선박의 트림 자세가 저항 성능에 미치는 영향

박동우^{1, †} • 이상봉¹ • 정성섭¹ • 서흥원¹ • 권재웅² 현대중공업 선박연구소¹ 씨디어탭코 CAE 사업부²

Effects of Trim on Resistance Performance of a Ship

Dong Woo Park^{1,†} · Sang Bong Lee¹ · Sung Seob Chung¹ · Heung Won Seo¹ · Jae–Woong Kwon² Maritime Research Institute, Hyundai Heavy Industries Co. Ltd.¹ CD–adapco CAE Business Div.²

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.

The primary objective of the current work is to obviously analyze regarding effects of trim conditions of a ship on resistance performance using model test and CFD. Model tests at a towing tank are conducted to investigate resistance for trim conditions at the given same displacement. Measured resistance shows small but distinct differences according to trim conditions. However, these differences are difficult to be clarified by measured physical quantities and wave pattern analysis from model tests. CFD is employed for the assessment of resistance performance according to trim conditions. The flow computation is conducted considering free surface and dynamic trim using a commercial CFD code (STAR–CCM+). The initiative of the present work is to systematically demonstrate pressure resistance acting on each region of divided finite zones of ship surface along the length and draught direction of surface when pressure distribution on the ship is interpreted. Also, a standard to assess the pressure resistance applied on the divided regions of a ship is established.

Keywords : Trim conditions(트림조건), Resistance performance(저항성능), Model test(모형시험), CFD(전산유체역학), Hydrodynamic standard(유체역학적 판단기준)

1. 서 론

최근 해운회사 및 선사들은 탄소배출량 규제 등 친환경 이슈가 부각되면서 대책 마련에 분주하다. 선박의 운항을 경제적인 수준 으로 맞춘 에코 스티밍(Eco Steaming), 경로 최적화(Route Optimization) 그리고 배수량 별 최적 운항자세 선정 등 여러 가 지 방법들이 적극적으로 검토되고 있다. 배수량 별 최적 운항자 세는 자유표면과 벌브 형상과의 관계, 선수부 형상 그리고 무게 중심 위치 변화 등 선형과 저항추진 관점에서 분석해야 할 부분 이 많다. 단적으로 동일 배수량에서 선수트림(trim by head), EVEN 그리고 선미트림(trim by stern)에 대한 저항시험을 수행해 보면 여러 요인들로 인해 저항 값에 차이를 보여준다. 이러한 차 이는 모형시험에서 계측된 물리량과 선측파형 분석 등을 통해서 정성적 경향 추정은 가능하나 명확한 분석은 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 배수량-트림자세 별 저항성능의 좋고 나쁨을 정성

관련된 연구로는 저항추진성능에 미치는 자세변화의 영향으로 속도성능을 수치해석과 모형시험으로 분석하였다 (Yang & Kim, 2005). 횡경사와 트림이 발생한 상태에서 연구로 운항성능 향상 을 위하여 최적의 운항상태에 대한 연구가 이루어 졌다 (Yang, et al., 2006). 또한 트림에 의한 선박의 조파저항 최소화와 관련된 연구가 여러 차례 발표되었다 (Choi, et al., 2003; Seo, et al., 2007; Seo, et al., 2009).

2. 연구수행 방법

대상선박은 중형 컨테이너 운반선이며, 두 가지 배수량에 대하 여 EVEN이 포함된 세가지 트림조건에 대해서 조사를 하였다. 여 기서, 두 가지 배수량은 구상선수(Bulbous Bow)가 완전히 잠긴 경우(이하, 흘수1)와 구상선수의 일부분이 노출된 경우(이하, 흘 수2)로 정하였다. 흘수1과 흘수2를 각각 h1과 h2로 표기하고 설 계흘수를 D라고 할 때 h1/D=1.07 그리고 h2/D=0.875이다. 첫 번째 단계에서는 예인수조 시험을 통해 흘수1과 흘수2에서 선수 트림, EVEN 그리고 선미트림에 대한 저항 값을 계측하여 저항성 능을 평가하였다. 두 번째 단계에서는 주어진 동일 배수량에서 EVEN을 포함한 초기 선수미 트림자세에 대하여 자유표면과 동적

박동우・이상봉・정성섭・서흥원・권재웅

트림을 고려하여 수치계산을 수행하였다. 수치계산은 상용 점성 코드인 STAR-CCM+를 사용하였다.

수치해석에 의한 분석방법은 다음과 같다. 1단계에서는 흘수1, 2에 대하여 선수트림, EVEN 그리고 선미트림에 따라 압력저항과 마찰저항을 분리하여 비교하였다. 마찰저항의 경우 두 가지 배수 량에서 EVEN과 트림조건들의 접수표면적 차이가 ±0.4%내외로 인해 저항 값이 약 1%내외에서 동일하였다. 즉, 마찰저항은 주어 진 배수량에서 트림자세 변화에 따라 차이를 보여주지 않았다.

2단계에서는 Fig. 6에서 나타낸 것처럼 흘수방향으로 5개 영 역(ZONE 1~5)으로 나누어 흘수-트림 별 압력저항을 비교하였 다. 3단계에서는 2단계의 각 ZONE에 대하여 길이방향으로 20등 분하여 나누어진 각각의 작은 영역에 작용하는 압력저항을 비교 하였다.

3. 모형시험

두 가지 배수량은 서론에서 언급한 대로 벌브가 완전히 잠기는 흘수1과 벌브가 완전히 잠기지 않은 흘수2로 구분하였다. 흘수1, 2에서 선수트림, EVEN 그리고 선미트림 조건에 대하여 예인수조 에서 저항시험을 수행하였다. 시험의 정도를 위해서 동일수온에 서 수행하였다. Table 1은 흘수1과 흘수2에 대하여 초기 트림조 건 별 접수표면적과 모형선의 전 저항(Rm)과 조파저항계수(Cw) 를 EVEN을 기준으로 백분율로 나타낸 것이다. 접수표면적은 모 든 조건에서 ±0.4%내외이다. 흘수1의 전 저항은 EVEN을 기준 으로 선수트림은 약 0.1% 감소했으며, 선미트림은 약 1.9% 증가 하였다. 반면, 흘수2의 경우 EVEN을 기준으로 선수트림은 약 4.2% 감소했으며, 선미트림은 약 3.6% 증가하였다. 흘수1은 선 수트림과 EVEN의 저항이 대동소이하고, 선미트림인 경우 저항이 큰 것으로 나타났다. 흘수2는 EVEN을 기준으로 선수트림과 선미 트림이 약 ±4% 정도 차이를 보였다.

Table 1 Wetted surface and R_{TM} of model tests according to trim conditions ($_{FN}$ =0.220)

Draught	Initial condition	Wetted surface	R _{TM} (N)	Cw
	Trim by head	100.4	99.9	102.4
Draught 1	EVEN	100.0	100.0	100.0
	Trim by stern	98.6	101.9	111.8
	Trim by head	100.3	95.8	82.7
Draught 2	EVEN	100.0	100.0	100.0
	Trim by stern	98.6	103.6	113.9

Fig. 1은 한가지 예로 흘수1의 트림조건 별 저항 값을 비교 분 석하기 위해서 지유표면에서의 파형을 나타낸 것이다. EVEN과 선수트림의 선측파형 중 Zone I를 살펴보면 파고의 높낮이와 기 울기 등에서 서로 다른 현상을 보여주고 있다. 그러나 이러한 현 상이 저항성능에 어떠한 영향을 미치는지는 설명하기 어렵다. 선 미트림의 Zone I을 살펴보면 다른 두 조건에서 나타나지 않은 파 고의 움푹 들어간 현상(Hollow)을 보여주고 있다. 이 현상이 EVEN 대비 약 1.9% 정도 증가된 주 요인으로 예상은 되나, 저항 차이를 명확히 설명하기에는 어렵다. 정리하면 다음과 같다.

- EVEN 대비 선수트림의 저항성능이 약 0.1% 우수한 원인을 정성적인 현상인 선측파형으로는 분석하기 어렵다.
- 선미트림의 선측파형을 살펴볼 때 다른 두 가지 조건보다 저 항증가가 예상되지만 명확한 판단을 내리기에는 어렵다.

이러한 부분을 4.3의 수치해석 분석에서 파악하고자 한다.

Trim by Head	
HILL IS	NV
EVEN Zone	
- Hillin 10	
Trim by Stern	
N. W. HINRI TEN	OV 4

Fig. 1 Comparison of wave patterns around hull form according to trim conditions (Draught 1)

4. 수치해석

4.1 좌표계 및 지배방정식

본 계산을 위하여 적용된 좌표계는 Fig. 2 에서 보는 바와 같 이 유동방향이 양(+)의 x 축이고 선박의 우현이 양의 y 축이며 중 력의 반대방향이 양의 z 축으로 하는 직교 좌표계를 사용하였다. 좌표계의 원점은 선체 중심면(center plane)과 중앙면(midship) 그리고 자유 수면(free surface)이 만나는 점에 위치한다. 계산 영역은 원점에서 선수부 방향으로 1.5Lpp, 선미부 방향으로 2Lpp 이며 폭 방향으로 1.5Lpp 이다. 선체에서 발생한 자유 수면이 계 산 영역의 입구, 출구 및 대칭 경계 조건에 의해 왜곡되지 않도록 계산 영역을 설정하였다. 또한 천수 효과(shallow water effect)가 발생하지 않도록 깊이 방향으로는 자유수면으로부터 1.5Lpp 이 며, 공기에 해당하는 영역의 높이는 1.0Lpp 이다. 본 연구에 사용 된 모든 물리량은 배 길이(Lpp), 선속(Vs) 그리고 밀도(p)로 무차 원 하였다. 유동의 지배방정식인 연속방정식과 운동량 방정식은

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

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_1 \frac{\partial U_i}{\partial X_1} = -\frac{\partial P}{\partial X_i} + \frac{\partial}{\partial X_1} (\frac{1}{R_N} \frac{\partial U_i}{\partial X_1} - \overline{U_i} \overline{U_1}) (2)$$



Fig. 2 Computational domain and coordinate system

여기서 $U_i = (U, V, W)$ 는 각 좌표축 $x_{i=}(x, y, z)$ 방향 평균속도 성분이고 p, R_N 그리고 $-\overline{u_i u_1}$ 는 정압, 레이놀스 수 그리고 Reynolds stresses 를 나타낸다. Reynolds stress 에 대한 난류 종결(turbulent closure)을 위해 Reynolds stress model 을 사용하였다.

4.2 수치격자 및 계산조건

선체표면 및 공간격자 생성은 STAR-CCM+에 제공하는 트리 머(trimmed mesh)와 경계층 격자(prism layer)를 사용하였다. 생 성된 전체 격지수는 약 105만개로써 격자의 구성은 Fig. 3과 같 다. 그림에서 보듯이 트리머는 유동 특성이 복잡한 영역에서 격 자를 조밀하게 구성하며, 단순한 영역에서 격자의 크기를 크게 설정하는 방법으로 전체 격자 수를 감소시킬 수 있으며 격자가 다면체(polyhedron)인 특성을 지닌다. 트리머에 따라 만들어진 다면체 격자에서는 물리량의 공간 구배(spatial gradient)를 계산 함에 있어 2차 정확도를 위해 최소 자승법(least square method) 을 사용해야 하며, 격자 수준이 변하는 영역에서 격자의 면을 통 과하는 플럭스(flux)를 내삽할 때 공간 차분 정도가 감소하는 단 점이 있다. 따라서 전단력이 중요하게 작용하는 벽면 근처에서 트리머를 적용할 경우 저항 값에서 오차가 크게 발생할 수 있으 므로 이를 방지하기 위해 선체 주변에 경계층 격자를 적용하였다. 총 6개의 경계층 격자를 생성하였으며, 첫번째 경계층 격자는 선 체 전체의 y+ 평균값이 30~40이 되도록 하였으며, 벽함수(wall function)를 사용하였다. 양질의 경계층 격자를 생성하기 위해 선 체 갑판부에는 경계층 격자를 적용하지 않았으나, 갑판에 작용하 는 힘은 공기에 의한 전단력으로 전체 저항에서 무시할 수 있는 수준이다. 갑판에 경계층을 생성한 경우와 생성하지 않은 경우의 힘의 차이는 전체 저항값의 0.1% 미만이다.



Fig. 3 Numerical grid employed for calculations

자유 수면을 고려하기 위해 VOF(volume of fluid)를 사용하여 다상 유동을 모델링 하였다. 유동장 계산은 동적 트림을 고려하기 위해 STAR-CCM+에서 제공하는 DFBI (dynamic fluid body interaction) 기법을 적용하였다. DFBI 기법은 선체의 자세 변화에 따라 계산 영역 전체가 이동 및 회전하는 방법으로, 선체의 sinkage는 계산 영역 전체의 z 방향 수직 이동으로 나타나며 트림 은 계산 영역 전체의 y 방향 회전으로 나타난다. 계산 시간 간격 (time interval)은 △t=0.02를 적용하여 총 90초까지 계산을 수행하 였다. 매 시간 간격에서 5회의 내부 계산을 반복하였다. 초기 조건 에 따른 자세 오차를 배제하기 위해 계산 1초 후부터 선체에 작용 하는 힘과 모멘트를 통해 선체의 동적 자세 변화를 고려하도록 설 정하였다. 선체의 동적 자세를 고려함에 따라 90초까지 계산을 수 행하였음에도 불구하고 저항값이 완전히 수렴하지 않은 경우가 있 는데, 이 경우 마지막 10초 동안의 평균값을 사용하였다. 평균값 을 계산하는 시간에 따른 오차는 약 0.3% 미만이다.

난류 모델은 Reynolds stress model을 적용하였고, 입구 경계 조건은 고정 속도 조건 (V_{in}=V_M)및 자유 수면 높이 고정 조건(z=0) 을 사용하였다. 동적 자세 변화가 발생할 경우 계산 영역의 위쪽 및 아래쪽 면에서 속도가 유입되도록 입구 경계 조건과 미찬가지 로 고정 속도 조건을 적용하였다. 계산 영역의 측면에 대해서는 대칭 (symmetry) 경계 조건을 부과하였다.

4.3 수치해석 분석

상용코드인 STAR-CCM+를 사용하여 흘수1과 2에 대하여 6가 지 계산을 수행하였다. 계산은 초기조건에 따라 자유표면과 동적 자세를 모두 고려하였다. STAR-CCM+는 Fluent, ,CFX, STAR-CD 등과 유사하게 유한 체적 기법(finite volume method) 을 사용하는 유동 해석 프로그램이다. STAR-CCM+의 경우 다각 형 면을 지원함으로써 다면체 격자(polyhedral mesh)나 트리머 격자(trimmed/embedded mesh)를 사용할 수 있는 장점이 있다. 특히 트리머 격자의 경우 작은 수의 격자를 사용하여 선체 주변 의 자유 수면을 수치 해석하는데 유리하다. 또한 STAR-CCM+에 서 제공하는 DFBI 기법은 격자 변형없이 계산 영역 전체를 평행 및 회전 이동시키는 방법으로, 선체에 작용하는 저항 예측에 있 어 보다 신뢰도 높은 결과를 제공한다.

<u>1단계</u>

Table 2는 6가지 조건에 대하여 압력저항과 마찰저항을 분석 한 결과이다. 마찰저항은 흘수1, 2 모두 최대 약 1% 내에서 차이 를 보였다. 반면, 압력저항은 흘수1의 경우 EVEN을 기준으로 2.5%에서 50%까지, 흘수2는 EVEN을 기준으로 -20%에서 20% 까지 차이를 보였다. 조건에 따라 총 저항의 차이는 압력저항 성 분에 기인한 것으로 나타났다. 흘수1, 2에 대하여 초기조건 별로 압력저항 분석을 위해서 Fig. 4와 Fig. 5에 선체표면에 작용하는 동적 압력분포를 나타내었다. 흘수1, 2에 대하여 초기조건 별로 선수부와 선미부의 압력분포에 다소 차이를 보이나, Table 2의 압력저항 차이를 명확하게 분석하기에는 불가능하다.

Т	able 2 Comparison	of R_{TM} by num	erical analysis acco	ording to trim co	nditions
Draught	Initial condition	Pressure resistance coefficient C _P x10 ³	Pressure resistance(%)	Frictional resistance coefficient C _v x10 ³	Frictional resistance(%)
	Trim by head	2.3863	102.5	17.3678	99.6
Draught 1	EVEN	2.3288	100.0	17.4431	100.0
	Trim by stern	3.4988	150.2	17.5989	100.9
	Trim by head	2.7314	76.7	16.0043	99.2
Draught 2	EVEN	3.5594	100.0	16.1373	100.0
	Trim by stern	4.2346	119.0	15.9849	99.1



Fig. 4 Comparison of pressure resistance on the hull surface according to trim conditions (Draught 1)



Fig. 5 Comparison of pressure resistance on the hull surface according to trim conditions (Draught 2)



Fig. 6 Sketch for small regions divided according to draught and longitudinal direction of hull surface

2단계

흘수1,2에 대하여 선체 높이 방향으로 초기조건 별로 ZONE 1 에서 5까지 압력저항을 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. 세로축의 (+)는 전체 압력저항에 대하여 저항증가 기여 분이고, (−)는 저항 감소 기여 분이다.

흥수 별로 세가지 트림조건에 대하여 각각의 ZONE들이 저항 감소에 기여한 큰 순서대로 정리를 하면 Table 3과 같다. ①은 저항감소에 가장 많은 기여를 한 것, ③은 저항감소에 가장 적은 기여를 한 것을 나타낸다. 흘수1은 ZONE 4가 EVEN의 저항감소 에 가장 큰 기여를 한 것으로 나타났으며, 흘수2는 ZONE 2,4가 선수트림의 저항감소에 중요한 역할을 한 것으로 보였다. 특히, 지유표면에 가까운 ZONE4가 저항성능을 좌우하는데 큰 기여를 하는 것으로 나타났다.



Fig. 7 Comparison of the pressure resistance on the each zone according to trim conditions of draught 1



Fig. 8 Comparison of the pressure resistance on the each zone according to trim conditions of draught 2

$\overline{\ }$	Draught 1			Draught 2		
	Trim by head	EVEN	Trim by stern	Trim by head	EVEN	Trim by stern
ZONE 1	2	1	3	1	2	3
ZONE 2	2	1	3	1	2	3
ZONE 3	2	3	1	3	2	1
ZONE 4	2	1	3	1	3	2
ZONE 5	1	2	3	2	1	3

분석의 표준화를 위해서 2번째 단계에서는 Fig. 6처럼 선체 높 이 방향으로 설계흘수를 기준으로 선체 바닥까지 균등하게 4등분 (ZONE1~4)하고 나머지를 ZONE 5로 하였다.

<u>3단계</u>

저항증가 성분 중 상대적으로 큰 기여를 한 ZONE 2,4에 대 하여 선체 길이 방향으로의 압력분포를 비교하였다. Table 4는 흘수1에 대하여 선수부와 선미부를 분리해서 초기조건 별로 압 력저항을 나타낸 것이고, Fig. 9와 Fig. 10은 선체길이를 1 Station 간격으로 나누어 선체 길이 방향으로 미소면적에 작용하 는 압력저항을 표현한 것이다. 여기서, 세로축의 (+)는 저항증가, (-)는 저항감소 기여분 이다. Table 4에서 흘수1의 ZONE 2는

Table 4 Comparison of the pressure resistance on fore-body and aft-body according to trim conditions for ZONE2 and ZONE4 of draught 1

	Fore-body (F.E.~ST.10)			Aft-body (ST.10~A.E.)		
Draught I	Trim by head	EV EN	Trim by stern	Trim by head	EV EN	Trim by stern
ZONE 2	73.13	72.92	72.89	-70.73	-70.63	-70.39
ZONE 4	16.68	16.87	17.42	-19.23	-19.87	-19.77

Table 3 Ranking contributed to the resistance decrease

선수부와 선미부에서 초기조건 별로 약 0.3%로 저항차이가 크게 나지 않았다. 이러한 모습이 Fig. 9에서도 Station 별로 어떤자세 에서 저항이 더 큰지 적은지가 명확히 구분되지 않는다. Table 4 의 ZONE 4를 보면 선수부에서는 선수트림의 저항이 선미트림 대 비 약 4.5% 적고, 선미부에서는 EVEN의 저항이 선수트림보다 약 3% 적다. Fig. 10을 보면 19.0~F.P.에서 선수트림의 저항이 상당히 적게 작용하였고, 17.0~18.0과 18.0~19.0에서는 선수트 림의 저항이 크게 작용하였지만 나머지 선수부 전 영역에서 저항 이 적게 작용하였다. 선미부에서는 1.0~A.P와 A.P.~A.E.에서 선미트림의 저항이 적게 나타났다.



Fig. 9 Comparison of the pressure resistance on the region divided along to hull surface of ZONE2 for draught 1



Fig. 10 Comparison of the pressure resistance on the region divided along to hull surface of ZONE4 for draught 1

Table 5는 흘수2에 대한 것으로 ZONE 2는 선수부와 선미부 모두 트림 별로 큰 차이가 없다. 이러한 현상이 Fig. 11의 ZONE 2에 대한 길이 방향의 압력 분포에서도 잘 나타났다. 반면, ZONE 4는 선수부에서 선수트림이 선미트림보다 저항이 약 12% 적게 나타났고, 선미부에서는 선미트림의 저항이 약 7% 정도 적 게 나타났다. Fig. 12를 보면 17.0~18.0과 18.0~19.0를 제외한 선수부 전 영역에서 선수트림이 다른 조건들 보다 Station 별로 저항이 적게 작용하였다. 그리고, 선미부는 1.0~A.P와 A.P.~A.E.에서 선미트림이 다른 조건들 보다 Station 별로 저항 이 적게 작용하였다. 흘수와 길이방향으로 나누어진 미소영역에 작용하는 압력분포는 동일배수량에서 초기자세 별로 저항성분을 분석할 수 있는 표준화된 지표로 사용가능 하다고 본다.

Table 5 Comparison of the pressure resistance on fore-body and aft-body according to trim conditions for ZONE2 and ZONE4 of draught 2

						0
	Fore-body			Aft-body		
Draught 2	(F.	E.~ST.	10)	(ST.10~A.E.)		
	Trim by head	EV EN	Trim by stern	Trim by head	EV EN	Trim by stern
ZONE 2	55.34	55.25	55.32	-53.99	-53.66	-53.43
ZONE 4	13.18	14.14	14.79	-13.97	-14.37	-15.07



Fig. 11 Comparison of the pressure resistance on the region divided along to hull surface of ZONE2 for draught 2







흡수1과 2의 선수트림, EVEN 그리고 선미트림에 대하여 저항 시험을 수행하였다. 트림조건 별로 모형시험에서 계측된 물리량 과 선측파형 분석 등을 통해서는 정성적 경향 추정은 가능하나, 명확한 분석은 불가능하였다. 본 논문에서는 배수량-트림자세 별 저항성능을 분석하기 위해서 수치해석을 수행하였고, 해석과정에

선박의 트림 자세가 저항 성능에 미치는 영향

서 선체를 미소영역으로 나누어 표준화된 방법을 도입하였다. 몇 가지 결론은 다음과 같다.

- 주어진 배수량에서 트림자세 별 저항의 차이는 마찰저항 성분
 은 상대적으로 적었고, 압력저항 성분에 기인한 것으로 나타났다.
- 분석의 표준화를 위하여 선체 높이 방향으로 균등하게 등분을 하여 압력저항 성분을 분석하였다. 흘수 방향으로 어느 영역에 서 저항 증감이 발생하는지를 전체적으로 파악할 수 있었다.
- 3) 선체 높이 방향으로 저항에 기여가 큰 영역에 대하여 선체 길 이 방향으로 20등분을 하여 압력저항을 분석하였다. 그 결과 어느 미소영역에서 저항이 크고 작은지를 쉽게 알 수 있었다.
- 4) 이 분석방법 중 Fig. 9~12는 선형설계 과정에서 어느 영역이 저항의 증감에 기여하는지를 평가하는데 있어서 유용한 정보 로 활용 가치가 있다고 본다.

참 고 문 헌

- Choi, H.-J. Seo, K.-C. Kim, B.-E. & Chun, H.-H., 2003. Development of an Optimum Hull Form for Container Ship with Minimum Wave Resistance. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 40(4), pp.8–15.
- Seo, K.-C. et al., 2007. Efficient Propulsion of a Container Ship Using the Inclined Keel Concept. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 44(4), pp.379–388.

- Seo, K.-C. Atlar, M. Kim, H.-J. & Chun, H.-H., 2009. Minimization of Wave–Making Resistance for Inclined Keel Containership. *Journal of the Society* of Naval Architects of Korea, 46(2), pp.97–104.
- Yang, J.-M. & Kim, H.-C., 2005. Prediction of Propulsive Performance of VLCC at Heeled and Trimmed Conditions. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 42(2), pp.307–314.
- Yang, J.-M. Rhee, S.-H. & Kim, H.-C., 2006. A Study on the Effect of the Heeled and Trimmed Conditions on Propulsive Performance of VLCC. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 43(3), pp.275–284.



