

드라이도크 게이트의 설계 및 구조해석

박주신^{*} · 안환진^{**} · 정길용^{***}

* 오사카대학교 공학연구과, **, *** (주)토우남해중공업

Design and Structural Analysis of Dry Dock Gate

Joo-Shin Park^{*} · Hwan-Jin Ahn^{**} · Gil-Yong Jung^{***}

* Graduate school of Engineering, Osaka University, Suita, 565-0834, Japan

, * Towoo Namhae Heavy Industries Co., Ltd, Design Team, Young-am gun, Korea

요약 : 최근 조선산업의 호황으로 인하여, 신생 조선소들이 많이 설립되고 있다. 이러한 조선소의 특징은 기존의 조선소에 비해 규모가 크며, 또한 진수방식을 대형조선소의 방식인 드라이도크 진수를 채택하고 있다. 본 연구 논문에서는 드라이도크 게이트의 구조 설계 및 유한요소법을 적용한 구조해석에 대해서 나타내고 있다. 설계는 트라이본을 사용하였고, 구조강도 평가는 범용 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS Multiphysics 모듈을 이용하여 계산하였다. 드라이도크 게이트는 자주 개폐를 하지 않으며, 도크내에서 일정한 견조 기간동안 외부의 해수압을 견딜 수 있는 구조 강도를 갖고 있어야만 한다. 실제적으로, 이 구조물의 설계 및 구조강도 평가에 대한 자료는 거의 찾아볼 수가 없어서, 설계 기준 및 합리적인 구조강도 평가에 대한 기준이 필요시 되고 있다. 향후 이러한 구조물의 설계 및 구조강도 평가에 본 연구논문은 기초적인 자료 및 참고문헌으로 유익하게 사용되리라고 판단된다.

핵심용어 : 드라이도크 게이트, 유한요소법, 파랑하중, 진수, 구조강도, 설계

Abstract : Recently, new shipbuilding yards with medium capacity are established due to influence of prosperous condition on shipbuilding industry in Korea. These shipbuilding yards have characteristics such as high capacity facilities and followed system of dry dock launching just like major shipbuilding yards. The present paper explains the dry dock design and structural strength analysis by using FEM. The design stage used TRIBON M3 system while the estimation of structural strength used ANSYS Multiphysics module. The dry dock gate did not frequently open and close, it had to sustain against external wave load during building a ship. Moreover, documents related to design of dry dock gate have no guidelines about design criterion and process of structural strength calculation. It is necessary to make the guidelines about design of dry dock gate. It is expected that this paper will be a good reference to the design of dry dock gate.

Key Words : Dry dock gate, FEM, Wave load, Launching, Structural strength, Design

1. 서 론

최근 조선 산업 경기의 호황으로 인하여 경남지역 및 서남권을 중심으로 중형급 신생 조선소들의 수가 크게 증가하고 있다. 이러한 중형급 조선소들의 가장 큰 특징은, 기존의 선대 진수형 방식이 아닌, 자사의 주력 선종에 알맞은 드라이도크를 자체적으로 건설하고 있다는 것이다. 기존의 중형급 조선소에서 2만톤급 이하의 선박을 주요 목표로 하여, 선대에서 진수를 하는 방식에서 벗어나, 자체적인 드라이도크를 갖고 있음으로서, 선박의 견조 능력이 크게 향상되어지고 있다. 물론 선대진수 시스템에 비해서 초기 투자비용이 크다는 부분은 단점이라고 할 수 있다. 드라이도크에서의 진수는, 게이트의 일부분을 열어서, 해

수를 유입시킨 후, 선박이 부력에 의해서 부상 하면, 게이트를 제거하고, 선박을 안벽으로 옮기게 된다. 이러한 일련의 과정 중에서 중요하게 고려되는 구조부재가 드라이도크 게이트이다. 드라이도크 게이트는 한번 설치가 되고 나면, 선박의 견조공정이 이루어지는 동안에는 도크와 해수의 사이의 칸막이 역할을 하게 되며, 과도한 파랑하중에 의한 변동압력을 받는 경우는 극히 드물다고 생각할 수 있다. 물론 예상치 못한 아주 극심한 기상조건에 의해서, 외부 파랑하중이 토크내에 유입될 수는 있지만, 게이트가 설치될 해안의 특성상 해수의 유입은 무시할 정도로 크지 않다.

조선 산업의 비약적인 발전과 함께, 세계적으로 권위 있는 여러 선급협회(DNV, LR, ABS etc), 선급협회모임(IACS), 국제 해사기구(IMO)등을 중심으로 여러 가지 선박의 구조 안정강도 지침들이 변경되고, 앞으로도 여러 부분에 대해서는 새로운 규준의 수립 및 기존의 법규에 대한 보완이 이루어지고 있다. 즉, 과거에는 고려할 수 없는 부분들에 대해서도, 설계기술의 발전

* 대표저자: 정희원, Joo-Shin.Park@naec.eng.osaka-u.ac.jp, +81-90-1153-9326

** 정희원, cafcholy@gmail.com, 061-462-3311

*** 정희원, jgy0303@hanmail.net, 061-462-3311

몇 관련 연구의 발전으로 인하여, 해결이 되어가고 있는 실정이다. 그러나 선박 및 해양구조물의 설계 및 진조 그리고 운항 관련 매뉴얼은 상세히 정리가 되어 있지만, 드라이도크에 관련된 사항들은 언급이 전무한 실정이다. 본 연구결과는 드라이도크 게이트의 기본설계 단계에서부터, 구조물의 강도 평가에 이르는 과정을 상세히 다루고 있으며, 이와 같은 프로세스를 진행하는 경우, 본 논문은 아주 유익한 자료가 되리라고 판단된다.

2. 기본 구조 설계

2.1 드라이도크 진수

드라이도크는 육조 형태처럼 땅에 도크를 파놓은 것이고, 선박을 진수 할 때는 도크에 물을 채운 후, 도크게이트를 열어서 선박을 꺼내는 방식이다. 이러한 드라이도크의 장점은 다음과 같다.

- 경사선대와는 달리 경사가 없기 때문에, 작업이 편리하다.
- 진수할 때, 선체가 손상되는 것을 막을 수 있다.
- 도크(dock)를 좀 더 효율적으로 사용할 수 있게 된다.

이러한 드라이도크의 사용으로 인하여, 조선소의 선박 생산성은 극대화 할 수 있으며, 이러한 장점을 이용하여, 좋은 성능의 선박을 가격 경쟁력 있고, 짧은 기간 안에 건조할 수 있게 된다.

Fig. 1에서는 일반적인 드라이도크 진수를 나타내고 있다. 진수 시 개폐되는 드라이도크 게이트는 도크의 출입구 역할 뿐만 아니라, 외부 하중에 의해서도 충분한 구조강도를 갖고 있어야만 하는 제약조건이 존재한다.

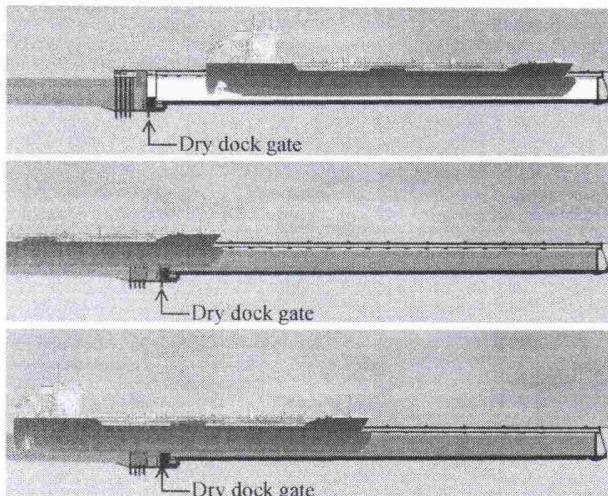


Fig. 1. Launching of dry dock.

2.2 기본설계 및 구조설계

드라이도크 게이트의 기본설계 및 구조 상세 설계에 사용된

프로그램은 TRIBON M3이다. 이 설계 시스템은 기본적인 2차원 테이터를 기반으로 모델링을 하여 3차원을 바로 구현이 가능하며 작업하면서 실시간으로 3차원 입체모양을 확인할 수 있다는 장점이 있다. 부재 재질과 크기 두께에 따라서 부재 중량 체크가 가능하며 선각중량이 어느 정도 되는지 99.9%의 신뢰성을 나타낸다. 특히 복잡한 구조물에서는 작업자의 들어가기 어려운 곳을 3차원 모델링을 통해서 작업 방법 등을 결정 할 수 있으며 내부의 세부 부재까지 동시에 확인할 수 있는 기능을 가지고 있다.

Table 1에서는 드라이도크게이트(dry dock gate)의 주요 제원에 대해서 나타내고 있다.

Table 1. Principal dimension of dry dock gate

Dry dock gate	
Length(L)	36.1 m
Breadth(B)	1 m
Height(H)	8.2 m

2.3 설계 시 고려사항

○ 별워크(bulwark) : 게이트 상단부로서, 바다쪽에서 파랑 발생 시 파도로 인해 해수의 유입을 막기 위해서 설치하였다. 또한 상부 통로 안전을 위해서 반대쪽에 핸드레일(hand rail)을 배치하였다.

○ 맨홀(manhole) : 도크게이트 내부에 들어가는 유공부를 나타낸다. 각 스트링거 별로 이동하기 위해서, 사람이 들어갈 수 있는 공간 확보를 고려해서 설계하였다.

○ 내부 개더홀(gadder hole) : 자체 중량 감소 효과 및 내부 이동 통로 확보를 위해서 설계하였다.

○ 각 스트링거 홀 (반지름 150mm, 200mm 유지), 코너부위 스캘럽(scallup) 반지름 100mm로 설계하였으며, 이 구조부재의 기능은 자체 중량 감소 및 내부 공기 및 배수 기능을 담당한다. 만약 외부 충격에 의하여, 물이 유입될 경우 신속하게 아래로 이동하여 게이트 자체 배수 시스템을 동작하여, 밖으로 물을 배출 할 수 있도록, 벨브 시스템을 설치하였다. 이러한 기능 외에 외부하중 가중 시 전체적인 힘을 분산시키는 기능도 있다.

○ 측면 판 및 바닥 판 두께를 후판으로 설계하였다. 도크게이트 설치 방법이 콘크리트 흙에 들어가는 방식으로서, 도크 안쪽에 턴 버클(turn buckle)을 설치하여, 안쪽으로 고정시킨다.

○ 바닥 하부에 터치 판(touch plate)을 설치하였다. 또한, 바닥에 강력고무인(rubber packing) 설치하여, 내부로 해수 유입을 방지하였다. 또한, 측면도 강력고무 마모 시 발생하는 충격으로 인한 방지 역할도 하게 된다.

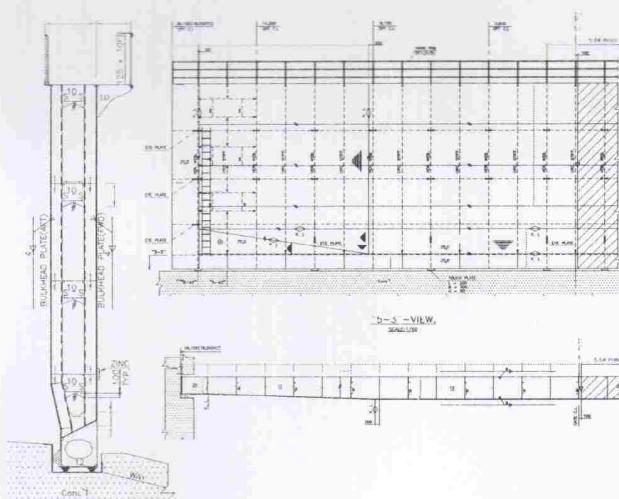


Fig. 2. Profile of construction

설계가 완료된 드라이 도크의 전체적인 형상에 대해서 fig. 2에 나타내고 있다. 드라이도크의 특성 상 설치될 공간의 세 모서리는 콘크리트로 구성되어 있으며, 미리 제작된 흙에 끼워지게 되는 특성을 갖고 있다. Table 2에서는 해석에서 고려한 재료의 물성치에 대한 정보를 나타내고 있다. 연강(mild steel) 계열을 사용하였으며, 물성치는 균일 등방성 재료로 고려하였다.

Table 2. Mechanical properties of materials

Mild steel	
Young's modulus(E)	205800 MPa
Poisson's ratio(ν)	0.3
Yield stress(σ_y)	245 MPa

2.4 하중조건

해석에 적용된 하중조건을 Fig. 3에서 나타내고 있다. 하중은 수압하중과 조파력에 의해서 발생되는 쇄파압력 분포하중의 조합형태로 고려하였으며, 단위면적당 아래의 3가지 형태의 하중 분포를 고려하였다.

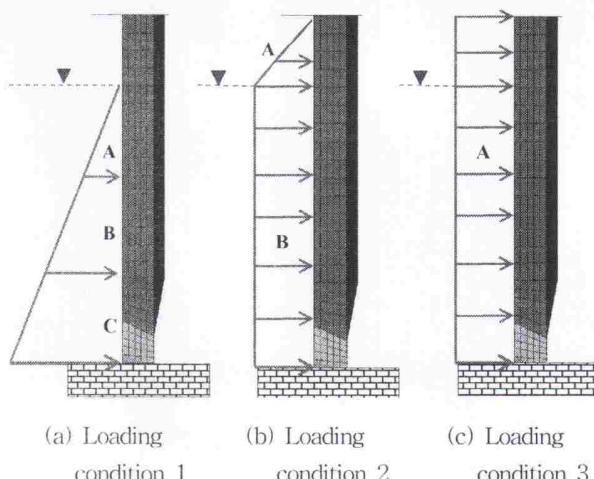


Fig. 3. loading condition.

하중조건-1은 드라이도크 게이트에 작용하는 일반적인 해수 압 형태의 하중을 높이에 따라서, 3단계로 차분화 하여 각각 적용하였다. 지면에서부터 높이 2.5m까지는 0.07MPa를 적용하고, 2.5m부터 5.0m 까지는 0.04MPa를 고려하였다. 마지막으로 5.0m부터 흘수선인 7.0m 까지는 0.01MPa를 고려하였다. 하중은 도크의 외판에 수직인 방향으로 면외하중으로 작용한다(박과 고, 2007).

하중조건-2의 조건은 다음의 두가지 하중 작용 영역으로 구분된다. 기상조건의 악화로 인하여, 흘수선 주위의 조파력으로 인한 쇄파압을 고려하기 위하여, 흘수선부터, 드라이도크 높이의 끝단까지의 면적을 삼각하중의 형태로 0.05MPa를 고려하고, 흘수선 이하의 구간은 수심의 영향에 상관없이 동일한 면외하중인 0.07MPa를 적용하였다. 실제적인 수심에 따른 면외하중의 크기는 다르다고 할 수 있으며, 고려된 조건은 상대적으로 적은 면외하중이 작용한 부분에 대해서 과도한 하중을 작용함으로서, 구조안정성 평가를 보수적으로 평가하려는 관점이 있다. 또한 현재 기본설계 단계에서 고려되어진 결과 중, 지면부터 2.1m의 부근에는 상당히 후판재료(20mm)를 사용함으로서, 수심에 따른 하중을 충분히 견딜 수 있도록 사전에 고려가 되었다. 즉 일부분의 후판재료를 제외한 평균적인 판 두께인 12mm를 사용한 영역에서의 가장 최악의 하중조건에 대한 구조안정성 평가가 주요한 평가 목적으로 할 수 있다.

하중조건-3은 가장 최악의 조건을 가정한 하중분포 형태를 나타내고 있다. 극심한 해상 상태에서, 해안쪽으로 향하고 있는 구조물의 외판 전체가 동일한 면외하중(0.08MPa)을 지탱하고 있는 조건이다. 하중조건-2에서 언급하였듯이, 드라이도크 케이트의 설치 이후 발생 가능한 여러 가지 하중조건에 대한 영향을 충분히 고려하기 위하여, 설계보다 과도한 하중조건을 구조물에 작용하는 것으로 고려하였다.

2.5 경계조건

드라이도크 게이트의 하부 부분은 미리 파여진 콘크리트 홈에 끼워져 있게 된다. 또한 게이트의 양 모서리 또한 콘크리트 홈에 끼워져 설치되게 되어 있다. 선박의 진수를 위한 해수의 유입 및 진수 시 드라이도크 게이트는 크레인을 사용하여, 개방하는 시스템이다. 따라서 드라이도크 내에서 선박의 진조 중일 경우에 게이트는 최상단면을 제외한, 세변 모서리 부분은 콘크리트 홈에 끼워져 있게 되고, 이러한 설치 조건을 고려하였을 때, 고정지지 조건에 가깝다고 할 수 있다. 위 3 모서리 부분에는 모든 방향(x,y,z)의 변위구속을 하여, 실제의 설치 환경과 같은 조건을 부여하였다.

2.6 유한요소 모델링

설계되어진 드라이도크 게이트의 유한요소 모델은 fig. 4와 같다. 전체적인 구조형식은 박스형 보강 판넬 구조이며, 내부 판 부재는 두 개의 유공을 가진 access hole과 drain hole로 구성되어 있다. 전자의 경우, 사람이 통과할 수 있도록 개구부가

크며, 후자의 경우에는 배수와 중량감소를 위해서 배치되어 있다. 해석에 사용된 모델의 요소는 총 24,050개, 노드 24,076개로 구성되어져 있다.

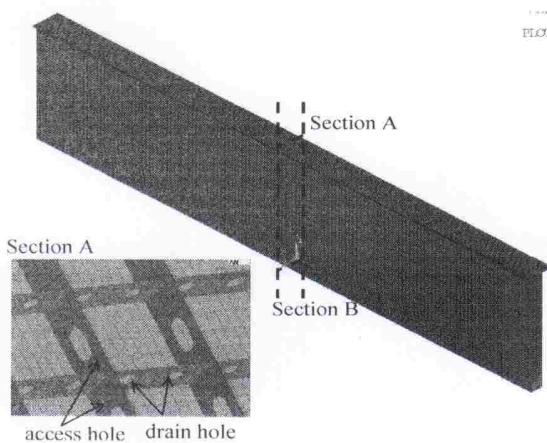


Fig. 4. Finite element modeling of dry dock gate.

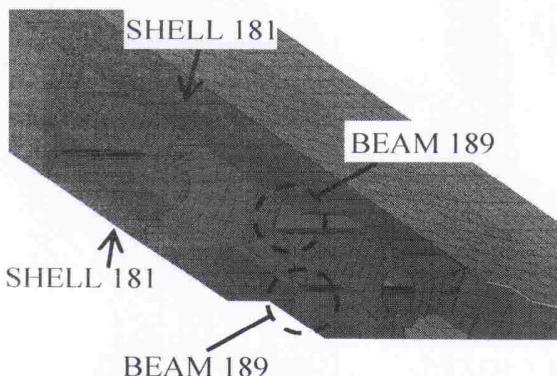


Fig. 5. Detailed finite element modeling.

Fig. 5에서는 본 해석모델을 유한요소 모델링으로 표현한 것을 나타내고 있다. 선측 외판의 변형을 방지하기 위해서 설치된 보강재는 Beam 189요소를 사용하여 표현하였다. 앵글형(angle bar)보강재를 제외한 판 구조물은 Shell 181요소(ANSYS, 2000)를 사용하여 유한요소 모델링하였다.

3. 유한요소 해석 및 고찰

3.1 유공을 가진 판의 좌굴강도 평가

Fig. 6은 설계되어진 드라이도크 게이트의 전체 구조도와 스트링거에 위치한 유공판을 나타내고 있다. 하중은 해수면에 마주한 게이트의 외판에 작용하는 수압하중으로 고려할 수 있으며, 이러한 수압하중이 쇄파에 의한 압축하중 형태로 작용할 수 있다. 드라이도크 게이트 구조물은 유지 및 보수 작업 용도로 구조물 내 작업자의 통로를 확보해야한다. 따라서 구조물의 폭 방향의 이동을 원활하게 하기 위하여, 스트링거가 위치한 곳에 유공을 만들어야 하는 특성을 지니고 있다. 기본 설계단계에서

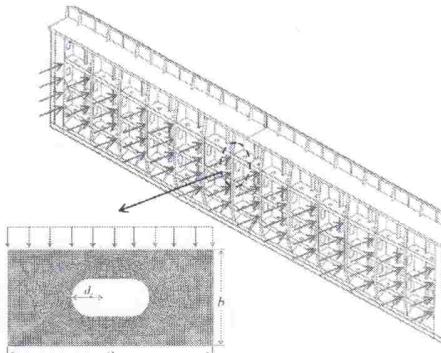


Fig. 6. A perforated model.

는 유공의 세원을 결정해야 하므로, 위 유공구조의 좌굴강도 및 최종강도 특성에 대해서 분석할 필요성이 있다. 해석은 크게, 선형좌굴해석과 비선형 좌굴해석을 수행하였으며, 해석 시 기하학적/재료적인 비선형성을 모두 고려하여 평가하였다(박 등, 2006).

해석에 사용된 유공판의 주요재원은 아래와 같다.
판 길이(a): 2100 mm, 판 폭(b) : 1000 mm, 유공의 자름(d): 400 mm, 판 두께(t): 12 mm를 고려하였다. 비선형 해석의 경우, 기하학적인 비선형성과 재료적인 비선형성을 동시에 고려하였으며, 각각의 노드에 면외하중을 작용하였다. 미리 설정된 부구간(sub-step)마다 하중과 모멘트 오차에 대한 수렴기준 평가를 하도록 설정하였다(박 등, 2005). 해석모델의 재료의 특성은 완전탄소성 재료로 가정하고, 탄소성대변형 유한요소 해석을 수행하였으며, 소성에 대한 영향은 등방성경화(isotropic hardening plasticity)거동을 고려하였으며, 하중의 종분에 따른 요소의 항복평가는 본 미세스(von-Mises) 항복조건(ANSYS, 2000)을 적용하여 평가하였다.

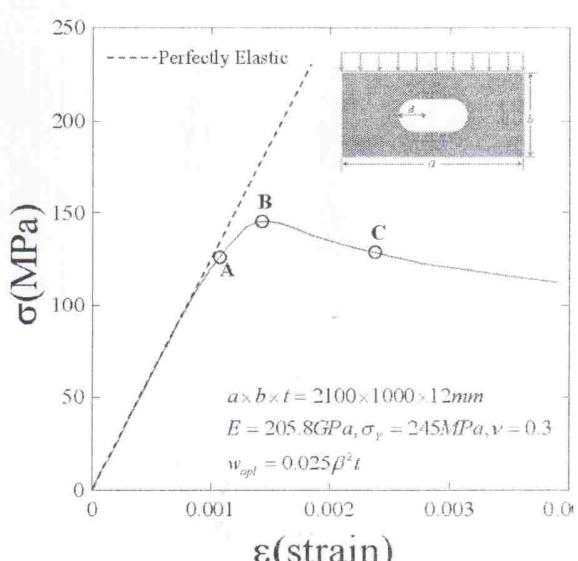


Fig. 7. A comparison of deflection shape and collapse mode varying amplitude of lateral pressure.

Fig. 7은 유공을 가진 판에 대한 좌굴 붕괴 거동 해석의 결과를 응력과 변형률의 관계로 나타내고 있다. 본 해석에서는 면외 하중의 작용으로 인하여, 발생할 수 있는 압축력 성분을 재료의 항복응력의 80%로 산정한 severe condition을 고려한 결과이다. 실제의 구조물의 열 가공에 의해서 발생하는 초기처짐의 영향을 고려하기 위하여, 모델의 고유치좌굴 해석에 구해진 처짐파형을 가정하고, 최대 초기처짐의 진폭($w_{off}=0.025\beta^2t$)을 정의하였다. 또한 전체구조에서의 유공을 가진 부분 모델의 지지조건은 네면 고정지지조건을 구현하였다. 복잡한 상자형 구조물이고, 또한 횡압력이 충격하중으로 국부적으로 작용하지 않는 한, 위 조건에 해당하는 하중조건은 발생하지 않을 것으로 판단된다. 일반적으로 큰 개구부를 가진 구조에서는 압축하중 작용에 의한 좌굴강도에 상당히 취약하다(박 등, 2006). 그러나 드라이도크 게이트 구조내에 위치한 모델의 경우, 종횡방향으로 거더가 위치하고 있기 때문에, 선축 수압에 의한 압축하중이 작용한다고 하더라도, 좌굴 발생에 대해서 충분한 구조 강도를 갖고 있으며, 구조 안정성에는 문제가 없다고 판단된다.

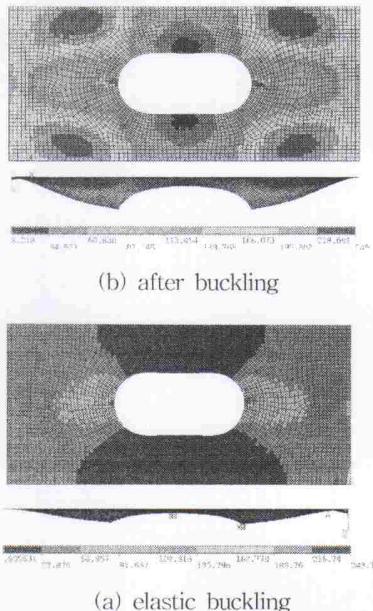
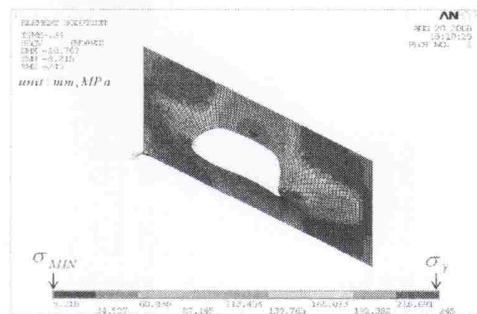
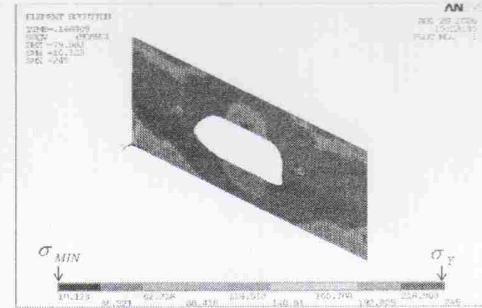


Fig. 8. Deformed shape and von Mises stress distribution.



(a) von Mises stress at ultimate strength



(b) von Mises stress after ultimate strength

Fig. 9. Deformed shape and von Mises stress distribution.

Fig. 7의 그래프에서 나타내고 있는 A점은 좌굴 이후 하중의 점진적인 증가로 인하여, 유공판에 항복이 발생한 지점을 나타내고 있다. 탄성좌굴 응력 상태에서의 처짐과 응력 분포를 fig.8-(a)에서 나타내고 있으며, 유공주의 가장자리에서 큰 응력이 발생함을 알 수 있다. 최초 항복 지점은 유공주의 국부적인 요소이며, 하중변의 가장 자리 또한 항복하였음을 fig. 8-(b)에서 나타내고 있다. 하중의 증가에 따른 유공판내의 항복요소의 증가로 인하여, 면내강성은 지속적으로 감소하게 된다. 이 감소지점의 극대점이 바로 최종강도 지점이다. 최종강도인 B점과 최종강도 이후의 거동을 나타내는 C점의 처짐과 상당응력 분포를 fig. 9의 (a), (b)로 나타내고 있다. 유공이 폭방향으로 걸게 분포하고 있기 때문에, 최종강도 이후에는 전체가 소성붕괴하고 있음을 잘 보여주고 있다.

3.2 전체 구조물의 구조응답 해석

유한요소 해석 결과는 일반적인 선박 구조물의 구조강도 평가에서 제공하고 있는 SDA 구조지침(Lloyd's Register, 2004)을 기준으로, 굽힘 응력, 전단 응력 및 von Mises 응력 등이 허용 응력 범위 내에 있는지 확인하였다. 이 후 해석 결과를 정리하고 있는 Table들에 나타난 주요 기호들의 정의는 다음과 같다.

Symbols in result tables

σ = total stress in local bending direction

τ = mean shear stress

σ_e = von Mises stress

$$\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2 - \sigma_x \sigma_z + 3\tau_{xz}} \quad (1)$$

σ_x = total stress in the element x direction

σ_z = total stress in the element z direction

τ_{xz} = shear stress in the element xz plane

해석 결과, 모든 하중 조건에 대해 대부분의 구조 부재가 허용 응력의 약 8~85 % 범위 수준의 응력이 발생하는 것으로 나

타났으며, 최대치는 하중 조건-3에서 해수방향의 외판에서 발생하였다. 그러나 드라이도크 게이트가 설치될 해안의 지형적인 상황을 고려할 때, 하중조건 1과 2의 조건에 부합한다고 판단된다. 따라서 전면적으로 현재 설계된 구조모델은 안전한 구조 강도를 가지는 것으로 검토되었다.

Table 3. Results of load condition 3

Structural item	Permissible stresses (MPa)	Result	R/F
Outside plating(sea)	σ_e	175	149.2
Bottom shell, inner bottom	σ_{lon}	144.9	84.56
	σ_{trans}	132.4	66.33
	σ_e	175	132.6
Double bottom longitudinal girder	τ	124	42.92
	σ_e	175	120.3
Double bottom floors and Transe web frames	τ	110.7	29.72
	σ_e	175	110.0
Outside plating(dry dock)	σ_e	175	82.92
			0.47

where

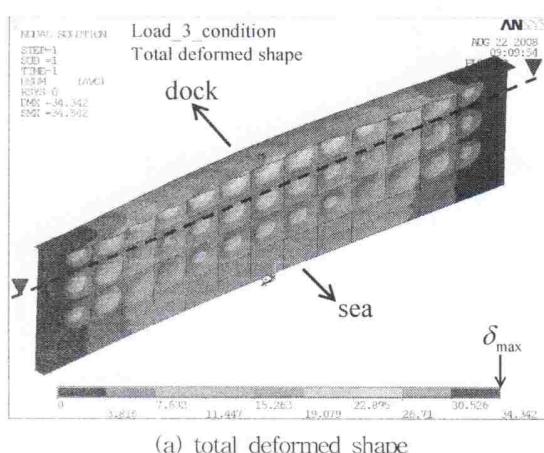
R : results by LR Class guideline

F : results by Finite element analysis

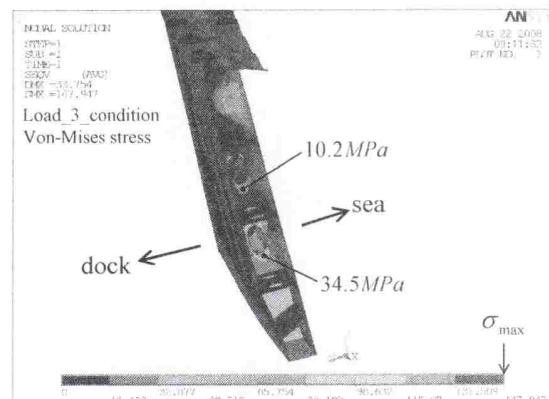
σ_{lon} : stress for longitudinal direction

σ_{trans} : stress for transverse direction

Fig. 10에서는 하중조건 3을 고려한 경우의 해석 결과에 대해서 전체 차짐성분과 상당응력 분포를 나타내고 있다. 해수쪽에 위치한 외판에서 상당응력이 허용응력의 약 85% 가량 나타나고 있다. 다른 부재들의 경우에는 50% 근방의 응력분포를 나타내고 있다. 또한 차짐분포는 상대적으로 두께가 얕은 판이 배치된, 중앙부분에서 차짐이 크게 나타나고 있으며, 훌수선 상단까지 하중을 고려함으로서 훌수선 상단의 외판부재에 차짐이 크게 나타나고 있다.

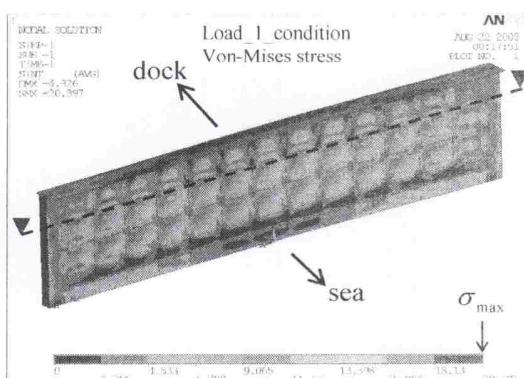


(a) total deformed shape

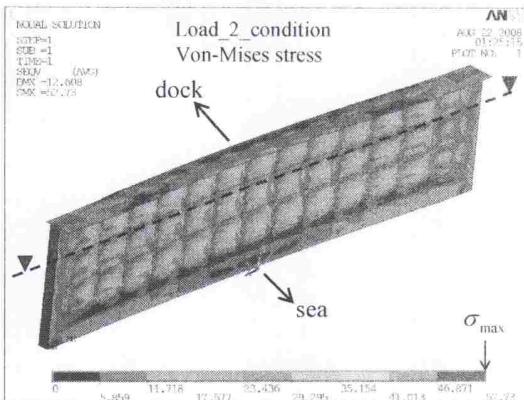


(b) von Mises stress at inner structure

Fig. 10. Total deformed shape and von Mises stress.



(a) Loading condition 1 (von Mises stress)



(b) Loading condition 2 (equivalent stress)

Fig. 11. The deformed shape and von Mises stress in comparison of loading condition 1 and 2.

Fig. 11-(a)에서는 하중조건-1를 고려한 경우의 해석 결과에 대해서 나타내고 있다. 하중조건-3에 비해서 작은 하중이 분포하고, 특히 훌수선 상단부에는 하중이 작용하지 않기 때문에, 전체적인 거동에서 이 부분에서의 응력과 차짐은 극히 작다.

Fig. 11-(b)에서는 하중조건-2를 고려한 경우의 해석 결과에 대해서 나타내고 있다. 하중조건-3에 비해서 작은 하중이 분포하고, 특히 훌수선 상단부에는 삼각하중 형태로 고려되었기 때-

문에, 흘수선 상단의 치짐과 응력은 상당히 낮게 나타나고 있다. 각각의 구조해석 결과에 대해서 각 부재별로 허용응력과 비교하여, Table 4와 5에 각각 나타내고 있다.

Table 4. Results of loading condition 1

Structural item	Permissible stresses (MPa)	Result	R/F
Outside plating(sea)	σ_e	175	38.03
Bottom shell, inner bottom	σ_{lon}	144.9	39.45
	σ_{trans}	132.4	34.66
	σ_e	175	31.68
Double bottom longitudinal girder	τ	124	3.75
	σ_e	175	24.92
Double bottom floors and Transe web frames	τ	110.7	7.73
	σ_e	175	44.79
Outside plating(dry dock)	σ_e	175	15.70

Table 5. Results of loading condition 2

Structural item	Permissible stresses (MPa)	Result	R/F
Outside plating(sea)	σ_e	175	38.03
Bottom shell, inner bottom	σ_{lon}	144.9	39.45
	σ_{trans}	132.4	34.66
	σ_e	175	31.68
Double bottom longitudinal girder	τ	124	3.75
	σ_e	175	24.92
Double bottom floors and Transe web frames	τ	110.7	7.73
	σ_e	175	44.79
Outside plating(dry dock)	σ_e	175	15.70

다. 즉 구조물의 안전만을 강조한다면, 상당히 후판 재료를 사용하면 되겠지만, 필요이상의 구조강도를 갖는 부재는 중량면이나, 가격적인 측면에서 불필요하다. 논문에서 제시한 하중조건은 총 3가지로 분류된다. 실제에 발생할 수 있는 하중조건은 여러 가지 경우가 있을 수 있겠지만, 위 3가지의 조건에 대한 평가를 통해서 충분한 구조강도 검토는 되었다고 판단된다.

- 1) 드라이도크의 구조강도 평가 시 흘수선 상단부 또한 하중영역으로 고려하는 것이 보수적인 설계관점에서 필요하다.
- 2) 이러한 구조물에 유공이 존재하게 되면, 일반 탄성해석 뿐만 아니라, 비선형성을 고려한 비선형 해석까지 하여 좌굴 이후의 거동에 대해서 파악해야만 한다.
- 3) 초기구조설계 시 이러한 하중분포를 감안하고, 판 두께 배치를 고려해야한다.

참 고 문 헌

- [1] 박주신, 고재용(2006), 조합하중을 받는 선체판부재의 2차 좌굴 거동 해석”, 해양환경안전학회, 제12권 제1호, pp. 67-74.
- [2] 박주신, 고재용(2007), 횡하중을 고려한 선체보강판넬의 압축 붕괴거동에 관한 연구, 항해항만학회지, 제31권 제3호, pp. 234-245.
- [3] 박주신, 고재용, 오경근(2006), 유공보강판의 좌굴 및 극한 강도 특성에 관한 연구, 항해항만학회지, 제30권 제6호, pp. 439-446.
- [4] 박주신, 고재용, 이준교(2005), 종횡방향 압축하중을 받는 유공판의 최종강도 설계식 개발, 항해항만학회지, 제30권 제3호, pp. 173-179.
- [5] ANSYS Inc(2000), ANSYS theory manual - Nonlinear buckling problem, Chapter 3, Part4, pp. 120-132.
- [6] Ship Right, Design and construction (2004) - Structural design assessment, May, pp. 35-70.

원고접수일 : 2008년 09월 04일

원고수정일 : 1차 : 2008년 10월 25일

2차 : 2008년 11월 28일

제재확정일 : 2008년 12월 22일

4. 결 론

본 연구 논문은 드라이도크 케이트의 설계부터 구조강도의 평가까지의 일련의 과정에 대해서 나타내고 있다. 이러한 구조물의 설계에 관한 설계 기준 및 자료의 미흡함으로 인하여, 설계된 구조물에 대한 구조강도 평가는 필수적이라고 할 수 있