大 韓 造 船 學 會 論 文 集
第 36 卷 第 4 號 1999年 11月
Journal of the Society of
Naval Architects of Korea
Vol. 36, No. 4, November 1999

선수 구조부 구조해석 시스템 개발(2)
- 파랑충격하중 면적의 추정 -

이상갑*, 박종우**

Development of Structural Analysis System of Bow Flare Structure(2)
- Prediction of Wave Impact Load Area -

by

S.G. Lee* and J.W. Park**

요 약

선수 구조부의 파랑충격현상은 대단히 복잡한 현상을 나타내고 있고 정확하게 규명하기 어렵기 때문에 아직 경험적인 설계에 의존하고 있다. 파랑충격하중에 의한 선수 구조부의 손상은 주로 충격압력역적과 파랑충격하중의 면적에 의하여 크게 영향을 받는다. 본 연구에서는 두 번째 단계로서 파랑충격하중에 대한 선수 구조부 강도의 추정을 위하여 효율적인 부재치수의 결정 프로그램을 개발하고, 파랑충격하중의 면적을 추정하고자 한다. 동적 비선형 범용 프로그램 LS/DYNA3D를 이용하여 DWT 300,000급 VLCC의 선수 구조부를 이상화한 패널구조 모델의 중앙부에서의 최대 손상변형을 비교하여 추정하고자 한다. 이것은 다음 단계의 선수 구조부의 동적 구조해석의 검증에 사용될 것이다. 본 연구에서는 극치 6.5MPa, 후부높이 1.0MPa, 그리고 지속시간 5.0msec인 파랑충격압력 곡선 하에서, 강성이 작은 보강재로 보강된 경우 파랑충격하중의 면적은 1.5s×1.5s 보강재 간격(s), 강성이 큰 스트링거로 보강된 경우는 2.5s×2.5s로 추정하였다.

Abstract

Empirical design is still used to avoid a structural damage because impact phenomenon and structural behaviour due to wave impact load can not examined accurately. The damage due to wave impact load is largely affected by impact pressure impulse and impact load area. The objective of this study is, as the second step, to develop an efficient scantling program of bow flare structure, and to predict its impact load area by comparing maximum dented deformations at center of idealized panel structure model of bow flare structure of 300k DWT VLCC

접수일자 : 1999년 5월 14일, 재접수일자 : 1999년 8월 31일
*정회원, 한국해양대학교 조선해양공학부
**정회원, (주)대우중공업 선체설계기술팀

using LS/DYNA3D code, which will be used for its verification of dynamic structural analysis, as the next step. Through this study, the impact load area was estimated as 1.5s×1.5s stiffener space(s) in the case of panel with stiffeners and as 2.5s×2.5s, with stringers, under impact pressure curve with peak height 6.5MPa, tail height 1.0MPa, and duration time 5.0msec.

1. 서 론

대체로 선수 구조부(bow flare structure)의 손상은 황천 운행 시 파랑충격하중(wave impact load)이 가해지면서 발생하지만, 파랑충격현상은 대단히 복잡한 현상을 나타내고 있고 아직 불명확한 점들이 많기 때문에 파랑충격하중을 역학적으로 엄밀히 규명하고 정식화하여 해를 구하는 것은 매우 어렵다. 실제 해역에서의 파랑충격압력(wave impact pressure) 곡선은 극치(peak height)와 지속시간(duration time)에 있어 넓은 통계적 분포를 보이고 있고, 큰 극치에 비하여 지속시간이 매우 짧으므로 손상을 줄 수 있는 파랑충격하중의 크기와 면적을 결정하는 것이 문제가 된다.

파랑충격하중을 받는 선수 구조부의 설계를 위한 첫 단계로서, 동적 비선형 범용 프로그램 LS/DYNA3D[1]를 이용하여 다양한 파랑충격압력 곡선에 대한 동적 거동특성을 비교 검토하여 다음과 같은 정성적 특성을 파악하였다[2]: 비교적 짧은 지속시간을 갖는 파랑충격압력 곡선에 대한 구조물의 일반적인 동적 거동은 충격압력역적(impact pressure impulse)에 크게 영향을 받으며, 구조물의 최대 변형이 발생한 후에 가한 충격압력역적은 대체로 변형 거동에 큰 기여를 하지 못한다는 것을 알 수 있었다. 또한 정성적인 기준 파랑충격압력 곡선을 사용하여 고려중인 선수 구조부의 영역에 따라 파랑충격하중의 크기 및 면적을 결정하는 것이 바람직하다고 제안하였다.

본 연구에서는 두 번째 단계로서 파랑충격하중의 면적을 추정하고자 한다. 현재 조선업계에서는 설계단계에서 파랑충격하중에 대한 구조강도 추정을 위하여 각 부재치수 결정(Scantling)에 일본 서부조선학회의 구조분과 위원회에서 제안한 일반식[3,4], DnV 규정[5] 및 Lloyd 규정[6] 등을 일반적으로 사용하고 있다. 본 연구에서는 일본 서부조선학회 연구보고 16 및 18호[3,4]를 기반으로 한 간이계산식을 정립하여 프로그램하고, 파랑충격하중의 면적을 추정을 위하여 LS/DYNA3D를 이용하여 DWT 300,000급 VLCC의 선수 구조부 일부를 이 프로그램으로 부재치수를 결정한 이상화한 패널구조 모델(panel structure model)에 대하여 동적 거동해석을 수행한다. 패널구조 모델은 강성이 작은 보강재로 보강된 경우와 보강재와 함께 강성이 큰 스트링거(Stringer)로 보강된 경우에 대하여 고려한다.

DnV 규정[5]에 의하면 파랑충격하중을 받는 선수 구조부의 외판 두께 결정 시 보강재 간격의 약 1% 정도 초기변형은 고려하고 있으나, 외판 및 보강재, 웨브, 스트링거 등의 부재의 파랑충격하중에 의한 손상 잔류변형(residual deformation)의 허용치는 고려하고 있지 않다. 또한 조선업계에서도 설계단계에서 이러한 부재에서의 손상 잔류변형은 발생하지 않는다고 가정하고 있다. 본 연구에서는 이러한 가정 하에서 설계된 DWT 300,000급 VLCC의 선수 구조부의 동적 구조해석 검증을 위하여 파랑충격하중을 가한 패널구조 모델의 보강재나 스트링거의 중심에서의 손상 잔류변형이 1.0mm 정도 내외로 작게 발생하도록 하는 파랑충격하중의 면적을 추정한다. 여기서 사용되는 파랑충격압력 곡선의 극치는 6.5MPa, 후부높이는 1.0MPa, 그리고 지속시간은 5msec이고, 파랑충격하중의 면적은 1.5s×1.5s~3.5s×3.5s 보강재 간격(s) 범위에서 동적 거동해석을 수행한다.

2. 동적구조해석 모델

선수 구조부의 설계 시 부재치수 결정 과정을 단순화 및 표준화하여 계산량을 줄이고 계산 실수로 인한 도면 오류를 방지하기 위하여, 일본 서부조선학회 연구보고서를 기반으로 하여 간이계산식을 정립하고 이를 PC 기반의 프로그램 BowFlare을 작성하였다.

2.1 구조해석 모델

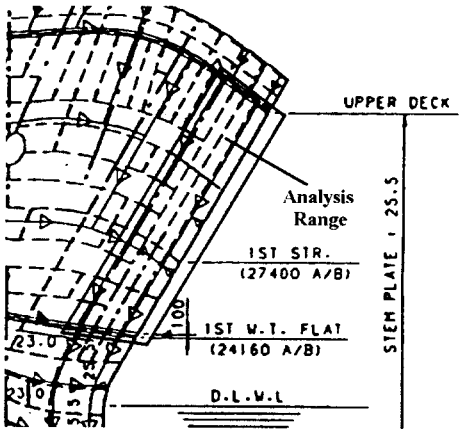


Fig. 1 Analysis range of 300k DWT VLCC

Fig. 1과 같은 DWT 300,000급 VLCC의 선수 구조부의 동적 구조해석 영역을 BowFlare 프로그램을 이용하여 부재치수를 결정한 패널구조 모델은 Fig. 2와 같다. 고려중인 실제 선수 구조부는 3개의 Elevation과 스트링거가 외판에 어느 정도 경사를 이루고 있으나, 패널구조 모델에서는 대칭조건을 고려하여 5개의 Elevation과 스트링거가 외판에 수직으로 이상화하여 부착되어 있다.

여기서는 두 가지 형태의 패널구조 모델을 고려한다. 첫째 모델은 보강재로 부착되어 있고, 둘째 모델은 보강재와 함께 스트링거도 부착되어 있다. 두 가지 모델의 폭은 5.544m이지만 전자의 높이는 4.6m이고 후자는 7.84m이다. 그리고 보강와재 스트링거의 부재치수는 Table 1에 요약되어 있다.

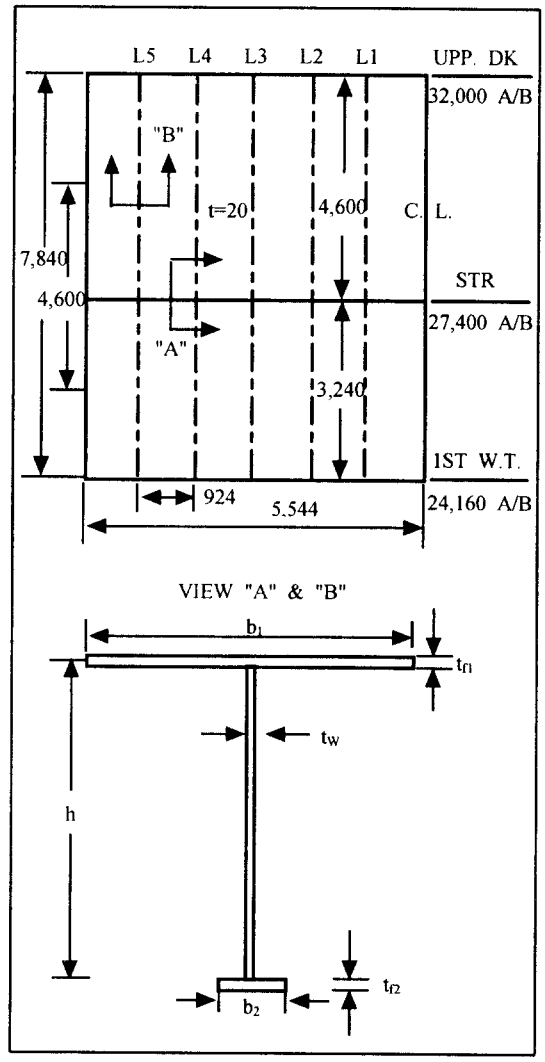


Fig. 2 Typical panel structure model with stringer and stiffeners

Table 1 Dimensions of stringer and stiffeners

Panel Type	Members	Dimensions (mm)					
		h	t_w	b_1	t_{f1}	b_2	t_{f2}
w/ Stringer	Stringer	2,250	14	3,500	20	200	18
	Upper Stiff.	600	12	924	20	240	18
	Lower Stiff.	600	12	924	20	100	14
w/o Stringer	Stiffener	600	12	924	20	240	18

두 가지 모델의 4변은 모두 강성이 큰 부재에 구속되어 있다고 가정하여 고정되어 있다. 파랑충격하중은 외판에 수직하게 가해지고 첫째 모델은 중앙 보강재의 중심 부위에, 둘째 모델은 스트링거와 중앙 보강재의 교차점에 1.5s×1.5s~3.5×3.5s 범위의 5가지 면적에 가한다.

3. 패널구조 모델의 동적구조해석

LS/DYNA3D를 이용하여 2장에서 언급한 두 가지 패널구조 모델에 대하여 Fig. 3과 같은 파랑충격압력 곡선을 가하여 동적 구조해석을 수행한다.

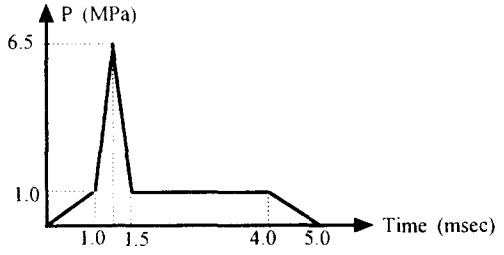


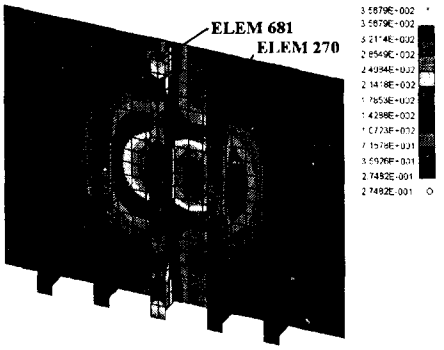
Fig. 3 Model of impact pressure curve

3.1 보강재만 부착되어 있는 모델

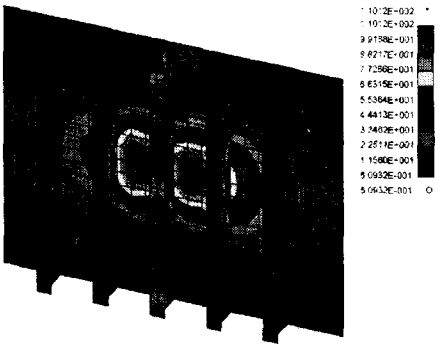
Figs. 4(a) 및 4(b)는 파랑충격하중이 면적 1.5s×1.5s에 가해졌을 때 각각 최대변형(5.0msec) 및 잔류변형(500.0msec) 시의 응력 분포를 보여주고 있다. Fig. 4(c)는 중앙 보강재 부근 외판의 유한요소 #270과 상부 고정단에서의 보강재의 유한요소 #681의 시간에 대한 응력 이력(stress history)을 보여주고 있다. 유한요소 #270에서의 최대 및 잔류응력은 각각 약 356.8MPa 및 110.1MPa 정도 발생하고 있다. 최대응력은 정적 항복응력 235.0MPa를 초과하지만 잔류응력은 충분히 탄성범위 내에 있음을 알 수 있다.

Figs. 5(a) 및 5(b)는 각각 최대 및 잔류변형 시의 변형 분포를 보여주고 있고, Fig. 5(c)는 중앙 보강재 중심의 절점 #263과 보강재 사이의 외판 절점 #305에서의 시간에 대한 처짐 이력(deflection history)을 보여주고 있다. 이들의 잔류변형은 각각 약 1.021mm 및 8.470mm 정도 발생하고 있다.

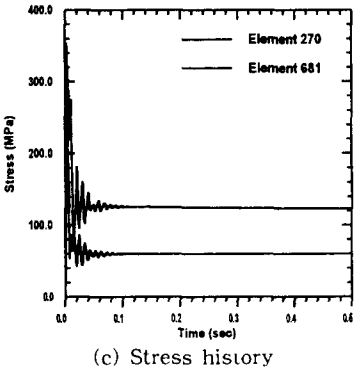
Fig. 6은 파랑충격하중의 면적에 따른 모델 중심선 폭 방향으로의 잔류변형 변화를 보여주고 있



(a) Peak deformation

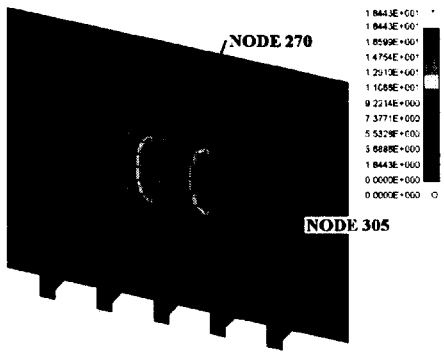


(b) Residual deformation

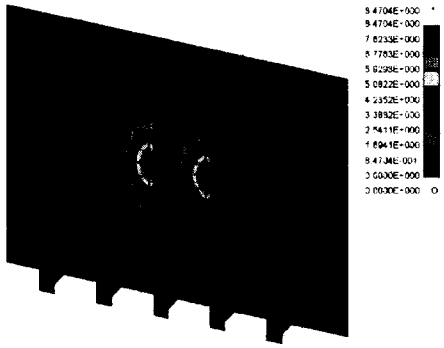


(c) Stress history

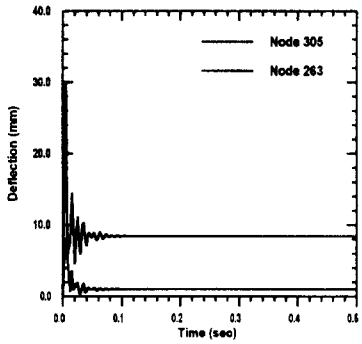
Fig. 4 Stress distribution and history w/o stringer under area 1.5s×1.5s



(a) Peak deformation



(b) Residual deformation



(c) Deflection history

Fig. 5 Deflection distribution and history w/o Stringer under area 1.5s×1.5s

고, 중앙 보강재 중심의 절점 #263과 보강재 사이의 외판 절점 #305에서의 잔류변형을 Table 2에 요약하였다. 여기서 백분율은 보강재 중심의 외판에 대한 잔류변형의 비율을 나타낸다. 면적이 증가할수록 이들의 상대적 변형은 점점 커지고 있음을 알 수 있다.

서론에서 언급하였듯이 보강재 및 스트링거의 파랑충격하중에 의한 손상 잔류변형은 무시할 수 있을 정도의 1.0mm 이내가 되도록 파랑충격하중 면적을 정한다. 이상의 검토에서 보강재만 부착된 모델의 경우에 파랑충격하중 면적은 1.5s×1.5s가 적합하다고 사료된다. 이러한 경우 외판 잔류변형은 8.470mm로서 DnV 규정[5]의 선수 구조부 외판 두께에서의 초기변형 허용치인 보강재 간격(924mm)의 약 1%와 비슷함을 알 수 있다.

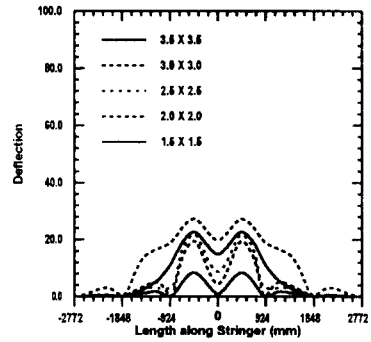


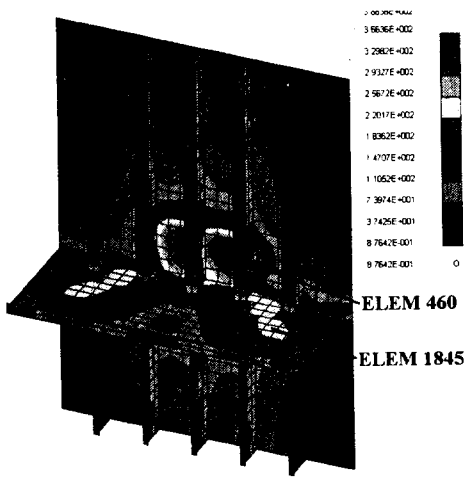
Fig. 6 Residual deflection distribution along center line w/o stringer

Table 2 Residual deflection w/o stringer

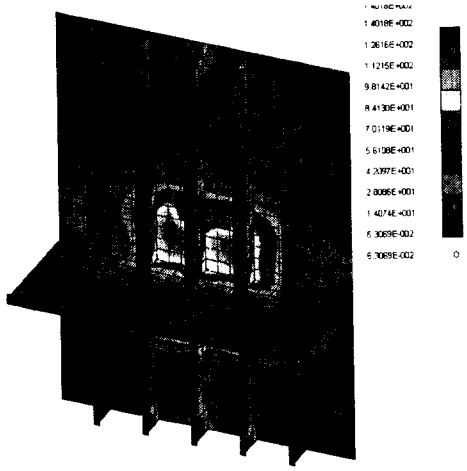
Impact Pressure Area (s×s)	Stiffener Center Deflection (mm)	Shell Deflection (mm)
1.5×1.5	1.021 (12.1%)	8.470
2.0×2.0	4.443 (22.7%)	19.540
2.5×2.5	8.754 (39.9%)	21.954
3.0×3.0	14.946 (65.8%)	22.720
3.5×3.5	19.838 (72.6%)	27.308

3.2 스트링거도 부착되어 있는 모델

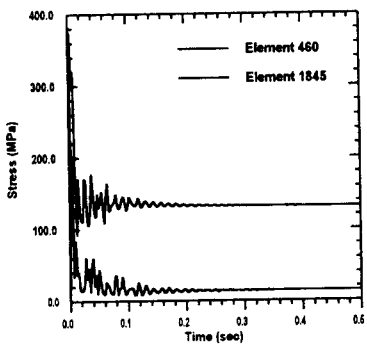
Figs. 7(a) 및 7(b)는 파랑충격하중이 면적 2.5s×2.5s에 가해졌을 때의 최대(5.0msec) 및 잔류변형(500.0msec) 시의 응력 분포를 보여주고 있다. Fig. 7(c) 스트링거 상부 외판에서의 유한요소 #460와 스트링거 웨브에서의 유한요소 #1845의 시간에 대한 응력 이력을 보여주고 있다. 요소 #460에서의 최대 및 잔류응력은 각각 약 366.4MPa 및 140.2MPa 정도 발생하고, 최대응력은 정적 항복응력을 초과하지만 잔류응력은 충분히 탄성범위에 있음을 알 수 있다. 그리고 스



(a) Peak deformation

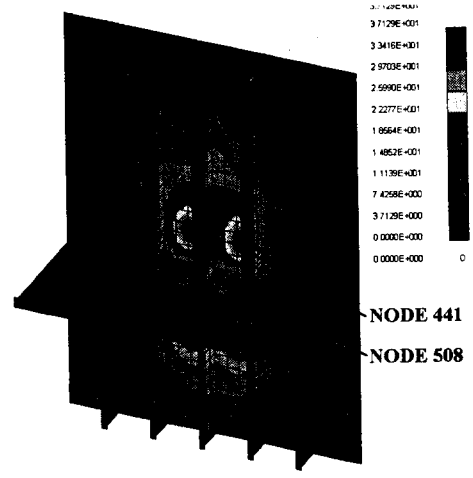


(b) Residual deformation

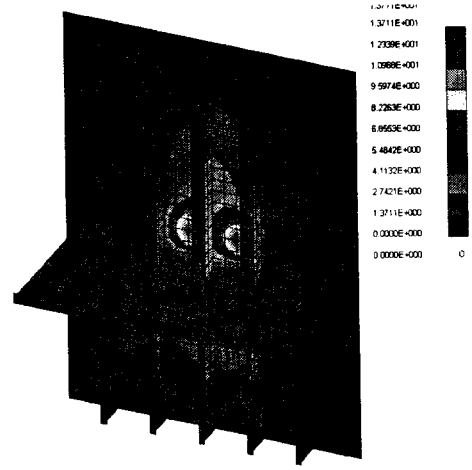


(c) Stress history

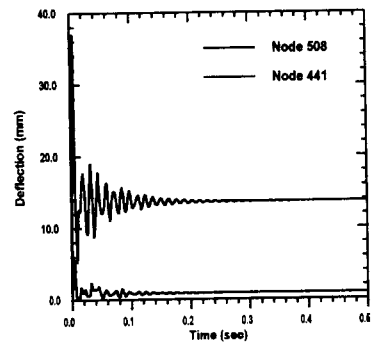
Fig. 7 Stress distribution and history w/ stringer under area 2.5s×2.5s



(a) Peak deformation



(b) Residual deformation



(c) Deflection history

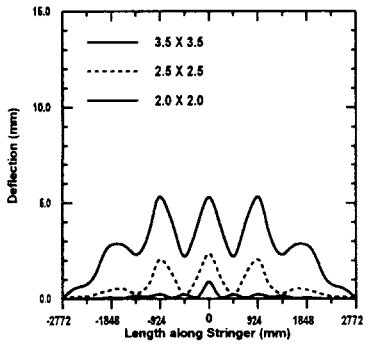
Fig. 8 Deflection distribution and history w/ stringer under area 2.5s×2.5s

트링거 웨브에서도 정적 항복응력에 가까운 응력이 발생하였으나 잔류응력은 매우 작았다.

Figs. 8(a) 및 8(b)도 각각 최대 및 잔류변형시의 변형 분포를, Fig. 8(c)는 중앙 보강재와 스트링거의 교차점의 절점 #441과 외판에서의 절점 #508의 시간에 대한 처짐 이력을 보여주고 있으며, 각각 약 0.893mm 및 13.708mm 정도의 잔류변형이 발생하고 있다.

Fig. 9는 파랑충격하중의 면적에 따른 스트링거에서의 잔류변형 변화를 보여주고 있고, 중앙 보강재와 스트링거의 교차점의 절점 #441 및 외판에서의 절점 #508의 잔류변형과 스트링거에서의 최대 잔류변형을 Table 3에 요약하였다. 여기서 백분율은 스트링거에서의 중심과 최대 잔류변형의 외판에 대한 잔류변형의 비율을 각각 나타낸다. 면적이 증가할수록 이들의 상대적 변형은 점점 커지고 있음을 알 수 있다.

스트링거의 강성이 보강재에 비하여 매우 크기 때문에 스트링거에서의 잔류변형은 보강재의 영향을 대체로 크게 받고 있지 않음을 알 수 있고, 3.1절의 모델에 비하여 손상 잔류변형은 매우 작다. 파랑충격하중의 면적이 3.0s×3.0s 보다 작은 경우는 스트링거에서의 잔류변형이 1.0mm 이내가 되므로 스트링거와 같은 강성이 큰 늑골 부재가 부착된 경우는 파랑충격하중 면적이 2.5s×2.5s가 적합하다고 사료된다. 이러한 경우 외판 잔류변형은 13.715mm로서 DnV 규정의 선수 구조부 외판 두께에서의 초기변형 허용치인 보강재 간격(924mm)의 약 1%를 조금 초과하고 있음을 알 수 있다.



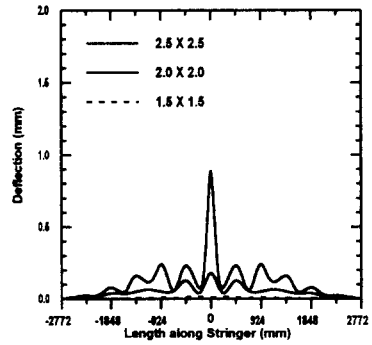


Fig. 9 Residual deflection distribution along stringer w/ stringer

Table 3 Residual deflection w/ stringer

Impact Pressure Area (s×s)	Stringer Center Def.. (mm)	Stringer Max. Def. (mm)	Shell Def. (mm)
1.5×1.5	0.011(1.3%)	0.016(2.0%)	0.817
2.0×2.0	0.180(2.3%)	0.180(2.3%)	7.916
2.5×2.5	0.893(6.5%)	0.893(6.5%)	13.715
3.0×3.0	2.359(13.2%)	2.359(13.2%)	17.831
3.5×3.5	5.323(22.4%)	5.335(22.5%)	23.753

4. 결 론

파랑충격하중을 받는 선수 구조부의 손상은 주로 충격압력역적과 면적에 의하여 크게 영향을 받는다. 현재 선급규정들에는 선수 구조부의 외판, 보강재 및 스트링거와 같은 부재의 치수결정 시 손상에 대한 허용치를 고려하고 있지 않고 있으며, 조선업계에서도 이러한 규정들에 의하여 부재치수를 결정한 경우 보강재나 강성이 강한 부재에는 손상이 발생하지 않는다고 가정하는 것이 일반적인 경향이다. 본 연구는 선급규정 등에 의하여 이미 건조된 DWT 300,000급 VLCC의 선수 구조부의 동적 구조해석을 통한 검증을 위한 다음 단계의 전 단계로서, 패널구조 모델의 보강재와 스트링거에서의 손상변형이 1.0mm 내외에서 발생되는 파랑충격하중의 면적을 추정하고자 하였다.

본 연구에서는 선수 구조부의 설계 시 부재치수 결정 과정을 단순화·표준화하여 계산량을 줄이고 계산 실수로 인한 도면 오류를 방지하기 위하여,

일본 서부조선학회 연구보고를 기반으로 한 간이 계산식을 정립하여 프로그램을 개발하였다. 동적 비선형 범용 프로그램 LS/DYNA3D를 이용하여 DWT 300,000급 VLCC의 선수 구조부 일부를 이상화한 두 가지 패널구조 모델에 극치 6.5MPa, 후부높이 1.0MPa, 지속시간 5msec인 파랑충격압력 곡선을 가하여 동적 거동해석을 수행하여 다음과 같이 파랑충격하중의 면적을 추정하였다. 보강재만으로 보강된 선수 구조부는 파랑충격하중 면적을 1.5s×1.5s, 스트링거도 부착되어 있는 경우는 2.5s×2.5s로 추정하는 것이 타당하다고 사료된다.

후 기

본 연구는 (주)대우중공업의 지원에 의하여 수행되었으며 심심한 감사 드린다.

참 고 문 헌

[1] LS/DYNA3D User's Manual, Version 9.40, Livermore Software Technology Corp., 1998.

[2] 이상갑, 김만수, "선수 구조부 구조해석 시스템 개발(1) - 파랑충격하중 특성의 추정", 대한조선학회논문집, 제36권, 제4호, 1999.

[3] Society of Naval Architects of West Japan, "Investigations on the damages of ship structure (Ⅳ)", Report of the Structure Committee of the Society of Naval Architects of West Japan, No. 16, 1974.

[4] Society of Naval Architects of West Japan, "Investigations on the damages of ship structure (V)", Report of the Structure Committee of the Society of Naval Architects of West Japan, No. 18, 1990.

[5] Det Norske Veritas, "Rules for Classification of Steel Ship", Pt.3, Ch.1, Sec.7, E300, 1998.

[6] Lloyd's Register, "Lloyd's Register's Plan Approval Systems For Ships, Direct Calculation Procedural Document - Appendix C Load Distribution For Input to Double Bottom Grillage Analysis", Pt.3, Ch.3, Sec.1, 1.6, 1978.