

유조선 종통보강재와 횡늑골 연결부의 피로강도 평가용 자동화 시스템 개발

홍기섭*, 김성찬[†]*, 안재욱**, 김성기***

인하공업전문대학*, 라온엑스**, 대우조선해양***

Development of Evaluation System for Fatigue Strength on the Connection Between Longitudinals and Transverse Web

Ki-Sup Hong*, Sung-Chan Kim[†]*, Jae-Wook Ahn** and Seong-Ki Kim***

Department of Ship and Ocean System, Inha Technical College*, Solution Business Team,
RAONX**, Ship and Marine Structure R&D Team, DSME***

Abstract

Ship structure is composed of the welded mixture members which are plate and stiffeners. Ship structure is also influenced by variable loadings such as wave and inertia load. There have been several fatigue damage problems on the connection between longitudinal and transverse web due to wide usage of high tensile steel and adoption of wide web space to improve shipbuilding productivity. It is impossible to estimate the fatigue lives for all connection details through refined fatigue analysis. It is necessary to use the simplified approach for the fatigue life estimation of the connection details. PLUS analysis, which is suggested by the classification society, is one of the simplified approaches and is widely adopted to get fatigue lives for the connection details along whole cargo hold area. However, ship building yards still have difficulties to get fatigue lives due to large amount of calculation and time even if this approach reduce the time and amount of calculation. This paper treats the computing system developed to reduce efforts of estimating the fatigue lives. The influence factors of mean shear stress and local dynamic pressure are easily calculated and fatigue lives for all hot spots can be estimated automatically by the developed computing system. It is possible to reduce computing time and efforts to get the fatigue lives for the connection details between longitudinals and transverse webs along the ship. This system was applied to get fatigue lives on the connection details of a VLCC and verified the availability.

접수일: 2009년 6월 10일, 승인일: 2009년 9월 15일

†교신저자: schankim@inhac.ac.kr, 032-870-2171

※Keywords: Fatigue life(피로수명), Connection between longitudinal and transverse web(Longitudinal과 web 연결부), DNV PLUS, Transverse member(횡부재), Simplified fatigue analysis(간이화된 피로해석), Fatigue life estimation system(피로해석 시스템)

1. 서론

선박 구조는 판과 보강재의 용접에 의한 결합체로 반복적인 파랑하중 등의 영향으로 피로파괴에 대해 근원적인 문제를 갖고 있으나, 최근 비약적인 조선산업 성장과 더불어 선체구조 기술 또한 많은 발전이 이루어져왔다. 고장력강의 광범위한 사용과 더불어 선박 건조 생산성을 극대화하기 위해 횡능골(transverse web) 간격이 점점 넓어지고 있는 추세로 인하여 선체구조 설계 시 종통능골 연결부의 피로균열에 대한 세심한 주의가 필요하게 되었다.

피로수명에 대한 실험적 연구와 더불어 많은 수치해석적 연구가 진행되어 피로수명 평가의 계산 정도가 점점 향상되어가고 있다. 선박 부재에서의 피로수명 평가는 선급 규정에 의해 보강재를 평가하고, 종통 보강재와 횡능골의 연결부에서의 수명을 직접계산에 의해 수행하고 있으며, 특이한 부위에 대해서는 간이해석 또는 스펙트럴 피로해석을 통하여 구하고 있다.

피로수명 평가를 위한 응력 산정에 대한 연구가 필수적이며 Seo et al.(2004)은 용접연결부의 구조적 형상에 기인한 hot spot stress의 산정법에 대해 DNV(Det Norske Veritas) 와 IIW(International Institute of Welding)를 비교하여 큰 차이가 없음을 보였다. 또한 요소 형상에 무관하게 피로수명을 평가하기 위해 구조응력 개념을 도입하여 Fillet 용접구조물에서의 그 유효성을 검증하기도 하였고 (Ha et al. 2006), 대형 컨테이너선의 선측 종능골에 대한 피로강도평가에 구조응력 개념을 적용한 사례도 있다 (Kim et al. 2008).

계산량이 많지만 가장 정확하다고 알려져 있는 스펙트럴 피로해석에 대해서는 Kim et al.(1993)은 응력 영향계수를 도입하여 파랑하중 추정결과를 효율적으로 구조해석에 적용하는 방법을 적용하였고, Choung et al.(2007)은 부유식 해양구조물의 스펙트럴 피로해석 프로그램을 개발 적용한 사례가 있다.

Kang et al.(2003) 이 필렛 용접부에 대한 피로강도에 대한 실험을 수행하였으며, Longi-web 연결부에 대한 실험을 통하여 파손형태 및 피로강도를 평가하였다(Kang et al. 2008). Lee et al.(2005)은 VLCC 선수미 화물창 구조에 대한 안전성 평가시 간이식에 의한 피로강도를 평가하였다. 선박의 피로수명 평가에서 가장 손상 사례가 많고 검토해야 할 부위가 많은 것이 종통보강재(longitudinal)와 횡능골(transverse web)의 연결부인데, 선박 길이에 걸쳐 모든 부위를 상세히 평가하는 것은 시간과 노력이 너무 소요되어 현실적이지 못하다.

특히 선박의 인도 후 품질을 좌우하는 피로균열에 관한 평가기술은 각 선급협회의 주관으로 많은 기술적 진보를 이루어왔고, 이 중 DNV에서 제안한 PLUS에 의한 피로수명 평가법은 선체 횡부재와 종방향 보강재의 접합부에 대한 평가기술로는 독보적인 위치를 점하고 있다(DNV 1998, DNV 2000). 그러나 DNV PLUS 평가기술은 많은 노력과 시간이 필요하여 기술적인 중요성에 비하여 적용 시 어려운 점으로 대두되고 있다. DNV PLUS에 의한 피로평가는 중앙부의 web stiffener on top, web cut-out, collar plate를 포함하는 Longitudinal 연결부의 피로수명을 사용하여 선박 전체 화물창 영역에 대해 피로수명 평가하는 것이다. 본 논문에서는 PLUS 피로수명 평가를 위해 필요한 계산과정에서 가장 많은 시간과 노력이 필요한 것으로 판단되는 다음 사항을 고려하여 종통보강재 연결부의 피로수명 평가에 가장 중요한 자동화 프로그램을 개발하여 적용하였다.

- 중앙부의 횡능골 단면의 기준위치(Reference location)에서 전단응력의 평균값 자동 산정과 선미부 및 선수부에서의 전단응력의 평균값 자동 계산을 수행한 후 상대적인 비율 계산
- 각 종통보강재에 적용되는 동압력(dynamic pressure)의 계산 및 상대적인 비율 계산
- 전단응력 및 파랑 변동압의 비를 사용한 종통보

강재(longitudinal) 연결부에서의 유형별 피로수명 계산

본 해석 시스템 개발을 통하여 VLCC 한 척에 대한 PLUS를 이용한 피로수명 평가시 획기적으로 시간을 단축시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

2. 피로수명 평가법

2.1 일반사항

종통보강재와 횡늑골과의 연결부에 대한 피로수명 평가는 워낙 방대한 계산이 요구되어 단순화된 실용적인 방법이 필요하며, DNV PLUS(DNV 2000)에 의한 평가 절차가 가장 현실적인 대안으로 받아들여지고 있다. DNV PLUS에 의한 평가과정은 기준구조(reference structure)에 대해 구해진 피로수명을 사용하여 선박 전체의 관련 부위에 대한 피로수명을 구하는 방법으로 복해와 같은 거친 환경을 운행하는 선박에 적용하는 것을 기준으로 한다.

선박 전 길이에 걸친 화물창 영역에서의 파랑 변동압(dynamic pressure), 보강재 간격(spacing of longitudinals), 보강재의 길이(span of longitudinals), 연결 상세부위(connection details) 등이 기준구조에서의 그것들과 상이하다. 이런 차이를 영향계수(influence factors)를 사용하여 고려하는 방법이다. 유한요소법이 hot spot stress를 구하기 위해 사용되면 DNV Classification Notes 30.7 (CN30.7)에 의해 피로수명이 간략하게 구해지며, 응력집중을 구하기 위한 피로 모델은 기준구조의 위치에서의 핫 스팟 응력 계산을 위해 만들어진다. 기준 위치는 선측판(side shell plate)과 종통 내측격벽판(Longitudinal inner side bulkhead) 사이의 연결부위 및 내저판(inner bottom plate)과 선저판(Bottom plate) 사이의 연결부가 대상이 된다. 통상 이런 위치에 있는 횡늑골 상의 보강재(web stiffener on top)과 횡늑골 연결부(web connection) 및 횡늑골 컷아웃(web cut-out) 그리고 collar plate를 포함한 종통보강재의 연결부가 일반적으로 기준구조로 택해진다.

선수미 화물창 영역과 기준위치 이외의 대상구조(Considered structure)에서의 피로강도는 Table 1에

나타낸 것과 같이 유사한 기준위치에서의 결과를 참조하여 구하게 된다.

Table 1 Utilization of calculated results

Reference structure	The considered structure						
	Side	Inner side	Bottom	Inner bottom	Hopper bottom	Hopper side	Hopper slope
Side	■						
Inner side		■					
Bottom			■		■	■	
Inner bottom				■			■

2.2 핫스팟(Hot Spot)

핫스팟(Hot spot)이란 피로균열 발생이 예상되는 지역으로서 종통보강재 연결부에 대해 매우 많음을 알 수 있다. 가장 일반적인 collar plate를 가진 경우 및 slit 형태의 종통보강재 연결부에 대한 핫 스팟 위치에 대한 번호를 Fig. 1에 나타내었다. 이는 검토해야 할 핫 스팟의 최소 개수인 8 곳이며 대부분의 경우에서 핫스팟으로 인정되는 경우이다.

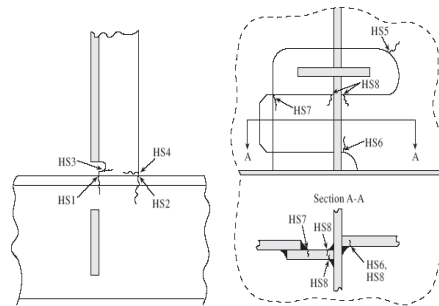


Fig. 1 Typical hot spots(DNV 2000)

고려할 위치에서 8개의 핫 스팟을 포함한 선택된 핫 스팟이 목표 피로수명을 만족하면, 고려할 위치에서 다른 잠재적인 핫 스팟도 피로수명을 만족한다고 간주된다.

2.3 핫 스팟 응력(Hot spot stress)에서의 영향계수

선수미 및 중앙부 화물창 영역의 고려할 위치에서 핫 스팟 응력 σ_{con} 는 기준위치에서의 핫 스팟 응력 σ_{ref} 에 각 하중조건에 대한 영향계수를 곱하여 구할

수 있다.

$$\sigma_{con} = C \sigma_{ref} \quad (1)$$

여기서

- C = C₁ C₂ for longitudinal flange
- = C₃ for web stiffeners on top
- = C₃ C₄ for web cut-outs
- = C₃ C₄ for web connections
- = C₃ C₄ for collar plate connections
- C = combined influence factor
- C₁ = Influence factor for longitudinal flange
- C₂ = Influence factor for overlap joint of flange
- C₃ = influence factor for local lateral pressure
- C₄ = influence factor for girder shear

3. 피로수명 평가시스템의 구성

3.1 시스템 구성

피로수명 평가를 위한 과정을 Fig. 2에 나타내었고, 이 과정을 용이하게 수행하기 위한 프로그램을 개발하였다. 피로수명 평가를 위해서 선박 전체에 걸쳐 피로수명을 평가하기 위한 중앙평행부, 선미부, 선수부 화물창 해석 모델(Fig. 3)을 우선 준비해야한다. 중앙부 해석 모델 내부에 기준위치에서의 피로수명 평가 해석모델을 만들어 삽입한다(Fig. 4). 선박의 전 길이에 걸쳐 중앙평행부, 선미부, 선수부 화물창 해석 모델에 피로하중을 적용하여 구조해석을 수행한다. 구조해석 결과를 이용하여 기준위치 뿐 아니라 피로수명 평가를 위한 모든 부위에서의 평균 전단응력과 국부 동압력을 산정하고, 평균 전단응력과 국부 동압력에 대해 기준위치의 결과와 고려할 부위에서의 결과의 상대적인 비인 영향계수를 구한다. 이 영향계수를 이용하여 평가대상인 부위에서의 응력을 구하여 주응력에 의한 피로수명을 산정한다. 피로수명을 평가하여 목표 피로수명을 달성하지 못한 연결부위(connection detail)에 대해 보강을 실시한다. Fig. 2에 나타낸 과정에서 가장 많은 시간과 노력이 필요한 부분은 다음과 같은 과정이고 이 부분에

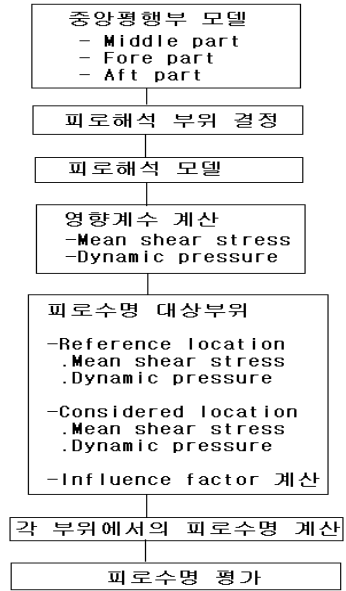


Fig. 2 Procedure of fatigue life estimation

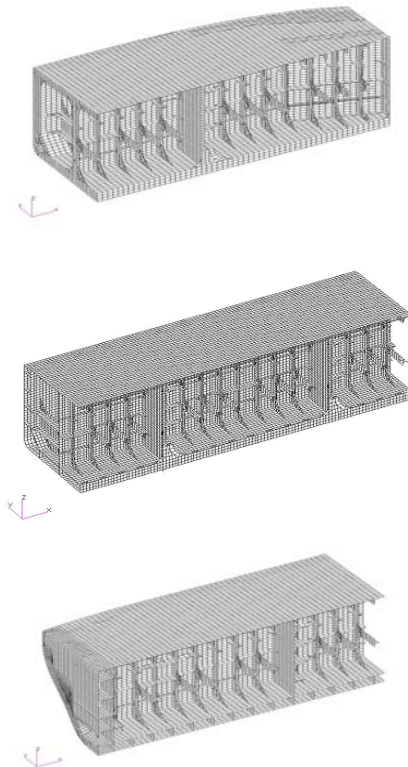


Fig. 3 Example of strength analysis model

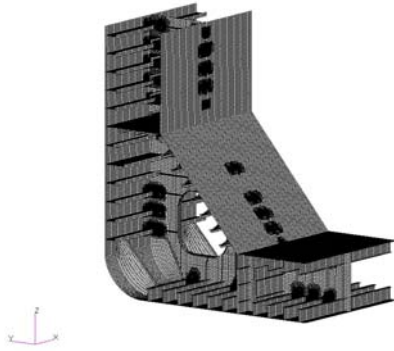


Fig. 4 Fatigue analysis model

대한 프로그램을 개발하여 시간과 노력을 감축하였다.

- 평균 전단응력(mean shear stress) 산정
- 국부 동압력(local dynamic pressure) 산정
- 기준위치에서의 평균전단응력과 고려할 위치에서의 평균전단응력과의 상대비율 계산
- 기준위치에서의 파랑동압과 고려할 위치에서의 파랑동압과의 상대비율 계산

우선 선수미 및 중앙부 해석모델에서 각 단면에 해당되는 요소 및 절점을 찾아 구성하고 이들 데이터를 기준으로 각 위치에서의 해당 데이터를 추출하여 평균전단응력과 국부동압력을 구하는 프로그램을 구성하였다. 이 과정을 Fig. 5에 나타내었고 상세한 내용을 3.2절 및 3.3절에서 기술하였다. 해석모델은 MSC/NASTRAN 입력 데이터 및 결과 파일을 이용하여 해석 시스템을 구성하였다.

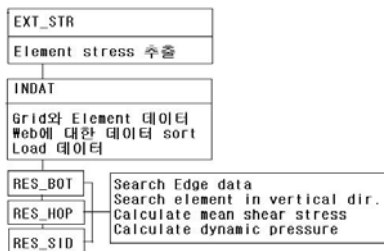


Fig. 5 Estimation of influence factors

3.2 거더 평균 전단응력비의 산출

선수미 및 중앙부 구조해석 결과를 이용하여 거더 평균 전단응력을 구할 때, 횡부재와 중통보강재의 접합부분에서의 평균전단응력(mean shear stress)을 구하는 것이 중요한 과정이다. 통상 구조해석 모델은 Fig. 6과 같이 깊이 및 폭 방향으로 3~4개 정도로 분할되는 경우가 보통이다. 그러나 평균전단응력은 Fig. 6에 나타난 것과 같이 깊이방향 및 폭 방향으로의 패널(panel)에 대해 구해야한다. 해당 부위는 이중저부(Double bottom), 이중선측부(Double side) 및 Hopper tank 내 부위이며 경사부위에서의 패널(panel) 구성시 경사방향과 삼각형 및 사각형 요소의 혼합에 따른 구분 등이 관심의 대상이 된다. 따라서 이러한 문제를 손쉽게 극복하기 위해 이중저부, 이중선측부 및 hopper 부로 나누어 접근하였으며, 이중저 부위에서는 선저내저판 상에 존재하는 절점을 찾아 이 절점에 연결되는 요소를 찾았다 (Fig. 7에서 1번에 해당). 선저내저판에서 추출한 절점을 기준으로 선저내저판의 Edge에 수직한 요소를 찾아 각 요소에 대한 평균전단응력을 구하였다 (Fig. 7에서 2번에 해당). 수직한 요소 탐색시 구조모델의 방향성에 대한 허용오차를 두고 수직방향으로의 요소를 탐색하였고 삼각형의 경우 수직방향의 전단응력을 구해 전체 면적에 대한 평균값으로 구하였다.

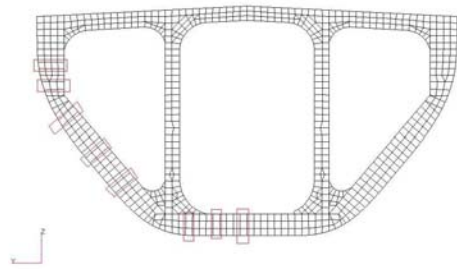


Fig. 6 Analysis model of aft end cargo hold and panel for mean shear stress

Hopper에서 평균전단응력을 구하기 위해 필요한 패널 구성은 Hopper 상부와 하부로 나누어 진행하였다. Side tank에서 평균전단응력을 구하는 과정도 내저판에서 구하는 과정과 유사하다.

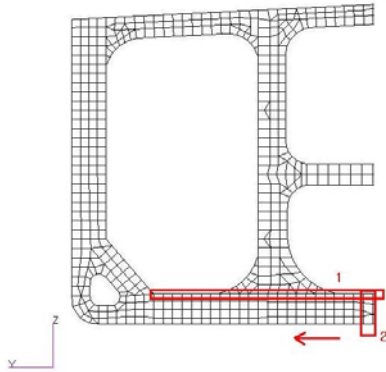


Fig. 7 Scheme of calculating mean shear stress for double bottom

3.3 국부 동압력비의 산출

피로수명에 관련된 국부 동압력에 대한 해석모델에서의 값을 자동 계산하는 프로그램을 구성하였다. 3.2에서 언급한 평균 전단응력비를 구하는 과정과 유사하며 단지 패널(panel) 구성 대신에 외판 및 내저판, hopper 판, 종격벽 판에서의 위치별 파랑동압과 밸러스트압력 그리고 화물압력에 대한 값을 구하여 사용하였다.

4. 피로수명 계산

피로수명을 구하기 위해 사용된 하중은 Table 2와 같이 6가지 하중조건이다.

Table 2 Loading conditions

Load case	Loading Condition	Pressure
1	Loaded	External dynamic
2	Loaded	Internal dynamic based in vertical acceleration
3	Ballast	External dynamic
4	Ballast	Internal dynamic
5	Loaded	Static external and internal(Hydrostatic only)
6	Ballast	Static external and internal(Hydrostatic only)

장기 응력분포가 상기 언급된 6가지 하중조건에 대해 Weibull 분포를 따른다고 가정하고, DNV one slope S-N curve를 사용하면 피로수명은 DNV(1998)의 피로수명 계산과정에 의해 다음 식으로 계산된다.

$$D = \frac{\nu_0 T_d}{a} \sum_{n=1}^{N_{local}} p_n q_n^m \Gamma(1 + \frac{m}{h_n}) \leq \eta \quad (2)$$

여기서 N_{local} 은 하중조건 수, p_n 은 하중조건 n에서 피로수명비, T_d 는 선박의 수명, h_n 은 Weibull 분포의 형상 파라미터, q_n 은 Weibull 분포의 스케일 파라미터, ν_0 는 long-term average zero-crossing frequency, $\Gamma(1 + \frac{m}{h_n})$ 는 감마함수, a와 m은 S-N 피로곡선의 계수이다.

즉 식(2)에서 구한 누적손상 계수를 20년의 선박수명 비로 환산하여 피로수명을 계산하였다.

5. 해석 예

VLCC를 해석대상으로 중통보강재와 횡부재의 접합부 피로수명을 산정하였다. 해석 대상선의 피로수명 요구조건은 30년이었으며, 수치해석에 의해 요구수명을 모두 만족하도록 설계하였다.

제 2장에서 언급한 핫 스팟에 대한 영향계수는 중앙부, 선미부 및 선수부 화물창 해석모델을 사용하여 개발된 프로그램으로 구하였다. 기준지점에 대한 피로해석 모델의 예를 Fig. 8에 나타내었다. 각 접합부는 longitudinal의 형태별, slot 형태별, collar plate 접합정도별, web stiffener 형태별로 구분하여 위치별로 산정하여 택하였다. 대표적인 상세부위의 피로 모델을 Fig. 9에 나타내었다.

선저 중앙부 보강재에 대한 선미부, 중앙부 및 선수부의 영향계수 C_3 에 대한 영향계수 분포를 각 하중조건별로 Fig. 10에 나타내었다. C_3 의 경우 선미부와 중앙부에서는 파랑동압(External dynamic) 조건에서 상대적으로 작은 값을 주고 있으며, 선수부 화물창에서는 FP방향으로 갈수록 파랑동압 조건에서 C_3 가 증가함을 알 수 있다. 또한 선수부 화물창의 경우 중앙부에 비해 전반적으로 큰 값을 주고 있다.

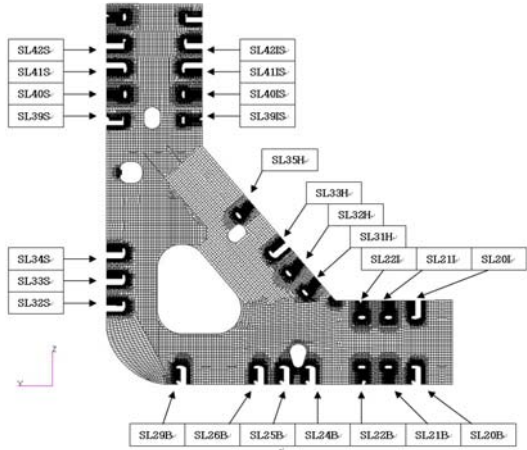
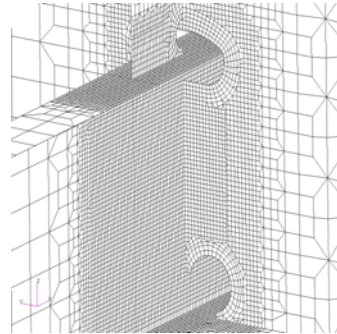


Fig. 8 Detailed shape of reference location for fatigue analysis

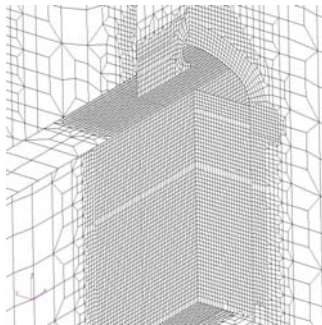


(c) for SL22B

Fig. 9 Example of fatigue analysis model

선저 중장부 보강재의 영향계수 C_4 에 대한 분포는 Fig. 11에 나타내었으며, Load Case 4에 대한 것을 제외하면 중장부에 비해 작은 값을 주고 있다.

전단응력과 동압력의 비 및 보강재 사이즈에 대한 비 등을 고려하여 선미부, 중장부 및 선수부에 대한 각 핫 스팟 별 피로수명을 Fig. 12에 나타내었다. 선저 보강재(Bottom longitudinal)의 경우 30년 피로수명을 만족하기 위해 선수 화물창 구간에서는 web stiffener 사이즈를 변경하였다.



(a) for SL20B

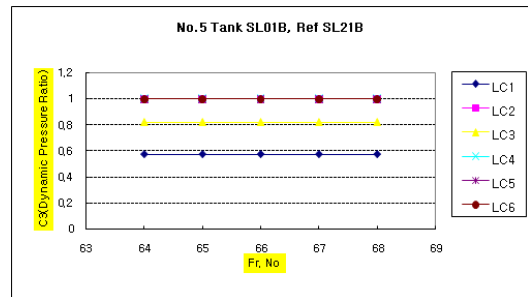
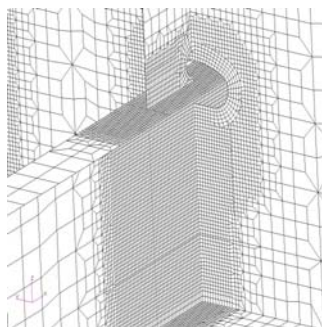


Fig. 10(a) C_3 for aft end cargo hold



(b) for SL21B

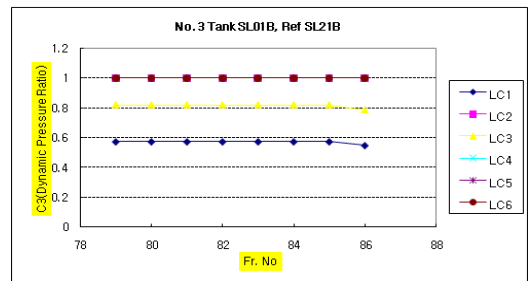


Fig. 10(b) C_3 for middle cargo hold

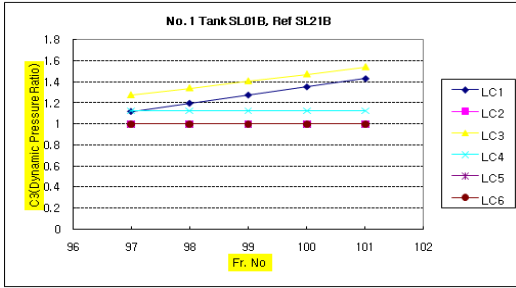


Fig. 10(c) C_3 for fore end cargo hold

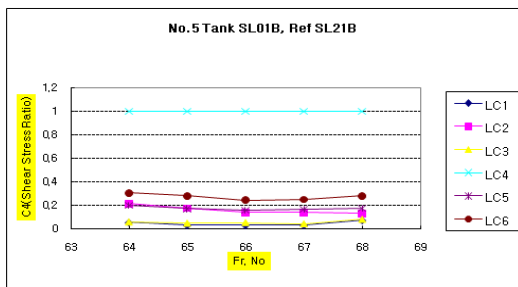


Fig. 11(a) C_4 for aft end cargo hold

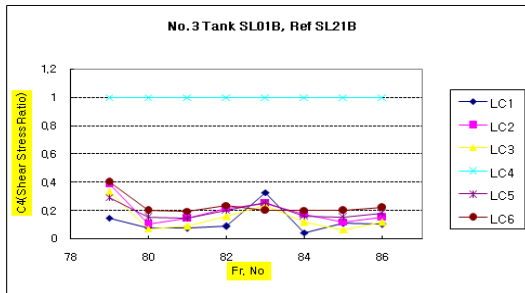


Fig. 11(b) C_4 for middle cargo hold

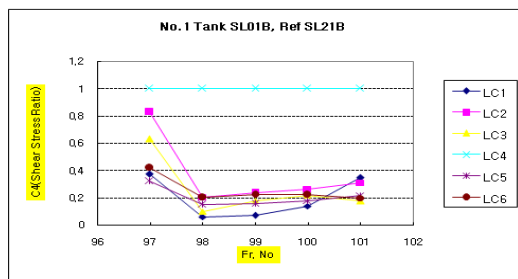


Fig. 11(c) C_4 for fore end cargo hold

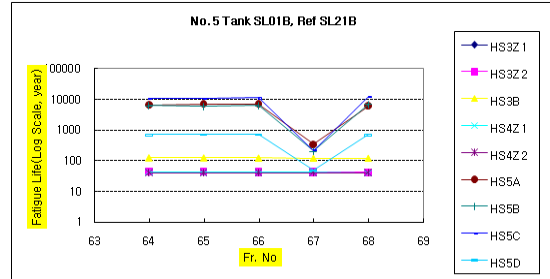


Fig. 12(a) Fatigue life of bottom long. for aft end cargo hold

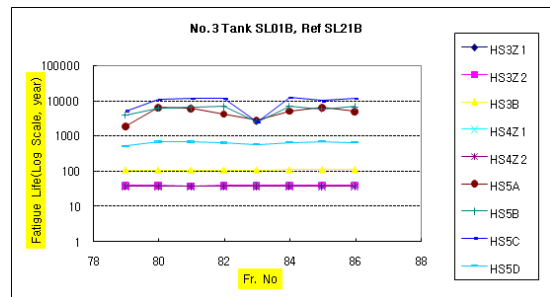


Fig. 12(b) Fatigue life of bottom long. for middle cargo hold

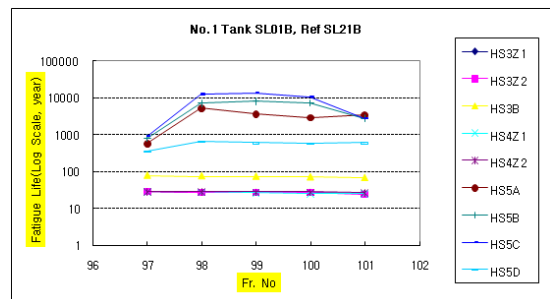


Fig. 12(c) Fatigue life of bottom long. for fore end cargo hold

개발된 피로수명 평가 프로그램을 사용하면 각 부위 별, 하중조건별 영향계수와 핫 스팟 별 피로수명을 계산하여 요구 피로수명에 대한 조치를 할 수 있도록 하였다.

5. 결과 및 고찰

중동보강재와 횡능골의 연결부에 대한 피로수명

평가는 대상 개수가 매우 많아 직접 상세한 피로수명 평가를 수행하기 어려워 간이화된 DNV PLUS 평가기술에 의해 수행되고 있다. 그러나 DNV PLUS 또한 계산량이 방대하여 수작업에 의한 평가는 많은 시간이 소요되고 있다. 따라서 계산시간 및 작업량을 단축하기 위하여 피로수명 평가 시스템을 구성하여 적용하였다. 본 프로그램은 다음과 같은 특성을 가지고 있다.

- 중앙부의 web stiffener on top, web cut-out, collar plate를 포함하는 Longitudinal 연결부의 피로수명을 사용하여 선박 전체 화물창 영역에 대해 피로수명 평가가 가능하다.
- 중앙부의 횡능골 단면의 기준위치에서 전단응력의 평균값 자동 산정과 선미부 및 선수부에서의 전단응력의 평균값 자동 계산을 수행한 후 상대적인 비율이 자동으로 계산된다.
- 각 중통보강재에 적용되는 파랑동압의 계산 및 상대적인 비율이 자동으로 계산된다.
- 전단응력 및 변동압력 비를 사용한 중통보강재 연결부에서의 용접 유형별 피로수명 계산이 간단히 계산된다.
- 모든 핫 스팟에 대한 피로수명 계산이 동시에 계산이 가능하여 편리하게 적용되며 계산시간이 매우 단축된다.

본 해석 시스템 개발을 통하여 통상 VLCC 한 척에 대해 PLUS를 이용한 피로수명 평가시 4~5개월 소요되었으나 1개월 이내로 단축시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

후 기

본 논문의 내용은 인하공업전문대학 2008년 교내연구비의 지원으로 수행된 것을 정리한 것으로, 이에 감사드립니다. 또한 본 연구에 실선 자료를 제공해 주신 대우조선해양(주)과 라온엑스(주)에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Choung, J.M., Joung, J.H., Choo, M.H. and Yoon, K.Y., 2007, "Development of Fully Stochastic Fatigue Analysis Program for Offshore Floaters," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 44, No. 4, pp. 425-438.
- Det Norske Veritas, 1998, "Fatigue Assessment of Ship Structures," Classification Notes No.30.7
- Det Norske Veritas, 2000, Fatigue Strength Estimation of Cargo Area, Addendum of Classification Notes No. 30. 7.
- Ha, C.I., Kang, S.W., Kim, M.H., Kim, M.S., Sohn, S.Y. and Heo, J.H., 2006, "A Comparative Study for the Fatigue Assessment of Fillet Weldments Using Structural Stress and Hot Spot Stress," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 43, No. 4, pp. 476-483.
- Kang S.W., Han S.H., Kim W.S. and Park Y.M., 2003, "Fatigue Strength of Fillet Weldment under Out-of-plane Bending Load," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 40, No. 1, pp. 28-35.
- Kang, S.W., Kim, J.H., Kim, K.S., Kang, J.K., Heo, J.H. and Kim, M.H., 2008, "An Experimental Study for the Fatigue Strength Assessment of Longi-web Connection," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 1, pp. 87-92.
- Kim, J.J., Yoon, B.S. and Yang, B.D.C., 1993, "An Efficient Algorithm in Spectral Fatigue Analysis of Ship Structures," Transactions of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 30, No. 4, pp. 93-101.
- Kim, S.M., Kim, M.H., Kang, S.W., Pyun, J.H., Kim, Y.N., Kim, S.G., Lee K.E. and Kim, G.R., 2008, "A Comparative Study for the Fatigue Assessment of Side Shell Longitudinals on 8100 TEU Container Carrier Using Hot Spot Stress and Structural Stress Approaches,"

Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 45, No. 3, pp. 296-302.

- Lee S.W., Choi J.W., Kim M.S., Kim M.S., Lee Y.M. and Kim K.S., 2005, "Structural Strength and Fatigue Strength Assessment for Fore/Aft Cargo Hold of 60m Beam VLCC," Special Issue of the Society of Naval Architect of Korea, pp. 84-89.

- Seo, J.K., Choi, H.M., Lee, J.M., Park, J.K., Kim, M.H. and Kim, H.S., 2004, " A Benchmark Study on the Reference Stress to Supply the Fatigue Analysis of Welded Structures," Proceedings of the Annual Autumn Meeting, SNAK, pp. 382-387.



< 홍 기 섭 >



< 김 성 찬 >



< 안 재 욱 >



< 김 성 기 >