

말뚝기초 최근 기술동향

글 | 이정훈 | 토목기술부 대리 || 전화 : 02-3433-7785 || E-mail : hanljh@ssyenc.com

1 머리말

각종 건축구조물과 토목구조물의 기초는 상부구조물의 하중을 지반으로 전달하는 중요한 구조물로 크게 직접기초와 말뚝기초로 분류된다. 말뚝기초는 직접기초에 비해 사용되는 재료 및 시공법에 따라 그 종류가 매우 다양하다. 재료에 따라 말뚝을 분류하면 기성말뚝과 현장타설말뚝으로 나눌 수 있으며, 기성말뚝은 다시 재질에 따라 강말뚝, 콘크리트말뚝, 복합(합성)말뚝으로 나눌 수 있다. 그리고 시공법에 따라 분류하면 타입공법(항타공법), 매입공법, 현장타설공법 등으로 분류할 수 있다.

기존 기술의 단점을 보완하여 말뚝의 지지력 및 강도 증대, 시공성 제고, 경제성 향상 등을 목적으로 새로운 말뚝기초가 지속적으로 개발되고 있으며, 본고에서는 기술자의 이해를 돕고자 근래 개발된 몇 가지 말뚝기초에 대하여 간략하게 소개하였다.

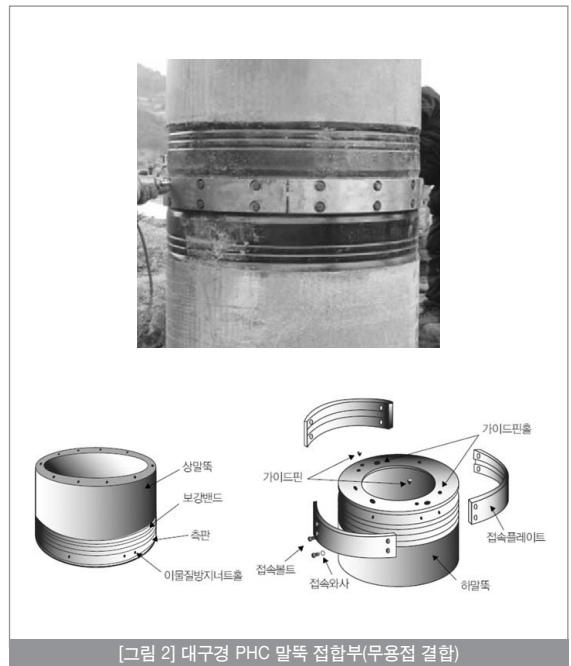
2 PHC 말뚝

2-1 대구경 PHC 말뚝

대구경 PHC 말뚝이란 직경 700~1200mm의 고강도 콘크리트 말뚝을 말한다. 현재 국내에서 주로 사용되고 있는 중구경(직경 400~600mm)의 PHC 말뚝에 비해 공기 단축 등의 효과가 뛰어나 일본에서는 사용이 보편화되어 있다. 또한, 대구경이므로 상대적으로 외부하중에 대한 저항능력이 크고, 강관 말뚝과 용접하지 않고 기계식으로 연결하여 복합말뚝의 구성요소로도 이용 가능하다.



[그림 1] 대구경 PHC 말뚝



[그림 2] 대구경 PHC 말뚝 접합부(무용접 결합)

〈표 1〉 대구경 PHC 말뚝 성능표

외경 D (mm)	두께 T (mm)	길이 L (m)	종류	콘크리트 단면적 Ac (cm ²)	허용 축하중 Pa(tonf)
700	100	5~15	A	1,885	309
			B		318
			C		312
800	110	5~15	A	2,384	391
			B		402
			C		395
900	120	5~15	A	2,941	483
			B		496
			C		488
1,000	130	5~15	A	3,553	584
			B		599
			C		589
1,200	150	5~15	A	4,948	812
			B		832
			C		820

주) 콘크리트 압축강도(MPa) - A종 : 80 / B, C종 : 85

2-2 선단확장형 PHC 말뚝

매입공법으로 시공되는 PHC 말뚝 선단부에 그림 3과 같이 선단 확장 보강판을 용접 부착하여 말뚝기초의 선단지지력을 증대시키는 공법으로 기초공사 비용절감, 공기단축의 효과를 기대할 수 있다.

매입공법으로 시공되는 PHC 말뚝의 경우 시공상태에 따라 주변 마찰력의 발휘여부가 불확실할 수 있으므로 선단확장형 PHC 말뚝은 이러한 시공여건에서 선단지지력을 증가시켜 말뚝의 전체 허용지지력을 증진시키는데 공법의 특징이 있다. 선단확장 보강판의 제원은 표 2와 같다.



[그림 3] 선단확장 보강판

〈표 2〉 선단확장 보강판 제원

구분	D400 (t=65mm)	D450 (t=70mm)	D500 (t=80mm)	D600 (t=90mm)
PHC 말뚝 순단면적 (cm ²)	684	836	1,056	1,442
선단확장 직경 (mm)	450~460	500~510	550~560	650~660
선단확장 순단면적 (cm ²)	1,312	1,551	1,847	2,407

3 현장타설말뚝

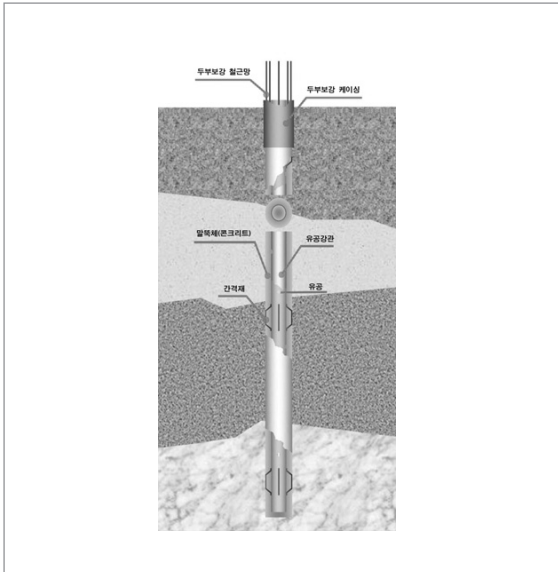
3-1 유공강관을 이용한 중구경 현장타설말뚝

유공강관을 적용한 중구경 현장타설말뚝 공법은 PHC 말뚝 및 대구경 현장타설말뚝 공법의 문제점들을 개선하기 위해 개발된 공법으로, PHC 말뚝 대비 현장타설말뚝의 장점을 그대로 활용함과 동시에 부재의 보강재로 기존의 철근망 대신 유공강관을 적용하고, 시공성을 높이기 위하여 시공순서를 변경한 공법이다.

기존 현장타설말뚝 공법은 대형 시공장비를 사용하므로 공사비가 매우 고가이며, 보강재인 철근망 제작시 품질 관리가 용이하지 않고 인력 및 시간이 많이 소요되므로 경제성 측면에서 불리하다. 중구경 현장타설말뚝 공법은 기존 PHC말뚝 시공장비 활용, 보강재로 철근망 대신 유공강관 적용, 시공장비 개선 및 시공순서의 변경(콘크리트 타설 후 유공강관을 삽입) 등을 통해 기존 현장타설말뚝 공법의 단점을 개선한 것으로, 공법 적용시 공사비 절감 효과 기대할 수 있다. 또한, 본 공법은 PHC 말뚝 공법의 문제점(항타 또는 경타시 진동·소음 발생, 두부정리시 프리스트레스 감소로 인한 말뚝부재 강도 저하 등)을 해결하여 시공성 및 경제성에 있어서도 장점을 지닌 것으로 판단된다.



[그림 4] 유공강관 및 말뚝 설치 개념도(계속)



[그림 4] 유공강관 및 말뚝 설치 개념도

3-2 PDT(Pulse Discharge Technology) 말뚝

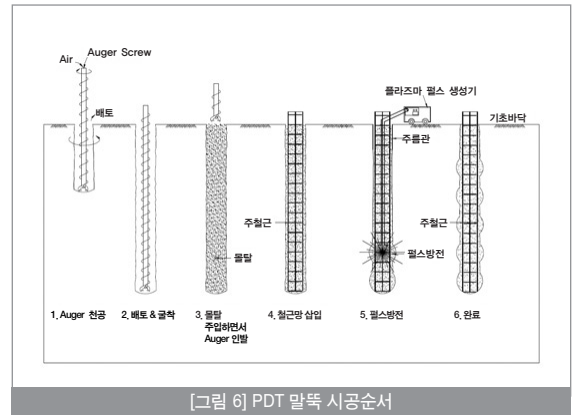
펄스파워(Pulse power)란 전기방전 현상을 이용한 에너지 압축 기술로서 단위시간당 에너지 변화량을 나타내는 물리량(dE/dt, 여기서 E와 t는 각각 에너지 및 시간)으로 그 크기는 주어진 에너지를 얼마나 짧은 시간 내에 방출하느냐에 의해 결정된다. 1J(joule)의 에너지를 1초 동안에 방출하면 1W(watt)의 파워가 되지만 1 μ s(10⁻⁶초)의 짧은 시간에 방출 하면 단위 시간당의 에너지변화량이 아주 큰 1MW(106 Watt)에 이르는 큰 파워를 가지게 된다. 즉 펄스파워 기술은 에너지 보존 법칙의 원리에 의한 것으로 에너지 저장장치를 통하여 전력변환 혹은 에너지 압축을 이용 하는 기술이다. PDT 말뚝공법은 이와 같은 플라즈마 생성 시 에너지 전환에 의해 발생하는 펄스파워를 이용하여 그림 5에서와 같이 천공벽을 충격파로 확장시켜 기초 말뚝을 현장에서 조성하는 공법을 말한다. PDT 말뚝공법은 펄스파에 의해 공벽 주변 지반을 밀어내기 때문에 주변 지반에 대한 다짐효과가 발생할 뿐만 아니라 지반과의 부착력을 높임으로써 결과적으로 큰 주면마찰력이 발휘될 수 있도록 하여 말뚝길이를 감소시킬 수 있는 공법이다. 또한 PDT 말뚝공법은 말뚝의 선단지면적이 증가되므로 선단지지력도 효과적으로 증대시킬 수 있는 공법이다.

그림 6은 PDT 말뚝의 시공순서를 보여주고 있다. 먼저 지반을 직경 250 또는 300mm 정도의 소구경으로 천공한 후 Auger Rod 구멍을 통해 고강도 몰탈을 천공홀에 충전하고 철근망을 삽입한다. 철근망이 삽입 완료되면 그림 5와 같은 펄스 방전 장치를 천

공홀 바닥까지 내린 다음 방전 장치를 일정 간격으로 상승시키면서 펄스 방전을 시행하여 최종적으로 말뚝을 형성시킨다. 장비는 그림 5에 제시된 펄스파워 발생장치(콘덴서, 고압변압기, 정류기, 동축케이블, 선단장치), 그리고 천공장비와 몰탈 제조장비로 구성된다.



[그림 5] 펄스방전에 의한 지반확장 및 펄스 생성/방전 장치

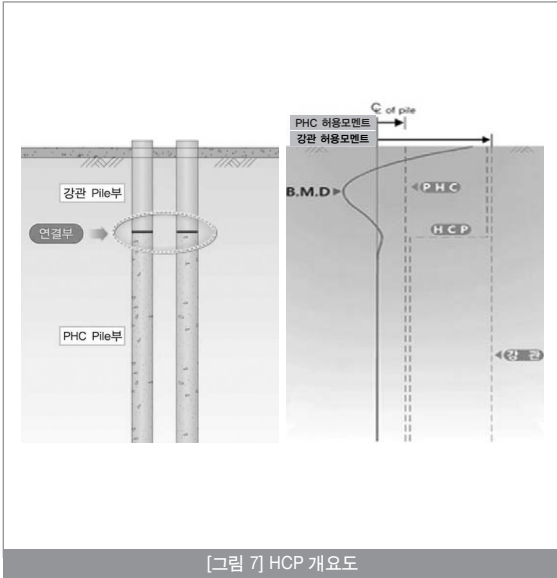


[그림 6] PDT 말뚝 시공순서

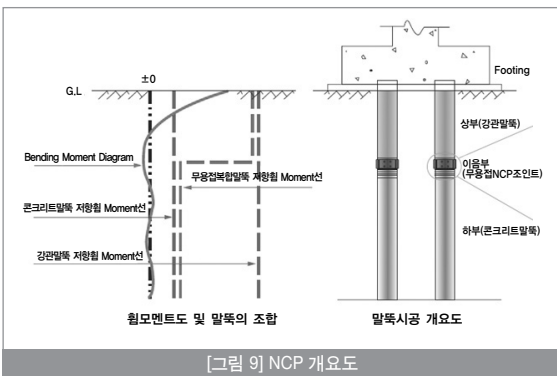
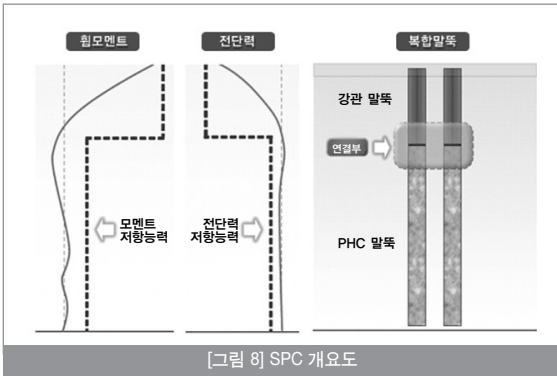
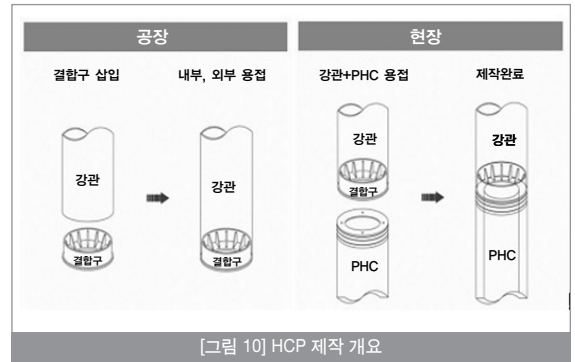
4 복합말뚝(HCP, SPC 말뚝 및 NCP)

HCP(Hybrid Composite Pile), SPC(Steel & PHC Composite) 말뚝 및 NCP(Non-welding Composite Pile)는 그림 7~9에서와 같이 모멘트가 크게 작용하는 말뚝의 상부는 모멘트 저항능력이 뛰어난 강관 말뚝으로, 축하중이 주로 작용하는 하부는 고강도 콘크리트 말뚝으로 구성하여 용접 등으로 연결시켜 복합 말뚝형태로 말뚝을 합성시킴으로써 2가지 재료의 장점을 최대한 활용하여 경제성 및 말뚝의 횡방향 저항력과 연직지지력을 확보하도록 구성된 말뚝이다.

선단면 형상이 폐단면으로, 같은 지지층에 도달하였을 때 강관 말뚝에 비하여 선단지지력 확보가 용이하며, 말뚝 상부가 강관이므로 두부정리로 인한 구조적 손실이 없어 PHC 말뚝의 단점을 보완할 수 있다는 장점이 있다.



상기 세가지 공법의 기본 개념은 동일하며, 그림 10~12에서와 같이 강관 말뚝과 PHC 말뚝의 연결방법에 있어 다소 차이가 있다. HCP는 강관 말뚝에 접합용 결합구를 용접한 후 PHC 말뚝과 용접 체결하며, SPC 말뚝은 복합말뚝 연결장치를 이용해 말뚝을 연결하게 된다. NCP는 강관 말뚝에 볼트체결용 이음장치를 용접한 후 볼트 체결 가능 PHC 말뚝을 사용하여 현장에서 체결하므로 신속한 체결이 가능하며 결합부 무용접으로 별도의 비파괴 검사가 불필요하다는 장점이 있다.

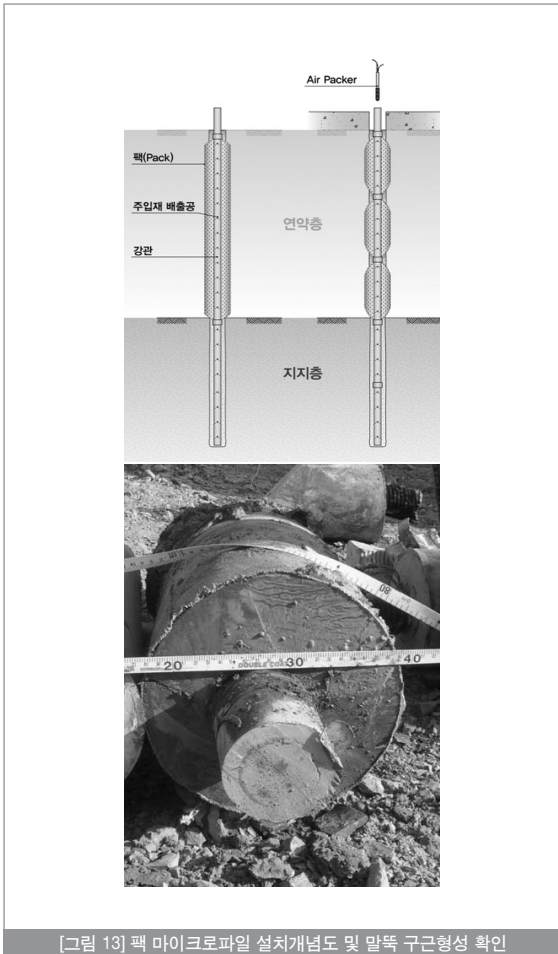


5 | 소구경 말뚝

5-1 팩 마이크로파일

상부 토사층에서 발생하는 마찰지지력을 극대화하기 위하여 시멘트 밀크를 가압주입함으로써 보강재(강봉 또는 강관) 외부에 설치되어 있는 토목섬유 소재 팩(Pack)을 팽창시켜, 지반을 압착하여 더 큰 마찰력을 얻을 수 있는 공법이다.

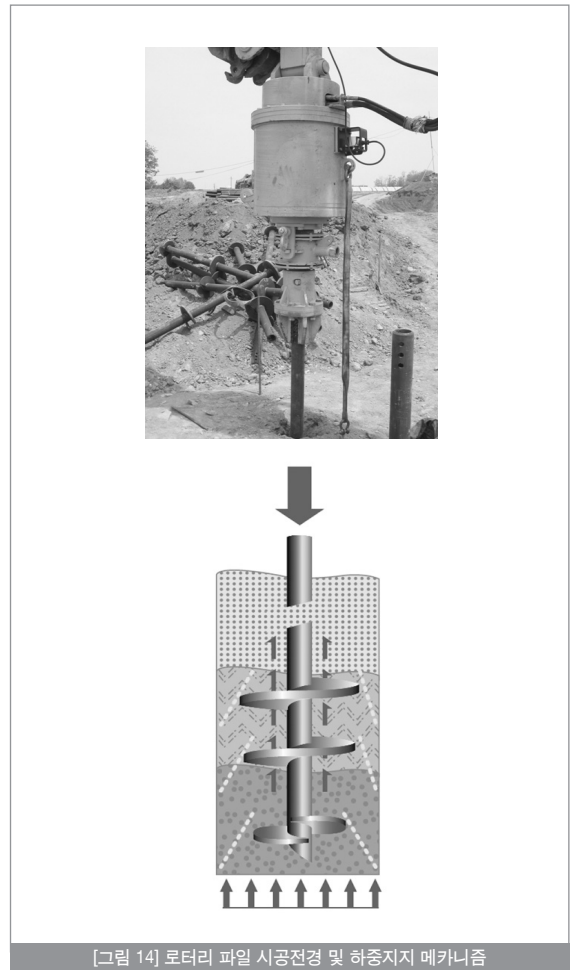
가압 주입함으로써 지반과 밀착된 말뚝 구조체를 형성하고 가압 주입시 확공효과를 기대할 수 있어 상부 토사층에서의 주면마찰력이 증가하게 되므로, 상대적으로 상부 토사층의 심도가 깊은 지역에 적용성이 높은 공법이다. 또한, 팩 내부를 주입하므로 지반의 공극을 통한 주입재의 유실이 없어, 말뚝 단면형상이 일정하고 말뚝의 결함(Necking 현상 등)이 거의 없으므로 말뚝 구조체의 건전성 확보 측면에서 유리하다. 팩 마이크로파일의 설치 개념도는 그림 13과 같다.



[그림 13] 팩 마이크로파일 설치개념도 및 말뚝 구근형성 확인

5-2 로터리 파일

백호우에 설치된 특수한 유압장비를 이용해 나선형의 강판이 부착된 강관을 지중에 회전 삽입하여 말뚝을 시공하는 공법으로, 주로 토사지반에 설치되므로 시공시 굴착장비를 사용하는 기존 마이크로파일 공법에 비해 진동과 소음이 작다는 장점이 있다. 하지만, 말뚝을 지중에 회전 삽입시킬 수 있는 한계가 있어 설계하중이 큰 경우에는 적용하기 어려운 경우가 있다. 로터리 파일의 하중지지 메커니즘은 그림 14와 같다.



[그림 14] 로터리 파일 시공전경 및 하중지지 메커니즘

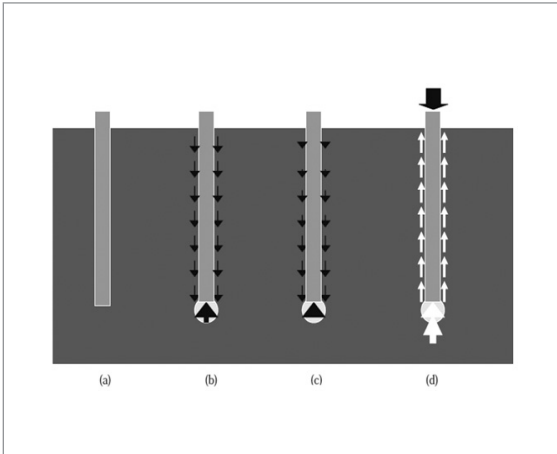
6 | 기타

6-1 선단그라우트 현장타설말뚝

선단그라우트 현장타설말뚝은 말뚝 선단부에 저압 혹은 고압으로 그라우트를 압력 주입하여 말뚝 선단부에 그라우트 보강체를 형

성하는 공법으로 말뚝의 선단보강 및 지지력 증대 효과가 있는 공법이다.

그림 15는 선단그라우팅 과정의 모식도이며, 그라우팅 작업을 통해 말뚝 선단부 지반개량에 따른 선단 지지층 강성 증대, 가압 그라우팅에 의한 말뚝 주면의 상향변위 유도 및 전단응력 재분배로 주면마찰력 증대, 선단단면적의 증대 효과를 기대할 수 있다.



[그림 15] 선단그라우팅 과정 모식도 : (a) 말뚝 설치, (b) 선단그라우트 가압 및 주면저항력 작용, (c) 실행하중 응력 전류, (d) 작용하중에 대한 선단 및 주면저항

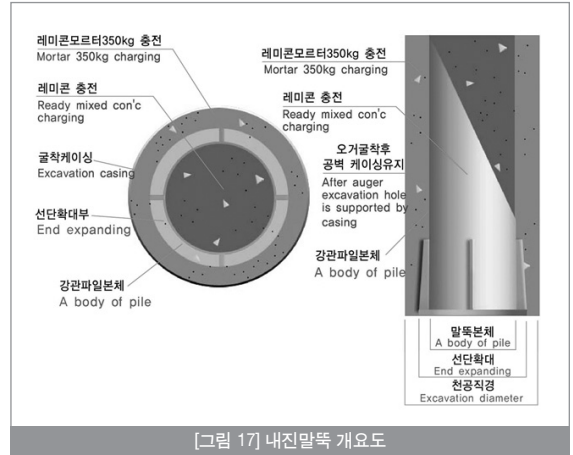


[그림 16] 그라우팅 작업전경 및 말뚝 구근(선단부)

6.2 내진말뚝

강관 말뚝의 근입 선단부를 확대하여 선단지지력을 강관 말뚝 본체보다 향상시키고, 굴착부를 전체적으로 레미콘 타설하여 콘크리트 충전 강관 말뚝 구조로 변경한 강성 말뚝이다.

선단지지력이 증가하고 콘크리트 충전 구조로서 강성이 크다는 장점이 있다. 내진말뚝의 개요도는 그림 17과 같다.



[그림 17] 내진말뚝 개요도

7 맺음말

본고에서는 기술자의 이해를 돕고자 다양한 말뚝공법 중 근래 개발된 몇 가지 말뚝기초에 대하여 간략하게 소개하였다. 말뚝기초는 상부 구조물 하중을 지지하는 중요한 구조물로서, 이와 관련하여 국내·외 여러 연구자들에 의한 학술적인 연구가 활발히 진행 중이며, 여러 나라에서 다양한 공법들이 지속적으로 개발되고 있다. 각각의 공법별로 특징점이 상이하므로 공법 선정 및 현장 적용시 공사비, 공기, 시공성 및 안정성 등을 철저히 파악하는 것이 매우 중요하다고 판단된다. S

참고문헌

1. 조천환, 매입말뚝공법, 이엔지·북, 2006
2. 대구경 PHC 말뚝, 삼표이엔씨(주)
3. Ext-Pile, 이엑스티
4. 중구경현장타설말뚝, 원지오이엔씨
5. 김태훈 등(2006), PDT 말뚝의 적용성 연구, 대우건설기술 통권 제28호
6. 복합말뚝(HCP), (주)파일테크
7. 복합말뚝(SPC Pile), (주)포유엔지니어링
8. 무용집 복합말뚝(NCP), 삼표이엔씨(주)
9. 로터리 파일, 반석기초이엔씨(주)
10. 김진홍 등(2010), 풍화된 암반에 근입된 장대 대구경 현장타설말뚝 선단 Grouting에 의한 지지력 증대 설계사례, 가을기술발표회 논문, 한국토질 및 기초기술사회
11. 내진말뚝, (주)스페이스테크놀로지