

Twin-skeg 형 컨테이너선 주위의 격자계 생성과 유동 해석

박일룡**, 김우전**, 반석호*

한국해양연구원 해양운송시스템연구본부*
목포대학교 기계해양시스템공학부 선박해양시스템전공**

Grid Generation and Flow Analysis around a Twin-skeg Container Ship

I.R. Park**, W.J. Kim** and S.H. Van*

Marine Transportation Systems Research Laboratory, KRISO/KORDI*
Dept. of Naval Architecture & Marine Systems Eng., Mokpo National Univ.**

Abstract

Twin-skeg type stern shapes are recently adopted for very large commercial ships. However, it is difficult to apply a CFD system to a hull form having twin-skeg, since grid topology around a twin-skeg type stern is more complicated than that of a conventional single-screw ship, or of an open-shaft type twin-screw ship with center-skeg. In the present study a surface mesh generator and a multi-block field grid generation program have been developed for twin-skeg type stern. Furthermore, multi-block flow solvers are utilized for potential and viscous flow analysis around a twin-skeg type stern. The present computational system is applied to a 15,000TEU container ship with twin-skeg to prove the applicability. Wave profiles and wake distribution are calculated using the developed flow-analysis tools and the results are compared with towing tank measurements.

※Key words : Twin-skeg Type Stern(벌브형 쌍축 선미), Multi-block Grid Generation(다중블록 격자계 생성), CFD(계산유체역학), Hull Form Design(선형설계), Wave Pattern(파형), Wake (반류)

1. 서언

대형 해운회사의 합병과 세계 물동량의 증가로 인하여 한번에 운반되는 컨테이너 화물의 규모가

갈수록 커지고 있다. 이러한 수요에 부응하기 위해 각 조선소는 9,000TEU 급과 같은 초대형 컨테이너선의 수주에 나서고 있다. 가까운 미래에는 12,000TEU 나 15,000TEU 와 같은 엄청난 크기의 컨테이너선이 출현할 것으로 예상된다 (특허청 2002). 하지만 현재까지의 선박용 디젤엔진으로는 25 노트를 설계속도로 하였을 때, 9,000TEU 급이 하나의 디젤엔진을 장착한 단축선의 한계로 보는

접수일: 2003년 8월 20일, 승인일: 2003년 11월 24일

†주저자, E-mail: irpark@kriso.re.kr

Tel: 042-868-7267

것이 보통이다. 그러므로 그 이상의 컨테이너선은 필연적으로 두 개의 엔진을 장착한 쌍축선이 될 것으로 믿어진다.

저항추진 성능의 관점에서 center-skeg 를 가지며 축과 스트럿 등이 노출되어 있는 open-shaft 형 선미 선형보다는 두 개의 선미 벌브를 가진 twin-skeg 형 선미가 유리한 것으로 알려져 있다. 따라서 미래의 초대형 컨테이너선은 twin-skeg 형 선미를 가지게 될 것으로 생각된다. 최근에는 초대형 유조선의 선형에서도 안전성이나 수심의 제약 등을 이유로 twin-skeg 형 선미가 채택되는 경우가 종종 있다. 미래 선박의 발전 추세 중의 하나가 선박의 대형화라는 사실에 비추어 볼 때, twin-skeg 형 쌍축선의 선형 개발은 각 조선소의 경쟁력을 결정할 수 있는 매우 중요한 요소가 될 것이다.

선형개발을 위해 전통적인 수조시험에 앞서 CFD 기술을 활용한 수치계산 시스템을 활용하면 짧은 시간 내에 적은 비용으로 여러 가지 선형을 미리 검토해 볼 수 있는 기회를 제공하기 때문에 이미 조선소의 선형개발 현장에서 유동의 수치계산 시스템이 활발히 사용되고 있다. 위에서 언급한 새로운 쌍축선의 선형을 개발하는 과정에서도 기존의 단축선 선형을 개발하는데 사용하여 왔던 수치계산 시스템을 활용하면, 새로운 선형을 개발하고 이를 최적화하는데 소요되는 시간과 노력을 많이 줄일 수 있을 것이다. 하지만 기존의 수치계산 시스템으로는 twin-skeg 형 선미 주위의 유동 해석에 어려움이 있었다. 이는 유동계산에 필요한 격자계의 형상이 기존의 단축선이나 open-shaft 형 쌍축선에 비하여 훨씬 복잡하기 때문이다. 특히 선체표면 격자계의 생성에서 skeg 중심선을 따로 고려하여 skeg bulb 의 양쪽을 단축선의 선미 벌브처럼 각각 따로 처리해주어야만 매끄러운 격자계를 생성할 수 있다. 또한 공간 격자계의 생성에서도 더 이상 단일 격자계로는 전체의 영역을 포함 할 수 없고, 다중 블록 격자계를 이용하여야만 한다.

본 연구에서는 국내 각 조선소에서 선미 벌브를 가진 단축선이나 open-shaft 형 쌍축선의 선형개발에 이미 사용되고 있는 선형 평가용 수치계산

시스템인 WAVIS(Kim et al. 2000)의 격자계 생성 프로그램을 확장하여 twin-skeg 형 선미를 가진 쌍축선의 선형에도 적용 할 수 있도록 그 기능을 확장하였다. 또한 선미 트랜섬 후방에서의 박리를 포함한 복잡한 난류유동과 비선형파의 생성, 그리고 이들의 간섭현상에 대한 해석의 필요성이 제기되어 트랜섬 후방에도 다중 격자계를 생성하는 등, 보다 광범위한 선형과 계산 조건을 다루기 위한 격자계 생성과 유동 해석 프로그램을 개발하였다. 그리고 개발된 프로그램의 적용성을 검증하기 위해 twin-skeg 형 선미를 가지고 있는 15,000TEU 급 초대형 컨테이너선의 선체 표면 및 공간 격자계를 생성하고, 포텐셜 및 점성 유동해석을 수행하여 얻어진 파형 및 반류 분포 등을 예인 수조 시험결과와 비교함으로써 적용성을 확인하였다.

2. 격자계 생성 기법

2.1 선체표면 격자계

유동 계산을 수행하기 위해서는 우선 선체표면 격자계를 생성해야 한다. 포텐셜 유동해석의 경우에는 생성된 선체표면 격자계가 직접 특이점 패널로 사용되며, 점성 유동장의 해석을 위해서는 생성된 선체표면 격자계가 난류 유동장 해석에 필요한 3 차원 공간 격자계의 경계면을 구성하게 된다. 본 연구에서는 선형이 표현되어 있으면, 유체 동력학적인 계산에 필요한 선체표면 격자계(hull surface mesh)를 매우 쉽게 만들 수 있도록 되어 있는 기존의 수치계산 시스템 WAVIS(김우전 et al. 1999, Kim et al. 2000)의 기법을 이용하였다.

기존의 단축선 선형이나 open-shaft 형 쌍축선 선형의 경우에는 옴셋이 주어지면 수선(waterline)을 정의 하여 선수와 선미에 보다 조밀한 station offset 을 생성할 수 있도록 되어 있다. 하지만 twin-skeg 형 선미의 경우에는 수선(waterline)의 형태가 수학적으로 다중함수(multiple-valued function) 이기 때문에 station offset 만 가지고는 쉽게 정의하기 어렵다. 본 연구에서는 조선소에서 사용하고 있는 전문 CAD 시스템에서 정의된 선수미의 상세한 정보를 종방향의 일정한 위치에서 출력하여 그 정보를 바탕으로 선체표면 격자계를

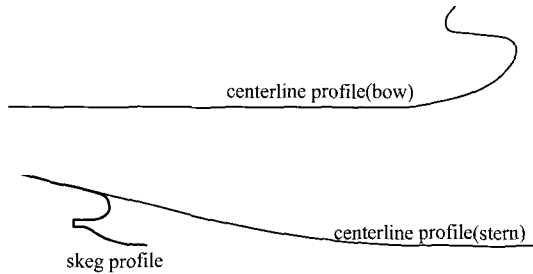


Fig. 1 Centerline and skeg profiles of a twin-skeg hull form

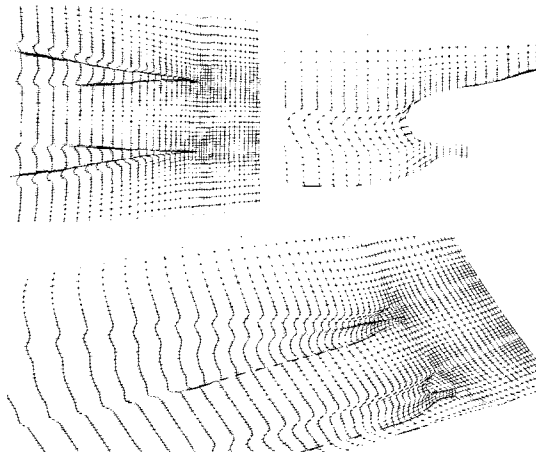


Fig. 2 Generated surface meshes on a twin-skeg hull form

생성하도록 하였다. 또한 Fig. 1 에서 보이고 있는 바와 같이 선체 중심선 뿐만 아니라 skeg 의 중심선 위치와 각도 정보를 활용하여 다중블록 격자계의 내부 경계면을 설정하는데 이용하였다.

단축선 선형과는 달리 twin-skeg 형 선미의 경우에는 skeg 중심선을 기준으로 선체 중심선 방향의 내부 영역과 선체 외벽을 따라 설계 수선에 이르는 외부 영역이 각각 다른 블록으로 정의되게 된다. 하지만 선체 중앙부(midship) 쪽으로 가면 선미 벌브를 가진 기존의 단축형 선미와 같은 모양을 가지기 때문에 skeg 중심선을 하나의 격자선

으로 삼는 것은 분포상 무리가 있다. 본 연구에서는 선미 벌브 끝단에서는 skeg 중심선을 격자위로 채택하고 선체 중앙부쪽으로는 서서히 자연스러운 기존의 분포 방식을 따르도록 처리하였다. 단축선의 경우와 마찬가지로 격자계의 횡방향 분포는 선체표면을 따르는 횡방향의 길이비를 기준으로 하였으며, 선체중앙부에서 선수쪽은 기존의 격자계와 같은 방식으로 하나의 횡방향 분포식으로 처리되도록 하였다. 선체 중앙부에서의 횡방향 분포가 양쪽에서 자연스럽게 일치하도록 선미쪽의 분포가 선체중앙부에서는 기존의 횡방향 분포가 되도록 서서히 종방향 길이에 따라서 분포비를 삼간하였다. Fig. 2 는 본 방법으로 생성한 KRISO 15000TEU 급 쌍축 컨테이너선의 선체표면 격자계의 모습을 보여주고 있다.

선미 끝단 트랜섬 후방의 복잡한 난류유동 해석과 항후의 비선형파 계산을 위해 트랜섬면에서도 선체표면 격자계를 생성하였다. 트랜섬면의 형상이 설계수선 근처에서는 뾰족해지므로 하나의 격자계로는 수선 구석에 특이점이 생기게 된다. 그러므로 Fig. 3 에서 보이는 바와 같이 내부에 사각 형태의 격자계를 만들고 그 주위를 원호모양으로 감싸는 형태를 가지는 두 개의 블록으로 트랜섬 후방 표면 격자계를 생성하였다.

2.2 공간 격자계

트랜섬을 가진 twin-skeg 형 쌍축선 선형 주위의 점성유동 해석을 위해서 다중 블록 공간 격자계를 생성하였다. 격자계의 형상은 기존의 단축선 선형 주위의 유동계산 예에서 알 수 있듯이 O-O 형태의 격자계에 비해 강건도가 잘 유지되는 H-O 형태의 격자계가 사용되었다(Kim et al. 2002).

기존의 단축선의 경우에는 계산영역 전체가 하나의 블록으로 표현되는 공간 격자계 생성이 가능하였으나, twin-skeg 형 선미의 경우에는 skeg 중심을 가로지르는 격자계의 처리가 어렵기 때문에 Fig. 3 에 보이고 있는 바와 같이 트랜섬 후방을 제외한 전체 영역을 6 개의 블록으로 나누어서 처리하였다. 우선 선체중앙부에서 선수쪽은 기존의 형태를 가지는 하나의 블록을 이루고, 선미쪽의 skeg 내부와 외부의 영역이 각각 하나의 블록을

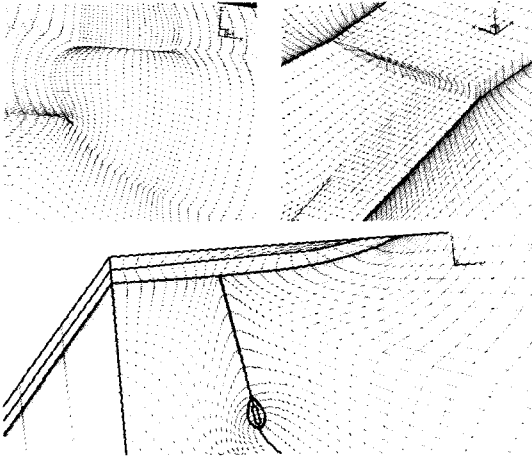


Fig. 3 Multi-block field grid system around a twin-skeg hull form for viscous flow analysis

이루게 된다. 그리고 단축선의 경우에는 선미 벌브 끝단의 stern boss 부분을 자연스럽게 연장하여 끝단을 달아줌으로써 자연스럽게 처리할 수 있었다. 하지만 쌍축선의 경우, skeg 끝단의 boss 부분을 단축선과 같은 방법으로 처리할 경우에는 skeg 중심선을 가로지르는 횡방향 공간 격자계가 지나치게 뾰족한 아래쪽 끝단을 지나야 하기 때문에 수치계산상의 어려움을 야기시킨다. 그러므로 끝단을 부드럽게 처리하기 위해서 skeg 의 끝단 boss 를 열린 형태로 처리하고 그 안을 세 개의 격자계 블록으로 채움으로써 횡방향 공간 격자계가 일정한 크기의 회전 반경을 가지며 skeg 중심선을 가로지를 수 있게 하였다.

트랜섬 선미의 후방에는 앞 절의 표면 격자계 생성과정에서 설명한 바와 같이 두 개의 블록이 계산영역의 끝단까지 연장되었다. 그러므로 단축선이나 open-shaft 형 쌍축선의 경우에는 트랜섬 후방을 포함할 경우에 3 개의 격자 블록으로 공간 격자계가 구성되고, twin-skeg 형 선미를 가지는 쌍축선의 경우에는 8 개의 격자 블록으로 공간 격자계가 생성되도록 하였다. Fig. 3 에서는 점성 유동장 계산을 위해 쌍축선 주위에 생성한 공간 격자계를 보이고 있다.

3. 유동 해석 기법

3.1 포텐셜 유동 해석법

포텐셜 유동 해석기법은 이미 WAVIS 시스템에서 사용하고 있는 Rankine source 를 이용한 패널법(김도현 et al. 2002)을 사용하였으며, 비선형 자유수면 현상을 해석하기 위해 상방향 패널 분포법(raised panel method)을 도입하였다. 트랜섬 후방에서의 파형계산은 현재까지 개발된 유동 처리기법이 'dry transom model' 외에는 뚜렷한 진전이 없기 때문에 부족하나마 본 연구에서 사용되었다. 그리고 유체 동압의 변화로 인한 침하와 트림 등, 선체 자세변화를 수치계산 중에 계속 수정하여 최종적으로 수령된 결과에서는 침하와 트림이 고려된 파형을 얻을 수 있도록 하였다. 포텐셜 유동 계산에서는 선체표면 격자계가 특이점 패널로 사용되는데, 쌍축선이라고 하더라도 단지 패널 블록의 수가 늘어난 효과 외에는 수치계산 상의 어려움이 단축선에 비하여 가중되지 않을 뿐 아니라 자세한 내용은 이미 참고문헌(김도현 et al. 2000)에 설명되어 있으므로 본 논문에서는 자세한 내용은 다루지 않기로 한다.

3.2 점성 유동 해석법

트랜섬을 가진 쌍축선 주위의 점성유동 해석을 위해 본 연구에서는 다중 블록 공간 격자계를 바탕으로 하는 난류유동의 수치계산 기법이 사용되었다. 난류유동의 지배방정식은 공학적으로 널리 사용되고 있는 Reynolds-Averaged Navier-Stokes 방정식이며, 유한 체적법을 사용하여 그해를 구하였다(김우전 et al. 2000).

기존의 단축선 주위의 유동계산과는 달리 수치계산에 사용되는 격자계가 다중 블록 공간 격자계이므로 난류유동 계산 프로그램이 그러한 다중 블록 격자계에서 발생하는 블록간 경계면에서의 유동정보를 상호 이용할 수 있도록 수정하였다. 생성된 공간 격자계의 블록 경계면에서의 기하학적 정보를 이용하여 내부 경계면에서의 유동이 연속조건을 만족하면서 질량 및 운동량을 보존할 수 있도록 처리하였다. 특히 대류항의 차분에서 기존의 3 차 정도의 QUICK 방법을 그대로 적용함으로

써 다중블록을 사용하면서 생기기 쉬운 내부 경계면에서의 불균일성과 불연속성을 미연에 방지하였다. 블록의 경계면에서 기하학적인 정보가 제공이 되면 블록의 위치나 방향과 상관없이 각각의 경계면에서의 대응점에 대한 정보를 상호 기억하게 함으로써 수치계산이 가능하도록 하여 각 블록간의 경계면에서 격자계의 분포가 일치하기만 하면, 다중 블록 격자계의 형태나 숫자에 상관없이 수치계산이 가능하도록 프로그램을 수정하였다. 향후에는 경계면에서의 격자분포가 일치하지 않더라도 다중블록 격자계에서 유동해석이 가능하도록 수치계산 방법의 수정이 필요하리라고 본다.

그 외에는 기존의 WAVIS 가 채택한 점성유동 해석 기법(김우전 등 2000, Kim et al. 2002)을 그대로 사용하였다. 난류모형으로서는 Realizable k-ε 모형을 사용하였으며, 지배방정식의 시간항에 대한 시간 적분법으로는 Euler-implicit 법을 사용하였다. 운동량 이송 방정식의 대류항과 확산항은 QUICK 방법과 중앙 차분법을 이용하여 각각 이산화 하였고, 속도-압력의 연성을 위해서 SIMPLEX 방법을 사용하였다. 자세한 난류유동 해석기법은 참고문헌에 설명되어있다(김우전 등 2000, Kim et al. 2002).

4. 초대형 컨테이너선 주위의 유동계산

개발된 수치계산 시스템의 활용성과 정확성을 검증하기 위하여 twin-skeg 형 쌍축 선미를 가지는 KRISO 15000TEU 컨테이너선에 대하여 선체 표면 및 다중 블록 공간 격자계를 생성하고, 포텐셜 및 점성 유동을 계산하여 모형시험 결과와 비교하였다. 대상 선박의 설계속도(V_S)는 26 노트(knots)로서, Froude 수는 0.2136 이며, 모형시험에서의 해당 Reynolds 수는 1.056×10^7 이다. 예인 수조 모형시험에서는 26 노트에 해당되는 모형선의 Froude 대응 속도(V_M)에서 모형선의 중심으로부터 횡방향으로 $Y/L_{pp}=0.0751, 0.3, 0.4$ 만큼 떨어진 세 위치에서의 파형을 계측하여 포텐셜 유동의 결과 검증에 사용하였다. 그리고 피토크를 이용하여 계측된 추진기면에서의 유속 계측결과와 페인트법을 사용하여 얻어진 선체 표면에서의 한

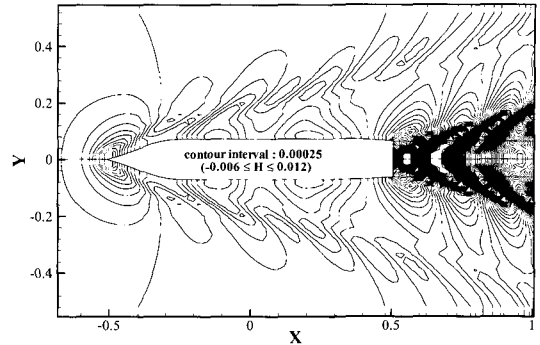


Fig. 4 Calculated wave pattern around KRISO 15,000TEU container ship at 26 knots

계유선 관측 결과를 바탕으로 점성유동 해석결과 해석결과를 검증하였다. 실험과 수치계산 결과들은 모형선의 수선간 길이(L_{pp})와 예인 속도(V_M)로 무차원화 하였으며, 좌표계 (X,Y,Z)는 각각 선체의 하류방향, 우현방향, 그리고 수직 상방을 가리킨다

4.1 파형 비교

포텐셜 유동 해석을 위해 선체표면과 자유수면에 각각 2460 개, 2768 개의 표면격자(패널)를 분포하였다. Fig. 4는 수치 계산을 통하여 얻어진 설계속도 26 노트에서의 파형을 보여주고 있다. 선형이 쌍축 선미를 가지고 있다고 하더라도 조파문제 해석에 사용되는 포텐셜 유동에서는 선박의 수선 모양(waterline shape)이 기존의 단축형 선박과 크게 다르지 않기 때문에 선체 표면에 분포하는 패널, 즉 격자계의 형상만 결정될 수 있으면 새로운 어려움은 발생하지 않는다고 할 수 있다.

Fig. 5는 계측된 파형과 수치계산 결과를 직접 비교한 그림이다. 선체와 가장 가까운 계측 위치인 $Y/L_{pp}=0.0751$ 에서는 첫번째의 파정이 약간 작게 추정되었으며, 그 다음에 나타나는 이중적인 파정과 파저를 재현하지 못한 것으로 보인다. 이는 자유수면 격자계의 숫자를 늘리거나 분포를 바꾸어 줌으로써 개선이 가능하다는 것이 경험적인 결론이며, 본 쌍축선의 경우 선수 모양은 기존의 단축선과 대동소이 하기 때문에 같은 결론을 내릴 수 있다고 생각된다. 선미 후방에서는 수치계산에

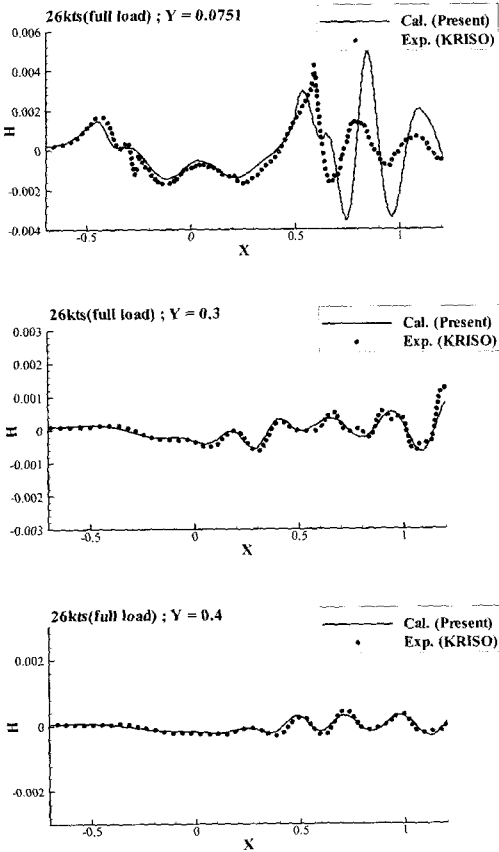


Fig. 5 Comparisons of calculated and measured wave profiles around KRISO 15,000TEU container ship at 26 knots ($F_n=0.2136$)

서 소위 'dry transom model' 이 사용되었기 때문에 트랜섬 후방의 파도가 과장된 모습을 보이고 있다. 선체에서 약간 떨어진 위치에서의 파형은 수치계산 결과가 계측 결과를 상당히 잘 재현하고 있는 것을 알 수 있다.

본 파형 비교를 통하여 앞의 제 2 절에서 설명한 쌍축선 선형의 선체표면 격자계가 포텐셜 유동 해석에 필요한 패널(panel)로서의 역할을 잘 수행함을 알 수 있었다.

4.2 반류 및 한계 유선 비교

쌍축선 주위의 난류 유동장 해석을 위해서 2 절에서 설명한 바와 같이 Fig. 3 과 같은 8 개의 블

록으로 구성된 다중 블록 격자계를 사용하였다. 수치계산을 간단하게 하기 위해서 자유수면의 효과는 무시하였으며, 대신 대칭조건을 사용하여 수치계산을 수행하였다. 단축선 선형의 경우에는 선미 벌브의 중심선이 유동의 대칭면으로 작용하는데 반하여, twin-skeg 형 쌍축선의 경우에는 skeg 좌우의 유동장이 대칭성을 가지지 않는다. 또한 skeg 를 가로지르는 유동장이 형성되고, 이는 선형의 추진 특성을 결정하는 중요한 인자로 작용하기도 한다.

Fig. 6 은 모형시험에서 계측된 반류와 수치계산을 통해 얻어진 결과를 서로 비교한 그림이다. 접선속도 성분을 살펴보면 우현 방향의 프로펠러 허브 상단부분을 제외하고 계산결과가 계측결과와 비교적 잘 일치하는 결과를 보여주고 있다. 하지만 횡방향 속도가 약간 작게 예측되었으며, 종방향의 속도 분포의 찌그러짐이 약간 부족한 것으로 보인다. 이러한 현상은 단축선 주위의 유동 계산에서 벌지 보오텍스의 강도가 실제보다 약간 작게 추정되는 현상과 동일한 이유에서 온 것으로 판단된다.

Fig. 7 은 축방향 속도의 반경방향 분포를 비교한 그림이다. 수치계산 결과가 축방향 속도가 약간씩 작게 추정된 것을 알 수 있는데, 이는 Fig. 6 에서 볼 수 있듯이 점성 경계층의 두께가 약간 크

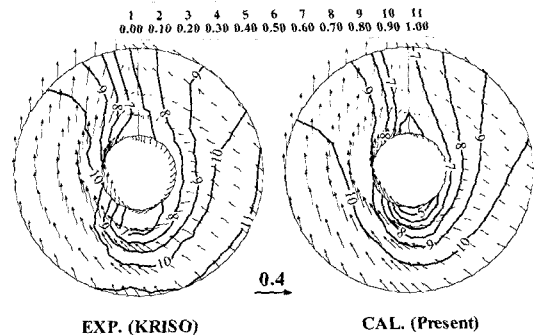


Fig. 6 Measured and calculated velocity fields at the propeller plane of KRISO 15,000TEU container ship model ($Re=1.056 \times 10^7$)

계 추정된 것과 관련이 있는 것으로 생각된다. 이는 본 계산이 비교적 숫자가 많지 않은 격자계에서 수행된 결과임을 감안하여야 하며, 채택된 난류 모형이 공학적으로 유용하나, 통상 복잡한 Reynolds-stress model 과 같은 고차의 난류모형에 비해 회전유동의 강도가 약하게 추정되는 현상과 연관 지어 설명될 수 있다고 하겠다.

계산 프로그램은 기존의 단축선의 경우와 마찬가지로 twin-skeg 형 선미를 가지는 쌍축선의 선미 선형 평가에 큰 어려움 없이 사용될 수 있다고 하겠다.

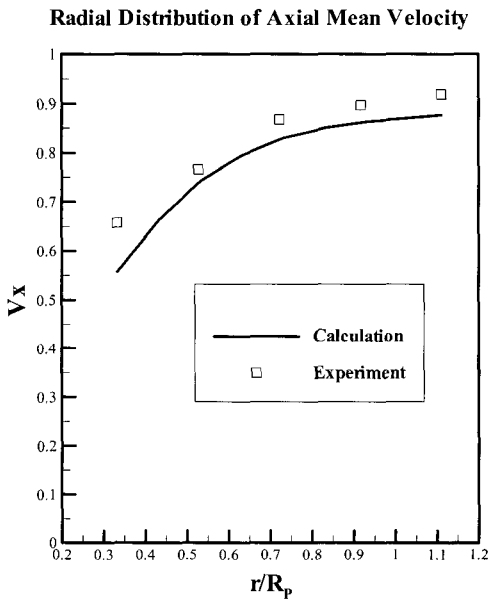


Fig. 7 Comparison of measured and calculated radial distribution of circumferentially averaged axial velocity components at the propeller plane of KRISO 15,000TEU container ship model ($Re=1.056 \times 10^7$)

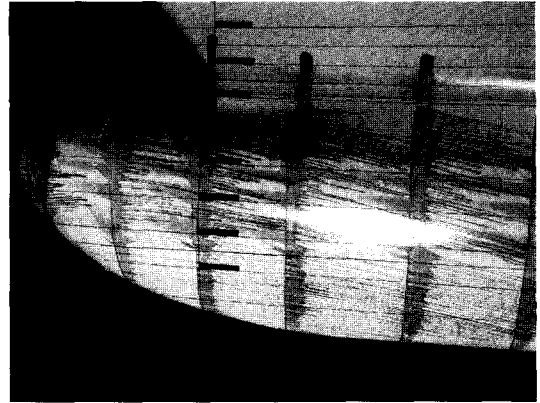


Fig. 8 Paint streaks on KRISO 15,000TEU container ship model with propeller rotating

Fig. 8 과 9 은 수조에서 페인트 시험을 통하여 얻어진 한계 유선과 수치계산에서 얻어진 표면 마찰유선을 각각 보여주고 있다. 수조 시험의 경우에는 프로펠러가 회전하고 있는 상태에서 얻어진 결과로서 수치계산과는 약간 조건이 다른 것을 감안하면, 수치계산으로 얻어진 유선들이 프로펠러로 유입되기 이전까지는 수조시험 결과와 상당히 유사한 형태를 보여주고 있다.

이상에서 보인 바와 같이 본 연구에서 사용된 다중 블록 격자계 생성 프로그램과 점성 유동장

5. 결론

기존의 수치계산 시스템으로는 어려움이 많았던 twin-skeg 형 선미를 가지는 쌍축선에 대한 선체 표면 및 다중 블록 공간 격자계 생성과 포텐셜 및 점성 유동해석을 수행할 수 있는 수치계산 시스템을 개발하였다. 활용성과 정확성을 검증하기 위하여 KRISO 15000TEU 쌍축 컨테이너선에 대한 격자계 생성 및 유동해석을 수행하였으며, 모형시험

에서 예측된 파형과 반류 분포, 그리고 유선관측 결과와 비교하였다. 수치계산 결과는 기존의 단축선에 대한 계산 정도를 유지하는 것으로 판단되며, 본 연구를 통하여 개발된 수치계산 시스템이 twin-skeg 형 선미를 가지는 다양한 선형의 평가에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

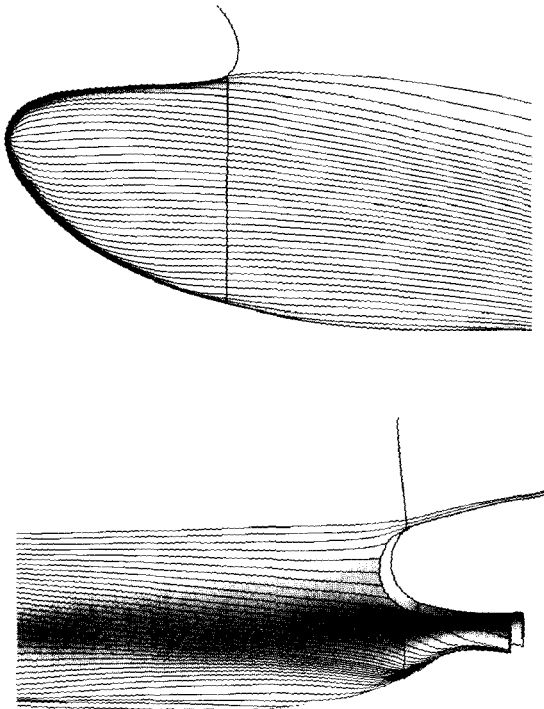


Fig. 9 Calculated limiting streamlines on KRISO 15,000TEU container ship model (bare hull)

후 기

본 연구는 과학기술부에서 지원한 고부가가치 선박설계 핵심기술 과제 중 "선형설계 및 성능최적화" 연구결과의 일부이며, 제 2 저자는 2003년도 두뇌한국 21 사업으로부터 지원 받았음을 밝혀둔다.

참 고 문 헌

- 김도현, 김우전, 반석호, 2000, "패널법을 이용한 상선의 비선형 조파 문제 해석," 대한조선학회 논문집, 제 37 권, 4 호, pp. 1-10.
- 김우전, 반석호, 1999, "기본 오프셋을 이용한 상선의 선체표면 격자계 생성방법," 대한조선학회 논문집, 제 36 권 1 호, pp. 61-69.
- 김우전, 김도현, 반석호, 1999 "선체 주위의 점성유동 계산을 위한 3 차원 공간 격자계 생성방법," 대한조선학회 논문집, 제 36 권 제 1 호, pp. 70-81.
- 김우전, 김도현, 반석호, 2000, "유한 체적법을 이용한 상선주위의 난류유동 계산에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, " 제 37 권, 4 호, pp. 19-30.
- 특허청, 2002, " 2002 신기술동향조사 보고서-컨테이너선".
- Kim, W.J., Kim, D.H., Van S.H., 2000, "Development of wave and viscous flow analysis system for computational evaluation of hull forms," Journal of Ship and Ocean Technology, Vol. 4, No. 3, pp. 33-45.
- Kim, W.J., Kim, D.H., Van S.H., 2002, "Computational study on turbulent flows around modern tanker hull forms," International Journal for Numerical Methods in Fluids, Vol. 38, No. 4, pp.377-406.



< 박일룡 >



< 김우전 >



< 반석호 >