

형상 파라미터와 평활화 스킨링을 이용한 선수 선형 곡면 모델링

김현철^{†*}, 황보승면^{*}

삼성중공업(주), 조선해양연구소^{*}

Surface Modeling of Forebody's Hull Form Using Form Parameters and Fair-Skinning

Hyun Cheol Kim^{†*} and Seung Myun Hwangbo^{*}

Samsung Heavy Industries Co., Ltd., Marine Research Institute^{*}

Abstract

This paper deals with a new geometrical surface modeling method of forebody's hull form which is fully defined by form parameters. The complex hull form in the forebody can be modeled by the combination of three parts: bare hull, bulbous bow and blending part which connects a bare hull and a bulbous bow. All these subdomain parts are characterized by each own form parameters and constructed with simple surface model. For this, we need only 2-dimensional hull form data and then the form parameters are calculated automatically from these data. Finally, the smooth hull form surfaces are generated by parametric design and fair-skinning. In the practical point of view, we show that this new method can be useful and efficient modeling tool by applying to the hull form surface modeling of Panamax container's forebody.

※Keywords: Hull form design(선형설계), Surface modeling(곡면 모델링), B-spline(B-스플라인), Form parameter(형상 파라미터), Fair-skinning(평활화 스킨링)

1. 서론

2 차원 선형 CAD 시스템(예를 들면, Tribon TID)은 3 개의 주요 기본곡선들 - Waterlines, Butt-

ocks 그리고 Frame lines(Sections) - 의 교점 (Cross points)에 의해 구성되는 오프셋(Offsets)을 조정하여 선형설계작업을 수행한다. 이 시스템은 각각의 기본곡선들이 평면곡선들로 정의되므로 도면상의 작도와 같은 방법으로 설계자가 의도하는 대로 선형설계작업을 수행할 수 있는 장점이 있으나, 설계자의 주관적인 경험에 의해 평활화 수준 (Fairness level)을 고려한 교점을 일치시키는 작업

접수일: 2008 년 7 월 22 일, 승인일: 2008 년 11 월 20 일

†교신저자: hyuncheol212.kim@samsung.com

042-865-4746

이 반복적이고도 많은 시간적 손실을 가져온다. 이러한 단점을 보완하기 위해 3 차원 선형 CAD 시스템(예를들면, NAPA, EzHull 등)이 개발되었으며, 선형설계로부터 생산설계에 이르는 전 공정에 형상정보 전달손실을 최소화하고 일원화된 체계적인 설계작업 수행을 그 목적으로 하였다. 이 시스템은 크게 다음의 두 가지 특징을 가진다. 첫 번째는 선형을 곡면으로 직접 정의함으로써 상술한 기본곡선들의 교점 일치에 대해 설계자가 고려할 필요가 없다. 두 번째는 후행작업에 필요한 형상 정보를 신속하고 정확하게 제공할 수 있다. 그러나 2 차원 선형 CAD 시스템과는 달리 선형을 구성하는 기본곡선들이 평면곡선이 아닌 공간곡선으로 정의되어야 하므로 평활화를 고려한 초기 곡면 설계가 상대적으로 어려운 단점이 있으며, 또한 곡면의 평활화에 대한 객관적인 기준을 고려한 설계방법에 대한 연구가 미흡한 수준이다.

한편, 반세기 동안 CASHD(Computer Aided Ship Hull Design)의 발전 이후 곡선과 곡면을 이용한 많은 이론적, 수치적 방법들이 개발되어 보고되어 왔다(Harries 1998, Kim et al. 1998, Kim 2004). 그 중에서 본 논문의 내용과 연관된 주요 연구결과를 살펴보면 다음과 같다.

선형을 수학적으로 정의하고 변환하려는 첫 시도는 Taylor(1905)에 의해 수행되었다. 그는 Frame lines, Design waterline, 횡단면적 곡선 등과 같은 평면곡선을 표현하기 위해 위치형, 미분형 그리고 적분형 형상 파라미터들을 사용하였다.

Reed and Nowacki(1972)는 형상 파라미터들을 이용한 선형 생성방법으로 Frame line 에 정각사상(Conformal mapping)을 적용하는 방법과 대화형 설계방법을 소개하였으며, Creutz(1977)는 형상 파라미터들을 이용한 B-스플라인 곡선 및 곡면을 생성하는 방법을 제안하였다.

80 년대에 들어오면서는 Bézier 혹은 B-스플라인 곡선/곡면을 이용한 파라메트릭 모델링 방법을

선형설계에 적용하려는 연구가 폭넓게 수행되었다. Rogers and Satterfield(1980)와 Fog(1984)는 B-스플라인에 의한 대화형 곡면정의 방법을 소개하였는데, 주어진 옴셋을 대화식 방법을 통해 B-스플라인 조정점(Control points)을 제어하여 평활한 곡면을 생성하였다. Zhou and Liu(1985)는 Rational Bi-Cubic Bézier 패치를 이용하여 선형곡면모델을 표현하였으며, 주어진 배수량과 LCB(Longitudinal center of buoyancy)를 만족하도록 조정점을 조정하였다. Ahn(1994)은 형상 파라미터를 이용하여 B-스플라인 곡선으로 구성되는 선형을 생성한 후, B-스플라인 절점(Knot)을 삽입하고 제거함으로 선형을 평활화하는 방법을 제안하였다. 한편, Kim et al.(1997)는 하드차인(Hard chine)을 가지는 고속연안어선의 선형을 모델링하기 위해 무리함수와 종방향 특성곡선을 사용하였다. 이 방법은 매우 적은 수의 형상 파라미터들로 선형을 정의할 수 있지만, 단순한 선형에만 적용가능하다.

최근에는 컴퓨터의 발달과 함께 최적화 기법을 이용한 평활화된 곡선 및 곡면을 모델링하려는 연구가 진행되고 있다. Harries(1998)는 곡선 및 곡면을 B-스플라인으로 정의하고 평활화 기준을 목적함수로 하여 최적화기법을 이용하여, 선형을 모델링하는 파라메트릭 설계 방법을 소개하였다. 그리고 Kim(2004)은 Harries(1998)가 소개한 파라메트릭 설계 방법을 복잡한 실제 선형에 적용할 수 있는 방법으로 확장 적용하였다.

본 연구에서는 2 차원 선형 CAD 시스템으로 설계된 선형정보들로부터 파라메트릭 평활화 곡면을 생성하는 방법을 그 주요 내용으로 한다.

Kim(2004)에 의해 소개된 평활화된 다중 복합곡면 개념을 적용하여 2 차원으로 설계자에 의해 정의된 옴셋으로부터 평활화된 곡면을 생성하는 새로운 방법을 소개하고, Panamax 급 컨테이너선의 선수부 선형 모델링에 적용하였다.

2. 파라메트릭 곡선설계의 정식화

파라메트릭 곡선설계는 곡선의 형상을 결정하는

형상 파라미터(Form parameter)들을 조합하여 곡선을 설계하는 방법으로, 다음 두 가지 특성이 고려되어야 한다.

첫째는 기하학적 특성으로, 생성할 곡선은 최소한 1 차 미분 연속성(G^1) 이상을 만족하는 평활한 곡선이어야 한다. 이는 곡선의 매끄러운 정도와 여러 곡선이 결합되는 경우에는 연결점에서의 연속성 경계조건을 의미한다.

둘째는 물리적인 특성으로, 일반적으로 공학적 곡선설계는 미적인 관점과 함께 주어진 설계조건들 - 예를 들면, 곡선아래 면적 및 도심 - 을 만족해야 한다.

본 논문에서는 최적화 기법을 이용한 파라메트릭 곡선의 정식화를 통해 상기의 두 특성을 고려할 수 있도록 하였다. 형상 파라미터들로는 다음과 같이 분류될 수 있다.

- 위치형 파라미터: 옴셋, Design waterline, Deck line 등
- 미분형 파라미터: 양끝점의 각도 등
- 적분형 파라미터: 면적, 배수량 등

평활화 기준

곡선의 평활화 기준은 m 차 미분을 사용하여 다음과 같이 정의하여 분류할 수 있다(Kim 2004). 여기서 곡선 $\mathbf{C}(t)$ 에 대한 임의 차수의 미분은 $\mathbf{C}' = d\mathbf{C}(t)/dt, \mathbf{C}'' = d^2\mathbf{C}(t)/dt^2, \dots$ 와 같이 표기한다.

- 종속적 파라메트릭 평활화 기준

$$\begin{aligned} J^1(\mathbf{C}) &= \int_a^b \mathbf{C}'(t)^2 dt \\ J^2(\mathbf{C}) &= \int_a^b \mathbf{C}''(t)^2 dt \\ J^3(\mathbf{C}) &= \int_a^b \mathbf{C}'''(t)^2 dt \end{aligned} \quad (1)$$

- 독립적 파라메트릭 평활화 기준

$$\begin{aligned} J_c^1(\mathbf{C}) &= \int_a^b dt_c = length(\mathbf{C}) \\ J_c^2(\mathbf{C}) &= \int_a^b k(t) \cdot dt_c = curvature(\mathbf{C}) \\ J_c^3(\mathbf{C}) &= \int_a^b \left[k'(t)^2 + k(t)^2(k(t)^2 + \tau(t)^2) \right] \cdot dt_c \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $dt_c = \|\mathbf{C}'\|$ 는 곡선요소이며, 곡률 k 와 전단 τ 는 다음과 같이 정의된다.

$$k = \frac{(\mathbf{C}' \times \mathbf{C}'')}{\|\mathbf{C}'\|^3}, \quad \tau = \frac{\mathbf{C}'''(\mathbf{C}' \times \mathbf{C}'')}{\|\mathbf{C}' \times \mathbf{C}''\|^2}$$

경계조건

곡선생성을 위해 만족해야 할 기하학적 경계조건들로는 위치형, 미분형, 적분형 그리고 형상 보존(Shape conservation) 경계조건으로 분류될 수 있다(Kim 2004).

- 보간 및 근사 경계조건

$$D = \tilde{w}_i \cdot \|\mathbf{C}(t_i) - \mathbf{p}_i\|^2 \leq \varepsilon, i=1 \text{ to } p \quad (3)$$

여기서 \mathbf{p}_i 는 주어진 데이터(옴셋)이며, \tilde{w}_i 는 가중치를 나타낸다. ε 값이 “ 0 ” 로 수렴하면 보간조건이 되고, 그렇지 않은 경우에는 근사조건이 된다.

- 양 끝단 경계조건

곡선의 양 끝점에서의 접선벡터 \mathbf{T}_i 혹은 곡률벡터 \mathbf{K}_i 가 주어질 때 경계조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{E}_{1i} &= \mathbf{C}'(t_i) - \mathbf{T}_i = 0 \\ \mathbf{E}_{2i} &= \mathbf{C}''(t_i) - \mathbf{K}_i = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

- 형상 보존조건(면적과 면적도심)

형상보존을 위해 곡선 아래 면적 A 혹은 면적도심 x_c 는 설계조건으로 주어진 면적 A_0 와 면적도심 x_{c0} 를 만족해야 한다.

$$\begin{aligned} S_1 &= A - A_0 = 0 \\ S_2 &= x_C - x_{C0} = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

상기의 경계조건들은 문제의 특성에 따라 선택적으로 적용할 수 있다.

곡선의 정식화

본 논문에서는 파라메트릭 곡선 표현방법으로 국부적 형상 제어에 많은 장점을 가지고 있는 B-스플라인 곡선(Kim and Jang 1991)을 적용하였다. 곡선 최적화문제는 경계조건 (3)식과 (4)식을 만족하고 (1)식과 (2)식의 평활화 기준을 최소로 하는 평활화 곡선(Faired curve)을 찾는 문제로 정식화될 수 있다(Harries 1998, Kim 2004). 최적화 기법으로는 SQP(Sequential Quadratic Programming) (Harries 1998, Kim 2004)를 사용하였다.

Fig. 1 은 선형의 임의 Station 에서의 단면형상을 정의하는 움셋을 보간한 결과와 형상 파라미터들에 의해 정의된 선형생성 결과와 비교한 것이다. 보간 곡선보다 형상 파라미터들에 의한 결과가 곡률이 연속적으로 평활화되어 있음을 알 수 있다. 계획할수 아래 동일한 면적을 가지며, Table 1 은 Fig. 1 의 단면 정의를 위한 형상 파라미터들을 나 타낸 것이다.

Table 1 Form parameters for the sections defined in Fig. 1

Form Parameter	Annotation
x_B	Origin at deck
y_B	Half breadth at deck
x_E	Depth
y_E	Origin at center plane
α_B	Degree at deck
α_B	Degree at center plane or bottom
A	Half area below design waterline
x_C	Centroid of area under waterline
y_C	

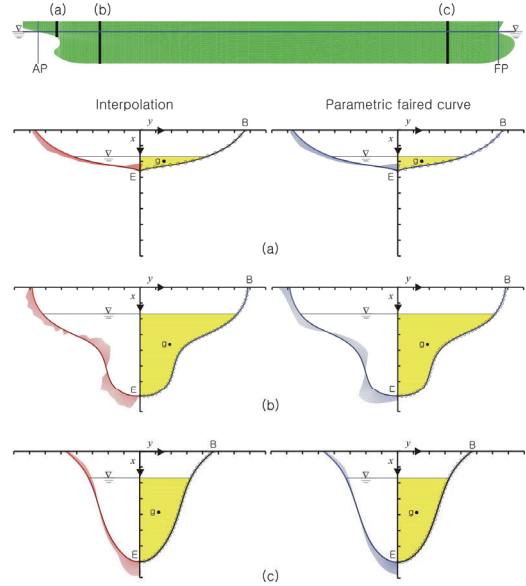


Fig. 1 Comparison of interpolation and parametric section curve in ship hull form

3. 평활화 스키닝

파라메트릭 곡면설계는 곡면의 기하학적 특성을 정의하는 형상 파라미터들 - 예를 들면, 배수량, LCB 등 -을 만족하도록 곡면을 생성하는 방법으로, 본 논문에서는 파라메트릭 곡선설계 결과로부터 스키닝(Skinning)방법에 평활화 기준을 적용하여 B-스플라인 곡면을 생성하는 평활화 스키닝(Fair-Skinning) 방법(Harries 1998)을 사용하였다.

평활화 스키닝 방법은 다음과 같다. 종방향으로 놓여있는 B-스플라인 공간곡선은 다음과 같이 정의된다.

$$\mathbf{C}_d(u) = \begin{pmatrix} x_d(u) \\ y_d(u) \\ z_d(u) \end{pmatrix} = \sum_{i=0}^{m-1} \mathbf{v}_{id} N_i^k(u), \quad d = 0, \dots, q-1 \quad (6)$$

여기서 \mathbf{v}_{id} 는 d 번째 공간곡선을 정의하는 조정점이며, k 차수를 가진다.

한편, B-스플라인 곡면식은

$$\mathbf{S}(u, v) = \begin{pmatrix} x(u, v) \\ y(u, v) \\ z(u, v) \end{pmatrix} = \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \mathbf{d}_{ij} N_i^k(u) N_j^l(v) \quad (7)$$

이며, B-스플라인 보간 곡면을 생성하기 위해서 일정 종방향 매개변수 v_d 에 대해 식 (7)을 식 (6)의 유형으로 변환하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{S}(u, v_d) &= \sum_{i=0}^{m-1} \left(\sum_{j=0}^{n-1} d_{ij} N_j^l(v_d) \right) N_i^k(u) \\ &\cong \sum_{i=0}^{m-1} \mathbf{v}_{id} N_i^k(u) = \mathbf{C}_d(u) \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)은 \mathbf{d}_{id} 가 일련의 종방향 조정점 \mathbf{v}_{id} 를 보간하는 i 번째 조정점임을 의미한다. 평활화 스키닝 방법은 최적화 기법을 이용하여 식 (8)의 종방향 보간(혹은 근사) B-스플라인 공간곡선을 찾는 방법으로 다음의 파라메트릭 평활화 기준을 최소화하도록 정식화 된다.

$$E_{2i} = \int_a^b \left\{ \left(\frac{d^2 x_i}{dv^2} \right)^2 + \left(\frac{d^2 y_i}{dv^2} \right)^2 + \left(\frac{d^2 z_i}{dv^2} \right)^2 \right\} dv \quad (9)$$

식(9)는 식(1)의 종속적 파라메트릭 평활화 기준(J^2)의 공간 곡선으로 확장된 표현이다.

Fig. 2 는 선수선형에 대해 평활화 스키닝을 이용하여 B-스플라인 곡면으로 생성하는 과정을 나타낸다. Fig. 2(a)는 파라메트릭 곡선설계에 의해 생성된 종방향의 Frame line 을 나타내며, 각 평면 곡선들은 8 개의 조정점을 가지는 B-스플라인 곡선이지만 길이가 다르게 정의되므로 B-스플라인 스키닝 방법을 적용하기 위해서는 각 곡선을 동일한 조건(예를 들면, 전 곡선 구간에 걸친 동일한 조정점 개수)으로 구성해야 한다. Fig. 2(b), (c), (d)는 각각 이러한 과정을 위한 단계로서, 정의된 곡선으로부터 동일한 간격의 몫셋을 도출(Fig. 2(b))하여 이들을 보간하는 B-스플라인 곡선(Fig. 2(c))과 조정점(Fig. 2(d))를 생성한다. 그리고 이들 조정점들을 종방향으로 보간(Fig. 2(f))함으로써 최종 평활화된 B-스플라인 곡면(Fig. 2(g))을 생성한다. 곡면의 평활화 정도를 판단하는 기준으로

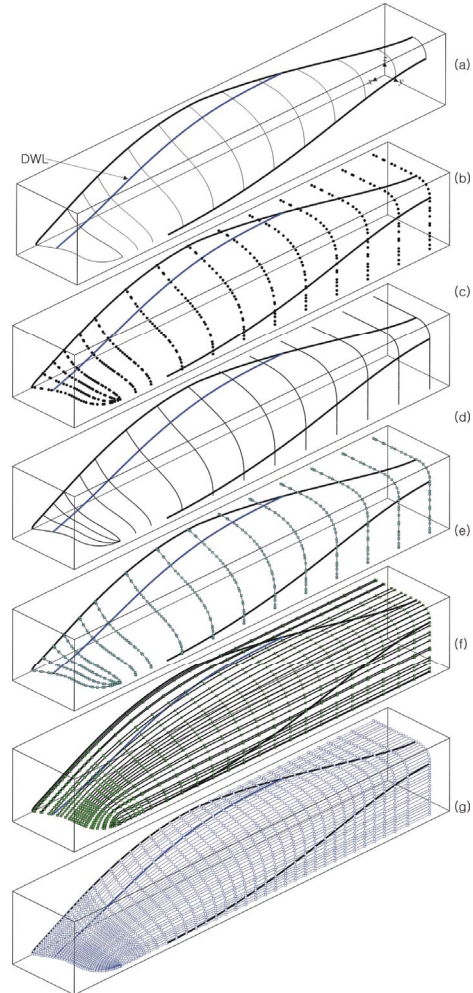


Fig. 2 Process of surface skinning in forebody's hull form

곡률정보 - 가우시안 곡률 - 을 주로 사용하지만, 중앙평행부와 선수부 곡률이 심하게 차이가 나는 형상은 평활화의 정도를 판단하기가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 곡면 모델링 결과 매끄러운 평면도, 측면도 그리고 정면도의 등고선(Contour)들의 C^2 연속성을 평활화 판단 기준으로 하였다.

Fig. 3 은 Fig. 2 의 평활화 과정에 의해 생성된 선수선형의 B-스플라인 곡면을 Waterlines, Buttocks 그리고 Frame lines 으로 나타낸 것이다. 3 개의 평면 곡선이 매끄럽게 정의되어 있음을 알 수 있다.

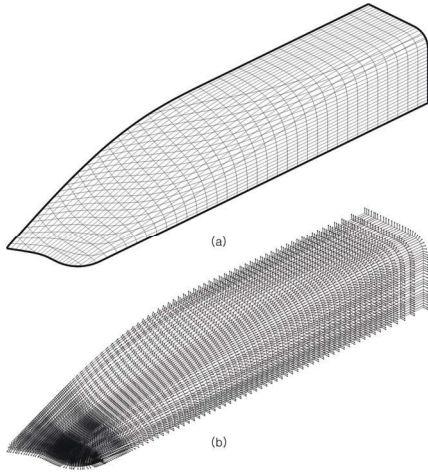


Fig. 3 Waterlines, buttocks and frame lines of forebody generated from the skinned B-spline surface and its normal vector distribution

곡면상의 각 법선벡터도 균일하게 정의되어 있다. 후술하는 다중 곡면생성을 위한 선수 벌브와 블랜딩 곡면 모델링도 평활화 스키닝에 의해 곡면을 생성하는데, 차이점은 각 곡면을 정의하는 파라메트릭 곡선의 형상 파라미터들이 각각 그 형상특성에 따라 다르게 정의된다(Kim 2004).

4. 다중 복합곡면 설계

다중 복합곡면은 선형과 같은 복잡한 자유곡면을 단순한 곡면(혹은 정의 가능한 자유곡면)들을 Boolean 조합으로 원하는 곡면 형상을 생성하는 방법으로 파라메트릭 선형 모델링에는 Kim(2004)에 의해 소개되었다.

Fig. 4 는 다중곡면에 의해 정의되는 일반적인 선형생성의 개념도를 나타낸다.

5. 선형곡면 생성 방법 및 결과

서론에서 설명한 바와 같이 3 차원 CAD 시스템은 기본설계에서부터 생산설계에 이르는 전 공정에 정보의 손실을 최소화하여 일원화되고

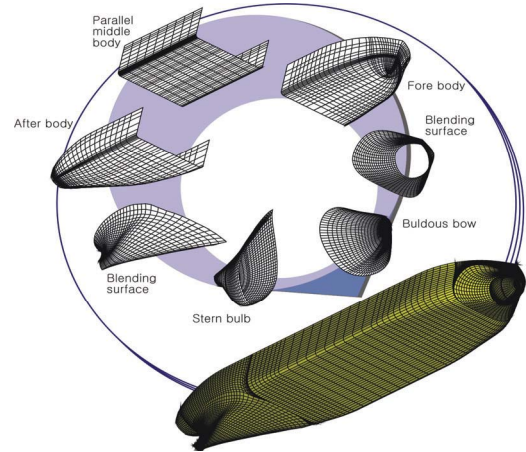


Fig. 4 Concept of hull modelling composed by the multiple domain surfaces

체계화된 설계작업을 수행할 수 있다는 장점이 있지만, 초기 설계에서 평활화 기준을 고려하여 곡면설계를 효율적으로 수행하기에는 실질적인 적용에는 미흡한 수준이다. 또한, 경계조건 (예를 들면, 화물창 탱크와 선각 사이의 IMO 규정 간격 등)들을 만족하면서 곡면설계를 직접 수행하는 데에도 실질적인 한계가 있다.

따라서 2 차원 CAD 설계 시스템에 의해 경계조건을 만족하는 선형설계를 수행한 다음에 CFD 계산이나 후행 작업을 위해 3 차원 곡면생성을 수행하는 것이 일반적이다. 이때 2 차원 정보로부터 3 차원 정보를 도출해야 하기 때문에 많은 시간적 손실이 수반된다. 이러한 단점을 최소화하기 위해 파라메트릭 설계방법에 의해 선형을 재구성하고 평활화된 곡면을 생성할 뿐만 아니라, 선형곡면을 효율적으로 제어할 수 있는 방법을 개발하였다. 파라메트릭 선형설계 방법과 다중 복합곡면에 의한 선형 곡면생성 방법은 다음과 같다.

1 단계: 선형처리(Pre-processor), 일반적으로 2 차원 CAD 시스템에서 생성된 선형에 대한 정보는 3 차원 곡면생성을 위해 부족한 정보가 많고 표현도 고유의 형식을 가지고 있다. 따라서 2 차원

정보로부터 파라메트릭 설계에 필요한 형상 파라미터들을 자동으로 계산할 수 있는 선행처리 과정이 필요하다. 또한, 2 차원 선형의 정보손실을 최소화하는 범위 내에서 구성하는 곡선들의 자체 표현형식을 가져야 한다. 본 논문에 사용된 2 차원 CAD 선형시스템은 B-스플라인 곡선을 기저로 하며, 그에 대한 정보도 제공하고 있다.

2 단계: 파라메트릭 곡선설계, 1 단계에서 파악된 2 차원 곡선정보로부터 형상 파라미터들을 계산하여 종방향으로 연속된 기본 곡선들을 구성해야 한다. 파라메트릭 선형설계를 위한 기본곡선으로는 위치형과 적분형 형상 파라미터들로 구성되는 주요 기본곡선(Principal basic curve)과 미분형 파라미터들로 구성되는 보조 기본 곡선(Secondary basic curve)으로 분류된다. Fig. 5 는 Panamax 급 컨테이너선(Table 2)의 2 차원 선형설계 정보(가선)로부터 파라메트릭 곡선설계를 통해 선수부 나선 선형(Bare hull)의 주요기본곡선(굵은 선)들을 생성한 예를 나타낸 것이다.

Table 2 Principal dimensions of designed container ship

Dimensions	Value	Annotation
Lpp (m)	244.8	Length between perpendiculars
B (m)	32.25	Breadth
Td (m)	11.0	Design draught

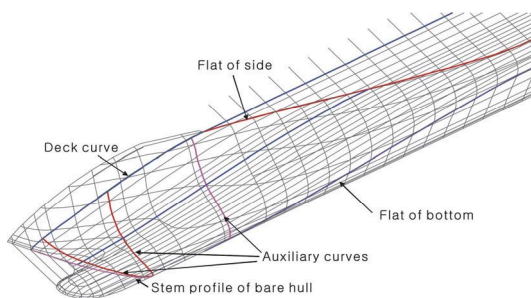


Fig. 5 Comparison of 2-dimensional designed hull form and basic curves on the forebody of bare hull in terms of form parameters

나선 선형의 각 단면형상을 정의하기 위한 주요 기본곡선은 전체적으로는 다음과 같이 정의된다.

- 주요 기본곡선: Deck curve, Design waterline, Center profile, Flat of side curve, Flat of bottom curve, Sectional area curve, etc.
- 보조 기본곡선: Curve of angle at bottom, Curve of angle at deck, etc.

Fig. 6 은 Fig. 5 의 기본곡선들과 함께 추가 보조곡선(Additional auxiliary curves)들을 나타낸 것이다. 이는 2 차원 CAD 설계 정보를 보다 정확하게 리모델링하기 위한 것으로, 평활화 스킨링을 이용한 곡면 모델링을 위해 선수 및 형상이 표현이 어려운 부분에 보다 구체적인 형상 정보를 제공한다. 선수벌브에 대한 파라메트릭 곡선설계 방법도 나선 선형의 경우와 동일하지만 사용되는 형상 파라미터들은 다르게 적용된다.

Fig. 7 은 컨테이너선(Table 2)의 선수벌브에 대한 기본곡선들의 생성 예를 나타낸다. Fig. 5 - Fig. 7 의 나선 선형과 선수벌브의 기본곡선들은 본 논문에서는 곡면표현을 위한 위치형 기본곡선들의 생성 예만을 표현하였다. 그러나 곡선 양끝단의 각도, 횡단면적 곡선과 같은 미분형과 적분형 기본곡선들도 2 차원 선형정보로부터 계산되어 파라미터로서 사용된다. 따라서 Fig. 5 - Fig. 7 의 각 단면형상은 이들 파라미터들의 조합에 의해 생성된 것이다. 추가적인 기본곡선들에 대한 상세한 내용은 Kim(2004)와 Kim and Nowacki (2005)를 참조하기 바란다.

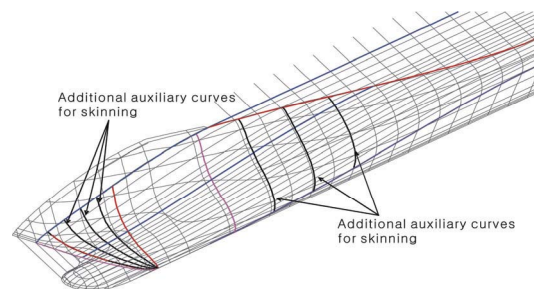


Fig. 6 An example of additional auxiliary sections of a bare hull's forebody generated by parametric curve design and basic curves

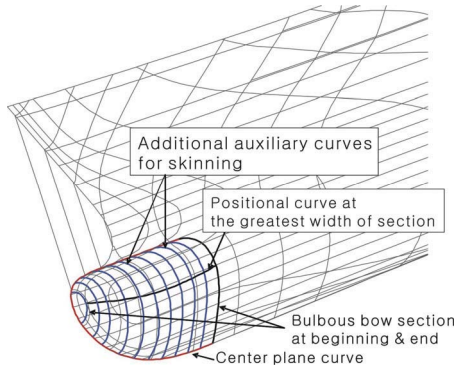


Fig. 7 An example of basic curves & sections of a bulbous bow generated by parametric curve design

3 단계: 평활화 스키닝, 평활화 스키닝을 이용하여 곡면을 생성하며, 이때 선수미부 사이의 경계 곡선은 C^1 연속조건을 만족하도록 한다.

Fig. 8은 기본곡선들과 Fig. 6의 추가보조곡선들을 이용하여 평활화 스키닝 과정(Fig. 2)을 통해 생성된 선수부 나선의 곡면을 나타낸 것이다. Frame lines, Waterlines 그리고 Buttocks로부터 생성된 곡면이 평활화되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 Fig. 7의 기본곡선들로부터 평활화 스키닝 과정을 통해 생성된 선수 벌브의 곡면을 나타낸 것이다.

4 단계: 블렌딩 곡면(Blending surface) 생성, 나선선형과 선수벌브사이의 블렌딩 곡면을 생성하는 단계로서, 블렌딩할 경계영역을 설정한 후, 평활화 스키닝을 이용하여 블렌딩 곡면을 생성한다. 이때 나선선형과 선수벌브와 접하는 경계곡선들은 C^1 연속조건을 만족하도록 파라메트릭 공간곡선설계를 수행한다. Fig. 10은 블렌딩 곡면의 생성 예를 나타내 것이다.

5 단계: Boolean 결합에 의한 선형곡면 생성, 생성된 나선 선형곡면, 선수벌브 곡면 그리고 블렌딩 곡면은 Boolean 결합에 의해 최종 곡면을 구성한다(Kim 2004). 이때 교차 및 제거 과정이 수반된다. Fig. 11은 Fig. 10의 선수부 곡면들을 Boolean 결합에 의해 생성한 예를 나타낸다.

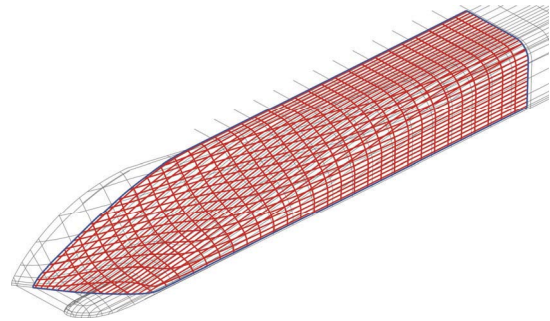


Fig. 8 Surface generation of a bare hull's forebody by fair-skinning

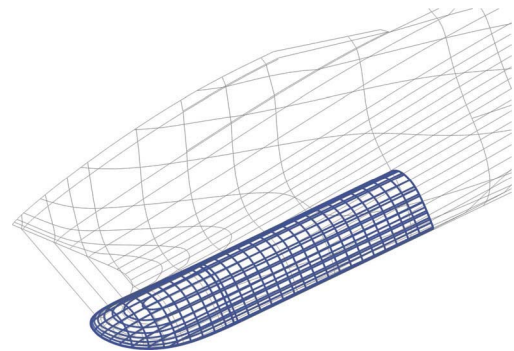


Fig. 9 Surface generation of a bulbous bow by fair-skinning

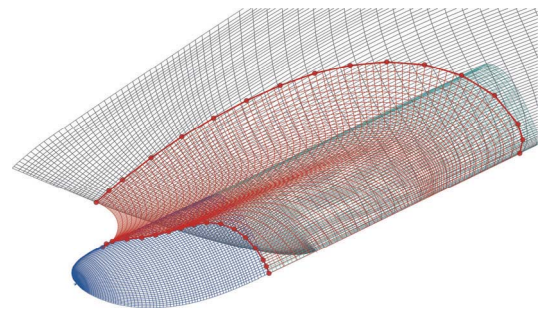


Fig. 10 Blending surface generation between bare hull and bulbous bow

Fig. 5 - Fig. 11의 과정에서 설명하는 파라메트릭 선형설계 방법은 곡면 정보와 함께 이를 제어하는 형상 파라미터 정보를 함께 포함하는 장점을 가진다. 이는 형상 파라미터를 정의하고 조정함으로써 평활화 곡면 모델링뿐만 아니라 평활화된

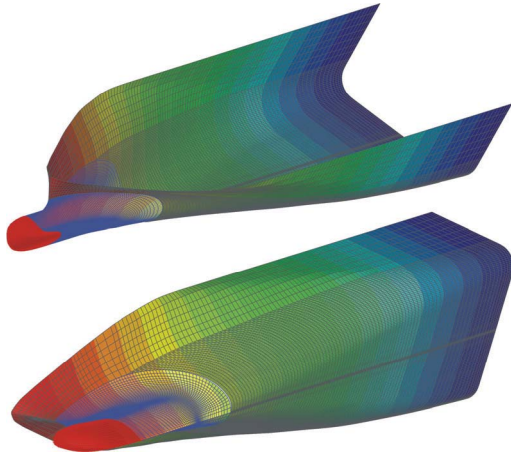


Fig. 11 An example of the hull surface generation by Boolean composition

곡면변환까지도 쉽게 수행할 수 있게 한다. 따라서 기존의 오프셋에 기반을 둔 선형설계방법(2 차원 혹은 3 차원 CAD 시스템)에 비해 보다 효율적인 선형설계의 새로운 방향성을 제시할 것으로 판단 된다.

6. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 2 차원 선형정보로부터 파라메트릭 선형설계방법을 이용하여 평활화된 선수 선형곡면을 생성하는 새로운 방법을 소개하였으며, 그 내용은 다음과 같다.

- 2 차원 선형정보로부터 파라메트릭 3 차원 곡면을 모델링하는 새로운 방법을 소개하였다.
- 복잡한 선수선형을 다중 복합 곡면으로 구성함으로써 복잡한 형상이 단순 곡면의 Boolean 결합에 의해 표현될 수 있음을 확인하였다.
- 선형 곡면을 완전히 형상 파라미터로 표현하였으며, 이들 형상 파라미터들의 조정에 의해 곡면을 직관적으로 변환시킬 수 있는 방법을 개발하였다.
- 향후 형상 파라미터들을 이용한 곡면 변환방법에 대한 구체적인 연구가 수행되면, CFD 와 결합하여 성능을 고려한 선형 최적화 연구에 효율적으로 활용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- Ahn, D., 1994, A Study on Ship Hull Form Generation using Form Parameters and its Fairing, Master's thesis, Pusan National University.
- Creutz, G., 1977, Kurven- und Flächenentwurf aus Formparametern mit Hilfe von B-splines, (in German), PhD thesis, Technical University Berlin.
- Fog, N.G., 1984, " Creative Definition and Fairing of Ship Hulls using B-spline Surface," Computer Aided Design, Vol. 16, No. 4, pp. 225-229.
- Harries, S., 1998, Parametric Design and Hydrodynamic Optimization of Ship Hull Forms, PhD thesis, Technical University Berlin, Mensch & Buch Verlag.
- Kim, H.C., 2004, Parametric Design of Ship Hull Forms with a Complex Multiple Domain Surface Topology, PhD thesis, Technical University Berlin, Mensch & Buch Verlag.
- Kim, H.C., Lee, K.S. and Kim, S.Y., 1998, " Hull Form Representation using a Hybrid Curve Approximation," The Society of Naval Architects of Korea, Vol. 35, No. 4, pp. 118-119.
- Kim, H.C. and Nowacki, H., 2005, " Parametric Design of Complex Hull Forms," Journal of Ship and Ocean Technology, Vol. 9, No. 1, pp. 47-63.
- Kim, S.Y. and Jang, Y.H., 1991, " The Generation & Representation of the Preliminary Hull Form using B-spline," The Society of Naval Architects of Korea, Vol. 41, No. 3, pp. 67-73.
- Kim, S.Y., Kim, H.C., Baek, J.M and Lee, C.R., 1997, " A Study about Hull Form Generation of High-Speed Coastal Fishing Vessel using Irrational Function and Hull Form Characteristic Curves," The Society of Naval Architects of

Korea, Vol. 34, No. 3, pp. 96-103.

- Reed, A.M. and Nowacki, H., 1972, "Interactive Creation of Fair Ship Lines, Lecture Notes an Intensive Short Course at The University of Michigan, Section 3, Ann Arbor, MI, USA.
- Rogers, D.F. and Satterfield, S.G., 1980, "B-spline Surfaces for Ship Hull Design," Computer Graphics.
- Taylor, D.W., 1905, "On Ship's Forms Derived by Formulae," SNAME Transactions, pp. 243-270.
- Zhou, C. and Liu, D., 1985, "The Use of Bézier Surface in the Design of a Ship Hull Surface," Computer Applications in the Automation of Shipyard Operation and Ship Design V



< 김 현 철 > < 황보승면 >