

KR C-11020

Rev.1, ?. January 2014

교대, 교각, 확대기초의 설계

2014. 1. ?



한국철도시설공단

REVIEW CHART

[illegible]

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. 적용범위	1
3. 교대 및 교각의 형상	1
4. 설계하중	2
4.1 교대에 작용하는 하중의 조합	2
5. 받침부 및 폭이 큰 구체의 설계	2
5.1 받침부	2
5.2 폭이 큰 구체	3
6. 교대의 설계	3
6.1 작용 토압	3
6.2 역T형 교대	3
6.3 부벽식 교대	3
6.4 경사 교대	3
6.5 홍벽의 설계	3
6.6 날개벽의 설계	3
6.7 교대 배면	3
6.8 특수조건에서의 교대 설계	4
7. 교각의 설계	4
7.1 T형 교각	4
7.2 라멘교각	4
8. 확대기초의 설계	5
8.1 기본 사항	5
8.2 확대기초의 두께	6
8.3 휨설계	6
8.4 전단설계	6
8.5 휨철근의 배근	6
해설 1. 교대설계	8
1. 설계단계 흐름도	8
1.1 주설계단계 및 단계별 고려사항	8

1.2 [단계 1] 단면가정	9
1.3 [단계 2] 지진변위 검토	10
1.4 [단계 3] 받침부 설계	12
1.5 [단계 4] 교대 설계조건	15
1.6 [단계 5] 교대 설계력 산정	18
1.7 [단계 6] 안정검토	21
1.8 [단계 7] 단면검토	23
1.9 [단계 8] 교대 날개벽 설계	28
해설 2. 교각설계	30
1. 설계단계 흐름도	30
1.1 주설계단계	30
1.2 [단계 1] 단면제원 가정 및 단면 제상수 계산	30
1.3 [단계 2] 하중산정	31
1.4 [단계 3] 구조해석 및 단면력 조합	31
1.5 [단계 4] 부재의 설계	32
1.6 [단계 5] 기초의 설계	32
2. 설계단계별 고려사항	33
2.1 [단계 1] 단면제원 가정 및 단면 제상수 산정	33
2.2 [단계 2] 하중계산	33
2.3 [단계 3] 구조해석 및 단면력 조합	36
2.4 [단계 4] 부재의 설계	38
2.5 [단계 5] 기초의 설계	40
RECORD HISTORY	45

1. 용어의 정의

- (1) 강성 기초 : 기초의 변위 및 안정 계산에서 기초 자체의 탄성변형을 설계상 무시할 수 있는 강성이 큰 기초.
- (2) 구체 : 하부구조의 한 부분으로 상부구조로부터의 하중을 기초에 전달하는 교각 또는 교대의 부분.
- (3) 극한지지력 : 구조물을 지지할 수 있는 지반의 최대저항력.
- (4) 근입깊이(관입깊이) : 현 지반면에서 기초저면 또는 끝까지의 깊이.
- (5) 기초 : 하부구조의 한 부분으로 구체로부터의 하중을 지반에 전달하는 부분.
- (6) 복합기초 : 두 개 이상의 기둥 축력을 기초의 저판으로 하중전이 하여서 지반으로 전달하는 구조체.
- (7) 허용변위량 : 상·하부구조의 기능성과 안전성이 손상되지 않는 범위 내에서 하부구조가 허용할 수 있는 변위량.
- (8) 허용지지력 : 극한지지력을 소정의 안전율로 나눈 지지력과 허용변위량으로부터 정하여지는 지지력 중 작은 값.
- (9) 내진설계 : 지진시에도 구조물이 안정성을 유지하도록 하중과 지반거동에 지진의 영향을 고려하는 설계.
- (10) 상부구조물 : 기초가 지지하고 있는 구조물을 통칭.
- (11) 수평지지력 : 말뚝이 수평방향력을 받을 때 나타나는 지반의 저항력.
- (12) 지반반력계수 : 재하면의 임의의 미소요소에 대한 압력과 지반 침하량 사이의 비례상수. 이 값은 일반적으로 평판재하시험을 실시하여 하중강도와 침하량의 관계에서 결정.
- (13) 지지력계수 : 기초의 극한지지력을 산정하는데 사용되는 계수로 무차원이며 전단저항각의 함수.
- (14) 측방유동 : 연약지반에 횡방향 응력 불균형에 의하여 발생하는 수평방향의 소성유동을 일컬으며 연약지반에 시공되는 교대나 흙막이벽과 같은 구조물 파괴의 원인.

2. 적용범위

이 장은 콘크리트 구조의 교대와 교각 및 확대기초의 설계에 주로 적용하며 강재교각의 설계는 「KR C-09 강교 및 강합성교」에 따른다. 강교나 라멘교 혹은 PSC구조 등에 대하여 이 장에서 규정하지 않은 사항은 「KR C-08 교량일반사항」, 「KR C-09 강교 및 강합성교」, 「KR C-10 콘크리트교」를 따른다.

3. 교대 및 교각의 형상

- (1) 교대 및 교각은 가설되는 교량의 상황에 가장 적합한 형상으로 해야 한다.
- (2) 교대 및 교각의 형상은 가교지점의 상황, 상부구조의 설계조건, 경제성, 미관 등을



고려하여 결정한다. 하천에 가설되는 교량에 대해서는 「하천설계기준」에 따라야 한다.

4. 설계하중

교대·교각을 설계함에 있어서는 「KR C-08020 7~9항」의 하중조합 중 가장 불리한 하중조합에 대하여 부재력 결정 및 안정검토를 해야 한다.

4.1 교대에 작용하는 하중의 조합

(1) 교대의 부재계산 및 안정계산에서의 일반적인 하중의 조합은 「KR C-08020 7~9항」에 따른다. 다만, 지진의 영향은 「KR C-02040」에 따른다.

- ① 하중조합시 필요한 경우 수압을 고려한다.
- ② 안정에 대해 검토할 경우 고정하중은 현장여건에 따라 부력을 고려해야 한다. 그러나 설계의 안전을 고려하여 전도에 대한 안정 검토시는 부력을 포함하고 지지력에 대한 안정 검토시는 부력을 고려하지 않을 수 있다.
- ③ 수위 변동이 현저한 하천 또는 조위의 변화가 큰 해중에 설치된 교대는 필요한 경우 교대배면에 작용하는 수압을 고려해야 한다.
- ④ 기초의 안정을 검토할 경우 장대레일종하중은 고려하지 않는다.
- ⑤ 교대를 설계할 때는 열차에 의한 충격하중의 영향을 고려하지 않아도 된다. 다만, 받침설계에 있어서는 열차에 의한 충격하중의 영향을 고려해야 한다.
- ⑥ 배면토상에 상재하중이 있는 경우 이를 고려해야 하며, 교대 배면의 상재하중은 다음과 같이 설정해야 한다.

가. 궤도 중량 : $q_1 = 15 \text{ kN/m}^2$

나. 열차하중은 <식 (1)>에 의해 분포하중으로 취급해야 한다.

$$q_2 = \frac{p}{ab} \quad (1)$$

여기서, q_2 : 환산등분포하중(kN/m^2)

p : 열차하중의 1 동륜축하중(kN)

a : 축거(m)

선로 직각방향에 대한 열차하중의 분포폭(m)

b : (일반적으로, 단선교대는 교대의 전폭, 복선교대는 전폭의 1/2로 하면 된다.)

5. 받침부 및 폭이 큰 구체의 설계

5.1 받침부

받침부의 설계는 「KR C-08100 2항」에 따른다.

5.2 폭이 큰 구체

폭이 큰 구체는 온도변화와 건조수축에 의한 연직균열 및 횡방향 부등침하를 고려해서 설계해야 한다.

6. 교대의 설계

6.1 작용 토압

(1) 교대에 작용하는 토압은 「KR C-08020 3.4항」에 따른다.

(2) 토압의 작용면은 다음 규정에 따른다.

- ① 중력식 교대의 경우는 구체 콘크리트 배면으로 한다.
- ② 역T형 교대와 부벽식 교대의 경우는, 벽의 단면 계산에서는 구체 콘크리트 배면, 안정계산에서는 확대기초 뒷쪽 연단에서 연직인 가상배면으로 한다.

6.2 역T형 교대

역T형 교대의 벽, 앞굽판 및 뒷굽판은 캔틸레버보로 설계해야 한다.

6.3 부벽식 교대

(1) 부벽식 교대의 벽은 부벽으로 지지된 연속보로 설계해야 한다.

(2) 부벽은 확대기초에 고정되고 보의 높이가 변화하는 T형 단면 캔틸레버보의 복부로 한다.

6.4 경사 교대

경사 교대의 부재계산과 안정계산은 배면의 직각방향 및 교축방향에 대해서 해야 한다.

6.5 흉벽의 설계

교대의 흉벽은 교대배면에 작용하는 열차하중과 토압 및 열차하중의 충격에 대하여 안전하도록 설계해야 한다.

6.6 날개벽의 설계

날개벽은 활하중에 의한 재하하중과 토압을 받는 판으로 설계해야 한다. 이 경우 판은 벽에 고정된 캔틸레버판 또는 벽과 확대기초에 고정되어진 2번 고정판으로 한다.

6.7 교대 배면

교대 뒤채움은 특별히 양질이고 충분히 다져지는 재료를 사용해서 설계 시공해야 한다.



6.8 특수조건에서의 교대 설계

다음과 같은 경우에는 교대의 특수조건으로 보고 연직지지, 수평지지, 전도, 변위, 부재 강도가 소요 안전도를 가지도록 관련 요소를 종합적으로 판단하여 설계해야 한다.

- (1) 주동토압 계산시 배면토의 점착력을 고려하는 경우
- (2) 교대배면이 절취한 원지반면 또는 구조물에 근접한 경우
- (3) 교대가 연약지반에 놓여 있는 경우
- (4) 교대가 경사면상에 놓여 있는 경우
- (5) 사각교대의 경우
- (6) 특수구조의 교대

7. 교각의 설계

7.1 T형 교각

7.1.1 내민보의 설계

- (1) 교각의 내민보는 기둥 전면의 연직단면을 고정단으로 하는 캔틸레버로 설계한다.
- (2) 캔틸레버보의 내민길이는 기둥단면이 직사각형인 경우 기둥 앞면에 있어서 연직 단면으로부터 보의 끝까지의 길이로 한다. 원형이나 정다각형 기둥인 경우는 기둥단면적과 같은 면적의 정사각형 기둥단면으로 치환하여 내민길이를 구한다. 또 기둥단면이 타원형인 경우에는 단면이 반원형과 직사각형으로 이루어진 것으로 하여 원형인 경우의 규정에 따라 내민길이를 구한다.
- (3) 내민보는 교축방향의 수평력에 대해서도 설계해야 한다.

7.1.2 기둥의 설계

- (1) 기둥은 가장 불리하게 작용하는 축력과 휨모멘트의 조합에 대해서 설계해야 한다.
- (2) 축력과 휨모멘트에 대한 기둥의 설계는 「KR C-10 콘크리트교」에 따른다.
- (3) 기둥의 설계에서 비틀림을 고려하는 경우는 「KR C-10 콘크리트교」에 따른다.

7.1.3 확대기초의 설계

확대기초는 「KR C-11020 8항」에 의하여 설계해야 한다.

7.2 라멘교각

- (1) 라멘부재의 절점부는 접속하는 부재 상호간에 단면력이 확실히 전달되도록 해야 한다.
- (2) 라멘부재의 모서리는 헌치를 붙이는 것을 원칙으로 한다.
- (3) 응력을 검토하는 경우의 헌치의 유효부분은 <그림 1>과 같이 한다.

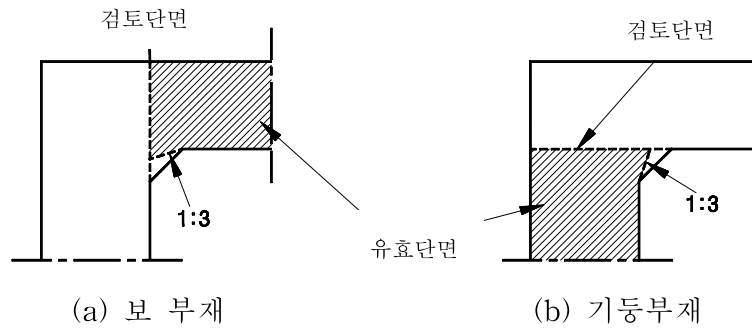


그림 1. 현지의 유효부분

- (4) 단면력을 산출할 때의 축선은 부재단면의 도심축선에 일치시키는 것으로 한다.
- (5) 라멘부재 절점부의 설계 휨모멘트는 <그림 2>와 같이 구한다.
- (6) 확대기초가 연속되어 있지 않은 라멘교각에서는 부등침하 및 상대적 수평이동을 고려해서 설계해야 한다.
- (7) 라멘교각의 면외하중에 대한 기둥의 부담률은 강도비에 따라 정함을 원칙으로 하나 기둥의 강도가 별 차가 없을 때는 축력에 비례하여 분배해도 된다.

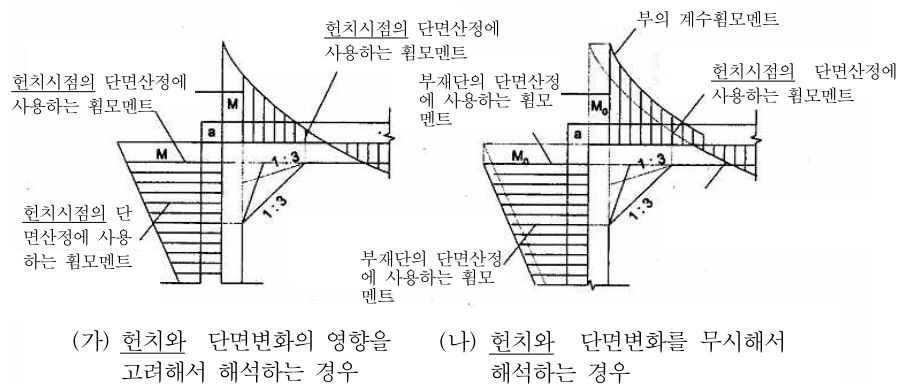


그림 2. 라멘부재 절점부의 설계 휨모멘트

- (8) 내민보 및 기둥은 「KR C-11020의 7.1항」, 확대기초는 「KR C-11020 8항」에 따라 설계해야 한다.

8. 확대기초의 설계

8.1 기본 사항

- (1) 확대기초는 켄틸레버, 단순보, 연속보, 고정보 등 보 부재로 설계해야 한다.
- (2) 확대기초는 확대기초 자중 및 흙 등의 상재하중을 기본적으로 고려한다. 또한, 직접 기초에서는 지반반력, 말뚝기초에서는 말뚝반력 및 부력을 설계상 가장 불리한 방향으로 고려한다.



8.2 확대기초의 두께

확대기초는 휨모멘트, 전단력, 편칭전단력 등에 대하여 부재로서 필요한 두께를 확보함과 동시에 강체로 취급되는 두께를 가져야 함을 원칙으로 한다. 또 확대기초 상면의 경사는 원칙적으로 1:2보다 완만하도록 한다.

8.3 휨설계

8.3.1 휨모멘트의 계산

- (1) 독립확대기초 및 벽확대기초의 휨모멘트는 캔틸레버보로서 산출한다.
- (2) 연속확대기초의 기둥사이의 확대기초부는 구조물의 연속성 및 구속조건을 고려하여 설계해야 한다.
- (3) 연속확대기초의 캔틸레버로서 작용하는 부분은 독립확대기초와 같이 설계해야 한다.
- (4) 설계단면에 있어서 휨모멘트는 기둥 또는 벽 앞면의 확대기초 전면적에 작용하는 하중에 의하여 발생하는 휨모멘트로 한다.

8.3.2 휨에 대한 위험단면

- (1) 직사각형단면의 기둥 또는 벽체를 지지하는 확대기초의 위험단면은 기둥 또는 벽체의 전면으로 한다.
- (2) 강철저판을 갖는 기둥을 지지하는 확대기초의 위험단면은 강철저판연단과 기둥전면의 중간으로 한다.
- (3) 원형이나 정다각형 기둥을 지지하는 확대기초는 기둥 단면적과 같은 면적의 정사각형 기둥단면으로 취급하여 위험단면을 결정한다.

8.4 전단설계

8.4.1 전단에 대한 위험단면

확대기초의 전단강도를 결정할 때는 다음 위험단면 중 가장 불리한 것으로 해야 한다.

- (1) 1방향작용의 위험단면은 기둥 또는 벽체의 전면에서 d 거리에 위치하는 전체폭을 가로지르는 평면으로 한다.
- (2) 2방향작용의 위험단면은 집중하중이나 반력을 받는 구역에서 $d/2$ 거리에 위치하는 둘레에 수직하는 평면으로 한다.
- (3) 말뚝으로 지지된 확대기초에서는 위험단면의 전단력은 콘크리트구조설계기준 「12.3.2항」에 따라 결정되어야 한다.

8.4.2 전단강도 및 설계

확대기초의 전단강도 및 설계는 「KR C-10 콘크리트교」에 따른다.

8.5 휨철근의 배근

- (1) 확대기초의 주철근은 2방향으로 배근하고, 배근방향은 말뚝배치를 고려해야 한다.
- (2) 1방향 확대기초와 정사각형 확대기초의 휨철근은 전폭에 걸쳐 균등하게 배치해야 한다.

(3) 2방향 직사각형 확대기초의 휨철근은 다음과 같이 배치해야 한다.

- ① 긴 변 방향의 휨철근은 전폭에 걸쳐 등간격으로 배치해야 한다.
- ② 짧은 변 방향의 휨철근은 <식 (2)>로 결정되는 철근량을 확대기초의 짧은 변의 폭만큼의 중심구간 폭에 걸쳐 균등하게 배치해야 하며, 중심구간폭의 중심선은 기둥 또는 교각의 중심선으로 한다. 나머지 철근량은 기초 중심구간 폭의 외측부분에 균등하게 배치해야 한다.

$$A_{s,m} = \frac{2}{1+\beta} A_{s,s} \quad (2)$$

여기서, $A_{s,m}$: 기초 중심구간 폭에 배치해야 할 철근량(mm²)

$A_{s,s}$: 기초 짧은 변 방향에 대하여 필요한 총 철근량(mm²)

β : 확대기초의 짧은 변에 대한 긴 변의 비

(4) 윗면 철근은 아랫면 철근의 1/3 이상을 배근해야 한다.

(5) 말뚝에 인발력이 생기는 경우는 윗면에 철근을 배근한다.



해설 1. 교대설계

1. 설계단계 흐름도

1.1 주설계단계 및 단계별 고려사항

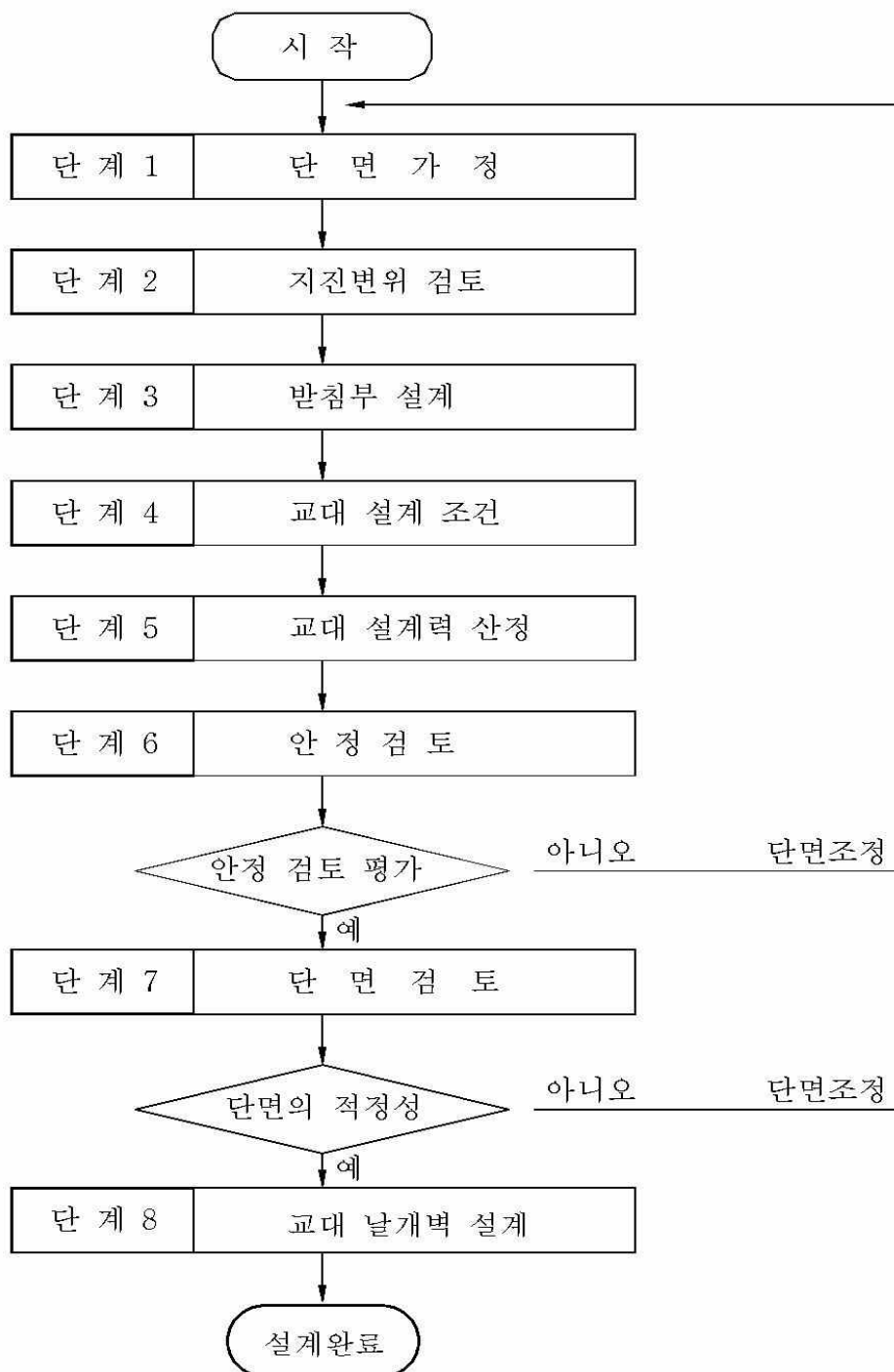
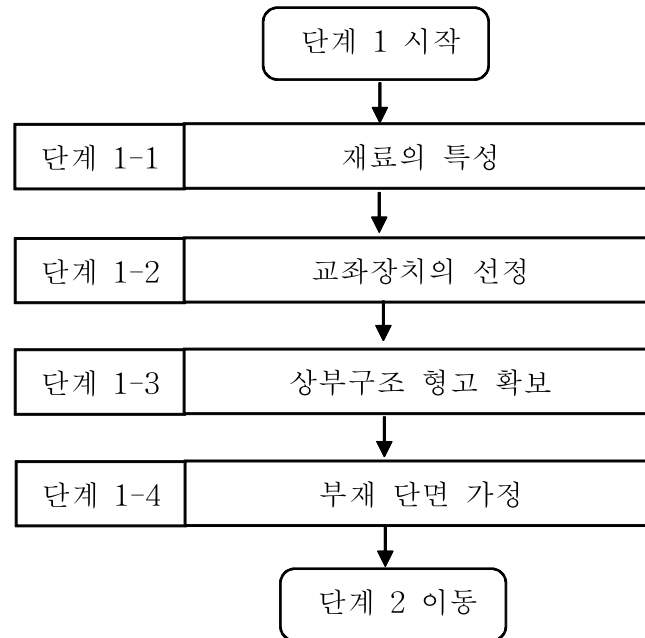


그림 3. 주설계 흐름도

1.2 [단계 1] 단면가정



1.2.1 [단계 1-1] 재료의 특성

설계를 위한 사용재료의 강도를 가정한다. 교량 하부구조의 압축강도와 철근의 항복강도는 $f_{ck}=24\text{ MPa}$, $f_y=300\text{MPa}$ 을 일반적으로 적용하지만 현지여건과 구조형식, 구조검토 결과에 따라 상향조정하여 적용될 수 있다.

1.2.2 [단계 1-2] 교좌장치의 선정

상부구조의 형식을 고려하여 교좌장치를 선정한 후 교대의 받침길이를 가정한다. 이때 교좌받침면의 길이는 교좌장치받침 연단길이, 교좌장치 크기, 상부의 탄성 및 지진변위, 지진에 의한 받침지지길이 등을 복합적으로 고려하여 결정한다.

1.2.3 [단계 1-3] 상부구조 형고 확보

상부구조의 형고와 교좌받침을 포함하여 교좌장치의 유지관리 높이를 확보한 흥벽의 높이를 가정한다. 경간이 큰 PSC 상자형교나 강상자형교는 형고가 높아 흥벽의 높이가 높고 하중이 크므로 역T형 교대가 일반적이고, 형고가 작고 하중이 작은 슬래브교는 반중력식 교대가 유리하다.

1.2.4 [단계 1-4] 부재의 단면가정

교대의 기초면에서 흥벽까지의 단면의 치수를 가정한다.



1.3 [단계 2] 지진변위 검토

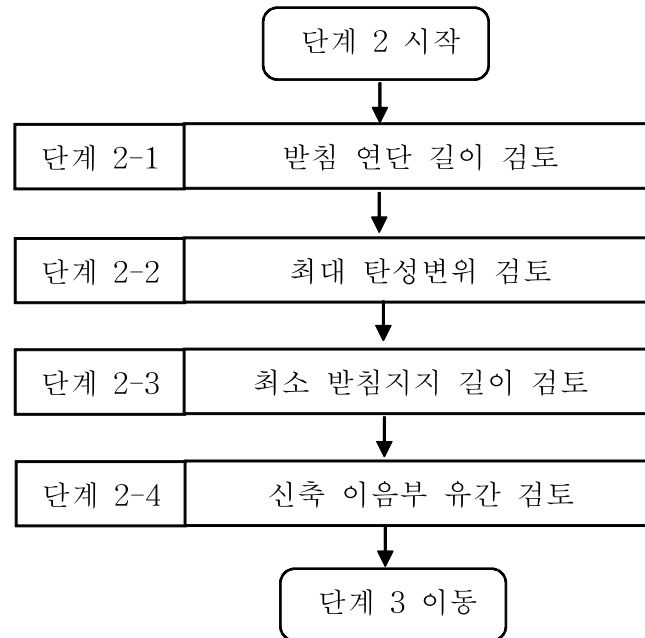


그림 3. 지진변위 검토

1.3.1 [단계 2-1] 받침 연단길이 검토

교좌면은 받침을 통하여 상부구조로부터 하중 등의 집중하중을 받는 곳이고 또 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다.

따라서 받침 끝에서 정부연단까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 연하여 교좌가 파손되는 경우가 있고 또 가동단에서는 받침이 벗어나 들보가 낙하하는 경우도 있다. 이 받침 연단거리 S의 크기는 강제받침의 경우 받침 끝에서 정하고, 고무받침의 경우에는 상부구조의 신축과 회전이 고무받침 자체의 변형에 의해 흡수되어 교좌의 파괴는 앵커로부터 생긴다고 생각하여 앵커중심까지로 정한다.

(1) 철근콘크리트 거더, PSC 거더, 합성 거더, H형강 매립형

$\ell < 15\text{m}$	$S=0.15\text{m}$
$15\text{m} \leq \ell < 20\text{m}$	$S=0.20\text{m}$
$20\text{m} \leq \ell < 30\text{m}$	$S=0.25\text{m}$
$30\text{m} \leq \ell < 40\text{m}$	$S=0.35\text{m}$
$40\text{m} \leq \ell$	$S=0.40\text{m}$

(2) 플레이트 거더

$\ell < 25\text{m}$	$S=0.20\text{m}$
$25\text{m} < \ell$	$S=0.25\text{m}$

(3) 트러스 $S=0.30\text{m}$

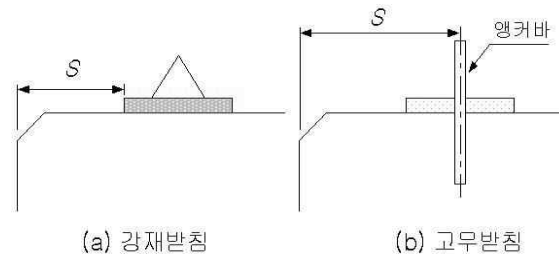
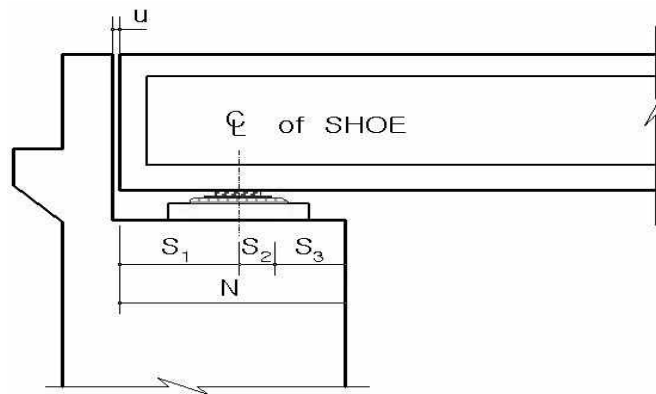


그림 4. 받침연단거리



여기서,

- S_1 : 주형 끝에서 교좌장치 중심까지의 거리
- S_2 : 교량받침 길이의 1/2
- S_3 : 교량받침 연단거리
- N : 최소받침 지지길이
- u : 신축이음부 유간

그림 5. 교대의 연단 및 받침지지길이

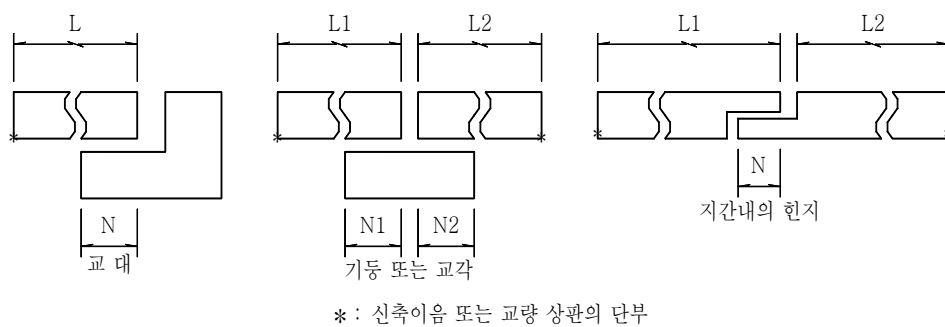


그림 6. 최소 받침지지길이 규정에 관한 치수

1.3.2 [단계 2-2] 최대 탄성변위 검토

상부 및 하부구조를 포함하여 교대 측에서 일어나는 탄성변위를 구하여 교좌면 받침의 지지길이와 비교 검토하여 주형이 낙교하지 않도록 한다.



1.3.3 [단계 2-3] 최소 받침지지길이

교량의 단부 부분에 있어서 지진시의 낙교를 방지하기 위하여 내진설계시 최소 받침지지길이 N 은 다음 값 보다 작아서는 안된다.

$$N = (200 + 1.67L + 6.66H)(1 + 0.000125\theta^2) \text{ (mm) 확보}$$

여기서, L : 인접 신축이음부까지 또는 교량단부까지의 거리. 다만, 지간내에 힌지가 있는 경우의 L 은 힌지 좌우방향의 거리인 L_1 과 L_2 의 합

H : 기둥의 평균높이 (단경간교의 평균높이는 0)

θ : 받침선과 교축직각방향의 사이각(도). 이때 최소 받침지지길이는 최대 탄성변위와 비교하여 큰 값을 적용한다.

1.3.4 [단계 2-4] 신축이음부 유간 검토

교대의 홍벽 전면과 주형단부 사이의 유간은 상시의 신축이동량을 고려하여 유간을 검토하고 지진시는 신축이음장치가 파괴하여도 인명피해에 영향이 적고 보수가능하므로 파괴를 허용하는 것으로 보아 유간은 지진시의 최대 탄성변위 또는 독립식 교대의 예상 변위(254A mm) 이상으로 신축이음부 유간을 설계한다.

또한, 지진시 상부구조에 과도한 변위가 예상될 때 홍벽 부분에 이탈장치(knock-off)를 두어 상부구조가 이탈장치의 교대 뒷채움 흙의 방향으로 이동을 허용하여 교대 뒷채움 흙의 수동토압과 지반의 소성변형으로 충돌에 의한 영향을 완화하는 목적으로 이탈장치를 검토한다.

1.4 [단계 3] 받침부 설계

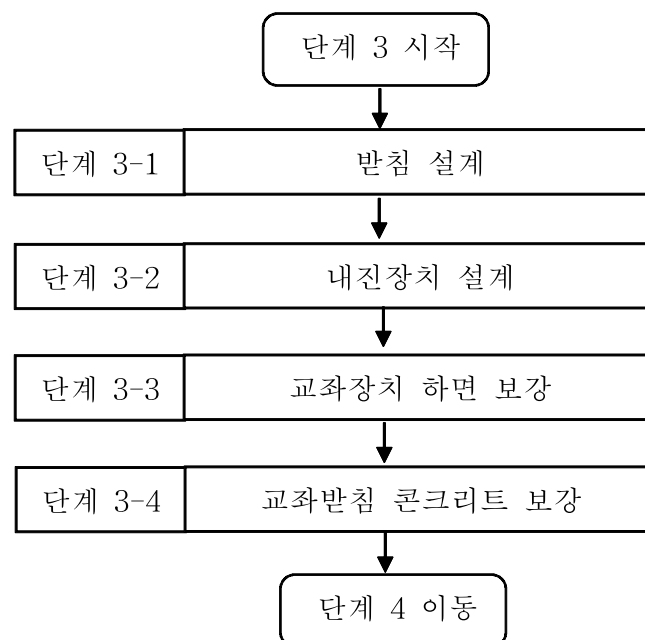


그림 7. 받침부 설계

1.4.1 [단계 3-1] 받침 설계

교좌장치의 수직력, 수평력과 변위에 의해 교좌장치를 선정하여 받침설계를 한다. 이때 교좌장치는 풍하중 등의 하중에 견딜 수 있어야 하며, 특히 지진시에는 중요 연결구조로 완전한 강도를 유지하기 위하여 1.0(교각) 및 0.8(상부구조와 교대)의 응답수정계수 R값을 고려하여 탄성 지진력과 같거나 크게 받침설계를 하여야 한다.

1.4.2 [단계 3-2] 내진장치 설계

교좌장치가 지진시 수평력을 초과할 때 지진시 구조계를 유지시키기 위하여 별도의 내진장치(shear key 또는 damper 등)를 설치한다.

1.4.3 [단계 3-3] 교좌장치 하면 보강

(1) 연직하중에 대한 보강

교좌장치 하면에는 연직하중에 의한 인장응력이 발생하므로 교축방향 및 교축직각 방향으로 아래의 식으로 구한 철근량을 배근한다.

$$A_{sn1} = \frac{1}{4} \left(1 - \frac{b_1}{b_c} \right) \frac{P}{f_{sa}} \quad (3)$$

여기서, A_{sn1} : 연직력에 대한 철근량 (mm²)

P : 연직하중 (N)

b_1 : 연직하중의 작용폭 (mm)

b_2 : P의 작용점으로부터 교좌장치 외측까지의 거리(mm)

b_c : 연직하중의 분포폭 ($b_c = 2 \times b_2 \leq 5 \times b_1$)

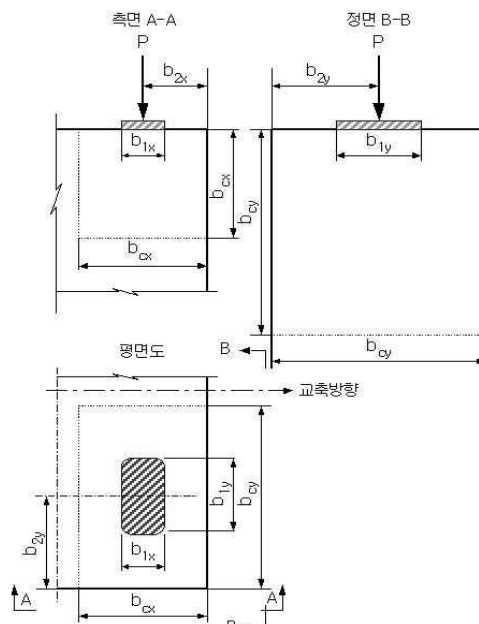


그림 8. 연직하중에 대한 보강철근

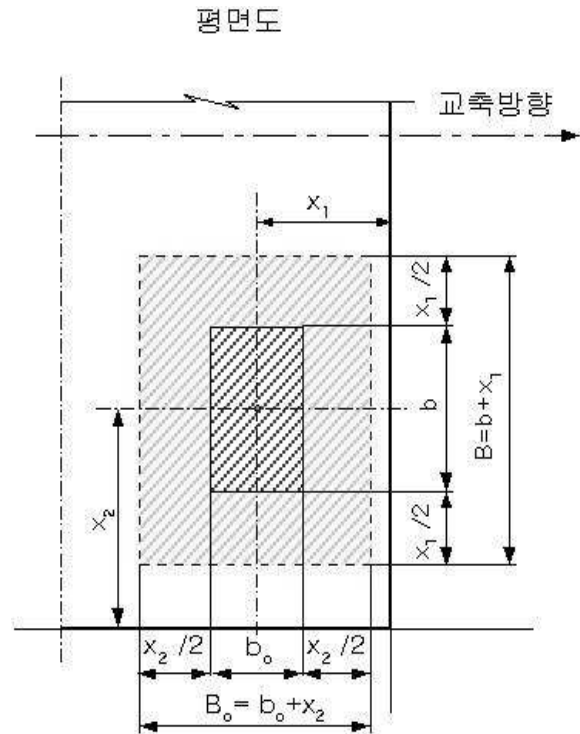


그림 9. 교좌받침 보강철근의 유효범위

(2) 수평하중에 대한 보강

교좌장치 하면에는 수평하중에 대한 보강철근으로서 아래의 식에서 구한 철근량을 교축방향과 교축직각방향을 구분하여 연직하중에 의한 철근량에 더하여 배근한다.

$$A_{s12} = H / f_{sa} \quad (4)$$

여기서, A_{s12} : 수평하중에 대한 수평철근량 (mm²)

H : 교좌장치에 작용하는 수평하중 (N)

f_{sa} : 철근의 허용인장응력 (MPa)

1.4.4 [단계 3-4] 교좌받침 콘크리트 보강

수평하중에 의해 교좌받침과 하부구조 상면 사이의 전단응력에 대하여 수직철근의 전단마찰로 보강한다.

$$A_s = H / f_{sa} \text{ (전단마찰 계산시의 마찰계수 } \mu=1.0 \text{ 적용)}$$

여기서, A_s : 수평보강 철근량 (mm²)

H : 수평력 (N)

f_{sa} : 철근의 허용인장응력 (MPa)

1.5 [단계 4] 교대 설계조건

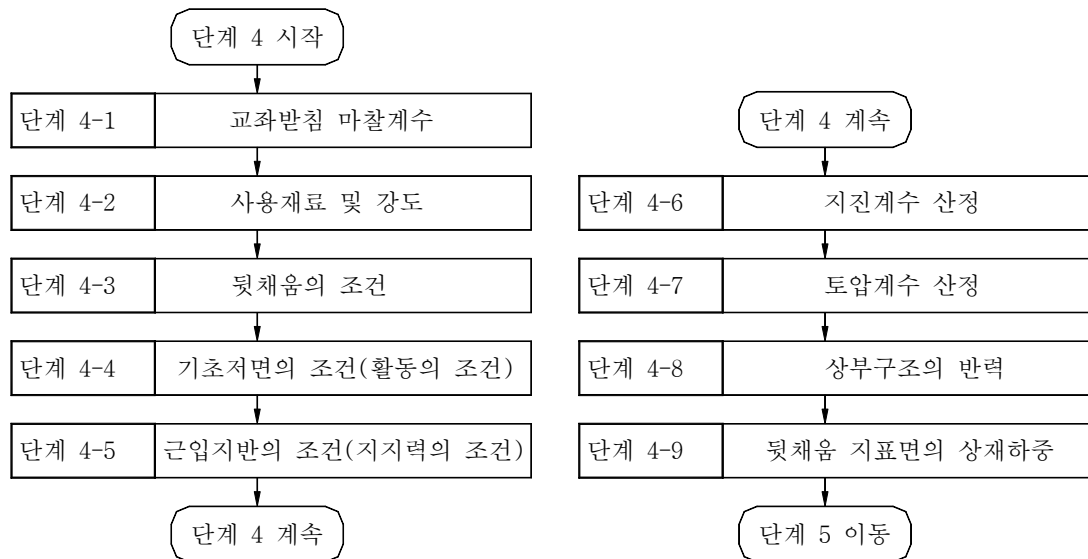


그림 10. 교대 설계조건

1.5.1 [단계 4-1] 교좌받침 마찰계수

상부하중의 관성력 및 가동받침의 수평력을 산정할 때 가동받침의 마찰계수를 사용하도록 한다. 고무받침 계열의 받침은 전단변형에 대하여 수평저항을 하지만 겉보기의 정지마찰계수는 0.15로 하여도 무방하다.

온도변화에 따른 받침의 마찰에 의해 일어나는 수평력은 원칙적으로 고정하중에 받침의 정지마찰계수를 곱한 것으로 하지만 경우에 따라서는 과대한 값이 될 수 있으므로 주의하여야 한다.

표 1. 가동받침의 마찰계수

마찰기구	받침의 종류	마찰계수
회전마찰	롤러(roller) 및 로커(rocker)받침	0.05
활동마찰	불소수지 받침판받침	0.10
	고력(高力)활동주물 받침	0.15
	주철의 선받침	0.20
	강재의 선받침	0.25

1.5.2 [단계 4-2] 사용재료 및 강도

가. 콘크리트

콘크리트의 설계기준강도는 「KR C-10010의 4 강성 및 단면력」의 규정을 만족해야 하며, 설계 및 시공의 경험상 하부구조의 경우 다음 값을 표준으로 한다.



단위중량 : $\gamma_c = 24.5\text{kN/m}^3$

압축강도 : $f_{ck} = 24\text{MPa}$ 이상

1.5.3 [단계 4-3] 뒷채움의 조건

교대의 뒷채움 흙의 경우 양질의 뒷채움재로 채운 후 다짐을 원칙으로 하며, 흙의 단위중량은 흙쌓기시 모래 및 자갈지반의 경우로 할 수 있다.

1.5.4 [단계 4-4] 기초 저면의 조건 (활동의 조건)

기초 저면에 있어서 토압에 의하여 기초 저면에 전단력이 발생한다. 이때 기초 저면의 허용 전단력은 기초가 수평으로 활동하는 것을 방지하고 수평력을 지반에 전달하도록 충분히 지지지반에 관입시켜야 한다. 이때 허용전단력을 구하는 방법으로 철도설계지침에서는 마찰각과 부착력을 고려한 방법을 제시하고 있다. 따라서 교대의 활동에 대한 저항을 검토할 경우에는 지반에 맞는 흙의 물성값을 선정해야 한다.

$$H_u = C_b A' + V \tan \psi_b \quad (5)$$

여기서, H_u : 기초 저면과 지반과의 사이에 작용하는 전단저항력(N)

C_b : 기초 저면과 지반과의 부착력(kN/m²)

ψ_b : 기초 저면과 지반과의 마찰각(degree)

A' : 기초 저면의 유효 재하면적(m²)

V : 기초 저면에 작용하는 연직하중(kN)

다만 부력을 뺀 값으로 한다.

$$\psi = 15 + \sqrt{15N}$$

$$\psi_b = \frac{2}{3}\psi \quad (\psi_b : \text{마찰각}) \quad \mu = \tan \psi_b$$

여기서, ψ : 지지지반의 전단저항각(degree)

C : 지지지반의 점착력(kN/m²)

표 2. 마찰각과 부착력

조 건	마찰각 ψ_b (마찰계수 $\tan \psi_b$)	부착력
흙과 콘크리트	$\psi_b = (2/3)\psi$	$C_b = 0$
흙과 콘크리트 사이에 율석을 부설하는 경우	$\tan \psi_b = 0.6$, $\psi_b = \psi$ 중 작은쪽	$C_b = 0$
암과 콘크리트	$\tan \psi_b = 0.6$	$C_b = 0$
흙과 흙 또는 암과 암	$\psi_b = \psi$	$C_b = C$

1.5.5 [단계 4-5] 근입지반의 조건(지지력의 조건)

지반의 허용연직지지력은 하중의 편심, 경사, 지반조건, 기층조건 및 기초의 침하량

을 고려하여 정하여야 한다. 이 경우 지반의 극한지지력에 대하여 안전율은 평상시 3과 지진시 2를 확보해야 한다. 이때 직접기초의 지지력은 「KR C-11030의 4 알은 기초의 연직지지력」의 규정에 따라 구할 수 있다.

1.5.6 [단계 4-6] 지진계수 산정

“단계2-4”의 신축이음부의 유간 산정에서와 같이 독립식 교대가 예상변위의 허용 변위량을 확보하고 교대가 영구변위를 허용한 경우의 진도계수는 다음과 같다 KR C-02040의 4.6항. 변위를 허용한 교대(254A)일 때

$$K_h = A/2 \quad (6)$$

경사말뚝이 아닌 수직말뚝의 경우 수평 지진계수를 1.5A로 하여야 하는지 논란이 되고 있다. 수직말뚝의 경우 향후 연구를 통해 기준정립이 필요하나, 본 해설에서는 수평지진계수를 변위를 허용하는 교대값의 0.5A와 변위를 구속하는 교대 1.5A의 중간 값인 1.0A로 하여 과다한 설계가 되지 않도록 적용한다.

1.5.7 [단계 4-7] 토압계수의 산정

토압계수의 산정은 평상시 「KR C-08020의 3.4 토압」에 따라 Coulomb의 토압계수를 적용하고, 지진시 토압계수는 「KR C-02040의 4.6항 기초 및 교대의 내진설계」에 따라 Mononobe-Okabe의 토압공식을 사용한다.

표 3. 토압 작용면의 벽면 마찰각

교대의 종류	계산의 종류	마찰각의 종류	벽면마찰각	
			평상시 δ	지진시 δ_e
중력식 교대	안정계산 벽의 단면계산	흙과 콘크리트	$\phi/3$	0
역 T 형 부벽식 교대	안정계산	없음	0	0
	벽의 단면계산	흙과 콘크리트	$\phi/3$	0

1.5.8 [단계 4-8] 상부구조의 반력

교대의 경우 토압이 교대의 전폭에 걸쳐 균일하게 작용하므로 편의상 상부구조에 작용하는 반력을 고정하중과 활하중으로 구분하여 단위폭으로 환산하여 작용시킨다.

1.5.9 [단계 4-9] 뒷채움 지표면의 상재하중

(1) 궤도 중량 $q_1 = 15(\text{kN/m}^2)$

(2) 열차하중은 <식 (7)>에 의해 분포하중으로 취급한다.

$$q_2 = \frac{p}{ab} (\text{kN/m}^2) \quad (7)$$

여기서, q^2 : 환산등분포하중(kN/m^2)

p : 열차하중의 1동륜축하중(kN)



a : 축거(m)

b : 선로 직각방향에 대한 열차하중의 분포폭(m)

일반적으로, 단선교대에서는 교대의 전폭을, 복선교대에서는 전폭의 1/2로 한다.

1.6 [단계 5] 교대 설계력 산정



그림 11. 교대 설계력 산정

1.6.1 [단계 5-1] 구체, 뒤편 자중 및 관성력

구체, 뒤편의 자중을 중력방향에 대하여 구하고, 지진시 구체 및 뒤편 자중에 의한 관성력을 K_h 비 만큼의 수평력으로 환산한다.

1.6.2 [단계 5-2] 고정단·가동단 상부하중 및 관성력

고정단 및 가동단의 상부하중에 대한 관성력을 교대 경사를 고려하여 산정한다.

(1) 고정단 하부구조에 작용하는 수평력

$$F_F = W_d K_h - \sum F_{M1} \quad (8)$$

(2) 가동단 하부구조에 작용하는 수평력

$$F_M = F_{M1} + F_{M2} \quad (9)$$

다만,

$$F_{M1} = R \cdot K_h \cdot \cos^2 \theta \quad (10)$$

$$\begin{aligned} F_{M2} &= R \cdot K_h \cdot \sin^2 \theta \quad (K_h \cdot \sin \theta \leq f_s \text{일 때}) \\ &= R \cdot f_s \cdot \sin \theta \quad (K_h \cdot \sin \theta > f_s \text{일 때}) \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, W_d : 보의 전 고정하중 (kN)

K_h : 설계수평진도

R : 생각하고 있는 하부구조에 작용하고 있는 지진시의
상부로부터 연직반력 (kN)

f_s : 가동받침의 마찰계수

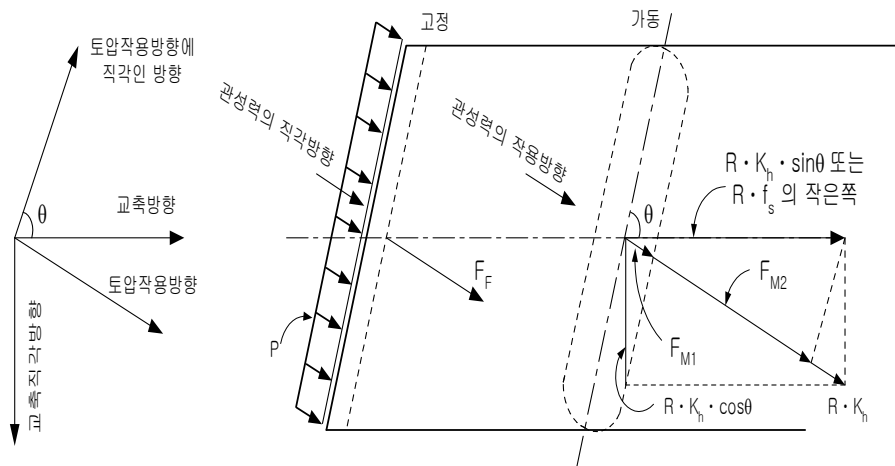


그림 12. 경사교대의 지진시 수평력

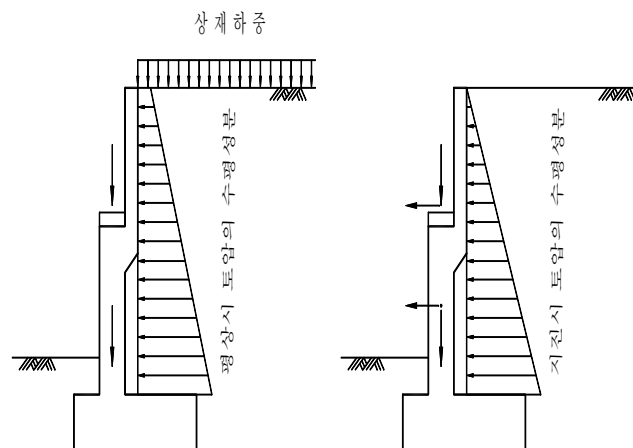


그림 13. 단면검토시의 하중상태

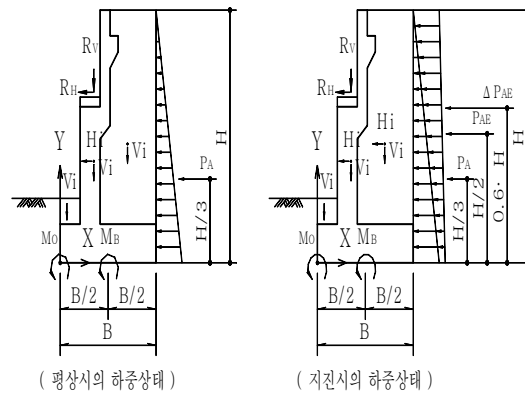


그림 14. 안정검토시의 하중상태

1.6.3 [단계5-3] 상시, 지진시의 토압계산

상시 토압은 삼각형분포로 교대 밑면으로부터 $H/3$ 위치에 작용하고, 지진시 토압의 경우 상시 토압의 분력은 교대 밑면으로부터 $H/3$ 에 작용하고 추가적인 동적 영향이 $0.6H$ 의 높이에 작용한다고 가정하여 토압의 분력 위치를 구하지만, 대부분의 경우에는 토압이 균등하게 분포되어 있고 그 높이는 $H/2$ 로 가정한다.

(1) 토압의 작용면은 다음 규정에 의한다.

- ① 뒷굽의 내민 길이가 $0.20 \sim 0.30m$ 이하로 짧은 반중력식 또는 중력식 교대는 구체콘크리트 배면으로 한다.
- ② 역T형과 부벽식 교대의 경우 벽의 단면 계산에서는 구체콘크리트 배면 안정계산에 서는 뒤쪽 연단에서 연직인 가상배면으로 한다.

1.6.4 [단계 5-4] 상부반력에 의한 설계력

상부반력 및 관성력에 의한 수평, 연직, 모멘트를 산정한다.

1.6.5 [단계 5-5] 하중집계 및 조합

안정검토(상시, 가설시, 지진시) 및 단면설계를 위한 하중조합은 KR C-08020의 9항의 규정에 따른다.

(1) 안정검토시

$$U = 1.0D + 1.0(L + i) + 1.0H + 1.0Q + 1.0SB + 1.0LR$$

$$U = 1.0D + 1.0H + 1.0Q + 1.0E$$

(2) 단면검토시

$$U = 1.35D + 1.85(L + i) + 1.6H + 1.4Q$$

$$U = 1.6D + 1.6(L + i) + 1.6H + 1.6Q$$

$$U = 1.35D + 1.4(L + i) + 1.6H + 1.35Q + 1.4SB + 1.4LR$$

$$U = 1.0D + 1.0H + 1.0Q + 1.0E$$

1.7 [단계 6] 안정검토

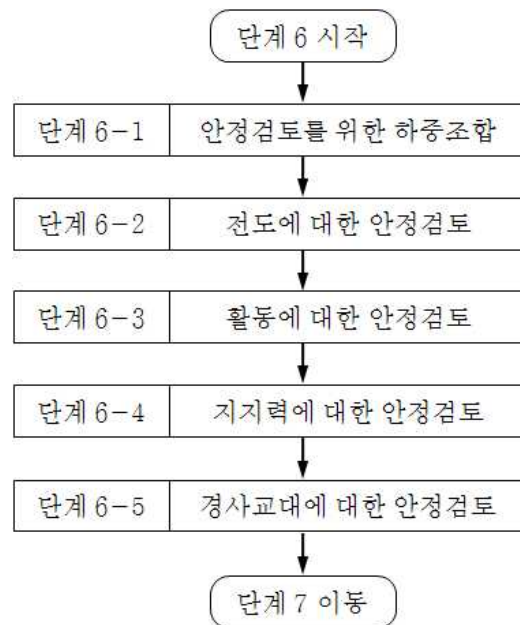


그림 15. 안정검토

1.7.1 [단계 6-2] 전도에 대한 안정

기초저면에 대한 하중의 작용위치는 바닥면의 중심으로부터 평상시에 대해서는 전면폭의 1/6, 지진시에 대해서는 1/3보다 내측에 있어야 한다.

$$X_o = \frac{(M_r - M_o)}{V} \quad (12)$$

$$\text{단, } e = \frac{B}{2} - X_o$$

여기서, V : 기초저면에 작용하는 전연직력(kN)

M_r : 원점 O를 중심으로 하는 전저항 모멘트(kN · m)

M_o : 원점 O를 중심으로 하는 전도 모멘트(kN · m)

따라서,

평상시에 있어서 $X_o \geq B/3$ 또는 $e \leq B/6$

지진시에 있어서 $X_o \geq B/6$ 또는 $e \leq B/3$

이때 원점 O를 중심으로 할 때 전도가 일어나지 않게 하기 위해서는 $M_r > M_o$ 이어야 하며 평상시의 안전율이 2.0배 이상이어야 한다.

안전율 $S.F = M_r / M_o \geq 2.0$ (지진시 1.5)

1.7.2 [단계 6-3] 활동에 대한 안정

기초저면에 작용하는 수평하중에 대해서, 지반저면에 대한 허용 전단저항력은 평상시 1.5 이상 지진시 1.2 이상의 안전율을 갖지 않으면 안된다. 직접기초의 전단저항



력은 기초 저면과 지반 사이의 점착력 및 마찰력에 의하여 결정된다.

$$H_u = C_b A' + V \tan \psi_b \quad (13)$$

안전율 $S.F = H_r / H_o \geq 1.5$ (지진시 1.2)

1.7.3 [단계 6-4] 지지력에 대한 안정

확대기초는 부재로서 필요한 두께를 확보함과 동시에 강체로 취급되는 두께를 원칙으로 한다. 이 때, 확대기초의 두께가 충분히 확보될 경우 강체로 하여 지반의 반력을 구할 수 있다.

(1) 하중의 작용위치가 저면 핵 내에 있는 경우(사다리꼴분포)

$$\begin{aligned} Q_{\max, \min} &= \frac{V}{LB} \pm \frac{6M}{LB^2} \\ &= \frac{V}{LB} \left(\frac{1 \pm 6e}{B} \right) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\text{단, } e = \frac{M}{V}$$

(2) 하중의 위치가 저면의 핵 외에 있는 경우 (삼각형분포)

최대 지반반력을 허용지지력과 비교검토 한다.

$$Q_{\max} = \frac{2V}{Lx} \quad (15)$$

$$\text{단, 저면의 작용폭 } x = 3\left(\frac{B}{2} - e\right)$$

여기서, V : 기초저면에 작용하는 연직하중(kN)

M : 기초저면 도심에 작용하는 모멘트 (kN · m)

e : 하중의 편심거리 (m) , $M = V \cdot e$

B : 기초폭 (m)

L : 기초의 길이 (m)

Q_{\max} : 기초저면에 있어서 최대 지반반력 (kN/m²)

Q_{\min} : 기초저면에 있어서 최소 지반반력 (kN/m²)

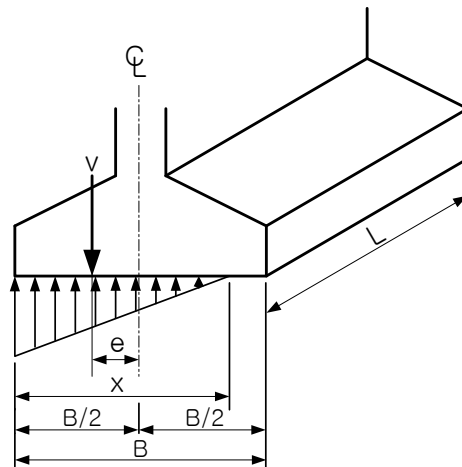


그림 16. 기초저면의 반력도

1.7.4 [단계 6-5] 경사교대에 대한 안정

경사교대의 경우 토압이 배면의 직각면으로 작용하여 흙쌓기로서 메워지지 않은 경우에 대한 검토와 상부구조의 수평력에 의한 지진력의 방향 등을 검토해야 한다. 교축방향과의 경사각 θ 가 75° 보다 큰 경우에는 경사교대의 영향이 적어 검토할 필요는 없으나 75° 보다 경사각이 작고 또한, 교대 폭이 좁을 경우 계산으로 안전이 충분히 확인된 경우 이외에는 토압이 집중되는 기초의 저면을 중심부 기초와 같이 확대하는 것이 좋다.

1.8 [단계 7] 단면검토

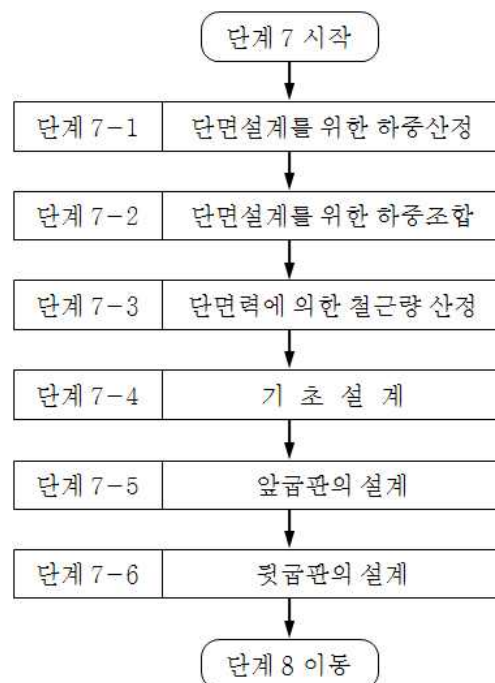


그림 17. 단면검토

하는 것으로 가정해서 <그림 20>과 같이 구해도 좋다. 또한, 계산의 편의를 도모하기 위해 축력을 무시하고 있다. 따라서 축력이 큰 경우는 단면의 압축축이 위험하게 되는 경우가 있으므로 콘크리트의 휨압축응력에 대해서도 검토하여야 한다.

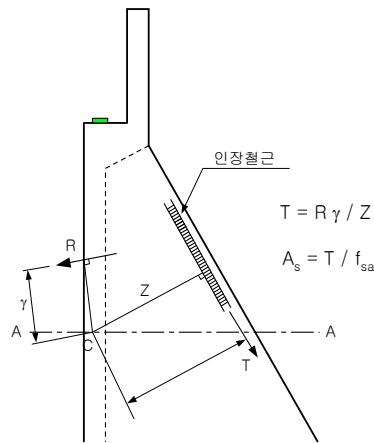


그림 19. 부벽 배면의 철근배치

③ 중력식 및 반중력식 교대

축방향 편심하중을 받는 무근콘크리트 부재의 콘크리트 응력은 다음 식에 의하여 산출하도록 한다.

$$f_c = \frac{N}{A} \pm \frac{N \cdot e}{W} \quad (16)$$

여기서, f_c : 콘크리트 단면의 연응력 (MPa)

N : 축방향력 (N)

A : 콘크리트의 전단면적 (mm^2)

e : 콘크리트 단면의 도심축으로부터 축방향력 작용점까지의 거리 (mm)

W : 콘크리트 단면의 도심축에 관한 단면계수 (mm^3)

이때 무근 콘크리트로서 설계한 구체의 전인장응력이 그 허용 휨인장응력을 넘는 경우 콘크리트에서 전인장응력을 철근으로 부담시키지 않으면 안된다. 이때 철근의 단면적은 단면에 생긴 전인장응력을 <그림 21>과 같이 철근의 허용 인장응력으로 나누어 얻어진 값으로 하면 좋다.

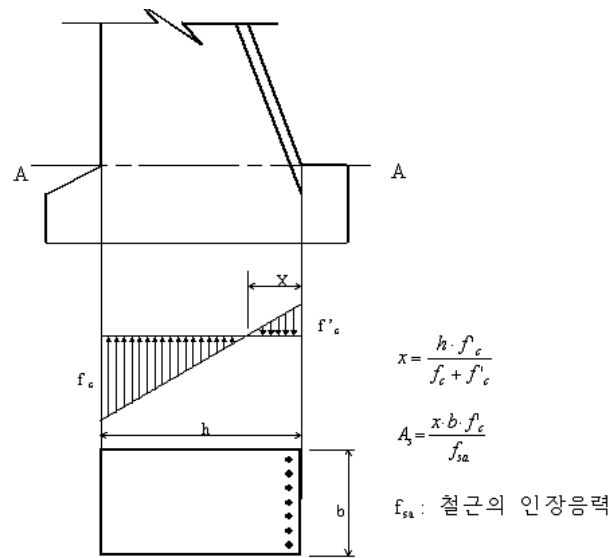


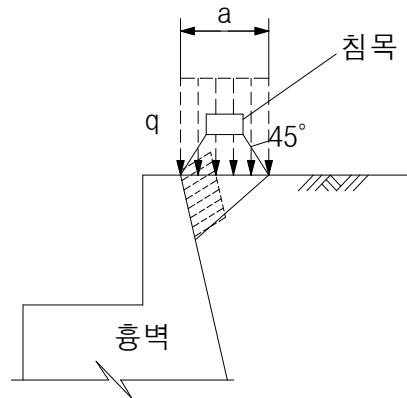
그림 20. 인장응력이 생기는 무근 콘크리트

1.8.2 [단계 7-2] 수평철근 산정

교대 벽체의 최소 수평철근은 「콘·설 11.3」의 규정에 따른다. 철도설계지침에 의하면 수평철근의 벽의 높이 1m 당 500mm² 이상, 중심간격 0.3m 이하로 배치하는 것을 권장하고 있다. 이 값은 벽체의 두께가 큰 경우 벽체의 수평철근 규정보다 많은 차이가 있다. 실제 교대 벽체 전면의 경우 벽체의 두께가 크므로 완공시 온도 및 건조수축의 고려시 500mm²이상의 수평철근 적용이 타당할 것으로 판단되나, 「콘·설 11.3」의 최소 철근비 규정은 온도 및 건조수축의 최소 철근량이 아닌 벽체 평면내에서 수평전단력을 받는 벽체의 최소 전단철근비의 개념으로 교대벽체도 일반벽체와 동일하게 최소 전단철근비를 적용하였다.

1.8.3 [단계 7-3] 흉벽설계

교대의 흉벽은 교대배면에 작용하는 열차하중과 토압 및 열차하중의 충격에 대하여 안전하도록 설계한다. 또한, 흉벽에는 교대의 활동, 지진시의 경사, 보의 이동 등에 예측하지 않은 외력이 작용하는 경우가 있다. 이 때문에 배면뿐만 아니라 보에 접하는 쪽에도 충분한 배근을 해서 보강하여야 한다. 선로 직각방향 및 선로방향으로의 흉벽에 대한 열차하중에 의한 상재하중(열차의 축하중)의 분포는 <그림 22>에 준하여 계산한다.



여기서, p : 열차하중에 의한 주동토압 = $qKa(kN/m^2)$
 q : 배면토에 작용하는 환산등분포하중 = 축하중/(ab)(kN/m^2)
 a : 환산등분포하중의 선로방향의 분포폭 (m) = 침목폭 + $2 \times$ 도상두께
 b : 환산등분포하중의 선로 직각방향의 분포폭(m) = 침목길이 + $2 \times$ 도상두께
 Ka : 주동토압계수

그림 21. 열차하중이 옹벽에 미치는 상재하중의 효과

1.8.4 [단계 7-4] 기초설계

기초부의 휨 부재의 최소철근량은 「콘·설 6.3.2(4)」의 규정에 따른다.

「콘크리트 구조설계기준(2007) 6.3.2(4)」의 해설에 의하면 구조체를 지지하는 슬래브와 전면기초는 슬래브로 보아 온도규정에 의한 최소철근비를 규정하고 있다. 따라서 일반적인 확대기초의 경우 온도에 의한 최소철근비를 적용하는 것이 타당하다고 판단된다. 교대기초의 경우 옹벽과는 달리 상부하중이 기초에 전달되므로 기초와 같이 구조슬래브로 보아 온도에 의한 최소철근비를 적용하는지 보의 최소철근비 규정을 적용하는지 명확치 않으나 본 해설에서는 온도에 의한 최소철근비 규정을 적용하였다.

1.8.5 [단계 7-5] 앞굽판의 배근

휨모멘트의 위험단면은 벽체 전면으로 하고 전단력에 대해서는 확대기초에 압축력이 작용하기 때문에 부재단면에 작용하는 인장력은 작은 값으로 된다. 따라서 전단응력의 위험단면은 벽체 전면에서 d 위치한 곳으로 검토한다.

1.8.6 [단계 7-6] 뒷굽판의 배근

휨모멘트의 위험단면 및 전단응력의 위험단면을 벽체 전면으로 한다.

뒷굽판의 경우 앞굽과는 반대로 뒷굽의 상면에서 인장력이 발생하는 부분으로 전단의 위험단면은 벽체와의 접합부에서 검토되어야 한다.



1.9 [단계 8] 교대 날개벽 설계

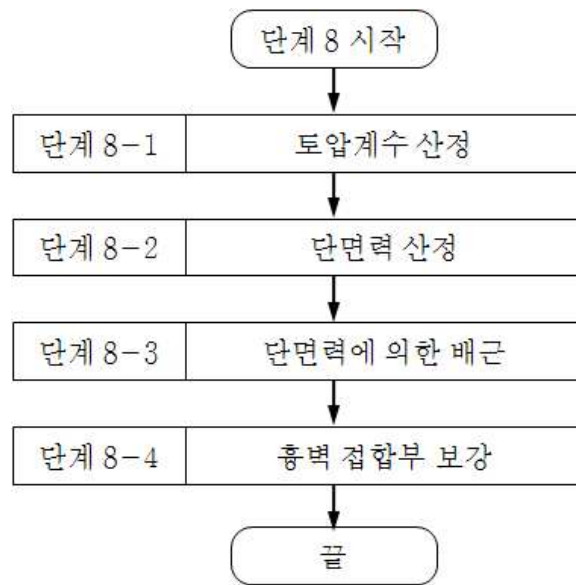


그림 22. 교대 날개벽 설계

1.9.1 [단계 8-1] 토압계수 산정

날개벽의 경우 교대 앞벽과 날개벽이 U자 형상으로 되는 교대에 있어서는 내부를 채운 흙이 활하중에 의해 끊임없이 전압되는 등으로 날개벽 접속부에 균열이 발생한 예가 대단히 많다.

따라서 날개벽의 토압은 정지토압 이상의 토압발생 가능성이 있어 적어도 정지토압으로 설계한다.

1.9.2 [단계 8-2] 단면력 산정

측벽형 및 평행형 날개벽의 경우로 나누어 관용법 또는 2번 고정판의 경우로 설계한다. 날개벽의 형상과 2번지지 날개벽에 대한 설계모멘트는 <그림 24>, <그림 25>와 같다.

<그림 24> 중에서 A, D 부분은 a-b 및 e-f에 지지된 캔틸레버보로서 설계한다.

이때 a-b 및 e-f의 설계는 캔틸레버보에 A, D부분에 작용하는 토압 합력을 작용시켜 구해지는 고정단 단면력을 a-b 및 e-f 부분에 등분포시켜서 구해도 좋다. 또한 B, C에 대해서는 b-c 및 c-d에 지지된 캔틸레버보로서 설계한다. 이 경우 b-c 및 c-d를 b-b', b'-c 및 c-c', c'-d의 두 구간으로 분할하여 각각의 구간에서 가장 불리한 장소에서 계산한 단면력으로 설계하는 것이 좋다.

<그림 25>에 있어서 b-b' 구간은 b점에 있어서의 단위길이 당 모멘트 M_b 에 의하여 설계하고 같은 방법으로 b'-b는 M_b , c-c'는 M_c , c-d는 M_d 에 의해서 설계하는 것이 좋다.

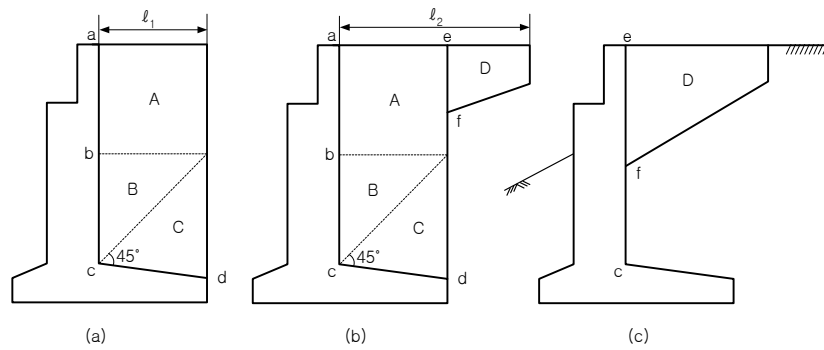


그림 23. 날개벽 형상

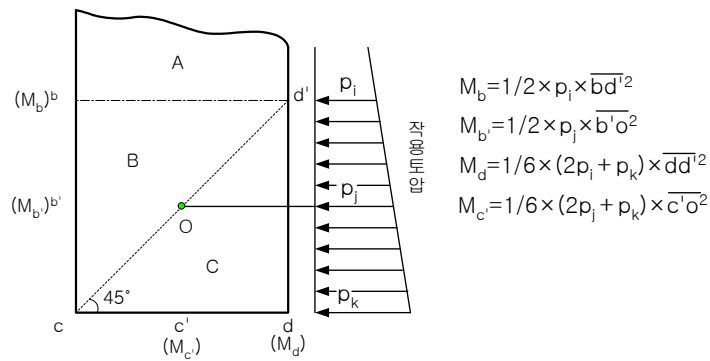


그림 24. 2면지지 날개벽의 설계

1.9.3 [단계 8-3] 단면력에 의한 배근

평행형 날개벽과 2면지지 날개벽에서 구한 단면력으로 날개벽에 철근으로 보강한다. 특히 2면지지 날개벽의 경우 지지면이 두 방향이므로 두 방향 모두에 만족한 배근을 해야 한다.

1.9.4 [단계 8-4] 흙벽 접합부 보강

평행형의 날개벽은 수평 주철근을 흙벽배력근(수평철근) 방향에 정착시키지 않으면 안되므로 흙벽의 벽두께나 수평철근량이 날개벽보다 작은 경우는 흙벽에 보강철근을 추가해 둘 필요가 있다.



해설 2. 교각설계

1. 설계단계 흐름도

1.1 주설계단계

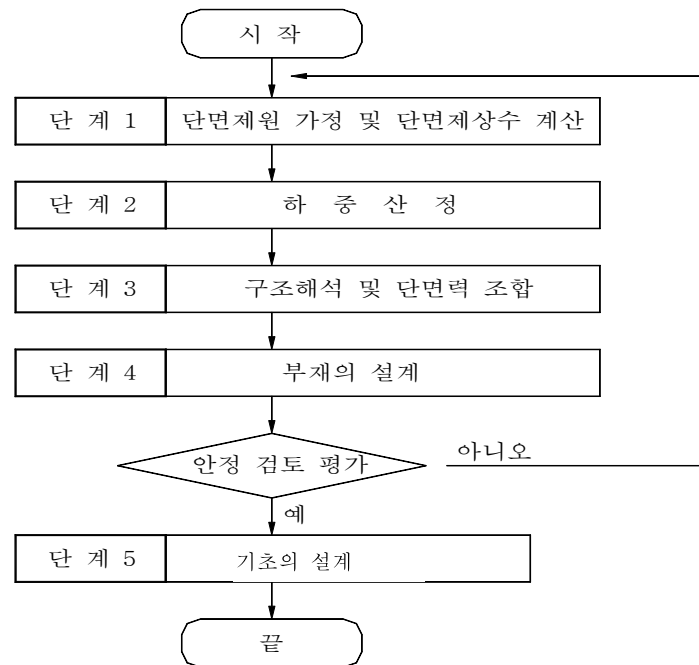


그림 25. 주설계흐름도

1.2 [단계 1] 단면제원 가정 및 단면 제상수 계산

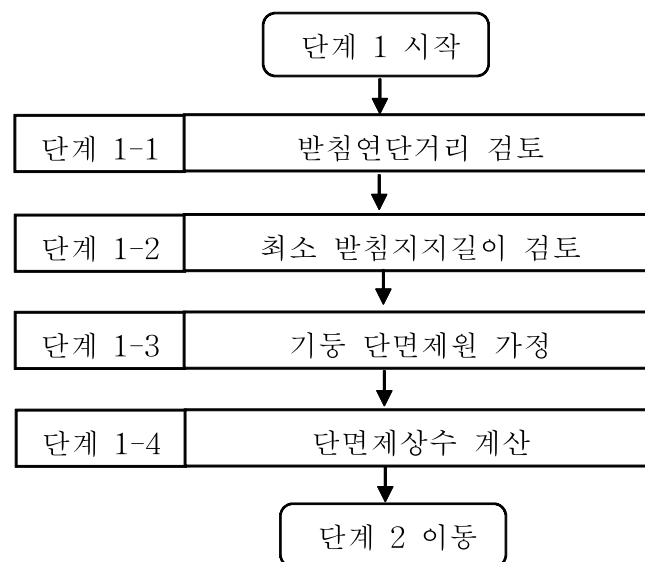


그림 26. 단면제원 가정 및 단면제상수 계산

1.3 [단계 2] 하중산정

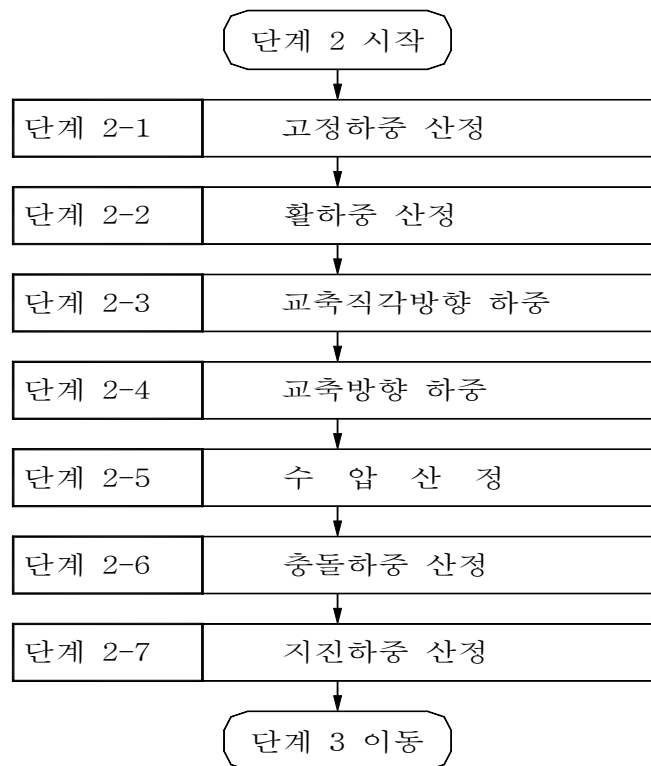


그림 27. 하중산정

1.4 [단계 3] 구조해석 및 단면력 조합

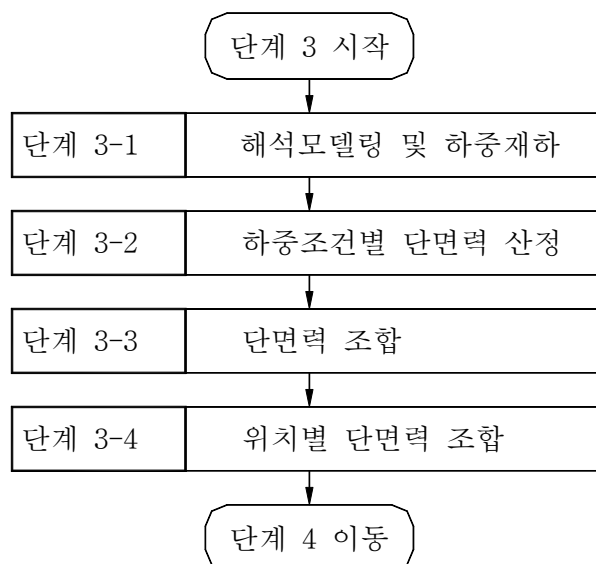


그림 28. 구조해석 및 단면력 조합



1.5 [단계 4] 부재의 설계

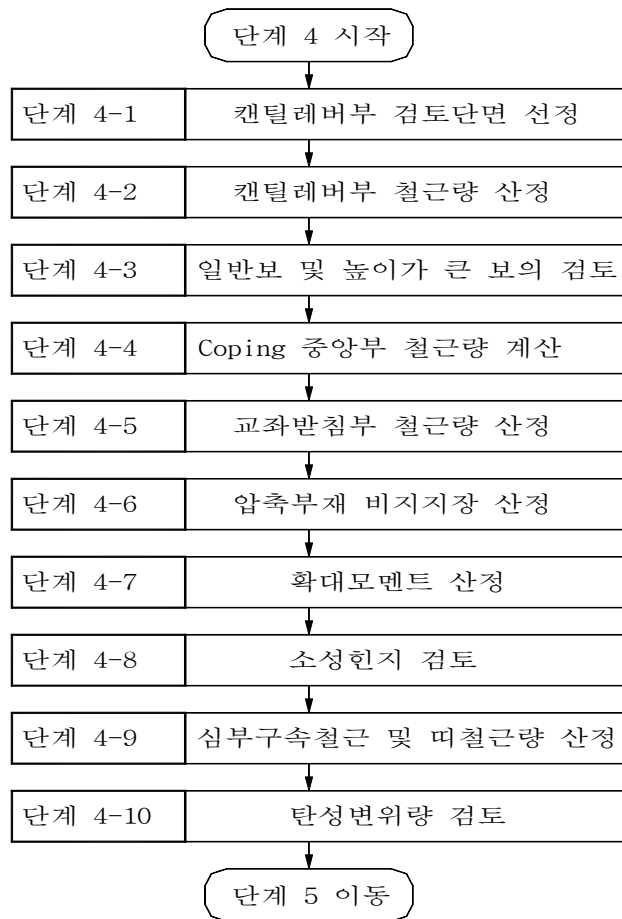


그림 29. 부재의 설계

1.6 [단계 5] 기초의 설계

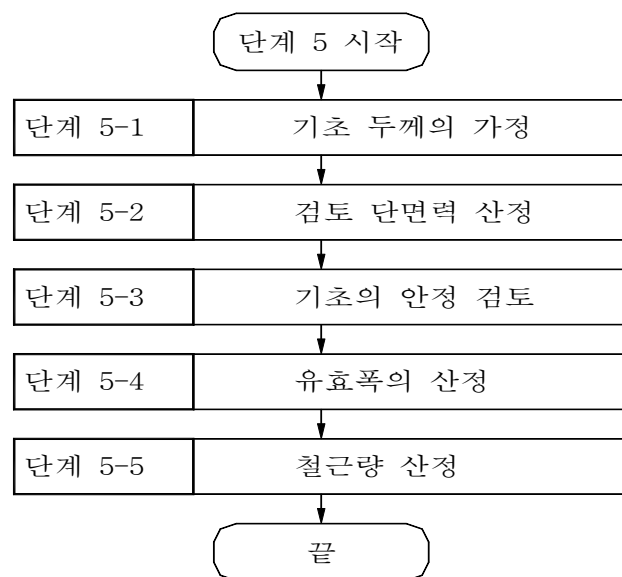


그림 30. 기초의 설계

2. 설계단계별 고려사항

2.1 [단계 1] 단면제원 가정 및 단면 제상수 산정

2.1.1 [단계 1-1] 받침연단거리 검토

교좌면은 받침을 통해서 상부구조로부터의 집중하중을 받는 곳이고, 또 지진시에는 큰 수평력이 작용하는 곳이다. 따라서 받침 끝에서 정부연단거리까지의 거리가 작으면 고정단에서는 전단면에 의하여 교좌가 파손되는 경우가 있으며, 또한 가동단에서는 받침이 벗어나 들보가 낙하하는 경우도 있다. 그러므로 하부구조 정부에 있어서 교축방향의 받침연단과 하부구조 정부연단 사이의 거리 $a(\text{mm})$ 는 규정값 이상을 사용하도록 하고 있다.

2.1.2 [단계 1-2] 최소 받침지지길이 검토

교량의 끝부분에 있어서 지진시에 낙교를 방지하기 위하여 내진설계시 최소 받침지지길이 N 는 다음 값보다 작아서는 안 된다.

$$N = (200 + 1.67L + 6.66H)(1 + 0.000125S^2)(\text{mm}) \quad (17)$$

여기서, L : 인접 신축이음부 또는 교량단부까지의 거리(m)

H : 기둥의 평균높이(m)

S : 경간의 직각방향에 대한 교각의 사각($^\circ$)

2.1.3 [단계 1-3] 기둥 단면제원 가정

기둥 단면은 지나치게 크게 하면 필요철근보다 최소철근에 의해 설계되어 비경제적이 되고, 반대로 지나치게 작게 할 경우 철근에 의해 단면의 강도가 크게 향상되지 않아 하중을 견디어낼 수 없으므로, 최적단면을 결정할 수 있으면서도 안정성을 확보할 수 있도록 결정되어야 한다.

2.1.4 [단계 1-4] 단면제상수의 산정

단면의 면적, 전단면적(shear area), 2차모멘트 등의 상수들을 적절히 산정한다.

2.2 [단계 2] 하중계산

2.2.1 [단계 2-1] 고정하중 산정

(1) 상부구조로부터의 고정하중반력

(2) 교각 자중

2.2.2 [단계 2-2] 활하중 산정

하부구조의 설계에 사용되는 활하중은 구조물에 가장 불리한 영향을 주도록 재하하여야 한다.

2.2.3 [단계 2-3] 교축직각방향하중 산정

각 교각의 설계에 사용되는 거더로부터의 수평력은 지지부의 구조, 하부 구조의



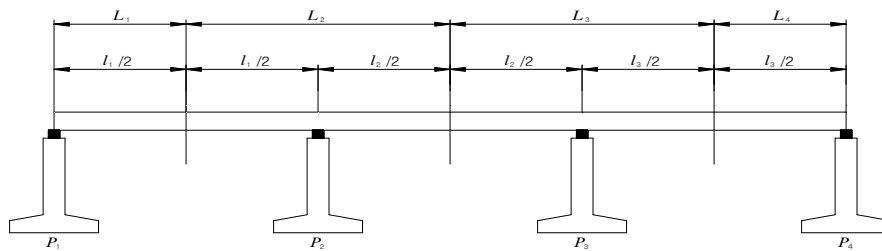
강성등을 고려하여 구하는 것을 원칙으로 하며, 이 수평력은 각각의 작용점에 작용하는 것으로 한다.

(1) 단순거더를 지지하는 교각

교량거더로부터의 수평하중에 대한 반력으로 한다.

(2) 연속거더를 지지하는 교각

거더로부터의 전수평력을 연직반력비에 따라 분담시킨 값과 <그림 32>에 나타난 비율로 구한 값 중 큰 값으로 한다.



P1 교각 : 구간 L1에 작용하는 거더의 수평력

P2 교각 : 구간 L2에 작용하는 거더의 수평력

P3 교각 : 구간 L3에 작용하는 거더의 수평력

P4 교각 : 구간 L4에 작용하는 거더의 수평력

그림 31. 교축직각방향 수평력의 결정

2.2.4 [단계 2-4] 교축방향하중 산정

각 교각의 설계에 사용되는 거더로부터의 수평력은 지지부의 구조, 하부 구조의 강성 등을 고려하여 구하는 것을 원칙으로 하며, 이 수평력은 슈 상면에 작용하는 것으로 한다.

(1) 미끄럼 방지가 없는 받침 또는 고무받침과 고정, 가동의 구별이 있는 스톱퍼(stopper)를 병용하는 경우

① 단순거더를 지지하는 교각

$$T_f = T - \frac{1}{2} \mu_m R_m \quad (18)$$

다만, T_f 는 $\frac{1}{2} T$ 이하로 한다.

$$T_m = \mu_m R_m \quad (19)$$

다만, T_m 은 $\frac{1}{2} T$ 이하로 한다.

② 연속거더를 지지하는 교각

$$T_f = T - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{n-1} \mu_{mi} R_{mi} \quad (20)$$

다만, T_f 는 $\frac{1}{n} T$ 이상으로 한다.

$$T_{mi} = \mu_{mi} R_{mi} \quad (21)$$

다만, T_{mi} 은 $\frac{1}{n} T$ 이하로 한다.

또한, 고무받침의 경우는 T 를 고무받침의 수평전단 스프링상수에 따라 분배한 값 이상으로 한다.

(2) 미끄럼 방지가 없는 받침 또는 고무받침과 댐퍼(damper)식 스톱퍼를 병용하는 경우

① 상시

위의 “2.2.4”(1)에 준한다.

② 지진시

- 단순거더를 지지하는 경우

$$T_f = 1.1a_f T \quad (22)$$

$$T_m = 1.1a_m T \quad (23)$$

- 연속거더를 지지하는 경우

$$T_f = 1.3a_f T \quad (24)$$

$$T_{mi} = 1.3a_{mi} T \quad (25)$$

③ 미끄럼 방지가 있는 받침을 사용하는 경우

위의 ④ (가)에 준한다.

④ 고무받침과 고정, 가동의 구별이 없는 스톱퍼를 병용하는 경우

가. 단순거더를 지지하는 교각

$$\text{지진시} : T_f = T_m = 0.55 T \quad (26)$$

상시의 경우 및 상부공이 라멘 고가교인 경우는 $T/2$ 로 하는 것이 좋다.

여기서, T_f : 고정측 교각에 작용하는 수평력

T_m, T_{mi} : 가동측 교각에 작용하는 수평력

T : 교량거더로부터의 전수평력

μ_m, μ_{mi} : 가동측 받침의 마찰계수

R_m, R_{mi} : 가동측 교각에 작용하는 거더로부터의 연직반력

a_f : 고정 스톱퍼의 분산율

a_m, a_{mi} : 가동 스톱퍼의 분산율

n : 연속거더를 지지하는 지점 수

2.2.5 [단계 2-5] 수압의 산정

유수압은 유수방향에 대한 교각의 연직투영면적에 작용하는 수평하중으로 하고 다



음 식에 의하여 산출한다. 작용위치는 하저(河底)에서 0.6H로 한다.

$$P = 10Kv^2 \cdot A \quad (27)$$

여기서, P : 유수압(kN)




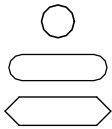


K : <표 4>에 나타난 교각의 형상에 따라 정해지는 계수

v : 최대유속(m/s)

A : 교각의 연직투영면적(mm²)

H : 수심(m)

표 4. 교각의 저항계수, K

교각의 유수방향	단면의 형상	계수
		0.7
		0.4
		0.2

2.2.6 [단계 2-6] 충돌하중의 산정

자동차, 유목, 선박 등이 교각과 충돌할 우려가 있는 경우에 이것을 설계에 고려하여야 한다.

2.2.7 [단계 2-7] 지진하중의 산정

내진해석에 의한 교축방향과 교축직각방향의 지진하중을 고려하여야 한다.

2.3 [단계 3] 구조해석 및 단면력 조합

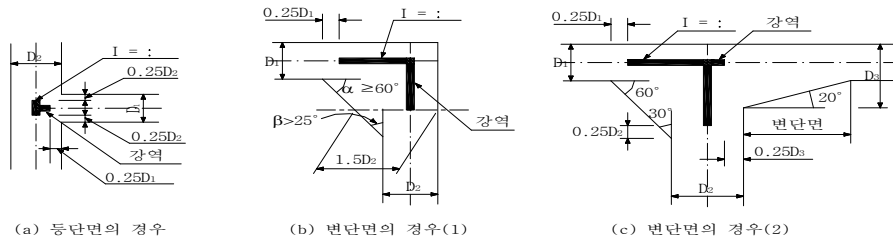
2.3.1 [단계 3-1] 해석 모델링 및 하중재하

해석모델의 절점은 단면력을 정리해야 하는 위치와 단면상수가 변화되는 곳, 그리고 하중재하 위치를 적절히 나누어야만 한다.

하중의 재하는 하중의 특성에 따라 집중하중 및 분포하중으로 재하한다. 또한, 기둥과 보의 지점부에 특히 큰 현치가 있는 경우나 보부재 또는 기둥 부재의 부재두께가 매우 큰 경우에는 강역의 영향을 고려하여야 한다.

- (1) 부재 단부가 다른 부재와 접합할 때는 그 부재단에서 부재 두께의 1/4 안쪽점에서부터 절점까지로 한다.

- (2) 부재가 그 축선에 대해 25° 이상 경사진 헐치를 갖는 경우에는 부재 두께의 1.5배가 되는 점에서부터 절점까지로 한다. 다만, 헐치의 경사가 60° 이상의 경우는 헐치의 시점부터 부재 두께의 $1/4$ 안쪽 점에서부터 절점까지로 한다.



(a) 등단면의 경우 (b) 변단면의 경우(1) (c) 변단면의 경우(2)

그림 32. 라멘교 절점부에서의 강역

2.3.2 [단계 3-2] 하중조건별 단면력 산출

각 하중 조건별로, 검토단면별로 단면력을 산출한다.

2.3.3 [단계 3-3] 단면력의 조합

교각의 설계에서 부재설계시는 균열검토, 기초검토시는 하중의 조합을 고려하여야 한다.

교각의 설계에서 작용하는 하중은 고정하중, 활하중, 풍하중, 수압, 지진하중, 온도하중, 시제동하중, 장대레일 종하중 등 여러 가지 하중이 있을 수 있으며, 교각지점의 상황에 따라서 각 하중을 시방규정에 따라 조합하여 사용하여야 한다.

또한, 기둥 설계시 최소 축하중 및 최대 모멘트, 또는 최대 편심에 대하여 설계할

2.3.4 [단계 3-4] 위치별 단면력 정리

조합된 단면력을 각 위치별로 부재설계 및 균열검토용으로 정리한다. 라멘부재 절점부에 작용하는 설계 휨모멘트는 <그림 34>와 같이 결정한다.

부재 절점부에 대한 설계 전단력은 변단면 및 헐치의 영향이 작기 때문에 단면력의 이동은 하지 않는다. 단, 기둥 단면이 원형인 경우 단면력은 <그림 35>와 같이 취한다.

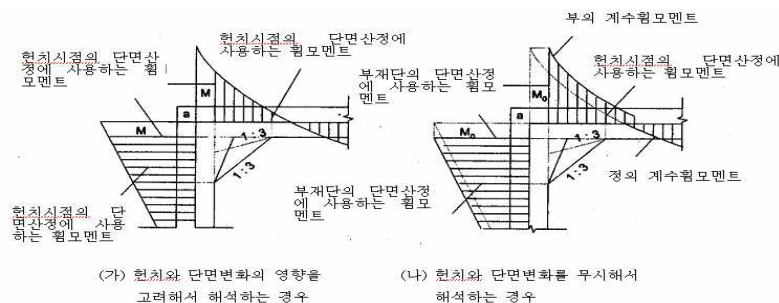


그림 33. 라멘부재 절점부의 설계 휨모멘트

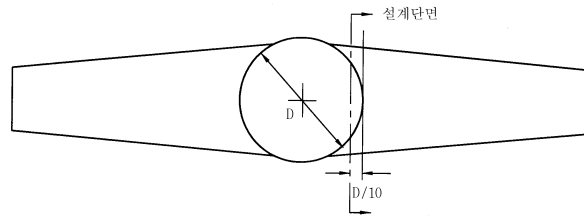


그림 34. 기둥단면이 원형인 경우의 설계단면

2.4 [단계 4] 부재의 설계

2.4.1 [단계 4-1] 캔틸레버부 검토단면의 선정

캔틸레버부는 전단경간에 대한 깊이의 비가 1.0 이하인 경우에 대해서는 코벨로서 검토하고, 1.0 이상인 경우는 일반보로서 검토한다. 그러나 가급적 일반보가 되도록 단면을 선정하는 것으로 하여 수평철근 과다배치로 인한 시공성 저하를 예방토록 한다.

2.4.2 [단계 4-2] 캔틸레버부 철근량 계산

[콘·설 제6장, 제7장]을 참조하여 평상시 및 지진시에 대한 교량받침에 작용하는 수직력 및 수평력과 코핑의 관성력을 산출하여 이에 견딜 수 있게 주철근 및 수평 방향 저항 철근을 적절히 배근하여야 한다.

2.4.3 [단계 4-3] 일반보 및 높이가 큰 보의 검토

중양부는 전단경간에 대한 깊이의 비가 5보다 큰 경우 일반보로서 검토하고, 5보다 작은 경우 높이가 큰 보로서 검토한다. 높이가 큰 보의 경우 최소수평전단철근의 배근으로 경제성 및 시공성이 저하될 수 있으므로 가급적 일반보가 되도록 단면을 선정하는 것으로 한다.

2.4.4 [단계 4-4] 코핑중양부 철근량 계산

[콘·설 제6장, 제7장]을 참조하여 계산한다.

2.4.5 [단계 4-5] 교좌받침부 철근량 산정

(1) 교좌장치 하면 보강철근

교좌장치 하면 보강철근은 「KR C-08100 2 받침부」에 의하여 계산된다.

(2) 교좌장치부 거더밑 공간 확보

교좌장치의 유지관리를 위한 공간을 확보하여 교좌장치에 대한 접근관찰의 용이성 확보와 교좌장치 교체를 위하여 교좌장치부 거더밑 공간을 400mm 확보하여야 한다.

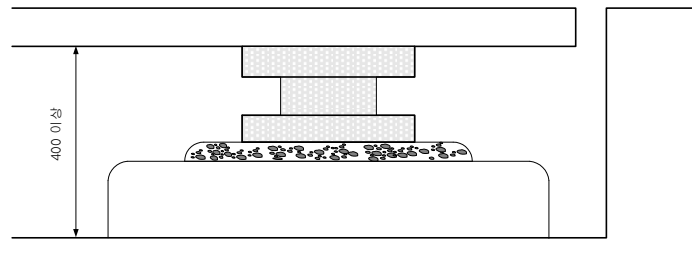


그림 35. 교좌장치 거더밑 공간 확보

2.4.6 [단계 4-6] 압축부재 비지지장의 계산

압축부재의 비지지장은 교각 상단으로부터 기초 상단까지로 한다.

2.5.7 [단계 4-7] 확대모멘트의 계산

횡방향 상대변위가 방지되어 있지 않는 일반적인 기둥은 $\frac{kl_u}{r}$ 의 값이 22를 초과할 경우 확대모멘트를 계산하여 적용하여야 한다. 장주효과를 고려해야 하는 압축부재의 기준 및 설계확대모멘트의 산정시 「KR C-10020의 6.4 장주효과」를 참조한다.

여기서, k : 압축부재의 유효길이계수

l_u : 압축부재의 비지지장

r : 회전반지름

2.4.8 [단계 4-8] 소성힌지 검토

기둥은 지진시 소성여부를 판단하여 소성힌지부 계산을 하여야 한다. 소성여부 판단은 응답수정계수가 고려되지 않은 지진력을 P-M 상관도로 검토하여 ψM_n 이내 일 경우 탄성거동을 하는 것으로 보아 심부구속철근을 배근하지 않고 이상일 경우는 시방조건에 의해 소성힌지부 설계를 수행한다.

2.4.9 [단계 4-9] 심부구속철근 및 띠철근량 산정

원형띠철근은 용접 또는 기계적 정착장치 등으로 정착 및 이음에 대한 거동이 확보된 경우, 나선철근과 동일한 역할을 기대할 수 있으며, 원형띠철근량 계산은 나선철근량 계산식에 의한다. 나선 또는 원형띠철근을 사용한 경우, 결속철근은 심부구속철근으로 계산하여서는 안된다.

띠철근에 대한 심부구속 철근량 계산식은 원래 원형나선철근에서 유도된 식으로 사각기둥에서만 규정하므로 나선철근의 규정식에 대한 띠철근의 안전율비를 고려하여 횡방향 철근의 총단면적 A_{sh} 을 구한다.

심부철근의 최소설치구간은 기둥 최대단면치수, 기둥 순높이의 1/6 또는 450mm 이상으로 기둥에 배근하여야 하며, 기초에서는 기둥 치수의 0.5배 이상, 380mm 이상 연장 배근하며 일반띠 철근량은 전단검토를 통하여 산정한다.



2.4.10 [단계 4-10] 탄성변위량 검토

지진에 대한 탄성해석결과의 탄성변위와 최소 받침지지길이와 비교하여 큰 값을 적용한다.

2.5 [단계 5] 기초의 설계

2.5.1 [단계 5-1] 기초 두께의 가정 [KR C-11020의 8 확대기초의 설계]

확대기초는 부재로서 필요한 두께를 확보함과 동시에 강체로서 취급되는 두께를 가져야 함을 원칙으로 한다. 또한, 확대기초 상면의 경사는 원칙적으로 1:2 보다 완만하도록 한다.

확대기초의 두께를 정하는 요인은 다음과 같다.

(1) 부재로서 필요한 두께

- ① 휨모멘트에 대하여
- ② 전단력에 대하여
- ③ 편칭전단력에 대하여 필요한 두께

(2) 강체로서 취급되는 두께

확대기초의 설계는 말뚝과 기둥이나 벽구조물의 접속부로서 각각 확대기초에 고정 지지 되어 있다는 전제에서 설계체계가 정리되어 있다. 즉, 확대기초는 말뚝 혹은 기둥이나 벽에 비하여 어느 정도의 강도가 필요하게 된다. 따라서 여기에서 확대기초는 강체로서 취급되는 두께를 갖는 것을 원칙으로 하였다.

확대기초를 강체로서 취급하느냐, 취급하지 않느냐는 지반반력 및 말뚝반력에 미치는 확대기초의 강성의 영향을 고려해서 판정하는 것으로 하고 확대기초가 다음 식을 만족할 때, 이를 강체로 보면 된다.

$$\beta\lambda \leq 1.0 \quad (28)$$

여기서,

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{3 \cdot k}{E \cdot h^3}} \quad (m^{-1})$$

$k = k_v$: 얕은기초인 경우

k_p : 깊은기초인 경우

k_v : 연직방향 지반반력계수(kN/m³)

k_p : 환산지반반력계수(kN/m³)

$$k_p = K_v \cdot \frac{n \cdot m}{L \cdot B}$$

K_v : 1개 말뚝의 축방향 스프링 정수(kN/m)

L : 확대기초의 폭(m)

B : 확대기초의 길이(m)

n : 말뚝의 열수

m : 말뚝의 행수

E : 확대기초의 탄성계수(kN/m²)

h : 확대기초의 평균두께(m)

λ : 확대기초의 환산 돌출길이(m)로서 확대기초의 형식에 따라 다음과 같다.

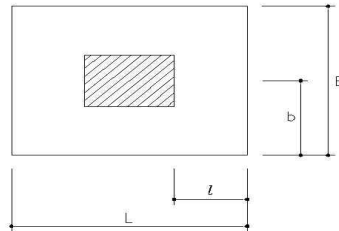
① 독립확대기초 및 연속확대기초의 경우

$$\lambda = \max(l, b)$$

다만,

$$l \geq L/2 \text{ 이면 } l = L/2$$

$$b \geq B/2 \text{ 이면 } b = B/2$$



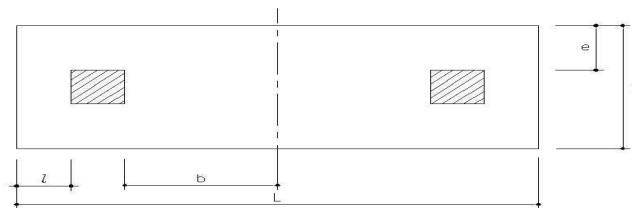
② 복합확대기초의 경우

$$\lambda = \frac{a \cdot (\lambda'^2 + e^2)}{\lambda' + e} \quad (29)$$

여기서,

$$\lambda' = \max(l, b)$$

$$a = 1.3$$



다만, 암반 등 변형계수가 큰 지반상에 설치되는 직접기초의 확대기초에 대해 윗식의 강성평가식을 적용하는 경우 강제로 보아야 할 확대기초의 두께는 현저하게 두꺼워지는 경향이 있다. 일반적으로 이와 같은 지반에서는 허용되는 지반 반력에 여유가 있고 변형도 작은 것이라 생각되므로 비교적 단단한 지반상에 설치되는 확대기초에 대해서는 확대기초 두께의 상한값을 확대기초 긴변의 1/5 정도로 보아도 좋다.

이 때 확대기초 설계에서는 확대기초의 탄성거동을 고려할 필요는 없고 강제 확대



기초와 같은 방식으로 설계하면 된다. 또한, 입지조건에 의해 충분한 확대기초 두께를 얻지 못할 경우, 큰 지하매설물이 확대기초 아래에 위치해 있기 때문에 1개의 확대기초 중에서 말뚝 배치가 한곳에 치우치게 되어 환산 지반반력계수가 불균일하게 되는 경우, 혹은 확대기초의 치수가 크기 때문에 확대기초 두께도 현저하게 두꺼워질 경우 등에서는 확대기초를 탄성체로 하여 설계해도 좋다. 이런 경우에는 해석모델을 설정하는데 있어서 설계가 안전하게 되도록 충분히 검토를 해 둘 필요가 있다.

2.5.2 [단계 5-2] 검토단면력 계산

(1) 휨모멘트의 계산[KR C-11020의 8.3 휨설계]

① 독립확대기초 및 벽확대기초

- 설계단면은 직사각형단면의 기둥 또는 벽모양의 경우 전면으로 하고, 원형단면 기둥의 경우는 기둥외면에서 기둥지름의 1/10 내측으로 들어간 위치에서 연직단면으로 한다.

설계단면에 있어서 휨모멘트는 기둥 또는 벽 앞면의 확대기초 전면적에 작용하는 하중에 의하여 생기는 휨모멘트에 유효폭비 만큼 증가시킨 값으로 한다.

② 연속확대기초

- 연속확대기초의 캔틸레버보로서 작용하는 부분은 독립확대기초와 같이 설계하도록 한다. 기둥사이의 확대기초부는 연속보로서 설계하도록 한다. 다만, 기둥에 비하여 확대기초의 강도가 작은 경우는 기초구조물을 포함한 일체의 구조형식의 라멘부재로서 설계하는 것이 좋다.

(2) 전단응력의 계산[KR C-11020의 8.4 전단설계]

확대기초에 생기는 콘크리트의 설계전단응력은 다음 규정에 의하도록 한다.

- ① 기둥 혹은 벽부근에 있어서 콘크리트의 설계전단응력은 <그림 37>에서 나타낸 부재단면 A-A에 대하여 검토하도록 하며, 또한 사선부분의 전단철근은 A-A단면에 대하여 산출되는 철근량을 배치하도록 한다.

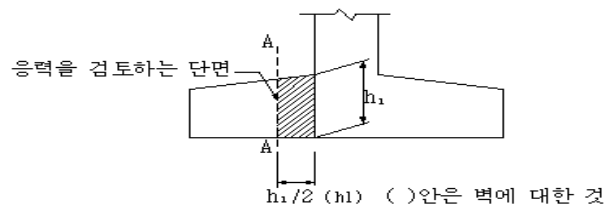


그림 36. 평균전단응력을 검토하는 단면

- ② 확대기초 단면에 생기는 콘크리트의 설계전단응력은 다음 식으로 산출하는 것으로 한다.

$$v_m = \frac{V_h}{b \cdot d} \quad (30)$$

여기서, v : 콘크리트의 설계전단응력(MPa)

V_h : 부재단면의 유효깊이를 고려한 전단력(N)

$$V_h = V - \frac{M}{d} \tan \theta \quad (31)$$

여기서, b : 부재단면폭(mm)

V : 부재단면에 작용하는 전단력(N)

M : 부재단면에 작용하는 휨모멘트(N · mm)

θ : 확대기초 윗면과 수평면이 이루는 각도

d : 검토할 단면의 유효깊이(mm)

2.5.3 [단계 5-3] 기초의 안정검토

기초의 안정성검토는 전도, 활동, 지지력에 대하여 수행하여야 하며 기초의 변위량은 허용변위량을 초과하여서는 안된다. 기초의 허용변위량은 상부구조에 유해한 영향을 미치지 않도록 제한하여야 한다.

직접기초 및 케이슨 기초는 양질의 지지층에 지지되어 있어야 한다. 직접기초는 그 지지기구로 보아서, 측면마찰에 의하여 수직하중을 분담 지지한다는 것은 거의 기대할 수 없으므로, 사질토 및 자갈모래층에 있어서는 충분한 강도를, 점성토에서는 압밀의 염려가 없는 양질의 층을 각각 필요로 한다. 케이슨기초에서는 일반적으로 저면의 치수가 크기 때문에 말뚝기초에 비해서 케이슨기초 주변의 저항보다는 저면지지에 의한 저항이 훨씬 크다. 따라서 지지력을 유지하고 경제적이고 또한 확실하게 발휘시키려면 양질인 지지층에 도달시키는 것은 말뚝기초 때보다 더 한층 필요하게 된다. 말뚝기초는 상부구조의 형식과 기능, 말뚝의 지지기구, 시공성을 고려하여 적절한 근입깊이를 결정하여야 한다. 강관널말뚝기초는 타입공법에 의한 선단지지를 원칙으로 하고 있으며 또한, 우물통부의 하단구속을 지반에 의해 기대하는 구조체이기 때문에 양질인 지지층에 관입시킬 필요가 있다.

평상시에 있어서 설계상의 지반면을 정하기 위해서는 오랫동안 걸쳐서 안정된 토층이어야 하고, 지지력이 기대될 수 있는지 여부의 판단이 필요하다.

2.5.4 [단계 5-4] 철근량 계산

철근의 배치는 다음 규정에 의함을 원칙으로 한다.

- (1) 확대기초의 주철근은 2방향으로 배근하고, 배근방향은 말뚝배치를 고려하여야 한다.
- (2) 1방향 확대기초와 정사각형 확대기초의 휨철근은 전폭에 걸쳐 균등하게 배치하여야 한다.



(3) 2방향 직사각형 확대기초의 휨철근은 다음과 같이 배치하여야 한다.

- ① 긴 변 방향의 휨철근은 전폭에 걸쳐 등간격으로 배치하여야 한다.
- ② 짧은 변 방향의 휨철근은 다음의 식으로 결정되는 철근량을 확대기초의 짧은 변의 폭만큼의 중심구간 폭에 걸쳐 균등하게 배치하여야 하며, 중심구간폭의 중심선은 기둥 또는 교각의 중심선으로 한다. 나머지 철근량은 기초 중심구간 폭의 외측부분에 균등하게 배치하여야 한다.

$$A_{s,m} = \frac{2}{1+\beta} A_{s,s} \quad (32)$$

여기서, $A_{s,m}$: 기초 중심구간 폭에 배치하여야 할 철근량(mm²)

$A_{s,s}$: 기초 짧은 변 방향에 대하여 필요한 총 철근량(mm²)

β : 확대기초의 짧은 변에 대한 긴 변의 비

- ③ 윗면 철근은 아랫면 철근의 1/3 이상을 배근하여야 한다.
- ④ 말뚝에 인발력이 생기는 경우는 윗면에 철근을 배근한다.

RECORD HISTORY

Rev.0('12.12.5) 철도설계기준 철도설계지침, 철도설계편람으로 나누어져 있는 기준 체계를 국제적인 방법인 항목별(코드별)체계로 개정하여 사용자가 손쉽게 이용하는데 목적을 둬.

Rev.1('14.1.?) 철도설계기준(국토교통부고시 제2013-757호, '13.12.5)이 개정 고심됨에 따라 개정내용을 반영