



02

60 MPa 고강도 콘크리트를 이용한 대구경 현장타설말뚝 시공

Construction of the Large Diameter Drilled Shafts using 60 MPa High-Strength Concrete

강호덕 Ho-Deok Kang
롯데건설(주) 기술연구원
선임연구원

조홍범 Hong-Bum Cho
롯데건설(주) 기술연구원
책임연구원

엄기범 Ki-Bum Um
롯데건설(주) 건축사업본부 수석
현장소장

정형철 Hyung-Cheol Jung
롯데건설(주) 건축사업본부
상무

1. 머리말

최근 건설되는 구조물의 크기가 대규모화, 고층화됨으로 구조물 하부 지반에 하중을 전달하는 기초의 크기도 대형화 되고 있으며, 이에 요구되는 기초의 지지력이 커짐에 따라 대구경 현장타설 말뚝의 사용빈도 또한 증가하고 있다. 현장타설말뚝이란 기초말뚝을 설치하고자 하는 위치에 현장에서 직접 계획심도까지 특수장비를 이용하여 천공한 후 공내에 철근 콘크리트를 타설하는 것을 말한다. 현장타설말뚝은 상부 구조물의 용도와 하중, 지층조건 및 현장여건에 따라 그 종류와 제원을 결정하여 시공하게 되며, 각 공법의 장비와 시공방식을 조합하여 사용하게 된다. 본 기사에서는 수중타설 조건에서의 60 MPa 고강도 콘크리트를 이용한 대구경 현장타설 말뚝 시공 사례를 소개하고자 한다.

2. 공사개요 및 공법

경기도 소재의 당 현장은 지하 5층, 지상 49층 규모의 총 4개 동의 주상복합 신축공사 현장으로 지하층은 판매시설, 지상층은 주거동으로 이용된다. 현장 주변은 호텔, 학교 및 APT가 인접해 있어 도심지 공사에서의 민원발생이 예상되었으며, 지하수위가 높게 형성되어 있어 말뚝기초 시공 시 수중타설이 예상되었다. 총 4개 동의 설계하중은 약 65만 톤으로 구조물 하중, 부지 면적 및 현장 여건을 고려하여 대구경 현장타설 말뚝으로 계획하였다. 당 현장은 연암층이 지표에서 약 96m 하부에서 출현하여 풍화암에 지지되는 말뚝으로 설계하였으며, 도심지 공사 중 발생하는 소음에 의한 민원발생을 최소화하기 위해 저소음, 저진동 공법인 R.C.D(Reserve Circulation Drill Method) 공법을 적용하였다. 기초설계 현황은 <표 1>에 정리하였다.



그림 1. 조감도

3. 현장타설말뚝 설계

당 현장은 직경 2,000 mm의 대구경 현장타설말뚝으로

표 1. 기초설계현황

기초공법	현장타설말뚝(R.C.D ϕ 2,000 mm)	
파일수량/길이	191본 / L = 21 m	
파일 재료	레미콘	$f_{ck} = 60$ MPa(25-60-600)
	철근	주철근(H32) : $f_y = 400$ MPa(SD40) 띠철근(D19) : $f_y = 300$ MPa(SD30)
설계하중	설계 축하중 3,400 ton	

5. 현장타설말뚝의 시공

5.1 R.C.D 공법 개요

현장타설말뚝 공법 중 하나인 R.C.D(Reverse Circulation Drill)공법은 대구경, 대심도 굴착이 가능한 공법으로 Casing 압입 후 지하수위보다 2m 이상의 정수압(0.2 kg/cm²)과 굴착 중 발생하는 공사용수로 공벽을 유지하며 회전식 비트로 굴진, 굴착하는 공법이다. 굴착은 Rotary table의 회전력으로 드릴의 선장에 부착된 비트를 회전시키면서 지반을 절삭하고, 흡상 펌프와 드릴 파이프를 통해 보링을 위한 압력수의 순환 경로와 반대방향으로 물을 순환시켜 굴착된 토사를 외부로 배출하게 된다. 배출된 이수는 침전지로 유도시키고, 이 침전된 물을 다시 수증펌프에 의하여 굴삭 공내

로 순환시켜 재활용하게 되는데 이 때문에 R.C.D 공법을 역순환(Reverse) 굴착 공법이라고도 한다.

현장타설말뚝의 공법 중 하나인 R.C.D 공법은 그 장비의 기종이 다양하고 현장 여건에 따라 요구되는 성능 및 작업시스템이 다르기 때문에 말뚝의 제원, 시공환경, 지반의 상태 및 안정성 등에 대한 충분한 검토 후 적절하게 선정하여야 한다. 당 현장의 경우 직경 2,000 mm 천공 및 토사층 및 풍화암 굴착 조건을 고려한 장비를 선정하였으며, 상부 토사층 굴착을 위하여 오실레이터(Oscillator, 이하 O/S)+파워팩, 햄머그라브(Hammer Grab, 이하 H/G)를 이용하였으며, 하부 암반층 굴착을 위하여 RCD Set(RCD RIG, 파워팩(Power Pack), Compressor)으로 구성하였다.

5.2 시공 순서

R.C.D 공사의 시공 순서는 '위치측량 → 오실레이터(Oscillator, O/S) 셋팅 → 케이싱 설치 → 햄머그라브(Hammer Grab, H/G) 굴착 → R.C.D 셋팅 → R.C.D 굴착 → 슬라임 1차 제거 → 슬라임 2차 제거 (기계식 펌프) → 철근망 근입 → 트레미관 설치 → 콘크리트 타설 → 되메움 → 케이싱 인발'로 진행되며, 당 현장 굴착의 경우 풍화암 상단의 토사층은 O/S+H/G으로, 풍화암 구간은 R.C.D 굴착으로 진행되었다.

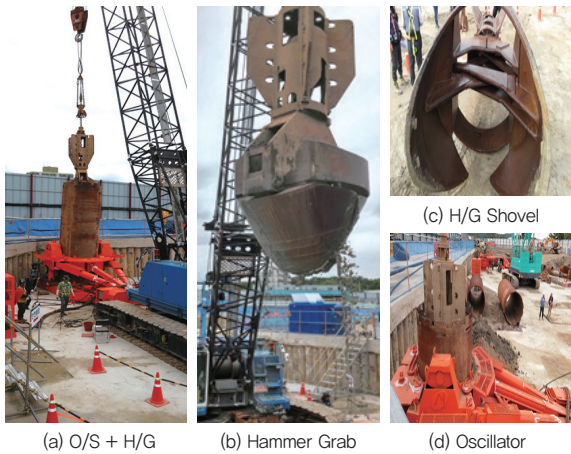


그림 3. Oscillator + Hammer Grab Composition

5.3 시공 관리

대구경 현장타설말뚝 시공은 시공관리 정도에 따라 말뚝기초의 품질의 우열이 지배되기 때문에 각 공정별 시공관리가 매우 중요하다. 또한, 중장비 사용에 따른 시공 기준면에서의 장비 주행성 확보가 필요하며, 물을 대량으로 사용하기 때문에 현장 내 급, 배수시설을 완비하여야 시공성을 증대시킬 수 있다. 또한 장비 가동률의 저하는 공사기간과 직결되기 때문에 장비 고장에 대비한 예비 부품(spare parts) 확보, 전문인력 배치 등 선제적 대응으로 가동률을 증대시킴으로써 공사기간을 단축시킬 수 있다.

당 현장의 경우 시공 기준면에서 매립층의 불량한 지층이 출현하여 Pad Concrete를 타설한 후 시공 기준면을 결정하였다. 이는 장비 주행성 뿐만아니라 굴착시



그림 4. R.C.D Composition

케이싱 압입 및 인발 과정에서 발생하는 지지력을 확보할 수 있고, 굴착수에 의하여 지층이 연약화 되는 현상을 방지할 수 있다. 급, 배수 시설은 현장내 침사조를 이용하여 공내로 재 투입되는 굴착수를 침전시킬 수 있도록 하였다. 현장 부지가 협소할 경우에는 현장 외부에 침사조를 시공할 수 있는 경우도 있으며, 공내로 투입되는 이수의 비중시험을 통하여 비중 값이 1.05 수준에서 관리되도록 하였다.

콘크리트 타설은 트레미관을 연결하여 호퍼를 통해 타설하였으며, 트레미관은 콘크리트가 2m 이상 묻히도록 하였다. 이 때, 트레미관의 길이 및 연결(joint)된 부위를 잘 기록하여 관리하는 것이 매우 중요한데, 이는 타설 중 트레미관이 콘크리트 타설 높이 이상 인발될 경우 공내 혼탁수에 의한 이물질이 콘크리트와 혼재되어 재료분리에 의한 품질저하가 발생하기 때문이다. 파일 기둥부 콘크리트의 경우 고유동 콘크리트(플로 600 mm 이상)특성상 다짐은 수행하지 않았으나 외기온도 25℃ 이상에서 60m³ 이상을 연속타설 해야 하는 현장 조건을 감안하여, 레미콘 차량의 현장과의 거리, 현장반입시간, 트레미관 분리에 따른 시간, 타설시간 등을 철저히 기록하여 연속타설 되도록 하였다. 현장타설말뚝의 경우 선행 타설된 레미콘이 후속 타설된 레미콘에 의해서 파일 상단까지 밀실하게 끌어올려지면서 공내 공극이 발생하지 않도록 시공관리가 필요하며, 콘크리트의 레이턴스(laitance) 발생을 고려하여 500 mm 이상 쪼아내기(chipping) 콘크리트를 타설하였다.

6. 양방향 재하시험을 통한 설계지지력 확인

시공된 말뚝기초의 침하량 및 지지력 확인을 위하여 양방향재하시험(Bi-Directional Pile Load Test)을 실시하였다. 양방향 재하시험은 말뚝 정재하시험으로 현장타설말뚝 시공시 말뚝 선단 혹은 말뚝 중간부에 <그림 5>와 같이 유압 Cell을 설치하여 지상에서 유압을 가해 양방향 잭(jack)의 하부는 하향으로 선단지지력을 발생시키고 상부는 동일한 힘의 상향 방향으로 주변마찰력을 발생시켜 측정한다.

말뚝의 허용지지력은 일반적으로 항복하중의 1/2 이하, 극한하중의 1/3 이하, 하중 대비 허용침하량에 해



(a) 유압 Cell 설치 (b) 유압 Cell
그림 5. 재하시험 장치

당하는 하중 이하, 침하량 기준치에 의해 구한 하중을 만족하는 조건 중 최소값을 선택하게 된다. 시험 결과, 일방향 최대 약 4,000 톤에서 전침하량 기준 상향방향 2.46 mm, 하향방향 4.56 mm의 침하량이 발생하였으며, 기준값인 25.4 mm에 만족하여 설계지지력을 만족하였다.

양방향 재하시험의 경우 현장조건에 따라 말뚝의 허용지지력을 산정하기 위한 자료로 활용하거나, 시공된 말뚝의 지지력을 확인하기 위해 수행한다. 그러나 시험 준비에서 콘크리트 양생 후 시험 시기까지 1개월 이상의 시간이 소요되고 실패시 공사기간 연장 및 공사비 증가가 불가피하므로 설계단계 혹은 현장 초기에 시험을 실시하도록 계획하는 것을 권장한다.

7. 맺음말

현장타설말뚝은 공법 종류에 따라 각각의 특징과 장단점을 뚜렷하게 가지고 있으므로 현장 조건 및 환경에 따라 적절한 공법을 선택하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 최근에는 현장타설말뚝 공법을 실무에 적용하는데 있어서 기존의 공법을 그대로 고수하여 적용하기 보다는 현장 조건에 맞는 장비 및 시공방법들을 조합하여 사용하는 경우가 많으므로 다각도의 분석 결과를 통해 시공 장비와 공법을 적용하고 최적의 생산성을 향상시켜 경제적인 시공을 하는 것이 필요하다. 또한 현장 원가절감 및 공기단축을 위하여 콘크리트 배합설계를 통한 적정 강도 및 배합비를 결정하여 말뚝길이 및 콘크리트 물량을 저감시킬 수 있는 방안을 고려해 볼 수 있다.

현장타설말뚝은 각 공법별로 시공관리 및 품질관리 기준도 다르게 적용되고 있으므로 공사 전이나 공사 초

기에 적용 공법에 대한 적정성 평가, 개선사항, 품질관리 기준 설정 및 문제점들을 조기에 도출하고, 이를 개선해 나가는 것 또한 중요한 요소라 할 수 있다. ☑

담당 편집위원 : 김광기(롯데건설(주)기술연구원) yipp9@hanmail.net

참고문헌

1. 조천환, 말뚝기초실무, 이엔지북, 2010
2. 송명준, 김동준, 박영호, "양방향재하시험을 이용한 현장타설 시험말뚝의 계획, 시공 및 품질관리 방법", 한국지반공학회지 제22권, 11호, 2006. 11, pp. 31~34.



강호덕 선임연구원은 서울대학교 건설환경공학부에서 국내 내진설계를 위한 지반분류방법 및 설계응답스펙트럼 개선연구로 석사학위를 취득하였고, 2009년부터 롯데건설 기술연구원 인프라연구팀에 재직 중에 있다.
hd kang@lottenc.com



조홍범 선임연구원은 한양대학교 건축공학과에서 플라이애시 혼입 콘크리트의 압축강도 추정을 위한 결합 효율 예측모델로 박사학위를 취득하였고, 2012년부터 롯데건설 기술연구원 빌딩연구팀에 재직 중에 있다.
hbcho77@gmail.com



엄기범 수석은 김포온라인 물류센타 등 현장소장을 역임하였으며 현재 국내 건축사업본부의 현장소장으로 재직 중에 있다.
bum10kun@lottenc.com



정형철 상무는 Lotte Center Hanoi 등 국내 및 해외의 건축사업본부 건축공사 현장의 주재임원으로 활동하고 있으며 현재 롯데건설 건축사업본부 상무로 재직 중에 있다.
hcjung@lottenc.com



특수콘크리트공학

- 저 자 : 한국콘크리트학회
- 출판사 : 기문당
- 발행일/Page(판형) : 2015-08-15/107 (판형 B5변형)
- 정가 : 38,000원
- 회원할인가 : **30,500원** (배송비 착불(3,000원))



도서 소개

국내외의 최근 콘크리트 공학기술의 발전상을 가능한 빠짐없이 소개하고자 2004년도에 발간된 『특수 콘크리트공학』을 수정 보완하고, 일부 주제를 추가하여 개정판을 발간하였다. 기존의 19개장에서 보다 더 전문성을 위하여 총 26개장으로 세분되었고, 개별 주제를 그 성격에 따라 Part I 슈퍼콘크리트, Part II 친환경콘크리트, Part III 고기능콘크리트, Part IV 특수환경콘크리트 그리고 Part V 기타 특수콘크리트의 5개 영역으로 나누어 재구성하였다. 2004년도 발간본과 동일한 영역에서는 지난 10년간의 연구내용을 토대로 대폭적으로 개정하였으며, 새롭게 추가된 주제는 새로운 분야에 대한 연구 성과 및 국내외 기술을 정리하여 연구자 및 실무자들에게 도움이 될 수 있도록 하였다.