

전산유체역학을 이용한 2.99톤 어선의 부가물 부착에 따른 횡동요 성능 연구

석준¹ · 박종천² · 박동우³ · 양영준[†]

(Received April 2, 2018 ; Revised May 22, 2018 ; Accepted May 30, 2018)

A study of roll performance for 2.99 ton class fishing boat with appendages using computational fluid dynamics

Jun Seok¹ · Jong-Chun Park² · Dong-Woo Park³ · Young-Jun Yang[†]

요약: 국내 어선들은 성능을 향상시키기 위해 구상선수 개조, 빌지킬 부착 등의 다양한 개조를 하고 있다. 하지만 이런 개조 작업들은 대상 선박에 대한 정확한 성능분석 없이 경험에 의존하여 작업이 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 어선의 횡동요 성능 향상을 위해 부착되고 있는 부가물인 빌지킬, 부력통, 선저킬의 성능에 대한 연구로 2.99톤급 어선에 대하여 수치 시뮬레이션을 수행하여 그 영향을 평가하였다. 부가물의 조합에 따른 성능 해석을 위해 8가지 경우를 고려하였으며, 수치해석은 상용 점성 유동 프로그램인 Star-CCM+가 이용되었다. 수치 해석 결과, 빌지킬은 횡동요 감쇠에 가장 효과적이며, 부력통은 횡동요 주기를 증가시키는데 효과적이다.

주제어: 어선, 개조, 부가물, 횡동요, 수치 시뮬레이션

Abstract: The domestic fishing boats are undergoing various retrofit such as bulb and bilge keel in order to improve performance. However, these retrofitting works are relying on experience, without analyzing the exact performance of target ships. In this paper, Numerical simulation was performed to evaluate the performance of bilge keel, buoyant box, bottom keel which are attached on 2.99 ton class fishing boat. 8 conditions are considered for performance analysis according to combination of appendage and they were performed using the commercial software Star-CCM+. In the simulation results, bilge keel is effective appendage to reducing the peak value of roll damping and buoyant box is effective appendage to increasing roll period.

Keywords: Fishing boat, Retrofit, Appendage, Roll, Numerical simulation

1. 서론

국내 어선들은 주로 소형 조선소에서 경험에 의존하여 건조되어 왔다. 하지만 소형 조선소들은 경제적인 문제로 인해 새로운 선형을 개발할 여력이 부족하여 오래된 선형을 지속적으로 이용하고 있으며, 이로 인해 건조된 어선들은 저항 및 운동성능 측면에서 비효율적인 선형을 가지고 있다. 어민들은 이 사실을 인지하고 있지만 새로운 선박을 건조할 자금이 부족하여 비효율적인 선형의 선박을 지속적으로 이용하고 있다[1][2].

비효율적인 선형 등으로 인해 발생하는 어민들의 재산성 악화, 유지비용 과다 등의 문제를 개선하기 위해 실험 및 시뮬레이션을 통해 다양한 연구들이 진행되었다[3]-[5]. 하지만 기존 연구들은 주로 어선의 속도 성능에 중점을 맞추

어 저항성능에 관한 연구가 주를 이루었으며, 최근 들어 정부 주도의 어선현대화 사업을 통해 어선의 선질, 선형, 추진기, 어구 등에 대한 연구 개발도 함께 진행되고 있다.

어민들은 어선의 작업성 및 효율을 향상시키기 위해 다양한 개조들을 하고 있다. 대표적인 어선의 개조는 조파저항을 줄여 속도 성능을 향상시키기 위한 구상선수 개조, 횡동요 안정성 확보를 위한 부력통, 선저킬, 빌지킬 등의 부가물 부착이 있다.

하지만 이런 개조 작업들은 선박에 대한 정확한 성능 분석 없이 경험에 의존하여 무분별하게 이루어지고 있어 성능 측면에서 손해를 보는 경우가 발생하고 있다.

본 논문에서는 Figure 1과 같이 선박의 안정성 향상에 도움을 주는 부가물(부력통, 빌지킬, 선저킬)들의 조합에 따

† Corresponding Author (ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3620-4235>): Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Tongmyong University, 428 Sinseon-ro, Nam-gu, Busan, 48520, Republic of Korea, E-mail: yangyj@tu.ac.kr, Tel: 051-629-1656

1 Division of Green-ship research, Research Institute of Medium & Small Shipbuilding, E-mail: jseok@rims.re.kr, Tel: 051-974-5561

2 Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Pusan National University, E-mail: jepark@pnu.edu, Tel: 051-510-2480

3 Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Tongmyong University, E-mail: dwpark@tu.ac.kr, Tel: 051-629-1654

른 횡동요 성능 분석에 대한 연구를 수행하기 위해 Star-CCM+를 이용하여 2.99톤 어선의 자유 횡동요 수치 해석을 수행하였다.



Figure 1: 2.99 ton class fishing boat

2. 선박 및 수치 시뮬레이션

2.1 대상 선박

본 연구에 사용된 선박은 2.99톤 어선으로 Table 1과 같이 전장 9.46m, 폭 2.87m, 흘수 0.44m이다. 이 때 WSA(Wetted Surface Area)는 침수표면적이며, CoG(Center of Gravity)는 길이, 폭, 높이 방향 무게중심을 나타낸다. 어선에 부착된 부가물의 경우 Figure 2와 같이 부력통, 밑지킬, 선저킬이 우현과 좌현에 각각 부착되어 있다.

수치 시뮬레이션은 모형 크기를 대상으로 해석을 수행하였으며, 축적비는 1/5.35이다. 부가물의 조합의 경우 Table 2와 같이 부가물이 1~3개가 부착된 8가지 경우를 고려하였다.

Table 1: Principal particulars of 2.99 ton class fishing boat

Designation	Full scale	Model scale
Length bet. perpendiculars (m)	9.46	1.77
Length of waterline (m)	11.04	2.06
Breadth (m)	2.87	0.54
Draft (m)	0.44	0.08
WSA (m ²)	33.3	1.16
Volume (m ³)	11.02	0.07
Moment of roll inertia (kg·m ²)	14,216.261	3.24
CoG (Center of Gravity) (m,m,m)	3.82,0,0.21	0.727,0,0.04
Initial heeling (deg)	-	10
Length of bilge keel (m)	8.56	1.60
Area of Bilge keel (m ²)	3.10	0.11
Length of bottom keel (m)	3.78	0.71
Area of bottom keel (m ²)	1.52	0.05
Length of buoyant box (m)	8.82	1.65
Area of buoyant box (m ²)	3.83	0.13

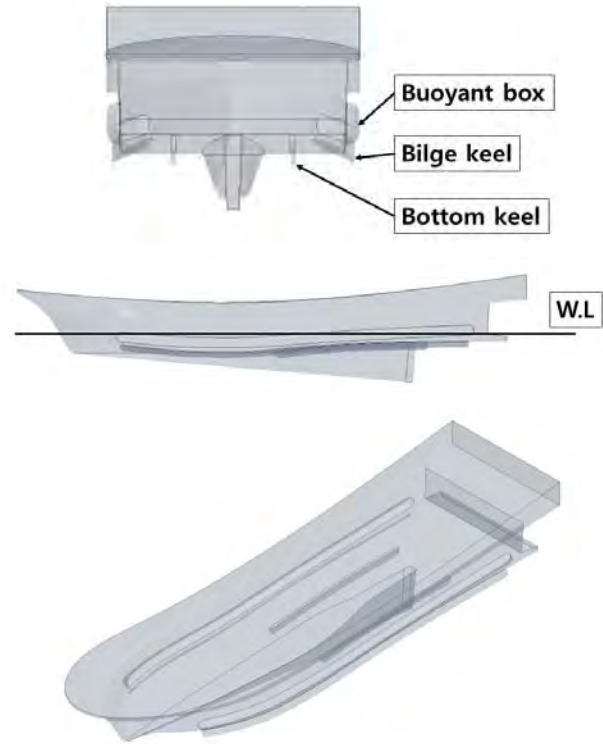


Figure 2: 3D modeling of 2.99 ton class fishing boat

Table 2: Conditions of numerical simulations

Cases \ Appendages	Bilge keel	Bottom keel	Buoyant box
A	○	○	○
B	X	○	○
C	○	X	○
D	○	○	X
E	○	X	X
F	X	X	○
G	X	○	X
H	X	X	X

2.2 수치 시뮬레이션 방법

본 연구에 이용된 지배방정식은 연속 방정식과 RaNS(Reynold-averaged Navier-Stokes) 방정식으로 식 (1), 식 (2)와 같으며 비정상, 비압축성 및 점성 유동을 가정하였다. 부유체의 횡동요는 식 (3)과 같이 각운동량 방정식을 적용하여 고려하였다.

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

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial (U_i)}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\mu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{\rho u_i u_j} \right) + B \tag{2}$$

$$I_{44} \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \vec{N} \quad (3)$$

여기서 U 는 평균속도벡터, x 는 좌표계, t 는 시간, p 는 압력, μ 는 점성계수, $\overline{\rho u_i u_j}$ 는 난류진단응력, B 는 체적력, \vec{N} 은 부유체에 작용하는 모멘트의 합이며 $\vec{\omega}$ 는 회전축에 대한 각속도이다.

난류모델의 경우 T. H. Shih *et al.* [6]에 의해 제안되어 공학문제에 널리 이용되고 있는 Realizable $k-\epsilon$ 난류모델을 적용하였다.

상술한 지배방정식은 유한체적법(Finite-Volume Method, FVM)에 의해 이산화된다. 이 때, 압력과 속도의 연성은 압력을 가정한 뒤 운동량 방정식으로부터 속도를 계산하고, 계산된 속도로 연속방정식의 만족 여부를 계산하는 SIMPLE(Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations) 알고리즘을 이용하였다. 속도 및 압력의 반복은 Gauss-Seidal 반복법이 이용되었다.

2.3 수치 시뮬레이션 조건

수치 시뮬레이션을 위한 계산영역은 Figure 3과 같이 외부영역은 길이방향 $4.5L$, 폭방향 $3.0L$, 높이방향 $3.0L$ 과 같으며, 내부 영역은 길이방향 $1.4L$, 폭방향 $0.4L$, 높이방향 $0.4L$ 이다. 이 때 L 은 전장으로 무차원화된 길이이다.

경계조건의 경우 Figure 4와 같이 상부와 바닥은 벽(Wall-Free slip) 조건을, 선박은 점성유동을 고려하기 위해 벽(Wall-No slip) 조건을 설정하였으며, 나머지 부분은 선박의 횡동요에 의해 발생하는 유동을 유출하기 위한 유출조건(Pressure outlet)을 설정하였다.

자유표면에서 발생할 것으로 예상되는 파(wave)는 VOF(Volume-Of-Fluid) 방법을 이용하여 고려하였다. 중첩격자계(overset grid) 사용에 따라 외부격자와 내부격자간의 물리량 보간은 선형 보간법(linear interpolation)을 이용하였다.

격자의 경우 선박의 횡동요를 고려하기 위해 중첩격자계(overset grid) 방법을 이용하였으며, 격자 생성은 Star-CCM+에서 제공하는 자동격자 생성방법(surface remesher, Prism layer, Trimmer)을 이용하여 Figure 5와 같이 내부 회전 영역에 약 211만개, 외부영역 약 66만개를 생성하였다. 또한 선박의 횡동요로 인해 발생할 수 있는 파를 재현하기 위해 자유표면에 격자를 집중적으로 배치하였으며, 선체 법선 방향으로 5개의 layer를 배치해 점성유동을 고려하였다[7].

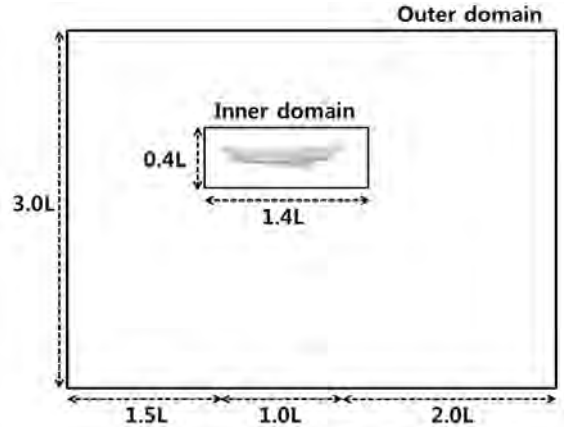


Figure 3: Computational domain

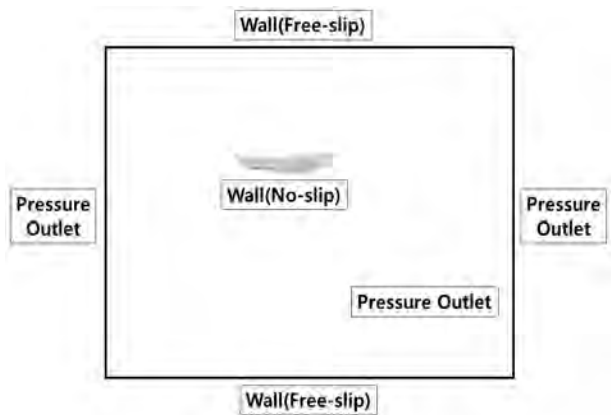


Figure 4: Boundary conditions



Figure 5: Grid system for numerical simulation

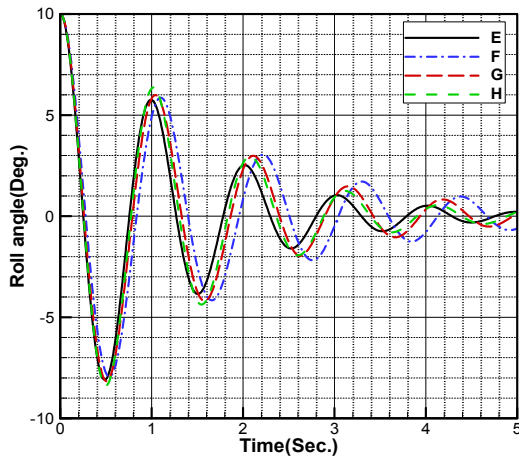
3. 수치 시뮬레이션 결과

수치 시뮬레이션 결과는 Figure 6과 같다. 부가물이 하나 부착된 Figure 6 (a)의 경우, 부가물 효과로 인해 첫 번째와 두 번째 극치 값이 H(부가물이 없는 경우)에 비해 감소한 것을 확인할 수 있지만 E(빌지킬)를 제외하고는 세 번째 극치 값부터는 감쇠 효과가 없음을 확인할 수 있다. 다만 F(부력통)와 G(선저킬)가 각각 부착된 경우 H에 비해 상대적으로 횡동요 주기가 길어졌으며, E는 주기가 감소하였다.

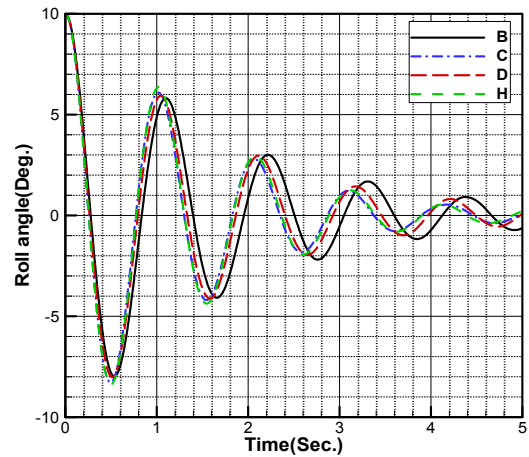
부가물이 2개 부착된 Figure 6 (b)의 경우, 부가물이 1개 부착된 경우(E, F, G)와 동일하게 첫 번째와 두 번째 극치 값이 부가물이 없는 경우에 비해 상대적으로 감소하였지만 감쇠가 반복될수록 H에 비해 극치 값의 감소가 작아지고 있다. C와 D(빌지킬이 부착되어 있는 경우)의 경우 H와 횡동요 주기가 유사하지만, B(부력통, 선저킬)는 상대적으로 횡동요 주기가 길어지고 있다. 따라서 주기를 감소시켜주는 효과를 보이는 빌지킬은 주기를 증가시키는 역할을 하는 선저킬이나 부력통과 조합이 될 경우(C, D) 서로의 효과가 상쇄되고 있으며, 부력통이 부착될 경우 선저킬의 주기 증가 효과는 중첩되지 않는 것을 F와 B의 결과를 통해 알 수 있다.

부가물이 3개 부착된 Figure 6 (c)의 A(빌지킬, 부력통, 선저킬)의 경우 H와 비교 시 극치 값이 감소하며 횡동요 주기가 짧아지고 있다. 또한 B와 비교 시 횡동요 주기가 상대적으로 감소하고 있는 것으로 볼 때 부가물이 1개 부착된 경우 및 2개 부착된 경우와 동일하게 빌지킬이 부착될 경우 주기를 감소시켜 주는 효과를 확인할 수 있으며, 빌지킬의 주기 감소량이 부력통과 선저킬의 주기 증가량보다 보 다 큰 것을 확인할 수 있다.

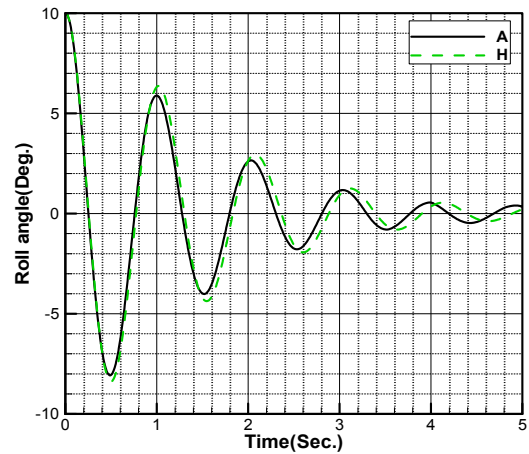
부가물의 개수에 따른 해석 결과(Figure 6 (a) ~ Figure 6 (c)) 중 각각의 경우에서 극치 값의 감쇠가 큰 경우를 비교 할 경우 Figure 6 (d)와 같다. A, C, E는 모두 빌지킬이 부착된 경우로 극치 값의 감쇠에는 빌지킬이 부착된 경우가 효과적인 것을 알 수 있다.



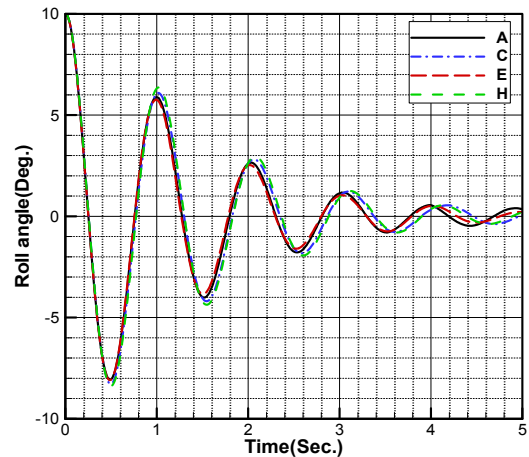
(a) One appendage



(b) Two appendages



(c) Three appendages



(d) Comparison of best case for damping in (a)~(c)

Figure 6: Results of numerical simulations

또한 A와 E는 횡동요 극치 값과 주기가 유사하게 나타나고 있으며, H와 비교 시 상대적으로 주기가 감소하였다. C는 A와 E에 비해 상대적으로 감쇠량이 작아 H와 유사 극치 값을 보이며, 주기 또한 빌지킬과 부력통의 상쇄 효과로 인해 H와 유사하다.

4. 결 론

본 논문에서는 2.99톤 어선에 개조가 이루어지고 있는 3가지 부가물(부력통, 빌지킬, 선저킬)에 대한 횡동요 성능 평가에 대한 연구를 수행하였으며, 그 결과는 아래와 같다.

(1) 부가물이 1개 부착된 경우

3가지 부가물 중 횡동요 극치 값 측면에서는 빌지킬을 부착한 경우가 효과적이었으며, 부력통과 선저킬 부착은 횡동요 감쇠에 부정적인 효과를 보인다. 횡동요 주기 측면에서는 빌지킬은 주기를 감소시키며, 부력통과 선저킬은 주기를 증가시킨다. 단 주기의 증가량은 부력통의 영향이 가장 크다.

(2) 부가물이 2개 부착된 경우

횡동요 감쇠 측면에서 부가물이 1개 부착된 경우와 동일하게 빌지킬이 조합된 경우에 횡동요 감쇠 효과가 나타나지만, 부력통 및 선저킬의 영향으로 인해 그 효과는 감소하였다. 횡동요 주기 측면에서도 부가물이 1개 부착된 경우와 동일하게 부력통과 선저킬이 조합된 경우 주기가 증가하고 있다.

(3) 부가물이 3개 부착된 경우

부가물이 모두 부착된 경우는 부가물이 부착되지 않은 경우에 비해 상대적으로 횡동요 극치 값이 감소하였으며, 횡동요가 반복될수록 주기가 짧아진다.

전체적인 결과를 조합해 볼 때 횡동요 감쇠효과는 빌지킬을 설치하는 것이 가장 효과적이며, 승선감 향상을 위해 횡동요 주기를 증가시킬 경우에는 부력통을 설치하는 것이 효과적이다.

이처럼 각각의 부가물의 조합에 따라 어선의 횡동요 성능이 달라지고 있으며, 이는 대상 선박이 다를 경우 또 다른 결과를 나타낼 것으로 예상된다. 따라서 어선의 개조에 앞서 정확한 성능 분석이 필요하며, 이를 통해 목적에 맞는 개조 작업이 필요할 것이다.

후기

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (NRF-2016R1A6A3A11936040)

References

- [1] H. W. Jee, Y. G. Lee, D. S. Kang, Y. J. Ha, Y. C. Choi, and J. W. Yu, "Resistance performance of Korean small coastal fishing boat in low-speed range," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, vol. 46, no. 1, pp. 10-23, 2009 (in Korean).
- [2] J. W. Yu, Y. G. Lee, H. W. Jee, A. S. Park, Y. C. Choi, Y. J. Ha, and K. L. Jeong, "A study on the improvement of resistance performance for G/T 4.99 ton class Korean coastal fishing boats," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, vol. 47, no. 6, pp. 757-762, 2010 (in Korean).
- [3] Y. J. Kim, I. K. Kang, B. S. Park, and S. J. Ham, "An optimal bilge keel design to reduce the rolling of the offshore large purse seiner," *Journal of the Korean society of Fisheries Technology*, vol. 50, no. 2, pp. 147-153, 2014 (in Korean).
- [4] A. S. Park, Y. G. Lee, D. D. Kim, J. W. Yu, Y. J. Ha, and S. H. Jin, "A study on the resistance reduction of G/T 190ton class main vessel in Korean large purse seiner fishing system," *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, vol. 49, no. 5, pp. 367-375, 2012 (in Korean).
- [5] I. S. Kim, D. W. Park, and S. B. Lee, "Prediction of fishing boat performance using computational fluid dynamics," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 40, no. 7, pp. 574-579, 2016 (in Korean).
- [6] T. H. Shih, W. W. Liou, A. Shabbir, Z. Yang, and J. Zhu, "A new $k-\epsilon$ eddy viscosity model for high reynolds number turbulent flows," *Computers Fluids*, vol. 24, no. 3, pp. 227-238, 1995.
- [7] J. Seok, S. Y. Kim, Y. J. Yang, S. H. Jin, and J. C. Park, "A study for roll damping performance of platform supply vessel with or without bilge keel using CFD," *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, vol. 40, no. 9, pp. 791-798, 2016 (in Korean).