

## Green Water 충격하중을 받는 Water Breaker 의 구조 안전성 검토

신기석<sup>†</sup>\*, 양윤호\*, 심종원\*, 유병석\*

(주)한진중공업 기술연구소\*

### Examination for Structural Safety of the Water Breaker to Green Water Impact Load

Ki-Seok Shin\*, Yunho Yang\*, Jong-Won Sim\* and Byeong Seok Yu\*

Hanjin Heavy Industries & Construction Co., LTD. Technical Research Institute\*

#### Abstract

In rough seas, water breaker of the sea-going ships is subject to high impact loads due to the green water and some ships' water breaker suffers structure damage. So, a substantial research on the structural response caused by green water impact is required. In this paper, the green water flow on bow deck is simulated by FDM(finite differential method). Using the results of green water simulation, impact loads on water breaker are calculated. Calculation results of the 6200TEU container ship' s structural response to this green water impact pressure are shown and discussed for two condiered calculation conditions.

※ Keywords: Green water(갑판침입수), Water breaker(물결막이), FDM(유한차분법), Structural response(구조응답)

#### 1. 서론

최근, green water 에 의한 선수갑판 water breaker 의 구조적 손상이 많이 발생하고 있다. 하지만, 아직 선수갑판 water breaker 의 구조적 손상 해석을 위한 구체적인 대처방안을 제시하는 연구결과는 많지 않다.

Green water 하중에 대한 선수갑판 water

breaker 의 구조응답 해석을 위해서는 green water 충격하중의 적절한 추정이 필요하며, green water 충격하중에 대한 연구는 김용직/김인철(1996), Ogawa et al.(1997), Mizoguchi(1998), Fekken et al.(1999), 김용직 등(2004)에 의해 수행된 바 있다.

본 논문에서는 선수갑판 green water 유동을 천수파 방정식을 이용한 상류차분법으로 시뮬레이션하고, 유동 시뮬레이션에 의한 유동정보를 이용하여 water breaker 에 적용하는 충격하중을 구하였

<sup>†</sup>교신저자: seoksk@hanjinSC.com, 051-410-3353

다. 이 green water 충격하중을 S175 컨테이너선을 대상으로 부경대학교 예인수조에서 실시되었던 실험결과(김용직 등 2004)와 비교, 검토하였다. 또한 6200TEU 컨테이너선에 적용하여 선수갑판 water breaker의 구조 동적해석을 수행하였고, 그 결과를 고찰하였다.

2. 기본 방정식 및 수치계산법

기본 방정식으로 질량보존법칙과 운동량보존법칙으로부터 유도되는 천수파 방정식을 이용하였으며, 이 방정식에 유한차분법(finite differential method)을 적용하여 선수갑판의 green water 유동시뮬레이션을 수행하였다. 선체운동은 시간영역 대진폭 운동에 의한 유체역학적 하중의 비선형적 변화를 고려할 수 있는 비선형 스트립이론(황종홍 등 1985)을 이용하여 계산하였다.

갑판상에 횡방향으로 설치된 water breaker 등과 같은 수직 구조물에 작용하는 선수갑판으로부터의 높이( $z_{dk}$ )에 따른 충격압력은 Fig. 1의 직선 EFG와 같이 가정하고, green water 유동 시뮬레이션을 통하여 구해진 유동 정보를 이용하여 아래와 같이 구하였다.

$$P = p_b + \frac{p_m - p_a}{z_1} \cdot z_{dk}, \quad 0 \leq z_{dk} \leq z_1$$

$$= p_m - \frac{p_m}{z_2 - z_1} \cdot (z_{dk} - z_1) \quad (1)$$

$$, z_1 \leq z_{dk} \leq z_2$$

$$= 0.0, \quad , otherwise$$

$$z_1 = C_{z1} \cdot h, \quad C_{z1} = 0.8$$

$$z_2 = C_{z2} \cdot h$$

$$C_{z2} = C_v \cdot \frac{u^2}{2gh} + 1, \quad C_v = 0.3$$

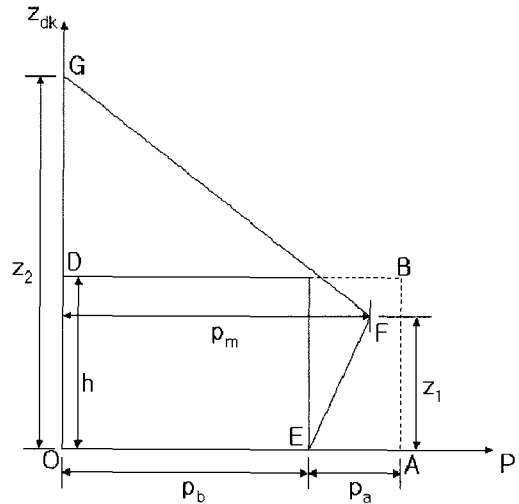


Fig. 1 Vertical distribution of pressure on water breaker

$$p_b = \rho u^2$$

$$p_a = C_s \cdot \frac{\rho \frac{d}{dt}(uh)}{h}, \quad C_s = 5.8$$

여기서  $u$ 는 전후방향 유속이고,  $h$ 는 green water 수위이다.  $p_b$ 는 운동량 보존법칙으로부터 구해질 수 있고,  $p_a$ 는  $uh$ 의 시간변화율을 고려하기 위한 압력으로  $C_s$ 는 실험과의 비교를 통해 구해졌다. 이들의 합을 water breaker에 작용하는 균일 분포압력으로 하였다. 하지만 실제 실험에서 구해지는 갑판으로부터의 높이( $z_{dk}$ )에 따른 충격압력은 균일 분포압력이 아니다. 균일 분포압력으로부터 충격압력의 수직방향 분포를 구하기 위해 실험과의 비교를 통해  $z_1$ 과  $z_2$ 를 결정하고 면적 OABD와 면적 OEFG가 동일하게 되는  $p_m$ 을 구한다. 이들로부터 식(1)과 같이 충격압력의 수직방향 분포를 구할 수 있다.

3. 계산결과 및 실험의 비교

부경대학교 예인수조에서 실시되었던 S175 컨테이너선의 실험결과(김용직 등 2004)와 비교를

통하여 본 계산법의 타당성을 검증하였다. Table 1 에 S175 컨테이너선에 대한 주요제원을 보인다. 하중상태는 만재상태, 선수각( $\mu$ )은  $180^\circ$ (선수파), 선속( $U$ )은 설계속도의 70%, 파고( $H_w$ )는 Zimmerman 의 파고식( $H_w=(\lambda/10.62)^{0.75}$ )에 의한 값, 파장과 선장의 비는 1.2 였다.

Fig. 2 에는 water breaker 의 한 지점에 작용하는 실험 및 계산으로부터 얻어진 충격압력을 비교하여 보이며, 위치는 선수갑판에서 3m 높이이고, 폭 방향으로는 중앙부분이다. 실험결과와 계산결과가 잘 일치함을 확인할 수 있다.

Fig. 3 에는 water breaker 에 작용하는 충격압력 최대값들의 수직방향 분포를 실험결과와 비교하여 보인다.  $z_{dk}=3m$  아래에서는 대체로 양호하지만, 갑판으로부터 높은 위치에서의 계산값은 실험값보다 대체로 낮게 계산되고 있다. 이는 실험에서 보였던 선수갑판상의 잔존유량의 영향을 계산에서는 고려하지 않았기 때문으로 생각된다.

Fig. 4 에는 water breaker 에 작용하는 충격력의 계측 및 계산결과를 보인다. 실험결과와 계산결과가 잘 일치함을 확인할 수 있다.

Table 1 Principal particulars of S175 container ship

Principal particulars	Values
LBP(L)	175.0 m
Breadth ( $B$ )	25.4 m
Depth ( $D$ )	15.4 m
Full load draft ( $T$ )	9.5 m
Full load displacement ( $\Delta$ )	24,742 ton
Design Froude no. ( $F_n$ )	0.275
Block coefficient ( $C_b$ )	0.572
LCG/L (Aft -)	-0.01417
Pitch gyradius/L	0.24
Dist. from midship of bow deck	61.25 m
Breadth of bow deck	11.97 m
Length of bow deck	30.45 m
Shear of bow deck	1.2°
Camber of bow deck	0.5 m

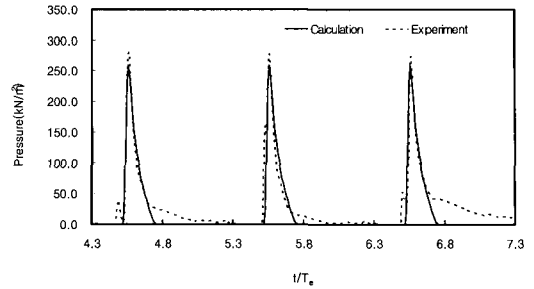


Fig. 2 Comparison of pressure on water breaker (S175 container ship,  $z_{dk}=3.0m$ )

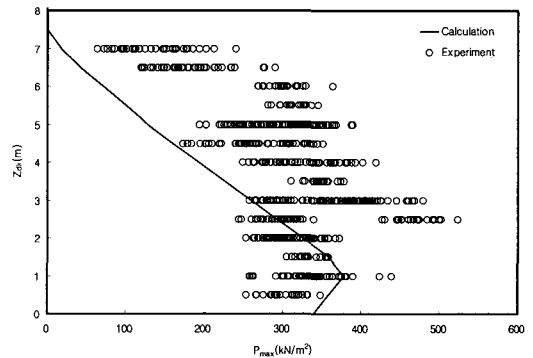


Fig. 3 Comparison of maximum pressure distribution on water breaker (S175 container ship)

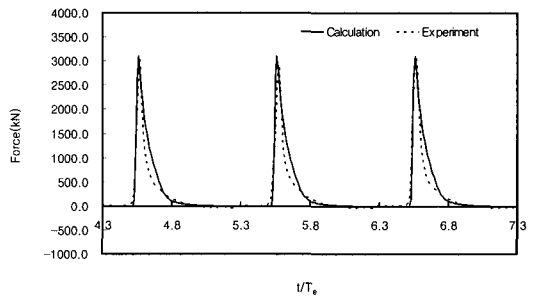


Fig. 4 Comparison of force on water breaker (S175 container ship)

#### 4. 6200 TEU 컨테이너선의 주요제원 및 하중조건

Green water 충격하중을 이용한 구조해석을 위

한 대상선은 6200TEU 컨테이너선으로서, 주요제원은 다음과 같다.

- Length ( $L_{bp}$ ) = 286 m
- Breadth (moulded) = 40 m
- Depth (moulded) = 24.6 m
- Design draft (moulded) = 12.0 m
- Block coefficient = 0.65
- Design speed = 25.1 knots

하중 계산조건은 2 가지 경우를 고려하였다. 하나는 S175 컨테이너선과 동일한 하중조건이고, 다른 하나는 선속은 낮추고 파고는 높은 하중조건이다. 이들 하중조건들은 아래와 같다.

<Case 1>

- Heading angle = 180.0°
- Wave height = 13.554m (Zimmerman's Eq., Sea state 8)
- Wave length / Ship length = 1.2
- Ship speed = 16.8 knots (Design speed 의 70%)

<Case 2>

- Heading angle = 180.0°
- Wave height = 17.404m (Sea state 9)
- Wave length / Ship length = 1.2
- Ship speed = 10.0 knots

이상의 경우들에 대한 계산으로부터 water breaker 에 작용하는 하중을 구하였다. Fig. 5 에는 water breaker 의 한 지점(선수갑판에서 3m 높이이고, 폭방향으로는 중앙부분)에서의 충격압력의 시간이력을 보이고, Fig. 6 에는 water breaker 에 작용하는 충격압력 최대값들의 수직방향 분포를 보인다. 구조 동적해석을 위한 하중으로는 이들 계산된 압력을 50%로 줄여서 사용하였다. 이는 water breaker 에 대한 갑판상 의장품들의 차폐효과를 감안한 것이다.

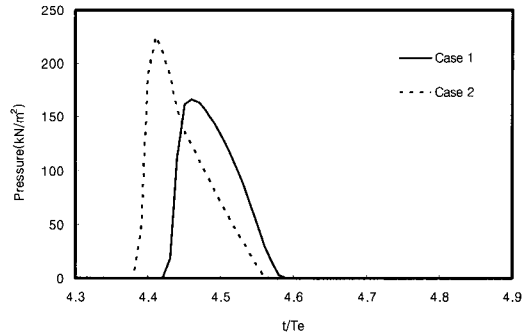


Fig. 5 Pressure on water breaker (6200TEU container ship,  $z_{dk}=3.0m$ )

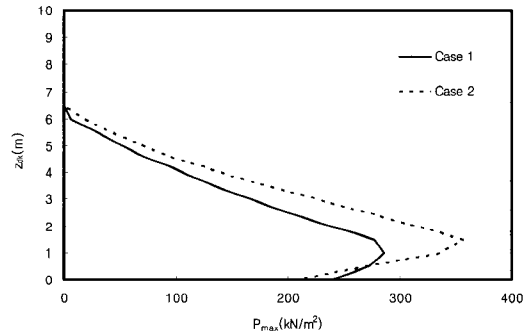


Fig. 6 Maximum pressure distribution on water breaker (6200TEU container ship)

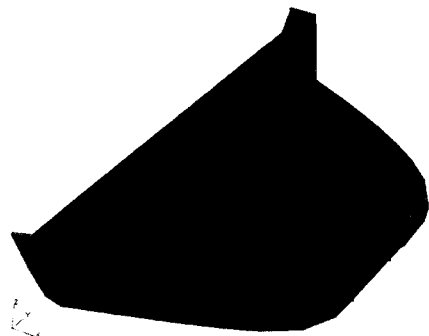


Fig. 7 F.E. Model

5. 6200 TEU 컨테이너선의 유한요소해석

water breaker 의 구조강도 평가를 위한 동적해

석을 위해 water breaker 주위를 상세하게 모델링 하였으며, 3 차원 유한요소 모델의 범위는 Fig. 7 과 같다. 상세 모델링된 부분에서 평판으로 구성된 외판, 갑판, 거어더, 웨브 등은 판요소로 이상화하였으며, 일부 2 차 부재는 보요소로 이상화하였다. 그 외의 부분에서는 외판만을 판요소로 이상화하고, 나머지는 보요소로 이상화하였다. 구조 해석에는 범용 유한요소해석 프로그램인 NASTRAN 과 PATRAN 을 이용하였다. Node 수는 12,833 개이며, element 수는 14,998 개이다. Fig. 7 의 모델 아랫부분에는 고정 경계조건을 적용하였다.

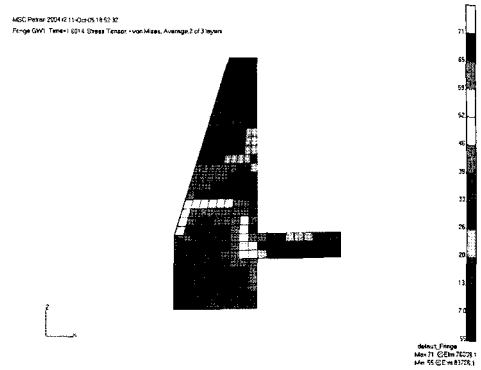
2 가지 경우에 대해 수행된 수치계산으로부터 얻어진 충격하중을 선수갑판에 동적하중으로 가할 때 water breaker 주위의 주요부재에서 발생하는 최대 응력값들을 Fig. 8 과 Fig. 9 에 보인다. Fig. 8 의 (a)와 (b), Fig. 9 의 (a)와 (b)에서 green water 충격하중으로 발생하는 모멘트에 대응하여 stay 의 밑단 및 water breaker 하부지지 구조물 부분에서 응력이 높게 나타나는 전형적인 모습을 확인할 수 있다. Fig. 8 의 (c)와 Fig. 9 의 (c) 에서 5230 off C.L. Elev. 위치의 water breaker 하부지지 구조물에서 case 1 에서는 174 MPa 로 case 2 에서는 149 MPa 로 최대응력이 나타남을 확인할 수 있다.

본 구조해석에서 최대응력이 항복응력에 훨씬 못 미치는 결과가 나타났음을 확인할 수 있다. 이는 본 구조해석에 사용되었던 water breaker 가 아직은 초기설계단계에 있어 유사 실적선들을 바탕으로 개략적으로 모델링하는 과정에서 과도한 강도를 가지도록 모델링되었기 때문으로 생각된다.

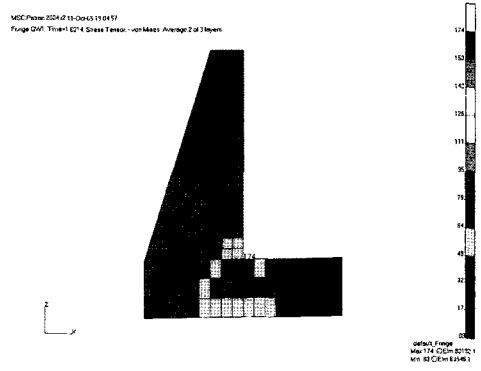
6. 결론

선수갑판 green water 유동을 천수파 방정식을 이용한 상류차분법으로 시뮬레이션하고, 유동 시뮬레이션에 의한 유동정보를 이용하여 water breaker 에 작용하는 충격하중을 구하였다. 그 결과를 실험결과와 비교, 검토하여 실험결과와 대체로 잘 일치함을 확인하였다.

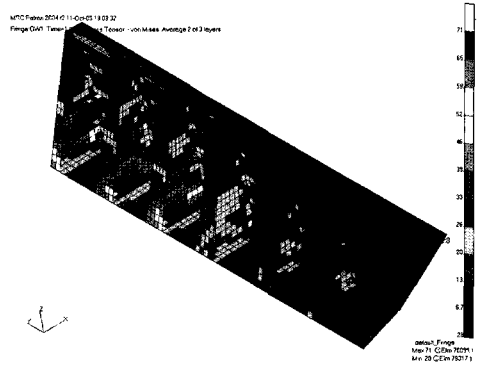
6200TEU 컨테이너선을 대상으로 구조 동적해석을 수행하였다. Green water 충격하중으로 발



(a) C.L. Elevation

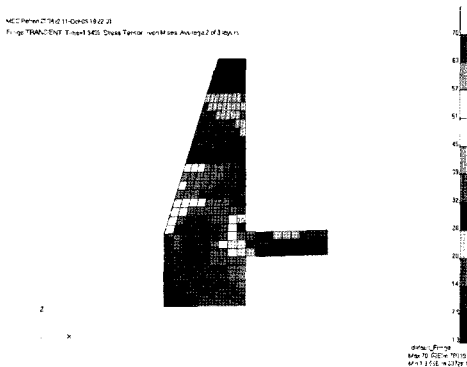


(b) 5230 off C.L. Elevation

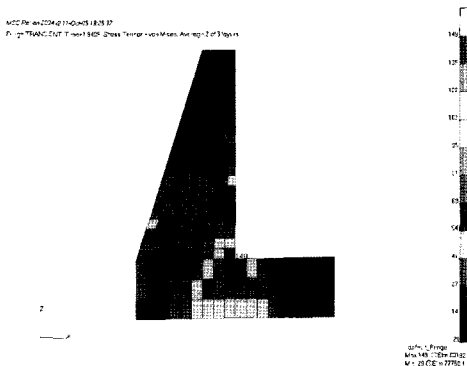


(c) Water breaker (half breadth)

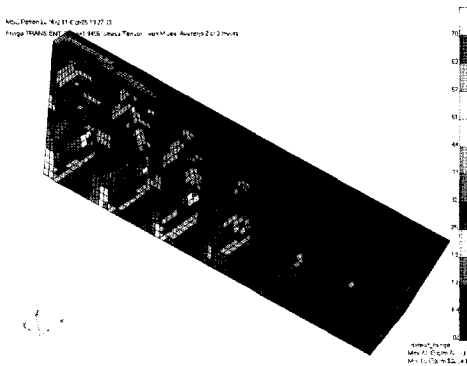
Fig. 8 von-Mises stress distribution at t=1.6014sec (Case 1, unit:MPa)



(a) C.L. Elevation



(b) 5230 off C.L. Elevation



(c) Water breaker (half breadth)

Fig. 9 von-Mises stress distribution at  $t=1.9496\text{sec}$  (Case 2, unit:MPa)

생하는 모멘트에 대응하여 stay 의 밀단 및 water breaker 하부지지 구조물에서 응력이 높게 나타나

는 전형적인 모습을 확인할 수 있었다.

향후, 실제 손상이 있었던 실적선들을 대상으로 본 논문에서 보다는 엄밀한 검토를 할 필요가 있으며, 본 논문에서는 고려되지 않았던 좌굴에 의한 손상여부도 고려할 필요가 있다고 생각된다.

참 고 문 헌

- 김용직, 김인철, 1996, “ 단순화 모델에 의한 2 차원 갑판 침입수의 수치 시뮬레이션,” 대한조선학회 논문집, 제 33 권, 제 2 호, pp. 1-12.
- 김용직, 신기석, 허주호, 서용석, 김화수, 하태범, 하영록, 추교덕, 박경원, 김대웅, 권승민, 이춘기, 김문성, 한용연, 이현호, 문중수, 김대현, 도형민, 2004, “ 선수갑판 Green Water 에 대한 수치계산 및 실험,” 대한조선학회 추계학술대회 논문집.
- 황종흠, 김용직, 김진영, 오일근, 1985, “ 비선형성을 고려한 규칙파중 선체응답에 관한 연구,” 대한조선학회지, 제 22 권, 제 3 호.
- Fekken, G., Veldman, A.E.P. and Buchner, B., 1999, "Simulation of Green Water Loading Using the Navier-Stokes Equations," Numerical Ship Hydrodynamics.
- Mizoguchi, S., 1988, "Analysis of Shipping Water with the Experiments and the Numerical Calculations," J.SNAJ, Vol. 163.
- Ogawa, Y., Taguchi, H. and Ishida, S., 1997, "Experimental Study on Shipping Water Volume and its Load on Deck," J.SNAJ, Vol. 182.



< 신 기 석 >



< 양 윤 호 >



< 심 종 원 >



< 유 병 석 >