

선체 블록 진수 시 필요한 최소 용접 구조 강도 평가에 관한 연구

이명수* · 박주신**†

* 조선대학교 선박해양공학과 교수, ** 삼성중공업 조선해양연구소 프로

A Study on the Determination of Minimum Welding Condition Based on Structural Strength under Launching for Tandem Blocks

Myung-Su Yi* · Joo-Shin Park**†

* Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chosun University, Gwangju 61452, Korea

** Principal engineer, Ship and Offshore Research Institutes, Samsung heavy industries, Geoje 53261, Korea

요 약 : 최근 한국 조선업계가 세계 선박 발주 물량의 대부분을 수주하고 있지만, 생산 현장에서는 인력난으로 생산공정 차질을 겪고 있다. 오랜 조선업 불황으로 임금과 임금이 모두 줄어든 탓에 근로자들이 조선소를 떠났기 때문이다. 수주가 증가한 주요 요인은 카타르 LNG선 대량 발주였으며, 선박에 요구되는 기술 사양이 복잡해지는 상황도 유리하게 작용하고 있다. 선박은 계약한 인도 시점이 무엇보다도 중요하기 때문에, 조선소의 주요 공정 중 도크 진수 계획이 무엇보다도 중요한 관리 아이템이다. 도크에서 건조되는 구조물은 의장 작업을 남긴 선체 혹은 완성형 선박일 수 있으며, 때에 따라서 선체의 일부 블록 수준일 경우도 많다. 진수 시, 선체는 유체력에 의한 호깅(hogging) 혹은 새깅(sagging) 모멘트 영향을 받게 되고, 블록 연결부의 구조강도에 대한 안전성 확보가 무엇보다도 중요하다. 정상적인 공정이라면 연결 부재는 용접을 끝낸 상태에서 진수하지만, 실제 조선사에서는 도크 일정을 준수하기 위하여 구조 안전성이 확보되는 조건에 대한 빠른 의사결정이 필요하다. 본 연구에서는 앞서 언급한 문제점들을 엔지니어링 관점에서 합리적으로 판단하기 위하여 휨 응력 평가법과 유한요소해석 모델링을 사용한 상세 해석법과 적용성을 분석하였다. 논문에서 언급된 주요 내용은 향후 유사 구조 강도 평가의 진행 시 좋은 사례로 활용될 수 있을 것으로 생각한다.

핵심용어 : 도크, 진수, 구조 강도, 엔지니어링, 휨 응력, 유한요소해석

Abstract : Although the Korea shipbuilding industry has recently been receiving most of the orders for ships in the world, production processes are being disrupted due to a shortage of manpower at the production site. This is because the workers quit the shipyard as both work and wages were reduced due to the long slump in the shipbuilding industry. The main reason for the increase in orders was the large-scale orders for Qatar LNG carriers, and the situation in which the technical specifications required for ships are becoming more complex is also working to an advantage. Because the contract delivery time is of utmost importance for ships, the dock launch plan is the most important management item among the shipyard's major processes. The structure to be built in the dock may be a hull that has left the design work or a finished vessel, and in some cases, it is often at the level of some blocks of the hull. When launching, the hull is affected by the hogging or sagging moment due to the fluid force, and securing the safety of the structural strength of the block connection is of utmost importance. In a normal process, the connecting member launches after welding has been completed, but in actual shipbuilders, quick decision-making is needed on the conditions for securing structural safety to comply with the docking schedule. In this study, a detailed analysis method and applicability using a bending stress evaluation method and finite element analysis modelling were analyzed to rationally judge the above-mentioned problems from an engineering point of view. The main contents mentioned in the thesis can be used as good examples when conducting similar structural strength evaluations in the future.

Key Words : Dock, Launching, Structural strength, Engineering, Bending stress, Finite element analysis

* First Author : true413@chosun.ac.kr, 062-230-7182

† Corresponding Author : scv7076@nate.com, 055-630-9613

1. 서론

일반적으로 선박은 육상 구조물과 비교하면 규모가 크고 제작되는 공정도 복잡하며, 수많은 부재와 의장품을 조립하는 과정을 거친다. 선주와 조선소 간의 건조계약이 체결되면 생산부문에서는 건조계획을 수립하고, 기본설계를 착수한다. 선박 한 척을 건조하기 위해서는 일반적으로 설계 기간 8개월을 포함하여 1.4년 정도가 필요하며, 조선소에서는 인도 일정 준수를 위하여 부단히 노력한다. 도크내에서 블록 조립과 탑재, 의장품 설치가 완료되면, 도크속에 바닷물을 주입하여 선박을 띄우고 안벽으로 이동하는데 이것을 진수(launching)라고 하며, Fig. 1과 같다. 도크내에는 완성된 여러 척의 선박과 부분 블록들이 함께 배치되어 있으므로, 진수일 준수를 위하여 불가피하게 블록 간 용접 작업을 마무리 못 하는 경우가 빈번하게 발생하고 있으며, 선주사와 조선소 간 공정 진행에 대한 다툼도 자주 발생하고 있다.



Fig. 1. Launching vessel in the dry dock.
(<http://www.koreatimes.co.kr>)

진수를 위해서는 메가 혹은 기가 블록을 도크 내 크레인을 이용하여 용접 후 모듈화하는 과정을 거친다. 도크내에서 작업하는 일정을 최소화해야만 도크 회전을 높일 수가 있으며, 필요한 최소한의 용접만 미리 반영하여 안벽으로 이동 후 마무리 작업을 하는 전략이 필요하다. 본 연구에서는 선체 블록의 진수 시, 구조 안전성을 만족하게 하는 최소 용접조건을 빠르게 판단할 수 있는 두 가지 방법에 대한 비교 평가를 수행하였다. 한가지는 복잡한 유한요소해석 모델링을 이용하여 직접구조해석을 수행하며, 나머지 한가지는 빔 이론을 적용한 방법이다. 결과 비교 시 빔 이론에 의한 방법은 선박의 길이 방향 위치별, 데크와 외판에 따라서 결과 차이가 발생하였으며, 최댓값을 기준으로 경험 계수를 선정하여 사용할 것을 제안하고자 한다.

본 연구와 관련된 기존의 선행연구를 아래와 같이 요약하였다. 선행연구에서는 용접부의 구조 강도 및 피로 강도 영향 분석, 용접 작업 시 변형제어에 관한 기술 그리고 용접부

간이 평가법이 주로 연구되었다.

Choi and Park(2008)는 LNG 운반선의 도킹 시 구조 안전성 확보를 위하여 반목의 허용 강도 특성에 관한 연구를 위하여, 도킹 시 발생하는 다양한 하중 조건을 선정하여 수치해석을 수행하였다. 반목을 개별 스프링(Spring) 요소로 구현한 경우 국부적인 응력집중 현상으로 실제보다 큰 값을 제공하는 단점을 개선하기 위하여, 다수의 국부 구조에 대한 해석 데이터베이스를 구축하여 도킹에 대한 허용하중을 계산하였다. 국부적으로 계산한 결과를 표준화 적용을 위해서는 다양한 연결부의 구조 응답 결과를 보완한 절차서가 필요함을 강조하였다.

Yun and Oh(2012)는 금속을 접합하는 가장 효율적인 방법 중 한 가지인 용접의 변형제어, 해석에 관한 연구 동향을 정리하였다. 선체 블록을 구조 모델링하고, 용접 열원까지 적용한 탄소성해석이 가장 정확한 방법이나 복잡화, 대형화되는 구조물을 수치적 해법으로 처리하는 것은 애로사항이 있다. 조선사 공정 상황이 다르고, 실제 공정에서의 부재 조립 순서를 반영한 해석을 수행해야 하지만, 매번 모델링과 해석의 부하가 증가할 단점이 있으므로, 현장 데이터와 결과 분석을 통하여 등가 모델 평가의 필요성을 언급하였다. 최종적으로 현장의 작업조건에 구애받지 않고 용접변형을 예측할 수 있는 정도 높은 방법과 관리방안에 관한 추가적인 연구가 필요함을 피력하였다.

Kang et al.(2014)는 원유 운반선의 이중저 구조에서 주로 사용하고 있는 보강판 모델에 적용되고 있는 필렛 용접부의 합리적인 각장 기준에 관해서 연구하였다. 선급에서 규정하고 있는 용접 각장에 대하여 루트와 토우에서의 피로 손상을 각각 유효 노치응력(effective notch stress)과 핫 스폿 응력(hot spot stress)을 이용하고, 유한요소모델링을 통한 계산 결과, 노치부와 핫 스폿의 응력 차이는 크지 않았다. 선주의 요구사항인 각장 증가에 대한 용접변형과 잔류응력에 대해서 수치해석을 수행하고, 종방향 압축 하중과 수압 하중을 받는 조건에서 비선형해석을 수행하였다. 각장이 증가하더라도, 폭 방향 응력 수준은 유사하였지만, 변형량은 차이가 발생하였고, 이 값은 선급에서 제안하는 허용값을 초과하였다. 저자들은 루트 부 크랙을 완화하기 위한 수단으로 각장 증가는 과다 변형을 유발하여, 구조 강도 저하 현상으로 이어질 것으로 지적하였으며, 선급 제시안이 타당성이 있음을 주장하였다.

Lee et al.(2017)은 쌍동형 선체를 갖는 카페리에 대해서 국부적인 하중 작용에 의한 구조부재 배치 및 설계를 위한 개선된 절차에 대해서 제안하였다. 기존 결과는 한국선급의 고속경구조선 규칙을 이용하였고, 사용자 편의 프로그램을 개발하고, 프로그램 내 좌굴 평가 모듈을 추가하여 타 선급

선체 블록 진수 시 필요한 최소 용접 구조 강도 평가에 관한 연구

에서 제안하고 있는 결과와 비교하였다. 저자가 제안하고 있는 기준과 대부분 유사한 결과값을 제공하였다. 선급 기준에 의한 용접각장 결정 방법에 문제점을 지적하고, 이를 개선하기 위하여 부재별 발생하는 응력을 기준으로 최소각장을 계산하도록 조치하였다. 개발된 결과를 활용하여, 구조 최적화가 가능하므로, 초기 카페리 중량을 줄이면서 빨리 부재 확정이 가능하다는 장점을 언급하였다.

Kim et al.(2020)은 조선 및 해양 플랫폼에서 주로 사용되는 알루미늄 사다리 독자 모델을 개발하는 연구를 수행하였다. 개발된 제품은 항복강도가 개량된 6082 합금을 이용하였고, 여러 국제 기준을 만족하고 있다. 사다리에 대한 전체 구조 강도를 확인한 후, 용접부에 발생하는 응력 결과를 이용하여 선급 허용기준과 비교 평가하였다. 요구되는 값은 4.9mm지만 해석에 의한 값은 최대 2mm로서 과도한 값임을 알 수 있었다. MIG(Metal electrode Inert Gas) 1회 용접이 최소 3mm가 생성되기 때문에, 초기 선급 요구값은 과도한 용접각장 시공으로 열 변형에 취약한 알루미늄 재질의 특성 저하를 유발하게 시킬 수 있음을 지적하였다.

2. 진수 시 최소 용접량 결정

2.1 3차원 모델링을 이용한 평가

진수 시 생산 계획 대비 용접 작업이 끝나지 않은 구역은 중강도 관점에서 구조 강도 허용기준을 만족하는 최소 용접량을 결정 후 관련 보고서를 선주사에 승인을 받아야 한다. 조선사에서 주로 사용하는 방법은 유한요소해석 모델링을 이용하여 용접구간은 노드 공유를 하지만, 용접되지 않는 구조부재는 공유하지 않음으로써 공유된 영역에서 하중 분산과 응력집중이 발생하도록 하고 있다.

Table 1. Main dimensions of the 174K LNG carrier model

Component	Dimension
Length O.A.	290m
Length B.P.	284.5m
BREADTH (MOULDED)	45.8m
DEPTH (MOULDED)	26.2m
Design DRAUGHT (MOULDED)	11.6m
Summer Load DRAUGHT (MOULDED)	12.0m
Scantling DRAUGHT (MOULDED)	12.5m
Block coefficient	0.774
Max. service speed	21knots

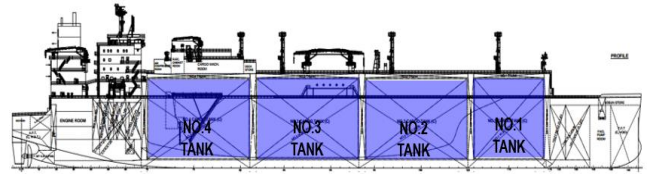


Fig. 2. General arrangement of the 174K LNG carrier.

이 방법은 해석용 모델링이 필요하고, 현장 용접조건을 반영 후 전산 해석을 반복하는 과정이며 숙련된 구조 엔지니어가 수행하고 있다. 연구에 사용된 174K LNG(Liquefied Natural Gas) 운반선의 주요 제원 및 일반배치도를 Table 1과 Fig. 2에 나타내고 있다. 선박은 길이 방향으로 총 4개의 화물창으로 구성되어 있고, 선박 전체 길이는 290m이다.

2.2 선체 중강도 계산

진수되는 선박은 해수위에 떠 있고, 선박의 전체 중량과 그 전체 부력은 같지만, 선체를 분할된 블록으로 간주하면 중력과 부력은 반드시 같지 않다. 선체를 구성하는 구조 재료는 이 하중에 저항하여 선박의 형태를 유지하고 있으며, 이러한 재료의 저항력이 전단응력과 굽힘 응력이다. 선박의 굽힘 모멘트는 선박에 적재되는 하중의 길이 방향 분포에 따라 발생하며, 호깅(Hogging)과 새깅(Sagging)상태로 분류된다. 선박 길이 방향으로 중력과 부력의 차이는 하중 곡선으로 표시할 수 있으며, 이 곡선을 이용하여, 전단력 곡선을 만들게 된다.

Table 2. Bending moment and shear force by ship length

Length-X (m)	FR.No	BM(t · m)	Shear (t)
56.10	70.04	209,495	7,171
106.725	83.28	418,949	683
134,900	90.66	381,938	-3,281
156,790	96.28	277,324	-6,117
206,855	109.30	61,587	-2,510
223,185	114.09	31,232	-1,230
243,480	120.14	19,421	-179
257,860	138.50	12,583	-667

where, BM is bending moment, Shear is shear force

선체 종방향의 위치별 작용하는 휨모멘트 크기는 휨모멘트 곡선이라 하고 임의 단면에 작용하는 휨모멘트는 그 점까지의 전단 곡선을 적분하여 계산된다. LNG 운반선의 길이 방향 전단 하중과 휨모멘트 계산 결과를 Table 2에 도시하였다.

2.3 단면계수를 이용한 굽힘 강도 평가

단면계수(Section Modulus, Z)는 도심 축에 대한 단면 이차 모멘트를 단면의 가장 끝단에서 도심까지의 거리로 나눈 값이다. 단면계수는 빔의 굽힘 강도를 평가하는데 널리 사용되고 있으며, 식(2.1)과 같이 표현한다. 연구에서도 이 방법의 적용성을 검토하고자 한다.

$$Z_{perm.} = M_{total} / (\sigma_{perm.} \times 1000) \quad (2.1)$$

where, M_{total} is still water bending moment + wave bending moment (kN · m), $Z_{perm.}$ is permissible section modulus (m³)

통합공동구조 규칙(CSR-H, 2021)에서는 도크 진수와 같이 야드 내에서 발생하는 하중 조건에 대한 휨 응력 기준을 식(2.2)와 같으며, 연구에 사용한 선박은 저탄소강(Mild Steel, 235MPa)을 사용하기에 허용 응력은 105MPa이다.

$$\sigma_{perm} = 105 / k \quad (2.2)$$

where, k is material factor, specified minimum yield stress of 235MPa is 1.00, 315MPa is 0.78 and 355MPa is 0.72.

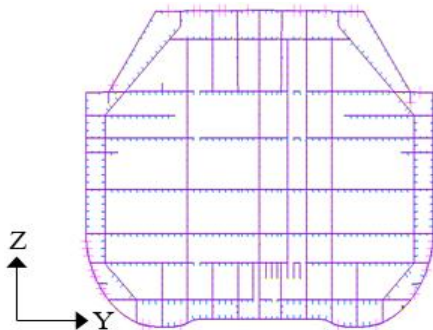


Fig. 3 Welding members contour at frame 70 section.

용접 단면의 단면계수를 계산하기 위하여, Fig. 3과 같이 용접이 완료된 부재들만 계산에 고려하며, 자세한 구조 데이터는 Table 3과 같다. 계산의 편의성과 정확성을 위해서, 한국선급 프로그램(HullScan, 2021)을 사용하였다. 프로그램에서 계산하는 주요 절차 및 순서를 Fig. 4에 나타내고 있다.

진수조건이 확정되면 T&S 정보를 프로그램에 입력해주고, 화물창 및 밸러스트 공간에 대한 정의를 마친다. 하중에 대한 정보는 정수 중 휨모멘트이고 용접이 되는 단면 부재만을 모델에 반영하여 허용기준과 비교하여 구조 강도 만족 여부를 확인한다.

Table 3. Sectional structure data at frame number 70

Component	Data
total cross section	13.743m ²
moment of inertia-Y	1671.630m ⁴
neutral axis	16.283m
distance from N.A to deck	19.132m
distance from N.A to bottom	16.283m
section modulus at bottom	102.659m ³
section modulus at deck	87.375m ³

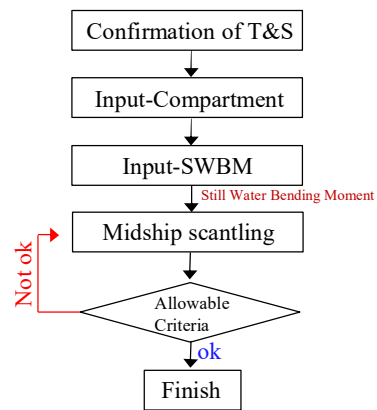


Fig. 4. Flow chart about midship scantling calculation.

3. 유한요소해석 및 고찰

3.1 평가 절차 및 방법

선박은 선미 끝단을 시작점으로 선수 방향으로 프레임 번호가 증가하는 것으로 표시가 되며, Fig. 5와 같다.

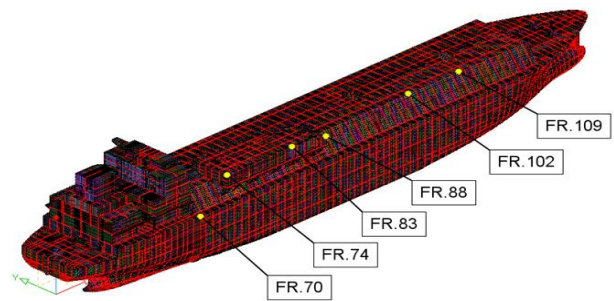


Fig. 5 Analysis model of the 174K LNG carrier.

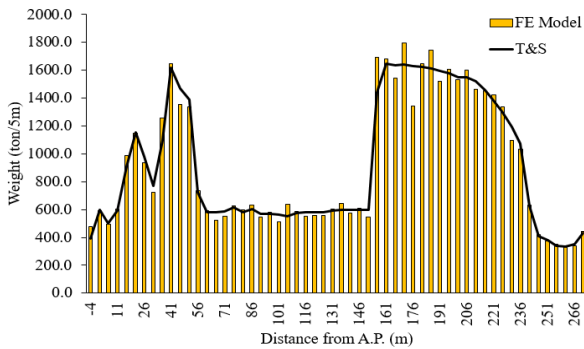


Fig. 6. A comparison of weight distribution between FE-model and T&S (Trim and Stability) information.

선박의 위치별 휨 응력 결과를 검증하기 위해서는 미리 계산된 T&S(Trim and Stability, here after T&S)와 구조 모델링에서 구현된 중량분포를 비교해야 하며, 그 결과를 Fig. 6과 Table 4에 나타내고 있다. 일반적으로 전선 모델링의 배수량 불평형력은 배수량의 1% 미만의 값을 주로 채택하고 있으며, 비교 결과 배수량은 최대 0.3%로서 해석적으로 사용하기에는 충분한 신뢰성을 확보하고 있다. 선박의 길이 방향 무게중심 비교 결과도 차이가 0.02%로 모델링 정보가 중량분포를 잘 반영하고 있다는 것을 확인하였다.

Table 4. A comparison of displacement and LCG as comparing T&S and FE-model

Component	T&S (A)	FE-model (B)	B/A (%)
Displacement (ton)	52,141.6	52,299.9	100.3
LCG(m)	142.92	142.89	99.98

where, LCG is longitudinal center of gravity, T&S is trim and stability

3.2 모델링 및 경계, 하중 조건

본 연구에서는 3차원 전선 모델링을 이용하고, 유한요소 해석 프로그램(MSC Patran, Nastran 2012)을 이용한 구조해석을 수행하였다. 해석에 사용된 유한요소 수는 458,189개, 노드 수는 672,267개이며, 전체적인 처짐 형상 및 응력 결과 판단 시 충분하며, 주요 종강도 판 부재는 2차원 쉘 요소를 적용하였고, 기타 보강재는 1차원 빔 요소를 사용하였다. Fig. 7과 같다. 전선해석을 위한 요소의 크기는 보강재 사이의 폭을 기준(ABS, 2021)으로 해석모델링을 준비하고, 요소의 크기가 더 작아지면, 허용 응력을 최대 25%까지 높게 평가한다.

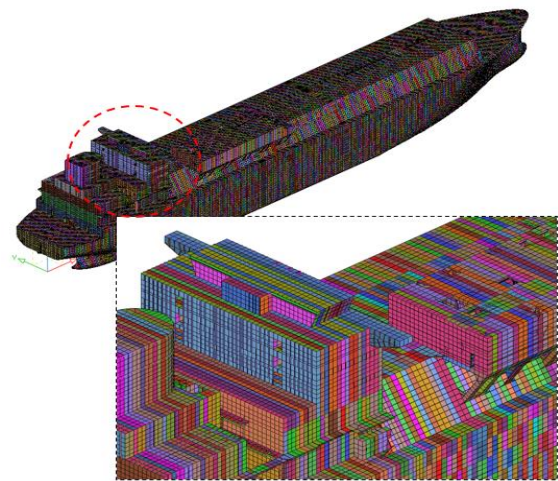


Fig. 7. Whole ship FE-model and detailed view.

해석을 위한 경계조건은 선박의 도심 축, 선수 그리고 폭 방향 센터 교차점에 Y와 Z를 고정하고, 선미 트랜섬(transom) 끝단은 고정조건을 부여하였다. 양단 단순 지지 조건을 구현하기 위하여 트랜섬 중앙부에 Y 방향 구속을 추가하였고, Fig. 8과 같다.

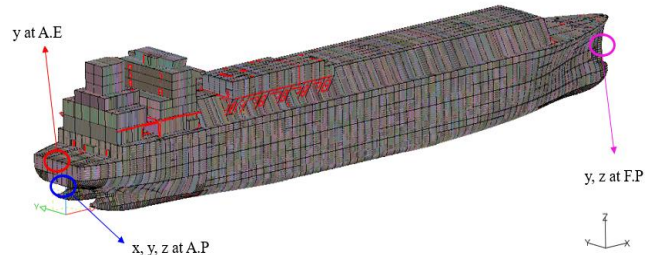


Fig. 8. Boundary condition of the whole ship analysis.

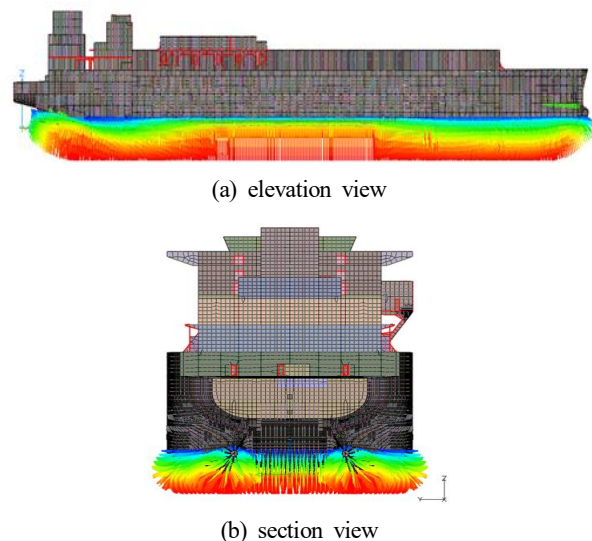
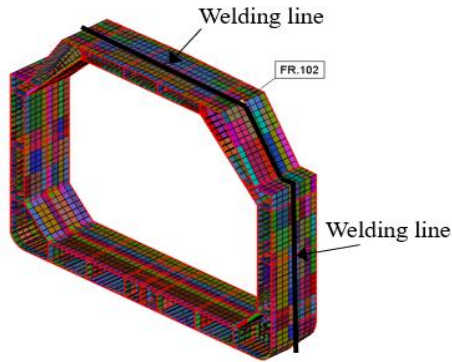
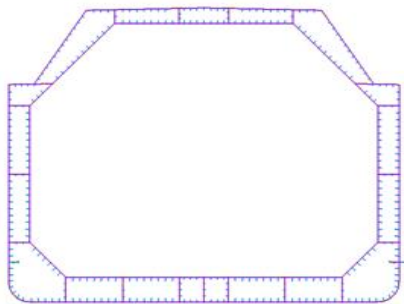


Fig. 9. Loading condition under static pressure.

T&S에 정의된 흘수에 설계 압력을 적용하고 야드 내 이동이기 때문에, 대수심을 향해할 시 발생하는 동적 압력 분포의 영향은 무시하였으며, Fig. 9와 같이 적용되었다. 용접되는 구조 부재는 해석 모델링 상에서 노드 공유를 하고, 용접되지 않는 내부재들은 50mm 간격으로 노드 이격을 시켰으며, Fig. 10과 같다.



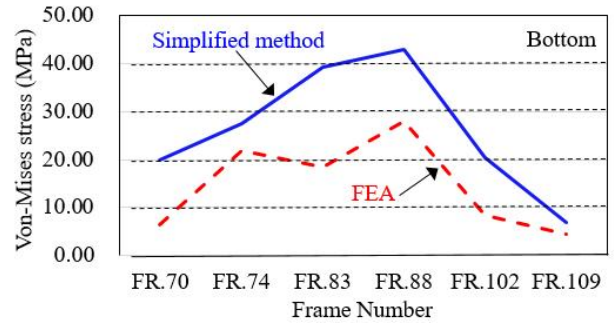
(a) welding section at FR.102



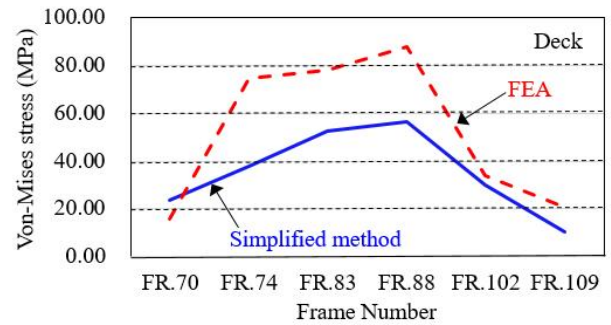
(b) welding section at FR.102

Fig. 10. Sectional model and welding line application at FR.102.

모델링 기반 해석 결과와 빔 이론에 의한 수치 비교 결과를 Fig. 11에 나타내고 있다. 호깅이 발생하는 하중 조건에서 선체 바닥 면에서는 빔 이론 방법이 해석 결과보다 크게 나타났으며, 데크에서는 반대의 결과가 도출되었다. 해석의 정확도 측면에서는 해석모델링을 이용한 결과가 우선시되기 때문에, 바닥 면 기준에서는 빔 이론 방법에 0.66을 곱해서 사용하고, 데크면 기준에서는 1.43을 곱해서 사용할 수 있음을 확인하였다. 빔 이론을 활용 시 아주 빨리 용접량을 반영한 종강도 평가할 수 있으므로, 모델링 기반 수치해석보다 경제적인 의사결정이 가능하다.



(a) stress comparison at the bottom



(b) stress comparison at the deck

Fig. 11. A comparison of von-Mises stress according to evaluation method.

전선모델링을 이용하였을 경우, 선체는 호깅상태의 변형이 발생하며, Fig. 12에서 나타내고 있다. 최대 변형이 발생하는 지점이 최대 휨 응력이 발생하며, 최대 변위는 1,352 mm이다. 허용 응력 설계 관점에서는 하중이 제거되면 구조물은 탄성 거동을 하므로, 잔류 변형은 발생하지 않는다.

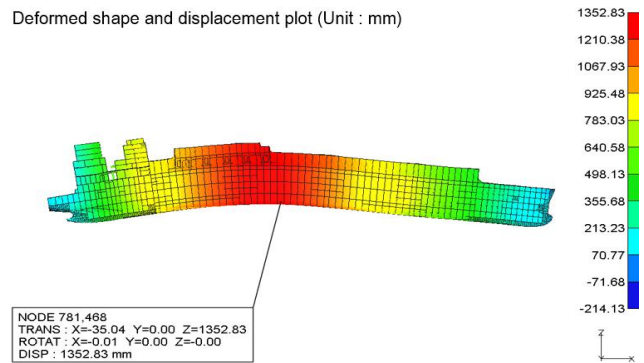


Fig. 12. Global deformation and displacement under floating condition.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구논문에서는 진수 시 선체 구조는 유체력에 의한 호깅 혹은 새깅 모멘트 영향을 받게 되고, 블록 용접 연결부의 구조 강도에 대한 안전성 확보가 무엇보다도 중요하다. 정상적인 공정이라면 연결 부재는 용접을 끝낸 상태에서 진수하지만, 실제 조선사에서는 도크 일정을 준수하기 위하여 구조 안전성이 확보되는 조건에 대한 빠른 의사결정이 필요하다. 본 연구에서는 앞서 언급한 문제점들을 엔지니어링 관점에서 합리적으로 판단하기 위하여 휨 응력 평가법과 유한요소해석 모델링을 사용한 상세 해석법과 비교 평가하였다.

- 호깅 조건에서 선체 바닥 면은 압축 하중이 지배적으로 작용하며, 빔 이론에 의한 방법이 수치해석 모델링을 이용한 방법보다 보수적으로 평가하고 있다. 빔 이론 방법에 0.66을 곱한 결과로 빨리 종강도 검토할 수 있다.
- 인장이 주로 작용하는 데크는 반대의 경향이 나타나며, 빔 이론 방법에 1.43을 곱하여 사용할 수 있다.
- 해석모델링 기반 평가법은 모델링 준비, 해석 시간 등의 제약으로 인하여 공정이 급한 경우, 의사결정에 한계가 있지만 빔 이론 방법과 보정 계수를 적용하면 다양한 용접조건을 빠르게 검토할 수 있다.

향후 연구과제로서는 다양한 선종과 크기별로 허용 응력을 고려한 구조 강도 평가식을 정식화하고, 이를 프로그래밍하여, 별도의 전문적인 유한요소해석을 수행하지 않고도 설계안에 대한 구조 강도 검토가 가능한 사용자 편의 프로그램을 개발하는 것이며, 이러한 연구를 위하여 본 연구에서는 기초적인 구조성능 검토 및 절차에 대해서 검토하였다.

사 사

This research was supported by “Regional Innovation Strategy(RIS)”through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education(MOE) (2022RIS-002)

This research was also supported by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education(MOE) (NRF-2022R111A3068558).

References

- [1] ABS(2019), GUIDE FOR ALTERNATIVE REQUIREMENTS FOR HULL CONSTRUCTION OF VESSELS INTENDED TO CARRY VEHICLES (130 METERS OR MORE IN LENGTH), Section 6, Acceptance Criteria, pp. 51-52.
- [2] Choi, J. H. and J. H. Park(2008), A Study on Docking Analysis for Conventional LNGC, Special Issue of the Society of Naval Architects of Korea, pp. 10-15.
- [3] IACS(2021), Common Structural Rules for Bulk Carriers and Oil Tankers, Part 1, Chapter 5-hull girder strength, Section 1-hull girder yield strength, pp. 323-329.
- [4] Kang, B. G., S. B. Shin, and D. H. Park(2014), A Study on Design of Fillet Weld Size for Stiffener in the Hull Bottom of Crude Oil Tanker, Journal of Welding and Joining, Vol. 32, No. 1, pp. 79-86.
- [5] Kim, S. J., K. C. Seo, and J. S. Park(2020) Development of the Vertical Ladder using a High-Strength Aluminium Alloys (6082-T6), Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 26, No. 6, pp. 698-705.
- [6] KR(2021), SeaTrust-HullScan Uses Guide, Section Creation, Rule Scantling Calculation, pp. 76-92.
- [7] Lee, J. H., J. M. Oh, and K. C. Seo(2017), Development of Structural Design Program to apply the Twin-Hull Car-ferry, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 23, No. 6, pp. 731-738.
- [8] MSC Software(2012), Patran 2012 User’s Guide, Chapter 6-, Material modeling, pp. 125-136.
- [9] Yun, J. O. and C. I. Oh(2012), Trend of Welding Deformation Analysis for Ship Structure, Journal of KWJS, Vol. 30, No. 2, pp. 147-150.

Received : 2022. 11. 28.

Revised : 2022. 12. 19.

Accepted : 2022. 12. 28.