

KR C-05010

Rev.13, 13. August 2026

구교 및 배수시설

2026. 08. 13



국가철도공단

REVIEW CHART

개정 번호	개정 일자	개정사유 및 내용(근거번호)	작성자	검토자	승인자
0	2012.12.05	설계기준 체계 전면개정 (설계기준처-3537, '12.12.5)	최용진	석종근 손병두	김영우
1	2013.06.18	소단측구 표준도 추가 (설계기준처-1939, '13.6.18)	최용진	석종근 손병두	김영우
2	2015.06.19	관련기준 상호일치 (설계기준처-1712)	최용진	백호순	처 장 (공 석)
3	2016.06.15	선로횡단배수관 최소관경 확대 (설계기준처-1628, '16.6.15)	최용진	손병두 백호순	김영하
4	2016.12.02	배수시설 설계빈도 기준 추가 등 (설계기준처-3380, '16.12.2)	민진식	손병두 백호순	김영하
5	2017.03.20	“철도설계기준(국토교통부고시 제 2015-1014호, '15.12.29)” 개정내용 반영(설계기준처-3735호, '15.12.30)	민진식	이만수 백호순	김영하
6	2017.07.03	토사측구 문제점 보완 및 도로 배수시설 설계 및 관리지침(2012, 국토해양부) 준용 등	민진식	이만수 백호순	김영하
7	2017.10.27	지하구조물의 활하중 분포폭과 일치 (설계기준처-3175호)	최용진	이만수 백호순	김영하
8	2017.12.22	해설2. 박스형 구교 활하중 수정하여 개정(설계기준처-3175호)	민진식	이만수 백호순	김영하
9	2020.11.03	비구조용 표면배수시설 콘크리트 설계기준강도 합리화 개정, 철도시설안전혁신단 요구사항(토공구간 배수시설 개선) 반영	한익표	이상현 박창완	최원일
10	2024.06.04	건설기준 고도화 용역 검토 사항 등 반영한 KR CODE 개편 및 개정(심사기준처-715호, '24.06.04)	전필재	백호순 지연희	손병두
11	2024.08.30	행정안전부 소하천설계기준(상위기준) 개정에 따른 설계빈도 개정(심사기준처-2216, '24.08.30)	전필재	백호순 지연희	손병두
12	2024.11.08	직전 개정 시 단순누락·오류 사항 정정(심사기준처-137, '25.01.13, 심사기준처-510, '25.02.11)	전필재	지연희	박진용
13	2026.08.13	“철도시설 안전성 제고를 위한 표면배수시설 기준 개정 및 친환경 사면보호공법 개발 연구용역” 결과 반영(심사기준처-3342, '26. 8. 12.)	강홍석	송 권 지연희	송 권 (건설본부장代)

경 과 조 치

이 "철도설계지침 및 편람" 이전에 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사에 대하여는 발주기관의 장이 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 우리공단 "철도설계지침 및 편람"을 그대로 사용할 수 있습니다.

일 러 두 기

- 사용자의 이용 편의를 위하여 책 단위로 구성된 "철도설계지침" 및 "편람"을 국제적인 방식에 맞게 체계를 코드별로 변경하였습니다.
또한, 코드에 대한 해설 및 목차역할을 하는 KR CODE 2012, 각 코드별로 기준 변경사항을 파악할 수 있도록 Review Chart 및 Record History를 제정하였습니다.
- 이번 개정된 “철도설계지침 및 편람”은 개정 소요가 발생할 때마다 각 항목별로 수정되어 공단 EPMS, CPMS에 게시될 것이니 설계적용 시 최신판을 확인 바랍니다.
- “철도설계지침 및 편람”에서 지침에 해당하는 본문은 설계 시 준수해야 하는 부분이고, 해설(이전 편람) 부분은 설계용역 업무수행의 편의를 제공하기 위해 작성한 참고용 기술도서입니다. 여기서, 제목 부분의 편람은 각 코드에서의 해설을 총칭한 것입니다.

목 차

1. 일반사항	1
1.1. 목적	1
1.2. 적용 범위	1
1.3. 참고기준	1
1.4. 용어의 정의	1
1.5. 기호의 정의	3
2 조사 및 계획	3
3. 재료	3
4. 설계	4
4.1 구교의 설계	4
4.2 배수시설	6
4.3 수리·수문조사 및 분석	7
4.4 쌓기부 및 깎기부 배수시설	8
해설 1. 구교의 일반	9
해설 2. 박스형 구교	12
해설 3. 문형 라멘 구교	53
해설 4. 아치형 구교	58
해설 5. 관형 구교	64
해설 6. 배수시설	75
RECORD HISTORY	162

1. 일반사항

1.1 목적

- (1) 이 지침은 철도 구교 및 배수시설에 대하여 시설물의 조사, 계획, 설계, 시공, 유지관리에 필요한 기술적 사항을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2 적용범위

- (1) 이 지침은 구교(경간 5.0 m 미만) 및 배수시설에 대한 설계기준을 정한 것이다. 그러나 설계자의 판단에 따라 구교의 조건에 부합되는 경간 5.0 m 이상의 구조물에도 적용할 수 있다.
- (2) 거더 및 슬래브와 기둥이 일체로 강결된 철도구교에 적용한다.

1.3 참고 기준

1.3.1 관련 법규

내용 없음

1.3.2 관련 기준

- (1) 이 지침에서 언급하지 않은 사항은 KDS 47 10 45, KDS 47 10 55, KDS 14 20 00, KDS 24 00 00에 따른다.

1.4 용어의 정의

- (1) 갈고리 : 철근의 정착 또는 겹침이음을 위하여 철근 끝의 구부린 부분.
- (2) 계수하중(factored load) : 강도설계법에 의해 부재를 설계할 때 사용되는 하중, 사용하중에 하중계수를 곱한 하중.
- (3) 공칭강도(nominal strength) : 강도설계법의 규정과 가정에 따라 계산된 부재 또는 단면의 강도를 말하며 강도감소계수를 적용하기 이전의 강도.
- (4) 구교(溝橋) : 일반적으로 경간이 1m 이상이고 5m 미만이며 거더 및 슬래브와 기둥이 일체로 강결된 박스형, 문형라멘 및 아치형 등의 구조.
- (5) 단면력 : 하중작용에 의해 부재단면에 생기는 휨모멘트, 전단력, 축방향력(또는 축력) 및 비틀림모멘트.
- (6) 레디믹스트 콘크리트(ready mixed concrete) : 콘크리트 제조설비를 갖춘 공장으로부터 수시로 구입할 수 있는 굳지 않은 콘크리트.
- (7) 멍 암거(mole drainage) : 흙 속에 배수가 가능하도록 유공관, 섬유다발, 다발관, 막돌, 자갈 등을 매설하여 정형 또는 비정형의 단면을 가진 지하수로를 형성시키는 것.
- (8) 배수공 : 본선수로, 지축수로, 도수로, 집수정, 배수관 및 배수암거와 그 부속물.
- (9) 배수시설 : 노반의 분수를 방지하고, 노반강도를 확보함과 동시에 열화방지 및 호우시 쌓기부의 붕괴방지, 깎기 비탈면의 붕괴방지, 철도횡단 수로의 확보 등을 위한 모든 배수공.



- (10) 배합강도 : 콘크리트의 배합을 정하는 경우에 목표로 하는 압축강도.
- (11) 부력 : 지반 중 또는 지반과 구조물 사이에 간극수가 존재하는 구조물의 저면에 작용하는 상향의 정수압에 의해 생기는 힘.
- (12) 부의 휨모멘트 : 바닥판 및 부재상측에 인장응력을 생기게 하는 휨모멘트.
- (13) 부철근 : 부의 휨모멘트에 의하여 생긴 인장응력에 저항하도록 배치하는 철근.
- (14) 사용하중(service load) : 고정하중 및 표준열차하중으로서 하중계수를 곱하지 않은 것, 작용하중.
- (15) 사인장 철근 : 휨응력과 전단응력과의 합성에 의해 부재측에 경사지게 생긴 인장응력에 저항하도록 배치하는 철근. 전단철근.
- (16) 설계강도 : 공칭강도에 강도감소계수(ϕ)를 곱한 강도.
- (17) 설계기준강도(specific compressive strength) : 콘크리트부재의 설계에 있어 기준으로 한 압축강도. 일반적으로 재령 28일의 압축강도를 기준.
- (18) 설계하중 : 부재를 설계할 때 사용되는 적용 가능한 모든 하중으로서, 강도설계법에 의한 설계에서는 하중계수를 곱한 하중(계수하중)이고 허용응력설계법에 의한 설계에서는 하중계수를 곱하지 않은 하중.(사용하중)
- (19) 소요강도 : 하중조합에 따른 계수하중을 지탱하는데 필요한 부재 또는 단면의 강도, 또는 이와 관련된 휨모멘트, 전단력, 축방향력 및 비틀림 모멘트 등으로 나타난 설계단면력.
- (20) 양압력 : 구조물 전후의 수위차 또는 과량 등에 의한 구조물 위치에서 일시적인 위
- (21) 유효깊이 : 휨모멘트가 작용하는 부재 단면에서 콘크리트의 압축면으로부터 인장강재의 도심까지 거리. 상층에 의해 생기는 상향의 힘.
- (22) 정의 휨모멘트 : 바닥판 및 부재하측에 인장응력을 생기게 하는 휨모멘트.
- (23) 정철근 : 정의 휨모멘트에 의하여 생긴 인장응력에 저항하도록 배치하는 철근.
- (24) 주철근 : 철근콘크리트 부재의 설계에서 하중작용에 의해 생긴 단면력에 대하여 소요 단면적을 산출한 철근.
- (25) 축방향철근 : 부재축방향으로 배치하는 철근.
- (26) 콘크리트의 크리프 : 콘크리트에 일정한 응력이 작용한 상태에서 시간의 경과에 따라 변형이 계속 증가하는 현상.
- (27) 피복두께 : 콘크리트 표면과 그에 가장 가까이 배치된 철근표면 사이의 콘크리트 두께.
- (28) 횡방향철근 : 부재측에 직각방향으로 배치하는 철근.
- (29) B(함) : 철도노반하부에 설치되는 경간장 5.0m 이상의 박스형 암거.
- (30) 강도감소계수 : 재료의 공칭강도와 실강도간의 불가피한 차이, 제작 또는 시공, 저항의 추정 및 해석 모형 등에 관련된 불확실성 등을 고려하기 위한 안전계수.
- (31) 계획홍수량 : 하천유역개발 계획, 홍수방어(조절)계획, 이수계획, 내수배제계획, 그리고 하천환경관리 계획 등 각종 계획에 맞추어 이미 산정된 기본홍수를 종합적으로 분석하여 합리적으로 배분하거나 조절할 수 있도록 계획기준점이나 하천시설 설치지점 지류와 분류 합류점 등에서 하천개발계획을 위해 책정된 홍수량.

- (32) 낙차공(감세공) : 낙차가 큰 하상유지시설로서 하상의 세굴을 방지하기위해 도수를 발생시켜 흐름을 상류로 변화시키는 구조물.
- (33) 부하중 : 교량의 주요 구조부를 설계하는 경우에 항상 또는 자주 작용하지는 않지만 내하력에 영향을 미칠 수 있고, 통상 다른 하중과 동시에 작용하는 하중으로서 하중의 조합에서 반드시 고려하여야 하는 하중의 총칭.
- (34) 설계하중 : 부재를 설계할 때 적용하는 하중으로서, 강도설계법에 의할 때는 계수하중을 적용하고, 허용응력 설계법에 의할때는 사용하중을 적용.
- (35) 수위 : 기준면으로부터 측정한 수면의 높이.
- (36) 유역 : 어느 지점에서의 유역이란 그 지점을 동일한 유출점으로 갖는 지표면의 범위.
- (37) 주하중 : 교량의 주요 구조부를 설계하는 경우에 항상 또는 자주 적용하여 내하력에 결정적인 영향을 미치는 하중의 총칭.
- (38) 지하수 : 지상에 내린 강수가 일단 지표면을 통해 침투하여 단기간 내에 하천으로 방출되지 않고 지하에 머무르면서 흐르는 물을 지칭.
- (39) 특수하중 : 교량의 주요구조부를 설계하는 경우에 교량의 종류, 구조형식, 가설지점의 상황 등의 조건에 따라 특별히 고려하여야 하는 하중의 총칭.
- (40) 하중계수 : 하중의 공칭값과 실제 하중간의 불가피한 차이, 하중을 작용외력으로 변환시키는 해석상의 불확실성, 예기치 않은 초과하중, 환경작용 등의 변동을 고려하기 위하여 사용하중에 곱해주는 안전계수.
- (41) 허용응력 : 탄성설계에서 재료의 기준강도를 안전율로 나눈 것.

1.5 기호의 정의

내용 없음

2. 조사 및 계획

내용 없음

3. 재료

내용 없음



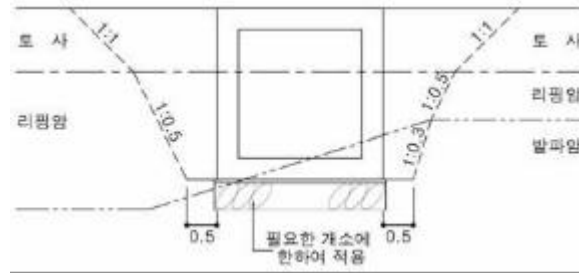
4. 설계

4.1 구교의 설계

4.1.1 구교설계 일반

- (1) 구교설계 일반에 관한 사항은 KDS 47 10 30(4.1.1)을 따른다.
- (2) 구교의 형식은 박스형, 문형라멘, 아치형으로 구분하며, 아치의 경우 이 장에서는 고정 아치를 기준으로 한다.
- (3) 구교의 형식은 사용목적과 현장조건, 내공단면의 크기, 기초지반의 상태, 시공성, 경제성, 유지관리성 등을 고려하여 선정해야 한다.
- (4) 구교는 상재하중 및 토압에 저항하면서 내부공간을 이용하는 것이기 때문에 그 목적에 따라 위치와 구조를 선택해야 하며, 지지지반의 역학적 특성(허용지지력, 허용침하량)상에 큰 문제가 없는 한 불필요하게 말뚝기초 등을 사용하지 말아야 한다.
- (5) 연약지반 통과구간이나 장기침하량 발생이 예상되는 구간에 구교를 설치할 경우에는 지지지반의 역학적 특성을 고려하여 신축이음설치를 가급적 피하고, 시공관리상 신축이음매를 계획할 경우에는 구조물 형식을 고려한 단차방지공을 설계에 반영하여 유지관리상, 사용성에 문제가 없도록 조치하여야 한다.
- (6) 구교의 유형과 크기는 다음 조건 및 현장여건 등을 고려하여 선정한다.
 - ① 배수구역
 - ② 지표수 인자
 - ③ 홍수위 또는 다른 제한 요소
 - ④ 시공기면으로부터 암거 상부까지의 최소높이
 - ⑤ 비탈면 경사와 노반의 폭
 - ⑥ 선로의 수와 간격
 - ⑦ 평탄부의 경사도와 유선
 - ⑧ 철도선로와 암거의 사각
 - ⑨ 유지관리
- (7) 수로용 구교는 계획유량을 통과시킬 수 있는 단면고, 내공높이는 고수위(HWL)+여유고를 합한 높이 이상으로 한다.
- (8) 도로용 구교(통로암거, 지하차도)는 도로 건축한계 이상이고 차도, 보도, 매설관, 조명 등 기타 필요한 시설을 설치할 수 있는 공간을 확보하여야 한다.
 - ① 보도를 차도보다 높게 설치할 경우 전동휠체어 통행을 고려하여 보도 진출입 부분 턱낮춤(슬라이딩) 시공해야 한다.
 - ② 도로용 구교가 지표면 아래에 위치할 경우 지하수, 기상조건 등을 고려하여 유지관리 시설(배수시설)을 확보해야 한다.
 - ③ 통로암거의 양측이 비포장도로인 경우 양측 용지경계를 고려하여 콘크리트 포장을 한다.

- ④ 단구간에 여러개의 대형 통로암거 계획은 가능한 지양하고 측도를 설치하여 한곳으로 대형차량을 유도 처리하고 그 외는 소규격 암거로 계획한다.
- ⑤ 암거 입·출구는 대형차량의 통행이 가능하도록 곡선반경과 시거를 확보하여야 한다.
(평행식 날개벽 적용 등)



- ⑥ 통로암거는 차수벽을 설치하지 않으며 지역여건, 경제성 등을 검토하여 조명시설을 설치한다.
- ⑦ 흙깎기 및 쌓기 경계부, 연약지반 등 부등침하가 우려되는 통로Box는 지지력을 확보할 수 있는 재료로 적정 높이의 지반보강을 하여야 한다.
- ⑧ 통로암거는 이용자의 안전, 지역여건 및 경제성을 고려하여 조명시설 등이 필요한 경우 다음과 같이 설치를 계획한다.

가. 연장이 30m이상이고 이용자(차량, 보행자)의 안전을 고려한 조명이 필요한 경우
나. 나들목, 분기점, 입체 교차로 등 인근에 도로조명과 인접하여 있는 10m이상의 경우
다. 관할 지자체 및 이용주민 요청에 따라 조명시설이 필요하다고 판단되는 경우
라. 차량통행이 빈번하고, 현지 여건상 주간조명이 필요한 통로암거는 KS C 3703(터널조명 기준)을 참조하여 적용하며 통로암거 전, 후의 접속하는 도로에 조명은 생략 가능하다.

마. 조명시설 설치시 에너지 절감을 고려하여 주간 및 야간조명을 구분하여 회로구성 하여야 한다.

바. 생태이동통로 하부도로, 교량 하부도로 등 통로암거의 이용목적과 유사한 경우에 조명시설을 설치할 수 있다.

사. 조명시설 사용은 해당 지자체에 인계 후 사용토록 한다.

- ⑨ 본 지침에서 언급하지 않은 사항은 「국도건설공사 설계 실무요령」 등 국토부 기준을 참고하여 현장에 반영하도록 한다.

- (9) 구교설계는 일반적으로 사용목적에서 정한 허용침하량 이하로 하고, 이음부는 유해한틈과 어긋남이 발생하지 않도록 하여 각 부재가 소요강도 이상이 되도록 설계하여야 한다.
- (10) 구조계산은 가장 불리하게 재하된 고정하중 및 활하중에 의한 구조물의 응력, 변형, 안정, 피로 등의 구조거동을 검토하여 소요 안전도를 확보하여야 한다.
- (11) 부재의 설계는 사용하중이 설계하중으로 작용할 때 부재단면의 처짐 및 균열 등을 고려하여 사용성 및 내구성이 있어야 하고, 계수하중이 설계하중으로 작용할 때 부재단면의 강도 등 안정성을 검토하여야 한다.



- (12) 부재 설계시 단면력은 탄성해석으로 계산하며 부재의 휨강성 및 비틀림 강성은 콘크리트의 전단면을 유효로 하여 계산한다.
- (13) 휨모멘트를 결정하거나 부재를 설계할 때는 헌치를 고려하여야 한다.

표 1. 통로암거 설치기준

구조물 규격	적 용 기 준
(폭×높이) 6.0m×4.5m	· 현재 보행자 및 대형차량*이 빈번하게 통행하고 있거나, 장차 통행 가능성이 있는 곳 * 대형화물차 및 농기계(폭 2.5m, 높이 4.0m) · 기존도로 폭원 고려, 교량 설치에 적합하지 않은 곳 · 통로암거와 연결도로 간 경사 차(差)로 인해 대형차량 통행이 어려운 경우 높이 5.0m 이상 적용
4.5m×4.5m	· 위의 규정에서 부득이 축소해야 하는 경우 · 통로암거와 연결도로 간 경사 차(差)로 인해 대형차량 통행이 어려운 경우 높이 5.0m 이상 적용 · 현장 여건(우회도로 등)에 따라 4.0m×4.0m까지 축소 가능
3.5m×3.5m	· 산간지대에서 차량의 통행이 드문 곳 · 위의 기준에 만족하는 우회 도로가 있는 곳

4.1.2 구교의 설계하중

- (1) 구교의 설계하중은 KDS 47 10 30(4.1.2)을 따른다.

4.1.3 구교의 설계방법

- (1) 구교의 설계방법은 KDS 47 10 30(4.1.3)을 따른다.

4.2 배수시설

4.2.1 일반사항

- (1) 배수시설의 일반사항은 KDS 47 10 30(4.2.1)을 따른다.

4.2.2 배수시설의 용량

- (1) 배수시설의 용량은 KDS 47 10 30(4.2.2)을 따른다.

4.2.3 설계빈도의 결정

- (1) 설계빈도의 결정은 KDS 47 10 30(4.2.3)을 따른다.

4.2.4 하천중요도에 따른 설계빈도

(1) 하천중요도에 따른 설계빈도는 KDS 47 10 30(4.2.4)를 따른다.

4.2.5 유출량

(1) 유출량은 KDS 47 10 30(4.2.5)를 따른다.

4.2.6 표면배수량

(1) 표면배수량은 KDS 47 10 30(4.2.6)를 따른다.

4.2.7 지하배수량

(1) 지하배수량은 KDS 47 10 30(4.2.7)를 따른다.

4.2.8 배수구교의 위치 및 방향

(1) 배수구교의 위치 및 방향은 KDS 47 10 30(4.2.8)를 따른다.

4.2.9 배수구교의 수리설계

(1) 배수구교의 수리설계는 KDS 47 10 30(4.2.9)를 따른다.

4.3 수리·수문조사 및 분석

4.3.1 일반사항

(1) 수리·수문조사 및 분석의 일반사항은 KDS 47 10 30(4.3.1)을 따른다.

4.3.2 조사 및 분석

(1) 조사 및 분석은 KDS 47 10 30(4.3.2)을 따른다.

4.3.3 배수시설 계획시 고려사항

(1) 배수시설 계획시 고려사항은 KDS 47 10 30(4.3.3)을 따른다.

4.3.4 설계강우강도

(1) 설계강우강도는 KDS 47 10 30(4.3.4)을 따른다.

4.3.5 설계통수단면

(1) 설계통수단면은 KDS 47 10 30(4.3.5)을 따른다.



4.4 쌓기부 및 깎기부 배수시설

4.4.1 배수계통

- (1) 배수계통은 KDS 47 10 30(4.4.1)을 따른다.
- (2) 배수시설의 단면설계는 토사 등의 퇴적을 고려하여 20% 여유를 둔다. 특히 집중호우시에 다량의 토사가 유출될 우려가 있는 지역은 발주자와 협의하여 결정한다.
- (3) 대량의 토석류 및 유송잡물 등이 예상되는 지역인 경우, 철도부지내에 필요한 차단시설을 설치하며, 철도부지외의 지역에 대해서는 관계기관과 설치방안에 대해 협의한다.

4.4.2 배수공법

- (1) 배수공법은 KDS 47 10 30(4.4.2)을 따른다.

해설 1. 구교의 일반

1. 구교의 분류

1.1 사용 목적에 의한 분류

(1) 배수처리를 위한 구교 : D(함)

농업용수, 소하천, 생활용수(상·하수), 우수 등을 처리하기 위하여 설치하는 구교

(2) 기타(이동통로)의 용도 : C(함)

이동 통로를 제공할 목적으로 설치되는 통로 구교, 생태통로(동물 이동로), 지하보도 및 출입구 등

1.2 구조 형식에 의한 분류

(1) 구조 형태에 의한 분류 : 박스형 구교, 문형 라멘 구교, 아치형 구교, 관형 구교

(2) 박스(Box) 개수에 의한 분류 : 1련 구교, 2련 구교, 3련 구교 등

(3) 제작 방법에 의한 분류 : 프리캐스트(Precast) 구교, 현장타설 구교

2. 선형계획

2.1 구교의 평면선형

2.1.1 통과부와의 교차

(1) 구교의 평면선형 계획은 본선 또는 하천(수로)의 상황에 적합하고 본선 중심선형과 평면 교차각이 큰(90° 에 가깝게) 선형을 선택한다.

(2) 본선에 매설되는 구교의 경우 부득이 본선과 평행 또는 사각으로 설치하는 경우가 발생할 수 있는데 이러한 경우 구교 시·종점부 사각 처리에 주의하여야 한다.

(3) 사각을 이루는 박스형 구교, 아치형 구교 및 라멘 구교의 단부는 편측 토압을 받아 부재에 발생하는 단면력이 직각 구교와는 다른 양상을 보이게 되며, 특히 연약지반에 설치되는 경우는 그 영향이 현저하게 크므로 이때는 평면선형을 본선에 직각으로 하는 것이 바람직하다.

2.1.2 인접부와의 관계

(1) 통로 구교는 접속 도로의 평면선형에 부합되는 선형으로 계획하고 수로 구교는 접속 부에서 유수흐름에 지장을 주는 급격한 각 변화를 피하도록 한다.

(2) 선형 계획시 다음과 같은 인접부의 현황을 고려한다.

- ① 현재 매설되어 있거나 장차 매설 예정인 구교 주위의 지하매설물
- ② 기존 구조물과의 근접시공 여부
- ③ 도심지의 경우 구교 시공시 교통처리



2.2 구교의 종단선형

2.2.1 구교의 종단경사

- (1) 구교의 종단경사는 사용목적에 따른 시설기준을 검토하여 최소경사 및 최대경사 범위 내에서 결정한다.
- (2) 배수 구교의 경우 기준 이상으로 종단경사가 심한 경우는 구교 내부바닥에 계단을 설치하여 유속을 줄이는 시설을 할 필요가 있다.

2.2.2 인접부와의 관계

- (1) 통로구교는 접속 도로의 종단선형에 부합되도록 계획하고 수로 구교는 유출부에서 낙차에 의한 세굴이 발생하지 않도록 주의하여야 한다.
- (2) 구교의 하부에 기존 시설물이 있는 경우는 구교의 영향으로 인한 기존 시설물의 안전 여부를 검토하도록 하고, 구교의 상부에 기존 시설물이 있는 경우는 계획단계에서 구교 시공시 기존 시설물의 처리방안을 강구해 두어야 한다.

3. 내공단면 결정

3.1 내공단면 결정조건

3.1.1 통로 구교

- (1) 도로의 건축한계 이상일 것
- (2) 필요한 경우 배수시설과 매설관(통신, 전기, 가스, 상·하수도관 등) 등의 설치 공간을 확보할 것
- (3) 도로와 개수로가 병행할 경우 도로의 건축한계 및 수로 통수단면 유지

3.1.2 수로 구교

- (1) 계획유량, 계획홍수량을 통과시킬수 있는 단면
- (2) 내공 높이는 (HWL + 여유고) 이상 일 것
- (3) 침사지를 두는 경우 토사 유출량을 산정하여 높이 결정

3.1.3 지하차도 또는 보도

- (1) 소정의 건축한계 이상일 것
- (2) 조명 등 기타 제반 시설을 설치 할 수 있는 공간을 확보할 것

3.1.4 공동구

- (1) 수용시설의 최저 높이 이상 ($H = 2.10\text{m}$)
- (2) 수용시설의 폭 + 유지관리를 위한 통로폭 ($0.80 \sim 1.0\text{m}$) 이상을 확보할 것

3.2 연약지반상의 구교

- (1) 연약지반 위에 시공되는 구교는 침하가 발생할 경우 도로의 건축한계 부족, 수로의 통수 단면 부족 등 기능상 각종 지장을 받게 되므로 침하방지 및 관리대책을 수립하여야 한다.
- (2) 시공 후 공용 중에도 침하가 장기간 계속될 것으로 예측되며, 더울림 만으로 대처할 수 없을 때에는 구교의 내공 높이에 여유를 두어 침하량 만큼 구교 바닥을 덧쳐 올리고, 노면을 덧씌우기 해 구교의 기능을 유지할 수 있도록 한다.

4. 구교의 형식선정

구교는 가설되는 위치 및 목적에 따라 만족하여야 할 조건이 각각 다르므로 형식 선정의 기준을 제시하기가 매우 어려우며, 다만 내공단면의 크기, 기초지반의 상태, 시공성, 공사비 등을 고려할 때 선정 가능한 범위는 <표 2>와 같다.

표 2. 구교의 형식 선정

형식	기초형식	순경간 또는 내경(m)	토피 두께	비고
관형 구교	직접기초	1.0~4.5m	0.6~30m	
박스형 구교	직접기초	2m 이상	0.5~15m	
라멘 구교	직접/말뚝기초	필요시	-	
아치형 구교	직접기초	2m 이상	-	

※ 박스형 구교 및 아치형 구교는 직접기초형식 적용을 원칙으로 하나 필요시 설계자의 판단에 따라 말뚝기초형식을 적용할 수 있다.



해설 2. 박스형 구교

1. 구교의 상세 계획

1.1 평면계획

1.1.1 본선 횡단 구교

(1) 평면계획 일반

- ① 구교의 설치는 본선과 직각방향으로 교차되도록 계획하여야 하며, 부득이한 경우사용목적과 현장조건에 맞춰 사각으로 설치할 수 있으며, 암거형 구교의 평면형상은 사각이 클 때는 <그림 1>, 사각이 작을 때는 <그림 2>와 같이 한다.
- ② 신축이음매의 간격 L_1 , L_2 는 10 ~ 15m로 하고, 사각이 없고 직각일 때 L_1 은 공장생산 철근의 규격품으로 접이음 없이 배근할 수 있는 길이를 기준으로 한다.
- ③ 경사각(θ)의 각도 및 긴 변과 짧은 변의 비는 <표 3>에 표시한 바와 같이 한다.

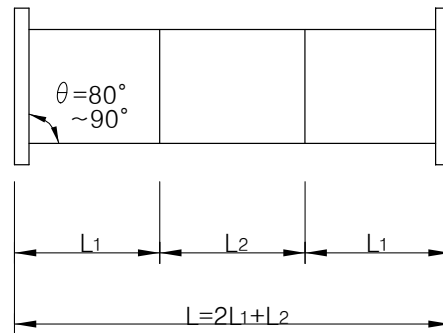


그림 1. 사각이 큰 경우

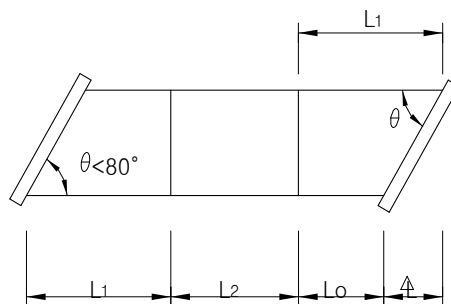


그림 2. 사각이 작은 경우

표 3. 평면형상의 제한 값

지반 조건	L_0/L_1	경사각(θ)
연약 지반	0.5 이상	70°이상
보통 지반	0.5 이상	60°이상

(2) 부득이 사각을 이루는 구교로 계획할 경우에는 다음과 같이 처리한다.

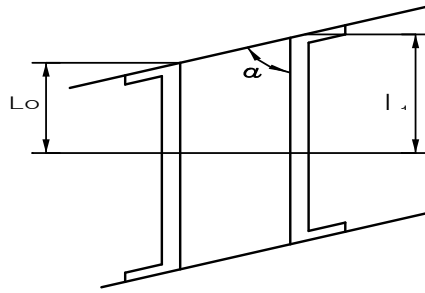


그림 3. 사각이 규정값 이상인 경우

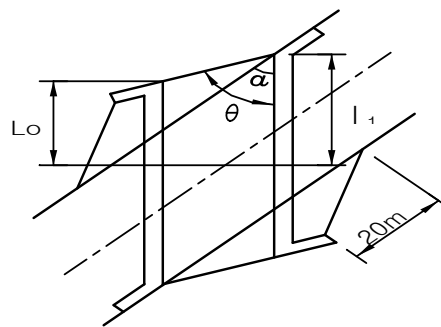


그림 4. 사각이 규정 이하인 경우

- (3) 사각 α 가 <표 3>에 표시한 값 이상일 때는 <그림 3>과 같이 날개벽의 방향을 본선에 평행하게 한다.
- (4) 사각 α 및 $L0/L1$ 이 <표 3>에 표시한 값 이하일 때는 <그림 4>와 같이 연약지반의 경우 $\theta = 70^\circ$, $L0/L1 = 0.5$, 보통지반의 경우 $\theta = 60^\circ$, $L0/L1 = 0.5$ 이상이 되도록 구교를 연장한다.

1.1.2 본선용 수로구교

- (1) 본선의 평면선형에 부합되도록 계획하며, 수리적 측면을 고려하여 가급적 각이 생기지 않도록 곡선으로 배치하는 것이 유리하다.
- (2) 2련 이상 구교의 경우, 관거의 유입수량을 감안하여 30 ~ 50m 간격으로 가운데 격벽을 터주는 것이 유지관리 측면 및 수리적 측면에서 바람직하다.

1.2 종단계획

1.2.1 종단경사

- (1) 수로구교의 종단경사는 구교 설치 위치의 수로 저면고를 기준으로 결정하며, 최소동수경사는 0.2% 이상으로 한다.



- (2) 지형상 평균유속이 3m/sec 이상으로 동수경사가 급하여 유출구 부위에 세굴이 심하게 발생할 가능성이 있는 경우에는 <그림 5>와 같이 구교 바닥에 계단을 설치하여 유속을 감소시키는 방안을 고려하여야 한다.

1.2.2 구교의 중단계획

- (1) 지형상 수로의 동수경사가 급하여 내공단면을 확대할 필요가 있는 경우, 내공단면을 크게 하지 않고 낙차공을 설치하여 수로의 경사를 줄이는 것이 시공성 및 경제성 측면에서 유리하므로 계획시에 이를 검토하도록 한다.
- (2) 낙차공을 두는 경우 낙하수에 의해 하류측 바닥면의 손상이 예상되므로 <그림 6>과 같이 내공단면의 높이를 크게 하여야 한다.
- (3) 본선 구교의 경우 생활폐수에 의한 폐기물 및 본선에서 유입되는 토사 처리를 위한 침사지 설치를 검토하도록 한다. 침사지 설치 구간에는 본선에서 진입이 가능하도록 맨홀을 설치하여야 한다.
- (4) 연약 지반에 설치되는 구교는 신축이음을 두지 않는 것이 부등침하에 대해 유리하나, 이 경우 종방향 구조해석을 수행하여 구교의 종방향 배력철근을 보강하여야 한다. 부득이 신축이음을 둘 경우 다웰바(Dowel bar)를 설치하여야 한다.
- (5) 본선 확장에 따라 본선 횡단 구교를 기존 구교에 연결하는 경우, 신설 구교와 기존 구교 사이에 종방향 부등침하가 발생할 수 있으므로, 종방향 검토를 수행하여 접합부 부근의 안전을 확인하여야 한다.

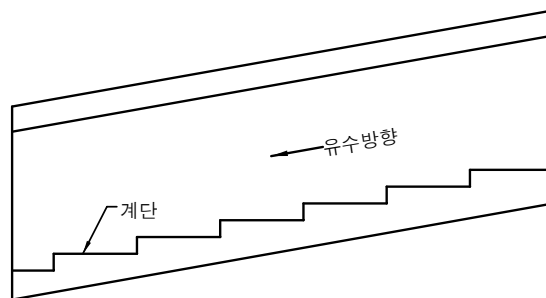


그림 5. 계단 설치 예

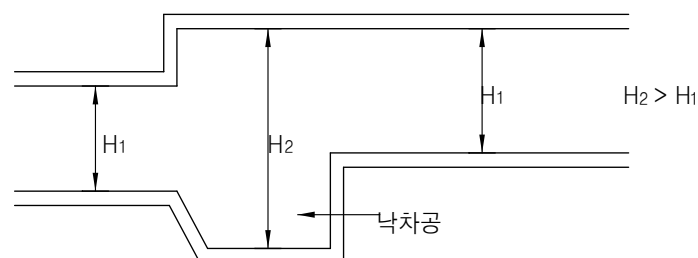


그림 6. 낙차공 설치 예

1.3 단면계획

- (1) 구교의 단면계획은 가정한 단면두께에 대해 구조검토를 반복 수행하면서 최종적인 단면 두께를 결정하는 것이 일반적이다.
- (2) 단면 두께를 너무 작게 할 경우 철근 사용량이 증가되어 비경제적이고, 단면 두께를 지나치게 크게 할 경우에는 콘크리트 사용량이 증가되어 비경제적인 구조물이 되는데 <그림 7>은 이러한 관계를 나타내고 있다.
- (3) 경간장에 비해 단면 두께가 작은 구조물은 휨에 의해 단면 두께가 결정되고, 경간장에 비해 단면 두께가 두꺼운(대략 경간장/단면두께 < 5) 구조물은 전단에 의해 단면 두께가 결정되는 것이 일반적이다.
- (4) 일반적으로 사용되는 구교는 도상, 성토재 등에 의한 고정하중이 커 단면두께가 두꺼우므로 전단의 지배를 받는 경우가 많다.
 - ① 전단철근의 간격은 유효높이의 $1/2(0.5d)$ 이하이어야 한다.(「KDS 14 20 00」 및 <그림 8> 참조)
 - ② 계산상 전단철근이 필요하지 않은 경우를 제외하고는, 단면 두께를 전단철근 간격의 2배에 피복두께를 더한 값 이상($h \geq 2S + d$)으로 정한다.
 - ③ 전단철근의 간격을 150mm라고 할 때(일반적으로 시공 편의를 감안하여 전단철근은 배력철근 간격에 맞추며 배력철근은 150mm 간격으로 배근하는 예가 많음) 단면의 두께가 400mm 미만은 전단 보강이 안되므로 콘크리트 강도만으로 전단에 안전하도록 설계하여야 한다.

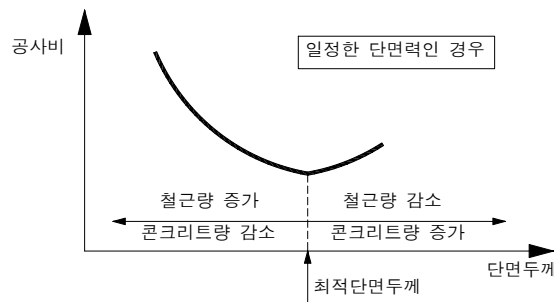


그림 7. 단면두께 변화에 따른 비용관계

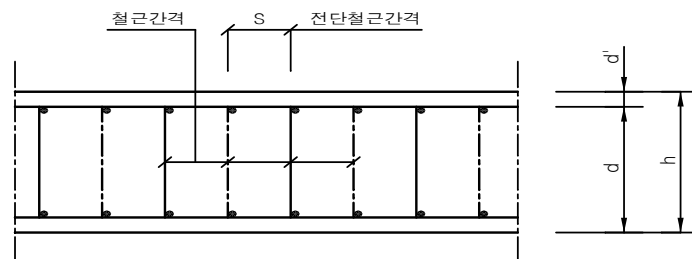


그림 8. 전단철근과 단면두께의 관계



1.4 구조상세

1.4.1 신축이음 및 시공이음

(1) 신축이음 설치방법

- ① 콘크리트의 건조수축에 의한 균열을 줄이기 위해 신축이음을 설치하여야 한다.
- ② 신축이음의 간격은 10 ~ 15m 정도로 한다.
- ③ 신축이음의 방향은 측벽에 직각으로 설치하는 것을 원칙으로 하나 토피가 낮은 경우에는 본선진행 방향으로 해도 좋다.

(2) 신축이음 및 시공이음의 형식 및 적용

- ① 신축이음은 접하는 양쪽부분을 절연하고 구조적으로 안전해야 하며, 신축 및 방수가 원활하도록 필요에 따라 이음재, 지수판 등을 배치한다.
- ② 완전히 절연시킨 신축이음의 바닥슬래브는 지반침하에 의해 신축이음에 터미 생길 위험이 있으므로 장부 또는 홈을 만들거나 다웰바(Dowel bar)를 사용하는 것이 좋다. 조인트바의 규격 및 간격은 지반특성을 고려하여 검토되어야 한다.
- ③ 신축이음의 설치는 구교 상단의 토피두께, 활하중의 재하 형태, 부등침하의 가능성, 궤도와의 이격거리(구교 상단에 궤도가 직접 설치될 경우) 등을 충분히 고려하여 결정해야 한다.
- ④ 시공이음은 시공의 편의 및 콘크리트 타설능력 등을 고려하여 결정하며 이음부 방수처리를 확실시 하여야 한다.
- ⑤ 신축이음 및 시공이음은 구조적 안전성 및 기능성을 확보할 수 있는 어떤 형태도 가능하며 <그림 9>은 신축이음 및 시공이음의 한 예이다.

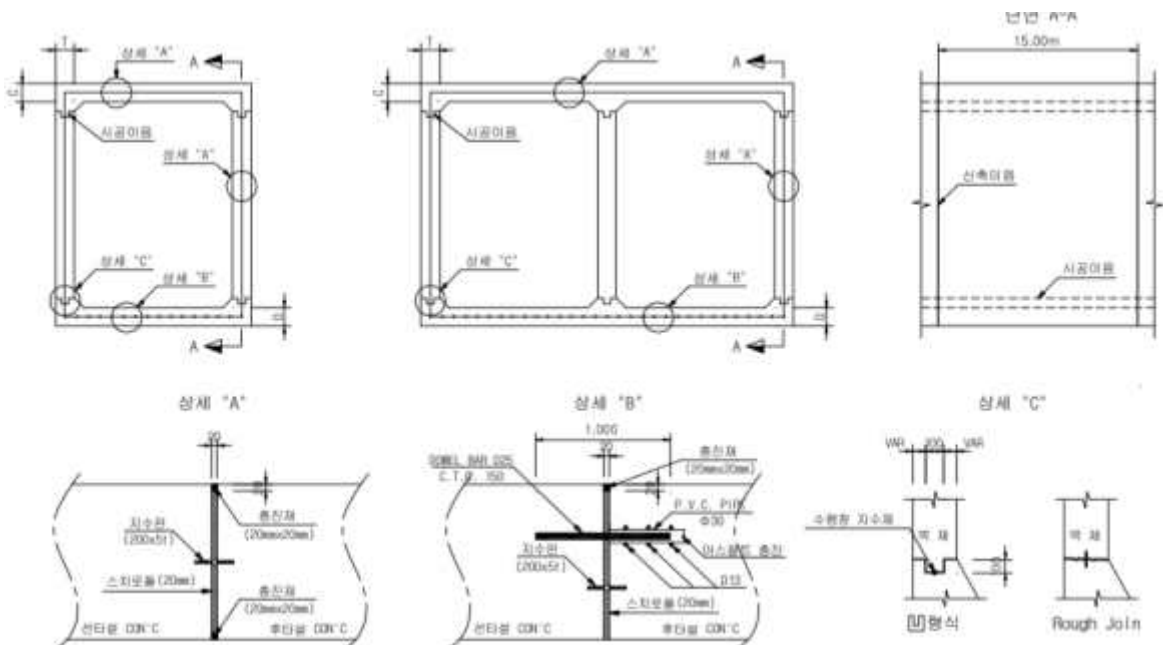


그림 9. 신축이음 및 시공이음 예

1.4.2 현치

- (1) 구교의 접합부 모서리에는 응력집중이 생기기 쉬우므로, 구조해석시 가정한 강절점으로의 역할에 충실하도록 현치를 두는 것을 원칙으로 한다.
- (2) 규격이 작은 구교는 시공성을 고려해 현치를 생략할 수도 있으나 경간이 큰 구교의 경우 현치는 우각부 응력을 감소시키고, 절점부의 전단강도를 크게 하여 전체적인 단면두께 증가를 방지하므로 경제적인 설계를 유도한다.
- (3) 현치에는 현치에 연하여 가외철근을 배치하여야 한다.

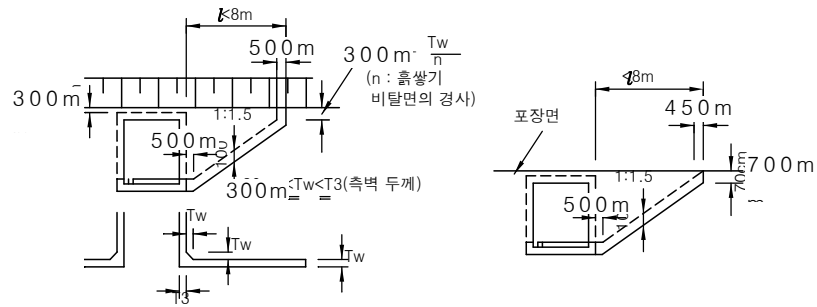
1.5 날개벽 설계

1.5.1 개요

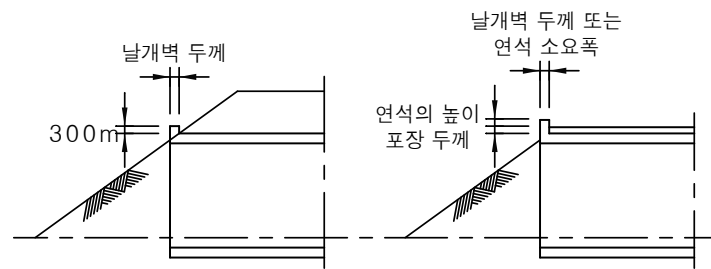
- (1) 구교 본체를 완성한 후 본체 상부에 흙쌓기(피복)하면 흙쌓기 비탈면이 구조물의 시·중점부를 침범하므로, 구교 양쪽에 횡단 방향으로 날개벽을 설치하여 통과도로나 수로의 기능을 확보하고 흙쌓기재의 붕괴를 방지한다.
- (2) 본선횡단 구교에 날개벽을 설치하는 방법은 구교의 진행방향으로 설치하는 방법과 본선에 평행하게 설치하는 방법이 있다.
- (3) 일반적으로 날개벽을 구교의 진행방향으로 설치하는 경우 날개벽을 옹벽구조로 하여야 하며, 날개벽을 본선에 평행하게 설치하는 경우에는 캔틸레버(cantilever)구조로 하여 구교 구체에 강결시켜야 한다.

1.5.2 날개벽 설치 방법

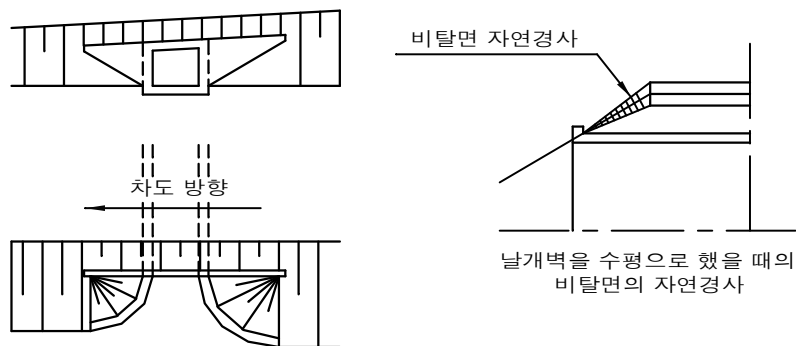
- (1) 구교의 날개벽은 평행 날개벽을 원칙으로 한다.
- (2) 날개벽의 흙쌓기 경사는 1:1.5, 근입 깊이는 1m를 표준으로 한다.
- (3) 날개벽은 지중에 묻히는 구조이므로 피복두께를 제하고도 휨부재의 역할을 할 수 있도록 최소 300mm 두께로 하며, 날개벽과 구교 본체 접합부에서 날개벽에 발생하는 모멘트가 구교 벽체로 전달되므로 날개벽의 최대 두께는 벽체 두께 이상이 되지 않게 한다(<그림 10(a)> 참조).
- (4) 날개벽이 지나치게 길어지면 단면의 두께가 커져 구교 벽체가 캔틸레버 날개벽 지지점의 역할을 수행하기 어려우므로, 날개벽의 최대 길이는 8m 정도로 한다(<그림 10(a)> 참조).
- (5) 흙쌓기시 구교가 흙쌓기면 밖으로 노출되는 경우 날개벽 위 흙막이부는 높이 300mm, 폭은 날개벽의 두께로 한다(<그림 10(b)> 참조).
- (6) 날개벽의 상면 경사는 본선의 종단경사에 평행하게 하나 단, 토피가 3m 이상일 때는 수평으로 해도 좋다(<그림 10(c)> 참조).



(a) 날개벽 두께와 팔길이 제한



(b) 날개벽 위의 흠막이



(c) 날개벽 상면의 경사

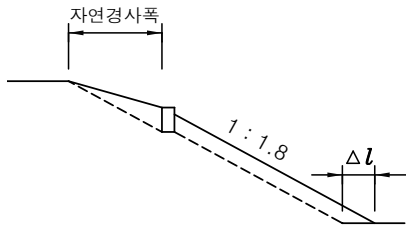
그림 10. 날개벽 설치방법

1.5.3 사각을 이루는 구교

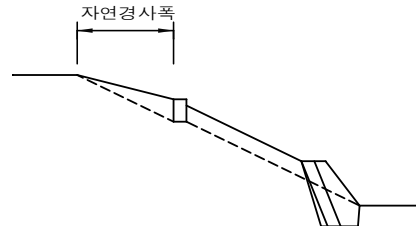
- (1) 사각을 이루는 구교 단부 날개벽 설치 평면형상은 <그림 11(a)>와 같다.
- (2) 구교에서 끝부분을 연장했을 때 날개벽 및 흙쌓기부의 처리는 <그림 11(b)>를 표준으로 하고, 이와 같이 할 수 없을 때에는 <그림 11(c)>와 같이 할 수 있다.



(a) 사각부 처리 평면



(b) 흙쌓기를 용지폭을 넓혀 처리하는 경우 (단면 a-a)



(c) 흙쌓기를 옹벽으로 처리하는 경우

그림 11. 사각부의 날개벽 처리

1.5.4 흙쌓기가 높은 경우

흙쌓기가 높고 구교의 높이가 큰 경우에는 날개벽이 길어지고 옹벽 등을 부가로 설치하는 경우가 발생한다. 이러한 경우에는 구교를 연장하는 것과 옹벽을 쳐서 날개벽을 짧게 하는 것을 비교 검토한 후 경제적인 것으로 결정한다.(<그림 12> 참조)

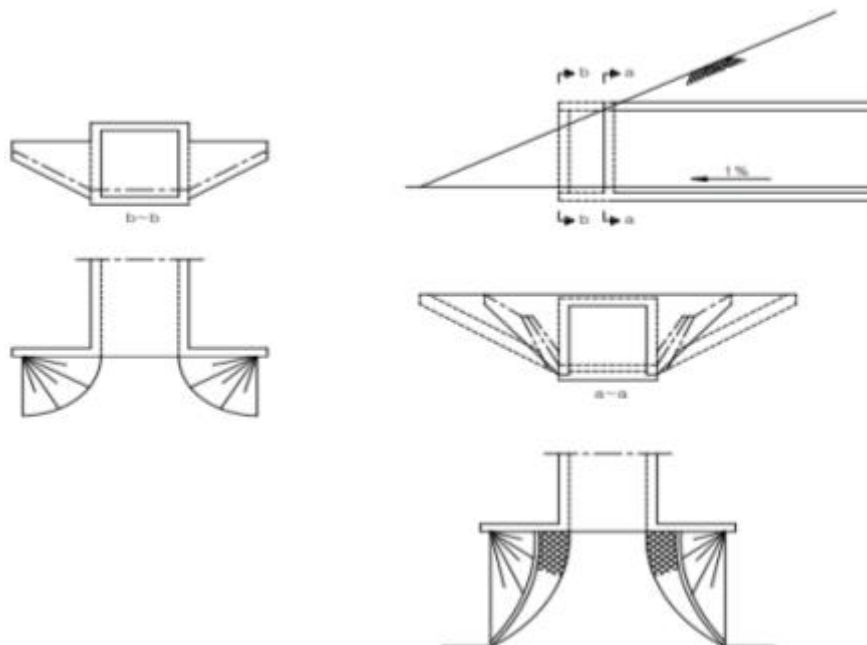


그림 12. 흙쌓기가 높은 경우



1.6 구교의 기초

(1) 구교의 기초는 직접기초를 원칙으로 한다.

(2) 연약지반상의 구교

- ① 연약지반에 구교를 설치하는 경우 원칙적으로 구교 시공 전에 선재하, 배수공법 등에 의해 지반을 개량하여 잔류 침하량을 일정치 이하가 되도록 한 후 직접기초로 해야한다. 허용 잔류 침하량은 구조물의 사용목적, 중요도, 공사기간, 지반의 특성 및 경제성 등을 종합적으로 검토하여 적정값을 결정하여 사용해야 한다.

표 4. 허용잔류침하량

조건	허용잔류침하량(mm)
포장공사 종료 후의 노면의 요철에 관한 허용치	100
박스 컬버트 시공시의 더높임에 관한 허용치	300

표 5. 연약층 두께에 따른 허용잔류침하량

충적연약층의 두께(D)	허용잔류침하량(mm)
$D \leq 10 \text{ m}$	100
$D \leq 30 \text{ m}$	200
$30\text{m} > D$	300

- ② 연약지반의 두께가 얇을 때는 <그림 13>과 같이 연약층을 제거하고 양질의 재료로 치환한다. 이때 치환 재료는 뒷채움재 이상으로 하고, 지하수위가 있는 경우는 알맞게 섞은 채석 등 양질의 것을 사용한다.

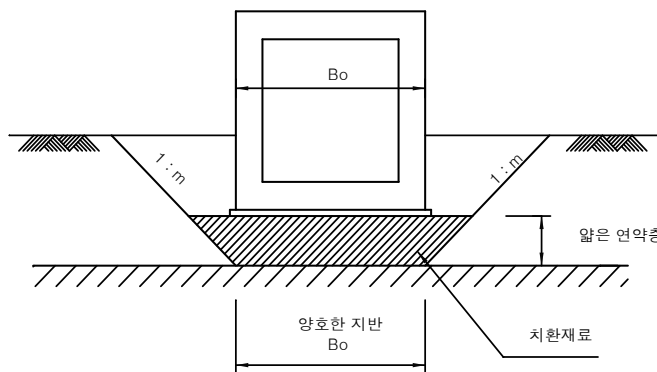


그림 13. 연약지반 치환방법

- ③ 연약지반상에 말뚝기초를 적용할 경우 주변 지반이 침하시 말뚝으로 지지하는 구교의 상부만 침하가 발생하지 않게 되어, 말뚝에 불필요한 하중이 추가되어 구조적으로 분리할 뿐 아니라 주행에 방해가 되므로 주의를 요한다.

- ④ 부득이 말뚝기초를 사용하여야 하는 경우에는 인접 지반의 침하로 인해 부가되는 하중과 말뚝에 작용하는 부마찰력까지 감안해야 한다.
- ⑤ 또한, 기초의 경간 중앙부에 말뚝을 설치할 경우 경간 중앙부의 상향 처짐으로 인해 말뚝이 제 기능을 발휘하기 어려우므로 가능하면 말뚝을 등간격으로 배치하되 벽체 부근에 배치하는 것이 좋다.

(3) 지반이 경사진 경우

- ① 지층이 암반으로 경사를 이루고 있어 부등침하의 우려가 있는 경우에는 이를 방지하기 위해 <그림 14>와 같이 버림 콘크리트나 치환기초 등을 고려하여야 한다.

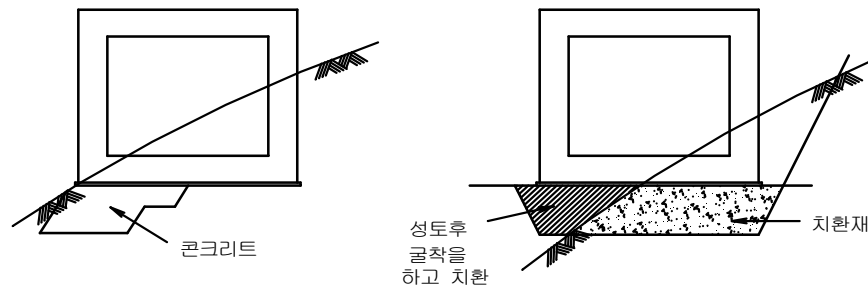


그림 14. 지반이 횡방향으로 경사진 경우의 예

- ② 지반이 종방향으로 경사진 경우에는 <그림 15>와 같이 치환기초 등을 사용하여 부등침하를 방지하여야 한다.

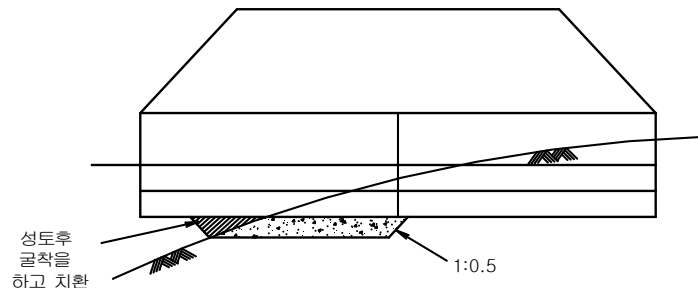


그림 15. 지반이 종방향으로 경사진 경우의 예

1.7 기타 구교설계시 유의사항

1.7.1 구교의 배수

구교의 뒷채움부에 빗물이나 지하수가 고여 배수되지 않을 가능성이 있는 경우에는 흙쌓기를 약화시켜 붕괴의 원인이 될 수 있으므로, 구교의 측벽에 배수용 파이프를 설치하도록 한다. 단, 본선 횡단 구조물 등 횡단연장이 짧은 경우에는 구교와 평행하게 유도배수 할 수 있다(<그림 16> 참조).

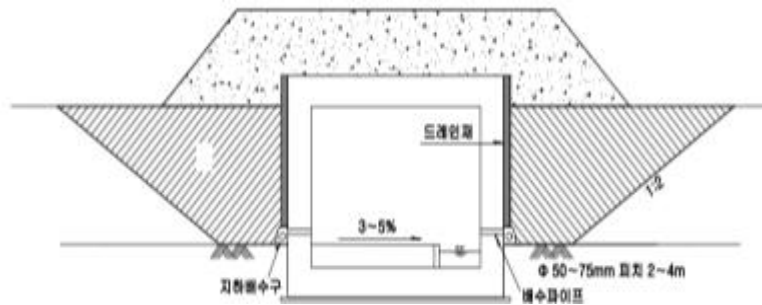


그림 16. 구교용 배수 파이프

1.7.2 구교 내 도로

- (1) 구교 내의 도로는 포장할 필요가 없으나 구교의 시종점 접속부가 포장되어 있으면 그 포장의 종류에 따라 구교내 도로를 포장하고, 비포장 도로일 경우에는 현지여건에 맞도록 시·종점부의 일정구간(약 20m 정도)을 콘크리트로 포장한다.
- (2) 이때 구교 내 도로는 3~5%의 횡단 경사를 두고, 포장할 경우에는 구교 시종점부에 맞는 경사를 둔다.

1.7.3 수로가 있는 구교

- (1) 수로구교 및 수로를 병설하는 구교의 경우 하류측에 지수벽을 두고, 지수벽의 깊이 h 는 호안공의 밑까지로 한다.(<그림 17> 참조)
- (2) 호안의 깊이는 세굴의 영향을 고려해서 정하며, 유속이 빨라 세굴의 염려가 큰 경우에는 수로 바닥에 버림 콘크리트를 타설하는 것이 좋다.
- (3) 언더패스(Under pass)형 구교, 저류형 구교를 설계할 때에는 측벽의 수압을 고려한다.

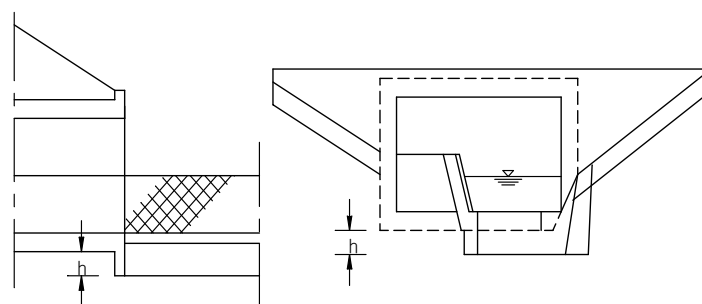


그림 17. 수로가 있는 구교의 지수벽

2. 구조설계

2.1 구조해석 모델 및 경계조건

2.1.1 해석 모델

- (1) 구교는 구조 형태상 암거 라멘(Rahmen)으로 구조해석시 2차원 뼈대구조(Frame)를 적용하며, 단면의 폭은 단위 폭을 적용하여 해석한다.

- (2) 구교의 구조해석 모델의 축선은 균열을 무시한 전 단면을 유효한 것으로 보고 구한 단면의 도심축선으로 한다.
- (3) 구조해석시 단면력을 계산할 때에는 부재 휨강성의 변화 및 강역의 영향을 고려하여 해석하는 것을 원칙으로 한다. 단, 강역의 영향 고려 여부는 구조물 특징 등을 고려하여 설계자가 판단하여 결정한다.
- (4) 휨강성의 변화 및 강역의 영향을 무시하고 해석하는 경우 대부분 안전측의 설계가 되나, 부모멘트부(단절점부)는 단면력이 과소평가 될 가능성이 있으므로 다소 여유를 두는 것이 좋다.
- (5) 강역을 고려하여 구조해석을 하는 경우 강역은 다음과 같이 구한다.(<그림 18> 참조)
 - ① 부재단부가 다른 부재와 접합하는 경우 그 부재단에서 부재두께의 1/4 안쪽 점에서부터 절점까지로 한다.
 - ② 부재가 그 축선에 대해 25°이상 경사진 헐치를 갖는 경우에는 부재두께가 1.5배가 되는 점에서부터 절점까지로 한다. 이때, 헐치의 경사가 60°이상의 경우는 헐치의 시점에서 부재두께의 1/4이 되는 안쪽 점에서부터 절점까지로 한다.
 - ③ 양측의 헐치 크기가 다른 경우 등의 사유로 ① 또는 ②에서 정한 점이 2점 이상 동시에 존재하는 경우에는 강역의 범위는 큰 쪽을 취한다.

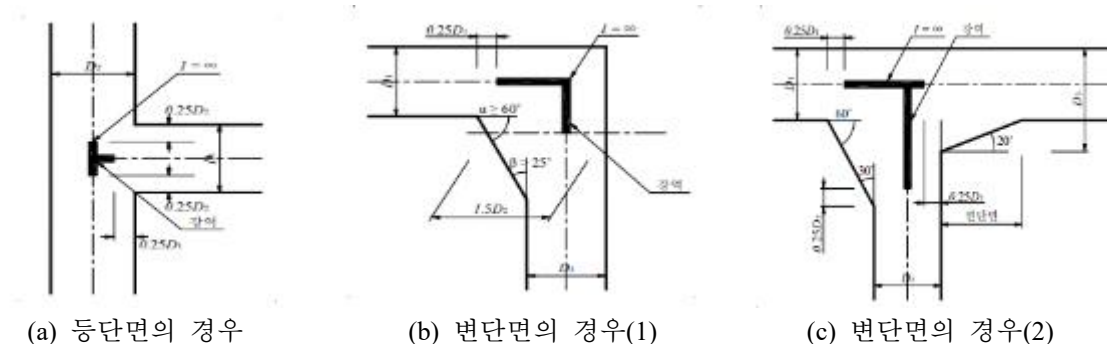


그림 18. 라멘 구조 절점부에서의 강역

2.1.2 경계조건

- (1) 구교의 경계조건은 스프링 지점을 사용하는 것을 원칙으로 하며, 부득이하게 하부에 힌지-롤러(Hinge-Roller) 지점을 사용하는 경우에는 지지지반의 조건에 부합되는 변형 형상에 맞도록 지점을 설정하고, 지반의 반력에 해당하는 평형 하중을 하부 슬래브에 미리 재하하여야 한다.
- (2) 스프링 경계조건을 사용하는 경우, 스프링은 지반의 특성에 맞는 반력(분포하중개념)을 고려하기 위한 것으로, 스프링의 간격은 분포하중과 비슷한 결과를 얻을 수 있는 간격으로 배치하여야 한다.
- (3) 스프링 간격은 대략 1m 정도의 간격으로 한다.



- (4) 하중조합시 스프링에 인장력이 발생하는 경우 인장 스프링은 제거하고 계산하여야 한다.
- (5) 구교의 경우 대부분 대칭구조에 하중이 대칭으로 재하되므로 수평 방향의 경계조건은 외적 안정조건만 만족하면 되므로 강절점이든 스프링 지점이든 관계없지만, 대칭이 아닌 경우는 수평 방향으로도 스프링 지점을 설치하거나 하중 재하시 미리 평형을 이루도록 해야 한다.

2.1.3 상시 스프링계수 산정

- (1) 지지지반의 스프링계수는 지반반력계수에 스프링의 담당 면적을 곱하여 구할 수 있다. 이때, 지반반력계수는 각종의 조사 및 시험결과에 의해 얻어진 변형계수를 써서, 기초의 재하폭 등의 영향을 고려해서 정하게 된다.
- (2) 일반적으로 구교는 폭에 비해 길이가 매우 긴 형태로 구교의 저면 전체면적으로 지반반력계수를 계산하면 지나치게 낮게 평가된다. 따라서 어느 지점을 기준으로 영향범위를 감안하여 지반반력계수를 계산하여야 한다.
- (3) 영향 범위를 감안하여 종방향 연속 구조물의 연직 지반반력계수(k_v) 및 스프링계수(K)를 구하는 방법은 다음과 같다.

$$k_{(B \times B)} = k_{vo} \left[\frac{B_v}{0.3} \right]^{-\frac{3}{4}} = k_{vo} \left[\frac{\sqrt{A_v}}{0.3} \right]^{-\frac{3}{4}} \quad (1)$$

여기서, B : 하부 슬래브폭(m)

L : 구교의 길이(m)

$k_{(B \times B)}$: 설계연직지반반력계수

B_v : 기초의 환산재하폭(m)으로 저면 형상이 원형인 경우에는 지름으로 함.

A_v : 연직방향의 재하면적 (m^2)

$$B_v = \sqrt{A_v} \quad B \geq L, B_v = \sqrt{A_v} = \sqrt{B \times L}$$

$$B < L, B_v = \sqrt{A_v} = \sqrt{B \times B}$$

- (4) k_{vo} 는 지름 0.3m의 강채원관에 의한 평판재하시험의 값에 상당하는 연직방향 지반반력계수(kN/m^3)로서 각종 토질시험에 의해 구한 변형계수로부터 추정하는 경우는 다음식에 의해 구한다.

$$k_{vo} = \frac{1}{0.3} \times \alpha \times E_0 \quad (kN/m^3) \quad (2)$$

여기서, E_0 : <표 6>에 표시하는 방법으로 측정 또는 추정한 설계의 대상

이 되는 위치에서의 지반의 변형계수(kN/m^2)

α : 지반반력계수의 추정에 쓰이는 계수로서 <표 6>에 주어져 있음.

표 6. E_0 와 α 값

시험방법의 차이에 따른 변형계수 E_0 (kN/m ²)	α	
	평상시	지진시
지름 0.3m의 강체원판에 의한 평판재하시험을 반복시킨 곡선에서 구한 변형계수의 1/2	1	2
보링 공내에서 측정한 변형계수	4	8
공시체의 1축 또는 3축압축시험에서 구한 변형계수	4	8
표준관입시험의 N값에서 $E_0=2,800N$ 으로 추정된 변형계수	1	2

따라서, 각절점의 스프링계수(K)는 다음과 같다.

$$K = k_v \cdot A \text{ (kN/m)} \quad (3)$$

여기서, A : 해당 스프링의 담당면적 기초 저면 아래의 지층이 깊이 방향으로 변하는 경우, 특히 연약층이 존재하는 경우는 <식 (2)>의 변형계수 E_0 를 <식 (4)>, <식 (5)>에 의해 보정한다.

$$B=L \text{인 경우 : } E_0 = \frac{-\frac{1}{B+2h_m \tan \theta} + \frac{1}{B}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E_{0i}} \left[-\frac{1}{B+2h_i \tan \theta} + \frac{1}{B+2h_{i-1} \tan \theta} \right]} \quad (4)$$

$$B \neq L \text{인 경우 : } E_0 = \frac{\log \frac{(B+2h_m \tan \theta)L}{(L+2h_m \tan \theta)B}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E_{0i}} \log \frac{(B+2h_i \tan \theta)(L+2h_{i-1} \tan \theta)}{(L+2h_i \tan \theta)(B+2h_{i-1} \tan \theta)}} \quad (5)$$

여기서, B : 기초의 폭(m)

L : 기초의 길이(m)

h_m : 영향을 고려하는 깊이(m)로 기초폭 B의 3배 이상으로 한다.

h_i : 기초 저면으로부터 세분할 각 지층 저면까지의 깊이(m)

E_{0i} : 세분된 제 i번째 지층의 변형계수(kN/m²)

θ : 하중의 분포각도로 30°로 한다.

지반의 변형계수 E_0 를 추정하는 또 다른 방법으로 <표 7>을 참고할 수 있다.

 표 7. 흙의 종류별 E_0 (kN/m²)

흙의 종류	E_0 / N
실트, 모래질 실트	400
가는 모래, 약간 굵은 모래	700
굵은 모래	1,000
모래질 자갈, 자갈	1,200 ~ 1,500



2.2 설계하중

2.2.1 설계하중의 종류

- (1) 구교의 설계하중은 주하중(P), 주하중에 상당하는 특수하중(PP), 부하중에 상당하는 특수하중(PA)으로 구분하며 가설지점의 조건과 구조에 따라 적절한 하중 및 하중조합을 선정하여 설계한다.
- (2) 주하중(P)
 - ① 고정하중(D)
 - ② 활하중(L)
 - ③ 충격(I)
 - ④ 장대레일 중하중(LR)
 - ⑤ 콘크리트 크리프의 영향(CR)
 - ⑥ 콘크리트 건조수축의 영향(SH)
 - ⑦ 토압(H)
 - ⑧ 수압(F)
 - ⑨ 부력 또는 양압력(B)
- (3) 주하중에 상당하는 특수하중 (PP)
 - ① 지반변동의 영향(GD)
 - ② 지점이동의 영향(SD)
- (4) 부하중에 상당하는 특수하중(PA)
 - ① 온도변화의 영향(T)
 - ② 가설시 하중(ER)
 - ③ 기타하중

2.2.2 고정하중

- (1) 고정하중을 산출할 때는 <표 8>와 같은 단위중량의 사용을 원칙으로 한다.

표 8. 재료의 단위중량

재료	단위중량 (kN/m ³)	재료	단위중량 (kN/m ³)
강, 주강, 단강	77	프리스트레스트 콘크리트	24.5
연철	76.5	인공경량골재콘크리트	15~17
주철	71	모르타르	21
목재	8	방수용아스팔트	11
도상 (자갈 또는 쇄석)	19	석재	26
무근콘크리트	23	모래, 자갈, 부순돌, 흙	16~20
철근콘크리트	24.5	석탄, 탄가루	10

- 주) 1. 표에 제시된 값은 각종 측정치의 평균치보다 조금 큰 값을 취한 것이다.
2. 목재의 중량은 수령과 함수비에 따라 다르고, 8kN/m³는 흔히 사용되는 목재에 비해 좀 과대한 편이지만 못, 꺾쇠, 볼트 등의 쇠붙이를 포함하는 것으로 보고 위의 값으로 정했다.

- (2) 2차 고정하중은 궤도, 방수, 방음벽, 신호기 기둥, 전차선 지주 등을 포함하여야 한다. 제거 가능한 2차 고정하중은 자갈도상, 케이블 등이 있다.
- (3) 자갈 및 콘크리트 도상 궤도의 2차 고정하중은 정량적으로 계산하여 적용하는 것을 원칙으로 하며, 단선 궤도에 대한 재료의 중량은 다음 값을 표준으로 할 수 있다.
- | | |
|--------------|-----------------------|
| ① 레일(체결구 포함) | 1.5kN/m |
| ② 침목 : 일반철도용 | 4.1kN/m |
| 고속철도용 | 5.0kN/m |
| ③ 자갈도상 | 19kN/m ³ |
| 보조도상 | 16kN/m ³ |
| ④ 콘크리트궤도 도상 | 24.5kN/m ³ |
| 콘크리트궤도 보조도상 | 24.5kN/m ³ |
- (4) 자갈도상의 중량은 보선작업과정을 고려하여 30% 할증된 값을 사용한다. 또 곡선부에서는 캔트부설에 따른 증가량을 추가하여 사용한다.
- (5) 전선 및 신호케이블 등의 2차 고정하중은 1kN/m로 하고 트러프 하중은 별도로 계산한다.

2.2.3 활하중

- (1) 활하중은 「KR C-08020」을 따른다.
- (2) 활하중에 의해 구교 상면에 작용하는 연직토압 및 측면에 작용하는 수평토압은 복토 두께를 고려하여 결정해야 한다.
- (3) 활하중은 토피에 따라 <식 (6)> 및 <식 (7)>에 의해 계산하며 또한, 활하중에 의해 증가되는 구교측면의 측압을 고려하고 측압을 구할 때는 0.4의 가상토압계수를 적용할 수 있다.
- ① $H_e < 0.5m$ 일 때

$$W_L = \frac{P}{a(b+2d)} + \frac{W}{(b+2d)} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (6)$$

- ② $H_e \geq 0.5m$ 일 때

$$W_L = \frac{2P}{a\{c+b+2(d+H_e)\}} + \frac{2W}{c+b+2(d+H_e)} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (7)$$

여기서, H_e : 시공기면(FL)에서의 토피고(m)

L : 박스상부에 작용하는 활하중(kN/m²)

P : 축중(kN)

a : 동륜의 축간거리(m)

b : 침목길이(m)

c : 복선 선로중심간격(m)

d : 침목하면의 도상두께(m)



2.2.4 충격하중

단선을 지지하는 구교의 충격계수는 <표 9>의 값을 이용하며 표에 없는 지간은 보 간법을 적용하여 산정한다.

표 9. 구교의 충격계수

지간 L (m)	0	5	10	20
충격계수 (i)	0.6	0.48	0.43	0.37

- (1) 구조물 상면에 흙이 1.0m이상 덮여져 있는 경우의 값은 다음 식에 의하여 감소시켜 적용한다.

$$i = i_o \left(\frac{2.5 - H}{1.5} \right) \quad \begin{array}{l} \text{단, } H < 1.0\text{m} \text{에서는 } i = i_o \\ H \geq 2.5\text{m} \text{에서는 } i = 0 \end{array} \quad (8)$$

여기서, i : 상부슬래브에 적용하는 충격계수

i_o : 지간에 따라 정해진 기본 충격계수

H : 침목하면에서의 토피고(m)

- (2) 복선을 지지하는 부재의 충격은 두 궤도의 전 충격으로 한다.
 (3) 구조물 측면의 측압에 가중되는 충격력은 없는 것으로 한다.

2.2.5 장대레일 종하중

장대레일 종하중은 필요시에 고려하여야 하며, 1궤도당 10.0kN/m로 하고 작용 위치는 상부 슬래브 축선으로 한다. 단, 토피가 1.0m 이상인 경우는 이를 무시한다.

2.2.6 콘크리트의 크리프와 건조수축의 영향

- (1) 지하에 설치되는 구교를 설계할 때는 일반적으로 온도변화는 고려하지 않고 건조수축의 영향은 고려하여야 한다.
 (2) 상부가 노출된 경우에는 온도변화의 영향을 고려하여야 한다.

2.2.7 토압

(1) 연직토압

가. 토피가 있는 경우 연직토압은 다음 식으로 구한다.

$$P \cdot v = \gamma \cdot H \quad (9)$$

여기서, P_v : 상부슬래브에 작용하는 토압(kN/m²)

γ : 토피흙의 단위체적중량(kN/m³)

H : 토피높이(m)

나. 연약지반 중의 암거에서 지표에 새로운 흙쌓기 등을 행함으로써 지반에 가하는 하중이 증가하여 암거주변의 지반이 침하하는 경우와, 암거를 기초지반면에 구축해서 주변을 흙쌓기 할 경우와 같이 주변지반과의 상대변위가 고려되는 경우에는 토피의 연직하중을 할증하여야 한다. 다만, 좌우에 어프로치 블록을 설계하는 경우에는 일반적으로 가중을 하지 않는 것이 좋다.

$$P_v = (1 + \lambda) \cdot \gamma \cdot H \quad (10)$$

여기서, λ : 할증계수 ($\lambda = 0.25 \frac{H}{B}$)

B : 구교의 폭(m)

(2) 평상시의 수평토압

① 수평토압의 크기는 구조물의 종류나 토질에 따라 다르므로, 구조물이 강체로서 회전하거나 전면으로 밀려나오는 경우에 수평토압의 분포는 일반적으로 3각형 분포로 본다. 토압을 구하는 공식은 Coulomb 토압공식, Rankine 토압공식 등이 있지만 실내 외시험에서 Coulomb 토압공식이 비교적 실험결과와 근사하므로 Coulomb 토압공식을 기준한다.

가. Coulomb 토압공식 :

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \cos(\theta + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \cos(\theta - \alpha)}} \right]^2} \quad (11)$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi + \theta)}{\cos^2\theta \cos(\theta + \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi + \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \cos(\theta - \alpha)}} \right]^2} \quad (12)$$

다만, $\phi \pm \alpha < 0$ 인 경우에는 $\sin(\phi \pm \alpha) = 0$ 으로 한다.

여기서, K_a : 주동토압계수

K_p : 수동토압계수

ϕ : 흙의 내부마찰각(°)

α : 지표면과 수평면이 이루는 각(°)

θ : 벽배면과 연직면이 이루는 각(°)

δ : 벽배면과 흙 사이의 벽면마찰각(°)



나. Rankine 토압공식 :

$$K_a = \cos\alpha \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}} \quad (13)$$

$$K_p = \cos\alpha \frac{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}} \quad (14)$$

- ② 고정벽에 작용하는 수평토압은 <식 (15)>로 구하고 정지토압계수는 $K_0 = 1 - \sin\phi$ 로 구하는 것으로 하며, 토질조건에 따라 합리적인 공인된 경험공식 또는 경험치를 사용할 수 있다. (ϕ = 흙의 내부마찰각)

$$p_0 = K_0 \cdot \gamma \cdot z + K_0 \cdot q \quad (15)$$

여기서, p_0 : 깊이 z 에서의 정지토압(kN/m²)

K_0 : 정지토압계수

γ : 흙의 단위중량(kN/m³)

z : 수평 토압을 구하고자 하는 깊이 (m)

q : 상재하중(kN/m²)

- ③ 토압계산에 적용하는 흙의 단위중량은 현장지반조사에서 채취한 토질시료를 이용하여 구하며, 개략설계의 경우에는 <표 10>의 값을 이용할 수 있다.

표 10. 흙의 단위중량 (단위:kN/m³)

지반	토질	느슨한 경우	축축한 경우
자연지반	모래 및 모래질 자갈	18	20
	사질토	17	19
	점성토	14	18
흙쌓기	모래 및 모래질 자갈	20	
	사질토	19	
	점성토	18	

- ④ 일반적으로 암거형 구교의 설계시 측벽에 작용하는 토압은 측벽을 고정벽으로 간주하여 정지토압을 적용한다.

(3) 지진시의 수평토압

구교는 일반적으로 지진의 영향을 고려하지 않으나 경간이 5.0m이상인 경우에는 설계자가 판단하여 필요시 지진의 영향을 고려한다.

2.2.8 수압

정수압은 <식 (16)>에 의해 산출하고 구조물의 지반 속에 있는 부분에 작용하는 수압이 이 이론수압의 값까지 작용하지 않는 것이 확실한 때에는 그 확실한 값까지 감소할 수 있다.

$$P_h = \gamma_w \cdot h \quad (16)$$

여기서, P_h : 수면에서 h 만큼 깊은 곳의 정수압(kN/m²)

h : 수면에서의 깊이(m)

γ_w : 물의 단위중량(kN/m³)

2.2.9 부력 또는 양압력

- (1) 부력은 지반 중 또는 지반과 구조물 사이에 간극수가 존재하는 구조물의 저면에 작용하는 상향의 정수압에 의해 생기는 힘이며, 양압력은 구조물 전후의 수위차 또는 파랑등에 의한 구조물 위치에서 일시적인 수위상승에 의해 생기는 상향의 힘을 말한다.
- (2) 부력 및 양압력은 연직방향으로 작용하는 것으로 하고 구조물에 가장 불리하도록 재하하여야 한다.
- (3) 부력 및 양압력의 작용을 받는 구교의 안전율은 1.2이상 이어야 한다.
- (4) 부력에 대한 안정은 일반적으로 다음 식을 이용하여 검토할 수 있다.

$$F_s = \frac{R}{\gamma_w \cdot B \cdot H} \geq 1.2 \quad (17)$$

여기서, R : 부력에 대한 저항력(구체자중 + 상재하중 + 벽면마찰력)

(벽면마찰력의 경우 현장여건에 따라 고려하지 않을 수 있다.)

γ_w : 물의 단위중량(kN/m³)

B : 구교의 길이(m)

H : 지하수위가 구교상단보다 높을 경우 구교의 높이(m) 지하수위가 구교 상단보다 낮을 경우 구교하단과 지하수 위와의 높이차(m)

2.2.10 지반변동 및 지점이동의 영향

- (1) 기초지반의 압밀침하 등에 의해 지반 변동이 예상되는 경우에는 그 영향을 고려하여야 하며 지반 변동의 예는 다음과 같다.
 - ① 기초주변지반의 압밀침하
 - ② 배면흙쌓기에 의한 연약지반의 측방유동
- (2) 라멘구조 같은 부정정 구조물은 지반의 부등침하 등으로 인하여 생기는 기초 구조물의 침하, 수평이동, 회전 등에 의하여 부재응력이 증가되므로 최종 이동량을 추정하여 단면력을 산정하여야 한다.



2.2.11 지진의 영향

구교의 설계는 원칙적으로 지진의 영향을 고려하지 않으나 경간이 5.0m이상인 경우에는 설계자가 판단하여 필요시 지진의 영향을 고려한다.

2.2.12 시공중 가설하중

- (1) 가설시에는 가설단계별 가설방법과 가설중의 구조를 고려하여 자중, 가설장비, 기차재, 바람의 영향 등 모든 재하조건에 대한 안전도 검토를 하여야 한다.
- (2) 가설하중으로 인한 응력은 가설방법에 따라서는 가설 후의 응력보다 큰 값을 나타낼 경우가 있다.

2.3 설계방법

2.3.1 설계방법 및 기호

- (1) 콘크리트 구교는 강도설계법의 적용을 원칙으로 하며, 필요에 따라서는 허용응력설계법을 사용할 수도 있다.

(2) 기호

A_b : 지압을 받는 재하면적

A_c : 지지하는 콘크리트의 전면적

D : 고정하중 또는 이에 따른 단면력

E : 지진의 영향 또는 이에 따른 단면력

G : 부등침하, 크리프, 건조수축, 제작 또는 시공시 치수의 착오, 습도변화 또는 온도변화 등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력

H : 토압 또는 이에 따른 단면력

I : 충격 또는 이에 따른 단면력

L : 활하중 또는 이에 따른 단면력

L_R : 장대레일 종하중 또는 이에 따른 단면력

Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력

U : 소요강도

2.3.2 강도설계법

- (1) 강도설계법에서 콘크리트 구조물의 부재나 단면은, 설계하중조합과 강도감소계수에 의해 해석한 소요강도 이상의 설계강도가 되도록 설계하여야 한다.
- (2) 부재는 사용하중 하에서도 적절한 성능과 기능을 확보하여야 한다.
- (3) 설계하중조합

① 소요강도

- 부재나 단면의 소요강도는 다음 ②항의 기준에 의한 하중계수 및 하중조합에 따라

- 계산한 휨, 축방향력, 전단 및 비틀림 등의 극한외력에 대한 소요강도를 기초로 한다.
- 구조물이나 구조부재는 가장 불리한 재하조건으로 계산한 극한외력에 대하여 설계한다.
 - 가장 불리한 재하조건이란 해석과정에서 상쇄작용으로 인하여 각종 하중 가운데 일부가 작용하지 않는 경우의 재하조건을 말하는 것으로 유의하여 설계하여야 한다.
 - 콘크리트 구조물에 적용한 강도설계법의 기본은 설계강도가 소요강도 보다 커야 한다.
 - 소요강도는 사용하중 뿐만 아니라 초과하중이나 구조해석상의 단순화 가정등과 같이, 가능한 여러 요인들로 부터 발생하는 초과작용 외력을 고려한 하중계수를 곱하여 구한다.
 - 구조 요소의 설계강도는 콘크리트 구조물의 강도설계법일 경우는 공칭강도에다 1보다 작은 값인 강도감소계수 ϕ 를 곱하여 계산한다.
 - 강도감소계수는 설계 계산상의 불확실량, 부재의 다양한 형식에 대한 상대적 중요도, 그리고 재료의 실제강도 및 실제단면 치수와 제작시공 기술 등에 관련된 다 소의 불리한 오차들이, 개별적으로는 허용한계내에 있더라도 총체적으로 결합시켰을 때 부재의 강도감소를 초래할 가능성을 고려한 것이다.
 - 다음 나항의 기준에 의한 하중조합 중에 가장 불리한 외력을 일으키는 조합을 사용하여 소요강도를 계산하여야 한다. 이때 구조물의 특성, 강설, 강우 또는 특수상재하중 등이 재하되는 경우에는 이와 같은 특수하중의 재하효과도 하중조합에 포함시켜야 한다.

② 주요 하중조합의 하중계수

철도설계지침 및 편람의 하중계수 및 하중조합은 아래와 같으며, 설계시 「KDS 14 20 00」의 하중계수 및 하중조합도 고려하여 안전측으로 설계하여야 한다.

- 고정하중+활하중+토압+지하수압

$$U = 1.35D + 1.85(L+I) + 1.6H + 1.4Q \quad (18)$$

$$U = 1.6\{D + (L+I) + H + Q\} \quad (19)$$

※ 지하구조물 등에서 시공중이나 시공후 수평토압이 실제로 작게 작용하여 구조물에 불리한 작용을 하는 경우에는 실제 감소된 토압을 계산하여 사용할 수 있다.

- 고정하중+활하중+토압+지하수압+크리프, 건조수축 또는 온도변화+장대레일 종하중

$$U = 1.35D + 1.4(L+I) + 1.6H + 1.4Q + 1.35G + 1.4L_R \quad (20)$$

편토압의 작용시 또는 1/2경간에 작용하는 활하중에 대하여도 위 조합을 기준으로 한다.

- ③ 「②항」의 모든 하중조합에서 고정하중계수와 토압하중계수를 바꾸어 설계하는 경우에는 <표 11>에서 기준한 값을 적용하여야 한다. <표 11>에는 각각의 특수하중조합에서 사용되는 고정하중 및 토압하중계수를 나타냈다. 「②항」에서 사용된 고정하중계수는 휨과 인장력을 받는 부재의 경우나 기둥에서 최대축하중과 최소모멘트에 대하여 검토할 경우에 해당되는 것으로서, <표 11>의 각 경우에 대하여 설계할 때는 고정하중계수와 토압하중계수를 <표 11>에 제시한 값으로 대치하여 설계하여야 한다.



표 11. 주요하중조합에서 고정하중계수와 토압하중계수를 바꾸어 설계하는 경우

식	고정하중계수	토압하중계수	
	① 기둥설계시 최소 축하중 및 최대 모멘트 또는 최대 편심에 대하여 설계할 경우	② 라멘구조에서 횡토압에 의해 상판의 정모멘트를 검토하는 경우	연직토압에 대하여 설계할 경우
(4.2.18) ~ (4.2.21)	0.8	0.6	1.4

따라서, 암거형 구교설계시 「②항」의 주요하중조합은 아래와 같이 변경되어 ②항의 주요하중조합에 추가로 고려되어야 한다.

- 고정하중+활하중+토압+지하수압

$$U = 1.35D + 1.85(L+I) + 1.6H + 1.4Q \quad (21)$$

$$U = 1.6\{D + (L+I) + H + Q\} \quad (22)$$

- 고정하중+활하중+토압+지하수압+크리프, 건조수축 또는 온도변화+장대레일종하중

$$U = 1.35D + 1.4(L+I) + 1.6H + 1.4Q + 1.35G + 1.4L \quad (23)$$

(4) 설계강도

① 공칭강도 및 설계강도

- 휨, 축방향력, 전단 또는 비틀림으로 표시되는 부재나 단면의 강도는 이 설계기준과 가정에 따라 계산한 공칭강도를 확보하여야 한다.
- 콘크리트 구조물에 대한 강도설계법에서 단면의 설계강도는 공칭강도에 「②항」의 강도감소계수를 곱하여 구한다.

② 강도감소계수(ϕ)

- 휨부재, 휨과 축방향인장을 겸하여 받는 부재
 - 보통 철근콘크리트 부재 $\phi_f = 0.85$
 - 프리스트레스 콘크리트 부재
 - ① 공장에서 생산된 프리캐스트 프리스트레스 콘크리트 부재 $\phi_f = 0.90$
 - ② 현장치기된 포스트텐션 콘크리트 부재 $\phi_f = 0.85$
 - 적절한 품질관리로 공장 생산된 프리캐스트 부재 $\phi_f = 0.90$
- 축방향인장부재 $\phi_t = 0.85$
- 축방향압축부재, 휨과 축방향압축을 겸하여 받는 부재
 - 나선철근으로 보강된 철근콘크리트 부재 $\phi_r = 0.75$
 - 그 이외의 철근콘크리트 부재 $\phi_c = 0.70$
 - 압축부재의 축하중강도 ϕ_{cPn} 이 $0.10 f_{ck}A_g$ 와 ϕ_{cPb} 중 작은 값보다 작은 경우, ϕ_c 값은 0.7과 0.85사이에 직선보간법을 적용하여 구한다.

- 전단과 비틀림 $\phi v = 0.80$
- 콘크리트의 지압 $\phi b = 0.70$
- 무근콘크리트 $\phi_{pc} = 0.65$

③ 연결부의 설계강도

- 프리캐스트 부재 사이 또는 프리캐스트 부재와 현장타설 콘크리트 부재사이 연결부의 설계강도는, 작용하는 외력에 대한 공칭강도에 수정된 강도감소계수를 곱하여 구한 값으로 설계하여야 한다.
- 수정된 강도감소계수는 ②항의 해당 ϕ 값에 연결부에 대한 추가 강도감소계수인 0.85를 곱하여 구한 값으로 설계하여야 한다.

④ 정착길이의 기준

철근의 정착길이 산정시는 ϕ 계수를 적용할 필요가 없다.

2.4 콘크리트 단면검토

- (1) 단면검토시 수직벽은 축력의 영향을 고려하여 검토하고, 상·하부슬래브는 축력의 영향을 무시하고 휨 및 전단만으로 단면을 검토하나, 구조물의 기하학적 형상 및 하중 조건 등을 감안하여 설계자가 필요하다고 판단하는 경우는 축력을 고려하여 설계하여야 한다.
- (2) 단면검토시 헌치의 유효부분은 <그림 19>와 같이 접촉하는 부재에 설치된 헌치높이의 1/3만 유효하다고 본다.
- (3) 단절점부의 설계휨모멘트는 <그림 20>과 같다.
 - ① 단면변화 및 헌치의 영향을 고려하여 구조해석을 수행한 경우에는 지지부재 전면의 모멘트로 단면을 검토한다.
 - ② 단면변화 및 헌치의 영향을 고려하지 않고 구조해석을 수행한 경우에는 절점모멘트로 단면을 검토한다.
 - ③ 단절점부에 대한 설계전단력은 단면변화 및 헌치의 영향이 작기 때문에 지지부재 전면의 전단력을 사용한다.

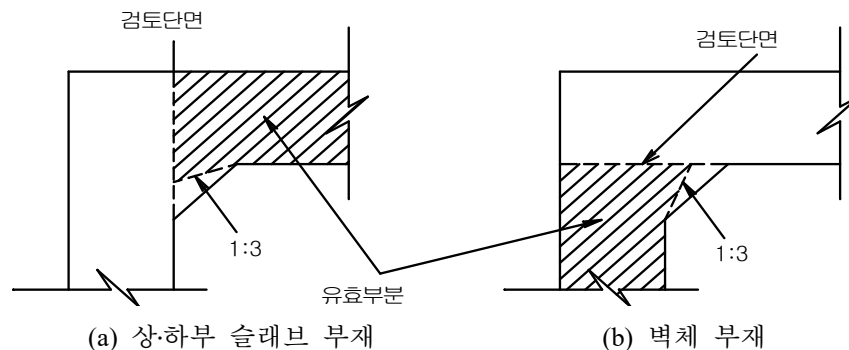


그림 19. 헌치의 유효부분

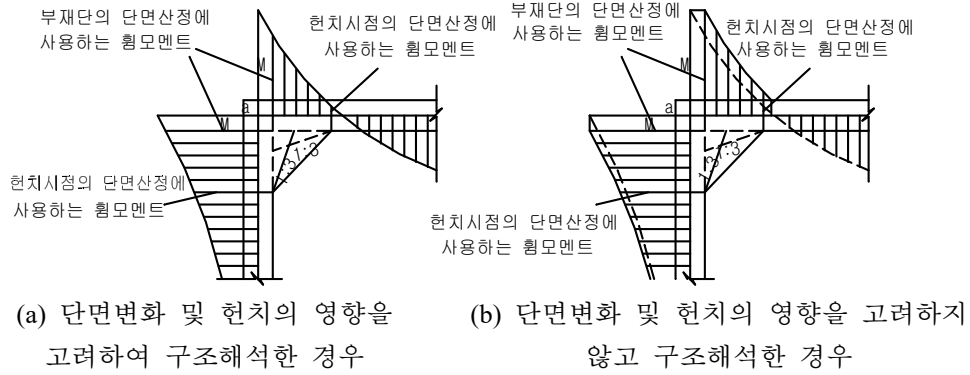


그림 20. 단면검토시 사용하는 휨모멘트

- ④ 강역의 영향을 고려하여 구조해석한 경우 <그림 21>의 ①-① 단면에 대해서는 ①-① 단면의 휨모멘트를 적용할 수도 있으나, 하중에 토압과 같은 불확실한 요소가 있음을 감안하여 안전측의 설계가 되도록 휨모멘트 M_1 을 적용하는 것으로 한다.

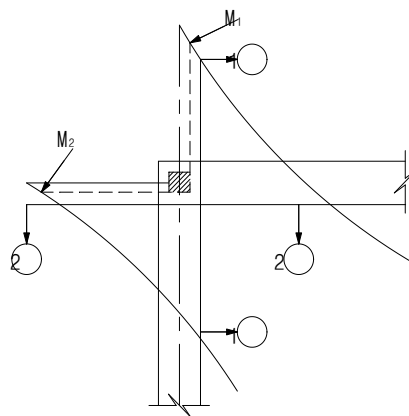


그림 21. 강역의 영향을 고려하여 구조해석한 경우의 단면 검토용 휨모멘트

2.5 주철근 정착검토

- (1) 휨부재에서 철근 정착에 대한 위험단면은 최대 응력점과 경간 내에서 인장철근이 끝나거나 절곡된 점들이다.
- (2) 휨 철근은 휨을 저항하는데 더 이상 필요하지 않은 점에서 부재의 유효높이(d) 또는 철근 직경의 12배(12db)중 큰 값 이상 연장하여야 한다.
- (3) 연속철근은 절곡되거나 끊은 철근이 휨을 저항하는데 더 이상 필요하지 않은 점에서 정착길이(ld) 이상의 매입길이를 가져야 한다.
- (4) 휨철근은 「KDS 14 20 00」의 인장구역 철근절단 조건을 만족하지 않는 한 인장구역에서 철근을 절단하지 않고 압축부로 연장한다.
- (5) <그림 22>은 연속보의 휨철근 정착을 보여주고 있으며, <그림 23>는 휨철근 절단의 실용적 방법을 나타내고 있다.

- (6) 정철근과 부철근을 절단하지 않고 절곡하여 사용할 수도 있는데, 이 경우는 절곡 부위의 전단 저항으로 전단에 대한 강도가 증가되어 철근 사용량을 감소시킬 수는 있으나 정·부 철근의 직경을 일치시켜야 하고 철근 가공이 복잡하게 된다. 또한 철근 절곡 부위에서 연속 철근에 의한 단면의 휨강도를 반드시 검토하여야 한다.

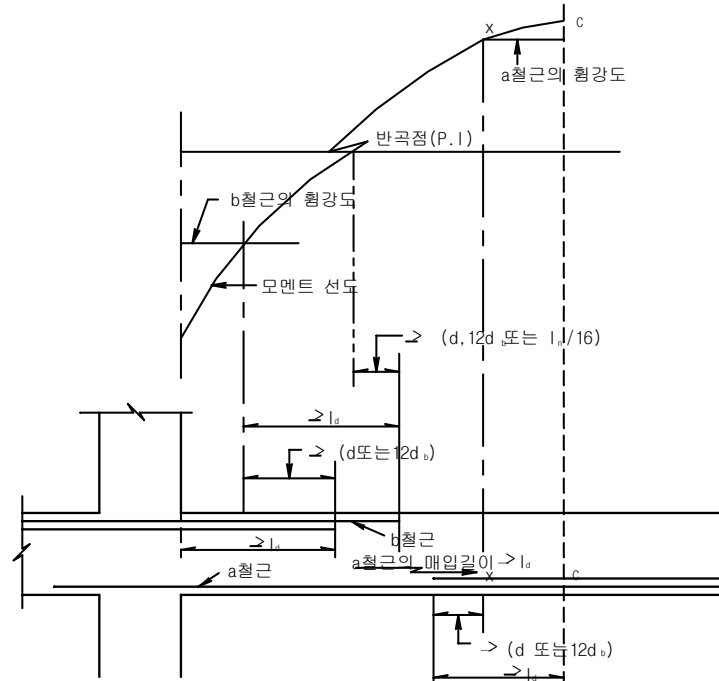
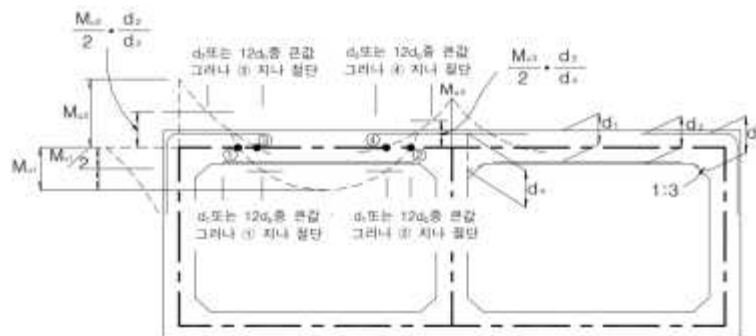


그림 22. 연속보의 휨철근 정착



※ d_b : 해당 주철근의 직경 점 ①,②,③,④, 정·부 모멘트 0인 점의 위치

그림 23. 휨철근 절단의 실용적 방법

2.6 사용성 검토

2.6.1 휨철근 간격 검토

- (1) 휨균열을 제어하기 위하여 휨인장철근은 (2)항의 규정에 따라 부재 단면의 최대 휨인장 영역 내에 배치되어야 한다.
- (2) 콘크리트 인장연단에 가장 가까이 배치되는 철근의 중심간격은 <식 (24)>과 <식 (25)>에 의해 계산된 값 중에서 작은값 이하로 하여야 한다.



$$s = 375 \left(\frac{210}{f_s} \right) - 2.5 C_c \quad (\text{mm}) \quad (24)$$

$$s = 300 \left(\frac{210}{f_s} \right) \quad (\text{mm}) \quad (25)$$

여기서, C_c : 인장철근이나 긴장재의 표면과 콘크리트 표면사이의 최소 두께(mm)
 f_s : 사용하중 상태에서 인장연단에 가장 가까이에 위치한 철근의 응력으로 사용하중 휨모멘트에 대한 해석으로 결정하여야 하지만, 근사값으로 f_y 의 2/3을 사용할 수 있음.(MPa)

2.6.2 처짐검토

- (1) 일반적으로 구교 단면은 경간장에 비해 두꺼우므로 처짐이 문제가 되는 예는 거의 없으며, 지속하중인 고정하중의 크기가 커서 단면을 지나치게 작게 하는 것은 내구성 측면에서도 좋지 않으므로, 처짐 계산이 필요 없는 슬래브 두께 이상의 단면두께가 되도록 설계한다.
- (2) 양단연속의 슬래브 구조에서 처짐 계산이 필요 없는 슬래브 두께(t_m)는 <식 (26)>과 같다.

$$t_m = \left(\frac{\ell}{28} \right) \left(0.43 + \frac{f_y}{700} \right) \quad (26)$$

여기서, ℓ : 검토대상 단면의 경간장(mm)

f_y : 철근의 설계기준 항복강도(MPa)

2.6.3 피로검토

- (1) 충격을 포함한 사용하중에 의한 철근의 응력범위가 다음 <표 12>의 값 이내에 들면 피로에 대하여 검토할 필요가 없다.
- (2) 철근의 응력이 <표 12>의 값을 초과할 경우는 합리적인 방법으로 피로에 대한 안전을 검토하여야 하며, 피로검토가 필요한 구조부재는 높은 응력을 받는 부분에서 철근을 구부리지 않도록 하여야 한다.

표 12. 피로를 고려하지 않아도 되는 철근의 응력범위(MPa)

철근의 종류		철근의 인장 및 압축응력 범위(MPa)
이형철근	SD300	130
	SD350	140
	SD400	150

2.7 단절점부 보강

2.7.1 보강 철근의 계산

(1) 구조물의 최외측 접합부는 다음의 조건에 따라 접합부에서 결합하는 부재의 주철근 양의 1/2이상을 외측에 연해서 배치하여야 한다.

- ① 부힘모멘트가 최외측 접합부에 작용하는 경우 대각선 방향의 단면에 생기는 인장응력 f_t 가 $0.08 \sqrt{f_{ck}}$ 를 넘을 경우에는 보강철근을 배치하여야 한다.
- ② 접합부에 정힘모멘트가 작용하면, 접합부 대각선 방향으로 인장응력이 작용하므로 경사방향으로 철근을 배치하여 보강하여야 한다.

(2) 인장응력 및 보강철근량의 계산은 변형 적합조건을 만족하는 어떤 식도 가능하며, 참고로 「KDS 14 20 00」에는 다음과 같은 식이 제시되고 있다.

$$f_{\max} = \frac{5 M_o}{R^2 w} \quad (27)$$

$$A_s = \frac{2 M_o}{R f_{sa}} \quad (28)$$

여기서, $f_{\max}$: <그림 24>에서 보여주는 인장응력의 최대값(MPa)

M_o : 절점부 휨모멘트($N \cdot mm$)

R : 절점부의 대각선 길이(mm)

$R^2 = a^2 + b^2$ (<그림 25> 참조)

w : 절점부의 구조물폭(mm) (일반적으로 단위폭 1,000mm)

A_s : 외측인장에 대한 보강 철근량(mm²)

f_{sa} : 보강철근의 허용응력(MPa)

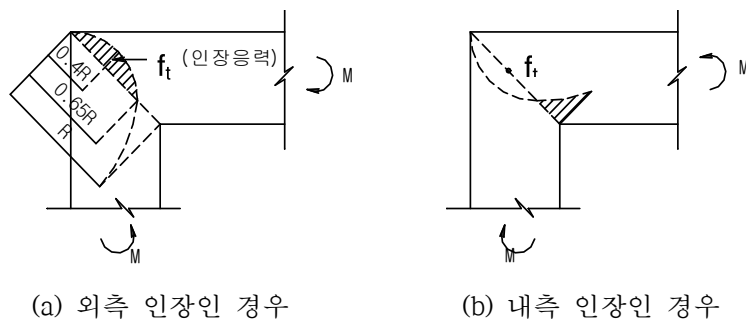


그림 24. 단절점에 발생하는 인장응력

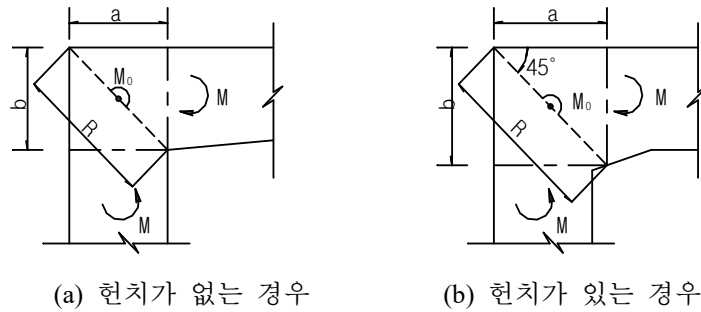


그림 25. 단절점부의 응력검토 단면

2.7.2 보강 철근의 배근

- (1) 단절점부 주철근 및 보강철근의 배치는 <그림 26>의 (a), (b) 두 가지로 적용할 수 있다.
- (2) (a)는 일반적인 배근방법으로서 1, 2 사이클 주철근 모두 외측에 배치하여 주철근이 보강철근으로서의 역할을 하지 못한다.
- (3) 반면에, (b)는 2 사이클 주철근을 내측으로 구부려 배치하므로써 주철근은 보강철근의 일부로 볼 수 있다. 단, 내측으로 구부린 철근량(②)은 전체 주 철근량(①+②)의 1/2이하이어야 한다.
- (4) 구부린 주철근을 포함한 보강철근은 <그림 26> (a)의 인장응력 범위인 $0.65R$ 범위 이내에 배치하여야 한다.

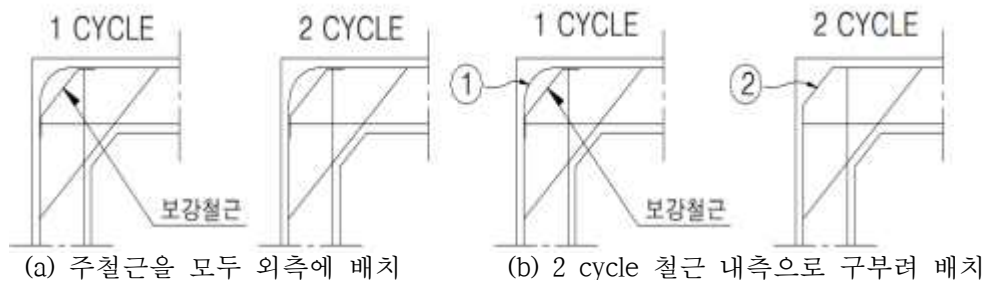


그림 26. 주철근과 보강철근의 배치

2.8 안정검토

- (1) 구교에 작용하는 하중은 대부분 대칭으로 작용하여 활동이나 전도 등의 안정문제는 발생하지 않으나, 사각이 심하고 길이에 비해 폭이 넓은 경우 평면상에서의 회전이 문제가 될 수 있으므로 검토가 필요하다.
- (2) 구교 상부의 지반이 심하게 경사져 있는 경우에는 양측 토압의 차이로 인한 전도 및 활동의 문제가 발생할 수 있으므로 주의해야 한다.
- (3) 구교가 설치되면 구교 내공부위 만큼의 흙이 공제되어 구교 설치위치 이외의 부분에 비해 총 연직중량이 작게 되므로 지지력이 부족한 경우는 거의 없으나, 연약지반에서 말뚝기초를 사용한 경우 말뚝 안정검토시 인접지반의 침하로 인해 발생하는 부마찰력을 고려하여야 한다.

(4) 양압력 검토

- ① 양압력은 구조물 및 상재토사에 의해 배제되는 물의 중량으로 ‘(구조물의 폭) × (구교 바닥면에서 지하수위까지 높이)’의 식으로 구할 수 있다.
- ② 양압력에 대한 저항력은 구교의 중량과 구교 상부의 토사중량의 합으로 이 경우 지하수 이하의 토사 중량도 습윤중량 전체로 계산한다.
- ③ 구교 측면의 토압에 의한 마찰저항은 양압력에 대한 저항력에 포함시키지 않는 것이 바람직하나, 지하수가 있는 경우(수중단위중량 적용)의 1/2 토압만 감안하여 적용할수도 있다.
- ④ 양압력에 대한 안전율은 1.2로 한다.
- ⑤ 흙쌓기부에 설치되는 구교와 같이 지하수의 영향이 없거나, 지하수위의 증가와 함께 구교 내부의 수위도 증가하는 경우에는 양압력에 대한 검토는 불필요하다.

2.9 종방향 검토

- (1) 일반적으로 구교는 10~15m 정도의 간격으로 신축이음을 설치하므로 종방향 검토를 하지 않아도 좋다.
- (2) 특별히 기초지반이 좋지 않은 경우와 구교 설치방향으로 상재 토피두께나 지반조건이 급변하는 경우에는, 종방향 검토를 하여 구교의 종방향 보강의 필요 유무를 결정하여야 한다.
- (3) 일반적으로 종방향 해석은 탄성스프링을 경계조건으로 하고 구교의 횡단면을 단면강성으로 하는 탄성보로 보고 검토를 수행한다.
- (4) 구교의 종방향 안전여부는 구교 횡단면을 보 단면으로 보고 종방향 배력철근을 인장철근으로 하여 단면을 검토함으로써 판단할 수 있다.

2.10 날개벽 검토

- (1) 평행 날개벽은 구교 본체를 고정단으로 하는 캔틸레버로 설계하며, 구교 본체의 접합부 전폭을 폭으로 계산한다.

이때, 토압은 구교구체에 강결된 경우에는 정지토압계수를 사용하고 분리된 경우에는 주동토압을 사용하여 <식 (29)> ~ <식 (31)>으로 계산한다(<그림 27> 참조).

$$M_x = \frac{1}{2} \gamma K_h \left\{ \left(xL - \frac{x^2}{2} \right) \left(h_o^2 + \frac{2h_o q}{\gamma} \right) + \left(\frac{x^2 L}{n} - \frac{2x^3}{3n} \right) \left(h_o^2 + \frac{q}{\gamma} \right) + \frac{x^3 L}{3n^2} - \frac{x^2}{4n^2} \right\} \quad (29)$$

$$S_x = \frac{1}{2} \gamma K_h \left\{ x \left(h_o + \frac{2h_o q}{\gamma} \right) + \frac{x^2}{n} \left(h_o + \frac{q}{\gamma} \right) + \frac{x^3}{3n} \right\} \quad \left(\text{단, } n = \frac{\ell}{h_n} \right) \quad (30)$$

따라서, 날개벽과 구체의 접합부 부근에서의 단면력은 <식 (30)>으로 주어진다.



$$M_A = \frac{M_{x=\ell}}{h_A} \cdot \alpha, \quad S_A = \frac{S_{x=\ell}}{h_A} \cdot \alpha \quad (31)$$

여기서, M_x : 날개벽 끝단에서 x 위치에서의 휨모멘트(kN·m)

S_x : 날개벽 끝단에서의 x 위치에서의 전단력(kN)

M_A : 날개벽에서의 단위폭당 휨모멘트(kN·m/m)

S_A : 날개벽에서의 단위폭당 전단력(kN/m)

α : 구교 본체와 연결부의 강성 영향에 의한 증가계수($\alpha = 1.2$ 로 함)

K_h : 수평토압계수

h_A : 날개벽 부근의 유효높이(m)

h_0 : 날개벽 단부에서 수직부의 높이(m)

h_n : 날개벽 단부에서 경사부의 높이(m)

γ : 흙의 단위중량($\gamma = 20.0\text{kN/m}^3$)

q : 과재하중(kN/m²)

(2) 날개벽이 근입되는 전면의 수동토압은 생각하지 않는다.

(3) 방호책이나 방음벽을 설치하는 날개벽은 그 영향을 고려해서 계산한다.

(4) 날개벽 부근에서의 단면력은 <식 (32)> 및 <식 (33)>로 구해도 된다.

$$mA = (1.7l - 3.0)P + 0.17l \cdot m \quad (32)$$

$$mA' = (0.6l - 1.0)P + 0.11l \cdot m \quad (33)$$

여기서, mA : 날개벽 부근 상단의 단위폭당 휨모멘트(kN·m/m)

mA' : 날개벽 부근 하단의 단위폭당 휨모멘트(kN·m/m)

P : 날개벽 상단에 작용하는 단위길이당 수평력(kN/m)

m : 날개벽 상단에 작용하는 단위길이당 휨모멘트(kN·m/m)

l : 날개벽 길이(m) ($l \geq 2.0\text{m}$)

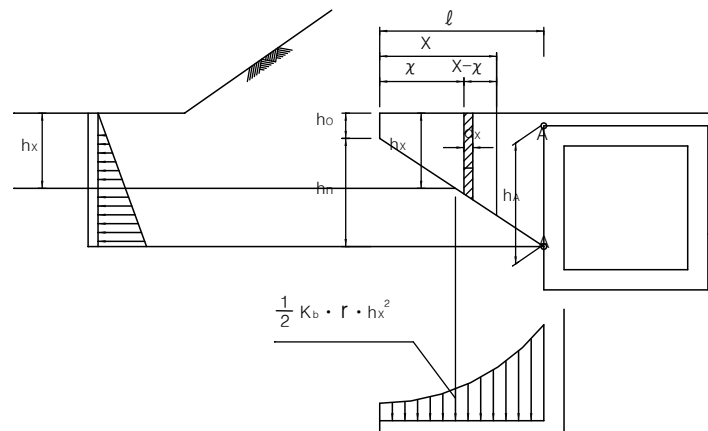


그림 27. 날개벽의 하중 및 단면력 계산

2.11 배근상세

2.11.1 배근 일반

(1) 철근 피복두께

- ① 구교의 상부 슬래브와 측벽 바깥면의 철근 최소 피복두께는 「KR C-10010」의 ‘흙에 접하는 콘크리트’의 기준을 따른다.
- ② 구교 기초저면의 철근 최소피복두께는 버림콘크리트를 미리 타설하는 경우 「KR C-10010」의 ‘흙에 접하는 콘크리트’의 기준을 따르고, 그렇지 않은 경우 ‘흙에 접하여 콘크리트를 친 후 영구히 흙에 묻혀 있는 콘크리트’의 기준을 따른다.
- ③ 통로 구교 내측의 철근 최소피복두께는 「KR C-10010」의 ‘육외의 공기에 직접 노출되는 콘크리트’의 기준을 따른다.
- ④ 수로 구교 내측의 철근 최소피복두께는 「KR C-10010」의 ‘수중에 있는 콘크리트’의 기준을 따른다.

(2) 배력철근

- ① 기초지반이 흙인 경우로써 종방향으로 영향을 받는 구교에서 상부슬래브, 하부슬래브와 벽체에 있어서 종방향 최소철근량은 복토의 깊이가 3.0m이하인 경우는 콘크리트 단면적의 0.4%, 복토가 3.0m이상인 경우는 복토깊이가 30m인 경우의 사용량인 1.0%를 기준으로 선형변화량을 사용하되 이 때 종방향 철근량은 주철근량 미만이어야 한다. 단, 단단한 지반 위에 놓인 경우와 말뚝기초로 지지되는 경우로써 종방향 부등침하가 우려되지 않는 경우에는 위 사항을 적용하지 않는다. 따라서 어느 정도 견고한 지반에 놓이는 일반적인 구교로써 적정한 신축이음매가 설치되어 상세한 종방향 해석이 필요하지 않다고 판단되는 경우 종방향 철근량은 슬래브의 경우 콘크리트 단면적의 0.25%, 벽체의 경우 0.3%를 적용할 수 있다.
- ② 철근의 이음은 인접한 철근과 동일한 위치에 두지 않도록 한다.

(3) 스테럽(Stirrup)

- ① 스테럽 철근의 간격은 시공의 편의를 위해 배력철근의 간격과 일치시키되, 스테럽이 전단 보강철근으로 사용되는 경우는 콘크리트 단면 유효높이의 1/2 또는 600mm 이하가 되도록 한다.
- ② 스테럽의 형상은 U형 스테럽을 원칙으로 한다.(<그림 28> 참조)
- ③ 한 가닥 U형 또는 복U형 스테럽의 정착은 다음 방법 중 한가지를 따른다.
 - D16 이하의 철근에 대해서는 종방향 철근을 둘러싸는 표준 갈고리로 정착하는 방법.
 - $f_y = 300\text{MPa}$ 이상인 D19, D22, D25 스테럽에 대해서는 종방향 철근을 둘러싸는 표준 스테럽 갈고리 외에, 추가로 중간 높이에서 갈고리 단부의 바깥면까지 $0.17db \cdot f_y / \sqrt{f_{ck}}$ 이상의 매입길이를 확보하는 방법

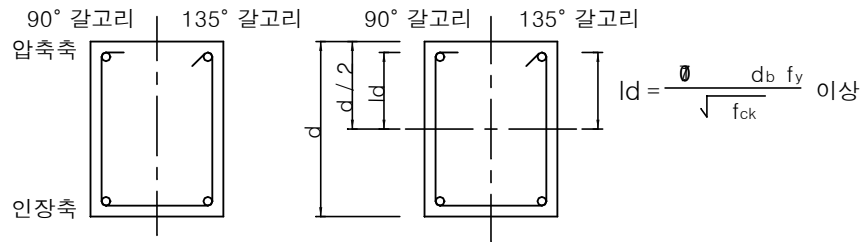
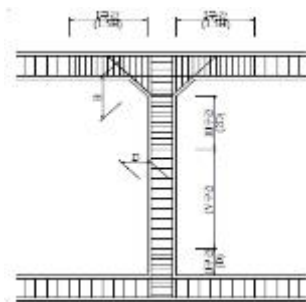


그림 28. U형 스테럽의 정착

2.11.2 부위별 특별 고려사항

(1) 중간 절점부

- ① 2번 이상 구교의 기둥 띠철근 및 중간 절점부 스테럽은 일반적으로 <그림 29>와 같이 배치하는 것이 좋다.
- ② 내공폭이 큰 2번 이상 구교의 중앙 벽체는 축하중이 크므로 폐합 스테럽을 사용하는 것이 좋다.



- I 구간 : $0.002ba$ 이상, 또한 지진시에 필요한 양의 1.2배 이상의 스테럽을 배치하는 것이 좋음
 - II 구간 : $0.002ba$ 이상의 띠철근을 배치하는 것이 좋음
 - III 구간 : $0.0025ba$ 이상의 띠철근을 배치하는 것이 좋음
 - IV 구간 : $0.0015ba$ 이상의 띠철근을 배근하는 것이 좋음
- 여기서, b : 보의 폭 또는 기둥의 폭(mm)
 a : 스테럽 또는 띠철근의 간격(mm)

그림 29. 중간 절점부의 띠철근 배치

(2) 헌치 및 우각부 철근

- ① 헌치 안쪽에 연하여 배치하는 철근은 <그림 30>과 같이 한다. 헌치는 대부분 압축부에 위치하고 휨에 저항하는 철근이 아니므로 철근의 형상은 시공성을 감안하여 결정한다.
- ② 우각부 주철근이 구부러지는 전후에는 배력철근을 <그림 31>과 같이 배근한다.

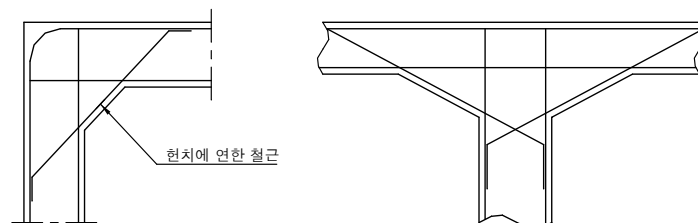


그림 30. 헌치철근

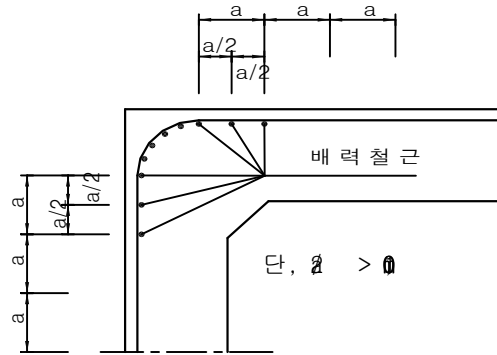


그림 31. 우각부의 배력철근

(3) 사각부의 철근배근

사각부의 철근은 <그림 32>과 같이 측벽의 길이방향으로 사각부 이외의 단면과 동일한 간격으로 배근하는 것을 원칙으로 하고, 경우에 따라서는 슬래브내 단부를 거더로, 벽체는 기둥으로 처리하여 슬래브 철근을 거더에 정착시켜도 좋다.

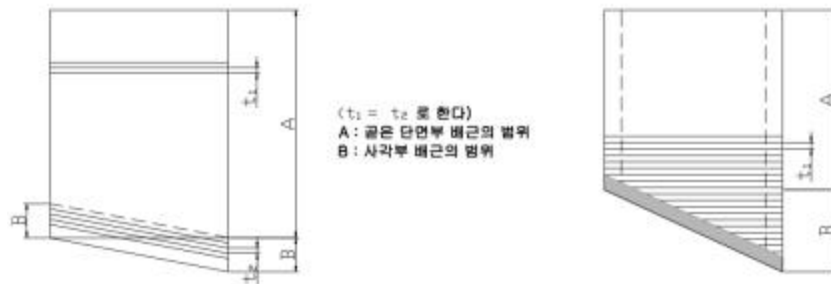


그림 32. 사각부의 배근

(4) 날개벽 배근상세

- ① 날개벽 부근의 배근은 <그림 33>와 같이 한다.
- ② 날개벽 전면의 철근은 일반적으로 D16-4EA면 충분하지만 전면에 인장응력을 받을 때는 필요 철근량 이상으로 배근한다.

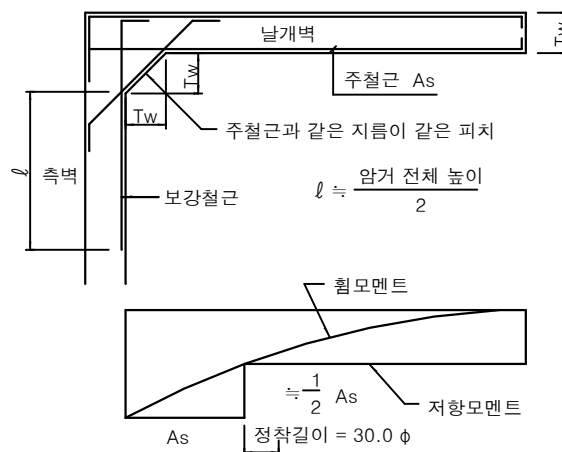


그림 33. 날개벽 부근의 배근방법



- ③ 날개벽의 흠막이 부분의 배근은 <그림 34>과 같이 날개벽 상부와 같이 하고 구교 상부를 지나도록 배근한다.
- ④ 구교 본체 측벽의 날개벽을 지지하는 부분은 날개벽으로부터 전달되는 휨모멘트에 저항할 수 있도록 설계한다.

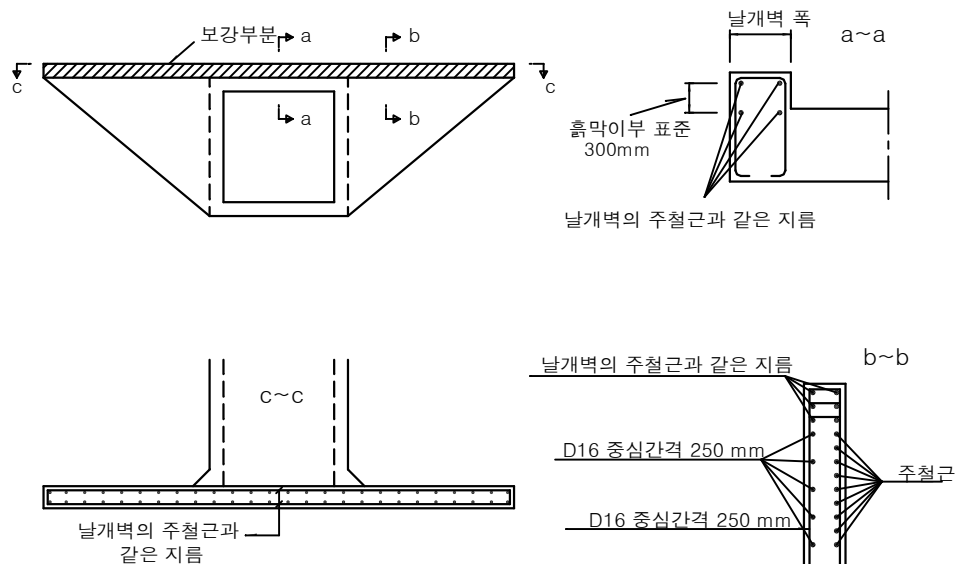


그림 34. 날개벽 흠막이부의 배근방법

(5) 개구부 주변의 보강

- ① 구교의 측벽부에 관로 등이 연결되어 소규모 개구부가 생길 경우 응력집중 등에 의한 균열에 대비하기 위하여 철근을 배치한다.(<그림 35> 참조)
- ② 보강을 위해 배치하는 철근은 개구부를 두었기 때문에 배치할 수 없었던 주철근과 배력철근량 이상을 개구부 주변에 배치함과 동시에, 개구부의 모서리에 철근을 배치하여 확실히 정착시켜야 한다.

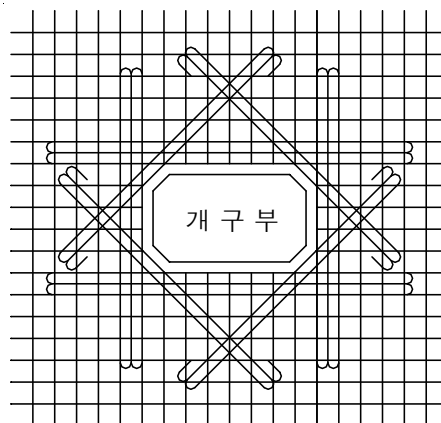


그림 35. 개구부 주변의 보강

- ③ 구교 내부로 중차량이 통과할 경우 외측벽의 정모멘트가 증가할 수 있으므로 외측 벽체의 내측 철근은 계산상 소요량보다 다소 여유 있게 배근하는 것이 좋다.

3. 사용재료

3.1 기호

E_c : 콘크리트의 탄성계수(MPa)

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준강도(MPa)

G_c : 콘크리트의 전단탄성계수(MPa)

3.2 강재

구교에 사용되는 강재는 「KR C-09010」에 따른다.

3.3 콘크리트

3.3.1 콘크리트의 설계기준강도

(1) 구교에 사용하는 콘크리트의 설계기준강도는 <표 13>에 나타난 값 이상이어야 한다.

표 13. 콘크리트의 최저 설계기준강도

부재의 종류	최저 설계기준강도 (MPa)
무근콘크리트 부재	18
철근콘크리트 부재	21

(2) 콘크리트의 내구성은 물/결합재비에 따라 변하므로 이를 제한하기 위하여 콘크리트 설계기준강도의 최저값을 제한하였다.

(3) 확대기초 하면에 타설하는 기초바닥정리 콘크리트 등은 무근콘크리트의 최저 설계기준강도 이하의 콘크리트를 사용할 수 있다.

(4) 하부구조에 이용하는 철근콘크리트 부재의 설계기준강도는 21MPa 이상으로 한다.

(5) 표면배수시설 콘크리트 설계기준강도

배수시설 중 구조용 콘크리트부재(구조상의 하중을 받기 위해 사용하거나 구조체의 일부를 형성하는 콘크리트)가 아닌 표면배수시설을 콘크리트 구조물로 설치하는 경우, 설계기준강도는 무근·철근콘크리트에 구분없이 21MPa를 적용한다. 다만, 주변 환경인자(동결기 등)에 따라 별도의 내구성이 요구된다고 판단되는 경우, KDS 14 20 40의 “노출등급에 따른 내구성 허용기준”을 준용하여 상향 적용할 수 있다.

3.3.2 콘크리트의 재료

(1) 시멘트는 원칙적으로 KS의 규정에 적합한 것이어야 한다.

(2) 혼합수는 KS F 4009 부속서2의 기준에 적합한 것 이어야 한다.

(3) 잔골재는 깨끗하고 강하며 내구적이고 적당한 입도를 가지며 먼지, 흙, 유기불순물, 염화물 등의 유해량을 함유하여서는 안된다.



- (4) 굵은 골재는 깨끗하고 강하며 내구적이고 적당한 입도를 가지며 얇은 석편, 길다란 석편, 유기불순물, 염화물 등의 유해량을 함유하여서는 안된다.
- ① 골재는 KS F 2526(콘크리트용 골재), KS F 2527(콘크리트용 부순골재), KS F 2544(콘크리트 고로슬래그 골재) 또는 이와 동등한 품질을 갖는 골재를 사용하여야 한다.
- ② 잔골재의 염화물 이온 함유량은 잔골재잔량의 0.02% (NaCl로 환산하면 0.04%)이하이어야 한다.
- (5) AE제, 감수제, AE감수제 및 고성능 AE감수제는 KS F 2560에 적합한 것이라야 하며, 플라이애시 및 고로슬래그 미분말은 각각 KS L 5405 및 KS F 2563에 적합한 것으로 한다. 그 외의 혼화재료를 사용하는 경우에는 충분한 실적조사 및 시험을 하고 성능을 분명하게 하여야 한다.

3.4 설계계산에 사용하는 설계상수

콘크리트의 탄성계수는 다음 규정에 따른다.

단위질량 m_c 의 값이 $1,450 \sim 2,500 \text{ kg/m}^3$ 인 콘크리트

$$E_c = 0.077 m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} \quad (\text{MPa}) \quad (34)$$

보통 골재를 사용한 콘크리트 ($m_c = 2,300 \text{ kg/m}^3$)에서는 다음 식을 사용해도 좋다.

$$E_c = 8,500 \sqrt[3]{f_{cu}} \quad (\text{MPa}) \quad (35)$$

$$\text{여기서, } f_{cu} = f_{ck} + 8 \quad (\text{MPa}) \quad (36)$$

콘크리트의 전단탄성계수는 식(51)에 따라 계산한다.

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\nu)} \quad (\text{MPa}) \quad (37)$$

여기서, G_c : 콘크리트의 전단탄성계수(MPa)

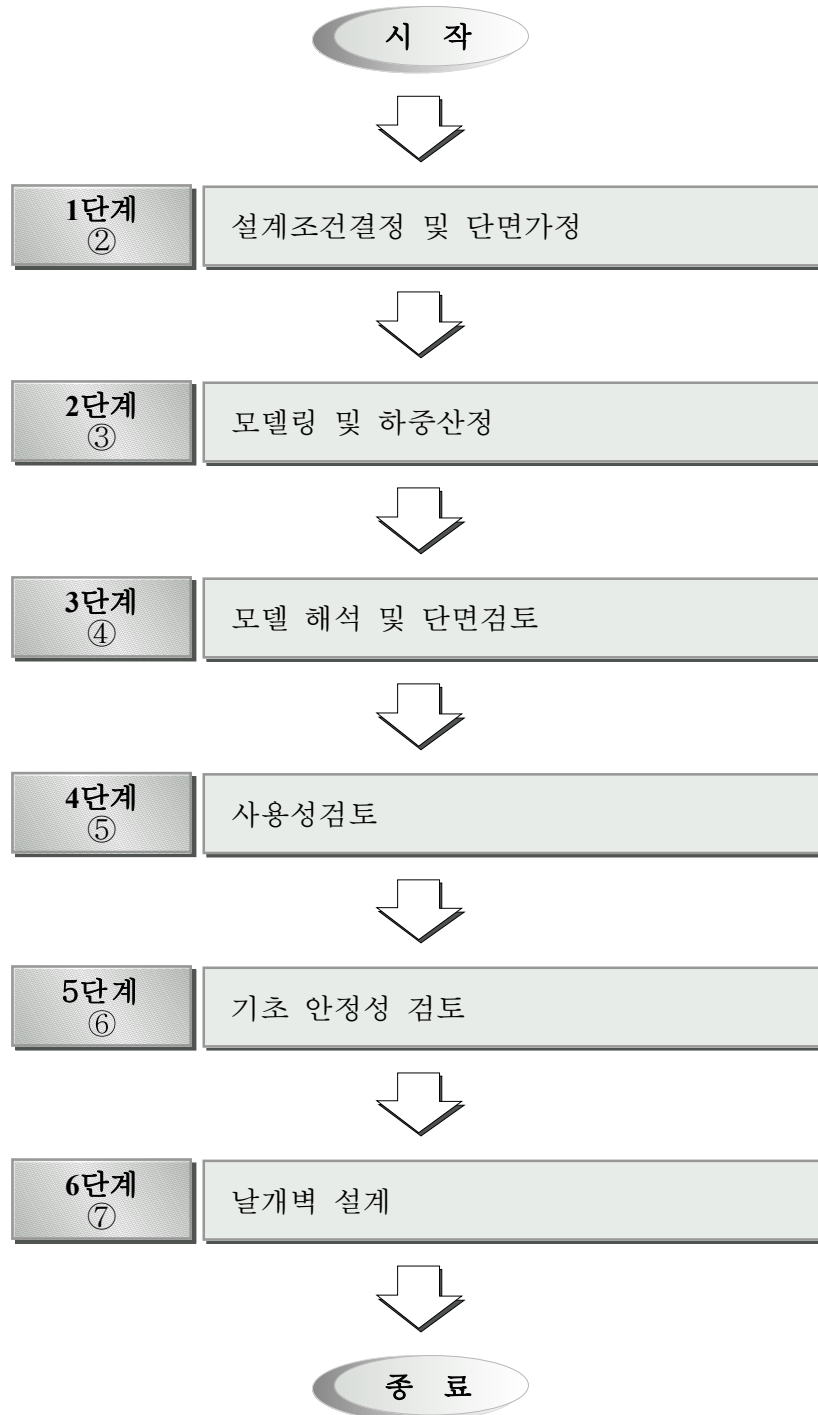
E_c : 콘크리트의 탄성계수(MPa)

ν : 콘크리트의 포아송비

콘크리트의 포아송비는 실험에 의하여 결정되지 않는 경우에는 일반적으로 1/6으로 가정한다.

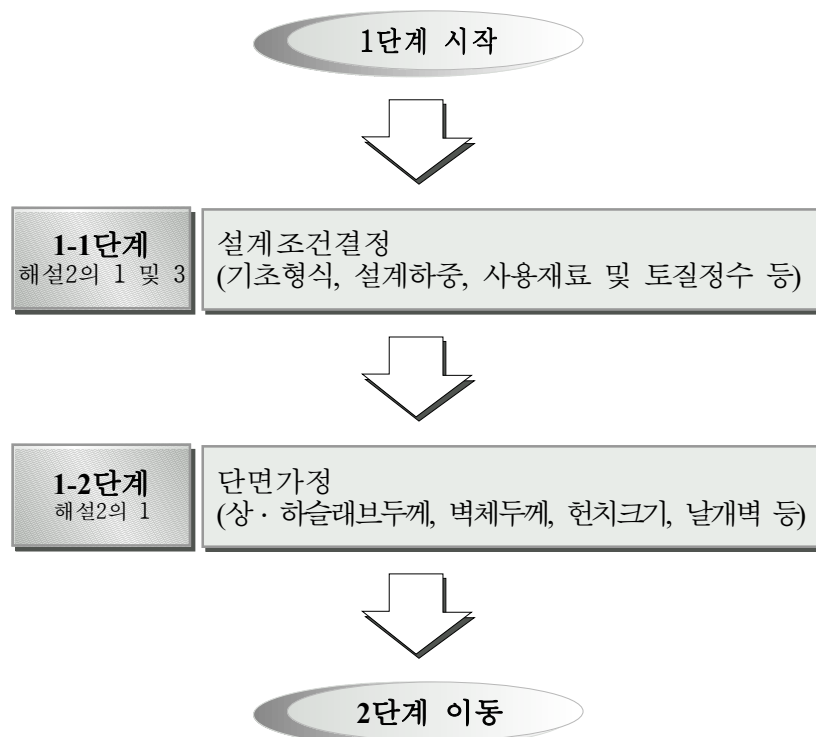
4. 설계흐름도

4.1 주 설계단계

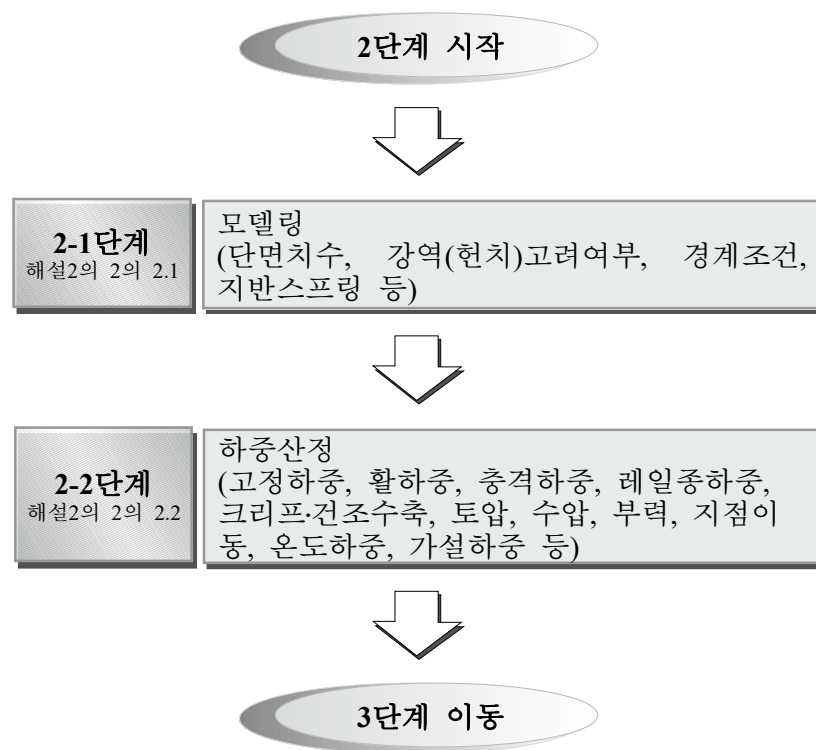




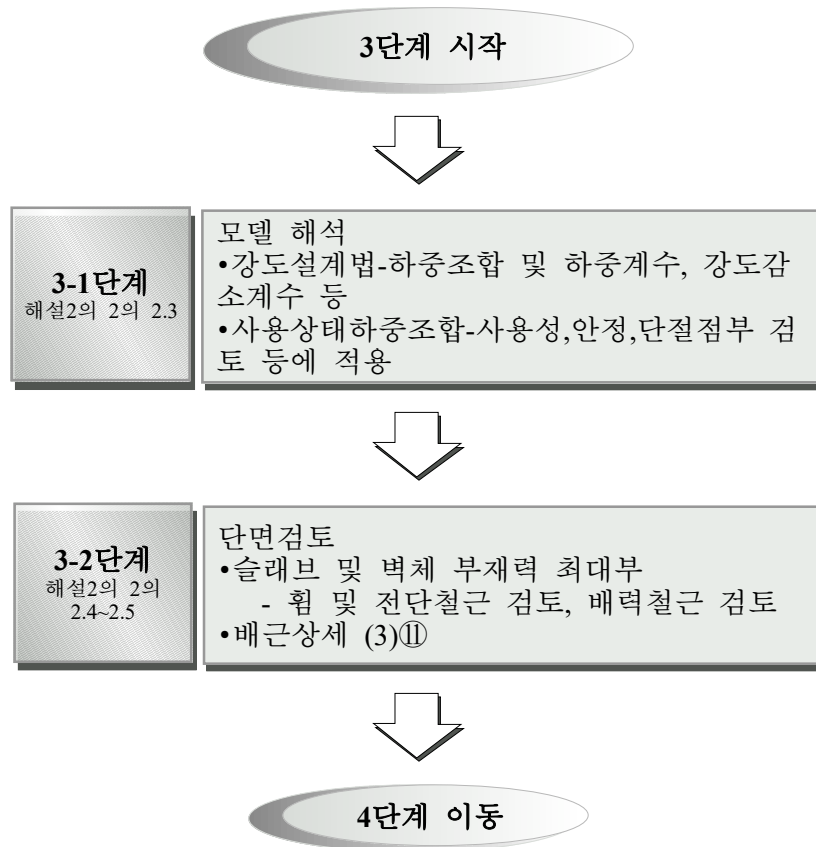
4.2 설계조건결정 및 단면가정



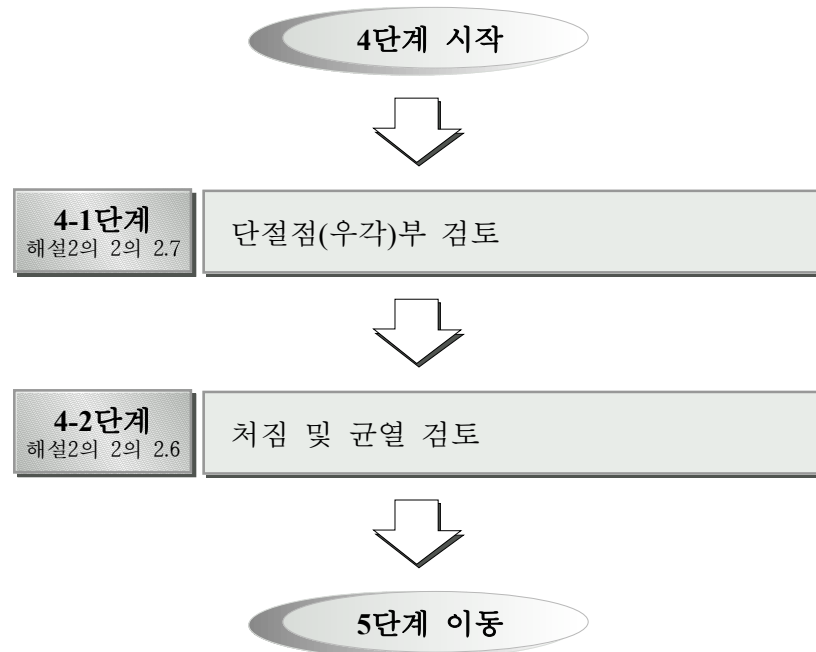
4.3 모델링 및 하중산정



4.4 모델 해석 및 단면검토

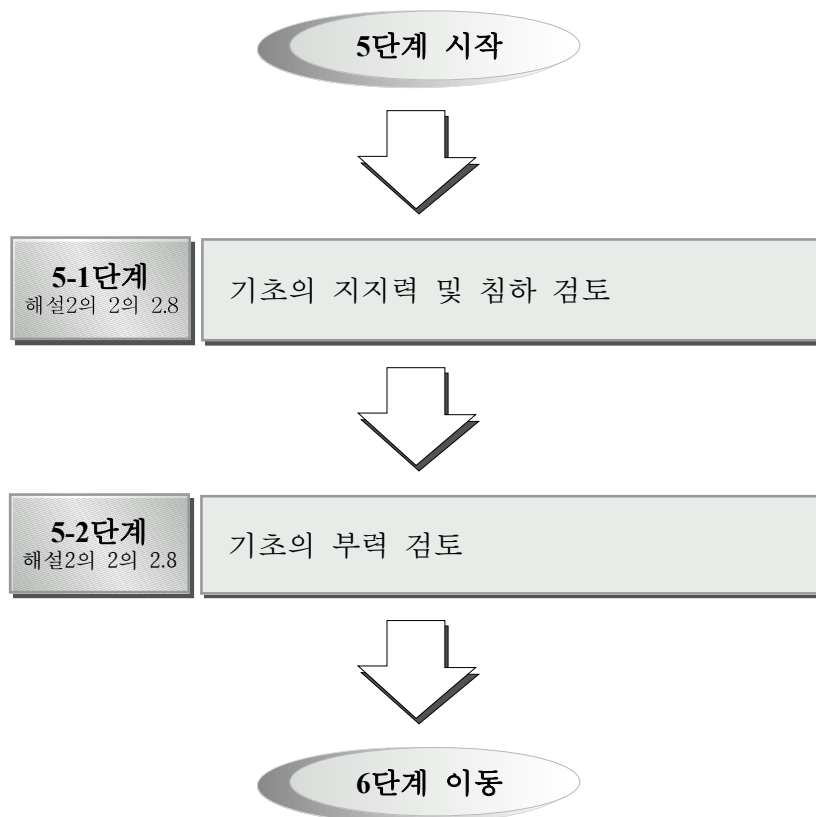


4.5 사용성검토(우각부, 처짐 및 균열, 안정 등)

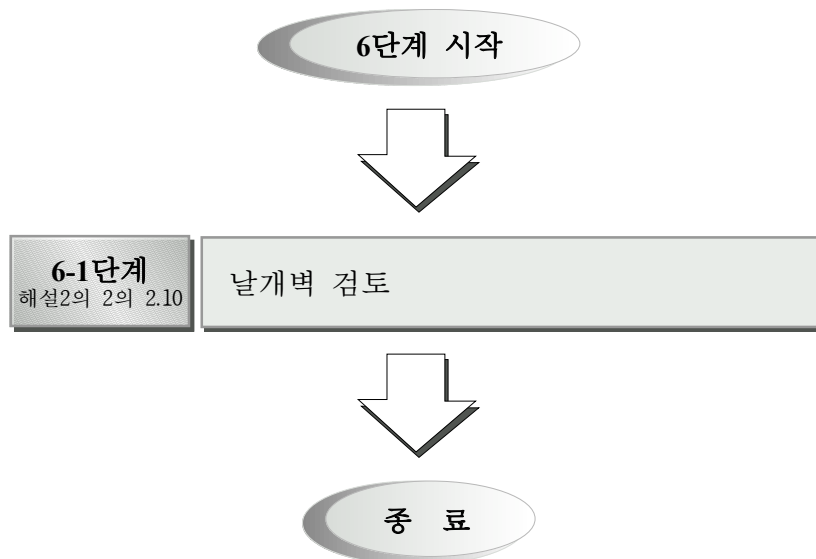




4.6 기초의 안정성 검토



4.7 날개벽 설계



해설 3. 문형 라멘 구교

1. 적용범위

본 해설의 내용은 현장에서 콘크리트를 타설, 시공하는 철근콘크리트 라멘 구교의 설계에 적용한다.

2. 설계시 유의사항

2.1 일반사항

- (1) 문형 라멘 구교는 박스형 구교를 기준으로 해석하되 기둥 및 벽에 대한 토압, 수압 및 지점침하 등은 별도로 검토하여야 한다.
- (2) 단면력을 계산할 때의 부재 축선은 부재단면의 도심축선에 일치시킨다. 그러나 수평 부재와 연직부재의 길이의 비가 4이상이거나 단면의 변화가 매우 심한 경우에는 수평부재의 축선변화 영향을 고려하여 단면력을 계산하는 것이 좋다.
- (3) 현치의 크기가 부재단면에 비해 작고, 단면의 응력계산에서 무시될 수 있는 정도의 크기를 가지는 현치인 경우에는 휨강성의 변화를 무시해도 좋다.
- (4) 지간이 비교적 긴 라멘 구교에서는 강역의 영향을 무시하여 해석해도 좋다. 그러나 기둥과 보의 절점부에 특히 큰 현치가 있는 경우나 보 또는 기둥의 부재 두께가 매우 큰 경우에는 강역의 영향을 고려하여 해석한다.
- (5) 단면의 두께가 두껍거나 시멘트의 사용량이 많아서 구조물에 수화열에 의한 균열발생이 우려되는 경우에는, 수화열에 의한 응력해석을 실시하여 그에 적절한 조치를 취해야한다.

2.2 구조상세

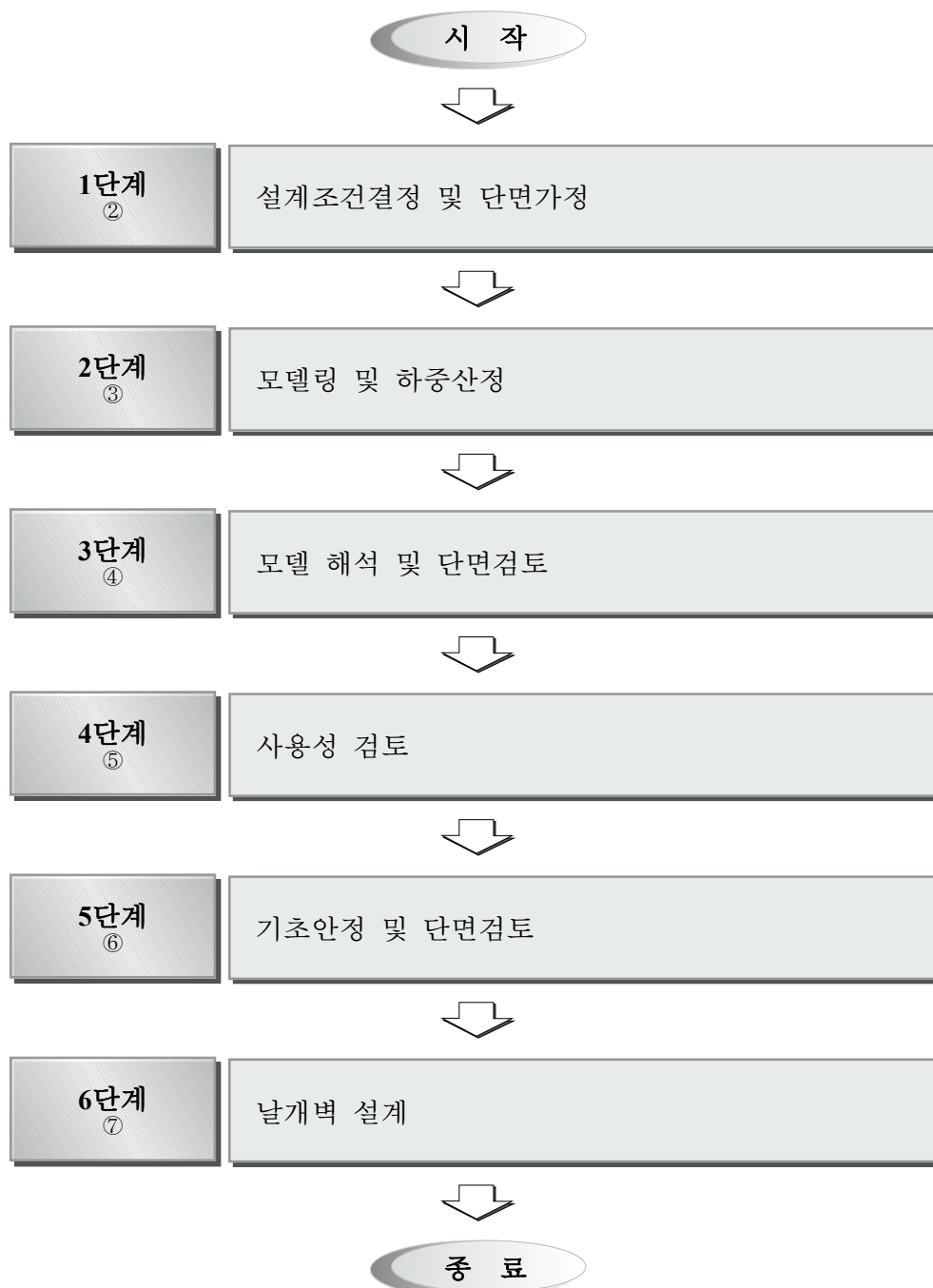
- (1) 거더와 슬래브 및 기둥의 주철근은 절점부에서 서로 간의 배치를 고려하여 단면력이 확실히 전달되도록 설계해야 한다.
- (2) 라멘 구교 기둥의 띠철근 및 중간절점부의 스테럽은 일반적으로 다음과 같이 배치한다.
 - ① 거더에는 기둥전면으로 부터 거더높이의 1.5배 되는 구간까지 0.2% 이상의 스테럽을 배치하는 것이 좋다.
 - ② 기둥하부에는 기둥 가로치수와 동일한 길이의 구간까지 0.2% 이상의 띠철근을 배치하는 것이 좋다.
 - ③ 기둥상부에는 기둥 가로치수의 2배되는 길이의 구간까지 0.25% 이상의 띠철근을 배치하는 것이 좋다.
 - ④ 기둥의 그 밖의 위치에는 0.15% 이상의 띠철근을 배치하는 것이 좋다.
- (3) 단절점부에서는 절점부에서 결합하는 부재의 주철근량의 1/2 이상을 외측에 연해서 배치하는 것이 좋다.



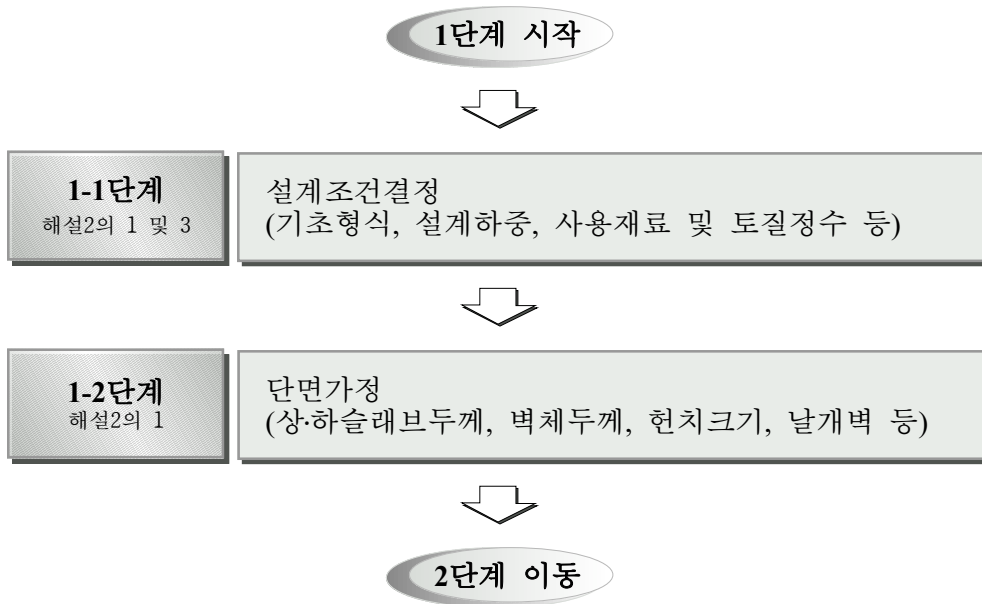
- (4) 기둥의 하단이 고정된 경우, 기둥의 주철근은 기초의 상단부터 기초높이의 1/2되는곳을 지나 소정의 정착길이로 정착하여야 한다. 시공상 부득이한 경우에는 축방향철근을 확대기초 하단까지 연장하여 직각갈고리로 정착시켜도 좋다.
- (5) 현치에는 계산상 철근이 필요없는 경우에도 별도로 현치 단면에 연하여 철근을 배치해야 한다.
- (6) 부재절점부 및 그 부근에는 주철근의 이음을 두지 않는다.

3. 설계흐름도

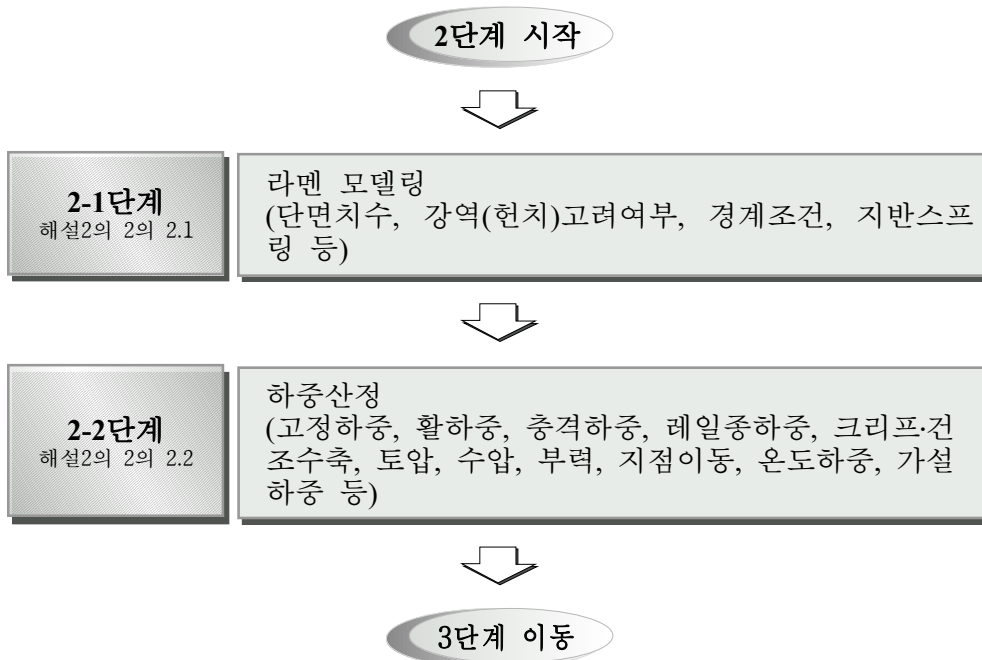
3.1 주 설계단계



3.2 설계조건결정 및 단면가정

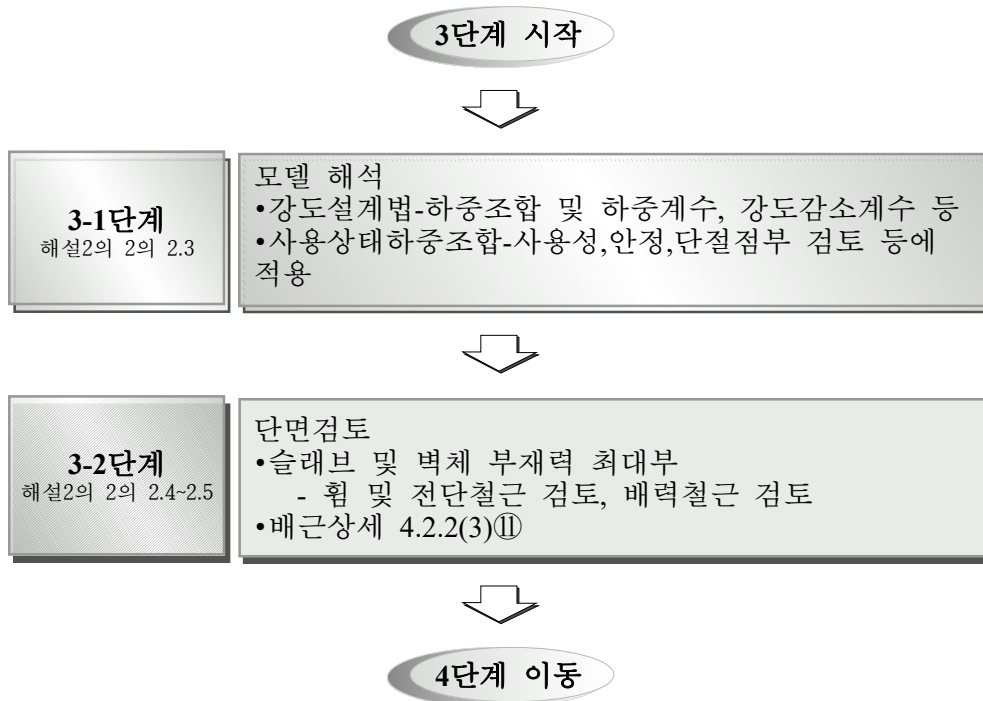


3.3 모델링 및 하중산정

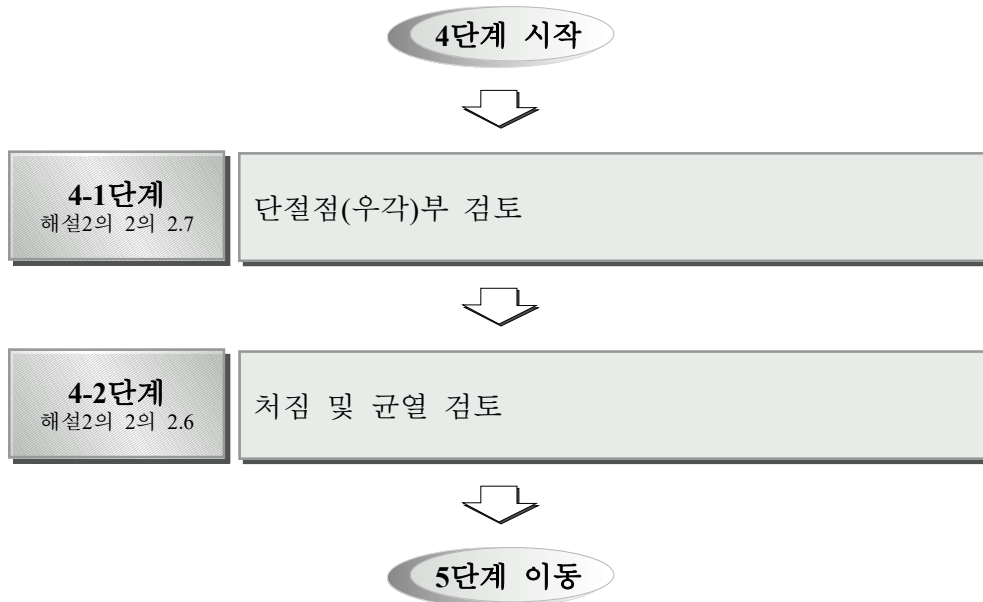




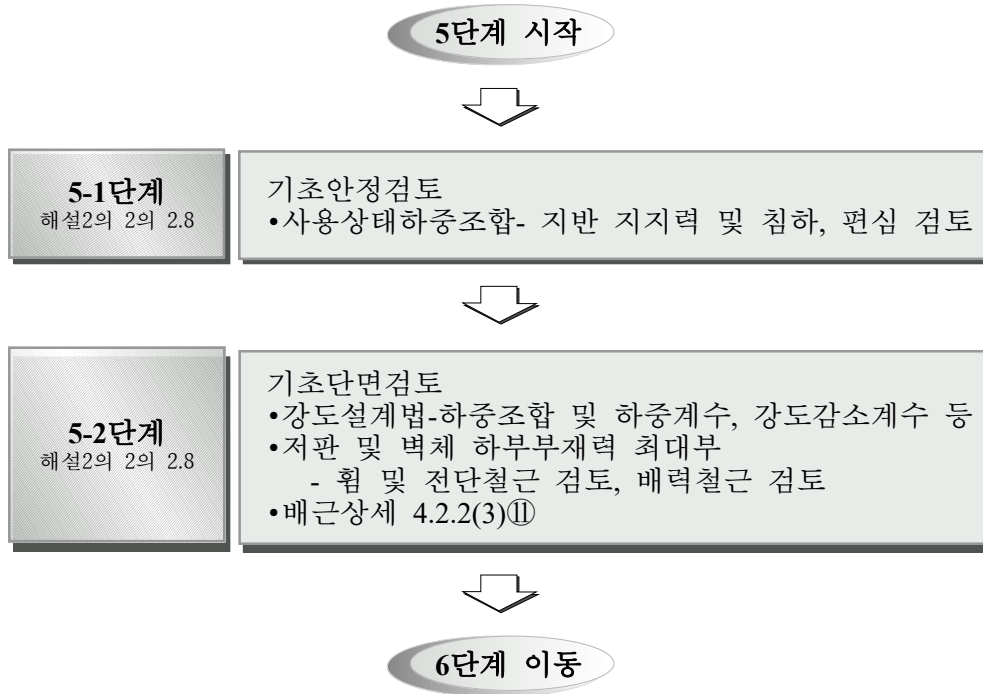
3.4 모델 해석 및 단면검토



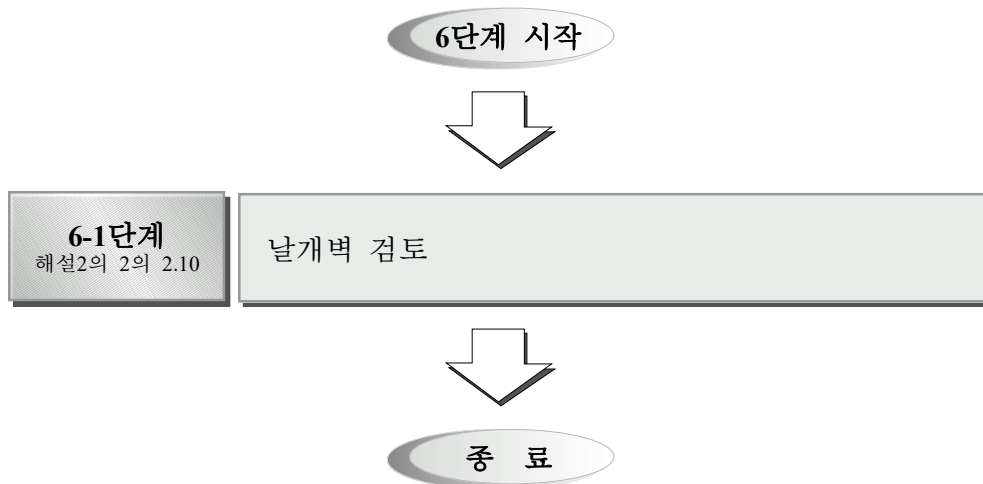
3.5 사용성검토(우각부, 처짐 및 균열, 안정 등)



3.6 기초 안정 및 단면검토



3.7 날개벽 설계





해설 4. 아치형 구교

1. 적용범위

- (1) 본 해설의 내용은 현장에서 콘크리트를 타설, 시공하는 철근콘크리트 아치형 구교 및 현장 인근에서 프리캐스트 제작 후 가설 위치로 운반하여 시공하는 철근콘크리트 구교의 설계에 적용한다.
- (2) 또한 본 해설에 기술된 작용 하중은 공장 제작하여 운반, 설치하는 프리캐스트 프리스트레스 구교에도 적용할 수 있다.
- (3) 본 해설에 적용하는 각종 기준은 「KR C-05010의 해설 2 및 해설 3」을 참고로 한다.

2. 종류

- (1) 구조역학적인 분류
고정아치, 1힌시아치, 2힌시아치, 3힌시아치 등으로 구분
- (2) 구조형식별 분류
개복식(開腹式)아치 구교, 폐복식(閉腹式)아치 구교 등으로 구분

3. 상세계획

3.1 평면계획

- (1) 아치형 구교는 비교적 상부토피 두께가 깊은 곳에 적용하며, 도로 또는 수로의 여건을 부합시켜야 한다.
- (2) 아치형 구교 설치는 가능한 주변의 지형, 흙쌓기가 좌우대칭이 되도록 하는 것이 바람직하다.
- (3) 아치형 구교의 계획시 사각을 이루면 한쪽면만 토압을 받게 되므로 직각으로 하는 것이 좋다. 따라서 아치형 구교의 평면계획은 직각으로 함을 원칙으로 한다.
- (4) 신축줄눈 간격은 15m로 한다.

3.2 토피두께와 부재단면

- (1) 설계계산은 각 구간의 최대 토피두께(h_1 , h_2 , h_3)로 한다. 단, 부재두께는 최대 토피두께(h_1)로 구한 단면을 사용한다(<그림 36> 참조).
- (2) 아치형 구교는 토피 두께변화가 각 단면마다 크게 다르므로 설계하고자 하는 단면 위의 토피로 부재 단면을 구한다. 단면 분할은 종단방향으로 동일 단면인 점을 고려해 토피두께의 차이를 7m정도로 한다.
- (3) 단면은 종단방향을 동일하게 하며, 배근은 각각 토피 두께에 대응해 증감시킨다. 이것은 아치부의 시공성, 거푸집의 사용성을 고려한 것이다.
- (4) 단면 두께는 온도변화 및 건조수축의 영향을 고려해야 하며 아치부의 단면은 가급적 얇게 하고, 응력이 집중되는 하부 우각부 부근의 단면은 두껍게 하는 것이 좋다.

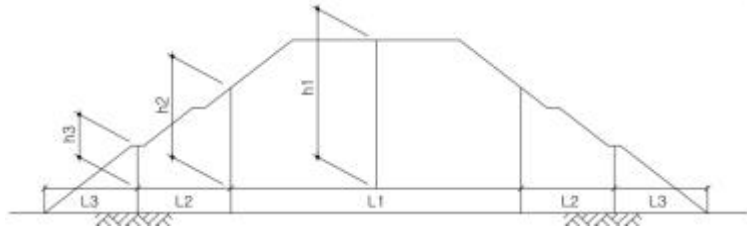


그림 36. 설계계산에 적용하는 토피두께

3.3 내공단면

- (1) 아치형 구교의 단면은 소정의 내공단면($a \times b$)을 확보하고 위쪽에 반원을 그린 모양을 표준으로 한다.(<그림 37> 참조)
- (2) 아치형 구교의 단면은 소요단면($a \times b$) 및 토피두께에 따라 아치 모양이 정해지므로 표준형상을 결정하기가 어렵다.
- (3) 아치형 구교의 내공단면($a \times b$) 결정에 있어서는 다음 조건을 만족시켜야 한다.
 - ① 도로용 구교
 - 가. 도로의 건축한계 이상일 것
 - 나. 매설관 등의 설치 공간을 확보할 것
 - ② 수로용 구교
 - 가. 계획유량을 통과시킬 수 있는 단면일 것
 - 나. 내공 높이는 HWL + 여유고 이상일 것
- (4) 연약지반 위에 구교를 시공할 경우에, 시공 후 침하에 의한 장애(도로 건축한계의 부족, 수로단면의 부족 등)가 예측되고 또한 더울림만으로 대처할 수 없을 때는 구교의 내공 높이에 여유를 둔다.

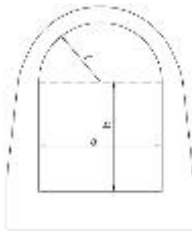


그림 37. 아치형 구교의 내공단면

4. 구조계산

4.1 고려사항

- (1) 아치축선은 가능한 하중에 의한 압력선과 일치하도록 한다.
- (2) 아치의 축선은 곡선으로 되어 있기 때문에 경간이 긴 아치의 경우 휨좌굴, 휨 및 비틀림을 동시에 받아 일어나는 좌굴 등에 대한 안전도 검사를 수행하여야 한다.
- (3) 아치의 축선은 아치리브의 단면도심을 연결하는 선으로 하여야 한다.
- (4) 부정정력을 계산하는데 있어 아치리브의 단면변화를 고려하여야 한다.



- (5) 아치의 기초는 아치에서 발생하는 수평력에 충분히 저항할 수 있도록 하여야한다.
- (6) 아치에 있어서 부정정력은 탄성이론에 의해서 구한다.
- (7) 아치를 설계하는 경우 연직 및 수평하중과 건조수축 등을 고려하여야 한다.
- (8) 아치는 아치축선형상, 각 단면의 단면2차모멘트의 변화 등이 부정정력에 미치는 영향을 고려하여 설계하여야 한다.

4.2 구조계산 상세

- (1) 하중 계산 시에는 바깥쪽 치수선(B_o, o)을 사용하며, 이것에 의해 얻어진 하중을 응력 계산 시에 강역을 고려해 골조선(B', H')에 적용한다.

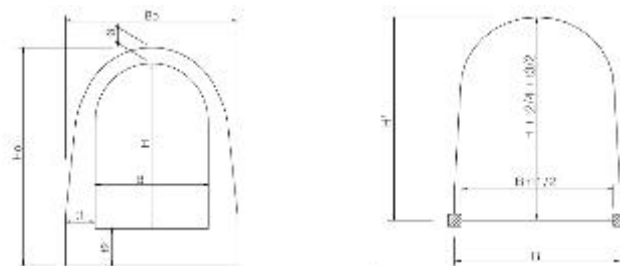


그림 38. 아치형 구교의 구조의 강역

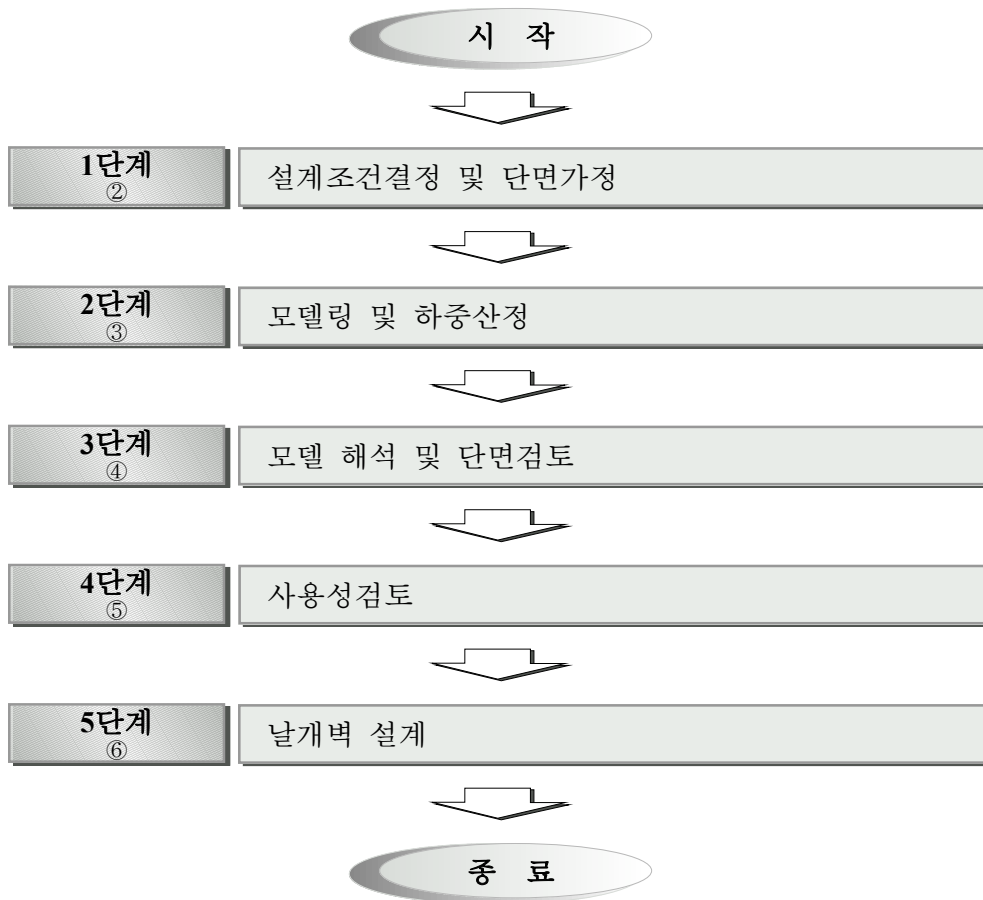
- (2) 강역의 영향을 고려하여 구조계산을 할 경우 우각부의 단면 응력은 각각의 강역 단면력을 사용해 구한다(<그림 38>).
- (3) 단면응력의 계산에 있어서 측벽 및 아치부는 축방향력을 고려하고, 저판은 축방향력을 고려하지 않아도 된다.
- (4) 토피가 두꺼운 장소에 설치되면 저판에 큰 전단력이 발생하므로 사인장 철근을 배근해 단면을 보강한다.
- (5) 지간이 긴 아치에서는 좌굴에 대하여 안전한 가를 검토해야 한다.
- (6) 아치의 기초는 아치에서 발생하는 수평력에 충분히 저항할 수 있도록 해야 한다.
- (7) 해석시 경계조건은 바닥면에 스프링 경계조건을 사용하고 측벽 및 아치부는 스프링 경계조건을 사용하지 않는 것을 원칙으로 한다. 단, 설계자의 판단에 따라 측벽 및 아치부에 스프링 경계조건을 사용할 수 있다. 이 경우 스프링 계수값에 따라 구조물 거동이 달라지므로 스프링 계수값 결정에 주의를 요한다.

5. 구조상세

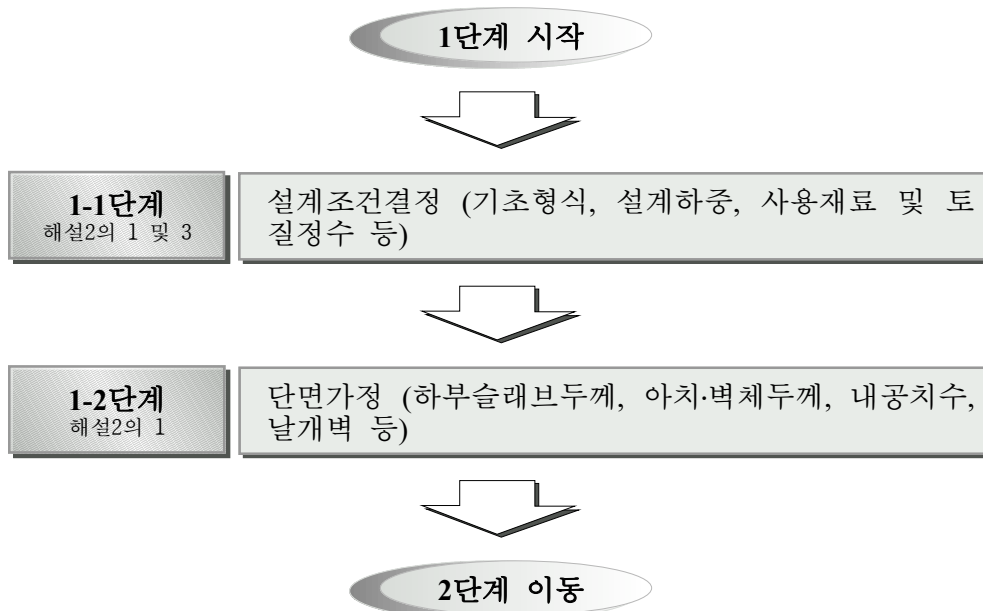
- (1) 철근콘크리트 아치는 아치의 상하면에 따라서 대칭으로 축방향 철근을 배치해야 한다. 철근량은 각각 아치리브폭 1.0m당 600mm²이상, 상하면의 철근을 합하여 콘크리트단면의 0.15% 이상으로 해야 한다.
- (2) 철근콘크리트 아치에서는 아치의 상하면의 축방향 철근을 감는 스티럽 또는 띠철근의 지름은 6mm 이상, 또 축방향 철근지름의 1/4 이상으로 하고, 그 간격은 축방향 철근 지름의 15배 이하, 아치단면의 최소치수 이하로 배치해야 한다.

6. 설계흐름도

6.1 주 설계단계

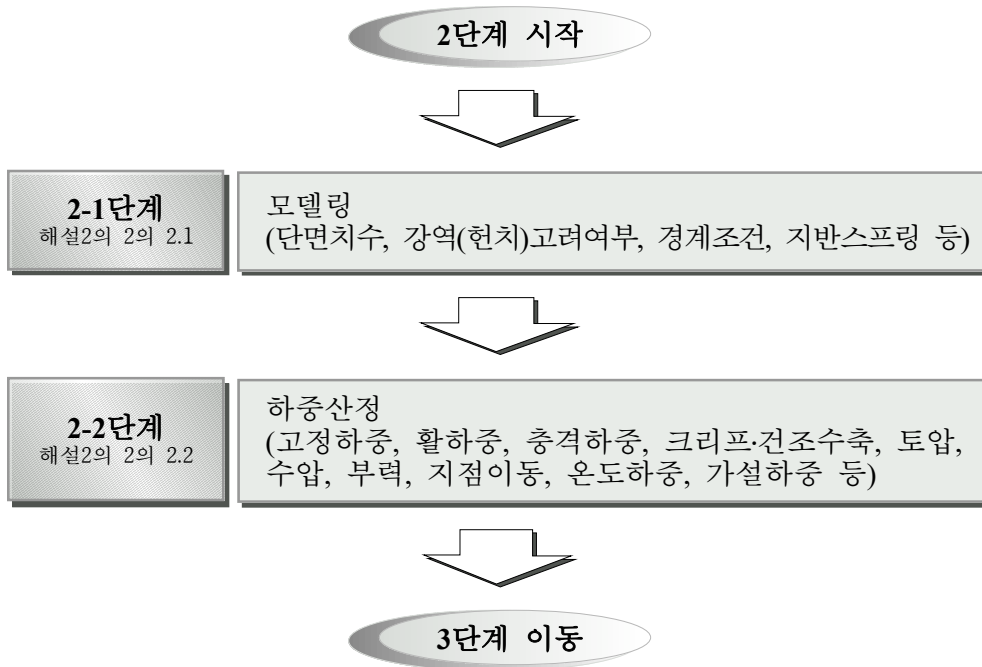


6.2 설계조건결정 및 단면가정

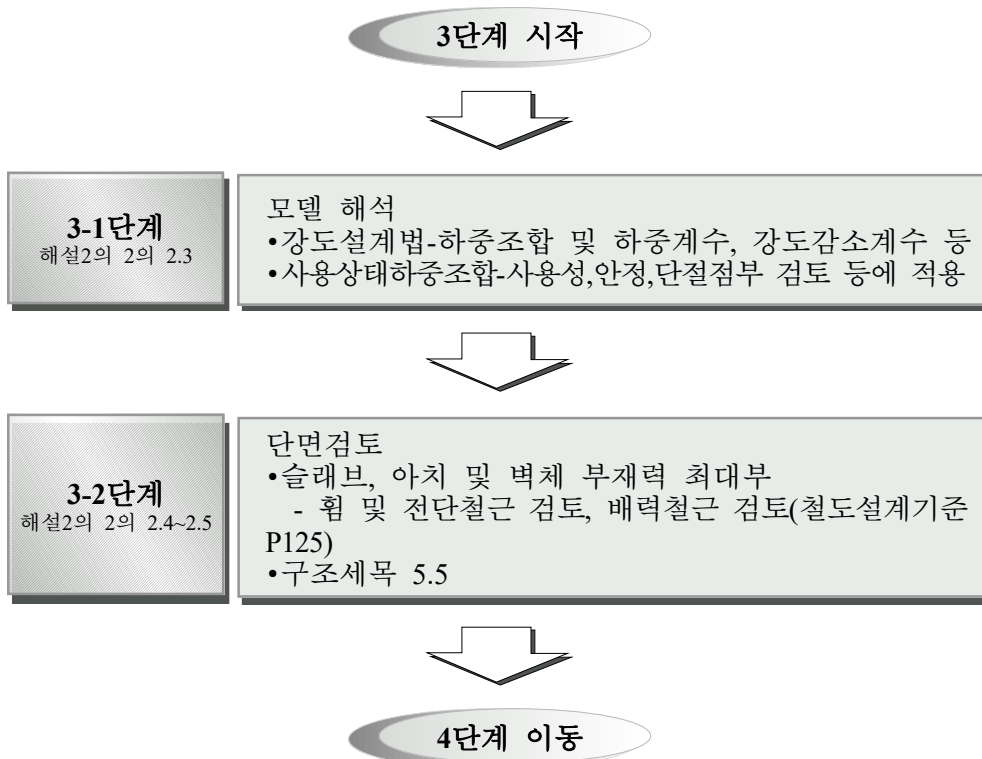




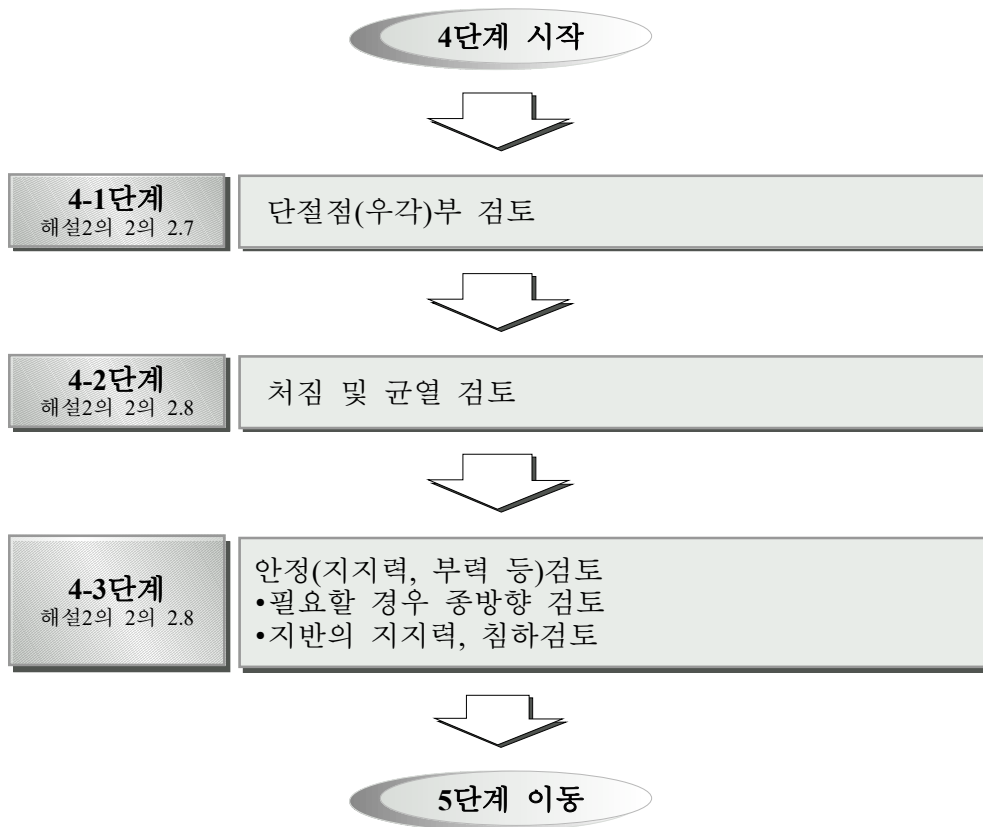
6.3 모델링 및 하중산정



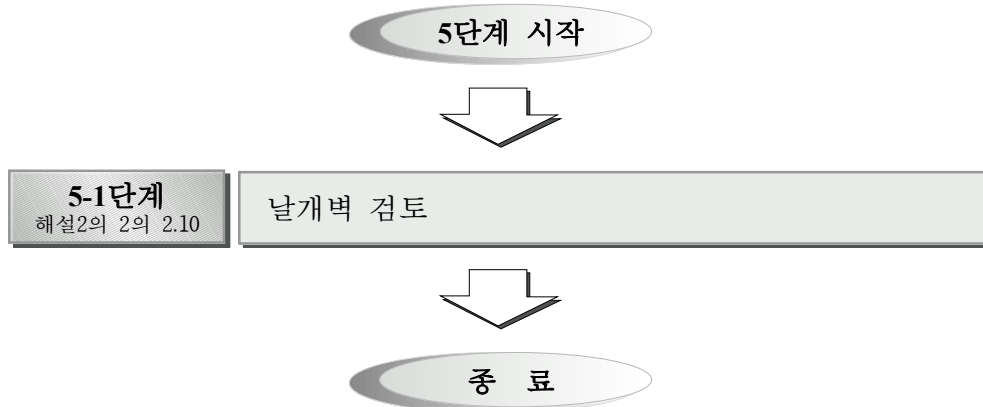
6.4 모델 해석 및 단면검토



6.5 사용성검토(우각부, 처짐 및 균열, 안정 등)



6.6 날개벽 설계





해설 5. 관형 구교

1. 적용범위

본 해설에서 다루는 관형구교는 본선 노면배수를 위한 관거 배수 구조물 이외의 관거에 적용하며 일반적으로 널리 사용되고 있는 원심력 철근 콘크리트 관, 프리스트레스트 콘크리트 관 및 파형강관 구교의 설계에 적용한다.

- (1) 본 해설에 기술된 매설, 기초, 외압산정 등의 항은 무근 및 철근콘크리트 관, 로울전압 철근콘크리트 관, 프리스트레스트 콘크리트 실린더 관의 설계에 적용할 수 있다.
- (2) 각종기준은 「KR C-05010 해설 2 및 해설 3」을 참고로 한다.
- (3) 관형구교의 관 종류 선정에 있어서는 충분히 그 관의 특징, 경제성 및 유지관리 등을 종합적으로 비교하여 결정해야 한다. 관형 구교로 사용되는 관의 특징은 다음과 같다.

① 원심력 철근콘크리트 관

접합과정이 단순하여 시공성은 좋으나 프리스트레스트 콘크리트 관에 비해 강도가 약하므로 토파가 비교적 낮은 경우에 쓰인다. 이음방법이 다양하므로 적절한 이음 구조를 하면 곡선형태의 부설 혹은 다소의 기초지반의 침하가 예측되는 장소에서도 사용할 수가 있다.

② 프리스트레스트 콘크리트 관

강도 및 시공성이 양호하여 큰 하중이 작용하는 곳에 주로 사용되나 관경이 커지면 운반비가 차지하는 비율이 커진다. 또한 연약지반과 같이 부설 후 장기간 침하가 예상되는 장소에서는 사용을 피하는 것이 좋다.

2. 철근콘크리트 관형 구교

2.1 종류

철근콘크리트 관형 구교에 사용하는 관은 원심력 철근콘크리트 관 및 프리스트레스트 콘크리트 관으로 하고, 매설장소의 하중, 기초, 지반 등의 조건에 따라 적절한 관을 선정한다. 원심력 철근 콘크리트 관 및 프리스트레스트 콘크리트 관의 외압강도 및 최소 관 두께는 <표 14> 및 <표 15>와 같다.

표 14. 외압 강도¹⁾ (단위 N/mm)

관지름(mm) 관종류	프리스트레스트 콘크리트관			원심력 철근콘크리트관 ²⁾	
	I 급	II 급	III 급	1종	2종
200				14.0	22.0
250				13.0	24.0
300				14.0	26.0
350				15.0	28.0
400				16.0	30.0
450				17.0	32.0
500	129.0	107.0	93.0	18.0	34.0
600	131.0	110.0	93.0	20.0	37.0
700	132.0	110.0	93.0	22.0	41.0
800	133.0	110.0	93.0	24.0	45.0
900	135.0	111.0	93.0	26.0	48.0
1,000	137.0	112.0	94.0	28.0	52.0
1,100	140.0	114.0	94.0	29.0	54.0
1,200	144.0	117.0	96.0	30.0	56.0
1,350	152.0	120.0	98.0	32.0	60.0
1,500	161.0	127.0	101.0	34.0	64.0
1,650	171.0	135.0	105.0	36.0	68.0
1,800	182.0	144.0	119.0	38.0	72.0
2,000	194.0	151.0	114.0	40.0	77.0
2200	197.0	156.0	119.0	42.0	82.0
2400	198.0	160.0	123.0	44.0	87.0
2600				46.0	92.0
2800				48.0	97.0
3000				50.0	102.0

주) 1) 외압 강도는 관 0.05mm의 균열이 생겼을 때의 하중을 관의 유효길이로 나눈 값이다.

2) 원심력 철근 콘크리트 관은 KS F 4403의 규정이다.



표 15. 관경과 두께(단위 mm)

관 지름 \ 관 종류	프리스트레스트 콘크리트 관	원심력 철근 콘크리트 관
200		72
250		28
300		30
350		32
400		35
450		38
500	40	42
600	45	50
700	45	58
800	50	66
900	55	75
1,000	60	82
1,100	65	88
1,200	70	95
1,350	75	103
1,500	85	112
1,650	95	120
1,800	100	127
2,000	110	145
2,200	120	160
2,400	120	175
2,600		190
2,800		205
3,000		220

(1) 원심력 철근 콘크리트 관은 이음의 종류에 따라 A형, B형 및 C형으로 구분된다. 개개의 이음 구조, 특성은 <표 16>과 같다.

표 16. 원심력 철근 콘크리트 관

이음의 종류	KS규격의 관지름	이음의 구조	특성
A형	1종 150 ~ 3,000mm 2종 150 ~ 3,000mm	- 직관을 칼러에 의해 접합한다. - 접합은 콤포(된비빔모르터) 코킹 으로 한다. (<그림 39>참조)	- 비교적 급한 각도의 곡선 부설이 가능하다. - 단 부등침하에 약하고, 포 코킹이 힘들다.
B형	1종 150 ~ 2,000mm 2종 150 ~ 2,000mm	소켓 달린 홈관이며, 이음은 고무가스켓으로 한다. (<그림 40>참조)	접합이 쉽다. 접합길이가 길고 부등침하에 의한 이음의 탈거에 유리하다
C형	1종 900 ~ 3,000mm 2종 900 ~ 3,000mm	물꼭지관이라 하며, 관 끝이 암수의 꼭지로 되어있다. (<그림 41> 참조)	접합이 쉽다. 접합길이가 짧으므로 부등침하의 염려가 있을 때는 피한다.

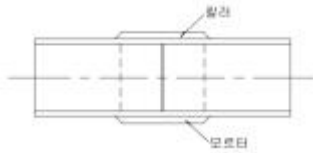


그림 39. A형관

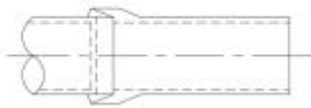


그림 40. B형관

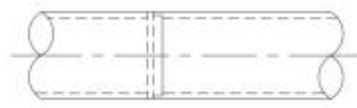


그림 41. C형관

(2) <표 14> 및 <표 15>에 표시된 이외의 관 종류에 대해서는 그 외압 강도를 결정한 후 본 해설에 따라 설계를 하도록 한다.

2.2 매설상태 및 기초형식

(1) 매설상태

관의 매설상태는 돌출형 및 반구형으로 구분한다.

① 돌출형

돌출형이란 관을 기존 지반 위 혹은 잘 다진 흙쌓기 지반 상에 설치하고, 그 위에 흙쌓기를 하는 형식이다.(<그림 42> 참조)

② 반구형

반구형이란 기존 지반 혹은 잘 다진 흙쌓기 지반 상에 터파기 후 매설하고 되메우기를 하는 형식이다.(<그림 43> 참조)

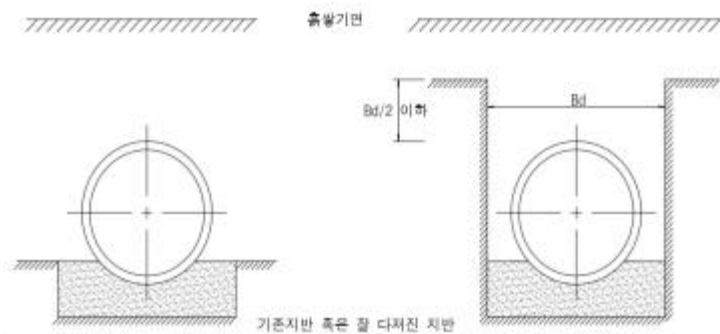


그림 42. 돌출형의 매설상태

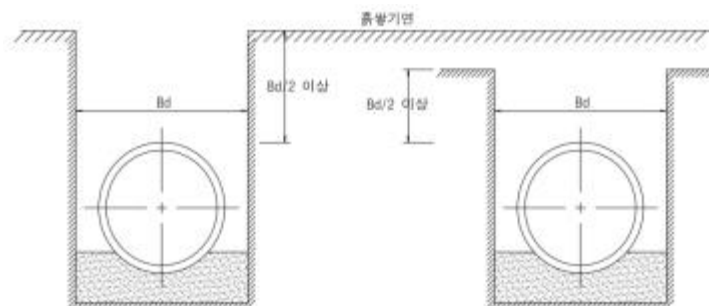


그림 43. 반구형의 매설상태



(2) 기초형식

기초는 모래 또는 콘크리트로 하고, 그 지지각의 크기에 따라 <표 17>와 같이 구분한다. 또한, 기존 지반이 모래와 같은 양질의 재료일 때는 기존 지반을 잘 마무리하여 기초로 해도 좋다.

표 17. 기초형식

기초재료의 종류	지지각		
	90°	120°	360° ¹⁾
콘크리트 기초	-	○	○
모래 기초	○ ²⁾	-	-
기존 지반	○ ²⁾	-	-

주) 1) 콘크리트 기초 360°는 토피두께가 없을 때 특수한 경우에 사용한다.

2) 모래 기초 및 기존 지반일 때는 유효지지각 90°를 얻기 위해 시공은 120°로 한다.

또한, 기초형식의 선정에 있어서는 지반조건, 매설조 건을 고려한 후 「KR C-05010 해설 5의 2의 (3)」에 따라 결정한다.

- (3) 토피 두께가 두꺼울 경우 반구형으로 매설된 관에 적용하는 토압이 돌출형의 경우에 비해 약하거나 작으므로 반구형이 설계상 유리하다. 그러나 굴착 부분 양쪽의 지반이 약하거나 특별한 이유로 굴착폭 B_d 를 지름의 2배 이상 넓게 잡을 경우에는 정상적인 반구형으로서의 토압보다 큰 값이 고려되어야 하므로, 이와 같은 경우는 설계시 돌출형의 토압을 사용하는 것이 좋다.<그림 44> 콘크리트 기초 360°이내의 것은 최소토피를 300mm로 한다.

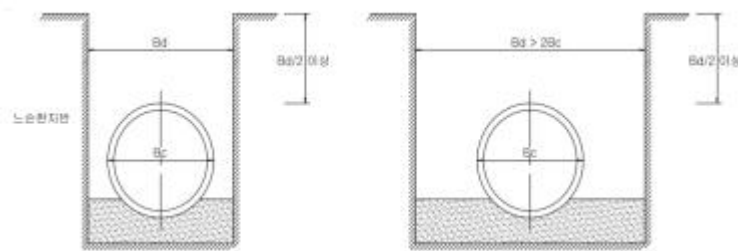


그림 44. 돌출형으로 생각하여야 할 경우

각종 기초 형식의 모양은 <그림 45(a), (b)>와 같다. 또한, 모래 기초 혹은 기존 지반을 기초로 할 때에는 지지각 120°로 시공된 것이라도 유효지지각이 90°인 것으로 보고 설계한다. 반구형의 경우는 다음에 의한다.

- $D(\text{관의 내경}) < 900\text{mm}$ 의 경우 : $B_d = 2D$ (또는 600mm중 큰 값)
- $D(\text{관의 내경}) \geq 900\text{mm}$ 의 경우 : $B_d = D + 700\text{mm}$

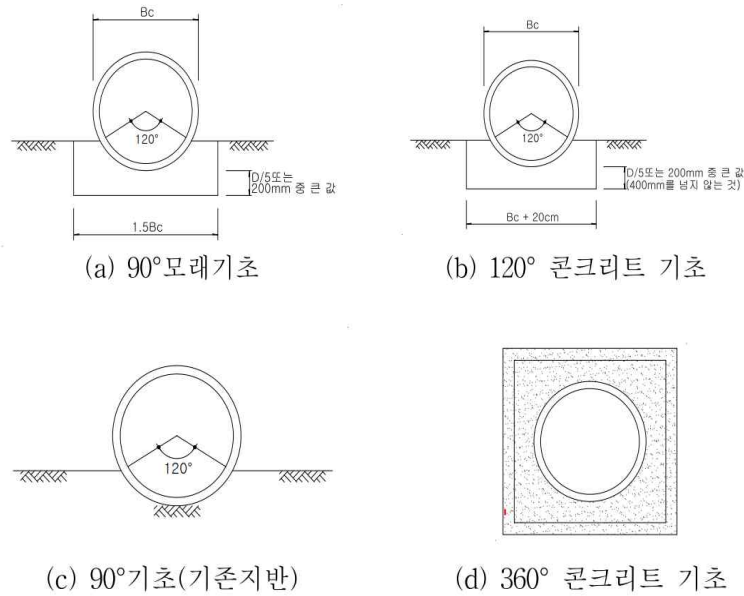


그림 45. 각종 기초형식

2.3 관형구교의 설계

- (1) 관형구교의 설계는 관의 외압 강도(<표 14>참조)가 관에 작용하는 활하중과 토피하중의 합계 이상이 되도록 관 종류 및 기초형식을 선정한다. 이때 안전율은 1.25로 한다.
- (2) 고정하중 및 흙의 단위중량은 「KR C-05010 해설 2의 2.2」을 참고한다.
- (3) 관에 작용하는 활하중의 계산은 「KR C-05010 해설 2의 2.2」을 참고한다.
- (4) 토피하중의 계산은 돌출형의 경우는 매스틴공식, 반구형의 경우는 일반 토압공식을 사용하고 있다.

① 돌출형의 경우 : 매스틴 공식

$$W_{DL} = C_p r_t B_c^2 \quad (38)$$

H < H_e 일 때

$$C_p = \frac{\exp(KH/B_c) - 1}{K} \quad (39)$$

H ≥ H_e 일 때

$$C_p = \frac{\exp(KH/B_c) - 1}{K} + \left[\frac{H - H_e}{B_c} \right] \exp(KH_e/B_c) \quad (40)$$

여기서, γ : 흙의 단위체적중량(kN/m³)

C_p : 토압계수

K : 정수(사질토의 경우 0.4, 점성토의 경우 0.8)

H_e : 등침하면의 높이(관상단과 등침하면간의 거리(m))



다음 식으로 계산한다.

$$\exp\left(K \cdot \frac{H_e}{B_c}\right) - K \cdot \frac{H_e}{B_c} = K \cdot \gamma_{sat} \cdot \bar{p} + 1$$

예를 들면 $\bar{p} = 1$, $\gamma_{sd} = 0.7$ 이라 하면, 사질토의 경우 $H_e = 1.66B_c$

점성토의 경우 $H_e = 1.12B_c$ 가 된다.

여기서, γ_{sd} 는 지반조건에 따른 침하비이고, $\bar{p}$ 는 돌출비($=h/B_c$)이다.

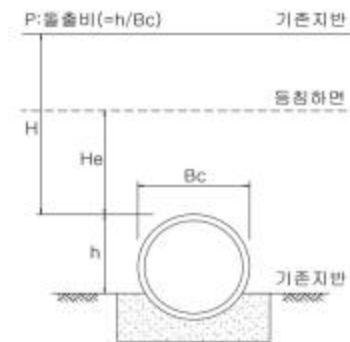


그림 46. 돌출형 관형 구교

② 반구형의 경우 : 일반 토압공식

$$W_{DL} = r_t \cdot H \cdot \left(\frac{B_c + B_d}{2}\right) \quad (41)$$

(5) 관형구교 설계는 <식 (38)> 및 <식 (39)>에서 구한 하중에 따라서 <식 (42)>으로 계산한다.

$$L_c \geq F \left(\frac{W_{TL}}{1.5} + \frac{W_{DL}}{L_f} \right) \quad (42)$$

여기서, L_c : <표 14>에 표시한 관의 외압강도(kN/m)

F : 안전율로서 1.25

W_{TL} , W_{DL} : <식(38)>, <식(39)>, 및 <식(41)>로 구한다.

L_f : 하중계수 (매설상태 및 기초형식에 따라 <표 18>에서 구한다.)

(6) 관형구교 종류 및 기초형식을 선정할 때는 다음 사항에 유의해야 한다.

- ① 동일 토피에 대해 2종 이상의 관 종류 및 기초형식이 적용될 때는 경제성, 시공성을 고려해서 선정한다.
- ② 토피가 1.0m이하의 경우는 RC 2종 360° 콘크리트 기초도 비교 검토한다.

표 18. 하중계수 L_f

형식 $H/B_c \cdot H/B_d$	돌출형		반구형	
	콘크리트 120°	모래 90°기초	콘크리트 120°	모래 90°기초
0.5	7.13	3.53	8.52	3.84
1.0	4.94	2.88	5.96	3.18
1.5	4.35	2.66	5.41	3.01
2.0	4.04	2.54	5.30	3.93
3.0	3.82	2.45	5.18	3.86
5.0	3.68	2.39	5.96	3.80
10.0	3.59	2.36	5.80	3.76
15.0	3.55	2.35	5.69	3.74

※ 하중계수는 KS에 규정된 하중 조건 하에서 얻어진 관의 외압강도와 가로방향에서 지지되고 있는 현장조건에서의 외압강도를 비교하기 위한 일종의 보정계수이다. 하중계수에 대해서 Spangler는 시험 결과를 바탕으로 매설 상태 및 기초형식에 따른 계산식을 제안하고 있고, 1) <표 18>의 값은 이 식에 따른 것이다.

1) Concrete Pipe Handbook, American Concrete Pipe Association, 1966

- ③ 토피가 두껍고 PC관 콘크리트 기초로도 대처할 수 없을 때는 파형강관 구교나 기타 구조를 검토한다.
- ④ 차선 분리나 높은 흙쌓기(흙쌓기 높이 7m 이상의 것)로 토피가 극단적인 변화를 할 경우에 각각의 토피로 관 종류, 기초형식을 결정하는 것이 좋다. 이때 관 종류는 2종류 정도(1종류 5m 이상)로 하고, 기초 형식은 통일한다.



3. 설계, 시공상의 주의점

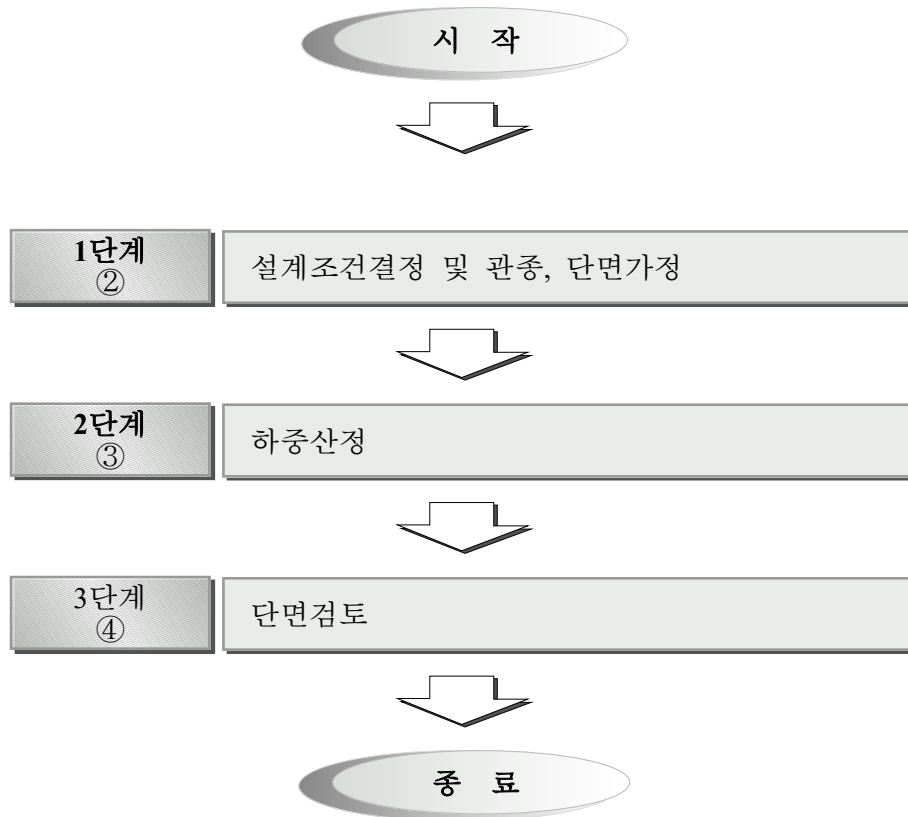
관형구교의 파괴는 다음과 같은 원인으로 생기는 경우가 많으므로 주의하여야 한다.

- (1) 기초지반의 부등침하
- (2) 기초지반의 지지력 부족
- (3) 뒷채움, 되메우기 공사의 부실
- (4) 매설깊이(토피)의 오차(특히 설계변경시)
- (5) 설계조건과 시공조건을 착오(돌출형과 반구형의 구별)
- (6) 이음부에서의 누수 등의 하자

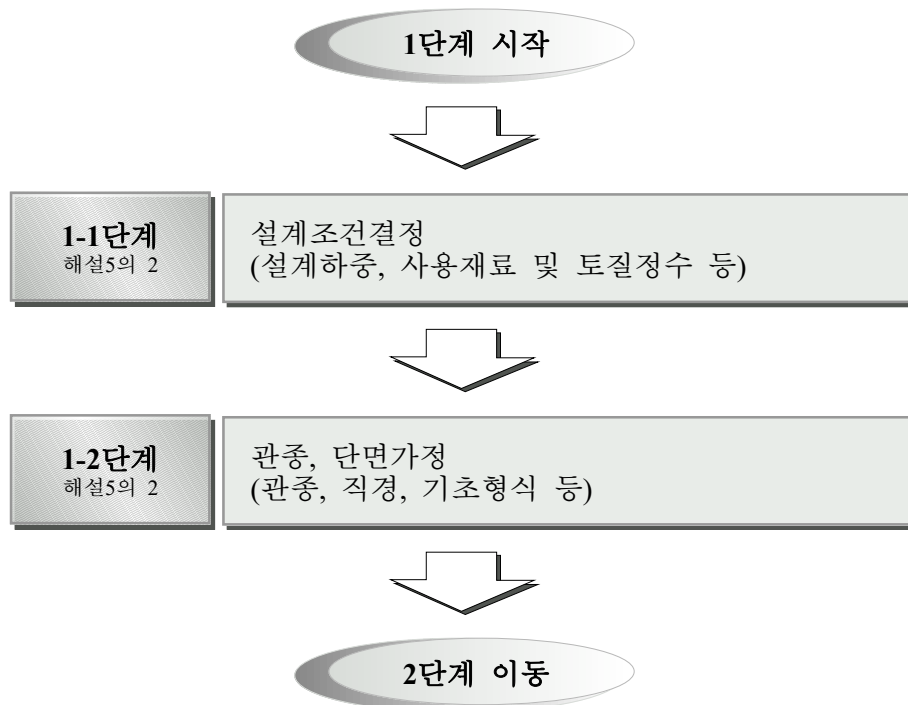
관형구교 설계시 길이방향에 대한 강도를 일반적으로 고려하지 않음으로써 문제를 일으킬 소지가 있다. 이 계산을 하기 위해서는 탄성 지지된 보로서 해석하면 되지만, 기초지반의 스프링계수 등 불분명한 점이 많아 어려움이 많다. 그러므로 양질의 기초재료를 충분히 다짐으로써 암거에 작용하는 응력을 감소시켜 ‘(1)’ 및 ‘(2)’의 문제를 줄이도록 한다. 특히, ‘(1)’의 경우는 한쪽 땅깁기, 한쪽 흠쌓기부의 지점에서 문제가 되기 쉬우므로 가능한 관형구교를 원지반에 따라 부설하는 등의 주의가 필요하다. ‘(3)’의 문제는 특히 파형강관구교에 주의를 요하는 사항이며, 강성 관구교의 경우도 좌우 균등하게 시공하지 않으면 문제를 일으키는 수가 있다. ‘(4)’에 대해서는 토피가 얇으면 활하중의 영향이 커지고, 토피가 두꺼우면 흠쌓기 하중의 영향이 커지므로 설계시 가능한 정확한 토피두께를 결정하고, 토피두께가 시공시 변경되는 경우에는 본 요령에 의해 검토해야 한다. ‘(5)’에 대해서는 설계 계산시에 반구형으로 계산한 것이 시공시 착오로 돌출형으로 시공된 경우이다. 이것을 방지하기 위해 설계도면 에 설계계산조건을 명시한다. ‘(6)’에 대해서는 이음부에서 하자가 많이 발생함으로 현장 여건에 따라 관의 종류, 이음 종류를 결정하고 관과 관 사이 이음시 철저한 공사관리가 필요하다.

4. 설계흐름도

4.1 주 설계단계

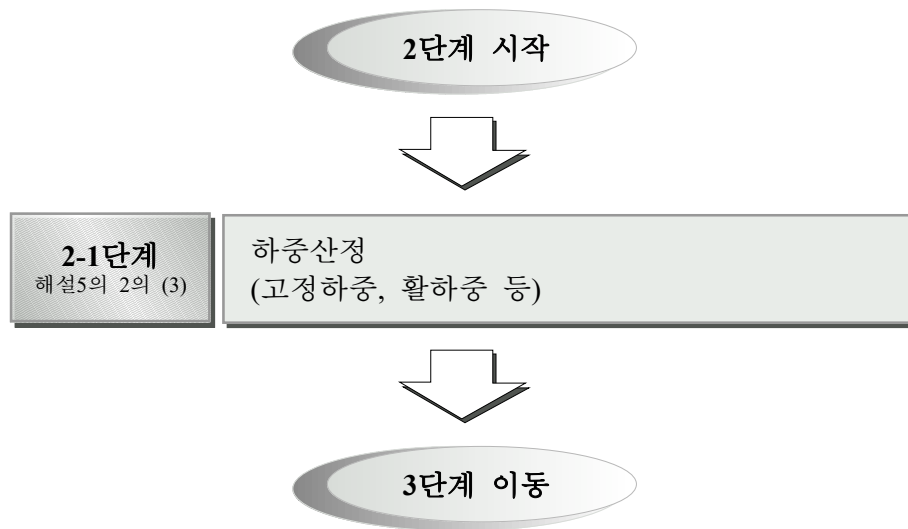


4.2 설계조건결정 및 관중, 단면가정

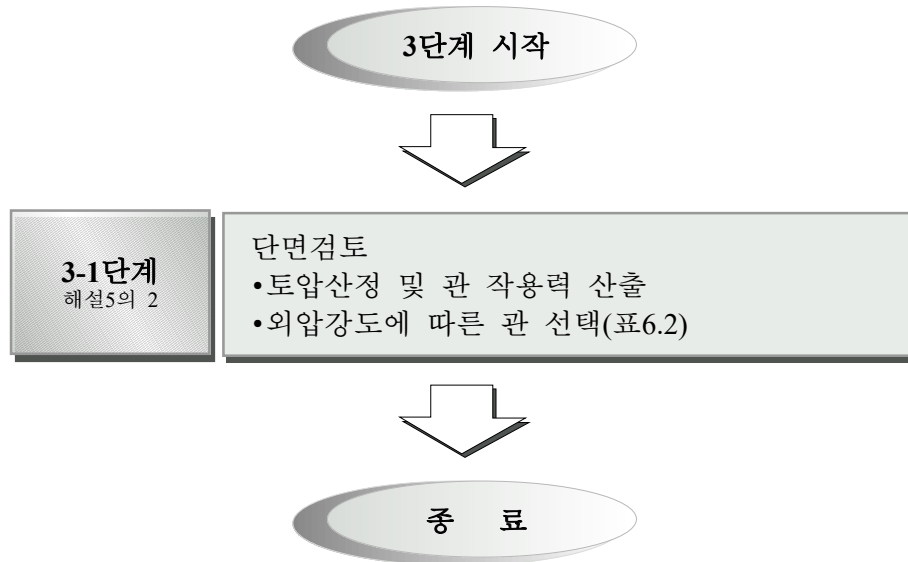




4.3 하중산정



4.4 단면검토



해설 6. 배수시설

1. 배수시설 일반

1.1 배수시설계획 일반

배수시설의 계획은 노반과 주변의 물을 신속히 배제하여 철도노반의 안정성을 보장하기 위한 것이다. 하천유역의 종합적인 분석과 홍수로 인한 재해방지대책 및 배수시설계획을 수립하여야 하며 철도노선 선정에도 이를 감안하여야 한다.

1.1.1 배수의 목적

- (1) 선로의 배수시설은 노반이나 원지반에 피해를 줄 수 있는 물이 체류되는 것을 방지하여 노반의 지지력과 흙 구조물의 안정성을 보장하는데 그 목적이 있다.
- (2) 배수시설은 유입되는 물 및 흙 속의 비흡착수를 자연스럽고 신속하게 처리할 수 있도록 설치하며 역류나 체류가 발생하지 않도록 하며, 증발과 침투에 대해서도 안정성이 보장되어야 한다.
- (3) 배수시설의 구성요소는 효용성이 높고 유지보수비용이 적게 되도록 설계해야 한다. 철도 배수시설물 설계에서 배수관련 기본계획(하천, 소하천, 하수도)이 수립된 지역은 이를 준용하고, 이 지침에서 표시되어 있지 않은 사항에 대해서는 제반 기준 혹은 지침에 따른다.
- (4) 철도 건설에 의한 토지의 형질변경과 수로변경으로 인한 홍수 피해의 책임을 건설자에게 지우는 것이 일반적이므로, 부득이하게 일부분의 토지 및 수로를 변경하는 경우일지라도 피해가 발생하지 않도록 유의하여야 한다.
- (5) 철도계획 단계에서부터 홍수 발생으로 피해가 예상되는 범위와 정도를 분석하여 시공 전 홍수에 대한 대책을 수립하여 시공 중에 침식과 토사유출로 인한 피해가 없도록 대비해야 한다. 완공된 배수시설물은 침식과 침전에 의해 배수기능이 저하되지 않도록 적절한 유지관리를 하여야 한다.

1.1.2 조사 및 분석

배수계획에서 배수유역, 하천의 특성, 범람원, 수문자료 등은 배수시설을 결정하는 중요한 자료가 된다.

(1) 배수유역

지리적 특성이 같은 지역에서 유역의 규모는 유출량에 비례하므로 유역은 배수시설의 규모를 결정하는 주요 요인이다. 유역의 규모는 국립지리원에서 발간되는 지형도와 현장 조사를 통해 결정한다. 배수 유역내 수로의 경사와 단면은 배수계획을 수립하는 자료가 된다.

토지이용에 대한 조사는 현장 조사를 통한 현재 시점의 조사와 해당 지자체와 중앙정부의 지역개발계획 등을 수집, 조사하고 유출량에 영향을 주는 지질과 토질에 대한 자료는 지질도, 현장 지표조사 및 시추조사 등을 통하여 얻을 수 있다.



(2) 하천의 특성

지표수와 지하수의 유출은 하천을 통해 흘러 나간다. 자연 하천과 수로의 변동사항은 유출량과 유출률에 영향을 미치므로 철도계획 및 배수계획 시 검토하여야 한다.

(3) 범람원

범람원은 수로가 정비되어 있지 않은 지역으로 철도의 배수계획 시 하천이나 수로보다 더 많은 영향을 줄 수 있다. 산지가 많은 우리나라의 경우, 능선부에 위치한 작은골이나 계곡부의 농경지는 중요한 범람원이다. 범람유출의 발생가능성은 범람원의 폭에 대한 깊이의 비로부터 예측할 수 있다. 일반적으로 폭/깊이의 비가 클수록 유속의 변화가 크고, 조도계수 및 식생변화에 따른 영향이 커져 유출량의 변화가 크게 된다. 현장 조사를 통해 범람원의 유로 방향을 찾고 유출량을 분석하여 철도 배수계획을 수립한다.

(4) 수문자료

기록 이전의 홍수 발생을 역사적 홍수라 하는데 이러한 과거의 자료는 오래된 신문, 지역주민의 증언을 통해 얻거나 또는 담벽이나 나무에 새겨진 고수위 흔적 조사를 통해 얻을 수 있다.

기존 철도, 도로 및 기타 공공시설물의 관리 자료에서 홍수에 대한 기록을 찾을 수 있으며, 다음 사항에 대한 자료는 배수계획에 직접적인 도움이 된다.

- ① 홍수의 최고 수위
- ② 배수구조물 및 하천 상·하류의 수위차
- ③ 과거 홍수발생기록
- ④ 홍수발생의 지속기간 및 발생규모
- ⑤ 침수지역의 세굴, 침식 및 침전 정도
- ⑥ 암거의 수두
- ⑦ 여유고에 대한 정보
- ⑧ 교량의 경간장
- ⑨ 최소한의 공사공간 확보
- ⑩ 기타 홍수에 영향을 주는 자료

1.1.3 철도선로에서 고려할 물의 흐름

지표면에 도달한 강수량은 증발, 증발산에 의해 대기 중으로 되돌아가며, 흙 표면의 흡수 능력에 따라 일부는 흙 표면을 통하여 침투되고 나머지는 지표에서 유출된다. 철도선로에서 고려할 물의 흐름 형태는 다음과 같이 분류한다.

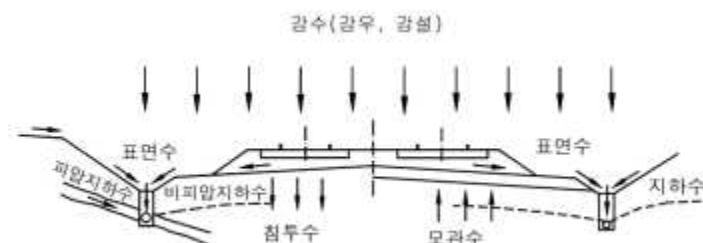


그림 47. 철도선로에서 물의 흐름 형태

(1) 표면수

지표면을 흘러서 유역의 유출구에 나타나는 유출 부분으로 수로에 내리는 강수를 포함한 다. 자갈도상의 철도선로에서 노반, 노상 및 측구 또는 비탈면 등의 지표면 위를 흐르는 지표유출과 수로를 흐르는 유출인 수로흐름의 합을 총유출이라 한다. 표면수는 침투유량에 기여하는 주요 성분이다.

(2) 침투수

지표에 내린 물이 주로 중력의 작용을 받아 아래로 침투되는 것을 말한다. 투수성이 좋은 흙에서는 지하수까지 스며들어 간다. 그러나 점착성이 강한 흙에서는 오랜 기간동안 흙에 부착되어 지반을 축축하게 만든다.

(3) 피압지하수

침투수가 불투수성인 두 암석층 사이에 끼어서 대기압보다 큰 압력을 받는 대수층이 피압대수층이며, 피압대수층내의 지하수 흐름을 말한다.

(4) 지하수

지하수는 지하의 투수성이 높은 암석 또는 흙에 포함되어 있는 포화상태의 물을 말한다. 물은 흙의 표면으로부터 침투하여 흙의 공극을 채워주며 흙이 자연 상태에서 포화지수면 아래에서 흙의 공극을 대부분 채우는 물로서, 다만 중력과 정수압의 영향에 따라 수두가 큰 곳에서부터 낮은 곳으로 천천히 이동한다.

(5) 모관수

표면장력에 의하여 토립자간의 공극에 보유되어 있는 물로서, 지하수면의 변화, 온도 압력의 변화에 따라 상하로 이동된다. 강우로 인한 표면수는 자갈도상으로된 선로에서 노반이나 노상 혹은 측구 및 비탈면 배수구에 의해 차단시킨 후 배수로로 계속 유도한다. 지표면하의 흙속의 비흡착수인 지하수, 지류수 및 모관수는 지하배수(중력배수)를 이용하여 흙속에서 탈수시키고 계속 유도하여 배수로로 흘러들게 한다.

지반의 배수능력은 그 흙의 점착성에 따라 달라지며 다음과 같이 평가한다.

- ① 소성지수 $I_p < 0.06$ 및 투수계수 $K \geq 10^{-5} \text{m/sec}$ 를 갖는 비점성 혹은 점성이 약한 흙은 배수성이 우수하다.
- ② 소성지수 $0.06 \leq I_p \leq 0.03$ 및 투수계수 $K \geq 10^{-7} \text{m/sec}$ 를 갖는 점성이 약하거나 중간정도인 흙은 대부분 간극이나 지층 및 수맥에서 지하수, 지류수 및 모관수와 같은 흙속의 비흡착수의 양이 매우 높기 때문에 배수성이 있다.
- ③ 소성지수 $I_p > 0.3$ 액성한계 $WL > 0.46$ 에 가까운 함수량, 미세입자량 ($d < 0.002 \text{mm}$)이 20% 이상 및 투수계수 $K < 10^{-7} \text{m/sec}$ 를 갖는 점성이 강한 흙에서는 중력배수로 배수가 되지 않는다. 그러나 비균질성이고, 물이 있는 층 혹은 용출수가 있는 경우에는 이러한 흙에서도 지하배수가 필수적이다. 강우 및 강설이 없고 그리고 침투수가 노반 및 원지반에서 손상을 야기시키지 않는다면 지류수를 다시 침투시켜도 된다. 피압지하수 및 중력수는 필터나 배수(Drain)를 통해 직접 지하배수시설인 지하배수관으로 모아 집수하여 계속 흘러가게 한다.



1.1.4 설계빈도의 결정

배수시설의 결정은 설계홍수량 산정으로부터 시작되며 설계홍수량은 빈도의 함수이다. 따라서 설계빈도를 결정하는 것이 철도 배수시설 설계의 기초가 된다. 설계빈도의 결정에는 경제적 측면, 위험성 측면에 대한 분석이 실시되는데 빈도를 높여 설계 홍수량을 크게 계획하면 배수시설의 규격이 커져 전반적인 건설비용이 증가하나 홍수로 인한 피해 정도와 발생빈도는 감소할 수 있다. 반대로 설계홍수량을 작게 계획하면 건설비용은 절감되나 홍수에 대한 위험은 증가하게 된다.

이러한 상관관계를 고려하여 경제적이고 안전한 수준의 설계빈도를 결정해야 하며, 설계빈도를 모든 환경에서 일률적으로 결정하는 것은 바람직하지 못하다. 따라서 설계빈도는 배수시설의 중요도, 구조물의 위치 및 여건, 설계유량 이상의 유출량이 발생할 때의 위험도, 사회적, 경제적인 요소 등을 고려하여 결정하며 구조물별 설계빈도는 「해설 1의 3항」의 <표 25>와 같다.

1.1.5 배수시설 계획시 고려사항

배수시설 계획시에는 현장상황 및 지형, 침식과 침전, 수로변경, 비탈면에 미치는 물의 영향 등을 고려하여야 한다.

(1) 유역현황 및 지형

철도건설공사에서 유역의 현황과 지형의 특성을 고려한 배수계획은 매우 중요하다. 철도 노반이 홍수 범람가능성이 있거나 다른 수리적 요인으로 침수 가능성이 있는 지역에 위치하는 경우 하천유역의 종합적인 분석과 홍수로 인한 재해방지대책 및 배수시설계획을 수립하여야 한다. 저지대의 경우 내수피해에 대한 영향을 고려하고 노반이 침수되지 않도록 별도의 검토가 이루어져야 한다. 또한 산지에서는 배수시설이 충분한 통수능을 확보하여 이상홍수가 발생하는 경우에도 노반이 유실되지 않도록 계획되어야 한다. 해안가나 저지대의 상습침수지역을 통과하는 경우 조위와 파고를 고려한 노반 계획고를 설정한다. 해안가의 노반계획고는 대조평균만조위(HWOST, high water ordinary spring tide)에 여유고를 더한 높이 또는 약최고만조위(Approx.HHW, approximate highest high water)에 파고의 영향과 이상조위발생에 대비하여 충분한 여유고를 확보하도록 한다. 외수나 조위의 영향으로 내수위가 상승하는 경우에는 자동문비와 같은 수문 설치를 검토하고 입체교차시설로 지하차도를 설치하거나 내수배제가 불량한 지역에서는 강제배수시설의 설치를 검토한다.

(2) 침식과 침전

철도건설공사에 따라 토지가 교란되고 침식이 가속화되어 침식량이 증가할 수 있다. 침식으로 토립자가 물에 의해 운반되며, 수로에서 유속이 감소되면 운반능력이 감소하여 토립자가 침전된다. 수로에서 침전이 발생하면 배수용량이 줄어 배수에 문제가 발생하고 침전물 제거를 위한 유지관리비용이 증가하므로 침식과 침전에 대한 대책 수립이 필요하다.

① 철도계획단계시 침식과 침전방지

철도의 노선선정 단계에서 침식과 침전으로 인한 환경적, 경제적 손실이 최소화 할 수 있도록 계획한다.

가. 하천횡단시 곡류부를 피하고 유수방향과 직각으로 횡단하도록 한다.

나. 하천횡단을 최소화하고 수로변경시 침식과 침전에 대한 대책을 수립한다.

다. 침식성이 강한 지반활동지역, 황토(loess soils), 충적팬(alluvialfans)지역은 피한다.

라. 침전에 대비하여 표면수의 집수시설은 유지관리가 용이하도록 계획한다.

② 세부설계시 침식과 침전방지

세부설계에서는 침식과 침전발생이 최소화되도록 해야 한다.

가. 선형결정시 침전이 발생하지 않도록 최소종단경사를 결정한다.

나. 깎기, 쌓기부의 높이를 최소화하고 경사면에는 식생피복과 소단배수로를 설치한다.

다. 유속이 빠르거나 급변하는 수로는 피복을 하거나 콘크리트 수로를 계획한다.

라. 유수의 집중을 피할 수 있도록 배수시설을 배치한다.

마. 관로의 유출부는 유속을 검토하여 감속시설, 잡석깔기 및 세굴방지시설을 계획하고 침전토사의 청소가 용이한 형태로 계획한다.

바. 침식성의 토질조건의 경사면에는 파이프 도수로를 계획한다.

사. 소단이 설치된 경사면의 도수로는 도수방지용 덮개를 설치한다.

③ 공사중 침식과 침전방지

공사중 발생하는 침식과 침전은 자연환경훼손, 민원 등의 문제를 야기시킬 수 있으며 공사안전, 공사기간, 토공의 균형에 영향을 미치므로 세심한 대책이 필요하다.

가. 공사기간동안의 강우 발생을 고려하여 공사일정을 계획한다.

나. 토공작업과 병행하여 배수시설물 공사를 시행한다.

다. 벌개제근 지역을 최소화하고, 강우시를 대비한 일시적 침식방지 작업을 수행한다.

라. 쌓기부 및 깎기부의 비탈은 식생이 정착될 때까지 부직포, 벚짚 등으로 보호한다.

마. 공사장에서 발생하는 토사의 유출을 방지하기 위하여 방수로와 침사수조를 설치한다.

바. 하천횡단 구조물로 인한 하상 굴착시 폐자재가 하상에 버려지지 않도록 한다.

(3) 수로의 변경

자연수로에 대한 순기능은 매우 다양하며 특히, 환경적, 생태학적 측면의 기능은 보호되어야 한다. 그러나 수로의 형상과 철도 선형조건의 상충으로 수로변경을 고려하는 경우에는 자연수로와 철도의 양립성이 전제되어야 하며, 다음사항을 고려한다.

① 수로용량을 증가시키기 위한 짧은 구간의 수로변경은 효과적이지 못하다. 수위와 유량 변화의 가능성이 있는 경우에 수로용량을 증가시키기 위해서는 하류의 유량조절 작업을 시행해야 한다.

② 정비되지 않은 하천 수로를 횡단하는 교량은 수로개구부(수로의 통수단면)를 확폭시킬 수 있으나, 이는 하천의 수위-유량 관계에 영향을 미치지 못한다. 그러나 교량하



부의 수로개구부를 확폭 또는 증가시켜 홍수수위의 역류발생을 감소시킬 수 있다. 이 경우 정기적인 유지관리가 없으면 퇴적현상으로 인해 자연수로의 형태로 되돌아간다.

- ③ 일부 환경조건에서 수로선형을 변경하여 개수로 형태의 보다 효율적인 유로선형을 만들 수 있다. 수로선형 변경을 위한 일반기준을 공식화하기는 어렵지만 만곡부의 반경, 만곡정도, 수로경사 등에 대한 검토가 필요하다.

(4) 자유로운 물의 흐름

물의 유출은 철도노반, 퇴적물, 수로의 변형 또는 기타 철도시설물에 의해 방해되어서는 안 된다. 노반배수시설인 노반상면, 비탈면, 인접지 등의 배수시설은 퇴적물, 수목 등에 의해 기능이 저하되지 않도록 한다. 암거는 수목의 뿌리에 의해 추가로 압박을 받지 않도록 지면으로부터 충분한 거리를 두고 설치한다.

(5) 배수로에 유도되는 물

철도선로의 배수시설은 <그림 47>에 따라 표면수 및 흙속의 비흡착수 등의 우수만 처리하고 가정이나 영업 및 산업폐수와 같은 오수를 유입시켜서는 안 된다.

철도선로의 배수시설로부터 유출되는 물은 자연적인 흐름으로 되돌려 주어야 한다. 집수되어 배수로에 의해 유도되는 물보다 배수시설 인접의 침투수를 우선적으로 고려해야 한다.

(6) 배수시설의 설정

철도시설로 수로의 변경이 불가피한 경우 자유로운 물의 흐름이 이루어지도록 선형을 결정하고 상·하류 수로에 침식과 침전이 발생하지 않도록 계획한다.

- ① 수로의 종단기울기 $\geq 0.3\%$
- ② 토공 노반의 횡단기울기 3%
- ③ 평평한 지역에서는 시공기면이 주변보다 최소한 0.5m 이상 높게 흙쌓기를 한다.

1.2 배수시설의 구분 및 명칭

1.2.1 배수시설의 구분

철도의 배수시설은 표면배수, 지하배수, 횡단배수, 정거장배수로 구분하며, 배수시설의 구분 및 명칭은 <그림 48> 및 <그림 49>와 같다. 각각의 배수시설은 배수계통으로 밀접하게 연결되고 기능적으로 중복되기도 한다.

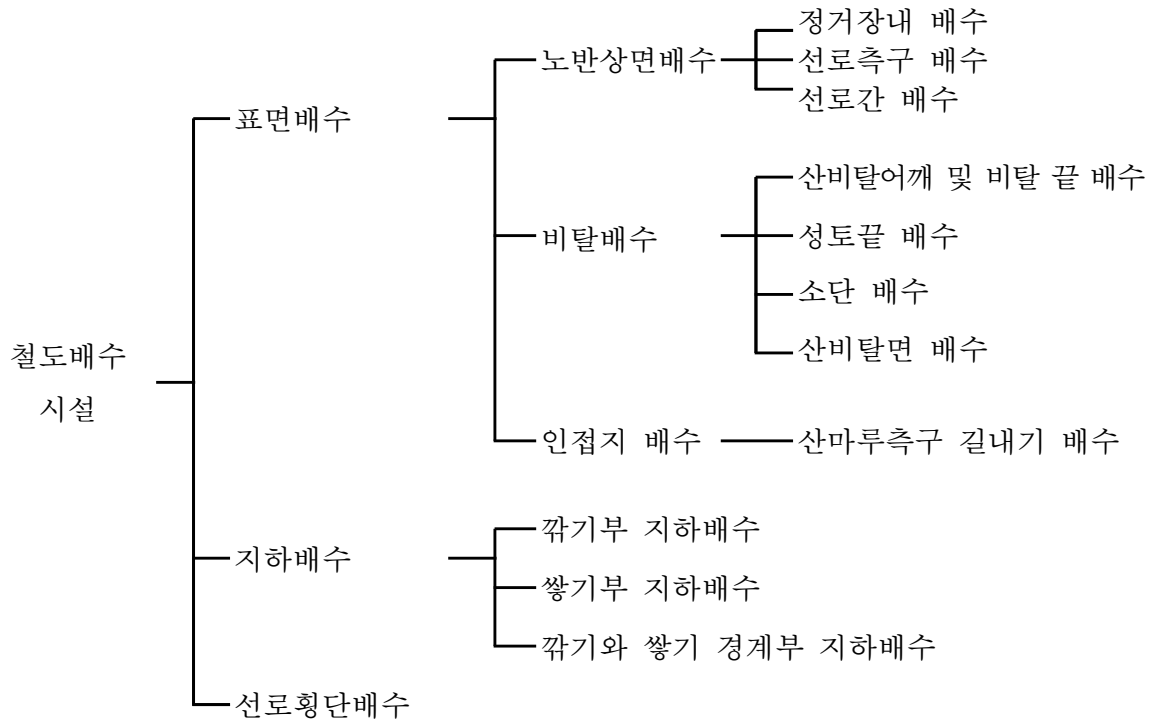


그림 48. 철도의 배수시설구분

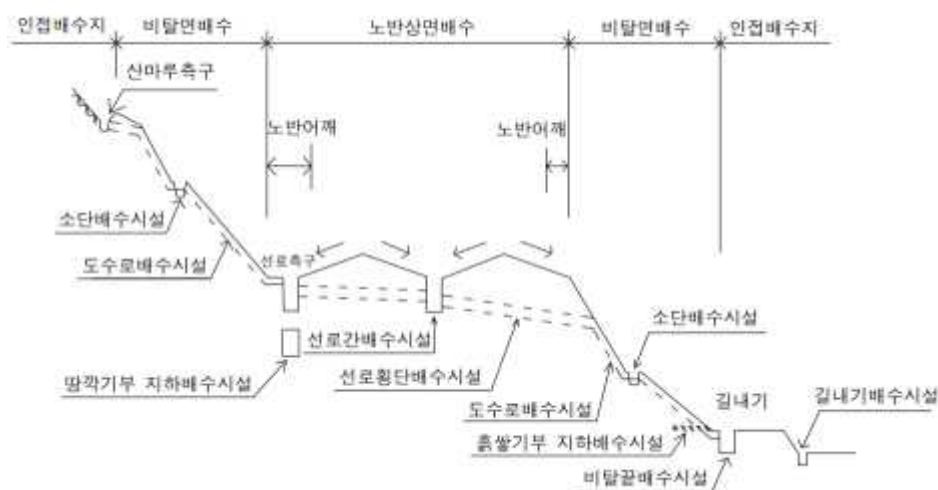


그림 49. 배수시설의 구분 및 명칭



1.2.2 노반상면 배수시설

철도 노반상면에 강우 및 강설로 인한 유입수를 원활히 배수하기 위해 선로 측구 배수, 선로간 배수 및 건널목 배수 등의 시설을 설치한다.

(1) 선로측구

선로 측구는 노반과 비탈면으로부터 유입되는 표면수나 인접한 지반 또는 보호층에서 스며 나오는 물을 집수하고 유도하여 배수로로 유출시키는 시설물이다.

(2) 선로간 배수

선로간 배수는 노반상면에서 선로측구만으로 배수가 곤란한 구간에 설치하는 배수 시설물이다.

(3) 건널목 배수

건널목 배수시설은 상부노반의 침수 또는 건널목 부근의 상부구조에 토사가 쌓이는 것을 방지하기 위해 설치한다.

1.2.3 비탈면 배수시설

비탈면 배수처리를 위해 땅깍기부, 흙쌓기부의 비탈끝 및 비탈면에 설치하는 배수시설이다. 비탈면 배수시설에는 비탈끝 배수, 도수로 배수, 소단 배수, 침투지선 및 필터층 등이 있다.

(1) 비탈끝 배수

비탈끝 배수는 비탈면에 내린 빗물을 배수하기 위해 비탈끝 부분에 설치하는 측구 및 배수구 등의 배수시설물이다.

(2) 도수로 배수

도수로 배수는 노반상면 및 비탈면에 내린 빗물 등을 한 곳에 모아 비탈면을 따라 흘러내릴 수 있도록 설치하는 도수로, 집수정, 배수관, 배수구 및 감세공(energy dissipater) 등의 배수시설물이다.

(3) 소단 배수

소단 배수는 비탈면에 내린 빗물을 도수로 배수구에 집수하기 위해 비탈면의 소단에 설치하는 가로배수시설물이다.

(4) 수평배수공 및 필터층

비탈면에 수평배수공 및 배수블랭킷과 같은 필터층을 설치하여 간극수압 상승을 방지하거나 비탈면에 용수가 있는 곳은 비탈면 보호공을 설치한다.

1.2.4 선로인접지 배수시설

비탈어깨(산마루) 및 길내기 등 철도인접지역의 배수를 위해 설치하는 배수시설이다.

(1) 비탈어깨(산마루) 배수시설

산지계곡부 및 땅깍기부 비탈면의 안정을 위해 비탈면 인접지의 빗물이 비탈면에 유입되지 않도록 비탈어깨에 설치하는 산마루측구, 감세공(낙차공) 등의 배수시설물이다.

(2) 길내기 배수시설

철도 횡단 및 우회도로 등의 길내기에 접해있는 배수구역의 배수를 위해 설치하는 집수정, 배수로 및 배수암거 등의 배수시설물이다.

(3) 기타 인접지 배수로

노반상면과 비탈면에서 집수된 물과 인접지역의 유입수를 기존 배수로나 하천으로 배수하기 위한 배수시설물이다.

1.2.5 지하 배수시설

지하배수 시설은 선로의 지하에 설치된 배수설비로서 높은 지하수 및 모관수의 수위를 강하시키고, 침투수 및 피압지하수를 집수하고 유도하여 배수로로 유출시키는 시설물이다.

지하배수는 흙쌓기부 지하배수 및 땅깎기부 지하배수가 있으며, 지하배수 설비로는 트랜치관, 지하배수관, 필터 및 배수, 수직갱 및 집수정 등이 있다.

1.2.6 횡단 배수시설

하천, 농수로 및 계곡부 수로 등이 철도를 횡단하기 위해 설치하는 암거(속도랑), 교량 등의 배수시설물이다. 철도의 횡단배수시설의 규모는 재설치의 어려움과 이상강우로 인한 수해발생에 대비하여 적정규모를 검토하고 가급적 충분한 여유를 가지도록 해야한다. 또한 횡단 배수관은 점검 및 청소가 가능하도록 $\phi 1,000\text{mm}$ 이상으로 하여야 한다.

1.2.7 정거장 배수시설

정거장 배수시설은 정거장 구내의 선로 및 분기기 시설에 유입되는 표면수 및 지하수를 집수하여 배수로로 유출시킨다.

그 밖에 정거장 구내배수는 추가적으로 아래와 같은 유입수들을 집수하여 배수로로 유출시켜야 한다.

- (1) 승강장과 화물 적재 및 적하장 도로의 표면수
- (2) 건물과 승강장 부지의 강수
- (3) 전차대 및 세척장의 오염된 표면수
- (4) 정거장 시설의 가정 및 영업 폐수



2. 철도의 수리·수문

2.1 강수량

강수량은 일정 기간(시간) 동안에 내린 수량을 단위면적당의 깊이로 표시한 것으로서 강우량과 강설량(적설량을 강우량으로 환산한 우량)을 포함하고 있으나, 우리나라의 경우는 유출에 미치는 영향은 강우가 지배적이므로 철도배수시설의 설계 홍수량 산정은 강우와 지형조건 등에 의하여 발생하는 유량이다.

2.2 강우와 유출

지상에 떨어진 강우의 일부분이 지표면으로 흐르는 현상이 유출이며, 유출에 의한 하천의 유량은 수자원으로써 중요한 요소이면서 또한 재해의 원인이 되는 요소이기도 하다. 유역 면적 중에서 유출에 기여하는 면적이 가장 클 때에 일어나는 첨두 유량(peak flow)은 배수시설 설계에서 가장 중요하다. 유출해석에서 직접유출은 단시간내에 하천으로 흘러 들어가는 지표면 유출과 하천으로 방출되는 복류수유출의 합이며, 직접유출에 해당하는 강우량이 유효강우이다. 유출현상을 일으키는 호우 기간 동안의 총 강수량은 초과강수량과 손실량이다. 초과강수량은 침투능력을 초과하는 부분으로 지표면 유출에 해당하는 강우이고 손실량은 증발, 차단, 지면저류, 침투 등에 의하여 손실이 이루어지고, 강우강도가 손실보다 큰 경우에 유출이 이루어진다.

2.2.1 증발산

증발이란 물이 액체로부터 기체로 변화되는 과정으로 증발율은 단위 시간당 수표면에서 대기 중으로 빠져 나가는 물분자의 수에 의존한다. 지구 전체로 볼 때 지상에 낙하된 강우의 약 75%는 증발과 증산에 의하여 대기로 환원된다. 수면에서 일어나는 물분자의 이탈이 증발이고, 식물의 엽면을 통해 증발되는 현상을 발산이라 하며, 이를 통칭하여 증발산이라고 한다. 이러한 증발산은 이수측면에서는 대단히 중요한 고려사항이나 비교적 짧은 기간 동안에 발생하는 호우에서는 강우강도에 비해 대단히 작으므로 치수측면에서는 무시하여도 별 문제가 없는 과정이다.

2.2.2 차단

차단은 호우 초기의 일부분이 지체되는 현상으로 식물의 잎이나 또는 다른 형태의 피복에 의하여 강우의 일부가 손실되는 것에 대한 통칭이며, 차단되었던 물은 식물을 통해서 지하로 유입되거나 작은 유역에 있어서 중요한 의미를 갖는 시간 지체와 더불어 침투, 요면저류나 유출로 나타난다. 대상유역에 많은 수목이 있는 경우 차단에 의한 손실을 무시할 수 없으나, 일반 수공구조물 설계에 있어서 이 차단에 의한 손실은 증발 또는 침투에 의한 손실보다 극히 적은 양이기 때문에 무시할 수 있다.

2.2.3 지면저류

지면저류는 침투나 유출이 되지 않고 작은 웅덩이 등에 물이 머무르는 것으로서 차단보다 적은 양이다. 요면에 저류되는 용적 V_d 의 증가분은 <식 (42)>과 같다.

$$\Delta V_d = e^{-(P_e S_d)} \Delta P_e \quad (42)$$

여기서, S_d : 총유효 요면저류량

P_e : 초과강수량-강수량에서 증발량, 차단량, 침투량 등을 제한 값

2.2.4 침투

침투는 물이 중력과 모세관 작용에 의하여 토양표면을 통하여 토양속으로 스며드는 현상이다. 물이 흠에 스며드는 율을 침투율(mm/h)이라 한다. 침투정도는 식생의 두께와 형태, 지표의 상태, 온도, 강우 강도, 토양의 특성과 수질 등에 영향을 받는다. 식물 등과 같은 식생이 없는 토양의 침투는 숲이나 풀로 덮여 있는 토양보다 3.0 ~ 7.5배 증가 할 수 있지만, 작물이 심어진 토양에서는 거의 증가하지 않는다. 대부분의 조건에서 침투율은 물이 흠 표면을 처음 접촉할 때 최대이고 그 속도 또한 최대이다. 흠 구조 내로 침투된 물은 지표층에서는 횡방향으로 흘러 중간흐름을 형성하나 대부분은 연직으로 이동하여 지하수에 이른다. 주어진 조건에서 물의 공급이 충분할 때 일어나는 최대 침투율을 침투능이라 한다.

침투능 산정방법은 소규모 시험지에서 침투계에 의해 실측하는 방법과 이들 측정자료를 사용하여 유도한 경험공식에 의해 산정하는 방법이 있다. 큰 유역의 경우 강우에 대한 유출의 응답이 늦고 지속기간이 긴 호우에 대한 침투의 시간분포는 크게 중요하지 않다. 이러한 조건에서는 강우가 지속되는 동안 침투율이 일정한 것으로 가정한다. 이와 같이 일정한 침투율을 침투지수라한다. 침투지수법에는 ϕ -지수법과 W-지수법의 두가지가 있다.

(1) ϕ -지수법

ϕ -지수법은 강우주상도에서 윗부분의 강우량을 직접유출과 같게 구분하는 직선으로 표시되는 강우강도로 정의된다. <그림 50>에서 사선부분의 면적은 유역의 관측된 직접유출고(mm)를 나타내므로 ϕ 로 표시된 직선은 ϕ -지수가 된다. 직선아래 면적은 직접유출로 나타나지 않는 강우를 나타내므로 이는 지면보류(차단, 지면저류, 증발)와 침투를 포함한 모든 손실을 나타낸다.

(2) W-지수법

W-지수법은 강우강도가 침투능을 초과하는 시간동안의 평균침투율이다.

$$W = \frac{F}{T} = \frac{1}{T}(P - Q_s - S) \quad (43)$$



여기서, T는 강우강도가 침투능을 초과하는 기간, F는 T시간동안의 총침투량, P는 T에 해당하는 시간의 총강우량, Q_s 는 직접유출, S는 지면보류이다. W-지수는 요부저류와 강우기간동안 무강우시간을 포함한다. W-지수는 <식 (45)>에서와 같이 근본적으로 ϕ -지수에서 시간 평균된 지면보류를 뺀 값과 같다.

$$\phi = \frac{F+S}{T} = \frac{P-Q_s}{T} \quad (44)$$

$$W = \frac{P-Q_s-S}{T} = \frac{P-Q_s}{T} - \frac{S}{T} = \phi - \frac{S}{T} \quad (45)$$

토양이 매우 습윤한 조건에서 침투능은 최소이고 지면보류(S)는 매우 작아서 <식 (45)>에서 W-지수와 ϕ -지수는 거의 같게 된다. 이 경우 W-지수를 Wmin-지수라고 하고 최대가능홍수량 산정에 사용된다.

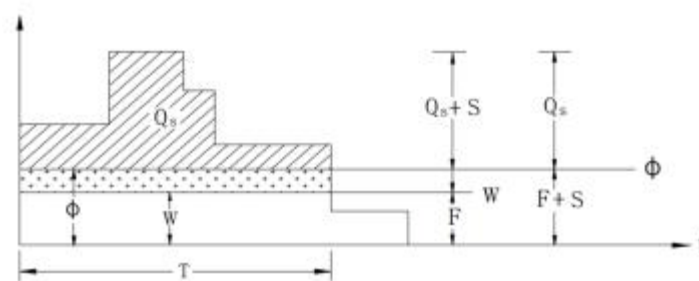


그림 50. ϕ -지수와 W-지수의 정의

2.2.5 유출량

철도 배수시설물의 규모를 결정하는데 사용되는 계획홍수량은 구조물의 설계빈도에 해당하는 침투 유출량이다. 설계홍수량의 산정에서 지배적인 인자는 유역의 크기이므로 유역면적이 4km²이하에서는 합리식을 적용하여 산정할 수 있으나 가급적 소규모(2.6km² 이하) 유역에서 사용해야 하고 정거장 배수시설에 대한 계획홍수량은 합리식, ILLUDAS, SWMM, RRL 방법을 사용하여 산정할 수 있으며, 후술하는 내용을 참조한다. 유역면적이 4.0km²이상에서 합리식을 적용하는 경우에는 소유역으로 구분하여 link-nod 개념을 적용하며, 합성단위유량도법, 유역추적법 등을 적용한다. 계획홍수량은 유역의 특성을 적절히 반영할 수 있는 3 ~ 4개 유출모형을 적용하여 그 결과를 비교하는 것이 필요하며, 각 지형 특성에 적합한 유출해석 방법에 의하여 산정된 값을 채택한다. 교량부 수로는 해당 유역 또는 인접유역의 하천정비기본계획, 소하천종합정비계획에서 채택된 홍수량산정 절차를 준용한다.

2.3 개수로의 수리

물의 흐름은 크게 개수로와 관수로내 흐름으로 구분하는데 개수로는 대기압이 미치는 자유수면을 가지는 중력에 의해 물이 흐르고 관수로는 물이 수로단면을 채우면서 압력차에 의해 흐른다. 두가지 흐름 사이에는 상당한 유사성이 있으나 개수로는 수로의 개폐와 관계없이 수면이 대기와 맞닿아 있는 자유수면이 공간적 시간적으로 변할 뿐 아니라 흐름의 수심, 유량, 수로경사 및 수면경사 등의 흐름 변수간의 관련성 때문에 관수로 흐름 해석보다 복잡하여 경험적이고 실험적인 방법을 동원하여 흐름을 해석하는 경우가 많다. 개수로는 크게 인공 개수로와 자연 개수로(하천)로 구분한다. 인공 개수로는 수로 또는 운하, 급경사 수로와 낙차공, 구교, 수로 터널 등이 있다.

철도배수시설은 대부분 수로의 단면, 조도, 선형, 경사 등이 일정한 인공 개수로이므로 개수로의 수리특성이 반영되도록 설계하여야 한다.

2.3.1 개수로의 흐름상태

일반적으로 개수로의 흐름은 정상류, 부정류, 등류, 부등류, 상류, 한계류, 사류로 분류하는데 이들 중 부등류, 부정류, 상류는 개수로의 가장 일반적인 특징이다.

(1) 정상류와 부정류

개수로 내에서 수심이 시간에 따라 변하지 않는 일정한 흐름을 정상류(Steady Flow)라 하고 시시각각으로 변하는 흐름을 부정류(Unsteady Flow)라 한다.

개수로의 흐름은 정상류의 상태로 분석하는 것이 일반적이며 홍수류와 같이 시간에 따라 급변하는 흐름은 부정류의 조건으로 분석한다. 개수로의 흐름이 정상류인 경우 유량은 연속방정식으로부터 유도할 수 있으며 다음과 같다.

$$Q = A_1V_1 = A_2V_2 \cdots A_nV_n \quad (46)$$

여기서, Q : 개수로의 유량 (m/sec)

A_n : 임의의 지점에서 수로단면적 (m²)

V_n : 임의의 지점에서 유속 (m/sec)

(2) 등류와 부등류

개수로내 일정거리가 떨어진 곳의 수심, 유량등 흐름조건이 동일한 경우 그 흐름을 등류(uniform flow), 변하는 경우 부등류(varied flow)라 하며, 등류와 부등류는 시간변화에 따라 수심이 변하는가 그렇지 않은가에 따라 정상류일수도 부정류일수도 있다.

공간적 시간적으로 수심이 변하는가 그렇지 않은가에 따라 정상등류(steady uniform flow), 공간적으로는 불변이나 시간적으로 변하는 흐름을 부정등류(unsteady uniform flow), 공간적, 시간적으로 수심이 변하는 흐름을 정상부등류(steady varied flow)로 분류하는데 부정등류와 정상부등류는 자연계에 존재하지 않는 이론적인 흐름이므로, 실제로 등류는 정상등류, 부등류는 부정부등류를 의미하게 된다.



(3) 상류와 사류

흐름의 비에너지(specific energy)는 수로바닥을 기준으로 측정한 단위무게의 물이 갖는 흐름의 에너지를 말하며, 개소내의 임의의 한 점에서 물이 갖는 비에너지는 <식 (47)>과 같다.

$$E = d + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (47)$$

여기서, E : 비에너지 (specific energy)

d : 수심 (m)

α : 수정계수

V : 평균유속 (m/sec)

g : 중력가속도 (9.8m/sec²)

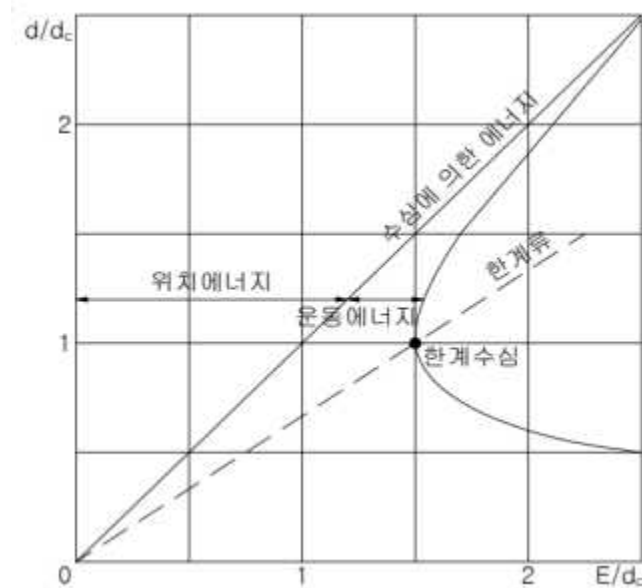


그림 51. 비에너지와 수심의 관계

개수로의 유량(Q)을 일정하게 유지하고 수로의 조도, 경사등 흐름 조건을 변경하여 수심(d)변화에 따른 비에너지와 수심의 관계를 그래프로 작성하면 <그림 51>과 같다. 이때 비에너지가 최소가 되는 수심을 한계수심(d_c)라 하는데 한계수심 이하로 흐르는 경우 사류, 한계수심 이상으로 흐르는 경우 상류라 부르며 일반적으로 사류는 급류, 상류는 완속류의 상태로 규정한다.

비에너지가 최소가 되는 조건은 Froude수가 1인 경우로 다음 식과 같다.

$$\frac{Q^2 T_c}{g A_c^3} = \frac{V_c^2}{g d_c} = Fr = 1 \quad (48)$$

여기서, Q : 유량 (m^3/sec)

T_c : 한계수심으로 흐를 때 개수로의 수면폭 (m)

A_c : 한계수심으로 흐를 때 유수의 단면적 (m^2)

V_c : 한계유속 (m/sec)

g : 중력가속도 ($9.81\text{m}/\text{sec}^2$)

또한, 비에너지 최소조건으로부터 최소비에너지, 한계수심, 한계유속을 계산할 수 있으며 다음 식과 같다.

$$E_{\min} = \frac{3}{2} d_c \quad (49)$$

$$V_c = \sqrt{g d_c} \quad (50)$$

여기서, $E_{\min}$: 최소비에너지 (m)

d_c : 한계수심 (m)

g : 중력가속도($9.81\text{m}/\text{sec}^2$)

V_c : 한계유속 (m/sec)

2.3.2 개수로 수면곡선 계산

수로와 하천에서 수면곡선을 계산하는 컴퓨터 모형으로서 미국이나 국내에서 가장 널리 쓰이는 모형은 HEC-RAS모형이다. 이 모형은 1980년대부터 국내 하천 실무에서 쓰이기 시작하여 지금은 하천 수면곡선을 계산하는 표준적인 방법이 되었다. HEC-RAS모형은 HEC-2모형을 보완하여 만들어진 수면곡선 모형으로 마찰에 의한 Energy 손실이 고려된 1차원 Energy 방정식에 기본을 두고 있는 표준축차계산법으로써 교량, 구교, Weir 및 고수부지상의 구조물과 같은 장애물의 영향도 동시에 고려된다. HEC-RAS 모형의 기본식은 다음과 같다.

(1) 표준축차계산법(Standard Stap Method) 기본식

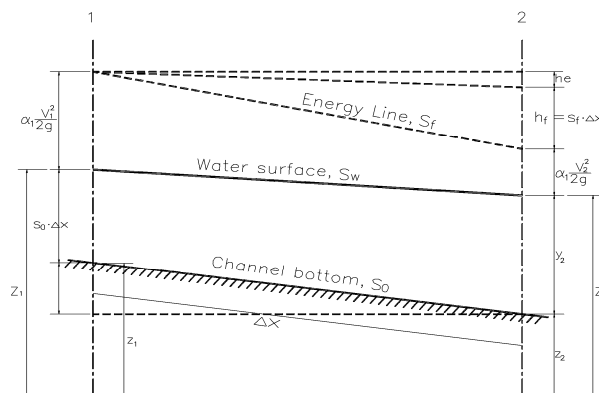


그림 52. 비에너지와 수심의 관계



위의 그림에서 ①, ②단면의 흐름의 총 에너지를 같게 놓으면

$$S_0 \cdot \Delta h + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + S_f \cdot \Delta_x \quad (51)$$

또한 각 단면에서의 수면표고는 $Z_1 = S_0 \cdot \Delta x + Y_1 + z_2$, $Z_2 = Y_2 + z_2$ 이고 마찰 손실은 $h_f = s_f \cdot \Delta_x = \frac{1}{2}(s_1 + s_2) \cdot \Delta_x$ 이다.

<식 (47)>에 Z_1, Z_2, h_f 를 대입하면

$$Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_f + h_e \quad (52)$$

여기서 h_e : 횡대, 축소손실

① , ② 단면에서의 전수두는

$$H_1 = Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g}, \quad H_2 = Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g}$$

∴ Standard Step Method의 기본식은 다음과 같다.

$$H_1 = H_2 + h_f + h_e \quad (53)$$

2.3.3 유량과 유속

개수로의 설계를 위한 등류의 경험공식 중 가장 많이 사용되는 Chezy 공식과 Manning 공식은 다음과 같다.

(1) Chezy 공식

개수로의 기하 특성과 경계면의 저항 특성을 가지고 등류 유속과 유량을 구하는 공식이다. 유량은 단위시간에 수로의 단면을 통과하는 물의 체적을 의미하며, 연속 방정식은 <식 (54)>와 같이 수로단면적과 유속을 곱한 형태이다. Chezy는 다음과 같이 유량을 산출하였다.

$$Q = AV = AC\sqrt{RS} \quad (54)$$

여기서, Q : 유량 (m^3 / sec)

A : 유수단면적 (흐름과 직각인 단면, m^2)

C : Chezy의 유속계수

R : 동수 반경 (A/P , P = 수로의 윤변) (m)

S : 수로의 경사 (m/m)

(2) Manning의 공식

Manning은 Chezy의 공식에서 C 값을 다음과 같이 제시하고, 평균유속공식을 유도하였다.

$$C = \frac{R^{1/6}}{n}, \quad V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (55)$$

여기서, V : 평균속도 (m/sec)
 n : 조도계수
 R : 동수반경 (m)
 S : 수로의 경사 (m/m)

Manning의 평균유속공식에서 유량은 다음과 같다.

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (56)$$

여기서, Q : 유량 (m³ /sec)
 A : 단면적 (m²)
 n : 조도계수
 R : 동수반경 (m)
 S : 수로의 경사 (m/m)

2.3.4 경제적인 수로단면

Manning의 유량공식은 $Q = K \cdot S^{1/2}$ 로 표현할 수 있는데 K는 통상단면의 형상과 조도계수만 관계되는 식으로 수로의 통수능(conveyance)이라 한다.

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{2/3} = \frac{1}{n} \left(\frac{A^5}{P^2} \right)^{1/3} \quad (57)$$

여기서, K : 수로의 통수능
 R : 동수반경 (m)
 n : 조도계수

통수능(K)은 수로의 윤변이 작을수록 커지며, 통수능이 커질수록 처리할 수 있는 유량은 커지게 되어 수리적으로 가장 유리한 단면 즉, 경제적인 수로단면이 된다. 개수로의 대표형상별 경제적인 단면의 조건은 <표 19>과 같다.



표 19. 경제적인 수로단면

구분	단면도	경제적인 단면의 조건
직사각형 수로		$B = 2 \cdot H$
사다리형 수로		$\alpha = 60^\circ$ $b = \frac{2}{3} \cdot \sqrt{3} H$
원형 수로		$H = \frac{1}{2} D$

2.3.5 원형구교내의 개수로 흐름

철도배수시설 설계에서 우수배제를 위한 원형구교는 자유수면을 가지는 개수로로 등류공식을 적용한다. 원형구교는 수심에 따른 유량과 평균유속의 변화에 따른 수리특성을 설계에 반영한다.

<그림 53>과 같이 직경 D 인 원형 구교 내에 수심 d 로 물이 흐를 때 중심각이 ϕ radian일 때 흐름 단면적 A , 윤변 P , 동수반경 R 은 다음과 같다.

$$A = \frac{D^2}{4} \left(\pi - \frac{\phi}{2} + \frac{\sin \phi}{2} \right) \quad (58)$$

$$P = D \left(\pi - \frac{\phi}{2} \right) \quad (59)$$

$$R = \frac{D}{4} \left(1 + \frac{\sin \phi}{2\pi - \phi} \right) \quad (60)$$

원형단면의 수리특성곡선은 <그림 53>과 같이

최대유량은 $\phi = 302^\circ 24'$ 일 때 $\frac{d}{D} = 0.94$ 이며,

최대유속은 $\phi = 257^\circ 27'$ 일 때 $\frac{d}{D} = 0.81$ 이다.

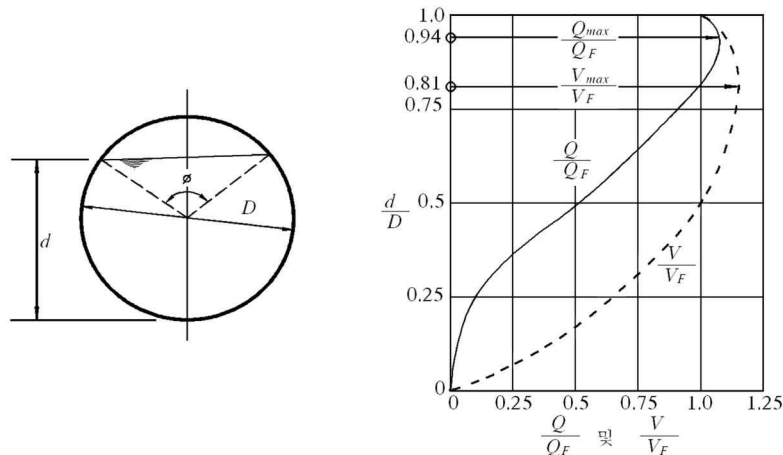


그림 53. 원형구교 수리특성곡선

2.4 철도구교의 수리

철도구교는 수문분석에서 결정된 계획홍수량으로부터 구교 상류부의 수위를 과다하게 상승시키지 않은 상태에서 하류로 배제할 수 있는 경제적인 단면과 경사를 갖도록 계획한다.

구교의 단면형상은 파이프와 박스가 일반적이며 구교의 크기, 경사, 유·출입부의 중심 등 조건에 따라 유입부 조절 또는 유출부 조절을 받는 흐름의 특성을 나타낸다. 철도구교의 수리계산은 개수로 수면곡선 계산에서 소개된 HEC-RAS에 의한 해석을 이용하는 것을 권장하고 있으며, 다음과 같은 구교의 수리계산도 수행한다.

2.4.1 구교내 흐름의 분류 및 수리 특성

구교내의 흐름은 상류수심(HW)과 구교직경(D, box의 경우 : 높이)의 상대적인 크기에 따라 <표 20>과 같이 두 가지로 분류할 수 있다. 철도노반 설계에는 가급적 구교의 유입부가 잠수되지 않는 상태 Class-I ($HW \leq 1.2D$)의 조건에 만족하도록 하고 구교 유입부가 잠수되는 상태인 Class-II ($HW \geq 1.2D$)는 철도노반의 안전이 충분하게 확보된 경우에만 적용하여야 한다. 각각의 흐름은 유입부 조절 또는 유출부 조절의 수리조건이 성립되는 4개의 유형으로 <그림 54>, <그림 55>과 같으며 총 8가지 흐름 상태는 <표 22>와 같다.

(1) 유입부 조절의 수리조건

유입부 조절은 배수되는 유량이 유입구 가장자리의 형태와 단면적, 상류수심에 의해 유입구에서 통제되는 것을 의미하며 상류수심과 구교의 직경의 관계에서 흐름의 상태가 결정된다. 구교상부가 토공이고 구교 유입부가 잠수되는 경우에는 토공비탈면의 안정이 우선되어야 하며, 설계빈도를 상회하는 호우가 발생하면 상류수심이상으로 수위가 상승하므로 노반의 침식방지 대책 및 여유고를 확보해야한다. 유입부 조절을 받는 흐름에서는 관의 경사, 길이, 조도는 흐름에 영향을 주지 않는다.



표 20. 구교내 흐름 형식

구분	수리 조건	유입부의 특성	개념도
Class- I	$HW \leq 1.2D$	·구교의 유입부가 잠수되지 않은 상태 ·웨어의 수리특성을 나타냄.	
Class- II	$HW \geq 1.2D$	·구교의 유입부가 잠수된 상태 ※ 철도노반의 안정 검토 ·오리피스 수리특성을 나타냄.	

(2) 유출부 조절의 수리조건

유출부 조절에서 고려되는 배수로의 요소는 구교의 단면적, 길이, 경사, 조도 및 유입부 형상 등이 있으며 유입부와 유출부의 에너지 방정식에서 다음 식을 얻을 수 있다.

$$HW = H + h_o - S_o L - \frac{V_1^2}{2g} \quad (61)$$

여기서, HW : 구교상류 수심 (m)
H : 수두차 (m)
 h_o : 방류수심 (m)
 $\frac{d_c + D}{2}$ 또는 TW (dc : 한계수심, D : 구교직경, TW : 하류수심)
L : 구교의 길이 (m)
 S_o : 구교의 경사 (m/m)
 V_1 : 유입부 접근유속 (m/sec)

유입·유출부의 수두차(H)는 속도수두(hv), 유입손실(he), 마찰손실(hf)로 구성되며 다음 식과 같다.

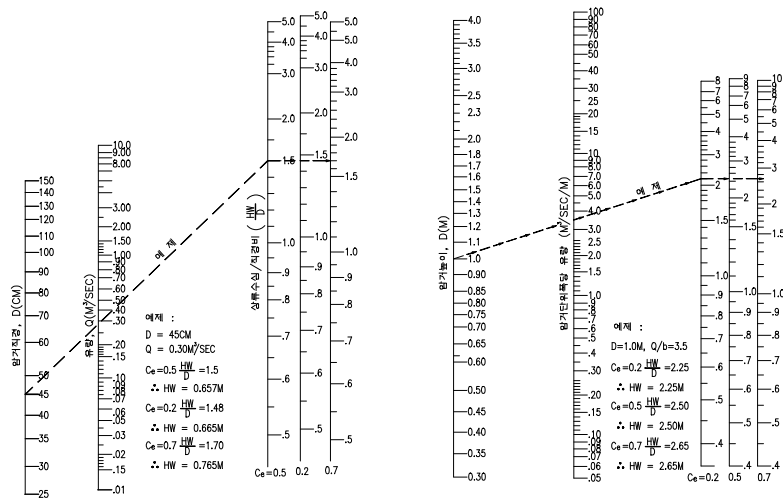
$$H = hv + he + hf = \left(1 + Ce + \frac{19.56n^2 \cdot L}{R^{4/3}}\right) \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (62)$$

여기서, $hv : \frac{V^2}{2g}$
 $he : Ce \cdot \frac{V^2}{2g}$
 $hf : \frac{19.56n^2 \cdot L}{R^{4/3}} \cdot \frac{V^2}{2g}$

V : 평균 유속 (m/sec)
 g : 중력가속도 (9.8m/sec^2)
 e : 유입부 손실계수 <표 21>참조
 n : Manning의 조도계수
 L : 구교의 길이 (m)
 R : 동수반경(A/P) (m)

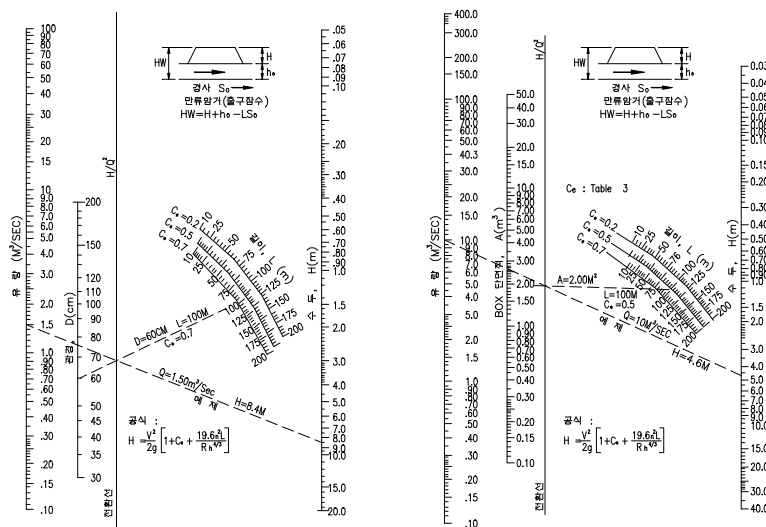
표 21. 유입부 손실계수

관종	유입부 형태		Ce
	유입부 형상	관의 단부형상	
콘크리트 파이프	관이 성토체에서 돌출되어 있는 경우	소켓형태의 단부	0.2
		일반형태 (관의 수직 전단면)	0.5
	날개벽 또는 면벽설치	소켓형태의 단부	0.2
		일반형태 (관의 수직 전단면)	0.5
		관 단부의 내측을 곡면처리 ($R = 1/12D$)	0.2
	성토체의 비탈면 경사와 관의단부가 일치된 경우	쌓기 비탈면경사로 파이프 절단	0.5
		쌓기 비탈면경사로 연귀이음	0.7
콘크리트 박스	날개벽 없이 면벽만 있는 경우	일반형태 (관의 수직 전단면)	0.5
		구체단면의 내측을 곡면처리 ($R = 1/12D$)	0.2
	날개벽이 설치된 경우 ($30^\circ \sim 75^\circ$)	일반형태 (관의 수직 전단면)	0.5
		구체상부단면의 내측을 곡면처리 ($R = 1/12D$)	0.2
	날개벽이 구체와 나란한 경우	일반형태 (구체의 수직 전단면)	0.7
	날개벽 없는 경우	구체가 성토체에서 돌출된 형상	0.9
파형강관	날개벽 또는 면벽설치	일반형태	0.5



(a) Pine 유입부 조절 (b) Box 유입부 조절

그림 54. 유입부 조절의 수리조건



(a) Pine 유출부 조절 (b) Box 유출부

그림 55. 유출부 조절의 수리조건

2.4.2 흐름 유형별 수리계산

구교의 흐름조건은 8가지 유형이 가능하며 <표 22>와 같으며, 각각의 흐름에 대한 수리특성은 다음과 같다.

(1) 제 1형식

제 1형식은 구교의 경사(S_o)가 한계경사(S_c)보다 작은 완경사이며, 유출부에서 하류 수심(TW)이 한계수심(d_c)보다 작은 상류(常流)상태로 흐름의 지배단면은 유출부가 된다.

이와 같은 흐름조건을 만족시키는 설계는 경사가 완만하고 소류지가 있는 소하천

의 경우에 적합하며 유입부와 유출부의 에너지 방정식으로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$HW + S_o L = h_e + h_f + \left(d_c + \frac{V_c^2}{2g}\right) \quad (63)$$

$$HW = h_e + h_f + \left(d_c + \frac{V_c^2}{2g} - S_o L\right) \quad (64)$$

여기서, HW : 유입부 상류수심 (m)

h_e : 유입손실 수두 $\left(C_e \frac{V^2}{2g}\right)$ (m)

h_f : 마찰손실 수두 $\left(19.56 \frac{n^2 \cdot L \cdot V^2}{R^{4/3} 2g}\right)$ (m)

d_c : 한계수심 (m)

V_c : 유출부의 한계 유속 (m/sec)

g : 중력가속도 9.8m/sec^2

S_o : 구교의 경사 (m/m)

L : 구교의 길이 (m)

e : 유입부의 손실계수

n : Manning의 조도계수

R : 동수반경(A/P) (m)

(2) 제 2형식

제 2형식은 수로 경사가 완만하고 하류수심(TW)이 한계수심보다 크고 구교의 높이보다 낮은 경우로 지배단면은 유출부가 된다.

이런 흐름은 경사가 완만하고 폭이 좁으면서 수심이 깊은 수로에서 발생하나 혼하지 않은 경우이며 유입부와 유출부의 에너지 방정식으로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$HW = h_e + h_f + \left(d_{tw} + \frac{V_{tw}^2}{2g}\right) - S_o L \quad (65)$$

여기서, HW : 유입부 상류 수심(m)

h_e, h_f : 유입손실 및 마찰손실 수두(m)

d_{tw} : 유출부 수심(m)

V_{tw} : 유출부의 평균유속(m/sec)

S_o, L : 구교의 경사 및 길이



(3) 제 3형식

제 3형식은 수로경사가 급하고 하류수심(TW)이 한계수심과 구교높이보다 낮은 사류(射流)의 상태이며 입구부가 지배단면이 된다. 이와 같은 흐름은 급경사의 산악지역 수로에 적합하며 구교상류부와 유입부의 에너지 방정식으로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$HW = Ce \frac{V_c^2}{2g} + (dc + \frac{V_c^2}{2g}) \quad (66)$$

Box 구교의 경우 폭을 b라 하면 한계수심(dc)과 한계유속(Vc)은 다음과 같다.

$$dc = \sqrt[3]{\frac{1}{g} \left(\frac{Q}{b} \right)^2} = 0.467 \left(\frac{Q}{b} \right)^{2/3} \quad (67)$$

$$\frac{V_c^2}{2g} = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{bd_c} \right)^2 = 0.237 \left(\frac{Q}{b} \right)^{2/3} \quad (68)$$

파이프의 경우 입구부에서 dc와 Vc의 표현이 쉽지 않으므로 관경(D) = b로 간주하여 상기 HW 산출 식을 정리하면 다음과 같다.

① 파이프의 경우

$$HW = 0.467 \left(\frac{Q}{D} \right)^{2/3} + 0.051(1 + Ce) \cdot V_c^2 \quad (69)$$

② 박스의 경우

$$HW = (0.701 + 0.234 Ce) \cdot \left(\frac{Q}{D} \right)^{2/3} \quad (70)$$

(4) 제 4형식

제 4형식은 하류수심(TW)이 구교 높이(D)보다 높아 하류부가 잠수된 상태로 구교내 유출부와 인접한 곳에서 도수가 발생하게 된다.

도수가 상류로 이동하여 유입부에 도달하면 제 7형식의 흐름과 같고 하류로 씻겨 내려가면 제 8형식의 흐름이 된다.

이와 같은 흐름은 급경사의 산악지 수로에서 하류수위가 구교높이 위로 올라가는 상황을 의미하므로 실제 발생가능성은 희박하며 지배단면이 유입부가 되어 제 3형식의 수리식과 동일한 조건이 된다.

① 파이프의 경우

$$HW = 0.467 \left(\frac{Q}{D} \right)^{2/3} + 0.051(1 + Ce) \cdot V_c^2 \quad (71)$$

② 박스의 경우

$$HW = (0.701 + 0.234 Ce) \cdot \left(\frac{Q}{D} \right)^{2/3} \quad (72)$$

여기서, HW : 유입부 상류수심 (m)

Q : 유량 (m³ /sec)

Ce : 유입부 손실계수

D : 파이프의 직경 (m)

b : 박스 구교의 폭 (m)

Vc : 유입부에서 한계유속(m/sec)

(5) 제 5형식

제 5형식은 구교내 자유수면을 갖는 흐름으로 유입부의 흐름이 수문 아래로 흐르는 경우처럼 흐름의 상태가 오리피스류가 되어 지배단면은 유입부가 된다. 유입부와 상류부의 에너지 방정식으로부터 다음 식을 얻을 수 있다.

$$HW - \frac{D}{2} = C_e \frac{V_D^2}{2g} + \frac{V_D^2}{2g} \quad (73)$$

$$HW = \frac{D}{2} + \frac{V_D^2}{2g}(1 + C_e) \quad (74)$$

여기서, HW : 유입부 상류 수심 (m)

D : 구교의 직경 또는 높이 (m)

VD : 깊이 D인 구교입구에서의 평균 유속 (m/sec)

Ce : 유입부손실계수

g : 중력가속도 9.8m/sec²

(6) 제 6형식

제 6형식은 구교내 흐름이 만수상태로 관수로의 특징을 갖고 있으며 압력차에 의해 흐르게 되어 지배단면은 유출부가 된다.

구교 상류 수면과 유출부사이의 에너지 방정식은 다음과 같다.

$$HW + SoL = h_e + h_f + h_v + h_o \quad (75)$$

<식 (75)>에서 유입손실수두(h_e), 마찰손실수두(h_f), 속도수두(h_v) 대입하면 다음과 같다.

① 파이프의 경우

$$HW = \frac{V_o^2}{2g}(1 + C_e + \frac{124.5n^2 \cdot L}{D^{4/3}}) + h_o - SoL \quad (76)$$

② 박스의 경우

$$HW = \frac{V_o^2}{2g}(1 + C_e + \frac{19.6n^2 \cdot L}{R^{4/3}}) + h_o - SoL \quad (77)$$



여기서, W: 유입부 상류수심 (m)

Vc: 유입부 유속 (m/sec)

Ce: 유입부 손실계수

n : Manning의 조도계

D : 구교의 직경 또는 높이 (m)

R : 구교의 동수반경 (m)

ho: 유출부 단면의 중립축까지의 높이로 이론상 D/2이나 설계
시 흐름의 조건을 유지하기 위해 파이프는 0.75D, 박스는
0.8D를 적용

So: 구교의 경사 (m/m)

(7) 제 7형식

제 7형식에서 구교내 흐름은 상류와 하류의 수위차로 인해 흐르는 관수로의 흐름
이 되며 지배단면은 구교하류의 수면이 된다.

상류부와 하류부의 에너지 방정식으로부터 다음 식을 유도할 수 있다.

$$HW + SoL = h_e + h_f + h_v + TW \quad (78)$$

<식 (78)>를 제 6형식과 같은 형태로 표현하면 다음과 같다.

① 파이프의 경우

$$HW = \frac{V^2}{2g} \left(1 + C_e + \frac{124.5n^2 \cdot L}{D^{4/3}} \right) + TW - SoL \quad (79)$$

② 박스의 경우

$$HW = \frac{V^2}{2g} \left(1 + C_e + \frac{19.6n^2 \cdot L}{R^{4/3}} \right) + TW - SoL \quad (80)$$

여기서, HW : 유입부 상류수심 (m)

V : 구교의 평균 유속 (m/sec)

TW : 구교의 하류의 수심 (m)

(8) 제 8형식

제 8형식에서 흐름은 하류수심(TW)이 구교의 높이(D)보다 크지만 구교내 유속이
빨라 유출부가 잠수되지 않는 형식으로 지배단면은 유입부가 된다.

이런 흐름은 구교내에서 제 5형식과 동일한 모형을 갖고 있으므로 제 5형식과 같
은 식으로 표현할 수 있다.

$$HW = \frac{D}{2} + \frac{V_D^2}{2g} (1 + C_e) \quad (81)$$

여기서, HW : 유입부 상류수심(m)
 D : 구교의 직경 또는 높이(m)
 VD : 깊이 D인 구교 입구에서의 평균 유속(m/sec)
 Ce : 유입부손실계수
 g : 중력가속도(9.81m/sec^2)

표 22. 구교의 흐름 유형

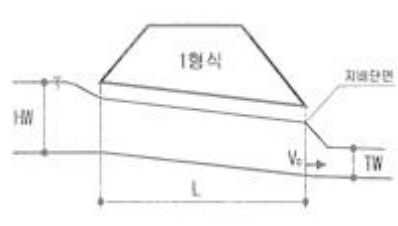
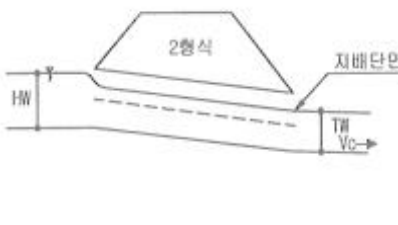
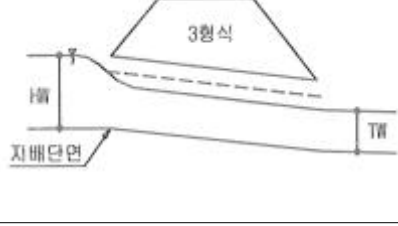
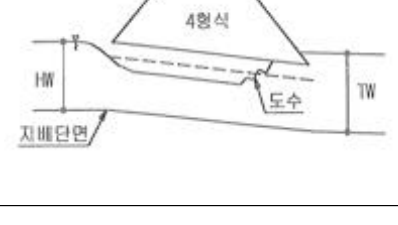
구분	수리 모형	수리 조건
제 1형식		$HW \leq 1.2D(\text{Class I})$ $So < Sc$ $Tw < dc$
제 2형식		$HW \leq 1.2D(\text{Class I})$ $So < Sc$ $dc \leq Tw < D$
제 3형식		$HW \leq 1.2D(\text{Class I})$ $So < Sc$ $Tw \leq dc < D$
제 4형식		$HW \leq 1.2D(\text{Class I})$ $So \geq Sc$ $Tw > dc$



표 22. 구교의 흐름 유형(계속)

구분	수리 모형	수리 조건
제 5형식		$HW \geq 1.2D(\text{Class II})$ $So > Sc, So < Sc$ $Tw < D$ $dn < D$ (dn : 구교내 등류수심) ※ 상류비탈면 보강필요
제 6형식		$HW \geq 1.2D(\text{Class II})$ $So > Sc, So < Sc$ $Tw < D$ $dn < D$ (dn : 구교내 등류수심) ※ 상류비탈면 보강필요
제 7형식		$HW \geq 1.2D(\text{Class II})$ $So > Sc, So < Sc$ $Tw > D$ ※ 상류비탈면 보강필요
제 8형식		$HW \geq 1.2D(\text{Class II})$ $So > Sc, So < Sc$ $Tw > D$ ※ 상류비탈면 보강필요

2.5 지하배수의 수리

2.5.1 투수

(1) Darcy의 공식

투수는 투수성 매체를 통한 물의 흐름 또는 거동으로 정의 할 수 있으며, Darcy는 모래층에 대한 투수실험을 통해 다음 식을 제안하였다.

$$V = K \cdot i, \quad Q = K \cdot i \cdot A \quad (82)$$

여기서, V : 투수속도 (m/day 또는 mm/sec)

K : 투수계수(m/day 또는 mm/sec)

I : 동수경사(유수방향으로 총수두(H)의 거리에 대한 변화비)

Q : 투수량 (m^3 /day 또는 mm^3 /sec)

A : 투수 단면적 (m^2 또는 mm^2)

Darcy의 공식은 지하수의 흐름이 층류일 때 성립하며 지하수의 흐름이 층류인가를 판단하기 위해 Reynolds(Re)를 이용한다.

Reynolds수는 점성력의 비로 나타내는 무차원의 양으로 값이 커지면 층류에서 난류로 변화되며 $Re = 1 \sim 10$ 의 범위에서 Darcy의 공식을 적용할 수 있다. 자연상태의 지층에서 지하수 흐름은 보통 $Re > 1$ 이므로 Darcy의 공식이 적용된다.

$$Re = \frac{\rho V E l}{\mu} \quad (83)$$

여기서, Re : Reynolds, 무차원

ρ : 유체의 밀도 (g/mm^3)

V : 유속 (mm/sec)

l : 관의 직경 (mm)

μ : 점성계수 ($g/mm/sec$)

(2) 투수계수

투수계수는 물이 통과하는 투수성 매체의 전도 능력을 말하며 흙의 투수계수는 토립자의 입경, 공극률, 수온에 영향을 받는다. 투수계수는 기 조사된 흙의 투수계수를 활용하거나 경험공식, 현장 및 실내 시험을 실시한다.

① 투수계수의 경험공식

가. Slichter의 공식

$$K = k_1 \cdot d_e^2 \quad (84)$$

여기서, K : 투수계수 (mm/sec)

k_1 : 공극률 n 에 따라 변하는 상수(<표 23> 참고)

d_e : 유효입경 (mm)



표 23. 공극률 n 에 대한 상수 k_1 (수온 10°C) (단위 : $1/\text{mm}\cdot\text{sec}$)

n	k_1	n	k_1	n	k_1	n	k_1
0.26	0.9	0.32	1.9	0.38	3.1	0.44	5.2
0.28	1.2	0.34	2.3	0.40	3.7	0.46	6.1
0.30	1.5	0.36	2.9	0.42	4.2	0.48	6.8

나. Hazen의 공식

$$K = c(0.7 + 0.03t) D_{10}^2 \quad (85)$$

여기서, K : 투수계수 (mm/sec)

c : 상수 ($4 \sim 15/\text{mm}\cdot\text{sec}$)

t : 수온 ($^{\circ}\text{C}$)

D_{10}^2 : 유효입경 (mm)

② 배수 층의 투수계수

배수 층의 투수계수는 현장투수시험을 실시하여 결정하여야 하나 시험을 할 수 없거나 투수계수의 개략 값만으로 문제점이 없다고 판단 될 경우 <표 24>의 값을 참고하여 적용할 수 있다.

표 24. 대표적인 흙의 투수계수의 값

대표적인 흙	투수계수(mm/sec)	투수성
자갈이 섞인 흙	1.0 이상	투수성이 상당히 큼
모래, 세립모래	1.0×10^{-2}	투수성이 중간
모래질 롬(loam)	$1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^{-4}$	투수성이 작음
실트(silt)	$1.0 \times 10^{-4} \sim 1.0 \times 10^{-6}$	투수성이 상당히 낮음
점토(clay)	1.0×10^{-6} 이하	불투수성

2.5.2 지하 배수관의 수리

지하 배수관은 노반내의 지하수를 집수하여 지하수위를 낮추게 된다. 지하배수관으로 유입되는 지하 배수량 산정은 지형, 토질, 지하수위와 경사 등에 따라 크게 달라 지므로 이들의 조건을 충분히 고려하여 결정하여야 한다.

몇 가지 조건을 고려한 지하 배수량 산정방법은 다음과 같다.

(1) 배수관을 불투수층에 접해서 매설할 경우

① 불투수층의 경사가 클 경우

불투수층의 경사가 커서 <그림 56>과 같이 지하수가 한 쪽으로만 유입하는 경우는 불투수층에 접하여 배수관을 설계할 때 배수관의 단위 길이당 배수량은 <식 (86)>로 구한다.

$$q = k \cdot i \cdot H_o \quad (86)$$

여기서, q : 배수관 1m에 대한 배수량($\text{mm}^3/\text{sec}/\text{m}$)

k : 투수계수(mm/sec)

i : 불투수층의 평균경사

H_o : 배수관 매설 부근의 지하수위 소요 저하량(cm)

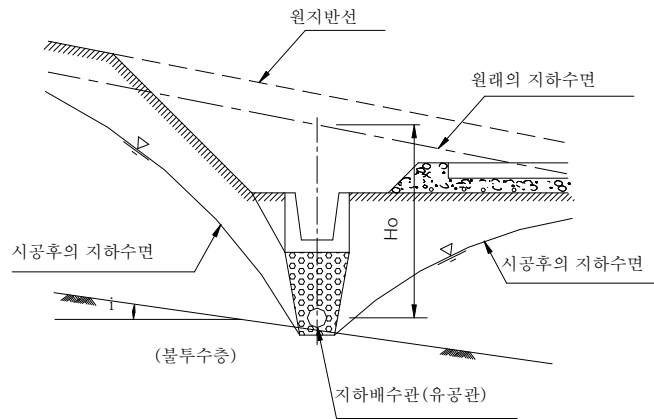


그림 56. 불투수층의 경사가 클 경우

② 불투수층의 경사가 작을 경우

물이 배수관의 한 쪽으로만 <그림 57>와 같이 흘러 들어올 우는 배수관의 단위 길이 당 배수량은 <식 (87)>로 구한다.

$$q = k \frac{H_o^2}{2R} \quad (87)$$

여기서, q , k , H_o : <식 (86)>과 같다.

R : 배수관에 의하여 지하수가 영향을 받는 수평거리(mm)

$$R = 200k^{1/2} \cdot H_o^{3/2} \quad (\text{투수계수의 단위 m/day})$$

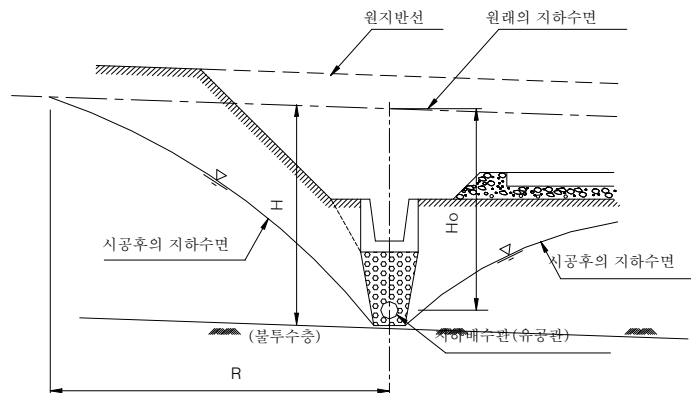


그림 57. 불투수층의 경사가 작을 경우



(2) 배수관을 불투수층과 떨어져서 상부에 매설할 경우

불투수층이 깊은 곳 상부에 <그림 58>과 같이 배수관을 매설할 경우, 물이 한 쪽으로만 흘러들어 온다면 배수관의 단위 길이당 배수량은 <식 (88)>로 구한다.

$$q = 0.8 \times \frac{\pi k H_o}{2.3 \log \left(\frac{R}{\gamma_o} \right)} \quad (88)$$

여기서, q , k , H_o : <식 (86)>과 같다.

γ_o : 배수관의 반경 (mm)

R : 배수관에 의하여 지하수가 영향을 받는 수평거리(mm)

$R = 200 H_o \cdot k^{1/2} \cdot H^{1/2}$ (투수계수 k 의 단위는 m/day이다.)

H : 배수관 부근의 대수층 두께 (mm)

(3) <식 (87)>로 유량을 추정하기가 곤란한 경우는 우기의 유량측정에 의해 추정한다.

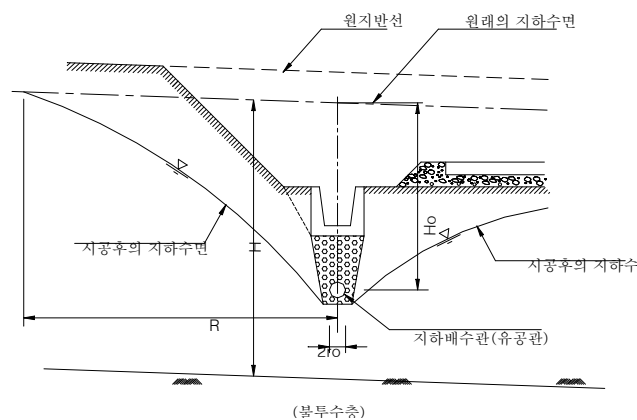


그림 58. 불투수층과 떨어져 설치한 경우

3. 배수시설 기준

강수는 강우와 강설을 포함하고 있으며, 우리나라의 경우 최고 유출량에 영향을 주는 것은 강우가 지배적이므로 철도배수시설 기준의 유출량은 강우를 대상으로 한다.

3.1 설계빈도

설계빈도는 배수시설의 중요도, 구조물의 위치 및 여건, 설계유량 이상의 유출량이 발생할 때의 위험도, 사회적, 경제적인 요소 등을 고려하여 결정하여야 한다. 하천정비기본계획이 수립된 하천을 횡단하는 모든 철도구조물의 설계빈도는 그 하천의 계획빈도(홍수위) 이상으로 설계하여야 한다. 하천정비기본계획이 수립되지 않은 경우 <표 25>에서 제시된 설계빈도 이상으로 계획하며, 중요도가 높은 배수시설물은 관계 부처 및 발주처의 승인을 얻어 검토한다.

표 25. 철도 배수구조물별 설계빈도

구조물명	설계빈도	비고
소교량	50 ~ 200년 이상	하천정비기본계획, 소하천종합정비계획 및 하수도정비기본계획 등 기타 관련계획과 비교 검토후 채택
장대교량(L>100m) (L : 하천유효 폭)	100 ~ 200년 이상	
선로 횡단암거	50년 이상	
(도심지, 집단가옥구간등)	100년 이상	
선로측구	20년 이상	
노반 비탈면 배수시설	20년 이상	
선로 인접지 배수시설	20년 이상	

표 26. 하천중요도에 따른 설계빈도

하천중요도	적용하천범위	설계빈도	관리자	비고
A	국가하천의 주요구간	200년 이상	국토교통부	
B	국가하천	100 ~ 200년	국토교통부	
C	지방하천	50 ~ 200년	광역단체	
D	소하천	30 ~ 200년	기초단체	

- 주) 1. 국가하천 및 지방하천은 하천법의 적용을 받는하천
 2. 소하천은 행정안전부의 소하천정비법의 적용을 받는 하천
 3. 하천설계기준-해설(한국수자원학회, 2019) 소하천설계기준(2024,행정안전부)

3.2 설계강우강도

- (1) 설계강우강도는 기후에너지환경부의 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)을 활용하여 결정하되, 강우지속기간 1시간 미만은 강우강도식을 유도하여 결정한다. 단, 제주도는 최근 수립된 하천기본계획 및 소하천정비종합계획의 강우분석결과를 참고하여 결정한다.
- (2) 강우강도-지속기간-재현기간(Rainfall Intensity-Duration-Frequency, IDF)관계는 기후에너지환경부의 국가수자원관리종합정보시스템(WAMIS)을 활용하며 확률 강우강도식, Talbot 형, Sherman형, Japanese형, Semi-Log형, General형의 강우강도식이나 그 지역에서 산정되어 하수도시설 기준 등에서 사용되는 확률강우강도식을 사용한다. 합리식에서 사용되는 강우강도식으로 Talbot형, Sherman형, Japanese형, Semi-Log형, General형, 전대수다항식형을 적용할 수 있다.



- Talbot형

$$I = \frac{a}{t + b} \quad (89)$$

- Sherman형

$$I = \frac{a}{t^n} \quad (90)$$

- Japanese형

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} + b} \quad (91)$$

- Semi-Log형

$$I = a + b \log(t) \quad (92)$$

- General형

$$I = \frac{a}{t^n + c} \quad (93)$$

- 전대수다항식형

$$\ln(I) = a + b \ln(t_h) + c(\ln(t_h))^2 + d(\ln(t_h))^3 + e(\ln(t_h))^4 + f(\ln(t_h))^5 + g(\ln(t_h))^6 \quad (94)$$

여기서, I : 강우강도 (mm/hr)

t : 강우지속기간 (min)

t_h : 강우지속기간 (hr)

a, b, c, d, e, f, g, n : 상수

3.3 설계 홍수량

철도 배수시설물의 설계기준이 되는 홍수량은 구조물 종류에 따라 선택된 설계빈도에 해당하는 홍수량을 말한다. 계획홍수량을 측정하는 방법은 최대홍수량을 빈도해석하여 해당지점의 기본홍수량을 산정하는 방법과 이미 결정한 설계강우를 가지고 강우-유출관계를 나타내는 적당한 홍수유출모형을 이용해서 홍수수문곡선을 계산하는 방법이 있다. 소규모 배수구역에 대한 계획홍수량을 산정하는 방법에는 합리식(rational method), BRRL, SWMM, ILLUDAS 모형 등이 있다.

- 유역면적이 4.0km²이하일 때 : 합리식, ILLUDAS모형 등으로 산정하여 합리적인 결과를 채택한다.
- 유역면적이 4.0km²이상일 때 : 합리식(소유역구분 적용), 합성단위유량도법, 유역추적법을 비교 검토하여 적용한다. Clark, Snyder, SCS 방법등으로 계산한 결과를 비교 검토하여 합리적인 결과를 채택한다.
- 교량부 수로 : 하천(소하천)정비기본계획이 수립되었거나, 기타 관련계획이 수립되어 있는 경우 이를 반영하고 미수립된 하천은 인접유역의 홍수량산정 절차를 준용한다. 홍수위는 수작업이나 HEC-RAS를 사용하여 산정한다.

3.3.1 합리식

(1) 합리식을 이용한 설계홍수량 산정절차

합리식에 의한 첨두홍수량 즉 설계홍수량의 계산은 <식 (95)>에 따른다.

$$Q_p = \frac{1}{3.6} CIA = 0.2778 CIA \quad (95)$$

여기서, Q_p 는 첨두홍수량(m^3/sec), C 는 무차원의 유출계수, I 는 홍수도달시간을 강우지속시간으로 하는 특정발생빈도의 강우강도(mm/hr), A 는 유역면적(km^2)이다.

합리식을 이용하여 설계홍수량을 산정하는 절차는 다음과 같다.

- ① 유역면적의 결정
- ② 유역 유출계수의 산정
- ③ 설계빈도 결정
- ④ 유역의 강우도달시간 산정
- ⑤ 설계강우강도 결정

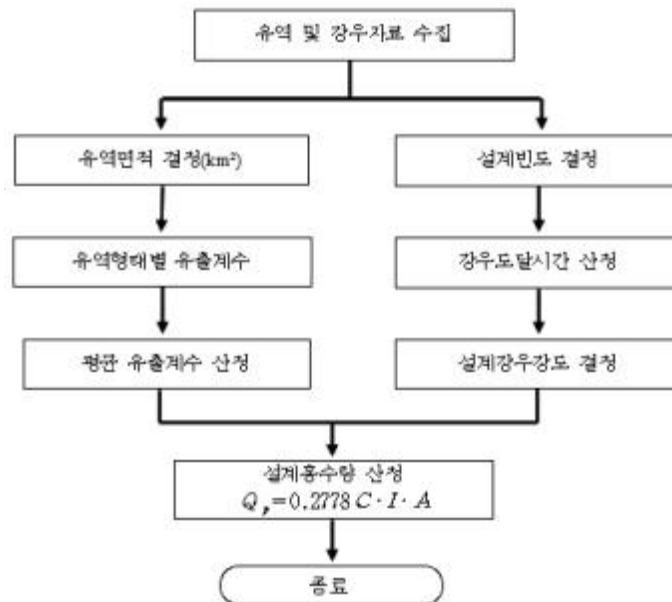


그림 59. 합리식을 이용한 설계홍수량 산정 흐름도

(2) 유역면적의 결정

유역면적은 설계홍수량을 결정하는데 있어서 중요한 요소로 국립지리원 발행의 1:1,000, 1:5,000, 1:25,000 축척의 지형도를 이용한다. 지도로부터 유역의 경계를 정확히 구분하기 어려울 경우에는 현장조사를 실시하여 보완해야 한다. 조사를 통해 토지이용도, 토질유형, 초목화 정도 등 유출과 관련된 항목을 도면에 표시하고 기록한다. 유역에 위치한 농업용 저수지, 소규모 저류시설은 대부분 홍수조절기능이 없어



유출에 영향을 주지 않으므로 무시해도 가능하나, 유출량을 크게 변화시킬 수 있는
 댐의 유무 등은 표시해 두어야 한다. 또한, 철도 부근의 배수를 완벽하게 하기 위해
 서 강우 강도에 따른 유출량과 유속, 방향 등을 표시한 배수현황도를 작성한다.

(3) 유역 유출계수의 산정

유출계수는 유역의 형상, 지표면 피복상태, 식생 피복상태 및 개발상황 등을 감안
 하여 결정하는 것으로 하나, 유역형태에 따른 유출계수는 <표 27>과 같다.

유출계수의 적용은 유역현황 및 설계빈도를 고려하고 일반적인 경우에는 중간 값
 으로 한다.

유역이 상이한 형태로 구성된 복합유역인 경우 면적을 가중인자로 한 가중평균 유
 출계수(weighted average runoff coefficient)의 산정식, <식 (96)>를 사용한다.

$$C = \frac{\sum A_i C_i}{\sum A_i} \quad (96)$$

여기서, C 는 가중평균 유출계수, A_i 는 상이한 유역형태별 면적, C_i 는 상이한
 유역형태별 유출계수이다.

표 27. 합리식에서의 유출계수

토지이용		C	토지이용			C	
상업 지역	도심지역	0.70 ~ 0.95	차도 및 보도			0.75 ~ 0.85	
	근린지역	0.50 ~ 0.70	지붕			0.75 ~ 0.95	
주거 지역	단독주택	0.30 ~ 0.50	잔디	사질토	평탄지	0.05 ~ 0.10	
	독립주택단지	0.40 ~ 0.60			평균	0.10 ~ 0.15	
	연립주택단지	0.60 ~ 0.75			경사지	0.15 ~ 0.20	
	교외지역	0.25 ~ 0.40		중토	평탄지	0.13 ~ 0.17	
	아파트	0.50 ~ 0.70			평균	0.18 ~ 0.22	
산업 지역	산제지역	0.50 ~ 0.80	농 경 지	나지	평탄지	0.25 ~ 0.35	
	밀집지역	0.60 ~ 0.90			탄한곳	0.30 ~ 0.60	
		거친곳		0.20 ~ 0.50			
공원, 묘역		0.10 ~ 0.25		경작지	사질토	작물있음	0.30 ~ 0.60
운동장		0.20 ~ 0.35				없음	0.20 ~ 0.50
철로		0.20 ~ 0.40			중토	작물있음	0.20 ~ 0.40
미개발지역		0.10 ~ 0.30				없음	0.10 ~ 0.25
도로	아스팔트	0.70 ~ 0.95		초지	사질토		0.15 ~ 0.45
	콘크리트	0.80 ~ 0.95			중토		0.05 ~ 0.25
	벽돌	0.70 ~ 0.85			산림지역		0.05 ~ 0.25

- ※ 1. 유출계수는 재현기간 5-10년에 적용되므로 재현기간이 이보다 길 경우 Ponce(1989, Engineering Hydrology)등의 보정그래프를 활용토록 한다.
2. 단독주택인 경우 미국의 주거사항과 한국의 주거사항이 같지 않으므로 유출 계수 추정시 주의를 요한다.
3. 산지의 경우 유출계수 추정시 현장조건을 감안한 판단이 필요하며, 유역면적이 작은 지역에서는 비교적 큰 유출계수를 사용하고 유역면적이 큰 지역에서는 비교적 적은 유출계수를 사용하여 홍수량이 과소 또는 과다 추정되지 않도록 유의한다.

(4) 유역의 강우도달시간

합리식을 이용하여 배수시설을 설계할 때 강우의 도달시간은 유역에서 가장 먼 곳에 내린 물입자가 유역 출구점(또는 설계지점)까지 도달하는데 걸리는 시간이다. 합리식에서는 강우도달시간동안 동일한 강우강도로 강우가 지속된 경우 첨두홍수량에 이르므로 강우도달시간을 강우지속시간으로 사용한다. 강우도달시간(T_c)는 다음과 같이 구하고 최소시간은 10분을 적용한다.

강우도달시간은 원칙적으로 강우가 유역에서 하도에 이르는 유입시간과 하도내의 유하시간의 합으로 산정하며 <식 (97)>와 같다.

$$T_c = T_1 + T_2 \quad (97)$$

여기서, T_c 는 강우도달시간(min), T_1 은 유역의 최원거리에서 수로에 유입하는데 걸리는 유입시간(min), T_2 는 수로속에서 유출량을 구하는 지점까지의 유하시간(min)이다.

유역의 도달시간을 결정하기 위해서는 유역의 특성에 따라 ① 하도흐름이 지배적인 경우, ② 지표면 흐름이 지배적인 경우, 그리고 ③ 하도와 지표면 흐름이 복합된 경우로 구분하여 결정한다.

① 하도흐름이 지배적인 경우

하도흐름이 지배적인 경우의 유역 도달시간은 Manning 공식 또는 Chezy 공식 등을 이용하여 하도길이를 유속으로 나눈으로써 쉽게 구할 수 있다.

② 지표면 흐름이 지배적인 경우

지표면 흐름이 지배적인 유역에서 도달시간은 주로 지표면의 지형학적 요소와 저항계수, 그리고 유역에 내리는 강우강도의 영향을 받는다. 이러한 흐름에 적용될수 있는 도달공식은 주로 자연하천 유역에서 Kraven 공식, Rziha 공식, SCS지체시간 공식등이 이용된다.

③ 하도와 지표면 흐름이 복합된 유역

하도와 지표면 흐름이 중요한 역할을 하는 유역에 적용될 수 있는 공식에는 Kirpich 공식, McCuen 등의 공식, Eagleson 공식 등이 있다.

(5) 유입시간(T_1)

유입시간은 배수구역의 가장 먼 지점에서 배수공 최상류단까지 강우가 유입되는 시간을 배수구역 특성에 따라 산정한다.

① 배수구역이 도시구역인 경우

가. Kerby 공식은 전유역에 걸쳐 홍수도달시간 변화율이 매우 큰 값을 나타내고 있고 ‘지면상태’를 가정함에 있어 특별한 주의가 요망되며 ‘유입시간의 표준치’와 비교, 검토하여 채택하여야 한다.



$$T_1 = 36.264 \left(\frac{L \cdot n_d}{\sqrt{s}} \right)^{0.467} \quad (\text{Kerby의 공식}) \quad (98)$$

여기서, T1 : 유입시간 (분)

L : 집수구역으로부터 가장 먼 지점까지 유로(流路)의 거리 (km)

s : 유역의 출구점과 주유로(注流路)를 따른 유역 종점과의 표고차 (H)를 유도거리로 나눈 (s = H/L) 집수구역의 평균 경사

nd : 지체계수 (Manning 공식의 조도계수와 유사함)

주) L가 0.4km이하인 도시유역, 유역면적 0.04km² 이하이고 하도 경사 1%이하인 유역에 적용

표 28. 지면상태에 따른 지체계수(nd)

지면 상태	nd의 값	적용
시멘트콘크리트, 아스팔트콘크리트 등	0.013	노반, 콘크리트블럭 뽑어붙이기, 콘크리트 매립장, 토취장
매끄러운 불침투면 (포장지역)	0.02	
매끄럽고 잘 다져진 땅	0.10	
약간의 풀이 있는 지역 적당한 거친 나대지	0.20	
거칠고 풀이 없는 지역	0.30	
목초지	0.40	
낙엽수림	0.60	
침엽수림, 조밀또는밀집하게 풀이자란 깊은낙엽수림	0.80	

나. 배수구역이 도시지역인 경우 유입시간은 장래의 토지이용계획, 유역상황 등을 고려하여 결정하는 것으로 하지만 <표 29>를 표준으로 하여도 좋다.

표 29. 유입시간의 표준값 (도시지역)

우리나라에서 일반적으로 사용되고 있는 유입시간		미국 토목 학회	
인구밀도가 큰 지역	5분	완전포장 및 하수도가 완비된 밀집 지구	5분
인구밀도가 적은 지역	10분		
간선오수관거	5분	비교적 경사도가 적은 발전지구	10 ~ 15분
지선오수관거	7 ~ 10분		
평균	7분	평지의 주택지구	20 ~ 30분

② 배수구역이 자연하천 유역인 경우

배수구역이 자연하천 유역에서의 유입시간은 장래의 토지이용계획, 유사구역의 상황 등을 고려하여 결정하는 것으로 하지만 <표 30>을 표준으로 하여도 좋다.

표 30. 유입시간의 표준값 (자연하천유역)

유역 구분	표준면적	유입시간
산지 유역	2km ²	30분
특히 급경사면 유역	2km ²	20분
하수도 정비 구역	2km ²	30분

(6) 유하시간(T2)

유하시간은 홍수가 배수시설물이나 하천을 유하 하는데 걸리는 시간을 배수구역의 특성에 따라 산정한다.

① 도시유역에서 유하시간

유하시간은 수로 구간마다의 거리와 계획유량에 대한 유속으로부터 구한 시간당 유하시간을 합계하여 구한다. 이를 위해서는 가상적인 수로의 배치와 크기가 필요하다.

이 배치와 크기는 평균유속이 0.8 ~ 3.0m/sec가 되도록 하며, 하류로 갈수록 경사는 완만하고 유속은 빠르며, 소류력(掃流力)을 크게 할 수 있도록 결정하되 몇번이고 계산을 반복하여 계획수로를 결정한다.

② 그리고 수로내의 유수를 등류(等流, uniform flow)로서 계획유량에 대응한 유속에 의해 산정하는 것을 원칙으로 한다. 그러나, 수로내의 유량 및 수위 등은 시간에 따라 변동하므로 계획유량에 대응한 유속보다 첨두유량의 이동속도를 사용하는 경우도 있다. 유하시간은 <식 (99)>와 같다.

$$T_2 = \frac{L}{\alpha \cdot V} \quad (99)$$

여기서, T2 : 유하시간(min),

L : 수로연장(m),

V : Manning 공식에 의한 평균유속(m/min)

α : 보정계수(<표 31>)

표 31. 홍수의 이동속도에 대한 보정계수(α)

단면 형상	수심(%)	보정계수(α)	비고
정사각형	80	1.25	Manning식을 이용하며, 횡유입이 없는 것으로 하여 수치계산을 한다.(n=일정)
	50	1.33	
	20	1.48	
원형	80	1.03	
	50	1.33	
	20	1.42	



③ 자연하천 유역에서 유하시간

자연하천 유역인 경우 유하시간 $T_2(\text{min})$ 는 다음과 같은 방법 등에 의하여 산정한다.

<방법 1> : Kraven(Ⅱ) 공식 (지표면 흐름이 지배적인 중하류 : 하상경사 1/200 이하)

$$T_2 = 0.444LS^{-0.515} \quad (100)$$

여기서, L : 유출량을 구하려고 하는 지점까지 유로길이(m)

S : 유로경사(H/L, m/m)

<방법 2> : Kraven(Ⅱ) 공식

$$T_2 = 16.667 \frac{L}{V} \quad (101)$$

$S > 1/100$: $V = 3.5 \text{m/sec}$, $1/100 \geq S \geq 1/200$: $V = 3.0 \text{m/sec}$,

$S < 1/200$: $V = 2.1 \text{m/sec}$

<방법 3> Rziha 공식(지표면 흐름이 지배적인 상류 : 하상경사 1/200 이상)

$$T_2 = 0.833LS^{-0.6} \quad (102)$$

여기서, L : 유출량을 구하려고 하는 지점까지 유로길이(km)

S : 유역의 평균경사(H/L, m/m)

<방법 4> California Culvert Practice (1942) 공식(산지 소유역)

$$T_2 = 56.87 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (103)$$

여기서, L : 최장 유로길이 (km)

H : 상류 분할점과 출구의 표고차 (H/L, m/m)

<방법 5> : 실측 수문자료를 분석하여 산정

3.3.2 설계홍수량 산정예

설계홍수량을 산정을 위하여 유역현황을 조사하고 1:5,000(1:1,000)축척의 지형도를 이용하여 유역경계를 결정하고 유역면적을 산출한다. 유역형태별 유출계수를 결정하여 평균유출계수를 산정한다. 구조물의 설계빈도를 결정하고 강우도달시간에 따른 확률강우강도를 산정하였다. 홍수량산정 유역은 저류효과가 적은 산지 소유역(4.0km² 이하)에 잘 맞는 것으로 알려진 합리식을 이용하여 설계홍수량을 산정한다.

(1) 설계빈도 : 100년 빈도

※ 설계빈도는 철도시설물의 중요도를 고려하여 결정하여야함. 특히, 최근 강우량이 증가하는 경향과 이상강우에 대비하여 빈도결정은 신중해야 한다.

(2) 유역현황 : <그림 60>유역현황도(S=1:5,000)와 같이 대부분이 산지이다.

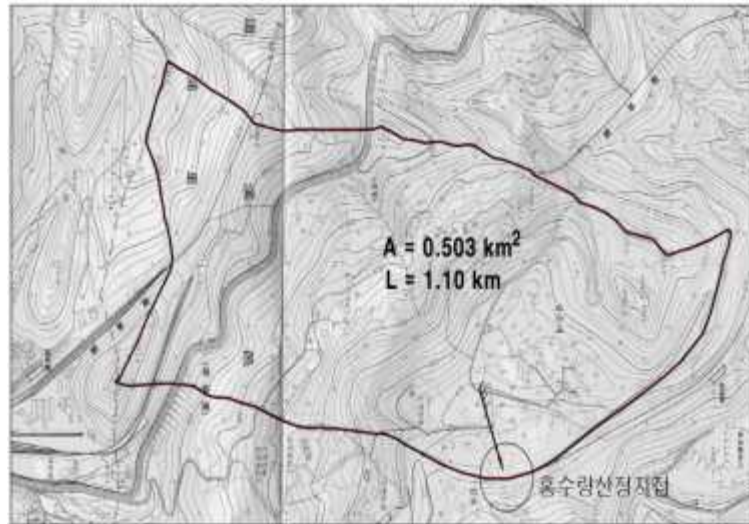


그림 60. 유역현황도

① 유역면적 : $A=0.503\text{km}^2$

표 32. 유역형태별 유역면적 및 유출계수

구분	유역면적(km ²)	유출계수	비고
산지	0.361	0.80	
밭	0.102	0.70	농촌주택포함
논	0.025	0.75	
철도노반	0.012	0.55	
계	0.503	0.77	

② 유로연장 : $L=1.10\text{km}$

③ 하상경사 : $S=0.209(\text{m/m})$

④ 평균유출계수 : $C=0.77$

$$C = \frac{\sum A_i C_i}{\sum A_i} = \frac{0.361 \times 0.8 + 0.102 \times 0.7 + 0.025 \times 0.75 + 0.012 \times 0.55}{0.503} = 0.77$$

(3) 강우도달시간 : 10분

산지의 자연유역으로 경사가 급한 하천유역으로 유하시간은 <식 (102)>과 <식 (103)>으로 산정하였으며 평균값은 5분이다.



Rziha 공식 :

$$T_2 = 0.833LS^{-0.6} = 0.833 \times 1.1 \times 0.209^{-0.6} = 2.34\text{min}$$

California Culvert Practice (1942) 공식 :

$$T_c = 56.87 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} = 56.87 \times \left(\frac{1.1^3}{230} \right)^{0.385} = 7.82\text{min}$$

합리식에서 강우도달시간은 유입시간과 유하시간의 합으로 유입시간을 고려하여 최소 강우도달 시간을 10분으로 하였다.

(4) 설계강우강도 결정

100년빈도-10분 강우강도는 앞에서 제시된 건설교통부(2000), 이원환(1993), 허준행(1999) 확률강우강도식으로 산정된 강우강도를 비교하여 큰 값을 적용하였다. 앞에서 제시된 확률강우강도식 이외의 자료는 [수자원관리기법개발연구조사 보고서(1999)]를 참고하여 구한다.

T는 재현기간 : 100년

t는 강우지속시간(강우도달시간) : 10분

- 확률강우강도식 (건설교통부, 2000)

유역에 가장 근접한 강릉지점에서 100년빈도의 계수값은 $a=98.1820$, $b=78.2095$, $c=0.1927$, $d=0.1525$, $n=-0.1758$ 이다.

- 확률강우강도식 (이원환, 1993)

$$I(T,t) = \frac{a+b \ln \frac{T}{t^n}}{c+d \ln \frac{\sqrt{T}}{t} + \sqrt{t}} = \frac{98.1820 + 78.2095 \times \ln \frac{100}{10^{-0.1758}}}{0.1927 + 0.1525 \times \ln \frac{\sqrt{100}}{10} + \sqrt{10}} = 146.05\text{mm/hr}$$

강릉지점에서 100년빈도의 계수값은 $a=165.06$, $b=293.41$, $c=3.021$, $n=0.495$ 이다.

$$I(T,t) = \frac{a+b \log_{10} T}{t^n + c} = \frac{165.06 + 293.41 \times \log_{10} 100}{10^{0.495} + 3.021} = 122.31\text{mm/hr}$$

- 확률강우강도식 (허준행, 1999)

강릉지점의 계수값은 $a=291.1$, $b=121.0$, $c=3.193$, $d=0.461$ 이다.

$$I(T,t) = \frac{a+b \ln \frac{T}{t^{0.2}}}{c+d \ln \frac{\sqrt{T}}{t} + \sqrt{t}} = \frac{291.1 + 121.0 \times \ln \frac{100}{10^{0.2}}}{3.193 + 0.461 \times \ln \frac{\sqrt{100}}{10} + \sqrt{10}} = 124.72\text{mm/hr}$$

- 유역에서 가장 가까운 지점의 100년빈도-10분지속시간 강우강도를 3가지 방법으로 구한 값을 비교하였다. 유역의 설계강우강도는 가장 큰 값인 146.05mm/hr이다.

설계홍수량은 <식 (95)>의 합리식으로 산정하였다.

$$Q_p = 0.2778 CIA = 0.2778 \times 0.77 \times 0.503 \times 146.05 = 15.72\text{m}^3/\text{sec}$$

3.4 유속 및 경사

3.4.1 평균유속

- (1) 개수로나 관수로의 평균유속은 많은 공식들이 제안되고 있으나, 비교적 계산이 간단하고 신뢰할 수 있는 Manning의 공식은 <식 (104)>와 같다.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (104)$$

여기서, V : 평균유속(m/sec)

n : 조도계수(<표 25> 참고)

R : 동수반경(m)

A : 단면적(m²)

S : 수로의 경사(m/m)

- (2) 복합단면수로 <그림 61>에서는 윤변이 상이한 재료로 되어 있거나 각 부의 조도가 다를 경우에는 평균치로서 등가조도를 계산하여 사용한다. 통수단면을 윤변의 국부적 조도크기에 따라 N의 소구간으로 나누고 이들 소구간의 윤변을 $P_1, P_2, \dots, P_N$ 그리고 조도계수를 $n_1, n_2, \dots, n_N$ 이라 할 때 등가조도 n_e 는 <식 (105)>과 같다.

$$n_e = \left(\frac{\sum_{i=1}^N P_i n_i^{1.5}}{P} \right)^{2/3} \quad (105)$$

여기서, P는 윤변의 총 길이이다.

한편 각 소구간에서의 흐름에 저항하는 마찰력의 합이 전단면에서 생기는 마찰력과 같다고 가정하면 등가조도는 <식 (106)>와 같다.

$$n_e = \left(\frac{\sum_{i=1}^N P_i n_i^2}{P} \right)^{1/2} \quad (106)$$

복단면 혹은 복합단면수로의 등가조도는 <식 (105)> 또는 <식 (106)>으로 계산하는 것이 적합하다.

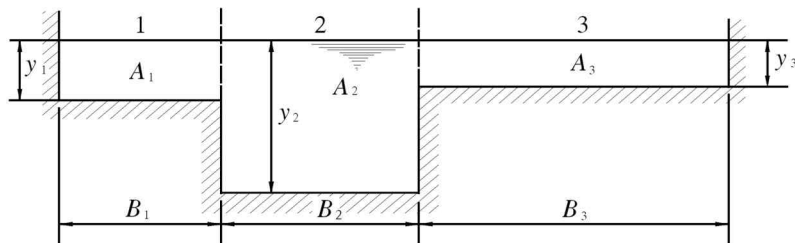


그림 61. 복합단면수로



(3) 조도계수(n)는 흐름에 대한 수로의 저항 정도를 나타낸다. 유속 및 유량계산에서 적절한 조도계수의 선정은 매우 중요하다. 정확한 조도계수의 산정 또는 추정을 위해서는 조도계수에 영향을 미치는 인자를 파악할 필요가 있으며, 영향 인자는 다음과 같다.

- ① 하상표면의 조도 : 하상구성물질이 클수록 큰 조도계수 적용
- ② 식생 : 식생의 종류, 크기, 밀도, 분포에 따라 조도계수에 큰 영향을 미침
- ③ 하도의 불규칙성 : 횡단면의 변화가 클수록 큰 조도계수 적용
- ④ 장애물 : 쓰러진 나무나 토석류 등이 존재하면 큰 조도계수 적용
- ⑤ 하도의 형상 : 만곡이 심하면 큰 조도계수 적용
- ⑥ 퇴적 및 세굴 : 퇴적과 세굴이 활발한 하상은 큰 조도계수 적용
- ⑦ 수위와 유량 : 수위와 유량이 커지면 일반적으로 작은 조도계수 적용

<표 33>은 수로상태에 따른 조도계수이다.

표 33. Manning의 조도계수 n값

수로 상태				조도계수 n값
관수로	콘크리트 원형관			0.012 ~ 0.015
	강관			0.011
	강관(무도장)			0.013
	주철관			0.011 ~ 0.015
	콘크리트 매끄러운 표면처리			0.012 ~ 0.014
	콘크리트 거친 표면			0.015 ~ 0.017
	아스팔트 라이닝			0.012 ~ 0.015
	주름형 금속관(보통)			0.022 ~ 0.026
	주름형 금속관(포장된 인버트)			0.018 ~ 0.022
	플라스틱관(매끄러운 표면)			0.011 ~ 0.015
개수로	인공수로	콘크리트	표면처리 없음	0.013 ~ 0.017
			표면처리	0.012 ~ 0.015
			바닥에 자갈산재	0.015 ~ 0.017
			파형단면	0.018 ~ 0.022
		콘크리트 바닥, 측벽이	일정규격 돌 메붙임	0.015 ~ 0.017
			불규칙 돌 메붙임	0.017 ~ 0.020
			석축 모르타르 쌓기	0.020 ~ 0.025
			석축 모르타르 마무리	0.016 ~ 0.020
			사석쌓기	0.020 ~ 0.030
		세립모래질 바닥 측벽이	콘크리트 측벽	0.017 ~ 0.020
			불규칙 돌 메붙임	0.020 ~ 0.023
			사석쌓기	0.023 ~ 0.033
		나선형 반관 수로		0.021 ~ 0.030
		아스팔트 수로		0.013 ~ 0.017
		벽돌 수로		0.012 ~ 0.018
		암석 절취구간으로 콘크리트 라이닝	단면 양호	0.017 ~ 0.020
			단면 불규칙	0.022 ~ 0.027
		수로(급경사)		0.013
	자연하천	평야의 소하천, 잡초 없음		0.025 ~ 0.033
		평야의 소하천, 잡초와 관목(灌木) 있음		0.030 ~ 0.040
		평야의 소하천, 잡초 많음, 잔자갈 하상		0.040 ~ 0.055
		산지하천, 골재, 호박돌		0.030 ~ 0.050
		산지하천, 호박돌, 큰호박돌		0.040 ~ 0.070
		큰하천, 점토, 사질하상, 사행(蛇行)이 적음		0.018 ~ 0.035
		큰하천, 자갈 하상		0.025 ~ 0.040



표 33. Manning의 조도계수 n 값(계속)

◎ 정비된 수로(직선수로)

구분	수로상태	조도계수 n 값
토사수로이며 일정단면이 최상의 상태유지	최근 완성, 수로 상태 양호	0.016 ~ 0.018
	오래되었으며, 상태 양호	0.018 ~ 0.020
	몇몇의 수목과 작은 키의 풀이 있음	0.022 ~ 0.027
	균일한 단면에 자갈이 산재, 상태 양호	0.022 ~ 0.025
토사수로이며 일정단면 양호	식생이 없음	0.022 ~ 0.025
	잔디와 약간의 수목	0.025 ~ 0.030
	수목이 우거지거나 수생식물이 번식	0.030 ~ 0.035
	측벽이 깨끗하고 바닥은 자갈	0.025 ~ 0.030
	측벽이 깨끗하고 바닥에 조약돌	0.030 ~ 0.040
준설된 상태	식생이 없음	0.028 ~ 0.033
	초목을 잘라냄	0.035 ~ 0.050
암	설계상태(인공) 단면	0.035
	자연상태 단면, 완만하고 균일	0.035 ~ 0.040
	자연상태 단면, 불규칙	0.040 ~ 0.045
유지보수하지 않음, 수목 방치	수목이 우거지고 수심만큼 자람	0.080 ~ 0.120
	바닥이 깨끗하고 측벽 풀베기	0.050 ~ 0.080
	수목이 방치되었으며, 수심이 낮은 상태	0.070 ~ 0.110
	수로에 수목과 덩불이 우거짐	0.100 ~ 0.140

표 33. Manning의 조도계수 n값(계속)

◎ 자연수로

구분	수로상태	조도계수 n값
상당히 불규칙한 단면	약간의 수림과 풀베기가 거의 없음	0.030 ~ 0.035
	수림이 우거지고 수심이 초목보다 높음	0.035 ~ 0.050
	약간의 수목, 짧게 풀베기 실시	0.035 ~ 0.050
	약간의 수목, 제방은 가벼운 풀베기 실시	0.050 ~ 0.070
	약간의 수목, 제방에 버드나무가 심하게 자람	0.060 ~ 0.080
	수목이 심하게 자라 유로가 침식된 상태	0.100 ~ 0.200
수로가 움푹 패여 불규칙하고 구불구불한 하천	약간의 수림과 풀베기가 거의 없음	0.040 ~ 0.055
	수림이 우거지고 수심이 초목보다 높음	0.045 ~ 0.070
	약간의 수목, 짧게 풀베기 실시	0.045 ~ 0.070
	약간의 수목, 제방은 가벼운 풀베기 실시	0.060 ~ 0.090
	약간의 수목, 제방에 버드나무가 심하게 자람	0.070 ~ 0.100
	수목이 심하게 자라 유로가 침식된 상태	0.110 ~ 0.220
초목이 제거된 계곡부로 급경사 하천	수로바닥에 자갈, 조약돌과 약간 큰 돌이 있음	0.040 ~ 0.050
	수로바닥에 조약돌과 매우 큰 돌이 있음	0.050 ~ 0.070
정비없이 건설후 시간이 지난 하천	짧은 풀이 자람	0.030 ~ 0.035
	키가 큰 풀이 자람	0.035 ~ 0.050
경작지대	수로에 경작이 없음	0.030 ~ 0.040
	경작물이 균일하게 자라고 있음	0.035 ~ 0.045
	경사지역도 경작	0.040 ~ 0.050
중간 정도 정비	겨울	0.050 ~ 0.060
	여름	0.060 ~ 0.080
가볍게 정비, 수목이 있음	겨울	0.070 ~ 0.110
	여름	0.100 ~ 0.160
나무 그루터기를 제거하여 토지가 깨끗한 상태	새싹이 보이지 않음	0.040 ~ 0.050
	싹이 돌아나 무성히 자람	0.060 ~ 0.200
쓰러진 나무가 조금 있으나 성장에는 지장이 없음	나무가지 아래로 물이 흐름	0.100 ~ 0.120
	나무가지까지 수위 상승	0.120 ~ 0.160
잡초가 우거지고 부분적으로 정비된 하천		0.050 ~ 0.070
버드나무가 우거져 있으나 물살에 의해 구부러진 흔적이 없음		0.150 ~ 0.200



(4) 수로경사

- ① 노반상면배수 및 횡단배수 경사는 0.2% ~ 3.0%를 기준으로 하나, 토사의 침전과 마모 등을 방지하기 위하여 평균유속이 0.8 ~ 3.0m/sec의 범위가 되도록 설계한다. 최대 유량 기준으로 단면을 결정하는 소규모유역에서는 관내 유속을 3.5m/sec 정도로 할 수 있다.
- ② 정거장의 선로 및 분기기의 배수는 정거장의 평면의 넓이와 길이를 고려하여 최소 경사를 0.2% 그리고 정거장에서 지하배수관 및 집수정으로 이루어진 하나의 관망이 최소경사 0.25%를 기준으로 한다.
- ③ 지하배수관 내의 평균유속은 Manning식으로 구하며, 최소경사는 <표 34>를 적용하되 가능한 한 0.3 ~ 3.0m/sec가 되도록 한다.

표 34. 지하배수관의 최소경사

관의 종류	최소경사
콘크리트 필터관	0.25%
내벽에 물결모양을 한 석기관 및 플라스틱관	0.20%
내벽이 매끄러운 플라스틱관	0.15%

- ④ 토사의 유출이 많은 지역 또는 시공 후 청소하기가 곤란한 배수로로 경사가 완만한 경우에는 토사의 침전시설을 많이 설치해서 토사가 흘러 내려가는 것을 방지하도록 설계한다.
- ⑤ 수로의 경사가 지형 조건 등에 의하여 급하게 되어, 유속이 규정치를 상회할 경우에는 수로단면을 충분히 안전하게 하든가 배수시설의 재질이나 품목을 바꾸어서 조도계수나 경심을 변경해서 안전한 수로가 되게 설계해야 한다.
- ⑥ 최종 선택된 배수로 및 배수관의 유출유속을 계산하여 하류부에 세굴의 위험이 없는지 검사하고 유속이 2.5m/sec를 초과하면 세굴방지를 위한 하류 보호공(콘크리트피복, 감쇄수로, 감쇄공 등)의 설치를 검토한다.

3.5 설계 통수단면

배수 시설물은 설계 홍수량을 통과시킬 수 있는 충분한 통수단면이 확보되도록 설계하여야 한다.

3.5.1 통수유량

통수유량은 평균유속과 통수단면적의 곱으로 <식 (107)>과 같다.

$$Q = A \cdot V \quad (107)$$

여기서, Q는 통수유량(m³/sec),

A는 통수단면적(m²),

V는 평균유속(m/sec)이다.

3.5.2 설계 통수량

토사 등의 퇴적에 의한 단면축소와 유지관리의 효율성을 고려하여 설치 위치 및 종류에 따라 설계통수량을 산정한다.

(1) 배수관, 수로암거(박스형)

- ① 일반적인 경우 : 최대통수량의 80%
- ② 현장여건상 경사 0.2% 이하 또는 유속 0.6m/sec 이하 : 최대통수량의 70%
- ③ 경지 정리된 논경작지, 거주지, 도심지 등 : 최대통수량의 70%

(2) 선로간 배수관, 선로 횡단배수관 : 최대통수량의 75%

(3) 노반상면 배수의 선로 측구, 비탈면 배수의 비탈끝 배수, 도수로 및 기타시설

- ① 일반적인 경우 : 최대통수량의 80%
- ② 현장여건상 경사 0.2% 이하 또는 유속 0.6m/sec이하 : 최대통수량의 70%
- ③ 경지 정리된 논경작지, 거주지, 도심지 등 : 최대통수량의 70%

(4) 지하배수관의 소요 통수단면

배수관의 소요 통수단면적은 <식 (108)>로 구한다.

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{F.S. \cdot qL}{V} \quad (108)$$

여기서, Q : 통수유량(m³/sec)

q : 배수관 1m당의 배수량(m³/sec/m)

L : 유공배수관의 길이(m)

V : 배수관 내의 평균 유속(m/sec)

F.S. : 안전율은 보통 3으로 한다.

4. 배수시설의 설계

4.1 개요

철도의 배수시설은 표면 배수, 지하 배수, 횡단 배수 및 정거장 배수로 구분한다.

철도선로의 배수시설에서 집수한 물은 직접 혹은 배수설비를 통하여 배수로로 유출된다. 배수로로는 지하수, 하천 혹은 하수도망을 들 수 있으며, 배수설비에는 배수구, 배수관 및 집수설비(infiltration system) 등이 있다.

4.1.1 배수구

배수구는 앞절에서 기술한 노반상면 배수시설의 설계에 따라 조성하며, 항상 물이 흐르는 상태에서 배수구의 횡단면을 산정하여야 한다.

배수구가 선로시설과 평행으로 설치된 경우에는, 배수구의 최고수위는 선로상부면 아래 1.5m 이하에 있어야 한다.



4.1.2 배수관

배수관은 앞절에서 기술한 내용에 따라 관수로 설치하여야 한다. 수직갱(shaft)에서 배수관으로 물을 유도하며, 수직갱이 필요한 경우에는 하나의 시험정을 행할 수 있다.

유도갱(transfer shaft)에서는 필터 및 배수층을 설치하여야 한다.

4.1.3 집수설비

집수된 물은 집수설비를 통하여 자연적인 하천 흐름으로 되돌려 보내야 한다. 이에 대한 전제조건으로는 침투성 및 투수성이 있는 지반이 상응하는 깊이 및 두께로 인접해 있어야 한다. 아주 많은 유량이 침투할 경우에는 지반의 충분한 침투성이 입증되어야 한다.

오염되었거나 진흙투성이가 된 물이 침투되어서는 안 되며, 이러한 물은 정화되어야 한다.

집수설비로는 트렌치관, 침투수로 및 침투 보링 구멍 혹은 침투수조 등을 축조할 수 있다.

(1) 트렌치관

트렌치관은 선로측구이다. 선로 측구의 저부는 적합한 투수성이 있는 지반위에 놓여지고, 이로 인해 집수된 물의 침투를 가능하게 하여야 한다.

(2) 침투수로

침투수로는 투수층의 두께가 2.0m이하일 경우에 선로측구 아래 혹은 중간배수시설로 설치한다.<그림 62> 참조) 필터 및 배수재료는 토목섬유가 적용된다.

물의 유입이 없을 경우 물이 가득찬 지하배수 혹은 농업용의 깊은 도랑은 침투수로로 작용한다. 그리고 집수되었거나 혹은 계속 유도되는 물은 자연적인 수자원경영으로 되돌려 보내야 한다.

4.1.4 침투보링구멍

침투보링구멍 및 침투수직갱은 깊은 심도에 있는 투수층 지반의 점상의 물을 집수한다. 따라서 그들의 능률은 한계가 있다.

침투보링구멍은 <그림 62>과 유사하게 설치하고 그리고 직경이 최소한 0.4m에 달해야 한다. 침투수직갱은 <그림 63>과 같이 조성한다.

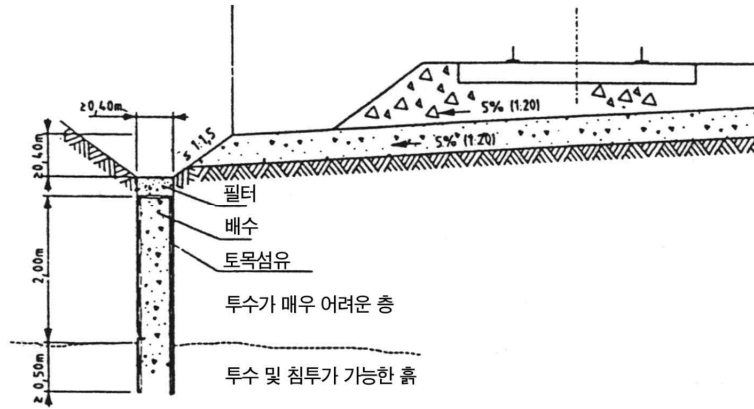


그림 62. 침투수로

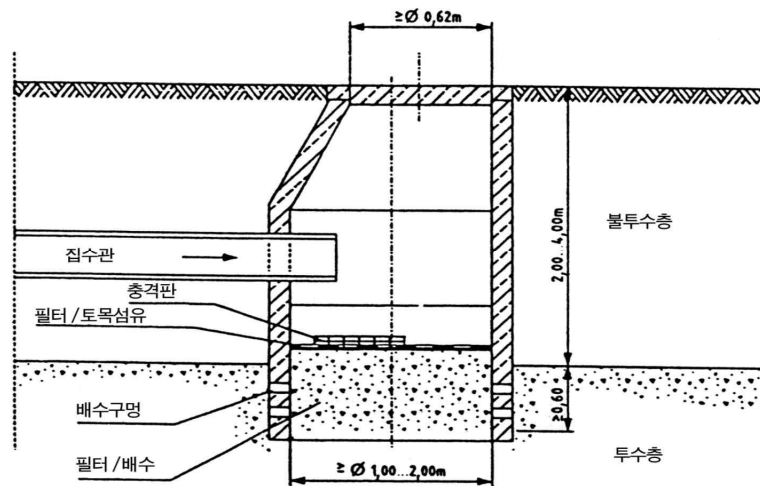


그림 63. 침투수직갱

4.1.5 침투수조

침투수조 및 증발수조는 유입되는 물이 거의 없는 평평한 지역에 주로 설치한다. 이 수조들은 저부에 필터를 사용하거나 혹은 침전조와 연결한 트인 분지수조로 설치한다. 선로에서 이 수조들의 간격은 최소한 5.0m에 달해야 한다.

4.2 노반상면 배수시설의 설계

4.2.1 쌓기 구간의 노반 배수

(1) 선로측구 배수

노반상의 표면수를 배수하기 위하여 강화노반의 경우 및 비탈어깨 부근에 배수를 저해하는 케이블 덕트 등이 있는 흙노반의 경우에는 <그림 64>와 같이 선로 측구를 설치한다.

- ① 강화노반은 시간당 유출량이 많으므로 표면수를 직접 비탈면으로 유출시키면 비탈면이 침식되어 붕괴우려가 있으므로 노반 양측에 선로 측구를 설치한다.



- ② 흙 노반일 경우는 선로측구를 설치하며 노반어깨 부근에 케이블 덕트나 방음벽 등을 설치할 경우는 반드시 선로 측구를 설치해야 한다.
- ③ 본선수로 콘크리트 및 지축수로 콘크리트, U형 측구 등으로 설계하며 유출수가 많은 경우에는 개천내기수로 콘크리트로 한다.
- ④ 선로측구를 설치할 때에는 반드시 노반 배수공을 고려한다.

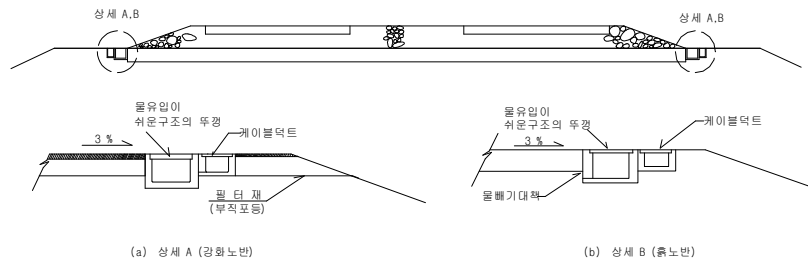


그림 64. 선로측구의 예

(2) 측구의 종류와 적용

- ① 측구(side ditch)의 종류는 토사측구, U형, V형 측구 등이 있으며, 지형, 배수량, 경제성, 내구성, 유지관리 효율성 등을 고려하여 조건에 적합한 형태와 크기를 결정하고, 측구의 기울기가 급하거나 세굴될 가능성이 많은 곳, 영농에 지장을 초래하는 구간 등에 대해서는 콘크리트 (L형, U형, V형)을 우선 검토한다.

② 토사측구(toe ditch)

평지, 구릉지 등 용지 확보가 유리한 구간에 설치하여 선로배수를 자연 배수가 되도록 하며, 토사 등의 퇴적을 고려하여 단면의 20%까지는 여유 있게 설계한다.

③ U형 측구(U-ditch)

노반상면 배수나 인접지역 배수 등에서 유량이 많은 곳에는 <그림 65>과 같이 U형 측구를 지형여건을 감안하여 설치한다.

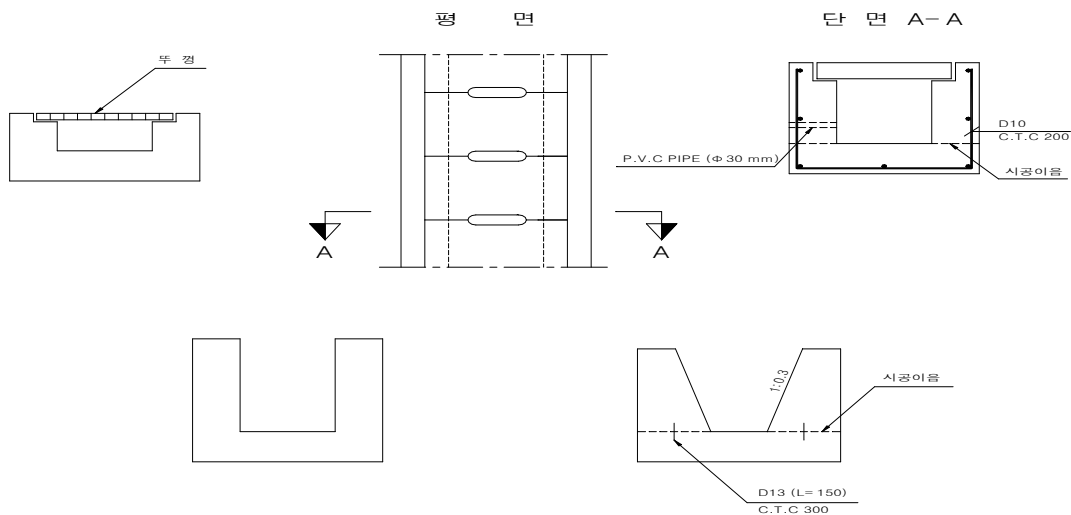


그림 65. 형식별 U형 측구

④ V형 측구(lined concrete toe ditch)

쌓기 비탈면에 설치하여 노반 표면수를 자연수로에 연결시키며, L형 측구와 토사 측구의 연결 부근이나 깎기 및 쌓기 비탈면에 단차가 커서 침식될 가능성이 많은 곳에 설치한다.

(3) 선로간 배수

노반의 표면 조건과 선로 중심간격이 넓은 경우에는 선로측구 만으로 배수가 곤란하기 때문에 <그림 66>과 같이 선로간 배수구를 설치한다.

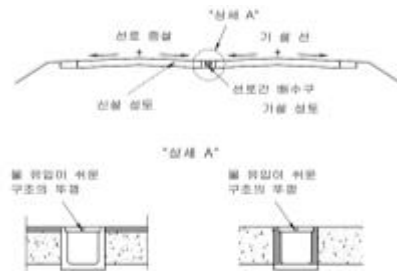
- ① 복선 이상의 구간에서는 복선을 1단위로 해서 설치한다.
- ② 시공기면에 단차가 있는 구간에서는 단차 하측에 설치한다.
- ③ 쌓기구간에 선로를 증설하는 등 노반 표면의 횡단구배가 오목하게 되는 구간은 오목한 장소에 설치한다.
- ④ 선로간 배수구는 지형여건에 따라 선로횡단 배수를 설치하여 종단배수로에 연결한다.



(a) 복복선의 경우



(b) 복선이상에서 시공기면에 단차가 있는 경우



(c) 노반표면의 횡단구배가 오목한 경우

그림 66. 선로간 배수구의 예

(4) 도수로

- ① 노반 또는 선로간 배수구로 흐르는 물을 배수하기 위하여 비탈면 도수로를 설치한다.
- ② 비탈면 도수로는 유량이 노반 또는 선로간 배수구 허용 통수량과 같게 되는 곳, 노반 또는 선로간 배수구의 종단 최요부(最凹部), 교량 고가 구간 및 연약지반, 높은 흙쌓기 구간에서 장차 흙쌓기의 침하에 의해 노반 배수에 지장이 있는 곳에 설치하며 설계는 지형, 비탈면의 상태, 연결되는 배수시설(선로간 배수구의 집수정 등의 위치)을 고려해서 가장 효과적인 위치에 설치해야 한다.



- ③ 비탈 배수구로 집수한 물은 50m에 1개소 정도 도수로를 설치하여 선로측구에 떨어뜨리도록 한다. 이 경우 도수로는 확일적으로 50m에 1개소 정도 설치하는 것은 아니고 주위의 지형 등을 감안하여 결정할 필요가 있으며, 소단배수구 연장이 100m를 넘을 때는 유량계산에 의해 도수로의 위치를 결정하나 최대간격은 100m를 한도로 한다.

$$S = \frac{3.6 \times 10^6 \times Q}{C \times I \times W} \quad (109)$$

여기서, S : **쌓기부** 도수로의 간격 (m)

Q : 선로측구의 허용 통수량 (m/sec)

(Manning 공식으로 계산한 최대 통수량의 80%)

C : 유출계수

I : 설계강우강도 (mm/hr)

W : 집수폭 (m)

- ④ 노반에 흐르는 물을 모아서 비탈면 도수로에 흘러 들어가게 하는 유입구(집수구)를 설치한다.

4.2.2 **깎기**구간의 노반배수

- (1) 본선 및 지축 땅깎기구간의 노반에 흐르는 물을 배수하기 위해 본선수로 및 지축수로 집수정, 횡단하수, 횡단구교 등을 설치한다.
- (2) 논바닥을 깎거나 노면이 얇아 지하수가 침투할 개소는 본선수로 및 지축수로로 깊게하여 노반의 수두를 낮추도록 설계한다.
- (3) 장대터널 및 용수가 많은 터널 전후 본선깎기구간은 유량에 따라 본선수로 단면이 부족할 경우 개천내기 수로로 설계한다.
- (4) 본선깎기의 연장이 긴 구간일 경우 본선수로와 비탈면수로가 접속하는 개소 또는 횡단하수와 횡단구교가 접속하는 개소, 본선수로와 개천내기수로와 접속하는 개소 등에는 **유량 계산을 통해 결정한 크기와 깊이의 집수정을 설계한다.**
- (5) 집수정의 간격은 청소와 유지관리를 고려할 때 최대 50m정도, 시공성을 고려할 때 최소 5m정도가 바람직하나 계산결과 집수정 간격이 최소값 이하인 경우 길어깨에 설치된 측구의 형태를 재검토해야 한다.
- (6) **집수정의 위치 및 간격 결정은 KDS 44 40 05(4.2.2)를 따른다.**
- (7) 복선철도의 선로간 종배수로를 설치할 경우는 횡단하수 및 횡단구교와 연결하여 배수가 잘 되도록 설계한다.
- (8) 깎기 옹벽이 필요한 개소는 본선수로의 깎기쪽면을 옹벽으로 <그림 67> 깎기 옹벽 및 수로와 같이 설계한다.

- (9) 땅깍기구간 본선수로 및 지축수로의 표준단면은 <그림 68>의 수로단면을 기준으로 설계한다. 이 단면 바닥폭 0.6m보다 더 넓게 할 경우는 개천내기수로로 설계한다.
- (10) 비탈 배수구, 산마루 측구와 안전울타리하부와의 교차지점 배수로에 나뭇가지 등 지장물이 걸리지 않고 야생동물 침입을 방지할 수 있는 시설로 설치해야 한다.
- (11) 비탈 배수구 및 산마루 측구의 입구는 나뭇가지, 풀 등으로 인하여 배수관 처짐이 발생하지 않도록 50cm이상 콘크리트 타설을 해야 한다.
- (12) 비탈 배수구 및 산마루 측구의 수로관의 꺾임 구간에는 집수정을 설치해야 한다.
비탈 배수구 및 산마루 측구의 수로관의 재질은 용기, 들뜸, 뒤틀림이 발생하지 않는 재질을 사용해야 한다.

※ 고속선 필수 안전시설 설치기준(안) 참조내용

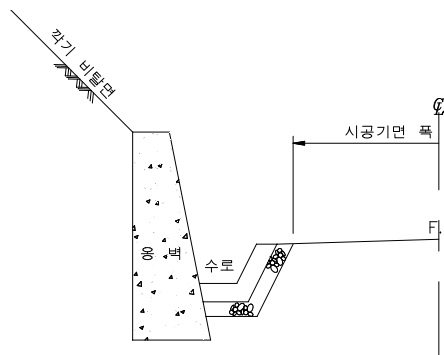


그림 67. 깍기 용벽구간과 수로

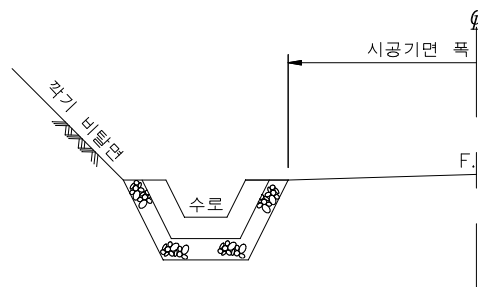


그림 68. 본선 및 지축수로 표준단면

4.2.3 선로측구 설계검토 예

선로측구 규모를 산정은 <그림 69>와 같은 절차로 수행한다.

- (1) 선로측구로 유입되는 유역은 대부분 소유역이므로 설계 홍수량 $Q_p(m^3/sec)$ 는 해설 1에서 제시된 합리식으로 계산한다.
- (2) 설계홍수량을 배제할 수 있는 설계 통수량 $Q_d(m^3/sec)$ 를 갖는 선로측구의 통수단면적 $A(m^2)$ 는 <식 (107)>와 같은 연속방정식으로 산정한다.
 - ① 노반과 주변지형을 고려하여 선로측구의 형식과 단면을 가정한다.
 - ② 선로측구의 평균유속은 <식 (104)>와 같이 Manning공식으로 계산한다.



- ③ 평균유속과 측구단면적을 곱하여 측구의 최대통수량을 계산한다.
- ④ 최대통수량에 여유율(일반적으로 80%)을 곱하여 설계 통수량 $Q(\text{m}^3/\text{sec})$ 을 결정한다.
- (3) 설계 통수량 $Q_d(\text{m}^3/\text{sec})$ 이 설계 홍수량 $Q_p(\text{m}^3/\text{sec})$ 보다 작은 경우 단면을 다시 가정하여 설계 통수량을 재산정하여야하며, 설계 통수량 $Q(\text{m}^3/\text{sec})$ 이 설계홍수량 $Q_d(\text{m}^3/\text{sec})$ 보다 큰 경우 1)에서 가정된 단면을 선로측구 단면으로 결정한다.

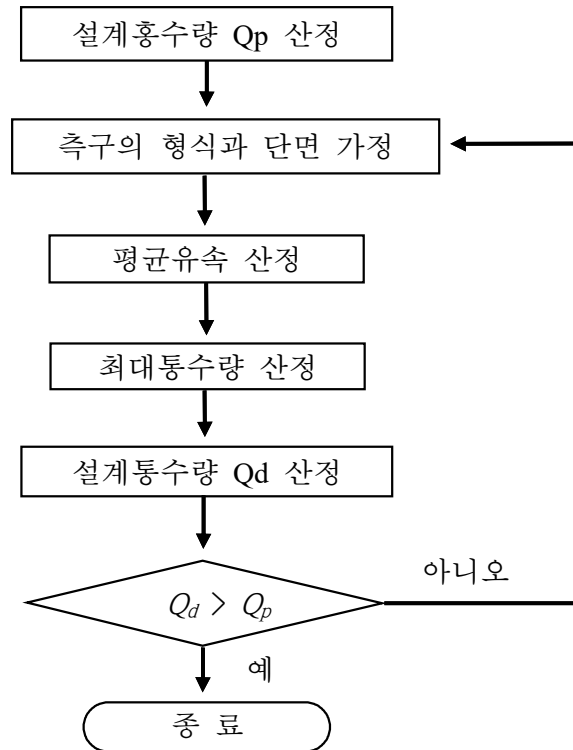


그림 69. 선로측구 단면 결정 흐름도

- (4) 설계조건으로 10년빈도 설계홍수량 $Q_p = 0.440\text{m}^3/\text{sec}$ 인 경우 선로측구의 단면은 다음과 같다.
- (5) 선로측구의 재질은 콘크리트 수로이고 단면은 <그림 69>과 같이 가정하였다.
- (6) 선로측구의 조건과 평균유속은 다음과 같다.

조도계수 : $n = 0.014$ (<표 33> 참조)

경사 : $S = 0.5\% = 0.005\text{m/m}$

단면적 : $A = \frac{0.8+0.5}{2} \times 0.5 = 0.325\text{m}^2$

윤변 : $P = (\sqrt{0.5^2 + 0.15^2} \times 2) + 0.5 = 1.544\text{m}$

동수반경 : $R = \frac{A}{P} = \frac{0.325}{1.544} = 0.210\text{m}$

평균유속 : $V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} = \frac{1}{0.014} \times 0.210^{2/3} \times 0.005^{1/2} = 1.784\text{m/sec}$

- (7) 선로측구의 최대통수량 $Q(\text{m}^3/\text{sec})$ 는 <식 (107)>과 같은 연속방정식으로 구한다.

최대통수량 : $Q = AV = 0.325 \times 1.784 = 0.580 \text{m}^3/\text{sec}$

- (8) 노반상면 배수의 선로 측구의 설계통수량은 일반적으로 최대통수량의 80%이다.

설계통수량 : $Q_d = Q \times 0.8 = 0.58 \times 0.8 = 0.464 \text{m}^3/\text{sec}$

- (9) 설계통수량 $Q_d = 0.464 \text{m}^3/\text{sec}$ 이므로 설계홍수량 $Q_p = 0.440 \text{m}^3/\text{sec}$ 이므로 선로측구의 단면은 적정하다.

$Q_d = 0.464 \text{m}^3/\text{sec} > Q_p = 0.440 \text{m}^3/\text{sec}$ 이므로 O.K

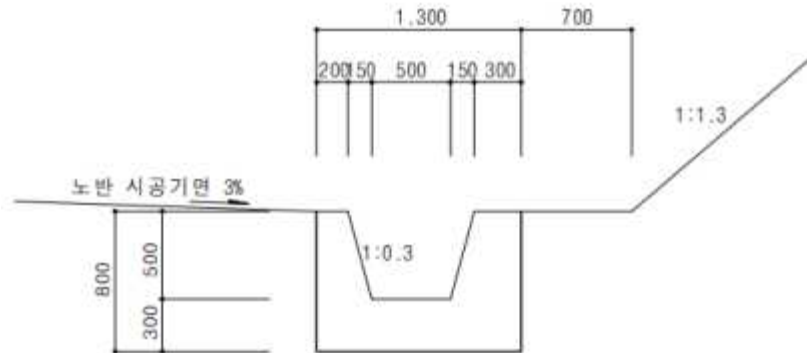


그림 70. 선로측구 단면도(예)

4.2.4 건널목 배수시설의 설계

(1) 기능

건널목의 배수를 통하여 건널목 범위에서 노상토의 포화 및 상부구조의 분니(噴泥) 현상을 방지한다.

(2) 집수 및 유도

도로의 유무에 의존함이 없이 지표면 및 지하에서 유입되는 물을 철도선로의 배수 시설을 통하여 집수하고 그리고 계속 유도한다. 도로의 표면으로부터 유입되는 물은 특히 선로시설에 도달하기 전에서 집수하고 유도해야 한다.

도로로부터 빈번히 흘러드는 진흙탕 물은 도상의 분니현상과 그리고 추가적으로 노상토가 포화 되는 것을 방지하기 위해 건널목 및 도상에 유입되어서는 안 된다.

(3) 선로측구 및 추가적인 지하배수

건널목은 일반적으로 인접한 선로시설과 함께 배수되어야 한다. 보호층과 지하배수는 건널목 아래에서 계속 설치해야 한다.

선로측구는 도로 아래에서 암거를 이용하여 계속 설치해야 한다. 선로측구에서 흘러나오는 물은 도로측구와 연결되거나 또는 집수설비와 같은 하수로로 유도하여야 한다.

건널목 범위에서 선로의 옆과 그리고 선로들 사이에 추가적인 지하배수를 설치하여 추가적인 포화를 방지할 수 있다.



지하배수의 짧은 지하배수관에서 흘러나오는 물은 횡단구교를 사용하여 배수시설로 유도하거나 혹은 집수설비와 같은 배수로로 유도하여야 한다.

(4) 도로의 배수

도로나 혹은 소로의 표면수는

- ① 도로의 하나의 짧은 반대 비탈면에 의해
- ② 도로의 횡으로된 오목한 곳을 통해 또는
- ③ 하나의 선형배수의 유입구 요소를 통해

집수설비와 같은 배수로로 유도하여야 한다. 이 경우 집수된 물은 하나의 지하배수로로 유입되어서는 안 된다.

4.3 비탈면 및 선로 인접지 배수시설의 설계

- (1) 비탈어깨 및 길내기배수 등 철도 인접지역의 배수를 하기 위해 배수구, 집수정, 관거등을 설치하며 설계는 현지 상황을 조사하여 설치한다.
- (2) 측구 및 선로인접지역의 배수처리를 하기 위해 선로를 횡단하는 배수관은 점검 및 청소가 가능하도록 $\phi 1,000\text{mm}$ 이상으로 설치하거나 횡단구교 또는 개천내기 등으로 설계한다.
- (3) 배수로 유출구가 경작지 등으로 연결되는 경우, 하수도나 하천으로 연결되는 경우에는 배수로의 관리주체와 사전 협의를 하여 다른 시설에 지장이 없도록 구조를 결정한다.

4.3.1 비탈어깨 및 비탈면끝 배수

(1) 비탈어깨 배수

- ① **꺾기부** 산마루 인접지에서 자연 경사면의 표면수가 흘러 들어가 비탈면이 씻기거나 붕괴의 원인이 될 수 있으므로 비탈면끝에서 2m정도 떨어진 지점에 U자 홈 등의 산마루 측구를 설치한다.
- ② 산마루 측구의 설치길이는 지형조건에 따라 결정한다. 만약, 자연 경사면이 비탈면과 반대방향이거나 종단방향과 같은 경우에는 산마루 측구를 설치하지 않아도 된다.
- ③ 꺾기부 산마루 배수는 배후 경사면 토사나 나뭇잎 등이 퇴적하기 쉽고, 배수구가 막혔을 때도 청소가 곤란한 장소에 있을 때가 많다. 또한 배수구가 막히면 월류(over flow)해서 비탈면의 붕괴로 이어지므로 **통수단면의 결정에 있어서는 유량 계산을 통한 단면 이상으로 설계한다.**
- ④ 단면 결정은 다음과 같다.
 - 가. 3.1 설계빈도에 따라 결정
 - 나. 유출량은 KDS 11 70 25(4.1.1)를 따른다.
 - 다. 통수량은 KDS 11 70 25(4.1.1)를 따른다.

- ⑤ 산마루에서 집수된 물은 도수로를 통해 배수되거나 산마루 측구를 통해 다른 배수계통으로 배수된다.

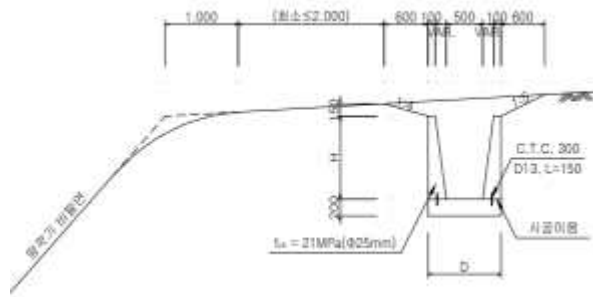


그림 71. 산마루 측구 상세도

(2) 비탈면끝 배수

- ① **쌓기** 외방 및 **쌓기** 비탈면의 우수 등을 배수시키고 또 노반의 물을 하천 등으로 흘러 보내기 위한 수로로 비탈면끝 배수공을 설치한다.

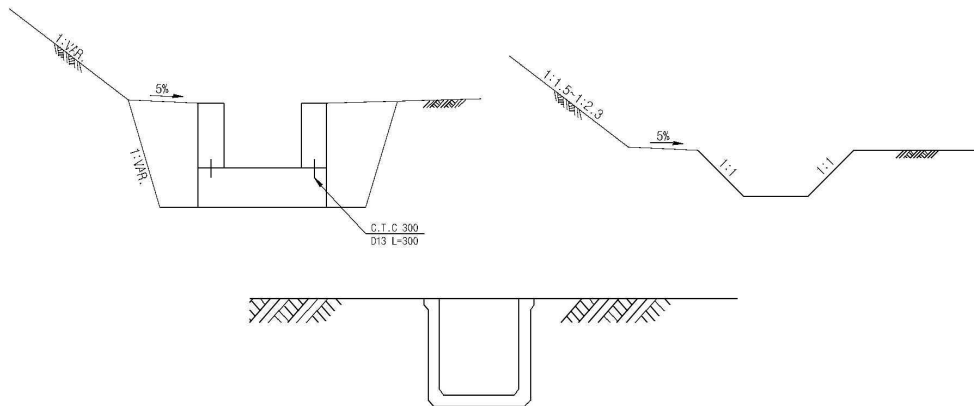


그림 72. 비탈면끝 배수 단면 예

- ② 배수공의 단면 등 구조는 현지 여건에 따라 결정한다.

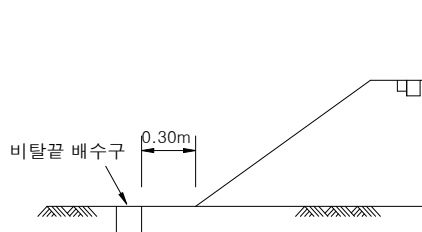


그림 73. 비탈면끝 배수구

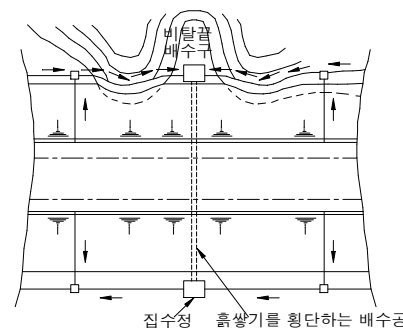
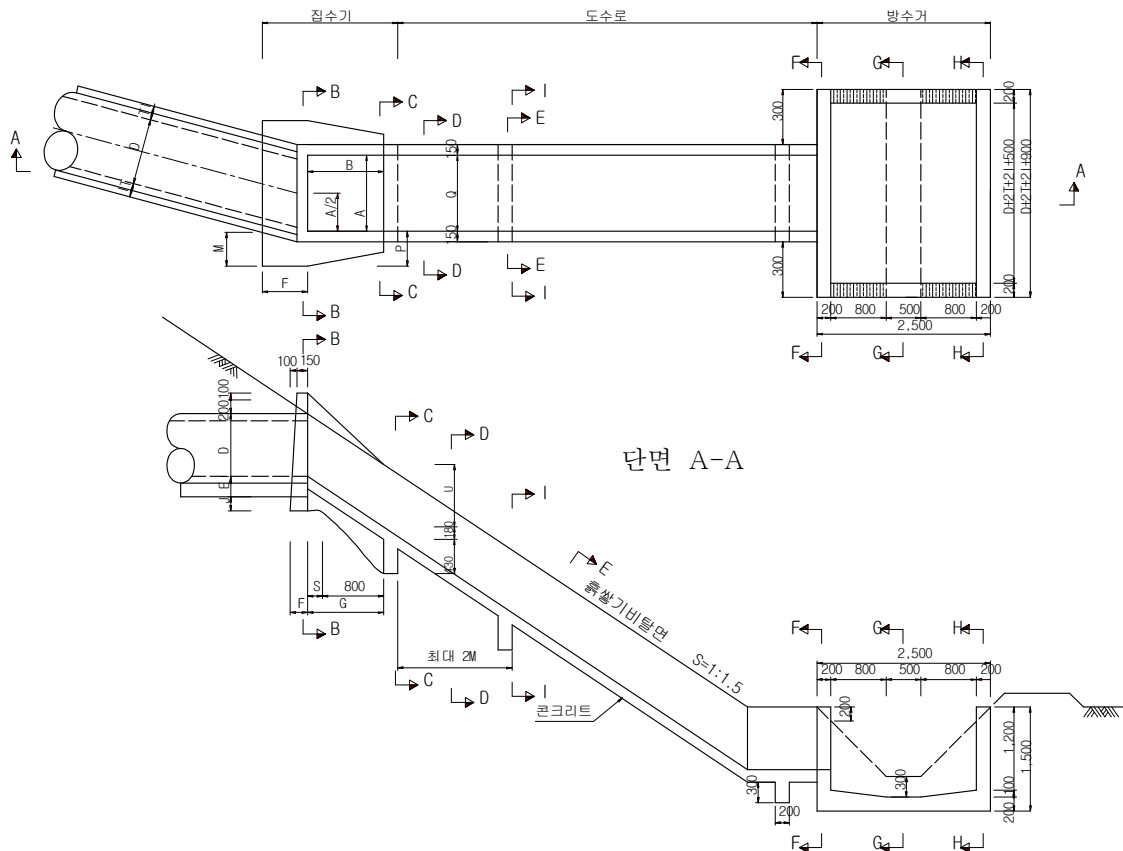


그림 74. 구부러진 지형의 출구를 **쌓기**로 막은 경우



4.3.2 도수로

- (1) 도수로는 본선수로 및 지축수로, 산마루 및 소단 측구에 흐르는 물을 배수하기 위해 설치한다.
- (2) 도수로의 설치 장소는 흙쌓기 구간의 노반배수에 따른다.
 - ① 땅깍기 구간에서 소단 연장이 100m 이하일 때는 산마루 측구를 이용한다.
 - ② 소단 연장이 100m를 넘을 때는 유량계산에 의해 도수로의 위치를 결정하나 최대간격은 100m 한도로 한다.
 - ③ 지형 비탈면의 상태를 연결하는 배수시설(길어깨 집수정의 위치)를 고려하여 선정한다.
 - ④ 비탈 배수구로 집수한 물은 50m에 1개소 정도 도수로를 설치하여 선로측구에 떨어뜨리도록 한다. 이 경우 도수로는 확일적으로 50m에 1개소 정도 설치하는 것은 아니고 주위의 지형 등을 감안하여 결정할 필요가 있으며, 소단배수구 연장이 100m를 넘을 때는 유량계산에 의해 도수로의 위치를 결정하나 최대간격은 100m를 한도로 한다.



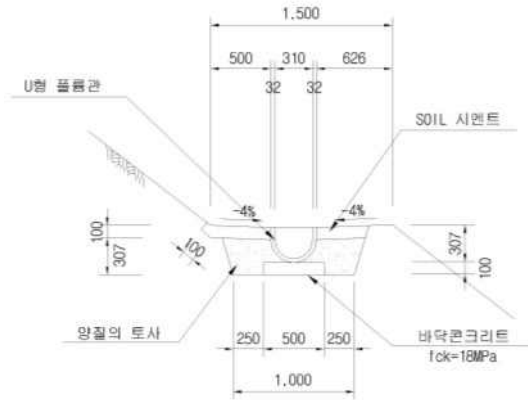


그림 76 소단배수구(토사구간)

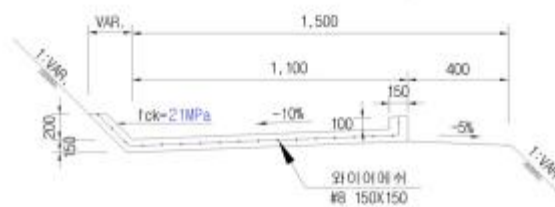


그림 77. 소단배수구(암반구간)

4.3.4 비탈면 용수의 처리

(1) 지하배수구

지표면에 가까운 침투수를 모아 배수하기 위해 지하배수구를 설치한다. 지하배수구의 역할은 조립재료의 투수성을 이용하여 지중의 물을 배제하므로 재료는 투수성이 좋고 막히지 않는 것을 사용한다. 비탈면은 용수 상황에 따라 지하 배수구를 <그림 78>과 같이 화살형이나 W형 등으로 배치한다. 그리고 용수에 의한 비탈면의 파괴에 대처하기 위해 여러 가지 필터매트(filter mat)와 비탈격자공 등을 겸용한다. 또 용수량이 많은 곳은 유공관을 넣은 지하배수구로 하는 것이 좋다.

기타, 지하배수구에는 다공질 콘크리트관(porous concrete), 합성수지 네트(net)관, 합성수지의 해면상관 등을 사용한다. 이러한 신소재의 개발이 활발하므로 현지 상황에 맞는 것을 선정해야 한다.

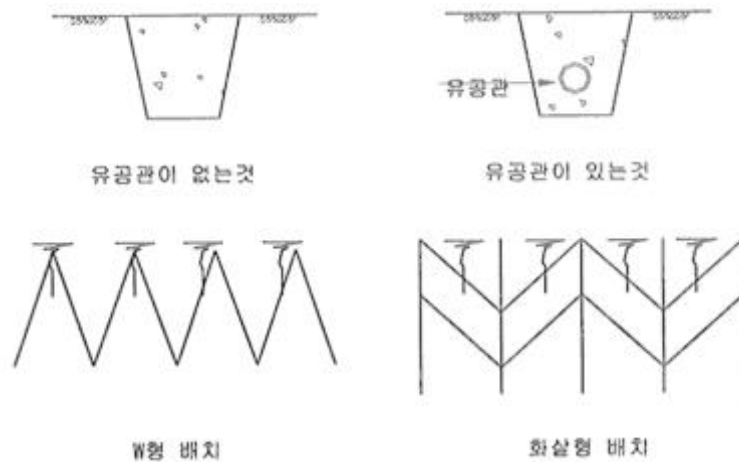


그림 78. 지하배수구의 배치

(2) 비탈면 망태공

망태공은 용수가 많은 비탈면에서는 지하배수구와 겸용하고 비탈끝에 설치하여 배수와 비탈면의 붕괴 방지를 목적으로 한다. 또 작은 비탈면등에서는 지하배수구 대신 사용한다.

망태공에는 원형, 부채형 등의 여러 형태가 있다. 지름, 길이, 간격 등에도 어느 정도 자유스러우므로 사용장소, 채취한 돌의 크기 등을 고려하여 형태를 결정한다.
(<그림 79> 참조)



보통망태공			D=45, 60, 90cm L=3~8m							
편평망태공			D ₁ =45, 60, 90cm D ₂ =45, 60, 90cm L=3~8m							
사각형망태공			H=45, 60, 90cm W=120, 180, 2000cm L=2~4m							
철선 직경 (mm)	동 선	3.2	4.0	5.0	강 눈 (cm)	4.0	5.0	6.0		
	중간 굵기, 골선	4.0	5.0	6.0						

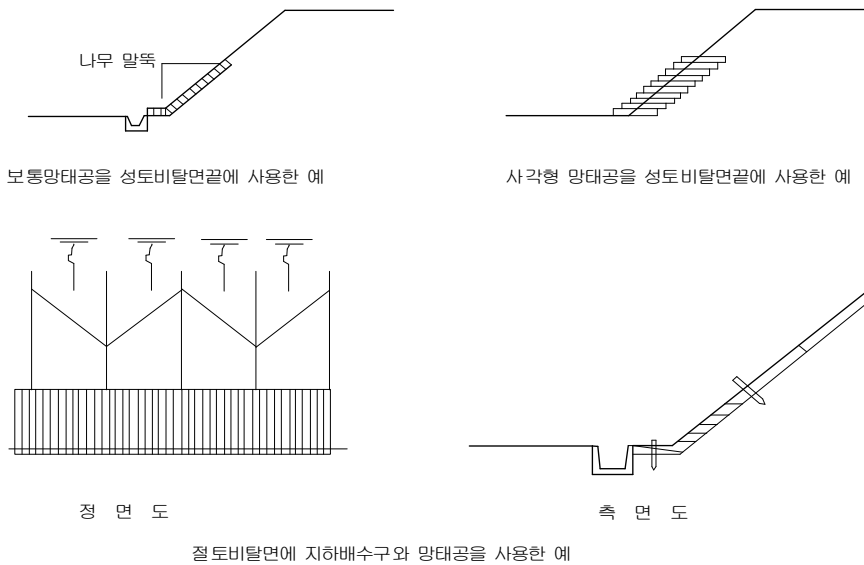


그림 79. 망태공의 사용예와 치수

(3) 수평배수공

용수가 있을 때는 <그림 80>과 같이 횡방향 공을 굴착, 유공관 등을 삽입하여 배수한다. 수평배수공의 길이는 2m이상이 바람직하다. 유공관으로는 경질염화비닐관, 합성수지 네트(net)관, 합성수지 해면상관, 다공질 콘크리트관 등이 사용된다. 깊은 곳의 침투수는 그 위치를 횡보링으로 파악, 스트레이너를 설치한 배수관으로 배수해야 한다. 규모가 큰 지반 활동지대에서는 배수 터널이나 여러 본의 보정공을 조합하여 처리한다.

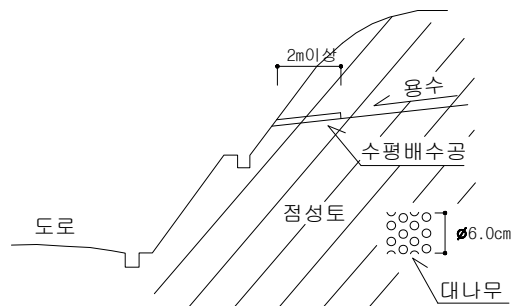


그림 80. 수평 배수공

(4) 배수블랭킷

- ① 흙쌓기내의 간극 수압 상승을 방지하기 위하여 필요에 따라 배수 블랭킷을 설계한다.
- ② 강우 등으로 흙쌓기 내에 침투한 물로 인하여 간극수압 상승으로 흙쌓기 내 지하수면이 비탈면에서 교차하게 되면 비탈면에 붕괴 위험이 있으므로 흙쌓기 내의 간극수압 상승을 방지하기 위해 배수블랭킷을 설치하여 붕괴를 방지한다.
- ③ 흙쌓기 지반의 투수성이 크고 지하수위가 원지반면보다 500mm이하(강우시 또는 강우직후 등에 의해 지하수면이 상승한 상태)일 경우 배수블랭킷을 설치한다.
- ④ 강화 노반으로 시공되거나 흙쌓기 비탈면이 블록 등으로 피복되어 강우의 침투에 의한 영향이 적을 경우 배수블랭킷을 설치한다.
- ⑤ 배수블랭킷은 투수계수가 10mm/sec 이상되는 재료를 사용한다. 그리고 흙쌓기 재료와 접한 면은 부직포 등 필터재료로 덮어 흙쌓기재료의 유출을 방지하도록 설치한다.
- ⑥ 기타 배수공

땅깎기와 흙쌓기의 접속구간에는 현지 상황에 따라 필요한 배수공을 설치한다.

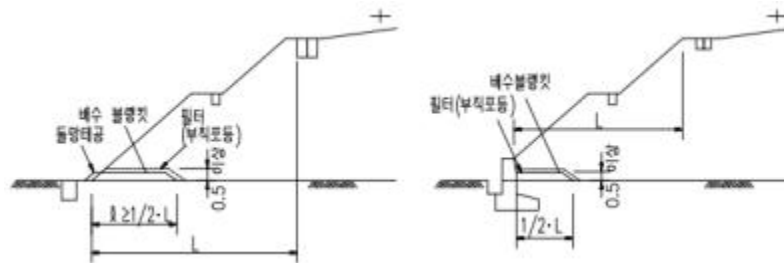


그림 81. 배수블랭킷의 예

(5) 기타의 용수처리

비탈면에 용수 등이 있는 곳은 콘크리트 비탈격자, 돌붙임, 블록붙임 등의 구조물에 의한 보호공을 시공한다. 이러한 구조물에는 수발공으로 조치하나 경우에 따라서는 지하배수구 등과 겸하는 것도 고려해야 한다. 수발공으로서는 비탈 격자공의 격자내에 돌붙임 등을 실시하여도 되고 콘크리트 붙임으로 하는 경우는 지름 50mm 정도의 수발공을 적어도 2m²마다 1개소 설치해야 한다.

콘크리트 또는 모르타 뿔어 붙임은 보통 용수가 있는 비탈면에 사용하지 않는다. 뿔어 붙이는 면 일부에 용수가 있을 때는 이 개소에만 돌붙임을 실시하거나 지름 200 ~ 500mm 정도의 수발관을 삽입하고 그 위를 뿔어 붙여야 한다. 수발관은 뿔어붙이는 과정에 있어서 추가로 설치해야 하는 경우도 많으나 용수가 비탈면 바깥에 튀기 쉬우므로 관의 경사에 유의해야 한다.

비탈면의 용수를 적게 하기 위해 <그림 82>와 같이 비탈어깨로 침투수를 처리하는 경우도 있다. 이때는 표면수와 침투수를 따로 설치, 처리하는 것이 경제적이다.

우수가 침투하기 쉽고 우수에 의해 강도저하가 심한 토질이나 높은 함수비의 점성



토부에 높은 흙쌓기를 해야 할 때는 <그림 83>과 같이 흙쌓기 비탈면내에 배수층을 만들어 비탈면의 안정을 도모한다. 배수층은 투수성이 좋은 모래나 자갈을 사용하며 불투수층 상부에 밑바탕(bedding)을 겸용하는 경우도 있다.



그림 82. 비탈어깨 지하배수구

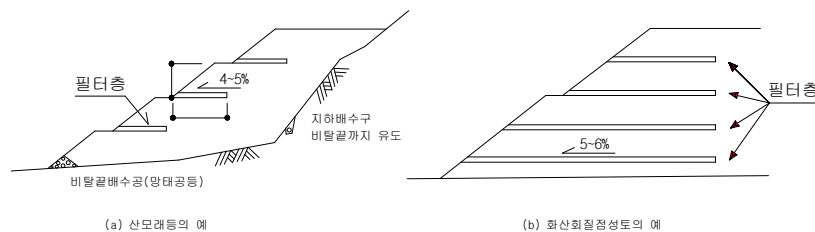


그림 83. 수평배수층의 예

<그림 84>와 같이 불투수성 재료의 흙구조물위에 투수성 재료로 쌓을 때는 쌓기표면에서 침투한 물이 하부의 불투수성 흙을 연약하게 하여 비탈면의 붕괴를 일으키는 수가 있으므로 불투수층 위에 미리 지하배수구를 설치한다.

비탈면 배수는 땅깍기, 흙쌓기 또는 자연 비탈면을 따라 흐르는 표면수나 비탈면으로부터 침투한 침투수를 배제하여 비탈면의 붕괴를 방지하기 위한 배수이다.

물에 의한 비탈면의 붕괴는 비탈면을 흘러내리는 표면수에 의한 표면 침식이나, 세굴, 침투수가 비탈면을 구성하는 흙의 전단강도를 감소시키거나 간극수압을 증가시키는 것에 의해 붕괴될 수 있다.

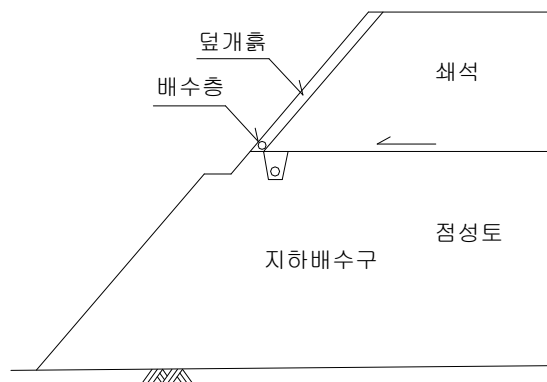


그림 84. 흙쌓기 재질이 다른 경우의 배수시설 예

4.3.5 길내기배수

철도 인접지역의 길내기 배수는 현지 상황을 충분히 조사하여, 지역성을 고려한 설계가 되도록 한다. 철도 인접지의 길내기 배수 등은 유지관리 측면에서 지자체 등의 관리주체에 인계하는 것이 중요하다.

4.4 지하 배수시설의 설계

4.4.1 개요

(1) 기능

철도선로의 밀폐된 지하 배수시설로서의 지하배수는 흠속의 물을 집수하고 선로의 중심부에서 선로 상부면 아래의 1.5m 이내의 흠이 허용할 수 없을 정도로 포화될 경우에는 지하수, 지류수 및 모관수의 수위를 강하시켜야 한다. (<그림 85> 참조) 또한 지하 배수시설은 피압지하수 및 침투수를 집수하고 (<그림 86> 참조) 그리고 집수된 물을 유도하여 방류수면으로 유출시켜야 한다.

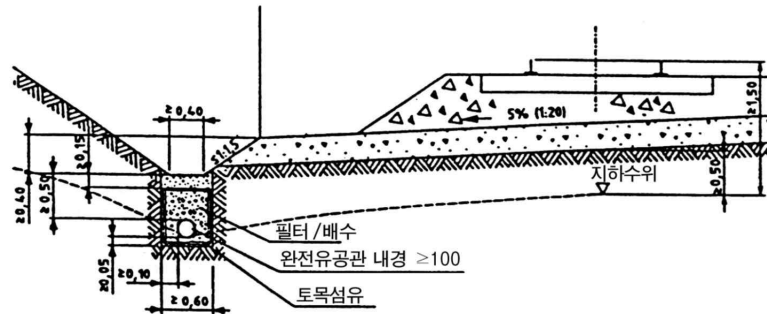


그림 85. 흠속의 물의 집수 및 유도를 위한 지하배수

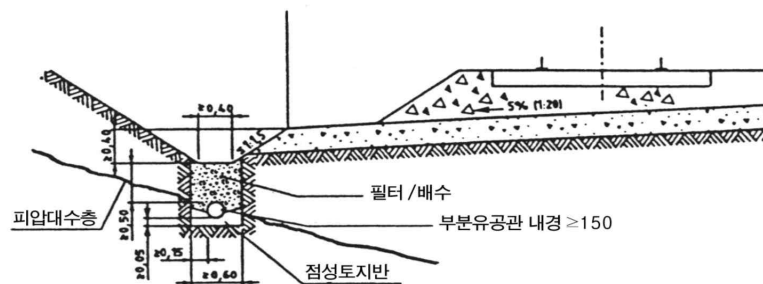


그림 86. 피압지하수 및 침투수의 집수 및 연결을 위한 지하배수

(2) 일반적인 지하배수

지하배수는 일반적으로 선로에 대해 평행으로 그리고 <그림 87> 및 <그림 88>에 따라 선로측구 아래에 설치한다.

많은 선로가 있는 노선 또는 정거장에서 깊은 배수시설은 양쪽 선로의 물이 유입될 수 있도록 선로 사이에 설치한다.



(3) 흠뻑기 및 흠쌓기 노반 지하배수의 설계

① 흠쌓기부 지하배수구의 위치 및 구조는 본선 및 지축노상에 침투하는 지하수를 차단하고, 지하수위를 낮추어야 할 개소에는 땅깁기노반 지하배수구를 설치하여야 한다.

② 지하배수구의 평면적 위치는 아래 항목들을 검토하여 정한다. 그러나, 지하배수구로서의 기능을 잃지 않도록 주의하여야 한다.

가. 기계굴착시공

나. 터널 갱구부(坑口部)의 전기통신 지하매설물, 비탈면 보호공의 기초, 가드레일(guard rail)의 기둥, 비상전화, 조명 등의 배관, 표지판의 기둥, 배수관, 집수정, 기타 지하에 매설되는 구조물과의 관계

다. 노상의 불량 부분 및 국부적인 현재 지반의 불량 부분에 있어서의 치환장소의 지하배수(유공관을 사용하지 않는 것)와의 관계

라. 노반 및 비탈면 배수시설 등과의 관계

③ 배수관의 최소 설치 깊이는 노상의 불량 부분의 치환두께와 노상면에서 지하수위를 고려한 계산치 중에서 큰 값으로 한다.

④ 흠쌓기 노반의 지하배수구는 흠쌓기 본체 및 비탈면의 안정과 같이 노체의 압밀침하 등에 관련하여 설계하여야 한다.

(4) 부지가 협소한 경우

기존 선로에서 부지가 협소한 경우의 지하배수시설은 선로중심까지 간격을 줄인 <그림 87>에 따라 조성하며, 이 경우 길어깨 아래에 설치한다.

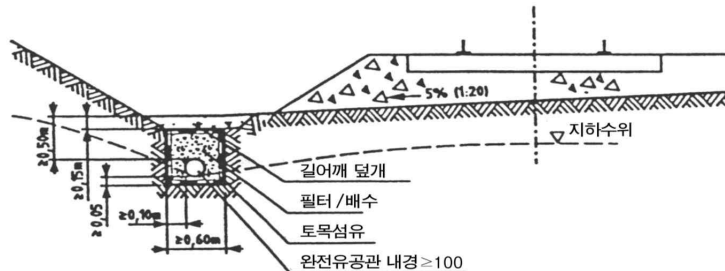


그림 87. 협소한 부지에서 길어깨 아래의 지하배수

(5) 구성

지하배수시설은 일반적으로 특별히 조립한 필터 및 배수(트렌치관), 지하배수관 및 수직갱과 그리고 집수정으로 구성된다.

지하배수시설의 수직갱 또는 노반 근처에 건설된 구성요소들은 도상체가름기의 작업범위 밖에 설치하여야 한다. 도상체가름기는 선로 중심의 바로 곁에서 일반적으로 2.20m에 달하는 하나의 스트립(strip) 범위까지 작업한다.

4.4.2 트렌치 관(pipe trench)의 설계

(1) 기준

트렌치관의 설계는 지하배수시설 조성의 작업안전과 필터/배수와 아울러 지하 배수 관에서의 배수기술상 요구 조건들에 따른다.

(2) 폭

트렌치 관의 폭은 작업안전을 고려하여 최소한 600mm에 달해야 하며, 기계를 사용하여 관을 설치하거나 수로를 만들 경우에는 달라진다.

배수기술상 반드시 필요한 폭은 유공관(perforated pipe)의 외경 및 필터/배수 두께의 2배로 구성된다. 필터/배수는 유공관의 양쪽으로 각기 150mm의 두께를 갖어야 한다.

트렌치 필터로 토목섬유를 사용하는 경우에는 필터/배수의 두께를 100mm 감소시킬 수 있다.

관을 설치하지 않은 배수 또는 침투수로(infiltration channel)의 경우에 배수기술상 필요한 폭은 필터/배수의 건설과 침투능력에 따라 결정된다.

(3) 깊이

트렌치 관의 깊이는 일반적으로 필수적인 지하배수관의 덮개, 유공관의 외경 및 지하배수관의 기초에 따라 정해진다.

덮개는 최소 500mm 이상으로 한다. 표면수의 집수를 위해 배관된 선로측구와 같이 얇게 설치된 지하 배수시설의 경우 또는 유입수의 상태가 일정하지 않은 경우에는 요철부의 범위에서 덮개의 두께를 300mm로 줄일 수 있다.

유공관 아래에서 필터재로서 사용되는 기초는

- 전유공관 (full perforated pipe) 아래의 흙 필터에서는 최소한 150mm,
- 전유공관 아래의 트렌치 필터로서 토목섬유를 사용하는 경우에는 최소한 50mm 이상으로 한다.

트렌치관의 심도깊이는 철도선로의 충분한 배수를 감안하여 결정한다.

지하수위 강하의 경우 혹은 깊은 심도에 놓여 있는 물이 흐르는 층에서의 배수의 경우에는 깊은 심도에 충분한 유공관이 필수적이다.

4.4.3 지하배수관

(1) 기능

지하배수관은 필터/배수를 통해 유입되는 물을 구멍뚫린 관벽 (pipe wall)을 이용하여 집수하고, 이 물들을 유도하여 방류수면 또는 집수정으로 유출시킨다.

(2) 요구조건

지하배수에 사용되는 관은 예상되는 목적에 부합되고 관의 품질 특성이 기술적인 규정에 적합하여야 하며 인증검사소에서 규칙적으로 검사를 받는 관만을 사용해야 한다.



유공관으로는 플라스틱관, 도기관 및 콘크리트 필터관이 있다.

유공관 구멍의 직경은 필터 안정성의 증명에 따라 결정한다.

(3) 관의 종류

지하배수관으로는 물의 유입 및 유량에 따라 <그림 88>과 같이 전유공관(full perforated pipe), 부분유공관 (partial perforated pipe) 및 다목적관 (multiple purpose pipe)을 사용한다.

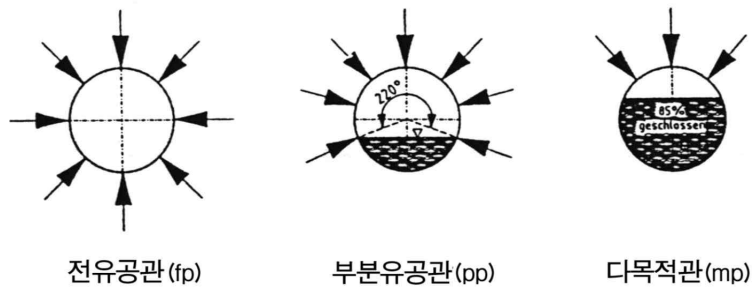


그림 88. 지하배수관을 위한 관의 종류

지하배수시설이 흙 속의 비흡착수를 집수하거나 유도하기 위해 또는 지하수위를 저하시키기 위하여 사용된다면, 전유공관을 사용하여 <그림 88>에 따라 설치한다. 만일 지하배수시설이 피압지하수 및 표면수를 우선적으로 집수하고 유도시키기 위하여 사용되거나 또는 지류수를 직접 관으로 유입시킨다면, <그림 88>에 따라 부분유공관을 사용하여야 한다. 집수된 물이 안전하게 침투될 수 있다면, 전유공관을 사용하여도 된다. 지하배수시설이 많은 유량을 유도시키기 위하여 이용되거나 혹은 집수보다 물을 유도시키는 기능이 우선시될 경우에는 다목적관이나 대형의 전유공관을 사용할 수 있다.

예외적으로 특별히 많은 유량을 유도시키거나 또는 서로 분리된 지하배수관 및 집수관을 설치하게 되면, <그림 89>와 같이 피기백관 (piggy back pipe)을 설치할 수 있다.

집수관을 설치하기 위해 필요한 깊은 트렌치의 심도는 배수에 기여하지 못하기 때문에 피기백관은 피하여야 한다. 같은 심도에 설치된 전유공관은 지하수위 및 모세관의 범위를 더 깊이 저하시킬 수 있다.

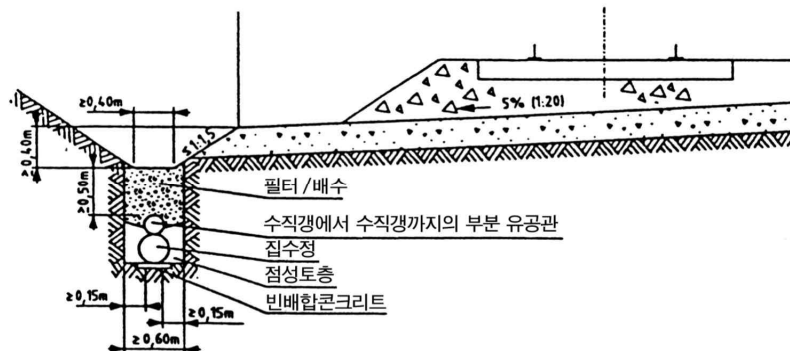


그림 89. 피기백관 (piggy back pipe)

(4) 매설 및 내경

전유공관은 하나의 수위를 통하여 유입되는 물이 우선적으로 아래의 관부위에 도달하기 때문에 <그림 88>에 따라 완전히 필터재나 침투재내에 매설되어야 한다.

부분유공관이나 다목적관의 경우에는 트렌치 관의 저부는 <그림 88>과 같이 불투수층 그리고 유공된 관의 범위까지 비스듬하게 축조되어야 하며, 이로 인해 침투수는 추가적인 침투없이 관으로 직접 유입된다.

지하배수관의 내경은 수리학적인 계산의 결과에 결정하나, 최소한 100mm 이상 선택되며, 내경은 일반적으로 150mm에서 250mm 정도로 설치한다.

(5) 종단 경사

지하배수관과 트렌치 관의 저면은 유입되는 물의 유속이 0.5m/s 및 3.0m/s 사이에 이르도록 하나의 종단 경사를 유지해야 한다.

종단 경사는 일반적으로 최소한 0.3%에 달해야 하고, 이 종단 경사는 선로의 종단 경사로 건설해야 한다.

종단 경사는 배수로 유입구에서 강제지점에 따라 필요한 경우에는, <표 35>에서 보여주는 것과 같은 최소 경사로 한다.

표 35. 지하배수관의 최소 경사

관의 종류	최소경사
콘크리트 필터관	0.25%
내벽에 물결모양을 한 석기관 및 플라스틱관	0.20%
내벽이 매끄러운 플라스틱관	0.15%

(6) 방향 및 건설 구조물 인접 범위

지하배수관은 수직갱들 사이 혹은 수직갱과 유출구 사이에서는 직선적으로 그리고 균등한 경사로 설치해야 한다. 그러나 이에 반해 선로의 곡선에 있는 플라스틱관은 궤도중심에 대해 같은 간격으로 설치하고 장애물을 우회하기 위해서는 하나의 곡선으로 휘도록 하여도 된다.

건설 시설물 (예 : 경보 신호주)의 인접 범위에서 지하배수관은 1.50m의 캔트를 갖는 완만한 곡선에서는 방향을 전환하거나 또는 밀폐된 관수로로 시공하여도 된다.

4.4.4 필터 및 배수

(1) 기능

필터 및 배수는 트렌치 관에서 투수성을 향상시키고, 흙속의 비흡착수의 흐름을 차단하며, 유입되는 흙속의 물을 집수하여 이 물들을 지하 배수관이나 혹은 침투수로로 유도한다.



필터는 일정한 규칙에 따라 구성된 재료로서, 인접한 흙에서 물을 배수시키고 그리고 물이 흐르는 경우에는 유해한 입자의 전위를 방지한다. 필터재로는 비점토질 흙, 토목섬유 및 유공배수관을 사용한다.

배수재는 투수성이 강한 재료로서, 물을 집수하고 그리고 배수재의 큰 공극률에 따라 이 물을 빨리 유출시킨다. 배수재로는 비점토질 흙, 배수 콘크리트 및 토목섬유가 이용된다.

(2) 설치 및 구성

필터 및 배수는 물을 배수시키는 인접한 흙과 유공관 사이에 설치하고, 트렌치 관은 측구의 저부까지 채워야 한다.

필터 및 배수는 비점토질 흙, 유공배수관 및 토목섬유의 적합한 결합에 의해 구성되고 가능한한 큰 공극률 및 구멍크기를 갖도록 한다.

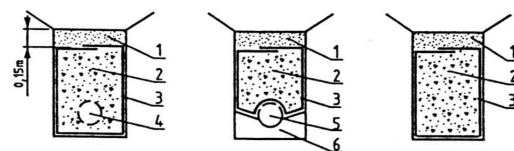
각각의 접촉부위에서 필터의 안정성이 확보되어야 한다. 전기적 접촉침식(erosion of electrical contacts)에 대한 안전이 보장되지 않는다면, 우선적으로 토목섬유로 된 추가적인 필터층을 감안하여야 한다.

필터는 비점토질 흙과 유공배수관을 사용한 단일 필터 (single filter)로 구성되고, 필터 및 배수는 주로 토목섬유를 활용한 트렌치 필터로 구성한다. (<그림 90> 참조)

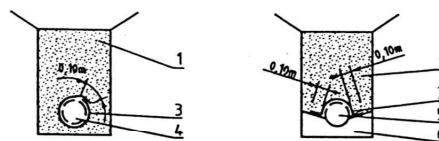
토목섬유로 된 트렌치 필터는 인접한 지반의 필터안정성을 보장하고, 이에 따라 물이 정체됨이 없이 유입될 수 있도록 하기 위해 높은 공극률을 갖는 굵은 입자의 흙을 배수재로 사용하고 큰 구멍을 갖는 유공배수관을 선택한다.

토목섬유를 사용한 필터는 <그림 90>과 같이 파이프 필터(pipe filter)로 축조한다.

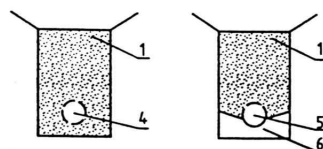
트렌치필터 (trech filter)



파이프필터 (pipe filter)



단일필터 (single filter)



1. 필터
2. 배수
3. 토목섬유 (geotextile)
4. 전유공관
5. 부분유공관 / 다목적관
6. 빈배합 콘크리트 혹은 점토질 흙

그림 90. 필터의 종류

(3) 요구조건

필터 및 배수재로 사용되는 흙은 다음과 같은 요구조건을 충족시켜야 한다.

- $D_{10} > 0.1\text{mm}$ (동해 안정성의 보장)
- $ID \geq 0.33$ (다짐의 보장)
- 용해 성분의 량 $< 1\%$
- 유기질 혼합물의 량 $< 1\%$

필터 및 배수재로 사용되는 토목섬유는 별도로 요구되는 특성시험치를 충족시켜야 한다.

4.4.5 수직갱

(1) 기능

지하배수에서는 지하배수관이나 집수정의 관리 및 정화와 동시에 물을 다른 곳으로 유도시키기 위해 관리식 수직갱(check shaft) 혹은 중계식 수직갱(transfer shaft)을 설치한다.

관리식 수직갱은 물의 흐름의 검사와 아울러 배수관의 검사, 고압세정기를 이용한 정화와 폭기를 위해 사용된다. 관리식 수직갱은 내부로 오르내리지 않기 때문에 대부분 작은 직경을 나타낸다. 중계식 수직갱 (transfer shaft)은 이 밖에 물을 다른 곳으로 유도시키고, 내부로 오르내릴 수 있다.

(2) 설치 및 치수

수직갱의 일반적인 간격은 50m에 달하고 100m를 초과하여서는 안 된다. 일반적으로 관리식 수직갱이 사용된다.

중계식 수직갱은 아래와 같은 경우에 설치한다.

- 관로의 접속 부위
- 관로의 교차점
- 1.25m보다 더 깊은 수직갱 저부 근처
- 제 3의 밀폐된 지하 배수시설로의 매우 많은 수량의 유도
- 집수정에서 지하배수관의 물을 유도시킬 경우

수직갱과 전차선 전주 및 경보신호주 사이의 순간격은 최소한 5.0m에 달해야 한다.

관리식 수직갱은 내경이 최소 300mm 그리고 저부의 최고 깊이는 1.25m를 나타낸다. 중계식 수직갱은 오를내릴 수 있고 일반적으로 내경이 1000mm에 달한다.

(3) 구성

수직갱은 조립 건축 부품이나 혹은 파이프로 조성한다. 관리식 수직갱은 우선적으로 파이프 제조업자가 제작한 조립식 수직갱이 사용된다. 중계식 수직갱은 조립 건축 부품이 이용되고, 특수 형태를 위해서는 벽돌을 쌓거나 혹은 콘크리트로 건축한 수직갱을 축조한다. 관리식 수직갱 및 중계식 수직갱의 저부는 하나의 연속된 도랑을 이용한 관암거 단면의 유지 아래에 조성한다.



중계식 수직갱을 하수구로 이용시에는 중계식 수직갱의 저면은 방류관거의 저면 아래에 위치하도록 한다.(<그림 91> 참조)

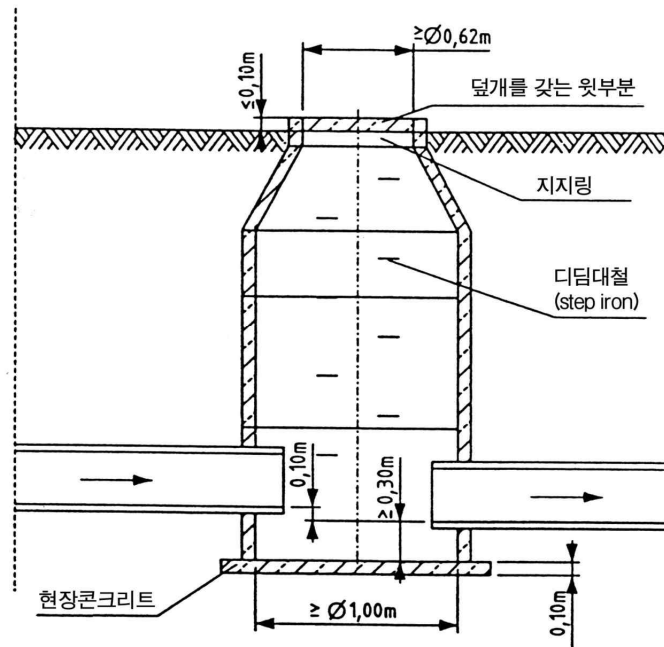


그림 91. 진흙 포착을 갖는 중계식 수직갱의 사례

(4) 윗면 및 덮개

수직갱은 견고하고 내구성이 있는 덮개와 그리고 경우에 따라서는 윗면은 주철, 강철주조, 압연강 및 철근콘크리트를 사용해야 한다. 덮개는 항상 출입할 수 있어야 하고, 한 사람이 여닫을 수 있는 구조로 한다. 깊은 수직갱의 덮개는 불법적으로 여는데 대해 안전해야 한다.

플라스틱으로 된 관리식 수직갱은 교통지역에서 덮개와 함께 별도로 제조한 표면을 유지해야 한다.

만일 덮개를 밟는 것이 불가능하다면, 플라스틱으로 된 관리식 수직갱은 전술한 규정을 포기하는 대신 수직갱 시스템에 속하는 자외선에 내구성이 있는 플라스틱 덮개를 갖추어야 한다.

(5) 수직갱 상부면의 고도

수직갱의 상부면은 선로측구 및 우묵한 측구의 저부면을 약간, 그러나 100mm이상 돌출하여서는 안 된다.

길어깨 및 중간소로와 아울러 다른 교통지역에서 수직갱의 상부면은 지표면의 높이에 놓여야 한다.

4.4.6 집수정

(1) 기능

집수정은 유입된 물을 중계식 수직갱에서 집수하고 이 물을 밀폐된 관수로를 이용하여 방류수면까지 유도시킨다.

(2) 설치

아래와 같은 경우에 밀폐된 관수로를 설치한다.

- 선로측구 및 지하배수관의 물이 지하에서 방류수면까지 유도될 때
- 하나의 지하 배수시설 내에서 물의 유입량이 매우 많아 지하 배수관에 의해 더 이상 유도시키지 못할 경우(<그림 92> 피기백관 참조)
- 침투수 및 하수를 유도시켜야만 할 경우

(3) 요구조건 및 내경

집수정에는 계획된 목적에 적합하고, 품질 특성이 기술적인 규칙서에 상응하며 그리고 공인된 시험검사소에서 규칙적으로 검사를 받은 도관만을 사용하여야 한다.

집수정을 위해 사용되는 밀폐된 관수로는 연결부위가 밀폐되어 물이 새어 나오지 않아야 하고, 석기, 콘크리트, 철근 콘크리트 및 플라스틱으로 제조된다.

내경은 하며 유입되는 수량에 따라 수리학적으로 산정하여야 하며 최소한 250mm 이상으로 한다.

(4) 종단 경사

집수정은 흐르는 물의 유속이 0.5m/s에서 3.0m/s사이에 이르도록 종단 경사를 유지해야 한다. 종단 경사는 최소한 0.3% 이상이어야 한다.

진흙으로 채워지는 위험이 없을 경우에는 아래 <표 36>에서 제시한 최소한의 종단 경사로 낮출 수 있다.

표 36. 집수정의 최소 경사

관의 종류	최소 경사
콘크리트관	0.25%
석기관	0.20%
플라스틱관	0.15%

(5) 방향 및 유출구

집수정은 수직갱들 사이나 혹은 수직갱과 유출구 사이에 직선적으로 그리고 동일한 경사로 뻗어 있어야 한다. 방향 및 경사의 변화는 수직갱에서만 가능하다. 집수정의 방류수면으로의 합류점은 방류수면의 평균 만수위보다 200mm 위에 놓여야 하고 최대 각도에서 이 흐름 방향으로 유도되어야 한다. 유출구는 보호되어야 하고 작은 동물들의 침입에 안전해야 한다.



4.4.7 지하배수관 및 집수정의 설계

(1) 산정유량 및 설계

산정유량 Q 가 배출용량 QA 를 갖는 지하배수관 및 집수관 수로에 의해 유출될 수 있는가를 증명하여야 한다. ($QA \geq Q$)

(2) 배출 용량

배출용량 QA 는 평균 유속 V 및 파이프의 반지름이 R 일 때 단면적 A 에 의존한다.

평균유속 V 는 관로의 종단 경사(%), 경심 $R(m)$ 및 조도 $Kb(mm)$ 에 의해 산정된다. 동수반경 R 은 통수단면적 $A(m^2)$ 를 윤변 $P(m)$ 로 나눈 값으로 <식 (110)>을 이용하여 구한다.

$$R = A/P = (\pi \cdot R^2)/(2 \cdot \pi \cdot R) = R/2 \quad (110)$$

조도 Kb 는 관(pipe)의 재료에 의존된 손실(관벽, 이음, 유입구, 수직갱)을 고려하여야 하며 그 값은 다음과 같다.

- 콘크리트 혹은 석기로 제조된 관 $Kb = 1.5mm$
- 매끄러운 벽면의 플라스틱관 $Kb = 0.4mm$
- 내부가 물결 모양으로된 플라스틱관 $Kb = 3.0mm$

지하배수에서 수압을 받지 않고 자유수면을 갖거나 또는 관 내부에 물이 만수의 상태로 흐르는 관로(pipe line)를 위해서는 공칭내경을 상응하게 평가한 <표 37>을 이용하여 구할 수 있다.

4.5 횡단배수시설의 설계

4.5.1 적용

횡단배수시설은 선로와 선로인접지역으로부터 유입되는 지표수를 배수하는 수리적 기능과 토사 또는 철도차량의 하중 등에 대하여 안전하여야 하므로 수리적, 구조적 안전을 고려하여 설계를 한다. 또한, 수문분석에서 결정된 계획 홍수량으로부터 구교 상류부의 수위를 과다하게 상승시키지 않는 상태에서 하류로 배제할 수 있는 경제적인 단면과 경사를 갖도록 계획한다.

횡단배수시설에는 원형구교, 박스구교, 문형구교, 아치구교 등이 있다. 원형구교는 유량이 적은 경우에 사용하며, 유량이 큰 경우는 박스구교와 문형구교를 사용하는 것이 경제적이고, 아치구교는 대규모 흙쌓기로 하중이 크게 작용하는 경우에 사용된다.

표 37. 관수로의 배출 용량 (K=0.4mm, v[m/s], Q[m³/s])

중단면 (mm)	100		125		150		200		250		300		400		500		600		700		800	
	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q	v	Q
기울기																						
1: 10	2.60	0.020	3.01	0.037	3.38	0.060	4.07	0.128	4.69	0.230												
1: 15	2.12	0.017	2.45	0.030	2.76	0.049	3.32	0.104	3.82	0.188	4.29	0.303										
1: 20	1.83	0.014	2.12	0.026	2.39	0.042	2.87	0.090	3.31	0.162	3.71	0.262	4.45	0.559								
1: 25	1.64	0.013	1.89	0.023	2.13	0.038	2.56	0.081	2.96	0.145	3.32	0.234	3.97	0.499	4.57	0.897						
1: 30	1.49	0.012	1.73	0.021	1.94	0.034	2.34	0.074	2.70	0.132	3.03	0.214	3.63	0.456	4.17	0.818	4.67	1.319				
1: 40	1.29	0.010	1.49	0.018	1.68	0.030	2.02	0.064	2.33	0.114	2.62	0.185	3.14	0.394	3.61	0.708	4.04	1.142	4.44	1.710	4.82	2.424
1: 50	1.15	0.009	1.33	0.016	1.50	0.027	1.81	0.057	2.08	0.102	2.34	0.165	2.80	0.352	3.22	0.633	3.61	1.020	3.97	1.528	4.31	2.167
1: 60	1.05	0.008	1.21	0.015	1.37	0.024	1.65	0.052	1.90	0.093	2.13	0.151	2.56	0.321	2.94	0.577	3.29	0.931	3.62	1.394	3.93	1.977
1: 70	0.97	0.008	1.12	0.014	1.26	0.022	1.52	0.048	1.76	0.086	1.97	0.139	2.36	0.297	2.72	0.534	3.05	0.861	3.35	1.290	3.64	1.830
1: 80	0.91	0.007	1.05	0.013	1.18	0.021	1.42	0.045	1.64	0.081	1.84	0.130	2.21	0.278	2.54	0.499	2.85	0.805	3.13	1.206	3.40	1.711
1: 90	0.95	0.007	0.99	0.012	1.11	0.020	1.34	0.042	1.55	0.076	1.74	0.123	2.08	0.262	2.40	0.470	2.68	0.759	2.95	1.136	3.21	1.612
1:100	0.81	0.006	0.94	0.012	1.05	0.019	1.27	0.040	1.47	0.072	1.65	0.116	1.97	0.248	2.27	0.446	2.54	0.720	2.80	1.078	3.04	1.529
1:110	0.77	0.006	0.89	0.011	1.00	0.018	1.21	0.038	1.40	0.069	1.57	0.111	1.88	0.236	2.16	0.425	2.43	0.686	2.67	1.027	2.90	1.457
1:120	0.74	0.006	0.85	0.011	0.96	0.017	1.16	0.036	1.34	0.066	1.50	0.106	1.80	0.226	2.07	0.407	2.32	0.656	2.55	0.983	2.77	1.394
1:130	0.71	0.006	0.82	0.010	0.92	0.016	1.11	0.035	1.28	0.063	1.44	0.102	1.73	0.217	1.99	0.391	2.23	0.630	2.45	0.944	2.66	1.339
1:140	0.68	0.005	0.79	0.010	0.89	0.016	1.07	0.034	1.24	0.061	1.39	0.098	1.67	0.209	1.92	0.376	2.15	0.607	2.36	0.909	2.57	1.290
1:150	0.66	0.005	0.76	0.009	0.86	0.015	1.03	0.033	1.19	0.059	1.34	0.095	1.61	0.202	1.85	0.363	2.07	0.586	2.28	0.878	2.48	1.246
1:160	0.63	0.005	0.74	0.009	0.83	0.015	1.00	0.031	1.15	0.057	1.30	0.092	1.56	0.196	1.79	0.352	2.01	0.567	2.21	0.850	2.40	1.206
1:170	0.61	0.005	0.71	0.009	0.80	0.014	0.97	0.030	1.12	0.055	1.26	0.089	1.51	0.190	1.74	0.341	1.95	0.550	2.14	0.824	2.33	1.170
1:180	0.60	0.005	0.69	0.009	0.78	0.014	0.94	0.030	1.09	0.053	1.22	0.086	1.47	0.184	1.69	0.331	1.89	0.535	2.08	0.801	2.26	1.136
1:190	0.58	0.005	0.67	0.008	0.76	0.013	0.92	0.029	1.06	0.052	1.19	0.084	1.43	0.179	1.64	0.322	1.84	0.520	2.02	0.779	2.20	1.106
1:200	0.56	0.004	0.66	0.008	0.74	0.013	0.89	0.028	1.03	0.051	1.16	0.082	1.39	0.175	1.60	0.314	1.79	0.507	1.97	0.759	2.14	1.077
1:220	0.54	0.004	0.62	0.008	0.70	0.012	0.85	0.027	0.98	0.048	1.10	0.078	1.32	0.166	1.52	0.299	1.71	0.483	1.88	0.724	2.04	1.027
1:240	0.51	0.004	0.60	0.007	0.67	0.012	0.81	0.026	0.94	0.046	1.05	0.075	1.27	0.159	1.46	0.286	1.63	0.462	1.80	0.692	1.95	0.982
1:260	0.49	0.004	0.57	0.007	0.65	0.011	0.78	0.025	0.90	0.044	1.01	0.072	1.22	0.153	1.40	0.275	1.57	0.444	1.73	0.665	1.88	0.943
1:280	0.47	0.004	0.55	0.007	0.62	0.011	0.75	0.024	0.87	0.043	0.97	0.069	1.17	0.147	1.35	0.265	1.51	0.427	1.66	0.640	1.81	0.909
1:300	0.46	0.004	0.53	0.007	0.60	0.011	0.72	0.023	0.84	0.041	0.94	0.067	1.13	0.142	1.30	0.256	1.46	0.413	1.61	0.618	1.75	0.878
1:350	0.42	0.003	0.49	0.006	0.55	0.010	0.67	0.021	0.77	0.038	0.87	0.062	1.04	0.131	1.20	0.236	1.35	0.382	1.49	0.572	1.61	0.812
1:400	0.39	0.003	0.46	0.006	0.52	0.009	0.62	0.020	0.72	0.035	0.81	0.057	0.98	0.123	1.12	0.221	1.26	0.356	1.39	0.534	1.51	0.758
1:450	0.37	0.003	0.43	0.005	0.49	0.009	0.59	0.019	0.68	0.033	0.76	0.054	0.92	0.115	1.06	0.208	1.19	0.336	1.31	0.503	1.42	0.714
1:500	0.35	0.003	0.41	0.005	0.46	0.008	0.56	0.018	0.64	0.032	0.72	0.051	0.87	0.109	1.00	0.197	1.13	0.318	1.24	0.477	1.35	0.677
1:600	0.32	0.003	0.37	0.005	0.42	0.007	0.51	0.016	0.59	0.029	0.66	0.047	0.79	0.100	0.91	0.179	1.03	0.290	1.13	0.435	1.23	0.617
1:700	0.29	0.002	0.34	0.004	0.39	0.007	0.47	0.015	0.54	0.027	0.61	0.043	0.73	0.092	0.84	0.166	0.95	0.268	1.04	0.402	1.14	0.571
1:800	0.27	0.002	0.32	0.004	0.36	0.006	0.44	0.014	0.50	0.025	0.57	0.040	0.68	0.086	0.79	0.155	0.89	0.250	0.98	0.375	1.06	0.533
1:900	0.26	0.002	0.30	0.004	0.34	0.006	0.41	0.013	0.47	0.023	0.53	0.038	0.64	0.081	0.74	0.146	0.83	0.236	0.92	0.353	1.00	0.502
1:1000	0.24	0.002	0.28	0.004	0.32	0.006	0.39	0.012	0.45	0.022	0.51	0.036	0.61	0.077	0.70	0.138	0.79	0.223	0.87	0.335	0.95	0.476
1:1200	0.22	0.002	0.26	0.003	0.29	0.005	0.35	0.011	0.41	0.020	0.46	0.033	0.55	0.070	0.64	0.126	0.72	0.203	0.79	0.305	0.86	0.433
1:1400	0.20	0.002	0.24	0.003	0.27	0.005	0.33	0.010	0.38	0.019	0.42	0.030	0.51	0.064	0.59	0.116	0.66	0.188	0.73	0.282	0.80	0.400
1:1600			0.22	0.003	0.25	0.004	0.30	0.010	0.35	0.017	0.40	0.028	0.48	0.060	0.55	0.108	0.62	0.175	0.68	0.263	0.74	0.374
1:1800			0.21	0.003	0.23	0.004	0.28	0.009	0.33	0.016	0.37	0.026	0.45	0.057	0.52	0.102	0.58	0.165	0.64	0.248	0.70	0.352
1:2000					0.22	0.004	0.27	0.009	0.31	0.015	0.35	0.025	0.43	0.054	0.49	0.097	0.55	0.156	0.61	0.234	0.66	0.333



4.5.2 배수구교의 수리계산

(1) 구교 흐름의 분류와 수리특성

구교를 통과하는 물의 흐름은 <표 22>과 같이 8가지 형태가 있으며, 흐름의 특성을 지배하는 지배단면이 유입부가 되는지 유출부가 되는지에 따라 각각의 수리방정식이 있다. 지배단면이 유입부가 되는 경우, 구교의 상류수심(HW)은 구교의 경사, 조도 및 길이와는 관련이 없다. 유량과 구교 단면적에 의해 결정되는 지배단면이 유출부인 경우 구교의 상류수심(HW)은 유량, 구교의 단면적은 물론 조도, 길이 등에 의해 결정된다.

(2) 배수구교의 수리설계

구교의 수리설계에서는 구교의 계획홍수량을 결정하고 구교 내 흐름특성을 분석하며, 상류수심(HW)이 허용상류수심(AHW)을 초과하지 않는 경제적인 구교의 단면, 형상 및 경사를 결정한다. 구교의 수리계산은 시산법에 의해 이루어지며 일반적으로 다음의 절차에 따라 수행하며 설계후 검증은 HEC-RAS의 Culvert 해석기능을 이용하는 것이 바람직하다.

제1단계	설계조건에 관련되는 모든 자료를 획득한다.
------	-------------------------

- 계획홍수량(Qd)을 수문분석에 의해 결정한다.
- 선로의 저면폭을 고려하여 구교의 길이(L)를 결정한다.
- 접속수로(또는 하천)의 경사를 고려하여 구교의 경사(So)를 결정한다.
- 선로의 높이를 고려하여 허용상류수심(AHW)을 결정한다.
- 구교의 단면형, 입구부의 모양 및 구교재료를 결정한다.
- 수로의 홍수유속을 결정한다.

제2단계	다음의 3가지 방법중 한가지 방법으로 구교의 초기단면치수를 선정한다.
------	--

- 배수량의 크기를 고려하여 경험적으로 임의로 선정한다.
- 구교의 단면적 $A=Q/3$ 을 기준으로 하여 선정하며 이때, 유속은 $V=3\text{m/sec}$ 로 가정한다.
- <그림 54>로부터 계획홍수량 Qd와 $HW/D=1.5$ 를 연결하여 구교의 초기단면치수, D(원형인 경우 : 직경, 박스형인 경우 : 높이)를 선정한다.

제3단계	유입부조절(inlet control) 및 유출부조절(outlet control)을 각각 가정하여 초기단면치수를 사용할 경우의 상류수심(HW)을 결정한다.
------	---

• 유입부

- <그림 54>로부터 적절한 유입부 단면통제에 대한 상류수심(HW)을 결정한다. 이 단계에서 하류수심(TW)은 일단 고려하지 않는다.
- 만약 위에서 결정된 상류수심(HW)이 허용 상류수심(AHW)보다 크면 배수관 단면치수를 다시 가정하여 $HW < AHW$ 가 되도록 단면치수를 결정한 후 다음 절차에 따른다.

• 유출부 조절

- 계획홍수량이 흐를 때의 배수관 하류수심(TW)을 산정한다.
- 산정한 하류수심이 배수관 출구단면의 상단보다 높을 때 즉, 배수관 출구가 물에 잠긴 상태가 되면 상류수심(HW)은 다음과 같이 계산한다.

$$HW = H + h_o - S_o \cdot L \quad (111)$$

여기서, H : 관수로 흐름상태에서의 손실수두, <그림 55>으로 부터 결정

h_o : 하류수면으로부터 출구단면의 하단까지의 수심, 여기서는 $h_o = TW$

S_o : 배수관의 경사

L : 배수관의 길이

- 산정된 하류수심이 배수관 출구단면의 상단보다 낮으면 h_o 는 다음 중 가장 큰 값으로 놓고 HW를 계산한다.

$$h_o = \frac{(d_c + D)}{2} \quad (112)$$

$$h_o = TW$$

$$h_o = 0.75D(\text{원형})$$

$$h_o = 0.8D(\text{박스형})$$

- 여기서, d_c : 계획홍수량에 대한 배수관의 한계수심으로 $d_c < D$ 임

3단계의 위에서 결정한 HW를 비교하여 큰 HW에 상응하는 흐름조건을 설계조건으로 선택한다. 즉, HW를 크게 하는 조정단면(유입부 또는 유출부)이 흐름을 실제로 지배하게 된다.

- 위에서 선택된 흐름이 유출부가 지배단면인 흐름이고, 이때의 HW가 허용상류수심(AHW)보다 크면 배수관의 배수용량이 부족한 상태이므로 더 큰 단면치수를 선정하여 위의 절차를 밟아 HW를 재결정하여 $HW < AHW$ 가 되도록 단면치수를 선택한다.

제4단계	구교의 단면치수 및 형상에 대한 몇 개의 대안을 가정하여 제1, 2, 3단계의 계산을 실시하고 비교·검토하여 구교의 최종단면치수를 결정한다.
------	--



제5단계	구교의 유출부 유속을 계산하여 하류부에 세굴의 위험이 없는지 검사한다. 유속이 약 2.5m/sec를 초과하면 세굴방지를 위한 하류 보호공(콘크리트 피복, 감쇠수로, 감쇠공 등)이 필요하다.
------	---

- 유출부 유속은 다음 식에 의해 구한다.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (113)$$

여기서, V : 평균유속(m/sec)

n : Manning의 조도계수

R : 동수반경, (m)

S : 수로의 종단경사, (m/m)

- 유출부 유속이 2.5m/sec를 초과하면 <표 38>와 같은 수로보호시설을 한다.

표 38. 유출부 유속에 따른 수로보호시설

유출부 유속 (m/sec)	수로보호시설
2.5<V≤4.0	접속슬래브와 콘크리트 바닥을 포함하여 배수구조물 높이의 3배 이상이 되도록 설치
4.0<V≤6.0	접속슬래브와 콘크리트 바닥을 포함하여 배수구조물 높이의 3배 이상이 되도록 하고 감쇠공(end-sill) 설치
6.0<V	침전조(stilling-basin) 설치 유지관리를 고려하여 가급적 유속 6.0m/sec 이하로 설치

제6단계	최종 설계내용을 요약하고 건의한다. 구교의 단면치수, 형상, 상류 수심, 유출부 유속, 유출부 하류 감쇠공의 필요성 여부, 소요 공사비를 고려한 경제성 등을 요약하고 최종 건의 등을 기록한다.
------	---

4.5.3 설치조건

구교는 경제적이며 안전성과 수리조건을 만족할 수 있고 유지관리에 어려움이 없어야 한다. 그러나 실제로 이러한 조건을 완벽히 만족하는 설계는 쉽지 않고 구체적으로 어떠한 배수시설이 조건에 합당한지 판단하기란 더욱 어렵지만 다음 항목을 만족할 수 있도록 배수시설을 계획하는 것이 필요하다.

- (1) 구교의 유입구와 유출구의 부가시설은 흐름의 모든 단계에서 물, 토사, 부유물을 처리해야 한다.

- (2) 구교는 어떤 불필요한 특성을 갖거나 구교가 가져야 할 특성이 지나치게 손상되어서는 안 된다.
- (3) 보통, 구조물의 상·하부에 설치되는 구교는 구조물에 피해를 발생시키지 않도록 흐름의 변화 없이 유출수를 처리해야 한다.
- (4) 장래의 수로와 선로개량에 대해 원활하게 대처할 수 있도록 설계한다.
- (5) 흙이 다져진 후에 적절하게 기능을 발휘할 수 있도록 설계한다.
- (6) 예상된 토지개발에 의해 증가된 유출수를 잘 처리하도록 미래에 대한 사용성을 고려하여 설계한다.
- (7) 구교는 수리학적으로 설계 유출량을 적절하게 다룰 수 있어야 하고, 구조적으로는 영구성과 유지관리가 편리하도록 축조하여 경제성을 보장할 수 있어야 한다.
- (8) 구교의 유입구는 재료손상, 구교 막힘, 흙의 포화, 또는 상류에서의 부유물 정체 등이 발생하지 않도록 설계한다.
- (9) 구교의 유입구에는 구교의 기능을 저하시키는 이물질들이 구교를 통하여 흐르지 못하도록 스크린을 설치해야 한다. 구교로 유입되는 흐름을 원활하게 하기 위하여 필요하다면 경사를 변화시켜 유속을 변화시킨다.
- (10) 구교 유출구는 용지 안이나 용지에서 비교적 짧은 거리에 설계한다.
- (11) 유출구는 세굴과 유실에 저항할 수 있도록 설계해야 한다.
- (12) 만약, 감쇠장치(에너지 분산 장치)를 사용한다면 그 장치는 설치가 간단하고 경제적이어서 하며, 완만한 흐름이 있는 동안에는 적당한 자정 능력이 있어야 한다
- (13) 횡단배수시설의 설치방향은 <그림 92>와 같이 철도교량 또는 인접구조물의 기초방향과 동일하게 한다. 가능한 횡단배수시설물과 철도구조물과의 이격거리는 2.0m 이상 유지하도록 한다.

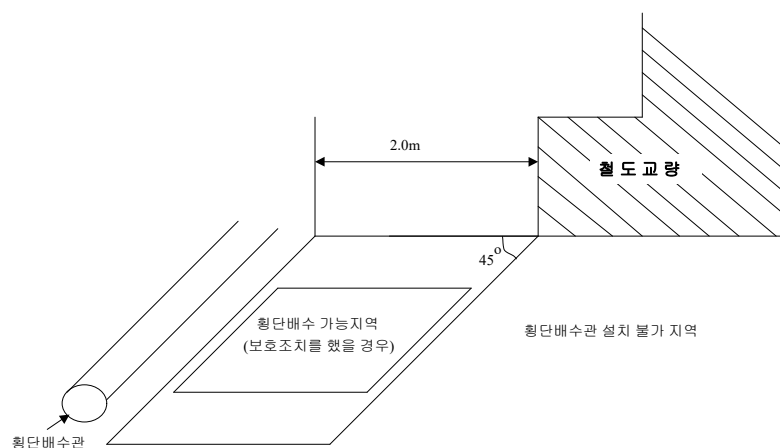


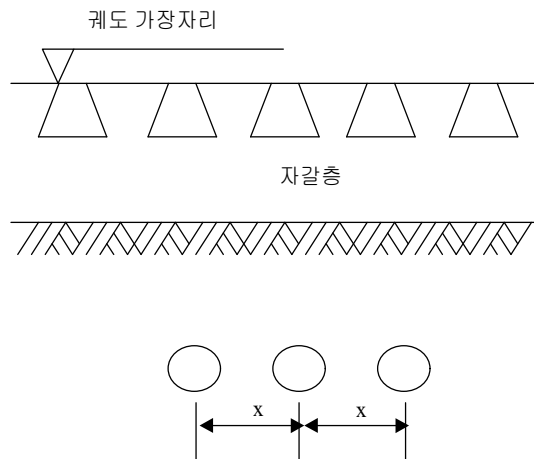
그림 92. 횡단배수시설물과 철도구조물의 간격

- (14) 배수관로의 최대 갯수와 최소간격은 <표 39> 및 <그림 93>와 같다.



표 39. 배수관로의 최소간격과 최대갯수

관로의 외부직경(mm)	관로사이의 최소간격 (m)	관로의 최대갯수
$Da \leq 150$	≥ 0.60	3
$150 \leq Da < 500$	≥ 1.00	3
$500 \leq Da < 1000$	$\geq 2Da$	3
$1000 \leq Da < 1500$	$\geq 2Da$	2
$1500 \leq Da$	-	1



$x \geq 0.60\text{m}$ 일 때, $Da \leq 150\text{mm}$

$x \geq 1.00\text{m}$ 일 때, $150\text{mm} \leq Da < 500\text{mm}$

$x \geq 2Da$ 일 때, $500\text{mm} \leq Da < 1500\text{mm}$

여기서, x : 횡단배수관로 사이의 최소간격,

Da : 횡단배수관로의 외부직경

그림 93. 횡단배수관로의 최소간격

4.5.4 구교 단면 결정시 고려사항

구교의 통수단면은 설계유량을 안전하게 통수시킬 수 있는 크기이어야 한다. 일반적으로 구교를 수로 혹은 계류지점에 설치한 경우, 흐름 상황은 구교 및 그 상하류 부에서 급격하게 변화하는 경우가 있다. 이와 같은 변화는 조도, 수로폭, 경사 등의 수리조건이 구교와 그 상하류부 간에 변화하는 경우에 발생한다. 이러한 경우 등을 고려하여 구교단면 설계는 다음에 기술하는 방법에 의해 수행하는 것이 바람직하다.

(1) 설계유량

구교의 설계유량은 <식 (112)>으로부터 계산할 수 있다. 단, 설계유량은 기존수로 유량을 이용하는 경우도 많지만 새롭게 흙쌓기를 하여 물의 흐름이 변화하거나 인근 개발에 의해 유출계수와 집수면적이 일시적 또는 항구적으로 변화하는 경우도 있으므로, 이와 같은 때에는 <식 (114)>에서 이용하는 유출계수 C , 유역면적 $A(m^2)$, 강우강도 $I(mm/hr)$ 의 결정에 충분히 신중을 기해야 한다.

$$Q_d = \frac{1}{3.6} C \cdot I \cdot A \quad (m^3/sec) \quad (114)$$

(2) 설계 원칙

구교의 경사, 저면 높이 및 폭은 토사의 퇴적과 침식을 방지하기 위해 가능한 한 기존의 수로와 일치시키는 것이 원칙이다. 단, 계류와 같이 하상 경사가 매우 급한 지점에 구교를 설치하는 경우와 같이 시공상 문제, 미끄럼 문제, 토사에 의한 마찰 문제 등이 발생할 우려가 있는 경우에는 구교 경사를 충분히 주어 원활한 흐름이 이루어지도록 한다.

구교의 폭이 상류측 수로의 폭에 비해 적어지는 때에는 수로폭의 급격한 축소에 의해 구교 직상류의 수위를 막아서 역류시키기 때문에 구교 전체 혹은 유입구의 폭을 가능한 한 넓게 하여 상류측 수로로 원활하게 빠져나가도록 하는 것이 좋다.

그 외 소구경 구교의 경우에는 그 계산상의 유량이 작더라도 청소나 그 외의 유지 보수 등을 고려하여 직경 80cm이상으로 하는 것이 바람직하고, 유지관리상 특히 필요한 경우에는 상당한 크기를 확보하는 경우도 있다.

(3) 흐름 형태

구교부에서의 흐름 상황은 유량 및 구교 조건 등에 의해서 변화할 수 있으며, 이것은 일반적으로 <표 22>에 있는 8가지 형태로 분류된다.

4.5.5 설계 예

(1) 설계조건

- 배수구교 설치 유역은 산지이며, 경사가 급하고 저류효과가 없는 지역으로 가정
- 유역면적 $A = 0.103 \text{ km}^2$
- 계획홍수량 $Q_p = 3.470 m^3 / sec$
- 구교길이 $L = 85.9m$
- 하상경사 $S = 2\%$
- 유입부 손실계수 $C_e = 0.5$
- 허용상류수심 $AHW = 14.51m$
- 조도계수 $n = 0.013$
- 동수반경 $R = 0.32m$



(2) 설계방법

1단계 : 설계자료 획득

설계에 필요한 모든 자료를 획득한다.(설계조건 참조)

2단계 : 구교의 초기단면치수 선정

계획홍수량 $Q_p=3.470\text{m}^3/\text{sec}$ 를 고려하여 경험상으로 배수관의 직경(D)을 1200mm로 선정

3단계 : 상류수심(HW) 결정

① 유입부 조절 검토

- <그림 54>로부터 $Q_d = 3.47\text{m}^3/\text{sec}$ 와 배수관 직경 1200mm에 해당되는 선을 연결하여 $C_e=0.5$ 일 경우의 HW/D 를 구함. $\Rightarrow HW/D = 1.55$
- $HW = 1.55 \times D = 1.55 \times 1.2\text{m} = 1.86\text{m}$
- $HW = 1.86\text{m} < AHW = 14.51\text{m}$ 를 만족하므로 O.K.

② 유출부 조절 검토

- 하류수심 TW 산정
TW는 하류수면으로부터 출구단면의 하단까지의 수심이며, 본 예제에서는 $TW = 0.57\text{m}$ 로 가정한다.
- <식 (111)>로부터 HW를 산정한다.
 $HW = H + h_0 - S_0 \cdot L$ 에서,
산정된 하류수심이 배수관 출구단면보다 낮으므로,
 $h_0 = (d_c + D)/2 = (0.97\text{m} + 1.2\text{m})/2 = 1.09\text{m}$
 $h_0 = TW = 0.57\text{m}$
 $h_0 = 0.75D = 0.90\text{m}$
중 가장 큰 값인 1.09m 적용
- 손실수두 H는 <그림 55>으로부터 배수관경 $D=1200\text{mm}$ 와 계획홍수량 $Q_p = 3.47\text{m}^3/\text{sec}$ 를 연결한 선으로부터 결정 $\Rightarrow H=2.0\text{m}$
- 따라서 $HW = H + h_0 - S_0 \cdot L$
 $= 2.0\text{m} + 1.09\text{m} - 0.02 \times 85.9\text{m} = 1.37\text{m}$
- 유입부 조절시 $HW = 1.86\text{m}$
유출부 조절시 $HW = 1.37\text{m}$ 이므로 유입부의 흐름이 지배단면이 된다.

4단계 : 대안설계후 최종단면 및 형상 결정

실제로는 몇가지 대안 단면 및 형상에 대해 상기과정을 반복 검토하여 가장 경제적이고 안전한 단면을 결정하여야 하나 여기서는 예로서 초기 단면치수에 대해서만 검토한다.

제 5 단계 : 유출부 유속 검토 및 통수단면 분석

- 유출부 유속 검토

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

$$= \frac{1}{0.013} \times 0.32^{2/3} \times 0.02^{1/2} = 5.10 \text{ m/sec}$$

$V > 2.5\text{m/sec}$ 이므로 세굴방지를 위한 수로보호시설 설치가 필요함

- 통수단면 분석

계획홍수량 $Q_p = 3.47\text{m}^3/\text{sec}$ 이고, 결정된 구교단면은 배수관경 1200mm이므로 이에 대한 통수량 Q_d 를 구하여 비교하면 다음과 같다.

통수량 $Q = AV$ 에서, 횡단배수관의 설계통수능을 관경의 75%로 하면 설계 통수량

$$Q_d = AV = 0.75 \times (\pi D^2/4) \times V$$

$$= 0.75 \times \frac{\pi (1.2\text{m})^2}{4} \times 5.1\text{m/sec} = 4.32\text{m}^3/\text{sec}$$

따라서, $Q_d = 4.32\text{m}^3/\text{sec} > Q_p = 3.47\text{m}^3/\text{sec}$ 이므로 O.K

4.5.6 산악지 철도의 횡단배수 시설

- (1) 산악지에 설치되는 횡단배수시설은 일반구간에 비하여, 토석류 또는 유송잡물의 유입을 고려하여 그 용량을 결정한다.
- (2) 기존 시설물 유실 등의 기록이 있는 구간에 설치되는 횡단배수 암거의 규격은 지형적인 여건을 고려하여 전문가의 자문 등을 통하여 규격을 확대하여 설치한다.
- (3) 토석류의 유입이 예상되는 지역에서는 흙관 등 원형 배수관의 사용보다는 최소규격 2.0×2.0 m의 수로암거를 적용한다.
- (4) 수로 폭이 6m 이상이 되는 구간은 2련 암거의 형태로 설치될 경우 유송잡물에 의해 통수단면이 부족할 수 있으므로, 대형수로는 라멘교 등의 소규모 교량으로 계획한다. 다만, 지형적인 여건 등 암거, 교량 설치가 불가능할 경우, 최소규격 1.5m이상의 강재 및 콘크리트 원형관 등을 사용하며, 토석류 및 유송잡물 등의 하중에 대한 배수관의 구조적 안정성과 통수 단면을 확보한다.
- (5) 산악지 철도의 횡배수관이 하천 및 저수지 등으로 우수를 배제시킬 경우, 해당 수리구조물의 계획 홍수위를 기준으로 횡단배수시설을 설치하여, 우수의 흐름을 원활히 한다.



4.6 정거장 배수시설의 설계

4.6.1 기능

정거장 배수시설은 정거장의 선로 및 분기기 시설에서 지표면 및 지하에서 유입되는 물을 집수하고 이 물을 손상됨이 없이 유출시켜야 한다. 정거장에서는 추가적으로 다음과 같은 그 밖의 물들을 유출시켜야 한다.

- (1) 승차장 및 화물로 등의 표면수
- (2) 강우 또는 건물 및 승강장 지붕의 낙수물 등
- (3) 전차대 및 세척장 등의 오염된 표면수
- (4) 정거장 구내의 가정 및 영업용 하수

이와 같은 그 밖의 물들은 철도선로의 배수시설로 유입되어서는 안된다. 이러한 물들은 집수정으로 유입시키거나 또는 공동의 하수관에서 배수로로 유도하여야 한다. 침전 및 정수 설비와의 연결에 대한 필요성도 검토하여야 한다.

4.6.2 설치

선로 및 분기기의 배수는 정거장의 평면의 넓이와 그리고 정거장에서 지하배수관 및 집수정으로 이루어진 하나의 관망이 작게 허용된 최대 종단 경사 0.25% 이상으로 이루어져야 한다.

시공기면의 경사는 인접한 2개 선로의 배수를 고려하여 지붕모양으로 설치해야 한다. 정거장 배수시설 설계시 가급적 전철주 기초와의 간섭을 고려하여 계획하여야 한다.

4.6.3 지하배수

노반으로부터 유입되는 표면수는 인접한 2개 선로 사이의 투수성이 있는 노상보다는 <그림 94>에 따라 평평하게 설치한 지하배수에 의해 집수되고 유도되어야 한다.

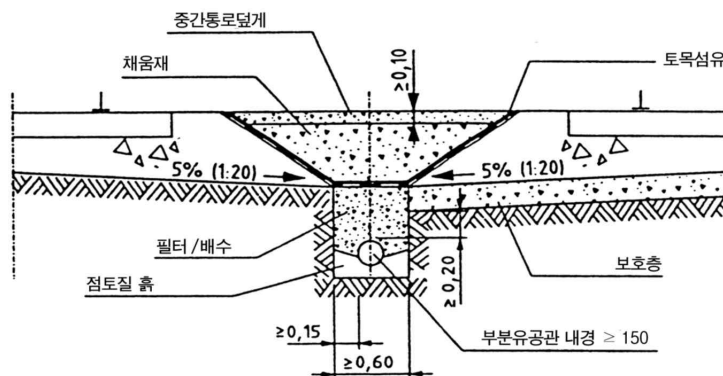


그림 94. 2개 선로사이의 지하배수를 위한 사례

지하배수를 이용하여 비흡착수인 흙속의 물 또는 피압지하수를 집수할 때에는, 트랜치판이나 또는 지하배수관의 설치심도를 더 깊게 해야 한다. 이 경우 전유공관을 설치하여야 한다.

4.6.4 승강 통로 및 분기기

지하배수 위에 있는 중간 통로는 <그림 94>에 따라 견고한 덮개를 유지해야 한다.

지하배수는 가능한 한 분기기에 인접하게 설치해야 하며 지하배수관은 분기기의 인접범위에서 차집 수직갱없이 시작할 수 있다.

4.6.5 승강장 범위 및 종단 경사

승강장 범위에서 지하배수는 선로들 사이에 설치한다. 승강장 모서리를 따라 지하배수를 설치할 경우에는, 승강장 모서리는 충분한 깊이를 갖도록 시공해야 한다.

지하배수관은 높은 지점 및 낮은 지점사이의 변화에서 그들의 심도 깊이의 제한을 위해 <그림 95>에 따라 포설한다.

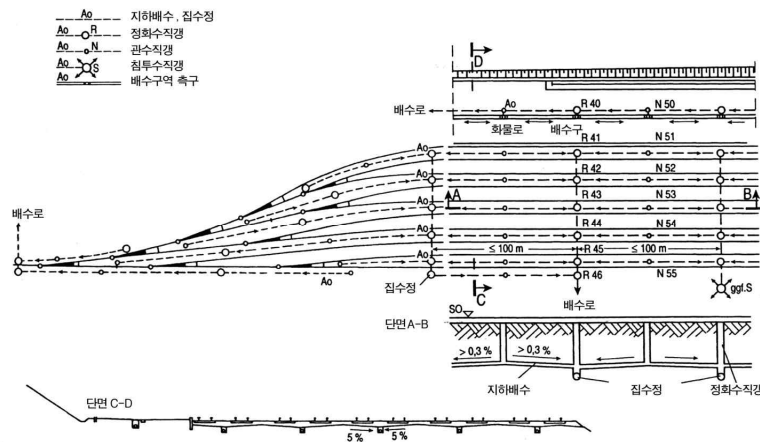


그림 95. 하나의 정거장 배수 사례

4.6.6 수직갱 및 집수정

관로의 높은 지점에서는 관리식 수직갱을 설치하고 관로의 낮은 지점에서는 집수된 물을 선로 아래에 횡으로 포설한 집수정으로 유도하기 위해 중계식 수직갱을 설치한다. 수직갱 사이의 간격은 최대 50m로 설치할 수 있다.

집수정은 각각의 지형과 배수로에 따라 설치할 수 있으며, <그림 95>에서 보여준 사례에서는 집수정의 간격은 100m에 달한다.

4.6.7 표면수

승강장 또는 화물로와 같은 교통용적의 표면수는 횡단경사를 이용하여 선로로부터 멀리한 다음 점상이나 혹은 선상의 유입량으로 집수하여야 한다.



RECORD HISTORY

- Rev.0('12.12.05) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.
- Rev.1('13.06.18) 2013년 호남본부 종합감사 결과(감사실-868, '13.4.22) 소단측구 등의 설계 및 시공시 혼란이 야기되지 않도록 국토교통부 철도설계기준(2011)에 부합되게 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분하고 “철도표준도(관리번호 CRE2112, CRE 2361)” 추가
- * 호남고속철도 설계지침(노반편) 그림 4.6.9(비탈면 배수구) 참조
- Rev.2('15.06.19) “콘크리트 구조기준(2012)” 제10장 콘크리트교편의 콘크리트 탄성계수 계산식(10.2.2) 일치
- Rev.3('16.06.15) 호우가 있을 때 통수가 원활하도록 선로횡단배수관 최소관경 확대
- * 감사원 지적사항(감사실-3133, '15.12.2) 반영
- Rev.4('16.12.02) 배수시설물의 설계빈도 추가, 배수시설 단면설계 20% 여유 조항 추가, 산악지 철도의 횡단배수 시설 기준 추가
- Rev.5('17.03.20) 철도설계기준(국토교통부고시제2015-1014호, '15.12.29)이 개정 고시됨에 따라 개정내용(주요 하중조합의 하중계수)을 반영
- Rev.6('17.07.03) “토사측구 문제점 개선 및 횡단배수관 크기 통일, 도로 배수시설 설계 및 관리지침(2012, 국토해양부) 준용 등 개정(설계기준처-1920호)
- Rev.7('17.10.27) 상위기준인 철도설계기준 개정내용 * 국토교통부고시제2017-573호, '17.8.30)
- Rev.8('17.12.22) 해설2. 박스형 구교 활하중 수정
- Rev.9('20.11.03) 비구조용 콘크리트 배수시설물 설계기준강도 합리적 개정, 철도시설안전 혁신단 요구사항 반영(토공 배수시설 개선)
- Rev.10('24.06.04) 상위기준(KDS 등)과 체계일치, 현행화 등 시행을 위한 건설기준 고도화 용역 검토사항 등을 반영한 KR CODE 체계 개편 및 개정(심사기준처-715호, '24.06.04)

KR CODE 개편사항		
당 초		개 정
KR C-05010 구교	⇒ (코드 간 통합)	KR C-05010 구교 및 배수시설
KR C-05020 배수시설		

- Rev.11('24.08.30) 행정안전부 소하천설계기준(상위기준) 개정('24.3)에 따른 CODE 내 소하천 설계빈도 개정(심사기준처-2216, '24.08.30.)
- Rev.12('25.02.11) 직전 개정 시 단순누락·오류 사항 정정(심사기준처-137, '25.01.13, 심사기준처-510, '25.02.11)

Rev.13('26.08.13) 최근 기후환경 변화를 반영한 철도배수시설 배수인자 현행화(심사기준
처-3342, '26. 8. 12.)