

선박 육상건조를 위한 로드-아웃 시스템의 보기 배치 사례 연구

황준규* · 고재용**†

* ㈜오션솔루션 대표, ** 목포해양대학교 조선해양공학과 교수

Case Study on the Bogie Arrangement of the Load-out System for On-ground Shipbuilding

John-Kyu Hwang* · Jae-Yong Ko**†

* CEO, Ocean Solution Co. Ltd., Mokpo 58628, Korea

** Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

요 약 : 본 연구는 선박 육상건조를 위한 로드-아웃 시스템(Load-out System)의 보기(Bogie;대차) 배치 방법과 그 적용사례에 대한 표준을 제시하였다. 로드-아웃 시스템은 도크 설비 없이 육상에서 선박을 건조하는 가장 중요한 시스템 중 하나로, 본 시스템은 보기, 모터부착 보기, 트레슬, 파워팩의 4가지 장비로 구성되어 있다. 또한, 선박의 구조적 안전을 위해 트레슬의 반력을 계산하고 적절한 보기의 대수를 결정하였다. 이러한 맥락에서 본 연구의 목적은 최소한의 비용으로 구조적 안전요건을 만족하는 보기 배치를 수행할 수 있는 최적의 시스템 설계방법을 제안하고 과도한 보기 배치에 따른 기업의 손실을 줄이는 데 그 목적이 있다. 제안된 방법은 육상건조 단계에서 조선사들의 생산 경쟁력 향상은 물론 실효성 있는 작업절차 구현에도 기여할 것으로 기대된다. 또한, 로드-아웃 과정에서 선체 바닥에서 발생할 수 있는 선체변형에 대한 위험을 최소화하기 위하여 114K 원유 탱커(최소 보기 수 54대)와 174K CBM LNG 운반선(최소 보기 수 88대)에 보기 배치 방법을 적용하여 육상건조 선박의 보기의 수와 임계 위험(안전율 1.61)을 최소화할 수 있도록 하였으며, 본 연구를 통해 독자는 향후 성공적인 육상건조와 이에 따른 경제적인 선박건조를 수행할 수 있을 것으로 판단한다.

핵심용어 : 로드-아웃 시스템, 육상건조, 보기(대차), 트레슬(반목), 파워팩, 플로팅도크

Abstract : This study presents the bogie arrangement of the load-out system for on-ground shipbuilding. The load-out system is one of the most important systems to perform the bogie arrangement of the on-ground shipbuilding technique without dry dock facilities, and this system is composed of four pieces of equipment: bogies, driving bogie with motors, trestles, and power packs. Also, the bogie arrangement analysis (BAA) is employed to simply calculate the reaction forces at the trestle for structural safety. In this context, the purpose of this study is to propose an optimal design method to perform the bogie arrangement satisfying structural safety requirements with minimal cost. It is expected that the proposed methodology will contribute to the effective practice as well as to the improvement of competitive capability for shipbuilding companies at the on-ground shipbuilding stage. Furthermore, we describe some problems and their solutions of the deformation that may occur in the bottom of the hull during the load-out process. As a result, it is shown that we applied it to the 114K crude oil tanker (Minimum bogie 54EA) and the 174K CBM LNG carrier (Minimum bogie 88EA), it can minimize the number of bogie and critical risks (Safety rate 1.61) during the load-out of on-ground shipbuilding. Through this study, the reader will be able to learn successful load-out operation and economic shipbuilding in the future.

Key Words : Load-out system, On-ground shipbuilding, Bogie, Trestle, Power pack, Floating dock

* First Author : imjkhwang@mmu.ac.kr, 061-240-7476

† Corresponding Author : kojy@mmu.ac.kr, 061-240-7129

1. 서론

1.1 연구 배경

지금까지 선박 건조는 대규모 Dry Dock에서 선박을 건조한 뒤 Dock에 바닷물을 유입시켜 건조된 선박을 띄우는 방식을 이용하여 왔다. 따라서 Dry Dock의 규모와 수는 조선소의 건조능력을 가늠하는 잣대가 될 만큼 선박건조의 필수적인 요건이었다. 그러나 최근 들어 적용하고 있는 Load-out 방식의 육상건조공법은 조선공학의 건조 개념을 바꿔 놓은 획기적인 기술로 평가받고 있다. 왜냐하면 선박건조에 있어서 기존의 Dry Dock 건조공법은 선박을 바닷물에 띄우는 진수(Launching) 개념의 선박 건조공법인데 반하여 육상건조공법(On-ground Build Method)은 육상에서 건조한 선박을 Floating Dock에 선적(Load-out)하여 Floating Dock 위에서 선박을 바닷물에 가라앉히는 방식(Sinking Method)의 건조공법으로 선박 건조의 개념을 완전히 바꾸었기 때문이다.

이러한 특수 건조공법 적용을 바탕으로 본 논문에서는 육상건조 선박의 진수를 위한 Load-out system의 배치 설계에 관한 연구를 수행하였다. 특히 간편한 트레슬 반력해석 시스템을 이용하여 최적의 보기(Bogie; Jack-up and Driving Equipment) 배치 설계를 수행하였다. 트레슬 반력해석을 위해서는 구조 관점에서 평가가 이루어져야 하는데 짧은 기간 내에 많은 시간을 필요로 하는 전선 구조 해석을 수행하기에는 시간상 한계가 존재한다. 따라서 근사화된 방법을 활용하여 보기(Bogie)의 위치 및 개수를 결정할 수 있는 배치 설계에 대한 간이화된 구조 해석(Grillage Analysis)방법을 이용하였다. 왜냐하면 육상에서 건조된 선박이 진수를 위하여 육상안벽과 플로팅 도크의 연결부위(Link Beam)를 통과하는 순간이 가장 중요하고 구조적으로 위험하기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하기 위하여 트레슬 반력 해석 시스템을 개발하였고 개발된 시스템의 검증은 실제 호선 데이터와 비교하여 그 유용성을 입증하였다.

그리고 본 연구에서는 114K Cargo Oil Tanker와 174K CBM Class LNG Carrier를 대상으로 HS사 육상건조장에 배치하여 적용하였다. 이 두 호선의 선정배경은 Cargo Oil Tanker는 활용도가 높고, 낮은 선가, 높은 운임에 납기 또한 짧아서 선주가 선호하기 때문이며, 174K CBM LNG Carrier는 앞으로 Oil & Gas 해운시장 회복세로 당장 수익을 낼 수 있는 선박을 확보하려는 선주들의 수요가 늘어날 것으로 보이기 때문이다. 이러한 추세를 감안하면 지난해까지 저가 수주로 인한 각 조선소의 경쟁력 악화를 만회 하는데 도움을 줄 수가 있고 생산성 증대를 도모할 것으로 기대한다. 또한, 육상건조의 중량물 이송에 뒤따르는 위험(Risk)에 대한 안전관리에 대해서도 언급하여 육상건조장에서 종사하는 작업자들에게

안전에 관한 기준(Safety Guide Line)을 제시하였다.

결과적으로 본 논문에서 도출한 격자구조(Grillage) 모델을 이용한 간이화된 전선해석을 통해서 격자형 구조물의 가장 큰 집중하중의 위치를 보다 명확하게 확인 할 수 있었으며 가장 간단한 격자구조에 대한 구조해석을 수행할 수 있어 구조물의 중량배치 설계에 유용하게 적용할 수가 있었다. 또한, 구조 안전성 문제를 격자구조해석(Grillage Analysis)을 통해서 기술적으로 해결하고 최적화된 Load-out System의 보기(Bogie) 배치를 수행하여 경제적인 선박건조를 도모하고 대 선주 구조 안전성에 대한 불만을 해소하였다.

선박의 육상건조 시 야드에서는 Fig. 1과 같이 트레슬(Trestle) 반목에 의해 선박의 Bottom이 지지 되고 있다. 이러한 트레슬 반목배치에서 주요 고려사항은 지지 반목의 개수와 위치로 지금까지 생산기술부 담당자의 경험을 토대로 판단되고 결정되어왔다.

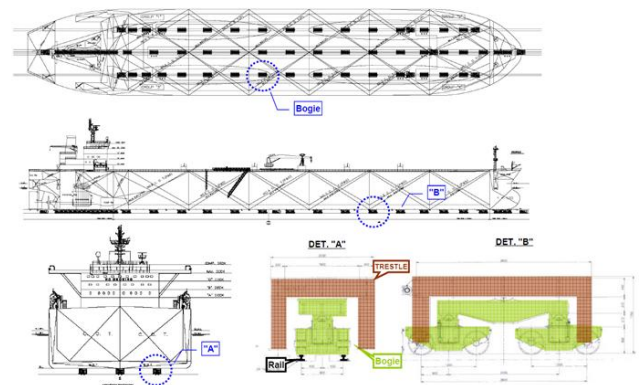


Fig. 1. Trestle support arrangement under the bottom.

더욱이 트레슬 반목의 개수는 선박의 중량과 구조에 따라 결정되기 때문에 안전율과 보기(Bogie)의 반력(Jack-up load)을 고려하여 적절하게 결정이 되어야만 한다. 그리고 산업현장의 안전에 관한 요구가 보다 강화되고 있기 때문에 Bottom의 반목배치에 대한 구조 안전성 평가는 반드시 필요한 과정이라고 할 수 있다.

유한요소해석(Finite element analysis, FEA)은 블록 반목 배치계획의 구조 안전성을 평가하기 위한 강력한 방법이 될 수 있다. 선박의 구조 성능을 평가하기 위해 구조 설계 단계에서 전선(Full ship)에 대한 3차원 FEA는 널리 사용되고 있기 때문에 블록 반목배치 해석을 위한 대상 블록의 유한요소 모델을 용이하게 확보할 수 있다. 그러나 구조설계로부터 지원을 받지 못하는 경우, 블록의 유한 요소 모델을 만들기 위해 상당한 시수(Man-hour)가 소요되기 때문에 신속한 반목배치 계획을 수립할 수 없다. 모든 블록의 반목에서 반

력 계산을 위해 FEA를 수행하게 되면 많은 비용이 발생하게 될 것이다. 또한, FEA에 대한 전문 지식과 기술이 필요하기 때문에 외부 전문가의 지원이 필요하게 된다. 따라서 본 논문에서는 Grillage Analysis를 통해서 간이 격자구조해석(Simplified Grillage Analysis) 만으로도 생산기술부에서 반목배치 전에 해당 반목의 구조 안전성 검증을 쉽고 빠르게 할 수 있도록 하였다.

1.2 관련 연구 현황

육상건조 시 사용하는 반목 즉 트레슬(Trestle) 배치와 관련한 연구 사례는 찾기가 쉽지 않다. 그러나 선박의 도크 반목(Support)에 관한 연구로부터 그 실마리를 찾을 수 있다. 도킹 시 구조부재의 안전성과 반목배치의 타당성을 검증하기 위해서 국내 조선사들은 이미 3차원 전선해석 모델을 이용한 도킹(Docking) 해석 시스템을 구축하여 사용하고 있다 (Yang et al., 2005; Ryu et al., 2013). 또한, 도킹 해석에서 앞서 언급한 3차원 유한요소해석을 이용하였을 때의 문제점을 극복하기 위해 격자구조모델을 이용한 간이 해석 방법을 개발하여 현업에서 쉽고 빠르게 선박의 반목 배치 계획을 수립하는데 활용하고 있다. Kim et al.(2008a)은 도크 반목 반력 계산을 위한 연구에서 3차원 유한요소해석을 통해 반목해석의 신뢰성을 높일 수 있지만, 격자구조(Grillage) 모델을 활용한 간이 해석만으로도 신뢰도가 높은 결과를 얻을 수 있음을 밝히고 있다. 그들은 3차원 유한요소해석과 격자구조 해석(Grillage analysis)을 통해서 구한 반목의 반력을 비교함으로써 신뢰성을 검증하였다. 반목 배치의 구조 안전성은 반목에서 반력을 검토하는 것으로 충분한 평가가 이루어질 수 있으며, 선체 구조 부재에 대한 추가 검토가 필요한 경우 해당 반력에 대한 상세 구조해석을 실시하는 것이 효과적임을 제안하였다.(Kim et al., 2008b ; Yang et al., 2003)

본 논문에서는 상기와 같은 반력 해석 시스템 개발의 사례를 참조하여 육상건조 선박의 Bottom block의 격자구조 간이해석(Simplified Grillage analysis) 방법과 트레슬 반목 반력 해석시스템의 개발에 관하여 연구를 수행하였다. 육상건조의 Bottom block 트레슬 반목해석은 도크의 반목해석과 유사한 절차를 가지고 있으나 선박 전체를 다루는 전선해석이기에 Bottom block의 보기 반력(Bogie wheel load)에 따라 트레슬 반목배치가 이루어진다는 점이 차이가 있다. 따라서 본 연구는 구조 강도 해석을 전문적으로 다루지 않는 실무자가 간단한 작업을 통하여 Bottom block의 트레슬 반목배치를 유연하게 수행하면서 강도평가를 수행할 수 있도록 전용 해석시스템을 구축하는 데 목적을 두고 있다. 간이해석을 이용한 Bottom block의 반목해석 절차에 대해서 정의하고 Bottom block의 보기 반력 데이터로부터 격자구조를 생성하

는 방법, Bottom block의 격자구조에 하중을 분포시키는 방법에 대한 연구가 수행되었다. 이로써 현업 실무자가 쉽고 빠르게 Bottom block의 트레슬 반목배치의 구조 안전성을 평가할 수 있도록 하였다.(Kim et al., 2005 ; Yoon et al., 2005)

Table 1. Comparison between load-out method and applied program of related works

Related works						Applied program
Application	Load-out method	Optimization	Structure analysis	Case analysis		
Yang et al. (2005)	FSO Amerham (HHI)	Transverse Load-out +DBU	X	○	○	SESAM-Von Mises stress plot(3D)
Kim et al. (2005)	105K COT (HHI)	Transverse Load-out +DBU	X	X	○	MOSES
Yoon et al. (2005)	105K COT (HHI)	Transverse Load-out +DBU	X	○	X	SESAM-Von Mises stress plot(3D)
Kim (2007)	Floating Dock (SHI)	Longitudinal load-out + Floating dock	X	○	X	NAPA
Dung (2013)	Jack-up RIG (PV Shipyard)	Longitudinal load-out + Barge	X	○	○	MOSES
This study (2021)	114K COT (Dong-a Tank)	Longitudinal load-out + Floating dock	○	○	○	Grillage

위의 Table 1은 로드 아웃을 적용한 관련 연구 현황으로 대부분 구조해석을 수행하였고 최적 배치는 수행하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 로드 분포에 따른 책임 중량 계산과 보기의 최적 배치를 수행하였다.(Kim, 2007 ; Dung, 2013)

2. 육상건조 선박의 로드-아웃 시스템

2.1 로드-아웃 시스템 개념도

로드 아웃(Load-out)의 개념은 육상에서 건조한 선박을 견수시키기 위하여 Floating dock 위로 선박을 이동시키는 작업을 말하며 이동 중 선박은 자체중량이 매우 크기 때문에 로드 아웃 과정에서 선체에 변형이 일어날 수 있다. 이러한 변형이 일어나지 않도록 보기의 배치를 설계하는 과정이 육상건조 공법의 핵심기술이다. 이에 대한 로드 아웃 개념도를 아래의 Fig. 2에 보여 준다.

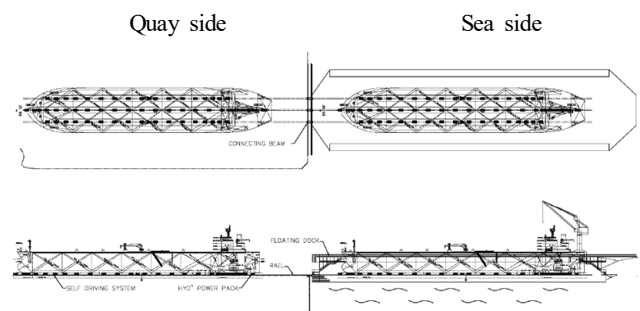


Fig. 2. Concept drawing of load-out systems.

이러한 개념의 육상건조공법은 조선업계의 호황기에 많은 물량의 선박을 처리하기 위해 나온 건조공법으로 밀어내는 방향에 따라 횡 방향 로드 아웃 방법과 종 방향 로드 아웃 방법이 있으며 본 논문에서는 종 방향 로드 아웃 방법을 대상으로 하였다. 또한, 이 방법은 아래 Fig. 3과 같이 선박을 육상에서 건조 후 보기(Bogie)를 이용하여 플로팅 도크(Floating dock) 위로 선박을 이동시킨 뒤(약 3시간 소요 됨) 플로팅 도크를 바다에 가라앉혀 선박을 진수(float-off)하는 방식의 공법이다.



Fig. 3. Actual load-out method for on-ground build ship.

이러한 로드아웃 방식은 최근 들어 설계 시스템의 발달로 대부분의 조선소에서는 Bottom block의 3차원 CAD 데이터를 어렵지 않게 확보할 수 있다. 확보된 CAD 데이터로부터 3차원 격자구조 모델(Grillage model)이 자동으로 생성이 된다. 만약, CAD 데이터의 확보가 어렵다면, 선체에서 하중 및 자중을 전달하는 주요 구조부재인 웹플로어(Web floor), 거더(Girder), 중방향 및 횡방향 격벽(Bulkhead), 선체 외판(Side shell) 등의 위치를 직접 입력하여 격자구조모델을 수동으로 생성하게 된다.

2.2 로드-아웃 시스템 장비 및 구성

로드아웃 시스템은 조선소 육상 안벽에서 건조한 선박을 레일 위에 설치된 보기(Bogie) 장비를 이용하여 선체를 들어 올린(Jack-up) 뒤 밀어내어 바다에 떠 있는 플로팅 도크에 이송시키는 장치이다. 이는 선체의 육상건조에 대한 편리함과 안전성을 확보할 뿐 만 아니라 선체 제작 기간 단축 및 비용 절감의 이점이 있다. 육상건조 선박의 Bottom block 밑에 설치되는 이 로드아웃 시스템의 구성 장비들은 크게 5가지로 아래의 Fig. 4와 같이 배치한다.

- 1) Bogie
- 2) Bogie with driving
- 3) Power unit
- 4) Hydro motor
- 5) Trestle

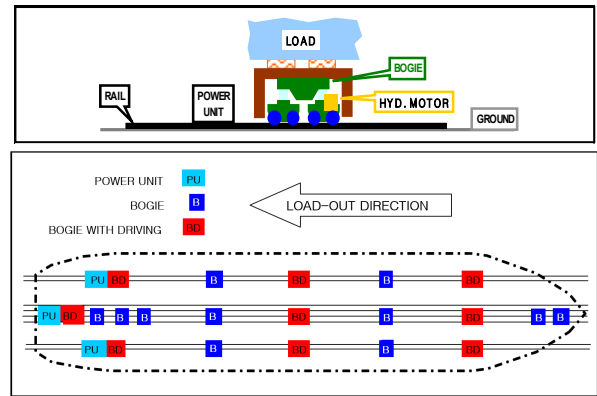


Fig. 4. Equipment configuration of load-out system.

3. 로드-아웃 시스템 보기 배치 방법

3.1 보기 배치 과정 및 로드 분포

Bottom block의 로드 분포를 격자구조 모델에 분포시켜야 하는데 본 논문에서는 로드 분포를 계산할 수 있는 경우의 수를 3가지로 가정하였다. 첫 번째는 Bottom block의 설계데이터로부터 각 부재들의 중량 및 형상 정보를 충분히 확보할 수 있는 경우이다. 이는 CAD 데이터를 사용하여 블록의 중량 분포를 구하는 방법이다. 두 번째는 해당 호선의 전선 구조해석 모델이 존재하여 그 전선 모델로부터 데이터를 내려받아 사용하는 경우이다. 즉 구조해석용 전선 FEM에서 중량정보를 활용하는 방법이다. 세 번째는, 블록의 3차원 설계 데이터와 구조해석 모델의 확보에 어려움이 있는 경우이다. 이는 Bottom block의 전체 중량과 무게중심을 격자구조의 절점에서 집중하중으로 추정한다.

본 논문에서는 세 번째 방법을 대상으로 하였으며, 격자구조 모델과 중량 분포의 추산이 완료되면, 격자구조모델의 계획된 위치에 트레슬 반목을 배치하고 격자구조해석을 수행한다. 격자구조해석에서 구해지는 결과는 트레슬 반목에서 반력과 격자구조의 처짐 양으로, 이 두 개의 변수를 검토하여 생산기술 담당자가 현재 트레슬 반목배치의 안전성을 평가하게 된다. 조선소 내부 기준을 초과하는 반력 위치와 처짐 양이 과대한 지점에 추가적인 반목을 배치하여 계획을 수정하게 된다.

마지막 단계로 제안한 최적 트레슬 반목배치는 사용자의 사용성 증대를 위해 반목배치의 초기 안을 제시할 필요가 있음을 의미한 것으로, 최적 배치 알고리즘을 구현하였고 현재 현업에서 사용 중이다.

전통적인 2차원 격자구조 해석 모델은 Fig. 5와 같이 Web Floor 및 횡 격벽 등의 횡 방향 부재와 Girder 와 종 격벽, 선체 외판 등의 종 방향 부재에 대한 보 요소(Beam Element) 모

델로 만들어진다. 그러나 이러한 모델은 3차원 해석에 비하여 다음과 같은 어려운 점을 가지고 있다.

- (1) 전통적인 2차원 격자구조 모델은 하중 분포를 구현하기 위하여 별도의 계산 및 하중 적용에 대한 이상화가 필요하다.
- (2) 선박의 이중저 형상에 있어 횡방향의 중량 분포가 일정하지 않아서, 전통적인 2차원 격자구조 모델은 횡방향의 하중 분포의 특성을 반영하기 힘들다.
- (3) 전통적인 2차원 격자구조 모델에서 각 구조 부재의 단면에 대한 단면 특성치, 즉 면적(Area) 및 관성 모멘트(Moment of inertia)를 정의하기 힘들며, 단면 특성치 계산에 많은 시간과 노력이 필요하다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하고 정확성을 향상시키기 위하여 2차원 격자구조 모델을 생성하는 방법을 제안하였다. 제안된 각 방법들은 3차원 도킹해석 결과와 비교 검토를 통해서 타당성 검토가 수행되었다. 이러한 2차원 격자 구조 모델은 Inner bottom plan, Midship section drawing, Construction profile 등의 구조설계 도면으로부터 확보할 수 있는 간단한 정보, 예를 들어 Fig. 5와 같이 Center Line Girder로부터 Side rail 간격, Sideshell, Longi. bulkhead, Transverse floors 등 선박의 선저부 격자구조 해석 모델을 생성할 수 있도록 구현하였다.

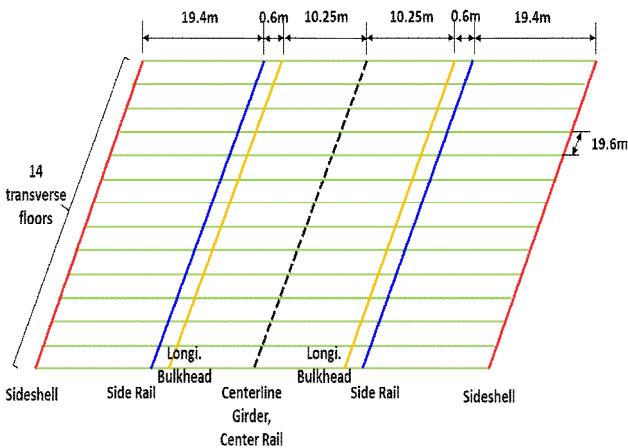


Fig. 5. Basic concept for grillage analysis model.

또한, 본 논문에서는 로드 분포의 형상이 Sideshell의 집중 하중과 Transverse Floor의 균일 하중이 Fig. 6과 같이 작용하는 것으로 가정하였다.

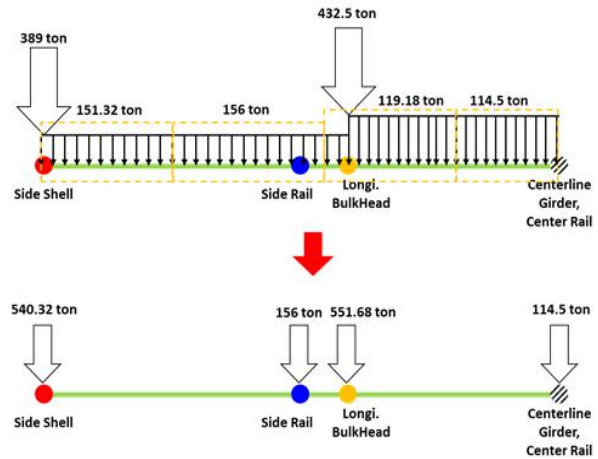


Fig. 6. Basic concept for load distribution.

3.2 로드-아웃 시스템 보기 배치 최적화 방법

로드 아웃 장비 배치 최적화를 위하여 우선 설계변수 (Design variables)로 Bogie의 위치와 대수를 정의하였고 목적 함수(Objective functions)로 Bogie 대수를 최소화 (Minimize number of bogie) 하고 설치비용(Installation cost)을 최소화 (Minimize Installation cost) 하도록 하였다.

또한, 본 연구에서는 제약조건으로 Safety rate은 Curvature를 넘지 않도록 하였다. 이와 관련한 순서도를 아래 Fig. 7과 같이 나타내었다.

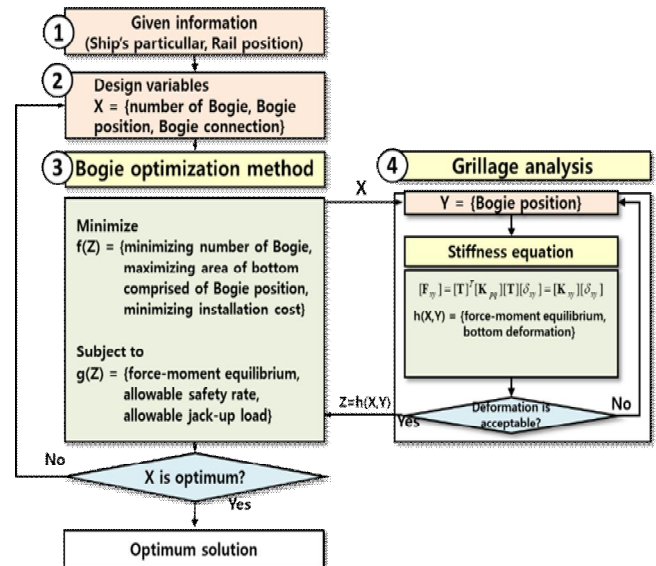


Fig. 7. Optimal design method for bogie arrangement using the grillage analysis.

위의 Fig. 7에서 ①은 주어지는 정보로 LOA(Length Over All), LBP(Length Between Perpendiculars), B(Breadth), D(Depth), T(Draft), LWT(Light Weight)와 Rail position이 입력되고 ②에서는 설계변수로 Bogie의 수와 위치 ③은 Bogie의 최적 배치 방법 그리고 ④에서 Grillage analysis가 수행되는 순서와 강성 방정식이 표현되었다.

또한, Grillage Analysis를 위해서 아래와 같이 관련 변수를 설정하였다.

주어진 정보(Given Information)

- Ship's particulars: LOA, LBP, B, D, T, and LWT
- Rail position: 10.85m off the centerline

설계 변수(Design Variables)

- Number of bogie (: number of 600t bogie, number of 800t bogie)
- Location of bogie

목적함수 (Objective Functions)

- Minimize number of bogie
- Total cost

$$= n_1 \times (\text{cost of 600t bogie}) + n_2 \times (\text{cost of 800t bogie}) \quad (1)$$

식(1)에서 n_1 과 n_2 는 목적함수로 각각 600t bogie가 지지하는 반목과 800t bogie가 지지하는 반목의 개수이다. 600t bogie의 가격은 1.5억 원, 800t bogie의 가격은 1.9억 원으로, 800t bogie의 가격이 더 높으므로, 안전성을 위해 800t bogie 만을 많이 사용한다면 필요한 것보다 가격이 더 올라가게 될 것이다.

제약조건 (Constraints)

- Safety rate

$$LWT \times 1.61 < 600n_1 + 800n_2 \quad (2)$$

식(2)에서 안전율 1.61은 제약조건으로 선체가 Jack up되어 이동할 때 선체변형에 관련된 것이다. 즉, 제약조건은 어떤 반목배치가 안전성과 관련된 제약을 충분히 만족하는지 평가하는 부분이라 할 수 있다. 따라서 선박을 지지하고 있는 bogie의 총 작업 중량은 선박의 자중(LWT) 보다 항상 커야 한다.

4. 적용사례 및 표준화

4.1 적용사례

육상건조선박의 LWT에 대한 Bogie의 Jack-up Load를 계산하여 아래와 같이 Bogie 댓수를 결정하고 600Ton과 800Ton

Bogie를 Fig. 8과 같이 적정 댓수로(선수에는 600Ton, 선미에는 800Ton) 배치하였다.

Bogie : 38대(600Ton 30대, 800Ton 8대)

Bogie with Driving : 16대(600Ton 16대)

Power pack : 2대

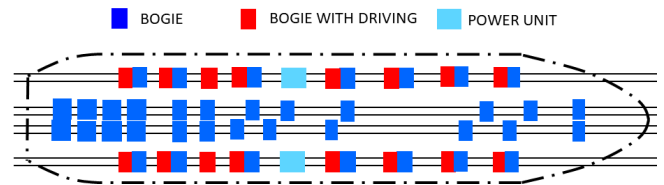


Fig. 8. Equipment Arrangement for 114K C.O.T.

Table 2에서 114K C.O.T의 선체와 반목의 중량(20,864Ton)을 들어 올릴 수 있는 bogie의 총 Jack-up Load(34,400Ton)를 계산하여 나타내었다. Table 3은 174K LNGC의 계산 수치이다.

Table 2. Jack-up load calculation for 114K C.O.T

ITEM	AREA	AFT.& E/R	NO.6 W.B.T	NO.5 W.B.T	NO.4 W.B.T	NO.3 W.B.T	NO.2 W.B.T	NO.1 W.B.T	TOTAL	
		~FR.47	FR.47~FR.55	FR.55~FR.62	FR.62~FR.69	FR.69~FR.76	FR.76~FR.83	FR.83~		
HULL WEIGHT	LWT(TON)	5219	2977	2315	2346	2256	2226	2932	20,271	
	BALLASTING(TON)	-	-	-	-	-	-	-	-	
	TOTAL(TON)	5219	2977	2315	2346	2256	2226	2932	20,271	
SUPPORT	STEEL SUPPORT(EA)	2	30	32	34	28	16	0	142	
	PLASTIC SUPPORT(EA)	2	30	32	34	28	16	0	142	
JACK UP (TON)	TRESTLE(EA)	10	10	7	3	3	6	6	9	54
	LWT + TRESTLE*	12,180 (11,850+11*30)				8,684 (8,420+11*24)				20,864
	CAPACITY	20,000 (800*10+600*20)				14,400 (600*24)				34,400
	LOAD RATE(%)	60.9				60.3				
	AVERAGE LOAD	800(487,600(365))				600(362)				

Note : The weight of one TRESTLE is 11 tons.

$$\text{Total Jack-up Load} = (800\text{Ton} \times 10\text{EA} + 600\text{Ton} \times 20\text{EA}) + (600\text{Ton} \times 24\text{EA}) = 34,400\text{Ton} \quad (3)$$

Table 3. Jack-up load calculation for 174K LNGC

ITEM	AREA	AFT.& E/R	NO.1 CARGO	NO.2 CARGO	NO.3 CARGO	NO.4 CARGO	FORE	TOTAL	
		~FR.71	FR.71~FR.85	FR.85~FR.99	FR.99~FR.113	FR.113~FR.125	FR.125~		
HULL WEIGHT (TON)	LIGHT WEIGHT	10727	5915	5845	5522	3943	2531	34,483	
	BALLAST'G	-	-	-	-	-	-	-	
	SCAFFOLDING	-	551	551	551	352	-	2,005	
	INSULATION	-	374	206	188	-	-	768	
	TOTAL	10727	6840	6602	6261	4295	2531	37,256	
STRENGTH TEST(TON)		-	-	6256(P)	-	-	-	6,256	
SUPPORT (EA)	STEEL SUPPORT	10	72	135	74	48	-	345	
	PLASTIC SUPPORT	10	72	135	74	48	-	345	
TRESTLE(EA)		14	21	17	2	18	12	4	88
JACK UP (TON)	LWT+TRESTLE	23,557			14,667				38,224
	BOGIE CAPACITY	34,400 (800x16+600x36)			21,600 (600x36)				56,000
	LOAD RATE(%)	68.5			67.9				
	AVERAGE LOAD	548 (800), 411 (600)			408 (600)				

Note : The weight of one TRESTLE is 11 tons

$$\text{Total Jack-up Load} = (800\text{Ton} \times 16\text{EA} + 600\text{Ton} \times 36\text{EA}) + (600\text{Ton} \times 36\text{EA}) = 56,000\text{Ton} \quad (4)$$

4.2 표준화

육상건조 선박의 보기 배치 표준화 사례는 아래와 같다.

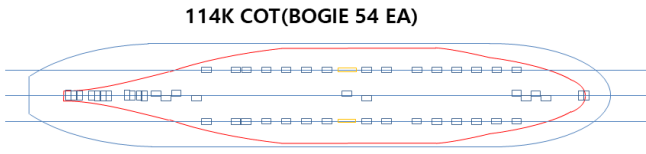


Fig. 9. Standardization of Bogie arrangement for 114K C.O.T.

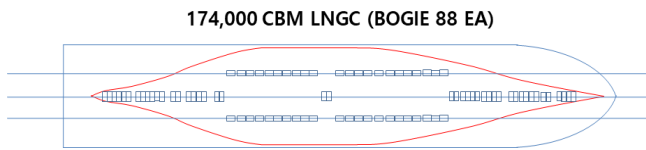


Fig. 10. Standardization of Bogie arrangement for 174K CBM LNGC.

Fig. 9에서 보이는 바와 같이 114K C.O.T 장비 배치는 일반 Bogie 38대(600Ton 30대, 800Ton 8대) 그리고 구동 Bogie 16대(600Ton 16대) 총 54대를 배치하였고, Fig. 10에서 나타난 바와 같이 174K LNGC는 일반 Bogie 72대(600Ton) 그리고 구동 Bogie 16대(800Ton) 총 88대를 배치하여 표준으로 정하였다.

또한, 표준화 과정과 그 기준은 첫째 선미 엔진룸 구역의 면적은 좁기 때문에 800Ton 보기 배치(소수)를 고려해야 하고 중앙부는 면적이 넓기 때문에 600Ton 보기 배치(다수)를 고려해야 한다. 둘째 설계실에서 배포하는 반목 배치도를 기준으로 선박의 중량과 반목의 중량을 들어 올릴 수 있는 개별 보기의 Jack-up Load를 합산하여 안전율 1.61를 만족할 수 있도록 하고 Total Jack-up Load를 확정하여 총 보기 댓수를 표준으로 정한다.

5. 결론 및 향후 연구

육상건조 선박은 진수를 위해서 Load-out이라는 과정을 거치게 된다. Load-out 과정에서는 보기에 선박의 하중이 집중되는 만큼 이로 인한 선체변형이 일어날 수 있다. 선체변형을 줄이기 위해서는 보가를 많이 배치하는 것이 좋은데, 이는 선박건조의 단가를 올리는 원인이 된다. 따라서 본 연구에서는 선체변형이 제약조건을 만족하는 선에서, 최소한의 보기 배치로 Load-out을 진행할 수 있는 최적화된 보기 배치를 제안하였다.

지금까지 일반호선의 도킹해석(Docking analysis)은 3차원 전선 구조해석을 통해 수행하여 왔으나 도킹해석 모델을 완

료하는 데는 많은 시간과 경비가 소요 되었다. 그러나 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 초기 설계 단계에서 트레슬 반목배치를 조기에 수행할 수 있도록 간이화된 보기 배치 방법을 제안하였다. 이를 통해 구조 강도 해석을 전문적으로 다루지 않는 실무자가 간단한 입력 정보만으로 보기의 Jack-up Load를 계산하여 배치를 수행하고 강도평가를 할 수 있는 방법을 구현하였다. 또한, 이를 실제 호선(114K Cargo Oil Tanker와 174K CBM Class LNG Carrier)에 적용하여 아래와 같은 유용성을 확인하였다.

- (1) 주어지는 정보로는 LOA, LBP, B, D, T, LWT, Rail position(10.85m off the centerline) 등이 있다.
- (2) 경계조건을 줄 수가 있다
- (3) 격자구조해석을 통해 Grillage 모델을 이용할 수 있다.
- (4) 기존의 전선해석 프로그램은 시간이 오래 걸리고 설계를 마치기 전에는 해석 결과를 사용할 수 없었으나 적용된 본 사례에서는 빠른 시간내에 보기의 반력과 선체 중량을 계산하여 허용 안전율 이내에서 최적의 보기 배치를 수행하고 안전하게 Load-out을 수행 할 수 있게 되었다.

향후 연구로서 적용 범위를 확대하여 FLNG와 FPSO 등에도 적용하여 구조 안전성과 경제적인 해양구조물 건조를 도모할 예정이다.

References

- [1] Dung, N. T.(2013), First jack-up RIG load-out in Vietnam, Petro vietnam-Journal, Vol. 6, pp. 48-54.
- [2] Kim, J. H.(2007), Floating dock control application for skid launching system (SLS), M.Sc. Thesis, Graduate School of Korea Maritime University.
- [3] Kim, J. H., J. Y. Lee, and S. C. Park(2008b), A Development of Floating Dock Control Simulator for Skid Launching System, Journal of Navigation and Port Research, Vol. 32, pp. 1-7.
- [4] Kim, J. W., H. S. Shin, W. S. Lee, and Y. T. Yang(2005), Motion and mooring analysis during float-off of the on-ground build ship, Proceeding of The Joint Conference of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies, pp. 1102-1109.
- [5] Kim, S. C., C. H. Ryu, J. H Lee, K. S. Lee, and J. H. Choi(2008a), On the docking analysis of global ship structure using simplified grillage model, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 6, pp. 710-718.

- [6] Ryu, C. H., S. C. Kim, and D. G. Kim(2013), Three-Dimensional Grillage Analysis of Reaction Forces on Support of Pre-Erection Block, Journal of Ocean Engineering and Technology Vol. 27, pp. 1-8.
- [7] Yang, Y. T., B. N. Park, and S. S. Ha(2005), Development of load-out design methodology and numerical strength evaluation for on-ground-build FSO, Ocean Engineering, Vol. 32, pp. 986-1014.
- [8] Yang, Y. T., H. G. Cho, K. Y. Yoon, S. S. Ha, and H. S. Kang(2003), Development of load-out methodology for ground-build FSO, Offshore Technology Conference.
- [9] Yoon, K. Y., Y. T. Yang, M. K. Shin, and Ramasamy K. Kumar(2005), Structural analysis for load-out, tow and float-off of the conventional tankers built on ground, Proceeding of The Joint Conference of the Korean Association of Ocean Science and Technology Societies, pp. 900-909.

Received : 2021. 12. 06.

Revised : 2022. 01. 17. (1st)

: 2022. 02. 14. (2nd)

Accepted : 2022. 02. 25.