

매립토층의 특수 말뚝기초 시공 예

申 基 卓*
金 周 範**

1. 개 요

광양단 개발계획의 일환으로 전라남도 광양군 태금면 태인리 주변 공유 수면 일부를 매립하여 대단위 광양제철소 연관 공업단지가 조성된 바 있다.

광양 연관공업단지는 건설 기술 수준 향상을 도모하고, 합리적이고, 경제적인 단지조성과 공단 기반시설의 건설을 기하고, 연관산업의 적정한 유치를 계획, 설계하기 위해 조성되었다.

광양 제철소에서 부수적으로 생산되는 콜타르와 조경유를 분류 및 정제하여 석탄 화학제품을 생산하고, 이를 광양 제철소로 공급 또는, 해외로 수출하기 위해 석탄 화학공장 건설을 계획하였다.

본 석탄 화학공장 부지는 기초공사비 절감을 위해 기반암이 노출된 아기섬을 중심으로 약 6만평을 선정하였으며, 공장 신축 예정부지에 대해 지표지질 조사, 시추조사, 현장시험, 실내시험 등의 결과를 종합 분석하여 기반암의 분포현황, 물리적 특성, 지하수의 발달 상태 등을 파악하여 말뚝 기초를 설계 및 시공하였는 바 이에 대하여 기술하고자 한다.

말뚝 기초는 다른 기초와 달라 대단히 많은 종류가 있고, 설계와 시공상의 특징도 상당히 다르므로, 말뚝 종류의 선정에 세심한 주의가 필요하다. 특히, 타입 말뚝의 시공시 진동, 소음, 중간 층에 상당한 강도가 있는 사층, 자갈층, 호박돌 층의 경우, 뽑기의 불능, 현장 타설 말뚝 중간 층에 전석 등이 있는 경우, 굴착의 여부, 유동 지하수, 심초에 대한 지하수 처리의 난이 등은 이러한 공법의 적부를 결정하는 중대한 요인이 되므로 특히 주의할 필요가 있다.

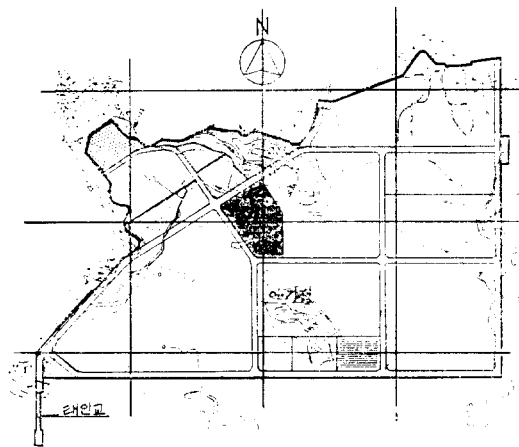


Fig. 1. 위치 평면도

* (株) 正友엔지니어링 次長

** (株) 正友엔지니어링 常務理事

2. 기초 지반

기초 지반의 표고는 DL+5.5 m이며 부지 중앙 부분인 아기섬은 절토되고, 여타 부분은 섬진강 하구에 풍부하게 분포한 유사 퇴적토를 준설하여 매립한 부지이다.

지표의 지질은 중생대 백악기의 퇴적암류이며 이를 인위적으로 매립하였고, 그 조성은 전석, 모래, 점토 등으로 이루어져 있다.

퇴적 암류의 구성 암석은 자주색 혈암, 암회색 내지 암녹색의 이암, 사암이며, 이들은 서로 호층을 이루거나, 분급 층리를 이루면서 분포하고 있다.

주향은 대체로 N80°E~N80°W 방향으로 발달되어 있으며 40~60°의 절리가 우세하다.

시추조사 결과 토층의 상태는 상부로부터 매립층, 해성 퇴적층 기반암의 순서로 분포되어 있다.

1) 매립층

매립층은 대부분 인근지역에 분포된 적색 혈암, 사암 등의 전석층 및 모래층으로 대부분되며 평균 약 10m 두께의 분포를 보이고 있다. 전석층은 주로 아기섬 주위에 분포되어 있으며, 이는 부지 조성 작업시 아기섬을 발파하여 매립한 것으로 판단된다.

전석층의 두께는 대부분 2~8m 정도의 두께로 분포되어 있다.

본 부지 내 토질의 물리적 성질을 파악하기 위해 실내 시험을 실시한 결과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 비중은 2.62~2.70 범위이나 이중 2.64~2.65가 가장 우세하며 함수비는 20~30%가 가장 많고 200번체 통과량은 50% 이하가 전체의 85% 정도이며, 토질 분류는 SM, SP 및 CH, CL인 silty sand, silty clay이다.

따라서, 본 단지에 분포되어 있는 표토는 대부분이 사질토이고, 점성토의 분포는 극부적으로 나타났다.

2) 해성 퇴적층

해성 퇴적층은 조사지역이 매립지인 관계로

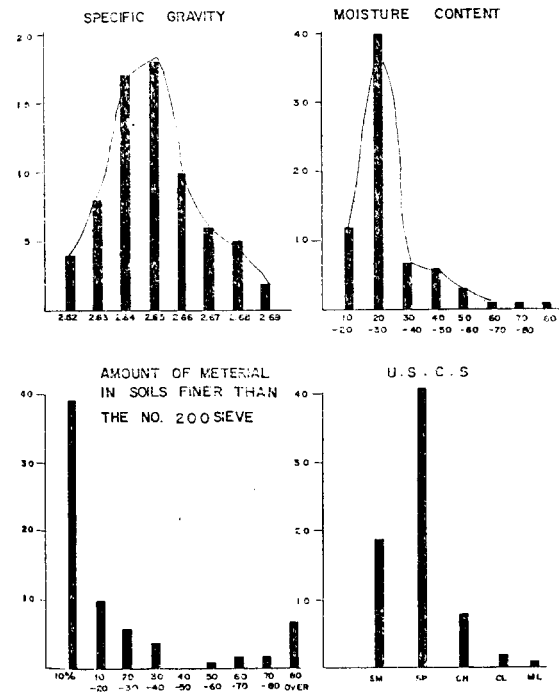


Fig. 2. 실내 시험 성과(매립층)

매립층의 전석층 및 모래층과 혼합되어 그 경계는 뚜렷하지 않다.

점성토의 역학적 성질을 알기 위해 흐트러지지 않은 시료를 채취하여 역학 시험을 실시한 결과 선형 압밀하중 $P_c=0.95\sim 1.70\text{ kg/cm}^2$, 압축지수 $C_c=0.51\sim 0.82$ 로 측정되었으며 유효 상재하중 P_0 의 값은 $0.7\sim 1.2\text{ kg/cm}^2$ 즉, $P_c > P_0$ 이므로 본 지역 내의 점성토는 과압밀 상태의 지층으로 판단되며 일축압축강도 $q_u=0.48\sim 0.76\text{ kg/cm}^2$, $\phi=0\sim 2^\circ$, $C=0.37\sim 0.38\text{ kg/cm}^2$ 로 나타났다.

3) 기반암층

기반암은 평균적으로 지표하 약 15m 지점에서 나타나며, 구성 암석은 주로 적색 혈암, 사암 및 이암 등의 퇴적암층으로 이루어져 있다.

사암을 제외한 암석은 육안으로 볼때 강도가 비교적 약할 것으로 판단되었으며 시추 조사시 채취된 코아에 대하여 강도시험을 실시한 결과 일축압축강도는 $250\sim 590\text{ kg/cm}^2$ 로 나타났다.

3. 기초 공법의 검토

1) 검토 대상 지반

가. 아기섬 주변 전석층 분포 지역
연약층 상부에 전석층이 2~8m 두께로 분포된 지역은 말뚝 향타가 불가능 할 것으로 판단되었다.

나. 지지층이 얇은 지역

지지층 심도가 5m 이내인 지역은 일반 말뚝 기초로 부적당 하며 치환 공법을 적용할 경우는 감소 구역으로 지하수위가 높아(DL.+3.80m) 공사가 어렵고 공사비가 과다할 것으로 판단되었다.

다. 기반암의 경사가 급한 지역

지지층의 경사가 급한 지역에 일반 말뚝 기초를 적용할 경우는 말뚝 타입시 암반 표면에서 말뚝이 미끄러질 가능성이 있을 것으로 판단되었다.

2) 특수 지반에 적합한 기초 공법

상기와 같이 특수한 지반에 적합한 공법을 열거하면 아래와 같이 세가지 공법으로 압축될 수 있다.

가. 전석층 및 기반 암층을 천공하여 말뚝을 심는 공법

나. JSP(Jumbo Special Pattern) 공법

다. 전석층을 통과 할 수 있도록 PC 말뚝에

Rocket Shoe 를 부착하여 타입하는 공법

3) 기초 공법의 비교 검토

2)의 특수 공법에 대해 경제성, 시공성 및 공기에 대하여 검토한 결과를 요약하면 다음표 1과 같다.

상기 비교표에서 보는 바와 같이 본 공장 부지내의 특수한 지반 조건에 적합하고, 경제성 및 시공성이 우수한 JSP 공법을 채택하여 설계 및 시공을 하였음.

4. JSP 공법의 설계

1) 공법의 개요

이 공법은 연약지반 개량 공법으로서 초고압($P=200 \text{ kg/cm}^2$)의 분류(噴流)를 이용해서 지반을 절삭 붕괴 시킴과 동시에 이때 생긴 간극에 주입(Grout)재를 충전 혼합하는 일종의 유도 주입 공법으로서 이중관(Double Rod) 선단에 분사 노즐을 장착하여 경화재를 분사하면서 회전하고 노즐(Nozzle)이 한바퀴 또는 한바퀴 반을 회전하면, 자동적으로 2.5cm 상승하면서 전과 같은 동작을 반복하게 된다.

이와 같은 과정을 연속적으로 시행하므로 지반중에 큰 원주상의 흙 고결체를 조성하는 공법으로서 다음과 같은 특징이 있다.

가. 확실한 지반 개량

시멘트풀(Cement paste)을 초고압으로 분출

표 1. 기초 공법 비교표

비교안 구분	Drill 공법 ($\phi 500$, PC Pile)	J.S.P 공법	Rocket pile 공법 ($\phi 500$, PC Pile)
1. 시 공 성	<ul style="list-style-type: none"> 20" 이상의 대구경 천공 장비가 필요함. 전석층의 천공 시간이 길어짐 	<ul style="list-style-type: none"> 천공후 Cement Paste를 토중에 주입 고화하는 공법으로 사질토 및 전석층에 적합함 	<ul style="list-style-type: none"> 전석의 크기가 작을 경우에는 용이하나 큰 전석이 있을 경우 시공이 어려움
2. 공 기	<ul style="list-style-type: none"> 공중이 복잡하여 공사 기간이 길어짐 	<ul style="list-style-type: none"> 여러 대의 장비를 동시에 투입할 수 있어 공기를 단축할 수 있음 	<ul style="list-style-type: none"> 일반 말뚝 기초와 동일함
3. 장기 허용 압축 강도	115ton/본	130ton/본	115ton/본
4. 공 사 비	971백만원	86백만원	113백만원

시켜 지반을 파쇄하고 그 파쇄부분과 시멘트풀이 혼합되는 것으로 절삭 범위내는 확실하게 개량할 수 있다.

나. 무소음, 무진동이며, 지하 매설물의 손상 등 공해를 배제할 수 있다.

다. 소형 장치로 부지 면적의 이용률이 높다.

라. 굴진 후 예정된 지층까지 정확히 시공 가능하다.

마. 경제적인 개량 공법 :

임의의 깊이, 임의의 범위에 확실하게 시공됨으로서 시공 손실이 적어 경제적이다.

2) 공법의 과정

JSP 공법의 흐름과정을 Fig. 3에 나타내었다.

3) 공법의 적용 범위

가. 각종 구조물의 기초 지반 개량.

나. 연약층 상부에 전석층이 분포된 경우의 말뚝 대체용.

다. Anchor Block

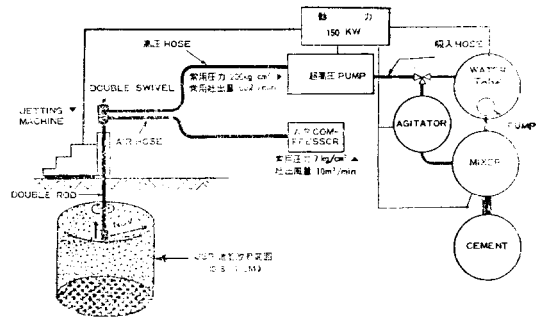


Fig. 3. 공법의 과정

라. 지하 차수벽

마. 진동 방지용 지중벽

바. 암반 균열의 보강

사. 토류벽

아. 건물 및 교량 기초의 언더피이닝 (Under Pinning)

자. 지하 구조물 보호벽

차. 사면 활동 방지공

4) 지층별 압축강도

표 2.

지층별 제원표

구분	단위	점성토		사질토			사력	호박돌	비고
		N=0~2	N=3~5	N=0~4	N=5~15	N=16~30			
유효경	m	1.0	0.8	1.2	1.0	0.8	0.8	0.8	
양관속도	분/m	7	8	7	8	9	9	9	분사시간
단위분사량	l/분	60	60	60	60	60	60	60	
분사량	l/m	504	576	504	576	548	648	648	양관속도×1.2
소요시멘트	kg/m	383	437	383	437	492	492	492	분사량×0.76
C. T. C	m	0.8~0.9	0.6~0.7	1.0~1.1	0.8~0.9	0.6~0.7	0.6~0.7	0.6~0.7	주열식시공
압축강도	kg/cm ²	20~40		40~150			100~200		기초보강용

5) 탱크 기초 계산 예

가. 설계 조건

① 단위중량

○ 모래=2.0 ton/m³

○ 콘크리트=2.5 ton/m³

○ 토사=1.8 ton/m³

② 허용응력

○ $\sigma_{ck}=210 \text{ kg/cm}^2$

○ $\sigma_{sa}=1,300 \text{ kg/cm}^2$

③ JSP 축응력

○ $\sigma_{ck}=80 \text{ kg/cm}^2$

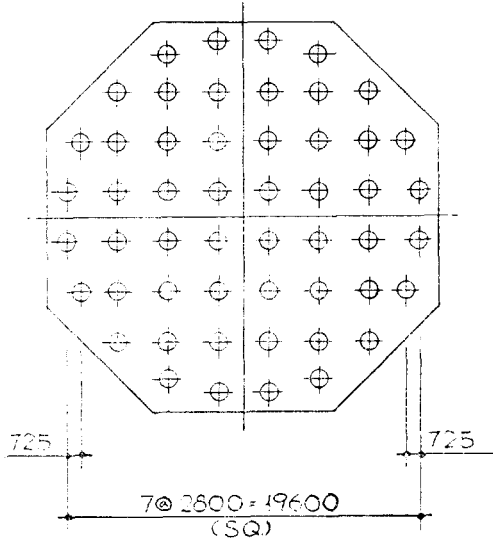
○ $\sigma_{ca}=\frac{\sigma_{ck}}{3}=26 \text{ kg/cm}^2$

○ JSP 유효경=80 cm

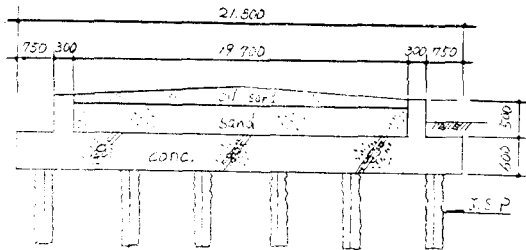
$$R_a=26 \times \frac{\pi}{4} \times 80 \times 80=130 \text{ ton/본}$$

나. 단면 가정

① JSP 배열



② 단면



다. 작용 하중

① 수직하중

- 운전하중 = 4,833 ton
- 콘크리트중량 = 614 ton
- 모래중량 = 305 ton
- 토사중량 = 25 ton

계 = 5,777 ton

② 수평하중 = 60 ton

라. J.S.P 분수 = 5,777/130 ≃ 52 분

마. J.S.P의 축방향 압축력 검토

$$V_i = V/n + M/\sum(x_i)^2 \times x_i$$

$$= 5777/52 + 462/1670 \times 9.8 = 114 \text{ ton/분} < R.$$

$$= 130 \text{ ton/분}$$

5. JSP 시공

1) 공사 기간 : 1986년 3월 30일 ~ 5월 5일, 5월 31일 ~ 7월 20일

2) 시공량 : 2,530 m

3) 사용 장비

가. 고압펌프 : 1 대

나. 분사기 : 3 대

다. 믹사(1 m³) : 1 대

라. 아지테이터(1 m³) : 1 대

마. 콤퓨렛사(370 CFM) : 1 대

바. 발전기(150 KW) : 1 대

사. 주입펌프 : 1 대

4) 시공순서

① 공삭공(空削孔)개시 : 지반 조건에 따라 룯드의 회전 속도와 Spindle Stroke 를 조정하여 소정의 방향으로 계획 심도까지 착공(鑿孔)한다 (φ 50 m/m).

② 공삭공 완료 : 계획 심도까지 착공이 완료 되면 JSP 시공 상태로 Rod 의 회전을 바꾸어 맞춘다.

③ JSP 개시 : 착공수(鑿孔水) 주입을 시멘트 풀 주입으로 바꾸고 200 kg/cm² 로 주입압을 상승시켜 JSP 분사를 개시한다.

④ JSP 시공중 : 룯드를 서서히 회전함과 동시에 인양하면서 JSP 시공을 한다.

⑤ JSP 시공 완료 : 소정의 위치까지 JSP 시공이 완료되면 다음 시공 장소로 이동한다.

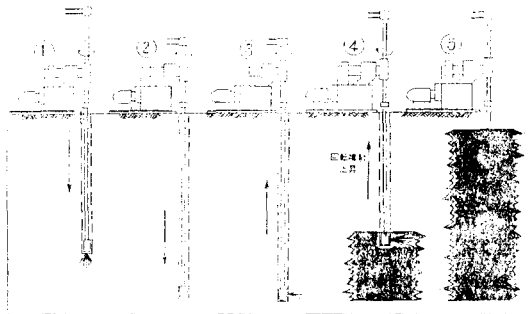


Fig. 4. JSP 시공순서

6. JSP 재하 시험

1) 시험의 목적

본 공장의 기초 공사중 탱크 1기당 중량이

5,000 ton에 달하는 등 상당히 중요한 구조물인 탱크 및 펜슬핏치(pencil pitch) 저장 창고 기초 공사에 JSP 말뚝을 시공하였는 바 기기들의 안정성과 직결되는 JSP 말뚝의 지지력과 침하량을 확인하기 위해 재하 시험을 실시하였다.

2) 시험 장비

- 가. 재하장치 : JSP 반력 말뚝 4 본
- 나. 재하대 : H-300×300×9×13 8 조
- 다. 잭(Jack) : 250 ton 용량 1 조
- 라. 다이알 게이지 : 1/100 mm 감도 2 조
- 마. 마그네트 홀더 : 1 개
- 바. 기타 부대 장치 : 1 식

3) 시험 기간

1986. 9. 8~1986. 9. 13 일

4) 시 험

본 JSP 말뚝 재하 시험장치는 Fig. 5와 같으며 시험말뚝 2개소를 선정하여 두차례로 나누어 앵카말뚝(Anchor Pile)방식으로 KSF 2445의 규정에 따라 실시하였다.

가. 시험은 단일주기로 응력 제어방법에 의하여 실시하였다.

나. 변위 측정은 1/100 mm 감도의 다이알 게이지 2개를 시험 말뚝에서 3m 떨어져 설치된 제기 지지대에 부착하여 측정하였다.

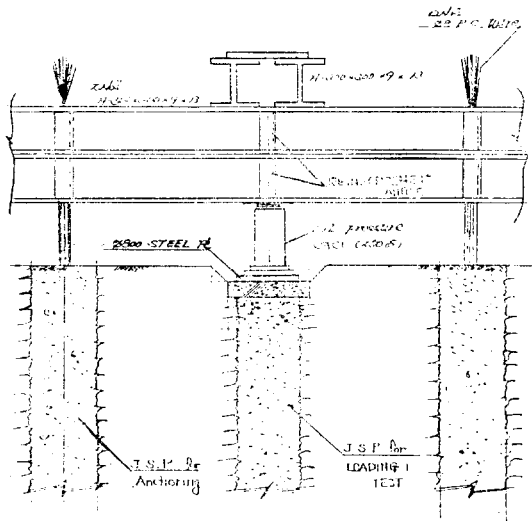


Fig. 5. JSP 재하 시험 장치

다. 재하는 표준 재하 방식을 적용하였으며, 설계 하중의 약 1.5 배를 6~8 단계로 나누어 재하하는 방식으로서 1 단계 하중은 25~30 ton으로 계획하였다.

라. 침하 측정시간 간격은 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80, 100, 120 분 간격으로 측정하였다.

마. 침하는 시간당 0.25 mm 보다 적을 때까지 측정하였으며, 최종 하중 단계에서는 12시간을 계속 측정하였다.

바. 재하(除荷)는 재하와 동일 주기로 하였으며, 각 단계마다 20 분 간격으로 1 시간 동안 리바운드(rebound)량을 측정하였다.

사. 1차 시험은 반력 앵카파일(Anchor Pile) 2 본을 시공하여 시행하였으나 175 ton 재하 후 가로빔과 앵카용 강선이 변형을 일으켜 시험을 중단하였다.

아. 1차 시험 중단시 노출된 문제점을 검토하여 반력지지 말뚝(JSP)을 4 본으로 증가시키고 가로빔도 보강하여 2차 시험을 시행하였다.

자. 2차 시험시 210 ton을 재하한 하중에서 캡콘크리트(Cap concrete)가 파괴되었으나 설계 하중의 1.5 배의 하중이 재하되어서 소기의 목적을 달성 하였으므로 12 시간 동안 침하를 관측하고 시험을 종료하였다.

5) 시험 결과 분석

재하 시험 결과의 분석은 전체 침하량 및 잔류 침하량으로 분석하였다.

독일 DIN 규정에는 전체 침하량 및 잔류 침

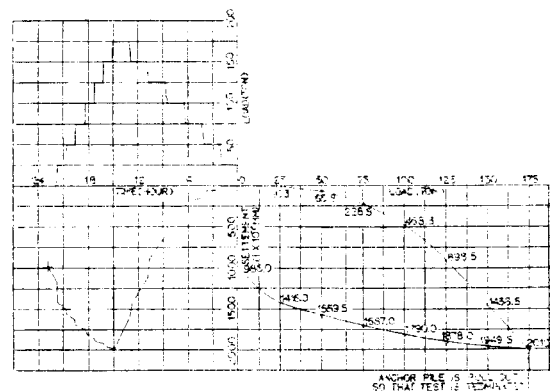


Fig. 6. JSP Loading test result of Jung Woo coal chemical. No. 1.

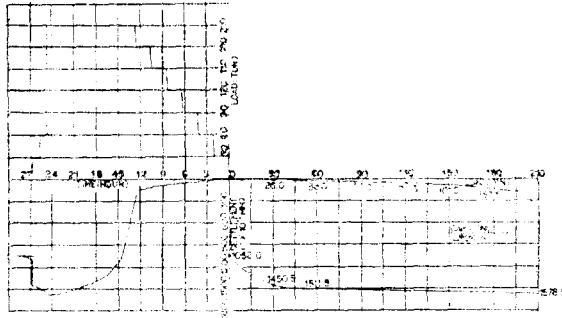


Fig. 7. Loading test result of Jung Woo coal chemical No. 2.

하량이 20 mm로 규정되어 있으므로 본 시험에서는 20 mm를 계획 침하량으로 설정하였다.

시험 결과 전체 침하량이 16 mm, 잔류 침하량은 11 mm로 나타났다. 이는 계획 침하량 이내이므로 설계대로 지지력이 확보된 것으로 판단되었다.

7. 맺음 말

광양 제철소 연관 공업단지 내 정우 석탄 화학공장 전설 공사중 특수 지반 기초 공사는 JSP

공법을 채택함으로써 제한된 공기내에 설계 조건을 만족시키면서 기초 공사를 마무리 지을 수 있었다. JSP 공법을 채택하여 설계와 시공을 하면서 느낀점을 간단하게 요약하면 다음과 같다.

1) JSP 공법은 기초 및 가설물이 설치되는 지반의 안정을 추구하기 위하여 주로 사용되어 왔으나 지반 상태에 따라서는 기초 말뚝 대체용으로 이용하여도 공기 및 경제성 면에서 좋은 효과를 얻을 수 있었다.

2) 지반 조건에 적합한 기초 공법의 채택이 공기 및 경제성과 직결되므로 충분한 지반 조사와 세심한 검토가 필요하였다.

3) 본 공장내 JSP 시공 심도는 설계시 추정 심도보다 약 24%가 증가 되었으나, 이는 토질 조사 시추공 간격이 넓어 정확한 조사가 되지 못한 것으로 판단되었다.

4) 본 공사의 JSP 1 m 당 소요 시멘트량은 13 포(40 kg 트리)대로 일반 공사보다 약간 많게 사용되었으나 이는 전석층의 공극이 크므로 발생된 것으로 판단된다.

끝으로 JSP 말뚝 공법의 시공에 많은 협조를 하여주신 정우 석탄화학, 표준콘크리트, 동원토질 관계 직원 여러분께 깊은 감사를 드립니다.