

선박개조에 따른 고객 맞춤형 기성품 선형 개발

박동우*†

* 동명대학교 조선해양공학부

Study on the Development of the Customized Ready-Made Hull Forms according to the Retrofit

Dong-Woo Park*†

* School of Naval Architecture & Ocean Engineering, Tongmyong University, Busan 48520, Korea

요 약 : 본 연구의 주목적은 기존선형을 바탕으로 연료 절감이 가능한 표준화된 개조선형을 개발하는 것이다. 설계 흘수와 설계 선속을 고려하여 대상선박의 선수부 형상을 검토하였다. 실제 운항 상태 별로 대상선박에 대하여 저항성능을 평가하였다. 상용 전산유체역학(CFD) 코드와 수조 모형시험 자료는 유효마력 평가를 위해 사용되었다. 실제 운항 상태를 고려하여 최소저항을 가지는 3가지 개조선형을 제시하였다. 제시된 개조선형은 고객이 선택가능 하다는 점에서 고객 맞춤형 기성품 선형이라고 명하였다. 개조선형 별로 실제 운항 상태에 따라 유효마력을 추정하였다. 가장 낮은 흘수에서 운항할 경우, 기존선형과 비교하여 볼 때 개조3 선형의 저항성능은 저속영역인 16~18 노트에서 약 11~16%로 향상된 결과를 보여 주었다. 중간 흘수인 8.3m에서 운항할 경우, 개조3 선형의 저항성능은 저속영역에서 기존선형보다 약 6~11%로 향상된 결과를 보여 주었다. 가장 높은 흘수인 9.5m에서 운항할 경우, 모든 선형의 저항성능은 저속영역에서 큰 차이를 보이지 않았다.

핵심용어 : 개조선형, 전산유체역학, 운항 상태, 기성품 선형, 유효마력

Abstract : The primary objective of the current work was to develop a standardized retrofit 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 assessed for existing vessels according to operating conditions. Commercial CFD codes and model test materials were used for assessment of effective power. Three retrofit hull forms with minimum resistance were selected given real operating conditions. These vessels were named after customized ready-made hull forms to enable ship owners to make easier choices. The effective power of each vessel was estimated under real operating conditions. Subjects were operated with the lowest draft, and performance for retrofit No. 3 showed an 11-16% improvement in effective power at low speed ranges of 16-18 knots compared to existing vessels. When operated with a middle draft, performance for retrofit No. 3 showed a 6-11% improvement in effective power at low speed ranges compared to existing vessels. When operated with the highest draft, performance for all vessels showed little difference in effective power.

Key Words : Retrofit hull form, CFD, Operating condition, Customized ready-made hull forms, Effective power

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 차지

하며 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)이 발효되었다.

또한, 최근 IMO의 해양환경보호위원회(MEPC) 69차 회의에서는 기후변화협약 당사국총회의 파리협정과 연계한 해운분야의 온실가스 감축 이행의 예비적 조치로 “선박 연료

† dwpark@tu.ac.kr, 051-629-1654

사용량 데이터 수집 시스템” 강제화를 위한 국제해양오염방지협약(MARPOL)의 개정을 승인하였다. 이러한 IMO의 선박 온실가스 규제가 현실화되면서 조선·해운업계에 친환경 기술 연구 개발의 중요도가 급격히 높아지고 있다.

고속·단 흘수에서 최적화된 선형은 Fig. 1에서 보여주듯이 구상선수의 형상과 크기가 거대하다. 이로 인해 설계흘수보다 낮은 흘수와 저속영역에서 운항할 경우 상당한 저항증가가 발생하여 연료사용량이 증대한다. 통상 동일 속도로 설계흘수에서 운항하는 경우보다 연료소모량이 최대 25% 더 많이 소요된다고 알려져 있다. Fig. 1은 실제 운항조건인 운항조건1, 운항조건2인 경우 설계흘수보다 낮은 흘수 상태에서 운항을 하게 되고 따라서 현재의 구상선수는 연료소모량 측면에서 역기능을 발생한다. 해운선사 및 선주사는 실제 운항조건에서 연료사용량의 최소화를 요구하고 있다. 즉, 저속운항-단 흘수인 Fig. 1의 운항조건1, 2에서 최소 저항을 가지는 선형설계 기술을 요구한다. 이에 따라 Fig. 2에 보여주듯이 기 인도한 선박이라도 실제 운항조건에 적합한 선수 선형 형상을 변경 하는 추세이다.

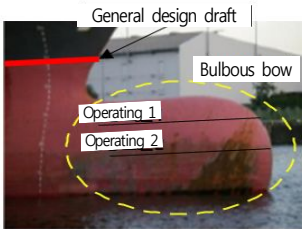


Fig. 1. Bow shape of the general ship.



Fig. 2. Retrofit.

기존선형을 바탕으로 가능성 있는 개조범위 내에서 개조 1, 개조2, 개조3의 표준화된 기성품 선형을 작성하였다. 기성품 선형 별 실제 운항흘수 및 운항선속에 따른 유효마력을 추정하였다. 평가에 사용된 기술은 상용 전산유체역학(CFD) 코드와 수조 모형시험 자료를 활용하였다.

Park and Cho(2017)은 대형 컨테이너선의 저속 운항 시 선수부 개조 전후 EEOI 변화에 대한 연구를 수행하였다. Yang and Kim(2005)은 저항추진 성능에 미치는 자세변화로 인한 속도성능을 수치해석과 모형시험으로 분석하였다. Yang et al.(2006)은 횡경사와 트림이 발생한 상태에서의 연구로 운항 성능 향상을 위하여 최적의 운항상태에 대한 연구가 이루어졌다. Park et al.(2013)은 선박의 트림자세가 저항 성능에 미치는 영향에 대한 조사를 하였다. Park et al.(2004)은 자유수면을 고려한 점성유동 해석을 통하여 선체 주위의 파형과 선체 저항성능에 대한 연구를 수행한 바 있다.

2. 해석 및 평가 방법

대상선박 및 개조선형에 대한 저항성능 해석을 위해서 상용 점성 CFD 코드와 기존선형에 대한 수조 모형시험 자료를 활용하였다. 유동해석은 초기조건에 따라 자유표면과 동적 자세를 모두 고려하였다. STAR-CCM+는 유한 체적 기법(finite volume method)을 사용하는 유동 해석 프로그램이다. STAR-CCM+의 경우 다각형 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 주변의 자유 수면을 수치 해석하는데 유리하다. 또한 STAR-CCM+에서 제공하는 DFBI 기법은 격자 변형 없이 계산 영역 전체를 평행 및 회전 이동시키는 방법으로, 선체에 작용하는 저항 예측에 있어 보다 신뢰도 높은 결과를 제공한다. 본 내용에 사용된 수치기법 등 지면상 생략하며 상세한 내용은 Park et al.(2013), Park(2014), Kim et al.(2016)을 참조하기 바란다.

3. 결과 및 검토

3.1 대상선박의 운항 상태 별 저항성능 평가

대상선박은 Fig. 3에 보여주듯이 1,800 TEU 급 컨테이너 운반선이며 설계흘수(Design draft)와 설계속도에서 최적화된 선형이다. 설계흘수는 9.8m이며 설계속도는 20노트이다. 선박의 길이인 L_{pp} 가 175.0m임에 따라 프루드 수(Froude Number)는 0.262로 고속선박에 해당된다. 이에 본 선박의 구상선수 크기와 형상은 Fig. 3에 나타난 대로 조파저항의 성능 향상을 위해 거대하다.



Fig. 3. Existing vessel.

대상선박의 주요제원은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Particulars of the existing vessel

	Contents
Length, L_{pp} (m)	175.0
Breadth, B (m)	27.60
draft, T (m)	9.8 (100% draft compared to design draft)
Design speed, V_S (knot)	20.0

본 선박의 주 운항흘수는 9.8 m를 100 % 배수량이라고 했을 때 8.5 m인 83 % 배수량과 7.5 m인 72 % 배수량에서 운항한다. 그리고 주 운항선속은 설계선속인 20노트가 아닌 16~18노트로 확인되었다. Table 2는 2가지 주 운항 상태를 나타내었다.

Table 2. Operating condition for the existing vessel

	Operating Condition 1	Operating Condition 2
Length, L_{PP} (m)	175.0	175.0
Breadth, B (m)	27.60	27.60
draft, T (m)	8.5 (83 % draft compared to design draft)	7.5 (72 % draft compared to design draft)
Design speed, V_s (knot)	16-18	16-18

본 선박이 선수부의 선형개조 없이 9.8 m, 8.5 m 그리고 7.5 m 흘수에서 18노트로 운항할 경우 선측 파형과 선체표면에 작용하는 압력은 Fig. 4와 같다. Fig. 4를 보면 설계흘수인 9.8 m에서 18노트로 운항할 경우 선측파형의 모습은 큰 저항을 발생하지 않을 것으로 판단된다. 그러나 8.5 m의 흘수에서 운항할 경우 파고 변화량이 심하며 이로 인해 큰 저항이 발생할 것으로 판단된다. 또한 7.5 m의 흘수에서 운항할 경우 파고 변화량이 더 심해지며 이에 따라 상당히 큰 저항이 발생할 것으로 판단된다. 추정된 정량적인 유효마력은 3.4절의 표에 나타내었다.

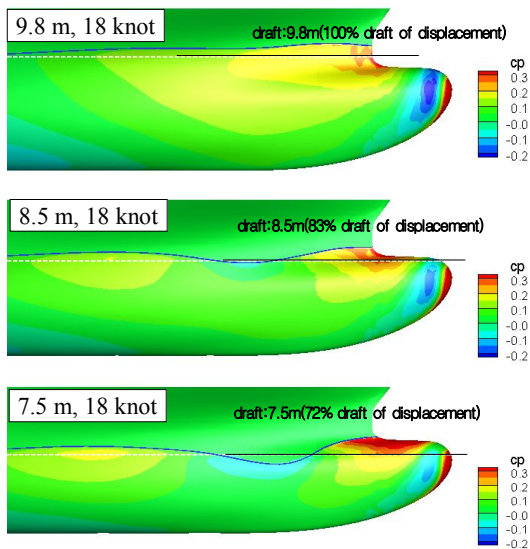


Fig. 4. Comparison of wave profile for 3 condition.

3.2 표준화된 개조 기성품 선형 작성

본 절의 핵심은 거대한 구상선수를 포함한 기존 선수부 형상을 가능한 개조 범위 내에서 최소화항을 가지는 개조선형을 도출하는 것이다. 개조선형은 Table 3에 나타내었듯이 3가지로 정의하였다. 개조1은 구상선수를 포함하여 19.5 Station까지 이고 개조2는 구상선수를 포함하여 19.0 Station 그리고 개조3은 구상선수를 포함하여 18.5 Station까지로 설정하였다. 개조1이 가장 작은 범위를 변경하는 것이고 개조3이 가장 큰 범위를 변경하는 것이다.

Table 3. Under-Relaxation Factors for each variables

	Contents for retrofit
Retrofit 1	Station No. 19.5 including the bulbous bow
Retrofit 2	Station No. 19.0 including the bulbous bow
Retrofit 3	Station No. 18.5 including the bulbous bow

제시된 3가지 개조선형은 고객이 선택 가능 하도록 한다는 점에서 고객 맞춤형 기성품 선형이라고 명하였다. 3가지 개조선형의 모습은 Fig. 5에 나타내었다.

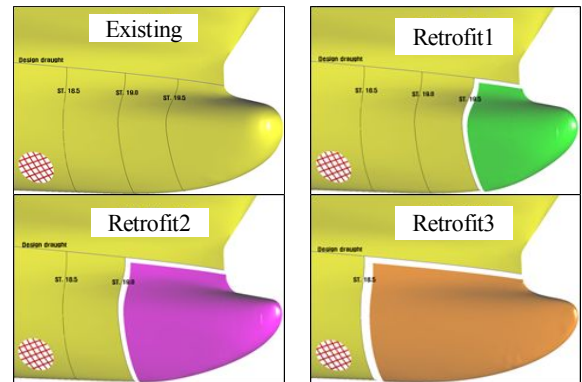


Fig. 5. Shape for 3 modified hull forms.

3.3 개조 선형 별 유체역학적 성능 분석

주 운항흘수1(흘수: 7.5 m, 72 % 배수량), 주 운항흘수2(흘수: 8.5 m, 83 % 배수량) 그리고 설계흘수(흘수: 9.8 m, 100 % 배수량)에 대하여 기존선형을 포함한 개조선형 별(개조1, 개조2, 개조3)로 16노트, 18노트 그리고 20노트에서 선측파형 및 선체표면에 작용하는 압력분포를 비교하였다.

Fig. 6은 주 운항흘수1에 대한 결과이다. 기존선형의 16노트에서는 파고 변화량이 심하며 선수어깨에서 파가 깨어지는 breaking 현상이 발생하였다. 이러한 관점에서 기존선형 대비 개조1, 개조2, 개조3 선형이 순서대로 향상되어지는 모습을 보여주었다.

선박개조에 따른 고객 맞춤형 기성품 선형 개발

Fig. 7은 주 운항흡수1에서 18노트에 대한 결과이다. Fig. 6의 16노트와 비교하여 볼 때 선속이 빨라짐에 따라 상대적으로 파고 변화량 그리고 선수어깨에서 파가 깨어지는 현상은 감소되었다. 그러나 기존선형의 경우 큰 저항이 예상된다.

Fig. 8은 주 운항흡수1에서 20노트에 대한 결과이다. Fig. 6과 Fig. 7과 비교하여 볼 때 상대적 고속에 따라 파고 변화량 그리고 선수어깨에서 파는 향상되었다. 그리고 기존선형 대비 개조1, 개조2, 개조3 순서대로 보다 더 향상되어지는 모습을 보여주었다.

Operating Condition 1
(draft: 7.5 m, 72 % compared to design draft), 16 knot

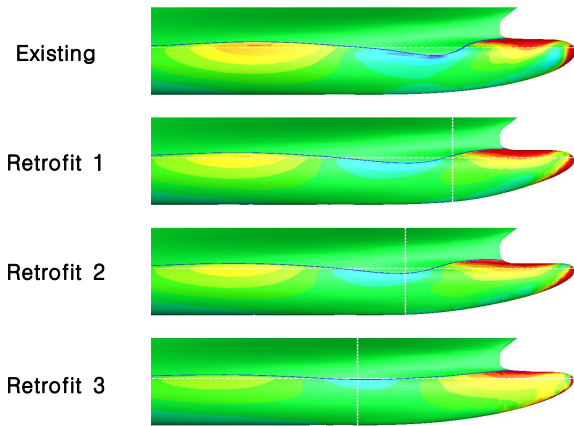


Fig. 6. Hydrodynamic analysis for 7.5 m draft and 16 knot.

Operating Condition 1
(draft: 7.5 m, 72 % compared to design draft), 18 knot

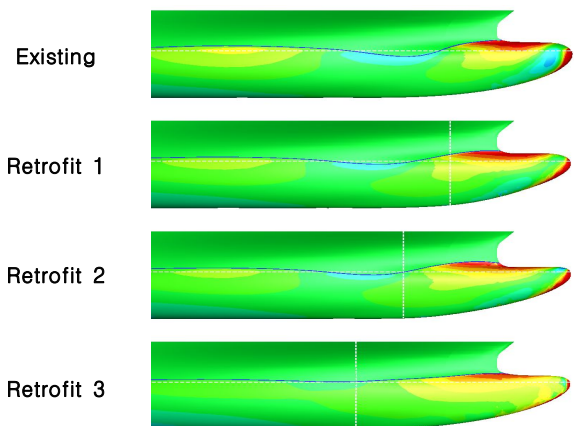


Fig. 7. Hydrodynamic analysis for 7.5 m draft and 18 knot.

Operating Condition 1
(draft: 7.5 m, 72 % compared to design draft), 20 knot

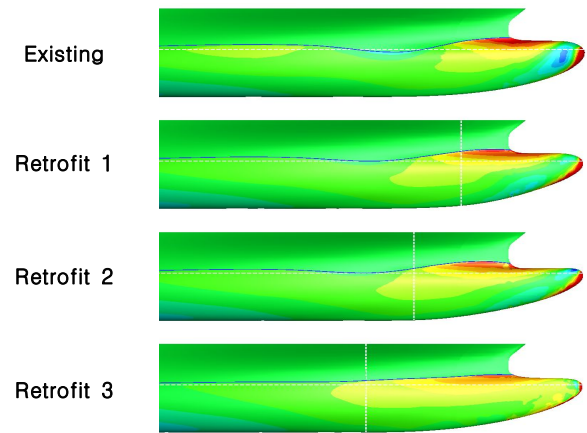


Fig. 8. Hydrodynamic analysis for 7.5 m draft and 20 knot.

Fig. 9는 주 운항흡수2의 16노트에 대한 결과이다. Fig. 6의 기존선형과 비교하여 볼 때 흡수(배수량)가 증가함에 따라 선속파고는 향상된 것을 확인하였다. 그리고 개조1~3 선형은 기존선형 보다 저항성능 관점에서 향상된 결과가 예상된다.

Fig. 10은 주 운항흡수2에서 18노트에 대한 결과이다. Fig. 9와 동일한 결과를 보여주었다. 개조1, 개조2, 개조3 선형으로 변경됨에 따라 선속파고가 거의 직선에 가까운 형태를 보여주었다. 이는 저항성능 측면에서 향상됨을 알 수 있다.

Operating Condition 2
(draft: 8.5 m, 83 % compared to design draft), 16 knot

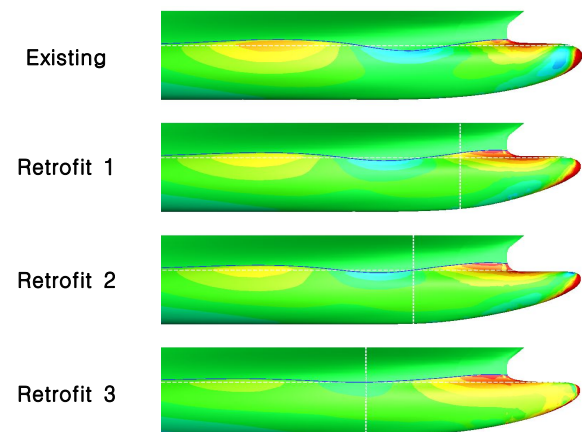


Fig. 9. Hydrodynamic analysis for 8.5 m draft and 16 knot.

Operating Condition 2
(draft: 8.5 m, 83 % compared to design draft), 18 knot

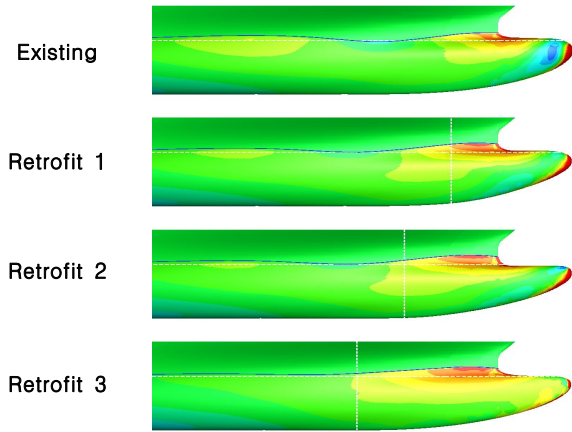


Fig. 10. Hydrodynamic analysis for 8.5 m draft and 18 knot.

Design Condition, draft: 9.5 m, 16 knot

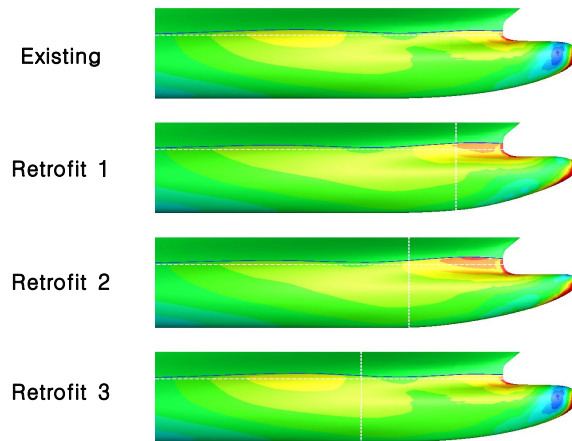


Fig. 11. Hydrodynamic analysis for 9.5 m draft and 16 knot.

Design Condition, draft: 9.5 m, 18 knot

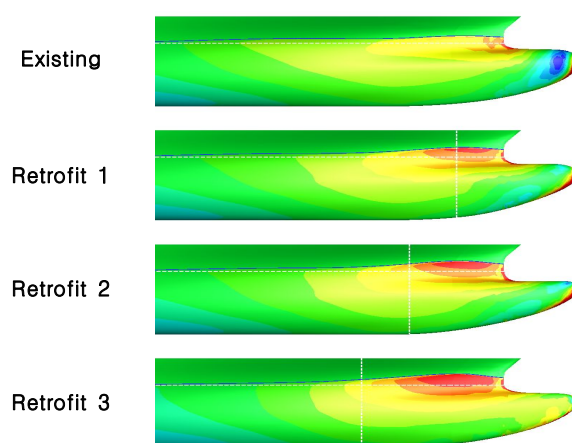


Fig. 12. Hydrodynamic analysis for 9.5 m draft and 18 knot.

Fig. 11은 설계흘수의 16노트에 대한 결과이다. 기존선형의 경우 설계흘수에서 최적화된 선형이기 때문에 선측과형을 보면 개조1~3선형 보다 큰 차이는 아니지만 우수한 결과를 보여주었다.

Fig. 12는 설계흘수의 18노트에 대한 결과이다. Fig. 11과 유사한 결과를 보여주었다. Fig. 11과의 차이점은 선속이 향상됨에 따라 개조3 선형의 경우 기존선형보다 저항증가가 예상된다.

3.4 개조 선형 별 저항성능 분석

유효마력 산정을 위해서 점성 유동해석을 수행하였다. 점성 유동장 계산은 상용 CFD 코드인 STAR-CCM+를 사용하였으며, 자유수면과 동적트림(자세변화)을 모두 고려하였다. 이는 실제 수조 모형시험의 환경과 동일한 조건이며 모형시험 결과와 비교할 수 있다는 점에서 의미가 있다. 우선 대상 선박을 모형선 크기(배 길이인 $L_{pp}=6.5\text{m}$)에서 선속별로 총 저항 값을 계산하였다. 이 저항 값을 이용하여 ITTC-1978 2차원 해석법에 의해 유효마력을 산정하였다. 기존선형에 대해서는 수조 모형시험 결과가 존재하였기 때문에 CFD 해석 결과와 비교를 통해 CFD로 추정된 저항 값에 보정하였다. 따라서 기존선형 및 개조선형 별로 CFD로 해석한 값에는 충분한 타당성 있다고 판단된다.

Table 4는 가장 낮은 흘수인 7.5m에서 운항할 경우 기존선형 및 개조선형에 대한 유효마력을 보여주고 있다. 모든 개조선형에 대하여 저항성능이 향상됨을 확인하였다. 기존선형과 비교하여 볼 때 개조3은 16노트에서 약 12.5%로 향상된 결과를 보여 주었다.

Table 5는 중간 흘수인 8.3m에서 운항할 경우 기존선형 및 개조선형에 대한 유효마력을 보여주고 있다. Table 4와 동일한 결과를 보여주었다. 기존선형과 비교하여 볼 때 16노트에서 개조1, 개조2, 개조3 순서대로 5.6%, 8.1%, 11.0% 향상된 결과를 보여주었다.

Table 6는 가장 높은 흘수인 9.5m에서 운항할 경우 기존선형 및 개조선형에 대한 유효마력을 보여주고 있다. 기존선형이 9.8m 흘수와 20노트에서 최적화된 선형이기 때문에 개조1과 개조2는 19노트와 20노트에서 오차 범위 내에서 유사한 결과를 보여주었다. 그러나 개조3 선형의 경우 19노트와 20노트에서 저항이 커짐을 알 수 있었다.

Fig. 12는 3가지 운항흘수에서 Fig. 5에서 정의한 기존선형과 개조선형의 유효마력을 비교하였다. 모든 개조선형에 대하여 저속영역에서 향상된 결과를 보여 주었다.

선박개조에 따른 고객 맞춤형 기성품 선형 개발

Table 4. Comparison of the resistance performance for the existing vessel and retrofit hull form at the 7.5m draft

Speed (knots)	Effective power at the 7.5m draft (kW)								
	Existing	Retrofit 1	Diff.(%)	Existing	Retrofit 2	Diff.(%)	Existing	Retrofit 3	Diff.(%)
14.0	3,053	2,867	-6.1%	3,053	2,774	-9.1%	3,053	2,521	-17.4%
15.0	3,629	3,458	-4.7%	3,629	3,358	-7.5%	3,629	3,091	-14.8%
16.0	4,271	4,110	-3.8%	4,271	4,011	-6.1%	4,271	3,739	-12.5%
17.0	5,008	4,828	-3.6%	5,008	4,738	-5.4%	5,008	4,474	-10.7%
18.0	5,839	5,637	-3.5%	5,839	5,559	-4.8%	5,839	5,311	-9.0%
19.0	6,775	6,609	-2.5%	6,775	6,530	-3.6%	6,775	6,298	-7.0%
20.0	7,982	7,941	-0.5%	7,982	7,858	-1.6%	7,982	7,649	-4.2%

Diff.(%) = [(Effective power of retrofit×100)/Effective power of existing]-100.0

Table 5. Comparison of the resistance performance for the existing vessel and retrofit hull form at the 8.5m draft

Speed (knots)	Effective power at the 8.5m draft (kW)								
	Existing	Retrofit 1	Diff.(%)	Existing	Retrofit 2	Diff.(%)	Existing	Retrofit 3	Diff.(%)
14.0	3,071	2,815	-8.3%	3,071	2,700	-12.1%	3,071	2,546	-17.1%
15.0	3,603	3,353	-6.9%	3,603	3,242	-10.0%	3,603	3,099	-14.0%
16.0	4,188	3,953	-5.6%	4,188	3,850	-8.1%	4,188	3,729	-11.0%
17.0	4,861	4,640	-4.5%	4,861	4,548	-6.4%	4,861	4,459	-8.3%
18.0	5,637	5,442	-3.5%	5,637	5,364	-4.8%	5,637	5,313	-5.7%
19.0	6,545	6,404	-2.2%	6,545	6,343	-3.1%	6,545	6,338	-3.2%
20.0	7,769	7,670	-1.3%	7,769	7,621	-1.9%	7,769	7,664	-1.4%

Diff.(%) = [(Effective power of retrofit×100)/Effective power of existing]-100.0

Table 6. Comparison of the resistance performance for the existing vessel and retrofit hull form at the 9.8m draft

Speed (knots)	Effective Power at the 9.8m draft (kW)								
	Existing	Retrofit 1	Diff.(%)	Existing	Retrofit 2	Diff.(%)	Existing	Retrofit 3	Diff.(%)
14.0	2,701	2,545	-5.8%	2,701	2,527	-6.4%	2,701	2,514	-6.9%
15.0	3,276	3,135	-4.3%	3,276	3,116	-4.9%	3,276	3,105	-5.2%
16.0	3,946	3,828	-3.0%	3,946	3,810	-3.4%	3,946	3,807	-3.5%
17.0	4,754	4,654	-2.1%	4,754	4,649	-2.2%	4,754	4,662	-1.9%
18.0	5,704	5,617	-1.5%	5,704	5,632	-1.3%	5,704	5,669	-0.6%
19.0	6,811	6,739	-1.1%	6,811	6,774	-0.5%	6,811	6,838	0.4%
20.0	8,296	8,232	-0.8%	8,296	8,281	-0.2%	8,296	8,384	1.1%

Diff.(%) = [(Effective power of retrofit×100)/Effective power of existing]-100.0

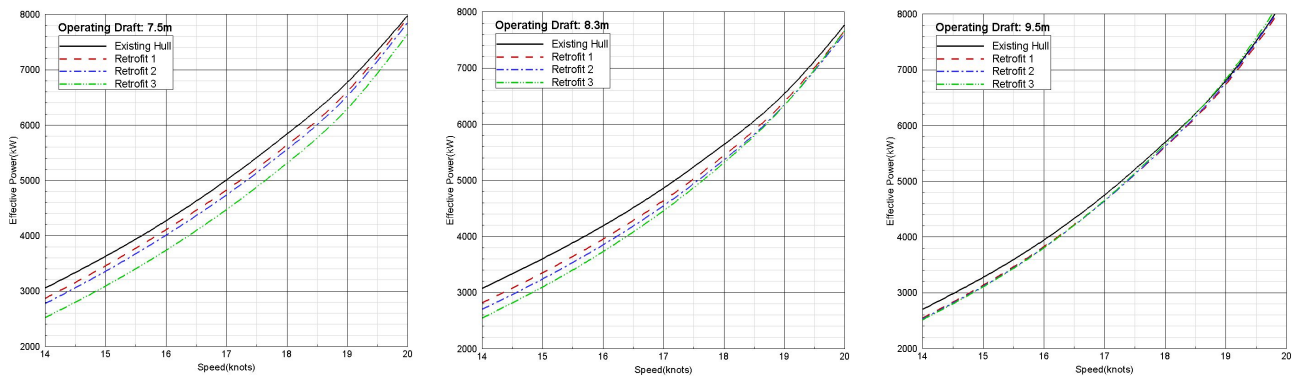


Fig. 12. Comparison of the effective power for the existing vessel and retrofit hull form according to the operating draft.

4. 결 론

본 연구의 주목적은 기존선형을 바탕으로 연료 절감이 가능한 표준화된 개조선형을 개발하는 것이다. 몇 가지 결론은 다음과 같다.

- 1) 설계 흘수(9.8 m)와 설계 선속(20노트)을 고려한 대상 선박의 선수부 형상을 검토하였다. 대상선박의 실제 운항 상태는 낮은 흘수(7.5 m, 8.3 m)와 저속영역(16~18 노트)임을 확인하였다. 대상선박의 구상선수는 거대한 특징을 지니고 있기에 낮은 흘수에서 저속운항 할 경우 구상선수는 역기능을 하게 되어 연료소비량이 오히려 증가함을 알 수 있었다.
- 2) 대상선박에 대하여 설계흘수, 설계선속 그리고 실제 운항 상태에서 저항성능을 평가하였다. 그 결과 실제 운항 상태인 8.5 m, 7.5 m의 흘수에서 저속으로 운항할 경우 선측과외의 변화량이 심하며 이로 인해 큰 저항이 발생하였다.
- 3) 대상선박에 대하여 가능한 개조 범위 내에서 3가지 개조선형을 작성하였다. 제시된 개조선형은 고객이 선택 가능하다는 점에서 고객 맞춤형 기성품 선형이라고 명하였다. 선형 모습은 Fig. 5에 나타내었다.
- 4) 실제 운항 상태에서 선속 별로 기존선형 및 개조선형에 대하여 유동해석을 수행하였다. 선측과외 및 선체 표면에 작용하는 압력 분포를 이용하여 정성적으로 유체역학적 성능을 분석하였다.
- 5) 기존선형 및 개조선형에 대하여 유효마력을 정량적으로 산정하였다. 산정에 있어서는 CFD 해석을 바탕으로 하였다. 그리고 기 확보된 기존선형에 대한 수조 모형시험 자료를 활용하였기 때문에 유효마력 평가에 있어서 타당한 결과를 제시하였다고 판단된다.
- 6) 가장 낮은 흘수인 7.5 m에서 운항할 경우, 기존선형과 비교하여 볼 때 개조3 선형의 저항성능은 저속영역인 16~18노트에서 약 11~16 %로 향상된 결과를 보여 주었다.
- 7) 중간 흘수인 8.3 m에서 운항할 경우, 16노트에서 개조1, 개조2, 개조3 순서대로 저항성능 관점에서 5.6 %, 8.1 %, 11.0 % 향상된 결과를 보여주었다.
- 8) 가장 높은 흘수인 9.5 m에서 운항할 경우, 모든 선형의 유효마력은 저속영역에서 큰 차이를 보이지 않았다.
- 9) 운항흘수 및 선속에 따라 개조선형 별로 추정된 마력은 고객에서 개조범위를 선택할 수 있는 솔루션 제공이 가능하다고 판단된다(Table 4-6, Fig. 12).

사 사

이 논문은 2015년도 동명대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 연구되었음(2015A018).

References

- [1] 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.
- [2] Park, D. W.(2014), A Study on the Speed Performance of a Medium Patrol Boat using CFD, *Journal of Navigation and Port Research*, Vol. 38, No. 6, pp. 585-591.
- [3] 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.
- [4] Park, G. Y. and K. H. Cho(2017), A study on the change of EEOI before and after modifying bulbous at the large container ship adopting low speed operation, *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 41, No. 1, pp. 15-20.
- [5] Park, I. R., J. Kim and S. H. Van(2004), Analysis of Resistance Performance of Modern Commercial Ship Hull using a Level-set Method, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 41, No. 2, pp. 79-89.
- [6] Yang, J. M. and H. C. Kim(2005), Prediction of Propulsive Performance of VLCC at Heeled and Trimmed Conditions, *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 42, No. 2, pp. 307-314.
- [7] Yang, J. M., S. H. Rhee and H. C. Kim(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*, Vol. 43, No. 3, pp. 275-284.

Received : 2017. 05. 23.

Revised : 2017. 06. 19.

Accepted : 2017. 06. 28.