

P.B.D 공법의 장비와 시공

Equipment and Construction in Paper Drain Method

김백영¹⁾, Baek-Young Kim, 최인걸²⁾, In-Gul Choi

¹⁾ 석정건설(주) 대표이사, President of Seok Jung Engr. & Const. Co.

²⁾ (주)유신코퍼레이션, 서울외곽순환고속도로감리단 토질 및 기초 책임감리원,

1. 개 요

Plastic Board Drain(이하 P.B.D라 한다.)공법 시공시 P.B.D 타입장비는 연약지반개량을 위하여 연직배수재인 P.B.D재를 지중에 설치 하기위한 장비로서 1967년경 연직 드레인 (VERTICAL DRAIN)공법이 개발된 이래 드레인 재료의 발달과 더불어 시공장비 또한 나 타입식에서 유압식을 사용하는등 많은 발전이 되어왔다. 따라서 P.B.D공법의 완벽한 시공을 위하여는 적절한 시공장비의 선정, 시방규정에 맞는 P.B.D재료 선택, 시공시 철저한 품질관리가 필요하다. 상기내용중 한가지 사항이라도 충분히 검토되지 않고 시공 할 경우 완벽한 연약지반의 개량효과를 기대할 수 없는 실정이다. 즉 P.B.D시공시 여러 가지 공중중 현장여건에 맞는 장비선정, 철저한 시공관리가 매우 중요한 역할을 하고 있으나 기술자들이 이 문제를 간과하는 실정이므로 본 논문에서는 P.B.D공사의 고품질화를 위하여 P.B.D시공시 사용되는 장비의 개발현황, 효율 및 능력, 장비 운영상의 문제점 및 해외 장비동향등에 대하여 기술하므로써 관계 실무진에게 관련내용을 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 장비의 발달 및 개발과정

1980년대의 공법도입 초창기에는 드레인보드 신단을 연약층에 직접 압입하여 설치하는 나타입방식이 주종을 이루었다. 타입장비의 구성은 잠목등에 소형레일을 부착하여 그 위에 10마력의 경운기 소형엔진이 탑재된 타입장비에 의하여 강철봉이 드레인보드를 연약층속으로 물고 들어가도록 한 구조로서 장비이동시 레일을 이용하여 이동하는등 대부분의 작업을 인력에 의존하였고 낮은 시공성으로 인하여 초연약층 및 15m이하의 저심도인 경우에만 제한적으로 적용되었다.

또한 드레인보드를 직접 연약층속에 관입하는 나타입방식을 사용하였고 열융착방식의 저품질의 드레인재 사용으로 인하여 지중에 설치도중 드레인재가 손상되고 절단되는등 품질관

리에 많은 문제가 있었으며 경험 및 기술이 부족하여 대부분의 작업이 작업자의 숙련도 및 기능에만 의존하였으며 품질관리에 필요한 심도계등의 기본적인 기본적인 계측 설비마저 없었기 때문에 시공시 품질관리가 제대로 이루어지지 않았었다.

그후 1990년대에 들어와서는 소형 크롤러 크레인의 리더에 강철봉을 부착하여 크레인의 Wire Drum의 회전력을 이용하여 강철봉을 지중에 관입하고 인발하는 방식이 일부 사용되는데 등 중장비가 동원되기 시작하였고, 발전기와 Vibro Hammer의 반입으로 이를 크롤러 크레인에 부착한 Mandrel 방식의 진동식 타입방법이 보급되기 시작하였다. 지금까지 인력에 의하여 제한적으로 적용되어 오던 P.B.D타입을 대형크레인 및 Vibro Hammer의 높은 관입력으로 시공성을 급속히 향상시키면서 P.B.D공법을 광범위하게 적용하였다.

Casing 파이프를 이용한 Mandrel Type의 보급은 타입되는 P.B.D의 손상을 최소화 하였으며 자재의 품질도 열융착식에서 Pocket Type으로 다양해지고 통수능력, 인장력등에서 많은 발전이 이루어졌다. 또한 이때부터 타입장비의 수직도관리 및 자동기록장치의 부착으로 심도 및 관입저항 측정등에 대한 품질관리가 이루어지기 시작 하였다.

현재 주로 사용되고 있는 진동식 타입장비는 장착된 Vibro Hammer의 큰 관입력으로 인하여 어느 지층에서나 시공이 가능하기 때문에 널리 적용되고 있으나 관입시 Casing파이프의 진동에 의해 지반이 교란된다는 단점이 있어 이를 보완하기 위하여 유압을 이용한 정적 관입방식의 장비가 개발되어 사용되고 있다. 현재까지 개발된 유압장비로서는 크게 유압실린더의 왕복운동으로 Casing Pipe를 관입하는 방식, 유압모터의 회전력을 Wire 또는 Chain으로 Casing Pipe에 전달하는 방식, 유압모터의 회전축에 마찰륜을 부착하여 마찰륜과 Casing Pipe의 마찰력으로 관입하는 방식으로 크게 나눌수 있다. 상기에서 장비의 발달 및 개발과정을 살펴본바와 같이 현장시공시 장비선택은 공사의 규모, 지질조건 또는 공사여건에 따라 선택하는 것이 중요하다.

3. 국내 장비 사용현황

가. 장비형식

현재 국내외에서 가동중인 PBD장비는 Vibro Hammer의 한 향타식 타입장비와 유압을 이용한 무진동 타입장비로 크게 나눌수가 있으며 사용장비의 규모 및 성능의 비교 검토내용은 다음과 같다. 표에서 나타낸 바와같이 각장비의 장단점이 있으므로 장비선정시 현장여건과 지반조건, 시공조건등에 따라서 주의깊게 고려해야 효율적인 시공이 이루어질 수있다.

문 제 점	항 타 식	유 압 식
1. 지중에 전석층이나 쇄사층 등의 장애물이 있을시 (h:설계타심심도)	타설기의 타입력이 크고 casing의 강성이 높기(유압식의 6배) 때문에 장애물을 들고 내려가므로 수직 타설이 용이하다	타설기의 타입력이 작아 시공이 곤 란하며(포크레인어플림)들고 내려가 는 경우라도 casing이 지중 장애물 에 접촉시 휘어(사항타)내려가는 경 우가 빈번하며 때때로 casing의 인 발이 안될때도 있다
2. 시공성이나 주행성에서 모두 양호한 현장내에서 시공시	항타식이라 타설이 사전 지반교란 이 유압식에 비해 다소 큰 편이며 장비의 1set당 구성요소가 많아 월 간 장비 가동율이 낮고 시공속도 도 다소 처지는 경향이 있어 월간 시공량이 유압식에 비해 떨어진다	유압식이라 casing의 단면적이 작아 사전지반교란이 거의 없으며 항타 식에 비해 시공속도가 빠르며 월간 장비 가동율이 항타식에 비해 앞서 시공 능률이 좋다
3. 표토층의 허용 지지력이 현저히 작아 시공장비의 진입이 곤란할시	보강판(steel plate)을 사용하여 장 비의 접지압을 극소화시킨 후 진 입이 가능하다.	시공장비가 보강판을 자체 운반할 수 없으므로 SAND MAT나 저면 MAT의 추가적인 보강이 필요하다
4. 시공중 casing 선단 anchor의 이탈내지는 지중의 파임압밀 니토층 의 존재로 인하여 casing내부가 니토로 막힐시	casing의 내부 단면적이 비교적 넓고 햄머의 떨림효과로 인하여 casing의 인발시 casing내부의 니토가 자동으로 흘러 내려오므로 시공상 애로점이 많다	-casing의 내부 단면적이 상당히 좁고, 햄머의 떨림효과도 기대할 수 없으므로 casing인발시 니토가 흘러내려오지 않고 casing 내부에 서 PDB가 파단되거나 딸려올라 오는 경우가 많다 -casing에 딸려 올라온 니토가 casing과 casing guide사이에서 끼여 casing의 작동을 막는 경우가 빈번하다.
5. 장비의 조립해체 및 이동	-장비 1대당 구성요서가 많으므로 조립 해체 및 이동, 운반에 시간과 경비가 유압식에 비해 상대적으로 많이 소요된다. -장비의 현장내 이동시 지상 장애물의 제약을 많이 받으며 원거리 이동시에는 기동성이 떨어진다.	-장비의 구성요소가 간단하므로 조립해체 및 이동, 운반이 항타식 에 비해 용이하며 경비절감 효과 를 얻을수 있다. -장비의 현장내 이동시 지상 장애 물의 제약을 상대적으로 적게 받 으며 원거리 이동시에도 기동성 이 좋다.
6. 운영 경비	운영경비가 유압식에 비해 다소 비싸다.	운영경비가 항타식에 비해 다소 떨어진다.
7. 구성장비	1) Crawler Crane 2) Vibro Hammer 3) Generator 4) Leader 5)Casing	1) Crawler 굴삭기 2) 유압 Leader 3) Casing

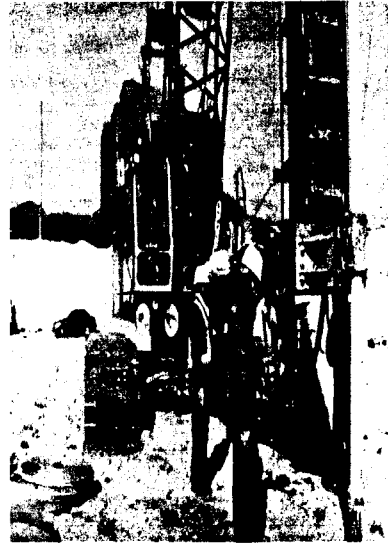
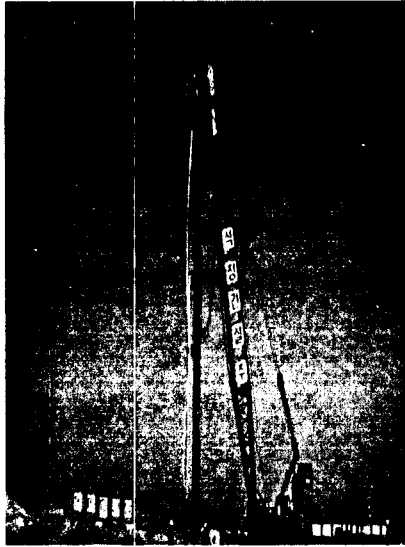


그림 1. 항타식 장비

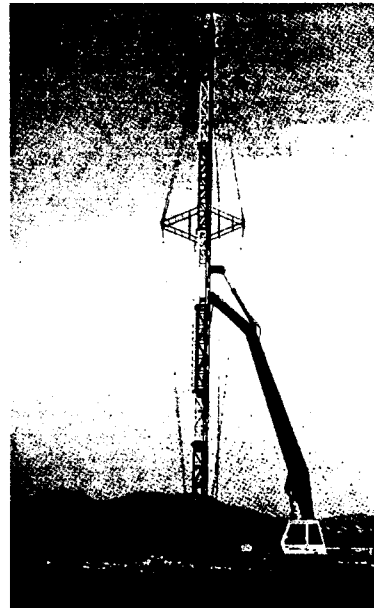
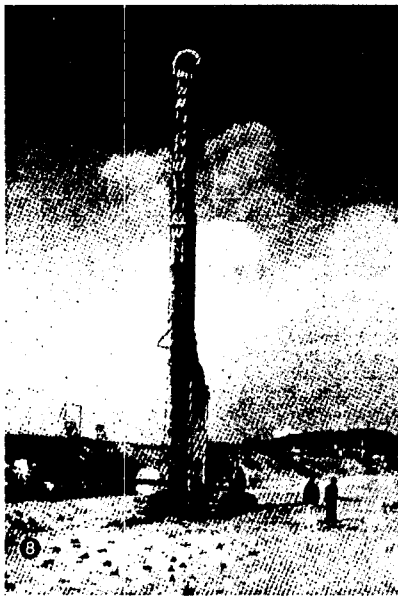


그림 2. 유압식 장비

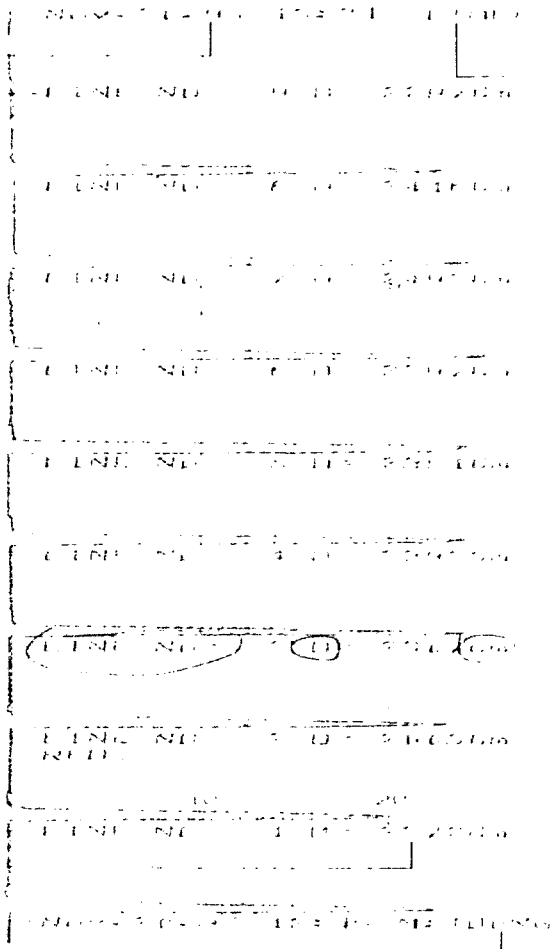
나.자동기록장치

타입심도 및 시간기록은 기본이며 타입심도나 타입압력이 설정치에 도달하면 경보가 발생토록 되어있는 장치도있어 시공기록 관리나 N-치에따른 시공심도 관리가 용이하도록 되어있다.



3. DPD 100AP-K (P.D.B 공)

타입심도
타입압력
공변심도

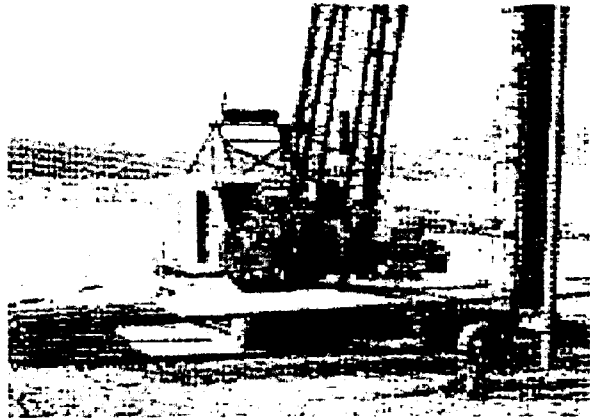


타입심도
타입압력
시공억제원

다. 장비 접지압 감소대책

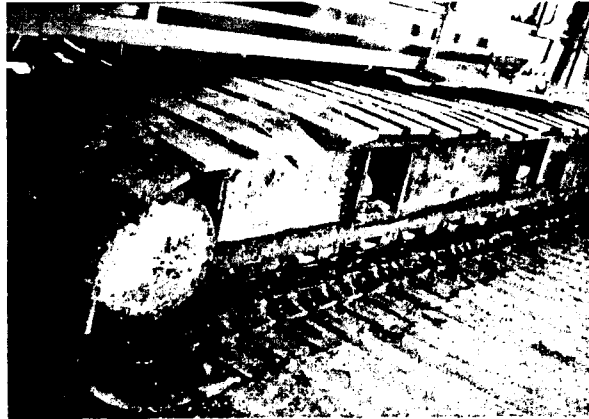
1) 접지압 보강철판

일정규격의 접지철판을 깔면서
작업을 진행하여 접지면적을 늘린다



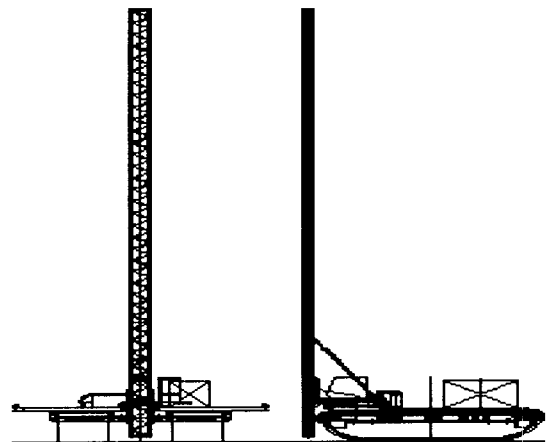
2) 트랙확폭

장비의 트랙에 보강철판을 부착하여
트랙의 폭을 넓힌다.



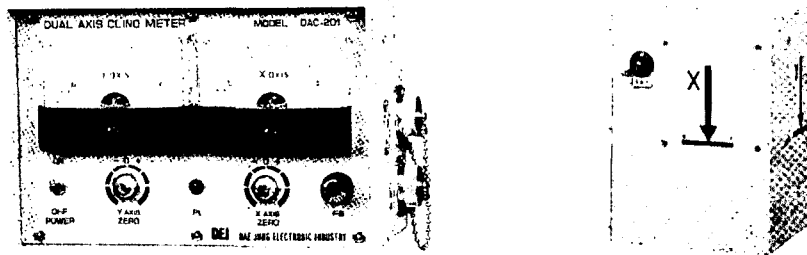
3) 폰툰형 트랙장비

초습지용 폰툰형 트랙으로 제작하여
주행하면 접지압을 1.5Ton/m²까지 낮출
수가 있다.



라. 수직도 유지

경사계(Tilt Meter)의 Sensor를 Leader에 취부하고 Read Out을 운전석에 설치하면 Leader가 설정각도 이상 기울면 자동으로 경보음이 울리게 되어있으며, 이를 자동기록장치에 연결하면 각 시공 개개의 타설기록에 시공시의 경사를 기입할수있기 때문에 품질관리가 용이하다.



경사계 Lead out
Sensor

4. 시공장비 선정시 검토 및 주의 사항

시공장비에 요구되는 기능이나 선정시 검토사항을 살펴보면 다음과 같다.

첫째로 시공 대상지반에 접지압 검토는 거의 필수적으로 수행하여야 하며 그 이유는 시공장비의 규모가 시공 대상지역에서 운행 할수 없을 정도로 과대하여 시공중 장비전도등의 안전사고 우려가 높으며, 원래의 지반을 파손시키거나 교란시켜서는 안되기 때문이다.

또한 시공할 지역의 지층상황에 대한 사전조사에 따라 설치시 필요한 관입력을 산정하여야 하며 이것은 다양한 지층의 분포와 지질조사가 비교적 넓은지역에 몇 개의 Sampling조사만으로는 어려움이 있으나 최대와 최저치에 대한 판단근거로 활용할 수 있다. 현장조사는 CPT(Cone Penetration Test) 및 SPT(Standard Penetration Test)를 통하여 조사된 자료를 참고하며 CPT 및 SPT는 실제 지중에 Cone Type의 Sensor를 관입하여 Cone Resistance로써 지반의 강도를 측정하는 바 이를 압입력으로 환산해 조치 하여야 한다.

둘째로 장비의 규모를 어느정도로 할것인가를 결정하여야 한다. 이는 설계 대상장비가 어떠한 지질조건에 얼마정도의 시공깊이를 시공 할 것인가를 고려 하여야 적정한 장비의 규모를 선정할 수있기 때문이다. 만약에 시공깊이를 통상적으로 중소규모(20~30m)로 하거나 아주 대심도(45m이상)로 결정 할 경우에 대한 장비구성에 있어서 많은 차이가 있기 때문이다..

셋째로 단위시간당 장비의 작업속도를 얼마로 할것인가를 판단 하여야 한다. 장비의 시공속도는 작업능력에 있어서 아주 중요하지만 실제시공에 있어서도 연약한 지반이거나 또는 견고한 지층을 포함한 연약지반일 경우 장비 선택의 고려에 있어서 신중하여야 할 사항이다. 그것은 무조건 빠른속도로 할 경우에 생산성은 증가하겠지만 품질저하가 우려되므로 신중을 기해야 한다.

전항에 열거된 사항들을 종합하여 판단한 후에도 현장에서 실제 적용시에는 아래와 같은 내용을 중점적으로 검토한후 장비선정을 하여야 한다.

1)대상지반의 토질조건 2)장비형식 3)시공심도 4)시공속도 5)Casing 및 Shoe의 형상 6)계측 장비유무 7)현장주변의 가옥 및 시설물현황등

5. 장비운영상의 문제점

PBD의 타설시 멘드렐 관입에 따른 교란과 증기 주행에 따른 지표면 교란이 발생하므로 이 영향을 최소화하는 조치가 필요하다. 또한, 초연약지반이거나 지표면교란이 심하여 연화된 경우 PBD 타설시 타설장비가 전도하는 안전사고가 발생할 우려가 있으므로 이 점에 유의할 필요가 있으며, PBD가 타설중에 손상을 입지 않게 하고, 정확한 간격으로 소정의 깊이까지 타설이 되게하는 것이 중요하다.

PBD를 타설할 경우 멘드렐(케이싱)을 이용하는 방법과 PBD 자체만 타설하는 나타입의 2종류가 있으나, 타설시 PED재의 표면 손상을 방지하고 연직으로 정확하게 타설하기 위해서는 나타입 방법은 가급적 지양하고 멘드렐을 이용하는 타설법이 유리하다. 멘드렐을 이용하여 PBD를 타설하는 경우 타설시 PBD의 손상방지, PBD의 필터에 세립자 끼임 방지 등의 장점이 있으나 설비가 대형화되고 중량이 무거워 전도 가능성이 높은 단점도 있다. 대부분의 타설장비는 형태가 유사하며, PBD재의 기능에 직접적인 영향을 미치므로 현장에서 고려해야 할 타설장비에 관한 내용은 다음과 같다.

Mandrel은 드레인재 타설시 PBD재를 보호하고, 관입시 흙을 이동시켜 배수재의 공간을 확보하는 중요한 역할을 한다. 멘드렐 관입시 흙의 이동은 교란을 유발하며 수평압밀을 방해하는 요인을 유발한다. 대부분의 멘드렐 단면적은 176~225cm²의 사각형 또는 원형이나 그 크기가 작아질수록 지반교란영역(smear zone)을 줄일 수 있다. 일본에서는 최근 멘드렐의 단면적을 75cm²로 조정하였으며, 우리나라에서도 현장여건이 허락하는 한 멘드렐의 단면적을 줄이는것이 바람직할 것으로 판단된다.

Mandrel의 단면적을 작게 할 경우 견고한 지층을 관통하거나 멘드렐의 수직도를 유지하기 위해 단단한 재질로 만들 필요가 있고, 형태는 일반적으로 사각형 혹은 마름모꼴이 강성이 크므로 유리하다.

또한, PBD의 타입방법은 정적(압입식) 또는 동적(타격식·진동식)으로 멘드렐을 이용하여 압밀대상토에 타설한다. 정적으로는 Rig의 무게와 멘드렐 상부의 사하중과 멘드렐의 자중을 이용한다. 동적으로는 말뚝이나 sheet pile 타설시의 장비와 유사한 시공장비를 이용한다. 필요한 관통력은 유사한 토질의 강도를 참고하여 시공자가 결정하여야 한다. 동적(항타식)을 이용할 경우 동력에 의해 흙이 교란되어 투수계수가 감소되므로 가능한 정적으로 타입하여 smear zone을 줄일 수 있도록 노력하여야 한다. 대형 project 의 경우는 정적, 동적 양 방법 모두 장단점을 내포하므로 시험시공을 실시하여 지반조건에 맞는 타입장비를 선정하여야 한다.

타입장비 무게는 기초지반의 지지력, 샌드매트의 두께 등을 고려하여 타설장비의 총 무게를 제한시켜야 한다. 그러나, 대심도의 PBD 타설 등 일정 중량이상을 요구하는 경우는 접지압을 줄일 수 있도록 레도의 폭 및 길이를 크게 조정하거나, 매립토층의 두께증가, 표층 고화처리법 등을 시공성, 경제성 및 안정성 등을 고려하여 종합적으로 비교 검토한

후에 시공하여야 한다.

PBD재 타설후 멘드렐 인발시 PBD가 끌려 올라움을 방지하기 위해서 설치하는 앵커 플레이트는 그림 에서 제시한 형상으로 제작하는 것이 유리하다. 앵커 플레이트는 멘드렐 관 입시에 멘드렐 관입속도와 지반토와의 마찰에 의해 위로 오목한 형태로 충분히 휘어지고 또한 PBD의 선단에 앵커 플레이트 부착시에는 관입도중 마찰을 방지하기 위하여 충분히 안전하게 하고, 그림에 나타낸 바와 같이 앵커 플레이트 형상에 PBD 선단이 20cm의 여유를 가지게 부착하여 PBD의 선단을 소정의 깊이에 유지시킬 수 있게 하여야 한다.

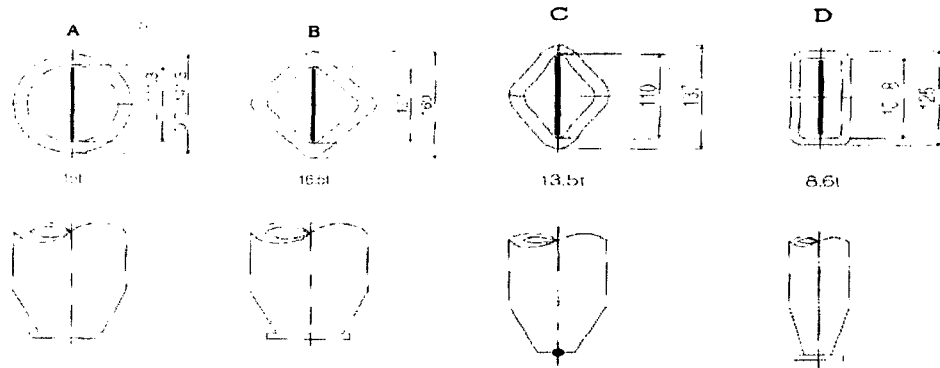


그림3. 케이싱의 형상

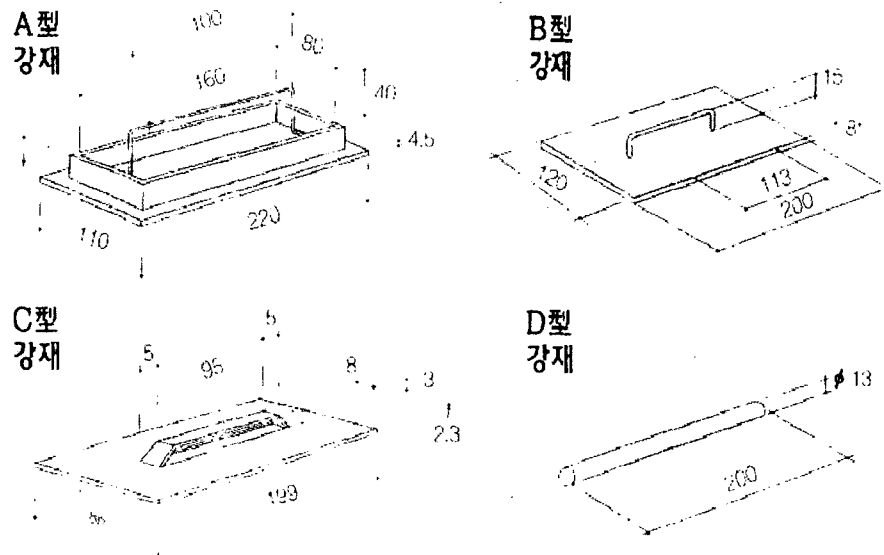


그림4. 앵커플레이트

6. P.B.D 시공

6.1 시공순서

PBD 시공 순서는 일반적으로 ① 앵커플레이트 부착 ② 멘드렐 관입 ③ 자동계측기에 의해 소정의 심도까지 P.B.D 타설 후 멘드렐인발 ④ PBD상단에 30cm의 여유를 두고 PBD절단 ⑤ 다음 타설위치로 이동한다.

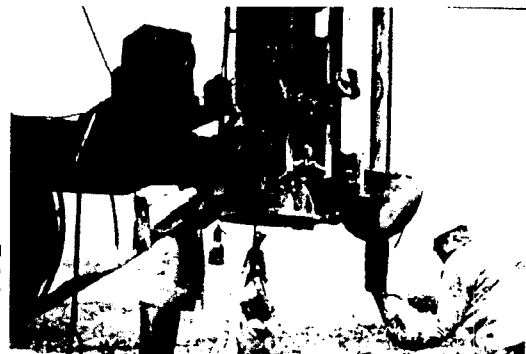
6.2 시공시 유의사항

PBD 시공시 다음과 같은 사항에 유의하여야 한다.

- ① PBD 타설시 지반의 교란을 적게 유발하기 위하여 정적(압입식) Mandrel 방식의 타입기로 시공하는 것이 유리하며, PBD 타설장이 길 경우 연직 관입이 어려우므로 유의하여야 한다.
- ② 표층이 견고, 동결 및 매립층에 호박돌 등이 혼재하여 PBD타입이 곤란한 경우는 오거보링(auger boring)을 실시한 후 타입하는 것이 유리하다.
- ③ 시공자는 사전에 PBD타입 한계깊이 또는 타입한계 지반강도를 설정하여 감독관의 확인을 받아야 한다.
- ④ PBD 시공상태를 확인할 수 있도록 시공전에 타입 위치도를 작성하고 변조가 불가능한 타입자동기록기를 장치하여 구역별, 번호별로 타입일시, 타입깊이 타입량을 기록지에 기록하여 감독관의 확인을 받아서 제출하여야 하고 만약 계획된 깊이와 다른 결과가 발생하면 시공을 즉시 중지하고 감독에게 통보하여야 한다. 타입시 Operator는 타입심도를 조작할 수 있으므로 감독관은 시공전에 기록장치를 잠그고 시공 완료후 장치를 인수받아야 한다.



(a) PBD 절단



(b) 앵커플레이트 부착



(c) 앙카프레이트 부착



(d) 타입준비 완료

7. 해외 장비동향

해외에서의 PBD 타입작업은 싱가포르, 파키스탄, 베트남등 동남아시아의 일부국가에서 활발하게 공사가 진행중이며 국내업체에서도 현지업체와 합작법인 설립등의 형태로 공사에 참여하고 있다. 현재 해외에서 사용중인장비는 시공심도가 50m에 이르는등 비교적 깊은심도의 시공으로 인하여 장비가 대형화 되어있고 또한 대심도 시공에 정적관입이 가능한 유압식 장비가 많이 보급되었다. 현재 사용중인 유압식 장비의 형태는 크게 3가지로 볼수있으며, 첫째 케이싱을 마찰윤의 회전에 의해 관입하는 방식과 유압실린더 또는 유압모타에 Wire를 연결하여 케이싱을 관입하는 방식, 유압모타의 회전력을 Chain으로 케이싱 파이프에 전달하여 관입하는 방식이 쓰이고 있으며 각장비는 표에서 보는바와같은 장단점을 가지고 있다. 케이싱 관입도중 견고한층을 만났을 때 관입을 원활하게 하기위한 보조압입 장치가 개발되어 실용화 되었고, 시공중 Drain 재가 Mandrel Casing 과 함께 따라 올라오는 Rebound 량을 정확하게 측정하고 Drain재가 설치된 실 깊이를 알수있도록 Casing 및 Drain 재 이송로에 각각의 회전식 엔코더를 부착하여 정밀시공이 가능하도록 하고 있다.

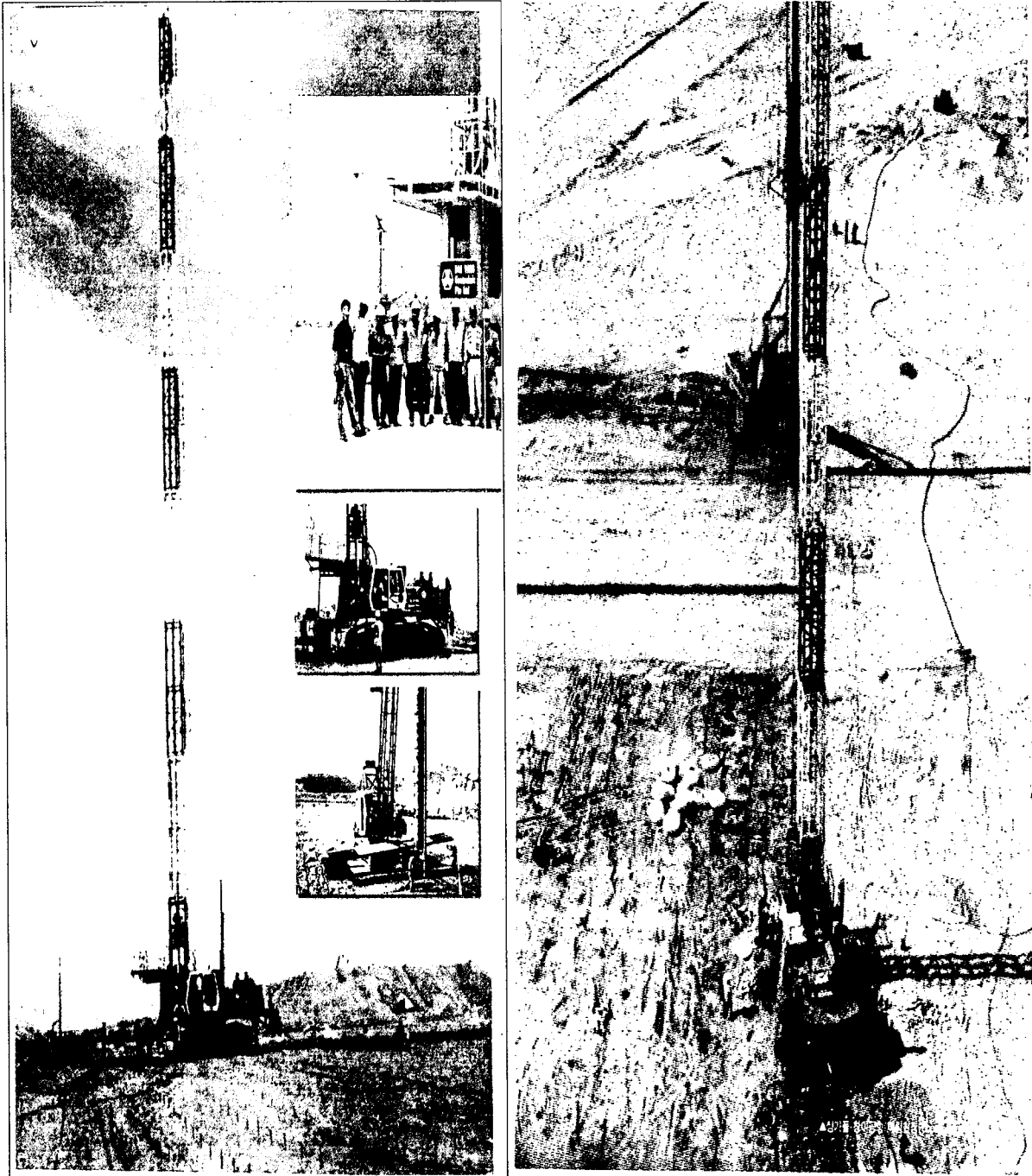
현재 일본에서는 해상 PBD 작업도 활발하게 추진되고 있는데 현재 바지선에 간이식으로 장착된 많은 드레인보드 타설선이 있으며, 전용 해상SCPTjs과 유사한 해상전용 PBD 선이 작업중인바 국내에서의 해상작업도 관심을 가져야 할 것이다.

표1 압입방식별 특징비교표

구분	A회사		B회사		C회사		비고
	O115	O170	C30	C45	B30	B40	
기본장비	S330	S450	RH30D	RH40D	H700	H1100	
운전중량	35on	50ton	75ton	110ton	75ton	120ton	
최대심도	35m	52m	32m	44.5m	38m	46m	
시공속도	90m/min	65m/rnin	120	140	100	100	
1일시공량	6,000m	5,500m	8,000m	10,000m	8,000m	8,000m	8hr기준
압입방식	마찰자 압입식		와이어 권입식		체인구동식		
장점	<ul style="list-style-type: none"> -중량이 가볍다 -연약지반 주행능력이 탁월하다. -압입파워가 강하다 		<ul style="list-style-type: none"> -시공속도가 빠르다 -정비성이 좋다 -마모품교체가 용이하다 -타용도 전용가능 -지원장비가 불필요하다 		<ul style="list-style-type: none"> -시공속도가 빠르다 -타용도 전용이 가능하다 		
단점	<ul style="list-style-type: none"> -교체정비가 용이하지 못하다 -시공속도가 늦다 -타작업으로 대체가 불가능하다 -조립시 장비지원 		<ul style="list-style-type: none"> -장비중량이 과대하다 		<ul style="list-style-type: none"> -장비중량이 과대하다 -정비소요가 많다 -Mast가 무겁다 -조립시 지원장비가 필요하다 		

7.1 마찰자 압입방식 장비

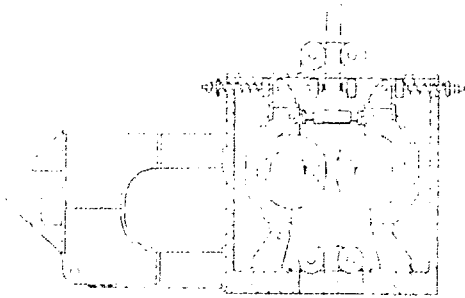
가. 시공중인 장비



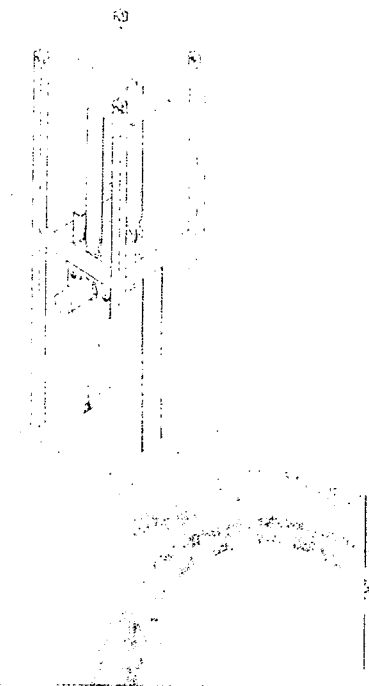
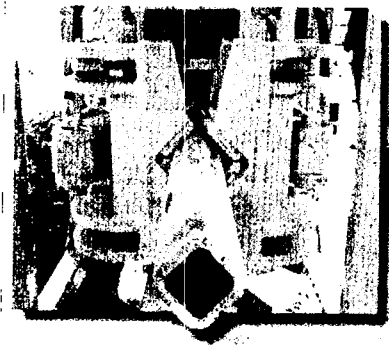
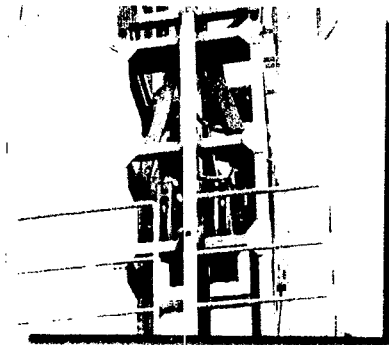
나. 마찰륜 및 보조압입장치 원리 및 구조도



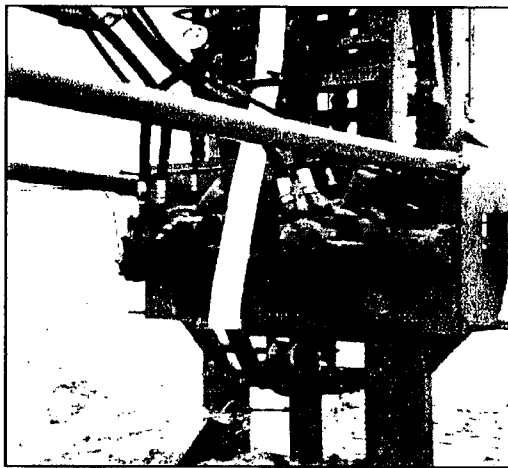
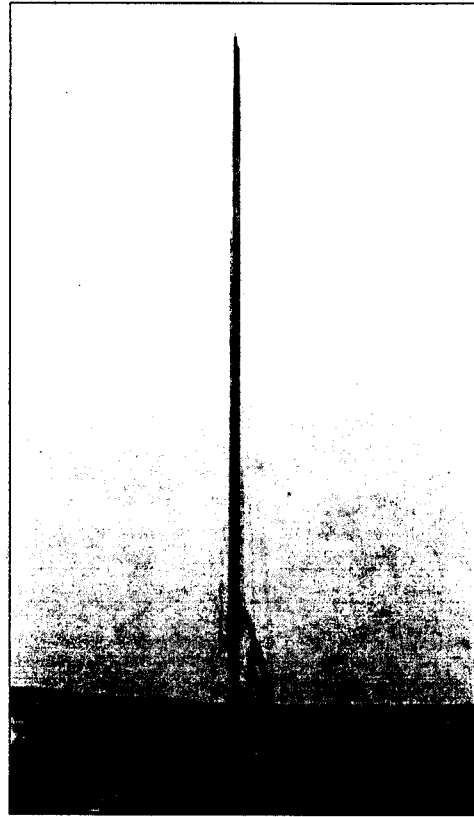
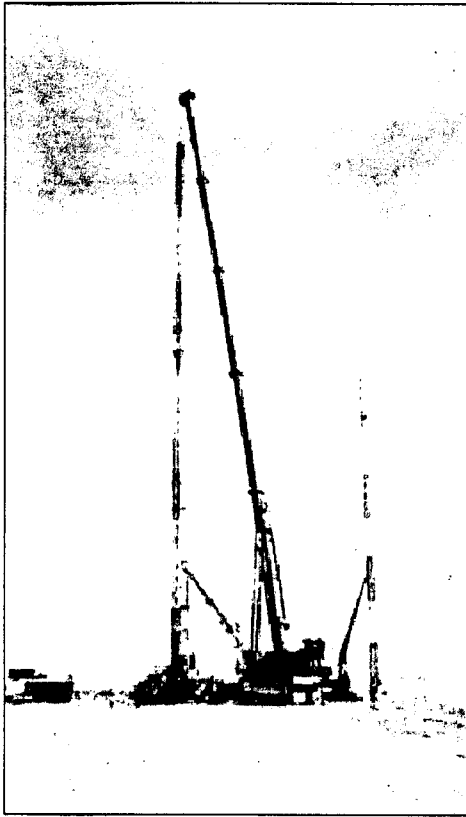
MAIN DRIVER



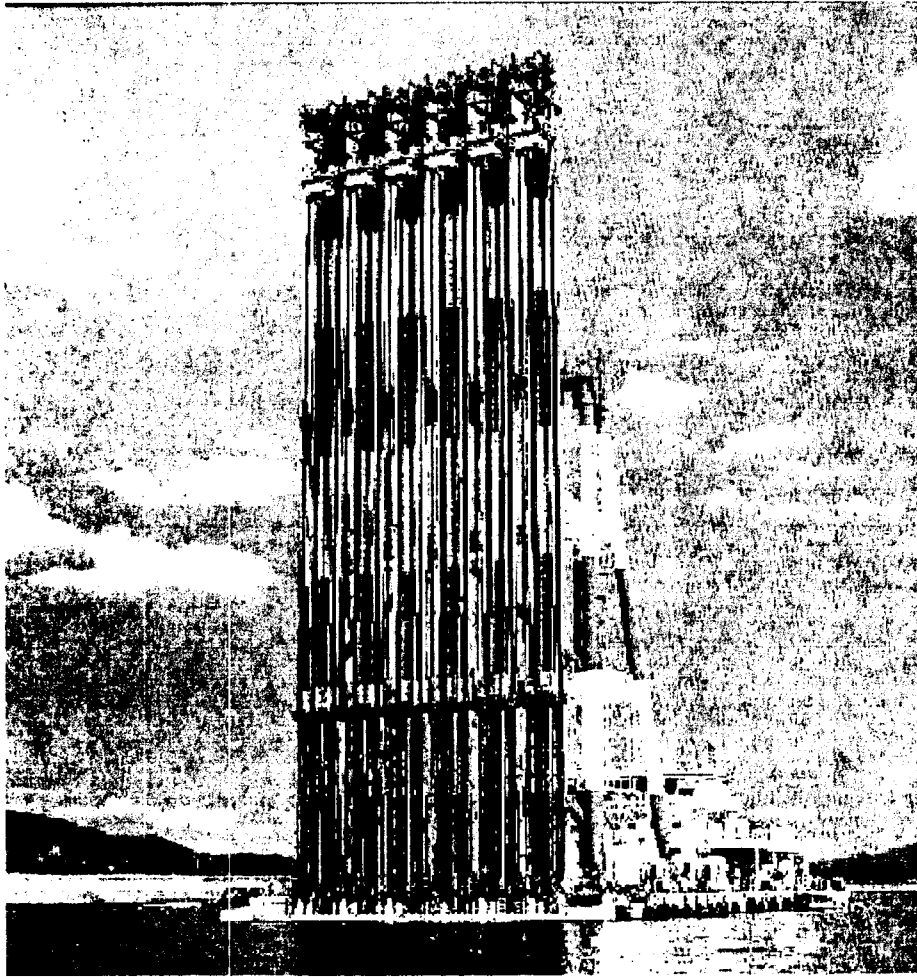
SUB INSTALLATION



7.2 체인구동식 장비



7.3 해상 PBD 전용선



8. 결론

1) 설계시 정한 N값대로 타입을 하여야 하나 국내의 기존장비는 타설시 나타나는 압력이나 전류량이 일정심도에서 큰 값만 나타나는등 심도결정시 N값과 압력또는 전류량과의 관계를 일관성있게 관리하기가 어려운 실정이므로 타입시 N값과 상관성이 기록장치의 개발이 필요하다.

2) 국내에서 사용되고 있는 장비는 대부분 시방규정에 맞는 연직도(보통 2도) 관리를 리더에 장착된 추또는 각도계 또는 기포로 관리하고 있으나 이 경우 운전자는 물론 현장 감독관도 확인하기 어려운 어려운 실정이므로 자동 경사측정장치를 부착하여 연직도를 관리할뿐만 아니라 장비의 안전을 위한 전도 경보 System으로도 활용하여야 할 것이다.

3) 작업시 Casing Pipe 내의 PDB재료가 Casing과 함께 따라올라오는 것을 감지하기 위한 PBD의 통과길이를 자동기록장치에 함께기록하므로서 Casing이 관입된 심도와 PBD가 일치하도록 관리할 수 있는 장치를 부착하여 품질관리를 철저히 해야하겠다.

4) 강성이 지반강도에 비하여 약할 경우 휘어지게 되어 배수재의 연직도 관리가 어려운 실정이다. 따라서 Casing의 선택은 연약지반 연경도(N치)의 심도 및 시공능률에 따라 적절한 원형, 마름모형, 직사각형 모양등의 재료를 선택하여야 하며 강성이 약하여 Casing이 휘어지지 않도록 해야할 것이다.

5) PBD 타입을 위한 지반준비시 부족되는 접지압의 확보를 위하여 과도한 보강섬유포설, Sand Mat 두께의 증가 또는 추가적인 산토포설등으로 지반지지력 자체를 높이는 경우가 많은데 이런 경우에는 토공량증가 또는 타입 PBD의 길이가 늘어나는등 많은 추가비용이 소요되기 때문에 폰툰형 타입장비, 또는 접지판사용등 장비접지압을 축소시키는 방안을 우선적으로 고려해야한다.

6) 해상 매립공사에 수반되는 PBD 시공은 시공심도, 매립토에 의한 배수기간, 시공장비접지압 확보문제 등으로 인한 기술적 어려움 및 시공비 상승 등의 용인이 있으므로 매립전 해상시공하는 문제를 심도있게 검토해야 할 것이다.

참고문헌

1. 박 영목(1998), "토목섬유 수직배수공의 설계 및 시공" 지반공학시리즈 9, 한국지반공학회, pp. 362~411.