

KR C-05010

Rev.4, 22. December 2017

구 교

2017. 12. 22



한국철도시설공단

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. 용어의 정의	1
2. 구교의 설계	3
2.1 구교설계 일반	3
2.2 하중	5
3. 설계방법	8
3.1 설계방법 및 기호	8
3.2 강도설계법	9
4. 사용재료	11
5. 구조설계	12
5.1 구조계산	12
5.2 박스형 구교	12
5.3 문형라멘 구교	14
5.4 아치형 구교	15
 해설 1. 구교의 일반	 17
1. 구교의 분류	17
1.1 사용 목적에 의한 분류	17
1.2 구조 형식에 의한 분류	17
2. 선형계획	17
2.1 구교의 평면선형	17
2.2 구교의 종단선형	18
3. 내공단면 결정	18
3.1 내공단면 결정조건	18
3.2 연약지반상의 구교	18
4. 구교의 형식선정	19
 해설 2. 박스형 구교	 20
1. 구교의 상세 계획	20
1.1 평면계획	20
1.2 종단계획	21
1.3 단면계획	23
1.4 구조상세	24

1.5	날개벽 설계	25
1.6	구교의 기초	28
1.7	기타 구교설계시 유의사항	29
2.	구조설계	30
2.1	구조해석 모델 및 경계조건	30
2.2	설계하중	34
2.3	설계방법	40
2.4	콘크리트 단면검토	44
2.5	주철근 정착검토	45
2.6	사용성 검토	46
2.7	단절점부 보강	47
2.8	안정검토	49
2.9	종방향 검토	50
2.10	날개벽 검토	52
2.11	배근상세	52
3.	사용재료	56
3.1	기호	56
3.2	강재	56
3.3	콘크리트	56
3.4	설계계산에 사용하는 설계상수	57
4.	설계흐름도	58
4.1	주 설계단계	58
4.2	설계조건결정 및 단면가정	59
4.3	모델링 및 하중산정	59
4.4	모델 해석 및 단면검토	60
4.5	사용성검토(우각부, 처짐 및 균열, 안정 등)	60
4.6	기초의 안정성 검토	61
4.7	날개벽 설계	61
해설 3.	문형 라멘 구교	62
1.	적용범위	62
2.	설계시 유의사항	62
2.1	일반사항	62
2.2	구조상세	62
3.	설계흐름도	63
3.1	주 설계단계	63
3.2	설계조건결정 및 단면가정	64
3.3	모델링 및 하중산정	64



3.4 모델 해석 및 단면검토	65
3.5 사용성검토(우각부, 처짐 및 균열, 안정 등)	65
3.6 기초 안정 및 단면검토	66
3.7 날개벽 설계	66
해설 4. 아치형 구교	67
1. 적용범위	67
2. 종류	67
3. 상세계획	67
3.1 평면계획	67
3.2 토피두께와 부재단면	67
3.3 내공단면	68
4. 구조계산	69
4.1 고려사항	69
4.2 구조계산 상세	69
5. 구조상세	70
6. 설계흐름도	70
6.1 주 설계단계	70
6.2 설계조건결정 및 단면가정	71
6.3 모델링 및 하중산정	71
6.4 모델 해석 및 단면검토	72
6.5 사용성검토(우각부, 처짐 및 균열, 안정 등)	72
6.6 날개벽 설계	73
해설 5. 관형 구교	74
1. 적용범위	74
2. 철근콘크리트 관형 구교	74
2.1 종류	74
2.2 매설상태 및 기초형식	77
2.3 관형구교의 설계	80
3. 설계, 시공상의 주의점	82
4. 설계흐름도	83
4.1 주 설계단계	83
4.2 설계조건결정 및 관중, 단면가정	83
4.3 하중산정	84
4.4 단면검토	84
RECORD HISTORY	85

1. 용어의 정의

- (1) 갈고리 : 철근의 정착 또는 겹침이음을 위하여 철근 끝의 구부린 부분.
- (2) 계수하중(factored load) : 강도설계법에 의해 부재를 설계할 때 사용되는 하중, 사용 하중에 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) 배수공 : 본선수로, 지축수로, 도수로, 집수정, 배수관 및 배수암거와 그 부속물.
- (7) 배수시설 : 노반의 분수를 방지하고, 노반강도를 확보함과 동시에 열화방지 및 호우시 쌓기부의 붕괴방지, 깎기 비탈면의 붕괴방지, 철도횡단 수로의 확보 등을 위한 모든 배수공.
- (8) 부력 : 지반 중 또는 지반과 구조물 사이에 간극수가 존재하는 구조물의 저면에 작용하는 상향의 정수압에 의해 생기는 힘.
- (9) 부의 휨모멘트 : 바닥판 및 부재상측에 인장응력을 생기게 하는 휨모멘트.
- (10) 부철근 : 부의 휨모멘트에 의하여 생긴 인장응력에 저항하도록 배치하는 철근.
- (11) 사용하중(service load) : 고정하중 및 표준열차하중으로서 하중계수를 곱하지 않은 것, 작용하중.
- (12) 사인장 철근 : 휨응력과 전단응력과의 합성에 의해 부재측에 경사지게 생긴 인장응력에 저항하도록 배치하는 철근. 전단철근.
- (13) 설계강도 : 공칭강도에 강도감소계수(ϕ)를 곱한 강도.
- (14) 설계기준강도(specific compressive strength) : 콘크리트부재의 설계에 있어 기준으로 한 압축강도. 일반적으로 재령 28일의 압축강도를 기준.
- (15) 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)
- (16) 소요강도 : 하중조합에 따른 계수하중을 지탱하는데 필요한 부재 또는 단면의 강도, 또는 이와 관련된 휨모멘트, 전단력, 축방향력 및 비틀림 모멘트 등으로 나타낸 설계단면력.
- (17) 양압력 : 구조물 전후의 수위차 또는 파랑 등에 의한 구조물 위치에서 일시적인 위상승에 의해 생기는 상향의 힘.
- (18) 정의 휨모멘트 : 바닥판 및 부재하측에 인장응력을 생기게 하는 휨모멘트.



- (19) 정철근 : 정의 휨모멘트에 의하여 생긴 인장응력에 저항하도록 배치하는 철근.
- (20) 주철근 : 철근콘크리트 부재의 설계에서 하중작용에 의해 생긴 단면력에 대하여 소요 단면적을 산출한 철근.
- (21) 축방향철근 : 부재축방향으로 배치하는 철근.
- (22) 콘크리트의 크리프 : 콘크리트에 일정한 응력이 작용한 상태에서 시간의 경과에 따라 변형이 계속 증가하는 현상.
- (23) 피복두께 : 콘크리트 표면과 그에 가장 가까이 배치된 철근표면 사이의 콘크리트 두께.
- (24) 횡방향철근 : 부재축에 직각방향으로 배치하는 철근.
- (26) 강도감소계수 : 재료의 공칭강도와 실강도간의 불가피한 차이, 제작 또는 시공, 저항의 추정 및 해석 모형 등에 관련된 불확실성 등을 고려하기 위한 안전계수.
- (27) 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 하천시설설치 지점지류와 분류합류점 등에서 하천개발계획을 위해 책정된 홍수량.
- (28) 낙차공(감세공) : 낙차가 큰 하상유지시설로서 하상의 세굴을 방지하기위해 도수를 발생시켜 흐름을 상류로 변화시키는 구조물.
- (29) 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.
- (30) 설계하중 : 부재를 설계할 때 적용하는 하중으로서, 강도설계법에 의할 때는 계수하중을 적용하고, 허용응력 설계법에 의할때는 사용하중을 적용.
- (31) 수위 : 기준면으로부터 측정한 수면의 높이.
- (32) 유역 : 어느 지점에서의 유역이란 그 지점을 동일한 유출점으로 갖는 지표면의 범위.
- (33) 주하중 : 교량의 주요 구조부를 설계하는 경우에 항상 또는 자주 적용하여 내하력에 결정적인 영향을 미치는 하중의 총칭.
- (34) 지하수 : 지상에 내린 강수가 일단 지표면을 통해 침투하여 단기간 내에 하천으로 방출되지 않고 지하에 머무르면서 흐르는 물을 지칭.
- (35) 특수하중 : 교량의 주요구조부를 설계하는 경우에 교량의 종류, 구조형식, 가설지점의 상황 등의 조건에 따라 특별히 고려하여야 하는 하중의 총칭.
- (36) 하중계수 : 하중의 공칭값과 실제 하중간의 불가피한 차이, 하중을 작용외력으로 변환시키는 해석상의 불확실성, 예기치 않은 초과하중, 환경작용 등의 변동을 고려하기위하여 사용하중에 곱해주는 안전계수.
- (37) 허용응력 : 탄성설계에서 재료의 기준강도를 안전율로 나눈 것.

2. 구교의 설계

2.1 구교설계 일반

- (1) 구교의 형식은 박스형, 문형라멘, 아치형으로 구분하며, 아치의 경우 이 장에서는 고정아치를 기준으로 한다.
- (2) 구교의 형식은 사용목적과 현장조건, 내공단면의 크기, 기초지반의 상태, 시공성, 경제성, 유지관리성 등을 고려하여 선정해야 한다.
- (3) 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.
- (4) 구교의 입지는 본선과 직각방향으로 교차되도록 선정해야 하며, 부득이한 경우에는 사용목적과 현장조건에 부합되도록 사각으로 설치할 수 있으나, 토피가 낮은(1.5m 이하) 박스형 구교의 상부에 사방향으로 열차가 채하될 경우에는 좌우 진동 방지턱의 설치를 고려해야 한다.
- (5) 구교의 설치는 <그림 1>, <그림 2>와 <표 1>에 따르며 신축이음매 간격 L_1 , L_2 는 10m~15m를 기준으로 한다.
- (6) 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 조치해야 한다.

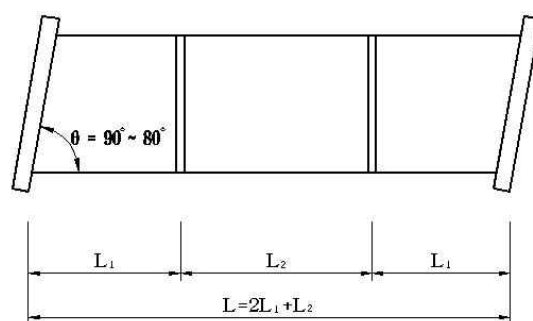


그림 1. $\theta = 80^\circ \sim 90^\circ$

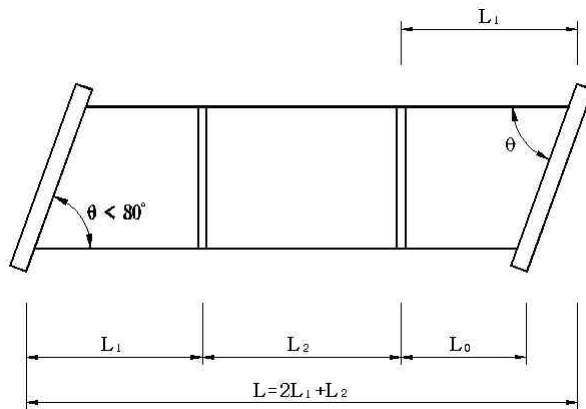


그림 2. $\theta < 80^\circ$

표 1. 구교평면계획기준

지반조건	L_0/L_1	θ
연약지반	0.5 이상	70° 이상
보통지반	0.5 이상	60° 이상

(7) 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

(8) 수로용 구교는 계획유량을 통과시킬 수 있는 단면이고, 내공높이는 고수위(HWL)+여유고를 합한 높이 이상으로 한다.

(9) 도로용 구교는 도로 건축한계 이상이고 차도, 보도, 매설관, 조명 등 기타 필요한 시설을 설치할 수 있는 공간을 확보해야 한다.

(10) 구교설계는 일반적으로 사용목적에서 정한 허용침하량 이하로 하고, 이음부는 유해한 틈과 어긋남이 발생하지 않도록 하여 각 부재가 소요강도 이상이 되도록 설계해야 한다.

(11) 구조계산은 가장 불리하게 재하된 고정하중 및 활하중에 의한 구조물의 응력, 변형, 안정, 피로 등의 구조거동을 검토하여 소요 안전도를 확보해야 한다.

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

2.2 하중

(1) 하중의 종류

- ① 구교의 설계하중은 허용응력설계법을 적용시 주하중(P), 주하중에 상당하는 특수하중(PP), 부하중에 상당하는 특수하중(PA)으로 구분하며, 가설지점의 조건과 구조에 따른 하중 및 하중조합을 선정하여 설계해야 한다.

② 주하중(P)

- 가. 고정하중(D)
- 나. 활하중(L)
- 다. 충격(I)
- 라. 장대레일 종하중(LR)
- 마. 콘크리트 크리프의 영향(CR)
- 바. 콘크리트 건조수축의 영향(SH)
- 사. 토압(H)
- 아. 수압, 부력 또는 양압력(Q)

③ 주하중에 상당하는 특수하중(PP)

- 가. 지반변동의 영향(GD)
- 나. 지점이동의 영향(SD)

④ 부하중에 상당하는 특수하중(PA)

- 가. 온도변화의 영향(T)
- 나. 지진의 영향(E)
- 다. 가설시 하중(ER)
- 라. 기타하중

- (2) 고정하중을 산출할 때는 「KR C-08020」을 따른다.

(3) 활하중

- ① 활하중은 「KR C-08020」을 따른다.
- ② 활하중에 의해 구교 상면에 작용하는 연직토압 및 측면에 작용하는 수평토압은 복토두께를 고려하여 결정해야 한다.
- ③ 활하중은 토피에 따라 <식 (1)> 및 <식 (2)>에 의해 계산하며 또한, 활하중에 의해



증가되는 구교측면의 측압을 고려하고 측압을 구할 때는 0.4의 가상토압계수를 적용할 수 있다.

가. $H_e < 0.5\text{m}$ 일 때

$$W_L = \frac{P}{a(b+2d)} \quad (1)$$

나. $H_e \geq 0.5\text{m}$ 일 때

$$W_L = \frac{2P}{a\{c+b+2(d+H_e)\}} \quad (2)$$

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)

(4) 충격하중

구교에 작용하는 충격하중의 크기는 열차하중에 다음의 충격계수를 곱한 값으로 한다.

① 단선을 지지하는 구교의 충격계수는 <표 2>의 값을 이용한다.

표 2. 표준열차하중이 작용하는 단선 지지 구교의 충격계수

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

연속 경간을 갖는 구교 등에서 각 지간이 같지 않고 최소지간이 최대지간의 70% 이상인 경우에는 그 평균 지간으로 <표 2>의 계수를 사용하고, 70% 미만인 경우에는 최소지간에 해당하는 충격계수를 사용한다. <표 2>에 없는 지간의 충격계수는 보간법으로 구한다.

② 복선을 지지하는 부재의 충격은 두 궤도의 전 충격으로 한다.

③ 구교 상면에 흙이 1.0m 이상 덮여져 있는 경우의 값은 <식 (3)>에 의하여 감소시켜 적용한다.

$$i = i_o \left(\frac{2.5 - H}{1.5} \right) \quad (3)$$

단, $H \leq 1.0\text{m}$ 에서는 $i = i_o$

$H \geq 2.5\text{m}$ 에서는 $i = 0$

여기서 i : 상부슬래브에 작용하는 충격계수

i_o : 지간에 따라 정해진 기본 충격계수

H : 침목하면에서의 토피고(m)

④ 구조물 측면의 측압에 가중되는 충격력은 없는 것으로 한다.

(5) 장대레일 종하중

장대레일 종하중은 필요시에 고려해야 하며, 1궤도당 10kN/m로 하고 작용위치는 상부슬래브 축선으로 한다. 단, 토피가 1.0m 이상인 경우는 이를 무시한다.

(6) 콘크리트의 크리프와 건조수축의 영향

지하에 설치되는 구교를 설계할 때는 일반적으로 온도변화는 고려하지 않고 건조수축의 영향은 고려해야 한다.

(7) 토압

① 연직토압

가. 토피가 있는 경우 연직토압은 <식 (4)>로 구한다.

$$P_v = \gamma H \quad (4)$$

여기서, P_v : 상부슬래브에 작용하는 토압(kN/m²)

γ : 토피의 단위체적중량(kN/m³)

H : 토피높이(m)

나. 기존지반면에 설치된 구교 상부 또는 말뚝기초를 통해 견고한 지반에 지지되는 연약지반상의 구교 상부에 신규로 쌓기를 함으로써 지반하중 증가로 구교 주변지반이 침하하는 경우 등 주변 지반과의 상대변위가 고려되는 경우에는 토피의 연직하중을 할증해야 한다. 다만, 좌우에 어프로치블록을 설계하는 경우에는 일반적으로 연직하중에 대한 할증을 하지 않는다.

$$P_v = (1 + \lambda) \gamma H \quad (5)$$

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

B : 박스의 폭(m)

② 평상시의 수평토압

평상시의 수평토압은 「KR C-08020의 3.4항」을 따라 산출한다.

(8) 수압

① 정수압은 <식 (6)>에 의해 산출하고, 구조물의 지반 속에 작용하는 수압이 이론수압의 값까지 작용하지 않는 것이 확실한 때에는 그 확실한 값까지 감소할 수 있다.

$$P_h = \gamma_w \cdot h \quad (6)$$



여기서, P_h : 수면에서 h만큼 깊은 곳의 정수압(kN/m²)

h : 수면에서의 깊이(m)

γ_w : 물의 단위체적중량(kN/m³)

(9) 부력 또는 양압력

① 부력 및 양압력은 연직방향으로 작용하는 것으로 하고 구조물에 가장 불리하도록 재하한다.

② 부력 및 양압력의 작용을 받는 구교의 안전율은 1.2 이상이어야 한다.

(10) 지반변동 및 지점이동의 영향

① 하부구조 완성 후 기초지반의 압밀침하 등에 의해 다음과 같은 지반변동이 예상되는 경우에는 그 영향을 고려해야 한다.

가. 기초 주변지반의 압밀침하

나. 배면 쌓기에 의한 연약지반의 측방유동

다. 하천의 흐름, 파랑에 의한 세굴, 하상저하

② 구교는 부정정 구조물로 지반의 부등침하 등으로 인하여 생기는 기초구조물의 침하, 수평이동, 회전 등에 의하여 부재응력이 증가되므로 최종 이동량을 추정하여 단면력을 산정해야 한다.

(11) 지진의 영향

구교는 일반적으로 배제된 흙의 중량보다 가볍기 때문에 보통지반의 일반적인 구교에서는 지진에 의한 영향이 작으므로 지진의 영향을 고려하지 않는다. 단, 경간이 5.0m이상인 경우에는 설계자가 판단하여 필요시 그 영향을 고려하여야 한다.

(12) 가설시 하중

가설시 하중이란 시공단계에 따라 작용하는 하중이다. 가설시 하중으로 인한 응력은 가설방법에 따라서는 가설 후의 응력보다 큰 값을 나타낼 경우가 있다.

따라서 시공 중에는 가설에 따른 단계별 가설방법과 가설 중의 구조를 고려하여 자중, 가설장비, 기자재, 바람의 영향 등 모든 재하조건에 대한 안전도 검토를 해야 한다.

3. 설계방법

3.1 설계방법 및 기호

(1) 콘크리트 구교는 일반적으로 강도설계법을 기준으로 하나 지반지지력 검토, 사용성 검토 및 강구조일 경우는 허용응력설계법을 적용한다.

(2) 기호

- Ab : 지압을 받는 재하면적
 Ac : 지지하는 콘크리트의 전면적
 D : 고정하중 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
 LR : 장대레일 종하중 또는 이에 따른 단면력
 Q : 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력
 U : 소요강도

3.2 강도설계법

- (1) 강도설계법에서 콘크리트 구조물의 부재나 단면은 설계하중조합과 강도감소계수에 의해 해석한 설계단면력 이상의 설계강도가 되도록 설계해야 한다.
- (2) 부재는 사용하중 하에서도 필요한 성능과 기능을 확보해야 한다.

(3) 설계하중조합

① 소요강도

- 가. 부재나 단면의 소요강도는 「②항」의 기준에 의한 하중계수 및 하중조합에 따라 계산한 휨, 축방향력, 전단 및 비틀림 등의 극한외력에 대한 설계단면력을 기초로 한다.
- 나. 구조물이나 구조부재는 가장 불리한 재하조건으로 계산한 극한외력에 대하여 설계해야 한다.
- 다. 가장 불리한 재하조건이란 해석과정에서 상쇄작용으로 인하여 각종 하중 가운데 일부가 작용하지 않는 경우의 재하조건을 말하는 것으로 유의하여 설계해야 한다.
- 라. 콘크리트 구조물에 적용한 강도설계법에서는 설계강도가 소요강도보다 커야 한다.
 - (가) 소요강도는 사용하중 뿐만 아니라 초과하중이나 구조해석상의 단순화 가정 등과 같이 가능한 여러 요인들로부터 발생하는 초과작용 외력을 고려한 하중계수를 곱하여 구한다.
 - (나) 구조요소의 설계강도는 콘크리트 구조물의 강도설계법일 경우는 공칭강도에다 1보다 작은 값인 강도감소계수(ϕ)를 곱하여 계산한다.
- 마. 「나.항」의 기준에 의한 하중조합 중에 가장 불리한 외력을 일으키는 조합을 사용하여 소요강도를 계산해야 한다. 이때 구조물의 특성, 강설, 강우 또는 특수상재하중 등이 재하되는 경우에는 이와 같은 특수하중의 재하효과도 하중조합에 포



함시켜야 한다.

② 주요 하중조합의 하중계수

가. 고정하중+활하중+토압+지하수압

$$U = 1.35D+1.85(L+I)+1.6H+1.4Q \quad (7)$$

$$U = 1.6\{D+(L+I)+H+Q\} \quad (8)$$

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

$$U = 1.35D+1.4(L+I)+1.6H+1.4Q+1.35G+1.4L_R \quad (9)$$

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

③ 「②항」의 모든 하중조합에서 고정하중계수와 토압하중계수를 바꾸어 설계하는 경우에는 <표 3>에서 기준한 값을 적용해야 한다. <표 3>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 3>의 각 경우에 대하여 설계할 때는 고정하중계수와 토압하중계수를 <표 3>에 제시한 값으로 대치하여 설계해야 한다.

표 3. 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
(7)~(9)	0.8	0.6	1.4

(4) 설계강도

① 공칭강도 및 설계강도

공칭강도 및 설계강도는 「KR C-10020의 3항」을 따른다.

② 강도감소계수(φ)

강도감소계수는 「KR C-10020의 3항」을 따른다.

③ 연결부의 설계강도

가. 프리캐스트 부재 사이 또는 프리캐스트 부재와 현장타설 콘크리트 부재사이 연결부의 설계강도는 작용하는 외력에 대한 공칭강도에 수정한 강도감소계수를 곱하여 구한 값으로 설계해야 한다.

나. 수정한 강도감소계수는 「②항」의 해당 ϕ 값에 연결부에 대한 추가 강도감소계수인 0.85를 곱하여 구한 값으로 설계해야 한다.

④ 정착길이의 기준

철근의 정착길이 산정시는 ϕ 계수를 적용할 필요가 없다.

4. 사용재료

(1) 기호

E_c : 콘크리트의 탄성계수(MPa)

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준강도(MPa)

G_c : 콘크리트의 전단탄성계수(MPa)

(2) 구교에 사용되는 강재는 「KR C-09010」의 해당요건에 따른다.

(3) 콘크리트

① 콘크리트의 설계기준강도

가. 구교에 사용하는 콘크리트의 설계기준강도는 <표 4>에 나타난 값 이상이어야 한다.

표 4. 콘크리트의 최저 설계기준강도

부재의 종류	최저 설계기준강도(MPa)
무근콘크리트부재	18
철근콘크리트부재	21

나. 확대기초 하면에 타설하는 기초바닥정리 콘크리트 등은 무근콘크리트의 최저 설계기준강도 이하의 콘크리트를 사용할 수 있다.

다. 하부구조에 이용하는 철근콘크리트 부재의 설계기준강도는 21MPa 이상으로 한다.

(4) 설계계산에 사용하는 설계상수

① 콘크리트의 활선탄성계수는 다음 규정에 따른다.

단위질량 m_c 의 값이 1,450~2,500kg/m³인 콘크리트

$$E_c = 0.077m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} \quad (\text{MPa}) \quad (10)$$

보통 골재를 사용한 콘크리트($m_c=2,300 \text{ kg/m}^3$)에서는 <식 (11)>을 사용한다.

$$E_c = 8,500 \sqrt[3]{f_{cu}} \quad (\text{MPa}) \quad (11)$$

$$\text{여기서, } f_{cu} = f_{ck} + \Delta f \quad (\text{MPa}) \quad (12)$$

Δf 는 f_{ck} 가 40MPa 이하면 4MPa, 60MPa 이상이면 6MPa이며, 그 사이는 직선

보간으로 구함

② 콘크리트의 전단탄성계수는 <식 (13)>에 따라 계산한다.

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\nu)} \quad (\text{MPa}) \quad (13)$$



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.

5. 구조설계

5.1 구조계산

- (1) 구조해석은 라멘으로 해석하고 부정정력은 탄성이론으로 구해야 한다.
- (2) 단면설계시 연직부재는 모멘트 외에 축력을 고려해야 한다. 수평부재도 구조물의 기하학적 형상 및 하중조건 등을 감안하여 설계자가 필요하다고 판단하는 경우는 축력을 고려하여 설계해야 한다.

5.2 박스형 구교

- (1) 박스형 구교는 정, 부 휨모멘트가 슬래브와 벽체에 작용하는 연속구조로 해석한다.
- (2) 설계하중은 고정하중, 활하중, 충격하중, 토압 및 수압, 건조수축 등을 적용하며 열차의 출발과 정지 시 발생하는 선로 종방향하중은 고려하지 않아도 된다.
- (3) 열차하중으로 인한 연직하중 및 수평하중은 각각 부재에 대해서 안전하도록 재하되어야 한다. 물론 다경간의 구교에 작용하는 연직하중의 재하방법은 라멘교에 준하도록 한다.
- (4) 박스형 구교를 설치하는 기초지반이 부등침하가 예상되는 경우는 구교의 종방향에 대한 구조해석을 실시하여 설계에 반영해야 한다.
- (5) 지반반력 계수
 - ① 박스형 구교 해석시 지점의 경계조건은 기초지반의 종류에 관계없이 저판의 모든 부위에 지반반력계수와 설치간격으로 환산된 스프링을 설치한 모델로 계산하고 부력 등에 의하여 스프링에 인장이 발생할 경우 인장을 받는 스프링은 차례로 제외시켜 최종적으로 압축만 받는 스프링만 남겨둔 상태의 모델해석결과를 취한다.
 - ② 박스형 구교의 설계에 사용하는 지반반력계수는 지반강도 및 구교의 크기를 고려하여 산출해야 한다.
 - ③ 박스형 구교의 설계에 사용하는 지반반력계수(K_v , K_h , K_s)의 산정은 「KR C-07010의 7(3)③항」의 지반반력계수를 따른다. 지반반력계수의 산출시 이용되는 환산폭 B의 산정은 암거의 모든 저면적 및 측면적으로부터 산출해야 한다. 그러나 암거의 길이가 길어 종방향 거동상 문제가 발생할 수 있는 경우에는 수치해석에 의한 방법으로 안정성을 확인해야 한다.

- ④ 박스형 구교가 위치에 따라 지반반력계수의 차이가 큰 지반에 접하는 경우는 그 영

향을 고려해서 환산폭을 구하고, 또한 부등침하 및 그것에 반하는 응력의 산정은 해당면적으로부터 환산폭을 산출해야 한다.

(6) 안정 검토

- ① 박스형 구교는 일반적으로 침하에 대한 안정성을 검토해야 한다. 특히, 지하수위가 높은 경우에는 구교의 부상(浮上)에 대하여 검토해야 한다.
- ② 일반적으로 박스형 구교의 안정(수평지지 및 전도)에 관한 검토는 생략하나, 연직지지력 및 침하에 대한 안정성 검토는 수행해야 한다. 또한, 교각 등을 지지하는 박스형 구교에서는 기초로서의 안정검토는 반드시 수행해야 한다.
- ③ 평상시 부상에 대한 안정은 지하수위의 상태 및 구교 자체와 흙과의 마찰력 등에 따라서 달라지지만 보통 <식 (14)>에 의하여 검토해야 한다. 양압력은 지형, 지질, 시공방법 등 현장의 실제상태를 고려하여 결정하지만, 일반적으로는 사질토, 점성토 모두 구교저면에 작용하는 높은 수위 때의 수두에 의한 압력으로부터 산정해야 한다.

$$\frac{\text{상재하중} + \text{복토중량} + \text{암거중량} + \text{측면마찰력}}{\text{양압력}} > F_s \quad (14)$$

여기서, FS : 부상에 대한 안전율

(7) 종단방향의 단면력 검토

- ① 구교의 종방향 단면력 검토는 구교를 탄성체 위에 놓인 보로서 작용하는 것으로 가정해야 한다.
- ② 지지지반이 변하는 경우와 연약지반 상에서 쌓기 등으로 인한 큰 하중이 실리는 경우 등에서는 종방향의 검토가 필요하다. 종방향 단면력의 산정은 일반적으로 <그림 3>를 따른다. 또한, 연직지반반력의 분포에 의해서 횡단면 설계를 재검토는 것이 필요하다.

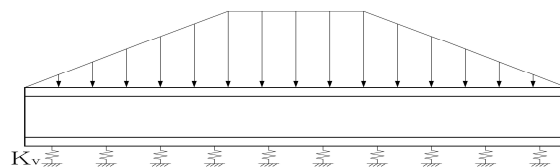


그림 3. 종단방향의 검토 모델

가. 구교를 지반반력으로 지지되는 탄성체 위에 놓인 보로 가정해야 한다.

나. 단면력의 산정은 유효 전단면으로부터 산출해야 한다.

또한, 신축이음매 위치선정을 통하여 종단방향 단면력을 줄일 수 있다. 그러나, 부등침하가 발생되기 쉽기 때문에 암거의 주변 환경 및 사용목적 등에 의해서 이 해득실을 검토해야 한다.

(8) 구조상세



- ① 구교 모서리부에는 헌치를 설치하고 보강철근을 배치해야 한다.
- ② 열차하중이 상부슬래브에 작용하는 경우 철근의 피로에 대한 검토는 상부슬래브의 중앙부 및 모서리부에 대해서 수행해야 한다.(<그림 4> 참조) 복토가 있는 구교에 작용하는 활하중의 영향은 복토 두께가 클수록 작아진다. 일반적으로 복토두께(도상 두께 포함)가 2.5m 이상이 되면 활하중에 의한 진폭이 작아지기 때문에 철근의 피로에 대한 검토를 하지 않아도 좋다. 또한 하부슬래브에 직접 활하중이 재하되는 경우에 있어서도 그 영향은 작기 때문에 일반적으로 피로를 고려하지 않는다.
- ③ 기초지반이 흙인 경우로써 종방향으로 영향을 받는 구교에서 상부슬래브, 하부슬래브와 벽체에 있어서 종방향 최소철근량은 복토의 깊이가 3.0m 이하인 경우는 콘크리트 단면적의 0.4%, 복토가 3.0m 이상인 경우는 복토 깊이가 30m인 경우의 사용량인 1.0%를 기준으로 선형변화량을 사용하되 이때 종방향 철근량은 주철근량 미만이어야 한다.

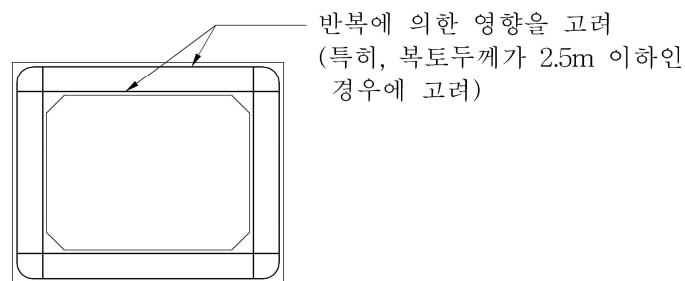


그림 4. 반복에 의한 영향을 고려한 철근

- ④ 단단한 지반 위에 놓인 경우와 말뚝기초로 지지되는 경우로써 종방향 부등침하가 우려되지 않는 경우에는 「다.항」의 기준을 적용하지 않는다. 따라서 어느 정도 견고한 지반에 놓이는 일반적인 구교로써 신축이음매가 설치되어 상세한 종방향 해석이 필요하지 않다고 판단되는 경우 종방향 철근량은 슬래브의 경우 콘크리트 단면적의 0.25%, 벽체의 경우 0.3%를 적용한다.
- ⑤ 또한 구교의 종방향 철근량은 단위폭주변의 인장 주철근량의 1/5 이상으로 하여 구교 종방향으로 계산외의 응력이 발생하는 것을 고려해야 한다.
- ⑥ 신축이음매의 간격은 일반적으로 10~15m이며 국부적인 하중이 재하되는 경우나 지반이 불균일한 경우에는 종방향 단면력을 최소로 하는 위치에 두어야 한다.
- ⑦ 부재의 접합부 및 그 부근의 주철근은 이음을 두지 않아야 한다.
- ⑧ 날개벽은 제방을 보존하고 구교 개구부를 유지하기 위하여 주변지형 및 현황에 부합되는 경사와 길이를 갖도록 설계해야 한다.

5.3 문형라멘 구교

(1) 토피가 있는 문형라멘 구교는 박스형 구교를 기준으로 해석하되 기둥 및 벽에 대한

토압, 수압 및 지점침하 등은 별도로 검토해야 한다.

- (2) 단면력을 계산할 때의 부재축선은 부재단면의 도심축선에 일치시킨다. 그러나 수직 부재와 수평부재의 비가 4 이상인 경우에는 수평부재의 축선변화 영향을 고려하여 단면력을 계산해야 한다.
- (3) 현치의 크기가 부재단면에 비해 작고, 단면의 응력계산에서 무시될 수 있는 정도의 크기를 가지는 현치인 경우에는 휨강성의 변화를 무시해도 좋다.
- (4) 지간이 비교적 긴 라멘교에서는 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) 구조상세

- ① 거더 및 슬래브와 기둥의 주철근은 절점부에서 서로 간의 배치를 고려하여 단면력이 확실히 전달되도록 설계해야 한다.
- ② 라멘교 기둥의 띠철근 및 중간절점부의 스티럽은 일반적으로 다음과 같이 배치한다. 거더에는 기둥전면으로부터 거더높이의 1.5배되는 구간까지 0.2% 이상의 띠철근을 배치해야 한다. 가. 기둥하부에는 기둥의 가로치수와 동일한 길이의 구간까지 0.2% 이상의 띠철근을 배치해야 한다. 나. 기둥상부에는 기둥의 가로치수와 2배되는 길이의 구간까지 0.25% 이상의 띠철근을 배치해야 한다. 다. 기둥의 그 밖의 위치에는 0.15% 이상의 띠철근을 배치해야 한다.
- ③ 단절점부에서는 절점부에서 결합하는 부재의 주철근량의 1/2 이상을 외측에 연해서 배치해야 한다.
- ④ 기둥의 하단이 고정된 경우, 기둥의 주철근은 기초의 상단부터 기초높이의 1/2되는 곳을 지나 소정의 정착길이를 정착해야 한다. 시공상 부득이한 경우에는 축방향철근을 확대 기초 하단까지 연장하여 직각갈고리로 정착시켜야 한다.
- ⑤ 현치에는 계산상 철근이 필요 없는 경우에도 별도로 현치 단면에 연하여 철근을 배치해야 한다.
- ⑥ 부재절점부 및 그 부근에는 주철근의 이음을 두지 않는다.

5.4 아치형 구교

- (1) 아치축선은 가능한 한 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 검토를 반드시 수행해야 한다.
- (3) 아치의 축선은 아치리브의 단면도심을 연결하는 선으로 한다.
- (4) 부정정력을 계산하는데 있어 아치리브의 단면변화를 고려해야 한다.



- (5) 아치의 기초는 아치에서 발생하는 수평력에 저항할 수 있어야 한다.
- (6) 아치에 있어서 부정정력은 탄성이론에 의해 산출해야 한다.
- (7) 아치를 설계하는 경우 연직 및 수평하중과 건조수축 등을 고려해야 한다.
- (8) 아치는 아치축선 형상 및 각 단면의 단면2차모멘트의 변화 등이 부정정력에 미치는 영향을 고려하여 설계해야 한다.
- (9) 구조상세
 - ① 철근 콘크리트 아치는 아치의 상·하면에 따라서 대칭인 축방향철근을 배치해야 한다. 철근량은 각각 아치리브폭 1m당 600mm² 이상, 상하면의 철근을 합하여 콘크리트 단면의 0.15% 이상으로 해야 한다.
 - ② 철근콘크리트 아치에서는 아치 상하면의 축방향철근을 감는 스트립 또는 띠철근의 지름은 6mm 이상, 또 축방향철근 지름의 1/4 이상으로 하고, 그 간격은 축방향철근 지름의 15배 이하, 아치단면의 최소치수 이하로 배치해야 한다.

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 안전여부를 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, 더올림 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 만족해야 할 조건이 각각 다르므로 형식 선정의 기준을 제시하기가 매우 어려우며, 다만 내공단면의 크기, 기초지반의 상태, 시공성, 공사비 등을 고려할 때 선정 가능한 범위는 <표 6>과 같다.

표 6. 구교의 형식 선정

형식	기초형식	순경간 또는 내경(ϕ)	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 구교2

(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 5>, 사각이 작을 때는 <그림 6>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 7>에 표시한 바와 같이 한다.

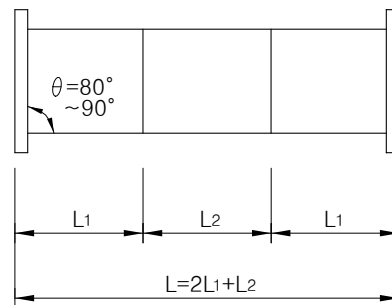


그림 5. 사각이 큰 경우

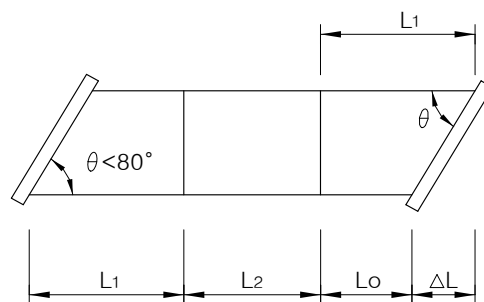


그림 6. 사각이 작은 경우

표 7. 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.

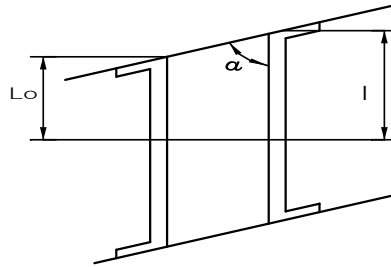


그림 7. 사각이 규정값 이상인 경우

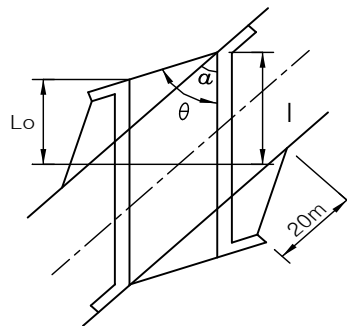


그림 8. 사각이 규정 이하인 경우

- (1) 사각 α 가 <표 7>에 표시한 값 이상일 때는 <그림 7>과 같이 날개벽의 방향을 본선에 평행하게 한다.
- (2) 사각 α 및 $L0/L1$ 이 <표 7>에 표시한 값 이하일 때는 <그림 8>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 9>와 같이 구교 바닥에 계단을 설치하여 유속을 감소시키는 방안을 고려하여야 한다.

1.2.2 구교의 종단계획

- (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 10>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.

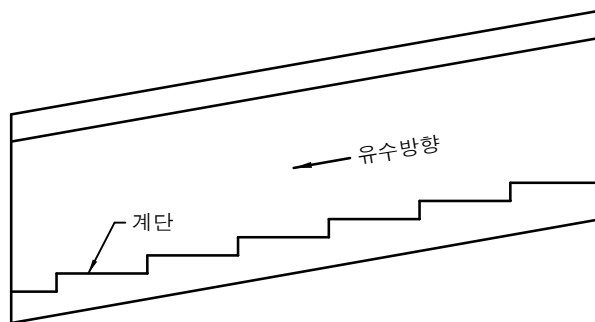


그림 9. 계단 설치 예

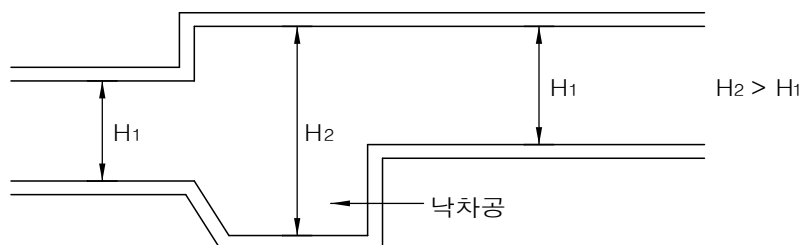


그림 10. 낙차공 설치 예

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 11>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. (「콘크리트구조 설계기준 7.4.2(1)」 및 <그림 12> 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.

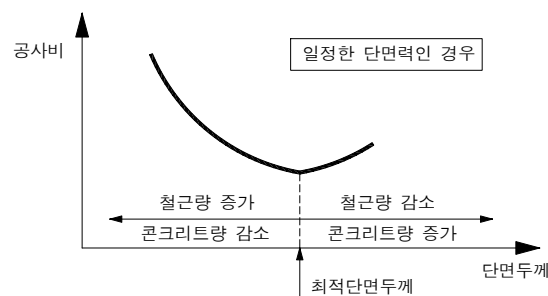


그림 11. 단면두께 변화에 따른 비용관계

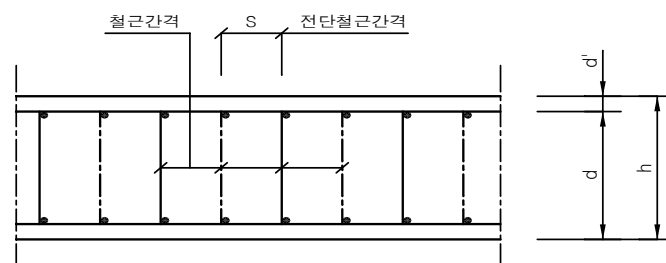


그림 12. 전단철근과 단면두께의 관계

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.

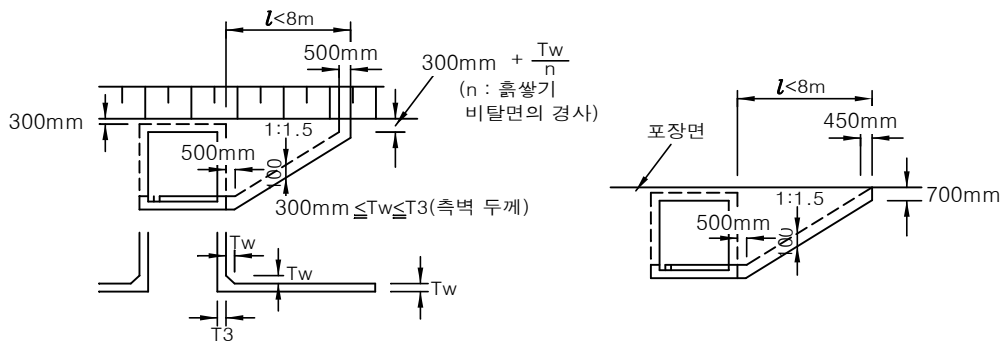
1.5 날개벽 설계

1.5.1 개요

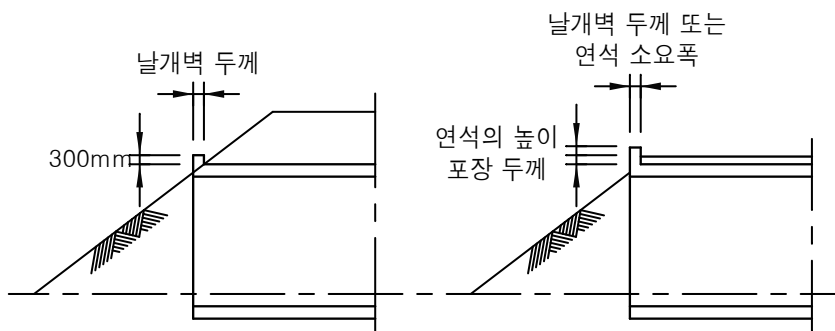
- (1) 구교 본체를 완성한 후 본체 상부에 흠쌓기(피복)하면 흠쌓기 비탈면이 구조물의 시·종점부를 침범하므로, 구교 양쪽에 횡단 방향으로 날개벽을 설치하여 통과도로나 수로의 기능을 확보하고 흠쌓기재의 붕괴를 방지한다.
- (2) 본선횡단 구교에 날개벽을 설치하는 방법은 구교의 진행방향으로 설치하는 방법과 본선에 평행하게 설치하는 방법이 있다.
- (3) 일반적으로 날개벽을 구교의 진행방향으로 설치하는 경우 날개벽을 옹벽구조로 하여야 하며, 날개벽을 본선에 평행하게 설치하는 경우에는 캔틸레버(cantilever)구조로 하여 구교 구체에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

1.5.2 날개벽 설치 방법

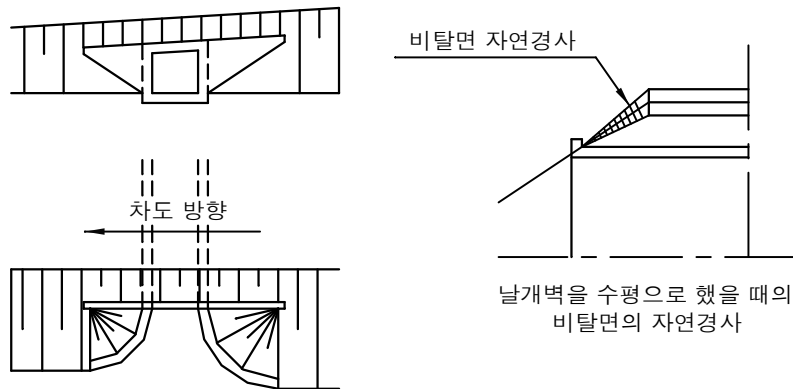
- (1) 구교의 날개벽은 평행 날개벽을 원칙으로 한다.
- (2) 날개벽의 흠쌓기 경사는 1:1.5, 근입 깊이는 1m를 표준으로 한다.
- (3) 날개벽은 지중에 묻히는 구조이므로 피복두께를 제하고도 휨부재의 역할을 할 수 있도록 최소 300mm 두께로 하며, 날개벽과 구교 본체 접합부에서 날개벽에 발생하는 모멘트가 구교 벽체로 전달되므로 날개벽의 최대 두께는 벽체 두께 이상이 되지 않게 한다.(〈그림 14(a)〉 참조)
- (4) 날개벽이 지나치게 길어지면 단면의 두께가 커져 구교 벽체가 캔틸레버 날개벽 지지점의 역할을 수행하기 어려우므로, 날개벽의 최대 길이는 8m 정도로 한다.(〈그림 14(a)〉)
- (5) 흠쌓기시 구교가 흠쌓기면 밖으로 노출되는 경우 날개벽 위 흠막이부는 높이 300mm, 폭은 날개벽의 두께로 한다.(〈그림 14(b)〉)
- (6) 날개벽의 상면 경사는 본선의 종단경사에 평행하게 하나 단, 토피가 3m 이상일 때는 수평으로 해도 좋다.(〈그림 14(c)〉)



(a) 날개벽 두께와 팔길이 제한



(b) 날개벽 위의 흙막이

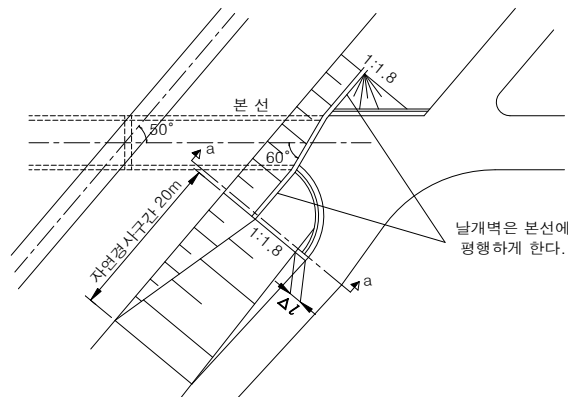


(c) 날개벽 상면의 경사

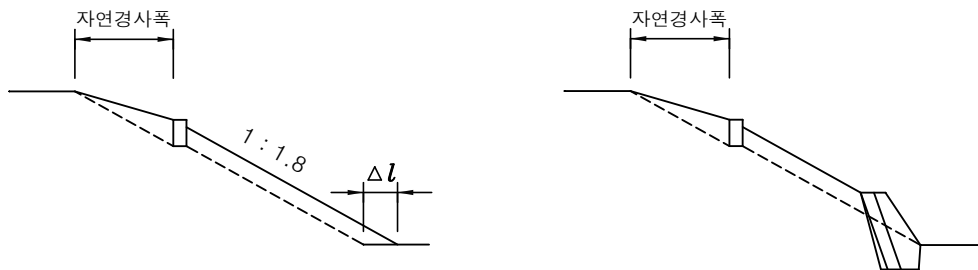
그림 14. 날개벽 설치방법

1.5.3 사각을 이루는 구교

- (1) 사각을 이루는 구교 단부 날개벽 설치 평면형상은 <그림 15(a)>와 같다.
- (2) 구교에서 끝부분을 연장했을 때 날개벽 및 흙쌓기부의 처리는 <그림 15(b)>를 표준으로 하고, 이와 같이 할 수 없을 때에는 <그림 15(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 15. 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 16> 참조)

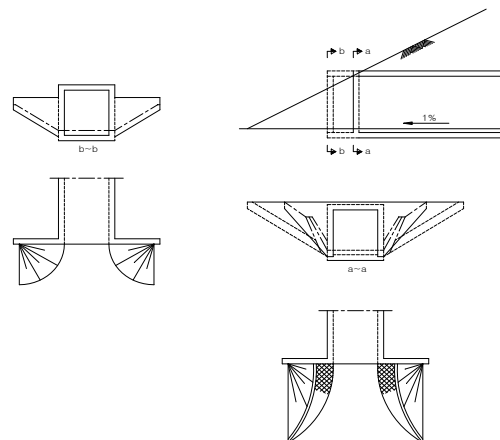


그림 16. 흙쌓기가 높은 경우



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 8. 허용잔류침하량[일본도로공단]

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

표 9. 연약층 두께에 따른 허용잔류침하량[일본도로공단설계요령]

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 17>과 같이 연약층을 제거하고 양질의 재료로 치환한다. 이때 치환 재료는 뒷채움재 이상으로 하고, 지하수위가 있는 경우는 알맞게 섞은 쇄석 등 양질의 것을 사용한다.

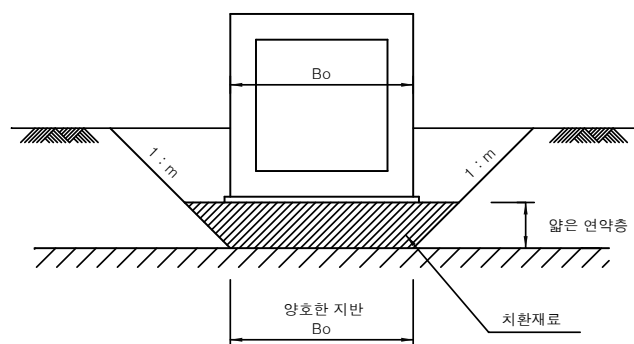


그림 17. 연약지반 치환방법

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

- ④ 부득이 말뚝기초를 사용하여야 하는 경우에는 인접 지반의 침하로 인해 추가되는 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 18>과 같이 버림 콘크리트나 치환기초 등을 고려하여야 한다.

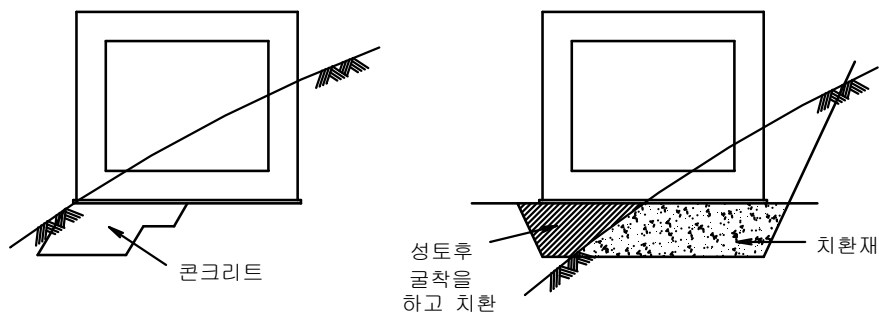


그림 18. 지반이 횡방향으로 경사진 경우의 예

- ② 지반이 종방향으로 경사진 경우에는 <그림 19>와 같이 치환기초 등을 사용하여 부등침하를 방지하여야 한다.

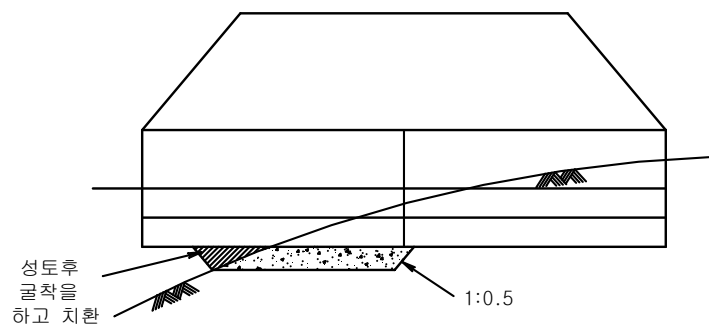


그림 19. 지반이 종방향으로 경사진 경우의 예

1.7 기타 구교설계시 유의사항

1.7.1 구교의 배수

구교의 뒷채움부에 빗물이나 지하수가 고여 배수되지 않을 가능성이 있는 경우에는 흠뻑기를 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 20> 참조)

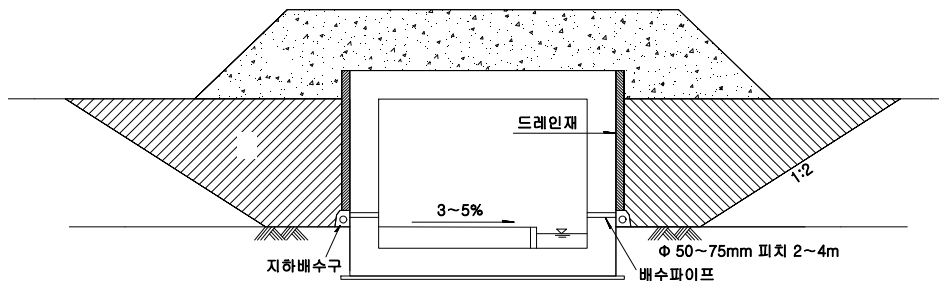


그림 20. 구교 배수용 파이프

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 21> 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.

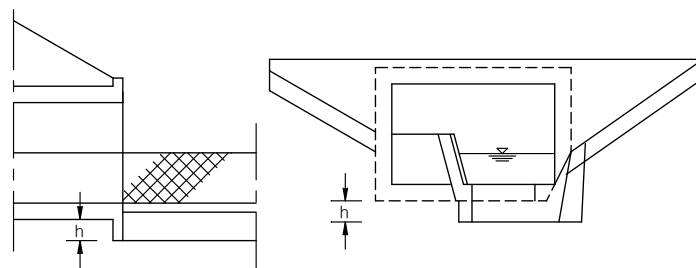


그림 21. 수로가 있는 구교의 지수벽

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 22〉 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 1.5배가되는 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 (가) 또는 (나)에서 정한 점이 2점 이상 동시에 존재하는 경우에는 강역의 범위는 큰 쪽을 취한다.

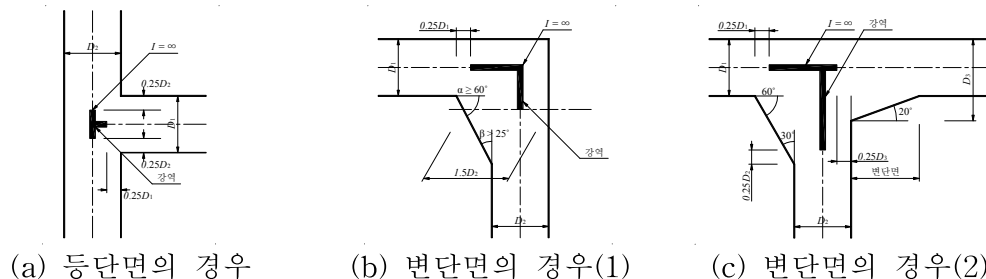


그림 22. 라멘 구조 절점부에서의 강역

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 대칭 구조에 하중이 대칭으로 재하되므로 수평방향의 경계조건은 외적 안정조건만 만족하면 되므로 강절점이든 스프링 지점이든 관계없지만, 대칭이 아닌 경우는 수평방향으로도 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 전체 면적으로 지반반력 계수를 계산하면 지나치게 낮게 평가된다. 따라서 어느 지점을 기준으로 영향범위를 감안하여 지반반력계수를 계산하여야 한다.
- (3) 영향 범위를 감안하여 종방향 연속 구조물의 연직지반반력계수(k_v) 및 스프링계수(K)를 구하는 방법은 다음과 같다.

$$k_{(B \times B)} = k_{vo} \left[\frac{B_v}{0.3} \right]^{-\frac{3}{4}} = k_{vo} \left[\frac{\sqrt{A_v}}{0.3} \right]^{-\frac{3}{4}} \quad (15)$$

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.

$$k_{vo} = \frac{1}{0.3} \times \alpha \times E_0 \quad (kN/m^3) \quad (16)$$

여기서, E_0 : <표 10>에 표시하는 방법으로 측정 또는 추정된 설계의 대상이 되는 위치에서의 지반의 변형계수(kN/m^2)

α : 지반반력계수의 추정에 쓰이는 계수로서 <표 10>에 주어져 있음.

표 10. 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.

$$K = kv \cdot A \text{ (kN/m)} \quad (17)$$

여기서, A : 해당 스프링의 담당면적 기초 저면 아래의 지층이 깊이 방향으로 변하는 경우, 특히 연약층이 존재하는 경우는 <식 (16)>의 변형계수 E_0 를 <식 (18)>, <식 (19)>에 의해 보정한다.

$$B=L인 \text{ 경우} : E_0 = \frac{-\frac{1}{B+2h_m \tan \theta} + \frac{1}{B}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E_{0i}} \left[-\frac{1}{B+2h_i \tan \theta} + \frac{1}{B+2h_{i-1} \tan \theta} \right]} \quad (18)$$

$$B \neq L인 \text{ 경우} : E_0 = \frac{\log \frac{(B+2h_m \tan \theta)L}{(L+2h_m \tan \theta)B}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E_{0i}} \log \frac{(B+2h_i \tan \theta)(L+2h_{i-1} \tan \theta)}{(L+2h_i \tan \theta)(B+2h_{i-1} \tan \theta)}} \quad (19)$$

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 11>을 참고할 수 있다.

표 11. 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 하중 조합을 선정하여 설계한다.
- (2) 주하중(P)
 - ① 고정하중(D)
 - ② 활하중(L)
 - ③ 충격(I)
 - ④ 장대레일 종하중(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 12>와 같은 단위중량의 사용을 원칙으로 한다.

표 12. 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 (20)> 및 <식 (21)>에 의해 계산하며 또한, 활하중에 의해 증가되는 구교측면의 측압을 고려하고 측압을 구할 때는 0.4의 가상토압계수를 적용할 수 있다.

- ① $H_e < 0.5\text{m}$ 일 때

$$W_L = \frac{P}{a(b+2d)} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (20)$$

- ② $H_e \geq 0.5\text{m}$ 일 때

$$W_L = \frac{2P}{a\{c+b+2(d+H_e)\}} \quad (\text{kN/m}^2) \quad (21)$$

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 13>의 값을 이용하며 표에 없는 지간은 보간법을 적용하여 산정한다.

표 13. 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.

$$i = i_o \left(\frac{2.5 - H}{1.5} \right) \quad (22)$$

단, $H < 1.0\text{m}$ 에서는 $i = i_o$

$H \geq 2.5\text{m}$ 에서는 $i = 0$

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 작용위치는 상부슬래브 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.

$$P_v = \gamma \cdot H \quad (23)$$

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 토

피의 연직하중을 할증하여야 한다. 다만, 좌우에 어프로치 블록을 설계하는 경우에는 일반적으로 가중을 하지 않는 것이 좋다.

$$P_0 = (1 + \lambda) \gamma \cdot H \quad (24)$$

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 실내시험에서 Coulomb 토압공식이 비교적 실험결과와 근사하므로 Coulomb 토압공식을 기준한다.

• Coulomb 토압공식 :

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \theta)}{\cos^2\theta \cos(\theta + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \cos(\theta - \alpha)}} \right]^2} \quad (25)$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi + \theta)}{\cos^2\theta \cos(\theta + \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi + \alpha)}{\cos(\theta + \delta) \cos(\theta - \alpha)}} \right]^2} \quad (26)$$

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

여기서, K_a : 주동토압계수

K_p : 수동토압계수

ϕ : 흙의 내부마찰각($^\circ$)

α : 지표면과 수평면이 이루는 각($^\circ$)

θ : 벽배면과 연직면이 이루는 각($^\circ$)

δ : 벽배면과 흙 사이의 벽면마찰각($^\circ$)

• Rankine 토압공식 :

$$K_a = \cos\alpha \frac{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}} \quad (27)$$

$$K_p = \cos\alpha \frac{\cos\alpha + \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}}{\cos\alpha - \sqrt{\cos^2\alpha - \cos^2\phi}} \quad (28)$$

- ② 고정벽에 작용하는 수평토압은 <식 (29)>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)

$$p_0 = K_0 \cdot \gamma \cdot z + K_0 \cdot q \quad (29)$$



여기서, p_0 : 깊이 z 에서의 정지토압(kN/m^2)

K_0 : 정지토압계수

γ : 흙의 단위중량(kN/m^3)

z : 수평 토압을 구하고자 하는 깊이 (m)

q : 상재하중(kN/m^2)

- ③ 토압계산에 적용하는 흙의 단위중량은 현장지반조사에서 채취한 토질시료를 이용하여 구하며, 개략설계의 경우에는 <표 14>의 값을 이용할 수 있다.

표 14. 흙의 단위중량 (단위: kN/m^3)

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

$$P_h = \gamma_w \cdot h \quad (30)$$

여기서, P_h : 수면에서 h 만큼 깊은 곳의 정수압(kN/m^2)

h : 수면에서의 깊이(m)

γ_w : 물의 단위중량(kN/m^3)

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.

$$F.S. = R / (\gamma_w \cdot B \cdot H) \geq 1.2 \quad (31)$$

여기서, R : 력에 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

Ab : 지압을 받는 재하면적

Ac : 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

LR : 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 (나)항의 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 가정등과같이, 가능한 여러 요인들로 부터 발생하는 초과작용 외력을 고려한 하중계수를 곱하여 구한다.
 - 구조요소의 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 다소

의 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]의 하중계수 및 하중조합은 아래와 같으며, 설계시 [콘크리트구조설계기준]의 하중계수 및 하중조합도 고려하여 안전측으로 설계하여야 한다.

- 고정하중+활하중+토압+지하수압

$$U = 1.35D + 1.85(L+I) + 1.6H + 1.4Q \quad (32)$$

$$U = 1.6\{D + (L+I) + H + Q\} \quad (33)$$

※ 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

$$U = 1.35D + 1.4(L+I) + 1.6H + 1.4Q + 1.35G + 1.4L_R \quad (34)$$

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

- ③ 「②항」의 모든 하중조합에서 고정하중계수와 토압하중계수를 바꾸어 설계하는 경우에는 <표 15>에서 기준한 값을 적용하여야 한다. <표 15>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 15>의 각 경우에 대하여 설계할 때는 고정하중계수와 토압하중계수를 <표 15>에 제시한 값으로 대치하여 설계하여야 한다.

표 15. 주요하중조합에서 고정하중계수와 토압하중계수를 바꾸어 설계하는 경우

식	고정하중계수	토압하중계수	
	① 기둥설계시 최소축하중 및 최대모멘트 또는 최대편심에 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, 암거형구교설계시 ②항의 주요하중조합은 아래와 같이 변경되어 ②항의 주요하중조합에 추가로 고려되어야 한다.



- 고정하중+활하중+토압+지하수압

$$U = 1.35D + 1.85(L+I) + 1.6H + 1.4Q \quad (35)$$

$$U = 1.6\{D + (L+I) + H + Q\} \quad (36)$$

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

$$U = 1.35D + 1.4(L+I) + 1.6H + 1.4Q + 1.35G + 1.4L_R \quad (37)$$

(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 (나)항의 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 하중조건 등을 감안하여 설계자가 필요하다고 판단하는 경우는 축력을 고려하여 설계하여야 한다.
- (2) 단면검토시 헌치의 유효부분은 <그림 25>와 같이 접촉하는 부재에 설치된 헌치높이의 1/3만 유효하다고 본다.
- (3) 단절점부의 설계휨모멘트는 <그림 26>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.

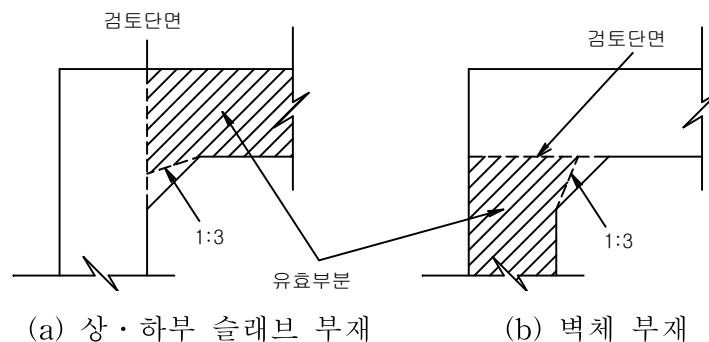


그림 25. 헌치의 유효부분

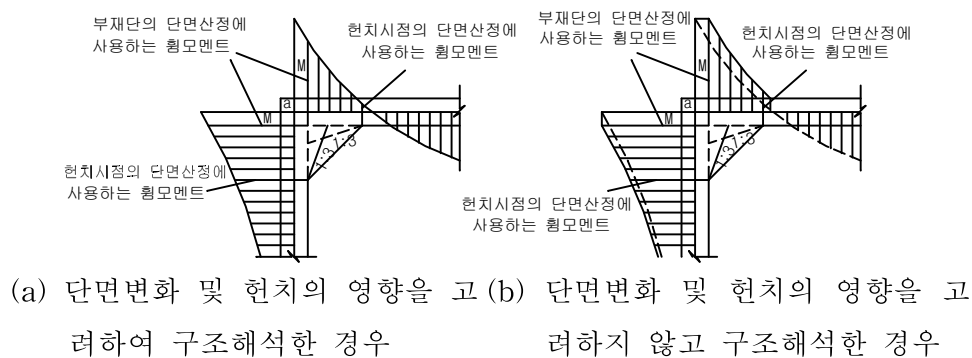


그림 26. 단면검토시 사용하는 휨모멘트



- ④ 강역의 영향을 고려하여 구조해석한 경우 <그림 27>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.

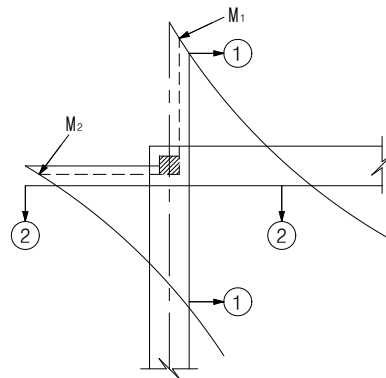


그림 27. 강역의 영향을 고려하여 구조해석한 경우의 단면 검토용 휨모멘트

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 「콘크리트구조설계기준(2007)」의 인장구역 철근절단 조건을 만족하지 않는 인장구역에서 철근을 절단하지 않고 압축부로 연장한다.
- (5) <그림 28>은 연속보의 휨철근 정착을 보여주고 있으며, <그림 29>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.

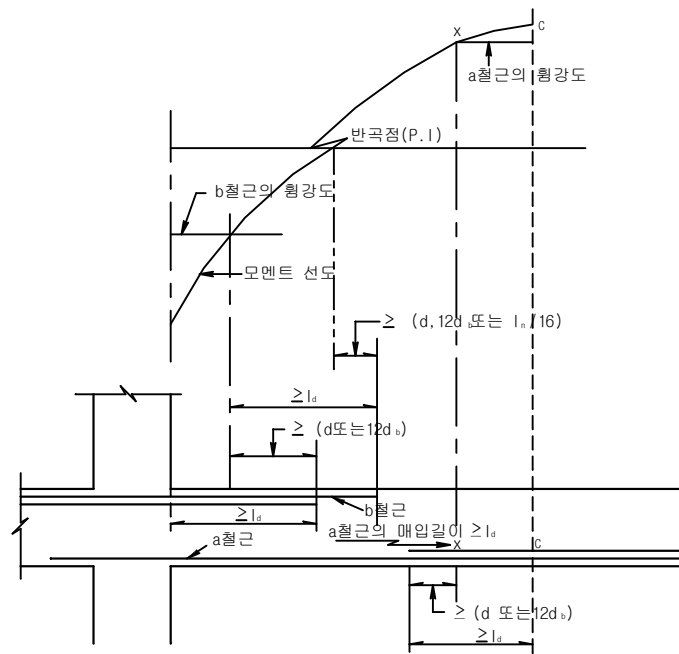
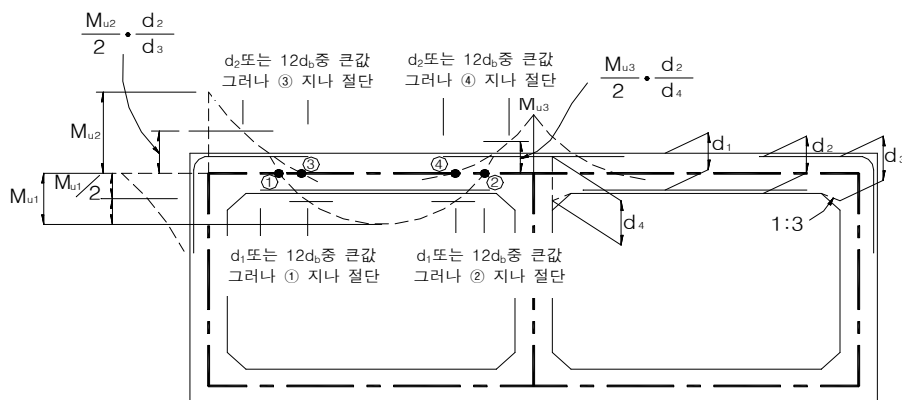


그림 28. 연속보의 휨철근 정착



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

그림 29. 휨철근 절단의 실용적 방법

2.6 사용성 검토

2.6.1 휨철근 간격 검토

- (1) 휨균열을 제어하기 위하여 휨인장철근은 ②항의 규정에 따라 부재 단면의 최대 휨인장 영역 내에 배치되어야 한다.
- (2) 콘크리트 인장연단에 가장 가까이 배치되는 철근의 중심간격 s 는 <식 (38)>과 <식 (39)>에 의해 계산된 값 중에서 작은값 이하로 하여야 한다.

$$s = 375 \left(\frac{210}{f_s} \right) - 2.5 C_c \quad (\text{mm}) \quad (38)$$



$$s = 300 \left(\frac{210}{f_s} \right) \quad (\text{mm}) \quad (39)$$

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(tm)는 <식 (40)>과 같다.

$$t_m = \left(\frac{\ell}{28} \right) \left(0.43 + \frac{f_y}{700} \right) \quad (40)$$

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 16>의 값 이내에 들면 피로에 대하여 검토할 필요가 없다.
- (2) 철근의 응력이 <표 16>의 값을 초과할 경우는 합리적인 방법으로 피로에 대한 안전을 검토하여야 하며, 피로검토가 필요한 구조부재는 높은 응력을 받는 부분에서 철근을 구부리지 않도록 하여야 한다.

표 16. 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 부휼모멘트가 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 정휼모멘트가 작용하면, 접합부 대각선 방향으로 인장응력이 작용하므로 경사방향으로 철근을 배치하여 보강하여야 한다.
- (2) 인장응력 및 보강철근량의 계산은 변형 적합조건을 만족하는 어떤 식도 가능하며, 참고로 「콘크리트구조설계기준(2007)부록VII」에는 다음과 같은 식이 제시되고 있다.

$$f_{\max} = \frac{5 M_o}{R^2 w} \quad (41)$$

$$A_s = \frac{2 M_o}{R f_{sa}} \quad (42)$$

여기서, f_{\max} : <그림 30>에서 보여주는 인장응력의 최대값(MPa)

M_o : 절점부 휨모멘트(N·mm)

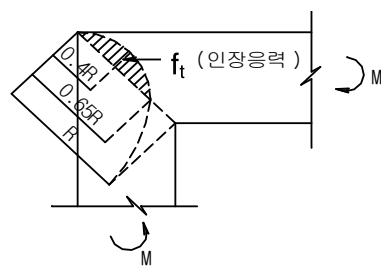
R : 절점부의 대각선 길이(mm)

$R^2 = a^2 + b^2$ <그림31> 참조)

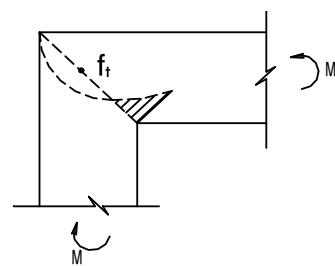
w : 절점부의 구조물폭(mm) (일반적으로 단위폭 1,000mm)

A_s : 외측인장에 대한 보강 철근량(mm²)

f_{sa} : 보강철근의 허용응력(MPa)

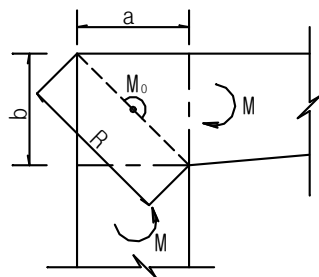


(a) 외측 인장인 경우

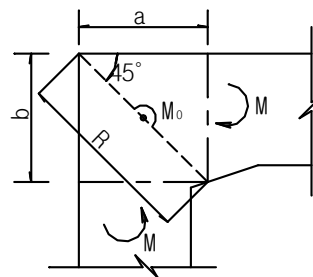


(b) 내측 인장인 경우

그림 30. 단절점에 발생하는 인장응력



(a) 현치가 없는 경우



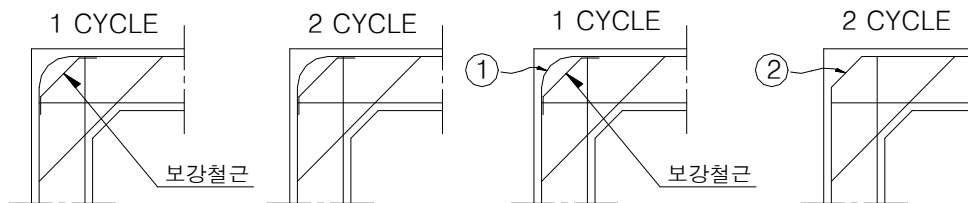
(b) 현치가 있는 경우

그림 31. 단절점부의 응력검토 단면



2.7.2 보강 철근의 배근

- (1) 단절점부 주철근 및 보강철근의 배치는 <그림 32> (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 배치하므로 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 32> (a)의 인장응력 범위인 $0.65R$ 범위 이내에 배치하여야 한다.



(a) 주철근을 모두 외측에 배치 (b) 2 cycle 철근 내측으로 구부려 배치

그림 32. 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 것

이 바람직하나, 지하수가 있는 경우(수중단위중량 적용)의 1/2 토압만 감안하여 적용할수 도있다.

- 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 (43)>, <식 (44)> 및 <식 (45)>으로 계산한다.(<그림 33> 참조)

$$M_x = \frac{1}{2} \gamma K_h \left\{ \left(xL - \frac{x^2}{2} \right) \left(h_o^2 + \frac{2h_o q}{\gamma} \right) + \left(\frac{x^2 L}{n} - \frac{2x^3}{3n} \right) \left(h_o^2 + \frac{q}{\gamma} \right) + \frac{x^3 L}{3n^2} - \frac{x^2}{4n^2} \right\} \quad (43)$$

$$S_x = \frac{1}{2} \gamma K_h \left\{ x \left(h_o + \frac{2h_o q}{\gamma} \right) + \frac{x^2}{n} \left(h_o + \frac{q}{\gamma} \right) + \frac{x^3}{3n} \right\} \quad (44)$$

$$\text{단, } n = \frac{\ell}{h_n}$$

따라서, 날개벽과 구체의 접합부 부근에서의 단면력은 <식 (44)>으로 주어진다.

$$M_A = \frac{M_{x=\ell}}{h_A} \cdot \alpha, \quad S_A = \frac{S_{x=\ell}}{h_A} \cdot \alpha \quad (45)$$



여기서, M_x : 날개벽 끝단에서 x 위치에서의 휨모멘트($\text{kN} \cdot \text{m}$)
 S_x : 날개벽 끝단에서의 x 위치에서의 전단력(kN)
 MA : 날개벽에서의 단위폭당 휨모멘트($\text{kN} \cdot \text{m/m}$)
 SA : 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_o : 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/m^2)

- (2) 날개벽이 근입되는 전면의 수평토압은 생각하지 않는다.
 (3) 방호책이나 방음벽을 설치하는 날개벽은 그 영향을 고려해서 계산한다.
 (4) 날개벽 부근에서의 단면력은 <식 (46)> 및 <식 (47)>로 구해도 된다.

$$m_A = (1.7\ell - 3.0) P + 0.17\ell \cdot m \quad (46)$$

$$m_A' = (0.6\ell - 1.0) P + 0.11\ell \cdot m \quad (47)$$

여기서, m_A : 날개벽 부근 상단의 단위폭당 휨모멘트($\text{kN} \cdot \text{m/m}$)
 m_A' : 날개벽 부근 하단의 단위폭당 휨모멘트($\text{kN} \cdot \text{m/m}$)
 P : 날개벽 상단에 작용하는 단위길이당 수평력(kN/m)
 m : 날개벽 상단에 작용하는 단위길이당 휨모멘트($\text{kN} \cdot \text{m/m}$)
 ℓ : 날개벽 길이(m) ($\ell \geq 2.0\text{m}$)

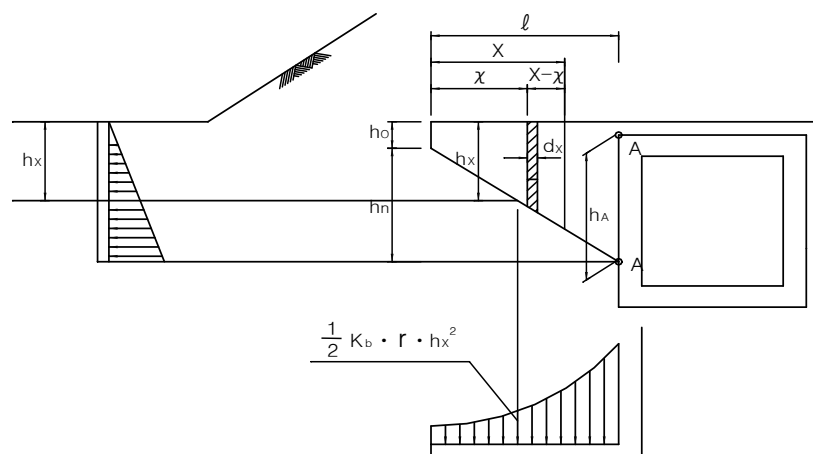


그림 33. 날개벽의 하중 및 단면력 계산

2.11 배근상세

2.11.1 배근 일반

(1) 철근 피복두께

- ① 구교의 상부 슬래브와 측벽 바깥면의 철근 최소 피복두께는 「KR C-10040의 5항」의 ‘흙에 접하는 콘크리트’의 기준을 따른다.
- ② 구교 기초저면의 철근 최소피복두께는 버림콘크리트를 미리 타설하는 경우 「KR C-10040의 5항」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-10040의 5항」의 ‘옥외의 공기에 직접 노출되는 콘크리트’의 기준을 따른다.
- ④ 수로 구교 내측의 철근 최소피복두께는 「KR C-10040의 5항」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 적절한 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 34〉 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 $0.17db f_y / \sqrt{f_{ck}}$ 이상의 매입길이를 확보하는 방법

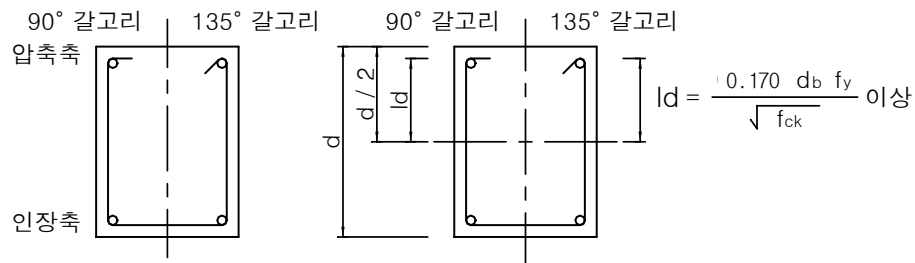
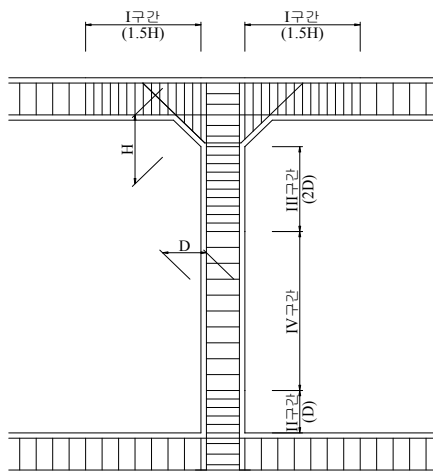


그림 34. U형 스테럽의 정착

2.11.2 부위별 특별 고려사항

(1) 중간 절점부

- ① 2번 이상 구교의 기둥 띠철근 및 중간 절점부 스테럽은 일반적으로 <그림 35>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 스트럽을 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 : 스트럽 또는 띠철근의 간격(mm)

그림 35. 중간 절점부의 띠철근 배치

(2) 헌치 및 우각부 철근

- ① 헌치 안쪽에 연하여 배치하는 철근은 <그림 36>과 같이 한다. 헌치는 대부분 압축부에 위치하고 휨에 저항하는 철근이 아니므로 철근의 형상은 시공성을 감안하여 결정한다.
- ② 우각부 주철근이 구부러지는 전후에는 배력철근을 <그림 37>과 같이 배근한다.

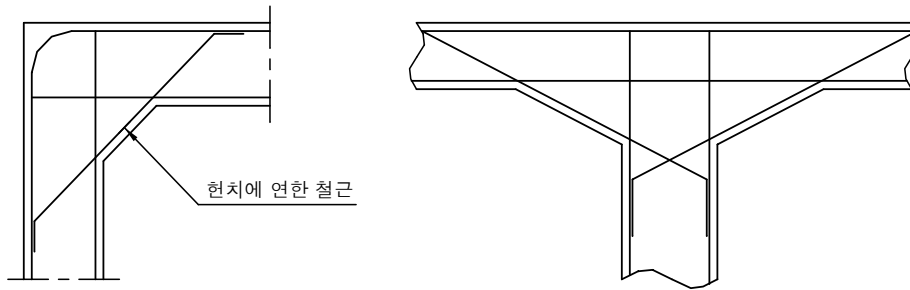


그림 36. 현치철근

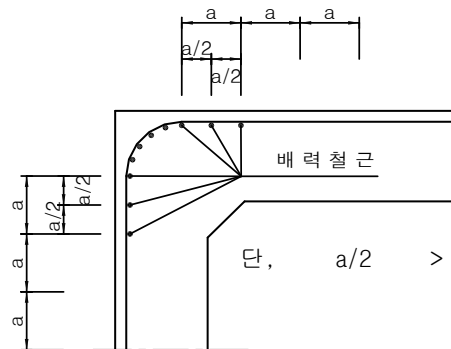


그림 37. 우각부의 배력철근

(3) 사각부의 철근배근

사각부의 철근은 <그림 38>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.

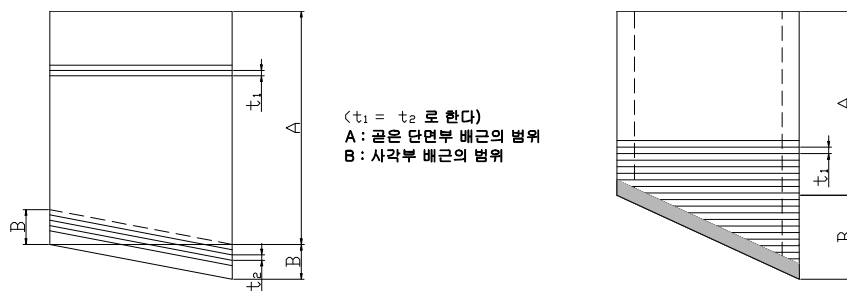


그림 38. 사각부의 배근

(4) 날개벽 배근상세

- ① 날개벽 부근의 배근은 <그림 39>와 같이 한다.
- ② 날개벽 전면의 철근은 일반적으로 D16-4EA면 충분하지만 전면에 인장응력을 받을 때는 필요 철근량 이상으로 배근한다.

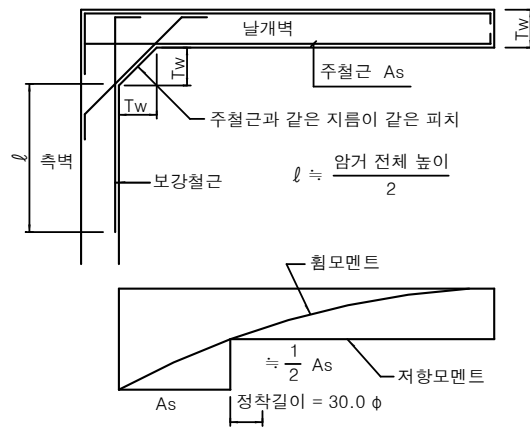


그림 39. 날개벽 부근의 배근방법

- ③ 날개벽의 흠막이 부분의 배근은 <그림 40>과 같이 날개벽 상부와 같이 하고 구교 상부를 지나도록 배근한다.
- ④ 구교 본체 측벽의 날개벽을 지지하는 부분은 날개벽으로 부터 전달되는 휨모멘트에 저항할 수 있도록 설계한다

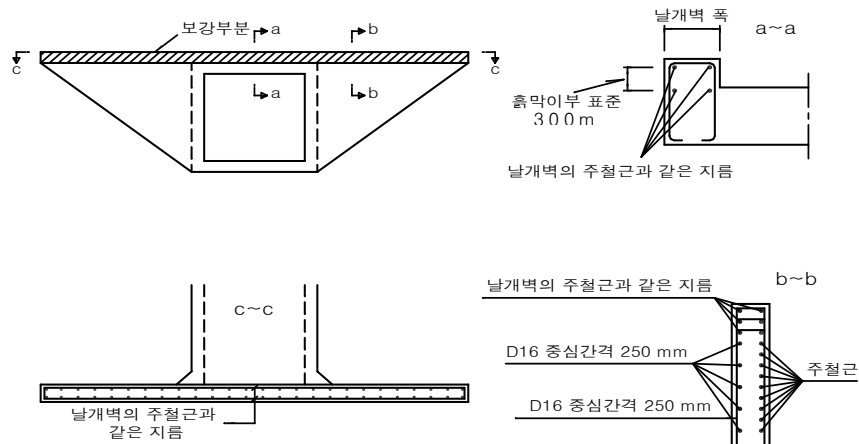


그림 40. 날개벽 흠막이부의 배근방법

(5) 개구부 주변의 보강

- ① 구교의 측벽부에 관로 등이 연결되어 소규모 개구부가 생길 경우 응력집중 등에 의한 균열에 대비하기 위하여 철근을 배치한다.(<그림 41> 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.

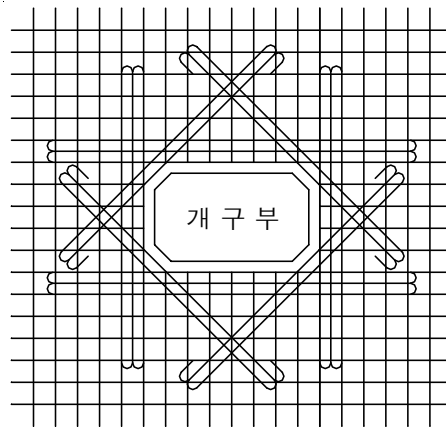


그림 41. 개구부 주변의 보강

- ⑥ 구교 내부로 중차량이 통과할 경우 외측벽의 정모멘트가 증가할 수 있으므로 외측 벽체의 내측 철근은 계산상 소요량 보다 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-09010의 3.1항에 따른다.

3.3 콘크리트

3.3.1 콘크리트의 설계기준강도

- (1) 구교에 사용하는 콘크리트의 설계기준강도는 <표 17>에 나타난 값 이상이어야 한다.

표 17. 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.

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) 굵은골재는 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%)이하 이어야 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 1,450~2,500kg/m³ 인 콘크리트

$$E_c = 0.077m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} \quad (\text{MPa}) \quad (48)$$

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

$$E_c = 8,500 \sqrt[3]{f_{cu}} \quad (\text{MPa}) \quad (49)$$

$$\text{여기서, } f_{cu} = f_{ck} + 8 \quad (\text{MPa}) \quad (40)$$

콘크리트의 전단탄성계수는 식(51)에 따라 계산한다.

$$G_c = \frac{E_c}{2(1+\nu)} \quad (\text{MPa}) \quad (51)$$

여기서, G_c : 콘크리트의 전단탄성계수(MPa)

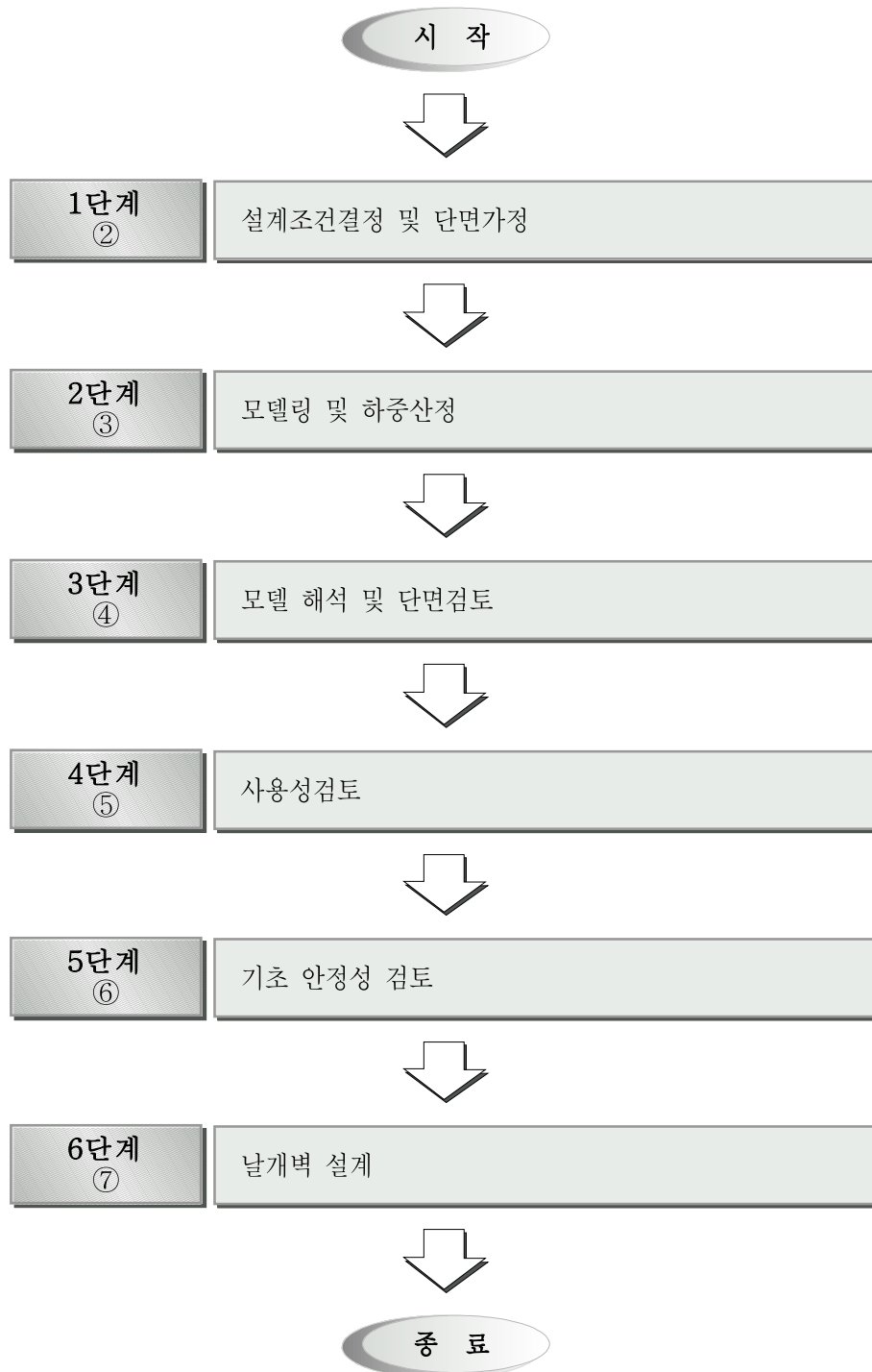
E_c : 콘크리트의 탄성계수(MPa)

ν : 콘크리트의 포아송비

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

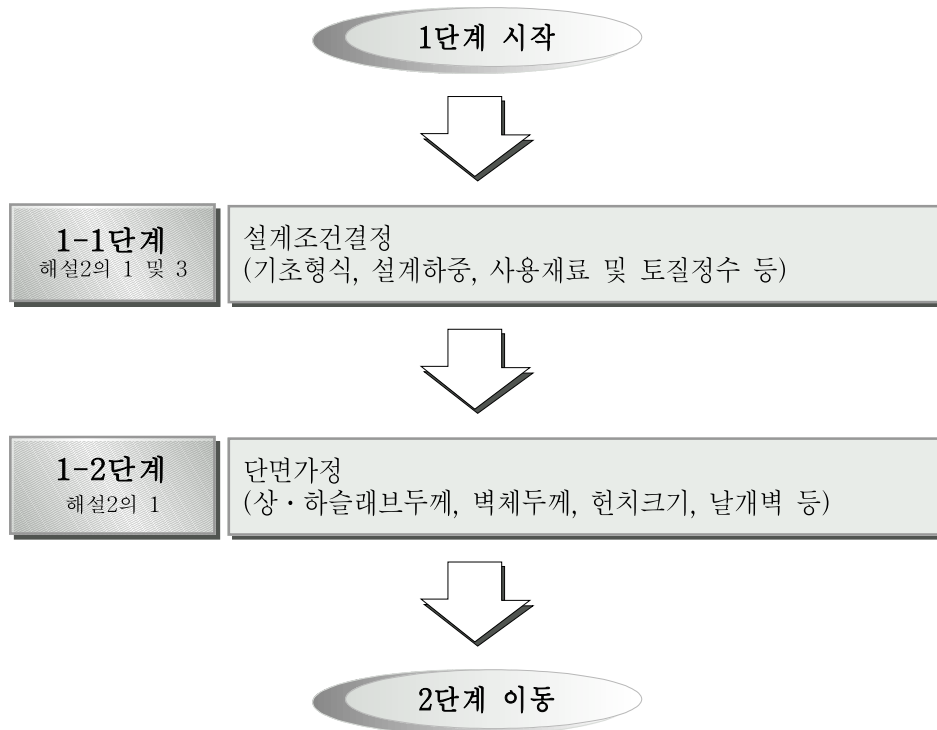
4. 설계흐름도

4.1 주 설계단계

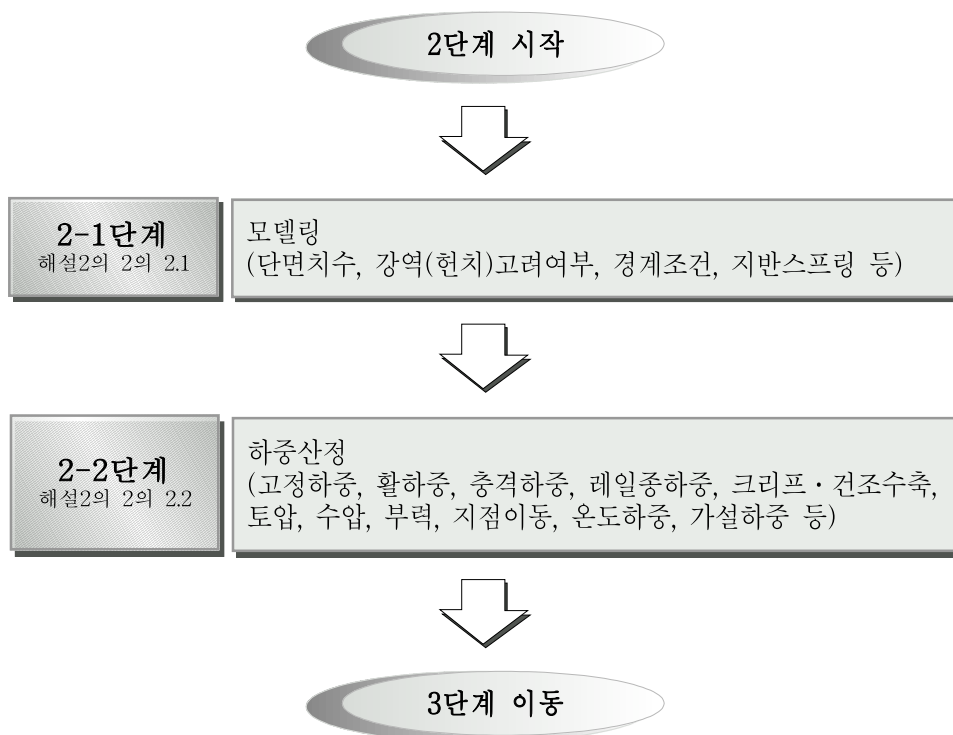




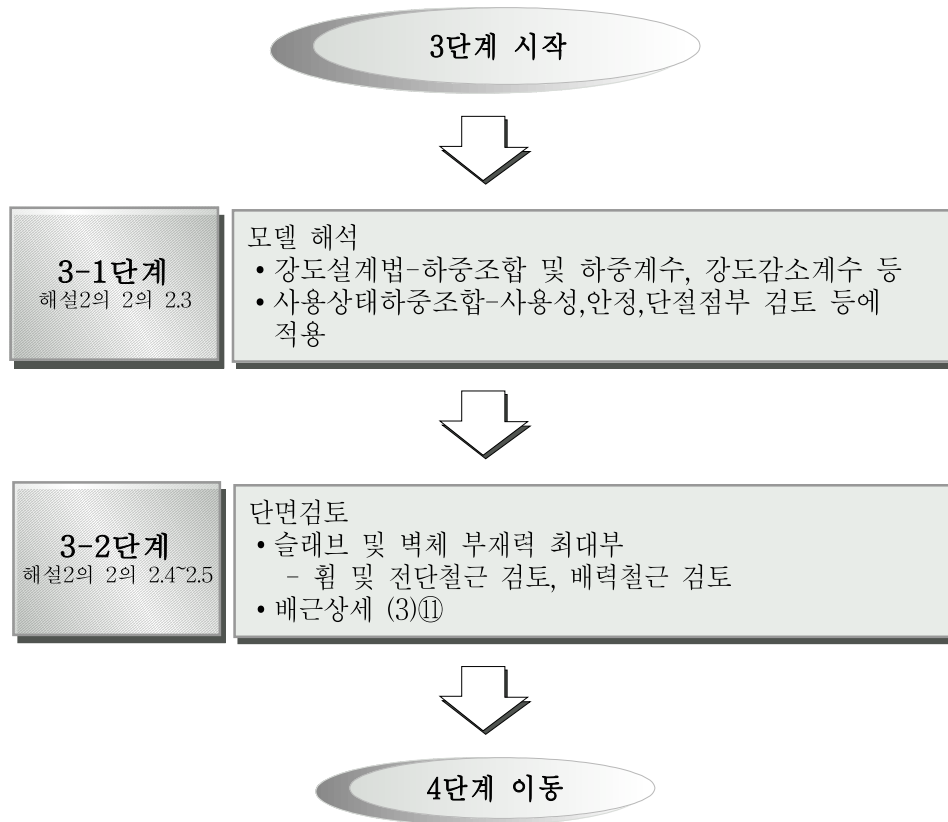
4.2 설계조건결정 및 단면가정



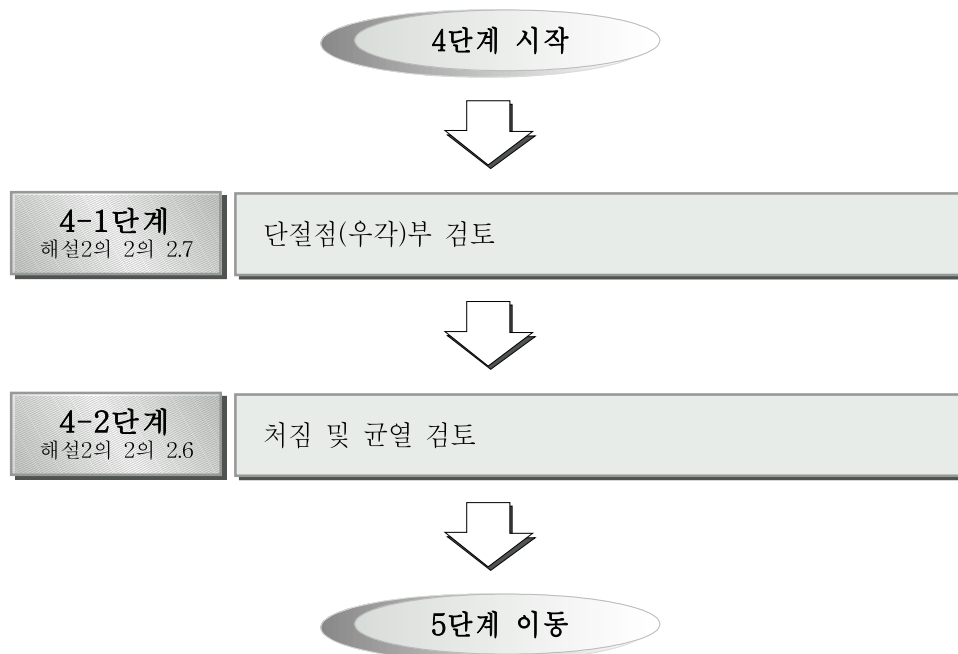
4.3 모델링 및 하중산정



4.4 모델 해석 및 단면검토

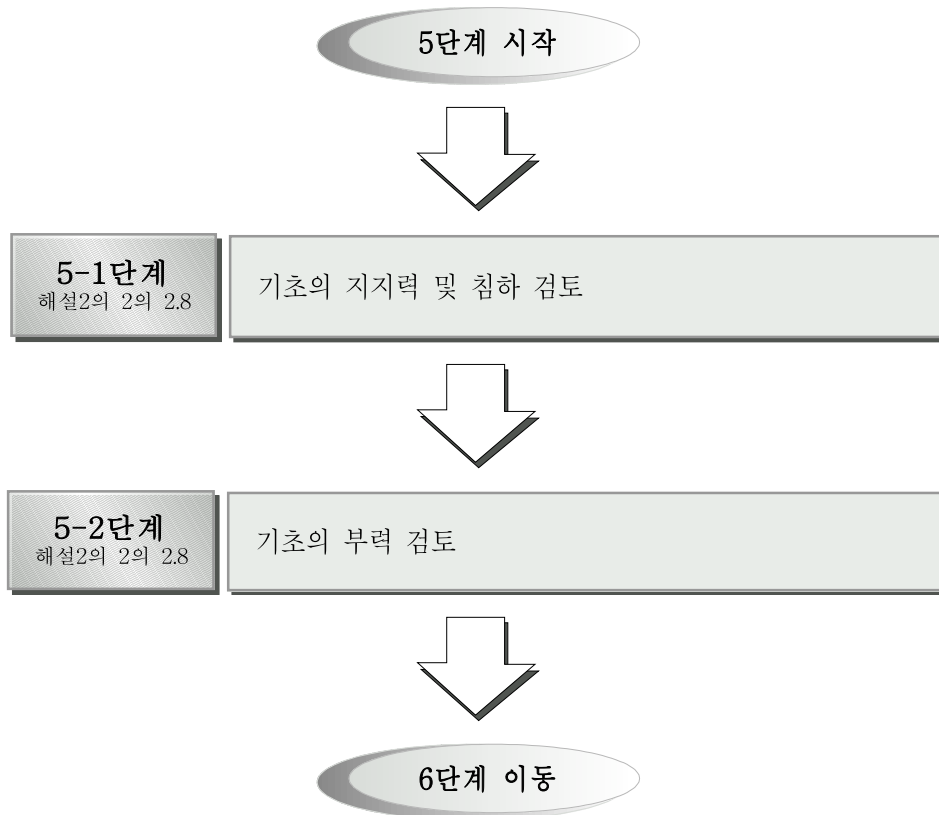


4.5 사용성검토(우각부, 처짐 및 균열, 안정 등)

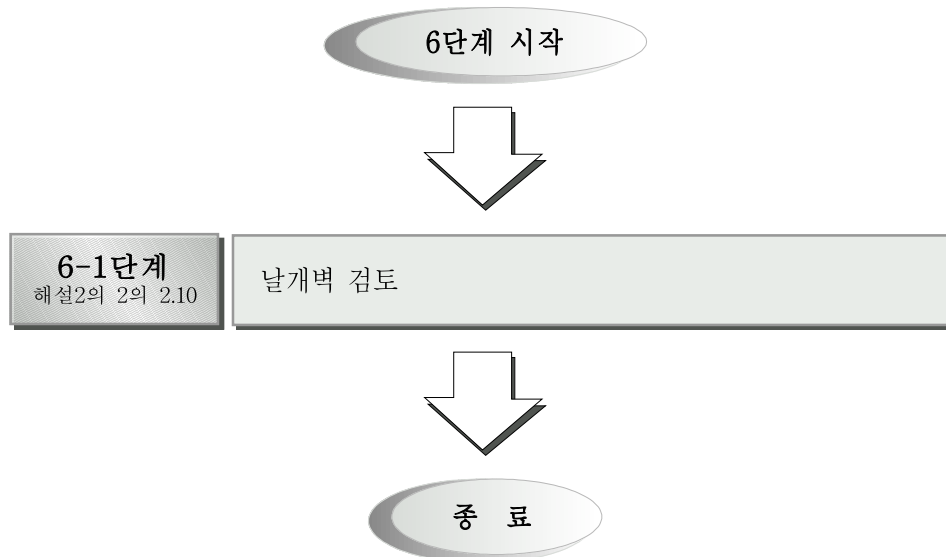




4.6 기초의 안정성 검토



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

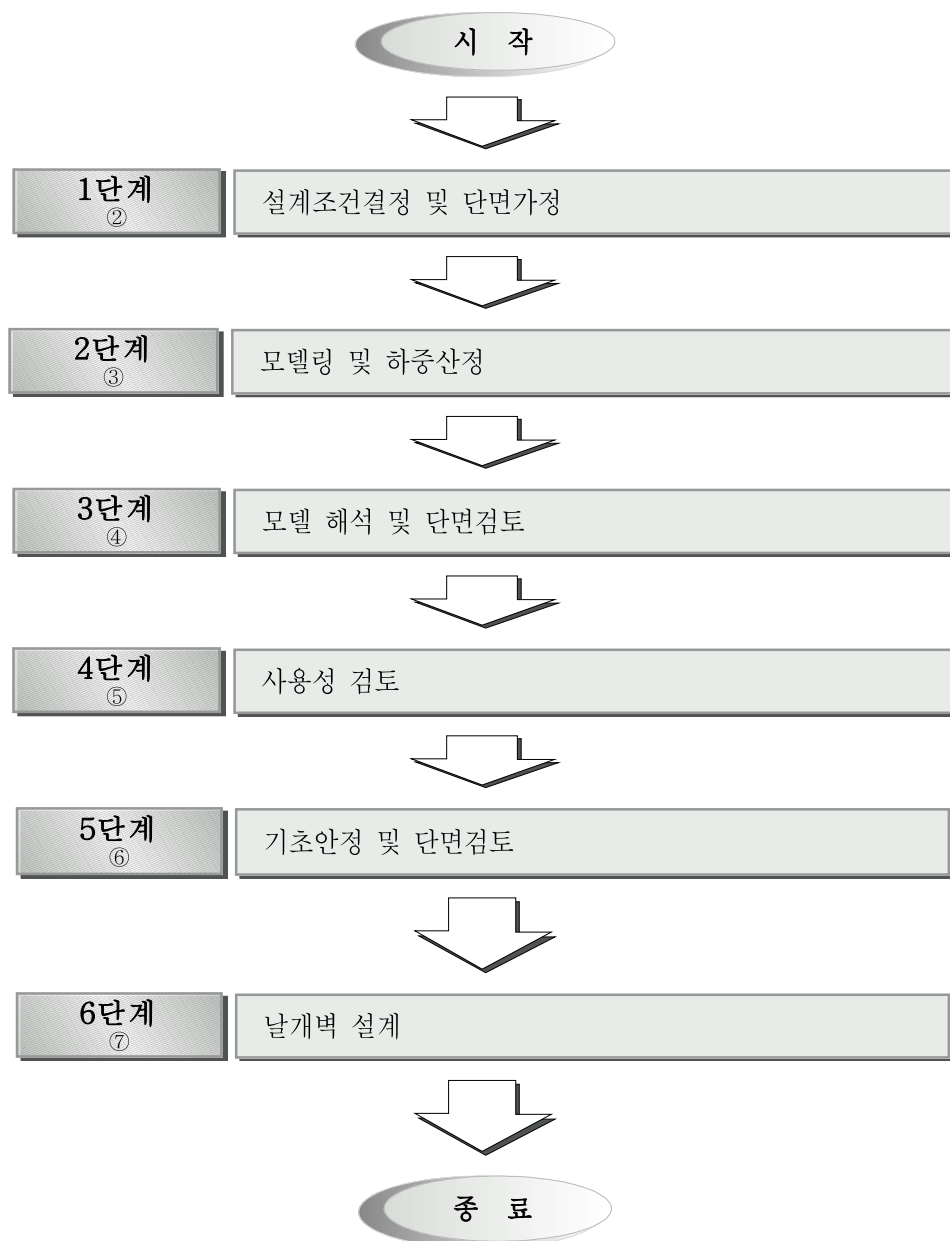
- (1) 거더와 슬래브 및 기둥의 주철근은 절점부에서 서로 간의 배치를 고려하여 단면력이 확실히 전달되도록 설계해야 한다.
- (2) 라멘 구교 기둥의 띠철근 및 중간절점부의 스티럽은 일반적으로 다음과 같이 배치한다.
 - ① 거더에는 기둥전면으로 부터 거더높이의 1.5배 되는 구간까지 0.2% 이상의 스티럽을 배치하는 것이 좋다.
 - ② 기둥하부에는 기둥 가로치수와 동일한 길이의 구간까지 0.2% 이상의 띠철근을 배치하는 것이 좋다.
 - ③ 기둥상부에는 기둥 가로치수의 2배되는 길이의 구간까지 0.25% 이상의 띠철근을 배치하는 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.



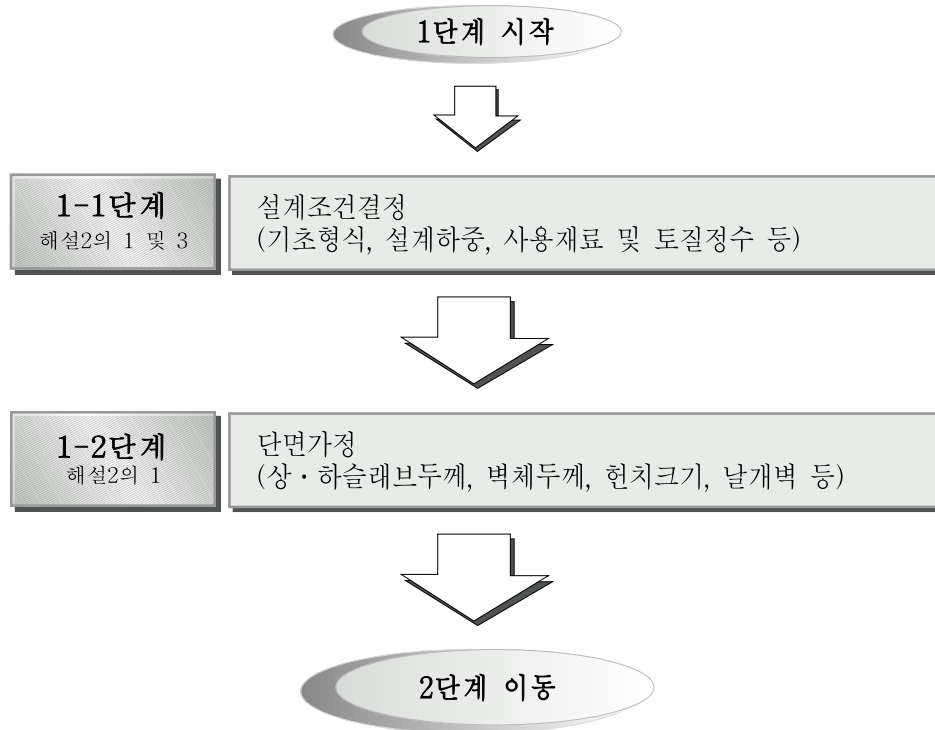
- (4) 기둥의 하단이 고정된 경우, 기둥의 주철근은 기초의 상단부터 기초높이의 1/2되는 곳을 지나 소정의 정착길이를 정착하여야 한다. 시공상 부득이한 경우에는 축방향철근을 확대기초 하단까지 연장하여 직각갈고리로 정착시켜도 좋다.
- (5) 현치에는 계산상 철근이 필요없는 경우에도 별도로 현치 단면에 연하여 철근을 배치해야 한다.
- (6) 부재절점부 및 그 부근에는 주철근의 이음을 두지 않는다.

3. 설계흐름도

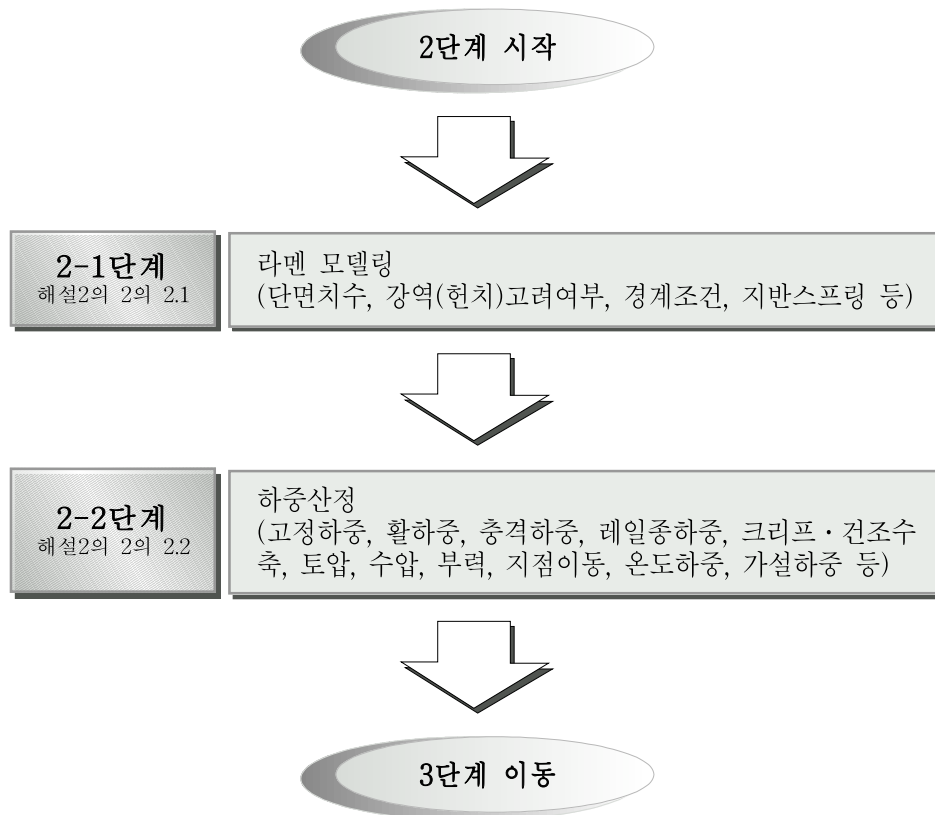
3.1 주 설계단계



3.2 설계조건결정 및 단면가정

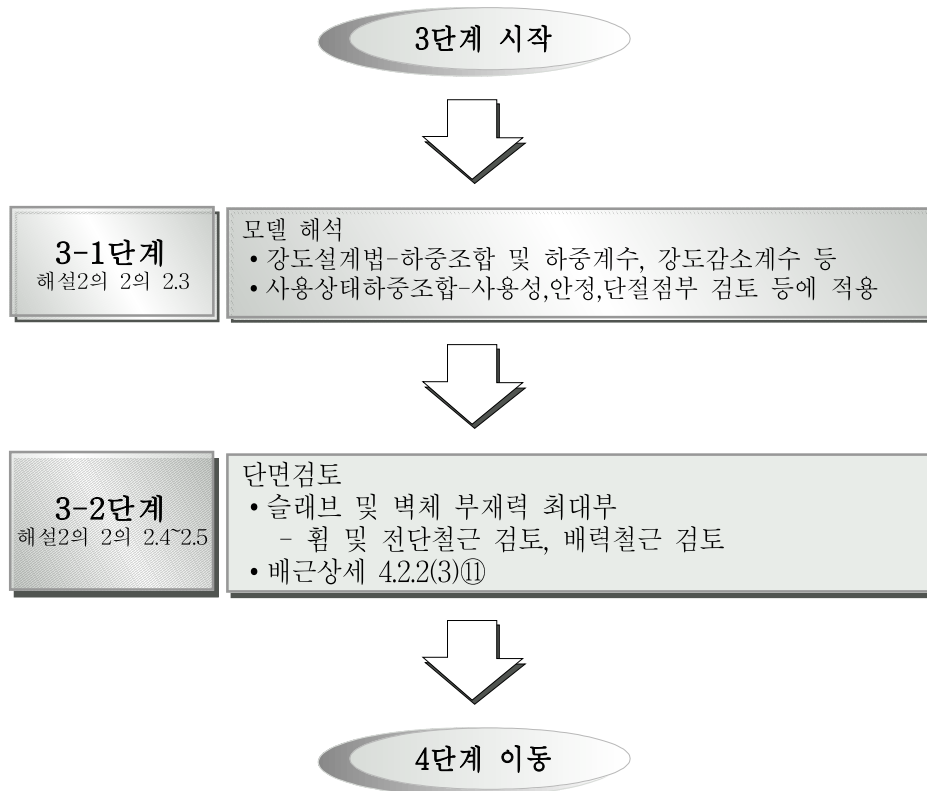


3.3 모델링 및 하중산정

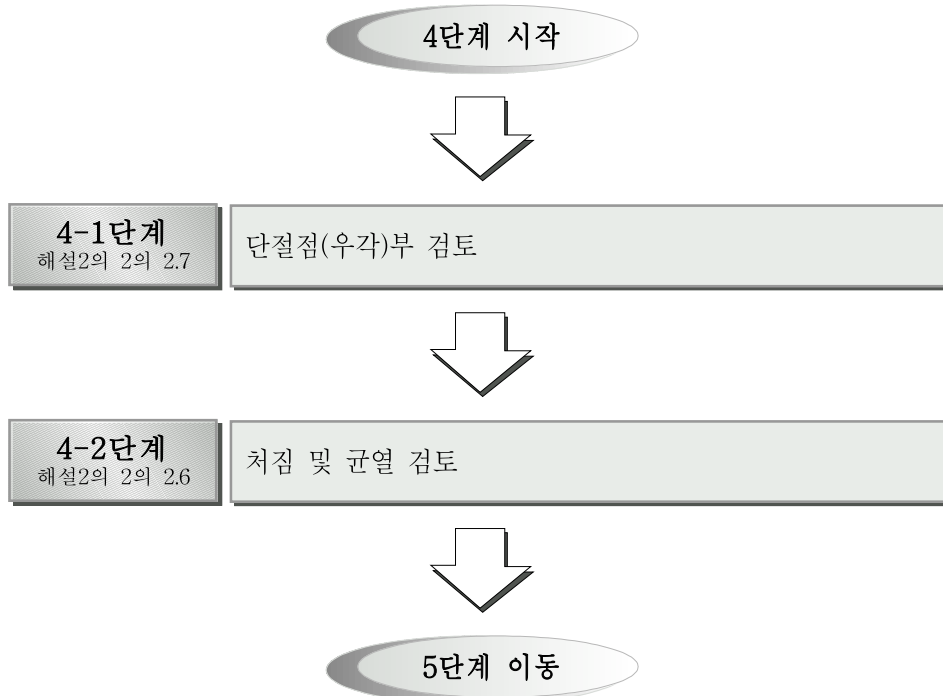




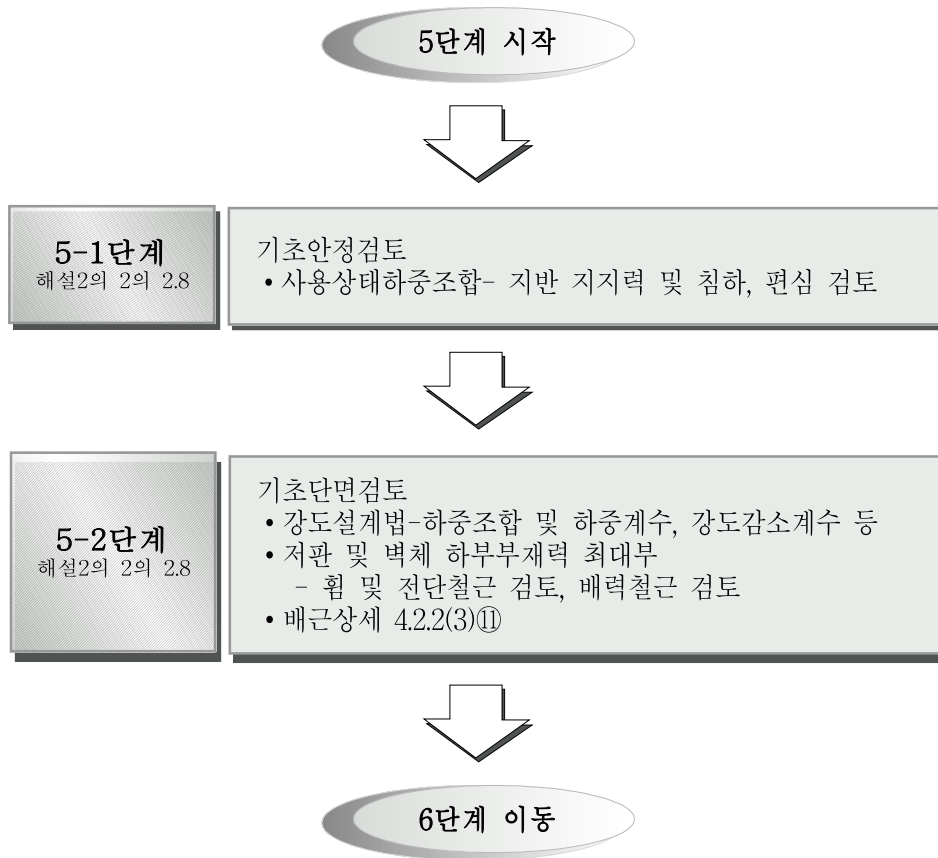
3.4 모델 해석 및 단면검토



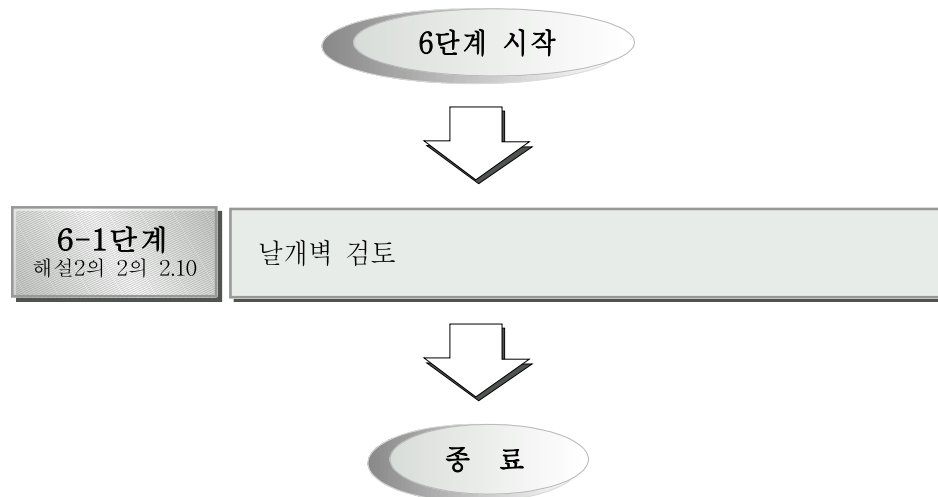
3.5 사용성검토(우각부, 처짐 및 균열, 안정 등)



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 각종기준은 「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 42>)
- (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 토피두께에 대응해 증감시킨다. 이것은 아치부의 시공성, 거푸집의 사용성을 고려한 것이다.

- (4) 단면두께는 온도변화 및 건조수축의 영향을 고려해야 하며 아치부의 단면은 가급적 얇게 하고, 응력이 집중되는 하부 우각부 부근의 단면은 두껍게 하는 것이 좋다.

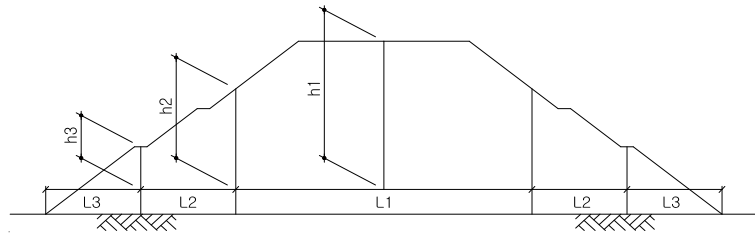


그림 42. 설계계산에 적용하는 토피두께

3.3 내공단면

- (1) 아치형 구교의 단면은 소정의 내공단면($a \times b$)을 확보하고 위쪽에 반원을 그린 모양을 표준으로 한다.(<그림 43>)
- (2) 아치형 구교의 단면은 소요단면($a \times b$) 및 토피두께에 따라 아치모양이 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.

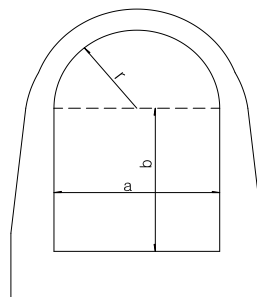


그림 43. 아치형 구교의 내공단면



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 하여야 한다.
- (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_0 , o)을 사용하며, 이것에 의해 얻어진 하중을 응력 계산 시에 강역을 고려해 골조선(B' , H')에 적용한다.

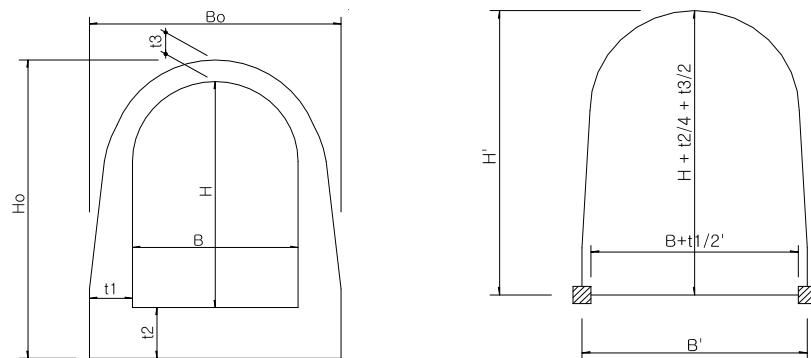


그림 44. 아치형 구교의 구조의 강역

- (2) 강역의 영향을 고려하여 구조계산을 할 경우 우각부의 단면 응력은 각각의 강역 단면력을 사용해 구한다.(<그림 44>)
- (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.

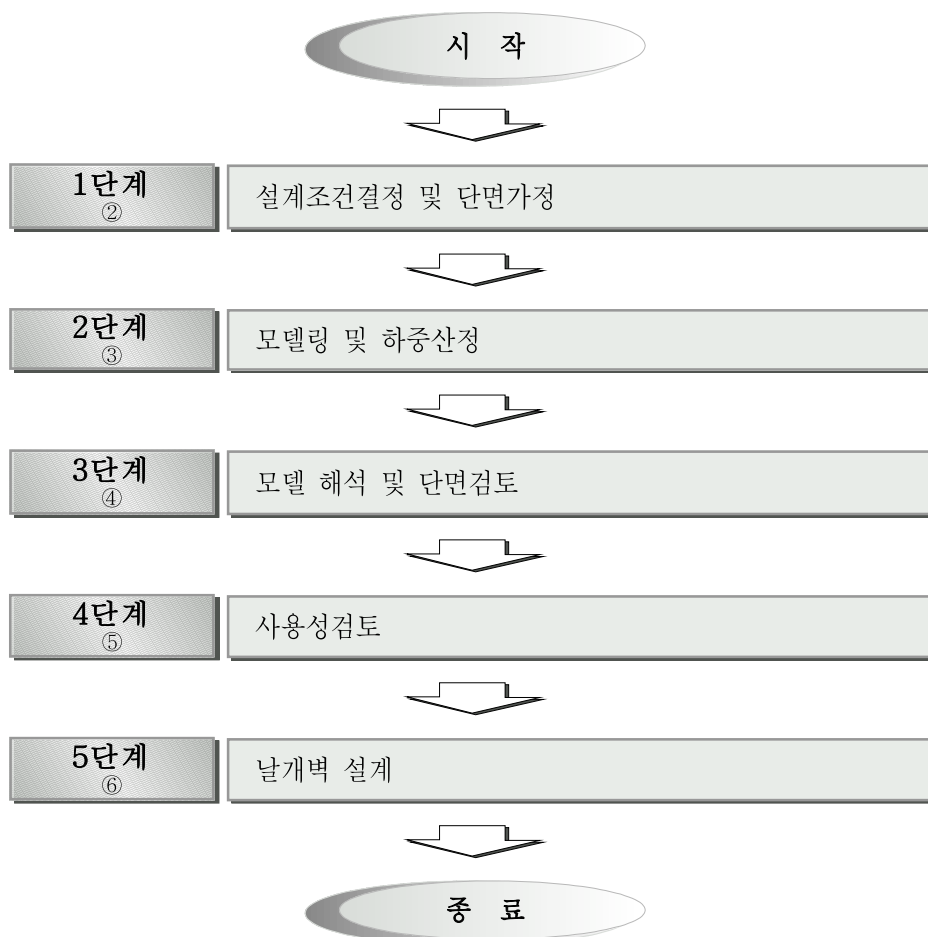
- (7) 해석시 경계조건은 바닥면에 스프링 경계조건을 사용하고 측벽 및 아치부는 스프링 경계조건을 사용하지 않는 것을 원칙으로 한다. 단, 설계자의 판단에 따라 측벽 및 아치부에 스프링 경계조건을 사용할 수 있다. 이 경우 스프링 계수값에 따라 구조물 거동이 달라지므로 스프링 계수값 결정에 주의를 요한다.

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 스테럽 또는 띠철근의 지름은 6mm 이상, 또 축방향 철근지름의 1/4 이상으로 하고, 그 간격은 축방향 철근 지름의 15배 이하, 아치단면의 최소치수 이하로 배치해야 한다.

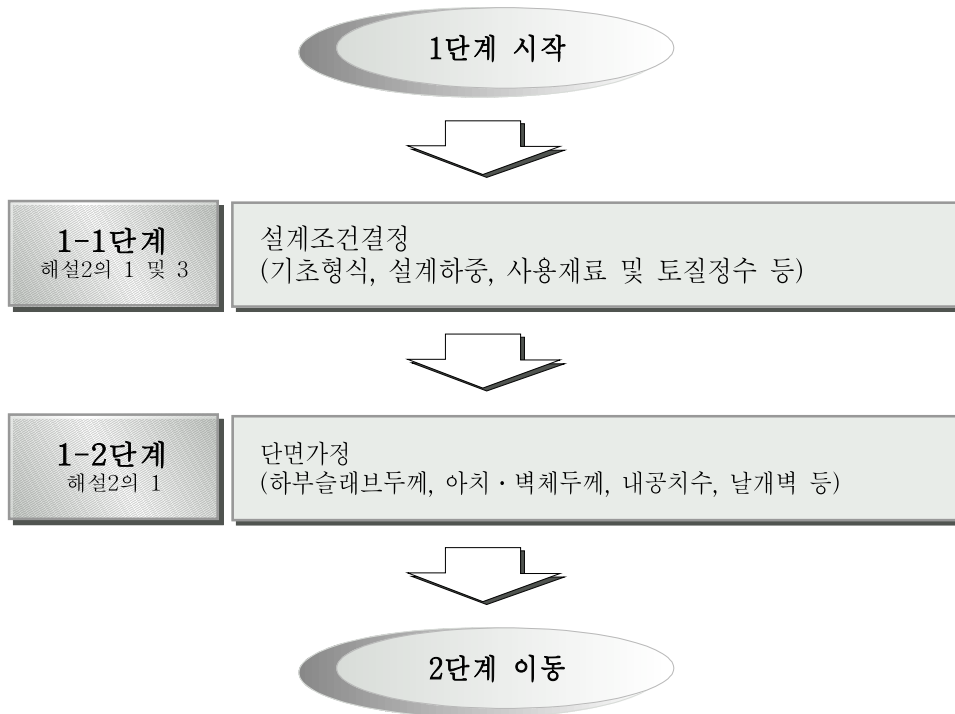
6. 설계흐름도

6.1 주 설계단계

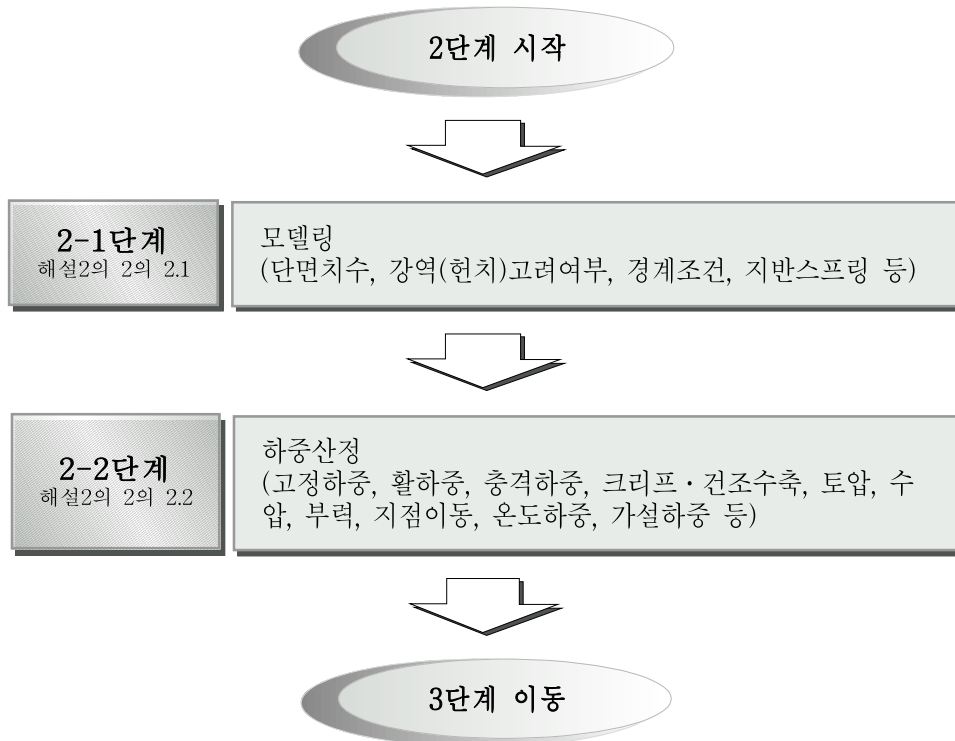




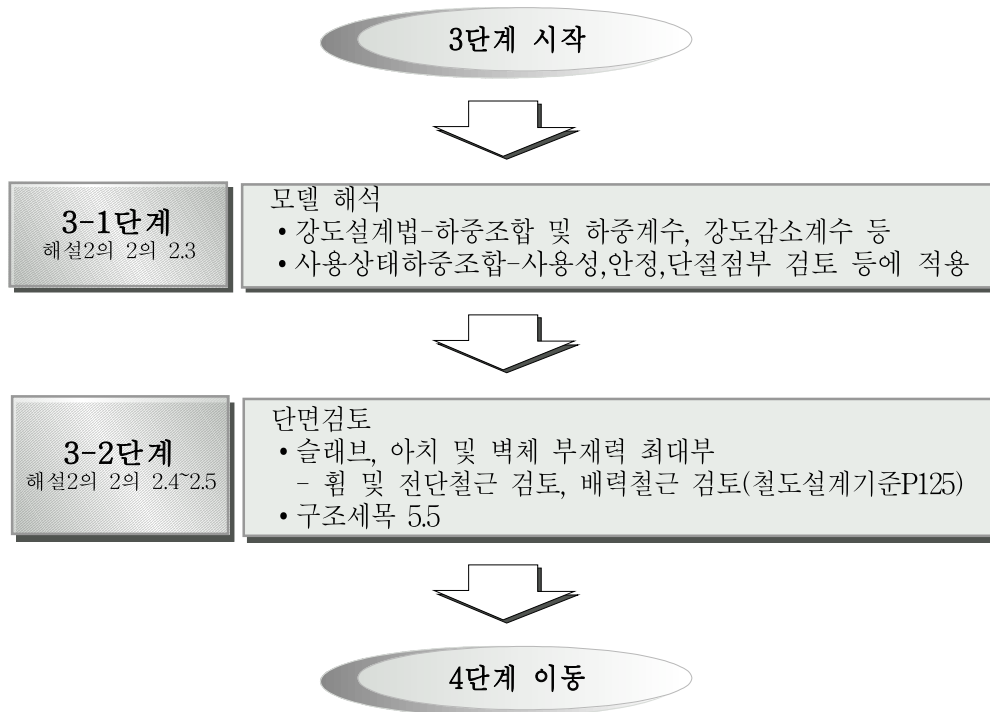
6.2 설계조건결정 및 단면가정



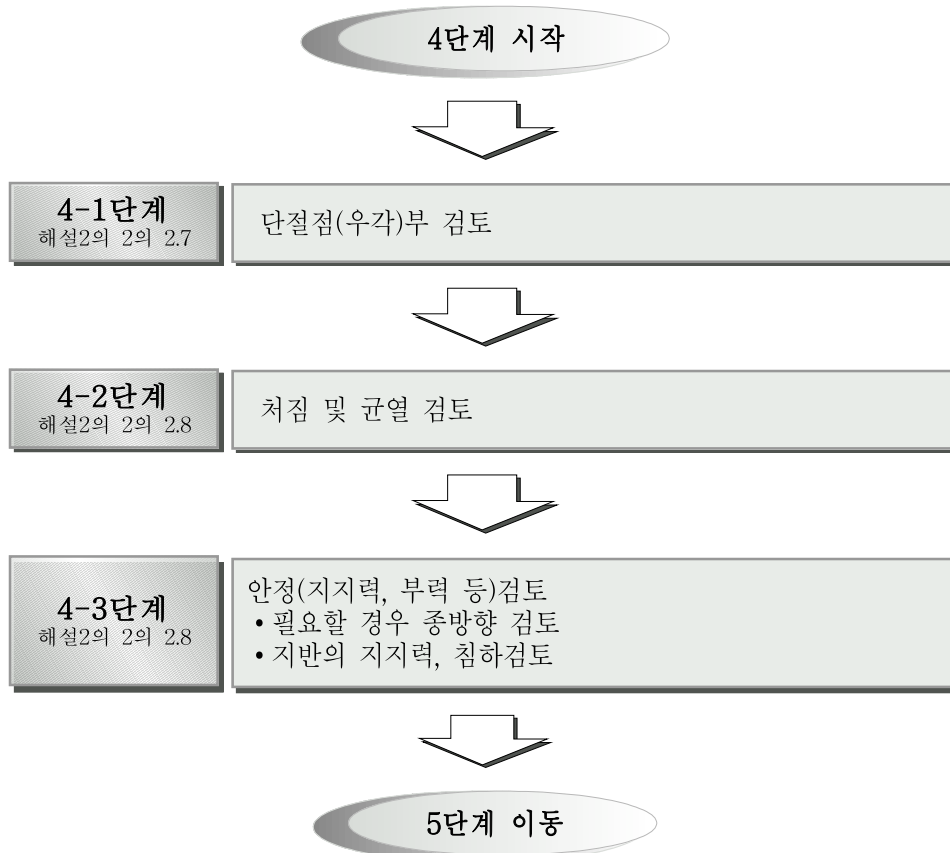
6.3 모델링 및 하중산정



6.4 모델 해석 및 단면검토

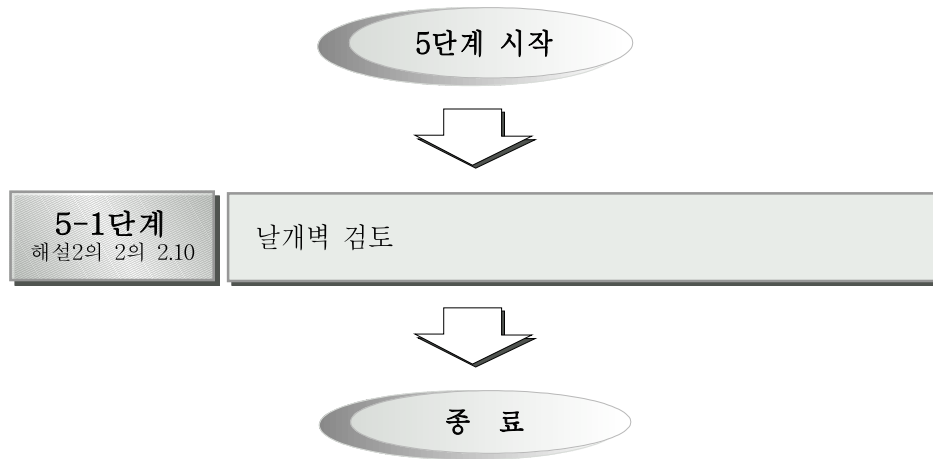


6.5 사용성검토(우각부, 처짐 및 균열, 안정 등)





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 토피가 비교적 낮은 경우에 쓰인다. 이음방법이 다양하므로 적절한 이음구조를 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 18> 및 <표 19>와 같다.



표 18. 외압 강도¹⁾ (단위 N/mm)

관종류 관지름(mm)	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 19. 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 20>과 같다.

표 20. 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) 코킹으로 한다. (<그림 45>참조)	비교적 급한 각도의 곡선 부설이 가능하다. 단 부등침하에 약하고, 포코킹이 힘들다.
B형	1종 150~2,000mm 2종 150~2,000mm	소켓 달린 홑관이며, 이음은 고무가스켓으로 한다. (<그림 46>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 47> 참조)	접합이 쉽다. 접합길이가 짧으므로 부등침하의 염려가 있을 때는 피한다.

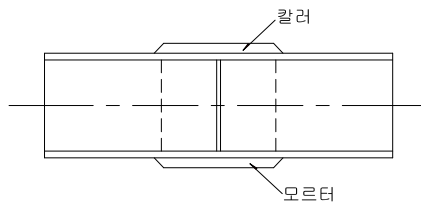


그림 45 A형관

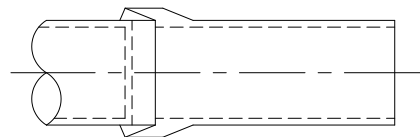


그림 46 B형관

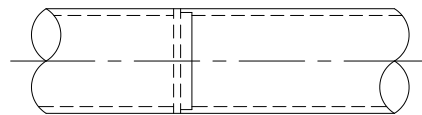


그림 47. C형관

- (2) <표 18> 및 <표 19>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 48> 참조)

② 반구형

반구형이란 기존 지반 혹은 잘 다진 흙쌓기 지반 상에 터파기 후 매설하고 되메우기를 하는 형식이다.(<그림 49> 참조)

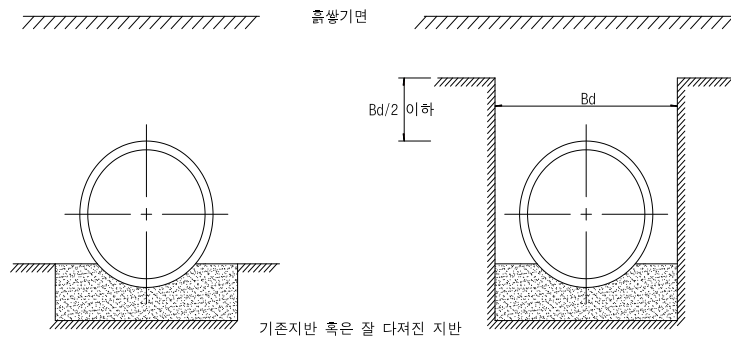


그림 48. 돔출형의 매설상태

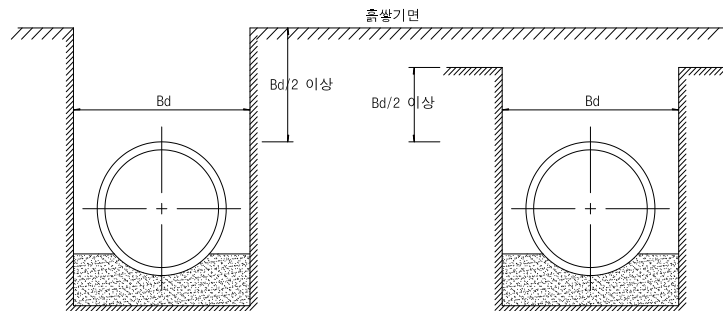


그림 49. 반구형의 매설상태

(2) 8기초형식

기초는 모래 또는 콘크리트로 하고, 그 지지각의 크기에 따라 <표 21>와 같이 구분한다. 또한, 기존 지반이 모래와 같은 양질의 재료일 때는 기존 지반을 잘 마무리하여 기초로 해도 좋다.

표 21. 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, 매설조건을 고려한 후 「KR C-05010 해설5의 2의 (3)」에 따라 결정한다.

- (3) 토피두께가 두꺼울 경우 반구형으로 매설된 관에 적용하는 토압이 돌출형의 경우에 비해 약하거나 작으므로 반구형이 설계상 유리하다. 그러나 굴착 부분 양쪽의 지반이 약하거나 특별한 이유로 굴착폭 Bd를 지름의 2배 이상 넓게 잡을 경우에는 정상적인 반구형으로서의 토압보다 큰 값이 고려되어야 하므로, 이와 같은 경우는 설계시 돌출형의 토압을 사용하는 것이 좋다.(<그림 50>) 콘크리트 기초 360°이내의 것은 최소토피를 300mm로 한다.

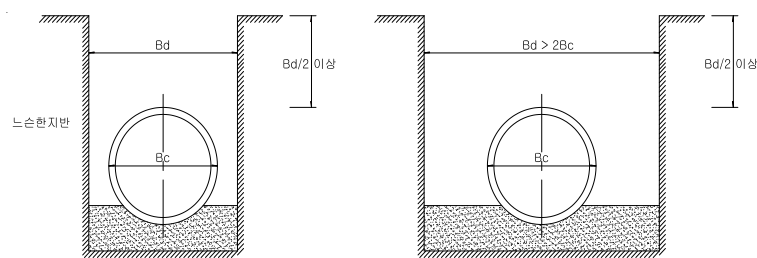
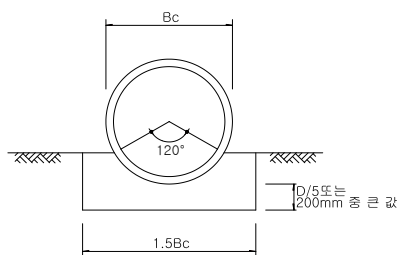


그림 50. 돌출형으로 생각하여야 할 경우

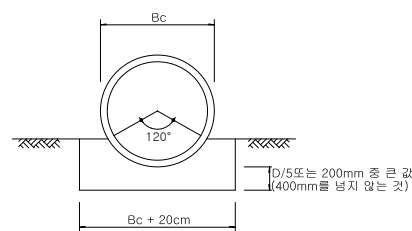
각종 기초 형식의 모양은 <그림 51(a), (b)>와 같다. 또한, 모래 기초 혹은 기존 지반을 기초로 할 때에는 지지각 120°로 시공된 것이라도 유효지지각이 90°인 것으로 보고 설계한다.

반구형의 경우는 다음에 의한다.

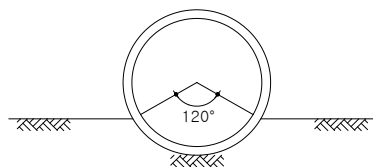
- D(관의 내경) < 900mm의 경우 : $Bd = 2D$ (또는 600mm중 큰 값)
- D(관의 내경) ≥ 900 mm의 경우 : $Bd = D + 700$ mm



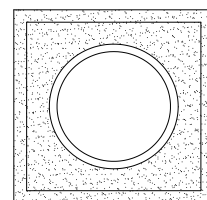
(a) 90°모래기초



(b) 120° 콘크리트 기초



(c) 90°기초(기존지반)



(d) 360° 콘크리트 기초

그림 51. 각종 기초형식

2.3 관형구교의 설계

- (1) 관형구교의 설계는 관의 외압 강도(<표 18>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 (2)항」을 참고한다.
- (3) 관에 작용하는 활하중의 계산은 「KR C-05010 해설 2의 2.2 (3)항」을 참고한다.
- (4) 토피하중의 계산은 돌출형의 경우는 매스턴공식, 반구형의 경우는 일반 토압공식을 사용하고 있다.

① 돌출형의 경우 -----매스턴 공식

$$W_{DL} = C_p \cdot r_t \cdot B_c^2 \quad (52)$$

$H < H_e$ 일 때

$$C_p = \frac{\exp(KH/B_c) - 1}{K} \quad (53)$$

$H \geq H_e$ 일 때

$$C_p = \frac{\exp(KH/B_c) - 1}{K} + \left[\frac{H - H_e}{B_c} \right] \exp(KH_e/B_c) \quad (54)$$

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.

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

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/Bc)이다.

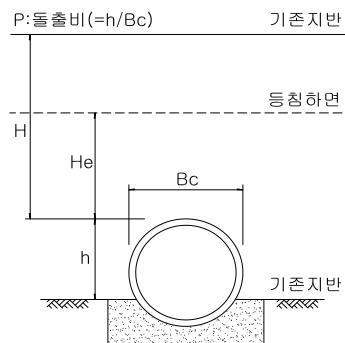


그림 52. 돌출형 관형 구교



② 반구형의 경우 : 일반 토압공식

$$W_{DL} = r_t \cdot H \cdot \left(\frac{B_c + B_d}{2} \right) \quad (55)$$

(5) 관형구교 설계는 <식 (52)> 및 <식 (53)>에서 구한 하중에 따라서 <식 (56)>으로 계산한다.

$$L_c \geq F \left(\frac{W_{TL}}{1.5} + \frac{W_{DL}}{L_f} \right) \quad (56)$$

여기서, L_c : <표 18>에 표시한 관의 외압강도(kN/m)

F : 안전율로서 1.25

W_{TL} , W_{DL} : <식(52)>, <식(53)>, 및 <식(55)>로 구한다.

L_f : 하중계수(매설상태 및 기초형식에 따라 <표 22>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 22. 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 시험결과를 바탕으로 매설 상태 및 기초형식에 따른 계산식을 제안하고 있고, 1) 표 4.2.21의 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 시공조건인 착오(돌출형과 반구형의 구별)
- (6) 이음부에서의 누수 등의 하자

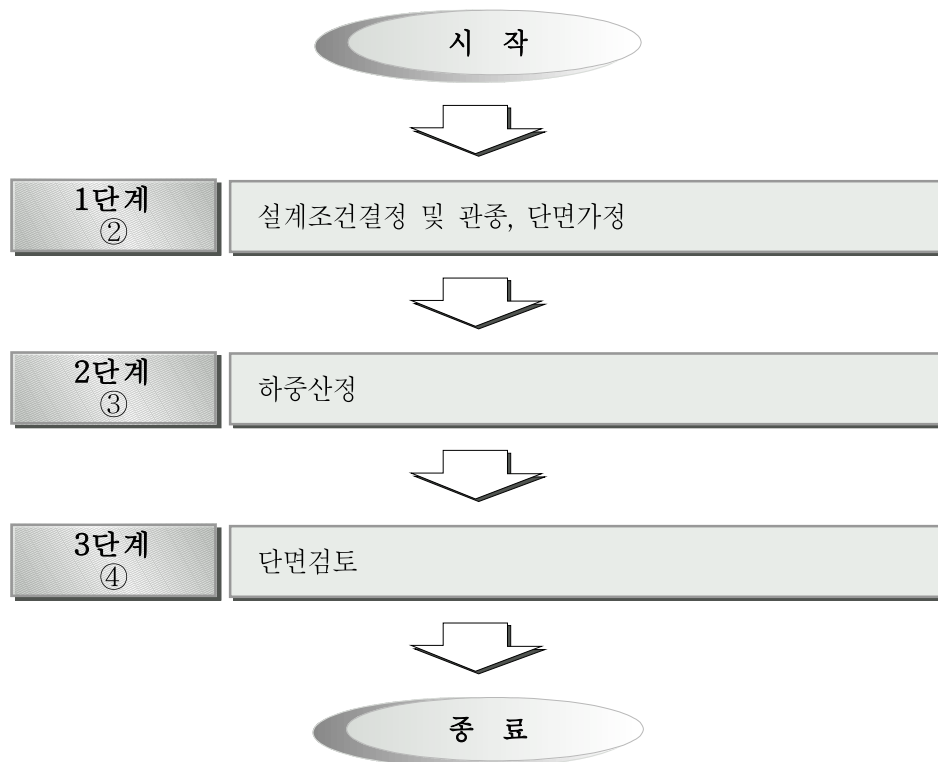
관형구교 설계시 길이방향에 대한 강도를 일반적으로 고려하지 않음으로써 문제를 일으킬 소지가 있다. 이 계산을 하기 위해서는 탄성 지지된 보로서 해석하면 되지만, 기초지반의 스프링계수 등 불분명한 점이 많아 어려움이 많다. 그러므로 양질의 기초재료를 충분히 다짐으로써 암거에 작용하는 응력을 감소시켜 ‘(1)’ 및 ‘(2)’의 문제를 줄이도록 한다. 특히, ‘(1)’의 경우는 한쪽 땅깍기, 한쪽 흠쌓기부의 지점에서 문제가 되기 쉬우므로 가능한 관형구교를 원지반에 따라 부설하는 등의 주의가 필요하다.

‘(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 설계도면에 설계계산조건을 명시한다. ‘(6)’에 대해서는 이음부에서 하자가 많이 발생함으로 현장 여건에 따라 관의 종류, 이음 종류를 결정하고 관과 관 사이 이음시 철저한 공사관리가 필요하다.

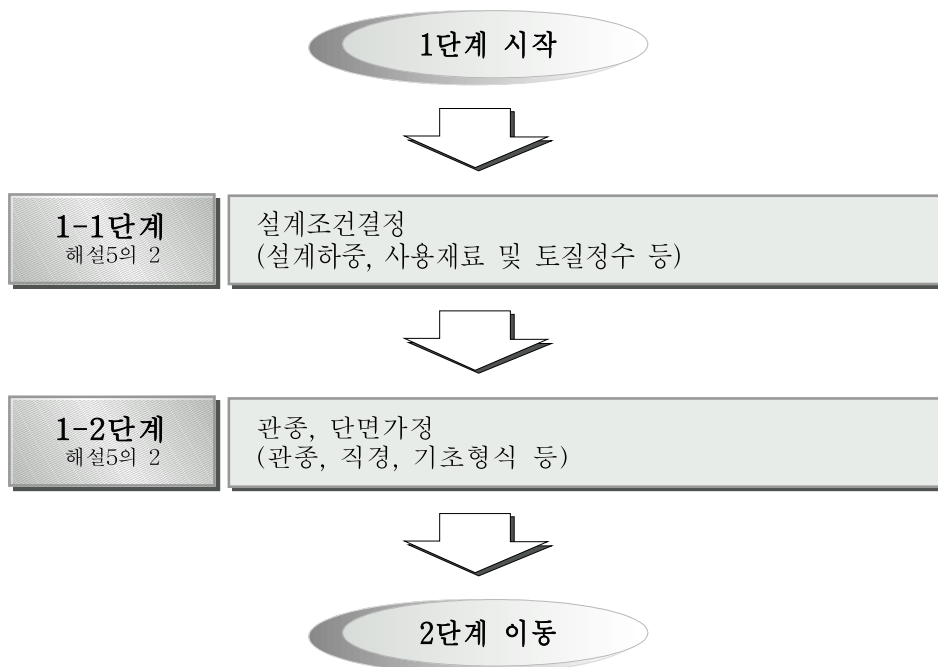


4. 설계흐름도

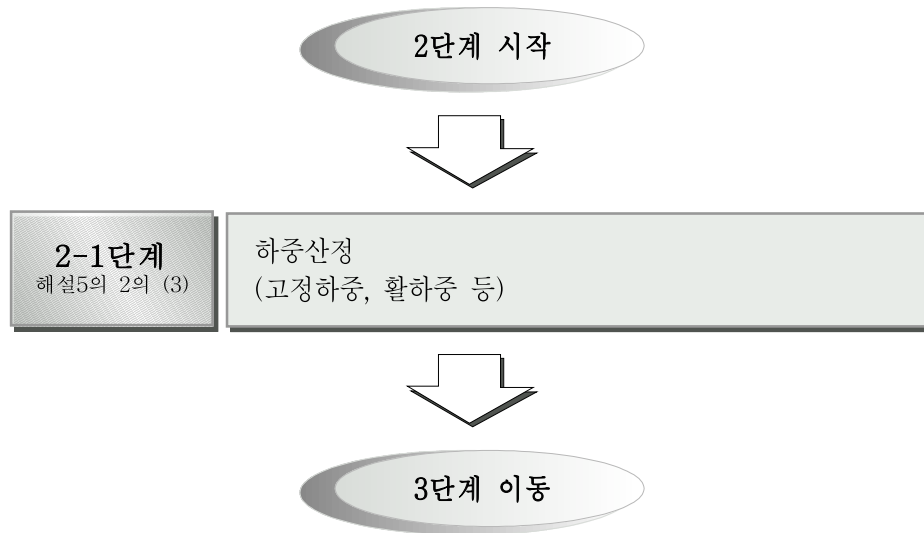
4.1 주 설계단계



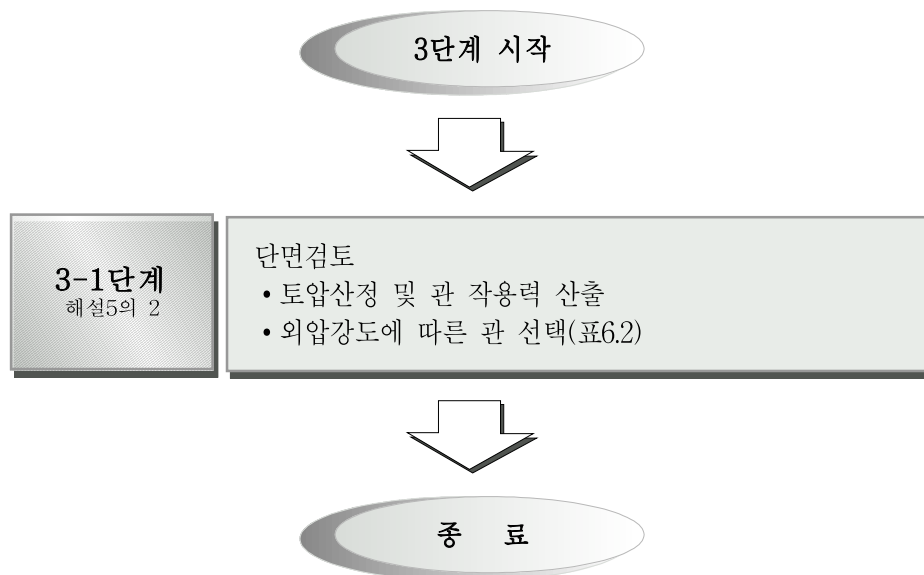
4.2 설계조건결정 및 관중, 단면가정



4.3 하중산정



4.4 단면검토





RECORD HISTORY

- Rev.0('12.12.05) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는 데 목적을 둬.
- Rev.1('15.06.19) “콘크리트 구조기준(2012)” 제10장 콘크리트교편의 콘크리트 탄성계수 계산식(10.2.2) 일치
- Rev.2('17.03.20) 철도설계기준(국토교통부고시제2015-1014호, '15.12.29)이 개정 고시됨에 따라 개정내용(주요 하중조합의 하중계수)을 반영
- Rev.3('17.10.27) 상위기준인 철도설계기준 개정내용
* 국토교통부고시제2017-573호, '17.8.30)
- Rev.4('17.12.22) 해설2. 박스형 구교 활하중 수정