

Green Water 충격에 대비한 선수갑판 설계압력의 산출

김용직^{1,†} · 신기석² · 이승철¹ · 하영록³ · 홍사영⁴

부경대학교 조선해양시스템공학과¹

디엔브이 지엘 코리아²

거제대학교 조선해양공학과³

선박해양플랜트연구소⁴

Computation of the Bow Deck Design Pressure against the Green Water Impact

Yong Jig Kim^{1,†} · Ki-Seok Shin² · Seung-Chul Lee¹ · Youngrok Ha³ · Sa Young Hong⁴

Department of Naval Architecture and Marine Systems Engineering, Pukyong National University¹

DNV GL Korea Ltd.²

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Kojé College³

Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering⁴

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.

Green water impact may sometimes cause some structure damages on ship's bow deck. Prediction of proper design pressure against the green water impact is an essential task to prevent the possible damages on bow deck. This paper presents a computational method of the bow deck's design pressure against the green water impact. Large heave and pitch motions of ship are calculated by the time domain nonlinear strip method. Green water flow and pressure on bow deck are simulated by the predictor-corrector second kind upstream finite difference method. This green water simulation method is based on the shallow water wave equations expanded for moving bottom conditions. For various kind of ships such as container ship, VLCC, oil tanker and bulk carrier, the green water design pressures on bow deck are computed and discussed. Also, the obtained results of design pressure on bow deck are compared with those of the classification society rules and discussed.

Keywords : Green water impact(그린워터 충격), Design pressure(설계압력), Bow deck(선수갑판), Shallow water wave(천수파), Finite difference method(유한차분법), Classification society rules(선급협회 규칙)

1. 서 론

선박이 거친 해상에서 운항할 때 선수갑판이 큰 파도의 수면 아래로 내려가면 선수갑판 위로 green water라 불리는 해수가 쏟아져 들어와 갑판과 의장품 등에 큰 충격을 가한다. 이 green water 충격과 관련하여 국내외에서 다양한 연구들(Buchner, 1995; Kim & Kim, 1996; Ogawa et al., 1997; Kim et al., 2004a, b, c; Kim & Shin, 2005; Jeong et al., 2010; Kim et al., 2017)이 수행되어 왔다.

Green water 충격현상은 해양파와 선체가 복합적으로 상호작용하여 일어나는 매우 격렬한 현상이다. 지금까지 이에 의해 발생하는 충격하중을 적절히 산출하여 구조설계에 반영하는 기술이 미비하였다고 할 수 있으며, 실선들에서 종종 green water에 의한 손상이 발

생하여 왔다. 주요 선급규칙들이 선수갑판의 강도설계에 적용하기 위한 설계압력들을 제시하고 있으나 이 설계압력들은 서로 간에 많은 차이를 보이고 있고 이 압력들의 제안 근거가 되는 연구 결과들도 거의 공개되지 않아 그 차이의 원인도 분명하지 않은 실정이다. 따라서 green water 충격에 대비한 선수갑판 설계압력의 적절한 산출은 실용적 관점에서 매우 중요한 과제라고 할 수 있다.

본 연구에서는 green water 설계압력을 산출하기 위해 선체운동 계산에는 시간영역 비선형 스트립법(Hwang et al., 1985; Kim et al., 2004a)을 적용하였으며, green water 유동해석 및 압력산출에는 확장된 천수파 방정식에 기초한 predictor-corrector 2종 상류차분법(Kim & Kim, 1996; Kim et al., 2004a, b; Kim & Shin, 2005)을 적용하였다. 선종이 다양한 총 11척의 선박들에 대해 green water 설계압력을 산출하였고, 여러 선급규칙들의 설계압력과의 비교하여 그 특성을 고찰하였다.

2. 계산법의 개요

2.1 선체 종운동의 시간영역 비선형 계산

큰 규칙파에 의해 발생하는 과대 선체 종운동(상하동요와 종동요)을 계산하기 위해 시간영역 비선형 계산법인 비선형 스트립법(Hwang et al., 1985; Kim et al., 2004a)을 사용하였다. 선체는 강체로 가정하고 입사되는 파는 선형 규칙파로 가정한다.

선체 각 단면에 작용하는 유체 운동량의 시간 미분력과 관성력, 조파 감쇠력, 부력, 무게를 선체 길이에 대해 적분하여 다음의 힘과 모멘트 평형 방정식을 얻는다.

$$\int_{-L/2}^{L/2} \left[\frac{d}{dt} (M_H V_r) - \frac{w}{g} a + N_H V_r + \rho g A - w \right] dx = 0 \quad (1)$$

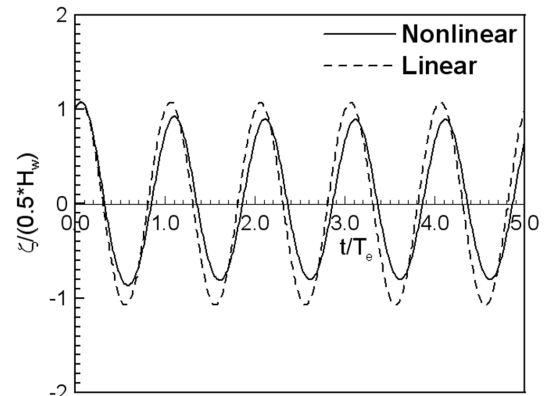
$$\int_{-L/2}^{L/2} (x - x_G) \left[\frac{d}{dt} (M_H V_r) - \frac{w}{g} a + N_H V_r + \rho g A - w \right] dx = 0 \quad (2)$$

$$\text{where, } V_r = -\dot{\zeta} + (x - x_G)\dot{\theta} - U\theta + V_z \quad (3)$$

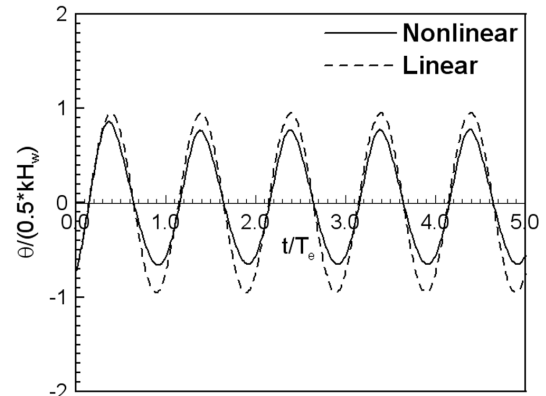
여기에서 L 은 선장이고, x 는 선수방향 양이고 원점을 선체 중앙에 둔 전후방향 좌표이다. x_G 는 무게중심 x 좌표이다. M_H 와 N_H , A 는 각각 선체단면의 부가질량과 감쇠계수, 수면아래 면적이다. w 는 단면의 선체중량이며, g 는 중력가속도, a 는 상하방향 가속도, ρ 는 유체밀도이다. V_r 는 상하방향 상대속도이며, ζ 는 상하동요(heave) 변위, θ 는 종동요(pitch) 각, U 는 선속, V_z 는 입사파의 상하방향 유속이다. ζ 는 상방향 양이고, θ 는 선수하강 회전이 양이다.

식(1)과 식(2)에 식(3)을 대입하여 얻어지는 상하동요와 종동요 연성 운동방정식들의 시간영역 해는 초기조건을 주고 운동들을 시간 적분하여 계산한다. 계산의 효율성을 위해 선형해의 한 상태를 초기조건으로 사용하며, 선체운동이 주기적인 준 정상상태에 도달한 후의 운동을 비선형 해로 한다. 이 계산법에서 M_H 와 N_H , A 는 시간에 따라 변화하는 수면 아래 단면의 값들을 사용하므로 큰 선체운동에 의한 이 값들의 비선형적 변화가 고려된다.

Fig. 1의 (1)과 (2)에 S175 컨테이너선 (ITTC, 1983)의 상하동요와 종동요 계산결과를 각각 보인다. 선장 $L=175\text{ m}$ 이며, 하중은 만재상태이다. T_e 는 조우주기이고 k 는 파수, H_W 는 파고이다. Froude 수 $F_n (=U/\sqrt{gL})=0.2$, 선수각 $\mu=180^\circ$ (선수파), 파장-선장비 $L_W/L=1.2$, 파고 $H_W=9.55\text{ m}$ 이다. 계산시간의 단축을 위해 초기 조건으로 선형해를 사용했고, 조우주기의 약 3배 정도 계산 후 운동응답이 주기적인 반복상태로 수렴함을 볼 수 있다. 선형해와 비교하여 비선형 운동응답은 상당히 감소하는 것을 볼 수 있다. 사용된 운동계산 프로그램의 신뢰성 검증은 선행 연구인 Hwang et al.(1985)와 Kim et al.(2004a, b)에서 수행되었다. 계산된 비선형 상하동요와 종동요가 선수갑판 위 green water 유동과 압력의 계산에 이용된다.



(1) Heave displacement



(2) Pitch displacement

Fig. 1 Heave and pitch displacements of S175 container ship(full load condition, $F_n=0.2$, $\mu=180^\circ$, $L_W/L=1.2$, $H_W=9.55\text{ m}$)

2.2 선수갑판 green water 유동과 설계압력의 계산

선수갑판 위 green water의 유동해석을 위해 갑판위 수심이 파장에 비해 매우 작다고 가정하고 천수파 이론을 적용한다. 본 논문에서 사용된 천수파 방정식은 다음과 같다 (Kim et al., 2004a, b; Kim & Shin, 2005).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(u \cdot uh)}{\partial x} + \frac{\partial(v \cdot uh)}{\partial y} = \\ -\frac{1}{2}(g + a_v)\frac{\partial h^2}{\partial x} + h(g + a_v)\alpha_x + h a_h \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(u \cdot vh)}{\partial x} + \frac{\partial(v \cdot vh)}{\partial y} = \\ -\frac{1}{2}(g + a_v)\frac{\partial h^2}{\partial y} + h(g + a_v)\alpha_y \end{aligned} \quad (6)$$

여기에서 h 는 갑판위 수위, u 와 v 는 각각 x 방향과 y 방향 유속이다. α_x 와 α_y 는 각각 x , y 방향 갑판 경사각이며, a_v 와

a_h 는 각각 상하방향과 수평방향 가속도이다. 이 방정식들은 질량 보존법칙과 운동량보존법칙으로부터 유도되는 천수파의 기본 방정식들(Stoker, 1957)을 갑판의 움직임과 기울기 등을 고려할 수 있도록 확장하고 수치계산에 적합한 보존형 방정식으로 변환한 것이다. 가속도 a_v 와 a_h 는 선체 상하동요와 종동요를 이용하여 계산되며, 기울기 α_x 는 갑판의 초기 x 방향 경사각에 각 순간의 종동요각을 더하여 계산되고 기울기 α_y 는 각 위치에서의 y 방향 캠버각을 사용하였다.

식(4) ~ 식(6)의 방정식들을 이용하여 시간영역에서 green water 유동을 시뮬레이션 할 수 있다. 이를 위한 CFD 기법으로 본 논문에서는 자체 개발한 predictor-corrector 2종 상류차분법 (Kim & Kim, 1996; Kim et al., 2004a, b; Kim & Shin, 2005)을 적용하였다. 시간영역에서 계산된 선체 상하동요와 종동요를 이용하여 갑판둘레의 수면높이 등을 계산하고 이를 경계조건으로 사용하였으며, 안전 여유를 갖는 하중의 산출을 위해 갑판 위 중소형 구조물들의 영향은 고려하지 않았다. 이 수치해법의 신뢰성 검증은 선행연구인 Kim et al.(2004a, b)와 Kim and Shin(2005)에서 수행되었다.

Green water 유동 시뮬레이션에서 얻어진 유속과 수위 등으로부터 선수갑판에 작용하는 충격압력을 산출할 수 있다. Green water에 의한 갑판 압력은 정수압과 연직방향 운동량 변화로부터 다음과 같이 계산된다 (Buchner, 1995).

$$P_{dk} = \rho gh + \frac{\partial}{\partial t}(\rho h V_v) = \rho \left(g + \frac{\partial V_v}{\partial t} \right) h + \rho \frac{\partial h}{\partial t} V_v = \rho (g + a_v) h + \rho \frac{\partial h}{\partial t} V_v \quad (7)$$

여기에서, V_v 는 갑판의 상하방향 속도이다.

Fig. 2에 S175 컨테이너선(ITTC, 1983)에 대해 계산된 8개 시간스텝에서의 green water 움직임을 보인다 (계산조건은 Fig. 1과 같음). 좌표 x_{dk} 는 선수갑판 후단으로부터 선수쪽에서의 거리를 나타내며, y_{dk} 는 횡방향 좌표이다. 그림 (1)은 갑판둘레에 형성된 수벽이 아래부터 무너지면서 갑판 안쪽으로 유체가 흘러들어 오는 초기 모습을 보여주며, (2)와 (3)은 선수에서 유입된 green water에 선수 좌우에서 유입된 green water가 중심선 방향 유속에 의해 합

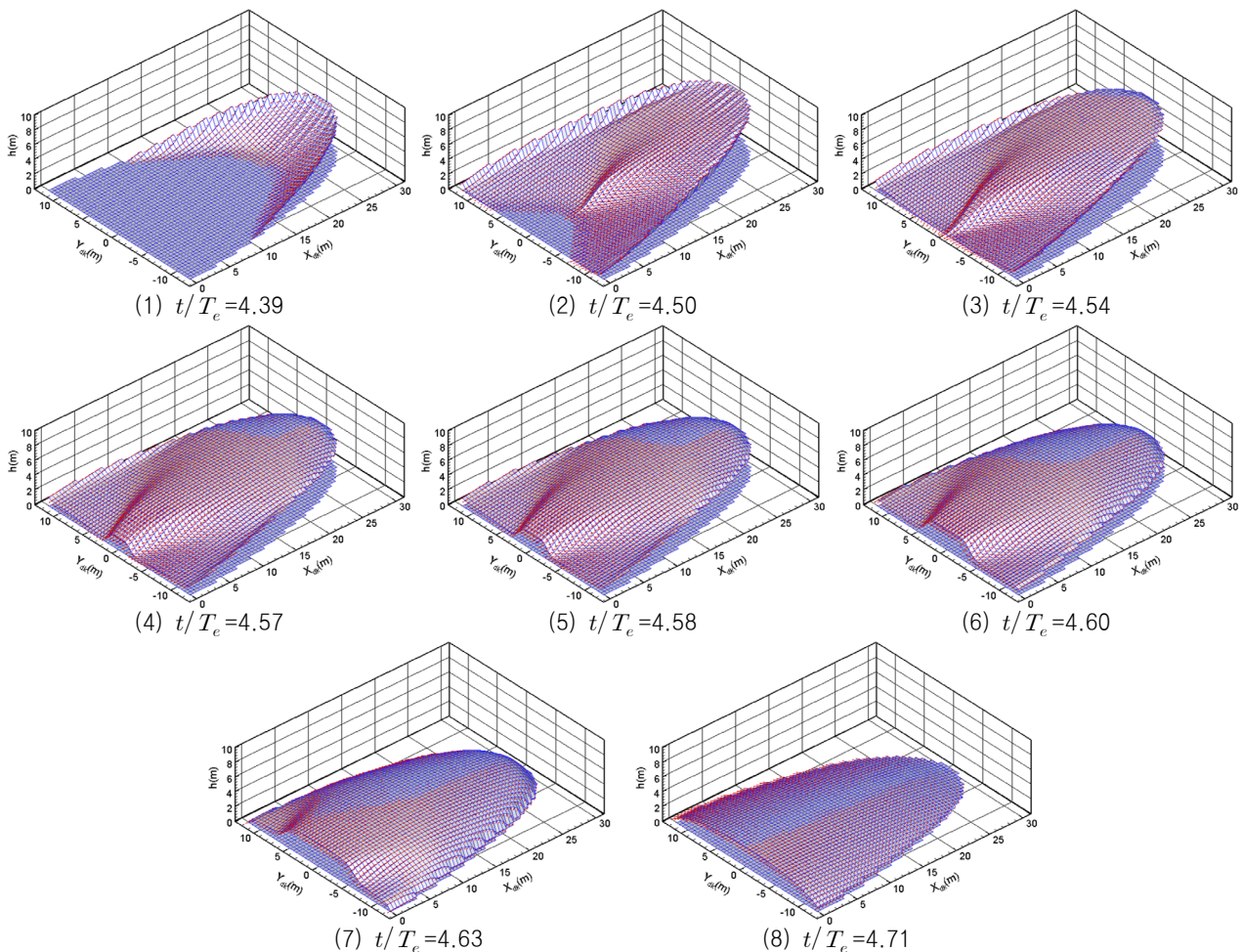


Fig. 2 Green water behavior(water surface) on the bow deck of S175 container ship(full load condition, $F_n=0.2$, $\mu=180^\circ$, $L_W/L=1.2$, $H_w=9.55$ m)

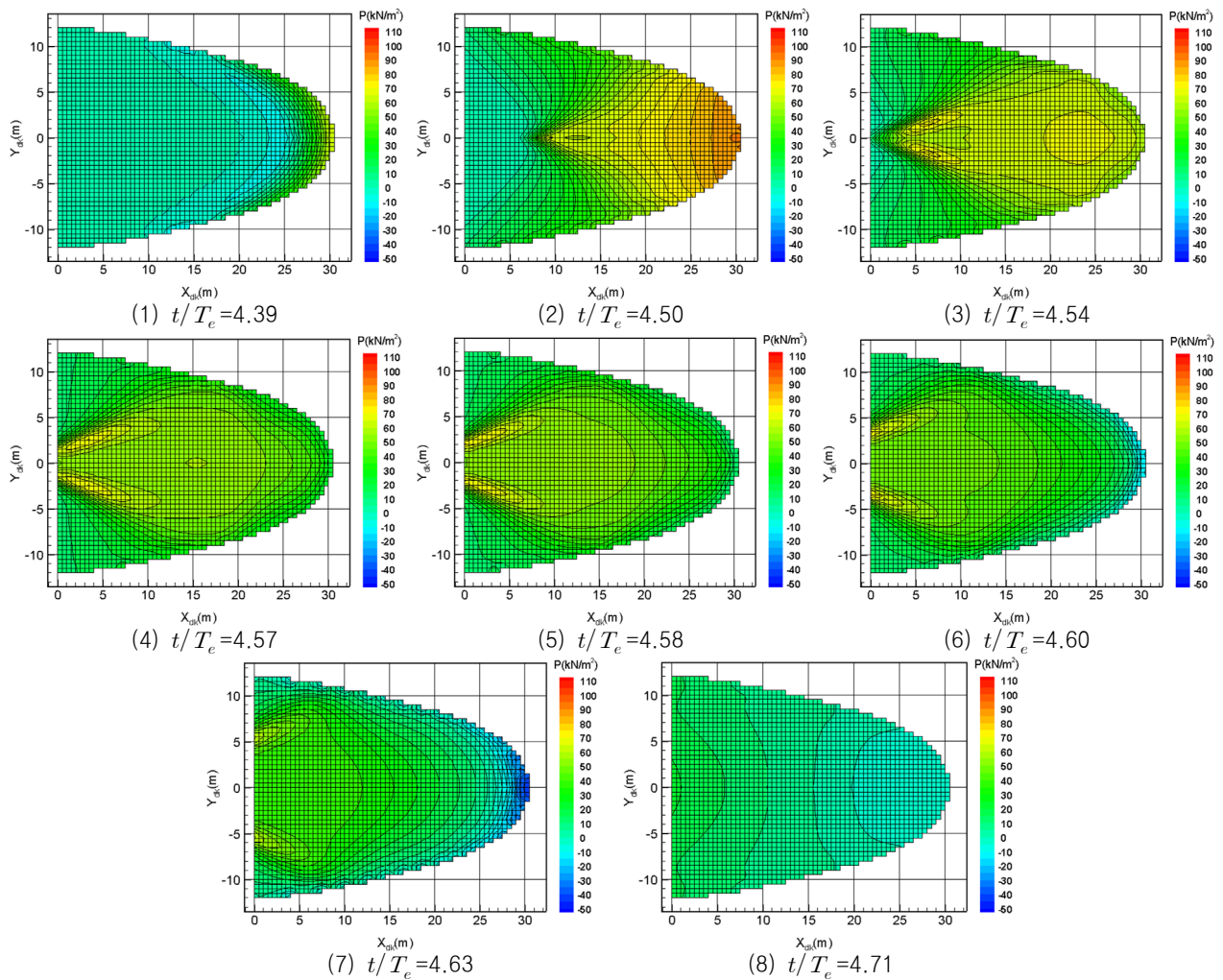


Fig. 3 Green water pressure on the bow deck of S175 container ship(full load condition, $F_n=0.2$, $\mu=180^\circ$, $L_W/L=1.2$, $H_w=9.55$ m)

처지면서 선체 중심선을 따라 유량 집중부(green water tongue)가 형성되는 것을 보여준다. 이 예에서 유체는 갑판 후단에서 후방으로 자연스럽게 빠져나가는 것으로 가정되었다. 유체 배수는 (6) ~ (8) 등의 시간스텝에서 갑판 돌레를 통해서도 활발히 이루어진다.

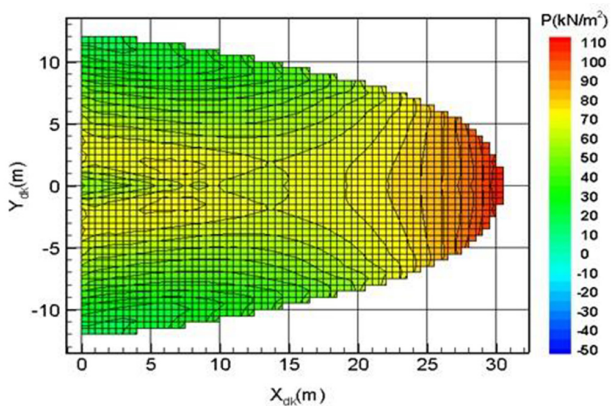


Fig. 4 Maximum pressure due to green water on the bow deck of S175 container ship(full load condition, $F_n=0.2$, $\mu=180^\circ$, $L_W/L=1.2$, $H_w=9.55$ m)

Fig. 3에는 Fig. 2의 각 시간스텝에 해당하는 선수갑판 압력분포들을 보인다. 이 갑판 압력은 선체운동의 영향을 고려하는 식 (7)에 의해 계산되었으며, 높은 수위와 유속을 갖는 green water tongue이 선체 중심선을 따라 이동하므로 대체로 선체 중심선을 따라 높은 압력이 나타남을 볼 수 있다.

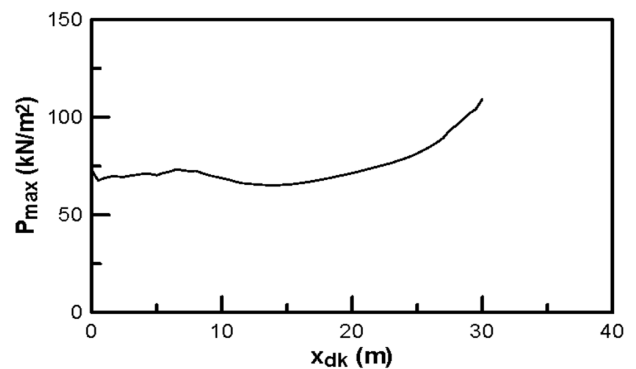


Fig. 5 Maximum pressure vs. x_{dk} due to green water on the bow deck of S175 container ship(full load condition, $F_n=0.2$, $\mu=180^\circ$, $L_W/L=1.2$, $H_w=9.55$ m)

Table 1 Principal particulars of the selected ships

Ship no.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Ship type	Container ship	Container ship	Container ship	VLCC	VLCC	VLCC
Length, $L(m)$	285.0	283.2	269.8	319.0	318.0	320.0
Displacement($kton$)	96.29	74.51	70.06	338.87	327.65	320.68
Breadth, $B(m)$	40.00	32.20	32.20	60.00	58.00	58.00
Depth, $D(m)$	24.30	21.80	19.85	30.40	31.25	31.00
Design Froude number, F_n	0.2600	0.2348	0.2520	0.1480	0.1480	0.1441
Block coefficient, C_b	0.6316	0.6602	0.6556	0.8131	0.8181	0.8260
FP draft(m)	12.963	10.850	11.620	20.280	20.878	20.200
AP draft(m)	13.064	12.930	12.270	21.740	21.503	21.400
Freeboard at FP, $f_{FP}(m)$	14.837	13.933	10.682	11.153	11.066	11.865
LCG(aft-, m)	-0.0195	-0.0314 *	-0.0194 *	0.0305 *	0.0352	0.0302 *
Pitch gyradius/ L	0.250	0.250 *	0.250 *	0.250 *	0.250	0.250 *
Ship no.	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
Ship type	Tanker	Tanker	Bulk carrier	Bulk carrier	Bulk carrier	
Length, $L(m)$	264.0	264.0	279.0	279.0	281.0	
Displacement($kton$)	176.82	169.96	179.96	179.68	178.92	
Breadth, $B(m)$	50.00	48.00	45.00	45.00	46.00	
Depth, $D(m)$	23.10	23.70	24.30	24.10	23.50	
Design Froude number, F_n	0.1570	0.1486	0.1485	0.1480	0.1560	
Block coefficient, C_b	0.8150	0.8168	0.8475	0.8440	0.8306	
FP draft(m)	15.370	15.430	16.030	16.020	16.060	
AP draft(m)	16.620	16.565	16.980	16.980	16.468	
Freeboard at FP, $f_{FP}(m)$	8.579	8.954	12.070	8.935	8.088	
LCG(aft-, m)	0.0251 *	0.0259 *	0.0317 *	0.0269 *	0.0353	
Pitch gyradius/ L	0.250 *	0.250 *	0.250 *	0.250 *	0.250	

* Assumed value

Fig. 4에 시뮬레이션 전 과정 중 발생한 선수갑판 각 위치에서의 충격압력 최대값 분포(압력값의 envelope)를 보인다. Fig. 5는 Fig. 4의 압력을 이용하여 산출된 길이방향 좌표 x_{dk} 에서의 갑판 압력 최대값이다. 압력값들의 횡방향(선체 폭방향)의 변화를 무시하고 단순화하여 설계에 적용하고자 할 때 길이방향 각 위치에서 예상되는 최대 압력값이라고 할 수 있으며, 이 최대 압력값이 구조 강도 설계시 필요한 설계압력으로 이용된다.

3. 계산 대상 선박들의 주요목

Green water 설계압력 산출에 사용된 선박들의 주요제원을 Table 1에 보인다. 총 11척이며, 선종별 특성을 살펴볼 수 있도록 컨테이너 3척, VLCC 3척, 탱커 2척, 산적화물선 3척으로 다양하게 선택되었다.

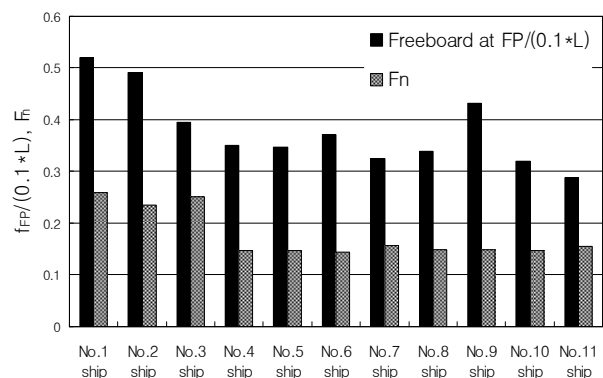


Fig. 6 Nondimensional freeboard at FP and Froude number

Green water 충격에 직접적인 영향을 주는 2가지 중요요소로 선수건현과 선속을 들 수 있다. Fig. 6에 대상선 11척의 FP에서의 무차원 건현($f_{FP}/0.1L$)과 F_n 를 서로 비교하여 보인다. 선수건현

이 클수록 green water 수위가 감소하므로 green water 하중은 감소하며, 선속이 빠를수록 선수부 운동이 커지고 유입유속이 빨라지므로 green water 하중은 증가한다. 따라서 선속이 상대적으로 빠른 컨테이너선들(1번 ~ 3번 선박)은 green water 하중이 과도하게 커지는 것을 막기 위해 건현을 키울 필요가 있으며 선수루를 가지고 있다. 반면에 선속이 상대적으로 느린 대부분의 비대선들(9번을 제외한 4번 ~ 11번 선박)은 선수루를 가지고 있지 않다(9번 선박은 예외적으로 선수루가 있음).

4. 설계압력 계산결과 및 고찰

대상선박 11척에 대해 green water 설계압력의 계산결과를 보이고 고찰한다. 본 논문의 설계압력 계산에서 하중상태는 건현이 작아 green water 하중이 커지는 만재상태를 기준으로 한다. 파의 방향은 기존 연구들에서 선수파의 경우가 선수사파의 경우보다 green water 유입 등이 심하다고 알려져 있어 선수각(μ) 180°인 선수파를 기준으로 한다(Ogawa et al., 1997). 파장(L_w)은 FP에서의 green water 수위가 비교적 크게 나타나는 파장과 선장의 비가 1.2인 경우를 기준으로 한다(Kim et al., 2004a). 선속(U)과 파고(H_w)는 기존의 슬래밍 연구들을 참고하고, 선행연구들(Kim et al., 2004a, b, c; Kim et al., 2004; Heo et al., 2004)에서의 손상예들에 대한 구조해석 결과 등을 바탕으로 선속은 설계속도의 70%, 파고는 파장에 따라 다음의 Zimmerman 파고식으로 계산된 값을 기준으로 하였다.

$$H_w = (L_w/10.62)^{0.75} \quad (\text{in meter}) \quad (8)$$

본 연구의 계산법에 의한 선수갑판 설계압력(최대압력)의 종방향 분포를 11척의 대상선에 대해 Fig. 7 ~ Fig. 17에 각각 수록한다. 이 그림들에서 Fig. 7 ~ Fig. 17은 차례대로 Table 1의 1번 ~ 11번 선박에 대한 것이다. 이 그림들에서 본 계산결과는 선수루가 있어도 다른 컨테이너선들에 비해 상대적으로 선수건현이 작은 3번 컨테이너선과 다른 비대선들에 비해 선수건현이 작은 11번 산적화물선에서 green water 하중이 크게 나타남을 볼 수 있다. 반대로 저속 비대선이면서도 선수루가 있어 선수건현이 큰 9번 산적화물선에서 green water 하중이 작게 나타나는 자연스러운 경향들을 확인 할 수 있다.

Fig. 7 ~ Fig. 17에 참고로 각 선급규칙들(ABS, 2006; IACS, 2006a; IACS, 2006b; KR, 2007; DNV, 2005; GL, 2002)의 선수갑판 설계압력도 비교하여 수록하였다. 이용된 선급규칙들에서 ABS(2006) 규칙은 컨테이너선과 산적화물선에 대해 각각 별도의 green water 압력을 계산하는 식이 주어져 있었고, IACS는 CSR(Common Structural Rule)을 통해 탱커에 대해서는 green water 압력을 계산하는 식(IACS, 2006b)이 있었지만 산적화물선에 대해서는 노출갑판의 압력을 계산하는 식(IACS, 2006a)만이 있었다. KR(2007)과 DNV(2005), GL(2002) 규칙들에서는 노출갑판에 작용하는 압력으로 표현되어 있어 green water 하중을 고려하지 않은 것으로 보이지만 참고로 수록하였다.

컨테이너선들(Fig. 7 ~ Fig. 9 참조)의 경우 본 연구의 설계압력은 ABS(2006)의 green water 설계압력과 비교적 가까우며, 특히 3번 선박에서는 ABS의 압력과 본 연구의 압력이 거의 정확히 일치하고 있다. 1번과 2번 선박은 건현이 3번 선박보다 커서 green water 압력이 상대적으로 감소하는데 본 연구의 압력은 이러한 경향이 현저한 반면 ABS의 압력은 다소 약하게 나타남을 알 수 있다. KR(2007)과 DNV(2005), GL(2002)의 노출갑판 설계압력들은 본 연구의 압력보다 작음을 볼 수 있고, 특히 DNV와 GL의 압력은 현저히 작다.

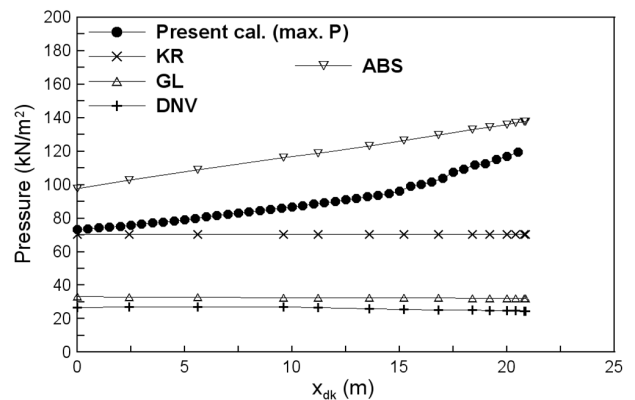


Fig. 7 Comparison of calculated max. deck pressure with rule design pressures(No.1, container ship)

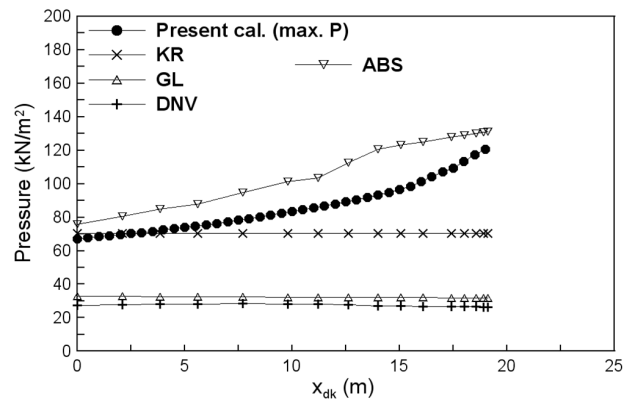


Fig. 8 Comparison of calculated max. deck pressure with rule design pressures(No.2, container ship)

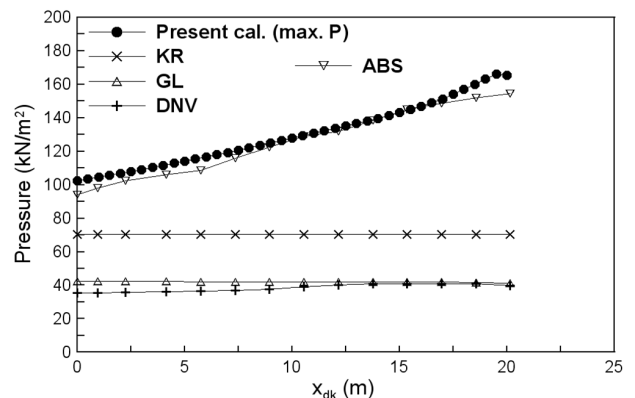


Fig. 9 Comparison of calculated max. deck pressure with rule design pressures(No.3, container ship)

VLCC들(Fig. 10 ~ Fig. 12 참조)의 경우 본 연구의 계산압력에 비해 모든 선급규칙들의 설계압력이 상당히 작음을 볼 수 있는데, 그 원인은 알 수 없었으며 앞으로 이에 대한 면밀한 연구가 필요하다고 생각한다. 참고로, Kim et al.(2004a, c)의 선행연구에서 본 연구의 압력이 실선의 손상정도를 잘 재현해 주는 적절한 수준이라는 것을 6번 VLCC의 선수부 구조해석을 통해 확인한 바 있음을 밝힌다.

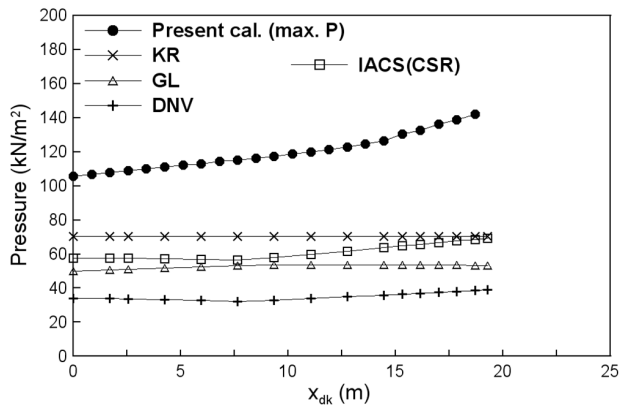


Fig. 10 Comparison of calculated max. deck pressure with rule design pressures(No.4, VLCC)

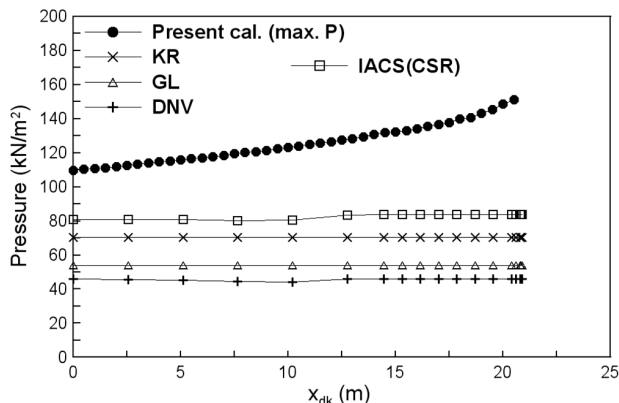


Fig. 11 Comparison of calculated max. deck pressure with rule design pressures(No.5, VLCC)

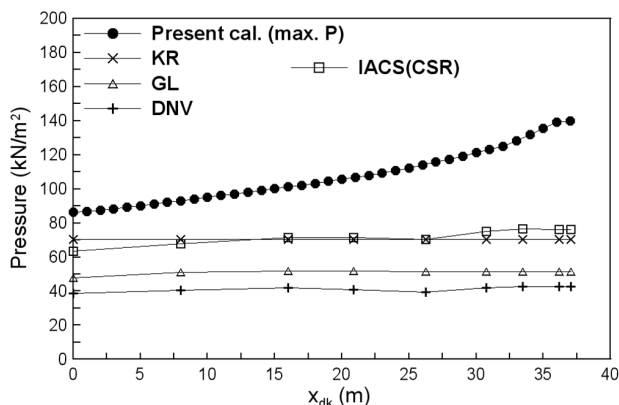


Fig. 12 Comparison of calculated max. deck pressure with rule design pressures(No.6, VLCC)

탱커(Fig. 13과 Fig. 14 참조)의 경우 IACS(2006b)의 CSR에 의한 green water 설계압력이 본 연구의 계산압력에 근접함을 알 수 있는데, 본 연구의 압력은 선수로 갈수록 상당히 증가하는 경향을 보이는 반면 IACS의 설계압력은 이 경향이 약함을 볼 수 있다. KR(2007)의 설계압력은 본 계산보다 조금 작은 압력을 보이는 반면 DNV(2005)와 GL(2002)의 설계압력은 상당히 작은 압력을 보인다.

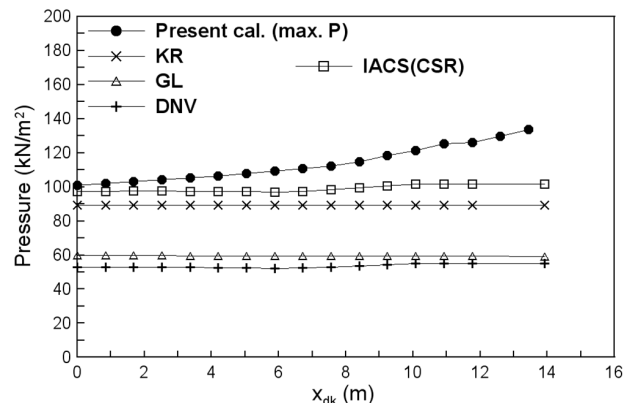


Fig. 13 Comparison of calculated max. deck pressure with rule design pressures(No.7, tanker)

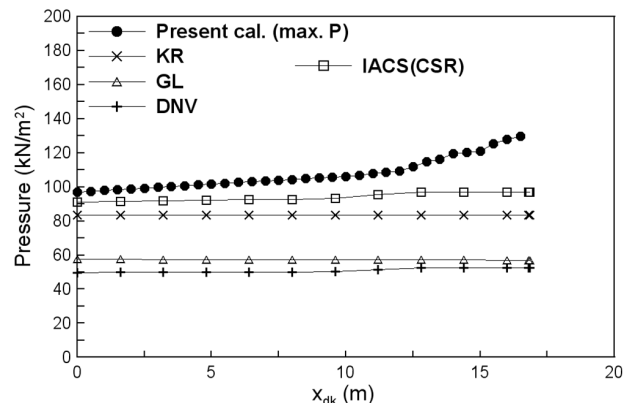


Fig. 14 Comparison of calculated max. deck pressure with rule design pressures(No.8, tanker)

산적화물선(Fig. 15 ~ Fig. 17 참조)의 경우 다른 규칙들보다 IACS(2006a)의 CSR에 의한 설계압력이 비교적 본 계산의 설계압력에 가깝다고 할 수 있다. 그러나 IACS(2006a)의 산적화물선에 대한 CSR은 설계압력에 건현 크기의 영향을 반영하고 있지 않은 단순한 형태여서 건현의 차이가 큰 9번 ~ 11번 선박들에서 거의 같은 설계압력을 보이고 있는 점 등은 보완이 필요하다고 생각된다. 반면에 본 계산의 설계압력은 건현이 큰 9번 선박에서 설계압력이 작고 상대적으로 건현이 작은 11번 선박에서 설계압력이 커지는 자연스러운 경향을 잘 반영하고 있다. KR(2007)의 설계압력에는 건현 크기의 영향이 반영되고 있으나 본 계산보다는 다소 작은 압력이다. DNV(2005)와 GL(2002), ABS(2006)의 산적화물선 설계압력들은 상대적으로 작다.

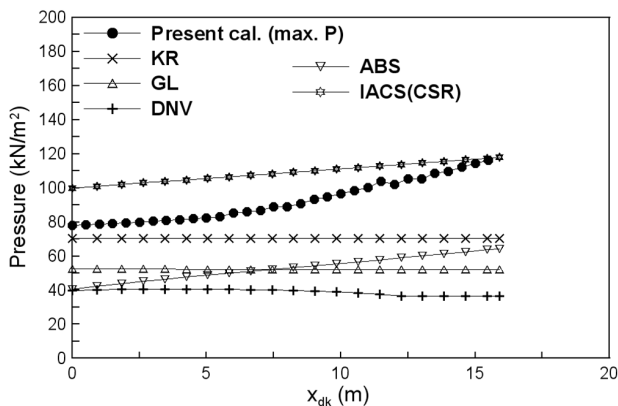


Fig. 15 Comparison of calculated max. deck pressure with rule design pressures(No.9, bulk carrier)

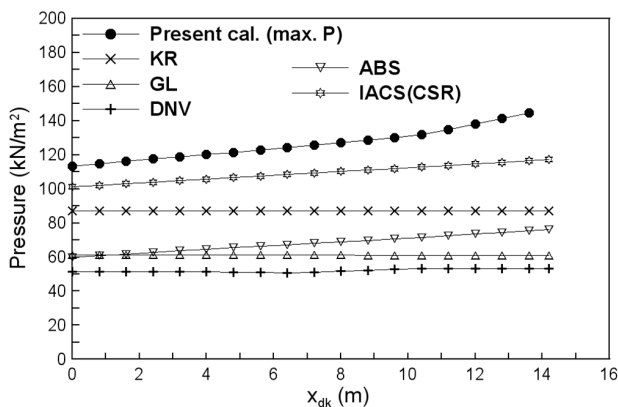


Fig. 16 Comparison of calculated max. deck pressure with rule design pressures(No.10, bulk carrier)

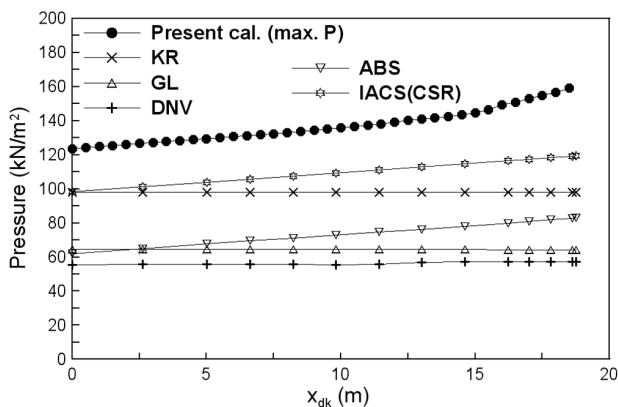


Fig. 17 Comparison of calculated max. deck pressure with rule design pressures(No.11, bulk carrier)

이 예들에서 확인할 수 있는 바와 같이 각 선급규칙들의 선수갑판 설계압력들은 서로 많은 차이(몇 배의 차이)를 보인다. 하지만 이 압력들의 제안 근거가 되는 연구결과들이 거의 공개되고 있지 않아 이러한 차이의 원인은 불분명하다. 오랜 실선적용의 경험과 오랜 연구결과가 반영되어 있는 선저 슬래밍 규칙의 경우 각 선급규칙들 간의 차이가 크지 않은 점과 대비된다(Kim et al., 2018). 아무튼 각 선급규칙들의 설계하중은 선박의 구조강도 설계

에 있어 1차적인 기준이 되므로 향후 보다 합리적인 green water 설계압력을 제시하기 위한 연구는 계속되어야 할 것이며, 본 연구가 향후 관련 연구들에 좋은 참고자료로 활용되기를 기대한다.

5. 결 론

본 논문에서는 green water 충격에 대비한 선수갑판 설계압력의 산출법을 소개하였으며 다양한 선종의 선박들에 대해 green water 설계압력을 산출하였고, 여러 선급규칙들의 설계압력과도 비교하여 그 특성을 고찰하였다. 얻어진 주요 결론은 다음과 같다.

본 연구의 계산결과에서 상대적으로 선수건현이 작은 3번 컨테이너선과 11번 산적화물선에서 green water 설계압력이 증가하고, 반대로 저속 비대선이면서 선수건현이 큰 9번 산적화물선에서 green water 설계압력이 감소하는 자연스러운 경향들이 잘 반영되어 있다.

컨테이너선의 경우 ABS(2006)의 설계압력이 본 연구의 설계압력과 비교적 가까우며, 탱커와 산적화물선의 경우 IACS(2006a; 2006b)의 CSR이 본 연구의 설계압력과 비교적 가까운 압력을 준다. VLCC의 경우 본 연구의 설계압력에 비해 선급규칙들의 설계압력이 상당히 작는데, 그 원인은 파악되지 않았으며 앞으로 이에 대한 면밀한 연구가 필요하다고 생각한다.

오랜 실선적용 경험과 연구결과가 반영되어 있는 선저 슬래밍 관련 선급규칙들과 달리 green water 관련 각 선급규칙들의 선수갑판 설계압력들은 서로 간에 많은 차이를 보이고 있으며 이 설계압력들의 제안 근거가 되는 연구결과들이 거의 공개되지 않아 그 차이의 원인도 불분명하다고 할 수 있다.

Green water 충격에 대비한 안전하고 합리적인 선체 구조강도 설계를 위해서는 설계압력을 적절히 추정하기 위한 연구가 향후 활발히 수행되어야 할 것으로 생각하며, 본 연구가 관련된 연구들에 좋은 참고가 되기를 기대한다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2017년)에 의하여 게재되었습니다.

References

- ABS(American Bureau of Shipping), 2006. *ABS Rules Part 5, Chapter 3 & Chapter 5.*. ABS: USA.
- Buchner, B., 1995. On the impact of green water loading on ship and offshore unit design. *PRADS'95*, Seoul, pp. 430-443.
- DNV(Det Norske Veritas), 2005. *DNV Rules, Part 3, Chapter 1.*. DNV: Norway.
- GL(Germanischer Lloyds), 2002. *GL Rules, Part 1, Chapter 1.*. GL: Germany.

- Heo, J.H. et al., 2004. Dynamic analysis of 300K VLCC's structural response to bow deck green water impact. *Proceedings of the Annual Autumn Meeting, SNAK*, Sancheong, pp.122-129.
- Hwang, J.H., Kim, Y.J., Kim, J.Y. & Oh I.G., 1985. Nonlinear effects on ship motion and wave load. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 22(3), pp.1-8.
- IACS(International Association of Classification Societies), 2006a. *IACS Common Structure Rules for Bulk Carriers. Chapter 4. Section 5*, IACS: UK.
- IACS(International Association of Classification Societies), 2006b. *IACS Common Structure Rules for Oil Tankers. Section 7*. IACS: UK.
- ITTC(International Towing Tank Conference), 1983. Summary of results obtained with computer programs to predict ship motions in six degree of freedom and related responses. *Report of 15th and 16th ITTC Seakeeping Committee*.
- Jeong, K.L., Lee, Y.G. & Kim, N.C., 2010. A fundamental study for the numerical simulation method of green water occurrence on bow. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 47(2), pp.188-195.
- Kim, W.S. et al., 2004. Dynamic analysis of 4800 TEU container ship's structural response to bow deck green water impact. *Proceedings of the Annual Autumn Meeting, SNAK*, Sancheong, pp.115-121.
- Kim, Y.J. & Kim, I.C., 1996. Numerical simulation of two-dimensional shipping water by using a simplified model. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 33(2), pp.1-12.
- Kim, Y.J. & Shin, K.S., 2005. Numerical calculation and experiment of green water on the bow deck in regular waves. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 42(4), pp.350-356.
- Kim, Y.J., Kim, I.C. & Shin, S., 2017. Computation of the green water design impact loads acting on the box-type structure of a high-speed ship's bow. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 54(1), pp.34-42.
- Kim, Y.J., Lee, S.C., Ha, Y.R. & Hong S.Y., 2018. Computation of design pressure against the bow bottom slamming impact. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 55(3), pp.187-195.
- Kim, Y.J. et al., 2004a. *Development of the evaluation method of ship bow impact load due to green water*. Report of the Joint Project of PKNU, KR, HHI, DSME and SHI.
- Kim, Y.J. et al., 2004b. Numerical calculation and experiment of green water on the bow deck. *Proceedings of the Annual Autumn Meeting, SNAK*, Sancheong, pp.105-114.
- Kim, Y.J. et al., 2004c. Simple damage analysis of bow deck structure by green water impact and it's application to design. *Proceedings of the Annual Autumn Meeting, SNAK*, Sancheong, pp.137-146.
- KR(Korean Register), 2007. *KR rules. Part 3*. KR: Korea.
- Ogawa, Y., Taguchi, H. & Ishida, S., 1997. Experimental study on shipping water volume and its load on deck. *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, 182, pp.177-185.
- Stoker, J.J., 1957. *Water waves*. Interscience Publishers, INC.. New York.



김 용 직



신 기 석



이 승 철



하 영 록



홍 사 영