

## 어선 부가물 별 자유 횡 동요 감쇠 및 저항성능에 관한 연구

윤미진\* · 서장훈\*\* · 박동우\*\*\* · 이찬재\*\*\*\* · 김인태\*\*\*\*\* · 남동\*\*\*\*\*†

\*, \*\* 동명대학교 조선해양시뮬레이션센터 연구원, \*\*\* 동명대학교 해양모빌리티학과 교수,  
 \*\*\*\* 한국해양교통안전공단 안전연구실장, \*\*\*\*\* 한국해양교통안전공단 연구원,  
 \*\*\*\*\* 한국해양교통안전공단 교통연구본부장

## Study on the Free Roll Decay and Resistance Performances of Fishing Vessels by Varying Appendages

Mijin Yoon\* · Janghoon Seo\*\* · Dong-Woo Park\*\*\* · Chanjae Lee\*\*\*\* · Intae Kim\*\*\*\*\* · Dong Nam\*\*\*\*\*†

\*, \*\* Researcher, Shipbuilding &amp; Marine Simulation Center, Tongmyong University, Busan 48520, Korea

\*\*\* Professor, Department of Marine Mobility, Tongmyong University, Busan 48520, Korea

\*\*\*\* General Manager, Department of Safety research, Korea Maritime Transportation Safety Authority, Sejong-si, 30100, Korea

\*\*\*\*\* Researcher, Department of Marine Mobility, Korea Maritime Transportation Safety Authority, Sejong-si, 30100, Korea

\*\*\*\*\* Executive Director, Department of Marine Mobility, Korea Maritime Transportation Safety Authority, Sejong-si, 30100, Korea

**요약** : 본 연구에서는 어선의 운동성능을 향상하기 위해 부착되는 부가물의 조합과 파라미터 변경에 따른 어선의 자유 횡 동요 감쇠와 저항 성능을 평가하였다. 성능 평가를 위해 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics)을 이용한 수치해석을 수행하였으며, 주요 부가물인 빌지킬과 선저킬의 조합과 치수 변경에 따른 횡 동요 주기와 감쇠 계수의 변화를 확인하였다. 선저킬의 경우 길이가 변화함에 따른 횡 동요 감쇠 계수의 변화가 상대적으로 크지 않음을 확인하였다. 반면 빌지킬의 경우 길이와 각도의 증가에 따라서 횡 동요 감쇠 계수가 증가함을 확인하였다. 4가지 부가물 조합 조건과 나선의 저항 성능을 비교하였으며, 부가물에 의한 어선의 자세와 압력분포의 변화로 인해 저항이 증가함을 확인하였다. 본 연구 결과를 통해 부가물 크기와 배치가 어선의 운동 및 저항 성능에 미치는 영향을 확인할 수 있으며, 어선 적용 시에 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다.

**핵심 용어** : 어선, 부가물, 전산유체역학, 자유 횡 동요 감쇠, 저항 성능

**Abstract** : In the present study, free roll decay and resistance performances of fishing vessels were evaluated with the combinations and variations of in the parameters of appendages which are attached to improve motion performance of fishing vessels. Computational Fluid Dynamics was used to perform free roll decay and resistance analysis. The roll period and decay coefficient were derived by the variations in the combination and dimensions of the primary appendages of the bilge keel and the under keel. It was observed that the variations of in the length of the under keel did not significantly impact to the roll damping coefficient. Conversely, for the bilge keel, an increase in the length and angle resulted in an increase in the roll damping coefficient. Comparison of resistance performance was additionally assessed among the selected hulls with the appendages and bare hull. The resistance of the hull with the appendages was higher than that of the bare hull due owing to the changes of in the pressure on the surface of the hull and trim angle. Throughout the present study, the impact of appendage parameter and arrangement on the free roll decay and resistance performance of fishing vessels were assessed, which This will be beneficial for the application of appendages to fishing vessels.

**Key Words** : Fishing vessel, Appendage, Computational fluid dynamics, Free roll decay, Resistant performance

\* First Author : mjyoon@tu.ac.kr, 051-629-3669

† Corresponding Author : namdong9@gmail.com, 044-330-2205

## 1. 서론

어선의 운동성능은 조업 시의 작업자나 승객의 안전과 직결되며, 전복이나 침몰 등의 사고에 직접적인 영향을 준다. 어선의 운동성능을 향상하기 위해 부가물을 장착하게 되는데, 대부분 경험을 바탕으로 부가물의 크기 및 종류를 선정한다. 하지만 과도하게 큰 부가물은 오히려 어선의 저항을 증가시킬 수 있으며, 운동성능의 향상에 큰 도움이 되지 않을 수 있어 부가물 적용에 대한 성능 평가가 필요하다.

선박의 부가물이 운동성능에 미치는 영향은 여러 선행연구에서 다루어져 왔다. Irakal et al.(2016)은 빌지킬 유무에 따른 부선의 자유 횡 동요 특성을 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD) 해석과 실험을 통해 평가하였다. Jiang et al.(2018)은 사각 부선에 빌지킬을 부착하였을 때의 횡 동요 특성을 CFD 해석과 discrete vortex method를 통해 도출하였다.

어선의 부가물에 대한 선행연구의 경우, 저항과 운동성능에 미치는 영향을 평가한 바 있다. Park(2018a)는 어선 부가물의 저항성능에 관한 실험연구를 수행하였다. 각각의 부가물과 조합된 부가물이 선박의 저항성능에 미치는 영향을 실험적으로 분석 및 평가하였다. 그는 기존 연구를 확장하여 어선에 부착되는 부가물의 조합에 따른 저항성능의 변화를 CFD로 해석 및 평가하였으며(Park, 2018b) 빌지킬 길이와 폭에 따른 저항성능을 평가하였다(Park, 2018c).

Chun et al.(2001)은 어선의 빌지킬과 central wing을 부착하였을 때 속도 변화에 따른 횡 동요 감쇠 계수 실험을 수행하였으며 이를 수치 결과와 비교 및 평가하였다. Seok et al.(2018)은 CFD 해석을 이용하여 어선의 부가물 중 빌지킬, 선저킬과 부력통의 조합에 따라 어선의 자유 횡 동요 수치 해석을 수행하였다. 부가물 조합에 따라 자유감쇠의 주기 및 극치 값이 달라지는 것을 확인하였다.

이처럼 다양한 어선의 부가물 및 그 조합에 따른 저항 및 운동성능을 평가한 선행연구는 실험 및 CFD 해석을 통해 최근 다양하게 수행됐으나, 부가물의 크기나 각도의 변화에 따른 영향을 평가한 연구는 수행되지 않았다. 또한 어선의 운동성능이 향상되는 부가물의 경우 저항성능에도 영향을 주기 때문에, 부가물의 영향을 평가하기 위해 운동 및 저항성능을 동시에 평가해야 한다.

본 연구에서는 소형어선의 운동성능 향상을 위해 부착되는 부가물의 크기와 방향을 변경하며 성능을 평가한다. 첫 번째로 부가물의 종류에 따른 영향을 확인하고 부가물의 크기와 각도의 조합에 따라 운동성능에 미치는 영향을 자유감쇠 시뮬레이션을 통해 확인한다. 이후 대표 부가물 조합들과 나선의 저항성능을 평가하여 부가물이 저항성능에 미치는 영향을 동시에 확인한다.

Table 1. Main particulars of the fishing vessel

Main particulars	Symbol (unit)	Fishing vessel
Length between Perpendiculars	$L_{BP}$ (m)	9.46
Breadth	B (m)	2.87
Draft at midship	d (m)	0.44
Displacement	$\nabla$ (Ton)	10.7
Longitudinal center of gravity	LCG (m)	-1.306
Vertical center of gravity	VCG (m)	0.232
Roll radius of gyration	$K_{XX}$ (m)	1.005

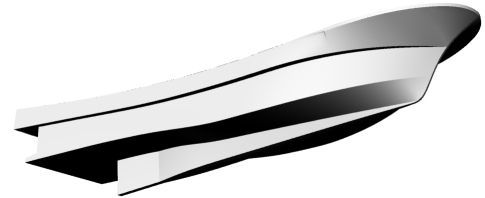


Fig. 1. Perspective view of fishing vessel.

## 2. 해석 방법

### 2.1 대상 선박

본 연구에 사용된 대상 선박은 2.99톤급의 소형어선으로서 주요 제원과 선형은 Table 1 및 Fig. 1에 각각 나타나 있다. 횡 동요 운동에 관한 관성반경은 ITTC(International Towing Tank Conference)의 권고에 따라 선체 폭의 0.35배를 적용하였다(ITTC, 2014).

### 2.2 수치해석 기법

#### 2.2.1 지배방정식

어선의 감쇠 계수와 저항을 해석하기 위해 사용된 비압축성 유체에 대한 지배방정식은 연속방정식(continuity equation)과 Reynolds-averaged Navier-Stokes 방정식이며 직교 좌표에 대한 텐서 표기는 식(1) 및 (2)와 같다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\overline{\rho u_i}) = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\overline{\rho u_i}) + \overline{\rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j}} \\ & = -\frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) - \overline{\rho u'_i u'_j} \right] + \overline{\rho g_i} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $u_i$ 는 속도,  $p$ 는 압력,  $\rho$ 는 밀도,  $g$ 는 중력가속도를 나타내며,  $\mu$ 는 점성 계수를 나타낸다.

수치해석 기법으로는 속도-압력 상호 연계인 semi-implicit method for pressure-linked equation(SIMPLE) 기법이 사용되었다. 해석에 사용된 유체는 청수를 고려하였으며, 해석 시간은 선박의 자유감쇠가 충분히 진행된 시점을 고려하였다. 난류 모델의 경우 선행연구에서 적용한 바와 같이 자유감쇠와 저항성능 해석에  $K-\epsilon$  모델(Seok et al., 2018)과 Reynolds Stress(Park, 2018b) 모델을 각각 사용하였다.

소형어선의 자유감쇠 및 저항성능 해석을 수행하고자 회전영역과 고정영역을 나누어 상호작용을 평가하는 중첩 격자 계(Overset grid)와 DFBI(Dynamic Fluid Body Interaction) 기법을 적용하였다. 또한 자유수면을 고려하기 위해 VOF(Volume of Fluid)를 사용하여 다상 유동을 수치해석을 수행하였다. 해석에 사용된 상용 프로그램은 StarCCM+ 16.03을 사용하였다(CD-Adapco, 2021).

### 2.2.2 횡 동요 운동 및 감쇠 계수 산정

어선의 횡 동요 감쇠 계수는 아래와 상대 감쇠법을 사용하였다(Kim et al., 2015; ITTC, 2021). 어선의 횡 동요 운동방정식은 다음 식으로 표현될 수 있다.

$$I\varphi'' + C\varphi' + K\varphi = M \quad (3)$$

여기에서  $\varphi''$  와  $\varphi'$  및  $\varphi$ 는 각각 횡 동요 가속도와 속도, 변위이다.  $I$ 는 질량 관성모멘트와 부가질량 모멘트의 합이고,  $C$ 는 감쇠 모멘트이며,  $K$ 는 복원 모멘트 계수이다. 우변의  $M$ 는 파에 의한 횡 동요 기진 모멘트이다. 식(3)에서 감쇠 모멘트  $C\varphi'$ 를 선형 항과 2차 항의 합으로 표현하고, 정수 상태에서의 자유 횡 동요 방정식으로 나타내면 다음과 같다.

$$I\varphi'' + B_{lin.}\varphi' + B_{quad.}\varphi'|\varphi'| + K\varphi = 0 \quad (4)$$

여기에서  $B_{lin.}$ 과  $B_{quad.}$ 는 각각 선형 감쇠 계수와 비선형 2차 감쇠 계수를 나타내고, 횡 동요 모형실험으로부터 구할 수 있다.

정수 중에서 어선을 초기 횡 경사각까지 기울이고 이후 정지상태로부터 자유롭게 놓아주는 방식으로 횡 동요 감쇠 해석을 수행하면, 자유 횡 동요 시간 이력(time history) 곡선을 얻을 수 있다. 감쇠 계수를 산출하기 위해  $\phi_i^+$ 와  $\phi_{i+1}^+$  등 양 극값들(positive peaks)을 사용할 수도 있으며,  $\phi_i^-$ 와  $\phi_{i+1}^-$  등 음의 극값들(negative peaks)을 사용할 수도 있으며,  $\phi_i$ 와  $\phi_{i+1}$  등 양쪽 극값들(double peaks)을 사용할 수도 있다. 본 연구에서는 양쪽 극값들(double peaks)를 이용하여 감쇠 해석을 수행하였으며, 그에 대한 진폭은 식(5)와 같다.

$$A_i = 0.5(|\phi_i| + |\phi_{i+1}|) \quad (5)$$

상대감쇠(relative decrement)는 순차적으로 감소하는 횡 동요 진폭의 한 주기 당 감소량을 구간별 평균 진폭으로 나누어 식(6)과 같이 산정한다.

$$D = \frac{|\phi_i| - |\phi_{i+1}|}{0.25(|\phi_i| + |\phi_{i+1}|)} \quad (6)$$

추세선은 식(7)와 같이 횡 동요 진폭에 대한 1차 식으로 나타낼 수 있다.

$$D^* = p + qA_i^* \quad (7)$$

이렇게 구해진 추세선의 절편  $p$  및 기울기  $q$ 는 각각 식(4)의 선형 감쇠 계수  $B_{lin.}$  및 2차 항 감쇠 계수  $B_{quad.}$ 와 함수 관계에 있다. 이 관계식은 횡 동요 진폭감소에 따른 동 복원력 감소량과 감쇠 모멘트가 소모하는 에너지가 같음을 이용하여 다음과 같이 유도된다. 여기서  $T_d$ 는 감쇠 자유 횡 동요 주기를 뜻한다.

$$B_{lin.} = 2p \frac{a}{T_d} \quad (8)$$

$$B_{quad.} = \frac{3}{8} qa \quad (9)$$

### 2.2.3 저항성능 산정

점성 유동 해석 결과로부터 선체의 수직 방향 응력과 수평 방향 응력으로부터 선체에 작용하는 전 저항( $C_{TM}$ )을 식(10)으로부터 구할 수 있다.

$$C_{TM} = \frac{1}{S} (= C_p n_x + C_{fx}) ds \quad (10)$$

여기서  $S$ 는 선체의 침수면적,  $C_p$ 는 선체에 수직으로 작용하고 있는 수직 응력의 압력계수,  $n_x$ 는 선박의 축 방향 단위벡터,  $C_{fx}$ 는 선체에 수평으로 작용하는 수평 응력 계수이고,  $C_{TM}$ 은 선박에 작용하는 전 저항 계수이다.

## 2.3 경계조건

### 2.3.1 자유 횡 동요 시험 경계조건

자유 횡 동요 시험 해석을 위하여 적용된 좌표계는 Fig. 2와 같다. 좌표계의 원점은 선체 중심 면(center plane)과 중앙

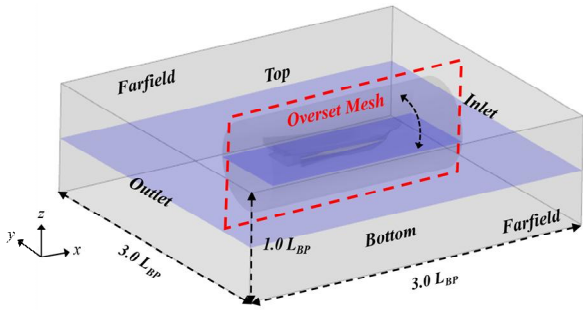


Fig. 2. Computational domain and coordinate system of free decay analysis.

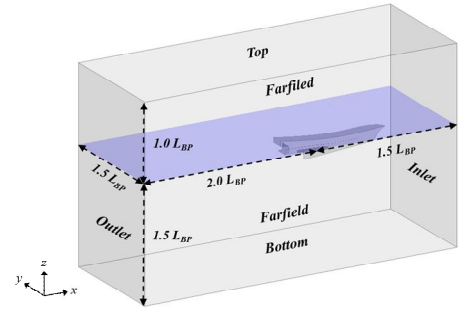


Fig. 3. Computational domain and coordinate system for resistance analysis.

면(midship) 그리고 자유수면(free surface)이 만나는 점에 위치한다. 계산 영역은 선체 중심에서 선수부 방향으로  $1.5 L_{BP}$ , 선미부 방향으로  $1.5 L_{BP}$ 이며 폭 방향으로  $1.5 L_{BP}$ 로 선정하였다.

또한 높이 방향으로 자유수면으로부터  $0.5 L_{BP}$ 에 바닥 및 상부 경계면을 설정하였다. 어선의 자유감쇠에 사용된 중첩 격자계 중 회전영역은 Fig. 2에 나타난 실린더 형상으로서 회전 중심의 높이는 선박의 수직 방향 무게중심으로 선정하였다. Inlet, Bottom과 Top 경계면에는 입구(Velocity inlet) 경계조건을 반영하였으며, 출구(Outlet)와 무한 원방(farfield) 경계면은 Pressure Outlet과 대칭(Symmetry) 경계조건을 각각 적용하였다. 그리고 선체 표면은 점착(no-slip) 경계조건을 적용하였다.

소형어선의 횡 동요 자유감쇠를 모사하기 위하여 소형어선은 5도의 초기 횡 경사 각도로 고정한다. 일정 시점 이후 소형어선의 고정된 횡 동요 운동을 풀어주어 자유감쇠를 모사한다.

### 2.3.2 저항 해석 경계조건

저항성능 해석을 위하여 적용된 좌표계는 Fig. 3과 같다. 좌표계의 원점은 선체 중심 면과 중앙 면 그리고 자유수면이 만나는 점에 위치한다. 계산 영역은 원점에서 선수부 방향으로  $1.5 L_{BP}$  선수부 방향으로  $2.0 L_{BP}$ 이며 폭 방향으로  $1.5 L_{BP}$ 이다. 선체에서 발생한 자유수면이 계산 영역의 입구, 출구 및 대칭 경계조건에 의해 왜곡되지 않도록 계산 영역을 설정하였다. 또한 천수 효과가 발생하지 않도록 깊이 방향으로 자유수면으로부터  $1.5 L_{BP}$ 에 바닥 경계면이 위치하며, 공기에 해당하며 영역의 높이는  $1.0 L_{BP}$ 이다.

본 계산을 위하여 적용된 경계조건은 Inlet, Bottom, Top 경계면에는 입구 경계조건을 반영하였으며, 출구 영역에는 Pressure Outlet을 적용하였다. 무한 원방 경계면은 대칭 경계조건을 적용하였으며 선체 표면은 점착 경계조건을 적용하였다.

## 2.4 격자 시스템 및 검증

### 2.4.1 자유 횡 동요 시험 격자 시스템 및 검증

자유 횡 동요 시험 해석에 사용된 격자 시스템은 선체 및 자유수면 근처에 밀집된 시스템을 적용하였다. 또한 중첩 격자 계 근처의 회전영역과 고정영역의 인터페이스를 고려하여 두 영역 주위에는 조밀한 격자를 구성하였다(Fig. 4). 격자 개수에 따른 해석 결과의 차이를 확인하기 위해 격자 의존성 해석을 수행하였다. 격자 개수를 변경하며 coarse, medium 및 fine 격자 시스템을 고려하였으며, 격자수는 약 55만 개, 120만 개와 290만 개로 각각 선정하였다. 각 격자 시스템을 비교하고자 Y-Z 평면에서의 격자 분포를 Fig. 5에 나타내었다.

격자 시스템에 따른 어선의 시계열 횡 동요 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 시계열 횡 동요 크기 차이 및 주기의 차이는 거의 발생하지 않음을 확인할 수 있었으며, 이에 따라 Fine 격자 시스템을 향후 해석에 사용하였다.

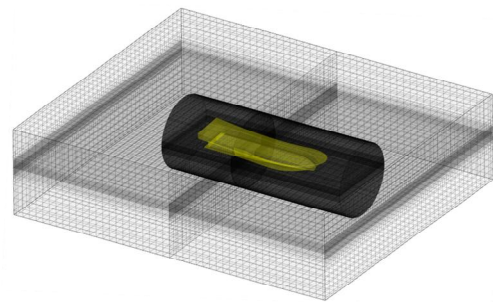


Fig. 4. Overall grid system for free roll decay.

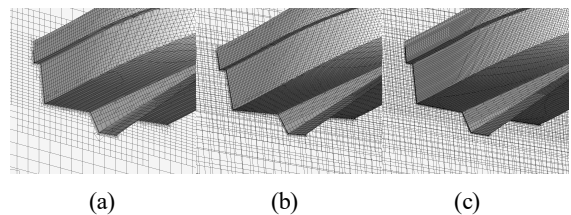


Fig. 5. Grid distribution on the hull surface and at Y-Z plane: (a) Coarse, (b) Medium and (c) Fine system.

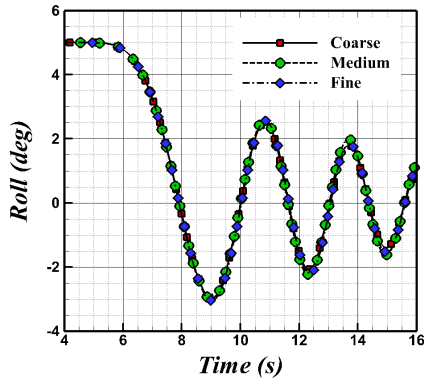


Fig. 6. Comparison of time histories of roll angle.

Table 2. Validation of free roll decay simulation with model test

Parameter	Present	Kim et al., 2015	Diff. (%)
$T_d$	1.20	1.20	0.000
$p$	0.0527	0.0531	0.753
$q$	0.0065	0.0019	-
% B of crit	0.839	0.845	0.740

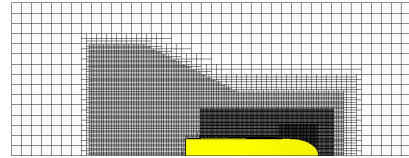
해석기법 및 경계조건의 적절성을 확인하고자 수치해석 검증을 수행하였다. 대상 선박은 Kim et al.(2015)이 수행한 사각 부선을 선정하였으며, 자유감쇠 실험 데이터를 CFD 해석 결과와 비교하였다. 자유감쇠를 위한 초기 각도는 실험 결과와 같은 5도를 선정하였다. 빌지킬이 없는 바지선의 횡동요의 실험 결과와 CFD 해석 결과를 Table 2에 나타내었다. 검증 결과 횡동요 주기 및 선형 감쇠 계수 값이 큰 오차 없이 유사함을 확인하였다. 비선형 감쇠 계수의 경우 실험 결과와 차이가 상대적으로 선형 감쇠 계수에 비해서 크나, 이는 비선형 감쇠 계수의 절댓값이 작으며, 실험 조건과의 미세한 차이에 의해 발생한 것으로 추정된다. 선형 및 비선형 감쇠 계수를 이용한 최종 감쇠 계수의 차이는 큰 오차가 없음을 Table 2에서 확인할 수 있다.

#### 2.4.2 저항 해석 격자 시스템

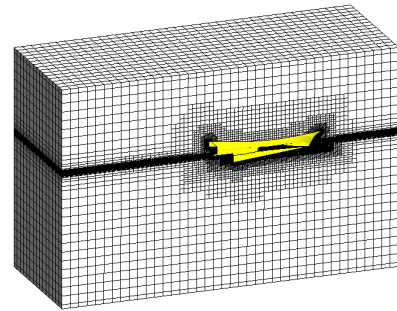
저항성능을 평가하기 위한 격자 시스템을 Fig. 7에 나타내었다. 선체 및 선미부 근처에 발생하는 자유수면의 변화를 모사하고자 해당 영역에 격자를 집중시켰다. 격자 시스템 및 해석 조건을 검증하고자, Park(2018c)의 해석 결과와 비교를 수행하였다. Table 3에서 확인할 수 있듯 선행연구와 현재 해석 결과의 전 저항의 차이는 1%로 매우 작은 차이를 보이며, 본 연구에 사용된 격자 시스템 및 해석 조건이 타당함을 확인하였다.

Table 3. Validation of resistance analysis

Parameter	Present	Park, 2018	Diff. (%)
$R_{TM}$	105.226	106.484	1.181



(a) X-Y plane



(b) Perspective view

Fig. 7. Grid system for resistance analysis.

### 3. 결 과

#### 3.1 횡동요 자유감쇠 해석 결과

##### 3.1.1 부가물의 횡동요 감쇠 영향력 평가

소형어선의 부가물에 의한 횡동요 특성을 비교하기 위해 횡동요 자유감쇠 해석을 수행하였다. 우선 부가물이 부착되지 않은 나선(BH)과 빌지킬(BK)과 선저킬(UK)이 각각 부착된 선체에 대한 횡동요 자유감쇠 해석을 수행하였다(Fig. 8). 또한 빌지킬과 선저킬이 동시에 부착된 선체(BU)에 대해서도 횡동요 특성을 확인하였다.

각 부가물이 부착된 선박에 대한 횡동요 자유감쇠 해석 결과를 Fig. 9에 나타내었다. BK와 BU의 경우 횡동요 주기가 증가함을 보이며, 횡동요 진폭 감소량이 크게 나타남을 Fig. 9에서 확인할 수 있다. UK 조건에서는 BH에 비해 횡동요 진폭의 감소와 주기의 증가가 확인되나, 상대적으로 BK와 BU 조건에 비해 그 변화가 미비하다. 이는 선저킬의 길이가 상대적으로 빌지킬에 비해 작으며, 선체 중앙부에 위치한 박스킬에 상대적으로 가까워 점성 감쇠 효과가 낮은 것으로 판단된다.

횡동요 자유감쇠 시계열 데이터를 바탕으로 횡동요 공진 주기 및 감쇠 계수를 Table 4에 나타내었다. 공진 주기의

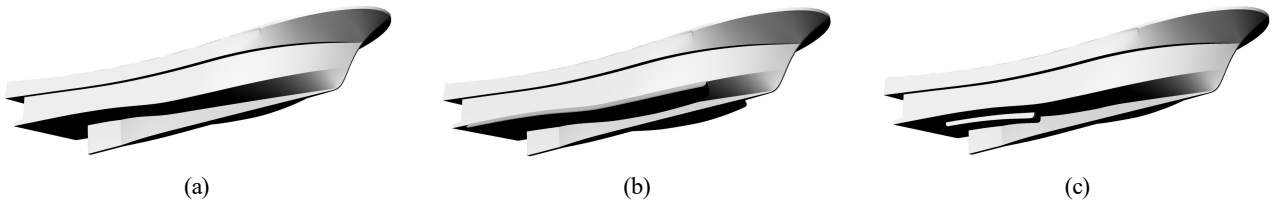


Fig. 8. Shape of fishing vessel with and without appendages : (a) *BH*, (b) *BK*, (c) *UK*

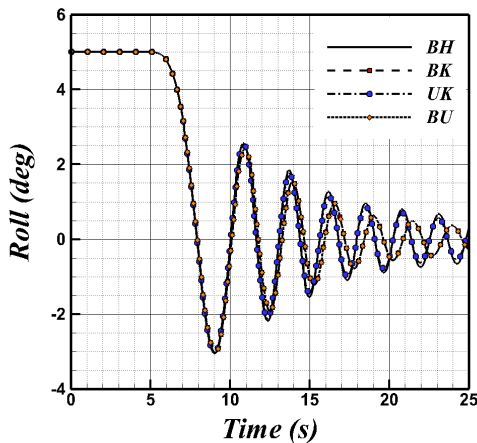


Fig. 9. Comparison of time histories for roll angles among fishing vessels with different appendages.

Table 4. Roll natural period and damping coefficients for *BH*, *BK*, *UK* and *BU*

Case	$T_d$ (s)	% $B_{crit}$
<i>BH</i>	2.297	1.661
<i>BK</i>	2.425	4.965
<i>UK</i>	2.303	2.545
<i>BU</i>	2.450	5.554

경우 Fig. 9에서 보인 바와 같이 *BK*와 *BU*의 조건에서 가장 긴 횡 동요 공진 주기를 보인다. 감쇠 계수의 경우 *BU* 조건에서 가장 큰 감쇠 계수를 가지며, *BK* 조건에서도 상대적으로 큰 감쇠 계수를 보인다. 결과적으로 횡 동요 자유감쇠에 가장 큰 영향을 미치는 부가물은 빌지킬로 확인되며 Seok et al.(2018)의 연구 결과와 같은 경향을 나타낸다.

### 3.1.2 선저킬 길이 변화에 따른 횡 동요 감쇠 영향력 평가

선저킬의 형상 변화에 따른 자유 횡 동요 감쇠 변화를 확

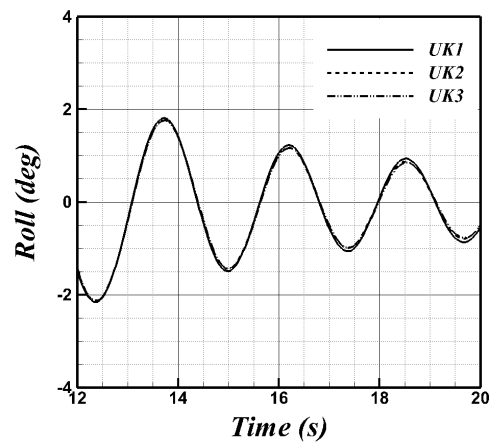


Fig. 10. Comparison of time histories of roll angle among different lengths of *UKs*

Table 5. Results of free-decay simulation for the different lengths of *UKs*

Case	$T_d$ (s)	% $B_{crit}$
<i>UK1</i>	2.280	2.248
<i>UK2</i>	2.291	2.545
<i>UK3</i>	2.295	2.783

인하기 위해서 선저킬 길이와 흘수의 비율( $B_{UK} / T_M$ )을 0.39, 0.52와 0.80으로 변경시키며 자유 횡 동요 감쇠 영향을 평가하였다. 선저킬 길이의 변화에 따른 시계열 횡 동요 변화를 Fig. 10에 나타내었다. 선저킬의 길이에 따른 횡 동요 변화는 크지 않음을 확인할 수 있으나, 선저킬 길이 증가에 따른 횡 동요 감쇠 계수가 증가함을 Table 5에서 확인할 수 있다. 감쇠 계수는 선저킬의 길이가 가장 짧은 *UK1*과 길이가 가장 긴 *UK3*가 약 0.5%의 감쇠 계수 차이를 보인다. 이에 따라 *UK*의 길이가 증가함에 따라 횡 동요 운동을 방해하는 점성 감쇠 효과가 증가하게 됨을 확인할 수 있다.



3.1.3 빌지킬 각도와 길이에 따른 동요 감쇠 영향력 평가

빌지킬의 형상에 따른 횡 동요 감쇠 경향을 확인하기 위해 BK와 UK의 조합인 BU 조건에 대하여 빌지킬의 길이와 각도를 변경하며 횡 동요 자유감쇠 해석을 수행하였다. UK의 경우 3.1.2절에서 확인된 가장 큰 횡 동요 감쇠 계수를 가진 UK3를 선정하였다. 빌지킬의 길이와 흘수의 비율 ( $B_{BK} / T_M$ )은 약 0.36에서 0.54까지 변경하였으며 이는 160mm, 200mm, 240mm를 흘수로 무차원화 하여 나타내었다. 각도는  $\theta = 30^\circ, 40^\circ$  그리고  $50^\circ$  을 고려하였다. 해석 조건과 빌지킬 각도 정의는 Table 6과 Fig. 11에 각각 나타내었다.

빌지킬의 길이와 각도 변화에 따른 횡 동요 자유감쇠 해석 결과를 Table 7에 나타내었다. 감쇠 계수는 BK의 길이가 증가함에 따라서 감쇠 계수가 증가함을 BK\_L1\_A1과 BK\_L3\_A1의 결과에서 확인할 수 있으며 이는 UK 해석 결과 같은 경향을 보인다. 또한 BK 각도가 증가함에 따라서 감쇠 계수는 증가하며, 이는 BK의 길이가 긴 경우 더 큰 증가량을 가진다. 횡 동요 공진 주기의 경우 감쇠 계수와 같은 경향을 나타내며, BK의 길이와 각도가 증가함에 따라서 주기가 길어짐을 Fig. 12에서 확인할 수 있다.

빌지킬 형상 변화에 따른 유동장 변화를 확인하기 위해 특정 시간의 선체 주위에 와 구조를 Fig. 13에 나타내었다. BK\_L3\_A3 조건에서 빌지킬 주위에 더 크고 강한 와 구조를 보이며, BK\_L1\_A1에서는 상대적으로 더 작은 와 구조를 확인할 수 있다. 선저킬 주위에는 빌지킬에 비해 상대적으로 더 작은 와 구조가 분포하며, 이는 선저킬이 박스킬 근처에 위치함에 따라 횡 동요를 감소시키는 점성 감쇠의 영향이 감소함을 확인할 수 있다. 이러한 와 구조의 크기와 강도는 어선의 횡 동요를 감소시키는 점성 감쇠 효과를 설명한다 (Jung et al., 2007; Jung et al., 2011).

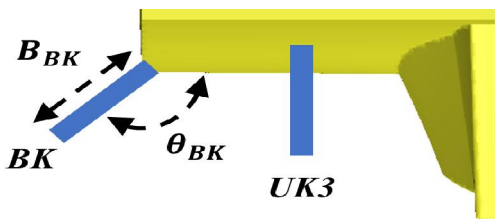


Fig. 11. Definitions of parameters for bilge keel.

Table 6. Analysis case with the variation of bilge keel parameters

Length ( $B_{BK} / T_M$ )	Angle ( $\theta_{BK}, ^\circ$ )		
	30	40	50
0.364	BK_L1_A1	BK_L1_A2	BK_L1_A3
0.455	BK_L2_A1	BK_L2_A2	BK_L2_A3
0.546	BK_L3_A1	BK_L3_A2	BK_L3_A3

Table 7. Results of free-decay simulation for the different BKs

Case	$T_d$ (s)	% $B_{crit}$
BK_L1_A1	2.430	4.853
BK_L1_A2	2.430	5.218
BK_L1_A3	2.461	5.203
BK_L2_A1	2.553	5.325
BK_L2_A2	2.584	5.773
BK_L2_A3	2.584	5.922
BK_L3_A1	2.614	5.490
BK_L3_A2	2.645	6.142
BK_L3_A3	2.645	6.577

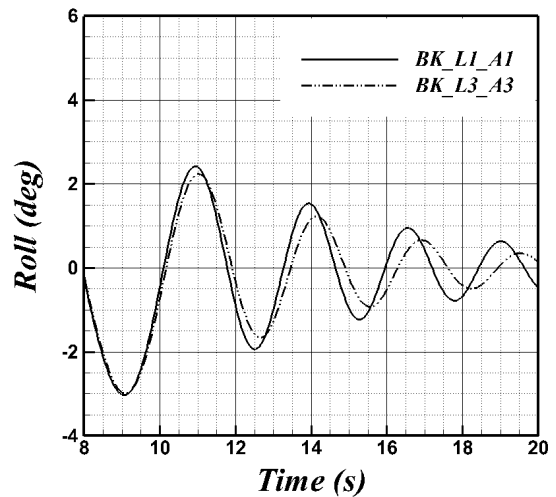


Fig. 12. Comparison of time histories of roll angle between BK\_L1\_A1 and BK\_L3\_A3.

3.2 저항 해석 결과

빌지킬의 각도와 길이에 따른 저항 해석 결과를 나선의 저항 해석 결과와 비교하였다. 선속은 설계속도인 11노트를 고려하였다. 저항 해석 결과 Table 8에서 확인할 수 있듯 나선에 비하여 선저킬과 빌지킬이 부착된 선형의 경우 저항이 증가함을 확인할 수 있다. 그러나 빌지킬의 각도와 길이 변화에 따른 저항계수를 비교하였을 때 큰 차이를 보이지 않는 것을 확인하였다. 이는 빌지킬 부착 후의 자세 변화와 침수 표면적이 커짐으로 인하여 저항이 증가하는 것으로 보인다. Fig. 14에서 보이듯 자유 수면과 선체 표면의 압력분포가 전반적으로 큰 차이는 없으나, 빌지킬 부근의 국부적인 압력 차이를 보인다. 이러한 국부 압력 차이는 빌지킬의 각도와 길이 조건 별 저항계수의 차이를 설명한다.

어선 부가물 별 자유 횡 동요 감쇠 및 저항성능에 관한 연구

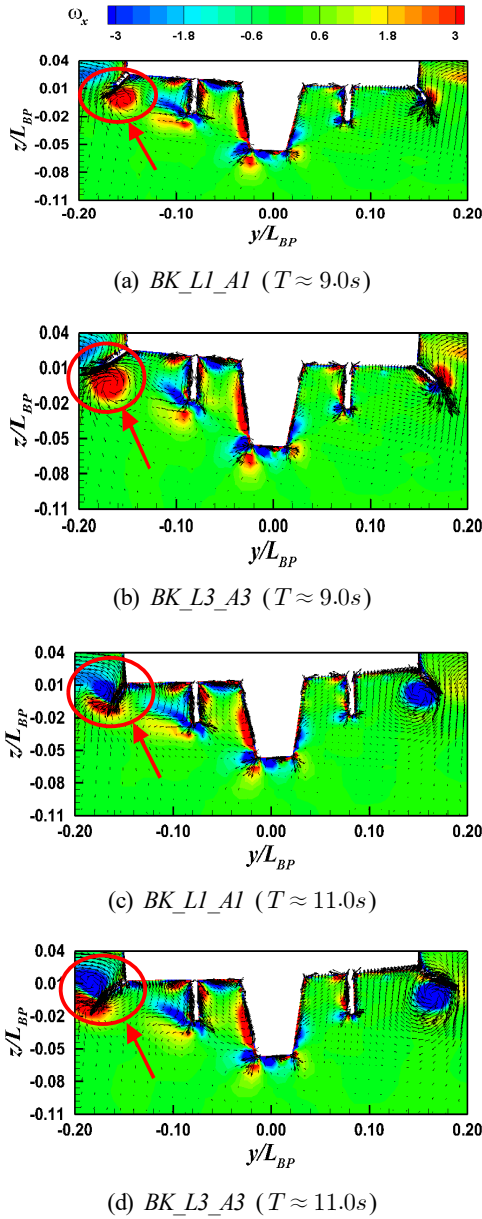


Fig. 13. Contours of vorticities and velocity vector fields on Y-Z plane ( $x = 0.3L_{BP}$ )

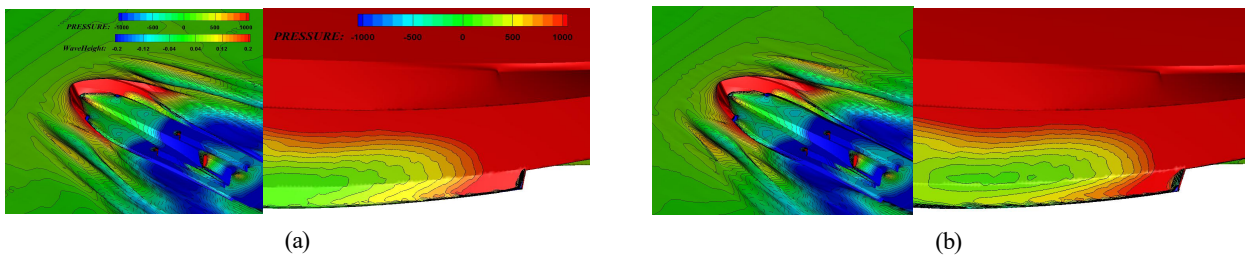


Fig. 14. Distributions of pressure and wave height: (a) *BK\_L1\_A1* and (b) *BK\_L3\_A3*

Table 8. Comparisons of resistance coefficients and trims among bare hull and hulls with appendages

Case	$C_{TM}$ ( $\times E-3$ )	Trim (m)
Bare hull	19.580	-3.854
<i>BK_L1_A1</i>	21.660	-3.366
<i>BK_L1_A3</i>	21.922	-3.307
<i>BK_L3_A1</i>	22.191	-2.967
<i>BK_L3_A3</i>	22.084	-2.753

4. 결 론

소형어선에 적용되는 부가물의 크기와 각도가 자유 횡 동요 감쇠와 저항성능에 미치는 영향을 확인하기 위해 CFD 해석을 수행하였다. 빌지킬과 선저킬의 조합에 따른 횡 동요 감쇠 계수를 비교하였으며, 빌지킬을 가진 조건에서 가장 큰 횡 동요 감쇠 계수와 횡 동요 주기의 증가를 확인할 수 있었다. 선저킬의 길이 변화에 따른 횡 동요 감쇠 계수의 증가는 크지 않았으나, 빌지킬의 경우 빌지킬 길이와 각도의 변화에 따라 횡 동요 감쇠 계수가 상대적으로 크게 차이가 발생하였다. 가장 큰 횡 동요 감쇠 계수를 가진 부가물 조건과 나선의 저항성능을 비교하였을 때, 저항성능의 감소가 발생함을 확인할 수 있었으며, 이는 부가물에 의한 항주 시선체 자세의 변화와 부가물의 압력 변화로 인해 발생함을 확인하였다. 본 연구를 통해 소형어선에 부착되는 부가물의 크기와 각도가 운동 및 저항성능에 미치는 영향을 확인할 수 있었으며, 어선에 부가물을 부착할 때 크기와 배치 선정에 도움이 될 수 있을 것으로 기대한다. 또한 향후 다양한 크기의 어선과 부가물의 위치 변화를 고려한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.



## 후 기

본 연구는 한국해양교통안전공단의 자체연구개발과제인 “D.N.A. 기반 어선의 횡동요 및 안정성능 예측 프로그램 개발” 과제의 지원을 받아 수행되었습니다.

## References

- [1] Chun, H. H., S. H. Chun, and S. Y. Kim(2001), Roll damping characteristics of a small fishing vessel with a central wing. *Ocean Engineering*, 28(12), pp. 1601-1619.
- [2] CD-Adapco(2021), User guide STAR-CCM+ Version 16.03.
- [3] Iral, M. A., S. Nallayarasu, and S. K. Bhattacharyya(2016), CFD approach to roll damping of ship with bilge keel with experimental validation. *Applied Ocean Research*, 55, pp. 1-17.
- [4] ITTC-Recommended Procedures and Guidelines(2014), Numerical Simulation of Capsize Behaviour of Damaged Ships in Irregular Beam Seas.
- [5] ITTC-Recommended Procedures and Guidelines(2021), Estimation of Roll Damping.
- [6] Jung J. H., H. S. Yoon, K. J. Kwon, and S. J. Cho(2011), Numerical Simulation of Flow around Free-rolling Rectangular Barge in Regular Waves. *Journal of Ocean Engineering and Technology*, 25(2), pp. 15-20.
- [7] Jung, K. H., S. B. Suh, and H. H. Chun(2007), Experimental Study on the Eddy Making Damping Effect at the Roll Motion of a Rectangular Barge. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 44(3), pp. 267-278.
- [8] Jiang, Y., X. Zhao, Z. Zeng, T. Sun, J. Li, and Z. Zong (2018), Comparison of RANS Method and Discrete Vortex Method on Simulating the Roll Motion of a Ship With Bilge Keels. In *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, American Society of Mechanical Engineers, Vol. 51302, pp. V009T13A017.
- [9] Kim, N., Y. J. Kim, and Y. Ha(2015), Experimental study of the free roll decay test for the evaluation of roll damping coefficients. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 52(6), pp. 460-470.
- [10] Park, D. W.(2018a), An experimental study on the resistance performance of fishing vessel appendages. *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, 42(9), pp. 668-674.
- [11] Park, D. W.(2018b), Assessment of the resistance performance of hull appendages attached to fishing vessels using CFD. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 24(2), pp. 267-274.
- [12] Park, D. W.(2018c), Resistance performance map through studies on the dimension parameters of the bilge keel attached on the fishing vessel. *Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety*, 24(5), pp. 583-590.
- [13] Seok, J., J. C. Park, D. W. Park, and Y. J. Yang(2018), A study of roll performance for 2.99 ton class fishing boat with appendages using computational fluid dynamics. *Journal of Advanced Marine Engineering and Technology*, 42(4), pp. 293-297.

---

Received : 2023. 10. 06.

Revised : 2023. 10. 26.

Accepted : 2023. 10. 27.