

Top Down 공법에서 Pier 기초의 설계 및 시공시 문제점과 개선방향 Pier Foundation Design and Improvement of Construction Problems on Top Down Method

오정환¹⁾, Jung-Hwan Oh, 이종영²⁾, Jong-Young Lee, 임강호³⁾, Kang-Ho Lim

¹⁾ (주) 한국지오컨설턴트 대표이사 기술사, Principal, P.E(Soil & Foundation), Korean Geo-Consultants Co., Ltd.

²⁾ (주) 한국지오컨설턴트 기술사, P.E(Construction), Korean Geo-Consultants Co., Ltd.

³⁾ (주) 한국지오컨설턴트 기술연구소 선임연구원, Senior Researcher, Korean Geo-Consultants Co., Ltd.

1. 서론

최근 건축물 신축시 주차장 확보에 대한 법규가 강화되고 토지이용 효율의 극대화를 위해 지하층수가 증가되면서 굴토깊이도 30m 이상 40~50m 까지 되는 건축물도 상당수 발생하고 있다. 따라서, 지하굴토 흠막이공이 대형화 되고 중요성이 점점 인식되면서 지하굴토시의 주된 관심사항이 흠막이 벽체의 안정성뿐만 아니라 주변지반 및 인접건물에 미치는 영향, 공기의 단축 및 공사비의 절감등 다양하고 복잡한 부분까지 해결 방안을 요구하고 있다.

또한, 복잡한 시가지에서 공사가 주로 이루어지므로 아무리 철저한 조사와 설계가 이루어졌다 하더라도 실제 터파기 공사시에는 이론과 다른 문제점이 발생할 수 있으므로 중요한 지점에 대해서는 현장계측을 통해 각종 상황전개 및 변화를 관찰하여 사고에 대한 조짐을 사전에 발견하고 적절한 보강조치를 취하고 있다. 이처럼 전술한 바와같이 지하굴착에 따른 제반 문제점을 해결하고자 여러가지 공법이 제시되고 있으며 특히 최근에는 현장타설 철근콘크리트 벽체인 지하연속벽(Slurry Wall)을 시공한 후 지하층 콘크리트 바닥 Slab를 버팀으로 사용하는 Top-Down(역타)공법이 자주 적용되고 있다.

본 논문에서는 이와같이 Slurry Wall을 이용한 Top-Down 공법에서 R.C.D 방법에 의한 Pier 기초의 설계방법과 설계 및 시공에 관한 문제점들을 고찰하여 보다 경제적으로 안전한 건설공사가 이루어지도록 간략하나마 개선 방향을 제시하고자 한다.

2. Top Down 공법에서 Pier 기초의 설계방법

2.1 공법개요

Top-Down 공법이란 지하층 외부옹벽(Diaphragm Wall, Slurry Wall)을 본체 구조물로 사용하고 지하층 기둥은 현장타설말뚝(Cast-in-Situ Pile ; Barrette, Benoto, R.C.D 등)으로 충분한 지내력을 받을 수 있는 지층까지 시공한 후 지하층의 Slab 및 Beam을 연속벽과 연결하며 토공과 병행 단계적으로 상부에서 하부로 내려감과 동시에 지상구조물 공사를 실시하는 역타공법을 의미한다.

본 Top-Down 공법은 영구벽체 및 Slab 를 완성하며 굴토하므로 Strut나 Earth Anchor 공법보다 인접지반의 변형을 최소화시켜 안정성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 지하연속벽 자체의 차수성만으로도 외벽 수위가 급격히 저하되어 생기는 침하에 대한 영향이 거의 무시되므로 주로 Strut 및 Earth Anchor 와 같은 버팀보 설치 곤란과 연약지반 상태에서 구조적인 안정성 확보 및 인접지역 민원 발생에 대한 대비책 일환으로 사용되어 왔으나 최근에는 공사기간의 단축과 조기분양을 위한 사업성측면에서도 적용 빈도수가 증가하는 추세에 있다.

특히, 건물기둥은 굴착시에 선행 시공한 건물의 자중을 지지하여야 하므로 세심한 검토와 정밀한 시공관리가 요망된다. 따라서, Top Down 현장에 적용할 현장타설 말뚝(Pier 기초)공법을 선정함에 있어서 다음과 같은 사항에 중점을 두고 검토하여야 한다.

- 기계굴착에 의한 대구경 현장 타설 말뚝공법(Barrette, Benoto, R.C.D, Earth-Drill 및 병용공법 등)검토

- 기초의 지지력 검토
- 피어기초내 정착부위 검토

2.2 Pier 기초의 지지력 산정 방법

1) 개요

현장타설 말뚝에서의 축방향 허용지지력은 지반의 허용지지력과 말뚝의 구조물로서의 허용하중을 비교하여 적은값을 말뚝의 축방향 허용지지력으로 하며, 지반의 허용지지력은 재하시험에 의한방법, 토질시험 결과에 의한 방법, 표준관입시험 결과에 의한 방법으로 구할 수 있으나, 현장 타설 말뚝기초의 경우에 지반의 허용지지력 산정식에 의하여 허용지지력을 구하기 보다는 원칙적으로 재하시험을 실제로 행하여 허용지지력을 구하는 것이 가장 좋지만, 대구경일 경우 경비와 시간이 많이 소요되고, 현장 여건에 따라서는 시험이 불가능할 경우도 있다.

또한, 대구경 현장타설 말뚝은 대부분 선단지지력을 목적으로 하므로 특별한 경우를 제외하고는 연암층 이상지반에 근입시킨다. 따라서, 설계계획시 지반의 허용지지력 산정은 상기 방법중 토질및 암석시험 결과에 의한 방법으로 구하며, 말뚝 자체의 허용하중과 비교하여 적은 값을 말뚝의 축방향 허용지지력으로 한다.

2) 암반지반에서의 허용지지력 산정

$$Q_a = q_a A_b + f_s A_s$$

여기서, Q_a : Pile의 기초 허용지지력(ton)

q_a : Pile의 기초 허용 선단지지력(t/m^2)

A_b : Pile 선단 저면적(m^2)

f_s : Pile 본체와 암반사이의 주면 마찰력 (t/m^2) (통상 $0.05f_c'$ 적용)

A_s : Pile 본체의 암반 관입부분 주변 면적(m^2)

(1) Pile의 기초 허용 선단지지력(q_a)

① Goodman(1980)식

$$\begin{aligned} q_a &= q_u(\text{design}) (N_\phi + 1) / S_F \\ &= q_u(\text{design}) [\tan^2 (45 + \phi/2) + 1] / S_F (S_F \text{는 } 3 \text{이상 적용}) \end{aligned}$$

여기서, 암석의 일축압축강도(q_u)는 현장조사시 채취된 암석 공시체를 가지고 실험실에서 시험을 행하여 결정하고 있으므로, 실제 지중의 암반강도와 차이를 보이고 있다. 이는 암반의 균열, 절리 및 구조적인 불연속성등에 따른 영향으로 공시체의 직경이 클 수록 일축압축강도는 감소하는데, 이를 Scale effect 라 하며, 공시체의 직경이 1m 이상인 공시체의 q_u 값은 대개 일정하다. 이 과정에서 q_u 의 크기는 4~5배 감소한다. 따라서, $q_u(\text{design}) = q_u(\text{lab})/5$ 와 같이 소정의 감소율을 적용한다.

② Ladanyi and Roy(1971) 식

$$q_a = \sigma_c k_{sp} d$$

여기서, q_a : 말뚝의 허용 선단지지력

σ_c : 암석코어의 평균 일축압축강도

d : 깊이계수 = $1 + 0.4(L_s/b_s) \leq 3.4$

L_s : Pile 본체의 암반 관입깊이

b_s : Pile 본체의 암반 관입깊이의 직경

K_{sp} : 경험계수, 안전율 3일 경우 $K_{sp} = 0.1 \sim 0.4$

Spacing of discontinuities	k_{sp}	Spacing width (m)
Moderately close	0.10	0.3 - 1.0
Wide	0.25	1.0 - 3.0
Very wide	0.40	> 3.0

(2) Pile 본체와 암반사이의 주변마찰력 (f_s)

① Horvath(1982) and Horvath et al.(1983) 식

$$q_s(f_s) = \lambda \sqrt{\sigma_c}$$

여기서, q_s : Pile 본체의 암반 관입부분 주변마찰력
 σ_c : 암반 및 콘크리트의 일축압축강도 중 작은 값
 λ : 경험계수 (200~300/Pa)

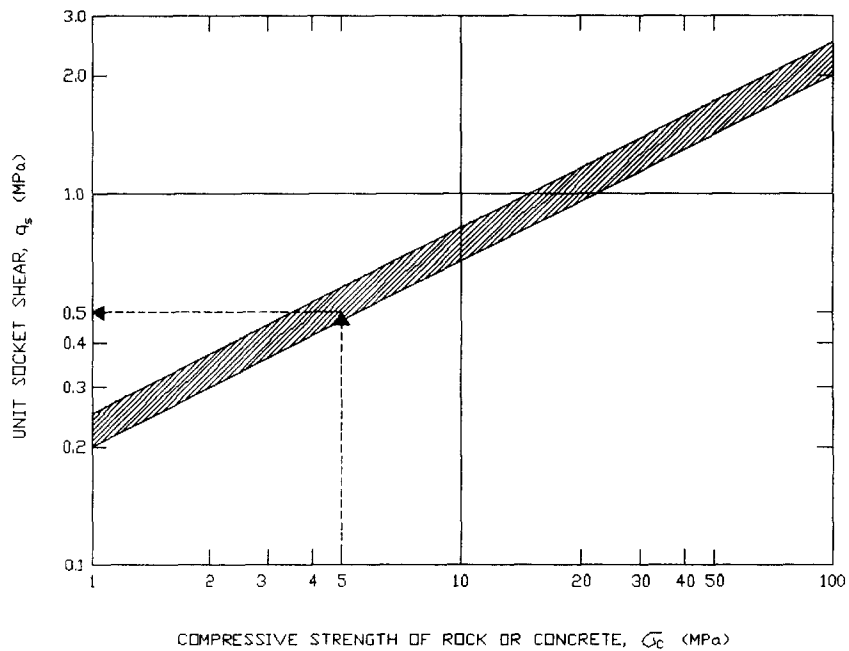


그림 1. Curve for estimating the average unit socket shear in conventional rock-socketed piers.

② 기타 경험식

Investigator	Measured Values (psf)	Presumptive Values Allowed (psf)	Remarks
Schmidt(1956)	41,200		A "solid rock" formation
Moore (1964)	20,000 (Failure not reached)		Weathered sandstone and shale
ASCE and New York City	55,600 (Failure not reached)		Manhattan schist
Lovaas(1970)	184,000 to 288,000		Laboratory tests on 2" diameter sockets in limestone
New York City Building Code		28,800	Sound, hard rock (to be verified)
White(1967) and Coates(1967)		0.05f' _c	f' _c = Ultimate concrete strength

f' _c	Adhesion
3000 psi	21,600 psf
4000 psi	28,800 psf
5000 psi	36,000 psf

3) 말뚝 본체의 허용축하중

중심축 하중을 받아 파괴될 경우 기둥의 허용축하중 산정식은 다음과 같다.

$$P_a = 0.85 \times (0.25 \sigma_{ck} A_g + \sigma_{sa} A_{st})$$

여기서, σ_{ck} : 콘크리트 설계 기준강도(kg/cm²)
 A_g : 콘크리트 총단면적(cm²)
 σ_{sa} : 축방향 철근의 허용압축응력(kg/cm²)
 A_{st} : 축방향 철근의 단면적(cm²)

말뚝자체의 허용축하중은 말뚝재료의 허용압축응력에 말뚝의 유효단면적을 곱한 값으로도 구할 수 있다.

$$P_a = \sigma_{ca}(A_g - A_{st}) + \sigma_{sa} A_{st}$$

여기서, σ_{sa} 는 현장타설 말뚝의 허용응력으로 콘크리트의 장기 허용압축 응력은 수중 콘크리트 현장말뚝의 경우 $1/5 \sigma_c \leq 50 \text{ kg/cm}^2$, 비 수중 콘크리트 현장 말뚝인 경우 $1/4 \sigma_c \leq 60 \text{ kg/cm}^2$ 로 한다.

3. Top-Down 공법에서 R.C.D 방법에 의한 Pier 기초의 시공방법

3.1 R.C.D 공사 Procedure

1) 일반사항

(1) 추가 지반조사

R.C.D 파일기초의 시공전 기반암에 대한 허용지내력 판단을 위해서 Rock Core 시험과 기반암의 그라우팅 여부 파악을 위한 암반의 투수시험이 선행되어야 한다.

(2) 현장 시공 측량

도면에 명기된 R.C.D 파일의 위치는 정확한 측량에 의해서 결정되어야 하며 위치 확인을 위한 측량 원점은 보호된 곳에 설치되어야 한다.

2) 작업 흐름도

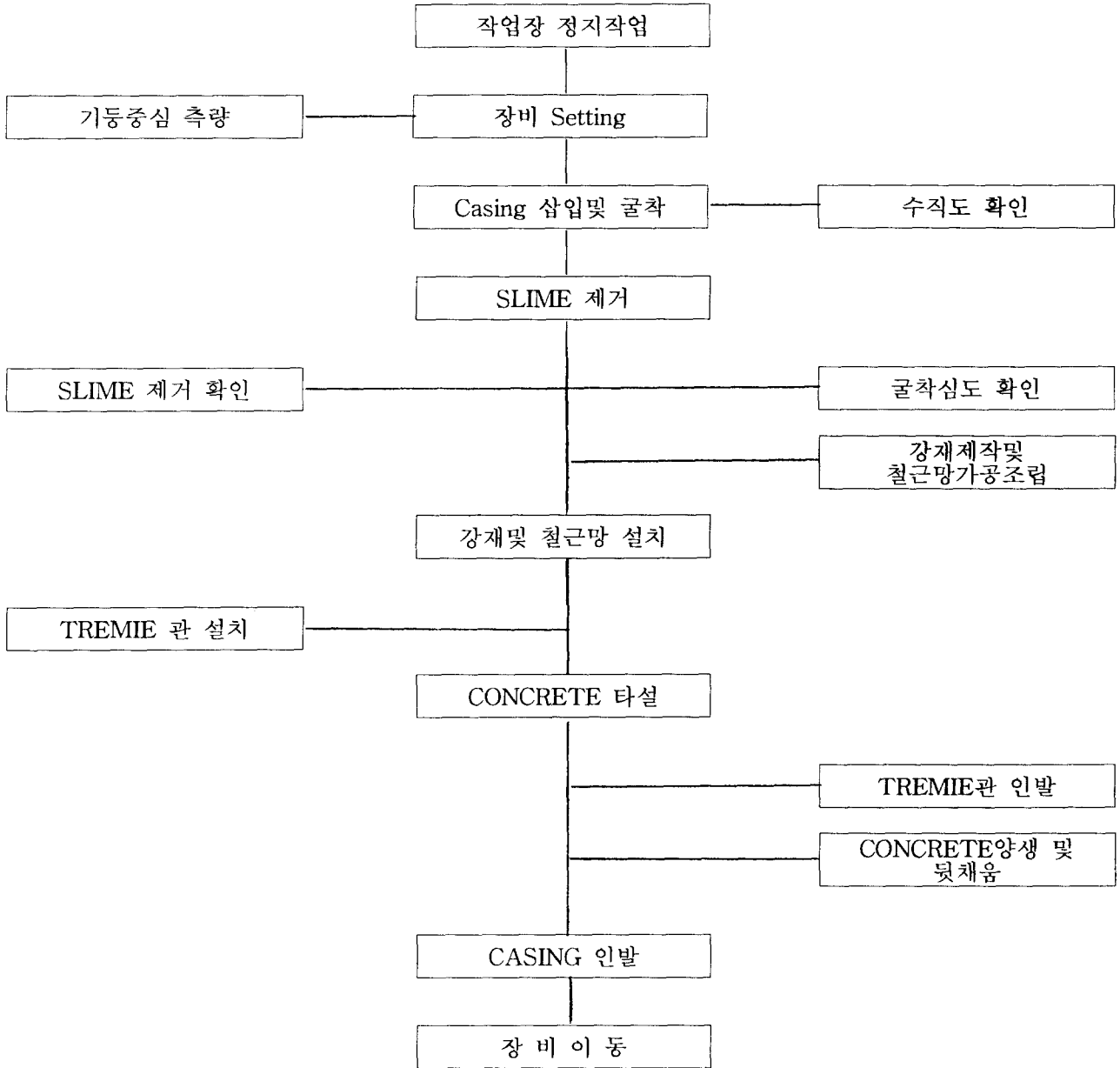


그림 2. R.C.D 기둥공사 작업흐름도

3.2 굴 착

- 1) 작업장은 평탄하게 정지하고 Steel Casing(Stand Pipe) 설치시 말뚝중심과 Casing 중심을 정확하게 맞추어야하며 수직이 이루어져야 한다.
- 2) Steel Casing 내의 토사 배출을 햄머 그라브에 의해 실시할 때 Grab이 Casing 보다 선행하면 그 부분의 지반을 흐뜨려 뜨리거나 붕괴될 수 있으므로 굴착과 동시에 Casing을 인입하도록 한다.
- 3) Bentonite 안정액의 사용시 관리는 공벽보호 및 굴착 능률을 극대화할 수 있게 적절한 비중이 유지되어야 하고 시험에 의해 철저히 관리되어야 하며 Casing 내부에 충전되도록 한다.
- 4) 굴착속도는 말뚝경, 굴착속도, 토질, Bit 회전수 및 펌프의 양수능력에 의해 정해지며 굴착작업시 위와 같은 Data는 철저히 기록 유지하여 굴착속도 조정, Bit 교환등의 여부를 결정한다.

- 5) 지지층의 확인은 직접적인 관측은 어려우나 토질주상도 및 Preboring 결과와 비교한 Rock Sample, Drilling 시간/M, 압력회전수(R.P.M)/M 등으로 종합판단한다. 굴착심도의 점검은 RCD 길이를 계산하거나 줄자를 이용하여 소요깊이를 충분히 유지토록 하며, 굴착된 저면의 침전물 및 찌꺼기는 Airlift 및 Desanding에 의해 처리되는데 이때 토사의 폐액 처리에도 주의를 기해야 한다.
- 6) 말뚝의 수직성 체크는 Koden등 초음파에 의한 측벽측정기를 사용하는 것이 바람직하나 수직측정추(Plumb)에 의한 방법으로도 확인할 수 있으며, R.C.D Pile 상부에서 바닥까지의 수직도는 1:300~1:500 허용치로 유지해야 하며 토공굴착 저면에서 R.C.D 파일 중심의 수평위치 오차는 모두 50mm를 초과하지 않아야 한다.

3.3 철근망 삽입

조립된 철근망은 바닥상태 확인후 1시간 내에 설치되어야 한다. 철근망은 콘크리트 타설전이나 타설 중에 단단히 고정되어 있어야 하며 철근망 간격과 위치를 유지하는데 필요한 잡철물 및 spacer를 첨가한다. 콘크리트 spacer는 철근망 X-Y 방향및 8방향으로 설치해야 하며 필요하다면 차후 암반 정착면 확인 및 개량을 위한 Post Coring과 그라우팅 튜브를 설치해야 한다.

3.4 철골기둥 접합 및 세우기

- 1) 철골 상하 부재의 접합은 Metal Touch가 좋아야 하며 Bearing Plate, Side Plate 및 Lower Angle의 조립에 유의하고 Bearing Surface는 청소를 깨끗이 하여야 하며 Gap이 없어야 한다. Bolting은 Lower Angle, Upper Angle 및 Side Plate 순으로 한다.
- 2) 철골 부재는 Grid Line X,Y 방향과 일치되게 설치되어야 하는데 설치시간을 단축하고 정확히 Setting 될 수 있는 가능한 방법을 강구해야 한다.
 - ① Grid Line을 Steel Cap에 표시
 - ② Extension 부재를 고정시킨 후 그림과 같이 A,B,C,D를 표시하고 상하 부재의 Twist를 체크하기 위해 A'B'C'D'를 표시한다.
 - ③ Beam1을 Setting하고 Beam위에 C,D 위치를 표시한다.
 - ④ Beam2을 Setting하고 C',D'를 크래프 3에 라인 바르게 표시한 후 크래프4를 채운다.
 - ⑤ 최종설치 후 검사한다.

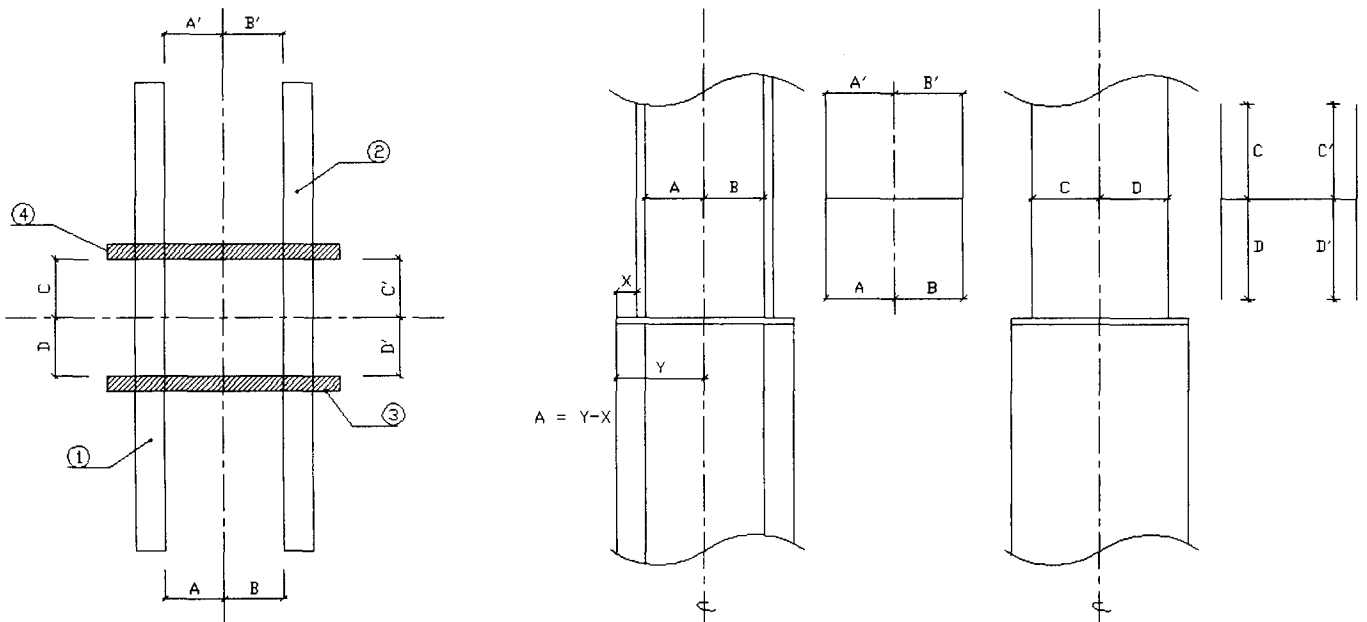


그림 3. COLUMN 위치 고정방법

그림 3은 철골부재의 Setting을 위한 Extension 부재 Detail이다. 지하 Steel Column과 지상부 Steel Column의 접합은 수직도 및 시공성을 고려할때 Metal Touch에 의한 방식보다는 전하중을 볼트로 산정 전달시키는 것이 좋다.

3.5 콘크리트 타설

철근망 삽입이 완료된 후 Tremie Pipe를 사용하여 수중 Concrete를 타설하며 Tremie Pipe의 선단부는 Concrete 속에 최소한 2m 이상 묻혀 있도록 하고 Slump치는 약 18cm 정도의 Concrete를 사용한다.

콘크리트의 운반은 Mixer Truck에서 직접 타설하는것이 가장 좋으며 Pump의 사용이나 Crane과 Skip(이동식 Hopper)을 사용하여 연속적으로 타설하여야 한다.

콘크리트 타설시 처음 타설이 매우 중요하며 바닥에서 Tremie관을 끌어 올릴때 Fresh 콘크리트가 Tremie Pipe 끝에서 봉한것 같이 된 상태라야 한다. 콘크리트 타설시 Tremie관은 콘크리트 속에 3M 정도 묻혀 있도록하며 콘크리트 운반과 타설이 잘 연결되도록 한다. 타설시 Pier 기초 Con'c체와 기초 저면 암반층의 접착상태를 보장하기 위한 Toe Grouting용 Pipe 2ea(직경 4")를 인입하여야 한다.

3.6 안정액 회수

Concrete 타설시 외부로 배출되는 안정액은 다시 회수하여 Desander(Vibrating Mud Screen)를 통해 부유물및 토사를 분류하고 재사용 가능토록 한다. 재사용시에는 안정액 성능시험을 실시하여 재사용 가능여부를 판정하고 Fresh한 안정액과 혼합사용하거나 폐기처분토록 한다.

3.7 Stand Pipe 인발

Concrete 타설후 양생하기 전에 Stand Pipe를 인발한다.

4. R.C.D 방법에 의한 Pier 기초 시공시 발생된 문제점 및 대책방법

4.1 개요

신뢰도 높은 Pier 기초 시공을 위해서는 각 공법별 시공관리 중점사항을 파악하고 대책을 강구하여 시공관리를 철저히 하여야 하나 장비및 우수한 기능공 부족및 관리 감독의 소홀로 어려움이 많은 것이 현 실정이다. 본 연구에서는 당사에서 설계 관리한 현장에서 발생된 문제점에 대해 크게 4가지로 구분 검토하였다.

4.2 굴착시

연약한 사질토 및 실트층에서는 Casing 주변의 연약화와 케이싱 튜브 자중에 의한 침하로 설계단면 확대및 콘크리트 타설량이 증가 되는 경우가 있으므로 이때는 사전 지반조사를 철저히 실시하여야 할 것이며 현장 Pier 기초의 연직성은 굴착초기 5~6m 관입시 거의 결정되므로 이때까지는 연직 수준기 및 추를 이용한 연직도를 확인하는 것이 필요하다.

표 1. 굴착시 발생된 문제점 및 대책

발 생 문 제 점	대 측
<ul style="list-style-type: none"> ◦ 위치선정오차 ◦ 수직도 <ul style="list-style-type: none"> - Casing 설치시 - Casing 연결부 절곡 - Casing 경사수정에 의한 변형 - 굴착선단부 자갈, 전석층 돌출 - 굴착선단부 지지층 경사 - R.C.D 기기 설치시 기울어짐 - 측정방법 - 허용오차 범위를 벗어날 경우 ◦ 선단지반 연약화 <ul style="list-style-type: none"> - 굴착에 의한 지반응력 해방 - 굴착장비의 충격및 구조적문제 - 보일링 현상 ◦ 굴착 <ul style="list-style-type: none"> - 인접공 굴착 영향으로 지반교란 - 공벽 붕괴 - 일수현상에 의한 공벽 붕괴 - 세사층의 케이싱 요동곤란 - 복류수에 의한 공벽붕괴 - 굴착선단면 경사, 요철 	<ul style="list-style-type: none"> - 직각방향 양측에서 측량확인 - 연직수준기 및 추를 이용하여 확인 - 연결소켓 접합시 일직선 유지 - Casing 파이프 두께증가, 인발후 재설치 - Chisel 사용 제거후 굴착 - 굴진속도 완화 조절 - 작업대 수평유지, 연직방향 굴진 - Koden 초음파 측정기 또는 R.C.D Rod 내부에 추를 사용하여 수직도 측정 - 빈배합 Con'c 타설후 재굴착 - 이완된 지반 약액주입 - 굴착장비 충격완화 - 공내수위를 지하수위보다 높게 유지 - 격공간격 시공순서 조정 - Casing 인입과 굴착깊이 조정, 안정액 관리 철저 - 케이싱을 굴착면보다 선행하여 깊게 삽입 - 케이싱 외부에 윤활제 주입, 일방향이 아닌 양방향 요동장비 사용 - 한계유속 3m/sec 이상이면 그라우팅 - Chisel 사용하여 평탄하게 정리

4.3 Concrete 타설전

말뚝저부와 지지층 사이의 침전물이 발생되면 지지력이 감소되고 부등침하를 유발하여 Pier 기초의 역할을할 수 없게되므로 Slime 처리는 Concrete 타설전 중요한 공정이며 이에 대한 발생원인 및 대책은 표 2와 같다.

표 2. 슬라임 발생원인 및 대책

발 생 원 인	대 측
<ul style="list-style-type: none"> - 굴착선단부 굴착찌꺼기 침전 - 굴착공벽 붕괴 침전 - 인접공 작업시 장비진동으로 인한 여굴 - 안정액 내부 부유한 물질의 침전 - 철근망 건입시 공벽 표면 붕락 - 철골기둥 설치 시간 경과로 침전 - Slime 제거 방법 	<ul style="list-style-type: none"> - Grab 사용으로 침전물 제거 - 침전물 제거및 안정액 시험관리 - 격공간격으로 시공순서 조정 - 청수사용 또는 Fresh 용액으로 교환 - 철근망을 수직으로 중앙에서 건입 - 조속한 Con'c 타설로 Slime 침전 시간 단축 - 바닥청소 <ul style="list-style-type: none"> ┌ 1차 처리(철근망 설치전) └ 2차 처리(콘크리트 타설전) (Air lift, Water jet, 물탈공법)

4.4 Con'c 타설시

Con'c 타설은 수중 Con'c 타설 요령으로 Slump 값이 크고 소요강도 및 규격에 맞는 제품을 연속적으로 타설하여 압축강도가 충분히 확보되도록 하고 굴착저면 지지층과 접합상태가 양호하게 하여야 하며 Con'c 타설시 발생하는 문제점 및 대책은 표 3과 같다.

표 3. 콘크리트 타설시 발생문제점 및 대책

발 생 문 제 점	대 책
<ul style="list-style-type: none"> ◦ Tremie Pipe 연결부 누수 ◦ Concrete <ul style="list-style-type: none"> - Con'c 압축강도 부족 - Con'c Slump 값 저하로 고풀현상 발생 - Con'c 초기 타설시 재료 분리 ◦ Tremie Pipe 선단부 이격거리 <ul style="list-style-type: none"> - 과다로 Con'c 재료분리 - 부족으로 안정액이 올라옴 ◦ Tremie Pipe 선단부 매입 깊이 <ul style="list-style-type: none"> - 5M 이상 과다로 철근망 부상 - 1M 이하로 Con'c 강도 부족 ◦ 철근망 부상현상 	<ul style="list-style-type: none"> - Tremie Pipe 설치시 완전하게 조이고 연결부에 고무링을 설치하여 누수방지 - 소요강도가 확보되는 규격제품 사용 - 소요시간내 조속히 타설, 유동화제 사용 - 타설속도를 빠르게 하고 연속타설로 신선한 Con'c가 저부에 타설되도록 함. - 굴착저면으로부터 15cm 정도 유지 - 굴착저면으로부터 15cm 정도 유지 - Tremie Pipe를 상하로 움직인후 인발 - Con'c 속에 매입깊이 유지 - 철근망 제작시 하부에 격자형 철근배근 조립

4.5 철골 시공시

철골의 변형은 설치시와 되메우기시로 구분될 수 있으며 발생원인 및 대책은 표 4와 같다.

표 4. 철골 시공시 발생문제점 및 대책

발 생 문 제 점	대 책
<ul style="list-style-type: none"> - Guide Wall 하부 굴착시 G/W 붕괴로 인한 철골 간섭변형 - 콘크리트 타설시 편압력에 의해 밀려남 - 기초 Con'c 타설 후 되메우기시 부주의로 인한 변형 - 굴토시 굴착기등 장비에 의한 충격변형 - Casing 인발시 진동으로 인한 변형 - 굴착시 상부작용하중 및 철골 노출깊이 과다로 인한 좌굴변형 	<ul style="list-style-type: none"> - 미세변형 : Jack을 이용한 변형부분 보완 - 고르게 타설하기 위해서는 트래미관을 2개 사용 - 보통변형 : 변형부위 부분 굴착후 보완작업 - 과다굴착 : 철골 측면 소공(φ100~200mm)천공 후 P.C 말뚝항타 및 Jack 이용 병행으로 보완 - Pier 기초공벽 되메우기 재료는 다짐이 잘 되는 재료(자갈,모래) or lean Con'c 채움 - 상부, 하부 시공속도 조절 - 지하층 Slab Con'c 조기타설

5. 결론 및 시공시 주의사항

Slurry-Wall을 이용한 Top-Down 공법 시공시 Pier기초의 지지력 산정 방법과 시공순서를 알아보았다. 그리고 실제 현장에서 시공시 발생하는 문제점과 대책방법에 대해서 고찰하였으며 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 굴착시 발생하는 문제점은 선단지반의 연약화와 지반교란 그리고 공벽 붕괴 현상을 들 수 있으며 이는 장비로 인한 문제와 사전 지반조사의 불충분으로 발생하는 경우가 종종있다. 따라서 정확한 지반조사가 이루어져야 하며 경험이 풍부한 기술자와 현장상황에 적합한 장비조합을 통하여 면밀한 시공관리 감독이 이루어져야 하겠다.
- 2) 현장 Pier기초의 연직성은 굴착초기 5~6m 관입시 거의 결정되는데 현재 가동중인 R.C.D 장비들의 연직도 확보는 인위적으로 목측내지 측량에 의하여 이루어지고 있는바, 초기 Casing 작업시 연직으로 삽입하도록 많은 주의를 요하며 Casing 작업중은 수시로 양측에서 측량을 실시하여 최대한 연직도를 확보하는데 주력해야 한다.
- 3) Pier기초 저부와 지지층과의 접착이 잘 되도록 하고 지지력을 확보하기 위해서는 Slime을 효과적으로 제거하여야 하는데 이때는 굴착완료후 깨끗한 물로 치환하여 최대한 청결을 요하며 Casing을 가능한 깊이 박아 상부 건수의 유입을 최소화 할 수 있어야 하며 Air lifting을 이용하여 완전히 제거하도록 힘써야 한다. 또한 시공후 Toe Grouting을 2개소에 실시하여 접착력이 좋게하고 지지층의 절리 및 공극을 충전 보완토록 하는것이 좋다.
- 4) 철근망 및 철골은 신속히 작업을 실시하여 굴착완료후 짧은 시간내에 콘크리트 타설이 이루어져야 할 것이며 철골의 연직도를 유지하기 위하여 유압잭을 이용하여 지상부 및 지하부 (GL(-) 1.0M 이내)의 Casing에 고정시켜 철골의 변형을 최소화 하여야 할 것이다. 또한, 규격이나 형상을 시공성 있게 설계할 것이 요구되며 현장이음은 가능한 간편한 방법으로 이루어져야 할 것이다.
- 5) 레미콘 타설후 Casing을 인발에 앞서 공내 잡석이나 모래를 충분히 채워 Casing 인발시 철골의 변형을 억제하는데 힘써야 하며 철골을 정위치에 Setting 하였어도 인발시 상당한 편차가 발생되므로 세심한 주의를 요한다. 따라서 채움시 GL(-)4~5M는 일반토사로 채워 상부 철골을 정치시키는 것이 유리하다.
- 6) RCD Column의 경우 1기당 설계 Load가 1000Ton 이상이므로 재하 시험의 어려움이 있고 Cost가 높아 현실적으로 지지력 Test가 어려운 실정으로 설계시 안전 Factor를 적용하여야 하며 기초 암반의 충분한 조사가 바람직하다.
- 7) 지지층 암반이 경사진 경우 굴착시 수직도가 틀어지므로, 안정날개(Stabilizer)를 부착한 비트를 사용하고 Bit에 압력을 가하지 않은 상태로 굴착속도를 완화시켜야 하며, 허용한계를 벗어나면 암반의 강도에 맞는 Con'c를 타설후 재굴착하여야 하고 필요할 경우 공법변경에 대해서도 재검토하여야 한다.
- 8) 최근 건축구조물의 공간활용을 위한 기둥간격이 넓어지고 건물의 대형화 및 고층화되면서 Pier 기초에 작용하는 하중이 커지고 있어 직경이 큰 장비보다는 기초부위를 확공하는 공법개발과 지하굴토후 Mat 및 Pier기초와의 복합기초에 의해 상부하중을 분담시킬 수 있는 설계 및 시공법이 연구개발되어야 할 것이다.

참고문헌

1. (주)한국지오컨설턴트(1996), "나산백화점 수서점 신축공사 토목부문 감리보고서"
2. (주)대우 건설기술연구소(1987), "대구경 현장타설말뚝 공법의 연구"
3. 건설부(1986), "구조물 기초 설계기준"
4. 삼성종합건설(주)(1989), "Top Down Method"
5. Braja M. Das(1987), *Principles of Foundation Engineering*, 구미서관, 서울, PP 445~446
6. Winterkorn, Hans F., Dr. phil. nat, Fang, Hsai-Yang, Ph. D.(1975), *Foundation Engineering Handbook*, Van Nostrand Reinhold Com., PP 609~611
7. Canadian Geotechnical Society(1985), *Foundation Engineering Manual*, Second Edition, Canada, PP 273~276