# 단일현장타설말뚝 설계기준 개선

제공처 : 한국도로공사 기술심사처

출처 : 2016년도 고속도로 설계 실무자료집(2017, 한국도로공사)

# 1. 일반현황

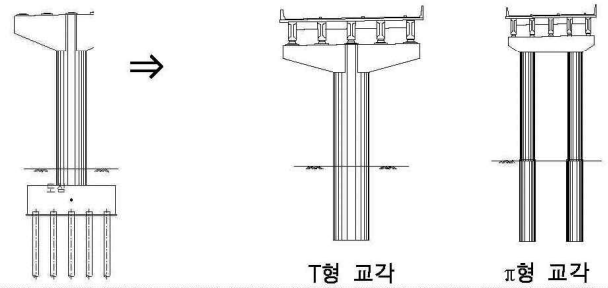
## 1.1 추진배경

(1) 기술형 입찰공사, 민자도로 교량 등 단일 현장타설말뚝 설계 증가

(1.1) 서부산낙동강교, 인천대교 등

(1.2) 해상, 하상, 연약지반 등에 교량설계시 시공성 및 경제성 유리

※ 단일 현장타설말뚝 기초(Single Column Drilled Pier Foundation)
푸팅을 시공하지 않고 직경 약 2.0~3.5m의 철근 콘크리트로 기초와 기둥을 연속 시공하는 공법
(푸팅시공으로 인한 과다한 지반절취 배제, 지진에 대한 유연한 거동)




(2) 허용 수평변위 기준완화에 따른 단일 현장타설말뚝 설계기준 보완 필요

(2.1) 허용수평변위 : 말뚝지름의 1%이하(2008년) → 최대 38mm(2015년)

| 말뚝직경(예) | 허용변위기준(도로교설계기준) | | 비고 |
|---|---|---|---|
| | 기 존 | 변 경 | |
| 2.0m | 20mm | 38mm | 90% ↑ |
| 2.5m | 25mm | 38mm | 72% ↑ |
| 3.0m | 30mm | 38mm | 27% ↑ |

※ 도로교 설계기준 해설(한계상태설계법, 2015) 7.7.2.2
기초의 수평방향 허용변위량은 구조물의 기능과 형태, 예상사용수명, 차량 주행성, 과대변위발생시 구조물에 미치는 영향 등을 고려하여 결정하며, 38mm를 초과해서는 안된다.

(2.2) 단일 현장타설말뚝의 변위 및 균열을 감안한 휨강성 적용 필요

(2.2.1) F(힘)∝EI(휨강성)× $\delta$(변위) ⇒ 균열에 따른 휨강성 저하시 변위는 크게 발생됨

(3) 단순 거푸집으로만 활용되고 있는 희생강관의 구조적 역할 검토

※ 도로교 설계기준 해설(한계상태설계법, 2015) 7.8.5.2
두께가 3mm 이상인 영구적인 케이싱 강관을 사용할 경우에는 강관이 하중을 분담하는 것으로 고려할 수도 있다. 이 경우 강관의 부식을 고려하여야한다

(3.1) 희생강관을 구조부재로 활용 할 수 있는 세부 설계기준 마련 필요

## 1.2 추진경위

(1) 단일 현장타설말뚝 기초공법 적용 검토(설계구10201-98, '04.3.25)

(1.1) 단일 현장타설말뚝 기초공법의 설계법 수립 및 적용성 검토

(1.1.1) 익산~장수간 제8공구 단양교(L=495m) 시험설계 및 시공

(2) 희생강관의 구조부재 활용관련 토목학회 자문(기술심사처-2843, '14.12.31)

(2.1) 모멘트-곡률해석을 통한 균열을 고려한 말뚝강성 산정방법 제시

(2.2) 희생강관의 하중분담효과 및 구조부재 활용방안 등 제시

(2.2.1) 자문위원 : 영남대교수 등 6명

(3) 도로교설계기준(한계상태설계법) 개정( '15.1.)

(3.1) 2012년 도입된 한계상태설계법의 3년간 유예기간을 거쳐 부분 개정

(3.1.1) 케이블교량 설계기준 추가, 일부 오류사항 수정 등

(3.1.2) 도로교설계기준(한계상태설계법) 해설 발간( ‘15.2)

(4) 단일 현장타설말뚝 설계기준 개선(안) 심의(기술심사처-2995, ‘15.12.17)

(4.1) 푸팅이 있는 말뚝기초보다 상대적으로 변위가 크게 발생하는 단일 현장타설말뚝에 한하여 설계기준 개선(안) 수립

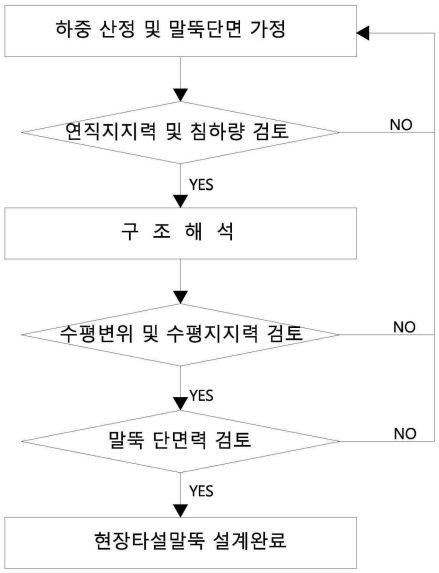
(4.2) 심의결과 : 조건부 채택

# 2. 현황 및 문제점

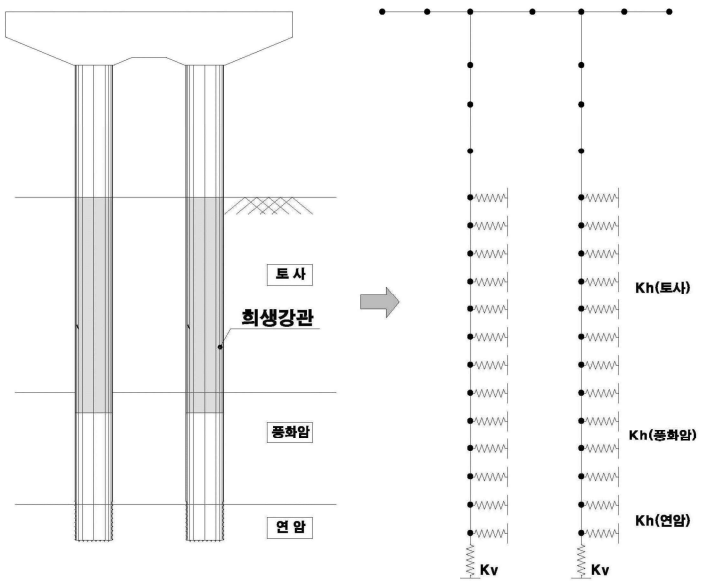
## 2.1 현설계

(1) 단일 현장타설말뚝 설계절차

<설계 흐름도>




<설계 검토단면>



(1.1) 주요 설계검토내용

| 구 분 | 검토내용 | 비 고 |
|---|---|---|
| 연직지지력 검토 | 암반의 선단지지력과 암반상부 주면마찰력으로 허용지지력 산정 | |
| 침하량 검토 | 말뚝본체의 탄성수축과 선단지반 침하를 고려하여 산정 | |
| 수평변위 검토 | 말뚝강성과 지반반력계수를 고려하여 산정 | 강성저하 미고려, 희생강관 무시 |
| 수평지지력 검토 | 말뚝강성과 지반반력계수를 고려하여 산정 | |
| 말뚝단면 검토 | 철근콘크리트 기둥으로 탄성설계 (P-M 상관도 분석) | |

## 2.2 문제점

(1) (희생강관 無) 허용변위기준 완화에 따른 변위 과다설계시 실제 균열발생 가능

(1.1) 일정크기 이상의 변위발생시 균열발생으로 말뚝강성이 저하됨

(1.2) 이 경우, 실제변위는 예측치보다 크게 발생함(변위기준 초과)

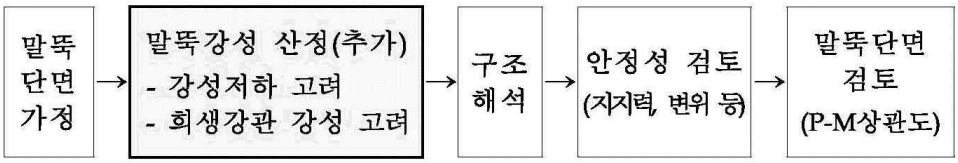
(2) (희생강관 有) 희생강관의 구조적 역할을 고려하지 않아 설계 유연성 부족

(2.1) 말뚝변위 또는 단면력이 부족한 경우 단면확대 등 과다설계 우려

(3) 말뚝강성 저하 및 희생강관의 강성을 고려한 설계기준 마련 필요

# 3. 개선내용

## 3.1 개선방향

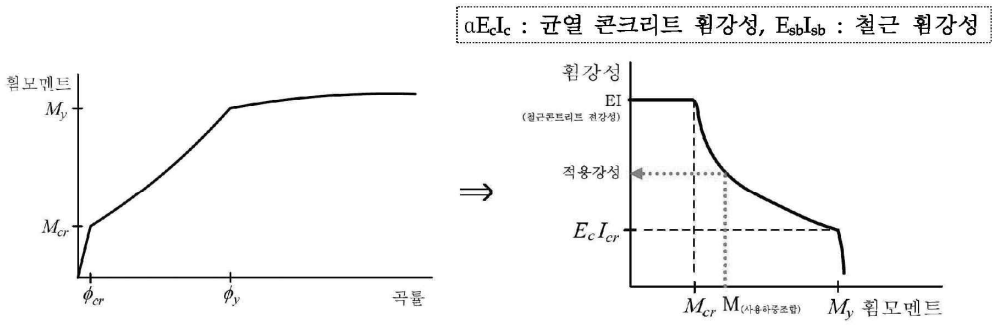



| 검 토 항 목 | 개 선 방 향 | |
|---|---|---|
| | 희생강관이 없는 경우 | 희생강관이 있는 경우 |
| 연직지지력, 침하량 | 현행기준 유지 | 현행기준 유지 |
| 수평변위 및 수평지지력 | 강성저하 고려 | 강성저하 및 희생강관의 강성고려 |
| 말뚝 단면 | 현행기준 유지 | 현행기준 유지 |

(1) 강관합성 효과를 반영한 단면검토는 합성거동에 대한 확신 부족 등으로 향후 추가연구 필요(강구조설계기준 : 합성기둥의 경우 전단연결재 요구)

## 3.2 강성저하를 고려한 휨강성 산정

(1) (학회자문) 휨모멘트-곡률 곡선 및 휨강성(EI=M/ø)-휨모멘트 곡선을 이용하여 균열을 고려한 철근콘크리트의 휨강성( α EcIc+EsbIsb) 산정




(휨모멘트-곡률 곡선) (휨모멘트-휨강성 곡선)

(2) 사용하중조합 최대모멘트 발생시를 기준으로 말뚝의 휨강성 산정

(2.1) 희생강관이 있는 경우 강관과 철근콘크리트의 하중분담을 고려한 최대 모멘트를 적용할 수 있지만, 안전측으로 강관의 하중분담효과 미고려

(3) 직경변화에 따른 강성저하 사례분석

| 구 분 | | 원설계 | 단면축소 | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 강성저하 비율 $(\alpha E_cI_c+E_{sb}I_{sb})/E_cI_g$ | 사례1 | D=2.7m | D=2.5m | D=2.2m | D=2.0m |
| | | 108% | 102% | 94% | 86% |
| | 사례2 | D=2.5m | D=2.2m | D=2.0m | - |
| | | 106% | 79% | 66% | - |

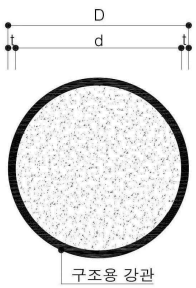
- $E_cI_g$(전강성) : 현재 설계시 적용되는 강성으로 철근이 무시된 강성
- $\alpha E_cI_c+E_{sb}I_{sb}$(강성저하 강성) : 균열을 고려하여 강성저하를 반영한 강성

(3.1) 적용 휨강성은 철근콘크리트 강성저하 강성($\alpha E_cI_c + E_{sb}I_{sb}$)과 콘크리트 전강성($E_cI_g$)을 비교하여 작은 값($\mathrm{Min}[(\alpha E_cI_c + E_{sb}I_{sb}), E_cI_g]$) 적용

(3.1.1) 균열발생이 미미할 할 경우 철근이 고려된 강성저하 강성이 콘크리트 전강성 보다 크게 발생될 수 있음

(3.2) 일반적인 경우 사용한계상태의 하중조건에서는 강성저하 효과가 미미하고, 단면을 과도하게 축소 할 경우 강성저하가 크게 발생됨

## 3.3 희생강관을 고려한 휨강성 산정

| 단 면 | 휨강성 |
|---|---|
|  | $EI = \mathrm{Min}[(\alpha E_cI_c+E_{sb}I_{sb}), E_cI_g] + E_sI_s$(강관의 휨강성)<br>$I_g=\pi d^4/64$<br>$I_s=\pi(D^4-d^4)/64$ |

(1) 철근콘크리트 휨강성에 희생강관의 휨강성($E_sI_s$) 추가

(1.1) 단일 현장타설말뚝 휨강성(EI) = $\mathrm{Min}[(\alpha E_cI_c + E_{sb}I_{sb)}, E_cI_{g]} + E_sI_s$

(1.2) (학회자문) 강관이 좌굴검토 등을 통해 강도가 충분하다고 판단되면 비합성 부재라

도 강관과 콘크리트 부재의 형상은 유지되므로 강관의 강성 추가 가능

(2) 단, 희생강관을 구조부재로 활용하기 위해서는 좌굴검토 필요

(3) 희생강관의 좌굴 검토

(3.1) 강관의 지름두께비에 따라 좌굴검토 후 압축강도와 휨강도가 충분할 경우 구조용 강관으로 강성추가

(3.2) (학회자문) 작용외력을 강관과 철근콘크리트로 분담하여 검토

(3.2.1) 강관의 축력 $N_s = \frac{nA_s}{nA_s + A_c} \times N$, 강관의 휨모멘트 $M_s = \frac{nI_s + \gamma I_c}{nI_s + I_c} \times M$

(3.2.2) 휨모멘트 분담력 산정시 $\gamma$는 불확실성 및 안전을 고려하여, 각각의 부재가 분담하는 이론적인 분담력에 타 부재 분담력을 추가하는 계수로 0.3 적용

(3.3) (검토결과) 사용하중조합에서 좌굴검토 사례분석 결과, 강관두께 약 9mm 이상일 경우 좌굴 미발생

(3.3.1) 현행 사용중인 희생강관은 별도 좌굴검토 없이 강성추가 가능

(3.3.2) 일반적으로 희생강관의 두께는 관입여건을 감안하여 16mm이상 사용중

## 3.4 단일 현장타설말뚝의 휨강성 적용방안

| 구 분 | | 현 행 | 희생강관이 없는 경우 | 희생강관이 있는 경우 |
|---|---|---|---|---|
| 상시 | 변위, 단면력 산정시 | $EI = E_cI_g$ | $EI = Min[(\alpha E_cI_c+E_{sb}I_{sb}),E_cI_g]$ | $EI = Min[(\alpha E_cI_c+E_{sb}I_{sb}),E_cI_g] + E_sI_s$ |
| 지진시 | 변위 산정시 | $EI = E_cI_{y\cdot eff}$ | $EI = E_cI_{y\cdot eff}$ | $EI = E_cI_{y\cdot eff} + E_sI_s$ |
| | 단면력 산정시 | $EI = E_cI_g$ | $EI = E_cI_g$ | $EI = E_cI_g + E_sI_s$ |

※ (상 시) 단일 현장타설말뚝의 장주효과 고려시 단면2차모멘트($I_g$)는 $0.7I_g$ 적용

※ (지진시) $I_{y\cdot eff}=(0.16+12\rho+0.3\sqrt{P_u/f_{ck}\cdot A_g})\times I_g$

($P_u$ : 축력, $\rho$ : 철근비, $f_{ck}$ : 콘크리트압축강도, $A_g$ : 단면적)

(1) (말뚝강성) 단일 현장타설말뚝 휨강성은 철근콘크리트 모멘트-곡률해석을 통하여 산정된 강성저하 강성과 콘크리트 전강성을 비교하여 작은 값($\mathrm{Min}[(\alpha E_c I_c + E_{sb} I_{sb}), E_c I_g]$)으로 적용

(1.1) 희생강관이 있는 경우, 별도의 좌굴검토 없이(9mm 이상일 경우) 구조용 강관으로 강성 추가 반영 : $EI = \mathrm{Min}[(\alpha E_c I_c + E_{sb} I_{sb}), E_c I_g] + E_s I_s$

(1.2) 희생강관은 부식두께를 고려하여 적용 [부식두께는 2mm를 기본으로 하고, 지형여건(비말대, 염화물함량 등)을 고려하여 별도 검토후 결정]

(2) (적용방법) 개선된 말뚝 휨강성(EI)으로 상시와 지진시로 구분하여 산정된 구조해석결과(변위, 단면력 등)로 말뚝 안정성 및 단면 검토

(2.1) 안정성 검토 : 수평변위 및 수평지지력 검토에 한하여 적용

(2.2) 말뚝단면 검토 : 단면력(외력) 산정시에 한하여 적용

# 4. 결론

## 4.1 기대효과

(1) (희생강관 無) 기술형 입찰공사, 민자도로 교량설계 등 증가추세에 있는 단일 현장타설말뚝 설계에 대한 안전성 확보

(1.1) 변위기준 완화에 따른 과도한 단면축소 설계 예방

(2) (희생강관 有) 희생강관의 구조부재 활용으로 단일 현장타설말뚝 설계 유연성 확보

(2.1) 특히, 말뚝 단면력에는 여유가 있으나, 수평변위가 말뚝단면 결정에 지배적인 경우 경제적인 말뚝설계 가능

(2.2) 희생강관을 고려하여 말뚝단면 축소시 개소당 약 10% 공사비 절감 가능

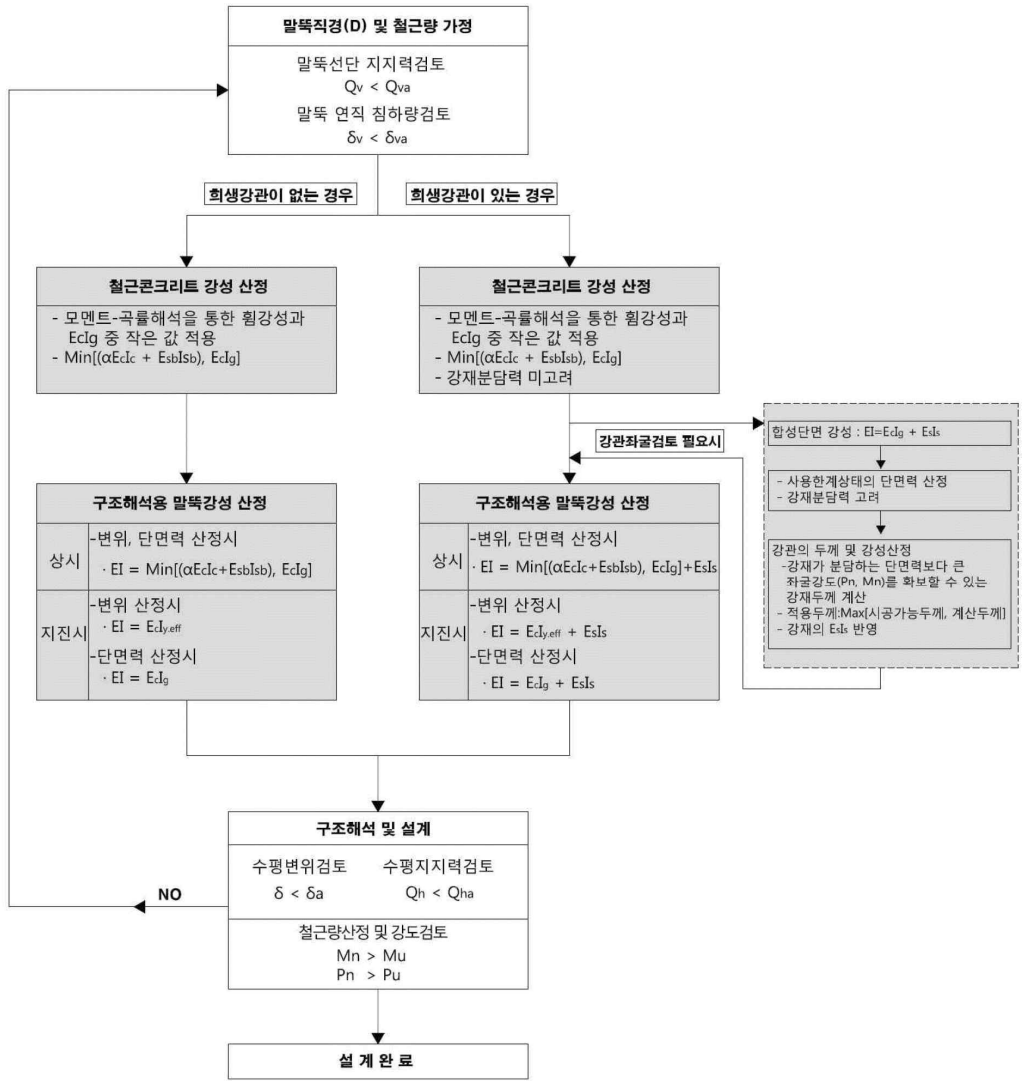
## 4.2 적용방안

(1) 설계중인 노선 및 향후 설계노선 적용

(1.1) 푸팅이 있는 일반 현장타설말뚝의 경우에도 적용가능

# 5. 기타

## 5.1 설계흐름도




여기서

$E_c$ : 콘크리트 탄성계수

$E_{sb}$: 철근 탄성계수

$E_s$ : 강관 탄성계수

$I_g$ : 전단면 단면이차모멘트

$I_c$ : 콘크리트 단면이차모멘트

$I_{sb}$: 철근 단면이차모멘트

$I_s$ : 강관 단면이차모멘트