

건축분야 파일 기초

박종배 수석연구원

2012.06.26

토지주택연구원

CONTEXT

01_ INTRODUCTION(들어가며)

02_ 말뚝 최신 공법

03_ 최신 말뚝 설계 동향

01

Introduction

■ 말뚝기초 시공의 최근 동향

- 다양한 시공법의 개발 (매입공법, 현장타설말뚝)
- 대구경 현장타설말뚝의 보편화
- 다양한 PHC 말뚝의 생산 (대구경, 복합말뚝)



- 건물의 고층화에 부합
- 열악한 지반조건에 대응 가능
- 라멘구조 아파트에 적합

■ 말뚝기초 설계의 최근 동향

- 한계상태설계법으로의 전환
 - LRFD 설계법 (AASHTO, 미국)
 - EUROCODE (유럽 국가)
- 한국은 허용응력설계법을 사용중이나, 학계, 연구소 등에서 활발히 연구중임.



- 경제적인 말뚝기초 설계 가능
- 국내의 지반 및 시공여건에 맞는 설계기준 수립필요



강관말뚝기초



흙막이벽



High Performance Foundation

강관버팀보



01 들어가며

개요

국내 기초시장 현황

			교량		건축물			항만	플랜트	기타	총계 (×1000 ton)				
			해상	육상	초고층	일반 건물	Re-building								
고성능기초	최신, 고성능 깊은기초	항타말뚝	0.0	304.6	0.0	164.0	27.0	0.0	200.8	27.4	723.9				
		현장타설 말뚝	0.0	76.2	0.0	1475.9	63.0	0.0	83.7	0.0	1698.7				
		해상말뚝	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.9	0.0	0.0	62.9			
	대구경 복합기초(장대교량용)	현장타설말뚝	95.0	0.0	71.9	0.0	0.0	0.0	50.2	0.0	217.1				
		케이슨	23.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.7				
	고효율 직접기초	벽체기초(바렛)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.7	0.0	96.0	111.8				
		Support	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	150.9	150.9				
		탑다운	0.0	0.0	107.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	107.8				
	초장대 교량			교량	118.7	3	초고층빌딩	163	건축물	0.0	78	항만	34.7	274.4	30

말뚝기초 시장
2.7백만톤/년

얕은기초시장
31만톤/년



01 들어가며

개요

PHC 말뚝 대구경화

(Large - Diameter Pretensioned spun High strength Concrete)

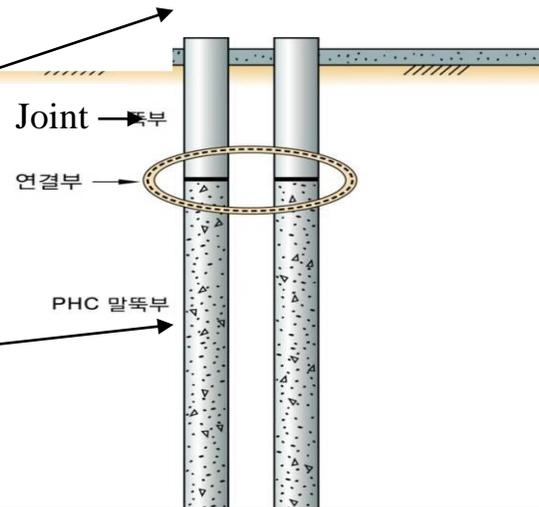
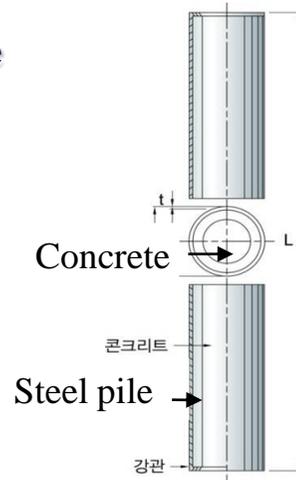


HCP pile



강관 + 콘크리트 말뚝

• SC pile



합성말뚝

• Composite shell system

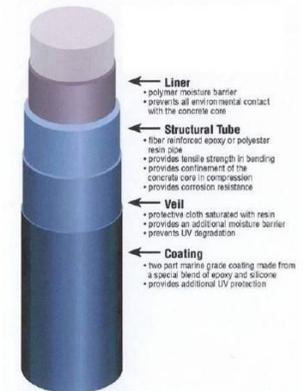


• FRP composite pile

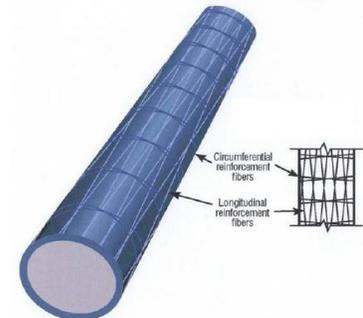


CSS pile

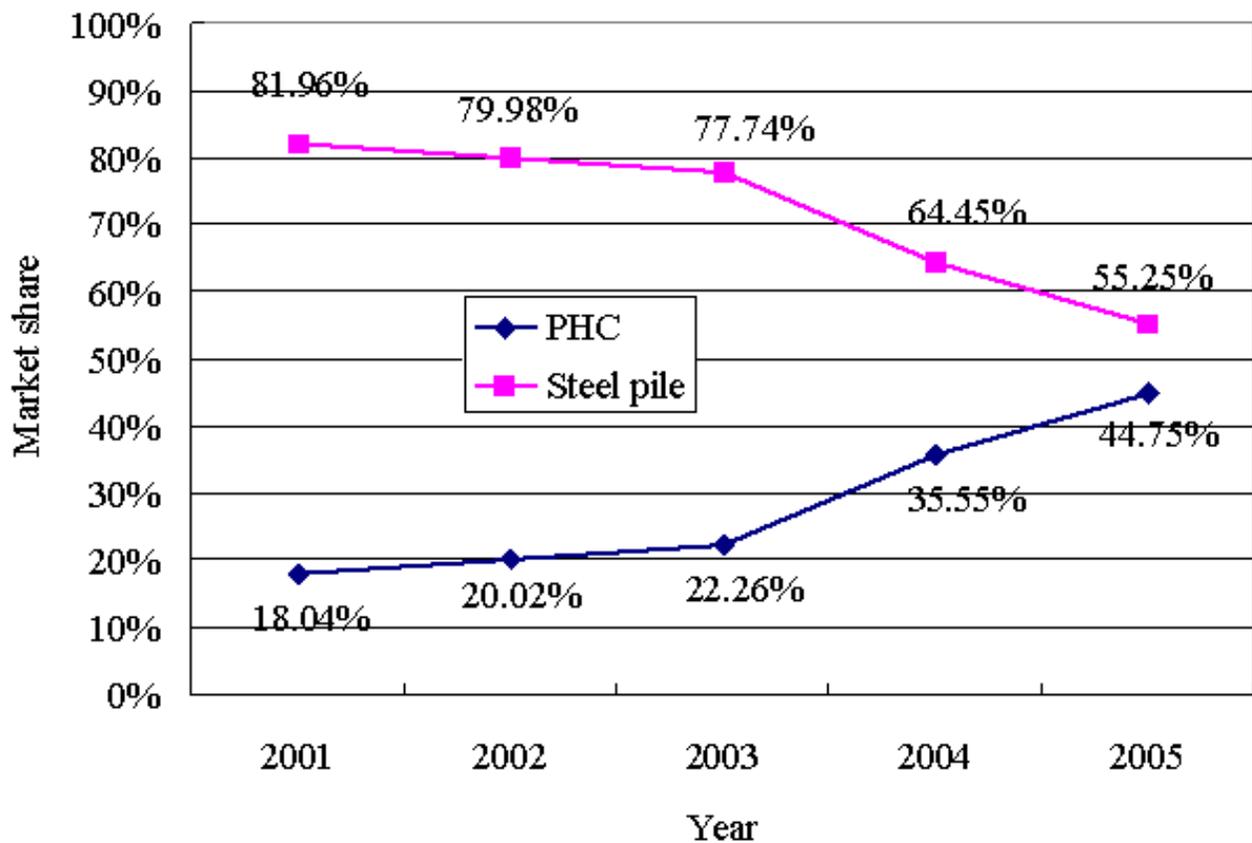
Light weight



High tensile strength

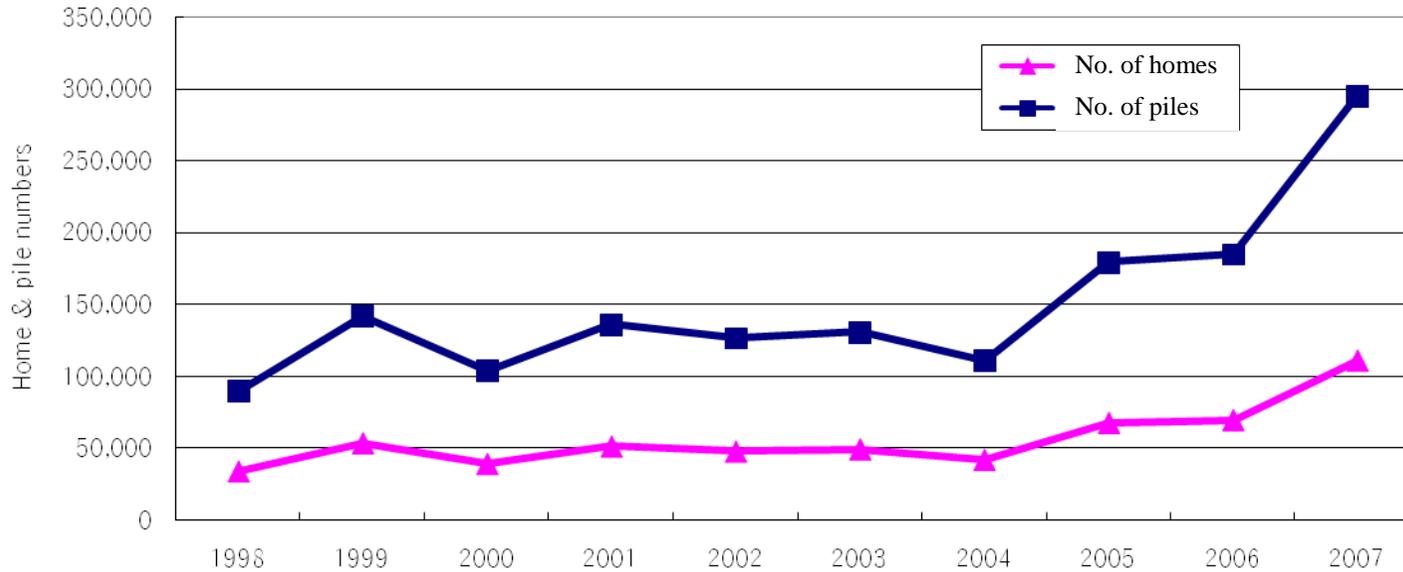


직경 500mm 말뚝의 시장비율



○ LH 말뚝기초 현황

- ▶ LH공사는 해마다 PHC 말뚝의 시공량이 30만본 이상에 이르러 단일 회사로는 세계 최대 규모의 말뚝시공량을 기록하고 있음
- ▶ 매년 약 1,000회의 정재하시험과 7,000회의 동재하시험 실시 : 약 1%의 말뚝의 지지력만 확인
- ▶ 많은 수의 말뚝에 대해 품질을 확보하기 위해서는 보다 과학적이고 안전한 시공 및 품질관리 방법이 필요



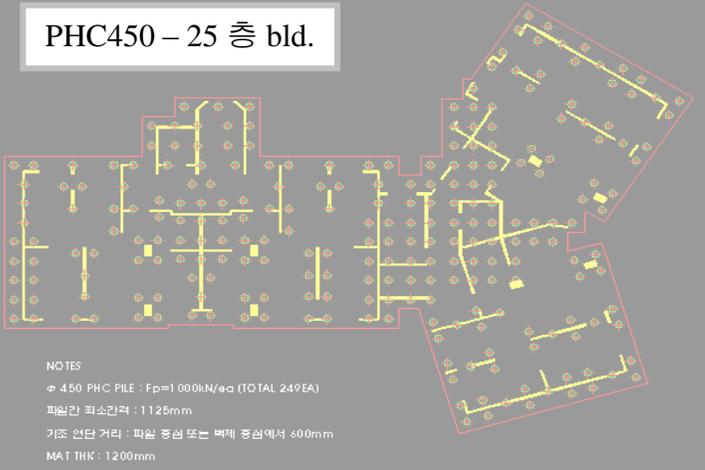
< LH 공사 연간 말뚝시공량 변화 >

01 들어가며

개요

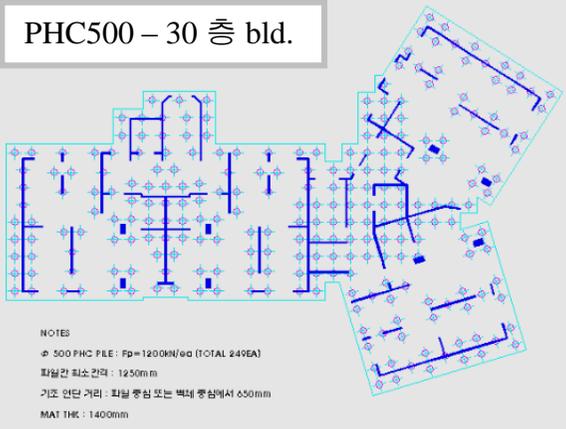
LH 공사에 사용되는 아파트 기초용 말뚝설계 사례

PHC450 - 25 층 bld.

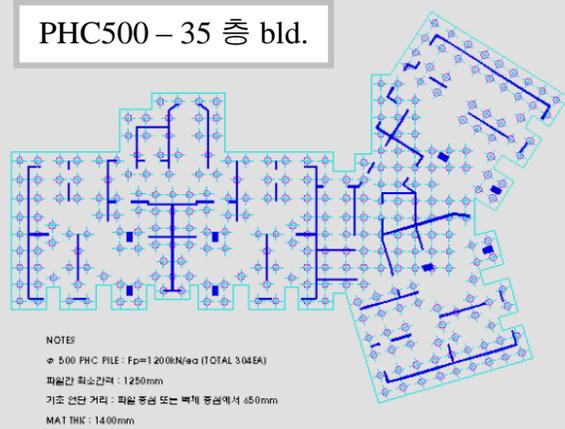


말뚝갯수, 하중	25 층	30 층	35 층	
	φ450 (100 tf/ea)	φ500 (120 tf/ea)	φ500 (120 tf/ea)	φ600 (160 tf/ea)
말뚝 본수 (ea)	249 ea	249 ea	304 ea	226 ea
총 연직하중 (tf)	21968 tf	26136 tf	29503 tf	29503 tf
말뚝 당 연직하중	88 tf/ea	110 tfea	100 tf/ea	137 tf/ea
수평 지진하중 합 (tf)	1817 tf	1879 tf	1403 tf	1403 tf
말뚝 당 수평지진하중 (tf/ea)	7.3 tf/ea	7.5 tf/ea	4.6 tf/ea	6.2 tf/ea

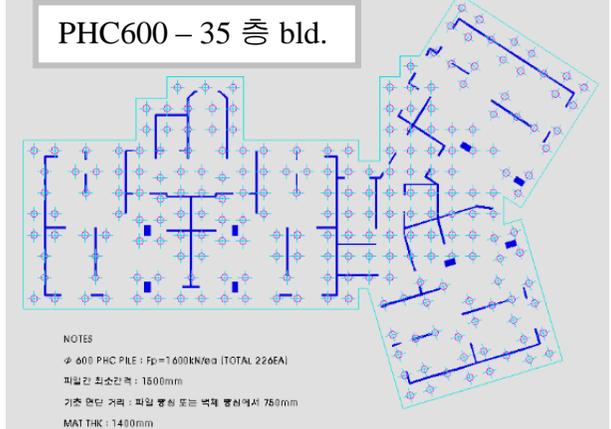
PHC500 - 30 층 bld.



PHC500 - 35 층 bld.



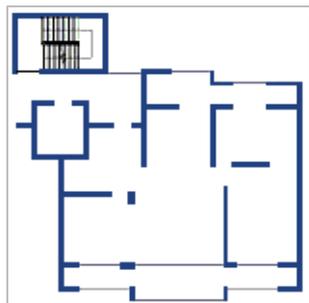
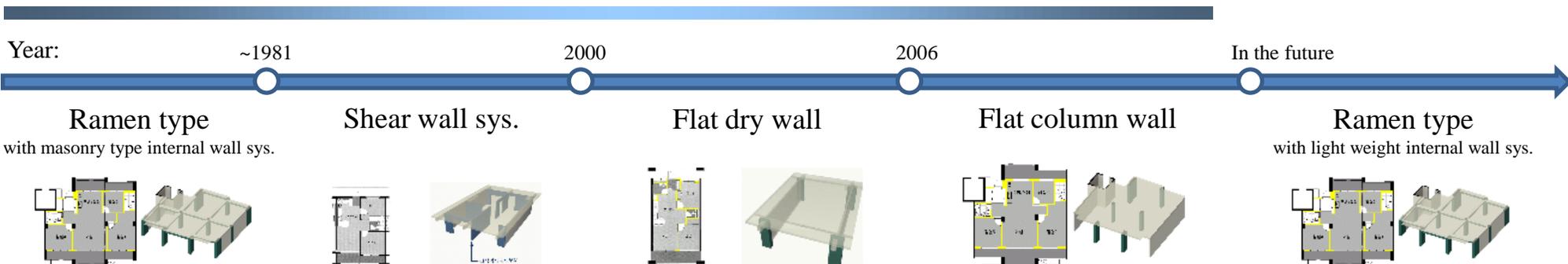
PHC600 - 35 층 bld.



01 들어가며

개요

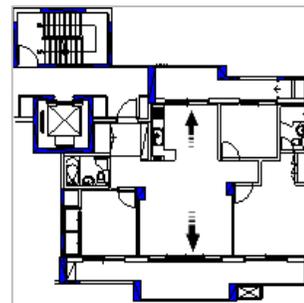
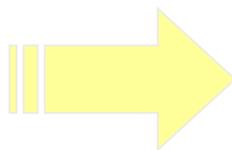
건물구조 변화에 따른 말뚝의 발달



Shear Wall System

- with -

Small size piles



Flat Column Wall sys.

- with -

Larger & high efficiency piles

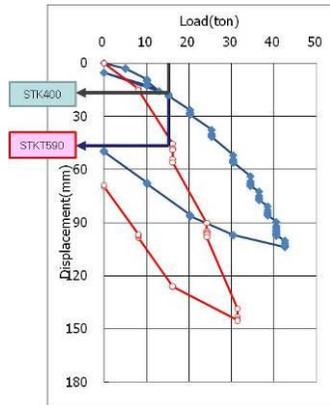
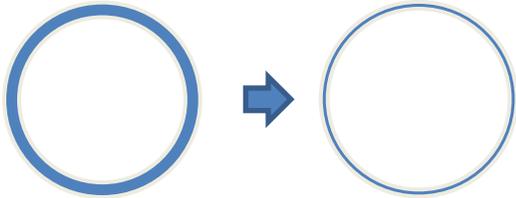
01 들어가며

개요

단위 중량 감소

STK400
D508.0x12t

STKT590
D508.0x9t



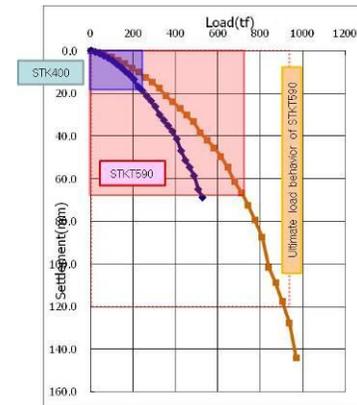
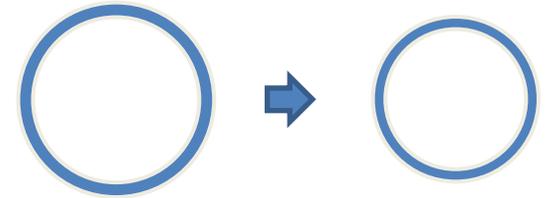
<Lateral load test result comparison>

- 설계지지력 : 30% 증대
- 재료비용 : 25% 감소

설계지지력 증대

STK400
D508.0x12t

STKT590
D406.4x12t



<Vertical load test result comparison>

- 설계지지력 : 48% 증대
- 재료비용 : 20% 감소

600MPa
grade

01 들어가며

개요

호남고속철도(KTX)



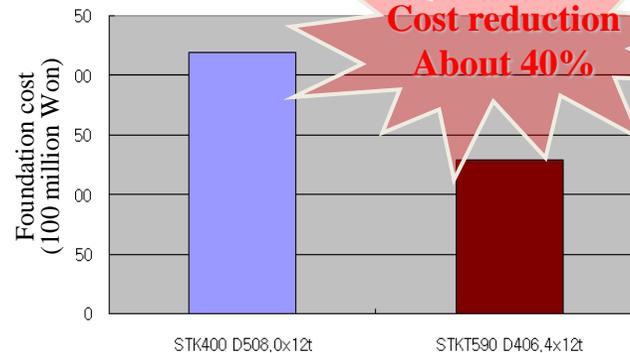
송도 건축물 기초



광양의 플랜트 기초



일반강관 대비 고강도 강관말뚝의 공사비 비교



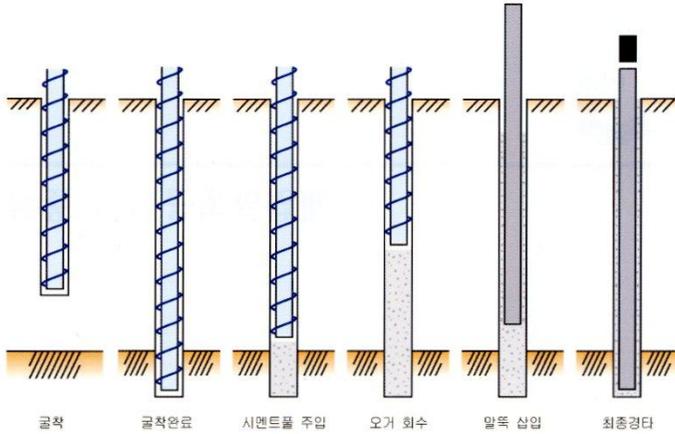
02

말뚝 최신평법

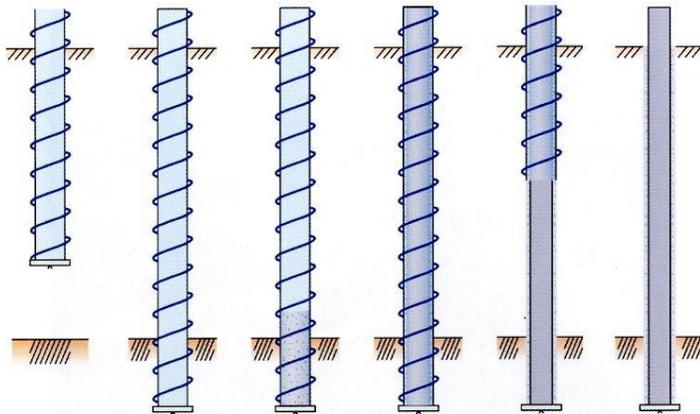
대표적인 말뚝 공법

말뚝 재료	시공 방법	대표 공법	최신 공법 / 특수 공법
기성 말뚝 > 강관말뚝 > PHC 말뚝 > 초고강도 PHC > 복합 말뚝	타입 공법 매입 공법	항타 말뚝 SIP 공법 DRA(SDA) 공법 증굴 공법	복합 말뚝 공법 선단확대 말뚝 대구경 PHC 말뚝
현장타설말뚝	기계 굴착 인력 굴착	RCD 공법 Earth Drill 공법 All Casing 공법 심초 공법	PRD 공법 Barrette 공법 Micro 파일 공법

매입말뚝



SIP(최종경타)



SAIP



일반 SIP 장비

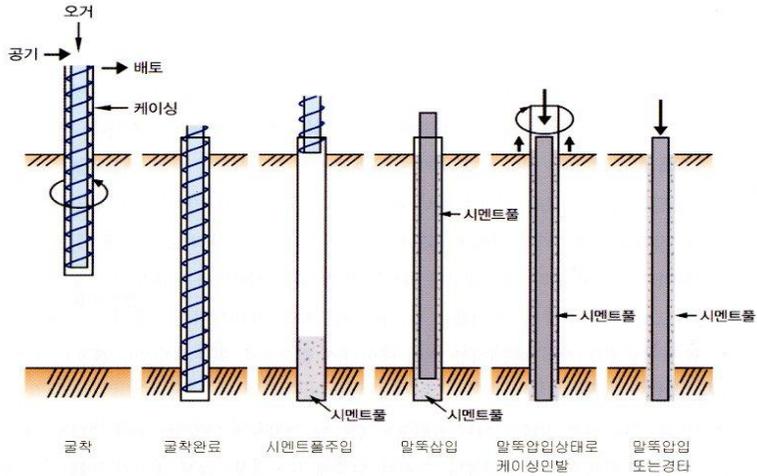


SIP T4 장비

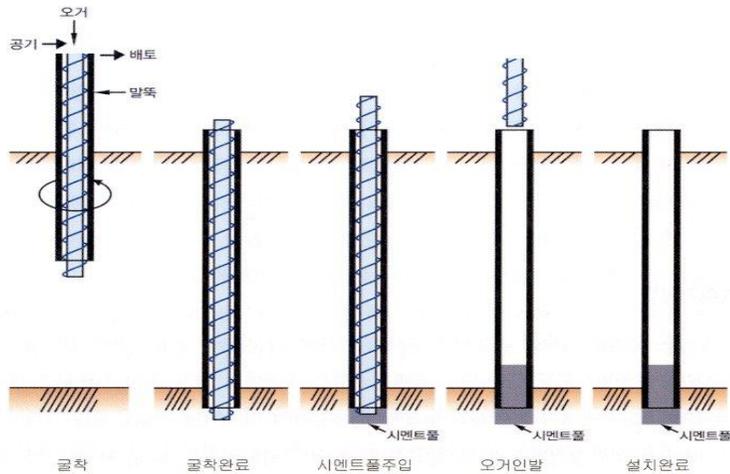


SAIP 장비

매입말뚝



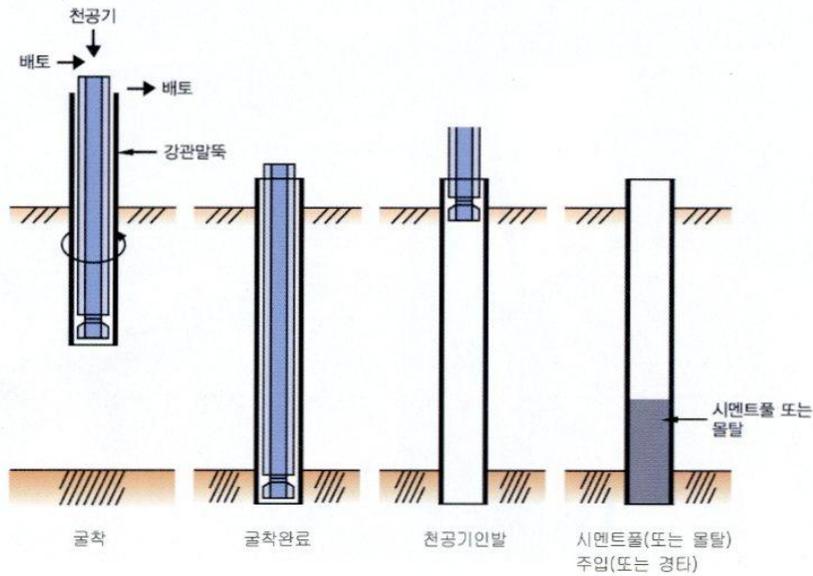
SDA



속파기공법



SDA 장비



PRD 공법



PRD 장비

말뚝 직경에 따른 시공방법

말뚝 종류	시공법	직경 (mm)									
		500	600	800	1,000	1,200	1,500	2,000	2,500	3,000	
PHC 말뚝	한타 공법	■									
	매입 공법	■	■	■	■						
	중굴 공법				■	■	■				
강관 말뚝	한타 공법		■	■			▨	▨	▨	▨	▨
	매입 공법		■	■							
	중굴 공법				▨	▨	▨				
현장타설말뚝	RCD 공법					■	■	■	■	▨	▨
	PRD 공법				■	■	■				

■ 건축 공사
▨ 토목 공사

최신 기초공법 현황

○ 대구경 PHC 말뚝공법

- ▶ 일반적으로 직경 700~1200mm PHC 말뚝
- ▶ 중구경(직경 400~600mm)보다 높은 수평하중과 축하중 분담 가능
- ▶ 초고층 구조물 등 대형구조물에 유리
- ▶ 장비 등의 이유로 매입공법으로 주로 시공됨



※ PHC말뚝 성능비교표

말뚝직경 (mm)	두께 (mm)	단면적 (m ²)	구분	허용 축하중 (kN)	비고
350	60	0.0547	A종	900	•콘크리트 압축강도 - A종 : 80MPa - B종 : 85MPa - C종 : 85MPa
400	65	0.0684	A종	1,120	
450	70	0.0836	A종	1,370 (100%)	
500	80	0.1056	A종	1,730 (126%)	
600	90	0.1442	A종	2,360 (172%)	
700	100	0.1885	A종	3,090 (225%)	
800	110	0.2385	A종	3,910 (285%)	
900	120	0.2941	A종	4,830 (353%)	
1,000	130	0.3553	A종	5,840 (426%)	
1,200	150	0.4948	A종	8,120 (593%)	

최신 기초공법 현황

○ 대구경 PHC 말뚝공법 적용 사례

LH

- ▶ 지구 : 고양원흥 A-4BL
- ▶ 적용대상 및 내용
공동주택 9개동
(59평형 445, 74평형 48, 84평형 105세대),
주민공동시설, 지하주차장
- ▶ 당초 : D450 PHC말뚝 → 변경 : D700 PHC말뚝
- ▶ 기대효과
D450 적용 대비 순수 파일공사비 약 4% 증가 예상
- ※ 15m파일기준,파일본수 절감에 따른 공기절감 효과 미반영



SH공사

- ▶ 지구 : 서울 신내 3지구 2단지
- ▶ 적용대상 및 내용
공동주택 17개동, 주민공동시설, 지하주차장
- ▶ 당초 : D450 PHC말뚝 → 변경 : D700, 800 PHC말뚝
- ▶ 기대효과
D450 적용 대비 순수 파일공사비 약 25% ~ 3% 절감 예상
- ※ 10.0m 파일기준, 철근정착 물량 생략



최신 기초공법 현황

일본 대구경 PHC 말뚝 시공모습



하네다 공항 부근 말뚝현장



대구경 매입말뚝 시공 장비



대구경 PHC 말뚝(직경 800mm)



압입식 말뚝관입 장비



말뚝 이음 위치 조정



볼팅이음



이음시 말뚝고정 장비

최신 기초공법 현황

기술개요	-무용접 볼팅 이음에 의한 연결부위 품질 향상 및 공기 단축	
특징	국내현황/문제점	일본현황(개선방향)
	<ul style="list-style-type: none"> -PHC 말뚝의 이음시 용접에 의존 -감독이 철저하지 않은 경우 용접시공 불량우려 -전문용접사가 필요하고 용접시간이 오래 걸림 -전문시험기관이 용접결함 검사를 하므로 별도의 비용과 시간이 소요됨 	<ul style="list-style-type: none"> -일본은 80~90%가 무용접 볼팅이음 -균일한 시공품질확보 -아무나 작업가능하고 용접 대비 작업 시간이 1/3로 단축됨 -품질시험이 필요없어 비용과 시간이 절약됨 -대구경 말뚝에 더욱 적합함



국내 PHC 용접이음



용접부위 결함검사

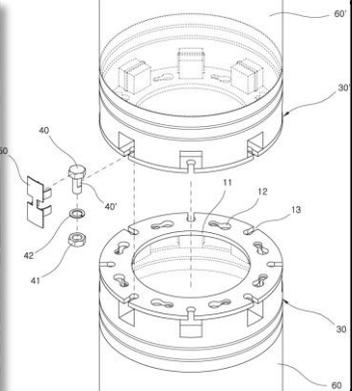


일본의 볼팅이음

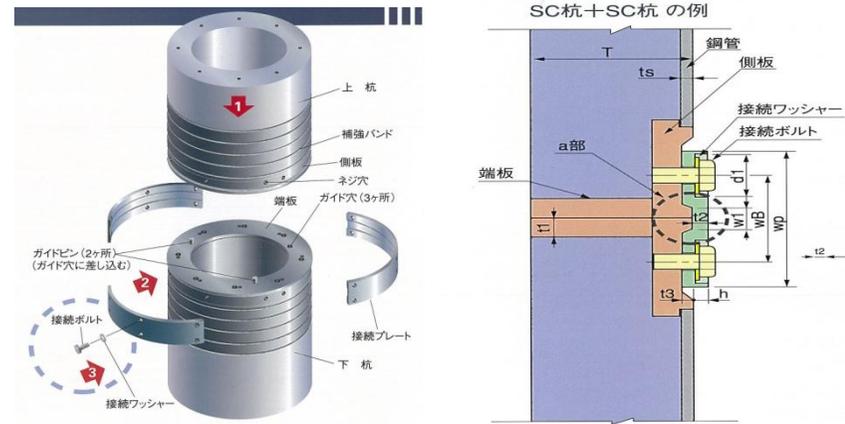
최신 기초공법 현황

무용접 말뚝 이음방식 비교

국내의 무용접 말뚝 이음

탈·부착 이음방식		B.P joint 방식
		
<p>-단본파일 이음 (상,하부 구별無) -PILE에 탈,부착 가능</p>	<p>-상,하부 PILE 구분하여 이음 -PILE에 부착 생산방식</p>	<p>-상,하부PILE 구분하여 이음 -PILE에 부착 생산방식</p>
<p>수직형 볼트 체결 (체결부 공간 확보)</p>	<p>수직형 볼트 체결 (체결부 콘크리트 매입)</p>	<p>수평 볼트 체결 (복잡/정밀 구조)</p>
<p>5분</p>	<p>5분</p>	<p>7분</p>

일본의 무용접 말뚝 이음



- 말뚝 본체 이상의 내력 발휘 가능
- 시공품질이 일정하고 시공관리 용이
- 기후조건 등 주변 환경에 무관하게 작업 가능
- 직경이 커질수록 경제성이 높아짐

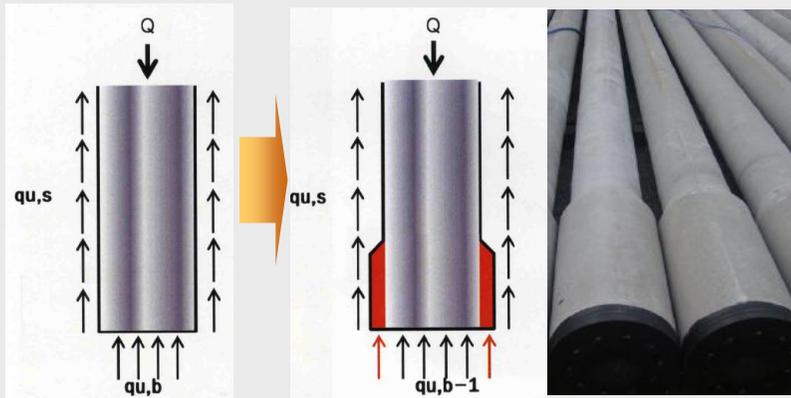
최신 기초공법 현황

○ 선단확장형 PHC 말뚝공법

- ▶ PHC말뚝 선단부 단면적을 확대하거나, 강재보강판을 이용하여 선단 단면적을 확장하여 말뚝의 지지력을 향상시키는 말뚝공법
- ▶ 파일본수 절감에 따른 경제성 향상, 소음저감, 공기단축 등 기대

※ 일부 공법의 경우 기술적인 논란의 여지가 있어, 동 공법 선정 시 면밀한 기술적 검토 요망

▶ 선단확장형PHC 파일

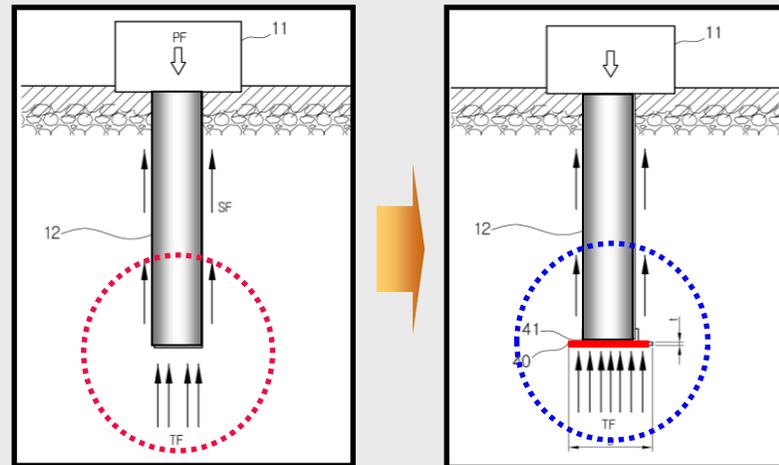


기존 PHC 말뚝

선단확장형말뚝

- 말뚝 내력보다 지반지지력이 작은 경우 효과적
- 주면지지력보다 선단지지력 분담율이 큰 경우 (주면지반이 약하고 공벽 붕괴될 때) 유리
- 향타시공 어려워 매입공법 적용
- 선단지반이 암반인 경우 선단확대 불필요

▶ 철판보강선단확장형PHC파일



PHC 말뚝

보강 철판

EXT 말뚝



+



=



최신 기초공법 현황

○ 초고강도 PHC 말뚝공법

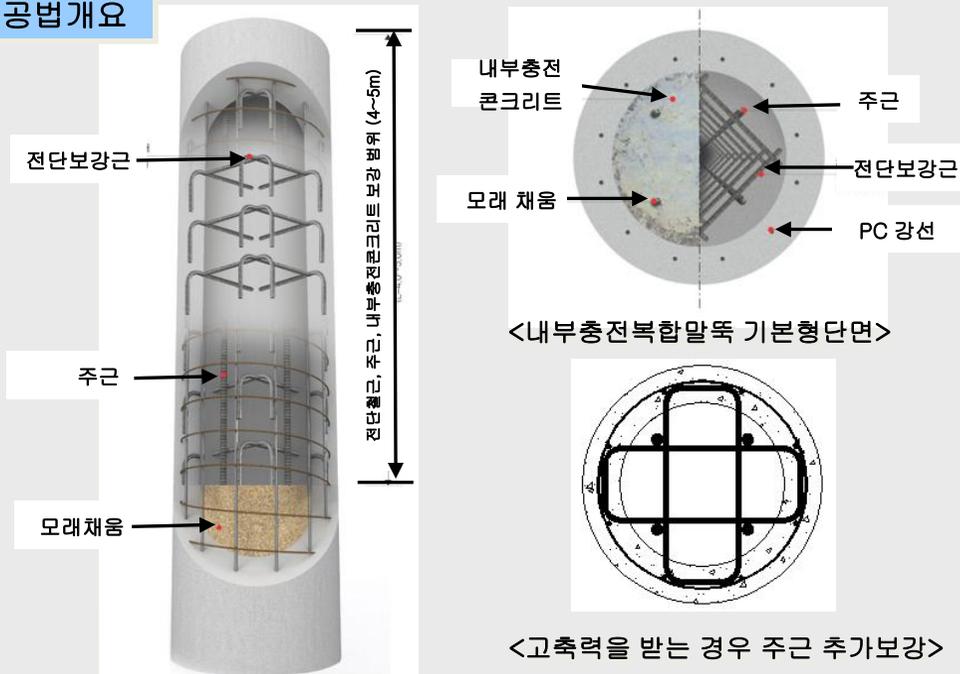
- ▶ 기존 PHC말뚝의 제작에 사용되는 고강도 콘크리트 강도(80MPa) 대비 **초고강도 콘크리트(110MPa)**를 사용하여 **PHC 말뚝의 지지력 향상**
- ▶ 재하시험 결과(직경 600mm PHC말뚝)
 - 선단지지력
 - 초고강도 PHC : 518.8t, 일반 PHC : 370t , **A/B = 140.22%**
 - 안전율을 고려한 허용지지력
 - 초고강도 PHC : 227.5t, 일반 PHC : 167.5t , **A/B = 135.82%**
 - 허용항타응력
 - 초고강도 PHC : 60MPa, 일반 PHC : 48MPa , **A/B = 137.50%**
 - 곧, **단단한 지반에 항타가능** 하며, 항타로 인한 손상도 일반 PHC말뚝보다 적을 것으로 예상
 - **현장타설말뚝(직경 1000mm) 대비 파일공사비(공사외주비+기자재비)는 약 16% 절감** 예상(S건설 A3 Project 자료)

최신 기초공법 현황

○ 내부충전복합PHC말뚝

- ▶ 수평력에 취약한 PHC말뚝의 단점을 개선한 복합말뚝
- ▶ 수평력이 지배하는 말뚝의 상부를 전단철근과 주근 및 충전콘크리트로 보강하여 수평력과 휨응력에 대한 저항성을 강관말뚝 수준으로 향상시켜,
- ▶ 강관말뚝 대비 동등한 성능을 가지며 경제성이 기대되는 매입말뚝공법
- ▶ 주로 교량, 플랜트, 항만 등의 기초에 활용

공법개요



허용전단응력산정

$$V_a = V_{pa} + V_{ca} + V_{sa}$$

V_{pa} : 말뚝본체의 허용전단력

V_{ca} : 내부충전 콘크리트의
허용전단력

V_{sa} : 전단철근의 허용전단력

※ 일반적으로 동일 직경 PHC
말뚝의 허용전단력 2~3배
증가 예상

예) D450(70t)

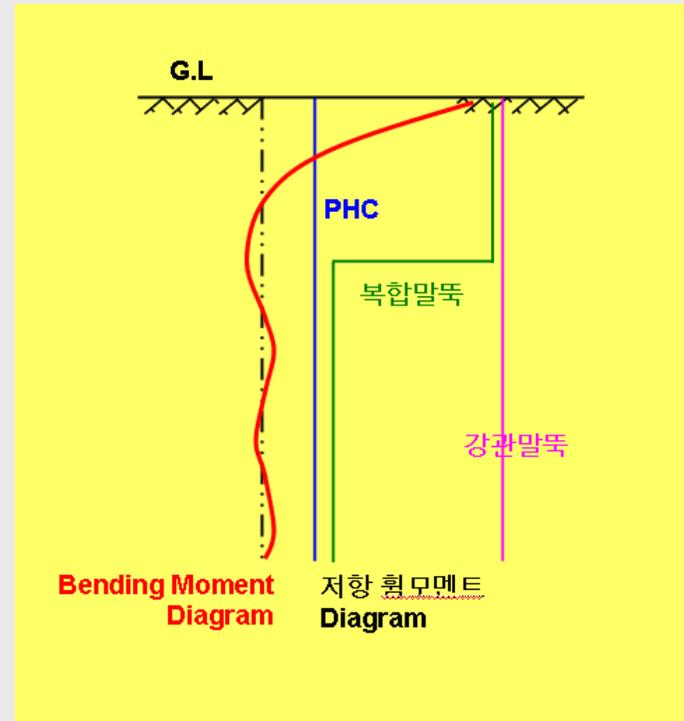
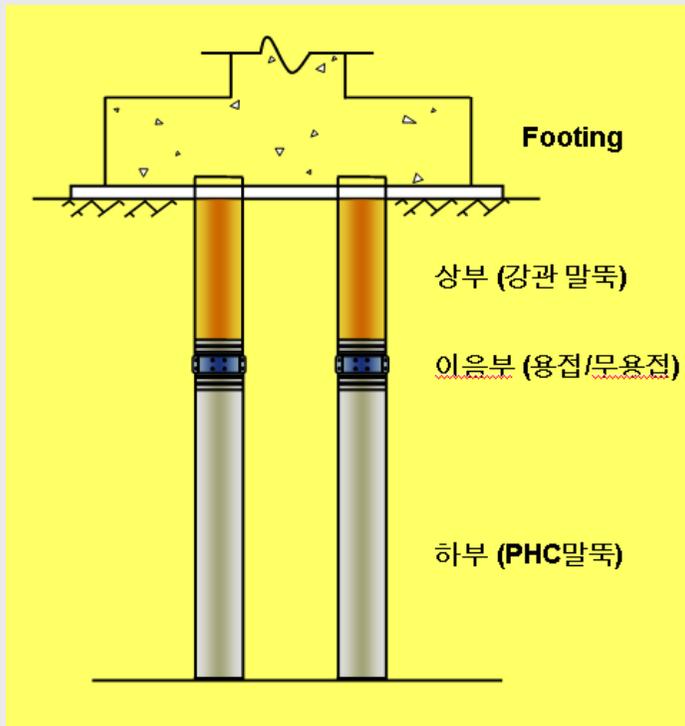
- 전단강도 : 202.09kN

- 허용축력 : 1,673kN

최신 기초공법 현황

○ 복합말뚝

- ▶ 서로 다른 이질의 말뚝을 연결하여 복합체 형태로 현장에 시공하는 말뚝 공법
- ▶ 상부 강관말뚝 + 하부 PHC말뚝 / 상부 SC말뚝 + 하부 PHC말뚝



최신 기초공법 현황

▶ 복합말뚝의 특징

1. 하중 적용성	<ul style="list-style-type: none"> • 횡력, 인장력, 모멘트에 대한 저항성이 우수함.
2. 시 공 성	<ul style="list-style-type: none"> • 강관말뚝보다는 무접고 PHC말뚝보다는 가벼워 운반이 유리함. • 타입공법, 매입공법에 공히 사용이 가능함.
3. 지 지 력	<ul style="list-style-type: none"> • 타입말뚝의 경우, 강관말뚝에 비하여 관입성이 떨어지나 선단지지면적이 넓어 지지력 확보가 용이함. • 매입말뚝의 경우, 선단의 폐색효과로 강관말뚝에 비하여 선단지지력이 우수함. • 말뚝 주면의 다짐효과가 강관말뚝에 비하여 커서 주면마찰력이 우수함.
4. 경 제 성	<ul style="list-style-type: none"> • 말뚝 시공길이 중 상부 일부를 제외한 부분은 PHC말뚝으로 되어있어 말뚝재료 가격이 경제적임. • 콘크리트말뚝에 비하여 말뚝의 사용 본수를 절감.
5. 말뚝 두부	<ul style="list-style-type: none"> • PHC말뚝 사용시 발생하는 말뚝두부의 구조적 손실이 없어 구조적으로 안전

최신 기초공법 현황

▶ 복합말뚝의 시공

1. PHC 및 강관파일 하차



2. 접속 플레이트



3. PHC파일 항타



4. 가이드핀 삽입



5. 이물질 방지 볼트 제거



6. 상부 및 하부 결합



최신 기초공법 현황

▶ 복합말뚝의 시공



최신 기초공법 현황

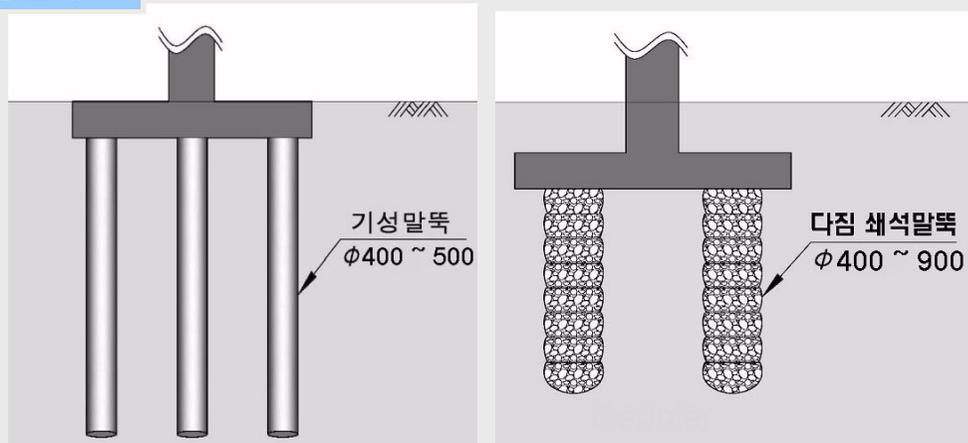
○ 다짐쇄석말뚝

- ▶ 연약지반에 높은 다짐에너지를 이용하여 쇄석을 다짐하여 원주형 개량체를 지중에 형성하여 원지반의 전단강도와 지지력을 높이는 현장타설말뚝공법
- ▶ 다짐쇄석말뚝공법은 사질토, 점성토, 실트질지반 등 거의 모든 연약지반에 적용 가능
- ▶ 연약지반에 건설되는 구조물과 옹벽, 지하저수조 등에 적용하여 PHC말뚝공법 대비 경제성이 우수한 공법

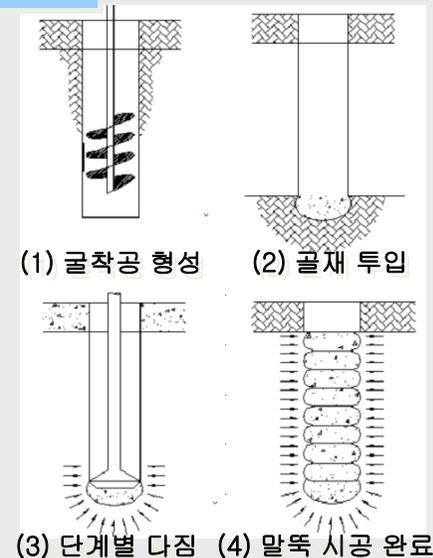
※ D450 PHC말뚝(길이 10m) 대비 직경 760(길이 6m) 다짐쇄석말뚝 적용 시 500세대 200본 기준 약 9.6억원 절감 기대
포항장량지구 등 실례 반영
[“친환경 다짐쇄석 다짐쇄석말뚝 적용방안 수립”, 녹색도시설계단 자료]

▶ 사면안정, 연약지반 액상화 방지에도 효과적

공법개요



시공순서



현장타설 말뚝의 시공

: 여러가지 굴착 장비를 이용하여 지반을 천공한 후, 철근망을 매입하고 트레미 관을 이용하여 콘크리트를 타설하여 지중에 말뚝기초를 형성하는 공법

1. 케이싱 건입



2. 케이싱 내부 굴착



3. 깊이 확인 및 슬라임 제거



4. 철근망 건입



5. 콘크리트 타설

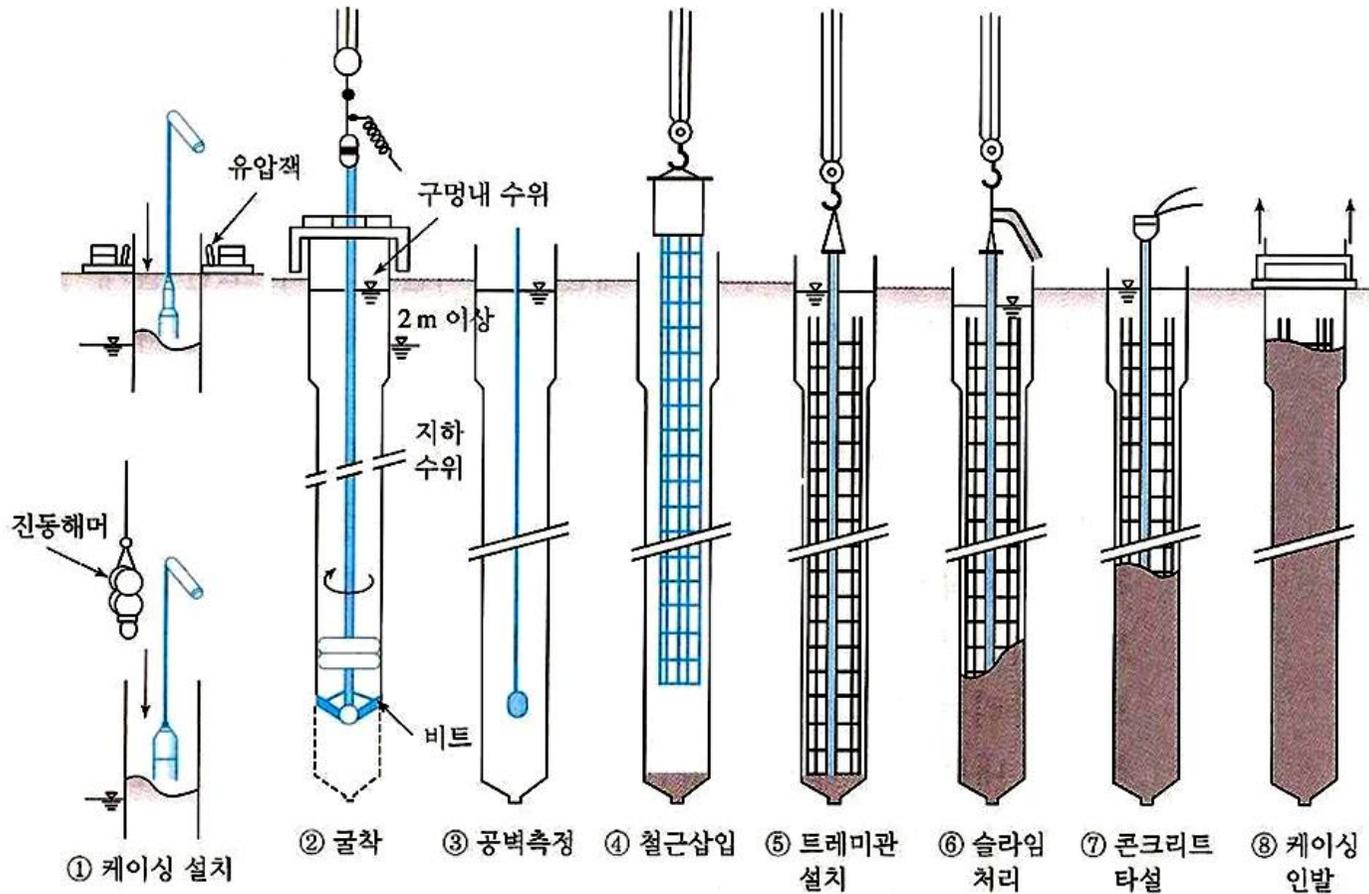


6. 철골 기둥 건입



RCD(Reverse Circulation Drill) 공법

: 지반 내에 케이싱을 압입하고 RCD 장비를 이용하여 그 내부를 천공한 후, 철근망을 매입하고 콘크리트를 타설하여 지중에 말뚝기초를 형성하는 공법



RCD 공법 시공전경

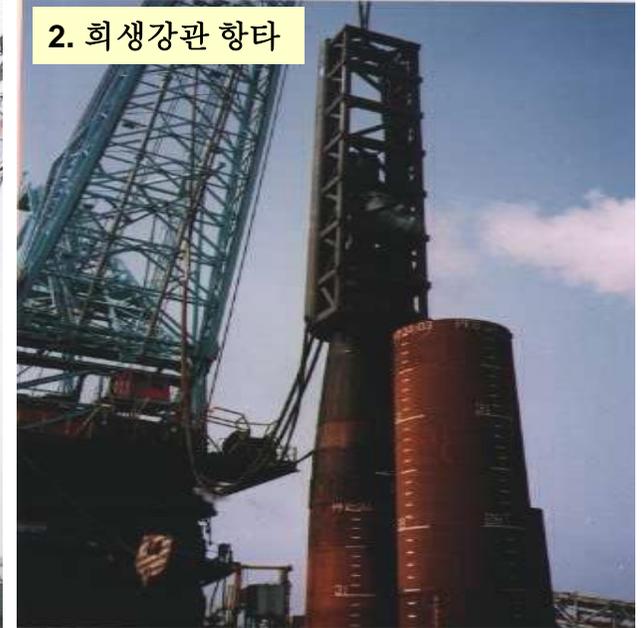
1. RCD 장비 전경



1. RCD 장비 전경



2. 희생강관 항타



3. 강관 내부 굴착



2. 희생강관 항타



RCD 시공전경

4. 굴착용 해머비트



4. 굴착용 해머비트



4. 굴착용 해머비트



5. 슬라임 처리



RCD 시공전경

5. 슬라임 처리 장비



6. 철근망 건입



6. 철근망 건입



7. 콘크리트 타설



RCD 시공전경

8. 말뚝 두부 정리



8. 말뚝 두부 정리



슬라임 침전 모습



슬라임 침전 모습



PRD(Percussion Rotary Drill) 공법

□ PRD 공법의 개요

- Pile Driver에 장착된 Hammer Bit를 압축공기에 의하여 타격(Percussion) 하면서 회전(Rotary)시키는 방식으로 지반을 굴착하고 압축공기로 굴착토를 배출
- 굴착시 공벽붕괴 방지를 위해 케이싱을 사용하며, 천공 홀 내에 철근망 혹은 강재 기둥 설치 후 콘크리트를 타설하여 말뚝 구조체를 형성함
- RCD Pile에 비하여 소구경인 직경 600mm~1200mm 단면으로 지내력을 확보할 수 있는 경우 사용
- 토사 지반 및 암반층에 시공가능하며, 건축현장의 TOP DOWN 공법 등에 다양하게 적용됨

□ PRD 공법의 장점과 단점

- 저압 Air와 케이싱을 사용하므로 주위 지반 교란이 없으며, 공벽붕괴가 없고 주변 마찰력이 크다
- Casing 내부를 Air로 배토시키므로 선단지지층을 육안으로 확인가능하며 지지력이 확실하다
- 저압, 저소음 장비를 사용하므로 민원의 소지가 없다.
- 굴진속도가 빠르고(4-5m/Hr) 수직도를 유지시킬 수 있으며, 건식으로 현장이 깨끗하다.
- 공사비가 RCD에 비해 고가이다.

PRD(Percussion Rotary Drill) 공법

(1) Guide
Hole
시공



(2) 1차 천공



(3) Casing
근입 및
천공



(4) 천공완료
후 공내
청소



PRD(Percussion Rotary Drill) 공법

(5) Stud Bolt 확인



(6) 기둥 건입 및 수직도 확인



(7) 콘크리트 타설



(8) 케이싱 인발



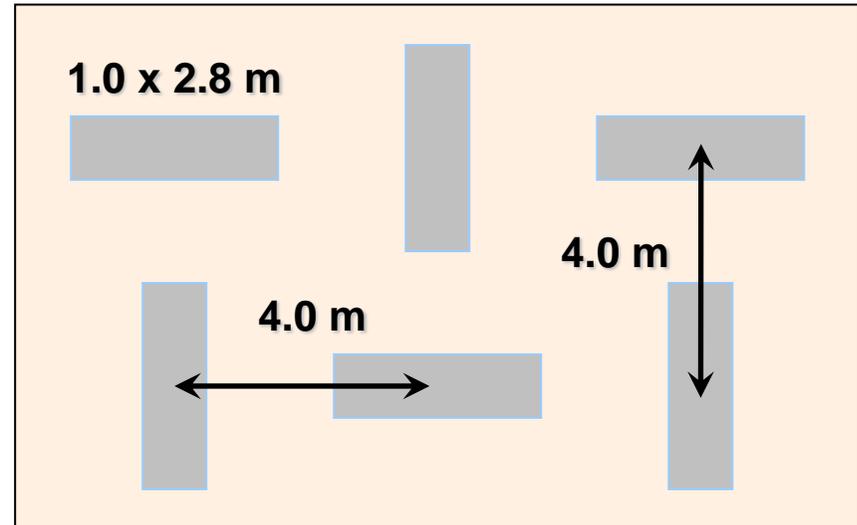
바켓파일 공법

: 지하연속벽에 주로 사용되는 트렌치 굴착장비를 이용하여 지반을 천공한 후, 철근망을 매입하고 콘크리트를 타설하여 지중에 사각형 단면의 철근콘크리트 말뚝기초를 형성하는 공법

□ Barrette Pile 공법 개요

- 단면 크기 : 1.0 x 2.8 m 정도
- 지반 조건 : 모든 지반에 가능
- 설치 심도 : 80m 정도까지 가능
- 하중 지지 : 500 ~ 4,000 ton
- 사용 장비 : Hammer grab,
Hydromill 굴착 장비

□ Pile의 배열 사례



- 국내의 경우 얇은 깊이에 암반이 분포하므로 현장타설 말뚝이 주로 사용되며 Barrette 기초의 적용 사례는 다른 공법에 비해 많지 않음

바켓파일 공법

- 기초 배열에 따라 **Guide Wall** 시공
- **Trench** 굴착



Guide wall



Hammer grab
(토사 지반 굴착용)



Hydromill
(암반 굴착용)

바켓파일 공법

- 안정액 주입
(Bentonite Slurry)



- 철근망 조립
(Reinforcement Cage)



- 철근망 건입
(Installing)



- 콘크리트 타설
(Concreting)

현장타설 말뚝 설계현황

구분		A 주상복합	APT형 공장	사옥건물	B주상복합
건설규모	연면적(㎡)	39,004m ²	13,119 m ²	81,859 m ²	106,699 m ²
	지상(층)	20층	21층	28층(설계변경)	40,43,47층
	지하(층)	5층_ m	4층_ m	4층_ m	6층_ m
지상층 구조시스템		건물골조 + 플랫폼슬래브 (철콘 보통전단벽)	건물골조 + 철콘 라멘조 (철콘 보통전단벽)	이중골조(중간모멘트상세) Core Wall+Steel Flame	건물골조 + 플랫폼슬래브 (철콘 보통전단벽)
개략구조개요		콘크리트 : 24, 27Mpa 철근 : 400, 500 지반종류 : Sc	콘크리트 : 24, 27, 30, 35 Mpa 철근 : 400, 500 지반종류 : Sd	콘크리트 : 27, 30, 35Mpa 철골 : SS400, SM490 지반종류 : Sd	콘크리트 : 27, 36, 40, 50Mpa 철근 : 400, 500 철골 : SS400, SM490, SM490TMCP 지반종류 : Sc
건설현황	건설사(시공사)	힐탑건설	흥우건설	태영건설	경동건설
	현공정	Slurry Wall 시공중	지하공사(기초시공 중)	지상2층	지상층 골조 27~28층
지하공법	흙막이	Slurry Wall	Slurry Wall	Slurry Wall	Slurry Wall
	배수공법	De_Waterring	De_Waterring	De_Waterring	De_Waterring
	기초형식	- 지 내 력 기 초 ($f_e=500\text{kN}/\text{m}^2$) - PRD 공 법 (영구기초시공전) - 영구바렛으로 변경 20,000kn/본 - 기초두께:1500+500	- 바렛말뚝 : 39,000~14,800kn/본 - 기초두께:1500+500	- 현장타설말뚝 : D1,000, 7,982kn/본 D1.500, 17,426kn/ 본 - 바렛 말뚝 : 2.8m×0.8m, 22,840kn/본 - 기초두께 : 1500 + 500	- 바렛말뚝 : 2.8m×1.0m, kN/ 본 2.8m×0.8m, kN/본 - RCD : D1,500, kN/본 - 기초두께 : 1,000~2,300mm
	구조물	T/D 공법	T/D 공법	T/D 공법	T/D 공법

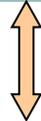
03

최신 말뚝 설계동향

06 최신 말뚝설계 동향

한계상태설계법

WTO (World Trade Organization)



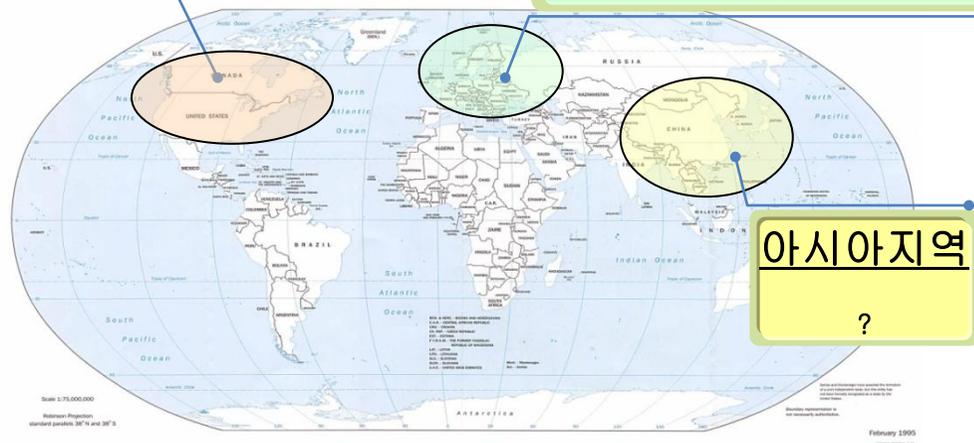
무역에 관한 기술장벽 제거협정
(Agreement on Technical Barriers to Trade)

ISO (International Organization for Standardization)
예) ISO2394 (구조물의 신뢰성에 관한 일반원칙)
ISO3010 (구조물의 지진에 관한 설계)



북미지역
LRFD (Load and Resistance Factor Design)
구조물설계하중시방서 (ANSI-A58시방서)
콘크리트구조설계지침 (AC1318-83)
하중저항계수설계시방서 (LRFD시방서)

유럽지역
Eurocode 1~9 (TC250)
CEN (European Committee for Standardization)
유럽연합 18개국, 토목관련분야의 기술위원회 활동



아시아지역
?

06 최신 말뚝설계 동향

한계상태설계법

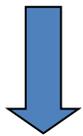
- 1) 국제표준화기구(ISO)의 ISO2394(구조물신뢰성에 관한 일반원리) 제정
- 2) ISO2394는 기본적으로 한계상태설계법을 채택하고 있음
- 3) 미국, 호주 등은 LRFD 사용, 유럽은 EUROCODE 사용
- 4) 한국을 비롯한 동북아 국가들은 대책이 전무한 실정임
- 5) 세계무역기구(WTO)의 국가간 무역거래지침(TBT) ⇒ 국가간 기술장벽 제거

- 1) 부분안전계수를 채택하는 유로코드보다는 전체저항계수를 채택한 LRFD가 국내 기술자에게 적응하기 쉬움
- 2) 국내에서 많이 적용되는 항타말뚝과 매입말뚝에 대한 한국형 LRFD 개발 연구

지반공학 분야 설계방법의 변천 과정

허용응력설계법
(ASD ; Allowable Stress Design)

- (1) 하중계수를 적용하지 않고 전체안전계수만 적용



하중계수설계법
(LFD ; Load Factor Design)

- (1) 1970년대 ASSHTO에서 도입
- (2) 하중종류별로 각기 다른 하중계수 적용
- (3) 하중의 불확정성(uncertainty)을 고려



하중저항계수설계법
(LRFD ; Load and Resistance Factored Design)

- (1) 1980년대 저항계수 도입
- (2) 하중과 저항의 불확정성 모두 고려

Load and Resistance Factored Design (LRFD)

$$\phi R_n \geq \eta \sum \gamma_i Q_i$$

R_n	: 공칭저항
η	: 하중수정계수 (0.95 to 1.00)
Q_i	: 작용하중 (사하중, 활하중 등)
γ_i	: 하중계수(AASHTO 추천 값)
γ_D	: 1.25 (사하중일 경우)
γ_L	: 1.75 (활하중일 경우)
ϕ	: 저항계수(통상 0.3 ~ 0.8)

- (1) AASHTO (1996) recommend the use of load factors (γ_i) to account for uncertainty in the loads (Q_i),
- (1) and resistance factors (ϕ) for the uncertainty in the material resistances (R_n).

06 최신 말뚝설계 동향

한계상태설계법

신뢰성 보정 (LRFD) - MVFOSM

➡ Resistance Factor (ϕ)

$$\phi = \frac{\lambda_R \left(\gamma_D \frac{Q_D}{Q_L} + \gamma_L \right) \sqrt{\frac{1 + COV_{QD}^2 + COV_{QL}^2}{1 + COV_R^2}}}{\left(\lambda_{QD} \frac{Q_D}{Q_L} + \lambda_{QL} \right) \exp\left(\beta_T \sqrt{\ln[(1 + COV_R^2)(1 + COV_{QD}^2 + COV_{QL}^2)]} \right)}$$

- ϕ : 저항계수
- λ_R : 저항편향계수
- COV_R : 저항 변동계수
- β_T : 목표 신뢰도 지수
- $\lambda_{QD}, \lambda_{QL}$: 사하중 및 활하중의 편향계수
- Q_D/Q_L : 사하중, 활하중 비

국내 기술 동향

- 1) 국내 시방서 및 기준
- 2) 정밀지반조사 및 항복파괴 이상의 현장재하시험 데이터의 결여
- 3) 국외 한계상태설계법에 대한 답습
- 4) 2008년에 국책과제로 항타강관 및 현장타설 말뚝에 대한 LRFD 연구수행
- PHC 직타 및 매입말뚝에 대한 LRFD 연구결과 없음.

국외 기술 동향

- 1) 미국 LRFD 코드
 - ⇒ 다양한 공칭강도 결정방법과 지반종류에 대한 저항계수 제시
 - ⇒ 데이터 부족으로 신뢰도가 높은 하중계수 및 저항계수를 규정하지 못 함
- 2) 호주와 캐나다 기준
 - ⇒ 저항계수 산정과정 및 산정방법에 대해서 기술되어 있지 않음
- 3) 유로코드 7의 경우
 - ⇒ 다수의 항목들과 제한조건들에 따라 매우 복잡한 부분계수들을 규정하고 있음
 - ⇒ LRFD에 비해 이해하고 적용하기 어려움

06 최신 말뚝설계 동향

한계상태설계법

국내 항타강관 말뚝의 저항계수(한국건설기술연구원, 2007)

구분	선단부 평균 N치 50 미만		선단부 평균 N치 50 이상	
	정역학적 지지력공식	Meyerhof(1976)	정역학적 지지력공식	Meyerhof(1976)
2.0	0.43	0.48	0.39	0.37
2.33	0.37	0.38	0.35	0.29
2.5	0.34	0.34	0.32	0.27

국내 현장타설 말뚝의 저항계수(한국건설기술연구원, 2007)

목표신뢰도지수	Carter & Kulway	AASHTO(1996)	FHWA(1999)
3.0	0.70	0.51	0.20
3.5	0.54	0.39	0.16

06 최신 말뚝설계 동향

한계상태설계법 – LH 하층저항계수 제안

		동재하 Rut 기준				
		목표신뢰도지수 (β)	Meyerhof 방법		SPT-CPT 전환법	
			$Q_b/Q_L=3.33$	$Q_b/Q_L=5.0$	$Q_b/Q_L=3.33$	$Q_b/Q_L=5.0$
항타말뚝	2.33	0.56	0.55	0.49	0.48	
	3.0	0.43	0.43	0.40	0.40	
			동재하 Davisson 기준			
			Meyerhof 방법		SPT-CPT 전환법	
			$Q_b/Q_L=3.33$	$Q_b/Q_L=5.0$	$Q_b/Q_L=3.33$	$Q_b/Q_L=5.0$
		2.33	0.48	0.47	0.41	0.41
	3.0	0.37	0.37	0.34	0.34	
매입말뚝			동재하 Rut 기준			
			Meyerhof 방법		SPT-CPT 전환법	
			$Q_b/Q_L=3.33$	$Q_b/Q_L=5.0$	$Q_b/Q_L=3.33$	$Q_b/Q_L=5.0$
		2.33	0.44	0.44	0.31	0.31
		3.0	0.36	0.36	0.25	0.24
			동재하 Davisson 기준			
			Meyerhof 방법		SPT-CPT 전환법	
			$Q_b/Q_L=3.33$	$Q_b/Q_L=5.0$	$Q_b/Q_L=3.33$	$Q_b/Q_L=5.0$
		2.33	0.39	0.39	0.27	0.27
		3.0	0.32	0.32	0.21	0.21

06 최신 말뚝설계 동향

한계상태설계법

동재하 Rut 값을 기준으로 구한 하중저항계수

말뚝 종류	목표신뢰도지수	Meyerhof (1976)
항타 PHC(LH)	2.33	0.74 → 0.55
매입말뚝(LH)	2.33	0.69 → 0.44

동재하 Davisson 값을 기준으로 구한 하중저항계수

말뚝 종류	목표신뢰도지수	Meyerhof (1976)
항타강관(건기원) *정재하 Davisson 값을 기준	2.33	0.29
항타 PHC(LH)	2.33	0.57 → 0.47
매입말뚝(LH)	2.33	0.57 → 0.39

06 최신 말뚝설계 동향

경제성 비교

허용응력설계법

구 분	25층	30층	35층	
	Φ450 (fp=1,00 tonf/ea)	Φ500 (fp=120tonf/ea)	Φ500 (fp=120tonf/ea)	Φ600 (fp=160tonf/ea)
연직하중합(tonf)	21,968	26,136	34,525	34,658
지진하중 작용시 연직하중합(tonf)	23,904	28,137	36,594	36,852

LRFD 설계법

구 분	25층	30층	35층	
	Φ450 (fp=1,00 tonf/ea)	Φ500 (fp=120tonf/ea)	Φ500 (fp=120tonf/ea)	Φ600 (fp=160tonf/ea)
연직하중합(tonf) (DL+LL)	21,968	26,136	34,525	34,658
계수연직하중합(tonf) (1.2DL+1.6LL)	27,537	32,758	43,043	43,205
계수연직하중+지진하중합(tonf) (1.2DL+1.6LL+1.0E)	29,354	34,637	45,148	45,310

허용응력설계법	LRFD 설계
상부 구조물 LRFD(극한하중으로 계산) 말뚝기초 ASD (사용하중으로 계산)	상부 구조물 LRFD(극한하중으로 계산) 말뚝기초 LRFD(극한하중으로 계산)
(1)설계하중 계산 고정하중 D 적재하중 L 풍하중 W 지진하중 E (2)하중계수(하중조합사용) - 설계하중 별 편차 및 중요성 반영 D ⇒ 1.2D L ⇒ 1.6L W ⇒ 1.3W E ⇒ E(하중계수 기반영됨) ⇒ 상부 구조물 설계 (3) 하중계수 제거 말뚝 설계하중 재산정 1.2D ⇒ D 1.6L ⇒ L 1.3W ⇒ W E ⇒ 0.7E(사용수준으로 감소) ⇒ 말뚝 허용응력 설계 D+L+0.7E ≤ 1000kN	(1)설계하중 계산 고정하중 D 적재하중 L 풍하중 W 지진하중 E (2)하중계수(하중조합사용) - 설계하중 별 편차 및 중요성 반영 D ⇒ 1.2D L ⇒ 1.6L W ⇒ 1.3W E ⇒ E(하중계수 기반영됨) ⇒ 상부 구조물 설계 ⇒ 말뚝 LRFD 설계 1.2D+1.6L+E ≤ Φ.Rn

06 최신 말뚝설계 동향

경제성 비교

항타말뚝의 설계법에 따른 경제성 비교

구 분	허용응력 설계법		LRFD	
	Meyerhof방법	SPT-CPT 전환법	Meyerhof방법	SPT-CPT 전환법
건물하중(tonf)	23,904		29,354	
설계평균지지력(tonf)	273.2	331.5	273.2	331.5
안전율	3.0	3.0	-	-
하중저항계수	-	-	0.55	0.48
말뚝저항력(tonf)	91.1	110.5	150.3 말뚝재료허용하중 (140으로 제한)	159.1 말뚝재료허용하중 (140으로 제한)
필요말뚝 수(본)	263	216	210	210
말뚝평균길이(m)	10.2			
말뚝시공비(천원)	84,019	69,004	67,087	67,087
절감액(천원)		-15,015	-16,932	-16,932

※ 말뚝시공비 = 말뚝재료비(PHC 450 : 26,320원/m, 물가정보참조)+5,000원/m(항타시공비)

06 최신 말뚝설계 동향

경제성 비교

매입말뚝의 설계법에 따른 경제성 비교

구 분	허용응력 설계법		LRFD	
	Meyerhof방법	SPT-CPT 전환법	Meyerhof방법	SPT-CPT 전환법
건물하중(tonf)	23,904		29,354	
설계평균지지력(tonf)	421.0	502.0	421.0	502.0
안전율	3.0	3.0	-	-
하중저항계수	-	-	0.44	0.31
말뚝저항력(tonf)	140	167 말뚝재료허용하중 (140으로 제한)	185.2 말뚝재료허용하중 (140으로 제한)	155.6 말뚝재료허용하중 (140으로 제한)
필요말뚝 수(본)	171	171	210	210
말뚝평균길이(m)	12.6			
말뚝시공비(천원)	160,913	160,913	197,613	197,613
절감액(천원)			+36,700	+36,700

※ 말뚝시공비 = 말뚝재료비(PHC 450 : 26,320원/m),+[3,039원/본(장비조립해체비)+5,182원/m(케이싱설치해체비)+28,197원/m(토사굴착:10.6m)+121,081원(풍화암굴착 : 2m)] : LH일위대가(선굴착공법) 참조

● **현행 설계(100tonf, 240본) 대비 28,230천원/동 원가절감 가능**

수고하셨습니다