

수직날개를 부착한 선박의 조파저항 성능 추정 기법의 검증

최희종* · † 박동우

* 전남대학교 조선해양공학과 교수, † 현대중공업 선박연구소

Verification of Prediction Technique of Wave-making Resistance Performance for a Ship attached with a Vertical Blade

Hee-Jong Choi* · † Dong-Woo Park

* Department of Naval Architecture & Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea

† Maritime Research Institute, Hyundai Heavy Institute, Ulsan 682-792, Korea

요 약 : 본 연구에서는 개발된 선미부에 수직날개를 부착한 선박의 조파저항성능을 예측할 수 있는 수치해석기법의 검증에 관한 것이다. 수치해석기법은 비점성 유동장 해석기법인 랜킨소오스 패널법과 와류격자법을 사용하여 개발하였으며, 자유수면 경계조건을 비선형성은 반복해법을 사용하여 만족시켰고, 선박의 트림과 침하량을 구하는 알고리즘을 포함하고 있다. 수치해석을 위한 선체표면의 패널을 생성하기 위하여 패널절단법을 사용하였다. 4000TEU 컨테이너 운반선을 대상 선박으로 하여 선미부 6개소의 서로 다른 위치에 수직날개를 부착하여 수치해석을 수행하였으며, 수치해석기법의 타당성을 검증하기 위하여 상용 점성 유동장 해석 프로그램인 FLUENT를 사용하여 선체 주위의 점성 유동장을 계산하였고, 모형시험을 수행하여 얻은 실험 결과를 수치해석 결과와 서로 비교하였다.

핵심용어 : 수직날개, 조파저항성능, 랜킨소오스 패널법, 와류격자법, 모형실험, 패널절단법

Abstract : In this paper the developed prediction technique of wave-making resistance performance for a ship attached with a vertical blade had been verified. Numerical analysis program as a prediction technique had been developed using the Rankine source panel method and the vortex lattice method(VLM). The nonlinearity of the free surface conditions was fully taken into account using the iterative method and the trim and the sinkage of the ship were also considered in the numerical analysis program. Panel cutting method was applied to get hull surface panels. Numerical computations were carried out for a 4000TEU container carrier and the vertical blade was attached 6 different locations astern. To investigate the validity of the numerical analysis program the commercial viscous flow field analysis program FLUENT was used to obtain the viscous flow field around the ship and the model test was performed. The model test results were compared with the numerical analysis results.

Key words : Vertical Blade, Wave-making resistance performance, Rankine source panel method, Vortex lattice method, Model test, Panel cutting method

1. 서 론

최근 선박의 대형화 및 고속화와 급격한 연료비의 상승으로 인하여 에너지 절약형 선박 및 부가물의 개발에 대한 관심이 고조되고 있다. 선박저항은 크게 조파저항과 점성저항의 합으로 되고, 점성저항은 표면의 마찰에 의한 저항과 형상저항의 합으로 된다. 저속 비대선은 80-90%이상이 표면 마찰저항과 형상저항이며 조파저항은 5% 내외이다. 25노트 내외를 항주하는 대형 고속 컨테이너 운반선의 경우도 선형개발이 급격히 진화되어 조파저항은 10-15% 정도이고, 우수하게 최적화된 컨테이너 운반선의 경우 조파저항이 10% 이하로 되는 선형개발 사례도 빈번하다. 유조선과 같이 비척계수가 크고 배수량이 작은 벌크선이나 화학운반선의 경우에는 상대적으

로 큰 엔진의 부착하므로 유조선에 비해 빠른 Froude수로 운항하며 그에 따라 조파저항이 상대적으로 증가한다. 또한 이런 선박의 경우 선미가 비대해져 유동이 극히 불안정해 진동, 캐비테이션 및 추진 효율 저감 등의 문제를 안고 있다.

선미에 부가물을 부착함으로써 추진기 면으로의 유동을 안정화하여 에너지를 절감하는 장치는 전류고정날개, PBCP(propeller boss cap pin), 선미 fin, 선미 덕트, VG(vortex generator), 수직날개(VB(vertical blade)) 등이 있다. 이들은 모두 나름대로 상당한 마력 절감효과와 진동저감효과가 있는 것으로 보고되었고 실적선에서도 입증된 사례가 많다(Broadly and Garry, 1997; Wendt and Reichert, 1998).

선박에 수직날개를 부착하여 수행한 최근 수조 모형시험에서 수직날개의 부착이 침수표면적과 형상저항의 증가에도 불가

† 교신저자 : 정희원, dwpark@hhi.co.kr 052) 202-5861

* 정희원, choihj@jnu.ac.kr 061) 659-7154

하고 총 저항이 감소하는 조합이 있음을 보였다. 따라서 선박의 선미에 적절히 수직날개 또는 VG를 부착하면 총 저항에서 이득뿐만이 아니라 선미 유동의 안정화에 큰 기여를 할 것이라 생각된다.

일반상선인 원유 운반선, 액화천연가스 운반선 그리고 컨테이너 운반선 등은 설계속도뿐만 아니라 저속 및 고속 전 영역에서 정상상태에 도달하면 일반적으로 선수트림이 발생한다. 최근 해운회사 및 선사들은 탄소배출량 규제 등 친환경 이슈가 부각되면서 선박의 운항을 경제적인 수준으로 맞추는 에코스티밍(eco steaming), 경로 최적화(route optimization) 그리고 배수량 별 최적 운항자세 선정 등 여러 가지 방법들이 적극적으로 검토되고 있다.

이 중 배수량 별 최적 운항자세는 자유표면과 선수벌브 형상과의 관계, 선수부 형상 그리고 무게중심 위치 변화 등 선형설계와 저항추진 관점에서 분석해야 할 부분이 많다. 예를 들어 설계흡수의 70~80% 배수량에서는 선수벌브가 수면 위로 노출이 되는데 이 같은 경우 화물배치 등에 의해 초기자세부터 선수트림을 만들면 선수벌브의 효과를 최대한 발휘할 수 있다. 실제해상에서 운항하는 컨테이너 운반선의 경우 동일배수량에서 선수트림이 선수미가 동일한 흡수(even) 그리고 선미트림 조건보다 속도성능이 우수한 것으로 보고되고 있다.

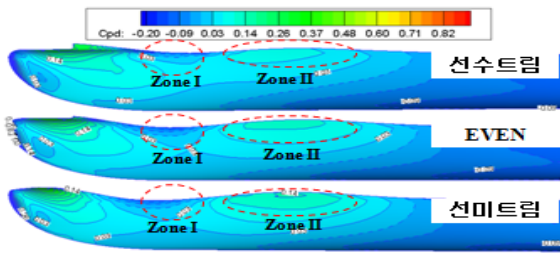


Fig. 1 Pressure distribution with different trim conditions

Fig. 1은 동일 배수량에서 초기상태부터 선수트림, even 그리고 선미트림으로 출발하여 자세변화를 고려한 선체표면에서의 압력분포를 나타낸 것이다. 선체표면에 작용하는 압력분포를 보면 선수트림의 Zone I과 II가 다른 두 가지 조건보다 압력의 크기도 적고 압력 변화율도 적어서 저항이 적게 작용하는 것으로 판단된다. 관련된 연구로는 트림에 의한 선박의 조파저항 최소화와 관련된 연구가 여러 차례 발표되었다.(Seo et al., 2007; Seo et al., 2009).

Choi et al.(2009)는 선미 유동 제어 장치로서 선미에 양력을 발생시키는 부가물인 수직날개를 부착하였을 경우에 수직날개가 선체에 미치는 영향을 유체역학적 관점에서 예측할 수 있는 수치해석 프로그램을 개발하였으며, 컨테이너 운반선에 대하여 여러 가지 경우에 대한 수치해석을 수행하여 결과를 발표하였으며, Park et al.(2009)은 수직날개를 부착한 선박의 주위에서 발생하는 점성 유동장을 검토하여 추진성능을 향상시킬 수 있는 에너지 절약형 선박을 설계하고자 하였다.

본 연구에서는 Choi et al.(2009)에 의하여 개발된 선미부에 수직날개를 부착한 선박의 조파저항성능을 예측할 수 있는 수치해석기법의 검증에 관한 것이다. 수치해석기법은 비점성 유동장 해석기법인 랜킨소오스 패널법과 와류격자법을 사용하여 개발하였으며, 자유수면 경계조건의 비선형성은 반복해법을 사용하여 만족시켰고, 선박의 트림과 침하량을 구하는 알고리즘을 포함하고 있다. 수치해석을 위한 선체표면의 패널을 생성하기 위하여 패널절단법을 사용하였다. 4000TEU 컨테이너 운반선을 대상 선박으로 하여 선미부 6개소의 서로 다른 위치에 수직날개를 부착하여 수치해석을 수행하였으며, 수치해석기법의 타당성을 검증하기 위하여 상용 점성 유동장 해석 프로그램인 FLUENT를 사용하여 선체 주위의 점성 유동장을 계산하였고, 모형시험을 수행하여 얻은 실험 결과를 수치해석 결과와 서로 비교하였다.

2. 수학적 모델링

2.1 지배방정식과 경계조건

좌표계는 선박의 중앙에 고정된 우수좌표계로 x-축은 선미, y-축은 우현, z-축은 위쪽을 양의 방향으로 정의하였다. 비점성, 비압축성 유체라고 가정하고 유동의 비회전성을 가정하면 속도포텐셜이 존재하며 유장 내에서 지배방정식인 라플라스 방정식과 경계면에서 경계조건식을 부과함으로써 구할 수 있다. 지배방정식인 라플라스 방정식은 다음과 같다.

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad \text{in fluid domain} \quad (1)$$

선체표면과 수직날개에서 유체입자는 비 침투조건을 만족하여야 한다.

$$\phi_n = 0 \quad \text{on hull} \quad (2)$$

자유수면에서 유체입자는 자유수면을 떠날 수 없으며 자유수면과 같이 움직여야 한다는 운동학적 자유수면 경계조건식(kinematic free surface boundary condition)을 만족시켜야 한다.

$$\phi_x h_x + \phi_y h_y - \phi_z = 0 \quad \text{on free surface} \quad (3)$$

운동학적 자유수면 경계조건식과 더불어 자유수면에서 만족하여야 할 또 다른 경계조건으로 자유수면에서의 압력이 대기압과 같아야 한다는 동역학적 자유수면 경계조건식(dynamic free surface boundary condition)을 만족시켜야 한다.

$$h + \frac{1}{2} Fn^2 (\nabla \phi \cdot \nabla \phi - 1) = 0 \quad \text{on free surface} \quad (4)$$

마지막으로 선수부에서 상류방향으로 어느 정도 떨어진 자

유수면 영역에서는 선체의 존재에 의하여 발생된 파가 없어야 한다는 조건인 방사조건을 만족시켜야 한다.

$$\nabla\phi = (1, 0, 0) \text{ at } x = -\infty \quad (5)$$

수직날개를 지나는 흐름은 수직날개의 후연에서만 이탈된다고 가정하여, Kutta 조건이 날개의 후연을 따라서 만족되어야 한다.

$$\nabla\phi < \infty, \text{ at the trailing edge} \quad (6)$$

2.2 와류격자법

유동제어판을 가진 선체와 자유수면을 포함하는 경계면 S 로 둘러싸인 유체영역에서는 라플라스방정식을 만족하는 속도포텐셜은 다음의 Green정리를 만족한다.

$$\phi(x, y, z) = \frac{1}{4\pi} \int_S \left[\phi \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{r} \right) - \left(\frac{1}{r} \right) \frac{\partial \phi}{\partial n} \right] dS \quad (7)$$

여기서,

$$r = \sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}$$

(x, y, z) : Field point

(x', y', z') : Singularity point

식(7)의 첫 번째 항은 다이폴(dipole)의 분포를 나타내므로, 이 항은 보오텍스(vortex)성분으로 표현될 수 있다. 순환 Γ 를 가지는 보오텍스 선 요소 dl 에 의한 임의의 점 (x, y, z) 에서의 유기속도 $\Delta \vec{q}$ 는 Biot-Savart 법칙에 의하여 식(8)로 구할 수 있다.

$$\Delta \vec{q}(x, y, z) = -\frac{1}{4\pi} \Gamma(x, y, z) \frac{r \times dl}{|r|^3} \quad (8)$$

식(7)의 대괄호 안의 두 번째 항은 소오스의 분포로 날개의 두께 영향만을 고려하므로, 유동제어판과 같이 얇은 판에서는 무시하여 보오텍스 분포만 고려한 와류격자법을 사용하여 유기속도를 얻을 수 있다.

유동제어판을 제외한 선체표면과 자유수면에는 소오스를 분포하여 유기속도를 구하였다.

2.3 패널절단법

패널법을 사용하여 선체주위의 유동해석을 수행하기 위해서는 자유수면 아래의 선체표면을 정의하는 패널을 생성하여야 한다. 비선형 자유수면 경계조건식을 만족시키기 위하여서는 비선형 자유수면 경계조건식을 선형화한 후, 반복 계산을 수행하여 비선형 자유수면 경계조건식을 만족시키게 되는데 이때 각 반복 계산 단계에서 이전에 계산된 선측과고를 따라

서 선체표면을 정의하는 패널을 다시 생성해주어야 한다(Choi et al., 2011).

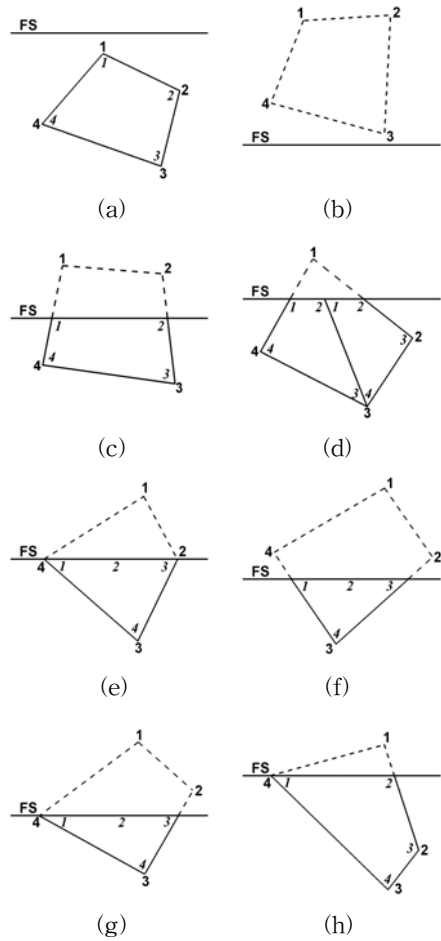


Fig. 2 Panel cutting cases

패널절단법(panel cutting method)은 초기에 주어진 패널의 형상을 최대한 유지하면서 선체표면을 정의하는 패널과 선측과고의 상태만을 검토하여 패널을 생성하는 방법이다. 패널절단법을 사용하여 패널을 재생성하는 방법은 아래와 같다.

- 1) 초기에 주어진 선체표면을 정의하는 패널과 선측과고의 상태를 비교한다.
- 2) 선체표면을 정의하는 각 패널의 4 모서리가 모두 선측과고보다 아래에 있으면 수치해석을 위한 패널에 포함하고, 그렇지 않고 4 모서리가 모두 선측과고보다 위에 있으면 선체표면 패널에 포함하지 않는다.
- 3) Fig. 2에서 보는 바와 같이 선체표면을 정의하는 각 패널의 4 모서리 중 1개 또는 2개 또는 3개가 자유수면보다 아래에 있을 수 있는데, 이때는 Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 패널을 재생성하여 선체표면 패널에 포함하면 된다.

Fig. 2에서 점선으로 표시된 패널은 초기에 주어진 패널이고 실선으로 표시된 패널은 현 반복 계산 단계에서 수치해석

에 사용될 패널이다. 다음 반복 계산 단계에서는 현 반복 계산 단계에서 계산된 선측파고와 점선으로 표시된 패널의 상태를 검토하여 다시 선체표면의 패널을 생성하게 된다. Fig. 1에서 숫자는 입력순서를 나타낸다.

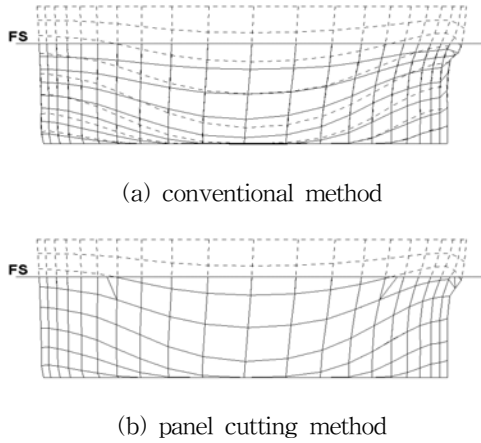


Fig. 3 Comparison of panels generated using conventional method and panel cutting method

Fig. 3는 기존의 패널생성기법(a)과 패널절단법(b)을 사용하여 생성된 계산패널을 서로 비교한 것으로, 점선으로 표시된 것은 초기에 입력된 선체표면을 정의하는 패널을 나타내고, 실선으로 표시된 것은 교란되지 않은 자유수면에 대하여 생성된 계산패널을 나타낸다. 앞에서 설명한 바와 같이 패널절단법을 사용하여 계산패널을 생성하는 경우에는 초기에 입력된 선체표면을 정의하는 패널의 기하학적 정보를 그대로 유지하는 반면, 기존의 패널생성기법을 사용하여 생성된 계산패널은 초기에 입력된 패널과는 서로 다른 형상을 가진다는 것을 알 수 있다.

3. 수치해석결과의 실험적 검증

모형시험은 부산대학교 선형시험수조에서 수행하였으며, Panamax급 4000TEU급 컨테이너 운반선을 대상선박으로 하여 수치해석 및 모형시험을 수행하였다.

Fig. 4와 Table 1은 각각 대상선박의 선도와 제원을 나타낸 것이다.

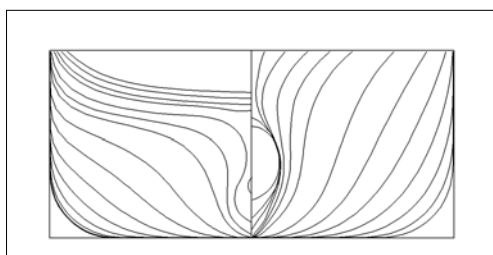


Fig. 4 Lines of the 4000TEU container carrier

Table 1 Characteristics of the ship and the model

Designation	Symbol (unit)	Ship	Model
Scale ratio	λ	40.0	
Design Speed	V_S (knot)	24.0 (Fn=0.252)	
Length Overall	LOA (m)	253.5	6.339
Length bet. Perpend.	LPP (m)	246.0	6.150
Length of Waterline	LWL (m)	244.6	6.115
Breadth	B (m)	32.12	0.803
Draft	TF/TA (m)	10.8	0.270
Wetted surface area	S_{WET} (m^2)	9,882.9	6.177
Displacement	Δ (m^3)	54,640	0.854
LCB	LCB	-2.22	-0.055
Block Coefficient	C_B	0.635	
Prismatic Coefficient	C_P	0.662	

Table 2 Characteristics of the vertical blade

Designation	Symbol (unit)	Ship	Model
Chord	L_C (Cm)	200	5.00
Span	L_S (Cm)	150	3.75

Table 3 Attachment location of the vertical blade

No. of VB	X-dir. (St.)	Z-dir. (m)
No. 0	without vertical blade (barehull)	
No. 1	1	2.06
No. 2	1	4.23
No. 3	1	6.20
No. 4	1.5	2.06
No. 5	1.5	4.23
No. 6	1.5	6.20

수직날개의 장착방법은 Table 2에 나타낸 바와 같이 실선 스케일로 코드길이 2m, 스펠길이 1.5m의 크기로 제작하였다. 수직날개가 설치된 위치는 Fig. 5에서 볼 수 있는 바와 같이 선박의 길이방향으로 2개소 (1 St., 1.5 St), 흡수방향으로 3개소(baseline으로부터 2.06m, 4.23m, 6.20m) 총 6개소이며, 선체표면에 수직으로 장착하였다. 수직날개의 설치위치는 Choi et al.(2009)의 연구결과에 기초한 것으로 수직날개를 1St. 또는 1.5St에 설치할 때 조파저항계수가 최소가 됨을 알 수 있다.

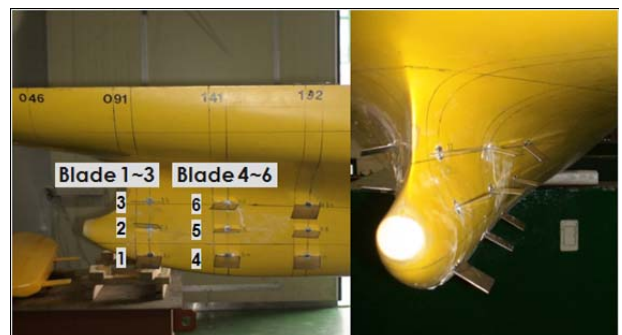


Fig. 5 The model and the vertical blades

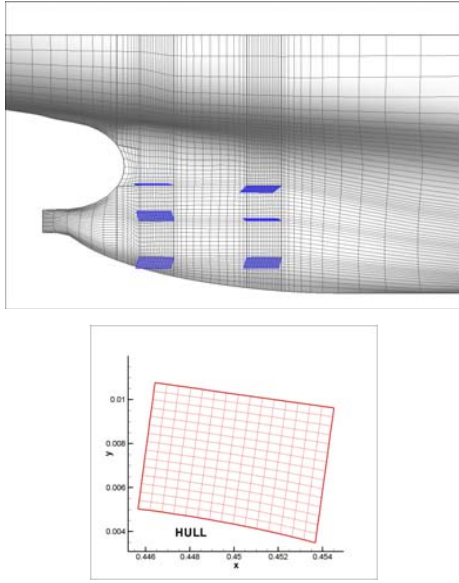


Fig. 6 Computational grid for the model and the vertical blades

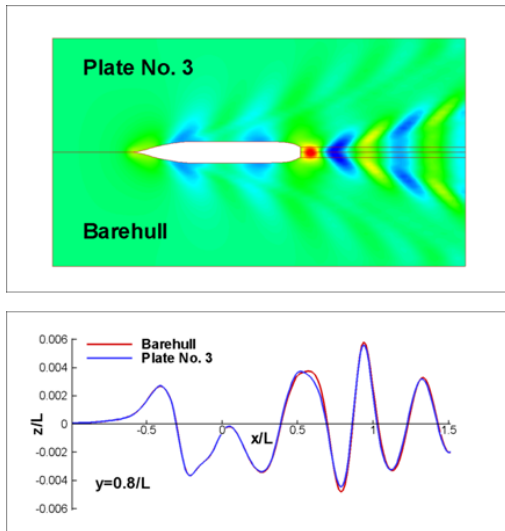


Fig. 7 Comparison of the wave pattern and the wave profiles

Fig. 6은 수치해석에 사용된 선체표면과 수직날개에 분포된 계산격자를 보여준다. 수치해석에 사용된 패널의 수는 선체표면(4269개), 수직날개(225개) 그리고 트랜섬 이후 영역을 포함한 자유수면(3382개)에 총 7719개의 패널을 분포하였다.

Fig. 7은 알몸선체(barehull)와 No.3이 부착된 선체에 대하여 파고와 선측파고를 서로 비교한 것이다. 선수부에서는 파고의 변화가 거의 없으나 선미부에서는 수직날개의 존재로 인하여 파고가 변화한 것을 볼 수 있다.

저항성능 분석에 앞서 비점성 유동해석에 의한 압력저항과 모형시험의 잉여저항과의 관계에 대해서 먼저 언급 하겠다.

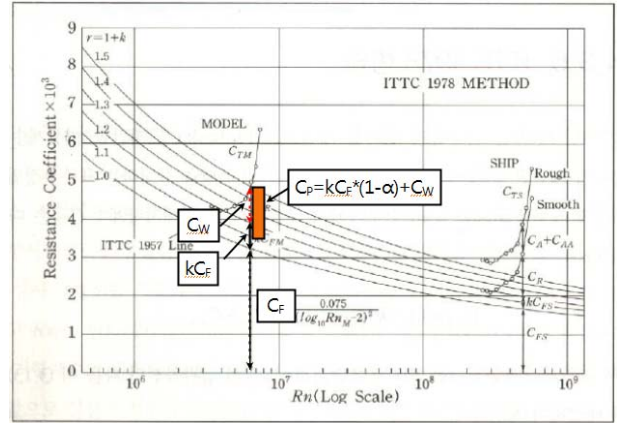


Fig. 8 Resistance coefficients analysis by ITTC 1978 method

$$C_T = C_F + C_R = C_F + kC_F + C_W \quad (9)$$

$$= C_F + kC_F \cdot \alpha + kC_F \cdot (1 - \alpha) + C_W$$

$$C_V = C_F + kC_F \cdot \alpha \quad (10)$$

$$C_P = kC_F \cdot (1 - \alpha) + C_W \quad (11)$$

$$= C_{P_Viscous} + C_{P_Inviscid}$$

Fig. 8은 모형시험에 의해 측정된 총 저항을 성분별로 분석한 것이다. 모형시험에서 측정된 총 저항(C_T)은 식(9)와 같이 평판의 마찰저항인 C_F 와 잉여저항인 C_R 로 분해 가능하며, C_R 은 형상저항인 kC_F 와 초과저항인 C_W 로 구성된다. kC_F 에는 곡면으로 인한 마찰저항과 형상에 의한 압력저항이 포함되어 있으며 각각의 성분은 $kC_F \cdot \alpha$ 와 $kC_F \cdot (1 - \alpha)$ 로 나눌 수 있다. 여기서 α 는 선종별로 차이가 있는데 모형시험의 데이터베이스에 의하면 컨테이너 운반선의 경우 약 0.1정도 된다. 식(9)를 점성저항(C_V)과 압력저항(C_P)으로 구분하면 식(10)과 식(11)로 표현되며, 식(11)에는 점성에 의한 압력저항과 비점성에 의한 압력저항으로 구분할 수 있다.

본 연구에 사용된 수치해석에 의한 저항은 비점성에 의한 압력저항이며, 시험결과와 매칭(matching)을 시켜보면 식(11)의 비점성 성분인 $C_{P_Inviscid}$ 이다.

Fig. 9은 수직날개의 부착위치에 따라 수치해석의 압력저항과 모형시험의 잉여저항을 비교한 것이다. 수치해석의 압력저항만을 분석해 보면 날개가 부착된 경우가 알몸선체보다 모두 줄어든 경향을 보여 주었다. 특히, 수직날개의 3번 위치(No.3)는 알몸선체보다 저항이 30% 줄어 들었다. 수치해석에서 압력저항이 줄어 든 원인은 선수트림(trim by bow)이 형성된 것이며 이는 양력과 모멘트로 설명이 가능하다. 첫째, 부착된 다른 수직날개들과 비교하였을 때 No.3이 leading edge와 유동 입사각이 적절하게 형성되어 날개 단독의 양력뿐만 아니라 날개 주위의 선체표면 압력분포를 변화시켜 선미에서의 침하량을 줄여 주었다. 이로 인해 선수부에서의 압력분포와 트

랜섬(transom) 주위의 선미과형이 개선되었다. 둘째, No.3 이 선박의 무게중심으로부터 가장 멀리 떨어져 있어 동일 양력을 발생하더라도 큰 모멘트로 인해 알몸선체 대비 선미 침하를 줄였다.

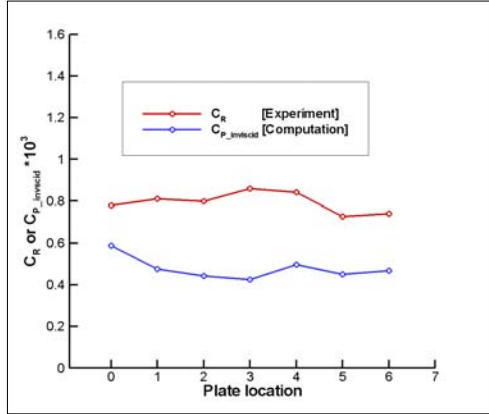


Fig. 9 Comparison of the wave-making resistance coefficients

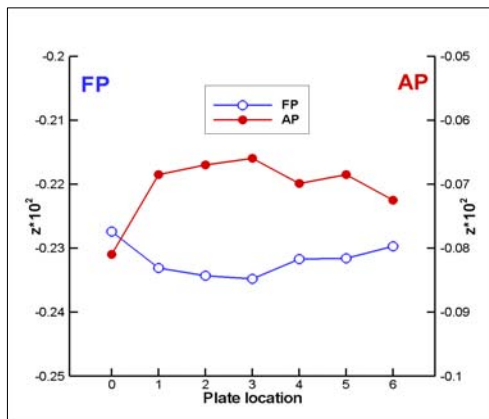


Fig. 10 Comparison of the sinkage at the FP and AP

Fig. 10는 선수미에서 발생하는 침하량을 수치해석으로 평가한 것이다. No.3의 선미 침하량은 알몸선체 보다 약 18% 정도 줄었고, 선수 침하량은 알몸선체보다 약 3% 정도 더 잠기는 현상을 보여 주었다. 즉, No.3으로 인해 알몸선체 혹은 다른 날개가 부착된 경우보다 더 큰 선수트림이 발생하였다. 이러한 결과를 바탕으로 실제 컨테이너 운반선의 운항일지와 비교하여 보면, 동일배수량에서 선수트림이 선수미가 동일한 흘수(even draft) 혹은 선미트림(trim by stern) 조건보다 속도 성능이 우수한 것으로 보고되는 것과 정확하게 일치하는 부분이다.

Fig. 9에서 모형시험의 잉여저항(C_R)을 살펴보면 부착된 수직날개의 No.1과 No.2는 알몸선체와 대동소이한 결과를 보여주었고, No.5와 No.6은 알몸선체 대비 약 5%정도 줄어든 경향을 보여주었다. 그리고 No.3과 No.4는 알몸선체 대비 약 7% 정도 증가된 결과를 보여주었다.

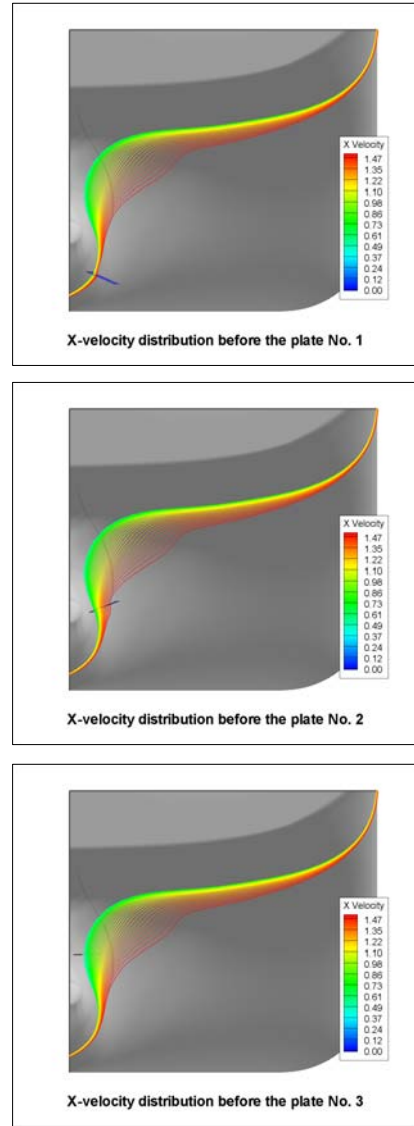


Fig. 11 Flow control panels and x-velocity distributions

수치해석의 압력저항과의 정확한 비교를 위해서는 모형시험 값인 식(9)의 C_R 에서 $kC_F \cdot \alpha$ 성분을 제외하고 $kC_F \cdot (1-\alpha)$ 중 점성에 기인한 성분을 제외해야 한다. C_R 에서 곡면에 의한 마찰저항 성분으로 표시되는 $kC_F \cdot \alpha$ 성분은 수직날개의 위치에 관계없이 동일 양이 제거될 것으로 판단된다. 문제는 수직날개의 위치에 따라 점성에 기인한 $kC_F \cdot (1-\alpha)$ 양에 있어서 차이를 보일 것인데, 이 양은 축척효과 등의 이유로 모형시험으로부터 결정하기에는 어려움이 많다. 그러므로 수직날개 No.1, No.2 그리고 No.3이 부착된 경우에 대하여 상용 점성코드인 FLUENT를 사용하여 수직날개 주위의 속도분포 현상 분석을 통해 점성에 기인한 $kC_F \cdot (1-\alpha)$ 양을 추정하여 역으로 시험결과와 비교해 보았다.

Fig. 11은 점성유동 해석결과로서 수직날개의 부착위치 별로 날개 근처에서 배 길이방향으로의 속도분포를 나타낸 것이

다. 속도분포로 볼 때 날개로 인한 교란 양을 추정해 보면 No.3, No.2 그리고 No.1 순서대로 클 것으로 예상된다. 따라서 No.3의 k 가 가장 크고, No.3의 k 가 가장 작을 것으로 예상된다. 이러한 평가에 의하면 No.3이 점성에 기인한 $kC_F \cdot (1-\alpha)$ 양이 가장 클 것이다. Fig. 9의 모형시험에 의한 No.3의 C_R 성분 중 비점성에 기인한 $kC_F \cdot (1-\alpha)$ 와 C_W 의 양은 수치해석 결과와 동일하게 다른 수직날개들 보다 작을 것으로 예상되며, 단지 k 의 증가로 인하여 C_R 이 가장 큰 것으로 추정된다.

4. 결 론

본 연구에서는 Choi et al.(2009)에 의하여 개발된 선미부에 수직날개를 부착한 선박의 조파저항성능을 예측할 수 있는 수치해석기법을 점성유동해석과 모형시험을 수행하여 검증하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 개발된 수치해석 프로그램을 이용하여 6가지 수직날개의 부착위치에 따라 압력저항을 비교하였다. 6가지 수직날개 모두 알몸선체 보다 더 큰 선수트림이 형성되는 것을 알 수 있었다. 특히, No.3은 부착된 다른 수직날개들과 비교하였을 때 가장 큰 선수트림이 형성되었으며 이로 인해 압력저항이 줄어드는 현상을 보여주었다.
- 2) 점성에 기인한 압력저항은 축척효과 등의 이유로 모형시험으로부터 결정하기에는 어렵다. 따라서 상용 점성코드인 FLUENT를 사용하여 수직날개 주위의 속도분포 분석을 통해 점성에 기인한 $kC_F \cdot (1-\alpha)$ 양을 추정하여 역으로 시험결과와 비교해 보았다. 그 결과 모형시험에 의한 No.3의 C_R 성분 중 비점성에 기인한 $kC_F \cdot (1-\alpha)$ 와 C_W 의 양은 수치해석 결과와 동일하게 다른 수직날개들 보다 작을 것으로 예상되며, 단지 k 증가로 인하여 C_R 이 가장 큰 것으로 추정되었다.

이상의 결과를 근거로 하여 볼 때 본 연구에 사용된 수치해석 프로그램은 수직날개를 부착한 선박주위 유동 예측에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] Broadley, I. and Garry, K.(1997), "Effectiveness of Vortex Generator Position and Orientation on Highly Swept Wings", 15th AIAA Applied Aerodynamic Conference, AIAA 1997-2319.

[2] Choi, H. J., Chun, H. H., Park, I. R. and Kim, J.(2011), "Panel cutting method: new approach to generate panels on a hull in Rankine source potential approximation", International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Vol. 3, pp. 225-232.

[3] Choi, H. J., Chun, H. H., Yoon, H. S., Lee, I. W., Park, D. W. and Kim, D. J.(2009), "Potential Flow Analysis for a Ship with a Flow Control Plate near the Stern", Journal of the Society of Naval Architecture, Vol. 46, No. 6, pp. 587-594.

[4] Park, D. W., Choi, H. J., Yoon, H. S. and Chun, H. H.(2009), "A Numerical Study for Improvement of the Speed-performance of a Ship with Flow Control Flat Plate", Journal of the Society of Naval Architecture, Vol. 46, No. 3, pp. 268-278.

[5] Seo, K. C., Atlar, M., Kim, H. J., Chun, H. H. and Kang, D. S.(2007), "Efficient Propulsion of a Container Ship Using the Inclined Keel Concept", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 44, No. 4, pp. 379-388.

[6] Seo, K. C., Atlar, M., Kim, H. J. and Chun, H. H.(2009), "Minimization of Wave-Making Resistance for Inclined Keel Containership", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 46, No. 2, pp. 97-104.

[7] Wendt, B. J. and Reichert, B. A.(1996), The Modelling of Symmetric Airfoil Vortex Generators, NASA Contractor Report 198501, AIAA-1996--0807.

원고접수일 : 2012년 10월 11일

심사완료일 : 2013년 01월 22일

원고채택일 : 2013년 01월 24일