

제주외항 건설사업

“자연과 조화로운 항만, 제주외항 개발”



이강철

대림산업(주) 토목사업본부 차장
ojam@daelim.co.kr



배용훈

대림산업(주) 기술개발원 과장
yhb@daelim.co.kr

1. 서론

제주항 개항 이래 최대 건설사업인 제주외항 1, 2단계 개발사업이 약 10년여의 공사 끝에 2011년 12월에 마무리되었다. 제주외항 개발사업은 2001년부터 2019년까지 총 3단계의 사업으로 구성되어 있다. 개발배경은 제주시의 국제 자유도시 개발계획 확정 후, 국내외 관광객 및 화물량의 증가가 예상됨에 반해 기존 제주내항의 시설로는 2만 톤급 이상의 대형 국제 여객선의 접안이 곤란하고 항만 접안시설 부족으로 만성적인 체선, 체화 현상이 발생하는 등 국제 자유도시로의 개발에 저해되는 요인을 해소하고 나아가 제주도를 동북아 관광 중심지로 개발하여 환태평양, 동남아 중심축으로 부상시키고 제주도 자립 경제 기반을 구축 위함이다. 특히 제주외항은 설계 당시, 국내 최초의 신형식 친수방파제의 적용이 계획되고 최근 세계 7대 자연경관에 선정될 만큼 아름다운 제주도의 경관과 조화할 수 있는 친환경적이고 미적 감각을 살린 항만으로 조성되어 큰 관심을 받았다.

이러한 제주외항 개발사업으로 2011년 10월 제주외항 개장 이후, <표 1>과 같이 개장 전 대비 뚜렷한 입항실적 및 관광객의 증가 추세를 나타내고 있는데 특히, 2012년 한 해에만 14만 톤급 초대형 크루즈(로얄캐리비안 선사의 Voyager of the Seas호)를 포함하여, 총 15척의 크루즈가 80회에 걸쳐 약 14만 명의 관광객을 수송하여 전년대비 115%의 관광객 증가를 보였으며 2013년에는 총 150회의 입항으로 약 30만 명의 관광객이 제주외항을 통해 제주도를 방문할 것으로 예상되고 있다(제주특별자치도 해양개발과). 본 고에서는 이와 같은 성공적인 개발사업을 위해 10여년 동안 수행된 제주외항 1단계 및 2단계 개발사업의 과정을 소개하고자 한다.

〈표 1〉 연도별 제주 국제 크루즈 관광객 증가 추세

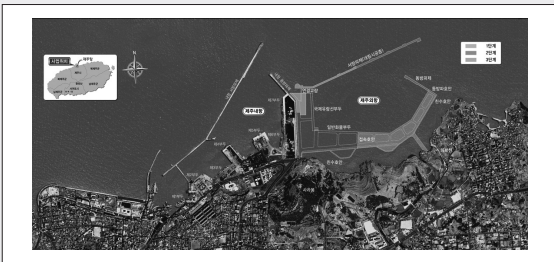
구분(연도)	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
입항실적	2	6	23	24	39	37	49	69	80
관광객(명)	7백	32백	112백	172백	305백	381백	552백	649백	1,400백

〈표 2〉 제주외항 단계별 개발계획

구분	1단계	2단계	3단계
공사기간	2001~2009년	2006~2011년	2011년이후
총사업비	1,693억 원	1,510억 원	
사업내용	① 서방파제 : 1,425m ② 부대시설 : 1식	① 안벽 : 810m ② 동방파제 : 390m ③ 호안 : 1,204m ④ 준설 및 부지조성 : 1식 ⑤ 연결교량 : 1개소 ⑥ 부대시설 : 1식	(위터프론트 개발계획 수립 중)
사업효과	① 하역능력 : 2,346천 톤/년 ② 접안능력 : 국제 유람선 부두(8만DWT) 1선석 여객 · 화물부두(5천~2만DWT) 6선석 ③ 국제관광항만 위상확립 및 친수공간 확보		

2. 공사개요

제주외항 개발사업의 위치는 〈그림 1〉과 같이 제주도 건입동 동쪽 화북지역 전면해상으로 건설기간은 2001년부터 2019년까지, 총 3단계의 개발사업으로 계획되었다. 외곽시설은 서방파제 1,425m와 동방파제 390m로



〈그림 1〉 제주외항 건설사업 위치도 및 개발계획

구성되어 있으며 접안시설은 장래 국제 크루즈터미널 허브항을 목적으로 80,000톤급의 대형유람선 접안이 가능한 국제 유람선 부두 1선석 및 여객 · 화물부두 6선석으로 구성되어 있다. 또한 해양수로와 해양공원을 조성하여 제주외항이 국제 여객 · 물류항으로서의 역할 뿐만 아니라 시민의 여가, 휴게 공간 및 휴식처 역할을 할 수 있는 위터프론트로 계획되었다. 제주외항 개발사업의 단계별 추진계획은 살펴보면 〈표 2〉와 같다.

3. 시설 현황

제주외항 건설공사는 설계 및 착공 당시, 국내에 첫 선을 보였던 곡면 Slit케이슨, 종Slit케이슨, 유수실 내장형 해수교환케이슨, OTP 소파블록 등 다양한

신형식 해안구조물이 적용되어 업계의 높은 관심을 받았다. 그 동안 국내에서 시도되지 않았던 신형식 해안구조물의 시공에 많은 시행착오를 겪으면서 공사진행에 어려움도 있었으나 한편으로는 모든 구조물을 성공적으로 공사하여 신형식 해안구조물 공사기술을 축적할 수 있는 기회가 되었다.

3.1 외곽시설

제주외항 서방파제는 기존 제주내항 항 입구부와 항로부근의 파고를 증폭시키는 평면배치계획으로 계획되어 있으며 제주외항 방파제 계획 시 가장 고려해야 할 점은 기존 제주내항 항 입구부와 항로부근의 파고증폭 및 충격쇄파력을 최소화하는 구조형식을 적용해야 한다는 것이었다. 이에 따라 다양한 조건에서 축조 전·후의 파고분포에 대한 검토를 수행하여 방파제를 구간별로 구분하였으며 각 구간별 최적 구조형식을 결정하였다.

먼저 제주외항 서방파제 1,425m 중, 제주내항의 항 입구부에 인접한 525m 구간은 제주내항 입출항 선박의 안전을 위하여 <그림 2(a)>와 같이 반사파를 최소화 할 수 있는 Berm Type 소파블록 피복케이슨을 적용하였으며 내측 직립구조 및 상부 친수공간을 확보하여 관광항만으로의 이용성을 극대화하였다. 이후 제간부 900m 구간은 <그림 2(b)>와 같이 신형식 방파제인 곡면 Slit 케이슨을 적용하였다. 곡면 Slit케이슨은 기존 Slit케이슨에 비하여 내파성 및 수리특성이 우수하고 수려한 미관 및 경관이 특징으로 대수심, 고파랑의 제주 해양환경에 적합하고 곡면 구조로 부재에 작용하는 파력에 대한 강도발휘가 용이하다. 소파블록 피복케이슨 구간과 곡면 Slit케이슨 구간 사이에는 <그림 2(c)>와 같이 해수교환이 가능한 우수실형 해수교환 케이슨을 60m 구간에 적용하여 항 외측의 해수를 항내로 유입시켜 항내 해수의 정체로 인한 해양오염을 방지하고 수질개선을 유도하고자

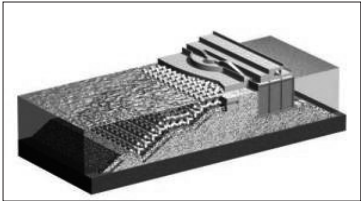
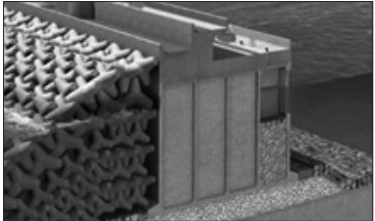
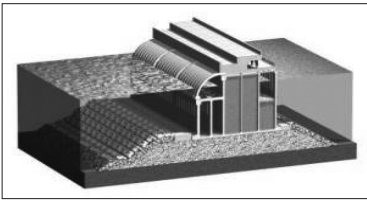
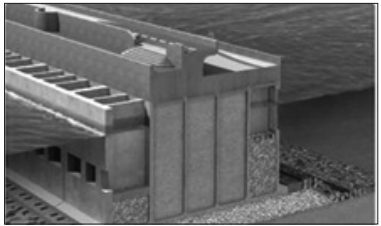
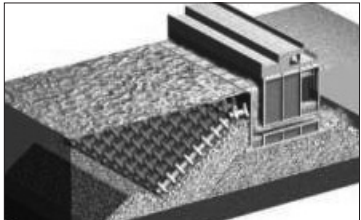
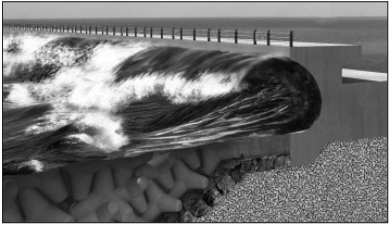
하였다.

제주외항 동방파제의 경우, 수심이 약 6~14m로, 설계파고 7.3m를 고려할 때 쇄파대에 위치하게 되므로 충격쇄파력을 고려하여 방파제의 형식을 결정하여야 하였고 장래 배후지 및 항내 선박운영의 안정성 확보 및 친수공간의 이용이 가능하도록 율파를 최소화하고자 하였다.

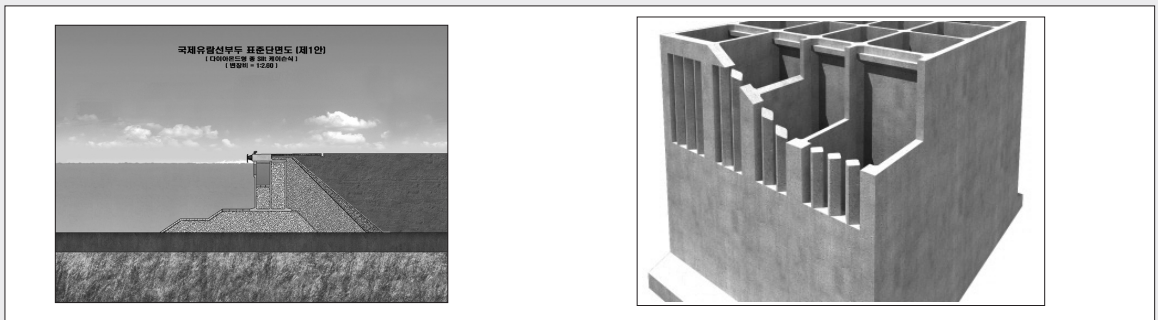
동방파제 구간 중, 충격쇄파력이 예상되는 구간은 <그림 2(d)>와 같이 전면을 소파블록으로 피복한 직립케이슨을 적용하여 구조물의 안정성 확보를 최우선으로 하였다. 또한 향후 해양에너지 중 파력에너지 개발을 예상하여 <그림 2(e)>와 같은 소파기능 확보가 가능하면서 파력발전 효과를 기대할 수 있는 우수실형 파력발전 케이슨을 동방파제 390m 중 두부구간 이후 46.5m 구간에 계획하였다. 우수실형 파력발전 케이슨은 유공격실 하부에 해수의 유입이 가능한 통수구를 설치하여 파랑의 상하운동에 의해 유공격실 내에 발생하는 일방향의 와류가 발전수차를 회전시키는 원리이며 추후 해양에너지 이용에 대한 연구기반으로 제공될 것이다. 또한 율파를 최소화하여 친수공간 이용을 극대화할 수 있도록 <그림 2(f)>와 같이 이중곡면 반파공 경사제를 동방파 호안구간에 적용하였으며, 소파효과를 극대화하기 위하여 소파블록의 거치 폭을 확대 계획하였다.

3.2 접안시설

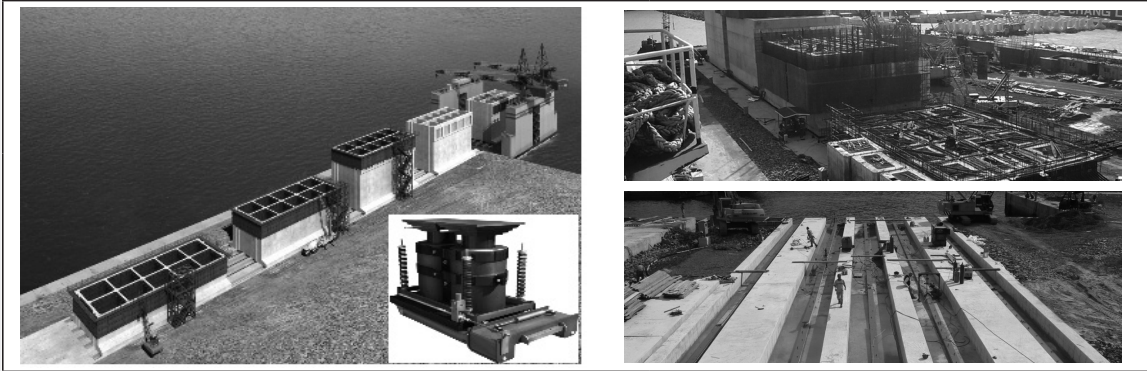
항내의 접안시설은 항내 입사 파랑에 대해 항내 항행 및 정박 중 선박의 안전을 확보하기 위하여 소파효과가 우수한 다이아몬드형 중Slit케이슨을 <그림 3>과 같이 계획하였다. 다이아몬드형 중Slit케이슨은 기존의 중Slit 케이슨이 비하여 반사파 저감효과가 약 15% 정도 우수한 것으로 수리모형실험을 통해 확인되었으며 항내 경사입사파에 대해서도 반사파 저감효과가 우수한 것으로 나타났다.

서방파제 적용	동방파제 적용
 <p>(a) Berm Type 소파블록 피복케이슨</p>	 <p>(d) 소파블록 피복케이슨</p>
 <p>(b) 곡면 Slit케이슨</p>	 <p>(e) 유수실형 파력발전 케이슨</p>
 <p>(c) 유수실형 해수교환 케이슨</p>	 <p>(f) 이중곡면 반파공 경사제</p>

〈그림 2〉 제주외항 방파제에 적용된 케이슨 및 경사제



〈그림 3〉 국제 유람선 부두에 적용된 다이아몬드형 중Slit케이슨



〈그림 4〉 IP-CCV 시스템을 이용한 케이슨 제작

4. 주요 구조물의 시공

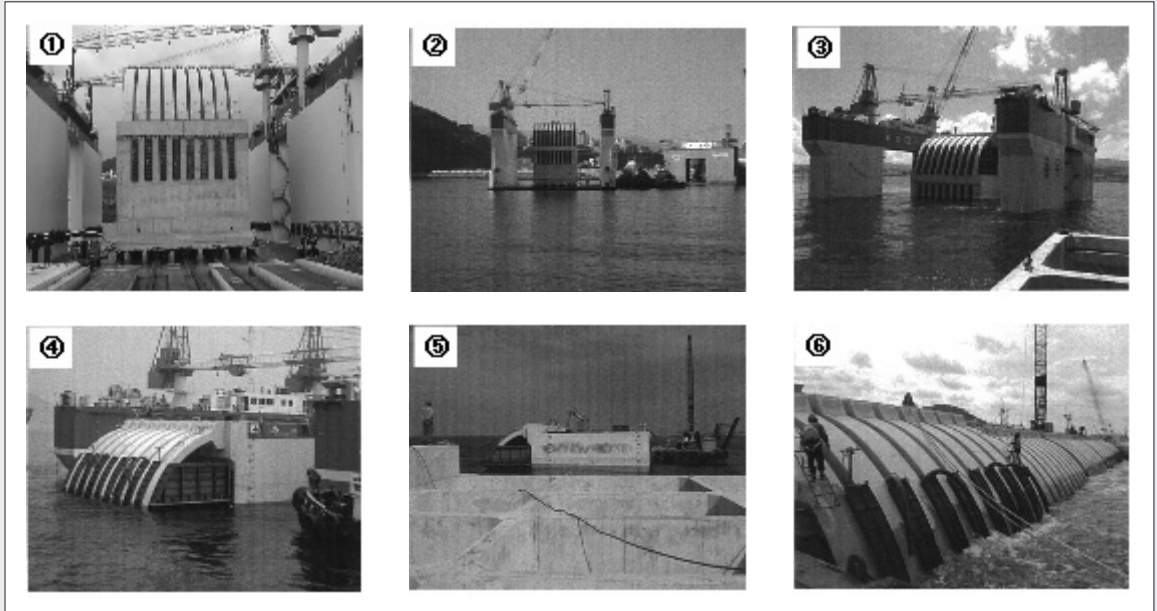
본 공사의 주요공정은 케이슨 제작 및 거치로 1단계 및 2단계 사업에 각각 84함 및 55함의 케이슨이 시공되었다. 현장 개설 초기, 케이슨 제작장이 완공되지 못한 상황에 따라 인근 한림항에서 F/D(Floating Dock)를 이용하여 44함의 케이슨을 제작하였다. F/D를 이용한 공정은 제작에서 거치까지 F/D에서 시행함으로써 별도의 육상 제작장이 필요 없다는 장점이 있으나, 해상제작으로 시공성이 불량하고 곡면 Slit케이슨의 제작이 난이하다는 단점이 있다. 따라서 신규 육상 제작장이 완공된 2007년 3월부터 IP-CCV(Individual Pushing-Caisson Carrier Vehicle) 시스템을 이용한 육상제작으로 공법을 변경하였다. IP-CCV 시스템은 케이슨의 부상 및 수평운반이 용이하도록 유압잭 및 트랙 시스템을 적용한 것으로 케이슨의 형상 및 중량에 제한 없이 적용이 가능한 것이 장점이며 특히 높이가 약 20m에 달하는 당 현장의 대형 케이슨의 제작 및 운반에 매우 적합하였다. 다만, IP-CCV 시스템은 부등침하에 매우 취약하기 때문에 제작장의 침하와 트랙의 단차 발생 유무를 철저히 관리해야 한다.

케이슨의 제작은 〈그림 4〉에서와 같이 총 4개 구간에서 케이슨 제작이 진행되는데 1구간에서는 바닥 슬래브

타설, 2구간 및 3구간에서는 각각 벽체 하부 및 상부 타설, 마지막을 4구간에서는 프리캐스트 방식으로 제작된 곡면 Slit가 부착된다. 각 구간으로의 이동은 IP-CCV 시스템에 의해 수행되며, 이러한 공장식 밀어내기 시공법을 적용함으로써 작업 야드와 거푸집 사용을 최소화할 수 있어 경제성을 향상시킬 수 있었다. 또한 공정이 반복되면서 작업자의 숙련도가 높아져 공기가 단축되고 품질 관리가 용이하게 되는 결과를 얻을 수 있었다.

케이슨의 제작이 완료되면 F/D를 이용하여 정위치에 거치하게 되는데 케이슨 거치 공정은 〈그림 5〉와 같고 다음과 같이 거치가 진행되었다.

- ① F/D으로의 케이슨 이동 및 차수판 설치
: 차수판의 누수가 염려되는 부분은 양수기를 설치
- ② F/D을 이용한 운반
: 케이슨의 F/D선으로 이동 및 예인선을 이용하여 F/D 예인
- ③ F/D 주수 및 진수
: 케이슨 Ballast 조절을 통한 충수
- ④ Dock Out
: 케이슨 발란스 조절을 통한 Dock Out
- ⑤ 케이슨의 가거치
: Setting 바지선을 이용하여 가거치
- ⑥ 케이슨의 정거치



〈그림 5〉 IP-CCV 시스템을 이용한 케이슨 제작

: 법선과 케이슨 간격을 체크하면서 내부 충수 후
속채움 완료

5. 맺음말

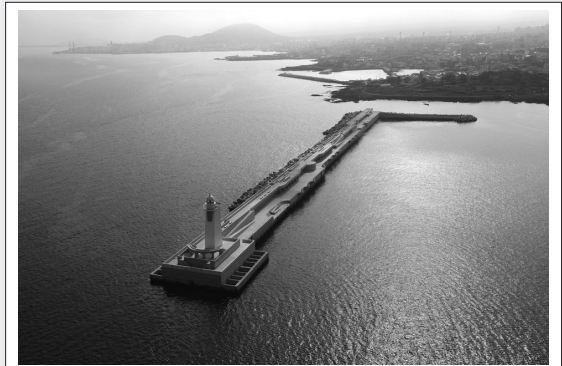
제주외항 개발사업 이전의 항만시설은 단순히 파랑을 막고 선박의 입출항 및 화물처리가 목적이었던 반면에 제주외항 개발사업은 단순한 항만시설의 목적과 더불어 해양 친수공간 조성이라는 개념을 국내 최초로 도입하였다. 이를 위해 태양, 바람, 돌, 오름 등 제주도의 자연문화와 어울릴 수 있는 경관연출이 시도되었으며 제주외항 구조물 또한 기존 정방형 일색이었던 케이슨 대신 유려한 느낌의 곡면 Slit케이슨을 적용하였고, 항내 수질오염을 방지하기 위한 해수교환케이슨이 적용되었다. 방파제 상부에 산책로 및 조망데크 등과 같은 수변공간을 조성하였고, 화려한 야경을 연출할 수

있는 약 800여개의 각종 조명 설치 등 워터프론트로서의 제주외항 개발이 성공적으로 달성될 수 있도록 다양한 부문에서 최선을 다한 설계 및 공사를 수행하였다. 뿐만 아니라 대수심·고파랑의 제주 해역에서 국내 최초로 시공된 신형식 케이슨, 대규모 친수구조물의 조성, 그리고 국제 크루즈터미널 허브항을 위한 대형유람선 접안시설은 향후 국내의 항만건설에 새로운 이정표가 될 것으로 확신한다.

제주외항 개발사업을 통해 건설된 제주외항이 제주시의 국제 자유도시 개발과 연계한 세계적인 관광미항으로 발전하여 관광 제주의 또 다른 문화유산이 되기를 기대하며 마지막으로 제주외항 전경을 소개하면서 본고를 마치고자 한다.



〈그림 6〉 제주외항 전경



〈그림 8〉 제주외항 동방파제 전경



〈그림 7〉 제주외항 서방파제 전경

저자 약력 이강철

- 1988-1995 : 명지대학교 공과대학(토목공학) 학사
- 1995-1997 : 명지대학교 대학원(항만 및 해안) 석사
- 1997-2005 : (주)대우엔지니어링 해양본부
- 2005-현재 : 대림산업(주) 토목사업본부 차장

저자 약력 배용훈

- 1999-2003 : 한양대학교 공과대학(토목공학) 학사
- 2003-2005 : 한양대학교 대학원(해안 및 수리) 석사
- 2005-현재 : 대림산업(주) 기술개발원 과장