대 한 조 선 학 회 논 문 집
제40권 제3호 2003년 6월

Journal of the Society of Naval Architects of Korea
Vol. 40, No. 3, pp. 22-28, June 2003

선수 플레어 충격압력 추정과 구조설계에의 응용 - 탱커와 산적화물선 -

김용직†[1], 신기석[1], 신찬호[2], 강점문[3], 김만수[4], 김성찬[5], 오수관[6], 임채환[7], 김대헌[2], 김도형[3], 박익현[6], 송기종[3], 이춘기[5], 장영희[4]

부경대학교[1], (사)한국선급[2], 현대중공업(주)[3], 대우조선해양(주)[4], 삼성중공업(주)[5], 한진중공업(주)[6], 한국기계연구원[7]

Prediction of Bow Flare Impact Pressure and Its Application to Ship Structure Design - Tanker and Bulk Carrier -

Y.J.Kim[1], K.S.Shin[1], C.H.Shin[2], J.M.Kang[3], M.S.Kim[4], S.C.Kim[5], S.G.Oh[6], C.W.Rim[7], D.H.Kim[2], D.H.Kim[3], I.H.Park[6], K.J.Song[3], C.K.Lee[5] and Y.H.Jang[4]

Pukyong National Univ.[1], Korean Register of Shipping[2], Hyundai Heavy Industries Co., LTD.[3], Daewoo Shipbuilding & Marine Eng. Co., LTD.[4], Samsung Heavy Industries Co., LTD.[5], Hanjin Heavy Industries & Construction Co., LTD.[6], Korea Institute of Machinery & Materials[7]

Abstract

In rough seas, bow-flare regions of the full ships (tanker and bulk carrier) are subject to high impact pressures due to the on-coming breaking waves. And many ships suffer structural damages in that region, even though they were built under the bow structure strengthening rules of the ship classes. So, a new design method for bow-flare structure is highly required.

In this paper, a new prediction method of the bow-flare impact pressure (in terms of equivalent static pressure) acting on the full ships' bow is presented. This method is based on the 6 full ships' damage analysis and the breaking wave impact mechanism. Calculation results of the bow-flare impact pressure and the shell plate thickness are shown and discussed. Through the example calculations, it was found that the present method is useful for the structure design of the full ships' bow.

※Keywords : bow-flare impact pressure(플레어 충격압력), full ships(비대선), structure design (구조설계), breaking wave impact pressure(쇄파 충격압력), shell plate thickness(외판두께)

접수일: 2003년 6월 3일, 승인일: 2003년 6월 9일

†주저자, E-mail: yjkim@pknu.ac.kr
Tel:051-620-6483

1. 서론

황천시 파랑에 의한 충격현상은 주로 선수부에서 발생한다(이상갑과 김만수, 1999; 이상갑과 박종우, 1999; 백점기 등, 1999; 박성환 등, 2000; 박성환 등, 2002).

최근에 선박의 추력이 증가하고, 흘수선위 외판이 선수쪽으로 많이 기울어진 선형들이 출현하면서 선수 플레어 충격압력에 의한 손상사례가 현저히 늘어 중요 연구대상이 되고 있다.

선수의 흘수선 위쪽 영역에서 발생하는 충격현상은 플레어가 큰 선수부가 심한 상하운동을 할 때 발생하는 입수충격과 큰 곡률반경을 갖는 선수부에 쇄파가 충돌할 때 발생하는 쇄파충격으로 대별할 수 있다.

탱커와 산적화물선의 경우 쇄파충격에 의한 선수부 손상이 지배적이므로 본 논문에서는 쇄파 충격압력의 계산법을 보이고, 이를 이용하여 국내 실적선들에 대해 압력계산을 수행하였다. 계산된 압력들을 서부조선회 지침에 의한 압력 및 각 선급규칙에 의한 압력들과 비교 검토하고, 외판두께 계산예도 보였다.

2. 쇄파 충격압력 계산법

거친 해상에서 높은 파도의 파정 부분은 유체와 공기가 섞인 스프레이의 형태가 되며, 이 부분이 높은 속도로 선체에 부딪칠 때 충격압력이 발생한다. 이 쇄파 충격압력은 Bagnold형 충격압력이라고도 하며, 주로 방파제에 작용하는 충격압력 추정을 위해 연구되어 왔다. 본 연구에서는 쇄파 충격압력의 피크값 P_{Bag}를 다음과 같이 계산한다.

$$P_{Bag}=\frac{1}{2}\rho K_B V_B^2 \cdot C_\phi \tag{1}$$

여기에서, ρ는 유체밀도이고, K_B는 압력계수이며, V_B는 쇄파와 선체와의 수평방향 상대속도이다. 계수 C_ϕ는 선체 외판 경사각(외판과 수평면과의 사잇각) ϕ에 따른 영향계수이며, 서부조선회 지침(SNAWJ, 1974)에서와 같이 다음으로 주었다.

$$C_\phi=\frac{150-\phi}{60} \quad (\phi : \text{in deg.}) \tag{2}$$

쇄파충격 압력계수 K_B는 기존의 연구(SNAWJ, 1974)에서 2~5의 범위에 있다고 알려져 있다.

선체와 쇄파와의 수평방향 상대속도 V_B는 선속 U의 영향을 고려하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_B=U\sin\gamma+V_{BW}' \tag{3}$$

여기에서 각 γ는 선체길이 방향에 대한 수선(water line)의 각을 나타내며, V_{BW}'은 파 방향을 고려한 쇄파의 전진속도이다.

V_{BW}'은 쇄파속도 V_{BW}에 계수 C_γ를 도입하여 다음과 같이 계산하였다.

$$V_{BW}'=V_{BW}\cdot C_\gamma \tag{4}$$

여기에서, 계수 C_γ는 선체길이 방향에 대한 수선(water line)의 각 γ에 따라 다음과 같이 주었다.

$$C_\gamma=\begin{cases}0.25+\dfrac{\gamma}{60}, & \gamma\le 45^\circ \\ 1.0, & 45^\circ<\gamma\le 90^\circ\end{cases} \tag{5}$$

이는 충격에 의한 손상이 선수파 내지 선수사파 중에서 대부분 발생하며 이러한 경우 선측방향에서 입사하는 쇄파의 에너지가 작을 수 있고, 또한 선측방향 쇄파에서는 좌우동요 등으로 상대속도가 작아질 수 있음을 반영한 것이다. 현실적으로는 손상해석시 선측부에 불필요한 높은 압력이 유발되는 것을 방지하기 위함이다. 쇄파의 속도 V_{BW}는 거친 해상에서 10m/sec~12m/sec 정도인 것으로 알려져 있다(SNAWJ, 1974).

쇄파 충격압력의 피크값 P_{Bag}는 통상의 정적 구조해석에 쓰이는 등가 정수압(equivalent static pressure)은 아니므로 계수 C_{BE}를 도입하여 쇄파 충격 등가정수압 P_{BE}로 다음과 같이 변환할 필요

가 있다.

$$P_{BE} = P_{Bag} \cdot C_{BE} \quad (6)$$

그러나, 계수 C_{BE}에 대한 기존의 연구가 거의 없고, 쇄파 충격압력의 분포영역이 비교적 넓고 균일함(Suhara et al., 1973)을 감안하여 본 연구에서는 C_{BE}를 단순히 1.0으로 주었다.

선체동요가 외판경사와 상대속도의 변화 등을 통해 쇄파충격에 영향을 줄 수 있지만 문제를 단순화하기 위해 본 연구의 쇄파 충격압력 계산에는 선체동요에 의한 영향은 무시하였다. 또한 압력계수 K_B와 쇄파속도 V_{BW}는 실선의 손상해석시 손상/비손상 자료들을 가장 잘 설명할 수 있도록 각각 5와 12m/sec로 최종 결정되었다.

3. 충격압력 계산결과 및 손상해석

3.1 대상선박들의 주요요목 및 계산조건

대상선박은 탱커 3척과 산적화물선 3척이다. Table 1에 각 선박들의 주요제원을 보인다. 이 선박들의 선수 스템각(수평면과의 사잇각)은 대략 1번 56°, 2번 49°, 3번 46°, 4번 60°, 5번 61°, 6번 50° 정도이다. 충격압력 계산시 하중상태는 만재상태로 가정하였고, 선속은 설계속도의 70%로 주었다.

3.2 충격압력 계산결과

Table 1 Principal particulars of the selected ships

Ship No.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Ship Name	300K VLCC	278K VLCC	21K BULK Carrier	Bulk Carrier	CAPESIZE TANKER	149K BULK Carrier
Length(m)	320.0	315.0	300.0	279	264.0	259.0
Displacement(ton)	341,147.9	310,698.4	236,770.6	179,681.0	176,820.0	166,407.4
Breadth, B(m)	58.0	57.2	50.0	45.0	50.0	43.0
Depth, D(m)	31.0	30.4	25.3	24.1	25.1	23.8
Design Speed(knots)	15.7	15.0	14.5	15.0	15.5	14.2
Design Fn	0.1442	0.1389	0.1376	0.1480	0.1570	0.1450
Block Coeff., C_b	0.8260	0.8322	0.8260	0.8440	0.8151	0.8406
FP Draft(m)	21.86	18.49	17.89	16.02	15.37	17.13
AP Draft(m)	22.18	21.92	18.75	16.98	16.62	17.50

탱커와 산적화물선에 대한 충격압력 계산예를 Fig. 1에 보인다. 계산 위치는 충격압력이 대체로 높게 나타나는 선수 스템선 상이다. 이 그림에는 쇄파충격 등가정수압 P_{BE}외에 입수충격 등가정수압 P_{WE}의 계산결과도 함께 보이고 있다. P_{WE}의 계산법은 탱커와 산적화물선을 대상으로 하는 본 논문의 경우 선속차를 감안하여 파장과 선체길이의 비를 1.0으로 한 것 외에는 김용직 등(2003b)에서와 같다. 본 연구에서 설계 등가정수압 P_e는 P_{BE}와 P_{WE} 중 큰 값으로 정의하며, 모든 예에서 P_{BE}가 P_{WE}보다 커서 탱커와 산적화물선의 경우 P_e가 P_{BE}에 의해 결정됨을 알 수 있다.

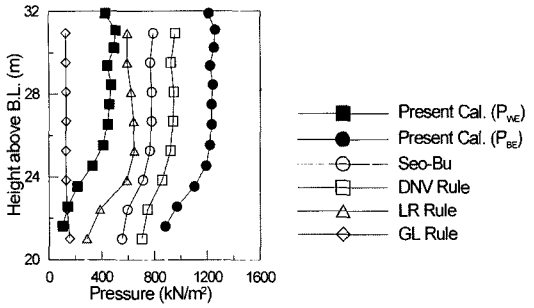
선수 스템각에 따라 최대 충격압력에 약간의 차이가 있어 스템각이 46°~50° 정도인 선박들(2번, 3번, 6번 선박)에서 최대압력이 1250kN/m^2~1300kN/m^2 정도이며, 스템각이 56° 이상인 그 밖의 선박들에서는 대략 최대압력이 1200kN/m^2 내외이다.

Fig. 1에는 서부조선회 지침(SNAWJ, 1974)과 선급규칙들(DNV Rules, 2000; GL Rules, 2000; LR Rules, 1998)에 의한 설계 충격압력도 함께 보이고 있다. 본 연구의 설계압력 P_e(여기에서는 P_{BE}와 같음)와 세 선급규칙들의 설계압력을 비교하면 그 크기가 본 연구, DNV, LR, GL 순임을 알 수 있고, 서부조선회 지침의 압력은 스템각이 작은 2번과 3번 선박에서 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있다.

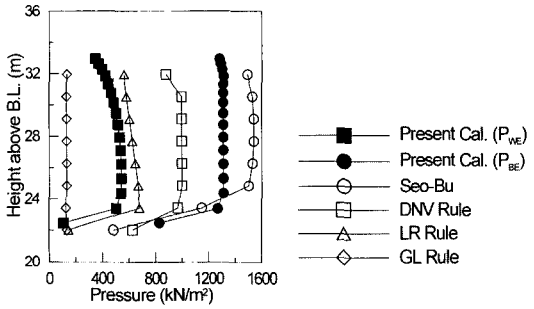
3.3 손상해석

김용직 등(2003a)의 구조 부재내력 계산법으로 각 부재의 부재내력(손상이 일어나기 직전의 균일분포 압력) P_{mf}를 계산하였으며, 구조 손상여부를 P_{mf}와 설계 등가정수압 P_e의 비교를 통해 해석하는 손상해석을 수행하였다.

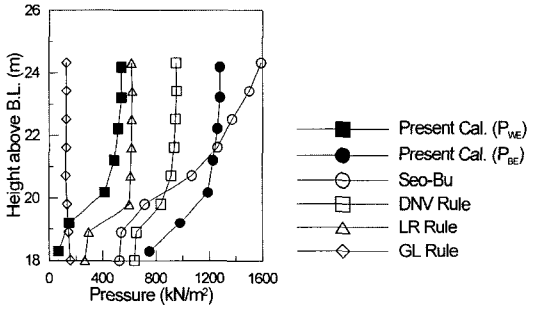
대상선박 6척의 선수부 외판 패널과 프레임에 대한 총 209개의 손상/비손상 자료를 작성하였으며, 많은 시험계산을 통해 이 자료들을 가장 잘 설명할 수 있도록 충격압력 계산법과 구조 설계지침을 결정하였다. 압력계수 K_B와 쇄파속도 V_{BW}는 각각 5와 12m/sec로 결정되었고, 손상이 발생



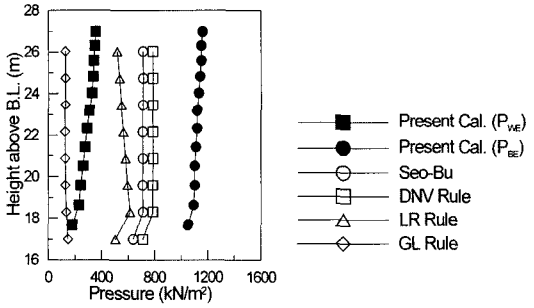
(1) No. 1 ship



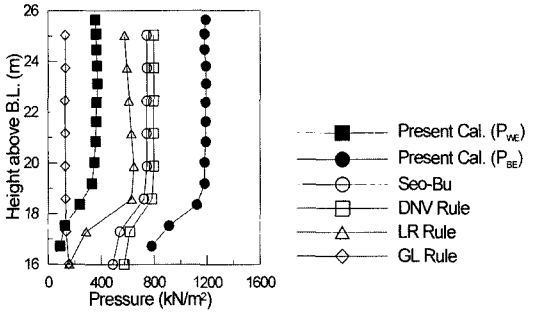
(2) No. 2 ship



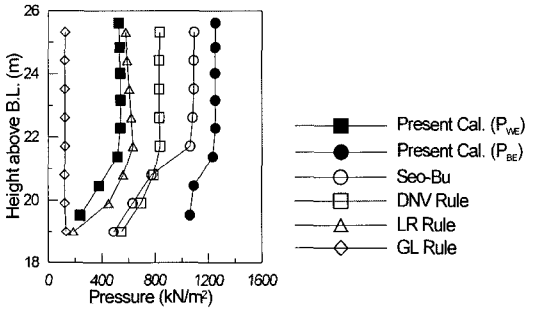
(3) No. 3 ship



(4) No. 4 ship



(5) No. 5 ship



(6) No. 6 ship

Fig. 1 Impact pressures along the bow stem line

하지 않는 설계기준은 $P_{mf} > P_e$로 결정되었다.

이 기준을 적용할 때, 패널과 프레임에 대해 작성된 209개의 자료 중 146개가 설명가능하여 설명가능 비율(설명된 자료의 수/자료의 총수)은 약 70%였다. 손상해석에 대한 보다 자세한 내용은 김용직 등(2003a)에 수록한다.

4. 실선 적용예

구조 설계에의 적용예로 손상선과 비손상선 각 1척에 대한 외판두께 계산결과를 보인다. 비교의 목적으로 실선 외판의 실제 두께와 서부조선회 지침(SNAWJ, 1974) 및 DNV규칙(DNV Rules, 2000), GL규칙(GL Rules, 2000)에 의한 외판두께 요구값도 함께 보인다(선급규칙에 의한 외판두께에서 부식여유는 제외하였음).

본 연구에서의 외판두께 t_s는 다음 식으로 계산

된다.

$$t_s = b\sqrt{\frac{P_e \Phi}{\sigma_Y}} \times 10^3 \ (mm) \qquad (7)$$

여기서, b는 외판 짧은 변의 길이(m), P_e는 설계 등가정수압(kN/m^2), σ_Y는 항복응력(N/mm^2), $\Phi = \frac{(\sqrt{1+3\beta^2}-1)^2}{12\beta^2}$, β는 가로·세로비(aspect ratio) 이다. 이는 외판을 균일 분포압력을 받는 4변 고정의 직사각형 평판으로 가정하고 소성붕괴 이론을 적용하여 얻어졌다(김용직 등, 2003a).

Table 2와 Fig.2에 손상선박인 6번 선박의 예를 보인다. Table 2에서 a는 긴 변의 길이이며, α와 β는 각각 버톡선과 프레임선의 수직선에 대한 사잇각이다. 길이방향 위치를 나타내는 x/L값은 FP를 0.5로 선체중앙을 0으로 했을 때의 상대값을 나타낸다. 외판의 재질은 고장력강이고, 대략 기선으로부터의 높이 20m~22m 부분에서 손상이 발생하였다. 실선의 외판두께가 서부조선회 지침이나 선급규칙들의 요구값보다 두껍지만 손상이 발생하였음을 알 수 있고, 본 연구의 방법만이 손상부위에서 실제 적용 두께보다 두꺼운 외판이 필요함을 보이고 있다.

Table 3과 Fig. 3에 비손상선박인 4번 선박의 예를 보인다. 본 연구의 방법이 실선의 외판두께보다 얇은 값을 요구함을 확인할 수 있다.

이 예들로부터 본 논문의 방법이 저속 비대선들(탱커와 산적화물선)의 선수부 구조설계에 있어 타당한 방법임을 확인할 수 있다.

5. 결론

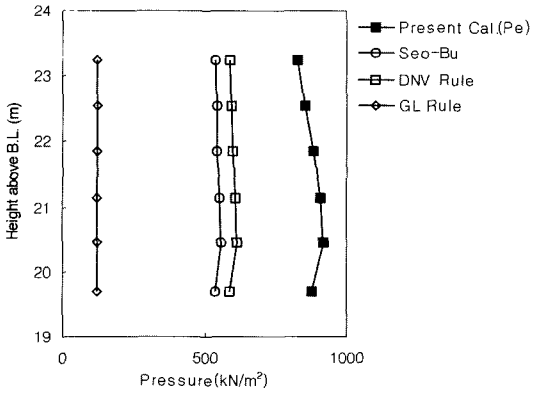
탱커와 산적화물선의 선수부에 작용하는 충격압력 계산법을 실선의 손상해석에 기초하여 정립하였다. 대상선박 6척에 대한 충격압력 계산결과를 보였고, 스템각이 46°~50° 정도인 선박들에서는 최대압력이 1250kN/m^2~1300kN/m^2 정도였으며, 스템각이 56°이상인 선박들에서는 최대압력이 대략 1200kN/m^2 내외였다.

본 방법에 의한 외판두께 계산에서 본 연구의 방법이 외판두께의 결정에 있어 타당함을 확인할 수 있었다.

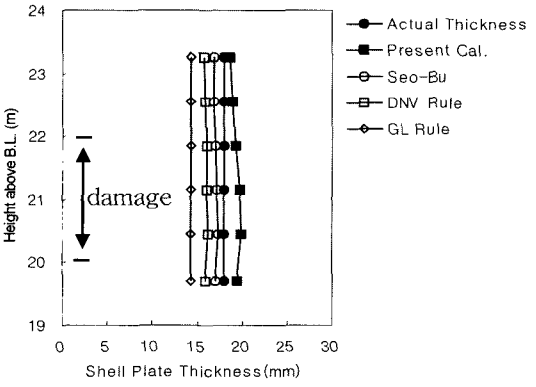
Table 2 Shell plate thickness calculation of no. 6 ship (at x/L=0.489)

Data No.	$xp(m)$ (from AP)	$zp(m)$ (from BL)	Material	$a(m)$	$b(m)$	α(deg.)	β(deg.)	γ(deg.)	ϕ(deg.)
(1)	256.04	23.25	AH32	3.30	0.84	37.1	34.6	42.3	63.0
(2)	256.04	22.55	AH32	3.30	0.84	36.2	34.7	43.4	63.3
(3)	256.04	21.85	AH32	3.40	0.84	35.2	34.9	44.5	63.6
(4)	256.04	21.15	AH32	3.50	0.84	34.9	35.8	45.9	63.4
(5)	256.04	20.45	AH32	3.60	0.84	33.5	36.0	47.6	63.8
(6)	256.04	19.70	AH32	3.60	0.84	26.8	31.0	49.7	68.7

Data No.	Design Pressure(kN/ m^2)				$t_{req}(mm)$				t_{act} (mm)	Damage (N/Y)
	Present P_e	Seo-Bu	DNV Rule	GL Rule	Present	Seo-Bu	DNV Rule	GL Rule		
(1)	827.2	537.1	588.0	121.6	18.6	16.8	15.8	14.2	18.0	N
(2)	854.7	540.9	593.0	121.6	18.9	16.8	15.9	14.2	18.0	N
(3)	881.8	544.9	597.0	121.6	19.3	17.0	16.0	14.2	18.0	Y
(4)	910.3	553.4	609.0	121.6	19.7	17.2	16.1	14.2	18.0	Y
(5)	917.1	558.1	612.0	121.6	19.8	17.3	16.2	14.2	18.0	Y
(6)	878.4	536.2	589.0	123.9	19.4	17.0	15.9	14.2	18.0	N



(a) Impact pressure



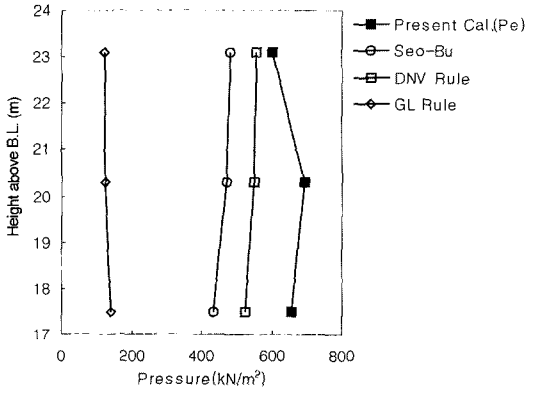
(b) Shell plate thickness

Fig. 2 Impact pressure and shell plate thickness of no. 6 ship (at x/L=0.489)

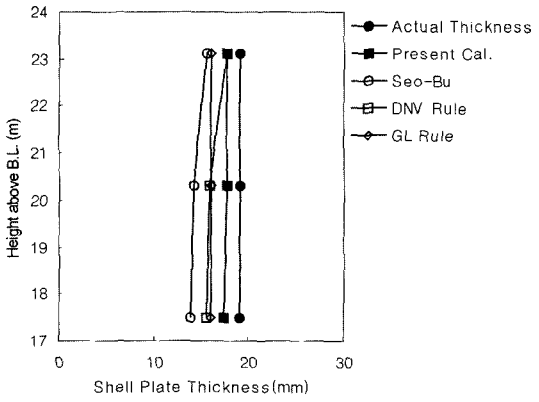
Table 3 Shell plate thickness calculation of no. 4 ship (at x/L=0.481)

Data No.	$xp(m)$ (from AP)	$zp(m)$ (from BL)	Material	$a(m)$	$b(m)$	α(deg.)	β(deg.)	γ(deg.)	ϕ(deg.)
(1)	273.74	17.500	MILD	2.95	0.760	8.873	9.606	45.589	83.58
(2)	273.74	20.307	MILD	2.98	0.750	22.514	20.154	40.379	74.747
(3)	273.74	23.100	MILD	2.80	0.830	36.642	27.205	34.423	67.211

Data No.	Design Pressure(kN/m^2)				$t_{req}(mm)$				t_{act} (mm)	Damage (N/Y)
	Present P_e	Seo-Bu	DNV Rule	GL Rule	Present	Seo-Bu	DNV Rule	GL Rule		
(1)	656	435	524	141	17.3	13.8	15.6	16.0	19.0	N
(2)	692	469	549	125	17.6	14.2	15.8	16.0	19.0	N
(3)	602	482	558	125	17.7	15.5	17.6	16.0	19.0	N



(a) Impact pressure



(b) Shell plate thickness

Fig. 3 Impact pressure and shell plate thickness of no. 4 ship (at x/L=0.481)

손상자료의 축적은 설계능력 향상의 중요한 기초가 되므로 향후 지속적인 손상자료의 축적이 요구된다.

참 고 문 헌

•김용직, 신기석, 신찬호, 강점문, 김만수, 김성찬, 오수관, 임채환, 김대헌, 김도형, 박익현, 송기종, 이춘기, 장영희, 2003a, "선수 플레어 구조손상 해석", 대한조선학회 논문집, 제40권, 제3호, pp.37-44.

•김용직, 신기석, 신찬호, 강점문, 김만수, 김성찬, 오수관, 임채환, 김대헌, 김도형, 박익현, 송기종, 이춘기, 장영희, 2003b, "선수 플레어 충격압력 추정과 구조설계에의 응용 - 콘테이너선과 자동차 운반선 -", 대한조선학회 논문집, 제40권, 제3호, pp.29-36.

•박성환, 이근배, 임채환, 2000, "슬래밍 충격하중을 고려한 선체 휘핑 해석", 대한조선학회 논문집, 제37권, 제3호, pp.99-109.

•박성환, 이재경, 오상헌, 송재명, 권승민, 2002, "선체 휘핑 해석 전용 프로그램 개발", 대한조선학회 논문집, 제39권, 제3호, pp. 64-74.

•백점기, 정장영, 백영민, 1999, "선저 슬래밍 충격 횡압력을 받는 선체 판부재의 붕괴강도 특성에 관한 연구", 대한조선학회 논문집, 제36권, 제2호, pp.77-93.

•이상갑, 김만수, 1999, "선수 구조부 구조해석 시스템 개발(1)-파랑충격하중 특성의 추정", 대한조선학회 논문집, 제36권, 제4호, pp.77-86.

•이상갑, 박종우, 1999, "선수 구조부 구조해석 시스템 개발(2)-파랑충격하중 면적의 추정", 대한조선학회 논문집, 제36권, 제4호, pp87-94.

•DNV Rules, 2000, Part 3, Chapter 1.

•GL Rules, 2000, Part 1, Chapter 1.

•LR Rules, 1998, Part 3, Chapter 5.

•Technical Committee of the Society of Naval Architects of West Japan, 1974, "Investigation on Ship Structural Damage(4)", Report No. 16 (in Japanese).

•Suhara, T., Hiyama, H. and Koga, Y., 1973, "Shock Pressure due to Impact of Water Jet and Response of Elastic Plates", J. SNA of West, Vol. 46, pp.151-161 (in Japanese).

김용직, 신기석, 신찬호, 강점문, 김만수, 김성찬, 오수관
임채환, 김대헌, 김도형, 박익현, 송기종, 이춘기, 장영희

< 김 용 직 >

< 신 기 석 >

< 신 찬 호 >

< 김 도 형 >

< 송 기 종 >

< 이 춘 기 >

< 강 점 문 >

< 김 만 수 >

< 김 성 찬 >

< 장 영 희 >

< 오 수 관 >

< 임 채 환 >

< 김 대 헌 >