

CFD를 이용한 중형 경비정의 속도성능 평가

† 박동우

† 동명대학교 조선해양공학과 교수

A Study on the Speed Performance of a Medium Patrol Boat using CFD

† Dong-Woo Park

† Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Tongmyong University, Busan 608-711, Korea

요약 : 본 논문의 주 목적은 프루드 수가 0.5 이상인 중형 경비정의 속도성능을 모형시험 이전에 CFD 결과를 바탕으로 기존의 모형시험 자료를 활용하였다. 모형시험 이전에 CFD를 이용하여 선속 별로 추정된 제동마력이 주어진 엔진마력을 만족하는지를 평가 하였다. 대상선박은 선미가 서로 다른 두 가지 선형을 선정하였다. 점성 유동장 계산은 상용 CFD 코드인 STAR-CCM+를 사용하였으며, 자유수면과 자세 변화(동적 트림)를 모두 고려하였다. 알몸 선체의 저항 값은 CFD를 이용하여 추정되었다. 점성 유동 해석을 통해 두 가지 선형의 자유수면 파형, 압력분포, 한계유선 그리고 프로펠러 면에서의 속도분포를 비교하였다. 점성 유동 해석 결과를 바탕으로 두 가지 선형에 대한 유효마력 즉, 저항성능을 평가하였다. 부가물 부착에 따른 저항 증가량과 준추진효율 계수(ETAD, η_D)는 모형시험 자료를 활용하였다. 중형 경비정과 같은 고속선박에 관한 속도성능 추정법이 CFD와 기존 시험자료를 이용하여 개발되었다.

핵심용어 : 중형 경비정, CFD, 모형시험, 속도성능

Abstract : The primary objective of the current work is to predict speed performance of the medium patrol boat over $F_N=0.5$ employing experimental materials based on the CFD before model tests. In other words, the predicted brake powers according to ship speeds are assessed satisfying the main engine capacity. The subject ships are selected the two different stern hull forms. The flow computation are conducted considering free surface and dynamic trim using a commercial CFD code(STAR-CCM+). The resistances of the bare-hull are obtained from CFD. Wave patterns, pressures and limiting streamlines on the hull and velocity distribution in the propeller plane for the two hull forms are compared using CFD. The effective powers of the object ships are assessed based on CFD. Resistance increase according to the attached appendages and quasi-propulsive efficiency are employed the experimental datas. Speed performance prediction method concerning high speed vessels like a medium patrol boat is developed employing CFD and experimental data.

Key words : medium patrol boat, CFD, model test, speed performance

1. 서론

선형의 속도성능 평가 및 선형개발을 위해 전통적인 수조 시험에 앞서 CFD 기술을 활용한 수치계산 시스템을 활용하면 짧은 시간 내에 적은 비용으로 여러 가지 선형을 미리 검토해 볼 수 있는 기회를 제공한다. 따라서 이미 조선소 등 선형평가 및 개발 현장에서는 수치계산 시스템이 활발히 사용되고 있다. 본 논문의 주 목적은 프루드 수가 0.5 이상인 상대적으로 고속 선박인 중형 경비정의 속도성능을 모형시험 이전에 CFD 결과를 바탕으로 모형시험 자료를 활용하였다. 즉, 선속 별로 추정된 제동마력이 주어진 엔진마력을 만족하는지를 모형시험 이전에 평가하고자 하였다.

고속으로 운항하는 선박들은 일정한 선속 이상에서는 큰

자세 변화로 인해 유체동역학적 특성이 바뀌게 된다. 즉, 선체 중량과 부력 그리고 선속에 의해 결정되는 동적 유체력 들이 평형을 이루는 과정에서 트림(Trim)과 흡수 침하(Sinkage)의 형태가 나타난다.

설계된 선형들에 대한 보다 정확한 유동정보와 유체성능 우열을 보다 확실하게 결정지을 수 있는 실제 모형시험 조건과 동일한 저항 및 자항시험 수치 시뮬레이션에 대한 관심이 커지고 있다. 이와 관련하여 수행되고 있는 연구들을 소개하면 다음과 같다(Kim et al.(2005), Kim et al.(2007), Kim et al.(2009) and Choi et al.(2010)). 고속선박에 대한 연구로서 Kim et al.(2009)는 수치 해석을 이용하여 활주선 모형주위의 유동해석을 수행 한 바 있다. 하지만 모형시험에서 계측된 항주 자세를 수치계산에 적용하였으며 실제 계산을 통해서는 구하지 못하였다. 수치계산으로도 항주자세를 추정하는 것은 가

† Corresponding author : 정희원, dwpark@tu.ac.kr 051) 629-1654

능하나 항주자세에 따라 수치계산을 위한 패널 및 격자를 매번 재 생성해야 하는 어려움이 있으며 특히 자세변화가 큰 고속선의 경우에 대한 효율적인 방법이 정립되어 있지 않은 상황이다. Kim et al.(2011)은 WAVIS을 이용하여 선박의 저항 및 자항성능 해석을 위한 수치기법을 개발하였다. Oh et al.(2013)은 시간적, 경제적인 이점과 모형 시험에 비해 상세한 정보를 얻을 수 있는 장점으로 가지고 있는 수치계산 프로그램을 사용하여 항주 자세를 찾아내었다. WAVIS 1.4 포텐셜 유동계산 프로그램을 이용하여 선체에 발생하는 부양력을 계산해 내고 이를 추가적인 부력으로 간주하여 선체 중량과의 평형을 이용하여 항주자세를 추정 할 수 있는 방법으로 고안해 내었다.

본 연구에서는 주어진 선형의 유효마력을 추정하기 위해서 점성 유동해석을 수행하였다. 점성 유동장 계산은 상용 CFD 코드인 STAR-CCM+를 사용하였으며, 자유수면과 자세 변화(동적 트림)를 모두 고려하였다. 해석조건은 실제 수조시험의 환경과 동일한 것으로 향후 모형시험 결과와 비교할 수 있다는 점에서 의미가 있다. CFD에 의한 알몸선체(Bare-hull)의 저항 값으로부터 ITTC-1978 2차원 해석법을 이용하여 유효마력을 추정하였다. 부가물 부착에 따른 저항 증가량과 준추진효율 계수(ETAD, η_D)는 기존의 모형시험 자료를 활용하였다. 최종적으로 관심 있는 배수량과 속도에서 제동마력 추정을 통해 속도성능을 평가하였다. 3장은 CFD 해석방법 및 저항 값 계산 결과를 기술하였다. 4장은 CFD 결과를 바탕으로 모형시험 자료를 이용하여 유효마력과 제동마력을 추정한 결과를 토의하였다.

2.수행내용

2.1 초기선형 모습

초기선형의 주요치수는 다음과 같다. T1은 만재흘수(Over Load) 그리고 T2는 설계흘수(Design)를 나타낸다. T1과 T2의 흘수 비인 T1/T2는 약 1.07 이다. T1과 T2에서의 계약속도는 각각 22.0 kts와 23.0 kts 이다.

- 주요치수: $L_{PP}/B/T1/T2 = \text{abt.}50/8.5/T1/T2 \text{ m}$

선수와 선미선형 모습은 각각 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 선수선형은 한 가지 이며, 선미선형은 두 가지 이다. 선미선형은 선미선형1(Stern Hull Form 1)과 선미선형2(Stern Hull Form 2)로 작성되었다. 선미선형2의 형상은 선미선형1과 비교하였을 때 상대적으로 선미어깨를 부드럽게 하였고 줄어든 배수량을 만족시키기 위해 선저쪽에 체적을 증가하는 형태로 작성되었다.

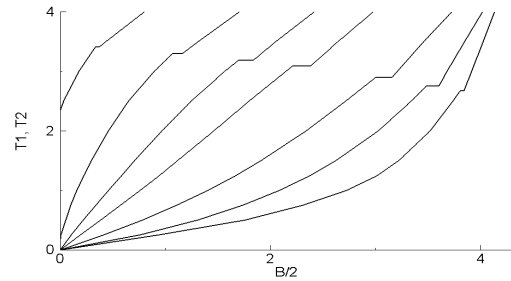


Fig. 1 Bow hull form

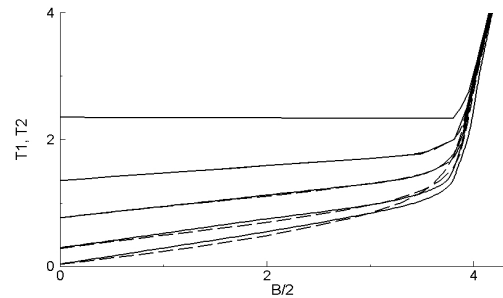


Fig. 2 Two stern hull forms(Solid: Stern hull form 1, Dashed: Stern hull form 2)

해석은 두 가지 선미선형에 대하여 T1 흘수의 22.0 kts와 T2 흘수의 23.0 kts에서 수행하였다. 계산조건 및 저항 값은 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Characteristics of the two stern hull forms

	Stern Hull Form 1		Stern Hull Form 2	
L_{PP} (m)	abt. 50.0		abt. 50.0	
B (m)	8.5		8.5	
T1 or T2 (m)	T1	T2	T1	T2
Ship Speed (kts)	22.0	23.0	22.0	23.0
$R_{NM} \times 10^{-6}$	25.7	26.9	25.7	26.9
F_N	0.51	0.53	0.51	0.53
R_{TM} (N)	525.3	494.3	523.2	491.8

Notes) T1: Over Load, T2: Design, T1/T2=1.07

R_{NM} : Reynolds number of model scale

R_{TM} : Total resistance at model scale

2.2 유동해석 및 속도성능 추정

본 논문의 목적은 모형시험 이전에 수치해석과 모형시험 자료를 활용하여 초기선형에 대한 유효마력과 제동마력을 추정하는 것이다. 선속 별로 추정된 제동마력이 주어진 엔진마력을 만족하는지를 모형시험 이전에 평가하고자 하였다.

모형선 크기의 전저항 추정

유동장 해석은 상용코드인 STAR-CCM+를 사용하였다. 계산은 모형선 크기에서 알몸선체에 대하여 자유수면과 동적트림을 고려하여 수행하였다. 즉, 실제 수조 모형시험과 동일한

조건에서 해석되었다.

유효마력 추정

수치해석으로부터 계산된 모형선 크기의 알몸선체에 해당하는 전저항 값(R_{TM})을 이용하여 ITTC-1978에서 제시된 2차원 해석법에 의해 실선 크기에서의 유효마력을 추정하였다. 투영면적(Projected Area)에 의한 공기저항과 빌지킬(Bilge Keel), 스트럿(Strut), 샤프트(Shaft) 그리고 러더(Rudder)에 의한 부가저항은 모형시험 자료를 활용하여 산정하였다.

제동마력 추정

추정된 유효마력으로부터 제동마력 추정을 위해서는 준 추진효율 계수(ETAD, η_D)를 알아야 한다. 본 연구에서는 쌍축 프로펠러에 대하여 유사선의 시험 결과를 이용하는 가능성 있는 세 가지 준 추진효율 계수를 추정하였다. 마력보정과 축 손실 계수(ETAT, η_t)는 부산대 모형시험 해석에 사용하는 값을 사용하였다.

3.CFD 해석

3.1 좌표계 및 지배방정식

본 계산을 위하여 적용된 좌표계 및 계산영역은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 유동방향이 양(+)의 x축이고 선박의 우현이 양의 y축이며 중력의 반대방향이 양의 z축으로 하는 직교 좌표계를 사용하였다. 좌표계의 원점은 선체 중심면과 중앙면 그리고 자유 수면(free surface)이 만나는 점에 위치한다. 계산 영역은 원점에서 선수부 방향으로 $1.5L_{PP}$, 선미부 방향으로 $2L_{PP}$ 이며 폭 방향으로 $1.5L_{PP}$ 이다. 선체에서 발생한 자유 수면이 계산 영역의 입구, 출구 및 대칭 경계 조건에 의해 왜곡되지 않도록 계산 영역을 설정하였다. 또한 친수 효과가 발생하지 않도록 깊이 방향으로는 자유수면으로부터 $1.5L_{PP}$ 이며, 공기에 해당하는 영역의 높이는 $1.0L_{PP}$ 이다. 본 연구에 사용된 모든 물리량은 배 길이(L_{PP}), 선속(V_S) 그리고 밀도(ρ)로 무차원 하였다.

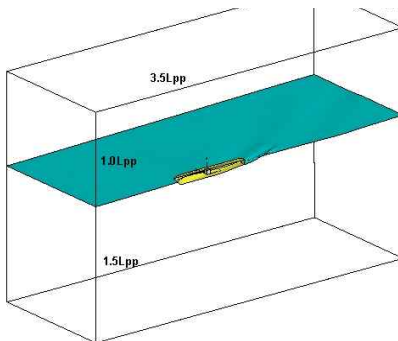


Fig. 3 Coordinate system and computational domain

유동의 지배방정식인 연속방정식과 운동량 방정식은 다음과 같다.

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

여기서 $U_i = (U, V, W)$ 는 $x_i = (x, y, z)$ 방향의 속도 성분이다. 본 수식에서 표시된 물리량들은 무차원화 된 양이며, 무차원 변수는 유체의 밀도(ρ), 기준속도(V_0), 수선간길이 이다.

비압축성 난류유동에 대한 운동량 방정식인 Reynolds averaged Navier-Stokes 식은 다음과 같이 tensor form으로 표현된다.

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

여기서 p 는 정압, $R_N (= \frac{V_0 L_{PP}}{\nu})$, ν 는 유체 동점성 계수(Reynolds 수이며, $-\overline{u_i u_i}$ 은 Reynolds 응력이다. Reynolds stress에 대한 난류 종결(turbulent closure)을 위해 Reynolds stress model을 사용하였다.

3.2 수치격자 및 계산조건

선체표면 및 공간격자 생성은 STAR-CCM+에 제공하는 트리머(trimmed mesh)와 경계층 격자(prism layer)를 사용하였다. 생성된 전체 격자수는 약 120만개로써 격자의 구성은 Fig. 4와 같다. 그림에서 보듯이 트리머는 유동 특성이 복잡한 영역에서 격자를 조밀하게 구성하며, 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 최소자승법(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, 첫번째 경계층 격자는 선체 전체의 y^+ 평균값이 30~40이 되도록 하였으며, 벽함수(wall function)를 사용하였다. 양질의 경계층 격자를 생성하기 위해 선체 갑판부에는 경계층 격자를 적용하지 않았으나, 갑판에 작용하는 힘은 공기에 의한 전단력으로 전체 저항에서 무시할 수 있는 수준이다. 갑판에 경계층을 생성한 경우와 생성하지 않은 경우의 힘의 차이는 전체 저항값의 0.1% 미만이다.

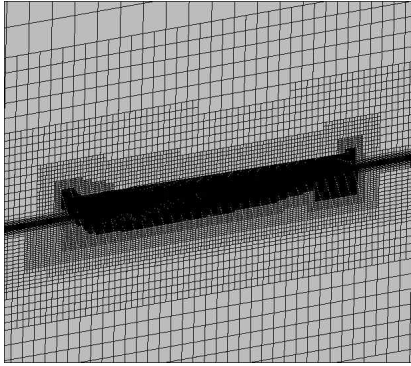


Fig. 4 Numerical grid employed for calculations

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 sinkage는 계산 영역 전체의 z 방향 수직 이동으로 나타나며 트림은 계산 영역 전체의 y 방향 회전을 나타낸다. 계산 시간 간격(time interval)은 $\Delta t=0.02$ 를 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 90초까지 계산을 수행하였음에도 불구하고 저항값이 완전히 수렴하지 않은 경우가 있는데, 이 경우 마지막 10초 동안의 평균값을 사용하였다.

입구 경계 조건은 고정 속도 조건 ($V_{in}=V_M$) 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.

3.3 저항 값 계산

점성 유동해석 결과로부터 선체의 수직방향 옹력과 수평방향 옹력으로부터 선체에 작용하는 전저항(R_{TM})을 식(3)으로부터 구할 수 있다.

$$C_{TM} = \frac{1}{S} \iint (-C_p n_x + C_{fx}) dS \quad (3)$$

여기서 S는 선체의 접수면적, C_p 는 선체에 수직으로 작용하고 있는 수직옹력의 압력계수, n_x 는 선박의 축 방향 단위벡터, C_{fx} 는 선체에 수평으로 작용하는 수평옹력계수이고, C_{TM} 은 함에 작용하는 전저항 계수이다. Table 2에 선체에 작용하는 전저항 및 선수미 싱키지(Sinkage)를 정리하였다.

4. 결과 및 토의

4.1 두 가지 선형의 점성 유동해석

4.1.1 자유수면 곡형 비교

Fig. 5는 두 가지 선형에 대하여 T1 홀수의 22.0 kts에서 곡형을 비교한 것이다. Zone I를 살펴보면 수정된 선미선형이 선미어깨 부근에서 개선되어 보이나 큰 차이는 나타나지 않았다. 이러한 부분의 차이가 Table 1의 저항 값에서는 약 0.4%의 차이 ($525.3 \text{ N} \rightarrow 523.2 \text{ N}$)를 보였다. Fig. 6은 T2 홀수의 23.0 kts에서 곡형을 나타내었다.

4.1.2 압력분포 비교

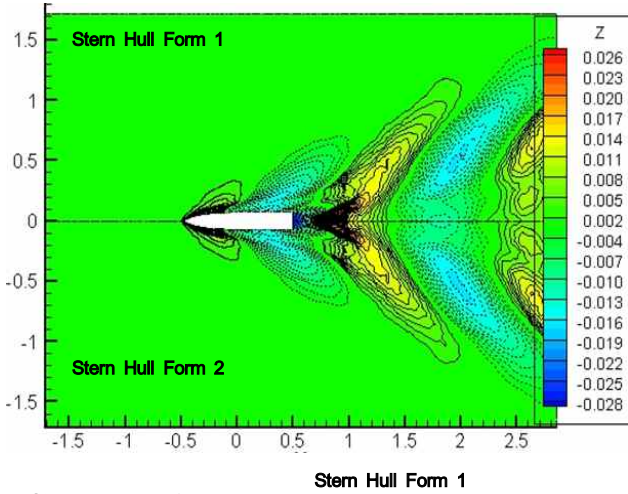
Fig. 7과 Fig. 8은 선체표면에 작용하는 압력분포를 나타내었다. 선수부에 작용하는 높은 압력은 유동이 선체를 따라 흐르면서 점차 낮아져 선체 중앙부 부근에서 일정한 값을 갖는다. 그리고 유동이 선체 중앙부를 지나 선미로 흐르면서 압력은 점차 회복된다. 선수부는 상대적으로 큰 압력이 작용하는 것으로 보이며, 선미부는 두 가지 선형 모두 대동 소이한 결과를 나타내었다.

4.1.3 한계유선

Fig. 9는 두 가지 선형에 대하여 T2 홀수의 23.0 kts에서 선체 표면의 한계유선을 나타내었다. 본 경비정 같이 선수 벌브가 없는 선형은 선수부근에서의 한계유선은 아래로 향하고 있다. 선수영역을 지나면서 선체 중앙부에서의 유동은 평행하게 흐르며, 선미부에서의 한계유선은 위로 향하게 된다. 선형 변화에 따른 한계유선 특성에 대한 변화는 거의 없다.

4.1.4 프로펠러 면에서의 속도분포 및 반류 특성

Fig. 10은 두 가지 선형, 즉 기존선형과 수정된 선미선형에 대하여 프로펠러 면에서의 무차원화된 축방향 속도분포를 나타내었다. 여기서 좌표축 Y/R와 Z/R(R은 프로펠러 반지름)는 무차원을 갖는 좌표 값을 나타내며, 원으로 표시된 영역은 프로펠러가 부착된 위치를 나타낸다. 두 가지 선형 모두 프로펠러 면에서의 축방향 속도 분포는 거의 균일한 결과를 보여주었다.



Stern Hull Form 1

Stern Hull Form 1

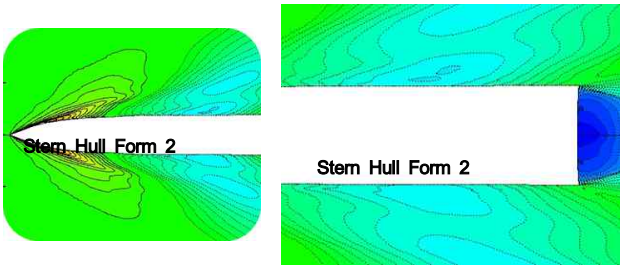


Fig. 5 Comparison of wave contours for two stern hull forms(22.0 kts at T1 draft)

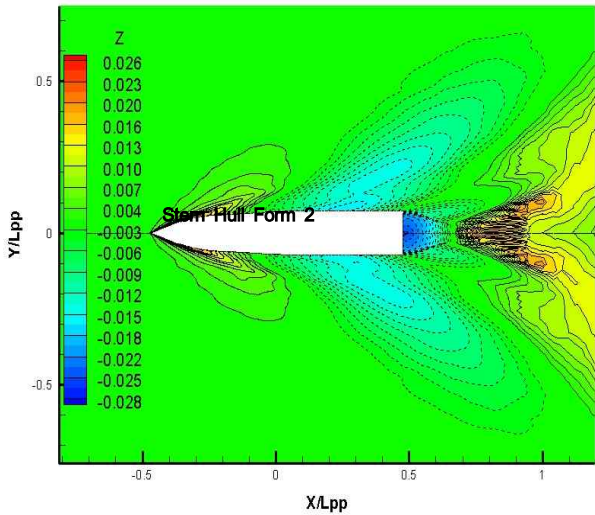


Fig. 6 Comparison of wave contours for two stern hull forms(23.0 kts at T2 draft)

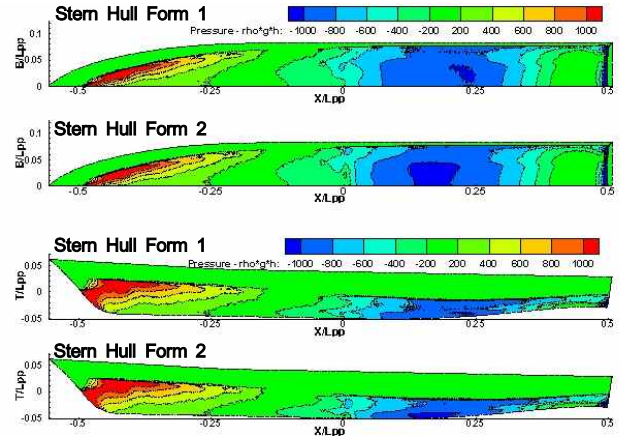


Fig. 7 Comparison of hull pressures for two stern hull forms(22.0 kts at T1 draft)

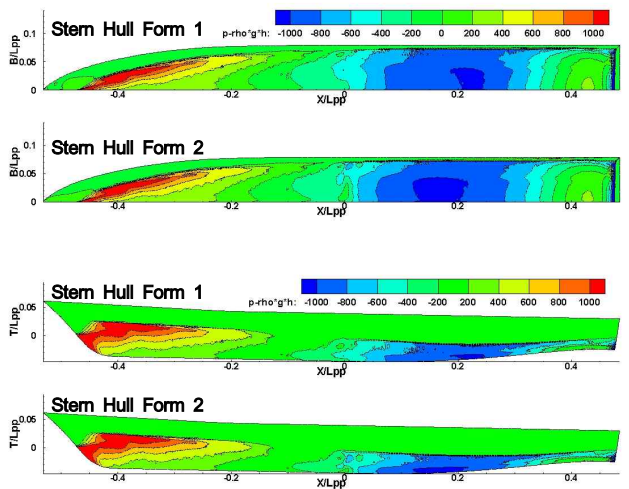


Fig. 8 Comparison of hull pressures for two stern hull forms(23.0 kts at T2 draft)

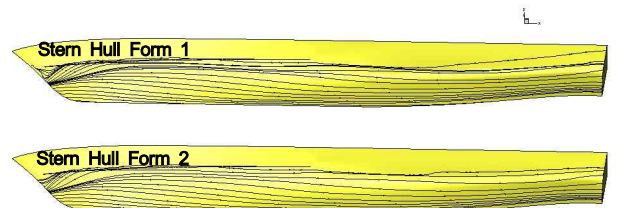


Fig. 9 Comparison of limiting streamlines for two stern hull forms(23.0 kts at T2 draft)

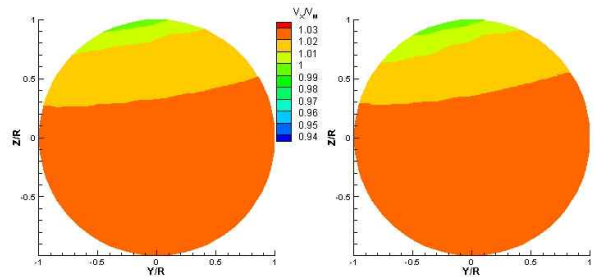


Fig. 10 Comparison of axial velocity contours for two stern hull forms(23.0 kts at T1 draft)

4.2 CFD를 이용한 유효마력 및 제동마력 추정

CFD로부터 계산된 선미선형1(Stern Hull Form 1)의 알몸 선체 전저항(R_{TM})을 이용하여 ITTC-1978 2차원 해석법에 따라 저항 해석을 수행 하였다(ITTC-1978). 해석 결과는 Table 2에 나타내었으며 계수들에 대한 정의는 ITTC-1978을 참조 바란다. 본 경비정의 부가물 별 알몸선체 대비 저항증가는 유사선종들의 모형시험 자료를 활용 하였다. 추정된 값은 Table 3에 나타내었다. 공기저항은 투영면적을 이용하여 ITTC-1978 해석법에서 제안한 식을 이용하여 추정하였다. 부가물에 의한 저항증가는 알몸선체의 저항 값을 기준으로 약 18.4 % 증가됨을 예상하였다.. Table 4의 유효마력(PE)은 공기저항 및 모든

부가물이 포함된 값이며, Table 2에서 추정한 알몸선체의 PE 대비 약 18% 증가되는 것으로 추정되었다.

준추진효율 계수는 유사선종의 모형시험 자료로부터 가능성 있는 세 가지 값인 0.612, 0.622 그리고 0.633을 활용 하였다. 이 값들은 기존의 시험 자료를 바탕으로 최대와 최소의 한계 효율 범위라고 할 수 있다.

제동마력(Brake Power, BP) 추정과정에서는 마력 보정은 없는 것($C_p=1.0$)으로 하였다. 해상상태(Sea Margin)는 10%를 사용하였다. 이러한 값들을 바탕으로 초기선형에 대하여 T1과 T2 흘수에서 22.0 kts와 23.0 kts에서 제동마력을 추정 하였다. 그 결과는 Table 5에 정리하였다.

Table 2 Resistance performance prediction employing the RTM based on CFD

$L_{BP}(m)$	draft	Wetted Surface (m^2)	Displacement(m^3)	V_S (knots)	F_N	$R_{NM} *E-6$	CFD			$C_{TM} *E+3$	$C_{FM} *E+3$	$C_R *E+3$
							R_{TM} (N)	Sinkage at FP(m)	Sinkage at AP(m)			
abt. 50	T1	412	430	22.0	0.505	25.7	525.3	-0.40	+0.62	7.793	2.562	5.230
abt. 50	T2	401	386	23.0	0.528	26.9	494.3	-0.56	+0.68	6.895	2.544	4.351

$L_{BP}(m)$	draft	Wetted Surface (m^2)	Displacement(m^3)	V_S (knots)	$R_{NS} *E-9$	$C_{FS} *E+3$	$C_{TS} *E+3$	R_{TS} (kN)	PE except Air Resistance (kW)
abt. 50	T1	412	430	22.0	0.488	1.677	7.307	198	2240
abt. 50	T2	401	386	23.0	0.510	1.667	6.418	185	2187

Notes) Sinkage at FP and AP: Full Scale
 $C_A=0.4 *E-3$, Model-Ship Correlation Coefficient
 $C_{TS}=C_R+C_{FS}+C_A$

Table 3 Increased resistance over Bare-Hull according to the appendages

Appendage Type	Wetted Area of Appendage /Wetted Surface of Bare-Hull (%)	Increased Resistance over Bare-Hull (%)	Remark
Projected Area	10.0	1.3	Air Resistance
Bilge Keel	0.2	0.1	
Main & Inter. strut Shaft & Hub	5.0	15.0	
Rudder	2.0	2.0	
		18.4	

Table 4 Brake power prediction for two conditions

$L_{BP}(m)$	draft	Wetted Surface (m^2)	Displacement (m^3)	V_S (knots)	PE including Air Resistance (kW)	Possible ETAD by experimental data	BP (kW)
abt. 50	T1	412	430	22.0	2643	0.612	5001
						0.622	4920
						0.633	4835
abt. 50	T2	401	386	23.0	2581	0.612	4883
						0.622	4804
						0.633	4721

5. 결론

모형시험 이전에 중형 경비정의 속도성능을 CFD 결과와 유사선종들의 모형시험 자료를 활용하여 평가 하였다.

- 1) 점성 유동해석 코드를 이용하여 선미가 다른 두 가지 선형에 대한 저항성능을 분석하였다. 선미선형 2는 선미어깨의 파형 및 압력분포가 개선되어 보였으나, 저항값에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 이는, 선수부 파트의 저항이 지배적으로 작용한 것이 그 큰 원인으로 분석된다.
- 2) 수치해석으로부터 얻은 모형 크기의 전저항을 바탕으로 ITTC-1978 해석법을 이용하여 유효마력을 추정하였다.
- 3) CFD 결과와 기존 모형시험 자료를 활용하여 제동마력 추정이 가능하였다.
- 4) 중형 경비정과 같은 고속선박에 관한 속도성능 추정법이 CFD와 기존 시험자료를 이용하여 개발되었다.

References

- [1] Choi, J.E., Kim, J.H., Lee, H.G., & Park, D.W., 2010. Hydrodynamic Characteristics and Speed Performance of a Full Spade and a Twisted Rudder. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 47, No. 2, pp. 163-177.
- [2] ITTC, 1978, "Report of Performance Committee," 15th ITTC, Hague.
- [3] Kim, J., Park, I.R., Kim, K.S. & Van, S.H., 2005. RANS Computation of Turbulent free Surface Flow around a Self Propelled KLNG Carrier. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 42, No. 6, pp. 583-592.
- [4] Kim, K.S., Kim, J., Park, I.R., Kim, G.D., & Van, S.H., 2007. RANS Analysis for Hull-Propeller-Rudder Interaction of a Commercial Ship by Using the Overset Grid Scheme. 9th International Conference on Numerical Ship Hydrodynamics, Ann Arbor, Michigan, August 5-8.
- [5] Kim, B.N., Kim, W.J., Kim, K.S. & Park, I.R., 2009a. The Comparison of Flow Simulation Results around a KLNG Model Ship. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 46, No. 3, pp. 219-231.
- [6] Kim, D.J., Rhee, K.P., & Park, H.S., 2009b. A Study on the Effects of Weight and Center of Gravity of a Planing Craft on Running Attitude. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 46, No. 3, pp. 335-342.
- [7] Kim, J., Park, I.R. Kim, K.S., Van, S.H. & Kim, Y.C., 2011. Development of a Numerical Method for the Evaluation of Ship Resistance and Self-Propulsion Performances. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 48, No. 2, pp. 147-157.
- [8] Oh, G.H. & Yoo, J.H., 2013. Numerical Prediction of Running Attitude and Resistance of Planing Craft. *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, Vol. 50, No. 2, pp. 95-10.

Received 24 June 2014

Revised 18 November 2014

Accepted 1 December 2014