

제 10 장 하부구조 및 기초

10.1 설계일반사항

10.1.1 기본방침

하부구조의 설계 및 시공과정에서는 상부구조에서 전달되는 하중과 하부구조 자체에 작용하는 하중을 안전하게 지반에 전달시킴과 동시에 상부구조에서 주어진 설계조건을 만족해야 한다.

10.1.2 부재설계 계산의 원칙

- (1) 부재의 설계에 쓰이는 단면력은 탄성이론에 따라 산출해도 좋다.
- (2) 부재의 설계는 강도설계법을 사용하되 허용응력설계법을 사용하고자 할 때에는 도로교 설계기준 3.3과 4.5의 허용응력설계법의 규정에 따라야 한다.
- (3) 강도설계법에 의해 콘크리트부재를 설계할 경우에는 도로교설계기준 2.2.3.2에서 규정하는 하중계수와 2.2.3.3에서 규정하는 강도감소계수를 사용하여야 한다.

10.1.3 하중의 종류

하부구조의 설계에 적용하는 하중은 도로교 설계기준 2.1하중에서 규정하는 내용을 따른다.

10.1.4 재 료

(1) 일반

- ① 교량하부공사에 사용하는 재료는 ‘한국공업규격’(KS), ‘도로교설계기준 제2장 설계일반 사용 재료’ 등에 규정되어 있고 경제성, 시장성이 풍부한 재료를 원칙으로 한다.
- ② ‘한국공업규격’(KS) 등에 규정되어 있어도 시장성이 없는 재료도 있으므로 주의를 요한다. 구조물의 형식, 형상, 치수가 극히 제한되는 구조물이나 대규모 또는 다량의 구조물에서 특별하게 주문하거나 독자적으로 시험 검토해서 사용할 수 있다.

(2) 콘크리트

- ① 콘크리트에 사용하는 콘크리트의 품질은 설계기준강도 f_{ck} 가 24.0MPa 이상을 원칙으로 한다
- ② 무근콘크리트의 품질은 설계기준강도 f_{ck} 가 15.0MPa로 한다.
- ③ 교량하부공에 사용하는 콘크리트의 설계기준강도를 정한 것이다. 하부공의 치수, 형상이 제한되어 있는 경우에는 충분히 검토하여 설계기준강도를 높일 수 있다.

(3) 강재

- ① 철근콘크리트에 사용하는 봉강은 ‘KS D 3504 철근콘크리트용 봉강’의 SD30으로 직경 13mm 이상 32mm 이하를 원칙으로 한다. 단면제약을 받는 경우나 구조물의 규모가 커지게 될 때 직경 35mm 이상도 사용될 수 있으나 압접 등에 문제가 생길 수 있으므로 주의하여 사용해야 한다. 또 재질은 원칙적으로 SD30으로 한다.
- ② 강판 및 형상은 ‘KS D 3503 일반 구조용 압연강재’ 및 ‘KS D 3515 용접구조용 압연 강재’

의 규격에 적합한 것으로 한다.

(4) 말뚝재

- ① PSC 콘크리트말뚝의 형상, 치수, 품질은 'KS F 4303 프리텐션 방식 원심력 PC말뚝'의 규격에 적합한 것으로 한다.
- ② PHC 콘크리트말뚝의 형상, 치수, 품질은 'KS F 4306 프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝'의 규격에 적합한 것으로 한다.
- ③ 강말뚝은 'KS F 4602 강관말뚝, KS F 4603 H형강 말뚝'의 규격에 적합한 것으로 한다.

10.1.5 설계방법

(1) 강도설계

콘크리트 교량의 설계하중 조합 및 하중계수 그리고 강도감소계수의 적용은 '도로교설계기준 제2장 2.2.3 강도설계법'에 따른다

(2) 허용응력

강교 및 콘크리트교의 부재단면에 생기는 응력에 대한 허용응력 및 허용응력의 증가 계수는 '도로교설계기준 2.2.2 허용응력 설계법'에 따른다.

10.1.6 변위량

(1) 허용변위량

하부구조의 설계시에는 상부구조의 설계법에서 가정한 허용변위량을 초과해서는 안된다.

① 허용 연직변위량

장기 지속하중에 의해서 생기는 부정정구조물 기초의 연직변위량(탄성변위량 + 압밀침하량)은 [표 10.1.1]에 제시하는 값을 넘지 않도록 설계하는 것이 바람직하다. 부등침하가 예상되는 부정정구조물의 경우 부등침하는 구조계산에 고려하여 구조물이 안전한가를 확인하여야 한다.

교량구조물은 [표 10.1.2]에 제시하는 각 변위에 대한 값을 참고할 수 있다.

[표 10.1.1] 부정정구조물의 허용연직변위량(mm)

지 지 층	최대변위량	부등변위량
모래지반에 만드는 기초	25	20
점토지반에 만드는 기초	50	20
복합지반에 만드는 기초	30	20

[표 10.1.2] 각변위에 따른 교량의 침하기준 (Moulton, et al., 1985)

각변위(δ /s)	구 분
0.004	다경간 교량의 허용치
0.005	단경간 교량의 허용치

(2) 탄성변위량

- ① 기초의 변위량은 지지반이 탄성거동을 한다고 하여 연직, 회전 및 수평변위량을 계산한다. 직접기초에 대해서는 확대기초 저면의 변위량을, 말뚝기초에 대해서는 확대기초 저면 및 가상지반면의 변위량을, 케이슨 기초에 대해서는 케이슨 끝단과 가상지반면의 변위량을 계산한다. 계산은 지반의 스프링정수를 이용하기로 한다.
- ② 교각끝단 및 교각의 수평변위량은 기초의 변위량과 구체 자체의 탄성변위량의 합으로 한다.

(3) 압밀침하량

- ① 압밀침하량은 기초의 저면으로부터 기초 최소폭의 3배 깊이 사이에 압밀을 일으키는 점토층이 존재하는 경우 산출하여야 한다.
- ② 점토층의 압밀침하량은 기초에 작용하는 하중에 의한 지반 내의 수직응력의 증가분에 대해서, 압밀 선행응력의 크기를 고려하여 구하는 것으로 한다.

10.1.7 측방향 이동

연약지반 위에 만들어진 교대의 기초 설계시에는 측방향 이동의 유무를 검토한다.

10.1.8 압밀침하를 일으키는 지반중의 기초

양질의 지지층을 지지반으로 하는 말뚝기초나 케이슨 기초를 연약지반에 사용하는 경우 기초 주위의 토층이 압밀침하를 일으키면 기초에 부의 마찰력이 작용한다. 다음과 같은 경우에는 부의 마찰력에 대해서 검토하여야 한다.

- ① 기초구조 설치심도 내에 압밀중인 점토층이 있을 경우: 비교적 새로 조성한 매립공사의 경우
- ② 지반내 간극수압의 감소에 기인해서 점토층의 압밀이 수반되는 경우: 공장용수를 위해 지하수를 퍼올리는 경우
- ③ 점토층 위에 하중이 가해져 압밀이 생기는 경우: 인접부에서의 성토 등에 의해 지중응력이 증가하는 경우

10.1.9 표준관입시험 N치 보정¹⁾

(1) 목적

- ① 국내 표준관입시험기 해머효율에 대한 연구결과를 이용하여 표준관입시험 결과를 국제 표준 규격인 해머효율 60%의 N60으로 표준관입시험결과를 보정함으로써 일관성 확보 및 경험식 유도 배경에 맞는 N치를 사용한다.
- ② 사용하는 경험식에 맞추어 해머효율을 보정하여 지반물성치 및 지지력을 산정한다.

(2) N치 보정기준

N치 보정은 N치가 100이하인 토사에 대하여 적용하며 사용할 경험식의 유도 배경에 따라 다음과 같이 보정한다.

각 보정항목에 대한 보정은 식(10.1.1)을 이용한다.

$$N'_{60} = N \times C_N \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4 \quad [\text{식 10.1.1}]$$

1) N치 보정기준 검토 (설계이 13202-285, 00.7.20)

5-10-4 | 제5편 구조물공

$$N_{60} = N \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4$$

여기서, N'_{60} : 해머효율 60%로 보정한 표준관입시험 결과

N_{60} : 유효응력보정만을 제외하고 보정한 표준관입시험 결과

N : 각 장비별 표준관입시험 결과

C_N : 유효응력에 대한 보정

η_1 : 해머효율 보정계수

η_2 : 룯드길이 보정계수

η_3 : 샘플러 종류에 대한 보정계수

η_4 : 공경에 대한 보정계수

[표 10.1.3] 해머종류별 효율

해머종류	도넛(Donut)형	안전(Safety)형	자동(Trip)형	개량자동 (Modified auto-donut)형
효율	46%	65%	54%	54%

유효 상재하중에 대한 보정(C_N)(Liao and Withman,1986)은 [식 10.1.2]을 사용한다.

$$C_N = (1/P')^{1/2} \quad \text{[식 10.1.2]}$$

여기서, P' : 시험위치의 유효상재압력(kg/cm²)

[표 10.1.4] 룯드길이에 따른 에너지 효율(Skempton, 1986)

룯드길이(m)	효율(η_2)
3~4	0.75
4~6	0.85
6~10	0.95
> 10	1.00

[표 10.1.5] 샘플러 종류별 효율(Skempton, 1986)

샘플러 종류	효율(η_3)
Liner가 없는 경우	1.2
Liner가 있음	1.0

[표 10.1.6] 굴착홀의 직경에 따른 효율(Skempton, 1986)

굴착홀 직경(mm)	효율(η_4)
65~115	1.00
150	1.05
200	1.15

10.2 교대, 교각의 설계

10.2.1 설계 일반

- (1) 교대 및 교각은 고정하중, 활하중, 토압, 지진의 영향과 같은 외력에 대해서 안정하고 지반반력 및 구체 각 부재, 기초구조 부재의 용력이 허용치 범위 내에 있어야 한다.
- (2) 교대설계에는 일반적으로 다음 하중조합을 고려한다.
 - ① 고정하중 + 활하중 + 토압
 - ② 고정하중 + 토압
 - ③ 고정하중 + 토압 + 지진의 영향

단 수압, 부력 등 그 밖의 하중이 작용하는 경우에는 그 조합을 고려하기로 한다.
- (3) 경사교대에 대해서는 상기(2)의 조합 외에 편토압에 의한 회전的影响을 고려하여야 한다.
- (4) 접속판을 설치하는 교대의 설계시에는 접속판의 영향을 고려하여야 한다.
- (5) 교각의 설계에는 일반적으로 다음의 하중조합을 고려한다.
 - ① 고정하중 + 활하중
 - ② 고정하중 + 활하중 + 온도변화의 영향 + 건조수축, 크리프의 영향 + 프리스트레스의 영향
 - ③ 고정하중 + 지진의 영향
 - ④ 교각의 높이가 높거나 방음벽을 설치하는 경우에는 풍하중이나 온도변화의 영향을 고려한다.

단 이 밖의 하중이 작용하는 경우에는 도로교 설계기준 2.2.2.2(3) 및 2.2.3.2에서 규정하는 하중조합을 고려하여야 한다.

10.2.2 교대의 설계

- (1) 역T형 교대
 - ① 역T형 교대의 앞벽과 확대기초는 각각에 작용하는 하중에 저항하는 캔틸레버보로서 설계하기로 한다.
 - ② 벽의 하단두께는 단면에 작용하는 축력, 휨모멘트 및 전단력으로 정하나, 벽에는 전단력에 저항시키기 위한 전단철근을 쓰게 되면 콘크리트를 타설하는데 방해가 되므로 전단철근을 쓰지 않아도 좋은 두께로 하는 것이 바람직하다.
 - ③ 역T형 교대의 배면 형식은 시공성을 고려하여 현치가 없는 직벽형으로 설치한다.²⁾
- (2) 부벽식 교대
 - ① 앞벽 및 후면 확대기초는 부벽으로 받쳐진 연속보로 한다.
 - ② 부벽은 후면 확대기초에 고정되고 보의 높이가 변화하는 T형 단면 캔틸레버보의 복부로 한다.
 - ③ 부벽은 앞벽과 후면 확대기초의 결합부에 철근을 배근한다.
 - ④ 벽과 확대기초의 접합부에는 상당량의 가외철근을 각각 배면과 상면에 가까이 배근하여야 한다.

2) 역T형 교대 형식 개선방안(기술심사처-2263, 2009.8.27)

(3) 중력식 및 반중력식 교대

- ① 중력식 교대는 본체의 자중을 크게 하여 구체단면에 압축응력만 생기는 교대로서 지반이 양호한 곳에 적용되며 경제적 높이는 약 4m정도이다.
- ② 반중력식 교대는 중력식과 유사한 구조형식이나 구체 배면이나 기초의 일부에 인장력이 발생하므로 철근을 배치하여 단면을 보강하며 일반적으로 4~6m정도 높이의 교대 적용한다.

(4) 라멘 교대

- ① 라멘 교대의 라멘부재 절점부는 접속하는 부재로 확실하게 단면력이 전달되는 구조이어야 한다. 또 라멘부재 절점부의 우각부는 헌치 설치를 원칙으로 한다. 부재가 변단면인 경우, 라멘의 중간절점부인 경우 또는 절점부의 안전성에 대하여 검토한 경우 절점부에는 헌치를 붙이지 않아도 좋다.
- ② 하중상태는 토압, 지진시 수평력에 대해서 라멘부재에 불리하지 않도록 고려하여 설계하여야 한다.

(5) 박스형 교대

- ① 상부공 반력, 자중 및 토압 등에 의한 휨 및 전단은 앞벽의 일부를 압축 플랜지, 뒷벽의 일부를 인장 플랜지, 격벽(또는 측벽)을 웨브로 T형보가 담당한다고 생각한다. 이 경우 앞벽이나 뒷벽은 토압을 주부재인 T형보에 전달하는 부재로 보고 설계한다.
- ② 덮개판은 자중, 상재토 중량 및 활하중을 받는 교축직각 방향으로 연속인 전변 단순 받침판으로 보고 설계한다.
- ③ 뒷벽은 시공시 및 완성시에 편토압 및 지진력을 받는 판으로 설계한다. 앞벽, 측벽도 동일하게 적용한다.

10.2.3 교각의 설계

(1) 기둥식 및 벽식 교각의 설계

기둥 및 벽은 원칙적으로 확대기초를 고정단으로 하는 캔틸레버보로서 설계한다.

(2) 라멘교각

- ① 각 부재의 절점이 강결된 구조로서 통상 확대기초를 고정단으로 하여 라멘으로 해석한다.
- ② 라멘의 축선은 부재의 단면도심에 있는 것으로 하고 각 부재의 강비를 계산하여 해석한다.
- ③ 라멘의 면외방향(통상 교축방향)은 기둥으로서 계산한다. 또 하중상태가 대칭이 아닌 경우는 하중분배를 고려하여 설계하여야 한다.

(3) 교각의 보 설계

- ① 교각 내민보의 구조해석은 내민보 부분이 긴 경우에는 캔틸레버보로서 설계한다.
- ② 원형이나 정다각형 기둥인 경우는 기둥 단면적과 같은 면적의 정사각형 기둥단면으로 치환하여 내민길이를 구하도록 한다. 또 기둥단면이 타원형인 경우는 단면이 반원형과 직사각형으로 이루어지는 것으로 하여 원형인 경우의 규정에 따라 내민 길이를 구하도록 한다.
- ③ 내민보 부분이 보 높이에 비해 짧은 경우에는 응력과 변형율은 직선분포가 되지 않으므로 이를 고려해서 설계한다.

(4) 철골 철근콘크리트 구조의 설계

철근콘크리트에 철골을 병용하고 철골 철근콘크리트로서 교각, 라멘 등을 설계하는 경우는 철골의 단면을 철근단면으로 환산해서 설계하는 것을 원칙으로 한다(철근콘크리트방식).

(5) 강교각의 설계

① 설계일반

- 가. 설계시에는 교각만 생각하지 말고, 상부공을 포함한 교량전체를 고려하여 설계하여야 한다.
- 나. 본선, 일반도로, 지방도로, 시가지 도로에서 중앙분리대나 노측에 세워지는 교각에 자동차의 충돌 우려가 있는 경우는 견고한 방호시설을 세우도록 한다.

② 구조해석

- 가. 설계계산에 이용하는 골조선은 부재중심선으로 한다.
- 나. 라멘의 설계에서는 각 부재마다 등가강도를 판정하여 단면력을 산출한다.

③ 모서리부 설계

가. 모서리부의 휨모멘트

모서리부에 작용하는 휨모멘트로 A-A 단면에 대해 M_1 , B-B 단면에 대해 M_2 를 사용해서 단면을 결정해도 좋다.

나. 라멘 모서리부 용력의 산출

라멘 모서리부는 다음과 같은 방법으로 설계하기로 한다.

(가) 플랜지 단면은 전단지연을 고려한 직용력에 의해 설계한다.

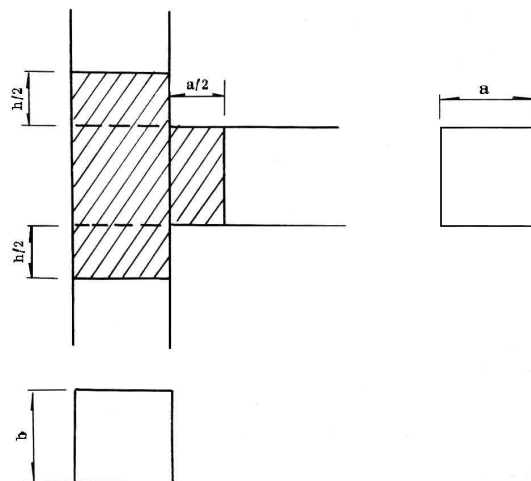
(나) 웨브의 판두께는 전단용력에 의해서 결정한다.

단, 허용전단용력 $\nu_a = 0.45f_{ta}$ 로 한다. 여기서 f_{ta} = 강재의 허용용력

다. 라멘 모서리부의 범위

라멘 모서리부로 결정된 판두께를 <그림 10.2.1>과 같이 플랜지, 웨브 모두 플랜지 폭의 1/2 모서리부 연단에서 연장한다.

라. 상자형 단면 모서리부나 원형단면 모서리부에 다이어프램 설치시 도로교 설계기준 3.14.3에 따른다.



<그림 10.2.1> 라멘 모서리부의 범위

④ 기둥 기초부 설계

가. 교각 기둥기초부의 설계에 있어서 베이스플레이트 하면의 콘크리트의 압축력에 저항하고 인장력에 대해서는 앵커볼트 및 앵커프레임으로 저항하는 것으로 한다.

나. 앵커볼트의 설계에서는 전단응력에 대해서 검토하여야 한다.

다. 베이스 플레이트의 설계에서는 휨응력, 지압응력 및 베이스 플레이트와 기둥과의 플랫팅 접을 검토하여야 한다.

⑤ 설계는 공장제작, 가설 등을 감안하여 설계하며 특히 다음 사항에 유의하도록 한다.

가. 교각 내의 다이어프램의 용접순서, 작업성

나. 우각부의 용접순서, 작업성

다. 맨홀 및 핸드홀의 설치위치

(6) 고교각 나사식 철근이음 배근³⁾⁴⁾

① 고교각($H \geq 30.0m$)의 철근조립시 겹이음 포인트의 다수 발생 및 철근의 밀집으로 콘크리트 타설 불량으로 인한 품질저하 및 안전성 결여에 따라 나사식 이음공법을 적용한다.

② 기초부위에서 계속 연장되는 주철근은 겹이음으로 연결 시공한다.

③ 연결철근의 상단과 철근의 계획고가 일치하지 않을 시는 맨 윗단은 덧이음을 하여 두부길이를 유지한다.

④ 덧붙이는 길이 2m 이하의 경우는 겹이음으로 철근상단을 시공하고 2m 이상일 경우는 나 사이음철근을 절단하여 시공한다.

⑤ 나사식 철근이음 간격은 [표 10.2.1] 을 적용한다.

⑥ D22mm 이하 규격의 철근은 작업중량(25kg/인)을 고려시 이음간격이 8m 이상이 되므로 조립시 자립성 및 안전성 등을 유의하도록 한다.

[표 10.2.1]

철근직경	D25	D29	D32	비고
이음간격	6m	5m	4m	

(7) P-△ 해석법 상세기준⁵⁾

① 세장비(λ) 값이 100을 초과하는 모든 압축부재에 대해서는 P-△해석을 하여야 한다. 그러나 그보다 작은 세장비에 대해서도 P-△의 적용은 가능하다. (도로교 설계기준 4.4.5.3)

② P-△해석법 상세 적용은 [표 10.2.2]를 적용한다.

(8) 교각단면 효율

설계강도 > 설계단면력($\phi R_n > \gamma U_i$)을 만족하는 범위에서 설계자가 판단하여 적용하되 단면효율을 최대한 활용한다.⁶⁾

3) 철근이음 시공성 개선방안대구경 현장타설 말뚝, 고교각($H \geq 30m$) (설계일 16210 -288, 96.9.2)

4) 고교각 나사식 철근이음 간격 개선 (건설관 10105-132, 03.12.31)

5) 세장한 장주 상세설계 잠정기준 (설계구 10201-120, 04.4.20)

6) 교각단면 효율조정(설계처-4632, 2009.9.8)

[표10.2.2]

구 분	P-△해석법 상세 적용 기준	비고
· 세장한 장주해석시 유효강성의 적용	· 코핑검토시 전단면 유효 기둥 - E_{clg} 코핑 - E_{clg} · 지진시 탄성모멘트를 산정할 경우에도 전단면 유효 기둥 - E_{clg} 코핑 - E_{clg} · 상시 P-△해석시 기둥 - $0.7E_{clg}$ 코핑 - $0.35E_{clg}$ · 좌굴해석시 기둥유효 강성 : $0.4E_{clg}$ · 지진시 P-△추가 모멘트 산정 기둥 - $0.5E_{clg}$ 또는 항복유효강성 적용[*] 코핑 - $0.75E_{clg}$	
· 좌굴한계 상태의 안전여유	· 세장한 장주에서 좌굴한계상태 안전여유(Safety Margin) 적용범위 $\frac{P_{u\max}}{\phi_k P_c} \geq 1.5$ 여기서, $P_{u\max}$: 하중계수가 적용된 최대축하중 ϕ_k : 강성감소계수(0.75) P_c : 임계좌굴 하중	
· P-△ 해석시 변위 수렴조건	· 상시 및 내진해석시 추가변위(Tolerance)는 수렴조건($1.0 \times 10^{-5}m$)을 만족할 때까지 반복수행	
· P-M 상관도	· P-M 상관해석 프로그램 사용시 P-△ 해석된 설계 단면력을 P-M 상관도 상에 그대로 적용하여 상관해석 시행	
· 기초단면 검토	· 기초단면 검토시 유효강성 적용 코핑 : $0.35E_{clg}$ 기둥 : $0.7E_{clg}$를 적용하고 P-△효과 배제	

* 철근비와 축력비가 결정되기 전까지의 설계단계에서는 $0.5E_{clg}$ 를 적용하되 철근비와 축력비가 결정된 이후의 설계단계에서는 항복유효강성을 적용한다.

$$I_{eff} = (0.16 + 12.0\rho + 0.3\sqrt{\frac{P}{f_{ck}A_g}})I_g$$

여기서, ρ : 교각의 축방향 철근비

P : 축하중

f_{ck} : 콘크리트 설계기준 압축강도(MPa)

A_g : 기둥의 총단면적(mm²)

10.2.4 확대기초의 설계

(1) 일반사항

- ① 확대기초는 쉐일레버보, 단순보, 고정보 등 보 부재로서 설계하여야 한다.
- ② 확대기초는 확대기초 자중 및 흙 등의 상재하중을 기본적으로 고려한다. 또한 직접기초에서는 지반반력, 말뚝기초에서는 말뚝반력 및 부력을 설계상 가장 불리한 방향으로 고려하도록 한다.

- ③ 확대기초는 부재로서 필요한 두께를 확보함과 동시에 강체로서 취급되는 두께를 가져야 함을 원칙으로 한다. 또 확대기초 상면의 경사는 원칙적으로 1:2보다 완만하도록 하는 것이 좋다.

(2) 확대기초의 휨설계

① 휨모멘트의 계산

- 가. 독립확대기초 및 벽확대기초의 휨모멘트는 캔틸레버보로서 산출하여야 한다.
 나. 연속확대기초의 기둥사이의 확대기초부는 구조물의 연속성 및 구속조건을 고려하여 설계하여야 한다.
 다. 연속확대기초의 캔틸레버보로서 작용하는 독립확대기초와 같이 설계하여야 한다.
 라. 설계단면에 있어서 휨모멘트는 기둥 또는 벽 앞면의 확대기초 전면적에 작용하는 하중에 의하여 발생하는 휨모멘트로 한다.

② 휨에 대한 위험단면

- 가. 직사각형단면의 기둥 또는 벽체를 지지하는 확대기초의 위험단면은 기둥 또는 벽체의 전면으로 한다.
 나. 강철저판을 갖는 기둥을 지지하는 확대기초의 위험단면은 강철저판연단과 기둥전면의 중간으로 한다.
 다. 원형이나 정다각형 기둥을 지지하는 확대기초는 기둥단면적과 같은 면적의 정사각형 기둥단면으로 취급하여 위험단면을 결정해도 좋다.

③ 휨철근의 배근

- 가. 확대기초의 주철근은 2방향으로 배근하고 배근방향은 말뚝배치를 고려하여야 한다.
 나. 1방향 확대기초와 정사각형 확대기초의 휨철근은 전폭에 걸쳐 균등하게 배치하여야 한다.
 다. 2방향 직사각형 확대기초의 휨철근은 다음과 같이 배치하여야 한다.
 (가) 긴 변 방향의 휨철근은 전폭에 걸쳐 등간격으로 배치하여야 한다.
 (나) 짧은 변 방향으로의 철근에 대해서는 다음 식으로 결정되는 철근량을 확대기초의 짧은 변의 폭만큼의 중심구간 폭에 걸쳐 균등하게 배치하여야 하며, 중심구간폭의 중심선은 기둥또는 교각의 중심선으로 한다. 나머지 철근량은 기초 중심구간 폭의 외측부분에 균등하게 배치하여야 한다.

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

- 라. 윗면철근은 아랫면 철근의 1/3이상을 배근하여야 한다.
 마. 말뚝에 인발력이 생기는 경우는 윗면에 철근을 배근한다.

(3) 전단설계

① 전단에 대한 위험단면

- 확대기초의 전단강도를 결정할 때는 다음 위험단면 중 가장 불리한 것으로 하여야 한다.
 가. 1방향작용의 위험단면은 기둥 또는 벽체의 전면에서 d거리에 위치하는 전체폭을 가로지르는 평면으로 한다.
 나. 2방향작용의 위험단면은 집중하중이나 반력을 받는 구역에서 d/2거리에 위치하는 둘레에 수직하는 평면으로 한다.

다. 말뚝으로 지지된 확대기초에서는 위험단면의 전단력은 콘크리트 설계기준 12.3.2에 따라 결정되어야 한다.

② 전단강도 및 설계

확대기초의 전단강도 및 설계는 도로교설계기준 4.4.6.6의 규정에 따른다.

(4) 기초의 하중 및 반력

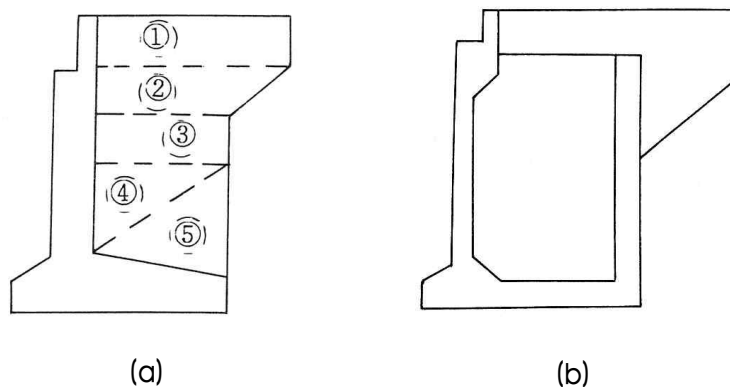
- ① 기초판은 이 장의 규정에 따라 계수하중과 그에 의해 발생하는 반력에 견디도록 설계하여야 한다.
- ② 기초판의 밑면적, 말뚝의 개수와 배열은 기초판에 의해 흙 또는 말뚝에 전달되는 외력과 휨 모멘트, 그리고 토질역학의 원리에 의하여 계산된 허용지지력과 말뚝의 허용강도를 사용하여 산정하여야 한다. 이 때 외력과 휨모멘트는 하중계수를 곱하지 않은 사용하중을 적용하여야 한다.
- ③ 말뚝기초의 기초판 설계에서 말뚝의 반력은 각 말뚝의 중심에 집중된다고 가정하여 휨모멘트와 전단력을 계산할 수 있다.
- ④ 기초판에서 휨모멘트, 전단력 및 철근정착에 대한 위험단면의 위치를 정할 경우, 원형 또는 정다각형인 콘크리트 기둥이나 받침대는 같은 면적의 정사각형 부재로 취급할 수 있다.
- ⑤ 기초판 상면에서부터 하부 철근까지의 깊이는 흙에 놓이는 기초의 경우는 150mm 이상, 말뚝기초의 경우는 300mm 이상으로 하여야 한다.

(5) 강말뚝 기초의 배근

강말뚝을 기초로 하는 확대기초에서는 말뚝이 확대기초에 관입하고 있어 배근하기가 곤란하므로 합리적 배근이 되도록 고려하여야 한다.

10.2.5 날개벽의 설계(parallel wing)⁷⁾

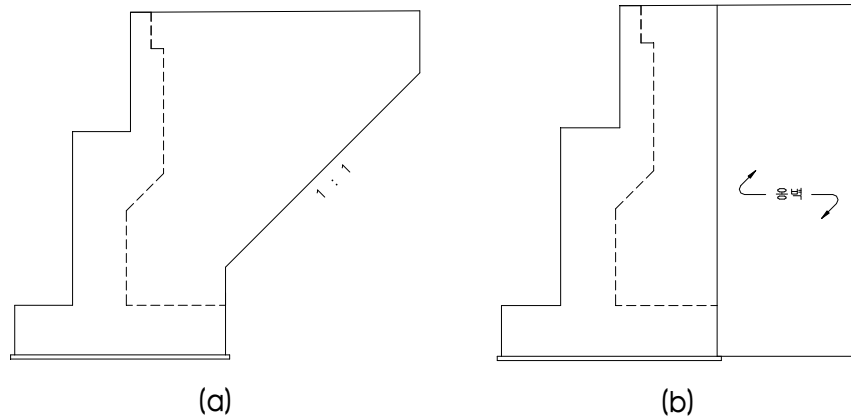
- (1) 교대의 날개벽은 교대와의 고정을 확실하게 하기 위해서 <그림 10.2.2>의 (a)와 같이 2번 고정으로하지만 구조상 부득이한 경우는 (b)와 같이 1번고정도 좋다. 평행날개벽은 배면에서 오는 토압 및 재하하중에 의한 압력을 받는 캔틸레버판이다. 그러나 본 구조는 일반 캔틸레버판과는 다르고 연직방향으로 하중강도가 증가하는 특수한 구조계로 생각하기로 한다.



<그림 10.2.2> 평행날개벽의 단면계산

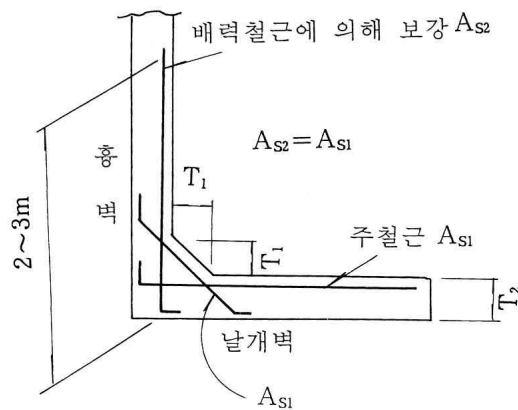
7) 교대날개벽 설계기준 검토 (설계삼 16210-567, 97.11.1)

- (2) 교대 날개벽에 작용하는 토압은 정지토압을 사용한다.
- (3) 교대 뒷채움부의 유실방지와 시공성을 감안하여 날개벽 길이가 8m 이하인 경우는 <그림 10.2.3>의 (a)와 같이 혼합형으로 설계하며 8m를 넘는 경우와 앞성토로 인해 토지이용에 영향을 받는 경우는 (b)와 같이 측벽형+옹벽 형태로 계획한다. 혼합형 날개벽의 하단부 경사는 1:1을 기준으로 한다. 단 교대의 높이가 높아(10m초과) 날개벽 길이가 8m를 넘는 경우 측벽형+옹벽으로 하되 지형여건상 옹벽설치로 인해 터파기가 과대하고 비경제적인 경우 뒷채움부의 유실방지를 위한 토공계획을 세워 날개벽 경사를 1:1.5로 할 수 있다.



<그림 10.2.3> 날개벽 형식

- (4) 날개벽의 주철근은 전압기계에 의한 변형을 받기 쉬우므로 여유있는 배근을 하지 않으면 안된다. 또 평행날개벽에 작용하는 토압에 따라 교대의 옹벽에 작용하는 휨모멘트, 전단력에 대해서도 <그림 10.2.4>와 같이 배력철근을 보강하여야 한다.



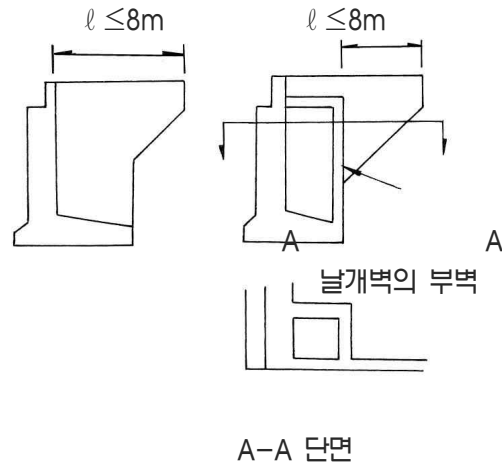
<그림 10.2.4> 평행날개벽의 배근

- (5) 평행날개벽의 최대길이

평행날개벽의 최대길이는 통상 8m 정도로 한다. 이 이상 길어지는 경우는 박스형상으로 해서 보강하든가 일부를 석축으로 하는 것이 좋다.

평행 날개벽의 길이가 8m이상이면 2번 고정판으로서 해석한 경우와 관용적인 방법의 결과

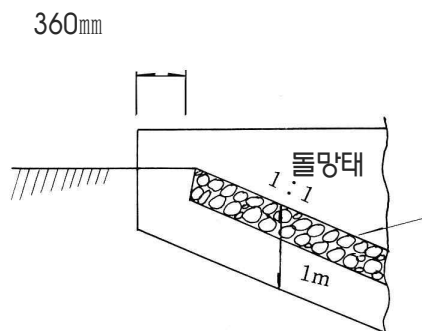
에 차가 생기고 관용적인 방법이 비경제적인 설계가 되기 쉬우므로 8m이상인 경우는 2번 고정판으로 설계하는 것이 바람직하다.



<그림 10.2.5> 평행 날개벽의 최대길이

(6) 평행날개벽의 토피

토피는 토중깊이 1.5m, 단부에서 360mm를 원칙으로 한다. 경사구배는 1:1이 좋으며 세굴 방지를 위해 돌망태 등을 설치하는 것이 좋다.



<그림 10.2.6> 평행날개벽의 토피

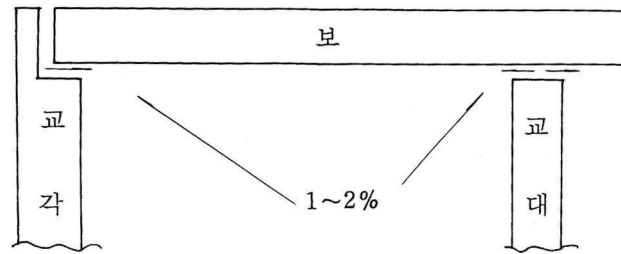
10.2.6 홍벽의 설계

홍벽의 설계는 토압 외에 윤하중의 영향을 고려하여야 한다.

10.2.7 구조세목

(1) 교대 교각의 상단부

- ① 교대, 교각의 상단부가 교축 직각방향에 수평인 경우 물이 고이지 않도록 교축방향으로 경사를 둔다. 교좌, 교각의 상단부의 종단방향 경사는 1~2%로 한다.



<그림 10.2.7> 교대, 교각 상단부의 경사

② 코핑면 편경사에 따른 설계요령⁸⁾

코핑면 편경사에 따라 받침간격이 좁은 교량(PSC 빔, PF 빔, 슬라브교 등)의 경우 받침 위치 별로, BOX형 교량(강BOX교 등)의 경우 BOX 별로 계단식으로 단차 처리한다.

코핑면 철근 배근의 경우 주철근은 수평으로 배근하고 코핑면 단차가 100mm 이상의 경우 보강철근을 계단식으로 배치하며, 코핑면 단차가 100mm 이하의 경우 보강철근 배치하지 않는다.

(2) 중공교각의 설계⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾

- ① 교각 높이가 30m 이상의 고교각일 경우 가급적 중공단면의 기둥으로 설계하는 것이 좋다.
- ② 교각 높이가 30m 이하인 경우는 상부 구조 형식 등의 여건에 따라 중공단면을 적용할 수 있으며, 30m 이상이라 하더라도 도심지를 통과하는 구간 등 미관을 고려하는 경우에는 별도로 검토한다.
- ③ 중공교각 시공시 코핑부 하면은 Steel Channel 로 동바리 역할을 하도록 하며 중공부의 속채움은 하지 않는다.

(3) 받침부의 설계

- ① 하부구조 정부(頂部)에 있어서 교축방향의 받침연단과 하부구조 정부 연단 사이의 거리, S (mm)는 다음의 값 이상으로 한다. <그림 10.2.8>

가. 거더의 경간길이 100m 이하: $S = 200 + 5L$ [식 10.2.1]

나. 거더의 경간길이 100m 이상: $S = 300 + 4L$ [식 10.2.2]

L = 지간길이 (m)

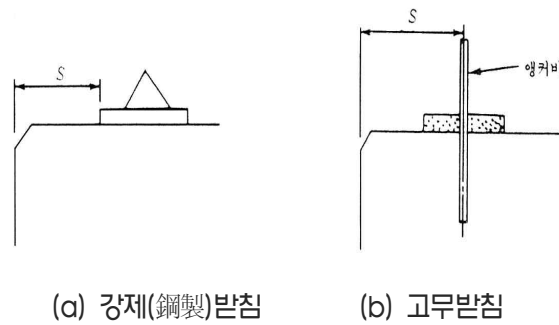
다. 받침연단거리 S는 200mm 이상으로 하고 그 최대치는 일반적인 교량의 경우 1,000mm로 하면 된다. 받침앞면 여유폭을 둘 수 없는 경우에는 턱을 설치하여도 된다. 경사교의 경우에 최소여유폭은 위의 조건을 만족하여야 한다.

8) 교량코핑면 편경사 처리방안 검토 (설계구 13201-607, 01.11.21)

9) 고교각교량의 기둥단면검토 (설계일 16210-229, 97.6.30)

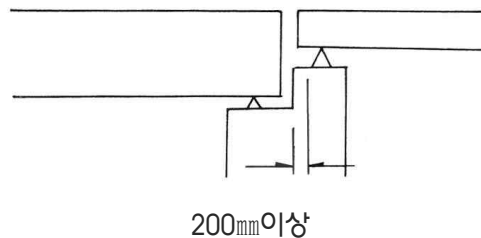
10) 중공교각 코핑부 처리방안 검토 (설계일 16210-230, 97.6.30)

11) 중공식 교각 속채움 방안 (건설관 10105-67, 02.5.4)



<그림 10.2.8> 받침의 연단거리

라. 중앙분리대상에 교각을 갖는 육교에서 교각을 크게 하지 않는 연속보의 중간지점에서는 교각끝단을 철근으로 충분히 보강하면 받침연단거리를 축소해도 좋다. 상부구조의 형고가 차이가 나는 엇갈린 교각에서 보의 끝단에 단을 설치하는 경우에도 가능한 한 받침연단거리를 확보하는 것이 바람직하지만 사교처럼 보의 여유길이가 너무 길어질 때는 받침연단 거리를 200mm까지 축소해도 좋다. 단 교각끝단이 전단파괴를 일으키지 않도록 철근으로 충분히 보강하여야 한다.<그림 10.2.9>



<그림 10.2.9> 교각 끝단의 보강철근

- ② 받침부분 및 앵커볼트의 주변에는 보강철근을 충분히 배치하여야 하며, 받침 설치시 보강철근 및 주철근이 절단되는 일이 없도록 설계도에 상세도를 명시하여야 한다.
 - ③ 교량받침 형하공간은 인체의 일부분(머리 및 어깨)이 들어가서 작업을 하거나 관찰할 수 있고 유지 보수시 Jack의 설치가 가능한 400mm로 한다. 이때 부득이한 경우는 450mm까지 가능하며 받침 용량이 10,000kN 이상인 경우는 받침의 치수를 감안하여 별도로 형하공간 높이를 계획한다.¹²⁾
- (4) 교대배면의 배수처리
- ① 교대배면의 뒷채움 토사의 침하는 교통에 상당한 지장을 미치므로 양질이고 충분히 다져지는 재료를 사용한다.
 - ② 교대는 절토면에 설치하는 경우도 많고 지반에서 지하수가 분출되기도 하므로 배수에 유의하여야 한다. 배수공은 내경 75mm를 표준으로 하고 앞벽에 배수공을 3m 간격 정도로 설치하여야 한다.

12) 교좌장치 받침부 형하공간 및 보강철근 설계기준 검토 (설이 16210-220, 94.12.29)

(5) 최소철근량

- ① 해석에 의하여 인장철근 보강이 요구되는 휨부재의 모든 단면에 대하여 아래 ②에 규정된 내용을 제외하고는 철근의 단면적 A_s 는 아래 식에 의해 계산된 값 중에서 큰 값으로 하여야 한다.

$$A_{s, \min} = \frac{0.25 \sqrt{f_{ck}}}{f_y} b_w d \quad [\text{식 10.2.3}]$$

$$A_{s, \min} = \frac{1.4}{f_y} b_w d \quad [\text{식 10.2.4}]$$

- ② 정정구조물로서 플랜지가 인장 상태인 T형 단면에 대하여 철근의 단면적 $A_{s, \min}$ 은 아래 식에 의해 계산되는 값과 ①식에서 b_w 를 플랜지의 폭으로 하여 계산되는 철근 단면적의 값 중에서 작은 값 이상으로 하여야 한다.

$$A_{s, \min} = \frac{0.5 \sqrt{f_{ck}}}{f_y} b_w d \quad [\text{식 10.2.5}]$$

- ③ 부재의 모든 단면에서 해석상 필요한 철근량보다 1/3 이상 인장철근이 더 배근되는 경우에는 ①과 ②의 규정을 적용하지 않을 수 있다.
- ④ 구조용 슬래브와 기초판에서의 철근의 최대 간격은 슬래브 두께의 3배와 400mm 중에서 작은 값을 초과하지 않도록 하여야 한다.
- ⑤ 축방향 철근

가. 압축부재의 축방향 철근량은 기둥 전체 단면적의 1% 이상 8% 이하이어야 한다. 그리고 축방향 철근은 철근배치가 원형일 경우에는 6개 이상, 사각형일 경우에는 4개 이상으로 배근되어야 한다. 이 때 철근의 크기는 D16 이상이어야 한다.

나. 하중에 의해 요구되는 단면보다 큰 단면으로 설계된 압축부재에서는 감소된 유효단면적을 사용하여도 된다. 이 때 감소된 유효 콘크리트 단면적은 총단면적의 1/2 이상이고, 축하중을 지지하기 위해 1%의 축방향 철근을 요구하는 단면적 이상이어야 한다.

⑥ 건조수축 및 온도철근

가. 교대, 기초 등 교량 하부구조에 배치하여야 하는 온도·수축철근의 단면적은 $0.0015hs$ 이상이어야 한다. 여기서, h 는 부재의 두께이며 s 는 온도·수축철근의 간격이다. 다만, 부재의 두께가 1,200mm를 초과하는 기초판의 경우에는 h 를 1,200mm보다 크게 취할 필요는 없다.

나. 온도·수축철근은 벽체와 슬래브의 노출면에 가깝게 양면의 각 방향으로 각각 단위 m당 300.0mm^2 이상 배근하여야 하며 철근의 간격은 벽체 또는 슬래브 두께의 3배 이하 400mm 이하이어야 한다.

(6) 압축부재 철근의 배근

① 축방향 철근¹³⁾

기둥철근과 코핑 상면 인장철근의 간섭의 경우, 기둥 주철근을 코핑상부 인장철근 하단에서

절단하며 기둥철근과 코핑 하면압축철근의 간섭의 경우, 코핑부 기둥철근은 유효단면의 1% 이상을 만족하고 구조계산상 여유가 확보되면 2단 철근 중 1단은 코핑하단에 정착한다.

② 횡철근

가. 일반사항

하중재하조건에 의해 요구되는 단면보다 큰 단면을 갖는 압축부재에서 횡철근 요구 조건은 구조해석이나 시험에서 구조적으로 충분한 강도를 발휘하는 것을 보여주는 경우에는 적용하지 않아도 된다.

나. 나선철근

(가) 나선철근은 지름이 9mm 이상으로 그 간격이 균일하고 연속된 철근이나 철선으로 구성되어야 한다.

(나) 나선철근비 ρ_s 는 [식 10.2.6]에 의해 계산된 값 이상이어야 한다.

$$\rho_s = 0.45 \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \frac{f_{ck}}{f_y} \quad [\text{식 10.2.6}]$$

여기서, f_y 는 나선철근의 설계기준 항복강도로 400MPa 이하이어야 한다.

(다) 나선철근의 순간격은 25mm 이상 또는 굵은골재 최대치수의 4/3배 이상이어야 하며, 중심 간격은 주철근 직경의 6배 이하로 하여야 한다.

(라) 나선철근의 정착은 나선철근의 끝에서 추가로 심부 주위를 1.5회전시켜 확보한다.

(마) 나선철근은 확대기초 또는 다른 받침부의 상면에서 그 위에 지지된 부재의 최하단 수평철근까지 연장되어야 한다.

(바) 나선철근의 이음은 철근 또는 철선지름의 48배 이상, 300mm 이상의 겹침이음 이거나 용접이음 또는 기계적 연결이어야 한다.

(사) 나선철근은 설계된 치수로부터 벗어남이 없이 다룰 수 있고 배치할 수 있도록 그 크기가 확보되어야 하고 또한 이에 맞게 조립되어야 한다.

다. 띠철근

(가) D35 미만의 종방향 철근은 D10 이상의 띠철근으로 D35 이상의 종방향 철근과 다발 철근은 D13 이상의 띠철근으로 둘러싸여져야 한다. 이 때 띠철근 대신 등가단면적의 이형철선 또는 용접철망을 사용할 수 있다.

(나) 띠철근의 수직간격은 압축부재 단면의 최소치수 이하, 300mm 이하이어야 한다. 다만 D35 이상의 철근이 한 다발 내에 2개 이상으로 묶여 있을 경우에는 띠철근 간격을 위에 규정된 값의 1/2로 취하여야 한다.

(다) 확대기초의 상면 또는 교차되는 골조부재에서 가장 가까이 배근된 종방향 철근으로부터 첫 번째 배근되는 띠철근은 배치간격을 다른 띠철근 간격의 1/2이하로 하여야 한다. 또한 슬래브나 드롭패널에 배근된 최하단 수평철근 아래에 배근되는 첫 번째 띠철근도 다른 띠철근 간격의 1/2 이하이어야 한다.

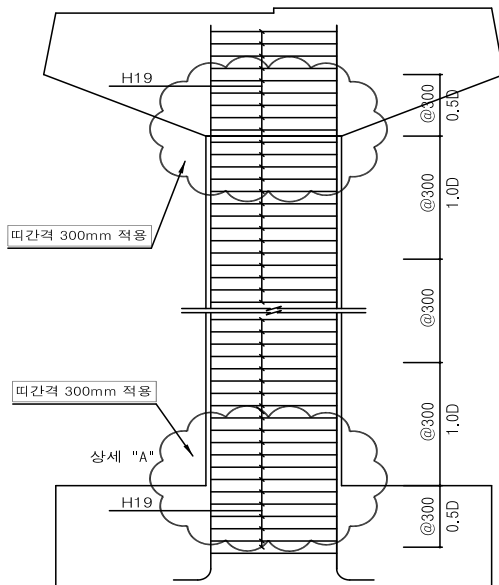
(라) 구속된 종방향 철근으로부터 띠철근을 따라 어느 쪽으로든지 600mm 이상 떨어진 축방향 철근이 없어야 한다. 이 때 구속된 종방향 철근은 135° 이하로 구부러 가공된 띠철근 모서리에 의해 횡지지 되어야 한다. 그러나 종방향 철근이 원형으로 배치된 경우에는 원형 띠철근을 사용할 수 있다.

라. 배근시 유의사항¹⁴⁾¹⁵⁾

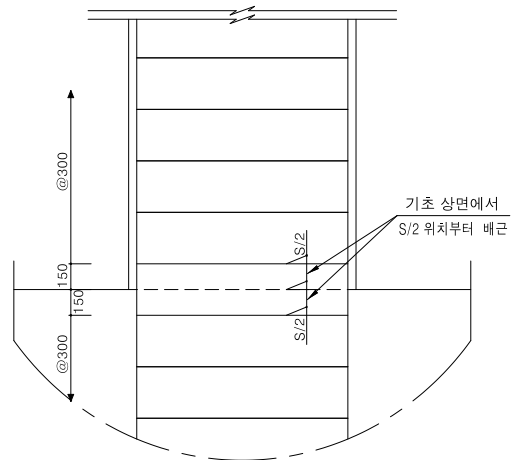
(가) 기둥 횡방향 철근이 탄성설계 구간중 띠철근 역할만 수행하는 경우 300mm로 띠철근을 배근한다. <그림 10.2.10>

(나) 단면 변화부(기초상단, 코핑하단)에서 일반구간 배근간격의 1/2지점(150mm)에 첫 번째 띠철근이 위치하도록 배근하여 시공이음부에 띠철근이 배근되지 않도록 한다. <그림 10.2.11>

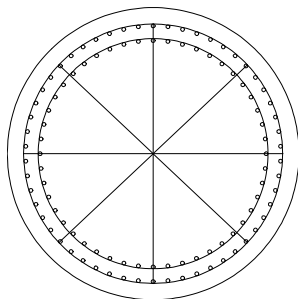
(다) 원형교각 주철근 및 띠철근의 형상을 유지하고 작업발판의 역할을 하는 결속철근의 경우 D19, 4개소로 설치하며 설치간격은 교각 높이 방향으로 1,800mm로 배근한다. <그림 10.2.12>



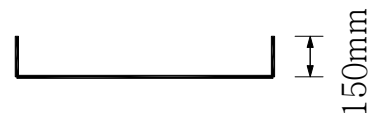
<그림 10.2.10>



<그림 10.2.11>



<그림 10.2.12>



14) 원형교각 결속철근 시공 효율화 방안 (건설지 10105-90, 04.09.24)

15) 교각단면 변화구간 띠철근 배근 적정성 검토 (설계처 3434, 07.12.3)

(7) 철근의 배근 요령¹⁶⁾

- ① 기둥, 벽 등 하측에서부터 주철근이 고정되어 가는 구조에서는 배력철근을 외측에 배치한다.
- ② 평행날개벽처럼 주철근이 수평철근이고 그 방향에서 철근이 고정되는 경우는 수직철근을 외측에 배치한다. 같은 평행날개벽에서도 2방향판의 경우는 확대기초에서 세워 올린 철근을 내측으로 설치하는 것이 바람직하다.
- ③ 압축철근은 좌굴방지를 위해서 배력철근을 외측에 배치하는 것이 바람직하다.
- ④ 배력철근은 통상 기둥에서의 집중하중을 분산시키는 의미에서 주철근이 25% 정도로 하고 D13mm, 간격 300mm 이상으로 하는 것이 바람직하다.
- ⑤ T형 교각 기초 상면은 압축응력이 발생하므로 겹침이음길이 산정시 인장철근의 겹침이음 길이를 산정하지 않도록 주의해야 한다.

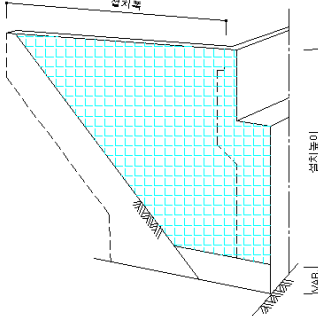
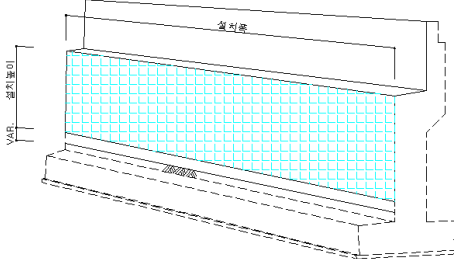
(8) 철근의 구조세목

철근의 피복두께, 갈고리 및 구부리기, 이음에 대한 세목은 도로교설계기준 4.3구조상세를 따른다.

(9) 구조물 표면 마무리¹⁷⁾

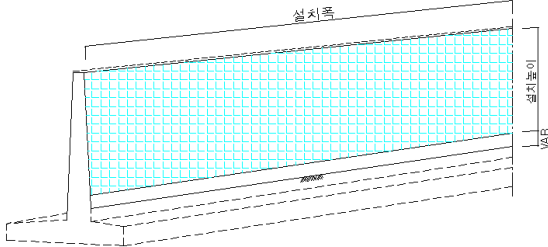
구조물의 시공장소에 따라 다양하고 미관이 수려한 표면 마무리를 적용하여 친환경적인 구조물을 건설하는 것이 바람직하다.

- ① 교량 및 옹벽: 도시내 중요도로(고속도로, 국도 및 도시계획도로 등) 교차점이나 사람의 통행이 빈번한 장소 또는 경관 보존이 필요한 장소에 위치하는 교량 날개벽이나 교각, 교대, 옹벽 노출면 및 기타 필요하다고 판단되는 위치 등

구 분		설치부위	사용재료
교 량	날개벽	- 교대 날개벽 전면부에 가시가 확보된 부분에 설치 	무늬목, 도료, 돌붙임, 타일, 외부 마감용 판넬 등
	교대	- 교대 벽체 전면부에 가시가 확보된 부분에 설치 	

16) T형 교각 기초 상면철근 겹침이음 길이 검토 (설계처 3242, 06.12.12)

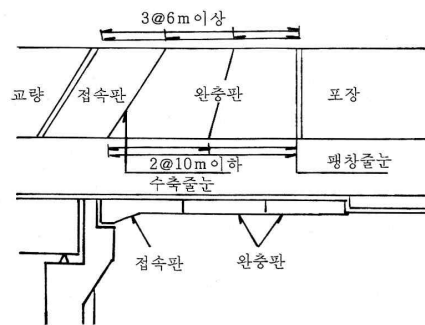
17) 구조물 표면 마무리 개선방안 (설계처 1832, 05.06.28)

구 분	설치부위	사용재료
용 벽	- 용벽 벽체 전면부에 가시가 확보된 부분에 설치 	무늬목, 도료, 돌붙임, 타일, 외부 마감용 판넬 등

10.2.8 접속판

(1) 접속판 설치 일반

- ① 교대와 뒷채움부간의 부등침하 효과를 감소시켜 교량과 교량접속 포장사이의 단차를 방지하고 이에 따른 포장체의 파손 및 주행성 저하 방지에 그 목적이 있다.
- ② 교량 접속부 포장은 교면포장과 동일한 80mm의 아스콘 포장으로 한다.
- ③ 접속판의 설치폭은 차선 및 내외양측대를 포함한 폭을 원칙으로 하며, 접속판의 길이는 6~10m로 한다. 노면에 중형단 구배가 있는 경우에는 구배에 일치시키는 것을 원칙으로 한다
- ④ 연약지반상에 만들어진 교대중 지반의 잔류침하가 커서 접속판의 설치효과가 충분히 나타나지 않는 곳에서는 접속판을 설치하지 않는다. 완충판의 길이는 단변장을 6m 이상 장변장을 10m 이하로 설치하며, 6차선 이상의 교량에서 θ 값이 적은 경우에는 설치판수 및 단변장을 조정할 수 있다.
- ⑤ 교대 높이가 10m 이하인 경우 접속판(approach slab) 1판과 완충판(connection Slab) 1판 설치를 원칙으로 한다. 단, 교대 높이가 10m 이상인 경우 완충판의 설치매수를 1판으로 추가해도 좋으며 사각에 따라 조정할 수 있다.¹⁸⁾



<그림 10.2.13>

- ⑥ 본선교량부의 경우 통상적으로 평면곡선반경의 크기가 700m 이상(편경사 : 5%)인 경우 라텍스콘크리트를 적용하고, 인터체인지 교량부의 경우 일반적으로 아스팔트형식(SMA)를 적용하되, 평면곡선반경이나 편경사의 영향이 크지 않은 경우 인터체인지 교량부도 라텍스콘크

18) LMC 교면포장 적용개선 검토 (설계구 10201-302, 03.08.20)

리트를 적용한다.

(2) 설계 일반

① 설계지간 및 지지조건

접속판 길이(교축방향)의 70%를 지간으로 한 단순보로 계산해도 좋다.

② 하중

가. 고정하중(단위체적중량)

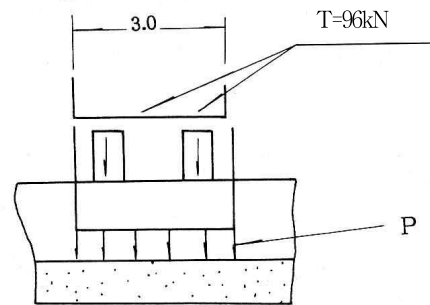
접속판 위의 포장: 23.0 kN/m^3

(접속판의 설치깊이 1m 정도까지는 모두 포장으로서 취급한다).

철근콘크리트판: 25.0 kN/m^3

나. 활하중

활하중은 DB-24하중을 재하하기로 한다. 충격계수는 i 는 0.3으로 한다.



<그림 10.2.14> 활하중 재하방법

$$P = \frac{2 \times 96.0 \times (1 + i)}{3 \times (0.2 + 2D)} (\text{kN/m}^2) \quad [\text{식 10.2.7}]$$

③ 접속판은 ‘도로교설계기준 제2장 설계일반 2.2.3.2 설계하중조합 및 2.2.3.3 설계강도의 하중계수를 적용하여 설계하기로 한다.

④ 철근배치

가. 철근의 덮개는 인장측에서 55mm, 압축측에서 35mm 이상을 원칙으로 한다.

나. 인장철근, 인장측 배력철근의 간격은 150mm, 압축측 철근의 간격은 300mm 정도로 한다.

다. 인장철근측의 배력철근은 인장주철근의 1/4 이상으로 한다.

라. 압축측 주철근은 인장주철근의 1/3 이상으로 하고 배력철근은 인장측 배력철근의 1/2 정도로 한다.

마. 스테럽은 300mm 간격으로 하고 철근은 D13을 사용한다.

⑤ 사각을 갖는 접속판

가. 휨모멘트의 계산

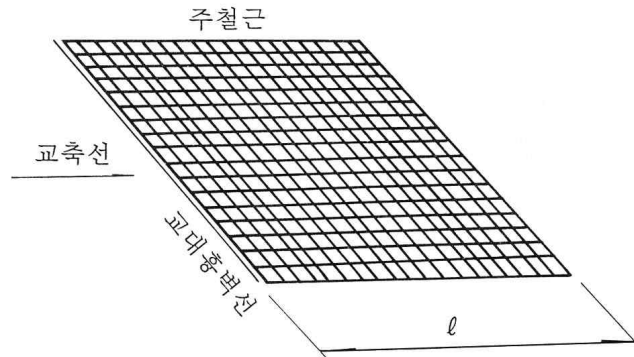
지간 ℓ 은 <그림 10.2.15>와 같이 교축방향의 길이를 ℓ 로 한다. 이 경우 계산폭은 교축방향의 단위폭을 취한다.

나. 주철근의 배치

주철근은 교축방향과 일치시킨다.

다. 배력철근

사각 = $\theta \geq 60^\circ$ 인 경우



<그림 10.2.15> 접속판의 지간

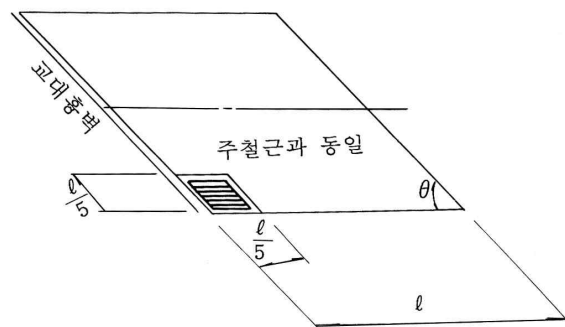
인장철근측의 배력철근은 인장주철근의 2/3 정도로 한다. 압축측 주철근은 인장측주철근의 1/3 이상으로 하고, 배력철근은 인장측 배력철근의 1/2 정도로 한다.

사각 = $\theta < 60^\circ$ 인 경우

배력철근 방향의 단면력은 사각에 따라 커지는 경향이 있으며 사각 60° 일 경우 주철근 방향의 80% 정도까지 된다. 따라서 $\theta < 60^\circ$ 일 때는 배력철근에 대해 별도 고려하도록 한다.

라. 가외 철근

사각이 $\theta = 45^\circ$ 이하인 경우에는 받침대 위의 경사판 둔각부의 상측에 주철근과 같은 양의 가외철근을 배치한다. 가외철근을 넣는 범위는 교축 및 교대 홍벽 방향에 각 경사지간의 $l/5$ 로 한다.(<그림 10.2.15>를 참조)



<그림 10.2.15> 가외철근의 배근 범위

⑥ 받침 및 다우웰 설치

가. 받침

고무받침은 $150 \times 150 \times 15\text{mm}$ 규격을 사용하고 받침간격은 400mm 를 원칙으로 한다.

나. 접속판과 날개벽, 접속판과 교대 사이에는 20mm 두께의 스티로폼을 삽입한다. 단, 차도 부에 길어깨가 있는 경우에는 접속판과 날개벽 사이에는 설치하지 않는다.

다. 다우웰 설치

(가) 다우웰의 규격은 D22 이상, 길이 400~600mm를 사용한다.

(나) 다우웰의 설치간격은 400mm를 표준으로 한다.

(다) 다우웰의 주변에는 보강철근(Spiral D16)을 설치한다.

⑦ 기 타

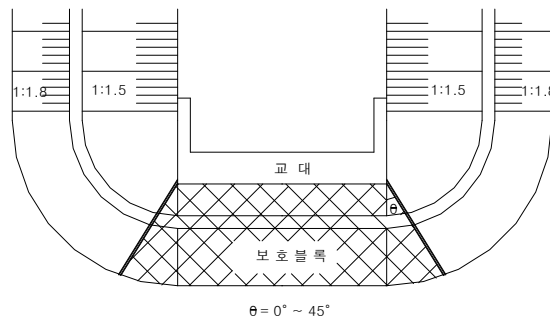
가. 접속판과 흥벽간, 접속판과 받침대간 및 접속판과 날개벽간에는 각각 줄눈채움재를 삽입한다.

나. 단, 차도부에는 길어깨가 있는 경우 접속판과 날개벽간에는 줄눈채움재를 삽입하지 않아도 좋다.

10.2.9 교대 보호블럭의 설계¹⁹⁾

(1) 교대 법면의 세굴 및 유실을 방지하기 위하여 교대법면 보호블럭을 설치한다. <그림 10.2.16>

- ① 설치각도를 $0^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 로 조정 블록 설치면적이 최소화하도록 한다.
- ② 법면보호부위 잔디 생육을 위한 일조시간은 일 5~6시간 이상이어야 하므로 일조가 가능한 부위는 설치각도를 조정한다.
- ③ 교대 보호블럭 사이에 잡초생장을 방지하기 위해 바닥콘크리트를 타설하고 블록시공을 하여 교대의 미관중대 및 교대 앞채움 법면을 보호한다.

(주 : 설치각도는 현장여건에 따라 $\theta=45^{\circ}$ 미만의 범위내에서 조정 설치)<그림 10.2.16> 설치각도 0° 인 경우

(2) 교대 보호블럭의 형식별 설치는 [표 10.2.3]과 같다.

[표 10.2.3] 교대 보호블럭

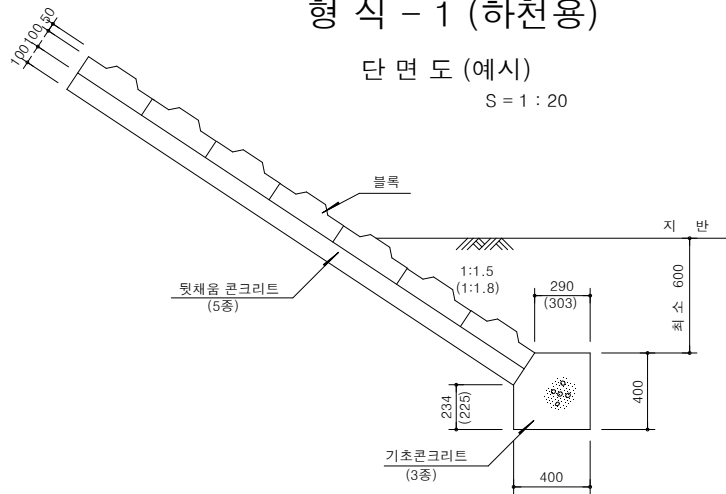
구 분	내 용	적 용
하천교량	· 교대보호블럭의 설치가 필요한 구간 중 교대 앞성토의 사면이 홍수위시 수면과 접하는 구간이 있을 때	<그림 10.2.17> 하천용 교대 보호블럭
	· 교대 앞성토의 사면이 홍수위시 수면과 접하는 구간이 없을 때	<그림 10.2.18> 육교용 교대 보호블럭
육 교	· 하천용 교대 보호블럭 적용교량 이외의 모든 교량	<그림 10.2.18> 육교용 교대 보호블럭

19) 교대 법면보호블럭 설치 기준검토 (설계기 13201-198, 00.5.16)

형 식 - 1 (하천용)

단 면 도 (예시)

S = 1 : 20



재 료 표 (기초)

(형식-1)

(m 당)

공 종	규 격	단 위	수 량	비 고
콘크리트	3층	m ³	0.151 / 0.152	경사:1:1.5 / 경사:1:1.8
거꾸집		m ²	0.634 / 0.625	경사:1:1.5 / 경사:1:1.8

* 5층 뒷채움 콘크리트는 별도 계상

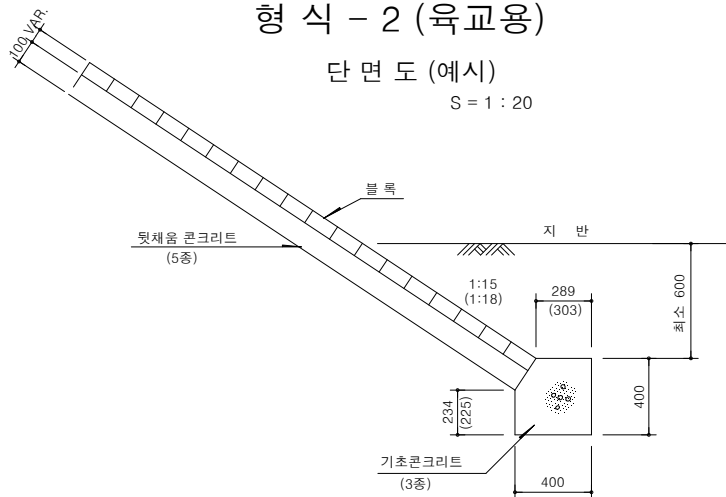
배수 파이프 (P.V.C)
 Ø50 L=70cm
 0.5EA/m²

<그림 10.2.17>

형 식 - 2 (육교용)

단 면 도 (예시)

S = 1 : 20



재 료 표 (기초)

(형식-2)

(m 당)

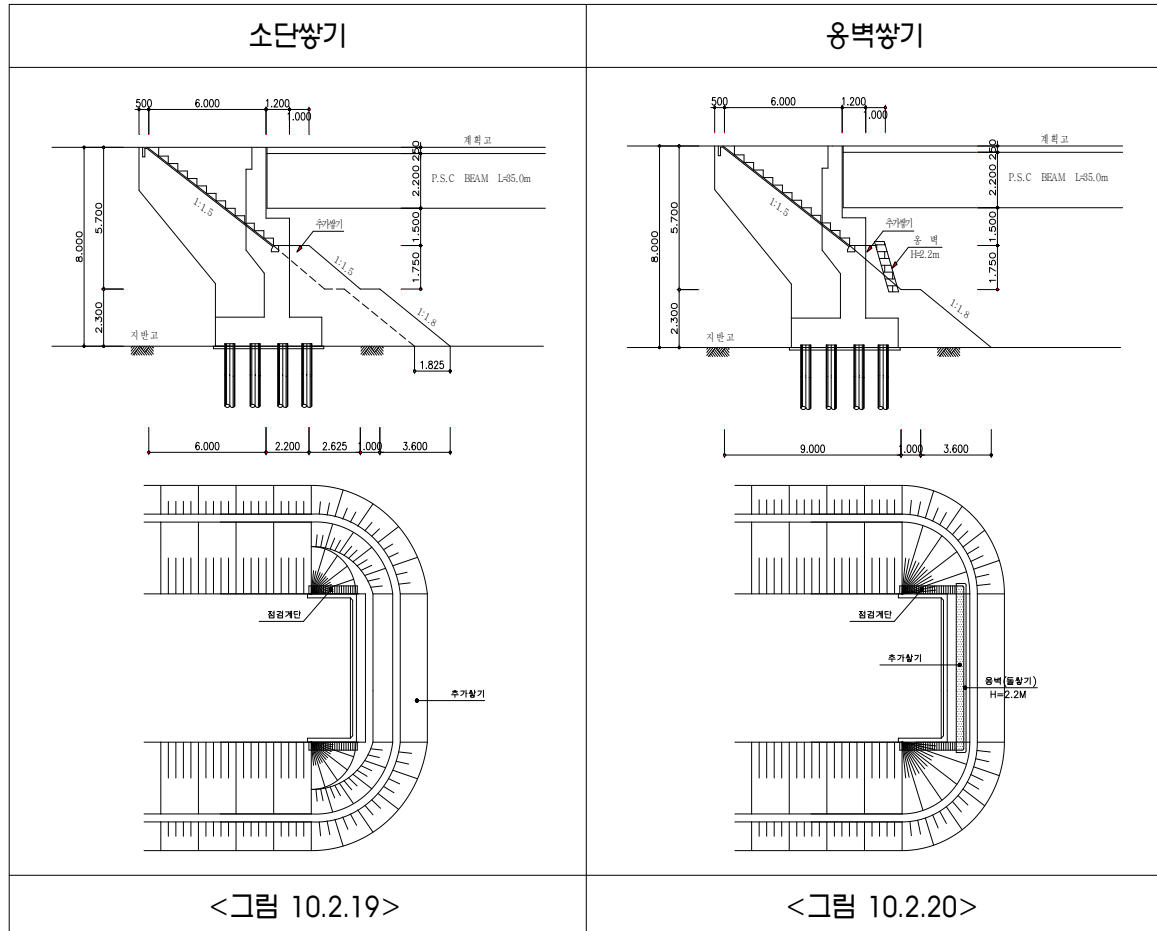
공 종	규 격	단 위	수 량	비 고
콘크리트	3층	m ³	0.151 / 0.152	경사:1:1.5 / 경사:1:1.8
거꾸집	합판 6회	m ²	0.634 / 0.625	경사:1:1.5 / 경사:1:1.8

* 5층 뒷채움 콘크리트는 별도 계상

<그림 10.2.18>

10.2.10 교량 점검공간 확보를 위한 교대 앞성토 설치²⁰⁾

- (1) 교량하부 점검이 가능하도록 폭 1.0m, 높이 1.5m의 점검공간을 확보하도록 한다.
- (2) 교량하부 공간에 여유가 있어 추가성토시 문제가 없는 경우 소단을 추가설치하며, 여유가 없는 경우 용벽쌓기로 한다. <그림 10.2.19><그림 10.2.20>

10.2.11 교량 세굴 방지를 위한 사석보호공²¹⁾

- (1) 홍수량, 세굴심도 및 사석의 크기 산정은 하천설계기준(국토해양부, 2005)에서 제시한 방법을 적용한다.
- (2) 세굴방지공 설치는 기초가 위치하는 지반의 특성을 반영하여 다음과 같이 적용한다.

20) 교대 앞성토 설치 기준 (설계도 13201-226, 02.5.28)

21) 교량기초 세굴방지공 설치기준 개선 (설계처-2546, 2009.5.11)

[표 10.2.5] 예상세굴심 위치에 따른 세굴방지공 설치 방법

기초가 위치하는 지반의 종류	예상세굴심 위치에 따른 설치 방법	
	기초 하단 아래 위치	기초 상단~하단 위치
토사 (파일기초)	기초 E를 예상세굴심보다 낮추는 경우 와 세굴방지공 설치시의 경제성을 비교 검토하여 적용	세굴방지공 불필요, 유수에 저항 가능한 사석 채움 실시
풍화암 (직접기초)	기초 E를 예상세굴심보다 낮추는 경우 와 세굴방지공 설치시의 경제성을 비교 검토하여 적용	세굴방지공 불필요, 유수에 저항 가능한 사석 채움 실시
연·경암 (직접기초)	기초를 암반에 0.3m 근입, 0.3m 콘크리트 타설후 상부에 사석채움 실시	세굴방지공 불필요, 유수에 저항 가능한 사석채움 실시

(3) 사석의 품질은 다음 사항을 고려하여 적용한다.

- ① 사석은 유수에 의한 유출방지를 위해 적정비중을 유지해야 하며, 수중에 설치되는 점을 감안하여, 물에 풍화되기 쉬운 암석 및 절리가 발달된 암석은 사석으로 사용해서는 안된다.
- ② 암석의 화학적 풍화작용 및 장석의 풍화는 장구한 시간이 요구되므로 사석선정시 고려하지 않아도 된다.
- ③ 따라서, 비중이 상대적으로 낮은 제주 현무암과 풍화에 대한 내구성이 약한 퇴적암류(사암, 역암, 이암, 혈암, 석회암, 용회암)의 경우 사석으로 적절치 않고 그 외 암석은 사석으로 사용한다.

10.3 직접기초

10.3.1 설계 일반

(1) 지지지반의 선정

직접기초는 원칙적으로 양질의 지지층에 지지시키기로 한다. 일반적으로 양질 (점성토 $N > 20$, 사질토 $N > 30$)인 지반이 지표면 아래 5m 이내에 있으면 직접기초로 할 수 있지만, 중간층을 지지층으로 하는 경우, 물막이 등이 곤란한 경우 또는 지표면 아래 5~10m에 지지층이 있을 경우 충분히 검토한 후에 근입깊이를 정하여야 한다.

(2) 기초의 근입깊이

- ① 하천의 흐름, 바다, 호수의 파랑에 의한 세굴과 하상저하 경제성을 고려하여 동결 및 세굴 심도 아래에 푸탕하단이 위치하도록 한다.

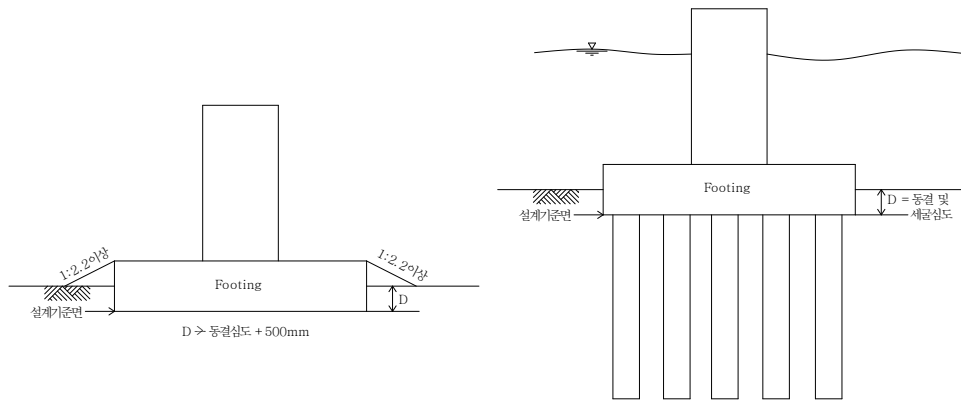
- ② 압밀침하를 일으키는 깊이 지지력 및 침하량에 대한 안전성 검토를 하여야 한다.

직접기초는 푸탕하단의 근입깊이가 동결심도 + 500mm이고 말뚝기초는 푸탕하단의 근입깊이가 동결심도로 한다.

단, 향후 교량 하부공간 활용이 예상되는 경우 푸탕상단이 지표 아래에 위치

※ 동결심도 : 포장 설계시의 완전방지법으로 구한 동결심도

※ 설계기준면 : 푸탕의 하단으로 함



<그림 10.3.1> 기초의 근입깊이

- ③ 지하매설물 및 인접구조물의 영향
- ④ 동결작용을 받는 깊이
- ⑤ 지하수위
- ⑥ 시공성과 경제성

10.3.2 하중분담

연직하중은 직접기초 저면의 지반만으로 지지시키기로 하고 수평하중은 저면의 활동저항만으로 지지시키는 것을 원칙으로 한다.

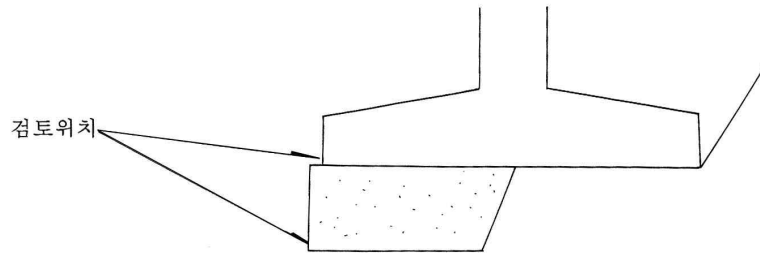
10.3.3 지반반력

- (1) 직접기초의 지반반력은 지반반력계수를 이용하여 산정하는 것으로 한다.
- (2) 지반반력계수는 지반조사와 실내 토질시험 및 원위치시험(CPT, PMT, DMT, SPT 등)의 결과를 종합적으로 검토하여 결정한다.

10.3.4 직접기초의 안정

(1) 안정계산

- ① 일반적으로 직접기초에서 근입부분은 통상 장래 변동을 예상한 최소근입깊이로 그치는 경우가 많고 시공상에서 굴착토를 그대로 되메우기 하는 경우가 많고 다짐도 완전하지 않으므로 근입부의 앞면 저항토압을 고려하지 않고 저면에서만 저항하는 것으로 하였다.
- ② 직접기초에서 콘크리트로 치환하는 경우 기초의 안정에 크게 영향을 미친다고 생각되는 경우는 <그림 10.3.2>와 같이 치환콘크리트 저면에서의 안정도 검토한다.



<그림 10.3.2> 치환콘크리트의 안정 검토

(2) 지반의 허용 연직지지력

① 지반의 허용 연직지지력은 하중의 편심경사를 고려해서 구한 지반의 극한지지력을 안전율로 나눈 값이다. 다만 안전율은 상시 3, 지진시 2로 한다.

② 허용지지력 산정

지반의 허용지지력은 구조물 기초설계기준해설, 2003, (한국지반공학회) 4.3 지지력 산정을 따른다.

(3) 활동에 대한 안정

① 기초저면의 활동에 의한 안전율 및 활동저항식은 다음과 같다.

$$R_H = C_B A' + V \tan \phi_B \quad [\text{식 10.3.1}]$$

여기서, R_H : 기초저면에서의 활동저항 (kN)

C_B : 기초저면과 지반과의 사이의 점착력 (kN/m²)

ϕ_B : 기초저면과 지반과의 사이의 마찰각 (도)

A' : 유효재하면적 (m²)

V : 연직하중(kN) 단 부력을 뺀 값으로 한다.

[표 10.3.1] 안전율

구 분	안 전 율
상 시	1.5
지 진 시	1.2

- ② 활동에 대해서는 원칙적으로 기초저면의 활동저항만으로 저항하는 것으로 하고 돌기는 만들지 않기로 한다. 부득이 돌기를 만드는 경우는 경암 등 양호한 지반을 대상으로 하여 수평력을 지반에 전달하기 위해 지지지반에 충분하게 매입시키기로 한다.

[표 10.3.2] 마찰각 및 점착력

조 건	마찰각 ϕ_B (마찰계수 $\tan \phi_B$)	점착력 C_B
흙과 콘크리트	$\phi_B = 2/3 \phi$	$C_B = 0$
암석과 콘크리트	$\tan \phi_B = 0.6$	$C_B = 0$
흙과 흙 또는 암석과 암석	$\phi_B = \phi$	$C_B = 0$

여기서, ϕ : 지지지반의 내부마찰각 (도)

C : 지지지반의 점착력 (kN/m^2)

[표 10.3.3] 마찰계수

조 건	흙의 종류	마찰계수($\tan \phi_B$)
흙과 콘크리트	자갈 또는 자갈과 모래의 혼합물	0.55
	모래	0.50
	사 질 토	0.45

(4) 전도에 대한 안정

편심하중을 받는 기초에서는 전도에 대한 안전을 검토하여야 한다. 이 경우 기초저면에서 하중의 작용위치는 기초 외연단에서 측정하여 상시에는 저면폭의 1/3, 지진시에는 1/6 보다 내측에 있어야 한다. 안전율은 상시 1.5, 지진시 1.1로 한다.

10.3.5 기초저면의 처리

- (1) 직접기초의 저면은 지지지반에 밀착하고 충분한 활동저항을 갖도록 설계하여야 한다.
- (2) 치환콘크리트를 설치하는 경우는 하부구조 구체와 일체가 되도록 한다. 또 지지지반이 급사면으로 치환콘크리트의 두께 및 폭이 크게 될 때는 구체에 단을 쌓는 것을 고려해도 좋다.

10.4 말뚝기초

10.4.1 설계 일반

(1) 기본사항

- ① 설계는 상부구조, 교대 및 교각 등에서의 외력조건과 토질 및 지질조사에서의 지반조건으로부터 말뚝머리에 생기는 반력이 말뚝의 허용지지력 이하로 되도록 설계한다.
- ② 일률적인 강관말뚝의 최적규격을 도출하는 것은 다소 무리가 있는바, 교량하부의 기초형식 선정시 강관말뚝에 대하여는 지층의 토질상태, 항타깊이(말뚝의 길이), 교량의 상부 및 하부 형식 등을 종합적으로 고려하여 경제성 검토를 통한 최적규격을 산정하여 실시설계에 적용한다.²²⁾
- ③ 임반에 지지되는 강관말뚝기초의 선단지지력 산정시 도로교표준시방서의 참고 자료인 「연암, 이암을 지지층으로 하는 타입강관말뚝의 축방향 지지력의 추정방법(안)」을 적용하되, 고려대상이 되는 지지층의 심도, 기반암의 상태(암석 종류, 절리, 풍화도, 지하수 등) 등과 같은 지반조건에 따라 지지력 산정방법이 달리 선택될 수 있으므로 지반분야 기술자의 세밀한 검토를 거친 후 다른 방법을 적용한다.²³⁾
- ④ 기초 설계시 토질 및 기초분야 기술자의 참여를 유도하고, 설계에 대한 책임 소재를 명확히 하기 위하여
 - 가. 일반보고서와 구조 및 수리계산서의 기초산정 및 구조계산 부분에 토질 및 기초분야 책임기술자의 구체적인 검토내용을 수록하고,
 - 나. 구조물도의 중평면도, 지질주상도상세와 교각 및 교대 일반도에 토질 및 기초분야 책임기술자의 서명을 추가한다.

(2) 지지층의 선정

- ① 말뚝기초는 양질인 지지층에 지지시키는 지지말뚝을 원칙으로 한다.
- ② 양질인 지지층이 매우 깊은 경우는 상부구조의 규모 및 형식에 따라 경제성을 고려하여 마찰말뚝으로 해도 좋다. 이 경우 침하에 대해 검토하고 상부구조에 지장이 없도록 한다.
- ③ 양질인 지지층의 두께가 얇고 그 아래에 연약한 층이 있는 경우 지지력 및 압밀침하에 대해 검토하기로 한다.

(3) 하중분담

- ① 설계에 있어서 연직하중, 수평하중은 모두 말뚝만으로 지지하기로 한다.
- ② 수평하중의 경우 기초 앞면에서 굴착토를 그대로 되메우기 하는 경우가 많으므로 흙의 성질이 균일하지 않고 다짐도 불충분하게 되기 쉽다. 따라서 기초 근입부분의 하중분담은 고려하지 않는 것으로 하였다.

(4) 말뚝의 재료허용하중

- ① 말뚝의 설계하중은 재료의 허용하중이내에서 결정한다.
- ② PC 및 PHC 말뚝의 허용 하중은 구조물기초설계기준 해설(2003, 한국지반공학회) 5.2.2 말

22) 강관말뚝 규격별 경제성 검토 (설계이 16210-170, 95.4.14)

23) 강관말뚝 기초 설계 개선방안 (설심일 13202-285, 00.7.20)

뚝 본체의 허용압축하중을 따르며, 현장타설말뚝의 허용하중은 콘크리트 표준시방서 해설 (2003, 한국콘크리트학회) 2.2.1의 배합강도 기준을 따른다.

(5) 말뚝배열상의 원칙

- ① 말뚝은 가능한 한 장기 지속하중에 대해서 균등한 하중을 받도록 배열한다.
- ② 말뚝은 2열 이상의 배열로 하는 것을 원칙으로 한다.
- ③ 경사말뚝은 원칙적으로 수직말뚝과 조합시켜서 사용하기로 한다.
- ④ 또 현장타설말뚝은 원칙적으로 경사말뚝을 사용해서는 안된다.
- ⑤ 경사말뚝의 경사각은 15° 이하로 한다. 특히 압밀침하가 생기는 지반에서는 경사말뚝을 사용하지 않는 것이 바람직하다.

(6) 말뚝의 최소중심간격

- ① 말뚝의 최소중심간격은 말뚝 지름의 2.5~3배로 한다.
- ② 말뚝중심에서 기초 연단까지의 거리는 기성말뚝에서는 1.25D, 현장타설말뚝은 1.0D(D는 말뚝직경)로 하고 말뚝 주변에서 연단까지의 거리는 최대 1.0m를 원칙으로 한다.

(7) 부의 주변마찰력

- ① 말뚝이 압밀침하 가능성이 있는 지반에 설치되는 경우에는 부주면마찰력을 고려하여야 한다.
- ② 부주면마찰력의 중립축의 위치, 압밀침하지반의 특성, 말뚝재료 특성을 고려하여 산정한다.
- ③ 무리말뚝에 대해서는 무리말뚝효과를 고려하여 부주면마찰력을 산정할 수 있다.
- ④ 부주면마찰력이 발생하는 지반조건에서는 선단지지력의 크기와 주면마찰력의 크기 및 분포를 판단할 수 있는 말뚝압축재하시험을 실시하여 축방향 허용압축지지력을 결정하는 것이 좋다.
- ⑤ 큰 값의 부주면마찰력이 예상되는 지반조건에서는 부주면마찰력 감소공법을 강구한다.

(8) 말뚝기초의 시공법²⁴⁾²⁵⁾

말뚝의 시공법의 결정은 주변여건(토질, 위치 및 환경적용 요인 등)을 종합적으로 고려해야 한다.

- ① 매입공법(선굴착)은 지지력 저하, 시공속도, 경제성 측면에서 불리하므로 도심지 근접 시공 시 소음 및 진동에 의한 민원을 최소화 해야 하는 부득이한 경우에 부분 적용한다.
- ② 항타 공법중 바이브레이션 및 드롭 Hammer 사용은 소음, 진동, 유원 등의 문제로 현장 적용성이 낮으므로 가급적 사용을 지양한다.
- ③ 유압 Hammer공법은 디젤 Hammer공법에 비해 경제성에서는 다소 불리하나 유연가스 및 소음, 진동을 저감시킬 수 있기 때문에 민가나 시설물 인접구간에 민원 해소에 최선의 대책이 될 수 있으므로 시단위 이하의 행정지역에서 주변에 민가나 시설물 등이 비교적 근접한 경우에 적용한다.
- ④ 디젤 Hammer는 사용시 사용적 저해 요인이 없는 나대지나 산악지역 및 농작물 피해발생 우려가 없는 지역 등에 사용한다.
- ⑤ 따라서, 말뚝기초 시공시 말뚝의 길이 및 직경을 고려하여 적정용량의 Hammer가 선정되면 시공법의 결정은 아래와 같은 기준으로 적용한다.

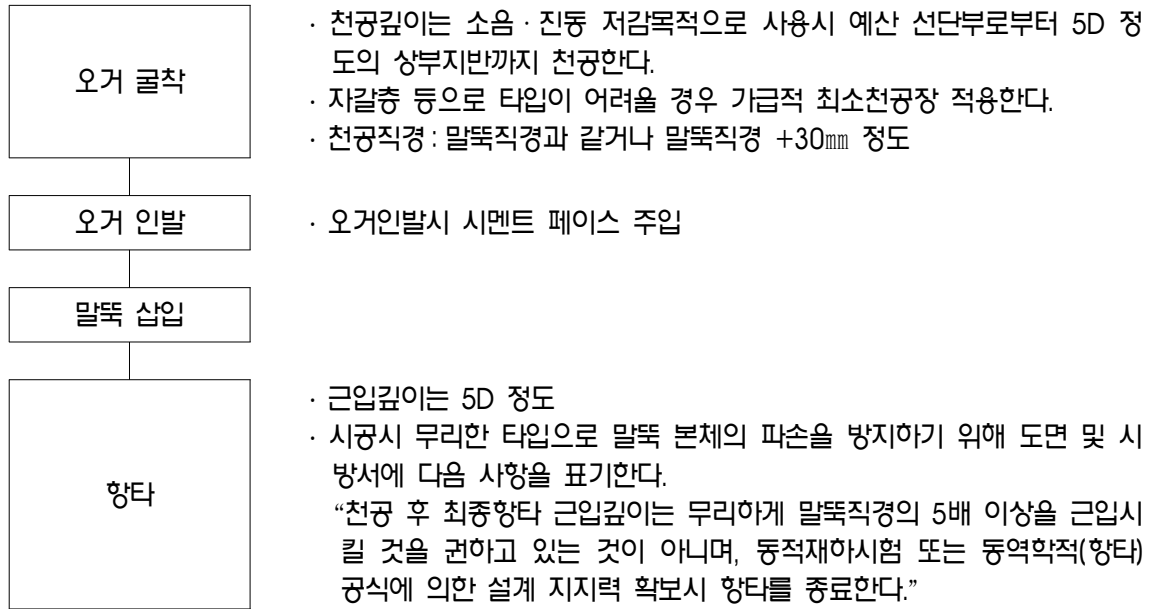
가. 매입공법 : 도심지내 근접시공 및 특수한 경우

24) Pile 시공법 적용성 검토 (설계일 16210-307, 96.9.16)

25) 천공, 항타공법 설계기준 검토 (설심일 13201-643, 99.7.8)

나. 유압햄머: 시단위 이하의 행정지역 중 주변에 민가나 시설물 근접지역 및 상수원 보호구역
다. 디젤햄머: 시공시 주변에 환경 저해 요인이 없거나 농작물 피해발생 우려가 없는 지역

- ⑥ 천공·항타공법은 일반적으로 가옥 및 축사 등이 근접하여 민원발생이 우려되는 경우 설계에 적용하고 있으나, 최종항타시 소음 및 진동이 타입말뚝과 유사하여 소음·진동의 저감을 위한 부대시설과 조합하여 적용하는 것이 바람직하며, 설계기준은 <그림 10.4.1>과 같다.



<그림 10.4.1>

10.4.2 스프링정수

(1) 축방향

- ① 말뚝의 축방향 스프링정수는 ‘도로교설계기준 하부구조편 5.8.8.1 말뚝의 축방향 스프링정수’에 의해 다음 방법으로 구한다.

가. 추정식에 의한 방법

나. 재하시험에 의한 방법

- ② 인발이 생기는 말뚝의 축방향 스프링정수는 압축 스프링정수와 같다 하여도 좋다.

(2) 축직각방향

연약지반(N값이 3정도 이하)의 경우는 추정식과 실측 K값의 오차가 크므로 L.L.T, 프레시오 메타 등의 보링공 내의 횡방향 재하시험을 병용해서 종합적으로 판단하여야 한다.

10.4.3 허용지지력

(1) 일반사항

- ① 말뚝의 축직각방향 스프링정수는 수평방향 지반반력계수를 이용하여 탄성지반 위의 보일러를 기초로 산출해야 한다.
- ② 연약지반의 축직각방향 스프링정수는 토질시험, 보링공내 재하시험 및 시험말뚝의 수평재하시험 등에 의해 종합적으로 판단하여 구하기로 한다.

- ③ 성토의 축직각방향 스프링정수는 충분한 조사를 하여 결정하여야 한다.
- (2) 외말뚝의 허용연직압축지지력
 허용연직압축지지력은 구조물기초설계기준 해설(2003, 한국지반공학회) '5.2.3 지반의 축방향 허용압축지지력'을 따른다.
- (3) 외말뚝의 허용연직인발력
 허용연직인발력은 구조물기초설계기준 해설(2003, 한국지반공학회) '5.2.8 말뚝의 허용인발력'을 따른다.
- (4) 외말뚝의 횡방향 허용지지력
- ① 허용수평변위량
 말뚝머리 허용변위량은 상시때 말뚝직경의 1%, 또는 15mm중 큰값을 적용한다.
- ② 횡방향 허용지지력
 횡방향 허용지지력은 구조물기초설계기준 해설(2003, 한국지반공학회) '5.3.2 외말뚝의 횡방향 허용지지력'을 따른다.
- (5) 무리말뚝의 고려
 말뚝 중심간격이 2.5D 미만의 경우에 무리말뚝의 영향을 고려하여 허용지지력 및 침하량의 검토를 하여야 한다.
- (6) 말뚝기초 재하시험의 설계적용²⁶⁾
- ① 연직재하시험

빈 도 \ 교 량	현장타설말뚝	기 성 말 뚝	비 고
교량별 말뚝수 처음 100본까지	정재하시험	동재하시험	
다음 250본까지	정재하시험	정재하시험	
이후 매 500본 마다	정재하시험	동재하시험	

가. 정재하시험은 반력말뚝 이용을 원칙으로 하되 현장여건에 따라 중량물재하 또는 동재하 시험방법으로 변경 적용

나. 정동재하시험은 시행실적이 미미하여 설계적용 대상에서 제외하였으나, 현장여건상 필요한 경우 적용가능

② 수평재하시험

빈 도	시 험 방 법	비 고
교량별	일방향 재하시험	현장타설 말뚝에만 적용

10.4.4 반력 및 변위량

- (1) 말뚝반력과 변위량은 확대기초를 강체로 보고 확대기초의 변위(연직, 수평, 회전 변위)를 고려한 탄성해석법(변위법)으로 계산하는 것을 원칙으로 한다.

26) 말뚝기초 재하시험 설계적용 기준 검토 (설계삼 16210-915, 97.12.16)

- (2) 특수한 조건인 경우 말뚝기초의 계산은 지반의 성질, 하중조건 및 기초전체의 안전성에 대한 검토를 하여 종합적으로 판단하여야 한다.

10.4.5 말뚝 본체의 설계

(1) 소요 말뚝개수의 설계

- ① 원칙적으로 계산은 구조물에 생각할 수 있는 하중의 종류와 하중조합에 대하여 실시하여야 한다. 단 부력 또는 양압력이 작용하는 경우에는 이 영향을 고려한다. 또 온도변화의 영향, 유수압, 충돌하중 및 풍하중 등을 고려하는 경우에는 활하중을 재하하지 않는 경우에 대해서도 검토하여야 한다.

[표 10.4.1] 말뚝기초의 하중상태

종 류	하중의 조합	비 고
교 대	고정하중 + 활하중 + 토압	보통은 검토하지 않아도 되지만, 심한 연약 점토 지반에서는 검토함
	고정하중 + 토압	
교 각	고정하중 + 활하중	

- ② 말뚝기초의 소요개수의 계산은 일반적으로 먼저 말뚝의 종류, 형상, 치수를 가정하고, 지반에 따라 구하는 말뚝 한 개의 허용지지력, 허용 수평저항력을 결정하고, 다음에 말뚝의 개수와 배치를 가정하여 말뚝머리에 생기는 반력을 구한다. 이 반력이 허용치를 넘는 경우에는 처음의 가정을 수정하여 다시 계산을 되풀이 한다. 이와 같이 소요말뚝개수는 시산법으로 구하는 것이 보통이다. 물론 변위량도 계산하여 허용변위량을 넘지 않도록 하여야 한다.

(2) 완성후의 하중에 대한 설계

- ① 축방향 압축력 또는 축방향 인발지지력에 대해 말뚝 본체 각 부분의 축력은 지반의 하중전이 특성을 고려하여 구한다. 하중전이 특성은 말뚝재하시험시 측정된 말뚝축하중으로부터 결정할 수 있다.
- ② 축직각방향력과 말뚝머리 모멘트에 의한 말뚝본체 각 부의 휨 모멘트 및 전단력은 말뚝을 탄성지반 상의 보로 가정하여 구한다.
- ③ 말뚝본체 각 부분은 축력, 휨모멘트 및 전단력에 대해 안전하여야 한다. 그리고 전길이가 땅속에 근입된 말뚝은 좌굴을 고려하지 않아도 되며, 지반위로 돌출된 말뚝에서는 좌굴에 의해 단면을 정할 수도 있다.

(3) 이음의 설계

- ① 말뚝의 이음도 본체와 동일하게 완성후의 하중에 대해서 안전하도록 설계하고 시공시의 타입하중에 대해서도 충분히 안전하도록 설계하여야 한다. 이음의 강도는 이음위치에서 말뚝 본체의 강도 이상이어야 한다. 단 설계 계산상 현장용접인 것을 고려해 허용응력을 85%로 저감하여 허용응력을 조사하기로 한다.
- ② 이음의 위치는 이음위치의 수, 시공성, 경제성 등을 종합적으로 검토하고 휨모멘트가 가능한 한 작아서 단면적에 여유가 있는 위치를 선택하기로 한다.

(4) 말뚝 머리부와 확대기초 결합부의 설계

말뚝과 확대기초의 결합부는 원칙적으로 말뚝머리 고정으로 설계하고 결합부에 생기는 응력에 대해 안전하도록 설계하여야 한다. 말뚝머리부의 일반적인 결합방식으로는 고정과 힌지 결합이 있는데 말뚝머리 고정으로 설계하면 수평변위량에 따라 설계가 지배되는 경우에 유리하고 부정정차수가 크기 때문에 내진상의 안전성이 높다고 할 수 있다.

10.4.6 구조세목

(1) 기성 철근콘크리트 말뚝

① 크기와 재질

가. 기성 철근콘크리트 말뚝은 'KS F 4301'(원심력 철근콘크리트 말뚝)의 규격에 적합한 것을 표준으로 한다.

나. 'KS F 4301'에 의하지 않는 경우는 관계시방서를 적용하고 KS에 준하여 설계하여야 한다.

② 말뚝의 선단

가. 기성 철근콘크리트 말뚝의 선단은 타격에 대해서 충분히 안전하고 타입하는 지반에 적합한 구조로 하여야 한다.

나. 기성 철근콘크리트 말뚝의 선단형상에는 폐단형, 개단형 등이 있지만 거의 폐단형이다. 이것은 철근콘크리트 말뚝 대부분이 디젤파일함머에 의한 타격공법에 의해 시공되고 선단부에서 배토량이 적어서 폐단형이 용이하게 타입되기 때문이다.

다. 일반적으로 폐단형은 폐색효과에 대한 문제가 없고 말뚝의 지지력 기능에 관해서는 뛰어난 형상이다. 그러나 높은 함수비의 점성토 지반 등에서 점성이나 부력에 의해 타입 능률이 현저히 저하될 수 있다.

라. 또 말뚝선단 지지층이 암반, 굳은 자갈층인 경우에는 타격력에 의해 선단부가 전단파괴를 유발하는 경우가 있으므로 말뚝 선단부를 얇은 강관으로 보호하는 것이 일반적이다.

③ 말뚝의 이음

기성 철근콘크리트 말뚝의 이음은 원칙적으로 이음철구를 이용한 아크용접 이음으로 한다. 기성 철근콘크리트 말뚝의 이음은 일반성이 없고 강도도 신뢰성이 부족하므로 RC 말뚝은 단본으로 사용하기로 하고 이음은 만들지 않기로 한다.

④ 말뚝 머리부와 확대기초 결합부

말뚝 머리부와 확대기초 결합부는 원칙적으로 강결로 한다. 이 경우 결합부에 생기는 각종 응력에 대해서 안전하게 설계하여야 한다. 프리스트레스 콘크리트 말뚝에 준하기로 한다.

(2) PSC · PHC 말뚝

① 크기와 재질

원심력을 이용해서 제조하는 PSC 및 PHC 말뚝은 'KS F 4303', 'KS F 4306' (프리텐션 방식, 원심력 고강도 프리스트레스 콘크리트 말뚝)의 규격에 적합한 것을 표준으로 한다.

② 말뚝의 선단

PSC 및 PHC 말뚝의 선단은 타격에 대해서 충분히 안전하고 타입하는 지반에 적합한 구조로 하여야 한다.

가. 프리텐션 방식의 말뚝 선단부는 폐단형과 개단형으로 크게 나눈다.

나. 선단부 구조는 지지지반의 경사나 토질상태, 시공법을 고려하여 필요에 따라서 보강하여

야 한다.

③ 말뚝의 이음

PSC 및 PHC 말뚝의 이음은 원칙적으로 이음 철구를 이용한 아크용접 이음으로 한다. 이음의 위치는 일반적으로 이음위치의 수, 시공법, 경제성 등을 종합적으로 검토해서 휨모멘트가 가능한 한 작은 지점을 선택하는 것이 바람직하다. 또 부식의 영향이 큰 곳에는 이음을 만들지 않는 것이 좋다.

④ 말뚝 머리부와 확대기초 결합부

말뚝 머리부와 확대기초 결합부는 원칙적으로 강결로 한다. 이 경우 결합부에 생기는 각종 응력에 대해서 안전하게 설계하여야 한다. 또 프리텐션 방식의 프리스트레스 콘크리트 말뚝의 말뚝 머리부 절단에 의한 PC 강봉의 응력감소범위는 강재 직경의 50배로 한다.

가. 설계계산은 ‘도로교설계기준 하부구조편 5.8.12.2 PSC · PHC 말뚝’을 참조한다.

⑤ PHC말뚝의 적용성²⁷⁾

가. PHC 말뚝을 항타시공하는 경우 말뚝이음 및 두부보강 위치를 사전에 정확히 예측하는 것이 불가하고, 군말뚝 침하량이 강관 말뚝에 비하여 과다하게 나타나는 경향이 있으며 윤반 및 두부 정리시 균열의 우려가 높아 본선교량 기초로 PHC 말뚝을 사용하는 것은 부적절하다.

나. 시공성, 경제성 및 말뚝 침하특성을 고려하여 본선 교량에 말뚝을 항타시공하는 경우 강관말뚝을 사용하며, PHC 말뚝은 선굴착 공법으로 시공되는 교각 또는 항타 시공되는 가시설 기초, 내진설계를 수행하지 않는 용벽기초에 대하여 경제성을 고려하여 적용하는 것으로 한다.

(3) 강말뚝

① 크기와 재질

강말뚝은 ‘KS F 4602’(강관말뚝), ‘KS F 4603’(H형 강말뚝)의 규격에 적합한 것을 표준으로 한다. 강말뚝의 각부 두께는 강도계산상 필요한 두께로 부식에 의한 감소 두께를 더해서 최소 9mm 이상으로 한다. 시공시에 말뚝이 받는 각종 응력에 대해서는 전단면을 유효한 것으로 한다.

가. 강말뚝은 ‘KS F 4602’, ‘KS F 4603’에 의해서 정하여진 치수나 재질의 것을 표준으로 한다. 또 강말뚝의 길이는 수송방법, 시공기계의 능력에 따라서 제한되지만 일반적으로 단관의 표준길이는 6m 이상 1m 단위로 12m 이하로 하는 것이 좋다.

나. 강말뚝의 각부 판두께는 압축, 인장, 휨, 전단 등 설계상 말뚝에 생기는 모든 응력에 대해 안정한 두께에 예상되는 부식량을 더한 값 이상으로 한다. 강말뚝의 외경에 따른 판두께의 범위는 [표 10.4.4]에 따르는 것이 좋다.

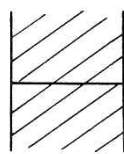
[표 10.4.4] 강관말뚝의 직경과 판두께의 범위

27) PHC 말뚝의 적용성 분석 (설계구 13202-576, 01.10.27)

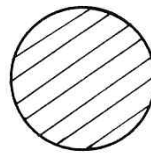
공칭직경 (mm)	판두께의 범위 (mm)
400	9~12
500	9~14
600~800	9~16
900~1,200	12~19
1,200~1,100	14~22
1,500~1,600	16~25
1,800~2,000	19~25

② 강말뚝의 지지단면

H형 강말뚝 및 강관말뚝의 선단 지지면으로서 선단에 슈가 없는 경우에도 지지층에서의 말뚝의 근입이 충분한 경우에는 <그림 10.4.5>과 같이 선단 폐색단면으로 간주하기로 한다.



H강말뚝



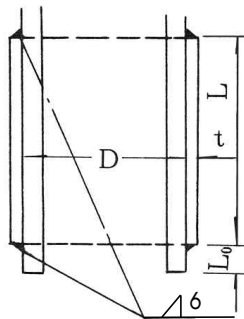
강관말뚝

<그림 10.4.5> 선단폐색단면

다만 말뚝 선단이 충분히 다져진 자갈층 등의 지지층에 타입하지 않는 한 100%의 지지단면을 기대할 수 없다. 따라서 말뚝길이가 짧거나 대구경말뚝의 경우에는 재하시험에 의해서 지지력을 결정하여야 한다.

③ 강말뚝의 선단

강말뚝의 선단부는 통상 강관말뚝, H형 강말뚝을 구별하지 않고 말뚝축에 직각인 면에서 분리한 소위 개단형으로 한다. 말뚝 선단은 지지말뚝인 경우 <그림 10.4.7>에 의해 보강하기로 하고 마찰말뚝의 경우는 보강하지 않는다. 용접은 필렛용접으로 하고 각장(脚長)은 6mm 이상으로 한다.



t: 9mm로 한다.

L: ϕ 600이하는 200mm, ϕ 600이 넘으면 300mm로 한다.

L₀: 18mm로 한다.

<그림 10.4.6> 말뚝 선단의 보강

개단말뚝의 경우에는 <그림 10.4.7(a)>와 같이 선단보강형을 붙이는 것으로 하고, 폐단말뚝의 경우에는 다음 식을 사용하여 폐쇄부의 평판 및 리브(rib)를 설계한다.

강관말뚝 (리브가 없을 때)

$$\text{평판 } f_{\max} = \frac{99}{320} q \left(\frac{D}{t} \right)^2 \quad [\text{식 10.4.1}]$$

강관말뚝 (+자 리브일 때)

$$\text{평판 } f_{\max} = 0.0605 q \left(\frac{D}{t} \right)^2 \quad [\text{식 10.4.2}]$$

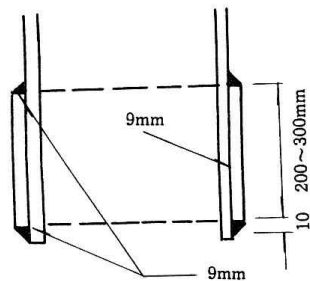
$$\text{리브 } f_{\max} = \frac{\pi q D^3 \left(h + \frac{t}{2} \right) D}{96 \left(\frac{th^3}{3} + t^4 \right)} \quad [\text{식 10.4.3}]$$

여기서, q: 말뚝 저면반력을 등분포로 가정한 하중 (kN/m²)

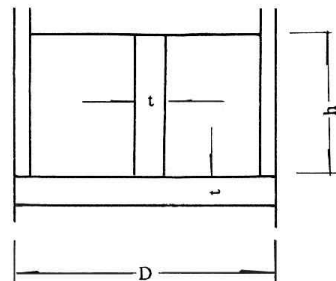
h, t, D: <그림 10.4.8(b)>에 나타낸다 (mm)

f_{max}: 최대 휨응력 (MPa)

또 폐단말뚝은 관입저항이 크므로, 선단면적의 3% 정도의 구멍을 평판에 뚫어두면 리바운드가 작아져서 타입하기가 쉽게 된다.



(a) 개단 말뚝



(b) 폐단 말뚝

<그림 10.4.7>

④ 말뚝의 이음

강말뚝의 현장이음은 원칙적으로 이음철구를 이용한 아크용접 이음으로 한다.

가. 강관말뚝의 경우 원칙적으로 반자동 용접법에 의한 전주(全周) 맞댐용접으로 한다.

나. H형 강말뚝의 경우는 다음에 따른다.

(가) 말뚝 본체 상호의 맞댐용접

(나) 이음판을 이용한 플랫용접

강관말뚝의 단면은 '10.4.5 (4) 말뚝 머리부와 확대기초 결합부의 설계'에 의해 설계하는 것을 원칙으로 하지만 일반적으로 아래에 제시하는 방법으로 단면을 변화시키는

것이 좋다. 강관말뚝의 단면변화 위치는 [식 10.4.4]로 구한다.

$$\ell_1 = 1/2 M_{\max} \text{의 위치} + 1.0\text{m} \quad [\text{식 10.4.4}]$$

여기서, ℓ_1 : 확대기초 저면에서 단면변화위치까지의 거리(m)

단, 0.5m 단위로 한다.

$M_{\max}$: M_t , M_m 중 큰 값

M_t : 변위법에 의해 말뚝 머리를 고정으로 하여 구한 말뚝 머리 휨모멘트

M_m : 말뚝 머리부를 힌지로서 구한 지중 최대휨모멘트

⑤ 말뚝 머리부와 확대기초 결합부²⁸⁾

가. 말뚝과 확대기초 결합부는 원칙적으로 강결로 한다. 이 경우 결합부에 생기는 각종 응력에 대해서 안전하게 설계하여야 한다. 설계계산은 ‘도로교설계기준 하부구조편 5.8.11.3 말뚝과 확대기초의 결합부’에 의한 것으로 한다.

나. 현장여건에 따라 신기술로 지정된 두부보강 공법에 대하여 특정 제품이 설계서에 명시되어 있더라도 향후 안정성이 입증된 새로운 공법 개발시 현장에서 책임기술자 결정하에 대체적용이 가능하다.

⑥ 말뚝의 부식²⁹⁾

말뚝의 부식 두께는 말뚝의 설치 환경에 따라 변동되는 사항으로 다음과 같다.

가. 일반 환경(육상토중)하에서는 도로교 표준 시방서에 규정에 따라 2mm를 적용

나. 염분함유지역에서는 부식환경임을 고려하여 3mm를 적용

다. 공장폐수 유출지역, 해상 및 수상 지역에서는 기초시공 형태에 따라 별도의 방식처리를 시행함이 타당한 것으로 판단된다.

(4) 현장타설 콘크리트 말뚝

① 경사말뚝

시공기계의 능력을 고려해 경사말뚝은 원칙적으로 사용하지 않기로 한다.

② 말뚝직경

설계에 사용하는 말뚝직경은 공칭외경으로 하고 [표 10.4.5]과 같은 직경을 사용하는 것을 원칙으로 한다.

[표 10.4.5]

공 법 별	설 계 직 경
올케이싱 공법 리버스 공법 어스드릴 공법	800mm 이상으로 하고 100mm 단위로 한다. (어스드릴 공법의 경우 공벽붕괴 방지를 위해서 안정액을 사용하는 경우에는 공칭직경 보다 50mm 큰 설계지름을 사용하여야 한다.)
깊은기초 공법	1,400mm 이상으로 하고 100mm 단위로 한다.

28) 강관말뚝 두부보강 적용방안 검토 (건설지 10308-73, 03.8.30)

29) 강말뚝 부식에 관한 검토 (설계기 16210-212, 93.12.30)

케이싱을 쓰지 않는 경우 비드직경을 공칭외경으로 한다.

현장타설 말뚝은 각 공법에 따라 표준으로 하는 말뚝직경이 다르고 동일공법인 경우 제작 회사에 따라서 같은 모양인 경향이 있다. 그러나 설계 단계에서는 시공상 자세하게 각종 조건을 설정하는 것이 곤란한 경우도 있으므로 각 공법별로 설계직경을 선택한다. 올케이싱의 공법에서는 케이싱 날끝 외경으로 표시되는 공칭직경을 설계직경으로 한다.

③ 철근뒹개

주철근의 배치는 [표 10.4.6]를 기준으로 한다.

[표 10.4.6]

공 법 별	그림에 표시한 d의 최소치수
올케이싱 공법 리버스 공법 어스드릴 공법	150mm
인력공법	흙막이재 매설의 경우 100mm 흙막이재 철거의 경우 250mm

④ 조골재 최대치수

조골재의 최대치수를 원칙적으로 25mm를 사용하기로 한다. 깊은기초 공법에 의한 말뚝에서는 외경, 치수가 다른 공법에 의한 말뚝에 비해서 크게 되므로 실용상 철근량의 최대값이나 최소값을 규정해도 무익미하게 생각되므로 이 규정에 의하지 않아도 좋다.

⑤ 주철근

주철근의 단면변화 위치는 [식 10.4.5, 10.4.7]에서 구해진 ℓ_1 또는 L의 위치로 하고 모멘트도에서 각각 $1/22A_s$, $1/4A_s$ 이상의 철근이 필요한 경우는 철근갯수 또는 철근직경을 변화시켜 설계강도를 만족시키기로 한다.

가. 표준적인 현장타설 콘크리트 말뚝($\phi 1,000 \sim \phi 1,500$, $L < 30m$)의 설계에서는 말뚝 머리부를 완전고정 상태로 계산한 단면력 및 말뚝 머리부를 힌지의 상태로 계산한 단면력 모두를 만족하도록 배근하여야 한다.

나. 말뚝이 길어 주철근에 이음을 필요로 하는 경우에는 설계시 가능한 한 일정한 길이의 철근을 사용하도록 한다. 단수 조정을 하는 경우는 최하단이 주철근이 되도록 한다.

다. 주철근의 배치는 [표 10.4.7]에 의한 것을 표준으로 한다.

주철근은 이형철근을 사용하기로 하고 2단 배근까지 할 수 있다. 이 때 순간력은 주철근 직경의 2배 이상으로 한다. 또 철근의 이음은 겹이음을 원칙으로 하고 그 길이는 철근직경의 40배를 표준으로 한다.

[표 10.4.7]

항 목	최 대	최 소	적 요
철 근 량	6%	0.4%	인력공법에 의한 경우는 제외한다.
직 경	—	22mm	
갯 수	—	6개	
순 간 격	—	철근직경의 2배 이상 또는 조골재 최대치수의 2배 이상	

⑥ 주철근의 단면변화

주철근의 단면변화는 상기(5)(가)에 의한 것으로 하지만 일반적으로 다음 방법에 따르는 것이 좋다. 설계계산은 ‘도로교설계기준 하부구조편 5.8.11.3 말뚝과 확대기초의 결합부’에 따르고 구조세목은 <그림 10.4.11>에 따른다. 기초의 보강은 RC 말뚝에 준하기로 한다.

가. 말뚝 머리부의 소요철근량은 [식 10.4.5]에서 구한 위치에서 변화시키는 것을 표준으로 한다.

$$\ell_1 = (1/2 M_{\max} \text{의 위치}) + 1.0\text{m} \quad [\text{식 10.4.5}]$$

여기서, ℓ_1 : 확대기초 저면에서 철근 변화위치까지의 거리

$M_{\max}$: M_t , M_{mo} 중 큰 쪽

M_t : 변위법에 의해 말뚝 머리를 고정으로 하여 구한 말뚝 휨모멘트

M_{mo} : 말뚝 머리를 힌지로서 구한 지중 최대 휨모멘트

따라서 일단짜의 철근길이 ℓ 은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\ell = 35\phi + 0.1 + \ell_1 + 40\phi \text{ (m)} \quad [\text{식 10.4.6}]$$

여기서, ϕ = 철근직경, 단 500mm 단위로 반올림 한다.

나. 말뚝길이가 [식 10.4.7]로 구한 값 보다 긴 경우에는 제2단계의 단면변화를 시키도록 한다.

$$L = \ell_1 + 11.0\text{(m)} \quad [\text{식 10.4.7}]$$

여기서, L : 말뚝길이 (기초하면에서 말뚝 선단부까지의 길이 (m))

ℓ_1 : [식 5.3.7]과 같음

다. 말뚝길이가 [식 10.4.5, 10.4.7]에서 구한 위치로부터 각각 3m를 넘지 않는 경우는 단면변화를 시키지 않아도 좋다.

라. 단면변화를 시키는 경우 철근량은 다음 표를 표준으로 한다.

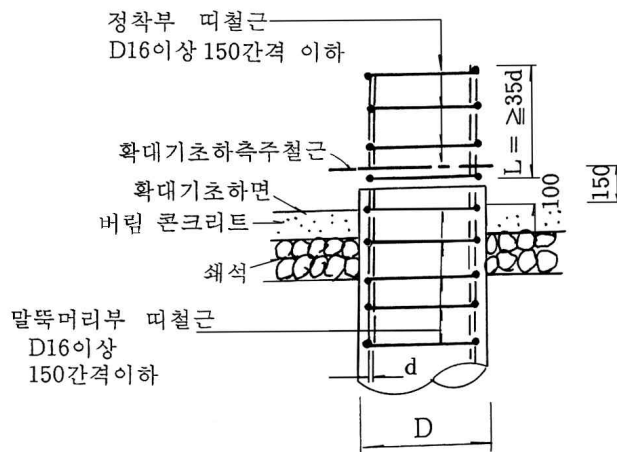
[표 10.4.8]

단면변화수	0	1	2
철근량	As	계산상 필요한 양 이상 단 $1/2A_s$ 이상	계산상 필요한 양 이상 단 $1/4A_s$ 이상

단, 최하단의 철근배치는 ⑤ 다. 에서 제시한 [표 10.4.8]의 최소값 이하여야 한다.

⑦ 띠철근

콘크리트 타설시 철근의 떠오름을 방지하기 위해 우물정(井)자 모양의 철근을 배치하고 주철근 또는 띠철근과 연결한다.



<그림 10.4.11> 현장타설 말뚝의 구조세목

가. 띠철근의 중심간격

- (가) 말뚝 머리부(확대기초 저면에서 2D인 범위)에서는 150mm 이하로 한다.
- (나) 주철근의 단면변화 위치까지는 주철근 직경의 12배 이하, 표준적으로 300mm로 한다.
- (다) (b)의 범위 외에는 500mm를 표준으로 한다.

나. 띠철근의 직경

주철근 직경 D32까지는 D16을 표준으로 한다.

다. 띠철근은 이형철근을 사용하기로 한다.

⑧ 말뚝과 확대기초 결합부

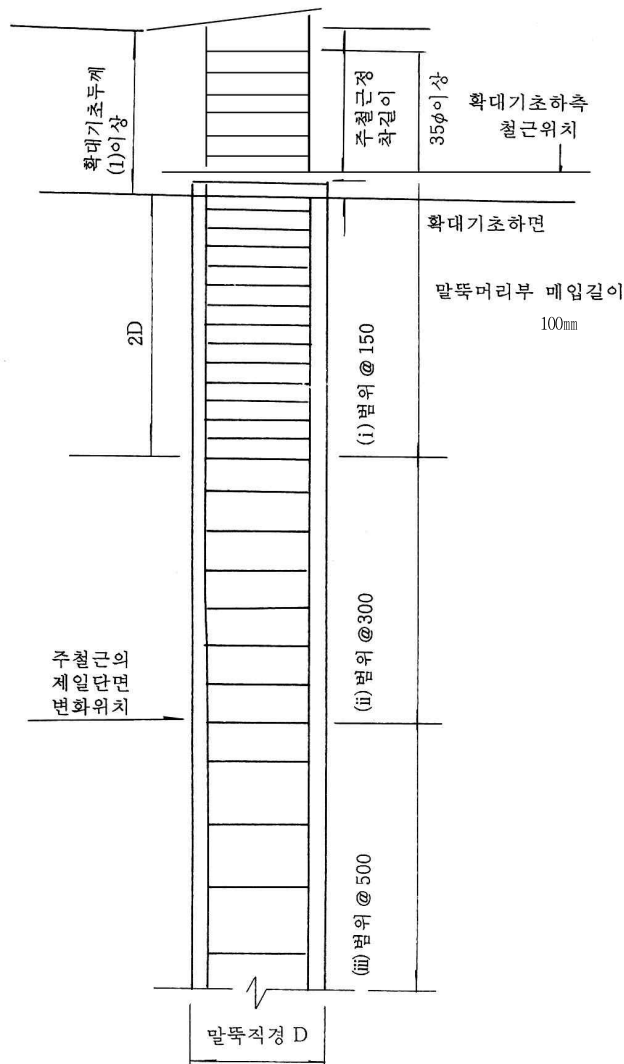
말뚝과 확대기초 결합부는 원칙적으로 강결로 한다. 이 경우는 결합부에 생기는 각종 응력에 대해서 안전하게 설계하여야 한다. 또 말뚝 머리부를 완전 고정상태로 해서 계산한 단면력 및 말뚝 머리부를 힌지상태로 해서 계산한 단면력 모두를 만족하도록 배근한다.

⑨ 스페이서

철근덮개를 확보하기 위해 스페이서를 사용하기로 한다.

⑩ 말뚝 선단의 철근

말뚝 선단의 배근으로는 원칙적으로 우물정(井)자 모양의 철근(저부철근)을 배치하기로 한다.



<그림 10.4.12> 확대기초와의 결합 및 띠철근 (깊은기초 공법은 제외) 배근도

⑪ 현장타설 콘크리트 말뚝의 적용³⁰⁾³¹⁾

가. 현장타설 콘크리트 말뚝중 희생강관은 하상 및 해상에서 현장여건상 축도에 의한 육상작업이 불가능한 경우 거푸집 개념으로 사용하는 것을 원칙으로 하며, 육상도(축도에 의한 경우 포함)에서 별층 등 케이싱 인발시 공벽유지가 어렵고, 마찰력이 커서 케이싱 인발이 불가능한 경우와 해상부에서 심각한 염해 등으로 콘크리트의 품질관리가 곤란한 경우에 적용한다.

나. 말뚝 콘크리트 타설시 손실에 의하여 발생하는 콘크리트의 할증수량은 희생강관의 경우 현장타설 말뚝이 철근구조물임을 감안하여 1%를, 올케이싱과 나공부의 경우는 표준 적산 실무자료 할증기준을 적용하여 각각 5%와 말뚝의 직경에 따라 세분하여 7~17%로 적용토록 하는 것이 타당하다고 판단된다.

30) 철근이음 시공성 개선방안대구경 현장타설 말뚝, 고교각($H \geq 30m$) (설계일 16210-288, 96.9.2)

31) 현장타설 콘크리트 말뚝 검토 (설계이 16210-185, 96.6.29)

다. 현장타설 말뚝의 주철근 조립시 나사 이음의 경우 경제적인 측면에서 유리하고, 현장의 정밀시공을 자연스럽게 유도하는 방안(작업대를 미리 제작하여 철근의 간격을 일정하게 유지)으로 판단되어 겹이음에 대한 대체시공법으로 적합한 것으로 판단된다.

⑫ 암반에 근입된 현장타설 말뚝³²⁾

가. 현장타설 말뚝의 설계시 암중별 지지력 산출기준은 다음과 같이 적용한다.

(가) $RQD \leq 10$ 인 경우

(N치가 50타에 50mm 이하로 관입 또는 RQD가 10% 이하)

주면 마찰력 : Canadian Foundation Engineering Manual(1992)을 따른다.

(단, 암반 근입깊이가 3D 이상인 경우 주면 마찰력의 1/3을 감소시킴)

선단지지력 : 도로교 설계기준(2000) 토사부 기준을 따른다.

(나) $RQD > 10$ 인 경우

주면 마찰력 : Canadian Foundation Engineering Manual(1992)을 따른다.

(단, 암반 근입깊이는 1D를 원칙으로 하며, 근입깊이가 3D 이상인 경우

주면 마찰력의 1/3을 감소시킴)

선단지지력 : Peck et al.(1974)의 제안 내용을 따른다.

나. 현장 인근의 동종 암중에 대한 시험결과 분석에 의한 지지력 산정이 가능한 경우 위 설계기준에 우선하여 적용한다.

다. 암의 공학적 성질 또는 시공방법이 특이하여 금번 수립된 기준을 적용하는 것이 타당하지 못한 경우 기존의 연구결과 및 외국의 시방기준을 참고로 하여 별도의 기준을 적용할 수 있다.

라. 공사초기에 반드시 재하시험을 수행하여 설계의 타당성을 확인한 후 나머지 말뚝을 시공한다.

마. 재하시험을 수행하는 말뚝에는 계측기를 설치하여 하중전이관계를 파악할 수 있도록 한다.

⑬ 단일현장타설말뚝 기초 공법의 적용³³⁾

가. 적용범위

(가) 적정 깊이에 푸팅시공이 곤란한 경우

(나) 작용하중이 커서 소구경 말뚝이 비경제적 또는 항타 말뚝시공이 곤란한 경우

(다) 세굴이 우려되는 경우

나. 설계 개념

(가) 교각과 기초를 연속된 구조물로 설계한다.

(나) 상시 및 내진 설계시 지반의 조건에 따라 교각구조의 거동에 영향을 미치므로 구조 해석시 지반의 영향을 고려한다.

다. 설계시 검토 항목

(가) 교각과 기초를 연속된 부재로 고려하여 단면을 검토한다.

· 지상의 교각 기둥부에서 발생하는 부재력과 지중의 기초부에서 발생하는 부재력에 대하여 모두 검토하여야 한다.

32) 암반에 근입된 현장타설 말뚝 설계기준 수립 (설계구 10201-351, 02.7.22)

33) 단일 현장타설 말뚝 기초공법 적용 검토 (설계구 10201-98, 04.3.25)

(나) 말뚝의 지지력을 검토한다.

- 암반에 근입된 현장타설말뚝의 연직 및 횡방향 지지력을 검토한다.

(다) 교각과 기초의 변위를 검토한다.

- 지표면에서 기초의 수평변위 및 회전각을 검토한다.
- 교각의 코핑부에서의 수평변위 및 회전각을 검토한다.
- 교각 및 말뚝의 허용범위는 도로교 설계기준을 준용한다.

라. 설계일반

(가) 상시 및 지진시로 구분하여 지반을 탄성스프링으로 모사하여 교량구조해석을 수행한다. 단, 탄성스프링은 도로교 설계기준의 지반반력계수를 이용하여 산정한다.

- 지상과 지중의 교각 내에서 발생하는 최대부재력에 대하여 단면검토를 실시한다.
- 단면검토방법은 압축력과 휨모멘트를 동시에 받는 압축부재인 기둥의 검토방법과 동일하게 적용한다.
- 최소철근에 대한 규정은 수형저항에 관여하는 깊이 $1/\beta$ 까지는 기둥으로 간주하고 그 하부는 현장타설말뚝으로 간주하여 적용하며, 지표면 아래 말뚝길이와 $1/\beta$ 길이의 차이가 작은 경우 시공성을 고려 모두 기둥으로 간주할 수 있다.
- 철근 피복두께는 지중부에 대하여는 150mm, 지상부에 대하여는 100 mm이상으로 적용한다.
- 표준관입시험을 이용한 지반의 탄성계수 산정시 28N은 지반의 탄성계수를 과다하게 산정하므로 Schmertmann(1970)이 제안한 관계를 이용하여 지반의 탄성계수를 산출한다.(단, 지반의 탄성계수를 28N으로 가정하는 것이 보수적인 경우 지반의 탄성계수를 적용)

[표 10.4.9] 흙의 종류별 탄성계수(MPa)(Schmertmann, 1970)

흙의 종류	E_s / N'_{60}^*
실트, 모래질 실트	0.4
가는 모래, 약간 굵은 모래	0.7
굵은 모래	1.0
모래질 자갈, 자갈	1.2

* N'_{60} : 해머효율 60%로 보정한 값

- 지층 구성상 암반의 지반반력계수가 횡방향 거동에 중요한 영향을 미치는 경우 공내재하시험 결과를 적용한다.
- 내진설계시 지반의 액상화 검토를 수행하여 액상화 발생이 예상되는 지층의 횡방향 지지력은 무시한다.
- 교각의 상세 거동 파악 필요시 지반의 거동을 p-y곡선으로 모사하여 추가해석을 수행한다. (단, 암반에 대하여는 공내재하시험 결과를 이용, 측정한 p-y곡선을 적용할 수 있다.)

(나) 단일 현장타설말뚝 기초의 지지력 설계시

- 연직방향 지지력의 경우 ‘ ⑫ 암반에 근입된 현장타설 말뚝’ 에 의하여 설계한다.
- 횡방향 지지력의 경우 ‘도로교 설계기준(2005)’ 에서 제시하는 기준을 원칙으로 하며 경사지 지반의 수평방향 지반반력계수 선정방법은 경사지에 시공된 말뚝의 보정방법과 동일하게 적용한다.(도로교 설계요령 3편 교량 pp525~530)

(다) 건전도 및 지지력 시험

- 시공되는 모든 말뚝에 대하여 건전도 시험(공대공 탄성파 시험 등)을 수행하며, 대구경 현장타설말뚝의 경우 지지력시험이 곤란하므로 소구경의 시험말뚝을 시공하여 해당지역의 암반지지력을 확인한다.

(라) 지반조사

- 암반근입부의 주변 및 선단에서 암의 일축압축강도 시험을 수행하여야 하며, 필요시 공 내재하시험을 수행하여 지반의 탄성계수를 측정하고, 급경사지 등 암반의 경사가 큰 위치에서는 시추공 영상촬영시험을 수행하여 암반의 절리면 방향 및 상태를 파악한다.

10.5 케이스기초

10.5.1 설계 일반

(1) 기본사항

- ① 케이스기초 저면에서의 연직 지반반력은 지반의 허용 연직지지력을 초과해서는 안된다.
- ② 케이스기초 전면에서의 최대 수평 지반반력은 그 위치에서의 지반의 허용 수평지지력을 초과하여서는 안된다.
- ③ 케이스 저면에서의 전단지반반력은 케이스기초 저면과 지반 사이에 작용하는 허용전단 저항력을 초과해서는 안된다.
- ④ 케이스 기초의 변위는 허용변위량을 초과해서는 안된다.

(2) 하중분담

- ① 연직하중은 케이스 저면 지반의 연직지반 반력만으로 저항하는 것으로 한다. 다만, 케이스기초의 주변 지반이 양질이어서 케이스 시공에 의한 교란이 작은 경우에는 주변지반에 의한 미찰저항을 고려할 수 있다.
- ② 수평하중은 주변 지반의 수평지반반력, 기초 저면 지반의 연직지반반력 및 저면지반의 전단 지반반력으로 저항된다.

(3) 단면 및 형상

케이스의 단면 및 형상은 외력에 대해서 충분히 안정하고 경제적이며 다음을 검토하여 결정한다.

- ① 구체의 형상 및 단면 치수와의 관계
- ② 시공시의 편심에 대한 여유
- ③ 시공성
- ④ 기타

(4) 설계일반

- ① 케이슨은 상부구조물의 하중과 토압 및 수압뿐만 아니라 시공중에 작용하는 모든 하중에 대해 충분히 안전하여야 한다.
- ② 시공단계별 및 준공 후의 지반반력, 변위량, 케이슨 각부의 응력등을 검토하여야 한다.

10.5.2 설계 계산

(1) 완성후의 하중에 대한 설계

우물통 및 공기케이슨 완성 후에는 다음과 같은 하중의 조합에 대하여 충분히 안전하다는 것을 확인하여야 한다.

- ① 연직방향의 안정에 대하여
활하중 + 고정하중 + 양수압
- ② 수평방향의 안정에 대하여
활하중 + 고정하중 + 양수압 + 토압

(2) 침하작업중의 상태에 대한 설계

우물통 및 공기케이슨은 침하작업중에 일어나는 모든 상태에 대하여 충분히 안전하다는 것을 확인하여야 한다. 이 경우 허용응력은 1.25배까지 높여도 된다.

10.5.3 지반반력계수

(1) 수평 지반반력계수

- ① 케이슨의 앞면지반의 수평 지반반력을 산정하는 수평 지반반력계수는 '도로교설계기준 하부구조편 5.7.6 지반반력계수 및 지반탄성계수에 의해 산정한다. 단 '6.3.2 연직 지반반력계수'에서 구한 값을 초과해서는 안된다.
- ② 지반반력계수는 (가)보링공내 시험 (나)1축 또는 3축 압축시험 (다)표준관입 시험(N값)에서 구한 변형계수중 두종류 이상을 사용하여 종합적으로 결정하기로 한다.

(2) 연직 지반반력계수

'도로교설계기준 하부구조편 5.7.6 지반반력계수 및 지반탄성계수에 따른다.

(3) 전단 스프링계수

'도로교설계기준 하부구조편 5.7.6'에 따른다.

10.5.4 허용지지력

(1) 케이슨 저면지반의 허용 연직지지력

설계에 이용하여 케이슨 저면지반의 허용 연직지지력은 원칙적으로 '도로교설계기준 하부구조편 5.7.5 지반의 허용 연직지지력'에 따르기로 한다. 이 경우 허용 연직지지력은 지반의 극한 지지력에 대하여 상시 3, 지진시 2의 안전율을 확보하여야 한다.

(2) 케이슨 전면지반의 허용 수평지지력

케이슨 전면지반의 허용 수평지지력은 '도로교설계기준 하부구조편 5.7.5.2 케이슨 기초 전면지반의 허용 수평지지력'에 따른다.

(3) 케이슨 저면지반의 허용 전단저항력

케이슨 저면지반의 허용 전단저항력은 '도로교설계기준 하부구조편 5.7.5.3 케이슨 기초 저면

지반의 허용 전단저항력에 따른다.

10.5.5 지반반력과 변위

(1) 지반반력의 산정

케이슨 전면지반의 허용 수평지지력은 ‘도로교설계기준 하부구조편 5.7.5.2 케이슨기초 전면지반의 허용 수평지지력’에 따른다.

(2) 변위 산정

케이슨 지반반력의 산정은 ‘도로교설계기준 하부구조편 5.7.7 지반반력 및 변위량’에 따른다.

10.5.6 안정계산

(1) 안정계산의 기준

- ① 연직하중에 대한 케이슨의 안정은 지반의 상태에 따라 오픈케이슨 및 공기케이슨 저면에서의 지반지지력에 의해서, 또는 마찰력과 저면지지력에 의해서 안정한 가를 검토하여야 한다.
- ② 수평하중의 영향에 대한 오픈케이슨 및 공기케이슨의 안정은 케이슨의 측면에 작용하는 저항 토압에 의해서 또는 측면의 저항토압과 저면지지력에 의해서 안정한 가를 검토하여야 한다.

(2) 케이슨의 허용연직하중

케이슨에 작용하는 연직하중은 전면지반의 연직반력과 측면의 마찰저항력에 의해서 저항되지만, 부력 또는 양압력의 작용이 명확한 경우에는 이를 고려한다.

(3) 부의 주면마찰력

주면마찰력은 현장에서의 실측에서 얻은 자료 또는 토질조건에 의해서 추정한다.

(4) 케이슨의 지지력

연약한 토질을 관통하여 충분히 견고한 층에 들어가 있는 케이슨에서는 저면의 지지력만을 고려하고 주면마찰력은 무시한다.

(5) 전도에 대한 안정

케이슨에 작용하는 수평하중은 케이슨 측면의 수동토압 또는 측면의 수동토압과 저면 지지력에 의해서 견딜 수 있도록 하여야 한다.

10.5.7 케이슨 본체의 설계

측벽 및 칸막이는 각종 하중의 조합에 대해서 충분히 안전할 뿐만 아니라 침하작업도 고려하여 설계하여야 한다. 또 이들의 응력 계산은 수평방향과 종방향에 대하여 검토한다.

(1) 측벽 및 칸막이

케이슨 본체의 측벽과 칸막이는 시공시와 완성 후의 각종 하중의 조합에 대해서 설계 한다.

(2) 상부슬래브

‘도로교설계기준 하부구조편 5.7.8.3 상부슬래브’에 따른다.

(3) 오픈케이슨의 저면슬래브

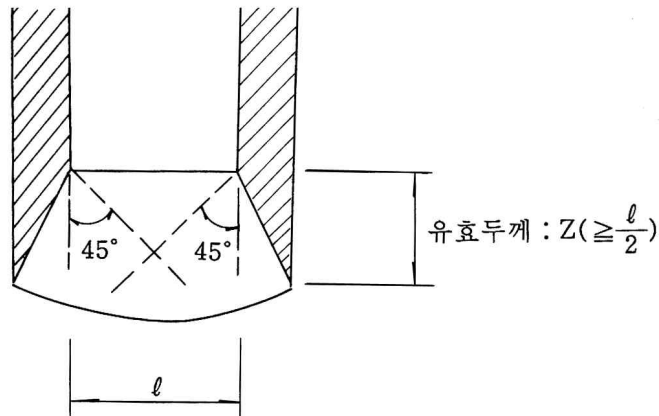
① 무근콘크리트 슬래브

가. 저면콘크리트의 유효두께가 케이슨 내공폭의 1/2 이상인 경우는 설계계산을 하지 않아도 좋다.(<그림 10.5.1>)

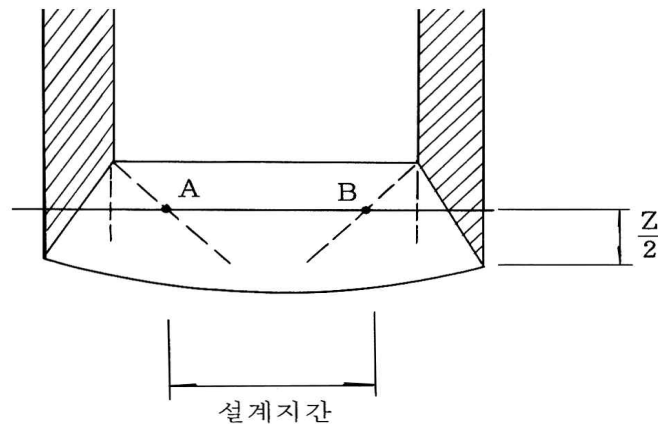
나. 저면콘크리트의 유효두께가 케이슨 내공폭의 1/2 이하인 경우는 <그림 10.5.2>과 같이 AB를 지점으로 한 단순보로서 계산한다. 이 경우 허용인장응력은 0.21MPa로 한다.

② 철근콘크리트 슬래브

저면슬래브에 배근하여 철근콘크리트 단면으로 설계할 경우 단순받침의 한방향 또는 두방향 슬래브로 설계한다.



<그림 10.5.1> 설계계산을 필요로 하지 않는 두께



<그림 10.5.2> 설계계산을 필요로 하는 두께

(4) 날끝

날끝은 케이슨의 침하가 용이한 형상으로 하고 침하중 외압에 대해서 안전하게 설계하여야 한다. 또 날끝이 파손될 우려가 있는 경우는 날끝 선단을 보강할 필요가 있다.

(5) 공기케이슨 작업실 천정슬래브 및 천정슬래브 행거빔

- ① 공기케이슨 작업식 천정슬래브는 시공중 및 완성 후 하중상태의 가장 불리한 조합에 대하여 안전하여야 한다.
- ② 칸막이를 갖는 케이슨 작업실 천정슬래브의 행거빔은 칸막이 하부를 이용하고 작업실 천정 슬래브에 작용하는 하중을 부담하는 보로 설계하는 것으로 한다.

10.5.8 시공을 위한 검토

(1) 재하중

케이스의 형상, 치수가 결정되게 되면 케이스의 침하관계를 예상하여 침하작업에 지장이 있는가 조사할 필요가 있다. 이 결과 케이스 구체 중량이 현저히 가벼울 때에는 벽두께를 두껍게 하는 경우도 있다. 케이스 침하관계는 일반적으로 다음과 같다.

$$W_c + W_w > U + R$$

[식 10.5.1]

여기서, W_c : 케이스 구체의 중량 (kN)

W_w : 케이스에 재하하는 침하하중 (kN)

U : 이론기압 또는 작업기압에 의한 양압력 (kN)

R : 케이스의 침하저항 (kN)

(2) 이음

케이스가 침하중에 매달리는 상태로 되는 것이 예상되는 경우 각 리프트(lift)의 이음은 근입깊이 방향으로 보강하여야 한다.

(3) 지수벽 또는 흙막이 가벽

침하완료시 케이스 상단이 수면 또는 지반면 보다 아래에 있는 경우 지수벽 또는 흙막이 가벽을 설치하고 그 설계는 제12장 가설구조물에 따르기로 한다.

(4) 칸막이에 설치하는 통수구멍

칸막이를 갖고 있는 케이스를 침하시켜 설치하는 경우에는 칸막이에 통수구멍을 설치하는 것이 좋다.

(5) 공기케이스 샤프트구멍 주변의 보강

공기케이스의 샤프트구멍 주변은 충분히 보강해야 한다.

10.6 강관 널말뚝 기초의 설계

10.6.1 설계의 기본

- (1) 강관 널말뚝 기초에 하중이 작용하므로써 케이스 바닥면에 발생하는 연직반력은 그 위치에서 허용되는 강관 널말뚝의 허용지지력을 넘어서는 안된다.
- (2) 강관 널말뚝 기초의 변위량이 허용변위량을 넘어서는 안된다.

10.6.2 하중분담

- (1) 연직하중은 케이스 저면 지반의 연직지반 반력만으로 저항하는 것으로 한다. 케이스 기초의 주변 지반이 양질이어서 케이스 시공에 의한 교란이 작은 경우에는 주변 지반에 의한 마찰저항을 고려할 수도 있다.
- (2) 수평하중은 주변 지반의 수평지반반력, 기초 저면 지반의 연직지반반력 및 저면 지반의 전단지반반력으로 저항된다.

10.6.3 강관 널말뚝의 허용연직압축지지력

(1) 강관 널말뚝의 허용연직압축지지력

- ① 강관 널말뚝의 허용연직압축지지력은 [식 10.6.1]에 따라 산정한다.

$$R_a = \frac{1}{n} R_u \quad [\text{식 10.6.1}]$$

여기서, R_a : 강관 널말뚝의 허용지지력 (kN/개)

n : [표 10.7.1]에 제시된 안전율

R_u : 지반조건에 따라 결정되는 강관 널말뚝의 극한지지력 (kN/개)

[표 10.6.1] 안전율

평 상 시	지 진 시
3	2

- ② 지반조건에 따라 결정되는 강관 널말뚝의 극한연직압축지지력은 지지력 추정식을 통해 산정 하거나 연직재하시험을 실시하여 구한다.

극한연직압축지지력을 계산을 통해 산정할 경우에 적절한 지반조사 결과를 토대로 아래와 같은 식을 이용하는 것이 좋다.

$$R_u = q_d A_l + \frac{1}{n_l} U_v \sum l_i f_i \quad [\text{식 10.6.2}]$$

여기서, R_u : 지반조건에 따라 결정되는 강관 널말뚝의 극한연직압축지지력

A_l : 강관 널말뚝의 폐쇄 단면적

q_{dd} : 강관 널말뚝 선단에서 지지하는 단위 면적당의 극한지지력(kN/m²)

n_l : 케이슨 외벽의 강관 널말뚝 개수

U_v : 케이슨 바깥 둘레 길이 (m)

l_i : 주면마찰력을 고려하는 각 층의 두께 (m)

f_i : 주면마찰력을 고려하는 각 층의 최대 주면마찰력 (kN/m²)

강관 널말뚝 선단의 극한지지력 q_d 및 최대 주면마찰력 f_i 는 본 편 '5.3.1 말뚝 한 개당 축 방향 압입력에 대한 허용지지력'에 따라 계산하는 것이 좋다. 단 타입공법을 사용하지 않는 경우에는 별도로 검토할 필요가 있다.

(2) 강관 널말뚝의 허용연직인발력

- ① 강관 널말뚝의 허용연직인발력은 [식 10.6.3]에 따라 산정한다.

$$P_a = \frac{1}{n} P_u + W \quad [\text{식 10.6.3}]$$

여기서, P_a : 강관 널말뚝의 허용연직인발력

n : [표 10.7.2]에 제시된 안전율

P_u : 지반조건에 따라 결정되는 강관 널말뚝의 극한인발력 (kN/개)

W : 강관 널말뚝의 유효중량 (kN)

[표 10.6.2] 안전율

평 상 시	지 진 시
6	3

- ② 지반조건에 따라 결정되는 강관 널말뚝의 극한연직인발력은 인발력 추정식을 통해하거나 인발시험을 실시하여 구한다. 극한연직인발력을 계산을 통해 산정할 경우에는 적절한 지반조사 결과를 토대로 아래와 같은 식을 이용하는 것이 좋다.

$$R_u = \frac{1}{nl} U_v \sum li fi \quad \text{[식 10.6.4]}$$

여기서, P_u : 지반조건에 따라 결정되는 강관 널말뚝의 극한연직인발력 (kN/개)

nl : 케이슨 외벽의 강관 널말뚝 개수 (개)

U_v : 케이슨 바깥 둘레 길이 (m)

li : 주면마찰력을 고려하는 각 층의 두께 (m)

fi : 주면마찰력을 고려하는 각 층의 최대 주면마찰력 (kN/m²)

강관 널말뚝의 최대 주면마찰력 f_i 는 본 편 '5.3.1 외말뚝의 허용연직압축지지력'에 따라 산정하는 것이 좋다. 단 타입공법으로 시공하지 않을 경우에는 별도로 검토할 필요가 있다.

10.6.4 지반반력계수

강관 널말뚝 기초를 설계할 때 사용하는 지반반력계수로는 저면의 연직방향 지반반력계수, 앞면의 수평방향 지반반력계수, 그리고 저면의 수평방향 전단반력계수가 있으며 지반조사와 토질시험의 결과를 충분히 검토하여 결정한다.

10.6.5 기초 본체의 설계

기초 본체는 기초 전체의 휨강성을 평가하여 탄성지반 위에 놓인 유한길이의 보로 설계하는 것을 원칙으로 한다. 단 기초 본체의 변형이 클 경우에는 기초의 변형특성을 고려하는 해석법을 따르는 것이 좋다.

10.6.6 상부슬래브의 설계

- (1) 상부슬래브와 본체의 강성, 그리고 상부슬래브와 강관 널말뚝의 결합상태를 고려하여 상부슬래브를 설계한다.
- (2) 상부슬래브와 강관 널말뚝의 결합부는 상부슬래브에 작용하는 하중을 확실하고 안전하게 강관 널말뚝에 전달하는 구조이어야 한다.