

제철보국의 에너지 저장고 광양 자가용 LNG 터미널 건설공사

이근 하*, 한근택**, 윤지남**, 김동휘**

1 서 론

최근 우리나라의 에너지 정책은 에너지 안보를 위한 자원 확보 문제로 인해 공급원의 다변화를 모색하고 있다. 국제 유가 폭등 현상과 함께 중국, 인도와 일본, 미국 등 개발도상국과 선진국을 망라한 전 세계가 에너지원 확보에 몰두하고 있으며, 특히 한국은 에너지 소비대국이 모인 동북아 지역에 위치하고 있어 에너지 수급 불안성이 더욱 증대되고 있는 실정이다. 현재, 국내 LNG 공급은 평택 및 인천 인수기지에서 수도권 및 중부권에, 통영 인수기지에서는 영·호남 및 남부권에 대해서 이루어지고 있으나, 연간수요량 대비 저장탱크의 저장비율은 8.4%(2003년 기준)로 여전히 낮은 상황이며, 특히 동고하저의 수요패턴과 동절기 민생용 LNG 우선공급으로 인해 동절기 산업용 LNG의 안정적 공급은 어려운 실정이다.

광양의 자가용 LNG 터미널은, 일관제철사업의 특성상 24시간 연속조업이 필요하고 에너지를 다량으로 사용하여 천연가스의 경제적·안정적 공급이 필수적인 광양제철소 및 제철소 유관시설에 안정적으로 에너지를 공급하는 중요한 시설이며, 가스수요에 비해 국가적인 가스인프라가 절대적으로 부족한 국내 상황에서 광양 LNG 터미널의 건설로 추가적인 가스인프라를 확충함으로써 광양제철소의 조업 안정에 기여할 것으로 기대된다.

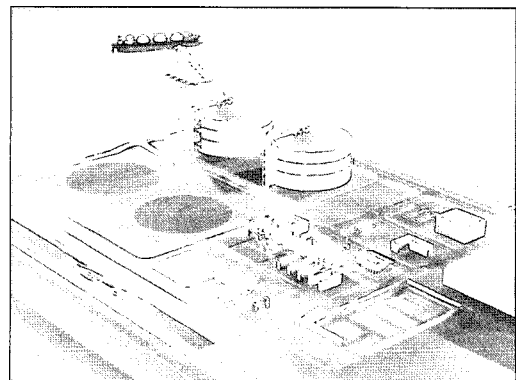


그림 1. LNG 터미널 조감도

*1 (주)포스코건설 토목기술팀 팀장(leegh@poscoenc.com)

** (주)포스코건설 토목기술팀 과장

** (주)포스코건설 토목기술팀 대리

** (주)포스코건설 토목기술팀 기사

본 광양 자가용 LNG 터미널은, 광양제철소 Slag 처리장 내 일부구역이 자가용 LNG 터미널의 입지로 결정된 이래 1996년 1월 부지조성공사 실시설계를 시작으로 1999년 6월 본격적인 터미널 부지조성 공사를 착공, 2000년 6월 광양LNG 터미널 부지조성공사를 완료하였으며, 2003년 1월에는 하역설비, 저장탱크, 기화 및 송출설비 등의 공사건설에 착공, 2005년 4월 기계적 준공을 마치고 시운전을 실시하였다.

본 공사는 크게 준설 및 매립을 통한 부지조성공사와 LNG 시설공사로 나누어질 수 있으며 본 기사에서는 부지조성공사 및 구조물 Pile 기초에 대하여 언급하고자 한다.

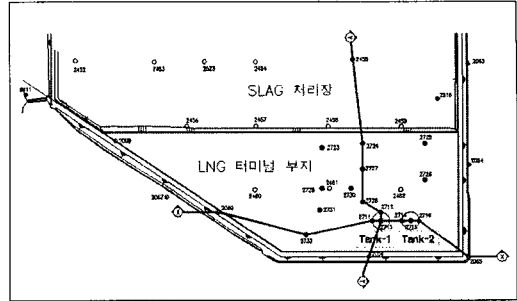


그림 2. 부지조성 LAY-OUT 및 지반조사 위치도

2. 사업 개요

2.1 공사 개요

- 주요설비 : LNG Tank 1~6기 (1, 2기 시공 완료, 3~6기 시공 예정)
- 저장용량 : 80만 kℓ
- 부지면적 : 16만 5천평(LNG터미널: 11만평, 민자발전부지: 5.5만평)

2.2 주요 물량

주요물량은 표 1과 같다.

3. 현장조건 및 지반특성

본 지역은 광양제철소 Slag 처리장 내 해안 매립으로 조성된 지역이며, 해안 모래 매립에 의한 부지는 준설모래 등을 이용함으로써 구조물 설치 후 부등침하와 지지력 부족으로 인한 지반파괴, 지진에 의한 액상화 현상 발생 등의 문제점이 발생하는 것으로 알려져 있다.

본 지역이 광범위하여 지층 구성이 조사위치에 따라 약간의 차이는 있으나, 대체로 상부 및 중부의 퇴

표 1. 주요물량

구분	세부항목	주요물량	비고
준설공사	- 준설	4,236,373 m ³	
	- 오탁방지막	1,940 m	
호안공사	- 부지호안	281,756 m ³	부지호안 : Slag
	- 가물막이	79,396 m ³	가물막이 : 사석
연약지반개량	- 사향타설	17,571 공	SCP+SD : 12,399 본
	- 재하사	317,782 m ³	SD : 5,172 본
Tank 기초	- SL처리 강관말뚝(50m)	1,376 본	688본× 27기

제철보국의 에너지 저장고 광양 자가용 LNG 터미널 건설공사

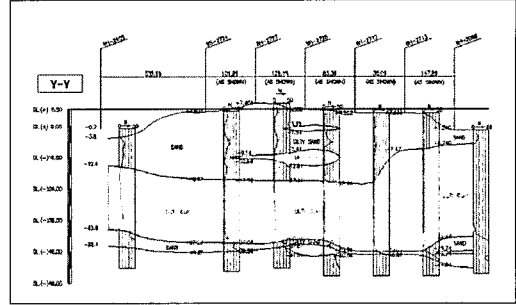
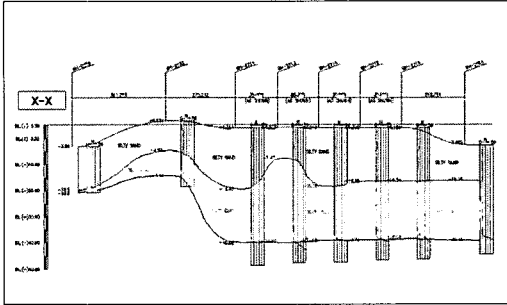


그림 3. LNG Terminal 지반조사 단면도

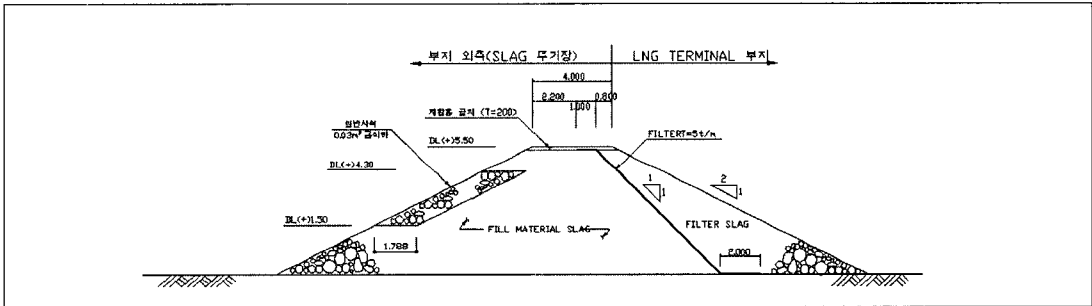


그림 4. 부지호안 표준단면도

적토층과 하부의 층적층으로 구성된다. 상부층은 4.5 ~ 35.1m 두께의 모래 또는 실트질 모래가 우세하며 국부적으로 점토층이 분포되어 있기도 하다. 또한 중부층은 2.2 ~ 29.7m 두께의 모래질 실트 또는 실트질 점토층으로 구성되어 있으며, 점토층 사이에 간간히 모래층이 협재되어 있다. 하부층은 두께 0.8 ~ 9.4m의 모래 및 자갈층과 기반암으로 구성되어 있다. 각 조사위치별 지층분포 상태는 그림 3과 같다.

4. 부지호안 축조

준설 및 매립공법으로 부지조성을 실시할 경우 먼

저 시공해야 할 것이 바로 부지호안의 축조이다. 본 공사의 부지호안은 영구 구조물이 아닌 Slag 처리장 내부에 건설되는 가호안으로 파랑 등의 외력을 직접 받지 않고 조석의 차이에 의한 간접적인 수위의 변화를 받게 된다. 따라서 Slag 처리장 내부에 적합한 가호안의 기능적인 면을 고려하여 호안 설계를 실시하였다.

가호안의 축조 재료는 인근 토취장을 확보하여 축조 재료로 사용하는 것이 일반적이나, 외부에서 축조 재료를 반입할 경우 Slag 투기장 내부용적의 감소에 따른 Slag 투기장 사용년한 단축 초래, 토취장 구득에 따른 경제적 손실 및 인근 토취장 확보 불가시 예정공기 차질 등의 문제가 발생할 수 있어 본 공사에서는 광양제철소에서 나오는 Slag를 가호안 축조재

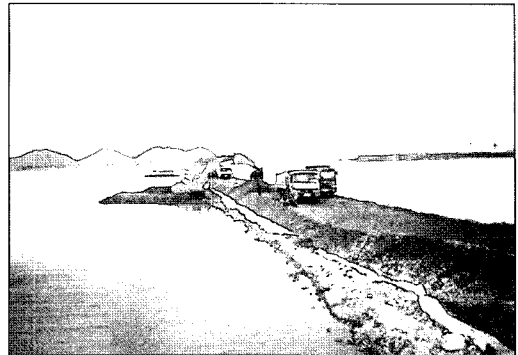


그림 5. 가호안 축조 공사

료로 사용하였다.

가호안의 천단고는 기존호안과 연계되도록 DL+5.50m로 맞추었으며, 작업차량의 원활한 통행을 위해 천단폭은 4.0m로 하고 150m 간격으로 회차장을 설치하였다. 가호안의 사면경사는 원호활동에 대한 안정검토를 실시하여 안전율이 허용안전율 기준인 1.3 이상 확보되는 1:2의 기울기로 시공하였으며, 가호안 전면에는 슬래그처리장 내 천해파고(평균 53cm)를 고려하여 그림 4와 같이 파고 영향범위에 0.03m³ 이하의 보호사석을 설치함으로써 가호안 쇄굴 발생을 방지하였다. 가호안 축조 및 회차장 시공 장면은 그림 5와 같다.

5. 준설 및 매립 시공

본 지역의 부지조성은 16.5만평의 광대한 공유수면을 매립하여 조성하는 것으로 이에 소요되는 토량은 4,236,373m³으로 나타났으며, 공기 내 준설공사를 완료하기 위해 국내 준설선 중 대용량인 12,000HP급 펌프 준설선과 1,000HP급 예산, 250HP 양묘선 등으로 작업선단을 구성하였다. 토지이용 계획상의 기

능 및 적합성, 매립토량 확보측면, 부지조성 후 각종 설비의 시공성 등을 검토하여 합리적인 매립계획을 수립하였으며, 검토된 매립계획과 더불어 원지반 및 준설지역의 지반상태 등을 분석하여 최적의 매립이 이루어지도록 하였다.

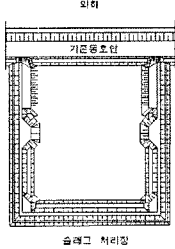
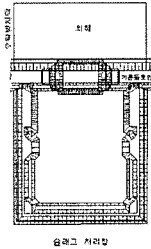
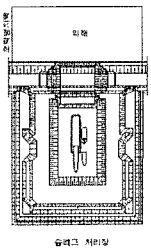
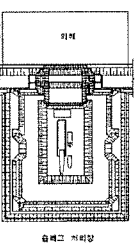
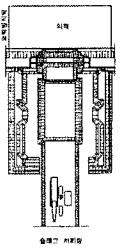
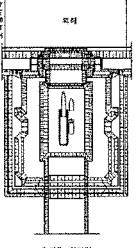
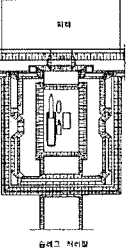
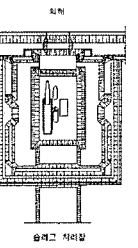
5.1 준설선의 진입

본 공사는 대규모 준설·매립공사로서 준설작업이 기존호안 내부에서 시행되어야 하므로 준설선 진입을 위해 가물막이 조성(178m(B)×196.5m(L)) 후 기존 호안의 일부를 해체해야만 했다. 그 기본적인 작업순서는 표 2와 같다.

준설선 진입 작업에 있어, 당초 설계에는 약최저 간조위(DL0.0)시 펌프준설선이 자체적으로 항로준설을 실시하면서 가물막이 내에 진입하는 것으로 되어 있었으나, 실제 시공시에는 그림 6과 같이 용량이 작은 그레브 준설선(8m³ 급)이 먼저 가물막이 내에 진입하여 가물막이 내부를 준설, 바닥 심도를 확보한 후 그림 7과 같이 최고간조위(DL3.822m)때에 펌프 준설선이 가물막이 내로 들어오는 순서로 작업이 진행되었다.

제철보국의 에너지 저장고 광양 자가용 LNG 터미널 건설공사

표 2. 가물막이 준설선 진입 및 회항

<p>1. 가물막이 축조</p> 	<p>2. 기존호안 1차 제거 및 오타방지막 설치</p> 	<p>3. 준설선 가물막이 내 준설 및 진입</p> 	<p>4. 기존호안 1차 복구</p> 
<p>5. 가물막이 제거 및 준설선 Slag처리장 진입</p> 	<p>6. 준설매립 후 준설선 가물막이 내 진입</p> 	<p>7. 가물막이 복구 및 기존호안 2차 제거</p> 	<p>8. 준설선 회항후 기존호안 복구 및 오타방지막 철거</p> 

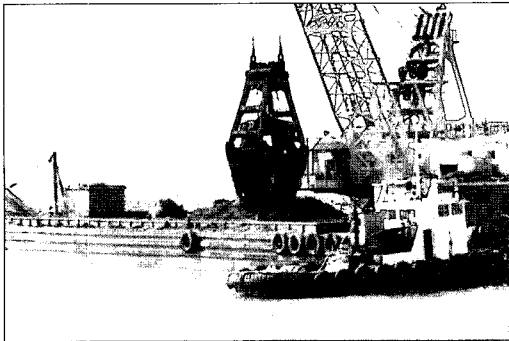


그림 6. 가물막이 내 준설작업(Grab 준설선)

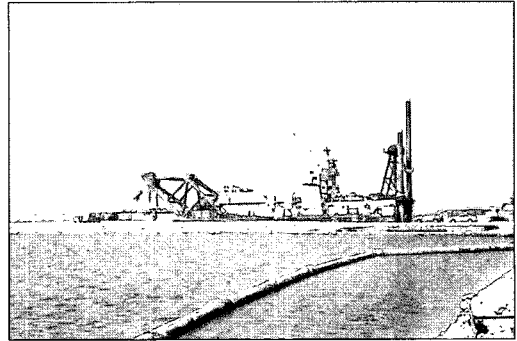


그림 7. 가물막이 내 준설선 진입

5.2 부지 매립 및 준설

본 부지의 매립고는 해수면의 이상고조위 및 매립지의 배수 원활성, 기존 매립지 현황 등을 검토하여 기존호안의 천단고와 동일한 DL+5.5m로 결정하였

으며, 매립지 내 순매립량과 매립 직후 침하량을 검토하여 매립토 소요량을 산정하였다. 이렇게 결정된 매립 소요량과 연약지반 개량용 개량사 및 재하사의 합에 유보율을 적용함으로써 준설 소요량을 산정하게 되며 본 공사에서의 유보율은 기실시된 지질조사

표 3. 유보율 산정 흐름

구분	토질별 체적변화율(%)		준설 예정지역의 체적변화(%)				
	침강 종료시	자중압밀 종료시	구성비		준설시	침강 종료시	자중압밀 종료시
Gravel	100	95 (침강종료시의 95%)	0.17	71.29	71.29	80.76 (80.76×1.0)	76.72 (80.76×0.95)
Sand			71.12				
Silt	180	85 (침강종료시의 85%)	25.90	28.71	9.47 (세립분의 33%)	34.63 (19.24×1.8)	28.74 (34.63×0.83)
Clay			2.81		19.24 (세립분의 67%)		
계	-	-	100.00				

※ : 원지반 준설시 포함되는 부분

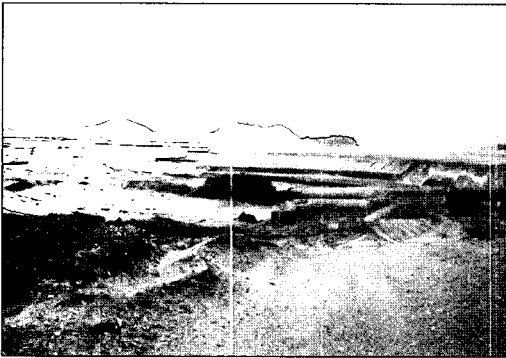


그림 8. 배사관을 통한 준설토의 매립



그림 9. 매립지 정리

자료와 광양제철소 본 부지조성시 설계 실적자료를 이용하여 표 3과 같이 76.72%로 결정하였다.

본 매립지 내에 공급한 매립토는 양호한 토사로 매립하기 위하여 Slag처리장 내부의 원지반 토사 중 상부 모래층만을 펌프 준설하여 배사관을 통해 매립하였다. 준설 이격거리는 가물막이의 경우 법선으로부터 임계활동원의 거리에 안전율 개념의 1.5배를 한 후 준설 사면 기울기(최대 1:5.0)만큼 더 더해준 거리를 최소한 확보하였고, 가호안으로부터는 1.5km 이상의 거리를 확보하여 준설작업을 실시하였다. 아래의 그림 8은 준설선으로부터 펌프 준설된 준설토가 배사관을 통해 매립지로 방출되는 모습을 보여주며, 그림

9는 매립 완료 후 부지정리 작업을 하는 모습이다.

6. 연약지반 개량 시공

6.1 상부 사질토의 개량

본 부지의 상부 사질토층의 경우 대부분 회색 또는 암회색의 세립 또는 중립의 모래로서 습윤 또는 포화된 상태이며 두께는 4.5~35.1m로 평균 두께는 15.2m 정도였다. 특히 그림 10~13과 같은 사질토층의 물리적·역학적 특성들을 검토해 본 결과, 지진

제철보국의 에너지 저장고 광양 자가용 LNG 터미널 건설공사

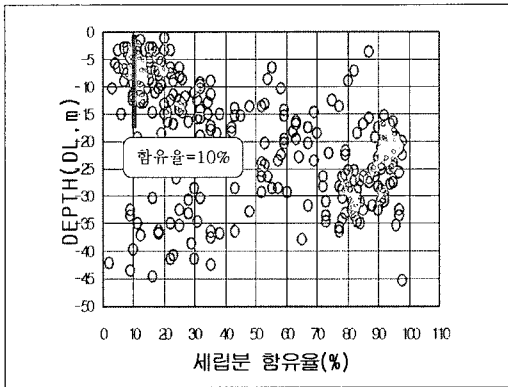


그림 10. 심도별 세립분 함유율

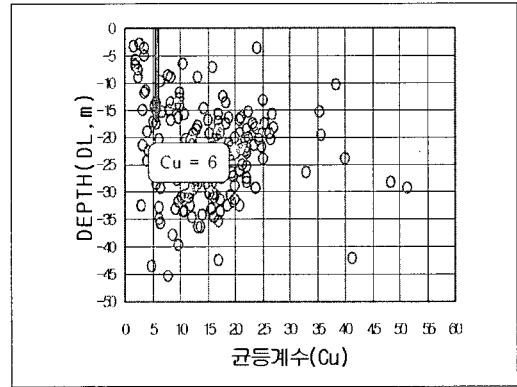


그림 11. 심도별 균등계수

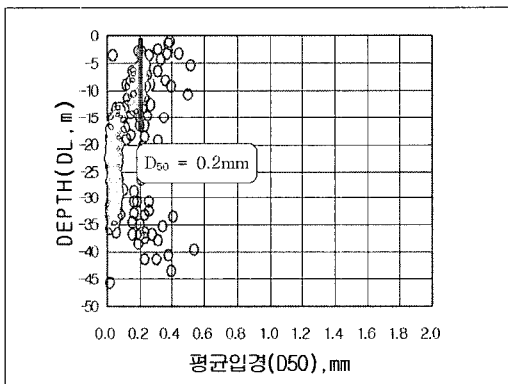


그림 12. 심도별 평균입경(D₅₀)

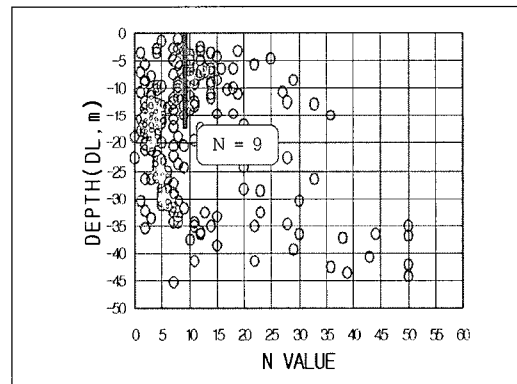


그림 13. 심도별 N치

시액상화의 가능성이 큰 지반으로 나타났다.

이에 따라 Seed & Idriss의 액상화 예측방법에 의하여 액상화 가능성을 정량적으로 판단한 결과, 한국가스공사 내진설계 기준에 해당하는 지반가속도 0.1g(성능수행수준) 및 0.2g(붕괴방지수준)에서 대부분 액상화가 발생 가능한 것으로 나타났다.

Tank 하부 매립지반 및 원지반 사질토층을 개량할 수 있는 대책 공법으로는 표 4와 같은 여러 가지 사질토 지반개량 공법들 중 액상화 방지의 효과가 크면서 하부 지반을 고려하여 Sand Drain과 병행타설이 가능한 Sand Compaction Pile(이하 SCP, φ

700) 공법을 적용하였으며, 공법 적용시 사질토층에서 액상화에 충분히 저항할 수 있는 SCP 개량간격을 산정한 결과, 2.0m 간격으로 시공시 개량 완료 후 원지반 및 매립지반의 N치가 14 이상이 되어 액상화에 안정한 것으로 나타났다.

6.2 하부 점성토의 개량

본 부지의 점성토층은 두께가 2.2m에서 29.7m로 매우 불규칙하며 부분적으로 세립모래와 잔자갈 등이 함유되어 있다. 또한 물리적 특성에 해당하는 액

표 4. 사질토 개량공법

개량 원리	분 류	개 량 목 적					대 상 지 반			효 과	
		침 하		안 정			사질토	세립토	고유 기질토	즉효성	지효성
		침하 촉진	침하 저감	전단 변형 해석	강도 증가 촉진	활동 저항 부여					
배 수	연직드레인	◎			◎			○			○
	생석회 파일	○	○	○	○	○		○			
	웰포인트공법	◎		○	○			○			
압 밀	샌드 컴팩션 파일	○	◎	◎	△	◎	◎	○	○	○	
	바이브로플로테이션		○	○			◎	○			
	동압밀		○	○			◎	◎			○
고 결	심층혼합처리		◎	○	○	○	○	◎			○
	천층혼합처리		◎	◎	◎	○	◎	◎	◎		○
	약액주입		○	○	○		○	△			○

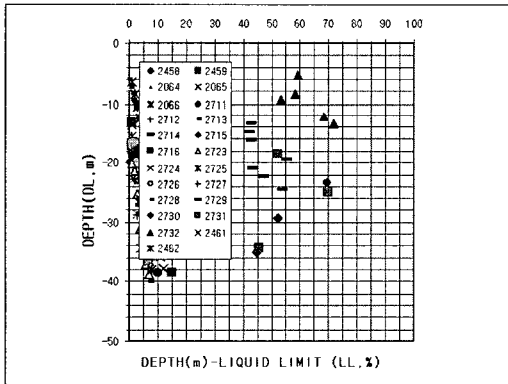


그림 14. 심도별 액성한계

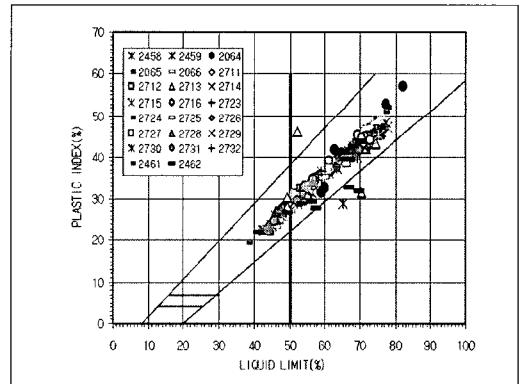


그림 15. 소성도

성한계 및 소성도(그림 14 및 15)에 비추어 볼 때 높은 소성도와 압축성을 갖는 점성토이자 통일분류법의 CH로 분류된다고 할 수 있으며, 역학적 특성은 그림 16~18과 같다.

이러한 하부 연약점토층은 상부매립 성토하중으로 인해 수십년에 걸쳐 장기적인 압밀침하가 발생된다. 이는 부등침하로 인한 향후 시설물의 손상, 부마 찰력으로 인한 말뚝기초의 침하 및 파손을 야기할 수 있으므로 조기에 압밀을 완료시켜 지반을 안정화

시켜야 한다.

압밀 조기완료를 위한 지반개량공법은 재하중 공법, 연직 배수재 공법, 재하중 공법 + 연직 배수재 공법이 주종을 이루며 대부분의 경우 재하중 공법과 연직 배수재 공법을 병용하고 있다. 연직 배수재로는 인근 지역의 상부 사질토층으로부터 준설을 통해 후 양질의 모래 확보가 가능하고 SCP와 병행 타설이 가능한 Sand Drain(이하 SD)을 적용하였으며, 개량 간격의 경우, 검토 결과 Tank-1은 2.25m, Tank-2

제철보국의 에너지 저장고 광양 자가용 LNG 터미널 건설공사

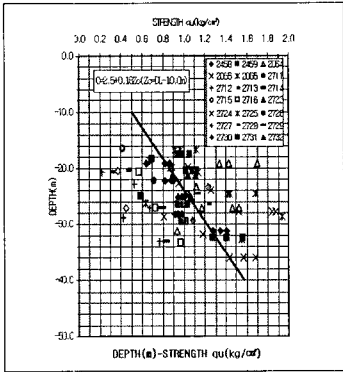


그림 16. 심도별 비배수강도

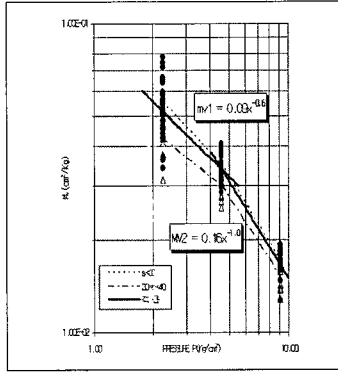


그림 17. 체적압축계수

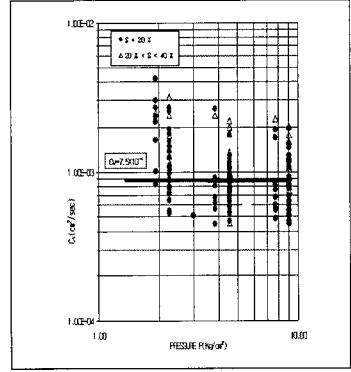
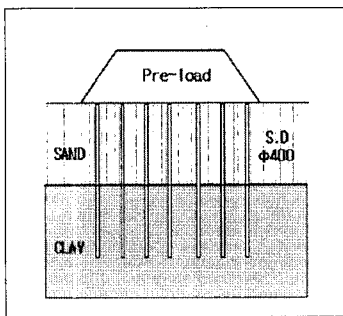
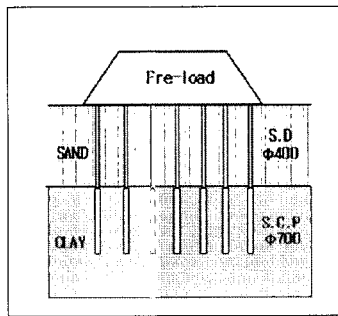


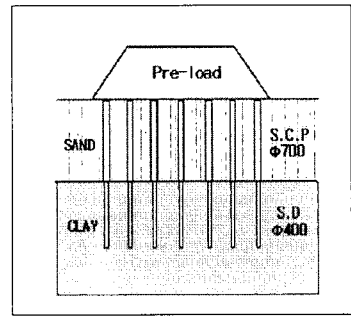
그림 18. 압밀계수



(1) 일반적인 SD 공법



(2) 광양 1,2기 원료야드



(3) 광양 LNG Terminal Tank

그림 19. 개량공법 비교

는 2.0m의 개량간격이 가장 경제적인 간격으로 검토되었으나 상부모래층의 SCP pitch와의 조합, 압밀도 증대에 따른 하부 지지력 증대효과, 재하사의 사면안정성 확보, 시공의 용이 등을 고려하여 Tank-1,2 지역 모두 SCP + SD pitch를 2.0m 간격으로 결정하였다.

지반개량에 따른 허용잔류침하량으로는 대규모 공업단지 조성시 적용빈도가 높고 광양제철소 본부 지조성시 적용한 허용잔류침하량 기준인 30cm를 적용하였으며, 6개월 방치기간 내에 이를 만족시키기 위하여 각 영역에 따라 계획고로부터 2m~5m까지 재하사성토가 이루어졌다.

6.3 적용 개량공법

상부의 모래지반과 하부의 연약점토층을 모두 고려하여, 본 부지조성공사에서는 그림 19의 (3)과 같이 상부에 SCP공법과 하부에 SD공법을 병용함으로써 상부 사질토와 하부 점성토의 동시 개량이 가능한 공법을 최초로 적용하였다. 즉, 내진설계 기준이 붕괴방지수준인 LNG Tank 및 중요 구조물들의 경우 설계가속도인 0.2g에 대하여 액상화 안정성을 확보하기 위하여 상기의 SCP + SD공법을 적용하였고, 성능수행수준인 제반설비 구조물의 경우 SD공법만으로도 설계가속도 0.1g에 대한 액상화 안정성

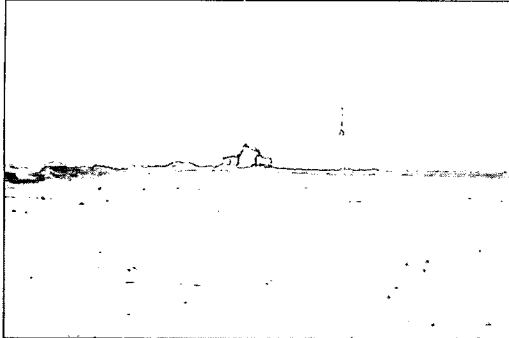


그림 20. 매립지 전경

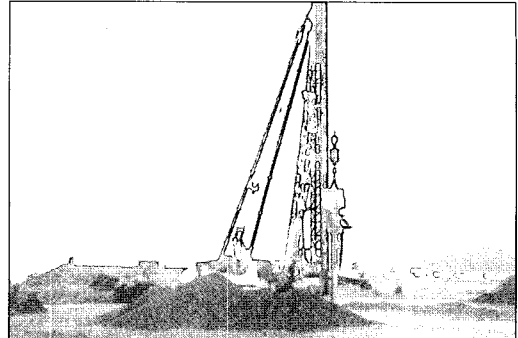


그림 21. SCP 타설 작업

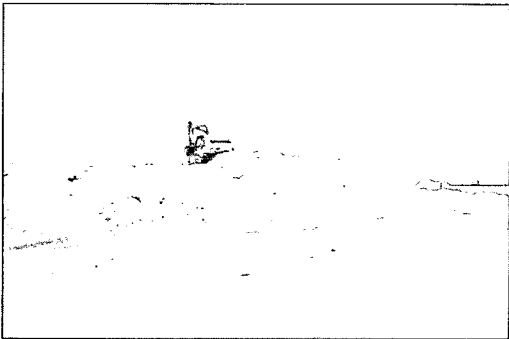


그림 22. 재하사의 성토



그림 23. 부지조성 완료

확보가 가능하였다.(그림 19의 (1))

7. 계측 관리

재하사 성토가 완료된 후 각 구역별로 다양한 계측장비들을 설치하여 주기적인 계측을 통해 지반거

동을 파악하였다. 본 부지조성 구역에 설치된 계측기는 표 5와 같으며 이들을 통해 얻어진 계측 자료를 바탕으로 연약지반의 개량 정도를 파악하여 추가성토 또는 재하사 철거 여부를 판정하였다.

표 5. 구간별 계측기 설치 개소

계측기	구간	LNG Tank구간	설비 구간
침하판		10개소	17개소
경사계		4개소	-
지하수위계		2개소	2개소
간극수압계		-	2개소

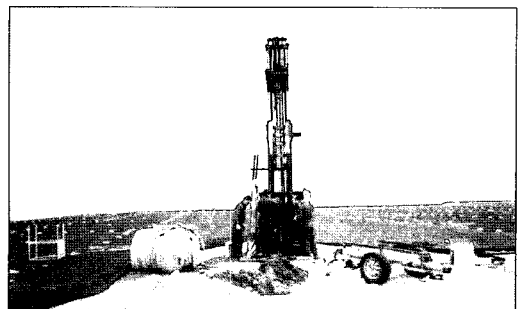


그림 24. 침하판의 설치

제철보국의 에너지 저장고 광양 자가용 LNG 터미널 건설공사

표 6. 설계시 침하량과 계측 침하량의 비교

구분	설계			계측			허용잔류 침하량(cm)	비고
	침하량(cm)	압밀도(%)	잔류침하량(cm)	침하량(cm)	압밀도(%)	잔류침하량(cm)		
Tank-1	88.2	77.0	26.3	129.9	89.5	15.2	30	OK
Tank-2	161.2	84.7	29.1	141.0	86.0	23	30	OK

일반적으로 실제 침하량 관측과 설계시의 이론 침하량과의 사이에는 어느 정도 차이가 있으며, 이는 표 6의 설계시 침하량과 계측 침하량을 비교해 보면 알 수 있다. 따라서 본 계측관리에서는 이론 계산과는 별도로 국내 현장 적용성이 가장 좋은 쌍곡선법을 이용하여 실측 자료로부터 최종 침하량 및 예상 잔류침하량을 예측하고, 예상 잔류침하량이 허용잔류침하량 30cm 이내인 경우 그 시점에서의 압밀도를 고려한 재하사 성토하중이 개량 완료 후 작용될 공용하중 이상인지 확인하여 재하토 절거여부를 결정하였다.

8. LNG Tank 기초공사

본 현장의 LNG Tank 하부 지반은 그림 2에서와 같이 계획고에서 하부 기반암까지의 심도가 30~50m로 직접기초 적용이 곤란하여 말뚝기초공법을 선정하였다.

8.1 말뚝재료 및 시공법 선정

Tank기초의 말뚝길이는 49.2 ~ 53.0m로서 시공시 용접이음 이 필요하다. 기성 콘크리트 말뚝을 30m 이상 시공시 말뚝의 수직도 유지가 어렵고, 용접이음의 신뢰성이 문제가 된다. 또한본 부지의 지반분포는 매립층, 사질토층, 연약점토층, 기반암으

로 구성되어 있어 말뚝향타 시 상부에서 큰 관입저항 없이 관입되다가 갑자기 견고한 지반에 도달할 경우 말뚝손상가능성이 높을 것으로 예상된다.

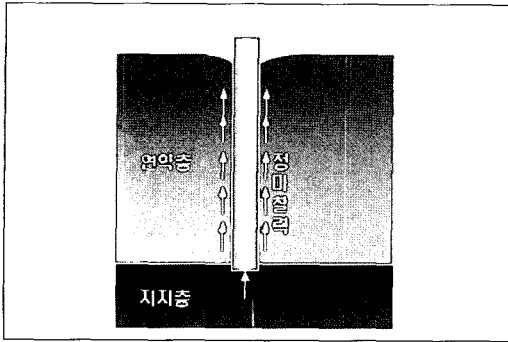
위와 같은 이유로 PHC 말뚝의 적용성은 다소 낮은 것으로 판단되어 높은 재질강도와 품질의 균질성을 보유하고 있으며, 시공성, 운반, 절단, 이음 및 취급의 용이성 등으로 품질관리 측면과 재료의 신뢰성면에서 PHC 말뚝보다 우수한 강관말뚝을 선정하였다.

말뚝을 직향타 공법으로 시공하는 경우 발생할 수 있는 환경문제로는 소음, 진동의 발생으로 인체나 동물 등에 유해한 영향과 인접구조물에 영향을 미칠 수 있으나, 본 부지 주변에는 이러한 환경문제가 야기될 만한 민가나 특별한 구조물이 존재하지 않으므로 안정성 및 경제성 측면에서 유리한 직향타공법을 적용하였다.

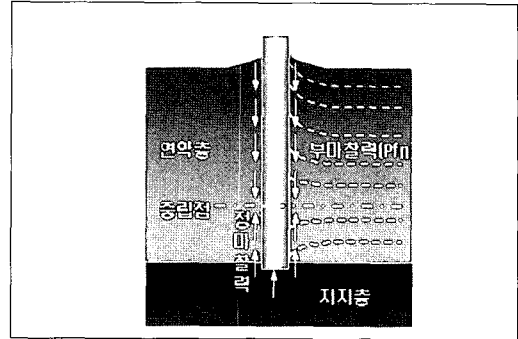
8.2 부주면마찰력

부주면마찰력은 연약점토 및 실트층 또는 최근에 매립한 압축성이 큰 지반에 말뚝을 시공하는 경우 말뚝이 시공된 주변 지반이 말뚝보다 상대적으로 크게 침하함으로써 발생되며, 정상적인 마찰력과는 달리 말뚝에 부가적인 하중으로 작용하게 된다. 이때의 마찰력은 정마찰력의 상대개념으로 부주면마찰력이라 하며 이로 하향력이 발생하게 된다(그림 25 (b)).

광양 자가용 LNG 터미널 부지의 점성토층은 N치

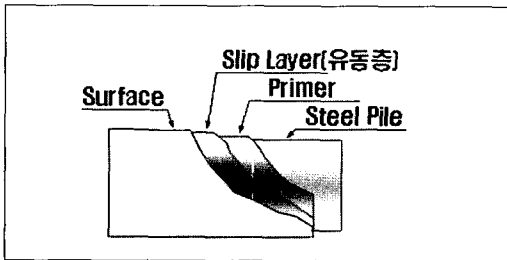


(a) 선단지지력+주면마찰력

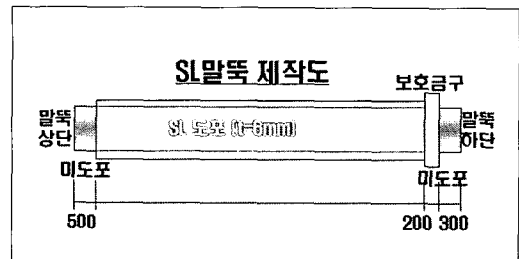


(b) 선단지지력+부주면마찰력

그림 25. 말뚝에 작용하는 마찰력



(a) SL 도포개요



(b) SL 말뚝 제작도

그림 26. SL 말뚝 개요도

5~6 이하의 연약층이며, 상부에 매립층이 있는 경우로서 부주면마찰력이 발생하는 대표적인 경우에 해당된다. 이에 따라 연약층에 대한 지반개량을 실시하여 잔류침하량 30cm를 적용하였으며, 잔류침하로 인한 부주면마찰력이 발생할 수 있다.

따라서, 부주면 마찰력을 감소시키기 위하여 주로 사용되는 역청재 도장 SL(Slip Layer) 처리말뚝을 적용하였다.

8.3 SL 말뚝

8.3.1 개요

SL 말뚝은 강관이나 PHC 말뚝에 SL 컴파운드 팩

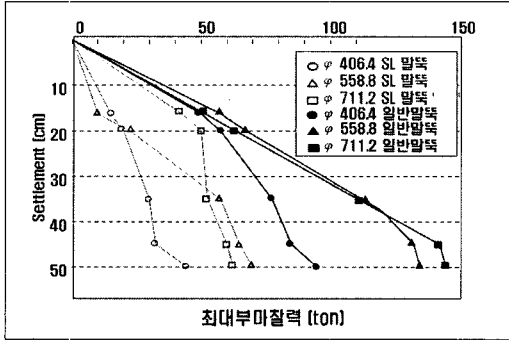
키지를 적용한 것으로 그 구성성분은 다음과 같다.

- SL 프라이머 : SL 컴파운드가 강관이나 PHC에 잘 부착하도록 도포함.
- SL 컴파운드 : 특수 아스팔트계 성분으로 부마찰력을 감소시키며, 약 6mm 두께로 코팅함.
- White-wash : SL 컴파운드를 햇빛으로부터 보호하기 위해 석회질의 흰색도료 표면처리.

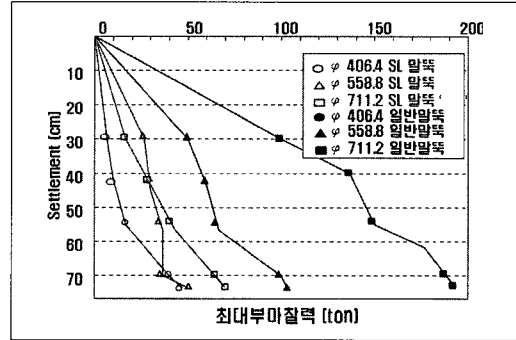
8.3.2 부마찰력 저감효과

부마찰력 저감효과는 과거 광양제철소 부지조성공사 시 시험한 SL말뚝의 부마찰력 저감효과를 참고하였으며, 다음의 표 7 및 그림 27과 같다. 이 결과를 근거로 부마찰력을 고려한 허용지지력을 산정하였다.

제철보국의 에너지 저장고 광양 자가용 LNG 터미널 건설공사



(a) 발전소

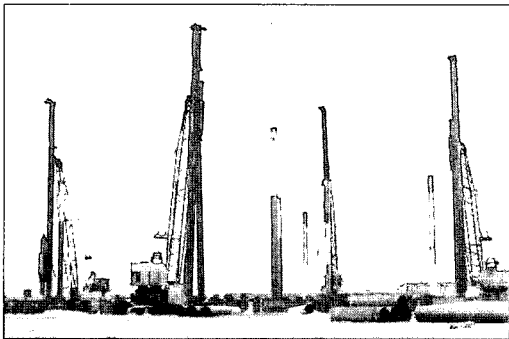


(b) 3, 4 Cokes 공장

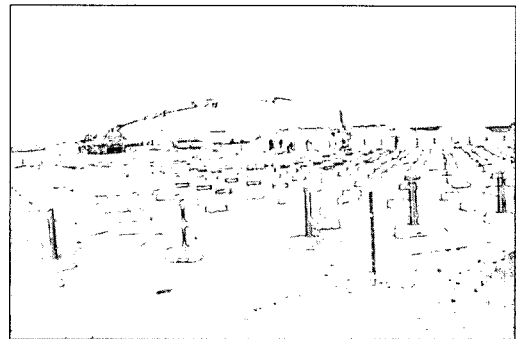
그림 27. 지반침하와 부마찰력 비교(광양제철소)

표 7. 지반침하와 부마찰력 비교(광양제철소)

구 분	시험지역	적용본수	부마찰력(tonf)
무처리	발전소	· 부마찰력은 일정침하량까지 비례로 증가	90~140
	3, 4 Cokes공장		90~200
SL처리	발전소	· 침하와 초기 부마찰력은 비례하여 증가하나, 지반침하의 지속적 증가에 비해 부마찰력은 작음	50~60
	3, 4 Cokes공장		· 말뚝종류와 관계없이 무처리말뚝에 비해 SL말뚝은 부마찰력이 작음



(a) SL도포후 향타



(b) 향타시공 완료

그림 28. SL Pile 시공장면

광양제철소에서의 SL말뚝의 부마찰력 시험 결과, 부마찰력 저감효과는 사질토에서 30%, 점성토에서 80%의 저감율을 나타냈으며, 이러한 결과를 토대로 LNG Tank 하부에 설치한 말뚝은 강관 $\phi 711 \times 16t$, 길이 52m이며, 말뚝 한 본당 17.3m SL도포를 실시하고, 총 1,376본을 향타하였다. 부마찰력을 고려한

허용지지력은 160tonf/EA 을 적용하였다.

8.4 재하시험

본 현장의 시공된 말뚝에 대해 재하시험을 실시하여 부주면마찰력을 고려한 설계지지력을 최종 확인

하였다. 본 현장의 경우 부주면마찰력을 고려한 허용지지력 산정을 위해 선단지지력을 포함한 양의 마찰력 확인이 필요한 점을 감안하여 동재하시험이 유용할 것으로 판단되었다. Tank 기초로 시공되어지는 말뚝의 지지력 및 타격응력, 관입깊이, 최종관입량 등을 유압해머 무게(10ton, 13ton)별로 측정하여 말뚝의 설계하중 확보여부를 확인하였다.

본 현장시험 Pile의 허용지지력은 CAPWAP 해석 결과에 Davisson이 제안한 항복하중 판정법을 적용하여 허용지지력을 구하였으며, 이 때는 항복하중에 대하여 2.0의 안전율을 적용하였다.

10개소에 대한 재하시험 결과 설계하중 160ton에 대하여 허용지지력은 238ton~369ton의 범위를 나타냈으며, 모든 경우에서 설계하중을 만족하는데 문제가 없는 것으로 나타났다.

9. 맺음말

산업규모가 확대되어 공장부지의 수요는 증가되거나 환경, 지리적 운송관계, 대규모 토지매입에 따른 민원문제 등으로 해안 매립은 점차적으로 확대되어 가고 있는 추세이다. 이를 잘 반영하듯 본 광양 자가용 LNG 터미널 건설공사 역시 부지확보는 해안 매립에 의해 이루어졌으며 이러한 부지조성공사는 크게 가호안 조성, 준설 및 매립, 연약지반 개량, 계측 관리의 4가지 공정으로 구성된다.

일반적으로 해안모래 매립에 의한 부지는 연약 퇴적토층에 준설모래의 매립을 실시함으로써 구조물 설치 후 하부 연약지반의 침하에 대한 문제와 상부 모래층의 액상화 현상 발생에 대한 문제를 동시에 겪게 된다. 이를 해결하기 위하여 본 공사의 연약지

반 개량에서는 상부 모래층의 액상화에 대한 개량과 하부 점토층의 압밀침하에 대한 개량이 동시에 이루어지도록 SCP공법과 SD공법을 병행 시공하였다. 이는 차후 지속적으로 발생할 해안 매립에 의한 부지조성공사에 적용 가능한 좋은 시공 사례라고 생각된다.

또한 본 공사의 LNG Tank 기초공법으로는 구조물 시공 후 발생 가능한 추가적인 침하 또는 잔류침하로 인한 부마찰력의 발생을 저감시키기 위하여 SL강관말뚝을 적용하였으며 재하시험을 통하여 허용지지력 이상의 지지력을 확인하였다.

참고 문헌

1. 포스코건설(1999), 광양 자가용 LNG 터미널 부지조성공사 설계자료
2. 포스코건설(1998), 광양 자가용 LNG 터미널 부지조성공사 실시설계 보고서
3. 포스코건설(1998), 광양 민자화력발전소 부지조성공사 설계자료
4. POSCO(2000), 광양 자가용 LNG 터미널 Tank 기초 설계자료
5. POSCO(1990), 광양제철소 연약지반개량공사 침하안전 관리 종합보고서
6. 해양수산부(1999), 항만 및 어항시설의 내진설계표준서
7. Seed, H.B., Idriss, I.M., "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", Journal of the Soil Mechanics Division, ASCE(SM9), 1971
8. 대한주택공사 주택연구소(1998), 말뚝재하시험 및 분석 방법에 관한 매뉴얼 작성
9. 한국지반공학회지(1997. 10), 동재하시험을 이용한 모래지반의 말뚝지지력 산정, 이우진 외 3명