

투수식 소파판을 적용한 크루즈부두 건설사례

A construction case of cruise terminal berth applying permeable wave panels

조인성¹, 이승우²
 In Sung Cho¹, Seung Woo Lee²

1. 서 론

부산항 크루즈부두 및 해경부두는 기존 호안에서 돌출되어 양측에 선박을 접안시키는 돌제부두(길이 360m)와 외부 파랑의 항내 침입을 막기 위하여 돌제부두의 끝에서 경사방향으로 파제제(길이 150m)를 설치하는 공사이다.

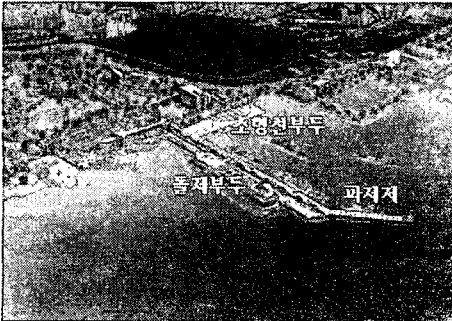


그림 1. 크루즈부두 배치도

중력식 방파제는 파를 막는 효과가 탁월하지만 수심에 비례해서 폭이 증가함에 따라 수심이 깊어질수록 공사비의 부담이 커지며, 해수순환이 이루어지지 않아 항내의 오염이 문제가 되는 단점이 있다.

부산항 크루즈부두 및 해경부두는 해수 정체로 인한 항내오염을 줄이고 깊은 심도에서의 연약지반처리 공사비를 절감할 목적으로 중력식 구조물을 적용한 기존설계를 신개념의 투수식 소파판을 적용한 잔교식 안벽 및 파제제로 대안설계하여 시공하고 있다.

강관파일형식의 잔교식 구조물은 그 특성상 파랑이 항내로 고스란히 침투되는 단점이 있다. 따라서 항내의 정온도를 확보하기 위해서는 파랑의 침입을 막을 수 있는 시설물이 필요한데, 강관파일 사이에 설치하는 투수식 소파판은 항내로 진입하는 파를 감소시

켜 항내정온도를 만족시키면서 동시에 항내의 해수순환을 도모하여 수질오염을 방지하는 두가지 목적을 동시에 충족시키기 위한 대안이다.

투수식 소파판은 프랑스 Dieppe항 방파제, 미국 San Francisco항 Pier #39, Seattle항 Everett Homeport 해군기지에 적용된 사례가 있으며, 국내에서는 부산항 크루즈부두 및 해경부두에 최초로 적용되었다.

2. 투수식 소파판 적용 잔교구조물 설계

2.1 설계개요

투수식 소파판의 기본규격은 길이 폭 1.6m, 두께 50cm, 길이 20m로서 좁고 긴 패널 형태이다. 평면배치는 8m 간격의 강관파일 사이에 유공율에 따라 30~50cm의 간격을 두고 설치한다.

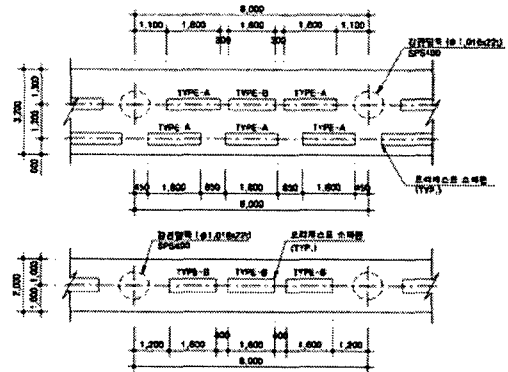


그림 2. 소파판 평면배치

입면적으로 볼때 소파판의 상부는 잔교 보에 강결로 고정되고 하부는 지반에 7m 근입 지지되어 횡방향으로 작용하는 파력을 구조물과 지반 양방향으로 분산 전달하는 구조로 되어 있다.

1 발표자 : 포스코건설 토목환경사업본부 부장
 2 포스코건설 부산항크루즈부두및해경부두공사현장 과장

2.2 수치 및 수리모형실험

2.2.1 실험조건

소파판의 공극율, 크기, 간격, 배열형식에 따른 반사율 및 투과율을 수치모형실험으로 산정하고, 그 결과로 나온 투과성 소파제의 최적제원으로 수리모형실험을 실시하여 투과율, 반사율 및 파압을 측정하였다.

표 1. 수치 및 수리모형실험 조건

구분	내용
조위	-삭망평균만조(HWL)=DL+ 1.430m
	-평균조위(MSL)=DL+ 0.649m
	-약최저저조위(DL)=DL+ 0.0m
설계파	-방향=S10W, 파고=1.4m, 주기=15sec
	-방향=E, 파고=2.5m, 주기=7.7sec
	-방향=NE, 파고=2.35m, 주기=12sec
수심	-돌제부두=DL-11.5m
	-파제제=DL-10.5m

2.2.2 수치모형실험

단면수치모형실험은 MPB(Multi-wall Permeable Breakwater)모델을 적용하였다. 실험변수로서 개구율(λ)=0.1-0.4, 소파판 1열과 2열 사이의 거리(B1), 소파판 2열과 3열 사이의 거리(B2)를 변화시켜 실험을 실시하였다.

실험결과 B2/B1비가 0.33 이하일때 소파판 사이의 간격은 투과율과 반사율에 영향을 미치지 않으며, 3열 배치식 소파판에서 소파판의 간격이 파장의 1/3보다 작을때 중간소파판의 위치는 그다지 영향을 미치지 않으며, 2열 소파판과 3열 소파판의 위치가 근접하게 되면 소파판 사이에서 에너지 소산이 증가하여 투과율이 감소한다는 특성 결과를 얻었다.

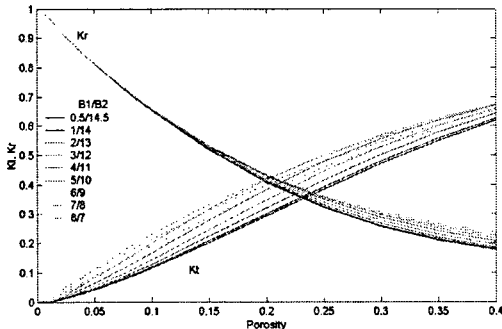


그림 3. 수치모형실험 투과율(Kt)과 반사율(Kr)

실험결과에 따라 외부파의 진입을 저지하는 목적의 파제제는 2열과 3열을 근접시켜 투과율을 감소시키도록 계획하였고, 폭이 넓은 돌제부두는 2열 중간소파판을 1열과 3열의 한 가운데에 배치하여 해수순환을 도모하는 형태로 계획하였다.

2.2.3 수리모형실험

수리모형실험은 항내 정온에 주영향을 미치는 파제제에 대하여 축척 1/12로 실시하였다. 개구율은 1열 30%, 2열 30%, 3열 20%로, 소파판 간격은 B1=16.4m, B2=1.3m로 적용하였다.

실험결과 투과율은 0.32-0.42, 반사율은 0.25-0.27로 나타났다. 소파판에 7개의 압력계를 붙여 파압을 측정된 결과 전체구조물에 작용하는 최대파력은 193kN/m로 산정되었다.

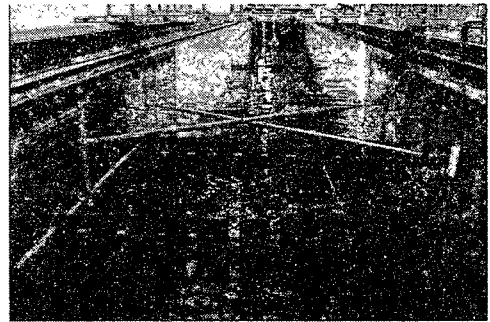


그림 4. 수리모형실험 전경

표 2. 수리모형실험 결과

파향	파고	투과율	반사율
S10W	1.4m	0.42	0.25
E	2.5m	0.32	0.30
NE	2.25m	0.35	0.27

표 3. 파압 측정 결과(kN/m)

파향	소파판1	소파판2	소파판3	전체
S10W	98.0	25.6	83.0	135.0
E	128.0	30.0	77.7	117.0
NE	138.0	36.8	106.0	193.0

2.2.4 평면수치모형실험

파제제의 평균투과율 0.36, 평균반사율 0.27을 적용하여 평면수치모형실험한 결과, 파제제 두부를 제외한 항내 파고분포는 0.8m 이하로 나타났으며, 돌제부두 배면보다는 파제제 배면의 항내 정온이 불량한 것으로 나타났다.

2.3 잔교구조물 설계

돌계부두 잔교구조물은 직경 1016mm의 대구경, 고강도(SPS490) 강관말뚝을 암반까지 근입시키고 상부를 종방향, 횡방향 콘크리트 보 및 슬래브로 일체화시키는 구조이며, 파제제는 횡방향력에 저항하기 위하여 연직말뚝 내부에 경사말뚝을 추가로 설치하는 구조이다. 파제제는 인장저항력 보강을 위해 외측 경사말뚝 선단부에 $\phi 250\text{mm} \times 9\text{m}$ 의 앵커를 추가로 설치하였다.

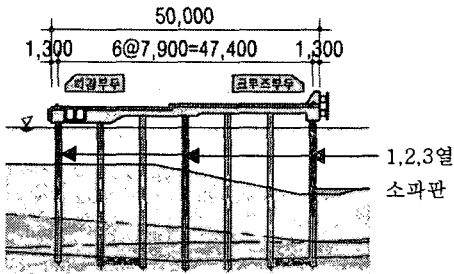


그림 5. 돌계부두

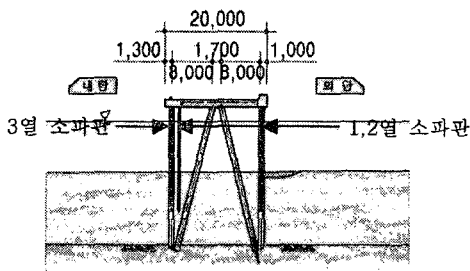


그림 6. 파제제

강관말뚝 사이에 설치되는 소파판은 세장한 구조체로서 길이방향의 내력을 보강하기 위하여 PC 강연선을 적용한 PSC(Prestressed Concrete)구조로 하였고, 상부구조체와의 연결은 갈고리형 H32 고강도철근을 이용하여 강결시키는 방법을 적용하였다. 수리모형실험에 의한 외력 조건을 적용하여 소파판의 단면을 검토한 결과, 폭풍시 최대 압축응력은 $125.6\text{kgf}/\text{cm}^2$ 로 산정되어 허용응력 $140\text{kgf}/\text{cm}^2$ 이내로서 안전한 것으로 검토되었다.

3. 소파판 제작 및 시공

3.1 소파판 제작

소파판은 설계강도 $350\text{kgf}/\text{cm}^2$ 의 고강도 콘크리트를 사용하며, 일반포틀랜드시멘트에 수밀성 및 내구성 강화를 위해 플라이애쉬 15%, 실리카흙

5%를 배합하였다. PSC강연선은 SWPC-7B(7연선 $\phi 15.2\text{mm}$)를 종방향으로 30가닥 배치하며 strand당 18.447tf의 긴장력이 소요되어 1개의 소파판 제작을 위해서는 총 553tf의 긴장력이 필요하다.

이처럼 큰 긴장력이 소요되는 소파판을 Pretension 방식으로 제작하기 위해서는 튼튼한 제작 베드를 잘 만드는 것이 무엇보다 중요하다. 본 공사에서는 1개 베드당 4개의 소파판을 동시에 제작할 수 있도록 내부규격 7m(B) \times 45m(L) \times 80cm(H)의 대형제작베드를 철근콘크리트구조로 2기 설치하였다. 콘크리트 베드 하부 및 좌우측에 증기양생을 위하여 스팀배관을 설치하고 그 다음 소파판 제작용 강제거푸집을 설치하였다. 전천후 제작을 위하여 제작베드 위에는 이동식 몰드커버 시설을 설치함으로써 우천시 원활한 작업을 도모하고 동계 증기양생시 온도손실을 방지하였다.

소파판의 제작과정은 ①거푸집 조립, ②철근 및 강연선 배치, ③강연선 긴장, ④콘크리트 타설, ⑤증기양생(상승2시간, 유지8시간, 하강2시간) ⑥강연선 긴장해제 및 절단(프리스트레스 도입) ⑦소파판 좌우측 오목부 무수축콘크리트 채움(강연선 단부 보호)의 순으로 진행되며 베드당 평균 3일 cycle로 제작이 이루어졌다.

프리트렌 방식으로 부재 제작시 프리스트레스 도입시키는 콘크리트강도 $300\text{kgf}/\text{cm}^2$ 이상으로 콘크리트 시방서에 규정되어 있다. 초기 소파판 제작단계에서는 증기양생후 강도가 이 조건을 만족시키지 못하여 제작 cycle이 지연되었다. 실리카흙 혼합에 따라 워커빌리티가 저하되어 타설에 어려움이 있었지만 콘크리트 슬럼프를 지속적으로 낮게 관리함으로써 이 문제를 해결할 수 있었다.

3.2 소파판 거치

야적된 소파판을 해상 잔교구조물에 거치하기 위해서는 해상운반을 위한 적출장이 필요하다. 본 공사에서는 해상크레인 및 선적바지 접안을 위한 50m 길이의 전용적출장을 설치하였다. 개당 40t 무게의 소파판을 야적장에서 적출장까지 육상운송하는데는 Travel Lift라는 특수장비를 사용하였고, 150t 해상크레인을 사용하여 적출장의 소파판을 바지선 위의 고정장치(shelving system)에 옮겨 실은 다음, 설치위치로 이동하게 된다. 거치장소에 도착하면 소파판을 Barge 위에서 수평으로 인상하여 해상에서 수직으로 회전시킨 다음 정위치에 소파판을 거치한다.

소파판은 해저면에서 지반 밑으로 약 7m 정도 관입하도록 되어 있다. 지반이 단단하여 관입이 어려운 경우에는 소파판 내부에 설치된 관을 통하여 water jet 파이프를 삽입하고 고압수로 하부지반을 교란시켜 관입 시공하였다. 가시설 H-Beam 위에 거치된 소파판은 잔교보 거푸집 설치후 1차 콘크리트를 타설하면 보와 일체가 되어 강결구조를 이루게 된다.

소파판 거치시 주의할 점은 육중한 무게의 소파판 선적을 위한 인상작업 및 거치를 위한 해상 회전작업시 돌고리 안정성을 확보하는 것이며, 과도한 하중에 의해 소파판의 돌고리 구멍 주변에 균열이 발생하지 않도록 관리하는 것이다.

4. 결 론

항내 정온도 확보와 해수유통을 통한 오염저감

이라는 상충된 목표를 달성하기 위해 잔교식 크루즈부두에 국내 최초로 투수식 소파판 형식을 적용하였고, 수치 및 수리모형실험을 통하여 수리성능 및 정온효과를 확인할 수 있었다.

소파판을 적용한 잔교식 해수유통 모델은 파랑의 침입을 막으면서 해수유통을 가능하게하는 신개념으로서 수심이 깊은 지역에서 연약지반 공사비를 절감하면서 시행할 수 있는 친환경적인 대안이 될 수 있어 향후 항만공사에서 적용이 확대될 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 포스코건설. (2003) 부산항 국제여객 및 해경부두 축조공사 대안설계보고서, 구조및수리계산서, 실험보고서

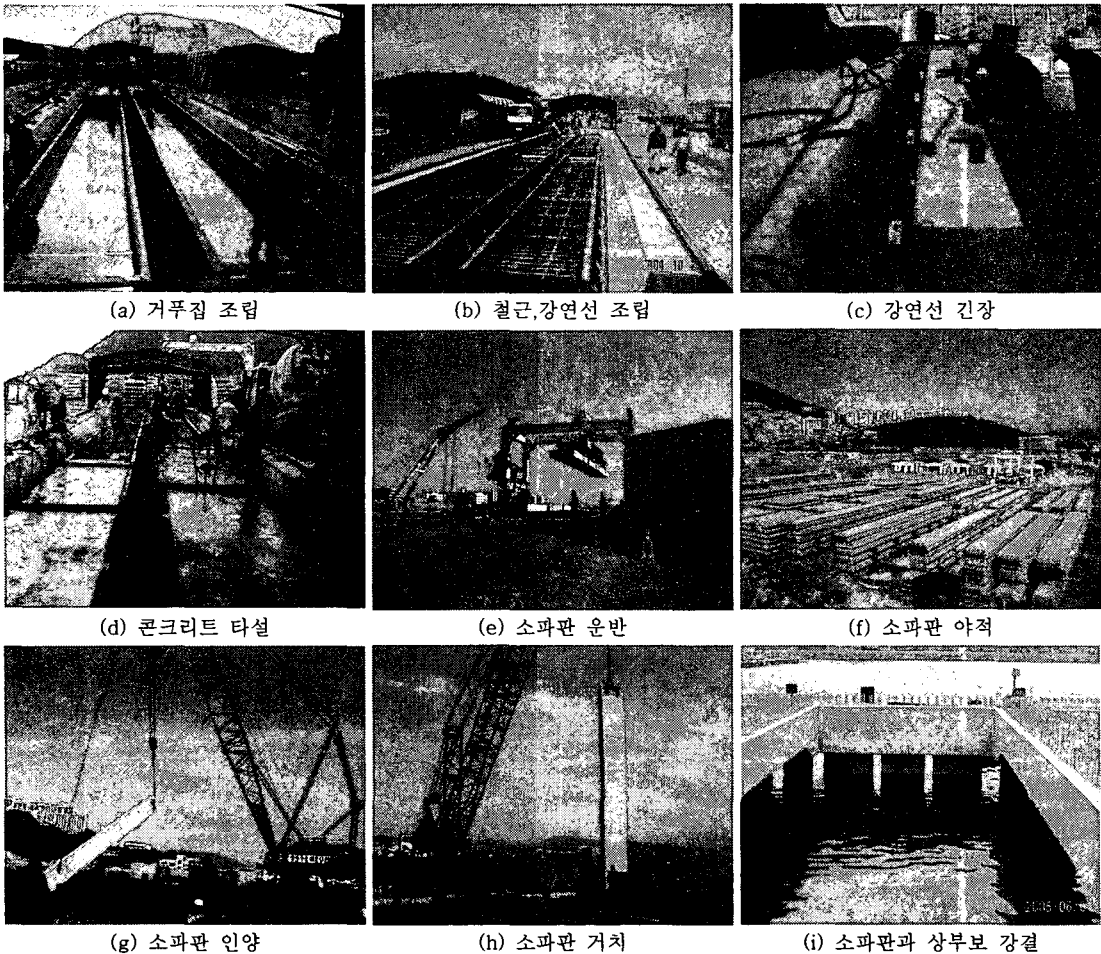


그림 7. PSC 소파판 제작 및 거치 과정