

연안해운선의 온실가스 감축기술에 의한 연료절감액 산정

† 박동우 · 양영준*

*,† 동명대학교 조선해양공학부 교수

요약 : 기존선형과 저항을 최소화하는 최적선형에 대한 에너지효율 성능을 평가하는 것이다. 설계 흡수와 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 불 때 설계속도(12노트)에서 약 6% 향상된 결과를 보여 주었다. 준추진효율 계수(ETAD, η_D)는 모형시험 자료를 활용하였다. 에너지 효율 성능은 연간 운항일수, 병커C유 가격, 1일 연료사용량 그리고 연료소비계수를 바탕으로 작성되었다.

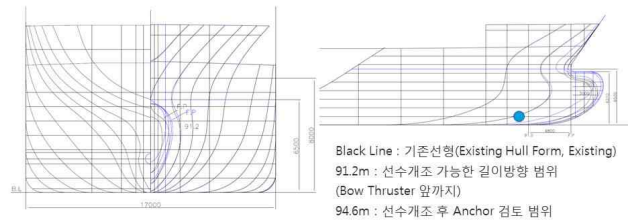
핵심용어 : 최적선형, 전산유체역학, 저항성능, 유효마력, 에너지 효율 성능

1. 개요

- 1) 목적 : 기존선형(Existing)과 감축기술을 적용한 선형의 속도성능 파악
- 2) 에너지효율 성능 분석 : 제동마력(BHP)의 감소량 추정
- 3) BHP : 유효마력(EHP)과 프로펠러의 준 추진효율 계수(ETAD) 추정 필요
- 4) EHP : CFD에 의한 모형선박의 전 저항을 이용하여 ITTC 1978 방법을 사용하여 실선의 전 저항을 추정
- 5) ETAD : 시운전 결과 및 수치계산에 의해 추정된 값 이용
- 6) 적용한 감축 기술 : 제한된 범위 내에서의 선수부 최적화(선수개조)
- 7) 선수개조 : BHP 추정에 있어 EHP의 변화 고려(적용기술이 저항성능에 의존)
- 8) 에너지 절감량 산정 : 엔진의 SFOC를 바탕으로 연료 사용량 산정

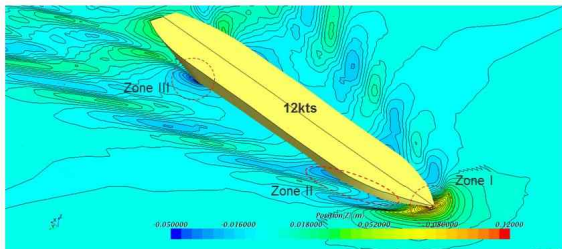
2. 대상선박

- 1) 선종 : 5,990 DWT 금 일반화물선
- 2) 주요치수 : $L_{BP}/B/T/C_B/\text{주 운항 선속}=96.0\text{m}/17\text{m}/6.5\text{m}/0.746/12\text{kts}(F_N=0.2012)$



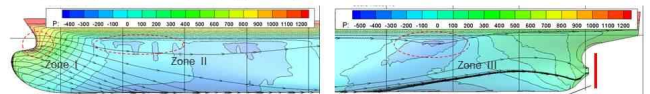
3. 대상선박 검토

- 1) 방법1(STAR-CCM+) : 자유표면에서의 파형

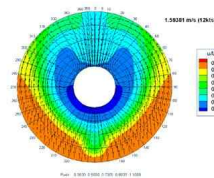


3. 대상선박 검토

- 1) 방법1(STAR-CCM+) : 압력분포 분석(12kts)

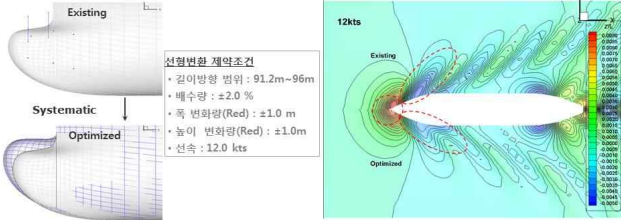


- 2) 반류분포(12kts)



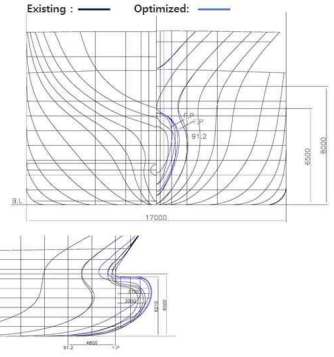
4. 선수부 최적화(선수개조)

- 1) 방법2에서 언급한 Opt-Flow 코드를 활용하여 최적화 수행
- 2) Opt-Flow 설명 : 최소 조파저항을 가지는 최적선형설계 프로그램, 조파저항 값을 목적함수로 하여 자동 선형변환+최적화 기법을 이용하여 최적선형 도출
- 3) 최적선형 도출



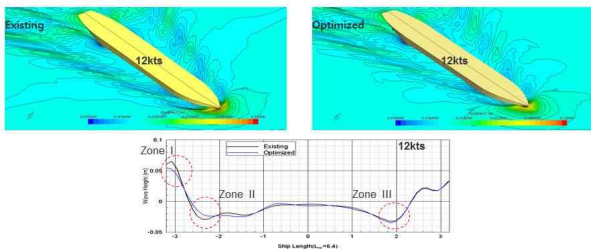
5. 최적선형 설명

	Existing	Optimized
L _{BP} (m)	96.0	96.0
B(m)	17.0	17.0
T _A , T _B (m)	6.50	6.50
V(m ³)	7912.3	7929.8
S(m ²)	2323.0	2334.0
L _{CB} (m)	49.210	49.316
C _B	0.7459	0.7475
C _P	0.7501	0.7517

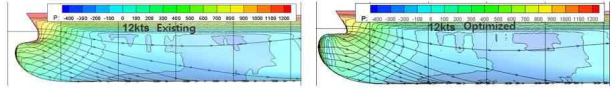


6. 최적선형의 저항성능 평가

- 1) 선속 : 11kts, 12kts, 13kts
- 2) 실선의 유효마력(EHP)추정 : STAR-CCM+ 사용하여 모형크기의 전저항 계산, 자유수면과 동적트림(자세변화) 모두 고려. 실제 수조 모형시험의 환경과 동일한 조건. EHP는 ITTC-1978 방법에 의하여 추정



6. 최적선형의 저항성능 평가



모형선의 전저항(N) 계산 결과

	Existing	Optimized	(%)
11kts	45.2740	43.9819	2.85 ↓
12kts	54.2702	52.1359	3.93 ↓
13kts	68.8316	66.5515	3.31 ↓

(%) : 100-Optimized *100/Existing

7. 기존선형과 최적선형의 제동마력 평가

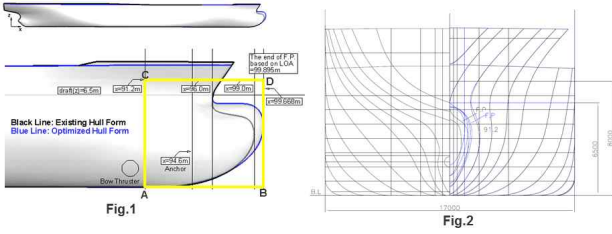
기존선형												
Location	Existing											
Scale Ratio	15											
LPP	96.00 m											
LWL	96.00 m											
TF	6.50 m											
TA	6.50 m											
B	17.0 m											
S	2323.0 m ²											
DISV	7912.3 m ³											
SBK	17.00 m ²											
AT	180.0 m ²											
KS	1.50E-04											
I-H	1.000											
RHOH	998.88 kg/m ³											
RHO5	1025.89 kg/m ³											
NUM	1.15681E-6 m/s ²											
NUS	1.18830E-6 m/s ²											
CAE+3	0.1800											
CAE+3	0.0775											
V50(kn)	VM(M/s)	FN	RnMPE-06	RTM(N)	CTMPE+3	CFMPE+3	CVMPE+3	CWMPE+3				
11.0	1.8410	0.1844	8.4480	45.274	43.9819	3.0099	3.0099	3.0099				
12.0	1.9338	0.2012	9.2360	54.270	52.1359	3.0430	3.0430	3.0430				
13.0	1.7266	0.2179	9.9840	68.832	66.5515	3.0008	3.0008	3.0008				
15% SM 고려												
V50(kn)	RnSE-09	CFSE+3	CVSE+3	CTSE+3	RTS(N)	PE(S)	ETAD	CP	ETAT	SM(N)	EP(S/W)	BP(S)
11.0	0.4571	1.6909	1.8709	2.8856	114	645	877	0.665	1	0.985	15	1132
12.0	0.4987	1.6718	1.8518	2.9451	138	853	1160	0.628	1	0.985	15	1267
13.0	0.5402	1.6546	1.8346	3.0022	181	1212	1648	0.623	1	0.985	15	2272

8. 기존선형과 최적선형의 제동마력 평가

최적선형												
Location	Optimized											
Scale Ratio	15											
LPP	96.00 m											
LWL	96.00 m											
TF	6.50 m											
TA	6.50 m											
B	17.0 m											
S	2334.0 m ²											
DISV	7929.8 m ³											
SBK	17.00 m ²											
AT	180.0 m ²											
KS	1.50E-04											
I-H	1.000											
RHOH	998.88 kg/m ³											
RHO5	1025.89 kg/m ³											
NUM	1.15681E-6 m/s ²											
NUS	1.18830E-6 m/s ²											
CAE+3	0.1800											
CAE+3	0.0771											
V50(kn)	VM(M/s)	FN	RnMPE-06	RTM(N)	CTMPE+3	CFMPE+3	CVMPE+3	CWMPE+3				
11.0	1.8410	0.1844	8.4480	43.9819	43.9819	3.0099	3.0099	3.0099	0.873			
12.0	1.9338	0.2012	9.2360	52.1359	52.1359	3.0430	3.0430	3.0430	0.9185			
13.0	1.7266	0.2179	9.9840	66.5515	66.5515	3.0008	3.0008	3.0008	1.3080			
15% SM 고려												
V50(kn)	RnSE-09	CFSE+3	CVSE+3	CTSE+3	RTS(N)	PE(S)	ETAD	CP	ETAT	SM(N)	EP(S/W)	BP(S)
11.0	0.4571	1.6909	1.8709	2.8489	109	638	860	0.665	1	0.985	15	1085
12.0	0.4987	1.6718	1.8518	2.9020	131	806	1096	0.628	1	0.985	15	1205
13.0	0.5402	1.6546	1.8346	3.2331	173	1150	1574	0.623	1	0.985	15	2169

9. 선수개조 범위

- 1) 선체 길이(x) : Fig.1의 A~B(C~D), 91.2m~99.668m(Existing의 91.2m~99.0m 제거)
- 2) 선체 높이(z) : Fig.1의 A~C(B~D), 0~최대8.0m(Existing의 0m~8.0m 제거)
- 3) 선체 폭(y) : Fig.2의 Blue Line

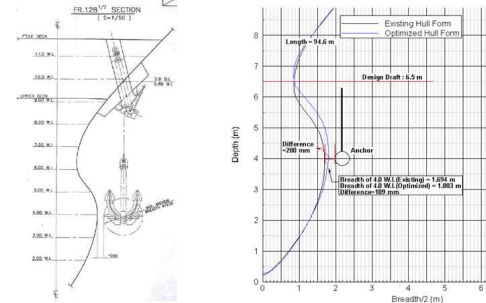


11



10. 선수개조에 따른 Anchor 체크

1) Anchor 체크 : 94.6m



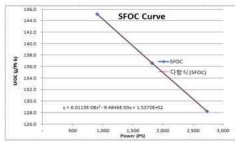
12



13. 연료절감액 산정(선수최적화 기술만)

- 1) 엔진 : MAN B&W 6L35MC(MARKII)
- 2) MCR(PS*RPM)=3648*200, NCR(PS*RPM)=3283*193
- 3) SFOC(Specific Fuel Oil Consumption, g/bhp-h)

Load% of MCR	Power(ps)	RPM(r/min)	SFOC(g/bhp-h)
75.0	2,736	182.0	128.2
50.0	1,824	159.0	136.6
25.0	912	126.0	145.1



5) DFOC 계산을 위한 자료 : 병커C유-551.28원/리터, 병커C유 밀도-0.92 kg/리터, 1 USD(1171원)

6) DFOC(Ton) = SFOC * 제동마력(BHP) * 24h * 10⁻⁶

7) 절감액 산정(Full Load에서 연간 80일(21.9%) 운항 기준)

Speed	EHP(PS)			ETA D			BHP(PS) w/ 15 S.M.		
	Existing	Optimized	Diff.	Existing	Optimized	Diff.	Existing	Optimized	Diff.
11.0 knots	877	840	-4.2%	0.665	0.665	0.0%	1,540	1,475	-4.2%
12.0 knots	1,160	1,096	-5.5%	0.625	0.625	0.0%	2,167	2,047	-5.5%
13.0 knots	1,649	1,574	-4.5%	0.623	0.623	0.0%	3,090	2,950	-4.5%

Speed	DFOC (mt/day)			연간 연료 소비금액			연간 절감금액		
	Existing	Optimized	Diff.	Existing	Optimized	Diff.	Existing	Optimized	Diff.
11.0 knots	5,140	4,945	-0.195 -3.8%	\$ 210,418.7	\$ 202,434.0	\$ 7,984.7	₩ 9,350,092	₩ 8,350,092	₩ 1,000,000
12.0 knots	6,924	6,598	-0.326 -4.7%	\$ 283,466.8	\$ 270,108.2	\$ 13,358.7	₩ 15,643,009	₩ 14,643,009	₩ 1,000,000
13.0 knots	9,226	8,900	-0.325 -3.5%	\$ 377,667.0	\$ 364,353.2	\$ 13,313.8	₩ 21,590,425	₩ 20,590,425	₩ 1,000,000

13

