

# 복합 곡면에서 매개변수 조절에 의한 블렌딩곡면 생성

김종열\*, 이희관\*\*, 공영식\*\*\*, 양균의\*\*\*\*

## Blending Surface with Parameter Control in Compound Surface

Jong-Yul, Kim\*, Hi-Koan, Lee\*\*, Young-Sik, Kong\*\*\*, Gyun-Eui, Yang\*\*\*\*

### ABSTRACT

For products of various shapes, compound surfaces are used. Blending surfaces are essential to the products of the compound surfaces. In this paper a method of making shape of blending surface flexible with parameter control is discussed. The parameter has quantitative control of shape of the blend. The blending surface is applied to NURBS and simple primitives in solid model. Intersection curves of surfaces is used to provide the blend with generality. Rail curve are found with the intersection curves. The blend is generated by rail curves and parameter control. Also, In strict constraint condition, blending surface with flexible shapes is discussed, keeping  $GC^1$  and  $GC^2$  continuity between free-formed surfaces and solids. Joining blending, bridge blending and blending surface at corner are generated.

**Key Words** : Blending Surface(블렌딩 곡면), Compound Surface(복합 곡면), Parameter Control(매개변수 조절),  $GC^1$ (접선 연속),  $GC^2$ (곡률연속)

### 1. 서론

산업은 60년 대에 원가 절감을, 70년 대에 품질 향상을, 80년 대와 90년 대에는 다양성과 짧은 life cycle에 대응하는 신속성을 추구하고 있다. 이러한 시대의 흐름에 부합하기 위해 다양한 소비자의 욕구를 신속히 만족시키기 위한 기술이 발달하고 있다. 공작기계의 고속도, 고정밀도, 고집적도와 이런 기계를 이용한 가공 기술이 발전하고 있다. 블렌딩 곡면은 복잡하고 다양한 형상을 설계할 때에 이용되는 복합 곡면의 생성과 가공에서 중요한 역할을 하고 있고, 미려한 형상을 요구하는 곳에는 그 필

요성이 더욱 크다.

곡면식이 다른 곡면으로 이루어진 복합 곡면에서는 곡면이 교차하는 부분에서 블렌딩은 필수적이다. 블렌딩 곡면은 설계 측면에서 형상을 미학적으로 자유롭게 변화시킬 수 있고, 역학적인 면에서 응력 집중과 파손을 방지하고, 가공 측면에서는 간섭제거와 과절삭과 과절삭력을 방지하고, 생산적인 측면에서는 곡면식에 제한을 받지 않는 일반성을 갖추어야 한다.

블렌딩 곡면을 분류하면 일반적으로 음함수 곡면과 매개변수 곡면으로 구분된다. 음함수 블렌딩 곡면의 문제는 Hoffman과 Hopcroft<sup>(1)</sup> 이에 의해 주로 다루어졌다.

\* 현대 자동차 상용차 연구소(전주)  
 \*\* 전북대학교 공업기술연구소  
 \*\*\* 중소기업청 전북지방중소기업사무소  
 \*\*\*\* 전북대학교 기계공학과

Choi와 Ju<sup>(2)</sup>, Sangkar<sup>(3)</sup>, Filip<sup>(4)</sup>은 매개변수 곡면들간의 블렌딩에 대하여 접근하였고 rail curve와 profile curve를 보간하여 블렌딩 곡면을 생성하였다. Koparkar<sup>(6)</sup>는 형상의 조정을 위하여 공구의 반경과 접선을 이용하여 형상을 표현하는 방법을 연구했다. 또한 솔리드 모델링에서 일정한 반경을 가지는 블렌딩 곡면이 Rossignac와 Requicha<sup>(6)</sup>에 의해 제시되었다.

블렌딩 곡면의 형상의 조정의 관점에서 보면 음함수 블렌딩 방법은 sharpness에서 제한을 받는다. Middleditch와 Sears<sup>(7)</sup>가 제시한 방법은 블렌드가 원호, 타원, 포물선의 형상중의 하나로 조정이 가능하다. Rockwood와 Owen<sup>(8)</sup>이 제시한 방법은 힘으로 정의되는 thumb weight를 사용하여 솔리드 모델링에도 적용을 하였다. 또한 Hoffman와 Hopcroft<sup>(9)</sup>은 투사적인 방법을 이용하여 향상된 블렌딩 곡면을 생성하였다.

본 논문은 교차곡선을 이용한 블렌딩 곡면을 생성함으로써 곡면식에 제한을 받지 않고 일반성을 가진 블렌딩 곡면을 생성하였다. 블렌딩 곡면은 자유곡면과 자유 곡면의 블렌딩 곡면, 자유곡면과 다면체도형과의 블렌딩 곡면이 제시되어 솔리드 모델링까지 적용을 하였다. 생성된 블렌딩 곡면은 기저 곡면과 접선 연속, 곡률 연속까지 만족할 수 있도록 하였다. 또한 블렌드의 조정점을 매개변수의 정량적 조정으로 유연한 형상을 지원할 수 있게 하여 직관력을 갖도록 하였다.

## 2. 복합 곡면의 생성

### 2.1 다면체 도형의 표현

다면체 도형은 점, 선, 면으로 이루어지며 위상정보를 가지고 있다. 또한 선, 면의 계수 및 면의 법선 벡터를 가지고 있다. 그리고 2차원 곡선의 회전과 이동에 의하여 형상을 표현하고 형상의 점들과 도형의 기저면들과의 관계 즉 모서리와 면을 이루는 점들의 집합만을 동형의 구조체에 저장한다. 위의 도형과 형상을 기저 곡면으로 이용한다.

### 2.2 자유곡면의 표현

NURBS는 자유 곡면과 해석적 도형을 정확히 표현할 수 있다. 또한 곡면 형성에서 형상을 조작할 수 있는 많은 인수를 이용할 수 있어 기저곡면을 생성하는데는 이용하였다. 다음은 NURBS의 식<sup>(10)</sup>이다.

$$Q(u, v) = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} h_{i,j} B_{i,j} N_{i,k}(u) M_{j,l}(v)}{\sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} h_{i,j} N_{i,k}(u) M_{j,l}(v)} = \sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} B_{i,j} S_{j,i}(u, v) \quad (1)$$

$$0 \leq u \leq n - k + 2, 0 \leq v \leq m - l + 2$$

여기서

$B_{i,j}$ : 3D polygon net point

$S_{i,j}$ : rational B-spline surface basis function

$N_{i,k}(t) = 1, t_i \leq t < t_{i+1}$

0, otherwise

$\frac{t-t_i}{t_{i+k}-t_i} N_{i,k-1}(t) + \frac{t_{i+k}-t}{t_{i+k}-t_{i+1}} N_{i+1,k-1}(t), k > 1$

### 2.3 복합곡면의 생성

다면체 도형의 결합은 도형의 최대 최소 영역의 비교에 의하여 교차의 여부를 조사한 후 교차가 판단되면 도형을 삼각형으로 분할하여 교차점을 찾는다. 교차점을 찾으면 교차점을 이용하여 새로운 도형을 생성한다.

자유 곡면과 다면체 도형이 결합되는 경우 교차하지 않는 경우는 제외를 시킨다. 임의의 도형을 기저 곡면으로 간주하고 그 외의 곡면과 도형이 기저 곡면과 어떤 관계로 접합되는지를 저장한다. 교차점들은 선과 면의 방정식을 이용하여 3절의 방식으로 찾아진다. 교차곡선이 찾아지면 boolean연산을 하여 복합 곡면을 생성한다.

## 3. 복합 곡면에서의 교차곡선 찾기

교차곡선을 찾는 알고리즘은 교차 가능성이 있는 모든 점을 탐색하고 정확도가 높아야 한다. 교차곡선은 아래와 같은 방식으로 행해졌다.

### 3.1 직선과 곡면의 교차

자유 곡면  $f(u, v)$ 이 모서리와 면으로 정의된 다면체 도형  $s\{L_i | (x, y, z) \in D_i\}$ 와 교차하는 경우 교차곡선을 찾는 방법은 Fig. 1과 같다. 직선  $L_i$ 의 임의의 점  $P_i$ 를 곡면 상에 투영시켜 초기점을 찾고 Newton-Raphson법을 이용하여 곡면의 점  $Q_i$ 를 찾는다. 두 도형사이의 거리

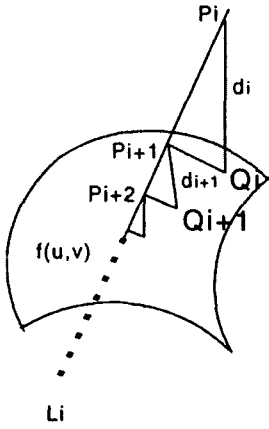


Fig. 1 Line/Surface intersection

$d_i$ 가 같은 점으로 인정하는 공차보다 작으면 교차점으로 인정한다.

### 3.2 곡면과 곡면의 교차

교차하는 두 곡면  $S_1, S_2$ 가 교차곡선을 갖는다고 하고  $S_1, S_2$ 의 함수를 각각  $f(x), g(y)$ 로 표현한다.

첫 번째 단계는 교차곡선의 시작점을 찾는 것인데 두 곡면의 격자점들  $x_0, y_0$ 의 거리인  $|f(x_0) - g(y_0)|$ 가 곡면들의 함수값, 미분값, 두 곡면의 교차각을 근거로 해서 정의된 공차보다 작을 때 교차곡선의 시작점으로 인정하는 것이다. <sup>(11,12,13)</sup>

$$|f(x_0) - g(y_0)| \leq c \cdot h \cdot M \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

여기서,  $c$ 는 수렴속도를 정하는 상수,  $h$ 는 격자점들의 간격,  $\alpha$ 는 격자점들의 법선 벡터가 이루는 각이다.  $M = \max \{D\phi(x)\}$ ,  $\phi \in \{f, g\}$ ,  $x \in \text{grid}$ 이다.

두 번째 단계는 추적을 이용하여 교차곡선을 진행시킨다. 추적은 이미 구해진 시작점을 가지고 교차곡선을 찾아가는 방법으로 이러한 점들을 스텝길이만큼 떨어진 일련의 점을 교차곡선 상이나 교차곡선 근처에서 찾아낸다. 스텝 길이의 진행 방향은 곡면의 위치의 미분기하학에 의해 결정된 방향이다. 이 방법은 곡면의 함수의 표현식에 제한을 받지 않지만 기저 곡면이 접선 연속의 만족을 해야한다. 스텝 길이는 근사 곡률을 이용하여 유연한 스텝 길이를 갖도록 하였다. 3점  $P, Q, R$ 가 주어졌을 때 근사 곡률 반경은 아래와 같다.

$$\rho = \frac{|a| |b| |a-b|}{2|a \times b|} \quad (3)$$

여기서  $a = Q - P$ ,  $b = R - P$ 이다. 스텝 길이  $\delta$ 는 위 식에서 구한 근사 곡률의 반경과 일정한 미소각을 곱한  $r \cdot \Delta\theta$ 이다.

$$G = f \pm \delta(m \times n) / |m \times n| \quad (4)$$

식에서 부호는 추적 방향을 의미한다. 여기서  $m, n$ 는 곡면의 법선 벡터이다.

세 번째 단계는 식(2)에서 구한 곡선 부근에 있는 근사 점들을 교차곡선 상에 수렴시켜서 교차곡선 상에 놓는 단계이다.

$$\hat{G} = \frac{f+g}{2} + \frac{1}{2} \left[ \frac{n \cdot (g-f)}{n \cdot a} a + \frac{m \cdot (f-g)}{m \cdot b} b \right] \quad (5)$$

$\hat{G}$ 은 교차곡선에 수렴한 점,  $m, n$ 은 곡면  $f, g$ 의 법선 벡터,  $a = m \times (m \times n)$ ,  $b = n \times (m \times n)$ 이다.

네 번째 단계는 얻어진 점들을 보간하여 교차곡선을 만든다. 교차곡선의 접선 연속을 위해 Hermite 보간법을 이용한다.

## 4. 복합곡면에서의 blending 곡면의 생성

### 4.1 접촉곡선(rail curve) 찾기

접촉곡선은 교차곡선의 점들을 2차원 평면상에 선형적으로 전개시켜 한 축의 구간을 만들고, 교차점에서 접촉곡선에서 형상 곡선을 향하는 벡터를 또 하나의 축으로 하는 정의역에 접촉곡선에서 접촉곡선까지의 거리를 이용하여 접촉곡선의 점을 주고 Bezier로 보간을 한다. 교차곡선을 따라 가면서 교차곡선 상에서 두 곡면 법선 벡터를 따라 벡터의 크기를 ( $d_i, d_{i+1}$ )로 주어서 곡면에 투영시키고 Bezier로 보간을 하여 접촉곡선을 생성한다. 이 방

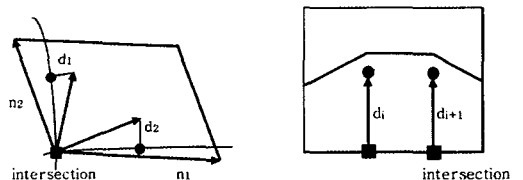


Fig. 2 Search of points on rail curve

식을 이용하여 접촉곡선을 구하면 블렌딩 곡면의 꼬임을 방지할 수 있다. 이러한 과정을 교차곡선을 따라 일정한 간격으로 반복하면 Fig. 2에 보이는 접촉곡선을 구할 수 있다. Fig. 3은 생성된 접촉곡선을 보여준다.

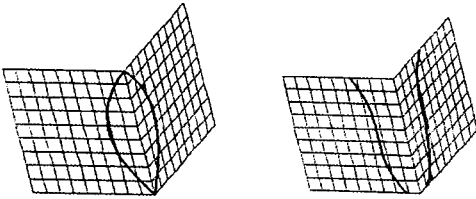


Fig. 3 Rail curve

위의 방식은 Taylor 보간식  $f(u+h) \approx f(u) + hf'(u)$  을 이용한 것이다.  $f'(u)$  은 접촉 곡선의 접선 벡터이고  $h$  는  $d_1, d_2$  에 해당한다. 근사식으로 구한 점  $f(u+h)$  을 곡면에 투영하여 접촉곡선의 점을 구한다. 이 근사식은 2차미분이상을 고려하지 않았기 때문에 곡률이 심한 곡면에서는  $d_1, d_2$  와 블렌딩 곡면의 반경과는 오차가 발생하며 곡률의 변화가 심할수록 오차가 더 커질 것이다. 반면 곡률의 변화가 적은 곡면일수록 오차가 감소할 것이다. 기저 곡면을 1차 미분 연속곡면으로 가정하였고 교차곡선에서 접촉곡선 사이의 거리를 이용하여 블렌딩 곡면을 생성하는 것이 직관적 방식이기 때문에 적용을 한 것이다.

반면 rolling ball 방식으로 접촉곡선을 구하려면 기저 곡면을 offset시키고 offset 곡면간 교차곡선을 구한 후 기저 곡면에 투영해야 한다. offset 곡면은 기저 곡면보다 연속성이 떨어지기 때문에 교차곡선을 구하는 것이 어려운 경우가 발생하고 variable radius blending인 경우는 이용하기가 어렵다. 또한 offset 곡면의 미분과 연산이 매우 복잡하기 때문에 계산이 어렵고 많은 계산이 요구된다.

4.2 블렌딩 곡면의 생성과 형상 조정

두 기저 곡면이 1차 미분가능한 곡면이므로 기저 곡면과 블렌딩 곡면과의 GC'연속성을 가능하게 하는 방법으로서 두 접촉곡선상의 접선 벡터를 조정한다. 접선 벡터의 조정으로 블렌딩 곡면의 sharpiness를 조절할 수 있다. 형상 변화의 매개변수를 매개변수  $K, n, p$  로 표현하고 조정하여 형상을 정량적으로 변화시킬 수 있다.

Fig. 4에 보이는 것과 같이 두 곡면상의 접촉곡선들을  $A(w), B(w)$  그리고 교차곡선을  $I(w)$ 라 할 때 매개변수  $w$ 에

서 두 접촉곡선상의 접촉점을  $T_a, T_b$  그리고 교차곡선 상의 점을  $T_i$ 라 하자. 점  $T_a$ 와  $T_b$ 를 잇는 선분을 이등분하는 점을  $T_j$ 라 하자.  $T_j$ 와 교차곡선 상의 점  $T_i$ 를 연결하는 선분을 따라가며 주어지는 변수  $K$ 에 의하여  $T_k$ 점을 얻는다. 위에서 얻은 점들은  $T_i$ 와 이 점에서의 두 곡면의 법선 벡터가 이루는 평면상에 존재한다.  $T_a, T_b$ 를 잇는 선분을  $L(p), T_b, T_k$ 를 잇는 선분을  $L(n)$ 이라고 했을 때,  $T_a$ 점에서의 접선 벡터의 방향은  $L(p)$ 의 직선을 따라가는 방향으로 정의된다.

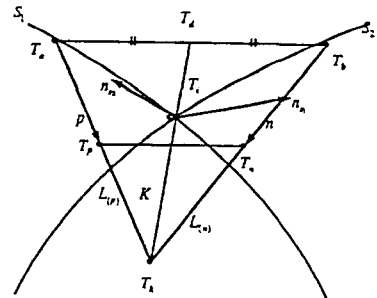
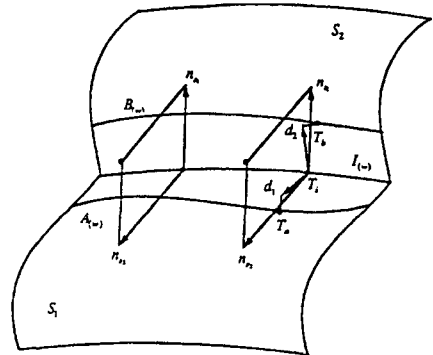


Fig. 4 Determination of variables  $K, n, p$

접선 벡터의 크기는  $p$ 에 의하여 결정이 되어 점  $T_p$ 가 얻어진다. 접선 벡터의 크기는  $p$ 에 의하여 얻어지는 선분  $L(p)$ 상의 끝 점  $T_k, T_a$ 와의 거리를 1로 하였을 때의  $p$ 에 의하여 얻어진다.  $T_b$ 에서도  $T_a$ 와 마찬가지로의 방법에 의하여 점  $T_n$ 을 얻게 된다. 따라서  $K, n, p$ 값을 주면 접선 벡터의 크기는 정해지게 되고 이 매개변수들은 형상에 있어서 sharpiness를 조정한다.  $n, p$ 가 너무 크면 블렌딩 곡면에서 loop나 kink가 발생하고, 너무 작으면 블렌딩 곡면이 평면에 가깝게 생성된다.

$K$ 를 임의로 조정할 경우  $T_p, T_n$ 이 접촉 곡선의 접평면

상에 있지 않을 경우  $GC'$ 를 보장하지 못한다. 그러나  $K$ 가 1보다 작고 접촉 곡선의 접평면의 교차선상에 있으면  $GC'$ 를 보장할 수 있다.  $GC'$ 연속성을 유지하면서 형상을 변화시키려면 위의 위치에 있도록  $K$ 를 고정시켜야 한다. 기저 곡면이 평면일 경우  $K=1, n=p=2$ 로 하면 기저 곡면과  $GC'$ 연속이 보장된 블렌딩 곡면을 얻을 수 있다. 그러나  $K$ 가 1보다 클 경우  $GC'$ 연속성은 보장되지 못한다. 형상의 변화를 위해서  $0 < n, p < 1$ 에서 결정해야 한다.  $n, p$ 에 의하여  $T_n, T_p$ 를 구하고 Bezier의 조정점으로 이용한다.  $T_n, T_p, T_n, T_p$ 가 이루는 다각형 내부에서 블렌딩 곡선이 생성이 된다. 즉,  $K, n, p$ 는 블렌딩 곡면의 조정점을 수치로 조정할 수 있도록 하여 형상의 변화를 정량적으로 조절할 수 있게 한다. 형상을 미리 예측 가능하게 할 수 있고 매개변수값을 입력하여 정확한 형상을 얻을 수 있게 된다.

블렌딩 곡면의 곡률 연속을 보장하는 것은 가공에서는 연마 가공에서 중요하다. 블렌딩 곡면은 외곽 곡면 형상을 창성하는데 이용되는데 외곽 곡면 가공은 연마 가공이 필수적이기 때문에 기저 곡면과 블렌딩 곡면의  $GC^2$ 보장은 필수적이다. 블렌딩 곡면을 Bezier를 이용하였는데  $GC^2$ 를 보장하는 조건은 Fig. 5에서 보이는 블렌딩 곡면의 조정점  $V_{2,1}, V_{2,2}$ 가 아래식을 만족하도록 결정하면 된다.

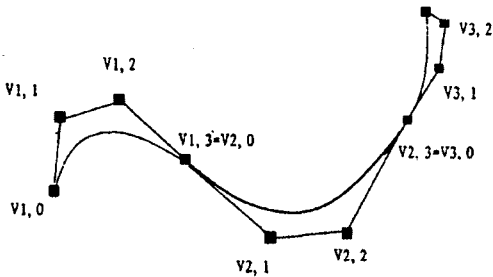


Fig. 5 Conditions for  $GC^2$  continuity

$$V_{2,1} = m_2 V_{1,1} - 2(m_1 + m_2) V_{1,2} + (1 + 2m_1 + m_2) V_{1,3} \quad (6)$$

$$V_{2,2} = l_2 V_{3,2} - 2(l_1 + l_2) V_{3,1} + (1 + 2l_1 + l_2) V_{3,0}$$

여기서  $l_1, l_2, m_1, m_2$ 는 각각 접촉곡선의 점에서의 접선과 곡률 반경의 중심을 일치시키기 위해 정해지는 상수 값이다. 2개의 곡선  $r_1(s), r_2(t), 0 \leq s, t \leq 1$ 의 연속 조건 중  $GC^0$ 은  $r_1(1) = r_2(0)$ ,  $GC^1$ 은  $r_1'(1) = r_2'(0)$ ,

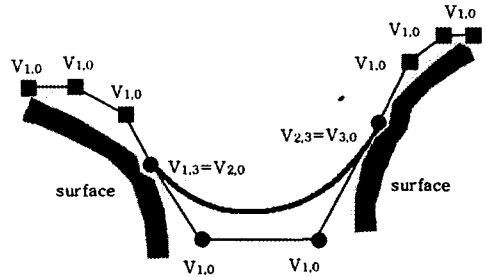


Fig. 6 Blending curve with  $GC^2$

$GC^2$ 은  $r_1''(1) = r_2''(0)$ 을 만족해야 한다. 3차 Bezier 곡선인 경우 각 연속 조건은 조정점  $V_{i,j}$ 을 이용하여 표현하면  $V_{1,3} = V_{2,0}, (V_{1,3} - V_{1,2}) = k_1(V_{2,1} - V_{2,0}), (V_{1,1} - 2V_{1,2} + V_{1,3}) = k_2(V_{2,2} - 2V_{2,1} + V_{2,0})$ 이다.  $k_1, k_2$ 는 앞 식을 이용하여 구하는 상수이다.  $l_1, l_2$ 은 2개의 곡선  $r_1, r_2$ 의 연속 만족을 위한 상수이고,  $m_1, m_2$ 는 2개의 곡선  $r_2, r_3$ 의 연속 만족을 위한 상수이다.<sup>(13)</sup>

접촉곡선의 점에서 기저 곡면이 de Casteljaun 알고리즘<sup>(14)</sup>으로 분할되어 블렌딩 곡선의 조정점을 구한다. 구해진 조정점을 식(5)을 이용하여 옮기고 보간을 하면 접촉곡선의 점에서 곡률 연속을 만족하는 블렌딩 곡면을 창성할 수 있다. 한 예가 Fig. 6에 나타나 있다. 그러나 이 경우는 블렌딩 곡면의 보간이 꼬임을 발생할 수 있는 여지가 철저히 배제된 조건하에서 가능하다.

### 4.3 자유 곡면과 자유 곡면의 블렌딩 곡면

교차하지 않는 두 곡면에서 곡면상에 존재하지 않는 가상의 교차곡선은 두 곡면의 경계곡선의 end-tangent가 교차하는 점들의 집합으로 한다. 기저 곡면의 경계 곡선은 접촉곡선으로 이용된다. 매개변수  $K, n, p$ 를 주게 됨으로써 Fig. 7과 같은 블렌딩 곡선을 얻는다. Fig. 7 a)는 교차하지 않는 곡면간의 bridging 블렌딩 곡면이고, Fig. 7 b)는 교차하는 곡면간의 joining 블렌딩 곡면이다. 가상의 교차곡선은 각 기저 곡면의 마주보는 경계곡선에서의 접

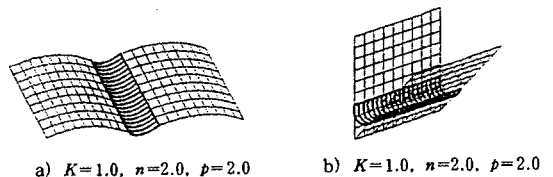
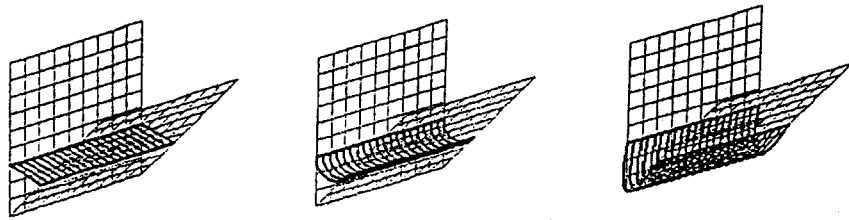


Fig. 7 Blending surfaces of two surfaces



a)  $K=1.0, n=0.1, p=0.1$  b)  $K=2.0, n=0.1, p=0.1$  c)  $K=2.0, n=0.6, p=0.7$

Fig. 8 Blending surface of variable sharpness

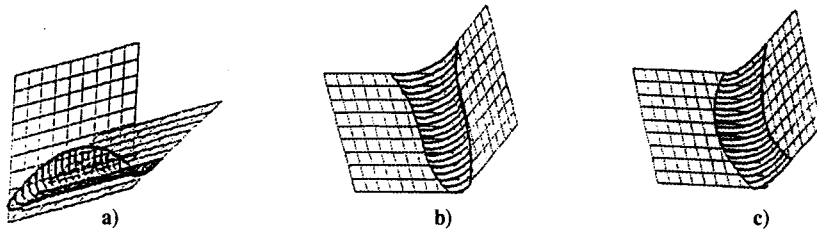


Fig. 9 Transformation of shape by rail curve

평면간의 교차곡선을 연결하여 구한 것이다. 이 경우 기저 곡면과 블렌딩 곡면의 접선 연속은 보장할 수 있다.

두 자유곡면이 교차하는 경우는 이미 얻어진 교차곡선과 위에서 기술된 방식에 의하여 얻어지는 접촉곡선과 매개변수  $K, n, p$ 를 이용하여 블렌딩 곡면을 생성한다. 다음의 Fig. 8은 교차하는 두 곡면의 블렌딩 곡면으로 매개변수에 의하여 형상의 sharpness가 변한 예이다. Fig. 8 a)는 변수  $n, p$ 가 0으로 평면으로 보강되고, Fig. 8 b)는 변수  $n, p$ 는 a)와 동일하지만  $K$ 가 증가하면 sharpness가 증가하고, Fig. 8 c)는  $K$ 은 동일하지만  $n, p$ 가 증가하여 형상이 바뀐 모습을 보여준다.

Fig. 9는 접촉곡선의 유연한 형상과 접촉곡선에 의해 생성된 블렌딩 형상을 보여 주고 있다. Fig. 9 a), b), c)는  $K=1.0, n=1.5, p=1.5$ 인 동일 매개 변수 조건에서 접촉곡선에 의해 다양한 형상으로 창성된 블렌딩 곡면을 보여 준다.

세 곡면이 만나는 모퉁이에서의 블렌딩은 세 곡면  $f, g, h$ 에 대하여 교차하게 되는 교차곡선을 가지는 두 곡면들  $f, g, g, h, h, f$ 에 대하여 블렌딩 영역의 설정을 한 후 세 블렌딩 곡면의 경계 조건을 이용하여 블렌딩을 한다. 각각 곡면의 교차곡선과 접촉곡선의 거리는 각각  $D_1, D_2, D_3$ 이다. 만약  $D_1 \approx D_2 \approx D_3$ 이면 접촉 곡선의 교차점이 블렌딩 곡면의 영역이 된다. 만약  $D_1, D_2, D_3$ 이 다르다면 가장

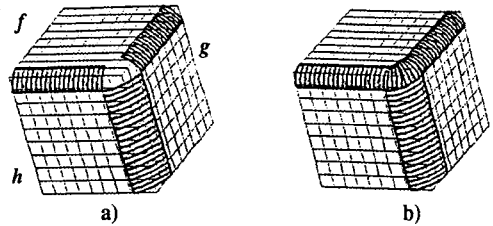


Fig. 10 Blending surface of Corner

큰 거리를 기준으로 블렌딩 영역을 잡는다. Fig. 10 a)과 같이 세 곡면은 2개의 접촉곡선을 가지게 되는데 두 곡면에서는 접촉곡선이 서로 만나고 나머지 하나의 곡면에서는 두 접촉곡선이 만나지 않도록 정의한다. 그리고 세 곡면을 블렌딩하게 되면 세 곡면이 만나는 교차 부분에서는 Fig. 10 b)에 보여지는 것처럼 세 블렌딩 곡면의 경계 조건을 이용하여 모퉁이 블렌딩을 한다.

Fig. 11은  $K=1.0, n=3.5, p=3.5$ 의 매개 변수를 가진 곡률 연속의 블렌딩 곡면이다. 동일 매개변수 조건을 가진 블렌딩 곡면보다 기저 곡면에 가깝게 블렌딩 곡면이 창성된 것을 알 수 있다. 이 경우 엄밀하게 말하면 기저 곡면과 블렌딩 곡면의 곡률 반경이 다르지만 블렌딩 곡면의 반경이 상당히 크기 때문에 근사한 연속 조건을 만족한다.

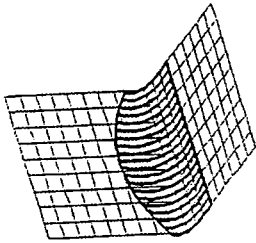


Fig. 11 Blending surface with  $GC^2$

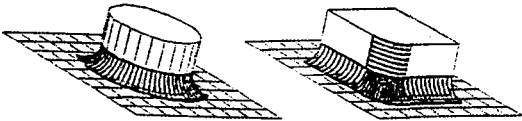


Fig. 12 Blending surface of primitive and free-formed surface

#### 4.4 자유 곡면과 다면체 도형의 블렌딩 곡면

자유 곡면과 다면체 도형이 교차하는 경우는 이미 얻어진 교차곡선과 접촉곡선에서 얻어지는 매개변수를 이용하여 블렌딩 곡면을 생성한다. Fig.12는  $K=2.0$ ,  $n=0.3$ ,  $p=0.3$ 의 매개변수를 가진 교차하는 자유 곡면과 다면체를 블렌딩한 예이다.

#### 4.5 적용

제시한 블렌딩 곡면을 이용하여 간단한 모델을 생성하였다. Fig.13 (a)는 모델인데 모퉁이는 반경이 5인 필렛, 중앙의 모서리는 반경이 4인 필렛면을 가지고 있다. (b)는 가공 경로로 지그재그 연결로 생성되었다. (c)는 가공결과이다. 기저 곡면과 블렌딩 곡면이 접선 연속만을 만족할 경우는 접촉곡선 부위에서 과절삭이나 미절삭이

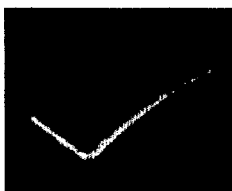
발생하는 경우가 발생하였고, 곡률연속을 만족할 경우 매끄러운 가공결과가 나왔다.

### 5 결 론

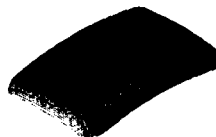
교차곡선을 이용하여 곡면식에 제한을 받지 않고 일반성을 가진 블렌딩 곡면을 생성하였다. 제품의 설계와 가공에서 다양한 형상과 신속성을 지원할 수 있도록 매개변수를 도입하여 블렌딩 곡면의 형상을 조정할 수 있도록 하였다. 블렌딩 곡면은 자유 곡면과 자유 곡면의 블렌딩 곡면, 자유 곡면과 다면체 도형의 블렌딩 곡면을 제시하여 솔리드 모델링에까지 응용할 수 있도록 하였다. 제시된 블렌딩 곡면은 접촉곡선에서 접선 연속을 만족하며, 엄격한 조건 하에서 곡률 연속까지 지원하도록 하였다.

### 참 고 문 헌

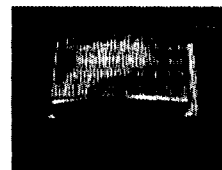
1. Hoffman, C and Hopcroft, J, "The potential method for blending surface and corner," Farin, G, Geometric modeling, SIAM, pp. 347-365, 1987.
2. B. K. Choi and S. Y. Ju, "Constant-radius blending in surface modeling," Computer Aided Design, Vol. 12, No. 4, pp 213-220, 1989.
3. M. A. Sanglkar and Pramod Koparkar and V. N. Joshi, "Modeling rolling ball blends for a computer aided geometric design," CAGD Vol. 7, pp. 399-414, 1990.
4. Fillip, Daniel J, "Blending parametric surfaces, ACM transaction on graphics," Vol. 8,



(a) model



(b) tool path



(c) machined model

Fig. 13 Model with blending surface to machine

- No. 3, pp. 164-173, 1989.
5. Paramod Kopakar, "Parametric Blending using fanout surfaces," Symposium on Solid Modeling Foundations and CAD/CAM Applications, pp. 318-328, 1991.
  6. J. R. Rossignac and A. A. G. Requicha, "Constant radius blending in solid modeling," Computers in Mechanical Engineering, pp. 65-73, 1984.
  7. Middleditch, A. E. and Sears, K. H, "Blend surfaces for set theoretic volume modeling systems," Siggraph 19, 1985.
  8. Rockwood, A. P. and Owen, J. C, "Blending surfaces in solid modeling," Farin, G, Geometric modeling, SIAM, pp. 367-383, 1987.
  9. M. Mantyla, "An introduction to solid modeling," Computer Science Press, 1988.
  10. David, F. Rogers, "Mathematical elements for computer graphics," McGraw-Hill, pp 472-477, 1990.
  11. Barnhill R. E. and Kersey S. N, "A marching method for parametric surface/surface intersection," CAGD Vol. 7, pp. 257-280, 1990.
  12. Gregor Musellenheim, "On determining start points for a surface/surface intersection algorithm," CAGD Vol. 8, pp. 401-408, 1991.
  13. Ding Qiulin and B. J. Davies, "Surface Engineering Geometriy for Computer-Aided Design and Manufacture," 1986.
  14. de Boor, Carl, "On calculation with B-splines," J. Approx theory Vol. 6, pp. 50-62, 1972.