

論 文

大韓造船學會論文集
 第 31 卷 第 4 號 1994年 11月
 Transactions of the Society of
 Naval Architecture of Korea
 Vol. 31, No. 4, November 1994

GC¹ 곡면을 이용한 선형의 표현

박지선*, 김동준**

Definition of Ship Hull using GC¹ Surface

by

J. S. Park* and D. J. Kim**

요 약

선박설계에 있어 초기선형설계는 설계요구를 만족하는 초기선형 정의와 정의된 선형의 순정 과정을 거친다. 이 과정에서 선형의 3차원적 정의와 효과적인 순정방법이 동시에 요구된다. 본 논문에서는 곡선망 선형순정법의 결과로 얻어지는 곡선망 선형을 이용하여 곡면간 기하학적 연속(GC¹)이 만족되는 곡면으로 선형을 정의하였다. 본 논문에서 제시된 방법은 곡선망의 생성과정에서 나타날 수 있는 불규칙한 다각형에 대해서도 곡면화가 가능한 방법이다. Hermite 혼합 Coons 면조각, Convex 조합, Gregory 면조각 보간방법을 선형곡면화에 적용시켜 선체를 3차원 곡면으로 표현했다. 생성된 곡면의 순정도에 대한 검증은 곡면간 교차를 통한 수치적인 방법을 적용하였으며, 실선에 적용한 결과를 예로서 보였다.

Abstract

This paper describes a smooth surface interpolating method of ship hull using a three-dimensional curve net that comes from the mesh curve fairing process. Geometric continuity(GC¹) is preserved across the boundary curve between patches. The three-dimensional curve net can have nonrectangular topologies, such as triangular and pentagonal topology. Among the boundary curve interpolation methods, Hermite blended Coons patch, Convex combination, and Gregory patch interpolation method are used to generate the ship hull surface. To check the fairness of the surface, the numerical method of surface / surface intersection problem is adopted. An application to an actual ship hull is given as an example.

발 표 : 1994년도 대한조선학회 춘계연구발표회('94. 4. 23.)

접수일자 : 1994년 6월 7일, 재접수일자 : 1994년 9월 26일

* 정회원, 대우중공업(주)

** 정회원, 부산수산대학교 선박공학과

1. 서론

선형을 수치적 표현이 가능한 곡면으로 완벽하게 정의하게 되면 설계의 많은 분야에서 편리함을 얻을 수 있다. 이는 이후에 이어지는 조선공학적인 이론계산을 효과적으로 수행할 수 있으며, 후속 설계업무에 좋은 자료로 이용되기 때문이다.

일반적으로 설계자는 주어진 데이터의 형태나 설계자가 원하는 형상에 따라 곡면화방법을 다르게 선택한다. 선형을 곡면화할 경우는 입력자료가 주로 3차원 공간상의 점이나 곡선으로 주어지기 때문에 점 데이터를 이용한 곡면화방법[1,2,3,4,5,6,7]과 경계곡선을 이용한 곡면화방법[9,10,11]을 사용한다. 그러나 선박은 평면부와 곡면부가 동시에 존재하고 데이터 간의 간격이 불균일하며 양방향(선수미방향과 흘수방향)의 데이터 갯수가 일정치 못한 특징을 가지고 있어 선형을 곡면화하기에는 많은 어려움이 따른다.

한편, 초기선형설계에서는 선형정의와 더불어 순정도 함께 수행된다. 정의된 선형의 순정에는 크게 두 가지 방법이 사용된다. 즉, 단면곡선 교차순정에 의한 방법과 곡면을 이용한 방법이다. 전자는 숙련된 기술과 설계자의 많은 노력이 요구되는 반면에, 후자는 곡면모델링의 정의가 쉽지 않고, 많은 컴퓨터 계산시간이 요구되며, 계산기의 저장용량 등에 제약이 따른다. 한편 곡선모델링의 장점을 살리고 곡면모델링의 단점을 극복한 곡선망을 이용한 순정방법이 Hosaka[8]에 의해서 제시되었고, Nowacki 등[9]은 이 방법을 선형의 순정과 곡면화에 적용하였다. 최근에는 Rong 등[10]이 비균일(nonuniform) B-spline 곡선으로 곡선망을 정의하였다. 국내에서는 김 등[11]이 Rong 등의 방법을 수정하여 순정과 곡면화에 적용한 연구가 있었다. 이때 김 등이 적용한 곡면화방법중 하나는 양방향 스키닝법으로서 선형표현에 좋은 결과를 보였지만, 사각형이 아닌 면조각(patch)을 가지는 선수미에서는 보조곡선을 입력하여 사각형이 되도록하는 번거로움이 있었다.

본 연구에서는 사각형이 아닌 면조각이 포함되어 있는 3차원 곡선망 선형을 경계곡선에 이웃한 면조각과 기하학적 연속(GC¹)이 만족되는 곡면 생성방법으로 정의하고자 하였다. 여기서 GC¹이란 경계곡선을 따라 단위접선벡터가 일치하는 조건을 의미한다. Hermite 혼합 면조각과 Gregory 면조각 보간방법을 적용하였으며, 두 방법의 결과를 비교하였다. 생성된 곡면은 곡면간 교차문제의 수치적 방법을 이용하여 검증하였다.

2. 경계곡선을 이용한 곡면화

경계곡선을 이용한 곡면화는 입력 데이터로 주어지는 경계곡선이 전체적으로 부드럽게 이어졌는가, 혹은 단절(segment)되었는가를 나타내는 곡선의 성질과 그 경계곡선들로 이루어진 면조각의 기하학적 모양에 따라 보간방법을 다르게 적용한다[12]. Hermite 혼합(blending) Coons 면조각, Convex 조합(combination), 삼각(triangular) Bezier, Gregory 면조각 방법 등이 있으며, 본 연구에서는 Hermite 혼합 보간방법과 Gregory 면조각 보간방법을 선박의 곡면화에 적용시켰다.

2.1 Hermite 혼합함수를 이용한 곡면보간 방법

1) 사각형 혼합방법

(Hermite Blending Coons Patch)

(1) 사각형 각 모서리에서 단위접선벡터(unit tangent vector)를 결정한다. s_{ij} 와 t_{ij} 를 하나의 면조각 모서리에 대한 u, v 방향 각각의 단위접선벡터라하면, 단위모서리접선벡터(unit corner tangent vector)는 다음과 같다(Fig.1).

$$s_{i,j} = b_j'(i) / |b_j'(i)| \quad |i, j=0, 1, \quad (1a)$$

$$t_{i,j} = a_i'(j) / |a_i'(j)| \quad |i, j=0, 1. \quad (1b)$$

$$a = da/dv, \quad b = db/du.$$

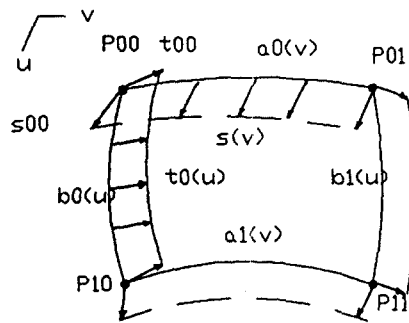


Fig.1 Boundary data of a rectangular patch

(2) 단위모서리접선벡터로부터 3차 Hermite 혼합함수로 경계선교차방향접선벡터(cross boundary tangent vector)함수 $s_i(v)$ 와 $t_j(u)$ 를 결정한다.

$$s_i(v) = \alpha(v)s_{i0} + \beta(v)s_{i1} \quad i=0, 1, \quad (2a)$$

$$t_j(u) = \alpha(u)t_{0j} + \beta(u)t_{1j} \quad j=0, 1. \quad (2b)$$

여기서,

$$a(t) = 1 - 3t^2 + 2t^3 \quad (3a)$$

$$\beta(t) = 3t^2 - 2t^3 \quad (3b)$$

(3) 사각형 면조각을 보간하는 Hermite 혼합 Coons 면조각의 해를 다음식과 같이 얻는다.

$$r(u, v) = UCS^a(v)^T + S^b(u)C^T V^T - UCQC^T V^T \quad (4)$$

여기서,

$$U = \begin{bmatrix} 1 & u & u^2 & u^3 \end{bmatrix},$$

$$V = \begin{bmatrix} 1 & v & v^2 & v^3 \end{bmatrix},$$

$$S^a(v) = \begin{bmatrix} a_0(v) & a_1(v) & \mu s_0(v) & \mu s_1(v) \end{bmatrix},$$

$$S^b(u) = \begin{bmatrix} b_0(u) & b_1(u) & \nu t_0(u) & \nu t_1(u) \end{bmatrix},$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 2 & -2 & 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$Q = \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & \nu t_{00} & \nu t_{01} \\ P_{10} & P_{11} & \nu t_{10} & \nu t_{11} \\ \mu s_{00} & \mu s_{01} & 0 & 0 \\ \mu s_{10} & \mu s_{11} & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\mu = \{ |P_{10} - P_{00}| + |P_{11} + P_{01}| \} / 2$$

: u direction expansion factor

$$\nu = \{ |P_{01} - P_{00}| + |P_{11} + P_{10}| \} / 2$$

: v direction expansion factor

$s_i(v), t_j(u)$: cross boundary tangents

P_{ij} : 하나의 면조각에 대한 모서리점

2) 삼각형(오각형) 혼합방법

(Convex Combination)

삼각면조각 곡면화는 면조각 경계곡선을 따라 변하는 곡선 매개변수 (s_i) 값의 변화량을, 단위높이를 가지는 정삼각형의 꼭지점과 면적중심좌표 (barycentric coordinates, λ_i)까지의 반지름(radial line)이 변화하는 변화량으로 변환하여 그 값을 결정한다. 삼각면조각 곡면화는 매개변수의 관계를 설정하는 것부터 시작한다(Fig.2).

$$s_1 = \lambda_3 / (\lambda_2 + \lambda_3), \quad (5a)$$

$$s_2 = \lambda_1 / (\lambda_3 + \lambda_1), \quad (5b)$$

$$s_3 = \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2) \sum \lambda_i = 1. \quad (5c)$$

다음은 삼각면조각 각각의 경계곡선에 대하여 양 끝에서 모서리접선벡터를 구하고, 두 모서리 접선벡터와 Hermite 혼합함수를 이용하여 각각의 경계곡선($e_i(s_i)$)에 걸리는 경계선교차방향접선벡터함수($d_i(s_i)$)를 다음과 같이 결정한다.

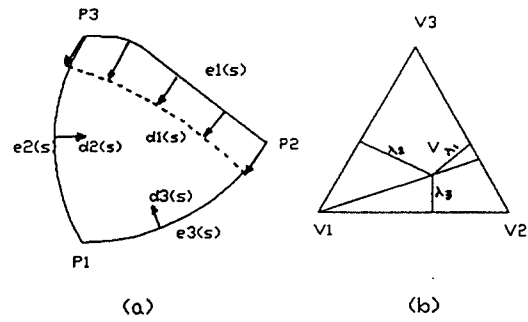


Fig.2 Construction of a triangular interpolant

$$d_1(s_1) = \alpha(s_1) \{ -\dot{e}_3(1) / |\dot{e}_3(1)| \} + \beta(s_1) \{ \dot{e}_2(0) / |\dot{e}_2(0)| \}, \quad (6a)$$

$$d_2(s_2) = \alpha(s_2) \{ -\dot{e}_1(1) / |\dot{e}_1(1)| \} + \beta(s_2) \{ \dot{e}_3(0) / |\dot{e}_3(0)| \}, \quad (6b)$$

$$d_3(s_3) = \alpha(s_3) \{ -\dot{e}_2(1) / |\dot{e}_2(1)| \} + \beta(s_3) \{ \dot{e}_1(0) / |\dot{e}_1(0)| \}. \quad (6c)$$

경계선교차방향접선벡터함수를 삼각 Convex 조합 면조각 곡면식에 대입하면, 삼각 면조각의 곡면에 대한 해를 구할 수 있다[15].

$$r(V) = \sum_{i=1}^3 \gamma_i(V) \{ e_i(s_i) + \lambda_i \nu_i d_i(s_i) \}. \quad (7)$$

여기서,

$$V = (\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3),$$

$$\gamma_i(V) = (\lambda_{i-1} \times \lambda_{i+1})^2$$

$$/ \{ (\lambda_1 \times \lambda_2)^2 + (\lambda_2 \times \lambda_3)^2 + (\lambda_3 \times \lambda_1)^2 \},$$

$$\nu_i = \{ |\dot{e}_{i-1}(1)| + |\dot{e}_{i+1}(0)| \} / 2.$$

한편, 오각면조각의 곡면화는 삼각면조각의 보간 방법과 동일하며, 매개변수값의 결정을 위해 정오각형을 사용한다는 것과 곡면식의 항이 증가하는 것이 차이이다.

2.2 Gregory 면조각 곡면화 보간방법

Gregory 면조각 곡면화방법은 Chiyokura와 Kimura[16]에 의해 제시된 Non-standard rational bicubic Bzier 면조각을 이용하는 것으로, 다음과 같은 곡면식으로 정의 된다(Fig.3).

$$r(u, v) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 V_{i,j}(u, v) B_i^3(u) B_j^3(v) \quad u, v \in [0, 1] \quad (8)$$

여기서, $B_i^3(u)$: Bernstein polynomial,

$V_{i,j}(u, v)$: 조절점(vertex).

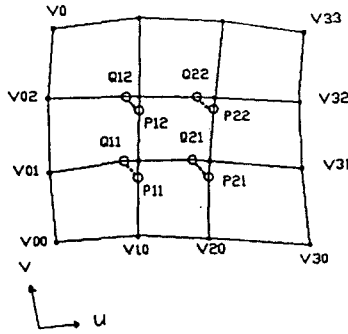


Fig.3 Gregory patch

일반적인 Bezier 면조각 곡면식과 다른점은 조절점이 \$u, v\$ 함수라는 점이다. 첨자 \$i, j\$ 가 1,2인 것을 내부조절점(interior control vertices)이라 하고, 나머지 것을 경계조절점(boundary control vertices)이라 한다. 내부조절점은 3차원점인 Gregory point(\$Q_{i,j}\$와 \$P_{i,j}\$)의 혼합으로 구해진다. 곡면값을 결정하는 내부와 경계조절점은 다음과 같다.

$$V_{11}(u, v) = \{ vQ_{11} + uP_{11} \} / (u+v), \quad (9a)$$

$$V_{12}(u, v) = \{ (1-v)Q_{12} + uP_{12} \} / \{ u + (1-v) \}, \quad (9b)$$

$$V_{21}(u, v) = \{ vQ_{21} + (1-u)P_{12} \} / \{ (1-u) + v \}, \quad (9c)$$

$$V_{22}(u, v) = \{ (1-v)Q_{22} + (1-u)P_{22} \} / \{ (1-u) + (1-v) \} \quad (9d)$$

$$V_{ij}(u, v) = V_{ij} = P_{ij} = Q_{ij} \quad i, j = 0, 3 \quad (10)$$

Gregory 곡면보간방법은 인접한 면조각과 기하학적 연속을 만족하도록 경계선교차방향접선벡터를 구하고, 그 값을 이용하여 Gregory 점(point)을 결정한다.

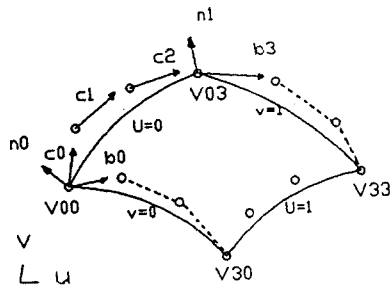


Fig.4 A rectangular patch in a cubic curve net

Gregory 점으로부터 조절점을 구한 후, 조절점을 곡면식에 대입하면 곡면값이 결정된다. 이 방법도 사각형의 경우와 사각형이 아닌 경우로 구분한다. 사각형 Gregory 면조각 곡면화는 다음의 순서를 따른다.

(1) 사각형을 둘러싼 각각의 경계곡선에서 Bezier 조절점을 구한다. 여기서 결정된 Bezier 조절점이 Gregory 면조각의 경계조절점이 된다. 따라서 8개의 Gregory 점 \$P_{i,j}\$와 \$Q_{i,j}\$ (\$i, j = 1, 2\$)를 구하면 된다.

(2) 하나의 경계곡선(\$u = 0\$을 따라 타방향 매개 변수값을 변화시키면서 곡면식을 미분하게 되면, 한 방향의 경계선교차방향접선벡터함수가 다음과 같이 결정된다.

$$\bar{b}(v) = 3 \sum_{j=0}^3 \bar{b}_j B_j^3(v). \quad (11)$$

여기서,

$$\bar{b}_0 = V_{10} - V_{00},$$

$$\bar{b}_3 = V_{13} - V_{03},$$

$$\bar{b}_1 = Q_{11} - V_{01},$$

$$\bar{b}_2 = Q_{12} - V_{02}.$$

또한, 인접한 면조각과의 기하학적 연속조건을 만족해야하는 조건으로부터 다른 형태의 경계선교차방향접선벡터함수를 구한다.

$$\bar{b}(v) = 3 \sum_{j=0}^3 \left(\frac{3-j}{3} (p_0 c_j + q_0 t_j) + \frac{j}{3} (p_1 c_{j-1} + q_1 t_{j-1}) \right) B_j^3(v). \quad (12)$$

여기서,

$$\bar{b}_0 = p_0 c_0 + q_0 t_0,$$

$$\bar{b}_3 = p_1 c_2 + q_1 t_2,$$

$$c_j = V_{0,j+1} - V_{0,j} \quad j=0, 2.$$

두 경계선교차방향접선벡터함수의 계수 비교로 다음 식이 정해진다.

$$\bar{b}_j = \frac{3-j}{3} (p_0 c_j + q_0 t_j) + \frac{j}{3} (p_1 c_{j-1} + q_1 t_{j-1}) \quad j=0, 1, 2, 3 \quad (13)$$

3) 13)식으로부터 내부조절벡터를 결정한다.

$$b_1 = \frac{2}{3} (p_0 c_1 + q_0 t_1) + \frac{1}{3} (p_1 c_0 + q_1 t_0), \quad (14a)$$

$$b_2 = \frac{1}{3} (p_0 c_2 + q_0 t_2) + \frac{2}{3} (p_1 c_1 + q_1 t_1). \quad (14b)$$

여기서,

$$\begin{aligned}
 c_j &= V_{0,j+1} - V_{0,j} \quad j=0,1,2, \\
 t_0 &= m_0, \\
 t_1 &= (m_0 + m_1)/2, \\
 t_2 &= m_1, \\
 m_0 &= (n_0 \times c_0) / |n_0 \times c_0| \\
 &\quad : \text{virtual corner tangents,} \\
 m_1 &= (n_1 \times c_2) / |n_1 \times c_2|, \\
 n_0 &= (b_0 \times c_0) / |b_0 \times c_0| \\
 &\quad : \text{corner normals,} \\
 n_1 &= (b_3 \times c_2) / |b_3 \times c_2|.
 \end{aligned}$$

4) 내부의 Gregory 점을 구한다(Fig.5).

$$Q_{i,j} = V_{0,j} + b_j \quad j=1,2. \quad (15)$$

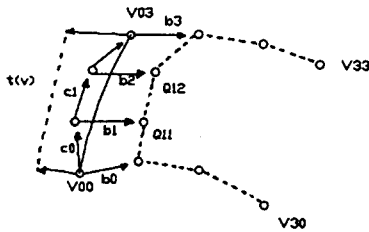


Fig.5 Determination of Gregory points Q_{11} and Q_{12}

경계곡선으로 만들어진 면조각이 사각형이 아닌 경우는 사각형으로 만드는 작업을 선행한다. 임의의 다각형을 사각면조각으로 바꾸는 작업은 경계곡선을 이루는 Bezier 조절점으로부터 분리점(subdivision point)을 먼저 구한다. 분리점은 예를 들면 Fig. 6에서 다음과 같이 정의되는 점이다.

$$P_1 = (V_0 + 3V_1 + 3V_2 + V_3)/8.$$

분리점으로부터 내부조절점을 결정하고 이들의 평균값으로 중앙 Bezier점을 정의한다. 일단 네개의 경계곡선으로 이루어진 사각면조각이 되면 사각면조각 곡면보간방법을 이용하여 곡면화한다.

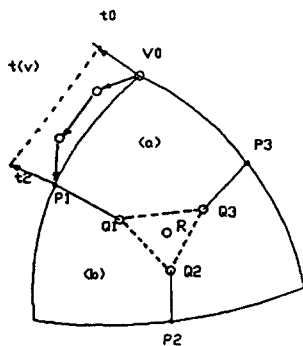


Fig.6 Subdivision of the triangular patch

3. 선박에의 적용 및 결과분석

3.1 곡면화 과정 및 검증

선박의 좌표계는 선체중양부 바닥을 기준좌표점으로 하고, 선수방향을 +X, 좌현을 +Y로 그리고 수직상방향을 +Z로 정의한다.

선형곡면화의 데이터로 사용될 곡선망은 수선단면선(water line)과 횡단면선(station line)의 3차원 교차점 좌표값을 입력 데이터로 만들고, 각각을 비균일 3차 B-spline 곡선으로 보간시킨다[11]. 그 결과 선박은 비균일 3차 B-spline 곡선으로 구성된 3차원 곡선망으로 표현된다. 이 곡선망은 아직 순정되지 못한 상태이므로 곡면화에 앞서 더 나은 입력 데이터로 만들기 위해 김 등의 방법[11]으로 곡선망을 충분히 순정한다.

본 연구에서 사용한 곡면보간방법은 곡선망 개개의 면조각을 구성하는 비균일 3차 B-spline 경계곡선을 Bezier 곡선으로 변환시켜[12] 각각의 경계곡선에 대한 Bezier 조절점을 결정한다. 이는 Bezier 조절점으로부터 경계곡선을 이용한 곡면보간의 기초가 되는 양 끝점의 미분값을 찾기 위해서이다.

생성된 곡면은 곡면교차법을 이용하여 순정상태를 검증하였다. 일반적으로 3차원 자유곡면의 교차문제는 교차방정식의 근을 구하는 대수학적인 방법[13]과 곡면재분할에 의한 기하학적인 방법[14]이 있는데, 본 연구에서는 전자의 수치해석 방법을 택하였다. 계산의 효율성을 위해 곡면과 평면의 교차문제를 곡선과 평면이 교차하는 문제로 전환하여 반분법(half interval method)과 Newton Raphson법의 수치해법으로 해결하였다.

본 연구의 적용대상 선박은 수선간장이 174.00m, 형폭이 32.20m, 형깊이가 18.00m, 재화중량톤수가 39,990MT인 구상선수를 가지며, 선미에도 추진기축하부에 Bulb를 갖는 탱커(tanker)선이다.

3.2 결과분석

Fig.7(a)와 (b)는 입력자료로서 선수미부의 조절점 곡선망이다. 그림의 가로선은 수선면선이며, 세로선은 횡단면선을 나타낸다. Fig.8(a)와 (b)는 Fig.7(a)와 (b)의 조절점에 의해 만들어진 선미부와 선수부의 3차 비균일 B-spline 곡선망이다. 중앙부에는 모두 사각형 면조각이며, 외곽선 부분에 삼각형과 오각형의 면조각이 나타난다. Fig.9(a)와 (b)는 Hermite 혼합 함수 곡면화 방법에 의해 얻어진 곡

면결과로서 선수미부의 정면도를 나타낸 것이다. Fig.11(a)와 (b)는 생성된 선수미부의 곡면과 XY평면과의 일정한 간격의 교차로 만들어진 수선단면선이다. Fig.12(a)와 (b)는 생성된 선수미부 곡면과 XZ평면과의 교차로 발생한 곡선군으로서 종단면선이다. Fig 10(a)와 (b)는 Gregory 면조각 곡면화방법을 이용하여 선형곡면화에 적용한 결과로서, 선수미의 정면도를 나타낸 것이다.

그림으로 나타난 결과를 비교해 볼 때, 두 방법의 적용으로 인한 생성곡면은 대부분의 경우 거의 차이가 없으나 선미부의 변화가 심한 부분에서는 Gregory 면조각 보간방법이 좋은 결과를 주는 것으로 보인다. 계산 시간에서는 큰 차이가 없었으며, Gregory 면조각 방법은 후속 업무에서 도움이 될만한 자료인 임의 점에서의 미분값을 쉽게 계산할 수 있는 장점이 있다.

한편, 생성곡면의 품질은 곡선망의 상태에 따라 달라진다. 일반적으로 곡면을 조절할 수 있는 요소는 오프셋 데이터(offset data)와 곡선망을 구성하는 개개 곡선 양 끝의 접선벡터이다. 곡선망 정의와 곡면화에 기본이 되는 오프셋 데이터는 그 위치가 달라지면 곡면화에 직접적인 영향을 준다. 또한 곡선 양 끝 접선벡터는 곡률의 변화가 심한 선수미에서 중요한 요소이며 방향과 크기를 세심하게 고려해야한다. Fig.13은 양 끝점에서의 접선벡터의 방향 즉 기울기를 달리 주었을 때의 효과를 뚜렷하게 보여주는 한 예다. Fig.13의 *로 표시된 부분은 곡선 끝 점의 기울기를 적절치 못한 값으로 취하였을 때 나타난 곡면형상이다. 반면, Fig.9(b)는 같은 위치에서 기울기

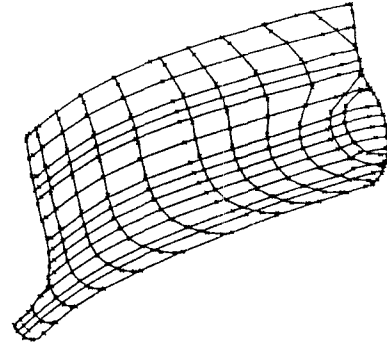


Fig.7(b) Input vertex polygon (bow)

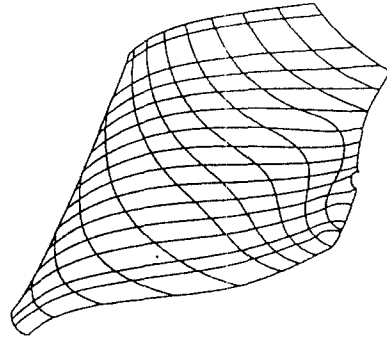


Fig.8(a) B-spline curve net (stern)

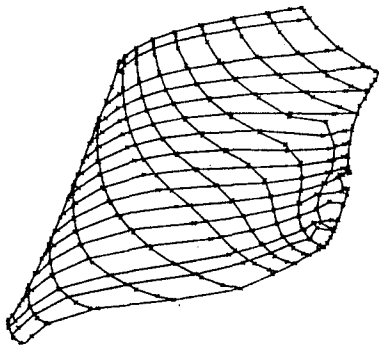


Fig.7(a) Input vertex polygon (stern)

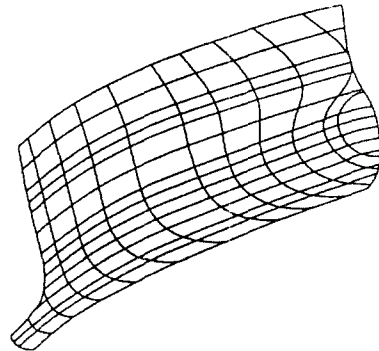
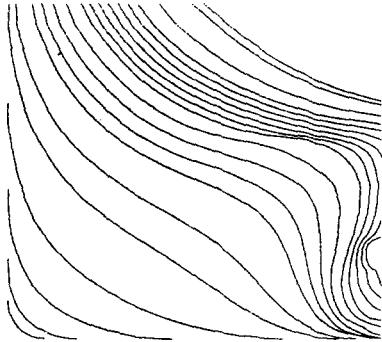
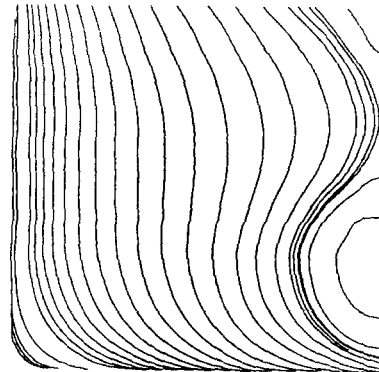


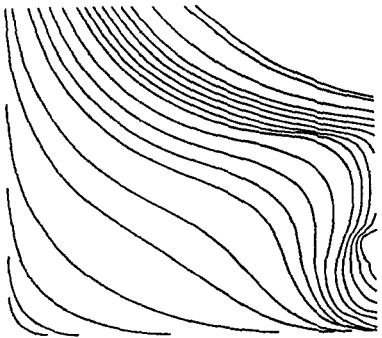
Fig.8(b) B-spline curve net (bow)



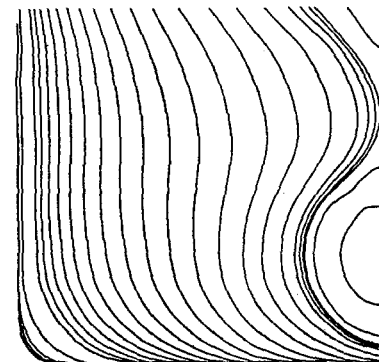
**Fig.9(a) Body plan of stern
(Hermite blended patch)**



**Fig.9(b) Body plan of bow
(Hermite blended patch)**



**Fig.10(a) Body plan of stern
(Gregory patch)**



**Fig.10(b) Body plan of bow
(Gregory patch)**

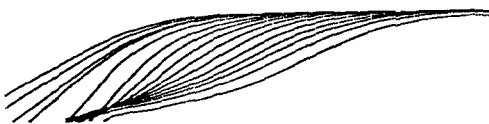


Fig.11(a) Water lines (stern)



Fig.11(b) Water lines (bow)

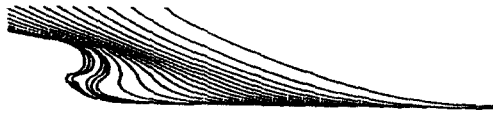


Fig.12(a) Buttock lines (stern)



Fig.12(b) Buttock lines (bow)

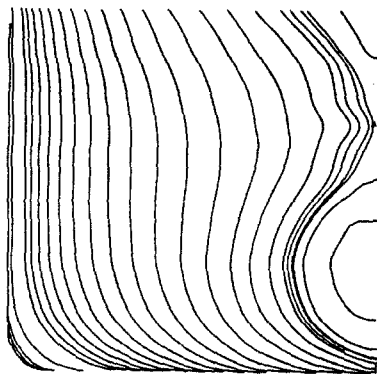


Fig.13 Effects of improper end tangent vector

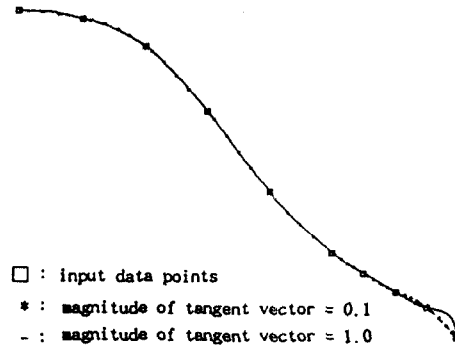


Fig.14 Effects of magnitude of end tangent vector

를 변수로하여, 최소 에너지를 갖는 값으로 선택하게 하였을 때의 결과이다. 두 그림은 곡선의 양 끝점에서 기울기의 변화가 곡면화에 미치는 영향이 어떠한가를 잘 나타내 보인다.

한편, 반폭도에서 구상선수부와 같이 수선(water line)의 끝부분이 X축에 수직으로 들어가야 할 경우, 접선벡터의 크기가 너무 크면 생성된 곡선이 원하지 않는 변곡점을 가지게 되며, 너무 작은 경우는 구상선수부의 폭이 작아지게 된다(Fig.14). 곡선 양 끝 접선벡터의 크기가 선수미부의 곡면화에 큰 영향을 미치고 있으며, 이는 곡면화된 그림 등에서 확인할 수 있다.

본 연구에서는 접선벡터를 미지수로 하여 순정과정을 거치면 크기 뿐만 아니라 기울기도 변화를 하게 되어있어 기울기를 고정해야하는 경우, 벡터크기를 결정해야하는 어려움이 있다. 현재 나타낸 결과는 단위벡터를 이용한 것으로, 선수미의 양 끝단에서 바람직하지 못한 경우도 있는 듯하다. 이에 대해서는 앞으로 연구가 계속되어야 할 것이다.

4. 결 론

선박을 충분히 순정된 곡선방으로 정의하고 그 곡선방으로부터 경계곡선을 이용한 두가지의 곡면화방법을 적용하여 선박을 곡면화하였다. 그 결과로 생성된 곡면은 경계곡선에 인접한 곡면조각과 기하학적

연속조건(GC¹)을 만족한다.

초기설계시 선형을 곡선망으로 먼저 정의하는 것은 선형정의와 순정의 효과적인 수행에 도움을 준다. 한편 선형의 순정과정에는 순정상태를 검토하는 작업이 필수적으로 따르게 되며, 곡면으로 정의된 선형은 순정검토의 좋은 자료가 된다. 따라서 본 연구는 곡선망 순정상태를 효과적으로 검토할 수 있는 곡면을 자료로 제공한다는 것과 선형을 곡선망으로 나타낼 때 선수미에서 부득이하게 나타나는 삼각형과 오각형의 면조각에 대해서도 직접 곡면화가 가능한 곡면화방법을 적용했다는 점에서 의의가 있다. 본 연구에서 적용된 두 가지 곡면화 방법중 Gregory 면조각 방법이 선수미부 등 곡률변화가 심한 부분에서 좋은 결과를 보이고 있으며, Gauss 곡률계산 등에 필요한 미분값 계산에서도 쉽다는 장점을 가진다. 한편, 경계곡선을 이용한 곡면화의 자료로 주어지는 곡선 양 끝점에서의 접선벡터가 곡면 품질에 아주 큰 영향을 끼친다는 사실을 그림의 예로 보였다. 생성된 곡면에 대한 검증은 곡면간 교차를 이용한 수치적 방법으로 해결하였으며, 좋은 결과를 보여준다.

참 고 문 헌

- [1] Rogers, D.F., Satterfield, S.G., "Dynamic B-spline Surface," *ICCAS82*, 1982.
- [2] Rogers, D.F., Satterfield, S.G., Rodriguez, F.A., "Ship Hull, B-Spline Surface and CAD/CAM," *IEEE CG & A*, 1983.
- [3] 윤병호, 서승완, 김원돈, 김광욱, "B-spline을 이용한 선체 표면의 표현에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, 제 22권, 제 3호, 1985.
- [4] 신현경, 박규원, "Open 균일 B-Spline 곡면을 이용한 선체곡면 표현에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, 제 28권, 제 2호, 1991.
- [5] 김수영, 우일국, "B-spline 곡면기법을 이용한 구상선수형상 도출," 대한조선학회 추계발표회, 1991.
- [6] 김동준, "B-Spline 곡면을 이용한 선수미부의 곡면화에 관한 연구," 제 4차 CSDP 연구결과 보고서, 1993.
- [7] 신현경, 신상성, 박규원, "선체형상 정의를 위한 벡터 산출 알고리즘 개발에 관한 연구," 대한조선학회 추계발표회, 1993.
- [8] Hosaka, N., "Theory of Curve and Surface Synthesis and Their Smooth Fitting," *Information Proceeding in Japan, Vol 9*, 1969.
- [9] Nowacki, H., Liu, D. and Lu, X., "Mesh Fairing GC¹ Surface Generation Method," *Proceeding of Theory and Practice of Geometry Modeling Symposium*, 1985.
- [10] Rong, H., Chen, G. and Zhang, W., "Nonuniform B-spline Mesh Fairing Method," *ICCAS91*, 1991.
- [11] 김동준, 윤태경, "Mesh Curve를 이용한 선형의 순정," 대한조선학회 추계발표회, 1993.
- [12] Byoung. K. Choi., *Surface Modeling for CAD/CAM*, Elsevier, Amsterdam, 1991.
- [13] 신현경, 박규원, "Bi-Cubic B-Spline 곡면의 교차와 그 응용에 관한 연구," 대한조선학회 추계발표회, 1993.
- [14] 김원돈, 남중호, 김광욱, "선형의 기하학적 모델링을 위한 직접순정법에 관한 연구," 대한조선학회 논문집, 제 28권, 제 1호, 1991.
- [15] Gregory, J.A., *The Mathematics of Surfaces*, Gregory, J.A.(ed.), Clarendon Press, Oxford, 1986
- [16] Chiyokura, H. and Kimura, G., "A new surface interpolation method for irregular curve models," *Computer Graphics Forum* 3, 1984.