교량 매입말뚝 공법 설계기준 개선

1 검 토 배 경

교량 매입말뚝 공법이 상위기준과 '고속도로공사 전문시방서' 및 설계내역서의 분류기준 및 명칭이 상이하고, 고정액 및 천공직경 등에 대한 시공성을 향상하기 위하여 관련 기준을 개선하고자 함

2 분 류 기 준

1 매입말뚝공법 기준별 용어현황

KDS 24 14 50 교량하부구조 설계기준(일반설계법)	구조물기초설계기준 해설(2009)	고속도로공사 전문시방서(2012)	설계내역서, 단가산출서
선굴착 기성말뚝공법	-	선굴착 후 최종항타공법 (프리보링 타격공법)	-
-	SIP 공법 (선굴착 **시멘트풀 주입**공법)	**시멘트밀크 공법** (SIP 공법)	SIP
-	SDA(DRA) 공법 **(이중오거공법)**	-	SDA, SDA+T4
내부굴착말뚝	PRD 공법 **(회전 관입공법)**	내부굴착 후 **최종항타공법** (DRA, PRD 공법 등)	PRD
시멘트풀 보강 (KDS 11 50 15 깊은기초설계기준)	**선단고정액** (부배합비 적용)	**선단근고액** (W/C = 70%)	선단근고액 (그라우팅)
〃	주면고정액 (빈배합비 적용)	주면고정액 (표준일축압축강도 490kpa 이상)	주면고정액 (W/C 150%)
-	**평균배합비** (W/C = 0.83~1.0)	**물-시멘트비** (W/C)	물-시멘트비

※ 매입말뚝공법의 비교(구조물기초설계기준해설, p384)

구분	공벽붕괴 방지책	경타		공기	공사비	품질관리	사용빈도	사용말뚝
SIP공법(경타)	없음	선택	실시	빠름	저가	용이	많음	PHC,강관
SIP공법(침설)	없음	미실시	미실시	중간	중간	어려움	적음	PHC,강관
SDA공법	케이싱	미실시	실시	중간	중간	중간	많음	PHC,강관
PRD공법	말뚝본체	미실시	실시	중간	고가	중간	많음	강관
비 고	실적용	공법 원리	실적용	상대적 비교	상대적 비교	상대적 비교	상대적 비교	공법원리

* 주) SIP(Soil-cement Injecetd precast Pile), SDA(Separated Doughnet Auger), DRA(Dual Respective Auger), PRD(Percussion Rotary Drill)

3 고정액 및 천공직경 시공현황

1 조사대상 : 9개 건설사업단, 73개 교량, 8,945본

- ○ 공법분류 : SDA공법 7,763본(86.8%), SIP공법 1,182본(13.2%)
- ○ 재료분류 : 강관말뚝 7,452본(83.3%), 복합말뚝 1,493본(16.7%)

2 선단근고액 : 대부분 시방기준와 유사하게 시공

▶ 전문시방서 : 물시멘트비(W/C) 70% 이하

배합비(W/C)	말뚝갯수	비율(%)
소 계	7,452	100.0
60%	879	12.0
70%	**6,573**	**88.0**

3 주면고정액 : 대부분 시방기준 보다 높은 시멘트비로 시공

▶ 전문시방서 : 표준일축압축강도 490kpa 이상 (W/C 150% 수준)

배합비(W/C)	말뚝갯수	비율(%)
소 계	8,945	100.0
60%	1,159	13.1
70%	**1,844**	**20.6**
90%	3,958	44.2
100%	1,148	12.8
150%	725	8.1
157%	111	1.2

※ 선단근고액과 주면고정액 **동일한 배합비** 적용 : **2,163본 (29.0%)**

4 복합말뚝(폐단말뚝) 선단근고액 설계 및 시공 : 상세기준 없음

▶ 전문시방서 : 개단말뚝 위주로 내부(H=4d+1m)를 채우도록 명시
(폐단말뚝의 경우 내부채움 불필요)

- ○ **선단근고액 시공 : 640본 (42.8%)**
- ○ 선단근고액 미시공 : 853본 (57.2%)

5 매입말뚝 굴착직경 : 대부분 말뚝직경 + 100mm 내외 시공

▶ 전문시방서 : 말뚝직경 + 100mm 이상

▶ 구조물기초설계기준해설 : 말뚝직경 + 100mm 정도

- ○ 100mm 이상 : 7,211본(80.6%)
- ○ **100mm 미만 : 1,734본(19.4%)**

4 문 제 점

1 기준별 명칭 상이 및 설계 오류 발생

○ 기준별 명칭 상이, 영문화된 명칭으로 설계과 다른 시공사례 발생
- 설계: SIP 공법 → 시공: 프리보링 타격공법 or SIP 공법 적용

○ 지반조건 및 공법특성에 맞지않는 설계적용으로 설계변경 발생
- SIP 공법은 공벽붕괴 방지를 위해 굴착액을 반영하여야 하나 미반영
- 현장에서 공벽붕괴 사유로 SIP 공법을 SDA 공법 변경사례 발생

<구조물기초설계기준해설(2009)> (p383)
SIP공법은 공벽붕괴의 가능성이 있는 현장조건에서 사용이 곤란함을 알 수 있다. SIP공법에서 굴착액을 사용하여 굴착 중 공벽을 보호하려는 시도도 있지만, 시공성 및 효과가 좋지않아 자주 사용하지 않는다.

2 공법별 고정액(시멘트풀)에 대한 상세 기준 미흡

○ 말뚝 공법 및 말뚝 재료 등을 고려한 상세 기준 미흡
- 선단근고액 : 폐단말뚝의 경우 내부채움은 불필요하나 설계사례 있음
- 주면고정액 : 시방서는 일수현상 등 고려 말뚝 주면공간의 2~3배 정도 주입량 산정
  → 설계시 주면공간 수량만 산정하나 시공시 설계대비 적게 시공

※ 매입말뚝 주면고정액 공사비 정산 부적정 감사지적(감사실-1792, 2016.9)

○ 선단근고액과 주면고정액 배합비 상이로 시공성 불리
- 선단고정액과 주면고정액 동일한 W/C 적용 : 2,163본 (29.0%)

○ 선단근고액과 말뚝내부채움에 대한 명확한 기준 부재
- 폐단말뚝은 선단근고액 중 내부채움, 타격 공법은 그 외 내부채움 삭제 가능

3 매입말뚝 굴착 직경 시방기준 재검토 필요

○ 전문시방서에서는 매입말뚝 직경 대비 100mm이상 굴착직경을 확보하도록 하고 있으나, 굴착직경은 구조적인 계산에 따라 산정된 범위가 아니고 시공실적 축적 및 장비성능 향상 등으로 공법특성 및 적용장비 등에 따라 탄력적인 적용 필요

5 개 선 방 안

1 매입말뚝공법 분류 개선 ("도로교량 매입말뚝의 한계상태설계법 적용방안 연구" 참조)

○ 고정액 명칭은 상위기준(구조물기초설계기준)에 맞춰 개정

- 시멘트**밀크**→시멘트**풀**, 선단**근고**액→선단**고정**액

○ 공법분류 및 고정액(시멘트풀) 적용기준 정립

굴착	타격 방법	말뚝재료 (선단부)	고정액(시멘트풀)			**공법분류** *케이싱 필요시 표기	기존공법 설계표기
			선단고정액	주면고정액	내부채움		
선굴착	항타	강관	×	○	×	선굴착 후항타공법	프리보링타격
	경타 (압입)	개단말뚝	○	○	△(폐합효과)	선굴착 후경타공법	프리보링타격, SIP,SDA,DRA
		폐단말뚝	○	○	×	선굴착 후경타공법(케이싱)	
	미타격	강관	○	○	○	선굴착 후선단근고공법	SIP(침설)
내부굴착	항타	강관	×	×	×	내부굴착 후항타공법	PRD
	경타	강관	○	×	△(폐합효과)	내부굴착 후경타공법	PRD

* 주) 항타 : 말뚝 선단이 지반에서 말뚝 직경의 3배 이상 관입하도록 타격하는 것
경타 : 말뚝 선단이 지지층(굴착바닥면)에 안착될 수 있도록 타격하는 것
케이싱 : 말뚝 공벽붕괴가 예상되는 경우 적용

* 굴착 후 타격 시행시 주면고정액은 타격 후 주입 (미타격일 경우는 말뚝 내부채움)

☞ 필요시 케이싱, 굴착장비 표기 병행 : 예) 선굴착 후경타공법(케이싱+T-4)

2 선단 및 주면고정액 배합비 통일

○ 선단고정액과 주면고정액 동일한 배합비 적용으로 **시공성 향상**

- W/C = 70% (주면마찰력 확보를 위해 **주면고정액 배합비 상향**)

* 축소모형 매입말뚝 실험결과 W/C가 작은 경우 → 구근 형성 및 품질관리 유리

<구조물기초설계기준해설(2009)> (p384)
시멘트풀 배합비는 일반적인 조건에서 평균배합비(w/c=0.83~1.0)를 적용한다. 그러나 마찰력 위주로 시공될 필요가 있는 경우, 또는 지하수에 의해 시멘트풀이 희석되거나 시멘트풀이 유실될 가능성이 있는 경우는 부배합비를 적용하는 것이 필요하다.

○ 주입량은 시공현황, 배합비 상향 등을 고려하여 현재대로 설계

- 푸팅 설치 전 일수현상 확인 및 고정액 추가 채움 실시
- 고정액은 자동계량장치를 통해 시공 후 주입량 정산

3 매입말뚝 굴착직경 현실화

○ 굴착직경은 말뚝직경+100mm를 기준으로 변경 가능하도록 개선
- 설계는 수량산출을 위해 말뚝직경+100mm를 기준으로 산출
- 시공계획서 작성시 감독원 승인에 따라 굴착직경 변경 및 정산

○ 고정액(시멘트풀)은 자동계량장치를 이용하여 정산 시행

4 매입말뚝공법 설계적용 방안

○ 매입말뚝은 대부분 인접 지장물의 소음 및 진동에 대한 대책으로 적용되므로 항타공법 가급적 지양

○ 지반 특성상 공벽유지가 불가능한 경우 효과가 확실한 케이싱 또는 내부굴착 공법 적용

○ 개단형 강관말뚝은 선단고정액을 내부(4D+1m)까지 적용하나, 기성콘크리트말뚝 등 선단폐쇄형 말뚝의 경우 선단고정액을 말뚝 외부에만 적용

○ 말뚝내부 시멘트풀 완전 채움은 미타격(선단근고) 공법시에만 적용하며 이 경우에는 강관말뚝 적용

○ 고정액은 공법 및 말뚝재료의 특성을 고려하여 설계 체적의 100%를 계상하고, 시공 후 정산 시행

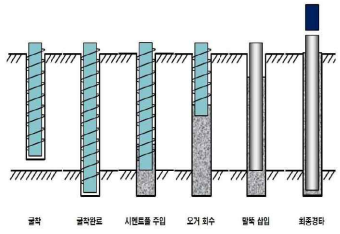
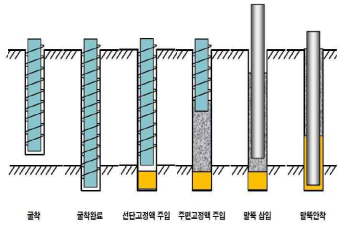
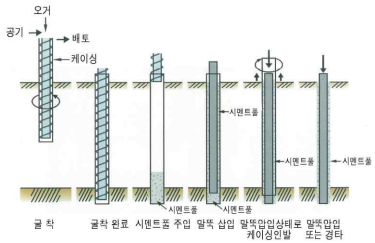
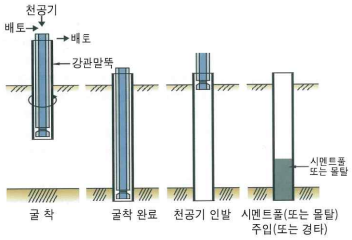
6 향후 추진계획

□ 현재 설계중인 노선부터 본 지침 적용

□ 향후 '고속도로 전문시방서' 개정시 개선내용 반영 및 상위기준 개정시 개선내용 반영 건의

붙 임 # 2

□ 매입말뚝 공법별 특징

구분	당초	SIP 공법, 프리보링타격공법	SIP 공법	SDA 공법	PRD 공법
	변경	선굴착 후경타 공법	선굴착 후선단근고 공법	선굴착 후경타 공법(케이싱)	내부굴착 후경타 공법
공법개요					
		• 지지층까지 굴착(오거) → 선단고정액 주입→ 교반 → 말뚝삽입 → 경타 → 주면고정액 주입 • 지지층에 도달 후 경타	• 지지층까지 굴착(오거) → 선단고정액 주입→ 교반 → 주면고정액 주입 → 말뚝삽입 • 시멘트풀 주입 후 말뚝 삽입	• 상부 Auger Screw와 하부 Casing Screw를 상호 역회전하며 지반을 천공한 후 강관 내부에 시멘트 밀크 주입 후 Screw를 인발하여 말뚝 삽입 후 경타(또는 압입)	• Air Hammer나 바버(Barber) 드릴 등 암반 천공장비를 말뚝의 내부에 넣고 말뚝 선단부의 지반을 굴착하면서 말뚝을 회전 압입하여 지지층에 말뚝 삽입 후 경타
시멘트풀		• 선단고정액 주입 (공저 슬라임과 교반) • 주면고정액을 말뚝주변에만 충진	• 선단고정액 주입 (공저 슬라임과 교반) • 주면고정액을 말뚝내부 및 주변 모두 충진	• 선단고정액 주입 (공저 슬라임과 교반) • 주면고정액을 말뚝주변에만 충진	• 선단고정액만 충진 (주면고정액 불필요)
선단 비트		• Auger Screw	• Auger Screw	• Auger Screw + Casing Screw	• PRD장비+비트장착말뚝 회전 압입
개략공사비		• 42,243원/m	• 64,780원/m	• 44,623원/m (T-4 적용시 77,176원/m)	• 132,007원/m (T-4 적용 기준)
적용가능 지반		• 안정된 토사 및 풍화암 지반으로 공벽유지 가능한 지반 • 15cm이하의 자갈, 전석 지반	• 안정된 토사 및 풍화암 지반으로 공벽유지 가능한 지반 • 소음 및 진동 민원 등으로 경타 시공이 불가할 경우 적용	• 공벽 유지 불가능한 지반 • 15cm이상의 자갈, 전석 지반 • N치 50이상의 사력층 및 호박돌층, 암반층 (T-4장착시)	• 공벽 유지 불가능한 지반 • 15cm이상의 자갈, 전석 분포 지반 • 암반층
장 · 단점		• 경제성 가장 우수 • 선굴착 하므로 지지층 확인 용이 • 선단지지력 확보를 위해 최종 경타 필수적	• 경제성 보통 • 선굴착 하므로 지지층 확인 용이 • 시공시 말뚝 지지력의 즉시 확인이 어려움 • 초기 동재하 시험 불가로 반드시 시멘트풀 양생후 동재하 시험 필요	• 강관을 이용하여 천공하기 때문에 붕괴 우려가 있는 지층에 적합 • 굴착토 육안 확인 가능 • 경제성 우수 (T-4장착시 다소 불리) • 심도가 깊은 경우 선단부 완전 배토가 어려움	• 자갈, 호박돌 등 공벽 유지가 어려운 지층에서도 작업이 가능 • 최대 30m까지 시공 가능 • 경제성 불리 • 품질관리에 다소 어려움
적용말뚝		강관말뚝, 복합말뚝, 기성콘크리트말뚝	강관말뚝	강관말뚝, 복합말뚝, 기성콘크리트말뚝	강관말뚝