

역설계를 이용한 자유곡면 모델링 시스템 개발

채희창*, 명태식**, 김태규***

Development of Free-Form Surface Modeling System Using the Reverse Engineering Technology

H. C. Chae*, T. S. Myung**, T. K. Kim***

Abstract

It is difficult to make shape library for feature-based modeling because free-form surface is various shaped complicated. To make modeling using similar shape feature-based model is easy and fast. Recently, RE(Reverse Engineering) technology is very convenient method to get free-form surface. This study develops surface editor which makes surface modeling to manipulate control points, and this study We study on the effective model data management using database system.

Key Words : Reverse Engineering(역설계), Free-form Surface(자유곡면), NURBS, Control Point(제어 점)

1. 서 론

일반적인 공업제품은 해석 곡면과 자유곡면이 복합된 복합곡면 형상을 가지고 있으므로 해석곡면과 자유곡면을 동시에 표현할 수 있으며, 응용분야에서 활용할 수 있는 충분한 정보를 포용하는 모델링 기법이 필요하다. 설계 단계에서는 원하는 형상의 모델링이 쉽게 이루어 지지 않기 때문에 반복적인 수정활동을 통하여 원하는 형상에 도달하게 된다.

오늘날 공학 설계 분야에 대해 컴퓨터를 이용한 설계 시스템의 적용이 활발해짐에 따라, 설계 자동화 또는 지능형 설계 시스템에 대한 요구가 증가하고 있으며, 보다 효

율적인 설계 시스템의 구축을 위한 연구가 활발히 이루어지고 있는데, 특히 설계 분야에서 좀 더 편리하게 설계할 수 있고 빠르게 설계할 수 있는 시스템의 개발에 주력하고 있다.

파라메트릭 디자인은 사용자로 하여금 유연한 설계(flexible design)를 가능하게 한다.^(1,2) 따라서 이 기법을 이용하여 정의된 형상은 치수의 변화에 따라 새로운 형상으로 쉽게 자동적으로 변화될 수 있다. 또한, 최근 데이터 측정장치의 개발로 물체 표면의 정확한 측정이 가능하게 됨으로써, 측정 데이터로부터 곡면을 재구성하는 방법에 대한 연구가 역설계, CAD/CAM, 지리정보 데이터 처리, 생명공학, 의공학 등의 분야에서 활발히 진행되고 있다.

* 전북대학교
** 대전산업대학교
*** 대덕대학교

본 연구에서는 역설계를 이용하여 실물체로부터 곡면 데이터를 측정하여 얻어진 점열로 부터 NURBS곡면을 얻어내고, 이 곡면을 형성하고 있는 제어점을 이용하여 모델링함으로써 자유곡면의 형상을 설계자의 의도에 따르도록 하였으며, 설계와 생산에 필요한 정보들을 종합관리 할 수 있도록 하기 위하여 MS-Access를 이용하여 곡면을 형성하는 데이터에 대한 데이터베이스 구조를 형성하여 데이터베이스와 직접 연계하였다. 여러 개의 자유곡면으로 이루어진 제품을 설계할 수 있도록 하기 위하여 패치의 결합 기능도 포함되어 있으며, 설계하는데 있어서 초보자도 쉽게 설계할 수 있도록 시스템을 개발하였다. 또한 대부분의 CAD/CAM 시스템들은 대용량의 EWS(Engineering Workstation)에서 개발되었으며, 가격도 고가이다. 따라서 본 연구에서는 PC에서 수행할 수 있도록 개발되었다.

본 연구의 자유곡면 형상모델링 시스템은 다음과 같은 설계 기준에 따라 개발하였다.

(1) CCD카메라와 레이저를 이용하여 측정장치를 구성하고 이로부터 곡면상의 점들을 측정하여, 이 점열 데이터를 NURBS곡면으로 모델링을 수행한다.

(2) 자유곡면을 콘트롤 포인트를 이용한 수치적 파라메트릭 기법을 활용하여 모델링할 수 있어 독자적인 곡면모델러의 역할을 수행하면서 자유곡면의 정보를 연계된 데이터베이스에 저장하도록 한다.

(3) 곡면형상은 곡면을 표현하기 위한 여러 가지 방식들 중, 유연성이 좋고 국부적인 제어가 가능하여 다양한 형상의 곡면을 용이하게 모델링할 수 있는, B-spline 곡면과 NURBS 곡면으로 표현하도록 한다.

(4) 곡면 산출시간을 단축하기 위하여 B-spline 기저함수(basis function)을 재귀함수로 표현하도록 하며, 원하는 형상을 용이하게 정의할 수 있도록 제어점, 절점 벡터(knot vector)를 모델링 과정 중에 대화식으로 조정할 수 있는 모델링 시스템을 구축한다.

2. 파라메트릭 곡면표현

2.1 파라메트릭 표현

만일 변형되는 커브 $i = r(s)$ 가 3차원 상에서 움직인다면(Fig. 1), 연속적인 점들과 커브 형상이 움직이는 커브상의 점 파라미터 s 와 그것을 통하여 움직이는 커브에 있어서 시간 t 에 의해 각 점들이 명확하게 서피스를 생성한다.

따라서 $r=r(s,t)$ 는 3차원상의 곡면을 표현한다. 시간 t 를 고려하는 구속조건을 제거할 수 있다. 이 때 두 변수의 모든 벡터 함수 $r=r(s,t)$ 는 성분함수(component function) $x=x(s,t)$, $y=y(s,t)$, $z=z(s,t)$ 에 일치하는 곡면을 다시 나타낸다.

s, t 가 결정되면, 한 개의 변수 인자를 이동시킨다. 그러면 벡터방정식 $r=r(s_0,t)$ 나 $r=r(s,t_0)$ 는 s_0 와 t_0 가 곡면을 표현하는 영역 s 와 t 에서 구속된 곡면 $r=r(s,t)$ 상에 존재하는 곡선을 나타낸다. 이과 같은 곡선들은 곡면 상의 파라메트릭 곡선이라 불리워진다. 파라메트릭 곡선의 속성은 isoparametric curve 특성에 의존한다.

2.2 파라메트릭 장점

곡선과 곡면을 표현하는 음함수적인(implicit function) 표현 방법이 있지만, 파라메트릭방법은 그래픽적인 디스플레이가 요구되거나 수치제어 테이프를 이용하여 제품을 만드는 것에 있어서, 다른 방법보다 명확한 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

곡선이나 곡면상의 점들은 화면에 표현하기 위하여 파라메트릭 라인을 따라 연속적으로 쉽게 계산된다. 반면에 음함수적으로 정의된 커브들은 일반적으로 각 점들에 대한 비선형 방정식의 해를 요구한다. 또 하나의 중요한 장점은 축이나 물체의 이동이나 회전이 파라미터 함수를 사용하면, 물체형상 데이터를 직접 수정하지 않고 곡선을 정의하는 콘트롤 포인트들의 이동이나 회전으로 가능하다"는 것이다.

곡면을 생성한 후 곡면을 NC(numerical control)로 가공할 경우, 가공결과를 수정하고자 할 때 패치를 여러 개로 나누어 설계를 한 경우는, 전체 패치의 NC 코드를 생성하지 않고 변경하여야 할 패치의 NC코드만 재생성하여 빠르게 수정할 수 있는 장점을 가지고 있다.

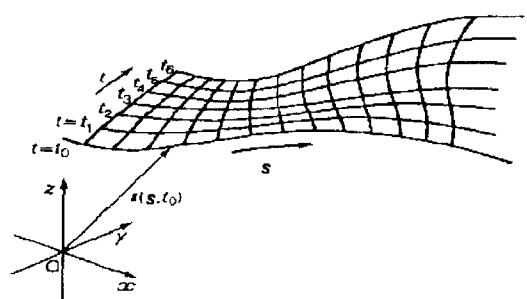


Fig. 1 Parametric description of surface

2.3 파라메트릭 3차식 곡면

파라메트릭 3차식 곡면은 매개변수 3차 혹은 Hermite 곡선을 경계곡선으로 하여 생성되고, 내부는 블렌딩 함수에 의해서 정의된다. Fig. 2는 이러한 하나의 패치를 나타낸 것이다.

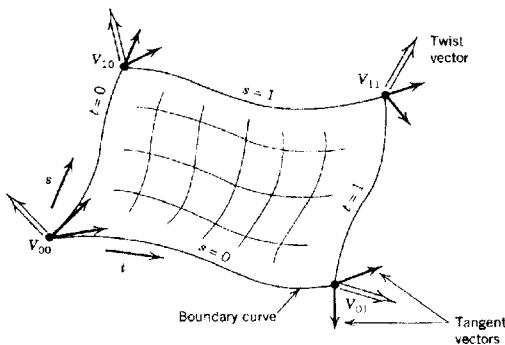


Fig. 2 Parametric cubic surface and its boundary curves

t 방향의 경계곡선은 양 끝점과 접선벡터에 의해서 다음 식과 같이 표현된다.

$$P(t) = [t^3 \ t^2 \ t^1] \begin{bmatrix} 2 & -2 & 1 & 1 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P(0) \\ P(1) \\ P'(0) \\ P'(1) \end{bmatrix} \quad (1)$$

또는

$$P(t) = [t][M]_H[G]_H \quad (2)$$

이와 유사한 식이 매개변수 s 방향의 경계곡선을 정의하기 위해 유도된다. 두 개의 매개변수 방향으로 동일한 M 행렬이 사용되고 곡선의 위치에 따라 P 의 값이 변한다.

경계곡선의 정의만으로는 곡면을 완전히 정의할 수 없다. 동일한 경계곡선에 의해서도 Fig. 3에서처럼 내부형상의 변화에 의해서 여러 형상의 곡면이 생성될 수 있다. 따라서 곡면을 완전히 정의하기 위하여 각 꼭지점 부근의 내부형상을 twist vector라고 부르는 꼭지점에서의 교차 미분값으로 조절한다.

매개변수 3차 곡면의 표현을 위해서는 두변수 s 와 t 에 의한 기저함수가 필요하기 때문에 곡면 기저함수는 단일 변수의 기저함수의 곱에 의해서 정의되는 것이 논리적이다. 이것을 곡면 곱이라 부른다. 또는 Coons 쌍 3차 곡면⁽³⁾

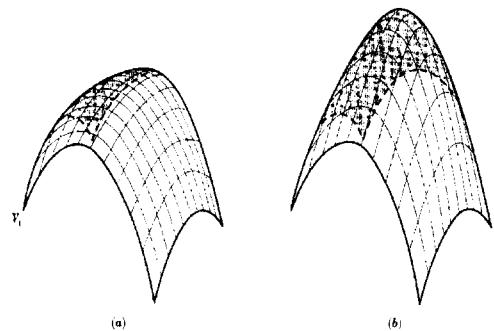


Fig. 3 Variation of twist vectors causes the final shape of a parametric cubic surface to change

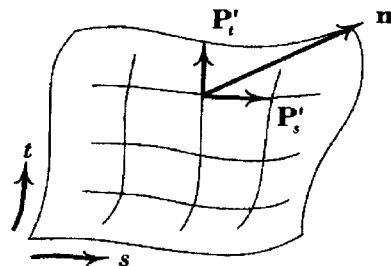


Fig. 4 Representation of the normal to a parametric cubic surface

이라고도 부르는 파라메트릭 3차 곡면은 다음과 같이 표현된다.

$$P(s, t) = [s][M]_H[G]_H[M]_H^T[t]^T \quad (3)$$

이 식은 두 매개변수 방향을 모두 고려한 것이다. 행렬 $[M]_H$ 는 곡선에 사용된 것과 동일하고 행렬 $[G]_H$ 는 다음과 같다.

$$[G]_H = \begin{bmatrix} P(0,0) & P(0,1) & P_t(0,0) & P_t(0,1) \\ P(1,0) & P(1,1) & P_t(1,0) & P_t(1,1) \\ P_s(0,0) & P_s(0,1) & P_{st}(0,0) & P_{st}(0,1) \\ P_s(1,0) & P_s(1,1) & P_{st}(1,0) & P_{st}(1,1) \end{bmatrix} \quad (4)$$

파라메트릭 3차 곡면은 모든 꼬임벡터를 0으로 함으로써 단순화될 수 있다. 이것을 Fuguson 혹은 F-patch⁽¹⁾라 부른다. 이것이 비록 식을 단순화시키기는 하지만 꼭지점 부근에서 곡면이 평坦해지는 경향이 있기 때문에 실제로 F-patch가 자주 사용되지 않는다. 대부분의 공학 응용분야에서는 0이 아닌 꼬임벡터가 사용되어야 한다.⁽⁷⁾

곡면의 법선은 수치제어 계산 또는 로봇을 위한 간섭 감지 등의 형상모델링 응용에서 매우 중요하다. 매개변수 3차 곡면의 특정점에서의 법선은 Fig. 4에서처럼 그 점에서의 매개변수 미분값의 벡터곱에 의해서 계산된다.⁽⁷⁾

따라서

$$\mathbf{n} = \mathbf{P}'_s \times \mathbf{P}'_t \quad (5)$$

2.4 NURBS 곡면

NURBS(NonUniform Rational B-spline Surface)는 비균일 절점벡터를 가지고 얻어진 유리 B-spline 곡면(Rational B-spline Surface)이다. NURBS는 다른 종류의 곡면 표현을 포용하기 때문에 공학설계에서 가장 많이 사용되는 곡면 표현 방식이다. NURBS를 위한 일반적인 표현식은 Table 1에 있는 유리 B-spline과 동일하다. 다만 사용된 절점벡터가 비균일이라는 점만 다르다.

Table 1 Expression for B-spline surfaces

B-spline	
Nonrational	$\mathbf{P}(s, t) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m N_{i,k}(s)N_{j,i}(t)V_{i,j}$
Rational	$\mathbf{P}(s, t) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m w_{i,j} N_{i,k}(s)N_{j,i}(t)V_{i,j}}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m w_{i,j} N_{i,k}(s)N_{j,i}(t)}$

이것은 가중치에 의해서 다른 타입으로 쉽게 변환될 수 있는데 간단히 요약하면 다음과 같다.

NURBS 곡면은 전체 곡면을 여러 구획으로 나눈 사변형 패치에 의하여 표현되며, 각 패치의 형상을 정의하기 위한 요소들 중 사변형의 꼭지점에 대한 위치 벡터만을 직접 정의한다.

Nonrational B-spline	모든 가중치 $w_{i,j} = 1$ 일 때
Rational Bezier	각 매개변수 방향으로 조정점의 개수가 차수와 같고 내부에 중복 절점 값이 없을 때
Nonrational Bezier	Rational Bezier와 같고 모든 가중치 $w_{i,j} = 1$ 일 때

NURBS 곡면은 절점벡터가 균일하지 않은 rational B-spline 곡면을 의미하므로 유리 B-spline 기저함수에 의하여 생성된다. 따라서 유리 B-spline 곡면의 한 부분적인 형태로 다루어진다.

유리 B-spline 곡면은 유리 B-spline 곡선의 텐서 곱으로 정의되며, 유리 B-spline 곡선은 식(6)으로 정의된다.

$$P(t) = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} V_i w_i N_{i,k}(t)}{\sum_{i=1}^{n+1} w_i N_{i,k}(t)}, \quad t_{\min} \leq t < t_{\max}, \quad 2 \leq k < n+1 \quad (6)$$

V_i : 제어 점

w_i : 가중치

$N_{i,k}(t)$: B-스플라인 기저함수

$n+1$: 제어 점의 수

k : B-스플라인 기저함수의 계(order)

계수(order)가 k 인 i 번째 B-spline 기저함수는 Cox-de Boor 공식에 의하여 식(7)로 정의된다.

$$N_{i,1}(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } t_i \leq t < t_{i+1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

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

여기서 t_i : i^{th} knot vector

식(7)에서 t_i 는 $t_i < t_{i+1}$ 관계를 만족하는 절점벡터이며, 매개변수 t 는 곡선 $P(t)$ 를 따라 t_{\min} 에서 t_{\max} 까지 변한다. 기저함수 $N_{i,k}(t)$ 는 계수가 $k-1$ 인 다항식으로 정의된다. 또한 곡선 $P(t)$ 는 매개변수 t 가 $t_i \leq t \leq t_{i+1}$ 인 영역에서 $k-1$ 차(degree) 다항식으로 표현되며, 전체 곡선에서 $k-2$ 계(order)의 연속성을 갖는다.

유리 B-spline 곡선의 텐서 곱은 식(8)로 정의된다.

$$P(s, t) = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} w_{i,j} V_{i,j} N_{i,k}(s)N_{j,l}(t)}{\sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} w_{i,j} N_{i,k}(s)N_{j,l}(t)} = \sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} V_{i,j} S_{i,j}(s, t) \quad (8)$$

$V_{i,j}$: 제어 점

$w_{i,j}$: 제어 점에 대한 가중치

$N_{i,k}(s)$: s 방향의 B-스플라인 기저함수

$N_{j,l}(t)$: t 방향의 B-스플라인 기저함수

$S_{i,j}(s, t)$: 유리 B-스플라인 기저함수

3유리 B-spline 기저함수에는 균일주기(periodic uniform), 균일개방형(open uniform), 비균일(nonuniform) 형태의 절점벡터가 사용될 수 있으며, 위에서 언급한 바와 같이 NURBS 곡면은 절점벡터가 균일하지 않은 비균일 유리 B-spline 곡면을 의미하므로 NURBS 곡면은 유리 B-spline 곡면의 특정한 경우로 취급될 수 있다. Fig. 5(a), (b), (c)는 각각 균일주기, 균일개방형, 비균일 절점벡터를 나타낸 것이다.

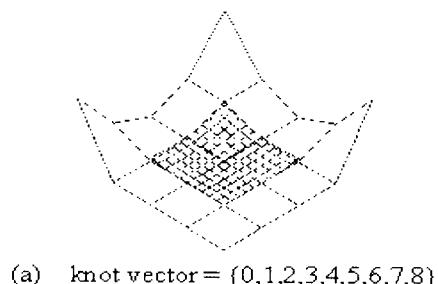
본 연구에서는 NURBS 곡면을 사용하였으며, 곡면의 기저함수 계수행렬식으로 표현하여 곡면산출 시간을 단축시켰다. 또한 점벡터는 균일개방형으로 하였으며, 자유곡면을 국부적으로 수정하고자 할 때 일괄수정이 가능하도록 하는 기능과 모델링이 완성된 후에는 디스플레이 화면

에서 수정한 데이터를 데이터베이스에 저장하도록 하는 모듈을 포함하고 있다.

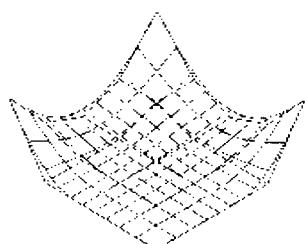
3. 3차원 좌표 측정 알고리듬

3차원 공간상의 물체를 2차원인 카메라 착상소자상에 맵핑(mapping)하는 영상변환을 이용한 2차원 x, y 정보를 추출하였다.

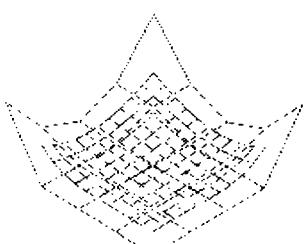
일반적으로 x, y 의 정보는 영상면과 공간상의 물체와의 관계를 계산하여 쉽게 얻을 수 있으나 깊이 정보인 z 값을 얻을 수 없게 된다. 따라서, z 값을 얻어내기 위해 본 연구에서는 레이저를 슬릿빔 형태로 조사하여 3차원 데이터를 측정하는데 이용하였다.



(a) knot vector = $(0,1,2,3,4,5,6,7,8)$



(b) knot vector = $(0,0,0,0,1,2,2,2,2)$



(c) knot vector = $(0,1,2,2,3,4,4,5,6)$

Fig. 5 Effects of the change of knot vector

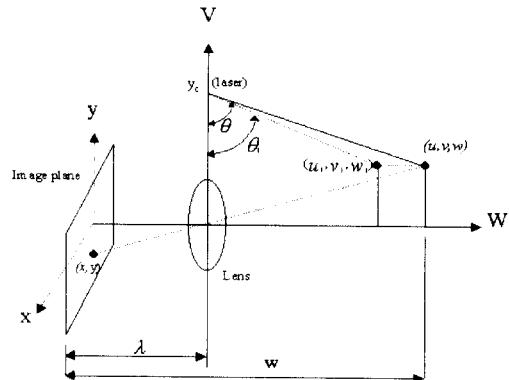


Fig. 6 Basic principle of image process

3.1 데이터 처리

레이저 슬릿빔을 이용한 비접촉 측정은 측정실의 작업환경, 빛의 산란의 영향등 여러가지 요인에 따라 측정 오차가 발생한다. 측정 과정에서 얻어진 점열 데이터는 오차를 포함하고 있기 때문에 측정이 완료된 후 점열 데이터의 수정이 필요하다. 특히, 오목 부위나 경사가 급한 부분을 측정할 때에는 빛의 난반사등에 의해서 산란 현상이 발생하기 때문에 일시적으로 데이터를 측정할 수 없게 된다. 따라서, 본 연구에서는 필터를 설계하여 잘못 측정된 데이터를 제거하고, 부드럽게 할 수 있도록 하였다. 또한 일시적으로 측정이 않되는 부분을 보간하여 데이터를 생성하도록 하였다.

또한, 점열로 부터 곡면을 생성하기 위해서는 V 방향의 점열 데이터의 개수가 일정해야만 한다. 그러나 레이저로

측정한 데이터는 빛의 산란현상에 의해서 일정한 데이터를 얻을 수 없다. 따라서 일정한 개수를 맞추기 위한 작업을 또한 해야 한다.

3.2 필터 설계

$N \times N$ 크기의 데이터 $f(x,y)$ 가 주어졌을 때 모든 데이터 (x,y) 를 중심으로 한 이웃의 국소적 부분 $n \times m$ 점들을 평균하여 점 (x,y) 를 대체하는 방법이다 이를 간단히 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$g(x,y) = \frac{1}{M} \sum_{(n,m) \in S} f(n,m) \quad (9)$$

여기서 M 은 국소 부분 nm 점들의 개수이며, S 는 이 국소영역 데이터의 집합을 의미한다. 전체 점열의 데이터들은 $x = 0, 1, 2, 3, \dots, N-1$, $y = 1, 2, \dots, N-1$ 과 같이 (x,y) 를 변화시키면서 지칭할 수 있다.

일반적으로 국소영역 점열의 집합은 33, 55, 77 등으로 선택할 수 있으나 이것이 커지면 커질수록 평활화(Smoothing)효과가 증대하나 반면 데이터의 오차를 더욱 심하게 할 수가 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해서 데이터의 변화가 심하가 일어나는 부분에 대해서만 평활화가 될수 있도록 다음과 같이 하였다.

$$g(x,y) = \begin{cases} \text{if } \left| f(x,y) - \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in S} f(m,n) \right| < T \\ \frac{1}{M} \sum_{(m,n) \in S} f(m,n) \\ \text{otherwise } f(x,y) \end{cases}$$

다시 말해서 평균치가 원래의 데이터 $f(x,y)$ 와 비교하여 어떤 역치(threshold value) T 보다 작으면 평균치로 $f(x,y)$ 를 대체하고, T 보다 작으면 원래의 데이터를 그대로 보존하는 것이다. 그러나, 이러한 방법에 의한 평활화(Smoothing)는 측정데이터의 오차를 더욱 심하게 할 수 있다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 역치(threshold value)를 선정하여 이러한 문제를 해결하고자 하였다. 그러나 역치의 선정은 일반적으로 여러 번 시도를 하여야 하고, 시도 끝에 오류가 발생할 수도 있다. 이러한 문제를 극복하기 위한 또 하나의 평활화 방안으로 국소 영역의 데이터에 대한 중위값을 선정하는 방법이다. 다시 말해서, 국소 영역의 데이터를 크기 순으로 나열하여 그 중앙의 값으로 (x,y) 의 데이터를 대치하는 것

이다. 이 방법은 급격한 증감으로 나타나는 데이터를 제거하고 정확하게 측정된 데이터가 유실되는 것을 보호할 수 있다.

3.3 점열 데이터 보간

측정단계에서 측정한 데이터는 빛의 산란과 측정환경에 의해서 측정 단계마다 점들의 분포 및 개수가 다르게 나타난다. 따라서, 본 연구에서는 방대한 데이터 처리의 효율성을 위하여 측정 단계에서 곡면 모델링에 사용할 데이터의 개수를 맞출 수 있도록 N 번째의 유실된 데이터는 $N-1$ 번째의 데이터를 이용하도록 하였다. 그러나, 곡면을 정확하게 모델링하기 위해서는 삼각 메쉬로 나눈 곡면의 삼각면이 일정한 모양으로 되어야만 한다. 그러나, 측정단계에서 측정한 데이터는 Fig. 7와 같이 한 점에서 중복될 수 있음으로 삼각면의 형상이 일정하지 못하다. 따라서, 중복되는 데이터를 제거하여 삼각면을 일정하게 만들어야 정확한 곡면을 생성할 수가 있다.

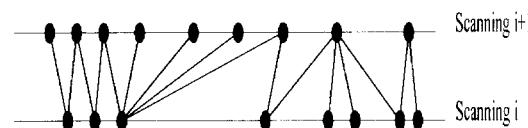


Fig. 7 Measuring data before data interpolation

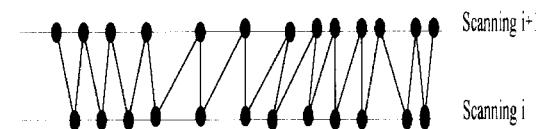


Fig. 8 Processed data after data interpolation

측정한 점열 데이터에 포함된 중복 데이터를 보간하여 측정시 유실된 데이터를 생성하기 위해 Fig. 9와 같이 i , $i+1$, $i+2$, $i+3$, $i+4$ 번째 데이터가 중복되어 있고 $i+5$ 번째 열에서 $i-1$ 번째 열의 차를 구함으로서 중복된 데이터의 개수 N 을 구할 수 있다.

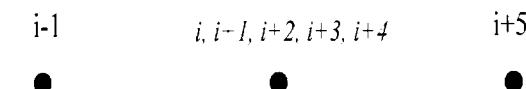


Fig. 9 Overlapped data at one point

따라서, 구하고자 하는 점열 $i, i+1, i+2, i+3, i+4$ 는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\delta = (D_{i+4} - D_i) / N \quad (10)$$

$$D_{i+1} = D_i + \delta$$

여기서, D_i 는 i 번째의 측정 데이터를 말하며 δ 는 데이터의 증가치를 의미한다.

4. 시스템 구현

4.1 측정 시스템

Fig.10은 측정장치의 시스템 구성을 보여준다. 10mW He-Ne 레이저 광원으로 Cylindrical lens를 사용하여 슬릿빔을 생성하였다. 영상 획득 장치는 Metrox, Meter Image board와 CCD 카메라를 이용하였다.

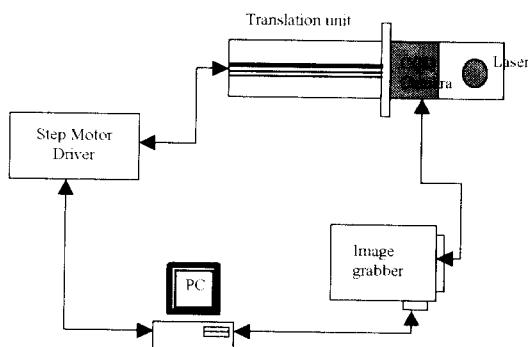


Fig. 10 Configuration of 3D measurement system

4.2 모델링 시스템

본 연구에서는 파라메트릭 기법을 이용하여 3차원 자유곡면모델링을 수행하며, 구성된 자유곡면을 결합하여 보다 쉽게 복합곡면을 구성할 수 있도록 하였다. 또한 실제적인 모델 생성에 있어서 조정점을 국부 수정할 수 있도록 하여, 보다 원활하게 곡면 수정을 할 수 있도록 하였다. 또한 제어점의 조정은 View 창(window)과 기본창에서 모두 수정이 가능하도록 하였다.

그리고, 자유곡면에 대한 여러 기법 중 설계단계부터 제어점을 이용하여 모델링 함으로써, 자유곡면의 형상을 설계자의 의도에 따르도록 하였으며, 설계와 생산에 필요한 정보들을 종합관리할 수 있도록 하기 위하여, DAO(Data Access Object)로 구축한 데이터베이스와 직접 연계하여

재료표(BOM)와 공구 테이블(Tool table)을 작성하여 추후의 가공정보를 저장할 수 있도록 하였다. 특히 DAO는 Stand Alone System에서는 SQL(Structured Query Language)을 기초로 하여 만들어진 DLL(Dynamic Link Library)의 집합인 ODBC(Open Database Connectivity)보다 효율적이기 때문에, Stand Alone 컴퓨터에서 데이터베이스를 활용한 프로그램을 개발할 때에 유용한 데이터베이스 엔진이다.⁽⁶⁾ 따라서 DB는 DAO를 활용하여 3차원 자유곡면을 형성하는 시스템을 PC에서 구현한 것이다. 특히 전체 데이터를 변경하고자 할 때, 키보드로 조금씩 수정하는 것이 어려우므로 데이터베이스를 활용하여 첫 레코드부터 끝 레코드까지 한 번에 수정할 수 있도록 하였다.

DAO에서 각종 Field를 정의하여 데이터베이스를 구축하고, 이것을 프로그램에 연계시켜 데이터 입력시에 데이터베이스에 저장되도록 하였다.

또한 기존의 모델링이 복합곡면을 생성할 때에 여러 개의 패치를 생성하여 모델링하므로, 본 연구에서는 여러 개의 패치로 구성된 형상을 모델링하고자 할 때에는, 메인화면 메뉴의 Patch Add/Join 명령의 하위메뉴인 Patch Add. 와 Patch Join을 이용하여 패치를 추가하고 결합하여, 계속적으로 증가시키면서 모델링할 수 있도록 구현하였다.

제어점에 의해 형성된 3차원 자유곡면 모델링의 제어점을 수정 및 입력 값은 사용자의 대화식 입력을 통하여 대

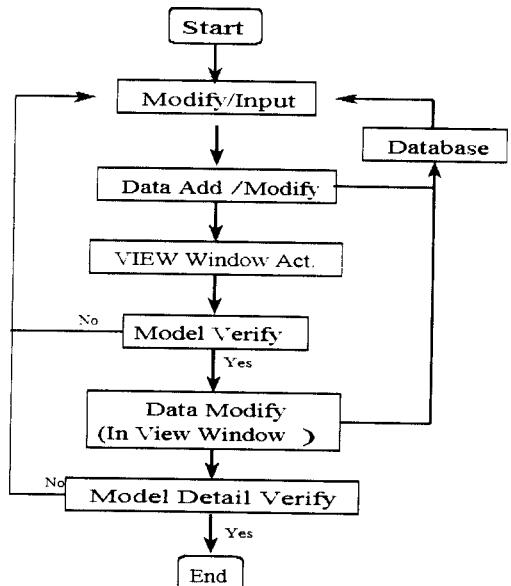


Fig. 11 The flowchart of modeling system

이터베이스와 연계되어, 제어점의 값이 데이터베이스에 의해 화면에 디스플레이 될 뿐만 아니라, 데이터베이스의 레코드와 화면에 출력된 창이 직접 연계되어 있어 화면의 제어점 값을 변경하게 되면 데이터베이스의 레코드에 수정된 값이 입력된다. 형성된 자유곡면의 모델링은 시스템에서 개발한 View 윈도우에서 확인할 수 있다.

시스템의 흐름도는 Fig. 11에 나타낸 것과 같으며, 본 시스템 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 자유곡면 모델링을 하는데 있어서 RE 기술과 파라메트릭 기법을 적용함에 따라 빠른 모델링이 가능하며, 기존에는 제어점을 한 개씩 조정하며 곡면을 모델링 하였으나, 본 연구에서는 메인화면에서 Modify 메뉴에서 single 모드나 local모드를 선택함으로 인하여 한 개씩과 국부적인 모델링을 할 수 있도록 하였다.

(2) 제어점을 조정하면서 곡면의 형상을 예측하기 어려운 경우에는, 제어점을 선택한 후 곡면 명령어를 수행한 후 수정을 하게되면, 곡면이 변형되는 것을 보면서 모델링 할 수 있도록 하여, 추후 고도의 자유곡면 모델러를 개발할 수 있는 기술적인 기초를 마련하였다.

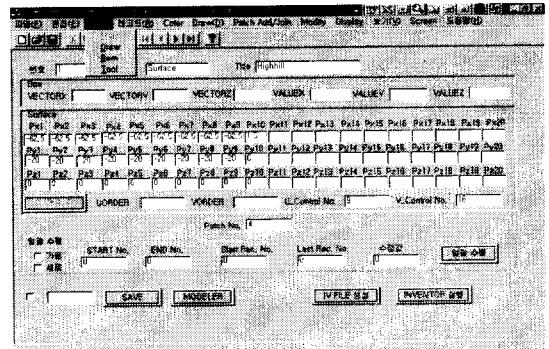
(3) 곡면 모델러는 복합곡면을 이루고 있을 때 더욱 쉽게 모델링 할 수 있도록, 곡면의 추가와 곡면 결합 명령어를 구현하여, 복잡한 모델을 보다 쉽게 모델링하는 기법의 기초를 이루었다.

(4) 기존의 제어점이 있는 모델의 경우에는 기존의 데이터를 메인화면의 제어점 입력화면에 데이터를 입력하여 이용할 수 있어 시간 및 비용절감을 도모하였으며, 임의의 형상에 대한 것은 메인화면에서 Draw View로 이동하여 패치 추가 명령을 수행하면, 원하는 제어점 수를 입력하고, 입력된 수로 형성된 평면을 직접 모델링 할 수 있도록 하였다. 따라서 곡면 형상의 기하학적 형상을 표현하는 기본 역할 이외에, 임의의 형상을 독자적으로 모델링 할 수 있도록 개발하여 모델링 시스템의 가용성을 높였다.

5. 적용사례

본 연구에서는 기존 데이터가 있는 경우와 없는 경우 모두 모델링 할 수 있도록 되어 있으므로 그에 대한 예를 적용하여 보았다.

최초로 곡면모델러를 구동시키면 디스플레이되는 화면이 Fig. 12이다. 이 화면에서는 레코드의 추가, 삭제가 가능하며, 데이터의 입력, 수정, 삭제를 할 수 있다. 여기에서



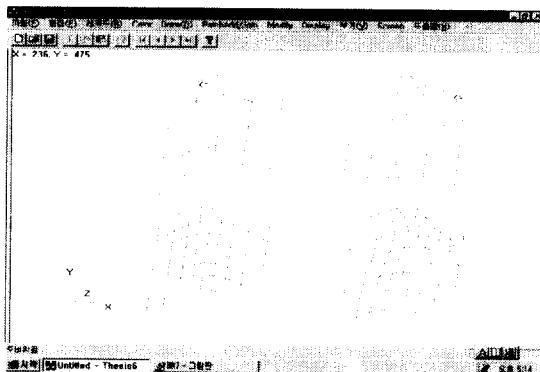


Fig. 14 The Effect of lifting multi-point of the control points

곡면을 수정할 때에는 제어점을 수정하여 상세하게 하지 못할 경우에는, Main 화면의 Form메뉴에서 Draw화면으로 전환하고 Modify메뉴에서 하나를 선택한 후, Draw메뉴에서 B-spline이나 NURBS를 선택하고, 변경하고자 하는 값을 입력하면 곡면이 변화하는 것을 직접 확인하면서 조정 할 수 있다. Modify메뉴의 하위메뉴에서 Local 모드를 선택하면 더욱 빠르고 쉽게 곡면을 모델링할 수 있다.

Fig. 15는 기존의 있는 데이터⁽²⁾를 직접 입력하여 모델링 한 예를 보여주는 것이다. 이와 같이 기존의 데이터가 있는 경우에는 손쉽게 모델을 할 수 있으며, 수정하고자 할 때에는 우선 수정하고자 하는 곡면을 캡키를 눌러서 선택하게 된다. 곡면이 선택된 후에는 수정하고자 하는 제어점을 수정하거나, 국부수정을 하기를 원하면 Modify 메뉴의 Local을 선택하고 국부수정의 시작위치로 화살표 키로 커서를 이동시킨 후 리턴키를 누른후, 끝위치로 다시 커서를 이동시킨 후 리턴키를 누르면 시작 위치와 끝 위치 내에 있는 모든 제어점이 선택되어 수정할 수 있게 된다.

곡면은 NURBS곡면을 이용하여 Teapot을 모델링한 예로서 가중치와 절점벡터(Knot Vector), 제어점들을 조정함으로써 자유곡면 뿐만아니라 해석곡면도 표현할 수 있음을 나타낸다. 이 곡면은 몸체는 10개와 14개의 제어점으로 이루어져 있으며, 주등이와 손잡이는 u,v방향 모두 7개의 조정점으로 이루어져 있고, 뚜껑은 7개와 13개의 조정 점으로 구성되어 있다. 개발된 곡면모델러를 이용하여 Teapot 형상을 모델링한 결과를 보여준다. 각 방향에 대한 곡선은 4차로 지정하였으며, 절점벡터의 형태는 균일개방형(Open Uniform)으로 정의하였다. 또한 모든 제어점에서

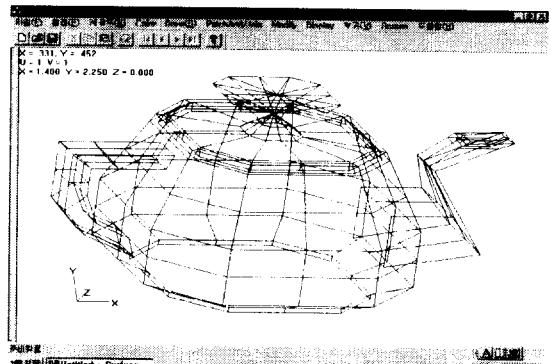


Fig. 15 An example of NURBS surface modeling for teapot

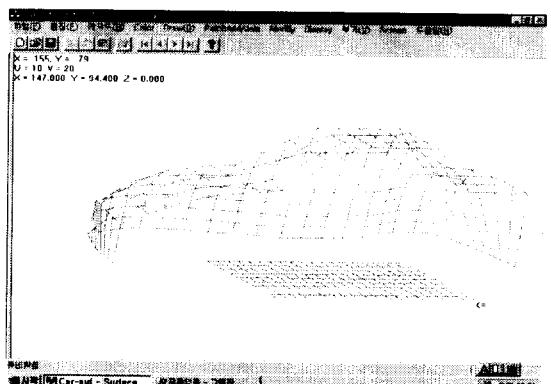


Fig. 16 An example of car body modeling

의 가중치는 1로 균일하게 주었으며, 원하는 곡면형상은 제어점을 조정하여 완성하였다.

Fig. 16은 자동차를 2개의 패치로 모델링한 것이다. 각각의 그림은 모델링하여 가는 과정을 보여주는 것이다. 각각 10개와 20개의 제어점으로 구성된 것이다. Main화면의 UORDER와 VORDER의 값을 입력하여 절점벡터를 조정하고, 제어점을 조정함으로써 패치 하나를 먼저 모델링하고, 두 번째 패치를 모델링하여 모델을 완성한 것이다. 최초에 10개와 20개의 제어점을 구성된 평면을 제어점을 조정하여 하나의 패치 모델링이 완성되면, 패치 추가 명령을 통하여 10개와 20개의 제어점으로 구성된 패치 하나를 추가한다. 그런 다음 패치 결합 명령을 통하여 패치를 결합하여 전체 곡면을 모델링한 것으로서, 기존의 테이터가 없는 경우에는 이와 같이 직접 모델링을 할 수 있

도록 한 것이다. 이것은 절점 벡터와 제어점을 조정하여 모델링이 완성된 제어점을 나타낸 것과 NURBS 곡면으로 구성된 모델링을 나타낸 것이다. 각 방향에 대한 곡선의 차수는 사용자가 임의로 지정하여 원하는 곡면을 얻을 수 있도록 하였으며, 본 연구에서는 4차로 지정하였다. 또한 절점벡터의 형태는 균일 개방형으로 정의하였다. 모든 제어점에서의 가중치는 1로 균일하게 주었으며, 원하는 곡면 형상은 제어점을 조정하여 완성하였다.

Fig. 17은 곡면 모델리를 이용하여 구두형상을 모델링한 결과를 나타낸 것이다. 이 곡면도 Fig. 11과 마찬가지로 데이터가 없는 상태에서 제어점 망을 이용하여 모델링을 한 것이다. 이 곡면은 u,v방향에 대하여 9개와 16개의 제어점으로 제어점 망(Control Net)을 형성하고, 각 방향에 대한 곡선은 3차로 지정하였으며, 절점벡터의 형태는 균일개방형으로 지정하였다. 또한 이전의 곡면에서와 마-

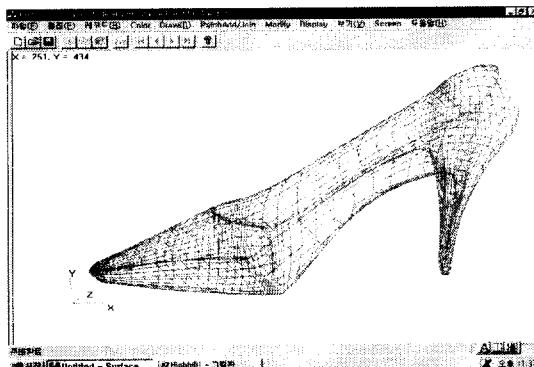


Fig. 17 An example of NURBS surface for a shoe

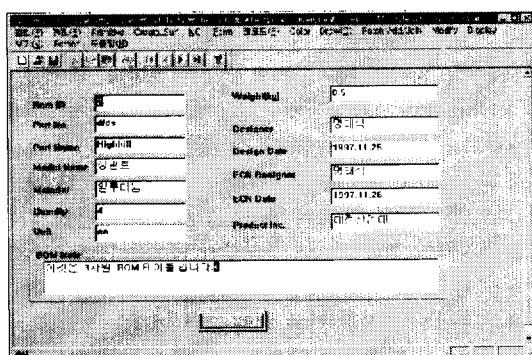


Fig. 18 An example of BOM screen

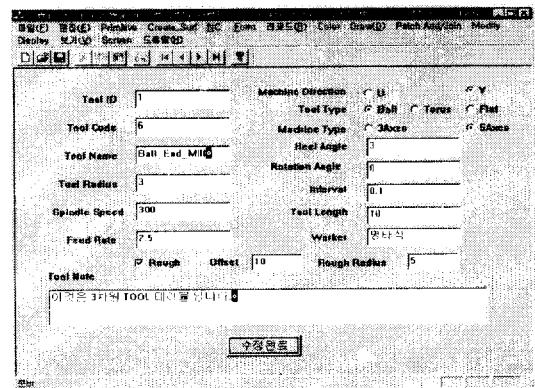


Fig. 19 An example of TOOL screen

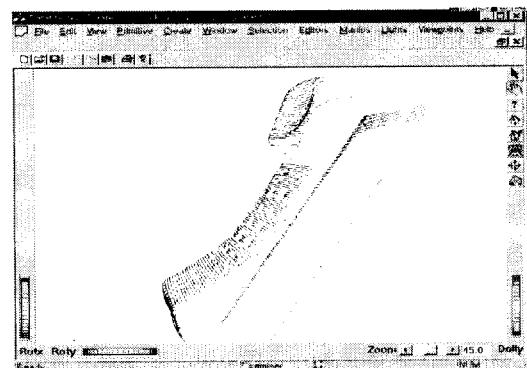


Fig. 20 Measuring data of telephone

찬가지로 가중치는 모든 제어점에서 1로 균일하게 주어 모델링하였다.

Fig. 18과 Fig. 19는 각각 모델링을 완성한 후 BOM과 공구 정보를 입력한 화면이다. 이 데이터는 모델링 데이터와 함께 공유되므로, 추후 다른 엔지니어가 어떻게 가공되고 어떤 정보를 가지고 있는지, 또한 어떤 재질로 제작되었는지에 대한 모든 정보를 알 수 있다.

Fig. 20과 Fig. 23은 각각 측정단계에서 정규화하여 측정한 전화기와 선풍기의 날개를 측정한 결과이다.

Fig. 21은 정규화된 데이터를 삼각 메쉬로 연결한 것이고, Fig. 22는 본 연구에서 제시한 보간 방법을 이용하여 보간된 모습이다. 또한, Fig. 24는 선풍기의 날개를 측정기 오차를 고려하여 평균 보간 오차를 0.05mm로 설정하여 NURBS곡면으로 모델링 한 결과이다.

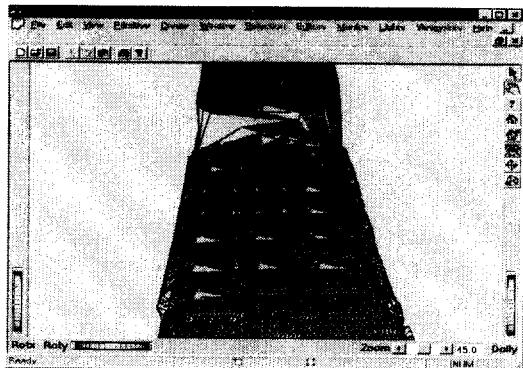


Fig. 21 Triangle Mesh Type of Measuring data

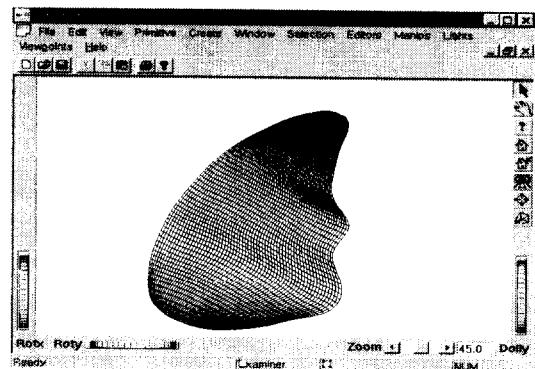


Fig. 24 NURBS surface model of fan wing

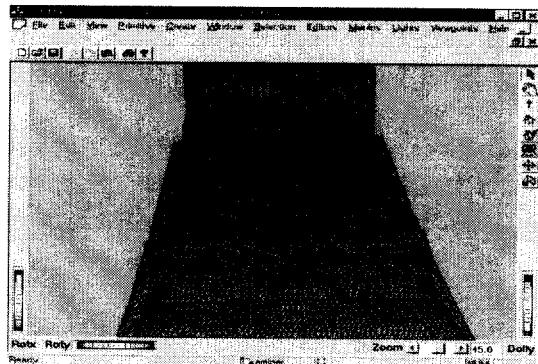


Fig. 22 Triangle Mesh Type, after Data Interpolation Process

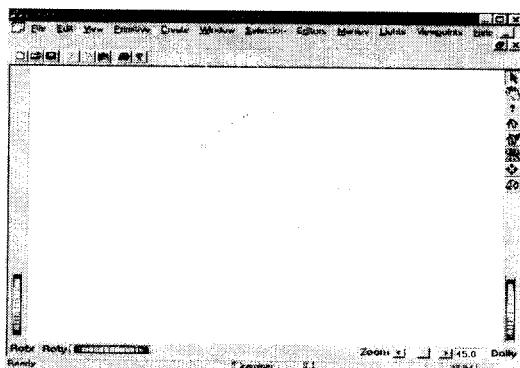


Fig. 23 Measuring data of fan wing

Fig. 22에서 보듯이 처리 후 데이터의 유실이 비교적 적은 전화기의 버튼 부분은 거의 완전하게 보간이 되었음을

알 수 있다. 그러나 유실이 많은 부분은 완전하지 못하다. 따라서 본 연구에서 제시한 알고리즘으로 데이터의 유실이 크지 않은 부분의 정규화 및 보간을 통해 보다 정교한 모델 생성을 할 수 있었다.

6. 결 론

본 연구에서는 PC에서 3차원 자유곡면의 모델링 프로그램을 개발한 것으로, 사용 시스템은 윈도 95, 언어는 Visual C++를 사용하였으며, 데이터베이스는 윈도우 버전에서 호환이 잘되며 확장성이 뛰어난 MS-Access를 활용하였다.

본 연구에서는 파라메트릭 기법을 기반으로 하여 보다 쉽게 자유곡면으로 이루어진 부품을 모델링할 수 있는 PC 수준의 곡면 모델링 시스템을 개발하였다는 것이며, 개발된 곡면 모델러는 기존의 제어점과 직접 입력하여 모델링할 수도 있고, 기존의 모델이 없는 경우에는 직접 데이터를 조정하여 모델링할 수 있도록 하였다. 따라서 독립적인 하나의 곡면 모델러로서 이용할 수 있도록 하였다. 곡면 모델러는 NURBS 기저함수를 이용하여 자유곡면을 표현하도록 하여 추후 확장성도 도모하였다.

특히, 곡면 모델러는 복잡한 형상을 모델링하고자 할 경우에 기존의 유사한 모델이 있는 경우에는 RE기법을 이용한 모델링 시스템에 의해 쉽게 제어점이 추출되므로, 추출된 제어점을 가지고 모델링을 수정하면 원하는 형상을 얻는데 시간을 절약할 수 있다.

추후 마우스를 이용한 곡면 모델링, 곡면의 연산작업(surface intersection)기능과 5축 NC 가공에 대한 연구가 계속되어 이에 대한 모듈이 추가되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- (1) Faux, I. D. and Pratt, M. J., 1985, "Computational Geometry for Design and Manufacture.", New York:Wiley.
- (2) Watt, A. H., 1989, "Fundamentals of Three-Dimensional Computer Graphics.", Addison Wesley.
- (3) Anand, V.B., 1993, "Computer Graphics and Geometric Modeling for Engineers", John Wiley & Sons Inc..
- (4) 최병규, 1996, "CAD/CAM 시스템과 CNC 절삭가공", 희중당.
- (5) 변문현, 김태규, 1997, "콘트롤 포인트를 이용한 자유곡면 생성에 관한 연구", 충남대학교 산업기술 연구소 논문집, 제 12 권, 제 1 호, pp. 111~115.
- (6) KMK 정보산업연구원, 백정렬, 곽준기, 정도진, 성상훈, 1997, "Visual C++ 4.x : Technical Programming", 도서출판 삼각형, 1997.
- (7) 이현찬, 채수원, 최영 , 1996, "컴퓨터 그래픽스 및 형상모델링", 시그마프레스.
- (8) Foley, J.D. and Van Dam, A., 1984, "Fundamentals of Interactive Computer Graphics.", Addison Wesley.
- (9) 오의수, 1996, "솔리드모델러를 기반으로한 특징 형상 모델링 시스템 개발에 관한 연구", Ph.D Thesis, 충남대학교.
- (10) Farin, G., 1985, "Algorithms for rational bezier curves.", CAD, Vol. 15, No. 2, pp. 1~17.
- (11) Piegl, L. and Tiller, W., 1987, "Curve and surface constructions using rational B-splines.", CAD, Vol. 19, No. 9, pp. 485~498.
- (12) 변문현, 김태규, 1996, "디지털 설계자료 관리 및 응용에 관한 연구", 대한기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 1202~1207.
- (13) 변문현, 김태규, 1998, "곡면데이터를 위한 데이터 베이스 구축에 관한 연구", 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, pp. 75~83.
- (14) 명태식, 김태규, 김옥현, "데이터베이스를 활용한 CAD/CAM System개발에 관한 연구", 1999, 한국 공작기계학회지, 제8권, 제2호, pp. 116~125.