

Conventional LNGC의 도킹 해석에 관한 연구

최중효*, 박재형†*

대우조선해양 선박해양기술연구소

A Study on Docking Analysis for Conventional LNGC

Joong Hyo Choi* and Jae Hyung Park†*

Ship & Ocean R&D Institute, DSME Co. Ltd.

Abstract

The proper docking block arrangement, loading condition and structural reinforcement are required to ensure structural safety of ship, when she is in re-docking and launching for inspection or repair. The large reaction force due to narrow bottom tangent area, heavy weight and ballast loading are occurred at aft body and fore body of ship. Especially, in case of LNGC, the strength evaluation is necessary for cargo hold areas including mid-body because tank hydro test is performed in dry-dock. The analysis results and experiences to confirm structural safety for docking of conventional LNGC(138K~151.7K) are introduced in this paper.

※Keywords: Docking Analysis, LNGC, Floating Dock, Docking(Keel) Block

1. 서론

최근 국내 조선소에서는 폭발적인 수주량 증대와 함께 급격한 생산량 증대가 뒤따르고 있다. 따라서, 건조 시 생산량을 증가시키기 위해 다양한 생산공법의 시도가 이루어지고 있으며, 지금까지 경험하지 못하였던 품질 문제의 위험이 대두되고 있다.

예를 들면 도킹시 선박의 국부 좌굴이나 소성변형등에 따른 영구변형의 사례가 우려되고 있고, 손상에 따른 사고의 위험을 피하기 위해 설

계단계에서부터 상세한 검증이 요구되고 있다.

선박의 특성상 선미부는 매우 큰 weight를 가지며 선형이 좁기 때문에 많은 수의 반목을 설치할 수 없어 각 반목에 비교적 큰 하중이 발생한다. 또한, 선수부의 경우 진수 또는 re-docking 시 trim을 없애기 위해 일부 ballast tank를 주수 시킴으로써 진수 조건을 만족시킨다. 따라서 진수 시는 건조 시 보다 더 많은 하중이 선체 및 반목에 전달되므로 도킹 해석을 통한 구조 안전성 평가 시 주의가 요구된다. 또한 LNGC의 경우 도킹 상태에서 각 tank에 hydro test를 실시하는 경우가 있으며 공정상 안벽에서 insulation 작업 후 re-docking를 실시하는

경우에는 중앙부에 대한 구조 안전성 확보가 요구된다. (박재형 등 1997)

본 연구에서는 conventional LNGC (138K~151.7K)의 도킹 시 구조 안전성 확보를 위해 수행했던 반목의 압축 강도 test 및 구조해석 결과와 경험을 소개하고자 한다.

2. 반목의 특성과 허용 강도

일반적으로 많이 사용되고 있는 반목은 Fig.2.1 과 같이 concrete, steel 과 apiton(wood)로 구성되어 있으며 apiton 부분이 썸기형으로 되어 있어 반목 설치 시 level 을 조절할 수 있도록 되어있다.

통상 간단한 도킹 해석의 경우, 반목은 spring 또는 truss element 로 이상화되며 강성의 경우 LR 에서 제시한 25,000 ton/m 를 이용하여 선체와 접하는 면적비를 고려하여 결정한다. 실제 반목의 강성을 알아보기 위하여 도크장 내에서 반목의 변위를 계측하였다. 계측된 변위와 구조해석을 통해 구해진 각 반목에 작용하는 하중을 이용하여 반목의 강성을 구하였고 이 값은 LR 에서 제시한 값과 유사함을 알 수 있었다.

반목 강도의 경우 압축 강도 test 를 통하여 apiton 에 대한 최대 압축 강도를 구하였다. 2년간 사용한 반목과 새로 제작된 반목들에 대하여 test 를 수행하였으며 test 결과를 토대로 현재 반목 허용 강도를 50 kg/cm² 으로 결정하였으며 반목 배치 시 허용 강도를 기준으로 반목 배치도를 작성하고 있다.

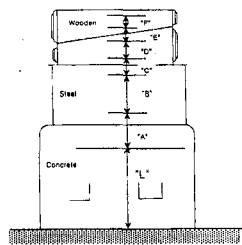


Fig. 2.1 Shape of Docking Block

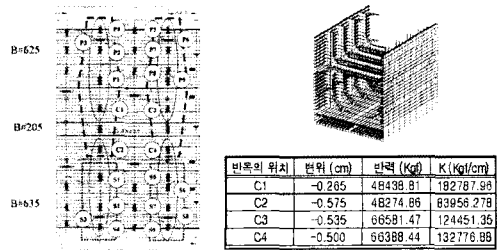


Fig. 2.2 Spring Constant

3. Docking Analysis

3.1 FE MODEL

도킹 시 선체의 구조 안전성 확보를 위해 FEM 을 이용하여 도킹 해석을 수행하고 있으며 Fig.3.1 에 도킹 해석에 사용되는 전선 모델을 보인다. 길이방향의 정확한 weight 의 분포를 위해 모델을 길이 방향으로 나누어 각각의 station 에 대하여 weight 와 무게중심을 맞추어 선체 전체의 무게 중심을 맞추었다.

Fig.3.2 에 길이 방향에 대한 actual weight 와 모델에 적용된 weight 를 보인다. 반목의 경우 spring element 로 이상화되며 반목과 선체가 접하는 면적을 고려하여 spring constant 를 결정하였다.

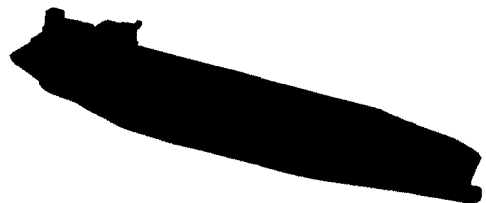


Fig. 3.1 LNGC FE Model for Whole Ship Docking Analysis

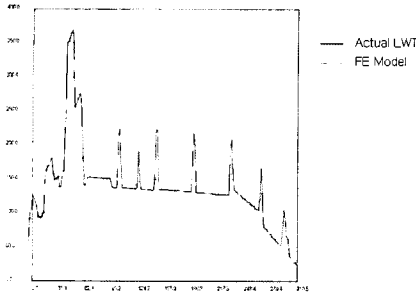


Fig. 3.2 Light Weight Distribution

3.2 하중 및 경계 조건

LNGC 건조를 위한 도킹 시 발생하는 하중 조건은 다음과 같다.

- Light Weight Condition : 건조 또는 검사(수리) 시 하중 조건이며 선미부에 큰 하중이 발생한다.
- Launching Condition : 선박의 진수 시 하중 조건이며 trim 이 없는 상태를 위해 선수부에 ballast 를 주수 하므로 선수부에 큰 하중이 발생한다.
- Dry Docking Condition : 선박의 re-docking 시 하중 조건이며 launching condition 과 같이 trim 이 없는 상태를 위해 선수부에 ballast 를 주수 하며 최근 선주들의 요구에 의해 많은 양의 연료가 선수 쪽 HFO Tank 에 존재하는 경우도 있다.
- Tank Hydro Test Condition : 생산 공정을 위해 도킹 시에 hydro test 를 실시하고 있으며 중앙부에 비교적 큰 하중이 발생한다.

경계 조건은 도크장 바닥을 rigid 로 가정하여 반쪽 모델의 하부에 z 방향 변위를 구속하였으며 전체 모델의 rigid motion 을 막기 위해 선미, 선수 쪽에 x 와 y 방향 변위를 구속하였다.

3.3 해석 결과 평가

구조 안전성 검토를 위해 yielding 과 buckling 에 대하여 안전성 평가를 수행하였다.

Fig.3.3 에 대표적인 condition 에서의 변형 형상을 보인다. 변형 형상을 통해 과도한 반력이 발생하는 부분을 쉽게 알 수 있다. Fig.3.4 에 선미부 D/B 에 대한 equivalent stress 와 shear stress 를 보인다. 해석 결과 stress 의 level 은 전체적으로 비교적 작다.

Buckling 의 경우 각 선급의 buckling criteria 를 기준으로 검토하고 있으며 선미와 선수부 D/B 의 hole 을 포함한 일부 panel 에 대하여 stiffener 를 추가하여 구조 보강을 하였다.

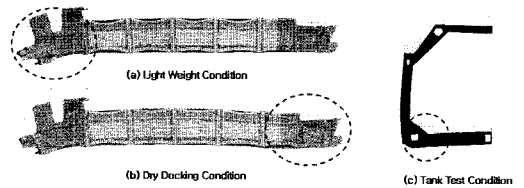


Fig. 3.3 Deformation Plots



Fig. 3.4 Equivalent & Shear Stress of D/B Floors

3.4 고찰

3D 전선 FE model 과 spring element 를 이용한 도킹 해석은 선체에 발생하는 응력과 반목에 작용하는 하중을 비교적 쉽게 계산할 수 있다는 장점이 있지만 다음과 같은 문제점이 있다.

- Spring element 의 사용

반목을 spring element 로 이상화하여 해석을 수행함으로써 인해 node 한 곳에 집중 하중이 작용하여 punching shear stress 가 발생하며 이로 인해 실제보다 더 큰 shear stress 가 계산되게 된다. 또한 Floor 와 longitudinal 이 교차되는 지역에 반목이 설치되는 경우, longitudinal 과 top stiffener 의 영향이 제대로 구현되기 힘들다.

- 3D FE model

최근 선주의 요구에 의해 도킹 해석의 수행 빈도는 크게 증가하고 있다. 하지만 3D 전선 모델을 이용하여야 하므로 인해 모델이 없는 선박의 경우 도킹 해석만을 위해 모델을 생성하기는 시간과 비용적 측면에서 문제가 있다. 또한 인도 후 검사와 수리를 위한 re-docking 시 yard 에서 제공한 dry docking condition 과 반목 배치도가 적용되지 못하는 경우가 빈번하며 이에 대한 구조안전성 평가 요구 시 빠르고 능동적인 대처가 힘들다.

이 같은 단점들을 개선하기 위하여 향후 허용하중 개념의 새로운 해석 procedure 를 개발하고자 하며, 본 연구에서는 LNGC 의 반목이 설치되는 D/B 부의 주요 부재들에 대한 local analysis 를 수행하여 각각의 D/B 주요 구조 연결부에 대한 허용하중을 계산하였다.

4. Local Analysis

Spring element 사용으로 인한 punching shear 의 영향과 각 D/B 부재들에 대한 허용강도를 알아보기 위하여 local 해석을 수행하였다. Fig.4.1 에 해석에 사용된 local

모델을 보인다. 반목과 접할 수 있는 D/B 부재인 floor, girder, longitudinal, duct keel 등 각각의 연결부에 대하여 해석을 수행하였다. 반목을 spring element 가 아닌 solid element 를 이용하여 모델링 하였고 강성은 spring constant 를 young' s modulus 로 치환하여 계산하였다. 또한 반목의 방향을 고려하여 transverse 와 longitudinal 방향에 대하여 각각 해석을 수행하였다. 반목에 작용하는 하중의 경우 단위 하중(100ton)을 가하여 해석을 수행한 후 계산된 응력을 토대로 허용 하중을 구하였다. Fig.4.2 에 해석 결과 중 하나인 longitudinal connection 에 대한 stress 를 보인다.

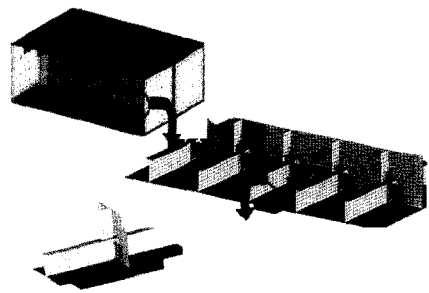


Fig. 4.1 Local Analysis Model

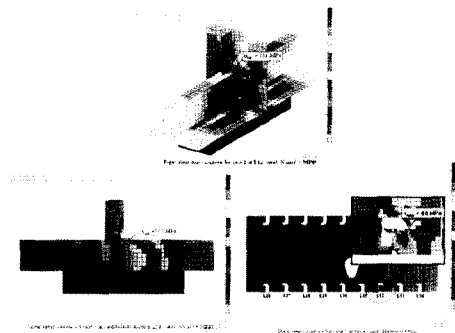


Fig. 4.2 Analysis Results in Long. Connection

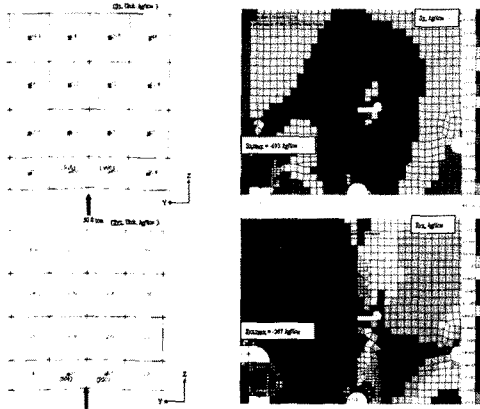


Fig. 4.3 Comparison of Stress

Longitudinal connection 에 대한 해석 결과 반목에 작용하는 하중에 의해 발생하는 stress 가 floor 뿐만 아니라 longitudinal 의 web 와 top stiffener 를 통하여 전달되는 것을 볼 수 있으며 이는 global analysis 에는 정확하게 고려되지 못하는 결과이다. Fig.4.3 에 반목에서 50 ton 의 반력이 발생하는 global analysis 와 100 ton 의 하중을 가한 local analysis 의 stress 비교를 보인다. Stress 분포의 차이가 매우 크며 이는 spring element 의 사용으로 인한 punching shear stress 의 영향과 위에 언급된 longitudinal web 와 top stiffener 를 통하여 전달되는 stress 를 정확하게 고려하지 못하는 global analysis 의 영향으로 사료된다.

5. Docking in Floating Dock

Floating dock 를 이용하여 LNGC 를 건조하는 경우가 증가하고 있으며, 이때, 구조 안전성 확보를 위해 도킹 해석을 수행하였다. Fig.5.1 에 해석에 사용된 모델을 보인다. Floating dock 를 이용하는 경우 floating dock 의 ballast 를 조절하여 floating dock 를 trim 이 없는 상태에서 static hogging 상태로 만들면 선미와 선수에 발생하는 하중을 중앙부로 어느 정도 전달할 수 있어 dry dock 보다 장점이 있다. 하지만 floating dock 의 frame space, girder space 와 LNGC 의

space 가 틀리기 때문에 반목 배치 시 주의가 요구되며 open section 인 floating dock 의 횡강도에 대한 검토가 필요하다. Floating dock 의 기본 계산과 구조해석 결과를 이용하여, floating dock 와 LNGC 의 구조 안전성이 충분히 확보 될 수 있는 적절한 반목 배치도와 docking procedure 를 작성하여 적용하고 있다.

Fig.5.2 에 해석 결과 중 하나인 반목에 작용하는 반력의 길이 방향 분포를 보인다. Dry dock 에 도킹 시 발생하는 선미와 선수부의 큰 반력이 중앙부에 많이 전달 되었음을 확인 할 수 있다.

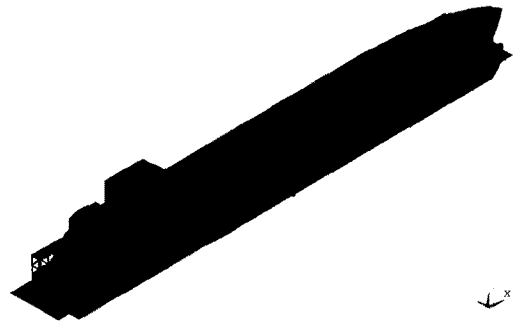


Fig. 5.1 Docking Analysis Model (Floating Dock & LNGC)

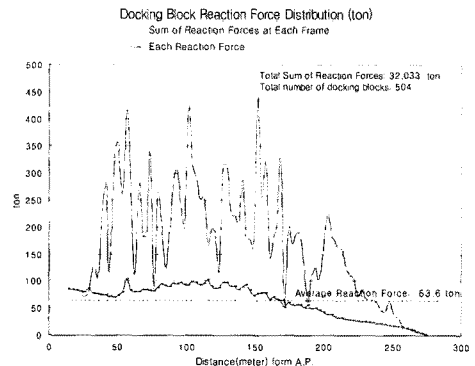


Fig. 5.2 Weight Distribution

6. 결 론

본 연구에서는 당사의 conventional LNGC 의 docking 시 사용되는 반목의 강성과 강도를 구하기 위한 계측과 test 결과를 소개하였으며 구조 안전성 평가를 위해 수행하였던 구조 해석 방법과 결과를 서술하였다.

Spring element 를 이용한 global analysis 는 전선 모델을 이용하여 비교적 쉽게 구조 안전성 평가를 수행할 수 있지만 계산된 stress 의 경우 모델링 방법과 punch shear 등의 이유로 인해 실제 발생할 수 있는 stress 보다 매우 크다는 사실을 알 수 있었다. 다수의 local analysis 를 통하여 D/B 부 각각의 구조 연결부에 대하여 도킹에 대한 허용 하중을 구하였다. 또한 구조 해석을 통하여 floating dock 에 re-docking 시 구조 안전성을 확보 할 수 있는 반목 배치도와 floating dock 의 load condition 을 생성 할 수 있었다.

향후 Container ship, Tanker 등에도 local analysis 를 통한 각 D/B 주요 연결부의 허용하중을 계산하여 docking analysis 를 보다 정확하고 단순하게 할 수 있는 해석 procedure 에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- 박재형, 장창환, 허주호, 1999, " Ro/Ro 선의 3D 전선 도킹 강도 해석", 선박설계연구회.
- 박재형, 최성규, 배영수, 1997, " 도크 내 수압시험을 위한 LNG 선 구조 안전성 검토", 대한조선학회 추계학술대회.
- 최중효, 오상현, 장창환, 전민정, 2002, " Docking 해석 시스템 개발", 대한조선학회 추계학술대회.
- 최중효, 박재형, 허주호, 2006, " Conventional LNGC 도킹 해석에 관한 연구", 선박설계연구회

- Lloyd, 1983, " Lloyd' s Register' s Plan Appraisal Systems for Ships-ship Type Procedural Documents for Oil Tankers, STPD" .



< 최 중 효 >



< 박 재 형 >