

Slurry Wall 공법

[울산 올림푸스 백화점 시공사례를 중심으로]

한승근 / 대구 침산동 쌍용아파트 현장 대리

지 중 연속벽 공사(Slurry Wall)는 시추공 굴착시 시공성을 향상시키기 위하여 석유 시추공의 굴착시 안정액을 사용하는데 착안하여 개발된 공법이다. 1938년에 이탈리아에서 최초로 고안되어, 유럽에서 급속히 발달한 이 공법은 1950년부터 댐 공사에 본격적으로 실용화되기 시작하였다. 즉, 안정액을 사용하여 기초구조의 안정성을 향상시키면서, 주열공법이 가지고 있는 장점을 조합한 것으로 '안정액을 써서 기초구조 벽면의 붕괴를 방지하면서 지중에 Trench 굴착을 한 후, 그 내부에 철근 콘크리트 벽체를 연속하여 제작하는 공법'을 지칭한다.

공법의 주요특징

1. 공법 선정에 따른 기대효과

- ① 시공시 소음, 진동이 적다.
- ② 지수성이 높다.
- ③ 흙막이 벽으로서 감성이 높으므로 주변 지반의 침하 등 악영향이 적다.
- ④ 본 구조물로서의 이용이 가능하다.
- ⑤ 인접건물과의 근접시공이 가

능하다.

2. Slurry Wall 공법 선정시 유의할 점

- ① 정확한 지질조사에 의하여 지층이 점토, 실트, 모래, 자갈층, 암반층 등에 따라 굴착기계를 설정하여야 한다.
- ② 철근망 조립 및 굴착기계의 이동성과 폐액장비의 면적 등 작업환경 검토와 24시간 연속 공사로 2교대 공사를 수행함에 따른 입지조건, 민원, 교통, 진입로, 자재 하역장소 등이 검토되어야 한다.
- ③ 연속 Panel(폭 : 600~1500m, 길이:4~6m, 깊이:30~60m)의 개수가 최소 25개 이상 되어야 하며 작업면적은 1000평 이상은 되어야 한다.
- ④ 굴삭 방식에 따른 장비 선택시 지층이나 주변 환경에 따른 선택이 가능하다. 이 가운데, 버킷식 굴삭기계는 버킷삽으로 토사를 굴착하고, 버킷삽에 토사를 모아 지상으로 퍼내는 것으로 제일 간단한 구조이며 일반적으로 N치 40 이상의 지층에는 굴삭 능력이 저하된다. 그래서 경질지반의 굴착향상

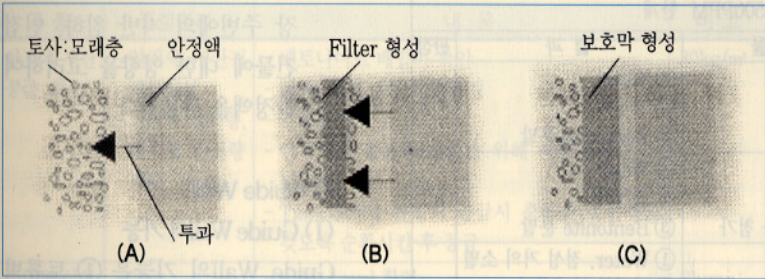
을 위해서 버킷삽을 크게 하거나 Cram Shell 유압을 개폐시켜 흙으로 파고드는 힘을 늘리는 것도 있다. 충격식 굴삭기는 중추를 상하 운동시키거나 방향전환시켜 지반을 파쇄하여 안정액의 순환에 따라 지상으로 배토하므로 경질지반의 굴삭에도 가능하다. 그러나 지층에서의 굴삭능력은 다른 기계에 비해 떨어진다. 회전식 Hydro Mill 굴착기는 굴착지반에 압착 회전시키고 지반을 굴삭하며, 안정액을 순환 배토하므로 자갈층 이외의 지반에는 비교적 굴삭능력이 높다.

3. 특기사항

1) 안정액

(1) 안정액의 특성

- ① 굴삭면을 안전하게 지지하기 위한 충분한 밀도 확보 유도
- ② 현장 Con'c 를 중력치환할 수 있게 하는 낮은 점성
- ③ Screen 등으로 굴삭 토사 분리할 수 있을 정도의 점성
- ④ 지반에의 지하수 유입과 안정액 유출 방지로 굴삭면에 보호막 제공



(그림 1) 안정액의 기능도

- ⑤ 흙 공수의 Gel화로 굴삭면의 흙 입자를 지탱하고 자연상태로 갖추도록 하는 능력
- ⑥ 장시간에 걸쳐 굴삭면을 유지하는 능력이 있으며, 특히 모래 지반에서의 안정액은 굴삭된 모래층에 안정액을 채우며, (그림 1)의 (A)에서 (B)순으로 모래틈 사이로 침입한다. 모래 입자를 통과할 때 Filter 효과로 인해 Bentonite 입자와 물로 분리되고 여과수는 빠져 나가고 Bentonite 입자만 모래 사이에 남아 굴삭면에 보호막을 형성하여 (C)의 상태로 된다.

(2) 안정액의 분류

- ① Bentonite 안정액 : Bentonite는 점토의 일종으로 물을 흡수하여 크게 팽창하는 성질이 있다. 좋은 Bentonite란 100cc의 물에 8g의 Bentonite를 혼합했을 때 침전되지 않는 안정액을 말하나, 품질이 나쁜 것은 100cc 물에 12g 이상 혼합하지 않으면 단시간에 Bentonite가 침전하여 안정액의 성질을 잃게 된다.
- ② C.M.C(카복시 메칠 세루로즈) 안정액 : C.M.C란 인공폴로사 필프를 화학적으로 처리하여 만

든 것으로 건조상태에서는 가루지만 물에 혼합하면 쉽게 녹아 투명하고 점성이 높은 액체가 되며 다음과 같은 특징이 있다.

- 혼합량은 물 1cc에 대하여 0.1~0.5g이다.
- 해수, Con'c 등으로부터 오염되지 않는다.
- 반복 사용이 가능하다.
- 붕괴 방지 작용은 Bentonite보다 나쁘다.
- 비중이 높은 안정액을 만들 수 없다

③ Bentonite + C.M.C 안정액 : 장점만을 갖게 만든 안정액으로 C.M.C 용액에 Bentonite 2~3%를 혼합한 것이다.

④ Polymer 안정액 : Polymer란 여러개의 중화합물로 구성된 화합물로 고중합체라고 한다. 조성은 Polymer와 각종 무기 규산 염류를 주 성분으로 Bentonite 대체품으로 사용하며 다음과 같은 특징이 있다.

- 0.5~1.5%의 낮은 농도로 필요한 점성 Mud Film을 형성
- 비중이 낮으므로 (1.01전후) 굴착 토사의 분류가 쉽고 Slime 침전이 빠르다.

- 시멘트 염류에 대한 오염이 적다.
- 용해 시간이 오래 걸리며, 단가가 높다.
- 해양오염 방지를 위한 일반적인 재료의 배합은 안정액 1m²당 Polymer 5kg.f, Bentonite (300#) 7kg.f 및 분산제 (다중인산염) 7kg.f

(3) 안정액 사용시 유의사항

① 첨가물을 혼합하여 사용하기보다는 Bentonite 안정액은 굴착 지반중에 응집이 일어나 Mud Film을 형성하여 물의 이동과 지반의 붕괴를 방지하는 역할을 한다.

② Bentonite의 적당한 농도를 유지할 것

③ 안정액의 성질 결정에 유의할 것

④ 안정액 관리에 철저를 기할 것

⑤ 안정액 관리항목

- 비중 측정 : 비중변화로써 굴삭공내의 이상 측정이 가능하다.
- 점성 측정 : 점성의 증가는 굴삭능률 저하에 직접적인 영향을 끼친다.
- 여과성 : 여과수량은 지반의 붕괴 방지 작용의 강도와 관계있다.
- 중력에 대한 안정액 : 굴착 종료후 Con'c 타설까지 안정액의 성질이 불변하여야 하며, 일정기간 방치시 물의 분리, 상하의 비중 차이 및 침전이 생긴다.
- 기타 : 일정 수위 유지가 중요하며, 수위 저하 발생시에는 굴착면 붕괴, 안정액 사용량 증대, 인근 우물, 하천, 해양 등에 오염을 발생시킨다. 따라서, 현

(표 1) 울산 올림픽스 백화점 현장의 안정액 사용 실험 결과

조건	<ul style="list-style-type: none"> Bentonite : Trugel 100 호주산 첨가제 : 피로인산소다, C.M.C(카복시 매질 새루로즈) 혼합용수 : 1. 상수도(일반용수) 2. 지하수(염분 12,000PPM), 500PPM 한계 			
일반 용수	실험상태 도해	실험 첨가물	결과	판정
	실험1		• Bentonite 50kg/m³	① Water ② 안정액 ③ Bentonite 분말
실험2		• Bentonite 50kg/m³ • 피로인산소다 첨가	① Water ② 안정액 ③ Bentonite 분말	○
지하수	실험1	• Bentonite 50kg/m³	① Water, 점성 거의 소멸 ② 완전한 분리침전 ③ Bentonite 분말	×
	실험2	• Bentonite 50kg/m³ • 피로인산소다 첨가	① Water, 점성 거의 소멸 ③ Bentonite 분말	
	실험3	• Bentonite 50kg/m³ • C.M.C 첨가	① 점성조제로 미세분말 침전 불능 ② 'Gel'화된 상태 ③ Bentonite 분말	△
	실험4	• Bentonite 50kg/m³ • 피로인산소다 : 125g • C.M.C : 125g	① 약간의 점성 존재 미립자 침전 불능 ② 'Gel'화된 상태 ③ Bentonite 분말	○

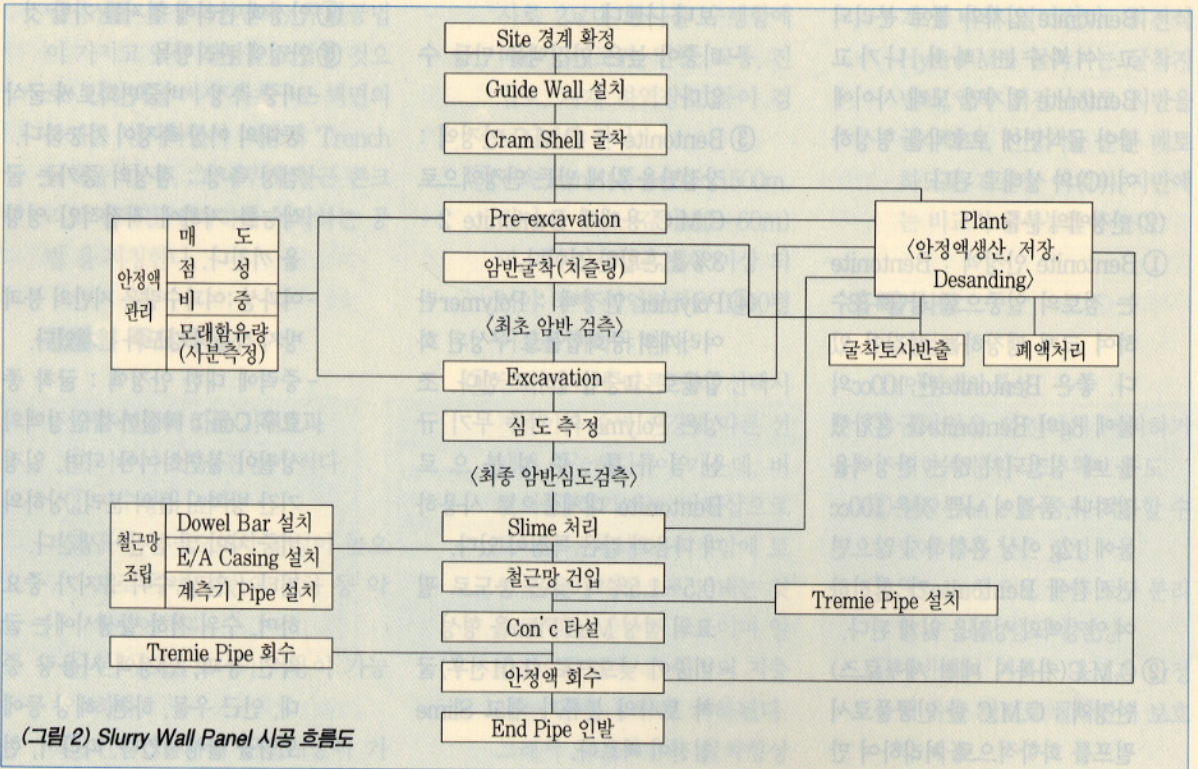
장 주변에의 지반 침하, 인접 건물에 대한 영향을 고려하여 안정액을 사용한다.

2) Guide Wall

(1) Guide Wall의 기능

Guide Wall의 기능은 ① 토류벽 기능으로 지표부분의 굴착시 붕괴 방지, 내외측의 토입방지 ② 기준면의 기능으로 평면 선형, 높이, 수직도, 여굴, 굴착심도 측정 기준면, 철근망 심도 확보, Panel 위치 확인 ③ 중량물 지지대 기능 : 굴착기계, 철조망, End-Stop-Pipe 설치, Con`c 타설대 설치 ④ 안정액 수위 유지 기능 ⑤ 안정액의 저수조 기능 ⑥ 인접구조물의 보강 역할을 수행하는 것으로써, 정

* 울산 올림픽스 백화점 현장의 지반 여건은 바다 매립지로서, 지하수는 염분이 많아 짠맛을 느낄 정도로여서 안정액 배합시 많은 연구가 필요하였다.



(그림 2) Slurry Wall Panel 시공 흐름도

(표 2) 공종별 품질관리 계획

공 종	품질관리	내 용	비 고
안정액 생산 공급, 회수	-안정액 생산전 배합시설 -안정액 생산량, 회수량, 손실량 -기타	-벤트나이트 배합비 확인 -비중, 점성, Ph, 사분측정 -기록유지 -안정액의 충분한 수화를 위해 사용 6시간 전 Mixing -Tank내에서 안정액 공급시 충분한 유통성을 갖도록 순환시킨 후 공급	30kg/m³
안내벽 설치	-측량 -철근배근 -거푸집	-선형, Level 확인 -철근 피복 5cm 정도 일정하게 유지 -설치상태 점검 -Slump Test, 강도 Test	Slump: 8cm, 강도 : 210kg/cm²
연속벽 굴착	-수직도, 여굴상태 -굴착 소요시간 -지층	-굴착공은 8m부터 시작하여 4m마다 수직도 및 여굴상태 측정 -m별, 지층별 굴착 소요시간 확인 및 기록 -변화지층 심도파악 및 기록 -지층별 시료 보존	
Desanding (Slime 처리)	- Air Lifting - Desanding - 기타	-굴착 완료후 1.5hr 이상 부유물 침전 -침전된 토사를 1차 Bucket으로 제거한 후, Lifting Pipe를 통해 잔여 침전토사를 Air Lifting 제거 -Cyclon과 Screen을 거치도록 가동 -Trench에 재투입 또는 Tank 저장시 시험 -Desanding후 최종심도 확인 -안정액 회수량, 공급량 파악 기록	
Inter Locking Pipe설치	-근입, 고정	-관은 천천히 근입하고, 굴착 지면에서 10~ 20cm 추가 근입되도록 지중에 의해 설치 -관의 배면에 공동이 발생되었을 때는 Con'c가 유출되지 않도록 채움재로 메꿈 -하부 근입 완료후 쇠기목으로 고정 -설치위치, 심도, 수직도 검측	-공벽붕괴 방지 -하부이동 방지
철근망 가공 조립	-가공 조립	-전반적 조립상태 (피복, 간격) 검측 조립 -연결부 철근, 부자재(스페사, 스티로폼, 구갑망) 부착위치 확인 -Tremie 설치 공간 확보	
철근망 근입	-근입	-한번 들어올린 철근망은 다시 내려놓을 수 없 으므로 사전 일기예보 청취(풍속) -근입 위치, 높이 확인	
Tremie 설치	-설치, 위치	-굴착지면에서 0.5~1.0m 심부에 설치 -Tremie 조합, 현장 계획 수립 -Tremie 설치, 심도 확인	
Con'c 타설	-레미콘 -Tremie Pipe -타설	-Slump 및 강도 Test -신속한 해체 및 재조립 -Tremie 하부 관말 위치 조정 -배차 계획 수립 -Con'c 상부 표면 형상 확인 -매차별 타설시간, 타설심도 확인 및 기록	Slump: 10~20cm 강도 : 240kg/cm²

확한 측량에 의한 시공과 정밀 시공
이 되어야 수직도 및 고품질을 기대
할 수 있다

(2) Guide Wall 설치시 유의사항

① Guide Wall은 인발기의 중량
및 인발하중과 철조망의 거치
를 위해 지반에 충분히 전달할
수 있도록 견고하게 시공하여
야 한다.

② Guide Wall 폭은 소요폭보다
50m/m 크게 시공한다.

③ 굴착기 및 인발중 변형 방지를
위해 버팀 현장 Con'c를 증력 치
환할 수 있게 하는 낮은 점성목
을 설치하거나 되메우기를 한다.

④ Guide Wall은 최소한도 지하수
위 보다 안정액의 수위를 1.0m
~1.5m 이상 높게 유지하도록
-설치한다.

⑤ 직각부분이나 Round 부분은 굴
착기의 형태 크기를 고려한다.

⑥ 설치된 안내벽 상부 표면에 각
Panel의 위치 및 단위 굴착 위
치를 정확하게 표기 관리한다.

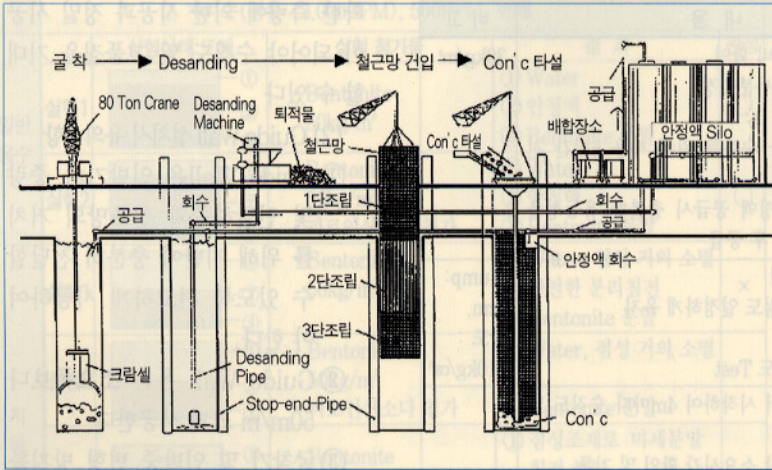
현장시공사례

공사개요

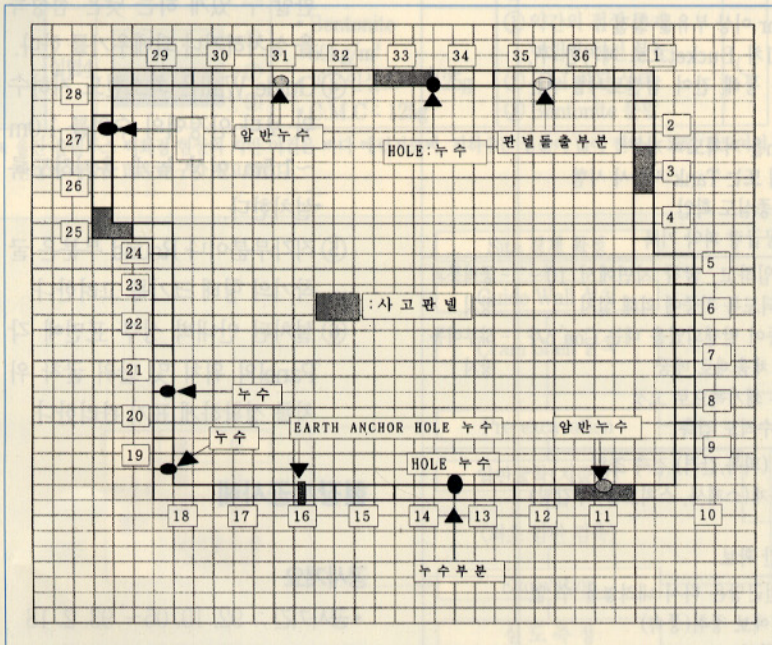
- 공사기간 : '92. 10. 05~'93. 2. 18
- Panel 수 및 폭 : 36개, 1200m/m
- Panel 길이 : 4.0~6.4m, 총:198m,
평균 : 5.5m
- 최측 암반 : 37.2m 평균 : 37.9m
- 최측 심도 : 39.4m 평균 : 38.6m
- 암반 근입 깊이 : 0.5 ~ 1.7m
평균 : 0.7m
- Loss 율 : 총 15.5%

맺음말

Slurry Wall 공법의 “전망” 보면 몇가지 해결의 과제를 안고 있다. 첫째 Bentonite 폐액의 처리, 둘째 연속벽 Element 간의 이음방법, 셋째 연속벽을 구조체로 채용할 때 설계 시공 기준의 확립, 넷째 시공품질의 향상 등 지속적인 Slurry Wall 기술개발이 이루어져야 하며 민원을 해소할 수 있는 방안도 강구되어야 한다. 특히, 폐액의 처리는 공사시 유·오수관의 막힘, 처리장소의 협소 등으로 인하여 점차 힘들어지고 있으며, 현장내에서 폐액을 수분과 고형분으로 분리시켜 통상의 배토와 같이 처리할 수 있도록 실용화되어 있으나 시설설치에 비용이 든다는 점과 처리능력의 의문 등 회의적인 시각이 많은 실정이다. 또한 시공품질 향상 대책의 하나로 연속적인 PC판을 이용하여 지중구축물 축조공법을 도입하여 시공성 향상과 현장 작업공정의 단순화를 추구하여야 하며, 기계장비의 개발로 효율화를 극대화 하여야 한다. 현장 사례를 살펴보면 염수가 섞인 지하수 사용시 Bentonite 배합방법과 갯벌에서의 굴착방법, 자갈층에서의 Earth Anchor 불가능, Panel Joint 처리 문제, 암반과 Con'c Panel과의 누수문제, Panel 굴착시 토사의 붕괴 방지, 충분한 Desanding 시간 고려 등 장비, 인원, 기술, 경력, 경험, 판단능력에 따라 현장 적용이 실패나 성공이 나가 판가를 난다고 보며, 이러한 기술력의 보급과 투자로 고품질 및 건설한 구조물을 구축해 나가면 이 공법의 전망은 밝다고 본다. **SS**



(그림 3) Slurry Wall 작업순서 개념도



(그림 4) Slurry Wall Panel내 하자 발생도

- Con'c 타설시간 : 7m³ (대)
타설시간 : 3~4분
- Panel 1개 당 타설시간 : 250m³ 기준
5~6시간
- 철근 투입량 : Panel당 평균36.6 Ton
총 : 1,317.8 Ton
- 작업기간 : Panel당 : 4~15일,
총 94일 (2대 굴착),
평균 5.2일 소요

(표 3) Slurry Wall 공사시 각종 하자 사례

No	PN. No	발생일시	내 용	조 치	비 고
1	B6층 PN.13+14 Joint	94.04.07	- Hole 발생 (0.7m×1.5m) - 누수로 지반침하 및 토공사 중지	- 완료: '94.04.14. - 신속한조치로 방수완료 - 그라우팅 실시	도해 참조
2	B6층 PN.16 Earth Anchor Hole	94.04.15	- E/A Hole 누수로 도로침하 등 토공사 중지	- 완료: '94.04.15. - E/A Hole 방수용 지수관에 비계 Pipe 용접후 포크레인으로 밀어넣은 후 용접 - 타 E/A Hole 체크 밸브 시공	
3	B6층 PN.27 우측 벽면	94.08.01	- B6층 2단 E/A 하단2m 지점에서 누수	- 완료: '94.08.16 - Hose로 짐수정에 유도 Pumping - J.S.P 공사로 차수완료 ('94.11.27)	
4	B7층 PN.33+34 Joint	94.09.26	- Hole 발생 (0.3m×1.0m) - 물 + 토사유입으로 지상 40Ton Crane 과 1 Ton Porter 매물 및 파손 - 지하장비 3대 매물 - B7가 슬라브 하단 토사로 매립	- 완료: '94.10.22 - J.S.P로 차수완료/4회시도 - 포터일부 인양, Crane 매물후 토공사 완료 - 인양완료/'95.03.18~4.26	
5	B7층 PN.20+21 Joint	94.11.07	- 토사굴착 중 장비기사에 의한 조기발견 - 토사가 4m정도 미굴착 되었으나 틈새로 누수가 됨	- 완료: '94.11.09 - 토사 되쌓기, 유입수 유도 - 장비반출 준비 - 지상층작업, 접근금지조치 - J.S.P로 차수 완료	
6	B7층 PN.18+19 Joint	94.11.14	- 토사굴착중 누수 발견	- 완료: '94.11.17 - 토사 되쌓기, 유입수 유도 - J.S.P로 차수 완료	
7	B7층 PN.11 암반+S/W Joint	94.10.20	- 토사굴착중 누수 발견	- 완료: '94.11.05 - 토사 되쌓기, 유입수 유도 - J.S.P로 차수 완료	
8	B7층 PN.31 암반+S/W Joint	94.09.29	- 토사굴착중 누수 발견	- 완료: '94.10.02 - 토사 되쌓기, 유입수 유도 - J.S.P로 차수 완료	
9	B4~Pit PN.35+36 Joint	94.01.25	- 토사굴착중 돌출 발견	- 완료 : 미조치 - 공기, 소요경비 과다소요 - 누수시 대책 없음 - 법적 주차대수는 주차장 매입으로 해결됨	

건축 용어 1

이상응결(False Setting) Cement Paste가 너무 일찍 응결 되는 현상. False Setting의 Cement를 콘크리트에 사용하면 Slump의 감소, 단위수량의 증가, 강도의 저하, 이상분리, 이상 Laitance, 조기 균열이 발생한다

Space Frame 강관으로 만들어진 Truss재(Pipe)를 강구 (Globe)로 중개하여 나사로 서로 접속, 조립하여 넓혀가는 입체 트러스이다.

Fast-Track 설계와 시공을 동시에 수행하는 방식 즉, 설계가 끝나면 시공에 착수하는 것이 아니고, 기본 설계가 어느 정도 되면 시공에 착수하는 것이다.

Slip-Bar 콘크리트 Slab의 팽창 줄눈에서 두 Slab를 동일 평면에 두는 것을 목적으로 Slab 중심선 방향으로 이동할 수 있도록 삽입한 철근을 말한다.

Waffle Form 하수대를 얹어 연속적으로 늘어놓은 형태의 특수 거푸집으로 격자보 판용 거푸집인데 보와 슬라브 공사가 동시에 이루어진다.

ALC(Autoclaved Light Weight Concrete) 시멘트에 규산질 분말을 섞어 만든 시멘트 몰탈에 알루미늄 분말을 가하여 다공질화 한 후에 Auto Clave 양생에 의해 경화시킨 것으로, 고품화, Pre-Fab화, 경량화에 부응한 재료이다.