

## 선수 플레어 충격압력 추정과 구조설계에의 응용 - 컨테이너선과 자동차 운반선 -

김용직<sup>†1</sup>, 신기석<sup>1</sup>, 신찬호<sup>2</sup>, 강점문<sup>3</sup>, 김만수<sup>4</sup>, 김성찬<sup>5</sup>, 오수관<sup>6</sup>,  
임채환<sup>7</sup>, 김대현<sup>2</sup>, 김도형<sup>3</sup>, 박익현<sup>6</sup>, 송기종<sup>3</sup>, 이춘기<sup>5</sup>, 장영희<sup>4</sup>

부경대학교<sup>1</sup>, (사)한국선급<sup>2</sup>, 현대중공업(주)<sup>3</sup>, 대우조선해양(주)<sup>4</sup>,  
삼성중공업(주)<sup>5</sup>, 한진중공업(주)<sup>6</sup>, 한국기계연구원<sup>7</sup>

Prediction of Bow Flare Impact Pressure and  
Its Application to Ship Structure Design - Container Ship and PCC -

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

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

### Abstract

In rough seas, bow-flare regions of the fine ships (container ship and PCC) are subject to high impact pressures due to the bow-flare slamming. 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 fine ships' bow is presented. This method is based on the 11 fine ships' damage analysis and the mechanisms of water entry impact and breaking wave impact. 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 fine ships' bow.

※Keywords : bow-flare slamming(플레어 슬래밍), fine ships(비척선), structure design(구조설계),  
water entry impact pressure(임수 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; 백정기 등, 1999; 박성환 등, 2000; 박성환 등, 2002).

최근에 선속이 빨라지고, 플레어각이 증가된 선형들이 출현하면서 플레어 슬래밍에 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. 콘테이너선과 자동차 운반선의 경우 입수충격에 의한 선수부 손상이 지배적이므로 본 논문에서는 입수 충격압력 계산법만을 보이고, 입수 충격압력이 작은 경우 보완적 의미를 갖는 쇄파 충격압력의 계산법은 김용직 등(2003b)에 수록한다.

입수 충격압력은 대진폭 운동에 따른 두드러진 비선형성을 고려하여 과대 증운동을 시간영역에서 시뮬레이션하고, 이를 통해 얻어진 선체와 수면과의 상대운동과 실험자료에 기초한 압력계수들을 이용하여 계산되었다.

국내 실적선들에 대해 충격압력들을 계산하였으며, 서부조선회 지침에 의한 압력 및 각 선급규칙에 의한 압력들과 비교 검토하였고, 외판두께 계산에도 보였다.

2. 입수 충격압력 계산법

선체가 수면에 입수시 최대 충격압력은 선체표면과 파면과의 사잇각이 크지 않을 때 수면과의 교점부근에서 발생한다. 이 입수 충격압력은 Wagner형 충격압력이라고도 하며, 그 피크값  $P_{Wag}$ 는 다음과 같이 계산한다.

$$P_{Wag} = \frac{1}{2} \rho K_E V_E^2 \tag{1}$$

여기에서,  $\rho$ 는 유체밀도이고,  $K_E$ 는 압력계수이

며,  $V_E$ 는 입수속도이다.

압력계수  $K_E$ 는 선체표면과 파면과의 사잇각  $\xi$ 의 함수로 가정한다, 실제 실험 등에서 얻어지는 압력계수는 Wagner(1932)의 2차원 이론에 의한 압력계수보다 매우 작으며, 본 연구에서는 Stavovy and Chuang(1976)이 2차원과 3차원 충격실험 결과들을 절충해서 제안한 압력계수를 일부 수정하여 사용한다. 그들에 의해 원래 제안된 압력계수를 Fig. 1에 점선으로 나타냈다. 본 연구에서는 구조설계상 극한의 경우를 가정할 필요가 있으므로  $\xi < 2.2^\circ$  영역에서의 압력계수를  $2.2^\circ$ 에서의 최대값과 같다고 가정한 수정된 압력계수를 사용하였으며, 이를 Fig. 1에 실선으로 나타냈다.

식(1)을 충격압력 계산에 이용하기 위해서는 각  $\xi$ 와 속도  $V_E$ 가 압력을 구하고자 하는 선체표면상의 각 점에서 그 점들이 수면을 통과할 때 계산되어야 한다. 각  $\xi$ 는 다음과 같이 계산한다.

$$\xi = \phi' - \phi_{ms} \tag{2}$$

여기에서, 각  $\phi'$ 은 증동요를 고려한 선체 외판의 (수평면에 대한) 경사각이며, 각  $\phi_{ms}$ 는 실제 해상에서 만나게 되는 (설계 목적상의) 최대 파면 경사각이다.

파면 경사각  $\phi_{ms}$ 는 선체 증운동 계산에 사용하는 설계파의 경사각 보다는 매우 큰 값이며, 규칙파의 이론상 최대 파면 경사각이  $30^\circ$ 라는 점과 실제해상은 불규칙파이고 쇄파에 이르기 전 과도파로서 일시적으로 급경사면이 형성될 수 있는 점을 고려하면 대략  $25^\circ \sim 35^\circ$  정도일 것으로 추정된다.

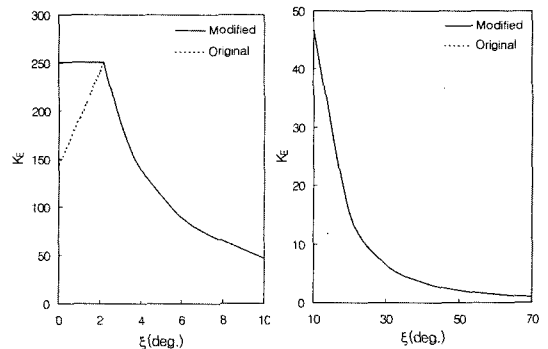


Fig. 1 Pressure coefficient,  $K_E$

큰 연구에서는 실선의 손상/비손상 예들을 가장 잘 설명할 수 있도록 이 각을 선정하였으며, 29°로 최종 결정하였다.

입수속도  $V_E$ 는 선체표면에 수직한, 유체와 선체와의 상대 법선속도  $V_n$ 으로부터 다음과 같이 계산된다.

$$V_E = \frac{V_n}{\cos \xi} \quad (3)$$

법선속도  $V_n$ 은 비선형 스트립법(황종홍 등, 1985)에 의해 시간영역에서 계산되는 선수 규칙과 중에서의 선체와 파와의 상대운동으로부터 계산한다.

식(3)으로 계산되는  $V_E$ 는  $V_n$ 보다 크며, 낙하 실험에서의 물체 낙하속도에 해당한다. 서부조선회 지침(SNAWJ, 1974)에서는  $V_E = V_n \times \cos \xi$ 로 계산하는 오류를 범하고 있으며, 이 오류가 그들의 연구에서  $\phi_{ws}$ 를 35°로 과도하게 결정하게 만든 주요인으로 추정된다.

입수 충격압력의 파크값  $P_{Wag}$ 는 구조설계에 쓰이는 등가 정수압(equivalent static pressure)은 아니므로 계수  $C_{WE}$ 를 도입하여 입수충격 등가정수압  $P_{WE}$ 로 다음과 같이 변환할 필요가 있다.

$$P_{WE} = P_{Wag} \cdot C_{WE} \quad (4)$$

계수  $C_{WE}$ 는 서부조선회 지침(SNAWJ, 1987)에 서와 같이  $\xi$ 만의 함수로 다음과 같이 나타낸다.

$$C_{WE} = \begin{cases} 0.025\xi + 0.25 & \xi \leq 30^\circ \\ 1.0 & \xi > 30^\circ \end{cases} \quad (5)$$

이 식은 Hagiwara and Yuhara(1974)의 실험을 바탕으로 만들어진 것이다.

### 3. 충격압력 계산결과 및 손상해석

#### 3.1 대상선박들의 주요요목 및 계산조건

대상선박은 컨테이너선 9척과 자동차 운반선 2

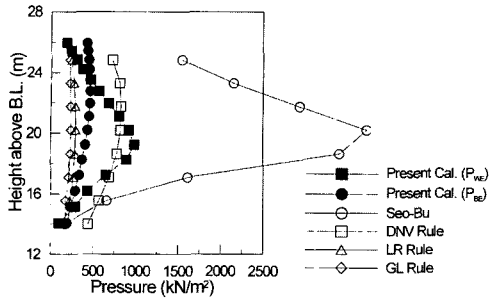
척이다. Table 1에 각 선박들의 주요제원을 보인다. 이 선박들에서 수평면에 대한 외판 경사각  $\phi$ 의 최소값 범위는 대략, 1번 38°~40°, 2번 37°~38°, 3번 42°~45°, 4번 37°~40°, 5번 46°~52°, 6번 34°~36°, 7번 45°~46°, 8번 32°~35°, 9번 40°~42°, 10번 26°~28°, 11번 42°~48° 정도이다. 입수 충격압력 계산시 하중상태는 만재상태를 대상으로 하며, 선속과 파고( $H_w$ )는 기존의 연구(SNAWJ, 1987)를 참고하여 각각 설계속도의 70%와 Zimmerman의 파고식 [ $H_w = (\lambda/10.62)^{0.75}$ , in meter]에 의한 값으로 주었다. 파장과 선장의 비( $\lambda/L$ )와 선수각( $\mu$ )은 여러 시험계산을 통해 각각 1.1과 180°로 주었다.

#### 3.2 충격압력 계산결과

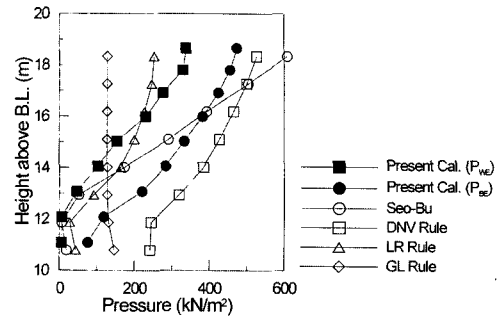
컨테이너선과 자동차 운반선에 대한 충격압력 계산결과와 예를 Fig. 2에 보이며, 서부조선회 지침(SNAWJ, 1987)과 선급규칙들(DNV Rules, 2000; GL Rules, 2000; LR Rules, 1998)에 의한 설계 충격압력도 함께 보인다. 각 그림에서 길이 방향 위치를 나타내는  $x/L$ 값은 FP를 0.5로 선체 중앙을 0으로 했을 때의 상대 값이다. 입수충격

Table 1 Principal particulars of the selected ships

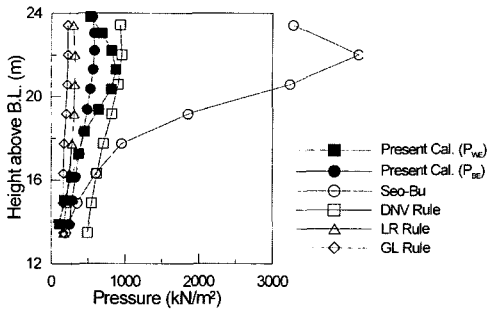
Ship No.	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Ship Name	500 TEU Container	440 TEU Container	400 TEU Container	340 TEU Container	200 TEU Container	280 TEU Container
Length(m)	265	281.6	277	231	204	184
Displacement(ton)	93,049.6	88,669.5	73,570	54,983.3	47,615	45,880
Breadth, B(m)	40.3	32.25	32.2	32.2	32.3	32.25
Depth, D(m)	24.1	21.4	21.5	19.3	19	20
Design Speed(knots)	26.3	24	24	23	20.24	22
Design Fn	0.265	0.23489	0.237	0.24854	0.233	0.266
Block Coeff., $C_b$	0.607	0.6775	0.687	0.625	0.67	0.6532
FP Draft(m)	13.55	12.872	12.0	11.42	10.637	11.31
AP Draft(m)	14.35	14.0427	12.0	11.56	10.894	11.67
Ship No.	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	
Ship Name	250 TEU Container	160 TEU Container	120 TEU Container	6000 PCC	5720 RO RO	
Length(m)	195.05	158	150	190	190	
Displacement(ton)	43,603.96	28,463.8	21,738	37,917	33,084	
Breadth, B(m)	29.8	27.2	25.6	32.26	32.26	
Depth, D(m)	15.6	13.8	13.7	32.09	32.65	
Design Speed(knots)	22.7	20	21.5	20	18	
Design Fn	0.26694	0.261	0.288	0.239	0.215	
Block Coeff., $C_b$	0.642	0.701	0.6049	0.6012	0.583	
FP Draft(m)	10.8	9.17	8.793	9.79	9.176	
AP Draft(m)	11.9	9.24	9.537	10.19	9.213	



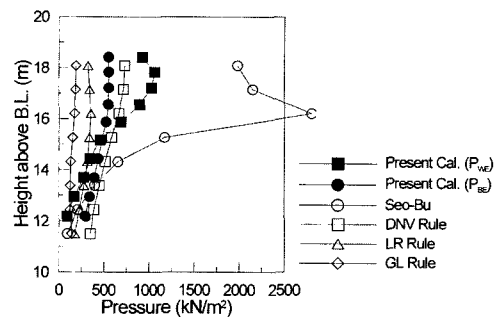
(1) No. 1 ship (at  $x/L=0.425$ )



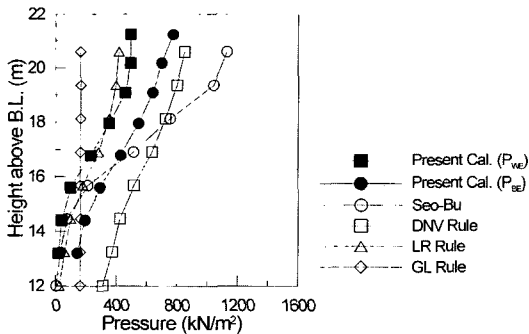
(5) No. 5 ship (at  $x/L=0.5$ )



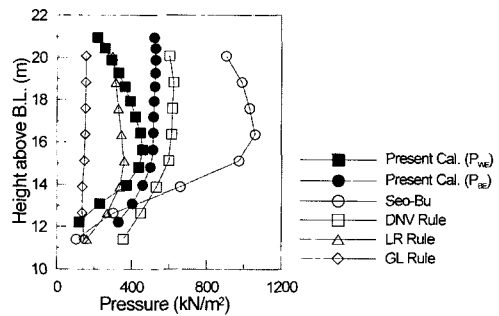
(2) No. 2 ship (at  $x/L=0.45$ )



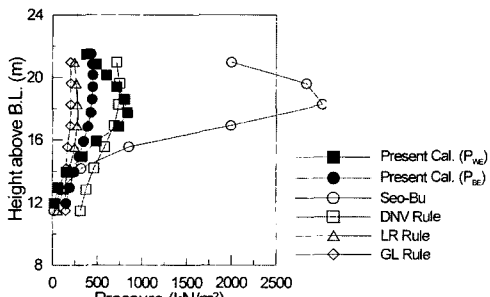
(6) No. 6 ship (at  $x/L=0.427$ )



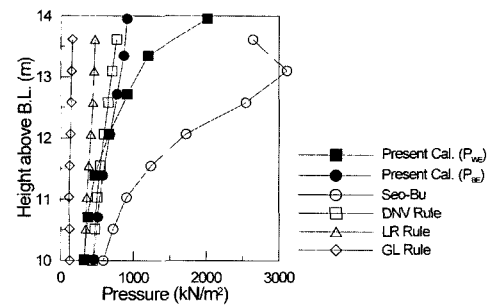
(3) No. 3 ship (at  $x/L=0.493$ )



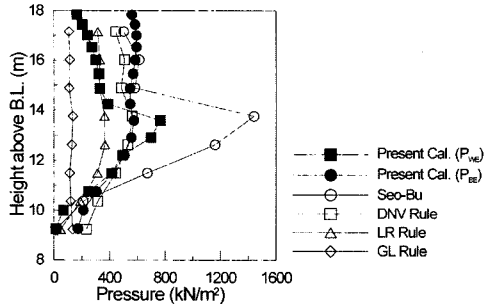
(7) No. 7 ship (at  $x/L=0.471$ )



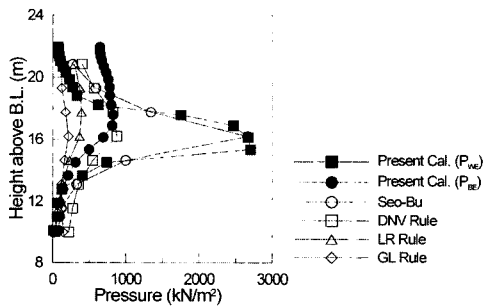
(4) No. 4 ship (at  $x/L=0.4274$ )



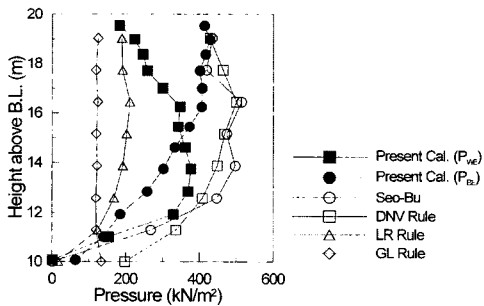
(8) No. 8 ship (at  $x/L=0.47297$ )



(9) No. 9.ship (at  $x/L=0.483$ )



(10) No. 10 ship (at  $x/L=0.489$ )



(11) No. 11 ship (at  $x/L=0.484$ )

Fig. 2 Impact pressures acting on bow flare

등가정수압  $P_{WE}$ 와 함께 쇠파충격 등가정수압  $P_{BE}$ 도 보이고 있으며,  $P_{BE}$ 의 계산법은 김용직 등(2003b)에서와 같다. 설계용 등가정수압  $P_e$ 는 이 두 값 중 큰 값으로 정의한다.

대체로 각 선박에서 발생하는 최대 충격압력은 외판 경사각  $\phi$ 와 밀접한 관계를 보인다. 외판 최소 경사각이 대략  $42^\circ$  이상인 선박들(3번, 5번, 7번, 11번 선박)에서는 최대압력이 쇠파충격에 의

해 발생하며,  $800\text{kN/m}^2$  이하이다. 반대로 외판 최소 경사각이 대략  $35^\circ$  이하인 선박들(6번, 8번, 10번)에서는 입수충격에 의해 최대압력이 발생하며  $1100\text{kN/m}^2$  이상의 높은 압력이 발생한다. 특히 외판경사각  $\phi$ 가  $26^\circ$  정도까지 내려가는 10번 선박은 최대  $2700\text{kN/m}^2$  정도의 압력도 나타나고 있다. 이 선박이 가장 많은 손상자료가 얻어진 선박이다.

세 선급규칙들(DNV, GL, LR)과 본 연구의 충격 압력들을 비교해 보면, 이들 규칙에 의한 설계압력이  $P_{WE}$ 보다는  $P_{BE}$ 와 더 유사한 변화경향(크기는 다르지만 대체로 평행한 경향)을 보임은 특기할 만 하다. 따라서 이들 규칙들은 외판 경사각  $\phi$ 가 작을 때 급격히 증가하는 Wagner형 입수 충격 압력의 특성을 제대로 반영하고 있지 못한 것으로 보여진다.

서부조선회 지침에 의한 압력은 외판 경사각  $\phi$ 가 비교적 큰 5번과 11번 선박을 제외하면 다른 선급규칙들보다 매우 큰 압력을 보이는 부분이 나타나며, 본 연구의 설계압력  $P_e$ ( $P_{WE}$ 와  $P_{BE}$  중 큰 값)보다도 매우 큰 압력들이 나타난다(자동차 운반선인 10번 선박은 예외). 서부조선회의 부재내력 계산법(SNAWJ, 1987)과 본 연구의 부재내력 계산법(김용직 등, 2003a)이 거의 동일하므로 이러한 높은 압력은 그대로 과도한 부재치수를 요구한다고 할 수 있다.

### 3.3 손상해석

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

대상선박 11척의 선수 플레어 외판 패널과 프레임에 대해 총 486개의 손상/비손상 자료를 작성하였으며, 많은 시험계산을 통해 이 자료들을 가장 잘 설명할 수 있도록 충격압력 계산법과 구조 설계지침을 결정하였다. 파면 최대 경사각  $\phi_{ms}$ 는  $29^\circ$ 로 결정되었고, 손상이 발생하지 않는 설계기준은  $P_{mf} > P_e$ 로 결정되었다.

이 기준을 적용할 때 패널과 프레임에 대해 작

성된 총 486개의 자료 중 413개가 설명가능하여 설명가능 비율은 85%였다. 손상해석에 대한 보다 자세한 내용은 김용직 등(2003a)에 수록한다.

4. 실선 적용예

외판과 프레임의 설계기준  $P_{mf} > P_e$ 를 적용한 예로서 손상선과 비손상선 각 1척에 대한 외판두께 계산예를 보인다. 비교의 목적으로 실선 외판의 실제 두께와 서부조선회 지침(SNAWJ, 1987) 및 DNV규칙(DNV Rules, 2000), GL규칙(GL Rules, 2000)에 의한 외판두께 요구값도 함께 보인다(선급규칙에 의한 외판두께에서 부식여유는 제외하였음).

본 연구의 외판두께  $t_s$ 는 다음 식으로 계산하였다.

$$t_s = b \sqrt{\frac{P_e \phi}{\sigma_Y} \times 10^3} \text{ (mm)} \quad (6)$$

여기서,  $b$ 는 외판 짧은 변의 길이(m),  $P_e$ 는 설계 등가정수압(kN/m<sup>2</sup>),  $\sigma_Y$ 는 항복응력(N/mm<sup>2</sup>),  $\phi = \frac{(\sqrt{1+3\beta^2}-1)^2}{12\beta^2}$ ,  $\beta$ 는 가로세로비(aspect ratio)이다. 이는 외판을 균일 분포압력을 받는 4변 고정 직사각형 평판으로 가정하고 소성붕괴 이론을 적용하여 얻어졌다(김용직 등, 2003a).

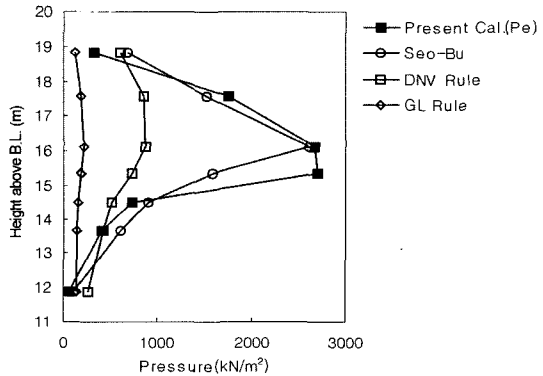
Table 2와 Fig. 3에 손상선박인 10번 선박의 예를 보인다. Table 2에서  $a$ 는 긴 변의 길이이며,  $\alpha$ 와  $\beta$ 는 각각 버텍선과 프레임선의 수직선에 대한 사잇각이다. 기선으로부터의 높이가 약 14m인 지정 상부는 외판 재질이 고장력강이고, 그 아래는 연강이다. 대략 높이 14m~19m 사이에서 손상이 발생하였으며, 이 부분의 외판 경사각  $\phi$ 는 최소 약 28° 정도로 매우 작다. 이 손상부분에서 실선의 외판은 DNV규칙과 GL규칙의 두께 요구를 만족하고 있음에도 불구하고 손상이 발생하였다. 입수충격을 반영하고 있는 본 연구의 방법과 서부조선회 지침은 이 손상부분에서 실제 적용됐던 두께보다 매우 두꺼운 외판이 필요함을 보이고 있으며, 이 두께에 미달했던 실선의 외판이 손상될 가

능성이 있음을 시사하고 있다.

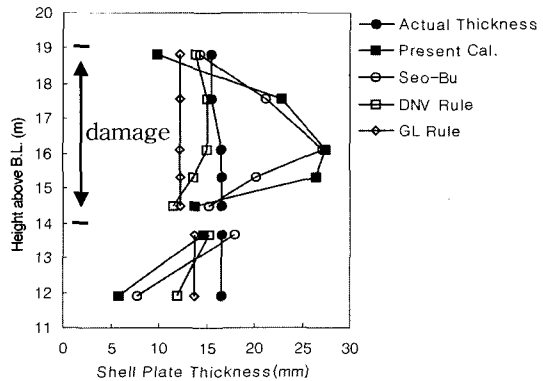
Table 3과 Fig. 4에 비손상선박인 2번 선박의

Table 2 Shell plate thickness calculation of no. 10 ship (at  $x/L=0.489$ )

Data No.	$x_p(m)$ (from AP)	$x_f(m)$ (from BL)	Material	$a(m)$	$b(m)$	$\alpha(deg)$	$\beta(deg)$	$\gamma(deg)$	$\phi(deg)$	Design Pressure(kN/m <sup>2</sup> )		$t_{req}(mm)$				Damage (N/Y)			
										Present $P_e$	Seo-Bu	DNV Rule	GL Rule	Present	Seo-Bu		DNV Rule	GL Rule	$t_{cor}$ (mm)
(1)	188.0	18.81	AH32	4.5	0.67	60.3	47.8	32.2	47.0	328	687	612	131	9.9	14.3	13.8	12.17	15.5	Y
(2)	188.0	17.57	AH32	4.5	0.67	71.1	60.1	30.9	33.8	1750	1518	853	184	228	21.3	15.1	12.17	16.5	Y
(3)	188.0	16.13	AH32	3.7	0.66	76.6	64.3	26.4	28.2	2670	2615	867	213	27.4	27.1	15.1	12.17	16.5	Y
(4)	188.0	15.34	AH32	2.9	0.65	77.1	59.7	21.4	32.2	2700	1580	731	192	26.4	20.2	13.6	12.17	16.5	Y
(5)	188.0	14.51	AH32	2.9	0.65	77.2	51.2	15.7	39.9	737	904	520	157	13.8	15.3	11.5	12.17	16.5	Y
(6)	188.0	13.65	Mild	3.4	0.81	78.6	45.8	11.7	44.8	405	605	423	138	14.7	17.9	15.2	13.78	16.5	N
(7)	188.0	11.89	Mild	3.4	0.81	74.7	23.8	6.87	66.3	64.3	113	270	137	5.8	7.7	12.0	13.78	16.5	N



(a) Impact pressure



(b) Shell plate thickness

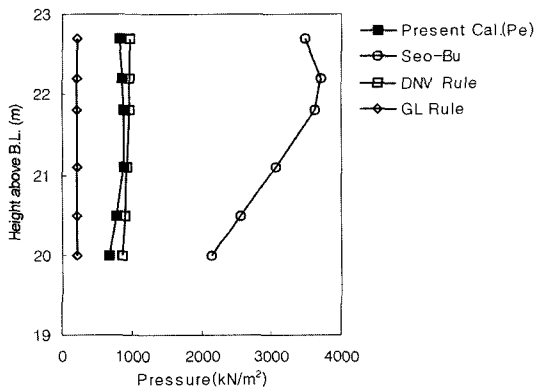
Fig. 3 Impact pressure and shell plate thickness of no. 10 ship (at  $x/L=0.489$ )

Table 3 Shell plate thickness calculation of no. 2 ship (at  $x/L=0.49$ )

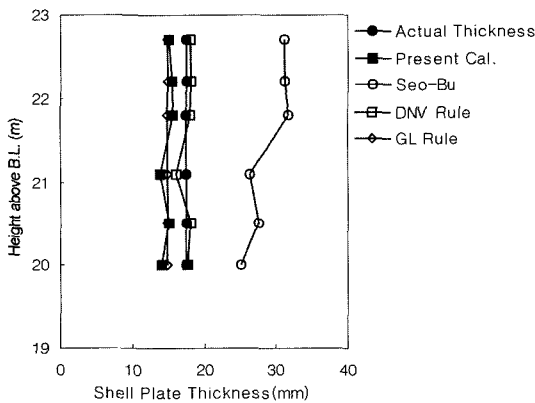
Data No.	$xp(m)$ (from AP)	$xz(m)$ (from BL)	Material	$a(m)$	$b(m)$	$\alpha(deg.)$	$\beta(deg.)$	$\gamma(deg.)$	$\phi(deg.)$
(1)	270.336	22.70	AH32	1.420	0.820	71.318	54.182	24.970	38.606
(2)	270.336	22.20	AH32	1.420	0.820	71.483	54.017	24.684	38.661
(3)	270.336	21.80	AH32	1.420	0.820	71.590	53.830	24.460	38.765
(4)	270.336	21.10	AH32	1.420	0.710	71.444	52.811	23.877	38.712
(5)	270.336	20.50	AH32	1.420	0.860	71.171	51.463	23.242	40.916
(6)	270.336	20.00	AH32	1.420	0.860	70.875	50.136	22.649	42.101

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)	820	3470	969	217	15.0	31.1	18.1	14.8	17.5	N
(2)	859	3709	968	218	15.4	32.1	18.1	14.8	17.5	N
(3)	884	3627	957	217	15.6	31.8	18.0	14.8	17.5	N
(4)	884	3051	925	211	13.8	26.3	16.0	14.8	17.5	N
(5)	765	2537	685	206	15.0	27.5	18.0	14.8	17.5	N
(6)	679	2142	858	199	14.1	25.2	17.6	14.8	17.5	N



(a) Impact pressure



(b) Shell plate thickness

Fig. 4 Impact pressure and shell plate thickness of no. 2 ship (at  $x/L=0.49$ )

예를 보인다. 본 연구의 방법이 실선의 외판두께 보다 얇은 값을 요구함을 확인할 수 있다. 이들로 부터 본 연구의 방법이 손상/비손상 예들을 잘 설

명하고 있음을 알 수 있다.

## 6. 결론

컨테이너선과 자동차 운반선의 선수부 플레어에 작용하는 충격압력의 계산법을 실선 손상해석에 기초하여 정립하였다. 선수부 상대운동의 계산에 비선형 효과를 고려하였으며, 파랑충격을 입수충격과 쇄파충격으로 구분하고, 각각에 의한 등가정수압을 산출하여 그중 큰 값을 설계 등가정수압으로 하였다.

대상선박 11척에 대한 충격압력 계산결과를 보였고, 최대 충격압력은 외판 경사각  $\phi$ 와 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었다. 외판 경사각  $\phi$ 의 최소값이 대략  $35^\circ$  이하인 선박들에서는  $1100kN/m^2$  이상의 최대압력이 발생하며, 특히  $\phi$ 가  $26^\circ$  정도까지 내려가는 선박에서는 최대  $2700kN/m^2$  정도의 압력도 나타났다.

본 방법에 의한 외판두께 계산에에서 본 연구의 방법이 외판두께 결정에 있어 타당함을 확인할 수 있었고, 서부조선회 지침은 대부분의 컨테이너선에서 과도한 외판두께를 요구함도 알 수 있었다.

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

## 참고 문헌

- 김용직, 신기석, 신찬호, 강점문, 김만수, 김성찬, 오수관, 임채환, 김대현, 김도형, 박익현, 송기중, 이춘기, 장영희, 2003a, "선수 플레어 구조손상 해석", 대한조선학회 논문집, 제40권, 제3호, pp.37-44.
- 김용직, 신기석, 신찬호, 강점문, 김만수, 김성찬, 오수관, 임채환, 김대현, 김도형, 박익현, 송기중, 이춘기, 장영희, 2003b, "선수 플레어 충격압력 추정과 구조설계에의 응용 - 탱커와 산적화물선 -", 대한조선학회 논문집, 제40권, 제3호, pp.22-28.
- 박성환, 이근배, 임채환, 2000, "슬래밍 충격하중을 고려한 선체 휘핑 해석", 대한조선학회 논문

집, 제37권, 제3호, pp.99-109.

- 박성환, 이재경, 오상현, 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, pp.87-94.
- 황종흠, 김용직, 김진영, 오일근, 1985, "비선형을 고려한 규칙파중 선체응답에 관한 연구", 대한조선학회지, 제22권, 제3호., pp.1-8.
- DNV Rules, 2000, Part 3, Chapter 1.
- GL Rules, 2000, Part 1, Chapter 1.
- Hagiwara, K. and Yuhara, T., 1974, "Fundamental Study of Wave Impact Loads on a Ship Bow (2nd Report) - Equivalent Static Pressure of Impact to Structural Response of a Rectangular Plate Panel", J. SNAJ, Vol. 136, pp.337-342.
- 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).
- Technical Committee of the Society of Naval Architects of West Japan, 1987, "Investigation on Ship Structural Damage(5)", Report No. 18 (in Japanese).
- Stavovy, A.B., and Chuang, S.L., 1976, "Analytical Determination of Slamming Pressures for High-Speed Vehicles in Waves", JSR, Vol. 20, No. 4, pp.190-198.

•Wagner, V.H., 1932, "Über Stoß- und Gleitvorgänge an der Oberfläche von Flüssigkeiten", Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik, Vol. 12, No. 4, pp.193-215.



< 김 용 직 >



< 신 기 석 >



< 신 찬 호 >



< 강 점 문 >



< 김 만 수 >



< 김 성 찬 >



< 오 수 관 >



< 임 채 환 >



< 김 대 현 >



< 김 도 형 >



< 송 기 종 >



< 이 춘 기 >



< 장 영 희 >