쌍축 컨테이너선의 선미선형 변화에 따른 유동 특성에 대한 수치해석

김희택*, 김형태†*, 반석호**

충남대학교 선박해양공학과*, 한국해양연구원 해양시스템안전연구소**

Numerical Analysis of Flow Characteristics of a Twin-skeg Container Ship with Variation of Stern Hull Shape

Hee-Taek Kim*, Hyoung-Tae Kim†* and Suak-Ho Van**

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chungnam National Univ.*
Maritime and Ocean Engineering Research Institute, KORDI**

Abstract

Numerical analysis for flow characteristics of a twin skeg container ship was carried out according to skeg vertical angles(0°, 10°, 20°) and skeg distances(16m, 20m, 24m) by using a commercial CFD code, FLUENT. Computed: pressure distributions, wake distributions and resistance coefficients have been compared with experimental and WAVIS results carried out by MOERI. Flow characteristics from numerical analysis such as nominal wake fractions, wake distribution and directions of the transverse vectors give good agreement with WAVIS results, even though there are quantitative discrepancy comparing with experimental measurements at the propeller plane. It is found that the better resistance performance can be obtained with the increase of the skeg vertical angle and the decrease of the skeg distance, which are mainly caused by viscous pressure resistance due to the skeg form and pressure recovery around the skeg. In addition, a vertical angle of the skeg gives more effect to the resistance coefficient comparing with the skeg distance. On the basis of results of the present study, it shows that numerical analysis using the commercial code, FLUENT, is useful and efficient tool for the evaluation of the complex stern hull form with twin-skegs.

※Keywords: Twin skeg ship(쌍축선), CFD(전산유체역학), Skeg vertical angle(스케그 수직각도), Skeg distance(스케그 간격)

1. 서언

최근 컨테이너선이 대형화되면서 적재 성능은

높으면서 저항성능과 추진성능이 우수한 쌍축선 선형 개발에 대한 연구(박일룡 등 2003, 김연규 등 2006)가 이루어지고 있다. 특히, 쌍축선의 경우 선미 선형에 따른 저항성능과 추진성능의 특성을 아는 것이 중요하나, 단동선에 비해 설계 정보가 부족한 실정이다.

접수일: 2006년 12월 26일, 승인일: 2007년 6월 6일

† 교신저자: h-tkim@cnu.ac.kr, 042-821-6629

본 연구에서는 동일한 선수형상을 가진 쌍축선 형에 대해 스के그 수직각도(Skeg vertical angle)와 스के그 간격(Skeg distance)을 변화시켜 가면서 쌍축선 주위의 유동에 대한 수치해석을 상용 CFD 코드인 FLUENT를 사용하여 수행하였다. 계산은 자유수면을 고려하지 않은 이중모형 유동에 대해 수행하였으며, 유선 및 선체압력분포, 저항 성능 변화와 난류분포 등을 수치해석을 통해 살펴 보았다. 2장에서는 15,000TEU 쌍축 컨테이너선의 주요 제원과 선미선형 변화에 대해 언급하고 지배 방정식 및 난류모형, 수치격자계, 경계조건 등에 대하여 서술하였다. 3장에서는 스के그 수직각도 및 스के그 간격에 따른 선미 유동 변화에 대한 수치해석 결과를 MOERI의 실험 및 WAVIS 계산 결과와 비교, 검토하였다. 4장에서는 본 연구를 통해 얻어진 주요 연구 결과를 요약, 정리하였다.

2. 계산조건

2.1 대상선박

스케그 수직각도와 스케그 간격을 변화시킨 동일한 선수 형상을 가진 5척의 쌍축 컨테이너선의

Table 1 Principal geometric characteristics

	Ship	Model
Speed(m/s)	13.3744	1.972
$L, L_{PP}(m)$	400	8.6957
$B(m)$	57.5	1.25
$T(m)$	15	0.3261
L/B	6.9565	6.9565
Froude No.(Fn)	0.2119

Fig. 1 Definition of skeg vertical angles and skeg distances

주요제원을 Table 1에 나타내었다.

본 연구에서는 1/46의 축척비를 가지는 모형선의 모형시험과 동일한 조건에서 계산을 수행하였으며, 이때의 Reynolds수는 1.4×10^7 이다.

Fig. 1에는 스케그 수직각도와 스케그 간격에 대한 정의를 도시하였으며, 스케그 안쪽 방향으로 회전시 수직각도가 커지는 방향이다.

Table 2에는 수치해석시 수행한 선미선형 변화 조건을 나타내었다. 대상 쌍축 컨테이너선에 대한 좀더 자세한 내용은 MOERI의 선형설계 및 성능최적화 보고서(한국해양연구원 2003, 한국해양연구원 2004, 한국해양연구원2005)를 참고하기 바란다.

2.2 좌표계 및 지배방정식

수치계산을 위한 기본 좌표계는 Fig. 2에 도시한 바와 같이 선체 길이 방향을 x축, 연직 상방향을 z축 그리고 폭 방향을 y축으로 하는 직교좌표계를 사용하였으며, 좌표계의 원점은 선체 중심면(center plane)과 종양면(midship) 그리고 정수면(calm free surface)이 만나는 점에 잡았다.

Table 2 A condition of stern hull shape

Case	Skeg vertical angle	Skeg distance
1	10°	16m
2	10°	20m
3	10°	24m
4	0°	20m
5	20°	20m

Fig. 2 Domain & coordinate system

계산에 사용된 모든 변수들은 유입속도(U_{∞}), 수선간길이(L_{pp}) 그리고 밀도(ρ)로 무차원화하였으며, 유동의 지배방정식인 연속방정식과 운동량방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (U_i U_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

여기서, $U_i = (U, V, W)$ 는 좌표축 $x_i = (x, y, z)$ 방향 평균속도 성분, τ_{ij} 는 점성과 난류에 의한 유효응력(effective stress)을 나타내며, p 는 정압이다. 유효응력은 Boussinesq의 isotropic eddy viscosity model을 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tau_{ij} = \nu_e \left[\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right] - \frac{2}{3} \delta_{ij} k \quad (2)$$

여기에서, k 는 난류의 운동에너지이고 ν_e 는 turbulent eddy viscosity ν_t 에 유체의 운동학적 점성계수 ν 를 합한 유효점성 계수로서 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\nu_e = \nu_t + \frac{1}{R_n} \quad (3)$$

본 연구에서는 realizable $k-\epsilon$ 난류 모형을 사용하였으므로 turbulent eddy viscosity는 $\nu_t = C_\mu k^2/\epsilon$ 로 구해진다.

2.3 난류모형 및 이산화

본 연구에서 지배방정식의 대류항은 QUICK 방법으로, 확산항은 2차 정도의 중심차분법으로 보간하고, 2차 정도의 수치 적분을 사용하여 이산화하였다. 압력방정식으로는 FLUENT의 표준 방법을 사용하였으며, 속도-압력의 연성은 SIMPLEC 방법을 사용하였다.

2.4 수치격자 및 경계조건

수치격자는 박일룡 등(2004)에 의해 제시된 방법에 따라 Gridgen V15.09를 사용하여 생성하였으며, 선수와 선미 모두 O-H 형상을 갖도록 구성하였다. 또한, 단일 블록으로 공간격자계를 생성하

기 어렵기 때문에 다중 블록으로 격자를 생성하였으며, 사용된 블록의 수는 8개이다. 경계조건으로 유입경계는 FP로부터 $1L_{pp}$, 외부경계는 현측으로부터 $1L_{pp}$ 떨어져 있으며, 유출경계는 AP로부터 $2L_{pp}$ 떨어져 있다. Fig. 2에 나타난 계산 영역의 각 경계면에 주어진 경계조건은 Table 3과 같다.

Table 3 Boundary condition

	Boundary condition
유입면(ABF)	Velocity inlet ($U=1, V=W=0$)
유출면(CDE)	Outflow (Flow rate weighting=1)
수면(AGHDEF)	Symmetry
바깥면(BCEF)	Velocity inlet ($U=1, V=W=0$)
Keel면(ABCDHG)	Symmetry
선체표면	Wall Function (no-slip condition)

3. 수치해석 결과

3.1 스케그 수직각도 변화에 의한 유동특성

선체표면 압력분포

스케그 수직각도 변화에 따른 선체 표면의 압력 분포와 한계유선을 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 3(a)의 선저에서의 결과를 살펴보면 선형이 동일한 선수부의 압력분포 및 한계유선은 거의 동일하고 선체 바닥면에서의 상대적인 유속 증가로 인해 -0.05 영역이 화살표 모양으로 분포하는 특징을 보이고 있다. 선미부에서의 압력분포를 살펴보면 균일한 압력분포를 보이는 중앙평행부 이후 선미 어깨를 지나면서 스케그 수직각도가 작을수록 스케그 안쪽 선저에 상대적으로 낮은 압력이 작용하는 것을 볼 수 있다. 또한, 수직각도가 클수록 선저를 따라 흐르던 유선이 더 빨리 휘어져 들어와 상대적으로 많은 유선이 분포하고 있다.

Fig. 3(b)의 선측에서의 압력분포 및 한계유선을 살펴보면 선수 부분은 선저에서와 마찬가지로 차이를 보이고 있지 않다. 하지만, 선미 스케그 주위 안쪽 및 바깥쪽 압력분포와 한계유선의 경우 선미형상이 변함에 따라 차이를 보이고 있다.

Fig. 3 Comparison of pressures and limiting streamlines according to skeg vertical angle

Fig. 4 Comparison of limiting distribution and limiting streamline

바깥쪽의 경우, 수직각도가 증가할수록 압력회복이 상대적으로 빠르게 이루어지고 있으며, 한계유선의 경우 유사한 경향을 보이고 있다. 스케그 안

쪽의 경우도 $-0.1 \sim 0.1$ 분포에서 볼 수 있듯이 바깥쪽과 마찬가지로 수직각도가 증가할수록 압력회복이 빠른 것을 확인할 수 있고 유선분포는 균일해지는 경향을 보이고 있다.

Fig. 4는 수직각도에 따른 압력분포 및 한계유선을 스케그 주위로 확대하여 본 그림이다. 스케그 수직각도가 작을수록 몸체가 굽고 굴곡부가 큰 것을 볼 수 있으며, 이는 상대적으로 스케그를 지나는 유속을 증가시키게 된다. 이에 따라, 압력분포 및 한계유선 분포가 달라지게 된다. 그림에서 보는 바와 같이 스케그 수직각도가 작을 경우, 스케그 내부의 흐름 단면이 좁아지는 효과를 만들기 때문에 내부의 유속이 증가하게 되어, 스케그 내부에 상대적으로 큰 음압이 분포한다. 또한, 수직각도가 작을수록 스케그 바깥쪽에서 스케그 주위로 감아도는 유선이 상대적으로 많은 것을 볼 수 있고, 수직각도가 증가할수록 중앙평행부 이후 선저를 따라 흐르던 유선이 스케그 안쪽으로 더 일찍부터 휘어져 들어와 스케그 안쪽 선저부에 균일하게 유선이 분포한 것을 볼 수 있다. 한편, 선체 중심면을 따라 길이방향 압력구배를 살펴보면 수직각도가 증가할수록 상대적으로 높은 압력이 넓은 영역에 걸쳐 분포하는 것을 볼 수 있다. 이는 추후 프로펠러면에서의 유속분포와도 무관하지 않을 것으로 판단된다.

저항성능 비교

스케그 수직각도에 따른 저항계수를 MOERI에서 수행한 실험결과 및 WAVIS(Kim et al. 2006) 결과와 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. 먼저, 실험과 달리 이중모형으로 근사하여 수치해석을 수행하였기 때문에 실험에서의 조파저항 계수값은 제외하여 비교하였으며, 모형시험의 C_{FM} 은 ITTC 1957 correlation line으로부터 구해진 값이다. 여기서, 스케그 간격이 20m이며 수직각도가 10° 인 기준 선형에 대한 모형시험의 점성저항계수를 1로 하였을 때 각각의 계산의 경우에 대해 상대적인 비율로 표시하였다. 스케그 수직각도에 따른 점성저항계수의 변화를 살펴보면 스케그 수직각도가 클수록 저항성능이 우수한 것을 알 수 있다. 정량적으로 WAVIS의 경우 실험에 비해 크게,

Fig. 5 Comparison of resistance coefficient

FLUENT의 경우 작게 계산되었으나 정성적으로는 실험에서 나타나는 경향을 수치해석을 통해서도 잘 보이고 있다. 마찰저항 계수의 경우, 수직각도에 따라 큰 차이를 보이지 않음에 따라 점성저항 계수의 차이는 앞서 살펴본 선체 안쪽과 바깥쪽에서의 압력회복 및 스케그 형상등에 의한 선미부 압력저항성분에 기인한 것으로 판단된다. FLUENT와 WAVIS의 경우, 점성저항계수의 최대치와 최소치의 차이가 각각 5.67%, 5.32%로 수치해석 결과끼리의 비교에서는 정량적으로도 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 한편, 점성저항계수의 경우, 실험에서는 변화의 폭은 적으나 수치해석의 경우, 상대적으로 실험에 비해 선미 선형 변화에 따른 우열비교를 확실히 보여주고 있음을 볼 수 있으며, 이는 CFD가 가지는 장점의 하나로 생각된다.

반류특성 비교

Fig. 6에는 스케그 간격이 20m인 쌍축선형에 대해 스케그 수직각도에 따른 공칭반류값을 모형선의 모형실험 및 WAVIS 계산 결과와 비교하고 있다. 공칭반류값은 스케그 자체의 볼륨과 스케그 안쪽 및 바깥쪽 형상 변화등에 의한 유속 분포에 의해서 WAVIS 결과와는 정량적, 정성적으로 잘 일치하고 있다. 또한, 실험값에 비해 크게 계산되었으나 선미선형 변화에 따른 특성은 잘 나타내고 있고, 수직각도가 증가할수록 공칭반류값이 감소

Fig. 6 Comparison of nominal wake fraction

하는 경향을 보이고 있다.

Fig. 7은 선체의 우현 프로펠러 면에서 스케그 수직각도에 따른 반류분포를 모형실험 및 WAVIS 계산 결과와 비교하여 나타내었다. 축방향 속도분포를 살펴보면, FLUENT와 WAVIS의 경우, 유속의 90%인 부분을 제외하고 매우 유사한 결과를 보여주고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 실험과 마찬가지로 수직각도가 증가하면서 스케그 안쪽에서의 속도분포는 얇아지며, 스케그 바깥쪽 부분의 속도분포가 커지는 경향, 스케그 주위의 기울기 등 스케그 수직각도에 따른 형상 변화의 특성을 잘 재현하고 있다.

횡방향 속도벡터를 살펴보면 실험의 경우, 수직각도가 0°일 때, 수직각도가 10°인 경우에 비해서 스케그 안쪽에서는 속도벡터가 크게, 허브 안쪽으로는 속도벡터는 작게 예측된 것을 볼 수 있다. 이는 앞서 살펴본 한계유선에서 보듯이 수직각도가 작을수록 스케그 몸체가 상대적으로 굽고 굴곡부가 크기 때문에 이로 인한 횡방향 유속의 증가가 영향을 준 것으로 생각된다.

FLUENT의 경우도 실험과 마찬가지로 서로간의 상대적인 특성은 잘 예측하고 있으나 벡터의 크기가 실험에 비해서는 크게 계산되는 경향을 보이고 있다. 한편, WAVIS 계산 결과와 비교시 횡방향 속도벡터 분포에서는 좀더 나은 결과를 주고 있다고 판단된다.

Fig. 7 Comparison of wake distribution according to skeg vertical angle at the propeller plane

Fig. 8에는 프로펠러 회전 방향에 따른 반류 분포를 각 반경에서의 실험 결과와 비교하여 보이고 있다. $0.7r/R_p$ 를 보면 수직각도가 0° 인 경우에 비해 수직각도가 10° , 20° 인 경우가 실험 및 계산 모두 균일하면서도 평균값이 큰 것을 볼 수 있다.

이를 통해 우선적으로 스케그 수직각도가 10° ,

20° 인 경우가 프로펠러 추진 측면에서 0° 인 경우보다 우수할 것으로 판단된다. 한편, 전 반경에 걸쳐서 실험에 비해 최대값과 최소값의 범위가 작게 계산된 것을 볼 수 있으며 회전반경을 따라 가면서 실험의 경우 허브 아래 근처인 $170^\circ \sim 180^\circ$ 부근에서 낮은 값이 나타나지만, 계산의 경우

Fig. 8 Comparison of wake profile at the propeller plane

190°~200° 부근에서 나타나고 있다. 또한, 회전방향의 40°~160° 범위에서 실험의 경우 평평한 구간이 나타나는 특징을 보여주고 있으나 계산에서는 나타나지 않고 있다. 하지만, 실험에서 나타나는 경향은 대체적으로 잘 보이고 있다.

3.2 스케그 간격 변화에 의한 유동특성

선체표면 압력분포

스케그 간격 변화에 따른 선체 표면의 압력분포와 한계유선을 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9(a)의 선저에서의 결과를 살펴보면 선수부에서 압력분포 및 한계유선은 스케그 수직각도 변화와 마찬가지로 거의 동일한 것을 볼 수 있다. 선미부의 압력분포 및 한계유선은 스케그 간격이 커질수록 스케그 안쪽 선저에 낮은 압력이 분포하며, 바깥쪽 및 선미 끝단 부분에서의 압력 분포는 거의 동일한 것을 볼 수 있다. 또한, 한계유선의 경우 스케그 안쪽 표면 형상이 비교적 유사하기 때문에 스케그 내부로 들어오는 분포도 매우 유사하다.

Fig. 9(b)의 선측에서의 압력분포 및 한계유선을 살펴보면 선수부분의 압력분포는 매우 유사한

것을 볼 수 있으며, 선수 벌브 부분에 낮은 압력이 넓게 분포하고 있다. 스케그 내부의 압력분포는 차이는 있으나, 안쪽 형상이 비교적 동일하게 때문에 스케그 수직각도 변화에 비해 그 차이가 크지 않다. 스케그 바깥쪽 부분을 보면 스케그 간격이 16m 일 때, 다른 두 경우에 비해서 0.05 영역이 넓게 분포하는 등 압력의 회복이 많이 이루어진 것을 볼 수 있으며 한계유선에서도 선체 바깥쪽을 따라 흐르는 유선과 선저부분에서 올라온 유선이 한 지점에 집중적으로 분포되어 있는 것을 볼 수 있고, 스케그 간격이 20m와 24m일 때는 큰 차이를 보이고 있지 않다.

Fig. 10에는 스케그 간격에 따른 압력분포 및 한계유선을 스케그 주위로 확대하여 본 그림이다. 스케그 안쪽의 압력분포는 -0.15의 음압 영역을 제외하고는 선체 중심면을 따라 길이방향 및 횡방향 압력구배가 큰 차이가 없는 것을 볼 수 있다. 또한, 스케그 수직각도가 동일하기 때문에 스케그 안쪽 표면 형상은 비교적 동일하며 스케그 바깥쪽은 간격이 좁아질수록 스케그가 볼록한, 즉 두꺼워지는 모습을 보이고 있다.

Fig. 9 Comparison of hull pressures and limiting streamlines according to skeg distance

(a) Case 1 (Skeg distance 16m)

(b) Case 2 (Skeg distance 20m)

(c) Case 3 (Skeg distance 24m)

Fig. 10 Pressures distribution on the after perpendicular

유선 분포를 보면 스케그 어깨 부분에서 휘어져 스케그 안쪽으로 들어오는 위치 및 스케그 내부에서의 유선 흐름 등 전체적인 경향이 매우 유사한

Fig. 11 Comparison of resistance coefficient

것을 볼 수 있으며 압력분포 및 유선 분포를 통해 스케그 안쪽에서의 속도분포에서 큰 차이가 없을 것으로 판단된다. 또한, 스케그 간격이 커질수록 내부로 들어오는 유선이 많은 것을 볼 수 있다.

저항성능 비교

스케그 간격에 따른 저항계수의 변화를 Fig. 11에 보이고 있다. Fig. 5의 스케그 수직각도에 의한 저항계수 변화와 마찬가지로 스케그 간격이 20m이며 수직각도가 10°인 기준선형에 대한 모형시험의 점성저항계수를 1로 무차원화하여 상대적인 비율로 나타내었다. 점성저항계수의 경우, 정량적으로는 차이가 있지만 정성적으로 실험에서 나타나는 경향을 잘 보이고 있으며, Fig. 5와 마찬가지로 WAVIS의 경우는 실험보다 크게, FLUENT의 경우는 실험보다 작게 계산되었다.

점성저항계수의 경우, 또한, 실험에서는 큰 변화가 없는 것으로 보이나, 수치해석의 경우, 스케그 간격이 작을수록 저항성능이 우수한 것으로 나타났다. FLUENT와 WAVIS의 경우, 점성저항계수의 최대치와 최소치의 차이가 각각, 1.72%, 1.76%로 Fig. 5의 결과와 마찬가지로 정량적으로 매우 동일한 결과를 주고 있음을 알 수 있다. 한편, 스케그 간격 및 스케그 수직각도에 의한 점성저항계수를 비교하였을 시, 스케그 간격에 의한

Fig. 12 Comparison of nominal wake fraction

변화보다 스케그 수직각도가 저항성능에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있으며, 이를 통해 선형 설계시 스케그 수직각도를 우선적으로 고려해야 할 것으로 판단된다.

반류특성 비교

Fig. 12에는 스케그 수직각도가 10°인 쌍축선형에 대해 스케그 간격에 따른 공칭반류값을 모형실험 및 WAVIS 결과와 비교하여 나타내었다. 스케그 간격에 따른 공칭반류값을 보면 FLUENT와 WAVIS의 결과는 매우 비슷한 결과를 보이고 있음을 확인할 수 있으며, 실험과는 정량적으로 차이는 있으나, 프로펠러 면의 유속분포의 적분을 통해 얻어진 변화량 등 값이 변하는 기울기 측면에서는 잘 일치하고 있다.

Fig. 13에는 스케그 수직각도와 마찬가지로 선체의 우현 프로펠러 면에서 스케그 간격에 따른 반류분포를 실험 및 WAVIS 계산 결과와 비교하여 나타내었다. WAVIS의 경우, 실험에서 나타난 축방향 속도분포를 잘 나타내고 있으나, FLUENT의 경우, 유속의 90%되는 영역이 실험 결과에 비해 작게 계산되었으며 폭방향 전단층, 특히, 스케그 안쪽에서의 두께가 실험에 비해 크게 계산된 것을 볼 수 있다. 이는 스케그를 감싸 돌면서 격자를 생성해야 하기 때문에 격자수 부족한 것에 기인한

것으로 판단된다. 하지만, 스케그 간격이 증가할수록 유속의 90%되는 영역이 증가하는 경향, 스케그 안쪽에서의 유동 패턴 그리고 스케그 간격이 가장 작은 경우, 허브 아래쪽의 낮은 속도 분포 등 실험에서 나타나는 경향은 잘 보이고 있다. 횡방향 속도벡터의 경우, 대체로 WAVIS 계산 결과보다는 실험에 가까운 결과를 주고 있는 것으로 판단된다. 스케그 내부에서는 서로간에 큰 차이를 보이지 않고 있으나, 스케그 바깥쪽 부분에서는 실험 및 WAVIS 결과와 마찬가지로 스케그 수직각도가 가장 작은 경우 횡방향 속도벡터가 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 Fig. 9, Fig. 10의 압력 분포 및 한계유선 분포와 무관하지 않은 것으로 판단된다.

Fig. 14에는 스케그 간격 변화에 따른 프로펠러 회전 방향 반류 분포를 각 반경에서의 모형실험 결과와 비교하여 보이고 있으며, 시계방향으로 가면서 각도가 커지는 방향이다. 스케그 수직각도에 의한 변화와 마찬가지로 정량적으로는 차이가 있으나 실험에서 나타나는 우열비교는 잘 보이고 있다. 또한, 실험의 40°~160°에서 나타나는 평평한 구간을 계산에서는 Fig. 8에서와 마찬가지로 잡아 내지 못하고 있으나, 회전 반경을 따라 가면서 170°~200° 범위에서 낮은 값이 나타나는 실험의 특성이 계산에서도 동일한 범위내에서 나타나고 있다. 이를 통해 수치해석 결과가 충분히 유용한 정보를 주고 있음을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 쌍축 컨테이너 선형에 대하여 스케그 수직각도 및 스케그 간격 변화에 따른 선미 유동 특성 변화에 대해 수치해석을 통해 살펴보았다.

선체표면 압력분포

CFD의 가장 큰 장점중의 하나는 실험에서 계측하기 어려운 선체 주위의 압력분포를 볼 수 있다는 점이다. 동일한 선수 형상을 가정으로 인해 선수 부분의 압력분포에서는 큰 차이를 보이지 않음을 확인하였으며, 선미 선형 변화에 의한 압력분포

변화등 물리적 현상에 대해 타당한 결과를 주고 있음을 확인하였다.

저항성능

저항성능 측면에서는 스케그 수직각도가 크고, 스케그 간격이 작을수록 저항성능 면에서 우수한 것으로 나타났으며, 이는 대부분 스케그 주위의

압력회복 및 스케그 형상 등에 의한 점성압력저항 성분에 의한 것이다. 또한, 스케그 간격보다는 스케그 수직각도가 저항성능에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있었다. 이를 통해, 선형 설계시 우선 스케그의 수직각도를 고려한 후 스케그 간격을 좁혀주는 것이 유리하다고 판단된다.

Fig. 13 Comparison of wake distribution according to skeg distance at the propeller plane

Fig. 14 Comparison of wake profile at the propeller plane

반류분포

스케그 안쪽에서의 유동패턴, 횡방향 속도벡터의 크기 및 방향등 선미 선형 변화에 따른 특성을 실험 및 WAVIS 결과와 마찬가지로 잘 재현하고 있음을 확인하였다. 또한, 공칭반류값 및 반류분포가 WAVIS 결과와는 정량적, 정성적으로 잘 일치함을 보이고 있고, 실험과는 정량적으로는 차이가 있지만, 실험에서 나타나는 우열비교에 있어서는 타당한 결과를 주고 있음을 확인하였다.

본 연구를 통해서 상용 CFD 코드인 FLUENT가 쌍축 컨테이너 선형에 대해 저항성능, 압력분포 그리고 반류분포 등 선미 선형 변화에 따른 유동 특성을 정성적으로 잘 예측함과 동시에 물리적으로 타당한 결과를 주고 있음을 확인하였다. 실제 설계에서도 상용 CFD 코드를 충분히 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- 김연규, 김선영, 김형태, 유병석, 이석원, 2006, “쌍축 컨테이너선의 조종성능 특성 연구,” 대한조선학회 논문집, 제 43권, 제 1호, pp. 15-21.

- 박일룡, 김우전, 반석호, 2004, “Twin-스케그형 컨테이너선 주위의 격자계 생성과 유동해석,” 대한조선학회 논문집, 제 41권, 제 1호, pp. 15-22.
- 박일룡, 반석호, 김진, 이준주, 2003, “선미선형 변화에 따른 쌍축선 유체성능 해석,” 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 240-244.
- 한국해양연구원, 2003, 선형설계 및 성능최적화 1 차년도 보고서.
- 한국해양연구원, 2004, 선형설계 및 성능최적화 2 차년도 보고서.
- 한국해양연구원, 2005, 선형설계 및 성능최적화 4 차년도 보고서.
- Kim, J., Park, I.R., Van, S.H., Choi, Y.B., and Park N.J., 2006, “Numerical Computation for the Comparison of Stern Flows around Various Twin Skegs,” Ship & Ocean Technology, Vol. 10, No. 2, pp. 1-10.

< 김 희 택 > < 김 형 태 > < 반 석 호 >