Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety
Research Paper
Vol. 23, No. 7, pp. 965-971, December 31, 2017, ISSN 1229-3431(Print) / ISSN 2287-3341(Online) https://doi.org/10.7837/kosomes.2017.23.7.965

연안선박의 선수부 개조에 의한 에너지 효율 성능 분석

박동우* · 김경성**†
*, ** 동명대학교 조선해양공학부

Assessment on the Energy Efficiency Performance by the Fore-body Retrofit of the Coastline

Dong-Woo Park* · Kyung Sung Kim**†
*, ** School of Naval Architecture & Ocean Engineering, Tongmyong University, Busan 48520, Korea

요 약 : 본 논문의 주 목적은 기존선형과 저항을 최소화하는 최적선형에 대한 에너지효율 성능을 평가하는 것이다. 설계 흘수와 설계 선속을 고려하여 대상선박의 선수부 형상을 검토하였다. 실제 운항 상태에서 대상선박의 저항성능을 평가하였다. 상용 전산유체역학(CFD) 코드와 수조 모형시험 자료는 유효마력 평가를 위해 사용되었다. 실제 운항 상태를 고려하여 최소저항을 가지는 최적선형을 제시하였다. 기존선형과 최적선형에 대하여 3가지 선속에서 유효마력을 추정하였다. 최적선형의 저항성능은 기존선형과 비교하여 볼 때 설계속도(12노트)에서 약 6% 향상된 결과를 보여 주었다. 준추진효율 계수(ETAD, η_D)는 모형시험 자료를 활용하였다. 에너지 효율 성능은 년간 운항일수, 벙커C유 가격, 1일 연료사용량 그리고 연료소비계수를 바탕으로 작성되었다. 최적선형의 에너지 효율 성능은 기존선형과 비교하였을 때 12노트에서 연간 약 3천만원 절약된 결과를 보여 주었다.

핵심용어 : 최적선형, 전산유체역학, 저항성능, 유효마력, 에너지 효율 성능

Abstract : *The primary objective of this study was to assess the energy efficiency performance of an optimized hull form capable of saving energy based on existing vessels. The bow shape of existing vessels was investigated, giving consideration to design draft and speed. Resistance performances were also assessed for existing vessels according to operating conditions. Commercial CFD codes and model test materials were used to assess effective power. An optimized hull form with minimum resistance was selected given real operating conditions. The effective horsepower of existing and optimized vessels was estimated at three speeds. Resistance performance for an optimized vessel showed a 6 % improvement in effective horsepower at design speed (12 knots) compared to existing vessels. Quasi-propulsive efficiency employed experimental data, while energy efficiency performance was analyzed based on operating days, bunker fuel oil C cost, daily fuel oil consumption and specific fuel oil consumption. Energy efficiency performance for an optimized vessel showed a gain of 30 million won per year in reduced costs at design speed (12 knots) compared to existing vessels.*

Key Words : *Optimized vessel, CFD, Resistance performance, Effective power, Energy efficiency performance*

1. 서 론

최근 해운분야에서는 국내·외적으로 경제성장에 따른 온실가스 배출량 증가 우려에 따라, 선박의 온실가스 배출량을 감축하기 위한 목표를 수립하고, 이에 상응하는 감축 제도를 도입하고 있다.

국제해사기구(IMO) 보고서에 따르면 2007년 기준 국제해운분야 온실가스 배출량은 전체 지구 배출량의 2.7 %를 차지하며 2050년에는 경제성장을 고려하여 12~18 %까지 증가할 것으로 예측하고 있다. 이에 IMO는 2030년까지 선박의 온실가스 배출량을 30 % 줄이는 것으로 목표로 설정했으며, 2013년부터 에너지 효율 설계 지표(EEDI) 및 선박 에너지 효율 관리계획(SEEMP)을 선박에 비치하는 것을 의무화하는 국제해양오염방지협약(MARPOL)을 발효되었다.

또한, 최근 IMO의 해양환경보호위원회(MEPC) 69차 회의에서는 기후변화협약 당사국총회의 파리협정과 연계한 해운분야의 온실가스 감축 이행의 예비적 조치로 “선박 연료사용량 데이터 수집 시스템” 강제화를 위한 국제해양오염방

* First Author : dwpark@tu.ac.kr, 051-629-1654
† Corresponding Author : keiuskim@tu.ac.kr, 051-629-1655

지협약(MARPOL)의 개정을 승인하였다. 이러한 IMO의 선박 온실가스 규제가 현실화되면서 조선·해운업계에 친환경 기술 연구 개발의 중요도가 급격히 높아지고 있다.

본 논문의 주 목적은 기존선형(이하, Existing이라고도 함)과 선수부 최적화 기술을 적용한 선형(이하, Optimized이라고도 함)의 저항성능 차이를 정량적으로 평가하여 에너지효율 성능을 분석하는 것이다. 선수부 최적화란 주어진 대상선박의 주 운항조건(주 운항선속과 주 운항배수량)에서 최소저항을 가지는 최적선형을 도출하는 것을 말한다. 선수부 개조 시에 선수부 최적화 과정에서 여러 가지 배수량과 선속 즉, 여러 흘수와 여러 선속 조건에서 최적선형을 도출하는 방법도 있다. 이 방법에 있어 효과를 내기 위해서는 다 흘수와 다 선속이 서로 상관관계가 높은 조건이 되어야 한다.

대상선박은 6,000톤 급 시멘트 운반선이다. 본 선박의 경우 주 운항 조건은 2가지인 만재(이하, Full Load)와 밸러스트(이하,Ballast)이다. 본 선박의 운항 일수는 1년에 약 160일이며 Full Load에서는 12노트, Ballast에서는 13~14노트로 운항한다. 이 2가지 조건에서의 배수량은 약 50 % 정도 차이가 나기 때문에 2가지 흘수를 모두 고려한 선수부 최적화는 효율적이지 않다. 따라서 선수부 최적화 관점을 Full Load(선수와 선미 동일 흘수, 6.5 m)와 이 배수량의 주 운항선속인 12노트로 설정하였다. 선형 최적화 과정에서 Ballast 흘수 조건에서는 선형변화가 없는 것으로 하였다.

선수부 최적화의 범위는 선박의 길이방향으로 Bow Thruster 앞쪽부터 구상선수(Bulbous Bow)까지로 하였고, 흘수방향으로는 바닥부터 설계흘수인 6.5 m 근처까지로 제한하였다. 선수개조에 따른 앵커(Anchor) 위치도 체크하였다. 본 기술의 적용 전·후의 유효마력과 기존선형의 준 추진 효율계수에 대한 실험 데이터를 이용하여 실선에서의 제동마력을 추정하였다.

선속 별로 추정된 제동마력과 엔진의 단위당 연료소모량(SFOC, Specific Fuel Oil Consumption)을 이용하여 일일 연료소모량(DFOC, Daily Fuel Oil Consumption)을 산정하였다. 그리고 2016년 벙커C가격과 운항 일수를 바탕으로 연간 연료소모액을 산정하였다.

2. 유효마력 산정을 위한 수치기법

기존선형 및 최적선형에 대한 저항성능 해석을 위해서 상용 점성 CFD 코드인 STAR-CCM+와 기존선형에 대한 수조 모형시험 자료를 활용하였다. 본 내용에 사용된 수치기법의 상세한 내용은 Park et al.(2013), Park(2014), Kim et al.(2016)을 참조하였다.

본 수치 해석의 주 목적은 예인수조 모형선에 대한 저항 예측이므로 계산 영역 및 격자의 크기 또한 모형선을 기준으로 정하였다. 본 계산을 위하여 적용된 좌표계 및 계산영역은 유동방향이 양(+)의 x축이고 선박의 우현이 양(+)의 y축이며 중력의 반대방향이 양(+)의 z축으로 하는 직교 우수 좌표계를 사용하였다. 좌표계의 원점은 선체 중심면과 중앙면 그리고 자유수면(free surface)이 만나는 점에 위치한다. 계산 영역은 원점에서 선수부 방향으로 $1.0L_{PP}$, 선미부 방향으로 $1.5L_{PP}$이며 폭 방향으로 $1.0L_{PP}$이다. 자유 수면에서 수심 깊이는 $1.2L_{PP}$이며, 공기에 해당하는 영역의 높이는 $0.8L_{PP}$이다.

유동의 지배방정식인 연속방정식과 운동량 방정식은 다음과 같다.

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

여기서 Ui(i=1, 2, 3)는 각 방향의 속도 성분이다. 비압축성 난류유동에 대한 운동량 방정식인 Reynolds averaged Navier-Stokes 식은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_i \frac{\partial U_i}{\partial x_i} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\frac{1}{R_N}\frac{\partial U_i}{\partial x_i} - \overline{u_i u_l}\right) \tag{2}$$

여기서 p는 정압, R_N은 레이놀즈 수이며, $-\overline{u_i u_l}$은 레이놀즈 응력이다. 레이놀즈 응력에 대한 난류 종결(turbulent closure)을 위해 Reynolds stress model을 사용하였다.

선체표면 및 공간격자 생성은 STAR-CCM+에 제공하는 트리머(trimmed mesh)와 경계층 격자(prism layer)를 사용하였다. 생성된 전체 격자수는 약 160만개로써 격자의 구성은 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 보듯이 트리머는 유동 특성이 복잡한 영역에서 격자를 조밀하게 구성한다. 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 계산함에 있어 2차 정확도를 위해 최소 자승법(least square method)을 사용해야 하며, 격자 수준이 변하는 영역에서 격자의 면을 통과하는 플럭스(flux)를 내삽할 때 공간 차분 정도가 감소하는 단점이 있다. 따라서 전단력이 중요하게 작용하는 벽면 근처에서 트리머를 적용할 경우 저항 값에서 오차가 크게 발생할 수 있으므로 이를 방지하기 위해 선체 주변에 경계층 격자를 적용하였다. 총 6개의 경계층 격자를 생성하였으며, 첫 번째 경계층 격자는 선체 전체의 y+ 평균값이 30 ~ 40이 되도록 하고 벽함수(wall function)를 사용하였다. 양질의 경계층 격자를 생성하기 위해 선체 갑판부에는 경계층 격자를 적용하지 않았으나, 갑판에 작용하는 힘은 공

기에 의한 전단력으로 전체 저항에서 무시할 수 있는 수준이다. 갑판에 경계층을 생성한 경우와 생성하지 않은 경우의 힘의 차이는 전체 저항 값의 0.1% 미만이다.

Yang et al.(2010) 모형선과 실선 스케일의 저항 추정과 반류분포 등에 대한 차이를 확인하기 위해 난류 유동장에 대한 수치계산을 수행하였다.

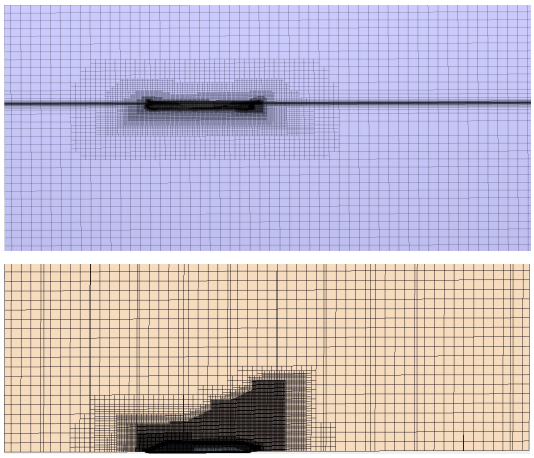

Fig. 1. Grid system.

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 침하량(sinkage)은 계산 영역 전체의 z 방향 수직 이동으로 나타나며 트림은 계산 영역 전체의 y 방향 회전으로 나타난다. 계산 시간 간격(time interval)은 $\triangle t$=0.02를 적용하여 총 90초까지 계산을 수행하였다. 매 시간 간격에서 5회의 내부 계산을 반복하였다.

초기 조건에 따른 자세 오차를 배제하기 위해 계산 1초 후부터 선체에 작용하는 힘과 모멘트를 통해 선체의 동적 자세 변화를 고려하도록 설정하였다. 선체의 동적 자세를 고려함에 따라 60초까지 계산을 수행하였음에도 불구하고 저항 값이 완전히 수렴하지 않은 경우가 있는데, 이 경우 마지막 10초 동안의 평균값을 사용하였다.

평균값을 계산하는 시간에 따른 오차는 약 0.3% 미만이다. 난류 모델은 Reynolds stress model을 적용하였고, 입구 경계 조건은 고정 속도 조건(Vin=V_M, V_M은 모형크기에서의 선속(m/s)) 및 자유수면 높이 고정 조건(z=0)을 사용하였다. 동적 자세 변화가 발생할 경우 계산 영역의 위쪽 및 아래쪽 면에서 속도가 유입되도록 입구 경계 조건과 마찬가지로 고정 속도 조건을 적용하였다. 계산 영역의 측면에 대해서는 대칭(symmetry) 경계 조건을 부과하였다.

3. 결과 및 검토

3.1 대상선박

기존선형과 최적선형에 대한 주요 치수를 Table 1에 정리하였다. 최적선형은 L_{OA}의 여유로 인해 구상선수 길이를 기존선형 대비 0.668m 연장하였다. 주 운항선속은 12노트로 푸르드 수(Froude Number, F_N)는 0.2012로서 상선 중 상대적으로 빠른 선박에 해당된다.

Table 1. Particulars of the existing vessel and optimized vessel

	existing vessel	optimized vessel
Length between perpendiculars, L_{PP} (m)	96.0	96.0
Breadth, B (m)	17.0	17.0
Draft at F.P.&A.P, T_F/T_A (m)	6.5/6.5	6.5/6.5
Displacement (m^3)	7912.3	7927.6
Wetted surface area, W_{SA} (m^2)	2323.0	2329.0
Block coefficient, C_B	0.7459	0.7473
Prismatic coefficient, C_P	0.7501	0.7515
Position of longitudinal center of buoyance from A.P., L_{CB} (m)	49.210	49.303
Center of buoyancy above base line, V_{CB} (m)	3.425	3.429
Design speed (knots)	12.0	12.0
Froude number (F_N)	0.2012	0.2012

3.2 기존선형 평가

기존선형의 주 운항선속에서 저항성능을 살펴보면 다음과 같다. Fig. 2는 12노트에서 자유표면에 나타나는 파형을 보여주고 있다. 선수부 파고인 Zone I을 보면 파의 높이가 큼을 알 수 있고, 선수어깨인 Zone II는 비선형성이 강항 2가지의 발산파를 보여주고 있다. Zone I과 II를 바탕으로 볼 때 선수부 최적화를 통해 상당한 저항성능 개선이 가능할 것으로 판단된다.

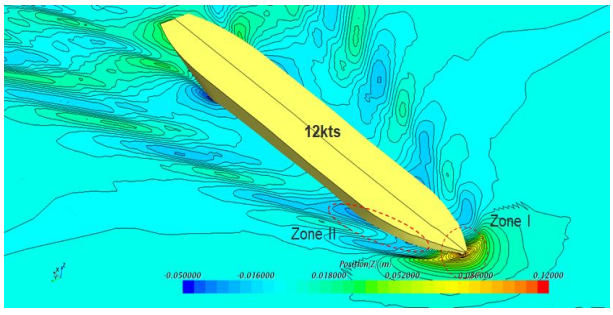

Fig. 2. Existing vessel.

Fig. 3은 기존선형의 선체표면에 작용하는 압력분포를 나타낸 것이다. Fig. 2의 Zone I과 II에 나타난 현상이 선체표면에도 그대로 반영된 것을 알 수 있었다.

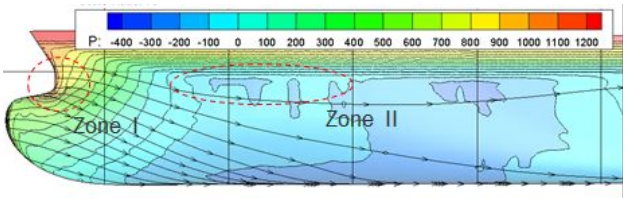

Fig. 3. Hydrodynamic analysis (fore body of the existing vessel, 12 knot).

3.3 선수부 최적화

선수부 최적화는 자체 개발한 최적화 프로그램(이하, Opt-Flow라고도 함)을 사용하였다. Opt-Flow는 최소 조파저항을 가지는 최적 선형설계 코드이다. 선박의 전 저항은 마찰저항, 점성압력저항 그리고 조파저항으로 분류한다. 조파저항은 점성에 의해 영향을 받지만 그 크기가 미소하여 점성이 없는 이상유체(ideal fluid)에서 계산이 가능하고 또한 이렇게 계산한 조파저항 값이 파형분석이라는 실험에 의한 계측 값과 비교적 잘 일치함을 보여주고 있다. Opt-Flow에서는 조파저항을 목적함수로 하며 조파저항 해석에 있어 비점성 유동해석 코드를 사용하였다. Opt-Flow는 자동 선형변환, 최적화 기법 그리고 비점성 유동해석 코드가 결합되어 최적선형을 도출하는 코드이다. 본 내용에 사용된 수치기법의 상세한 내용은 Park et al.(2013), Park(2014)을 참조하였다.

3.4 최적선형 도출

Fig. 4는 기존선형을 시작으로 선형변환의 제약조건에 따라 체계적으로 변환된 최적선형을 보여주고 있다. Fig. 4의 기존선형에 표시된 점들과 수직선들은 선형이 변화하는 위치와 범위를 나타낸 것이다. 점들은 폭이 변화하는 위치이며 변환범위로 제약조건에서 나타낸 대로 ±1.0 m로 하였고, 수직선은 높이가 변화하는 위치이며 변환범위는 ±1.0 m로 하였다. 선박의 길이 방향으로 변경 범위는 91.2 m에서 96.0 m까지로 설정하였다. 91.2 m가 의미하는 것은 이 배의 Bow Thruster 위치이며, 선수개조 시 통상 이 위치를 넘지 않는다. 최적화 과정에서 배수량은 ±2 %로 하였다.

이러한 내용을 바탕으로 변환된 최적선형은 Fig. 4와 Fig. 5의 파란색 선형이다. 최적선형을 살펴보면 구상선수의 형상이 상당히 커짐을 알 수 있다. Fig. 4의 구상선수 높이가 상당히 높아짐을 보여주고 있다. Fig. 5의 정면도를 보면 구상선수의 폭 역시 상당히 커짐을 보여주고 있다. 기존 선형에 대비하여 저항성능이 더 우수할 것으로 예측되는 최적선형이 도출되었다.

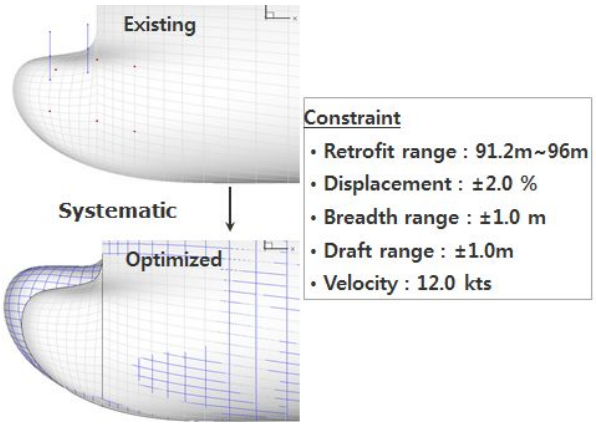

Fig. 4. Optimization process.

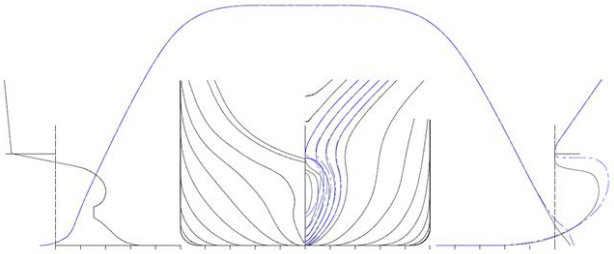

Fig. 5. Optimized hull form.

이 2가지 선형에 대하여 Fig. 6 ~ Fig. 8에 자유표면에서의 파형과 저항을 비교하였다. Zone I를 보면 최적선형의 선수파고가 상당히 작아짐을 알 수 있었고, 선수어깨의 발산파 역시 파고 및 범위가 줄어든 결과를 보여주었다. 이는 조파저항을 감소시켜 전 저항이 줄어들 것으로 예상할 수 있다. 그 결과 Fig. 6과 Fig. 7을 보면 모형크기에서의 전 저항이 4.36 % 감소된 결과를 보여주었다. Fig. 9와 Fig. 10은 12노트에서 선체표면에 작용하는 압력분포를 비교한 것으로 선수부 및 선수어깨 모두에서 최적선형이 개선된 결과를 보여주었다.

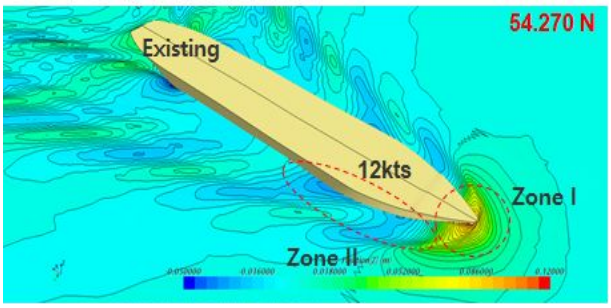

Fig. 6. Resistance of the existing vessel (12 kts).

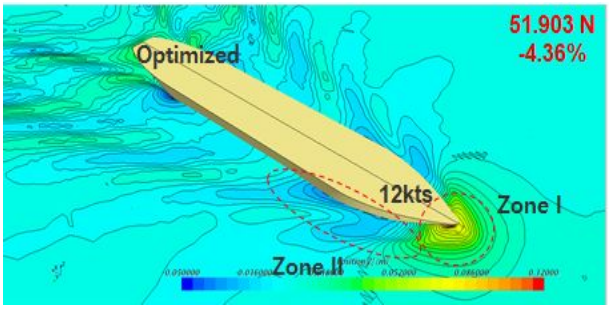

Fig. 7. Resistance of the optimized vessel (12 kts).

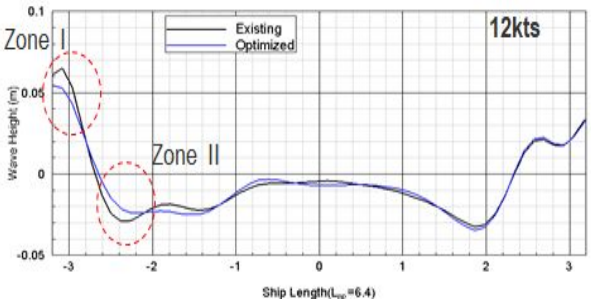

Fig. 8. Comparison of the existing and Optimized vessel.

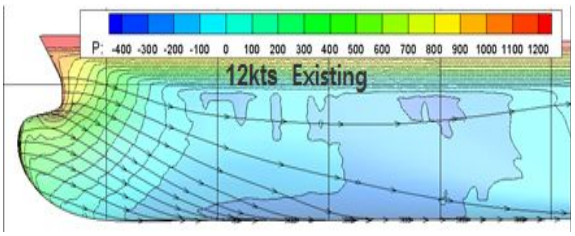

Fig. 9. Hull pressure of the existing vessel (12 kts).

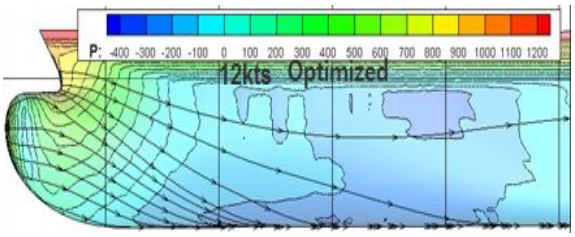

Fig. 10. Hull pressure of the existing vessel (12 kts).

3.5 CFD를 이용한 유효마력 및 제동마력 추정

기존선형과 최적선형에 대하여 모형선 크기에서 전 저항(Total Resistance of Model Ship(R_{TM}) by CFD)을 수치계산을 통해 구하였다. Fig. 11에서 Fig. 14는 11노트와 13노트에서의 결과이다. 12노트에서의 결과는 Fig. 6과 Fig. 7에 나타내었다.

Fig.11과 12의 11노트 결과를 보면 Zone I과 II에서 개선된 모습을 보여주고 있다. 이는 최적선형의 전 저항이 기존선형 보다 약 2.79 % 개선된 결과로 나타났다.

Fig.13과 Fig.14에서 13노트 결과 역시 Zone I과 II에서 개선된 것을 알 수 있다. 이는 최적선형의 전 저항이 기존선형 보다 약 3.96 % 개선된 결과로 나타났다.

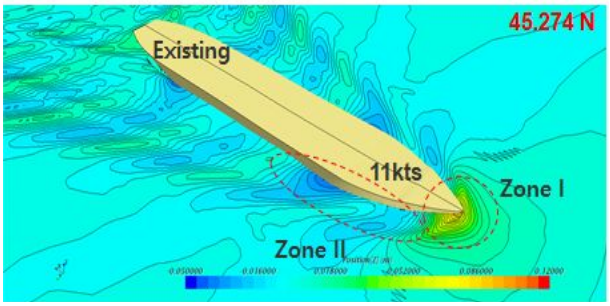

Fig. 11. Resistance of the existing vessel (11 kts).

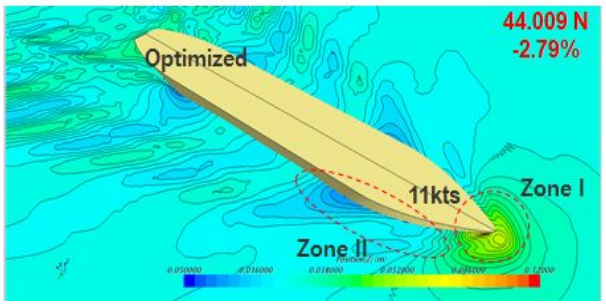

Fig. 12. Resistance of the optimized vessel (11 kts).

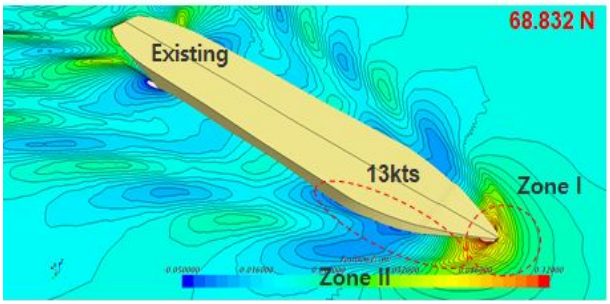

Fig. 13. Resistance of the existing vessel (13 kts).

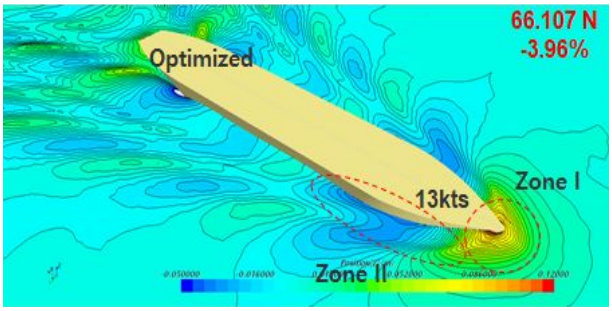

Fig. 14. Resistance of the optimized vessel (13 kts).

Table 2. Resistance performance prediction for the existing vessel employing the R_{TM} based on CFD

Speed (knots)	V_M (m/s)	F_N	R_{NM} *E-06	R_{TM}(N) by CFD	C_{TM} *E+3	C_{FM} *E+3	C_W *E+3	R_{NS} *E-09	C_{FS} *E+3	C_{TS} *E+3	R_{TS} (kN)	PE (㎾)	PE (PS)
14.0	1.4610	0.1844	8.4480	45.274	4.1134	3.0899	1.0236	0.4571	1.6909	2.9856	114	645	877
15.0	1.5938	0.2012	9.2160	54.270	4.1432	3.0430	1.1002	0.4987	1.6718	3.0431	138	853	1160
16.0	1.7266	0.2179	9.9840	68.832	4.4776	3.0008	1.4767	0.5402	1.6546	3.4022	181	1212	1649

Table 3. Resistance performance prediction for the optimized vessel employing the R_{TM} based on CFD

Speed (knots)	V_M (m/s)	F_N	R_{NM} *E-06	R_{TM}(N) by CFD	C_{TM} *E+3	C_{FM} *E+3	C_W *E+3	R_{NS} *E-09	C_{FS} *E+3	C_{TS} *E+3	R_{TS} (kN)	PE (㎾)	PE (PS)
14.0	1.4610	0.1844	8.4480	44.009	3.9881	3.0899	0.8983	0.4571	1.6909	2.8601	109	619	842
15.0	1.5938	0.2012	9.2160	51.903	3.9523	3.0430	0.9093	0.4987	1.6718	2.8519	130	801	1090
16.0	1.7266	0.2179	9.9840	66.107	4.2892	3.0008	1.2884	0.5402	1.6546	3.2137	172	1148	1561

Table 4. Brake horse power prediction for two vessels based on CFD

Speed (knots)	EHP(PS)			ETA D			BHP(PS) w/ 15 S.M.		
	Existing	Optimized	Diff.	Existing	Optimized	Diff.	Existing	Optimized	Diff.
14.0	877	842	-4.0%	0.665	0.665	0.0%	1,540	1,478	-4.0%
15.0	1,160	1,090	-6.0%	0.625	0.625	0.0%	2,167	2,036	-6.0%
16.0	1,649	1,561	-5.3%	0.623	0.623	0.0%	3,090	2,925	-5.3%

CFD로부터 계산된 알몸 선체(bare hull)의 전저항(R_{TM})을 이용하여 ITTC-1978 2차원 해석법에 따라 저항 해석을 수행하였다(ITTC-1978). 해석 결과는 Table 2와 Table 3에 나타내었으며 계수들에 대한 정의는 ITTC-1978을 참조하기 바란다. 공기저항은 투영면적을 이용하여 ITTC-1978 해석법에서 제안한 식을 이용하여 추정하였다. Table 2와 3의 유효마력(PE)은 공기저항 및 빌지킬로 인한 저항이 포함된 값이다. 준 추진 효율 계수(ETA D)는 기존선형의 모형시험 자료로부터 선속별로 적용하였다. 제동동력(Brake Power, BHP) 추정과정에서는 마력 보정은 없는 것(C_P=1.0)으로 하였다. 씨마진(Sea Margin)은 15 %를 사용하였다. 이러한 값들을 바탕으로 초기선형과 최적선형에 대한 제동마력(BHP)을 추정 하였다. 그 결과를 Table 4에 정리하였다.

4. 에너지 효율 성능 분석

4.1 DFOC 평가

대상선박에 대하여 1일 사용하는 벙커C유의 양(톤)(Daily Fuel Oil Consumption, DFOC)을 평가하였다. 본 선박의 엔진과 연료소비계수(Specific Fuel Oil Consumption, SFOC)는 Table 5와 Table 6에 나타내었다.

Table 5. Engine specifications

	Contents
Type	MAN B&W 6L35MC (MARKII)
MCR (PS*RPM)	3,648*200.0
MCR (PS*RPM)	3,283*193.0

Table 6. Specific Fuel Oil Consumption, SFOC

Load (% of MCR)	Power (PS)	RPM	SFOC (g/PS-h)
75	2,736	182.0	128.2
50	1,824	159.0	136.6
25	912	126.0	145.1

DFOC 계산을 위해 최근 벙커C유 가격을 조사하였다. 한국석유공사에서 제공하는 석유정보망(Petronet)의 국내 제품가격 중 벙커C유 대리점 판매가격을 살펴보면, 2012년 평균 리터당 1,083.527원으로 최고가를 나타낸 이후 가격이 낮아져 2016년에는 평균 리터당 520.598원으로 매우 낮은 가격을 보였다. 벙커C유 가격이 2010년 이후 가격이 오르다가 2012년 최고치를 보인 이후 하락하고 있는 추세를 보였다. 그러나 벙커C유 가격은 2016년 1월에는 리터당 480.86원에서 2016년 12월 리터당 579.81원으로 최근 상승세를 보임에 따

라 향후 가격이 오를 수 있는 여지가 있다. 따라서 본 연구에서는 내용연수 동안 최저 벙커C유 가격을 반영하는 것을 현실적으로 불합리한 것으로 판단하여 가격 상승 및 하락세를 보인 최근 6년 동안의 벙커C유 평균 가격 리터당 841.033원으로 연료가격을 가정하여 경제성 평가를 실시하였다.

Table 6의 SFOC와 Table 4에서 추정된 제동마력(BHP)을 바탕으로 식3에 따라 DFOC(Ton)를 산정하였다. Table 7을 보면 12노트에서 최적선형이 0.36톤 절약된 것을 보여준다. 11노트에서는 0.185톤 그리고 13노트에서는 0.389톤 차이가 나타난 것을 알 수 있다.

$$DFOC(Ton/day) = SFOC * Brake\ Horse\ Power(BHP) * 24hour * 10^{-6} \quad (3)$$

Table 7. Daily Fuel Oil Consumption, DFOC

Speed	Exisitng	Optimized	Diff.	%
11	5.145	4.960	-0.185	-3.6 %
12	6.939	6.579	-0.360	-5.2 %
13	9.268	8.879	-0.389	-4.2 %

4.2 연간 연료 소모액 평가

대상선박이 Full Load에서 운항이 연간 24 %임을 바탕으로 연간 연료 소모액을 산정하였다. Table 8은 3가지 선속에서 기존선형과 최적선형의 연간 연료 사용액을 산정한 것이다. 설계속도인 12노트에서 연간 약 3천만원의 절감액을 알 수 있었다.

Table 8. Yearly Fuel Consumption

Speed	Yearly Fuel Consumption (Won, ₩)		
	Existing	Optimized	Saving
11	412,041,528	397,221,625	14,819,903
12	555,691,692	526,882,694	28,808,998
13	742,199,526	711,050,365	31,149,161

5. 결 론

본 논문의 주 목적은 기존선형(이하, Existing이라고도 함)과 선수부 최적화 기술을 적용한 선형(이하, Optimized이라고도 함)의 저항성능 차이를 정량적으로 평가하여 에너지효율 성능을 분석하는 것이다. 결론은 다음과 같다.

1) CFD를 바탕으로 기존선형에 대하여 저항성능 관점에서 문제점을 파악하였다. 제약조건 하에서 최소저항을 가지는 최적선형을 도출하였다.
2) 상용 CFD 코드를 활용하여 최적선형에 대한 저항성능을 평가하였다.
3) 최적화 적용 전·후 선형에 대한 유효마력과 기존선형의 준 추진 효율 계수에 대한 실험 데이터를 이용하여 실선에서의 제동마력을 추정하였다.
4) 선속 별로 추정된 제동마력과 엔진의 단위당 연료소모량(SFOC, Specific Fuel Oil Consumption)을 이용하여 일일 연료 소모량(DFOC, Daily Fuel Oil Consumption)을 산정하였다. 그리고 2016년 평균 벙커C가격과 운항 일수를 바탕으로 연간 연료 소모액을 산정하였다. 그 결과 설계속도인 12노트에서 연간 약 3천만원의 절감액을 도출 할 수 있었다(Table 8).

사 사

이 논문은 2017학년도 동명대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었습니다(과제번호/2017F041).

References

[1] ITTC(1978), “Report of Performance Committee,” 15th ITTC, Hague.

[2] Kim, I. S., D. W. Park and S. B. Lee(2016), Prediction of Fishing Boat Performance using Computational Fluid Dynamics. Journal of the Korean Society of Marine Engineering, Vol. 40, No. 7, pp. 574-579.

[3] Park, D. W.(2014), A Study on the Speed Performance of a Medium Patrol Boat using CFD, Journal of Navitation and Port Research, Vol. 38, No. 6, pp. 585-591.

[4] Park, D. W., S. B. Lee, S. S. Chung, H. W. Seo and J. W. Kwon(2013), Effects of Trim on Resistance Performance of a Ship, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 50, No. 2, pp. 88-94.

[5] Yang, H. Y., B. N. Kim, J. H. Yoo and W. J. Kim(2010), Wake Comparison between Model and Full Scale Ships Using CFD, Journal of SNAK, Vol. 47, No. 2, pp. 150-162.

Received : 2017. 12. 01.
Revised : 2017. 12. 18.
Accepted : 2017. 12. 28.