

초대형 콘크리트 케이슨 다단계 일괄 제작 및 운반공법 개발 (II)

Concrete Caisson Manufacturing and Transferring Apparatus and Method (II)

정 지 만¹⁾, 이 원 표²⁾, 박 중 민³⁾
Zung, Zi Man Lee, Won Pyo Park, Jung Min

ABSTRACT

In conventional methods, the availability of floating crane has determined the size of a concrete caisson. However, this paper introduces a new method for larger caisson production that make it possible to complete caisson fabrication and launch out without use of floating crane. The new method carries out multi-step fabrication of caisson and horizontal transfer of caisson on a single casting bed which consists of collapsible soffit form, trough, aero go watercaster system or low frictional PTFE added jacking system, half-submergible floating dock. To make the new method successfully launched, the static and dynamic analysis is carried out to obtain the stability of caisson launching and experimental research is conducted in evaluating friction occurred between PTFE pad and steel track. Lastly, the comparison of the new method and the conventional method are detailed. With significant benefits in construction costs reduction and construction time reduction, this new method in this paper would be recommended for extensive application in large port and harbor construction projects.

1. 서론

대형 콘크리트 케이슨이 육상에서 제작되어 해상에 설치될 때, 그 제작이나 운반은 주요 공정이 될 경우가 많다. 기존의 방법에서는 소형 콘크리트 케이슨을 육지에서 제작하고 해상 기중기를 이용하여 해상에 설치하였다. 이 경우, 콘크리트 케이슨의 중량은 해상 기중기의 양중 용량에 의해 좌우되었고, 따라서 대형 케이슨은 해상 기중기의 양중 용량 증가 없이는 불가능하였다. 이러한 해상 기중기의 양중 용량에 관계없이, 기존의 공정을 혁신적으로 발전시킬 수 있는 대형 케이슨 제작 및 운반하는 방법이 계속 요구되어왔다. 이에 “공장형 일괄 제작 시스템에 의한 콘크리트 케이슨 다단계 제작 및 운반 공법”에서 일괄 제작을 실시하고 해상 기중기 없이 케이슨을 운반할 수 있는 방법을 제시하였다.

이러한 신공법은 기존의 재래적 공법에 비해 품질 확보와 경제성 측면 그리고 대량 생산일 경우 공

* 정회원, 현대건설 기술개발원 차장

** 정회원, 현대건설 기술개발원 부장대우

*** 정회원, 현대건설 토목사업본부 차장

기단축의 효과를 획기적으로 만족시키고 있다. 신공법의 에어로 고(Aero Go) 시스템 사용시, 육지에서 진수선(DCL, Draft Controlled Launcher)으로 선적할 때 예상치 않은 단차로 인해 생기는 문제점을 해결하기 위해, 마찰 계수가 작은 PTFE(Poly Tetra Fluoro Ethylene)를 이용한 연직 재킹 시스템(Jacking system)을 개발하였다. 이 재킹 시스템은 PTFE를 부착하여 이동시 작은 마찰계수를 이용하고, 연직방향으로 높낮이를 조절할 수 있어 단차로 인해서 생기는 문제점을 해결할 수 있다.

본 논문에서는 초대형 케이슨 다단계 일괄 제작 공법의 소개와 초대형 케이슨 운반 공법에서의 에어로 고 시스템과 재킹 시스템 그리고 PTFE의 마찰 실험 결과와 케이슨 진수시 사용한 반 잠수식 해석 결과를 소개한다. 이어서 기존 공법과의 비교, 검토를 통하여 신공법의 효과와 활용 전망을 소개한다. 작금의 상황은 건설 시장의 개방과 선진 해외 시장의 개척에 따른 외국 건설 회사와의 기술과 품질 경쟁에 대비한 신기술의 필요성이 대두되는 시점이다. 품질 개선 및 공비, 공기 절감에 초점을 둔 보다 경쟁력 있는 신공법이 절실히 요구되고 있는 상황에서 본 공법이 그 작은 역할을 하고자 한다.

2. 초대형 케이슨 다단계 제작 공법

본 공법은 해안의 물막이 공사에 사용되는 케이슨을 단계적으로 제작장에서 설치 위치까지 이동시키는 장치 및 공법으로, 특히 단계적으로 공장형 일괄 시스템에 의해 생산 효율성을 향상시킨 케이슨의 제작 이동 장치 및 공법이다. 초대형 케이슨 다단계 제작 공법을 단계 별로 나누어 설명하면, 제 1단계에서는 케이슨 하부 슬래브를 제작하는 단계, 제 2단계에서는 케이슨 벽체 제작 단계, 제 3단계에서는 양생과 비말대(Splash Zone) 침투방수제(Hydrophobic Pore-Lining Impregnant) 살포 단계, 마지막 제 4단계는 진수선으로 운반하여 반 잠수식 거치를 실시하는 단계이다.

하부 슬래브 제작을 위해 제 1단계의 제작장내에 2세트의 이동식 하부 거푸집(Soffit Form)을 설치하여 유압식 잭에 의한 소뿔 폼의 상하 방향의 미끄러짐에 의해 소뿔 폼의 높이를 조절할 수 있게 하였다. 즉, 하부 슬래브 제작시는 제작장 상단 높이까지 소뿔 폼을 상승시켜 거푸집 바닥의 역할을 하며, 하부 슬래브의 완성 후 제 2단계로의 이동시에는 원래의 높이까지 소뿔 폼을 하강하여 에어로 고 및 재킹 시스템의 이동 통로로서의 역할을 한다. 제 2단계의 벽체 제작은 슬립 폼 시스템을 적용하여 균질한 고 품질을 확보할 수 있으며, 잭에 의한 거푸집의 연속적인 상승으로 시공 조인트가 없다. 철골 뼈대 구조물 상부에는 강우로부터 콘크리트면의 손상을 방지하고 기후 조건에 관계없이 24시간 연속 작업이 가능하게 하기 위하여 지붕을 설치하였다. 제 3단계는 양생 과정과 간만의 차에 의해 드러나는 비말대에 침투 방수제를 칠하여 철근의 부식을 미연에 방지하는 단계이다. 제 4단계는 진수선으로 운반하고 거치하는 단계로 완성된 케이슨을 최종적으로 진수를 위해 육상 케이슨 제작장과 같이 높이의 이동 통로(Trough)를 갖는 진수선의 안치 슬래브위에 옮겨져야 하는데 이때 에어로 고나 재킹 시스템이 통과할 수 있는 케이슨 하부 슬래브와 진수선의 안치 슬래브면의 정밀한 높이 조절이 무엇보다도 중요하다. 제작 공정의 각 단계에서 다음 단계로 대형 케이슨을 이동시키는 운반 공법은 에어로 고 공법과 PTFE를 이용한 연직 재킹 시스템이 적용되었다. 후자는 전자에 비해, 제 4단계에서 진수선으로 이동시, 높이 조절을 할 수 있는 장점을 갖는다. 거치를 위해 진수하는 방법은 진수선에 물을 채워 경사로 인해 진수하는 것으로 반 잠수식 방법을 적용하였다.

2.1 에어로 고 시스템(Aero Go System)

각 단계에서 다음 단계로의 이동은 공중 부양 및 잭의 작용에 의해 계획된 정 위치로 운반된다. 이동

통로는 회수시 별도의 회수 라인 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 대형 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, 마찰을 최소화시켜 작은 용량의 유압책으로도 안전하고 신속하게 이동된다.

2.2 재킹 시스템(Jacking System)과 마찰계수 실험

각 단계에서 다음 단계로 이동시 PTFE를 부착한 연직 잭을 연결하고 수평 잭의 작용에 의해 계획된 정 위치로 운반된다. 하부 슬래브 제작 단계에서부터 진수시 사용되는 진수선의 텍 상단까지 좌우 양측으로 일정 깊이와 폭을 가지는 이동 통로를 해수면 측으로 일정한 직선 길이로 형성하여 전 공정이 일괄 제작 시스템으로 구성되도록 하였다. 연직 잭에 부착된 PTFE는 마찰 계수 실험을 통하여 검증하였고, 특히 연직 잭의 높이 조절이 가능하여 진수선 진입시 생길 수 있는 단차 조절이 가능한 운반 공법이 될 수 있도록 하였다. 그림 1은 PTFE의 지압 응력에 따른 정지 마찰 계수 실험 결과이고, 그림 2는 안전율을 포함한 설계 최대 정지 마찰 계수를 나타낸 것인데, 이는 불순물과 열악한 표면 조건을 감안하여 나타날 수 있는 최대 마찰계수를 규정하여 수평력을 산정할 수 있도록 한 값이다.

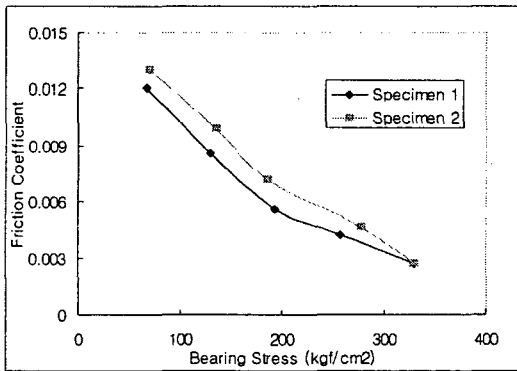


그림 1. PTFE의 마찰계수 실험 결과

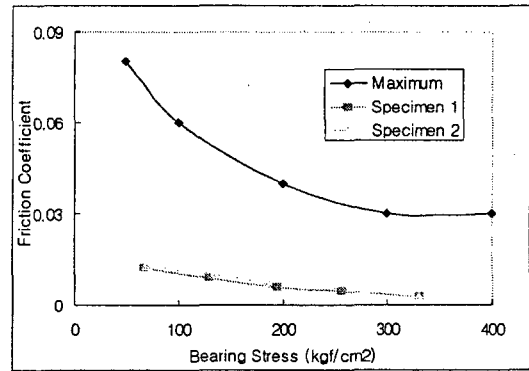


그림 2. PTFE의 설계 최대 마찰계수

2.3 반 잠수식 해석결과

케이슨은 진수에 필요한 수심이 확보되는 위치까지 진수선에 의해 운반된 후 진수선의 한쪽 부분에 물을 채워 한 방향 경사에 의한 자연 미끄러짐으로 해상에 진수되며, 이때 발생하는 미끄러짐 속도를 최대한 줄이기 위해 경사전 연직 약 5m 가량 수평으로 잠수시킨다. 케이슨 진수시 안정성을 확보하기 위하여 정적 및 동적 해석을 실시하였다. 그림 3은 케이슨 진수과정 해석의 한 단면을 나타낸 것이고, 그림 4는 진수선에서 한방향 경사에 의한 자연 미끄러짐으로 해상에 진수되는 케이슨 진수 궤적도를 나타낸 것이다.

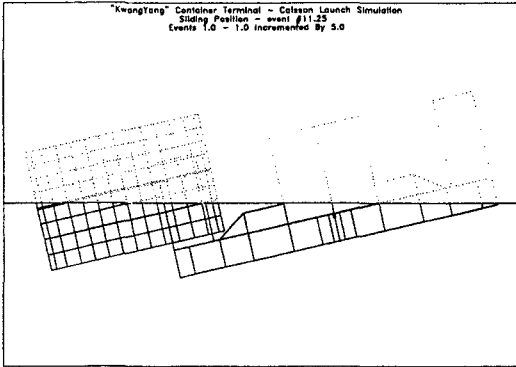


그림 3. 케이슨 진수과정 해석

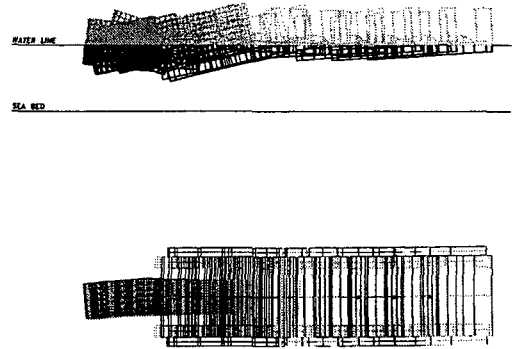


그림 4. 케이슨 진수 궤적도 해석

3. 기존 공법과의 비교 및 활용 전망

본 공법은 단일공정에 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. 또한 운반 및 진수공법 과정에서 해상기중기의 양중 용량에 관계없이 초대형 케이슨의 제작이 가능하게 되었다. 해상 기중기 양중 용량에 의해 한정되었던 콘크리트 케이슨 중량이, 본 공법을 사용함으로써 5,500ton의 초대형 케이슨으로 제작되어 시공되었다. 표 1은 케이슨 제작 및 운반의 재래공법과 신 공법을 비교한 것이다.

표 1. 케이슨 제작 및 운반 재래공법과의 비교

비교	신공법	재래공법	비고
Casting Bed	육상 콘크리트 Bed 타설	육상 콘크리트 Bed 타설	
거푸집 공법	공장형 슬립폼 시스템	재래식 슬립폼, climbing form 시스템	
운반 공법	에어로 고 또는 재킹 시스템	해상 기중기	
진수 공법	DCL(Draft Controlled Launcher)	해상 기중기	
특징	케이슨 중량에 영향 없음	해상기중기 용량에 따른 케이슨 중량 제한	

4. 결론

본 논문에서는 초대형 케이슨 다단계 일괄 제작 공법과 초대형 케이슨 운반 공법에서의 에어로 고 시스템과 연직 재킹 시스템 그리고 PTFE의 마찰실험 결과와 케이슨 진수시 사용한 반잠수식 해석결과를 적용한 신공법을 소개하였다. 본 공법은 케이슨 제작에 따른 기술개발, 생산성의 향상과 우수한 품질 생산이라는 측면을 고려하였으며, 특히 대용량 혹은 대량 생산인 경우, 노동 효율성 및 인원의 감소까지 유발하는 합리적이고 경제적인 케이슨 제작 및 운반 공법이다. 건설 시장의 개방과 선진 해외 시장의 개척에 따른 외국 건설 회사와의 기술과 품질 경쟁에 대비한 품질 개선 및 공비, 공기 절감에 초점을 둔 보다 경쟁력 있는 신공법이 절실히 요구되고 있는 상황에서 초대형 케이슨 다단계 일괄 제작 공법과 초대형 케이슨 운반 공법이 신기술로서의 역할을 하고자 한다.