

## • 지하연속벽(Diaphragm Wall)

### ■ 개요 ■

지하연속벽 공법은 굴착면의 붕괴와 지하수의 침투를 방지하기 위해 일정폭의 TRENCH 에 안정액을 공급하면서 원하는 깊이까지 TRENCH 를 굴착한 후 지중에 무근, 또는 철근 CON'C 의 벽체를 조성하고 이러한 각각의 PANEL 을 연속적인 벽체로 형성시키는 공법이다. 본 공법은 개발초기에는 단순 차수벽이나 가설토류벽으로 사용되었으나 기술의 진보, 시공방법 및 장비의 발달로 최근에는 토지이용율의 극대화가 가능하고 도심지 건물 밀집지역에서 저진동, 저소음으로 강성이 큰 안전한 벽체를 형성할 수 있다는 장점으로 인하여 도심지 지하구조물의 영구벽체 시공 공법으로 각광 받고 있다. 이 공법은 1950년대 유럽에서 댐공사 현장에 적용되기 시작하여 우리나라에는 80년대 초반 여의도 럭키금성 사옥 신축공사에 시공되면서 본격적으로 소개되었다.

### ■ 지하연속벽의 장단점 ■

#### [장 점]

- 시공시 잡음, 진동이 적다.
- 기존의 토류공법에 비해 초심도(120m)까지 시공
- 저진동, 저소음의 기계화 시공으로 도심지 밀집지역 및 기존 구조물 근접지역에서도 원활한 공사수행
- 벽체의 강성이 크고 완벽한 차수성이 보장 되므로 굴착에 따른 지층이완 및 지반침하 방지
- 복잡하게 변화하는 지층여건에 적용가능하고 공사목적에 따라 단면형상을 다양하게 적용 (600m~3200m)
- 수직도가 양호하여 지하구조물의 영구벽체 또는 구조물의 기초로 이용가능
- 본구조물 옹벽으로 이용가능함으로 지하공간 이용 극대화.
- 근입 및 수밀성이 좋아 지하수 과다, 전석층, 연약지반등의 악조건에도 비교적 안전한 공법임.

#### [단 점]

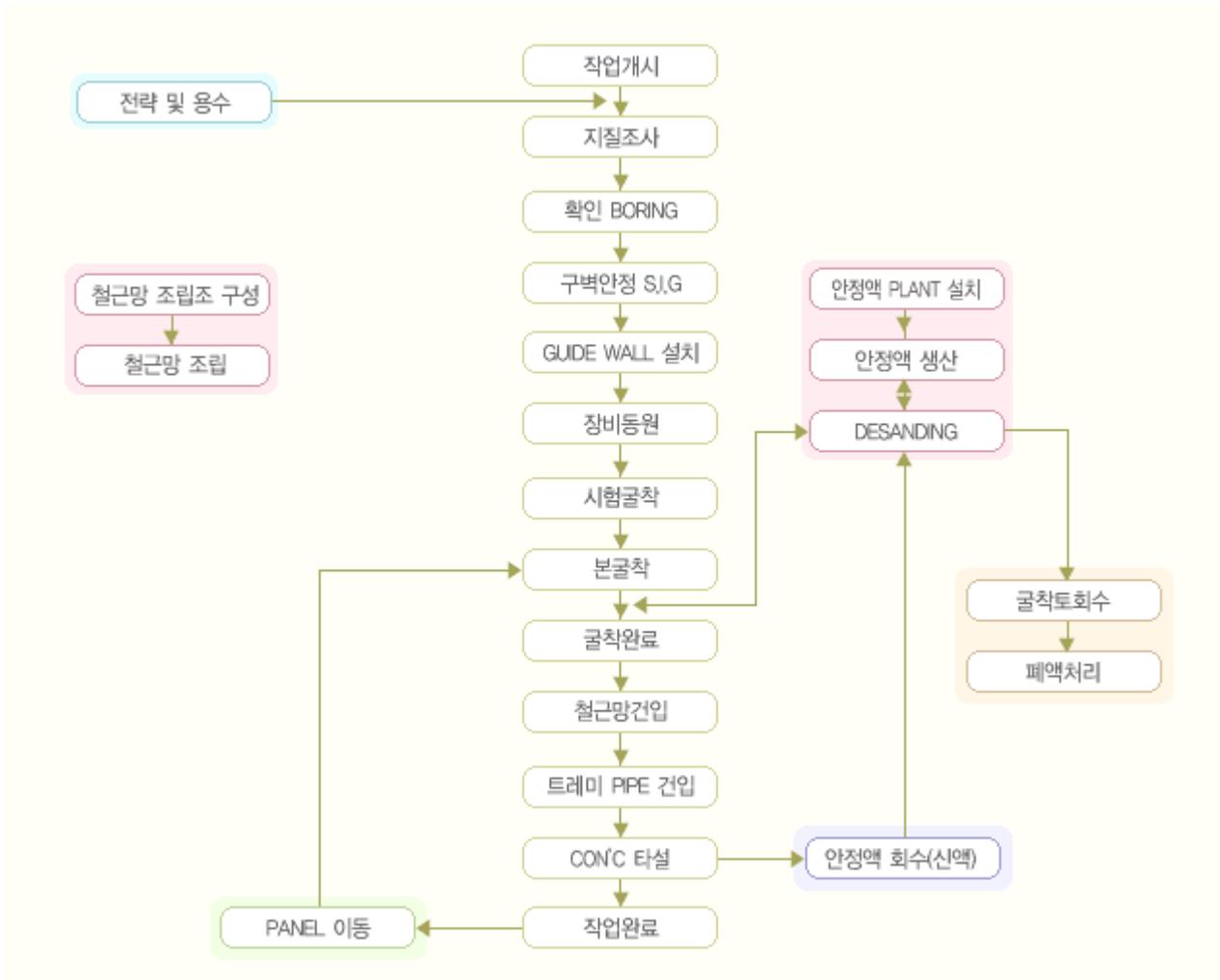
- 지질 상태 파악과 지질에 따른 장비, 대책 보완.
- 굴착중 옹벽의 붕괴.(지하수등 영향)
- 수직성 확보.(지하연속벽, 바레트 수직 수시 점검.)
- 구조상 연결부위의 문제점
- 상당한 기술 축적이 요구됨.
- 공사용 특수장비 및 플랜트 시설이 크고 복잡하여 일정규모 (약 400 평) 이상의 대지에 적합.
- 공사비 상대적 고가임. (공사비 단순 비교시)
- 까다로운 품질관리가 요구됨.

### ■ 적용범위 ■

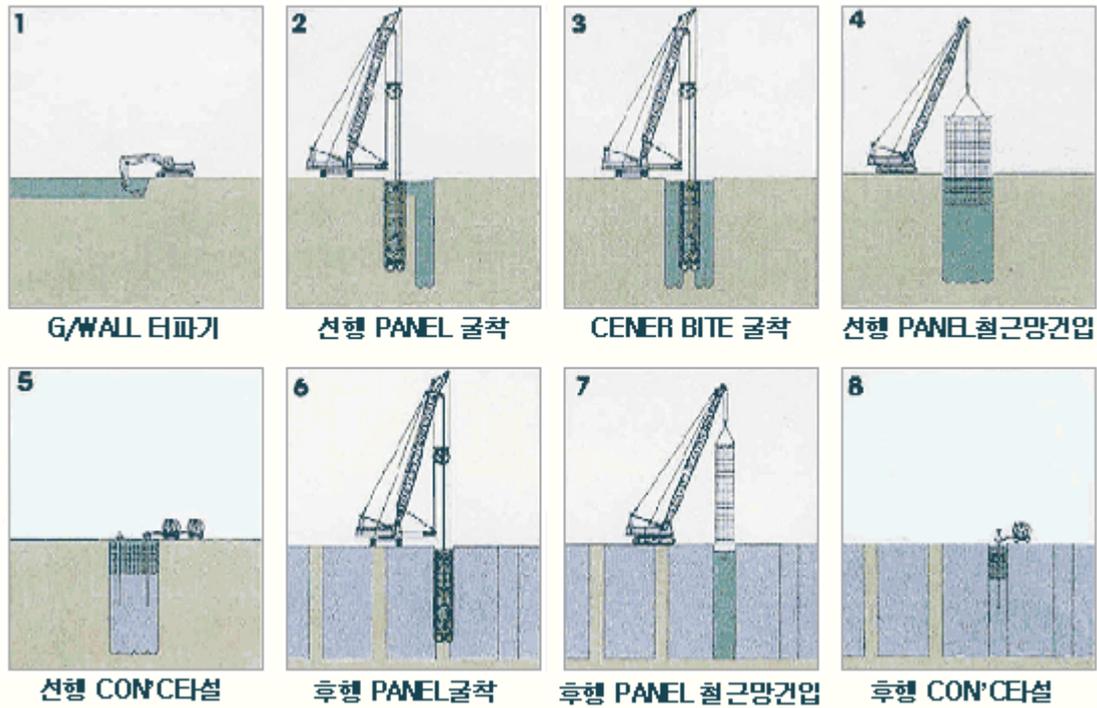
- 고층빌딩지하구조물 공사 : 흙막이벽, 차수벽, 지하본체벽 등
- 지하철, 지하차도, 지하상가 등 : 흙막이벽, 차수벽, 지하본체벽 등
- 하수처리장 : 하수누출 오염차단 등

- 댐 : 댐기초 차수 등
- 항만안벽 : 흙막이벽, 차수벽, 안벽본체 등
- 터널 : 자립식 수직구 등

■ 시공 Flow ■



■ 지하연속벽 시공 모식도 ■



## ■ 가설계획 ■

- 현장가설계획은 지하연속벽 공사를 수행하기 위한 PLANT 설치 및 BENTONITE 공급, 전기, 용수공급 등 제반관련 부대설비를 계획한다.

### ① PLANT 설치

- 연속벽공사에서 PLANT는 PANEL 길이 및 일일작업량, 굴착장비의 조합 및 장비대수 등에 따라 규모가 정해진다

\* PLANT 소요면적 : 대략 20m × 15m

\* SILO 및 POOL TANK 설치를 위한 바닥 Con'c 타설

### ② BENTONITE 배관설치

\* SILO : D=4" 배관

\* SILO, DESANDER : TRENCH D=6" 1 LINE

\* TRENCH : POOL D=6" 1 LINE

\* TRENCH 및 안정액 회수 : D=4" 1 LINE



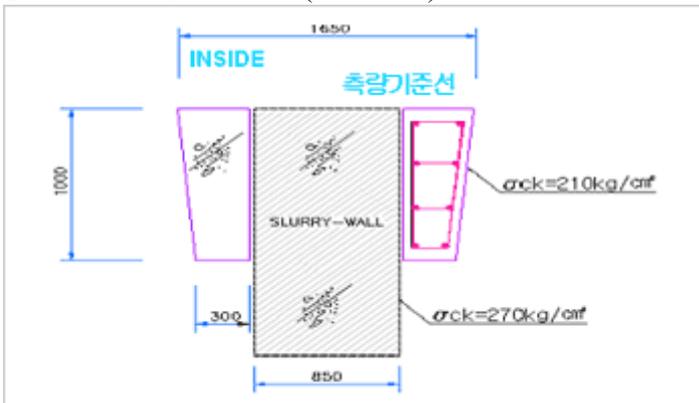
SILO, DESANDER 전경



배관

Guide Wall

- ① 토류벽 기능
- ② 기준면의 역할
  - 평면선형, 높이, 수직도, 여굴, 굴착심도기준면 PANEL 위치 확인
  - G/W 폭을 소요폭보다 50mm 정도 크게 시공
- ③ 중량물의 지지대
- ④ 안정액 저수조 기능
- ⑤ 우수 등의 유입방지
  - 현장 GL. 보다 높게 시공(1 ~ 1.5m)





Guide Wall 측량



터파기



철근제작 및 거푸집 설치



Con'c 타설

## ■ 안정액 ■

### 1. 안정액의 사용 방법

#### ① 비순환 방식

- 버킷을 이용하는 굴착의 경우로 굴착의 진행에 수반되어 안정액은 TRENCH 에 보급되며 콘크리트의 타설에 의해 치환될 때까지 TRENCH 에 머무른다. 안정액은 굴착 벽면의 안정만을 목적으로 이용된다.

#### ② 순환 방식

- BIT 또는 CUTTER 를 이용하는 굴착의 경우로 안정액은 TRENCH 안에 채우는 동시에 굴착토를 지상에 운반하기 위해 펌프에 의해 TRENCH 와 지상 PLANT 사이를 순환한다.

### 2. 안정액의 기능

자연 그대로 안정된 지반을 수직으로 굴착하면 토압의 균형이 파괴되어 굴착 벽면은 항상 붕괴의 우려가 있다. 안정액은 이 대책으로 이용되는 것이다.

#### ① 굴착 벽면의 붕괴를 막는 기능

- 이것은 가장 중요한 것으로 다음의 작용에 의한다.

- 안정액의 액압에 의해 굴착 벽면에 작용하는 토압 및 수압에 저항하며 또 지하수의 용출을 방지한다.

- 굴착 벽면에 불투수의 필름을 형성하여 액압을 유효하게 작용시키는 동시에 굴착 벽면의 표면 낙하를 막는다.

(그림참조)

- 안정액이 굴착 벽면에서 어느 범위 까지 지반 내에 침투되며 흙 입자에 부착된다.

- 이 작용에 따라 지반의 붕괴성 및 투수성을 감소시킨다.

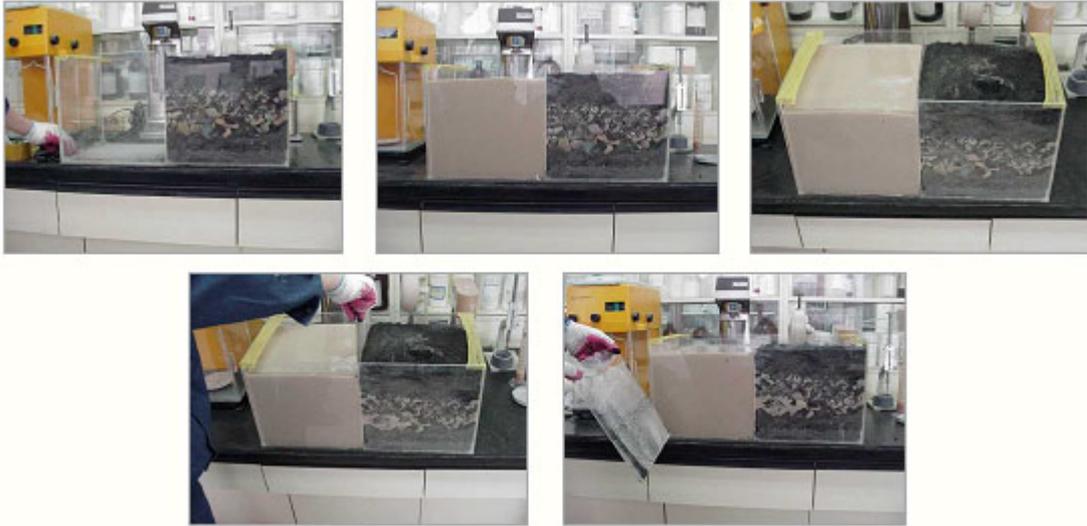
② 안정액 속에 부유 되어있는 토사를 유지하는 기능

- 굴착 중 안정액에 녹아 든 굴착 토사가 굴착 종료 후 차츰 굴착 저면에 퇴적되고, 철근 망의 근입을 곤란하게 하는 동시에 타설된 콘크리트의 품질을 나쁘게한다.

- 적절하게 관리된 안정액은 이 침전 퇴적물의 발생을 억제한다.

③ 굴착 토사를 지표까지 운반하는 기능

- 버킷식 굴착의 경우에 굴착 토사의 배출은 안정액을 지상에 순환 시킴에 따라 실시된다. 굴착 토사를 신속히 배출 시키지 않으면 굴착 기구의 기능을 저하 시키고 또, 안정 액 속에 녹아 드는 토사의 양을 많게 하여 안정액의 순환 저항이 많아지며 굴착 능률을 더욱 저하 시킨다.



안정액의 공벽 유지 모의 수조 시험

### 3. 안정액에 관한 현장 시험

안정액은 지반의 상태, 공사 조건등에서 요구되는 성질을 항상 유지해 두지 않으면 안 된다. 이 때문에 공사에 있어서는 안정액의 작업시 뿐만 아니라 각 공사 과정에서 안정 액의 성질을 측정하고 관리할 필요가 있다.

다음에 안정액의 성질에 관해서 현재 채용되고있는 시험 방법에 대해서 설명한다.

① 비중의 측정

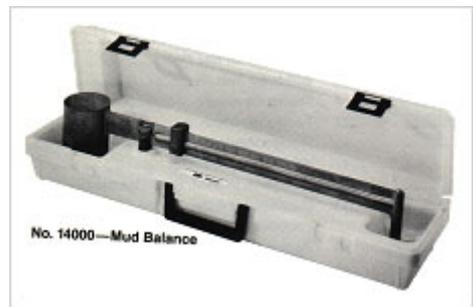
다음 두 방법 중 어느 한 방법을 이용하여 소수점 이하 두 자리까지 측정한다.

㉠ Mud Balance 기구를 이용하여 측정

㉡ 용적이(cc 단위) 분명한 용기에 안정액을 넣고 안정액의 중량(g 단위)을 측정하여 다음식에 의해 구한다.

$$\text{비중} = \text{중량 (G)} / \text{용적 (cc)}$$

머드 밸런스는 상기 그림에 표시한 것처럼 지지대에 실린 컵과 암(ARM)으로 구성되어있다.컵에 측정하려고 하는 안정액을 채우고 덮개를 한다. 덮개의 작은 구멍으로



넘치는 안정액을 닦아내고 나이프엣지를 지지대 위에 놓는다. 라이더를 움직여서 암이 수평으로 되었을때의 눈금이 비중을 표시한다. 머드밸런스는 수시로 청수를 측정하여 보정할 필요가 있다. 조정은 암 끝에 넣은 산탄을 증감하여 조정한다.

### ② 점성의 측정

패널 점도계에 의한 점성의 측정 :

주로 현장에서의 점성 측정에 사용되는 것으로 측정기구는 그림에 나타내었다. 측정 방법은 점도계를 스탠드에 올려 놓고 아래 입구를 손가락으로 눌러서 1500cc의 안정액을 위에서 넣는다. 이때 안정액은 0.25mm의 철망을 통하여 큰 고형물을 제거 해 둔다. 다음에 아래 입구를 누르고 있는 손가락을 떼고 안정액이 946cc가 유출 될 때까지의 시간을 초시계로 측정한다.



### ③ 사분의 측정

안정액에 포함 되어있는 사분(74 μm 이상의 입자)의 측정에는 그림에 나타난 것과 같은 사분 측정기가 사용된다. 측정 방법은 다음과 같다.

㉠ 75cc 눈금까지 안정액을 넣고 다음에 250cc 까지 물을 넣어서 튜브의 입구를 막고 잘 흔들어서 교반한다.

㉡ 튜브내의 안정액을 체(74 μm)위에 걸러 낸다. 이 경우 튜브내에 아무것도 남기지 않도록 물로 씻어내고 모든 것을 체 위에 옮긴다. 체 위에 남은 것은 억지로 눌러서 체를 통과 시켜서는 않된다.

㉢ 체에 로트를 반대로 삽입하고 로트의 끝에 튜브의 머리 부를 삽입한다. 전체를 조용히 반전한다. 다음에 체의 이면 측에 조금씩 물을 흘려서 체 위의 사분을 전부 튜브 내로 씻어 넣는다. 이 상태로 튜브 내에 사분을 침전 시킨다.

㉣ 튜브 내에 침전 된 것을 사분이라 하며 튜브의 눈금을 보고 용적 퍼센트(Vol.%)로서 나타내어 사분 함유율로 한다



### ④ pH의 측정

pH 값은 수소 이온 농도의 역수로, pH 7이 중성, 7 이하는 산성, 7 이상은 알칼리성이다. 벤토나이트 안정액은 보통 약알칼리성 (pH 10~11)을 띠게 된다. 시멘트 성분 또는 알칼리성의 지하수가 혼입되면 알칼리성이 매우 강하게 되며 산성토의 굴착, 산성 지하수의 혼입에 의해 산성이 된다. 이러한 pH 값의 변화는 동시에 양이온의 혼입을 의미하고 있으며 Ph 값은 안정액의 성질 변화의 판단 참고 자료가 된다. pH 값은 리트머스 시험지나 pH 미터로 측정된다. 현장에서는 취급의 간편성에서 리트머스 시험지가 널리 사용되고 있다.

pH 측정의 시료에는 여과시험의 여과수를 사용하면 측정하기 쉽다. 측정치는 소수점이하 한자리 까지 구한다.

### ⑤ 안정액의 품질관리

#### ㉠ 벤토나이트의 안정액 유지관리

시험의 종류 및 회수는 안정액의 물리적 오염(지하수 및 흙속의 SALT 성분 또는 콘크리트 타설시 CEMENT 혼입) 등으로 본래 설계 시방서에 요구한 특성과 상이할 우려가 있을 경우 판넬 시험을 실시 한다.

#### ㉡ 품질 시험의 시기는 아래와 같다.

- 사용직전 MIXER 의 안정액

- 굴착중 : 굴착면의 지지능력 확인 및 깊이별 시료 채취 시험

- 콘크리트 타설 직전 : 안정액의 완전 회수 가능성

㉢ 안정액은 굴착중, 굴착후, 타설전을 다음의 관리 기준치를 유지하도록 하며 특히 재사용시는 신선한 용액을 첨가하여 잘 혼합하여 아래의 기준치를 유지할 수 있도록 하고 기준치를 넘어서면 폐기 처분한다.

구분	비중	점성(SEC)	SAND 함량	PH
굴착전	1.02 ~ 1.05	32 ~ 46	3%	7.5 ~ 10.5
굴착중	1.05 ~ 1.20	34 ~ 50	5%	7.5 ~ 10.5
Con'c 타설전	1.05 이하	32 ~ 46	3% 이하	7.5 ~ 10.5
굴착후	1.2 이상	60 이상	5% 이상	12 이상

### ⑥ 혼합비율

안정액의 일반적인 혼합비율

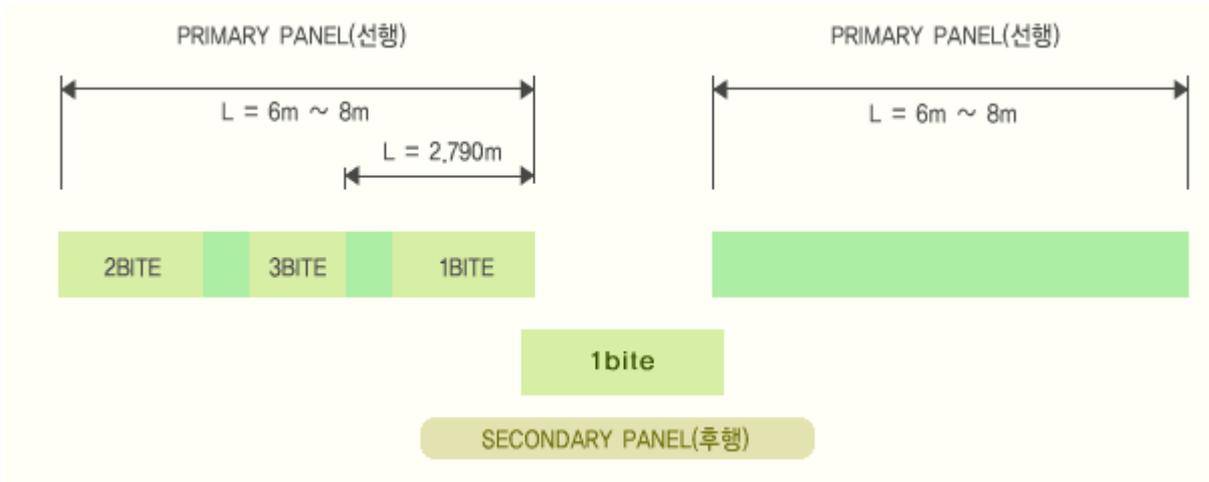
지질	BENTONITE(%)	중점제(%)	분산제(%)	기타
점성토	5~8	0~0.02	0~0.5	
모래	5~8	0~0.05	0~0.5	
모래 + 자갈	6~12	0.05~0.1	0~0.5	탈수방지제

물 - BENTONITE 혼합비율

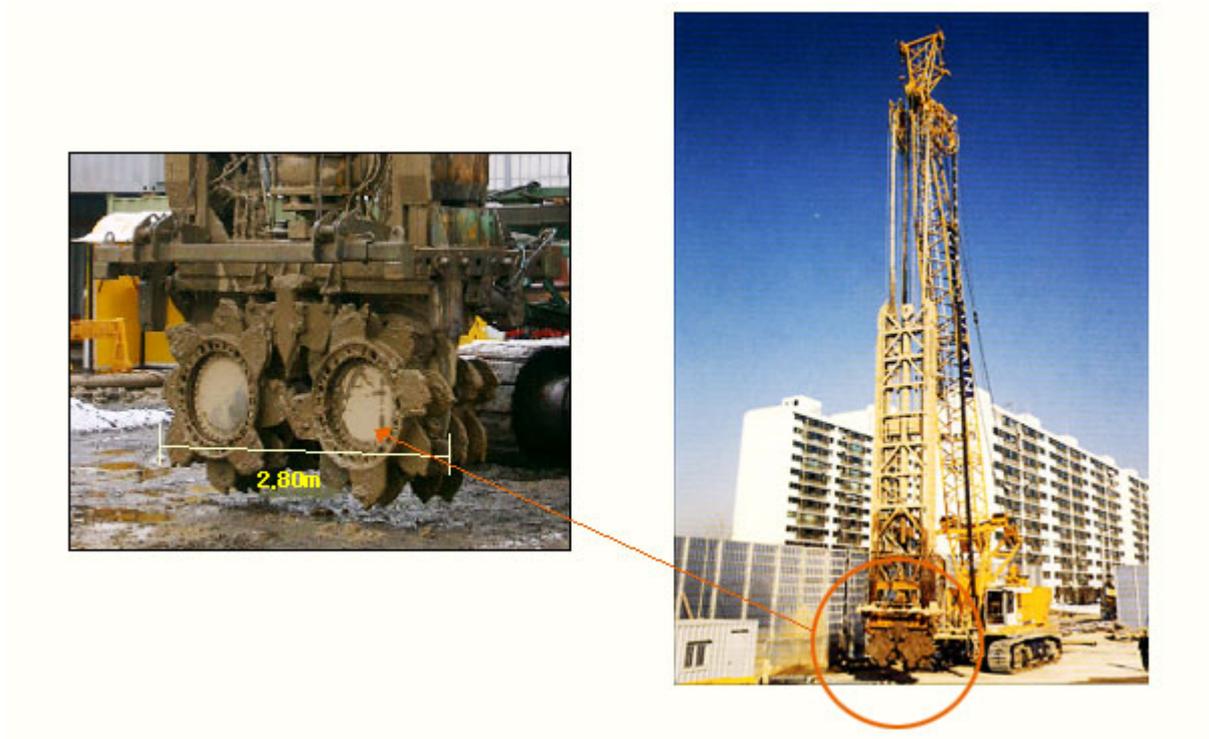
BENTONITE	WATER	비고
20Kg	1 m <sup>3</sup>	BENTONITE 에는 중점제(CMC) ALC 분산제가 각각 0.5Kg 포함된 양임

## 트렌치 굴착

### ① PANEL 형성 과정



### ② 지하연속벽 장비 (BC-30)



### ③ 시공 순서



1. 선행굴착은 소형굴착기를 이용하여 본굴착 전 Bentonite 용액을 채워 여굴을 방지한다.(G/W -3.0M)

2. 지질여건 및 제반현장여건을 고려하여 선종된 굴착장비를 사용하여 안정액을 충분히 채워 굴착한다.



3. 지하수유동이나 공동 등으로 안정액의 누수가 심하여 굴착공 붕괴 및 심한 여굴이 예상되는 지층에는 PREGROUTING, LEAN Con'c 타설 등으로 보강한 후 굴착한다.



4. 굴착중 지층의 갑작스런 변화에 의한 수직도가 의심될 시 Koden 으로 정밀측정후 굴착한다.



5. TRENCH 가 좌, 우로 기울게 되면 철근망이 건입되지 않아 다음 PANEL 굴착시 JOINT 를 유지시킬 수 없기 때문에 항상 굴착시는 TRENCH 가 기울어지는 것에 유의해야 한다.→ 보조원(CARRY)를 두어 관리



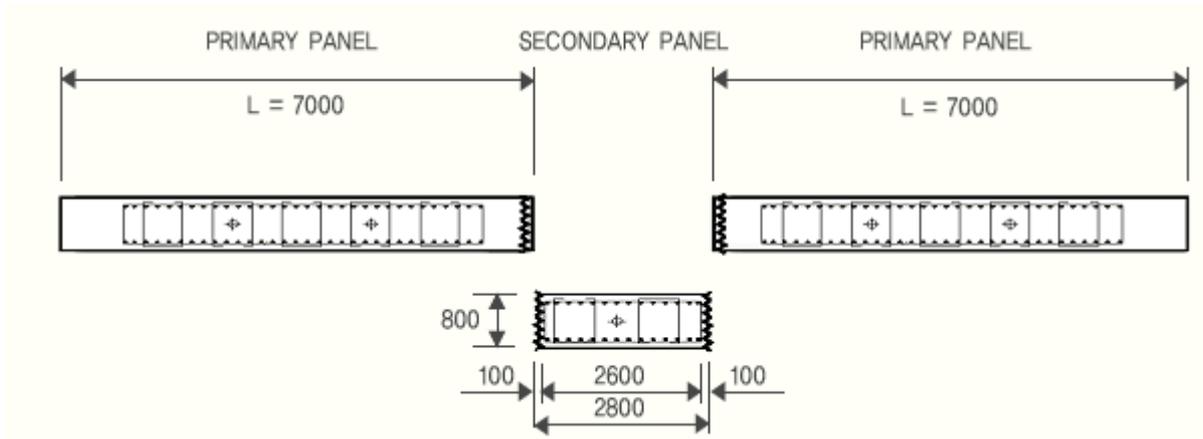
6. TRENCH 가 좌,우로 기울어지면 보조굴착 기구를 두어 기울어지기 시작했던 부분부터 굴착하여 수직도를 교정한다.



7. 굴착중 전석이나 암출현으로 작업이 어려울 경우 CHISELLING(쇠기둥) 작업을 실시한다.  
 → 낙하고 2m 정도  
 → 인접건물의 진동 주의

### ■ 이음부 처리 ■

PANEL의 JOINT 부를 형성하는 방식에는 END PIPE 방식과 OVER CUTTING이 있으나 각 PANEL 연속성과 수밀성에서 OVER CUTTING 방식이 효과적이다. (SHEAR KEY 역할)



1. 스페이서 빔은 TRENCH CUTTER 연속벽 굴착시 좌,우의 철근의 간격유지를 목적으로 현장에서 제작하여 설치.

2. 판넬분할대는 한 PANEL의 정확한 치수와 고품질의 Con'c 형상을 유지하기 위해 설치.

### ■ 수직도 ■

PANEL의 수직도는 후속공정에 많은 영향을(특히 JOINT 부의 방수 등) 미치므로 굴착시 각별히 주의 하여야 한다.

- ① 굴착시 가이드 자키를 GUIDE WALL에 설치 하고 CUTTER BODY를 삽입하여 수직도를 유지한다.
- ② 장비 운전석에 장착되어 있는 Monitor system을 통하여 장비 Operator가 수직도를 확인해 가며 굴착한다.
- ③ 강한 암반층에서는 CUTTER 본체가 요동하여 SIGNAL이 정확치 못하여 오차가 발생할 수 있으므로 주의해서 관찰한다.
- ④ 굴착이 완료 되면 KODEN(초음파 측정기 DM684)를 이용하여 수직도를 CHECK 한다.

- ⑤ 굴착중 지층의 갑작스런 변화에 따라 수직도가 의심될 시 KODEN 으로 측정한다.
- ⑥ 관리기준은 수직도 1/300 이내로 한다.



바디고정용 가이드 작키



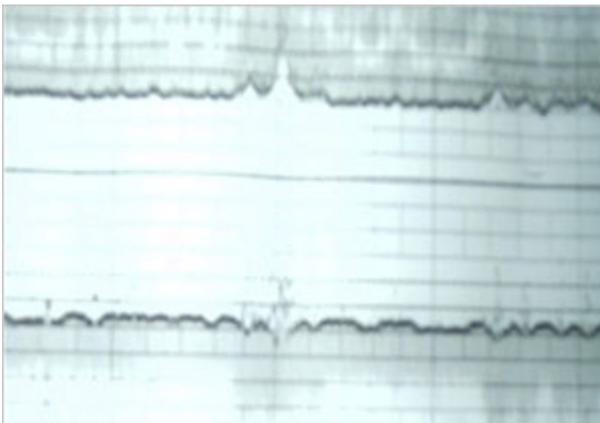
굴착장비내에 부착된 Monitor System



KODEN(초음파 System)



KODEN 검측 중

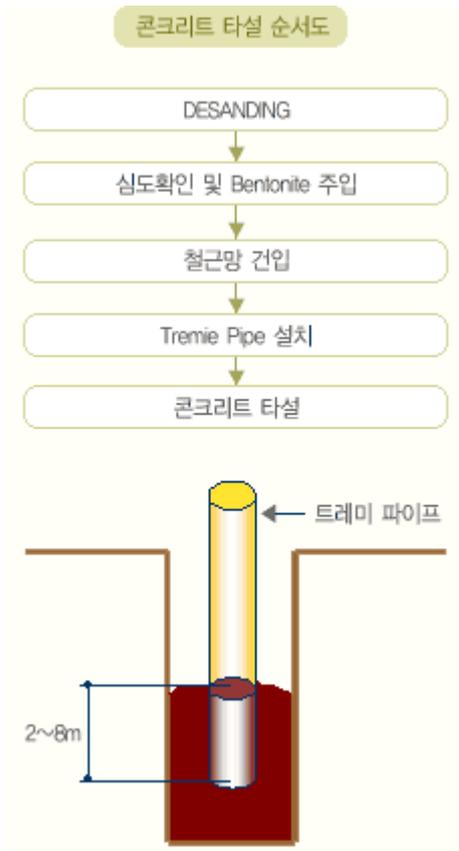


검측 결과

■ 콘크리트 타설 ■

**1. CLEANING**

굴착 후 저면의 잔존토사 및 암을 완전 제거하여 계획된 굴착 단면 형성.



## 2. 심도확인 및 안정액 교체(Desanding)

굴착이 완료되면 GEL화된 TRENCH 내의 안정액을 치환한다.

장비에 장착된 Mud Pump 로 사분율 3%이내로 유지.

→ CON C의 소정의 강도 및 품질 유지.

→ SLIME 이 퇴적되어 굴착심도를 유지못함.

→ JOINT 부와 선단의 시공품질 저하.

## 3. 철근망 제작 및 건입

철근망 길이 대략 23.0M 를 기준

(C/R 작업한도 : 길이, 중량)

초과시 2 Piece 로 현장 조립

테두리보와 연결될 연결철근(embeded bar)의 정확한 레벨 설정이 철근망 제작시 주의할 점임.

## 4. Tremie Pipe 설치

수중 Con'c 타설로 Con'c 내부에 2M 이상 트레미관 관입



① 철근망 건입



② 트레미파이프 설치



③ Con'c 타설

■ CAP BEAM 설치

① 용도

- 순차적으로 타설된 선, 후행판넬 상부에서 연결 → 연속된 벽체 형성(구조적인 강성유지)
- 1층 Slab 의 하중을 연속벽체에 등분포 시킴.

② 계획고 조정

- 불규칙적인 타설면을 건축 계획고에 맞춰 정리

③ Chipping

- 상부 Slime(THK=300)을 제거하여 신,구 콘크리트의 부착력 증대



① 두부정리



② 청소 및 철근펴기



③ 철근조립 및 거푸집설치



④ Con'c 타설

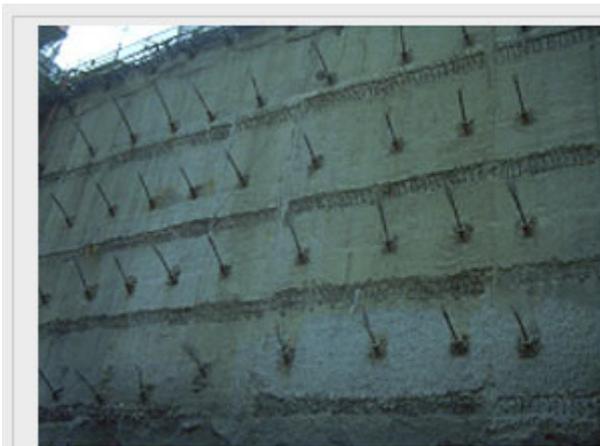
■ 슬라브 철근 제거 및 벽면정리, 연속벽 전경 ■



① 슬라브 연결철근 제거



② 벽면정리



③ 연속벽 전경 (Earth Anchor 현장)

■ 연속벽 장비 ■

[TRENCH CUTTER 특징]

- 기존의 토류공법에 비해 초심도(100m)까지 시공,
- 저진동, 저소음의 기계화 시공으로 도심지 밀집지역 및 기존 구조물 근접지역에서도

원활한 공사수행.

- 벽체의 강성이 크고 완벽한 차수성이 보장되므로 굴착에 따른 지층이완 및 지반침하 방지.
- 복잡하게 변화하는 지층여건에 적용가능하고 공사목적에 따라 단면형상을 다양하게 적용.
- 수직도가 양호하여 지하구조물의 영구벽체 또는 구조물의 기초로 이용가능.



① BC-30 CUTTER



② HANG GRAB

#### DESANDER 및 DECANTER

##### ① DESANDER

SC-2000 이나 B.C. Cutter 와 함께 지하연속벽 공사에 사용하는 Desending 장비이다. 굴착장비로 굴착시 굴착면(공벽)의 보호를 위해 안정액(Bentonite Slurry)을 사용, 사용한 안정액에 자갈, 모래, Bentonite 액이 융합된 액을 Desander 의 여러 Cyclon 원심분리 및 Screen 의 Mesh 와 진동을 통해 이물질(자갈, 모래)을 배출하고 Bentonite 액만 재사용시에 높은 효력을 발휘한다.



##### ② DECANTER

펌프 또는 중력에 의해 고속회전하는 로터로 원액이 공급되어, 원심력에 의해 로터의 내벽에 고체가 퇴적 된다. 로터와 같은 방향으로 그러나 차속을 가진 스크류 컨베이어에

의해 연속적으로 분리되어 배토되며 분리액은 반대방향으로 배출된다.

