



곡면 모델링에서 3차원 경계 곡면 블렌드 구성에 관한 연구

A Study on The Construction of 3-Dimensional
Edge Blend Surface Modeling

李 昌 億*
Lee, Chang Euk

요 지

3차원 자유 형상 곡면으로 이루어진 선형을 부분적으로 표현하기란 매우 힘들다. 선박 설계에 컴퓨터를 이용한 기술이 적용되기 시작하면서, 기하학적 모델링 기법이 개발되어 왔다.

선형 모델링에서, 곡률 변화가 심한 선체 곡면의 국부적인 곡면 형상을 Blending 기법을 써서 표현 하는 연구는 이루어지지 않았다.

Blend 곡면을 써서, 설계시에 도면상에 표시되는 작은 곡면을 부드럽게 표현하는 방법을, 선체 표면과 돌출된 접합 부분을 Blending 하고자 하였다.

본 연구에서는, 두개의 Base 곡면에 Blend 반지름을 입력 했을 때, Blend 곡면에 Blending 방법을 이용하여 공간 좌표인 Offsets 데이터를 얻을 수 있도록 선박 설계에 적용하여 보았다.

Abstract

It is very difficult to partially describe the hull shape made up of 3-dimensional free form surface. With computerizing skill in ship design, the geometric modeling technique has been developed.

In hull shape modeling, the blending technique has not yet been adapted to the hull shape surface has a variable curvature.

By adapting the blend surface, small surface on drawing plane is to be softly blended with given hull surface and a projecting part.

This study has adapted to the ship design one of the blending methods by which offsets data of the blend surface can be obtained by the input of blend radius on two base surfaces.

* 조선설계 기술사, 울산전문대학, 조선과 교수

* 이 논문은 1992년도 교육부지원 국비 해외 파견 연구 지원금에 의하여 연구 되었음.

1. 서론

1.1 연구의 배경과 필요성

3차원 임의의 형상인 선형을 부분적으로 변형시키고자 할때, 수학적으로 표현하기란 쉬운 일이 아니다. 곡면은 평면과 같이 수식으로 쉽게 표현할 수 있는 것과 자동차나 비행기 그리고 선박의 외형 같이 쉽게 표현할 수 없는 것이 있는데, 이것을 자유 곡면(Free Formed Surface)이라 한다.

자유 형상 물체인 선형의 정확한 표현은, 설계자의 의도가 바르게 구현될 수 있도록 한다는 점에서 매우 중요하다.

선형 표현을 2차원 곡선군으로 나타내는 방법으로는, 충분한 Offsets 데이터에 의한 정보로부터 형상을 표현하는 장점이 있다. 반면에, 형상이 평면이 아닌 자유 형상일 경우에는, 곡면을 부분적으로 정확하게 표현하지 못한다는 단점도 있다. 특히, 선미부의 곡률 변화가 심한 부분에서는 이러한 단점이 나타나게 되어 형상 전달 정보에 있어 큰 문제점으로 제시 된다.

그림 1.에서는 선형(Hull Shape)의 X, Y, Z-좌표계(System)를 나타내었다.

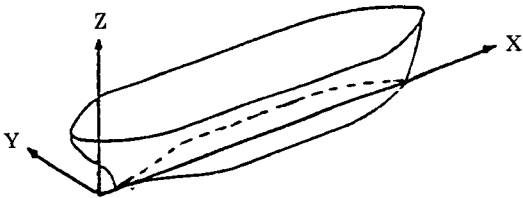


그림 1. Hull Shape의 좌표계

자유 형상 곡면에 의한 선형 표현 방법은, 2차원 곡선군에 의한 선형 표현 방법보다 수학적 표현이 복잡하지만, 3차원 자유 형상인 선형을 3차원 자유 형상 곡면으로 표현한다는 점에서, 2차원 곡선군에 의한 선형 표현시의 단

점들을, 선체표면의 기하학적인 성질, 즉 2차원 좌표, 곡면의 접선 벡터, 곡면의 곡률, 등을 곡면식으로부터 완성시키는 것이 필요하다.

1.2 연구의 목적과 범위

본 연구에서는, 선박의 선미 부분과 같이 복잡한 형상의 예를 들었으며, 두개의 Base 곡면을 표현하는데 이용되는 Parametric 곡면에 대한 Blending은 아직 체계적으로 다루어지지 않은 상태이므로, 3차원 자유 형상 곡면에 작은 반경의 Blend 곡면을 Blending 하는 기법을 개발하는 것을 목적으로 한다.

실제로, Blend 곡면은 상대적으로 작은 곡면이므로 설계할 때에 설계자는 이를 도면상에 정확히 표현하는 대신 필요한 위치에 Blend 반지름과 같은 최소한의 정보만을 명시하는 것이 보통이다. 그러므로 초기 설계 단계에서 선형의 기하학적 형상 특징인 Form Parameter 들로부터 선형을 생성하는 대표적인 방법으로는 형상 매개 변수 곡선으로 보간하는 방법을 생각할 수 있다.

2. 곡면으로 나타낸 도면의 생성

2.1 곡선의 요소

선체 단면 곡선의 집합에 의한 곡면을 나타내는 방법에서 중요한 표현 요소는 곡선이다. 도면에 표시되는 곡선의 표현 방법에는,

- (1) 직선과 원호의 연속으로 표현하는 방법.
- (2) 대략적인 곡선을 그리고 곡선의 방정식으로 표현하는 방법.
- (3) 점의 연속으로 표현하는 방법.

이 있다. 3차원 공간 곡선을 나타내기 위한 곡선과 그 곡선이 투영될 곡면을 함께 표현하는 방법이다.

2.2 곡면의 표현

임의의 곡면을 매개변수(Parametric)를 이용하여 표현하는 수학적 방법으로는, 1967년

Coon's Patches 이후 Tensor Product 형식인 Ferguson곡면, Bezier곡면, B-Spline 곡면, 등 많은 방법이 있다. 일반적으로, 3차식을 사용하는 B-Spline 곡면이 선체 곡면 표현에 제일 적합한 것으로 알려져 있다. [2][4] 실제, 조선 설계 분야에서 이것을 적용하기 위해서는 곡면 정의의 위한 Vertices 산출과 공간 좌표를 구하기 위해서는 곡면과 평면과의 교차를 행하여야 하는 어려움이 있다.

대부분, 도면으로 표시되는 자유 곡면 형상을 매개 변수식(Parametric Equation)인, $r(u, v)$ 로 표현할 수 있어야 한다.

$$r(u, v) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n Q_{ij} \eta_i(u) \eta_j(v) \dots\dots\dots(1)$$

여기서, $\{\eta_i(u)\}$: $m+1$ 의 set,
 $\{\eta_j(v)\}$: $n+1$ 의 set,

이되며, (1)식은 Parametric Polynomial Surfaces에서 $\eta_i(u)$ 와 $\eta_j(v)$ 는, 선형 독립 다항식의 u, v 에 대한 Basis Function이 된다.

본 연구에서는, 주로 곡선 정보(Offsets)를 이용하여, 그림 2.에 나타난 것과 같은, 선체 형상에 부분적으로 나타난 선체 표면 일부에 돌출부를 접합시킬 때 생기는 작은 곡면을 Blend 곡면으로 표현하는 방법을 다루었다.

2.3 곡면 모델링

곡면 모델링(Surface Modeling)에서는 곡선들을 Sweeping하여 곡면을 형성하는 실례가 도면에서 많이 나타내고 있지만, 이러한 곡면 모델링 연구는 많이 진행되지 않았다.[1]

실제 도면으로부터 형상 모델이나 곡면 모델을 입력하려는 연구가 있었지만, 곡면 모델의 경우, 곡면 형상이 매우 제한된 경우에 가능하였다. 도면에 표현하는 곡면 모델링의 방법에는, (1) 평면(Plane)이나, 구(Sphere) 등을 명시적(Explicitly)인 수식으로 곡면을 표현하는 방법. (2) 곡선(Curve)의 집합으로 곡면을 표현하는 방법. (3) 점(Point) 데이터의 집합으로 곡면을 표현하는 방법, 등이 있다.

이러한 방법중에서 형상 Modeling에 가장 많이 쓰이는 방법은, (2)항의 곡선 집합으로 표현하는 경우이다.

도면상에 곡선을 완전하게 나타낸다는 것은 거의 불가능하다. 그러나 그 곡면이 가지고 있는 특징을 곡선으로 표현하여, Offsets을 읽어, 곡면을 상상할 수 있을 뿐이다.

곡면의 특징을 나타내는 곡선은 곡면의 경계나 곡선이 경계를 따라가면서 표현되는 그림 2.에 나타난 것과 같은 단면 곡선이 있다.

예를들면, 선박의 선미 형상과 같은 3차원 곡면으로 이루어진 복잡한 곡면을 도면에 표현할 때 사용하는 방법이다. 즉, 점 데이터의 연속으로 몇개의 곡선이 표현되어지며, 이 곡선의 집합으로 나타낸 것이 곡면이라고 볼 수 있다.

3. 블렌드 곡면의 구성

Blend 곡면은, 두 Base 곡면 사이를 부분적으로 변화시켜 부드럽게 곡면을 구성 한다는

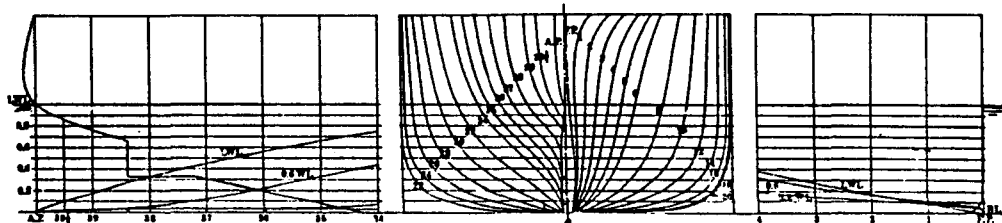


그림 2. 선체의 단면 곡선

뜻이다. Blend 곡면은 여러가지 요인이 요구되며, 마치 미적 감각을 향상시킨다든지, 응력 집중의 제거라든지, 그리고 선체 저항 성능에 대한 유체 흐름의 개선, 등이다.

본 연구에서, 적용한 Blending 방법은 Parametric Surface에서의 Blending 곡면을 생성 시키고져 한 것이다.

“Rolling-Ball”의 반복에 의한 Blending Surface를 구성하는 방법에는, 다음의 4가지 단계가 있다.

일정한 반경의 Edge Blend 구성에 대한 과정으로, 첫번째 단계는 두 개의 Base 곡면에서의 Offset 곡면 구성이고, 두번째 단계는 Ball Contact Point C_0 와 C_2 를 결정하기 위한 두 개의 Offset 곡면과의 Intersection 곡선을 구하고, 세번째 단계는 두 개의 Ball Contact Point C_0 와 C_2 사이의 Conic Section 곡선의 구성이며 네번째 단계는 Sweeping된 Conic Section에 의해 형성된 Edge Blend의 구성이다.

Barnhill [5]에 의해 제안한 Surface/Surface Intersection의 Algorithm을 사용하였는데, 두 개의 Base 곡면의 교차 곡선을 결정하는 것으로, 곡면 Form에 어떤 제한 조건 없이 Rectangular Parametric C_1 곡면에 대하여 수행 가능한 것이다.

Surface/Surface Intersection Algorithm으로 입력되는 것은:

$f(r, s)$, $g(t, u)$: 두 개의 Parametric Base 곡면,

d : Offset의 거리이며, 블랜드 반지름과 같다.

4. Offset 곡면간의 교선

두 개의 Base 곡면 사이에 Ball을 굴린다고 할 때, Ball의 궤적은 Blend 곡면을 구성하며, 또한 Ball의 중심 궤적은, 그림 3.에서 나타낸 것과 같이, 두 Offset 곡면간의 교선과 일치한

다.[7]

$m(r,s)$ 와 $n(t,u)$ 를, 각각의 Unit Surface Normal Vectors로 하고 Rectangular Parametric Patches를, $f(r,s)$ 와 $g(t, u)$ 라고 하면 Offset Surface는, 다음과 같이 정의 된다.

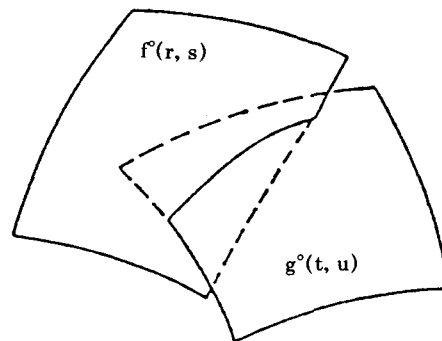


그림 3. 두 개의 교차 곡면

$$f^\circ(r,s) = f(r,s) + d m(r,s) \text{ 여기서 } r,s \in [0,1] \dots (2)$$

$$g^\circ(t,u) = g(t,u) + d n(t,u) \text{ 여기서 } t,u \in [0,1] \dots (3)$$

여기서, m : 단위 Surface의 법선 벡터, $f(r,s)$,
 n : 단위 Surface의 법선 벡터, $g(t, u)$

$f^\circ(r,s)$ 의, r -방향의 유도식은, 다음과 같이 Farouki [7]에 의해 주어 졌다.

$$\begin{aligned} f_r^\circ &= \partial f^\circ(r,s) / \partial r \\ &= \frac{\partial}{\partial r} \{f(r,s) + d m(r,s)\} \\ &= f_r + d \left[\frac{E_r}{|E|} - \frac{E \cdot E_r}{|E|^3} E \right] \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{여기서, } E &= f_r * f_s, \\ E_r &= f_{rr} * f_s + f_r * f_{rs}, \\ f_r &= \partial f(r, s) / \partial r, \end{aligned}$$

Surface/Surface Intersection Algorithm은 다음의 3단계로 구성된다.

- Mesh Generation 단계.
- Detection 단계.
- Tracing 단계.

4.1 Mesh Generation Stage

$f^{\circ}(r,s)$ 와 $g^{\circ}(t,u)$ 의 두 곡면에 대한 영역에서의 사각망(Rectangular Grid)을 만든다.

첫번째, $f^{\circ}(r,s)$ 는 Surface 상에서 인접한 Grid Point들이, 각각의 쌍과 접합하여 Line Segment에 의해서 접근시키게 되고,

두번째, $g^{\circ}(t,u)$ 의 Surface는, 각각의 Rectangular가 두개의 삼각형으로 쪼개어지므로 Triangular Polyhedron으로 접근된다.

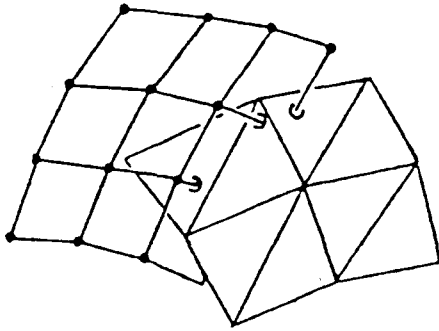


그림 4. Mesh Generation

그러므로, 그림 4.에서와 같이, 각각의 사각형에 대해서 대각선을 추가하여 2개의 삼각형으로 분할한 다음, 이들 삼각 영역에 대한 곡면 Patch를 삼각 평면으로 근사 시켰다.

4.2 Detection Stage

두개의 Offset 곡면 $f^{\circ}(r,s)$ 와 $g^{\circ}(t,u)$ 는 각각 서로 다른 Intersection이므로, 이 과정에서는, Line/Triangle 교점을 구하는 단계와 그로부터 얻은 교점으로부터 실제 정확한, Curve/Surface 사이의 교점을 찾는 단계로 이루어진다.

(1) Line/ Triangle 교점

Line Segment와 Triangle사이의 교점을 찾기 위해서는, $f^{\circ}(r,s)$ Surface로부터의 Line Segment와 $g^{\circ}(t,u)$ Surface로부터의 Triangle

로 표시된, $\triangle Q_1Q_2Q_3$ 를 P_1P_2 로 하면,

$$P_i = f^{\circ}(r_i, s_i) \quad \text{여기서, } i=1, 2 \dots\dots\dots(5)$$

$$Q_i = g^{\circ}(t_i, u_i) \quad \text{여기서, } i=1, 2, 3\dots\dots\dots(6)$$

a, b, c, d, e의 Vector량을 정의하면,

$$a = Q_1 - Q_3$$

$$b = Q_2 - Q_3$$

$$c = (a \cdot b) / |a \cdot b| : \text{단위 법선 벡터} \dots\dots\dots(7)$$

$$d = P_2 - P_1$$

$$e = Q_1 - P_1$$

$\triangle Q_1Q_2Q_3$ 에 포함된 평면의 명시적(Explicit) 방정식은, 다음과 같다

$$c \cdot r = c \cdot Q_1 \quad \text{여기서, } r=(x,y,z) \dots\dots\dots(8)$$

Line P_1P_2 의 Parametric 방정식은,

$$r(\lambda) = P_1 + \lambda d \dots\dots\dots(9)$$

Line 방정식을 Plane 방정식 속에 대입하면, 미지의 λ 를 결정할 수 있다.

$$\lambda^* = \frac{(c \cdot e)}{(c \cdot d)} \quad \text{여기서, } 0 \leq \lambda^* \leq 1.0 \dots\dots(10)$$

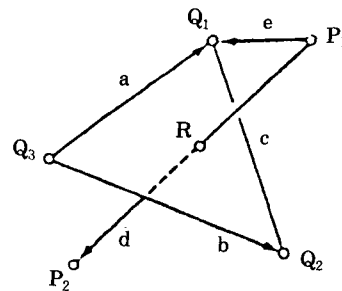


그림 5. 선과 삼각형과의 교점

식(10)의 필요 조건이 만족 된다면, $f^{\circ}(r,s)$ 의 영역값 s 는, 다음과 같다.

$$\hat{s} = s_1 + \lambda^*(s_2 - s_1) \quad \text{여기서, } 0 \leq \lambda^* \leq 1 \quad (11)$$

또한, 그림 5.에서 교점 R는, Line 방정식 속에 있는 λ^* 에 의해 얻어진다.

$$R = P_1 + \lambda^* \cdot d \quad \dots\dots\dots(12)$$

교점 R의 영역값(t, u)는, 다음과 같이 나타내어진다.

$$R = \alpha Q_1 + \beta Q_2 + (1 - \alpha - \beta) Q_3 \quad \dots\dots\dots(13)$$

식 (13)에서, 미지의 α 와 β 는, 다음과 같다.

$$\alpha^* = \{c \cdot (r^*b)\} / \{c \cdot (a^*b)\} \quad \dots\dots\dots(14)$$

$$\beta^* = \{c \cdot (r^*a)\} / \{c \cdot (b^*a)\} \quad \dots\dots\dots(15)$$

여기서, $r = R - Q_3$,

삼각형, $\triangle Q_1 Q_2 Q_3$ 와 Line $P_1 P_2$ 와의 교점은,

$$\alpha^* \geq 0, \beta^* \geq 0 \text{ 과 } \alpha^* + \beta^* \leq 1$$

이라는 조건이 만족하면, Intersection Point R에 대한 (t, u)의 영역값은, 다음과 같다.

$$\hat{t} = \alpha^* t_1 + \beta^* t_2 + (1 - \alpha^* - \beta^*) t_3 \quad \dots\dots\dots(16)$$

$$\hat{u} = \alpha^* u_1 + \beta^* u_2 + (1 - \alpha^* - \beta^*) u_3 \quad \dots\dots\dots(17)$$

Line/Triangle을 Intersection Method로 Isoparametric Curve $f^o(r,s)$ 와 Parametric Surface $g^o(t,u)$ 사이의 교점을 정의하였다.

(2) Curve/ Surface 교점

만약, Isoparametric Curve와 Parametric Surface 사이의 교점을 찾을 수 있다면, Offset Surface Intersection Curve 상에 존재하는 Domain Value(r, s), (t, u)들을 구할 수 있다.

이때, Offset Surface Intersection Curve 상의 점들은, 다음 관계식을 만족하게 된다.

$$f^o(r,s) - g^o(t,u) = 0 \quad \dots\dots\dots(18)$$

4.3 Tracing Stage

식 (18)의 Curve/Surface Intersection 반복에 의하여 얻어진 Initial Intersection Point List는,

$$\{(r_i, s_i), (t_i, u_i) \text{ 여기서, } i=1, \dots, n\} \quad \dots\dots\dots(19)$$

식 (19)의 값을 취하여, Initial Intersection Point-List에 저장시킨다. 식 (18)을 풀기 위해서는, 그림 6.에 나타낸 것과 같이 "Guess

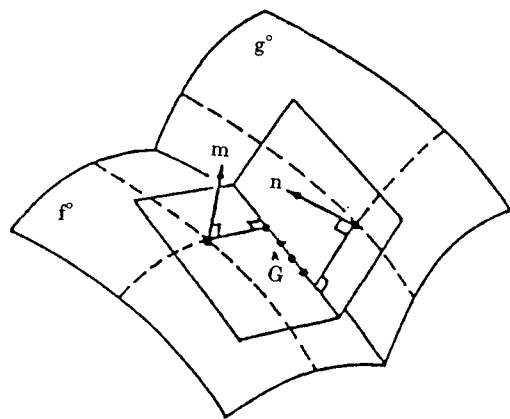


그림 6. SSI에서 Guess Point의 결정

Point G"는 Offset Surface Intersection Curve에 따라 정리되며, 만족스런 영역값을 찾기 위해서는 Guess Point G를 개선시켜 (r, s)에서 $f^o(r,s)$ 까지의 Tangent Plane과 (t, u)에서 $g^o(t,u)$ 까지의 Tangent Plane사이의 Intersection을 찾으므로써 얻어진다. 이것은, Offset Surface Intersection Curve 상에 놓인 한 점에서 출발하여 곡선상의 점들을 연속해서 찾는 과정이다.

출발점 $f^o(r_o, s_o)$ 에서 Offset Surface Intersection Curve의 접선 방향으로 δ (한 점으로 흐르는 Surface/Surface Intersection Point 사이의 거리) 만큼 떨어진 Guess Point G는, 다음과 같이 결정된다.

$$G = f^o(r_o, s_o) \pm \delta(m \cdot n) / |m \cdot n| \quad \dots\dots\dots(20)$$

여기서, m, n : $f^o(r_o, s_o)$ 와 $g^o(t_o, u_o)$ 에서의 Unit Surface Normal

δ : Stepping Distance,

Guess Point G로부터, 가까이 위치한 Offset Surface Intersection Curve 상의 점을 찾은 후, 이 점에서 다시 Guess Point G를 찾는다.

이와같이, 작업을 반복하면, Offset Surface Intersection Curve 상에 위치한 교점들을 연속적으로 얻게되며, 이 점들의 Domain Value 들은, "Offset Surface Intersection Curve-List"내에 저장되게 된다.

5. Radius Edge Blend의 구성

두개의 Base 곡면, $f(r,s)$ 와 $g(t,u)$ 사이의 Edge Blend 구성은 Offset 거리가 d 일 때의 Offset 곡면, $f^o(r,s)$ 와 $g^o(t,u)$ 의 Intersection Curve를 결정하는 것이다.

즉, 두 Base 곡면 사이에 Ball을 굴릴때 얻어지는 Ball Contact Curve는, 구성하여야 할 Edge Blend의 "Sweeping Boundary"에 해당된다.

Sweeping Boundary는, "Offset Surface Intersection Curve-List"내의 Domain Value Tuples로써,

$$\{(r_i, s_i), (t_i, u_i) \text{ 여기서, } i=0, \dots, n\}$$

이 교점들을, (r,s) -Domain 및 (t,u) -Domain 상에서 Cubic Spline Curve를 이용하여 연결하면 얻게 된다. 이와 같은, 방법을 이용하면 Sweeping Boundary는 항상 Base 곡면 상에 놓이게 된다.

두 Sweeping Boundary 내의 점들을 C_0, C_2 라고 할 때, 그림 7.에서와 같은 방법에 의하여 중간점 C_1 을 결정할 수 있다.

Ball Radius가, 식 (2)와 식 (3)에서와 같이 Offset Distance d 와 같아 지면, Ball의 Center는 Offset Surface Intersection Point에 위치하게 될 것이다.

$$0=f(r_i, s_i)+d m(r_i, s_i) \dots\dots\dots(21)$$

$$0=g(t_j, u_j)+d n(t_j, u_j) \dots\dots\dots(22)$$

여기서, m, n : f 와 g 에 대한 각각의 Unit Surface Normal Vector,

"Rolling Ball"의 Base Surface와의 접촉점 C_0, C_2 는:

$$C_0=f(r_i, s_i) \dots\dots\dots(23)$$

$$C_2=g(t_j, u_j) \dots\dots\dots(24)$$

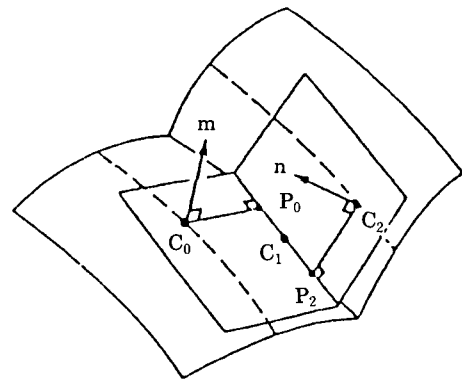


그림 7. Middle Control Point

Ball Contact Point C_0, C_2 에서 두 개의 Tangent Plane이 구성된다. 그러면, 교점 C_1 은, 다음과 같이 구해진다.

$$C_1=\frac{1}{2} \cdot (C_0+C_2)+\frac{d}{2} \cdot \frac{m \cdot n-1}{m \cdot n+1} \cdot (m+n) \dots\dots\dots(25)$$

여기서, m, n : Unit Surface Normal Vector,
 d : Blending Radius,

세개의 점, C_0, C_1, C_2 를 조정점으로 갖는 Section Parameter α 와 같이 Rational Quadratic Curve는, 다음 식으로 표현 된다.

$$b(\alpha)=\frac{w_0(1-\alpha)^2 \cdot C_0+2w_1(1-\alpha)\alpha C_1+w_2\alpha^2 C_2}{w_0(1-\alpha)^2+2w_1(1-\alpha)\alpha+w_2\alpha^2}$$

.....(26)

여기서, w_i : Weights

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

식 (26)에서, Weight들의 값을 변화시키면 Rational Curve의 Fullness가 조정된다.

특히, $b(\alpha)$ 가 대칭인 경우에는, 지정된 Fullness Factor ρ 의 값($0 < \rho < 1$)이 주어지며, Weights들은, 다음과 같이, Lee [3]로부터 결정된다.

$$w_0 : w_1 : w_2 = 1 : \frac{\rho}{1-\rho} : 1 \dots\dots\dots(27)$$

식 (27)에서, ρ 의 크기가 0에서 1로 증가함에 따라 곡선 $b(\alpha)$ 는 점차적으로 볼록해진다.

만약, Circular Arc를 얻으려고 한다면 Fullness Factor ρ 는, 다음과 같이 정하면 얻을 수 있다.

$$\rho = \frac{\cos \theta}{(1 + \cos \theta)} \dots\dots\dots(28)$$

여기서, $\theta = \cos^{-1} \cdot (m \cdot n) / 2$;

$$(0 \leq \theta \leq 1)$$

m, n : C_0 및 C_2 에서의 Unit Surface Normal Vector

Rational Curve $b(\alpha)$ 를, 두 Sweeping Boundary들을 따라서 이동시킬 때에, 그 궤적으로부터, 두 Base 곡면 $f(r,s)$ 와 $g(t,u)$ 를 부드럽게 연결하는 Radius Blend 곡면을, 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$b(\alpha, \beta) =$$

$$\frac{(1-\alpha)^2 \cdot C_0(\beta) + 2w(1-\alpha)\alpha C_1(\beta) + \alpha^2 \cdot C_2(\beta)}{(1-\alpha)^2 + 2w(1-\alpha) + \alpha^2}$$

.....(29)

여기서, $C_0(\beta), C_2(\beta)$: Ball Contact

Curves

$C_1(\beta)$: Middle Control Point

$$w : \frac{\rho}{(1-\rho)}$$

ρ : Fullness Factor

한편, Ball Contact Curve는, β 의 함수가 된다. 즉,

$$C_0(\beta) = f(r(\beta), s(\beta)) \equiv f(\beta) \dots\dots\dots(30)$$

$$C_2(\beta) = g(t(\beta), u(\beta)) \equiv g(\beta) \dots\dots\dots(31)$$

즉, Edge Blend와 Base Surface 사이의 연속이 보장되게 된다. 그림 7.에서 두개의 Tangent Plane의 Intersection Line 상에 놓여 있는 점 P_0, P_2 의 Middle Point를 C_1 으로 선택하면,

$$C_1(\beta) = \frac{1}{2} \cdot |C_0(\beta) + C_2(\beta)| + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{(m \cdot n)^2 - 1} \cdot [(\nabla C \cdot n) \cdot ((m \cdot n)m - n) - (\nabla C \cdot m) \cdot ((m \cdot n)n - m)] \quad (32)$$

여기서, ∇C : $C_2(\beta) - C_0(\beta)$

m, n : Surface $f(r,s)$ 와 $g(t,u)$ 의 Unit Normal Vector,

선택한 Middle Point $C_1(\beta)$ 는, Edge Blend와 Base Surface 사이의 Gradient 연속성을 보장 시키게 된다.

6. Modeling의 예

3차원 곡면인, 선체 표면 일부분의 공간 곡면상에 [표 1.], 구(Spheric)와 타원(Elliptic)형, 그리고 Wave Drag를 붙인 선형과 같은 임의의 형상을 접합 할 때의 작은 Blend 곡면에 대하여 Blending 기법을 적용해 보았으며, Surface Modeling에 대한 흐름도는 그림 8.과 같이 나타내었다.

본 연구 과정에서, 예를 들은, Blend 곡면으로는, 그림 9.에서, (a)는 자유형상 곡면 상에서 Blending 된 구형 형상을 나타내었으며, 그림 (b)는 평면으로 이루어진 선체 표면 일부분에 돌출된 반구(Half Spheric)를 Blend Surface로 접합한 내부 곡면을 보여 주었으며, 그림 (c)는 Hidden Line을 제거한 Blending의, 예를 나타내었다.

표1. 공간 곡선의 OFFSETS

| 단 면 | <X간격, Y반쪽, Z높이> |
|------------|--|
| SECTION 5 | 1(0, 50, 720) 2(0, 80, 2040) 3(0, 100, 3220) 4(0, 380, 4380) |
| SECTION 9 | 1(2000, 430, 640) 5(0, 1280, 5140) 2(2000, 650, 1750) 6(0, 2400, 5600) 3(2000, 850, 2800) 7(0, 3440, 6160) 4(2000, 1200, 3900) |
| SECTION 13 | 1(4000, 800, 560) 5(2000, 1880, 4780) 2(4000, 1160, 1500) 6(2000, 2800, 5340) 3(4000, 1520, 2420) 7(2000, 3850, 5900) 4(4000, 1940, 3450) |
| SECTION 17 | 1(6000, 1080, 480) 5(4000, 2530, 4340) 2(6000, 1650, 1260) 6(4000, 3270, 5040) 3(6000, 2080, 2120) 7(4000, 4250, 5640) 4(6000, 2520, 3080) |
| SECTION 21 | 1(8000, 1340, 400) 5(6000, 3160, 3960) 2(8000, 2050, 1070) 6(6000, 3850, 4680) 3(8000, 2570, 1830) 7(6000, 4680, 5380) 4(8000, 3110, 2710) |
| SECTION 25 | 1(10000, 1570, 320) 5(8000, 3720, 3600) 2(10000, 2370, 900) 6(8000, 4400, 4320) 3(10000, 3000, 1600) 7(8000, 5150, 5060) 4(10000, 3600, 2420) |
| SECTION 29 | 1(12000, 1950, 240) 5(10000, 4270, 3240) 2(12000, 2680, 740) 6(10000, 4900, 4000) 3(12000, 3400, 1380) 7(10000, 5620, 4780) 4(12000, 4080, 2140) |
| SECTION 33 | 1(14000, 2060, 160) 5(12000, 4720, 2950) 2(14000, 2940, 630) 6(12000, 5340, 3730) 3(14000, 3740, 1200) 7(12000, 5980, 4540) 4(14000, 4460, 1900) |
| SECTION 37 | 1(16000, 2300, 80) 5(14000, 5160, 2680) 2(16000, 3230, 480) 6(14000, 5780, 3450) 3(16000, 4100, 1000) 7(14000, 6400, 4270) 4(16000, 4880, 1640) 5(16000, 5560, 2400) 6(16000, 6200, 3200) 7(16000, 6800, 4000) |

7. 결 론

본 연구에서는, 선체의 국부적인 곡면 형상을 두 Base 곡면으로부터 작은 곡면 부분을 부드럽게 연결하는 Blend곡면을 구성하기 위한 Blending 기법을 적용하여 보았다. 그리고 Blending Surface에는 Blending Radius d만을

입력 데이터로 주어졌다.

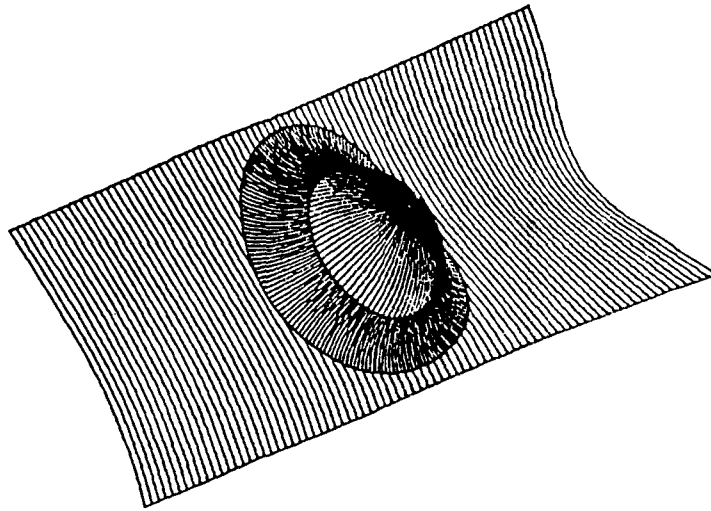
Blend 곡면의 Blending 기법으로는,

(1) 임의의 자유 형상 곡면으로 이루어진 선체 표면과 같은 평판에, T-Wing의 Blending에도 적용 시킬 수 있다.

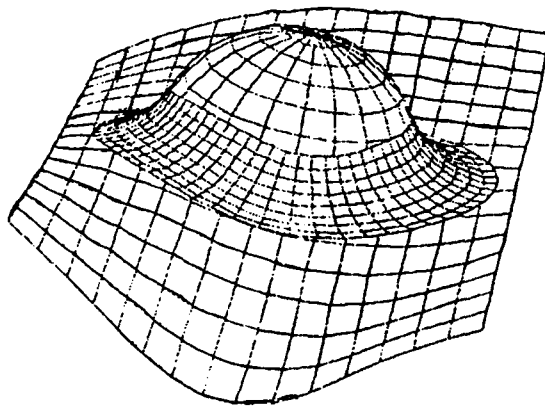
(2) 임의의 형상인 Candidate Keel, 또는 Wave Drag와 같은 형상을 붙인, Parabolic



(a)



(b)



(c)

그림 9. Blending 의 예

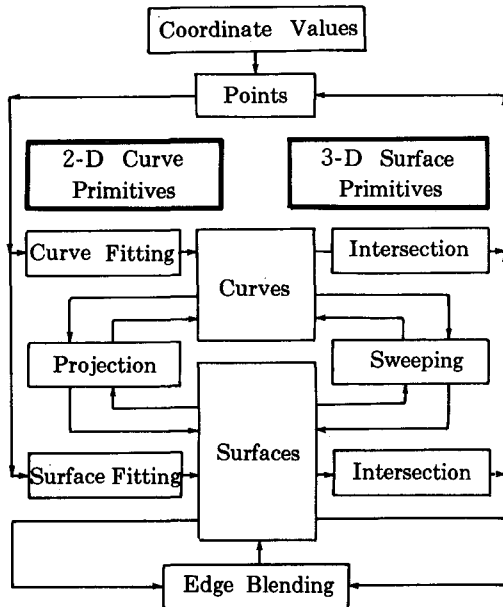


그림 8. Surface Modeling의 흐름도

Body의 Hull Shape에도 적용 가능하다.

이상과 같이, 3차원 곡면으로 이루어진 선체 곡면에서 부분적으로 두 Base 곡면으로 나타내어야 하는 설계 도면에서, 도면에 표시하기 힘든 작은 곡면의 공간 좌표인 OFFSETS 데이터를 구할 수 있도록 국부적인 Surface Modeling에, 본 Blending 기법이 적용될 수 있는 가능성을 보여 주었다.

〈후기〉

본 연구는, 1992년도 교육부에서 시행한 국비 해외 파견 연구 지원금에 의해 수행된 연구내용의 일부입니다.

본 연구를 지원해 준 교육부의 학술 진흥과에 감사를 드립니다. 그리고 아낌없는 지원과

배려를 하여 주신, 울산 전문 대학의 이병해 학장님과 교수님 여러분께 감사를 드리며, 결과 자료 정리에 있어서 조언해 주신, 울산 대학교의 주상윤 교수님과 부산 대학교의 김수영 교수님께 진심으로 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. 최병규, "NC 절삭 가공과 CAM시스템", 청문각, 1989.
2. Faux, I.D. and Pratt, M.J., "Computational Geometry for Design and Manufacturing", Ellis Horwood Pub., 1980.
3. Lee, E., "The Rational Bezier Representation for Conic", in Geometric Modeling: Algorithms and New Trends, (Farin, G.E., ed.), 3-19p., SIAM., 1987.
4. Gerald Farin, "Curve and surfaces for Computer Aided Geometric Design", A Practical Guide, Academic Press, INC., 1990.
5. Barnhill, R.E., Farin, F., Jordan, M., and Piper, B.R., "Surface/Surface Intersection", CAGD., Vol. 4, 3-16p., 1987.
6. Ju, Sang Yoon, "Construction of Blend Surface in Surface Modeling", Dep. of Industrial Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Ph. D., Thesis, 1-142p., 1989.
7. R.T.Farouki, "The Approximation of non-degenerate offset surfaces", Computer Aided Geometric Design, 15-43p., 1986.
8. Rogers, D.F., and Adams, J.A., "Mathematical Elements for Computer Graphics", 2nd Ed., McGraw-Hill Pub., 1990.
9. Melvin, J. Maron, "Numerical Analysis-A Practical Approach", Macmillan Pub., 1990.
10. Klaus-Peter Beier, "Computer Aided Hull Design and Production", NA-574, Lecture Note, The University of Michigan, Dept. of Naval Architecture Marine Engineering, 1992.