

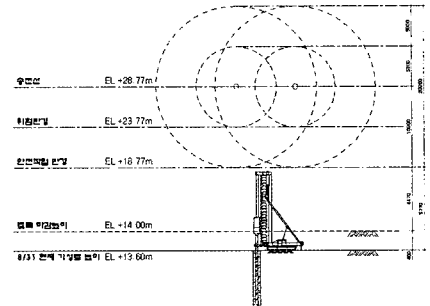
PDT(Pulse Discharge Technology) 말뚝의 현장 적용 사례



김태훈, (주)대우건설 기술연구원 선임연구원
윤우규, (주)대우건설 부장

1. 서론

본 PDT 말뚝은 경기도 광명시 OO현장내 전면 DECK 기초에 적용한 것으로, 당 현장의 경우 기존 SIP공법으로 설계가 되었으나 좌측 Deck가 위치하는 지역은 추가 지질조사 결과와 선행 지질조사 결과가 상이한 부분이 발견되었고 철거지역이라 EL +0까지 매립성토(평균 4m)후 지정작업을 하여야 하였으며 또한, 지질조사 결과상 상이한 점으로 예전 개천을 매립하여 조성한 지역으로 EL:-12m지점 이후로 물이 매우 많아 SIP공법 적용시에도 시멘트의 소요량이 매우 많았다. 뿐만 아니라, <그림 1>에 나타난 것처럼 당 부지의 전면측으로 154kV 고압 송전선이 관통하고 고압선의 높이가 EL+28.77m로서 고압선 안전 작업 반경을 고려하면 최고 16m이내의 높이 조건으로 파일시공이 되어야하나 전면 Deck 하부의 SIP공법에 적용된 파일 드라이브는 H=35m로서 시공이 불가하게 되어 타공법으로의 변경이 불가피 하였다. 따라서 당 현장에서는 154kV 고압송전선에 대한 안전성과 연약지반의 천공에 따른 공벽붕괴를 막고자 케이싱을 사용하여 공벽을 유지시킨 후 몰탈 주입 및 철근망 근입이 완료 되면 펄스를 방전시키면서 서서히 케이싱을 끌어올리는 PDT말



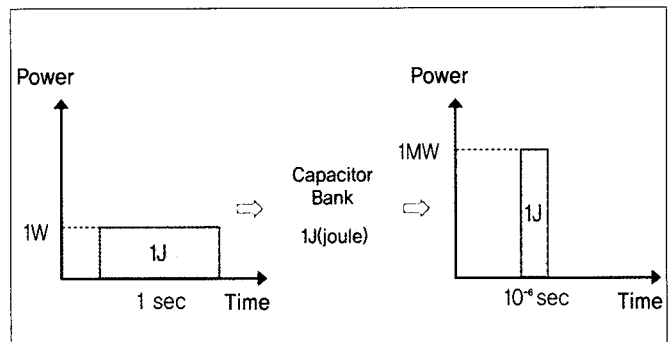
<그림 1> 현장 상황

뚝공법을 선택하였다.

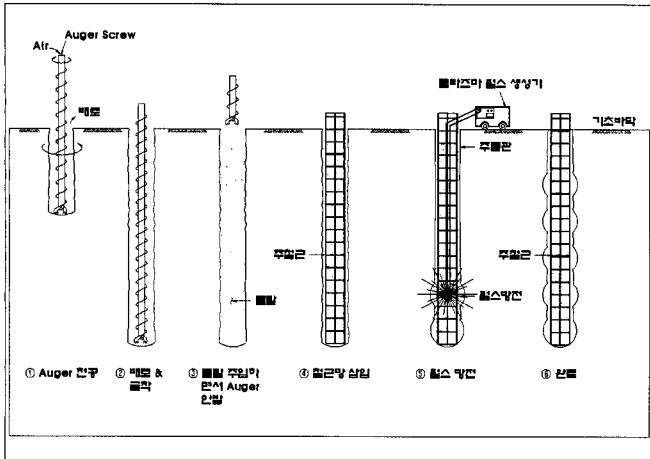
2. PDT 말뚝 공법

PDT공법이란 플라즈마 생성시 에너지 전환에 의해 발생하는 펄스파워를 이용하여 천공벽을 충격파로 여러 번 확장(공동, 구 근생성)시켜 기초 말뚝을 조성하는 공법이다. 펄스 파워(Pulse power)란 전기에너지 상태에서 방전시키는 현상을 이용한 에너지 압축 기술로서 단위시간당의 에너지 변화량을 나타내는 물리량(dE/dt, 여기서 E와 t는 각각 에너지 및 시간)으로 그 크기는 주어진 에너지를 어느 만큼의 짧은 시간 내에 부하로 방출하는냐에 의해 결정된다. <그림 2>과 같이 1J(joule)의 에너지를 1초 동안에 방출하면 1W(watt)의 파워가 되지만 1μs (10⁻⁶초)의 짧은 시간에 방출 하면 단위 시간당의 에너지 변화량이 아주 큰 1MW(10⁶Watt)에 이르는 큰 파워를 가지게 된다.

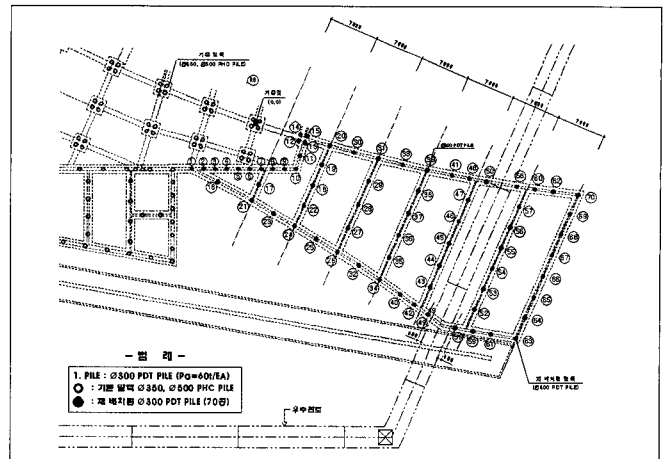
PDT 말뚝공법은 지반을 직경 250 또는 300mm 정도의 소구경으로 천공한 후 고강도 몰탈로 천공홀을 충전하고 철근망을 삽입한 다음 임펄스방전으로 공벽 주변 지반을 압밀 또는 압축



<그림 2> 펄스 파워 발생 개념 및 에너지방출 시간별 변화



〈그림 3〉 플스 말뚝공법 시공 순서

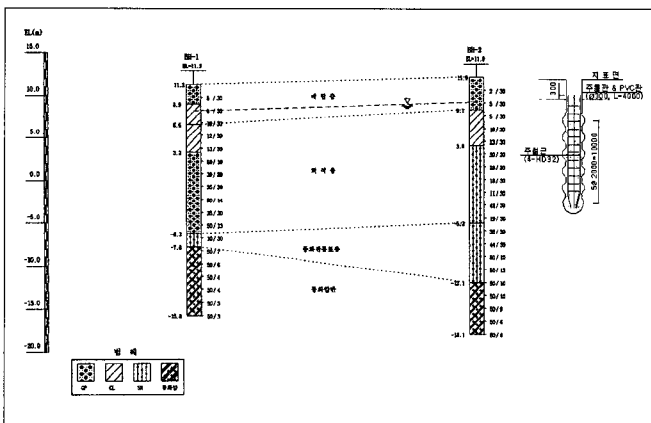


〈그림 5〉 말뚝 배치

시켜 다수의 구근을 만들어내는 소구경 현장타설 콘크리트 말뚝 체 조성 공법으로 시공순서는 〈그림 3〉과 같다

3.시공

적용현장 기초지반의 지층상태 및 구성성분, 그리고 지층단면은 〈그림 4〉에 나타난 것처럼 매립층 아래에 퇴적층 풍화잔류토층 그리고 풍화암반층으로 이루어져 있다. 매립층의 경우는 전체적으로 약 3.8~4.7m 내외의 두께로 분포되어 있고 대체로 실트질 모래(SM), 자갈(GL), 그리고 점토(CL)로 구성되어 있다. 한편 풍화잔류토의 경우 표준관입시험치(N)가 10~50 이상으로 중간조밀 내지 매우 조밀한 상대밀도를 보이고 있다. 본 현장적용에서는 PDT 말뚝의 선단이 이 지층에 놓이도록 설계 시공하였다.



〈그림 4〉 지층조건

총 70본의 PDT말뚝이 본 현장에 적용되었으며 풍화잔류토층 내 표준관입시험치(N) 30이상의 지반에 말뚝 선단이 놓이도록 말뚝 길이 평균 16~18m로 시공을 하였다.

PDT 말뚝에 사용된 재료는 설계강도 450kg/cm² 이상의 고강도를 발휘하고 시공시 작업성이 용이하도록 다음과 같이 배합비를 결정하였다.

4. 말뚝재하 시험

표 1. 시멘트 몰탈 배합비율(m)

시료명	모래	시멘트	물	SSA	유동화제	계	비고
PDT 몰탈	1320	814	400	66	6.16	2005.6	믹서 생산제품

단위 : kg

주) W/DM : 16% 적용 (대수층, 유속이 있는 지층)

PDT 말뚝의 지지력을 평가 하기 위해서 시험 말뚝에 대해서 각각 동재하 및 정재하 시험을 수행하였다. 〈표 2〉 말뚝 동재하 시험의 결과를 보여주고 있다. 결과를 보면, 허용 지지력이 89.2t 으로 설계하중 60t을 충분히 만족하고 있음을 알 수 있다. 한편, PDT 말뚝의 주변 마찰력은 전체 지지력 대비 약 72.5%로 상대적으로 높은 주변 마찰력을 발휘하고 있음을 알 수 있다.

PDT 말뚝과 PHC 매입말뚝의 지지력을 비교해 보기 위해 정

표 2. 동재하 시험 결과

구분	CAPWAP Capacity			허용지지력		설계하중(t)
	Skin (주면마찰력)	Toe (선단지지력)	Total (전체지지력)	ASCE (FS:2.5)	Davison (FS:2.0)	
PDA-1 (No.69)	129.3	49.1	178.4	71.4	89.2	60.0

재하 시험을 수행하여 비교 해 보았다. 〈표 3〉은 정재하 시험결과를 보여주고 있다. 본 시험에서 PHC 말뚝과 PDT 말뚝에 대한 계획하중은 각각 220t 과 120t 으로 하였다. 총 시험하중은 8 단계로 나누어 재하하였으며 각 단계하중은 말뚝머리의 침하율이 시간당 0.25mm 이하가 될 때까지 유지하였다. 시험종료 후 극한 하중과 항복하중은 각각 P-S 곡선법, log P- log S 곡선

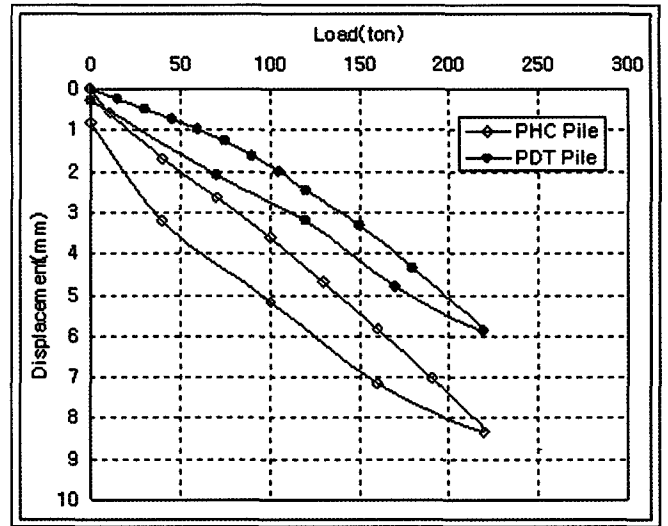
표 3. 정재하 시험 결과

Item	No	PDTD-1	SIPD-1	SIPD-2	SIPD-3
Shaft resistance (ton)		129.3	100.6	91.8	130.6
End bearing Capacity (ton)		49.1	83.1	88.2	83.0
Ultimate bearing Capacity (ton)		178.4	183.6	179.9	213.5
Allowable bearing capacity (ton)		71.36	73.44	71.96	85.40

법, S-log(t) 분석법, P- $\Delta S / \Delta \log(t)$, 그리고 Davisson 분석법을 이용하여 구하였다. 특히 극한하중의 경우는 전침하량과 잔류침하량으로부터 결정하였다. 아쉽게도 두 말뚝 모두 계획하중 재하시 까지 특별한 항복점을 나타내지 않았고 마찬가지로 침하량도 계획하중 재하시까지 기준치 이하로 발생하여 정확한 극한 하중 및 항복하중을 결정할 수 없었다. 그렇지만 <그림 6>에 나타난 것처럼 PDT 말뚝의 침하량이 PHC 말뚝에 비해 상대적으로 약 30%정도 작게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 따라서 PDT 말뚝이 좀 더 효과적으로 지지력을 발휘하고 있음을 유추해 볼 수 있다.

5. 결론

펄스 에너지를 이용한 PDT 현장타설 말뚝 공법을 건물기초 말뚝으로 시공하였다. PDT 말뚝의 깊은 지반 기초말뚝공사를 대신할 수 있는 공법임이 증명되었으며 또한 말뚝재하시험 결과를 본다면 기존 기성말뚝의 단점을 해소하면서도 높은 지지력 및 아주 작은 침하량이 생기는 것으로 보아 매우 좋은 기초말뚝 공법임을 알 수 있었다. 또한 소규모 장비 운용이 가능하고 기존 말뚝공법의 단점인 소음 진동 및 지지력저하등을 보완 개선한 것으로 인정받아 건설 신기술 제 512호로 지정되었으며 따라서 협소한 장소나 주택지와 같이 소규모 현장과 같은 다양한 조건에서도 적용성이 높을 것으로 기대된다.



<그림 6> 하중 침하량 곡선