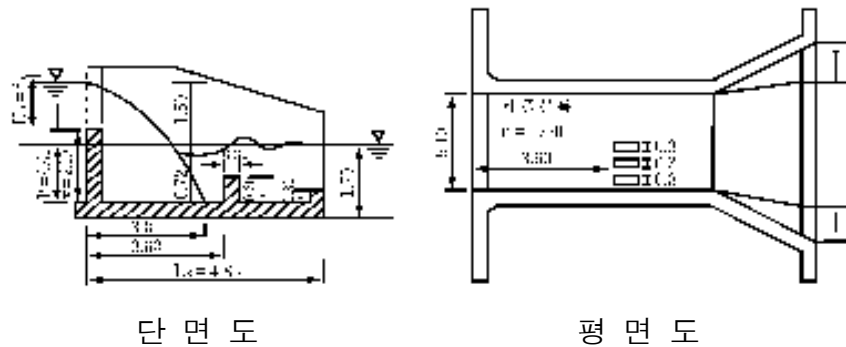


그림 4.7.17 정수지의 구조도

나) 수직낙차공(Straight drop spillway)

수직낙차공의 각 치수를 계산하기 위하여 다음 낙차수(drop number)  $D = \frac{q^2}{gy^3}$  을 이용하여 다음과 같이 시험자료를 만들었다.

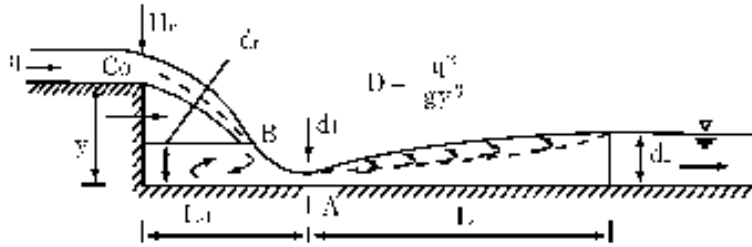


그림 4.7.18 수직낙차공

$$\left. \begin{aligned} \frac{L_d}{y} &= 4.30 D^{0.27} \\ \frac{d_f}{y} &= 1.00 D^{0.32} \\ \frac{d_1}{y} &= 0.54 D^{0.425} \\ \frac{d_2}{y} &= 1.66 D^{0.27} \end{aligned} \right\} (4.7.39)$$

즉, 낙하높이  $y$ , 단위폭당 유량  $q$  만 알면  $L_d$ ,  $d_f$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ 를 위 공식으로부터 계산할 수 있다.

여기서,  $L_d$ : 낙하길이 (m)       $d_f$ : 수맥선 하의 수심 (m)  
 $d_1$ : A점의 수심 (m)       $d_2$ :  $d_1$ 에 따른 하류수심 (m)

만일 하류수심이  $d_2$  보다 낮을 경우는 하류측으로 경사지게 흐를 것이고,  $d_2$  보다 높을 경우는 잠수상태가 될 것이다.

낙차공의 물받이폭은 접속수로의 폭과 같은 것으로 가정하였다.

다) 도수형(跳水型) 수직낙차공(Straight drop spillway with hydraulic jump)

$Q$ (유량),  $y$ (낙하높이),  $H_e$ (비에너지),  $h_d$ (에너지손실),  $d_{tw}$ (하류측 수로수심),  $P_1$ (웨어까지의 상류수심),  $B_1$ (낙구폭),  $B'$ (정수지의 폭),  $q_1$ (단위폭당유량),  $D$ (Drop number) 를 알면  $L_d$ (낙하길이),  $d_f$ (수맥선하의 수심),  $d_1$ (낙하점의 수심),  $d_2$  ( $d_1$ 에 따른 하류수심)의 값은 식 (4.7.39)에 의하여 구한다.

$\frac{d_{tw}}{d_2}$  는 1.0 ~ 1.2 정도가 되어야 한다. 비율이 1.0보다 작으면 정수지는  $y$ 를 증가해야 하고 위의 과정을 되풀이 한다.

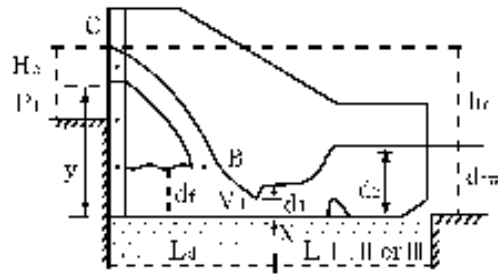


그림 4.7.19 도수형 수직낙차공

$$\begin{aligned}
 q_1 &= \frac{Q}{B_1} \\
 V_1 &= \frac{q_1}{d_1} \\
 F_r &= \frac{V_1}{\sqrt{gd_1}}
 \end{aligned} \tag{4.7.40}$$

도수길이  $L_I$ ,  $L_{II}$ ,  $L_{III}$ 는 정수지형에 따라  $F_r$ 와  $\frac{L}{d_2}$ 의 관계를 나타낸 그림 4.7.20에서 구한다.

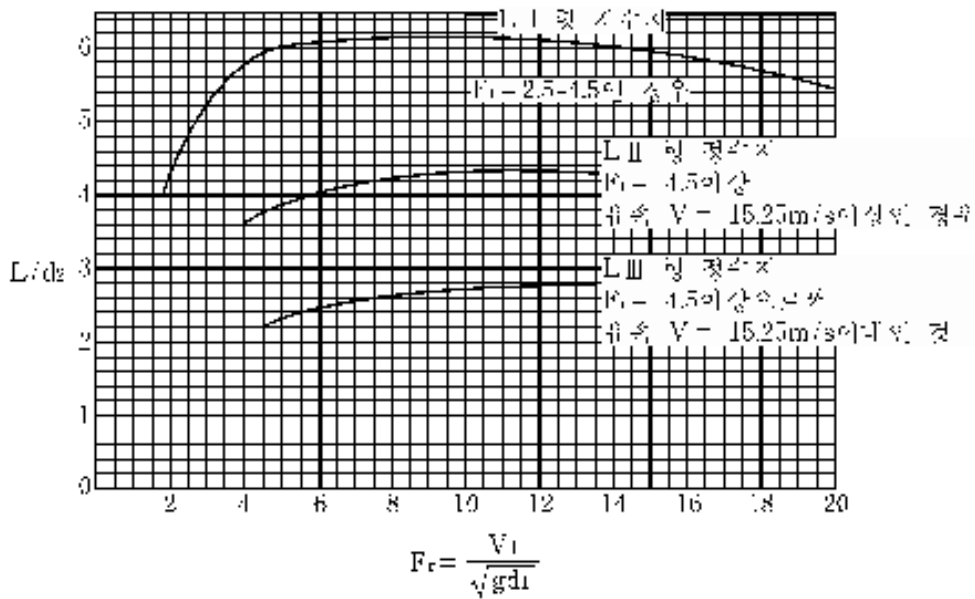


그림 4.7.20 정수지 I, II, III의 도수길이

[도수의 길이 계산 예]

$Q=19.14 \text{ m}^3/\text{s}$ , 수로폭 5.0m일 때  $L + L_d$ 를 구하라.

단, 낙차공의 낙구폭은 접속수로의 폭과 같다고 가정

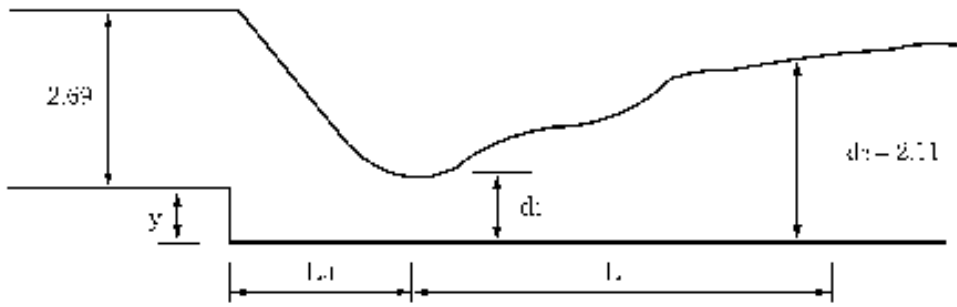


그림 4.7.21 도수형 수직낙차공

$$y = 2.0 \text{ m}$$

$$D = \frac{q^2}{gy^3}$$

$$q = \frac{19.14}{5} = 3.83 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$D = \frac{3.83^2}{9.8 \times 2^3} = 0.187$$

$$\frac{d_1}{y} = 0.54 D^{0.425} \quad \therefore d_1 = 0.54 \times 0.187^{0.425} \times 2.0 = 0.53$$

$$\frac{d_2}{y} = 1.66 D^{0.27} \quad \therefore d_2 = 1.66 \times 0.187^{0.27} \times 2.0 = 2.11$$

$$L = 6(d_2 - d_1) = 6 \times (2.11 - 0.53) = 9.5$$

$$\frac{L_d}{y} = 4.30 D^{0.27} \quad \therefore L_d = 4.30 \times 0.187^{0.27} \times 2.0 = 5.46$$

## 2) 경사형 낙차공

경사형 낙차공은 낙구가 경사져 있으며 정수지 내에서의 도수에 의해서 감세된다. 경사부 1.5m 이하이면 1:1.5, 그 이상이면 1:2를 표준으로 한다.

### 가) 구성

경사형 낙차공의 구성은 입구접속수로·급류부·정수지·출구접속수로로 되어 있다.

### 나) 계산조건

- Energy 기울기 선을 수평으로 기울기 부분의 마찰손실은 없다고 가정한다.



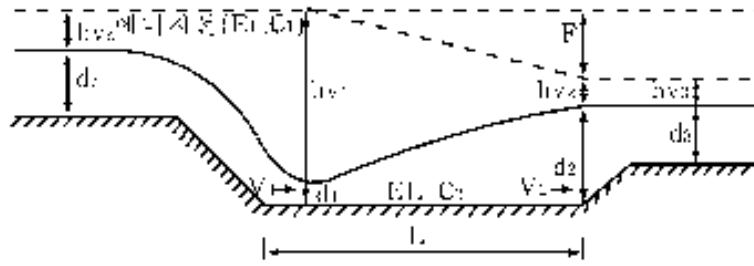


그림 4.7.22 경사형 낙차공

- 도수부의 에너지 손실을 고려 \$d\_2\$ 부분과 \$d\_3\$의 Energy 경사선을 수평으로 한다.
- 급류부 입구를 한계점으로 하여 한계수심 \$d\_c\$를 계산한다.
- 급류부와 정수지의 저폭은 같게 한다.
- 확대완화공이나 포물선 종단경사로 하지 않고 구형으로 한다.

다) 수리계산

- 입구접속수로: 「4.7.2 가. 1) 참조」
- 급류공: 「4.7.3 나. 참조」
- 정수지: 「4.7.2 가. 4) 참조」
- 출구 접속수로: 「4.7.2 나. 4) 참조」

3) 계단낙차공

계단낙차공은 수직낙차공을 연속시켜서 계단상으로 설치한 것이며, 각단은 수직낙차공에 준해서 설계한다. 이 경우 각단의 거리는 정수지의 길이에 의해서 결정되나 충분한 거리를 취하며 계산에 의해서 구한 정수지가 짧게 되어서는 안 된다.

4) 조벽(阻壁)낙차공

낙수를 직접 또는 간접으로 조벽에 충돌시켜 흐름의 방향을 바꾸고, 조벽의 하부에 설치되는 오리피스를 지나서 유출시키는 것으로, 그 목적은 속히 유수를 정류하여 정수지의 충격을 완화하고 길이를 단축시키려 하는 데 있다.

이 형의 낙차공을 채용하는 조건은 지형에 따라 정해지고 정수지를 길게 할 수 없는 특수한 지형의 경우에 사용한다.

측벽이 받는 압력 \$P\_n\$은 다음 식으로 구한다.

$$P_n = (2W_o/g) QV_o \{2 \sin \theta / (1 + \sin^2 \theta)\} \text{ -----(4.7.41)}$$

여기서,  $W_o$ : 유수의 단위중량 ( $kN/m^3$ )  
 $Q$ : 유량 ( $m^3/s$ )  
 $V_o$ : 조벽에 부딪치는 물의 유속 ( $m/s$ )  
 $\theta$ : 유수방향의 조벽과 이루는 각

잠수 오리피스스의 유량은

$$Q = C (2g)^{1/2} AH^{1/2} \quad \text{-----}(4.7.42)$$

여기서,  $C$ : 유량계수  $0.59 \sim 0.62$   
 $H$ : 수두 (m)  
 $A$ : 오리피스스의 단면적 ( $m^2$ )

$C=0.6$ 으로 하면,

$$Q = 2.65 AH^{1/2} \quad (m^3/s) \quad \text{-----}(4.7.43)$$

$$A = Q / (2.65\sqrt{H}) \quad (m^2)$$

$$\text{-----}(4.7.44)$$

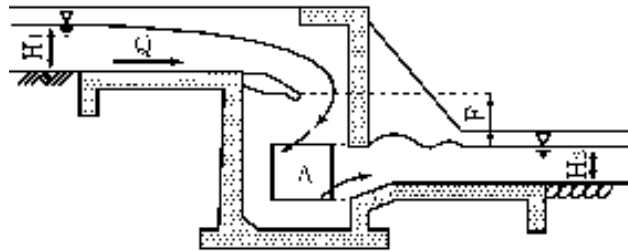


그림 4.7.23 조벽낙차공의 구조

$H$ 는 오리피스스의 단면적  $A$ 의 유속에 따라 결정된다.

정수지의 평면은 하류 수로단면과 거의 일치 되도록 하고 정수지의 말단에는 연직벽을 설치한다. 이 낙차공은 강력한 수압을 직접 조벽이 받기 때문에 견고한 시설로 하여야 하며 고가이므로 일반적으로 적당하지 않으나 낙차공의 길이를 줄일 필요성이 있는 데 적용된다.

#### 5) 원통낙차공

터널 내에 낙차공을 설치할 경우에 채용된다. 또한 소요의 부지를 구득하기 어려운 경우에 채용된다. 그 공법은 조벽낙차공에 준하여 설계한다.

## 나. 급류공

수로 도중의 급경사 부분에 설치하는 개거형 수로로서 낙차공을 연속 설치하는 대신에 채택되는 구조물이다.

급류공의 구성은 입구접속수로·급류부·방사류부·정수지·출구접속수로로 된다.

### 1) 입구 접속수로

입구 접속수로는 설계유량이 배수(背水) 또 저하배수를 일으키지 않고 급류부 이하에서 바람직하지 못한 난류가 일어나지 않고 유하될 수 있게 설계해야 한다. 이를 위해서 급류부 시점에서 한계수심이 유지되는 동시에 급류부 시점까지의 수로단면의 변화는 완만하고 좌우 대칭인 평면형을 이룰 수 있어야 하며 곡선부가 설치되어서는 안 된다.

#### 가) 유입구 완화공의 길이

$$L = \frac{B-b}{2} \cot a \quad \text{-----(4.7.45)}$$

$$\cot a = 3.375 \times \frac{V}{\sqrt{gd \cos \theta}} \quad (\text{바닥이 직선일 때})$$

여기서, d: 수심      g: 9.8 (m/s<sup>2</sup>)

V: 유속      θ: 완화공바닥 경사각 (°)

L: 최소 1.50 m

#### 나) 최소여유고

수 심	0 ~ 1.5m	1.5 ~ 2.1m	2.1 ~ 2.7m
여 유 고	0.30m	0.37m	0.46m

### 2) 급류부

#### 가) 유입구 수심 및 저폭

급류부의 유입부를 계산의 기점 즉 지배단면으로 하여 상류 수로의 수면 변화 및 침식이 되지 않도록 한다. 점축부의 단면 축소부는 급류부에 두지 않도록 한다.

#### 나) 구형일 때의 한계유속(V<sub>c</sub>) 및 단면계산

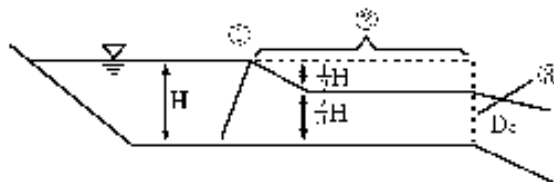


그림 4.7.24 유 입 구

$$D_c = \left[ \frac{Q^2}{gB_c^2} \right]^{1/3}, \quad D_c^3 B_c^2 = \frac{Q^2}{g}, \quad V_c = \sqrt{gD_c}$$

Q: 유량 (m<sup>3</sup>/s)

B<sub>c</sub>: 한계단면의 저폭 (m)

D<sub>c</sub>: 한계단면의 수심 (m)

다) 수리계산 (표 4.7.5 참조)

급류부 시점 이하의 수면추적계산은 베르누이 공식을 이용한다.

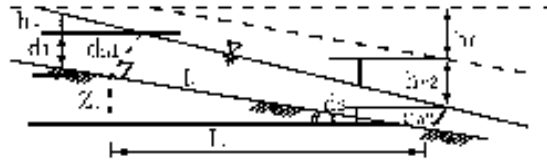


그림 4.7.25 급류부

베르누이 공식

$$h_{v1} + d_1 + Z_1 = h_{v2} + d_2 + h_f$$

$$h_{v1} = \frac{V_1^2}{2g}, \quad h_{v2} = \frac{V_2^2}{2g}, \quad h_f = \frac{V_n^2 n^2 L}{R_m^{4/3}}$$

급수로의 단면확대 시점은 포물선형 종단기울기의 시점과 같다. 포물선형 종단기울기에 있어 S는 1:0.5 ~ 1.0, K는 0.5 이내로 한다.

위의 조건은 폭 및 형이 변동될 수 없는 사다리꼴 수로에서는 적용되지 않는다.



표 4.7.5 부동류 수로단면 축적 계산표 (예)

지 구 명                    시점유속  $V_{st} = 2.23m/s$                      $d_f = d_{n1} \cos\theta$   
 위 치                    시점유속수두  $h_{vst} = 0.25$                      $d_2 = d_{n2} \cos\theta$   
 시점저고  $E_{st}$                      $Q = 1.362m^3/s$                      $n = 0.015$                      $z_1 = I_0 L$   
 시점수심  $d_{st}$                      $\sin\theta = 10^{-1} \cdot 5' = 0.17/9$                      $n^2 = 0.00225$                      $h_f = IL$

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	㉑	
측점	구간거리 $\Delta l$	수로자폭 $b$	수심 $d$	유적 $A$	유속 $V$	속도수두 $h_v$	$V = \frac{V_1 + V_2}{2}$	$V_2$	$P$	$R$	$R = \frac{R_1 + R_2}{2}$	$R^{4/3}$	구간마찰손실 $h_f = \frac{k^2 V^2}{R^{4/3} \Delta l}$	기타손실 $\Delta h$	손실계 $\textcircled{14} + \textcircled{15}$	$h_{1,i} = h_{2,e} - h_{v,i} + \textcircled{1}$	$h_{1,i} = \Delta f_1 \sin\theta - d_2$	$h_{1,i} = \Delta f_1$	오차 $\Delta h_e$
+10	1.0	1.2	0.51	0.61	2.23	0.25	4.27	18.23	2.22	0.275	0.207	0.3499	0.34	-	0.34	2.12	1.779	2.11	0.01
+20	1.0	1.2	0.18	0.216	6.31	2.03	6.94	48.16	1.56	0.138	0.129	0.2553	1.67	-	1.67	2.56	1.779	1.81	
	1.0	1.2	0.15	0.18	7.57	2.92	6.50	42.25	1.5	0.12	0.135	0.2632	1.358	-	1.358	1.61	1.779	1.79	
	1.0	1.2	0.17	0.204	6.68	2.28	6.46	41.73	1.54	0.132	0.136	0.2645	1.335	-	1.335	1.54	1.779	1.787	
	1.0	1.2	0.172	0.206	6.61	2.23	6.51	42.38	1.544	0.133	0.135	0.2632	1.362	-	1.362	1.63	1.779		
	1.0	1.2	0.169	0.203	6.71	2.30	6.53	42.64	1.538	0.132	0.135	0.2632	1.371	-	1.371	1.66	1.779		
-	1.0	1.2	0.168	0.202	6.74	2.32	6.60	43.56	1.536	0.132	0.134	0.2619	1.40	-	1.40	1.79	1.794	1.794	0.006
+30	1.0	1.2	0.165	0.198	6.88	2.42	7.23	52.27	1.53	0.129	0.125	0.250	1.88	-	1.88	2.38	1.794	1.794	
	1.0	1.2	0.18	0.198	7.57	2.92	6.88	47.33	1.50	0.120	0.129	0.2553	1.64	-	1.64	1.64	1.779	1.779	
	1.0	1.2	0.165	0.198	6.88	2.42	6.99	48.86	1.53	0.129	0.128	0.254	1.70	-	1.70	1.78	1.774	1.774	0.006
+40	1.0	1.2	0.16	0.192	7.09	2.56	7.19	51.70	1.52	0.126	0.125	0.25	1.86	-	1.86	2.00	1.80	1.80	
	1.0	1.2	0.156	0.187	7.28	2.70	7.13	50.84	1.512	0.124	0.125	0.25	1.83	-	1.83	1.89	1.80	1.80	
	1.0	1.2	0.158	0.19	7.17	2.62	7.09	50.27	1.516	0.125	0.128	0.254	1.75	-	1.75	1.75	1.779	1.779	
	1.0	1.2	0.16	0.192	7.09	2.56	7.11	50.55	1.52	0.126	0.126	0.254	1.76	-	1.76	1.76	1.779	1.779	0.01
	1.0	1.2	0.159	0.191	7.13	2.59			1.518	0.126	0.126	0.254		-	1.76	1.76	1.779	1.779	0.01

3) 방사류부

급류부 확대완화공의 위치·확대각 및 포물선형 종단기울기는 다음과 같다.

가) 급류부 확대완화공

급류부 확대완화공(spread transition)은 종단 포물선 시점에서 확대한다.  
확대각

$$\tan \theta = \frac{1}{3F_r} = \frac{\sqrt{gd}}{3V} \quad \text{-----(4.7.46)}$$

나) 포물선형 종단기울기

공식

$$y = X \tan \theta + \frac{KX^2}{4h_v \cos^2 \theta} \quad \text{-----(4.7.47)}$$

$$S = \tan \theta + \frac{KX}{2h_v \cos^2 \theta} \quad \text{-----(4.7.48)}$$

여기서, y: 포물선의 기점부터의 종단거리 (m)

S: 포물선 시점에서의 기울기

X: 포물선의 기점부터의 수평거리 (m)

$h_v$ : 포물선 시점의 유속수두 ( $\frac{V^2}{2g}$ )

K: 수직가속으로 일어나는 가정된 중력비율 0.5 또는 그 이하

$\theta$ : 포물선 시점에서 수평과 급류부 수로가 이루는 각도 (°)

포물선형 종단기울기와 단면확대는 가능한 한 급수로벽 위와 정수지벽 위와의 교점에서 끝나거나 그 이전에 끝나도록 한다.

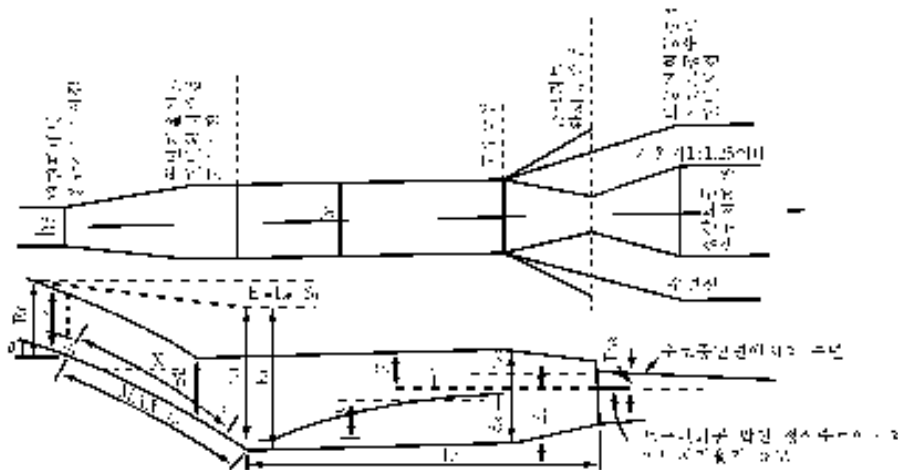


그림 4.7.26 급류공단면도

**[급류공의 수평거리 및 각 점 좌표계산 예]**

수로폭 2.5m, 기울기 1:8, 유량 Q=15m<sup>3</sup>/s, K=0.5, 기울기 변화점수심 0.5m일 때, 수로 바닥기울기를 1:4로 변경시키려면 시점에서부터 필요한 수평거리 및 각 점의 좌표를 구하라.

포물선 기울기 시점의 유속; V

$$V = \frac{Q}{bd} = \frac{15}{2.5 \times 0.5} = 12$$

유속수두:  $h_v$

$$h_v = \frac{V^2}{2g} = 7.34$$

상류수로의 기울기 각도;  $\theta$

$$\tan \theta = \frac{1}{8} = 0.125 \quad \therefore \quad \theta = 7^\circ 8'$$

$$\cos \theta = \cos 7^\circ 8' = 0.9926$$

$$\cos^2 \theta = 0.98458$$

필요한 기울기 변화부의 길이: X

$$X = (S - \tan \theta) 2 h_v \cos^2 \theta / K$$

$$= (0.25 - 0.125) \times 14.68 \times 0.984 / 0.5 = 3.61 \text{ m}$$

표 4.7.6 방사류부의 종단기울기 계산

①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
X	X <sup>2</sup>	KX <sup>2</sup>	$\frac{KX^2/4h_v}{\cos^2\theta}$	Xtan $\theta$	y	KX	$\frac{KX/2h_v}{\cos^2\theta}$	S=tan $\theta$ + ⑧
1.0	1.0	0.5	0.017	0.125	0.142	0.50	0.035	0.160
2.0	4.0	2.0	0.069	0.250	0.319	1.0	0.069	0.194
3.0	9.0	4.5	0.156	0.375	0.531	1.5	0.104	0.229
3.61	13.032	6.516	0.225	0.451	0.676	1.805	0.125	0.250

4) 급류부의 여유고( $F_b$ )

가)  $F_b = C \cdot V \cdot d^{1/2}$  식으로 계산

여기서  $F_b$ : 여유고 (m)



C: 계수 (구형: 0.1, 제형: 0.13)  
 V: 유속 (m/s)  
 d: 수심 (m)

나)  $F_b \doteq 0.6 + 0.037 V \cdot d^{1/3}$  (m) 식으로 계산

여기서  $F_b$ : 여유고 (m)

V: 유속 (m/s)

d: 수심 (m) (단, 구형단면)

5). 정수지

가) 도수부의 에너지 손실(F)

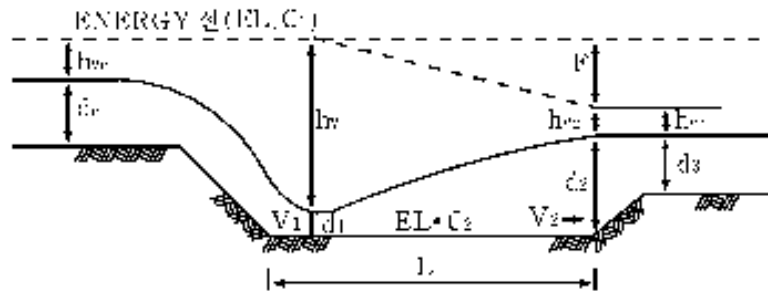


그림 4.7.27 정 수 지

$$K = d_2 / d_1, \quad EL \cdot C_2 = EL \cdot C_1 - (d_1 + h_{v1}) = EL \cdot C_1 - (d_2 + h_{v2} + F)$$

$$\frac{d_1}{d_c} = \sqrt[3]{\frac{2}{K(K+1)}}, \quad \frac{F}{d_c} = \frac{(K-1)^3}{4K} \cdot \sqrt[3]{\frac{2}{K(K-1)}}$$

$$L = 6(d_2 - d_1) \quad \text{-----(4.7.49)}$$

나) 정수지의 폭

구형으로 유량 Q가 2.93 m<sup>3</sup>/s 이하일 때,

$$b = \frac{18.46\sqrt{Q}}{Q + 9.91} \quad (\text{m}) \quad \text{-----(4.7.50)}$$

다) 도수심

$$F_{r1} = V_1 / \sqrt{gd_1}$$

$$d_2 / d_1 = \frac{1}{2} (\sqrt{1 + 8F_{r1}^2} - 1) \quad \text{----- (4.7.51)}$$

d<sub>1</sub>, V<sub>1</sub>: 도수전의 수심과 유속

$d_2, V_2$ : 도수후의 수심과 유속  
 $F_r$ : 프루드 수(Froude number)

라) 도수의 길이

- ① Safranez 공식:  $L=4.5d_2$  (m) -----(4.7.52)
- ② Smetana 공식:  $L=6(d_2-d_1)$  (m) -----(4.7.53)
- ③ 미 개척국 공식:  $L=6.1d_2$  (m) -----(4.7.54)
- ④ Bakhmetff-Matzke 공식:  $L=4.8d_2$  (m) -----(4.7.55)

※ Bakhmeteff에 의하여 사류측의 프루드 수가  $1 < F_r < \sqrt{3}$  일 때, 파상도수가 발생하며,  $F_r = \frac{V}{\sqrt{g h_1}} > \sqrt{3}$  일 때 완전도수가 발생하는 한계이다.

프루드 수에 대한 도수의 길이를 결정하거나 슈트블록(chute block), 배플블록(baffle block), 실(sill)을 설치하게 되는 정수지의 설계는 「농업생산기반정비사업계획설계기준 댐편」의 3.4.2 물넘이 및 필댐편 4.10, 라 감쇄공을 참조한다.

마) 정수지 측벽 여유고

$$F_b = 0.1(V_1 + d_2) \text{ -----(4.7.56)}$$

여기서  $F_b$ : 여유고 (m)

$V_1$ : 유입유속 (m/s)

$d_2$ : 도수심 (m)

#### 다. 관급류공 (Pipe drop and chute)

수로내 및 횡단 배수구조물로서 낙차가 0.9 ~ 4.5m이며, 유량이 적은 경우 관수로는 설계와 시공이 쉽고 경제적이며 유지관리가 용이하다.

상류완화공·유입구·관체·유출구·완화공으로 구성되며, 유입구는 조절노치(notch)·제수문·웨어로서의 기능을 갖도록 만들고, 잡초·잡물·유사에 의해 관이 막힐 우려가 없는 수로는 I호형, 관이 막힐 우려가 있는 수로는 II호형이 사용된다. 잡초나 잡물이 관속으로 유입되는 것을 방지하기 위해 스크린을 설치하며, 유입 잡물의 배출이 용이하도록 관의 직경은 충분해야 된다.

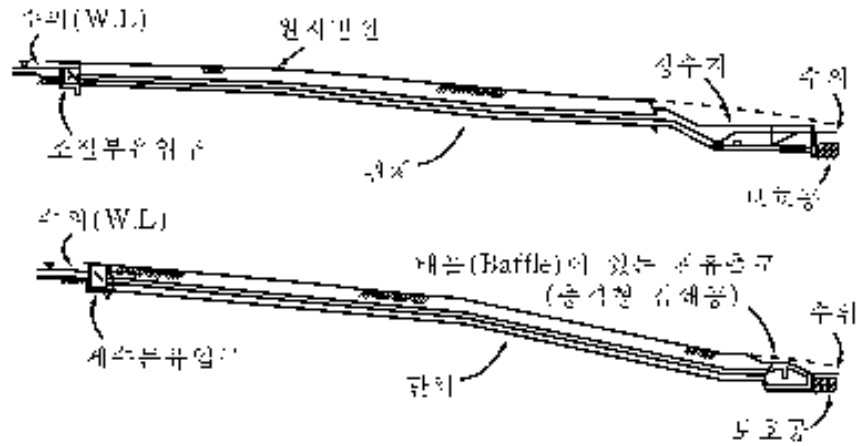


그림 4.7.28 관급류공

1) 구조

가) I호형 관 급류공 (그림 4.7.29)

(1) 상류수로 완화공

길이: 3m 이상, 바닥기울기: 토공수로에서 유입구까지

(가) 조절 유입구 (control inlet)일 경우

토공수로와 같이 평행하게

(나) 제수 유입구 (check inlet)

기울기는 1:4 보다 완하게 한다.

(2) 유입구

(가) 조절 유입구

설계유량의 20~100%까지의 유량이 수로의 평수심에서 유하되도록 하고, 상류 수로에 급류 및 와류가 생기지 않도록 조절노치(control notch)로 하며, 표준설계는 그림 4.7.32와 같다.

(나) 제수 유입구

제수 각낙판이나 문비로 제수하며 상류에 분수문이 있을 경우 및 수위조절 방수문이 있는 경우에는 제수구조물로 겸용할 수 있다.

(3) 관체

수리조절이 관 유입구 대신에 유입 구조물의 유입부에서 이루어지도록 하기 위해 충분히 낮추도록 한다. 관체의 기울기는 1:2 보다 완하게 한다. 초과 에너지의 분산을 위해 관 내에서 도수가 일어나도록 관의 유입구 부분을 낮추고, 기울기는 1:200 보다 완하게 하며, 그 길이는 유입구가 콘크리트 완화공일 때 5D(최소 1.80m)로 한다 (그림 4.7.34).

수로 내 구조물일 경우 최소관경은 0.30m, 최대유속은 3.5m/s, 횡단 배수구조물일

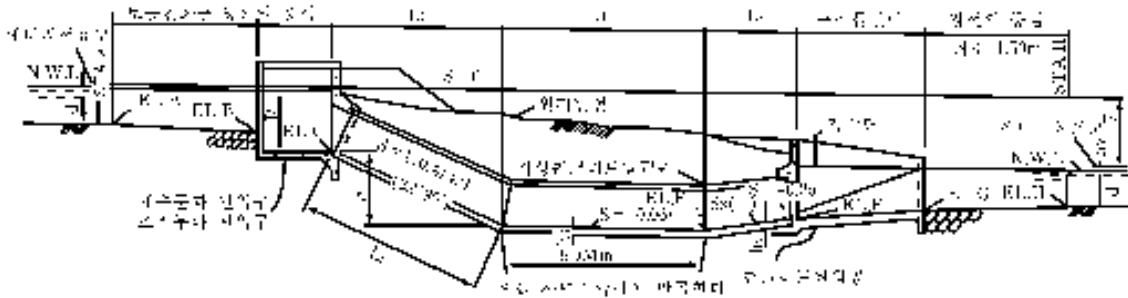
경우 최소관경 0.60m, 유속은 1.0~1.5m/s가 되도록 한다.

(4) 유출구

콘크리트 완화공:  $Q \leq 1.45 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $V \leq 1.52 \text{ m/s}$  (만류시)

※ 유량  $Q > 1.45 \text{ m}^3/\text{s}$ 일 때 구형 경사형 낙차공으로 설계하는 것이 유리할 경우가 많으며,  $V > 1.52 \text{ m/s}$ 일 경우 하류부에서 배플관수로(baffled pipe)로 하여 유속을 느리게 한다.

유출구부에서 토공수로에 유입되는 부분은 조약돌 보호공을 설치하는 것이 좋다.



- 주) 1. 관의 경사변화는 사면으로 관을 접합하든지 7°30'기성콘크리트 곡관을 사용한다.
- 2. 관의 유출구 최대유속은 만류시 1.5m/s이다.
- 3. 유입마찰, 굴곡, 출구 손실수두는 작으므로 무시한다.
- 4. 기성콘크리트관의 굴곡변화부의 사면접합을 석면 시멘트 압력관 또는 철근 소성모르타르 압력관을 사용할 수 있다.
- 5. 표준설계는 1.45m³/s이하에 사용하며 1.45m³/s 이상일 때 구형 경사낙차공으로 사용하는 것이 좋을 경우가 있다. 최대수면낙차는 4.5m이다.

그림 4.7.29 I호형 관급류공

나) II호형 관급류공 (그림 4.7.31)

초과 에너지의 분산은 배플(baffle)이나 정수지가 있는 유출구에 의한다. 수로 내의 구조물일 경우 check 유입구나 조절 유입구가 있어야 하며, 수중에 잡초가 있을 경우 정수지가 있는 낙차공으로 하는 것이 좋다.

- 배플이 있는 충격형 감세공: 그림 4.7.31 참조
- 정수지가 있는 관급류공: 그림 4.7.34 참조

다) 원관 급류공(Pipe chute)의 단면결정

(1) 조절 및 제수부가 없는 유입부 (그림 4.7.31)

유입구에 지배단면(control section)이 생기도록 하고 한계수심  $d_2 = 0.75 \sim 0.80D$ (관경)으로 한다.

단면 결정을 위한 수리계산

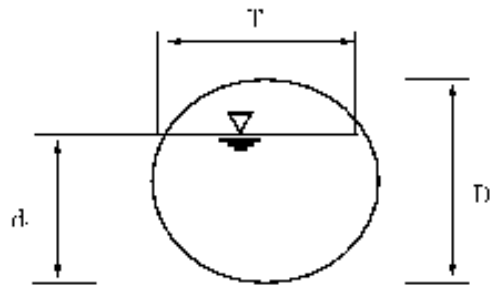
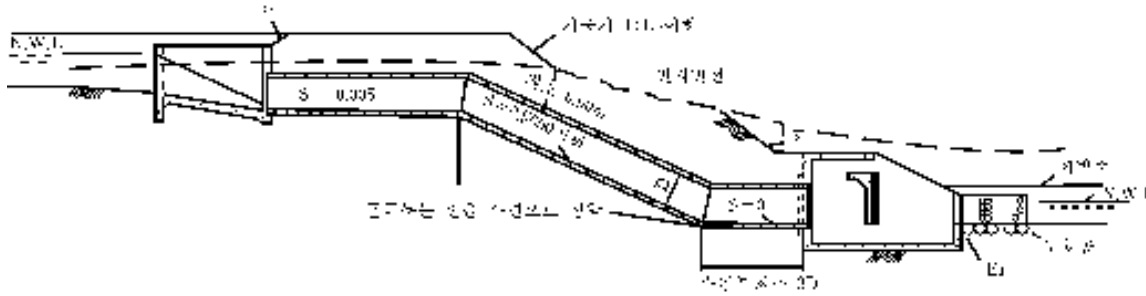


그림 4.7.30 원관형 급류공의 단면



관 경 속 건 표			
유량 (m <sup>3</sup> /s)	직경 (m)	면적 (m <sup>2</sup> )	비 고
0 ~ 0.257	0.30	0.0706	최대유속 V=3.65 m/s인 경우
0.257 ~ 0.351	0.35	0.0962	
0.351 ~ 0.458	0.40	0.1256	
0.458 ~ 0.580	0.45	0.1590	
0.580 ~ 0.716	0.50	0.1963	
0.716 ~ 1.031	0.60	0.2827	
0.031 ~ 1.404	0.70	0.3848	
0.404 ~ 1.834	0.80	0.5026	
0.834 ~ 2.321	0.90	0.6361	
0.321 ~ 2.866	1.00	0.7853	

그림 4.7.31 II호형 관급류공

$\frac{A}{T}$  : 수면 폭에 대한 수로 단면적과의 비

$Z = A\sqrt{\frac{A}{T}}$  : 한계류 계산에 대한 단면 요소로 표시하면 한계류는

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gd}} = 1 \text{ 이므로}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \sqrt{gd}$$

근사적으로  $d \approx \frac{A}{T}$  로 하면,

$$\frac{Q}{\sqrt{g}} = A\sqrt{d} \approx A\sqrt{\frac{A}{T}} = Z \text{로서 원형단면의 성질을 이용하면 된다.}$$

표 4.7.7 원관형 급류공 단면산정표

구분 관경 (D)	$\frac{dc}{D} = 0.75$ 일 때				$\frac{dc}{D} = 0.80$ 일 때			
	Q (m³/s)	A (m²)	V (m/s)	I (기울기)	Q (m³/s)	A (m²)	V (m/s)	I (기울기)
0.30	0.0832	0.0568	1.463	1:112	0.0953	0.0606	1.572	1:98
0.35	0.1223	0.0774	1.580	1:118	0.1401	0.0825	1.698	1:103
0.40	0.1708	0.101	1.690	1:124	0.1956	0.108	1.815	1:108
0.45	0.2293	0.128	1.792	1:129	0.2626	0.136	1.926	1:112
0.50	0.2984	0.158	1.889	1:133	0.3418	0.168	2.030	1:116
0.60	0.4707	0.227	2.069	1:141	0.5392	0.242	2.224	1:123
0.70	0.692	0.309	2.235	1:148	0.7927	0.330	2.402	1:130
0.80	0.9662	0.404	2.390	1:155	1.1069	0.431	2.568	1:136
0.90	1.2970	0.512	2.534	1:162	1.4859	0.546	2.723	1:141
1.00	1.6879	0.632	2.671	1:162	1.9337	0.674	2.870	1:146
1.10	2.1421	0.764	2.802	1:173	2.4540	0.815	3.011	1:151
1.20	2.6626	0.910	2.926	1:178	3.0503	0.970	3.144	1:156
1.35	3.5743	1.151	3.104	1:185	4.0947	1.228	3.335	1:162
1.50	4.651	1.421	3.272	1:192	5.3286	1.515	3.516	1:168

주) I 는 유입구 첫 관체의 기울기로서 위의 기준치로 하며, 약간 급하게 해도 된다.

(2) 조절 및 제수부가 있는 유입부 (그림 4.7.32)

관체 시점부가 소요 피복공(매설심)이 있어야 되는 급경사 지역에 있어 상자(box)형 유입부로 설계할 경우 관체단면은 오리피스 공식으로 결정한다.

$$Q = AV, \quad V = C\sqrt{2gH}$$

여기서, C: 유량계수 (0.6)

H: 상자형 수면에서 관체 중심까지의 높이 (m)

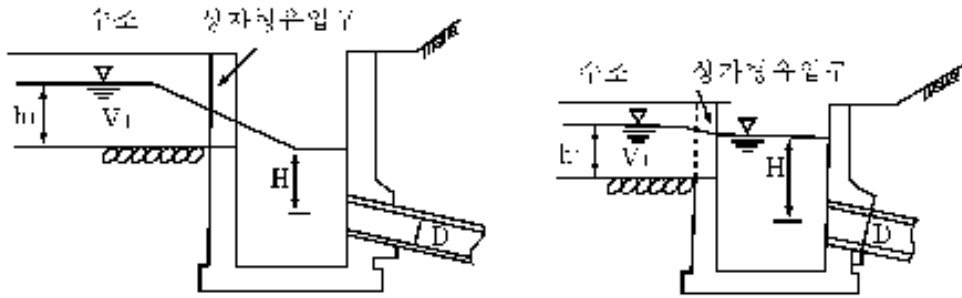
관체시점부 유속  $V=2.5\text{m/s}$ 로 하면,

$$2.5 = 0.6\sqrt{2 \times 9.8H} \text{ 에서 } H = 0.886\text{m}$$

상자형의 유입단면 소요 H가 충분하여 완전유햄류 낙차공이 될때의 낙구폭 b는

$$b = \frac{Q}{a^{\frac{1}{2}} \times 1.70 \times H_e^{\frac{3}{2}}} = \frac{Q}{a^{\frac{1}{2}} \times 1.70 \times \left( h_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}}} \quad \text{-----(4.7.57)}$$

소요낙차 H가 불충분하여 잠류가 될 때는 식 (4.7.7), (4.7.8)를 참조하여 노치단면을 결정한다.



(a) 완전월류인 경우

(b) 잠류인 경우

그림 4.7.32 수조상자형 유입구 구조

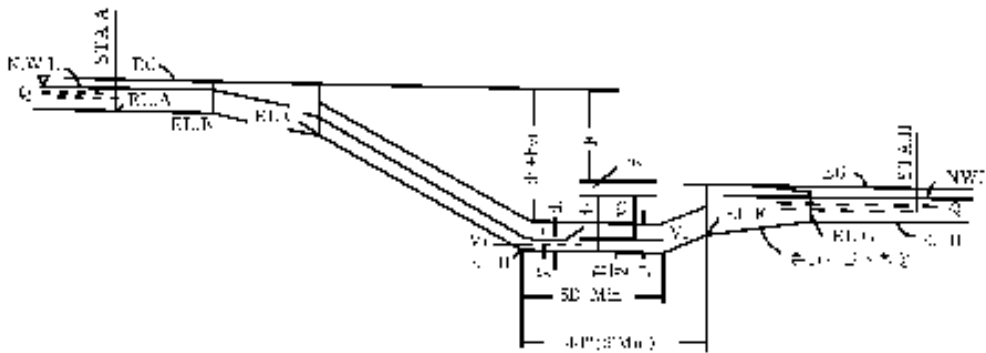


그림 4.7.33 제 I 호형 관급류공의 관 정수지





$$Y_1 = d_2 - \frac{b}{2}, \quad \Delta V = V_1 - V_2, \quad h_{v1} = \frac{V_1^2}{2g}$$

위 식을 이용 계속 계산하여  $d_2$ 를 결정한다. 위 식 중 좌측은 상류 등류(NWL) 상태에서 유입구로 흐르는 상태를 한계류로 계산하여  $d_2, V_1$  등을 구하여  $d_{1V}$  지점의  $Y_1$ 은 다음과 같이 구한다.

$$W = 2\sqrt{(D - d_1) d_1} \quad \text{-----}(4.7.63)$$

여기서,  $W=d_1$  점의 수면폭

$$Y_1 = \frac{A_1}{W} \quad \text{-----}(4.7.64)$$

※  $d_1, V_1$  계산은 4.7.3, 나, 2), 다) 항을 참조한다.

#### (4) 충격형 정수지(Impact type stilling basin)

##### (가) 특성

유량이 비교적 적을 경우 상자형, 충격형 감쇄공은 연직으로 매달린 배플(baffle)에 유입 사류의 충돌과 충돌한 후 사류의 방향 전환에서 생기는 와류에 의하여 하류 수심에 관계없이 초과 에너지를 소산하게 되므로, 같은 프루드 수에 대하여 도수형 감쇄공으로 설계할 경우보다 유리한 경우가 많다.

##### (나) 적용 및 구조세목

- 유량  $Q_{\max}$ 은 표 4.7.8를 참조하고 그 이상의 유량인 경우는 여러 개를 설치한다.
- 유속  $V_{\max}=15.24\text{m/s}$
- 하류 수위가 배플 높이의 중간에 가깝고 초과하지 않을 때 수리작용이 가장 좋다.
- 배플의 바닥은 하류 수로 또는 관의 바닥과 같은 높이에 있어야 한다.
- 배플의 벽상에 작용하는 충격으로 인한 활동에 저항하도록 구조물을 설계해야 한다.(큰 동수압에 의한 진동 및 교란류에 안전한 구조일 것)
- 하류수가 얇을 때 말단부에서 하류 유출수로는 세굴이 되므로 인접한 수로 바닥과 측면에 보호공을 한다.
- 정수지의 유입 수로는 일반적으로 관수로로 하고 유입부는 정수지의 내폭보다 작은 개수로로 할 수 있다.
- 상류 관유입부가 수로의 경사변환으로 인한 도수로가 만류될 경우 관경의 1/6의 공기밸브를 도수로의 상류에 설치한다.

##### (다) 설 계

그림 4.7.35 및 표 4.7.8을 참고하여 설계한다.

## 라. 배플 슈트(Baffle Chute)의 설계

### 1) 특징

급수로에서 하류 수로로 유입될 때 유속이 작아지도록 배플 피어(Baffle pier)를 설치하여 급사면으로 흘러내릴 때 초과 에너지를 분산하여 흐름을 억제하도록 한 공작물로서 정수지 설치가 곤란한 지역에서 사용되며, 그 특징은, ① 일반적으로 경제적이다. ② 낙차가 크에도 불구하고 말단부 유속이 작다. ③ 흘러내릴 때 방수작용에 영향을 미치지 않는다. ④ 정수작용을 효과적으로 하기 위해 정수지에서는 필요한 초기의 하류부 수심이 필요하지 않는다.

표 4.7.8 충격형 정수지의 설계치수표

사용PIPE		최대 유속 Qm/s	설 계 치 수																
D	A		W	H	L	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	t	t <sub>p</sub>	t <sub>b</sub>
0.50	0.1963	0.6083	1.20	1.10	1.50	0.50	0.40	0.70	0.25	0.30	0.35	0.25	1.00	0.60	0.125	0.075	0.15	0.15	0.20
0.60	0.3826	0.8758	1.40	1.30	1.80	0.70	0.45	0.80	0.30	0.30	0.45	0.30	1.20	0.60	0.15	0.10	0.15	0.15	0.20
0.70	0.3846	1.1919	1.70	1.40	2.10	1.00	0.40	0.80	0.35	0.30	0.65	0.35	1.20	0.70	0.175	0.125	0.20	0.15	0.20
0.80	0.5024	1.5569	1.90	1.50	2.40	1.00	0.65	0.90	0.40	0.35	0.65	0.40	1.20	0.75	0.20	0.125	0.20	0.15	0.20
0.90	0.6358	1.9703	2.10	1.60	2.70	1.10	0.75	0.90	0.45	0.40	0.70	0.45	1.20	0.75	0.225	0.15	0.20	0.15	0.20
1.00	0.7854	2.4327	2.40	1.80	3.00	1.30	0.80	1.00	0.50	0.45	0.80	0.50	1.20	0.75	0.25	0.15	0.20	0.15	0.20

주) 1. 표는 농업토목시험연구소 수리모형실험에 의한 치수임.

#### 2. 이용상의 주의

- ① 구조물의 각 부분의 치수기준인 W(정수지내폭) 산출은 유량 Q에 대한 근사치로서 프루드 수에 의해 산출한 값을 비교한 후 제 단면을 결정한 것임.
- ② 각 관(pipe)의 최대유속  $V_{max}=3.65\text{m/s}$ 로 하여 최대유량을 결정한 것임. (Design of Small Canal Structures의 Pipe drop편 참조)

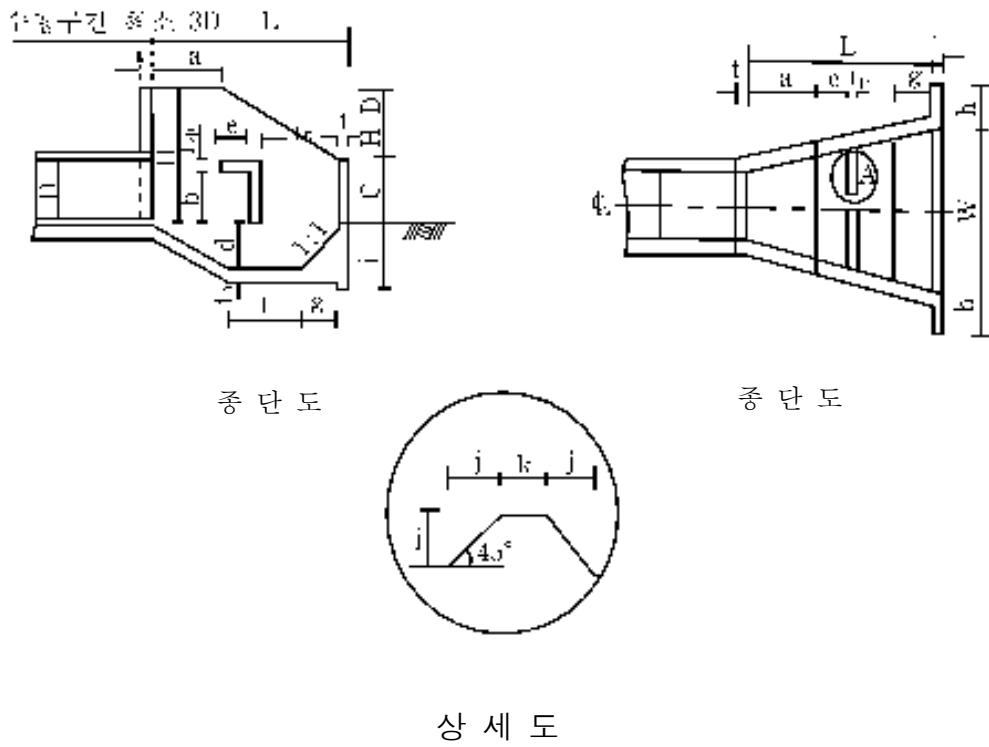


그림 4.7.35 정수지의 구조

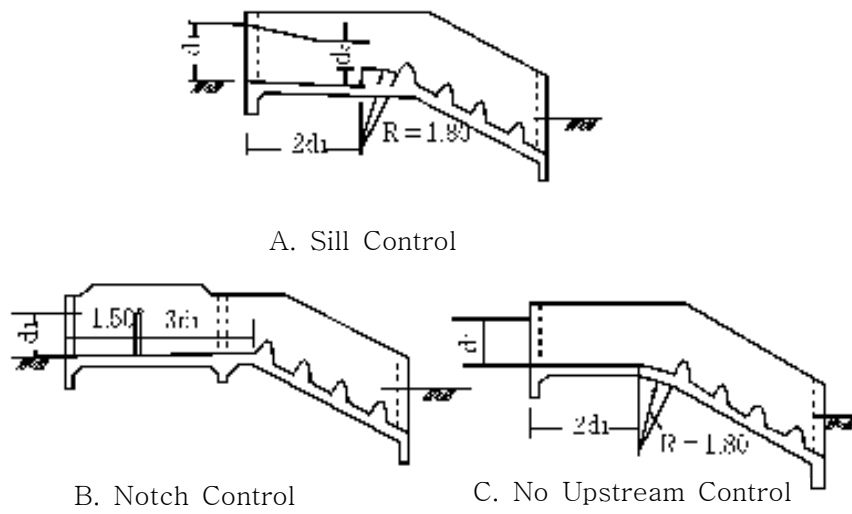


그림 4.7.36 배플 슈트의 종단면도

## 2) 구조

배플 슈트 각 부분 구조의 특성과 치수 결정의 유의사항은 다음과 같다.

- 급류공 기울기는 1:2의 경사 이하로 한다.
- 급사면 정부(crest)에 곡률반경을 둔다.
- 배플 피어의 첫줄은 정부 표고보다 0.3m보다 낮지 않도록 한다.
- 피어의 높이  $H=0.8D_c \sim 0.9D_c$ 로 한다.

$$\text{구형단면 한계수심 } d_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

- 배플 피어의 폭과 간격은  $1.0H \sim 1.5H$ 로 하고, Partial baffle pier 폭은  $\frac{1}{3}H \sim \frac{2}{3}H$ 로 하며, 격렬로 교호되게 한다. Pier 상단 두께는  $0.20 \sim 0.25m$ 로 한다.
- 배플 피어의 열 간격은 고차로  $H$  이상  $1.8m$  이하이다(경사 1:2의 급류면에서는  $2H$ 이다).
- 배플 피어의 상류면은 급류면에 직각이며, (물이 많이 튀어 에너지 분산이 크고 와류가 적다) 배면경사는 1:0.5로 한다.
- 피어의 열 수는 4열 이상이다.
- 측벽 높이는 바닥에서 직각으로 배플 피어 높이의 3배 이상이 되어야 한다.
- 배플 피어의 한 열 이상을 와류 방지를 위해 유출구 수로 바닥 아래로 묻히도록 한다.
- 유출구는 확폭한다.
- 측벽의 하류말단은 세굴을 방지하기 위해 보호공을 한다.

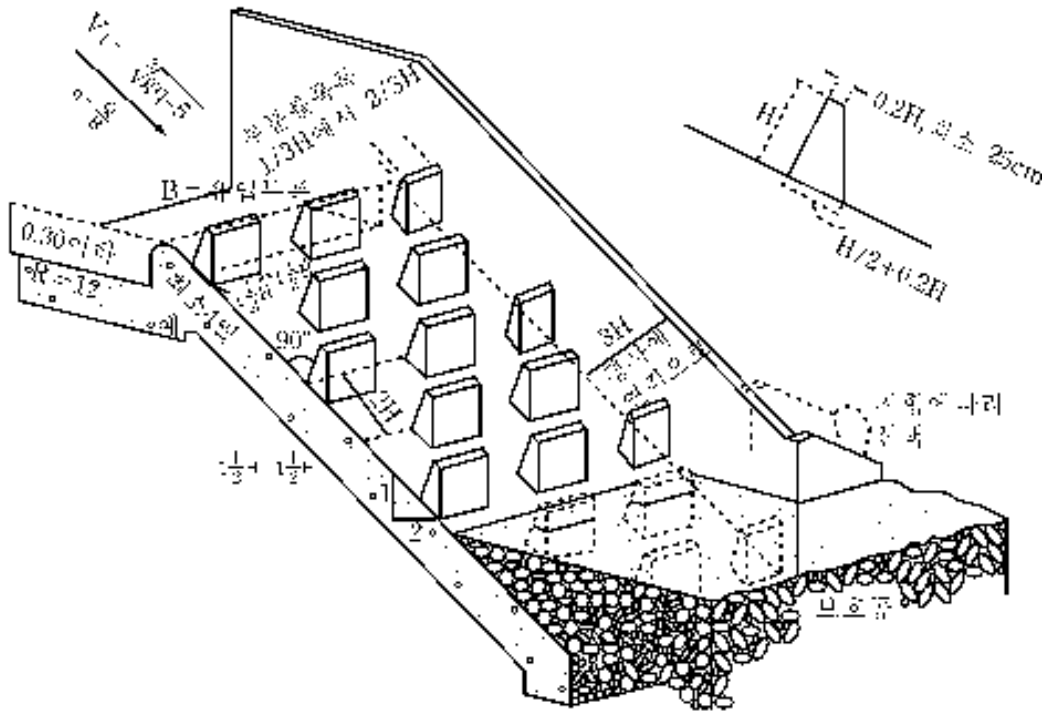


그림 4.7.37 배플슈트의 기준 치수

### 3) Sill Control

유입구 길이는  $2d_1$  이상으로 한다. 유입구 바닥보다 높게 요구되는 Sill의 높이는 상류 수로와 유입구 사이의 에너지 균형으로 결정한다.

$$H_{e1} = H_{ec} + h_i + h_s \quad \text{혹은} \quad h_s = H_{e1} - H_{ec} - h_i$$

$h_s$ : Sill의 높이  $H_{e1} = d_1 + h_{v1}$  (상류수로 비에너지)

$H_{ec} = d_c + h_{vc}$  (Sill에서 조절단면(한계류)이 된다.)

$h_i$ 는 유입손실수두

$$h_i = 0.5 \Delta h_v = 0.5(h_{vc} - h_{v1}) = 0.5 \left( \frac{V_c^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

실(sill) 정부의 곡선은 최대: 2.70 m, 보통: 1.80 m

실로 인해 상류에 고여있는 물을 배제하기 위해 0.15 m의 홈통을 둔다.

### 4) Notch Control

직사각형 유입단면은 Control notch로부터 1.50 m 상류에서 시작하고, Notch와 Sill

간의 길이는 상류수심의 3배로 한다.

5) 수리제원

유입구 접근유속  $V_1$ 은 한계유속  $V_c$ 보다 작고 물의 틈이 적도록  $V_1 \leq \frac{V_c}{2}$ 가 됨이 좋다.

유입이론유속( $V_1$ )과 한계유속( $V_c$ )

$$q = \frac{Q}{B} \quad \text{or} \quad B = \frac{Q}{q}, \quad V_c = \sqrt[3]{g \cdot q} \quad (\text{m/s})$$

$$V_1 = \sqrt[3]{g \cdot q} - 1.52 \quad (\text{m/s}) \quad D_c = \frac{q}{V_c} = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

여기서,  $g: 9.8 \text{ (m/s}^2\text{)}$

$B: \text{폭 (m)}$

$Q: \text{총 유량 (m}^3\text{/s),}$

$q: \text{단위폭당 유량 (m}^3\text{/s/m)}$

표 4.7.9 Q에 대한 q의 값

Q (m <sup>3</sup> /s)	q (m <sup>3</sup> /s/m)	비 고
0 ~ 1.104	0.4645 ~ 0.929	각 항의 범위 내의 Q에 대한 q 값은 비례적인 값을 사용한다.
1.133 ~ 2.803	0.929 ~ 1.3945	
2.832 ~ 5.362	1.3945 ~ 1.858	
5.380 ~ 43.026	1.858 ~ 2.787	

Q	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4
m	0.21	0.33	0.44	0.53	0.61	0.69	0.77	0.84

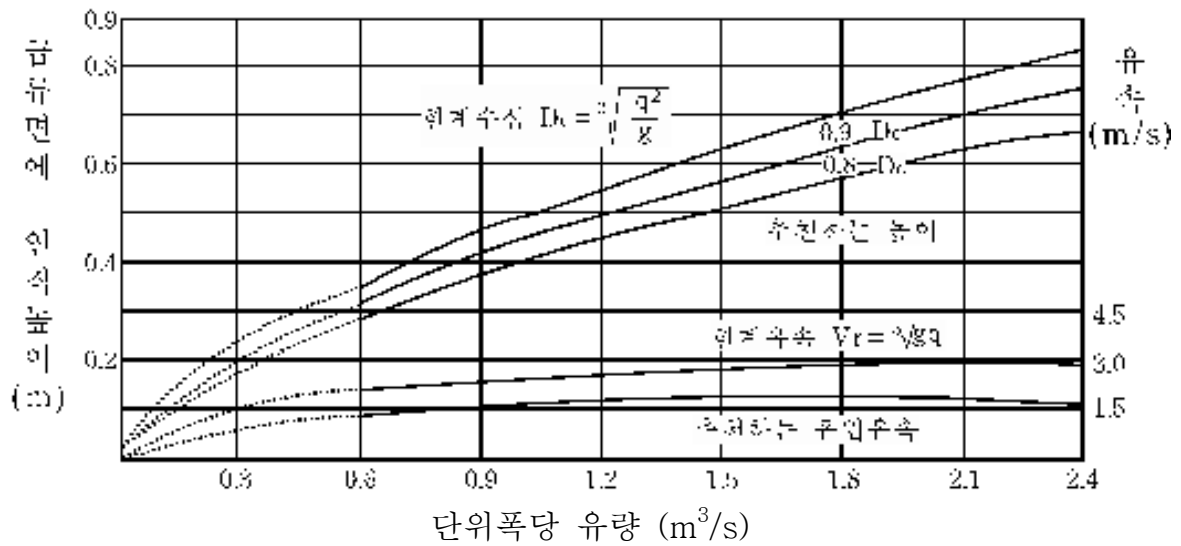


그림 4.7.38 배플 슈트의 허용유속과 Baffle Pier의 높이

[배플 제원계산 예]

조건 $Q=3.398 \text{ m}^3/\text{s}$	$h_{v1}=0.0203 \text{ m}$
$b=2.438 \text{ m}$	$n=0.025$
$d_1=1.25 \text{ m}$	$I=0.00035$
$A_1=5.39 \text{ m}^2$	$S=1:1.5$
$V_1=0.630 \text{ m/s}$	$F_b=0.60 \text{ m}$
낙차 $1.8 \text{ m}$	

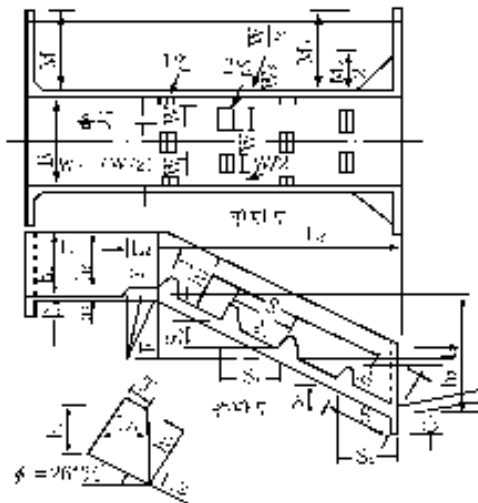


그림 4.7.39 배플 슈트의 설계

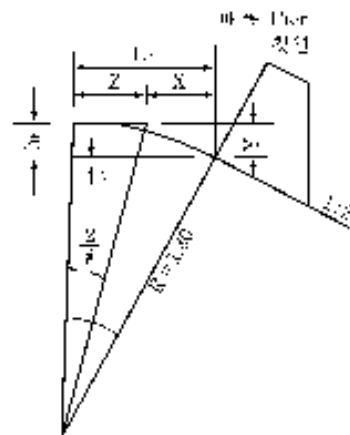


그림 4.7.40 Sill 곡선

○ 표 4.7.9에서  $Q=3.398 \text{ m}^3/\text{s}$ 에 대해  $q=1.486 \text{ m}^2/\text{s}$ 이므로,

$$B = \frac{Q}{q} = \frac{3.398}{1.486} = 2.29 \text{ m}$$

$$\text{○ } d_c = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} = \left( \frac{1.486^2}{9.8} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.61 \text{ m}$$

$$h_b = 0.9 \cdot d_c = 0.9 \times 0.61 \approx 0.55 \text{ m}$$

배플 피어의 폭과 간격  $W$ 는  $h_b \leq W \leq 1.5h_b$  이므로 최소  $W=h_b=0.55 \text{ m}$ , 최대  $W=1.5h_b=1.5 \times 0.55=0.825 \text{ m}$

### 가. 배플 피어의 결정

측벽의 부분 pier 폭을  $W_p$ 라 하면,

$$W_p = \frac{1}{3} h_b \sim \frac{2}{3} h_b \text{ 로 } W_p = \frac{W}{2} \text{ 로 가정하면}$$

배플 피어 1열과 3열의 폭  $B$ 에 대한 배치는

1개의 완전한 Pier 길이: $1W$	2열과 4열
2개의 완전한 간격: $2W$	2개의 완전한 Pier 길이: $2W$
2개의 부분 Pier 길이: $1W$	1개의 완전한 간격: $1W$
계	2개의 부분 간격 : $1W$
$B': 4W$	$B': 4W$

최소 Pier 폭을  $0.55 \text{ m}$ 로 하면,

$B'=4 \times 0.55=2.20 \text{ m}$ 이나  $B' < B$  즉  $2.20 \text{ m} / 2.29 \text{ m}$ 이며, 치수를 간단히 하기 위해  $W=0.60 \text{ m}$ 로 한다 ( $0.55\text{m} < 0.60\text{m} < 0.825\text{m}$ ), 그리고  $W_p=0.30\text{m}$  ( $0.18\text{m} < 0.30\text{m} < 0.36\text{m}$ ).

배플피어 상단두께

$$B = 4W = 4 \times 0.6 = 2.4 \text{ m}, \quad q = \frac{Q}{B} = \frac{3.398}{2.4} = 1.42 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$$

$$d_c = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{\frac{1}{3}} = \left( \frac{1.42^2}{9.8} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.59 \text{ m}$$

$$h_b = 0.9 \times d_c = 0.9 \times 0.59 = 0.53 \text{ m}$$

배플 피어 상단두께  $T$ 는  $0.20 < T < 0.25 \text{ m}$ 이므로  $T=0.23 \text{ m}$ 를 택한다.



나. 유입구 길이

$$L_i = 2 \times d_1 = 2 \times 1.25 = 2.50 \text{ m}$$

다. Sill의 치수

○ 높이:  $h_s$

$$B = 2.40 \text{ m}, \quad q = 1.42 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}, \quad d_c = 0.59 \text{ m} \text{ 이므로}$$

$$V_c = \frac{q}{d_c} = \frac{1.42}{0.59} = 2.407 \text{ m/s}$$

$$h_{vc} = \frac{V^2}{2g} = \frac{2.401^2}{19.6} = 0.295 \text{ m}$$

$$h_s = H_{e1} - H_{ec} - h_i \text{ (} h_i \text{는 유입손실)}$$

$$= (d_1 + h_{v1}) - (d_c + h_{vc}) - 0.5(h_{vc} - h_{v1})$$

$$= (1.25 + 0.02) - (0.59 + 0.295) - 0.5(0.295 - 0.02)$$

$$= 0.25 \text{ m} \rightarrow 0.30 \text{ m} \text{ (최소높이 } 0.30 \text{ m)}$$

○ 유수의 물 틈을 최소로 하기 위한 유입유속  $V_1$ 과 유입구 지수벽 깊이  $d_1$

$$d_1 = h_s + d_c + h_{vc} = h_s + d_c + \frac{d_c}{2} = 0.30 + 0.59 + 0.295 = 1.19 \text{ m}$$

$$\approx 1.20 \text{ m}$$

유입유속

$$V_i = \frac{Q}{A_1} = \frac{Q}{d_1 B} = \frac{3.298}{1.25 \times 2.4} = 1.10 \text{ m/s}$$

Sill 정부(crest)의 한계유속  $V_c$ 는

$$V_c = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{d_c B} = \frac{3.298}{0.59 \times 2.4} = 2.33 \text{ m/s}$$

$$V_i : V_c = 1.10 : 2.33 \approx 1 : 2.1 \text{ 이므로 물틈이 최소로 된다.}$$

○ Sill 길이  $L_2$ 와  $e$  값

$$\text{반경 } R = 1.80 \text{ m}, \quad \text{바닥기울기 } 1:2$$

$$\psi = \tan^{-1} 0.5 = 26^\circ 34' \quad \sin \psi = 0.4472 = \frac{Y}{2}$$

$$\tan \psi = 0.5 \frac{Y}{X} \quad \frac{\Psi}{2} = 13^\circ 17' \quad \tan \frac{\Psi}{2} = 0.2361 \frac{Z}{R}$$

$$Z = 0.2361 R = 0.2361 \times 1.8 \approx 0.43 \text{ m}$$

$$Y = 0.4472 Z = 0.192 \approx 0.20 \text{ m}$$

$$X = \frac{Y}{0.5} = \frac{0.20}{0.5} = 0.40 \text{ m}$$

$$L_2 = X + Z = 0.40 + 0.43 = 0.83 \text{ m}$$

$$e = h_s - y = 0.30 - 0.20 = 0.10 \text{ m}$$

**라. Baffle Pier 열의 간격 S**

최소  $S = 2h_b = 2 \times 0.53 = 1.06 \text{ m}$  이나  $S = 1.80 \text{ m}$  를 사용한다.

**마. 피복 최소두께(J)**

배플피어의 최종 열이 되메움에 덮여지도록

$$S_y = S \sin\Phi = 1.80 \times 0.4472 = 0.80 \text{ m}$$

$$h_y = h_b \cos\Phi = 0.53 \times 0.8944 = 0.47 \text{ m}$$

$$J = S_y + h_y = 0.80 + 0.47 = 1.27 \approx 1.30 \text{ m}$$

**바. 낙차 1.8m에 대한 물받이(Apron) 길이**

$$L_y = e + S + J = 0.10 + 1.80 + 1.30 = 3.20 \text{ m}$$

Pier의 최소 열수는

$$R_{ow} = \frac{L_y}{S_y} = \frac{3.20}{0.80} = 4 \text{ 열} \dots\dots\dots \text{OK}$$

$$L_3 = 4S = 4 \times 1.80 = 7.20 \text{ m}$$

$$L_y = 4S_y = 4 \times 0.8 = 3.26 \text{ m}$$

$$L_3 = 4S_y = 4 \times 1.8 \times \cos\Phi \approx 6.44 \text{ m}$$

**사. 구조물의 전 길이**

$$L = L_1 + L_2 + L_3 = 2.5 + 0.83 + 6.44 = 9.77 \text{ m}$$

**아. 측벽의 높이**

$$h_1 = d_1 + 0.30 = 1.25 + 0.30 = 1.55 \text{ (여유고 } 0.30\text{m)}$$

$h_1$ 에서  $h_2$ 까지 바닥과 벽의 정부가 수평이 되므로

$$h_2 = h_1 - h_s = 1.55 - 0.30 = 1.25 \text{ m}$$

급류부의 높이  $h_3$

$$h_3 = 3h_b = 3 \times 0.53 = 1.59 \approx 1.60 \text{ m}$$

**자. 상류 날개벽의 길이  $M_1$**

$$M_1 = 1.5h_1 + C_1$$

수심  $d_1 = 1.25 \text{ m}$ 에 대해 지수벽 깊이  $C_1 = 0.75 \text{ m}$

$$\therefore M_1 = 1.5 \times 1.55 + 0.75 = 3.08 \text{ m}$$

#### 차. 하류 날개벽

$$M_3 = 1.5 h_3' + C_3$$

$$h_3' = \frac{h_3}{\cos\Phi} = \frac{1.60}{0.8944} = 1.79 \approx 1.80 \quad C_3 = 0.75 \text{ m}$$

$$\therefore M_3 = 1.5 \times 1.80 + 0.15 = 3.45 \text{ m}$$

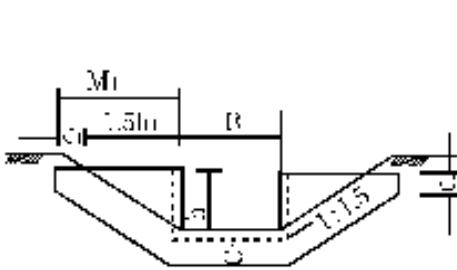


그림 4.7.41 상류측 날개벽

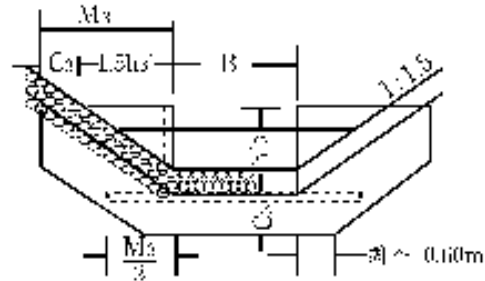


그림 4.7.42 하류측 날개벽

## 4.8 조절시설

### 4.8.1 일반사항

수로의 이수기능과 통수의 안전성을 확보하기 위한 조절시설로서 수로조직의 실정에 따라 유량, 유속, 수위, 압력 등의 수리조건을 조절하는 수위조절시설, 물넘이, 방수공, 조절지, 조압시설, 배수문 등을 설치한다.

또한 조절시설은 용·배수계획에 의한 이수조건, 노선의 입지조건, 물 관리조건 등을 고려하여 충분한 조절능력을 가지며 안전하고 경제적이 되게 해야 한다.

조절시설(regulating structure)은 협의로는 수위조절시설만을 뜻하기도 하지만, 여기서는 수로의 수리조건(유량, 유속, 수위, 압력 등) 중 한 가지 이상을 인위적으로 조절하는 시설, 즉 수위조절시설, 물넘이, 방수공, 조절지, 조압시설, 배수문 등 조절시설을 취급한다.

조절시설은 타 수로시설과 함께 물 관리에 있어서 중요한 시설이다. 따라서 조절시설은 수로조직 전체에 걸쳐서 계획초기에 일관된 물 관리방식의 선택, 각 시설의 배치계획 등 수로조직설계를 기본으로 하여 완성후의 유지관리에 활용해야 한다.

물 관리방식을 선택할 때에 상정되는 수로조직의 물 제어방식으로서는 수위제어, 압력제어, 유량제어가 있고 이들의 각 특징은 다음과 같다. 이들의 제어방식과 함께 수로의 관리수준 및 자유도에 따라 여러 가지 조절시설을 적당히 배치해야 한다.

### 가. 수위제어

물 관리조직에서 피제어량(被制御量)으로 수위를 이용하고 수리시설을 조작하는 제어방식이다. 수위를 항상 일정하게 조절하는 정수위 제어와 조건에 따라서 수위를 변화시키는 설정 수위제어가 있다.

### 나. 압력제어

수위제어에서 목표지점이 관수로(Pipe line)인 경우는 피제어량은 압력이 된다. 압력을 이용하여 수리시설을 조작하는 제어는 수위제어와 같이 정압력 제어와 설정 압력 제어로 분류할 수 있다.

### 다. 유량제어

물 관리조직에서 피제어량으로 유량을 이용하고 수리시설을 조작하는 제어방식으로 수위제어와 같이 정유량 제어와 설정 유량제어로 분류할 수 있다.

그리고 조절시설의 종류와 특징을 보면 다음과 같다.

#### 1) 수위조절시설

수위조절시설은 제수문(check gate)을 뜻하는 것으로 수로내의 유량변화에 의한 수위변동을 조절하는 시설로 수로 내에 웨어 또는 게이트를 설치한다. 수위조절시설을 수로조직 내에 적절히 설치하면 수로관리상 다음과 같은 이점이 있다.

- 가) 분수공에서 확실하고 안정하게 유량을 분수할 수 있다.
- 나) 급격한 수위변동에 의한 수로조직의 손상을 방지하며 물넘이, 방수공 지점에 대한 수위, 유량을 조절하여 안정을 기할 수 있다.
- 다) 저하배수곡선(drop down curve)에 의해 예기치 않은 빠른 유속발생을 방지하여 수로의 침식, 세굴 및 손상을 방지할 수 있다.
- 라) 배수로에서는 지하수의 과도한 저하와 그에 따른 용수량의 증가를 방지할 수 있다.

#### 2) 물넘이, 방수공

- 가) 수로기능의 유지와 안전을 확보하기 위하여 설치하는 시설이다.
- 나) 물넘이는 취수지점에서의 과잉유입수, 강우시 수로주변에서의 유입홍수량, 분수공의 폐쇄에 의한 잉여수 등을 배제시키는 시설로서 방수공과 병설하는 경

우가 있다.

다) 방수공은 필요에 따라 수로의 전체 통수량을 방류시키려는 것으로 주로 수로의 일정구간이 공백상태가 되도록 조작한다.

### 3) 조절지

취수량, 통수량 및 용수량이 시간적으로 크게 변화할 때는 수로조직 중에 조절지를 설치하는 것이 물 이용에 유리한 경우가 많다. 따라서 그 가능성과 경제성을 충분히 검토한 후 설치한다. 조절지는 수원의 취수량, 수로 통수량, 경지의 용수량간에 발생하는 불균형을 조절하므로 용수관리상 일어나는 수량손실을 최대로 방지함과 동시에 수로의 기능을 유기적, 탄력적으로 유지시키는 저수지라 할 수 있다.

각 유량의 불균형은 특히 시간적 변동에 따라 일어나는 것으로 수로연장이 긴 수로일수록 그 영향이 심하다. 조절지에는 상·하류 수로의 낙차를 이용하여 간선수로의 중간에 저수지를 설치, 하류의 용수량에 따라 자연 유하하는 형식과 지선의 분수점 이하에 설치하여 저류수를 그 지선의 수요에 따라 공급하는 형식이 있는데 후자를 일반적으로 팜폰드(farm pond)라 한다.

용·배수겸용의 수로에서는 용수에 필요한 수위를 유지하는 조절시설을 계획한다. 또 배수로 및 용·배수겸용 수로에서는 방류하천(배수 본류)의 수위상황에 따라 역류를 방지하기 위한 시설이 필요할 때가 있다.

## 4.8.2 수위조절 시설

수위조절시설은 계획한대로 수위를 유지시킴으로써 안정적으로 분수함과 동시에 물넘이, 방수공 등의 작동을 효율적으로 하기 위하여 설치된다.

수위조절시설의 배치 및 구조형식은 분수공, 물넘이, 방수공 등의 위치, 수로의 유량변동과 수위변화 등을 고려하여 적절한 수위제어방식에 의하여 물 관리가 용이하도록 하여야 한다.

### 가. 일반사항

수위조절시설(이하 「체크 게이트: check gate」라 함)은 유량변동에 대한 수위변화를 제어하고 물 관리조직에 있어 수위제어를 목적으로 설치한다. 따라서 유량변화에 따라 생기는 수위변동에 대응하는 분수게이트, 밸브 등의 조작 횟수를 줄일 수 있으며 유량급변에 대한 완충효과, 저류효과 등 물 관리를 탄력적으로 운용할 수 있는 효과가 있다. 또한 수위제어에 따른 효과로서는 물 관리의 탄력적 운용 이외에 다음과 같은 이차적인 효과가 기대된다.

- ① 정수위를 확보하여 분수의 안전성을 높여서 분수공의 지배범위를 확대하는 효과
- ② 수로저류에 의하여 수로에의 부력 또는 양압력, 토압 등의 외압에 대응하는 효과
- ③ 저류에 따른 잡초생육방지
- ④ 유속을 억제함에 따른 수로내부의 세굴, 마모방지
- ⑤ 수로의 건설 (또는 만류, 공허) 변화에 대한 각종 불안정성의 방지
- ⑥ 게이트에 의한 방수공, 물넘이의 작동 효율 향상 등의 효과

체크 게이트는 ① 수로계 전체의 체크시스템 방식의 결정, ② 체크 게이트의 배치, ③ 각 체크 게이트의 형식결정, ④ 각 체크 게이트의 설계 등 단계에 따른 제 조건을 고려하여 합리적으로 설계되도록 한다.

표 4.8.1 체크 게이트의 수위조절방식의 특성

방식 항목		상류수위 제어방식	하류수위 제어방식
체크 게이트 기능		상류수위변화(유량변화)에 따라 체크 게이트가 작동되어 자동적으로 개폐가 조절되어 상류수위를 일정하게 유지.	하류수위의 변화(하류에서의 유량 변화)에 따라 체크 게이트가 작동되어 자동적으로 개폐가 조절되어 하류수위를 일정하게 유지.
수위변화	최고	계획 수위	체크 수위
	최저	체크 수위	계획 수위
단면결정 영향		적음	매우 큼
분수의 순위		상류 분수공에서 분수	하류 분수공에서 분수
체크 수위의 위치		설계수위 또는 약간하위수위	설계수위 또는 약간 상위수위
체크의 수두손실		적음	많음
체크 수와 공사비		적음	많음
물넘이, 방수공의 중요성		중요	매우 중요
계획설계의 난이		비교적 용이	복잡
분수관리		적당함	상류는 부적당함
수로단면의 수정		체크 게이트 배치에 의한 개수로 단면의 수정은 없다.	다음 체크 게이트 까지 사이에는 체크 수위가 설계수위보다 높아짐으로 개수로나 터널 등에 필요한 여유고 또는 덧쌓기가 필요함.
수로전체수리계산		등류에 의한 수리계산	등류에 의한 수리계산
연속설계의 경우		체크수위 중복은 꼭 필요한 것은 아니므로 설치간격에는 제약 없음. 체크수위는 상류에서 유지됨.	시설기능상 하류체크수위가 상류 체크에 달할 필요가 있어 연속설치의 여지가 없다. 수량손실도 매우 크므로 체크 수도 증가됨. 체크수위는 하류에서 유지됨.
분수공 조작 (분수량의 증감)의 영향		체크하류에서는 유량변화로 나타나지만 하류체크는 체크 수위를 보전하게 됨.	상류에 대하여 수리적으로 전달되어 이론상으로는 취수게이트 개폐까지는 연동이 가능함.
수로사고 발생시 게이트의 조작		취수게이트를 폐쇄하면 취수구로부터 사고지점까지의 체크 게이트는 자동적으로 폐쇄됨.	취수게이트를 폐쇄하여도 취수구에서 사고지점간의 체크 게이트는 자동적으로 폐쇄되지 않고 유입된 수량이 모두 사고지점으로 유하함.
방수공, 여수로의 위치		체크의 직상류에 설치함을 원칙으로 함	특별한 고려가 필요함

## 나. 체크 게이트의 수위조절방식 선정

체크 게이트의 수위조절방식에는 상류수위 제어방식과 하류수위 제어방식이 있다. 각 체크방식의 기능과 특성은 표 4.8.1과 같고 수면형은 그림 4.8.1과 같다. 이 방식의 결정에는 각 특성 외에 수로조직전체의 배치와 동시에 물 관리계획, 조절지 유무, 수두 배분, 시공성 및 경제성 등을 충분히 고려하여 선정해야 한다.

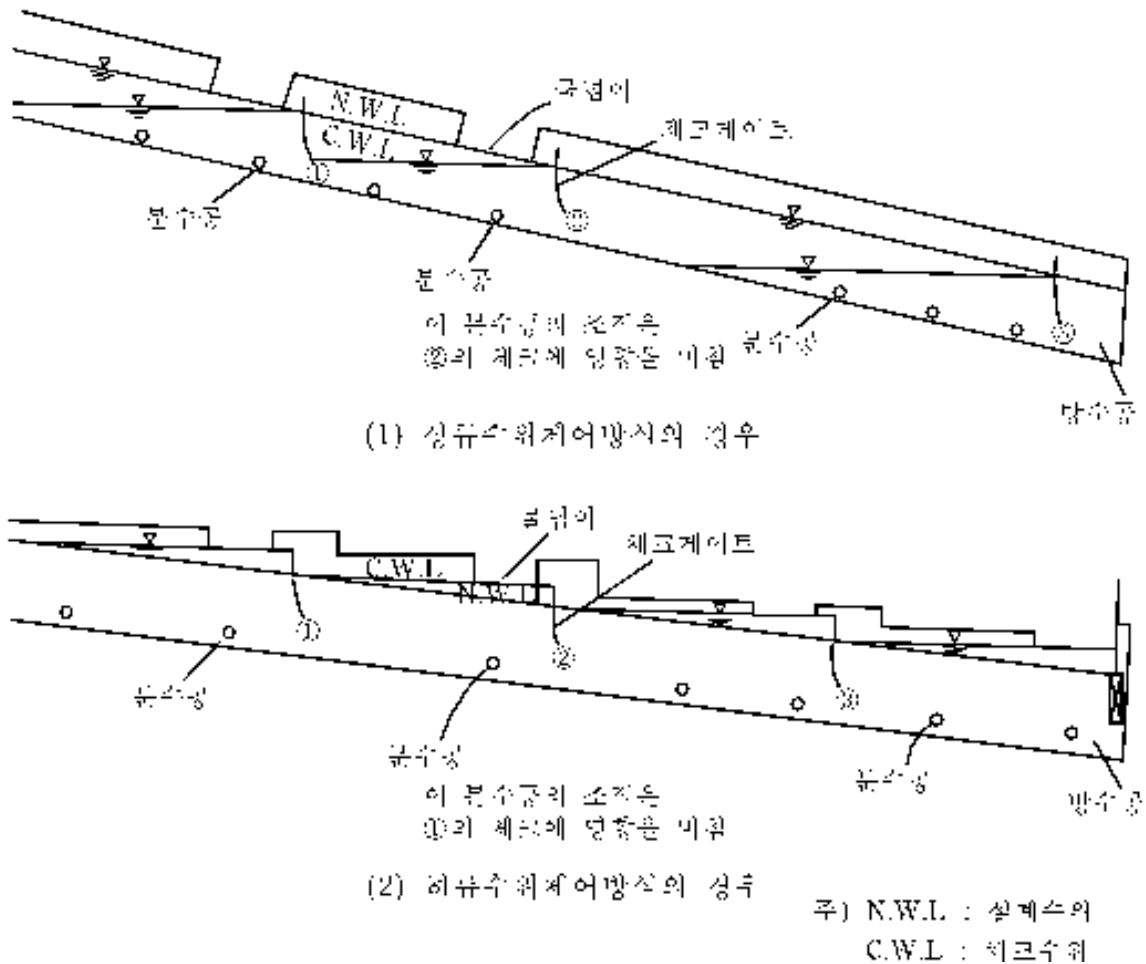


그림 4.8.1 체크방식과 수면형

## 다. 설계의 기본

### 1) 설치수위의 선정

물 관리계획에서 요구되는 수위제어의 목표치 즉 관리수준에 따른 체크수위를 유지 확보하기 위하여 체크 게이트의 설치간격, 장소 및 설치 개소수를 결정하여야 한다.



따라서 체크 게이트의 배치는 분수공 설치장소, 수로단면의 변화지점, 물넘이, 방수공의 위치와 함께 검토할 필요가 있다.

또 다음 지점에서는 수위조절시설을 설치하지 않는 것이 바람직하다.

가) 수로의 곡선부 및 그 직상·하류부, 대분수공 등의 직상·하류부에서 수위변화가 심한 지점

나) 대성토 및 연약 지반 등의 불안정 지점

다) 관리상 불편한 지점

상류수위 제어방식의 계획에서 설치위치 등 설계 기본지침은 다음과 같다.

- ① 전 수로계통에 일관된 방침에 따라 설치계획을 수립한다.
- ② 물넘이, 방수공의 바로 하류측에는 수위, 유량의 조절이 될 수 있는 수동조절시설을 설치한다.
- ③ 대분수공, 중요분수공 직하류지점에는 수위자동조절시설을 설치한다.
- ④ 하류에 체크를 설치할 경우 그 체크에 의한 체크수위가 상류 체크지점에서 거의 계획수심의 1/2 이상 확보를 표준으로 한다. 그러나 높은 절·성토구간, 유지관리상의 편의, 기초지반, 지형의 변화점 등도 충분히 고려해야 한다.

체크 형식(특히 자동체크)에 따라서는 파동과 편류 등 수리적 조건에 따라 헌팅(Hunting) 등을 발생시켜 관리상 심한 불편을 주는 경우가 많으므로 수로선형의 상·하류 구조물 등의 관계를 고려하여 최종 결정한다.

## 2) 체크형식의 선정

체크의 형식을 선정할 때는 선택할 체크시스템의 방법, 물관리계획에 따라 요구되는 정도, 조작, 물넘이 우회수로(by-pass)의 필요성 및 공사비 등을 종합적으로 판단하여 형식을 결정해야 한다.

체크의 조절목표가 되는 수위, 유량, 유속 등의 요소와 물 관리에서 요구되는 정도에 따라 ① 게이트 유무와 작동방식, ② 통수형태(오리피스 월류), ③ 보조기구의 유무, ④ 우회수로의 유무, ⑤ 물넘이, 방수공이 병설 등 요소의 조합에 의하여 여러 가지로 분류할 수 있으나 대략 분류하면 게이트의 유무와 작동방식에 따라 자동식, 조작식, 조합식, 고정식으로 대별한다.

각 체크형식의 특징을 비교하면 표 4.8.2와 같다.

가) 수동식 체크(Manual check)

인력 또는 동력 등에 의하여 임의로 게이트를 조작하는 것으로 가장 일반적인 형식이다. 임의조작이 가능하나 시간적으로 연속하여 조절의 정도를 유지하는 것이 불가능하며 정확도를 확보하기 위해서 일정한 폭이 필요하다.

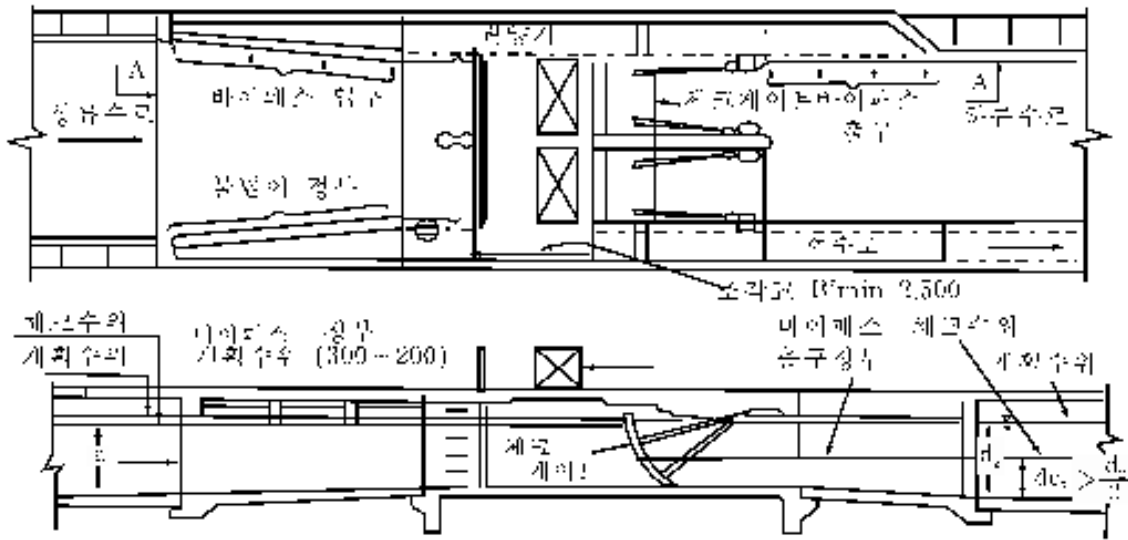
수위조절의 경우에 바이패스를 설치하므로 체크수위는 계획수위의 20~30cm 낮게 설

정한다. 기구도 단순하고 역사도 오래되어 설계지침으로 비교적 잘 정리되어 있다. 빈 지식보(Stop-log check)가 원형이고 공사비도 비교적 저렴하다.

자동식 체크는 수위유지가 주목적이나 조작식 체크는 유량도 조절하는 것으로 물넘이, 방수공과 조합하여 설치한다.

표 4.8.2 체크형의 비교표

6항목	수동식 체크	자동식 체크	조합식 체크	고정식 체크
정의	수위, 유량조절을 인위적 조작.	수위, 유량 조절을 자동으로 조작.	조작식과 자동식을 조합한 것.	게이트가 없이 월류 웨어 등의 고정정보로 된 것.
체크 시스템	일반적으로 상류 수위 제어 방식	상류수위제어 방식, 하류수위 제어방식	상류수위제어방식	상류수위 제어방식
조작	<ul style="list-style-type: none"> <li>인위적 조작을 요하므로 분수공 유량변화에 따른 체크 게이트 조작이 필요함.</li> <li>조작 생력화를 위하여 우회수로 설치·체크수위의 여유를 갖게 함.</li> </ul>	자동 조작이 이루어짐.	<ul style="list-style-type: none"> <li>통수량 중 변화가 작은 수량은 조작식 게이트로 일단조절하고, 일변화량은 자동식 게이트로 조절함</li> <li>노력이 적고 공사비가 저렴함.</li> </ul>	조작이 필요 없음
설치수위와 체크수위와의 차	<ul style="list-style-type: none"> <li>CWL(체크수위) + (10 ~ 30cm) =NWL (설계수위)</li> <li>수로규모와 조절용량에 따라 정함</li> </ul>	CWL= NWL	자동식체크수위 및 조작식 체크 수위를 다같이 체크수위와 설계 수위를 일치시킴.	<ul style="list-style-type: none"> <li>설계유량에서는 설계수위를 계산함</li> <li>체크수위는 없음.</li> </ul>
바이패스 (By-pass)의 필요성	게이트 및 오리피스형의 경우는 반드시 By-pass를 설치함	필요 없음	자동식에 해당함	
물넘이, 방수공과의 연관성	체크의 직상류에 물넘이, 방수공을 설치함	연관성 없음	체크의 직상류에 물넘이, 방수공을 설치함.	
기타	물넘이, 방수공과 병설하는 체크로 유량조절이 가능한 수위조절을 보임	<ul style="list-style-type: none"> <li>정수위조절에는 자동이므로 편리함</li> <li>기종에 따라 각종 배려가 필요함.</li> </ul>	조작식과 자동식의 결점을 보완한 것	<ul style="list-style-type: none"> <li>안전하고 견고함</li> <li>산간부나 계류부 등 관리가 어려운 곳에 적합함</li> <li>평야부에서 장대한 수로에 설치하는 예가 적음</li> <li>낙수용으로서 보조 게이트 및 밸브(변) 등을 설치함</li> </ul>



수) 유 그림의 오리피스형은 약간의 유량변동이 있어도 항상 일정수위를 유지할 수 있도록 한 조절시설임

그림 4.8.2 오리피스형 체크의 예

표 4.8.3 조작식 체크형식별 특징

구분 형식	게이트의 종류	특징	부속 바이패스
오리피스형	레이디얼 게이트, 슬루스 게이트, 롤러 게이트 등	구조가 견고하고 간단함.	바이패스가 없으면 개폐정도의 설정이 곤란함.
월류형	빈지, 기록게이트, 고무게이트	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 체크부에 토사퇴적이 쉽다.</li> <li>◦ 항시수중에 있어 고장 많다.</li> <li>◦ 공용수로에서 고장시 보수가 곤란하다.</li> <li>◦ 자동식 체크로의 변경 쉽다.</li> </ul>	유량변화에 대응 하는 게이트 개폐 정도의 설정은 오리피스형에 비하여 쉽다.

일반적으로 양측 또는 한 측에 월류형의 바이패스를 설치한다. 월류형이므로 수위 변동이 작고 유량조절 기능은 큰 특성을 가지고 있어 바이패스 용량 범위 내에서는 본체 조작 게이트의 조절이 필요 없고 대체로 체크수위가 유지된다.

조작식 체크에는 월류식 게이트에 의하여 상류수위를 확보하는 월류형, 오리피스형이 있다. 월류형은 수위조절을 주목적으로 한 것이며 오리피스형은 약간의 유량변동이 있더라도 항상 일정수위를 유지하도록 고안된 조절시설이다. 이들 각 형식의 특징은 표 4.8.3 과 같다.

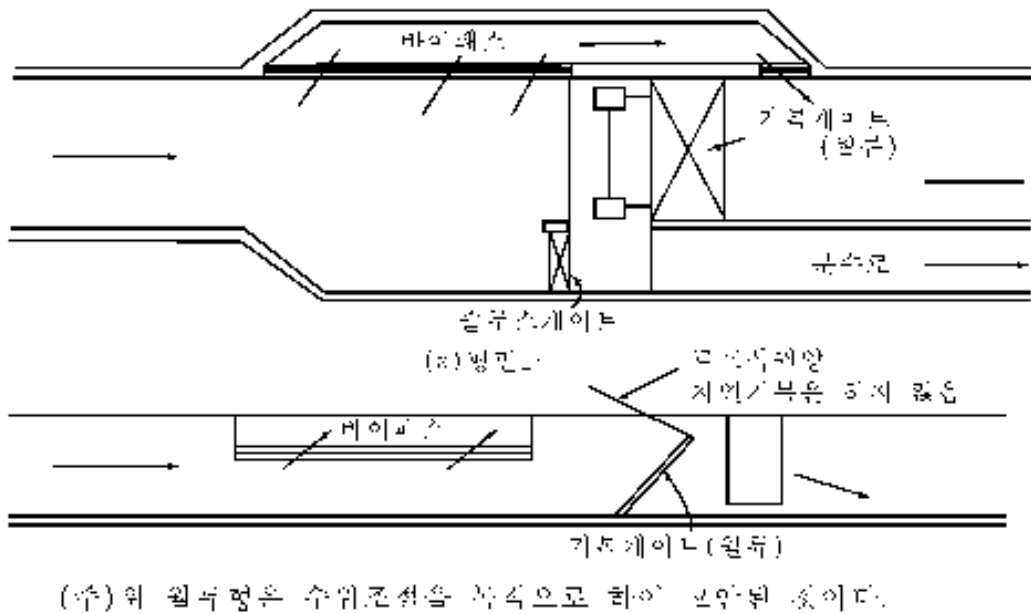


그림 4.8.3 월류형 체크의 예

나) 자동식 체크 (Automatic check)

자동식 체크는 수위, 유량을 자동식으로 조절하는 것으로 부력 또는 전동력에 의해 상류 또는 하류수위를 일정하게 유지하도록 자동식으로 게이트가 조작되는 것을 말한다. 인위적 조작의 필요가 없어 편리하나 감도가 지나치게 예민하거나 기구가 복잡하여 고장이 생기기 쉬우므로 설치나 적용조건에 배려를 요한다. 동력원을 필요로 하는 것은 유지관리가 번잡하므로 주의할 해야 한다. 계획수위를 일치시킬 수 있으므로 수위관리에는 가장 효율이 좋다.

또 자동식 체크는 조절하는 수위에 따라 상류수위 제어 게이트식과 하류수위 제어 게이트식으로 분류된다.

자동식 체크에는 구체의 부력에 의해 자동적으로 작동되어 상·하류수위를 조절하는 자동게이트와 와트맨 게이트 또는 보통게이트와 자동조작용 기구를 조합한 것 등이 있으며, 일반적으로 가격이 고가이다.

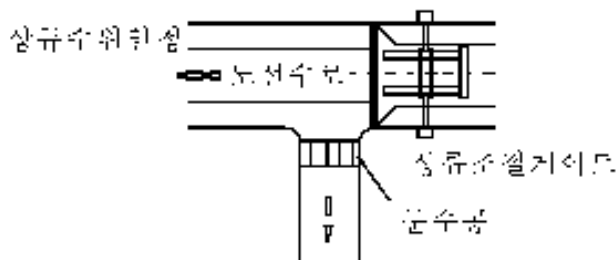


그림 4.8.4 자동식 체크 게이트

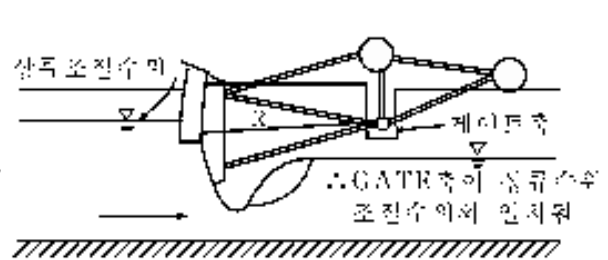


그림 4.8.5 상류수위 제어 게이트식 체크

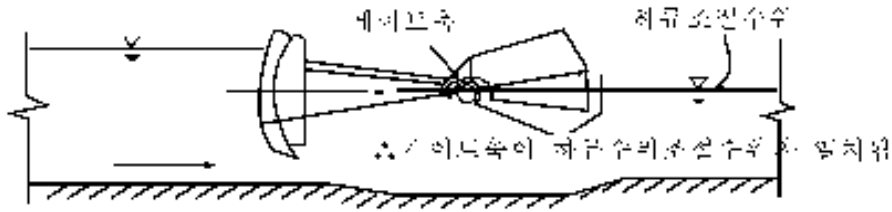


그림 4.8.6 하류수위 제어 게이트식 체크

(1) 상류수위 제어 게이트식 체크 (그림 4.8.5)

- (가) 상류수위 변동시에는 게이트 문쪽에 부대된 부자(float)와 게이트 후부에 부착된 카운터 웨이트(counter-weight)가 상류수위 변동에 따라 회전축을 중심으로 하여 균형을 이루고 게이트를 개방시켜 물을 방류하거나 보를 막아 수위를 일정하게 유지하는 것이다. 수로의 중간체크에 적합하다. 파랑, 편류 및 게이트 하류의 단파 등에 의하여 헌팅(hunting)을 일으키므로 터널, 사이펀, 암거 등의 직전·후에 접속하여 설치하지 않는 것이 좋다.
- (나) 게이트 2개 이상의 병설은 상호간에 헌팅이 발생하는 경우도 있으므로 배치에 특별히 주의해야 한다.
- (다) 게이트부는 토사의 퇴적을 방지하도록 상·하류수로보다 수심을 얕게 함이 바람직하다.
- (라) 위 게이트는 수위조절용 게이트이고 완전하게 수밀 되지 않아도 되므로 물넘이, 방수공 등의 통수차단을 필요로 하는 장소에는 사용을 피하는 것이 바람직하다.
- (마) 게이트 상·하류의 수위차는 사용 수문에 대하여 일정한 제한이 있으므로 적용범위에는 특별히 주의해야 한다.

(2) 하류수위 제어 게이트식 체크 (그림 4.8.6)

문쪽에 붙인 카운터 웨이트와 축심보다 뒤에 붙인 부자가 하류수위의 변동에 의하여 회전축을 중심으로 평행이 되고 제어수위 이상이 되면 부자가 상승하여 게이트립이 닫히며, 역으로 되면 개방되어 하류측 수위를 일정하게 유지하는 것이다.

이 게이트를 사용하면 상류수위 변동이 클 경우에도 하류수위 (취수부)를 일정하게 하므로 편리하다. 또 상·하류의 수두차가 큰 경우에도 사용이 가능하나 손실수두가 크므로 공사비가 많이 든다.

다) 조합형 체크 (Combined type check)

조합형 체크는 설계유량 중 본류는 조작식 체크 게이트로 유하시키고, 일부를 바이패스 월류보 대신에 소형의 자동식 체크 게이트로 유하시키는 것을 말한다. 개략 수위조작은 조작식 게이트로 하고 미세한 수위조정은 자동식 게이트로 한다. 일 변동유량이 적고 장기간에 걸쳐 변화가 적은 수로 또는 항상 일정유량 이상을 유하시키는

수로에 적합하고 조작식 게이트와 조합시킴으로써 자동식 게이트를 소형화하고 공사비절감, 유량 등의 조절능력증대, 인위적 조절빈도의 감소 등이 기대된다. 설계시에 유량의 분할비율은 설계유량의 내용 및 그 시기별변화와 예측한 조작 회수를 검토하여 결정해야 한다.

라) 고정식 체크 (Fixed check)

수위를 고정보 등으로 유지하는 것으로 이 형식의 체크에는 월류형과 오리피스형이 있다 (그림 4.8.7, 그림 4.8.8 참조). 반고정식으로 설치하는 빈지보도 여기에 포함된다.

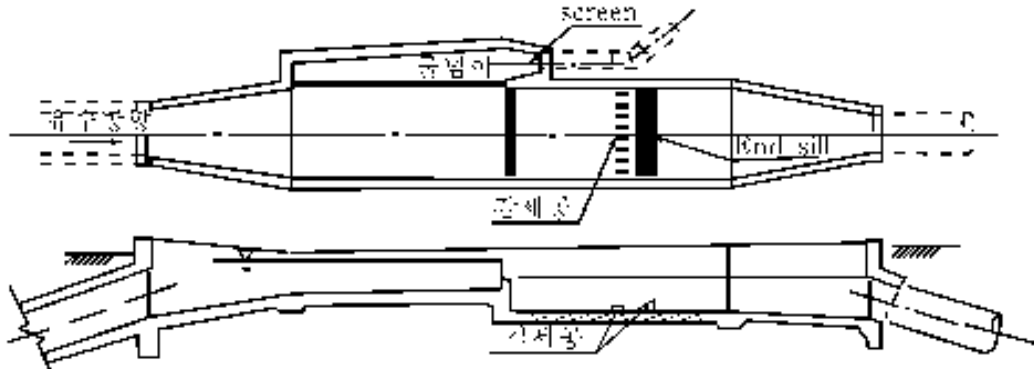


그림 4.8.7 월류형 고정식 체크

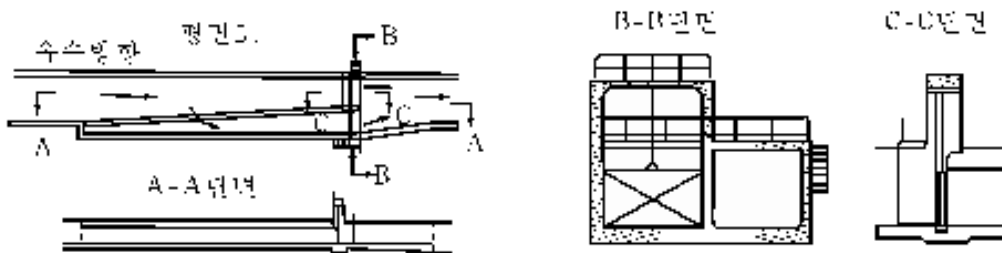


그림 4.8.8 오리피스형 고정식 체크

고정식 체크는 수두에 여유가 있고 수위의 조절 폭이 커도 좋은 경우에 적합하다. 수위변동은 크지만 최저수위는 확보되어 물넘이와 병설함으로써 유량의 개략적인 조정을 할 수 있다. 또 손실수두는 크나 고장은 거의 없고 공사비는 저렴하며 경제적이고 관리도 매우 용이하다. 더욱이 월류보 상류에는 토사퇴적이 되기 쉬우므로 토사배제방법을 검토할 필요가 있으며 물을 뺄 때를 대비해서 배수 게이트를 설치할 필요도 있다.

3) 바이패스의 수리설계

바이패스는 관리의 생력화를 위하여 가동보에 병설된 고정보 부분을 말하고 상류구

간에 발생하는 관리조절수량(분수공의 개폐에 의한 변동량 등)을 하류에 유하시켜 유효하게 이용하기 위하여 설치한다. 주로 조작식 체크에 설치하지만 타 형식의 체크에 대해서도 기능, 목적 등을 고려하여 설치적부를 검토하는 것이 바람직하다. 바이패스 능력은 수로, 각 시설의 배치 및 본선수로의 통수단면 등을 고려하여 적정하게 결정해야 한다.

가) 바이패스의 설계유량

바이패스 능력 결정방법은 다음과 같다.

(1) 수로 설계유량에 근거하는 방법

$$Q_B = \alpha \cdot Q_U \quad \text{-----}(4.8.1)$$

여기서,  $Q_B$ : 바이패스의 설계유량 ( $m^3/s$ )

$Q_U$ : 상류수로의 설계유량 ( $m^3/s$ )

$\alpha$ : 계수(보통  $\alpha=0.1 \sim 0.2$ 로 함)

(2) 설계유량의 축소량에 근거하는 방법

$$Q_B = \beta \cdot Q_R \quad \text{-----}(4.8.2)$$

여기서,  $Q_B$ : 바이패스 설계유량 ( $m^3/s$ )

$Q_R$ : 설계유량의 축소량 ( $m^3/s$ )

$\beta$ : 1.00 이하임

설계유량의 축소량이라 함은 상류수로의 설계유량에서 하류수로의 설계유량을 뺀 유량임.

(3) 상류구간의 분수공 설계유량에 근거하는 방법

$$Q_B = r \sum Q_{TD} \quad \text{-----}(4.8.3)$$

여기서,  $Q_B$ : 바이패스의 설계유량 ( $m^3/s$ )

$\sum Q_{TD}$ : 해당 체크와 직상류 물넘이 사이의 분수공 설계분수량의 누계 ( $m^3/s$ )

$r$ : 계수 (1.0 이하임)

나) 바이패스의 월류수심

바이패스의 월류수심 즉, 체크수위와 설계수위와의 표고차는 관리상 각 체크별로 변화되는 일정치로 하는 것이 바람직하다. 바이패스의 월류수심은 일반적으로 20 ~ 30cm 정도로 한다.

다) 바이패스의 월류길이

바이패스의 월류길이는 다음 식으로 산정한다.



$$L = \frac{Q_B}{C \cdot H^{3/2}} \text{-----}(4.8.4)$$

여기서, L: 바이패스의 월류길이 (m)       $Q_B$ : 바이패스의 설계유량 ( $m^3/s$ )  
H: 바이패스의 월류수심 (m)      C: 유량계수 (반원형의 경우 1.8)

라) 바이패스의 단면

최소단면치수는 시공 또는 관리상의 필요치수로 정하지만 바이패스는 원칙적으로 직사각형단면으로 한다. 바이패스 단면 결정방법은 다음과 같다.

(1) 폭

$$B = \frac{Q_B}{V \cdot H} \text{-----}(4.8.5)$$

여기서, B: 바이패스의 폭 (m)       $Q_B$ : 바이패스의 설계유량 ( $m^3/s$ )  
V: 체크하류(바이패스)의 유속 (m/s)      H: 바이패스의 수심 (m)

(2) 물받이(Cushion)

월류수의 충격을 완화하고 바닥을 보호하기 위하여 출구부분에 월류보를 설치할 수 있다. 이 경우 출구의 월류보에는 배수공을 설치하는 것이 좋다.

(3) 덮개

바이패스에는 안전 및 관리작업상 덮개를 하는 것이 좋다. 또 바이패스의 월류수가 낙하하는 소음이 상당히 크기 때문에 주택부근에 설치하는 체크에 있어서는 소음대책이 필요하다.

4) 게이트의 설계

가) 게이트의 형식

체크에 사용되는 게이트는 그 사용목적에 적합한 형식을 선정해야 한다. 특히 자동식 게이트는 규격화된 것이 많고 적용수심, 적용폭 등에 유의하여 수리적으로나 구조적으로 안전하고 경제적인 형식을 선정한다.

나) 게이트의 설계조건

게이트의 설계는 게이트의 사용조건에 적합하도록 다음 사항을 고려하여야 한다. 즉, 형식, 치수(게이트의 높이, 경간장, 지점위치), 설계수심(전·후면 설계수심), 수밀방법, 부식, 재질, 도장, 개폐기구 등을 고려한다.

체크 게이트는 조절게이트이고 작동회수가 많으므로, 유황에 적응되고 진동발생이 적으며 견고한 구조로 한다. 체크 게이트를 설치함에 있어서는 게이트부근에서의 토사퇴적을 방지하기 위하여 배사시설의 설치나, 게이트 부근의 수로바닥을 높여 게이트 부근의 유속을 상·하류 유속보다 약간 빨리 하는 등의 검토를 해야 한다. 보통 저항이 작아 진동발생이 적은 레이디얼 게이트가 많이 사용된다. 소형의 슬루스 게이

트로 인력으로 조작하는 것은 장래 전동화에 대비하여 스프링들과 프레임 등의 교체가 없도록 고려해야 한다.

다) 단면 설계시 고려사항

- ① 게이트를 설치하는 단면의 수심은 상·하류 수로보다 약간 작게 하고 유속은 약간 크게 하여 토사침전을 방지한다.
- ② 게이트의 중·횡 비는 1:1 ~ 1:2 로 한다.
- ③ 대형 게이트보다는 소형 게이트 여러 개가 조절 및 경제적으로 유리한 때가 많다.
- ④ 조작식 체크의 바이패스 통수용량은 본선유량의 20% 정도를 확보하고 관리단위가 되는 구간에서는 계획단면의 대소에 불구하고 그 구간의 바이패스 용량을 통수량과 동일하게 해야 한다.
- ⑤ 자동식 체크에서는 작동불능을 고려하여 안전시설(예를 들면 어느 정도 상류에 월류식 물넘이 설치 등)을 고려해야 한다.
- ⑥ 체크의 상류측 바로 근처에 최소  $\varnothing 300\text{mm}$  정도의 예비배수게이트를 설치하면 관리상 편리하다.

5) 체크의 구조설계

체크에는 조작교가 필요하다. 조작교는 최소폭 60cm 이상이나 조작교 높이가 1.2m 이상일 때는 90cm 이상으로 한다. 조작교에는 핸드레일이 필요하다. 체크 상·하류 수두차에 의해 많은 침투수가 발생하므로 기초에 배수공(under drain)을 매설하고 하단에 밸브를 부착하여 수로내에 배수시킨다. 또 침투수에 의한 부력도 검토하고 전도, 활동, 침투로장에 대하여 안전해야 한다.

게이트를 설치하는 체크에서는 상·하류의 수리조건에 대한 구조적 안정과 충분한 침투로장을 확보하도록 해야 하며 필요하면 지수벽을 설치한다.

- 가) 전도에 대하여는 활동이나 침투로장에 대한 것과 같이 중요하지는 않지만 좁고 높은 구조일 때는 체크의 상류수심이 최대가 되고 하류수심이 최소 또는 부력이 최대일 경우를 고려하여 안정하게 설계해야 한다.
- 나) 활동에 대하여도 전도와 동일한 조건으로 검토한다. 활동계수(수평력과 부력을 감안한 수직력의 비)는 기초지반에 따라 다르며 점토 0.3, 사토 0.4, 사력 0.5로 한다.
- 다) 체크 게이트(제수문)의 길이는 ① 침투로장, ② 도수의 길이에 따라 「농업생산기반정비사업계획설계기준 취입보편」을 참조하여 설계한다.

### 4.8.3 수로 물넘이

수로 물넘이는 수로조직의 관리상 발생하는 잉여수 또는 유입홍수량을 안전하게 배제하기 위하여 설치하는 조절시설이다. 수로 물넘이의 배치 및 구조형식은 분수공의 위치와 분수량, 수로조직을 구성하는 각종 시설의 배치상황, 물 관리방식, 방수로의 조건 등을 고려하여 잉여수의 배제가 안전하게 되도록 해야 한다.

#### 가. 일반사항

수로는 보통 설계유량을 대상으로 하여 설계되지만 그 외에 출현빈도에 따라 중요 시설에 지장을 미친다고 생각되는 유량에 대하여도 검토되고 있다. 그러나 수로도중에서의 유입홍수량 및 계획분수불능에서 발생하는 잉여수가 집중하여 수로의 통수능력 이상으로 될 때는 이들 잉여수를 안전하게 배제하기 위하여 수로도중에 물넘이를 설치한다. 또한 게이트의 조작 미비, 부유물 등의 통수방해물에 의한 수위상승 등의 위험을 방지할 목적에서도 물넘이 설치를 검토한다. 따라서 수로 물넘이는 수로단면의 축소에 의한 공사비 절감과 물넘이 설치에 따르는 공사비 증가와의 비교검토에 의하여 규모, 구조가 결정된다.

한편, 설계에서는 수로조직상 필요한 기능을 확보함과 동시에 그 수로조직이 수로 구조적으로 안전하도록 사용목적에 적합한 물넘이 형식의 선정과 설치에 대하여 검토해야 한다. 일반적으로 물넘이는 방수공과 병설되며 물넘이 지점에서 본선 수로의 단면을 축소시킨다.

#### 나. 물넘이의 형식

수로 물넘이는 구조적으로 유입형상에 따라서 월류형 물넘이와 사이편형 물넘이로 분류된다. 각 물넘이 형식에 대한 특징을 비교하면 표 4.8.4 와 같다.

표 4.8.4 물넘이 형식별 특징

항목	월류형 물넘이	사이편형 물넘이
작동의 확실성	확실	거의 확실함
유량변화	원활	약간 간헐적
수위상승	크다	극히 작다
구조	간단	복잡
물넘이의 월류폭	크다	작다

## 다. 설계의 기본

### 1) 월류형 물넘이

월류형 물넘이는 수로측벽의 일부에 월류보를 설치하여 웨어마루를 설계수위와 일치시켜서 수로내의 잉여수를 월류시켜 배제하는 형식이다. 또한 잡물, 얼음 등의 부유물을 잉여수와 함께 수로 밖으로 배제시키는 역할도 한다. 월류형 물넘이는 물넘이의 기능에서 가장 중요한 작동이 확실하고 안전성이 가장 높다. 이 형식은 비조작형으로 월류수심이 낮기 때문에 완전한 기능발휘를 위해서는 연장이 긴 월류보가 필요할 때가 많아 일반적으로 하류에 설치되는 체크 게이트나 조작형 수문식 물넘이와 조합하여 설치함으로써 공사비절감과 기능확대를 기하고 있다.

월류형 물넘이는 작용중 상류단과 하류단의 월류수심이 다르고 그 사이의 월류수심의 변화에 문제가 있어 수리계산방법에도 여러 가지 제안이 있다.

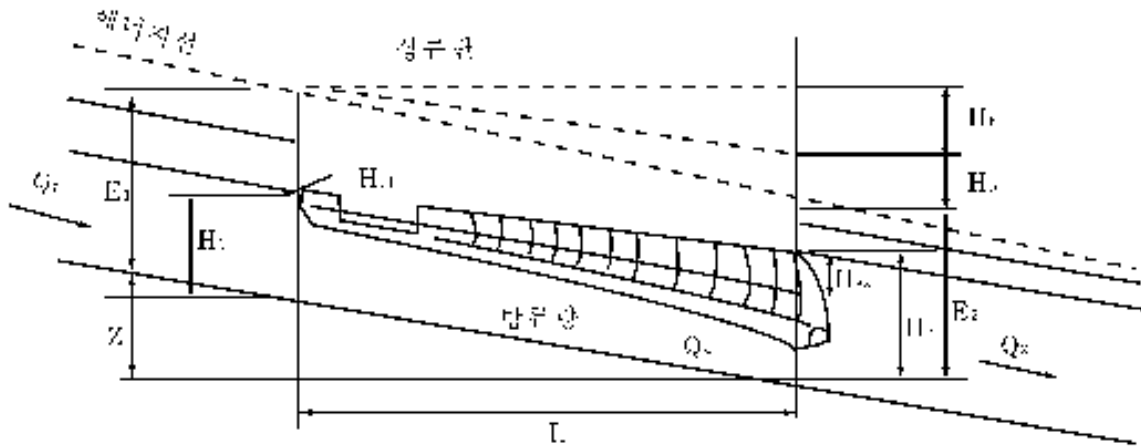


그림 4.8.9 월류형 물넘이

### 가) 수리설계

#### (1) 방류유량의 설계

방류량 = 상·하 단면 차인 유량 + 단면내 홍수유입량 -----(4.8.6)(a)

단면내 홍수량:  $Q = 0.002778 f \cdot r \cdot A$  ( $m^3/s$ ) -----(4.8.6)(b)

여기서, f: 유출계수 A: 유역면적 (ha)

r: 홍수도달 시간내 강우강도 (mm/h)

#### (2) 유량공식

##### (가) 엔겔 (Engel) 공식

본선 수로의 횡월류 물넘이에는 수면 변화 때문에  $\pm 10\%$  내외의 정확도를 가진 엔겔 공식을 사용한다. 주 수로 폭이 점차 축소되어 상류로 흐를 때 적용되는 것으로

평야부 수로에 사용된다.

$$Q = \frac{2}{3} \mu \cdot \sqrt{2g} \cdot {}^3\sqrt{L^{2.5} h^{5.0}} \quad \text{-----(4.8.7)}$$

$$\text{또, } L = 0.48 \cdot Q^{1.2} h^{-2} \quad \text{-----(4.8.8)}$$

뾰족 보일 때  $\frac{2}{3} \mu = 0.49 \sim 0.48$ , 넓은 마루 보일 때,  $\frac{2}{3} \mu = 0.57$

여기서,

Q: 물넘이 월류량 (m<sup>3</sup>/s)      h: 월류평균수심 (m)  
L: 물넘이 길이 (m)            μ: 월류계수 (0.644 정도)

위 식을 도시하면 그림 4.8.10 과 같다.

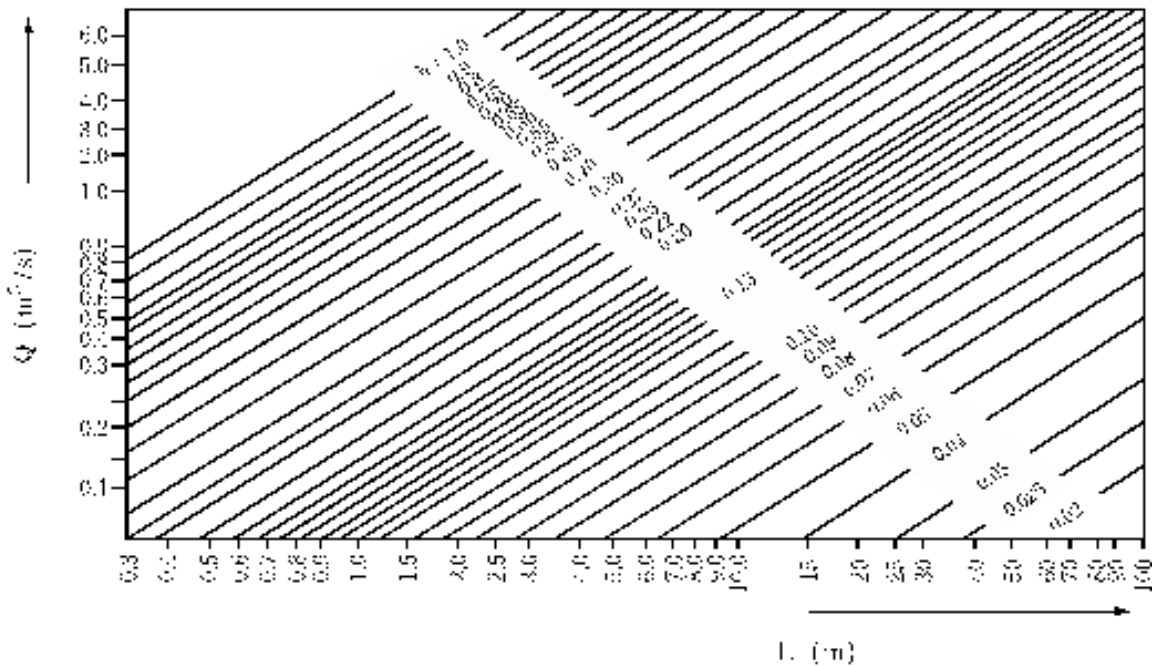


그림 4.8.10 엔겔공식의 물넘이 길이, 월류량 및 월류수심관계도

(나) 伊藤, 本間공식

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} L h^{3/2} \quad \text{-----(4.8.9)}$$

여기서, Q: 물넘이 월류량 ( $m^3/s$ )    h: 물넘이 월류평균수심 (m)

L: 물넘이 길이 (m)                     $\mu$ : 월류계수 (0.50 ~ 0.55)

나) 주수로가 균일한 경우

(1) 적용조건

① 수로의 평면형이 직선일 때

② 물넘이 길이(L)는 수로폭(B)의 2배 이상이고 물넘이 상류단의 프루드 수(Fr)는  $(0.05L/B + 0.4)$  이하일 것

③ 수로폭(B)과 수심(H)과의 비(B/H)가 1.5 ~ 2.0 범위일 것

물넘이 길이가 긴 경우에는 일반적으로 월류형 물넘이의 하류단에서 월류수심이 영으로 되어 물넘이 통과후의 수로수심은 계획수심(보의 높이 D)보다 높게 된다. 따라서 수리설계를 할 때 우선 고려할 점은 물넘이를 유하한 하류수로에서 방류시 수위를 계획수위보다 어느 정도 높게 취할 것인가를 정하는 일이다. 허용하류수심( $H_2$ )과 계획수심(D)과의 비율( $H_2/D$ )이 1.05 정도에서는 좋은 방류효과를 기대하기 어렵고 물넘이 길이를 길게 해도 효과는 적다. 그러므로 방류량을 증대시키려면 측면보 물넘이 하류단의 수위를 높게 한다. 일반적으로 과잉유입량이 계획통수량에 대한 비율이 33% 이상일 때 측면보 물넘이 설치효과가 크다.

(2) 월류량 산정

① 물넘이 상류단 보높이  $h_1$  과 물넘이 하류단 보높이  $h_2$ 를 가정한다.

② 하류의 설계유량에서 물넘이 하류단 월류수심  $H_{e2}$ 를 계산한다.

③ 보길이 L 및 물넘이 상류단의 수심  $H_{e1}$ 을 가정하여 평균월류수심  $H_{em}$ 을 구한다.

④ 가정한 모든 수치를 사용하여 식 4.8.10으로 월류량을 계산한다.

$$Q_w = C \cdot L \cdot H_{em}^{3/2} \text{-----}(4.8.10)$$

여기서,  $Q_w$ : 물넘이의 월류량 ( $m^3/s$ )

$$C: \text{월류계수} = 1.838(1 + 0.0012/H_{em})(1 - \sqrt{\frac{H_{em}}{L}/10})$$

$H_{em}$ : 평균월류수심  $\{(H_{e1} + H_{e2})/2\}$  (m)

$H_{e1}, H_{e2}$ : 물넘이의 상·하류단 월류수심 (m)

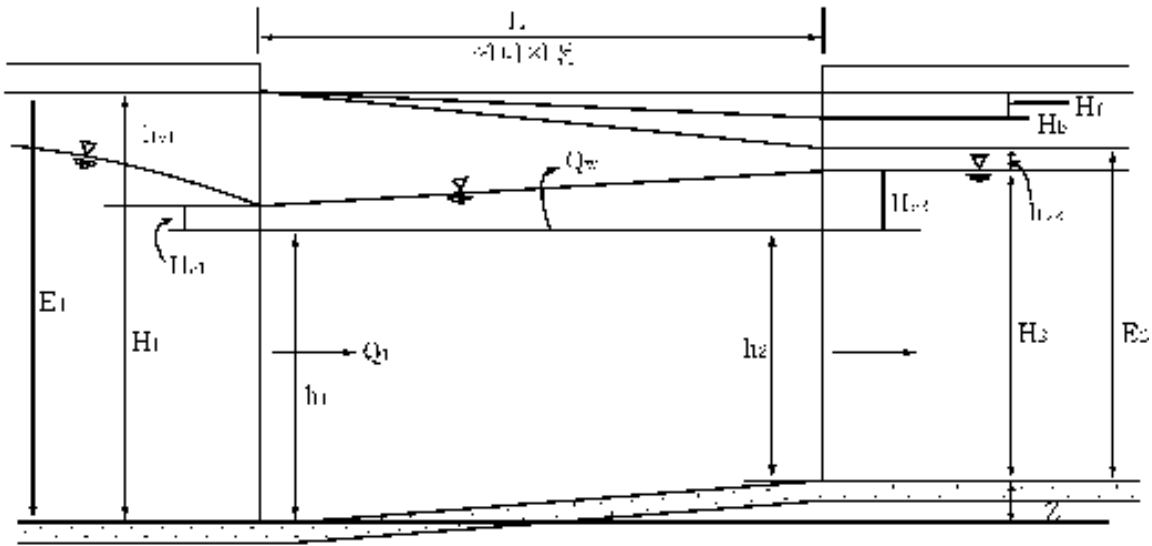


그림 4.8.11 월류형 물넘이의 월류량에 관계되는 기호설명도

- ⑤ 수로의 측면보 구간에 있어서 마찰손실수두(\$H\_f\$)와 여수의 손실수두(\$H\_b\$) 식 (4.8.11), (4.8.12)를 사용하여 계산한다.

$$H_f = \left( \frac{n^2 \cdot V_m^2}{R^{4/3}} \right) \times L \quad \text{-----(4.8.11)}$$

$$H_b = f_b \frac{V_1^2}{2g} \quad \text{-----(4.8.12)}$$

여기서,  $f_b = 0.5807 Q_r - \sqrt{0.0788 Q_r + 0.0003} + 0.0171$

$n$ : Manning 조도계수

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

$V_1, V_2$  : 상·하류단 단면의 평균유속 (m/s)

$$R_m = \frac{R_1 + R_2}{2} \quad (R_1, R_2: \text{상·하류단의 경심})$$

$Q_r$ : 여수의 비( $Q_2/Q_1$ )  $Q_1$ : 상류측 유량 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )  $Q_2$ : 하류측 유량 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

- ⑥  $H_f$ 와  $H_b$ 의 값을 계산한 후 식 (4.8.13)이 성립하는지 검토한다.

$$E_1 = E_2 + Z + H_f + H_b$$

----- (4.8.13)

여기서,  $E_1$ : 상류단의 비에너지(=  $H_1 + \frac{V_1^2}{2g}$ ) (m)

$E_2$ : 하류단의 비에너지(=  $H_2 + \frac{V_2^2}{2g}$ ) (m)

식 (4.8.13)이 성립되지 않을 때는 물넘이 길이(L)와 상류단 월류수심( $H_{e1}$ )을 수정하여 식 (4.8.10)~(4.8.13)까지 계산을 반복한다. 그래도 조정이 안 되면 맨 처음으로 되돌아가 하류단 월류수심( $H_{e2}$ ) 값을 검토하여 수정 계산한다.

다) 설계요령

- (1) 물넘이의 월류수심이  $\Delta h$ 인 경우에 파랑영향에 의한 수면 상승을 고려하여 수로의 계획수면보다 물넘이 보마루의 표고를 높게 하며 물넘이 높이 계산은 적절한 수로의 여유고와 설계기준을 고려하여 표 4.8.5 와 같이 한다.

표4.8.5 물넘이 보마루 높이(m)

월류수심 ( $\Delta h$ )	계획수면에서 물넘이 보마루까지의 높이
0.10	0.05
0.12	0.08
0.15	0.10
0.18	0.12
0.25	0.15

작은 수로에서는 보통 물넘이의 마루표고를 설계수면보다 5~15cm 높게 정하나 대간선수로(Q=10m<sup>3</sup>/s 이상)에서는 설계수면과 일치시킨다.

- (2) 월류수심은 월류유량에 따라 수로의 여유고와 물넘이 연장을 고려하여 적절히 정한다.

2) 사이편형 물넘이

사이편형 물넘이는 일반적으로 월류형 물넘이가 불가능할 경우나 만수위에서 홍수위까지의 높이를 낮게 할 목적으로 설치한다. 사이편형 물넘이의 결점은 월류형에서 통수량이 서서히 증가하는데 비해 급격히 계획 홍수량이 배출되어 하류에서 하상 침



식이나 피해가 생길 수 있는 것이다. 그러나 여러 개의 사이펀을 병렬로 설치하면 이런 위험도 피할 수 있다.

또한 사이펀형은 2개 이상을 병렬하여 설치할 경우 각각 동시에 시동하는 일은 곤란하므로 다소 시간적 변화가 있다. Mobirney형 사이펀 물넘이의 제원은 그림 4.8.12와 같다. 이 형식은 미국 USBR의 Mobirney가 1958년에 제안하였다. 이것은 디플렉터(deflector)에 떨어진 제트(jet)의 낙하에 의한 교란을 이용하고 공기배제를 하여 안정된 사이펀 시동을 하고 또한 유속수두를 약간 감소시킬 수 있다.

사이펀형 물넘이의 월류조건은 정점 A에서 최저압력이 되고 이 점에서의 압력이 수중 용존 공기배출의 한계압 이하로 되지 않는 것이다 (그림 4.8.12).

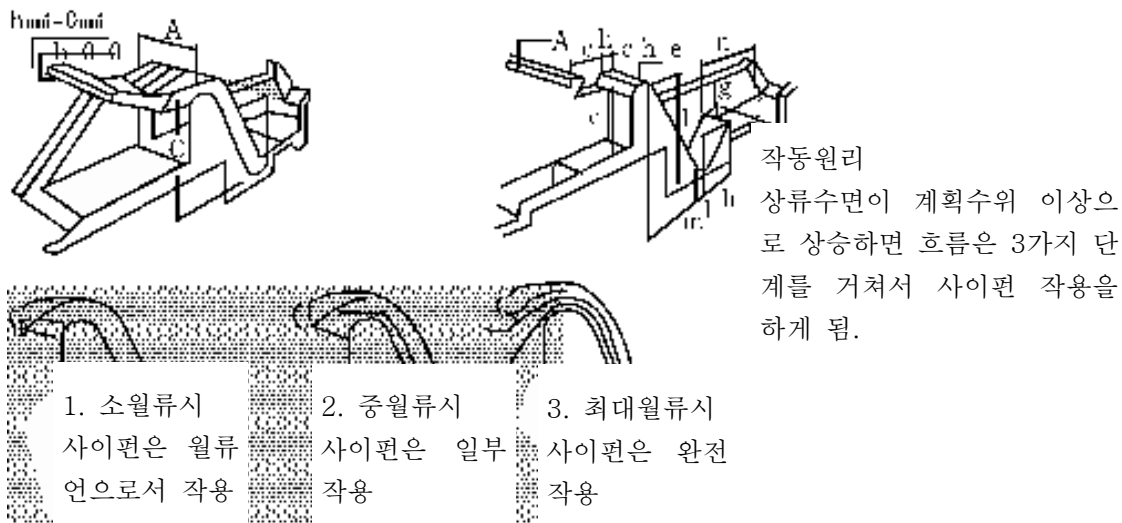


그림 4.8.12 Mobirney형 사이펀 물넘이

식 (4.8.14)의 우변은 한계압을 대기압수두  $H_a$ 의 0.7 배로 하여 구한 사이펀의 작동 한계이다. 이용수두에서 구한 좌변의 유량이 이 이상이면 사이펀 작용이 불안정하게 되므로 이 값이 설계의 기본조건으로 된다.

$$q = \frac{Q}{B} = C \cdot D \cdot \sqrt{2gH} \leq R_c \sqrt{0.7(2gH_{at})} \cdot I_n(R_s/R_c) \quad \text{-----(4.8.14)}$$

- 여기서,  $q$ : 단위폭당 월류량 ( $m^3/s/m$ )       $Q$ : 월류량 ( $m^3/s$ )  
 $B$ : 직사각형단면관의 폭 (m)       $D$ : 관경 (m)  
 $H$ : 사이펀 정부 A점과 출구수면과의 표고차 (m)

- C: 유량계수 (그림 4.8.14 참고)  
 $R_c$ : throat 저면의 곡률반경 (m)       $H_{ar}$ : 대기압수두 ( $\approx 10.33$ m)  
 $R_s$ : throat 상면의 곡률반경 (m)      g: 중력가속도 ( $9.8\text{m/s}^2$ )

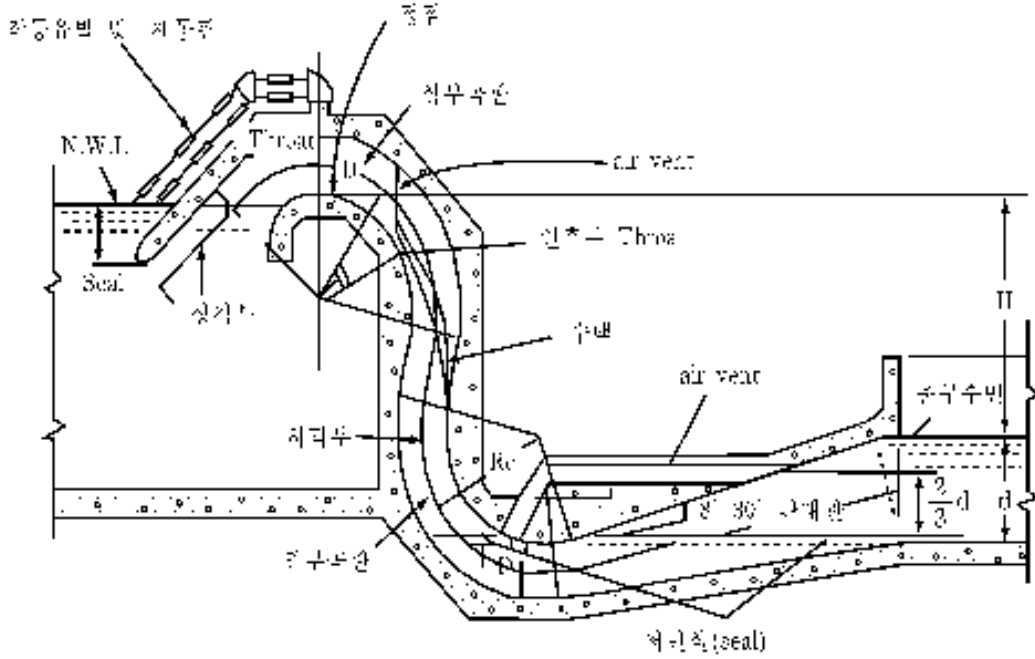


그림 4.8.13 사이펀형 물넘이

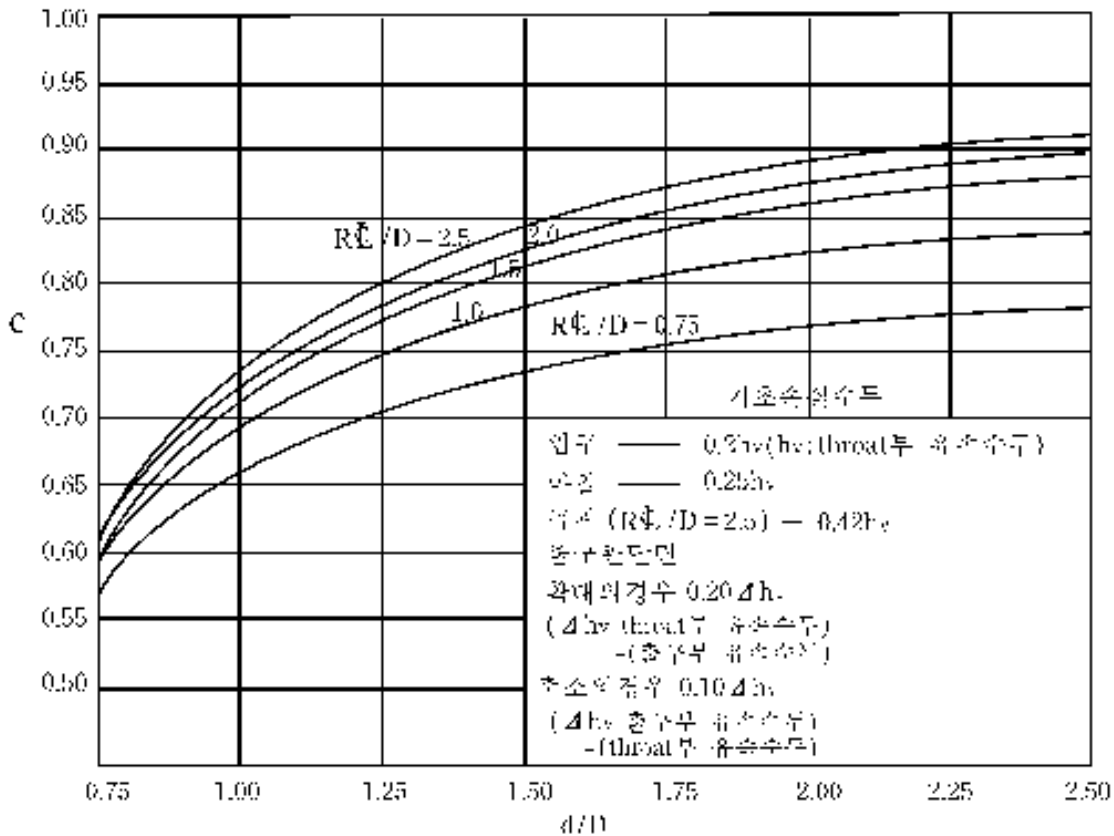


그림 4.8.14 사이편형 물넘이의 유량계수

#### 라. 물넘이 설치위치의 선정

수로 물넘이는 보통 통수능력을 감소시키는 위치 즉, 수로단면이 변하는 지점에 설치하지만 설치에 유의할 사항은 다음과 같다.

- 1) 물넘이는 수로도중의 분수공의 수 및 그 유량 또는 유입 구조물의 수와 그 유량에 따라 설치를 검토한다. 일반적으로 구간의 잉여수 유량이 수로의 여유고로 처리할 수 없을 경우에 물넘이를 설치하나 4~5km마다 1개소 정도를 설치하는 것이 바람직하다.
- 2) 크고 긴 사이편, 터널, 암거 및 수로교의 직상류부에서는 물넘이의 설치를 검토한다.
- 3) 높은 흙 쌓기 등 구조적으로 불안정한 곳이나 시가지를 통과하는 경우에는 그 직상류부에 물넘이의 설치를 검토한다.
- 4) 양수장의 직상류 부근에는 물넘이를 설치할 필요가 있다.
- 5) 물넘이에서의 방류량을 받는 하천, 조절지 등의 시설유무 및 규모에 따라 물넘이 설치계획은 크게 좌우된다. 따라서 물넘이로부터의 방류시설의 위치 및 규모 등에 대하여 미리 조사하여 물넘이 설치계획을 충분히 검토해야 한다.
- 6) 물넘이 설치에 따른 수로단면의 축소에 기인하는 수로 공사비 감소와 물넘이-방수로-감세공의 공사비를 비교하여 수로 물넘이의 위치, 규모 등을 검토해야 한다.

다.

#### 4.8.4 방수공

방수공은 수로의 보수, 점검, 사고시의 긴급방수 등을 위하여 설치하는 조절시설이다. 방수공의 배치 및 구조형식은 수로조직을 구성하는 각종 시설의 배치상황, 수로의 물 관리와 유지관리조건, 방수로와 방류하천 상황 등을 고려하여 방수가 안전하게 되도록 결정해야 한다.

##### 가. 일반사항

수로의 보수점검, 퇴적토사, 쓰레기 제거 등 관리상 수로의 물을 빼야 할 경우와 수로시설의 사고 등으로 긴급하게 낙수를 해야 되는 경우가 있다. 그러므로 보수점검 개소 및 긴급방수발생 개소의 상류에서 유수를 방류하기 위하여 필요에 따라 방수공을 설치한다. 방수공은 방류하천의 상황, 그 외의 물넘이, 방수공, 분수공 등에서의 분산방류 가능성, 긴급방류시의 배제시간 등을 검토한 후에 방수공을 적정하게 배치할 필요가 있다.

방수공의 최대 방류량은 그 지점의 계획관개수량에 수로내로의 유입량을 합한 양으로 하는데 이는 비상시 최악의 상태이다. 이 양을 배수로 또는 하천에 방류하면 배수로나 하천의 단면이 부족하게 되어 배수로나 하천을 정비할 필요가 있으므로 경제성을 다각적으로 검토하여 결정해야 한다.

물넘이나 방수공은 수로조직의 보호를 위하여 설치되기 때문에 수로의 여유고와 관계가 있으며, 잉여수량을 고려하여 물넘이나 방수공을 설치하되 이와 연결되는 방수로도 고려하여 그 위치를 결정한다.

긴급 방수시의 설계 방류량은 수로의 설계유량으로 하며 일반 관리용에는 방류하천의 유입상황, 분수공 물넘이 등의 시설로부터의 분산방류가능성, 방류시간을 고려하여 시설의 단면을 작게 하는 것이 경제적이다. 또 방수공은 물넘이와 병설하는 경우가 많다.

방류수의 흐름은 급류가 될 경우가 많고 설계시는 지형, 지질, 지반 등의 입지여건을 고려하여 수리구조적으로 안전하게 배제할 수 있도록 한다.

물넘이, 방수공은 보다 낮게 있는 하천, 배수로 또는 기존 유지에 가까이 있으나 대부분 출구와는 상당한 낙차가 있어 급류공이나 낙차공으로 계획하여 유수 에너지를 감세시켜 수로의 파손이나 세굴을 방지해야 한다.

## 나. 방수공의 구성

방수공은 그림. 4.8.15 와 같이 지형조건 및 방수공 위치에 따라 오리피스 공식이나 낙차공식으로 단면을 결정하며, 용수로에서 방류할 때 문비는 슬라이드 게이트를 주로 사용한다.

- ① 유입부: 입구 완화공, 방류게이트부
- ② 방수로: 접속수로부, 급류부 및 방사류부
- ③ 감세공: 감세지, 출구완화공 (또는 감세구조물)

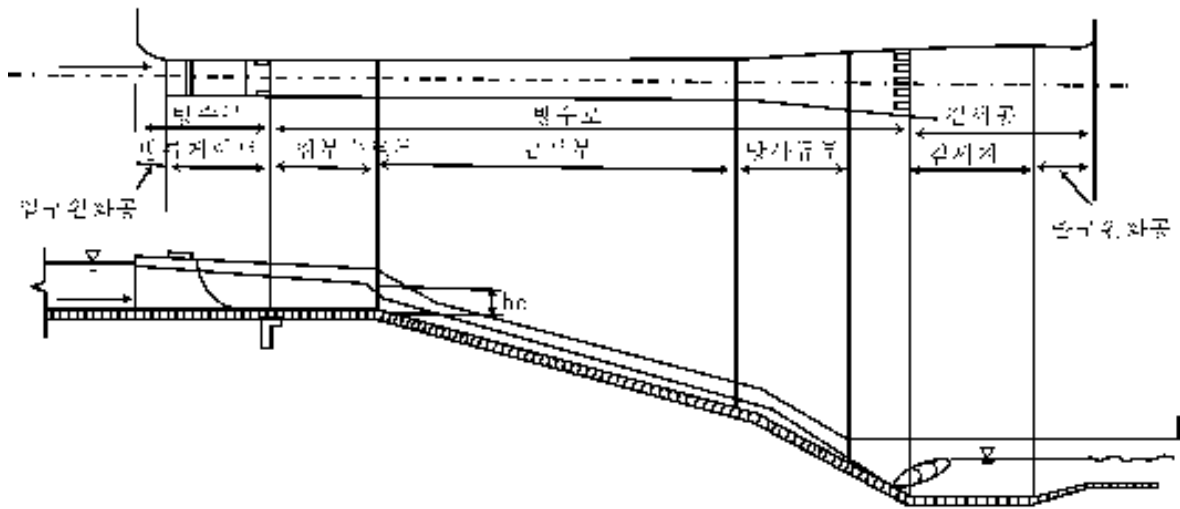


그림 4.8.15 방수공의 구성

## 다. 설계의 기본

### 1) 방수공의 설치위치선정

방수공의 설치시에 유의할 사항은 다음과 같다.

- ① 크고 긴 터널, 사이펀, 암거 및 수로교 등 주요 구조물 직상류부에는 재해시 긴급방수가 가능하도록 방수공을 설치한다.
- ② 시가지 입구부근이나 지형적으로 불안정한 곳에는 그 직상류부에 ①과 동일한 방수공을 설치한다.
- ③ 수로의 유지관리상 설치하는 방수공은 ① 및 ② 방수공의 위치도 감안하여 경제적이고 유지관리에 편리한 간격으로 설치한다.
- ④ 방류하천 등의 능력에 따라 방수공의 설치계획은 크게 좌우된다. 따라서 방류수를 받아들이는 하천이나 배수로 등을 미리 조사하여 노선선정 및 공종선정

시에 방수공 설치계획을 충분히 검토해야 한다.

## 2) 방수공의 설계

방수공 각부의 설계에 있어서는 시공의 경제성, 구조물의 안전성을 확보하여 방류가 안전하게 이루어지도록 해야 한다.

### 가) 방수구의 수리설계

방수구는 설계방류량을 안전하게 방류시키는 구조로 하여야 한다. 또 방수 게이트부는 대량의 물이 일시에 방류되므로 특히 견고한 설계를 해야 한다. 또한 방수구가 고위부에 있을 때는 수로의 누수와 지상에서 지하수유동에 의한 활동을 방지하기 위하여 구조물에는 지수벽의 설치 등을 고려할 필요가 있다.

수리설계에서 방수구에 부여된 조건은 다음과 같다.

- (1) 시점의 에너지고는 본선의 설계유량에 유입홍수량을 합한 유량시의 수위로 한다.
- (2) 유입부 또는 경사변화점에서 한계수심이 될 경우에는 그 한계수심을 기점으로 하여 급류수로의 수리계산을 한다.
- (3) 수로의 방수공에 도달하는 최대유량계정
  - (가) 최대방류량 = 계획유량 + 단면내 홍수량 + 유입량 (물넘이 참조) 단면내 홍수량  $q = 0.002778 \text{ fr} \cdot A$  (식 (4.8.6(b)) 참조)
  - (나) 최대방류량으로 단면을 검토하였을 때 토공에서는 여유고의 2.5%, 라이닝에서는 5% 이내를 월류수심으로 하고 그 값을 초과하여서는 안 된다.
  - (다) 양수장으로부터 유입하는 경우는 모든 양수기가 가동될 때 최대수두로서 흐르는 최대설계유량으로 한다.
  - (라) 중력식 흐름에서는 분수문의 게이트가 완전히 열리고 체크 게이트는 좌우의 측면보를 월류하는 물은 최대수심으로 흐른다고 본 상태에서 가능한 최대유량을 취한다.
  - (마) 간선수로에서 지선 및 지거로 분기되어 있는 수로의 방수공은 방수공 상류부의 유량을 취해야 하나 인접상류부의 설계유량을 초과해서는 안 된다.

### 나) 게이트의 설계요령

- (1) 게이트는 설계유량을 충분히 배제시킬 수 있는 구조로 설계하고 게이트를 완전히 개방하였을 때 방수구를 통하는 최대유속은 1.2m/s를 표준으로 한다.
- (2) 게이트를 통과하는 유량공식은 오리피스 공식을 사용하여 계산한다.
- (3) 배수구조물과 방수공을 병용할 경우에는 횡단배수량이 방수공으로부터 배제되는 유량을 합한 단면 이상으로 설계한다.
- (4) 방수공의 유입부 및 배출부에는 지형 및 지역여건에 알맞은 보호공을 설치한

다.

(5) 게이트 중심선이 되는 위치 표고가 수로의 계획수위보다 낮게 설치한다.

다) 방수로의 설계

방수로는 일반적으로 급류인 경우가 많고 수리설계상 개수로 형식이 바람직하나 지형, 관리, 주변환경에 의하여 개수로 이외의 공종을 채택하는 경우는 그 통수능력 등 안전성에 따른 각종의 배려가 필요하다.

(1) 설계상의 유의사항

(가) 게이트가 전개 또는 반개상태로 사용될 경우에는 방수구에서 유출되는 분출수의 도수는 접속 수로내에서 일어나도록 함이 바람직하다. 접속수로가 짧고 분출수가 급류부에 도달하는 경우에는 유수가 수로저면에서 이탈되지 않도록 수로저면을 설정할 필요가 있다.

(나) 물넘이와 방수로를 병설하는 경우의 합류는 접속 수로내에서 하는 것이 바람직하다.

(다) 급류부의 선형은 직선이고 균일한 경사가 바람직하나 부득이 곡선으로 하는 경우는 유선에서 벗어나지 않도록 설계해야 한다.

(라) 방사류부는 급류부의 말단과 감세지를 연결하는 부분인 동시에 수로 폭과 바닥경사의 변화부이다. 방사류부의 주된 기능은 다음과 같다.

① 방사류부에 낙차를 집중하고 급류부 경사를 완만하게 하여 유속을 억제한다.

② 감세지로의 유입폭을 확대하여 단위폭당 운동량을 감소시킨다.

③ 유입폭의 조절에 의해 감세지 시점의 프루드 수를 조절하여 양호한 도수상태가 되도록 한다.

④ 방사류부에는 유선에서 벗어나지 않도록 하기 위하여 다음과 같은 곡선을 삽입하는 것이 바람직하다.

○ 급경사의 경우

- 급류공의 방사류부에 사용하는 삽입곡선을 사용한다. (4.7의 「낙차공 및 급류공」을 참조).

○ 완경사의 경우

- 수심의 4~5배 이상의 반경을 갖는 원호를 삽입한다.

(2) 방수로의 수면추적

한계수심이 발생하는 지점(지배단면)은 방수 게이트에서의 유출수가 수중유출인 경우에는 방수 게이트를 급류부 시점으로 하고, 자유유출인 경우에는 게이트 직하류의 축류(縮流)단면으로 한다. 수리계산은 지배 단면을 기점으로 하여 축차계산법을 사용하여 하류로 향하여 계산한다.

급류부 유속은 고속류로 되기 때문에 특별히 방수로의 측벽고 산정에는 공기혼입에

의한 수면상승을 고려함과 동시에 충분한 여유고를 확보해야 한다 (4.7 급류공 참조).

또 급류부를 압거로 하는 경우는 공기연행에 의한 통수방해를 막기 위한 통기공 등의 흡입·배기공 또는 밸브를 설치할 필요가 있다.

#### 라) 감세공의 설계

- (1) 방수로 말단에는 원칙적으로 감세공을 설치해야 한다. 단, 방류수가 하천, 호소 등의 시설을 파손할 위험이 없는 경우는 감세공 설치를 생략할 수 있다.
- (2) 감세공은 설계방류량 이하의 유량에서는 충분한 감세효과를 얻지 못하는 경우가 있으므로 설계방류량의 1/2~1/4 정도의 유량에 대하여 충분한 검토를 하여야 한다.
- (3) 감세공에는 여러 종류의 형식이 있다. 따라서 감세공 형식선정에는 각각의 감세공 형식의 수리특성, 수로본체의 감세공과의 위치관계(거리, 표고차 등), 감세공 부근의 지형, 수리특성(방류하천의 수위 등) 및 방류하천의 상황 등의 제 요소를 충분히 고려하여 적절하게 선정하는 것이 바람직하다. (「농업생산기반정비사업계획설계기준 필담편」 참조)

### 4.8.5 조절지

조절지는 용·배수 계획상 발생하는 유량 또는 수위의 시간적 변동에 대하여 수로의 기능을 탄력적으로 조절할 수 있도록 수로조직내에 설치된다.

조절지 설계는 수로조직 전체의 물 관리상 필요한 이수기능을 충분히 발휘하도록 조절지의 설치위치, 용량규모, 구조형식 등에 대하여 검토하고 수로조직 전체의 공사비 및 관리비가 경제적으로 되도록 해야 한다.

#### 가. 일반사항

용수계획에 있어 말단에서의 조작은 물 수요에 따라 게이트 밸브조작이 이루어지나 취수구 또는 간지선 수로에서는 이러한 물 수요에 대하여 여러 측면에서 조절을 고려하면서 수로 통수량에 적합한 게이트 밸브조작이 이루어진다.

조절지는 송수의 수요와 공급의 균형을 잘 확보하는 것, 즉 취수량, 수로 통수량 및 용수량 등 3가지가 균형을 이루도록 조절함으로써 물 관리상 발생하는 무효방류나 불균형을 방지함과 동시에 수로기능을 유기적이고 탄력적으로 유지하기 위하여 설치하는 저수지이다.

조절지의 주요 효과는 다음과 같다.

- ① 조절지 상류부의 간선수로단면을 축소할 수 있다 (배수로의 경우 조절지 하류의 배수단면을 축소할 수 있다).
- ② 수로조직을 단순화하여 관리의 생력화를 기할 수 있다.



- ③ 하천에서 취수하는 경우 시설관리용수량을 최소화할 수 있다.
- ④ 물의 분배가 원활하여지고 물의 조작손실을 적게 할 수 있다.
- ⑤ 조절지 상류수로의 유지보수, 사고대책 등에 있어 탄력적 운용이 가능하다.
- ⑥ 관개조직의 탄력성을 증가시켜 수로말단지역관개를 원활하게 한다.
- ⑦ 배수로에서는 홍수조절이 되는 경우도 있다.
- ⑧ 용·배수펌프의 효율적 운전계획을 세울 수 있다.
- ⑨ 관로내의 공기연행을 방지할 수 있다.

### 나. 조절지의 위치선정

조절지의 설계는 수로의 입지조건, 관개지역과의 수위관계 등을 고려하여 수로조직에서 요구되는 기능을 충분히 발휘하도록 배치계획을 검토해야 한다.

특히 물관리면에서 고려하면 관개구역내의 수로에서는 짧은 구간에 많은 조절지를 설치하는 것이 이상적이나 전체적인 경제성을 고려하면 비효율적 설계가 되므로 시설비 및 물 관리의 제 사항을 충분히 검토하여 적정하게 조절지를 배치하는 것이 필요하다. 또 기존의 저수지를 조절지로 이용하여 수로에 연결할 수 있다면 효율적이다.

따라서 조절지를 설계할 때는 미리 수로조직내에 있는 기존 저수지의 위치, 규모, 시설상태 등을 상세히 조사하여 이용가능성을 충분히 검토해야 한다.

### 다. 조절지의 규모

조절지 규모는 수원용량으로부터 말단의 물이용 조직까지의 전체적 관련성을 고려하여 종합적으로 검토해야 한다.

조절지는 1일 유량변동을 조절하는 경우, 기간별로 3~5기의 유량변동을 조절하는 경우 및 용수도달시간을 고려하는 물 관리상 필요한 경우의 3가지로 대별된다.

조절지 용량은 상류 통수량, 하류 사용수량의 시간차, 용수도달시간에 따라서 필요한 저류량을 수원저수지와 같이 유입유출의 차의 누계량으로 구한다.

- 1) 1 일 유량변동을 조절하는 경우 및 시간별로 3~5기의 유량변동을 조절하는 경우

조절지 용량에 대하여는 「농업생산기반정비사업계획설계기준 관개편」의 발 관개를 참조한다.

- 2) 용수도달시간을 고려한 물 관리상 필요한 경우

물 관리상 필요한 조절용량은 다음과 같다. 즉 수로계 상류부에 개수로가 있으면 상류에서 통수량을 변화시켜도 그 영향이 늦어 도달시간을 필요로 한다. 이에 대하여

관수로에서는 그 영향이 예민하므로 도달시간을 필요로 하지 않는다. 이 때문에 물 관리상 조절 불가능한 하류의 용수 변동량과 상류 용수로의 용수도달시간, 시설조작에 필요한 시간 등을 토대로 용량을 결정한다.

이들 중 용수도달시간은 수로바닥 길이, 수로바닥 기울기, 유량 변동량, 게이트조작 방법 등에 따라 크게 좌우되므로 개수로 구간에 대하여는 부정류 해석에 의하여 검토한다.

또 개략적인 용량은 용수도달시간을 산정하여 이 도달시간에 변동량을 곱하여 산정할 수 있다. 상세한 것은 「농업생산기반정비사업계획설계기준 관개편」의 발 관개를 참조한다.

### 라. 조절지의 설계

조절지는 소요목적 및 기능을 충분히 발휘함과 동시에 안전하면서 경제적인 시설이 되도록 계획되어야 한다.

조절지의 설계는 조절지 위치의 지형, 지질 및 조절지 규모를 고려하여 적절한 구조형식을 선정해야 한다.

조절지는 하천 등을 가로막는 등 비교적 대규모로 설치하는 댐 형식과 팜폰드와 같은 수조형식으로 구별된다.

#### 1) 댐 형식

댐 형식의 조절지는 「농업생산기반정비사업계획설계기준 필댐편」을 참조하여 설계한다.

#### 2) 수조 형식

가) 수조의 형식은 현지여건에 적합하도록 결정해야 하지만 일반적으로 기성 제품을 사용하는 수조에는 원형, 현장 타설 철근콘크리트의 경우는 상자형으로 하는 것이 많다.

나) 조절지는 부등침하, 누수 등에 대하여 안전한 구조로 한다. 특히 관수로와 접촉하는 경우는 하류수로에 미치는 영향을 고려하고 지진에 대한 주의와 함께 토사 및 쓰레기 등이 하류 관수로에 유입되지 않는 구조로 한다.

다) 팜폰드와 같이 배수조로 사용되는 것은 유효저수심(최고, 최저 수위차) 1~3m를 표준으로 한다. 수심이 너무 커지면 급수압력에 변화가 생겨 관수에 지장을 주므로 얇고 넓은 수조로 설치하는 것이 바람직하다.

라) 수조에는 물넘이를 설치하여 위험시에 안전대책을 강구해야 한다.

마) 수조의 여유고는 설계최고저수위(물넘이의 독마루표고+ 월류수심)에 0.3m 이상을 더한 것으로 한다. 또 설계최저수위에서 바닥까지의 높이는 0.15m 정도의 여유를 두는 것이 바람직하다.

#### 4.8.6 배수문, 배수통문

배수문, 배수통문은 내수 배제, 외수 역류방지 등을 위하여 주로 배수로 말단에 설치한다. 배수문, 배수통문의 설계는 계획배수량 및 내외 수위조작 등으로 통수 단면을 결정하고 기초지반의 지지력과 풍파 등을 고려하여 안전한 구조로 하여야 한다.

##### 가. 일반사항

배수문, 배수통문은 내수배제를 목적으로 하천, 해안 또는 해안의 제방을 횡단하여 설치되는 구조물로서 게이트를 설치하여 홍수시 또는 만조시의 외수위가 높을 때는 게이트를 닫아 외수의 역류를 방지하고 외수위가 낮을 때는 게이트를 열어서 내수를 배제하는 것이다.

또 용·배수 겸용수로에서는 용수수위를 확보하기 위하여 설치하는 경우도 있다. 일반적으로 상부가 개방되어 게이트 전후가 개수로 형식으로 되어 있는 것을 배수문, 제방 밑에 설치되는 압거 형식으로 되어 있는 것을 배수통문, 단면이 작은 것을 배수통관이라 한다. 그러나 본 기준에서는 배수통문, 배수통관을 총칭하여 배수통문으로 취급한다.

이들의 설치는 지구 배수계획을 토대로 내외수위의 관계를 조사 검토하여 적절히 설치하는 것이 바람직하다. 배수문, 배수통문은 목적을 충족하고 충분한 기능을 확보함과 동시에 안전성, 경제성, 시공성, 관리의 편리성을 갖는 설계를 해야 한다.

일반적으로 배수문, 배수통문은 제방의 일부를 점유하며 그 접촉점은 수리적, 구조적으로 약점이 될 수 있으므로 설계, 시공에 특히 유의해야 한다.

상세한 것은 「농업생산기반정비사업계획설계기준 배수편」을 참조한다.

##### 나. 배수문, 배수통문의 구성

배수문, 배수통문은 그 목적, 규모에 따라 여러 종류의 형식이 있으나 구성을 대별하면 다음과 같다.

###### 1) 배수문의 구성

- |               |                     |                      |
|---------------|---------------------|----------------------|
| ① 관리교         | ② 조작실 및 조작기계시설      | ③ 커튼월 (curtain wall) |
| ④ 보기둥         | ⑤ 측벽                | ⑥ 저판                 |
| ⑦ 게이트         | ⑧ 지수벽 (cutoff wall) | ⑨ 접촉옹벽               |
| ⑩ 물받이 (apron) | ⑪ 기초                | ⑫ 호안공 및 바닥 보호공       |

2) 배수통문의 구성 (그림 4.8.16 참조)

- ① 관 체            ② 기 초            ③ 흉 벽 (breast wall)
- ④ 날개벽        ⑤ 물받이        ⑥ 지수벽
- ⑦ 문기둥        ⑧ 게이트( 문비)    ⑨ 게이트 개폐장치(권양기 spindle)
- ⑩ 관리교        ⑪ 호안공 및 바닥 보호공

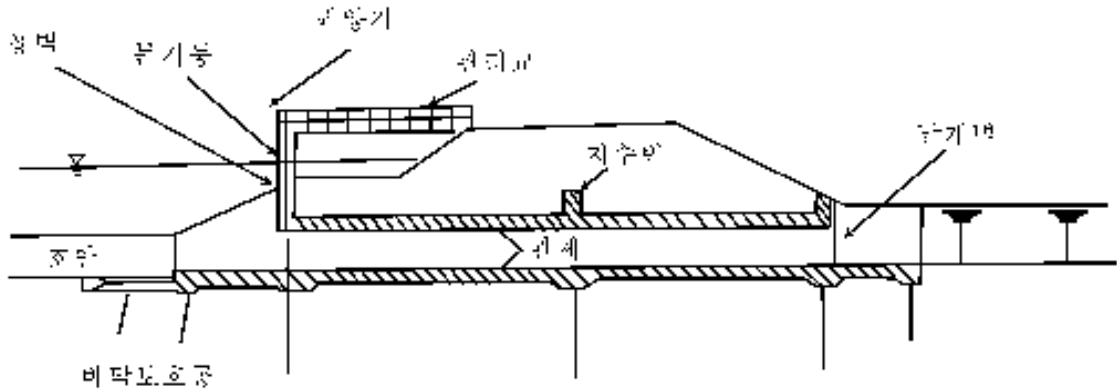


그림 4.8.16 배수통문의 일반구조도

다. 설계의 기본

1) 위치의 선정

- 가) 배수목적을 충분히 발휘하기 위하여 배수지구의 지형, 배수계통 등을 조사하여 가능한 한 효율이 높은 배수가 되도록 지구의 최저위부에 선정한다.
- 나) 기초지반이 연약한 곳은 지지력이 작고 부등침하가 발생하기 쉬우므로 지반에 대한 지질조사를 충분히 하여 가장 양호한 위치를 선정한다.
- 다) 파랑, 고조 등의 충격을 받지 않는 지점을 선정한다.
- 라) 하천유사 및 토사퇴적에 의한 장애를 받지 않는 지점을 선정한다.
- 마) 하폭, 제방비탈의 급변부 혹은 하천바닥이 불안정한 곳은 되도록 피하는 것이 바람직하다.

2) 바닥높이의 결정

배수문, 배수통문의 바닥높이는 배수를 위해서는 낮을수록 효과적이지만 바닥높이를 너무 낮게 하면 공사비가 증가할 뿐만 아니라 문턱에 토사퇴적 등에 의하여 게이트 조작에 지장을 초래하고 홍수시 역류를 일으킬 뿐만 아니라 배수능력을 감소시키게 된다. 또 하천을 횡단하는 배수문은 바닥높이가 적절하지 않으면 하천바닥이 심하

게 변동하게 된다.

하천바닥변동은 구조물 안전에 큰 영향을 미치므로 바닥높이 결정에는 하천 유황, 배수능력 등을 충분히 조사하여 결정한다. 더욱이 하천법의 적용을 받는 경우는 「하천법」이나 「하천설계기준」 등에 의하여 결정해야 한다.

### 3) 통수단면

통수면적은 유역면적, 강우량, 담수면적 및 내외수위를 충분히 고려하여 산정해야 한다.

유출량 산정은 「농업생산기반정비사업계획설계기준 배수편」을 참조한다. 배수문, 배수통문의 통수단면은 하천의 설계홍수량 또는 수로의 설계유량을 안전하게 유하시킬 수 있는 능력을 갖도록 할 뿐만 아니라 배수본천 및 제방에 나쁜 영향을 미치지 않도록 통수 단면적을 확보할 필요가 있다.

### 4) 배수문의 설계

배수문 설계는 「농업생산기반정비사업계획설계기준 해면간척편」 및 「취입보편」을 참조한다.

### 5) 배수통문의 설계

배수통문 관체는 암거구조로 되어 있어 보수, 보강이 곤란하므로 설계시에는 특히 강도와 내구성을 충분히 갖는 구조로 해야 한다.

종단방향의 하중분포는 제방 밑에 매설하므로 균일하지 않고 지반조건이 다른 경우도 많다. 따라서, 구조설계시에는 횡단방향 검토는 물론 종단방향의 지반반력, 응력 등에 대해서도 충분히 검토할 필요가 있다.

날개벽은 관체와 상류수로 사이에 있어 제방을 보호하기 위하여 설치하는 것이다. 관체와 날개벽은 재하조건이 서로 다르기 때문에 관체와 날개벽을 일반구조물로 하면 접합부에 무리가 생기게 되므로 관체와 날개벽과는 분리하여 설계하는 것이 바람직하다.

홍벽은 날개벽과 같이 제방 흩쌓기 보호, 제방내로의 침투수 침투방지 등을 위하여 설치하는 것이며 날개벽에서 제체내로 보통 1.0~1.5m 정도 좌우로 연장하여 설치한다.

더욱이 안전을 위하여 홍벽 기초에 지수판을 타설하는 일도 있다. 또 외수측 홍벽은 게이트의 개폐장치를 유지하는 문기둥과 일체로 하는 것도 있다.

## 4.9 분수공, 합류공 및 계측시설(측정시설)

## 4.9.1 분수공

### 가. 일반사항

분수공의 설치는 수로조직의 설계시 검토한 용수계통이나 분수공의 통폐합계획, 지역의 용수관행이나 지역주민의 의향 등을 배려한 분수계획 및 노선배치가 이루어지도록 하는 동시에 소정의 기능을 갖춘 분수공이 되도록 배려해야 한다. 따라서 설계에서는 수리계획, 물관리방식, 수로형식 등을 고려한 분수공의 형식, 규모 및 설치수 등 수로조직에 기초하여 설계상의 유의사항에 대하여 확인한 다음 시설을 설계한다.

설치개소의 선정은 유지관리 및 구조 설계상 다음사항에 유의하여 선정한다.

- ① 지반이 양호한 지점일 것
- ② 수역지에서 가까워 분수공의 유지·관리가 편리한 지점일 것
- ③ 높은 성토 또는 깊은 절토는 가급적 피할 것
- ④ 재해가 발생할 염려가 없는 지점일 것
- ⑤ 시공이 용이한 지점일 것
- ⑥ 수류가 안정되어 있는 지점일 것
- ⑦ 필요한 수두를 얻을 수 있는 지점일 것

또한 분수공은 물관리계획에 기초한 주수로나 주수로로부터의 분수량을 파악·제어하기 위한 유량계측시설이나 통신시설을 병설하는 경우가 있다. 따라서 이들 분수계획에서 요구되는 유량계측시설 등의 기능을 감안하면서 설계해야 한다.

### 나. 분수공의 분류

분수공형식을 그 기능의 적응성에 의해 분류하면 그림 4.9.1과 같다.

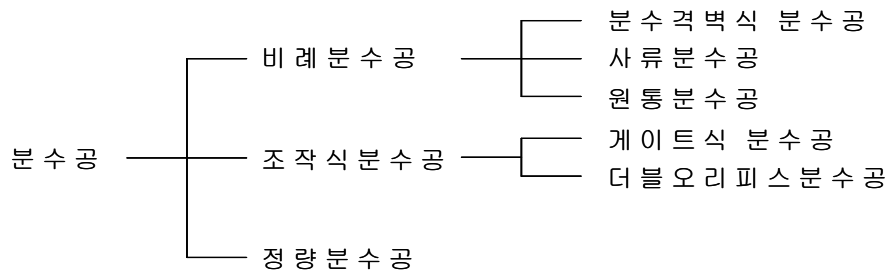


그림 4.9.1 분수공의 분류

#### 1) 비례분수공

비례분수공은 주수로의 유량, 수위가 변화되어도 분수비율을 일정하게 유지하는 분

수공이다. 대표적인 분수공으로서는 분수격벽식 분수공, 사류분수공 및 원통분수공 등이 있다.

가) 분수격벽식 분수공

분수격벽식 분수공은 분수격벽에 의해서 소정의 비율로 분배하는 것으로서 구조가 간단하고 시설의 건설비가 싸다. 분수에 의한 손실수두는 다른 비례분수공에 비해서 상당히 작지만 하류수로의 수위변동의 영향을 받아 분수비가 변화되기 쉽기 때문에 지선수로측에서 게이트에 의한 조작이 필요하다 (그림 4.9.2).

또한 이 분수공에는 분수격벽이 레일 등을 따라서 자동적으로 수로 횡단방향으로 이동하여 분수비를 변화시킬 수 있는 것도 있다.

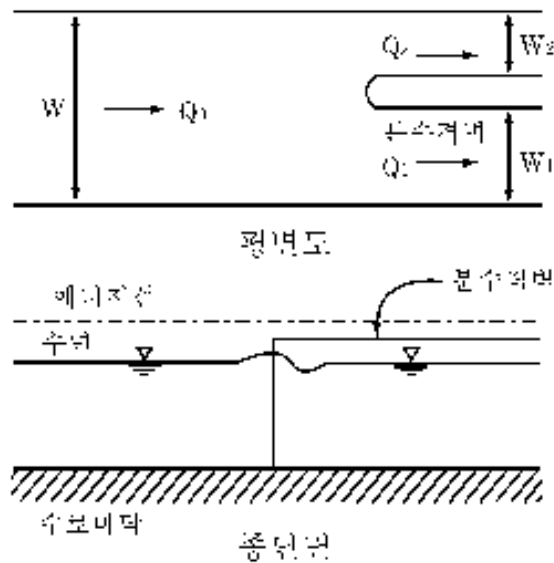


그림 4.9.2 분수격벽식 분수공의 예

나) 사류분수공

사류분수공은 수로의 일부에 사류구간을 설치하여 하류수로의 영향을 방지하고 격벽에 의해 소정의 분수비로 분수하는 분수공이다. 분수격벽식 분수공이 상하류 수로의 수위변동의 영향을 받는데 비해, 사류분수공은 분수격벽 상류에서 사류를 발생시킴으로써 하류수로의 수위변동 영향이 상류에 전달되지 않고 분수비의 정확성을 확보할 수 있다. 웨어에 의해 통수단면적을 축소시켜 한계류를 발생시킴으로써 유속분포가 균일하게 되어 분수의 정확도가 향상된다. 또한 웨어의 상류수심을 측정하여 정확한 유량 파악이 가능해지는 등의 장점이 있는 반면 수로 도중에 사류구간을 만들

기 때문에 분수격벽식 분수공에 비해 시설용지나 손실수두가 많이 발생하고 소량 분수시에는 충격파가 발생하기 때문에 정밀도가 저하되는 등의 단점이 있다 (그림 4.9.3, 그림 4.9.4).

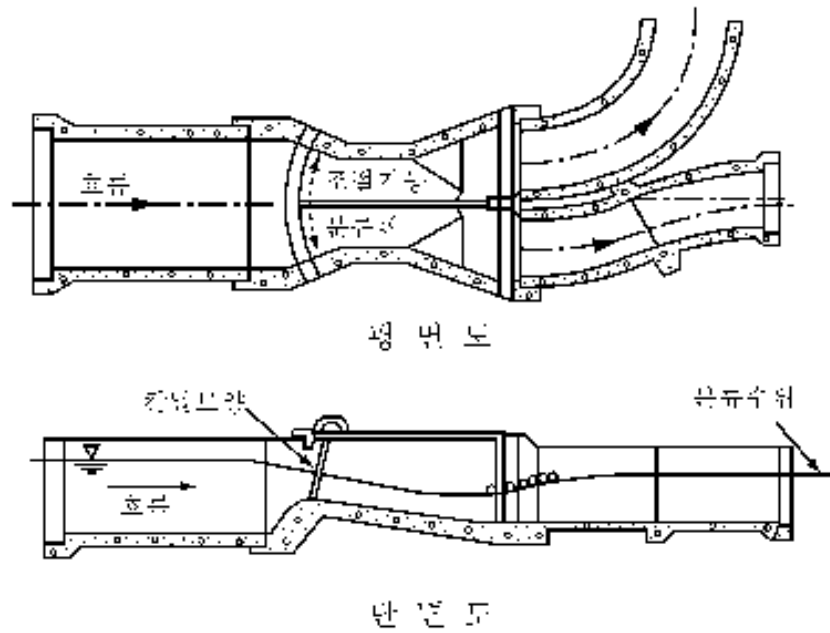


그림 4.9.3 분수비가 변화되는 사류분수공의 예

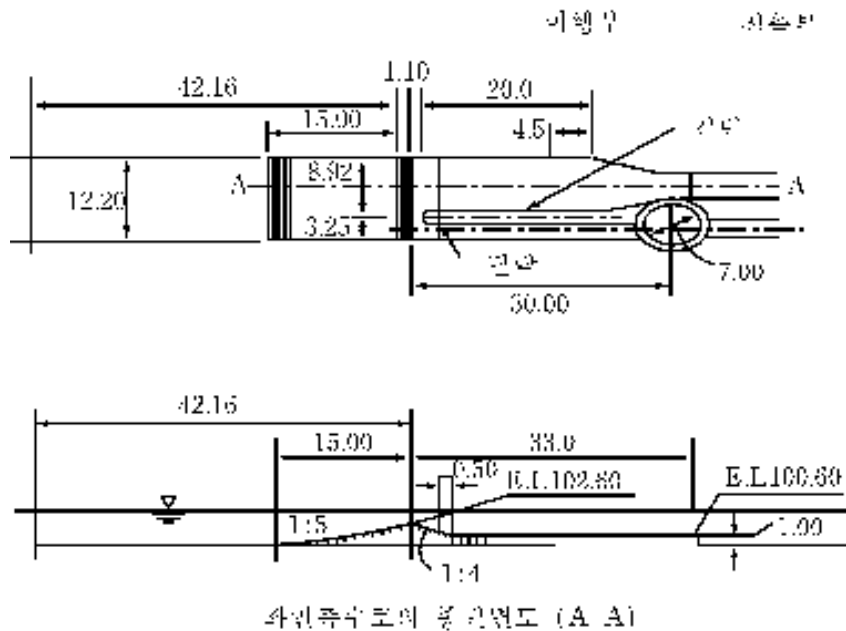


그림 4.9.4 사류분수공의 예



#### 다) 원통분수공

원통분수공은 수로의 유수를 역사이폰 관로 등을 이용해서 원통형 수조의 중앙부로 용출시켜 정수에 가까운 상태로하여 소정의 분수비로 분할한 원주상의 웨어를 월류시켜서 분류하는 것이다. 이 분수공을 설계할 때는 분수로의 단면, 기울기를 결정할 때 수리설계상의 주의가 필요하며, 원주 위에 설치하는 웨어의 월류수심이 원주 전체에 걸쳐 균등하도록 특히, 수리적인 배려가 필요하다. 또한 분수로측의 영향에 의해 소정의 분수비를 얻을 수 없는 경우가 있으므로 주의해야 한다 (그림 4.9.5).

비례분수공의 특징을 표 4.9.1에 나타냈다.

#### 2) 조작식 분수공

게이트, 밸브 등의 유량조절장치를 갖춘 것으로서 구조가 단순하고 배수조건에 탄력적으로 적용할 수 있다. 반면 배수관리에 일손이 많이 필요하며 분수량은 상하류 수위에 따라서 불안정해지기 쉽다. 또한 분수관리조작이 갖추어지지 않은 경우는 분수가 잘 이루어지지 않을 위험이 있다. 대표적인 분수공으로서는 게이트식 분수공, 더블오리피스 게이트 분수공 등이 있다. 또한 telemeter 등 원격집중관리방식의 분수공도 이 분수방식에 포함된다.

본선의 상류수위 일정 체크 게이트 혹은 하류수위 일정 체크 게이트와 조작식 분수공을 조합하면 조작회수가 감소되어 분수관리의 생력화가 가능하다.

표 4.9.1 비례분수공의 장단점

형식	장점	단점
분수격벽식 분수공	<ul style="list-style-type: none"> <li>·구조가 간단하다.</li> <li>·시설건설비가 싸다.</li> <li>·분수에 의한 손실수두는 거의 없다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·상하류 수로의 수위 변동에 따라서 분수비가 영향을 받기 쉽다.</li> </ul>
사류분수공	<ul style="list-style-type: none"> <li>·사류이기 때문에 분수비는 하류수로의 수위 조건에 따른 영향을 받지 않는다.</li> <li>·분수비의 정밀도가 높다.</li> <li>·분수에 의한 손실수두는 비교적 작다.</li> <li>·상류수심 측정에 의해 유량을 파악할 수 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·분수격벽식 분수공에 비해 시설용지가 많이 필요하다.</li> </ul>
원통분수공	<ul style="list-style-type: none"> <li>·여러 개로 분수를 할 수 있다.</li> <li>·분수비는 안정되어 있다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·손실수두가 크다.</li> <li>·시설건설비가 높다.</li> </ul>

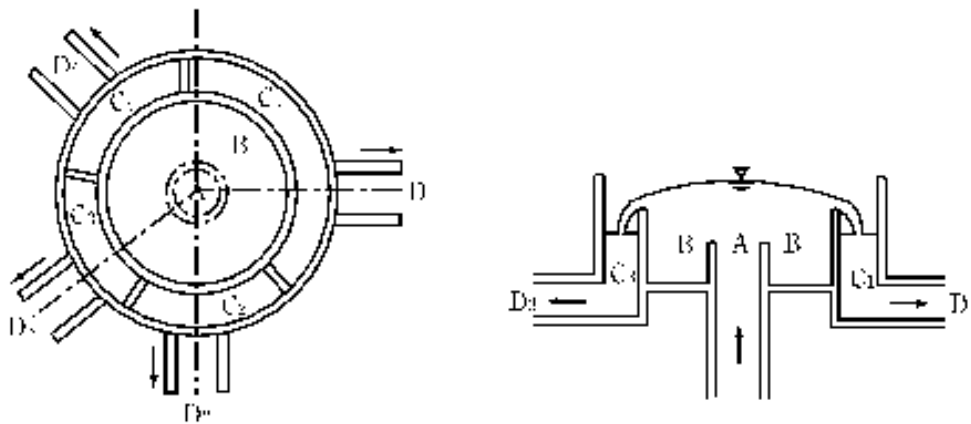


그림 4.9.5 원통분수공의 예

### 3) 정량분수공

정량분수공은 주수로의 유량 및 수위가 변화되어도 그 분수공에 설정된 분수량을 거의 일정하게 유지하는 자동분수량 조절장치를 갖춘 것으로서 물관리가 용이하고 효율적인 배수가 가능한 반면 시설비가 다른 것에 비해 높아진다. 대표적인 분수공으로는 일정수위를 확보하기 위한 상하류수위 조절 게이트와 distributor(배분기)와의

조합 또는 디스크 밸브 혹은 플로트 밸브에 의해 분수 후의 수위를 조절하여 일정한 수위를 유지하는 것이 있다 (그림 4.9.6 및 그림 4.9.7).

또한 하류수위제어방식에 적용하는 게이트를 이용하여 분수 후의 수위를 일정하게 유지하여 항상 정량의 분수 또는 취수가 가능한 방식도 있다.

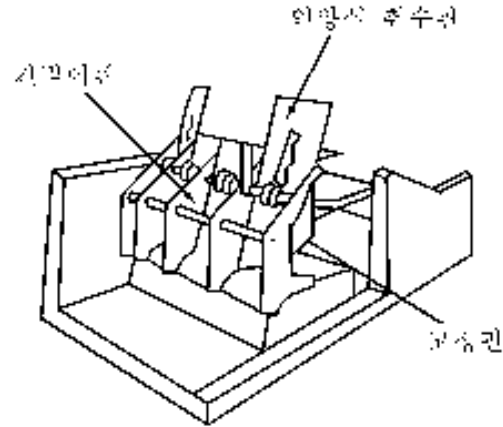


그림 4.9.6 Distributor

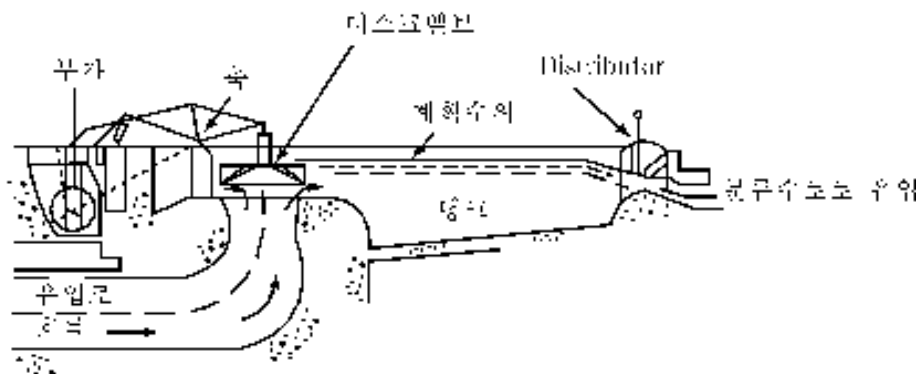


그림 4.9.7 디스크 밸브와 Distributor의 조합

**【참고】**

Distributor(배분기)는 주수로의 수위가 어느 범위 내이면 하류수위의 변동에 관계 없이 일정하게 유지할 수 있는 기능을 갖는다. 인양관으로만 유량설정이 이루어지기 때문에 대단히 단순하고 또한 설정유량도 단계적으로 결정할 수 있다. 단, 손실수두는 크고, 수위변동이 큰 간지선수로에서는 조정웨어와 조합시켜야 한다.

## 다. 설계의 기본

### 1) 분수공의 형식선정

- 가) 분수공의 형식은 물관리방식 및 수위·유량방식, 수로형식에 적합하도록 선정한다.
- 나) 지선분수량과 간선유량의 비인 분수비에 따라서 그 형식을 선정한다. 분수비가 20% 정도 이상의 경우는 분수격벽식 분수공, 사류분수공, 원통분수공 등의 선정을 검토하고, 그 이하의 경우는 게이트식 분수공, 더블오리피스 분수공 등에 대해서 검토한다.
- 다) 분수공 유량을 계측할 필요가 있는 경우 상호조합이 용이한 분수공 형식, 유량 계측방식을 선정한다.

### 2) 분수공설계의 유의점

분수공의 설계는 다음 항목에 유의해서 설계하는 것이 바람직하다.

- 가) 견고하여 잘 고장나지 않고 내구성이 있는 구조로 한다.
- 나) 시설비 및 유지관리비가 저렴한 것으로 한다.
- 다) 분수공에 의해 상하류의 수리현상이 심하게 변화되지 않는 구조로 한다.
- 라) 분수공은 원칙적으로 설계유량을 기초로 설계하지만, 각 분수공의 기능과 목적에 따라서 설계유량 이외의 최다빈도유량, 최소유량 등의 유량에 대해서도 분수량을 검토한다.
- 마) 분수에 의한 손실수두는 가급적 적고, 그러나 유지관리면에서 조정이 간편한 것을 선정한다.
- 바) 분수공 형식은 가능한 한 통일시켜 물관리를 효율화하고 분수의 정도를 균일화하도록 한다.
- 사) 자유수면을 갖는 분수공에서는 조압, 공기의 배제, 침사지 및 여수로 등의 기능을 부여할 수 있으므로 수두배분과 겸용기능에 대해서도 배려한다.
- 아) 분수공에 사용되는 밸브류의 선택에 따라서는 큰 수격압이 발생하여 관체가 파괴되는 원인이 되므로 밸브의 개폐속도에 대해서도 검토한다.
- 자) 분수공 스탠드의 규모는 서징에 의한 수면진동 및 관로 seal의 확보를 고려하여 결정한다.

## 라. 분수공별 설명

### 1) 게이트 분수공

- 가) 수문식 분수공

수문유출인 경우의 유량계수는 수문의 종류에 따라 큰 차이가 있다. 또한 수문으로부터의 유출형태에 따라서 그림 4.9.8과 같이 (a) 자유유출(수문으로부터의 유출수맥이 사류로서, 하류의 흐름이 도수에 연결된다), (b) 수중유출(유출수맥이 하류수면 아래로 잠입)으로 나뉘어진다.

수문유출의 유량공식이 많이 제안되어 있지만 여기에서는 자유유출, 수중유출 모두에 적용할 수 있는 식 (4.9.1)을 사용한다.

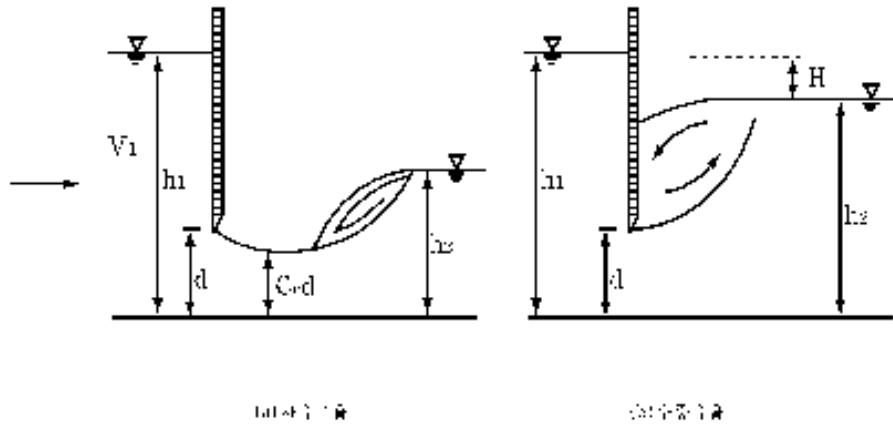


그림 4.9.8 수문

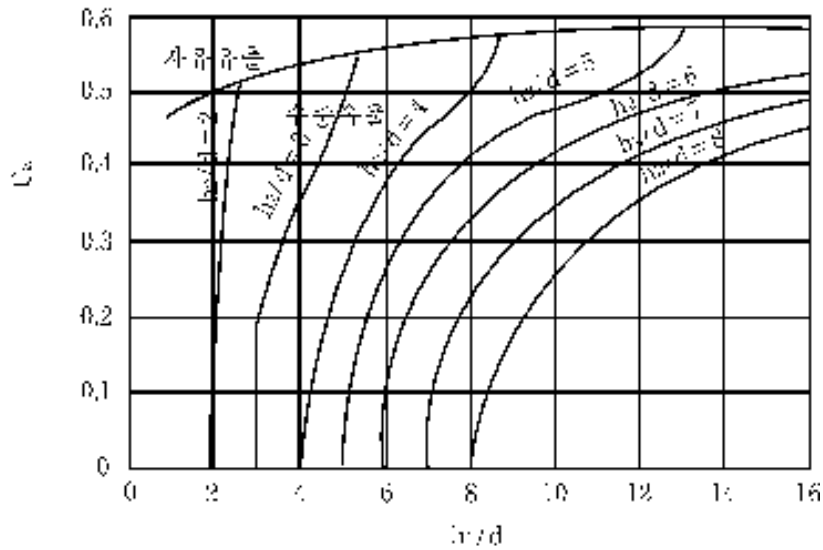


그림 4.9.9 수문의 유량계수  $C_a$

식 4.9.1은 인양게이트(a) 자유유출  $y$ 의 실험식 (b)수중유출  $y$ 의 실험식과  $C_a$ 와  $h_1/d$ ,  $h_2/d$ 와의 관계를 그림 4.9.9와 같다.

$$Q = C_a \cdot b \cdot d \sqrt{2g \cdot h_1} \dots\dots\dots(4.9.1)$$

Q: 분수량 (m<sup>3</sup>/s)

C<sub>a</sub>: 유량계수로 그림 4.9.9에 의해 구한다.

b, d: 게이트의 내부공간 폭, 개도높이 (m)

h<sub>1</sub>: 게이트 상류 수심 (m)

h<sub>2</sub>: 게이트 하류 수심 (m)

C<sub>c</sub>: 수축계수

한편, 식 (4.9.1)은 게이트의 개도를 구하는 경우나 게이트 상류 또는 하류수심을 구하는 경우에는 부적당하며, 이와 같은 경우에는 식 (4.9.2) 및 식 (4.9.3)을 사용할 수 있다.

또한 식 (4.9.2) 및 식 (4.9.3)은 유량계수에 따라 결과의 편차가 크기 때문에 완성 후에 실험치를 구하는 등 수정작업이 필요한 경우도 있다.

① 자유유출의 경우

$$Q = C_1 \cdot b \cdot d \sqrt{2g (h_1 - d)} \dots\dots\dots(4.9.2)$$

② 수중유출의 경우

$$Q = C_2 \cdot b \cdot d \sqrt{2g (h_1 - h_2)} \dots\dots\dots(4.9.3)$$

Q: 분수량 (m<sup>3</sup>/s)

C<sub>1,2</sub>: 유량계수, 横田에 의하면 h<sub>1</sub>/d > 2.5인 경우는 모두 0.62~0.66이다.

b, d: 게이트의 내부공간 폭, 개도높이 (m)

h<sub>1</sub>: 주수로(게이트의 상류) 수심 (m)

h<sub>2</sub>: 분수로(게이트의 하류) 수심 (m)

나) 통관식 분수공

주수로로부터 관로로 분수하는 경우는 식 (4.9.4)에 의해 구할 수 있다.

$$Q = A \sqrt{\frac{2g \cdot h}{f_e + f_o + f \cdot L/D}} \dots\dots\dots(4.9.4)$$

- Q: 분수량 (m<sup>3</sup>/s)
- A: 분수관의 통수단면적 (m<sup>2</sup>)
- f<sub>e</sub>: 유입손실계수 (표 4.9.2)
- f: 관의 마찰손실계수  $f = \frac{124.5n^2}{D^{1/3}}$
- n: 분수관의 조도계수
- L: 분수관의 길이 (m)
- D: 분수관의 관경 (m)
- h: 주수로수위와 통관출구수위의 차 (m)
- g: 중력가속도 (9.8 m/s<sup>2</sup>)
- f<sub>o</sub>: 유출손실계수 (f<sub>o</sub> = 1.0)

그림 4.9.10과 같이 주수로의 측벽에 직접 분수관을 접속하여 분수로에 분수하는 경우 유입손실계수 f<sub>e</sub>는 표 4.9.2와 같다.

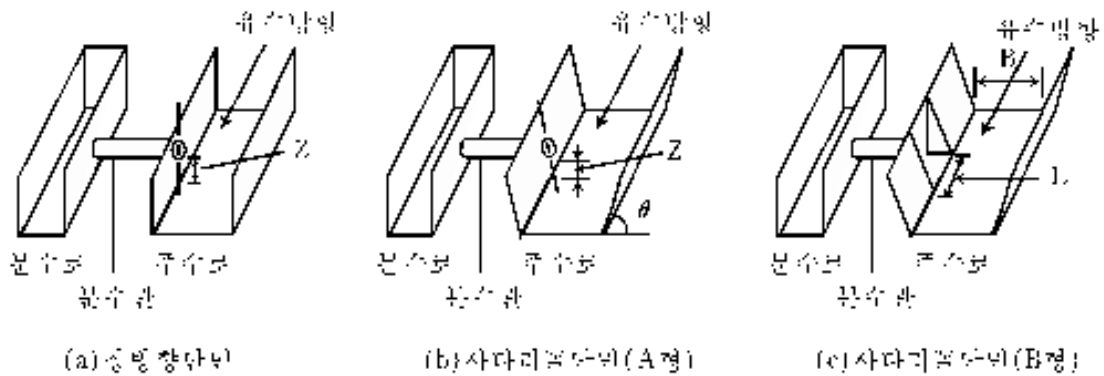


그림 4.9.10 통관식 분수공의 형상

표 4.9.2 통관식 분수공의 유입에 따른 손실계수 (f<sub>e</sub>)

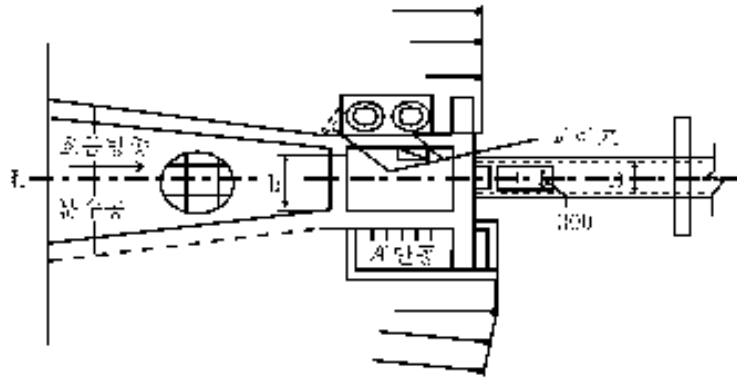
주수로의 형상	유입에 따른 손실계수 ( $f_e$ )	비고	적용범위
(a) 장방형 단면	$f_e = 0.5$	$F = \frac{V}{\sqrt{g \cdot D}}$ $V$ : 분수관 내의 평균유속 (m/s) $g$ : 중력가속도 9.8 (m/ s <sup>2</sup> ) $D$ : 분수관의 내경 (m) $m$ : 주수로의 측벽비탈경사 (cot $\Theta$ ) $\Theta$ 는 측벽비탈면과 수평면이 이루는 각도 (°) $Z$ : 분수관의 설치높이 (m) $B$ : 주수로의 폭 (m)	1. 분수량은 주수로 유량의 1/10 이하 2. 주수로 흐름의 프루드수는 0.54 이하 3. $D$ 값은 0.05m 이상이고 수심 $H$ 의 1/3 이하 4. $B$ 형에서 부분적으로 삽입한 구간의 길이가 $L$ 은 $2D < L < 4D$ 5. 분수관 유입부의 수심 $h$ 는 $1.5D < h < 4D$ 6. $Z$ 값은 0.05m 이상 7. $m$ 값은 $0 < m < 1.0$ 8. $B$ 값은 $3D < B < 8D$
(b) 사다리꼴 단면 (A형)	$f_e = \frac{a}{F \cdot b} + 0.5$ $a = \frac{0.24}{\left(\frac{D}{0.05}\right)^3} + 0.37 m^3$ $b = \frac{0.8}{m}$		
(c) 사다리꼴 단면 (B형)	$f_e = \frac{c}{F \cdot d} + 0.5$ $c = 0.37 m$ $d = \frac{1.5}{m^{0.5}}$		

## 2) 더블오리피스 게이트 분수공

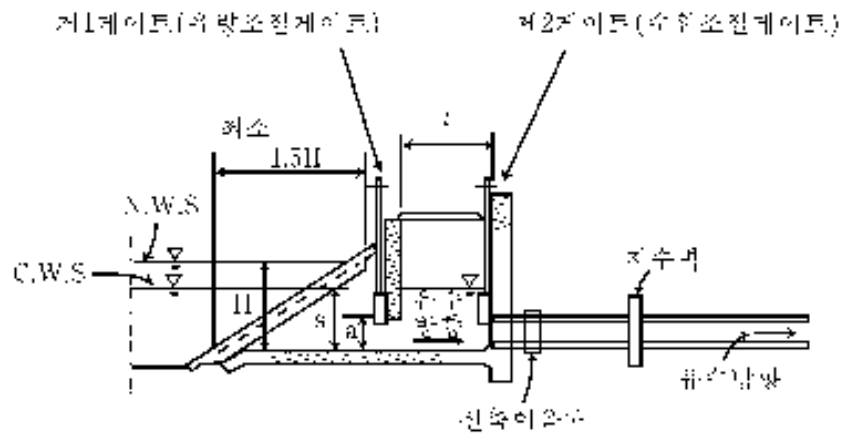
### 가) 개요

더블오리피스 게이트 분수공은 정수두형 분수공이라고도 일컬어지는 것으로 앞면의 제1게이트(유량게이트)로 오리피스의 개구면적을 설정하고, 제2게이트(수위조절게이트)로 주수로와 조정수조의 수위차를 일정(5~6m 정도)하게 조절하여 필요한 수량을 분수하는 것이다. 공간이 허용되는 한 유입부의 길이(주수로 설계수심의 1.5배 이상)를 충분히 확보하여 제1게이트를 주수로 측벽으로부터 떨어트림으로써 분수유량을 안정시킨다. 또한 주수로와 조정수조의 수위차가 과대하거나 혹은 제1, 제2 두 게이트 사이의 수조의 크기가 과소한 경우에는 수조의 수면이 요동쳐서 소정의 수위차를 얻을 수 없게 되므로 수조의 크기 ( $\ell$ )은 다음 식을 만족시켜야 한다.  $\ell \geq (2.25 \sim 2.75) a$  또는 제1게이트 상류의 수심은  $s \geq (2.5 \sim 4) a$  (그림 4.9.11) 이상이 바람직한 것으로 알려져 있다.





(a) 평면도



(b) 종단면도 단, N.W.S.: 설계수위  
C.W.S.: 체크수위

그림 4.9.11 더블오리피스 게이트의 예

나) 수리계산

유량측정 게이트 및 수위조절 게이트부의 유량은 다음의 산정식으로 계산한다.

(1) 유량측정 게이트부

$$Q_1 = C \cdot A_1 \sqrt{2g \cdot h_1} \dots\dots\dots(4.9.5)$$

$Q_1$ : 유량측정 게이트부의 유량 ( $m^3/s$ )

$h_1$ : 주수로의 수위와 조정수조의 수위차 (m) (0.05 ~ 0.06 정도)

$A_1$ : 통수단면적 ( $m^2$ )

C: 유량계수

단, 유량계수는 USBR(미개척국)에 의하면 C=0.65~0.70의 범위이며, 본서에서는 0.65를 채용한다.

(2) 수위조절 게이트부

(가) 분수관에 접속하는 경우

더블오리피스 게이트가 분수관에 접속되는 경우에는 수위조절 게이트부의 유량  $Q_2$ 는 식 (4.9.6)을 이용해서 구한다.

$$Q_2 = A_2 \sqrt{\frac{2g \cdot h}{f_e + f_o + f \frac{L}{D}}} \dots\dots\dots(4.9.6)$$

$Q_2$ : 수위조절 게이트부의 유량 ( $m^3/s$ ) 단,  $Q_1 = Q_2$

$A_2$ : 분수관의 통수단면적 ( $m^2$ )

$f_e$ : 유입손실계수 ( $f_e=0.5$ )

$f_o$ : 유출손실계수 ( $f_o=1.0$ )

$f$ : 마찰손실계수  $f = \frac{124.5n^2}{D^{1/3}}$

$L$ : 분수관의 길이 (m)

$D$ : 분수관의 내경 (m)

$h$ : 조정수조의 수위와 출구수위의 수위의 차이 (m), 보통 0.3m로 한다.

(나) 개수로에 접속하는 경우

더블오리피스 게이트가 분수로(개수로)에 접속하는 경우는 수위조절 게이트부의 유량  $Q_2$ 는 유량측정게이트부의 유량계산식인 식 (4.9.5)를 이용해서 구할 수 있다.

단, 이 경우 유량계수 C는 0.65~0.75로 한다.

또한 유량계수는 0.65를 적용하는 것으로 하지만 이 값은 측정에 의해 확인하는 것이 바람직하다.

3) 분수격벽식 분수공

분수격벽식 분수공의 성능은 분수공의 구성보다 오히려 하류 분수로의 배수의 영향이 분수비를 지배하는 인자이다.

하류분수로의 지배단면에서 상류방향으로 배수계산을 실시하여 분수비가 설계값이 되도록 유량을 부여한 경우 양 분수로의 배수에 의한 에너지 높이가 분기점에서 일치되도록 설계한다. 따라서 분수공 부분보다도 하류수로의 단면형, 조도계수, 기울기

등의 설계가 중요하다.

분수공의 통수단면은 원칙적으로 장방형으로 하고, 분수격벽의 위치는 양측벽으로부터 분수비에 비례하는 거리에 설치한다.

분수점의 상하류에는 수로폭 또는 수심의 10배 이상의 정류구간(수로폭·바닥높이를 변화시키지 않는 구간)을 마련함으로써 수리적으로 안정된 분수를 할 수 있다.

가) 단면계산

분수로의 수심 및 유속은 상하류수로와 거의 같은 정도로 가정하고 간선쪽, 지선쪽의 분수로의 폭을 결정한다.

나) 기본치수

분수격벽식 분수공의 기본구성도는 그림 4.9.12와 같고 기본치수는 식 (4.9.7) ~ (4.9.13)에 의해 구한 값 이상으로 한다.

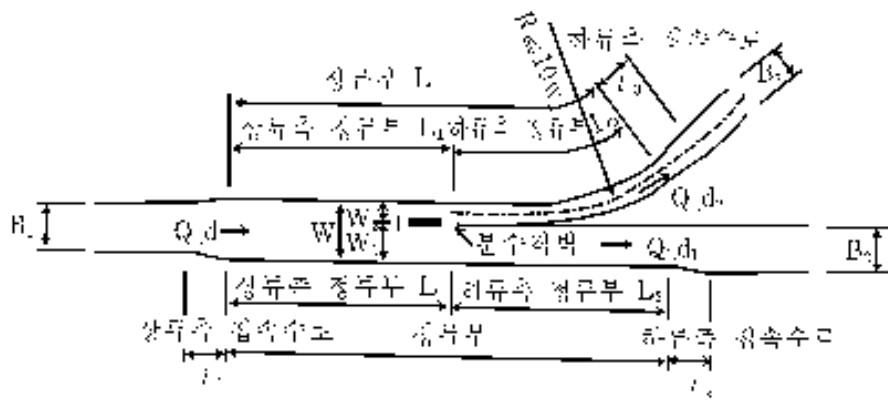


그림 4.9.12 분수격벽식 분수공의 기본 구성도

분수로의 폭  $W_1 = \frac{Q_1}{Q} (W - t)$  .....(4.9.7)

$W_2 = W - W_1 - t$  .....(4.9.8)

상류측 정류부의 길이  $L_1 \geq 10 W$  또는  $10 d$  .....(4.9.9)

하류측 정류부의 길이  $L_2 \geq 10 W_1$  또는  $10 d_1$  .....(4.9.10)

$L_3 \geq 10 W_2$  또는  $10 d_2$

$d$ : 상류측 정류부의 수심 (m)

$d_1, d_2$ : 하류측 정류부의 수심 (m)

정류부의 길이  $L = L_1 + L_2$  ..... (4.9.11)  
 $L' = L_1 + L_3$

상류측 접속수로  $l_1 = \frac{W - B_1}{2 \tan 10^\circ 00'} \geq 3.00 \text{ m} \dots\dots\dots(4.9.12)$

하류측 접속수로  $l_2 = \frac{W_1 - B_2}{2 \tan 10^\circ 00'} \geq 3.00 \dots\dots\dots(4.9.13)$

$l_3 = \frac{W_2 - B_3}{2 \tan 10^\circ 00'} \geq 3.00$

W: 수로폭 (m)

t: 분수격벽 두께 (m)

$l_1$ : 상류측 접속수로 (m)

$l_2$ : 하류측 접속수로 (m)

$l_3$ : 하류측 접속수로 (m)

다) 여유고

상류수로의 측벽고에 분수격벽식 분수공의 측벽고를 맞추는 것이 바람직하다.

라) 분수격벽식 분수공의 손실수두

분수격벽식 분수공은 일반적으로 다음의 손실수두를 생각한다.

- ① 마찰에 의한 손실수두
- ② 단면변화에 의한 손실수두

이상의 손실수두를 계산하고 분수격벽식 분수공 및 하류수로의 단면을 결정한다.

4) 사류분수공

사류분수공은 다음의 제조건에 유의해서 설계한다.

- ① 각 분수로 모두 완전일류로 한다.

각 분수로 중 가장 수위가 높은 분수로는 식 (4.9.14)를 만족시킨다 (그림 4.9.13).

$\frac{h_2}{h_1} \leq K_1 \dots\dots\dots(4.9.14)$

$h_1$ : 상류측 웨어마루기준 수심 (m)

$h_2$ : 하류측 웨어마루기준 수위 (m)

$K_1$ : 정수. 단, 하류수로바닥의 기울기가 1:5일 때  $K_1 = 0.68$

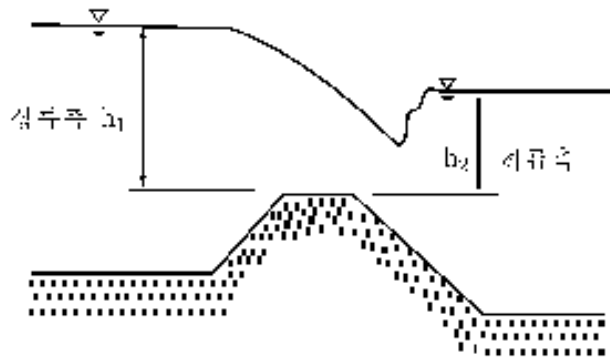


그림 4.9.13 사류분수공의 상하류수심

② 웨어에 의해 상승되는 수위는 상류설계수위 이내로 한다.

웨어의 월류량공식과 배수계산에 의해 구한 수위가 설계수위 이내인지 여부를 검토한다.

③ 웨어마루에서의 수평방향 유속분포를 균일하게 한다.

웨어 상류단면적  $A_1$  과 웨어마루 단면적  $A_2$  의 단면축소율이 클수록 유속분포는 균일해 진다. 웨어 상류쪽에 충분한 길이의 장방형단면 직선정류구간을 설치하고 정류구간과 상류수로사이에 점확부를 설치한다.

웨어 상류수로바닥은 1:5 정도의 기울기로 하고, 분수의 정밀도를 높이기 위해 웨어마루는 수평으로 시공한다.

웨어 하류수로바닥 기울기는 완만할수록 완전월류의 범위가 넓어지고 (식 (4.9.14)의  $K_1$  값이 크다), 웨어에 의한 손실수두(웨어 상하류의 수위차)가 작아지기 때문에 소량분수의 경우에 격벽위치를 분수비만으로 결정하는 것은 위험하다. 이와 같은 경우에는 다른 형식의 분수공을 검토하거나 수리실험 등에 의해 유황을 확인하여 검토해야 한다.

④ 분수를 위한 격벽상류단 위치는 원칙적으로 한계수심이 발생하는 위치의 하류에 설치한다.

⑤ 웨어 직하류에서 도수를 발생시킨다.

웨어의 직하류에 설치하는 정수지에서 월류수맥이 노출된 상태로 그대로 유하하는 것으로 가정하는 경우 수맥의 수심(사류)에 대한 공액수심(상류)이 하류수로의 수심(정수지 바닥을 기준으로 측정)보다 5~10% 정도 작아지도록 정수지 바닥높이를 결정한다. 또한 이 검토에서는 설계유량 이외의 유량에 대해서도 시산할 필요가 있다.

가) 단면계산

(1) 웨어높이

수로 중에 설치한 월류웨어 상에서 사류를 발생시키는 조건으로 상하류간의 손실수

두를 무시한 경우 식 (4.9.15)가 성립해야 한다 (그림 4.9.14).

$$\frac{2}{3} \left( H_1 - H_z + \frac{V_1^2}{2g} \right) \geq H_2 - H_d - H_z + \frac{V_2^2}{2g} \quad \dots\dots\dots(4.9.15)$$

- $H_1, H_2$ : 상하류 수로의 수심 (m)
- $V_1, V_2$ : 상하류 수로의 유속 (m/s)
- $H_z$ : 웨어높이 (m)
- $H_d$ : 상하류 수로의 고저차 (m)

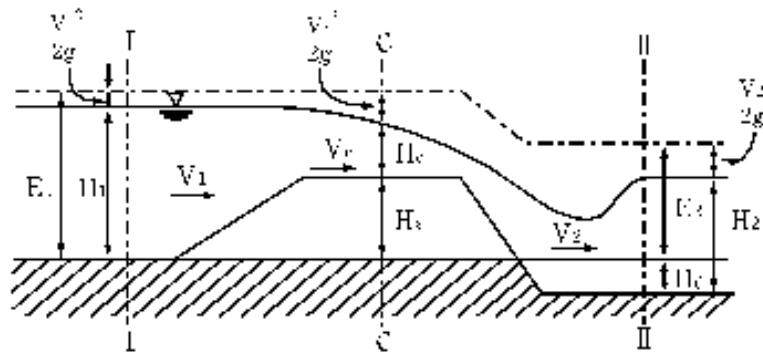


그림 4.9.14 광정웨어단면도

단, 우변의 하류측 수로의 비에너지로 2개의 분수류 중 큰 비에너지를 갖는 수로를 기준으로 계산하는 것이 좋다.

웨어높이  $H_z$ 는 식 (4.9.15)로부터 유도된 식 (4.9.16)에 의해 구할 수 있다.

$$H_z \geq 3 \left( H_2 - H_d + \frac{V_2^2}{2g} \right) - 2 \left( H_1 + \frac{V_1^2}{2g} \right) \quad \dots\dots\dots(4.9.16)$$

(2) 한계수심 및 한계유속의 계산

한계수심 및 한계유속은 「완전월류되는 월류웨어마루에서의 수심은 그 유수가 갖는 에너지를 가지고 흘러보낼 수 있는 유량이 최대가 되는 값을 취한다」라고 하는 Belanger의 법칙을 적용해서 식 (4.9.17) 및 식 (4.9.18)로 구한다.

$$H_c = \frac{2}{3} \left( H_1 - H_z + \frac{V_1^2}{2g} \right) \quad \dots\dots\dots(4.9.17)$$

$$V_c = \sqrt{g \cdot H_c} \dots\dots\dots(4.9.18)$$

$H_c$ : 한계수심 (m)

$V_c$ : 한계유속 (m/s)

$g$ : 중력가속도 (9.8m/s<sup>2</sup>)

(3) 웨어폭의 결정

그림 4.9.14의 I ~ C 단면간에 베르누이의 정리를 적용하면,

$$E_1 = H_1 + \frac{V_1^2}{2g} = H_c + H_z + \frac{V_c^2}{2g} + H_f \dots\dots\dots(4.9.19)$$

$H_f$ : 마찰손실수두 (m)

$$\therefore V_c = \sqrt{2g(E_1 - H_c - H_z - H_f)} \dots\dots\dots(4.9.20)$$

I ~ C간의 마찰손실수두를 무시하면 유량  $Q$ 는,

$$Q = A \cdot V_c = B \cdot H_c \sqrt{2g(E_1 - H_c - H_z)} \dots\dots\dots(4.9.21)$$

따라서 웨어폭  $B$ 는 식 (4.9.22)에 의해 구할 수 있다.

$$B = \frac{Q}{\sqrt{2g \cdot H_c^2(E_1 - H_c - H_z)}} \dots\dots\dots(4.9.22)$$

나) 격벽의 위치

격벽을 종단방향으로 사류부인 하류측 웨어마루 부근에 설치한다.

횡단방향으로는 분수격벽식 분수공과 같이 분수비에 의해 결정하는데, 식 (4.9.23)으로 구한다.

$$B_1 = \frac{Q_1}{Q} \cdot B, B_2 = B - B_1 \dots\dots\dots(4.9.23)$$

$Q, B$ : 분수전의 유량 (m<sup>3</sup>/s) 폭 (m)

$B_1, B_2$ : 분수후의 폭 (m)

$Q_1, Q_2$ : 분수후의 유량 ( $m^3/s$ )

격벽의 높이는 측벽높이에 맞춘다.

다) 정수지 바닥높이와 길이

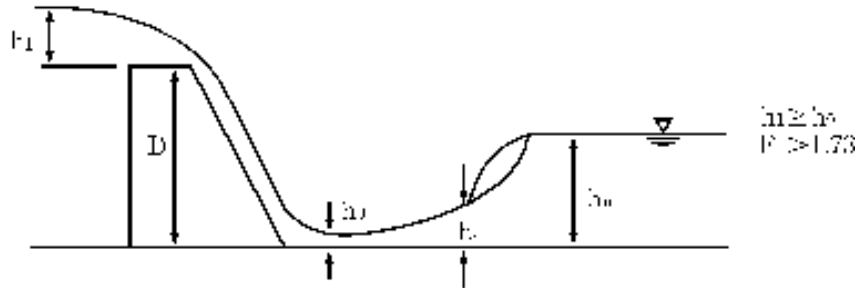


그림 4.9.15 노출사류의 수면형

① 웨어의 하류단의 수심  $h_o$ 는 식 (4.9.24)에 의해 구한다.

$$h_o^3 - E_o \cdot h_o^2 + \frac{q^2}{2g} = 0 \quad \dots\dots\dots(4.9.24)$$

$$E_o = D + \frac{2}{3} h_1 \quad (\text{m})$$

$$q = \frac{Q}{B} \quad (\text{m}^3/\text{s}/\text{m})$$

D를 가정해서  $h_o$ 를 산출한다.

②  $h_o$ 에 대한 공액수심  $h_m$ 은 식 (4.9.25)로 구한다.

$$h_m = \frac{h_o}{2} \left( \sqrt{\frac{8q^2}{g \cdot h_o} + 1} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots(4.9.25)$$

라) 여유고

상류수로측 측벽높이에 사류분수공의 측벽고를 맞추는 것이 바람직하다.



## 4.9.2 합류시설

### 가. 합류공

#### 1) 일반사항

합류공은 배수로에서 주로 필요한 것으로, 합류지점에서 양쪽의 바닥높이가 같고 흐름의 상태가 모두 상류로서 합류되도록 하는 것이 중요하다.

수로의 바닥 기울기, 유속 및 합류점 부근의 지형조건을 고려하여 안전한 시설이 되도록 설계해야 하며, 유의사항은 다음과 같다.

가) 간선·지선수로의 합류공은 가능한 한 간선수로의 흐름 방향에 맞도록 설치하며 간선수로 내의 불필요한 난류를 방지하도록 한다.

나) 배수로는 강우의 도달시간이 각 수로마다 다르기 때문에 유황 및 지수면적으로부터 합류점에서의 합류상황의 시간적 경과를 계산에 의해 구하며 설계유량을 안전하게 유하하도록 한다.

다) 합류수로의 각각의 유속은 상호간에 비슷하게 하며 극단적으로 다르게 하는 경우에는 상류에 수위조정시설 및 낙차공 또는 급류공을 설치하고 다시 조정할 필요가 있다.

라) 합류공 내에서는 동일 높이로 하여 낙차가 없는 구조로 하는 것이 바람직하다.

마) 경사지에서 합류공을 설치할 경우는 월류에 의한 피해도 예상되기 때문에 그 대책에 충분히 주의해야 한다. 통상 합류공 부근에는 합류지, 집수지, 토사저류시설을 설치하지만 경사지점에서 이러한 구조물은 비교적 크게 설치하는 것이 바람직하다.

#### 2) 취입부 수로의 설계

상류 단면에서 합류 후 단면으로 연결시켜 취입부 수로(트랜지션)의 설계를 하고 손실수두를 계산한다.

지선의 합류선형은 그림 4.9.16과 같이 하는 것이 바람직하다.

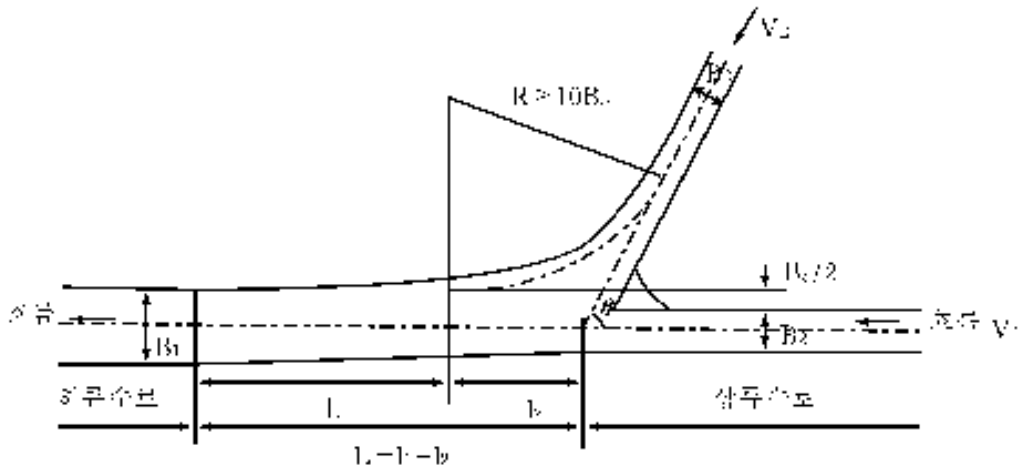


그림 4.9.16 지선의 합류선형

그림 4.9.16에서,

$B_1$ : 수로폭 (계획수면폭을 가정) (m)

$l_1$ :  $3(B_1 + B_2)$  정도 (m)

$$l_2: l_2 = R \cdot \tan \frac{\theta}{2} - \frac{B_2 + B_3}{2} \cdot \frac{1}{\tan \theta} \quad (\text{m})$$

$L$ : 합류공의 길이  $L = l_1 + l_2$  (m)

$\theta$ :  $\theta \leq 60^\circ$

합류공의 손실수두계산에서는 합류에 의한 손실수두와 마찰에 의한 손실수두를 계상한다.

가) 합류에 의한 손실수두

$$\begin{aligned}
 h_f &= \frac{1}{2g} \{ (v_2 \cdot \sin \theta)^2 + (v_2 \cdot \cos \theta - v_1)^2 \} \\
 &= \frac{1}{2g} (v_2^2 + v_1^2 - 2v_1 \cdot v_2 \cdot \cos \theta) \quad \dots\dots\dots(4.9.26)
 \end{aligned}$$

$h_f$ : 합류에 의한 손실수두 (m)

$v_1$ : 본선수로 상류측 유속 (m/s)

$v_2$ : 지선수로 유속 (m/s)

$\theta$ : 간선과 지선이 이루는 각도 ( $^\circ$ )

나) 마찰에 의한 손실수두

$$h_f = \frac{I_1 + I_3}{2} L \quad \dots\dots\dots(4.9.27)$$

$h_f$  : 마찰손실수두 (m)

$I_1, I_3$  : 본선 상하류의 동수기울기

$L$  : 합류공의 길이 (m)

2) 낙구공

낙구공은 기능상 합류공과 같은 합류시설의 일종이다. 낙구공은 낙차를 동반하여 간선수로에 유입하는 구조물이며 본선수로에 통관이나 콘크리트 2차제품 수로 등을 사용하여 수로주변으로부터 본선에 비교적 소유량을 유입시키는 경우나 반복수를 본선수로에 환원시키는 경우에 설치한다 (그림 4.9.17).

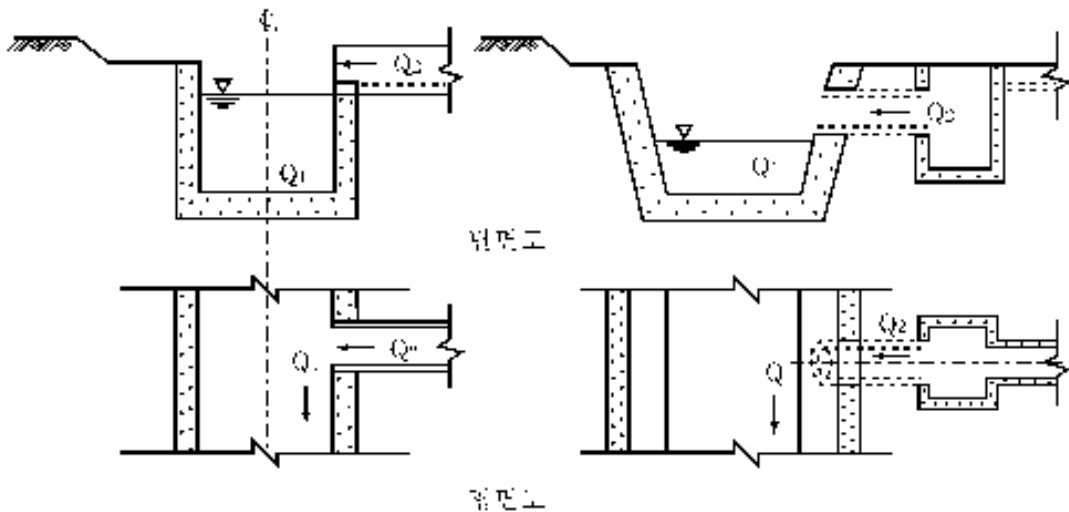


그림 4.9.17 낙구공 상세도

낙구의 형상은 흐름의 수로단면 내 분포를 균일하게 하며 감세공의 기능을 완전하게 하기 위해 원칙적으로 장방형 단면으로 하지만 배수로의 경우에는 낙구단면과 상류수로단면이 동일한 형상을 갖기 때문에 사다리꼴의 형상으로 하는 사례가 많다. 또한 좁히거나 보를 설치하지 않기 때문에 저하배수(低下背水)를 발생시키고 유속이 필요 이상으로 증가하기 때문에 상류취부수로의 구조에 따라서는 비탈면 및 수로바닥에 보호공이 필요하게 된다.

설계에 있어서는 합류공과 같이 본선수로에의 영향이 적게 되도록 해야 한다. 특히 낙구공은 낙차를 동반하여 본선수로에 유입하기 때문에 다량의 물을 유입시키는 경

우에는 낙구에서의 에너지를 상류에서 감소시켜 유입시킨다.

또한 다량의 토사를 포함한 물에 대해서는 본선수로에 토사의 퇴적이 예상되기 때문에 상류에서 토사를 침전시킨 후 유입시킨다. 일반적으로 소규모의 낙구공에 대해서는 토사저류시설을 설치하여 에너지 감소와 토사침전을 도모하는 것이 바람직하다. 한편 낙구에서의 유속의 증가에 동반하여 낙구 상류수로의 유속이 증가하고 이로 인해 상류수로에 악영향이 예상되는 경우나 낙구에서 낙차가 큰 경우에는 낙하 및 비산 등으로 간선수로 호안에 생길 악영향에 대비해 보호시설을 설치할 필요가 있다.

#### 다. 분·합류공의 수리설계

분합류공의 설계는 용수·배수의 구별이나 지형·입지조건, 유량규모, 수리조건을 검토하여 수리적으로 부적합이 생기지 않도록 해야 한다. 분합류공의 수리설계는 각종 손실수두의 경우 계산식을 이용하여 적절하게 설계하지만 특수한 형상이나 구조에서 수리현상이나 손실수두의 산정이 곤란한 경우에는 필요에 따라 수리모형실험을 하고 확인을 하는 것이 바람직하다.

한편 참고사례로 단일 단면인 기존 수로를 개축할 경우에 개수로는 중앙에 수중중간벽을 갖는 2련 플룸으로 교체하고 터널, 사이펀은 본선(기존 터널 및 사이펀)에 따라 바이패스수로를 신설하며 2련 수로계로 하는 아이치 용수 2기사업(일본 수자원개발공단 아이치용수총합사업부)에서 채용된 분합류공의 수리설계방법을 나타낸다.

참고사례 [분합류공의 본선과의 취부각도를 17°로 하는 아이치용수 2기사업의 예]

##### 1) 수리계산조건

기존 터널 및 사이펀(본선)에 따라 바이패스 수로의 신설이 계획되어 있으며 수리설계상 본선 및 바이패스수로의 공중 및 구조는 그림 4.9.18에 나타낸 바와 같다.

가) 분합류공의 본선과의 취부각도는 원칙적으로  $\theta = 17^\circ$ 로 한다. ( $\theta = 17^\circ$ 는 수리모형실험으로부터 정한 것이며 이것 이외의 경우 시설의 중요도에 따라 수리모형실험에 따르는 것이 필요하게 되는 경우도 있다).

나) 분합류공의 형식은 규정의 것으로 하며 그림에 나타낸 바와 같이 개수로 한쪽에서 수로로부터 부드러운 형태로 연결한다.

다) 본선측의 수로바닥 높이는 규정의 것으로 한다.

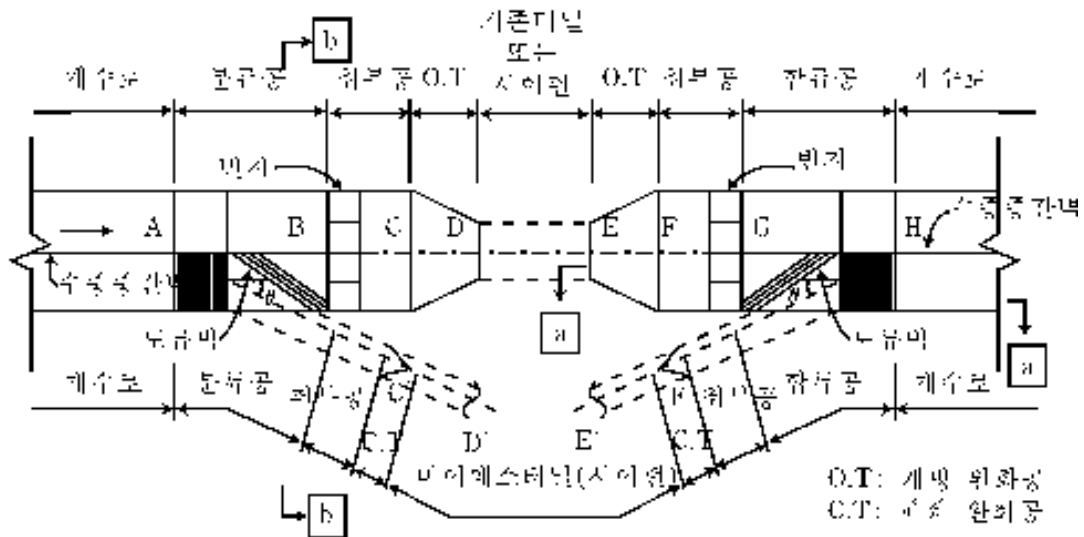
라) 바이패스 터널 또는 사이펀은 만류로 하고 원칙적으로 폐쇄완화공을 설치한다.

##### 2) 본선 터널의 수리계산

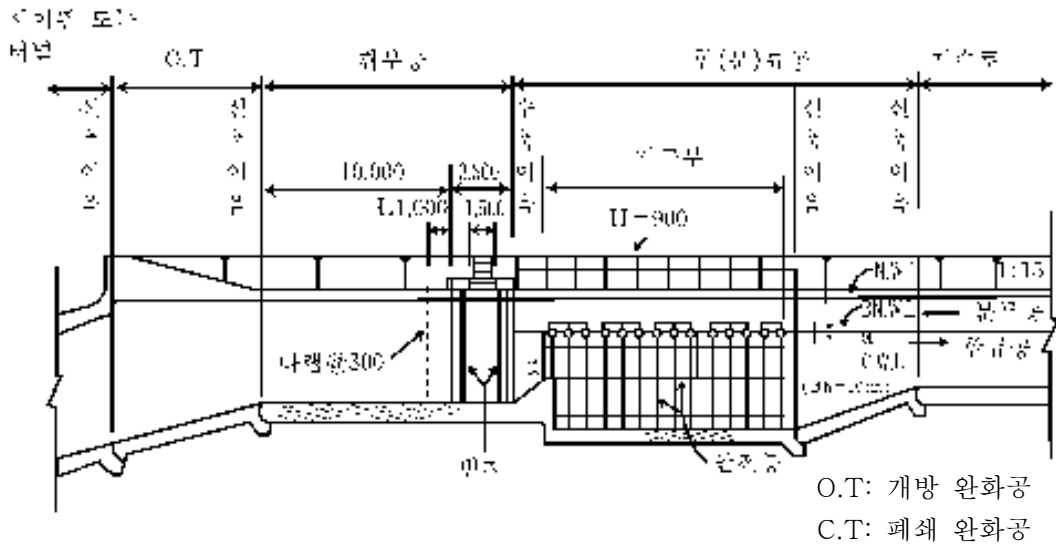
가) 상하류 개수로 A점 및 H점의 바닥높이, 에너지 표고 및 B~G까지의 바닥높

이는 알고 있는 것으로 한다.

- 나) 본선하류 폐쇄완화공 시점(E점)의 수리제원은 하류개수로 시점(H점)의 수리제원을 알고있는 것으로 하고 시산에 의한 부등류계산으로 구한다.
- 다) 본선 터널 내는 등류로 취급하며 나)에서 구한 하류 폐쇄완화공시점 (E점)의 수심과 터널시점 D'점의 수심은 같은 것으로 한다.
- 라) D'점의 수리제원을 알고 있는 것으로 하고 상류개수로 종점 A점의 수리제원을 부등류계산에 의해 구한다.
- 마) 상류개수로의 등류계산에 의해 구한 A점의 에너지 표고보다도 하류에서 구한 에너지표고가 낮은 경우에는 그 차를 잔여수두 ( $h_0$ )로 본선터널에 보류시킨다.
- 바) 반대로 높은 경우에는 상하류 개수로 바닥높이를 조정한다.



본선 및 바이패스 수로 평면도



본선측 종단면도(㉠-㉠)

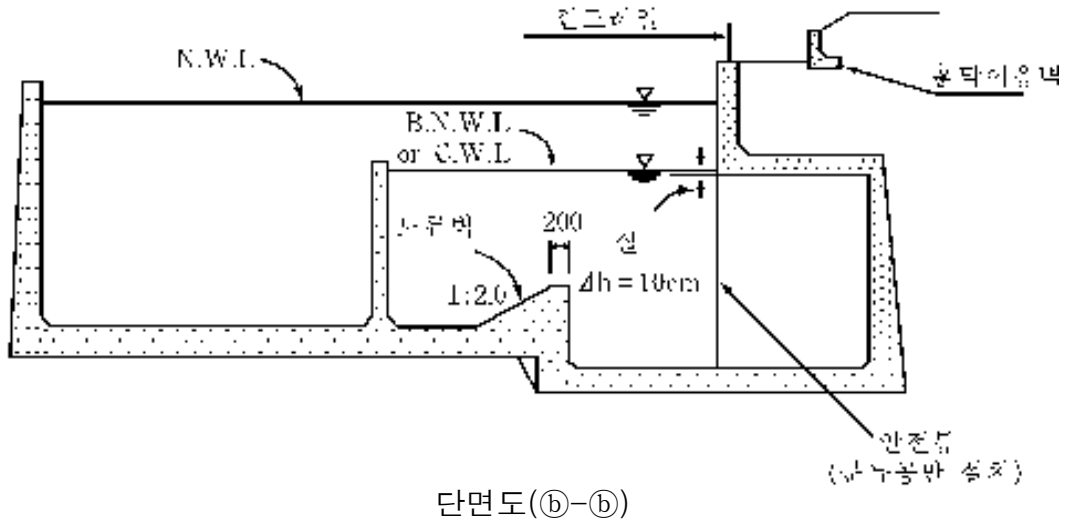


그림 4.9.18 본선 및 바이패스 수로의 공종 및 구조

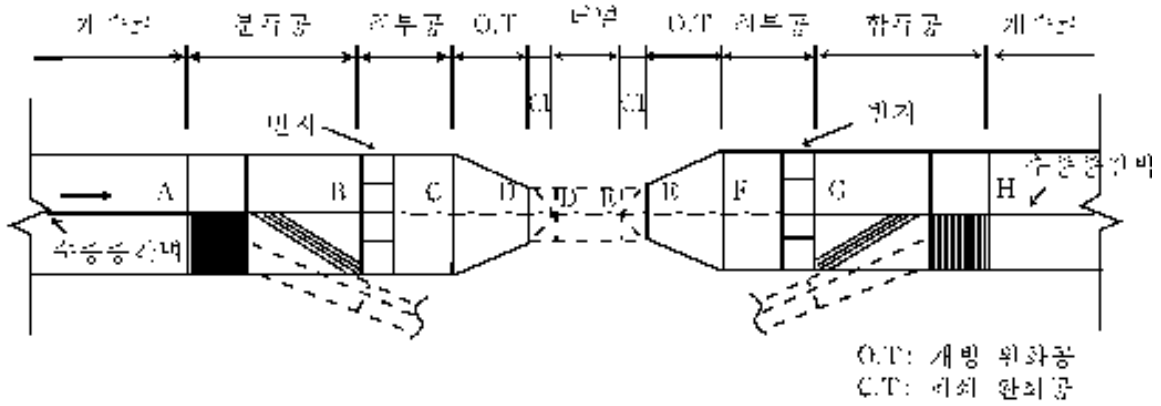


그림 4.9.19 본선터널의 공종

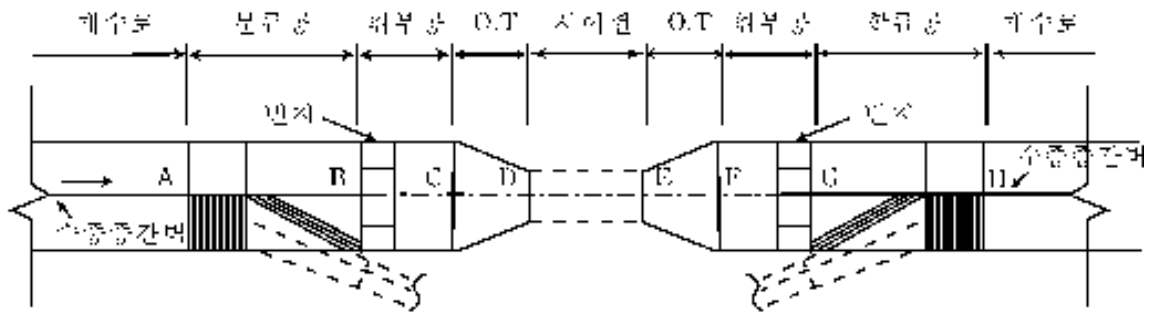


그림 4.9.20 본선 사이편의 공종

### 3) 본선 사이편의 수리계산

- 가) A점 및 H점의 수리제원 및 B점에서 G점까지의 바닥높이는 알고 있는 것으로 한다.
- 나) 본선 사이편은 만류로서 일반적으로 Manning 공식에 의해 마찰손실, 굴곡손실을 계산한다.
- 다) A점에서 D점간 및 E점에서 H점간에 대해서는 아래와 같이 계산한다. 이 때 사이편내 유속 및 개수로 시종점의 유속, 에너지 표고는 알고 있는 것으로 한다.

$$\text{마찰손실 } h_f = 1/2 (\text{본선 사이편 마찰손실기울기} + \text{개수로 바닥기울기}) \times (\text{AD간 길이 또는 EH간 길이})$$

$$\text{단면변화손실 } h_g = 0.2(\text{개수로 유속수두} - \text{본선 사이편 유속수두})$$

- 라) 하류측(H점)에서 상류측으로 계산하여 누적된 A점의 에너지 표고가 상류개수

로의 등류계산에 의해 구한 A점의 에너지표고보다도 낮은 경우에는 그 차분을 잔여수두 ( $h_0$ )로 본선 사이편에 보류시킨다.

나) 반대로 높은 경우에는 상하류 개수로 바닥높이를 조정한다.

#### 4) 바이패스터널·사이편 수리계산

시설배치설명도에 관해서는 그림 4.3.18을 참조할 것.

가) 분합류공, 취부공 및 바이패스 터널·사이편의 마찰손실, 단면변화손실 및 굴곡손실은 Manning 공식에 의해 계산한다.

나) 분합류공의 마찰손실 및 단면변화손실은 다음과 같다. 이 때 취부공 마찰손실 기울기는  $I_f = (n \cdot V / R^{2/3})^2$  이다. 한편 단면변화손실은 수리모형실험으로부터 구한다.

마찰손실  $h_f = 1/2(\text{개수로 기울기} + \text{취부공마찰손실 기울기}) \times (\text{분류공 또는 합류공의 평면길이})$

단면변화손실  $h_g = 0.2(\text{개수로유속수두} - \text{취부공유속수두}) + h'$

$h'$  : 정수      분류공 0.005 m

                  합류공 0 m

다) 손실의 합계가 AH간 이용가능수두보다 큰 경우는 바이패스직경 또는 상하류 개수로 바닥높이를 조정한다.

라) 상하류 개수로 바닥높이를 조정해서 바이패스터널·사이편의 손실배분을 행하는 경우에는 본선측이 계획유량일 때 대하여 재검토한다.

5) 바이패스 수로의 분합류부는 생각할 수 있는 최소유량을 통수할 때에도 만류상태가 유지되도록 충분한 seal 높이를 취한다.

### 4.9.3 계측시설

#### 가. 일반사항

분수공 및 조정시설 등 수로의 주요 부분에는 용수이용의 효율화를 위해 적절한 정밀도와 안정된 기능을 갖는 유량계측시설을 설치함으로써 분수량, 분수위 등을 파악하고 합리적인 배수관리, 관리비의 절감, 수로시설의 보전과 재해방지 등을 도모해야 한다.

유량계측시설은 수로내의 통수량을 감지하는 동시에 이것을 알려주는 기능을 갖는



것으로 유량계측시설에서 얻은 정보는 이것을 적절히 처리하여 효율적으로 물관리를 해야 한다.

유량계측기의 선정은 수질, 순간유량과 적산유량 중 어느 쪽에 중점을 둘 것인가, 필요한 정밀도는 얼마인가, 계측치의 표시 및 그 정보의 기록이나 전송 필요성 등을 고려한다. 유량계측기의 설치는 상하류측에 각각 필요한 길이의 직선부분을 확보하고, 관수로에서는 상시 만수되는 지점을 선정한다.

유량계측시설은 설치장소 및 목적으로부터 다음과 같이 분류된다.

1) 분수공에 부설하는 유량계측시설

- 가) 각 분수로에 유입하는 유량의 확인
- 나) 순간유량의 파악
- 다) 기타

2) 간지선수로의 중요한 장소에 설치하는 유량계측시설

- 가) 관리 잉여수 발생 감지
- 나) 유량부족 감지
- 다) 기타

3) 간지선수로의 중요한 장소에서 휴대용으로 계측하는 것

- 가) 부정기 유량파악
- 나) 유량계측기의 검증
- 다) 경제성 확인
- 라) 기타

또한 유량계측시설을 선정할 때는 분수·유량계측시설의 관리운영체제, 감시체제, 기록 및 제어조작수단 등을 고려하여 수로조직의 관리수준에 맞고 합리적인 물관리와 물의 유효이용을 도모할 수 있는 형식을 선정해야 한다.

관리수준의 설정과 유량계측시설 선정의 유의사항은 다음과 같고, 이 기준에 적합한 유량계측시설을 선정해야 한다.

- ① 관리조작방법 면에서의 검토
- ② 감시 및 기록체계 면에서의 검토
- ③ 제어수단 면에서의 검토

**나. 계측시설의 분류와 적용유량공식**

유량계측시설을 각각의 측정대상을 기준으로 분류하면 표 4.9.3과 같다.

1) 차압식 유량계

차압식 유량계는 수축기구의 종류에 따라 오리피스, 노즐, 벤투리 유량계로 분류된다. 각 차압식 유량계의 유량공식은 다음과 같다.

표 4.9.3 측정대상별 유량계측시설 예

측정대상	형 식	주요한 계기명
유량측정	용적식 유량계 분수구의 수로 측정 (1개의 유량은 고정)	회전드럼형 유량계, 타원형 치차식 유량계 distributor
유속측정	회전날개식 유량계 유속계 전기식 유량계	접선류 회전날개식 유량계, 축류회전날개식 유량계 유속계(회전식, 초음파식, 전자식 등) 전자유량계·초음파유량계
수위측정	차압식 유량계 웨어식 유량계 양수표	벤투리미터, 관내오리피스계, 관내노즐계, 농업용 전자유량계 광폭웨어, 삼각웨어, 사각웨어, 전폭웨어, 파살플류 표척, 플롯트식 수위계, 압력식 수위계

가) 벤투리형 유량계

벤투리형 유량계의 구조형식을 그림 4.9.21에 나타냈다.

유량은 식 (4.9.28) 및 식 (4.9.29)에 의해 구한다.

$$Q = K\sqrt{h} \quad \dots\dots\dots (4.9.28)$$

$$K = \frac{\mu \cdot \pi D_1^2 D_2^2 \sqrt{2g}}{\sqrt[4]{D_1^4 - D_2^4}} \quad \dots\dots\dots (4.9.29)$$

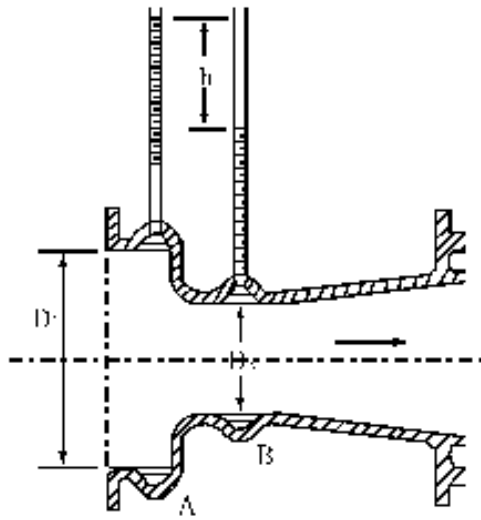


그림 4.9.21 벤투리형 유량계

- $Q$ : 유량 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $h$ : 상류부와 수축부의 압력수두차 (m)
- $\mu$ : 0.95 ~ 1.00
- $D_1$ : 상류부의 직경 (m)
- $D_2$ : 수축부의 직경
- $g$ : 중력가속도 ( $9.8 \text{ m/s}^2$ )

나) 오리피스형 유량계

오리피스형 유량계의 구조형식은 그림 4.9.22와 같다.

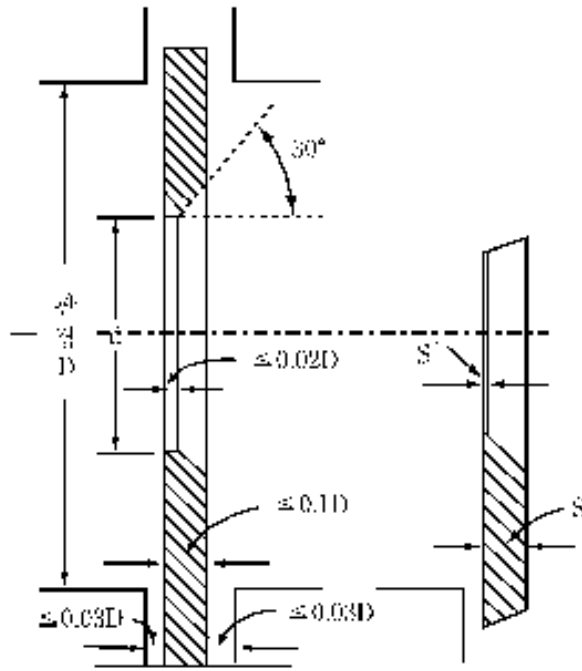


그림 4.9.22 오리피스형 유량계

유량은 식 (4.9.30)에 의해 구한다.

$$Q = a \cdot A \sqrt{\frac{2g \cdot h \cdot \rho'}{\rho}} \dots\dots\dots(4.9.30)$$

- Q: 유량 (m<sup>3</sup>/s)
- a: 유량계수
- A: 개구면적 (m<sup>2</sup>)
- g: 중력가속도 (9.8 m/s<sup>2</sup>)
- h: 액주계 값 (m)
- ρ: 측정관로내의 물의 비중
- ρ': 액주계내의 액체비중

오리피스의 경우 유량계수 a는 그림 4.9.23과 같다.

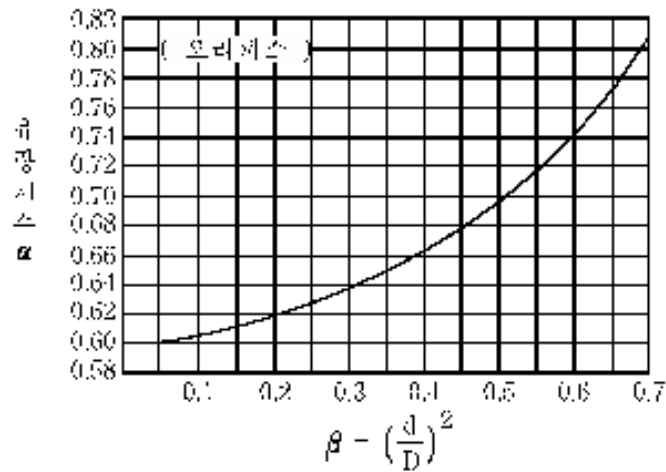


그림 4.9.23 유량계수

2) 전기식 유량계

각종 전기식 유량계를 비교하면 표 4.9.4과 같다.

표 4.9.4 각 전기식 유량계의 특징

	초음파 유량계	전자유량계
측정대상	원수, 정수, 해수 단, 기포나 큰 이물질은 음파를 차단하여 측정불능상태가 된다.	원수, 정수, 해수 단, 파이프내면에 전도성 물체가 부착되면 오차가 발생하고, 최악의 경우에는 측정불능상태가 된다.
압력손실	무	무
발신기	관의 외측에 부착한다.	발신기를 관로에 넣는다.
부착공사의 난이	용이 통수후에도 부착가능 지수변, 이형관(바이패스)등은 전혀 필요치 않음	구경이 큰 경우는 곤란
역류측정	가 능	가 능

### 3) 웨어식 유량계

#### 가) 파살 플룸 유량계

파살 플룸 유량계는 개수로 중간에서 단면을 축소하고, 그 점축부에 의해 웨어와 유사한 흐름을 발생시키고 유량을 구하는 것이다. 파살 플룸은 다음과 같은 특징이 있으므로 설계시 유의해야 한다.

- (1) 손실수두가 웨어식 유량계 중에서 비교적 작다.
- (2) 접근유속에 의한 영향이 웨어식 유량계 중에서도 비교적 작다.
- (3) 시설의 마무리의 양부나 규격의 오차가 유량측정 오차에 크게 영향을 미친다.
- (4) 취수 게이트·오리피스 등에 가까운 곳에서는 이용할 수 없다.
- (5) 일반적으로 완전월류로 설계한다. 또한 하류수로의 배수의 영향에 의해 물에 잠기는 상태가 될 우려가 있는 경우는 검토가 필요하다.
- (6) 곡선수로의 하류는 피하고, 직선부에 설치한다.
- (7) 계측용 구간을 흐르는 유속이 전후의 수로보다 빨라지기 때문에 유사의 영향은 적다. 그러나 상류수로 바닥에 토사가 퇴적되어 있는 경우는 기능을 발휘할 수 없다.

파살 플룸의 일반적인 구조형식은 그림 4.9.24와 같다.

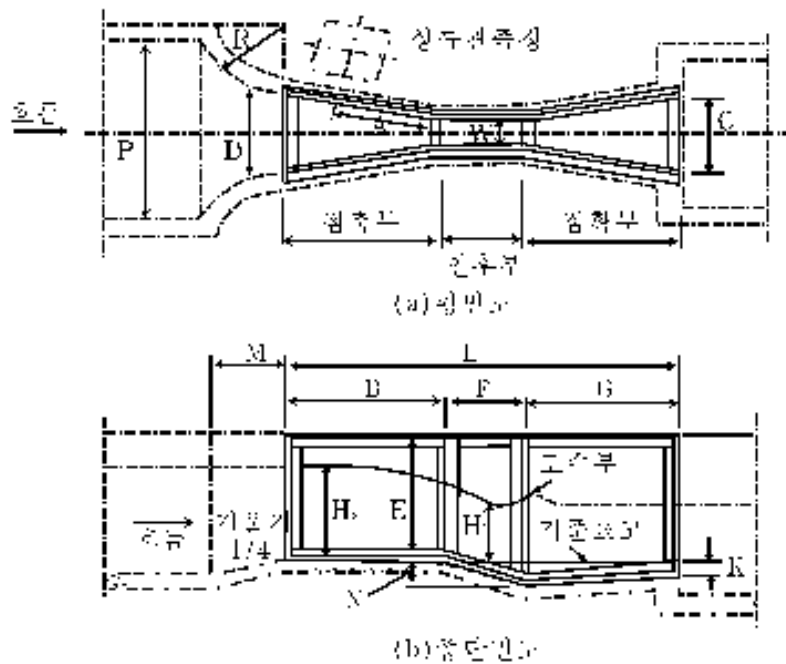


그림 4.9.24 파살 플룸 규격

주) 완전월류에서 사용하는 것을 상정하고 있기 때문에 하류의 관측정은 생략하고 있다.

표 4.9.5 파샬 플룸의 측정범위

throat폭 (mm)	측정범위 (m <sup>3</sup> /h)
76.2	3 ~ 193
152.4	5 ~ 398
228.6	9 ~ 907
304.8	11 ~ 1,641
457.2	15 ~ 2,508
609.6	43 ~ 3,374
914.4	62 ~ 5,138
1,219.2	132 ~ 6,912
1,524.0	163 ~ 8,726
1,828.8	265 ~ 10,551
2,133.6	306 ~ 12,376
2,438.4	357 ~ 14,221

또한 그 적용범위와 규격은 표 4.9.5 및 표 4.9.6과 같다.

표 4.9.6 파샬 플룸의 규격

(단위: mm)

W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	R	M	L	P
76.2	311	457	178	259	610	152	305	25	57	406	305	914	768
152.4	414	610	305	397	610	305	457	76	114	406	305	1,525	902
228.6	587	864	381	575	762	305	457	76	114	406	305	1,626	1,080
304.8	914	1,343	610	845	914	610	914	76	229	508	381	2,867	1,492
457.2	965	1,419	762	1,026	914	610	914	76	229	508	381	2,643	1,676
609.6	1,016	1,495	914	1,207	914	610	914	76	229	508	381	3,019	1,854
914.4	1,118	1,645	1,219	1,572	914	610	914	76	229	508	381	3,169	2,223
1,219.2	1,219	1,794	1,524	1,937	914	610	914	76	229	610	457	3,318	2,711
1,524.0	1,321	1,943	1,829	2,302	914	610	914	76	229	610	457	3,467	3,080
1,828.8	1,422	2,092	2,134	2,667	914	610	914	76	229	610	457	3,616	3,442
2,133.6	1,524	2,242	2,438	3,032	914	610	914	76	229	610	457	3,766	3,810
2,438.4	1,626	2,391	2,743	3,397	914	610	914	76	229	610	457	3,915	4,172

표 4.9.7 파살 플룸의 유량공식

형 (W값)	유량 공식
1 in	$q = 0.048 H_a^{1.55}$
2	$q = 0.096 H_a^{1.55}$
3	$q = 0.141 H_a^{1.55}$
6	$q = 0.264 H_a^{1.58}$
9	$q = 0.466 H_a^{1.58}$
1 ~ 8ft	$q = \frac{3.711}{115.66 W^{0.026}} W \cdot H_a^n$ $n = 1.39 W^{0.026}$
비 고	$q$ (l/s) $H_a$ (cm) $w$ (cm)

나) 각종 웨어식 유량계

웨어식 유량계는 충분히 유효한 수두를 얻을 수 있는 곳에 설치해야 한다. 수로중간에 설치하는 경우는 접근유속에 의한 변화 등 상당히 정밀도가 떨어진다. 또한 수맥이 웨어에 부착되지 않도록 충분한 공기를 공급해야한다.

적용하는 유량공식은 웨어 형식에 따라 다르다.

각 웨어식 유량계의 적용범위를 표 4.9.8에 나타냈다.

표 4.9.8 웨어와 유량범위

웨어형식	B×b (m)	수심범위 (m)	유량범위 (m <sup>3</sup> /s)	비고
60도 삼각웨어	0.45	0.04 ~ 0.120	0.0003 ~ 0.0043	
90도 삼각웨어	0.60	0.07 ~ 0.200	0.00183 ~ 0.0250	
	0.80	0.07 ~ 0.260	0.00183 ~ 0.0483	
사각웨어	0.90×0.36	0.03 ~ 0.270	0.0035 ~ 0.0917	
	1.2×0.48	0.03 ~ 0.312	0.0047 ~ 0.1500	
전폭웨어	0.6	0.03 ~ 0.150	0.0060 ~ 0.0667	
	0.9	0.03 ~ 0.225	0.0090 ~ 0.1900	
	1.2	0.03 ~ 0.300	0.0120 ~ 0.4000	
	1.5	0.03 ~ 0.375	0.0150 ~ 0.7000	
	2.0	0.03 ~ 0.500	0.0200 ~ 1.4330	
	3.0	0.03 ~ 0.750	0.0300 ~ 3.9500	
	5.0	0.03 ~ 0.800	0.0500 ~ 7.0830	
8.0	0.03 ~ 0.800	0.0800 ~ 11.1830		



(1) 삼각웨어 (직각 이하의 삼각웨어)

<渡邊 공식>

$$Q = C \cdot h^{5/2} \dots\dots\dots(4.9.31)$$

$$C = 2.361 \tan \frac{\theta}{2} \left\{ 0.5330 + 0.0195 \tan \frac{\theta}{2} + \cot \frac{\theta}{2} \left( 0.0050 + \frac{0.001055}{h} \right) \right\} \dots\dots\dots(4.9.32)$$

$\theta=60^\circ$ 에 대해서,

$$C = 1.363 \left( 0.5529 + \frac{0.00183}{h} \right)$$

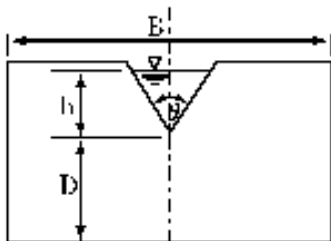
(2) 직각삼각웨어

<沼知・黒川・淵澤 공식>

$$Q = C \cdot h^{5/2} \dots\dots\dots(4.9.33)$$

$$C = 1.350 + \frac{0.004}{h} + \left( 0.14 + \frac{0.2}{\sqrt{D}} \right) \left( \frac{h}{B} - 0.09 \right)^2 \dots\dots\dots(4.9.34)$$

$h=10 \sim 30\text{cm}$ 의 범위에서 매우 정도가 높다.



$h=10 \sim 30\text{cm}$ 의 범위에서 매우 정도가 높다.

그림 4.9.25 삼각웨어

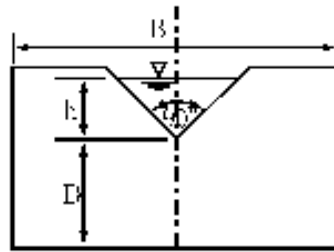


그림 4.9.26 직각삼각웨어

적용범위는  $0.5\text{m} \leq B \leq 1.2\text{m}$ ,  $0.1 \leq D \leq 0.75\text{m}$ ,  $0.07\text{m} \leq h \leq 0.26\text{m}$ (단,  $h \leq B/3$ )이다. 이 범위에서 본식의 예상오차는  $\pm 1.4\%$ 이다.

(3) 사각웨어

<板谷·手島 공식>

$$Q = C \cdot b \cdot h^{3/2} \dots\dots\dots(4.9.35)$$

$$C = 1.785 + \frac{0.00295}{h} + 0.237 \frac{h}{D} - 0.428 \sqrt{\frac{(B-b) \cdot h}{B \cdot D}} + 0.034 \sqrt{\frac{B}{D}}$$

(4.9.36)

적용범위는  $0.5\text{m} \leq B \leq 6.3\text{m}$ ,  $0.15\text{m} \leq b \leq 5\text{m}$ ,  $0.15\text{m} \leq D \leq 3.5\text{m}$ ,  $0.06\text{m} \leq b \cdot D / B^2$ ,  $0.03\text{m} \leq h \leq 0.45 \sqrt{b} \text{m}$ 이다. 본식의 예상오차는  $\pm 1.4\%$ 이다.

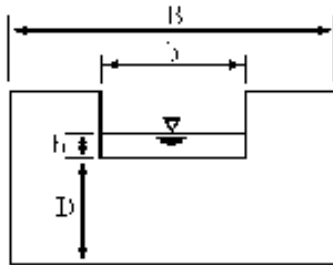


그림 4.9.27 사각웨어

(4) 전폭웨어

<石原·井田 공식>

$$Q = C \cdot B \cdot h^{3/2} \dots\dots\dots(4.9.37)$$

$$C = 1.785 + \left( \frac{0.00295}{h} + 0.237 \frac{h}{D} \right) (1 + \varepsilon) \dots\dots\dots(4.9.38)$$

Q: 월류량 (m<sup>3</sup>/s)

C: 유량계수

B: 웨어폭 (m)

D: 수로바닥으로부터 웨어 월류부까지의 높이 (m)

b: 월류부폭 (m)

h: 월류수심 (m)

ε: 보정항

여기서,  $D \leq 1\text{m}$ 일 때  $\varepsilon = 0$

$D > 1\text{m}$ 일 때  $\varepsilon = 0.55(D - 1)$

적용범위는  $B \leq 0.5\text{m}$ ,  $0.3 \leq D \leq 2.5\text{m}$ ,  $0.03\text{m} \leq h \leq 0.8\text{m}$ (단,  $h \leq D$  이고  $h \leq B/4$ )이다. 이 범위에서의 예상오차는  $\pm 1.8\%$ 이다.

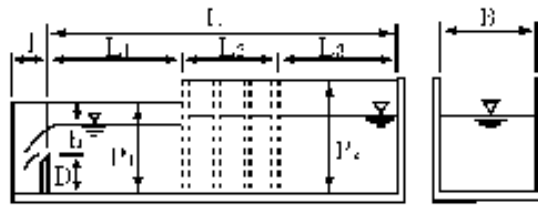


그림 4.9.28 전폭웨어

다) 수축수로식 및 광정웨어식 유량계측시설

(Long-throated flumes and Broad-crested weirs)

수축수로식 및 광정웨어식 유량계측시설은 파살 플룸과 같이 개수로 중간에 수축부 또는 웨어를 설치하여 한계류를 발생시켜 직상류부의 수심을 계측함으로써 비교적 용이하게 좋은 정밀도로 유량을 측정할 수 있는 것이다.

본 유량계측시설은 파살 플룸의 결점인 구조제원이 복잡하고 세밀한 규격이 요구되는 것을 개선하여 농업용수와 같이 많은 수의 분수공의 유량을 용이하게 측정할 수 있도록 만든 것으로 1900년대부터 각종 유사한 형식이 고안되었으며, 그 후 점점 개량되어 현재 세계적으로 널리 이용되는 형식이다.

이 형식의 특징은 임의의 수로단면과 수축부나 웨어부의 각종 형상, 규격에 대해서 유량과 수심 혹은 손실수두의 관계가 설계, 시공 후에도 전산처리할 수 있도록 개발이 진행되었으며, 또한 각종 형상(예를 들면 장방형, 포물선형, 삼각형, 사다리꼴형, 원형 등등)에 대한 규격과 유량 폭이 제시되어 있다.

정도는 4~5% 정도로 양호하지만 수중유출의 경우에는 낮아지기 때문에 원칙적으로 한계류로 설계한다.

기본유량공식 (장방형단면)

$$Q = 1.70 \cdot C_d \cdot C_v \cdot b_c \cdot h_1^{3/2} \dots\dots\dots(4.9.39)$$

- Q: 유량 (m<sup>3</sup>/s)
- C<sub>d</sub>: 수축계수  $C_d = 0.93 + 0.1H_1/L$
- b<sub>c</sub>: throat부의 수로폭 (m)
- h<sub>1</sub>: 관측지점에서의 수심 (m)
- C<sub>v</sub>: 유속수두계수

$H_1$ : 관측지점에서의 에너지높이 (m)

$L$ : throat부의 길이 (m)

또한,  $h_1$  대신에  $H_1$ 을 측정하는 경우

$$Q = 1.70 \cdot C_d \cdot b \cdot c \cdot H_1^{3/2} \quad \dots\dots\dots(4.9.40)$$

$$0.1 < H_1/L < 1.0$$

$$C_v = \left( 1 + \frac{Q^2}{2g \cdot h_1 \cdot A_1^2} \right)^{1.5} \quad \dots\dots\dots(4.9.41)$$

$$C_d \frac{A^*}{A_1} = 2.60 \sqrt{\frac{C_v^{2/3} - 1}{C_v^2}} \quad (\text{그림 4.9.31 참조})$$

$A_1$ : 관측지점에서의 통수단면적 ( $m^2$ )

$A^*$ : throat부에서의 통수단면적 ( $m^2$ )

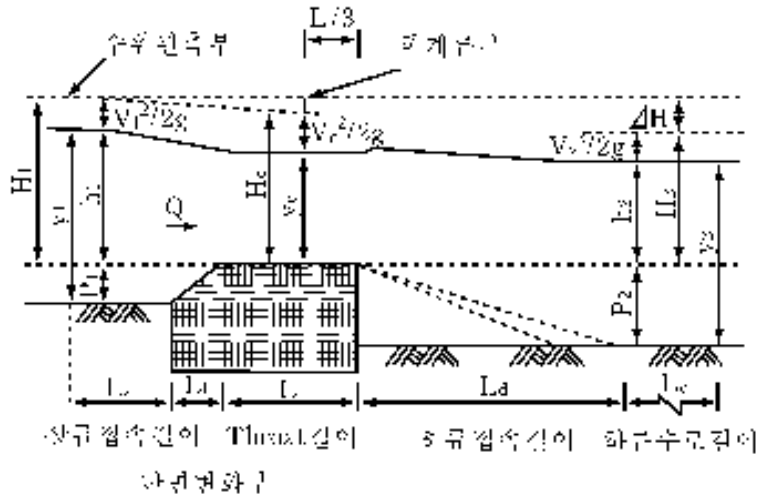


그림 4.9.29 각부의 설명도

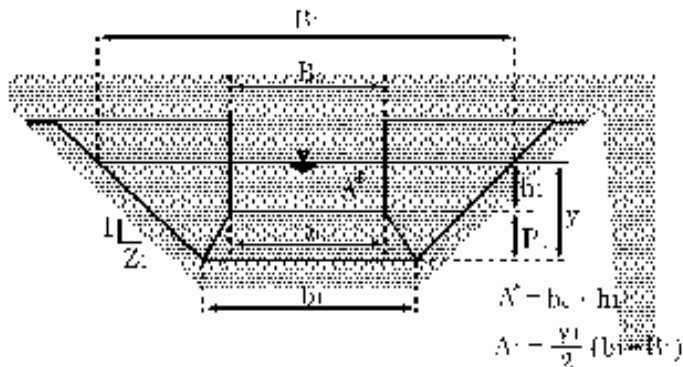


그림 4.9.30 수위관측단면에서 throat부의 단면

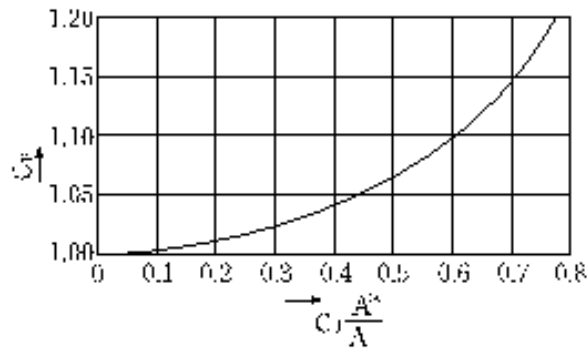


그림 4.9.31  $C_v$  값

## 4.10 보호시설 및 안전시설

### 4.10.1 보호시설

#### 가. 비탈면 보호공

##### 1) 일반사항

비탈면 보호공이란 수로의 건설에 의해 생기는 절토 또는 성토 비탈면을 외적 조건에 의한 침식이나 풍화로부터 보호하기 위해 식생이나 구조물로 비탈면을 피복하거나 흙막이 구조물로 비탈면 안정 대책을 세우는 것이다.

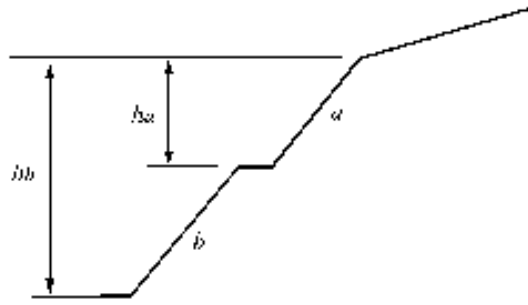
비탈면이 붕괴하는 원인으로 강우, 바람, 강설, 서리를 포함한 온도변화, 지하수, 지진 또는 공사시공에 의한 지반침하 등을 생각할 수 있다. 이 작용의 정도는 비탈면의 지질, 토질, 경사, 식생 등에 의해 다르기 때문에 이러한 것을 종합적으로 검토하고 안전하며 경제적인 비탈면 보호공을 채용한다.

비탈면 보호공의 선정에 있어서는 장기적인 안정확보를 주목적으로 해서 현지 비탈면의 암질·토질·비옥도·토양경도·pH 등의 지질·토질조건, 용출수·집수의 상황, 기상조건, 비탈면의 규모나 경사, 방위를 고려하는 것 외에 공사비, 시공조건, 유지관리 및 환경보전도 고려해서 선정할 필요가 있다.

##### 2) 절토, 성토 비탈면 경사의 표준

##### 가) 절토 비탈면 경사

일반적인 절토의 비탈면 경사는 표 4.10.1의 값을 이용하여도 좋다.



- 경사는 작은 단을 포함하지 않는다.
- 경사에 대한 절토고는 해당 절토 비탈면에서 상부의 전체 절토고로 한다.

$h_a$ :  $a$  비탈면에 대한 절토고

$h_b$ :  $b$  비탈면에 대한 절토고

그림 4.10.1 절토고 및 경사

표 4.10.1 절토의 표준 비탈면 경사

토질		절토고	경사
경암			1:0.3 ~ 1:0.8
연암			1:0.5 ~ 1:1.2
모래	다져지지 않고 입도분포가 나쁜 것		1:1.5 ~
사질토	다져진 것	5m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0
		5 ~ 10m	1:1.0 ~ 1:1.2
	느슨한 것	5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2
		5 ~ 10m	1:1.2 ~ 1:1.5
역질토, 자갈 또는 돌덩이 혼합 사질토	다져진 것 또는 입도분포가 좋은 것	10m 이하	1:0.8 ~ 1:1.0
		10 ~ 15m	1:1.0 ~ 1:1.2
	느슨한 것 또는 입도분포가 나쁜 것	10m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2
		10 ~ 15m	1:1.2 ~ 1:1.5
점성토		10m 이하	1:0.8 ~ 1:1.2
돌덩이 또는 호박돌 혼합 점성토		5m 이하	1:1.0 ~ 1:1.2
		5 ~ 10m	1:1.2 ~ 1:1.5

주 1) 토질구성 등에 따라 단일 경사로 하지 않는 경우의 절토고 및 경사의 개념은 그림 4.10.1을 참조한다.

2) 실트는 점성토에 포함된다.

3) 상기 표 이외의 토질은 별도로 고려한다.

나) 성토 비탈면 경사

성토 비탈면 경사의 표준을 표 4.10.2에 나타낸다.

표 4.10.2 성토재 및 성토고에 대한 표준 비탈면 경사

성토 재료	성토고	경사	비고
입도가 좋은 모래 (SW), 자갈 및 세립토 혼합 자갈	5m 이하	1:1.5 ~ 1:1.8	기초지반의 지지력이 충분하며 침수의 영 향이 없는 성토에 적 용한다. ( )의 통일분 류는 대표적인 것을 참고로 나타낸다.
	5 ~ 15m	1:1.8 ~ 1:2.0	
입도가 나쁜 모래 (SP)	10m 이하	1:1.8 ~ 1:2.0	
돌덩이 (흙 포함)	10m 이하	1:1.5 ~ 1:1.8	
	10 ~ 20m	1:1.8 ~ 1:2.0	
사질토, 단단한 점질토, 단단한 점토 (홍적층의 단단한 점질토, 점토 등)	5m 이하	1:1.5 ~ 1:1.8	
	5 ~ 10m	1:1.8 ~ 1:2.0	
화산회질 점성토	5m 이하	1:1.8 ~ 1:2.0	

주) 성토고란 비탈어깨와 비탈끝의 고저차를 말한다.

일반적으로 낮은 성토에서 비탈면 경사는 1:1.5이며 양호하게 시공한다면 특히 토질에 문제가 있는 비탈면이 아니라면 커다란 붕괴를 초래할 위험성은 적다. 그러나 1:1.5에서는 비탈면의 끝마무리가 불충분하게 되기 쉽고 그것이 원인이 되어 표면부근의 붕락이나 침식이 일어날 위험성을 갖고 있다. 따라서 표준 비탈면 경사(표 4.10.2)에서는 기계다짐이 가능하도록 1:1.8을 필요에 따라 적용할 수 있게 정하고 있다.

다) 비탈면의 안정해석

절토비탈면, 성토비탈면이 장대하며 또한 표 4.10.1, 표 4.10.2에 나타낸 토질재료 이외인 경우 상기 표에 나타낸 것보다도 급한 비탈면 경사로 하는 경우 지하수나 용출수가 예상되는 경우, 토사붕괴, 단층의 영향이 예상되는 경우에는 특히 비탈면의 붕괴에 대한 안정을 검토하기 위한 원호붕괴계산을 할 필요가 있다.

3) 비탈면 보호공의 분류

비탈면 보호공의 분류와 각 공종의 목적은 표 4.10.3과 같다.

표 4.10.3 주요 비탈면 보호공의 공종과 목적

분류	공종	목적·특징
식생공	씨앗 뿔어붙임공 객토 뿔어붙임공 식생기재 뿔어붙임공 평때붙임공 식생 매트공 식생 시트공	침식방지, 동상붕괴억제, 전면식생(녹화)
	식생근공 줄때붙임공	성토비탈면 침식방지, 부분식생
	식생토공	불량토, 경질토비탈면의 침식방지
	묘목설치 뿔어붙임공	침식방지, 경관형성
	식재공	경관형성
구조물에 의한 비탈면 보호공	편책공 원형 돌망태공	비탈면표층부의 침식이나 용출수에 의한 토사유출의 억제
	프리캐스트 틀공	중간 부분을 토사나 자갈로 메운 경우는 침식방지
	모르타르 및 콘크리트 숯크리트공 돌붙임공 블록붙임공	풍화, 침식, 표면수의 침투방지
	콘크리트붙임공 뿔어붙임 틀공 현장타설 콘크리트 틀공	비탈면표층부의 붕락방지, 다소의 토압을 받을 위험이 있는 부분의 흠막이, 암반 추락방지
	돌쌓기, 블록쌓기 옹벽공 이불형 돌망태공 井자형 옹벽공 콘크리트옹벽공	어느 정도의 토압에 대항
	보강토공 (성토보강토공, 절토보강토공) 록볼트공 그라운드 앵커공 말뚝공	미끄러지는 흩덩이의 활동력(滑動力)에 대항
	지표비탈면배수공 용출수처리공	우수침식방지 비탈면보호공의 붕괴방지·비탈면붕괴억제



#### 4) 공중에 의한 적성

##### 가) 식생공

식생공의 종류는 때붙임공, 씨앗뿌어붙임공, 식생 매트공 등이 있으며 그 선정에 있어서는 비탈면의 토질조건, 높이, 경사, 면의 상태(용출수의 유무, 일조의 정도 등), 절토·성토 종류, 면적, 재료의 입수난이, 반입로 및 인접지의 상황 등을 검토한다.

##### 나) 돌붙임공 및 블록붙임공

돌붙임공, 블록붙임공은 비탈면의 안정이 식생만으로는 확보할 수 없는 경우에 적용한다. 일반적으로 비탈면경사가 1:1 보다 완만하며 점착력이 없는 토사, 풍화된 암석 및 붕괴하기 쉬운 점토 등의 경우에 이용된다.

##### 다) 프리캐스트 틀공

프리캐스트 틀공(콘크리트 블록 틀공)은 용출수가 있는 절토비탈면, 장대비탈면 및 비탈면경사를 급하게 할 필요가 있는 성토비탈면에 사용한다 (그림 4.10.2).

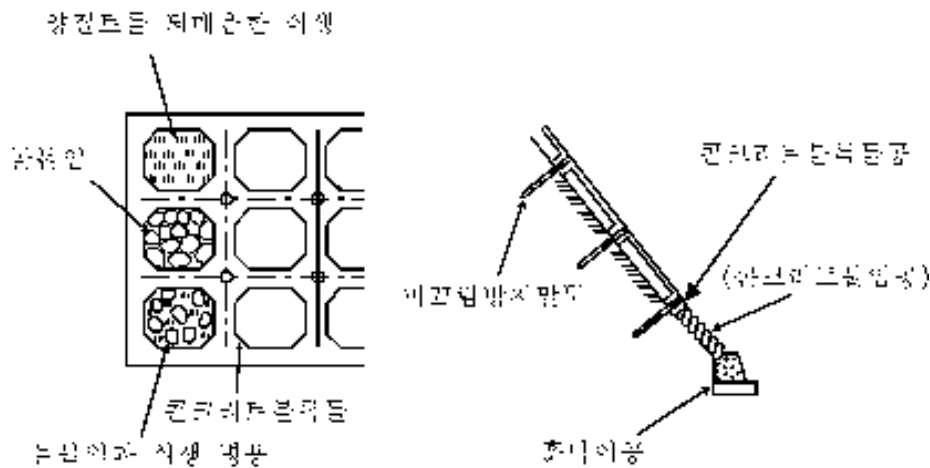


그림 4.10.2 프리캐스트 틀공의 예

##### 라) 모르타르 및 콘크리트 슛크리트공

모르타르 및 콘크리트 슛크리트공은 비탈면에 용출수가 적고 풍화되기 쉬운 암석등에 사용된다 (그림 4.10.3).

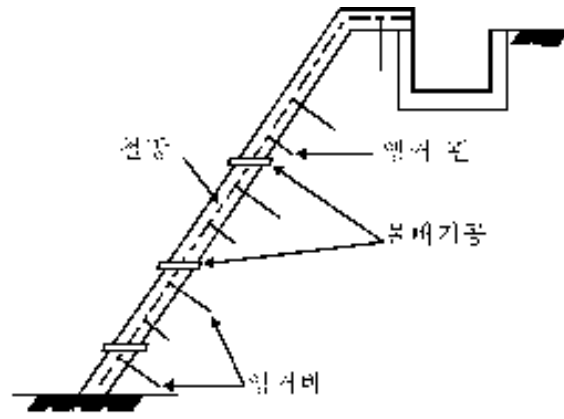


그림 4.10.3 모르타르 및 콘크리트 슛크리트공의 예

마) 콘크리트붙임공

콘크리트붙임공은 절리가 많은 암반이나 애추층(崖錐層)에서 콘크리트 블록 틀공이나 모르타르 슛크리트공으로는 불안정하다고 생각되는 경우에 이용된다 (그림 4.10.4).

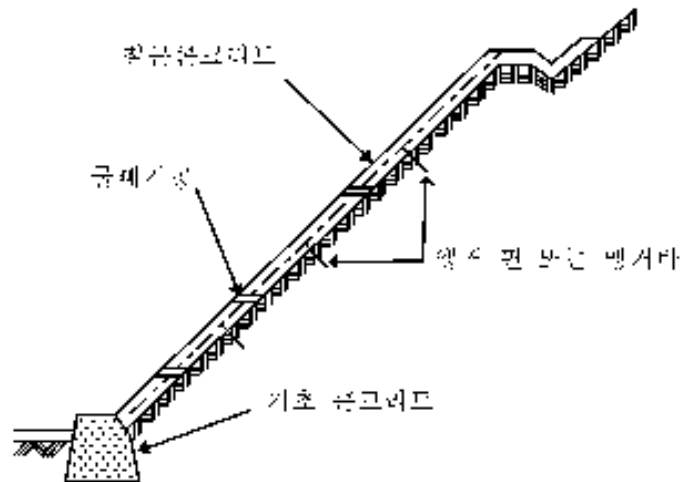
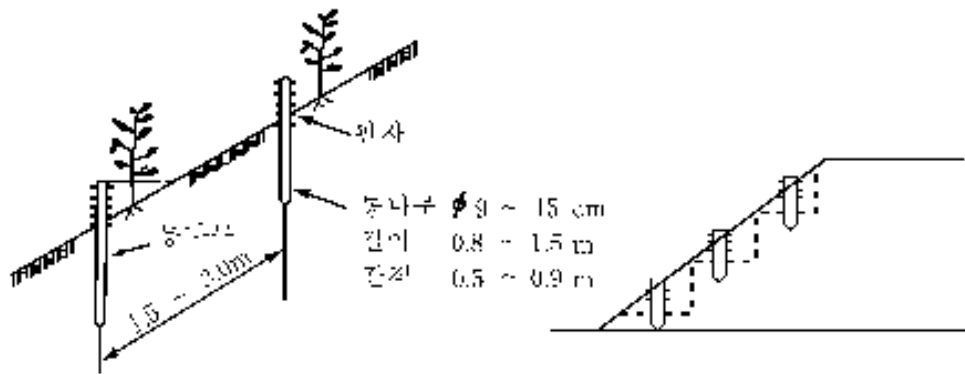


그림 4.10.4 콘크리트붙임공의 예

바) 편책공

편책공은 식생이 충분하게 발육할 수 있을 때까지 비탈면의 토사유출을 방지하기 위해 이용되는 것으로 일반적으로는 나무말뚝 사이에 판자를 끼운 형식의 보호공이다 (그림 4.10.5).



(a) 편책의 일부를 표면에 돌출시킨 경우 (b) 단으로 만든 편책공 설치

그림 4.10.5 편책공의 예

사) 그라운드 앵커공

그라운드 앵커공은 암반에 절리, 균열이 있고 붕괴할 경우에 이용되며 현장타설콘크리트 틀공, 뿔어붙임 틀공, 콘크리트붙임공, 용벽공 등을 다른 공법과 조합해서 사용한다 (그림 4.10.6).

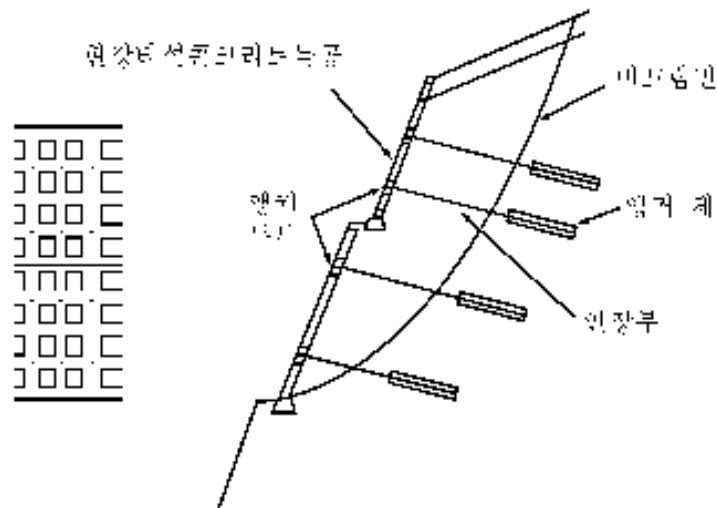


그림 4.10.6 그라운드 앵커공으로 현장타설 콘크리트 틀공과의 조합 예

아) 돌망태공

돌망태공은 비탈면이 용출수 또는 유수에 의해 토사가 유출할 염려가 있는 경우 붕괴한 개소를 복구할 경우, 또는 동결에 의해 비탈면이 떨어질 염려가 있는 경우에 이용된다 (그림 4.10.7).



그림 4.10.7 원형 돌망태공, 이불형 돌망태공의 사용 예

## 나. 배수구조물

### 1) 횡단배수공

#### 가) 횡단배수공의 분류

횡단배수공은 다음 그림에 나타난 바와 같이 분류된다.



오버슈트를 더 자세하게 분류하면 다음과 같다.

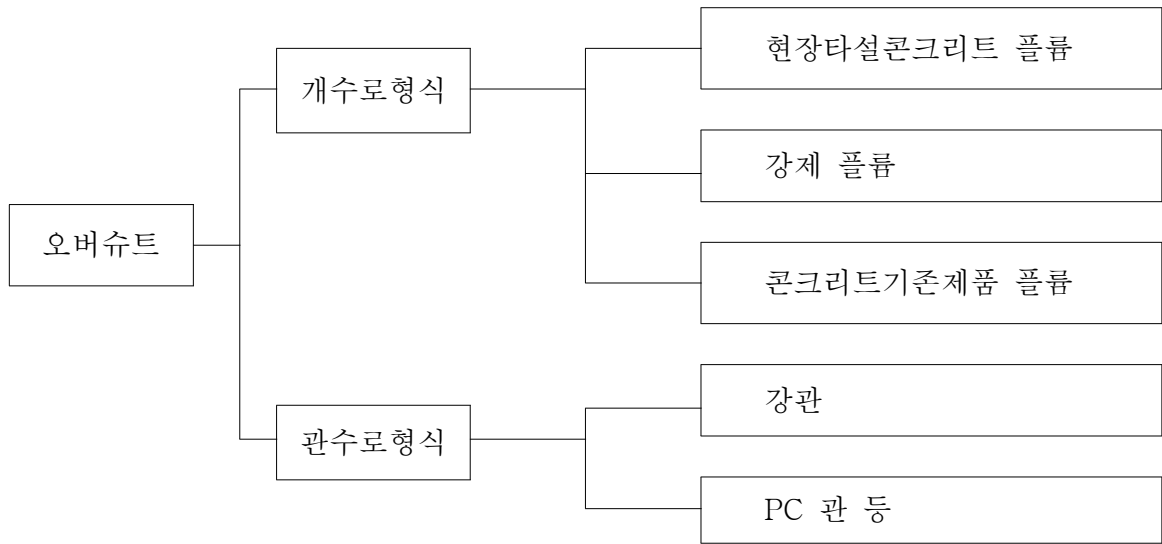


그림 4.10.8 횡단배수공의 분류

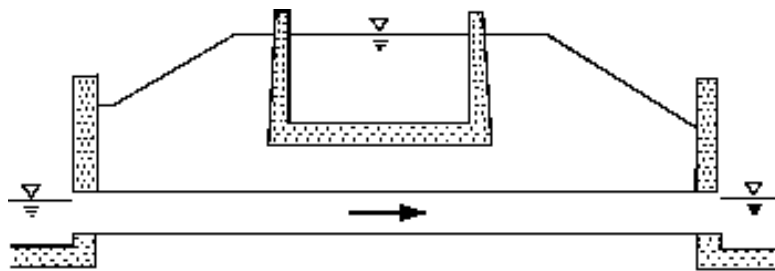
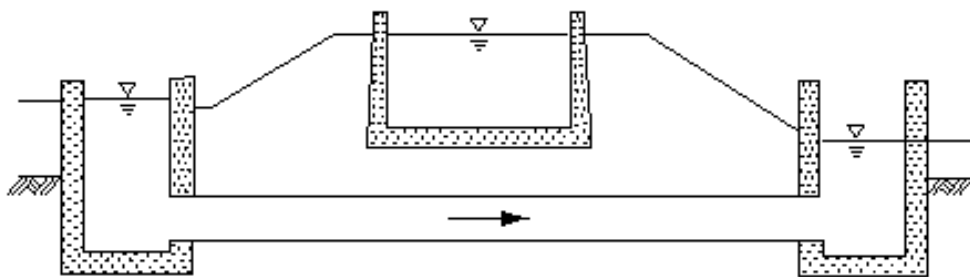
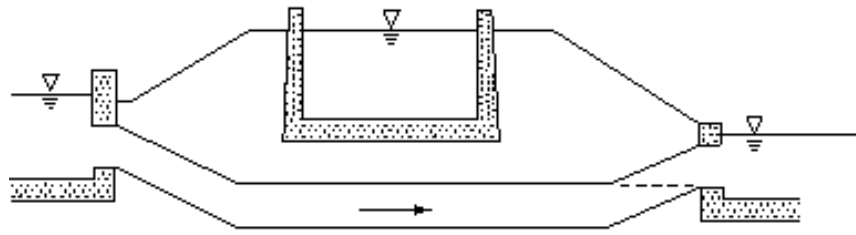


그림 4.10.9 횡단암거



(a) A형



(b) B형

그림 4.10.10 횡단 사이펀

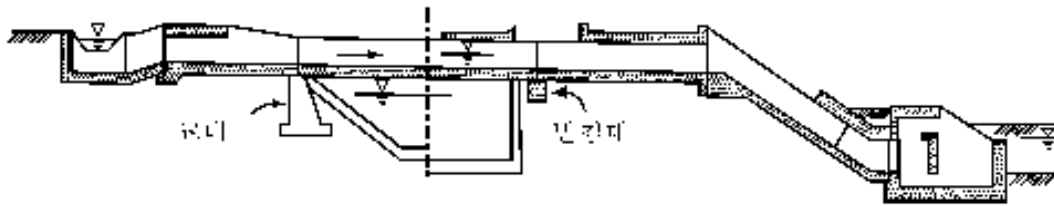


그림 4.10.11 오버슈트

나) 설계상의 유의사항

(1) 횡단암거, 횡단사이펀

- (가) 횡단암거, 횡단사이펀은 수로조직의 일부로 충분히 안정성, 내구성이 있어야 하며 유지관리가 용이한 구조로 해야 한다.
- (나) 횡단암거, 횡단사이펀의 통수단면은 유량계산에 의해 구할 수 있지만 소유량의 경우는 대단히 작은 단면이 되어 유입토사의 배제가 곤란하게 된다. 토사퇴적이 없는 경우 또는 길이가 짧고 출입구로부터 토사의 배제가 가능한 경우를 제외하고 유지관리상 필요최소단면으로  $\phi$  600mm (또는 600×600mm) 이상으로 하고 길이가 10m 이상의 경우는  $\phi$  800mm (또는 800×800mm) 이상을 확보한다.
- (다) 횡단사이펀 중 A형은 관의 포설연장이 짧고 매설깊이가 얕으며 수조가 적어도 괜찮은 경우에 적합하다. 이 경우 관로는 유지관리상 1~2% 정도의 기울기가 필요하다. 또한 B형은 관의 길이가 길고 통수단면이 커서 유지관리가 용이한 경우 채용하지만 유입토사가 많은 수로에서는 적합하지 않다.
- (라) 관체의 기울기는 취입부에서 최대 1:1.5 이하, 수로바닥 밑부분에서는 최대

1:3.0 이하로 한다.

(마) 관체는 수로바닥관 밑면으로부터 60cm 이상 떨어지는 것이 바람직하다.  
언더드레인이 있는 경우는 그 기능에 지장이 없도록 한다.

(바) 사이편 입구부에는 원칙적으로 토사저류공, 스크린을 설치한다.

(2) 오버슈트

(가) 오버슈트는 수로조식의 일부로서 충분한 안전성, 내구성이 있으며 유지관리가 용이해야 한다.

(나) 오버슈트의 밑면과 수로수면과의 사이에 최소 30cm 공간을 갖는 것이 바람직하다.

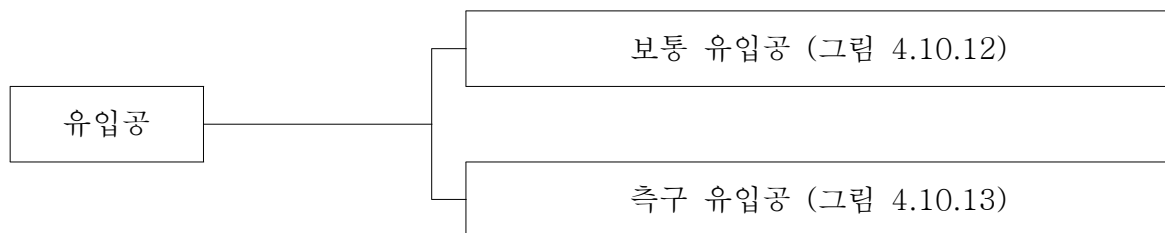
(다) 일반적으로 대유량에 대해서는 개수로형식이, 소유량에 대해서는 관수로형식이 이용된다.

(라) 오버슈트의 하류는 통상 급경사의 경우가 많기 때문에 적절한 감세공의 설치가 필요하다.

2) 유입공

가) 유입공의 분류

유입공은 아래와 같이 분류된다.



(1) 보통유입공

보통유입공은 수로인접지역의 유출수를 수로내에 유입시키는 것이며 일반적으로 소유역(집수면적이 대략 1ha 이하)의 경우에 적용한다.

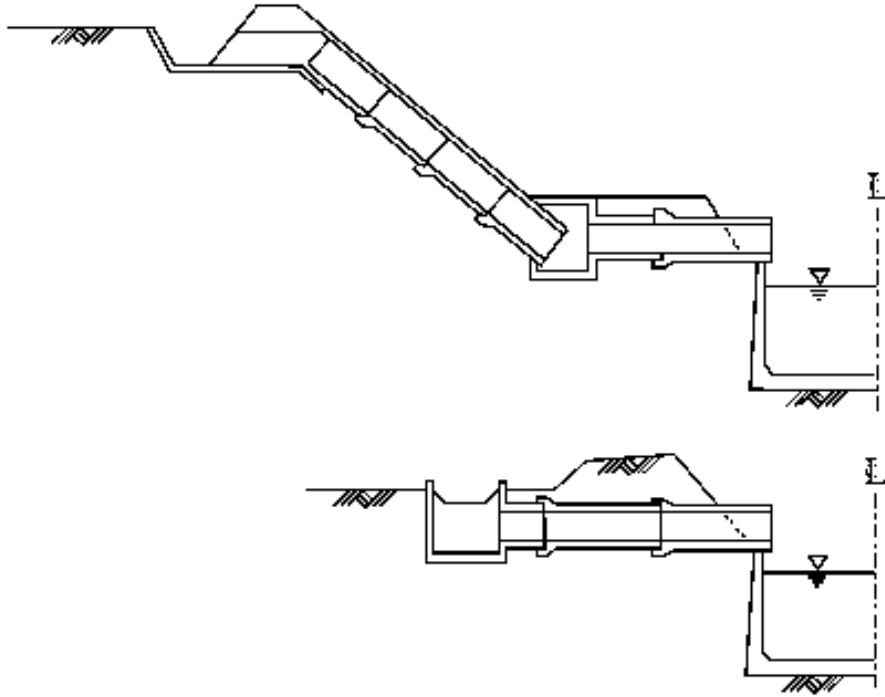


그림 4.10.12 보통유입공의 예

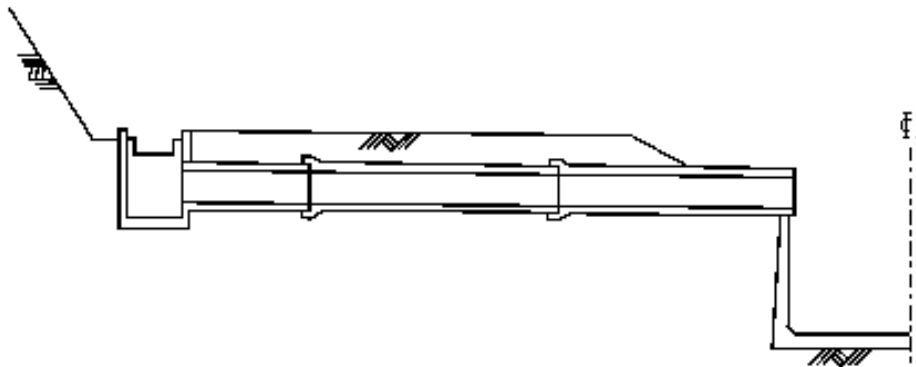


그림 4.10.13 측구유입공의 예

(2) 측구유입공

수로부지내의 절토면 및 소단의 우수 등은 원칙적으로 측구에 의해 수로외로 배제한다. 그러나 절토구간이 길게 계속되는 경우 지형에 따라 배제가 곤란하면 측구유입공을 특별하게 설치하는 것이 필요하다.

나) 설계상의 유의사항

유입공의 설계에 있어서는 다음 사항에 유의할 필요가 있다.

- (1) 원칙적으로 용수로에는 배수를 유입시키지 않지만 수로의 건설에 의해 차단



된 지역의 배수를 횡단시키는 것이 지형적 또는 기타 이유에 의해 곤란한 경우 어쩔 수 없이 유입시킨다.

- (2) 유입하는 물이 장래에도 수질오염, 토사유입 등의 염려가 없는 배수인지 아닌지를 충분히 검토한다.
- (3) 횡단배수로 하는 것이 현저하게 비경제적인 경우에 설치한다.
- (4) 유입량의 최대허용량은 수로의 여유고가 0.10m 이상이 되는 범위까지를 기준으로 한다.

### 3) 배수구

배수구는 비탈면 보호공과 병용하는 경우 및 관리도로 측구와 같이 수로 및 제시설의 보호를 위해 설치한다.

배수구의 목적을 고려하여 배수량에 따라 배수구의 형식 및 규모 등을 정하지만 종단기울기가 급한 개소에 설치하는 경우에는 주변에 도수, 월류에 의한 피해를 일으키지 않도록 유의할 필요가 있다.

## 4.10.2 안전시설

개수로 형식의 용배수로는 수로가 자유수면을 갖는 흐름이기 때문에 주변의 주민, 조작관리인, 동물 및 자동차 등이 빠지지 않도록 하기 위한 안전시설이 필요하다. 수로의 안전대책은 수로주변의 시가지화 등의 상황, 수로규모의 대소, 수로에 접한 도로의 교통상황, 용배수로의 유량변화, 수로 제시설 상황 등에 따라 적절한 형식 및 구조로 한다. 수로의 안전시설에는 수로 내로 침입하거나 빠지는 것을 방지하기 위한 시설, 잘못하여 수로에 빠진 경우 안전을 확보하고 신속하게 나올 수 있는 시설, 기타 경고문 시설 등으로 구분하고, 상황을 정확히 파악하여 적절한 계획이 되도록 해야한다.

### 가. 안전시설의 종류

수로 및 그 주변에 설치하는 안전시설로서는 다음과 같은 것들이 있으며, 설치할 때는 사용목적에 맞는 형식 및 구조로 한다. 또한 설치장소에 대해서도 신중히 검토하여 결정해야 한다.

- 1) 차량·인사사고 등, 수로로 빠지는 것을 방지하고 운전자의 시선을 유도하여 사고를 미연에 방지하기 위한 가드레일, 가드파이프, 가드케이블, 펜스 등
- 2) 개수로 및 수로제시설 주변이나 위험구역에 들어가는 것을 방지하기 위한 펜스, 통행방지문, 위험표지판, 경고판 등
- 3) 수로에서 나오기 위한 계단, 사다리 등

- 4) 수로에 빠진 사람을 구출하기 위한 안전로프, 튜브, 안전봉 등
- 5) 기타 조명시설, 환기시설, 방음시설 등

**나. 가드레일, 가드파이프 등**

차량 통행이 예상되는 도로는 소정의 강도와 안전성을 갖춘 가드레일, 가드파이프 등을 설치한다.

**다. 펜스**

펜스는 수로에 빠지거나 위험장소에 들어가는 것을 방지하기 위한 시설이다.

**라. 구조시설 및 승강시설**

구조시설이나 승강시설은 수로에 빠진사람 혹은 유지관리를 위한 출입이 용이하게 하기 위해서 설치하는데, 설치장소는 다음과 같은 장소를 생각할 수 있다.

- 1) 안전로프와 튜브는 현지상황을 고려해서 설치간격을 결정하고, 특히 터널, 사이편, 암거입구의 상류부 및 교량 직하류부에 설치하는 것이 바람직하다. 또한 안전로프를 설치하는 부근에는 사다리, 계단 등을 병설한다.
- 2) 안전봉은 터널, 암거 등의 입구부에 설치한다. 또한 제진 스크린을 설치하는 장소에는 안전봉을 설치할 필요는 없다.

**마. 통행방지문, 위험표지판**

통행금지구역에는 통행방지문 등을 설치하고, 위험장소에는 주의를 환기시키는 위험표지판을 설치한다.

## 4.11 관수로(Pipeline)

### 4.11.1 일반사항

용수원(用水源)에서 포장(圃場)까지의 송수(送水)체계를 선택할 때는 압력에 의해 흐르는 관수로(pipeline)와 중력에 의해 흐르는 개수로를 경제성, 환경성, 시공성, 유지관리 등은 물론 미래의 사회적 여건까지도 비교·검토하여 결정해야 한다.

### 가. 농업용 관수로의 정의

농업용 관수로는 농업용수를 수원공 시설에서 말단포장까지 필요한 수량을, 필요한 시기에, 필요한 지점까지, 필요한 압력으로 안전하고 확실하게 공급할 수 있는 압력관로(壓力管路)의 수로조직을 말하며 관로와 부대시설로 구성된다.

관수로는 관수로의 기능, 수리특성 및 물관리 등의 측면에서 송수계(送水系) 관수로와 배수계(配水系) 관수로로 구분한다. 송수계 관수로는 수원공 시설에서 간선 또는 지선수로의 조정시설, 조압시설 또는 분수공까지를 말하여 적정한 용수를 안전하고 확실하게 송수할 수 있어야 한다. 또 배수계 관수로는 송수계 관수로의 조정시설, 조압시설, 분수공 또는 수원공 시설에서 포장내의 말단 급수전까지를 말하며 용수를 안전하고 확실하게 분배할 수 있어야 한다.

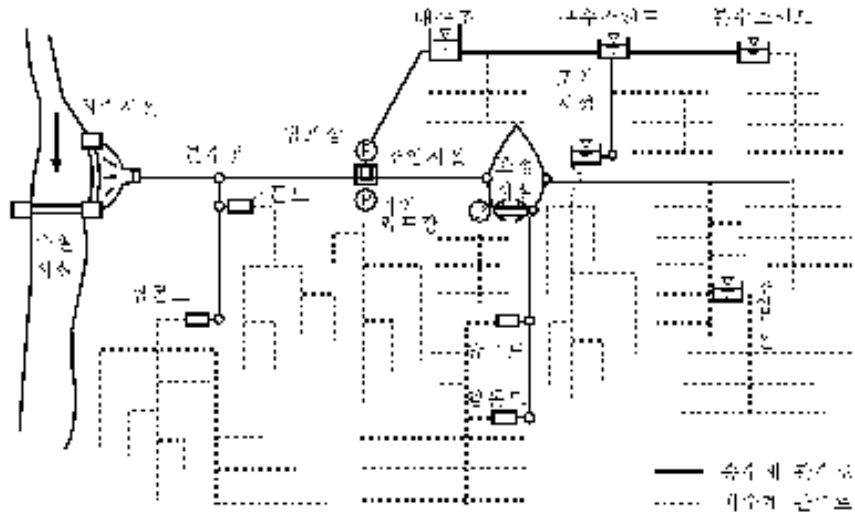


그림 4.11.1 송·배수계 관수로의 배치 예

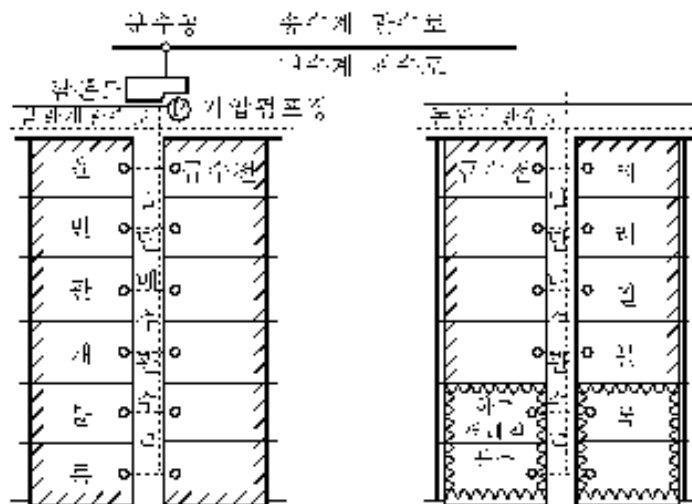


그림 4.11.2 배수계(配水系) 관수로의 배치 예

## 나. 적용 범위

### 1) 사용관종

송배수계 관수로는 직관, 이형관 및 이음 등으로 구성되며 기성관을 사용한 매설압력관을 표준으로 한다. 관종은 수리조건, 구조조건 및 시공조건 등에 적합한 기성관을 대상으로 하며 관경은 150~3,000mm 정도의 범위를 다룬다.

가) 농업용 관수로에서는 기성관을 사용한다.

나) 관은 관체의 허용변형률(allowable deflection)의 정도에 따라 강성관(rigid pipe)과 연성관(flexible pipe)으로 구분한다. 허용변형률이 3% 미만인 것을 강성관, 3% 이상인 것을 연성관으로 한다.

다) 여기서 취급하는 대표적 관종은 다음과 같다.

강성관: 콘크리트관

연성관: 덕타일 주철관, 강관, 경질염화비닐관, 폴리에틸렌관, 강화플라스틱 복합관 등

라) 관수로 시설에 사용하는 제수밸브, 공기밸브 등의 기기류는 경제성과 유지관리 등을 고려하여 KS 규격 등에 적합한 제품을 사용한다.

### 2) 수압

관수로 설계에 있어 최대 사용 정수두는 100m 이내로 한다. 최대 사용 정수두가 100m를 초과하는 경우에는 구조물의 중요도 등을 고려하여 관의 내압강도 및 수밀성 등에 대해서 검토한다.

### 3) 대상유체

대상유체는 관개용수로 사용가능한 물을 주로 한다. 한편 말단포장에서는 다목적 관개에도 사용될 수 있으나 가축분뇨, 액비 및 오물액 등의 수송을 목적으로 할 때는 마모, 부식, 침전 및 부착 등에 대해서도 검토해야 한다.

## 4.11.2 농업용 관수로 시스템 계획

농업용 관수로 시스템을 계획할 때는 지형, 영농, 작물 등의 조건을 기초로 하여 기능성, 안전성, 경제성, 시공성, 유지관리 등을 고려하여 계획하고 물관리 비용이나 편의성을 감안하여 시설관리의 자동화 시스템 도입을 적극 검토해야 한다. 또 농업용 관수로는 상수도나 송유관 등과는 다른 기술적 특성이 많이 있음을 충분히 반영해야 한다.

## 가. 농업용 관수로의 기본특성

### 1) 구조적 특성

농업용 관수로는 아래와 같은 기술적 특징 때문에 상수도나 송유관 등과는 다르므로 관로계획이나 각종 부대시설의 계획수립시에 세심한 주의가 필요하다.

- 가) 관수로의 형식 및 물의 사용방법에 따라서 유수의 중단과 계속 상태가 반복하여 일어날 수 있다. 이것은 관수로의 기능이나 안전성이 떨어지고 관리측면에 주의가 필요하다.
- 나) 농업용수의 수질은 상수도와 달라서 미세한 모래, 쓰레기, 부유물, 찌꺼기 등이 함유되어 있기 때문에 유량계 등의 계기류 선정 또는 구조, 형상 및 배제 시설의 배치를 충분히 검토하여야 한다.
- 다) 농업용수의 사용목적, 형태, 관리체계 등은 개발지역의 상태에 따라 다르므로 해당지역에 가장 적합한 관리체계를 고려하는 것이 중요하다. 또 노선 선정에서 개수로보다 관수로가 지형여건의 제약이 적어 개수로로 송수가 어려운 지역의 송수가 가능하므로 중산간지역의 개발도 가능하다.
- 라) 논외 관개와 스프링클러에 의한 밭 관개는 포장에서의 필요수압이 다르므로 조압시설의 배치, 규모, 구조 및 물 관리방법 등을 충분히 검토하여 소요압력을 확보할 수 있는 시스템의 선정이 필요하다.
- 마) 필요한 장치 등을 첨가함에 따라 시비(施肥), 약제살포 등 다목적 관수로 이용으로 농민들이 회피하는 농약살포작업이 가능하고 인건비 등 영농비를 절약할 수 있다.
- 바) 통수능력의 여유에 한계가 있고, 매설관로와 점검이 어렵고 정밀한 제진시설이 필요한 것 등의 문제점도 있다.

### 2) 용수이용 측면의 특성

관수로 시스템은 논 관개용, 밭 관개용 및 논밭 병용 관수로 시스템으로 분류된다. 논 관개용 관수로 시스템의 수압은 일반적으로 저압에서 사용되는 것이 많으며 밭 관개용 관수로 시스템의 경우는 고압에서 사용되는 것이 많다. 이러한 관수로 시스템의 설계에 있어서는 각각의 물 사용조건을 충분히 파악해서 수두배분 및 통수단면을 검토해야 한다.

용수이용의 목적으로부터 본 기본특성은 다음과 같다.

#### 가) 논 관개용 관수로의 특성

- (1) 논에 있어서 송·배수의 양은 썩레질 용수 때의 최대치와 보통 관개기의 사용수량과의 사이에 커다란 차가 있다. 더욱이 지구내의 포장에 설치된 급수전의 가동률이 밭 관개에 비해서 높으며 장시간 계속된다. 따라서 시스템의

설계에 있어서는 관수로가 지배하는 지구의 말단부에서 썩레질을 하는 경우 뿐만이 아니고 보통 관개기에도 관수로의 압력관리가 가능할 것인가를 검토할 필요가 있다.

- (2) 급수량은 급수전 지점의 작은 압력 수두차에 의해 크게 영향을 받는다. 이 때문에 논의 배수(配水)블록의 크기는 일반적으로 유량과 압력조정의 관점에서 100ha의 경우 4~5블록으로 분할해서 송수하고 각 블록입구에 압력 또는 유량조절 밸브를 설치하는 것이 중요하다.
- (3) 관수로의 유황은 급수전 또는 살수전의 개폐조작 상황에 따라서 대단히 짧은 시간에 변화한다. 이것에 대해서 종래의 개수로계를 중심으로 한 간선 송수계에서는 수원의 상황으로부터 판단하여 취수량을 정하고 이 수량을 하류에 송수하여 분수공에서 각 수혜지에 배분하는 조작을 해왔다. 이 조작에서는 취구수로부터 떨어진 분수공은 그 지점까지 물이 내려오는 동안 기다려야 하며 그 시간은 관수로에 비해서 대단히 길다.
- (4) 취수량과 실사용량과의 차이는 개수로계가 도중에 설치된 여수로를 통해서 방류 조정되는 것에 비해 관수로에서는 취수구에서 취수 조정된다. 이것은 간선수로부터도 말단 배수블록과 같이 하류의 영향을 받는 설계가 된다. 그러나 개별 급수전의 개폐에 의한 미세한 변화를 취수량에 반영시키려면 관수로 도중의 감압수조 밸브 등의 조작방법을 고려할 필요가 생기며 경우에 따라서는 피크사용량에 맞춘 취수량 확보가 요구되며, 급수전에서는 관개 불량 개소가 발생하므로 이런 경우에는 팜폰드나 조정지를 설치하면 좋다. 이러한 시설의 조정기능은 수원인 하천, 댐 등의 상황에 규제 받지 않는 송배수 조작을 가능하게 한다.

#### 나) 밭 관개용 관수로의 특성

- (1) 밭에 있어서 송배수의 특징은 사용시간과 휴지시간이 명확히 구별된다는 것이다. 일반적으로 물 관리 계획상 1일에 16~18시간의 물 사용과 8~6시간의 사용 정지시간이 있다. 이 정지 시간 내에 급수전까지의 관로에 공기가 차지 않도록 비우는 것을 방지하여야 한다.
- (2) 관개블록 내에서는 유회관개계획에 따라 해당 급수전만을 가동하는 것이 원칙이다. 전체의 급수전으로부터 본다면 가동률은 낮아지지만 병충해 방제 등의 다목적 이용 지역에서는 보다 짧은 시간에 급수전에 통수하는 것이 통례이다. 이 경우 논 관개용 관수로와 같이 말단부의 급수전에서 필요한 압력을 확보할 수 있게 배려한다.

#### 다) 병용 관수로의 특성

- (1) 논과 밭이 혼합되어 있는 지구 등의 경우 밭 관개에 대해서는 급수전에서 고압을 필요로 하기 때문에 관수로 전체로서는 고압 관수로가 되며 논 관개에

관하여 감압대책이 필요하다.

- (2) 단위수량이 크고 시간적으로 긴 급수가 되는 논 용수와 단위수량이 적고 단속적으로 급수하는 밭 용수와는 성격이 다르다. 이 때문에 병용 관수로의 물 관리는 용이하지 않으며 특히 펌프 양수의 경우에는 유지관리비를 충분히 고려해서 송배수방식을 결정할 필요가 있다.
- (3) 어쩔 수 없이 고압으로 송배수하는 방식을 채용하는 경우에는 논외 급수전 또는 논외의 분기관로의 입구 지점 등에 감압 특성이 좋은 조압시설, 유량 제어밸브의 설치를 검토할 필요가 있다.

### 3) 유량 및 운용관리 측면의 특성

관수로 시스템의 설계시는 용수이용계획에 기초한 계획 최대유량을 통수시킬 수 있게 수두배분 및 통수단면을 결정함과 동시에 운용관리를 충분히 고려할 필요가 있다. 설계유량에 대한 기능 및 운용관리측면의 기본특성은 다음과 같다.

#### 가) 설계유량에 대한 기능상의 특성

- (1) 관수로는 유황을 인위적으로 제어할 수 있는 폭이 크고 동일한 설계조건에 대해서 몇 개의 대체 안을 생각하는 것이 가능하다.
- (2) 노선선정에 있어서는 개수로와 같이 지형조건에 지배되는 것이 적고 노선선정의 자유도가 크다.
- (3) 통수용량과 공사비는 밀접한 관계가 있다. 이와 같이 선택의 자유도가 크기 때문에 많은 비교안 중에서 적절한 시스템을 선택하는 것이 중요하다.
- (4) 유황의 인위적인 제어, 관리할 수 있는 폭이 큰 반면 이것을 과다 수용하면 역으로 관리시설의 비용이 증대한다.

#### 나) 운용관리측면의 특성

- (1) 한 점에서의 밸브 개폐나 펌프의 가동정지 등에 의한 조작관리가 관수로 전체에 영향을 미치며 새로운 유황을 형성한다.
- (2) 관수로는 응답성이 빠르고 조작관리의 영향이 단시간에 조직의 각부에 전파된다. 그 때문에 조작 관리용 기기 사이에 불균형이 생기거나 급격한 유황 변화에 따른 위험한 과도현상을 일으킨다.

### 나. 관수로 시스템 계획순서

관수로의 설계는 수리 및 구조설계 외에 조작관리 등에 이르기까지 고려해야 할 사항이 복잡하게 관련되어 있다. 따라서 이들에 대한 관련성을 충분히 이해한 후 적절한 순서로 설계를 한다.

관수로 시스템의 설계는 주어진 제 조건을 기초로 기능성, 안정성, 경제성을 고려하고 적절한 관수로의 구성 및 물 관리 이용방식을 선정하여 그 시스템을 확인한다. 그

순서는 먼저 송수계와 배수계의 기능을 구분하고 조정지, 조압수조 및 분수시설 등에 따라 송수계의 공급조건과 배수계의 수요조건을 완충하는 시설을 배치한다. 그리고 구분된 각각에 대해서 지형조건, 관개방식, 물 이용형태 등을 검토하여 관제와 부대시설을 개략적으로 결정한다. 그림 4.11.3은 관수로 시스템의 설계 개념도이다. 그러나 실제의 작업에 있어서는 적절히 점검을 하고 필요시 종합적인 검토를 반복하여 관수로 시스템을 확정하는 것이 좋다.

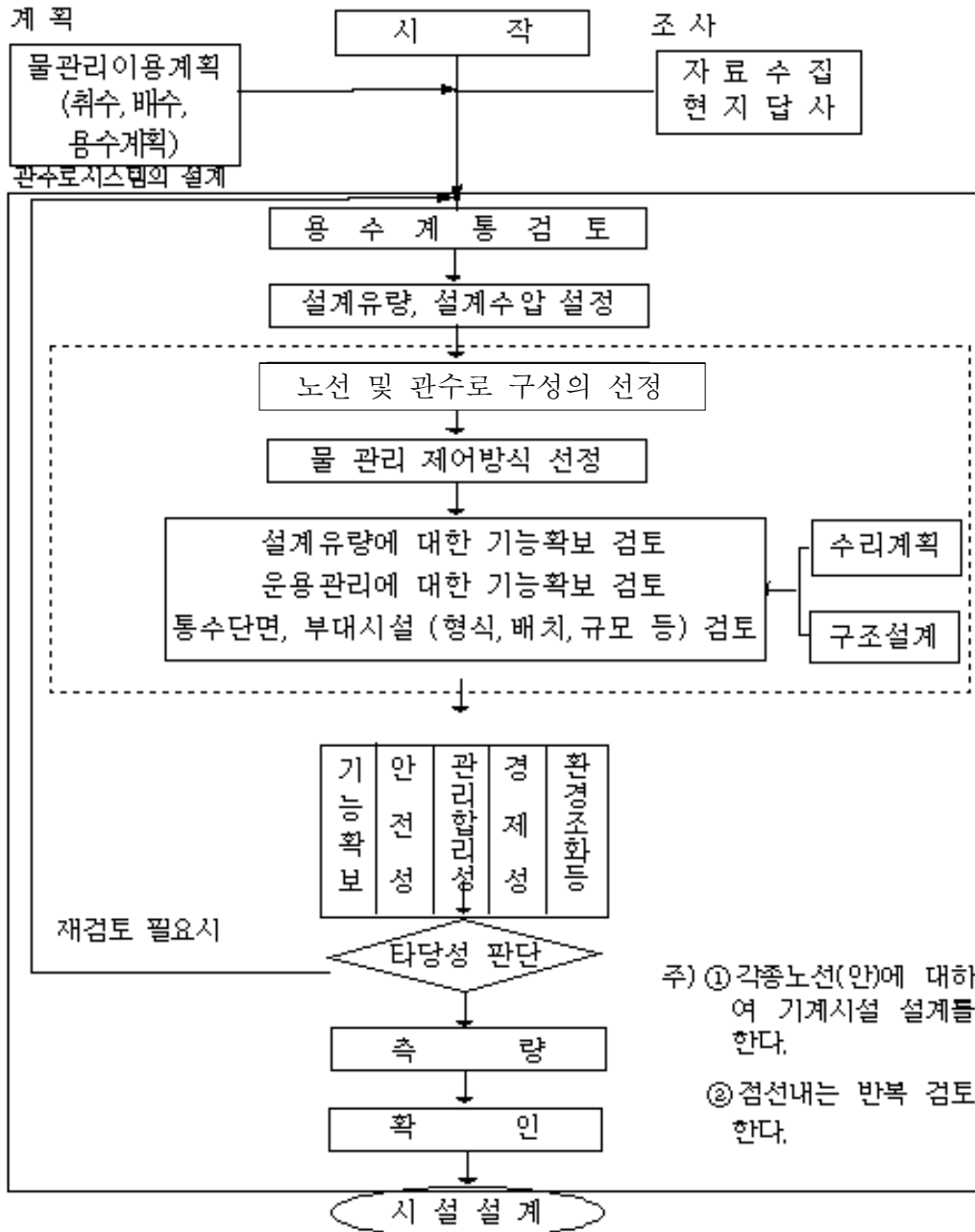


그림 4.11.3 관수로 시스템 계획순서



## 다. 관수로의 형식 결정

### 1) 기구에 따른 분류

관수로는 기구형식에 따라 개방형(open type), 폐쇄형(closed type), 반 폐쇄형(semi closed type)으로 분류할 수 있다.

#### 가) 개방형

개방형은 관수로에서 상하류의 표고차가 그다지 크지 않은 위치에 자유수면을 가진 수조를 배치한 형식이다. 이 수조는 감압 작용 외에 분수공 및 방류공의 기능을 겸하고 있는 것이 일반적이다. 조압수조 사이에는 필요에 따라서 분수공(급수공)을 설치한다. 이 형식은 개수로에 준한 수로형식이며 노선중의 게이트 및 밸브를 이용하여 수량을 조절하고 잉여수는 전부 방류되므로 용수원의 수량이 적어 절수의 필요가 있는 지구에는 조정지 등을 설치하여 무효 방류를 방지하는 대책을 세워야 한다.

#### 나) 폐쇄형

폐쇄형은 상류수원에서 말단 분수공까지 폐수로로 되어 말단의 급수밸브를 조작하여 소요의 수압 및 수량을 얻을 수 있는 형식이며 특히 급수에 적정 압력을 필요로 하는 말 용수로에 적당하다.

#### 다) 반 폐쇄형

반 폐쇄형은 관수로 도중에 자유수면을 가진 저수조를 설치하고 수조에 플로트 밸브를 설치하여 무효방류가 발생하지 않도록 한 구조이다. 이 형식은 하류측의 밸브를 개방하여 물을 사용하면 수조의 수위가 저하한다. 그 후 일정수위(LWL)에 달하면 플로트밸브(디스크밸브)가 작동하여 수위가 자동으로 회복된다. 논 관개 용수로에서 많이 이용되고 있다.

### 2) 수압에 의한 분류

수압으로 분류를 하는 경우 송수계 관수로와 배수계 관수로에 있어 각각 다음과 같이 분류된다.

#### 가) 고압형

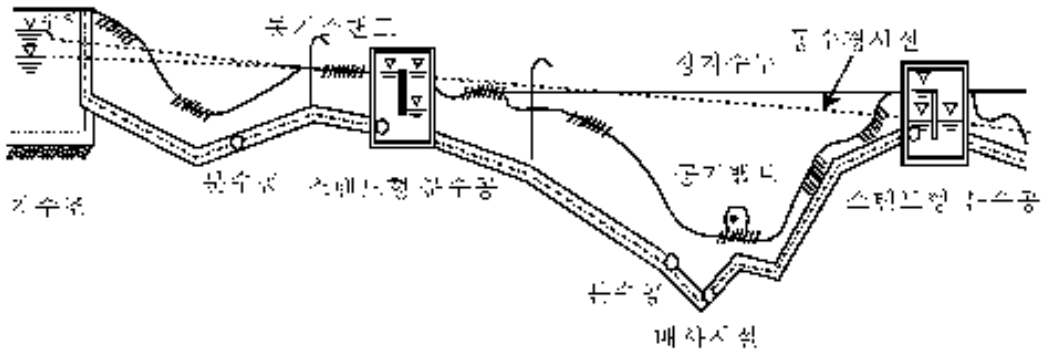
송수계에서는 관수로에 작용하는 최대 사용 정수두가 100m를 넘는 것을 고압 관수로라고 부르고 배수계에서는 말단 급수전으로 약 147kPa 이상의 수압을 필요로 하는 주요 말 관개에 사용하는 것은 고압 관수로로 한다.

송수계의 고압 관수로에서는 관체 및 이음의 내압강도나 수밀성에 대한 확인 등 상세한 검토를 함과 동시에 부대구조물 및 각 설치기기류의 안정성, 경제성, 유지관리비에 대해서도 충분히 고려한 시설설계가 필요하다.

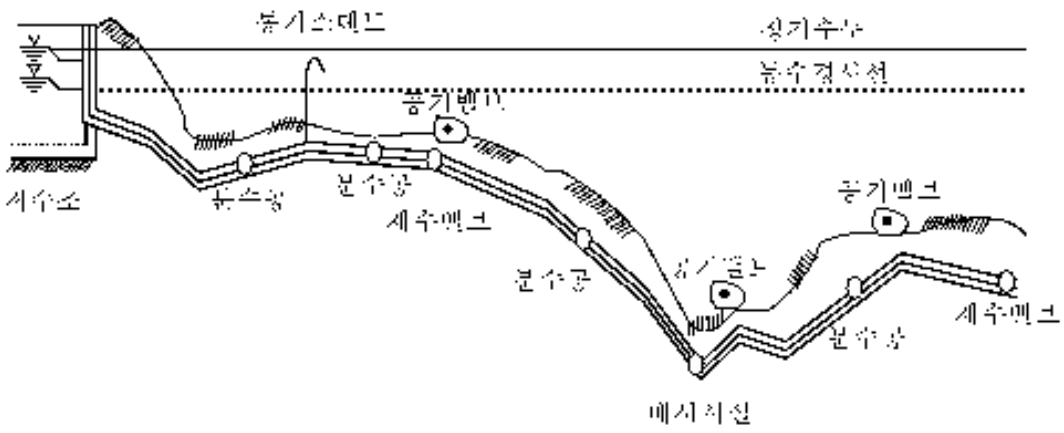
배수계의 고압 관수로에서는 말단부에서 소요수압을 확보하기 위하여 조압시설을 설치하는 등의 방안을 강구하는 것이 필요하다.

표 4.11.1 관수로의 형식에 따른 특징

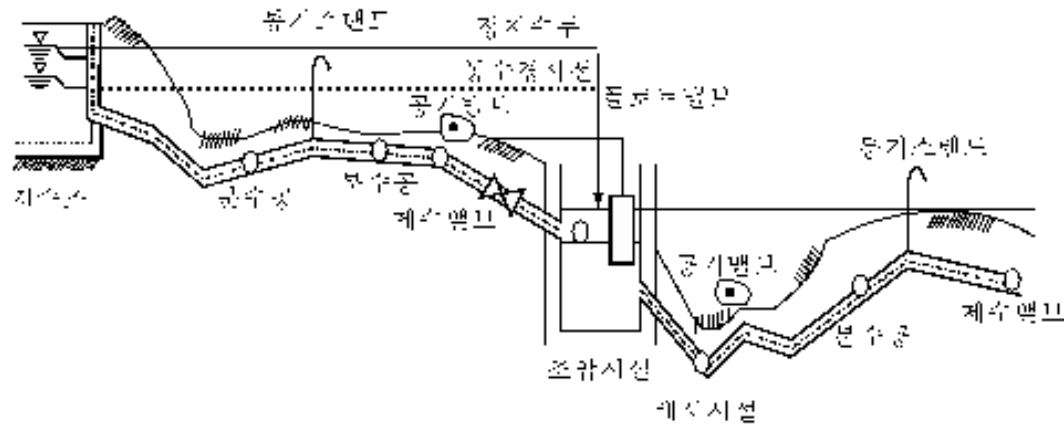
조건 형식	개 방 형	반 폐 쇄 형	폐 쇄 형
분 수 조 절	저수조 위치에서 분수를 겸용시킬 수 있기 때문에 저수조의 구조에 새로운 방안을 강구하면 분수량의 조절과 함께 비교적 용이하게 분수량도 측정할 수 있다.	플로트 밸브 위치에 분수 시설을 병설하면 어느 정도의 분수량 조절이 가능하기 때문에 폐쇄형보다는 약간 유리하다.	동일 배관계통에 있는 일부급수전을 개방하면 즉시 다른 급수전에 영향을 주는 결점이 있다. 이러한 경우에서도 일정량으로 분수를 할 수 있는 분수장치가 고안되기는 하지만 비용이 많이 든다.
관 체	저수조의 고저차를 규제함으로써 저압관을 사용하는 것이 가능하지만 저수조 위치에서 일단은 감압이 되기 때문에 관경이 커지는 단점이 있다.	플로트 밸브를 적당히 설치함으로써 저압관의 사용이 가능해진다. 일반적으로 개방형 때보다 고압관이 필요하게 된다.	수두를 유효하게 사용할 수 있는 반면에 고압관을 사용할 필요가 있다. 그러나 표고차를 최대한으로 활용할 수 있으므로 개방형에 비하여 관경을 작게 할 수 있고 경사가 급한 지역에서는 개방형보다 관체비용이 저렴해지는 경우도 있다.
스탠드	한쪽 방향으로 기울어진 경사지에 연하게 배관할 때는 저수조 간격을 좁게 해야 할 필요가 있으므로 저수조의 수를 많이 해야 한다.	관의 내압강도 범위 내에서 플로트 밸브를 설치하면 좋다. 경사지의 경우에서도 개방형보다 스탠드의 수가 적게 든다.	저수조가 없기 때문에 여기에 소요되는 비용이 전혀 불필요하게 된다.
방 수 설	단면 변화점(분수점)에서는 필히 방수시설이 필요하다.	될 수 있는 대로 플로트 밸브가 있는 곳에 물넘이를 설치하는 것이 좋다. 최말단을 하천 등에 연결해 둘 필요가 없기 때문에 개방형보다 방수설비가 적게 든다.	단면 변화점(분수점)에 방수시설이 필요하지 않다.
관 리 손 실	관리 손실은 개수로의 경우와 거의 같다. 특히 24시간 관개하지 않는 말관개의 경우 손실량은 예상외로 크다.	물관리 손실량이 적다.	물관리 손실량이 적다.



(a) 계량형



(b) 피해형



(c) 민폐회형

그림 4.11.4 기구에 의한 관수로 분류

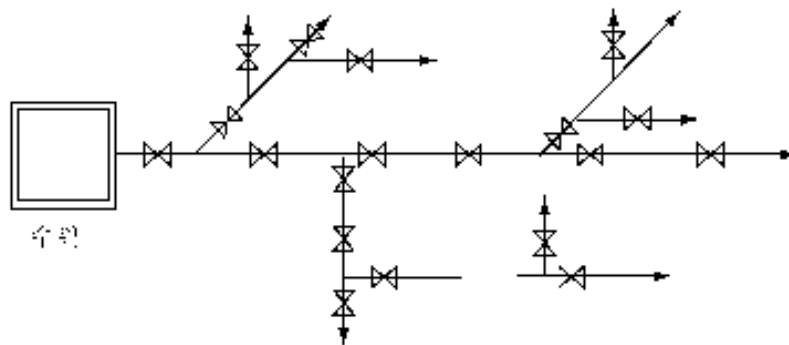
나) 저압형

송수계에서는 관수로에 작용하는 최대사용정수두가 100m 이하의 것을 저압 관수로로 한다. 배수계에서는 말단 급수전의 필요수압이 작아 대략 147kPa 미만이 대부분이며 주로 논 관개에 사용하는 것은 저압관수로로 한다.

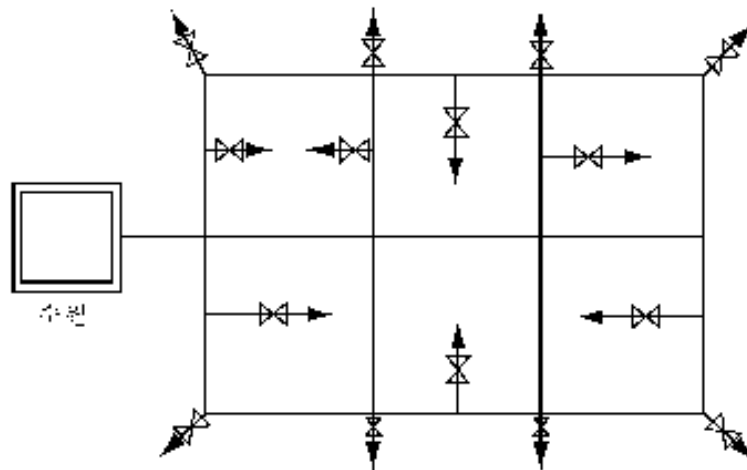
3) 배관방식에 의한 분류

관수로의 배관방식에는 수지상 배관과 관망배관이 있으며, 지구의 지형, 형상, 크기, 수원의 위치, 지배면적 등의 제반조건을 검토하여 선택한다.

수지상 배관은 관수로가 간선, 지선으로 순차적으로 분기하여 물이 말단을 향하여 일정방향으로 흐르는 방식이다.



(a) 수지상 배관방식



(b) 관망 배관방식

그림 4.11.5 배관방식

관망 배관은 관수로가 거미줄 모양으로 연결되어 사용 급수전의 수압에 따라 관내의 물은 정방향 또는 역방향으로 흐름을 바꾸어 흐른다. 따라서 관망 배관은 폐쇄형에만 적용할 수 있다.

#### 4) 송배수 방식에 의한 분류

##### 가) 자연압 방식

지형상의 수압차를 이용하여 관개하는 방식이다.

##### 나) 배수조(配水槽) 방식

송수나 배수에 충분한 수두가 얻어지는 장소에 배수조를 설치하여 이곳에 일단 펌프로 양수한 후에 자연압으로 송수 또는 배수하는 방식이다.

##### 다) 펌프 직송방식

지형상 낙차가 있는 경우 소정의 수압이 필요한 경우에 직접 펌프에 의하여 압송하는 방식이다.

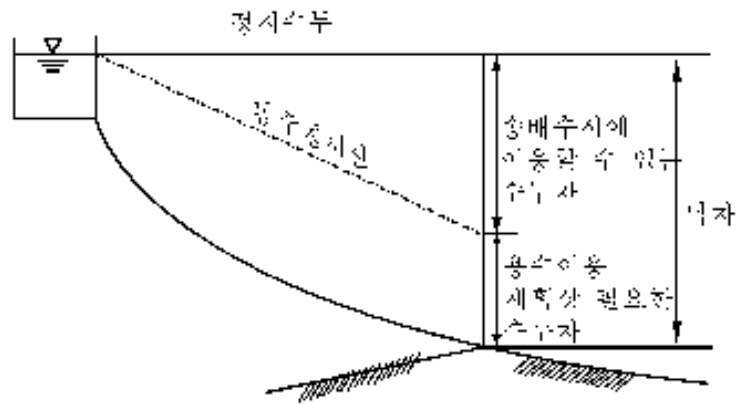
##### 라) 압력 수조식

펌프직송식일 경우에 수격압 방지나 자동운전 또는 빈번하게 운전이 중단되는 것등을 회피할 목적으로 배출수조 부근에 압력수조를 설치하는 방법이다.

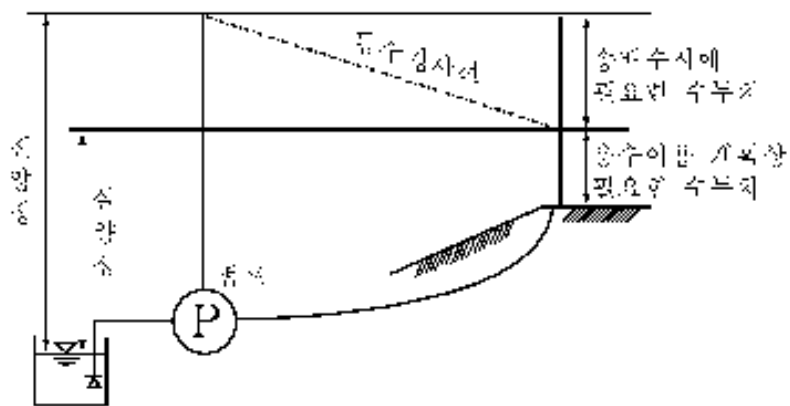
### 라. 제어·관리시스템 계획

#### 1) 제어·관리시스템의 설치 목적

제어·관리시설이란 관수로 시스템에서 정보의 수집, 처리, 조작을 하기 위한 시설로서 관수로 시스템을 구성하는 하나의 중요한 요소이다. 구체적으로 수위, 유량, 압력 등을 관측하는 시설, 관측치를 감시 제어하는 시설, 정보를 전달하는 통신시설, 정보의 기록 또는 처리하는 설비의 일체를 말한다. 관수로의 제어·관리시스템의 설치 목적은 주요 수원공이나 관수로시설을 중앙관리소에서 집중적이고 체계적으로 관리함으로써 효율적인 시설관리가 되어 물관리 비용이 절감되고 용수 배분을 합리적으로 하여 가뭄이나 홍수 등의 농업재해 대응 능력을 향상하는데 그 목적이 있다.



(a) 자연압식



(b) 펌프압송식

그림 4.11.6 송배수 방식

## 2) 제어·관리수준의 결정

수리시설이 집단화되고 시설물 개보수 및 용수로 구조물화 및 용배수 시설의 전동화가 완료되어 사업효과가 높은 지역부터 단계별로 시행하고 저수지, 양배수장 등 수원공과 평야부 용배수간선의 주요시설 위주로 물 관리 자동화시설을 우선 설치한다는 것이 현재 정부의 추진 정책 방향이다.

제어·관리시설의 설계는 통수시설의 내용, 물 관리방식과 관리체제, 지구의 규모 등을 종합적으로 검토하여 결정해야 한다. 제어·관리 시설의 수준결정과 관계되는 사업지구의 여건은 아주 다양하므로 지구의 여건과 제어·관리시설과의 관계를 표 4.11.2에 표시하였으니 상호관계를 종합적으로 검토하여 제어·관리 수준을 결정할 필요가 있다.

표 4.11.2 제어·관리시설 수준 결정

구 분	지구의 조건		물관리의 감시제어의 수준				
			인 력	자 동	원격조정		
지구의 규모	대 규모	시스템이 복잡			○	○	
	소 규모	시스템이 단순		○	○		
관수로 시스템	송수계	자연유하	공급주도	수원에서 제어	○	○	
				분수점 제어		○	○
			수요주도	분수점 제어	○	○	
		펌프에 의한 압송	공급주도	수원에서 제어	○	○	
				분수점 제어		○	○
			수요주도	분수점 제어	○	○	
	배수계	자연유하	급 수 전		○	○	
			전자밸브제어			○	○
		펌프에 의한 압송	전자밸브제어			○	○
			배출수위제어			○	
			배출압력제어			○	
	조절지	기간조정	1개소		○	○	
여러 개소					○		
팜폰드	시간조정	1개소			○		
		여러 개소			○	○	
관 리 체 제	물관리조직이 있고, 인적감시제어가 가능			○	○		
	광범위하여 인적감시 제어는 곤란				○	○	
물사용 조 건	물사용 조건에 의한 원격감시제어의 필요가 있다.				○	○	
	특별히 원격감시제어의 필요는 없다.			○	○		

주) 물관리의 감시제어의 수준이 2개 이상에 ○가 붙어 있는 것은 「또는」 혹은 「및」의 뜻으로 생각하면 된다.

3) 제어·관리시스템 적용 대상

제어·관리시스템의 적용 대상시설은 다음과 같다.

가) 수원공: 저수지(사통, 취수탑, 여수로 문비), 취입보, 양수장, 관정 등

나) 배수시설: 배수장, 배수갑문 등

다) 용배수로 주요시설: 분수문, 제수문, 방수문, 배수문 등

라) 재해예방시설: 댐 및 방조제 등 홍수예경보시설

제어·관리시스템을 계획하는 경우 농업용수의 특징을 충분히 이해할 필요가 있다. 이들의 특징은 다음과 같다.

- 필요수량이 생육시기별로 변화하며, 강우량에 따라 일단위(日單位)로 필요수량이 변한다.
- 제어내용은 비교적 단순하나 대상지역이 분산되어 제어 대상지역이 광범위해지는 경향이 있다.
- 현장의 제어시스템은 자연조건에 대응할 수 있도록 하여 장기간에 걸쳐 그 기능이 유지되어야 한다.
- 다만 상기사항을 완전히 만족시키기 위해서는 시설의 고도화가 필요하게 되지만 이것은 오히려 실용성을 제한하는 결과를 초래하므로 농업의 생산성에 걸맞은 제어수준을 구축하는 것이 현실적인 대응이라고 할 수 있을 것이다. 이와 같이 관수로의 제어시스템의 목표는 조작의 용이성, 시설의 내구성, 시설의 안전성에 중점을 둔 설계가 바람직하다. 또 해당 제어시스템의 적합성을 확인하기 위하여 관수로에 생기는 각종의 수리현상에 대해서 모의 발생실험을 실시하여 이들 현상에 충분히 대처할 수 있도록 검토한다.

제어·관리시스템의 계획에 있어서는 관리제어의 내용과 방법 그리고 운영체제 등을 명확하게 하여 최종적인 제어·관리 시스템을 결정한다.

#### 4) 제어·관리시스템 계획시 유의사항

##### 가) 제어·관리체제

물관리시설의 설계에 있어 가장 중요한 요소는 모든 시설, 물 관리방식, 관리체제의 적합성이다. 이중에 특히 관리체제의 정도가 중요하다. 즉, 관리주체의 조직체제의 뒷받침 없이는 물관리방식의 선택이나 실행은 불가능하기 때문에 관리주체와 충분한 의견교환을 하여 둘 필요가 있다.

##### 나) 정보의 종류

물 관리에서 수집되는 정보는 각종 기기의 조작상황 정보, 수리정보, 수원에서의 공급정보와 수익지에서의 수요정보로 구분된다. 조작상황 정보는 예를 들면 펌프의 가동상황, 중요한 밸브의 열림상태 등이고, 수리정보는 관수로 내부의 압력, 유량, 수위 등이다. 실제로는 각종 기기의 조작상황과 발생하고 있는 수리현상의 정보수집에 관심을 두고 있으나, 말단 블록에서의 수요정보의 파악과 처리에도 관심을 둘 필요가 있다.

일반적으로 정보처리 기기를 비치한 경우의 물 관리는 유지관리비의 절감을 목표로



한 관리의 필요에서 검토하는 것이고, 관수로 시스템에 있어서의 수원에서의 공급상  
황과 물 사용 상황에 대한 예측 또는 과거의 물 관리기록 및 정보의 전달기능 자료  
등으로 공정표를 작성하여, 이들을 바탕으로 물 관리시스템을 설계하여야 한다.

#### 다) 정보수집 방식의 검토

일반적으로 물 관리시설이라고 하면 TM/TC, 컴퓨터에 의한 자동화기기 구성 등을  
생각하기 쉬우나 이들 시설을 채용하기 전에 관리항목이 최소가 되도록 하는 모든  
시설배치와 구성을 고려해야 한다.

관수로는 개수로에 비하여 시설 조작에 대한 반응이 극히 빠르고 또한 모든 지역에  
빠르게 영향을 미치는 특성을 가지고 있기 때문에 과도한 이상 현상이 어떻게 발생  
하는가를 파악해 두어야 한다. 그 때문에 송수정지 시부터 최대 유량 때까지의 변화  
혹은 그 반대의 경우에 대하여 각종 기기의 조작을 어떻게 판단하고 실행하는가를  
확인한 다음에 기록하여 두는 것이 필요하다.

### 마. 관수로 시스템 계획시 유의사항

#### 1) 노선(路線) 선정시 고려사항

노선선정에 있어서는 지형, 지질 등의 자연적 조건, 시공조건, 관리의 편리함, 유지  
관리비, 토지이용, 주요 영농작물 등의 경제적, 사회적 조건 및 분수위치와 그 형식  
등을 고려해서 한다. 이 경우 용지의 취득, 지역의 개발계획 등에 관련되는 문제도 있  
기 때문에 도상에서 여러 개의 노선에 관하여 비교·검토하고 신중히 최적노선을 선정  
한다.

#### 가) 일반적인 고려사항

○ 관의 포설고를 동수경사선 이하로 유지한다면 개수로와 같은 지형상의 제약을 받  
지 않는다. 이 경우 관수로의 관정부와 동수경사선과의 여유수두는 최소한 0.5m  
정도 이상을 확보하는 것이 좋다. 이 여유수두는 계획최대유량시의 정상유황일 때  
의 값이다.

다만 물 관리 조작 등에 의해 유황이 비정상으로 된 경우에는 이 같은 여유수두가  
작은 지점에서 부압이 발생하며 관수로가 파괴되는 경우도 있다. 따라서 여유수두가  
작은 경우는 수격압을 검토해서 관수로의 안전성을 확인해야 한다.

또한 관수로의 형식에 따라서는 (특히 개방형 관수로의 경우) 소유량시에 하류측  
수조의 수위에 최저수위가 발생하는 경우가 있기 때문에 주의를 요한다 (그림 4.11.7  
참조).

○ 노선은 최단거리로 할 것. 다만 기복이 심한 곳에서는 관에 작용하는 내수압이 □  
부에서 크게 되어 고압이 된다. 이 같은 지형에서는 노선연장이 길어져도 우회한  
다. 이 경우에는 저압에서 대응할 수 있는 노선이 유리한 경우가 있기 때문에 경

제적인 면에서 비교·검토한다.

- 연약지반 지대나 피압지하수가 분포하고 있는 곳은 가능하면 피한다.
- 도로, 하천 등의 횡단은 가능한 한 직각 교차로 한다.
- 시공이나 관리의 편의를 고려해서 일반적으로 도로나 경지경계등을 따라서 배치하는 것이 좋다.
- 노선은 분수공의 위치에 의해서 제약을 받기 때문에 수혜지와와의 관련을 충분히 파악해야 한다.
- 관수로의 노선선정은 방수공, 여수로, 조정시설 등의 설치위치, 규모결정에 상호 관련되어 있기 때문에 이러한 것에 관련되는 하천, 계곡의 상태에 관해서도 충분히 고려한다.
- 펌프송수계의 경우 압송관의 수격압 및 부압대책을 배려해서 노선을 선정한다.
- 특히 대구경의 관수로에서는 송수 정지시에 관내에 공기가 유입되지 않도록 하는 것이 중요하며, 관리의 수준 및 관리체제를 고려해서 노선 선정을 한다.
- 매설한 관수로가 지상부의 조건이 변화한 경우 관에 유해한 영향을 주기 때문에 장래에도 설계조건이 확보될 수 있도록 유의해서 노선을 선정한다.

#### 나) 물 관리 측면

관수로 시스템의 물 관리 기능은 노선선정에 기초한 지형상의 종단선형에 지배되는 요소가 대단히 크다. 개수로의 경우는 간선라인을 지형상의 고위부에 배치하고 지선라인, 말단라인을 순차적으로 저위부에 배치하는 방식을 취하며, 물 관리제어는 고위부에서 한다.

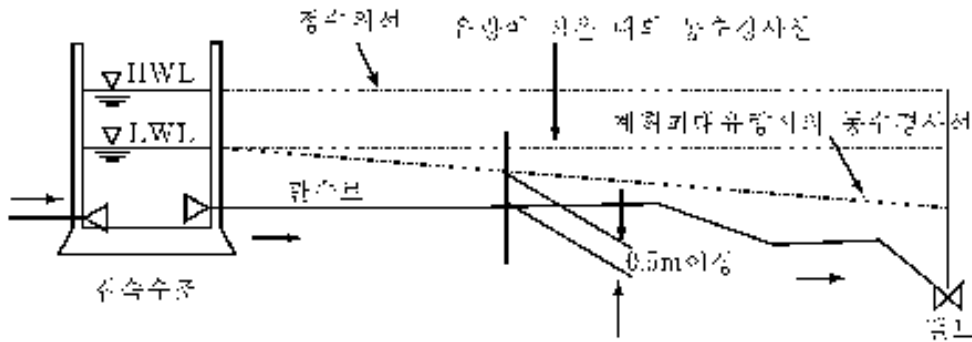
관수로 시스템에 있어서 고위부에 간선을 배치하고 또한 물 관리제어를 고위부에서 하면 각 라인의 시설용량이나 물 관리방식의 차이, 또는 말단밸브의 관리상태에 따라서 관수로 내에 공기가 혼입되어 분수공의 유량제어가 수리적으로 불가능한 경우가 있다. 이 같은 점으로부터 물 관리제어를 고려한 노선 선정 방법으로서 다음 사항에 유의할 필요가 있다.

- 유량제어를 위해서 원칙적으로  $\cap$ 의 종단선형을 선정한다. 이같은 노선의 선정이 곤란한 경우는 수격압의 검토를 충분히 하여 선정된 노선의 안정성을 확인해야 한다.
- 간선계의 라인은 통수를 정지한 경우에 항상 관수로 내부가 만수상태를 유지하여 공기가 혼입되지 않게 종단 선형을 선정하는 것이 원칙이다. 그 예로서 간선을 지선이나 말단보다 표고적으로 저위부에 배치하는 것을 생각할 수 있다. 이 같은 배치에서는 분수 밸브지점에서 통수를 정지시켜도 관수로내는 항상 만수가 유지된다. 또한 간선에 대해서 지선, 말단의 표고차가 없는 경우는 지선으로부터 말단의 분기점에 관을 설치하여 공기 혼입을 방지하는 방법이 있다.
- 노선상의 제약조건으로부터 앞의 나)항과 같은 노선을 잡지 못할 경우에는 물 관

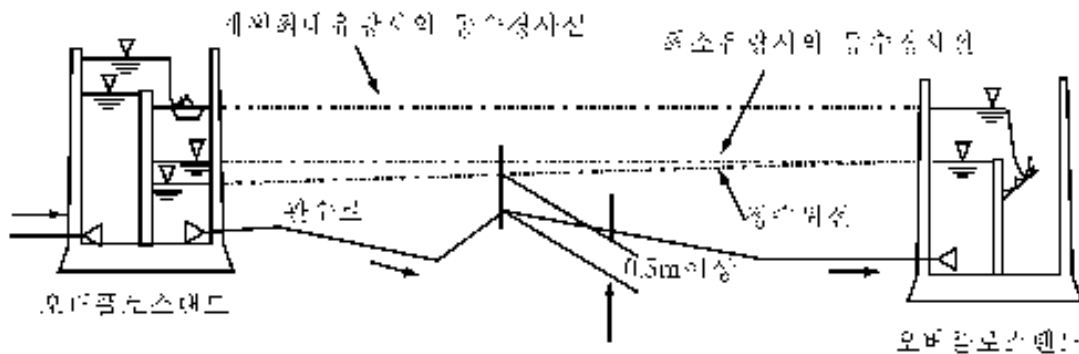
리제어 체계를 충분히 검토하여 공기혼입을 방지하는 대책을 세워야 한다.

다) 유지관리 측면

최근 펌프기술의 발달에 따라 대용량 고효율의 펌프를 사용하여 용수를 지구의 최고위부에 양수하여 순차로 감압시키면서 배수하는 방식이 가능하게 되었다. 이 같은 노선은 일반적으로 건설공사비의 경제성으로부터 결정되지만 양수하여 감압하기 때문에 유지관리 면에서는 불리하다. 종래 관수로 투자에 대한 경제성은 건설비용을 중심으로 생각해 왔지만 유지관리비의 관점에서 검토해야 한다.



(a)피뢰형의 경우(최저수위는 최소 수량시(때로는 0도 있다)에 발생한다)



(b)기량형의 경우(최저수위는 최소 수량시(때로는 0도 있다)에 발생한다)

그림 4.11.7 관수로 형식과 최저수위 발생

이 경우 관수로의 노선은 분산한 펌프를 결합하는 형태로 된다. 수원의 조건, 지형이나 수혜지의 분포조건에 따라서 이 같은 송수시스템이 가능할 것인가 하는 문제는 있지만 유지관리 경비에 착안한 노선의 선정도 검토할 가치가 있다.

또한 유지보수의 편리함을 고려한 시설 설계도 검토할 필요가 있다. 상수도 등의 사업지구에서는 연간을 통해서 용수공급을 해야 한다. 이 때문에 관수로의 보수, 사고

에 대한 안전성을 고려하여 연관을 통해서 용수를 공급해야 하는 지구에서는 관수로의 복선화나 보수시의 대체기능의 확보에 관하여 검토할 필요가 있다.

구체적인 예로서 수지상 관수로 시스템 각각의 간선에 관하여 그 말단 부분을 연결시키는 것을 생각할 수 있다. 통상 이 연결부는 밸브에 의해서 단절되어 있으며 간선의 일부가 사고 등으로 송수불능이 되었을 때 밸브를 개방하고 연결부를 통해서 다른 간선부터 공급을 한다.

한편 대구경의 경우이거나 논과 밭 관개가 혼합되어 있을 때는 1개 라인만 설치하는 것보다는 2~3개의 라인으로 복선화 하면 관개시기에 따라 관개용수량의 증감변화에 대응하여 2개 라인 중 1개 라인만 사용하면 물 관리의 효율을 높일 수 있고 공사비 면에서는 유리할 수 있으므로 검토가 필요하다.

## 2) 수리분야 유의사항

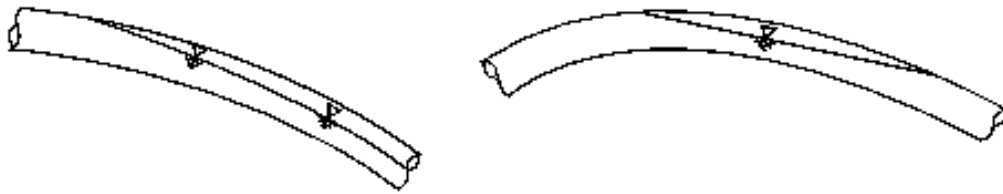
### 가) 수리현상

관수로 내의 흐름은 항상 만류상태가 아니다. 그림 4.11.8(a)는 급경사의 관로에서 하류부 밸브를 개방했을 때 관의 상부에서 수맥이 분리되어 원형 단면의 개수로 흐름이 된 예이다. 이 경우에 말단에서 밸브를 조작하면 공기가 압축되어 에어해머를 발생시킬 수 있다.

그림 4.11.8(b)의 경우는 기복이 많은 노선의 돌출부에서 국부적으로 수맥분리 현상이 발생되어 폐쇄된 개수로와 같은 흐름이 된다. 이 흐름은 가압 상태와 부압 상태가 있으며 가압 상태는 관로에 유입된 공기가 돌출부에 잔류된 경우로 공기밸브로 공기를 배출시켜야 한다. 부압 상태는 통기시설에서 공기를 흡입했을 때 발생되거나 펌프가 일시적으로 정지했을 때 발생된다. 이와 같이 관수로의 흐름은 노선의 상태와 유량, 압력 밸런스에 의하여 공기를 흡입 또는 배출하는 현상이 발생되므로 통기시설의 설치와 가압 및 부압 대책이 필요하다.

### 나) 압송류

개수로는 중력에 의하여 수면경사를 형성하여 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르지만 관수로는 에너지 차이에 의해 흐르므로 용수원과 말단에 수두차만 있으면 지형의 제약 받지 않고 송수가 가능하다.



(a) 급속사관로

(b) 노선의 굽기

그림 4.11.8 관수로의 특수유형

다) 압력변동

관수로의 밸브 조작에 의한 압력변동은 초당 수백~수천m의 속도로 전달된다. 물은 관성력에 의하여 흐르기 때문에 압력변동이 안정될 때 까지 시간이 필요하며 관수로가 긴 경우에는 상당한 시간이 소요되므로 관수로의 설계 및 제어에 고려되어야 할 사항이다.

라) 비정상 수리현상

과거에 발생된 사고원인의 하나로 비정상 수리현상이 있다. 즉 수격압 해석의 불충분, 공기혼입에 의한 에어해머의 발생, 서지현상을 해석하지 않아 발생하는 저수조의 월류 사고 등이 있다. 이와 같은 현상은 설계단계에서 충분히 검토되어 대책을 강구해야 한다.

3) 관리분야 유의사항

가) 헌팅현상

펌프~저수조~관수로로 구성된 시스템은 저수조 용량이 부족할 경우 펌프의 스위치가 자주 ON/OFF 하는 헌팅현상이 발생된다. 저수조의 용량이 적을 경우에는 통수개시 혹은 통수 정지시에 수조가 넘치거나 수조가 비는 현상이 발생할 수 있다. 이와 같은 현상은 일정유량이 흐를 경우에는 문제가 되지 않으나 사용량의 변동이 심한 경우에는 펌프의 고장 및 운전경비의 증가 또는 관수로 시스템 전체의 사고 원인이 될 수도 있다.

나) 조작관리

관수로가 시스템으로서의 기능을 발휘하기 위해서는 항상 양호한 상태로 유지관리되어 용수이용에 지장을 초래해서는 안 된다. 최근에는 용수의 효율적인 관리를 위하여 TM/TC 시스템을 도입하고 있으나 용수로의 특징, 관리체제의 실태, 지구의 특징 등을 고려하여 적절한 용수관리시스템의 도입이 필요하다.

4) 시설용량

농업용 관수로의 시설용량은 전체 사용수량에 따라 결정되기 때문에 영농형태가 변

하면 용량이 부족해지는 경우가 있다. 그러므로 시설용량은 용수의 수요량을 충분히 예측하여 여유를 두어 설계하여야 한다.

### 4.11.3 관수로 수리(水理)설계

관수로의 수리설계는 관개용수의 이용계획에 따라 필요한 시기에 필요한 용수량의 송수기능을 확보하기 위하여 정상 상태의 수리현상, 비정상 상태의 수리현상, 수격압 등을 세밀하게 검토하여 관수로의 기능이나 성능의 발휘 여부를 종합적으로 판단해야 한다.

#### 가. 일반사항

##### 1) 관수로시설 설계순서

관수로 시설 설계는 관수로 시스템의 기본설계에서 개략 선정된 관수로의 관로와 부대시설에 대해서 상세한 수리, 구조설계를 하는 것으로 그림 4.11.9의 설계순서에 따라 관수로시설의 설계를 진행한다.

##### 2) 설계유량

###### 가) 설계유량의 정의

관수로 설계에 사용하는 유량에는 계획최대유량, 최다빈도유량, 최소유량을 생각할 수 있지만 여기에서는 계획최대유량을 설계유량으로 한다. 통상 관수로시설의 규모 즉 구경이나 수조의 종류는 설계유량을 기초로 결정하지만 단면이나 구조 등의 결정에는 그 이외의 유량에 관해서도 필요한 검토를 해야 한다. 관수로 시스템의 설계에 있어서는 설계유량보다 적은 유량시의 거동에 주의할 필요가 있다. 설계에 사용하는 유량과 검토 항목은 표 4.11.3과 같다.

###### (1) Case-1

대상 유량을 정하는 경우 물 관리 체계를 명확히 하고 실제로 하려고 하는 물 관리를 상정해서 검토해야 한다. 통상 계획 최대유량이 되는 경우가 많다.

###### (2) Case-2

개방형 관수로의 경우 관로의 통수량에 따라서 관내의 물이 자유수면을 갖는 흐름이 되기 때문에 해당 개소에는 적절한 대책을 세울 필요가 있다. 폐쇄형 또는 반폐쇄형 관수로의 경우 밸브의 제어기능이나 캐비테이션에 대한 안전성을 검토할 필요가 있다. 대상유량은 최다빈도 유량을 척도로 하지만 유량변화가 확실하지 않은 경우에는 계획최대유량의 50% 정도를 이용한다.

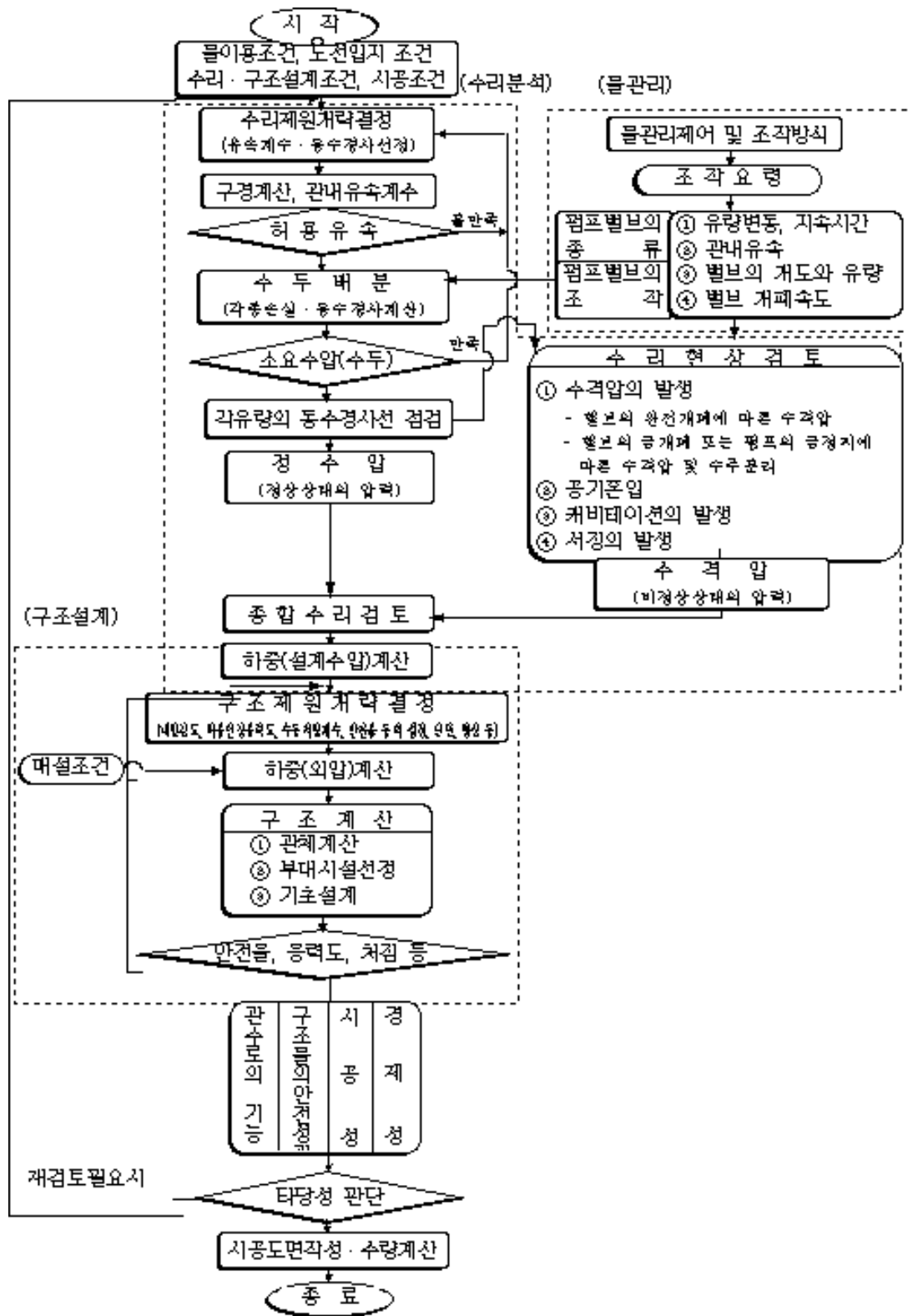


그림 4.11.9 관수로 설계순서

표 4.11.3 설계에 사용하는 유량

Case	대상유량	검 토 항 목
1	계획최대유량	관구경의 결정, 포설중단의 결정(동수경사선의 검토), 최대 유속의 검토, 수격압의 검토, 기기류의 사양 검토 (밸브제어기능, 캐비테이션 검토를 포함)
2	최다빈도유량	동수경사선의 검토, 최소유속 검토, 기기류의 사양 검토 (밸브제어기능, 캐비테이션 검토를 포함)
3	최소 유량	동수경사선의 검토, 기기류의 사양 검토 (밸브제어 기능, 캐비테이션 검토를 포함)

(3) Case-3

개방형 관수로에 있어서 비 관개기에 통수가 계획되어 있는 경우(예를 들면 유지용수, 동결방지 용수 등)에 관해서는 Case-2와 같은 이유로 검토를 한다. 대상 유량이 정확하지 않은 경우에는 계획최대유량의 20% 정도를 이용한다.

나) 설계유량에 대한 유의사항

설계유량은 관수로 시스템 설계의 기본조건이며 계획최대유량, 최다빈도유량, 최소 유량 등의 검토시 다음 사항에 유의해야 한다.

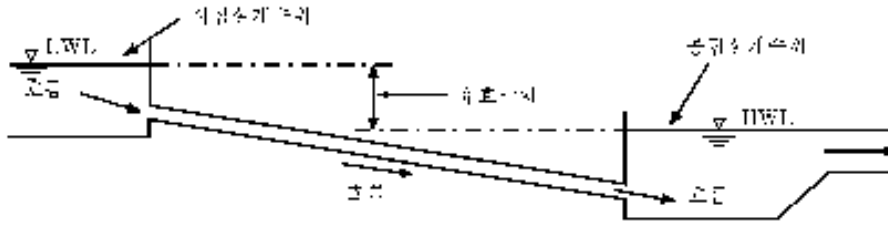
- (1) 관수로 시스템 설계에 이용하는 계획최대유량, 최다빈도유량, 최소유량의 유량제원은 원칙적으로 일 평균유량을 대상으로 한다.
- (2) 계획최대유량, 최다빈도유량, 최소유량의 검토에 있어서는 용수이용계획에 기초한 관개기간의 기별용수량 그래프를 그리는 것이 특히 중요하다.
- (3) 관수로 시스템에서는 유량의 변화 등 유황에 변동이 있는 경우 수격압이나 서징이 발생하고, 특히 수격압에 관해서는 그 정도에 의해서 관수로 시스템을 파괴하는 경우도 있다. 따라서 수리설계 단계에서 수격압이나 서징의 발생 상황을 해석적으로 검토하여 시스템의 안전성을 확인하는 것이 중요하다.

수격압의 검토는 관수로 시스템의 형태에 따라서 설계유량 검토로 충분치 않은 경우도 있다. 경향으로는 압력 동수경사에 대해서 지형경사의 비율이 적은 관수로 시스템의 경우 즉 평탄지의 장거리 관수로와 같이 흐름의 동수경사에 마찰 손실 경사의 요소가 높은 경우는 중간 유량이나 소유량시에 설계 유량시보다 큰 수격압이 발생하는 경우도 있다. 따라서 이러한 중간유량이나 소유량에 대해서도 충분히 검토할 필요가 있다.

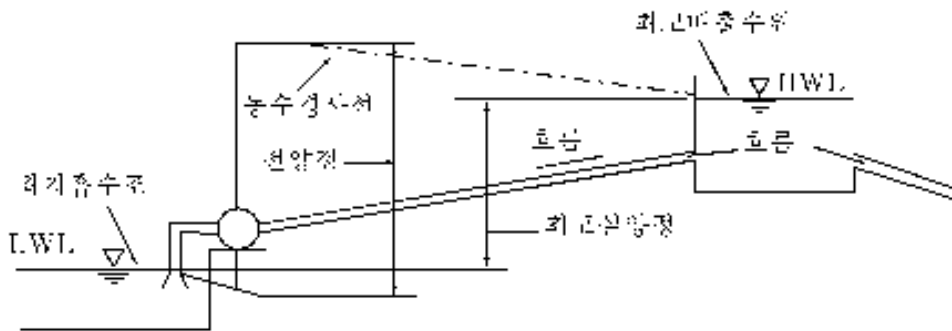


### 3) 설계수위

관경 결정에 사용하는 설계수위는 계획최대유량시를 기준으로 하며 시점에서는 관리상 일어날 수 있는 최저수위를 이용하고, 종점 또는 분수점 등의 공급받는 측에서는 관리상 일어날 수 있는 최고수위를 이용한다. 설계수위는 그림 4.11.10에 나타낸 것과 같다.



(a) 사인압방식



(b) 펌프 송수방식

- 주 1) 시점수위와 종점수위와의 관계는 용수계획상 또는 관리상 동일시기에 발생할 가능성이 있는 수위로 한다.
- 2) 펌프 송수방식의 최저흡수위, 최고배출수위, 전양정 및 최고실양정 등의 선정은 별도로 제정되어 있는 「농지개량사업계획설계기준 양배수장편」을 참조할 것.

그림 4.11.10 수리설계에 이용하는 수위

4) 설계유속

가) 설계평균유속

관수로 조직의 설계에 적용하는 평균유속공식은 하젠-윌리엄스 공식을 통상 적용하며 설계유속의 범위는 표 4.11.4와 같다. 펌프주변의 흡수관과 배출관 또한 유량조절을 하지 않는 배니관 및 배수관 등에 대해서는 별도로 검토해야 한다.

표 4.11.4 펌프압송식의 평균유속 범위

관경 (mm)	설계유속 (m/s)
75 ~ 150	0.7 ~ 1.0
200 ~ 400	0.9 ~ 1.6
450 ~ 800	1.2 ~ 1.8
900 ~ 1,500	1.3 ~ 2.0
1,600 ~ 3,000	1.4 ~ 2.5

- 주) ① 자연압력식 및 펌프압력식에 모두 적용할 수 있으나 자연 압력식에서는 2.0m/s 이하로 설계하는 것이 좋다.  
 ② 설계유속은 관수로의 안전성, 부대기기의 관리 등 경험적으로 정한 값이다.  
 ③ 관경 2,000mm 이상의 대구경관은 관의 안전성 등 관리상의 필요조건을 검토한 후 사용여부를 결정한다.

나) 허용최대 평균유속

허용최대 평균유속은 관내면의 재질에 따라 표 4.11.5의 값을 적용한다. 허용최대 평균유속은 통수 빈도가 적은 시설(배니관, 배수관 등)에 대해 적용하는 것이며, 상시 통수되는 관로에 있어서는 최대 평균유속이 관내면의 마모 또는 밸브 조작에 따른 이상 압력을 일으키는 원인이 되므로 이 유속을 적용해서는 안 된다. 배니공, 배수공 등의 말단에 밸브류를 설치하는 경우는 그 내압강도와 공동현상을 충분히 검토하여 유속을 결정한다.

다) 허용최소 평균유속

최소평균유속은 관내에 부유토사가 침전하는 것을 방지하기 위해 0.3m/s 이상으로 한다.

표 4.11.5 허용최대 평균유속

관종	허용최대 평균유속 (m/s)
콘 크 리 트 관	3.0
강 관	6.0
주철관 또는 덕타일 주철관	6.0
경질염화 또는 폴리에틸렌관	6.0
강화 플라스틱 복합관	6.0

## 5) 동 수 압

동수압에 대해서는 다음 사항을 검토해야 한다.

- 가) 동수경사는 설계유속 범위 내에서 시점부터 말단까지 필요한 압력을 충분히 확보할 수 있도록 한다.
- 나) “가)”에서 구한 말단압력이 말단소요압력을 초과할 때는 적절한 감압시설을 설치하여 압력을 조절한다.
- 다) 동수경사선을 관정(管頂)보다 높게 한다.

동수경사선이 관정보다 낮아지면 관내수압이 대기압보다 낮아지므로 수중 공기가 분리되어 통수를 방해하게 된다. 이러한 경우에는 노선을 변경하든지 조압용(접속) 수조 등을 설치하는 문제를 검토하는 것이 좋다. 또한 관정에서 동수경사선까지의 여유수두는 0.5m 이상을 확보하는 것이 좋다 (그림 4.11.11 참조).

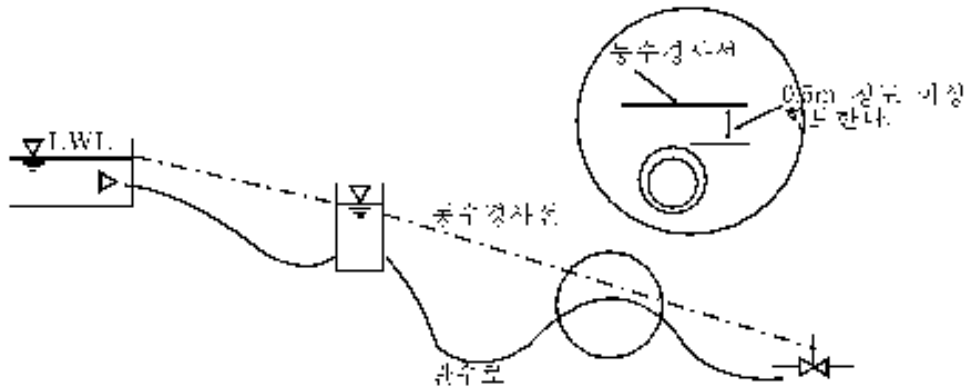


그림 4.11.11 동수경사선과 관정과의 관계

## 6) 각종 손실수두

직관의 마찰 손실수두는 하젠-윌리엄스공식에 의해 산출하며 각종 손실수두의 계산방법이나 관련 공식은 본 기준 제3장 2절의 □□수리설계□□나 「농업생산기반정비사업계획설계기준 양배수장편」을 참고하면 된다.

### 나. 수두설계

#### 1) 관수로 시점부의 수두결정

관수로의 시점 수위는 최상류 수리시설인 댐, 두수공 또는 수조가 대상이 된다.

##### 가) 댐 취수시의 시점 수위

댐의 저수위는 일반적으로 표 4.11.6과 같은 방법에 의해 결정된다.

댐 직결 관수로의 경우는 관수로에 작용하는 최대의 정수압은 만수위(FWL)로 되고 동수위의 최저는 사수위(DWL)일 때 발생한다. 댐의 수위는 수심이 큰 경우에는 관개 기간의 동수위가 크게 변동해서 물 관리가 어려워지기 때문에 자연유하의 관수로에서는 댐 직하에 감압수조를 설치하는 경우가 많다.

댐 직결로 댐수위 저하시에 펌프에 의해서 양수되는 경우에는 펌프의 운전요금을 비교하고 직결로 할 것인가 감압방식으로 할 것인가를 판단한다. 이 경우는 댐의 물수지계산으로부터 자연유하가 가능한 댐 수위의 기간과 그때의 양수량을 조사해서 펌프의 운전시간으로 환산하여 전기요금을 구한다. 또한 정수압의 증대에 의해서 관수로의 설계압력의 증가 때문에 관로의 공사비는 증가하므로 경제성을 검토할 필요가 있다.

나) 보 취수시의 시점 수위

관수로 시스템의 최상류에서 보에 의해 취수되는 경우 보에서의 취수위는 하천의 게이트 등에 의해 조정되기 때문에 관개기간에 따라 큰 변동은 없다. 따라서 이 수위를 관수로 시스템의 취수위(즉 정수위)로 하면 좋다. 단 관수로 시스템의 취수량은 말단의 밸브조작에 의해 영향으로 변화하고 취수위는 일정해도 취수량이 기별의 설정유량을 초과하는 경우가 있기 때문에 취수 게이트로부터 감시수조에 이르는 도수로부에는 월류형의 격벽, 또는 제수 게이트 등을 설치해서 항상 공급 주도형의 취수가 실현될 수 있게 해야 한다. 이 경우 하류 관수로 시스템의 유량 변동이 단시간에 크게 발생된다고 예상될 때는 감시수조의 수면적을 충분히 확보하여 수위저하에 의해 관수로 시스템에 공기가 혼입되지 않도록 주의해야 한다.

다) 중간수조가 있는 경우의 시점 수위

관수로의 중간에 조정지, 조압수조, 팜폰트 등 수조가 있는 경우는 이후의 관수로 설계시점 수위는 다음과 같이 결정한다.

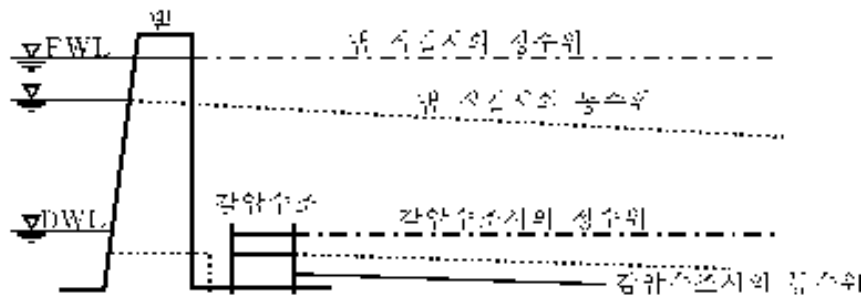


그림 4.11.12 댐 취수위

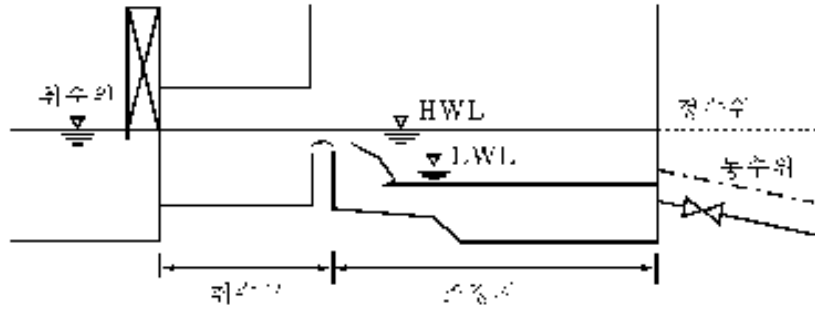


그림 4.11.13 보의 취수위

표 4.11.6 댐 저수위의 결정

결정과정	내 용
①	수익면적에 대한 필요수량(댐 의존량)을 계산한다.
②	댐 후보 지점의 유역면적과 강수량 등의 기상자료 및 관련자료 등으로부터 댐 지점의 장기간의 댐 유입량(하천의 자연유량)을 추정한다.
③	① ② 및 댐 하류의 기득 수리권이나 하천의 정상 유량 등에 의한 저류제한 유량을 고려해서 댐의 물수지 계산을 하고 장기간에 있어서 (20~30년간) 댐 저류 필요량(댐 확보수량)을 구한다. 이때 댐은 무한히 큰 것으로 한다.
④	상기 ③에서 구한 댐 확보수량을 확률계산 등에 의해 기준년의 댐 확보수량을 구한다.
⑤	기준년의 댐 확보수량에 대해서 저류손실이나 퇴사량을 예상해서 댐의 용량을 구한다.
⑥	댐의 용량에 대해서 댐 지점의 H~V(수위~저수량)곡선에 의해 댐의 계획수위를 결정한다. FWL: 상시 만수위 (댐이 만수위일 때의 수위) DWL: 사수위 (유효저수량이 0일 때의 수위)

(1) 유입부에 감압 플로트(디스크) 밸브가 있는 경우

수조의 수위가 HWL이 되면 유입이 정지되기 때문에 관수로의 시점수위는 수조의 HWL 및 LWL이 된다. 수조 용량에 관해서는 별도의 계산에 의해 구한다 (밸브조작을 위한 용량이나 수류의 감압확산에 필요한 용량, 수격압 대책 및 물 관리에 필요한 용량 등).

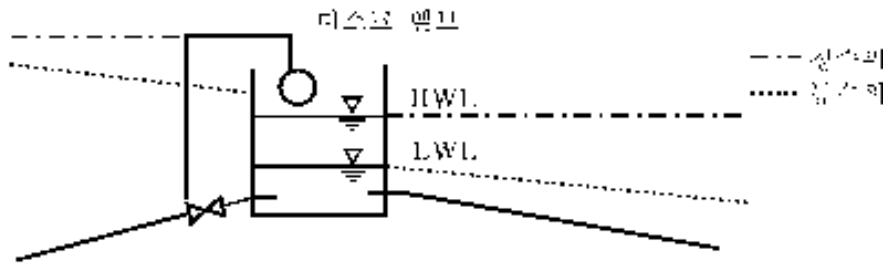


그림 4.11.14 수조 취수위

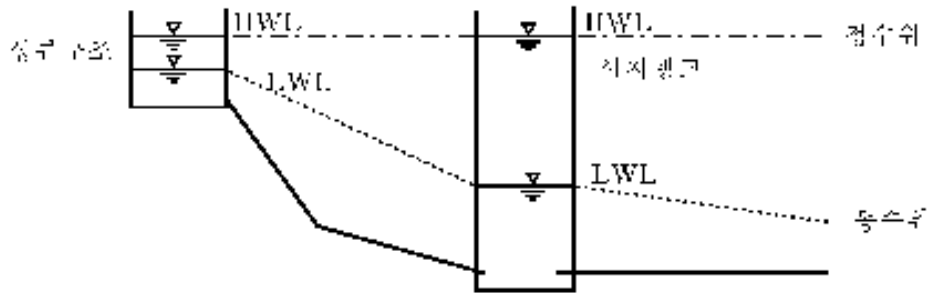


그림 4.11.15 수조(저지탱크)의 수위

(2) 밸브 등으로 제어되지 않는 수조(저지탱크)의 경우

저지탱크(유입구에서 밸브에 의해 감압되지 않고 분수 정지시에 상류의 수조수위까지 회복하는 수조)의 경우 HWL은 상류수조의 HWL 이며, LWL의 수위는 상류로부터의 수리계산(동수위)을 하여 결정한다.

2) 분수지점의 필요수두 결정

간선 분수지점의 필요수두(관개방식으로부터 정해지는 포장 급수전 지점의 필요수두에 지선 관수로의 손실수두를 더한 간선 분수지점의 필요수두를 의미한다)의 결정 방법은 다음과 같이 한다.

가) 지선 배관계획이 구체화되는 경우

말단 관개제원 및 단지내 배관의 계획과 지선 배관계획이 구체화되어 있는 경우는 해당 계획에 의해 간선분수점의 필요수두를 결정하지만 이때 말단 관개단지내의 수리적 최원점 또는 최고 표고점으로부터 송수계 관수로의 접속지점까지의 마찰손실수두의 10% 또는 2.0m(곡관이나 밸브 등의 국소 손실수두를 계산 등에 의해 산정해서 예측한다면 그 값을 그대로 채용하고 특히 여유수두를 예측하지 않아도 된다)중에서 큰 값을 여유수두로 가산한다.

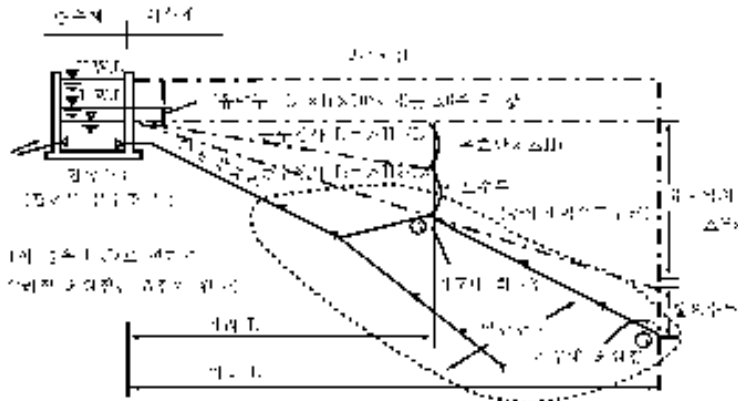


그림 4.11.16 간선 분수지점에 있어서 필요수두의 개념

나) 지선 배관계획이 구체화되지 않는 경우

관수로 시스템의 설계시점에 있어서 말단 관개 제원 및 말단지선의 배관계획이 구체화되지 않은 경우는 그림 4.11.17에 나타난 것과 같이 계획한다. 이것은 다음의 전제조건에 의한다.

- (1) 급수전 지점의 소요수압은 밭의 스프링클러 관개에서는 일반적으로 대략 294kPa 정도, 즉 30#의 스프링클러의 배출압력에 살수전의 손실수두를 더한 것을 고려하고 논외 급수전에 의한 관개에서는 대략 98kPa 정도 즉 배출수두 5.0m 정도에 도로 밑 급수관의 손실수두 5.0m 더한 것을 상정한다.
- (2) 지선관로의 손실수두는 각 단지의 최원점 또는 최고 표고점의 어느 것이든 수리조건이 어려운 것부터 간선 분수공까지의 관로 거리에 동수경사를 3~5% 정도로 결정한다 (이 경우 (1)에서 기술한 여유수두는 포함시키는 것으로 한다).

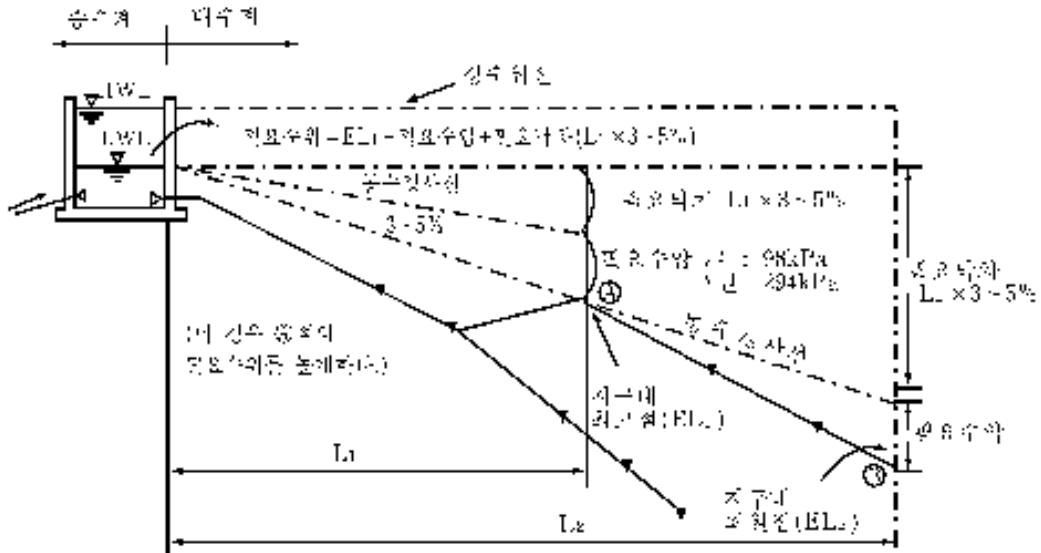


그림 4.11.17 말단 필요수두 및 관로의 동수경사를 고려해서 간선 분수공의 필요수두를 구하는 방법

### (3) 수두종단도의 작성

상기 (1), (2)의 검토결과를 기초로 해서 단지의 표고와 필요수두를 나타내는 수두종단도를 작성하고 수원의 표고와 수혜지의 필요수두와의 차이 및 수원으로부터 수혜지까지의 거리를 표시한다 (그림 4.11.18 참조).

이 도면을 기초로 검토한 결과로서 간선의 수위가 지선 분수공 또는 말단의 필요수두를 만족하지 않는 경우는 펌프양수 또는 펌프가압을 검토해야 한다.

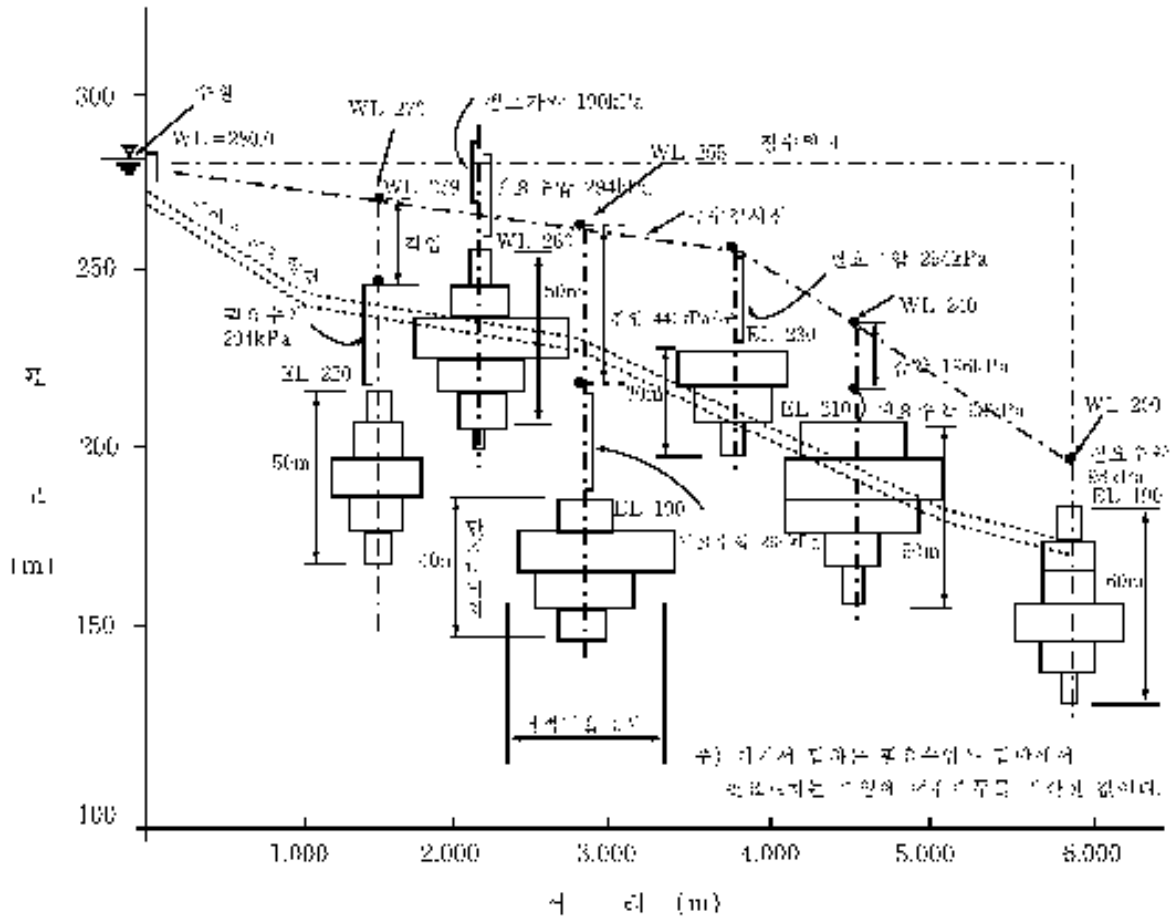


그림 4.11.18 수두 종단도의 작성 예

### 3) 말단여유수두 결정

관수로의 관경 결정에 있어서 수리계산은 수리계산의 정밀도, 시공상황 및 물 관리 상황 등에 대한 여유로 송수계 관수로의 말단 접속수조의 계획수위(또는 분수위)는 관개에 필요한 말단수위(또는 분수위)에 구간의 전손실 수두의 대략 10% 또는 2.0m 중에서 큰 값을 가산하는 것이 바람직하다 (그림 4.11.19 참조).



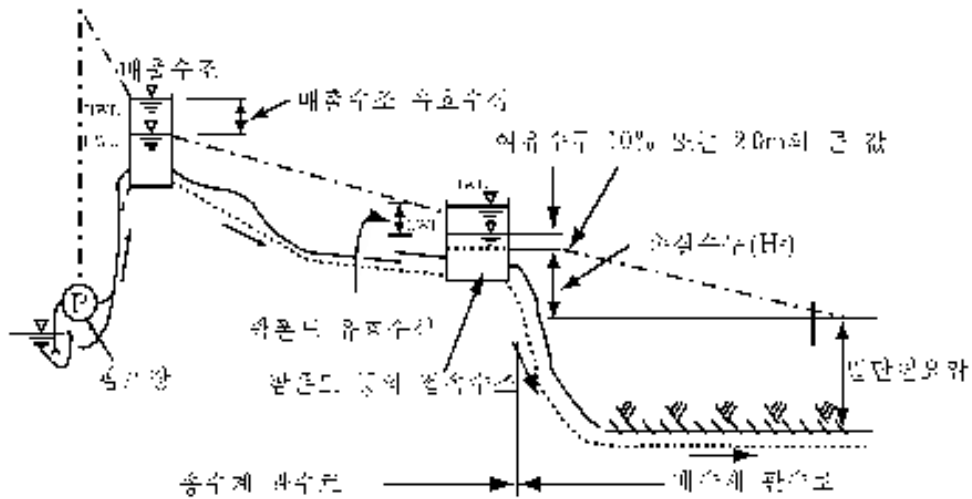


그림 4.11.19 말단 여유수두

### 다. 정상류(定常流) 수리계산

#### 1) 일반사항

정상류란 자연압이나 펌프 등으로 부여된 에너지에 의하여 흐르는 유체가 유량과 압력이 관경, 시점수위, 종점수위, 밸브의 열림 등의 수리특성에 의하여 균형된 상태로 흐르는 것을 말한다. 관망해석은 이와 같은 정상류 상태의 해석기법을 말한다.

정상류와 비정상류가 기본적으로 다른 점은 정상류에서는 시간에 따른 변화를 다루지 않는 점이다. 따라서 시간변화에 따른 유황을 알 수 없다.

#### 2) 정상류의 수리해석순서

정상류의 수리 해석순서는 일반적으로 그림 4.11.20과 같은 순서로 한다.

##### 가) 말단의 용수이용형태 설정

정상류 해석을 위해서는 말단 용수량의 사용형태를 명확히 하지 않으면 안 된다. 용수량 사용형태는 밭과 논이 다르며, 관개기간에 따라서도 다르기 때문에 용수이용계획을 명확히 세운다.

##### 나) 물관리 체계 수립

관수로 시스템의 물관리체계 즉 관리대상시설, 수두, 유량 등의 관리대상을 명확히 한다.

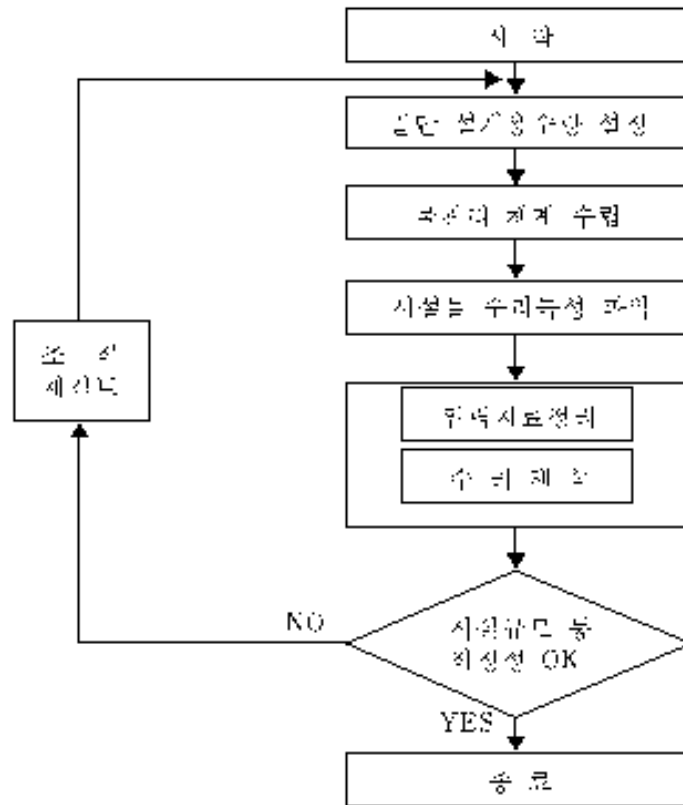


그림 4.11.20 정상류 수리해석 순서

다) 수리특성의 파악

관수로의 정상유황은 관로조직에 포함되어 있는 시설의 수리특성(H~Q 특성)에 지배되기 때문에 관로조직에 포함되어 있는 시설의 특성을 파악하여 수식을 작성한다.

그림 4.11.21과 같이 계획양수량 Q에 대한 펌프배출수두 H로 설계된 수원의 경우, 펌프 의존량이  $Q_0$ 가 되면 배출수두는  $H_0$ 가 되어 관수로 시스템의 압력균형은 설계단계의 값과는 다르게 된다.

라) 정상류 수리해석

정상류 수리해석은 개발되어 있는 프로그램을 이용한다. 해석에 필요한 조건은 경험이 풍부한 설계자의 판단에 의하여 설정한다.

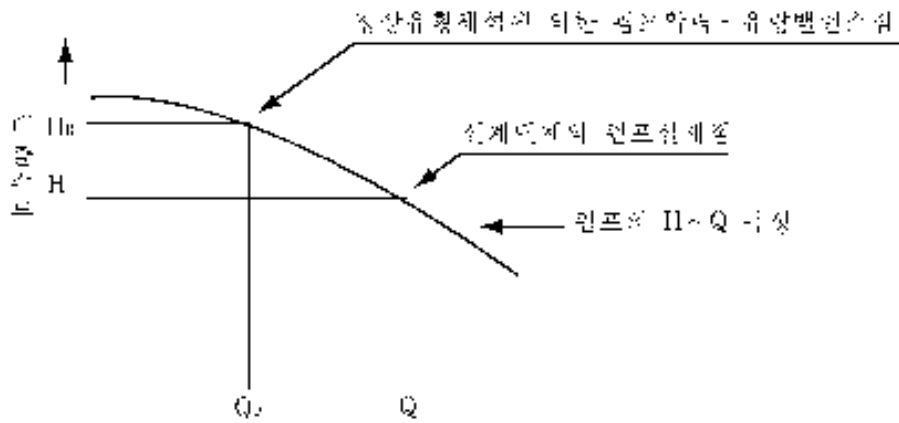


그림 4.11.21 펌프의 H~Q 특성

### 라. 관망(管網)관수로의 수리계산

송배수조직을 망상으로 계획한 경우에는 그 망상조직의 일부인 각 관로의 유량이 상호 연관된 조직체로서 수리적 구축을 받게 되므로 수지상 관수로와 같이 말단 분수공의 유량을 적산하여 계량적으로 계획유량을 구하는 방법으로는 관경을 결정할 수 없다. 일반적으로 망상관수로의 수리계획에서는 관경을 가정해서 유량을 계산하고 관내유속, 분수압력 등의 제한조건을 고려해서 그 조건에 맞는 최소관경을 구하는 방법을 쓴다. 그러므로 망상관수로의 수리계산은 일회 시산으로 관경이 결정되는 경우는 드물며 수회의 시산이 필요하게 된다.

특히 분수점 분수량 혹은 분수위치가 변동하는 조건에서는 더욱 많은 시산을 반복해서 사용 관경을 결정하게 된다.

#### 1) 수리계산 순서 및 유의사항

망상 관수로의 수리계산은 그림 4.11.22에 나타낸 순서에 따르며 계산과정상의 유의사항은 다음과 같다.

가) 송수계 관수로 관망에서는 모든 분수점을 절점으로 잡아 절점위치를 결정한다. 이 경우 분수점의 수가 많으므로 설계에 지장이 없을 정도로 분수점을 묶어서 절점 위치를 결정하는 것이 좋다. 이때 한 절점의 지배면적은 계획관로의 규모에 따라 다르다. 보통 0.3~1.2ha 정도로 잡는 것이 좋다.

나) 망상 관수로에 유입하는 유입량은 관망내 각 절점수의 분수량 합계치와 같아야 한다. 관망내의 절점분수량은 물 이용계획에 따라 달라지게 되는데 송수관수로의 경우처럼 광역을 지배하는 경우에는 관개대상 작물에 따라 기별용수량이 다르므로 최대 절점분수량이 시기별로 달라진다. 따라서 이러한 경우에는 각 절점의 최대분수량이 달라질 때마다 시산을 해야 한다.

다) 배수(配水) 관수로의 절점분수량은 말단지역의 물 이용상황에 따라 크게 변한다. 논에서는 이양기에 썩레질 블록을 설정하게 되므로 이 블록내의 썩레질 지점이 이동하는데 따라 용수 집중지점도 이동한다. 그러므로 블록내의 어느 지점에서든 계획용수량과 계획급수압력을 확보할 수 있을 때까지 시산을 반복해서 관경을 결정한다. 또 발관개의 경우는 일반적으로 윤번블록을 설정하여 각 블록내에서 이동관개하게 되므로 같은 블록내에서는 원칙적으로 한 개 절점에서 분수하게 된다. 그러므로 어느 분수위치에서도 계획용수량과 계획급수압력을 확보할 수 있도록 시산을 반복하여 관경을 결정해야 한다.

위에서 살펴본 바와 같이 망상 관수로의 관경을 결정하는 데는 수많은 시산을 반복해야 한다.

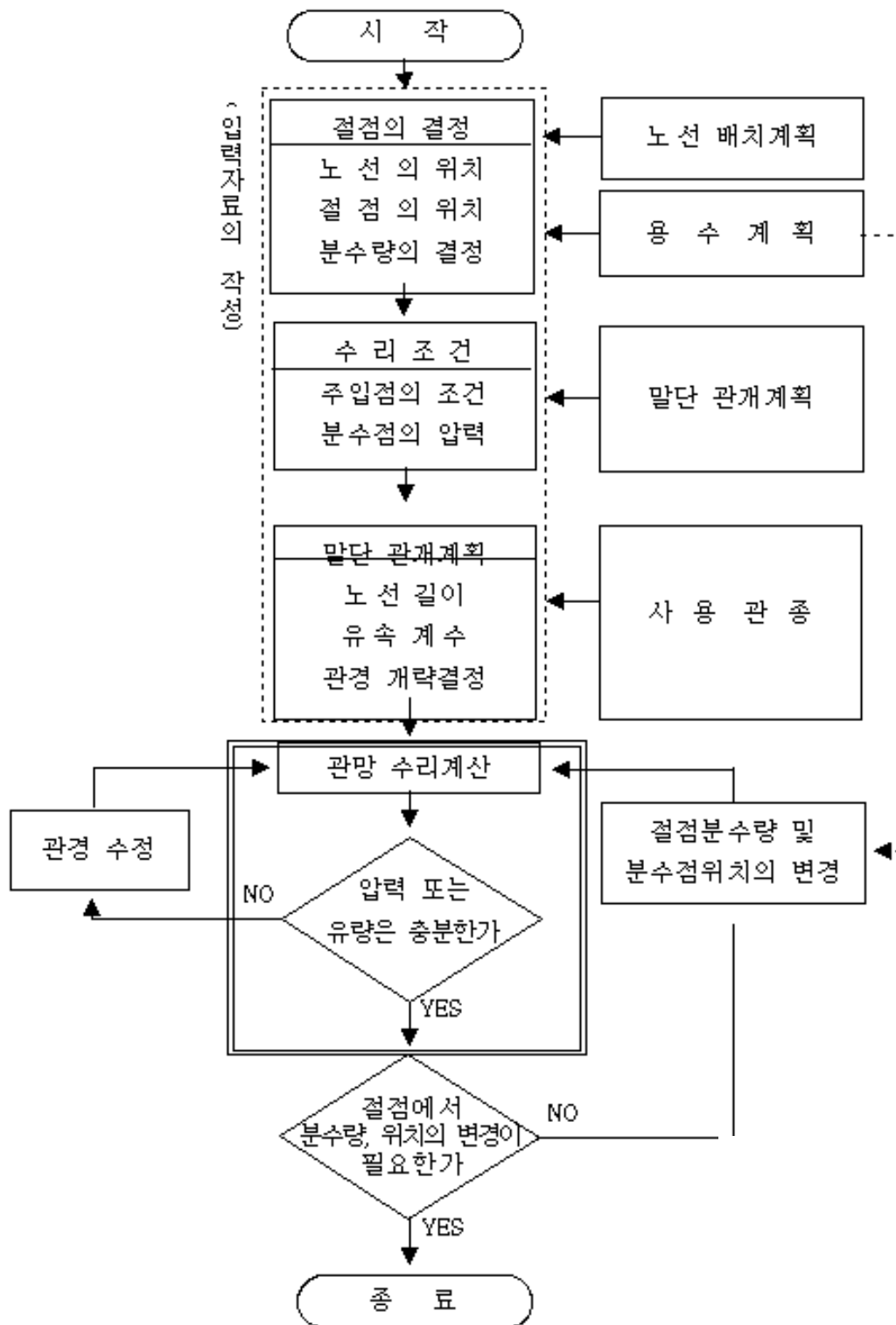
## 2) 수리계산방법

망상 관수로의 수리계산방법에는 일반적으로 다음의 두 방법이 있는데 유량법으로 하디-크로스(Hardy-Cross)법이 일반적이고 수위법으로는 절점수두법(節點水頭法)이 일반적이다.

어느 방법을 따르더라도 망상관수로에 대해서는 동일한 결과를 얻을 수 있다. 그러나 유량법은 수리조건을 균형시키기 위한 매개변수를 유량에 도입하여 유량을 수정해 나가면서 압력균형을 구하게 되므로 망상 이외의 관수로에 대해서는 이 방법을 적용할 수 없다. 이에 반해서 수위법은 각 절점에 대해 압력을 가정하여 관로유량을 구하는 방법이므로 이 방법은 망상 관수로 뿐 아니라 수지상 배관에도 적용할 수 있다. 한편 수위법은 다원연립방정식의 풀이를 행해야 하므로 컴퓨터를 이용하는 것이 좋다.

### 가) 하디-크로스법

이 방법은 관망을 구성하는 각 관로의 유량과 그 유향을 가정하고 이 가정유량을 기초로 해서 유량에 대한 보정계산을 반복하여 유량과 유향 및 손실수두를 구하는 방법이다.



주)    는 컴퓨터로 처리

그림 4.11.22 관망 수리계산의 흐름도

망상관로에서는 다음의 조건을 만족해야 한다.

- (1) 각 관망의 관로교점에서는 유입량합계와 유출량합계가 같다.
- (2) 임의의 두 교점간의 손실수두는 관내유수(流水)가 어느 경로를 통과하여도 동일하다.
- (3) 관로유량과 마찰손실수두의 관계에 대해 H-W 공식을 적용하면 식 (4.11.1)의 관계가 성립된다.

$$\begin{aligned}
 h_f &= r \cdot Q^{1.85} \\
 r &= 10.666 \cdot C^{-1.85} \cdot D^{-4.87} \cdot L
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots\dots (4.11.1)$$

여기서,  $h_f$ : 마찰손실수두 (m)  
 $Q$ : 유량 ( $m^3/s$ )  
 $C$ : 유속계수 (표 4.11.29 참조)  
 $D$ : 관경 (m)  
 $L$ : 관로길이 (m)

망상 관수로에서는 관로의 수 또는 관망의 수가 대단히 많더라도 부여된 유수조건에 상응하도록 각 폐관로의 유량을 적절히 가정하면 그들 각 폐관로의 가정유량  $Q$ 에 대한 보정유량  $\Delta Q$ 를 Fair의 간략식인 식 (4.11.2)로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \Delta Q &= \frac{-\sum h}{1.85 \sum k} \\
 \sum k &= \frac{h}{Q}
 \end{aligned}
 \quad \dots\dots\dots (4.11.2)$$

여기서,  $\Delta Q$ : 보정유량 ( $m^3/s$ )  
 $\sum h$ : 단일 폐관망내 손실수두의 합계 (m)  
 $\sum k$ : 단일 폐관망내 각 관로의  $h/Q$ 의 합계  
 $h$ : 단일 폐관망내 각 관로의 손실수두 (m)  
 $Q$ : 단일 폐관망내 각 관로의 유량 ( $m^3/s$ )

각 관로의 가정유량  $Q$ 에 그 관로가 속하는 관망의 보정유량  $\Delta Q$ 를 가산한 유량을 다음 시산식의 가정유량으로 잡아 반복계산을 수행하여 보정유량이 0 또는 허용오차 이내로 될 때까지 보정계산을 반복한다.

이때 복수의 관망에 속하는 관의 보정유량을 계산할 때는 복수관망 전체의 보정유량을 가감해야 한다. 상기의 요령으로 각 관망마다 계산을 반복함으로써 배분유량의 균형 각 교점(절점)의 동수두(動水頭)를 결정한다.

나) 절점수두법

절점수두법은 관망을 구성하는 각 관로의 교점(절점) 수두를 가정하여 절점간을 연결하는 관로의 유량을 절점동수두로 표현한 유량식을 만들고, 또 각 절점에 접속된 각 관로의 유량에 관한 절점방정식을 만들어 이들을 연립시켜 이 연립방정식을 해석함으로써 절점의 동수두와 유량 및 유향을 구하는 방법이다.

여기서는 우선 계산에 필요한 방식을 알아보기로 한다.

지금 2개의 절점  $i, j$ 가 관로에 연결된 것으로 하고 절점  $i, j$ 를 연결하는 관로의 구간 유량  $q_{ij}$ 를 H-W 공식으로 표시하면 식 (4.11.3)의 유량식으로 된다.

$$q_{ij} = 0.27853 \cdot C \cdot D_{ij}^{2.63} \left( \frac{h_i - h_j}{L_{ij}} \right)^{0.54} \dots\dots\dots (4.11.3)$$

- 여기서,  $C$ : 유속계수 (표 4.11.29 참조)  
 $D_{ij}$ : 구간  $i \sim j$ 의 관경 (m)  
 $L_{ij}$ : 구간  $i \sim j$ 의 관로길이 (m)  
 $h_i$ :  $i$ 점의 동수위 (m)  
 $h_j$ :  $j$ 점의 동수위 (m)

절점  $i$ 의 인접점을  $j$ 라 할 때 절점  $i$ 에 대한 절점방정식은 식 (4.11.4)로 표시한다.

$$\sum_{j=1}^n q_{ij} + Q_i = 0 \quad (i \in INR) \dots\dots\dots (4.11.4)$$

- 여기서,  $q_{ij}$ : 절점  $i, j$ 를 연결하는 관로의 구간유량 ( $m^3/s$ )  
 $Q_i$ : 절점  $i$ 에서의 유출수량 ( $m^3/s$ )  
 $INR$ : 배수기지(配水基地) (동수위가 일정한 절점) 이외의 절점의 집합

지금 관로의 수를  $J$ , 절점의 수를  $N$ , 동수위가 일정한 절점수(配水基地數)를  $M$ 이라 하면 유량식으로  $J$ 개 절점방정식 즉  $N-M$  차원의 식이 성립한다. 또 식 (4.11.3)을 변형하면 식 (4.11.5)로 된다.

$$\left. \begin{aligned} q_{ij} &= k_{ij}(h_i - h_j) \\ k_{ij} &= 0.27853 \cdot C \cdot D_{ij}^{2.63} \cdot L_{ij}^{-0.54} \cdot |h_i - h_j|^{-0.46} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.11.5)$$

식 (4.11.5)는 비선형 대수방정식이므로 쉽게 풀 수가 없다. 그러므로 아래의 방법으

로 이 식을 푼다.

식 (4.11.5)를 식 (4.11.4)에 대입하면 식 (4.11.6)이 된다.

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n k_{ij}(h_i - h_j), i \neq j \quad \dots\dots\dots (4.11.6)$$

식 (4.11.6)은 식 (4.11.7)의 형식으로 전개할 수가 있으므로  $k_{ij}$ 를 계수로 하는 동수위  $h_i$ 에 관한 (N-M) 차원의 연립방정식이 성립한다.

$$k_{i_1}h_1 + k_{i_2}h_2 + \dots\dots\dots(- \sum_{j=1}^n k_{ij}) h_i + \dots\dots\dots + k_{i_n}h_n = Q_i \quad \dots\dots\dots(4.11.7)$$

식 (4.11.7)을  $h_i$ 에 관해 푸는 것은 용이하나 식 (4.11.5)에 의하면 식 (4.11.7)의  $k_{ij}$ 는 동수위  $h_i$ 를 포함하는 비선형식으로 표현할 수 있으므로 절점수두법에서는 식 (4.11.7)의 해석으로  $h_i$ 가 식 (4.11.8)을 만족할 때까지 수렴연산(收斂演算)을 해야 한다.

이 때문에 일반적으로 반복법을 적용하는 경우가 많다.

$$| h_i^{(m+1)} - h_i^{(m)} | < \varepsilon_a \quad \dots\dots\dots(4.11.8)$$

$h_i^{(m)}$ :  $i$ 점에 대한  $m$ 번째의 연산(演算)결과 ( $h_i^1$ 은 처음연산에 있어 미리  $h_i^0$ 을 가정해서 구한다.)

$h_i^{(m+1)}$ :  $i$ 점에 대한  $m+1$ 번째의 연산결과  
 $\varepsilon_a$ :허용오차

이상에서 동수위에 대해 식 (4.11.3)을 적용하면 각 관로의 구간유량을 구할 수 있다. 이와 같은 계산을 전체 절점을 대상으로 반복해서 시행하여 절점동수위와 관로유량을 결정한다.

절점수두법은 수치상(분기형) 배관 및 망형 배관의 수치해석이 가능하다.

(1) 해석 모델의 이론

그림 4.11.23과 같은 관수로 시스템에 있어 임의의 분기점  $i$ (절점)에 있어서는 식 (4.11.9)의 연속식이 성립한다.



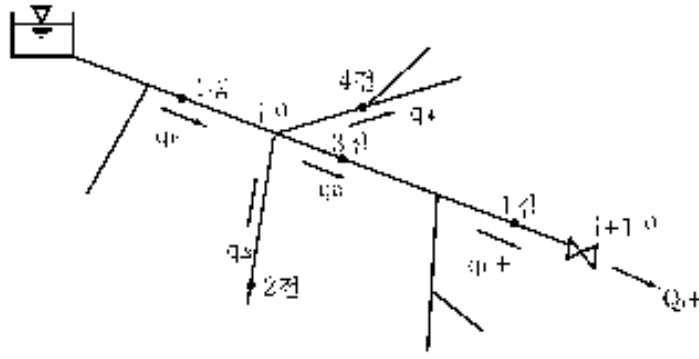


그림 4.11.23 관수로 유량

$$-Q_i = q_{i2} + q_{i3} + q_{i4} - q_{1i} \quad \dots\dots\dots (4.11.9)$$

여기서,  $Q_i$ :  $i$ 점의 배출량( $m^3/s$ ), 단 이 경우의  $Q_i$ 는 0이다.  
 $Q_i$ 의 부는 “부의 배출량” 즉 유입량을 나타낸다.  
 $q_{1i}$ :  $i$ 점에의 유입량 ( $m^3/s$ )  
 $q_{i2}$ :  $i$ 점으로부터의 유출량 ( $m^3/s$ )  
 $q_{i3}$ :  $i$ 점으로부터의 유출량 ( $m^3/s$ )  
 $q_{i4}$ :  $i$ 점으로부터의 유출량 ( $m^3/s$ )

여기서,  $q_{1i} = -q_{i1}$  로 정의하면 식 (4.11.9)는

$$-Q_i = q_{i1} + q_{i2} + q_{i3} + q_{i4} \quad \dots\dots\dots (4.11.10)$$

이 되어 다음과 같은 일반식으로 나타낼 수 있다.

$$-Q_i = \sum_{j=1}^m q_{ij} \quad \dots\dots\dots (4.11.11)$$

식 (4.11.10)은  $i$ 점에 대해서는  $m=4$ 의 경우이나 관수로 시스템의 절점이  $n$ 개이면  $m$ 의 최대치는  $n$ 이다. 따라서 절점은 분기가 없는 직관부분에도 설정할 수 있기 때문에 이 경우 배출량  $Q$ 는 0이 된다.

관수로 시스템에서는 식 (4.11.11)의 연속방정식이 성립한다.

$$\left. \begin{aligned} Q_i &= - \sum_{j=1}^n q_{ij} \quad (\text{단 } j, i \neq j) \\ \sum_{j=1}^n q_{ij} &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4.11.12)$$

여기서  $Q_i$ :  $i$ 점의 배출량 ( $m^3/s$ )  
 $q_{ij}$ :  $i \sim j$  구간의 유량 ( $m^3/s$ )

식 (4.11.12)의  $i \sim j$  구간의 유량  $q_{ij}$ 는 Hazen-Williams 공식을 사용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_{ij} = 0.27853 \cdot C \cdot D_{ij}^{2.63} \left( \frac{h_i - h_j}{L_{ij}} \right)^{0.54} \dots\dots\dots (4.11.13)$$

여기서,  $C$ : 유속계수  
 $D_{ij}$ : 구간  $i \sim j$ 의 관경 (m)  
 $h_i$ :  $i$ 점의 동수위 (m)  
 $h_j$ :  $j$ 점의 동수위 (m)  
 $L_{ij}$ : 구간  $i \sim j$ 의 길이 (m)

식 (4.11.13)은 다음과 같이 변형할 수 있다.

$$q_{ij} = k_{ij}(h_i - h_j) \dots\dots\dots (4.11.14)$$

여기서,  $k_{ij} = 0.27853 \cdot C \cdot D_{ij}^{2.63} L_{ij}^{-0.54} |h_i - h_j|^{-0.46}$

식 (4.11.14)를 식 (4.11.12)에 대입하면 식 (4.11.15)가 되어 식 (4.11.16)과 같이 전개할 수 있다.

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n k_{ij}(h_i - h_j) \\ = - \left( \sum_{j=1}^n k_{ij} \right) h_i + \sum_{j=1}^n k_{ij} h_j, \quad \text{단 } i \neq j \dots\dots\dots (4.11.15)$$

$$k_{11}h_1 + k_{12}h_2 + \dots\dots + \left( \sum_{j=1}^n k_{ij} \right) h_j + \dots\dots + k_{in}h_n = Q_n \quad \dots\dots (4.11.16)$$

식 (4.11.16)은 관수로 조직의 임의의 절점에 있어서 압력과 유량의 관계를 정하는 특성식이며 전 절점  $n$ 에 대한 동수위  $h$ 와 유량의 관계는  $k_{ij}$ 를 계수로 하여 식 (4.11.15)에 나타낸  $n$ 차원의 연립방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\left( - \sum_{j=1}^n k_{ij} \right) h_1 + k_{12}h_2 + k_{13}h_3 + \dots\dots + k_{1n}h_n = Q_1 \\ k_{21}h_1 + \left( - \sum_{j=1}^n k_{ij} \right) h_2 + k_{23}h_3 + \dots\dots + k_{2n}h_n = Q_2 \\ k_{31}h_1 + k_{32}h_2 + \left( - \sum_{j=1}^n k_{ij} \right) h_3 + \dots\dots + k_{3n}h_n = Q_3 \\ k_{n1}h_1 + k_{n2}h_2 + k_{n3}h_3 + \dots\dots + \left( - \sum_{j=1}^n k_{ij} \right) h_n = Q_n \dots\dots\dots (4.11.17)$$

$h_i$ : 각 절점의 동수위  
 $Q_i'$ : 수조로부터의 관수로 유입량 ( $m^3/s$ )  
 $Q_i$ : 배출량 ( $m^3/s$ )

단, ①점의 배출량을  $Q$ 로 하면  $Q$ 는 수조로부터의 유입량  $Q_i'$ 와 방향이 반대이므로  $Q_i = -Q_i'$ 가 된다.

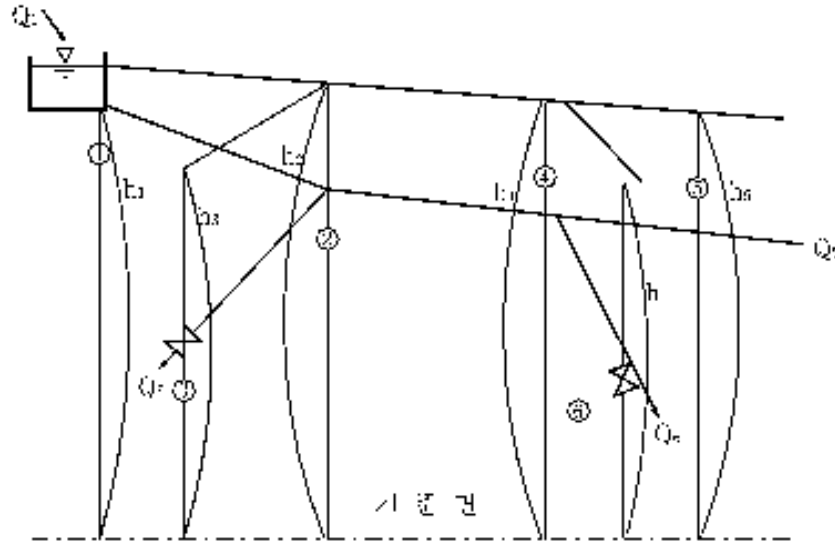


그림 4.11.24 관수로 시스템

식 (4.11.17)을 그림 (4.11.24)의 관수로 시스템에 적용하면 다음과 같다. 즉 식 (4.11.14)에 의하여 관수로 구간에 다음과 같이  $k_{ij}$ 가 설정된다.

- ① ~ ②구간  $\rightarrow k_{12}$       ② ~ ③구간  $\rightarrow k_{23}$       ③ ~ ④구간  $\rightarrow k_{34}$   
 ④ ~ ⑤구간  $\rightarrow k_{45}$       ⑤ ~ ⑥구간  $\rightarrow k_{56}$

따라서, 관수로 시스템의 특성방정식으로서 식 (4.11.18)을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}
 a_1 h_1 + k_{12} h_2 + 0 h_3 + 0 h_4 + 0 h_5 + 0 h_6 &= Q_1 && \text{(①점)} \\
 k_{21} h_1 + a_2 h_2 + k_{23} h_3 + k_{24} h_4 + 0 h_5 + 0 h_6 &= 0 && \text{(②점)} \\
 0 h_1 + k_{32} h_2 + a_3 h_3 + 0 h_4 + 0 h_5 + 0 h_6 &= Q_3 && \text{(③점)} \\
 0 h_1 + k_{42} h_2 + 0 h_3 + a_4 h_4 + k_{45} h_5 + k_{46} h_6 &= 0 && \text{(④점)} \\
 0 h_1 + 0 h_2 + 0 h_3 + k_{54} h_4 + a_5 h_5 + 0 h_6 &= Q_5 && \text{(⑤점)} \\
 0 h_1 + 0 h_2 + 0 h_3 + k_{64} h_4 + 0 h_5 + a_6 h_6 &= Q_6 && \text{(⑥점)}
 \end{aligned}
 \tag{4.11.18}$$

$$\begin{aligned}
\text{여기서,} \quad a_1 &= -k_{12} & a_4 &= -(k_{42} + k_{46} + k_{45}) \\
a_2 &= -(k_{21} + k_{23} + k_{24}) & a_5 &= -k_{54} \\
a_3 &= -k_{32} & a_6 &= -k_{64}
\end{aligned}$$

식 (4.11.18)을 행렬식으로 나타내면 식 (4.11.19)가 된다.

$$[A]\{h\} = \{F\} \quad \dots\dots\dots (4.11.19)$$

여기서,

$$[A] = \begin{bmatrix} a_1 & k_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{21} & a_2 & k_{23} & k_{24} & 0 & 0 \\ 0 & k_{32} & a_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{42} & 0 & a_4 & k_{45} & k_{46} \\ 0 & 0 & 0 & k_{54} & a_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{64} & 0 & a_6 \end{bmatrix}, \quad [h] = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \end{bmatrix}, \quad [F] = \begin{bmatrix} Q_1 \\ 0 \\ Q_3 \\ 0 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{bmatrix}$$

식 (4.11.19)는 연립방정식이므로 해법인 반복법(Gauss-Seidel) 및 소거법 등을 사용하여 해답을 구할 수 있다. 대규모 관수로 시스템에서는 절점수 n이 높게 되어 Matrix [A]의 차원이 높아지면 사실상 컴퓨터 해석이 불가능한 경우가 있다. 이와 같은 때는 Matrix의 특성을 이용한 Matrix 분할법에 의하여 해답을 얻을 수 있다. 단, 식 (4.11.19)는 Matrix [A] 중에 동수위 h를 포함하고 있는 비선형식이기 때문에 정상 유황을 구하기 위해서는 식 (4.11.20)을 만족할 수 있도록 수렴연산을 할 필요가 있다.

$$\begin{aligned}
|h_i^{(m+1)} - h_i^m| &< \varepsilon_a && \text{또는 } (i = 1, 2, 3 \dots n) \dots\dots\dots (4.11.20) \\
\frac{|h_i^{m+1} - h_i^m|}{h_i^m} &< \varepsilon_r
\end{aligned}$$

여기서,  $h_i^{(m)}$ : i점의 제 m회재의 연산결과

$h_i^{(m+1)}$ : i점의 제 m+1회재의 연산결과

$\varepsilon_a$ : 허용오차(일반적으로  $10^{-3}m$  이하)

$\varepsilon_r$ : 허용오차(일반적으로  $10^{-3}m$  이하)

식 (4.11.20)에 있어서  $h_i^{(m+1)}$ 의 수치는 식 (4.11.19)의 [A]의 각 항을  $h_i^m$ 에 치환하여 구할 수 있다. 이 경우 m+1번째의 연산을 실시할 때 다음에 나타내는 가

속정수를 사용하면 계산이 빨라진다.

$$h_i^{(m+1)} = h_i^{(m-1)} + a(h_i^{(m+1)} - h_i^{(m-1)}) \quad \dots\dots\dots (4.11.21)$$

여기서,  $a$ : 가속정수( $a=1$ 일 때 치환, 보통 1.5 정도)

$h_i^{(m-1)}$ :  $i$ 점의  $m-1$ 회 재의 연산결과

상기에 의하여 구해진 각 절점의 동수위를 식 (4.11.19)에 대입하면 유량이 구해진다.

(2) 경계조건의 설정

정상유황은 관수로 시스템을 구성하는 각 시설의 수리특성에 의하여 지배된다. 절점수두법에 의한 기초식을 구체적으로 이용하기 위해서는 기초식에 경계조건을 설정해야 한다. 경계조건의 설정 방법은 다음과 같다.

(가) 유량경계조건

그림 4.11.24에 나타내는 관수로 시스템의 취수점 및 배출점에 유량을 설정하여 식 (4.11.18), 식 (4.11.19)에 의하여 해석할 수 있다.

(나) 수위경계조건

그림 4.11.24의 절점①과 같이 경계조건으로 수조가 있는 경우 수위  $h_i$ 이 취수량의 변화에 관계없이 일정한 경우에는 수위에 일정치를 대입하여 수위경계로서 풀 수 있다. 기초식의 수위경계의 설정은  $h_i$ 이 기지량이기 때문에 식 (4.11.18)에 있어서 제1식(①점)은 무시되어 그 결과 식 (4.11.19)는 식 (4.11.22)와 같이 변형된다.

$$[A_0]\{h_0\} = \{F_0\} \quad \dots\dots\dots (4.11.22)$$

여기서,  $[A] = \begin{bmatrix} a_2 & k_{23} & k_{24} & 0 & 0 \\ k_{32} & a_3 & 0 & 0 & 0 \\ k_{42} & 0 & a_4 & k_{45} & k_{46} \\ 0 & 0 & k_{54} & a_5 & 0 \\ 0 & 0 & k_{64} & 0 & a_6 \end{bmatrix}$ ,  $[h_0] = \begin{bmatrix} h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \end{bmatrix}$ ,  $[F_0] = \begin{bmatrix} -k_{21}h_1 \\ Q_3 \\ 0 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{bmatrix}$

식 (4.11.22)는 식 (4.11.19)에 비하여 한 차수가 적다. 또 벡터  $\{F_0\}$ 는 식 (4.11.18)에서 기지수  $h_1$ 이 이항된 모양이 된다. 즉 수위경계의 경우에는 그 기지수의 숫자만큼 기초식의 차수가 줄어든다. 이 수위경계조건은 해석목적에 따라서 임의의 절점에 설정할 수가 있다.

(다) 펌프경계조건

그림 4.11.24의 절점①이 펌프인 경우를 가정하자. 이때 절점①의 취수량  $Q_1$  (배출량  $Q_1 = Q_1'$ )는 그림 4.11.25(a)와 같이 펌프의  $H \sim Q$  특성에 지배되어 취수량  $Q_1$ 에 대한 배출양정은  $H_1$  그림 4.11.25(b)이다.

일반적으로 펌프 배출점에 있어서의 배출양정과 양수량의 관계는 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_p = a(\beta - H_p)^r \quad \dots\dots\dots (4.11.23)$$

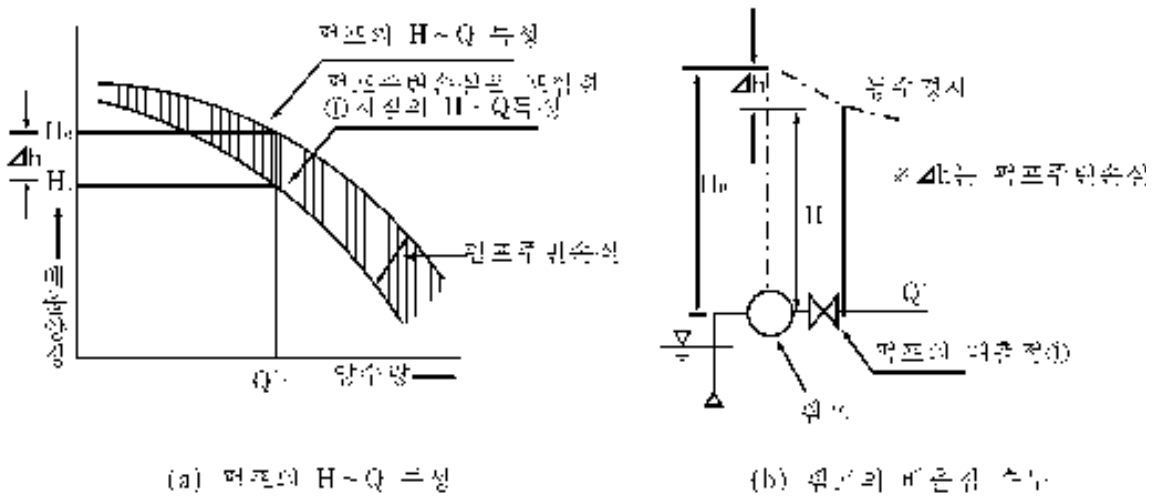


그림 4.11.25 펌프의  $H \sim Q$  특성

여기서,  $Q_p$ : 펌프의 양수량 ( $m^3/s$ )

$H_p$ : 펌프의 배출수두 (m)

$\alpha, \beta, r$ : 펌프의 배관조건에 의하여 정해지는 정수

이것을 절점①에 적용하면 다음과 같이 정의된다.

$$Q_1 = -Q_1' = -a(\beta - H_1)^r \quad \dots\dots\dots (4.11.24)$$

여기서,  $H_1$ 은 펌프 배출점 ①의 관로 표고를  $GH_1$ 으로 하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_1 = h_1 - GH_1 \quad \dots\dots\dots (4.11.25)$$

여기서,  $H_1$ : 펌프의 배출수두 (m)  
 $h_1$ : 펌프의 배출수위 (m)

따라서 식 (4.11.24)는 식 (4.11.26)이 되어

$$Q_1 = -\alpha(\beta + GH_1 - h_1)^r \quad \dots\dots\dots (4.11.26)$$

식 (4.11.27)과 같이 변형할 수 있다.

$$\begin{aligned} Q_1 &= -P_1(\beta + GH_1 - h_1) \\ &= -P_1(\beta + GH_1) - P_1 h_1 \quad \dots\dots\dots (4.11.27) \end{aligned}$$

여기서,  $-P_1 = -\alpha |(\beta + GH_1 - h_1)|^{r-1}$

식 (4.11.27)을 식 (4.11.18)의 제1식에 대입하여 정리하면 제1식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$b_1 h_1 + k_{12} h_2 + 0 h_3 + 0 h_4 + 0 h_5 + 0 h_6 = -P_1(\beta + H_1) \quad \dots\dots\dots (4.11.28)$$

여기서,  $b_1 = a_1 - P_1 = -k_{12} - \alpha |(\beta + GH_1 - h_1)|^{r-1}$

따라서 식 (4.11.19)는 식 (4.11.29)와 같이  $h_1$ 에 대응되는 부분이 치환된다.

$$[A_p]\{h_p\} = \{F_p\} \quad \dots\dots\dots (4.11.29)$$

$$[A_p] = \begin{bmatrix} a_1 & k_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{21} & a_2 & k_{23} & k_{24} & 0 & 0 \\ 0 & k_{32} & a_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{42} & 0 & a_4 & k_{45} & k_{46} \\ 0 & 0 & 0 & k_{54} & a_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{64} & 0 & a_6 \end{bmatrix}, [h_p] = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \end{bmatrix}, [F_p] = \begin{bmatrix} P_1(\beta + GH_1) \\ 0 \\ Q_3 \\ 0 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{bmatrix}$$

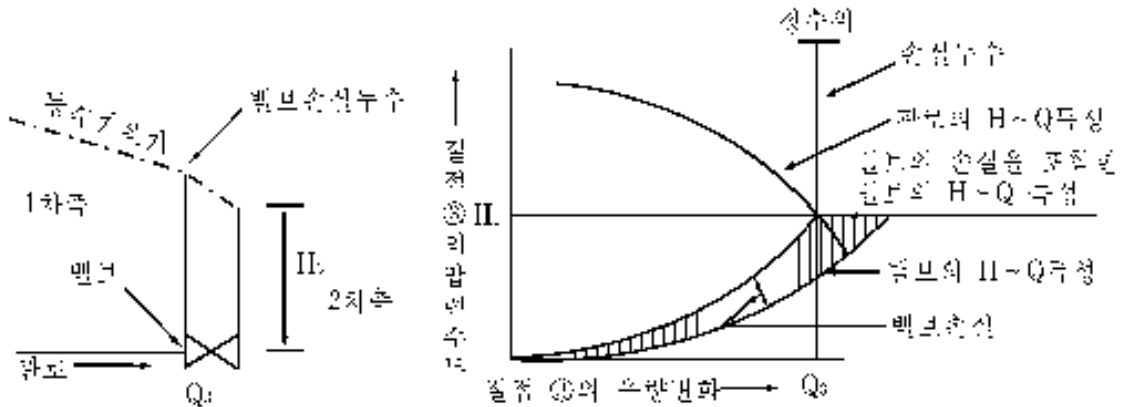
(라) 밸브경계조건

그림 4.11.26의 결점③의 배출량  $Q_3$ 는 밸브의 특성에 좌우된다. 일반적으로 그림 4.11.25(a)와 같이 절점③에 밸브가 설치된 경우 유량, 압력의 변화는 그림 4.11.25(b)와 같이 나타나며 밸브특성은 식 (4.11.30)과 같이 밸브지점 압력수두(2차 측)에 관한 지수함수로 나타낼 수 있다.

$$Q_3 = C \cdot A \sqrt{2g \cdot H_3} \quad \dots\dots\dots (4.11.30)$$

여기서,  $Q_3$ : 밸브유량 ( $m^3/s$ )  
 $C$ : 유량계수  
 $g$ : 중력가속도 ( $m/s^2$ )  
 $H_3$ : 밸브지점의 압력수두 (m) (하류측)  
 $A$ : 밸브의 평균면적 ( $m^2$ )

식 (4.11.30)을 절점③에 적용하면 식 (4.11.31)이 된다.



(a) 절점 ③의 압력수두      (b) 절점 ③의 H~Q 특성

그림 4.11.26 밸브설치 개소의 H~Q 특성

$$Q_3 = C \cdot A \sqrt{2g(h_3 - Gh_3)} \quad \dots\dots\dots (4.11.31)$$

여기서,  $Gh_3$ : 절점 ③의 밸브표고

식 (4.11.31)은 다음과 같이 변형할 수 있다.

$$Q_3 = B_3(h_3 - Gh_3) \quad \dots\dots\dots (4.11.32)$$

여기서,  $B_3 = C \cdot A \sqrt{2g} | (h_3 - Gh_3) |^{-\frac{1}{2}}$

식 (4.11.32)를 식 (4.11.18)의 제3항에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$0h_1 + k_{32}h_2 + C_3h_3 + 0h_4 + 0h_5 + 0h_6 = -B_3 \cdot Gh_3 \quad \dots\dots\dots (4.11.33)$$



$$\text{여기서, } C_3 = a_3 - B_3 = -k_{32} - C \cdot A \sqrt{2g} | (h_3 - Gh_3) |^{-\frac{1}{2}}$$

따라서 식 (4.11.19)는 식 (4.11.34)과 같이  $h_3$ 에 대응하는 부분이 변형된다.

$$[A_v]\{h_v\} = \{F_v\} \quad \dots\dots\dots (4.11.34)$$

$$[A_p] = \begin{bmatrix} a_1 & k_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ k_{21} & a_2 & k_{23} & k_{24} & 0 & 0 \\ 0 & k_{32} & a_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{42} & 0 & a_4 & k_{45} & k_{46} \\ 0 & 0 & 0 & k_{54} & a_5 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_{64} & 0 & a_6 \end{bmatrix}, [h_p] = \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \end{bmatrix}, [F_p] = \begin{bmatrix} P_1(\beta + GH_1) \\ 0 \\ Q_3 \\ 0 \\ Q_5 \\ Q_6 \end{bmatrix}$$

(마) 경계조건이 복수인 경우

각종의 경계조건은 관수로 시스템의 임의의 절점에 임의로 설정할 수 있다. 예를 들면 그림 4.11.24에서 절점 ①을 수위경계, 절점 ③을 펌프경계, 절점 ⑤, ⑥을 밸브 경계로 한 경우에는 식 (4.11.19)의 벡터  $\{F\}$ 와 행렬  $[A]$ 의 내용은 다음과 같이 된다.

$$[A_v] = \begin{bmatrix} a_2 & k_{23} & k_{24} & 0 & 0 \\ k_{32} & (a_3 - P_3) & 0 & 0 & 0 \\ k_{42} & 0 & a_4 & k_{45} & k_{46} \\ 0 & 0 & k_{54} & (a_5 - B_5) & 0 \\ 0 & 0 & k_{64} & 0 & (a_6 - B_6) \end{bmatrix}, [F] = \begin{bmatrix} -k_{21}h_1 \\ -P_3(\beta + GH_3) \\ 0 \\ -B_5 \cdot GH_5 \\ -B_6 \cdot GH_6 \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (4.11.35)$$

(3) 설계적용

그림 4.11.27(a)에 예시한 바와 같이 2개소의 펌프수원으로 하는 관수로 시스템에 대하여 정상류를 해석한 결과와 그 대책을 살펴보면 다음과 같다.

이 지역의 용수량이 그림 4.11.27(c)와 같이 기별변화를 하고 또 그에 대한 펌프설계점이 그림 4.11.27(b)와 같이 변하는 것으로 한다.

- 펌프 1에 대해 양수량  $Q_{p1}$  ( $m^3/s$ )
- 양 정  $H_{p1}$  (m)
- 펌프 2에 대해 양수량  $Q_{p2}$  ( $m^3/s$ )
- 양 정  $H_{p2}$  (m)

여기서,

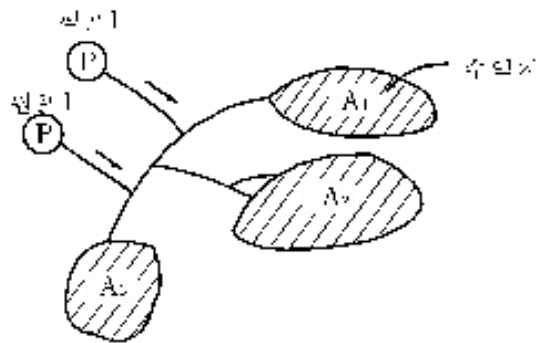
$$Q_1 = Q'_{p1} + Q'_{p2} \quad \dots\dots\dots (4.11.36)$$

이 경우에 대한 해석모델은 2개소의 펌프를 경계조건으로 하는 모델이 되며, 식 (4.11.19)로 해석한 결과에 따르면 각 펌프의 용수조건이 다음과 같이 변화한다.

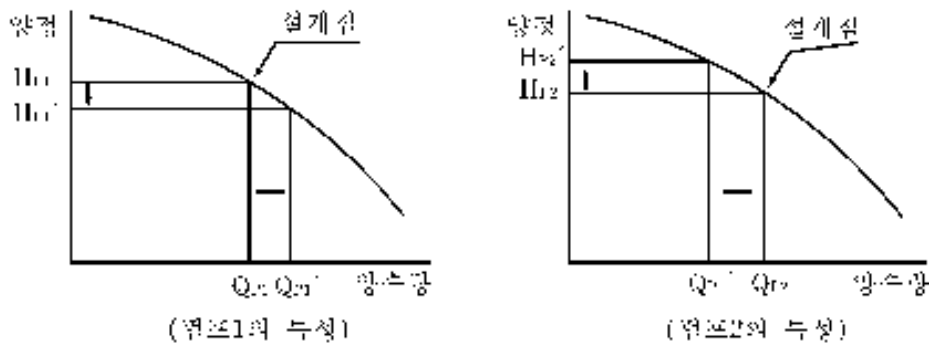
펌프 2에 대해 양수량  $Q'_{p2}$  ( $m^3/s$ )  
 양 정  $H'_{p2}$  (m)

여기서,

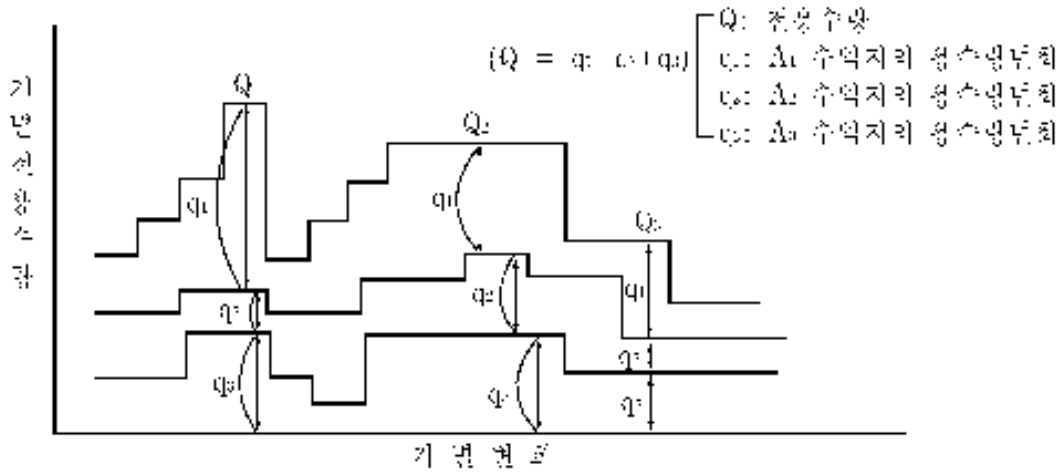
$$Q_2 = Q'_{p1} + Q'_{p2} \dots\dots\dots (4.11.37)$$



(a) 관수로 시스템의 예



(b) 펌프의 특성



(c) 수역지 풀이용계회

그림 4.11.27 관수로 시스템의 검토 예

이러한 유황결과에 대해서 다음과 같이 검토를 한다.

- (가) 펌프를 설계점 이하에서 운전하는 경우에 대해서 캐비테이션의 발생유무를 검토한다. 검토결과 캐비테이션이 발생할 우려가 없을 것으로 판단되고, 또한 기타의 용수변화에도 동일한 결과를 얻을 수 있으면 이 관수로 시스템은 안전한 것으로 판단되며 정상유황에 대한 검토를 완료한다. 그러나 위험할 것으로 판단될 경우에는 설비운전상의 대책을 강구해야 한다.
- (나) 설비 운전상의 대책의 하나로 밸브에 의한 유량 제어기구를 채용하는 문제에 대해 검토한다. 이를 검토하는 데는 밸브를 경계조건으로 하는 모델을 해석모델에 추가하여 유량해석을 한다. 이 결과 펌프유황이 다음과 같이 해석된 것으로 한다.

펌프 1에 대해 양수량  $Q'_{p1}$  ( $m^3/s$ )  
양 정  $H'_{p1}$  (m)  
펌프 2에 대해 양수량  $Q'_{p2}$  ( $m^3/s$ )  
양 정  $H'_{p2}$  (m)

여기서,

$$Q_2 = Q'_{p1} + Q'_{p2} \dots\dots\dots (4.11.38)$$

이 유황이 펌프와 밸브의 캐비테이션 조건에 대해 안전하면 밸브에 의한 유량 제어가 가능한 것으로 본다. 또 그림 4.11.27(c)의  $Q_3$ 에 해당되는 시기에

밸브개도를 조절하게 되므로 안전한 유황을 유지하기 위해서는 밸브의 캐비테이션 문제를 검토해야 한다. 이를 해석하려면 임의의 밸브개도에 대해 식 (4.11.30)의 유량계수를 적용하여 유황해석을 한다.

이 해석의 결과로부터 각 시기의 물이용 형태에 대응하는 유량 제어밸브의 개도를 결정할 수 있다.

(다) 밸브로서도 송배수기능이 충분하지 못할 때는 당초의 수리설계 단계로부터 관수로 시스템을 재검토해야 한다.

#### 마. 다점주입(多点注入) 관수로의 수리계산

수리적으로 일체가 되어 있는 송배수관수로조직에서 2개소 이상의 수원에서 동시에 용수를 공급하는 경우에 이를 다점주입관수로(network with multiple sources)라 하며 이에 대해서는 특별한 수리검토를 해야 한다.

복수의 수원에서 용수를 공급하는 경우는 수원의 수위(또는 유효수두), 유입량, 관수로 조직내의 분수점의 위치, 분수량, 관경 등 일련의 조직체가 서로 수리적인 영향을 미치게 되므로 수원이 한 개소인 경우와 같이 수원수위와 유입량이 안정되지 않는다. 즉 상기한 여러 가지 요소 중 하나만 변하여도 수리적으로 전혀 다른 현상이 나타난다. 이러한 현상의 구체적인 예로는 수원수위의 저하, 과잉유량의 유입, 역유출, 공급압력의 부족 등을 들 수 있다.

##### 1) 수리검토시 유의사항

다점주입관수로의 수리검토를 할 때는 다음 사항을 고려하되 수원의 종류에 따라 검토내용이 달라지는 점에 주의한다.

##### 가) 하천으로부터 자연취수

취수가능량이 제한되는 경우가 많다. 유량변동에 따른 수위변동을 주로 검토해야 하며 공기혼입, 급수압력의 부족 등에 대해 주의한다.

##### 나) 유지(溜池) 등으로부터 정수위(定水位) 취수

계획수위가 항상 일정하도록 배출수조로 조절하는 경우가 많다. 이때는 수위를 고정시킨 다음 그 유입량이 타 수원 유입량의 영향을 받아 어떻게 변화하는가를 증점적으로 검토한다. 다만 계획취수량 이상의 유량이 유입될 때는 제한유속이 초과되거나 말단에서 압력부족이 생길 수 있다.

##### 다) 펌프에 의한 압력방식 취수

관수로의 펌프로 직접 압력을 주는 경우는 펌프의 계획양정과 양수량이 역의 관계로 되는 수가 있으므로 이를 주의해야 한다. 즉 펌프의 일반적인 H-Q 특성에 있어서는 유량이 커질 때 양정이 작아지고 유량이 작아지면 양정이 커지는데 반해 다점주입의 경우에는 관로의 마찰손실수두를 고려하게 되므로 가압

량이 커지면 양정이 커지고 가압량이 작아지면 양정이 작아진다. 그러므로 펌프의 계획양정과 계획양수량의 결정에 있어 이 문제를 충분히 검토한다.

라) 펌프에 의한 배수조(配水槽)방식 취수

취수량에 제한이 있으므로 1)항의 자연취수와 동일한 검토를 한다.

이상에서 언급한 현상을 도시하면 그림 4.11.28과 29와 같다.

## 2) 수리계산방법

다점주입관수로의 배관방식에는 망상 배관방식과 수지상 배관방식이 있으며 이들 배관방식에 따라 수리계산방법이 다르다.

망상 배관방식은 망상 관수로의 수리계산방법을 적용한다. 또 다점주입방식의 수지상 관수로에서 수원의 유입량이 제한되는 경우에는 각 관로의 계획유량을 정량적으로 적산할 수 있으므로 관수로에 대한 일반적인 수리계획 방법을 적용하여 검토할 수 있다. 그러나 유지 등을 수원으로 하여 수위가 설계조건이 되는 경우는 유량이 수원의 에너지 차이에 의해서 배분되므로 정량적인 적산방법으로는 구할 수 없다. 다시 말하면 망상 관수로이든 수지상 관수로이든 다점주입관수로의 수리계산에서는 수원 수위를 조건으로 부여하면 유입량이 미지수로 되고 유입량을 조건으로 부여하면 수위가 미지수가 된다.

또 다점주입관수로의 수리검토는 수리계산만으로 그 수리특성과 문제점을 해명하기 어려운 경우가 많으므로 “정상류의 수리검토”방법에 의해 신중한 검토를 하는 것이 좋다.

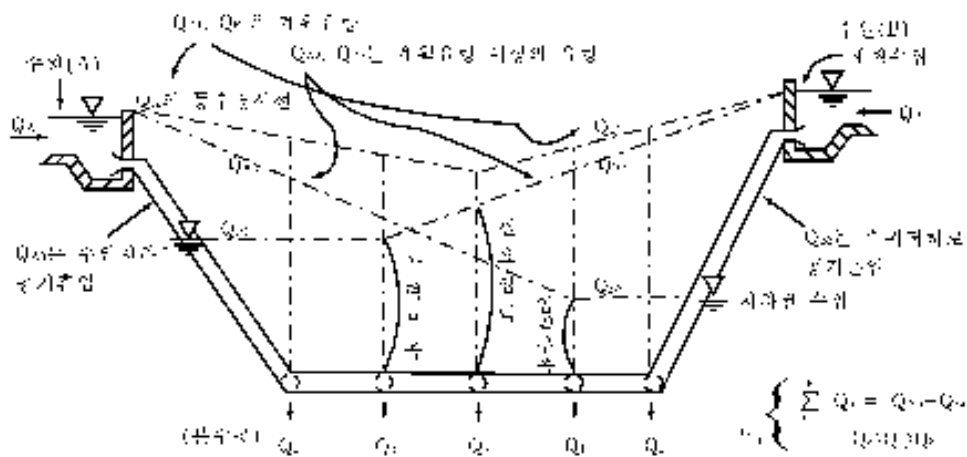


그림 4.11.28 자연취수의 경우

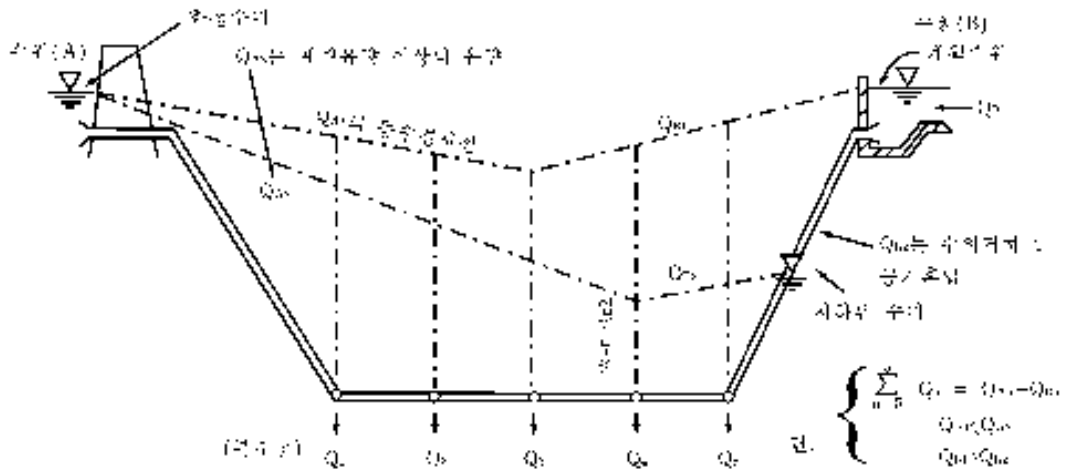
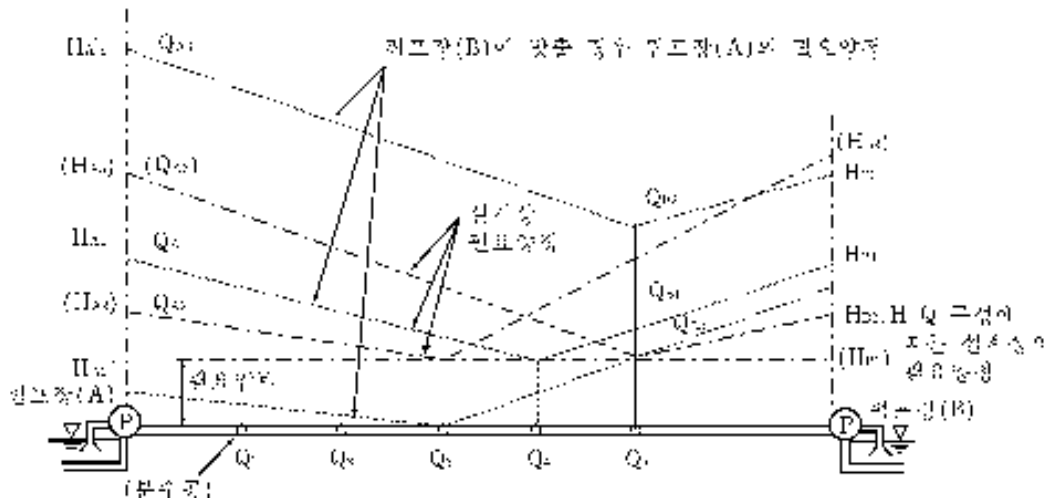
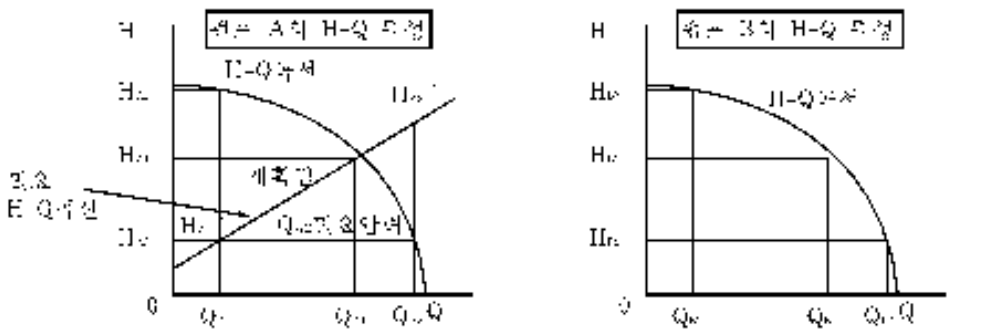


그림 4.11.29 유지(留池) 등 수원취수의 경우



단,  $(Q_{An} + Q_{Bn} = \sum_{n=1}^5 Q_n)$

주) 펌프특성과 필요양정은 역(逆)의 H-Q 특성을 나타냄

그림 4.11.30 펌프취수의 경우

## 바. 비정상류(非定常流) 수리계산

### 1) 일반사항

비정상류란 임의의 정상류 상태에서 밸브나 펌프 등을 조작한 후 새로운 정상류 상태로 옮겨가는 과도적인 흐름이다. 따라서 비정상류의 검토는 시간경과에 따른 유량 또는 압력수두의 변화를 파악하는 것이다.

비정상 유황(非定常 流況)에 대한 수리검토의 목적은 펌프나 밸브 등의 동작으로 인하여 발생하는 수격압(상승압 또는 강하압)의 크기가 관수로의 내압강도에 대하여 안전한지 여부와 그 대책을 검토하는데 있다.

비정상류의 해석은 일반적으로 컴퓨터에 의한 시뮬레이션 모델해석이 중심이며 구체적인 해석을 하는 경우에는 다음 사항에 유의하여야 한다.

- 비정상류를 해석하기 위해서는 대상 해석영역의 관수로 시스템에 대한 수리제원이나 물관리 체계를 충분히 검토하여야 한다.
- 비정상류는 펌프나 밸브 등의 동작으로 인하여 발생하는 것이므로 수리시설의 동작특성을 충분히 검토하여야 한다.
- 시뮬레이션 모델은 비정상류 현황을 나타내는 이론식을 수학적으로 전개한 것이며 이는 해석하고자 하는 관수로 시스템에 적합하여야 한다.
- 비정상류의 해석에는 수많은 자료를 사용하는 경우가 많고, 또 해석에 이용되는 입력조건은 그 결과에 큰 영향을 미치게 되므로 해석결과를 고찰할 때는 항상 입력조건과의 관계를 고려해야 한다.

### 2) 해석방법

#### 가) 비정상류의 기본식

관수로의 비정상류에 대한 현상은 관내 유수가 갖고 있는 진동에너지가 관수로의 탄성에너지로 변환되기 때문에 이들 사이의 변환특성을 나타내는 파라미터는 물과 관로의 탄성계수 혹은 압력파의 전파속도이다. 이 현상의 기본식은 일반적으로 운동에너지를 나타내는 운동방정식과 탄성에너지의 변환을 나타내는 연속방정식의 두 식으로 표시되지만 에너지 변환 형태에 따라 다음과 같이 구분된다.

#### (1) 관수로의 탄성변화를 고려하는 경우

수격압을 해석하는 대표적인 기본식으로 시간 범위가 매우 작고(1초 이하) 흐름현상은 관체와 물의 합성탄성변화와 마찰저항에 의해 지배된다. 그림 4.11.31과 같은 관로상의 임의의 점에 대한 탄성이론에 바탕을 둔 비정상류의 기본식은 식 (4.11.39)와 같다.

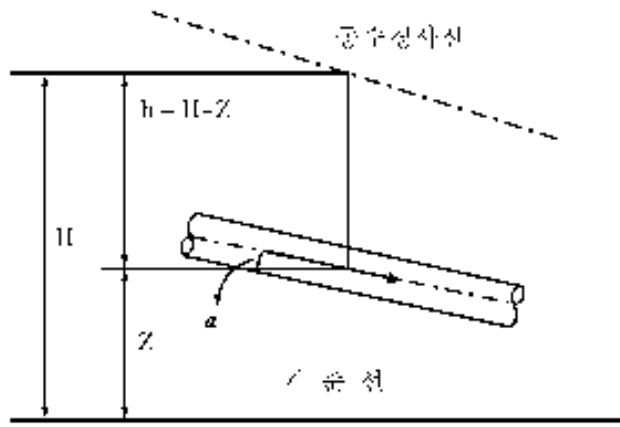


그림 4.11.31 관수로상의 수리상태

운동방정식

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{g} V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{f|V|}{D} \frac{V}{2g} = 0$$

연속방정식

$$\frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x} + V \sin a + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0$$

..... (4.11.39)

단, 
$$a = \sqrt{\frac{1}{\frac{w}{g} \left( \frac{1}{k} + \frac{D \cdot C_1}{E \cdot e} \right)}}$$

여기서,  $g$ : 중력가속도 ( $m/s^2$ )

$t$ : 시간 (s)

$H$ : 압력수위 (m)

$f$ : Darcy-Weisbach의 마찰손실계수

$a$ : 압력파의 전파속도 (m/s)

$k$ : 물의 체적탄성계수 ( $kN/m^2$ )

$E$ : 관재료의 종탄성계수 ( $kN/m^2$ )

$e$ : 관벽두께 (m)

$V$ : 관내유속 (m/s)

$x$ : 거리 (m)

$D$ : 관의 내경 (m)

$a$ : 관로의 기준선에 대한 경사각도 ( $^\circ$ )

$w$ : 물의 단위체적중량 ( $kN/m^3$ )

$C_1$ : 관의 지지상황에 따른 계수 (통상 1.0으로 한다.)



식 (4.11.39)는 운동방정식의 제4항(마찰손실항)의  $f$ 를 Manning의 조도계수로 치환하면 식 (4.11.40)과 같다.

운동방정식

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{g} V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |V|}{R^{4/3}} V = 0$$

연속방정식

$$\frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x} + V \sin a + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0$$

..... (4.11.40)

여기서,  $n$ : Manning의 조도계수  
 $R$ : 경심 (m) ( $R=D/4$ )

식 (4.11.40)은 그림 4.11.31에서 보는 바와 같이 평균유속  $V$ 와 압력수위  $H$ 의 관계를 나타내지만, 이것을 압력수두  $h$ 로 나타내면 운동방정식 및 연속방정식은 각각 식 (4.11.41)과 같다.

운동방정식

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{1}{g} V \frac{\partial V}{\partial x} + i + \frac{n^2 |V|}{R^{4/3}} V = 0$$

연속방정식

$$\frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0$$

..... (4.11.41)

여기서,  $H$ : 압력수두 (m),  $i$ : 관로경사 ( $= \frac{\partial H}{\partial x}$ )

식 (4.11.40) 또는 식 (4.11.41)을 써서 수리모델을 작성하는 경우 식 (4.11.40)의 연속방정식의 제2, 3항 및 식 (4.11.41)의 연속방정식의 제2항은 미소항이므로 생략할 수 있다. 또 식 (4.11.41)의 관내유량  $Q$  및 관 등가 체적탄성계수  $K$ 를 써서 식 (4.11.42)로 나타낼 수 있다.

연속방정식

$$w \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{K}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K^*} + \frac{D}{E \cdot e}}$$

..... (4.11.42)

여기서,  $w$ : 물의 단위중량 ( $\text{kN/m}^3$ )  
 $A$ : 유적 ( $\text{m}^2$ )

- $Q$ : 통과유량 ( $m^3/s$ )
- $K$ : 관 등가 체적탄성계수 ( $kN/m^2$ )
- $K^*$ : 물의 체적탄성계수 ( $kN/m^2$ )
- $E$ : 관재료의 종탄성계수( $kN/m^2$ )

(2) 관수로의 탄성변화를 무시하는 경우

개방식 관수로에서는 수조내에 자유수면부가 생기게 되며, 이 자유수면부의 수면은 정상류 상태에서 일정 수위이지만 관수로 내에 유량변동이 생기면 이에 따라 수위가 상승 또는 하강한다. 이 수위의 상승 또는 하강현상을 “서지(surge)현상”이라 한다.

이 서지현상은 수격압과 같은 압력수위의 상승이나 하강현상과 달리 관수로내의 유량변동에 의한 탄성에너지가 자유수면부의 수위에너지로 변환되는 현상이며 관내의 흐름은 마찰저항에 의해 지배된다. 이와 같은 사실은 서지 현상이 탄성변화를 무시한 강체모델로 해석될 수 있음을 나타내는 것이며, 이 분석에서는 시간범위가 비교적 크다. 단, 관수로 시스템의 비정상류 분석에 있어서 강체모델 또는 탄성모델 중 어느 모델을 이용하는 것이 좋느냐에 대해서는 아직까지 엄밀한 이론체계가 서 있지 않다.

(가) 비정상류의 기본식과 적용

관수로의 임의점에 있어서 탄성변화가 무시된 경우의 비정상류의 기본식은 식 (4.11.43)과 같다.

운동방정식

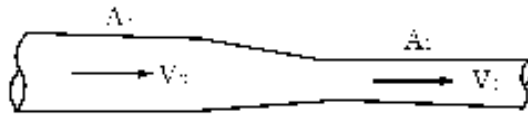
$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |V|}{R^{4/3}} V = 0 \quad \dots\dots\dots (4.11.43)$$

연속방정식

$$\frac{\partial}{\partial x} (V \cdot A) = 0$$

- 여기서,  $V$ : 유속 ( $m/s$ )
- $H$ : 관로의 압력수위 ( $m$ )
- $n$ : Manning의 조도계수
- $R$ : 경심 ( $m$ )
- $A$ : 관로단면적 ( $m^2$ )

식 (4.11.43)의 운동방정식에서는 전술(관내의 흐름은 마찰저항에 의해 지배됨)한 바와 같이 관성항 ( $\frac{1}{g} V \frac{\partial V}{\partial x}$ )이 무시되어 있고, 또 연속방정식에서는 탄성변화가 무시됨으로 그림 4.11.32에서 보는바와 같이 유량 일정 조건이 성립될 뿐이다.



여기서,  $A_1, A_2$ : 통수단면적 ( $m^2$ )

$V_1, V_2$ :  $A_1, A_2$  지점유속 ( $m/s$ )

그림 4.11.32 관수로의 유량연속조건

여기서 서지 분석을 하는 경우 이미 기술한 바와 같은 현상 때문에 식 (4.11.43)으로 구해지는 관로의 유량변화에 대해서는 이것을 수조의 수위변화로 변환하는 식(이는 연속방정식으로써 표시된다. 그림 4.11.33 참조)이 도입되어야 한다. 그림 4.11.33과 같이 관수로의 중간에 수조가 있는 경우 관로구간  $L_1, L_2$ 의 임의 시각의 유속( $V_1, V_2$ )은 운동방정식에서 구해진다.

이 유속변화에 의한 수조내의 수위변화는

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{A_1 V_1 - A_2 V_2}{F} \dots\dots\dots (4.11.44)$$

여기서,  $F$ : 수조의 면적

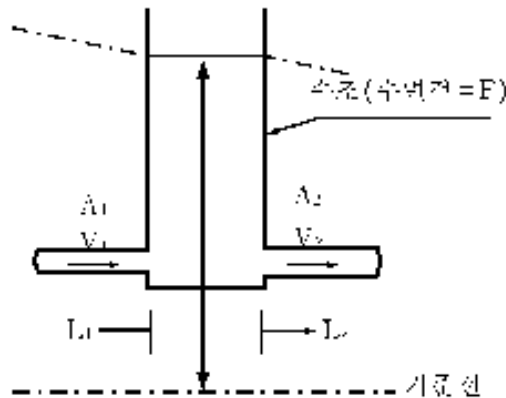


그림 4.11.33 수조의 수위변화

관수로의 스탠드에서 자유수면에 대한 서지 현상을 분석하려면 식 (4.11.43)과 같은 관로의 비정상류식과 스탠드의 자유수면의 변화를 나타내는 식 (4.11.44)를 기본으로 하여 해석대상의 관수로 시스템에 맞는 모델을 작성해야 한다.

(나) 2개 수조 관수로 시스템의 서지해석

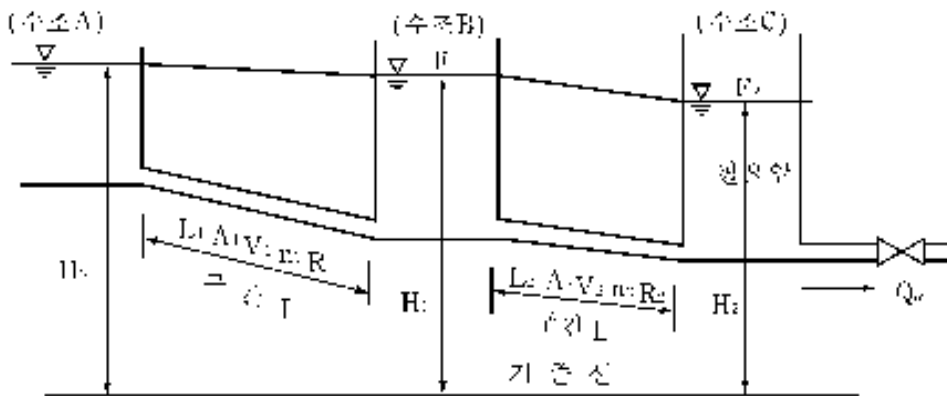
그림 4.11.34는 관수로 시스템이 2개의 수조를 갖는 경우이며 이 해석모델은 다음과 같다.

▶ 기본식의 작성

그림 4.11.34의 구간 I, II의 유속은 식 (4.11.43)의 운동방정식으로 구한다.

이 경우 구간 I의 흐름은 그 양단의 수위차( $H_0-H_1$ )에 지배되고, 구간II에서는 수위차( $H_1-H_2$ )에 지배되므로 운동방정식의 제2항은 식 (4.11.45)와 같다.

$$\begin{aligned} \text{구간 I: } \frac{\partial H}{\partial x} &= \frac{H_1 - H_0}{L_1} \\ \text{구간 II: } \frac{\partial H}{\partial x} &= \frac{H_2 - H_1}{L_2} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4.11.45)$$



여기서, H: 기준선에 대한 압력수위(m) 단, H<sub>0</sub>는 일정 n: Manning의 조도계수  
 V: 관내유속 (m/s) Q<sub>out</sub>: 하류단 밸브의 유출량 (m<sup>3</sup>/s)  
 L: 관로연장 (m) F: 스텐드의 수면적 (m<sup>2</sup>)  
 A: 평균유적 (m<sup>2</sup>) R: 경심 (m)

그림 4.11.34 2개 수조의 관수로 시스템

식 (4.11.45)에서 구간 I, II에 대한 운동방정식은 식 (4.11.46)과 같이 상미분방정식(常微分方程式)으로 나타낸다.

$$\begin{aligned} \text{구간 I: } \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial V_1}{\partial t} + \frac{H_1 - H_0}{L_1} + \frac{n^2 |V_1|}{R^{4/3}} V_1 &= 0 \\ \text{구간 II: } \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial V_2}{\partial t} + \frac{H_2 - H_1}{L_2} + \frac{n^2 |V_2|}{R^{4/3}} V_2 &= 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4.11.46)$$

한편 수조 B, C의 수위변화를 나타내는 연속방정식은 식 (4.11.44)에 의해 식 (4.11.47)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \text{수조 B: } \frac{\partial H_1}{\partial t} + \frac{A_1 V_1 - A_2 V_2}{F_1} &= 0 \\ \text{수조 C: } \frac{\partial H_2}{\partial t} + \frac{Q_{out} - A_1 V_1}{F_2} &= 0 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4.11.47)$$

나) 기본식의 전개

기본식의 전개는 그 수학적 방법에 따라 직접차분법과 특성곡선법으로 분류되며, 이들 기본식의 각 항을 Taylor 전개에 따라 다음과 같이 차분화할 수 있다.

직접차분법(양해법)은 t 시각에 관수로 각 지점의 수리량 V, H를 기지량으로 하고, 시간 차분 (Δt) 만큼 경과한 t+Δt 시각의 수리량 V, H (또는 v, h)를 구하는 방법이다.

특성곡선법(음해법)은 차분화에 의하여 전개된 식에 t+Δt 시각의 수리량 V, H를 미지수로 하여 연립방정식의 해를 구하는 방법이다.

수리모델의 전개는 탄성변화의 고려 여부에 따라 전개방법을 달리하며, 그 방법을 소개하면 다음과 같다.

(1) 전개방법

(가) 탄성변화를 고려하는 경우

① 직접차분법 (양해법)

편미분식으로 표시되는 기본식의 각 항을 Taylor 전개에 의하여 일차 차분하고 시간경과에 따르는 수리량 V, H를 구하는 방법으로 직접차분법을 써서 양해법으로 차분화하는 경우 수리모델의 차분식은 그림 4.11.35과 같은 관수로상의 압력수위와 유속의 관계에서 식 (4.11.48)로 정리된다.

$$\begin{aligned} V_j^{t+\Delta t} &= \left[ P_1 V_j^t - g \left( \frac{H_{i+1}^{t+\frac{1}{2}\Delta t} - H_i^{t+\frac{1}{2}\Delta t}}{\Delta x} \right) \right] / P_2 \\ H_i^{t+\frac{3}{2}\Delta t} &= H_i^{t+\frac{1}{2}\Delta t} - \Delta t G \frac{Q_j - Q_{j-1}}{\Delta x} \\ P_2 &= \frac{1}{\Delta t} + \frac{V_{j+1}^t - V_{j-1}^t}{4\Delta x} + \frac{F}{2} \\ F &= g \frac{n_j^2 |V_j^t|}{R_j^{4/3}} \quad G = \left( \frac{a_j^2}{gA_j} + \frac{a_{j-1}^2}{gA_{j-1}} \right) / 2 \\ Q &= A_j V_j^{t+\Delta t} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4.11.48)$$

여기서,  $V_j^{t+\Delta t}$ : j지점의 Δt 시간후의 유속 (m/s)

$H_i^{t+\frac{3}{2}\Delta t}$ :  $i$ 지점의  $t+\frac{3}{2}\Delta t$  시간 후의 압력수위 (m)

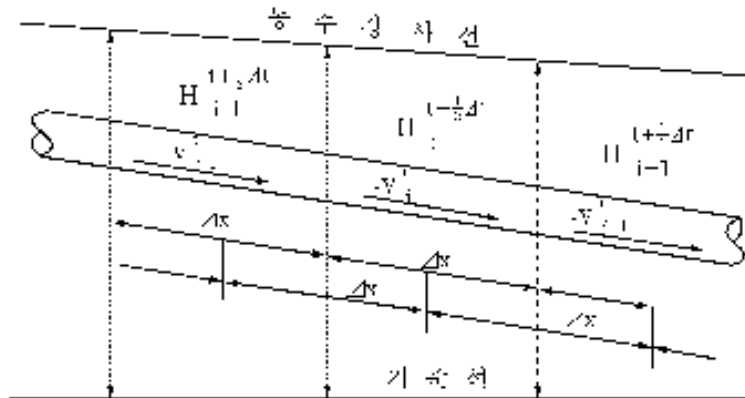
$A_j$ :  $j$ 지점의 유적 ( $m^2$ ) ( $A_j = \frac{\pi}{4} D_j^2$ )

$a_j$ :  $j$ 지점의 압력파의 전파속도 (m/s)

$n_j$ :  $j$ 지점의 조도계수

$R_j$ :  $j$ 지점의 경심 (m) ( $R_j = \frac{D}{4}$ )

식 (4.11.48)은 식 (4.11.40)의 연속방정식의 제2,3항을 무시하고 전개한 것이며  $t$  시각의 유속과  $t+\frac{1}{2}\Delta t$  시각의 압력수위를 기지량으로 하여, 각각  $\Delta t$ 시간 경과후의 유속 및 압력 수위를 구하는 식이다. 또한 식 (4.11.48)을 사용하는 경우 그림 4.11.35과 같이 유속을 구하는 지점과 압력수위를 구하는 지점은  $\frac{1}{2}\Delta t$  만큼 차가 있다. 또 시간경과에 대해서도 유속과 압력수위의 발생시각이  $\frac{1}{2}\Delta t$  만큼 차가 있다.



여기서:  $v_j^t$ :  $j$ 지점의  $t$ 시각의 유속 (m/s)  $i$ : 압력수위계산점

$H_i^{t+\frac{1}{2}\Delta t}$ :  $i$ 지점의  $t+\frac{1}{2}\Delta t$ 시각의 압력수위 (m)  $j$ : 유속계산점

$\Delta x$ : 구간거리 (m)

그림 4.11.35 직접차분법(양해법)에 의한 모델

② 특성곡선법 (음해법)

2조의 상미분식으로 표시되는 기본식의 각 항을 Taylor 전개에 의하여 일차 차분하고 시간경과에 따르는 수리량  $V, H$ 를 구하는 방법으로 수리모델의 차분식은 그림 4.11.36과 같은 수리상의 압력수위와 유속의 관계에서 식 (4.11.49)와 식 (4.11.50)으로 정리된다.

$$\begin{aligned}
 V_{PR}^{t+\Delta t} &= C_1 + C_2 H_i^{t+\Delta t} \\
 H_R^t &= H_i^t - \Theta (V_R^t + a_R)(H_i^t - H_{i-1}^t) \\
 C_1 &= V_R^t + \frac{g}{a_R} H_R^t - F_R \Delta t \mid V_R^t \mid V_R^t \\
 C_2 &= -\frac{g}{a_R} \\
 V_R^t &= \frac{V_i^t - \Theta a_R (V_i^t - V_{i-1}^t)}{1 + \Theta (V_i^t - V_{i-1}^t)} \\
 F_R &= g \frac{n_R^2}{R_R^{4/3}} \quad \Theta = \frac{\Delta t}{\Delta x}
 \end{aligned}
 \dots\dots\dots (4.11.49)$$

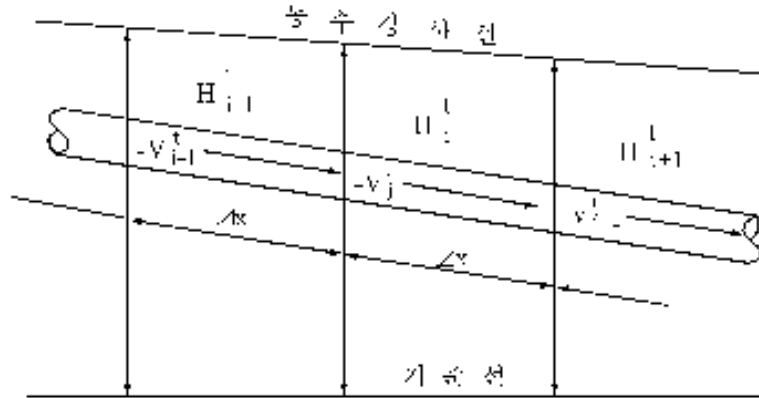
$$\begin{aligned}
 V_{PS}^{t+\Delta t} &= C_3 + C_4 H_i^{t+\Delta t} \\
 H_S^t &= H_i^t + \Theta (V_S^t - a_s)(H_i^t - H_{i+1}^t) \\
 C_3 &= V_S^t - \frac{g}{a_s} H_S^t - F_S \Delta t \mid V_S^t \mid V_S^t \\
 C_4 &= \frac{g}{a_s} \\
 V_S^t &= \frac{V_i^t - \Theta a_s (V_i^t - V_{i+1}^t)}{1 + \Theta (V_i^t - V_{i+1}^t)} \\
 F_S &= g \frac{n_S^2}{R_S^{4/3}} \quad \Theta = \frac{\Delta t}{\Delta x}
 \end{aligned}
 \dots\dots\dots (4.11.50)$$

여기서,  $V_{PR}^{t+\Delta t}, V_{PS}^{t+\Delta t}$ :  $i-1 \sim i$ 구간의 요소에서 구하는  $i$ 점의 유속(m/s)  
 $H_R^t, H_S^t$ :  $i-1$ 점과  $i$ 점의 압력수위 (m)  
 $a_R, a_S$ :  $i-1 \sim i$ 구간의 압력파의 전파속도 (m/s)

식 (4.11.49)와 식 (4.11.50)은 식 (4.11.40)의 연속방정식의 제2, 3항을 무시하고 전개한 것이며, 또한 이들이 2조의 특성곡선방정식으로 이루어진 것은 식 (4.11.40)을 상

미분방정식으로 변환하였기 때문이다.

한편, 식 (4.11.49)와 식 (4.11.50)은  $i$ 지점의 식 (4.11.51), 식 (4.11.52)를 만족해야 된다.



여기서,  $V_i^t$ :  $i$  지점의  $t$ 시각의 유속 (m/s)       $H_i^t$ :  $i$  지점의  $t$ 의 압력수위 (m)  
 $\Delta x$ : 구간거리 (m)       $i$ : 유속과 압력수위의 계산지점

그림 4.11.36 특성곡선법에 의한 모델

$$A_R V_{PR}^{t+\Delta t} = A_S V_{PS}^{t+\Delta t} \dots\dots\dots (4.11.51)$$

$$V_i^{t+\Delta t} = (V_{PR}^{t+\Delta t} + V_{PS}^{t+\Delta t})/2 \dots\dots\dots (4.11.52)$$

여기서,  $A_R$ : 통수단면적

이상에서  $i$ 점의  $\Delta t$  시각후의 수리량  $V_i^{t+\Delta t}$ ,  $H_i^{t+\Delta t}$ 는 식 (4.11.51), 식 (4.11.52)에 식 (4.11.49) 및 식 (4.11.50)을 대입함으로써 식 (4.11.53), 식 (4.11.54)가 구해진다.

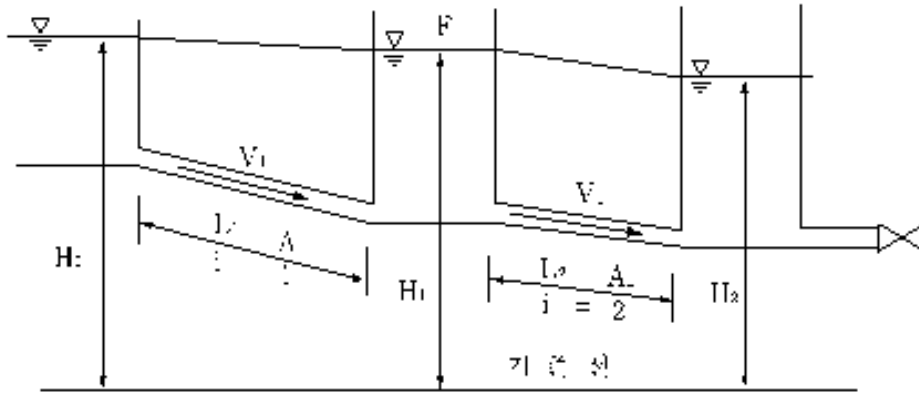
$$H_i^{t+\Delta t} = \frac{C_3 A_S - C_1 A_R}{C_2 A_R - C_4 A_S} \dots\dots\dots (4.11.53)$$

$$V_i^{t+\Delta t} = 0.5 [C_1 + C_3 + (C_2 + C_4) H_i^{t+\Delta t}] \dots\dots\dots (4.11.54)$$

(나) 탄성변화를 무시하는 경우

그림 4.11.37에서 보는 바와 같이 관로내의 흐름이 수조의 수위에 의해 지배되는 관수로 시스템에서 하류단의 밸브를 제어하면 수조 내에 서지현상이 발생한다. 이와 같은 상황 하에서 비정상류를 해석할 때는 관수로의 탄성변화를 무시할 수 있다.





여기서, H: 기준선에 대한 압력수위 (m)      A: 유적 (m<sup>2</sup>)  
 V: 관내유속 (m/s)                              F: 수조의 단면적 (m<sup>2</sup>)  
 L: 관로길이(m)

그림 4.11.37 탄성변화를 무시하는 경우의 모델

직접차분법을 써서 음해법으로 차분화하는 경우 식 (4.11.43)의 운동방정식에서 관내유속은 식 (4.11.55)와 같이 정리한다.

$$V_i^{t+\Delta t} = \left( P_1 V_i^t - \frac{H_i^t - H_{i-1}^t}{L_i} \right) / P_2$$

$$P_1 = \frac{1}{\Delta t} - g \frac{|V_i^t| n^2}{2 R_i^{4/3}}$$

$$P_2 = \frac{1}{\Delta t} + g \frac{|V_i^t| n^2}{2 R_i^{4/3}}$$

(4.11.55)

여기서,  $V_i^{t+\Delta t}$ :  $i$ 구간의  $t + \Delta t$  시각의 유속 (m/s)

한편, 수조내의 수위에 대해서는 식 (4.11.56)이 성립한다.

$$\frac{dH_i}{dt} = \frac{A_{i+1} V_{i+1} - A_i V_i}{F_i} \dots\dots\dots (4.11.56)$$

식 (4.11.56)을 차분 전개하면 식 (4.11.57)과 같다.

$$H_i^{t+\frac{3}{2}\Delta t} = H_i^{t+\frac{1}{2}\Delta t} + \frac{A_{i+1} V_{i+1}^{t+\Delta t} - A_i V_i^{t+\Delta t}}{F_i} \dots\dots\dots (4.11.57)$$

여기서,  $H_i^{t+\frac{3}{2}\Delta t}$ :  $i$ 점의  $t + \frac{3}{2}\Delta t$  시각후의 수위 (m)

(2) 계산의 안정조건

각종의 수학적 방법에 의해 전개된 차분식의 계산은 안정해를 얻기 위하여 다음과 같은 안정조건이 필요하다.

(가) 탄성변화를 고려하는 경우

① 직접차분법 (양해법)

양해법에 의한 차분식은  $\Delta x$ 와  $\Delta t$ 가 식 (4.11.58)의 조건을 만족할 때만 해가 수렴한다.

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} \geq V+a \quad \text{또는} \quad \Delta t \leq \frac{\Delta x}{V+a} \quad \dots\dots\dots (4.11.58)$$

여기서,  $V$ : 관내에 발생하는 최대유속 (m/s)

$a$ : 압력파의 전파속도 (m/s)

② 특성곡선법

특성곡선법에 있어서도 해의 안정성 또는 수렴성을 확보하기 위하여 식 (4.11.58)의 조건이 필요하다.

(나) 탄성변화를 무시하는 경우

수면 서지의 1사이클 시간보다 큰 시간차분( $\Delta t$ )을 설정하면 해가 발산한다. 또 서지 수위의 진동이 감쇄성을 갖기 위해서는 식 (4.11.59)를 만족해야 한다.

$$F > \frac{LA}{2CgH_0} \quad \dots\dots\dots (4.11.59)$$

여기서,  $F$ : 수조단면적 (m<sup>2</sup>)                       $L$ : 길이 (m)

$A$ : 관단면적 (m<sup>2</sup>)                       $C$ : 손실수두계수 ( $C = \frac{h_f}{V^2}$ )

$H_0$ : 정상류의 수위 (m)                       $V$ : 관내유속 (m/s)

$g$ : 중력가속도 (9.8 m/s<sup>2</sup>)

다) 경계조건

차분식으로 표시된 비정상류의 기본식은 관수로상의 임의점의 유황을 제약하는 경계조건을 설정해야 한다.

(1) 경계조건의 설정

경계조건의 설정은 수리모델의 작성에 있어서 매우 중요하고 또 해석상 고도의 지식이 요구되므로 다음과 같은 점에 유의하여 작성한다.

- 관수로내에 발생하는 비정상 현상(압력 파동의 발생 현상)과 그것이 각종의 경계조건에 어떤 영향을 미치는가(파동의 진행이나 반사 등)를 올바르게 이

- 해하여야 한다.
- 각종의 수학적 방법으로 전개된 차분식과 실제의 비정상 현상과의 관계(모델과 실제의 차이)를 올바르게 이해하여야 한다.
  - 각종의 경계조건은 수위경계와 유량경계로 구분되며 이 각각은 비정상류의 발생 내용을 크게 변화시킨다. 여기서 수위경계란 경계조건식을 차분식의 수두계산점 상에 대입시켜 수두를 제약하는 것을 말하며, 유량경계란 차분식의 수두계산점 상에 대입시켜 유속(또는 유량)을 제약하는 것을 말한다.
  - 설정된 경계조건은 실제의 수리시설과 적합한지 충분히 검토해야 한다. 예를 들면 관수로 시스템의 말단이 그림 4.11.38과 같은 구조를 가지고 이 지점을 밸브경계로 하여 탄성변화를 고려하는 경우의 해석모델을 가정한다.

그림 4.11.38과 같은 구조의 경우 경계조건에 대해 생각하는 방법에 따라 밸브경계의 내용이 달라진다.

첫째, 유량조정 밸브의 유량이 상류수두  $h_{b1}$ 의 영향을 받는다고 생각하면 식 (4.11.60)으로 표시된다.

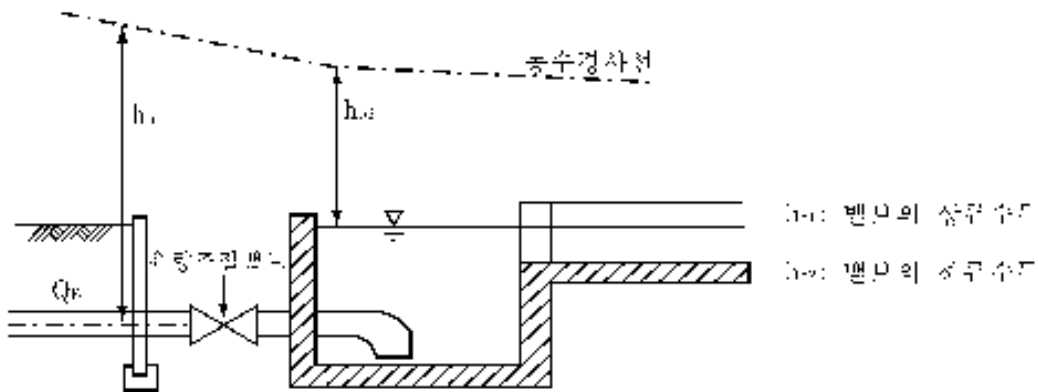


그림 4.11.38 관수로 말단부의 구조 예

$$Q_B = f^{(a)} A \sqrt{2gh_{b1}} \quad \dots\dots\dots (4.11.60)$$

여기서,  $Q_B$ : 밸브통과유량 ( $m^3/s$ )

$f^{(a)}$ : 밸브의 유량계수 ( $\alpha$ 는 밸브의 개도 함수로 표시됨)

$A$ : 밸브의 평균유적 ( $m^2$ )

$g$ : 중력 가속도 ( $9.8 m/s^2$ )

식 (4.11.60)을 차분식에 대입하면 이때는 유량 경계로 표시된다.

둘째, 유량 조정 밸브의 유량이 상류수두  $h_{b1}$  및 하류수두  $h_{b2}$ 의 영향을 받는다고 생각하면 식 (4.11.61)로 표시된다.

$$Q_B = f^{(a)} A \sqrt{2g(h_{b1} - h_{b2})} \quad \dots\dots\dots (4.11.61)$$

여기서,  $h_{b1} - h_{b2}$ : 밸브전후의 압력차 (m)

식 (4.11.61)을 차분식에 대입하면,  $Q_B$ 를 구하는 유속점이 다음 수위 계산점상에  $h_{b2}$ 가 대입되므로 이때는 수위경계로서 표시된다. 따라서 전자와 후자간에는 비정상류의 발생내용에 기본적으로 차이가 생긴다. 즉 후자의 경우는 수두  $h_{b2}$ 가 설정되기 때문에 이것에 의한 압력과의 반사가 일어난다.

- 직접 차분법과 특성곡선법과는 그 해법의 수학적 의미가 다르기 때문에 경계조건의 설정방법도 달라진다. 특히 직접차분법의 경우는 경계조건을 위한 식을 원식 그대로 사용하면 해석이 불가능해 지는 수가 있다.

(2) 경계조건의 수리특성

관수로 시스템의 비정상류의 해석에 주로 이용되는 경계조건과 그 수리특성은 다음과 같다.

(가) 수위경계

그림 4.11.39(a), (b)와 같이 관수로의 유황이 수조의 수위  $H_0$ (또는 수심)에 지배되어 수위  $H_0$ (또는 수심)가 기지수일 경우, 수조의 수위(또는 수심)를 수위경계로서 수리모델에 대입한다.

(나) 밸브경계

그림 4.11.39(a)와 같이 관수로 시스템에 밸브가 있는 경우는 밸브의 수리특성을 수리모델에 대입해야 한다. 밸브의 수리특성은 일반적으로 식 (4.11.61)과 같이 표시된다.

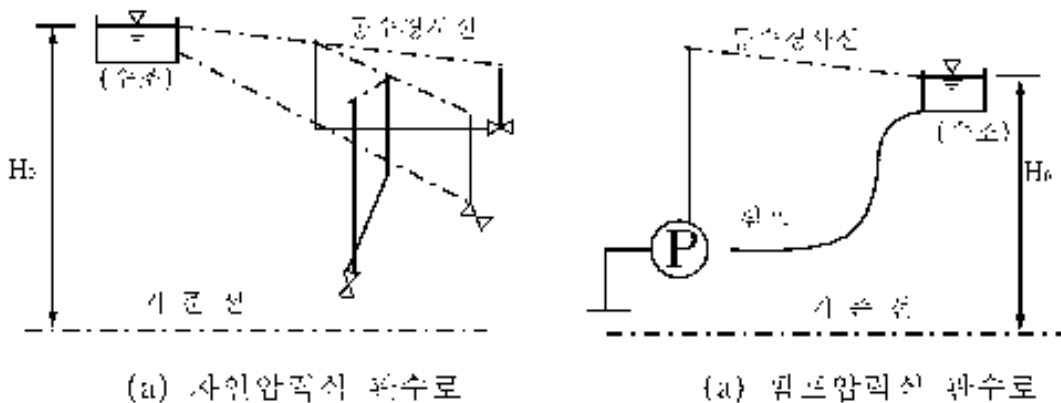


그림 4.11.39 관수로 시스템

(다) 펌프경계

그림 4.11.39(a)와 같이 관수로 시스템에 펌프가 있는 경우는 펌프 수리특성을 수리 모델에 대입하여야 한다. 이 경우 해석의 목적에 따라서 수리특성의 내용이 달라진다.

① 수격압을 해석하는 경우

펌프동력의 정지에 따른 수격압을 해석하는 경우에는 펌프의 모든 회전상태에 대한 양정과 양수량의 관계를 명확히 하는 것이 필요하다.

보통 안전 특성상 펌프동력을 급정지시켰을 때 펌프회전수의 변화는 식 (4.11.62)와 같다.

$$M = - \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{2\pi}{60} \cdot \frac{dN}{dt} \dots\dots\dots (4.11.62)$$

여기서,  $M$ : 펌프토크 (N·m)

$GD^2$ : 펌프 및 모터 회전부의 관성효과 (N·m<sup>2</sup>)

$N$ : 회전수 (rpm)

$g$ : 중력 가속도 (9.8 m/s<sup>2</sup>)

$dt$ : 미소시간변화 (s)

식 (4.11.62)는 수리모델에 대입시키는 경우 식 (4.11.63)으로 표시된다. 식 (4.11.62)는  $m_t$ 에서  $m_{t+1}$ 까지 연속적으로 변화하는  $m_t$  값을 평균치  $\frac{m_t + m_{t+1}}{2}$ 로 치환할 경우 작은 시간간격  $\Delta t$ 에 대해서 성립하기 때문에  $\Delta t$ 를 너무 크지 않도록 하는 것이 좋다.

$$\Delta n = \frac{4g}{GD^2} \cdot \frac{60M_0}{2\pi N_0} \left( \frac{m_t + m_{t+1}}{2} \right) \Delta t$$

$$m_t = M_t / M_0 \dots\dots\dots (4.11.63)$$

$$n_t = \frac{N_t}{N_0}$$

단,  $M_0$ : 정격토크 (N·m)

$M_t$ : 임의시각의 토크 (N·m)

$N_0$ : 정격회전수 (rpm)

$N_t$ : 임의시각의 회전수 (rpm)

$\Delta t$ : 보통 0.1s ~ 1s

② 자동제어기구를 해석하는 경우

자동제어기구의 해석과 같이 펌프를 통상적인 운전(정전, 정류)의 범위 내에서 운용할 경우 펌프특성은 그림 (4.11.40)와 같다. 펌프에 대하여 회전수 제어를 할 경우 양정과 양수량의 관계는 식 (4.11.64)로 표시된다.

$$Q_p = f(h_p, N_p) \dots\dots\dots (4.11.64)$$

여기서,  $Q_p$ : 펌프양수량 ( $m^3/s$ )  
 $h_p$ : 전양정 (m)  
 $N_p$ : 회전수 (rpm)

(라) 분기점 경계

비정상류의 기본식은 동일한 관로에 대한 것이기 때문에 그림 4.11.39(a)와 같은 관수로 시스템의 분기점에 대해서는 흐름의 연속조건이 만족되어야 한다. 따라서 그림 4.11.41의 분기점에 있어서 식 (4.11.48)의 제 2식이 식 (4.11.65)와 같이 표시된다.

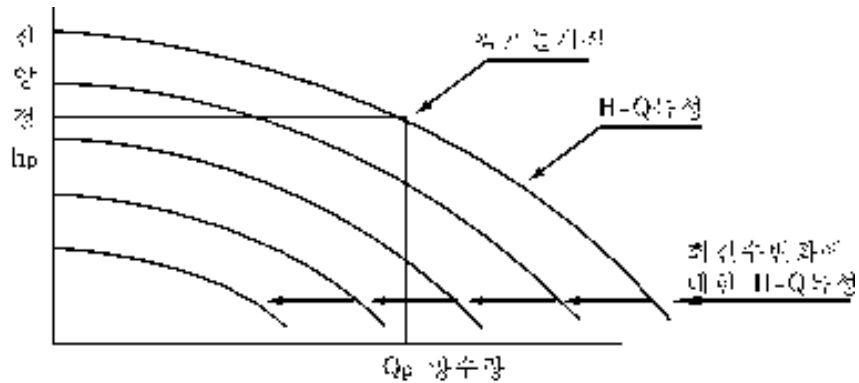


그림 4.11.40 통상 운전시의 펌프특성

$$\begin{aligned}
 H_i^{t+\frac{3}{2}\Delta t} &= H_i^{t+\frac{1}{2}\Delta t} - \Delta t G \frac{Q_i - Q_{i-1}}{\Delta x} \\
 Q_j &= V_i^{t+\Delta t} \cdot A_j \quad Q_{j-1} = A_{j-1}^{t+\Delta t} \cdot A_{j-1} \\
 Q_{i_n} &= V_{i_n}^{t+\Delta t} \cdot A_{i_n}
 \end{aligned}
 \dots\dots\dots (4.11.65)$$

여기서,

$H_i^{t+\frac{3}{2}\Delta t}, H_i^{t+\frac{1}{2}\Delta t}$ : 분기점의  $\Delta t$  시각후 및  $(t+\frac{1}{2}\Delta t)$  시각의 압력수위  
 $Q_{i_n}, V_{i_n}, A_{i_n}$ : 분기관로의 유량 ( $m^3/s$ ), 유속 (m/s), 단면적 ( $m^2$ )

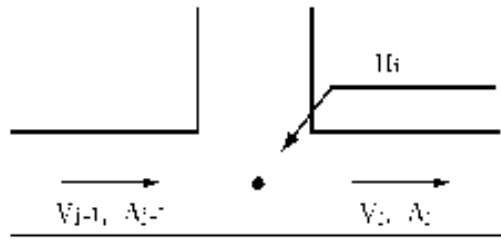


그림 4.11.41 분기점

### 3) 결과의 평가 및 설계이용

수리설계에서 비정상류 해석을 하는 기본적인 목적은 설계된 내용 또는 이미 시공된 시설내용이 실제로 적용되었을 때 충분히 안전한지 여부를 예측, 검토하는 것이다. 비정상류해석을 실행하여 그 결과를 평가하고 설계에 이용 또는 그 대책을 검토하는 데는 다음 사항에 유의하여야 한다.

#### 가) 모델과 실제와의 적합성

비정상류에 대한 기본식은 편미분방정식으로 표시되기 때문에 그 계산은 차분식으로 전개된 수리모델을 이용하게 된다. 그러나 이 차분식은 기본식에 대한 근사식이라는 것과, 또 기본식 자체도 현상을 나타내기 위한 근사식이라는 점에 유의하여야 한다. 따라서 모델과 실측치와의 대조가 필요하다. 실측치와의 비교에 있어서 중요한 요소는 조도계수와 압력파의 전파속도이며, 이 두 개의 요소가 실측치와 일치하면 수리모델에 의한 해석결과는 거의 근사하게 된다.

#### 나) 계산과 그 처리

비정상류해석은 컴퓨터에 의해 대량의 계산이 실행되는 경우가 많지만 검토의 목적에 따라서 그 처리방법을 달리 할 수 있고, 따라서 가능한 한 계산량을 줄일 수 있도록 하는 것이 좋다.

##### (1) 수격압에 대한 검토가 주목적인 경우

이 때는 해석결과 수치의 크기가 문제된다. 따라서 이 경우의 해석시간은 새로운 정상류가 재현되는 시간까지 계산할 필요는 없고, 최대치가 확인된 단계에서 계산을 끝내도 된다.

##### (2) 조압수조의 시설규모에 대한 검토가 주목적인 경우

이 경우에도 상기 (1)항에 준한다.

##### (3) 펌프나 밸브 등의 제어방식과 그 관리방식에 대한 검토가 주목적인 경우

각각의 수치의 크기보다는 시간 평균적인 파동의 주기, 진폭, 새로운 정상류까지의 추이가 문제된다. 따라서 이 경우는 해석시간을 충분히 가지고, 해석결과의 유속 또는 유량이나 압력수위 또는 압력수두의 시간변동을 그래프로 작성하여 변동 내용을 눈

으로 확인하는 것이 좋다.

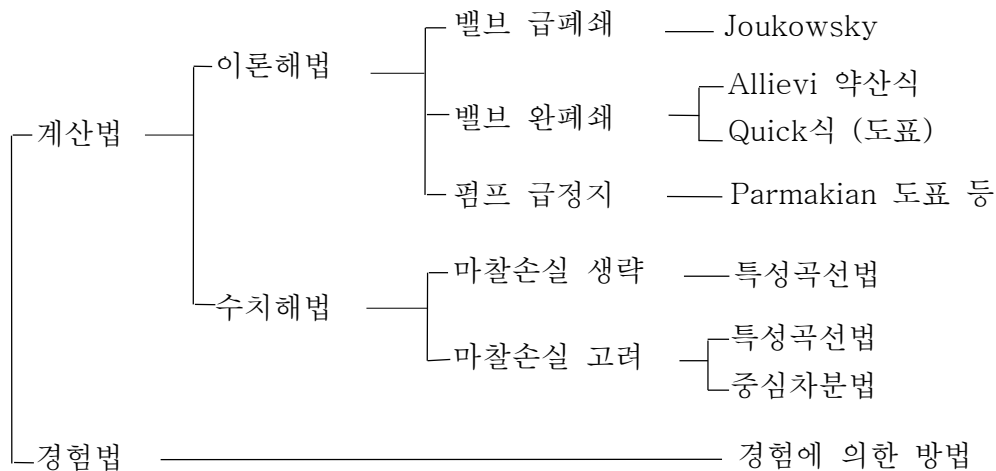
## 사. 수격압계산

### 1) 일반사항

관수로에서는 밸브를 급폐쇄하거나 펌프를 급격히 시동 또는 정지시키면 물의 운동량이 단시간에 크게 변화하여 관로간에 비정상적인 큰 압력차가 발생한다. 이와 같이 순간적인 압력파가 발생하는 현상을 수격작용이라 하며, 이때 발생하는 압력파를 수격파라 한다. 수격압은 관의 안전 관리상 무시할 수 없으므로 관수로의 구조 설계를 할 때는 수격압을 내압에 대한 중요한 설계조건으로 고려해야 한다. 관수로에 발생하는 수격압의 크기는 분수공, 조압시설, 펌프 등의 밸브의 특성과 조작시간에 따라 큰 영향을 받으므로 이들 조건을 충분히 파악해서 수격압이 작게 되도록 해야 한다.

#### 가) 수격압 계산방법의 분류

수격압을 계산하는 방법을 대별하면 계산에 의한 방법과 경험에 의한 방법으로 나눌 수 있다. 계산방법에는 간단한 관수로계의 수격압을 해석하는 이론해법과 복잡한 관수로계에 대한 수격압을 해석하는 수치해법이 있으며 수격압의 해석방법은 아래와 같다.



일반적으로 농업용관수로는 펌프와 분수공을 설치하게 되므로 그 배관 구성이 수직상 혹은 망상 등 복잡한 조직으로 되는 경우가 많다. 그러므로 중요한 간선관로 등에 대한 수격압은 수치해법으로 분석하는 것이 좋다. 특히 다음과 같은 경우는 수치해법으로 분석하는 것이 보통이다.

- 폐쇄식 관수로
- 펌프(비교적 대규모)-관로-수조계의 관수로



○ 수조-관로-밸브(감압밸브, 유량 조절 밸브)계의 관수로

수치해법은 보통 컴퓨터를 사용하는 것이 일반적이지만 관수로의 여건에 따라서는 계산 실무상 경험에 의한 방법으로 계산할 수 있다. 또 비교적 간단한 수조-관로-밸브계의 관수로에 대해서는 이론해법으로 계산하여도 좋다.

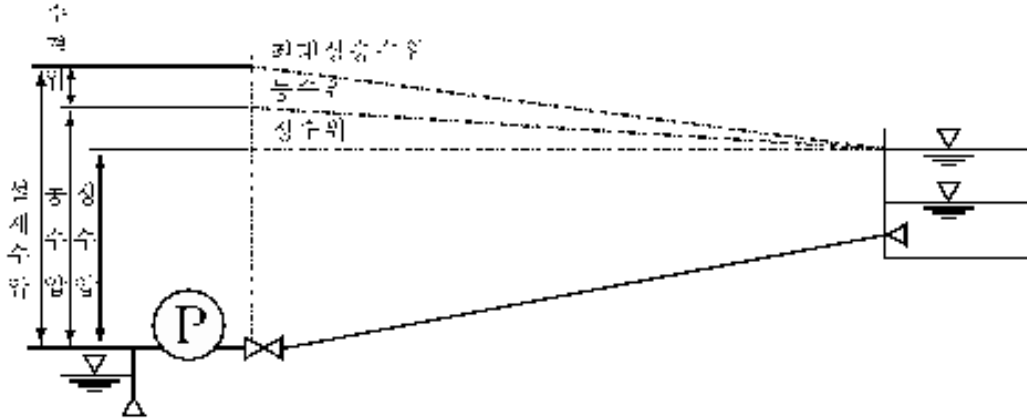


그림 4.11.42 수격압 개념도

나) 수격압 계산법 적용범위

(1) 이론해법의 적용범위

이론해법에 의한 수격압 계산법은 계산순서와 취급 대상 수치가 간단하지만 이 방법으로 하는 데는 여러 가지 제약이 따르므로 제약조건 이외의 계산결과는 신뢰도가 낮다.

해법으로 구한 수격압의 값은 최대치만 유효하며 압력과의 시간적 변화를 추적할 수가 없다.

그러나 비교적 간단한 관로조직(예, 수조-관로-밸브 혹은 펌프-관로-수조)의 경우는 간단한 관로계로 귀환하여 이 방법을 적용할 수 있다. 이론해법의 적용조건은 다음과 같다.

(가) 관수로 조건

- 원칙적으로 유입과 유출이 각각 1개소인 단순한 관수로에 적용하며, 이 이외의 경우에 대해 계산한 결과는 신뢰도가 낮다.
- 관수로의 관중, 관경을 상이하게 조합시킨 경우에 대해서도 가중평균치를 써서 검토할 수 있다.
- 분기관이 긴 경우에는 관로가 1~2개일 때라도 신뢰성이 있는 값을 얻을 수 없다. 다만, 분기관 길이가 수 10m 이내인 경우는 관로의 수가 여러 개 있더라도 이를 무분기관의 경우로 보아 추정할 수 있다.

(나) 밸브조건

- 밸브의 폐쇄속도가 정속도이고 또 개도(開度)와 시간의 관계가 직선적이어야 한다.
- 분수밸브가 여러 개 있을 때 동일 속도로 동시에 폐쇄하면 이론해법의 적용이 가능하나 밸브 상호간에 시간적 차이가 있으면 검토가 불가능하다.

(다) 펌프조건

- 관수로에 양수장이 1개소 있을 때는 검토가 가능하지만 복수일 때는 검토가 불가능하다.
- 펌프용량이 달라져도 가중평균치를 써서 검토할 수 있다.

상기의 조건으로 검토한 결과 펌프계 관수로에서 펌프의 기동저하(起動低下, surge down) 때문에 관로에 위험이 초래될 것으로 판단될 때는 원칙적으로 수치해법에 의해서 이를 확인해야 한다.

(2) 수치해법의 적용범위

이론해법 또는 도해법으로 해석할 수 없는 관수로, 예를 들면 많은 수의 분수밸브를 갖는 복잡한 수지상의 관수로 혹은 수원, 수조 등을 많이 갖는 관수로의 수격압은 컴퓨터를 이용해서 수치해석을 할 수가 있다. 수치해법으로 수격압을 해석할 때는 다음 사항에 유의한다.

- 수리적으로 일체인 관수로를 한 단위로 취급한다(예 수조-수조간을 한 단위로 간주한다). 그러므로 폐쇄식 관수로는 전 노선을 한 단위로 하여 검토를 한다.
- 노선위치, 시설의 규모, 기능 등 세부적인 조건이 필요하다.
- 일반적으로 해석의 노력과 비용이 크게 소요되므로 이 방법을 적용할 때는 설계의 정도(精度), 관수로조직의 중요도 등을 고려해서 결정한다.

(3) 경험법의 적용범위

일반적으로 세부설계단계에서는 관로 전체를 동시에 동일수준으로 설계하는 경우는 드물며 연도를 기준으로 구간을 나누어 설계하는 경우가 많다. 설계에서 수격압이 내압의 설계조건이지만, 이것을 설계구간마다 계산하는 것은 비용이 많이 소요되고 경우에 따라서는 계획 노선까지도 포함해서 검토해야 할 경우가 많으므로 계산결과는 하나의 개략치에 불과하다.

이러한 이유 때문에 경험법으로 수격압을 계산하는 경우가 많으며 이는 실무면에서 효율적이라 할 수 있다. 그러나 경험법으로 구한 수격압의 값은 관수로 설계에 있어 수격압의 최대치를 산정하기 위한 것으로 이 값을 적용하여 설계한 관수로에 대해서는 원칙적으로 수치해법에 의해서 그 타당성을 확인해야 한다. 특히 중요한 관수로를 펌프송수 또는 밸브제어방식의 폐쇄식 관수로로 계획하는 경우에는 반드시 확인 검토를 해야 한다.

다) 수격압과 설계수압

관수로의 구조설계에서는 관에 작용하는 내압하중으로 설계수압을 사용하는데 설계수압은 정수압(송수방식에 따라 동수압을 쓸 때도 있다)에 수격압을 합하여 구한다. 관수로의 형식별 송수방식별로 설계수압을 예시한 것이 그림 4.11.43 ~ 48이다.

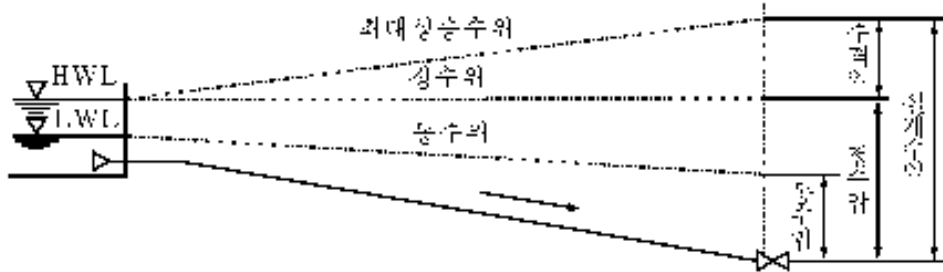


그림 4.11.43 자연압력식(폐쇄식, 반폐쇄식)

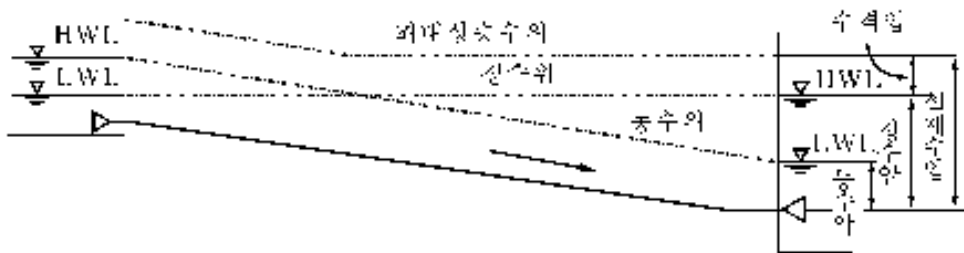


그림 4.11.44 자연압력식 (개방식)

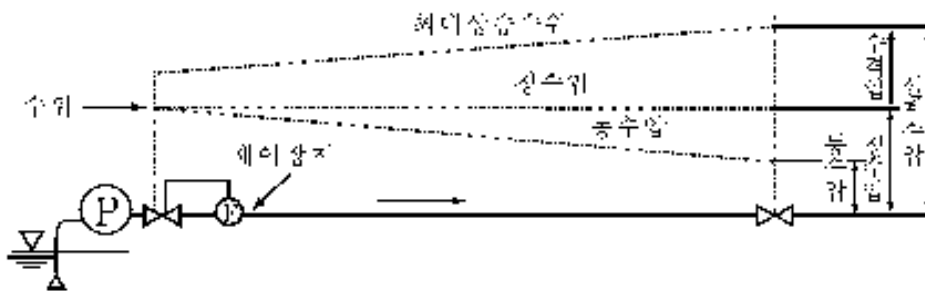


그림 4.11.45 직송식 (제어방식)

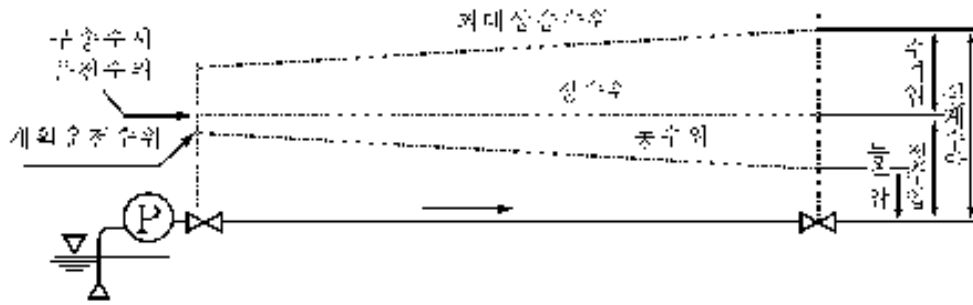


그림 4.11.46 직송식 (비제어방식)

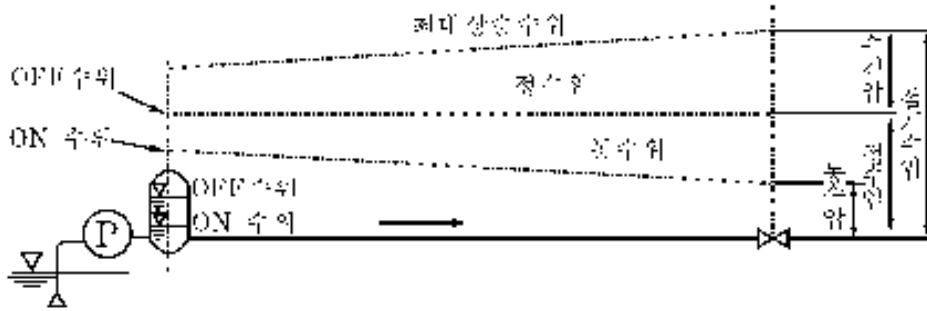


그림 4.11.47 압력수조식

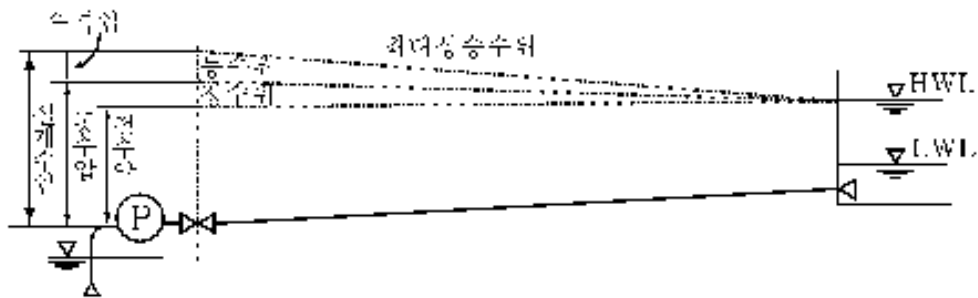


그림 4.11.48 배수조식(配水槽式)

2) 이론해석

가) 자연압력식

(1) 압력파의 전파속도

밸브 등을 폐쇄함으로써 발생하는 압력파는 어떤 속도를 가지고 관로내에 전파된다. 이 속도를 압력파의 전파속도라 하며 그 크기에 따라 수격파의 크기가 달라진다. 압력파의 전파속도는 관의 재질 등에 따라 다르며 다음 식으로 계산한다.

$$a = \sqrt{\frac{1}{\frac{w}{g} \left( \frac{1}{K} + \frac{D}{E} \cdot \frac{C_1}{e} \right)}} = \frac{1,425}{\sqrt{1 + \frac{K}{E} \cdot \frac{D}{e}}} \dots\dots\dots (4.11.66)$$

- 여기서,  $a$ : 압력파의 전파속도 (m/s)  
 $g$ : 중력가속도 (9.8 m/s<sup>2</sup>)  
 $w$ : 물의 단위중량 (9.8kN/m<sup>3</sup>)  
 $D$ : 관의 내경 (m)  
 $e$ : 관두께 (m)  
 $E$ : 관재료의 종방향 탄성계수 (표 4.11.7 참조) (kN/m<sup>2</sup>)  
 $K$ : 물의 체적탄성계수 (10°C일 때  $2.03 \times 10^6$  kN/m<sup>2</sup>)  
 $C_i$ : 관의 지지상황에 따른 계수 (보통 1.0으로 한다)

표 4.11.7 관재료의 탄성계수 (E)

( $\times 10^7$  kN/m<sup>2</sup>)

관 종	E	관 종	E
강 관	20.58	코어식 프리스트레스트콘크리트관	3.92
덕타일 주철관	15.68	경질염화비닐관	0.924
원심력철근콘크리트관	1.96	폴리에틸렌관	0.098
		강화플라스틱관	1.47

농업용관수로에서는 동일한 관로에서도 2~3종의 관종과 관경을 사용하는 경우가 많다. 따라서 이러한 경우에는 등가 전파속도를 구하여 이를 계산에 이용한다. 등가 전파속도는 다음 식으로 구한다.

$$a = \frac{\sum L_i}{\sum \left( \frac{L_i}{a_i} \right)} \dots\dots\dots (4.11.67)$$

- 여기서,  $a$ : 압력파의 등가전파속도 (m/s)  
 $a_i$ : 식 (4.11.66)으로 구한 압력파의 전파속도 (m/s)  
 $L_i$ :  $a_i$ 에 대응하는 관로의 길이 (m)

(2) 밸브의 등가 폐쇄시간

수격압의 크기는 밸브의 폐쇄시간에 따라 영향을 받는다. 밸브의 폐쇄시간은 밸브의 종류, 구경, 작용수압, 조작방법 등에 따라 다르므로 폐쇄시간에 대해서는 제품의 특성을 충분히 이해한 후 결정한다. 일반적으로 밸브의 유량특성(A-Q)은 밸브의 개방 정도에 대해 곡선으로 표시되나 수격 계산에 사용하는 밸브의 개폐시간은 밸브 개방 정도와 유량이 직선적으로 비례하는 것으로 하여 등가폐쇄시간을 구한다. 밸브의 등가폐쇄시간은 다음의 순서로 구한다.

(가) 밸브의 개도(開度)-유량곡선(A-Q곡선)을 작성한다.  
 개도-유량곡선은 관로를 밸브의 일부로 가정하고 밸브에 포함시켜 아래 식에 의해서 작성한다.

$$Q = 3.477D^2 \sqrt{\frac{H_a}{f_o + f_i + \sum f_b + f_v + \frac{n^2 L \cdot 2g}{\left(\frac{D}{4}\right)^{4/3}}} \dots\dots\dots (4.11.68)$$

- 여기서,  $Q$ : 유량 (m<sup>3</sup>/s)  
 $D$ : 관내경 (m)  
 $H_a$ : 상하수면의 수두차 (m)  
 $f_o$ : 유출손실계수  
 $f_i$ : 유입손실계수  
 $f_b$ : 만곡 및 굴절손실계수  
 $f_v$ : 밸브손실계수  
 $L$ : 관의 전체 길이 (m) (단, 관단면이 변화하는 경우에는 식 (4.11.69)로 산출한 등가길이를 사용한다)  
 $n$ : Manning 공식의 조도계수 (표 4.11.8 참조) (단, 마찰계수가 다른 관을 사용할 때는 식 (4.11.70)으로 구한 등가조도계수를 이용한다)

표 4.11.8 조도계수

관종	조도계수	관종	조도계수
철근콘크리트관	0.013	강관	0.012
코어식 프리스트레스트콘크리트관	0.013	경질염화비닐관	0.012
모르타르 라이닝주철관	0.013	폴리에틸렌관	0.012
덕타일 주철관	0.013	강화플라스틱복합관	0.012

$$L = L_1 + \frac{L_2 A_1}{A_2} + \frac{L_3 A_1}{A_3} + \dots\dots\dots + \frac{L_n A_1}{A_n} \dots\dots\dots (4.11.69)$$

- 여기서,  $L$ : 관 단면적을  $A_1$ 로 환산한 등가 관로의 길이 (m)  
 $L_j$ : 밸브에 근접한 최하류의 길이 (m)  
 $A_j$ : 관 길이  $L_j$ 에 대응하는 관 단면적 (m<sup>2</sup>)

$A_n$ : 관 길이  $L_n$ 에 대응하는 관 단면적 ( $m^2$ )

$$n = \frac{(n_1 L_1 + n_2 L_2 \cdots \cdots + n_n L_n)}{(L_1 + L_2 \cdots \cdots + L_n)} \quad \dots \dots \dots (4.11.70)$$

여기서,  $n$ : 등가조도계수  
 $L_n$ : 식 (4.11.69)에 따른 환산 관로 길이 (m)  
 $n_n$ :  $L_n$ 에 대응하는 관의 조도계수 (표 4.11.9 참조)

개도(開度)-유량곡선은 그림 4.11.49에서 보여주는 바와 같이  $Q/Q_0$ (임의개도유량/전개도유량)의 변화가 최대인 부분에 접선(TL<sub>1</sub>)을 그어  $Q/Q_0=1.0$ 인 수직선과의 교점(C<sub>1</sub>)을 찾아 그 점의 Y값을 구한다.

(나) 밸브의 개도(開度)-시간곡선(A-T곡선)을 작성한다.

개도-시간곡선은 밸브의 조작 속도를 일정하게 하여 작성한다. 그림 4.11.50에서 보여주는 바와 같이  $A/A_0$ (임의면적/전개면적)의 변화율이 최대인 부분에 접선(TL<sub>2</sub>)을 그어 접선과 X축과의 교점(C<sub>2</sub>)을 구하고, 그림 4.11.49에서 구한 교점의 Y값을 통과하는 X축과의 평행선(PL<sub>1</sub>)을 그어 위의 접선과의 교점(C<sub>3</sub>)을 구한다. 이 두 교점(C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>)의 X값을 찾아 그 차를 등가 폐쇄시간(T<sub>v</sub>)이라 한다. 따라서 밸브의 모든 조작시간에 대하여 등가 폐쇄시간과 임의 조작시간비(T<sub>v</sub>/T<sub>m</sub>)를 구하여 놓으면 밸브의 조작시간을 변화시켜도 등가 폐쇄시간을 용이하게 구할 수 있다.

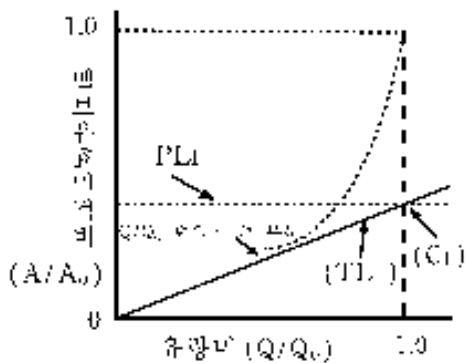


그림 4.11.49 개도 - 유량곡선

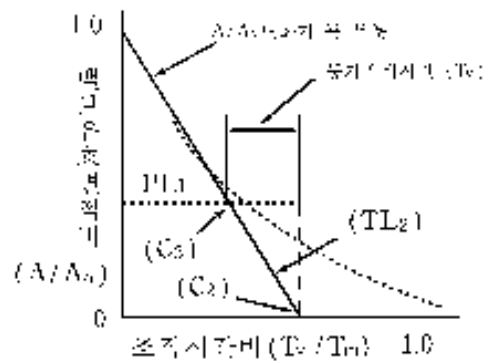


그림 4.11.50 개도 - 시간곡선

### (3) 수격압의 개념

자연압력식 관수로의 수격압을 이론적으로 보면 그림 4.11.51과 같다. 이 그림에서 수조의 HWL을 기준으로 밸브에 작용하는 정수두에 수격수압을 합하여 수조내의

HWL과 연결한 선이 밸브폐쇄로 인한 최대 상승수두이며, 이 선을 HWL선을 중심으로 반전시킨 선이 밸브개방에 따른 최대강하수두이다.

밸브의 조작변화에 따른 수격압의 개념은 그림 4.11.51과 같다. 따라서 농업용관수로에서는 밸브를 급폐쇄하는 것이 좋지 않으며, 그림 4.11.51③과 같이 서서히 밸브를 조작하는 것이 좋다.

(가) 순간폐쇄 및 급폐쇄의 경우 ( $0 \leq T_v \leq 2L/a$ )

밸브조작시간( $T_v$ )이 밸브의 폐쇄로 생긴 압력파가 수조에 도달한 다음 그 반사파가 밸브로 되돌아올 때까지의 시간( $2L/a$ ) 이내에 완료되는 경우가 이에 해당하며 이때의 최대수격압은 Joukowsky의 식 (4.11.71)로 구한다.

$$H_{\max} = \frac{a(V_1 - V_2)}{g} \dots\dots\dots (4.11.71)$$

여기서,  $H_{\max}$ : 밸브점의 최대수격압수두 (m)

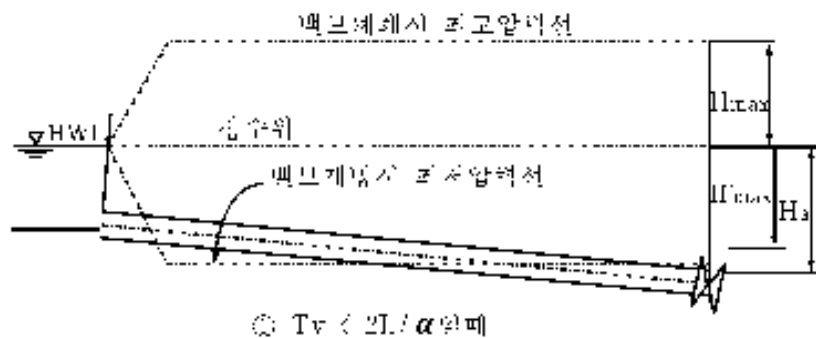
$a$ : 압력파의 전파속도 (식 (4.11.66) 참조)

$V_1$ : 밸브조작전의 관내 평균유속 (m/s)

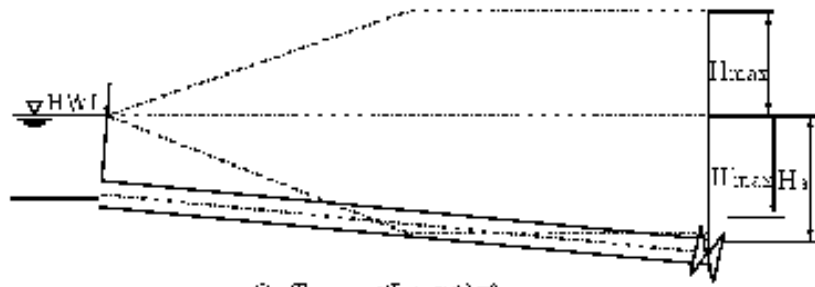
$V_2$ : 밸브조작후의 관내평균유속 (m/s)

$g$ : 중력가속도 (m/s)

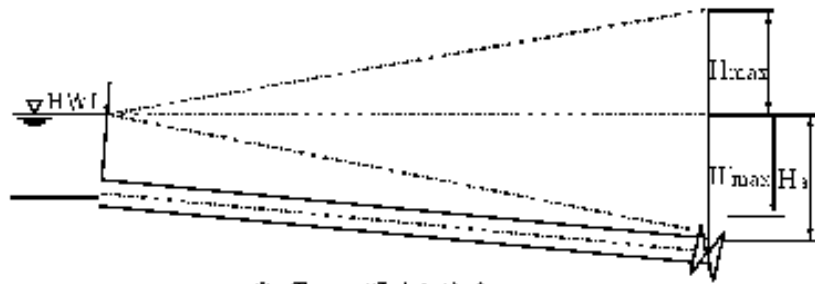
단, 유속이 서로 다른 구간에서  $V_1, V_2$ 는 식 (4.11.72)로 계산한 등가유속을 사용한다.







⊗:  $T_v = 2L/a$ 일때



⊗:  $T_v > 2L/a$ 일때

그림 4.11.51 수격압의 개념

$$V = \frac{L_1 V_1 + L_2 V_2 + \dots + L_n V_n}{L_1 + L_2 + \dots + L_n} \quad \dots \dots \dots (4.11.72)$$

여기서,  $V$ : 등가유속 (m/s)  
 $V_n$ :  $L_n$ 에 대응한 관내유속 (m/s)  
 $L_n$ :  $V_n$ 에 대응한 관로길이 (m)

한편 밸브 급폐쇄시 밸브 전체를 폐쇄하는 경우에는 식 (4.11.71)의  $V_2$ 는 0으로 한다.

(나) 완폐쇄( $T_v > 2L/a$ )의 경우  
 밸브 조작시간이 압력파의 왕복시간보다 긴 경우에는 수격압을 Allievi의 개략식인 식 (4.11.73)으로 구한다.

$$\frac{H_{\max}}{H_a} = \frac{K_1}{2} + \sqrt{K_1 + \frac{K_1^2}{4}} \quad \dots \dots \dots (4.11.73)$$

$$K_1 = \left\{ \frac{L \cdot (V_1 - V_2)}{g \cdot H_a \cdot T_v} \right\}^2$$

여기서,  $H_{max}$ : 밸브점의 최대수격수두 (m)  
 $H_a$ : 밸브에 작용하는 정수두 (m)  
 $L$ : 관로의 길이 (m)  
 $V_i$ : 밸브조작전의 관내평균유속 (m/s)  
 $V_2$ : 밸브조작후의 관내평균유속 (m/s)  
 $g$ : 중력가속도 (m/s)  
 $T_v$ : 밸브의 등가폐쇄시간 (s)  
 단,  $T_v > L/300$

밸브를 개방하는 경우의 최대 강하수두도 위와 같은 이유에서 식 (4.11.74)와 같다.

$$\frac{H_{max}}{H_a} = \frac{K_1}{2} - \frac{\sqrt{K_1 + K_1^2}}{4} \dots\dots\dots (4.11.74)$$

Allievi의 계산식은  $T_v > L/300$ 인 조건에 한해 사용할 수 있으며,  $T_v \leq L/300$ 인 경우에 대해서는 Quick의 도표로부터 수격압을 구한다 (그림 4.11.52 참조).

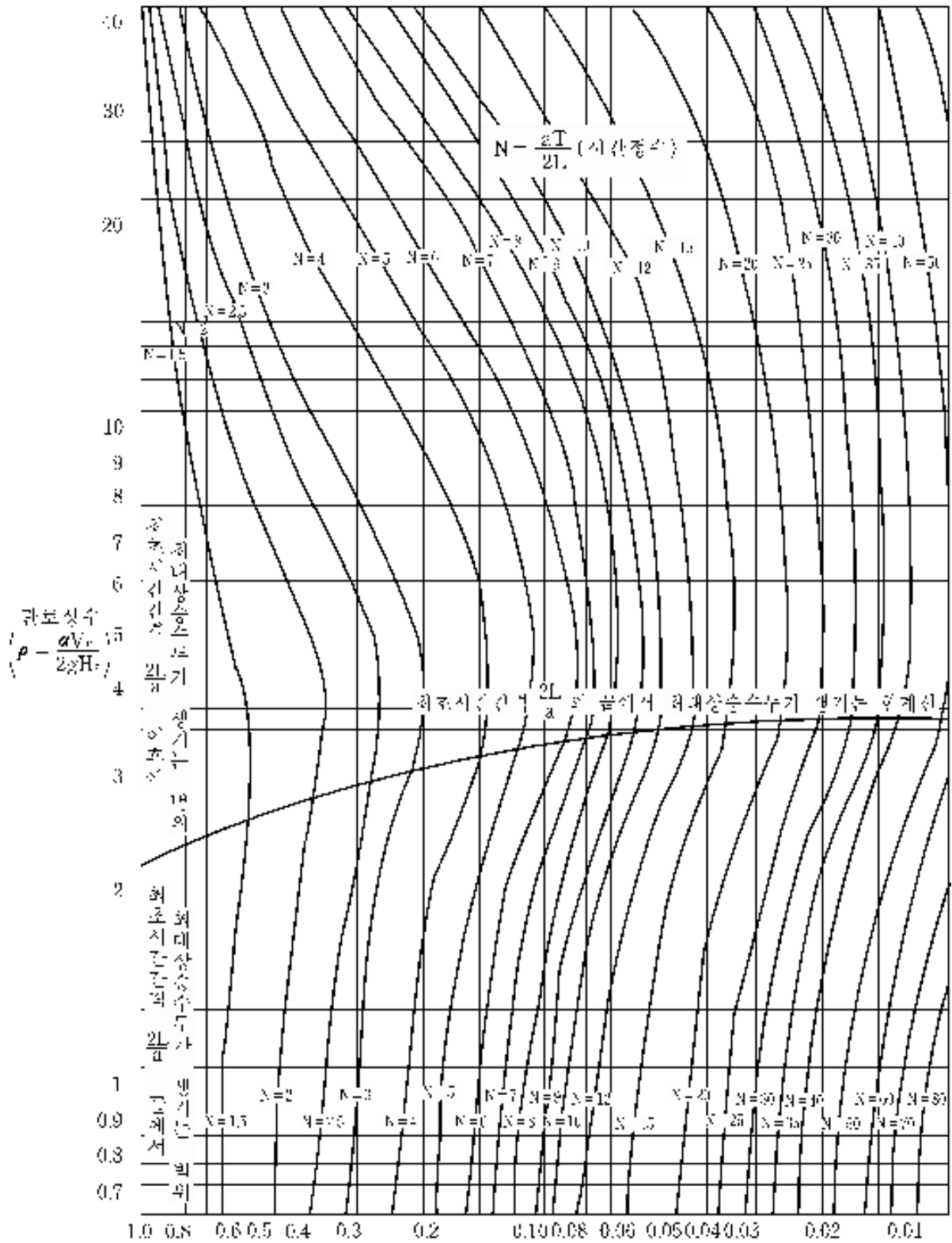
그림 4.11.52는  $\rho$ 와  $K$ 의 관계를  $N$ 을 매개변수로 해서 표시한 것이며,  $\rho$ ,  $K$ ,  $N$ 은 다음 식으로 구한다.

$$\rho = \frac{a V_0}{2 g H_a} \dots\dots\dots (4.11.75)$$

여기서,  $\rho$ : 관로상수  
 $a$ : 압력파의 전파속도 (m/s)  
 $V_0$ : 밸브 폐쇄전의 관내 평균유속 (m/s)  
 $H_a$ : 밸브에 작용하는 정수두 (m)

$$K = \frac{g H_{max}}{a V_0} \dots\dots\dots (4.11.76)$$

여기서,  $K$ : 수격압계수  
 $H_{max}$ : 최대수격압 (m)



$$\text{수격압계수 } (K = \frac{H_{\max}}{H_a} \cdot \frac{1}{2\rho} = \frac{g H_{\max}}{a V_o})$$

그림 4.11.52 Ray S. Quick의 수격압선도

$$N = \frac{a T_v}{2L} \dots\dots\dots (4.11.77)$$

여기서,  $N$ : 시간정수  
 $T_v$ : 밸브의 등가폐쇄시간 (s)  
 $L$ : 관로길이 (m)

Allievi식과 Quick식의 적용조건은 그 한계가 명확한 것은 아니나 대체적으로  $T_v \leq L/300$  또는  $\rho > 10$ 일 때는 Quick식을  $T_v > L/300$  또는  $\rho < 1$ 인 때는 Allievi 식을 적용하며  $1 < \rho < 10$ 인 조건에서는  $T_v$ 의 조건으로부터 적용식을 선정한다.

나) 펌프압력식

펌프압력식 관수로의 수격압은 J. Parmakian의 도표를 확대 개량한 간이계산도표를 사용해서 계산하는 것이 좋으나 펌프의 송수형태에 따라서 자연압력식의 경우와 동일한 방법으로 계산할 수도 있다. 세부사항은 「농업생산기반정비사업 계획설계기준 양배수장」편을 참조한다.

3) 수치해법

경험법으로 수격압을 결정해서 계산한 관수로 또는 이론식으로 수격압을 추정하기 어려운 복잡한 관수로 가운데 중요한 관수로조직 부분에 대해서는 수치해법으로 수격압을 분석하는 것이 좋으며, 경험법으로 분석한 수격압의 크기와 비교해 보는 것이 좋다. 즉 수치해법에 의한 수격압의 크기가 경험법으로 구한 수격압보다 크면 경험법으로 결정한 수격압을 재검토해야 한다. 수치해법으로 분석해야 할 관수로는 다음과 같다.

가) 폐쇄식 관수로

송수계와 배수계를 일체 조직으로 한 대규모의 폐쇄식 관수로에 대해서는 수치해법으로 해석하는 것이 좋다.

나) 펌프압력식 관수로

규모가 비교적 큰 펌프압력식 관수로는 시설의 안전상 수치해석을 하는 것이 좋다. 특히 서지탱크의 설치가 필요한 경우 또는 플라이휠(flywheel) 등으로 부압에 대비하는 경우는 안전성을 고려하여 시설이 그 기능을 충분히 발휘할 수 있는지 확인하는 것이 좋다.

다) 감압시설, 유량조정 시설을 갖는 관수로

반폐쇄식 관수로와 같이 관로-수조-관로의 조직으로 이루어진 관수로에 대해서는 유량제어밸브의 소요기능 발휘여부, 과대수격압의 발생 유무, 수조 등의 용량 부족으로 인한 관로중의 공기 혼입여부 등을 수치해석에 의해서 확인하는 것이 좋다. 수치해법은 보통 컴퓨터를 사용해서 분석 대상의 관수로를 수리모델로 표현하여 부정류

해법에 의해서 분석한다.

#### 4) 수격압 대책

##### 가) 자연압력식

자연압력식에 의한 수격압 대책은 주로 밸브형식을 적절히 선정하거나 조작시간을 길게 하는 방법이 있으며, 이를 예시하면 다음과 같다.

- (1) 밸브 조작시간을 압력파의 관내 왕복시간의 수배 이상이 되도록 하면 수격압 크기를 감소시킬 수 있다.
- (2) 인위적으로 조작하는 밸브는 예정된 조작시간으로 밸브를 조작하기가 곤란하므로 이상압력을 피하기 위해서는 안전밸브(압력 완화 밸브) 등을 설치하는 것이 좋다.
- (3) 주밸브에 부밸브를 설치하여 이를 조작함으로써 수격압을 경감하는 방법도 검토하는 것이 좋다.

##### 나) 펌프압력식

자연압력식의 관수로에서는 밸브 조작시간을 조절함으로써 수격압을 조절할 수 있는데 비하여 펌프압력식에서는 정전사고 등의 원인에 의해서 펌프가 급정지하는 사례가 있기 때문에 수격압 그 자체의 조절이 매우 어렵다. 그러므로 펌프압력식 관수로에서는 수격압을 조절하기보다는 수격압을 방지할 수 있도록 하여야 한다. 펌프압력식 관수로의 수격압 방지대책은 그 주된 목적이 부압방지 또는 승압방지 등에 따라 대책이 달라진다. 표 4.11.9 및 표 4.11.10은 펌프압력식 관수로의 수격압 경감방법을 표시한 것이다. 대책방법의 채택에 있어서는 관수로의 규모, 노선위치, 발생 수격압의 크기 등 제조건을 고려하여 가장 효과적인 방법을 채택하는 것이 좋다.

표 4.11.9 부압 방지 대책

목적	항	방 법	효 과	비 고
부압 (수주 분리) 의 방지	1	플라이휠을 부착시킨다.	회전관성력(GD <sup>2</sup> )을 증대시켜 회전수와 관내유속을 서서히 변화시킨다.	소형기계에 대해서는 효과적이나 대형기계 또는 관 길이가 긴 것에 대해서는 플라이휠이 과대하게 되므로 부적합하다.
	2	대용량의 공기조를 설치한다 (펌프 배출측에 접속).	축적한 압력에너지를 방출하여 압력저하를 방지한다.	공기조가 크게 되므로 유지관리가 어렵다.
	3	관경을 크게 한다.	관내유속을 낮추고 $2\rho(\rho$ : 관로 상수)를 작게 하여 수압저하를 방지한다.	관 연장의 거의 모든 부분에 대해서 관경을 크게 해야 효과가 있으므로 공사비가 비싸다.
	4	관로를 변경한다.	관로의 종단방향 심도를 가능한 깊게 한다.	용지 또는 비용상의 제약 때문에 실시가 어려울 때가 있다.
	5	흡기 밸브를 설치한다.	부압 발생지점에서 공기를 자동적으로 흡입시켜 이상부압을 감량한다. 압력 전파속도(a)도 작아진다.	공기흡입 지점보다 하류수가 자연유하로 된 경우에는 안전하지만 그 이외의 경우는 흡입공기 때문에 오히려 수격현상이 발생한다.
	6	흡수조와 배출관 사이에 자동개폐밸브를 설치한다.	흡수조의 물을 자동적으로 빨아올려 이상 압력강하를 방지한다.	관로의 고저 상황에 따라서 효과가 없을 때도 있다.
	7	원웨이 서지탱크(one-way surge tank, discharge tank)를 설치한다.	부압 발생지점에 물을 압입시켜 압력의 이상 저하를 방지한다.	고양정 펌프압력식에서도 높이가 낮은 탱크를 설치할 수 있으며, 관로에 복수(複數) 탱크를 설치해도 좋다.
	8	보통 서지 탱크(surge tank)를 설치한다.	부압 발생지점에 물을 압입시켜 압력을 경감하고 압력상승도 흡수한다.	송수중의 관내압력이 큰 경우에는 탱크의 높이가 커져 공사비가 비싸지나 효과는 높다. 서지탱크의 하류에서는 수격이 발생하지 않으며 펌프와 탱크 사이만을 고려하면 된다.
	9	디젤기관으로 구동하는 경우에는 고장이 발생할 때 자동적으로 속도를 제어하면서 정지한다.	연료 차단시 기계의 급정지로 인한 부압발생을 방지하기 위해 조절에 유의한다.	기계의 보호 및 자동장치를 마련해 둘 필요가 있다.

표 4.11.10 상승압의 방지대책

목적	항	방 법	효 과	비 고
상 승 압 의 방 지	1	체크밸브 또는 바이패스 밸브를 자동완폐(緩閉)하거나 물이나 기름을 사용하는 dash pot 혹은 액압(液壓)조작의 바이패스밸브를 사용한다.	체크밸브의 급폐쇄 지연으로 압력상승을 방지한다.	소형펌프는 체크밸브를 완폐하고 중형이상은 체크밸브에 큰 바이패스밸브를 설치해서 이것을 자동 완폐한다.
	2	안전밸브를 사용한다.	계획압력보다 상승하면 안전밸브가 열려 이상압력 상승을 방지한다.	관로가 짧고 압력 주기가 짧은 것은 안전밸브의 동작지연 때문에 효과가 낮다.
	3	급폐쇄식 체크밸브(스모렌스키형 등)을 사용한다.	폐쇄지연으로 인한 부가적 압력상승을 방지한다.	스프링이 부착된 것이 많으며 밸브저항이 커서 소요 전양정을 계산할 때는 주의해야 하고, 소형펌프에 적합하다.
	4	주(主)배출밸브의 자동폐쇄, 체크밸브가 없이 슬루스밸브, 버터플라이밸브, 로터리밸브 등을 유압과 수압으로 자동완폐(緩閉)한다.	체크밸브 없이 상승압력을 방지한다.	고양정 대용량 펌프에 적합하다.
	5	체크밸브, 풋밸브(foot valve)를 폐쇄하여 배출관로의 물을 전부 역류시키며 동시에 흡입관로의 물이 역류하는 것을 방지한다.	가장 간단한 방법으로 압력상승을 방지한다.	관로 길이에 비하여 배수조의 수용량에 여유가 없으면 물이 넘칠 우려가 있다.
	6	자동 방류밸브를 사용한다.	펌프의 동력 차단과 동시에 방류밸브를 급개방하여 배출측으로부터 외부로 방류한다. 체크밸브가 폐쇄된 후 자동적으로 완폐(緩閉)되어 압력상승을 방지한다.	고양정 펌프에 적합하지만 부압이 발생하지 않는 계통에 한정된다.

#### 4.11.4 관수로 구조설계

관수로에 작용하는 하중은 복합적이고 중복될 수 있으므로 하중을 조합(組合)하여 적용해야하고 관수로의 종방향 및 횡방향의 구조계산을 시행하여 관이 구조적으로 안전하게 설계해야 한다. 경사지에 관수로를 설치할 경우에는 별도로 안전 여부를 검토해야 한다.

##### 가. 일반사항

###### 1) 매설깊이

매설깊이란 관정(管頂)에서 매설토의 표면까지의 깊이를 말하며 경운작업과의 관계, 관수로 횡단시설 등의 상황, 토질 등을 고려해서 결정한다. 매설깊이는 다음에서 구한 깊이보다 항상 크게 하는 것이 좋다.

###### 가) 도로

도로 밑에 매설하는 경우에는 도로관리자와 협의하여 결정하되 최소매설깊이는 다음과 같다.

(1) 공도(公道): 1.2m 이상

(2) 농도 또는 사도(私道): 관경 450mm 이하: 1.0m 이상  
관경 500mm 이상: 1.2m 이상

###### 나) 궤도

궤도 밑에 매설하는 경우는 궤도 관리자와 협의하여 결정한다.

###### 다) 하천

하천 밑에 매설하는 경우는 하천 관리자와 협의하여 결정하되 보통 2.0m 이상으로 한다.

###### 라) 경작지

경작지에 매설하는 경우의 최소 매설깊이는 경작상황, 관의 포설상황 등을 고려하여 관경이 100~2,000mm일 경우에는 경작토 깊이에 0.6m를 가산하여 결정한다.

###### 마) 산림지

산림지에서 매설하는 경우의 최소 매설깊이는 관경이 100mm 이상이면 0.6m를 표준으로 한다.



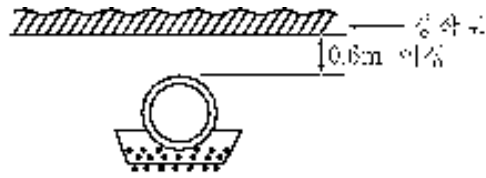


그림 4.11.53 경작지에 매설하는 경우

바) 동결깊이

한랭지에 있어서 매설깊이는 동결깊이 이상으로 한다. 동결깊이는 식 (4.11.78)로 구한다.

$$z = c\sqrt{F} \quad \dots\dots\dots (4.11.78)$$

여기서,  $z$ : 동결깊이 (cm)

$c$ : 정수 (3 ~ 5로 한다)

$F$ : 동결지수 (°C. 일)

사) 부상(浮上)방지

부상(浮上)에 대한 검사는 식 (4.11.79)를 적용한다.

$$H \geq \frac{\pi \cdot D_c}{4} \cdot \frac{S \cdot w_o - \{1 - (D/D_c)^2\} \cdot r_p}{w - w_o} \quad \dots\dots\dots (4.11.79)$$

여기서,  $H$ : 관로가 부상하지 않기 위한 최소 매설깊이 (m)

$D$ : 관의 내경 (m)

$D_c$ : 관의 외경 (m)

$S$ : 안전율 (1.2로 한다)

$r_p$ : 관재료의 단위체적중량 (kN/m<sup>3</sup>)

$w_o$ : 물의 단위중량 (kN/m<sup>3</sup>)

$w$ : 되메움 흙의 포화단위중량 (kN/m<sup>3</sup>)

식 (4.11.79)는 지표면까지 지하수로 포화된 경우이다. 한편 피압 지하수나 용출수 등이 예상되는 곳에서는 배수대책과 아울러 충분한 검토가 필요하다.

## 2) 작용 하중

### 가) 하중의 종류와 조합

관수로의 구조설계에 필요한 하중의 종류는 토압, 노면하중, 궤도하중, 관의 자중, 관내 물 중량, 기초반력, 내수압, 기타하중 등이 있다.

매설한 관체에 작용하는 하중은 지형, 지반의 상태, 기초의 구조, 횡단시설의 상태, 관수로의 수리조건이나 사용조건, 사용하는 관의 종류, 관경, 이음의 구조 및 시공방법 등에 따라 합리적으로 결정해야 한다. 또한 관내수압 이외의 하중은 관단면에 휨모멘트를 발생시키며 관단면 전체에 인장력을 발생시키는 내수압과는 성격이 다르므로 이들을 총칭하여 외압이라 하고, 관에 작용하는 내수압(정수압+수격압)을 설계수압 또는 설계내압이라 한다.

이와 같이 매설관체에 작용하는 하중은 다양하며 어느 하중 하나만 작용하는 것이 아니고 여러 하중이 동시에 작용할 수 있으므로 관체의 구조계산을 위해서는 반드시 하중을 조합하여 검토해야 한다 (표 4.11.11 참조).

### 나) 토 압

#### (1) 관체의 매설형태

관체의 매설형태는 그림 4.11.54와 같이 도랑형, 돌출형, 역돌출형 및 널말뚝 시공형의 4종으로 구분할 수 있으며, 관체 매설상태는 그림 4.11.55와 같다.

표 4.11.11 구조계산을 위한 하중의 조합

하 중		강 성 관		연 성 관			
		구조 계산		응력 계산		변형량 계산	
		평상시	시공시 <sup>1)</sup>	평상시	시공시 <sup>2)</sup>	평상시	시공시 <sup>1)</sup>
토 압	연직하중	○	○	○	○	○	○
	수평하중	○	○	○	○	※	※
노면 하중	연직하중	○	-	○	-	○	-
	수평하중	-	-	○	-	※	-
상재 하중	연직하중	○	-	○	-	○	-
	수평하중	○	-	○	-	※	-
불도저하중	연직하중	-	○	-	○	-	○
	수평하중	-	-	-	○	-	※
관체자중	연직하중	△	△	○	○	○	○
	수평하중	-	-	○	○	※	※
관내물중량	연직하중	○	-	○	-	○	-
	수평하중	-	-	○	-	※	-
기초 반력	연직하중	○	○	○	○	-	-
	수평하중	○	-	○	-	-	-
내수 압	전체방향	○	-	○	-	-	-

- 주) 1) 강성관 시공시의 구조계산에서 안전율은 파괴하중일 때 1.33, 균열하중일 때 1.0으로 한다.  
 2) 연성관 시공시의 구조계산에서 관체의 허용응력은 평상시의 50% 할증 또는 항복점하중 중에서 작은 값으로 한다. 또 보통 시공시의 조건으로 관종이 선정되지 않도록 시공방법 등을 검토하면 좋다.  
 3) 관지름 및 기초의 상태가 다음과 같은 경우는 수평하중을 무시한다.  
 - 강성관: 지름 600mm 이하, 지지각 180° 이상의 고정지지  
 - 연성관: 관지름 250mm 이하의 강관, 덕타일 주철관, 강화플라스틱복합관, 관지름 125mm 이하의 경질 염화비닐관, 폴리에틸렌관, 지지각 180° 이상의 고정지지  
 4) 강성관의 최대휨모멘트를 계산할 때 관체자중의 요소가 Pc 및 Hc의 값중에 포함되어 있어 가산할 필요가 없으므로 △로 표기하였다. 또한 강화플라스틱복합관도 같다.  
 5) ※는 연성관의 변형량 계산에서 수평하중이 고려되고 있다는 것을 말한다.

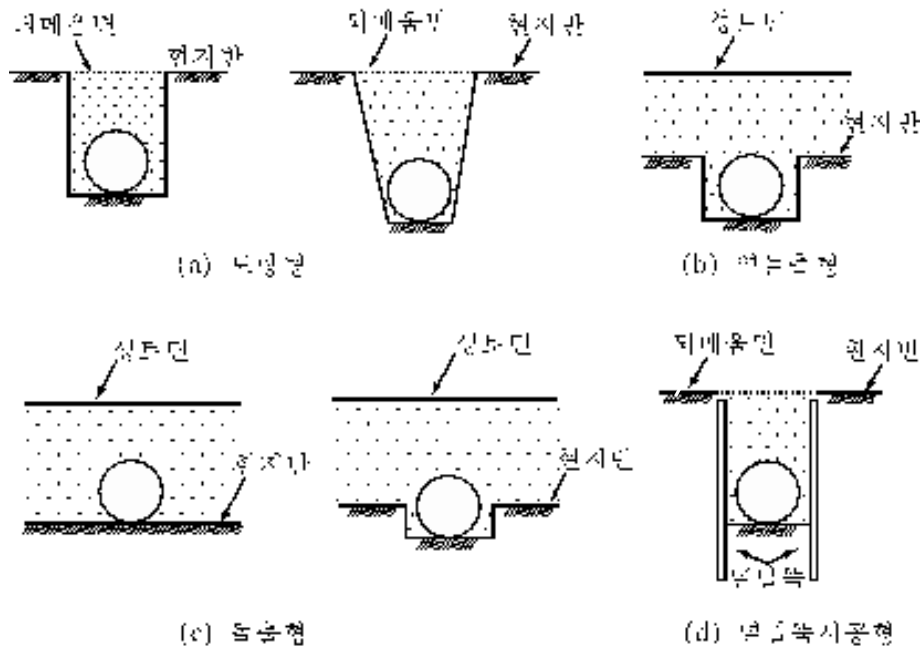


그림 4.11.54 관체 매설형태의 구분

(2) 토압분포

관체에 작용하는 토압분포는 그림 4.11.56과 같이 분류한다.

- (가) 연직토압은 관체 겉지름을 정부(頂部)에서 투영한 범위에 균등하게 분포되는 것으로 가정한다.
- (나) 기초의 반력은 기초의 지지각  $2\theta$ 안의 기초면에 균등하게 분포되는 것으로 가정한다.
- (다) 강성관 측면의 수평토압은 주동토압만을 고려하여 사다리꼴 분포로 가정한다.
- (라) 연성관 측면의 수평토압은 관측중앙을 최대로 하는 관체 중심각  $100^\circ$ 사이에서 포물선형의 수동토압으로 가정한다.

한편 그림 4.11.56에서 관지름이 작을 경우 수평토압을 무시하는 것은 수평토압은 안전측으로 작용하므로 무시해도 관구조 계산에 별차이가 없기 때문이다.

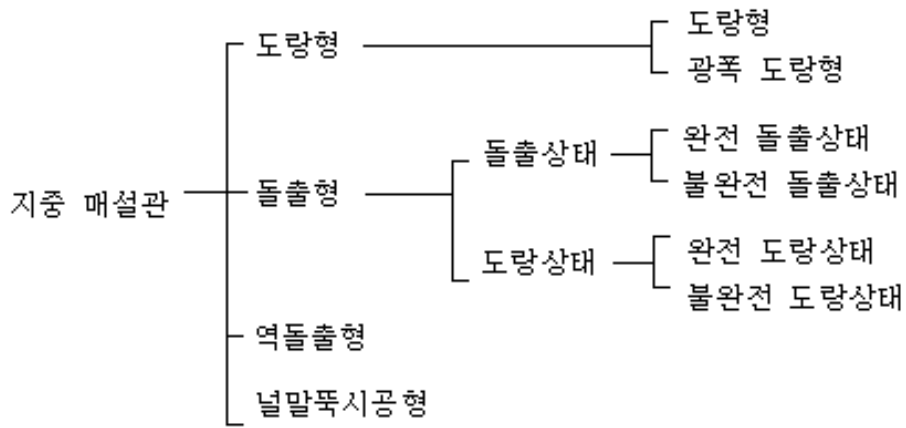


그림 4.11.55 관체 매설상태

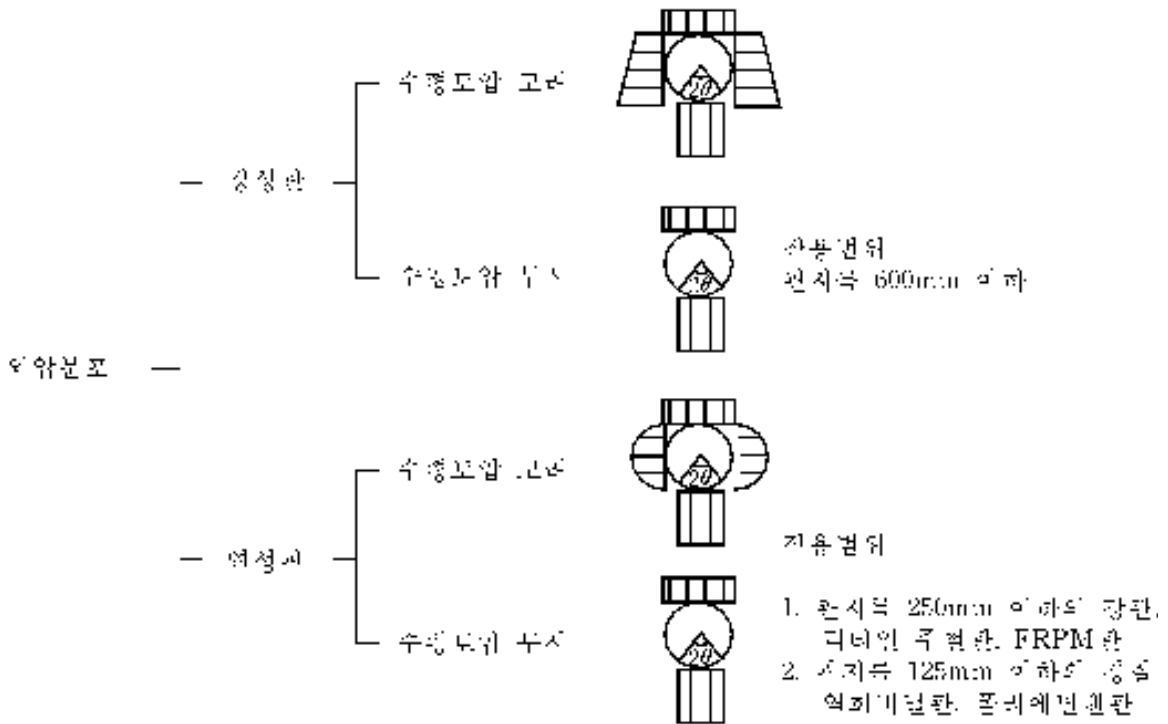


그림 4.11.56 관체에 작용하는 외압분포

다) 노면하중

노면하중에는 균중하중과 차량하중을 고려한다. 일반적으로 강성관에서는 수평하중을 고려하지 않으며, 연성관에서도 소구경관(강관, 덕타일 주철관, 강화 플라스틱관은

250mm 이하, 경질염화비닐관, 폴리에틸렌관은 125mm 이하) 및 지지각 180° 이상 고정지지의 경우는 수평하중을 고려하지 않는다.

(1) 균중하중에 의한 연직하중

균중하중에 의하여 관체 정부에 작용하는 연직하중은 다음 값을 표준으로 한다.

- 노면에 대형자동차가 들어갈 경우  $W_m=0.49\text{N/cm}^2(=0.05\text{kgf/cm}^2)$
- 대형자동차가 들어가지 않는 경작도  $W_m=0.294\text{N/cm}^2(=0.03\text{kgf/cm}^2)$
- 국도, 지방도 등의 보도  $W_m=0.49\text{N/cm}^2(=0.05\text{kgf/cm}^2)$

(2) 자동차하중에 의한 연직하중

자동차하중의 형상 및 배치는 그림 4.11.57과 같으며, 자동차하중에 의한 연직하중은 식 (4.11.80)을 이용하여 구한다.

$$W_w = aP_o(1 + i) \quad \dots\dots\dots (4.11.80)$$

여기서  $W_w$ : 트럭 후륜하중에 의하여 관체 정부(頂部)에 작용하는 연직하중 (kN/cm<sup>2</sup>)

$a$ : 트럭하중에 의한 연직 하중계수 (cm<sup>-2</sup>) (그림 4.11.58 참조)

$P_o$ : 트럭의 후륜하중 (kN), (표 4.11.12참조)

$i$ : 충격계수, (표 4.11.13 참조)

표 4.11.12 DB 하중 및 치수

하 중 (W)	총하중 1.8W (kN)	전륜하중 0.1W (kN)	후륜하중 0.4W (kN)	전 륜 륜대폭 b <sub>1</sub> (cm)	후 륜 륜대폭 b <sub>2</sub> (cm)	차 륜 접지폭 a (cm)
DB 24	423.36	23.52	94.08	12.5	50	20
DB 18	317.52	17.64	70.56	12.5	50	20
DB 13.5	238.14	13.23	52.92	12.5	50	20

표 4.11.13 차량의 충격계수 (트럭하중)  $i$

도로 상태		피복두께 H (m)		
		1.5 미만	1.5 ~ 2.5 미만	2.5 이상
비포장도로 (자갈도 포함)		0.4	0.3	0.2
콘크리트 및 아스팔트 포장도		0.3	0.2	0.1
간이 포장	표층두께 4cm 이상	0.3	0.2	0.1
	표층두께 4cm 미만	0.4	0.3	0.2

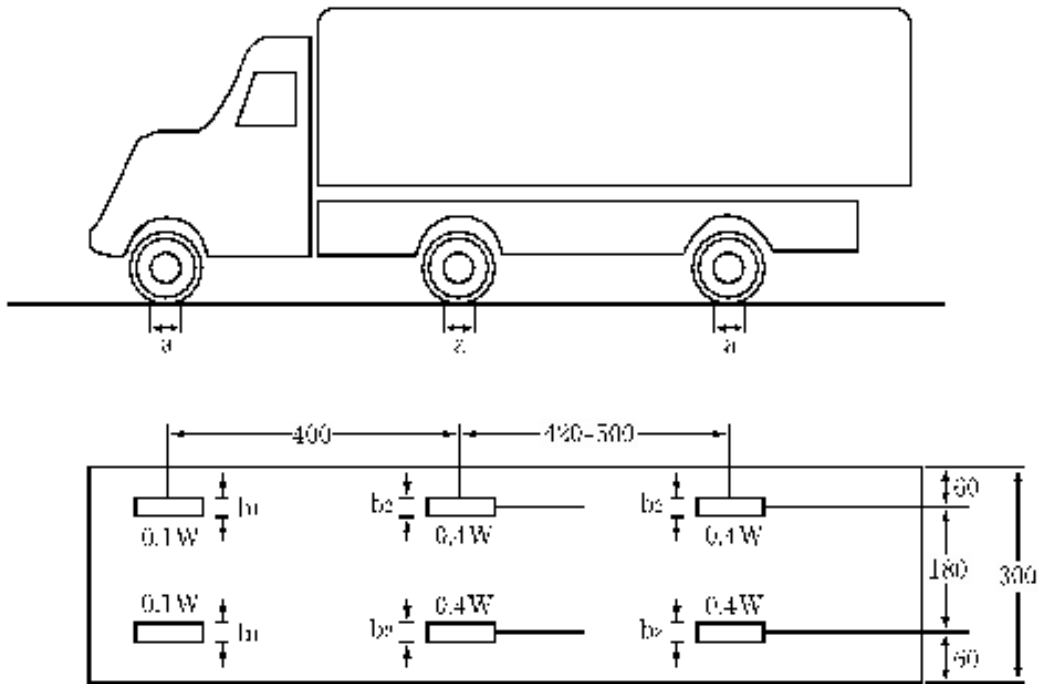


그림 4.11.57 자동차 하중

(3) 노면하중에 의한 수평하중

노면하중에 의한 수평하중은 일반적으로 지름이 큰 연성관에 대하여 고려하며 다른 관은 생략하고 있다. 연성관은 수평하중이 관측면을 중심으로 100°사이를 포물선 형태로 분포하는 것으로 하여 구한다.

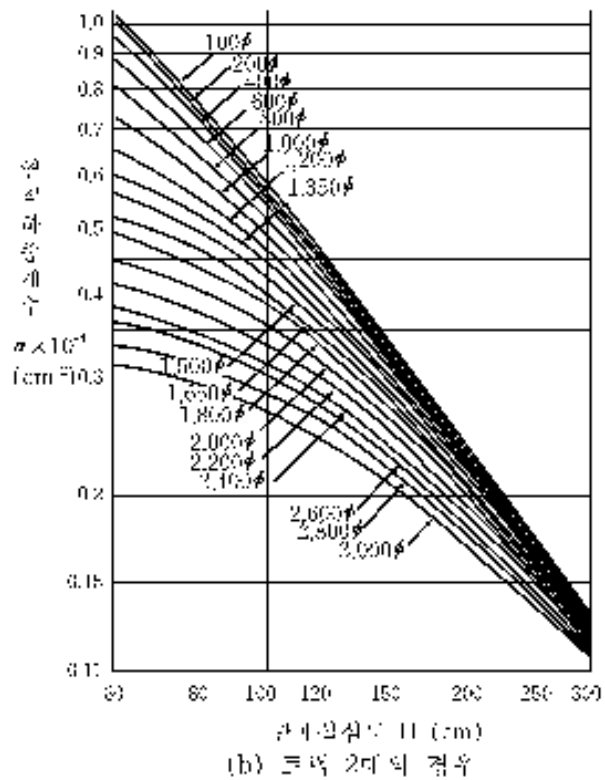
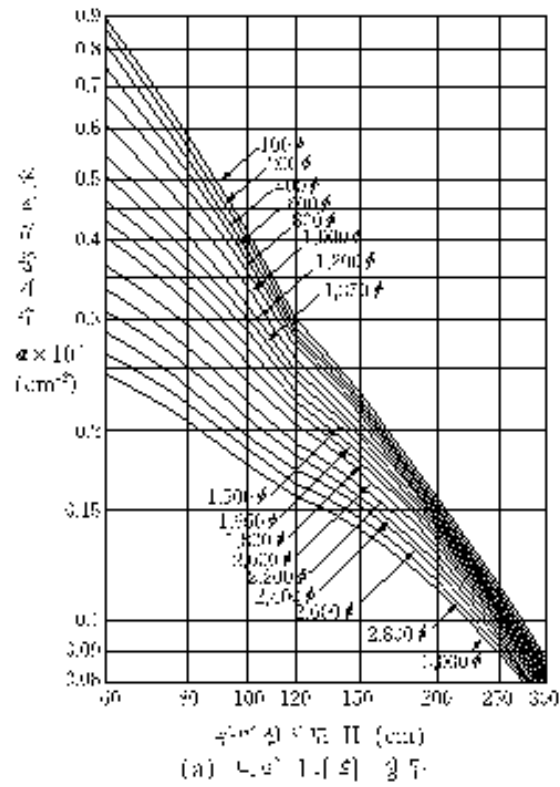




그림 4.11.58 트럭하중에 의한 연직하중계수

라) 기타 상재하중

(1) 상재하중

매설관 위에 작용하는 상재하중에 의한 연직하중은 흙의 높이로 환산하여 토피(土被)에 가산하여 계산한다.

(2) 불도저하중

매설관위에 작용하는 불도저하중에 의하여 관체에 작용하는 연직하중 강도는 다음 식을 기본으로 하여 그림 4.11.59와 같이 3가지 식으로 구분된다. 수평하중은 노면하중에 의한 수평하중과 동일하게 계산한다.

$$W_B = n \cdot q_B (1 + i) \left( \frac{b}{b + 2H \tan \theta} \right) \dots\dots\dots (4.11.81)$$

여기서,  $W_B$ : 불도저에 의한 연직하중 강도 (N/cm<sup>2</sup>)

$n$ : 작용하는 캐터필러 수 (한쪽만 작용할 경우 1, 양쪽이 작용할 경우 2)

$q_B$ : 불도저의 접지압 (N/cm<sup>2</sup>) (표 4.11.14 참조)

$i$ : 충격계수 (표 4.11.13 참조)

$b$ : 캐터필러의 폭 (cm)

$H$ : 노면에서 관체 정부까지의 심도 (cm)

$\theta$ : 지중의 하중분포각 (°) (보통 45°)

표 4.11.15 불도저의 제원

불도저 규격	접지압 $q_B$ (N/cm <sup>2</sup> )	캐터필러 폭 $b$ (cm)	캐터필러 간격 $L$ (cm)	비고
4t급	1.568	71	154	- 규격분류는 가능한 한 표 준품셈 준용 - 충격계수 보통지반: $i = 0$ 연약지반: $i = 0.2$ - 4t급, 13t급은 습지용
7t급	4.508	40	133	
10t급	4.508	45	153	
12t급	5.782	46	188	
13t급	2.548	91	213	
20t급	6.664	56	198	
32t급	8.036	61	213	

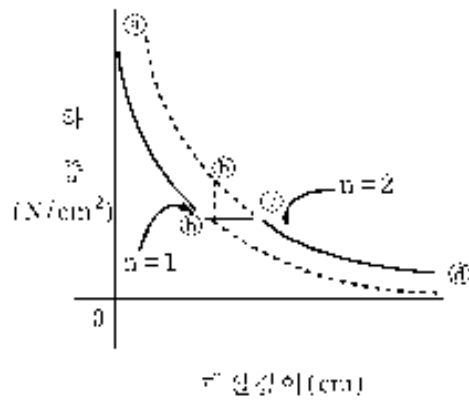


그림 4.11.59 매설 깊이에 따른 불도저 연직 하중

(3) 설하중(雪荷重)

설하중을 노면에서 자동차하중과 같이 고려할 경우는  $0.098\text{N/cm}^2$ 로 한다. 설하중만의 경우에 있어서 다설지역에서는 적설높이 1m당  $0.294\text{N/cm}^2$ , 기타지역에서는  $0.196\text{N/cm}^2$ 으로 하되 균중하중과 비교해서 큰 것을 채택한다.

마) 관체 자중

강성관 및 강화플라스틱 복합관은 파괴하중으로부터 관중을 선정하므로 관체의 자중은 설계하중으로 고려할 필요는 없으나 연성관중 강관과 같이 균질자재인 관체는 자중에 의하여 발생하는 응력도 다른 응력과 함께 가산하여 관체설계를 한다. 단, 측면 수평토압에 의한 휨모멘트를 계산할 때 관체자중은 원칙적으로 무시한다. 관체자중이 나타나 있지 않을 경우는 관중에 따른 표 4.11.15의 비중을 이용하여 계산한다.

표 4.11.15 관체의 비중

관 종류	비중 (G)
원심력철근콘크리트(RC)관	2.45
코어식 프리스트레스트콘크리트(PC)관	2.50
덕타일 주철관	7.15
강 관	7.85
경질염화비닐(PVC)관	1.43
경질폴리에틸렌(PE)관	0.96
강화플라스틱복합(FRPM)관	2.00

바) 관내 물중량

관체 내외에 물이 있을 경우 관체에 휨모멘트는 발생하지 않으나 지하수가 없을 경우는 휨모멘트가 발생하므로 보통 외수를 무시하고 관체내의 물중량을 설계하중으로 고려한다. 관내의 물중량은 강성관이나 연성관에서 횡단이나 종단방향 계산에 적용한다. 단, 관체자중과 같이 측면수평토압에 의한 휨모멘트 계산에는 원칙적으로 무시한다.

사) 궤도하중

“3.3.2 하중”의 “아.궤도하중”참조

아) 기초반력

관체의 기초에 생기는 실제의 반력은 추정하기 곤란하지만 일반적으로 관체 지지각 내의 기초면에 등분포한다고 가정한다. 기초반력은 기초의 지지상태에 따라서 변화하지만 그림 4.11.60에 나타난 바와 같이 일정범위(지지각)만 등분포하는 것으로 생각한다.

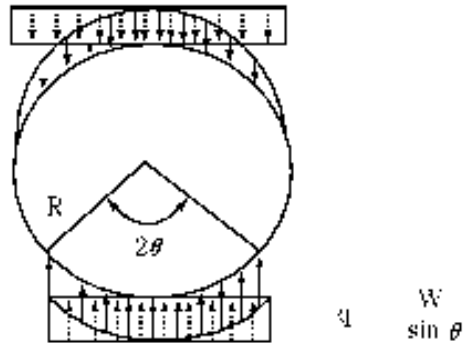


그림 4.11.60 기초의 반력 분포

기초반력은 기초가 고정지지가 아닌 한 반드시 등분포로 되는 것은 아니다. 또 연성관은 관의 변형에 의하여 반력분포도 변화될 것으로 생각되지만 이런 경우도 지지각의 기초면에 등분포한다고 가정하고 기초의 설계 지지각을 가정하여 관체를 설계한다.

자) 내수압

관체의 설계에 사용되는 내수압은 개방식 관로에서는 송수시의 동수압 또는 송수정지시의 정수압중 큰 값에 수격압을 가산한 값으로 하며, 반폐쇄식 또는 폐쇄식 관수로에서는 송수정지시의 정수압에 수격압을 가산한 값으로 한다.

## 나. 관체의 횡단방향 설계

### 1) 강성관 설계

#### 가) 휨모멘트

여러 하중조건과 기초의 지지조건에 따라서 관길이 1cm당 관의 횡단면의 관저부에 발생하는 최대 휨모멘트는 표 4.11.17로부터 구할 수 있다. 기초의 지지각을 결정하고, 동시에 작용하는 각 설계하중에 의해서 발생하는 휨모멘트를 표 4.11.17을 이용하여 각각 계산하여 합하면 그 합계치가 관의 횡단면에 생기는 설계 휨모멘트이다.

#### 나) 관중선정

강성관은 그림 4.11.61에서 보는 바와 같이 상·하방향으로 선하중(線荷重)  $P_H$ 를 가하여 이것을 차츰 증가시켜 가면  $P_H = P_C$  ( $N/cm$ )에 도달했을 때 파괴 또는 균열된다.

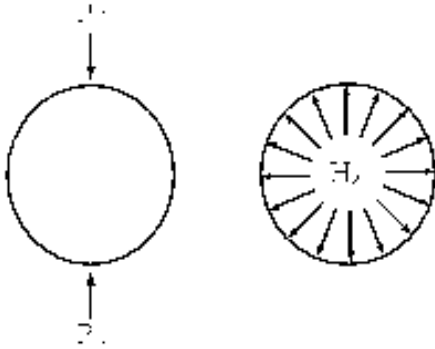


그림 4.11.61  
외압선하중( $P_H$ )와 내압( $H_P$ )

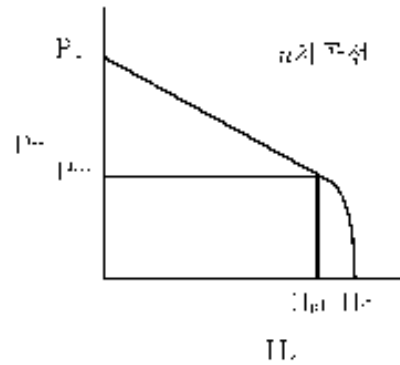


그림 4.11.62  
내외압의 동시작용으로 인한  
균열발생시 내압과 외압의 관계

또한 외압을 가하지 않고 내압  $H_P$ 만을 가하여 이것을 차츰 증가시켜가면  $H_P = H_C$  ( $N/cm^2$ )에 달했을 때 파괴 또는 균열된다.

따라서 내외압을 동시에 작용시키는 경우 즉 선하중(線荷重)을  $P_H = P_{H1} < P_C$ 로 했을 때 내압  $H_P$ 를 증가시켜 가면  $H_P = H_{P1} < H_C$ 일 때 관이 파괴 또는 균열되고, 내외압의 관계는 그림 4.11.62에서 보는 바와 같이  $n$ 차 곡선으로 표시되는 것이 실험에서 확인되었다.

이것을 식으로 표시하면 식 (4.11.82)와 같다.

$$H_P = a \cdot P_H^n + b \quad \dots\dots\dots (4.11.82)$$

식 (4.11.82)는  $P_H=0$ 일 때  $H_P=H_C$ 이고,  $P_H=P_C$ 일 때  $H_P=0$ 이므로 이 두 조건에 의해서 a와 b를 구하고 여기서 식 (4.11.83)을 얻을 수 있다.

$$\left\{ \frac{P_H}{P_C} \right\}^n + \left\{ \frac{H_P}{H_C} \right\} = 1 \quad \dots\dots\dots (4.11.83)$$

- 여기서,  $P_C$ : 내압이 0일 때 파괴 또는 균열이 생기는 외압 (N/cm<sup>2</sup>)
- $H_C$ : 외압이 0일 때 파괴 또는 균열이 생기는 내압 (N/cm<sup>2</sup>)
- $P_H$ : 내압이  $H_P$ 일 때 파괴 또는 균열이 생기는 외압 (N/cm<sup>2</sup>)
- $H_P$ : 외압이  $P_H$ 일 때 파괴 또는 균열이 생기는 내압 (N/cm<sup>2</sup>)
- $n$ : 관의 종류나 구조 등에 따라 결정되는 계수

실제의 관중선정은 식 (4.11.83)에 안전율(S)을 고려한 식 (4.11.84)에 따른다.

$$\left( \frac{P_H}{P_C/S} \right)^n + \left( \frac{H_P}{H_C/S} \right) = 1 \quad \dots\dots\dots (4.11.84)$$

상기식의 n값은 원심력 철근콘크리트관 및 코어식 프리스트레스트 콘크리트관은  $n=1.5$ 로 한다.

식 (4.11.84)의 n을 각각 상기의 값으로 하여 균열 및 파괴시 내외압의 관계를 나타내면 그림 4.11.63과 같다.

(1) 관중선정의 순서

사용할 관종을 가정하고 가정한 관종에 대하여 그림 4.11.65에 나타난 순서로 가정 관종의 적부를 검토한다.

표 4.11.16 강성관 횡단면에 생기는 최대 휨모멘트 (관저부)

(단위: N-cm/cm)

구분	대상하중	설계 지지각 (2θ)	지지조건		하중작용상태	
			자유지지 (모래기초)	고정지지 (콘크리트기초)	자유지지 (모래기초)	고정지지 (콘크리트기초)
M <sub>1</sub>	연직등분포하중 W=W <sub>v</sub> +W <sub>w</sub> (N/cm <sup>2</sup> )	0°	*0.587WR <sup>2</sup>	-		
		30°	0.486WR <sup>2</sup>	-		
		60°	0.377WR <sup>2</sup>	-		
		90°	0.314WR <sup>2</sup>	0.303WR <sup>2</sup>		
		120°	0.275WR <sup>2</sup>	0.243WR <sup>2</sup>		
		180°	*0.250WR <sup>2</sup>	0.220WR <sup>2</sup>		
M <sub>2</sub>	관체내 물중량 W <sub>o</sub> (0.0098N/cm <sup>3</sup> )	0°	*0.750W <sub>o</sub> R <sup>3</sup>	-		
		30°	0.563W <sub>o</sub> R <sup>3</sup>	-		
		60°	0.420W <sub>o</sub> R <sup>3</sup>	-		
		90°	0.321W <sub>o</sub> R <sup>3</sup>	0.260W <sub>o</sub> R <sup>3</sup>		
		120°	0.260W <sub>o</sub> R <sup>3</sup>	0.166W <sub>o</sub> R <sup>3</sup>		
		180°	*0.220W <sub>o</sub> R <sup>3</sup>	0.055W <sub>o</sub> R <sup>3</sup>		
M <sub>3</sub>	관체 자중 W <sub>d</sub> (N/cm)	0°	*0.239W <sub>d</sub> R	-		
		30°	0.179W <sub>d</sub> R	-		
		60°	0.134W <sub>d</sub> R	-		
		90°	0.102W <sub>d</sub> R	0.082W <sub>d</sub> R		
		120°	0.083W <sub>d</sub> R	0.052W <sub>d</sub> R		
		180°	*0.070W <sub>d</sub> R	0.017W <sub>d</sub> R		
M <sub>4</sub>	수평 측면하중 p(N/cm <sup>2</sup> )	0°~180°	-(0.104P <sub>1</sub> +0.146P <sub>2</sub> )R <sup>2</sup>	-(0.140P <sub>1</sub> +0.146P <sub>2</sub> )R <sup>2</sup>		

주) W: 연직하중강도 (N/cm<sup>2</sup>)

W<sub>o</sub>: 물의 단위중량 (0.0098N/cm<sup>3</sup>)

W<sub>d</sub>: 관길이 1cm당의 관체중량 (N/cm)

P<sub>1</sub>: 관정부의 수평하중강도 (N/cm<sup>2</sup>)

P<sub>2</sub>: 관저부의 수평하중강도 (N/cm<sup>2</sup>)

R: 관두께의 중심반경 (cm)

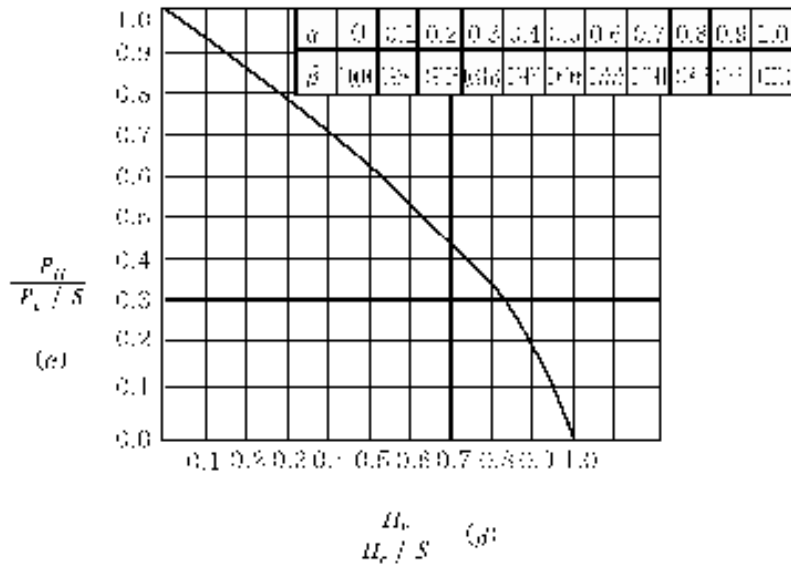


그림 4.11.63 원심력 콘크리트관 등의 균열시 내외압 관계 (n=1.5)

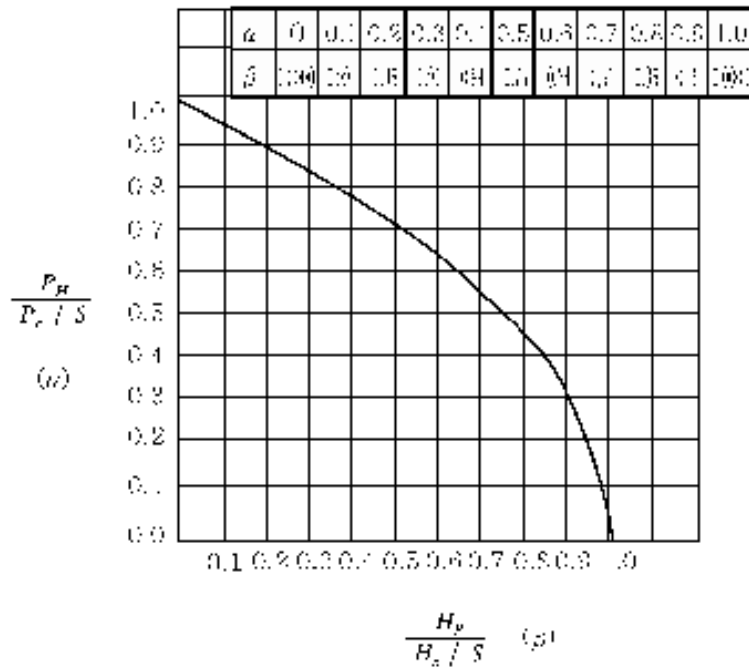


그림 4.11.64 강화플라스틱 복합관 등의 파괴시 내외압 관계 (n=2.0)

(가)  $P_c$ 의 값을 구한다.

$P_c$ 의 값은 외압선하중(N/cm)으로 나타내고 다음의 값을 사용한다.

- 원심력 철근콘크리트관: 균열하중값을 사용한다.
- 코어식 프리스트레스트 콘크리트관: KS 규격의 균열하중값을 사용한다.

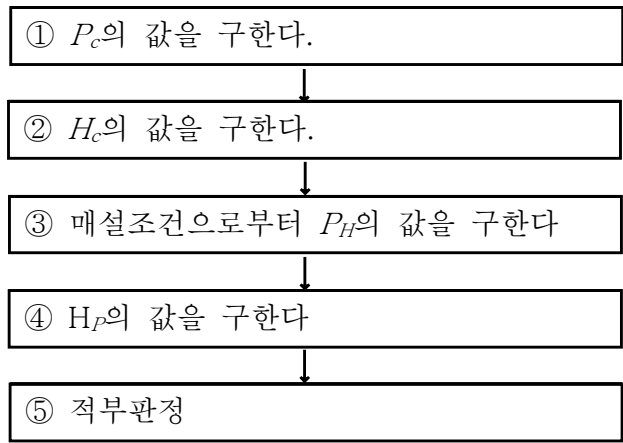


그림 4.11.65 관중선정 순서

(나)  $H_c$ 의 값을 구한다.

$H_c$ 의 값은 각각 다음의 값을 사용한다.

- 원심력 철근콘크리트관: KS 규격의 시험수압값을 사용한다.
- 코어식 프리스트레스트 콘크리트관: 균열내압값을 사용한다. 단 KS F 4405에 표시된 시험수압은 프리스트레스트가 0이 되는 때의 값이므로 여기서 이 값을 적용하면 안 된다.

(다) 매설조건으로부터  $P_H$ 의 값을 구한다.

$$P_H = \frac{\pi M}{R} = \frac{M}{0.318R} \dots\dots\dots (4.11.85)$$

여기서,  $P_H$ : 외압에 의한 선하중 (N/cm)

$M$ : 외압에 의하여 요소 1cm당 관체에 생기는 최대휨모멘트(N · cm/cm) (관자중의 요소는  $P_C$  및  $H_C$ 의 값에 포함되어 있으므로 가산하지 않는다.)

$R$ : 관두께 중심반경 (cm)

(라)  $H_p$ 의 값을 구한다.

허용내압  $H_p$ 는 식 (4.11.84)로 구하고 안전율(S)는 다음에 의한다.

- 원심력 철근콘크리트관: 1.5
- 코어식 프리스트레스트콘크리트관: 1.5

실제의 계산은 그림 4.11.63, 64로부터 가정 관중에 대하여  $\alpha = \frac{P_H}{P_C / S}$ 에 대응



한  $\beta = \frac{H_p}{H_c/S}$ 의 값을 얻은 후 이 식을  $H_p = \beta \cdot \frac{H_c}{S}$ 로 변형하여  $H_p$ 의 값을 구한다.

(마) 적부판정

위와 같이 하여 구한  $H_p$ 가 가정한 관중에 허용되는 내압이다. 따라서 수리설계에 의하여 얻어진 내압(정수압+수격압)이  $H_p$ 보다 크지 않으면 설계조건에 충족되므로 가정한 관중을 사용하면 안전하다.

만약 설계조건을 충족시킬 수 없을 경우에는 다른 관중을 가정하고 설계조건을 충족시킬 때까지 상기 과정을 반복한다.

2) 연성관 설계

보통 연성관에는 덕타일 주철관, 강관, 경질염화비닐관, 폴리에틸렌관, 강화플라스틱 복합관 및 원심력강화플라스틱복합관 등이 있다.

연성관은 관두께 중심직경(2R)의 수 %까지 변형되어도 실질적인 손상이 되지 않는 특성을 가지고 있으나 수평변형량( $\Delta X$ )이 지나치게 커지면 이음부에서 누수되거나 관내 외면에 칠한 도장 등의 피복이 균열되어 필요한 통수단면을 확보할 수 없게 된다.

이것을 방지하기 위해서 연성관에서는 변형량을 제한하는 방법으로 허용변형률을 정하였으며 이는 관두께 중심직경(2R)에 대한 비율  $\delta = \Delta X/2R \times 100$  (%)로 표시한다.

설계변형률의 표준은 표 4.11.17과 같으며, 설계변형률은  $\Delta X = \delta \times 2R \div 100$  (%)로 된다. 따라서 연성관의 관중선정에 있어서는 관재료의 허용응력에서 결정하는 관두께와 설계변형률로부터 정해지는 관두께를 구하여 그 양쪽을 함께 충족시킬 수 있는 관의 두께를 채택하여야 한다. 특히 덕타일 주철관이나 강관에 대한 최종관두께는 상기에 의해서 구해진 관두께에 부식과 관두께 공차여유 등을 고려하여 결정하여야 하며 강화플라스틱복합관 및 원심력강화플라스틱복합관은 강성관과 동일한 방법으로 내외압에 대한 안전성을 검토하여야 한다.

표 4.11.17 설계변형률의 표준

구 분	다짐 없음	다 짐 I	다 짐 II
허 용 변 형 률	5	5	5
변 형 률 오 차	±2	±2	±1
설 계 변 형 률	3	3	4

주) 다짐 I 은 다짐률 85% 또는 상대밀도 40% 정도이고 다짐 II 는 다짐 I 이상이다.

가) 휨모멘트

여러 하중조건과 기초지지조건에 있어서 관길이 1cm당 관횡단면의 관저부에 발생하는 최대 휨모멘트를 표 4.11.18에 표시하였다.

기초의 지지각을 결정하고 동시에 작용하는 각 설계하중에 의하여 발생하는 휨모멘트를 본 표를 이용하여 각각 계산하면 그 합계치가 관의 횡단면에 생기는 설계휨모멘트이다.

나) 내외압으로부터 구하는 관두께 계산식

(1) 덕타일 주철관 및 강관

덕타일 주철관 및 강관의 응력계산상의 필요 최소 관두께는 내외압이 동시에 작용할 때 관체에 생기는 휨모멘트에 의해서 발생하는 연응력이 관재의 허용응력 이내에 있도록 하여 계산식을 유도하면 다음과 같다.

표 4.11.18 연성관 휨단면에 생기는 최대휨모멘트 (관저부)

(단위: N-cm/cm)

구분	대상하중	설계 지지각 (2θ)	지지조건 (자유지지)	하중작용상태
M <sub>1</sub>	연직등분포하중 W=W <sub>v</sub> +W <sub>w</sub> (N/cm <sup>2</sup> )	0°	*0.587WR <sup>2</sup>	
		30°	0.486WR <sup>2</sup>	
		60°	0.377WR <sup>2</sup>	
		90°	0.314WR <sup>2</sup>	
		120°	0.275WR <sup>2</sup>	
		180°	*0.250WR <sup>2</sup>	
M <sub>2</sub>	관체내 물중량 (0.0098N/cm <sup>3</sup> )	0°	*0.750W <sub>o</sub> R <sup>3</sup>	
		30°	0.563W <sub>o</sub> R <sup>3</sup>	
		60°	0.420W <sub>o</sub> R <sup>3</sup>	
		90°	0.321W <sub>o</sub> R <sup>3</sup>	
		120°	0.260W <sub>o</sub> R <sup>3</sup>	
		180°	*0.220W <sub>o</sub> R <sup>3</sup>	
M <sub>3</sub>	관체 자중 W <sub>d</sub> (N/cm)	0°	*0.239W <sub>d</sub> R	
		30°	0.179W <sub>d</sub> R	
		60°	0.134W <sub>d</sub> R	
		90°	0.102W <sub>d</sub> R	
		120°	0.083W <sub>d</sub> R	
		180°	*0.070W <sub>d</sub> R	
M <sub>4</sub>	측면 수평하중 P(N/cm <sup>2</sup> )	0°~ 180°	-0.166PR <sup>2</sup>	

주) W: 관체의 단위면적에 작용하는 연직하중강도 (N/cm<sup>2</sup>)

W = 연직토압강도 W<sub>v</sub> + 노면하중강도 W<sub>w</sub>, W<sub>M</sub>+LS 궤도하중강도 W<sub>L</sub>, W<sub>S</sub>+불도저 하중강도 W<sub>B</sub> + 상재하중강도 W<sub>V</sub>

W<sub>o</sub>: 물의 단위중량 (0.0098N/cm<sup>3</sup>)

W<sub>d</sub>: 관길이 1cm당의 관체중량 (N/cm<sup>3</sup>)

R: 관두께의 중심반경 (cm)

$R = \frac{D+t}{2}$ , D: 관의 내경 (cm)

t: 관두께 (cm) (덕타일 주철관의 모르타르, 강관의 부식 및 관두께 공차는 제외)

P: 관체측면중앙에 작용하는 수평하중강도 (N/cm<sup>2</sup>)

P = 수평토압강도 P<sub>v</sub> + 수평노면하중강도 P<sub>w</sub> + 수평토압강도 P<sub>LS</sub> + 수평불도저하중강

도  $P_B$  + 수평상재하중강도  $P_v$   
 내압에 의해서 생기는 인장응력

$$f_t = \frac{H \cdot D}{2t} \dots\dots\dots (4.11.86)$$

외압에 의한 휨모멘트에 의해서 생기는 응력

$$f_b = 6M / t^2 \dots\dots\dots (4.11.87)$$

관재의 허용인장응력을  $f_a$ 로 하면  $f_a$ 는 다음과 같다.

$$f_a \geq f_t + \alpha \cdot f_b = \frac{H \cdot D}{2t} + \alpha \frac{6M}{t^2} \dots\dots\dots (4.11.88)$$

식 (4.11.88)에서 관두께  $t$ 를 구하면 다음과 같다.

$$t \geq \frac{0.5 D \cdot H + \sqrt{(0.5 D \cdot H)^2 + 24 \alpha \cdot f_a \cdot M}}{2 f_a} \dots\dots\dots (4.11.89)$$

여기서,  $t$ : 응력계산으로부터 구하는 필요한 관두께 (cm)

$D$ : 관내경 (cm)

$H$ : 내압  $H = H_1 + H_2$  (N/cm<sup>2</sup>)

$H_1$ : 정수압 (N/cm<sup>2</sup>)

$H_2$ : 수격압 (N/cm<sup>2</sup>)

$M$ : 외압에 의해서 관길이 1cm당 관체에 생기는 최대휨모멘트 (N·cm/cm)  
 (표 4.11.19 참조)

$M$  = 연직등분포하중에 의한 휨모멘트 + 관내물중량에 의한 휨모멘트  
 + 관자중에 의한 휨모멘트 + 측면수평하중에 의한 휨모멘트

$\alpha$ : 인장응력/ 휨응력 (덕타일 주철관 및 강관은 0.7로 한다.)

$f_a$ : 허용인장응력 (표 4.11.19 참조)

- 덕타일 주철관은 주철면의 조잡함을 고려하여 허용응력을 인장강도의 90%, 안전율을 2로 하면,

$$f_a = 42.0 \times 0.90 \div 2 = 18.9 \text{ kN/cm}^2 \text{가 된다.}$$

- 강관은 용접효율을 고려하여 허용응력을 인장강도의 85%, 안전율은 2로 한다.

표 4.11.19 덕타일 주철관 및 강관의 허용인장응력

구 분	인장강도 (kN/cm <sup>2</sup> )	허용응력 (kN/cm <sup>2</sup> )	비 고
덕타일 주 철 관	42 이상	18.9	KS D 4311
압력 배관용 탄소강관 (SPPS 38)	37.3 이상	15.8	KS D 3562
(SPPS 42)	41.2 이상	17.0	
배관용 아크 용접탄소 강 관 (SPW 400)	40.0 이상	17.0	KS D 3583
일반용수용 도복장 강관 (STWS 400)	40.2 이상	17.0	KS D 3626
상수도용 도복장 강관 (STWW 400)	40.2 이상	17.0	KS D 3565

최종 관두께(T)는 계산에서 구해지는 필요 관두께(t)에 부식 및 관두께 공차 여유를 고려하여 식 (4.11.90, 91, 92, 93)과 같이 구한다.

○ 덕타일 주철관일 때

$$t+1 \geq 10\text{mm의 경우 } T=1.1(t+1) \text{ (mm)} \dots\dots\dots (4.11.90)$$

$$t+1 < 10\text{mm의 경우 } T=t+2 \text{ (mm)} \dots\dots\dots (4.11.91)$$

위에서 구한 관두께(T)를 만족시키는 규격관중에서 최소관두께의 관중을 선정한다.

○ 강관일 때

$$\text{호칭지름} \geq 800\text{mm의 경우 } T=t+1 \text{ (mm)} \dots\dots\dots (4.11.92)$$

$$\text{호칭지름} < 800\text{mm의 경우 } T=t+2 \text{ (mm)} \dots\dots\dots (4.11.93)$$

타르에폭시도장 강관의 용접부의 관내현장도장은 그 시공성 및 시공관리 등을 고려해서 결정하여야 하며 원칙적으로 호칭지름 800mm 미만의 강관에 대하여는 고려하지 않아도 좋다. 단 호칭지름 800mm 미만에 대하여도 현장용접부의 내면도장을 충분히 관리할 수 있을 때는  $T=t+1$  (mm)로 하여도 좋다.

위에서 구한 관두께를 충족시키는 관두께를 원칙으로 하여 기성제품으로 생산되는

규격관 두께 내에서 최소 관두께를 선정하고 이것을 설계 관두께로 한다.

또한 관두께 계산식은 외압에 의해서 발생하는 관저부의 휨응력과 내압에 의해서 발생하는 인장응력을 단순히 합할 수 있다고 보고 유도한 합성식이나 특히 내압이 크게 작용할 경우 등에 있어서는 내압에 의한 휨응력이 점차 감소되는 것을 고려하여 설계할 수도 있다.

(2) 경질염화비닐관 및 폴리에틸렌관

경질염화비닐관 및 폴리에틸렌관의 두께는 관에 작용하는 하중을 장기하중과 단기하중으로 구별하고 각각에 대한 관재의 인장응력의 안전을 구분하여 구한다.

하중을 내압( $H$ ) 및 외압에 의한 휨모멘트( $M$ )로 하고, 이들을 다시 내압  $H$ =정수압( $H_1$ )+수격압( $H_2$ ), 외압에 의한 휨모멘트  $M$ =장기외압하중에 의한 휨모멘트( $M_1$ )+단기외압하중에 의한 휨모멘트( $M_2$ )로 하여 식 (4.11.86) 및 식 (4.11.87)에 대입하면 식 (4.11.94, 95)를 얻을 수 있다.

내압에 의해서 생기는 인장응력

$$f_t = \frac{(H_1 + H_2) \cdot D}{2t} \dots\dots\dots (4.11.94)$$

외압에 의한 휨모멘트에 의해서 생기는 휨응력

$$f_b = 6(M_1 + M_2) / t^2 \dots\dots\dots (4.11.95)$$

관재의 허용인장력  $f_a$ 는 다음과 같다.

$$f_a \geq f_t + \alpha \cdot f_b = \frac{(H_1 + H_2) \cdot D}{2t} + \alpha \frac{6(M_1 + M_2)}{t^2} \dots\dots\dots (4.11.96)$$

식 (4.11.96)에서  $t$ 를 구하면 다음과 같다.

$$t \geq \frac{D}{4} \left( \frac{H_1}{f_a} + \frac{H_2}{f_a} \right) + \sqrt{\frac{D^2}{16} \left( \frac{H_1}{f_a} + \frac{H_2}{f_a} \right)^2 + 6\alpha \left( \frac{M_1}{f_a} + \frac{M_2}{f_a} \right)} \dots\dots\dots (4.11.97)$$

여기서, 정수압에 의한 허용응력을  $f_{a1}$ , 수격압에 의한 허용응력을  $f_{a2}$ , 장기외압하중에 대한 허용인장응력을  $f_{b1}$ , 단기외압하중에 대한 허용인장응력을  $f_{b2}$ 로 하면 식 (4.11.97)은 식 (4.11.98)로 된다.

$$t \geq \frac{D}{4} \left( \frac{H_1}{f_{a1}} + \frac{H_2}{f_{a2}} \right) + \sqrt{\frac{D^2}{16} \left( \frac{H_1}{f_{b1}} + \frac{H_2}{f_{b2}} \right)^2 + 6a \left( \frac{M_1}{f_{b1}} + \frac{M_2}{f_{b2}} \right)} \quad \dots\dots\dots (4.11.98)$$

여기서,  $t$ : 관두께 (cm)

$D$ : 관내경 (cm)

$H_1$ : 정수압 (N/cm<sup>2</sup>)

$H_2$ : 수격압 (N/cm<sup>2</sup>)

$M_1$ : 장기의외압하중(토압, 상재하중 등)에 의해 관길이 1cm의 관체에 생기는 최대휨모멘트 (N·cm/cm)

$M_2$ : 단기의외압하중(노면하중, 궤도하중, 불도저하중 등)등에 의해 길이 1cm당 관체에 생기는 최대휨모멘트 (N·cm/cm)

$a$ : 인장응력/휨응력

(경질염화비닐관은 0.55, 폴리에틸렌관은 0.75로 한다.)

$f_a$ : 허용인장응력 (N/cm<sup>2</sup>) (표 4.11.20 참조)

한편 경질염화비닐관(PVC)이나 폴리에틸렌관(PE)의 관두께 계산식을 강관의 경우와 동일하게 식 (4.11.89)를 사용하기도 하는데 이때는  $a$ (인장응력/휨응력)을 PVC관은 0.55로 PE관은 0.75로 보며 허용인장응력은 안전율을 3으로 본다.

### (3) 강화플라스틱복합관

강화플라스틱복합관은 복합재료로 되어 있어 재질이 균일하지 않으므로 균질재료에 대하여 유도된 응력계산식으로는 관두께를 구할 수 없다.

따라서 강성관과 마찬가지로 내외압합성식 식 (4.11.84)을 사용해서 설계내압이 그관의 허용내압 이하로 되도록 하여 관종을 선정한다.

식 (4.11.84)의 적용에 있어  $S=2.0$ ,  $n=2$ 를 사용 할 수 있다.

표 4.11.20 경질염화비닐관 및 폴리에틸렌관의 허용인장응력

단위: (N/cm<sup>2</sup>)

관종	구분	내 압		외 압	
		정수압 $f_1$	수격압 $f_2$	토압 $f_1$	노면하중, 케도하중 $f_2$
수도용 경질염화비닐관 (KS M 3401)		1,568	2,352	1,568	2,352
수도용 폴리에틸렌관 (KS M 3408-2)		653.3	980	653.3	980

- 주) 1) 본 표의 허용인장응력은 인장강도를 폴리에틸렌관에서는 1,960N/cm<sup>2</sup>, 경질염화비닐관에서는 4,704N/cm<sup>2</sup>로 하고, 안전율은  $f_{a1}$ 과  $f_{b1}$ 에 대하여는 3.0,  $f_{a2}$ 와  $f_{b2}$ 에 대하여는 2.0으로 하여 구한 것이다.  
 2) 최근에는 폴리에틸렌의 인장강도를 2,744N/cm<sup>2</sup>까지 올려보는데 이 경우는 시험에 의하여 그 품질을 확인해야 한다.

다) 변형률로부터 구하는 관두께 계산식  
 연성관의 변형에 대한 검토는 스팅글러(Spangler)의 수정식에 관내 물중량, 관자중 및 노면하중 등을 고려하여 보정한 식 (4.11.99)에 의한다.

$$\Delta X = \Delta X_1 + \Delta X_2$$

$$\Delta X_1 = F \frac{2(K \cdot W_V \cdot R^4 + K_o \cdot W_o \cdot R^5 + K_P \cdot W_P \cdot R^4)}{EI + 0.061E' \cdot R^3}$$

..... (4.11.99)

$$\Delta X_2 = \frac{2 \cdot K \cdot W_w \cdot R^4}{EI + 0.061E' \cdot R^3}$$

여기서,  $\Delta X$ : 수평변형량 (cm)

$\Delta X_1$ : 장기하중에 의한 변형량 (cm)

$\Delta X_2$ : 단기하중에 의한 변형량 (cm)

$W_V$ : 토압, 상재하중에 의한 연직하중강도 (N/cm<sup>2</sup>)

$W_o$ : 물의 단위중량 (0.0098N/cm<sup>3</sup>)

$W_P$ : 관체의 단위면적당의 중량 (연장방향 1cm의 조각에서 원주방향으로 cm의 간격으로 절취한 것의 중량 (N/cm<sup>2</sup>))

$W_w$ : 노면하중, 케도하중, 불도저하중에 의한 연직하중강도 (N/cm<sup>2</sup>)

$R$ : 관두께 중심반경 (cm)



$F$ : 변형지연계수 (보통 1.5로 함)

$K, K_o, K_p$ : 기초의 설계 지지각에 따라 결정되는 계수 (표 4.11.21 참조)

$E$ : 관재료의 탄성계수 (kN/cm<sup>2</sup>) (표 4.11.22 참조)

$I$ : 관축방향을 축으로 한 관길이 1cm당 관벽의 단면 2차 모멘트(cm<sup>4</sup>/cm)  
 $(I = t^3/12)$

$E'$ : 매설토의 반력계수 (N/cm<sup>2</sup>) (다짐 안한 것은 1.8 이하, 다짐률 85% 이하는 7.0 이하, 다짐률 86% 이상이면 14 이하로 한다.)

수평변형량의 관두께 중심반경에 대한 비율은 식 (4.11.100)으로 표시된다.

$$\frac{\Delta X}{2R} \times 100 (\%) = \frac{F(K \cdot W_v + K_o \cdot W_o \cdot R + K_p \cdot W_p) + K \cdot W_w}{\frac{EI}{R^3} + 0.061 E'} \times 100 (\%) \quad \dots\dots\dots (4.11.100)$$

관의 매설조건이 정해지면 식 (4.11.100)에서 설계변형률  $\left(\frac{\Delta X}{2R} \times 100 (\%)\right)$ 를 비롯하여 각 수치가 정해지므로 이것으로부터  $I$ 의 값을 구하면 식 (4.11.101)과 같다.

$$I = \frac{R^3}{E} \left\{ \frac{F(K \cdot W_v + K_o \cdot W_o \cdot R + K_p \cdot W_p) + K \cdot W_w}{\frac{\Delta X}{2R}} - 0.061 E' \right\} \quad \dots\dots\dots (4.11.101)$$

그런데 단면 2차 모멘트  $I$ 는  $bt^3/12$ 이므로  $b=1.0\text{cm}$ 로 하면 식 (4.11.102)에 따라 관 두께  $t$ 를 구할 수 있다.

$$t \geq \sqrt[3]{12 \cdot I} \quad \dots\dots\dots (4.11.102)$$

최종관두께는 내외압으로부터 구하는 관두께 계산식에서와 같이 부식 및 관두께 공차여유를 고려하여 구한다.

따라서 관중선정은 상기의 변형률로부터 구한 관두께와 내외압에 의한 응력계산에서 구한 관두께를 동시에 만족시키는 관중을 선정한다. 한편 식 (4.11.100)의 설계변형률  $(\Delta X/2R \times 100 (\%))$ 은 표 4.11.17의 설계변형률의 값을 사용한다.

변형률로부터 관두께를 구하는 방식은 경우에 따라서 단면 2차 모멘트가 부(-)로 되는 일이 있다. 이것을 관의 실제변형률이 내외압 등의 조건에 의해서 설계변형률보다도 상당히 낮은 값으로 되기 때문이다.

표 4.11.21 K의 표준치

기초설계 지지각	0°	30°	60°	90°	120°	180°
K	0.110	0.108	0.103	0.096	0.089	0.083
K <sub>o</sub>	0.107	0.104	0.096	0.085	0.075	0.065
K <sub>p</sub>	0.215	0.208	0.191	0.169	0.149	0.131

이러한 경우에는 관두께의 결정에 있어서 변형률에 의한 관의 두께는 고려하지 않고 내외압으로부터 구하는 관두께에 의해서 관종을 선정한다.

그러나 강화플라스틱복합관은 복합재료에 의해서 만든 것이며 이 방법에 의해서 관두께를 구할 수 없으므로 다음의 방법으로 구한다. 즉 식 (4.11.101)으로부터 EI치를 구하고 그 값이 표 4.11.23에 제시한 EI값과 동일하거나 또는 그 이상이 되도록 관종을 선정한다.

표 4.11.22 관재의 탄성계수

관 종	E (kN/cm <sup>2</sup> )	관 종	E (kN/cm <sup>2</sup> )
덕타일 주철관	15,680	경질염화비닐관	294
강 관	20,580	폴리에틸렌관	98

#### 다. 관체의 종단방향 설계

##### 1) 종단방향의 검토대상

일반적으로 매설관에서 매설토에 의한 하중과 그 반력이 관의 종단방향의 모든 부분에 있어서 거의 균형이 되므로 종단방향으로 휨모멘트가 가해지지 않거나 또는 매우 적다고 볼 수 있으므로 종단방향의 강도는 보통의 경우에는 검토하지 않는다.

그러나 다음과 같이 무시할 수 없는 휨모멘트가 관체의 종단방향에 작용하는 수가 있다.

- 관체에 지지대를 설치하는 경우 또는 칼라부분이 지점으로 되는 경우
- 관의 한 끝이 콘크리트에 고정되어 있는 경우
- 대형자동차의 하중이 작용하는 경우, 단 콘크리트기초의 경우나 양호한 지반의 경우는 제외

이러한 경우에는 관체가 하중에 대하여 안전하게 견딜 수 있는지의 여부를 확인하고 필요가 있을 때는 다음의 대책을 강구하여야 한다. 특히 소구경관은 종단방향의 강도가 낮으므로 종단방향의 보강과 관종의 변경을 검토하고 이음의 구조나 위치 및 시공방법 등의 재검토가 필요하다.

2) 종단방향에 작용하는 휨모멘트

관의 종단방향의 강도는 식 (4.11.103)에서 그 안전성을 검토한다.

$$M_R \geq S \cdot M \dots\dots\dots (4.11.103)$$

여기서,  $M_R$ : 관의 종단방향의 저항휨모멘트

$S$ : 안전율 (2.0 이상으로 한다. 단, 콘크리트관(RC관, PC관)은 1.5 이상으로 한다.

$M$ : 관에 작용하는 휨모멘트

표 4.11.23 강화플라스틱복합판 티 값

(단위: N cm<sup>2</sup>/cm)

호칭지름	1종	2종	3종	4종	5종
200	51,822.4	46,216.8	37,818.2	33,614.0	32,124.4
250	63,739.2	83,309.8	46,510.8	41,346.2	39,621.4
300	81,536.0	73,196.2	60,632.6	54,360.6	52,263.4
350	97,804.0	87,768.8	72,725.8	65,199.4	62,690.6
400	122,049.2	110,142.2	92,276.8	83,349.0	80,369.8
450	143,766.0	129,536.4	108,525.2	98,029.4	94,521.0
500	179,663.4	163,336.6	138,836.6	126,586.6	122,500.0
600	212,464.0	282,240.0	239,904.0	218,736.0	211,680.0
700	493,008.6	448,183.4	380,955.4	347,341.4	336,140.0
800	735,911.4	669,016.6	568,664.6	518,488.6	501,760.0
900	1,047,816.0	952,560.0	809,676.0	738,234.0	714,420.0
1,000	1,633,366.0	1,306,663.4	1,110,663.4	1,012,663.4	980,000.0
1,100	1,913,087.4	1,739,176.6	1,478,300.6	1,347,862.6	1,304,380.0
1,200	2,483,712.0	2,257,920.0	1,919,232.0	1,749,888.0	1,693,440.0
1,350	3,536,379.0	3,214,890.0	2,732,661.4	2,468,130.0	2,411,172.4
1,500	4,851,000.0	4,410,000.0	3,748,500.0	3,417,750.0	3,307,500.0
1,650	6,451,928.0	5,869,710.0	4,989,248.6	4,549,022.8	4,402,277.6
1,800	8,328,528.0	7,620,480.0	6,477,408.0	5,905,872.0	5,715,360.0
2,000	11,498,634.0	10,453,366.0	8,885,336.6	8,101,336.6	7,840,000.0
2,200	15,304,758.0	13,913,354.0	11,826,346.0	10,782,842.0	10,435,040.0
2,400	19,869,696.0	18,063,360.0	15,353,856.0	13,999,104.0	13,547,520.0
2,600	25,262,538.0	22,966,006.0	19,521,110.0	17,798,662.0	17,224,480.0
2,800	31,552,374.0	28,683,914.0	24,381,322.0	22,230,026.0	21,512,960.0
3,000	38,808,000.0	35,280,000.0	29,988,000.0	27,342,000.0	26,460,000.0

가) 종단방향에서 작용하는 휨모멘트  
 하중으로는 토압, 상재하중, 관자중, 관내 물중량을 고려하지만 내수압은 벡터(vector)가 다르므로 고려할 필요가 없다.

- (1) 지지대 위에 관체를 설치하는 경우
  - (가) 가동이음매의 경우: 단순보로 하여 최대휨모멘트를 구한다.
  - (나) 고정이음매의 경우: 연속보로 하여 최대휨모멘트를 구한다.
- (2) 관체의 일부를 콘크리트로 고정하는 경우 (그림 4.11.67 참조)

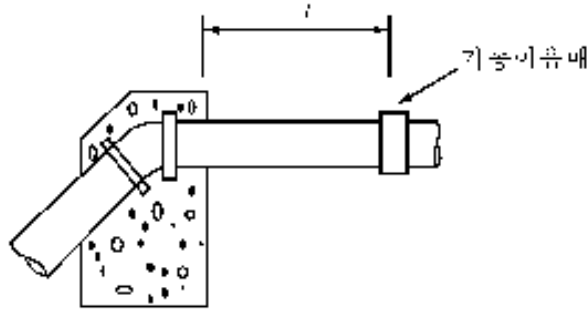


그림 4.11.67 관의 일부를 콘크리트로 고정하는 경우

- (가) 보통흙 기초의 경우: 외팔보로 하여 최대휨모멘트를 구한다.
- (나) 잘 다진 모래기초의 경우: 탄성지반상의 외팔보로 하여 식 (4.11.104, 105, 106)에 의해 최대휨모멘트를 구한다.

집중하중의 경우 (그림 4.11.68(a) 참조)

$$M_A = -\frac{P}{\lambda} \cdot \frac{\sin h\lambda l \cdot \cos \lambda l + \cos h\lambda l \cdot \sin \lambda l}{\cos h^2 \lambda l + \cos^2 \lambda l} \quad \dots\dots\dots (4.11.104)$$

등분포하중의 경우 (그림 4.11.68(b) 참조)

$$M_A = -\frac{q}{2\lambda^2} \cdot \frac{\cosh^2 \lambda l - \cos^2 \lambda l}{\cosh^2 \lambda l + \cos^2 \lambda l} \quad \dots\dots\dots (4.11.105)$$

삼각형분포하중의 경우 (그림 4.11.68(c) 참조)

$$M_A = -\frac{q_o}{4\lambda^3 l} \cdot \frac{\sin^2 \lambda l - \sinh^2 \lambda l + 2\lambda l (\sinh^2 \lambda l + \sin^2 \lambda l)}{\cos h^2 \lambda l + \cos^2 \lambda l} \quad \dots\dots\dots (4.11.106)$$

$M_A$ : 고정단 (그림 4.11.68의 A점)에 있어서의 휨모멘트 (N/cm)

$P$ : 집중하중 (N)

$l$ : 지간(cm) (그림 4.11.68 참조)

$q, q_0$ : 하중강도 (N/cm<sup>2</sup>)

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{Kb}{4EI}} \quad (\lambda \text{는 라디안 표시}) \quad \dots\dots\dots (4.11.107)$$

$K$ : 지반반력계수 (N/cm<sup>2</sup>) (표 4.11.24 참조)

$I$ : 관의 단면 2차 모멘트 (cm<sup>4</sup>)

$E$ : 관재의 탄성계수 (kN/cm<sup>2</sup>) (표 4.11.22 참조)

$b$ : 관의 지지폭 (cm) ( $D_c \sin \frac{2\theta}{2}$ )

$D_c$ : 관의 외경 (cm)

$2\theta$ : 기초의 설계지지각 (°)

$$\sinh x = \frac{e^x - e^{-x}}{2}, \quad \cosh x = \frac{e^x + e^{-x}}{2}$$

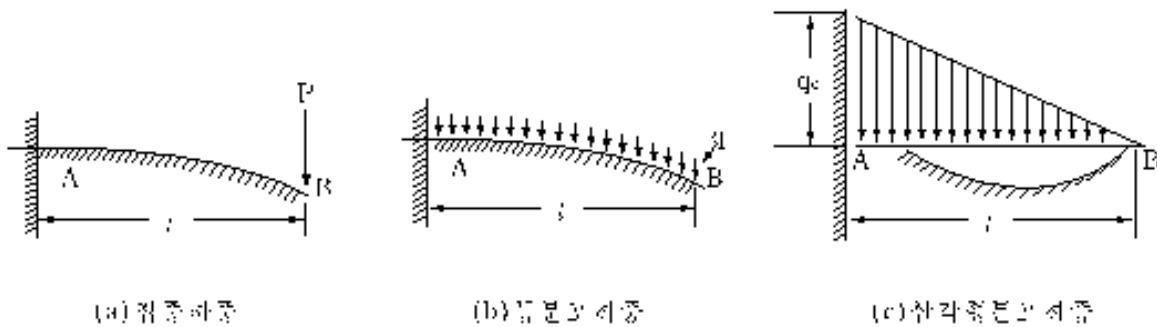


그림 4.11.68 하중의 작용형태

표 4.11.24 지반반력계수 K

흙의 종류	지반반력계수 (N/cm <sup>2</sup> )
느슨한 모래	4.9 ~ 15.68
중간 다져진 모래	9.8 ~ 78.4
다져진 모래	63.7 ~ 127.4
점토섞인 중간 다져진 모래	32.34 ~ 78.4
실트섞인 중간 다져진 모래	24.5 ~ 49.0
점토성 흙 $q_u \leq 2$	11.76 ~ 24.5
점토성 흙 $2 \leq q_u \leq 4$	24.5 ~ 49.0
점토성 흙 $q_u \geq 4$	49.0 이상

주)  $q_u$ 는 일축압축강도 (N/cm<sup>2</sup>)

(3) 대형트럭 하중의 경우

자동차하중에 의해서 매설관의 일부에 하중이 작용하면 그림 4.11.69에서 보는바와 같이 매설관은 휨 작용을 받게 된다. 이 때에 발생하는 응력은 지지상태에 따라 크게 좌우되나 도랑바닥이 평탄하게 탄성지지된 상태로 가정하는 것이 보통이므로 여기에서는 매설관을 탄성지반상에 포설한 것으로 하여 계산한다. 이 때 관전체에 걸친 토압, 상재하중, 관자중, 관내 물중량 등의 등분포하중은 관축방향의 휨모멘트를 산정하는 데는 고려하지 않는다.

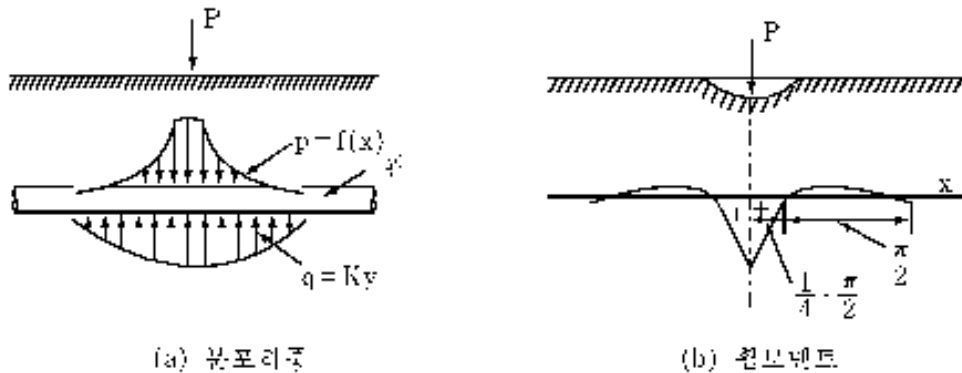


그림 4.11.69 탄성지반상의 관에 작용하는 분포하중 및 발생 휨모멘트

(가)  $\lambda l > \pi$  의 경우 (무한길이의 보로 가정, 그림 4.11.70 참조)

자동차하중의 흙 속에서 분포는 Boussinesq 공식에 의해 구한다. 두 개의 후륜하중

에 의한 연직하중의 분포가 중복되는 최소깊이는 약 1.2m이다.

한편 노면 밑에 관을 매설할 경우 매설깊이가 보통 1.2~1.5m이므로 후륜 1개에 대하여만 고려한다.

$$M_o = M_{\max} = 2 \sum_{i=0}^n \frac{P_i}{4\lambda} e^{-\lambda x_i} (\cos \lambda x_i - \sin \lambda x_i) \quad \dots\dots\dots (4.11.108)$$

$$P_i = \delta_i D_c \cdot \Delta x \quad \dots\dots\dots (4.11.109)$$

$$f_i = \frac{3}{2\pi} \cdot \frac{h^3}{(h^2 + x_i^2)^{5/2}} \cdot P(1+i) \quad \dots\dots\dots (4.11.110)$$

여기서,  $M_o$ : 탄성지반상의 관체에 생기는 최대모멘트 (N·cm)

(관의 중앙 0점에 발생한다.)

$P_i$ : 등 간격으로 세분한 임의의 연직하중(N) (단,  $P_o$ 는 한 개이므로

식 (4.11.108)의  $P_o$ 는 식 (4.11.109)로 구한 값의  $\frac{1}{2}$ 로 한다).

$f_i$ : 임의 등구간 각 중앙점에 작용하는 연직하중강도 (N/cm<sup>2</sup>)

$h$ : 지표면에서 관정까지의 깊이 (cm)

$x_i$ : 윤하중의 재하점에서 임의의 등간격구간의 중앙점까지의 거리 (cm) (0점으로부터  $P_i$ 의 작용점까지의 거리)

$D_c$ : 관의 외경 (cm)

$i$ : 충격계수

$\Delta x$ : 등구간의 길이 (cm)

$\lambda$ : 식 (4.11.107) 참조

(나)  $\lambda l < \pi$ 의 경우 (유한길이의 보로 가정, 그림 4.11.70 참조)

관의 이음부(고무링을 사용한 경우)를 자유지지로 생각하여 다음과 같은 방법으로 최대휨모멘트를 구한다. 자동차하중에 의해서 관에 작용하는 하중분포는 전향과 같으나 양단자유지지조건으로 인하여 관에 발생하는 내부응력은 전향(가)와 다르다.

이 경우, 종단방향의 최대휨모멘트는 후륜직하에 발생하고 그 값은 식 (4.11.111)으로 구한다.

$$M_o = M_{\max} = \sum_{i=0}^n -\frac{P_i}{2\lambda} \frac{1}{\sin h\lambda l + \sin \lambda l} [\sin h\lambda x_i \{ \sin \lambda x_i + \sin \lambda(l-x_i) \} + \sin \lambda x_i \{ \sin h\lambda x_i + \sin h\lambda(l-x_i) \} + \cos h\lambda x_i \cos \lambda(l-x_i) - \cos \lambda x_i \cos h\lambda(l-x_i)] \quad \dots\dots\dots (4.11.111)$$



여기서,  $l$  는 관 1개의 길이(cm)이며 그 밖의 기호설명은 전항 (가)와 같다.

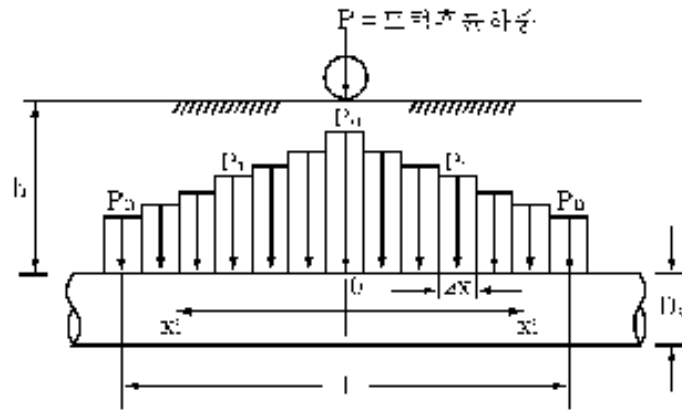


그림 4.11.70 매설관에 작용하는 트럭하중분포

나) 관의 저항힘모멘트

(1) 강관, 플라스틱관(단일재료로 구성된 관)의 경우

$$M_R = f_b \cdot Z \quad \dots\dots\dots (4.11.114)$$

$M_R$ : 관의 저항힘모멘트 (N·cm)

$f_b$ : 관재료의 휨강도 (kN/cm<sup>2</sup>) (표 4.11.26 참조)

$Z$ : 관의 단면계수 (cm<sup>3</sup>)

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_c^4 - D^4}{D_c}$$

$D_c$ : 관의 외경 (cm)

$D$ : 관의 내경 (cm)

(2) 원심력 철근콘크리트관의 경우

$$M_R = r f_{ct} \left( 2rt + \frac{A_s n'}{\pi} \right) \beta \quad \dots\dots\dots (4.11.113)$$

$$\beta = \frac{1}{1 + \cos \alpha} \left[ \frac{\{ \sin \alpha + (\pi - \alpha) \cos \alpha \} \left\{ a \left( \frac{1}{2} + \cos^2 \alpha \right) - \frac{3}{4} \sin 2\alpha \right\}}{\sin \alpha - a \cos \alpha} \right]$$

$$+ \left\{ (\pi - \alpha) \left( \frac{1}{2} + \cos^2 \alpha \right) + \frac{3}{4} \sin 2\alpha \right\} \quad \dots\dots\dots (4.11.114)$$

표 4.11.26 관재료의 휨강도  $f_b$

(단위: kN/cm<sup>2</sup>)

관 종	$f_b$	관 종	$f_b$
덕타일 주철관	42.0	강관 SPW 400	40.0
수도용 경질염화비닐관	4.9	강관 SPPS 38	37.3
수도용 폴리에틸렌관	2.0	강관 SPPS 42	41.2

주) 휨강도 ( $f_b$ )는 인장강도 ( $f_t$ )에 비하여 약간 크지만 설계상의 안전을 고려하여 인장강도의 값으로 한다.

강화플라스틱복합관(I 류)

호칭지름 (mm)	$f_b$		호칭지름 (mm)	$f_b$	
	1, 2종	3, 4, 5종		1, 2종	3, 4, 5종
200	5.88	4.90	700	3.43	2.94
250 ~ 350	5.39	4.41	800 ~ 900	2.94	2.45
400 ~ 500	4.90	3.92	1,000	2.45	1.96
600	4.41	3.43	1,100 ~ 3,000	1.96	1.47

강화플라스틱복합관(II 류)

호칭지름 (mm)	$f_b$			
	1종	2종	3종	4, 5종
500	5.88	4.90	3.92	3.92
600	5.88	4.90	3.92	3.43
700	5.88	4.90	3.43	2.94
800 ~ 900	5.88	4.90	3.43	2.94
1,000	4.90	4.41	2.94	2.94
1,100 ~ 2,000	4.41	3.92	2.94	2.45

$$\frac{n'}{n} \cdot \frac{2\pi r t + A_s \cdot n}{2\pi r t + A_s \cdot n'} = \frac{\sin \alpha + (\pi - \alpha) \cos \alpha}{\sin \alpha - \alpha \cdot \cos \alpha} \dots\dots\dots (4.11.117)$$

$M_R$ : 관의 저항모멘트 (N·cm)

$t$ : 관두께 (cm)

- $\alpha$ : 중립축의 연직선과 이루는 각 (°) (그림 4.11.71 참조)
- $f_{ct}$ : 관두께중심콘크리트의 휨인장응력 (N/cm<sup>2</sup>, 보통 441N/cm<sup>2</sup> 함)
- $A_s$ : 종철근의 단면적(cm<sup>2</sup>)
- $n$ :  $E_s/E_{cc}=9$
- $n'$ :  $E_s/E_{ct}=18$
- $r$ : 관두께 중심반경 (cm)

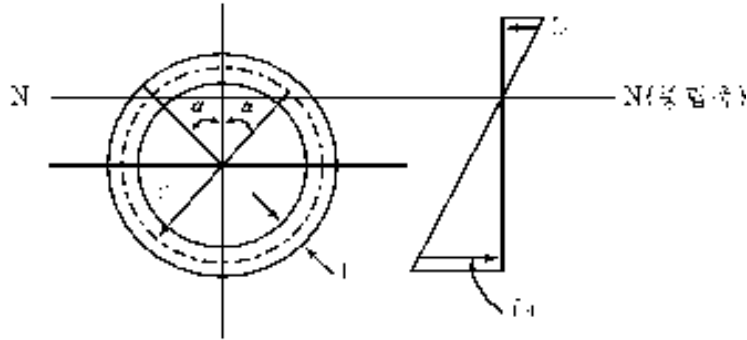


그림 4.11.71 철근콘크리트관의 단면

(3) 코어식 프리스트레스트 콘크리트관의 경우  
 코어식 프리스트레스트 콘크리트관에 있어서 강선을 감았을 때 종단방향의 휨응력에 대한 검토를 하면 다음과 같다.

(가) 원주방향으로 감았을 때 종단방향에 작용하는 휨모멘트에 의해서 코어 콘크리트에 작용하는 연응력(緣應力)

$$f_{cp} = 0.16 f_{ct} \quad \dots\dots\dots (4.11.116)$$

$f_{cp}$ : 원주방향으로 감았을 때 종단방향에 작용하는 휨모멘트에 의해서 코어 콘크리트의 종방향에 발생하는 연응력 (N/cm<sup>2</sup>)

$f_{ct}$ : 원주방향프리스트레스 도입직후의 코어 콘크리트 압축응력 (N/cm<sup>2</sup>)

$f_c$ : 코어콘크리트 안정후의 유효프리스트레스 (N/cm<sup>2</sup>)

$n$ : 안정후의 프리스트레스 유효율 (보통 0.85)

(나) 종단방향에 도입하는 유효 프리스트레스

$$f_{cl} = f_{cp} - f_c \quad \dots\dots\dots (4.11.117)$$

$f_{ci}$ : 종단방향에 도입하는 유효 프리스트레스 ( $N/cm^2$ )

$f_{cp}$ : 식 (4.11.116)에 한함

$f_c$ : 원주방향 프리스트레스 도입시 콘크리트의 허용휨응력,  $f_c$ 는 보통  $294N/cm^2$  정도를 취할 수 있으나 안전을 고려하여 무시한다.

(다) PC강선에 의한 평균 프리스트레스

○ 프리스트레스 도입 후 PC 강선 1개당 인장력

$$F_{lt} = \frac{F_{li}}{1 + n' \cdot \frac{aN}{A}} \quad \dots\dots\dots (4.11.118)$$

$F_{lt}$ : 프리스트레스 도입후의 PC 강선 1개당의 인장력 (N)

$F_{li}$ : 프리스트레스 도입전의 PC 강선 1개당의 인장력 (N), 보통 88.2kN

$n$ : 프리스트레스 도입시의 탄성계수비,  $n' = \frac{E_p}{E_{ci}} = 6.7$

$N$ : PC 강선 개수

$E_{ci}$ : 프리스트레스 도입시의 콘크리트의 탄성계수 ( $N/cm^2$ )

$E_p$ : PC 강선의 1개 탄성계수 ( $N/cm^2$ )

$a$ : PC 강선 1개의 단면적( $cm^2$ )

$A$ : 코어 콘크리트의 단면적( $cm^2$ ),  $\{\pi (r+t)^2 - r^2\}$

$r$ : 관내반경(cm)

$t$ : 코어콘크리트의 두께(cm)

○ 프리스트레스 도입후의 콘크리트의 평균 압축응력

$$f_{cIt} = \frac{F_{lt} N}{A} \quad \dots\dots\dots (4.11.119)$$

$f_{cIt}$ : 프리스트레스 도입후의 콘크리트 평균 압축응력( $N/cm^2$ )

$N$ : PC 강선의 사용 개수

$A$ : 코어 콘크리트의 단면적( $cm^2$ )

○ 코어 콘크리트 내표면의 연압축응력

$$f'_c = \alpha f_{cIt} \quad \dots\dots\dots (4.11.120)$$

$\alpha$ : 코어 콘크리트 단면에 있어서의 PC 강선의 위치에 따른 프리스트레스 분포계수 (보통 1.6)

$f_{clt}$ : 식 (4.11.119)에 의함.

따라서 코어식 프리스트레스트 콘크리트관의 경우에는 이상의 계산결과에 의하여  $f_c' > f_{cl}$  을 충족하면 된다.

## 라. 경사관로의 설계

### 1) 경사관로의 정의

경사관로는 등고선에 대하여 거의 직각방향으로 배관된 것이거나 지수벽 등 특별한 공법을 필요로 하는 종단기울기 이상의 것 또는 되메움 흙이 안정하고 매설관로가 될 수 있는 종단경사 이하의 것 등 3개 조건에 해당하는 것을 말한다.

### 2) 검토해야할 사항

경사관로의 검토에 있어서는 일반적인 검토사항에 대하여 다음의 항목을 추가로 검토할 필요가 있다.

#### 가) 원지반의 안정

매설관로가 안정하기 위해서는 원지반 자체가 안정되어 있어야 한다. 따라서 노선선정에 있어서는 원지반의 붕괴, 산사태, 침식 등이 생기는 외에 지하수의 용출이나 유하에 의하여 관로의 시공 및 그 유지에 대한 지장이 생기지 않도록 특히 유의할 필요가 있다.

#### 나) 관체의 안정

경사에 의하여 관체가 흘러내리지 않도록 관체가 안정되는 것이다. 관체의 안정은 포설경사, 토질조건, 기초공의 종류, 관중 등과의 관계에 대하여 검토하여야 할 필요가 있다.

#### 다) 되메움 흙의 안정

관체의 되메움 흙이 안정되어야 하는데 지형경사, 토질조건 및 지하수 상황 등으로 보아 관포설 후의 되메움 흙이 안정되어 있어야 된다. 이 조건이 만족되지 않으면 매설관로는 성립되지 않는다. 경사가 커지면 되메움의 시공이 곤란해지기 때문에 되메움 재료를 개량하여 사용할 필요가 있다.

3) 관체의 안정

가) 관로 기울기의 상한

경사관로 배관에 있어서의 관체의 안정은 일반적으로 관과 흙의 마찰저항 또는 관 기초와 흙의 마찰저항에 의하여 유지되고 있다. 이론적으로는 점착력이나 측면토압에 의한 마찰저항력도 있으나 특히 이들의 계수가 명확한 것 외에는 관체저면 또는 기초공 저면의 마찰저항력을 대상으로 하여 검토를 한다.

검토에 관계하는 인자는 관의 포설기울기, 토질조건(지하수조건), 기초공의 종류, 관종 등이다. 토질조건에는 흙의 내부마찰각, 흙과 관체저면 또는 흙과 기초공저면의 마찰저항계수, 단위중량, 간극수압 등이 있다. 또 관체가 안정하기 위한 저항력은 관의 활동력에 대하여 안전율 1.5 이상을 확보하는 것으로 한다. 점착력을 고려하지 않는 경우, 관체가 안정한 관로기울기의 상한경사각은 식 (4.11.121)로 표시할 수 있다.

$$\tan i \leq \mu / F_s \quad \dots\dots\dots (4.11.121)$$

여기서,  $i$ : 관로기울기의 상한경사각

$\mu$ : 흙과 관의 마찰계수

$F_s$ : 안전율 (=1.5)

지금 위식의 관계에서 흙과 관의 마찰계수  $\mu$ 와 관로기울기(상한)의 관계를 표시한다.

본 예에 있어서의 관로 기울기의 상한은 콘크리트관의 경우 18°, 경질염화비닐관의 경우 11°로 된다. 또 콘크리트 기초와 흙의 사이에서는 흙의 내부마찰각이 25°의 경우는 관로 기울기의 상한은 17°, 30°에서는 21°로 된다.

나) 활동에 대한 안전율의 검토

활동에 대한 안전율은 다음 식을 만족해야 한다.

$$F_s = \frac{\text{활동에 대한 저항력}}{\text{활동력}}$$

$$F_s = \frac{P_N \mu + c \cdot A}{P_t} \geq 1.5 \quad \dots\dots\dots (4.11.122)$$

여기서,  $F_s$ : 활동에 대한 안전율 (1.5 이상)

$P_N$ : 전중량  $\Sigma W$ 의 수직성분 (kN),  $P_N = \Sigma W \cdot \cos i$

$P_t$ : 전중량  $\Sigma W$ 의 접선성분 (kN),  $P_t = \Sigma W \cdot \sin i$

$\mu$ : 저면과 기초지반 사이의 마찰계수

기초지반이 흙인 경우  $\mu$ 의 값이 0.6을 넘지 않는 것으로 한다.

$c$ : 저면과 기초지반과의 점착력

통상은  $c=0$ 으로 하고 점착력을 확실히 확인할 수 있는 경우에는 이를 고려해도 좋다.

$A$ : 바닥면적( $m^2$ )

표 4.11.26 흙과 관의 마찰계수와 관로 기울기(상한)의 관계

기초의 종류	관의 종류	$\mu$	관로기울기의 상한선
모래·흙기초	콘크리트관		
	강관	0.5	$0.5/1.5=0.33 \rightarrow 18^\circ$
	덕타일 주철관		
	경질염화비닐관		
	폴리에틸렌관	0.3	$0.3/1.5=0.20 \rightarrow 11^\circ$
	강화플라스틱관		
콘크리트기초		$\tan\delta$	$\tan 25^\circ \rightarrow 0.47/1.5=0.31 \rightarrow 17^\circ$
			$\tan 30^\circ \rightarrow 0.58/1.5=0.38 \rightarrow 21^\circ$

주) 1) 콘크리트와 흙의 마찰계수는  $\mu = \tan\delta$  ( $\delta$ : 마찰각)로 한다.

2) 현장타설콘크리트의 경우는  $\delta = \Phi$  (기초지반의 내부마찰각  $25^\circ \sim 30^\circ$ )로 한다.

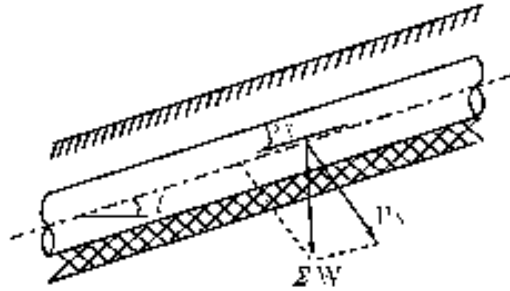


그림 4.11.72 경사부 관로의 활동

#### 4) 활동방지공법의 검토

안정된 원지반에 포설된 경사관로에 있어서는 활동에 대한 안전율이 만족되지 않는 경우 별도 안전공법을 검토할 필요가 있다.

그 안정공법으로 일반적으로는 관로기울기(경사각)에 따른 기초공이 채용되고 있고

과거의 사례 등을 참고로 취합하면 표 4.11.27과 같다.

공법의 선정에 있어서는 관종, 관의 포설기술기, 기초재의 종류, 원지반의 강도 등을 종합적으로 검토하여 결정한다.

표 4.11.27 경사관로에 있어서의 기초공

관로기울기 (경사각 $\theta$ )	기 초 공
15°~ 20°	콘크리트 기초
20°~ 30°	콘크리트 단절(段切)기초
30°~ 40°	콘크리트 앵커기초
40°~ 50°	전면감기 콘크리트 단차(段差)기초

주) 1) 단차기초란 단절(段切)이 연속한 기초를 말한다.

2) 경사각이 50°를 넘는 경우는 토압작용의 유무 등을 포함하여 별도 검토를 한다.

#### 5) 지수벽의 설치와 용출수대책

##### 가) 지수벽의 설치

경사면에 따라 관체를 포설하는 경우에는 전절에 기술한 관체안정의 조건을 만족시키는 외에 필요에 따라 지하수대책을 검토할 필요가 있다.

기초바닥에 투수성이 높은 모래나 사질토 등의 재료를 사용하는 경우는 기초바닥이 물길로 되어 세굴되는 것을 방지하기 위해 필요에 따라 불투수성의 점토 등으로 지수벽을 설치하기도 한다 (그림 4.11.73 참조).

더욱 이 경우에는 횡단방향으로 드레인 등을 설치하여 기초바닥부의 지하수위 상승을 방지해야 한다.

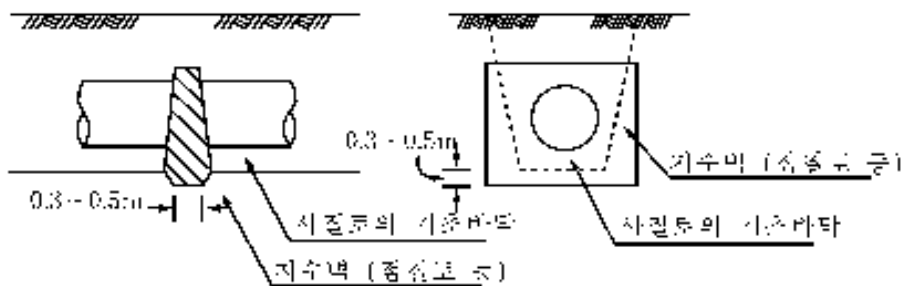
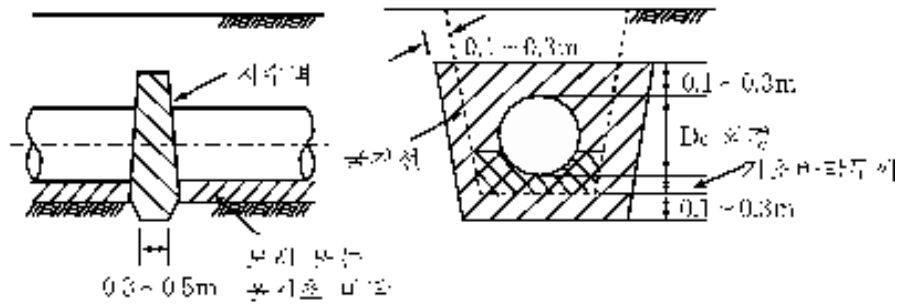


그림 4.11.73 지수벽의 예



지수벽은 관체의 경사가 10°~15°의 경우는 관체 2~3본에 한 개소 정도, 10° 미만의 경우는 필요하다고 인정되는 경우에만 설치한다.



주) 300mm 이상은 그림중의 최대 치수를, 300mm 미만은 그림중의 최소치수를 사용한다.

그림 4.11.74 지수벽 치수의 표준

#### 나) 용출수 대책

관체의 포설구에 용출수가 있고, 시공 중 및 시공 후에 있어 기초모래가 유실될 우려가 있는 경우는 배수대책을 우선 시행하고 그래도 부족할 경우는 드레인의 설치, 유실하지 않는 기초공의 채움 등에 대하여 검토하는 것으로 한다. 유실하지 않는 기초공에는 쇄석기초, 콘크리트기초 등이 있다.

#### 4.11.5. 관(管)설계

관경(管徑)의 결정에 있어서 시점의 수위는 저수위, 종점의 수위는 고수위를 기준으로 한 동수경사를 적용하고, 덕타일 주철관이나 강관을 사용하는 경우는 경과연수에 따라 통수능력이 감소되므로 설계시 15~20년 후의 상황을 고려하여 설계해야 한다. 주어진 설계유량에 대한 총경비(건설비, 이자, 감가상각비, 유지관리비 등을 합한 금액)가 최소가 되어 가장 경제적인 관경이 되도록 해야 한다.

또 관종을 선정할 때는 내압 및 외압에 대한 안전성, 환경조건, 시공조건 등을 감안하여 최적의 것을 선정해야 하고 특히 강관의 경우에는 부식(腐蝕)대책을 강구하고 전기방식(電氣防蝕)의 도입도 검토해야하고 도장(塗裝) 또는 도복장(塗覆裝)에 대한 경제성은 물론 내구성과 성능을 충분히 검토하여 채택해야 한다.

## 가. 관경(管徑)설계

### 1) 관경계산식

보통 관수로의 흐름에 대해서는 하젠-윌리엄스(Hazen-Williams) 공식이 널리 사용되고 있다. 관내 흐름 영역이 소위 조면영역(粗面領域)에서는 Manning 공식이 적용되나 포장 등 말단 관로의 경우는 하젠-윌리엄스 공식이 적용된다. 참고로 하젠-윌리엄스식에 의한 관경계산 결과를 그림 4.11.75로 표시하였다.

하젠-윌리엄스는 관내 평균유속  $V$ 를 다음 식으로 나타냈다.

$$V = 0.84935 \cdot C R^{0.63} \cdot I^{0.54} \quad \dots\dots\dots (4.11.123)$$

이를 관경  $D$ 인 원형관으로 정리하면,

$$V = 0.35464 \cdot C D^{0.63} \cdot I^{0.54} \quad \dots\dots\dots (4.11.124)$$

$$Q = 0.27853 \cdot C D^{2.63} \cdot I^{0.54} \quad \dots\dots\dots (4.11.125)$$

$$D = 1.6258 \cdot C^{-0.38} \cdot Q^{0.38} \cdot I^{-0.205} \quad \dots\dots\dots (4.11.126)$$

$$I = h_f/L = 10.666 \cdot C^{-1.85} \cdot D^{-4.87} \cdot Q^{1.85} \quad \dots\dots\dots (4.11.127)$$

여기서,  $V$ : 평균유속 (m/s)

$C$ : 유속계수 (관경150mm 이하는  $C=140$ 이 표준임)

$R$ : 경심 (m) (관이 만류한 경우  $D/4$ )

$I$ : 동수경사

$Q$ : 유량 ( $m^3/s$ )

$D$ : 관경 (m)

$L$ : 관로길이 (m)

$h_f$ : 마찰손실수두(m) 이며 
$$h_f = f \cdot \frac{D}{L} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

여기서,  $g$ : 중력가속도

$f$ : 마찰손실계수이며 
$$f = \frac{1.337}{C^{1.852} D^{0.167} V^{0.148}}$$

표 4.11.28 유 속 계 수

관 종 (내면상태)	유 속 계 수 (C)		
	최대치	최소치	표준치
주철관 (비도장)	150	80	100
강관 (비도장)	150	90	100
도복장강관	-	-	110
콜타르도복장 (주철)	145	80	100
타르에폭시도장관	-	-	130
콘크리트관	140	120	130
경질염화비닐관 (PVC)	160	140	150
폴리에틸렌관 (PE)	170	130	150
강화플라스틱복합관 (FRPM)	160	-	150

2) 전제조건

- 노선 및 분수공 설치지점을 확정한다.
- 말단의 분수공에 대한 지배면적 및 단위용수량으로 설계용수량을 결정한다.
- 상류, 하류, 중간수조 등의 설계수위 HWL과 LWL를 결정한다.
- 말단의 압력을 설정한다. 발관개 지구는 스프링클러 등 관개장치를 사용할 수 있도록 말단압력을 충분히 (196 ~ 294kPa/cm<sup>2</sup>) 확보한다.

3) 계산순서

가) 1차 시산

- 하젠-윌리엄스 공식을 사용하여 관로구간별로 손실수두를 계산한다.

$$H_f = 10.666 C^{-1.85} D^{-4.87} Q^{1.85} L \dots\dots\dots (4.11.128)$$

- 상류수위로부터 관로손실수두를 빼서 하류수두를 결정한다.
- 상하류 수두차로부터 상기 식 (4.11.128)을 사용하여 관로구경을 산정한다.
- 위와 같이 구경은 시중에서 판매하고 있는 규격관로의 상위관로를 선택하는데 이때 사용할 관종을 가정한다.

나) 2차 시산

- 규격관로로 관로구간의 손실수두를 계산한다.
- 상류수위로부터 관로손실수두를 빼서 하류수두를 결정한다.
- 상하류 수두차로부터 관로유속을 계산하여 유속이 설계유속 범위에 들어 있

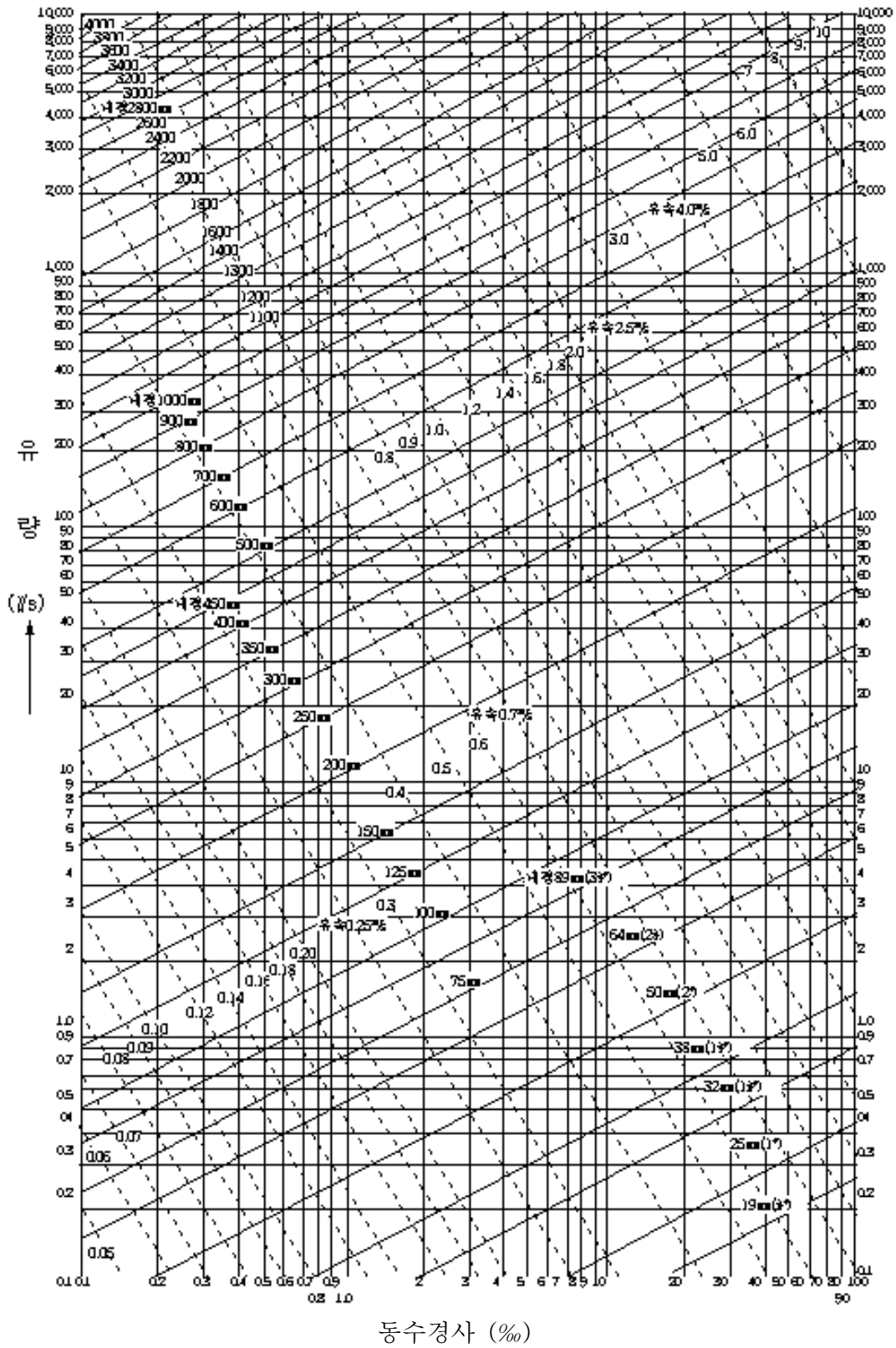


그림 4.11.75 하젠·윌리엄스 공식도표 (C=110)

는지 확인하여 구경을 조정하면서 말단수두가 충분하도록 설계한다.

#### 4) 설계조건

##### 가) 유속계수

지구의 특성 등을 고려하여 후보 관종을 선정하여 유속계수를 정한다. 유속계수는 설계기준이 정하는 수치의 10% 정도를 작게 하여 미소손실을 고려한다.

##### 나) 수위경계

관경은 수리단위별로 결정하기 때문에 자유수면이 있는 곳의 수위조건설정이 중요하다. 관경계산시 상류수위는 L.W.L, 하류수위는 H.W.L을 사용하여 설계한다.

##### 다) 설계한계유속

설계유속은 농업용관수로 설계시공지침에 제시되어 있는 한계유속을 기준으로 한다. 관수로내 부유물의 퇴적을 방지하기 위하여 최소유속은 0.3m/s 이상으로 설계한다.

##### 라) 설계(안) 설정

수리해석을 한 가지 안으로만 검토할 경우 그 이외의 수리현상에 대한 검증이 되지 않아 설계를 실패할 수 있다. 이러한 경우를 보완하기 위해 여러 개의 안을 제시하고 이 안들 중에서 최선의 안을 선택하도록 한다.

표 4.11.29 허용 최대 평균유속

관 종	유 속 (m/s)
콘크리트관 (흙관, PC)	3.0
강관 (SP)	6.0
주철관 또는 덕타일 주철관 (DCIP)	6.0
폴리에틸렌관 (PE)	6.0
강화플라스틱복합관 (FRPM)	6.0

#### 나. 관종(管種)선정

##### 1) 일반사항

일반적으로 덕타일 주철관, 강관, 경질염화비닐관(PVC관) 및 기타 화학제품재료에 의하여 제작된 관 등이 많이 사용된다.

그러나 송·배수관의 경우 자연유하로, 수압이 낮고 수압변동이 없으면서 매설되는 지반이 튼튼하여 부등침하의 염려가 없는 조건에서는 프리스트레스 콘크리트관이나 원심력 콘크리트관을 사용할 수도 있다.

우리나라의 경우 과거에는 경제적인 문제와 철강자재 조달문제로 이와 같은 콘크리

트관을 큰 구경에서 많이 사용하였으나 지금은 사용되는 경우가 그리 흔하지 않다.

관중선정에서는 내압 및 외압에 대한 안전성, 환경조건, 시공조건 등을 감안하여 최적의 것을 선정하지 않으면 안 된다.

안전성은 수압과 외압에 의하여 좌우되는 것으로, 어떤 경우에도 견디는 강도를 갖는 관중과 관 두께가 되지 않으면 안 된다. 이 경우 수압으로는 최대정수압과 수격압을 고려하며, 외압으로는 토압과 노면하중, 지진 등을 고려할 필요가 있다.

환경조건으로는 매설장소의 지질 상황이 대단히 중요한 바 지질상황에 따라서 특수한 접합이나 시공방법의 검토 또는 이형관 보호공, 부식방지공 등에 대하여 고려하여야 하며 시공조건으로는 주변 지하매설물의 상황, 교통사정 등을 고려할 필요가 있다.

경제적 설계는 관의 재료비, 공사비 및 펌프설비비 등 외에 장래의 유지관리비 등을 고려하여야 하며 경제성은 영농경영상, 중요한 것이기는 하지만 이것이 너무 강조되어 장래 안전급수를 저해하는 가능성이 있는 경우가 있어서는 안 된다.

## 2) 관중 선정시 고려사항

농업용관수로에 사용하는 관중은 농업용수의 송배수 조직에 필요한 수리, 구조, 시공 등의 조건을 충족하고 그 특성을 충분히 살릴 수 있는 것을 선정해야 하며 다음 사항에 유의해야 한다.

- 관은 각종 하중에 대해 충분히 안전한 강도와 양호한 수밀성을 가지며, 물의 흐름에 대한 저항이 적고 내구성과 내식성이 우수하며 시공이 용이하고 가격이 저렴한 것이 좋다.
- 매설 관로에서는 정수압이나 수격압 등의 내압 외에도 토압, 노면하중 등의 외압이 동시에 작용한다. 그러므로 이들 하중에 대해 충분히 견딜 수 있는 내압강도를 가져야 한다. 또 이형관 부분의 비평형력, 부등침하, 지진에 대해서도 충분히 안전하여야 한다.
- 강성관은 관중 선정에 있어 원칙적으로 관자체의 외압 및 내압 저항강도를 기준으로 관중을 선정한다. 연성관은 외압 저항강도를 표시하지 않는 것이 일반적이므로 관중을 선정할 때는 관 고유의 재료강도를 이용해서 계산한 응력과 변형(deflection)량을 검토하여 어느 경우에도 설계조건이 만족되는 관중을 선정해야하며 적절한 안전율을 고려하여야 한다.
- 관은 장기간에 걸쳐 물의 유통을 잘 유지할 수 있어야 한다.
- 강산성 지반에서의 콘크리트관류의 부식과 강관, 주철관류의 녹슬음과 전식 등에 대해서도 고려하여야 한다.

현재 농업용관수로에 일반적으로 사용되는 기성제품관의 종류와 규격 및 특징은 표 4.11.32와 같다.

## 3) 관중 선정순서

관중 선정의 일반적인 순서는 다음과 같다.

- 수리검토를 하여 관경을 개략 결정한다.
- 관수로의 형식, 송수방식 등의 시설조건으로부터 설계수압을 개략 결정한다.
- 수리검토의 결과를 기초로 해서 관의 종류와 규격을 개략 정하고, 이음의 수밀성, 관의 내수압강도 등을 검토하여 사용 관종을 개략 결정한다.
- 개략 결정된 관에 대해서 구조설계 검토를 한다.
- 이와 같이 기술검토를 거친 후에도 여러 종류의 관종이 선정대상이 될 때는 경제성의 비교 외에도 관로가 매설될 대상지구의 입지조건, 시공조건, 유지관리, 안전성 등을 종합적으로 검토하여 사용 관종을 결정한다.

#### 4) 선정방법

관수로에 사용하는 관종은 관체에 작용하는 내수압과 횡단방향 및 종단방향의 외압 하중에 대해서 충분한 강도를 갖고 있어야 하며, 이음에 있어서도 작용 내외압에 대해 충분한 강도와 수밀성을 가져야 한다. 따라서 관종 선정시 이음의 수밀성과 수압 강도를 검토해야 하는 경우와 관체의 수압강도를 검토해야 하는 경우로 구분할 수 있는데 경우에 따라 검토하는 내용은 다음과 같다.

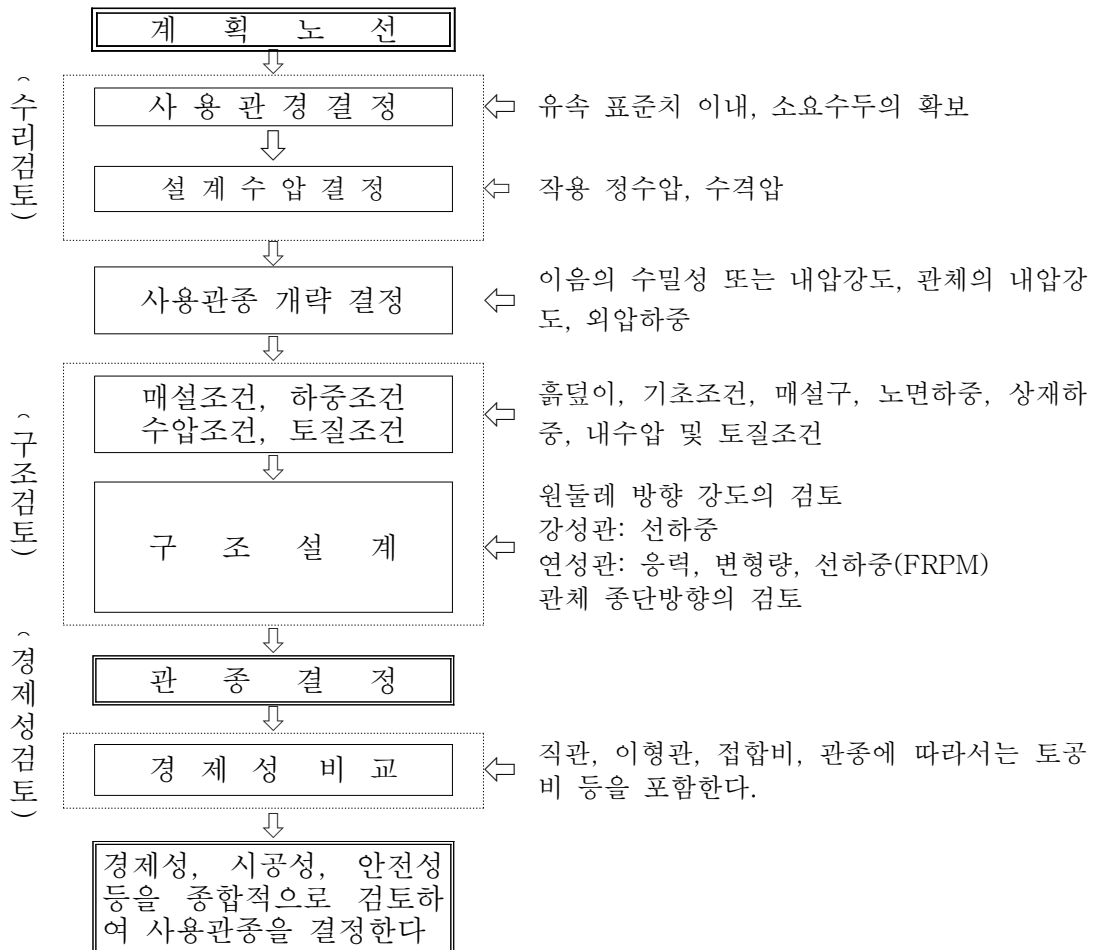


그림 4.11.76 관종 선정 순서

가) 이음의 수밀성을 검토해야 하는 경우

고무링, 고무패킹 등을 사용한 접합방식의 관종은 수밀성을 검토해야 한다. 일반적으로 원심력 철근콘크리트관 (RC관), 코어식 프리스트레스트 콘크리트관 (PC관), 덕타일 주철관 (DCI관), 경질염화비닐관(고무링접합) (PVC관), 강화플라스틱 복합관 (FRPM관) 같은 관종이 이에 속한다.

이음의 수밀성은 관체 또는 이음의 내압(耐壓)강도와는 다르다. 이것은 수압을 부하한 상태에서 휨 또는 재하시험을 행하여 이음을 최대휨강도까지 굽혔을 때 이음의 수밀성이 보장되는 경우의 수압을 가리킨다. 일반적으로 관이음의 수밀성은 그 이음의 내수압(耐水壓)강도보다 작은 값(수압)을 나타낸다.

이음의 수밀성 및 수압강도는 원칙적으로 식 (4.11.129)으로 결정한다.

$$H_{sc} \geq S \cdot H \quad \dots\dots\dots (4.11.129)$$

여기서,  $H_{sc}$ : 관이음의 수밀성 (N/cm<sup>2</sup>)

$H$ : 설계내수압 (정수압+ 수격압) (N/cm<sup>2</sup>)

$S$ : 안전율(부설상황에 따라 다르나 일반적으로 2.0 이상)

나) 이음의 내수압 강도를 검토해야 하는 경우

접착, 용착 등의 접합방식으로 이음하는 관종은 내수압(耐水壓)강도에 대해서 검토해야 한다. 일반적으로 경질염화비닐관(접착접합)이나 폴리에틸렌관(용착접합 등)같은 관종이 이에 속한다.

접착, 용착 등의 접합방식으로 이음한 관은 이음부가 새로이 관의 일부로 되므로 이 경우는 이음의 내압강도를 관체의 내압강도와 동등한 것으로 간주할 수 있다.



표 4.11.30 이음의 수밀성 또는 내수압강도에 의한 사용관종의 개략결정표준  
(단위: N/cm<sup>2</sup>)

관 종	관수로형식	정수압	설계수압	비 고
원심력철근콘크리트관	개 방 식	19.6	23.52	KS F 4403의 이음에 적용
코어식 프리스트레스트 콘크리트관 (1종) 표준형	개방식, 폐쇄식 및 반폐쇄식, 펌프압력수조식	PC형	58.8	KS F 4405의 이음에 적용
		DS형	88.2	
			117.6	
수도용 경질염화비닐관 (PVC)	상 동	73.5	98.0	KS M 3401의 이음에 적용
수도용 폴리에틸렌관 100 ~ 150mm 200mm 이상	개 방 식	36.26	45.08	KS M 3408-2의 이음에 적용
		25.48	31.36	
강화 플라스틱 복합관 (I, II 류)	개방식, 폐쇄식 및 반폐쇄식, 펌프압력수조식	109.76	132.3	FRPM K 111, JIS A 5350의 이음에 적용

- 주) ① 사용 정수압과 설계수압은 본표의 값을 상한으로 한다.  
 ② 상기 외의 관종 또는 이음은 KS에 최대 사용수압이 규정되어 있는 것에 준한다.  
 ③ 신축 가동이음의 KS 규격 및 제작자 규정을 검토하여 관체 또는 이음의 설계수압이상의 것을 사용한다.  
 ④ 본 표에 제시한 내수압강도중 KS 규격 등에 시험방법이 규정되어 있는 것 이외의 관종에 대해서는 원칙적으로 휨하중 재하상태에서 내수압강도를 결정한 것이다.

다) 이음의 수밀성 및 내수압강도의 검토가 필요하지 않은 경우

용접접합방식으로 이음한 관종은 이음의 수밀성 및 내수압강도에 대해 검토할 필요가 없다. 강관이 이에 해당한다. 표 4.11.30은 이음의 수밀성 또는 내수압강도로부터 관의 사용수압을 개략적으로 판단할 수 있는 자료이며 사용 관종을 개략적으로 선정할 수 있다.

라) 관체의 수압강도를 검토해야 하는 경우

관종에 따라서는 이음의 수밀성 또는 내수압강도보다 관체의 내수압강도가 작은 경우가 있다. 표 4.11.31은 관체의 내수압 강도로부터 사용수압을 개략적으로 판단할 수 있는 자료이며, 이표를 표 4.11.30과 병용하면 사용 관종을 선정하는데 방향을 세울 수 있다. 단 표 4.11.31에 제시한 값은 외압하중이 작용하지 않은 상태의 관체의 내수압 강도이다.

## 다. 배관설계

### 1) 배관설계 순서

배관설계의 순서는 그림 4.11.77과 같다.

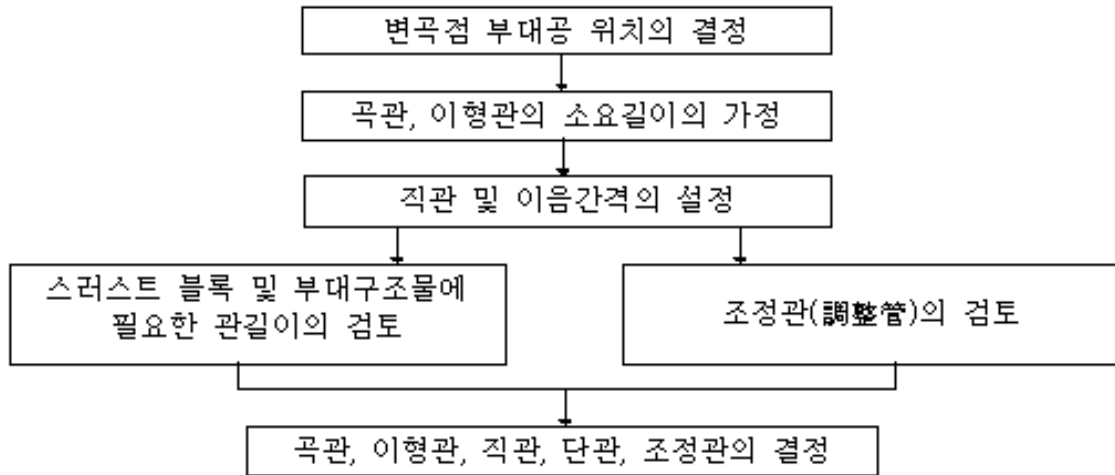


그림 4.11.77 배관설계순서

표 4.11.31 관체의 내수압강도에 의한 사용 관종의 개략결정표준

(단위: N/cm<sup>2</sup>)

관종		관수로 형식	정수압	설계수압	비 고
원심력 철근 콘크리트관 (RC)	2K	개 방 식	9.8	12.74	
	4K		20.58	25.48	
	6K		32.34	39.20	
코 어 식 프리스트레스트 콘크리트관 (PC)	1종	개방식, 폐쇄식 및 반폐쇄식 펌프 압력수조식	107.8	130.34	
	2종		86.24	103.88	
	3종		64.68	78.4	
	4종		43.12	51.94	
	5종		32.34	39.2	
수도용 경질염화비닐관 (PVC)	VP	상 동	73.5	98.0	
	H1VP		40.18	49.0	
수도용 폴리에틸렌관 (PE)	∅100 ~ 150mm	개 방 식	36.26	43.12	
	∅200mm 이상		25.48	31.36	
강 화 플라스틱복합관 (I류 및 II류) (FRPM)	1종	개방식, 폐쇄식 및 반폐쇄식 펌프 압력수조식	109.76	132.3	
	2종		85.26	102.9	
	3종		56.84	68.6	
	4종		40.18	49.0	
	5종		19.60	24.5	

표 4.11.32 관의 종류와 특성

관 종		규 격	관경 (mm)	특 성	
강성관	콘크리트관	KS F 4403 KS F 4405	150 ~ 3,000	내식성과 강도가 크고 중량이 무겁고 이음매의 신뢰도는 낮다.	
	덕타일 주철관	KS D 4311	80 ~ 2,600	강도와 내구성이 크며, 내식성도 우수. 내면에 모르타르 라이닝이 되어있어 유량계산시 경년 변화를 고려할 필요는 없다. 외면도장은 역청과 수지를 쓰며 콜타르 도장한 것보다 내식성이 강하다.	
연성관	상수도용도복장강관	KS D 3565	80 ~ 3,000	강도가 크고, 내구성, 인성(韌性), 연성(延性)이 좋고, 내충격성이 우수하다. 중량이 비교적 가볍고 내외면에 도장하면 방식성이 있다. 전식의 염려가 있으면 전기방식이 필요하다. 이음의 수밀성이 높고 내진성이 우수하여 수관교에 적합하고 내외압이 큰 관로와 연약지반 관로에 적합하다. 용접공사가 대체로 어렵고, 작업시 손상부위의 부식우려가 있다	
	강관 일반용수용도복장강관	KS D 3526	80 ~ 3,000		
	염화비닐관(PVC)	수도용경질염화비닐관	KS M 3401	13 ~ 300	경량이며 내식성, 내전식성, 내면조도가 매끄럽다. 연약지반에 적합하다. 내충격, 특정약제, 열, 자외선에 약하다.
	폴리에틸렌관(PE)	수도용폴리에틸렌관	KS M 3408 KWWA 130A	16 ~ 1,600 350 ~ 600	가볍고 시공성이 우수하다. 내충격성, 내약성, 내식성, 내전식성이 우수하고 연약지반에 적당하다. 대구경은 제품가격이 비싸고 다른 관종에 비하여 강도가 약하고, 제품재료의 식별이 어렵다.
	강화 플라스틱 복합관(FRPM)		200 ~ 3,000	가볍고 운반시공이 용이하다. 내충격성, 내식성, 내전식성, 내마모성, 내크리프성이 크다. 연결부에 강성이 있고 연약지반에 적합하다.	

2) 이음간격

설계상 이음의 간격은 관재질에 따라 다르며 그 기준은 표 4.11.33과 같다.

표 4.11.33 PC관, RC관의 이음간격

RC관 (KS F 4403 보통관)		PC관 (KS F 4405)	
규격 (mm)	이음간격 (mm)	규격 (mm)	이음간격 (mm)
Φ150 ~ Φ350	6	Φ500	8
400 ~ 900	8	600 ~ 900	10
1,000 ~ 1,500	10	1,000 ~ 1,350	12
1,650 ~ 2,000	12	1,500 ~ 2,000	14

3) 곡관 및 이형관

곡관 및 이형관은 사용 관종에 적합하고 가능하면 관종별로 규정되어 있는 규격품을 사용하는 것이 좋다. 강판제(鋼板製)의 이형관을 사용하는 경우는 원칙적으로 KS D 3578에 정해진 크기 및 제조방법을 사용하는 것이 좋다.

4) 조정관(調整管)

조정관은 PC관이나 RC관과 같이 자유로이 절단할 수 없는 관종을 사용할 경우에는 공사의 시점이나 종점 및 관의 포설방향이 변화되는 점, 공구와 공구의 절점 등에 설치한다.

조정관은 일반적으로 신축이음을 사용하지만 이것은 고가이므로 따로 신축이음을 필요로 하는 지점과 겸용하든가 또는 부등침하의 위험이 없는 지반에서는 신축이음을 사용하지 않고 용접하는 경우도 있다.

5) 곡선포설

관수로는 굴곡이나 분기점에서 약한 것이 보통이다. 따라서 누수사고의 위험이 많을 때는 조건에 적합한 곡관, T자관 등의 이형관을 사용하여야 한다. 또한 가동이음을 사용해서 관로의 곡선설치를 할 경우에는 각 이음의 설계굴곡각도를 각 이음의 최대허용굴곡각도의 1/2 이내로 한다.

6) 이음

관수로는 필요에 따라 신축이음이나 가동이음을 설치한다.

가) 가동이음

절토와 성토의 경우 및 부대구조물과의 접속에는 부등침하를 흡수하기 위하여 가동이음을 설치하는 것이 좋다. 가동이음은 예상되는 변위량에 적합한 형식의 것을 선정하여야 한다.

나) 신축이음

관의 양단이 고정된 콘크리트 밸브박스 등에서는 온도변화에 따라 관에 발생하는 응력의 흡수, 시공시 기계류의 최종설치, 유지관리시 기기의 제거 등을 위하여 여유를 두어야 하며 이러한 경우에 신축이음을 설치한다 (그림 4.11.78 참조).

용접이음 등의 고정이음을 사용한 관수로에서는 온도변화에 따른 신축량을 고려하여 신축이음을 설치하는 것이 좋다. 한편 부등침하가 예상되는 지반에서는 신축성과 가동성이 복합된 이음을 사용하는 것이 좋다.

(1) 온도변화에 따른 관의 신축량과 이음간격

관의 신축량과 신축이음의 간격은 식 (4.11.130)에 의하여 구한다.

$$\Delta l = \alpha \cdot T \cdot l_0 \leq \Delta L \quad (4.11.130)$$

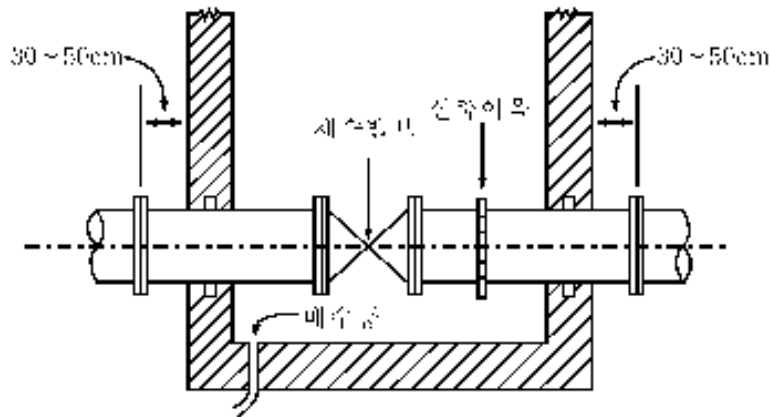


그림 4.11.78 밸브와 신축이음의 설치 예

여기서,  $\Delta l$ : 온도변화에 따른 신축량 (cm)

$\alpha$ : 선팽창계수

강관(용접):  $1.2 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

덕타일 주철관 (이탈방지이음):  $1.15 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

PVC관 (접착 등):  $7 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

PE관 (용접 등)  $1.3 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$

$T$ : 온도변화 (매설관에서는  $20^{\circ}\text{C}$ 로 한다.)

$l_0$ : 이음간격 (cm)

$\Delta L$ : 이음 1개당 신축량 (cm)

(2) 관의 균형길이와 신축량

관이 일체로 연결되어 매설되어 있을 때 온도변화에 의한 관의 신축량은 관의 표면 마찰력에 의하여 상쇄된다.

이때 균형길이는 식 (4.11.131)과 같다 (그림 4.11.79 참조).

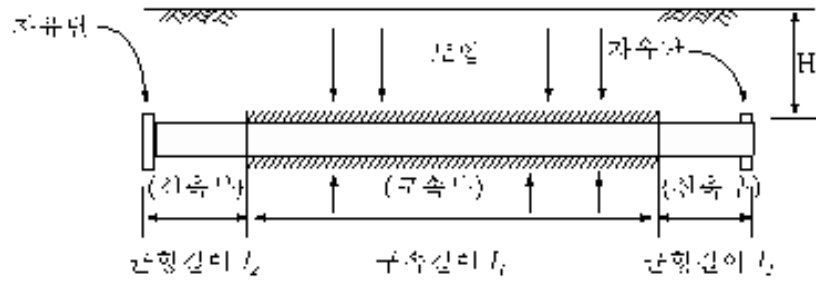


그림 4.11.79 균 형 길 이

$$\begin{aligned}
 l_2 &\geq P_t / \tau \\
 P_t &= A_s \cdot E \cdot \pi \cdot T \\
 \tau &= f \cdot r_t \cdot H \cdot \pi \cdot D_c \\
 \Delta l' &= l_2 \cdot \alpha \cdot T / 2
 \end{aligned}
 \tag{4.11.131}$$

- $l_2$ : 균형길이 (cm)
- $P_t$ : 신축력 (N)
- $\tau$ : 구속력 (N/cm)
- $A_s$ : 관의 실제단면적 (cm<sup>2</sup>)
- $D_c$ : 관외경 (cm)
- $\alpha, T$ : 식 (4.11.130) 참조
- $f$ : 마찰계수 (강관은 0.5, 경질염화비닐관, 폴리에틸렌관은 0.3)
- $r_t$ : 흙의 단위중량 (N/cm<sup>3</sup>)
- $H$ : 매설깊이 (cm)
- $E$ : 탄성계수 (kN/cm<sup>2</sup>)
- $\Delta l'$ : 신축량 (m)

이때 자유단에만  $\Delta l'$ 을 흡수하는 신축이음을 설치하면 된다. 그리고 이 균형길이 구간( $l_2$ )에는 구조물을 설치하지 않는 것이 좋다. 이때 구속길이  $l_1$  구간에는 온도 응력  $f_T = E \cdot \alpha \cdot T$  (N/cm<sup>2</sup>)이 발생하나 관체의 강도계산에는 무시해도 좋다.

### 7) 구조물과 관의 접속

밸브박스, 수로, 스러스트 블록 등의 콘크리트구조물과 관의 접속은 부등침하나 관이 빠지는 힘이 작용하여도 안전하여야 한다.

#### 가) 구조물과 관의 접속

콘크리트구조물과 관수로를 접속할 때는(용접강관은 제외) 구조물과 관 사이를 단관과 가동이음으로 접속하는 것이 좋다.

#### 나) 구조물과 관의 매입

밸브박스나 수조 등의 콘크리트 구조물에 관이 콘크리트벽을 관통할 때는 스티프너

를 설치하여 관이 미끄러지지 않도록 하여야 한다.

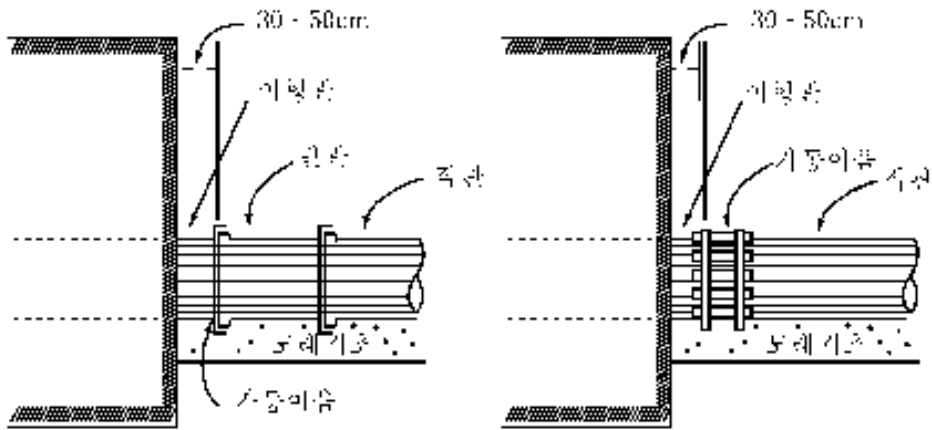


그림 4.11.80 구조물과 관의 접속

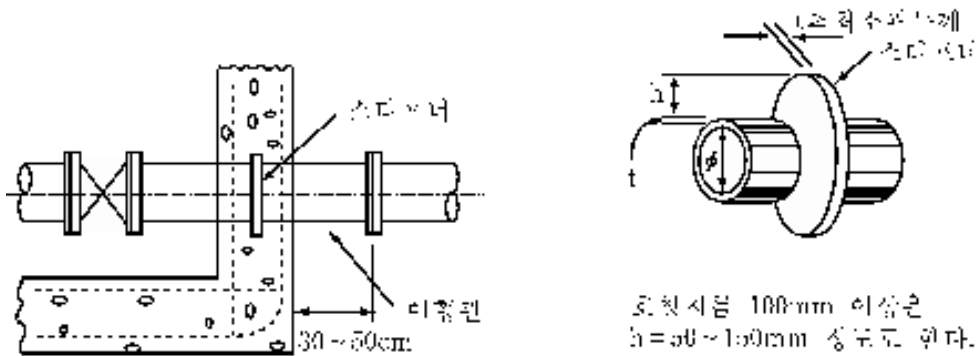


그림 4.11.81 구조물과 관의 매설

### 라. 내진(耐震)설계

관수로에 대한 내진설계는 우리나라의 경우 고려하지 않는 것이 보통이지만 강진대 지역(强震帶地域)의 연약지반지대 등을 통과하는 매우 중요한 관수로에 대해서는 필요에 따라 지진에 대한 검토를 하는 것이 좋다.

일반적인 매설 관수로의 내진설계는 응답변위법을 이용하지만, 대구경 또는 고압관수로에서는 사회적인 영향도 크므로 동적해석법 등의 고도(高度)방법이나 피해경험 등을 참고로 설계한다.

#### 1) 내진 설계상의 유의점

매설 관수로와 같이 길이가 길고 여러 지반에 걸쳐있으며, 따라서 지진의 강도도 장소에 따라 다른 구조물에서는 전반적으로 균일한 내진성을 확보하기 어려우므로



다음의 피해경감방법을 기본으로 하여 설계를 한다.

- 가) 매설관에 대하여는 지반의 특성이 관체에 큰 영향을 주므로 노선의 선정, 부대 구조물의 위치 결정시 토질조사, 지반조사를 하여 연약지반, 절토, 성토부, 지형, 지질의 급변부 등은 피하는 것이 좋다.
- 나) 조정지, 배니시설, 스탠드, 스러스트 블록(앵커블록), 제수밸브 및 펌프실 등 관체와 고유주기가 다른 부대구조물과의 접합부에서는 지진시 큰 변형이나 응력이 발생할 수 있으므로 신축가동이음을 하는 것이 좋다.
- 다) 긴 관로에 곡관부가 있으면 지진시 응력집중이 생기기 쉬우므로 수평 및 연직 곡관부의 반경을 크게 하여 급격한 굴곡을 피하는 것이 좋다.
- 라) 내진설계시에는 송배수에 따른 위험분산 또는 재해가 지나간 후의 안전대책(송수정지기구의 확립 등) 및 복구공사에 대하여도 생각한다. 따라서 대구경에서는 지진피해가 있을 경우 외부로부터의 점검은 대규모 작업이 되므로 내부에서 점검할 수 있도록 적당한 간격으로 맨홀을 설치한다. 또한 소구경관에서는 구간별로 누수량을 점검할 수 있도록 분수공 및 이형관의 설치 등을 이용하여 제수밸브를 설치하는 것이 좋다.

## 2) 응답변위법에 의한 내진 계산법

응답변위법은 선상의 구조물에서 주변의 지반보다 가볍거나 또는 같은 정도의 단위 체적중량을 갖고 있는 지중 구조물은 지진시의 변형이 주변지반의 변형에 지배된다는 이론을 바탕으로 한다. 이 방법에서 설계에 이용하는 구조물의 역학계(力學系)는 균일한 지중에 매설된 구조물을 지반에 따라 의사(擬似)탄성적으로 지지된 기둥이나 보로 취급한다. 이 방법을 관로에 적용할 때는 내진 특성상 표 4.11.34와 같이 분류하여 내진설계를 한다.

표 4.11.34 매설관의 분류

구분	내진 특성
이음구조관로	관체의 변형에 대하여 이음의 변위가 대응되는 관로로 관체에 발생하는 응력이 작으며 이음신축량의 검토를 주로 한다.
일체구조관로	관체자신의 강도 및 신장특성에 따라 대응하는 관로로 축방향응력의 검토를 주로 한다.

### 가) 지진력의 산정

지진에 의한 지반의 응답 변위량은 식 (4.11.132)로부터 구한다.

$$U = \frac{2}{\pi^2} \cdot K_{hg} \cdot S_v \cdot T_s \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot h}{2H}\right) \dots\dots\dots (4.11.132)$$

여기서,  $U$ : 매설깊이  $h$ 에서의 수평변위진폭 (cm)

$h$ : 지표면에서 관중심까지의 깊이 (cm)

$H$ : 지표면에서 설계 기반까지의 깊이 (cm)

$K_{hg}$ : 설계 기반면의 설계 수평진도 (설계진도(設計震度)는 지역, 지반, 구조물에 따라 다르며 우리나라의 지진 구역원은 표 4.11.35와 같다. 기타 자세한 내용은 「농업생산기반정비사업계획설계기준 콘크리트 댐 편」의 “지진시 관성력” 항을 참고)

$S_v$ : 속도 응답 스펙트럼의 기준치 (cm/s)

$T_s$ : 표층 지반의 기본 고유주기(s)이며  $T_s = C \cdot \frac{H}{V_s}$  이다

$C$ : 상수(점성토 4.0, 사질토 5.2)

$V_s$ : 표층 지반의 전단 탄성파의 전파속도 (cm/s)

나) 이음구조 관수로의 설계

○ 이음 신축량의 계산

지진시 이음에 생기는 신축량은 식 (4.11.133)으로부터 구한다.

$$\sigma = \varepsilon \cdot \ell \dots\dots\dots (4.11.133)$$

여기서,  $\sigma$ : 이음의 신축량 (cm)

$\varepsilon$ : 지진시 지반의 신축 변형도(지반의 변형도가 그대로 관로에 전달되는 것으로 본다)

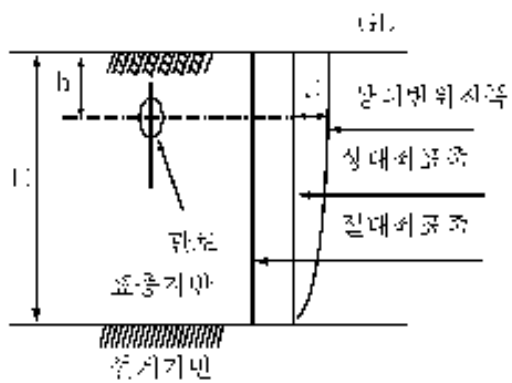
$\ell$ : 관 길이 (cm)

지표면 부근의 변위도는 식 (4.11.134)로부터 구한다.

$$\varepsilon = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{T_s \cdot A}{V_s} \dots\dots\dots (4.11.134)$$

여기서,  $\varepsilon$ : 표층지반의 변위도

$T_s$ : 표층지반의 기본 고유 주기 (s)



※: 설계기반(設計基礎)은 동상 N값 50이상의 고층 건물의 속도 300cm/s 이상으로 한다.

그림 4.11.82

지반모델과 기반에 대한 상대 변위

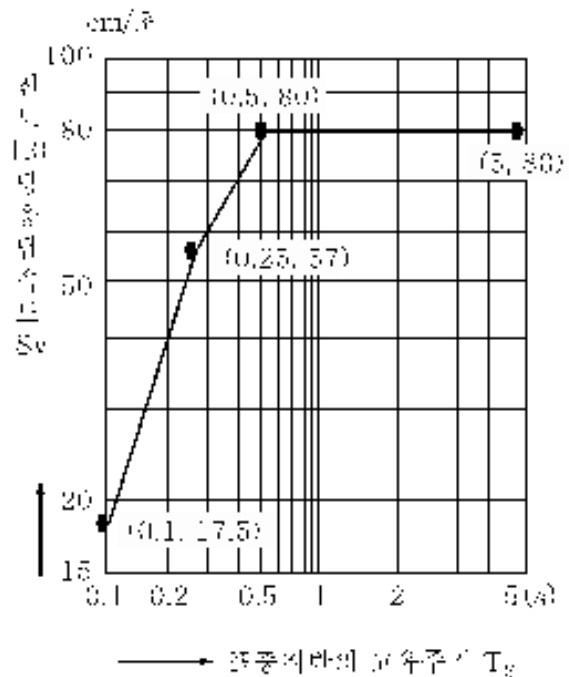


그림 4.11.83

단위진도당 응답속도 (cm/s)

우리나라의 지진구역별 건축물의 구조기준은 다음 표 4.11.35와 같다.

표 4.11.35 지진구역 (건축물의 구조기준 등에 관한 규칙 제6조 1항 관련)

지진구역	지역계수	해당지역
I	0.11	서울특별시, 모든 광역시
		경기, 충남북, 경남북, 전북, II 해당구역을 제외한 강원도 및 전남 지역
II	0.07	강원도 북부 (속초시, 춘천시, 고성군, 양구군, 양양군, 인제군, 철원군, 평창군, 화천군, 홍천군, 횡성군) 전남 남서부 (목포시, 강진군, 고흥군, 무안군, 신안군, 영광군, 영암군, 완도군, 진도군, 함평군, 해남군) 제주도

주) 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙 (2000.5.22 건설부령 제235호)

## 마. 관 파손(破損) 및 부식(腐蝕) 대책

### 1) 관 부식의 원인

철관은 철광석을 인위적으로 산화 환원하여 생산된 것이므로 가장 안정된 철광석인 산화철의 상태로 되돌아 가려하는 자연적인 현상을 부식이라고 하는데 크게 자연부식과 전기부식으로 분류할 수 있다.

자연부식은 그 형태에 따라 관의 내면부식과 외면부식으로 나눌 수 있는데 내면부식은 주로 수돗물 등 사용되는 재료에 따라 금속표면의 전기화학적 작용에 의해 발생된다. 외면부식은 주로 토양부식 즉 토양과 접하는 금속체의 부식에 의하여 일어난다.

전기부식은 물이나 토양과 같은 전해질에 접촉하는 금속의 표면에는 표면상의 용존 산소 농도차, 온도차 등의 환경조건과 불순물, 잔류응력, 표면부착물 등 금속층의 조건에 의해 전위차가 생겨서 부식전지(腐蝕電池), 즉 양극부와 음극부를 형성하여 저전위의 양극부에는 금속이 전해질속에 용출되어 전류가 흐르므로 양극부의 금속이 용해되는 것을 전기부식이라 한다.

일반적으로 부식을 받기 쉬운 장소로는 산성 공장폐수나 오염된 하천수 등이 지하에 침투한 장소, 해변가에서 지하수중에 다량의 염분을 포함한 장소, 유황분을 포함한 석탄으로 성토한 장소, 부식토, 점토 및 이탄(泥炭)지대, 폐기물의 매립지 등이다. 이러한 부식성에 약한 장소에 매설하는 관에 대해서는 관 종류의 선택 및 방식공법에 대하여 충분히 주의하여야 한다.

### 2) 강관의 파손원인과 대책

농업용 관수로나 상수도관의 파손원인은 일반적으로 복합적일 경우가 많지만 관 자체가 부식 등으로 노후 되어 파손되는 경우와 중차량 등에 의한 외적인 요인이 대부분이다. 예상외의 수격압이나 온도변화, 연약지반의 침하와 태풍이나 홍수에 의한 재해 등도 원인이다. 또 사용재질의 불량이나 도장공사나 관 부설공사의 부실이 관 파손의 원인이 된다.

표 4.11.36 강관의 파손원인과 대책

구분	관의 파손 원인	대책
시설의 노후	토양, 전기에 의한 부식이나 밸브, 플랜지의 접합부 부식 등	도장, 전기방식
국부적 파손	수격압 등에 의한 파열, 접합부이탈, 밸브류 파손	수리계산시 여유확보, 유지관리 및 점검
외부적 요인	중차량 통행, 기온 급변으로 온도변화, 연약지반의 침하, 타공사에 의한 파손 등	흙덮이(土被) 높이 확보, 관매설 위치 표시
관 재질 불량	관, 밸브류, 도료 등의 재질불량	각종 재료시험 실시
부실시공	공장의 도장부식, 관매설이나 밸브류 공사 부실	각종 시험과 시공감리 철저
자연재해	지진, 태풍, 홍수 등의 재해	재해를 감안한 설계 및 시공

### 3) 부식(腐蝕) 대책

#### 가) 강관의 방식(防蝕)방법

강관은 농업용 관수로 이외에도 상하수도, 석유파이프라인, 천연가스 파이프라인, 공업용수 등에 활용되고 있는 국민생활을 지켜주는 매우 중요한 시설이므로 부식에 의한 피해가 발생하지 않도록 방식조치를 하여야 한다.

강관의 방식방법은 각종 도료에 의한 도장 또는 도복장하는 방법과 전기방식이 있다. 강관의 방식을 위하여 예전부터 여러 가지 방법이 연구 개발되어 실용화 되었다. 현재에도 보다 더 우수한 방식방법과 방식재료에 대한 연구가 계속되고 있으며 일반적으로 사용되고 있는 방식대책은 다음과 같다.

- (1) 철관류는 내면 부식의 원인이 되는 수질인자에 관하여 충분히 수질검사를 행하고 이에 대한 제거대책을 강구하여야 한다.
- (2) 철관, 체수밸브 등 땅속에 매설된 금속재료는 토질내에 특수한 성분을 포함하였을 경우 심하게 부식을 받는 경우가 있다. 이와 같은 토질에 대하여는 재료의 선택에 착오가 없도록 하는 것이 중요하며 사용하는 재료의 보호에 주의하여야 한다. 주의할 토질은 지하수에 해수를 포함하였을 경우나 석탄재 등에 의하여 매립된 장소나 토양이 습윤하여 황산염을 포함하고 있는 경우로 부식은 염소이온 또는 각종 산에 의하거나 황산염 환원박테리아(SRB)의 번식에 의하는 일이 많다.
- (3) 가장 침식되기 쉬운 각종 볼트류는 스테인리스강 제품을 사용하거나 볼트를 설치한 후에 에폭시나 기타 적당한 도료로 피복하여야 한다. 또 관 전체를 플라스틱 포대로 피복하는 방법도 효과가 있다.

- (4) 철관류의 방식대책으로는 되메우기 토사의 치환이나 폴리에틸렌 슬리브(polyethylene sleeve) 피복, 아스팔트 계통 도장, 타르에폭시 도장, 또는 외면을 콘크리트 포대나 각종 방식테이프로 두르는 것 등을 들 수 있다.
- (5) 이음부의 볼트 및 너트류는 관 몸체보다도 부식이 비교적 빠르므로 특히 주의하여야 한다. 내식성 볼트 및 너트(스테인리스강 제품 또는 방식 산화피막 처리, 에폭시분체도장 등)의 사용, 폴리에틸렌 슬리브를 피복하거나 붙인 후에 타르에폭시나 기타 적당한 도장을 하는 것 등으로 이음부를 방식하는 방법이 있다.
- (6) 경질염화비닐(PVC)관은 적외선 및 현저한 고온이나 저온에 대해 재질의 성질이 떨어진다. 아스팔트 주트나 크레오소트, 시너 등 유기용제에도 침투당하기 때문에 이와 같은 영향을 받을 우려가 있는 장소에서는 부설을 피하여야 한다.
- (7) 각종 밸브실 내부배관(밸브, 플랜지, 신축관, 배기밸브 등)과 가압장 등의 배관중 습기에 노출된 각종 배관류는 공장도복장으로는 부족할 수 있으므로 상수도관 도복용 테이프나 액상 에폭시 등 내식용 재료로 별도 방식을 하여야 한다.

한편 부식방지에 관한 자세한 사항은 한국건설기술연구원(KICT)의 「수도관 개량을 위한 의사결정지원 시스템개발」, 「수도관 개량을 위한 관로진단 매뉴얼(manual)」 그리고 「상수관 부식방지법」 보고서 등을 참고하면 많은 도움이 될 것이다.

#### 나) 도복장(塗覆裝)의 종류와 방법

현재 국내에서 적용중인 수도용 도복장강관(KS D 3565 등)의 내·외면을 방식하기 위한 도복장 방법은 공장 도복장과 현장 도복장이 있다.

도복장 도료는 내수성이 우수하고 화학적으로도 안정되어야 하는데 아스팔트계(系)(KS D 8306)와 콜타르 에나멜계(系)(KS D 8307) 및 폴리에틸렌계(系)(KS D 3607, 3589) 등이 있다.

폴리에틸렌계에는 피복방식이 분말용착식과 압출식이 있는데 기능, 성능, 내구성, 경제성, 시공성 등이 매설환경이나 현장여건에 따라 달라질 수 있으므로 면밀하게 비교 검토하여 공법이나 관종을 채택해야 한다. 특히 관 본체만 검토하지 말고 이음방법이나 이형관이나 플랜지 등 사용되는 부속품에 대하여도 관 본체와 동일한 항목을 동일한 수준으로 검토해야 관수로 시스템 전체의 기능이나 성능을 보장받을 수 있다.

#### 다) 에폭시 수지도료 방법

도막의 특성이 우수하고 작업성이 양호하여 근래 수도관의 내면 방식재료로 에폭시 수지도료가 점차 이용되고 있다. 우리나라에서는 1989년에 KS D 8501(수도용 타르에폭시 수지도료 및 도장 방법) 규격이 제정되어 수도계에 적용되기 시작하였으나 최근

해외에서 규격화된 액상 에폭시 수지도료 도장방법이 국내에 소개되면서 새로운 수도관 내면 방식방법으로 이용할 수 있게 되었다.

이 액상 에폭시 수지도료는 접착성, 도막강도, 방식성능이 우수할 뿐 아니라 타르 에폭시 수지도료와 동등 이상의 도장 작업성, 도막성능 및 위생성을 가지므로 수도용 관로에 널리 보급될 전망으로 국내에서는 1991년에 KS D 8502 (수도용 액상 에폭시 수지도료 및 도장 방법)로 규격화하였다.

도장방법은 공장 또는 공사현장에서의 주변 상황과 조건을 고려하여 소정의 도막을 얻을 수 있도록 규격에서 정한 절차에 따라 실시하여야 한다.

표 4.11.37 수도용 강관의 도복장 종류

구분	규격번호	규격명칭	사용도료 및 복장재	유사해외규격
공 장 도 복 장	KS D 8307	수도용 강관 콜타르 에나멜 도복장 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 콜타르 프라이머</li> <li>◦ 콜타르 에나멜</li> <li>◦ 글라스 클로스 (또는 헤시언 클로스)</li> <li>◦ 글라스 매트, 글라스 파이버 매트</li> </ul>	AWWA C 203 JIS G 3492
	KS D 8306	수도용 강관 아스팔트 도복장 방법	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 아스팔트 프라이머</li> <li>◦ 아스팔트</li> <li>◦ 내열용 비닐론 클로스</li> <li>◦ 글라스 클로스 (또는 글라스 매트)</li> </ul>	JIS G 3491
	KS D 8501	수도용 타르에폭시 수지도료 및 도장방법	◦ 타르 에폭시 수지도료	JWWA K 115 AWWA C 210
	KS D 8502	수도용 액상에폭시 수지도료 및 도장방법	◦ 액상 에폭시 수지도료	JWWA K 135 AWWA C 210
현 장 도 복 장	현장에서의 접합부 도복장은 지정된 도복장재료의 공장 도복장 요령에 준하며, 별도 사양을 지정한 경우는 그에 따름			
	기 타	강관용접부 외면 테이프 도복장 방법  수도용 도복장강관 조인트 코트	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 프라이머</li> <li>◦ 실링재</li> <li>◦ 테이프 (플라스틱계)</li> <li>◦ 플라스틱계 테이프</li> <li>◦ 고무계 시트</li> <li>◦ 열수축계 튜브</li> <li>◦ 열수축계 시트</li> </ul>	AWWA C 209  WSP 012

## 라) 전기방식(電氣防蝕)

### (1) 전기방식의 개요

금속은 본래의 상태인 산화물로 되돌아가려고 하는 자연적인 현상이 일어나는데 이것을 부식이라 하며 주위의 환경에 따라 부식되는 상태가 다르다. 일반적으로 전기방식이라 함은 피방식체를 인위적으로 음극화하여 대지 전위보다 낮은 음극전위를 유지하게 함으로써 부식을 방지하는 방법 즉 음극방식을 말한다.

### (2) 전기방식 방법

전기방식은 항만의 강널말뚝, 강관말뚝, 교량, 교각, 선박 등에 시공하여 큰 효과를 얻을 수 있으므로 외국에서는 거의 대부분 이 방법을 채용하고 있다. 전기방식 방법은 외부전원법, 희생양극법, 선택배류법 등 3가지로 크게 분류할 수 있다.

“희생양극법”이라 함은 지중 또는 수중에 설치된 양극 금속과 매설 배관을 전선으로 연결하여 양극 금속과 매설 배관 사이의 전지작용에 의하여 전기적 부식을 방지하는 방법을 말한다.

“외부전원법”이라 함은 외부 직류전원장치의 양극(+)은 매설배관이 설치되어 있는 토양이나 수중에 설치한 외부전원용 전극에 접속하고, 음극(-)은 매설배관에 접속시켜 전기적 부식을 방지하는 방법을 말한다.

“선택배류법”이라 함은 매설 배관의 전위가 주위의 타금속 구조물의 전위보다 높은 장소에서 매설 배관과 주위의 타금속 구조물을 전기적으로 접속시켜 매설 배관에 유입된 누설전류를 복귀시킴으로써 전기적 부식을 방지하는 방법을 말한다.

이와 같이 전기방식 방법의 사용에 있어서는 대지전위를 측정하여 가장 합리적인 방법을 선택하지만 두 가지 방법 이상을 조합하여 사용한다.

일반적으로 소구경 단거리 관로에는 희생양극법이, 대구경 장거리 관로에는 외부전원법, 특수부분에는 선택배류법이 유리하다.

## 4.11.6 밸브설계

관수로에 사용되는 밸브는 용도에 따라 방류용, 차단용, 제어용, 감압용, 기타(안전밸브, 역지밸브, 공기밸브 등)로 분류된다. 이들 밸브는 배관방식, 송수방식, 사용목적 등의 조건에 따라서 그 특성에 맞는 밸브를 선정하는 것이 중요하다.

### 가. 밸브의 분류

#### 1) 방류용 밸브

방류용 밸브는 저수조 등의 방수로에 설치되는 밸브로 상류수두와 방류량과의 관계에 의하여 유량제어기능을 충분히 발휘할 수 있어야 하며, 고압에서도 임의의 개도로



방류량을 조절할 수 있어야 한다.

이 밸브는 방류수의 고속에너지에 의한 하류수로의 손상을 방지하기 위하여 방류부에 감세수조(減勢水槽)를 설치하며, 설치방법에 따라 공중방류, 감세수조 내의 방류(수중 또는 반수중), 터널 내 방류 등이 있으나 방류시 감세 에너지가 크면 소음 진동이 발생되어 구조물이나 설비가 손상될 수 있으므로 설치시 주의한다.

## 2) 제어용 밸브

제어용 밸브는 관로의 입구, 말단, 중간부에 설치하여 밸브 개도로 관내의 압력, 유량을 임의로 조절하기 위하여 설치한다.

제어용 밸브는 그 사용목적에 따라 유량제어, 압력제어, 수위제어로 구분된다. 제어용으로 사용되는 밸브의 종류는 그림 4.11.84와 같다.

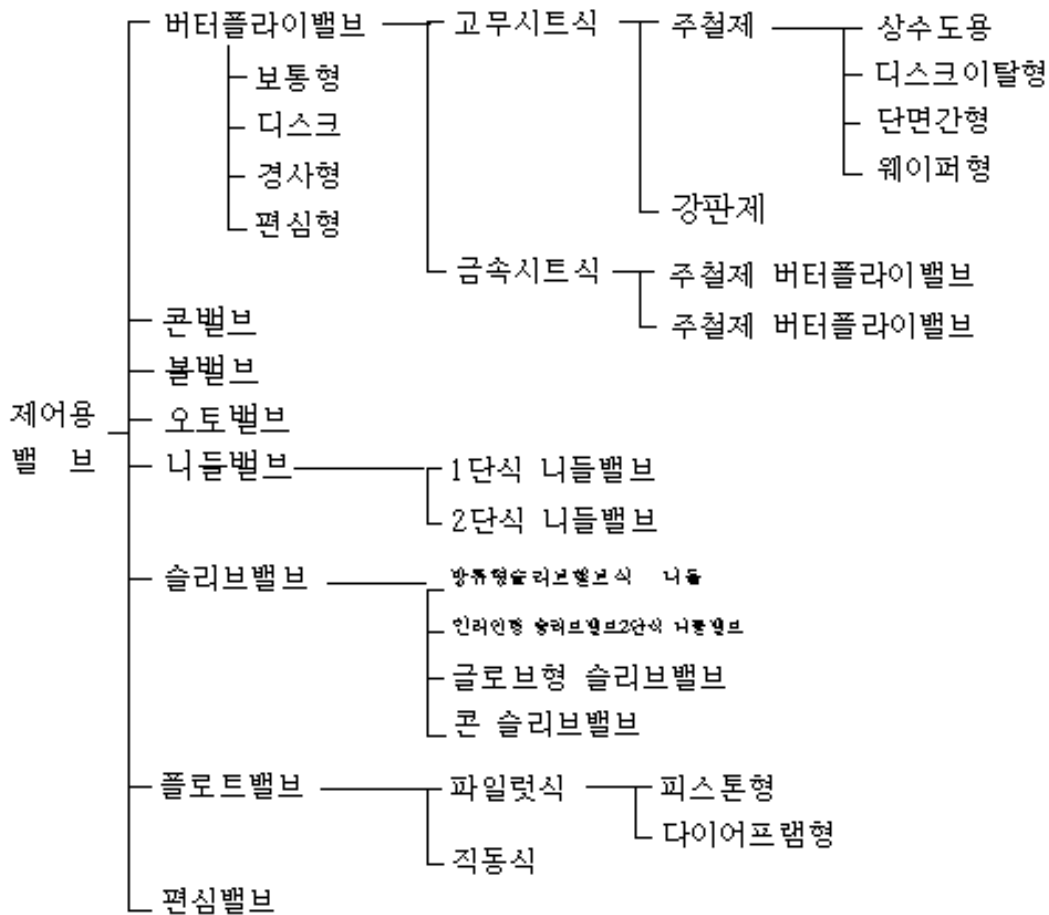


그림 4.11.84 제어용 밸브의 종류

### 3) 차단용 밸브

흐름의 ON-OFF 제어는 용수시설관리의 기본이며, 이 목적으로 차단용 밸브가 이용된다. 전개 또는 전폐상태에서 주로 사용되기 때문에 폐쇄시는 완전차단이 가능해야 하고 개방시에는 수두손실이 적어야 한다. 차단용 밸브는 관로의 종점, 분기점, 배니시설, 하상횡단부, 사고발생 가능성이 높은 구간 전후에 설치하여 사고에 따른 영향을 최소화하기 위하여 설치한다.

밸브상하의 압력차가 큰 경우에는 마찰저항 때문에 개폐조작이 곤란하므로 수두 40m 정도 이상 구경 400mm 이상의 차단밸브에는 부밸브(바이패스 밸브)를 설치하여 주밸브 개폐전에 부밸브를 조작하여 상하류의 수압을 조절할 수 있는 구조가 적절하다.

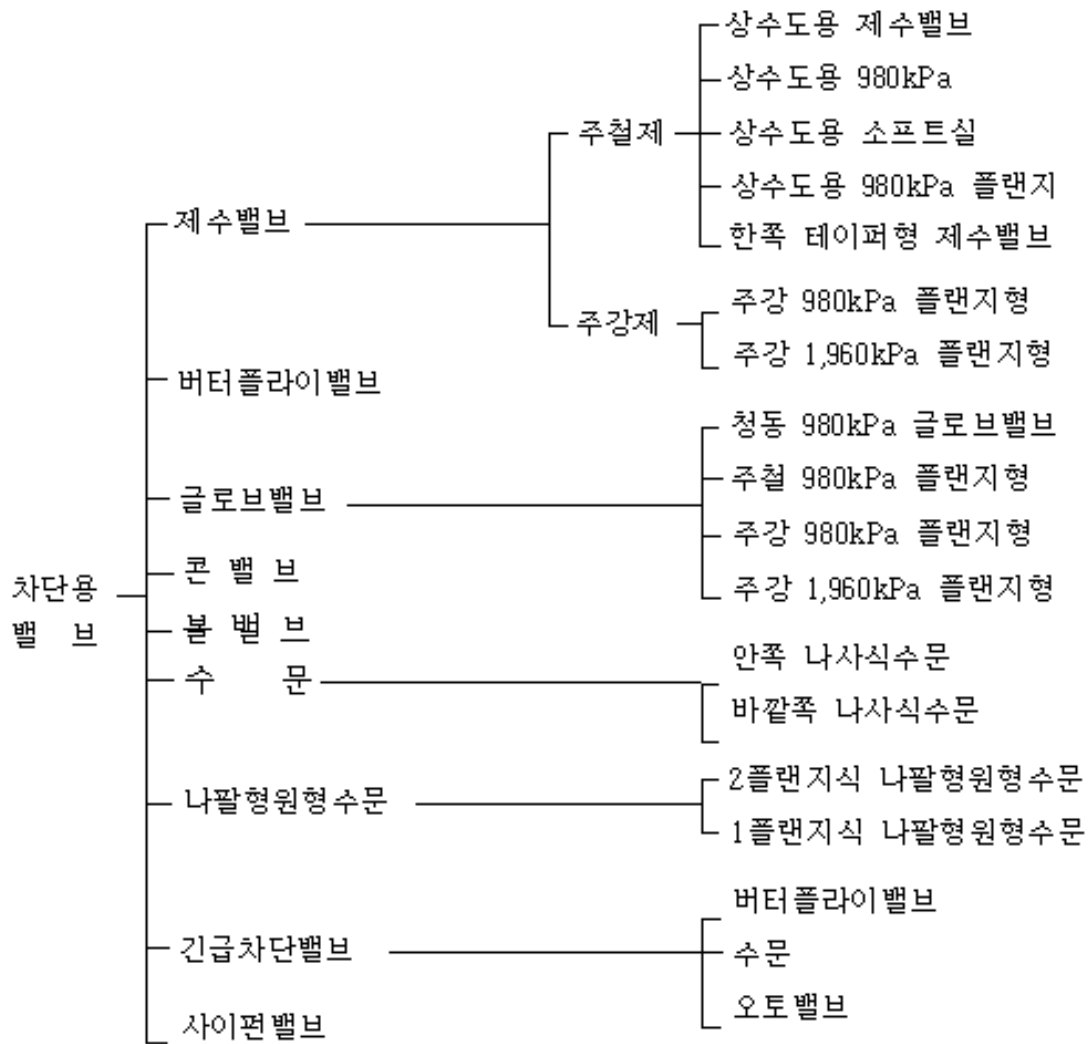


그림 4.11.85 차단용 밸브의 종류

#### 4) 감압용 밸브

감압용 밸브로 사용되는 밸브에는 버터플라이밸브, 콘밸브, 볼밸브 등이 있으나 구동용 전원 또는 제어장치가 필요하기 때문에 배수관로에서는 오토밸브를 사용하는 게 적절하다. 오토밸브는 관로내 압력에 의해 무동력으로 작동되므로 전원이 없어도 사용할 수 있다. 전원사용이 가능한 곳에는 전자밸브와 타이머를 조합하여 2차측 압력을 제어하여 감압하는 경우도 있다.

이 외에 다공가변(多孔可變) 오리피스밸브를 컴퓨터를 이용한 제어장치와 조합하여 감압용으로 사용하는 경우도 있다. 이 경우에는 전원이 필요하게 되며 제어장치가 컴퓨터이기 때문에 여러 가지 제어방식이 간단하게 얻어지는 특징이 있다.

#### 5) 안전관리 및 기타밸브

관수로의 비정상적인 유황의 발생을 방지 혹은 경감하여 관수로의 안전을 유지하기 위하여 각종 밸브가 사용된다.

##### 가) 역류 방지밸브

역류방지밸브는 관수로의 역류를 방지하기 위하여 배출밸브측에 설치하여 역류에 의한 장애를 방지한다. 고양정펌프에서 급정지에 의한 수격압을 완화시키기 위해서는 특수한 역지밸브 및 자동제어가 가능한 밸브를 사용한다.

##### 나) 공기밸브

공기밸브는 관내부의 공기배제와 관내로의 공기공급 등의 목적에 사용한다. 즉, 관내에 연행되는 공기 또는 수중에 용해되어 있는 공기가 집적되어 관내에 공기덩어리가 발생되면 통수능력을 저하시키며 또한 공기의 압축성에 의하여 이상압을 발생시키기 때문에 신속하게 공기를 배제해야 한다.

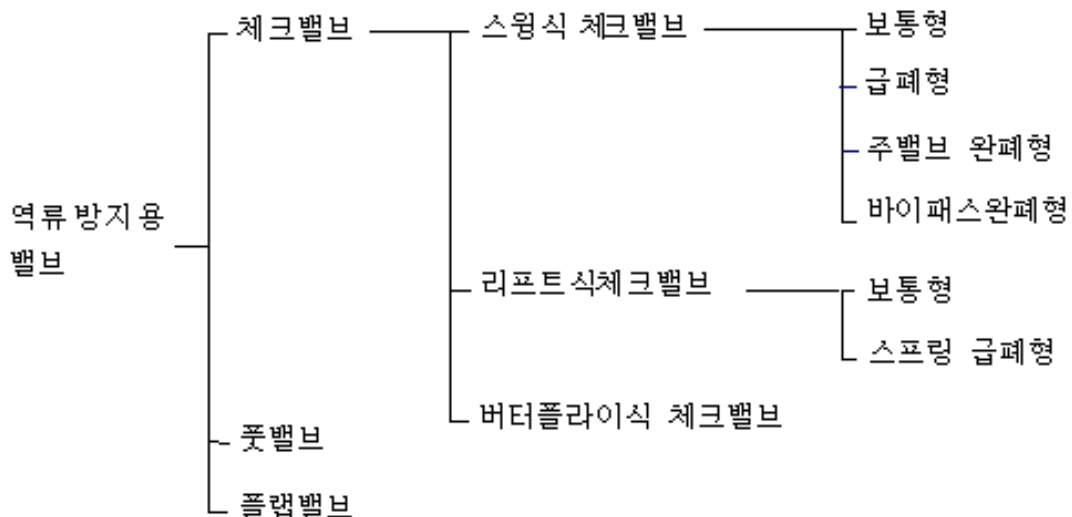


그림 4.11.86 역류방지용 밸브의 종류

공기밸브는 ① 노선의 고위부, 평탄부에서 하향기울기로 변하는 지점 등 공기가 집적하기 쉬운 장소 또는 공기를 흡입하기 쉬운 장소에 설치한다. ② 관로 유입구의 직하류부 및 차단밸브의 직하류부 등 압력저하가 발생하기 쉽고 공기의 공급을 필요로 하는 장소에 설치한다. ③ 차단밸브의 중간에凸부가 없는 경우는 고위부의 차단밸브 직하부에 설치하여 충수작업 때 공기를 배제하기 쉽게 한다. ④ 노선에 기복이 없는 직선구간에도 연장이 긴 경우에는 수백m 정도의 간격으로 공기밸브를 설치할 필요가 있다.

공기밸브는 통수시의 일상적인 통기 및 주수시, 배수시의 급속한 배기나 흡기를 목적으로 하기 때문에 공기밸브를 설치하지 않으면 공기의 집적에 의한 사고의 원인이 된다. 따라서, 시설 계획시는 충분히 주의해서 배치계획을 수립하고 일상점검을 실시하여 공기밸브가 충분히 기능을 유지할 수 있도록 해야 한다.

#### 다) 안전밸브

이상압이 발생할 때 작동하여 일시적으로 밸브가 열려서 방수되고 수압이 올라가면 다시 밸브가 닫히는 구조의 밸브이다. 스프링을 내장한 방식, 파일릿 회로에 의한 수압밸런스 방식 등이 있으며 설정압에서 확실하게 작동할 수 있어야 한다.

### 나. 밸브 선정요령

#### 1) 기본사항

밸브는 종류에 따라 고유특성을 가지고 있으므로 밸브 선정시는 밸브의 고유특성과 관로의 수리특성을 고려하여 선정해야 한다. 즉, 차단, 제어 등 각각의 용도에 필요한 조건을 만족할 수 있는 특성을 가진 밸브를 선정해야 하며, 선정할 때는 필요기능 외에 유지관리, 가격 등의 조건도 검토해야 한다.

밸브를 선정할 때는 시설간의 수위관계, 종단 등의 조건을 충분히 조사하고, 필요에 따라서 현지조사를 실시하여, 제어밸브, 차단밸브, 방류밸브, 공기밸브, 배수밸브 등 사용용도에 필요한 형식의 밸브를 적정한 위치에 선정 배치한다. 이때 현장여건, 동력 확보의 용이성, 유지관리 등에 대해서도 충분히 검토한다. 밸브의 배치 예를 그림 4.11.87에 나타내었다.

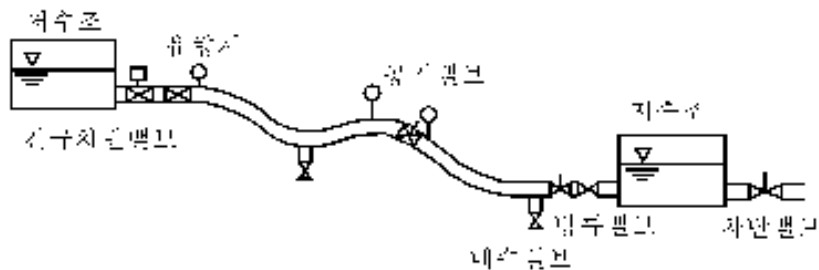


그림 4.11.87 송배수 계통도 및 밸브설치 위치 예

## 2) 밸브 선정시 검토 항목

밸브형식을 선정할 경우에는 차단밸브와 같이 수리조건만을 검토하여 선정하는 경우와 제어밸브와 같이 관련되는 조건 전체에 대하여 면밀하게 검토해야 하는 경우가 있다. 따라서 일률적으로 형식선정에 대하여 논하는 것은 곤란하며 밸브선정 때 검토해야 하는 공통되는 항목을 열거하면 다음과 같다.

### 가) 용수계획

유량 또는 압력제어 등의 밸브를 설치하는 경우에는 용수계획을 검토하여 최대 또는 최소유량과 최고 또는 최저압력을 파악한 후에 한계유속, 한계개도, 밸브종류별 특징을 검토한다.

### 나) 수리조건

밸브에 작용하는 최고압력, 밸브를 통과하는 최대유량 등으로 밸브에 작용하는 압력, 밸브구경을 검토하고 제어용 밸브는 제어특성, 캐비테이션 특성 등을 검토한다.

### 다) 환경조건

관로의 매설심도에 따라서 입형(立形), 횡형(橫形) 등 형식을 검토한다. 제어밸브, 방류밸브 등은 소음, 진동이 주위에 미치는 영향을 조사해야 하는 경우도 발생하며, 환경조건에 따라서 방한, 방습 등의 설비도 검토한다.

### 라) 캐비테이션

제어, 방류, 감압용의 각 밸브의 캐비테이션을 검토한다.

### 마) 수격현상

펌프의 배출밸브는 수격현상과 관련이 깊기 때문에 개폐시간이 중요하다. 또한, 역류방지 밸브도 정전에 의하여 펌프가 급정지하면 관로의 조건에 따라서 수격작용이 발생한다. 따라서, 사전에 펌프특성과 함께 관로의 수리특성을 검토해 놓을 필요가 있다.

고양정 펌프의 경우에는 수격압이 발생하기 쉬우므로 역지밸브 외에 플라이휠, 서지탱크 등 수격현상에 대한 종합적인 대책이 필요하다. 또한, 자연유하식 송수관로에 대해서도 차단밸브를 단시간에 차단하면 수격압이 발생하기 쉽기 때문에 적절한 밸브의 개폐시간을 검토한다.

### 바) 밸브의 구동방식 및 구동장치

밸브의 구동방식 및 구동장치는 밸브의 용도, 개폐빈도, 개폐시간, 동력원설비 설치의 난이성, 유지관리 체제, 경제성 등에 대하여 종합적으로 검토하여 결정한다.

### 사) 경제성 비교

밸브 본체 외에 토목구조물 등의 공사비, 설치후의 유지관리비 등을 포함하여 종합적으로 경제성을 검토하여 밸브형식을 검토한다.

밸브형식을 선정할 때는 용도에 따라서 전술한 바와 같은 검토가 필요하며 특히 유량의 변동에 영향을 받는 제어용 밸브, 방류용 밸브, 감압용 밸브에 대해서는 신중히

검토한다.

3) 제어용 밸브 선정요령

가) 일반사항

제어용 밸브는 관로 내에 손실수두를 발생시켜 수압 및 유량을 제어하는 역할을 한다. 밸브 손실수두( $\Delta h$ )는 다음 식으로 계산한다.

$$\Delta h = f_v \cdot \frac{V^2}{2g} \quad \dots\dots\dots (4.11.135)$$

$f_v$ : 밸브손실계수

$V$ : 밸브유입유속 (m/s)

$g$ : 중력가속도 (m/s<sup>2</sup>)

밸브의 개도와 손실계수의 관계는 밸브종류에 따라서 다르므로 제어용 밸브는 버터플라이밸브, 콘밸브, 볼밸브와 같이 제어특성이 좋은 밸브를 사용한다.

밸브의 유량제어특성은 밸브손실계수와 관로 손실계수의 합에 의하여 좌우되기 때문에 관로의 손실계수가 큰 경우에는 밸브개도 변화에 대한 유량변화가 크고 유량제어가 어렵다. 일반적으로 제어용 밸브를 검토할 때는 용량계수  $C_v$ 를 사용하여 제어범위를 정하여 구경을 선정한다.

용량계수는 계획수량과 밸브에 의하여 발생하는 차압으로 구할 수 있으나 또 한편 밸브에는 고유의  $C_v$ 치가 있다. 제어용 밸브에는 용량계수  $C_v$ 의 최대치, 최소치가 밸브의 제어범위에 있는 고유  $C_v$ 치를 넘으면 양호한 제어기능을 발휘할 수 없다.  $C_{vmax}$  및  $C_{vmin}$ 은 다음 식으로 구한다.

$$C_{vmax} = 1.167 Q_{max} \sqrt{\frac{G}{\Delta P_{min}}} \quad \dots\dots\dots (4.11.136)$$

여기서,  $C_{vmax}$ : 최대용량계수

$Q_{max}$ : 최대유량 (m<sup>3</sup>/h)

$\Delta P_{min}$ : 최대유량시의 밸브최소차압 (kgf/cm<sup>2</sup>, =×98kPa)

$G$ : 비중

$$C_{vmin} = 1.167 Q_{min} \sqrt{\frac{G}{\Delta P_{max}}} \quad \dots\dots\dots (4.11.137)$$

여기서,  $C_{vmin}$ : 최소용량계수

$Q_{min}$ : 최소유량 ( $m^3/h$ )

$\Delta P_{max}$ : 최소유량시 밸브 최대차압 ( $kgf/cm^2$ ,  $=\times 98kPa$ )

밸브가 구조적으로 허용할 수 있는 최고유속을 한계최고유속(대개 6m/s)이라고 한다. 구경을 선정할 때는 최대유량시의 유속을 구하여 밸브의 한계 최고유속이내에 있는지를 체크하여 한계최고유속을 넘는 경우에는 구경을 다시 설정한다.

밸브에서 캐비테이션이 발생하면 진동·소음의 원인이 되고 밸브본체를 손상시키므로 밸브를 선정할 때는 캐비테이션 계수를 산정하여 밸브의 고유 캐비테이션 계수와 비교하여 발생을 극력 피해야 한다. 밸브의 캐비테이션 대책으로는 밸브 선정시 캐비테이션 계수가 적은 밸브를 선정하거나 복수의 밸브를 선정하는 방법이 있다.

#### 나) 선정순서

유량제어용 밸브는 다음 순서에 의하여 선정하는 것이 바람직하다.

- ① 밸브가 제어해야 하는 최대·최소유량, 최소·최고수두, 관로구경, 관로 길이를 파악한다.
- ② 밸브의 형식을 가정한다.
- ③ 최대유량시 유속을 계산하여 밸브의 한계유속에서 구경을 가정한다.
- ④ 최대유량 및 최소유량시 밸브 상하류의 각종손실수두를 계산하여 밸브 1차측 및 2차측의 최고 및 최저압력을 산출한다.
- ⑤ 밸브에 요구되는 최대용량계수와 최소용량계수를 계산하여 밸브의 용량계수와 개도의 특성치를 사용하고 밸브의 최대개도와 최소개도를 판독하여 이 개도가 밸브의 제어범위에 있는지 확인한다.
- ⑥ 최대차압시의 캐비테이션 계수를 계산하여 밸브의 고유 캐비테이션 계수보다 큰지 확인한다.
- ⑦ 상기의 조건을 만족할 수 없을 때는 밸브구경 또는 종류를 변경하여 재계산하여 조건을 만족하는 밸브종류와 구경을 선정한다.

밸브의 선정순서를 나타낸 것이 그림 4.11.88이다. 즉, 최소용량계수 ( $C_{vmin}$ )에 대응하는 밸브 개도가 한계최소개도 이하가 되어 제어가 곤란한 경우에는 대소의 밸브를 병렬로 설치하는 방안도 검토한다. 단, 병렬로 설치한 복수의 밸브를 동시에 제어하면 헤팅이 발생되기 쉽기 때문에 복수로 밸브를 설치한 경우에는 1대의 밸브로 제어하고 나머지 밸브개도를 고정하여 사용하면 헤팅을 방지할 수 있다.

밸브의 선정시 기준이 되는 밸브의 한계유속, 한계최대개도, 한계최소개도를 표 4.11.38에 나타내었다.

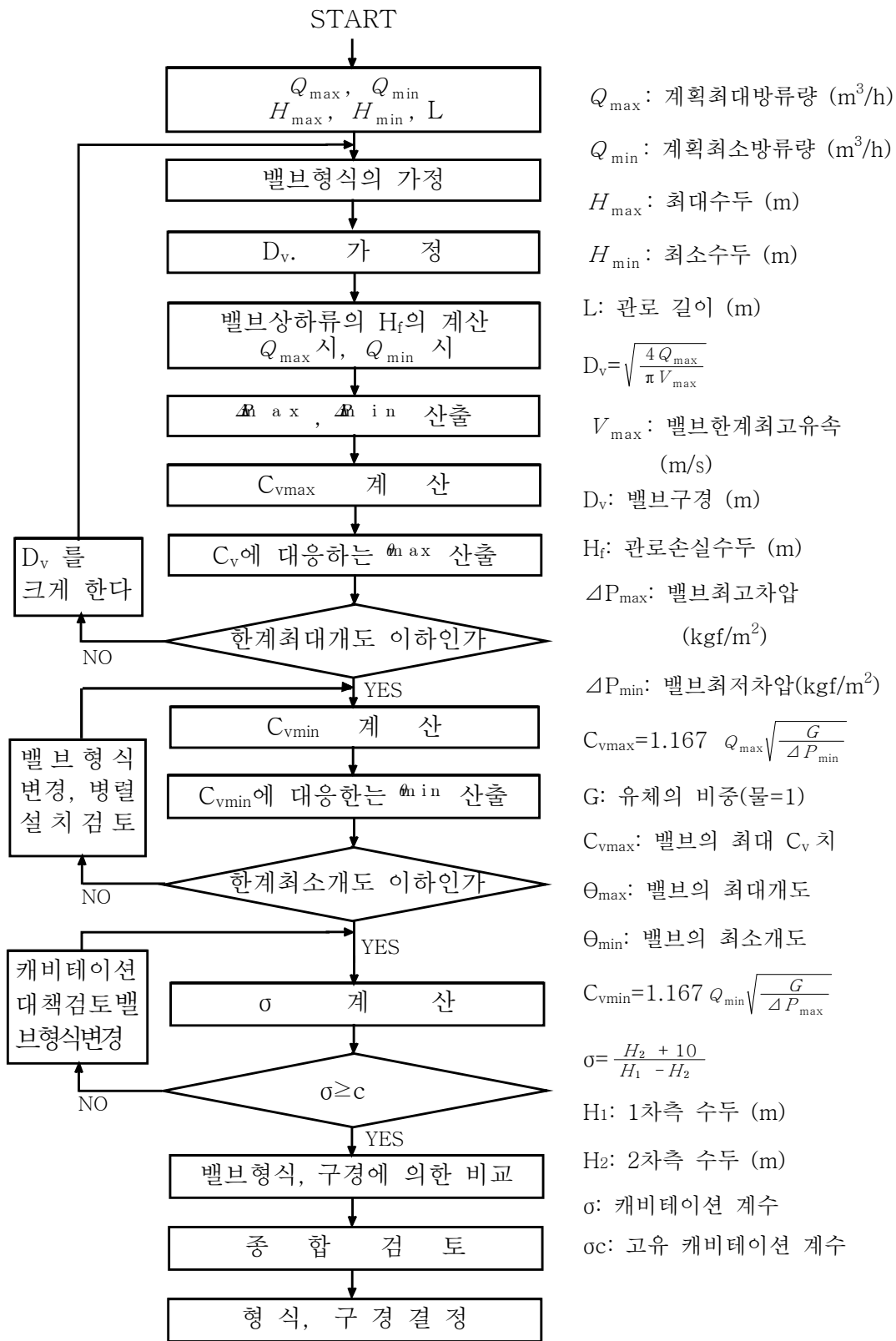


그림 4.11.88 제어용 밸브 선정순서



표 4.11.38 밸브의 형식과 한계유속 및 한계최대개도

밸브 형식	한계유속 $V_{\max}$ (m/s)	한계최대개도 $\theta_{\max}$	한계최소개도 $\theta_{\min}$
버터플라이밸브	6	각도 70°	각도 15°
슬리브 밸브	6	60%	5%
픽스드콘밸브	-	60%	5%
오토 밸브	6	60%	5%
디스크 밸브	-	60%	5%

#### 4.11.7. 부대시설

농업용 관수로 시스템을 계획하고 설계함에 있어 부대시설은 전체 관수로의 기능을 유지하는데 절대적인 영향을 미치므로 부대시설의 위치, 구조, 내구성, 유지관리 등에 대하여 특별히 유의하여 검토해야 한다.

##### 가. 부대시설 설계시 유의사항

관수로 시스템에는 여러 가지 부대시설이 있으나 설계시에 공통적으로 유의해야 할 사항을 열거하면 다음과 같다.

- 지하에 매설되는 부대시설은 시설보호나 유지관리를 위하여 구조물 외측 벽에 방수처리 하여야 한다.
- 관수로는 대부분 지하에 매설되므로 부대시설은 물론 관 매설 위치를 표시하는 표식을 해야 한다.
- 제수변, 공기변, 유량계 등을 설치할 때는 시설관리나 물 관리를 위하여 압력계를 병설하여야 한다.
- 매설되는 관의 상부에는 관 매설을 표시하는 적색 테이프(tape)를 매설하여 건설장비 등에 의한 관 파손을 예방해야 한다.
- 제수변 등 각종 밸브의 개폐시설은 향후 TM/TC의 도입 등을 고려하여 전동화하는 것을 원칙으로 하며 특별한 사유로 전동화 되지 않은 때는 스프링들에 특정 장치를 부착하여 인력으로 개폐가 용이하도록 해야 한다.

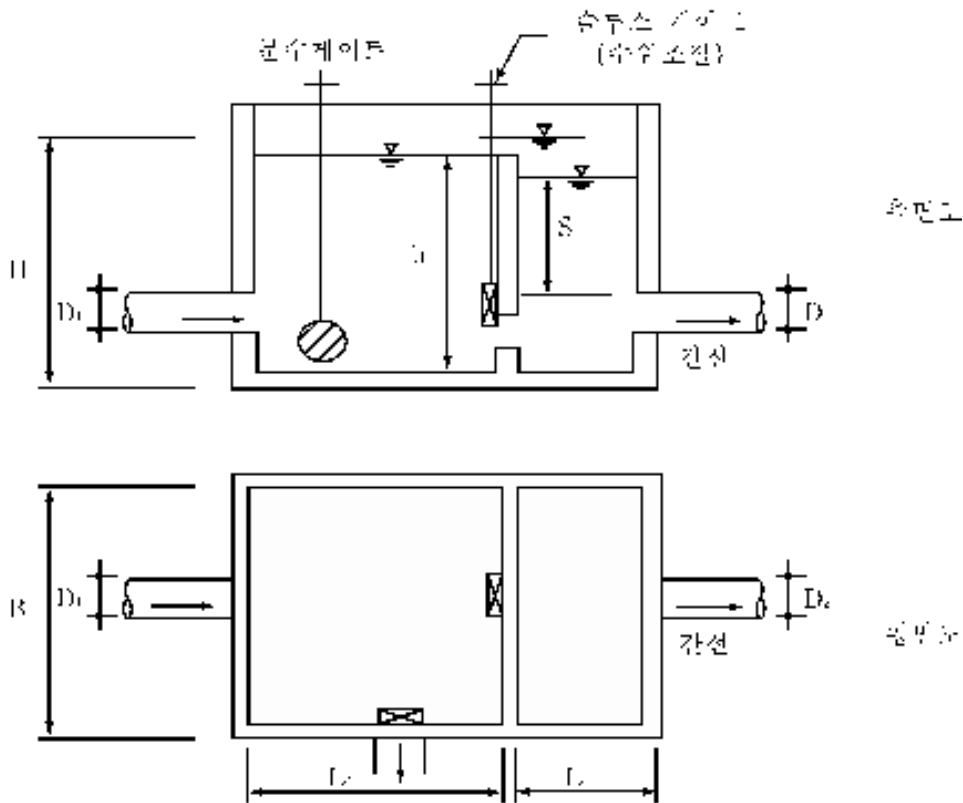
##### 나. 분수공

###### 1) 분수공의 종류

분수공은 관수로 간선에서 지선으로 분수하는 구조물로 수로 형태 및 설치 위치에 따라 구조가 다양하다. 분수공은 수조형과 폐쇄형이 있으며, 일반적으로 개방식 및 반폐쇄식의 관수로는 자유수면을 갖는 수조형 분수공이 설치되고, 수조형 분수공과 다음 수조형 분수공 사이의 분수지점은 폐쇄형 분수공이 설치된다. 폐쇄식 관수로의 분수공에는 폐쇄형 분수공을 설치한다. 수조형 분수공은 게이트 스탠드형, 월류 스탠드형, 플로트 밸브형으로 구분된다.

## 2) 수조형 분수공

수조형 분수공은 게이트 스탠드(gate stand)형, 월류 스탠드(overflow stand)형, 플로트 밸브(float valve)형이 있으며 개방형 관수로의 분수공으로 사용한다.

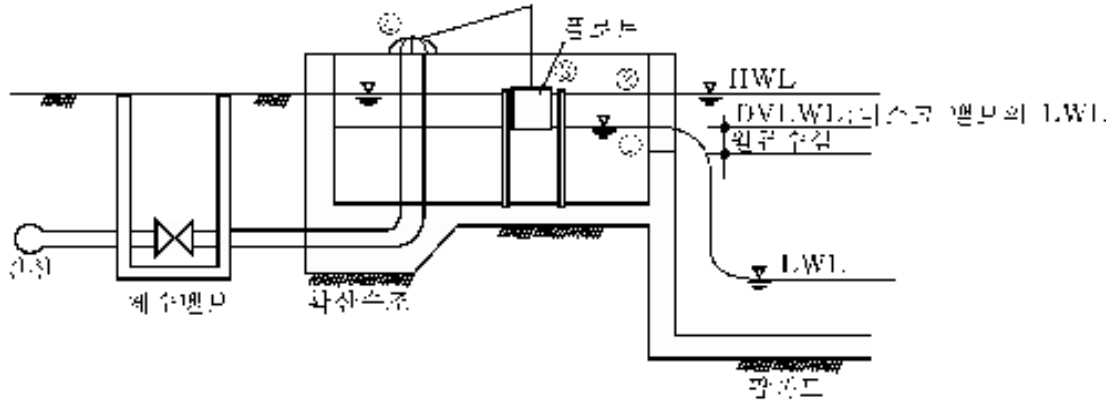


- 주) 수 조 폭(B) :  $1.0\text{m} < B \leq 2D_1$   
 상류수조길이( $L_1$ ):  $1.2\text{m} < L_1 \leq 2D_1 \times 1.5$   
 하류수조길이( $L_2$ ):  $L_2 \geq 4 \sim 5D_2$   
 실(Sill): 원칙적으로 계획최저수위로 하고 다음에 따른다.  
 $D_2 \geq 1,000\text{mm}$ 이면 0.5m 이상  
 $D_2 < 1,000\text{mm}$ 이면 0.3m 이상  
 와류를 방지하려면  $S > 2D_2$

그림 4.11.89 월류 스탠드형 분수공

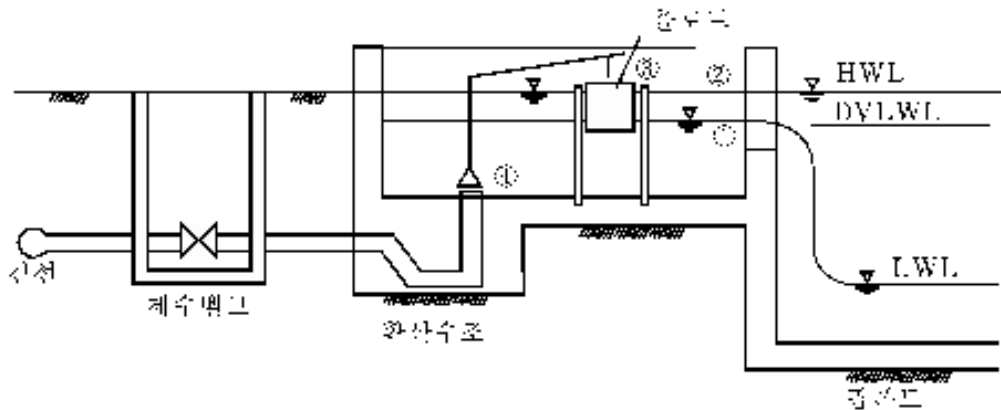
### 3) 폐쇄형 분수공

폐쇄형 관수로의 모든 분수공에 사용되고 있으며, 개방형 및 반폐쇄형 관수로에서 저위부의 분수공으로도 사용한다. 관수로의 본선에 정T자형 관로를 부착하여 지선의 관수로를 연결하는 구조가 일반적이다.



(a) 후티드 디스크 밸브

- 작동설명: 1. 하류 물사용 → 수조내 수위하강 ① → 플로트 ③이 내려감  
 → 디스크밸브 ④ 열림 (물공급)  
 2. 하류 물사용 중단 → 수조내 수위상승 ② → 플로트 ③이 올라감  
 → 디스크밸브 ④ 닫힘 (물공급 차단)



(b) 잠류 디스크 밸브

- 작동설명: 1. 하류 물사용 → 수조내 수위하강 ① → 플로트 ③이 내려감  
 → 디스크 밸브 ④ 열림 (물공급)  
 2. 하류 물사용 중단 → 수조내 수위상승 ② → 플로트 ③이 올라감  
 → 디스크 밸브 ④ 닫힘 (물공급 차단)

그림 4.11.90 플로트 밸브 수조형 분수공

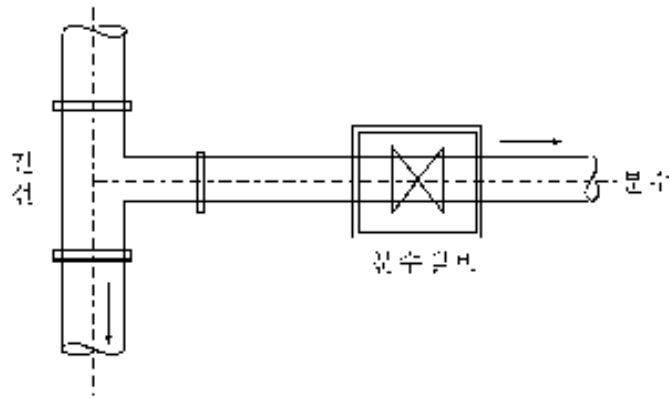


그림 4.11.91 폐쇄형 분수공

#### 다. 급수전

관수로에서 포장으로 급수하기 위한 장치이다. 관수로의 물을 지상으로 끌어내는 급수전은 관로에 정T관(말단에서는 곡관)을 설치하고, 그 위에 라이저(riser)관을 세워서 상부에 급수전을 설치한 구조이다. 급수전 본체는 압력수가 유출되므로 내압강도가 큰 청동제나 알루미늄 합금제의 앵글밸브가 사용되고 있다. 배출구는 관이나 호스를 접속할 수 있도록 조인트가 달려 있다. 또 360° 회전이 가능한 회전 앵글밸브도 사용한다. 급수전은 수동으로 회전하여 개폐 조작할 수 있는 구조이다.

#### 라. 조절시설

##### 1) 일반사항

조절시설에는 취수량, 통수량 및 수요량을 1일에서 수일간 조절할 목적으로 하는 조절지와 1일 이내의 공급량과 수요량의 시간적인 차를 조절하는 것을 주목적으로 하는 펌프나 배수조(配水槽)가 있다.

관수로 시스템의 설계에서는 조절시설의 설치위치, 규모 등의 결정이 매우 중요하므로 물 이용계획, 송배수방식, 물 관리방식 등을 고려하여 관수로의 조절기능이 발휘되도록 검토하여야 한다.

##### 2) 조절지

###### 가) 조절지 규모

송배수 대상이 광역이고 물 이용 목적이 다양하면 용수량의 시간적 변동이 크고 복잡해진다. 조절지는 수로 조직내에 있어서 조절지까지의 관수로 조직을 점검, 보수하고자 할 때 조절지 이하의 수요량을 확보함으로써 물이용의 조건을 충족시키고 수로계로서의 유기적이고 탄력적으로 운영하기 위하여 설치하는 것이다. 조절지의 규모는 수원용량에서 말단의 물 이용시스템까지 전체의 관련성을 고려하여 종합적으로 검토

하여 결정하여야 한다.

또 시설기능유지, 물 관리의 편의, 사고대비 등을 위하여 조절지를 통하지 않고 우회하여 하류에 직접 관개용수의 공급이 가능한 바이패스관을 설치할 필요가 있다.

규모를 결정할 때 일반적으로 고려할 사항은 다음과 같다.

(1) 배수관리(配水管理) 즉 물의 원활한 배분을 주목적으로 할 때는 조절지에서 하류의 계획최대유량의 반일 또는 1일분 정도의 저수 능력을 갖도록 하는 것이 좋다.

(2) 수로시설의 관리 즉 보수, 점검, 청소 등을 목적으로 할 때는 이들에 소요되는 시간으로 결정한다.

일반적으로 소구경( $\Phi$  500mm 미만)의 관수로에서는 파손시의 보수를 1일 이내에 끝내도록 하는 경우가 많다.

그러나 대구경의 관수로에서는 그 이상의 일수를 필요로 한다. 따라서 보수, 점검에 필요한 일수를 산정하여 조절지의 용적을 결정하면 그 하류지구는 지장 없이 물 이용을 할 수 있다.

(3) 물 배분 및 시설관리뿐만 아니라 보조수원의 역할도 하는 경우에는 그 조절지에 저수할 필요저수량과 조절지에 유입하는 수로의 통수능력에 대한 여유를 보아 규모를 결정한다.

(4) 이 때에 조절지의 규모와 상류부 수로의 단면과는 상호간에 경제성을 비교하여 결정한다. 하류 관수로의 수위 계획 등 총체적인 수두 배분에 대해서도 검토하는 것이 필요하다.

### 3) 팜폰드

#### 가) 팜폰드의 기능

일반적으로 상류측 간선수로의 통수시간과 말단에서의 관개시간과는 차이가 난다. 팜폰드는 말단에서의 관개 휴지 시간 중에 간선수로의 통수량을 일시 저류함으로써, 간선수로의 조직용량(최대 통수량)을 줄일 수 있으며 관리손실의 감소를 피함과 동시에 상류측 간선수로의 송수관리를 용이하게 할 수 있다.

또한 팜폰드는 말단에서 물 이용이 변동하여도 물이 원활히 공급될 수 있도록 하며, 물 이용변동을 흡수함으로써 간선수로의 송수관리를 용이하게 한다. 즉 팜폰드는 말단에서 물 이용의 자유도를 크게 한다.

이들 기능을 정리하면 다음과 같은 독립기능으로 나눌 수 있으며, 이들은 각각에 필요한 용량을 갖는다.

- 말단 관개시간과 간선 통수시간의 시간차 조정
- 물 수요의 시간적 집중에 대한 완화
- 다목적 이용

- 펌프시설 및 분수시설의 원활한 운전제어
- 원활한 송수관리
- 기타 간선의 절점보수시 완충역할

이와 같이 팜폰드는 많은 기능을 갖고 있으므로 그의 형식과 용량 및 위치를 정하고자 할 때는 어느 기능을 목적으로 할 것인가를 먼저 검토한 후 결정하여야 한다.

#### 나) 팜폰드의 용량

팜폰드의 용량결정은 그 사용목적에 따라 다르므로 그 규모를 결정하는 데는 팜폰드의 기능과 역할에 대한 이해가 매우 중요하다.

##### (1) 말단 관개시간과 간선 통수시간의 시간차 조정

말단에서의 관개 작업시간은 통상 16~20시간으로 보며 이중 이동시간을 제외한 것이 실 관개시간이다. 한편 간선수로의 통수는 수류제어나 통수용량 등의 문제로 인하여 24시간 통수하는 것이 일반적이다. 따라서 양자의 시간차를 팜폰드로 조정하는 것이 보통이다.

##### (2) 물 수요의 시간적 집중에 대한 완화

시설원예나 소채류가 차지하는 면적이 큰 지구에서는 1일 중에도 특정시각에 물 사용이 집중되는 수가 있다. 이 때문에 물 수요의 시간적 집중에 어느 정도 융통성 있게 대응하기 위해서는 시설용량에 여유가 있어야 한다. 이러한 여유의 척도를 “자유도”라 하는데 시설원예 지대에서는 물 수요가 오전과 오후 두 번 피크(peak)를 이루게 되므로 자유도를 2로 하는 것이 일반적이다.

##### (3) 다목적 이용

최근에는 관개 이외에 약제살포, 시비, 동상해방지, 풍해방지 등 다목적으로 이용되는 경향이 많으며 이 경우 특정시간에 물 이용이 집중하게 되므로 이에 필요한 용량은 별도 계획에 기초해서 산정해야 한다.

##### (4) 펌프시설 및 분수시설의 원활한 운전제어

간선 수로로부터의 펌프에 의한 취수나 또는 분수시설의 제어가 원활하지 못할 때는 팜폰드로 이를 해소할 수도 있다. 한편 이들을 원활히 운전제어하는 데 필요한 용량에는 팜폰드의 수위가 제어조건임을 유의하여야 한다.

##### (5) 원활한 송수관리

장대한 간선계에서 유황(流況)조작시 취수지점과 분수지점 사이에 응답지연이 생기게 된다. 이 경우 감량 조작을 하면 무효송수가 생기게 되며 반대로 증량 조작을 하면 지연으로 인하여 물 수요에 즉시 응할 수 없게 된다. 이러한 경우 팜폰드를 설치하면 관리손실 수량을 절감시키고 물 관리 조작을 용이하게 할 수 있다.

#### 다) 팜폰드의 위치

팜폰드의 위치를 선정할 때는 다음 각 항을 검토하여 결정한다.

- 원칙적으로 관개 블록의 근처에서 자연 압력으로 필요압을 확보할 수 있는 곳.

- 유지관리가 용이하며 경제적인 곳.
- 배수조직의 경우에는 유지관리와 경제성을 동시에 고려해서 지배면적과 위치를 검토한다. 고위부에 집중하여 설치하는 것이 반드시 유리하다고는 할 수 없다.
- 시설의 유지를 유효하게 이용한다.
- 시공조건이나 지반조건도 미리 검토한다.
- 여수의 방류 또는 긴급 방류를 위한 방수로가 용이하게 확보될 수 있는 곳.

라) 팜폰드의 구조

팜폰드의 구조는 설계조건, 현지 지형조건, 경제성 등을 고려하여 방수시트, 아스팔트 라이닝, 콘크리트 라이닝, 철근콘크리트 구조 등을 선정한다.

흙 및 먼지 외에도 바람에 의한 잡물의 유입을 방지할 수 있어야 한다. 이끼, 조개류 등의 발생이 예상될 때는 유지관리상의 대책도 검토하여야 한다.

마) 팜폰드의 생략

지형적 또는 경제적 제약 때문에 팜폰드의 설치가 부적당한 경우에는 각 지선의 유량제어를 고도화함으로써 그 기능을 보완할 수도 있다. 그러나 일반적인 관개시설에서는 계획시점에서 구상한 물 이용상황이 반드시 그대로 실현되지 않으며 해가 경과함에 따라 변화하는 경우가 많다. 한편, 팜폰드는 안전시설로서의 기능도 갖고 있으므로 부득이한 경우를 제외하고는 생략하지 않는 것이 좋으며 부득이 생략하는 경우에도 안전성에 대해서는 충분히 배려하여야 한다.

4) 배수조(配水槽)

가) 일반사항

배수조를 사용하는 송수방식은 펌프송수방식으로서 가장 바람직한 방법이며, 스프링클러 관개면에서도 가장 좋은 방식이다.

배수조는 주로 펌프의 운전과 정지시간 동안의 송·배수조정을 하는 것을 목적으로 하기 때문에 조정용량은 비교적 작아도 된다. 그러나 정전이 예상되는 태풍시의 재해방지를 목적으로 하는 경우에는 미리 필요수량의 전부를 배수조에 저류하여 두지 않으면 안 되기 때문에 꽤 큰 용량을 갖게 된다.

나) 배수조의 용량

배수조의 규모는 클수록 펌프설비의 유지보전면 또는 용수의 원활한 배수관리면에서는 유리하므로 시설비가 허용하는 한 크게 하는 것이 바람직하다. 일반적으로 배수조의 최소용적은 배수조내 설정수위에 의하여 펌프의 자동운전을 하는 경우에는 펌프의 ON-OFF의 허용빈도를 고려하여 결정한다. 이때 최대 유량시의 펌프의 최저휴지시간은 일반적으로 20분간 이상으로 하는 것이 바람직하고, 부득이한 경우에도 10분간 이상으로 하는 것이 바람직하다.

### 마. 조압시설

조압시설은 용수의 원활한 배분을 위해서 필요한 수위 조건을 유지할 수 있는 수위(수압)조절형과, 잉여압력을 감압시켜 하류 관수로의 압력을 적정하게 유지하는 감압형의 2종류로 분류할 수 있다. 수위조절형은 자유수면을 갖는 수조형(수문 수조형 및 월류 수조형)과 제수밸브를 이용한 밸브조절형이 있다. 감압형은 감압 스탠드형, 플로트 밸브형, 감압밸브형 등이 있다. 수위(수압)조절형을 감압형으로 사용하는 경우도 있다 (표 4.11.39).

표 4.11.39 조압시설의 종류와 형식

구분	형식의 세분		개요
수위 조 절 형	스 탠 드 형	게이트 스탠드형 (개방식 관수로에 적용)	스탠드에 설치하는 게이트(상류 수위를 일정하게 하는 게이트)에 의하여 상류측 수위를 조절한다.
	분 수 공	월류 스탠드형 (개방식 관수로에 적용)	스탠드 중앙부에 월류벽을 설치하고 그 저부에 슬루스 게이트를 달아 수위와 유량을 조절한다.
	밸브조절형 (폐쇄식 관수로에 적용)		송배수 관로의 도중에 밸브를 설치하고 그 개도에 따라 상류측 수위를 조절한다.
감 압 형	감압스탠드형 (개방식 관수로에 적용)		관로도중에 설치하는 감압스탠드로 부근에 분수공은 없으나 관의 내압강도상 또는 수리상(水理上) 감압이 필요할 때 이용한다.
	감압밸브형 (주로 폐쇄식 관수로에 적용)		하류측 수압을 일정하게 하는 밸브
	플로트 밸브 (반폐쇄식 관수로에 적용)		하류측 수위를 일정하게 하는 플로트 밸브

### 바. 통기시설

#### 1) 기시설의 설치목적과 종류

##### 가) 설치 목적

- (1) 관로에 통수할 때 관로 밖으로의 배기
- (2) 관로를 단수하고 배수할 때 관내가 부압으로 되어 외압에 의해서 관이 파손



될 위험이 있을 때 관로내로 공기 흡기

- (3) 유체중에 혼입·용해되어 있는 공기가 관로 ㄷ부 에 적체되었을 경우의 배기
- (4) 과도적인 압력강하에 의한 부압방지
- (5) 수격압을 완화시키며 감압조정 및 감사공(監査孔) 등의 역할(통기 스탠드)

나) 통기시설의 배치

통기시설을 배치할 때 기본적으로 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- (1) 관로로 유입하는 취수문의 직하(直下)에 설치한다.
- (2) 평탄한 경사에서 갑자기 하향 경사로 되는 지점에 설치한다.
- (3) 하향 경사의 노선에 설치된 제수밸브의 직하류(直下流)에 설치한다.
- (4) 상향 경사의 노선에 설치된 제수밸브의 직하류에 설치한다.
- (5) 노선의 고위부에 설치한다.
- (6) 하향 경사내에서도 관로 경사가 변화하는 등 필요하다고 판단되는 지점에 설치한다.
- (7) 노선의 기복이 없는 직선구간에 있어서도 길이가 긴 때는 400~500m에 1개소 정도로 설치하는 것이 좋다.

다) 종 류

- (1) 통기공
- (2) 통기 스탠드
- (3) 공기 밸브

2) 통기공

관로의 유입구 분수문 또는 밸브의 후방에 설치하여 수문 직하류의 관로의 공기배제 및 공급을 위해 설치한다.

통기공은 관로 유입구의 직하류에 설치하여 입구로부터 관로 구경과 거의 같은 위치에 그림 4.11.92와 같이 직경 50~150mm의 파이프를 설치한 구조이다. 그림 4.11.92(a)는 통기공의 유입부 직경이 유출구 직경 (D)와 동일하면 그림과 같이 공기 주머니가 발생되므로 그림 4.11.92(b)와 같이 유입부의 관경을 유출구 직경(D)의 1.5~2.0배 정도 되도록 해야 물 흐름과 통기역할이 좋아진다. 배제 또는 공급해야 할 공기량은 식 (4.11.138)에 의하여 구한다.

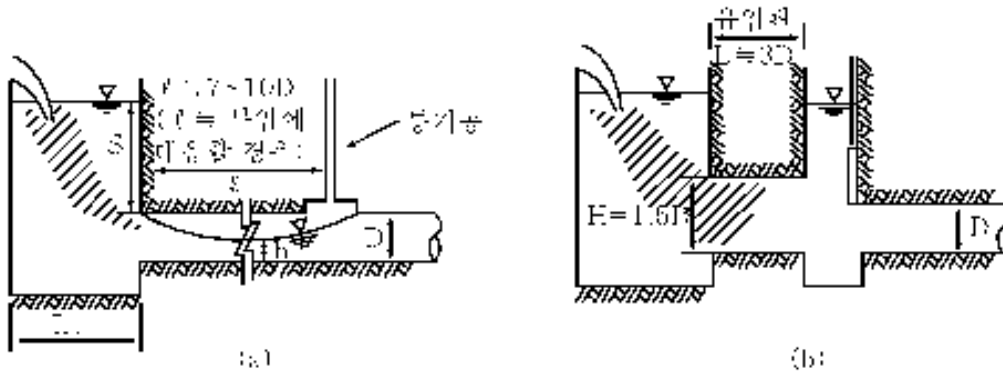
$$Q_a/Q_w = 0.04(F-1)^{0.85} \dots\dots\dots (4.11.138)$$

여기서,  $Q_a$ : 소요공기량 (m<sup>3</sup>/s)

$Q_w$ : 유입수량(게이트를 80% 열었을 때의 유량) (m<sup>3</sup>/s)

F: 게이트 직하의 축소부에서의 프루드 수  $F = V/\sqrt{g \cdot h}$

V는 축소부의 유속(m/s)이고 h는 축소부의 사류수심(m)으로 통상  $h=0.61 \cdot H$ 로 한다.



주) 유입관과 본관의 관바닥 높이가 같고, 유입관은 본관 직경의 1.5배 이상 크게 하고 비교적 소구경( $\Phi 300\text{mm}$  이하 정도)에 적합

그림 4.11.92 통기공의 설치

### 3) 통기 스탠드

#### 가) 스트레이트 밴드형 및 박스 밴드형

스트레이트 밴드형은 원심력 철근콘크리트관의 구조로 그림 4.11.93(a)에 나타난 것과 같이 관수로와 같은 구경의 관을 부착시킨 구조이다. 박스 밴드형은 그림 4.11.93(b)에 나타난 바와 같이 관수로와 같은 구경 이상의 크기를 가진 철근콘크리트 박스 스탠드를 설치한 구조이다. 스탠드 높이는 일반적으로 지상 1.0~5.0m로 한다. 스탠드 높이가 낮은 경우는 보호선반 등의 위험방지 시설을 설치한다. 통기 스탠드는 수격압 완화 외에 감압 등의 역할도 겸한다.

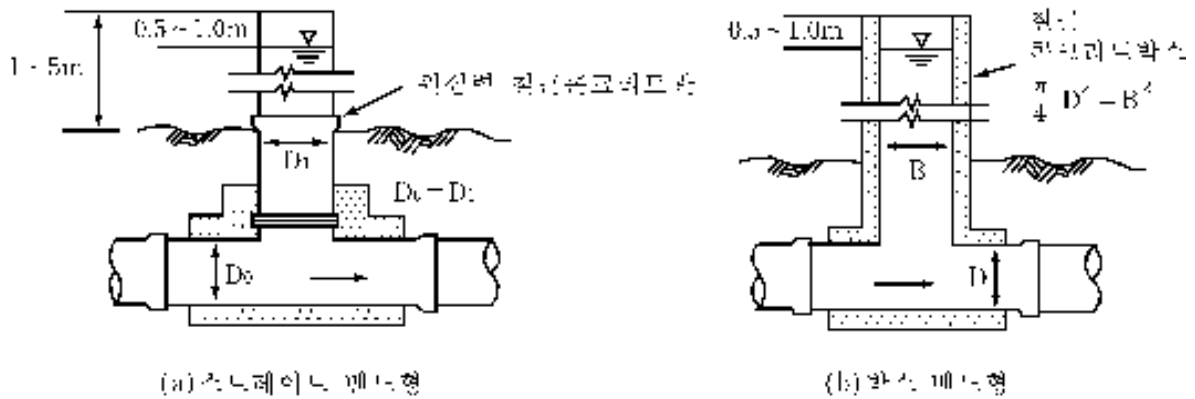


그림 4.11.93 통기 스탠드의 예

#### 나) 압축형

통기시설의 가장 대표적인 타입이며, 정수두선이나 동수두선 중 큰 쪽의 수두선에서 지표까지 차이가 5.0m 이하인 경우에 사용한다.

라이저관 구경은 일반적으로 관경 50~125mm의 관을 사용하고, 끝 부분은 180°엘보를 부착한 구조로 되어 있다. 그리고 스탠드내 최고수두 위의 여유는 0.5~1.0m이다.

#### 4) 공기밸브

매설관 및 수관교 등의 관수로 凸부에 설치하여, 관내의 공기 배제와 관내부로 공기 공급을 위하여 사용한다. 공기밸브는 수도용과 플로트 레버식이 있으며 설치시에 유의할 사항은 아래와 같다.

- 공기밸브는 수직으로 설치하고 어쩔 수 없는 경우에는 2° 이내로 한다. 경사져 있으면 누수의 원인이 된다.
- 유체 중에 부유물이나 분진이 포함된 경우는 여과기 설치가 바람직하다.
- 한냉지에서 수관교(水管橋) 등에 설치된 공기밸브는 동결을 방지하기 위해서 방한재로 보호하거나 부동식의 공기밸브를 선정할 필요가 있다. 매설관로는 밸브실 내에 적당한 방한재를 충전하는 등의 방한공(防寒工)을 설치한다.

#### 5) 통기시설의 유지관리를 위한 공기밸브

##### 가) 보수밸브

공기밸브 하부를 점검, 수리할 때 사용하기 위하여 보수용 밸브를 설치한다. 밸브 기종은 전부 열렸을 때 손실저항이 없는 볼밸브 또는 슬루스 밸브를 사용한다.

##### 나) 배기밸브

통수시 관내의 다량의 공기를 신속하게 배제할 때 공기밸브의 배기한계 이상으로 충수하면 유동 밸브체와 플로트 밸브체가 뜬 상태가 되어 공기구멍을 막아 진동, 수격 작용 등을 일으킬 위험이 있다. 본관과 공기밸브 사이에 정T관을 연결하여 배기 밸브를 설치하면 수동으로 배기할 수 있다. 밸브의 종류는 슬루스 밸브가 사용된다.

#### 6) 유말시설 및 급수전의 이용

유말시설이나 급수전이 다수 설치되는 구간의 배수 관로에서는 급수전이 통기의 기능을 겸비할 수 있으므로 일반적으로 통기시설을 생략할 수 있다. 그러나 배기(排氣)하기 어려운 장소에 배치되어 있어 배기가 곤란한 때는 통기시설의 설치를 검토하여야 한다. 그리고 관수로의 관경이 급수전의 관경에 비하여 매우 클 때는 공기주머니가 발생할 수 있으므로 배관상의 세심한 고려가 필요하다.

## 사. 안전시설

관수로에 발생하는 압력 변동을 경감·배제하고 관로의 안전을 유지하기 위해서 설치하는 시설로 역류방지 밸브, 안전밸브, 수격압 완충장치 등이 있다.

### 1) 역류방지 밸브

펌프의 배출측에 설치하여 펌프 정지시 역류를 방지하는 밸브로 유압 장치를 사용한 완폐쇄형, 스프링을 내장한 강제 급폐쇄형 등이 사용되고 있다. 바이패스 밸브를 이용한 펌프 배출측의 역류방지 밸브는 바이패스 밸브를 항상 열어두면 펌프는 언제나 만수상태를 유지할 수 있는 이점이 있으나, 바이패스 밸브를 전부 열어두면 펌프 정지시 역류에 의한 수격압이 풋밸브까지 미쳐 밸브를 파괴시킬 위험이 있기 때문에 바이패스 밸브의 개방 정도는 충분히 주의하여 너무 많이 열리지 않도록 한다. 개방 정도는 설계시 결정되기 때문에 이를 참고로 한다.

### 2) 안전밸브

안전밸브는 일정한 하중 또는 스프링의 힘으로 눌러져 있기 때문에 평소에는 닫혀 있지만 펌프의 급격한 시동, 정지나 관수로 속에 설치한 제수밸브 등의 급폐쇄시 발생하는 이상압력에 의하여 밸브가 열려 물이 배출되고 수압이 내려가면 다시 밸브가 닫히는 구조로 되어 있다. 또한 안전밸브는 펌프 배출측의 송수관이나 압력수조에 달려 있으며 관수로의 감압밸브 설치장치에 병행하여 설치한다. 그 외 수격압 완충장치로 펌프송수관이  $\cup$ 형 배관인 곳은 펌프 급정지시 발생하는 부압에 의한 펌프의 파괴를 막는 장치로 서지탱크 등을 설치하고 있다.

## 아. 관리시설

### 1) 관리시설의 종류

관수로를 안전하고 효율적으로 조작·운용하기 위해서는 제수밸브, 배니시설, 제진시설, 맨홀, 감시수조, 양수시설, 여수로 등 관리시설을 적절하게 배치해야 한다.

### 2) 제수밸브

제수밸브는 관리시설을 관리하면서 사고의 복구나 시설보수, 관내의 점검, 배니(排泥) 및 배수의 조작, 충수(充水)조작 등의 목적을 가지고 유수를 차단하는 시설이다. 제수밸브는 설계상 최대 수두에 견딜 수 있는 견고한 구조를 갖고 조작에 용이하며 내구성이 있는 것이어야 한다.

제수밸브는 배치계획 및 시설관리상 필요한 지점에 배치하되 원칙적으로 다음에 기술한 위치에 설치한다.

- 가) 주요한 분기점, 펌프 배출측, 조정지의 유입 유출구
- 나) 배니공 설치장소
- 다) 플로팅 밸브, 수위조정 밸브 등의 직상류
- 라) 중요한 잠관, 교량, 궤도 횡단장소 및 하천 횡단장소 등에서 사고가 발생하면 그로 인한 피해의 파급이 큰 장소나 더구나 복구에 장시간 소요되는 장소에서는 소구경관을 제거하고 원칙적으로 그의 전후에 설치한다.  
단, 자연압력식 송수방식일 때는 상류부에만 설치한다. 설치할 때는 시설관리자와의 협의가 필요하다.
- 마) 특수한 시설이나 분기관이 없는 구간에서도 점검보수를 고려하여 1~3km에 1개소 정도의 제수밸브를 설치하는 것이 좋다.
- 바) 수두가 40m 이상의 고압관로이며 관경 400mm 이상의 제수밸브에는 그 전후를 소구경의 부관으로 연결하고 부(副)제수 밸브를 설치한다. 부(副)제수 밸브의 사용으로 양측의 압력을 균형되게 함으로써 주밸브의 개폐를 용이하게 하고 아울러 수격압도 경감시킨다. 소량의 수량과 압력을 조정하고자 할 때 편리하다. 대구경의 제수밸브는 보호공을 포함해서 시설비가 높아지므로 될 수 있는 대로 1개소의 제수밸브로 여러 설치목적을 겸할 수 있도록 배치한다.

표 4.11.40 제수밸브의 종류와 특성

명 칭	종 류		구경(mm)	특 성
수 도 용 제 수 밸브 (K S B 2332)	수직형	플랜지형	50 ~ 1,200	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 최고사용압력 740 kPa</li> <li>◦ 플랜지형은 수도용 주철이형관(KS D 4309)의 플랜지형에 접속하는 것</li> </ul>
		메커니컬형	80 ~ 350	
		플랜지형	400 ~ 1,500	
수 도 용 버터플라이 밸브 (K S B 2333)	수직형 수평형	1종	200 ~ 2,000	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 최고허용압력</li> <li>1종: 980 kPa</li> <li>2종: 1,280 kPa</li> <li>3종: 1,370 kPa</li> </ul>
		2종		
		3종		

### 3) 배니(排泥)시설 및 유말(流末)시설

관로 매설 후나 보수시 세정수(洗淨水)의 배수, 유지관리 및 관개기 이후 관내의 물을 배수하기 위해 설치한다. 급수를 시작할 때 관내의 공기를 배제하거나, 급수가 끝날 때 관에 침적된 이토를 배제하는 기능이 있다.

배수관은 정T관을 배수용 지관과 본관을 연결시켜 배수관에 제수밸브를 달아 방류

장소까지 유도한다. 배수관 말단에는 배수구를 설치하며 대구경의 배수구는 일반적으로 철근 콘크리트로 제작한다. 배수구는 배수관에서 분출수를 벽에 부딪쳐 감세시키는 구조로 한다.

#### 4) 계량(計量)시설

분수량 관리를 위하여 유량을 측정할 수 있도록 분수공 등에 설치한다.

유량계는 사용목적 및 설치장소 등의 조건에 따라서 종류가 다양하다. 대표적인 종류로 차압식(오리피스 또는 벤투리), 면적식, 초음파식, 회전날개식(수도미터) 등이 있다. 특성 및 적용조건은 표 4.11.41에 나타내었다.

#### 5) 방류구

방류수는 저수조, 배수조, 분수공 등 자유수면을 갖는 시설에 설치한다.

방류구는 스탠드 측벽의 일정구간을 다른 부분보다 낮추어 수로내의 잉여수를 넘치게 하여 월류 배제한다. 월류수(越流水)는 하천 혹은 배수로로 연결시킨다. 여수로는 계획 최대유량을 방류할 수 있는 규모로 설치하고, 계획 최대유량을 방류할 수 없는 경우에는 상시 분수량을 방류할 수 있는 규모로 설치한다. 여수로와 배수시설을 겸해서 설치하는 경우도 있다.

#### 6) 맨 홀

관수로 내의 점검, 청소, 보수 등을 위해 사람이 관내로 들어갈 수 있도록 호칭지름 800mm 이상의 관수로에는 원칙적으로 맨홀을 설치한다. 맨홀은 직경 600mm을 표준으로 수관교, 제수밸브 및 지형·지질이 변화하는 장소 등에 설치한다. 맨홀은 보통 상향으로 설치하고 맨홀내의 공기를 배제하기 위해 공기 밸브 또는 급수전을 설치한다. 맨홀뚜껑은 관리자가 드나들 수 있도록  $\Phi 500 \sim 600$ mm 정도가 적절하다. 설치지점의 최고수위가 지상 1.0m 이하의 경우에는 감시수조를 설치한다.

#### 7) 수격압 완충장치

##### 가) 서지탱크

송수중의 펌프가 갑자기 구동력을 잃을 경우 펌프의 회전속도가 저하되어 양수능력을 잃게 되고 송수관 내압이 급격하게 저하된다. 이때 부(-)의 압력이 절대진공(약 10m) 가까이 까지 내려가면 관내의 물이 그 점에서 증발하여 공동부(空洞部)가 발생하고 수주분리(水柱分離)가 생기어 관로가 찌그러드는 경우가 있다.

표 4.11.41 유량계의 종류와 특성

항 목	차압식 유량계 (벤투리관)	프로펠러식 유량계 윌트만형 유량계	전자(電磁)유량계	초음파 유량계
측정원리	관로 도중에 고정 축소부(조리개)를 넣어서 유체를 흘렸을 때 생기는 축소부 양단의 차압으로 유속을 측정한다.	터빈미터와 마찬가지로 유속에 비례한 각속도로 회전하는 프로펠러의 회전수로 유속을 측정한다.	기지(既知)치수, 기지자계의 관로속에 측정유체를 흘려 유체에 발생하는 기전력을 측정하여 유속을 구하는 것이다.	액체 속에 초음파를 투사한 경우, 액체의 흐름방향으로 음파가 진행될 때가 흐름 반대방향으로 음파가 진행될 때와는 음속에 차이가 난다. 이 차를 측정하여 평균유속 및 유량을 구한다.
측정정도 (full scale에 대해서)	약 $\pm 2 \sim 3\%$	약 4%	$\pm 1 \sim 1.5\%$	$\pm 2\%$ 이내
측정범위 변 경	차압변환기의 스펠 변경 또는 벤투리관 교환이 필요	크기 변경	스펠은 유속상당 0.3~10m/s 사이, 다이얼로 연속가변 가능	디지털-아날로그 변환시 스케일factor를 바꾼다.
응답속도	상 시	상 시	상 시	2초 정도
고형물·부유물의 혼입영향	정도 및 유지관리에 영향이 있음	영향 있음. 이물질 혼입의 정도가 높은 경우는 상류에 여과기 필요	전혀 영향 없음	즉시 영향을 미치며 높은 정도의 측정불가
압력손실	비교적 크다	적 다	없 다	없 다
비 용 (설치공사 조정비용 포함)	구경이 커지면 주물의 가격이 높아진다.	비교적 저렴	구경에 비례 구경이 커지면 벤츄리관보다 다소 높아진다.	구경이 커도 별로 차이가 없으나 조정비용이 드는 일도 있다.
비 고	정도보증은 보통 20~30% 이상의 측정범위, 내구성은 약간 떨어진다(관내의 마모에 의해서 오차가 생긴다).	개방관용, 폐쇄관용 모두 착탈과 조작이 간단하며 시준 오프때는 미터를 떼어내서 보관할 수 있다. 내구성은 조금 떨어진다.	가역류의 측정가능, 검출부의 지중매설 및 물속 침적이 가능하다. 내구성은 대전도도가 있는 액체가 아니면 측정불가하고 출력신호는 아날로그(DC 4~20, 10~50mA)	기설관에 설치가능, 검출부 수물가능, 내구성이 크다. 출력신호는 아날로그와 디지털이 있다.

수주분리(水柱分離)후 어느 정도 시간이 경과하면 상류측의 물과 하류측의 물이 부딪쳐서 수주(水柱)가 재결합할 때 높은 충격압이 생겨 관로가 파괴되는 수가 있다. 자연압력식 관로에서는 하류측 밸브의 제어와 관련해서 수격압이 발생하기도 한다. 따라서 이들로 인한 피해를 방지하기 위해서는 서지탱크를 설치하는 것이 좋다 서지탱크는 보통서지탱크와 원웨이 서지탱크가 있다.

#### 나) 압력수조

압력수조(air vessel)는 펌프의 급정지로 인하여 압력이 강하되었을 때 압력수조내의 물을 내부의 공기압력에 의해 관로로 급수하는 것으로 압력강하의 방지와 마찬가지로 압력상승에 대해서도 효과가 있으므로 비교적 소규모의 설비로 압력수조를 이용하여 펌프를 자동운전하고자 하는 경우에는 이 압력수조에 의한 압력상승의 방지효과를 검토하는 것이 효과적이다. 또한 압력수조는 자연유하의 수격압에도 효과가 있으며 압력수조에는 공기압축기, 배기전자밸브, 수위검출기, 수위계 및 안전밸브 등의 부속품이 필요하다.

#### 다) 공기탱크

금속제 용기 중에 들어 있는 고무제 에어백(air bag)의 팽창수축에 의해 배관(配管)내의 압력변화를 흡수한다. 연결구경의 범위는 13~300mm 정도이며 이 흡수장치의 설치위치는 관 재료의 탄성계수, 공기탱크의 흡수계수와와의 상대적인 결과에 따라 다르므로 수격압의 완화효과를 얻을 수 있는 장소로 한다.

#### 라) 안전밸브

제수밸브의 급개폐, 말단 관수로에 있어서 사용수량의 급격한 증감, 펌프운전의 급격한 시동과 정지 등으로 이상한 압력상승이 생기는 경우, 일정한 하중까지는 스프링의 힘으로 눌러져서 열리지 않던 안전밸브가 고압에 의해 자동적으로 열려 방류하게 되고 수압이 내려가면 다시 닫히게 된다. 펌프계나 관로계 모두 펌프의 배출구 부근에 안전밸브를 설치한다. 다만 관로가 짧고, 압력변동의 주기가 짧은 때는 작동이 지체되어 큰 기대를 할 수 없다.

### 8) 수관교(水管橋)

하천이나 계곡을 횡단하는 경우에 관을 매설하는 것이 경제적으로나 기술적으로 부적당한 경우에 횡단수단으로 수관교를 사용한다.

수관교의 형식으로 종래는 플레이트 거더 또는 트러스 등의 수로 전용다리를 가설하여 그 위에 관체를 올려놓는 수관교 형식이 채택되어 왔으나 최근에는 관자체를 주빔(main beam)으로 하는 수관교를 설치하고 있다. 또한, 도로 교량 등에 첨가하여 사용하는 경우도 있다. 관은 강성관을 일반적으로 사용하고 소규모의 경우에는 연성관도 사용한다.



### 9) 제진시설(除塵施設)

관수로의 부대시설중에서 수위조정 밸브, 전자밸브, 프로펠러식 유량계, 공기밸브, 스프링클러 등은 그의 본체 또는 파일릿부에 몇 mm 이하의 미소 통수단면을 갖는 것이 있다. 이들의 시설에 있어서는 통수중에 부유물이 가장 큰 고장의 요인이 된다. 또 말단의 소구경 관로에도 곡관부에 부유물이 쌓여 통수를 방해하는 예가 있다. 따라서 관수로를 계획하고 설계하는 데는 부유물 제거에 대한 검토가 매우 중요하다.

제진방법은 그물눈이나 스폰지 형태의 작은 공극으로 분리하는 방법과 소용돌이에 의해 발생하는 원심력을 이용하는 방법이 있다.

말단관수로에서 사용되는 관경은 밭에서는 30mm, 논에서는 50mm까지 쓰이는 경우가 있으므로 일률적으로 말할 수는 없으나 허용치를 관경의 1/3로 하면 10~20mm 정도의 제진기능이 필요하게 된다.

제진은 일반적으로 2~3단계로 나누어 최초에는 큰 부유물을, 2단계부터는 차례로 중간 또는 작은 부유물을 제거하는 방법이 활용되고 있다. 제진시설의 설치위치는 하천 등에서의 취수구, 양수장의 흡수조, 팜폰드에서의 취수구, 개수로에서 분기되는 관수로 시점, 관로중간 (인라인형 스크린, 스트레이너 등) 지점이 좋다.

제진기는 제진방법을 고려해서 통수에 지장이 없고 송배수압력이나 유량변화가 적은 것을 선정해야 한다.

대표적인 제진기의 종류와 특징은 표 4.11.42와 같다.

표 4.11.42 제진기의 종류와 특징

구분	작동 방식	종 류	특 징
아웃라인형	수동식	바 스크린 (bar screen)	부유물의 양이 많은 곳에는 부적합하고 시설비가 싸나 관리인력이 많다.
		그 물 스크린	관리인력이 많이 들고, 교환할 때 부유물이 통과하는 수가 있다. 시설비는 싸다.
	자동식	바스 크린 갈퀴상승방식 체인식 (배면하강 전면상승식)	큰 잡물의 제거에 적합하고, 모래의 퇴적에 비교적 강하다. 부유물의 양이 많을 때 적합 (갈퀴회전)
		갈퀴상승방식 로프식 (주행식, 고정식)	작은 잡물의 제거에 적합하고, 침전물을 끌어올리는데는 부적합하며, 시간당 능력이 낮다 (갈퀴왕복운동).
	망 스크린	제2스크린으로 사용하는 때가 많다. 유효그물눈 폭은 3~5mm의 것이 많다.	
인라인형	수동식	스트레이너	관구경 50~1,200mm 정도이고 그물눈의 유효폭은 다양하나 관리인력이 많이 든다. 대구경이 되면 중량이 크고 교환이 곤란하다. 부유물이 적은 곳에 적당하다.
	반자동식	반자동배진 스트레이너	관구경이 40~250mm 정도에 유효 그물눈폭 2mm. 부유물이 많을 때 또는 1mm 정도의 부유물까지 처리할 때는 망상스크린으로 먼저 처리한다.
	자동식	자동배진 스트레이너	망구경은 80mm, 그물눈폭 편칭구경은 1~5mm, 망은 4~80메시. 전동기로 스크린을 회전시켜서 수압을 이용하여 스크린에 남아있는 부유물을 자동적으로 관외로 배출한다. 부유물이 많을 때는 망상스크린으로 먼저 처리를 한다.
		스트레이너	관구경 3~12mm, 그물눈폭 10~325메시
필터		관구경 150~400mm, 그물눈폭 4~30메시	
	원심력에 의한 분리형	관구경 80~400, 200미크론의 부유물까지 분리한다. 손실수두는 1mm 정도이다.	

## 자. 용어설명

- 강성관: 관수로에 사용하는 관중에 콘크리트관 등과 같이 연성이 적어 변형률이 3% 이내인 관을 말한다. 내식성 및 내구성이 크고 전식의 염려가 없지만 중량이 비교적 무겁고, 내면의 조도의 변화가 거의 없는 등의 특성을 갖는다.
- 개방형(open type): 관로의 요소요소의 상부가 개방된 스탠드를 배치한 저압관로로서 물 이용은 공급 주도형의 개수로에 준한 것이다.
- 게이트 스탠드형 분수공: 개방형 관수로의 게이트 스탠드에 설치한다. 이 형식은 스탠드 하류의 본선측 유입구에 슬루스 게이트를 설치한 것으로서 분지선에 분수하는 역할 외에 분수공 상류의 수압을 조절하여 본선에서 직접 분기하는 분지선 또는 급수전의 필요수압을 유지하기 위하여 사용된다.
- 고압 관수로: 송수계에서는 파이프라인에 작용하는 최대 사용정수두가 100m를 넘는 것 또는 배수계에서는 말단급수전(살수전)으로 약 147kPa 이상의 수압을 필요로 하는 관수로인데 주로 받 관개에 사용한다.
- 공기밸브(空氣弁): 사이펀이나 관수로 중에 유입하는 혼입공기를 자동적으로 배기하는 밸브로 단구형과 쌍구형이 있다. 일반적으로 공기가 고이기 쉬운 매설관의 고위부에 설치한다. 관내가 감압 상태가 되면 외부공기를 흡입하여 부압을 경감하는 작용도 있다.
- 공동현상(空洞現象): 흐름 중에 국부적인 진공상태가 발생하는 현상으로서 원심펌프, 와권펌프의 날개가 급회전할 때 그 주위에서 생긴다.
- 관망배관(管網配管): 분기관로가 망상으로 연결되어 있기 때문에 급수전의 사용상황이나 위치에 따라 관로 내의 물은 어느 방향으로도 흐를 수 있는 배관방식을 말한다. 비교적 평탄하고 정리된 지구의 배관에 적당하다. 평탄지에서는 압력은 균등하고 물 이용의 자유도는 높아진다. 그 반면 물 관리가 곤란하게 될 수도 있기 때문에 주의가 필요하다.
- 다점주입(多点注入) 관수로: 수리학적으로 일체로 되어있는 송배수계 관수로시스템 조직에 수원이 2개소 이상 있고 이들의 수원부터 동시에 용수를 관수로시스템 조직에 공급하는 시설.
- 동수경사: 관수로의 1개 지점에 유리관을 세우면 물은 그 지점의 압력수두에 상당하는 높이까지 상승한다. 관수로에 따라 그 수면을 연결한 선을 압력수두선 또는 동수경사선이라고 하는데 이때의 경사를 동수경사라고 말한다. 개수로에서는 수면경사에 해당한다.
- 동수압: 흐르는 액체(물)가 고정된 면에 작용하는 압력이다. 이것은 물과 고체와의 상대속도에 의한 것으로 정수 안에서 고체가 운동하는 경우도 같다.
- 말단여유수두: 관경결정을 위한 수리계산에서 수리계산의 정밀도, 시공의 상황 및 물 관리의 상황 등을 고려한 여유수두.

- 반 폐쇄식: 개방식으로 스탠드에 플로트 밸브류를 사용하여 하류의 밸브를 열지 않는 한 상류부의 물이 흐르지 않도록 되어 있는 것으로 무효방류는 없고 물 이용은 수요 주도형이다.
- 배니밸브(排泥弁): 배니시설을 구성하는 밸브이고, 이 밸브를 열면 관내의 물 및 이토가 배출된다.
- 배수(配水)계 관수로: 관수로시스템 조직에 있어 수원 또 송수계관수로의 조정시설이나 조압시설 혹은 분수공으로부터 말단포장까지 말단급수전에 필요로 하는 용수량을 분배하는 것을 목적으로 하는 시설이다.
- 배수조(配水槽): 송수 혹은 배수 때문에 필요한 수두를 확보해야하는 장소에 설치하는 수조를 말하며 이 배수조에 일단 펌프양수한 후 자연압식으로 송배수하는 방법이다.
- 밸브 조절형 조압시설: 송수관로 도중에 밸브의 개폐조작에 의하여 상류측 수위를 조절하는 것으로 폐쇄식 관수로에 적합하다.
- 버터플라이 밸브: 밸브 몸통과 밸브축의 둘레를 90° 회전하는 렌스형의 밸브체로 되어 있는데 구조가 간단하고 개폐가 용이하다. 소형이고 경량화가 가능하여 대구경에서 경제적이지만 밸브를 완전히 열었을 때도 밸브체가 관경 내에 남기 때문에 수두손실이 크다.
- 상용수압(常用水壓): 통상 밸브류의 내수압 강도를 표시하는 경우에 사용하며 사용수압이라고도 하는데, 수격압에 정수압을 고려하여 사용압력을 표시한 것임.
- 서징(surging): 어느 한정된 구역 내를 에너지가 전파하는 매체 특유의 전파속도로 반복 동요하는 현상으로서 예를 들면 수압관에서 유량이 급격히 변동할 때 생긴다.
- 설계수압: 시설의 내압강도(耐壓強度)를 결정하기 위해 사용하는 수압이며 정수압에 수격압을 가산한 것으로 표시된다.
- 송수계 관수로: 파이프라인 시설에 있어 수원부터 간지선 파이프라인의 조압시설, 조정시설 또는 분수공까지의 송수목적으로 하는 관로시설.
- 수격압: 수격작용에 의하여 발생한 압력의 주기적인 변동의 수압
- 수격작용: 관수로의 말단을 밸브로 급히 닫거나 열 경우 물 흐름이 단시간에 급변하여 물의 탄성변화가 일어나 이상(異常)으로 큰 압력 또는 이상(異常)으로 낮은 압력의 발생과 함께 그것이 물과 관체의 탄성에 의하여 발생하는 진동현상이며 워터해머(water hammer)라고도 한다.
- 수리단위: 수위(압력)경계, 유량경계, 수위(압력) 및 유량경계의 경계조건에 의하여 둘러 쌓인 일련의 시설군.
- 수위조절형 분수공: 분수조 내의 플로트 밸브의 개폐에 의하여 주밸브(수위조정밸브)의 개폐조작을 자동적으로 해서 HWL에는 폐쇄되고, 그 이하에서는 열리는 조

작을 한다.

- 수지상 배관(樹枝狀 配管): 유로가 간선, 지선, 지거로 순차분기하고 물은 상류에서 말단으로 향하여 일정방향으로 흐르는 배관방식이다. 수류의 제어가 용이하고 시설비용도 관망배관에 비하여 일반적으로 작다.
- 안전밸브: 폐쇄식 관수로에 이상(異常)의 고압이 발생하였을 때 수압을 내려 관로의 안전을 기하기 위한 밸브임. 지수변이 일정한 힘으로 눌러 있어 보통 수압시는 열리지 않으나 이상의 고압시에는 자동적으로 열려 수압이 내려가면 밸브가 닫히는 구조로 되어 있다.
- 압력수조: 펌프가 급정지한 후에 발생하는 압력하강시에 수조내의 물을 내부의 공기압력에 의하여 관로에 급수하는 것. 압력강하의 방지와 함께 압력상승에 대해서도 효과가 있다.
- 압력수조식: 펌프직송식의 경우로 특히 수격압 방지, 자동운전 및 빈번한 단속운전(on-off)을 회피할 목적으로 펌프의 배출구 근처에 압력수조를 설치하는 방법
- 에어해머(air hammer): 관수로 내 공기 덩어리가 발생하여 흐르는 물의 탄성변화에 영향을 주어 대단히 큰 수격작용을 발생시키거나 또 압력맥동을 발생시키는 현상
- 연성관: 파이프라인에 사용하는 관중에 관체에 허용되는 변형률이 3% 이상의 관을 말하며 덕타일 주철관, 강관, 경질염화비닐관, 폴리에틸렌관 및 강화 플라스틱 복합관이 이에 해당한다.
- 저압 관수로: 송수계에서는 관수로에 작용하는 최대 사용정수두가 100m이하의 것을 말하며, 배수계에서는 말단급수전의 필요수압이 대개 147kPa 미만으로 작은 관수로이다. 주로 논 관개에 사용되는 것을 말한다.
- 전식(電蝕): 관수로 주변에 미주전류(迷走電流)가 존재하는 경우 그 일부가 금속 관로에 유입하여 관체를 국부적으로 부식시키는 것.
- 절점수두법(節點水頭法): 관망을 구성하는 각 관로의 교점의 수두를 가정하여, 절점간을 연결하는 관로의 유량을 절점동수두로 표시하는 유량식과 각 절점에 접속되는 각 관로의 유량이 채워야할 절점방정식에 의하여 연립방정식을 세우고, 이 연립방정식을 풀음(해석)으로서 절점의 동수두 및 유량, 유향을 구하는 방법.
- 정상유황(定常流況): 자연압이나 펌프 등으로 부여한 에너지에 의하여 흐르게 되는 유체의 유량과 압력이 균형을 유지하는 유황
- 제수변: 관이나 관수로의 필요한 위치에 흐르는 물의 조정이나 차단 등의 제어용으로 설치한 밸브를 말한다.
- 조절지: 송수나 배수(配水)의 대상이 광역이고 또 물 이용이 다양화하면 용수량의 시간적 변동이 크고 복잡하게 한다. 취수량, 통수량, 용수량의 불균형을 조절하기 위하여 만드는 저수지를 말하는데 이 조절지에 의하여 배수(配水)운영에 따르는

수량 손실이 방지되어 수로기능의 탄력성이 증대되는 기능이 있다. 일반적으로 수로조직의 중간 및 말단에 설치한다.

- 통기공(通氣孔): 유입구의 하류부에서는 공기 혼입 및 흐름의 수축에 의하여 국부적인 압력저하가 생기기 쉬우므로 공기를 배제하는 시설을 설치할 필요가 있는데 이 경우에 많이 사용한다.
- 통기스탠드(通氣 stand): 수격압 완화의 역할을 겸용시키기 위하여 대용량의 급배기 능력을 갖게 할 필요가 있는 경우에 사용하고 그 외에 감압조정, 감사공 등의 역할을 겸용시키는 경우가 많다.
- 폐쇄식(closed type): 관로 말단까지 연속한 폐관로로 구성된 관로로 물 이용은 수요 주도형이다. 배관방식에는 수지상에 관로가 간선, 지선, 지거로 순차 분기하고 물은 상류부터 하류에 일정방향으로 흐르는 수지상배관이 있고, 관로가 망상으로 연결되어 있어 사용되는 공급전의 위치에 의하여 물이 정역(正逆) 어느 방향으로 흐르는 관망배관이 있다.
- 폐쇄형 분수관: 파이프라인의 분지선측과 본선의 분기점 하류측의 2개소 혹은 1개소에 밸브를 설치하고 분지선에의 분수량을 조절하거나 차단하거나 하는 작용을 한다.
- 하디크로스(Hardy Cross)법: 관망을 구성하는 각 관로의 유량 및 유향을 가정하고 이 가정한 유량을 바탕으로 하여 유량을 반복적으로 보정계산하여 유량, 유향 및 손실수두를 구하는 방법이다.
- 허용설계유속: 관수로의 기능이나 안전성을 떨어뜨리지 않기 위하여 설계상 고려해야 할 유속의 범위를 말한다. 최대허용유속은 관 내면이 마모되지 않는 유속으로서 일반적으로 콘크리트의 경우는 3m/s, 그 이외의 경우는 5m/s로 하고 있다. 또 최소허용유속은 수중의 부유토사 등이 관내에 침전하는 것을 피할 수 있는 유속으로 0.3m/s 이상으로 한다.

#### 4.12 물관리 자동화시설(TM/TC)

물관리자동화시설은 농경지에 관개용수를 공급할 때 관리인 또는 농업인이 직접 현장에 가서 수리시설물을 경험에 의해 조작하는 대신에 기계, 전기, 전자, 통신, 컴퓨터 기술을 이용한 원격관측/제어(TM/TC: Telemetry /Telecontrol)운영기법으로 사업구역내의 용수수급 상황과 수리시설 운전상태, 주요시설과 지점의 상황을 감시, 점검, 제어할 수 있으며 자료수집과 응급조치가 가능하고 컴퓨터에 의해 예측을 실시함으로써 효율적으로 물관리를 시행할 수 있는 시설이다.

#### 4.12.1 일반사항

농업용수 물관리의 정의는 작물의 수확량을 최대로 하기 위하여 적기에 적정량을 합리적인 수리시설의 운영에 의하여 최소한의 비용으로 물을 공급하는 것으로 정의할 수 있다.

현재 대부분의 농업용수에 대한 관리는 시설의 노후, 관리손실 과다, 관리 기록 미비, 관리제도 및 규정미비, 경험과 전문성을 가진 관리인원 부족, 물관리에 대한 농민의 이해와 협조 부족, 측정 및 조절시설의 부족, 용수의 재활용 미흡 등으로 많은 양의 물이 손실 또는 낭비되고 있는 실정으로 종합적인 물관리 방법의 도입과 개선이 요구되는 시점이다.

물관리 방법은 용도별로 용수관리, 홍수(배수)관리, 수질관리로 분류할 수 있고, 이를 물흐름의 위치 또는 시설물의 공급위치에 따라 수원관리, 수로관리, 포장관리 등으로 분류할 수 있으며, 물관리의 개선 방법은 시설 및 관리체계 확립, 관측 및 조절시설 확충, 기록관리, 시설물의 적정 유지관리 및 개보수, 관개방법 개선 등을 들 수 있다.

따라서 농업용수를 효율적으로 이용하고 합리적으로 관리하기 위해서는 첨단 전자, 통신, 컴퓨터 기술 등을 농업용수관리에 도입한 물관리 자동화시설이 필요하며 물관리 자동화시설에 의한 최적 물관리를 달성하려면 시설물적인 것과 비시설물적인 준비가 요구된다.

시설물적인 준비로서 물의 상태를 실시간으로 파악할 수 있는 시설(Telemetering: TM)과 수리시설물 통제에 활용하는 컴퓨터 시스템, 통신체계, 통제시설(Telecontrol: TC)이며, 비시설물적인 준비로서 관개배수 시스템이 효율적으로 운영되도록 통제할 수 있는 운영체계(Optimal Operation Rule)가 있어야 한다.

##### 가. 물관리 자동화시설의 기본원리

물관리 자동화시설의 기본원리는 수위 및 유량의 자동측정 → 자료의 송신 → 측정 자료의 분석과 물관리의 의사 결정 → 시설물의 제어 → 제어결과에의 feed back 순서로 진행하여 적시에 적량의 물을 공급함으로써 물관리의 효율화를 달성하는 것으로 물관리 자동화 시설 계획에는 대상지구에 대한 용수이용 현황 및 급수현황, 치수현황, 물관리 방법, 시설물의 조작방법, 물관리 S/W 운영방법, 관리대상시설의 선정 및 감시제어방식 등을 종합적으로 검토하여 지구의 여건에 적합하고 개선과 조정이 쉽도록 계획하여야 한다.

일반적으로 TM/TC 계획 대상 지구는 유형별로 지구특성이나 물관리 특성이 서로 다르고 수리, 수문 현상과 기계, 전기, 전자 등의 설비 및 물관리 S/W 운영방법이 다르므로 TM/TC 계획시에는 유형별 특성을 고려하여 현지조사 및 설계가 이루어지도록 해야 한다.

## 나.물관리자동화시설의 효과

### 1) 효율적인 시설관리로 물관리 비용절감

- 가) 물관리에 소요되는 인력을 노동생산성에 관계없이 자동화시설로 대체함으로써 소요 인건비를 절감하고, 인력에 의한 물관리에 비해 상대적으로 물관리의 품질을 높일 수 있다.
- 나) 농업의 경쟁력 제고를 위해 용수공급비용을 절감할 수 있다.
- 다) 관리비용을 절감할 수 있다.

### 2) 과학적, 체계적 물관리로 용수절약 및 용수배분의 합리화

- 가) 시기별, 지역별 물 수요변동에 신속한 대응이 가능하다.
- 나) 밭관개, 직파재배, 고소득 작목 확대에 따른 용수의 수요증대에 대비한 용수개발, 이용 및 관리·보전의 합리화가 가능하다.
- 다) 취수량 조절로 무효방류 및 관리손실수량 감소, 강우의 유효이용, 복수수원의 사용조정이 가능하다.

### 3) 한·수해 등의 농업재해에 능동적 대처

- 가) 유입량, 필요수량, 저수량의 관리로 가뭄에 대비한 관개가능 일수를 예측하여 절수관개 등의 대책을 강구할 수 있다.
- 나) 저수지의 유역으로부터 홍수유입량의 실시간 예측에 의해 방류량 조절로 홍수 피해 등 재해에 능동적 대처가 가능하다.

### 4) 농업기반시설기능의 보전 및 시설기기 보호

시설의 적정조작, 이상유무 조기발견 및 조치가 가능하다.

### 5) 농업인의 물관리 서비스 향상 요구 증대에 부응

물관리에 대한 정보를 농업인에게 제공하는 등 물관리 서비스향상 요구에 부응하고 신뢰도를 제고할 수 있다.

### 6) 환경보전

- 가) 가뭄에도 용수공급량이 증가하여 환원수량이 많아지고 지하수 함양에 기여하며 절약된 용수를 환경용수로 공급할 수 있어 하천의 생태계나 주변환경에 유리한 조건을 제공할 수 있다.
- 나) 수질오염도의 지속적인 모니터링으로 수질개선대책 수립을 위한 자료를 제공함으로써 수질오염방지에도 기여할 수 있다.



## 다. 물관리 자동화시설의 목표

- 1) 용수의 효율적 이용으로 생산성 제고 및 수요에 대비할 수 있는 용수를 확보한다.
- 2) 물수요량의 시간적, 공간적 변화를 고려하여 용수를 균등하게 합리적으로 배분한다.
- 3) 관리인원을 줄이고, 농민에게 물관리에 필요한 정보를 신속하게 전달하여 물관리에 대한 신뢰도를 높인다.
- 4) 물관리 시설물(저수지, 양배수장) 상호간의 연계운영 체계를 확립하여 관리비가 가장 적게 드는 관개배수 시스템으로 운영한다.
- 5) 용수절약에 따른 용수의 추가확보로 환경개선에 기여한다.
- 6) 측정 데이터를 분석하고 예측하여 자연재해를 최소화 한다.
- 7) 과학적인 물관리 기술 개발에 필요한 각종 자료를 수집하여 물관리 기술 발전을 이룬다.

## 라. 물관리 자동화시스템 계획시 고려사항

### 1) 물관리 대상에 따른 자동화 계획 수립

물관리는 용수·홍수·수질관리 등을 종합적으로 행할 수 있도록 전체 시스템을 구성하는 것이 바람직하나 사업비가 일시에 투자되어야 한다는 단점 때문에 단계별로 시행하는 것이 일반적이다. 부득이 해당 관개구역 급수만을 위한 자동물관리 계획을 수립할 경우에는 홍수 및 수질관리와 해당 용수구역 전체에 대한 물관리를 염두에 두면서 수립해야 한다.

### 2) 지역특성에 알맞는 시스템

물관리 여건은 지구별로 또는 동일 지구 내에서도 구역별로 관리 여건이 다를 수 있으므로 물관리 자동화 시설이 이러한 관리여건을 충분히 고려하지 않고 획일적인 기준에 의해 계획되고 설치되면 문제를 야기할 수 있기 때문에 지구특성에 적합한 시스템이 개발되고 설치 후에 발생하는 문제를 용이하게 해결할 수 있어야 한다.

### 3) 단순하고 조작이 용이한 시스템

시스템은 전문가들에 의해 개발되는 관계로 사용자의 입장을 고려하지 못하거나 고려하더라도 현실성을 배제할 가능성이 매우 높다. 따라서 개발자들은 관리인의 기술 수준과 관리인의 입장에서 문제를 조명해야 하며 시스템 관리인들이 수리상황을 파악하고 조절장치를 조작할 수 있도록 시스템은 조작이 쉽고, 단순하며 내구성과 관리

효율을 높일 수 있도록 개발되어야 한다.

#### 4) 시스템의 표준화

시스템을 개발하는 전문가와 전문회사에 따라 하드웨어와 소프트웨어가 다양하기 때문에 앞으로의 기술개발 및 지역의 통합관리에 장애요인으로 작용할 수 있다. 따라서 하드웨어의 기술사양 및 통신용 프로토콜 등과 같은 소프트웨어 등은 기본적으로 표준화하여 경제적인 시스템 개발이 이루어지도록 해야 한다.

#### 5) 기타

부품의 교체 및 고장수리가 신속하고 싼값으로 현장에서 처리되어 유지관리가 용이해야 하며 계측설비나 기타 시설의 추가 설치시 시스템 전체를 교환 없이 간단하게 확장이 이루어질 수 있도록 시스템의 확장성이 보장되어야 한다.

### 4.12.2 TM/TC 조사

#### 가. TM/TC 조사 흐름도

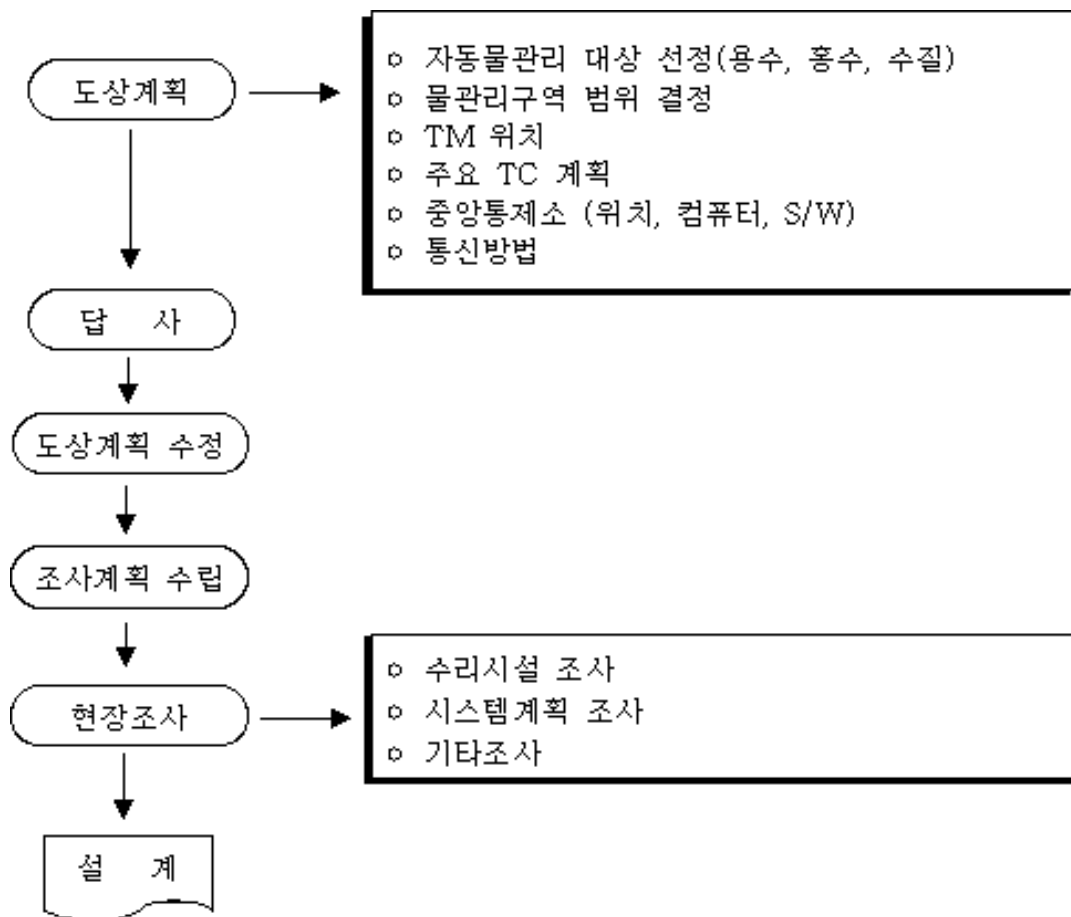


그림 4.12.1 TM/TC 조사 흐름도

## 나. 도상계획

도상계획은 대상지구의 지형도(1/5,000 ~ 1/25,000) 또는 기존 설계자료를 이용하여 사업구역내의 관개특성과 수원공 및 인근지역의 이수·치수특성, 수리관행, 보조수원공 유무를 검토하고 기상자료, 기존수리시설물 현황 등의 자료를 수집하여 TM/TC 조사설계를 위한 다음 사항을 계획한다.

### 1) 물관리 대상 선정

대상지구의 유형별 특성(저수지지구, 양수장지구, 간척지구, 대단위지구)과 물관리 필요성을 고려하여 물관리 대상(용수관리, 홍수관리, 수질관리)을 선정하고, 물관리 대상 선정시에는 가능하면 종합관리가 되도록 검토한다.

### 2) 물관리 구역 범위 결정

물관리 대상이 선정되면 자동화 시설의 목표 및 기본방향을 설정하고 시스템의 기본구성을 검토하여 물관리 구역 범위와 관리대상 시설의 범위를 결정한다.

이때 보조수원공(소류지, 취입보, 간이양수장)과 지구내 배수시설 유무, 인근지역의 수리시설물을 조사하여 관리대상 시설로 포함할 것인가를 검토한다.

### 3) TM 위치선정

대상지구의 용수이용 상황 또는 계획을 검토하여 시설의 제어 및 물관리를 위한 측정항목을 개략 결정하고 측정시설 및 설치장소를 선정한다.

### 4) TC 계획

대상지구의 물관리 운영계획을 개략 검토하여 관리대상 시설의 기능, 관리방법, 목적 등에 부합하도록 관리항목을 선정한 후 주요시설과 지점에 TC 계획을 수립한다.

### 5) 중앙관리소

대상지구의 중앙관리소는 원격제어소(RTU)로부터 각종 데이터와 시설정보를 수집하고 신뢰성이 높으며 신속하게 운전 제어 명령을 전달할 수 있는가를 검토하여 시설의 위치와 시스템의 기능 및 구성계획을 수립한다.

### 6) 통신방법

관리대상 시설과 중앙관리소가 결정되면 이에 적합한 데이터 전송방식을 개략 선정한다.

전송방식 선정시에는 회선의 종류(유선, 무선, 유무선 혼용)별 특징과 지구여건을 검토하고 경제성을 비교하여 선정한다.

## 다. 답사

물관리 대상지구의 답사는 다음 사항을 조사하여 도상계획 검토 결과를 확인할 수 있도록 한다. 또한 답사시에는 반드시 토목, 기계, 전기, 건축, S/W개발, 시설물관리자, 물관리 요원이 공동조사 및 협의를 하여 TM/TC 계획의 기본구상과 조사 및 계획수립의 기초 자료로 활용토록 한다.

### 1) 답사시 조사사항

- 가) 관개지구의 기상, 지형 등 자연조건과 시설계획 현황, 유지관리현황 등을 조사
- 나) 수원공의 각종 제원, 강우량, 유입량, 방류량, 저수위 등의 현황과 시설물의 관리상태 등을 조사
- 다) 취수시설 및 홍수조절 시설의 형식, 전동화 유무 및 관리상태 등
- 라) 용수로의 구조물현황, 용수계통 및 유지관리 상태
- 마) 용수로의 분수, 조절시설의 구조와 수리현황 및 관리상태
- 바) 방수문의 구조와 하류부 조건
- 사) 관개구역내의 소류지, 조절지, 취입보, 양수장 시설 등 보조수원공의 이용상태와 규모, 관리상태
- 아) 배수로, 배수문, 배수장의 이용상태와 규모, 관리상태
- 자) 각 시설물의 전기 및 기계설비, 시설관리자, 개보수 현황 등

## 라. 도상계획 수정

답사결과에 따라 지역여건, 시설물의 상태, 관개배수상황 등이 달라 TM/TC 대상의 시설물적인 사항과 비시설물적인 사항이 변경될 경우에는 도상계획 내용을 수정하여 현장조사 계획을 수립한다.

## 마. 조사계획 수립

도상계획 및 답사 결과에 의해 분야별 전문가가 관리대상시설에 대한 TM/TC 계획, 시설물 보강 또는 개보수 계획 등을 협의하여 현장조사 계획을 수립한다.

## 바. 현장조사

### 1) 수리시설 조사

대상지구의 수원공, 관개조직, 배수조직, 등의 위치, 용배수계통(취수시설, 분수시설, 조절시설 등)의 구조물 현황, 시설물의 관리 및 상태, 조작현황을 조사하고 용수원의 수자원 부존량과 취수량, 분수량, 용도별 용수량 등을 파악할 수 있도록 상세하게 조사한다. 특히 설치시기가 오래되어 잦은 개보수사업시행으로 시설물 변경이 많은 지

구는 연계된 시설물 능력검토를 할 수 있도록 조사한다.

가) 저수지

저수지 시설 조사는 제원(취수시설, 물넘이시설 포함), 저수위(사수위, 만수위, 홍수위) 현황, 저수량(표고별 내용적) 현황, 저수지 관리기준 및 각 시설의 작동 상태 등을 조사한다.

나) 양수장

양수장 시설 조사는 양수기 제원, 흡입수조 및 배출수조의 수위, 유량, 제수변, 전기설비, 양수기 가동현황, 하천수위 현황 등을 조사한다.

다) 배수장 및 배수문

배수장 및 배수문의 시설조사는 배수장의 규모, 배수량, 내·외수위, 전기설비, 배수문의 규모 및 작동상태 등을 조사한다.

라) 용수로

용수로는 계획 대상지구의 급수계획, 물관리 계획 수립에 가장 중요한 부분이므로 시설물 조사는 노선측량(종단구조물 및 횡단구조물을 상세 조사)을 하여 각 구간에서의 수위, 유량과 수두계산 등이 가능하고 수로의 흐름상태를 파악할 수 있도록 조사한다.

2) 시스템 계획 설계에 필요한 조사

시스템 계획 설계에 필요한 조사는 중앙관리소와 현장시스템의 관리체계, 관리방법, 관리수준, 관리상태, 수리시설의 유지관리체계 등을 고려하여 중앙관리소의 필요성, 통신시스템(유선, 무선, 중계소), 경제성(시설비 및 유지관리비)을 비교 검토 후 다음 사항을 조사한다.

가) 관리대상시설물의 현장조사

나) 측정감시장치, 선로, RTU 위치

다) 관리대상 시설과 중앙관리소간의 유·무선 통신시험

라) 중앙관리소 위치

3) 기타조사

대상지구가 기설지구인 경우에는 기존 수리구조물의 형식, 작동사태 등을 면밀히 조사하여 TM/TC 계획시 조작성이 용이하도록 개보수의 필요성 여부를 검토하여야 하며, 관련 수리시설 및 인근 지역의 수문자료, 관개 및 타용도 용수계획, 수질 및 유역의 오염자료 등을 조사한다.

### 4.12.3 TM/TC 기초단계 설계

#### 가. 설계 흐름도

##### 1) 일반적인 설계 흐름도

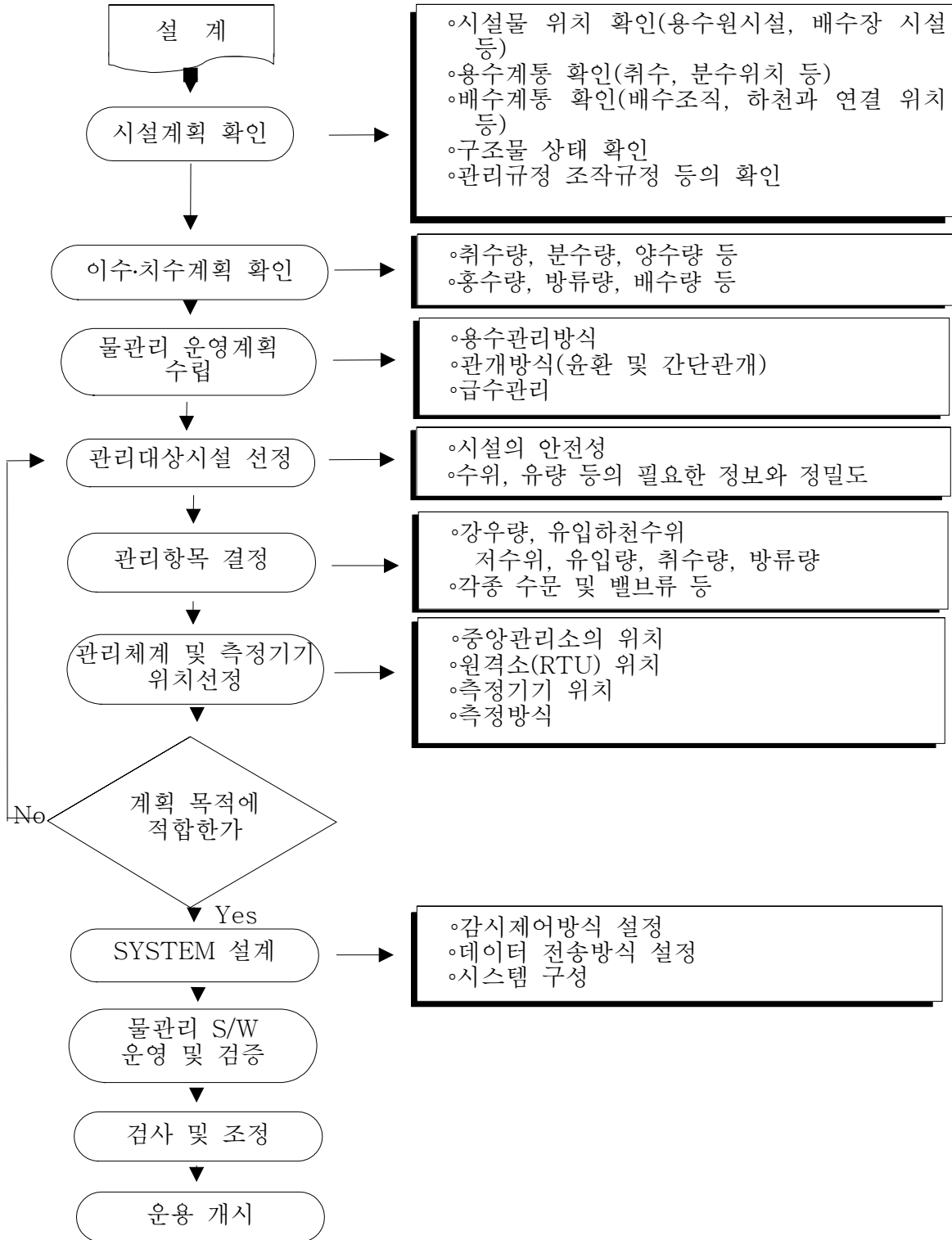


그림 4.12.2 설계 흐름도

2) 어느 지구 TM/TC 설계 흐름도

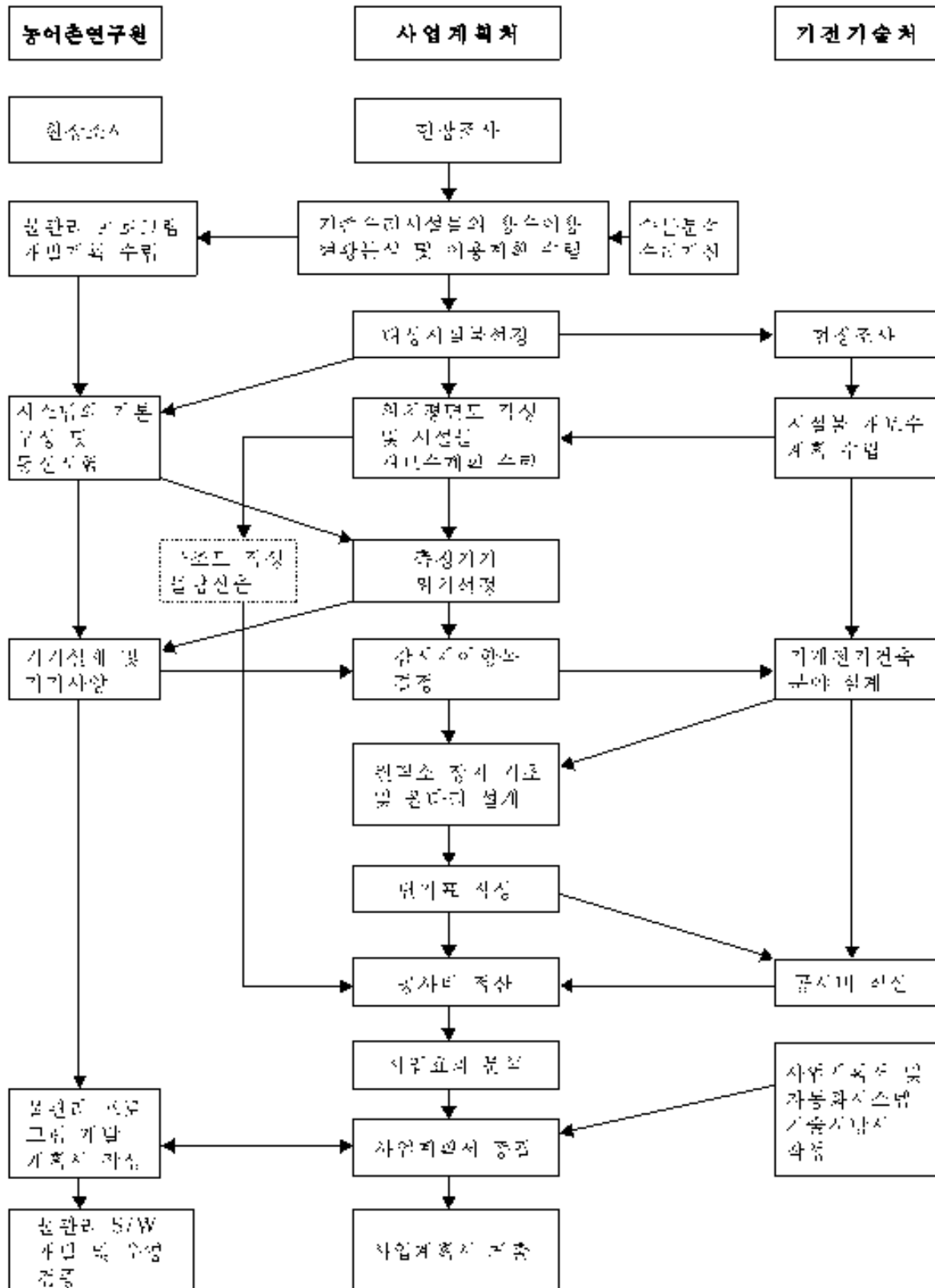


그림 4.12.3 TM/TC 설계 흐름도

## 나. 시설계획 확인

대상지구의 수리시설 조사내용을 근거로 시설물별 현황표를 작성하고 수원공 및 평야부 구조물 중 관리대상시설은 자동화시설 계획(취수탑 및 사통 조작실, 양배수장 배전반, 펌프류, 밸브류, 문비류 등)에 부합되도록 노후화된 시설물에 대해 개보수 계획을 수립하여야 하며 기설 용수로 구간 중 토공수로 및 통수단면 부족 구간은 보강 개발하는 것으로 계획하여야 한다.

## 다. 이수계획 확인

대상지구의 저수량 또는 취수가능수량, 도수(導水) 및 분수량, 포장의 필요수량 등을 확인하여 용수이용현황 및 이용가능량을 분석하고 용수이용계획 및 급수계획을 수립한다.

## 라. 치수계획 확인

대상지구의 설계홍수량, 물넘이 시설의 규모 및 능력검토, 배수장 시설의 규모 및 배수량, 내외수위를 확인하여 홍수관리 및 배수관리 계획을 수립한다.

## 마. 물관리 운영계획 수립

대상지구의 효율적인 물관리를 위해서는 물수요량의 정확한 예측과 해당지점에 적기에 적량의 물을 공급하는 것이 전제되어야 한다. 이러한 물수요량은 지구별로 기상, 작물, 토양 등의 물리적인 인자 외에도 경작자의 관행과 기호, 관개조직의 수리적 특징과 수로조직의 물분배 방법에 따라 다르다.

따라서 물관리 운영계획 수립시에는 대상지구의 관개조직을 자세히 조사(계획내용 포함)하고 이수 및 치수 현황을 파악하여 용수이용 계획을 수립한 후 지구 특성에 맞게 용수관리방식, 관개방식, 급수관리, 치수관리 등을 검토하여 효율적인 물관리 계획이 되도록 한다.

일반적인 물관리 계획 수립에 고려할 사항은 다음과 같다.

○ 수원공 및 평야부 시설을 물관리에 용이한 수로조직과 공작물이 되도록 계획하고 주요시설과 지점의 특성에 맞는 측정시설을 선택하여야 한다.

○ 수혜구역내의 토양별 면적과 벼 생육시기별 필요수량을 파악하여 필요한 양만 공급토록 하여야 한다.

○ 관개조직에서의 손실이 최소화되도록 하고 용수로는 구조물화가 되어야 한다.

○ 관개 방법은 유훈관개나 간단관개를 실시토록 계획한다.

○ 치수관리는 평상시와 홍수시를 고려하여 자연배수를 원칙으로 계획하고 기준 내수위 이상이 될 때는 기계배수로 계획한다.



○ 필요 물관리 인원의 교육 계획을 반영한다.

### 1) 용수관리 방식

용수관리에는 여러 가지 방식이 있으나 공급주도형과 수요주도형으로 구분할 수 있다. 용수관리방식 선정시에는 용수원, 급수방식, 수요량 등을 충분히 검토하여 결정해야 한다.

#### 가) 공급주도형 용수관리

공급주도형 물관리 방식은 수로를 통하여 흐르는 물을 각 분수공에서 관리자 또는 관리자로부터 위탁받은 자가 분수량을 조절하는 방식(즉 관리자 의지에 따라 급수량을 조절)으로 용수계통이 개수로일 경우에 많이 운용된다.

#### 나) 수요주도형 용수관리

수요주도형 물관리 방식은 사용자의 의지에 따라 자유로이 물을 사용하는 방식으로 공급자는 자유로운 물의 사용이 가능하도록 공급시설을 감시하고 제어하여야 한다. 이 방식은 관수로인 경우에 많이 운용되나 취수 가능량이 최대수요량보다 적거나 조절능력을 가진 조절지나 저류지가 없으면 운영되기 어렵다.

### 2) 관개방식

물관리 계획에서의 관개방식으로는 유회관개 방식과 간단관개 방식이 있다. 관개방식 선정은 다음 조건들을 검토하여 대상지구의 용수이용계획상 가장 적합한 방식을 결정한다.

- 벼와 2모작의 작물 종류
- 입지조건: 수혜지구의 전체면적과 지형조건, 기상조건 등
- 수리사정: 수원 수량의 제약, 관개의 원활성, 용수 재이용의 필요성
- 영농조건: 지내력 등에 의한 기계화 조건
- 경제성

#### 가) 유회관개

유회관개는 용수부족 지구에서 관개지구를 몇 개의 블록으로 나눈 후 용수공급 받을 차례를 미리 정하여 관개하는 방식으로 용수절약 및 균등배분을 할 수 있고 수확량을 증가시킬 수 있어 합리적인 물관리 방법의 하나이다. 유회관개에 의한 절수관리 방법과 이수관리 곡선에 의한 유회관개 계획 방법은 「농업생산기반정비사업계획설계기준 관개편」(농림부, 1998)을 참조한다.

#### 나) 간단관개

간단관개는 1일 또는 며칠 간격으로 관개하는 방법으로 벼의 생육시기별 용수의 필요정도에 따라 물관리를 하면 수확량도 높아지고 용수도 절약할 수 있다.

간단관개에 의한 절수방법과 이수관리 곡선에 의한 절수관개 방법은 「농업생산기

반정비사업계획설계기준 관개편」(농림부, 1998)을 참조한다.

### 3) 급수관리

급수관리는 대상 관개구역에 대하여 물관리 방법 및 관개방식에 따른 수원공의 수위변화와 저수량변화를 추정하여 급수계획을 수립하고 용수로마다 생육단계에 맞추어 시기별 용수량을 정하여 관리하여야 한다. 수원공의 용수가 충분하여 급수에 문제가 없을 경우에는 당일의 필요수량을 충족시킬 수 있도록 취수량이나 양수량에 관리손실량을 추가하여 급수계획을 수립하고 지속적인 한발이나 강우량 부족으로 인하여 용수량 부족이 예상될 경우에는 절수계획을 수립하여 관리하여야 한다.

#### 가) 저수지지구

대상지구의 저수지 내용적을 조사하여 월별 평균저수위, 순별 평균저수위, 빈도별저수위 등을 정리하여 월간 급수계획, 주간급수계획, 일일급수계획 수립의 기초자료로 활용토록 한다.

##### (1) 월간 급수계획

관개기간 중의 월별로 강우량의 예측, 이에 따른 저수지 유입량의 추정, 수혜지역의 필요수량 등의 산정을 통하여 급수수준을 결정하고 이에 따른 관개계획을 수립한다.

##### (2) 주간 급수계획

관개기간 중 매주 강우량 예보자료를 이용하고, 이에 따른 저수지 유입량의 추정, 수혜지역에서의 필요수량 등의 산정을 통하여 급수수준을 결정하고 이에 따른 관개계획을 수립한다.

##### (3) 일일 급수계획

관개기간 중 매일 강우량 예보자료를 이용하고, 이에 따른 저수지 유입량의 추정, 수혜지역에서의 필요수량 등의 산정을 통하여 급수수준을 결정하고 이에 따른 관개계획을 수립한다.

#### 나) 양수장지구

대상지구의 관련하천에 대해 일별 또는 장단기 강우량 예보 결과로부터 하천의 수위 및 유량을 추정하여 일일 및 장단기 급수계획을 수립한다.

### 4) 치수관리

#### 가) 홍수관리

홍수시 관리는 저수지 운영에 관한 관리와 방류에 따른 저수지 하류의 피해방지를 위한 관리로 구분한다.

측구식 물넘이는 저수위가 낮아져 있을 때 홍수가 유입하여 저수위가 상승하는 경우, 물넘이로부터의 월류의 시작과 최대홍수량의 유입이 동시에 발생하면 갑자기 큰 유량이 방류된다. 따라서 이러한 점을 충분히 검토하여 하류 하천의 수위 상승속도가

30~50cm/30분을 초과하는 지를 살펴서 경보구간을 설정한다.

홍수시에는 방류량 판단에 필요한 정보로 저수위, 취수문 개도, 저수지 상류유역의 우량과 유입량, 저수위를 관측하여 저수지의 홍수량, 저수량, 취수시설의 사전 방류량 등을 계산한다. 그리고 이들 자료를 참고하여 유황에 적합한 방류계획을 작성하여야 한다.

#### 나) 배수관리

농지의 배수는 평상시 배수지역내의 배수로 수위를 기준수위 범위 이내로 유지하기 위한 평상시배수와 강우시 지역내의 침수를 방지하기 위한 홍수시 배수가 있다.

##### (1) 평상시 배수

평상시 배수는 유역으로부터 유출하는 평상시의 기저유출량을 배수하여 배수로의 수위를 계획기준수위 이하로 유지하는 것이 목적이다. 배수로의 수위는 주로 배수문에 의해 관리한다.

##### (2) 홍수시 배수

배수하천의 수위가 낮을 때는 주로 자연배수를 하지만 홍수시에 하천수위가 상승하여 자연배수가 어려울 때는 펌프로 배수하여 허용담수위를 넘지 않도록 흡입측 배수로의 수위(내수위)를 관리한다.

### 4.12.4 TM/TC 시설계획

#### 가. 대상시설 선정

농업용수수리시설은 넓은 면적에 산재되어 있으므로 경제성을 고려한 최적 물관리를 위하여 물관리 시스템 관리대상 시설의 선정이 중요하다. 수로로 연결된 많은 수의 농업수리시설을 모두 물관리 자동화 시스템으로 관리하면 용이하겠지만 시스템 설치에 과도한 비용이 소요되고 시스템의 조작 운영이 복잡하고 어려워진다.

관리대상시설은 각시설의 고유기능을 최대한 살리면서 집중관리에 의한 전체시스템의 기능, 조작운용, 사업비, 유지관리비, 관리체계 등을 검토하여 정한다.

일반적인 관리대상 시설은 저수지, 양배수장, 취입보 등의 수원공과 용수로의 분수문, 제수문, 방수문 등이 있다.

저수지, 취입보 등의 수원공 시설은 수원의 계획적 운용면에서 관리대상시설을 선정하고, 양배수장 및 가압펌프장은 밸브, 수조, 관수로 등을 관리하여야 하며 펌프의 운전, 정지조작은 일상 운용관리의 기본이므로 관리대상 시설로 선정한다.

용수로시설은 용수의 효율적 이용 및 합리적 배분과 경제성과의 균형, 시설의 중요도를 고려하여 선정한다.

일반적으로 작은 분수문(간선에서 지거 또는 경지로 바로 분기되는 경우)이 여러 개 설치되어 있는 경우는 모든 시설물을 대상으로 감시제어 하는 것은 비경제적이며

로 간선과 지선의 분기점 및 방수문 등 특별히 유량측정이 필요한 부분을 선정한다.

### 나. 관리항목 결정

관리항목은 관리대상 시설의 기능, 관리방법, 목적 등을 고려하여 결정하며 시설별 관리항목은 표 4.12.1과 같다.

표 4.12.1 관리항목

시설명	위 치	항 목
저수지	상 류	상류우량, 상류수위
	댐지점	우량, 저수위, 저수량, 유입량, 취수량, 취수문, 방류량, 물넘이수문, 밸브류, 전기설비
	하 류	하류수위, 방류경보
양배수장	양수장	펌프, 흡입수조 및 배출수조 수위, 송수량, 제수변, 수전설비
	배수장	내·외수위, 평상시 배수펌프, 홍수시 배수펌프, 자연배수문, 제수문, 수전설비
취입보	보지점	취입보 상하류수위, 우량, 취수량, 취수문, 방류량, 물넘이 수문, 배사문, 월류량, 전기설비
용배수로	개수로	제수문, 분수문, 분수량
	관수로(폐쇄형)	분수량, 분수밸브, 관수로 수압, 간선 조절밸브
	방수문	제수문, 방수문, 하천수위, 유말공

### 다. 측정기기 선택

#### 1) 측정기기 선택 및 위치선정

측정기기는 각 기기의 신뢰성을 확보하기 위하여 계획적이고 합리적으로 설치해야 하며 설치장소 및 배치에 관한 사항, 기기환경에 관한 사항, 보수관리에 관한 사항, 설치공사에 관한 사항을 고려하여 결정하며, 상세한 내용은 「집중물관리 시스템 실용화연구」(농림부, 1997)를 참조한다.

## 4.12.5 자동화시스템 설계

### 가. 감시제어항목 결정

자동물관리 계획에는 우선 관리대상 시설의 목적과 특징을 파악하여 저수지, 양수장, 취입보, 용배수로 등의 관리시설에 대한 감시제어시설 및 방식을 결정한다.

각시설의 감시제어방식에 대한 상세한 내용은 「집중물관리 시스템 실용화연구」(농림부, 1997.12)와 「설계계산요령」(농어촌진흥공사, 1999)를 참조한다.

### 나. 데이터 전송방식 선정

물관리시스템 계획에서 관리대상 시설과 감시제어방식이 결정되면 이에 적합한 데이터 전송방식을 선정한다. 주요 검토항목은 통신국의 구성, 전송회선(전송로)의 선정, 정보전송방식, 대향방식, 신호변환방식, 통신방식, 기동방식 등이 있다.

#### 1) 통신국의 구성

통신국은 넓은 곳에 산재하는 관리대상 시설을 중앙관리소와 전송계통을 검토하여 정한다. 일반적으로 센서와 RTU간에는 직송방식을 적용하고 중앙관리소와 RTU에는 반송전송방식을 적용한다.

직송전송방식과 반송전송방식의 자세한 내용은 「설계계산요령」(농어촌진흥공사 1999)을 참조한다.

#### 2) 전송회선의 선정

물관리 시스템에 적용되는 전송회선의 선정에는 각 회선의 특징과 지구의 여건을 잘 파악하고 경제성을 비교하여 최적 전송회선을 선정한다.

##### 가) 전송회선의 종류

전송회선은 응답성, 신뢰성, 경제성을 고려하여 선정한다.

전송회선의 종류는 그림 4.12.4와 같으며 전송회선의 선정조건 자료전송방식의 선정조건과 대향방식, 신호변환방식, 통신방식 비교 기동방식 등의 자세한 내용은 「집중물관리 시스템 실용화연구」(농림부, 1997)를 참조한다.

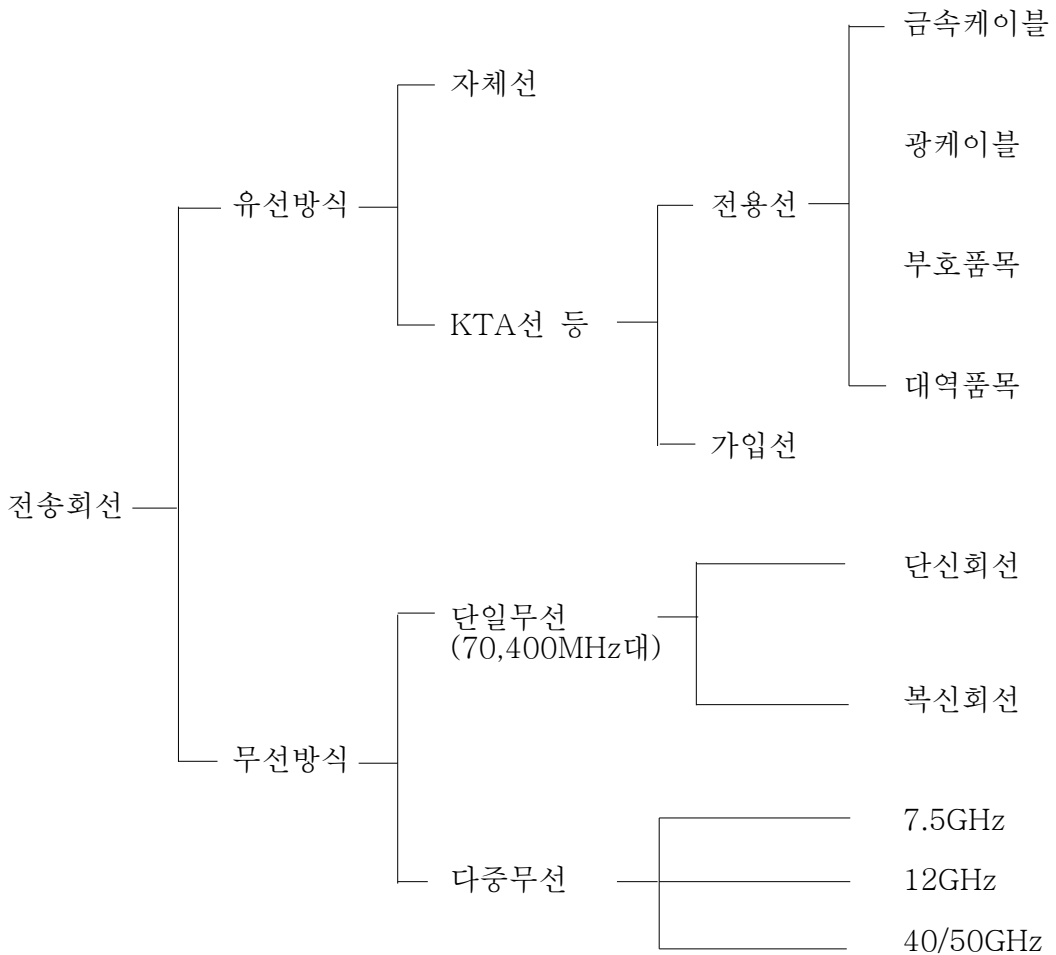


그림 4.12.4 전송회선의 종류

## 다. 시스템 설계

### 1) 기본구성

물관리자동화 시스템의 일반적인 기본구성은 그림 4.12.5와 같다.

### 2) 중앙관리소

#### 가) 위치선정

중앙관리소의 위치선정은 시설의 배치, 사회환경조건, 경제성, 운영회선의 구성 등을 고려하여 향후 운용관리에 필요한 충분한 공간을 확보할 수 있는 곳으로 한다.

중앙관리소의 설치장소, 조건 등의 자세한 내용은 「집중물관리 시스템 실용화연구」(농림부, 1997)를 참조한다.

나) 시스템의 구성

중앙관리소의 물관리 자동화 시스템의 구성은 정보처리계, 감시제어계, 정보전송계로 이루어지며 그 기본적인 구성은 그림 4.12.6과 같다.

중앙관리소 시스템 설계에 대한 환경조건, 정보처리계, 감시제어계, 정보전송계 등의 자세한 내용은 「집중물관리 시스템 실용화연구」(농림부, 1997)를 참조한다.

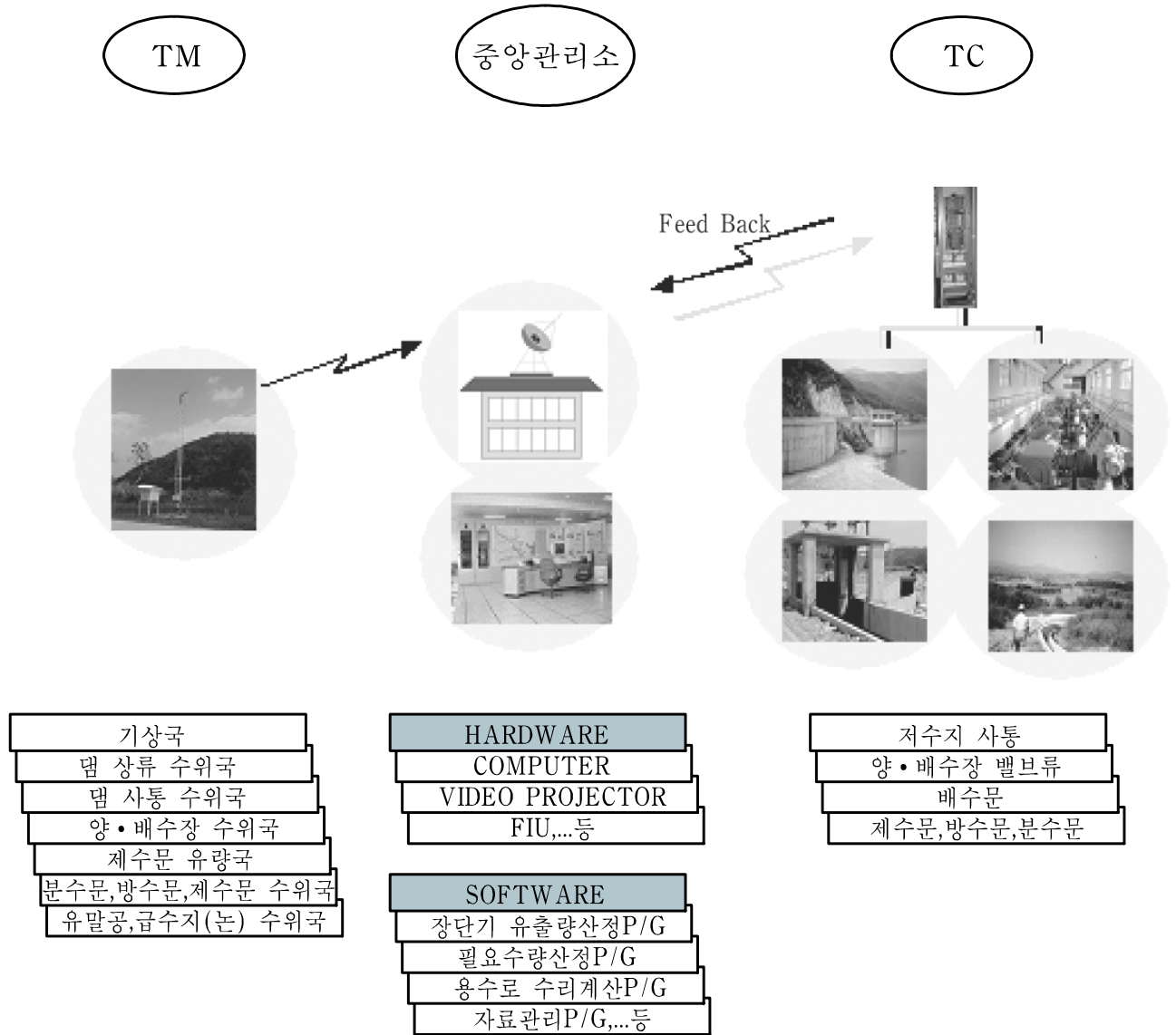


그림 4.12.5 물관리자동화 시스템의 기본구성도

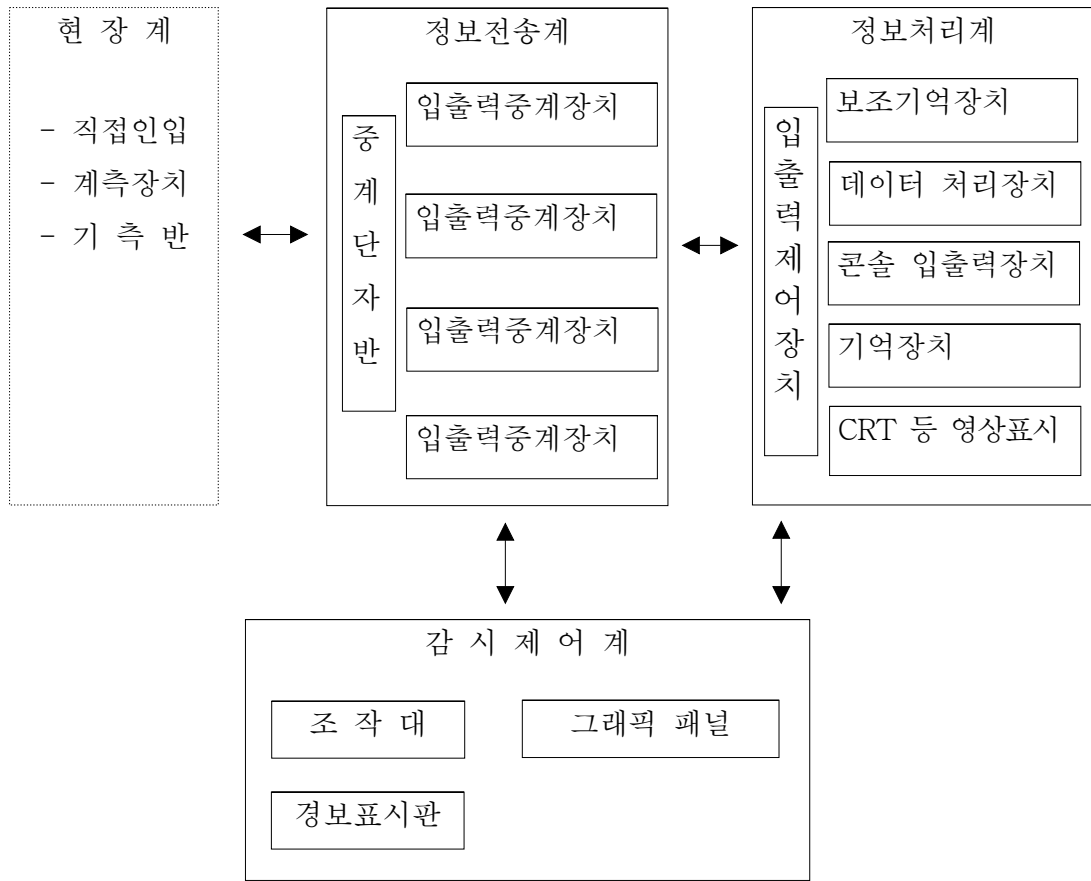


그림 4.12.6 중앙관리소 시스템 설비의 구성

### 3) 원격소 장치

#### 가) 위치선정

현장관리소(원격소장치: RTU)의 위치는 일반적으로 관리대상 시설의 옥내 또는 옥외에 설치되므로 경제적 전송로의 확보, 지형, 지질 등을 고려하여 안정성이 확보되는 곳으로 한다.

#### 나) 원격소의 구성

원격소장치의 구성은 정보전송계와 현장계로 구성되어 있으며 기본적인 구성은 그림 4.12.7과 같다.

원격소 시스템설비에 대한 환경조건, 정보전송계, 현장계 등의 자세한 내용은 「집중물관리 시스템 실용화연구」(농림부, 1997)를 참조한다.



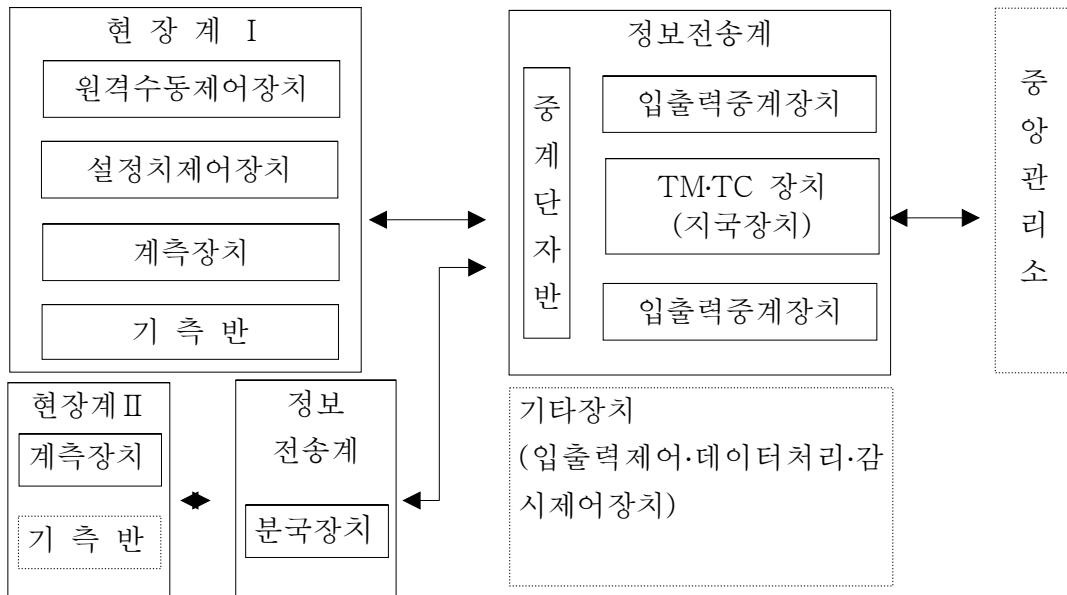


그림 4.12.7 원격소 시스템 설비의 구성

#### 다) RTU 설계

현장에 설치되는 RTU는 TM/TC 장치, 측정장치, 송수신장치 등이 있으며 이들 설비 및 장치는 조작성, 보수성, 증설설비 및 장치, 공간, 채광, 환기 등을 검토하여 설계 하여야한다.

일반적으로 RTU는 평야부의 옥외에 설치하는 경우가 많으므로 국사, 울타리 등의 보호시설을 하여야 한다.

일반적인 평야부의 분수문 RTU 평면도의 예는 그림 4.12.8과 같다.

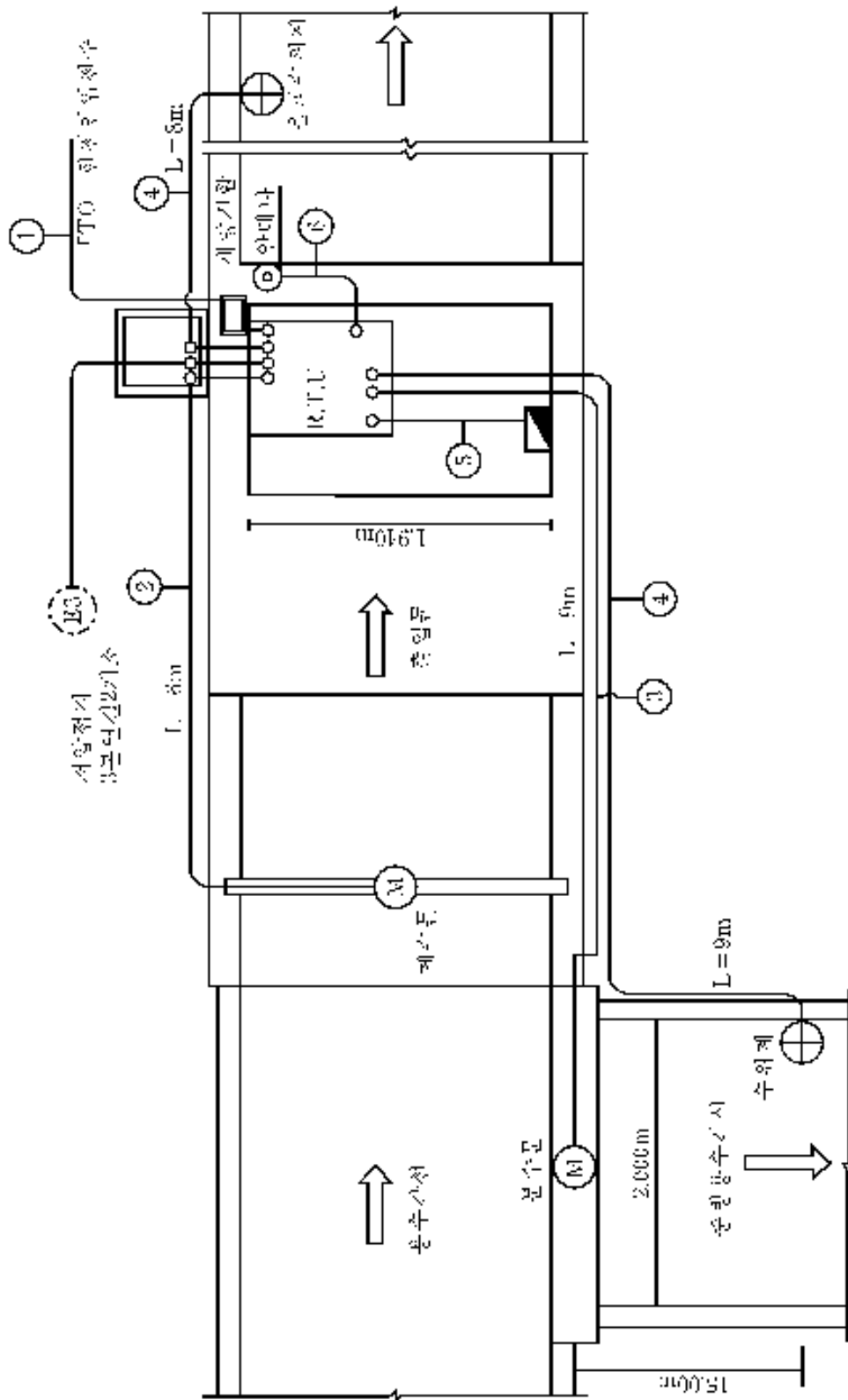


그림 4.12.8 분수문 RTU 평면도 예

## 4.12.6 물관리 S/W

### 가. 물관리 자동화 프로그램의 구성

포장, 용수로, 용수원까지 관개지구를 체계적으로 관리하고자 하는 물관리 자동화 프로그램의 구성은 중앙관리소에 전송된 자료의 처리와 관리, 의사결정 지원 시스템의 물관리 모형 시스템, 사용자 호환시스템 등으로 구성된다. 이를 각각 자료관리 시스템, 기상 예보 모형, 관개계획모형, 수원공 모형, 용수로 모형, 용수조직 모형, 포장 급수관리 모형 등 다양한 수리, 수문학적 모형을 이용하여 상황의 감시, 진단, 예측, 예비조작 등의 기능을 수행한다.

물관리 자동화 시스템에 필요한 모형의 주요 내용을 정리하면 다음과 같다.

#### 1) 자료관리 시스템

현장 측점에서부터 전송된 자료의 검색, 갱신, 편집, 출력 등의 기능과 이를 바탕으로 각 구획별 급수량 등 필요한 정보의 생성을 위한 자료관리 시스템을 구축하여 운용한다. 자료관리 시스템에서는 지국에서 송신된 원시자료를 판정, 갱신하고, 출력 인쇄 등의 기능을 관리하는 1차 자료처리 모형과 이를 바탕으로 관개조직의 운영을 위한 통수량, 급수량 등의 인자로 전환하는 등 기능을 수행하도록 구성한다.

#### 2) 수문모형

저수지 유입량 예측 모형(양수장인 경우 하천유량 예측 모형), 필요수량 측정 모형, 저수지(하천)모의조작 모형 등이 필요하다. 온양지구에는 우리나라에 많이 적용되고 있는 수정 탱크모형을 기본으로 유출 해석을 한다. 탱크모형은 비교적 입력자료의 수는 적으나 매개변수를 실측 유출량 자료가 적을 경우 유역면적, 유역의 토지이용비 등의 자료로부터 모형의 매개변수를 측정할 수 있다.

#### 3) 용수로 수리해석 모형

통수와 퇴수시, 용수로에서의 수문·수리적 특징을 모의 발생하기 위한 모형으로 가) 등류수심계산, 나)동수곡선 계산, 다) 퇴수계산 등을 실시한다.

#### 4) 포장 담수심 추정 모형

지점별 통수량을 이용하여 각 관개구획별 급수량을 정하고, 이를 바탕으로 평균 담수심을 추정한다. 필지별 담수심의 자료 등을 생성하며, 이를 바탕으로 급수상황을 예측한다.

물관리 자동화 프로그램은 운용계획지원시스템과 운전조작지원시스템 및 데이터베이스로 구성되어 있으며, 그림 4.12.9, 그림 4.12.10과 같이 나타낼 수 있다.

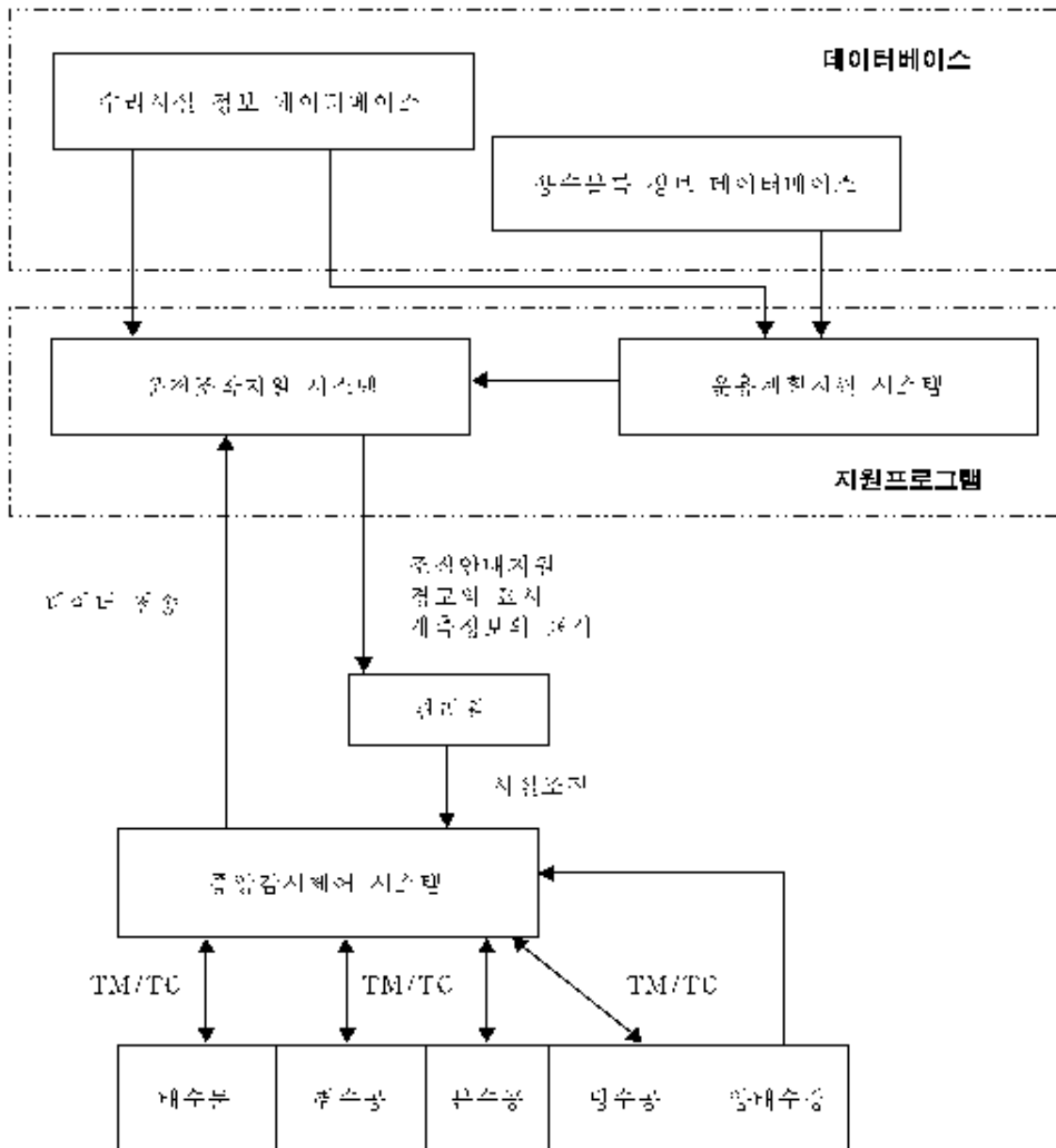


그림 4.12.9 물관리 지원시스템의 구성도

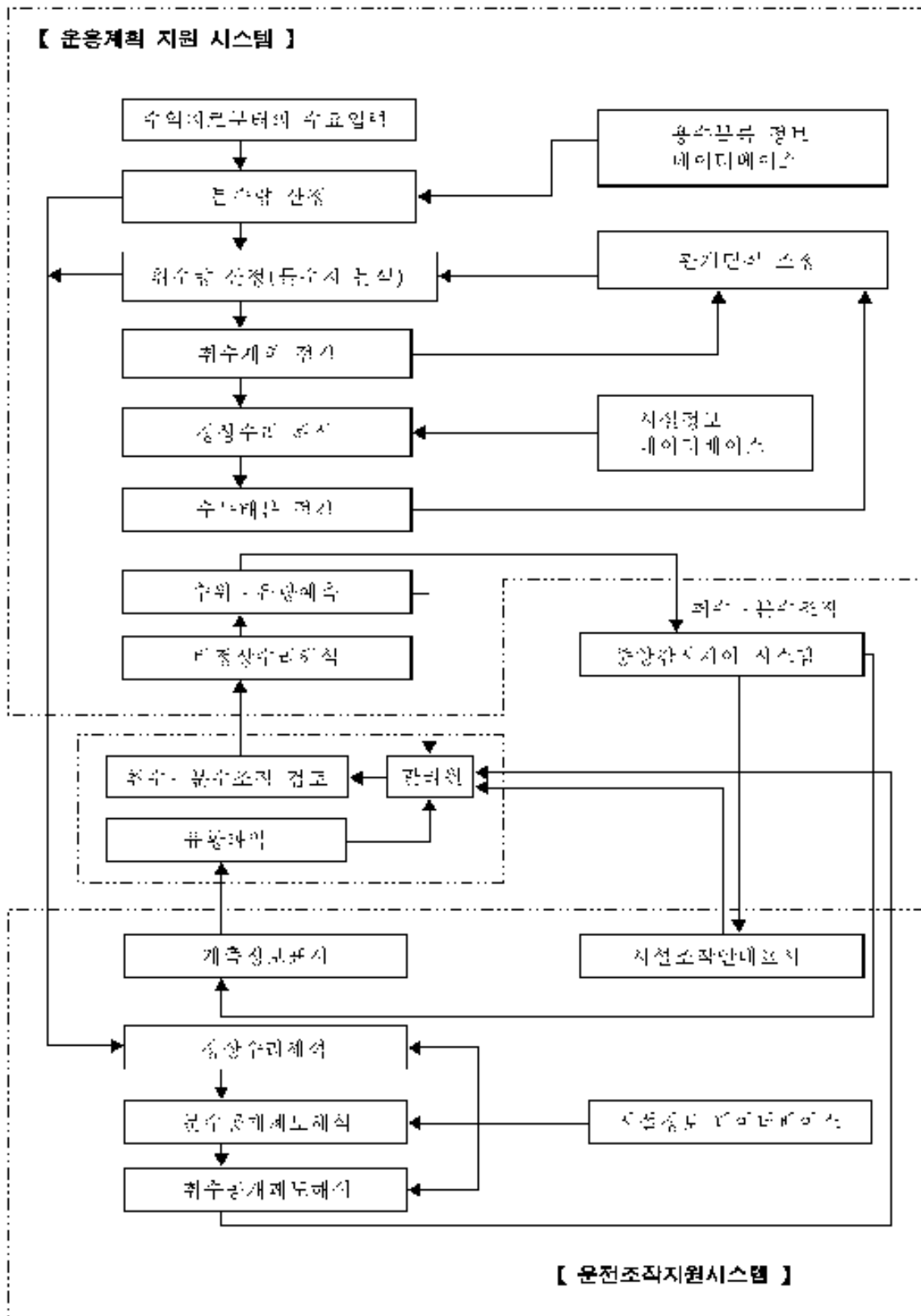


그림 4.12.10 물관리 지원 시스템 프로그램 흐름도

## 나. 범위 및 내용

어느 지구 물관리 자동화 프로그램의 개발의 범위와 내용을 예로 들면 다음과 같다.

- 1) 용수로 프로그램의 개발  
용수로 시설제어를 위한 유량관리 프로그램 개발  
수로내 수리계산 프로그램 개발
- 2) 재해예방 프로그램의 개발  
이상진단에 의한 재해예방 프로그램 개발
- 3) 자료관리 프로그램 개발  
측정, 제어 및 계산자료의 수집, 편집, 저장  
자료의 기간별 편집
- 4) 필요수량 산정프로그램 개발  
관개지역 필요수량 산정프로그램 개발
- 5) 급수계획 프로그램 개발  
물 수급에 따른 급수계획 프로그램 개발
- 6) 관개모의조작프로그램 개발  
물관리자의 의사결정 지원을 위한 프로그램 개발
- 7) 모형보정 프로그램 개발  
프로그램의 모의발생치와 실측치의 비교에 의한 프로그램 변경
- 8) 유출프로그램의 개발  
장단기 유출 프로그램 개발
- 9) 수원공 프로그램의 개발  
장단기 유출입량 예측에 의한 물수지 모형 개발

## 제 5 장 시 공

### 5.1 시공계획 및 시공관리

#### 5.1.1 시공계획

수로시설의 구조·규모 및 공기·공법과 공사현장의 시공조건 등을 고려하여 안전하고 경제적인 시공계획을 수립해야 한다.

##### 가. 일반사항

수로시설은 선상(線狀)으로 넓은 지역을 통과하는 비교적 단순 구조의 각종 구조물(토공, 개거, 암거, 잠관, 수로교, 급류공 등)이 연결되어 이루어진다.

그러므로 수로시설의 시공계획은 시공대상 수로 노선의 계획고 결정 기준점(용수로는 시점, 배수로는 합류점 또는 말단부의 수위)을 고려하고 시공순서·시공방법·시공시기 등을 감안하여 시공계획을 세워야 한다. 설계시점 보다 상당기간 늦게 착공되고 시공 범위가 좁고 길게 연속되어 있으므로 지형·지질조건의 현저한 변화, 용지 및 기설도로·수로와의 연관성 등 제약조건이 많다. 공사에 영향을 끼치는 사항이 많은 경우에는 기본조건과의 대조와 대외적인 조정내용의 확인 등 수로시설의 시공계획을 종합적으로 검토하여 시공계획을 세워야 한다.

특히 민가와 마을이 인접되어 있을 경우에는 시공 방법과 시기 등을 주민과 협의하고, 진동·소음 등 공해방지 대책도 충분히 검토해야 한다.

월간 시공 가능일수는 시공계획의 기본이 되는 것이므로 휴일·기후 그 밖의 원인으로 작업하지 못하는 일수를 감안하여 계획하여야 한다.

시공 가능일수는 공사현장의 지형·지질·수문·기후조건을 조사하고, 대상 시설물의 규모·형상·기능·특성 등을 감안하여 산정한다. 특히 강우시에는 현장작업이 불가능하므로 가까운 측후소의 기상 기록자료를 수집하여 분석하고, 강우 후의 작업 불능 일수도 감안하여 예측해야 한다.

##### 나. 공정계획

공정계획은 전체 수로 노선의 설계내용과 시공순서·공법·시기 및 문제점 등을 파악한다는 측면에서 가장 중요한 계획의 초기 단계이다. 그 계획은 계약된 준공 기간 내에 계획된 구조와 기능을 발휘할 수 있도록 경제적으로 시공될 수 있는 것이어야 한다. 공정계획의 작성에 있어서는 일반적으로 공사의 준비, 가설물에서부터 본공사를 거쳐 마무리에 이르기까지의 소요 공사기간 내에 공정계획에 차질이 없도록 인력동

원·자재조달·장비투입 계획 등을 현장 실정에 맞도록 검토해야 한다. 또한 작물의 영농시기와 공사 기간과의 조정이나, 용지·수리권자 등과의 협의에 유의하고, 주변의 민가와 마을에 대한 소음·분진·진동 등의 공해와 오염방지 대책도 검토한다.

일반적으로 공정계획은 막대식공정표, 기성고공정곡선 등을 이용하여 왔다. 이러한 방법은 개개 공정의 진행사항을 파악하고 관리할 수 있으나, 서로 다른 공정 간의 관련 사항이나 노무·자재·장비 등의 배치를 파악하는 일이 어려우므로, 최근에 와서는 네트워크에 의한 공정관리방식을 이용하고 있다.

네트워크에 의한 공정관리 방식은 일의 흐름, 선행작업, 연속작업의 분석, 작업시간의 결정, 합리적인 인원 및 장비의 배치 및 자재의 경제적인 조달, 경제속도를 이룰 수 있는 공사진척 등도 관리할 수 있는 장점이 있으나 작성하는데 노력이 들고 네트워크를 조립하기 어려운 결점이 있다.

일반적으로 수로시설 공정계획상의 유의점은 형상과 구조가 다른 다양한 구조물이 연속된 수로시설물을 설계내용에 맞도록 시공하기 위하여, ① 용수로는 시점부터 말단으로 향하는 시공을 계획하고, ② 배수로는 말단부에서 상류로 향하는 시공을 계획하여야 하며, ③ 이상과 같이 시공하는데 문제점이 없는 지를 용지매수 전에 파악해 두어야 한다.

#### **다. 자재수급계획**

각 공종별로 필요한 자재는 시공시기에 맞추어 현장에 반입될 수 있도록 사전에 발주계획을 수립하여야 한다. 특히 철근·레미콘·콘크리트 공장제품 등의 주요자재는 반입량·제조공장 및 보관장소 등 공사 중단이나 다른 공종의 진행에 지장을 주지 않도록 자재 수급계획을 수립해야 한다.

#### **라. 시공기계 투입계획**

##### **1) 토공 공사용 기계**

토공공사는 깎기·싹기·운반·되메움·쌓기·다짐 및 고르기 등 작업의 종류가 다양하다. 토공작업에 투입되는 기계는 작업종류·작업량·작업장의 범위·작업방법 등에 따라 투입기계의 종류를 결정하고, 기계의 투입 대수는 공사기간에 직접적인 영향이 있으므로 충분히 검토하여 투입기계의 종류와 대수 계획을 결정해야 한다.

기계 투입계획에 영향을 주는 요인은 설계조건·현장조건·작업종류·공사규모 및 해당기계의 단위 작업능력이다.

##### **2) 구조물 공사용 기계**

구조물 공사에는 각종 관의 운반과 접합·말뚝 박기·콘크리트의 운반·타설·콘크



리트 공장제품의 운반·접합 등 다양한 시공기계가 필요하며, 이들 공사를 효율적으로 시공하기 위해서는 장비의 조합계획도 고려할 필요가 있다.

시공기계는 공사량과 시공기계의 능력을 파악하고 조합작업과 경제성을 고려하여 시공기계의 기종과 크기를 결정해야 한다.

### 5.1.2 시공관리

정해진 공기 내에 설계도서와 시방서 및 계약조건에 따라 공사가 안전하게 이루어지고, 시공된 시설은 소정의 구조·기능·품질이 확보되도록 관련법 규를 준수하여 시공관리를 행한다.

#### 가. 일반사항

시공관리는 시공계획에 따라 공사진척 상황을 파악하고 설계도서 및 공사시방서와 일치하는 규격 및 품질·형상·기능이 적정하게 시공되고 있는가를 확인·지시·시정하는데 목적이 있다. 규격이나 품질·형상이 설계도서 및 시방서와 다르면 이를 시정·지시하고 공기가 지연되었을 때는 수정계획을 세우는 등 공기 내에 안전하고 경제적으로 공사를 완성시키는 것이며 시공관리의 기본구성은 다음과 같다.

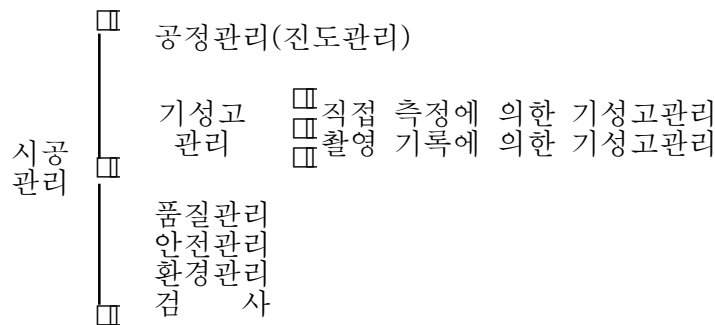


그림 5.1.1 시공관리 구성도

#### 나. 공정관리

공정관리는 공사시행의 기본인 공정과 공사시행의 모든 과정을 관리하는 것을 말한다. 공정관리의 목적은 소정의 공기를 지키는 것은 물론, 공사 도중 각종 조건의 변경에 대하여 최적공기를 선정하고 그것을 관리하는데 있다.

공사시행에서는 소정의 공기에 품질을 확보하면서 가장 경제적으로 안전하게 목적물을 구축하는 것이 기본이다.

공정관리는 이러한 공사시행의 기본인 공정과 공사시행의 모든 과정을 관리하는 것을 말한다. 따라서 공정관리의 목적은 소정의 공기를 지키는 것은 물론 공사도중 각종 조건의 변경에 대하여 최적공기를 선정하고 그것을 관리하는데 있다. 특히 공사현장마다 제반 조건이 다르고 이러한 것들이 공정을 좌우하는 제약요인이 되는 수가 많으며, 토목공사에서는 공정관리를 공사 시행중에 종합적인 관리의 수단으로 이끌어 가야 할 필요가 있다. 이것은 공정관리가 표면적으로는 진도관리를 중심으로 진행되나, 소정의 품질은 각 공정마다 확보되어야 하며, 공사의 원가도 각 공정에 따라 발생하는 것이기 때문에 이것들의 공정진도와 밀접한 관련이 있게 된다.

공정관리의 흐름은 공사 시공에 투입된 인원·기재 등이 진도로서 출력되는 것을 나타낸 것으로서, 일반적으로 출력되는 진도는 공사현장의 변경조건에 따라 변동될 수 있으므로 공정관리에 있어 원인을 분석하고 대책으로서 자원의 조정·시공방법·변경 등의 조치가 필요하다.

이렇게 공정관리 문제는 공정진도의 변동이 중심이 되어 전개되는 것이며, 문제해결의 목표는 시공의 경제성과 품질에 적합하고, 실행 가능한 최적공기의 선정이므로 중요한 것은 공정속도이다.

시공속도를 촉진하여 기성고가 올라가면 단위 수량당의 공사원가는 낮아지나, 더욱 촉진하기 위해서 특급공사를 시행하게 되면 역으로 원가가 높아지는 것은 물론 시공의 품질·정도는 저하하게 된다. 따라서 공정관리의 기능은 시공관리 전체 중에서 종합지휘의 역할을 하게 된다. 이러한 시공의 특성을 고려한 공정상태를 지표적으로 파악하는 방법으로 공정곡선과 공정관리곡선이 있다.

매일 혹은 매주·매월 공사진행 실적을 정기적으로 예정공정과 실적공정을 비교하여 초과 또는 지연되고 있는 공종의 진도를 조사·확인하는 것이 공정관리이다. 공정의 지연이 판명되면 공사진도에 영향을 주는 노무·자재·시공장비의 투입과 배치 등 대책을 강구해야 한다.

일반적으로 공정관리는 ① 계획, ② 실시, ③ 검토, ④ 조치 등의 단계로 구분하여 시행하며, 이들의 관리에 이용되는 관리도표는 다음과 같다.

#### 1) 횡선식 공정표(Gantt-Chart, Bar-Chart)

횡축에 시공 예정일을 종축에는 공종별로 구분하고 계획과 실적을 표시하도록 작성하여 각 작업의 소요 일수를 알 수 있도록 한 공정표이다.

작업의 흐름이 좌에서 우로 이행하고 있으므로 막연하나마 어느 정도 작업간의 연관관을 알 수 있는 장점이 있는 반면, 공기에 영향을 주는 작업이 어떻게 되는지 파악하기 어려운 단점이 있다.

#### 2) 좌표식 공정표(Graph-Chart)

계획 실행고 공정곡선을 작성하여 작업의 진행에 따라 실제 실행고의 곡선을 기입

하고 이들 곡선을 비교하여 관리하는 것으로 예정 공기 내에 공사를 완성시키는데 필요하다.

좌표식 공정표의 작성은 공사 실행고나 시공량의 누계를 종축에, 공기의 일수나 주수 혹은 월수 등을 횡축으로 하여 실행고의 진척상황을 그래프로 표시하는 것이다. 기성고 누계금액(또는 시공량)에 의한 관리이므로 전반적인 작업진행의 정도를 알 수 있는 장점이 있다. 그러나 작업의 순서·필요한 일수·공기에 영향을 주는 요인이나 원인 등을 파악하기 어려운 것이 단점이다. 따라서 횡선식 공정표와 병용함으로써 어느 정도는 이들의 단점을 보완할 수 있다.

### 3) 네트워크(Network)식 공정표

과학적인 관리방법은 일(work)의 계획과 통제 측면에서 매우 유효하게 기능을 발휘할 수 있는 관리방법이어야 한다. 네트워크는 이러한 요청에 부응할 수 있는 것으로 건설 뿐 아니라 각 분야에서 사용되고 있다. 네트워크 공정표의 특징은, ① 경험이나 감지에 의존하지 않아 과학적 논리성이 있고, ② 대규모의 공사에서도 전체적 면의 계획·통제가 가능하고 계획보완 요인의 발견과 대응이 신속하며, ③ 단순한 일정의 관리 뿐 아니라 시공순서·비용·적정인력·시공 중에 영향을 주는 요소·기자재 등의 관리도 가능하다.

네트워크 방법은 PERT(Program Evaluation and Review Technique)와 CPM(Critical Path Method)로 대별하여 구분할 수 있다.

작업단위가 많은 복잡한 공사일 때는 일정계산·경비·인원·자재 등이 포함되어 고도의 방법과 복잡한 계산이 요구된다.

진도관리에서 중요한 점은 공사를 구성하는 각 작업이 늦어지거나 변화가 공사전체의 공기에 어느 정도 영향이 끼치는가를 빨리 그리고 정확하게 파악하는 일이다. 이를 위해 각 작업의 상호관계를 명확히 하고 전체공정을 가장 크게 지배하는 작업계열을 명확하게 밝혀 둘 필요가 있다. 더구나 시간적으로 여유가 없는 작업경로를 확인하여 두지 않으면 안 된다.

이를 위해서는 PERT/CPM에 의한 진도관리기법을 운용하는 것이 좋다.

## 다. 기성관리

기성관리는 공사현장 내 구조물 등의 기성고를 설계제원의 시방에 대하여 일정 규격치 내에 들어가도록 하려는 것으로 직접측정방법과 촬영기록방법으로 대별할 수 있다.

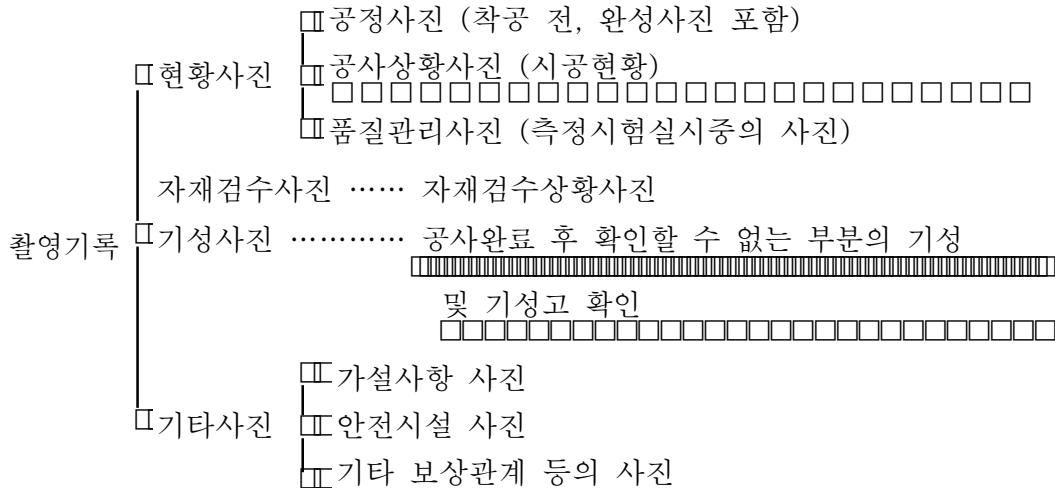
### 1) 직접측정방법

공사의 기성(치수, 수량, 기준고 등)을 파악하기 위하여 공작물의 치수·凹凸·기울

기·기준고 등의 시공을 순서에 따라 직접 측정 및 관측하고, 그 때마다 그 결과를 관리도표 등에 기록하여 보관관리를 해야 한다.

2) 촬영기록방법

기성측정·품질관리를 실시했을 때 또는 시공단계 및 시공 진행과정을 확인하기 위해 필요에 따라 기록하는 것을 말한다. 촬영기록의 구성은 다음과 같다.



주) □□□□□□ 에 해당하는 것이 기성관리에 관한 사항임

그림 5.1.2 촬영기록 구성도

라. 품질관리

품질관리(quality control: QC)는 원래 공장제품의 생산을 대상으로 하여 발전되어 온 것이므로 그 개념으로서는 소비자의 요구에 맞는 품질의 제품을 경제적으로 만들기 위한 수단의 체계라 정의된다.

품질관리는 설계·시방서에 규정된 규격을 만족시키는 구조물을 가장 경제적인 방법으로 만들기 위한 공사의 모든 단계에서 통계적 방법을 응용하는 것이다. 또한 공사 시행상의 결점을 사전에 발견하여 대책을 세우고 구조물에 대한 품질의 신뢰성을 높이며 예상되는 문제점과 개선방법을 발견하는 일이다. 따라서 시공현장의 종사원은 품질·원가·공기의 문제를 진지하게 다루어야 하며 합리적으로 품질관리를 수행하도록 노력하여야 한다. 품질관리의 구체적인 방법으로는 품질을 직접 판단하는 기성측정 및 객관적으로 평가하는 각종 시험(물리적, 화학적 성질)이 있다. 이들의 품질관리를 시공기간 중 거의 일정 빈도로 연속적으로 실시하여 그 결과를 통계적으로 처리함으로써 품질 및 시공의 적부를 판단해야 한다.

품질관리 행동은 불량품을 생산하는 원인을 미리 발견하여 제거하고, 진행 중인 공정에 대하여 필요한 조치를 가함으로써 불량품이 생산되지 않도록 하는 것이다. 따라서 좋은 품질은 검사와 시험으로 개선되기 보다는 공정관리가 잘 되어야 얻을 수 있는 것이다.

토목공사에서도 축조되는 구조물의 품질을 설계서나 시방서 등으로 나타낸 품질기준에 맞도록 공사에 대한 신뢰성을 제고하고, 합리적인 작업방법을 확립하여 시공의 경제성을 도모해야 하는 것으로서 품질관리는 중요한 역할을 한다.

일반적으로 품질관리의 순서로는, ① 주어진 품질규격을 만족시키기 위하여 품질목표나 기술수준을 고려하여 품질의 표준을 정한다. ② 품질의 목표를 실현하기 위한 작업표준을 설정한다. ③ 작업표준에 따라서 공사를 실시한다. ④ 시공의 각 단계별로 공사의 품질 또는 품질에 관계되는 요인을 조사하여 시공 공정이 이상없이 표준과 같이 실시되고 있는가를 검토한다. ⑤ 이상이 발견되었을 경우에는 그 원인을 분석하여 시정 조치한다. ⑥ 당초 시공계획이나 작업표준에 문제가 있을 때에는 그들에 대하여도 검토하며, 품질관리는 단순히 품질의 양부 조정뿐만 아니라 시공 공정의 적절한 계획과 관리에 의하여 품질변동을 적게 하고, 결함발생을 방지하며, 시공의 경제성을 도모해 나가도록 하는 것이다.

품질관리의 효과를 요약하면, ① 품질향상(불량품 감소, 이의제기 감소), ② 품질의 신뢰성 향상, ③ 원가절감, ④ 불필요한 작업감소, ⑤ 품질의 균일화, ⑥ 문제점의 사전발견 및 대응조치 등을 들 수 있다.

#### 마. 안전관리

최근의 건설공사는 규모가 대형화, 복잡화됨과 동시에 대량생산·품질향상·공기단축 등을 요구하고 있다. 이와 같은 여건하에서 건설공사를 시공하자면 전체적으로 균형 있고 합리적인 시공계획을 세워 공사를 ‘ 좋게’, ‘빨리’, ‘싸게’ 하는 세 가지 요소를 만족시킬 필요가 있고, 동시에 안전관리를 항상 염두에 둔 공사를 시행하지 않으면 위의 3요소에 치명적인 영향을 주게 된다.

또한 공사에 종사하는 작업원을 업무상의 재해에서 보호한다는 것은 인도상·사회도덕상 중요한 것이고, 공사 관리상 대단히 중요한 것이다.

공사현장에서 이루어지는 안전관리는 착공부터 준공에 이르기까지 공정에 따라 중점적으로 하여야 할 사항을 정하여 착실하게 시행할 필요가 있다. 단적인 생각이나 충분히 검토가 안 된 관례나 상식적인 지식에 의존하는 방법으로 추진해서는 안 된다. 안전관리계획은 그 현장에서 발생할 재해를 방지하기 위한 것이므로 사람과 물건의 상태에 상응한 것이어야 한다. 따라서 그 현장의 공사진행방법(공정)에 의하여 정하여지는 것이므로 계획은 공정과 일체 되어야 한다.

## 1) 안전관리의 효과

### 가) 재해에 의한 손실방지

노동력에는 잠재적으로 작업에 대한 숙련도가 포함되고 기술을 새로 습득하자면 오랜 시간이 필요하다. 또, 노무자의 정착성 등을 고려하여도 안전관리의 양·부는 노동력 확보상 중요한 요소가 된다. 이밖에 재해의 발생은 경제적 손실을 동반하게 되고 또 사회적으로 기업의 신용을 떨어뜨리는 일이 되므로 재해의 방지에 주력하여야 한다.

### 나) 기업의 합리화

안전관리를 철저하게 실시하기 위하여 기업주·노무자 사이의 인간관계의 일원화, 지시 명령의 철저한 이행 등 직장기준을 확립시킬 필요가 있으며, 이것이 사업의 효율을 향상시키는 것이 된다.

## 2) 재해의 원인

### 가) 인적 원인

- (1) 심리적 원인: 미지, 미숙련, 부주의, 태만
- (2) 생리적 원인: 신체적인 결함, 질병, 피로
- (3) 기타의 원인: 노령, 복장의 불비, 기타

### 나) 물적 원인

- (1) 설비: 구조의 불완전, 재료 안전설비의 불완전, 작업장의 협소
- (2) 작업: 준비의 불완전, 정비·점검 및 수리의 불량, 정리·정돈의 불완전, 기계 공구의 불비, 급속시공, 무리, 지시 및 연락의 부적성 및 이행의 태만
- (3) 기타: 예산부족, 공기상의 무리, 교통사고

### 다) 천후원인

- (1) 수해
- (2) 설해
- (3) 추위, 더위, 바람, 기타

건설공사 현장에서의 대표적인 공중재해 및 사고발생 유형은, ① 공사용자재의 비산·낙하, ② 매설물 손괴, ③ 건설기계의 전도, ④ 가설비 등의 전도, ⑤ 화재, ⑥ 터파기공사로 인한 지반침하, ⑦ 흙막이공 등의 붕괴, ⑧ 가물막이 및 가배수로의 붕괴, ⑨ 낙반, ⑩ 절토사면의 활동, ⑪ 안전시설의 미비 등 다양한 형태의 안전사고가 있다.

## 3) 안전대책

작업의 안전을 기하기 위하여 전술한 원인과 경향을 파악하고 시공관리를 중심으로 시공관리자와 노무관리자가 일체가 되어 대책을 강구하여야 한다.

그렇게 하기 위하여 안전관리를 조직화하고 안전관리공정 등의 계획을 입안하여 실시해야 한다. 안전관리는 ① 작업의 안전에 관한 사항, ② 기계·기구·기타 시설의 안전에 관한 사항, ③ 재해원인의 분석, 조사, 연구에 관한 사항, ④ 안전교육의 철저 에 관한 사항 등을 연구하고 추진시켜 나가야 한다.

#### 4) 안전대책의 실시

##### 가) 안전관리조직

생산을 위하여 조직이 있는 것과 마찬가지로 공사의 안전을 확보하기 위해서도 조직이 필요하며, 또한 관리조직을 정비하고 각 그룹의 책임자에게 책임분담, 권한의 한계를 명확히 하여야 한다.

작업원의 수가 50인 미만인 중소기업의 현장은 안전관리를 전담하는 부서를 별도로 두기가 곤란하므로, 공사시공의 직제 그 자체가 안전관리의 업무를 기획하고 실시하는 형태가 되지 않을 수 없다. 이와 같은 형태는 안전에 대한 전문직이 없음으로 안전관리에 관한 기획이 불충분하다는 결함은 있으나, 안전관리와 공사시공은 일체가 되어 실시되어야 하는 것이므로, 공사의 시공과 안전관리가 동일 책임자에 의하여 기획되고 실천되는 의미는 크다 하겠다.

현장이 대규모인 경우는 안전에 대한 기획이나 입안의 양이 증대하는 동시에, 전문적으로 안전관리의 진행방법을 생각하고 진행상황을 검토하는 직종과 공법 전체에 대하여 안전의 입장에서 검토하는 직종이 필요하게 된다. 그러나 이 경우도 안전한 작업의 실시·설비의 점검·보수 등은 공사의 시공측면에서 실시되어야 할 것이다.

또, 하청업자를 사용할 때는 원 청부업자가 중심이 되어 책임체제를 확립하고 협의 조직을 설치 활용하여 안전의 확보를 계획하여야 한다.

##### 나) 안전관리계획

안전관리계획은 각 현장에서 발생하는 재해를 방지하기 위한 것이므로 그 현장에 있는 자재나 사람의 상태에 상응하는 것이어야 하고 공정과 일체화된 것이어야 한다. 그런데, 어느 공정에서 무엇을 중점적으로 관리하여야 할 것인가는 과거 그와 같은 공정에서 발생한 재해의 사례가 참고가 된다. 따라서 안전관리계획의 수립은 각종 자료에서 재해 사례를 배워 그 공정이 갖는 위험성을 잘 이해하여 어떻게 하면 가장 효과적으로 그 위험성을 제거할 수 있는가를 심사숙고 한 후, 시책을 선택할 필요가 있다. 또한 안전관리계획은 매일 매일의 작업에 직결된 극히 알기 쉬운 형식이나 체제가 되지 않으면 의례적인 것이 되기 쉽다.

이제까지 설명한 것을 기초로 하여 정리·비계·기계설비 등의 점검정비, 안전작업 표준의 교육, 툴 박스 미팅(tool box meeting), 안전당번제, 조례실시, 안전에 대한 하도급자와의 상의, 협의회 개최, 각종 게시 등의 실시항목에 대해서 항목에 따라 준공까지의 계획을 작성해 두는 것이 필요하다.

안전관리계획을 수립할 때 또 하나 중요한 것은, 이 계획의 항목을 실제로 실시하는 직종이나 하청의 작업주임, 현장감독 등의 의견을 충분히 듣고 존중하는 것이다. 이들에게 이 안전관리계획은 자기들이 작성한 계획이란 생각을 가지게 하는 것이 계획의 실시를 원활하게 하는 가장 큰 힘이 되는 것이다.

다) 안전지침, 안전작업표준

공사의 계획·설계·시공에서 일어나는 사고의 원인과 유의하여야 할 점은 다음과 같다.

(1) 계획·설계상의 문제

(가) 사전조사: 현장에 관한 조사가 사전에 충분치 않으면 계획의 불비, 부적당성을 면하기 어려우므로 착수 전에 조사계획을 상세하게 시행해야 한다.

(나) 설계조건: 안전을 등 설계요건을 충분히 이해하여야 한다.

(다) 설계시공의 관련성: 설계와 시공기능 사이에는 항상 긴밀한 협조와 연락이 있어야 한다.

(라) 공사비, 공기의 적정화

(2) 시공상의 문제

(가) 시공계획: 품질·공기·경제성과 함께 안정성을 확보한다.

(나) 공법의 선택: 전반적인 공법적용기준 등을 사전에 작성한다.

(다) 가설비: 안전시공상의 배려를 적산에 반영한다.

(라) 기계화·자동화: 위험이 예상되는 작업은 가능한 한 기계화 또는 자동화한다.

(마) 안전보안시설·신호·예보

5) 안전관리 활동

가) 책임과 권한의 명확화

나) 작업환경의 정비

안전통로의 확보, 휴게소의 설치, 공사용 설비의 안전화

다) 안전의식의 고양

라) 안전조례의 실시

매일 아침 작업을 시작하기 전에 5분 정도 그날의 작업순서, 마음가짐, 주의사항 등을 시달한다.

마) 툴 박스 미팅의 실시

작업 개시전의 짧은 시간을 이용하여 도구상자 옆에 모인 인부들이 안전작업에 대해 상의한다.

바) 안전점검의 실시

미리 점검자를 지명하여 현장을 순회시켜 시설·작업방법 등을 점검하고 불안전



한 상태나 동작을 발견하였을 때는 개선하거나 자기의 권한 이상의 것은 상사에게 보고한다.

- 사) 안전당번제도의 채용
- 아) 안전작업표준의 활용
- 자) 제안제도의 채용
- 차) 안전에 관한 경쟁의 실시
- 카) 안전표시의 실시
- 타) 안전위원회의 개최
- 파) 안전영화, 슬라이드 상영
- 하) 안전주간의 실시
- 가) 포스터·표어 등의 수집과 게재

#### 6) 안전교육

- 가) 노무자에 대한 안전교육

계획적으로 실시하고 안전에 대한 지식, 기능은 물론이고 스스로 지키고 시행하지 않으면 본인에게 큰 손해가 온다는 것을 자각시켜야 한다. 또 노동력의 질적 변화를 고려한 계획도 수립되어야 한다.

- 나) 직장 등에 대한 교육

직접 노무자와 접촉하여 공사를 수행하는 입장에 있는 직장, 작업십장 등은 안전활동을 추진해 가는 핵심적 직책을 가지고 있으므로 충실하면서도 철저한 교육의 실시가 요망된다.

- 다) 재해실태의 조사와 활용

재해가 발생하였을 때는 그 원인을 철저히 조사하여 경중을 규명하고 다음의 재해방지대책에 참고자료로 함은 물론이고, 계획의 재검토 및 금후의 안전교육에 활용하여야 한다.

#### 바. 환경관리

공사현장에서는 환경영향 평가법에 근거하여 환경관리를 시행하여야 한다. 자연환경·생활환경·사회 및 경제환경을 적정하게 관리·보전하고, 현재와 장래의 모든 지역주민이 쾌적한 환경에서 생활할 수 있게 하며, 환경영향평가 내용 및 이에 대한 협의내용을 충실히 이행하여야 한다.

## 사. 검사

### 1) 검사종류

검사는 준공검사와 중간검사로 구분한다. 중간검사는, ① 일정기간 경과시의 시공상태와 수량, ② 부분 구조물에 기능과 시공 정도조사, ③ 재해 또는 사고 발생시 피해도 조사, ④ 공사의 완공 전에 대가의 일부를 지불할 필요가 있는 경우 기성부분을 확인하는 조사 등이 해당된다.

### 2) 검사내용

검사의 내용은 ① 계약사항의 이행정도, ② 사용재료의 품질과 시공수량, ③ 구조물의 기능·강도·내구성·안정성, ④ 공사의 행정적 처리 등 서류검사 또는 현장검사를 하게 된다.

### 3) 검사보고 사항

보고서에는 일반적으로 ① 공사명·착공준공기일·검사자명·도급회사명 ② 계약·시방·추가시방 사항과 이행도, ③ 설계 시공기준과 그 실시정도 및 속도, ④ 시방서·설계도와 시공구조물과의 형상·규격 등 조회 확인, ⑤ 설계의 시공결과와의 수량·품질·기능 등 확인, ⑥ 공사 결과의 내용과 공사현장의 복구상황, ⑦ 지급자재의 사용 상태, ⑧ 공사서류의 처리 등의 사항이 포함된다.

### 4) 발취검사

완성된 공사량 또는 사용한 제품에 합격여부를 한정하는 검사는 가능하면 적은 수의 검사를 시행하여 전체를 판정하는 것이 필요하고 효율적이다.

이에 대한 과학적이고 경제적인 검사방식으로 모수검정을 응용한 발취검사 방법이 있다. 발취검사는 로트(lot: 검사 대상이 되는 한 묶음에 검사단위 모집, 로트의 크기 N개라 함)로부터 일정한 크기로 시료를 시험하고 발취결과를 판정기준에 대조하여 그 로트의 합격·불합격을 판정한다.

## 5.2 가설공사

### 5.2.1 일반사항

가설공사는 공사의 규모에 맞는 필요한 규모이어야 하며, 사용목적과 공사기간을 감안하여 합리적인 계획을 세워야 한다.

가설공사의 계획·설계는 공사의 종류·내용·규모·현장의 지형·지질조건 및 용지·기준도로 등과의 관련에 의한 시공조건 등을 충분히 고려하여 가설계획을 작성한다. 가설비계획은 공사 전체의 공정관리에도 관련이 되므로 경제적으로도 크게 영향을 끼치게 된다.

이 때문에 현장의 조건, 더욱이 도로와의 연결, 주변 농지에의 배려, 기설 물권의 처리 및 공사용 용지의 복구방법 등을 충분히 고려하여 과·부족이 생기지 않도록 가설계획을 세워야 한다. 가설공사에는 직접 가설공사 간접가설공사로 분류되지만, 이 기준에서는 공사 시공에 직접 필요한 가설공사에 관해서 검토해야 할 유의사항을 기술한다.

## 5.2.2 설비계획

시공계획에 따라 본 공사를 확실하고 안전하게 시공할 수 있도록 가설건물·공사용도로·배수설비·흙막이공·안전설비 등의 설비는 작업중 충격·진동·외력 등에 안전하도록 시공조건에 맞게 계획하여야 한다.

### 가. 설비분류

#### 1) 직접가설공사에서의 공통적인 설비

- ① 공사용도로 (기존 도로에서 공사 현장까지의 도로, 교량 등의 신설·확장, 보강 및 유지보수)
- ② 전기설비 (수전설비, 송전선설비)
- ③ 급수설비 (취수설비, 급수관, 기타설비)
- ④ 자재 하치장 (공사용 자재, 가설 자재 하치장)
- ⑤ 배수설비
- ⑥ 통신 조명설비
- ⑦ 기계설비 (컴프레서, 펌프, 크레인 등)

#### 2) 직접가설공사의 개별적인 설비

- ① 흙막이 (지하 굴착의 흙막이 체질, 수중 구조물의 지수 체질)
- ② 동바리공 (콘크리트 구조물 등의 동바리)
- ③ 비계공 (구조물의 철근가공, 콘크리트 타설, 거푸집의 설치, 제거용)
- ④ 거푸집공 (콘크리트 구조물의 거푸집)
- ⑤ 방호설비 (발파에 따른 암석편의 비산방지 및 낙석방지를 위한 방호망 또는

방호책)

## ⑥ 안전시설

직접 가설공사에서의 공통적인 설비는 공사의 규모·작업량·운반자재의 양 및 공기 등에 따라서 적절한 규모와 내용이 포함되는 것이어야 한다.

또 개별적인 설비는 사용목적·사용기간 등에 따라 규모와 가설기간을 정하고, 작업 중의 충격·진동 등을 고려한 하중조건에 대해서도 이들의 설비가 충분히 안전한 구조가 되도록 설계해야 한다.

### 나. 주요 가설비의 공법과 유의사항

가설비는 공사기간 중 일시적인 구조물 이지만 본공사와 같은 조건으로 설치하지 않으면 안전사고의 원인이 되므로 계획부터 설치까지 충분한 검토가 필요하다.

#### 1) 공사용 도로

기존 도로를 공사용 도로로 이용할 경우에는 사전에 도로관리 기관과 협의 또는 토지소유자의 용지 사용승락을 받아 두어야 한다. 더욱이 기존 도로를 공사용 도로로 이용할 때 도로의 선형·폭원·노면 상태 등 충분한 조사가 이루어져야 하며 필요한 기능을 확보해야 한다.

신설한 공사용 도로는 지형·지질현황·토지이용·공사기간 중의 유지보수와 주변에 대한 피해방지 대책을 계획해야 하며, 완공 후에는 원상복구 등을 포함하여 도로의 선형·폭·구조 등을 결정해야 한다.

#### 2) 배수설비

공사 시공 중에는 항상 강우·용출수·유입수로 인한 침수·유실·매물 등의 피해가 발생하지 않도록 배수설비 계획을 세워야 한다. 특히 구조물의 기초지반처리에 대해서는 완전 Dry work 공법을 원칙으로 하고, 그 처리방법과 여의치 않은 문제점 발생에 대비하도록 배수계획을 세워야 한다.

##### 가) 배수공법의 종류와 적용성

배수를 위해 물을 모으는 수단으로서 낮은 곳으로 자연 유하시키는 중력배수와 물을 퍼 올리는 강제배수가 있다. 이들을 세분하면 다음과 같다.

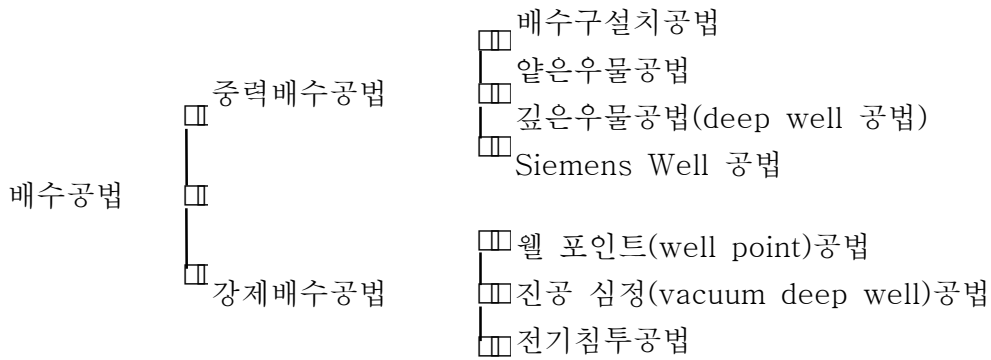


그림 5.2.1 배수공법 분류도

배수공법에는 일반적으로 凹배수공법과 웰 포인트 공법이 많이 쓰이고 있다.

#### 나) 凹배수공법

凹배수공법은 굴착 기준면 하에 적당하게 종·횡으로 기울기를 갖는 측수로와 집수조를 만들어 굴착한 부분의 물을 굴착면보다 낮게 설치한 凹부로 지하수를 유도하여 집수조에 고인 물을 펌프배수를 하는 공법이다.

배수량은 공사현장의 지질·지하수량·가체질방법·투수계수 등으로 추정하여 그 규모를 계획한다. 일반적으로 평탄지에서의 배수는 초기배수량이 장기배수량에 비하여 많아진다. 이 때문에 평탄지 등에서의 배수설비계획은 공기를 고려하여 당초 배수펌프를 여러 대로 준비하여 순차적으로 그 대수를 줄이든지 배수펌프의 설치 간격을 넓히는 방법이 있다.

용출수 또는 강우 등을 집수하는 측구는 용출부와 공사여건을 고려하여 측구를 설치할 위치를 결정한다.

또 측구의 규모는 배수량·공사현장의 토질·지하수 용출상황·시공방법·시공기간 등을 감안하여 결정한다. 하천 또는 배수로에 배수할 경우 흙탕물과 시멘트 혼입수 등의 탁수는 하류측의 물 이용자 또는 시설에 피해를 끼칠 수 있다. 따라서 배수설비를 검토할 때는 수로의 시공으로 발생하는 이수(泥水) 및 탁수의 침전시설 또는 기타 처리에 대하여 충분히 검토해야 한다.

#### 다) 웰 포인트(Well point) 공법

웰 포인트 공법은 웰 포인트라는 집수파이프를 지중에 박아 지표에 설치한 진공펌프로 연결하여 지하수를 강제로 빨아올리는 공법이며, 지하수위 저하나 연약지반의 압밀침하를 촉진시킬 때에 이용된다.

웰 포인트 공법은 흙의 투수계수가  $1 \times 10^{-3} \sim 1 \times 10^{-4}$  cm/s 정도의 경우에 특히 그 효과가 크며, 좁고 깊이 굴착하는 역 사이편 공사에 많이 채용되고 있다. 그러나 웰 포인트 공법은 凹배수공법에 비하여 깊고, 넓은 범위에 걸쳐 지하수를 강제적으로

빨아올리기 때문에 지하수위의 저하는 공사 현장내 뿐만 아니라, 주변의 지하수위도 저하시켜 부근의 우물 또는 연못 등에 영향을 끼칠 우려가 있으므로 사전 또는 계속하여 추적 조사를 충분히 해 두어야 한다.

### 3) 흠막이

자연상태의 지반을 굴착하거나 흠쌓기로 인하여 발생하는 슬라이딩이나 붕괴 등을 방지할 목적으로 설치하는 흠막이공에는 널말뚝식(철근 콘크리트 재, 강재, 목재) 및 기타 흠막이공(틀조립식, 항타식, 울타리식 등)이 있다. 일반적으로 수로 구조물 시공에 이용하는 널말뚝식 흠막이공의 종류와 시공상의 유의점은 다음과 같다.

#### 가) 널말뚝(Sheet pile)공 종류

널말뚝공에는 나무널말뚝, 콘크리트널말뚝, 강널말뚝이 있고 나무널말뚝은 주로 소규모 굴착공사에 쓰인다.

최근에는 강널말뚝이 많이 쓰이고 있으며 콘크리트널말뚝은 그의 구조 제조방법에 따라 가압콘크리트널말뚝, 프리스트레스트 콘크리트널말뚝, 철근콘크리트널말뚝 등이 있다.

강널말뚝에는 U형, Z형 등의 강관·강관·널말뚝 및 경량 강널말뚝이 있다. 이러한 널말뚝류는 각각의 단면성능·허용응력도 및 현장조건 등 적절한 것을 사용해야 한다.

널말뚝공은 그 구조에 따라서 ① 친항횡(親杭橫)널말뚝식, ② 자립식, ③ 절량식(切梁式), ④ 앵커식 등으로 분류한다.

#### 나) 널말뚝공법의 선정

널말뚝공법의 선정에 있어서는 공사의 시공 단계에서의 직접적인 제약조건(시공지점의 지반이 갖는 성질, 공사규모, 흠막이공의 사용기간, 자재조달이나 반입기계 등)과 간접적인 제약조건(시공지점의 환경이나 제약 등)을 검토하여 적절한 공법을 선정해야 한다.

취락지역 내 공사에서는 환경변화와 공해발생으로 야기되는 간접적인 제약조건이 직접적인 제약조건보다 우선하여 공법선정이 되는 경우가 많아지고 있다.

#### 다) 널말뚝공의 근입깊이의 조건

근입깊이는 토압·수압·상재하중 등의 외력을 저항하는데 구조적으로 안전해야 한다. 또한 굴착저면에서 지하수의 용출로 발생하는 Heaving 현상 또는 Boiling 현상에 대해서도 안전한 깊이의 근입깊이를 확보해야 한다.

#### 라) 널말뚝공의 시공

널말뚝공의 시공에서는 시공현장의 토질조건·시공기계의 반입조건·장애물의 유무·주변의 환경조건 등을 종합적으로 검토하여, 안전하고 경제적인 시공계획에 따라 적절히 이루어져야 한다. 시공계획은 공정계획·시공기계 투입계획·노무계획을 조합

하여 굴착 계획에서부터 되메움 계획에까지의 Cycle time을 검토한다. 또 널말뚝류 및 시공기계 등은 일일 작업능력을 검토하여 이들 장비 및 기자재를 사용할 기간을 결정한다.

#### 4) 안전시설

수로공사는 도로·철도·하천과 같은 공공시설을 횡단하여 시공하는 경우가 있다. 이들 공공시설을 횡단하여 설치할 수로구조물 공사는 관리기관과 안전시설 및 대책을 협의 결정해야 한다. 작업 현장에서의 필요한 안전시설은 울타리·손잡이·경보장치 및 교통안전 시설 등의 설치는 물론 사람·차량에 대한 안전관리·공해방지 등도 포함한다.

##### 가) 조명시설

수로 시설공사가 현장여건상 야간작업이 필요하고 사람이나 차량의 통행에 영향이 있는 곳은 안전시공과 사고방지를 위해 조명시설을 한다.

##### 나) 도로, 안전책

공사현장 내의 각종 중장비와 기자재는 항상 정비·정리하고 작업범위 내에는 관계자 이외의 출입을 통제한다. 공사현장 내에는 필요에 따라 도로를 만들어 보행자 및 차량통행이 안전하도록 해야 한다. 또 굴착현장 등에서의 전락방지를 위하여 또는 마을에 가까운 곳에서는 필요에 따라 안전책을 설치하고 현장 내에 경고 또는 위험표지판을 설치하여야 한다.

##### 다) 운반

토사·콘크리트·기타 기자재의 운반을 위한 공사용 도로와 일반도로의 교차하는 곳, 사토장 및 시야가 곤란한 장소 등에는 감시원 또는 유도원을 배치한다. 필요에 따라 안전표식의 설치 등으로 운반차량이 안전하고 원활하게 작업을 할 수 있도록 한다.

수로시설공사는 비교적 규모가 작고 공종이 복잡하지 않으므로 구간 별로 단기간 내에 완료되는 시설도 있다. 그러나 전체 수로의 공사범위는 수 km에 걸쳐 있으므로 각기 다른 시공자의 공동작업으로 시행하는 일도 있다. 따라서 운반차량이 교차되는 곳에서 가시선의 이용 또는 전용에 대해서는 미리 고려해 둘 필요가 있다.

### 5.2.3 준비 및 뒷정리

준비작업은 본공사의 추진에 중요하므로 공사기간 중에 예견되는 문제점의 검토와 대책을 세워야 하며, 공사가 완료되면 착공전과 같은 환경으로 뒷정리를 해야 한다.

준비는 본공사 또는 본격적인 가설공사와 본공사를 차질없이 시공하기 위한 사전작업이다.

이 때문에 준비작업의 결과에 따라 본공사에 영향을 끼치게 되므로 충분한 현장조사와 설계도서의 검토 및 관련기관과의 협의는 물론 이해관계인에게 공사내용을 설명하고 협조를 구해야 한다.

뒷정리는 공사현장의 정리·청소·파손에 대한 원상복구 등 공사의 최종작업이므로 당사자 또는 제삼자에게 피해가 발생치 않도록 성실하게 처리해야 한다.

수로공사에서 착공 전 준비 및 뒷정리작업은 공사내용·규모·현장여건에 따라 다르지만 일반적으로 다음과 같은 작업이 포함된다.

- ① 용지매수 보상 확인, ② 기존시설의 보강·철거·이전 및 장애물조사, ③ 시공측량, ④ 설계도서 검토, ⑤ 예상되는 민원과 제3자에 대한 피해, ⑥ 지형·지물·지반고·지목 등의 변동상황, ⑦ 규준틀의 설비, ⑧ 공사현장의 보안, ⑨ 기설용수로의 개수·대체 및 임시수로 등의 대책, ⑩ 형질변경 및 벌채허가, ⑪ 기존시설을 횡단할 경우 관련기관 협의(철도, 고속도로, 하천 등), ⑫ 공사표시판 및 사업설명, ⑬ 본 공사에 포함되지 않는 복구, ⑭ 뒷정리

## 5.3 본공사

### 5.3.1 일반사항

수로시설 공사는 구간별 시공시기가 다르고, 이해관계인이 많으며, 다양한 공종으로 구성되어 있어 지형변동에 따라 수로 구조에 영향을 미치므로, 신속하고 완벽한 시공을 위해서는 사전계획·인허가·협의와 동의·검토·준비가 매우 중요하다.

#### 가. 설계도서의 검토와 변경사항의 처리

수로시설의 공사 착공 시기는 조사·측량·설계 완료 시기보다 짧게는 수개월부터 길게는 수년 동안 늦어지는 경우가 있다. 그 기간 동안 계획 노선상에 지형의 변동·형질변경·건축물의 축조 등 수로의 노선계획과 구조상의 변경사항들이 발생하는 경우가 있다.

따라서 착공 전에 설계도서가 현지 지형과 부합되는지를 확인하고 문제점에 대한 대책을 사전에 마련해야 한다.

또한 설계서상의 시공물량이 정확하게 계상되었는지를 확인하여 자재 수급계획과 장비 투입계획에 차질 없도록 사전에 철저한 준비를 해야 한다.



설계 내용이 현지여건(지형변동, 구조물 또는 건축물 구축, 민원, 관련기관 협의조건 등)과 달라 계획보완의 필요성이 발생될 경우에는 그 내용을 검토·확인하고, 보완 계획에 필요한 절차를 거쳐야 한다.

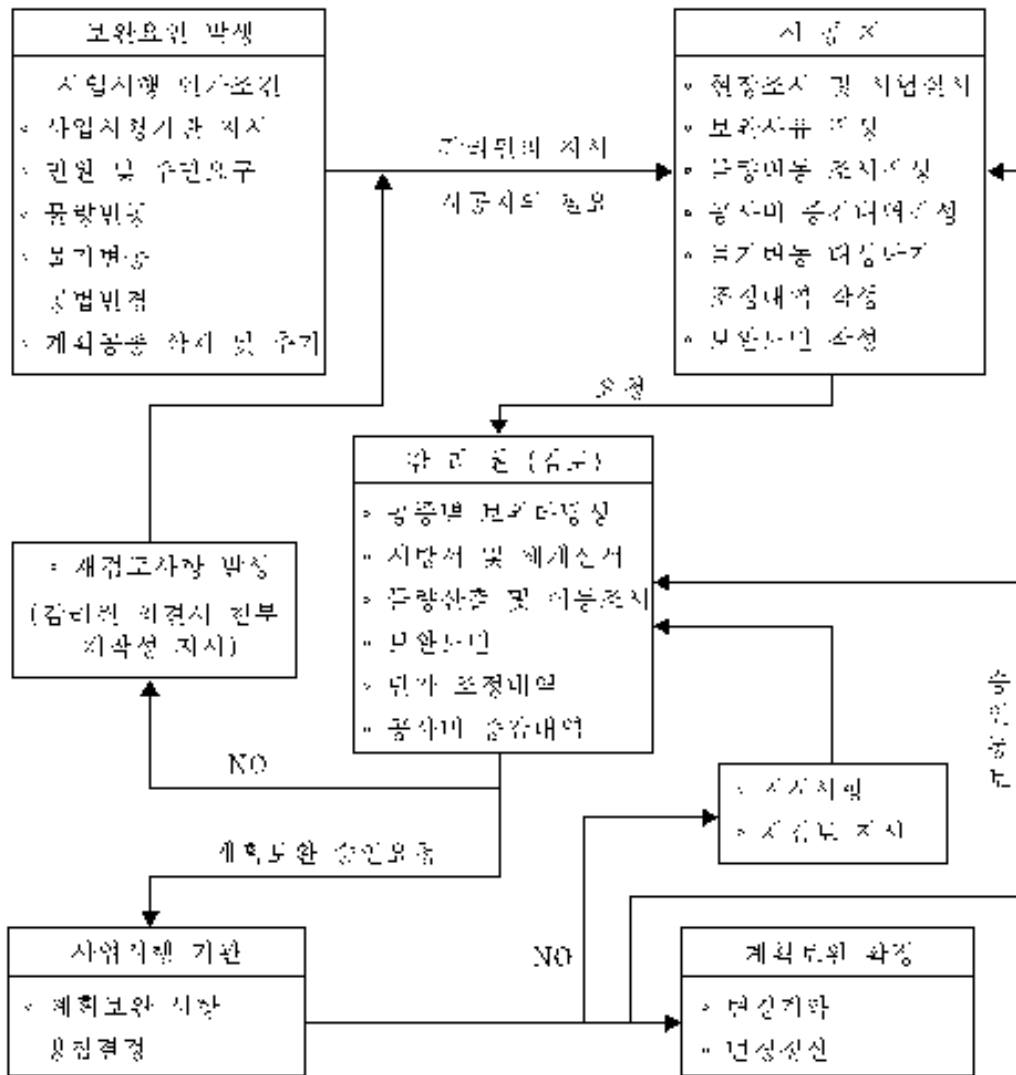


그림 5.3.1 보완계획의 처리절차

#### 나. 시공측량

시공측량은 수준점 측량과 수로시설의 노선측량(다각측량)으로 구분한다. 조사 당시에 설치한 수준점의 표고를 확인하고 시공 중에 활용할 수 있도록 임시 수준점을 설치하여 준공검사 때까지 보존하여야 한다.

노선측량은 시공물량과 정확한 용지매수 범위(매수면적·보상대상)를 결정하고 노선계획을 검토하기 위한 것이므로 공사시기와 관계없이 우선 시행하여야 한다.

#### 다. 인·허가 및 협의

계획노선은 농경지·산림·그린벨트·철도·도로·하천 등을 횡단하면서 절개 또는 매설됨으로, 착공 전에 관련기관의 인·허가뿐 아니라 공사기기와 방법 등 필요한 사항을 협의해야 한다. 특히 지역주민에게는 직·간접적으로 공사로 인한 피해 민원의 해소대책을 세워 협의 또는 동의를 얻어야 하며, 사업시행 목적·내용·공사기간 등 설명회를 가져야 한다.

#### 라. 기록사진 촬영관리

공종별로 착공 전부터 완공시까지 착공 전 현장전경·시공과정·공법·특기사항 등을 촬영하고 그 내용에 대한 설명을 기록하여 보관해야 한다.

#### 마. 시공순서 검토

용수로와 배수로는 역할과 기능이 다르고 단면 변화도 다르며 시공 순서도 다르다. 용수로는 상류로부터 하류로 향하여 시공하고, 배수로는 하류부터 상류를 향하여 시공하는 것을 원칙으로 한다. 용수로 노선의 변경이 불가피하고(지형변동, 시설물 구축, 민원) 수로 구조의 변경이 발생할 경우(수로교→잠관, 토공→개거 또는 암거) 계획고를 조정해야 한다. 즉 수로교를 잠관으로 또는 토공을 구조물로 변경하면 하류까지 계획고의 조정이 필요하다. 배수로는 배수관행을 변경하는 공사이므로 상류부터 공사가 시행되면 강우 때는 시공한 부분의 배수로에 유입된 물이 하류측으로 범람하여 예기치 못한 피해가 발생한다.

### 5.3.2 토 공

토공은 굴착·터파기·비탈면 깎기·되메움·흙쌓기·다짐·표토처리 등 작업으로 구분되며, 모든 토공작업은 건조상태에서 시공하는 것이 원칙이다.

#### 가. 굴착에 필요한 보충조사

굴착현장의 보충조사는 해당 지점 부근의 토질·지하수의 상황 등 직접 굴착하여 지반을 확인 조사하는 방법과 시공 중에 예상되는 환경 및 오염조사를 한다.

이는 계획조사와 실시조사 단계에서 시행한 조사이지만 조사자료와 결과가 현장여건과 변경 또는 다를 경우도 있으므로 필요에 따라 확인하는 것이 필요하다.

#### 나. 굴착 및 터파기

굴착은 소정의 구조물 치수를 확보하기 위하여 작업이 가능한 장소를 확보하고, 굴

착 사면이 활동 또는 붕괴에 안전하도록 계획된 깊이까지 파는 작업이며 저면은 평탄하게 마무리해야 한다.

설계 내용과 현장 토질 여건에 차이가 발견되면 기초지반의 지지력과 구조물의 안전성에 대하여 재검토해야 한다.

또 공사에 지장을 주는 용출수 등은 펌프 또는 배수구 등을 설치하여 건조상태로 유지하여야 한다.

연약지반 또는 포화상태의 지반에서 터파기 한 흙을 굴착사면에 근접하여 쌓아두면 굴착사면이 활동하여 예기치 않은 사고가 발생한다.

따라서 터파기에서 발생한 흙(되메움 흙)은 굴착사면의 활동에 영향이 없는 곳에 적치해야 한다.

### 다. 비탈면 깎기

비탈면은 설계도서에 표시된 경사로 깎고 고르기를 한다. 암·전석의 노출 또는 용출수 등 사면의 안정상 문제로 시공이 불가능할 때는 설계내용을 재검토하여 안전성 여부를 확인한다. 특히 용출수로 인하여 사면활동이 우려되는 경우는 포화상태의 배면토압이 작용하여 설계하중보다 증가하므로 구조물 안정에 대한 충분한 대책을 세워야 한다.

### 라. 되메움

되메움 흙의 토질은 설계조건에 맞는 것을 사용하고 작업 전에 이물질을 제거해야 한다. 되메움은 구조물에 피해를 주지 않도록 주의해서 작업을 해야 한다. 또 원칙적으로 수중 되메움을 하여서는 안 된다.

콘크리트 Box 구조 또는 공장제품 관공사의 터파기 부분이 절개된 상태로 방치되면 외수가 유입되어 수위가 상승하면 부력이 작용하여 구체 또는 관체가 이완된다. 따라서 되메움의 시기를 지연시키면 예기치 못한 문제점이 발생한다.

또한 관공사에서 되메움 작업은 관체 양측에서 동시에 되메움 흙을 채워 다짐을 해야 관체의 이동을 방지할 수 있다.

### 마. 흙쌓기

#### 1) 일반사항

흙쌓기에 사용하는 흙의 재료는 설계조건에 맞는 것을 사용해야 한다. 설계도서에 정해진 기울기로서凹凸이 생기지 않도록 마무리한다. 또 경사가 급한 지반에 흙쌓기를 할 때에는 계단식으로 원지반을 깎아 흙쌓기 부분과 지반과의 밀착을 도모하여 활동을 방지해야 한다.

## 2) 연약지반상의 흙쌓기

연약지반 및 지하수위가 높은 장소에 흙쌓기 할 때 흙쌓기 전에 배수대책을 강구하여 흙쌓기 지반이 건조된 상태로 유지되어야 한다. 이때의 흙쌓기 작업은 그 침하상태를 조사하는 등 충분한 배려를 하면서 작업해야 한다.

## 3) 흙쌓기 작업의 중지

흙쌓기 작업은 아래와 같은 현상이 발견되었을 때에는 작업을 중지하고 문제점에 대한 대책을 강구하여야 한다.

① 수중 흙쌓기 작업이 발생하였을 때, ② 강우로 인하여 재료의 함수비가 규정보다 많을 때, ③ 흙쌓기 기초지반이 설계도서에 표시된 지지력 이하일 때, ④ 흙쌓기 바닥이 결빙되었을 때, ⑤ 공사 중 예측하지 못했던 지반침하 또는 활동이 있을 때 등이다.

## 바. 다 짐

다짐작업은 미리 설계도서에 정해진 다짐시방(사용기종, 두께, 다짐회수)에 따라 다짐 부분의 함수비·기상조건 등을 고려하여 작업을 진행하여야 한다.

다짐작업에서 유의할 점은, ① 다짐기계는 그 통과 궤적을 충분히 겹치도록 하고, ② 흙쌓기는 ㅍ부로부터 각층을 수평으로 다지면서 순차적으로 소정의 높이까지 쌓아 올리며, ③ 구조물의 인접부분이나 좁은 장소는 사용기종 등에 유의하여 다져야 한다.

## 사. 덧쌓기

수로공사에서는 일반적으로 대규모 흙쌓기 공사를 수반하는 이외는 덧쌓기를 계상하지 않는다. 다만 연약지반 토공에 해당하는 수로의 흙쌓기에서 침하 등을 예상해서 덧쌓기를 할 경우에는 비탈끝을 소정의 위치에 놓고 덧쌓기 독마루 폭을 확보해야 한다.

### 5.3.3 콘크리트 공사

콘크리트 공사는 배합설계부터 재료의 혼합·운반·타설·양생 단계를 거쳐 완공되기 까지 단계마다 품질관리가 이루어지지 않으면 사후 확인은 불가능하고, 배합비와 양생처리는 콘크리트의 강도와 내구성에 직접적인 영향을 미치는 것이므로 철저한 품질관리가 요구된다.

### 가. 배합설계

콘크리트의 배합설계란 주어진 재료 즉 시멘트·골재·물 및 혼화재료를 사용하여 경화 후에도 소요성질(강도, 내구성, 수밀성 등)을 가진다. 굳지 않은 상태에서는 시공하기 쉬운 워커빌리티를 가지며 더욱이 경제적인 배합이 되도록 합리적으로 정하는 것이다.

단위수량·단위시멘트량·물시멘트비·슬럼프치·절대잔골재율·연행공기량 등에 관해서는 콘크리트 표준시방서에 준하여 결정한다.

콘크리트 배합설계는 현장에서 사용될 재료의 대표적 시료로 시방배합에 의하여 결정하는 것이 가장 정확하다.

#### 1) 굵은 골재의 최대치수 선정

일반적으로 최대치수가 큰 굵은 골재를 쓰면 소요 워커빌리티의 콘크리트를 얻기 위해 필요한 단위수량은 적어진다. 따라서 소정의 강도를 얻기 위한 단위 시멘트량도 일반적으로 적어진다.

그 때문에 가능하면 최대치수가 큰 굵은 골재를 쓰는 것이 경제적으로나 건조수축을 감소시키기 위해서나 매스콘크리트의 온도 상승을 방지하기 위해서도 유리하다.

그러나 콘크리트의 휨강도는 골재의 최대치수가 20mm일 때 최대가 되며, 또 콘크리트의 수밀성은 최대치수가 작을수록 좋아진다.

이러한 사항을 고려해서 굵은 골재의 최대치수를 결정하여야 하지만, 콘크리트 표준시방서에는 표 5.3.1에서와 같이 굵은 골재의 최대치수에 제한한 표준치를 부여하고 있다.

표 5.3.1 굵은 골재의 최대치수

구분	구조물 종류	굵은 골재의 최대치수 (mm)
무근 콘크리트	매스콘크리트 (예: 큰 교각, 큰 기초 등)	80 ~ 100
	매스콘크리트 (예: 교각, 두꺼운 벽, 기초, 큰 아치 등)	50 ~ 80
	두꺼운 판	40 ~ 50
	어떤 구조물이든지 최대치수는 100mm 이상, 부재최대치수의 1/4 (수밀을 요하는 콘크리트에서는 1/5)을 넘어서는 안 된다.	
철근 콘크리트	일반적인 경우	25
	단면이 큰 경우	40
	어떤 구조물이라도 최대치수는 50mm 이하 부재최소치수의 1/5 또는 철근 최소 수평간격의 3/4을 넘어서는 안 된다.	
인공 경량골재 콘크리트 (철근 콘크리트)		15 ~ 20

### 2) 슬럼프 선정

슬럼프는 콘크리트 타설에 적합한 범위 내에서 되도록 적게 하는 것이 바람직하다. 일반적으로 쓰이는 슬럼프의 표준치는 표 5.3.2와 같다.

표 5.3.2 슬럼프의 표준치 (콘크리트 타설위치에서의 슬럼프)

구조물의 종류		다짐	슬럼프 (cm)
무근 콘크리트	매스콘크리트(예: 큰 교각, 큰 기초 등)	진동기를 쓸 경우	5 이상
	매스콘크리트(예: 교각, 두꺼운 벽, 기초, 큰 아치 등)		8 이상
	두꺼운 판		5 이상
	수밀 콘크리트		7.5 이상
철근 콘크리트	일반적인 경우		5 ~ 12 이상
	단면이 큰 경우		2.5 ~ 10 이상
	진동기를 쓰지 않을 때는 어느 정도 크게 함		
인공경량 골재 콘크리트	철근 콘크리트 슬래브 보 벽 및 기둥	진동기를 쓸 경우	4 ~ 7
			7 ~ 12
	프리스트레스트 콘크리트 보		7 ~ 12
			4 ~ 6

### 3) 물-시멘트비 결정

물-시멘트비는 콘크리트의 품질을 결정하는데 특히 중요하다. 주어진 구조물의 목적을 만족시키도록 강도·내구성 및 수밀성에서 구한 물-시멘트비 중에서 작은 것을 취하는 것이 바람직하다.

시험에 의한 콘크리트의 압축강도를 기준으로 해서 물-시멘트비를 정할 경우에는, ① 압축강도와 물-시멘트비와의 관계는 시험에 의해서 정하고, ② 배합에 사용할 물-시멘트비(W/C)는 기준으로 한 재령에서의 시멘트-물비(C/W)의 값의 역수로 한다.

이  $f_r$ 는 설계기준강도  $f_{ck}$ 에 적당한 증가계수  $\alpha$ 를 곱한 것으로 한다. 부득이 시험을 할 수 없을 때에는 보통 포틀랜드 시멘트로 만드는 콘크리트에서 혼화제를 쓰지 않을 때 C/W와  $f_{28}$ 와의 관계는 식 (5.3.1)을 써서 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & f_{28} = 16 \sim 23 \text{ MPa 인 경우} \\
 & \quad f_{28} = -13.9 + 23.0 C/W \\
 & f_{28} = 23 \sim 33 \text{ MPa 인 경우} \\
 & \quad f_{28} = -7.6 + 19.0 C/W \\
 & f_{28} = 33 \sim 39 \text{ MPa 인 경우} \\
 & \quad f_{28} = 2.2 + 19.0 C/W \\
 & \text{AE 콘크리트 (공기량이 4\% 정도일 경우)} \\
 & f_{28} = 14 \sim 25 \text{ MPa 인 경우} \\
 & \quad f_{28} = -7.4 + 16.2 C/W \\
 & f_{28} = 25 \sim 32 \text{ MPa 인 경우} \\
 & \quad f_{28} = -1.8 + 13.4 C/W
 \end{aligned}
 \tag{5.3.1}$$

표 5.3.3 콘크리트의 내구성을 고려한 물-시멘트비

(단위: %)

구조물 노출상태	기상조건 단면		① 기상작용이 심한 경우, 또는 동결 융해가 때때로 반복되는 경우			② 기상작용이 심하지 않은 경우, 또는 빙점 이하의 기온이 되는 때가 드문 경우		
	얇음	보통	두꺼움	얇음	보통	두꺼움		
(1) 계속해서 또는 때때로 포화되는 부분	55 (50)	60 (55)	60 (60)	55 (50)	65 (60)	65 (60)		
(2) 보통 노출상태에 서 (1)에 해당 않 는 경우	60 (55)	65 (60)	65 (60)	60 (55)	70 (65)	70 (65)		

- 주) ① 콘크리트 표준시방서 참조, ( )는 특수 콘크리트인 경우  
 ② 0.2% 이상의 황산염(SO<sub>4</sub>)을 포함하는 지하수에 접하는 콘크리트에 대해서는 ①②의 얇은 경우 45%를 넘어서는 안 된다.  
 ③ 건축물의 내부와 완전히 지하에 매설되는 구조물과 같이 기상 작용을 받지 않는 콘크리트에 대해서는 물-시멘트비를 콘크리트의 내구성으로부터 정할 필요가 없다.  
 ④ 콘크리트의 수밀성을 바탕으로 물-시멘트비를 정하는 경우 물-시멘트비는 55% 이하를 표준으로 한다.

#### 4) 증가계수

공사현장에서 콘크리트 품질관리는 철저히 시행해도 그 품질은 어느 정도 변동하는 것은 피할 수 없다. 따라서 설계에 사용하는 설계 강도에다 그 타설 현장의 조건·구조물의 중요도에 따라 증가해서 배합강도를 정하고 배합설계를 한다.

배합설계를 할 때 증가계수를 정하기 위해서는 변동계수를 예상해야 한다.

공사 초기에 변동계수를 적절히 예상하는 것은 어려움으로 최초에 안전한 변동계수를 정하고 순차적으로 수정하는 것이 바람직하다.

### 나. 레디믹스트 콘크리트 (Ready mixed concrete)

수로의 콘크리트 공사는 일반적으로 레디믹스트 콘크리트로 시공된다. 그러나 특별한 사유로 레디믹스트 콘크리트를 사용할 수 없을 때에는 「콘크리트 표준시방서」의 규정에 따라야 한다.

#### 1) 공장의 선정

가) 공장은 KS 표시 허가 공장으로서 콘크리트에 대한 제반시험을 할 수 있는 시험실·시험기기 및 자격이 있는 전문직이 상주하고 있는 공장 중에서 선정하는 것을 원칙으로 한다.

나) 공장은 현장까지의 운반시간, 콘크리트 생산능력, 운반차량수, 공장생산설비 및 품질관리상태를 고려하여 선정한다.

#### 2) 품질지정

레디믹스트 콘크리트의 품질을 만족시키는 굵은 골재의 최대치수, 호칭, 강도 및 슬럼프(slump) 등은 KS F 4009에 따라 지정해야 한다. 그러나 특수한 구조물 등으로 특별히 지정할 필요가 있을 때에는 호칭, 강도를 보증하는 재령, 공기량, 완화재료 및 운반차량 등에 관해서 생산자와 협의하여 결정한다.

#### 3) 시멘트의 종류

시멘트는 보통포틀랜드 시멘트(Portland cement), 조강포틀랜드 시멘트, 중용열포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 시멘트(slag cement), 내유산염포틀랜드 시멘트, 실리카 시멘트(silica cement) 등이 KS에 규정되어 있으나 일반적으로 보통포틀랜드 시멘트가 사용되고 있다.

### 다. 품질관리

콘크리트의 품질관리는 소요 품질을 가진 콘크리트 구조물을 경제적으로 만들기 위해 콘크리트의 재료, 설비, 작업 등을 관리하는 것이다. 더욱이 품질관리는 KS F 4009에 의하는 것 이외에 별도로 제정되어 있는 토목공사 콘크리트 표준시방서, 기타 품질관리 표준에 따른다.



1) 품질특성

압축강도에 의한 콘크리트의 관리는 일반적으로 조기 재령에서의 압축강도이며, 또 물-시멘트비에 의한 콘크리트관리는 채 굳지 않은 콘크리트를 분석하여 얻어진 수치를 가지고 한다.

이것에 의해서 얻어진 시험치를 기준으로 콘크리트의 품질을 검사하지만 일반적으로 재령 28일의 압축강도를 쓰는 방법을 취하고 있다.

표 5.3.4 품질특성의 예

특성	대용특성	공정요인
압축강도 휨강도	슬럼프 공기량 물-시멘트비 초기 압축강도	골재의 함수량 재료의 품질 각 재료의 계량치 작업방법

2) 시료채취

품질특성이 정해지면 그 특성에 대해서 측정, 시험을 하여 자료를 얻는다. 이 자료는 그 시료에서 얻는 것이므로 콘크리트 구조물 전체의 품질을 대표하도록 채취해야 한다. 시료채취 때의 주의사항은, ① 시료채취의 목적이 관리용인가 또는 검사용인가를 확실히 한다(검사 목적의 시료채취는 구조물 마다 또는 일부분 마다 시료의 크기를 결정). ② 시료는 언제나 그 시료를 채취한 구조물을 대표할 수 있도록 채취한다. ③ 공정관리 상태와 시료채취 간격을 충분히 검토한다(공사초기에 재료, 기타 큰 변동이 생길 경우는 시료채취 간격을 짧게 한다).

얻어진 시험결과가 규격을 만족시키는지의 여부 및 어느 공정에서 만들어진 콘크리트의 특성이 집단으로서 어떤 상태로 분석되어 있는가를 조사하기 위하여 관리도표를 쓴다. 이때는 건설공사 품질관리 검사기준을 참고하여야 한다.

라. 시 공

양질의 콘크리트를 만들려면 각 시공단계에서 그때 그때 주의를 하여 충분한 시공관리를 해야 한다.

콘크리트 시공은 사용재료 및 배합 등이 결정되면 그림 5.3.2에 표시한 순서로 시행하는 것이 보통이다.

이러한 작업 등은 서로 관련이 되어 그 전후 결과가 충분히 만족되지 못하면 목적하는 최종의 성과를 얻을 수 없으므로 합리적인 계획을 세워서 공사전체가 충분히 관리된 상태에서 진행되어야 하며, 콘크리트 공사의 작업상 유의사항은 다음과 같다.

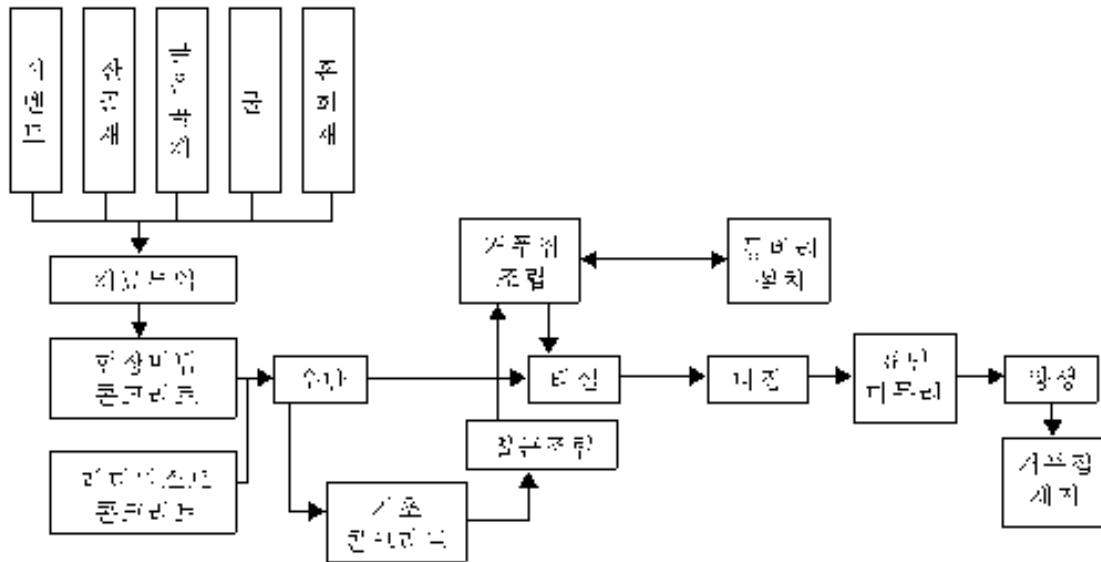


그림 5.3.2 콘크리트공사 시공순서

1) 타설속도

벽이 높고 연속해서 타설할 때는 타설과 다짐을 하는 동안 재료의 분리가 적게 되도록 콘크리트의 반죽질기 및 타설속도를 조정하여야 한다. 또한 구획 내에서 그 표면이 수평이 되도록 타설하여 한층의 높이는 40cm 이하를 원칙으로 하고, 두층 이상을 타설할 경우에는 밑의 콘크리트가 굳기 전에 상층을 타설하며, 한 구간 내의 콘크리트 타설이 완료될 때까지 연속해서 타설하여야 한다.

2) 다짐

콘크리트는 타설 직후 충분히 다짐을 하여 콘크리트가 철근의 주위 및 거푸집의 구석구석까지 충전해야 한다.

비교적 규모가 작은 수로구조물에는 봉형진동기가 쓰이며, 봉형진동기에는 봉의 직경, 진동수, 진폭 등이 다른 여러 종류가 있지만 일반적으로 진동수가 많은 것일수록 유리하다.

또 봉형진동기의 삽입간격은 45~75cm 정도이고 적당한 진동시간은 5~20초이며 진동기를 뺄 때는 천천히 뺀다. 다지기가 충분하면 콘크리트 표면이 가라앉지 않고 기포도 생기지 않으며 표면은 깨끗하고 콘크리트 전체가 균일성이 있게 보인다. A-E 콘크리트에 진동을 주면 공기량은 감소한다. 슬럼프가 큰 콘크리트일수록 공기량의 감소는 크다. 1대의 봉형진동기로 다질 수 있는 콘크리트의 양은 부재의 모양, 치수, 철근배치, 배합, 반죽질기 등에 차이가 나지만, 대체적으로 4~8m<sup>3</sup>/h 정도이다. 진동기를 무리하게 사용하면 고장이 많아지므로 주의해야 한다.

### 3) 콘크리트 이음

콘크리트는 연속으로 타설하여 일체가 되도록 시공하는 것이 바람직하지만, 노동력, 작업시간, 기상조건, 기타 현장조건에 따른 작업량의 제한으로 부득이 시공이음을 두어 몇 개의 블록으로 나누어 순차적으로 시공케 되며, 콘크리트 내의 성질로 인한 수축 팽창에 따라 의무적으로 시공이음 또는 신축이음을 두어야 한다. 이 시공이음부나 신축이음부에서는 누수가 있어 누수로를 형성하게 된다. 그러므로 누수방지를 위하여 신축이음부와 중요 시공이음부에는 지수판을 설치하고 있으나, 시공기술의 미흡 또는 시공을 소홀히 하면 누수 때문에 구조물의 미관을 해치게 되므로 주의를 요한다.

#### 가) 시공이음

시공이음은 시공의 편의나 또는 부주의한 시공지연에 의하여 생기는 이음이다. 초기 콘크리트 응고 수축에 의하여 응력이 발생함으로써 일어나는 균열의 발생을 막기 위하여 시공이 편리한 위치에 시공이음을 설치한다. 매설물이나 2차 콘크리트 시공을 위하여 작업을 중지하여야 할 위치는 응력이 최소가 되는 지점이 되도록 하여야 한다.

시공이음의 조건은 철근에 관계없이 반드시 신·구 콘크리트의 접착이 잘되게 하여야 한다. 이때 설치하는 시공이음은 수평이음과 수직이음이 있는데 수직이음은 가능하면 피하면 것이 원칙이다.

#### 나) 신축이음

신축이음은 온도변화, 건조수축의 영향, 기초의 부등침하, 진동 등에 의한 영향으로부터 구조물을 보호하기 위하여 설치하는 것이다. 이와 같은 조건을 고려하여 위치, 구조 등을 정하나 일반적인 표준을 정하기는 어렵다. 온도변화에 의한 변형은 일반적으로  $0.00127\text{mm}/^{\circ}\text{C}$  정도로 최저 및 최고온도 차가  $50^{\circ}\text{C}$ 이고 부재의 길이가 10m라면 온도에 의한 변위량은 0.635cm가 될 것이다.

또한 콘크리트의 건조수축량은 보통  $0.02 \sim 0.07\text{cm}/\text{m}$ 의 범위로 부재길이가 10m라면  $0.2 \sim 0.7\text{cm}$ 의 변위가 예상된다. 일반적으로 신축이음은 수축이음과 팽창이음으로 구분한다. 그 위치는 구조물의 수평단면이 변화하는 곳, 벽이 서로 만나는 곳에 두며, 그밖에 얇은 벽의 경우  $6 \sim 10\text{m}$ , 두꺼운 벽의 경우는  $15 \sim 18\text{m}$  간격으로 두며, 이음매의 폭은  $1 \sim 3\text{cm}$  정도이다.

콘크리트 개거의 신·수축이음의 간격을 9.0m 내외로 연속 시공하는 방법은 이음부분의 조잡 또는 불량시공의 원인이 된다. 콘크리트 개거 공사는 혼합부터 운반 및 타설까지 기계화로 이루어져 단위 작업량이 많으므로 신축이음의 간격을 길게 할 필요가 있다. 품질향상과 견실시공을 위해서는 양질의 이음재료를 사용하고 시공성을 고려하여 수축이음을 신축이음으로 대체 할 필요가 있으며, 그 간격은 설계도에 명시된 길이이어야 하고 격간시공 방법으로 시공하여야 한다(그림 5.3.3 참조).

#### (1) 수축이음(Contraction joint)

수축이음은 콘크리트 타설 후 경화과정 또는 경화 후 온도변화에 의한 수축이나 이동으로 인한 콘크리트 내에서의 균열발생을 방지하기 위하여 설치한다. 각 구간을 절연시킴으로써 내부 균열을 방지할 수 있으며, 주로 수직이음이고, 도면에 표시된 위치에만 설치하여야 한다.

## (2) 팽창이음(Expansion joint)

콘크리트 재료는 온도변화에 따라 팽창과 수축을 한다. 이로 인한 용적의 변화는 구조물에 해로운 응력이 발생하게 되고, 심하면 구조물 파괴의 원인이 되기도 한다.

특히 노출 구조물의 공사에서는 구조물 규모 및 용도에 따라 적당한 간격으로 완전 절연시키는데 1~3cm의 이음 간격을 두어 팽창과 수축에 따른 완충 역할을 하며 구조물의 안정을 도모하고 있다.

이와 같은 이음을 팽창이음이라고 하고 주로 수직이음이며 설치 위치는 도면에 표시된 위치와 방법에 따라야 한다.

### 다) 시공이음의 시공

시공이음은 전단력이 작은 위치에 두되 시공이음 면은 부재의 압축력을 받는 방향과 직각되게 하는 것이 원칙이다.

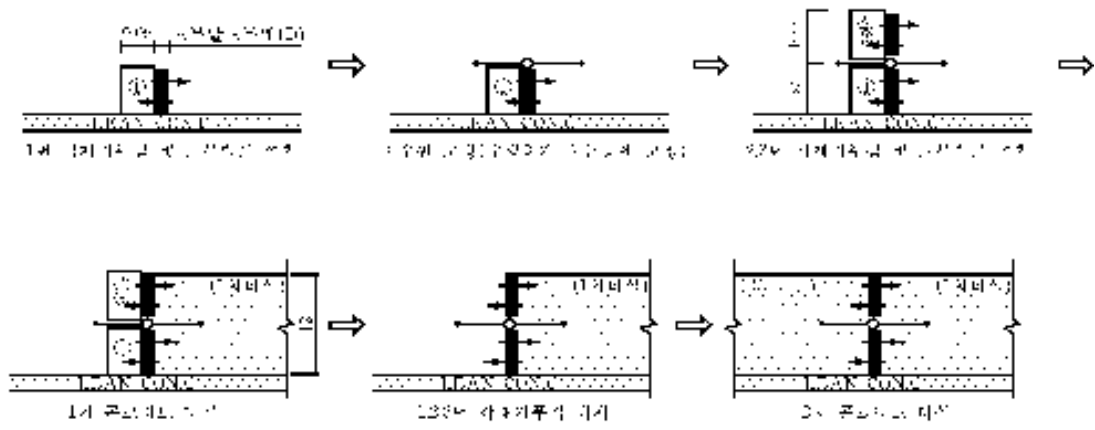
부득이 전단력이 큰 위치에 시공이음을 둘 경우에는 시공이음 면에凹凸를 만들든가, 또는 적당한 지수판을 끼어 넣든가 해야 하며, 이에 대한 세부사항은, ① 수평이음이 거푸집에 접하는 면은 되도록 수평한 직선으로 해야 한다. ② 시공이음은 반드시 접착을 잘 시켜야 한다. 굳은 콘크리트에 새 콘크리트를 쳐서 이어나갈 때, 굳은 콘크리트 표면의 레이탄스 또는 품질이 불량한 부분에서 콘크리트에 밀착되지 않은 골재 등을 완전히 제거하고, 매끈한 면은 쪼아내어 거칠게 하여 충분히 흡수시켜야 하는데 표면은 물기가 없는 습윤상태이어야 한다. ③ 수밀성을 요구하는 구조물에서는 콘크리트 표면을 반드시 습사분사(wet-sand-blasting)에 의하여 청소하여야 하며, 그렇지 못할 경우 지수판을 설치하여야 한다. ④ 새 콘크리트를 치기 전에 거푸집을 바로 잡고 청소된 굳은 콘크리트면에 콘크리트 중의 모르타르와 같은 배합의 모르타르를 깔고 즉시 콘크리트를 쳐서 굳은 콘크리트와 밀착되도록 잘 다져야 한다.

### 라) 신축이음의 시공

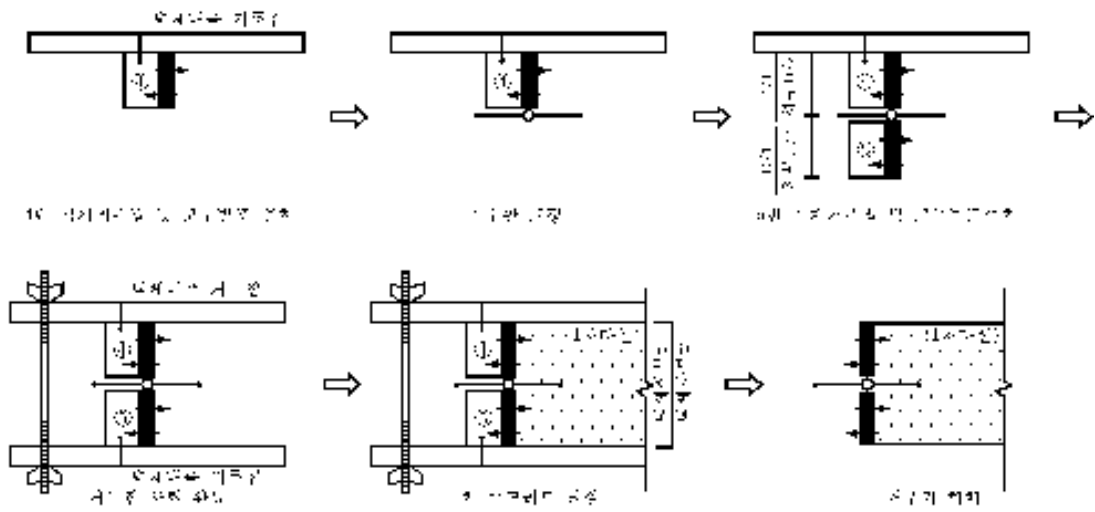
지수 또는 신축에 원활을 기하기 위해 지수판을 설치할 때, 지수판은 콘크리트 부재 두께의 중앙에 설치하며, 지수판 중앙 밸브의 이음부가 중앙에 위치하도록 설치하고, 수밀성을 기하기 위해서 진동 다짐에 철저를 기해야 한다.

신축이음을 시공할 때 유의할 점은, ① 이음 시공은 반드시 콘크리트 개거를 격간 시공법으로 하고 이음의 간격은 설계도에 표시된 것을 따른다. ② 이음 부분의 거푸집과 각목은 동뭇을 이용하고 신축이음 설치 요령의 순서를 따른다. ③ 각재거푸집 두께는 5.0cm 이상이고 이음재 두께는 지수판 밸브의 직경과 같아야 한다. ④ 지수판은 콘크리트 타설 중에 이동되지 않도록 고정시켜야 한다. ⑤ 지수판 중앙 밸브는





바닥신축이음 (a)



바닥신축이음 (b)

그림 5.3.4 신축이음 설치순서

물 또는 이물질이 들어가지 않도록 코킹재로 마감해야 한다. ⑥ 1차 콘크리트 타설 후 양생될 때까지 지수관이 직사광선에 노출되지 않아야 한다. ⑦ 지수관은 설치 전에 흙, 기름, 윤활유 등이 묻어 있을 때는 세척한 후에 사용한다. ⑧ 이음부의 채움재료는 개거의 두께와 같고 콘크리트 면과 일치되어야 한다.

#### 4) 양 생

콘크리트 타설 후 저온, 건조 및 급격한 온도변화 등에 의해 나쁜 영향을 받아 수분 발산에 따른 균열의 발생 및 압축강도의 저하를 방지하기 위해 시멘트의 수화기간 중 콘크리트의 습윤 및 적온을 유지하여야 한다. 타설이 끝난 콘크리트가 경화작용을 충분히 발휘하여 되도록 건조 등에 의해 균열이 발생하지 않게 하기 위해서는 타설 후 일정 기간 콘크리트에 적당한 온도를 유지시켜 충분한 습윤상태가 되도록 해야 한다. 콘크리트 양생 중에는 진동, 충격 및 하중을 받지 않도록 보호해야 한다. 또한 충분히 경화되어 있지 않은 콘크리트가 충격이나 과대한 하중에 의하여 균열 등의 손상을 입지 않게 하기 위해서는 콘크리트 타설의 순서를 지켜 먼저 타설한 콘크리트 위에 재료 등을 놓든지 중량물을 낙하해서는 안 된다.

##### 가) 양생과 콘크리트 성질

양생은 콘크리트의 모든 성질에 영향을 끼친다고 하지만 그 중에서 특히 콘크리트의 강도에 크게 영향을 준다.

##### (1) 건습과 압축강도

그림 5.3.5는 콘크리트를 습윤상태 또는 건조상태의 여러 가지로 조합하여 양생하였을 때의 콘크리트 압축강도의 상태를 표시한 것이다.

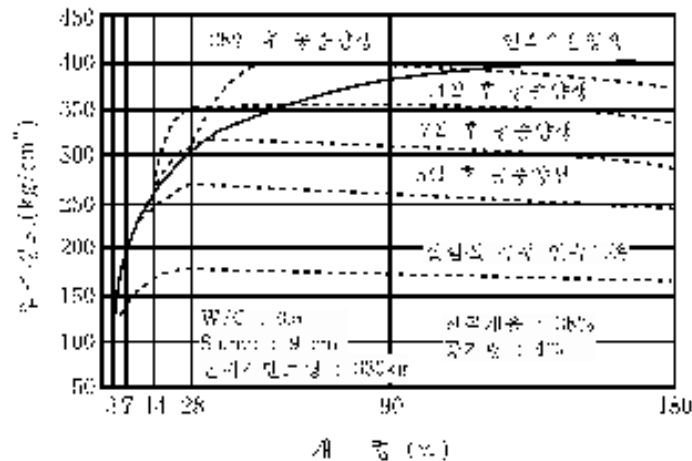


그림 5.3.5 습윤, 건조상태의 조합에 의한 콘크리트 압축강도

이에 의하면 연속하여 습윤상태로 콘크리트를 보호했을 때에 비하여 처음부터 건조한 공기 중에 보존한 콘크리트의 강도는 낮고 그 후의 재료에 따른 강도의 증가율도 적다.

### (2) 습도와 압축강도

양생 중의 습도와 압축강도와의 관계는 일반적으로 4~40℃의 범위 내에서는 양생 온도가 높을수록 콘크리트의 28일 강도가 높아진다.

그림 5.3.6은 양생온도와 압축강도와의 관계를 표시한 실험 예이다. 시멘트의 수화작용은 화학반응이므로 반응 때의 온도가 높으면 조기강도가 커지지만 매시브한 콘크리트는 내부의 온도가 실제의 온도보다 18~40℃ 상승하므로 표면의 온도가 외적인 어떤 조건에 의하여 급강하하면 콘크리트에 균열이 생기는 등 나쁜 영향을 준다. 그러므로 콘크리트의 표면온도가 24시간 내에 11℃ 이상 내려가지 않도록 하여야 한다.

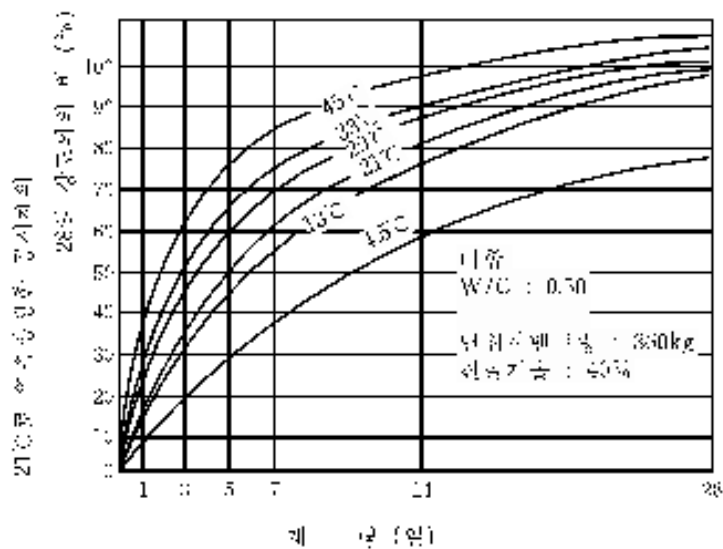


그림 5.3.6 양생온도와 압축강도의 관계

### (3) 동결과 압축강도

콘크리트가 경화할 무렵에 콘크리트의 온도가 낮으면 경화가 늦어질 뿐만 아니라 동결하면 콘크리트의 강도는 저하하게 된다. 동결에 의한 강도의 감소는 주로 사용수량에 따라 좌우된다. 종래의 연구에 의하면 콘크리트의 강도가 3,920~4,900kPa가 되면 동결해도 큰 피해가 없다. 강도 저하의 예로서 22℃로 성형한 후에 -15℃로 동결하면 표준양생한 것에 비하여 50% 정도 강도 저하를 가져온다는 실험보고가 있다. 또 성형 후 동결까지의 시간이 길수록 강도 감소의 율은 적고, 성형 후 6시간 후에



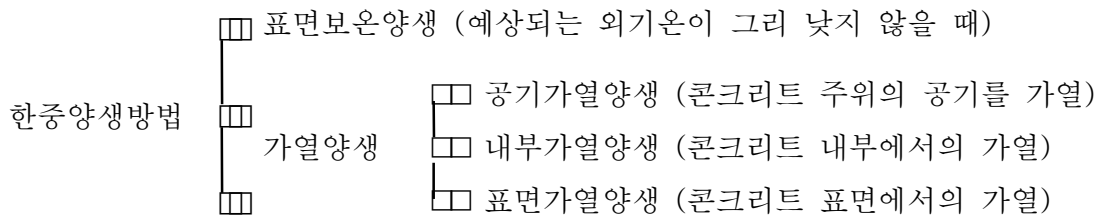
-9.5℃로 동결시켰을 때 강도 감소는 약 15%가 되었다고 보고되고 있다.

#### 나) 습윤양생

일반적인 콘크리트 구조물의 양생방법으로서는 젖은 가마니로 콘크리트의 표면을 덮고 물을 살포하여 항상 습윤을 유지하는 방법이 많이 사용되고 있다. 그러나 기상 조건이 나쁜 동절기에는 동결 등의 위험성이 있으므로 다른 양생방법을 검토하여야 한다.

#### 다) 보온 또는 가열양생

시멘트의 수화작용은 화학반응이며, 온도의 영향을 민감하게 받기 때문에 한중(寒中)에 시공하는 콘크리트는 적절한 방법으로 보온 또는 가열양생을 할 필요가 있다. 보온양생과 가열양생은 외기온이 일평균 4℃ 이하가 된다고 예상되는 경우에 사용되는 기준이 되지만 바람 등의 영향을 고려해서 양생방법을 결정하는 것이 바람직하다.



#### 5) 거푸집 및 동바리

거푸집 및 동바리는 소정의 강도와 강성을 가짐은 물론 완성된 구조물의 위치 형상 및 치수가 정확히 확보되는 것이어야 한다.

수로공사에서는 강재·합판 또는 목재의 거푸집과 동바리공이 수로 구조물의 종류·규모 등에 따라 알맞은 것을 쓰고 있으나, 일반적으로 구조물이 동일 단면으로 형상이 연속되었을 때는 경제적으로 유리한 강재 거푸집을 사용하는 것이 바람직하다.

또 거푸집과 동바리의 설치 및 해체는 구조물의 콘크리트가 그 자중 및 시공 중에 가해지는 하중을 지지하기 위해 필요한 강도에 달할 때까지 해체해서는 안 된다.

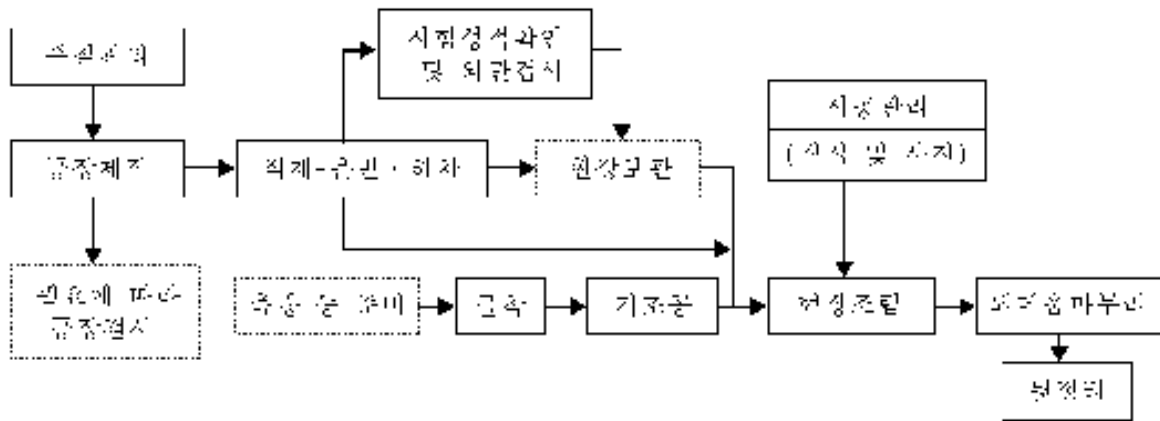
특히 수로공사와 같은 선공사(線工事)에서는 그 특수성 때문에 되메움·흙쌓기 및 공사용 용지의 제한 등의 영향을 받아 거푸집 및 동바리를 조기 해체하는 경우도 있으나 해체시기는 양생 일수와 관련시켜 결정해야 한다.

### 5.3.4 콘크리트 공장제품의 시공

콘크리트 공장제품은 계절에 관계없이 다량생산이 가능하고, 시공시기에 제한을 받지 않고 필요한 위치에 구조물의 조립시공을 하므로 현장타설 콘크리트에 비하여 공정단계가 단조롭고 품질관리도 유리하다.

#### 가. 시공작업 체계

콘크리트 공장제품을 현장타설 콘크리트 구조물과 같이 계절적인 시공제한을 받지 않고, 거푸집 조립과 해체·철근조립·콘크리트 타설과 양생 등 작업단계를 거치지 않는 장점이 있다. 또한 영농기와 관련된 구조물의 공기 단축뿐 아니라 구조물의 강도·내구성 및 균일한 품질을 확보할 수 있다.



주)      해당 수로공사 작업조건에 따라 달라진다.

그림 5.3.7 콘크리트 공장제품의 수로공사에서의 작업체계

#### 나. 시공관리상의 주의사항

적재·운반 및 하차 과정에서 콘크리트 제품은 충격으로 균열 또는 파손되는 경우가 있으므로 충격방지에 세심한 주의를 요한다.

시공상 주의할 사항은, ① 콘크리트 공장제품은 길이에 비하여 두께가 얇기 때문에 균열과 파손이 생기기 쉽다. 이 때문에 타격·충격 또는 편하중을 주는 일이 없도록 충분한 주의를 해야 한다. ② 제품의 이동은 로프 등을 조심해서 사용하는 것이 바람직하다. ③ 되메움은 정상까지 여러 층으로 나누어 제품 양측의 되메움 흙이 거의 같은 높이가 되도록 다진다. 수로가 곡선이 되는 경우에는 완곡선이 되도록 한다. ④ 현장 여건으로 급한 각도가 불가피할 때는 제품을 절단하여 현장타설 콘크리트에 접합시키는 등의 고려가 필요하다. ⑤ 포설은 이음부의 누수가 없도록 접합규정을 준수하고 주의하여 시공해야 한다.

### 다. 공장제품의 종류와 특성

농업기반정비사업의 용·배수로 공사 현장에서 사용하고 있는 공장제품은 조립식 개거·콘크리트 플룸·관 등 70여종이 생산되고 있다. 이들 생산제품의 종류와 규격 및 특징은 다음 표와 같다.

표 5.3.5 공장제품의 종류와 특성

구분	명 칭	규격 및 종류(mm)	특 성	
용 수 로 용	조립식 개거	1,000×800 ~ 2,000×2,000 (34종)	◦수로 단면에 따라 저관측벽 및 버팀대로 구분 제작	
	콘크리트 플룸	I 형	생 산 중 단	◦맞이음 방식이며 시공과 유지관리 문제 때문에 생산중단
		II 형	200×150 ~ 1,000×600 (14종)	◦저폭이 높이보다 큰 수리상 유리한 단면 ◦소켓식 이음방식 ◦이음부의 이완현상 방지 ◦외력에 대한 저항력이 큼
		III 형	200×200 ~ 1,200×800 (18종)	◦저폭과 높이의 차가 적으며 II형 보다 두께가 크다. ◦소켓 이음방식 ◦이음부의 이완현상 방지 ◦외력에 대한 저항력이 큼
		U 형	210×200 ~ 1,055×800 (13종)	◦일반적으로 성토부, 측구에 사용 ◦토압에 대한 저항력이 약함
		레진 콘크리트	500×320×320 ~ 1,100×650×550 (4종)	◦폐합성·수지 제품 ◦경량으로 운반, 설치 용이 ◦동결 용해에 대한 저항성이 양호 ◦소형, 용·배수로에 적합
용· 배 수 검 용	BOX	1 런	1,000×800 ~ 4,000×2,500 (35종)	◦규격에 따라 일체형, 2분할, 4분할로 운반 시공 가능 ◦도심 밀집지역, 토심이 깊은 지역 사용 용이 ◦도로횡단, 배수암거에 적합 ◦보수 용이
		2 런	2,000×1,500×2 ~ 4,000×2,500×2 (11종)	◦일체형으로 길이는 1.0m임 ◦부분 시공이 용이 ◦공기단축과 균일한 품질 유지

구분	명 칭	규격 및 종류(mm)	특 성	
용·배수 겸용	조립식 낙차공	용수 H형 용수급류형 배수급류형 (19종)	◦단면이 작은 소형의 용·배수 지거에 적합 ◦공기 단축과 균일한 품질 유지 ◦현장 시공관리가 용이	
	관 류	철근 콘크리트 관	직경 D=150~2,800 (25종) -원심력 철근 콘크리트관 -P.C 관 등	◦강성관이며 품질, 강도, 내구성 우수 ◦수압 및 외압에 저항성이 큼 ◦이음부는 맞이음과 소켓식 ◦지하암거에 많이 사용 ◦통수능력이 양호 ◦중량이 무거움 ◦농·공업 및 하수도용으로 많이 사용
		플라스틱 관	직경 D=150~1,500 (17종) -염화비닐관 -폴리에틸렌관 등	◦연성관이며 중량이 가벼움 ◦관수로와 연약지반에 적합 ◦절단 및 운반이 용이하나 열에 약함
		금속관	직경 D=80~3,000 (35종) -보통 강관 -덕타일 주철관 등	◦연성관이며 내·외압에 강도가 큼 ◦부등침하에 안전 ◦접합시공 및 분리가 용이 ◦반영구적 ◦농·공업, 상·하수도용으로 적합
호안용	돌 망 태	타원형 사각형 원 형 (23종)	◦석재 구득이 용이한 지역은 경제적임 ◦지형 변화에 적응력이 좋음 ◦자연 생태계 유지 ◦철사 부식으로 인한 보수 필요	
	섬유대 콘크리트	t = 7m t = 10m t = 15m (3종)	◦양압력을 받지 않음 ◦동파가 안 됨 ◦경량성임 ◦배면과 부착력이 좋음 ◦수중 시공이 용이	
	아스콘매트 (그린매트)	앵커매트 A15 앵커매트 A20 (2종)	◦양압력을 받지 않음 ◦동파가 안 됨 ◦경량성임 ◦자연 식생이 가능 ◦수중 시공이 용이 ◦유지 관리가 용이	

### 5.3.5. 관수로의 시공

관수로의 시공은 설계조건, 시공여건 등을 고려하여 시공계획을 수립해야 한다. 관 매설위치 굴착, 기초처리, 관의 포설과 접합, 되메움 등은 시공 전·후의 안전성을 좌우하므로 치밀한 시공계획에 따라 시공해야 한다.

#### 가. 일반사항

매설 관수는 흙으로 보호되는 특성과 흙에 의한 하중 등으로 파괴되는 특성을 동시에 가지고 있어 지상의 구조물과 다르다. 흙의 저항력을 높임으로써 더 안전하고 경제적인 구조물을 만들 수 있으므로 흙의 특성과 관체의 역학적 특성을 충분히 이해하여 기초 및 매설재료의 설계조건을 만족시키도록 시공해야 한다.

매설관의 내하력은 관체 주위의 되메움 흙의 상태에 따라 크게 달라지므로 매설재료·다짐 등에 주의하여 소홀함이 없어야 한다. 불량토로 메우거나 다짐이 불충분하면 관체의 이동·부등침하·파괴 등이 발생하게 된다.

특히 매장문화재에 대해 유의하여 시공 전에 이에 대한 충분한 조사를 할 뿐 아니라 공사 시행중에도 특별한 지층, 출토물 등이 발견되면 즉시 공사를 중지하고 관계 기관과 협의하여 처리하여야 한다.

#### 1) 시공순서

일반적으로 시공의 순서는 굴착→관의 반입→기초처리→관의 포설→되메움 이라는 도식으로 표시된다. 이 중에서 관의 반입과 기초 처리는 병행하여 이루어지는 때가 많다. 관수는 한 곳에서라도 시공불량이 있으면 전체의 기능을 상실하게 되는 것이므로 어느 한 곳이라도 시공 불량이 있어서는 안 된다. 보통 관수로의 노선은 인가가 밀집된 곳, 슬라이딩 지대, 연약지반 등 지질조건이 나쁜 곳은 피해가며 계획하는 것이 바람직하나, 어쩔 수 없이 악조건하에서 시공하지 않으면 안 되는 경우는 충분한 사전조사·여유있는 공정·신중한 시공이 필요하다.

특히, 관수로의 원활한 시공을 위해서는 노선 폭의 여유공간이 필요하다. 그러나 경우에 따라 극히 협소한 장소에서는 난공사에 직면할 수 있다.

#### 2) 시공계획시 검토사항

시공계획의 수립에 있어서는 ① 공사용 도로, ② 시공기계의 선정과 공사현장으로의 반입방법, ③ 굴착토의 되메움 재료 사용 가능성, ④ 굴착토의 임시 적치장소 및 적치 방법, ⑤ 굴착토의 반출과 사토장, ⑥ 관의 반입과 적치장, ⑦ 관의 포설, ⑧ 되메움, ⑨ 특수공사(인가 밀집지, 연약지반 등의 시공) 등 충분히 검토하여 여유있고

합리적인 계획을 수립해야 한다. 특히 전체공정에 큰 영향을 주는 것이 공사용 도로의 배치와 특수공사이다.

#### 가) 공사용 도로의 배치

공사용 도로는 재료, 기계 등의 반출입, 기계의 가동 등 전체공정에 큰 영향을 준다. 그러므로 공사용 도로 배치의 적부가 궁극적으로 공사의 경제성을 좌우한다. 관수로의 노선은 재래 도로만을 따라 가는 것이 아니기 때문에 공사용 도로의 노선배치가 중요한 의미를 갖게 된다. 공사용 도로의 배치계획에서 유의할 점은 여유를 갖는 배치와 노폭 그리고 구조라고 할 수 있다. 공사용 도로는 가설도로인 관계로 가능하면 경비를 절감하려는 경향이 있으나 좋은 성과품을 얻기 위해서 이것은 바람직하지 않다.

공사후의 유지관리를 위하여 도로가 필요한 경우는 공사용 도로를 가설도로로 하지 않고 유지관리 도로로 처음부터 계획하여 공사시에도 이용할 수 있다.

#### 나) 특수공사

노선이 인가 밀집지 또는 연약한 지반 등을 통과하는 경우 충분한 대책을 강구하여 계획하여야 한다. 인가 밀집지에서는 기술적인 문제 외에 사회적인 제한이 가해질 때가 있다. 특히 공사에 의한 일상생활의 불편 및 안전이 가장 중요한 항목이 된다.

연약지반에서의 시공은 공사 밀면의 지지력을 충분한 것으로 하는 것과 공사 완료 후 지진에 의한 피해를 받지 않도록 기초 및 이음매의 시공에 주의하는 것 외에 부등침하를 방지하기 위한 지반개량을 하는 것 등이 필요하다.

철도를 횡단하는 경우 혹은 도로에 연해서 관수를 매설하는 경우 등 여러 종류의 특수공사가 있으나 어느 경우에도 전체공정 중에서 Critical path가 되는 것이 통레이다. 따라서 관수로의 공사 시공에 있어서는 쉬운 공사를 제외하고 이 특수 공사를 어떻게 효율적으로 마무리 하느냐가 중요하다고 할 수 있다.

## 나. 시공법

### 1) 굴착

지반상태나 관수로의 노선 위치에 따라 굴착 방법이 다르나 보통 널말뚝시공 굴착과 일반 굴착으로 대별된다. 전자는 연약지반이나 인가 밀집지에서 주로 사용되고 있다. 굴착은 기계굴착과 인력굴착으로 구분되며 (표 5.3.6 참조) 각각의 시공성, 경제성, 안전성 등이 다르다. 인력 굴착인 경우 경사면의 기울기는 표 5.3.7과 같다.

굴착에 수반되는 문제점은 굴착 직후보다는 얼마간의 시간이 지나서 생기는 것이 많다. 비교적 자주 발생하는 문제점은 일반굴착의 비탈 끝 부분 붕괴나 비탈면 붕괴이다. 공정상으로는 관을 포설할 때 붕괴가 잘 일어나며 그 원인은 배면에서의 지하수나 용출수의 침출이 대부분을 차지한다. 다만 이 때 비탈끝 붕괴를 사소한 일로 생

각하고 신속히 대응하지 않으면 후에 큰 사고를 당할 수 있으므로 주의하여야 한다. 굴착면의 토질과 지하수 및 용출수에 충분한 주의를 하는 것이 중요하다.

표 5.3.6 기계 및 인력 굴착의 제원

시공방법 항목		기계굴착		인력굴착
		백호	트렌치	
적용 조건	지형 및 토질	대부분의 지형 및 토질에 적용가능		대부분의 지형 및 토질에 적용 가능
	시공길이와 경제성	긴 경우 경제적	긴 경우 경제적	짧은 경우 경제적
	기계의 시장성	크다	약간 작다.	-
굴착	최소굴착 저폭	50 cm		60 cm
	비탈면 경사	자립 가능	자립 불가능	수직으로 한다.  노동, 안전, 위생 규칙에 의한다.
수직으로 한다		붕괴가 안 생길 정도의 경사		
기타		극히 표준적인 굴착기계	굴착폭이 좁아 래머, 임팩트, 롤러 등에 의한 각 층 다짐은 불가능	기계굴착 불능 또는 비경제적인 장소에 적용

표 5.3.7 인력굴착시의 비탈 경사의 표준

지질 \ 비탈 높이	2 m 미만	2 m ~ 5 m	5 m 이상
암 또는 경점토	0 ~ 0.1	0 ~ 0.3	0.3 ~
점성토	0 ~ 0.3	0.2 ~ 0.5	0.6 ~
실트	0.2 ~ 0.4	0.3 ~ 0.6	1.0 ~
사질토	0.4 ~ 0.6	0.5 ~ 1.2	1.2 ~
모래	1.5	1.5 ~	
자갈 및 력질토	0.3 ~ 0.8	0.6 ~ 1.5	
느슨한 산토	1.0		

주) 굴착면에 안쪽으로 2 m 이상의 수평 소단이 있을 경우 단에서 잘라지는 각각의 굴착면의 비탈 고로 한다.

가) 굴착폭

관의 접합, 되메움, 흙의 다짐, 작업의 안전 등을 고려하여 굴착폭을 결정하여야 한다. 굴착폭을 좁게 할수록 토공비가 적게 드는 것은 물론이지만, 마스톤 공식에서 명확하게 나타난 바와 같이 매설 깊이가 일정하면 관정부의 도랑폭이 좁을수록 관에 가해지는 토압은 작아지기 때문에 관체비용의 경감 및 관의 안전성을 높이게 된다.

한편, 관체의 설치, 접합, 되메움 작업을 완전하게 할 수 있을만한 도랑폭을 확보할 필요가 있으므로 도랑폭은 관중, 관경, 매설 깊이 등과 지반의 상황이나 공법 등을 검토하여 필요최소량을 폭으로 하지 않으면 안 된다.

(1) 일반굴착

관중에 따라 작업공정이 다르므로 표준적인 굴착폭을 관중별로 정리한 것이 표 5.3.8 및 표 5.3.9이다. 표 5.3.8은 직굴의 경우 관정부에서의 굴착폭의 표준을 표시한 것이다. 그리고 표 5.3.9는 굴착 비탈면이 붕괴하기 쉬운 토질 및 대구경관의 경우와 인력 굴착의 경우에 적용하는 값이다. 어느 경우에도 현지조건에 의하여 증감이 가능하다.



표 5.3.8 표준 굴착폭 (관정부에서)  
(단위: mm)

관재 관경(mm)	콘크리트관	금속관 및 플라스틱 관
100이하	750	500
150	790	600
200	840	650
250	900	700
300	960	750
350	1,020	800
400	1,080	850
450	1,150	900
500	1,200	1,000
600	1,330	1,100
700	1,470	1,300
800	1,600	1,500
900	1,730	1,600
1,000	1,870	1,700
1,100	1,990	1,800
1,200	2,120	1,900
1,350	2,300	2,050
1,500	2,500	2,200
1,650	2,700	2,400
1,800	3,000	2,700
2,000	3,400	3,000
2,200	3,600	3,200

표 5.3.9 표준 굴착폭 (관저부에서)  
(단위: mm)

관재 관경(mm)	콘크리트관	금속관 및 플라스틱 관
100이하	400	300
150	500	400
200	550	400
250	650	450
300	700	500
350	800	600
400	850	650
450	950	750
500	1,000	800
600	1,100	850
700	1,200	1,000
800	1,300	1,100
900	1,500	1,300
1,000	1,600	1,500
1,100	1,700	1,600
1,200	1,800	1,700
1,350	1,900	1,800
1,500	2,100	1,900
1,650	2,300	2,200
1,800	2,400	2,300
2,000	2,600	2,500
2,200	2,800	2,700
2,400	3,000	2,900
2,600	3,200	3,100
2,800	3,400	3,300
3,000	3,600	3,500

(2) 널말뚝 시공

표 5.3.10은 널말뚝의 종류에 따른 표준적인 굴착폭을 나타낸 것이다. 단 굴착폭은 관체의 구조 설계조건과 밀접한 관련이 있으므로 단순히 시공상의 조건만으로 판단해서는 안 된다.

표 5.3.10 널말뚝을 시공한 경우의 표준 굴착폭 (단위: cm)

관경 (mm)	표준 굴착폭 (b)			이음부 굴착	
	H형강 또는 I형강의 경우	경량 강널말뚝의 경우	강널말뚝의 경우	굴착심도	길이
300	150	150	170	20(60)	100(100)
350	155	155	175	20(60)	100(100)
400	160	160	180	20(60)	100(100)
450	165	165	185	20(60)	100(100)
500	170	170	190	20(60)	100(100)
600	180	180	200	20(60)	100(100)
700	190	190	210	20(60)	100(100)
800	200	200	220	20(60)	100(100)
900	210	210	230	20(60)	120(100)
1,000	220	220	240	25(60)	120(100)
1,100	230	230	250	25(60)	120(100)
1,200	240	240	260	25(60)	120(100)
1,350	255	255	275	25(60)	120(100)
1,500	270	270	290	30(80)	130(100)
1,650	280	280	310	30(80)	130(100)
1,800	310	310	350	30(80)	130(100)
2,000	330	330	370	30(80)	130(100)
2,200	350	350	390	30(80)	130(100)
2,400	370	370	410	30(80)	130(100)

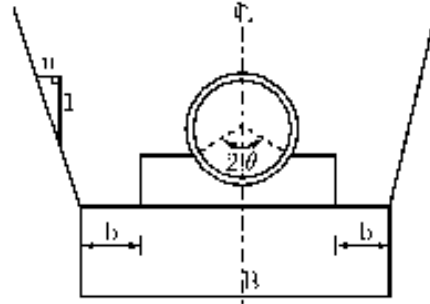
- 주) 1. ( )내 수자는 강관의 용접이음시의 이음 굴착을 표시함.  
 2. 널말뚝을 사용할 경우 이음굴착의 필요폭을 가지고 전길이의 굴착폭으로 한다.

(3) 콘크리트 기초(일반굴착)

콘크리트기초(일반굴착)의 굴착폭은 표 5.3.11과 같다.

표 5.3.11 굴착폭 (B) (지승각 120°의 경우)

관경 (mm)	굴착폭 (mm)
400	1,420
600	1,680
800	1,930
1,000	2,190
1,200	2,430
1,350	2,710
1,650	3,070
1,800	3,240
2,000	3,500
2,200	3,800
2,400	4,100



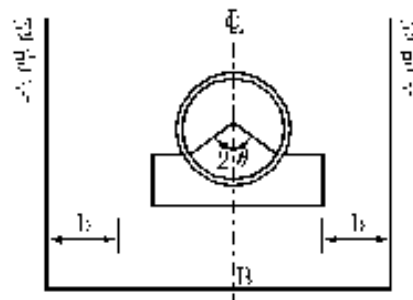
- 주) 1. 인력굴착, 백호굴착의 경우  
2. 붙임 그림과 같다.

(4) 콘크리트 기초 (널말뚝 시공)

콘크리트 기초 (널말뚝 시공)의 경우 굴착폭(B)은 표 5.3.12에 표시한다.

표 5.3.12 굴착폭 (B) (지승각(支承角) 120°의 경우)

관경 (mm)	굴착폭 (mm)
400	1,520
600	1,780
800	2,030
1,000	2,290
1,200	2,530
1,350	2,910
1,650	3,270
1,800	3,440
2,000	3,700
2,200	4,000
2,400	4,300



- 주) 1. 인력굴착, 백호굴착의 경우  
2. 붙임 그림과 같다.

나) 굴착깊이

굴착깊이는 관수로 매설깊이와 기초의 구조에 따라 결정된다. 그리고 겨울에도 관수로 내부가 물로 차있는 경우는 동결심도 이하에 매설되도록 매설깊이를 정해야 한다.

다) 이음부 굴착

관체의 접합장소의 굴착을 이음 굴착 (그림 5.3.8 참조) 이라 하며 그 표준은 표 5.3.13, 표 5.3.14, 표 5.3.15에 나타나 있다.

표 5.3.13 칼라이음 (FRPM관)

관경 \ 치수	d (mm)	l (mm)
900 mm 이하	200	1,000
1,000 ~ 1,400	250	1,200
1,500mm 이상	300	1,300

표 5.3.14 메커니칼 이음 (Ductile 주철관, FRPM관)

관경 \ 치수	d (mm)	l (mm)
500 mm 이하	400	1,000
600 ~ 1,200	600	1,200
1,500mm 이상	800	1,300

표 5.3.15 용접이음 (강관)

관경 \ 치수	d (mm)	l (mm)
1,350mm 이하	600mm	1,000mm
1,500mm 이상	800	1,000

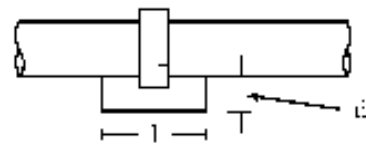


그림 5.3.8 이음부의 굴착

2) 관의 포설

가) 반입

관이 포설현장에 반입되는 경우 관의 상차, 하차 및 이동할 때에 가장 손상을 입기 쉽다. 하차는 와이어(wire)를 걸어서 작업을 하는 것이 원칙이며 그 방법은 그림 5.3.9 및 그림 5.3.10과 같다.

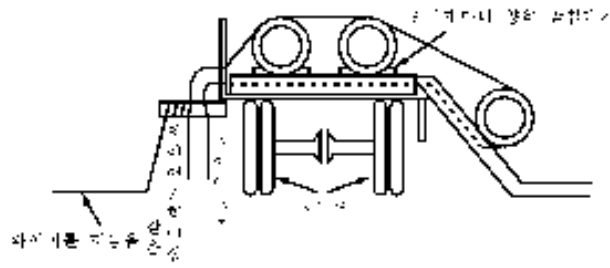


그림 5.3.9 대중구경관을 부리는 방법

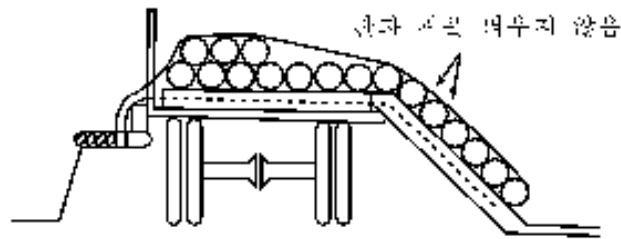


그림 5.3.10 소구경관을 부리는 방법

나) 관의 저장 및 배열

관을 저장하기 위하여 쌓아놓을 때는 침목을 사용하여 그림 5.3.11과 같이 저장하고, 관을 배열 할 때는 그림 5.3.12와 같이 접합부를 같은 방향으로 하고 췌기를 넣어 굴러가지 않게 한다.

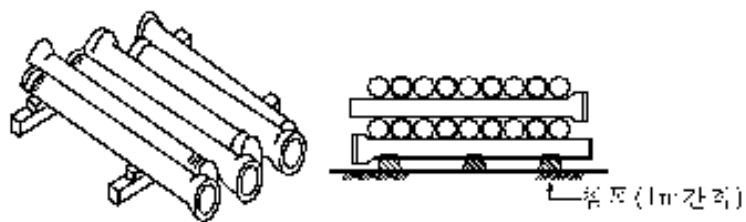


그림 5.3.11 관의 쌓기

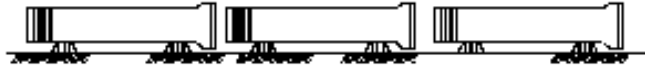


그림 5.3.12 관의 배열

#### 다) 기초공

##### (1) 보통 기초

관체가 기초와 접할 때는 기초에서의 반력이 넓고 균일하게 생기는 것이 바람직하다. 따라서 관체의 기초는 될수록 균질성이 보호, 유지되도록 하여야 한다. 관체와 기초가 접촉하는 곳이 점과 선으로 되어 있으면 이 점 또는 선상에 응력이 집중되어 관체의 파괴 등의 원인이 된다. 기초지반이 보통상태인 경우 특수한 기초처리를 할 필요는 없으나 굴착면을 과굴 없이 도면과 똑같이 정지하기는 매우 어렵다. 또 관의 이음작업의 효율화와 양호한 시공관리를 하기 위해서는 균질한 모래 또는 사질토를 재료로 모래기초를 하는 것이 좋다.

##### (2) 연약지반

수분함유량에 따라 지반의 연약도는 다르다. 연약지반에서 시공할 경우, 공사시공중에 공사발판 확보의 어려움과 공사 완료 후 부등침하의 가능성, 지진에 의한 관체의 거동과 이음의 안정성 등이 검토되어야 한다. 매설 후의 부등 침하 대책과 지진에 대한 검토는 설계분야의 과제로 보아 처리할 수 있으나, 공사의 발판이 확보된 것으로 만족하고 일어날 수 있는 장래의 변화를 전적으로 무시해서는 안 된다. 연약 지반에서는 부등 침하를 피하기 어렵고 또 지진시에 관체에 큰 변위가 발생하기 쉽다. 연약 지반의 상태, 지하수위의 확인 등에 따라 설계를 기본부터 재검토하는 것이 필요한 경우도 있다. 따라서 연약 지반에서는 ① 양호한 발판을 확보하고, ② 이음부의 시공에 정성을 다해야 한다. 일반적으로 연약 지반에서는 보통굴착이 곤란한 경우가 많으며 널말뚝의 시공을 요하는 경우가 많다 (그림 5.3.13 참조).

##### (3) 암이 돌출한 지반

관수로의 기초는 균질인 것이 가장 바람직하나 노선 도중에 그림 5.3.14와 같이 암반을 만나는 경우, 돌출한 암반위에 있는 관체가 상재하중이나 인근부위의 부등침하에 의해 집중응력을 받지 않도록 주의하여야 한다. 이런 경우 관저와 암반 돌출부와의 사이를 될 수록 크게 하고 여기에 사질토를 넣어서 조심스럽게 다져준다.

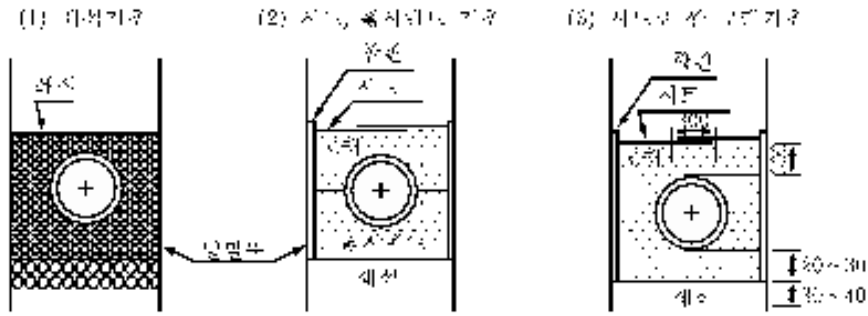


그림 5.3.13 연약지반의 널말뚝 기초공

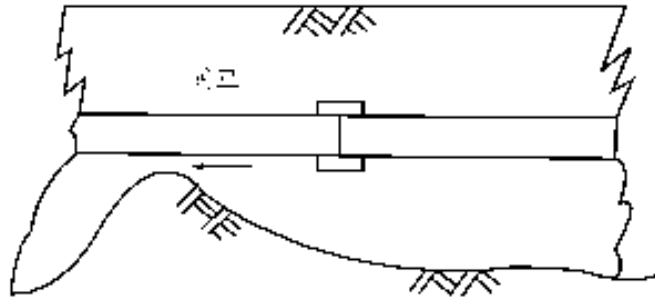


그림 5.3.14 돌출한 암반

라) 포설 및 이음

(1) 관 포설

관을 굴착 도랑에 포설할 경우 관체 및 이음부에 손상 또는 충격을 주지 않도록 하여야 한다. 관체가 충격을 받으면 균열이 생기고 누수가 발생한다. 또 필요 이상의 높이로 매달아 올리지 않는 것이 좋으며 작업 중 안전면에서의 주의가 필요하다.

(2) 관의 이음

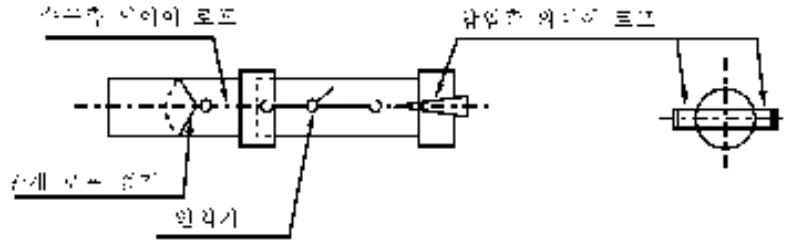
관의 이음공정은 포설하는 관의 종류에 따라 다르다. 고무링 이음관의 경우 완전시공을 위해서는 ① 고무링 등 지수재의 관이음부에 대한 압축률을 평균화 시킨다. ② 고무링 등 지수재가 접하는 면 (관의 수구 내면 및 압입구 외면)을 매끄러운 면으로 하여준다. ③ 먼지, 흙 등이 끼지 않도록 한다. 이를 위하여 관체를 접합하기 전에 이음부를 깨끗이 청소하고 접합후의 시공상태 관리(틈, 이음간격)를 관리기준에 따라 확실하게 시행해야 한다.

보통이음에 앞서 이음부에 활제를 바르고 그리스, 기름 등은 고무를 약하게 하므로 고무링 이음에는 사용하지 않아야 한다.

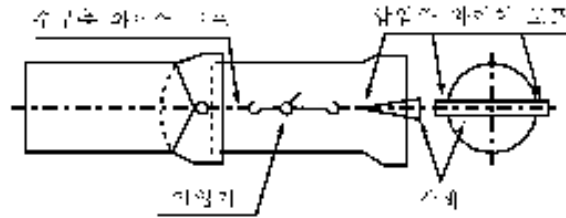
용접이음의 경우는 용접한 부분의 내외측을 반드시 도장하여 장차 녹이 생기지 않도록 한다. 도장재료는 관체를 도장한 것과 같은 것을 사용하며 도장 횟수 또는 두께는 관 제조회사의 자문을 받아서 시행한다.

일반적인 이음작업의 개요는 그림 5.3.15에서 보는 바와 같고 관을 수평으로 밀어 넣는 것이 무엇보다 중요하다.

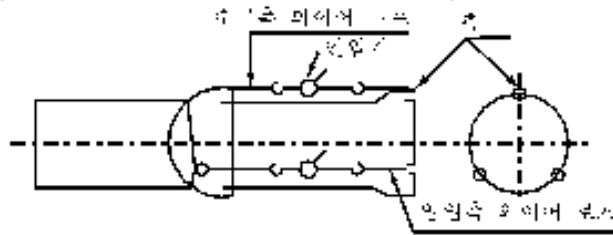
(1) 2대 사용의 경우 (φ600 ~ φ700)



(2) 2대 사용의 경우 (φ800 ~ φ1,650)



(3) 3대 사용의 경우 (φ1,800 ~ φ3,000)



(4) 내면 조립의 경우

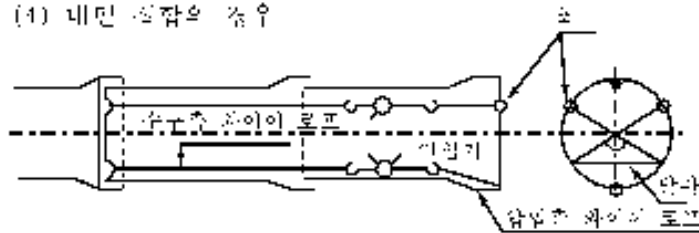


그림 5.3.15 관 이음 시공

### 3) 되메움

되메움에 있어서는 요점은 적절한 되메움 재료를 사용하고, 작업 중 관체에 편압이 걸려 관이 이동하는 일이 없게 하며 충분히 다져 치밀하게 일어나지 않게 하는 것이다.



### 가) 되메움 재료

일반적으로 굴착토를 유용하여 되메움 하는 경우가 많지만, 유기질을 다량 포함하거나 압축성이 크거나 되메움 재료로서 부적당한 경우, 별도로 재료를 준비한다. 되메움 재료에는 관체에 손상을 주는 돌이나 바위조각, 부등침하의 원인이 되는 점토 덩어리, 얼음 덩어리, 그리고 초목 등이 포함되지 않아야 한다. 굴착토를 되메움 재료로 사용할 수 있는지 없는지의 판단은 매설하는 관중에 따라 좌우된다. 연성관의 경우는 관 두께가 되메움 후의 관측부의 저항토압을 예측해서 결정되므로 되메움 후의 다짐 상태가 예상의 값보다 작아서는 안 된다. 이로 인해 대충의 판단기준은 표준적인 시공법에 따라 소요의 저항토압을 얻을 수 있도록 다짐을 하여 그 상태가 장기간에 걸쳐 유지되는지 어떤지의 판단에 의한다고 생각하여도 지장은 없다.

이 경우 굴착토를 대상으로 한 입도, 밀도 및 3축 또는 1축 압축시험 등의 토질시험이나 현장에서의 다짐시험을 실시한다. 함수비가 많은 굴착토는 되메움 재료로서 사용가능한지 신중히 판단해야 한다. 일반적으로 자연건조가 현실성 있는 방법이지만 공정과의 관계를 검토하여 결정하면 좋다. 일부 양질토를 반입하여 관측부근을 메우고 나머지는 굴착토를 유용하는 방법도 쓰인다.

### 나) 관저부근의 되메움

관저부근은 공동화되기 쉬우며 이를 방지하기 위하여 보통 사람의 발이나 막대기로 되메움 흙을 충전한 후 관저부를 따라서 막대기로 옆을 쭉서가며 다짐을 한다 (그림 5.3.16 참조). 되메움 재료로서 모래를 사용하는 경우 물다짐을 하는 것이 효과적인 때도 있다.

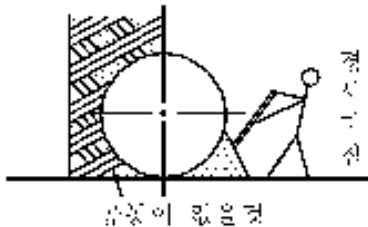


그림 5.3.16 관저부근의 되메움

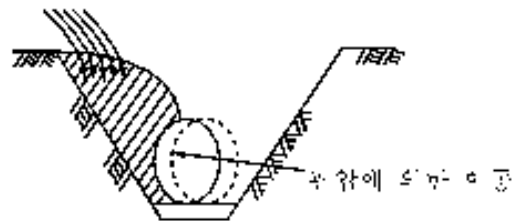


그림 5.3.17 편압에 의한 이동

### 다) 관측벽부분의 되메움

관측벽부분의 되메움은 관체의 보호 및 설계조건을 만족시키기 위해서 대단히 중요한 작업이다. 되메움 작업 중 관이 좌우로 이동하지 못하도록 좌우 균등하게 되메움 하면서 작업을 진행시켜야 한다 (그림 5.3.17 참조). 또 관체가 떠오르지 않도록 주의하면서 시공하는 것이 중요하다.

되메움의 1회 두께는 보통 20~30cm이고 다짐은 다짐용 막대기, 나무망치, 또는 래머 등을 사용한다. 또한 진동 컴팩터를 사용할 경우에는 1회 시공두께를 작게 하여

다짐 효과를 높일 필요가 있다.

연성관의 경우 다짐이 충분하지 못하면 관이 처지며 관체에 설계 이상의 응력이 발생한다.

라) 관정부근의 되메움

관정에서 적어도 60cm 정도는 관 측벽부의 되메움 재료와 같은 것을 사용하여 같은 정도의 다짐을 한다. 물러나 불도저 등 대형 기계를 사용하는 다짐작업은 관체에 대한 손상을 피하기 위하여 관정부터 60cm 정도 이상 되메움한 후부터 허용되고 있다.

마) 구조물 연결부의 되메움

관수로와 구조물과의 연결부는 사고발생률이 높은 곳이다. 원인은 거의 부등침하 때문이다. 일반적으로 구조물의 기초는 기초말뚝, 푸팅 등 기초처리를 하게 되므로 관수로와의 사이에 침하의 차가 생겨 그림 5.3.18에서 보는 바와 같이 화살표시(←)의 부분에서 관체 균열의 발생이 많다. 따라서 부등침하를 피하지 못한다고 판단되면 이 부분의 이음구조는 유연한 구조로 할 수 있도록 설계상에서 배려함은 물론이고 연결 부분의 되메움 재료의 다짐을 완전하게 하는 것이 중요하다.

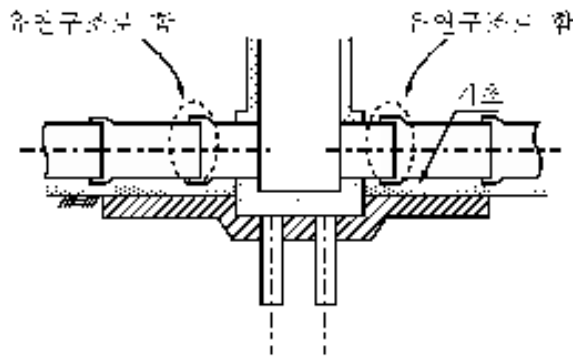


그림 5.3.18 구조물 연결부의 되메움

4) 특수한 경우의 시공

가) 편압을 받는 경우

심하게 편압을 받게 되는 위치는 피하든가 그림과 같이 대책을 세우지 않으면 안 된다. 그림 5.3.19와 같이 사면에 성토한 부분을 통과하는 것은 위험하므로 기존 사면 내에 도랑을 파고 매설하는 것이 좋고, 그림 5.3.20과 같이 성토 중에 매설하는 경우는 비탈쪽을 피하고 될수록 중앙부에 설치하는 것이 좋다. 또, 그림 5.3.21과 같이 압성토를 하거나 원지반에 도랑을 파고 매설하는 것도 편압을 피하는 방법이다.

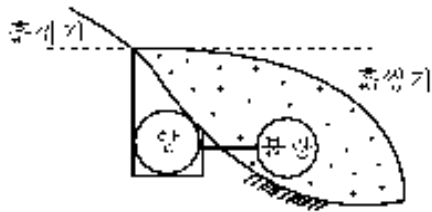


그림 5.3.19 기존 사면의 절취 매설

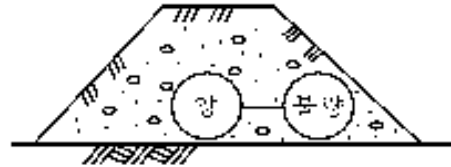


그림 5.3.20 성토중의 매설

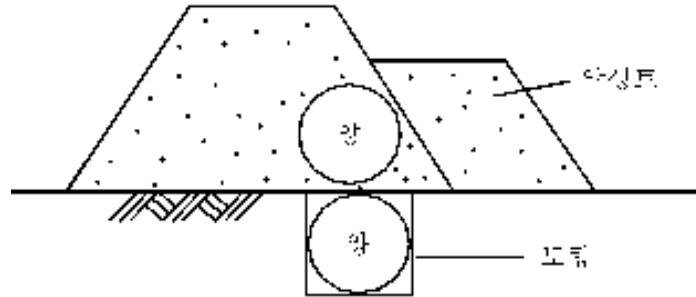


그림 5.3.21 압성토를 하거나 도랑에 매설

나) 지하수위가 높은 경우

지하수위가 높은 곳에서는 시공 후 상당기간 경과 후의 상황을 고려하여 배수처리를 하는 것이 원칙이다. 그러나 배수 대책공이 미비할 경우 또는 어쩔 수 없는 경우는 되메움 작업 중 배수 펌프를 사용하여 소위 드라이 워크 (dry work)를 확보할 수 있도록 작업을 진행시키고 작업 종료와 함께 펌프 가동을 멈추어 지하수위를 서서히 먼저의 수위로 회복시킨다. 이 과정에서 부력에 의해 관이 솟아오를 경우 이를 방지할 수 있는 최소 흙 채우기의 여유 두께를 확보해 두어야 한다.

다) 널말뚝 시공의 경우

널말뚝 시공의 경우, 널말뚝을 빼낼 때는 이미 되메움한 흙을 느슨하게 만들기 쉽기 때문에 충분한 주의가 필요하다. 따라서 널말뚝을 빼낼 때에는 1개 건너씩 하든가 또는 영향을 미치지 않는 곳에서부터 하여 주변을 교란시키는 일이 없도록 하여야 한다.

## 5.4 시험통수

시험통수는 시공 완료된 시설이 계획된 기능을 다하여 수리·구조적으로 안전한가를 확인하기 위하여 실시한다. 실시에 있어서는 시험의 범위·방법 및 안전대책 등을 사전에 검토해야 한다.

### 5.4.1 일반사항

#### 가. 검토 및 점검

시험통수는 본 통수(일시 가통수를 포함)에 앞서 완성된 시설이 계획한 기능을 만족시키며 수리·구조상으로 안전한지를 확인하고 문제점을 발견하기 위하여 본 통수에 앞서 통수하는 것이다.

시험통수를 할 때는 중요한 시설 및 기기류 등을 사전에 그 조작에 관한 점검을 하여 시험의 범위·방법·체제·시기 및 안전대책 등을 충분히 검토해서 관계자에게 철저히 주지시켜야 한다.

더욱이 시험통수에는 기능과 안전성뿐만 아니라 새로운 수리질서를 형성한다는 관점에서 예정관리자를 입회시킴과 동시에 그 결과를 관리지정 등의 부속자료로서 관리에 반영시키는 것이 바람직하다.

시험통수는 시험을 위해 필요한 유량의 확보 및 체제 등에도 관계되지만 시험구간을 물넘이·방수공 등으로 나누어 설계유량의 1/5 ~ 1/10의 범위 내에서 서서히 시행하며, 가능하면 설계유량까지 통수시켜 확인하는 것이 바람직하다.

일반적으로 공사기간 중에 시험통수가 불가능한 경우가 많으며, 전 구간 또는 구간 공사가 어느 정도 완료된 시점에서 종합적으로 실시한다. 따라서 공사완료 후 상당한 기간이 경과된다고 예상될 경우에는 시험통수까지 순시점검 등을 실시하여 시설보전에 유의해야 한다.

#### 나. 시험통수 때의 주요 점검사항

시험통수 때의 주요 점검사항은 다음과 같다.

##### 1) 기능면에서의 점검

- 가) 송수계의 정지상태에서부터 송수를 개시하여 정상상태에 이를 때 까지, 또 설계유량부터 송수정지까지에 일어나는 각종시설의 상태 및 그때의 시설조작
- 나) 최소유량 때의 유송기능과 분수기능
- 다) 물넘이, 방수공 등의 기능과 각 시설의 가동상황

- 라) 통수 및 조작할 때 진동·소음 등에 끼치는 영향
- 마) 송수개시 및 정지에 따른 유량 및 수위의 변동과 그 시간
- 바) 관련시설의 기능과의 연계성
- 사) 기타 필요한 사항

## 2) 안전성 면에서의 점검

- 가) 설계유량 때의 수위 및 수면의 파상
- 나) 송수상태
- 다) 누수상태
- 라) 수로구조물 보호 및 안전시설의 상태
- 마) 기타 필요한 사항

### 5.4.2 관수로의 통수시험과 계측

관을 포설하고 되메움을 하기 전에 관수로의 수밀성을 확인하기 위하여 통수시험을 시행하고, 관수로 설치시에 계측시설은 함께 설치하여 설치후의 관수로 거동계측을 실시한다.

#### 가. 누수시험

통수시험은 누수시험과 수압시험으로 구분된다. 이중 누수 시험은 반드시 실시하여 관수로의 수밀성을 확인하지 않으면 안 된다. 수압 시험은 누수 시험의 결과에서 안전성이 확실하게 판단되는 경우에는 생략하는 경우도 있다.

누수시험은 관내에 물을 주입하여 누수 유무를 조사하는 것으로 누수 장소의 발견과 누수량이 허용 한도 내에 있는지 확인하기 위해서 행한다. 일정 수압 하에 시험을 행하는 것으로 대구경 관수로의 경우는 수량의 확보, 관내작업의 불능 등으로 test band를 사용하여 누수시험을 행하는 경우가 많다.

#### 1) 임시되메움

물채우기, 가압 등의 누수시험도중 수압에 의해 관이 이동하지 않도록 일부 되메움을 한다. 되메움에서 이음매 부분을 제외하여 검사, 보수 등이 가능하도록 한다.

또, 콘크리트 기초의 경우는 충분한 강도가 발생한 후에 시험을 하여야 한다.

## 2) 물채우기(주수)

관수로의 시험구간에 물을 채우는 것으로 다음 사항에 유의한다.

- 물채우기 전에 공기 밸브를 전개하고 공기의 배출을 완전히 한다.
- 물채우기 속도는 공기의 배기속도에 맞추어 조정한다. 급격한 주수는 공기 압을 높이거나 공기를 한 곳에 가두어 사고를 유발하므로 피하여야 한다. 공기가 머물기 쉬운 장소 예를 들면 상대적으로 높은 곳의 주수상황에 주의한다.
- 주수중 시험구간내의 주요 구조물 설치장소, 관수로의 변화점을 중심으로 지표면 및 주변의 변화와 이상 유무를 점검한다.
- 주수 중 역지밸브, 바이 패스 밸브 등의 기능을 점검한다.

## 3) 시험수압

주수 완료 후 펌프 등으로 가압하여 시험하며 시험수압은 다음과 같다.

$$\text{시험수압} = \text{설계수압} - \text{설계 수격압} = \text{정수압}$$

시험을 위한 가압시의 주의사항은 다음과 같다.

- 관내의 공기가 완전히 배제되어 있는 것을 확인 후 가압한다.
- 가압시 관체가 좌우로 이동하지 않도록 되메움 또는 관의 고정여부를 확인한 후에 가압한다.
- 시험은 주수 후 적어도 1주일 경과 후부터 행한다.
- 시험 수압은 24시간 일정하게 유지하고 이 사이의 감수량 (=보급수량)을 측정한다.
- 가압 중 시험 구간내의 주요구조물 설치장소, 관수로의 변화점을 중심으로 이상 유무를 점검한다.

## 4) 허용감수량

허용감수량은 관중에 따라 다음의 값으로 한다. 또 단위는 관경 1cm, 길이 1km당이다.

- 콘크리트 관류: 100 ~ 150 ℓ/일
- 주철관, 강관: 50 ~ 100 ℓ/일
- 플라스틱 관류: 25 ℓ/일

단, 감수량이 시험 구간 전체에 대해서 허용한도 이내라고 하여도 집중적인 감수 장소에는 지수조치를 강구하지 않으면 안 된다. 또 용접, 용착, 접착 이음부의 경우는 특별한 이유가 없는 한 허용감수량을 적용하지 않는다.

그리고 정수압으로 시험해야 하지만 여러 형편상 정수압보다 낮은 시험수압으로 시험하는 경우는 다음 식으로 감수량을 수정한다.

$$Q=Q' \sqrt{H/H'}$$

여기서,

Q : 수정 감수량 (ℓ)

Q': 측정 감수량 (ℓ)

H : 정수두 (m)

H': 시험수두 (m)

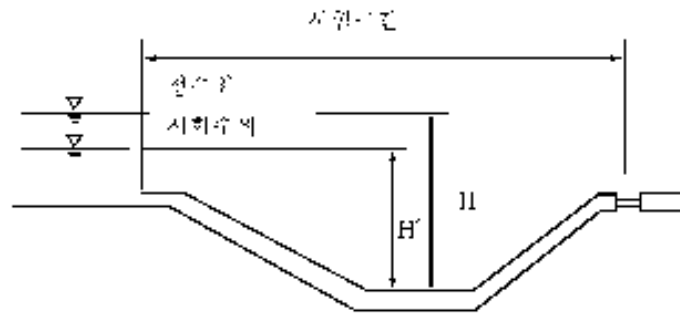


그림 5.4.1 시험수두를 취하는 방법

#### 5) Test Band 법

대형관은 물채우기 등 어려움이 많으므로 대략 900mm 이상 관의 이음부의 수밀성을 검사할 경우는 Test Band 법을 이용한다. 이 시험에서는 보통 490kPa 정도의 압력을 5분 정도 가하여 수밀성을 조사하는 일이 많다.

Test Band 시험에서는 다음 사항에 유의하여야 한다.

- 관내 band 장착면을 충분히 청소하여 활면으로 한 후 band를 장착시킨다.
- 관저부는 물이 고이기 쉽고 또 티끌도 부착되기 쉬우므로 이 부분의 청소에는 충분한 주의가 필요하다.
- 종단방향으로 경사가 있는 관수로에서는 펌프차를 상류측에 설치한다.
- 작업원간의 역할을 확실하게 하기 위하여 사전에 의논하여 준비를 충분히 하여야 한다.
- 관내의 환기, 비계의 설치 및 추락방지 등 안전대책을 충분하게 해야 한다.

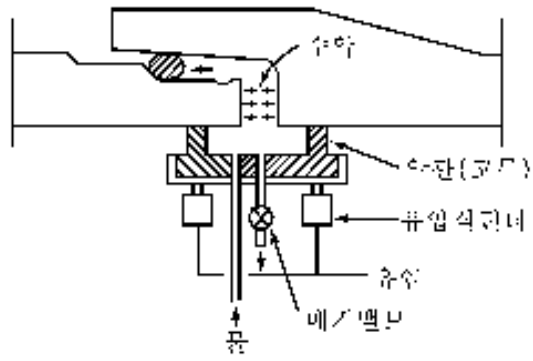


그림 5.4.2 Test Band의 구조

### 나. 수압 시험

수압시험은 관수로가 소요의 수압에 대해서 안전하게 견딜 수 있는가를 확인하기 위해서 행하는 것으로 보통 1~2시간 정도의 압력변화 및 노선 중에 이상 유무를 확인한다.



표 5.4.1 통수시험 실시 예

월일	구분	내 용
9.1 까지	준비	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Joint Band Test 종료(이상 무)</li> <li>· 가압용 뚜껑 설치               <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 기설뚜껑 이설 및 토공--- 형강 향타입(H-400*400)</li> <li>(2) 가압용 뚜껑설치 --- 강제뚜껑 및 관 설치</li> </ul> </li> <li>· 관로 점검               <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) Joint 간격 및 처짐량 측정</li> <li>(2) 밸브 개폐를 점검 --- 공기밸브, 배니밸브, 제수밸브</li> <li>(3) 노선 지표면의 관측 점검</li> </ul> </li> <li>· 주수용 가배관 --- 수중펌프(φ100mm 3대) 중계용 수조 1기</li> <li>· 가압장치 조립 --- 가압펌프, 압력계, 유량계 등</li> <li>· 통수시험 실시에 대하여 관계자와 협의 (수원 이용시기)</li> <li>· 통수시험 실시계획의 책정</li> </ul>
9.2	주수	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 전원 본부에 집합, 당일의 작업계획 협의(시험기간 중 매일 실시)               <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 제수밸브, 배니밸브의 개폐, 공기밸브의 개방</li> <li>(2) 주수개시(오전 10:15), 주수완료(9.5 오전 7:15)</li> </ul> </li> </ul>
9.5 ~ 9.7	예비 가압	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 작업실시 전 인원배치 후 Transceiver 교신시험 실시(시험기간 중 매일 실시)               <ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 가압장치 설치--가압펌프 (압력: 4,900kPa, 배출량: 50ℓ/min)</li> <li>(2) 가압개시 -- 누수시험 압력보다 낮음(약 196kPa로 가압)</li> <li>(3) 관로 점검 -- 노선의 관측 및 밸브류의 이상을 확인, 그 결과 배니밸브에서 누수가 확인 되어 지수작업을 시행.</li> </ul> </li> </ul>
9.8 ~ 9.9	감수 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 가압개시 --- 시험압력 <math>P_1=252.84\text{kPa}</math> (오전 10: 30)</li> <li>(2) 압력 및 재주수량 측정 --- 30분마다 측정으로 24시간 실시</li> <li>(3) 관로 점검 --- 이상유무 확인 (없음)</li> <li>(4) 물채우기시험 완료 --- 24시간 누수량 집계 결과에 따라 합격으로 판정(9.9 오전 10: 30)</li> </ul>
9.9	수압 시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 가압개시(오전 11:09) --- 시험압력 <math>P_2=506.66\text{kPa}</math></li> <li>(2) 관로 점검(오후 3:38) --- 이상유무 확인 (없음)</li> <li>(3) 감압량 측정(오후 3:48 ~ 4:38)</li> <li>(4) 수압시험 종료 --- 감압작업 실시(9.9 오후 4: 38)</li> </ul>
9.9	배수 완료 점검	<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 감압종류 후 배니밸브 및 공기밸브를 개방하고 배수작업을 실시</li> <li>(2) 관내 환기 종료 후 관로 점검---이음간격, 처짐량을 측정</li> <li>(3) 마무리</li> </ul>

### 다. 퇴메움 후 관수로 거동계측

관수로는 매설물이므로 외부에서 관수로의 거동을 눈으로 볼 수는 없다. 그러나 당초의 설계, 시공 조건을 실제로 점검 또는 확인하고 현지자료를 얻을 수 있는 것은 중요한 것이다. 즉 처짐량, 침하량 등을 측정함에 따라 기술의 확립, 설계, 시공상 관리가 가능하도록 노력해야 한다. 특히 연성관의 경우는 하중분포 형태, 설계에 적용되는 계정수의 판정 등 아직 명확히 밝혀지지 않은 사항도 많으므로 그 거동을 계측하는 것이 필요하다.

거동계측을 위해서는 관로 설치시에 필요한 계측기기를 계측하고자 하는 장소에 미리 설치하고 측정이 가능하도록 조치하여야 한다.

계측방법, 계측기기 등에 따라서는 신뢰성 있는 데이터를 얻을 수 없는 경우가 있다. 따라서 데이터의 신뢰도의 점검, 장기계측에 의한 확인 등을 반드시 행하여야 한다.

## 5.5 공사기간 중 환경관리

### 5.5.1 일반사항

환경 관리는 환경교통재해등에관한영향평가법에 근거하여 시행하고, 환경영향 평가 내용과 환경에 대한 협의 내용을 준수해야 한다.

공사현장 내에서의 환경관리는 안전관리와 더불어 중요한 업무이므로 환경교통재해등에관한영향평가법의 규정에 따라 환경관리 업무를 수행하여야 한다.

시공기간 중에는 공사 시행으로 인한 위해를 예방하고, 자연환경·생활환경·사회 및 경제 환경을 보존하고 관리하여, 공사 중이나 시공 후에도 지역사회 주민의 건강과 생활환경에 영향을 미치지 않고, 생태계와 자연환경의 조직을 위하여 환경영향 평가 보고서 및 협의 내용을 사전에 검토하고, 환경관리 자료의 기록유지와 공사현장에는 환경관리 조직을 편성하여 운영하는 것도 환경관리에 중요하다.

사업시행 구역 내에서 공사에 대한 환경영향 평가 보고서와 그 협의 내용을 근거로 하여 지형·지질·대기·수질·소음·진동 등 사전 검토와 시공 중 관리는 다음과 같다.

#### 가. 사전 검토할 내용

- ① 시공 현장의 환경 관리 조직·편성·법규성 구비 조건 및 활동 가능성 검토

- ② 환경영향 평가 협의 내용에 대한 관리 계획
- ③ 환경영향 저감 대책, 공사 전후의 환경관리 계획의 적정성
- ④ 환경관리자의 업무수행 능력 및 권한 부여
- ⑤ 환경 전문 기술자 자문내용
- ⑥ 환경관리 비용의 편성·집행 계획

#### 나. 공사 중 검토 및 관리할 사항

- ① 시공 단계별로 현장 실정에 적합한 저감 대책을 수립하여 관리
- ② 시공에 참여하는 종사자는 환경관리 계획을 숙지하고 중점관리 대상지역을 선정하여 관리
- ③ 시공 단계별 시공 전·후 기록 자료의 보관·관리
- ④ 환경관리에 대한 문제점을 평가 및 시정하고 환경영향 조사 결과를 기록·관리
- ⑤ 공종별로 시공이 완료된 때는 환경영향 평가 협의 내용의 이행 상태를 확인
- ⑥ 관할 행정 기관의 환경관리 상태 점검에 협조

### 5.5.2 공사 환경관리

자연환경·생태계 및 주민의 생활환경 등 시공 중에 인위적으로 훼손 또는 오염이 안 되도록 보호하여야 한다.

용수로의 시설물은 지상에 노출되거나 지하에 매설하는 구조이므로, 시공 중 형질 변경으로 인한 자연 생태계와 소음·진동·분진 발생으로 인한 주민 생활에 일시적인 환경변화를 피할 수 없다. 그러나 자연 생태계는 인위적으로 훼손 또는 오염되지 않도록 해야 하며, 훼손된 환경은 원래의 기능이 발휘될 수 있도록 복구되어야 한다.

#### 가. 가설건물

가설건물의 위치는 시공관리 측면을 고려하여 선정하는 것이 원칙이지만, 지역 생활환경에 영향이 없는 곳을 택하는 것도 환경관리 측면에서 중요하다.

건설현장의 가설건물은 사무실과 숙소뿐만이 아니라 자재의 발출입·중장비 통행으로 진동·소음·분진 등의 발생으로 주민의 생활환경(또는 가축 사육농가)에 변화를 야기시킬 수 있다. 또한 장비의 수선·공사용 유류·생활 오수 등 주변의 토양을 오염시킬 우려가 있으므로 폐물과 오물처리 시설을 해야 한다. 특히 화약과 유류의 보

관·관리는 그 지역의 인명과 재산에 직접적 관계가 있으므로 관련 법규의 규정에 따라야 한다.

#### 나. 본공사

암거·터널·깊은 절취 등의 구간에는 공사 중에 지하수 경로를 차단 또는 지하수위를 변화시키므로 하류 우물의 물이 마르거나 부족할 수 있으므로, 수질과 수량의 변화에 대한 대책과 완공 후에는 본래의 기능이 발휘되도록 복구해야 한다.

배수로의 시공순서는 하류측부터 상류측으로 향하여 시공하는 것이 하류의 환경변화를 최소화시킬 수 있다. 배수로 노선 계획은 대부분 배수관행을 변경하는 것이므로 만약 상류측부터 시공하는 중에 강우가 있을 때는 시공된 부분으로 유입된 물이 예기치 못한 곳에 피해를 발생시킬 우려가 있다.

하천을 횡단하는 구조물 시공에 필요한 가물막이는 하천하류에 탁수가 없도록 하고 하천의 유심변동이 없어야 하며, 소상(遡上) 또는 소하성(遡河性) 어종의 통과에 지장이 없도록 하여 하천 유향과 생태계를 보호해야 한다.

터파기 때는 지반의 균형유지를 고려하여 주변의 건축물 또는 지하매설물에 영향이 없도록 지하수위의 변동도 미리 검토해야 한다. 특히 웰포인트(well point) 공법 같은 강제 배수방식은 넓은 범위에 걸쳐 지하수들 강제적으로 빨아올리기 때문에 공사장 주변에 지하수위를 저하시켜 주변 우물의 수량 부족과 지반에도 영향을 끼칠 수 있다.

토석 채취장 또는 토사장 등 토지의 형질을 변경하여 자연환경이 훼손되었을 때는 사태·토사 유출 등이 없도록 하고, 공사장에서 발생하는 폐기물은 관련 법규에 따라 처리해야 하며, 관할 행정기관의 요구에 따라야 한다.

#### 다. 공사장 뒷정리

공사 완료 후에는 공사장 내의 정리·청소·훼손된 부분의 복구 등 공사의 최종 단계이므로 당사자 또는 제3자에게 피해의 영향이 발생치 않도록 착공전과 같은 환경으로 뒷정리를 해야 한다.

#### 라. 공사 환경관리의 유형

##### 1) 자연환경관리

##### 가) 산사태

흙 깎기 비탈면의 안전 유지와 안전한 방법으로 시공

##### 나) 지반침하

흙 깎기와 흙 쌓기 변화구간 또는 연약 지반에서 주로 발생하므로 사전에 토질 조

사를 시행하고 대책 수립

다) 생태계 보호

생태계에서 영향을 주는 공사는 가물막이, 공사용 가설도로, 진·출입로 기타 임시 시설물이므로 생태계 훼손이 최소화 되도록 계획 수립

2) 생활환경 관리

가) 대기오염 방지

골재 야적장, 비포장도로의 차량·중장비 통행, 배치플랜트 등 먼지 방지 대책을 수립

나) 수질(토양) 오염방지

- 가설 건물에서 발생하는 생활하수와 쓰레기
- 중장비의 수리, 공사용기 등의 처리, 자동차 세차
- 공사 중에 하천수질의 탁도 증가, 토사퇴적, 하천 세굴 등 수질오염 방지 대책

3) 소음·진동 방지

공사용 차량·장비 운행으로 인한 소음·진동, 작업장의 소음, 밧파로 인한 진동·소음 등의 저감 대책(가축 사육장에는 치명적인 피해요인)

4) 사회·경제 환경관리

수로공사로 인하여 야기되는 지역주민에 미치는 생활·영농·통행·오염·경관 등 환경변화에 대한 필요한 조치

**마. 검사**

1) 검사종류

검사는 중간검사와 준공검사로 구분한다. 중간검사는, ① 일정기간 경과시의 시공상태와 수량, ② 부분 구조물에 기능과 시공 정도조사, ③ 재해 또는 사고 발생시 피해도 조사, ④ 공사의 완공 전에 대가의 일부를 지불할 필요가 있는 경우 기성부분 확인하는 조사 등이 해당된다.

2) 검사내용

검사의 내용은 ① 계약사항의 이행정도, ② 사용재료의 품질과 시공수량, ③ 구조물의 기능·강도·내구성·안정성, ④ 공사의 행정적 처리 등 서류검사 또는 현장검사를 하게 된다.

### 3) 검사보고 사항

보고서에는 일반적으로 ① 공사명·착공준공기일·검사자명·도급회사명 ② 계약·시방·추가시방 사항과 이행도, ③ 설계 시공기준과 그 실시정도 및 속도, ④ 시방서·설계도와 시공구조물과의 형상·규격 등 조회 확인, ⑤ 설계의 시공결과와의 수량·품질·기능 등 확인, ⑥ 공사 결과의 내용과 공사현장의 복구상황, ⑦ 지급자재의 사용 상태, ⑧ 공사서류의 처리 등의 사항이 포함된다.

### 4) 발취검사

완성된 공사량 또는 사용한 제품에 합격여부를 한정하는 검사는 가능하면 적은 수의 검사를 시행하여 전체를 판정하는 것이 필요하고 효율적이다.

이에 대한 과학적이고 경제적인 검사방식으로 모수검정을 응용한 발취검사 방법이 있다. 발취검사는 로트(lot: 검사 대상이 되는 한 묶음에 검사단위 모집, 로트의 크기 N개라 함)로부터 일정한 크기로 시료를 시험하고 발취결과를 판정기준에 대조하여 그 로트의 합격·불합격을 판정한다.

## 제 6 장 관 리

### 6.1 관리개요

수로 관리는 수로에서 송·배수 조작에 따라 공평하게 이용하고 탄력적으로 운용하여 계획대로 기능을 발휘하는 물 관리와 수로를 구성하는 각 시설을 보수점검하고 정비보수를 통하여 시설의 기능을 유지하기 위한 시설관리로 나눌 수 있다.

물 관리계획에는 용수계통 물 관리와 배수계통 물 관리로 나누고 시설관리계획은 수로시설, 계측시설 및 유지관리시설로 나눌 수 있다.

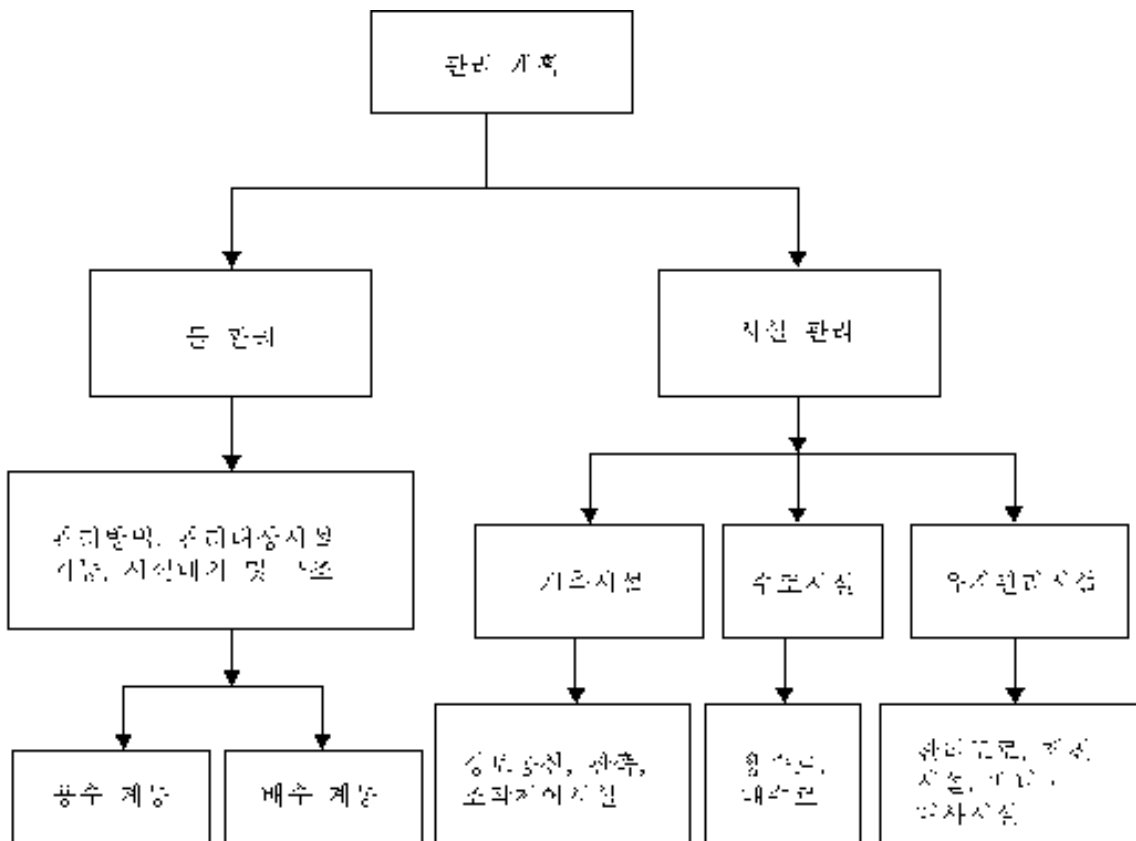


그림 6.1.1 관리계획의 구성도

## 6.2 관리계획

### 6.2.1 일반사항

수로의 설치목적을 달성할 수 있도록 시설 기능을 정상적으로 유지하여 물 관리를 안전하고 경제적으로 실시하려면 모든 시설의 기능, 특성 및 관리조작 등을 검토하여 적절한 물 관리 및 시설 관리 계획을 세워 적절하게 관리해야 한다.

수로시설의 관리를 관개 또는 배수 등의 사업목적에 적합한 운영을 최종적으로 시행하는 업무이다. 관리내용은 사업 목적을 달성하기 위해 물 자체를 송수하는 업무 즉, 저류, 방류, 취수, 배수, 분수 등을 위해 실시하는 수량의 결정, 조작, 제도, 관측 등의 물 관리 업무와 그 목적을 달성하기 위한 시설 즉, 수로 등의 구조물이 목적인대로 제 기능을 다 하도록 실시되는 저수점검, 정비, 개량, 재해복구 등의 시설관리 업무로 구분된다.

수로시설의 설계는 미리 물 관리 및 시설 관리계획의 개요를 파악해서 조작의 안전성, 용이성 및 유지관리의 경제성 등 관리 면에서 필요한 조건에 적합한 설계를 해야 한다. 설치된 수로시설은 언제나 양호한 상태로 유지되고, 건설목적에 적합하게 조작 관리 되어야 효과를 기대할 수 있다. 우수한 기능을 갖춘 시설이라도 관리가 적절하지 못하여 기능을 충분히 활용하지 못하거나 수로시설을 손상시키는 경우도 있으므로 적당한 관리규정, 조작규정 및 보안규정 등을 정해서 적절하게 수로시설을 운영, 관리해야 한다.

용·배수로의 관리는 수로 손실 수량이 적고, 계획수량이 통수될 수 있으며 수로 제방이 안전하게 보호되도록 실시되어야 한다.

#### 가. 관리규정

관리규정 검토에는 관리체제를 명확하게 하는 동시에 수로조직의 기능이 충분히 발휘될 수 있도록 시설관리의 규정을 작성해서 규칙적인 운영을 해야 한다. 관리규정에서 정하는 항목은 다음과 같다.

- ① 관리 목적 및 대상 시설
- ② 관리자, 관리비용, 관리체제 (관리운영위원회)
- ③ 관리목표 및 제어 방법
- ④ 평상시의 관리 (유지보안, 관측조사, 관리기록 등)
- ⑤ 이상시의 관리 (홍수시, 한발시의 체제 및 조치)
- ⑥ 점검 정비



## 나. 조작규정

조작규정 작성에는 시설기계의 운전제어에 필요한 정보를 수집해서 기기조작법을 충분히 검토하여 원활히 조작한다. 조작규정에서 정하는 항목은 다음과 같다.

- ① 조작목적 및 대상시설
- ② 제어목표 및 운전조작방법 (기록보고 등)
- ③ 조작원의 배치
- ④ 정상시의 조작 (조작순서, 조작방법)
- ⑤ 이상시의 조작 (홍수시, 한해시의 경계체제 및 조작)
- ⑥ 점검정비

## 다. 안전규정

수로시설 중에서 전기사업법의 규정에 해당하는 시설이 있는 경우에는 전기공작물의 공사, 유지 및 운용에 관한 보안규정을 작성해서 보안에 힘써야 한다. 보안규정에 정하는 항목은 다음과 같다.

- ① 목적 및 운용범위 (책임 분계점 적용 전기공작물)
- ② 보안관리조직
- ③ 보안교육 및 훈련
- ④ 공사 (계획, 공사의 실시)
- ⑤ 유지 (순찰, 점검, 측정 및 재해대책)
- ⑥ 기록 및 위험표시

## 6.2.2 기본사항

시설을 유지보전하기 위한 기본적인 사항을 결정해 놓는다. 예를 들면, 관리대상시설, 관리체제, 관리내용, 관리방법 등으로서 이들에 관련되는 규칙, 수속 등을 포함한 것이다.

### 가. 시설의 조작기준

각 시설은 시설 및 기기의 조작방법, 조작시간 및 기록양식 등을 명확하게 하는 기준을 작성해 놓아야 한다. 동시에 조작책임자를 정해두어야 한다.

### 나. 시설의 보수기준

기간시설 및 관리시설 등의 기능을 보전하기 위하여 필요한 유지(제초, 쓰레기처리 등의 작업을 포함), 보전의 연간 업무계획 및 시설의 절차 등에 관한 기준을 결정해 둘 필요가 있다.

#### 다. 유지관리에 필요한 비용

인건비, 전력비, 연료비, 보수비, 그 외의 유지관리에 필요한 비용의 부담방법 등을 명백하게 해둘 필요가 있다.

### 6.2.3 시설의 관리방법

시설의 관리에서 유의해야할 사항은 다음과 같다.

#### 가. 물 관리시설의 보수

물 관리시설의 운용에서 중요한 것은 신뢰성과 안정성을 확보하는 것이다. 특히 전기계기의 보수는 전문가의 의견 등이 필요하고, 제어기기, 계측기 등의 수준, 가동상황, 문제점, 관리방법의 특이성 등을 파악해 두는 것이 중요하다. 이것들을 기록 보존해서 문제점을 해결하는 자료로 활용해야 한다.

#### 나. 물 관리 시스템의 검정과 수리

물 관리시설을 정확히 운용하려면 정기적인 점검이 필요하다. 또한 부분적 기능저하가 발생한 경우에 응급조치방법 및 복구대책을 검토해 둘 필요가 있다.

##### 1) 예비기기

비교적 낮은 가격으로 동일 장치 또는 형식이 동일한 대수가 많은 경우(소형 밸브류, 전기부품)는 예비기기를 준비해 두는 것이 바람직하다.

##### 2) 장애부분에의 대응

자동화된 시설에서는 수동으로 대응할 수 있도록 기능을 확보해 둔다. 기간시설 본래의 고장은 치명적 경우가 많으나, 정보기기의 제어 프로그램 등의 고장에는 관리자가 언제든지 대응할 수 있는 방법을 검토해 둔다.

##### 3) 부분저하 복구

제어기기의 진단프로그램을 작성해 두고, 장애발생장소를 신속히 발견할 수 있도록 노력한다. 특히, 간단한 장애, 고장은 각종 기기에 관한 점검방식의 흐름을 기록한 설명서 등에 따라 시험하면 전화통화 등으로 해결할 수 있는 경우가 많다.

## 6.3 물관리

물 관리의 목적은 물의 이용, 합리적인 배분, 안전한 배수시설의 보전과 재해의 방

지, 유지관리비의 절감 등을 도모하는데 있다. 이를 위해 물 관리계획을 수립할 때는 수로의 설치목적과 달성해야 할 기능 등을 충분히 이해하고 동시에 시설의 기능과 특성 및 물 관리의 제어방식 등을 종합적으로 검토해서 수로시설을 적정하게 운영, 관리해야 한다.

### 6.3.1 용수계통 물 관리

농업용수의 시설용량은 계획 기준연도의 최대용수사용량을 충분히 충족시킬 수 있도록 정해져 있다. 따라서 물 사용에서는 이 양을 상한으로 해서 여러 가지 수요형태를 만족시킬 수 있도록 관리해야 한다.

용수계통의 물 관리계획은 이와 같이 시시각각으로 변화하는 물 수요에 맞추어서 수로시설을 어떤 순서로 조작해야 좋을지 또 한발시의 절수방법 등 여러 가지 물 관리형태에 합당한 조작규정을 확립해 두어야 한다.

물 관리계획에서 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- ① 관개지구의 물 수요량의 파악방법 (관측 및 전달구조 등)
- ② 각 물 수요형태에 따른 각 시설의 조작순서와 요령
- ③ 한발시의 운환 관개방법 등에 의한 절수 방법
- ④ 기타 긴급시의 조작순서와 요령

### 6.3.2 배수계통 물 관리

배수계통의 물 관리 계획수립시 유의해야 할 사항은 우선 제어대상이 되는 수리현상이 시설계획 기준연도를 초과할 수 있다고 생각해야 한다. 또한, 홍수시 발생하는 수리현상은 시시각각으로 변화하여 비정상성이 강하다는 점이다. 따라서 배수계통의 물 관리계획에는 강우, 외수 등 정보를 정확하게 수집해서 시설효율이 우수한 조작순서와 요령을 정해야 한다.

용수계통의 물 관리는 보통 일 단위로 하는데 반하여 배수계통의 물 관리는 계획기준우량을 상회하는 우량에 대한 담수피해의 방지를 도모하기 위해서는 시간 또는 분 단위로 조작해야 하는 경우도 있어서 그 시기를 상실하면 예기치 않은 피해도 발생할 수 있다.

물 관리계획에서 검토해야 할 사항은 다음과 같다.

- ① 우량 및 수위 등의 정보수집방법
- ② 평상시의 배수처리 및 시설의 조작순서와 요령
- ③ 홍수시의 배수처리 및 시설의 조작순서와 요령
- ④ 긴급시의 대책 (고장시, 정전시의 대책 및 연락 등)

### 6.3.3 용수로 침투 손실에 대한 관리

#### 가. 침투손실의 요인

수로에서의 손실수량은 수면으로부터의 증발손실량과 바닥 및 측면으로부터의 침투 손실량이 있다. 침투손실에 영향을 끼치는 요인은 ① 표토 및 하층토의 성질, ② 지하수위의 위치 및 표토와 하층토의 배수상태, ③ 수온, ④ 수로의 신·구와 부유물 및 흙의 양, ⑤ 수로의 수심과 침투로장 등으로 침투량 손실에 대한 대책을 수립해야 한다.

#### 나. 침투 손실량 산정

수로에서의 침투손실량은 표토와 하층토의 성질 및 지하수위의 고저와 관계가 있을 뿐만 아니라 동수반경에 비례하고, 수심과도 관계가 있다. 보통 침투 손실량은 식 (6.3.1)과 같이 수심의 제곱근에 비례하는 것으로 취급한다.

$$S_y = C\sqrt{H_y} \dots\dots\dots (6.3.1)$$

식에서,  $S_y$ : 어떤 지점의 침투손실량

$C$ : 토질과 지하수위의 고저에 따른 계수

$H_y$ : 어떤 지점의 수심

수로의 옆비탈에서의 평균침투강도(S)는 밑바닥의 경우의 2/3와 같다. 즉, 식 (6.3.2)로 나타낼 수 있다.

$$S = 2 \times \frac{2}{3} C\sqrt{H} \frac{H}{\sin\theta} + C\sqrt{H}b = C\sqrt{H} \left( b + \frac{4H}{3\sin\theta} \right) \dots\dots\dots (6.3.2)$$

또한,  $b/H = a$  라고 하면  $A = [(2b + H\cot\theta \times 2)/2] \times H = bH + H^2\cot\theta$ ,  $b = H \cdot a$  이므로

$$A = H^2a + H^2\cot\theta = H^2(a + \cot\theta) \text{이다.}$$

$$\therefore H = \sqrt{\frac{A}{a + \cot\theta}} \dots\dots\dots (6.3.3)$$

$$S = C \left( \frac{A}{a + \cot\theta} \right)^{1/4} \left( b + \frac{4H}{3\sin\theta} \right) \dots\dots\dots (6.3.4)$$

따라서 침투량 S가 최소로 되는  $\alpha$ 를 계산하면 되는데, 이것은 위식을  $\alpha$ 에 관해서 미분하고 이것을 0으로 놓으면 된다. 즉,  $\alpha = 4 \tan(\theta/2)$ 가 된다.

$$\therefore \frac{b}{H} = 4 \tan \frac{\theta}{2} \dots\dots\dots (6.3.5)$$

침투량이 최소가 되는 단면의 수심과 수로 밑나비의 비는 수리상 유리한 단면인 경우의 2배가 되며, 따라서 침투 손실량을 적게 하려면 얇고 넓은 단면으로 하는 것이 유리하다.

## 6.4 시설관리

시설 관리가 불충분해서 고장 등이 발생하면 분수, 배수, 집수 및 배수 등의 원활한 운영은 곤란하게 되어 수익자에게 피해를 주게 되므로 시설의 충분한 보수, 점검, 정비를 해서 항상 양호한 상태로 유지관리를 해야 한다. 이를 위해 시설 등의 운전점검, 정비에 필요한 시설도서, 시방서, 취급설명서, 시방계획서, 점검, 정비, 기록 등을 장치하여 관리자는 각 구조물 기기 등의 구조, 사용 상황 및 다른 시설물 등에 주는 영향을 충분히 이해하고 숙지하고 있어야 한다.

또 시설 등의 점검, 정비를 실시하는 경우에는 관계되는 다른 시설 등에 대해서 충분히 안전을 확인한 후에 작업을 실시해야 한다. 이와 같은 각 시설물 관리를 위해서는 적절한 관리체제와 보수점검계획을 세워서 각각 효율적으로 운영해야 한다.

### 6.4.1 관리계획

관리체제는 지역 전체의 용·배수 계통이나 다른 유역 등에 주는 영향 등을 충분히 고려하여 검토해야 한다. 특히 배수로계통에서 홍수시의 체제에 대해 충분한 안전대책을 도모할 수 있는 체제가 되어야 한다. 관리체제의 검토에 있어서는 일반적으로 다음 사항에 유의해야 한다.

- ① 지휘, 명령계통의 통일화
- ② 기동성 있는 체제
- ③ 전문 지식을 갖는 관리기술자의 확보
- ④ 말단까지의 물 정보를 신속하게 전달할 수 있는 계획

시설관리계획은 대체로 연간, 순간, 일간 관리계획의 3단계로 구성된다.

### 가. 연(年) 관리계획

연간계획은 전년도까지의 관리, 운영의 반성 및 실적에 입각해서 관개기가 시작되기 전에 관리조직을 중심으로 물리 대표자를 포함해서 작성한다. 논의 경우는 못자리, 썩레질 용수, 생육과정에서의 물 사용, 중간낙수 등을 고려해서, 발농사를 포함하는 경우는 그 작부체계에 의한 예상 용수량, 과수 등은 방제용수를 포함해서, 그 해의 용수의 예상배분계획을 작성한다. 또한 관개개시까지의 시설보수, 개수, 물 관리를 위한 인적 배치 등에 대한 계획을 세운다.

### 나. 순(旬) 관리계획

이 계획 작성은 작물의 생육상황, 배수상황, 기상 및 수원에 관한 정보가 중요하다. 이들 정보 및 물 수요자로부터의 요청을 근거로 순간계획을 수립하여 수요자 대표에게 전달할 필요가 있다. 또한 동시에 수로시설의 보수가 있는 경우의 배수확보와 물리자애의 협력요청 등을 포함한 것이 된다.

### 다. 일(日) 관리계획

순 관리계획에 의해 나타난 당일의 예상 취수량을 최신 정보에 기초해서 확인 수정하고, 취수량, 분수량의 일(日)목표치를 설정한다.

## 6.4.2 보수 점검계획

### 가. 순찰

수로의 순찰은 각 시설이 계획대로 작동해서 통수시설이 순조롭게 물이 흐르고 있는가를 눈으로 확인하는 것이며 자연 발생적 또는 인위적인 사고를 미연에 방지하고 또는 초기에 발견해서 피해를 최소한으로 멈추게 하여 수로의 안전을 도모하기 위해 실시하는 것이다. 순찰은 일반적으로 보통순찰과 특별순찰로 구분된다.

#### 1) 보통순찰

보통순찰은 정기적으로 실시하는 순찰로서 각 시설의 작동상황, 수로중의 토사퇴적, 쓰레기의 퇴적상황 및 잡초의 상황 등을 파악함과 동시에 수로주변의 개발상황, 오염원의 발생유무 및 위험한 곳의 유무에 대해 그 상황을 순찰해서 확인한다.

순찰에서는 순서, 시간, 횟수 및 긴급시의 연락체제 등에 대해 계획을 세워서 실시하는 것이 바람직하다.

## 2) 특별순찰

특별순찰은 태풍 등으로 경계체제를 발령했을 경우 또는 지진 등으로 이상상태가 발생한 경우 등에 특별히 실시하는 것이다.

이 특별순찰은 긴급을 요하는 경우가 많으므로 현지에 급히 출동할 수 있는 체제를 갖추는 것이 중요하다.

## 나. 점검

점검은 수로시설의 기능유지, 고장의 조기 발견 및 현황의 확인 등을 목적으로 실시하는 것으로서 다음의 3종류로 구분된다. 점검에서는 점검계획표 및 점검일지 등을 만들어 실시하는 것이 바람직하다.

### 1) 일상점검

일상점검은 육안에 의해 시설 각 부분의 작동상태를 확인하거나 기계 등의 간단한 점검을 하는 일 단위 정도의 평상시 업무이다.

### 2) 정기점검

정기점검은 일상점검보다는 상세한 육안으로 시설 각 부분의 열화 또는 고장 등을 방지하기 위해 실시하는 것으로서 일정한 기간마다 실시한다.

### 3) 임시점검

임시점검은 재해가 예상되는 경우 장기간 사용하지 않았던 기기 등을 운전하는 경우 또는 지진이나 태풍 등의 재해가 발생한 직후에 실시하는 것이다. 점검내용은 작동상태의 확인 등 정기점검과 동일한 정도로 실시한다.

## 다. 정비

정비는 고장발생의 미연방지, 고장 난 곳의 수리 및 기능의 열화방지 등을 도모하기 위해 실시하는 것으로서 다음의 3종류로 구분된다.

시설 분해 등은 가능한 한 입회를 해서 고장부분의 원인구명 및 대책 등을 기록하여 다음 점검업무에 반영시키는 것이 좋다.

정비를 완료한 시설은 필요에 따라서 성능시험을 실시해서 기능회복을 확인한다. 정비결과 시설 및 그 자체를 수정할 필요가 있을 때는 손실마모 상황 및 긴급시 사용조작, 운전시간 등을 고려한 후에 갱신계획을 세워 나간다. 그리고 정비에는 정비계획표, 정비일지 및 정비양식 등을 작성해서 계획적으로 실시해야 한다.

### 1) 일상정비

일상정비는 주로 일상 점검시 발견한 이상이라든가 운전 조작시에 좋지 않았던 곳 등을 순찰 점검할 때 실시하는 정비이다.

### 2) 정기정비

정기정비는 기기 등의 전반적인 기능회복과 고장의 미연방지를 위해 실시하는 것으로 전문가의 판단에 의하여 필요에 따라 분해작업에 의해 이용부분의 보수 또는 불량부품의 교체 등을 실시하는 것이며 연도별 정비실시계획표 등을 만들어서 실시한다. 정비주기는 그 시설의 가동상황, 각 부분의 점검 및 일상정비를 고려해서 사용 정지기간에 의한 영향이 적은 시기 및 정비기간 등을 검토하여 정해야 한다.

### 3) 임시정비

임시정비는 일상정비나 정기점검시의 이상에 대해 필요에 따라서 임시로 정비를 하는 것을 말한다.

## 6.4.3 시설 유지관리

### 가. 관수로 시설

파이프라인을 구성하고 있는 제반시설은 기능을 만족시키기 위하여 항상 양호한 상태를 유지하면서 적절한 조작으로 시스템이 지장을 일으키지 않도록 관리해야 한다. 이를 위해 관리조직을 고려한 물 관리 계획을 수립하고, 시설의 조작, 보수 등의 기준을 작성하고, 적절하게 운용될 수 있도록 충분히 검토해야 한다. 그렇지 않으면 각 시설이 고도의 기술로 설치된 것일지라도 파이프라인 시스템의 기능이 부족하게 되어 관리단계에서 문제를 일으키게 된다.

#### 1) 송·배수 시설의 관리운영보수

송·배수시설은 파이프라인의 기간시설이므로 만일 사고가 발생한 경우는 지역에 재해 및 농작물에 대한 피해를 입히기 때문에 이를 방지하기 위해서도 적절한 조작과 보수 점검이 필요하다. 관리기록은 ① 관리일지, ② 기기별의 보수점검정비기록, ③ 운전조작기록 등으로 나누어 기록해서, 그 내용을 검토할 수 있도록 하여, 보수, 점검 기기의 변화를 파악할 수 있도록 해준다. 또한 사무처리의 합리화를 위한 기기의 도입을 고려할 필요도 있다.

#### 2) 토사, 쓰레기 등의 배제

토사, 쓰레기 등의 배제는 이토(泥土) 배제시설, 제진 시설을 유효하게 활용해서 파



이프라인의 통수저해를 일으키지 않도록 적절하게 관리해야 한다. 일반적으로 팜폰드에서는 침전기능을 갖게 하지 않지만 침전물 등이 퇴적되는 경우가 있기 때문에 그 배제방법에 대해서도 배려해야 한다. 또한 쓰레기제거는 취수구에서의 대책이 제일 중요한데, 인위적으로 쓰레기를 투기하지 않더라도 자유수면에 바람으로 낙엽 등이 혼입되는 경우가 상당히 많기 때문에 팜폰드, 배출수조 등에 뚜껑을 설치하는 대책이 필요한 경우도 있다. 더욱 수초 등이 자유수면에 발생할 가능성도 높고, 특히 파이프라인은 말단의 살수파이프 등이 수초나 조류 등으로 막히는 경우가 많다. 이 때문에 취수장에서 뿐만 아니라 팜폰드에도 틈 사이가 촘촘한 스크린을 설치할 필요가 있다.

### 3) 사고와 대응조치

수로 사고는 관체, 이음매, 혹은 부대구조물 등의 파괴에 의한 사고와 누수 사고로 대별할 수 있다. 누수사고는 응급조치를 강구할 수 있지만, 파괴 사고는 응급조치가 곤란한 경우가 많다.

## 나. 암거 시설

### 1) 고장과 보수

수갑에서 배수하는 물이 없을 때 또 수갑의 유출상태가 고르지 못하고 눈이 과습할 때에는 암거관이나 수갑의 폐쇄 또는 파손, 암거관의 피복재료나 흡수공의 폐쇄, 시공시의 부주의로 인한 투수불량 등 고장을 예상할 수 있다.

토사유출이나 보호재가 막힌 것을 제거하려면 수갑을 닫아 암거관을 만수상태로 한 다음 수갑을 열어 수세에 의해 침적된 토사를 배제한다. 그밖에 제트노즐(jet nozzle)이나 펌프 등으로 물을 압송하여 제거할 수도 있다. 이와 같은 조치를 취해도 통수가 안 되면 파이프가 파손된 것으로 보아야 한다.

### 2) 설계 및 시공이 불충분한 때의 조치

수갑을 개방하여 적당한 배수량이 있는데도 눈이 과습한 경우에는 암거의 간격이 과대하거나 통수단면이 과소한 경우가 많다. 이러한 경우에는 현지를 면밀히 조사한 후에 재시공하거나 필요에 따라 보조암거를 시공해야 한다.

### 3) 수갑의 유지관리

수갑을 닫았을 때 물이 분출하는 경우에는 이음매가 불완전하거나 파이프에 파손에 의한 것이므로 신속하게 보수해야 한다. 또한, 수갑으로부터 누수가 있을 경우에는 이음매를 점토나 모르타르로 그 둘레를 발라 막는 등의 조치를 취해야 한다. 그밖에 수갑 조작의 일반적인 유의사항은 다음과 같다.

- ① 수갑의 폐쇄는 상류에서 하류 쪽으로, 수갑의 개방은 하류에서 상류 쪽으로 향해 실시한다.
- ② 써레질 전의 수갑의 조작은 용수 또는 담리작의 상황 등에 따라 다르지만, 지장이 없는 한 일찍 닫아서 지하수위 상승을 도모한다.
- ③ 논에 대한 관개는 수갑을 모두 닫은 다음, 될 수 있는 대로 1주야 이상 경과한 후에 실시한다.

#### 라. 기타 유의사항

- ① 암거 배수조직의 배치도는 장기간 보존함과 동시에 관리자와 이용자에게 확실히 알려주고, 또한 필요한 위치에 암거 매설표지를 세워 보수·관리하기에 편리하도록 해야 한다.
- ② 암거를 시공한 해에는 담수할 때 과대한 누수를 방지하기 위하여 흡수거나 집수거가 묻혀 있는 곳을 써레질할 경우 조심해야 한다.
- ③ 배수거나 수로의 바닥·도로·제방 밑 등에 부설되었던 곳을 재공사하는 경우에는 관의 파손·이동·침하 등이 생기지 않도록 주의해야 한다.
- ④ 암거의 수갑조작에 의한 청소는 1년에 2회, 즉, 써레질하기 전과 낙수기에 하도록 한다.
- ⑤ 배수로의 비탈면의 보수와 토사의 제거는 1년에 2회, 즉 봄철의 통수 전과 가을철의 낙수 후에 실시한다.

## 6.5 친환경 수로의 유지관리

### 6.5.1 유지관리의 목적 및 범위

친환경적 용배수로의 유지관리는 정기적 유지관리와 비정기적 유지관리로 구분하여 계획을 수립한다.

친환경적 수로정비가 이루어진 수로에서 이·치수기능과 조화를 이루면서 수로환경 기능을 확보하고 보전해 나가기 위해서는 장기적이고 종합적인 유지 및 관리가 이루어지도록 하여야 한다.

인위적으로 조성된 수로가 본연의 기능을 수행할 수 있을 때까지는 일정기간이 필요하며, 그 기간 안에 발생한 여러 가지 방해물은 적절히 제거하고 파괴된 곳은 보수하여야 한다. 이와 같은 수로관리를 환경친화적 수로의 유지관리라 하며, 유지관리는 수로계획 및 설계에 반영하여야 한다.

유지관리의 공간적 범위는 저수로를 비롯한 수변, 제방 및 시설물이며, 기능적 관리범위는 수리적 안정성, 생태적 기능성, 자연적 경관성 및 공간적 이용을 포함한다. 유지관리는 일의 내용에 따라서 다음과 같이 정기적 유지관리와 비정기적 유지관리로 구분할 수 있다.

- 정기적 유지관리 : 제초, 토사제거, 수목전정
- 비정기적 유지관리 : 예기치 못한 침식 또는 퇴적으로 이·치수상의 문제가 발생한 경우, 시설물이 파괴된 경우, 기타 친환경 수로에 유리하지 못한 현상이 나타난 경우

## 6.5.2 유지관리 내용

친환경적 용배수로의 유지관리 내용은 수로, 제방 및 기타 시설물로 구분하여 유지관리계획을 수립한다.

### 가. 수로

#### 1) 제초계획 수립

저수로내의 유속이 느린 구간에는 여러 가지 수생식물, 조류(algae) 및 생물들이 번식하며 때로는 수중생물들이 유속을 방해하는 경우가 있다. 또한 죽은 식물들이 완전히 분해되지 못하게 되면 수질을 악화시키는 요인이 된다. 따라서 너무 많은 양의 수생식물이 출현하였을 경우를 대비하여 년 1~2회 일정구간에 대해 제초계획을 수립할 필요가 있다.

#### 2) 수로준설계획 수립

다양한 원인에 의해 발생하는 수로내 토사를 처리할 수 있는 방안을 강구한 후, 인력 및 기계를 이용한 수로준설계획을 수립한다.

### 나. 제방

제방은 침수피해를 막기 위해 만든 중요한 시설물로서 지속적인 관찰계획을 수립하여 훼손된 곳이 방치되지 않도록 한다. 제방의 특성, 즉 재료의 종류에 따라 유지관리가 다르므로 이에 적합한 계획이 수립되어야 한다.

### 다. 기타 시설물

해당 수로시설물의 내구연한 등을 고려하여 수로시설물의 유지관리를 위한 규칙적인 점검계획을 수립한다.

## 제 7 장 개보수

### 7.1 개보수 대책

농업용 용·배수시설은 시공 후에 장기간이 경과한 것이 많아 개보수를 필요로 하는 것이 많다. 그러나 개보수의 정도는 현재의 노후화 정도, 그 원인, 내구성, 기능성 등의 판단에 따라 달라진다. 실제의 개보수 계획에 있어서는 목적, 현장조건, 내구성, 유지관리대책, 시공성, 경제성 등을 종합적으로 검토하고, 기술개발 동향이나 경험 있는 기술자의 의견을 들어서 적절히 하는 것이 필요하다.

#### 7.1.1 구조물의 개보수를 위한 조사 및 시험

개보수의 필요성 판단을 위한 조사방침과 그 내용은 대상 시설의 개수방침이나 중요도, 규모에 따라 크게 다르다. 시설의 단순한 개보수를 위한 조사와 수로조직 전체의 개축이나 갱신을 위한 조사는 그 방법과 내용이 다르다.

조사는 원칙적으로 예비조사, 표준조사, 상세조사의 3단계로 구분하여 행한다.

##### 가. 예비조사

예비조사는 주로 구조물의 준공도면이나 공사기록, 지형, 지질자료의 수집이나 당시의 설계기준, 시공방법, 시공기술, 시공재료, 시공연월, 유지관리의 실태 등의 청문조사를 포함하여 실시한다.

##### 1) 자료의 수집

건설당시의 설계도서, 공사기록 및 사업완료후의 사업지, 공사지를 가능한 한 수집한다. 건설당시의 관계자로부터 청문조사를 하는 것도 필요하다.

##### 2) 사고 및 개보수의 연혁 조사

관리 주체 등으로부터 과거의 사고, 개보수, 재해 등을 조사하고 파손상태, 조각상의 문제, 보수방법, 장소 등을 정리하여 원인을 추정한다.

표 7.1.1 토목 건축설비의 구조진단 (4요소)

요 소	진 단 내 용
내구성	균열 (철근에 의한 것, 개구부, 망목 모양의 것) 부풀림(면적 발생률) 박리 (철근 노출의 유무 등) 표면열화 (외관, 단면결함) 누수 (누수흔적의 유무) 변형 (변형의 유무)
재료의 열화	중성화 (중성화와 덮개 깊이) 표면상태 (녹물, 풍화, 취약화) 강도 (에어 보링법, 슈미트 해머법) 품질 (단위시멘트량, 염해의 영향, 알칼리 골재반응) 철근의 부식 (녹의 정도)
기초지반의 안정	지반의 변형 (부등침하에 의한 지반의 변형) 지하수위 상승 (지하수위 변동이 나타남)
사용형태	사용이력 (용도변경, 증개축, 보수, 재해입음) 하중 (정하중, 충격하중, 진동하중, 반복하중, 열하중) 환경 (진동, 가스, 부지 및 지형)

표 7.1.2 전기 기계설비 기능진단 (7요소)

요 소	진 단 내 용
열화정도	부식, 진동, 이상음, 과열, 변형
보전성	정비상황, 절연저항, 접지저항
안전성	인적 안전성, 전기보호적 안전성
진부화	효율, 기능저하
환경	습도, 온도
고장	빈도, 영향의 정도
신뢰성	백업, 긴급시 대응, 부하분담, 부품공급

### 3) 현지조사

누수, 균열 등 구조물의 현황을 조사한다. 건설당시의 지형도와 현상태를 대비하고 누수상황 등이 주변의 제3자에게 미치는 영향이나 주변의 개발 등에 의한 공사계획, 또는 유지관리상황을 파악한다. 특히 터널이나 사이펀은 지상의 변화가 있는지 살펴본다. 지질요인도 중요함으로 연약지반이나 지형상의 특징, 사태발생지역, 액상화 등의 위험성에 대해서도 조사한다. 또, 중요시설에 관해서는 내진력에 대해서도 조사를 할 필요가 있다.

### 4) 유지관리조사

유지관리의 난이도, 통수사고 등이 주변의 제3자에게 미치는 영향, 주변의 개발 등에 의해 시설이 받는 영향 등을 평가하기 위한 자료수집 및 정리를 한다. 이들의 관리비(점검 보수비용)나 사고손실과 개보수비용의 경제효과를 고려하는 조사가 필요한 경우도 있다.

## 나. 표준조사

표준조사는 예비조사의 결과에 따라서 규모, 구조, 입지조건 등이 유사한 시설중에서 선정한 대표적 시설에 대해 실시하는 것이다.

이 조사는 누수량시험, 내부관찰조사, 부재강도의 간이시험, 기타 시설의 기능 및 노후도 등에 직접 관계되는 요인에 대해 될 수 있는 한 정량적으로 파악하는 것을 목표로 한다.

수로구조물은 개수로, 터널이나 현장타설 사이펀 등의 콘크리트 구조물과 기성관 사이펀 등의 관체구조물로 분류되기 때문에 이하 각각에 대한 조사내용을 제시한다.

#### 1) 콘크리트 구조물

개수로, 수로교, 터널, 암거, 사이펀, 분수공, 낙차공, 급류공, 방수공, 합류공 등의 구조물이다.

가) 관찰 및 기기에 의한 균열, 철근, 파손, 마모 등의 조사: 균열 및 파손상황 (폭, 길이, 관통)을 자료 측정하여 스케치하고, 철근덜개의 두께와 녹의 발생상태에 대해서도 조사한다.

나) 구조물의 사용, 환경상태에 대한조사: 사용시의 하중조건, 온도 및 습도조건의 변화, 입지조건 등과 이들의 경과를 조사한다.

다) 초음파에 의한 균열의 조사: 초음파 펄스를 구조물에 가해서 균열의 깊이를 조사한다.

라) 슈미트 해머에 의한 압축강도시험: 슈미트 해머에 의한 비파괴강도시험을 실시한다.

- 마) 부등침하 및 벽의 비틀림 (터널 제외): 바닥판의 레벨측량, 이음부의 틈, 측벽의 기울어짐 등을 측정한다.
- 바) 보수이력의 확인기록: 시설관리자로부터 사용 개시후의 보수기록 등을 수집한다.

## 2) 관체 구조물

철근콘크리트관, PC관, 강관, 덕타일 주철관, FRPM 관 등이 있다.

- 가) 누수시험: 관내에 물을 채우고 24시간 후의 감수량을 측정한다.
- 나) 관내관찰: 균열, 이음부의 간격, 비틀어짐(강관, FRPM 관), 관로의 축편기, 녹과 부식, 도복장의 열화(강관) 등에 대해 측정한다.
- 다) 관두께 측정: 강관에 대해서는 녹, 도복장의 파손 등을 확인한 후 센서를 이용하여 관두께를 측정한다. 직접 들어가 볼 수 없는 경우는 사이펀 관내에 TV 카메라 촬영이나 각종 콘크리트 내부 진단장치에 의해 조사를 한다.

## 다. 상세조사

표준조사의 결과를 검토하고 기능, 노후도 등을 분명히 하기 위하여 상세한 조사가 필요하다고 판단되는 시설을 대상으로 상세조사를 한다. 관 이음부의 개별 누수시험, 부재 콘크리트의 코어 강도시험, 콘크리트의 내구성에 관한 각종 시험 등을 행한다.

### 1) 콘크리트 구조물

#### 가) 코어채취

- (1) 중성화시험: 콘크리트압축강도 시험 전에 중성화 깊이 시험을 한다.
- (2) 강도시험: 직경 10cm 정도의 코어로 압축강도시험을 실시한다.
- (3) 알칼리 골재반응시험: 압축강도시험 후에 알칼리 골재반응시험을 실시한다.
- 나) 기타 필요한 시험: 염해, 동해, 화학적 부식, 철근의 부식 등을 파악하기 위한 시험을 필요에 따라 실시한다.

### 2) 관체 구조물

- 가) 이음부의 수압시험: 이음부의 이상, 열화, 수밀성 등을 파악하기 위하여 현장에서 슈미트 밴드로 수압시험을 한다.
- 나) 관체강도시험: 관체를 일부 잘라내어 내압시험과 외압시험을 행한다.
- 다) 지수고무링 등의 열화시험: 고무링을 채취하여 건전성(천연고무를 원료로 한 경우 박테리아에 의한 부식이 있다), 치수측정, 강도시험 등을 행하고 복원력이나 열화정도를 조사한다.

## 라. 균열조사와 원인추정

### 1) 균열발생 원인

콘크리트 균열은 여러 가지 원인으로 발생한다. 균열 원인 추정검토항목은 표 7.1.3과 같지만 그 중에서 중요한 것은 다음과 같다.

- 가) 건조, 수축
- 나) 동결융해의 반복
- 다) 중성화, 염해 등에 의한 화학작용이나 내부철근의 녹
- 라) 부적절한 시멘트나 골재
- 마) 마모나 마찰
- 사) 구조물의 부등침하나 과잉하중
- 아) 시공불량

### 2) 균열조사와 원인추정

콘크리트의 열화정도를 나타내는 지수로서 널리 인식되고 있는 것이 균열현상이다. 균열의 원인과 검토사항은 표 7.1.3에 제시하였다. 예비조사 및 표준조사의 단계에서 그 원인을 추정하고 보수, 보강의 필요성 및 그 방법을 선정한다. 그러나 예비조사와 표준조사에서 원인추정이나 열화의 정도, 그리고 보수, 보강공법의 선정이 곤란한 경우는 상세조사를 시행한다.



표 7.1.3 균열 원인 추정 검토항목

대분류	중분류	소분류	번호	원인	검토할 조사 및 시험
A 재료	사용재료	시멘트 골재	A1	시멘트의 이상응결	균열형상조사, 시멘트 응결시험
			2	시멘트의 수화열	균열형상 및 깊이, 시멘트 종류, 단면크기
			3	시멘트의 이상팽창	균열형상, 시멘트 종류, 화학시험
			4	골재에 포함된 진흙	균열형상, 골재 씻기시험
			5	저품질 골재	균열형상 및 깊이, 골재의 산지
			6	반응성 골재	균열형상, 골재의 산지, 압질
	콘크리트		7	콘크리트 속 염화물	균열형상 및 깊이, 배근, 입지조건
			8	콘크리트 침하, 블리딩	균열형상, 배근의 위치와 균열의 위치
			9	콘크리트 건조수축	콘크리트 길이 변화시험, 건조조건, 단면크기
B 시공	콘크리트	비빔 운반 치기 다짐 양생 이음	B1	혼화재료의 불균일 분산	균열형상
			2	장시간의 비빔	균열형상, 콘크리트 운반시간
			3	펌프 압송시의 배합변경	콘크리트 코어의 강도시험 및 화학분석
			4	부적당한 치기 순서	시공기록
			5	급속한 치기	치기 양 및 시간
			6	불충분한 다짐	콘크리트 외관
			7	경화전의 진동이나 재하	부근의 공사, 교통량, 지진, 공사중 하중조건
			8	초기양생중 급격한 건조	기상기록, 탈형제령, 양생방법
			9	초기동해	기상기록, 탈형제령, 양생방법
			10	부적당한 이음 처리	균열형상 및 깊이
	철근	배근	11	철근의 흐트러짐	철근의 조사
			12	철근덮개의 부족	철근의 조사
	거푸집	거푸집	13	거푸집의 튀어나움	균열형상
			14	누수(거푸집에서, 지반으로)	콘크리트 외관
		동바리	15	거푸집 조기제거	시공기록, 탈형시의 콘크리트 강도
			16	동바리의 침하	균열형상
C 사용, 환경	물리적	온도, 습도	C1	온도, 습도의 변화	균열형상, 기상기록, 피복재의 영향
			2	부재 양면의 온도, 습도의 차	균열형상 및 깊이, 기상기록, 단면크기, 실온
			3	동결융해의 반복	균열형상 및 깊이, 콘크리트 외관, 기상기록
			4	화재	균열형상 및 깊이, 화재기록
			5	표면가열	균열형상 및 깊이, 사용상황
	화학적	화학작용	6	산, 염류의 화학작용	균열형상 및 깊이, 사용상황
			7	중성화에 의한 내부철근의 녹	균열형상 및 깊이, 철근조사, 중성화 조사
			8	침입염화물에 의한 내부철근의 녹	균열형상 및 깊이, 철근조사, 염분량 조사
D 구조, 외력	하중	영구하중 (장기하중) 동적하중 (단기하중)	D1	설계하중 이내의 영구하중	균열형상, 하중조건 조사
			2	설계하중을 초과한 영구하중	균열형상 및 깊이, 하중조건 조사
			3	설계하중 이내의 동적하중	균열형상, 하중조건 조사
			4	설계하중을 초과한 동적하중	균열형상 및 깊이, 하중조건 조사, 지진기록
	구조설계		5	단면, 철근량 부족	균열형상 및 깊이, 하중조건 조사, 단면크기
	지지조건		6	구조물의 부등침하	균열형상, 깊이 및 폭의 변동상황, 지반조사
			7	동상	기상기록, 기초도
E 기타			기타		

## 7.1.2 개보수를 위한 진단

개보수를 위한 진단은 각종의 조사결과를 토대로 다음 사항을 검토하고 종합적인 평가를 통해서 판단한다.

### 가. 시설 전체의 보전 또는 갱신의 필요성

용·배수시설의 개보수 필요성 진단에 있어서는 시설 전체 또는 그 일부를 갱신, 개축하는 경우와 시설의 일부를 보수, 보강하여 시설의 보전을 도모하는 경우 등 두 가지로 구분할 수 있다.

이들 구조물의 보전 또는 갱신을 판단하는 진단방법은 확립된 것이 없지만 각종 실시 예나 참고문헌 등에서 적절한 판단을 유도할 수 있다.

#### 1) 개수 및 갱신의 필요성

용·배수시설의 개수 및 갱신은 응급적인 것을 제외하고 장차 30년에서 40년간 그 기능을 유지하고 그 보전이 과도한 경제적 부담을 주지 않는 것을 전제조건으로 한다.

시설을 개수, 갱신하는 경우의 판정에 있어서는 다음사항을 종합적으로 검토하여 행한다.

- 가) 기존시설의 기능이 안전성, 능력, 유지관리면에서의 검토결과 개수, 갱신의 필요가 있는 시설
- 나) 사회 상황의 변화에 따른 정비수준의 향상이 필요한 시설
- 다) 시설의 합리적 관리운동을 행하기 위해 필요한 관리시설의 개수, 갱신, 신설
- 라) 사회정세나 농업형태의 변화, 농업용 용배수시설의 유지관리성의 개선이나 시설의 근대화 등에서 수로시스템의 변경을 동반하는 시설
- 마) 경제적 내용연수를 맞추기 위한 시설

#### 2) 개수 긴급정도에 따른 분류

조사 및 시험결과에서 현황시설의 장애상황, 현지조건, 유지관리조사결과, 기타 건전성, 남은 수명 등의 예측 등을 판정하고 개수 긴급정도의 분류를 한다. 이들 진단작업은 조사 시험 내용의 상호평가나 결과의 분산, 샘플링 방법, 건전도의 판정기준치 등 많은 요소에 대해서 종합 판정할 필요가 있고, 또 이들의 조사 시험 내용도 해당 시설의 입지조건, 규모, 지역의 상황 등에 따라 크게 변하는 것이 예상된다.

개수 긴급정도에 따른 분류의 예는 표 7.1.4와 같고 여기서 개수의 긴급정도는 다음과 같이 분류한다.

A: 긴급개수를 필요로 한다.

B: 긴급성은 없지만 개수가 필요하다.

C: 현재 개수의 필요성은 없지만 경년조사를 계속하여 필요한 경우는 개수를 계획 준비한다.

D: 당분간 개수가 필요하지 않다.

표 7.1.4 개수 긴급정도 분류 예

개수 긴급 정도	관체 구조물	개수로, 암거	개수 판단
A	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관의 균열, 파열, 이음부의 이탈 등으로 누수가 전선에서 확인되는 것</li> <li>- 현재 누수가 있고 주택이 많아 부분적 보수가 어렵고 노선변경이 필요한 것</li> <li>- 이음각적, 이음각도가 기준치 이상인 것</li> <li>- 현재의 설계기준에서 관종이 부적당한 것</li> <li>- 간선유량 증가로 변경이 필요한 것</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 측벽의 전도로 구조물 자체의 안전성에 문제가 있는 것</li> <li>- 기초지반의 지지력 부족으로 부등침하가 생기고 누수가 있는 것</li> <li>- 현지확인결과 분명히 개수의 필요성이 있는 것</li> </ul>	긴급개수
B	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관의 균열, 파열, 이음부의 이탈 등으로 생긴 누수를 부분적으로 보수한 것</li> <li>- 장래 사고의 발생이 예상되는 것</li> <li>- 누수량이 허용감수량 이상인 것</li> <li>- 부적절한 이음 구조, 천연고무의 사용, 석면시멘트관의 사용</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 측벽, 인버트부에 마모가 보이고 이음부가 어긋나고 지수관 파손으로 부분적인 누수가 보이는 것</li> </ul>	요 개수
C	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현재 누수에 의한 사고가 확인되지 않은 것</li> <li>- 조사시험결과 장래 수명이 장기적으로 보장되기 어렵다고 판단되는 것</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 현재 누수는 없지만 장래 사고의 발생이 예상되는 것</li> <li>- 부분적 보수를 한 것으로 현재는 사고의 발생이 없는 것</li> <li>- 조사시험결과 장차 수명이 장기적으로 보장되기 어렵다고 판단되는 것</li> </ul>	경년조사를 하여 필요한 경우 개수계획
D	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 누수 등의 장애가 없는 것</li> <li>- 전체적으로 시설의 건전성(기능성, 안전성, 유지관리, 조작성 등)이 잘 확보되어 있는 것</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 누수 등의 장애가 없는 것</li> <li>- 전체적으로 시설의 건전성(기능성, 안전성, 유지관리, 조작성 등)이 잘 확보되어 있는 것</li> </ul>	개수 불필요

#### 나. 보수, 보강 여부의 판정기준

보수, 보강 여부의 판정은 조사 및 원인 추정결과에 근거하여 콘크리트 구조물의 내구성, 방수성, 내력, 미관 등을 고려하여 행한다. 기왕의 보수, 보강의 판정 예를 보더라도, 구조물의 종류, 판정기관이나 기준치의 다름, 균열의 원인이나 진행정도, 균열의 밀도, 균열이 구조물의 열화에 미치는 영향 등 대단히 많은 요소를 종합적으로 검

토하기 때문에 그 결과에서 큰 차이가 나는 것이 보통이다.

따라서 보수, 보강의 필요성의 판정은 다음 표의 값을 종합적으로 검토하여 행하고 원인 추정이나 판정이 곤란한 경우에는 구조계산 등을 포함하여 전문기술자의 판단에 근거해서 판정할 필요가 있다.

1) 콘크리트의 열화도 구분과 보수, 보강 필요성의 판정

콘크리트 내구성능에 관한 주요 열화 요인은 표 7.1.5와 같이 중성화, 철근부식, 균열, 강도열화, 동해, 염해의 6개로 구분하며, 이들은 서로 관련하여 열화상태를 나타낸다. 그리고 균열폭의 한도는 표 7.1.6과 같다.

표 7.1.5에서 열화정도 구분의 3은 보수 또는 보강이 필요한 것으로 판정하지만 보수, 보강의 여부는 열화도, 보수, 보강의 목적, 비용, 기타 요소를 종합하여 판정할 필요가 있고 구조물의 종류, 중요도 등에 따라 열화정도 구분 2에서도 보수, 보강이 필요한 경우가 있다.

그리고 콘크리트의 보수, 보강 또는 개수 여부의 판정은 대개 고도의 판단을 요구하므로 각 사업실시기관이나 연구소 등에서 발표되는 각종 검토 및 연구결과도 참고하여야 한다.

2) 평가기준의 실시 예

가) 균열의 평가기준 예

표 7.1.7 및 7.1.8는 균열의 평가기준 예를 나타낸다.

나) 철근덜개에 의한 평가기준 예

표 7.1.9는 철근덜개에 의한 평가기준 예를 나타낸다.

표 7.1.5 콘크리트 열화정도 구분

열화정도		중성화 <sup>1)</sup>	철근부식	균열 (mm)	강도열화 (설계기준 강도 대비 %) <sup>2)</sup>	동해	염해
0 (없음)	열화가 거의 없음		녹이 없거나 얇고 치밀하여 알 수 없을 정도이다.		100	경미한 균열(폭 0.2mm 이하) 또는 표면만의 스케일링으로 진행성이 없음,	손상이 없음
1 (경미)	전체적으로 경미하고 국소적으로만 있음	$A < 0.5D$ 및 $< 0.5C$ , $A < 0.5D$ 및 $0.5C \leq A < 1.5C$ , $A < 0.5D$ 및 $0.5C < A < C$	부분적으로 녹에 의한 부풀림이 있지만 소면적의 반점상태이다.	0.05 미만	90% 이상, 100% 미만	표면에 작은 균열(폭 0.3mm 정도까지), 또는 중간정도까지의 스케일링(깊이 10mm 정도까지)	경미한 균열, 녹물, 또는 박리가 부분적으로 있음
2 (중간)	전체적으로 경미하지 않고 국소적으로 심한 열화가 있음	$A < 0.5D$ 및 $1.5C$ , $0.5D \leq A < D$ 및 $0.5C \leq A < 1.5C$	단면결손은 눈으로 확인할 수 없지만 철근 전체가 녹이 슬어 있다.	0.05 이상, 0.5 미만	75% 이상, 90% 미만	균열폭이 크거나(0.3mm 이상), 큰 스케일링, 박리(깊이 20mm 정도까지)가 있음	균열, 녹물, 박리 또는 박락이 연속적으로 있음
3 (심함) (개보수 필요)	심한 열화가 광범위하게 있음	$A \geq D$ 및 $\geq 0.5C$ , $A \geq D$ 및 $0.5C < A < 1.5C$	단면결손이 생겼다.	0.5 이상	75% 미만	철근부근까지의 균열, 부풀림, 박리, 심한 스케일링(깊이 20mm 이상)으로 철근단면 결손이 있음	강재의 노출이 파단, 또는 콘크리트 단면 결손이 있음

주) 1) A: 중성화 측정 깊이, D: 철근덮개의 최소치, C: 식을 이용한 계산치 (예: 岸谷式)

2) 슈미트 해머, 초음파속도 또는 코어에 의한 압축강도

표 7.1.6 보수의 필요성에 대한 균열폭의 한도

구분		내구성 측면			방수성 측면
		심함	중간	심하지 않음	
A) 보수를 요하는 균열폭 (mm)	대	0.4 이상	0.4 이상	0.6 이상	0.2 이상
	중	0.4 이상	0.6 이상	0.8 이상	0.2 이상
	소	0.6 이상	0.8 이상	1.0 이상	0.2 이상
B) 보수를 요하지 않는 균열폭 (mm)	대	0.1 이하	0.2 이하	0.2 이하	0.05 이하
	중	0.1 이하	0.2 이하	0.3 이하	0.05 이하
	소	0.2 이하	0.3 이하	0.3 이하	0.05 이하

주) 1) 대, 중, 소는 콘크리트 구조물의 내구성과 방수성에 미치는 유해성의 정도를 나타내며 여러 요인(균열의 깊이 및 형태, 피복두께, 콘크리트 표면피복의 유무, 재료배합, 이음 등)의 영향을 종합하여 정한다.

2) 심함, 중간, 심하지 않음은 주로 철근의 녹 발생조건에 관점에서 보는 환경조건이다.

표 7.1.7 균열 평가기준 예

등급	균열의 정도	균열폭 (mm)
A	균열이 없거나 미세한 경우	-
B	균열이 있지만 그 정도가 작은 경우	0.2 미만
C	균열이 상당히 있지만 중간정도의 경우	0.2 이상 ~ 1.0 미만
D <sub>1</sub>	균열이 거북이 등 모양으로 발달하여 그 정도가 큰 경우	1.0 이상 ~ 3.0 미만
D <sub>2</sub>	위와 같음	3.0 이상 ~ 5.0 미만
E	균열이 심히 커서 긴급 처리를 요하는 경우	5.0 이상

표 7.1.8 개수로 평가기준 예

등급	균열의 정도와 밀도	보수 여부
I	균열이 없거나 미세함 (균열폭 0.2mm 미만)	보수 필요성 없음. 경년적 관찰 필요
II	균열폭 0.2mm 이상의 것이 1m/m <sup>2</sup> 미만이고 등급 E의 균열이 없음	현재 보수는 불필요하나 0.2mm 이상의 균열이 있어 경년적 관찰에서 균열이 증가하는 경우 보수 대책을 세운다.
III	균열폭 0.2mm 이상의 것이 1m/m <sup>2</sup> 이상이고 등급 D 이상의 균열이 없음	등급 IV의 다음으로 보수대상
IV	균열폭 0.2mm 이상의 것이 1m/m <sup>2</sup> 이상이고 등급 D 이상의 균열이 있음	균열폭 1.0mm 이상이 있으면 보수가 필요함

주) 균열폭 0.2mm 이상의 것이 1m/m<sup>2</sup> 미만이고 등급 E의 균열이 있는 경우는 부분적인 보수를 한다.

표 7.1.9 주철근의 건전한 철근덮개

등급	주철근의 건전한 철근덮개 (mm)	보수 여부
a	10 미만	보수 대책을 고려
b	10 ~ 25	현재는 보수의 필요성이 없으나 경년적으로 관찰 필요. 열화의 원인 조사에서 덮개의 두께 감소가 예측되는 경우 개수의 대상으로 고려한다.
c	25 이상	보수 필요성 없음

### 7.1.3 개보수에 대한 유의사항

개보수에 대한 유의사항을 정리하면 다음과 같다.

#### 가. 개수로에서의 장애의 예와 그 원인

개수로에서 나타나는 장애의 예와 그 원인은 표 7.1.10과 같다.

표 7.1.10 개수로의 장애의 예와 그 원인

장애의 예	장애의 원인
콘크리트 표면(측벽, 인버트부)의 마모	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 철근덮개의 부족에 따른 철근 녹의 발생이나 콘크리트의 박리</li> <li>- 동경용해, 중성화, 염해 등에 의한 콘크리트의 열화</li> <li>- 온도변화, 건조수축에 의한 균열의 발생</li> <li>- 국소세굴이나 콘크리트 다짐 부족, 재료분리 등에 의한 마모의 진행</li> </ul>
부등침하에 의한 이음부의 손상, 지수관 파손	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기초지반의 지지력 부족</li> <li>- 성토와 절토가 공존하는 곳에서 성토부의 다짐 불충분 (시공불량 및 기초의 불량)</li> <li>- 이음부가 어긋나서 생긴 지수관의 파단에 의한 누수로 기초에 물길이 형성되고 흡입자가 씻겨나가 부등침하를 조장</li> <li>- 이음부의 설계 시공 불량</li> </ul>

장애의 예	장애의 원인
누수가 기초지반내에서 물길을 형성하고 부등침하를 조장	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 성토와 절토가 공존하는 곳에서 성토부의 다짐 불충분 (시공불량 및 기초의 불량)</li> <li>- 부등침하에 대응할 수 있는 이음이 아니어서 블록간에 어긋남이 생김</li> <li>- 이음부가 어긋나서 생긴 지수관의 파단에 의한 누수로 기초에 물길이 형성되고 흡입자가 씻겨나가 부등침하를 조장</li> <li>- 이음부의 설계 시공 불량</li> </ul>
측벽이 넘어져 일부 보강용 강을 시공하지만 확대될 위험이 있음	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 기초지반의 지지력 부족</li> <li>- 철근덮개의 부족에 의한 철근 녹의 발생이나 콘크리트의 박리</li> <li>- 동결융해, 중성화, 염해 등에 의한 콘크리트의 열화</li> </ul>
수로교나 낙차공과의 접촉부는 부등침하에 의해 이음부에 단차가 생기고 누수가 보임	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 성토와 절토가 공존하는 곳에서 성토부의 다짐 불충분 (시공불량 및 기초의 불량)</li> <li>- 부등침하에 대응할 수 있는 이음이 아니어서 블록간에 어긋남이 생김</li> <li>- 이음부의 설계 시공 불량</li> </ul>
쓰레기, 낙엽의 유입 및 산쪽에서의 토사 유입이 많음	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 침사지, 흙막이 대책의 부족</li> <li>- 배후지의 사면침식이나 유입공에서의 토사, 쓰레기 유입</li> <li>- 유지관리 부족</li> </ul>
불법점용이 있고 그 곳에서 쓰레기가 유입	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 불법 점용에 따른 관리불능</li> </ul>
전락방지 울타리가 없어 위험	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 유지관리 부족</li> </ul>

#### 나. 관체 구조물에서의 장애의 예와 그 원인

관체 구조물에서의 장애의 예와 그 원인은 표 7.1.11과 같다.



표 7.1.11 관체 구조물에서의 누수의 예와 그 원인

사고상태	사고원인
중단상으로 승강이 심한 노선에서의 누수	- 입구에서의 공기연행에 따른 에어해머에 의해 관이 균열 또는 파손된다. - 급사면 배관부의 활동에 의한 이음부 이탈
입구, 출구의 박스 부근에서의 누수	- 구체와 관의 부등침하
원심력 철근콘크리트관을 사용한 노선에서의 누수	- 관중이 부적당하다 (이음의 이탈, 파괴)
도로의 신설 또는 확폭을 한 노선에서의 누수	- 설계조건의 변화에 따른 관의 파열 및 부등침하에 의한 균열
지형, 지질이 변하는 점을 통과하는 노선에서의 누수	- 부등침하에 의한 관의 이탈
관의 부상이나 탈락에 의한 누수	- 액상화에 의한 함

#### 다. 기타 장애의 예

- 1) 분수공 게이트 밸브, 유량계 등의 노후
- 2) 게이트 문짝, 권양기 등에서의 도장의 박리, 녹발생 등
- 3) 파랑, 수초의 무성 등에 따른 여유고의 부족
- 4) 사이펀의 배사구, 감사공, 공기변 등의 노후
- 5) 관리도로의 불비
- 6) 터널 내부 이음부에서의 누수
- 7) 개수로 안전시설의 불비 및 토사 유입
- 8) 스크린 검불 제거시의 위험성
- 9) 수로물넘이의 능력 부족

### 7.1.4 조사시험 예

#### 가. 관체 구조물 조사

##### 1) 예비조사

조사대상시설의 현지조사를 행하고 시설의 상황(환경의 변화 등), 구조물의 사고 보수기록(보수내용, 보수방법 등)의 정리, 그리고 당시의 기준에 대해서도 정리해 둔다.

## 2) 누수시험

관로에 물을 채운 후에 관내 수위의 변화를 관측하여 일정 시간 경과 후의 감수량을 구한다. 수조나 인접한 터널로부터 관내에 물이 들어오지 않게 하고 배출수조 쪽의 관내에 부자를 띄워서 15분마다 저하된 수위를 조사하여 감수심 및 감수량을 구한다. 허용감수량은 콘크리트 관류에서 100~150 l/s(관경 1cm, 길이 1km당), 소켓 연결형의 주철관, FRPM 등에서는 50~100 l/s(관경 1cm, 길이 1km당), 용접 및 접착이음 등의 강관 및 경질염화 비닐관 등에서는 25 l/s(관경 1cm, 길이 1km당)로 한다.

## 3) 관내에서의 관찰조사

누수원인을 분명히 하기 위해 관내수를 배제하고 이음부의 간격(원주방향으로 4점)을 측정하고 관내 상황에 대해 조사한다.

## 4) 센서에 의한 관 두께 측정

관내면 또는 외면에서 초음파두께측정기를 사용하여 관의 두께를 측정한다(1개소에 대해 원주방향으로 8점을 측정한다).

## 5) 이음부 수압시험

이음부의 수밀성을 검사하는 것으로 누수시험결과 등을 고려하며, 불량이음을 파악하는 시험이다. 부하수압은 정수압 및 관의 규격에 따라 정해지는 시험수압, 또는 정수압의 2배 중에서 큰 수압으로 한다. 단, 최대수압은 500kPa로 한다. 정수압까지 가압하여 5분간 방치한 후의 수압이 80% 미만으로 저하하는 것을 불량이음으로 한다.

## 6) 관의 들어올림에 의한 강도시험 등 (관체강도시험, 중성화시험, 고무물성시험)

가) 관체강도시험은 외압시험과 내압시험을 행한다.

나) 중성화시험은 강도시험 후에 관 조각을 사용하여 단면에 페놀프탈렌 용액을 분무하여 중성화의 정도를 조사한다.

다) 고무물성시험은 고무링 채취 직후의 크기를 측정하고 1일, 3일, 7일 후의 크기 변화를 측정한다. 그리고 적외선 흡수스펙트럼법에 의해 고무의 종류를 조사하고, 인장시험, 영구신장시험 등을 행한다.

## 나. 콘크리트 구조물 조사

콘크리트 구조물의 내구성(열화도)을 분명히 알기 위해 비파괴검사를 주로 하여 다음 항목에 대한 조사를 실시한다.

- 1) 예비조사  
조사대상시설의 현지답사를 하고 시설의 개황 및 사고 보수기록 등의 조사를 한다.
  
- 2) 관찰에 의한 균열 등의 조사  
눈으로 확인할 수 있는 균열 등의 길이와 폭을 측정한다.
  
- 3) 초음파에 의한 균열 깊이 조사  
균열이 구조물에 미치는 영향을 알기 위하여 균열 깊이를 조사한다.
  
- 4) 슈미트 해머에 의한 압축강도시험  
콘크리트 강도를 파악하기 위해 슈미트 해머에 의한 시험을 실시한다.
  
- 5) 철근상황조사  
철근의 현황 파악을 위해 건전부와 균열발생부분에서 콘크리트 표면을 떼어내 철근의 상황을 조사한다.
  
- 6) 부등침하, 변형  
개수로와 암거의 이음 위치를 측정하여 침하정도를 조사한다. 개수로는 측벽의 변형을 조사한다.
  
- 7) 코어에 의한 압축강도시험  
측벽 및 저판에서 직경 100mm, 길이 100mm 이상의 코어를 채취하여 압축강도시험을 실시한다.
  
- 8) 콘크리트 중성화시험  
철근상황조사위치 및 채취된 코어에 페놀프탈렌 용액을 살포하여 중성화 깊이를 측정한다.
  
- 9) 염분함량분포  
철근의 녹 발생상황을 추정하기 위해 콘크리트 중의 전체 염소량을 분석 측정한다.

## 7.2 보수, 보강공법

보수 또는 보강이 필요하다고 판단되는 경우 다음과 같이 콘크리트의 보수 또는 보강을 하는 것이 바람직하다.

### 가. 보수

여기서 보수라 함은 균열 등에 의해 손상된 콘크리트 구조물의 내구성, 방수성 등 내력 이외의 기능을 회복시킬 목적으로 행하는 행위이다. 보수에 있어서는 균열, 기타의 원인, 보수의 범위와 규모, 환경조건, 안전, 공기, 경제성 등을 고려하고 적절한 보수재료, 보수공법, 보수시기를 선정하여 행하여야 한다.

보수공법은 일반적으로 다음 중에서 선정한다.

- 1) 표면처리공법
- 2) 주입공법
- 3) 충전공법
- 4) 부분교환공법 (철근의 추가, 콘크리트 추가 포함)
- 5) 기타의 공법

표 7.2.1 균열에 대한 보수공법의 분류

보수 목적	균열의 원인과 형상		균열폭 (mm)	보수공법					대상이 되는 균열 (표 7.1.3 참조)
				표면처리공법	주입공법	충전공법	기타 공법		
							침투성 방수성의 도포공법	기타	
방수성	철근 부식 없음	균열나비 변동이 작음	0.2 이하	○	△		○		A1 ~ A4, A8, A9, B1 ~ B10, B13 ~ B16, C4
			0.2 ~ 1	△	○	○			
		균열나비 변동이 큼	0.2 이하	△	△		○		
			0.2 ~ 1	△	○	○			
내구성	철근 부식 없음	균열나비 변동이 작음	0.2 이하	○	△	△			A1 ~ A4, A8, A9, B1 ~ B10, B13 ~ B16, C4
			0.2 ~ 1	△	○	○			
			1 이상		△	○			
		균열나비 변동이 큼	0.2 이하	△	△	△			
			0.2 ~ 1	△	○	○			
			1 이상		△	○			
	철근 부식					○		B6, B10, B11, B12, B14, C3 ~ C7	
	염해						●		A7, C8
	반응성 골재						●		A6

주) 1. 균열나비 3mm 이상은 구조적 결함을 동반하는 경우가 많으므로 여기에 표시된 공법으로 그치지 않고 구조 내력의 보강을 포함하여 실시하는 것이 보통이다.

2. ○: 적당하다고 보는 공법, △: 조건에 따라 적당하다고 보는 공법, ●: 연구단계의 공법

## 나. 보강

여기서 보강이란 균열, 기타 원인에 의해서 생기는 콘크리트 구조물의 내력 저하를 회복시킬 목적으로 하는 행위이다.

보강에 있어서는 균열, 기타 원인, 하중조건, 소요내력, 보강의 범위와 규모, 환경조건, 안전, 공기, 경제성, 관리의 용이성 등을 고려하고, 적절한 보강방법, 보강시기 및 보강재료를 선정하여 단면 및 부재의 설계를 행하여야 한다.

보강된 부재의 내력의 산정은 적절한 작용하중에 따라 구조의 형식, 부재단면의 제원 및 재료의 역학적 특성에 근거하여 적절한 방법으로 행한다.

보강공법은 일반적으로 다음의 공법 중에서 택한다.

- 1) 강판, 탄소섬유 등의 접착공법
- 2) 프레스트레싱 공법
- 3) 단면의 증가공법
- 4) 부재의 증설공법 (콘크리트 또는 강섬유보강 콘크리트)
- 5) 콘크리트 부재의 교환
- 6) 기타

## 다. 보수, 보강재료

보수, 보강에 사용되는 재료는 일반적으로 다음 중에서 선정하지만 기술개발의 진전은 급속하고 신기술의 도입을 포함하여 소요 목적, 내구성, 시공성, 주변환경, 미관, 경제성 등을 검토하여 공법과 재료를 결정한다.

### 1) 수지계 재료

수지계 재료의 품질은 소요의 강도, 강성, 접착성, 내구성이 우수하고, 균열의 상태 및 채용되는 공법에 적합한 것을 사용한다.

### 2) 시멘트계 재료

시멘트계 재료의 품질은 체적변화가 작고 소요의 강도, 강성, 유동성, 내구성이 우수하고 기설 콘크리트와 일체성을 유지하며, 채용되는 공법에 적합한 것을 사용한다.

### 3) 강재

강관, 철근, H형강, I형강, PC 강재 등의 보강재료는 소요 품질을 확보하고 채용되는 공법에 적합한 것을 사용한다.

### 4) 탄소섬유, 기타

탄소섬유 또는 유리섬유 등의 높은 인장강도를 갖는 시트를 에폭시수지로 접착하여 콘크리트 구조체의 휨, 전단, 구속보강을 행하는 것으로 강도, 시공성, 내구성, 방수성 등을 갖는 것이 있고, 소요 품질을 가져 채용되는 공법에 적합한 것을 사용한다.

보수, 보강재로서 많이 사용되는 수지계, 시멘트계 재료는 사용상의 주의나 요구되는 성질이 다르다. 표 7.2.2는 사용재료와 보강공법의 관계를 나타낸다.

그리고 수지계 재료로 균열의 보수에 일반적으로 사용되는 에폭시계, 폴리에스테르계, 폴리우레탄계, 고무아스팔트계의 일반적 성능은 표 7.2.3과 같다.

보강재료는 보강의 목적이나 보강공법에 따라서 적절한 것을 선정하지만 각종 보강공법에 따른 보강재료는 표 7.2.4와 같다.

표 7.2.2 보수재료의 종류와 적용가능한 보수공법의 관계

보수재료		표면처리공법	주입공법	충전공법
수지계 재 료	레진 모르타르			○
	에폭시 수지		○	○
	탄성 실링재	○	○	○
	도막탄성방수재	○		○
시멘트계 재 료	폴리머 시멘트 슬러리		○	
	폴리머 시멘트 페이스트	○		
	폴리머 시멘트 모르타르			○
	시멘트 필러	○		
	팽창 시멘트 그라우트		○	

표 7.2.3 수지의 성능

구분	에폭시계	폴리에스테르계	폴리우레탄계	고무, 아스팔트계
접착성	우	양	양	가
가소성	가	가	우	양
내구성	우	양	양	불가
작업성	양	양	양	우
내수성	우	양	양	가
내알칼리성	우	불가	양	가
수축	무	대	소	대
경제성	가	양	양	우

표 7.2.4 각종 보강공법별 사용재료

보강공법	보강재료
강관 등 접착공법	강관, 탄소섬유 등, 에폭시 수지, 앵커 볼트
프리스트레싱 공법	PC 강재, 정착구
단면증가공법	철근, 콘크리트, PC 강재, 에폭시 수지, 그라우트 재, 섬유보강 콘크리트
부재 증설공법	철근, 콘크리트, H형강, 에폭시 수지, 그라우트 재, 앵커 볼트, 섬유보강 콘크리트

### 7.3 개보수 사례

#### 가. 수로벽을 높일 경우의 이음

수로 준공 후의 조도의 변화, 유량변동, 파의 발생 등으로 여유고의 부족이 생기면 이를 보수하는 경우가 많다. 일반적으로 신규 콘크리트의 접착성을 크게 하기 위하여 타설면을 청소하고 접착재를 바른 후에 콘크리트를 친다. 수로벽을 높일 때, 일반적으로 그 높이는 크지 않지만 하중의 증가에 대한 구 수로 측벽의 안전성을 검토하고, 증가하중에 대한 내하력이 부족한 경우는 벽을 높이는데 따른 구조의 안전성에 대한 검토를 해야 한다.

#### 나. 이음부의 보수

이음부는 지수관, 다우웰바, 신축판, 수대(受台) 등의 시공과 함께 복잡한 거푸집 조립이나 지수관의 시공불량, 철근의 집중 등으로 인한 콘크리트의 골재분리나 다짐부족 때문에 누수가 생기기 쉽다. 보수에 있어서는 불량 콘크리트를 제거하고 새로 콘크리트를 치는 것이 보통이지만 그것이 곤란한 경우에는 특별한 대책을 강구한다.

#### 다. 알칼리 골재반응 피해에 대한 보수공법

여러 가지 방법 중에서 충전공법의 예를 들면 표면처리, 프라이머 도장, 혼합, 충전, 양생, 마무리의 순서로 하는 것인데 그 내용은 다음과 같다.

- 표면처리: 균열에 따라서 V 또는 U 형으로 골을 파고 청소한다. 골의 단면



- 은 폭 10~50mm, 깊이 10~50mm로 한다.
- 프라이머 도장: 피접착면을 건조시킨 후에 프라이머를 바른다.
  - 혼합: 충전재를 소정의 배합에 따라 배합하고 혼합한다.
  - 충전: 프라이머 건조 후에 본드 브레이커를 골의 바닥에 설치하고 충전재로 골을 채운다. 충전 후에는 표면을 눌러주고 정리한다.
  - 양생: 충전재가 경화될 때까지 양생한다.
  - 마무리: 충전재가 경화된 후에 흙손, 시너, 샌드 페이퍼 등으로 청소 또는 마무리한다.

#### **라. 관 압거(상자형 압거 포함)의 보수공법**

개보수가 필요하다고 판단되는 경우 다음의 개보수공법을 참고할 수 있다.

표 7.3.1 관 압거 등의 개보수 공법 예

장애의 정도	장애내용	복구기술	주요복구공법
소규모 균열	균열의 틈이 작고 소량의 침입수가 있는 경우	구조물에 균열이 생기면 에폭시 수지를 주입하여 강도를 회복시키고 침입수를 방지한다.	수지주입공법
비교적 규모가 큰 균열이나 이음부의 틈 또는 파손	균열의 틈이 비교적 커서 (5cm 이하) 침입수가 관의 기능에 장애를 주는 경우	구조물에 국부적으로 파괴된 부분은 강판접착으로 내하력을 키운다. 접착면은 에폭시 수지로 조정한다. 시공시에 용출수, 침수 등이 많으면 V 컷을 하고 지수 호스로 배수하면서 급결재로 코킹, 그라우트재 주입 후 보통의 강판접착공법 또는 우측 난의 공법을 실시한다. 기설관 내에 폴리에틸렌 파이프, 이음이 없는 실 호스 등을 넣고 관의 재생을 도모하는 경우도 있다. 특히 이음이 어긋나 파손된 경우 모르타르 코킹을 행한다. 지수가 필요하면 V 컷을 하고 물빼기 파이프를 대고 급결성 지수체로 코킹한다. 파이프는 주입재를 압입한다(이음의 틈이 5cm 이하에 대응). 침입수가 많은 경우 가체철 등으로 대응한다.	약액주입공법 V 컷 코킹공법 실링공법 강판장착공법 콘크리트 감기공법 이중관공법 호스 라이닝공법 지수 밴드공법 가동성 이음공법 V 컷후 모르타르 충전
대규모의 손상이나 관축의 어긋남	틈이 커서 관축의 변동이 5cm를 넘는 경우	관축의 변동을 그라우트 주입압으로 수정한다. 관축의 변동은 30cm 정도가 한계이다. 이 방법이 불가능하고 굴착이 가능한 경우는 신설관으로 대체한다 (지반조사를 하고 지형조건을 고려하여 복구계획을 수립한다)	

## 7.4 개보수 설계상 유의사항

### 가. 빈지의 배치

점검, 보수빈도가 큰 게이트, 분수시설, 사이펀, 터널 등의 상하류나 개수로라도 점검, 보수 등을 고려하여 적당한 구간마다 빈지를 설치하는 것이 좋다 (대략 500m~1km 정도). 특히 빈지의 설치에 있어서는 설치 및 철거의 동력(인력 또는 크레인)에 유의하고 관리교량 및 관리도로도 설치해야 한다.

### 나. 물푸기공

점검, 보수빈도가 높은 개수로의 분수시설이나 게이트 설치장소, 사이펀 요부(凹部), 관로의 밸브실(제수밸브, 공기밸브 등), 유량계실, 흡입수조 등은 시공중 물푸기의 필요성이 크다. 수중 모터펌프의 설치를 위한 배수용 피트의 설치가 필요한 경우도 많다.

### 다. 맨홀의 배치

사이펀이나 관로에서는 관내의 점검, 검사, 청소 등이 필요에 따라 맨홀이나 피트를 설치해야 한다. 특히, 길이가 100m를 넘는 사이펀에서는 최심부나 최고위부, 그리고 400~500m 정도의 거리마다 맨홀을 설치하는 것이 바람직하다.

#### **라. 위프 홀 및 이음에 대한 고려**

위프 홀이나 언더드레인 유출구에서는 막히는 것이나 고무 등의 열화로 부품교환이나 보수가 필요한 경우가 많다. 또 이음부나 지수판 등도 점검 및 보수를 해야 하기 때문에 설계시의 배려가 필요하다. 특히, 누수에 의한 부등침하나 비탈면의 불안정, 또는 주변에 대한 피해를 일으킬 우려가 있는 경우에는 다음의 대책을 검토한다.

- ① 부품의 교환성을 높게 한다.
- ② 내구성이 큰 제품을 선택한다.
- ③ 대체공법을 검토한다.

#### **마. 관리용 도로정비**

수로관리용 도로는 항상 정비되어 있어야 하지만 개보수에 앞서 자재나 장비의 이동을 위해 도로정비를 선행해야 한다.

#### **바. 바이패스 시설의 설치 고려**

하류지역에서 물의 수요가 있어 물을 계속 보내야 하고 개보수를 위해 수로에 물을 흘리지 못할 경우에는 바이패스 시설을 별도로 설치해야 한다.

#### **사. 기타**

설계단계부터 유지관리나 점검작업은 물론이고 장래의 개보수 가능성을 고려하여 검토할 필요가 있으며, 시설이나 기기류의 내용연수, 유지관리비와 개보수비 등에 대해서도 검토해 두는 것이 바람직하다.

## 참 고 문 헌

- 1) 건설교통부, 2004, 콘크리트구조설계기준
- 2) 건설교통부, 2002, 하천설계기준
- 3) 건설교통부, 2000, 국유철도건설규칙
- 4) 건설교통부, 2000, 도로교설계기준
- 5) 농림부, 1997, 집중물관리 시스템 실용화 연구
- 6) 농림수산부, 1988, 농지개량사업계획설계기준(수로공편)
- 7) 농어촌진흥공사, 1999, 설계계산요령
- 8) 농어촌연구원, 1999, 관수로의 밸브설계기법 및 자동급수장치개발
- 9) 농어촌연구원, 1998, 관수로 시스템 설계기술 개발 연구
- 10) 오무영, 1996, 철근 콘크리트 공학, 동명사
- 11) 최예환외 5인, 1996, 농업용 수리 구조물의 보수보강 신기술개발(I, II),  
농림부, 강원대학교
- 12) 최예환외 2인, 1990, 현대 수리학, 학문사
- 13) 日本農林水産省, 平成 13년, 土地改良事業計劃建設基準(水路工)
- 14) 日本農林水産省, 平成 10년, 土地改良事業計劃建設基準(管水路)
- 15) 日本農林省 構造改善局, 水管理制御方式 技術指針(計劃設計編)