

깊은 海岸 埋立地(Hong Kong)에 시공중인 大型 現場 打設 콘크리트 말뚝

金 學 文*

1. 머릿말

날로 대형화 하고 있는 건축 및 중요 토목 구조물들이 보다 확실하고 단순한 기초설계 및 시공방법을 요구하고 있고, 제한된 Size의 기성 말뚝 선택과 시공이 곤란한 토질조건들을 극복하려다 보면 제일 먼저 고려되는 Type이 대형 현장타설 콘크리트 말뚝이 아닌가 한다.

이러한 대형말뚝은 흔히들 Pier 기초 혹은 Drilled Pier, Bored Pile, 대형 제자리 말뚝 혹은 Large diameter Cast-in-situ (place) pile 이라고 불린다. 원리는 견고한 지지층까지 말뚝 크기의 굴착공을 지반에 형성한 다음 철근 Cage를 근입하고, 트레미 Pipe를 사용하여 땅속에서 철근 콘크리트 말뚝을 양생하는 공법인데, 굴착장비들의 종류나 굴착방법이 실로 다양하다.

최근 Hong Kong에서 시공중인 대형 현장타설 콘크리트 말뚝 현장 방문결과와 국내에서 적용하고 있는 몇가지의 실례를 소개하고자 한다. Hong Kong 시내의 번잡한 고층건물 사이에 건설중인 고층 Office tower 건물 기초가 직경 1.5m~2.0m의 현장타설 콘크리트 말뚝으로 R.C.D.(Reverse Circulation Drill) 공법에 의해서 완성되었고, 심도 20~30m의 바다를 매립한 매립지에 초대형 아파트 단지를 형성하고 있는 HENG FA CHUEN 지역엔, 기둥이 없이 Shear

Wall로 단 설체된 30층 높이의 아파트 건물을 지지할 대형 Pile 공사가 All Casing 방식으로 직경 2.0~3.0m 깊이 50m의 현장타설 말뚝으로 한창 시공중에 있다.

또한 구룡반도와 홍콩섬이 연결되는 해저 터널 부근에 자리잡은 SAI WAN HO 매립지에 세워질 고층아파트 건물 기초는 직사각형 현장타설 말뚝인 Barette type으로 채택되어 1.2m×2.7m 직사각형에 깊이가 45m의 굴착공을 Bentonite slurry 안정액을 사용하여 지지하고 있다.

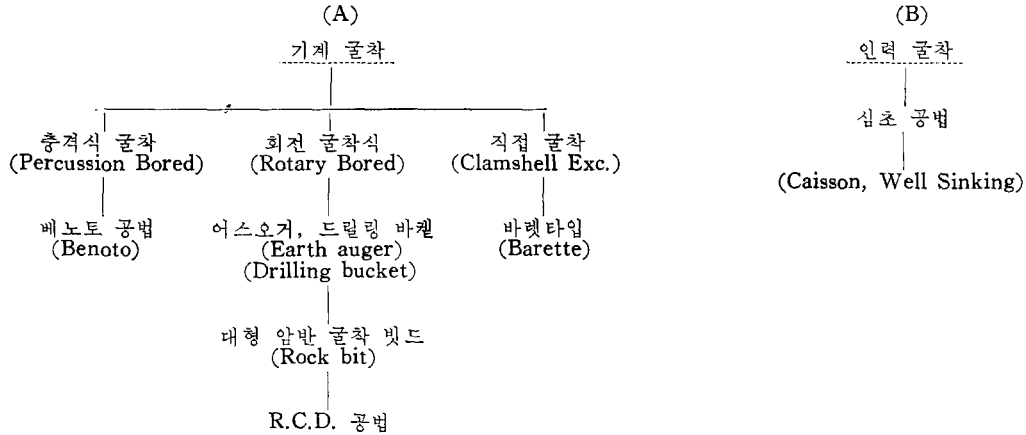
국내에서도 대형건물 기초의 상당수가 R.C.D. 공법으로 시공되고 있고 요즈음 한강에 놓인 교량중 처음으로 올림픽 대교 Pier 기초가 그 일부가 이 공법으로 시공중에 있어 점차 그 적용 범위가 넓어져 가고 있다.

2. 대형 현장타설 콘크리트 말뚝의 종류와 특징

대형 현장타설 말뚝 기초의 종류와 특징으로서 는 굴착방법, 토질조건 지하수위 및 주변수압 변화, 굴착공의 보강방법, 굴착토의 공의 반출 방법 말뚝지지력이 Shaft friction과 End-bearing type이 될수도 있을 뿐더러, 주위환경 조건도 말뚝장비 및 타입선택에 중요한 역할을 한다.

특히, R.C.D. 공법이나 Barette type 기계굴착의 경우는 Hammer grab이나 Clamshell로 토

* 正會員 ICOS KOREA INC, 技術顧問



사를 제거하고, 충격식과 회전식에 의한 여러가지 Type 의 Chisel 과 Rock bit 를 사용하여 암반을 굴착한다.

인력에 의한 방법인 심초공법은 직경 1m~5m 되는 말뚝을 비교적 지층이 양호하고 지하수위가 낮은 지반에 시공된다. 대형 Caisson 인 경우 착암기와 발파가 동원되기도 하고, Well Sinking 방법에는 잠수부가 굴착한다.

충격식 굴착방법은 Benoto 공법이 대표적인데 굴착면 전체가 Casing 에 의해 지지되고 굴착토 제거에 Hammer grab, 암반파괴엔 Rock Jaws 가 사용된다. 이 방법으로 시공하면 직경 700mm 와 1,500mm 말뚝은 보통 200 ton 에서 650 ton 의 지지력을 얻을 수 있고, 말뚝경사도(rake pile)가 1:5 까지 가능하며, 일반적으로 깊이는 20m 까지 시공한다.

회전식 굴착(Rotary drill) 장비는 Auger 나 Bucket 이 Crawler crane 이나 트럭(Lorry)에 부착되어 기동력과 굴착하중을 증가시킨다. 또한 트럭이나 Crane 에 설치된 Telescopic Kelly Bar 및 강력한 철골 Boom 은 상당깊이의 대형말뚝 시공의 정확도를 증가시킨다. 또한 이 방법은 암반 굴착용 Blades 나 Teeth 개발과 아울러 상당 강도의 암반까지 굴착이 가능하고 Offset Chisel 과 under reamer 로 bell bottom 을 형성하여 선단지지 면적을 늘릴 수 있다.

직접굴착에 의한 Barette type 대형말뚝은 그 원리 및 시공방법이 Diaphragm Wall 공법과 유사하고, Bentonite Slurry(안정액)를 사용하여 굴착공의 붕괴를 방지하며 Wire 의한 Hanging

type clamshell 을 사용함으로써 전석 제거가 용이하고 굴착 깊이에 제한을 받지 않는다. 위의 여러가지 기계굴착 방식중 가장 단순한 장비로 넓은 선단지지 면적을 얻을 수 있다.

R.C.D(Reverse Circulation Drill)는 상부 연약지반 까지만 Casing 으로 보호하고, 남은 깊이는 안정액이 굴착면을 유지하고, 굴착토사는 벤토 나이트 Slurry 에 의하여 역순환 방식으로 굴착공 밖으로 운반된다.

각 지층에 알맞는 여러 종류의 Drill bit 가 있고, 특히 연암 및 경암을 굴착할 수 있는 Button type tungsten carbide bit 로 rock socket 를 형성함으로써 설계상 침하량 및 지내력 문제를 쉽게 해결할 수 있고, 말뚝콘크리트 강도를 최대한 이용할 수 있는 경제적인 공법이다.

3. Hong Kong 의 대형 현장타설 콘크리트 말뚝 현장

앞으로 11년후면 중공으로 반환될 Hong Kong 에도 요즈음 다시 건설경기가 회복되어 곳곳에 대형 공사들이 벌어지고 있다. 아마도 반환후 반세기 동안 자본주의 체제를 보장하겠다는 중공의 약속이 다시금 건설 및 경제계에 활력을 불어 넣은 것 같다. 중공에 세워질 상당수의 호텔과 발전소들이 Hong Kong 에 있는 설계 및 시공회사들이 맡고 있고, 조석으로 중공인 노무자들이 이곳으로 출퇴근 한다하니 대륙성 기질의 중국인들을 느끼게 한다.

소개하고자 하는 3개 현장은 아래와 같은 공

법들을 사용하여 대형 현장타설 콘크리트 말뚝을 시공하고 있었다.

- A) R.C.D. 공법
- B) Oscillator 와 Hammer grab 을 사용한 All casing 공법
- C) Barette type Slurry Wall 공법

A) OFFICE TOWER 현장 : R.C.D. 공법

번잡한 시내 중심가에서 R.C.D.(Reverse Circulation Drill)와 Oscillator 를 사용하며 직경 2.5 m, 깊이 50 m 의 현장타설 콘크리트 말뚝을 시공하고 있었다.

지층은 상부로부터 Silty Sand 8 m, Sand 3 m, Silt 2 m, 40 m 의 Decomposed granite 로 형성되어 있고, 53 m 깊이에서 기반암인 Granite 가 나온다. 최종심도는 기반암에 0.5 m 근입하며, 이곳의 Core recovery 는 85% 이상 그리고 선단지내력이 5 Mpa(약 500 t/m²)이 된다.

특히 이 현장은 굴착토사와 안정액이 섞인 굴착물을 지상으로 운반하기 위해 Suction pump 식과 Air lifting 식을 모두 사용하였고, Offset chisel 로 under reaming(Bell bottom) 작업을 하고 있었다. R.C.D. 기계와 Oscillator 를 동시에 사용할 경우 시공속도가 빨라질뿐 아니라 도심지 공사에 허용된 최대소음 Level 인 75 dB 이내에 들게 된다. 지하철 및 주변 고층건물이 불과 2 m 내외인 관저로 Oscillator 에 의하여 모든 Casing 근입과 인발작업이 수행되었고 말뚝의 허용 수직도는 1/75 이다.

시공순서(R.C.D. 공법에서 Oscillator 사용시)

- 1) 측량에 의해 말뚝 위치선정 및 Level 을 확인, 표토층에 장애물들을 제거하고 Oscillator 를 설치함.
- 2) Hammer grab 으로 토사를 제거하고 Oscillator 로 Casing 을 타입, 상당강도의 Decomposed Granite 층까지 근입함.
- 3) R.C.D. 장비조립 및 설치
Crane 에 의해서 Casing 상단에 R.C.D. 기계를 설치한다.
- 4) Drilling Bit, Rod 및 Stabilizer 를 조립하여

R.C.D. 본체에 연결시킨다.

5) 굴착작업과 동시에 안정액(Bentonite Slurry)을 Hole 내로 투입하고, Air lift 혹은 Suction pump 식으로 반출된 굴착물은 침전시키거나 Desander 를 통해 비중을 낮춘 후 다시 Hole 로 돌려 보낸다.

6) Drilling 작업이 끝나면 Air lifting pipe 를 통해 굴착밀바닥에 침전된 비중높은 Slime 을 제거하고, 굴착공내의 안정액 비중도 1.1 이내로 낮춘다.

7) 철근망을 지상에서 조립하여 굴착공 내 근입한다. 이때 Roller spacer 를 5 m 마다 부착시켜 공내에서 철근망 위치도 잡아주고, 콘크리트 피복(Cover) 두께도 100 mm 로 유지해 준다.

8) Concrete 타설

직경 25 cm 의 Tremi pipe 를 설치하고 수중 Concreting 방식으로 굴착공 밀바닥에서부터 채워 올린다. 이때 최대골재 Size 는 19 mm 가 사용되었고 Slump 는 175 m/m 이며 Tremi pipe 는 항상 콘크리트 깊이 2~3 m 까지 묻혀 있게 한다.

9) Casing pipe 인발

Oscillator 로 서서히 Casing pipe 를 인발 회수한다.

10) 완성된 말뚝은 3~4 일간 양생기간 중 바로 옆의 pile 시공은 금한다.

R.C.D TYPE ROTARY DRILL 의 장점

1) 물이나 안정액(Bentonite Slurry)을 사용하여 굴착공내 수위를 항상 주변 지하수 보다 2~3 m 높임으로서, 굴착공내 어딘가 0.2~0.3 kg/cm² 이상의 압력이 굴착면에 작용하여 붕괴를 방지함으로 Casing 없이도 30~80 m 굴착시공이 가능함.

2) 지하수위가 높거나 피압수가 있을 경우 짧은 Casing 용 Stand pipe 만 지상으로 연장하여 공내수위를 높게하여, Bentonite Slurry(안정액)가 주변 지층의 공극에 침투케함으로서 시공이 가능하고, 같은 원리로서 강이나 려상에서도 이 공법으로 대형 현장타설 콘크리트 말뚝을 시공한다.

3) 현장 지층에 적합한 Rotating bits 를 사용

할 경우 시공속도가 빠르다. 토사층은 Hammer grab 을 사용하고, 모래층은 Wing bit, 그리고 암반층은 Button bit 로 굴착한다.

4) 특히 굴착작업과 굴착물의 운반(i.e Reverse Circulation)이 동시에 이루어짐에 따라, 굴착토 제거시 굴착작업이 중단되는 Benoto 공법이나 Bucket type drill보다 깊이가 깊을수록 경제적

이고 시공속도가 빠르다.

5) 소음과 진동이 적어 도심지내의 공사로서 용이함.

6) Rock bit 로 연암과 경암까지 말뚝을 근입 시켜서, 설계시에 Rock Socket 영향을 고려하게 되면 직경 1.5 m 말뚝이 700~800 ton 은 충분히 지지할 수 있다(아래 table 참조).

암반타입	암반내의 허용 부착력	전단의 허용 전단력
Manhattan Schist	133(t/m ²)	—
Black Utica shale	112	262(t/m ²)
Dlmdas shale (Toronto)	112	785
Chicago Lime stone	171	1047

시공중 주의사항 및 문제점

1) 굴착공 내의 안정액 Level 이 주변 지하수 위보다 낮게되면 굴착면의 붕괴를 초래할 수 있고, 굴착중 붕괴현상이 일어나면 Drill bit head 가 흙에 묻혀 손실될 수도 있다.

2) 순환수의 유속을 완만하게 유지시켜 공벽의 손상이 없도록 한다.

3) 적절한 Drill bit 를 사용하지 않으면 굴착 능률도 저하되며, Bit 의 소모량도 증가시킨다.

4) 많은 양의 호박돌(20 cm 이상)이 존재해 있을 경우 굴착속도가 느리고, 이런 지층엔 Lean mix concrete 를 치고 양생되는 즉시 재굴착한다.

5) 말뚝 깊이가 깊지 않고 소규모 공사일 때는 굴착장비와 암반굴착용 Drill bit 가 비교적 고가이므로 타공법보다 경제성이 적다.

B) ALL CASING 공법으로 OSCILLATOR 사용

HENG FA CHUEN 지역은 전석 섞인 연약 배립층이 평균 20 m 이며 marin deposite 층이 10 m 를 이루는 배립지로서 평균 말뚝 직경 2.0 ~3.0 m 깊이 50 m 의 현장타설 콘크리트 말뚝이 30 층 높이의 고층아파트 건물을 지지하게끔 설계되었다.

Oscillator 를 사용한 이 All casing 공법의 특

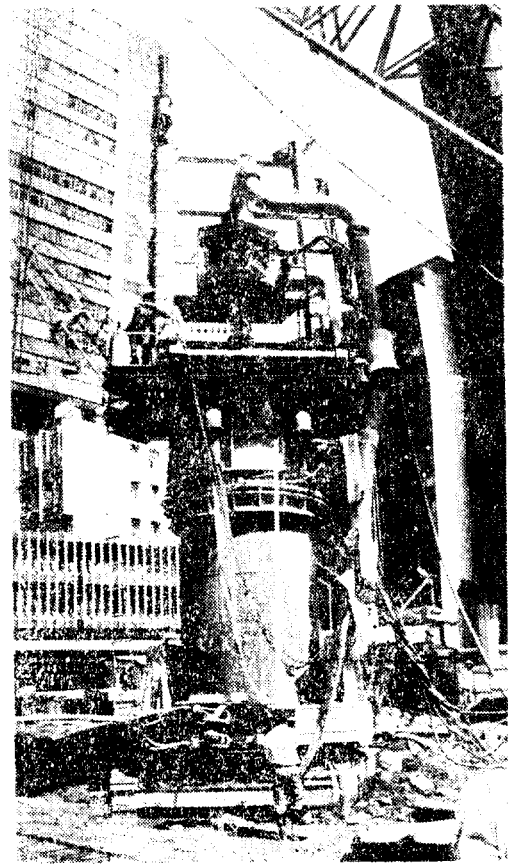


Fig. 1. HONG KONG OFFICE TOWER 현장 Rotary Piling 장비인 B6 R.C.D. 기 시공중. 지표면에 설치된 Oscillator 가 Casing pipe 를 근입시키고 있다.

RCD기 조립도

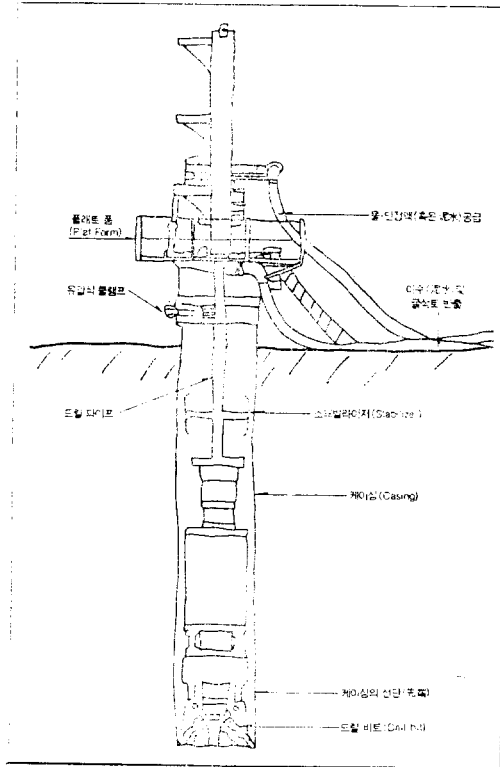


Fig. 2. R.C.D. 굴착기의 조립도

정은 시공장비가 단순하며 시공공정이 짧다. All casing 으로 굴착공의 안정을 유지함으로서 Bentonite Slurry 의 Mixing Cleaning 과 순환작업이 불필요하다. 단지 Oscillator, Crane, Hammer grab 그리고 Casing pipe 를 주요 굴착장비로 하여 10 개의 굴착팀이 동시에 공사중인 이 현장은 공사의 단순성이 말해주듯이 최소의 감리, 감독하에서 순조롭게 진행되고 있었다.

대형 말뚝공사 중에서 가장 진동과 소음이 적은 공법이므로 도심지 공사에 적합하고 특히 전석이 많은 지반에서는 Casing 자체에 Cutting Shoe 가 설치되어 Casing 근입이 용이하다. R.C.D. 공법에서는 전석으로 인하여 Casing 근입이 중단 될 경우 Chisel 과 Hammer grab 으로 제거해야 하나 영약지반내에서 그 Size 가 50 cm~100 cm 될 경우 전석이 움직이므로 작업에 어려움이 있다.

Casing 깊이가 45 m 이상될 경우, 약 20 m 정도는 직경 2.2 m Casing 을 설치하고 내측에 다

시 직경 2.0 m Casing 을 근입함으로서 부착력 (Soil-Casing Friction) 을 최소화하였고, 회수시에 인발이 힘든 경우 Casing 의 일부를 잃는 수가 있다.

Oscillator 의 작동원리는 Cutting Shoe 가 부착된 Casing 을 지반에 근입하는데 있어 양측에 설치된 수평 Piston 을 움직여 Casing 을 회전시키며, 자중(30 ton)의 일부를 Casing 에 수직으로 가하면서 Core Cutting 식으로 굴진한다. Casing 인발시는 전과같이 회전시키면서 양측의 수직 Hydraulic Jack 가 작동하여 뽑아 들린다.

Casing 굴진과 Clamshell 이나 Hammer grab 으로 토사의 굴착을 동시에 할 수 있으나, Oscillator 1 대가 말뚝 1 개를 완성시킬 때까지 설치되어 있어야 함으로 장비의 활용성, R.C.D. rotary type 보다 적다. R.C.D. rotary drill 경우는 Hammer grab 이 토사를 굴착하는 동안, rotary drill 은 연속적으로 단단한 지반 및 암반만 찾아서 동시시공이 가능하다.

최종근입은 Decomposed Granite 층을 통과 0.3~0.5 m 의 Granite 층내로 굴진하며, 허용지내력이 300 t/m² 이면, 직경 2.0 m 의 말뚝은 900 ton 이상의 수직하중을 받게 된다.

OSCILLATOR 를 사용한 ALL CASING 공법의 시공순서

1) 정확한 말뚝위치에 Oscillator 를 설치한다. 각 Corner 에 작은 말뚝을 박아 Casing 근입 및 인발시 Oscillator 의 움직임이 없도록 고정시킨다.

2) Casing 끝단에 톱니모양의 Cutting shoe 를 부착시키고, Crane 으로 Pile 위치에 옮겨 놓는다.

3) Oscillator 로 Casing 을 근입시키면서 Hammer grab 으로 내부 굴착토를 파낸다. 단단한 지반이나 전석이 나오면 Chisel 로 파쇄시킨 후 Hammer grab 으로 제거한다. 암반의 근입시에도 Chisel 을 사용함.

4) 굴착이 완료되면 물을 사용하여 Air lifting 방식으로 굴착 바닥의 침전물을 모두 제거한다. 이때 바닥에서 올라오는 암석의 Sample 로 바닥 청소 정도와 암반상태를 확인한다(Bore Hole

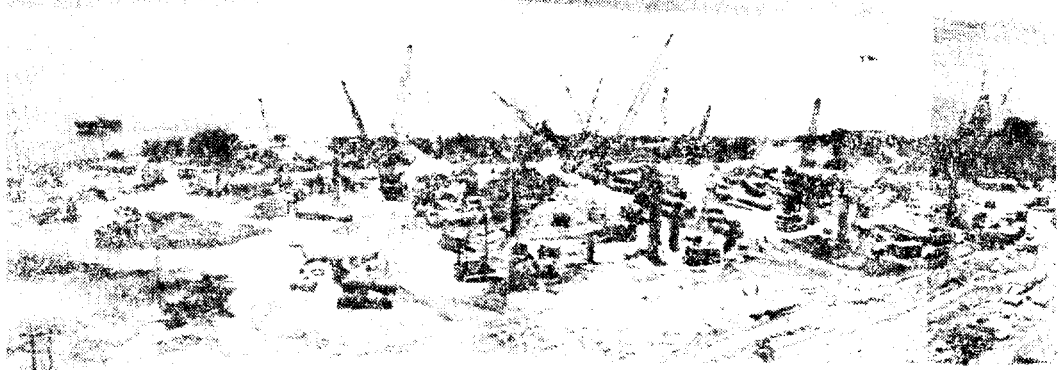


Fig. 3. OSCILLATOR 를 사용 ALL CASING 공법으로 직경 2.0~3.0 m 말뚝을 시공중인 HENG FA CHUEN 현장.



Fig. 4. 깊이가 40 m 이상되는 CASING 은 마찰력을 줄이기 위해 직경이 다른 DOUBLE CASING 이 설치된다.

report 와 비교 검토함).

5) 철근 Cage 근입과 Tremie pipe 로 타설하는 Concreting 은 R.C.D. 공법과 동일하다. 이때 100 mm Steel pipe 를 설치해 놓았다가 Coring 하여 Concrete 의 강도 및 Pile 과 암반의 접촉상태, 암반의 강도를 Check 하게 된다(배 40 개 말뚝마다 1 공식 Full Coring 함).

6) Oscillator 를 사용하게 되면 Casing 두께가 보통 25 mm~50 mm 정도로 R.C.D. 공법에

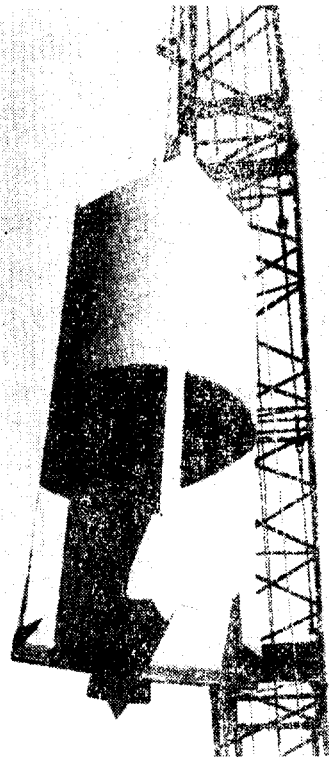


Fig. 5. 전석 및 암반 파쇄용 Chisel

서 사용되는 19 mm 보다 두껍고, 전석이 많은 지층에서 상당깊이까지 근입, 인발하다 보면 Casing 의 보수가 필요하며 Loss 도 생긴다.

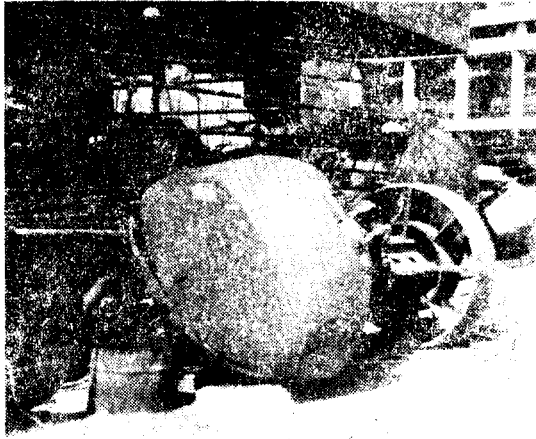


Fig. 6. 토사굴착용 Hammer Grab



Fig. 7. CASING 근입과 일반용 OSCILLATOR (Hydraulic operation 무게 30 ton)

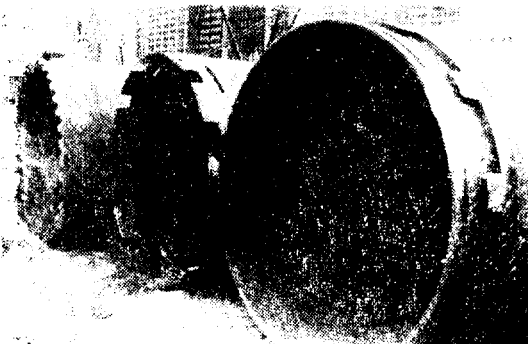


Fig. 8. OSCILLATOR 와 함께 사용되는 CASING 과 CUTTING SHOE.

C) BARETTE PILE : SAI WAN HO 매립지

Top Soil 인 전석 섞인 Clayey Silt 매립층 깊이가 0~15 m, 15~20 m의 Marin Soil, 20~30 m Completely Decomposed Granite, 30~45 m

Moderately Decomposed Granite, 45 m-Granite 로 형성된 지층에 직사각형의 Barette type 현장 타설 대형 말뚝이 시공중에 있고, Size 는 각각 800×2200 mm 와 1200×2700 mm 이다.

원래 이 방법은 Diaphragm Wall 공법과 유사하여 Bentonite Slurry(안정액)가 굴착공을 지지해 주는 동안 지중에 직사각형 모양의 굴착 Panel 를 형성하여 철근망을 근입하고 Tremie pipe 로 콘크리트를 타설한다.

허용지내력은 말뚝을 Granite 암속에 30 cm 근입시키는 견제로 500 t/m² 로 설계되어 있어 800×2200 mm 말뚝은 수직하중이 880 ton 을, 1200×2700 mm 말뚝의 경우는 1620 ton 이다.

깊은 매립층의 침하로 인한 negative skinfriction 도 고려되어야 한다.

특히 안정액 속에서 콘크리트를 타설할 경우, 만약 침전된 Slime 이 100% 제거되지 않으면 결과적으로 하중 Concentration 과 침하 문제가 야기될 수 있다. 이 현장에서는 1 m 간격으로 Grouting pipe 를 설치하고 Coring 으로 바닥면을 Check 한후 Grouting 한다.

굴착장비로는 Heavy Wire operated Clamshell (Hanging type 중력식 Clamshell, 중량 7 ton, 높이 4 m)을 Crane 에 설치하여 굴진하는 방식을 사용하였고, 지하 장애물이 발견되면 즉시 이 Wire 에 Chisel 를 바꾸어 달 수 있어, Boom 이 정착된 Kelly type crane 보다 상당히 효과적이다. 굴진 속도에 있어서도 하루 14 시간 작업으로 1 개 굴착조가 깊이 50 m 말뚝을 완성시키는 데 2 일 소요되었다.

안정액(Bentonite Slurry)의 농도는 4.5%~5% 로 Mixing 후 18 시간 이상 수화(Hydration)시킨 후 사용하였다. Bentonite test 는 Density(비중), Viscosity(점성), Sand content(모래량), pH 를 Check 한 후 굴착공으로 공급하며, Fresh bentonite 와 Concrete 타설 직전 매 Panel 마다 Sampling 하여 측정한다.

안정액의 Level 이 주변 지하수위보다 2~3 m 높아 굴착면에 정수압을 작용시켜 붕괴를 방지하며 굴착하였으나 15~20 m 깊이에 위치한 연약한 Marin 층이 굴착공내로 Squeezing in 해 오면서 붕괴되어 이 부분엔 Steel Casing 을 설치

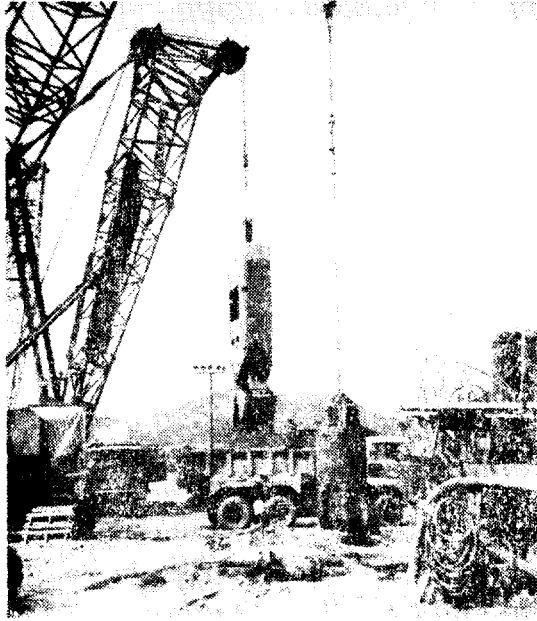


Fig. 9. SAI WAN HO 매립지에 시공중인 BARE-TTE TYPE 현장 타설 말뚝공사 현황.
(Wire에 매달린 Clamshell 굴착기와 전석 및 암반 파괴용 Chisel)

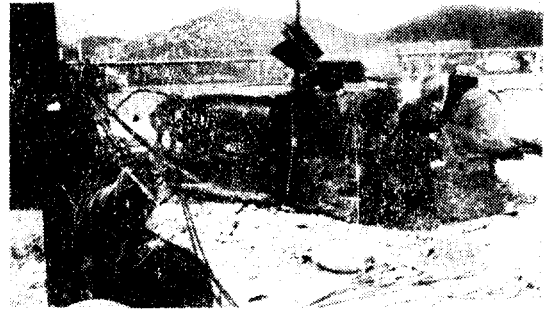


Fig. 10. 최종암반 파쇄근입 및 굴착 바닥 정리용 Chisel

하고 Concreting을 하였다.

Bentonite Slurry 속으로 타설된 Concrete 재질은 28일 강도가 280 kg/cm^2 이고 최대골재 Size 20 mm, Slump 150~200 mm, 최소 Cement 량 400 kg 이고, 연속 타설이 곤란할 때 Joint가 생기지 않도록 소량의 지연제를 사용함.

굴착방법 및 시공 Specification은 Diaphragm wall 공사와 동일하게 사용되었다.

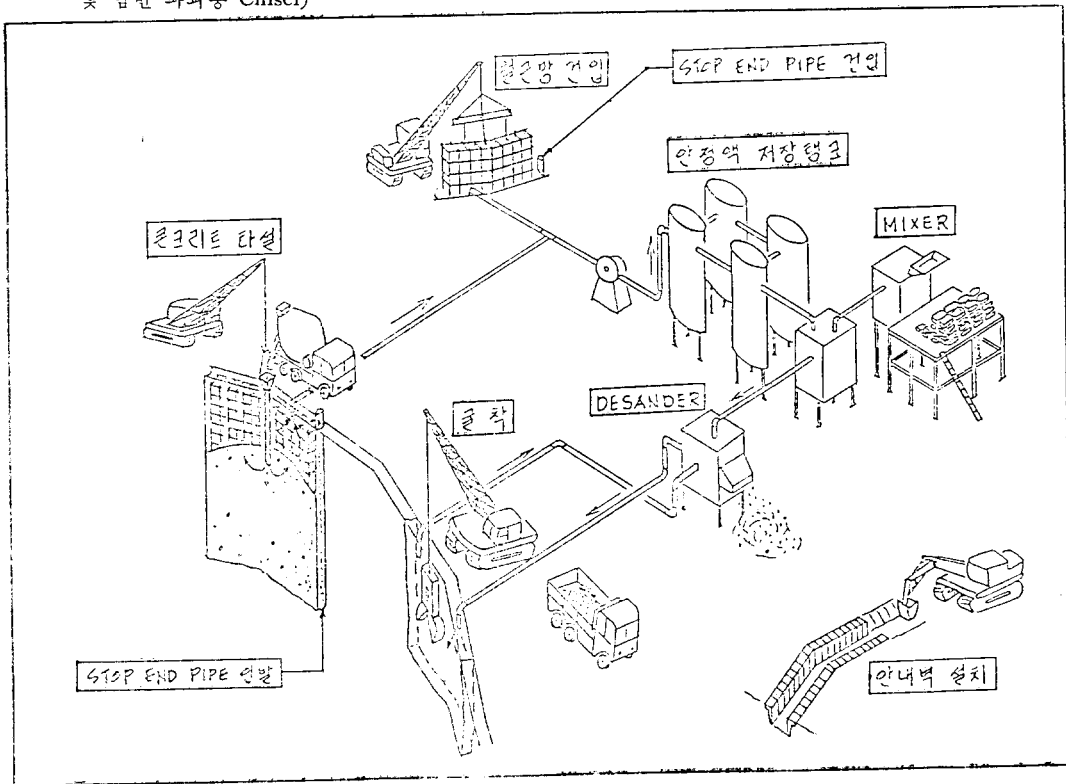


Fig. 11. 각 단계별 전체공정도