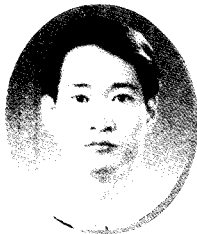


# 제주의항 2단계 항만시설 축조공사 설계



안 중 선  
(주)건일엔지니어링  
지반공학부 전문



조 영 구  
(주)건일엔지니어링  
지반공학부 이사  
(choygoo@yahoo.co.kr)



김 용 주  
(주)건일엔지니어링  
지반공학부 차장  
(yjkim7601@naver.com)



김 진 태  
(주)건일엔지니어링  
지반공학부 대리  
(bb95013@empal.com)



박 준 모  
(주)건일엔지니어링  
지반공학부 대리  
(jmparksoil@hotmail.com)

## 1. 서론

제주의항 2단계 항만시설 축조공사는 기존 제주의항의 내항시설로는 대형 국제여객선 접안을 위한 선회장 및 전면수심 확보가 곤란하고 항만시설 부족으로 만성적인 체선, 체화현상이 발생되고 있어, 제주의항의 여객 및 일반화물 하역기능을 효과적으로 분담시키고 항만시설 운영의 효율화 및 활성화를 도모하고자 제주의항에 외곽시설과 국제유람선 및 일반화물부두 등을 건설하기 위하여 2006년 9월에 착공되어 2011년 5월에 완공을 목표로 공사가 진행중인 사업이다.

사업의 주요시설은 외곽시설 390m(동방파제 290m, 동방파호안 100m), 접안시설 780m(국제유

람선부두 360m, 일반화물부두 420m), 호안시설 1,204m(북측호안 240m, 친수호안 801m, 접속호안 163m)로 구성되어 있다.

## 2. 지층개요 및 토질특성

본 과업구간의 지층구성 상태는 상부로부터 해성 퇴적층, 화산쇄설성 퇴적층, 현무암의 연암 및 경암 순으로 분포되어 있으며, 일부에서는 해성퇴적층과 암반사이에 붕적층이 존재하는 것으로 나타났다. 해성퇴적층은 실트질 모래(SM) 등으로 구성되어 있으며, 전반적으로 느슨함 내지 중간 상태의 상대밀도를 나타내었다. 국제유람선부두와 일반화물부두 구

제주의항 2단계 항만시설 축조공사 설계 |



그림 1. 사업 개요

간의 기초사석 두께는 2.6~9.7m, 모래층 두께는 최대 23.5m로 전반적으로 두껍게 분포하고 있어, 기초사석과 모래층의 침하대책 수립이 필요하였다.

기초지반이 사질토로 구성된 유사 지역에 대해 N치, 세립분 함유율, 내부마찰각 및 변형계수에 대해 비교 분석하였다. 내부마찰각은 비교적 분산범위가 적고, 평균 30° 정도로 분석되었다.

기본물성시험을 통하여 획득한 원지반 사질토층

의 물리적특성은 그림 4와 같다. 실내시험(직접전단 시험, 삼축압축시험, 대형전단시험, 실내 S-PS실험)과 원치위시험 자료를 비교 분석하여 안전측의 내부마찰각을 산정하였다. 내부마찰각은 심도 10m 이내에서는 31°, 10m이상에서는 32° 인 것으로 나타났다. 동적특성은 현장시험(S-PS검층)과 실내시험(공진주시험, 진동삼축시험)으로 평가하였다.

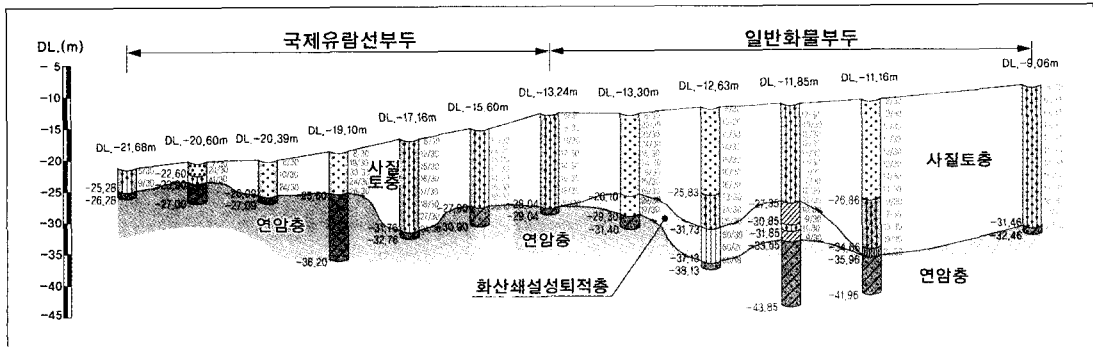


그림 2. 지층단면도

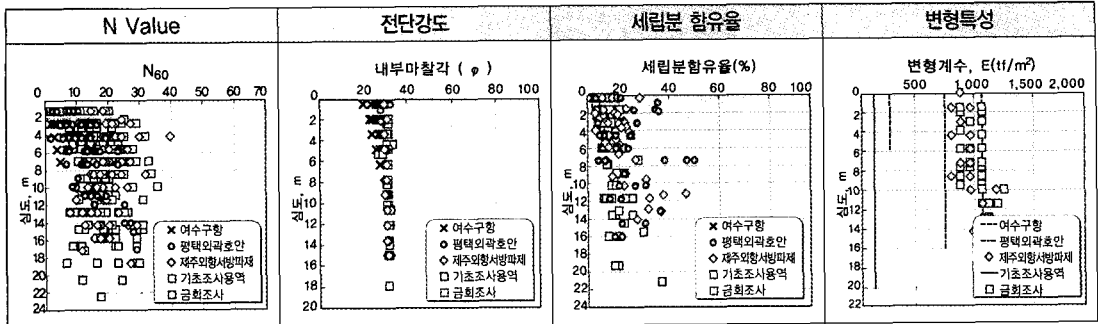


그림 3. 유사 사질토지역 토질특성

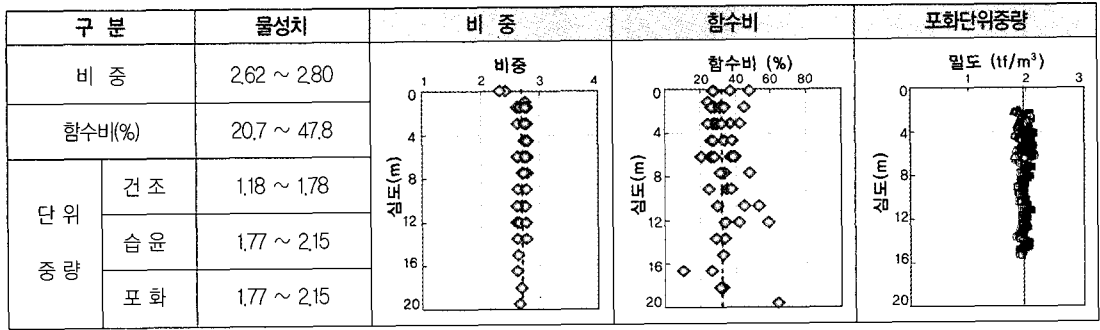


그림 4. 물리적특성

표 1. 내부마찰각 산정

구분		내부마찰각
이론식	Dunham : $\sqrt{12N+20}$	
	Ohsaki : $\sqrt{20N+15}$	
	Peck-Hanson-Thornburn : $27.1+0.3N_{60}-0.00054N^2$	
	Peck : $0.3N+27$	
시험값	직접전단시험 ( $\phi=30^\circ \sim 34^\circ$ )	
	삼축압축시험 ( $\phi=37^\circ \sim 39^\circ$ )	
	대형전단시험 ( $\phi=37^\circ$ )	
	실내 S-PS 실험 ( $\phi=34^\circ \sim 47^\circ$ )	

### 3. 제주도 모래의 침하특성 분석

본 과업에서는 지반특성분석에 필요한 현장 및 실험

내시험 외에 설계신뢰도 상향을 위하여 제주도 모래 침하특성실험을 수행하였다. 지층분포특성, 구성광물 분석에 의한 모래의 성분 및 표면특징, 압축시험

| 제주외항 2단계 항만시설 축조공사 설계 |

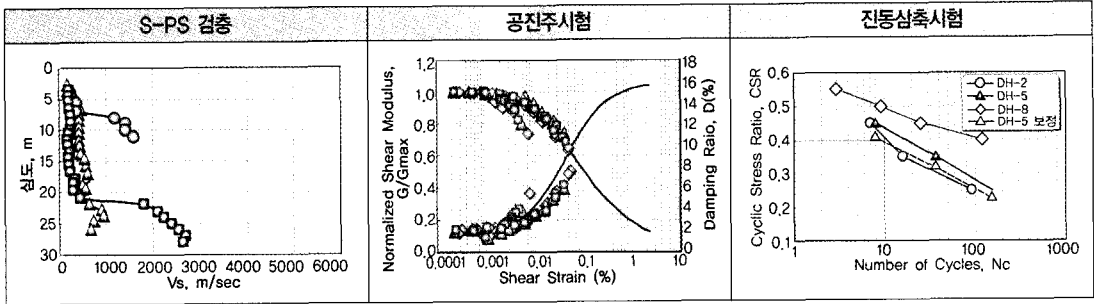


그림 5. 동적특성

을 통한 모래의 침하특성, 1단계 서방파제 구간의 계측데이터 분석을 통한 침하경향을 파악하는 종합적인 분석을 실시하였다.

제주도 각 지역에는 후기 화산활동과 관련이 있는 화산쇄설물인 암재구가 도내 전역에 광범위하게 분포되어 있으며, 암재구를 구성하고 있는 화산쇄설물을 제주도 방언으로 “송이(Scoria)”라 한다. 송이는 생성과정과 풍화정도에 따라 입경이 미세 입자로부터 10cm 이상 되는 다양한 분포를 보이며, 제주외항의 시추결과에서도 이 점을 증명하듯 다양한 토성을 가진 화산쇄설성 퇴적층이 존재하였다. XRF 시험기를 이용한 화학분석 결과  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ 가 전체 성분의 70~77%로 대부분을 차지하고 있으며, 전단강도는 송이의 색깔에 따라 황색은  $24^{\circ} \sim 28^{\circ}$ , 적색은  $28^{\circ} \sim 36^{\circ}$ , 검정색은  $33^{\circ} \sim 38^{\circ}$ 로 다양한 분포를 보였다. 송이는 파쇄가 쉽게 일어나는 특징을 갖

고 있는데 특히 황갈색 송이는 암회색의 송이에 비해 입자가 작고 파쇄가 훨씬 쉽게 일어나는 특징이 있는 것으로 밝혀져 있다.

모래의 장기침하 실험은 항내 모래의 침하특성을 살펴보기 위하여 대형공시체를 이용하여 상대밀도 70%에 대해 최대  $6.4kg/cm^2$  하중까지 재하하여 실험을 실시하였다. 압축실험 중 하중재하에 따른 입자의 파쇄정도를 알아보기 위해 시험 후 사용된 시료에 대한 입도분석 결과 입자 유효입경이 작아져 입자파쇄가 발생했음을 알 수 있었으며, 압축지수는 0.116으로 제주외항의 모래는 약간의 압축특성이 있는 것으로 나타났다. 설계적용시 즉시침하와 입자파쇄 및 재배열에 의한 침하가 약 45cm 정도 발생하는 것으로 추정되었다.

제주외항 1단계 서방파제 계측자료를 분석한 결과 계측 시작 후 약 100일 이내에 전체 침하의 70~80%

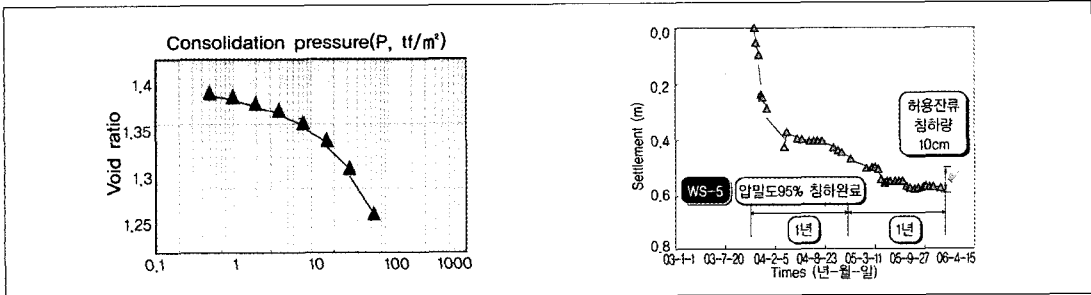


그림 6. 모래의 침하실험 및 서방파제 계측자료 분석

정도가 발생되었다. 이 부분의 침하량은 서방파제 기초지반(해성퇴적층, 화산쇄설성 퇴적층, 사석층)의 탄성침하에 의한 것으로 판단되며, 100일 이후부터 변곡점이 생기며, 약 350일까지 추가적으로 발생하는 침하는 지층을 구성하는 입자들의 파쇄와 입자의 재배열에 의한 것으로 추정된다. 본 과업에 계측자료 적용시 기초사석 구간은 2개월 이내에 즉시침하가 발생하며, 기초사석과 모래구간은 약 2년에 걸쳐 장기침하가 발생하나, 케이스 거치 1년 이내에 95% 정도 침하가 완료되는 것으로 분석되었다.

#### 4. 구조물기초 계획

본 과업에서는 시설물 평면배치계획에 따라 외곽 시설, 접안시설 및 호안 구간으로 구분하고, 모래층의 두께 및 침하특성, 상부구조물 형식을 고려한 기초계획을 수립하였다.

제주외항 서방파제, 제주항, 서귀포항 외항 등 인근지역 기존 모래 지반에서의 기초계획을 검토하고, 본 과업에서는 상부구조물 특성 및 규모 등에 따라 직접기초공법을 적용하였다. 동방파제, 호안구간,

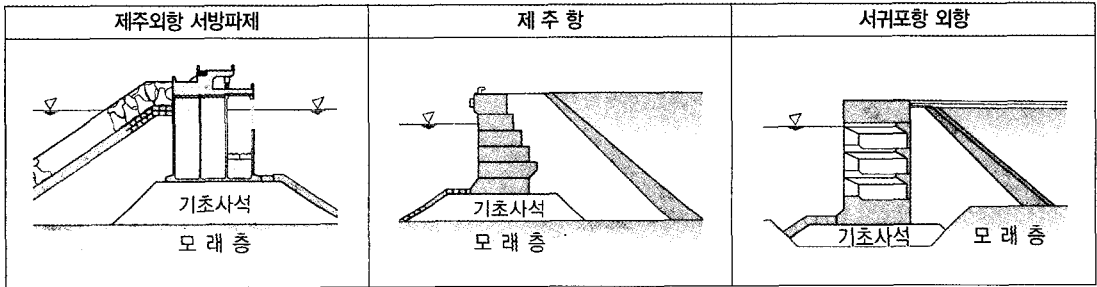


그림 7. 사질토지반 기초공법 적용 사례

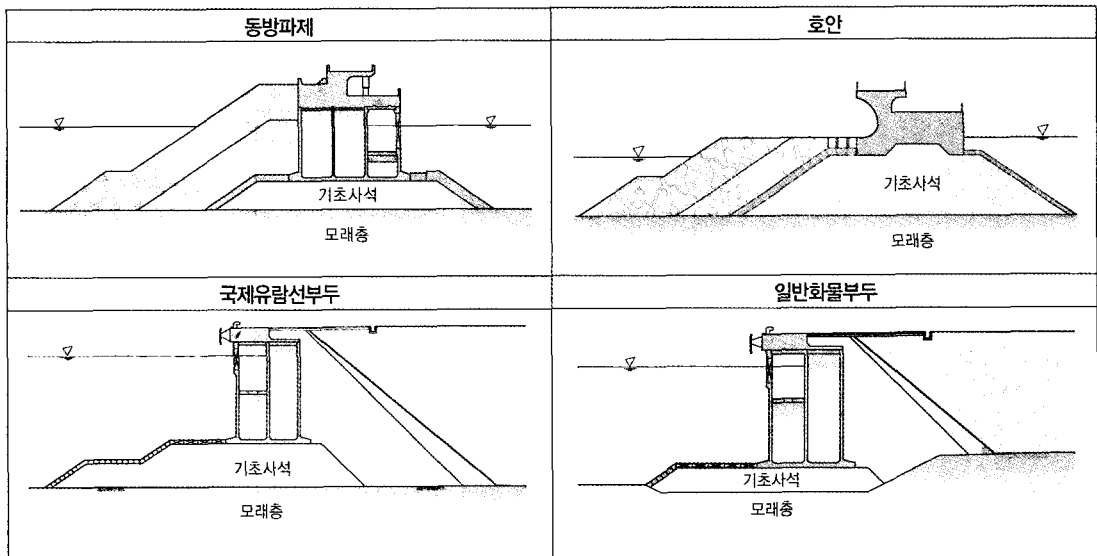


그림 8. 구간별 기초공법

| 제주외항 2단계 항만시설 축조공사 설계 |

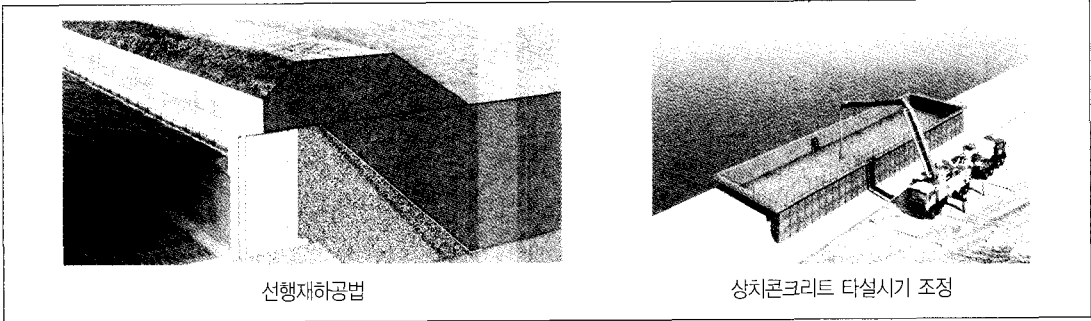


그림 9. 침하대책을 고려한 구조물기초 계획

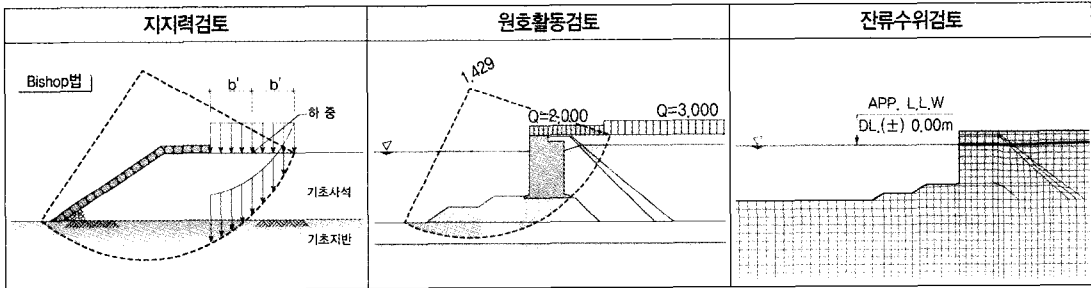


그림 10. 원호활동 검토

국제유람선부두 구간은 지층이 양호한 모래층으로 이루어져 별도의 기초처리를 반영하지 않고 직접기초공법을 적용하였으며, 일반화물부두 및 승하선용 램프구간은 기초지반이 양호하나, 원지반이 계획수심보다 높아 준설 후 시공하는 것으로 계획하였다.

국제유람선부두 300m 구간은 현장여건을 고려하여 시공성 및 경제성에서 유리한 선행재하공법을 적용함으로써 케이슨 거치 후 기초사석의 소성침하가 조기에 종료되도록 계획하였다. 과업지역의 모래지반은 서방과제 계측분석 결과와 같이 허용침하량을 10cm로 할 경우 침하량의 95%가 1년 이내에 발생하는 점에 착안하여 상치콘크리트 타설시기를 케이슨 거치 1년 이후로 조정하여 잔류침하를 방지하였다.

### 5. 구조물기초 안정성 검토

구조물기초의 안정성은 상부 구조물의 하중 및 지층조건이 가장 취약한 구역에 대하여 수행하였으며, 구간별로 지지력, 원호활동 및 잔류수위에 대해 중점적으로 검토한 결과 전 구간에서 안전잔율을 만족하였다. 지지력은 Bishop에 의한 간편법과 하중분산법에 의해 검토하였으며, 원호활동은 STABL5M, SLOPE/W, TALREN97을 이용하여 상호 비교, 검토하였다. SEEP/W에 의해 검토된 잔류수위는 국제유람선부두지역에서 D.L(+), 1.365m, 일반화물부두지역에서 D.L(+), 1.308m로 나타났으나, 외해측 조위차의 1/2에 해당되는 항만설계기준값(D.L(+), 1.475m)이 안전측이므로 이를 잔류수위로 적용하였다.

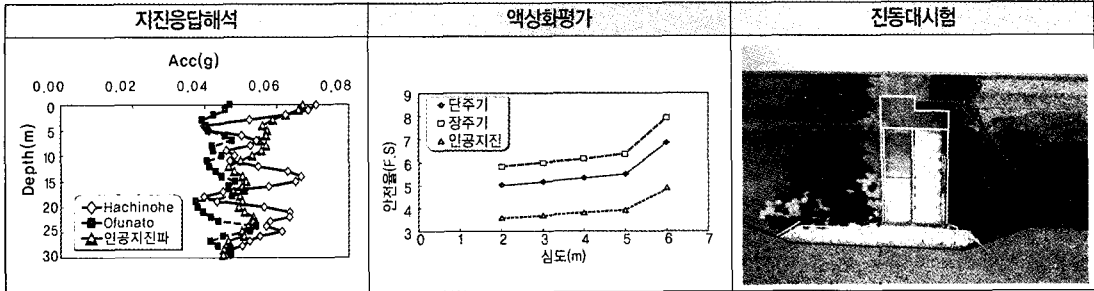


그림 11. 내진해석

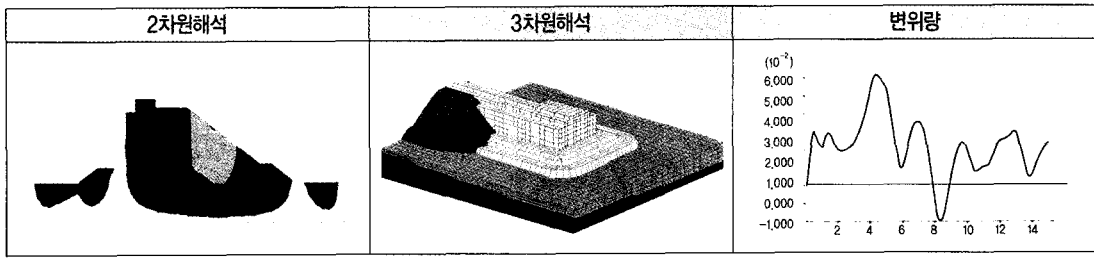


그림 12. 2, 3차원 구조물기초 거동 분석

과업지역에서 지진발생시 구조물의 피해를 최소화할 수 있도록 내진설계기준 및 목표를 설정하고 지진응답해석을 수행하여 지진에 대한 지반거동을 분석하였다. 액상화평가(입도분포, 상세예측, 파랑), 2차원(FAC) 및 3차원(PENTAGON) 수치해석과 같은 동적해석을 수행하고, 진동대시험을 통하여 구조물의 거동특성을 보완, 검증하였다.

역의 기초공법 적용사례 검토, 서방파제 계측자료 분석을 통하여 기초사석 침하방지 대책으로 선행재 하공법을 선정하였다. 구조물기초의 활동 및 지지력 검토, 시공단계별 안정성 검토, 침하해석과 같은 정적해석과 지진응답해석, 액상화평가, 진동대시험과 같은 동적해석을 병행하여 계획된 구조물기초의 안정성을 평가하고, 안정성, 시공성, 경제성에 기초한 구조물 기초계획을 수립하였다.

## 6. 결론

본 과업에서는 제주외항에 외곽시설, 접안시설, 호안시설 등 길이 2,374m의 시설물이 계획되었고, 구조물기초 계획에 상부구조물의 형식뿐만 아니라 제주 사질토의 지반특성을 중점적으로 반영할 수 있도록 모래의 장기침하특성분석, 지질학적 분석, 구성광물 분석 등 다양한 검토를 수행하였다. 인근지

## 참고문헌

1. 대림산업주식회사(2006), 제주외항 2단계 항만시설 축조공사 기본설계보고서
2. 제주특별자치도 해양수산본부(2006), 제주외항 2단계 항만시설 축조공사 실시설계보고서