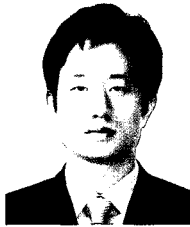


울산신항 남방파제 대형케이스 제작, 거치



김동찬, 울산신항 남방파제 축조공사 현장 근무, (주)대우건설 토목사업본부 대리

1. 울산신항 남방파제 축조공사 설계개요

가. 울산신항 건설배경

울산은 자연적 조건, 사회경제적 조건 등 공업입지에 유리한 조건을 갖추고 있어 제 1차 경제개발 5개년 계획이 시작되던 1962년에 공업지역으로 선정되어 울산공업센터 기공식이 거행된 것을 시점으로 그 후 40년동안 종합경제개발계획 수립과 그 맥을 같이 하여 국내 최초, 최대의 임해국가 공업단지로 발전하였다.

울산항의 시설소요화물량과 처리능력은 1990년 이후 지속적으로 증가하였으나 처리능력은 물동량의 증가에는 크게 못 미쳐 시설확보율이 2001년도 기준으로 58.5%에 불과하여 시설부족

표 1. 울산항 항만시설 확보추이 (단위: 천톤, %)

구 분	1985	1990	1997	1998	1999	2000	2001
시설확보율(B/A)	41.5	83.0	56.8	56.3	60.9	57.6	58.5
물 동 량	30,303	51,169	150,681	148,032	151,117	151,067	149,579
시설소요(A)	7,386	16,928	33,852	35,717	40,795	43,023	42,326
하역능력(B)	3,062	14,043	19,221	20,103	24,834	24,776	24,772
과부족(B-A)	-4,324	-2,885	-14,631	-15,614	-15,961	18,247	-17,554

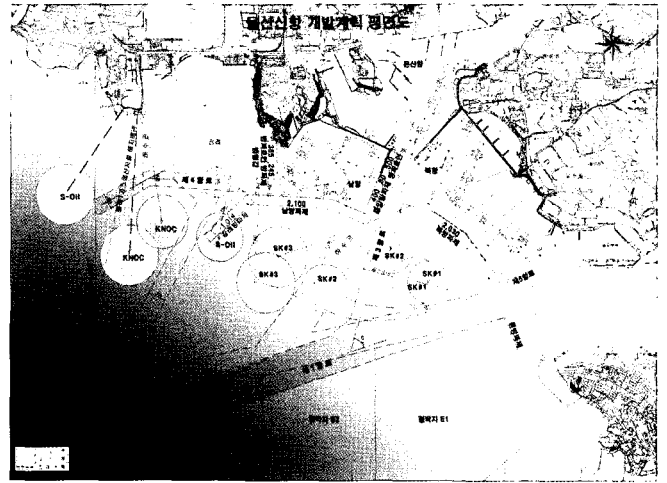


그림 1. 울산신항 개발계획 평면도

으로 인한 항만체선율이 높은 상황이다.

IMF 기간중인 1998년에는 물동량이 감소하였지만, 시설확보율이 56.3%로 나타나 시설부족의 심각성을 보여주고 있다.

울산신항 개발은 2000년대 기존 울산항의 물동량 증가에 대비하고 컨테이너, 철재, 잡화 등을 전용부두화하여 항만운영 효율화 도모와 종합물류기지화로 개발하기 위해 '95년부터 2011년까지 총 2조9,000억원(재정 1조 4,890/민자 1조 4,110)을 투자하여 방파제 5.2km, 작업부두 270m, 5만톤급 등 31개 선석을 건설하여 연간 하역능력 30백만톤을 처리할 계획이다.

나. 울산신항 남방파제 축조공사 설계개요

본 공사는 울산신항 남항지역의 일반부두 10개 선석의 건설·운영 및 온산항의 원활한 운영에 필요한 정온수역 확보를 위해 방파제 등을 건설하는 데 목적이 있으며, 당사는 남방파제 전체 길이 2,100M 중 온산항측 1,100M의 건설을 진행중이다.

방파제는 일반구간과 T/S부두(Transshipment) 구간으로 나뉘는데, 방파제가 가지는 단순한 파도를 막는 기능 외에 본 T/S 부두는 5만톤급 대형선박이 이중 횡 접안하여 액체화물을 환적할 수 있도록 설계되었다.

다. 시공순서

방파제 기초지반은 퇴적된 연약점토층 두께가 13M에서 25M

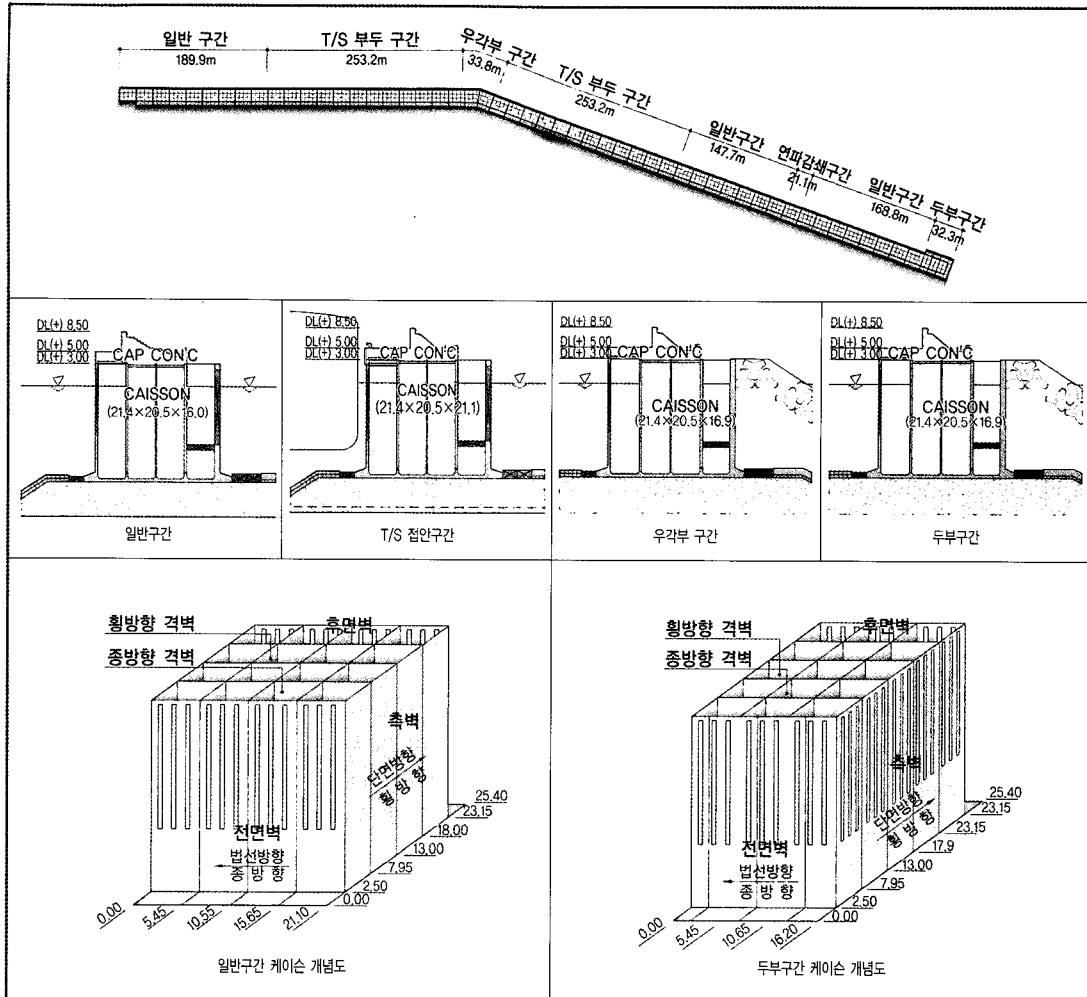


그림 2. 울산신항 남방파제 구간별 설계 단면도

까지 두텁게 분포되어 있어, 두께 17M까지는 대형 호퍼선을 사용하여 연약지반을 준설하고 모래로 치환하는 준설치환공법을 적용하였으며, 17M 이상의 연약지반층은 DCM(Deep Cement Mixing Method) 공법을 적용하여 연약지반을 개량하였다.

케이슨은 인근 기존 온산항 방파제 내측의 해상을 매립하여 조성된 케이슨 제작장에서 공장형 슬립폼 공법으로 24시간 연속 제작하여 완전잠수식 케이슨 진수대선인 FCL선(Floating Caisson Launcher)으로 진수, 거치한다.

2007년 7월 현재 전체 케이슨 54함중 10여함이 거치되었으며, 2009년초까지 전체 공사를 완료할 계획이다.

2. 케이슨 제작 준비

가. 케이슨 제작장 부지조성

함당 중량 5,300톤의 대형 케이슨을 제작하기 위해서는 단단하고 침하가 적은 제작장이 필요하다. 당 현장의 케이슨 제작장

은 온산항 남방파제 내측 수심 5~7M의 해상을 매립하여 제작장으로 사용하고 공사 종료 후에는 부두로 조성하도록 설계되었다. 따라서 케이슨 제작장 역할을 수행하기 위한 안정적인 하부지반의 조건을 만족하기 위해서는 지반개량공법이 필요하나, 압으로 매립된 지반 또는 지층에 대한 개량공법은 극히 제한적인바, 이러한 공법 중 타격에 의한 파의 진동으로 사석층 간의 결합력과 간극의 감소로 침하를 유도하는데 효과적인 동다짐공법을 적용하였다. 동다짐에 사용한 추의 무게는 15TON이고 낙하고는 16.0M이다.

나. 케이슨 제작시설 설치

케이슨 제작과정은 3단계로 나뉘지는데, 1단계 시설에서 케이슨 저판을 제작하고, 2단계에서는 케이슨 벽체를 슬립폼 공법을 적용하여 타설한 후, 3단계로 옮겨진 케이슨은 양생 및 차수판 설치작업이 이루어진다.

5,300톤에 이르는 높이 20여미터(아파트 5~6층 높이)의 케이

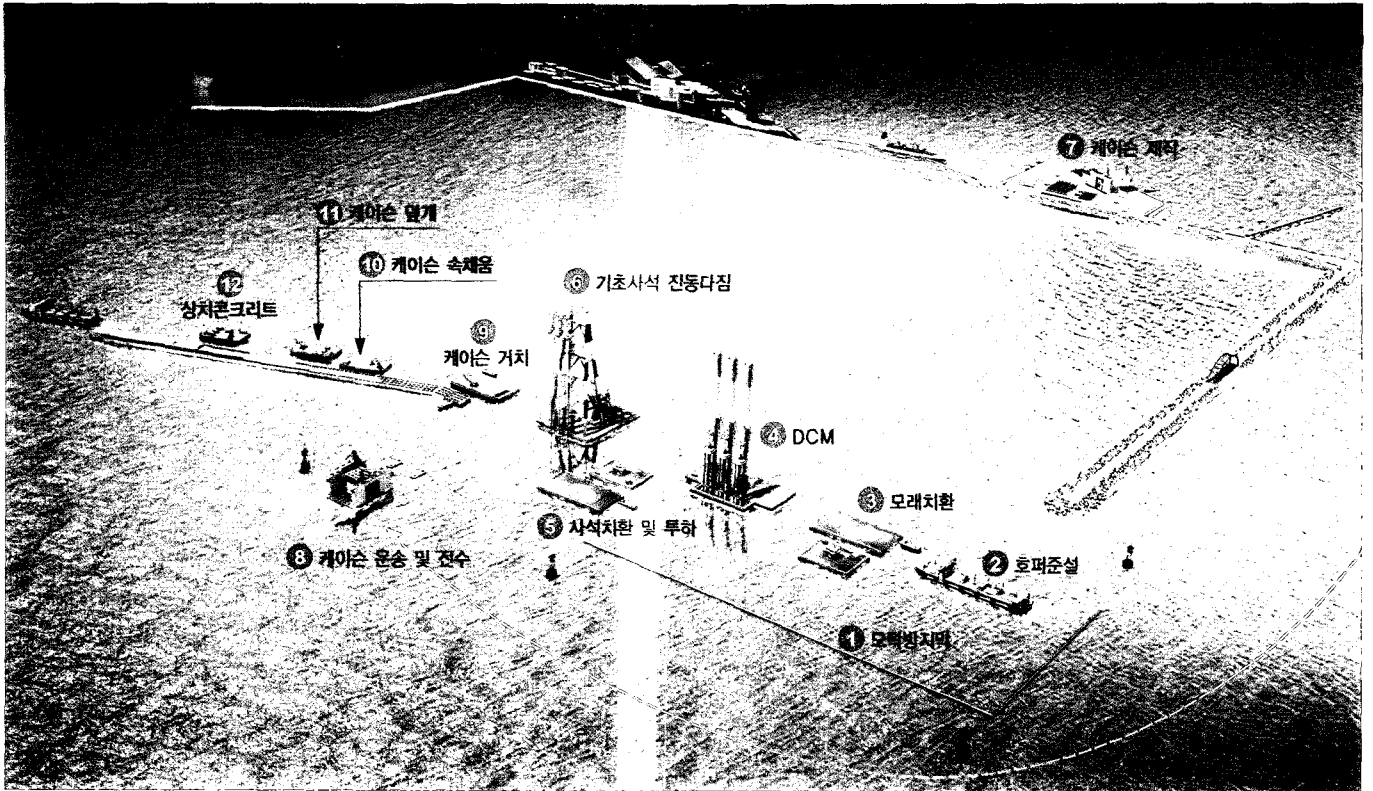


그림 3. 울산신항 남방파제 시공순서 요약도

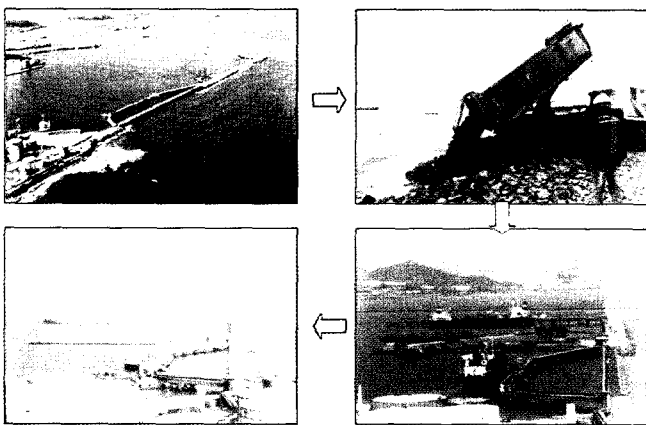


그림 4. 케이슨 제작장 부지조성 순서

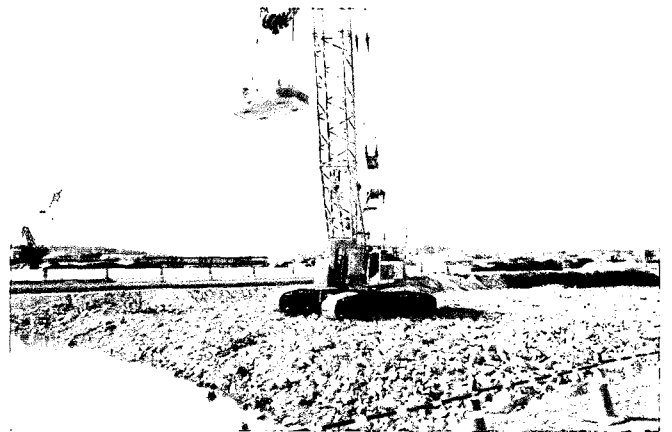


사진 1. 동다짐 시행 전경

표 2. 케이슨 제작시설 구성요소

구성요소	규격	수량
Portal Frame	가로28m,세로35m,높이35m	360톤
케이슨 이송잭	250톤급	35개
소뿔폼	T=70mm	153㎡
제작장기초레이콘	fck=30MPa	4,711㎡
제작장기초철근	fy=400MPa	511톤
슬립폼(철재)외	t=4mm	49톤
잭로드	65×65mm	14톤
슬립폼 승하강 잭	42톤급	12개
호이스트크레인	3.2톤급	8개

슨을 각 단계별로 수평 이동시키기 위한 레일 및 잭 등의 기계장치 설비와 슬립폼 거푸집을 수직 승하강하기 위한 철골 구조물 및 사용재료는 표2와 같이 소요되었다.

3. 케이슨 제작 및 진수

가. 케이슨 제작 과정

케이슨은 사진6과 같이 STEP1에서 높이 1.7미터까지 철근 조립 및 콘크리트 타설한 케이슨 저판을 케이슨 이송잭을 이용하

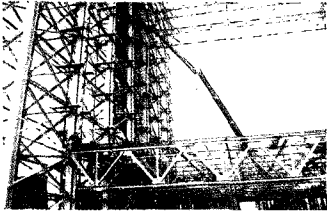


사진 2. 트러스 설치

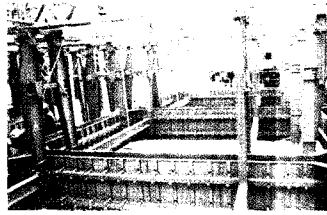


사진 3. 슬립폼 설치

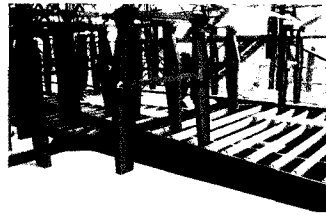


사진 4. 작업데크 시공

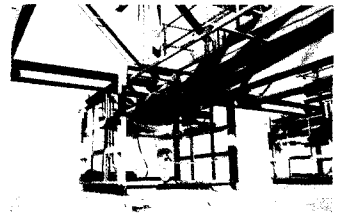


사진 5. 호이스트 설치

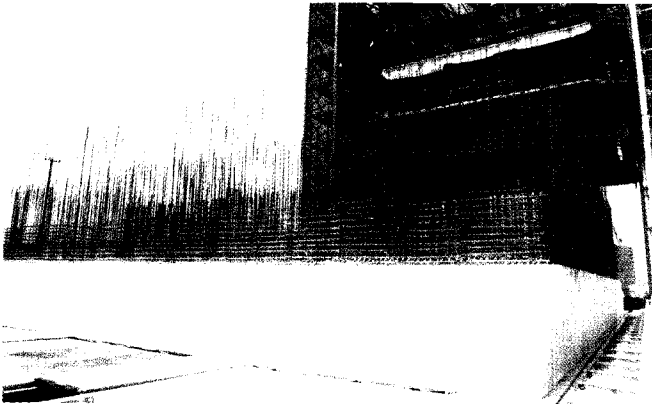


사진 6. 케이스 저판 제작 및 이동 사진

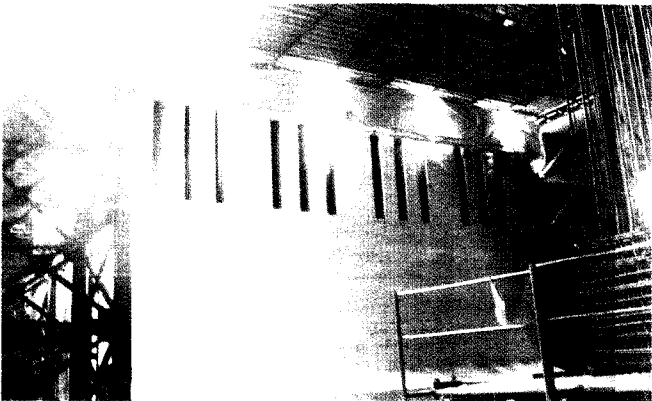


사진 7. 케이스 벽체 슬립폼 타설

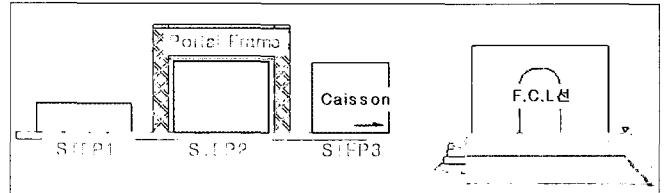


그림 5. 케이스 제작 단계 요약도

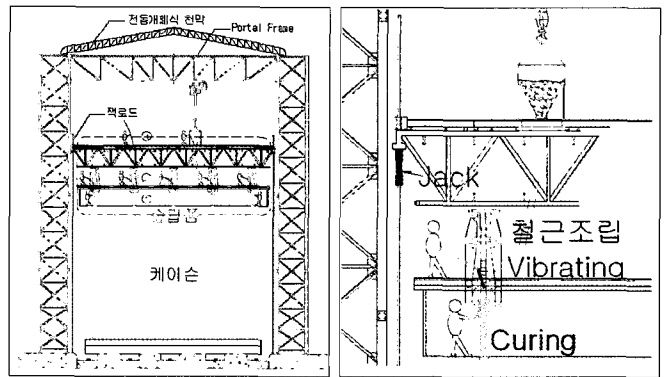


그림 6. 공장형 슬립폼 공법 시공요약도

그림 7. 슬립폼 시스템 상세

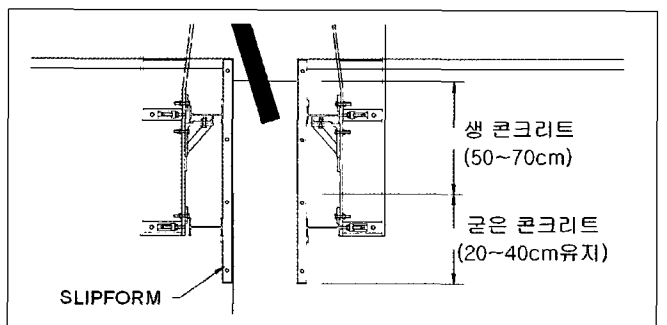


그림 8. 슬립폼 내부 콘크리트 상태

여 STEP2의 Portal Frame 하부로 밀어넣고, 슬립폼 공법을 적용한 24시간 연속 철근 조립 및 콘크리트 타설이 이루어진다. 이러한 공장형 슬립폼 공법은 이음매없이 콘크리트를 연속적으로 타설하여 벽체를 형성함으로써, 재래식 폼을 이용한 콘크리트 단계별 타설시 발생하는 콜드조인트를 최소화하여 방파제 내구성을 향상시킨다.

나. 공장형 슬립폼을 이용한 케이스 제작

본 케이스 제작 공법은 STEP2에 설치된 Portal Frame 상부에 전동 개폐식 천막을 설치, 우천시 활용하여 기상조건에 영향을 받지 않아 소위 공장형 슬립폼 제작시설이라고 불린다. 본 시설에서는 전천후 케이스 제작이 가능하고, 6~7일에 1함씩 제작

이 가능하여 공기단축에 유리하다.

그림6에서 표시한 바와 같이, 슬립폼 시스템은 Portal Frame에 고정된 잭로드를 통해 상승하는데, 작업자의 배치 및 작업내용에 따라 ①상부데크, ②작업데크, ③하부데크로 나뉜다.

상부데크에서는 지상에서 버킷에 담겨진 콘크리트를 천정에 설치된 호이스트를 이용, 양중하여 작업데크로 배관을 통해 공급하고, 철근을 작업데크로 내려준다.

작업테크에서는 철근을 조립하면서, 콘크리트 진동기를 이용하여 콘크리트를 슬립폼에 밀실하게 채워넣는다. 슬립폼 길이는 100cm를 적용하였다. 슬립폼 내부는 항상 콘크리트로 가득 채우고, 철근 탐침봉으로 슬립폼 중간부위를 찔러서 슬립폼 내부의 굳은 콘크리트가 20~40cm내로 유지되도록 슬립폼 상승 속도를 조절한다. 슬립폼 상승 속도는 계절, 습도 등의 기후적 요인 외에 레미콘 배합 상태에 따라 달라지는데, 일반적으로 겨울에는 시간당 12~13cm, 여름에는 15~17cm의 속도를 보인다. 철근조립 및 콘크리트 채움 작업 속도에 따라 레미콘 내에 지연제 함량 등을 조절하여 시공 속도를 조절할 수 있다. 진동기는 상부로부터 40cm 깊이까지만 삽입하여 경화된 콘크리트에 균열이 발생하지 않도록 주의한다.

하부테크에서는 슬립폼에서 경화되어 노출된 콘크리트 표면을 다듬는 양생작업이 이루어진다.

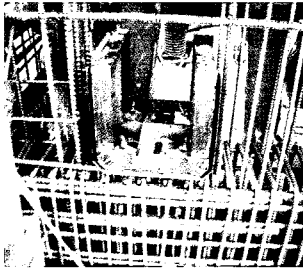
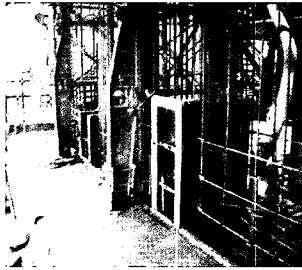

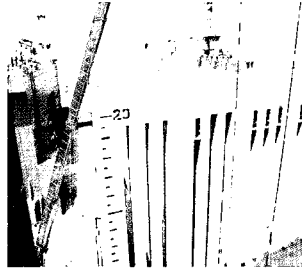
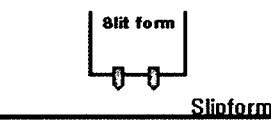
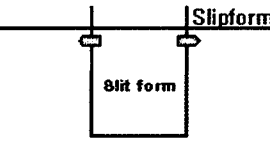
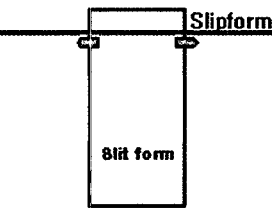
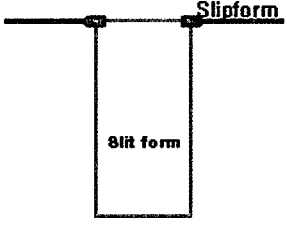
다. 케이스 슬리트 제작

방파제로부터의 반사파 등을 억제하기 위한 슬리트는 해측과 육측의 경우 각각 8.5m, 11.5m 높이부터 상부까지 위치해있다. 슬리트의 제작은 표3과 같이 3조각으로 구분 제작된 슬리트 철재 거푸집을 사용한다. 1~3단계까지는 슬리트 거푸집을 철근에 부착하고, 슬리트 상단부가 슬립폼 내부로 인입되기전 철근에 부착된 볼트를 제거하고, 슬립폼 상단에 부착하여 슬립폼과 함께 수직 상승되도록 하여 사진과 같이 슬리트를 형성한다. 슬리트 제작 마감 위치에 이른 경우 슬리트와 슬립폼과의 연결을 해제하고 슬리트 거푸집이 케이스에 부착된 상태로 케이스 제작을 마친 후 STEP3으로 옮겨져 크레인을 이용, 슬리트 거푸집을 해체하게 된다.

라. FCL선을 사용한 케이스 진수

슬립폼 공법으로 벽체 제작 완료된 케이스는 수평 이송 잭에 의

표 3. 슬리트 제작 순서 및 방법

구 분	SLIT설치 1단계	SLIT설치 2단계	SLIT설치 3단계	SLIT해체
SLIT 거푸집 조립 순서				
방법	 <p>철근에 고정</p> <ul style="list-style-type: none"> - 슬리트 설치위치에 슬리트를, 앵커를 이용하여 철근에 고정 	 <p>철근에 고정</p> <ul style="list-style-type: none"> - 슬립폼 상승속도 (15~17cm/hour)에 맞추어 2,3단 슬리트를 조립 - 2단 조립시 1단 앵커 해체 	 <p>철근에 고정</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3단 조립시 2단 앵커 해체 	 <p>슬립폼에 고정 후 동시이동</p> <ul style="list-style-type: none"> - 슬립폼 상승에 따라 Slit Form 상단을 슬립폼에 고정하여 슬립폼과 함께 상승 - 해체는 STEP3에서 육상 크레인을 이용하여 시행

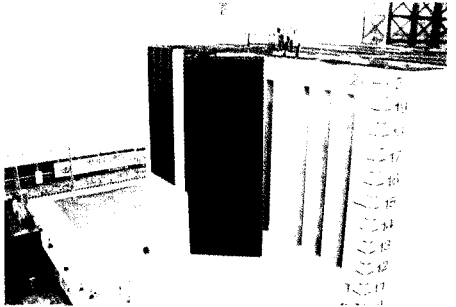


사진 8. 차수판 설치

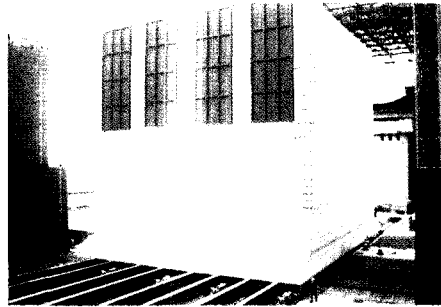


사진 9. 케이스 선적



사진 10. 케이스 이송장치(IP-CCV)

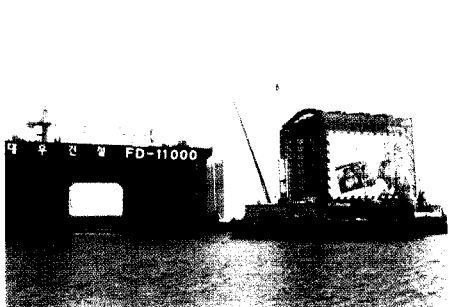


사진 11. FCL선에 선적사진

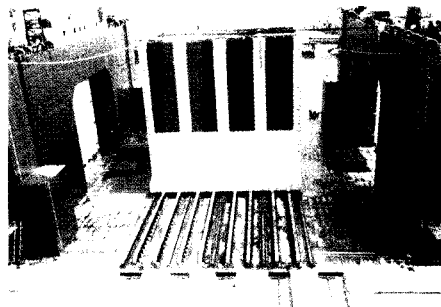


사진 12. 케이스 선적완료



사진 13. FCL선 예인

해 STEP3으로 옮겨지고, 소정의 양생기간을 거친 후 차수판을 설치, 케이스 진수대선인 FCL선(Floating Caisson Launcher)으로 옮겨진다. 이때 FCL선은 D.L(-)3.7m로 형성된 Floating Dock 착저부에 안착되어 케이스를 선적하고, 선체에서 물을 배수하여 부상한 뒤 케이스 진수위치로 예인선을 이용·이동하게 된다.

FCL선은 대형 부선이므로 항로 이동시 기타 대형선박과의 간섭을 피하기 위해 사전에 관제소와 협의하여 주로 새벽 4시경에 시행하였다. 이동시 예인선은 전후방에 각각 1대씩 배치하여 진수위치까지 약 2.0Knots의 속도로 운반한다.

진수구역은 수심 D.L(-)21.0m 이상, 면적은 가로, 세로 약 120m, 110m 이상 확보하고 FCL선내 주펌프(1,000m³/hr×45m×132kw) 4개를 가동시켜 FCL선을 서서히 침설시킨다.

케이스의 부유시 안정성을 확보하기 위하여 FCL선 침설 전 케이스 격실에 부유시 안정흡수까지 취수하고, FCL선의 밸러스트를 통하여 소요수심까지 진수함으로써 케이스를 부유시킨 후, FCL선과 분리시킨다.

마. 케이스 예인 및 거치

부유된 케이스는 예인선 및 작업선에 의하여 설치위치에 고정된 후 허용오차범위 내에서 거치되어지도록 주수를 실시한다. 케이스 저면과 기초사석면과의 높이가 20~30cm 정도로 접근되면 주수를 중단하고 케이스 모서리 4개소의 레벨을 측정한 후 주수로서 레벨을 조정하여 레벨이 일정해지면 케이스 거치 기준 법선을 재측정하여 정확한 위치에 고정된 다음 주수를 재개하여 침설시킨다.

케이스 거치 후 케이스 법선 및 레벨을 최초 거치시 1일 1회 실시하여 기록을 유지하고 계측치가 어느 정도 수렴하면 주1회

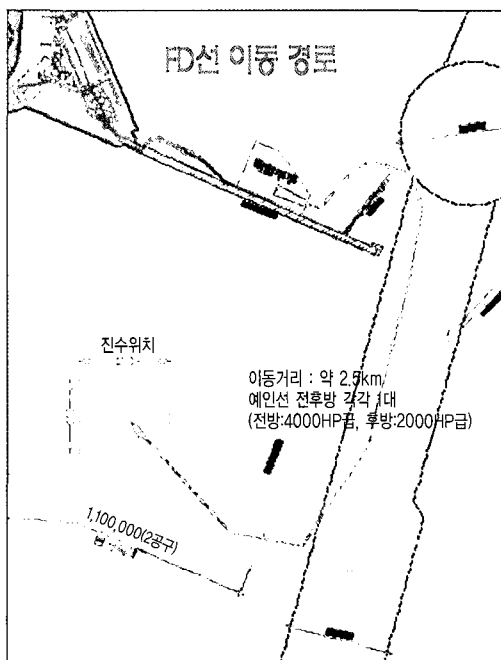


그림 9. FCL선 이동경로



사진 14. 케이슨 진수



사진 15. 케이슨 예인

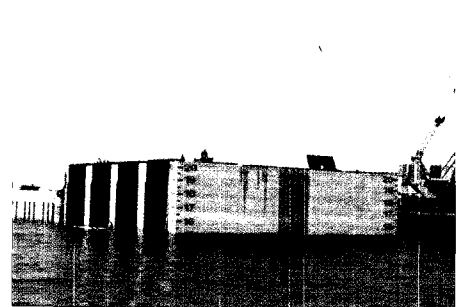


사진 16. 케이슨 거치

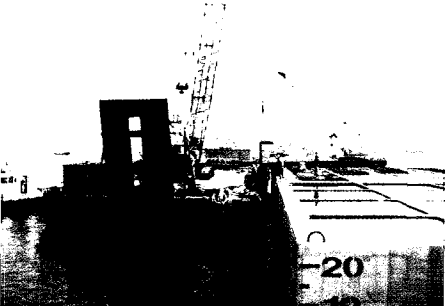


사진 17. 차수판 제거

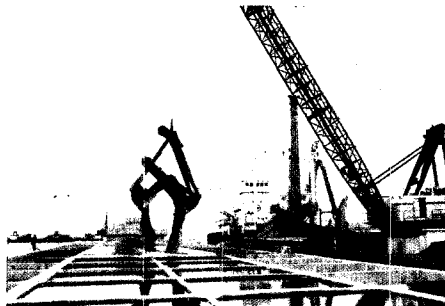


사진 18. 모래투하 전경

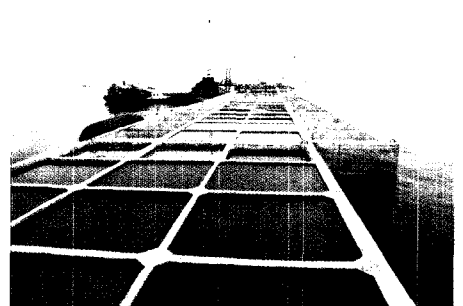


사진 19. 케이슨 거치완료 전경

측량을 실시한다. 또한 케이슨 거치 법선 간격 및 레벨 결과치를 검토하여 케이슨 바닥면이 수평으로 이루어지지 않았다고 판단 될 때에는 거치된 케이슨을 부상시킨 후 기초사석고르기가 완료된 구간에 케이슨을 가거치 시키고 재고르기를 실시한 후 재거치한다.

바. 차수판 제거 및 모래속채움

케이슨 거치가 완료되면 격실내부에 잠수부를 투입하여 너트를 풀어 차수판을 해체한다. 케이슨 거치가 완료된 구간에 한하여 모래 속채움을 실시한다. 모래 운반선이 케이슨에 접안시 사진과 같이 에어휠더를 사용하여 케이슨 벽체의 파손을 방지하고, 모래운반선의 크람셸이나 백호를 이용하여 모래를 격실에 설계높이로 투하한다.

4. 맺음말

해상 크레인을 사용한 케이슨 인양 거치 공법은 크레인 인양 능력의 한계로 최대 3000여톤 케이슨에 적용가능하나, 위와 같은 공장형 케이슨 공법을 적용하는 경우 케이슨 자체 부력에 의해 진수 및 거치가 가능하므로 대형화가 가능하며, 케이슨의 대형화는 깊은 수심 및 불리한 시공여건에도 효율적 시공이 가능하고, 경제성·시공성이 양호하여 향후 많은 활용이 예상된다.

참고문헌

1. 해양수산부, 해양수산 통계연보
2. 해양수산부, 울산항 변천사