

현장타설말뚝(CIP)공법 소개 및 시공사례

김연기 부장 (목동지하철 906공구 현장)

I. 서 론

1. 연구의 목적

시가지에서 대형 지하 토목 구조물을 건설함에 있어서 가시설 공법의 선정은 소음이나 진동, 교통처리계획 등 외적요인 및 토목 구조물이 건설될 지역의 토질 조건, 지하수 여건, 공사기간 및 인접 건물의 형태, 공사비등을 종합적으로 감안하여야 한다.

현장타설말뚝은 저소음, 저진동 공법으로 Rotary M/C 등을 이용하여 계획심도까지 Steel casing을 삽입과 동시에 Steel casing내 토사를 완전히 천공하고, 철근망 또는 H-Pile을 근입한 뒤 Con'c를 타설하여 주열형태의 Con'c 말뚝을 형성함으로써 본 구조물 시공을 위한 가시설 토류벽체로 이용한다.

CIP공법은 지하철 9호선 여러공구에서 가시설 공법으로 채택하여 시공중인 공법으로, 906공구에서도 이를 채택하였으며 실시공을 통하여 터득한 CIP공법의 특징과 시공시 유의사항 등을 정리

하여 소개하고자 한다.

2. CIP 공법 적용현황

현재 도심지 지하철 공사에서 가시설 공법으로 설계/채택중인 공법은 크게 5가지로 분류할 수 있다.(공법별 비교표 참조)

- 가. 엄지말뚝 + 목재 토류판
- 나. 엄지말뚝 + 토류벽 Con'c
- 다. Soil Cement wall
- 라. Slurry wall
- 마. CIP (주열식 현장 타설 말뚝)

상기 5가지 공법은 현장여건과 경제성을 바탕으로 선택적으로 채택할 수 있으며, 본 연구에서는 CIP공법을 중심으로 기술기로 한다.

공법의 주요 특징으로는

- (1) 토사층부터 풍화암층까지 비교적 모든 지반에 적용이 가능하며 (2) 토류벽 역할을 충분히 할 수 있는 강성을 지니며 (3) 저소음, 저진동이며 (4) 깊은 심도의 H-Pile 천공장비로 사용가능함 (연약지반에서 암반층까지 폭넓게 적용가능)

단점으로는, (1) 비교적 고가의 공법이며 (2) 말뚝간의 연결성이 좋지 않아 지하수위가 높은 경우 차수에 대한 별도의 대책(보조 공법)이 필요하며 (3) 깊은 심도에서는 연직도가 떨어지는 문제점을 지니고 있으며, (4) 연약지반의 심도가 깊어 Casing을 25m이상 사용해야 할 경우는 Casing 전입 후 추가분을 용접 연결해야 하므로 효율성이 극히 저하된다.

참고로, 당 현장의 경우 개착식 구간 중 정거장


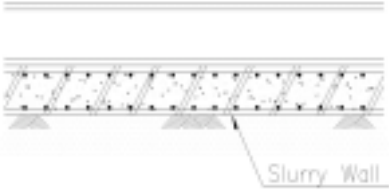
지역 (2개소)은 인접건물 및 주변 지반 침하를 최소화 하기 위하여 벽체 강성이 큰 CIP공법을 채택 하였으며, 굴착심도가 비교적 얕고 주변 건물이 인접하지 않은 본선부는 시공이 용이하고 경제적인 H-Pile + 토류판 공법을 채택하였다(첨부: 각 공법별 금액 비교표).

3. 타 가시설 공법과의 비교

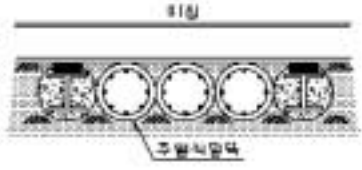
가. 얀지 말뚝 공법

비교항목	공 법	얀 지 말 뚝 공 법	
		얀 지 말뚝 + 목재토류판	얀 지 말뚝 + 토류벽 콘크리트
공법개념도			
공법개요		① 천공기에 의해 천공 ② 얀지말뚝 설치 ③ 토류판 설치(thk=12cm)	① 천공기에 의해 천공 ② 얀지말뚝 설치 ③ 토류판 설치(얀지말뚝배면) ④ 토류벽 설치(thk=30cm)
토류구조지형식		버팀보 or 어스앵카	버팀보 or 어스앵카
적용지반조건		토사층 ~ 풍화암	토사층 ~ 풍화암
안 정 성		<ul style="list-style-type: none"> 지하수유출, 토사유출로 지반침하 및 벽체변형이 크다. 차수 및 안정성 불량 	<ul style="list-style-type: none"> 토사유실방지 지반침하억제 차수성불량 안정성양호
얀지말뚝 회수		회수가능	회수곤란
경 제 성		<ul style="list-style-type: none"> 토류판배면 그라우팅이 불필요한 지반조건에서 가장 경제적 공기단축 공사비 : 51,000원/m² 	<ul style="list-style-type: none"> 토류판배면 그라우팅이 불필요한 경우 비교적 경제적 목재토류판에 비해 공사비 증가 공사비 : 86,000원/m²
시 공 성	소요장비	20TON CRANE, T-4, 소형항타기	20TON CRANE, T-4, 소형항타기
	작업장부지	보 통	보 통
	차수대책	차수필요시 별도의 차수보조공법 필요	차수필요시 별도의 차수보조공법 필요
	연경암지반	숏크리트 및 락볼트 공법적용 용이	숏크리트 및 락볼트 공법적용 용이
주변교통 영향		보 통	보 통
적용성 평가		<ul style="list-style-type: none"> 연약지반을 포함하지 않은 지반조건이 비교적 양호한 지반 가시설 사용기간이 짧은 경우 구조물과의 이격거리가 비교적 큰 경우 	<ul style="list-style-type: none"> 지반조건이 비교적 양호한 지반 가시설 존치기간이 비교적 장기적인 경우 인접지역에 구조물이 존재하는 경우

나. 지중 연속벽 공법

비교항목		지중 연속벽 공법	
		S.C.W	Slurry Wall
공법개념도		<p>띠장</p> 	<p>띠장</p> 
공법개요		<ol style="list-style-type: none"> ① 다축 Auger에 의한 천공 ② 인발시 중공 Rod를 통해 시멘트 밀크를 주입하면서 원지반과 교반 ③ H-Pile or 강관삽입 	<ol style="list-style-type: none"> ① 일정폭의 Guide 트렌치 굴착 ② 트렌치벽 자립성 향상을 위한 지반안정액을 주입하면서 굴착 ③ 철근다발 설치 ④ 콘크리트 타설
토류구조지형식		버팀보 or 어스앵카	버팀보 or 어스앵카
적용지반조건		점토, 사질토, 풍화대	점토, 사질토, 풍화대
안정성		<ul style="list-style-type: none"> • 연속벽체치수 및 토류벽체 2중역할을 충분히 할 수 있다. (굴착깊이 25m까지 가능) • 지반침하 및 안정성 매우양호 • 차수성은 보통 	<ul style="list-style-type: none"> • 토류벽 및 외벽구조체로서의 역할을 할 수 있다. • 배면부 지반의 이완을 극소화한다.
엄지말뚝 회수		회수곤란	회수곤란
경제성		<ul style="list-style-type: none"> • 적용연장이 큰 경우는 비교적 경제적 • 적용연장이 짧으면 비경제적임 • 공기단축 • 공사비 : 134,000원/m² 	<ul style="list-style-type: none"> • 지반조건이 극히 불량일 경우는 타공법과 경쟁력이 있음 • 일반적으로 가장고가 • 공사비 : 640,000원/m²
시공성	소요장비	80P PILE DRIVER, CEMENT SILO, 안정제 PLANT	50TON급 CRANE, 안정제 PLANT
	작업장부지	-	2차선이상 Plant 설치부지 필요
	차수대책	흙막이벽과 차수벽을 겸하기 때문에 원칙적으로 별도의 차수공법이 필요치 않음 (차수성 양호)	별도의 차수대책 불필요
	연경암지반	천공 근입이 어려워 사용치 않음	H-Pile 근입을 위한 Sleeve 사전설치 필요
주변교통 영향		-	주변교통에 지장이 큼
적용성 평가		<ul style="list-style-type: none"> • 대형장비 및 Plant설치 요구됨 • 시공속도가 타 공법에 비하여 빠름. • 지하철의 경우 토류벽 배면에 차수용으로 사용하여 공사비는 비교적 고가임 	<ul style="list-style-type: none"> • 시공중 도로가 넓고 지하수가 많을 것으로 예상되는 구간에 실시 • 장비가 대형이어서 작업공간이 넓다.

다. 주열식 말뚝 공법(C.I.P)

공 법 비교항목	주열식 말뚝공법(C.I.P)
공법개념도	
공법개요	① 일정심도까지 천공(공벽Steel Casing 사용) ② H-Pile or 철근다발 설치 ③ 콘크리트 타설
토류구조지형식	버팀보 or 어스앵카
적용지반조건	토사층 ~ 풍화암(비교적 모든 암반)
안 정 성	• 토류벽 역할을 충분히 할수있음(굴착깊이 25m 이내) • 안정성 및 지반침하는 매우양호 • 차수성은 보통
임지말뚝 회수	회수구관
경 제 성	• 적용연장이 작은 경우 비교적 경제적 • 대규모인 경우 일반적으로 비 경제적임 • 공사비 : 166,000원/㎡
시 공 성	소요장비 Pile Driver (25m 심도 이상의 천공이 가능한 장비)
	작업장부지 보 통
	차수대책 차수필요시 별도의 차수보조공법 필요
연경암지반	숏크리트 및 락볼트 공법적용 용이
주변교통 영향	보 통
적용성 평가	• 지반조건이 비교적 불량하고 주변구조물이 가시설 토류시설과 극히 인접한 경우 • 상부구조물의 하중에 견디기 위하여 지지층까지 말뚝을 설치하여야 한다.

II. 시공순서도 및 주공정

1. 시공순서도(Flow-Chart)

가. 사이클의 세부공정

(1) 작업부지 정리

CIP천공장비 Setting을 위해 작업부지를 평탄하게 정리하고 CIP작업Line의 위치확인을 위해

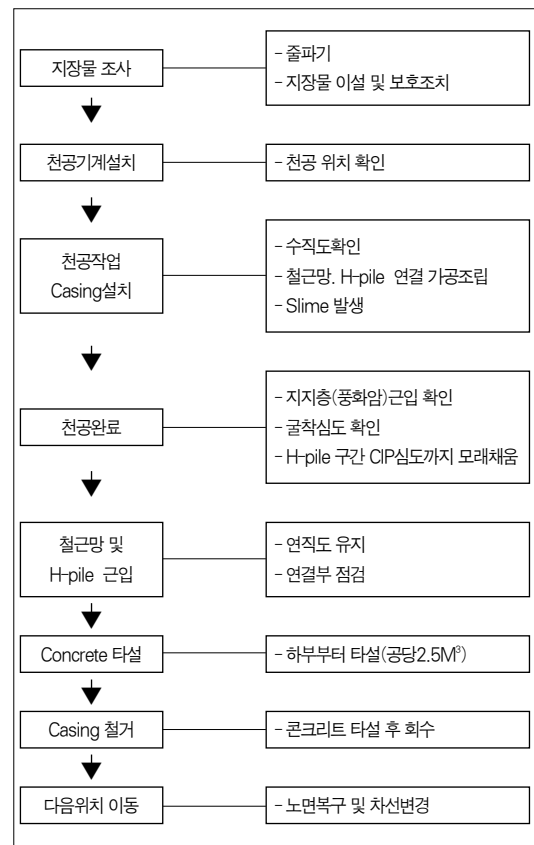
방해되는 지장물을 완전히 노출시키고 작업위치를 확인한 후 착수한다.

(2) 지장물조사

CIP작업 Line에 지하 지장물(상하수도관.통신케이블.고압케이블 등)이 설치되어 있는지의 여부를 확인하기 위해 굴삭기 및 인력터파기로 조사한 후 이설 또는 보호조치 후 작업한다.

(3) 천공기 설치

- 지하매설물을 보호하기 위해 천공기 트랙하부에 철판을 깔아 하중을 분산시킨다.



(그림 1) 보강형

- 천공기설치전 측량을 한 후 천공작업하여 선형의 굴곡을 사전에 방지한다.
- 기계 Setting시 수평기를 이용하여 말뚝이 수직으로 시공되도록 수직정도를 점검 한후 트랜싯을설치 수직정도를 높인다.
- 수직도 점검은 천공작업 중에도 수시로 실시하여 수직정도에 이상이 없도록 한다.

(4) 수직도 관리 계획

- 기계 Setting시 수평기를 이용하여 말뚝이 수직으로 시공되도록 수직정도를 점검 한후 트랜싯을 설치 수직정도를 높인다.
- 수직도 점검은 천공작업 중에도 수시로 실시하여 수직정도에 이상이 없도록 한다.

(5) SLIME 제거

- 천공시 발생하는 Slime은 침사지를 통하여 별도로 처리한다.
- 천공홀 내부의 슬라임 처리는 AIR LIFTING에 의하여 완전히 제거한다.
- 천공시 발생하는 잔토는 당일 반출 하는 것을 원칙으로 한다.

(6) 천공심도 확인

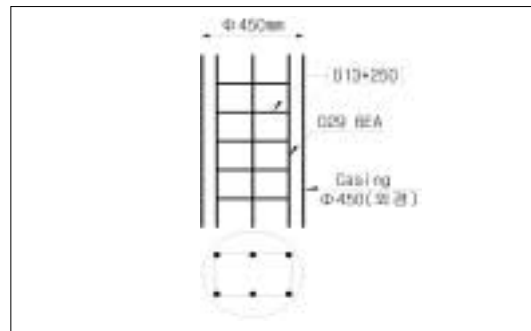
- 소정의 심도까지 천공완료 후, 슬라임의 상태를 보고 선단지층의 지층상태를 파악한다.
- 선단지층이 연약지반으로 판단될 경우에는 감독원과 협의하여 굴진 심도를 연장한다.

(7) 철근망 삽입

- 철근망은 설계도면에 명시된 대로 정확히 조립하며, 조립된 철근은 시추기 또는 굴착기를 이

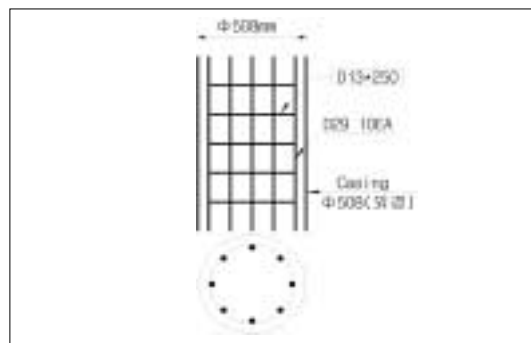
- 용하여 수직도를 유지하면서 공내에 삽입한다.
- 철근 겹이음은 1.2M 이상 유지 하고 철근결속 100%하며 철근의 비틀림 방지를 위하여 부분 용접을 실시한다.
- 아래 그림에서 보듯이 사각 띠철근은 설계해석시 유효인장력이 크므로 원형띠 철근에 비하여 경제적이나, 철근망 운반시 형상유지가 어렵고 Con'타설 후 casing인발시 철근에 걸쳐 함께 부상(따라 올라오는) 문제가 있어, 당현장의 경우 사각띠 철근을 원형 띠철근으로 설계 변경 하였음.

①설계도면(사각 띠철근)



(그림 1) 철근 배근도(당초 대 변경)

②현장검토안(원형 띠철근)



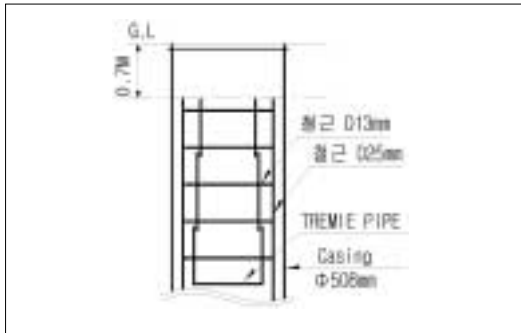
(그림 2) 철근 배근도(당초 대 변경)

Note : casing size가 Dia 450에서 Dia 508로 변경한 것은 띠철근 변경으로 인한 것이 아니고 H-Pile (300x305) 사용에 따른 것임.

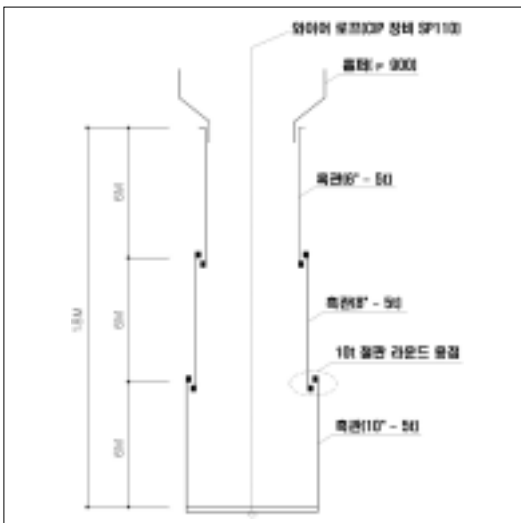
- 띠철근은 250mm 간격으로 조립하고 스페이서(목재 또는 con'c 기성제품)를 설치하여 수직도 및 피복간격을 유지, 스페이서는 주철근을 따라 2m간격으로 설치한다.

(8) Concrete 타설

- 당 현장은 올 케이싱공법 이므로 공벽 합물의



(그림 3) CIP단면도 (Con'c 타설전)



(그림 4) Tremie pipe 상세도 (Piano식 3단)

가능성은 적으나 사질, 충적 지반으로서 공내에 잔류한 슬라임 및 지하수를 air lifting에 의하여 양수작업 후 tremie pipe 또는 Con'c Pump Car를 이용하여 레미콘 타설.

- CIP상부 0.7M구간은 복공설치를 위하여 토류관으로 대체.

(9) Slime처리

- 천공시 지하수와 함께 다량의 slime 발생시 별도의 침사지를 설치하여 토사가 하수관으로 직접 유입되지 않도록 한다.
- 침사된 Slime은 폐기물로 간주되므로 건조한 흙과 섞어 사토장으로 처리해야 한다.

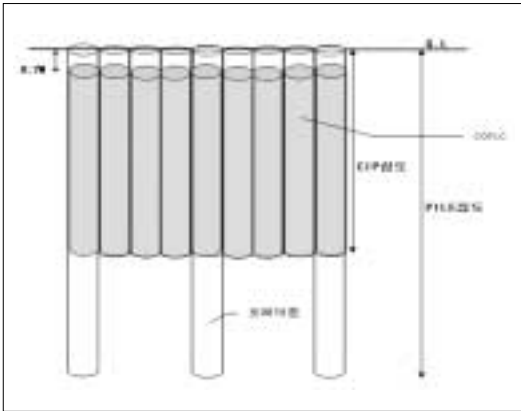
(10) CIP용 Con'c 및 철근

CIP용 Con'c : $F_{ck} = 210\text{kgf/cm}^2$ (최대 골재 Size: 25mm)

CIP용 철근 : $f_y = 3000\text{kgf/cm}^2$

(11) H-Pile 근입

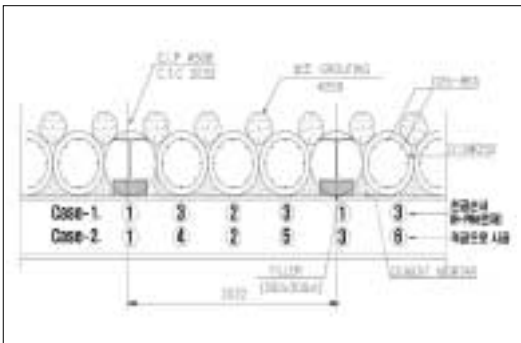
- H-Pile 표면에 "M" 표시를 하여 근입심도를 확인할 수 있어야 한다.
- H-Pile 근입시 슬라임 등으로 근입이 되지않을 경우 보조PILE를 설치하여 Drop Hammer를 이용 항타를 실시한다.
- 천공홀 메우기는 CIP심도까지 실시하며 재료는 모래 또는 석분을 이용하고 추를 이용 CIP심도까지 확인하면서 실시한다.
- 시공방법은 아래의 H-Pile 및 CIP 주열도와 같다.



(그림 6) H-pile 및 CIP 주열도

2. 양생 계획

가. C.I.P공법(차수공):공배열 시공순서



(그림 7) 공배열 시공순서

위 도면과 같이 con'c의 양생을 감안하여 3단계로 분할하여 시공한다.

- 1단계: H-Pile 구간을 2.032m 간격으로 시공한다.(1번홀)
- 2단계: CIP공을 전체 시공시 공벽의 함몰을 고려하여 위 그림과 같이 CIP중앙 부분 1공씩 2.032m 간격으로 시공한다.(2번홀)
- 양생 : 1단계와 2단계 종료후 Con,c 양생기간

을 48시간(2일) 경과후 3단계시공.

(일부 구간에서는 조강재를 이용하기도 함)

- 3단계: 위 도면과 같이 CIP공 2공씩 시공하여 마무리한다.

나. 양생

천공하여 내부를 concrete로 치환하는 현장타설 콘크리트 말뚝 공법이므로 별도의 양생시설은 하지 않으며 양질의 토사(모래)로 0.7M 되메우기를 실시한다.

다. 한중콘크리트 타설

섭씨 -4℃이하는 타설하지 않는것을 원칙으로 한다.

초기동해를 막기위해 펌프카 슈트에 보온천막을 설치하여 타설한다.

III. 장비 및 인원조합

가. 천공장비 선정

1) 천공장비 선정

- CIP 설계의 천공심도(약16~32m) 및 케이싱 삽입길이(약16~25m)에 시공가능
- 설계 수직도의 허용오차가 최대 10cm로 관리
- ⇒ 적용가능한 CIP천공 장비는 Pile-Driver라 사료됨

2) 천공장비 규격 및 장·단점

구분	장비제원			장단점	대비표
	길이(M)	폭(M)	중량(TON)	장점	단점
PILE DRIVER SP110	5.7	3.3(4.5)	42.2	<ul style="list-style-type: none"> • 설계심도의 케이싱 삽입이 가능(최대 24.5 M) • 정밀한 수직도 관리 가능. - 수직도 시공오차 10CM이내 관리(천공심도 32 M) • 천공과 케이싱 삽입작업 동시수행. • 안전성이 높고 상대적으로 저소음(73db) 저진동 장비 	• 장비가 대형으로 점유면적이 큼.
PILE DRIVER DHP 80	7.68	4.53	44.8	<ul style="list-style-type: none"> • 작업장 점유면적이 적다. • 천공과 케이싱 삽입작업 동시수행. 	<ul style="list-style-type: none"> • 케이싱 최대 삽입이 16m로 제한. • 추가삽입시 장비의 출력이 부족함.
T4-W	10.7	2.4	26.7	<ul style="list-style-type: none"> • 작업장 점유면적이 적다. • 이동이 용이함. 	<ul style="list-style-type: none"> • 수직도 시방규정내 관리 불가능. • 1회케이싱 삽입깊이, 약 5~6m로 용접연결 작업. • 천공과 케이싱 삽입작업 분리 수행. • 정밀시공이 불가능하고 작업효율 저하. • 천공수 유출이 심하다.
DH 주니어	6.6	3.16	43	<ul style="list-style-type: none"> • 작업장 점유면적이 적다. • 천공과 케이싱 삽입작업 동시수행 	<ul style="list-style-type: none"> • 케이싱 최대 삽입이 16m로 제한. • 추가삽입시 장비의 출력이 부족함.
PILE MAX	8.8	3.75	30	<ul style="list-style-type: none"> • 작업장 점유면적이 적다. • 천공과 케이싱 삽입작업 동시수행. 	<ul style="list-style-type: none"> • 케이싱 최대 삽입이 16m로 제한. • 추가삽입시 장비의 출력이 부족함.

나. 각 단계별 인력 및 장비 조합

단계	인력	장비
도로 출파기	세부 공종(ASP CUTTING+ 깨기+견어내기) OPERATOR 1인 보통 인부 4인	CUTTING M/C 1대 굴삭기 1대
천공	세부 공종(천공+SLIME 처리) OPERATOR 1인 특공 4인	천공 장비 1대 COMPRESSOR(900CFM)2대 GENERATOR(400KW)1대 굴삭기(0.3 M³) 1대 DUMP TRUCK 1대
철근망 근입 및 CONC 타설	세부 공종(철근망 또는 H-PILE 근입 + 레미콘 타설) 굴삭기 OPERATOR 1인 PUMP CAR 운전사 1인 용접사 1인 특공 4인	PUMP CAR 1대 CARGO TRUCK 1대 굴삭기 1대 용접기 1대 철근 절단 및 벤딩기 1대
되메우기	굴삭기 운전공 1인 보통인부 2인	굴삭기 1대 ROLLER(1TON) 1대
가 포장	특공 5인	ROLLER(3TON) 1대

IV. 당 현장 실적치

1.당 현장 실적치(908 정거장분, 2대 운영시,
통계 기간: 2002년 9월-2003년 1월)

기간	1호기			2호기		
	H-PILE	철근망	계	H-PILE	철근망	계
2002. 9	16	2	18	-	-	-
2002. 10	57	33	90	24	28	52
2002. 11	33	73	106	32	88	120
2002. 12	32	63	95	32	54	86
2003. 1	39	60	99	49	112	161
계	177	231	408	137	282	419
작업일수	순작업일수: 153-56.5=96.5일			순작업일수: 128-42.5=85.5일		
평균일일 작업량	4.2공/ day-unit			4.9 공/day-unit		
최대작업량	철근망: 16공/day-unit,			H-pile: 6공/day-unit		

휴지 원인 :

- (1) 설계 암선 상이로 casing 연결 작업
- (2) 용수 과다

- (3) 작업장 이동
- (4) 지장물 확인을 위한 줄파기 지연
- (5) 휴무일(신정 및 레미콘 공장 휴무)
- (6) 한전주 및 지하 지장물 간섭으로 인한 지연 및 이설
- (7) 불순한 일기(눈, 비 및 한파)

2. 작업 cycle time 산정(dia 508mm, 심도: 21 M 철근망 CIP의 경우)

- 천공 및 CASING 삽입: 30분
- 철근망 근입: 20분
- 레미콘 타설 : 10분
- 레미콘 타설후 CASING 인발: 10분

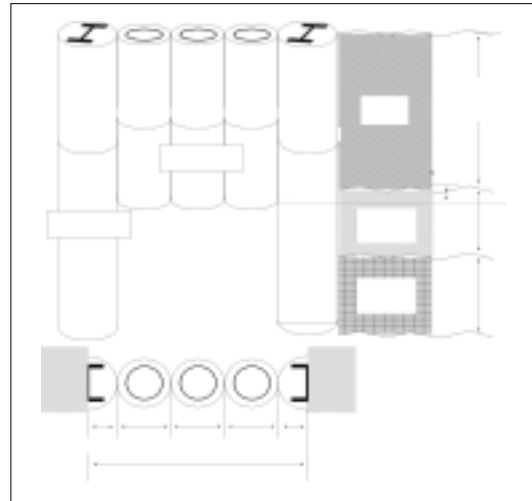
계 : 90분 소요

V. 시공단가분석

1. 물량 산출 및 산출근거

가. C.I.P 철근망 근입공 (3공)

- 토사천공
토사층 깊이×공수 = 17m×3공 = 51m
- 풍화암천공
천공 풍화암 깊이(1m)×공수 = 1m × 3공 = 3m
- 케이싱 설치
(토사층 깊이+풍화암층 깊이)× 천공깊이 = (17m + 1m)×3공 = 54m
- 사용철근



[그림 7] 공배열 시공순서

SD30, D25 : 케이싱설치 깊이×

$$0.0367(\text{ton/m}) = (17\text{m} + 1\text{m}) \times$$

$$3 \times 0.0367(\text{ton/m}) = 1.98 \text{ ton}$$

SD30, D13 : 케이싱설치 깊이×

$$0.0056(\text{ton/m}) = (17\text{m} + 1\text{m})$$

$$3 \times 0.0056(\text{ton/m}) = 0.30 \text{ ton}$$

- 철근망 가공조립

$$\text{케이싱 설치깊이} \times 0.042379(\text{ton/m}) =$$

$$(17\text{m} + 1\text{m}) \times 3 \times 0.042379(\text{ton/m}) =$$

$$2.29\text{ton}$$

- 무근콘크리트 타설량(레미콘량)

$$\text{케이싱설치깊이} \times \pi \times \frac{\text{케이싱외경}^2}{4}$$

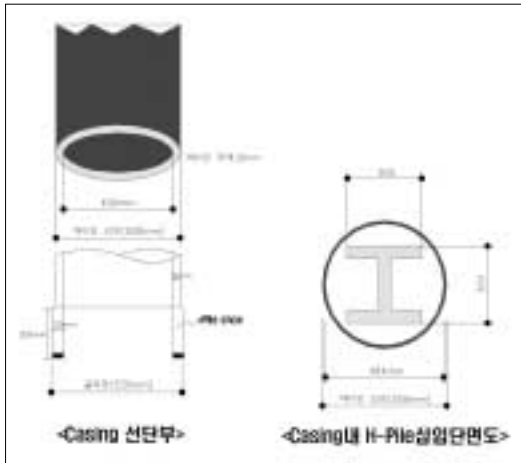
$$= (17\text{m} + 1\text{m}) \times 3 \times \pi \times 0.492/4 = 10.183\text{m}^3$$

- 기계기구 설치

$$\text{거리} / 20 (\text{m/회}) = 2,032 / 20 = 0.1616 \text{ 회}$$

- 플랜트 설치해체

$$\text{거리} / 200 (\text{m/회}) = 2,032 / 200 = 0.0162 \text{ 회}$$



(그림 8) 케이싱 단면

나. C.I.P H-Pile 근입공 (1공)

- 토사천공

$$\text{토사층 깊이} \times \text{공수} = 17\text{m} \times 1\text{공} = 17\text{m}$$

- 풍화암천공(오거비트)

$$\begin{aligned} \text{천공 풍화암 깊이}(1\text{m}) \times \text{공수} &= \\ 1\text{m} \times 1\text{공} &= 1\text{m} \end{aligned}$$

- 풍화암천공(T-4, 17")

$$\begin{aligned} \text{천공 (풍화암 깊이} - 1\text{m}) \times \text{공수} &= \\ (5 - 1)\text{m} \times 1\text{공} &= 4\text{m} \end{aligned}$$

- 연암천공(T-4, 17")

$$\text{천공 연암깊이} \times \text{공수} = 7\text{m} \times 1\text{공} = 7\text{m}$$

- 케이싱 설치

$$\begin{aligned} (\text{토사층깊이} + \text{풍화암깊이}(1\text{m})) \times \text{공수} &= \\ (17\text{m} + 1\text{m}) \times 1\text{공} &= 18\text{m} \end{aligned}$$

- 천공홀 되메우기

$$\begin{aligned} (\text{풍화암 깊이} - 1\text{m} + \text{연암깊이}) \times \text{공수} &= \\ (7\text{m} - 1\text{m} + 5\text{m}) \times 1\text{공} &= 11\text{m} \end{aligned}$$

- H-Pile 박기(천공후 향타)

$$\text{공수} = 1\text{회}$$

- H-Pile 연결

$$\text{공수} \times \text{연결횟수(회/공)} = 1\text{공} \times 3(\text{회/공}) = 3\text{회}$$

- H-Pile 두부정리

$$\text{공수} = 1\text{회}$$

- H-Pile 자재비(300×305×15×15)

$$\begin{aligned} \text{케이싱 설치깊이} \times 0.106(\text{ton/m}) &= \\ (17\text{m} + 1\text{m}) \times 0.106(\text{ton/m}) &= 1.908\text{ ton} \end{aligned}$$

- 무근 콘크리트 타설량(레미콘량)

$$\begin{aligned} \text{케이싱설치깊이} \times \pi \times \frac{\text{케이싱외경}^2}{4} &= \\ (17\text{m} + 1\text{m}) \times 1 \times \pi \times 0.492^2 / 4 &= 3.39\text{m}^3 \end{aligned}$$

VI. C.I.P 시공관리

1. 작업 준비 및 본공사 시행

가. 사용장비 및 공사제원

- (1) 사용장비 : 일본 SUMITOMO 파일드라이버 SP1100
- (2) 리더 길이 : 36m
- (3) 전폭 : 4.5m(확장시)
- (4) 길이 : 5.7m
- (5) 케이싱 길이 : 25m(기본사양)

나. 작업준비

- (1) 장비반입, 조립 및 작업준비(평균 7일 소요)
- 장비반입 : 천공장비(크레인), 리더, 발전기 등 분리하여 반입
- 천공장비(크레인)에 리더연결 및 발전기 부착

등 조립

○오거와 케이싱 결합(케이싱속에 오거삽입)

(2)줄파기가 완료된 위치에 측량을 실시하여
CIP위치선정 후 장비 거치

다. 본공사 시행

(1) 천공 및 케이싱 설치

○측량을 실시 CIP위치를 선정하고 장비를 거치한다.

- 장비거치 후 감리 및 시공사합동으로 수직도를 확인한다.

• 장비자체의 자세 검지부착 경사계(리더본체각도)확인

• 트랜싯을 설치하여 리더 및 오거, 케이싱 수직도 확인

○수직도 확인이 완료되면 오거와 케이싱이 결합된 상태에서 천공작업을 시행한다.

○이때, 공벽붕괴 주변 지반 이완등을 방지하기 위하여 케이싱이 오거보다 20cm정도 먼저 건입한다.

○천공심도 6 ~ 8m까지는 무압으로 천공하고 이후는 Air 20kg/cm²내외의 압력을 오거를 통해 홀에 주입 천공홀의 흙을 토출한다.

○CIP심도까지 천공이 완료되면 케이싱은 고정시키고 오거만을 이용 H-Pile건입 심도까지 천공한다.

- 케이싱 건입깊이 확인 : • 케이싱에 눈금 표시(1m간격)을 하여 건입깊이 확인

• 케이싱 건입전 케이싱길이 확인하고 건입 후 지상노출 길이 확인

○천공시 흙의 비산을 방지하기 위하여 케이싱 모터 토출구에 ㄷ형태의 가림막(천막)을 설치한다.

- 가림막 규격 : 가로1m 세로1.5m 길이10m

○천공이 완료되면 콤푸레샤의 Air를 이용 천공 홀내의 슬라임을 청소한다.

- 천공심도확인 : 천공이 종료되고 홀내청소(슬라임제거)가 완료되면 줄자를 이용 천공 깊이가 설계도서와 맞는지 감리와 시공사가 합동으로 확인한다.

(2) H-Pile 건입

○천공장비의 보조 와이어를 이용 H-Pile 건입

○H-Pile건입시 건입심도까지 안들어갈 경우 미 건입이 약 50cm 미만이면 DROP함마(천공장비에 장착되어 있음)로 타격 건입하고 그 이상일 경우는 재 천공

(3)모래 채움

○H-Pile건입이 완료되면 CIP선단(케이싱끝단)까지 모래를 채운다.

- 지하수위가 모래 채움보다 낮을 경우 물다짐 시행

- 모래채움 높이확인 : 줄자에 추를 매달아 케이싱속에 넣어 확인

(4)콘크리트 타설

○모래채움이 완료되면 모래채움면까지 트레미파이프(Φ150)를 설치한다.

○콘크리트를 2m까지 타설하여 트레미파이프가 콘크리트에 2m 묻힌 상태에서 트레미파이프를 1m 끌어올려 트레미파이프 선단이 콘크

리트속에 1m가 묻힌 상태에서 1m 타설후 1m 올리는 방식으로 연속해서 타설한다.

○콘크리트 타설시 주의사항

- 천공작업을 하면 흠이 형성되므로 주변의 지하수가 몰려 지하수위가 급격히 상승하므로 상기 타설 규정을 철저히 준수
- 콘크리트타설시 트레미파이프를 콘크리트속에 묻지 않고 자유낙하 시킬 경우 골재분리가 발생하며 지하수에 콘크리트가 풀어져 폼질저하 및 구근형성 불가

○콘크리트 타설 높이 확인

- 트레미파이프에 2m간격으로 눈금을 표시하고 줄자에 추를 매달아 높이확인

○콘크리트 타설 시간 약 20 ~ 30분/공 소요

(5)케이싱 인발

○케이싱 인발은 콘크리트 타설 완료 후 인발하며 인발속도를 최대한 천천히 하여 H-PILE의 변형등을 방지한다.

H-PILE의 경우 CASING인발시 말뚝의 뒤틀림(방향변동)이 있을 수 있으므로 CONC타설전 CASING을 1 -2회 정도 좌.우로 회전을 시켜 주변 마찰력을 줄여서 CASING 인발시 CRANE의 WIRE에 과도한 부하가 걸리지 않아 위험 요소를 줄일 수 있음.<표 1>

<표 1> 수직도 관리방안

단계	수직도관리대상	측정장비	측정빈도	측정방법	비고
자 재	케이싱접합	측량기	제작시	① 수평을 유지한 작업대를 설치한다. ② 이음부가 직선이 되도록 측량기 및 육안으로 확인하면서 용접한다.	
	H-PILE접합	측량기	제작시	① 수평을 유지한 작업대를 설치한다. ② 이음부가 직선이 되도록 측량기 및 육안으로 확인하면서 용접한다.	
시 공 전	리더거치 (케이싱거치)	운전석의 계기판	설치시	① 유압으로 운전석에게 계기를 보면서 조정설치한다.	
		측량기 수평자	설치시	① 측량기로 케이싱의 좌측 또는 우측을보며 수직으로 세운다. ② 수평자를 이용하여 케이싱의 수직 여부를 확인한다.	
시 공 중	케이싱	운전석의 계기판	설치시	① 유압으로 운전석에서 계기를 보면서 조정설치한다.	
		측량기 수평자	설치시	① 측량기로 케이싱의 좌측 또는 우측을보며 수직으로 세운다. ② 수평자를 이용하여 케이싱의 수직 여부를 확인한다.	

2. C.I.P 및 H-PILE 향타시 수직도 관리방안

단계	수직도관리대상	측정장비	측정빈도	측정방법	비고
자 재	케이싱접합	측량기	제작시	① 수평을 유지한 작업대를 설치한다. ② 이음부가 직선이 되도록 측량기 및 육안으로 확인하면서 용접한다.	
	H-PILE접합	측량기	제작시	① 수평을 유지한 작업대를 설치한다. ② 이음부가 직선이 되도록 측량기 및 육안으로 확인하면서 용접한다.	
시 공 전	리더거치 (케이싱거치)	운전석의 계기판	설치시	① 유압으로 운전석에게 계기를 보면서 조정설치한다.	
		측량기 수평자	설치시	① 측량기로 케이싱의 좌측 또는 우측을보며 수직으로 세운다. ② 수평자를 이용하여 케이싱의 수직 여부를 확인한다.	
시 공 중	케이싱	운전석의 계기판	설치시	① 유압으로 운전석에서 계기를 보면서 조정설치한다.	
		측량기 수평자	설치시	① 측량기로 케이싱의 좌측 또는 우측을보며 수직으로 세운다. ② 수평자를 이용하여 케이싱의 수직 여부를 확인한다.	

3. CIP 단계별 시공사진





⑬ 동재하 시험



⑭ 수직도 측량



⑮ 장비 내부 경사계

[그림 9] CIP 단계별 시공사진

4. CIP시공 완료 후(굴착단계) 나타난 문제점 분석

목동지하철 906공구 현장의 경우에는 지하수위가 높고 충적층이 깊으며 지반이 연약하여 가시설



[그림 10]

공법으로 채택되는 여러 공법중에서 깊은 심도에서도 강성을 확보할 수 있는 CIP공법을 적용 시공한 바,

① 대체로 연직도가 만족스러웠으며(총 3,387본 중에서 35본 불량, 불량율 1.03%)

② 보조적으로 CIP배면에 Grouting(Dia 250mm)를 실시하여 말뚝간의 연결성 불량으로 인한 누수를 차단하여 지하수의 유출을 막음.(누수율 2% 미만)

CIP시공이 완료된 정거장(908 및 909)의 굴착 과정에서 나타난 불량 CIP형상을 Case로 분류하여 그 원인을 분석하여, 향후 CIP 시공시 참고코자 함.

현상 ① : CIP 간격 발생

가장 많이 발생된 경우이며 CIP 간의 벌어진 틈새를 방수 Cement mortar로 채웠으며, 구조적인 문제를 발생시킬만한 누수현상은 발생치 않고 있음.



(그림 11)

현상 ② : CIP 횡방향 배열 불량

횡방향 배열 불량으로 인하여 당초 설계시 철판 Filler(300×300×두께)로 H-Pile과 띠장을 연결하게끔 되어 있으나, 현실적으로 CIP Line을 도면대로 시공키는 불가하여 H-Beam(300×305)로 연결하고, 추가적으로 많은 양의 Cement mortar가 소요되었음.



(그림 12)

현상 ③ : CIP내 H-Pile의 뒤틀림 현상

Con'c 타설후 Casing을 인발시 H-Pile과 Casing 간의 접촉으로 인하여 Casing의 인발이 쉽지 않고 H-Pile의 뒤틀림 현상이 발생.

H-Pile 뒤틀림을 방지하기 위하여 현장에서 적용한 개선 대책은,



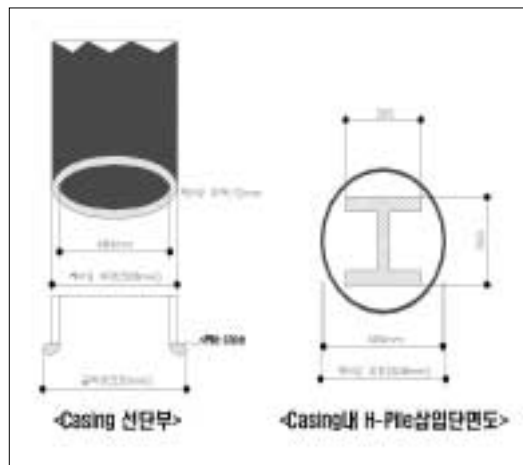
(그림 13)

① Casing 주변마찰력 감소

Casing 굴착 완료후 Auger 굴착 및 콘크리트 타설까지 많은 시간이 소요될 경우 Casing 주변 마찰력이 커져 인발이 어려우므로 Casing을 공회전하여 마찰력을 감소시킴

② Casing 내부 콘크리트와 마찰력을 감소시키기 위해 서서히 회전하면서 인발하고 Casing 인발시 Auger로 H-Pile 두부를 눌러주어 H-Pile이 돌아가지 않도록 함.

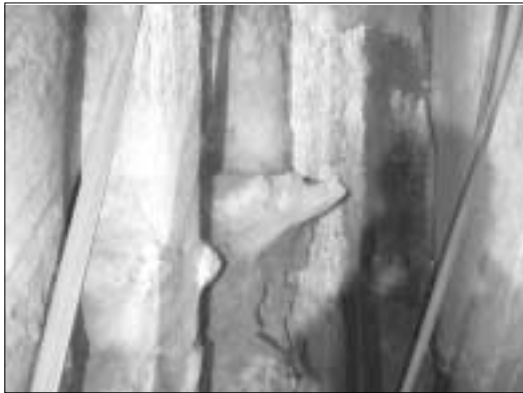
③ 마찰력이 적을 경우 Casing을 회전하지 않고 인발하는게 가장 효과적임.



(그림 14)

현상 ④ : CIP 상단부 배부름

1차 Con'c를 완료후, Casing을 인발한 뒤 2차 채움 Con'c 타설시 연약층이 함몰되면서 공동이 발생되어 공동부분을 Con'c로 채움에 따라 부분적으로 배부름 현상이 발생.



(그림 15)

현상 ⑤ : 지장물 횡단 통과 구간(토류벽타설)

지장물이 도로를 횡단하는 구간에서 지장물을 이설하지 못한 관계로 CIP시공이 불가하여 부득이 토류벽 타설한 구간에서 누수 현상 발생함.

MSG(확산경 $\phi 1,000\text{mm}$ 그라우팅)를 횡단부 양쪽으로 실시하였으나 효과가 미흡.



(그림 16) 콘크리트 타설 불량

현상 ⑥ : 콘크리트 타설 불량

Con'c의 재료분리로 인하여 CIP철근망이 노출된 경우 높은 지하수위 조건하에서 Tremie관을 충분히 내리지 않은 상태에서 자유낙하형태의 Con'c 타설로 인한 재료 분리 발생.



(그림 17)

끝으로 설계적인 측면을 본다면,

우리 현장의 CIP 설계기준은 풍화암+1.0m로 설계/시공한 후 그 이하는 쇼크리트를 타설케 되어 있으나, 타 공구의 경우 연암선+0.5m로 설계되어 있음,

Pile Priver의 장비능력(Hammer)을 감안 시 연암선 + 0.5m로 설계한 경우도 있으나 경제성/시공성이 떨어지는 것으로 사료됨.

CIP설계(타공구 비교)

인접 CIP간의 결합(Overlap) 형태로 시공이 되는 바, 차수성이 높으나 깊은 심도의 pile인 관계로 연직성을 우려하여 CIP 배면에 상기 그림과 같이 보조 그라우팅 형태로 CIP 사잇공에 Cement grouting을 실시함.

