

# 공장형 일관 제작 시스템에 의한 콘크리트 케이슨 다단계 제작 및 운반공법 개발

박 정 일\*                      이 원 표\*\*                      하 성 욱\*\*\*  
Park, Jung-il                      Lee, Won-pyo                      Ha, Sung-wook

## ABSTRACT

콘크리트 케이슨 제작장(Casting Bed)내에 케이슨의 제작 및 이동경로가 되는 이동통로(Trough)를 형성하고 거푸집과 이동통로를 결합할 수 있도록 고안한 소뿔폼(Soffit Form)을 설치함으로써, 제작된 케이슨 하부로 케이슨 부양용 에어로 고(Aero Go)가 양방향으로 자유로이 이동할수 있게 하여 제작에서 운반까지의 각 단계별 공정이 일직선상에서 공장식 연속 조립공정으로 진행되며, 또한 별도의 내차 및 회수시설이 불필요한 공장형 일관 제작 시스템에 의한 다단계 케이슨 제작, 운반 및 진수방법이다.

## 1. 서론

### 1.1 개발배경

- 1) 품질확보 및 경제성 측면에서 기존 공법의 한계  
기존 1단계 재래적 공법에 의한 제작은 품질확보 및 경제성 측면에서 많은 한계를 드러내고 있으며 케이슨을 대량 생산하는 경우에는 제작 시간이 길어져 전체 공기가 길어지는 문제가 있다.
- 2) 기술수준 진보의 필요성  
건설시장의 개방과 선진해외시장의 개척에 따른 외국 건설회사와의 기술과 품질 경쟁에 대비한 신기술의 필요성이 대두된다.
- 3) 품질 개선 및 공비/공기절감에 초점을 둔 보다 경쟁력있는 신공법의 필요성

## 2. 신공법

### 2.1 신공법의 개요

본 공법은 해안의 물막이 공사에 사용되는 케이슨을 제작하여 제작장에서 설치 위치까지 이동시키는 공법으로, 특히 단계적으로 공장형 One Line-Up system에 의해 생산 효율성을 향상시킨 케이슨의 제작 이동 장치 및 공법이다.

### 2.2 공장형 다단계 일관 제작 방법의 구성과 장비

- 1) 제 1 단계 - Caisson Base Slab 제작 : 4일

\*현대건설 기술연구소 수석연구원

\*\*현대건설 기술연구소 책임연구원

\*\*\*현대건설 기술연구소 연구원

Base Slab 제작을 위해 제 1 단계의 제작장내에 2 set의 이동식 소핏폼(Soffit Form)을 설치하여 유압식 잭의 Pushing에 의한 소핏폼의 상하방향의 Sliding에 의해 소핏폼의 높이를 조절할 수 있게 하였다. 즉, Base Slab 제작시는 제작장 상단 높이까지 소핏폼을 상승시켜 거푸집 바닥의 역할을 하며, Base Slab의 완성 후 제 2 단계로의 이동시에는 원래의 높이까지 소핏폼을 하강하여 에어로 고(Aero Go)의 이동통로로서의 역할을 한다.

제 1 단계에서 제작된 Caisson Base Slab는 에어로 고(Aero Go) 및 잭의 작용에 의해 Stationary Portal Frame내의 계획된 정위치로 운반된다. 제 1 단계에서부터 진수시 사용되는 플로팅 독(Floating Dock)의 텍(Deck) 상단까지 좌우 양측으로 일정 깊이와 폭을 가지는 이동통로(Trough)를 해수면측으로 일정한 직선길이로 형성하여 전공정이 One Line-Up System으로 구성되도록 하였다.

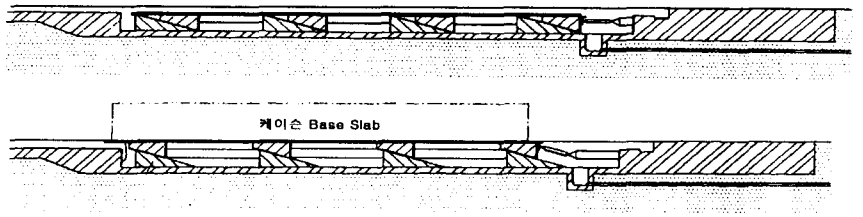


그림 1 소핏폼(Soffit Form)의 상승 및 하강시 측면도

이동통로의 작용은 회수시 별도의 회수라인 없이도 작업중인 케이슨에 지장을 받지 않고 에어로 고를 회수할 수 있게 한 것이며, 또한 에어로 고에서 배출된 막대한 양의 물을 별도의 배수시설 없이도 해상쪽으로 자연 배수될 수 있게 하는 것이다.

에어로 고 시스템은 공기의 압력에 의해 물체를 지표로부터 부상(약 57mm)시키는 장치이나, 이는 당 현장에서 제작되는 케이슨과 같은 큰 중량물에는 적용하기 어려우므로 공기대신 해수를 사용하여 대규모의 중량물에도 적용할 수 있게 고안하였다. 분사되는 고압의 해수에 의해 에어로 고 바닥과 이동통로 바닥면 사이에는 얇은 수막이 형성되며, 마찰(약 0.003)을 최소화시켜 2 개의 50 ton 용량의 유압잭으로도 안전하고 신속하게 이동된다.

2) 제 2 단계 - 케이슨 벽체 제작 : 4일

벽체제작은 슬립폼(Slip Form) System을 적용하여 균질한 고품질을 확보할 수 있으며, 잭에 의한 Form의 연속적인 상승(상승속도 : 약 10~20 cm/hr)으로 시공 조인트가 없다. Stationary Portal Frame 상부에는 강우로부터 콘크리트면의 손상을 방지하고 기후조건에 관계없이 24시간 연속작업이 가능하게 위하여 지붕을 설치하였다.

3) 제 3 단계 - 양생 / Tidal Zone에 방수제(Silane) 처리

해상에 거치된 케이슨은 해수의 침투수에 의해 철근이 부식될 우려가 있으므로 해수의 작용이 특히 심한 Tidal Zone에 방수제인 Silane을 칠하여 철근의 부식을 미연에 방지한다.

4) 제 4 단계 - 진수(Launching)용 플로팅 독(Floating Dock)으로 운반/거치

당초 케이슨의 진수 방법으로 경사로에 의한 방법도 고려하여 수조 모형 시험을 실시하였으나, 모

형 시험 결과 케이슨의 안정성에 문제점이 발견되어 플로팅 독에 의한 진수로 진수 방법을 변경하였다. 플로팅 독을 사용하는 경우에도 케이슨 Sliding시 케이슨과 플로팅 독의 안정성이 문제가 되는 바, 이에 대한 정·동적해석 및 현장시험을 실시하였다.

제 1 단계에서 제 3 단계를 거쳐 완성된 케이슨은 최종적으로 진수를 위해 육상 케이슨제작장과 같은 높이의 Sitting Bed 및 이동통로(Trough)를 갖는 플로팅 독의 Sitting Bed위에 옮겨져야 하는데 이때 에어로 고(Aero Go)가 통과할 수 있는 Caisson Casting Bed와 플로팅 독의 Sitting Bed면의 정밀한 높이 조절이 무엇보다도 중요하다.

케이슨은 진수에 필요한 수심이 확보되는 위치까지 플로팅 독에 의해 운반된 후 플로팅 독의 한쪽 부분에 물을 채워 한방향 경사에 의한 자연 Sliding으로 해상에 진수되며, 이때 Sliding시 발생하는 미끄러짐 속도를 최대한 줄이기 위해 경사전 약 5 m 가량 수평으로 잠수시킨다(반잠수식).

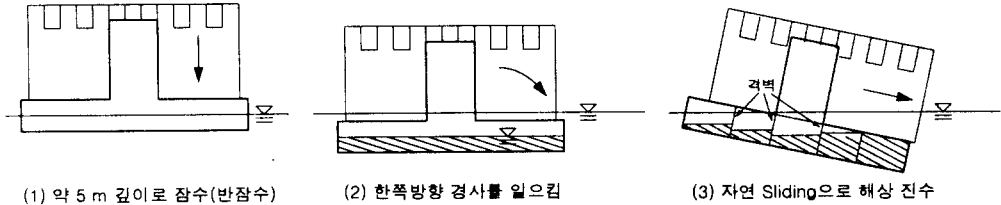


그림 2 플로팅 독의 초기 모습(측면) 및 진수과정

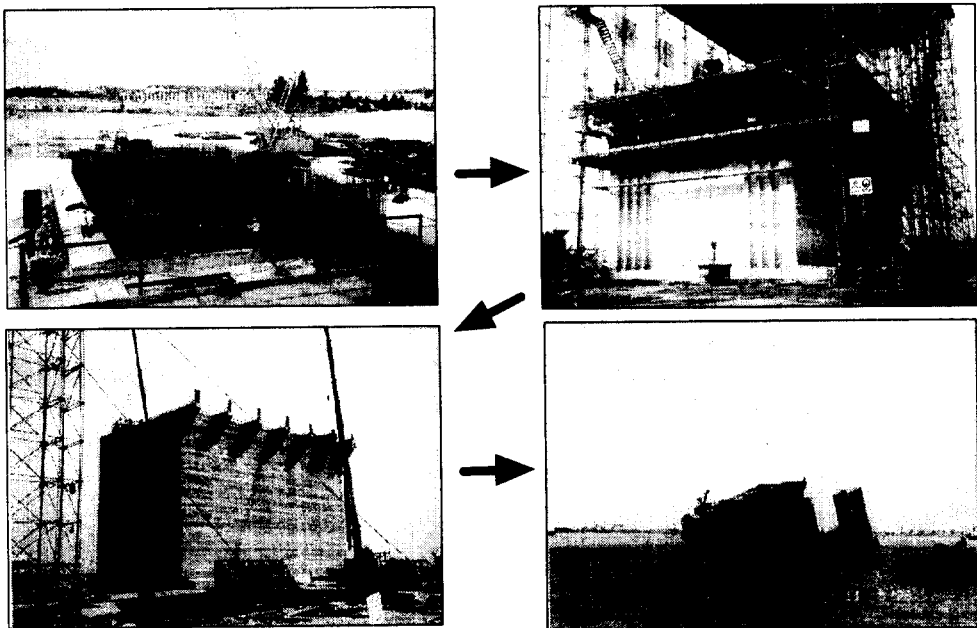


사진 1-4 신공법의 제 1 - 4 단계 공정

### 3. 신공법의 성과

#### 3.1 요약

본 공법은 공장형 일관 제작 시스템에 의한 콘크리트 케이슨 다단계 제작공법으로서, 콘크리트 케이슨의 다량 생산을 위한 공법이다. 본 공법의 주요 공정은 다음과 같다.

표 1 신공법 주요 공정 요약

공정	내용	비고
제 1 단계	Base Slab 제작, 이동식 소뿔폼 설치	거푸집과 이동통로로의 역할
각 단계별 이동시	이동통로 설치, 에어로 고와 해수 이용	별도의 회수장치, 해수 배출시설 불필요
제 2 단계	슬립폼으로 벽체 연속 타설	
제 3 단계	양생, 부식방지 처리	
제 4 단계	소형 플로팅 독 선에 의한 진수	반잠수식, 경사에 의한 슬라이딩 진수

### 3.2 신공법의 효과

본 공법은 케이슨 제작에 따른 기술개발, 생산성의 향상과 우수한 품질생산이라는 측면을 고려하였으며, 특히 노동효율성 및 인원의 감소까지 유발하는 합리적이고 경제적인 케이슨 제작공법이다. 단일 공정에 의한 재래식 공법을 다단계 조립식 방법으로 변경하여 공장형 제작에 의한 공정의 연속성 확보가 가능하며 각 공정에 따른 작업의 숙련도가 높기 때문에 품질향상 및 공기단축의 효과가 있다.

하기 공비 대비표에서 보는 바와 같이 당 현장에서 개발한 신공법을 사용한 케이슨 제작원가는 경쟁사 재래공법에 비해 65% 수준이며, 레미콘/철근 재료비를 제외한 순공비만을 대비하면 40%라는 경이적인 원가절감의 기록을 남겼다.

세가지 신공법이 조합되어 프로젝트가 성공적으로 진행되면서 세계적인 이목이 집중되었다. 일본건설업체, 유럽대학, 싱가포르 현지업체 등의 현장 견학 사례가 쇄도하였으며, 또한 당사(현대건설)는 상기 신공법의 경쟁력을 토대로 1997년초 싱가포르에서 유사 케이슨 공사 (JURONG ISALND ROAD LINK PROJECT)를 미화 1억 2천만불에 수주하는 쾌거를 거두었다.

표 2 재래공법과의 공비 비교

비교	당사 신공법	타사(일본 PENTA OCEAN사) 재래공법	비고
Casting Bed	육상 콘크리트 Bed 타설	대형 Floating Dock(30,000 t급) 선상 이용	
거푸집 공법	공장형 슬립폼 시스템	점프폼 시스템	
진수 공법	에어로고 및 소형 Floating Dock선	Dock선 완전 잠수 방식	
전체공사비 (USD)	35,876,000	55,327,000	65%
재료비 제외 순공비	12,360,000	30,962,000	40%

### 3.3 현장시공사례

싱가폴에서 현대건설이 시공중인 Pasir Panjang 컨테이너 터미널 공사 2 단계 현장에서는 현 공법(One Line-Up System)에 의한 다단계 케이슨 제작 / 운반 및 진수방법)을 이용하여 성공적으로 케이슨 제작을 완료하였다.

1995년에 착공하여 2002년 3월 준공할 예정인 이 공사에서는 총 길이 2,680 m의 부두를 케이슨 공법으로 시공하게 되는데, 가로 30 m x 세로 16 m x 높이 19 m의 케이슨 89개가 사용된다. 케이슨의 개당 중량은 5,500 ton에 달하며, 본 공법을 사용하여 케이슨 제작의 공기(6 개월) 및 비용(280 억)을 절감함으로써 1단계 공사를 수행한 일본업체에 비하여 기술적 우월함을 증명하였다.