

해상교각 현장타설말뚝 시공사례

글 | 최득용 | 가덕대교 현장 대리

전화 051-832-0285 E-mail : superman@ssyenc.com

최근 구조물의 대형화와 복합화 경향에 따라 신뢰성 기반의 경제적, 합리적 설계가 이루어지고 있으며, 교량공사 또한 이러한 최근의 추세를 따라가고 있다.

대형교량하부의 기초로서 대규모 시공이 가능한 현장타설말뚝이 빈번히 설계에 적용되고 있으며, 그 시공방법 또한 다양한 가운데 가덕대교 현장과 같이 해상에서의 현장타설말뚝 시공사례를 소개하고자 한다.

1. 개요

가덕대교는 부산(가덕도)~거제간 연결도로 민간투자 사업의 원활한 추진과 국지도 85호선인 광역도로망 확충으로 물류비용 절감 및 국가경쟁력을 제고하고 가덕도 개발과 주민 숙원을 해소하기 위해 건설되는 교량으로 부산광역시 건설본부에서 발주하였다.

가덕대교가 위치한 부산 녹산공단과 가덕도 사이의 해상은 가덕도가 방파역할을 하는 곳으로 퇴적토의 이동이 거의 없는 잔잔한 곳으로 간조가 되면 해저 바닥이 거의 드러날 정도로 수심이 얕다. 그러나 이러한 지형조건으로 퇴적토(실트질모래, 실트질점토, 점토 등)의 심도가 매우 깊어 암반층까지의 깊이가 70~80m이며 이중 연약층이 35~45m 두께로 분포하고 있다. 따라서 교량 하부 기초 공법을 대규모 대심도 시공이 가능한 현장타설말뚝 공법을 적용하였으며, 양방향 선단유압재하시험을 통한 설계 지지력의 적정성을 검토하였다.

본문에서는 현장타설말뚝 공법의 설계 검토 내용 및 시공사례를 전반적으로 소개하고자 한다.

1-1. 현장 개요

1) 위치도



2) 공사 개요



공사명 : 부산~거제간 연결접속도로(가덕대교)건설공사

위 치 : 부산광역시 강서구 송정동~가덕도 일원

규 모 : 연장 L=1,120m(11경간, 최대 경간장 : 80m), B=21~35m

해상 본선교량 : L=780m, B=21~35m

육상 RAMP교 : L=340m, B=6.5m×2개소

평면도로 : L=473m, B=43.5~53m
 기 간 : 2003. 9.~2009. 9(72개월)
 공사액 : 103,321백만원(부가세 포함)
 발주처 : 부산광역시 건설본부

1-2. 설계 현황

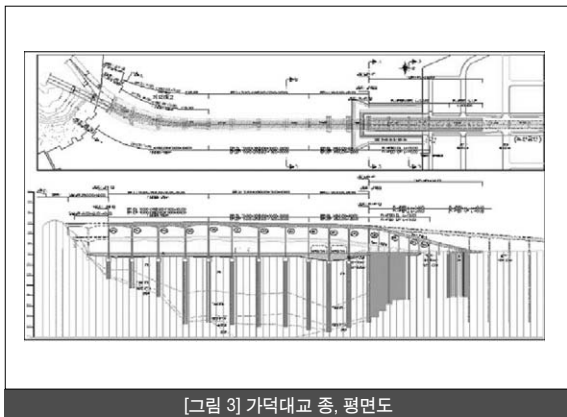
교량 형식

- 상부구조 : 강합성교(복층구조)
- 하부구조 : 벽식 + T형 교각 9기
 벽식 + 문형식 교각 3기

기초 공법 : 현장타설 콘크리트 말뚝
 (All Casing공법+R,C,D공법)

가물막이 공법 : Sheet Pile + Strut(11개소)

교면 포장 : 개질 아스팔트8cm



[그림 3] 가덕대교 중, 평면도

입하고 콘크리트를 타설하여 만든 말뚝'을 의미한다. 일반적인 말뚝박기 공법에 비해 소음이나 진동이 적으며 특히 대구경 말뚝의 시공이 가능한 장점이 있다. 시공 공법으로는 베노토(Benoto) 공법, RCD 공법, 어스드릴, 심초(深礎) 등이 있으며, 당 현장에 서는 All Casing 공법과 R.C.D 공법을 병행하여 적용하였다.

2-1. All Casing(Benoto) 공법

1) 프랑스의 Benoto사가 개발하여 사용하였기 때문에 Benoto공법이라 부르는 것으로, 굴착시 공벽붕괴를 방지하기 위해 Casign Tube를 좌우로 회전시키는 요동 압입장치(Oscillator)로 흡속에 삽입함과 동시에 굴착기(Hammer Grab, Chisel or Earth Drill 병용)로 그 내부를 굴착 배토하여 소정의 깊이까지 굴착 완료하고 Hole내의 Slime제거와 응력재(Steel Cage, 강관, H-Beam등)의 삽입과 Tremie Pipe에 의한 콘크리트를 타설하고 Oscillator로 Casing을 인발하여 현장타설 말뚝을 조성하는 공법이다.



[그림 4] Benoto 공법 개념도 및 시공사진

2. 현장타설말뚝(Cast-in-place concrete pile)

현장타설말뚝이란 '미리 제작되어있는 콘크리트 말뚝을 박는 대신에 굴삭기계로 정해진 깊이까지 구멍을 파서, 그 속에 철근을 삽

2) 공법의 특징

(1) 장점

- ① Casing을 사용하므로 공벽붕괴 위험이 없고, 주변지반에 주는 영향이 적어 기존 구조물의 근접 시공이 가능하다.

- ② 토질에 대한 적용성이 높아 암반을 제외한 모든 토질에 적합하다.
- ③ 굴착 중 배출하는 토사에 의해 지질조사 및 지지층을 확인할 수 있다.
- ④ Con'c 타설시의 붕괴사고가 적고 철근피복 유지가 확실하다.
- ⑤ 비교적 저소음, 저진동 공법이다.
- ⑥ 기중에 따라 경사 말뚝시공이 가능하다(15도 전후).

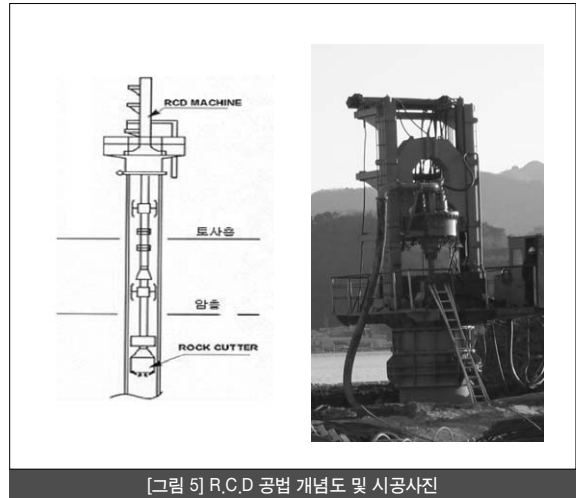
(2) 단점

- ① Casing Tube의 요동, 인발 능력이 기중에 따라 한계가 있으며 모래층이 두꺼운 경우 Casing 인발이 곤란한 경우가 있다. 특히 지하수위 이하에 세사층이 두꺼운 경우 요동으로 물다짐되어 Casing Tube의 연발이 불가능할 때가 있다.
- ② Casing Tube를 인발할 때 철근이 따라 올라오는 경우가 있다.
- ③ 기계의 자중이 크며 요동반력이나 Casing Tube를 인발할 때 큰 반력이 필요하므로 수상의 잔교상이나 복공에서의 시공이 적합하지 않다.
- ④ Hammer Grab 굴착시 낙하충격에 선단지반이 약화될 우려가 있다.
- ⑤ 굵은 자갈 또는 호박돌이 섞인 지층에는 Casing Tube의 압입이 어렵다.

2-2. RCD 공법

1) 역순환굴착 공법(Reverse Circulation Drill 공법 이하 RCD 공법)은 1954년 독일의 SALZ GITTER사에서 개발한 공법으로 현장타설말뚝 공법 중 가장 대구경이며 깊은 심도까지 시공할 수 있다. 본 공법은 상부 8~10m정도의 Stand Pipe(Casing) 설치하고 그 이하는 2m 이상의 정수압과 굴착 중 발생하는 자연 이수에 의해 공벽을 유지하면서 굴착한다.

굴착은 특수한 비트를 회전시켜 지반을 굴착하고 일반적인 Rotary Boring 방법에서 물의 흐름과 반대로 Drill ROD Pipe로 순환수와 함께 굴착토를 흡상하여 지상으로 배출하며 배출된 순환수는 침전지에서 토사를 침전시킨 후 다시 굴착공으로 순환시키는 공법이다.



[그림 5] R.C.D 공법 개념도 및 시공사진

2) 공법의 특징

(1) 장점

- ① 굴착장비를 오르내릴 필요 없이 연속굴착 진행으로 깊은 심도까지 굴착가능하고 심도가 깊을수록 타 공법보다 효율이 양호하다.
- ② 물을 이용하는 공법이고 나공 상태로 굴착하므로 수상 시공이 가능하다.
- ③ Benoto 공법은 세사층에 불리하지만 본 공법은 세사층 굴착이 용이하며 특수한 비트에 의해서 연암층도 무진동으로 굴착 가능하다.
- ④ 기중에 따라서는 경사시공도 가능하다.

(2) 단점

- ① 트릴파이프 직경(150~200mm)보다 큰 호박돌이 있는 경우 굴착 불가능하다. 이때는 RCD드릴비트를 꺼내고 Hammer Grab로 호박돌을 제거 후 작업을 계속할 수 있으나 능률이 현저히 저하된다.
- ② 지층조건에 따라서는 말뚝선단 및 주변지반이 이완되는 경향이 있다.
- ③ 이수 순환설비를 위한 공간이 확보되어야 하고 굴착토 및 이수의 처리가 어렵고 현장이 더럽혀질 우려가 있다.
- ④ 정수압 또는 안정액만으로 공벽이 유지되지 않는 지층조건에서는 시공 곤란

3. 가덕대교 현장타설말뚝 설계

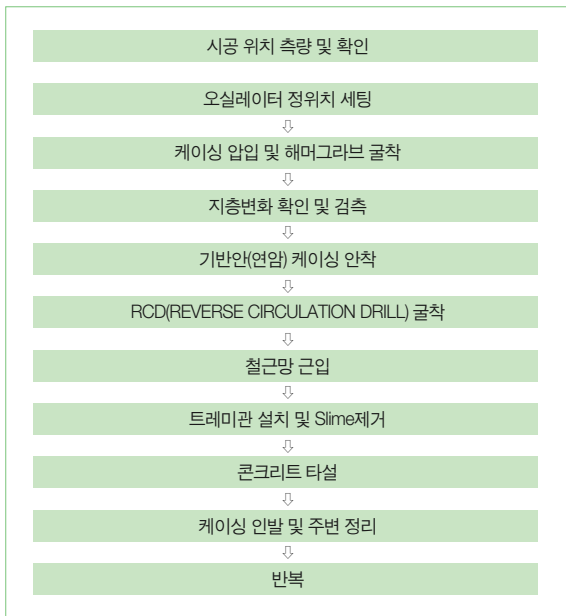
(표 1) 현장타설말뚝 설계현황

구분	내용	비고
말뚝형식	All Casing(Benoto)공법 + R,C,D 공법	
설계하중	1,047 tonf/본	
말뚝수량	1,500 : 32본 2,000 : 204본(BR,1-59본, BR,2,3-145본)	
주요자재	레미콘 : 25-35-180 철근 : HD16, HD32 혼화제 : 고성능 AE감수제, 수중불분리제	
굴착속도	토질	굴착속도(min/m) 비트회전수(rpm)
	점토	3~5 9~12
	실트	4~5 9~12
	세사	4~7 6~8
	중사	5~8 4~6
자갈	6~10 3~5	
	굴착기의 양수능력은 공칭 8.0m ³ /min 정도로 한다. 날개가 3개인 비트를 사용한 경우로 한다.	
허용 오차	파일상부~바닥 수직도 : 0.6%(1:150) 이내 파일중심에서 수평위치 오차 : 50mm 이내	
말뚝시험	간전도 시험 : 20-100KHz 주파수를 이용한 SONIC TEST(236본 전수검사) 정재하 시험 : 선단유압장치를 이용한 양방향 선단유압장치(해상 1본, 육상 1본 검사)	

4. 현장타설말뚝 시공순서

4-1. 시공 순서도(Flow Chart)

(표 2) 현장타설말뚝 시공 순서도(Flow Chart)



4-2. 시공과정

1) 위치측량~굴착

- 상부의 하중을 기반암에 전달하는 주요특성상 공사시방서에서는 수평위치 오차를 “말뚝 CUT-OFF ELEVATION 중심으로부터 50mm” 로 엄격히 제한.
- 해머그라브 굴착시 공벽 붕괴방지로 케이싱 압입깊이를 초과하여 굴착이 되지 않도록 함.



[그림 6-1] 현장타설말뚝 시공사진

2) 철근망 조립~타설완료

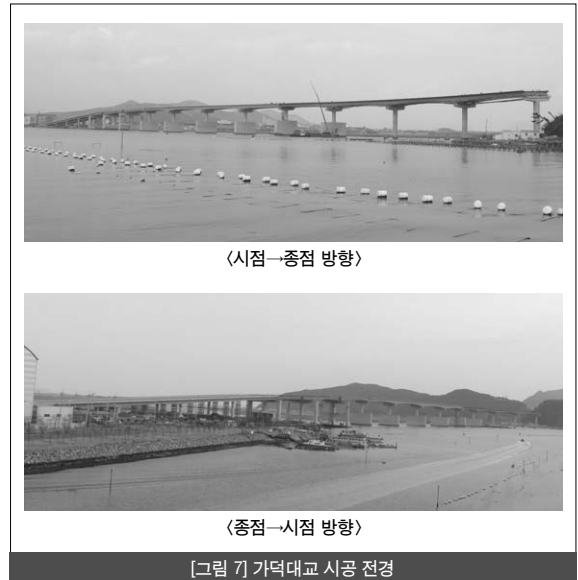
- 철근망 조립은 굴착작업과 병행하여 진행되며, 말뚝의 최종시도 확인후 철근망의 조립을 완료하여 케이싱 내 연직도를 확인하며 근입함.

② 레미콘 타설 전 케이싱 내부 굴착저면에 침전된 Slime의 제거를 효과적으로 실시하며, 트레미관을 콘크리트 타설 표면보다 2.0m 이상을 유지하여 타설함.



5. 결론

가덕대교 현장은 전체 72개월의 공사기간 중 40개월에 해당되는 현장타설말뚝공사를 무사히 마쳤으며, 현재 본선 교각 및 상부 강교제작 거치가 완료되어 전체공사 90%를 초과하여 시공 중에 있다.



최근 건설되는 구조물의 대형화와 복합화 경향에 따라 신뢰성 기반의 경제적, 합리적 설계가 이루어지고 있으며, 교량공사 또한 이러한 최근의 추세를 따라가고 있다. 여기에 대형교량하부의 기초로서 대구경 시공이 가능한 현장타설말뚝이 많은 공사현장에서 자주 설계에 적용되고 있으므로 본 가덕대교 현장에서 실제 시공한 해상현장타설말뚝 시공사례를 통해 보다 많은 기술자들이 현장에 참조하기를 기대한다. S