

북해설치 FPSO의 플레어 슬래밍 하중에 대응한 선수 설계

김을년
현대중공업 선박연구소

Bow Structure Design of the FPSO installed in the North Sea under the Flare Slamming Load

Ul-Nyeon Kim
Hyundai Maritime Research Institute, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

This paper is about the bow structure design of the ship-typed and turret moored FPSO which is subjected to the bow-flare slamming load in harsh North Sea environments. Quad 204 FPSO project involves the redevelopment of the existing Schiehallion FPSO which is damaged by impact wave loads. Normally all offshore systems including FPSO are designed to withstand the 100 year storm i.e. the storm that happens once every hundred years at the location where the system is installed. Several incidents have revealed that impact loading is important issue for moored floating production systems. In this paper, the design impact loads are estimated considering the ship owner's specification, measured data from model tests, requirements of the classification society rules and results of numerical simulation analyses. The impact pressure by numerical analysis is 1.8 times greater than required value by CSR adopted by IACS. Based on the selected design load, plastic design formulae allowing the local material yielding are applied for the initial scantling of the bow structure. To verify the structural integrity, FE analyses are carried out considering the local area subjected to the impact wave loads. Their results such as structural arrangement, design loads and scantlings are shown and discussed. It is found that plastic design formulae in adopting Initial design phase give sufficiently conservative results in terms of structural strength.

Keywords : Bow flare impact(선수플레어 충격), Slamming load(슬래밍 하중), Structural integrity(구조 건전성), Design load(설계하중), Structural design and analysis(구조설계 및 해석)

1. 서론

해상에 부유한 선박 및 선박형태의 FPSO(Floating Production Storage and Offloading Unit)가 선수플레어 충격(bow flare impact), 갑판침수(green water), 선저 슬래밍(bottom slamming) 등의 하중을 받아 손상되는 사례가 보고 되고 있으며 이들 하중은 선체와 FPSO의 국부 구조부재 강도뿐만 아니라 휘핑(whipping) 현상으로 인한 선체 종강도(hull girder longitudinal strength)에도 영향을 미치는 설계 주요 인자이다.

본 논문은 앞서 언급한 하중들 중에서 선수 충격압에 대응하는 선수 구조부재 설계에 관한 것으로 특히, 북해의 거친 해상에 설치되며 터렛(Turret)으로 계류된 선박형태의 FPSO를 대상으로 한다. FPSO의 선수부의 형상은 복잡한 곡물들로 이루어져 있으며 이를 구성하는 기본 부재는 판, 보강재 그리고 웹 프레임, 횡보강재 등

이며 충격압에 견디도록 설계하여야 한다. 일반적으로 선수 충격압의 지속시간(duration time)은 수~수십 밀리세컨드(milliseconds)이며 유체가 보강판 구조물에 부딪쳐 발생하며 그 크기는 유체의 밀도와 속도 그리고 선수의 형상의 함수로 표현된다.

선수 충격하중에 대한 연구로, Yoon, et al. (2001)은 고속 대형 컨테이너선의 좌굴강도(buckling strength)를 높이기 위하여 선수구조에서 보강재를 횡방향 배치하는 연구를 수행한 바 있다. Brizzolara, et al. (2008)은 슬래밍 하중의 크기와 분포를 알기 위하여 수치해석을 수행하여 기존 실험값과 비교하는 연구를 수행하였다. Kim, et al. (2003a; 2003b)은 쇄파 충격압과 입수 충격압에 대한 계산법을 탱크선과 컨테이너선 등의 실적선을 대상으로 적용하여 외판두께 계산을 수행하고 선급식들과 기존논문들에 의한 결과와 비교하였다. Lim, et al. (2012)은 터렛 계류된 FPSO의 갑판침수 현상을 계산하기 위하여 3가지의 다른 선수

형상들을 고려하여 선수 규칙파(regular head wave) 조건에서 실험 및 수치적으로 검증하는 연구를 수행하였다. 대부분의 기존 연구논문들은 실험적 또는 수치 해석적으로 충격압을 구하는 방법론들과 그 크기를 소개하고 있다. 본 연구에서는 조선소 현장에서 실용적으로 적용하고 있는 충격압의 추정 방법들과 그 크기, 작용면적 등을 비교하며 선급에서 규정하는 초기치수 선정과 강도 평가를 수행 하는 일련의 설계 절차를 소개한다.

Fig. 1은 본 논문의 설계 대상인 FPSO로, 현대중공업에서 설계/건조하여 북해에 설치예정인 Quad 204 FPSO를 나타낸 것이다. 터렛으로 계류하도록 설계하여 선수부는 파도의 진행방향과 일직선으로 향하고 따라서 조우각(heading angle)의 일정 범위 내에 있는 선수구조는 북해의 거친 파도(harsh wave) 환경에 노출된다. 기존 운용중인 Schiehallion FPSO를 대체할 목적으로 설계를 수행하였으며 영국의 북쪽에 위치한 셰틀랜드섬(Shetland island)에서 서쪽으로 150 km떨어진 해상의 400 m 수심에 설치할 예정이다.



Fig.1 Ship-type turret moored BP Quad 204 FPSO

Fig. 2는 Schiehallion FPSO의 선수부 손상 모습을 나타낸 것으로 1998년부터 상업 운용을 시작한 이후 약 10년간 각종 선체 손상이 보고 되었으며 충격압에 의하여 선수루 갑판(forecastle deck) 상부의 외판과 웨브 손상도 포함하고 있다 (Gorf, et al., 2000). 이 손상사고 이 후 파랑 충격문제에 대한 구조물의 안전성 평가를 위해 영국의 HSE(Health and Safety Executive)사의 후원으로 SAFE FLOW JIP(SAFE-Floating Loading by Waves Joint Industry Project)가 조직되었으며 실선계측과 모델테스트 등 본격적인 연구가 시작되었다 (Soares, et al., 2004; Voogt & Buchner, 2004; Xu & Barltrop, 2005). 따라서 Quad 204 FPSO의 선주사인 BP 선주사에서는 하중 선정과 구조강도 해석을 포함한 선수부분의 설계 전반에 대하여 특별한 관심을 나타내었다.

Fig. 3은 Schiehallion 필드(field) 근처에 설치되어 상업 운용 중인 FPSO와 설계중인 FPSO의 형상과 제원, 배수량을 비교한 것이다. Quad 204는 선수루 갑판 높이를 높이고 선수형상을 날씬하게 설계하였으며 선체의 길이는 상대적 짧지만 배수량은 가장 크다.



Fig. 2 Damaged shape of the Schiehallion FPSO

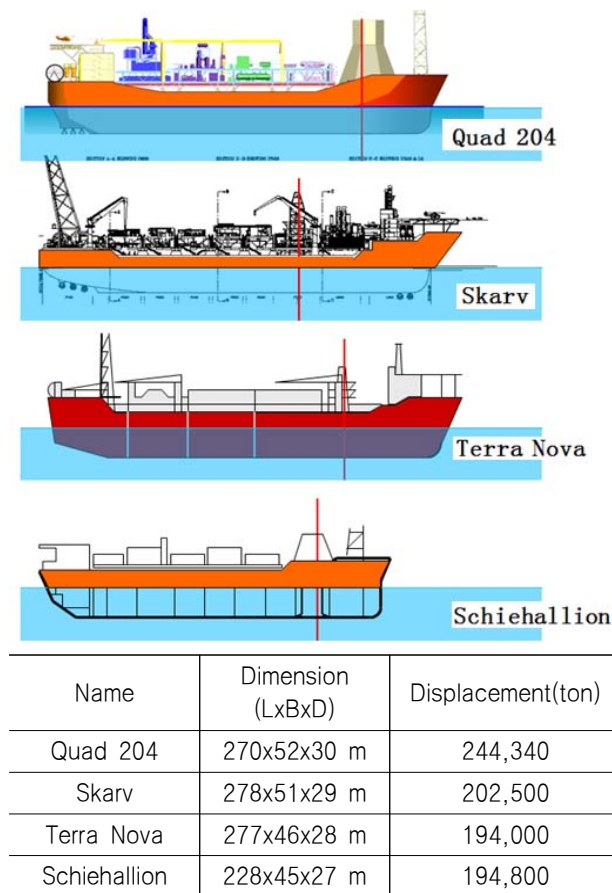


Fig. 3 Comparison of FPSO dimension installed in way of Schiehallion field

선수 구조부재 설계를 위한 충격압은 선주의 시방서

(specification) 요구치, 모델 테스트 자료, 해양구조물에 대한 선급 요구치, 설치해역의 해상자료를 이용한 수치 해석 값으로부터 선정하였다. 선정된 설계하중으로 구조부재 배치와 초기 치수를 소성붕괴이론을 적용하는 CSR (2010) 규정으로 결정하였으며 구조해석을 통하여 구조물의 항복강도와 좌굴강도를 기준으로 구조물 안전성을 평가하였다.

2. 선수 충격 설계하중

본 연구에서는 선수 구조부재 설계를 위한 충격압을 선정하기 위하여 다음의 4가지 방법들을 고려하였다.

2.1 선주사의 시방서 요구치

BP 선주사에서 제공한 FEED(Front end engineering design) 설계 자료에 따르면 국부 영역의 최대 정적 설계 충격압은 800 kN/m^2 이고 16 m^2 의 외판 면적에 작용하도록 명시하였다.

Schiehallion FPSO가 1998년 11월에 선수 충격압에 의하여 손상을 경험한 후 BP 선주사는 Glasgow대학과 공동으로 2000년 1월에 충격하중을 계측하기 위한 모니터링 시스템(monoring system)을 구축하여 실선에 설치하였으며 2001년 2월에 파고와 파장을 계측하기 위한 부이(buoy)를 이용한 파랑 모니터링 시스템(wave monitoring system)을 실선에 설치하였다. 2000년 2월부터 2001년 1월까지 26개의 변형률 게이지(strain gage)와 16개의 압력 센스(pressure sensor)를 선수부에 부착하여 계측하였으며 동적 최대 순간 압력(peak pressure)은 $300\sim 600 \text{ kN/m}^2$ 으로 구조 손상이 발생한 위치 근처에 설치된 1개의 센스에서 계측되었다 (Gorf, et al., 2000).

따라서 BP선주사에서 제시한 최대 정적 설계 충격압은 Schiehallion FPSO에 대한 선수 충격압의 실선 계측 자료와 구조 손상 자료, 그리고 모델 테스트 결과를 기초로, BP 선주사에서 100년 주기 파에 견디는 Quad 204 FPSO의 설계를 위한 시방서에 명시한 값이다.

2.2 모델 테스트 결과

BP 선주사에서는 Glasgow대학과 공동으로 손상을 경험한 Schiehallion FPSO에 대하여 1/80 크기의 선수부분 모델을 만들어 수조시험을 수행하였다 (Gorf, et al., 2000). 이에 따르면 동적 최대 순간 충격압(Peak Pressure)은 1078 kN/m^2 이고 이에 상응하는 정적 최대 설계 충격압은 980 kN/m^2 을 제시하였다.

한편 엔지니어링사인 SBM사와 HESS사는 2011년 3월에 BP 선주사를 대신하여 QUAD204 FPSO 모델 테스트(model test)를 네덜란드의 해양연구소 MARIN에서 1/64크기로 수행하였다. 이에 따르면 FPSO모델은 정확한 빌지 키일(bilge keel)의 크기와 형상을 고려하였으며 체인으로 Soft-mooring 상태에서 주어진 해상조건(파랑(wave), 바람(Wind), 조류(current) 등을 고려함)으로 선수부의 좌우현에 각각 압력게이지를 부착하여 발라스트 조건(ballast condition)과 만재흘수조건(full loaded condition)에서

계측을 수행하였으며 계측된 최대 정적 등가 충격압은 894.5 kN/m^2 이다.

2.3 선급규정의 요구치

본 연구에서는 LR의 해양구조물 설계 규정인 FOIFL (2008)과 DNV의 해양구조물 규정인 DNV-OS-C102 (2008)를 기준으로 선수 충격압을 계산하였다. FOIFL (2008)에는 CSR (2010)의 Section 8.3 또는 LR의 선박규정을 따르도록 규정하고 있다.

CSR (2010)에 따르면 운항하지 않고 계류 중인 선박의 경우에도 선수 충격압을 계산할 때 최소 선박속도는 10 knots로 규정하고 있으며 작용하는 면적은 선박의 폭과 길이, 형상함수(block coefficient)로 된 설계식으로 계산할 수 있다.

DNV-OS-C102 (2008)에서는 DNV 선박규정에 따라 선수 충격압을 구하도록 규정하고 있으며 최소 선박의 운항속도는 8 knots로 규정되어 있으며 설계 충격압의 37.5%를 선수 외판 전 영역 걸쳐 분포시킨 후 직접 해석을 수행하도록 권고하고 있다.

Kim, et al. (2001)은 선급규정으로 선수 충격압을 수계산할 때, 수많은 위치에서 Flare각도의 입력에서 발생할 수 있는 오차를 줄이고 계산 시간을 단축하기 위하여 기본 설계단계에서 작성한 선도 자료(Lines data)를 이용하여 자동으로 3차원 형상을 모델링하고 그래픽으로 충격압을 시뮬레이션하는 프로그램을 개발하였다.

Fig. 4는 Kim, et al. (2001)이 개발한 프로그램을 이용하여 CSR (2010)을 기준으로 충격압 분포를 계산한 것이며 최대 값은 553 kN/m^2 로 나타났다. 한편, CSR (2010)에 따라 계산한 설계압 작용면적은 13.3 m^2 로 나타났으며 선수부 상갑판(main deck)상부에 있는 선수루 갑판과 방파벽(bulwark)에 대한 충격압 계산은 불가능한 것으로 되어 있다. 따라서 수치해석과 모델테스트를 수행하여 상갑판 상부 구조물에 대하여는 충격압을 계산하여야 한다.

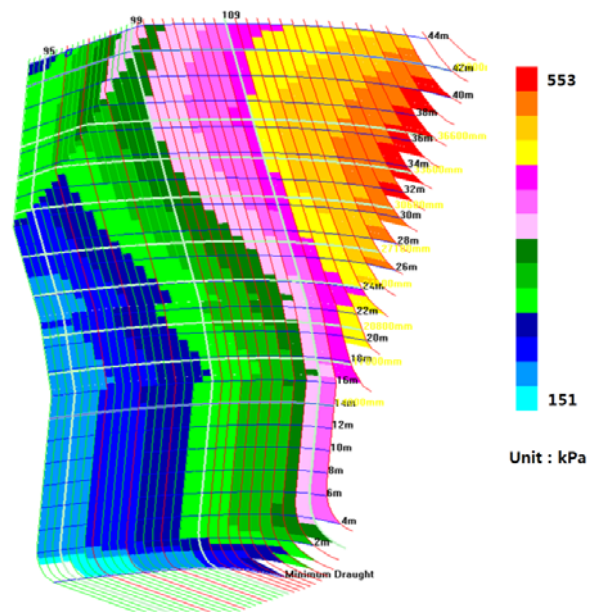


Fig. 4 Pressure distribution on bow flare by CSR (2010)

2.4 수치해석 결과

FOIFL (2008)은 선수 형상이 일반형상과 다르거나 북해와 같이 거친 해상상태에서 운용하는 경우, 설치해상의 특성을 고려한 수치해석을 수행하도록 규정하고 있다. Schiehallion FPSO의 선수 충격압에 의한 손상을 연구하기 위하여 국제공동참여 산업프로젝트(SAFE-FLOW project JIP/EU, 2004)를 수행하였으며 연구결과를 기초로 충격압을 구하는 BOW-LAB 프로그램을 MARIN사에서 개발하였다. SAFE-FLOW project(SAFE-Floating offshore structures under impact loading of shipped green water and waves)는 유럽연합(EU)과 등 26개의 산업체들(오일컴퍼니, 조선소, 엔지니어링회사 등)이 참여하여 각 설계 단계에서 감판침수와 선수 충격압의 지침서(guidance), 계산법(calculation method) 그리고 위험도분석 절차(risk assessment procedure) 등을 정립하는 연구를 수행하였다.

본 연구에서도 BOW-LAB 프로그램을 사용하였다. Fig. 5는 발라스트와 만재할수 조건에서 플레어 슬래밍에 의한 충격압을 받는 FPSO의 선수 부분의 해석모델과 영역을 나타낸 것이다. 선수 충격압을 받는 구조부재의 시간에 따른 동적거동은 유체-구조 연성(FSI, Fluid-Structure Interaction) 해석을 통하여 보다 정확히 구할 수 있지만 본 연구에서는 Biggs (1982)에서 제시한 동적증폭계수(DAF, Dynamic Amplification Factor)를 도입하여 정적인 압력으로 치환하여 계산하였다.

선수 충격압에 의한 플레어 구조 응답은 구조물 자체의 고유주파수와 관련하기에 유한요소해석 프로그램(MSC/NASTRAN)을 이용하여 모달해석(modal analysis)을 수행하였으며 각 국부 구조물의 고유진동수는 9.2 Hz에서 19.58 Hz 사이로 나타났다. 파도에 의한 충격압 펄스형상(pulse shape) 및 지속시간(duration time)과 상승시간(rising time), 구조물의 고유진동수의 함수로 된 동적증폭계수를 해당 구조물에 대하여 구하였으며 이로써 시간에 따른 동적하중을 등가의 응답을 만들어 내는 정적인 압력으로 치환하였다.

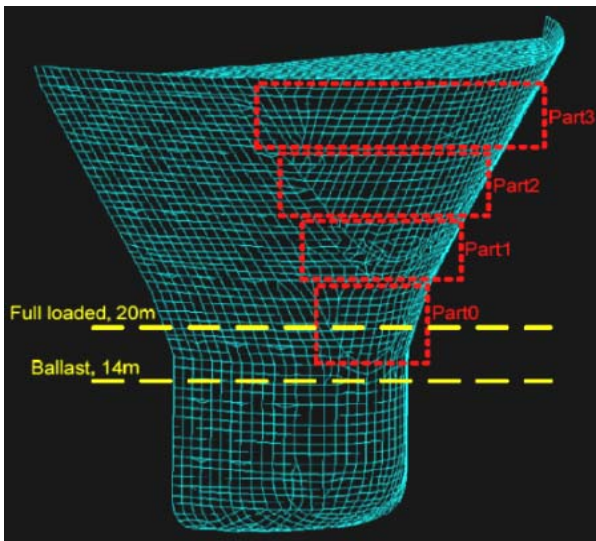


Fig. 5 Target structure shape for the flare impact analysis

Fig. 6은 BOW-LAB 프로그램을 사용하여 Fig. 5의 각 해석 영역에 있어서 나타난 등가의 정적 압력변화를 시간 경과에 따라 나타낸 것이다.

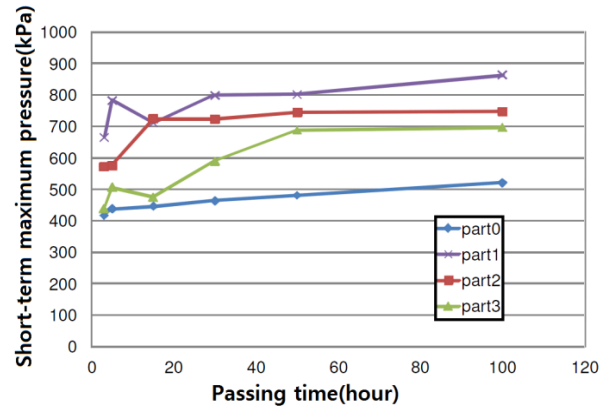
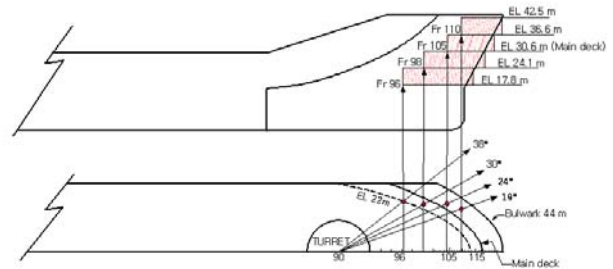


Fig. 6 Impact pressure in ballast condition as time passed

본 대상 선박은 터렛 계류되어 환경 조건의 변화에 대응해 조우각이 변화하는 특성을 가지고 있으므로 파랑조건의 고저에 따라 슬래밍 하중이 가해지는 부위가 달라지게 된다. 이를 고려하기 위해 파랑에 따른 슬래밍 발생 위치를 산출하였다. BP 선주사 측에서 제공한 설치해역의 Metocean Data를 사용하여 계산하였다.

Fig. 7은 발라스트조건에서 FPSO의 상대 침로각 별로 충격압 추출영역을 나타낸 것으로 해석으로부터 나타낸 값 중 영역내 최대치를 기준으로 선정하였다.



| Region | | Pressure(kN/m ²) |
|--------------------------|----------------------|------------------------------|
| Vertical | Longitudinal | |
| El. 17.8m to El. 24.1 m | Fr. 91 to Fr. 96 | 400 |
| El. 17.8 m to El. 24.1 m | Fr. 96 to front end | 500 |
| El. 24.1 m to El. 30.6 m | Fr. 96 to front end | 1,000 |
| El. 30.6 m to El. 36.6 m | Fr. 105 to front end | 800 |
| El. 36.6 m to El. 42.5 m | Fr. 110 to front end | 700 |

Fig. 7 Pressure and expected front structure regions likely to be impacted by the flare slamming load (under ballast condition, numerical analysis results)

선체 외판의 두께 변화는 블록/시임 라인(block/seam line)으로 나타나며 설계하중 분포 영역 선정도 이를 기준으로 수행한다.

수치해석에서 나타난 최대값은 1000 kN/m² 으로 발라스트 조건에서 상갑판부 근처의 높이, 조우각 30°상에서 나타났다.

Table 1은 최대 선수 충격압을 비교한 것으로 수치해석에 의한 값은 CSR (2010)의 요구치 보다 약 1.8배 정도 크게 나타났다. 따라서, 선박과 달리 해양구조물은 모델테스트와 수치해석 그리고 설치하는 해역의 계측자료 등을 고려하여 충격압을 선정하여야 한다. 본 연구의 설계압력은 Schiehallion FPSO와 유사한 선수부 손상을 입지 않기 위하여 선주사의 설계 시방서 및 선급 요구치는 물론 모델 테스트 결과, 수치해석 결과를 모두 만족하는 조건으로 선정하였으며 그 분포는 Fig. 8과 같다.

Table 1 Comparison of maximum design pressure

| | Pressure(kN/m ²) |
|-----------------------------|------------------------------|
| Specification and FEED data | 800 |
| Results of model test | 895 |
| Requirements of CSR(2010) | 553 |
| Numerical analysis results | 1000 |

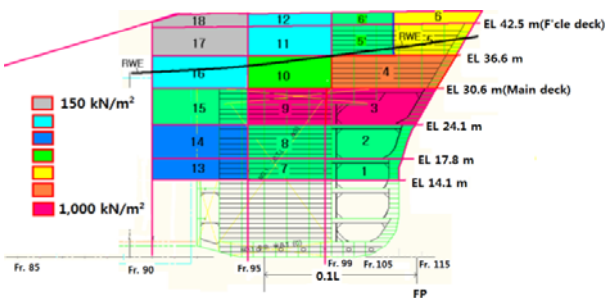


Fig. 8 Design impact pressure and applied area

3. 구조부재 치수 선정과 강도 계산

Fig. 8에서 선정된 설계영역과 충격압으로 CSR (2010)에 정의된 초기 선수부 치수 선정 설계식으로 판부재와 종 및 횡보강재, 웹 프레임(web frame), 보강재(stiffener) 등에 대한 치수(scantling)를 선정하였다. 초기 치수를 선정하는 설계식은 부재의 국부적 소성을 허용하는 소성 단면 계수(plastic section modulus)와 소성 굽힘 모멘트(plastic bending moment)를 채용하고 있으며 Fig. 9는 설계식을 사용하여 결정한 외판두께를 나타낸 것으로 최대 충격압이 작용하는 곳의 외판 두께는 28 mm로 설계하였다.

CSR (2010) 규정으로 선수부의 초기 구조치수를 결정하고 도면화하여 유한요소 구조해석 모델을 구성하였으며 선주사의 시방서에서 제시한 16 m²(4 m x 4 m) 면적에 대하여 각 위치 별 충격압을 작용하였다. Fig. 10은 선수구조의 유한요소 해석 모델에 설계압력을 적용한 예로서 선수부에서 구조적으로 취약한 것

으로 추정되는 수직 곳에 충격압을 작용시키며 구조해석을 수행하였다.

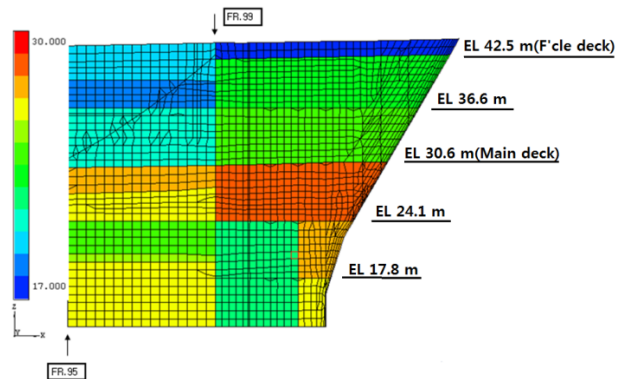


Fig. 9 Scantling of the plate thickness(mm)

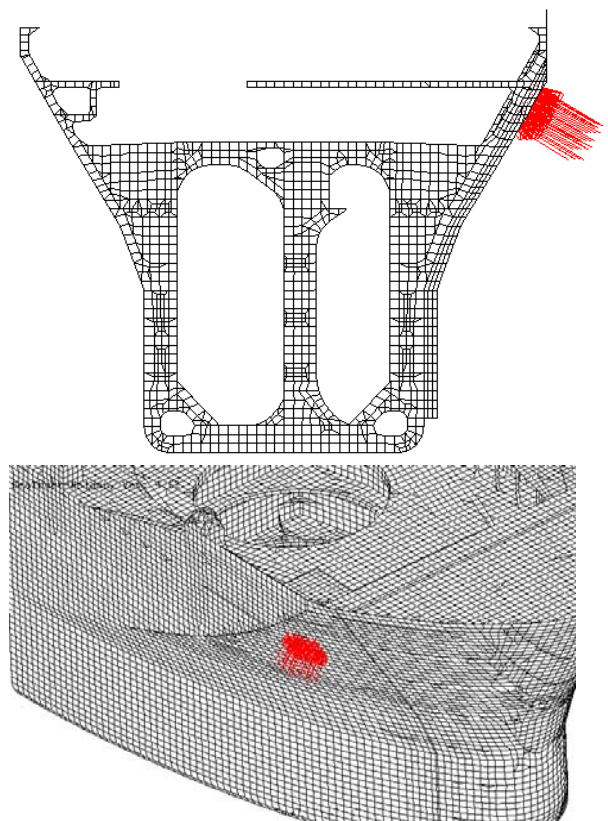


Fig. 10 Example of applied impact pressure area

Fig. 11과 12는 각각 유한요소 해석을 수행하여 나타난 von-Mises 등가응력을 나타낸 예이다. 응력기준으로 강도를 평가할 때 허용응력은 CSR (2010)에서 제시하는 즉, 보강재 간격 크기로 구성된 구조해석 모델(global meshed Model)에 대하여는 공칭 항복응력(nominal yield stress)으로, 50 mm x 50 mm의 상세구조해석 모델(fine meshed model)에 대하여는 항복응력의 1.7배로 선정하였다.

한편 CSR (2010)은 판부재의 좌굴강도를 평가할 때 사용계수(usage factor)는 1.0으로 정의하고 있으며 Fig. 13은 웹 섹션에 대하여 좌굴강도 평가를 수행하여 나타난 사용계수 예이다.

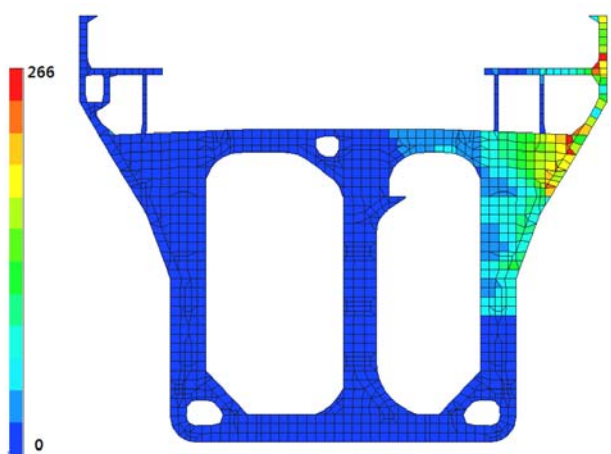


Fig. 11 von-Mises equivalent stress under design impact pressure(N/mm²)

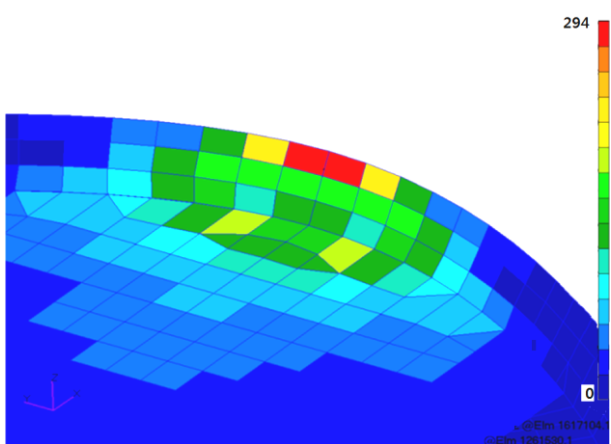


Fig. 12 von-Mises equivalent stress under design impact pressure for bulwark plate(N/mm²)

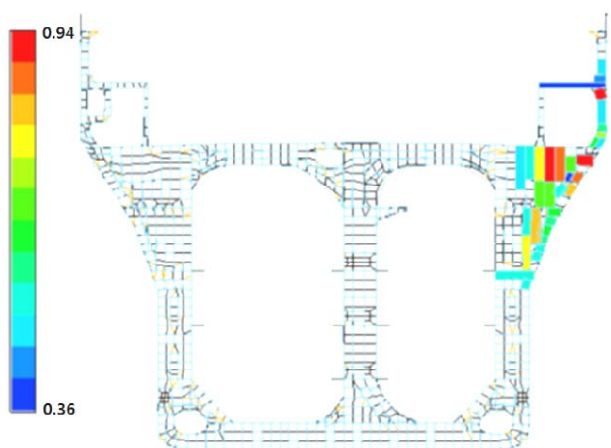


Fig. 13 Usage factor for buckling strength evaluation

소성 붕괴 이론을 적용하여 선정된 외판부재, 보강재, 웨브판 등의 초기치수는 유한요소법에 의한 직접 구조해석을 수행하고 항복강도와 좌굴강도를 기준으로 평가하였을 때 모두 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 2절에서 결정한 선주사의 시방서 요구치, 모델테스트 결과, 선급의 요구치, 수치해석 결과를 만족하도

록 선정된 선수 설계 충격압으로 소성 붕괴 이론을 적용한 구조부재 초기치수 선정은 유한요소해석에 의한 직접해석 결과보다 보수적인 설계 접근이라 할 수 있다.

4. 결론

본 논문은 북해의 Shetland섬에서 서쪽으로 150 km 떨어진 해상 400 m 수심에 설치되는 터렛으로 계류된 선박형태의 Q204 FPSO의 선수 충격압 선정과 이에 대응하는 구조부재 설계에 관한 것이다. 조선소 현장에서 실용적으로 적용하고 있는 충격압의 추정 방법들과 그 크기, 작용면적 등을 비교하였으며 선급에서 규정하는 초기치수 선정과 강도 평가를 수행 하는 일련의 설계 절차를 소개하였다.

해당 설치해역의 해상자료를 이용하여 수치해석으로부터 구한 충격압은 CSR (2010) 요구치 보다 1.8배 정도 크게 나타났다. 이 현상은 선박과 달리 FPSO는 설치해역에 계류된 상태에서 사용하므로 100주기의 환경하중(environmental loads for 100-years return period)으로 설계하고 북해의 특정한 해역의 거친 환경하중을 반영한 결과로 추정된다. 따라서 일반 상선과 달리 북해에 설치되는 FPSO의 경우, 하중 선정은 수조에서 모델테스트 수행과 설치해역을 고려한 수치해석을 병행하여 설계 충격압을 결정하여야 할 것으로 사료된다.

선주사의 시방서 요구치, 모델테스트 결과, 선급의 요구치, 수치해석 결과를 모두 만족하도록 선정된 설계입력으로 소성붕괴 이론을 적용한 초기치수 설계식으로 판부재와 보강재 치수를 선정하였다. 유한요소법에 의한 직접해석으로 강도 증명을 수행하였으며 선정된 초기 부재치수는 좌굴강도와 항복강도를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 소성 붕괴 이론을 적용한 부재의 초기치수 선정은 유한요소해석에 의한 직접해석 결과보다 약간 보수적인 설계 접근법으로 사료되며 선급의 설계식에 포함된 안전계수의 영향으로 판단된다.

향후 연구로는 손상경험이 있는 해양구조물에 대한 자료를 입수하고 설치해역에서 계측한 선수 충격압을 사용하여 비선형 구조해석을 수행하여 사고원인을 규명하고 이에 대응하는 구조배치와 설계법을 정립할 필요가 있다. 또한 조선소에서 실용적으로 설계에 적용할 수 있는 간이 해석법 개발도 병행하여야 할 것이다.

References

Biggs, J.M., 1982. *Introduction to Structural Dynamics*. Mcgraw-hill Book Company: New York.
 Brizzolara, S. Couty, N. Hermundstad, O. Ioan, A. Kukkanen, T. Viviani, T. & Temarel, P., 2008. Comparison of Experimental and numerical loads on an impacting Bow Section. *Ships and Offshore Structures*, 3(4), pp.305-324.
 CSR, 2010. *Common Structural Rules for Double Hull*

- Oil Tankers*. IACS: London.
- DNV-OS-C102, 2008. *Structural Design of Offshore*. Det Norske Veritas: Oslo.
- FOIFL, 2008. *Rules and Regulations for the Classification of a Floating Offshore Installation at a Fixed Location, Part 4 Steel Unit Structures Lloyd's Register*. Lloyd's Register: London.
- Gorf, G. Barltrop, N. Okan, B. Hodgson, T. & Rainey, R., 2000. FPSO bow damage in steep waves. *Proceedings of a Workshop Organized by Ifremer, Rogue Waves 2000*, Brest, France, 29-30 November 2000, pp.37-46.
- Kim, P.Y. Park, J.S. & Kang, J.M., 2001. Development of a program for calculation of bow impact pressure and structural scantlings. *Proceedings of the Annual Spring Meeting, SNAK*, Koje, Republic of Korea, 19-20 April 2001, pp.271-274.
- Kim, Y.J. Shin, K.S. Shin, C.H. Kang, J.M. Kim, M.S. Kim, S.C. Oh, S.G. Rim, C.W. Kim, D.H. Kim, D.H. Park, I.H. Song, K.J. Lee, C.K. & Hang Y.H., 2003a. Prediction of Bow Flare Impact Pressure and Its Application to Ship Structure Design -Tanker and Bulk Carrier. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 40(3), pp.22-28.
- Kim, Y.J. Shin, K.S. Shin, C.H. Kang, J.M. Kim, M.S. Kim, S.C. Oh, S.G. Rim, C.W. Kim, D.H. Kim, D.H. Park, I.H. Song, K.J. Lee, C.K. & Hang Y.H., 2003b. Prediction of Bow Flare Impact Pressure and Its Application to Ship Structure Design - Container Ship and PCC. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 40(3), pp.29-36.
- Lim, H.J. Lee, H.H. Park, S.H. & Rhee S.H., 2012. Experiments and Numerical Validation for FPSO Bow Water Shipping. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 49(1), pp.6-13.
- SAFE-FLOW JIP/EU, 2004. *Summary Report on Design Guidance and Assessment Methodologies for Wave Slam and Green Water Impact Loading*. Report No. 15874-1-OE, EU Project No. GRD1-2000-25656: European Community. [Online] Available at : <http://www.bsee.gov/Technology-and-Research/Technology-Assessment-Programs/Reports/400-499/420AA/> [Accessed 14 October 2015].
- Soares, G.C. Pascal, R. Antao, E.M. Voogt, A. J. & Buckner, B., 2004. An approach to calculate the probability of wave impact on an FPSO bow. *Proceedings of OMAE04, Vancouver, Canada*, 20-24 June 2004, pp.1-9.
- Voogt, A. & Buchner, B. 2004. Prediction of wave impact loads on ship-type offshore structures in steep fronted waves. *Proceedings 14th International Offshore Polar Engineering Conference*, Toulon, France, ISOPE, 23-28 May 2004, pp.350-358.
- Xu, L. & Barltrop, N. 2005. *Wave slap loading on FPSO bows. HSE Books Research Report 324*. Glasgow: University of Glasgow and Strathclyde.
- Yoon, M.C. Jang, Y.S. & Ryu, H.R., 2001. Improvement of container carrier forward structure under bow impact load. *Proceedings of the Annual Spring Meeting, SNAK*, Koje, April 2001 Republic of Korea, pp.267-270.



김을년