

기본 오프셋을 이용한 상선의 선체표면 격자계 생성방법

김우전*, 반석호*

Practical Method for Generating Surface Mesh using Offset Table

by

Wu-Joan Kim* and Suak-Ho Van*

요 약

수치 계산을 이용하여 선형의 유체동력학적인 특성을 신속히 파악하기 위해서는 선체표면 격자계를 생성하는 과정이 쉽고 자동화되어 있어야 한다. 이를 위하여 기본 스테이션 오프셋과 선수미 윤곽선만을 이용하여 선형을 정의하고, 이를 이용하여 퍼텐셜 유동이나 점성유동의 계산에 필요한 선체 표면 격자계를 손쉽게 생성할 수 있는 방법을 개발하였다. 선수와 선미 벌브를 가진 일반 상선의 선형을 표현하기 위해 선수의 양 끝단을 타원, 포물선, 쌍곡선, 3차 곡선 등의 조합으로 표시할 수 있게 하였다. 그리고 선수와 선미의 윤곽선을 격자계의 경계선으로 하였기 때문에 비선형 자유수면 조건을 이용한 조파저항 계산에서의 격자 변형이나 점성유동 해석을 위한 난류 경계층에서의 벽좌표의 정의가 종단면을 기준으로 한 종래의 격자에 비해 매우 편리하다고 할 수 있다.

Abstract

To promote the usability of CFD techniques for the basic hull form design, a hull surface mesh generating program, based on given station offsets and centerline profile, is developed. The new method employs non-uniform parametric splines with predetermined waterline end-shapes of natural spline, normal spline, ellipse, parabola, hyperbola, and their combinations. Generated hull surface meshes can be utilized for potential panel method immediately and can be also used as a boundary grid surface for 3-D field grid system. Mesh topology chosen to represent hull surface can be transformed into a rectangle, which helps the flow solvers to transform surface meshes for the nonlinear free surface condition or to define the turbulence quantities. To prove the applicability, a container ship with bow and stern bulb is chosen, and the procedures generating hull surface meshes are described.

접수일자: 1998년 8월 22일. 재접수일자: 1998년 11월 16일

* 정회원, 선박해양공학센터 선박성능연구부

1. 서 언

일반 상선의 선형 설계는 통상적으로 기본이 되는 선형(parent ship)을 바탕으로 선주가 원하는 재화 용량과 속력을 보장할 수 있도록 선형을 수정하는 일련의 작업으로 이루어져 있다. 이러한 작업 중에서 수정된 선형이 원하는 속력을 보장할 수 있는가를 확인하기 위해 수조 모형시험을 하게 되는데, 이러한 모형시험은 통상 몇 개월의 기간이 소요될 뿐 아니라 비용도 많이 든다. 이러한 어려움을 극복하고 빠른 기간 안에 저렴한 비용으로 선형의 저항 성능을 평가해 보기 위해서 최근에 계산유체역학(CFD) 분야에서 개발된 여러 가지의 수치 계산 기법들을 이용할 수 있는데, 많은 수치 계산 프로그램들의 사용이 매우 불편한 것이 사실이다. 이러한 불편의 원인은 첫 번째로 일반적인 상용 프로그램들이 선박의 성능 평가에 초점이 맞추어져 있지 않고, 모든 유체 유동을 대상으로 하는 범용 프로그램으로서, 선박의 오프셋과 같이 어느 정도 표준화 되어 있는 선형의 특징을 제대로 이용하지 못하고 있기 때문이다. 두 번째로는 실제로 선박의 성능 평가를 위해 개발된 프로그램이라 하더라도 복잡한 선형을 표현하기 위해 여러 단계를 거쳐서 완성된 많은 입력 자료를 요구하고 있기 때문에 사용하기가 불편하고, 하나의 완성된 입력 자료를 준비하는데 며칠의 기간을 필요로 하는 등, 실제 선형 설계자의 편의성이 고려되어 있지 않기 때문이다.

본 연구에서는 위에 지적한 여러 가지 어려움을 극복하기 위해 선박의 오프셋이 주어지면 유체 동력학적인 계산에 필요한 선체표면 격자계를 매우 쉽게 만들 수 있는 방법을 개발하였다. 이는 모형 시험을 하기 전에 계산유체역학 기법을 이용하여 선형의 저항성능을 미리 추정하고, 이를 바탕으로 최적의 선형을 도출할 수 있도록 효과적인 전처리 장치(preprocessor)를 제공하기 위함이다. 본 연구에서 개발된 방법을 사용하면 개인용 컴퓨터를 이용하여 기본 오프셋과 선수미 윤곽선 자료로부터 불과 몇 분 안에 유체 동력학적인 계산에 필요한 선체 표면 격자계를 생성할 수 있다. 이렇게 생

성된 선체 표면 격자계는 조파저항 추정을 위한 퍼텐셜 유동 계산에 쓰이는 패널(panel)로 수정 없이 사용될 수 있을 뿐만 아니라, 점성 유동 계산을 위한 3차원 공간 격자계 구성을 위한 중요한 선체표면 경계 격자로 쓰일 수 있다.

본 연구에서 채택한 격자계의 구조는 기존의 상용 프로그램들이 사용하고 있는 선박의 종방향 위치가 일정한 단면(square station)에서의 격자를 만들어서 서로 연결하여 선체를 표현하는 방식과는 달리 선수부와 선미부의 윤곽선을 따라 격자계가 이루어지도록 하였다. 그리하여 생성된 선체 표면 격자계는 선미 윤곽선, 선수 윤곽선, 바닥 중심선, 그리고 설계 수선으로 이루어지는 네 개의 경계선 안에 정해진 개수의 격자가 주어진 분포 함수에 따라 배치됨으로써 이루어진다. 이러한 방법은 선체를 직사각형으로 변환할 수 있게 하여 유동 해석용 프로그램을 단순화 할 수 있고, 그 정확도를 유지할 수 있게 한다. 특히 비선형 자유수면 조건을 사용하여 조파저항을 계산할 때, 필요한 선체표면 격자계의 재배치가 쉽고, 또한 선체 표면 근처의 경계층과 선미 반류를 해석하기 위해 점성 유동을 계산할 때, 벽면 근처에서 생기는 복잡한 현상을 정확히 재현하기 위해서는 필수적인 격자 구조라고 할 수 있겠다[1][2].

다음에는 주어진 오프셋상의 점들을 연결하여 3차원 곡선을 정의하기 위해 이용된 nonuniform parametric spline에 대하여 설명하고, 주어진 기본 스테이션 오프셋과 선수미 윤곽선으로부터 선형을 효과적으로 표현하고, 그를 바탕으로 유체 동력학적인 계산을 위한 선체 표면 격자계를 만들어 가는 각 단계를 상세히 설명하기로 한다.

2. Ferguson basis를 이용한 nonuniform parametric spline

본 연구에서는 3차원 곡선(space curve)을 표현하기 위해 구간 적분 직선거리(accumulated chord length)를 매개변수(parameter)로 하는 불균일 파라미터화(non-uniform parameterization)를 사용하였다. 위치가 주어진 점(node)들을 이용하여 그 사

이를 내삽(interpolation)하기 위해서는 구간별 허미트 내삽법(piecewise Hermite interpolation)중에서 내삽 조건으로 구간의 양쪽 끝의 위치(position vector)와 기울기(tangent vector)만을 사용하는 퍼거슨 기본 함수(Ferguson basis)를 이용하였다 [3]. 아래에 보인 바와 같이 퍼거슨 기본 함수를 선택한 이유는 선체 형상과 같이 기울기(slope)나 곡률(curvature)이 불연속이거나 기울기가 곡선의 중간에 조건으로 주어진 특이점(singular point)들이 존재하는 경우에 구간(section)별로 나누어 처리하기가 간편하기 때문이다. 우선 위치가 주어진 점 중에서 특이점을 찾아내고, 각각의 특이점들을 양끝으로 하는 구간들로 나눈 후, 기울기나 곡률이 주어진 구간의 양끝 점에서는 그 기울기나 곡률을 조건으로 사용하였다. 그리고 기울기와 곡률이 불연속인 점들이 아닌 위치만 주어진 점(non-singular point)들은 기울기와 곡률이 그 점에서 연속인 조건을 사용하고 있는데, 이 경우는 스플라인 내삽(spline interpolation)과 같아지게 된다. 각 구간에서의 매개변수로는 각 구간 안의 위치가 주어진 점들을 선분(segment)으로 연결하여 그 길이(chord length)를 더하여 구해지는 구간 적분 직선거리(t)를 사용하였다.

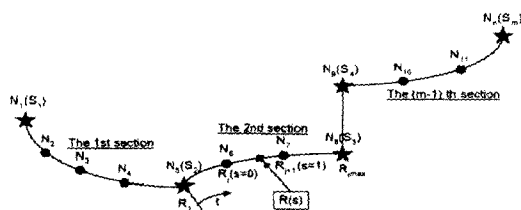


Fig. 1 Parametric spline curve with ferguson basis

Fig. 1에서와 같이 하나의 3차원 곡선에서 n개의 위치가 주어진 점(node: $N_1 \sim N_n$)이 있고, 그 중에서 시작과 끝점을 포함하여 m개의 기울기나 곡률이 불연속이거나 주어졌는 특이점(singular point: $S_1 \sim S_m$)이 있다면, 각 특이점 사이의 구간은 (m-1)개가 된다. 한 구간에서 위치가 주어진

점이 구간의 시작(R_i)과 끝점(R_{j+1})을 포함하여 jmax개라고 가정하면, 퍼거슨 기본 함수를 이용한 내삽법은 다음과 같이 설명할 수 있다.

우선 내삽하려는 점의 위치를 \vec{R} 이라 하고, 이 점이 i 번째 특이점인 $S_i(=R_i)$ 과 i+1 번째 특이점인 $S_{i+1}(=R_{j+1})$ 사이의 i 번째 구간에 위치한다고 하고, 그 구간 안의 위치가 주어진 점 \vec{R}_j 와 \vec{R}_{j+1} 사이에 있다고 하자. 그리고 t 를 구간의 첫 번째 점 (R_i)에서 시작된 구간 적분 직선거리라고 하면, 내삽하고자 하는 점 $\vec{R}(t)$ 는 $\vec{R}_j(t_j)$ 과 $\vec{R}_{j+1}(t_{j+1})$ 이라는 위치 벡터와 접선 벡터 즉, 기울기 $\vec{v}_j(t_j) \left[= \left(\frac{d\vec{R}}{dt} \right)_j \right]$ 과 $\vec{v}_{j+1}(t_{j+1}) \left[= \left(\frac{d\vec{R}}{dt} \right)_{j+1} \right]$ 로 나타내질 수 있다. 이러한 식을 간단히 하기 위해 $s = \frac{(t-t_j)}{(t_{j+1}-t_j)}$ 로 무차원화한 새로운 s 라는 무차원 파라미터를 쓰면 \vec{R}_j 는 $s=0$ 에 위치한 $\vec{R}(0)$ 이고, \vec{R}_{j+1} 는 $s=1$ 에 위치한 $\vec{R}(1)$ 이 된다. 또 \vec{v}_j 와 \vec{v}_{j+1} 는 $\frac{1}{\Delta_j} \frac{d\vec{R}}{ds}(0)$ 과 $\frac{1}{\Delta_j} \frac{d\vec{R}}{ds}(1)$ 으로 쓸 수 있다. 여기서 Δ_j 는 \vec{R}_j 와 \vec{R}_{j+1} 사이의 직선 거리로 $(t_{j+1}-t_j)$ 가 된다. 그리하여 $\vec{R}(0)$ 과 $\vec{R}(1)$ 사이의 점들은 다음과 같이 나타내어진다.

$$\vec{R}(s) = \vec{R}_j P_0(s) + \vec{R}_{j+1} Q_0(s) + \Delta_j [\vec{v}_j P_1(s) + \vec{v}_{j+1} Q_1(s)] \quad (1)$$

여기서 단위 길이(unit-length segment)에 대한 퍼거슨 3차식(Ferguson cubic function)은

$$\begin{aligned} P_0(s) &= 2s^3 - 3s^2 + 1 \\ Q_0(s) &= -2s^3 + 3s^2 \\ P_1(s) &= s^3 - 2s^2 + s \\ Q_1(s) &= s^3 - s^2 \end{aligned} \quad (2)$$

로 주어지 있다. 이러한 퍼거슨 기본 함수는 각각 끝단(즉, $s=0, s=1$)에서의 함수 값과 1차 도함수의 값이 1 또는 0이 되어 식(1)에서의 계수가 주어진 위치와 기울기가 되도록 정의되어 있다.

다음에는 각 점에서의 기울기(접선 벡터) \vec{v}_i 를 구하는 방법을 설명하기로 한다. 만약 그 점에서 기울기가 주어지 있다면 물론 따로 구할 필요가 없이 주어진 기울기를 사용한다. 하지만 구간의 중간점들과 같이 기울기가 따로 주어지지 않은 대부분의 점들에서는 기울기와 곡률이 연속이 되도록 하는 조건을 부여했다. 이는 다름 아닌 스플라인 내삽(spline interpolation)이 된다. 기울기나 곡률이 주어진 특이점들과 중간의 위치만 주어진 점들에서의 연속 조건들을 한데 모으면 n 개의 기울기에 관한 연립방정식을 얻을 수 있고, 이는 tri-diagonal matrix 해법으로 쉽게 풀 수 있다.

실제로 각각의 스테이션이나 수선상의 점들을 다룰 때, 위치와 기울기 등을 포함한 정보를 이용하기보다는 미리 충분히 많은 내삽 점(densely interpolated points)들을 생성하여 그 점들을 저장하고 이를 바탕으로 각 지점까지의 3차원 곡선의 적분 길이를 산출한 다음, 격자계의 분포 함수로 주어지는 길이 비를 이용하여 각 방향 분포에 해당하는 격자점을 구하는 것이 편리하다고 하겠다.

3. 선체표면 격자계 생성방법

3.1 입력 자료와 기본 오프셋의 변환

먼저 주어진 기본 오프셋을 일정한 형태의 입력 자료로 만들어야한다. 이때 사용한 입력 형태는 현재로는 선박 계산용 프로그램인 PRELIKON (DV101 DATA)의 입력 데이터와 비슷한 형태를 가지고 있으나 어떠한 형태의 오프셋 자료로도 가능하다. 입력자료의 내용은 선형에 대한 정보와 주요 치수 및 채원, 그리고 각 스테이션에서의 반폭 및 선수미 윤곽선에 대한 치수 등이 포함되어야 한다. 만약에 기울기가 불연속이거나 지정해야 하는 점에서는 그에 해당되는 정보(본 연구에서는 99, 1, 2등의 정수)를 제공하여 가능한 한 선형을

정확히 표현하도록 하여야 한다. Fig. 2와 Fig. 4에는 한 단면에서 2차원 곡선의 시작과 끝점의 모든 경우를 해당되는 기울기 지정 정수와 함께 각각 도시하였고, Fig. 3에서는 2차원 곡선의 중간점 중에서 곡률이나 기울기가 불연속인 점들에 대한 경우를 예시하였다.

모든 오프셋이 입력되고 나면, 그 입력 자료를 읽어들이어서 각 스테이션에서의 횡단면 형상(body plan)과 선수와 선미의 윤곽선(side profile)을 그리기 위한 기울기 지정 정수(slope-controlling integer)를 가지는 오프셋 자료로 변환한다. 이를 위해서 앞에서 입력된 원래의 오프셋과 선택 정수를 이용하여 각각의 특이점들을 자동으로 지정할 수 있도록 하여야만 사용상의 편의성을 추구할 수 있고 시간을 단축할 수 있다. 다음에는 각각의 스테이션이나 선수미 윤곽선에서 기울기나 곡률이 불연속인 특이점의 형태를 구분하여 기울기 지정 정수와 함께 보이고 있다.

(a) 스테이션 오프셋에서의 시작점

- 11: 수직선의 시작
- 12: 수평선(평저)의 시작
- 13: 수평으로 시작되는 스플라인 곡선
- 14: 곡률이 0으로 시작되는 스플라인 곡선

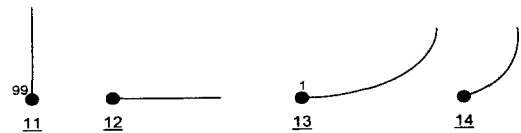


Fig. 2 Starting points in the station offset

(b) 스테이션 오프셋에서의 중간 특이점

- 21: 수평선(평저)의 끝과 수평으로 시작되는 스플라인 곡선의 시작
- 22: 수직 외판의 시작
- 23: 수직선의 끝과 수평으로 시작되는 스플라인 곡선의 시작
- 24: 수직선의 끝과 곡률이 0으로 시작되는 스플라인 곡선의 시작

- 25: 수평으로 끝나는 스플라인 곡선의 끝과 수직선의 시작(벌브의 상단)
- 26: 곡률이 0으로 스플라인 곡선의 끝과 수직선의 시작
- 27: 곡률이 0으로 스플라인 곡선의 끝과 또 다른 스플라인 곡선의 시작(불연속점)
- 28: 수평선(평저)의 끝과 곡률이 0으로 시작되는 스플라인 곡선의 시작
- 31: 21과 28의 중간형태
- 32: 23과 24의 중간형태
- 33: 25와 26의 중간형태

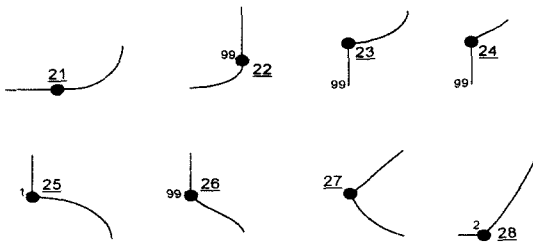


Fig. 3 Mid-points in the station offset

위의 기울기 지정 정수중 31, 32, 그리고 33의 경우는 나중에 선수와 선미부에 많은 스테이션을 생성해 넣을 때, 원래 오프셋에 주어진 앞과 뒤의 스테이션의 기울기 선택이 다른 경우, 사이를 부드럽게 연결하기 위해서 도입되었다.

(c) 스테이션 오프셋에서의 끝점

- 41: 수직선의 끝
- 42: 곡률이 0인 스플라인 곡선의 끝



Fig. 4 Ending points in the station offset

위와 같이 스테이션 오프셋과 선수미 윤곽선에서 각 특이점에서의 기울기가 결정되면 이를 바탕

으로 선형을 수학적으로 표현하게 된다.

3.2 Body plan과 side profile 생성

다음으로는 3.1절의 자동 변환 과정을 거친 오프셋을 이용하여 body plan과 side profile을 생성하게 되는데, 이때, 2장에서 자세히 기술한 바 있는 parametric spline을 사용하였다. 우선, 각기 주어진 스테이션 오프셋에서 기울기 지정 정수가 주어진 특이점들을 구분해 내어 특이점들을 양끝으로 하는 구간들로 나누고, 그 구간 사이의 오프셋으로부터 위치가 주어진 점에서의 기울기들을 tridiagonal matrix를 풀어 구한다. 기울기가 얻어지면 Ferguson cubic function을 이용하여 각 구간별로 충분히 많은 점들을 내삽하여 생성한다. 보통 각 스테이션에서 500여개의 점들로 선형을 표현하였는데, 이 갯수는 임의로 지정할 수 있다. 이 때, 내삽 점들이 선체의 기저선(base line)으로부터 시작하여 지정된 최고 수선까지 각 구간별로 생성되게 된다. 생성된 내삽 점 중에서 실제로 선체를 이루지 않는 중심면상의 점들은 나중에 격자계를 만들 때 제외시킨다. 각 스테이션에서 선형이 생성되었으면 선수부와 선미부의 윤곽선 오프셋을 이용하여 선체의 중심선인 side profile을 생성한다. 선체 측면도를 위한 기울기 지정 정수 역시 스테이션 오프셋에서의 것들과 같이 자동 변환되어 있으므로 앞에서 설명한 대로 parametric spline을 이용하여 쉽게 생성할 수 있다. 다만 선미 추진기축이 위치하는 끝단이 열려있으므로 타원 회전체 형상의 캡(cap)을 부착하여 뒤에서 설명할 선체 표면 격자계의 끝단이 부드럽고 자연스럽도록 하였다.

또한 만일 주어진 선박이 트랜섬 선미를 가지고 있는 경우는, 오프셋에 주어진 트랜섬 선미의 오프셋이 side profile로 연결되도록 하여 격자계가 하나의 직사각형으로 변환될 수 있게 한다는 본래의 구상을 유지할 수 있게 하였다. Fig. 5는 이러한 과정을 통하여 생성된 3600 TEU급의 컨테이너 운반선의 body plan과 side profile을 보여주고 있다.

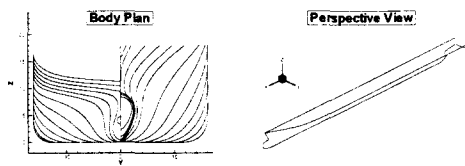


Fig. 5 Body plan and perspective view of a 3600 TEU container ship

3.3 Waterline의 생성

얻어진 body plan으로부터 임의의 수선 높이에 서의 반폭을 얻어서 연결된 선이 원하는 높이에서의 수선이 된다. 이때 물론 수선의 시작과 끝점은 side profile로부터 얻어진다. 그러나 현재 건조되고 있는 대부분의 상선의 선수부와 선미부에는 벌브와 같이 오프셋으로만 표현하기에는 너무 어려운 부분이 존재한다. 이러한 수선의 모양을 정확히 표현하기 위해서는 보다 많은 스테이션들이 선수와 선미에 주어져야 하는데, 설계자가 이를 위해 많은 시간을 들여서 직접 수선상의 점들을 통상 CAD 프로그램을 이용하여 지정해야 하는 어려움이 있다. 이러한 어려움을 극복하고 어느 정도 정확성이 유지되면서 사용이 간편하고, 많지 않은 입력 데이터로 수선의 형태를 효과적으로 표현하기 위한 방법이 개발되었다.

본 연구에서 채용한 방법은 parametric spline만으로 표현하기 어려운 선수부와 선미부의 마지막 스테이션 오프셋이 주어진 점에서 수선의 끝점(선체 중심선과의 교점)까지의 구간을 어떤 미리 정해진 모양들을 선택적으로 취함으로써 시작과 끝단의 형상이 급격히 변하는 수선을 쉽게 구현할 수 있게 하였다. 그리고 실제 선박의 저항 성능을 평가하는데 사용되는 퍼텐셜 유동해석 프로그램이나 점성유동 해석 프로그램의 경우, 선체 표면을 2000 - 4000개 정도의 격자로 표현하고 있는데, 본 연구에서 개발된 프로그램의 목적이 선박의 유체 동력학적 성능평가를 위한 선체표면 격자계의 효과적인 생성이기 때문에 이러한 목적으로 사용하기에는 충분한 정확도를 제공하고 있다고 할 수 있다. 선수와 선미 부분의 수선의 마침 모양은 끝단이 직각이고 각기 모양이 다른 '타원(ellipse)',

'포물선(parabola)', '쌍곡선(hyperbola)', 그리고 '중심선과 수직으로 만나는 스플라인 곡선(normal spline)'을 선택하여 '끝단의 곡률이 0인 스플라인 곡선(natural spline)'과의 중간 형태를 선택함으로써 표현하였다[4]. 보통 10 - 20개의 수선을 생성하면 선수부나 선미부의 형상을 충분히 표현한다고 할 수 있는데, 이렇게 생성된 수선으로부터 선미와 선수 근처에 조밀한 스테이션 오프셋을 생성할 수 있다. Fig. 5에서 보인 바 있는 3600TEU container ship의 생성된 수선의 선수부와 선미부의 확대된 모양을 다음의 Fig. 6에 보이고 있다.

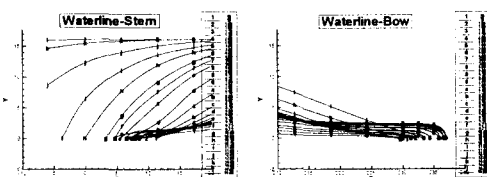


Fig. 6 Waterlines of a 3600 TEU container ship

3.4 선수와 선미부의 조밀한 오프셋생성

앞에서 생성된 수선들을 이용하면, 선체의 종방향 위치가 일정한 곳에서 각 수선 높이에서의 반폭을 구하여 새로운 스테이션에서의 오프셋을 생성할 수 있다. 선형을 정확히 표현하고, 그 결과로 구성된 선체 표면 격자계를 매끄럽게 하기 위해서는, 형상의 변화가 심한 선수부와 선미부에 새로운 스테이션을 조밀하게 집중시켜야한다. 본 연구에서는 선수와 선미부에 각각 30 - 50여개의 새로운 스테이션을 지정하고 그 종방향 위치에서의 오프셋을 생성하게 하였는데, 이때 각 점에서의 기울기 지정 정수도 함께 정하게 하였다.

우선 원래의 스테이션 중에서 그 곳까지 조밀한 오프셋을 생성할 스테이션을 지정하고, 그 사이에 변화가 그리 심하지 않은 선체 길이의 대부분은 원래의 주어진 스테이션만을 사용하여도 충분하다. 그리고 선미부와 선수부의 조밀한 오프셋을 생성할 구간을 길이 방향으로 몇 개의 부분으로 나누었다. 선미부의 경우, 우선 선미에서부터 추진기축

의 끝단까지, 그로부터 선미 측면도에서의 잘록한 허리까지, 그리고 원래 오프셋에서 주어진 스테이션까지의 세 구간으로 구분한다. 선수부의 경우에는 벌브 끝단과 최고 수선의 끝단사이, 그 둘 중에 선체 중앙부로부터 가까운 것으로부터 선수 측면도에서의 잘록한 허리까지, 그리고 원래 오프셋에서 주어진 스테이션까지의 세 구간으로 나눈다. 이는 각각의 경우가 하나의 종방향 위치에서 수선과의 교점의 숫자나 형태가 다르고 특히 기울기 지정함수가 각각 구분되어야 하기 때문이다.

새로운 스테이션의 시작점은 선체 바닥 기준선으로부터 시작되고, 그 점이 평저 바닥 안에 존재하는지를 우선 판정하여 처리한다. 시작점이 평저 바닥 안에 있지 않으면 side profile로부터 선체의 시작점이 얻어지고 각 수선과의 교점이 오프셋을 구성하게 된다. 이때 주어진 종방향 위치에서 side profile과의 새로운 중간 교점이 있을 수 있는데, 그 점이 특이점인지를 경우별로 판정하고 해당되는 정수를 지정한다. 그리고 측면 수직벽안에 존재하는 점들은 기울기 지정 정수가 중복되지 않도록 검색한다. 구해진 수선과 side profile과의 교점이 모두 구해지면 미리 구해 놓은 선체의 최고 수선과의 교점을 구함으로써 새로운 오프셋의 구성을 마무리한다. 그리고 원래 주어진 스테이션 오프셋의 의미를 충분히 반영하면서 또한 부드럽고 자연스러운 선형을 구성하기 위해 원래 주어진 바닥 시작점이나 벌브 위 끝점의 기울기 지정 정수가 다른 스테이션 사이에 생성되는 새로운 스테이션의 경우, 그러한 변화를 매끄럽게 수용할 수 있도록 그 사이의 변화를 내삽하였다. 이렇게 하여 각 새로운 스테이션에서의 특이점에도 적절한 기울기 지정 정수가 주어져서 본래 주어진 offset에서의 모양을 그대로 살리면서 단지 스테이션의 개수를 충분히 늘릴 수 있다.

3.5 격자선의 횡방향 분포

이 절에서는 주어진 오프셋을 바탕으로 위의 여러 단계를 밟아 표현된 선형을 바탕으로 각 스테이션에서 격자계의 횡방향 분포를 구성하는 방법을 설명하고자 한다.

앞 절에서 설명한대로 선수부와 선미부에 새로 생성된 조밀한 스테이션을 포함하여 배의 전체 구간에 걸쳐 충분히 많은 점들로 구성된 각각의 스테이션에서 선저부의 중심선부터 정해진 수선까지의 점들만을 구하여 선체를 표현한 기본 바탕 곡면을 이룬다. 그리고 횡방향의 격자계 분포 함수를 결정하고, 각 스테이션에서 단면 곡선의 길이를 구하여 격자계의 횡방향 길이 분포에 해당되는 점들을 결정한다. 이때 격자 분포 함수의 기본형은 횡방향의 격자 분포를 등비 급수로 하고 양 끝단으로의 밀집도를 비율로 입력하여 구하도록 하였다. 우선 격자계의 한쪽 경계선을 이루는 선수 윤곽선과 또 다른 경계선인 선미 윤곽선을 선체 측면도로부터 찾아내어 구성하는데, 다른 종방향 위치가 일정한 스테이션에서의 분포를 그대로 따르면 벌브 뿌리 근처의 격자선이 매끄럽지 못하기 때문에 선수선과 선미선의 분포를 밀고 또는 당기는 조작이 필요하다. 본 연구에서는 2차 포물선을 이용한 수정 함수를 도입하였다.

바닥 기준선도 하나의 경계선이므로 이를 side profile로부터 구하여 놓는다. 그리고 스테이션 중에서 선저 중심선에서 설계 수선까지의 모든 내삽점이 선체상에 있는 스테이션들을 구하고 격자 길이에 따라 분포한다. 하지만 선수 벌브나 선미부와 같이 선저 중심선으로부터 설계 수선 사이가 비어 있는 부분이 존재하는 스테이션에서는 국부적인 격자점들의 거리를 다시 산정 하여야 하는 등 특별한 주의를 필요로 한다. 우선 선미선이나 선수선과의 교점을 구하고 그 곳까지의 선미선이나 선수선의 격자 개수를 세어 그 분포로 스테이션에서의 격자 분포를 결정한다. 그러나 이러한 선미부와 선수 벌브의 격자 분포가 다른 스테이션에서의 분포와 부드럽게 연결되지 않기 때문에 그 사이의 분포는 길이를 각각 산정 하여 자연스럽게 이어지도록 재구성되었다. 위와 같은 방법으로 각 스테이션에서 횡방향 격자 분포에 따라 구해진 격자 중간점들을 연결하여 얻어지는 격자선을 Fig. 7에 예시하였다. 만일 트랜섬 선미를 가진 선형의 경우에는 선미의 트랜섬이 시작되는 점까지의 개수를 미리 지정하고 side profile에서 구

간을 트랜섬 선미 구간과 선체 중심선 구간으로 나누어서 길이비를 조정할 수도 있다.

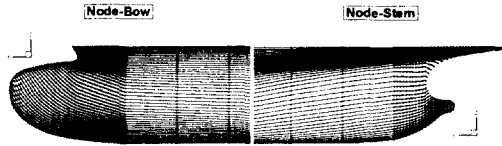


Fig. 7 Transverse node distribution

3.6 격자선의 종방향 분포

각 스테이션 위에 격자계의 횡방향 분포에 해당되는 점들이 결정되면, 동일한 분포에 해당되는 점들을 종방향으로 연결하면 격자선이 얻어진다. 이때도 역시 parametric spline을 사용하였다. 하지만 격자점들 중에는 평저 바닥 안이나 선측 수직면 안에 존재하는 점들이 있고 이를 그냥 스플라인 곡선을 이용하여 연결하면 작은 주름이 생길 우려가 있다. 이를 방지하고자 평저 바닥과 선측 수직면의 경계를 구하고 그 안에 있는 격자점에는 해당되는 기울기를 지정하였을 뿐만 아니라, 그들 중에서 가장 바깥쪽 격자점을 평저바닥이나 선측 수직면의 경계로 이동시킴으로써 결과로 얻어지는 격자계가 선체를 벗어나거나 주름을 가지는 일이 없도록 하였다.

이렇게 얻어진 격자선 위에 종방향 길이 분포함수에 따르는 점들이 구해지고 그 점들을 연결하면 원하는 격자계가 완성된다. 종방향 분포 함수는 횡방향과 마찬가지로 등비 급수를 이용하였고 선수나 선미로의 밀집도를 입력하도록 하였다. Fig. 8에는 3600TEU container ship의 선체표면 격자계를 보이고 있다. 앞 절의 그림들은 이 선형의 표현 과정과 격자계 구성에 선행된 여러 단계의 그림들이다. 격자계는 종방향으로 101개, 횡방향으로 51개를 분포하였고 5%의 밀집도(clustering rate)를 선수, 선미, 그리고 선저, 설계 수선 쪽으로 적용하였다. 결과로 얻어진 선체 표면 격자계를 Fig. 8에 보인 바와 같이 수정 없이 조파저항과 파형 등을 알아볼 수 있는 포오텐셜 유동 계

산에 쓰일 수 있다.

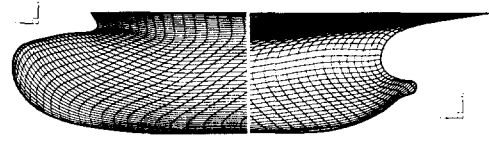


Fig. 8 Surface mesh for a 3600 TEU container ship

그리고 위의 container ship과 달리 선수와 선미에 벌브가 없는 선형의 경우에도 똑같은 방법으로 선체표면 격자계를 생성할 수 있다. Fig. 9에는 Series 60($C_B=0.6$)의 선체표면 격자계를 보이고 있다. 종방향으로 81개 횡방향으로 41개의 격자계를 분포하였고, 점성유동 계산을 위해 종방향 밀집도를 10%로 설정하였다. 점성 계산을 위한 3차원 공간 격자계를 구성할 때, 본 연구에서 개발된 방법으로 얻어진 선체 표면 격자계를 이용하여 공간격자계의 경계면으로 삼을 수 있다.

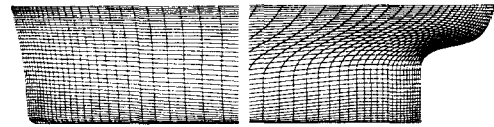


Fig. 9 Surface mesh for Series 60($C_B=0.6$)

4. 결 언

본 연구에서는 최근에 급속한 발전을 보이고 있는 계산유체역학 기법을 선형 평가에 이용하기 위한 전처리 장치(preprocessor)의 하나로 기본 오프셋을 바탕으로 한 선체표면 격자계 생성방법을 제시하였다. 기존의 많은 입력 자료를 필요로 하는 단점을 극복하고자 수선의 끝단을 여러 가지 기하학적인 형상을 선택적으로 취함으로써 표현의 간편성을 도모하였다. 또한 선수와 선미 윤곽선을

하나의 경계로 삼아 전체 격자계를 하나의 영역으로 정의함으로써 실제 수치 계산에서 요구되는 편의성과 정확도를 제공할 수 있었다. 특히 비선형 자유수면 조건을 이용한 퍼텐셜 유동 해석의 경우와 같이 선체표면 격자계가 자유수면의 파형과의 교점을 따라 재구성되어야 할 때, 선체가 하나의 영역으로 정의되어 있으므로 수치 계산을 수행할 때 매우 편리하다고 할 수 있다. 흔히 일정 종단면을 기준으로 생성된 격자계에서 겪는 새로운 영역의 정의 등의 어려움을 미연에 방지하여 유동 해석상의 편의성을 제공한다. 그리고 점성유동 해석을 통한 경계층내의 난류항 등을 정의할 때 다른 격자 구조보다 우월하다고 하겠다.

본 연구에서 기술한 방법을 이용하면 개인용 컴퓨터에서 선형의 기본 오프셋에서 출발하여 짧은 시간(약 10분)안에 선체표면 격자계를 생성 할 수 있다. 그리고 초기 선형설계 단계에서 신속하게 여러 번의 수치계산을 통한 저항 추정 및 유동 해석 등의 선형 평가가 이루어 질 수 있다. 그러므로 본 연구에서 개발된 선체표면 격자계 생성 방법은 유동해석 프로그램의 간편한 전처리 장치 역할을 수행할 수 있으므로 여러 번의 선형 변화를 통한 기본 설계 단계에서의 선형 최적화가 가능하게 하는 매우 유용한 수단이 되리라고 본다.

참 고 문 헌

- [1] Kodama, Y., "Three-dimensional grid generation around a ship hull using the geometrical method," Journal of Society of Naval Architecture, Japan, Vol. 164, pp. 1-8, 1990.
- [2] Ohishi, T., Himeno, Y., "Grid generation around ship hull for flow computation," Journal of Kansai Society of Naval Architecture of Japan, Vol. 206, pp. 99-107, 1987.
- [3] Nowaki, H., Bloor, M.I.G., Oleksiewicz, B. , Computational Geometry For Ships, World Science Publishing Co., 1995.
- [4] 이춘주, private communications, 1997.