

# 전산유체역학을 이용한 컨테이너 선수갑판 쇠파판에 작용하는 충격하중 계산

이서현·류재문<sup>†</sup>  
충남대학교 선박해양공학과

## Numerical Computations of Impact Forces Acting on Breakwater Plate of Bow Deck of Container Carrier

Seohyun Lee·Jaemoon Lew<sup>†</sup>  
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chungnam National University

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.

In this study, numerical studies using a Computational Fluid Dynamics(CFD) method were carried out to estimate the green water load acting on the breakwater plate of bow deck of container carrier, KCS. For the green load water load analysis, a full load condition was considered. The relative motions at bow deck were calculated from the seakeeping analysis. Statistical analysis were carried out to estimate the long term response of the relative motions with the North Atlantic wave scatter diagram. The equivalent design wave was determined from the RAO of the relative motions at bow and the long term responses. CFD geometry modeling with three different locations and simulations for the green water loads were carried out in the equivalent design waves. A commercial CFD program, STAR-CCM+ Ver. 8.04, was used and the green water pressures on the breakwater plate were calculated successfully. The CFD analysis for green water loads can be used as a useful design tool for the evaluation of the breakwater plate of the container vessel.

**Keywords** : Green water(그린 워터), Bow deck(선수 갑판), Breakwater plate(쇄파판)

### 1. 서 언

최근 컨테이너선은 보다 대형화되고 고속화되고 있다. 컨테이너선의 선수 플레어 구조는 슬래밍에 의해 충격압을 받을 가능성이 높으며, 선박이 커질수록 선수 플레어 형상이 커지게 되어 거친 해상에 슬래밍을 받을 확률도 높아지게 된다(Lee, et al., 2007). 게다가 항로에서 운항중의 선체는 불안정하고 거친 파도, 바람, 조류로 인한 하중에 취약하다. 이러한 해상 상태로 인해 발생할 여지가 있는 구조적 문제들에 대해 선주나 선급 등의 관심이 커지고 있다(Ramos, et al., 2000). 그린 워터는 거친 해상을 항해하는 선박이 높은 파도와 선체의 과도한 운동에 의해 해수가 갑판위로 넘침으로써 겪게 되는 현상으로서 선수갑판의 구조적 손상뿐만 아니라 선박 자체의 상실까지도 초래한다(Bai, et al., 1992).

그린 워터의 충격력으로 선수 갑판 구조물의 파손 염려로 브레이크 워터를 설치한다. 하지만 쇠파판(BWP)에 충격력이

작용하기 때문에 구조적으로 문제가 발생할 여지가 있어 충격력 평가가 필요하다.

충격력 평가를 위한 해석 기법에는 포텐셜 기반의 기존 운동 평가기법이 있지만 이것은 쇠파 현상 모사에 어려움이 있어 실제로 모형시험을 수행하고 있다. 하지만 모형시험수행에 경제적 시간적으로 어려운 부분이 있어 수치해석을 통하여 연구를 진행하였다.

본 연구는 그린 워터로 인한 선체 운동에 대해 CFD를 이용하여 연구한 결과(Kim & Lee, 2011)를 참고 하였다. KRISO의 공개 선형인 KCS를 대상으로 컨테이너선의 선수 갑판에 그린 워터 발생 시 갑판 상부 쇠파판에 작용하는 충격하중을 CFD를 이용하여 수치 해석을 수행하고, 쇠파판 위치에 따른 충격력 경향에 대하여 조사하였다. 이를 위해, KCS의 선형에 대해 다양한 입사파에 대한 규칙파 중 운동성능을 평가하고, 선수부 상대변위 RAO(Response Amplitude Operator) 성능을 계산하였다. 수치 시뮬레이션에 적용하기 위한 설계파 산정을 위해서, North Atlantic wave scatter diagram을 이용

한 장기해석을 수행하여 장기 해석치를 도출하였다. 도출된 장기 해석치와 상대변위 RAO 최대치를 기준으로 설계파고를 결정하였으며 상대변위 RAO에서 최대값을 가지는 주기를 선정하였다.

결정된 설계 파고에 대해 그린워터 충격하중을 평가하기 위한 규칙파 중 CFD 해석을 수행하였다.

CFD 해석 결과 충격력은 쇄파판의 위치가 앞쪽에 위치할 수록 크게 나타났고, 쇄파판 내부 중앙과 바닥(갑판)에 가까울수록 크게 나타나는 것을 확인하였다. 이를 통해 CFD 해석을 통한 그린워터 충격압력 계산은 정성적으로 쇄파판 위치 결정 등의 설계 도구로 사용 가능할 것이라 판단된다.

## 2. 수치해석 방법

### 2.1 지배방정식

본 연구에서 컨테이너선의 선수 갑판에 그린 워터 발생 시 갑판 상부 쇄파판에 작용하는 충격하중을 상용 CFD 프로그램인 STAR-CCM+ Ver 8.04 (CD-adapco, 2013)를 사용하여 수치해석을 수행하였다. 비압축성 유동에 관한 지배방정식은 연속방정식(continuity equation)과 운동량 방정식(navier-stokes equation)으로서 다음 식으로 표시된다.

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial (\overline{u'_i u'_j})}{\partial x_j} + \frac{P}{\partial x_i} - \frac{1}{Re} \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{1}{F_n^2} = 0 \tag{2}$$

여기서  $U_i = (U, V, W)$ 는 x, y, z 방향 평균속도 성분  $u'_i = (u', v', w')$ 는 x, y, z 방향의 난류변동(fluctuating)속도성분이며, 속도성분은 유입속도  $U_0$ 로, x, y, z는 대표 길이 L로, 압력 P는  $\rho U_0^2$ 로 무차원화 된 식이다. 레이놀즈수는  $Re=U_0 L/\nu$ 와 같이 정의되며,  $-\overline{u'_i u'_j}$ 는 레이놀즈 응력(reynolds stresses)으로서 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$-\overline{u'_i u'_j} = \nu_t \left( \frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \tag{3}$$

여기서,  $\nu_t$ 는 와점성계수(coefficient of eddy viscosity)를, k는 난류 운동에너지를 나타낸다.

### 2.2 수치해석 방법

유동해석을 위하여 지배방정식인 RANS 방정식의 해를 구하기 위해 유한체적법(Finite Volume Method, FVM)을 기반으로 하는 상용코드인 STAR-CCM+ 8.04 Version을 사용하였다.

본 연구에서 유체력에 의해 기진되는 운동하는 강체와 유동장의 연성문제를 해석하기 위하여 유체력을 통해 운동방정식을 풀고 그에 대한 결과 값, 즉 변위만큼 배를 이동, 회전시킨 후 격자를 재생성하여 유체 유동을 계산하는 해석 기법을 통해 해석을 수행하였다. 시간 이산화는 2차 음해법(second order implicit method)을 사용하였다. 지배방정식의 확산항은 2차 중심차분, 대류항은 2차 upwind 방법으로 이산화 하였고, 속도-압력 연성은 SIMPLE 방법을 사용하였다. 난류모형은 Realizable k-ε모형을 사용하였고, 벽함수는 표준 벽함수(standard wall function)를 사용하였다. 유체 경계면의 자유 수면은 VOF(Volume of Fluid)법을 적용하였다. 주어진 파주기와 파고를 구현하기 위하여 Stokes 5th order wave 모델을 사용하였다. 이를 위해 유입경계에서의 경계조건은 시간에 따라 volume fraction 높이 변화를 주어 stokes 5th order wave를 구현 하였다.

### 2.3 Time-step 결정

CFD 해석에서 충격압력의 정량적 값을 결정하는데 중요한 요소인 Time-step에 따른 영향을 조사하였다. 수치 해석 프로그램에서 파 해석 시 파주기(T)/200~500으로 수행하는 것에 대한 추천을 참고하여 T/100, T/250, T/500 세 가지의 경우에 대하여 쇄파판에 작용하는 충격력을 확인하였다. 여기서 T는 파의 주기를 나타낸다. 시간간격은 파고 17.134 m, 주기 12.57 sec인 파 조건에서 쇄파판에 작용하는 최대 압력 값을 통해 확인하였다. 수치계산은 25주기를 계산하였고 마지막 5주기의 평균 또는 최대 및 최소 압력 값을 확인하였다.

Table 1 Time-step test for maximum pressures on breakwater plate

	Time-step	Maximum pressure (kPa)
T1	T/100	70.0953
T2	T/250	82.1857
T3	T/500	82.2154

Table 1에 시간 간격에 따른 최대 압력 값을 보였다. 계산 결과 T2와 T3은 최대 압력 값이 약 0.03% 차이를 보이고 있어 이후 계산에서는 T/250을 기준으로 수치해석을 수행하였다.

### 3. 수치해석 모델 및 조건

#### 3.1 대상선

본 연구에서는 KRISO의 공개 선형인 KCS(KRISO container ship)을 사용하였다. 실선 축적으로 수치해석을 수행한 KCS의 형상에 대해 Fig. 1, KCS의 실선 축적에 대한 제원은 Table 2에 나타내었다.



Fig. 1 Geometry modeling of KCS for CFD analysis

Table 2 Principal dimensions of KCS

	Dimension
LBP	230.0 m
Beam	32.2 m
Depth	19.0 m
Draft	10.8 m
Displacement	53,330 ton
KG	13.8 m
GM	2.0 m
Kyy	57.5 m

#### 3.2 쇠파판 형상 및 위치

쇠파판의 높이와 위치를 결정하기 위하여 대상선 KCS와 유사한 제원의 컨테이너선을 조사하였으며, 해당 유사 컨테이너선의 쇠파판을 토대로 쇠파판의 높이는 3.5m로 결정하였다. 쇠파판의 위치는 FP( $x=230$  m)로부터 선미방향으로 15.0m 떨어진 좌표에 BWP 1( $x=215$  m)을 위치시키고, 이를 기준으로 잡았다. 쇠파판의 위치에 따르는 충격하중 변화를 계산하기 위하여 기준 쇠파판 BWP 1으로부터 FP 방향으로 5.0m 간격으로 BWP 2( $x=220$  m), BWP 3( $x=225$  m)을 위치시켰다. Table 3에 각 위치에 따른 쇠파판의 높이와 폭에 대한 치수를 나타내었으며, Fig. 2-Fig. 4에 위치별 세 가지 쇠파판 형상을 나타내었다.

Table 3 Dimensions of breakwater plate

	Width(m)	Height(m)
BWP 1	16.06	3.5
BWP 2	12.04	3.5
BWP 3	8.02	3.5

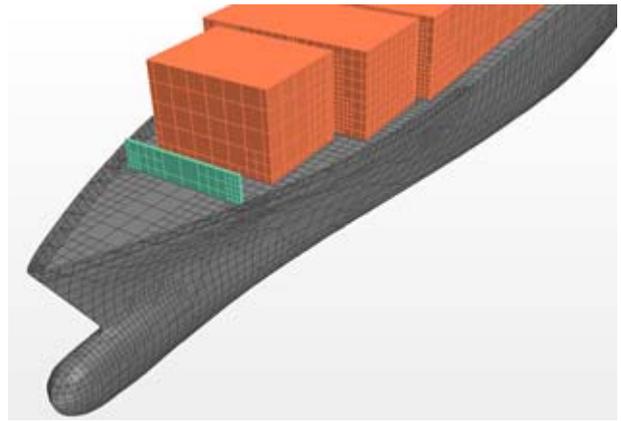


Fig. 2 Geometry modeling of BWP 1

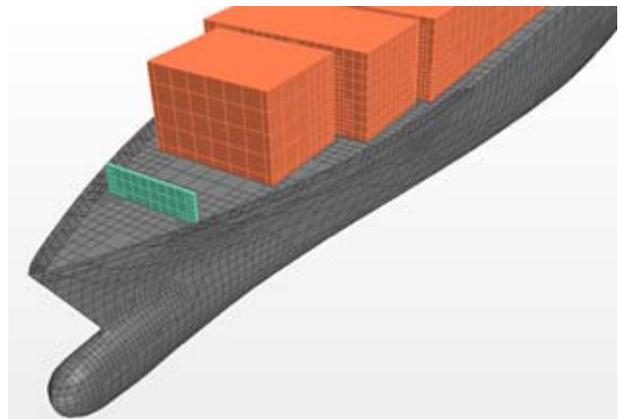


Fig. 3 Geometry modeling of BWP 2

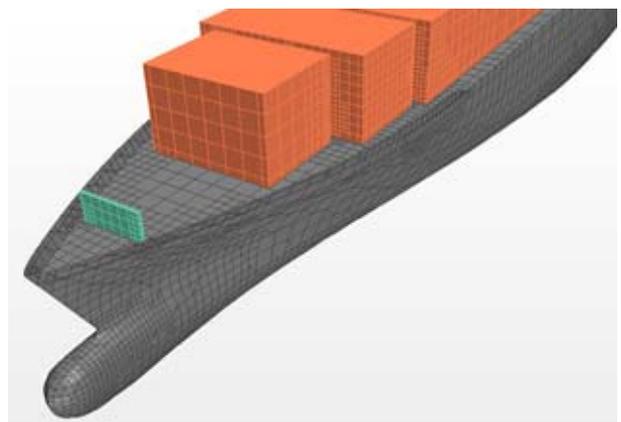


Fig. 4 Geometry modeling of BWP 3

쇠파판의 폭이 각각 다른 이유는 통상적인 컨테이너선의 쇠파판이 불워크(bulwark)로부터 1 m씩 떨어져 위치하기 때문에 쇠파판이 선수 쪽으로 위치할수록 폭이 좁아지도록 모델링 하였다.

쇠파판의 입력 평가 위치는 총 12개로 쇠파판의 폭 방향 높이 방향에 따라 반폭 4등분, 높이 4등분한 균등한 거리에 위치시켰다. Fig. 5에 쇠파판의 입력 평가 위치를 나타내었다.

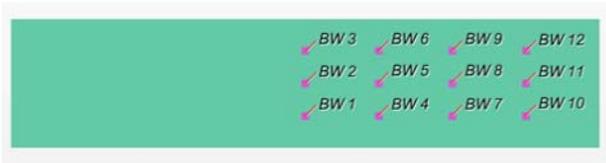


Fig. 5 Pressure sensors on breakwater plate

### 3.3 경계 조건

수치계산을 위한 기본 좌표계로 선체 길이 방향을 x축, 연직 상방향을 z축, 그리고 폭 방향을 y축으로 하는 직교좌표계를 사용하였다.

경계조건으로 유입경계는 FP로부터 1.0 LBP, 외부경계는 현측으로부터 1.0 LBP만큼 떨어져 있으며, 유출경계는 AP로부터 3.0 LBP 떨어져 있다. 수치계산을 수행할 때 각 경계면에서 주어진 경계조건은 Fig. 6, Table 4에 나타내었다.

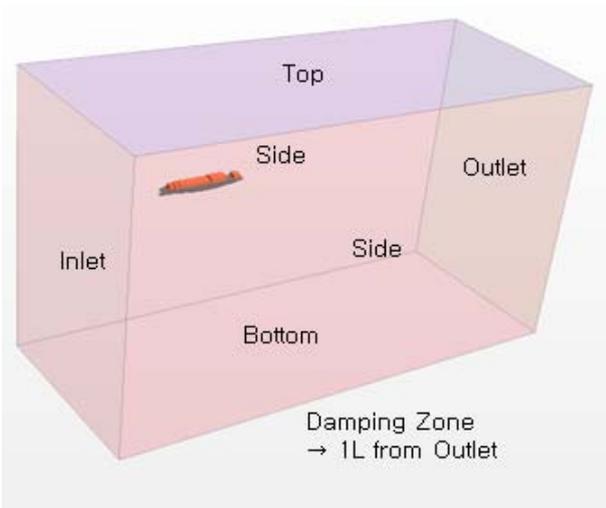


Fig. 6 Boundary conditions

Table 4 Boundary conditions and domains

Inlet	Velocity inlet	1.0 LBP
Outlet	Pressure outlet	3.0 LBP
Side	Velocity inlet	1.5 LBP
Top	Symmetry	1.0 LBP
Bottom	Velocity inlet	2.0 LBP
Hull	Wall (no-slip condition)	-

수치 해석 오류로 인한 역류가 발생하는 것을 막기 위하여 유출경계로부터 한 파장(1λ) 길이의 강제 감소 영역을 설정하였다 (Jun, et al., 2011).

### 3.4 격자계

선체 주위 3차원 공간격자는 선수, 선미 모두 H-type의 비

정렬 격자계로 구성하였다. Trimmer 격자를 사용하였으며 벽면에 대해서는 prism layer를 사용하여 격자를 생성하였다. 또한, 영역별로 격자의 크기를 조절하기 위하여 특정 체적 형상을 생성하여 격자에 적용하였다. 그린 워터로 인한 유동을 알아보기 위하여 자유수면 주변 및 쇠파판 주변, 선수, 선미 등 압력 변화가 크게 나타나는 영역 등에 대하여 격자를 조밀하게 분포 시켰고, 약 25만개의 격자를 사용하였다. KCS 주위 격자 및 공간 격자는 Fig. 7, Fig. 8과 같다. 또한 유체력에 의해 결정된 변위만큼 이동하는 강체에 의해 변동하는 유동장을 구현하기 위하여 격자를 중첩 격자계(overset grid system)로 구현하였다.

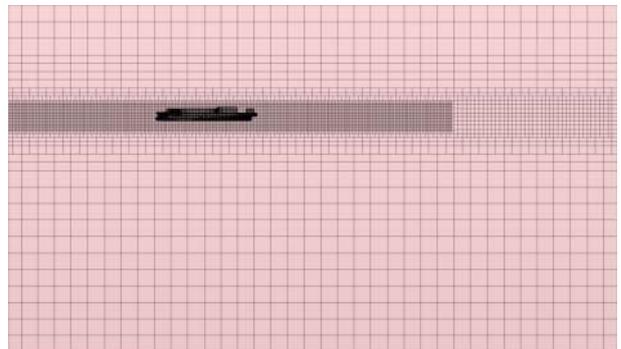


Fig. 7 Mesh generation of KCS

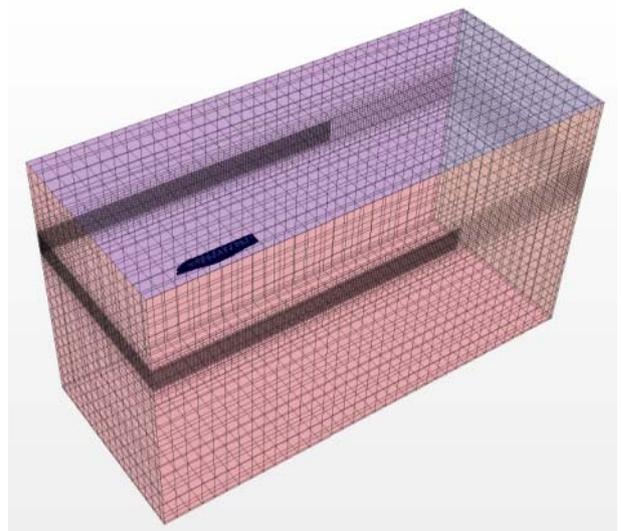


Fig. 8 Volume mesh of KCS

## 4 해석 방법

### 4.1 해석 절차

컨테이너선의 선수 갑판에 작용하는 그린 워터 하중을 계산하기 위하여 KCS의 운동성능 계산 결과로부터 그린 워터가

발생할 수 있는 대상 파고를 선정한다. 이를 위하여 KR3D 프로그램을 사용하였으며, 180도 선수파부터 0도 뒤파도 (following sea)까지 30도 간격으로 규칙파 중 KCS의 6자유도 운동에 대한 RAO(Response Amplitude Operator)를 계산한다. 이 결과를 이용하여 선수부 쇠파판과 입사파의 상대 운동(relative motion)에 대한 RAO를 계산한다. 그리고 수치 시뮬레이션에 적용하기 위한 설계파 산정을 위하여 North Atlantic wave scatter diagram을 이용한 장기해석을 수행하여 장기 해석치를 도출한다. 장기 해석치와 RAO 최대값을 기준으로 EWH(Equivalent Wave Height)를 선정한다. 이 설계파고와 상대운동 RAO에서 최대값을 가지는 주기를 선정하여 그린 워터 충격하중을 평가하기 위한 규칙파 중 CFD 해석을 수행한다.

### 4.2 Equivalent wave height 결정

상대 운동에 대한 RAO와 장기해석 계산 값을 사용하여 Equivalent wave height(이하 EWH)를 결정하였다. Fig. 9은 KR3D를 통해 도출된 KCS의 선수부에 작용하는 상대 운동(relative motion)에 대한 RAO이다.

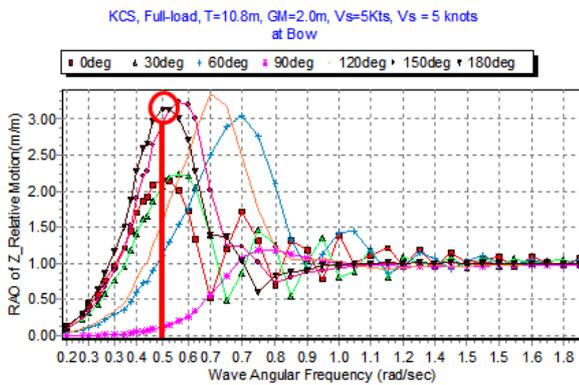


Fig. 9 RAOs of relative motion at bow

North Atlantic wave scatter diagram을 이용한 장기해석을 수행하여 얻은 장기 해석치와 RAO 최대값을 기준으로 식 (4)를 이용하여 EWH를 선정하였다.

$$EWH = 2 \frac{LTR}{RAO^{max}} \quad (4)$$

식 (4)에서 은 LTR은 Long-term response, RAOmax 는 Maximum RAO amplitude 이다. 제공된 값으로 선정된 EWH는 17.134 m였으며, Fig. 9에 보인 바와 같이 상대운동 RAO에서 최대값을 가지는 주기를 선정하였다. Fig. 9로부터 파의

주기는 180도의 선수파 RAO를 기준으로 정점인 12.57초로 결정하였다. 그것은 120도와 150도의 상대변위 값은 180도보다 다소 크지만 본 논문에서는 쇠파판에 작용하는 충격압력을 평가하는 것이 목적이므로 횡동요에 의한 그린 워터는 각도상 쇠파판의 충격력에 많은 영향을 주지 않을 것이라 판단하였기 때문이다. 따라서 쇠파판의 충격력에 큰 영향을 줄 것으로 예상되는 180도를 선정하였다. 선정된 설계파의 조건에 대하여 Table 5에 나타내었다.

Table 5 Ship speed and design wave condition

Ship speed	5knots
Wave height	17.134m
Wave period of encounter	12.57sec
Wave heading	180deg

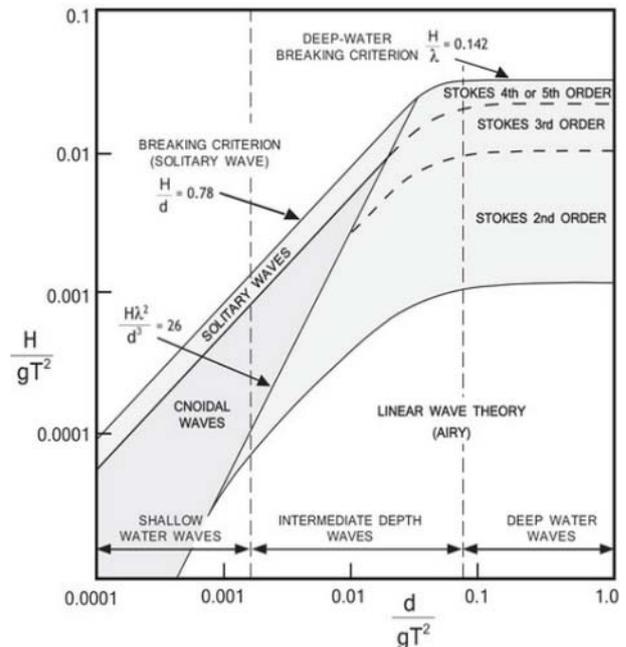


Fig. 10 Applicability ranges of various waves

선속을 5 knots 결정한 이유는 그린 워터가 발생하는 극단적인 해상상황에서는 부가 저항 때문에 배의 전진이 어렵다고 판단하였기 때문이다

수치해석에서 앞에 선정된 파를 구현하기 위하여 Stokes 5th order wave 모델을 사용하였다. Stokes 5th order 를 사용한 이유는 선정된 파 조건이 Fig. 10 (Det Norske Veritas, 2010)에 보인 바와 같이 Stokes 4th, 5th order 영역에 있으나, 실제 파 형상이 Stokes 5th order와 가장 유사하게 구현할 수 있기 때문이다. 결정된 설계 파고에 대해 파장이 배의 길이와 같은 Stokes 5th order wave 모델을 사용하여 그린워터 충격하중을 평가하기 위한 규칙파 중 CFD 해석을 수행하였다.

## 5. 수치해석

규칙파 중 180도 선수파의 상하동요와 종동요 운동을 하는 선체가 그린 워터로 인해 받는 충격하중을 확인하기 위한 CFD 유동 해석을 수행하였다. 본 연구에서는 실선 축적의 선체의 선수 갑판에 그린 워터를 만들기 위하여 KCS 운동 성능 평가 결과를 토대로 선속 5.0 knots, 선수파 상태의 파고 17.134 m, 파 주기 12.57초 조건을 주어, 쇄파판의 위치별 충격하중에 대하여 계산을 수행하였다.

### 5.1 쇄파판 내 압력 평가

설계파 조건에 대한 CFD 해석 결과,  $t=178.092$  초 일 때 선수부가 아래로 향하게 되어 파가 갑판에 도달한 순간이며,  $t=179.198$  초 일 때 그린 워터로 인해 갑판과 BWP 1까지 물에 잠기는 순간이다.  $t=180.304$  초 일 때는 갑판과 BWP 1에 최고 충격력이 지나간 직후의 모습이다. Fig. 11 - Fig. 13에 위에 언급한 파도가 선수부 쇄파판에 충격을 가하는 대표적인 파 형상(wave profile)을 나타내었다.

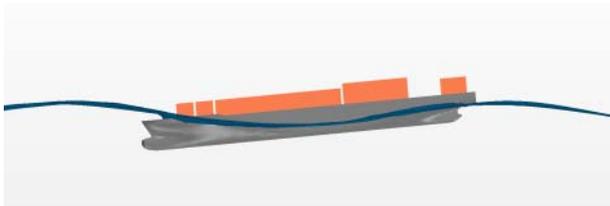


Fig. 11 Instantaneous snapshots of ship motion and green water on deck at  $t=178.092$  sec

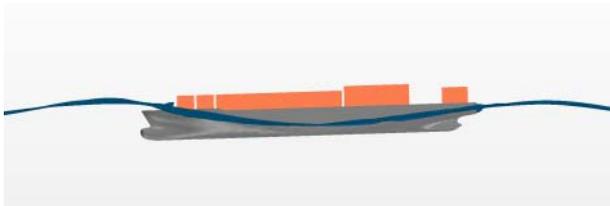


Fig. 12 Instantaneous snapshots of ship motion and green water on deck at  $t=179.198$  sec

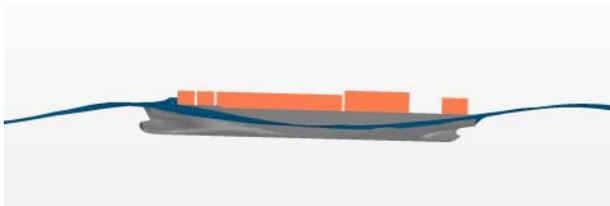


Fig. 13 Instantaneous snapshots of ship motion and green water on deck at  $t=180.304$  sec

BWP 1의 폭 방향 주요 포인트에 대한 압력 평가 결과는 다음과 같다. Fig. 14에 쇄파판의 폭 방향에 대한 압력 경향을 알아보기 위한 주요 포인트를 보였고, 각 포인트에 대한 결과는 Fig. 15에 나타내었다. Fig. 15를 보면 BW 1, BW 4, BW 7, BW 10의 순서로 그린 워터로 인한 최대 압력 값을 갖는 것을 볼 수 있다. 이로부터 BWP 1의 중앙부 영역이 최대치의 압력을 받는 것을 알 수 있다.



Fig. 14 Locations of beamwise pressure sensors

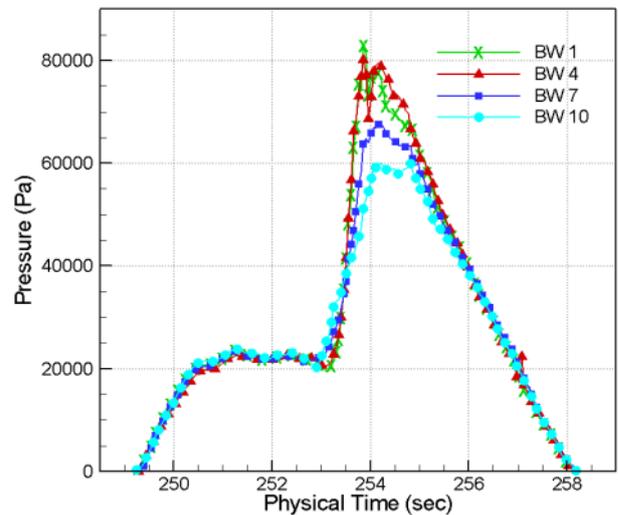


Fig. 15 Time history of green water pressures at different points located at the lower part of BWP 1

Fig. 16에 쇄파판의 높이 방향에 대한 압력 경향을 알아보기 위한 주요 포인트를 보였고, 그에 대한 결과는 Fig. 17에 나타내었다. Fig. 17으로부터 그린 워터로 인한 최대 압력은 BW 1, BW 2, BW 3의 순서로 나타나는 것을 알 수 있다. 이로부터 BW 1과 같이 갑판에 가까울수록 큰 충격압력을 받는 것을 알 수 있다.

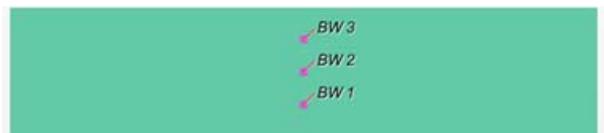


Fig. 16 Locations of centerline pressure sensors

Fig. 17의 BW 1 포인트가 최소압력일 때, 최대 압력일 때, 파가 지나간 후 최소 압력일 때를 Fig. 18 - Fig. 21에 충격압력을 주는 시간과 그때의 파 형상을 나타내었다. 충격압력

은 0에서 급격히 증가하는 것이 일반적이거나, Fig. 17의 압력 특성은 Fig. 21에 보인 바와 같이 물이 빨리 빠지지 않고 남아 있어 충격압 전에 약간의 압력을 보이는 것이라 판단된다.

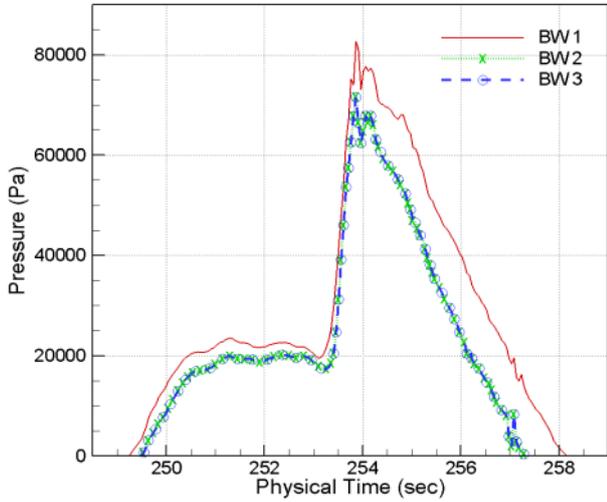


Fig. 17 Time history of green water pressures at different points located at the centerline of BWP 1

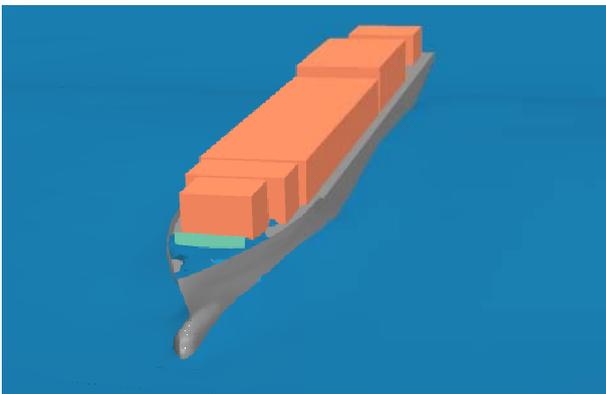


Fig. 18 Instantaneous snapshots of ship motion and green water on deck at t=249.263 sec

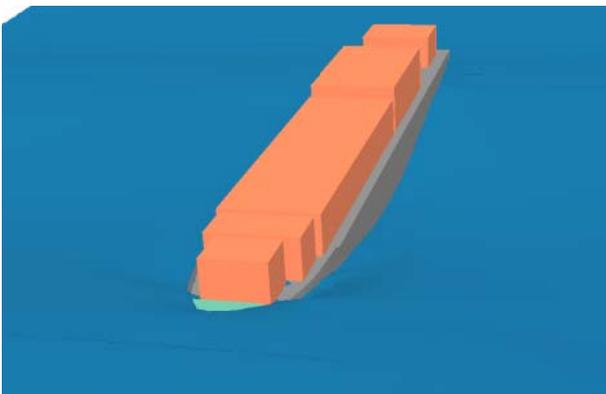


Fig. 19 Instantaneous snapshots of ship motion and green water on deck at t=252.657 sec

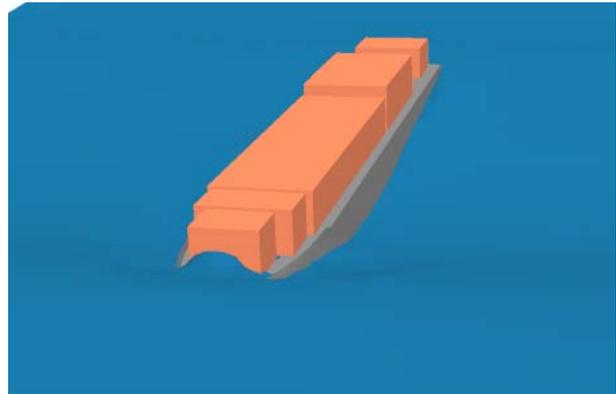


Fig. 20 Instantaneous snapshots of ship motion and green water on deck at t=253.813 sec

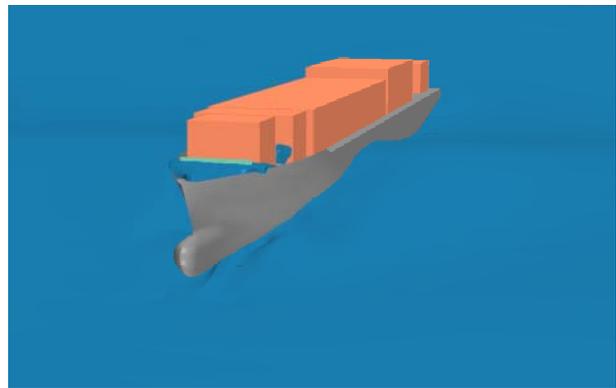


Fig. 21 Instantaneous snapshots of ship motion and green water on deck at t=258.515 sec

## 5.2 쇄파판 위치별 압력 평가

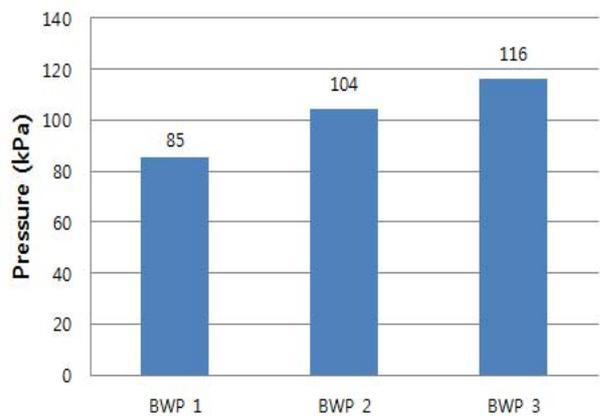
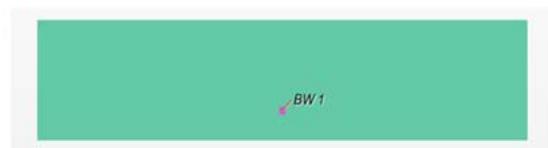


Fig. 22 Maximum green water pressure at the pressure sensor BW 1 on Breakwater Plates

선속 5.0 knots, 180도 선수파 상태의 설계파고 17.134 m, 설계파 주기 12.57초의 설계파 조건에 대한 BWP 1, BWP 2, BWP 3 형상 각각의 위치별 최대 압력값에 대하여 비교하였다.

Fig. 22은 세가지 쇄파판 상 최대 충격압력을 주는 점 BW 1의 충격 압력을 비교한 그래프이다. 세가지 쇄파판 중 가장 선수부에 위치한 BWP 3의 충격력이 가장 크다. 이것은 선수 부 쇄파판이 위치한 곳의 상대변위가 종동요의 영향으로 중심에서 가장 멀리 있는 선수부에서 큰 수직운동이 발생하기 때문이라 판단된다.

## 6. 결 언

본 논문에서는 KRISO의 공개 선형인 KCS(Kriso Container Ship)를 대상으로 그린 워터 발생 시 선수부 갑판 상부 쇄파판에 작용하는 충격하중을 상용 CFD 프로그램인 Star-CCM+ Ver. 8.04를 이용하여 수치해석을 수행하였다. 규칙파 중 상하동요 및 종동요 운동을 하는 선박의 그린 워터 현상에 대해 자유 수면을 포함한 선박의 운동 수치 시뮬레이션 기법을 적용하였다.

설계파의 조건으로 파고는 17.134 m, 설계 파주기는 12.57 초이며 그린 워터 해석은 속도 5 knots, 180도의 선수파(선수 파)에 대해 수행하였다. 수치해석에서 사용하기 위하여 선정된 파는 Stokes 5th order wave 모델을 사용하여 구현하였다.

쇄파판 위치에 따른 충격력 경향을 확인하기 위하여 쇄파판의 높이 3.5 m, 쇄파판의 위치는 FP로부터 선미방향으로 15.0 m 떨어진 좌표에 BWP1을 위치시키고, 이를 기준으로 잡았다. 그리고 쇄파판의 기준위치로부터 FP 방향으로 5.0 m 간격으로 BWP 2, BWP 3을 각각 위치시켰다.

CFD해석 결과 쇄파판의 위치가 앞쪽에 위치할수록 크게 나타나는 것을 확인하였다. FP를 기준으로 선미 방향으로 5.0m 간격으로 위치한 3가지 쇄파판 중 FP에 가장 가깝게 위치한 쇄파판의 충격력이 가장 크게 나타나는 것을 확인하였다.

쇄파판에 작용하는 충격력은 중앙이 크며, 갑판에서 높이 방향으로 올라갈수록 압력이 작아지고, 폭 방향으로서는 측면으로 갈수록 압력이 작아지는 것을 확인하였다. 또한 짧은 순간의 충격에 비해 쇄파판이 받는 충격력이 2초 이상 지속 되는 것을 볼 수 있는데 높이 방향 주요 포인트에 대한 압력 평가 또한 최대 압력 값에 대한 결과가 준-정압력 경향이라고 볼 수 있다.

본 연구에서는 쇄파판에 작용하는 하중의 해석 및 쇄파판 위치에 따른 비교를 통하여 쇄파판 설계를 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다. 향후 정량적 확인을 위한 실험 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 후 기

이 연구는 2014 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음.

## References

- Bai, K.J. Hong, D.C. Hong, S.W. Hong, S.Y. Yum, D.J. & Park, I.K., 1992. Cooperative Experimental Study on Deck Wettings for the S-175 Container Ship Model. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 29(1), pp.71-80.
- CD-adapco, 2013. *USER GUIDE STAR-CCM+ Version 8.04*. Available at: <http://www.cd-adapco.com>
- Det Norske Veritas, 2010. *Environmental Conditions and Environmental Loads*. DNV Recommended Practice: Oslo.
- Jun, J.H. Lee, S.E. Kwon, J.W. & Son, J.W., 2011. Analysis of flow around ship using unstructured grid. *Symposium on Korean Society for Computational Fluids Engineering*, Jeju, Republic of Korea, 26-27 May 2011.
- Kim, S.E. & Lee. H.H., 2011. Fully nonlinear seakeeping analysis based on CFD simulations. *21th International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE)*, Hawaii, USA, 19-24 June 2011.
- Lee, T.K. Rim, C.W. Kim, Y.N. Heo, J.H. & Kim, B.H., 2007. A Study on Measurement of Flare Slamming of Large Container Vessel (II) - Characteristic Analysis of Measured Slamming Pressure. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 44(3), pp.279-284.
- Ramos, J. Incecik, A. & Guedes Sares, C., 2000. Experimental Study of Slam-Induced Stresses in a Containership. *Journal of Marine Structures*, 13, pp.25-51.



이 서 현

류 재 문