

파라메트릭기법을 이용한 3차원 자유곡면 생성에 관한 연구

김태규*, 변문현**

A Study on the Freeform Surface Generation Using Parametric Method

Tae-Kyu Kim* and Moon-Hyun Byun**

ABSTRACT

The objective of this study is to develop a PC level free-form surface modeling system which explicitly represents information of part geometry. Surface modeler uses nonuniform rational B-spline (NURBS) function with nonuniform knot vector for the flexible modeling work. The results of this study are as follows. 1) By implementing surface modeler through applying representation scheme proposed to represent free-form surface explicitly, the technical foundation to develop free-form surface modeling system using parametric method. 2) Besides the role to model geometric shape of a surface, geometric modeler is developed to model arbitrary geometric shape. By doing this, the availability of the modeling system is improved. Geometric modeler can be utilized application fields such as collision test of tool and fixture, and tool path generation for NC machine tool.

Key words : Parametric approach, Free-form surface, NURBS, Control point

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. 설계단계에서는 원하는 형상의 모델링이 쉽게 이루어 지지 않기 때문에 반복적인 수정 활동을 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 효율적인 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 설

계(flexible)를 가능하게 하며^[1,2], 파라메트릭 설계기법은 설계를 보다 용이하게 할 수 있도록 하는 지능적인 CAD 기법중의 하나이다^[3]. 따라서 이 기법을 이용하여 정의된 형상은 치수의 변화에 따라 새로운 형상으로 쉽게 자동적으로 변화될 수 있다.

국내외 CAD/CAM 연구동향에서 곡면 모델링에 대한 연구를 살펴보면, 김병인, 김광수^[4]는 2차원 파라메트릭 3면도의 형상이 정의되면 3차원 형상을 인식하여 B-rep으로 형상을 표현하고, 수정시 파라미터를 선택하여 값을 변환하여 3차원 형상을 수정하였다. 유우식, 신하용, 최병규^[5]는 단면곡선의 궤적이 있는 Sweeping 곡면의 형성에 대한 연구를 하였으며, 전차수, 주상윤, 전명길^[6]은 사각형 배열의 점군 데이터를 보간하는 곡물 연속 현길이 스플라인 곡면 형성 방법을 제안하였으며, 이듬해에 주상윤, 전차수^[6]는 3차원 공간상에 불규칙하게 주어진 점군들을 삼각형망을 형성한 후 그 삼각형망을 변형시켜 다각형망을 변형시켜 다각형망을 얻는 연구를 하였다. 이상찬^[7]은 자동차 전용시스템 개발로 자동차 형상에 대한 테이프드로잉의 측정데이터를 입력하고, 이들을

*대덕대학 산업공학과

**충남대학교 기계설계공학과

보간하는 NURBS 곡선을 구하고, 이 2차원 곡선을 합성하여 3차원 곡선을 형성하는 연구를 하였다. 최병규, 주상윤^[8]은 곡면 Intersection과 Blending (Rounding and filleting)에 대한 연구를 하였다. J. Feng, L. M. Q. Peng^[9]은 파라메트릭 곡면을 Heigh surface와 Shape surface라는 두 보조곡면을 정의하고, 이 두 곡면을 변형함으로써 곡면을 bending, tapering, twisting 등이 가능하도록 하여 원하는 형상을 모델링하는 deform 방법을 제안하였다. 또한 CAM에 대한 연구를 살펴보면, 천차수^[10,12], 조현덕^[13], 박정환^[14]은 5축 NC 가공에 대하여 많은 연구가 있다. 이와 같이 CAD에 대한 연구는 측정데이터나 설계도면이 이미 있는 것을 활용하는 연구가 많이 있다. 그러나 본 연구에서는 제어점을 변환시켜 자유곡면으로 형성된 모델을 모델링하고자 할 때 제어점을 제어하여 설계하는 시스템을 구현하는 것이다. 정형배, 나승수, 박종환^[15]은 본 논문과 유사하게 직접 제어점을 제어하는 방식을 사용하였으나, 본 논문과의 차이점은 본 논문에서는 설계 데이터가 없는 상태에서 제어점을 추가하면서 모델링하는 것인데 반하여, 정형배, 나승수, 박종환은 설계된 데이터에 접근되도록 제어점을 계속 증가시키면서 모델링하는 Interpolation 기법을 사용하였다는 것이다. 본 연구에서는 곡면 Intersection은 다루지 않고 있으며, 추후 목표가 되고 있다. 그리고 곡면을 모델링하고 나면 가공을 하고자 할 때 각종 정보를 필요로 한다. 이러한 정보를 데이터베이스와 연계시켜 BOM(Build of Material)과 Tool 정보 데이터베이스에 저장하고, 이 데이터를 바탕으로 NC 가공을 위한 CL 데이터를 생성하는 기반을 마련하며, 나아가서는 PC 버전의 PDM 기초를 마련하는데 그 목표를 두고 있다.

본 연구에서는 자유곡면에 대한 여러 기법중 설계 단계부터 콘트롤 포인트를 이용하여 모델링함으로써 자유곡면의 형상을 설계자의 의도에 따르도록 하였으며, 설계와 생산에 필요한 정보들을 종합관리할 수 있도록 하기 위하여 Access를 이용하여 곡면을 형성하는 데이터에 대한 데이터베이스 구조를 형성하여 데이터베이스와 직접 연계하였다. 여러개의 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 Work Station)에서 개발되었으며, 가격도 고가이다. 따라서 본 연구에서는 PC에서 수행할 수 있도록 개발되었다.

본 연구에서는 자유곡면 형상모델링 시스템을 다음과 같은 설계 기준에 의하여 개발되었다.

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

(2) 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.

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

2. 파라메트릭 곡면표현

2.1 개요

곡선의 파라메트릭 표현은 컴퓨터 그래픽, 특히 CAD에서 확립된 수단이다. 원래는 자동차 차체와 항공기 외형을 모델링하기 위하여 개발된 기법이 지금은 컴퓨터 그래픽의 많은 분야에 응용되고 있다.

산업의 발달로 인하여 기존의 단순형상으로 이루어진 부품에 얽매이지 않고 자유곡면으로 이루어진 설계 및 제작이 어려운 형상의 부품 제작이 가능하게 되었으며, 소비자의 욕구와 기능적인 특성을 고려한 해석기하학으로 표현할 수 없는 부드러운 형상을 설계할 수 있다.

특정형상의 기하학적인 형상을 표현하기 위하여 구현된 솔리드 모델러는, 자유곡면 형상을 표현하기 위한 절차가 복잡하거나 모델링할 수 있는 형상에 한계를 가지고 있다.

2.2 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 통과하여 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 일치

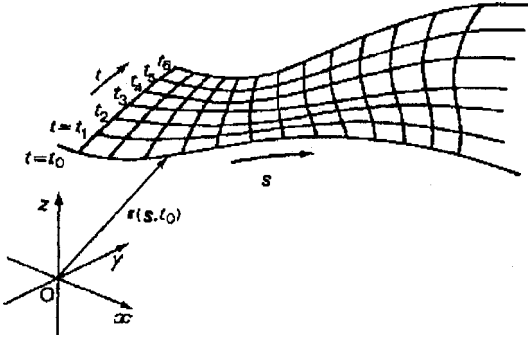


Fig. 1. Parametric description of surface.

하는 곡면을 다시 나타낸다.

s, t가 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 s와 t에서 구속된 곡면 $r=r(s, t)$ 상에 존재하는 곡선을 나타낸다. 이와 같은 곡선들은 곡면 상의 파라메트릭 곡선이라 불리워진다. 파라메트릭 곡선의 속성은 iso-parametric curve 특성에 의존한다.

2.3 파라메트릭 잠점

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

곡선이나 곡면상의 점들은 디스플레이를 위하여 파라메트릭 라인을 따라 연속적으로 쉽게 계산된다. 반면에 음함수적으로 정의된 커브들은 일반적으로 각 점들에 대한 비선형 방정식(non-linear equation)의 해를 요구한다. 또 하나의 중요한 장점은 축이나 물체의 이동이나 회전이 파라미터 함수를 사용하면, 물체형상 데이터를 직접 수정하지 않고 곡선을 정의하는 콘트를 포인트들의 이동이나 회전으로 가능하다^[6]는 것이다.

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

2.4 파라메트릭 3차식 곡면

파라메트릭 3차식 곡면은 매개변수 3차 혹은 Her-

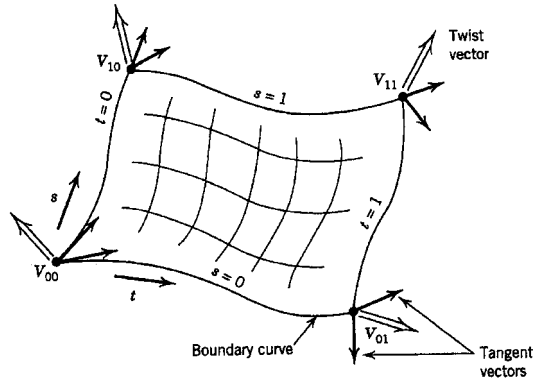


Fig. 2. Parametric cubic surface and its boundary curves.

mite 곡선을 경계곡선으로 하여 생성되고, 내부는 블렌딩함수에 의해서 정의된다. Fig. 2는 이러한 하나의 패치를 나타낸 것이다.

t방향의 경계곡선은 양 끝점과 점선벡터에 의해서 다음과식과 같이 표현된다.

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

또는

$$P(t) = [t] [M]_R [G]_R$$

이와 유사한 식이 매개변수 s방향의 경계곡선을 정의하기 위해 유도된다. 두 개의 매개변수 방향으로 동일한 M행렬이 사용되고 곡선의 위치에 따라 P의 값이 변한다.

경계곡선의 정의 만으로는 곡면을 완전히 정의할 수 없다. 동일한 경계곡선에 의해서도 Fig. 3에서 처

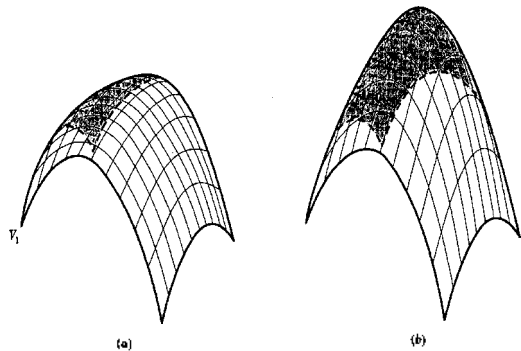


Fig. 3. Variation of twist vectors causes the final shape of a parametric cubic surface to change.

럼 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 곡면이라고도 부르는 파라메트릭 3차 곡면은 다음과 같이 표현된다.

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

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

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

이것은 다음과 같이 분해할 수 있다.

$$[G]_H = \begin{bmatrix} \text{꼭지점의 좌표} & \text{꼭지점에서 } t \text{에 대한 미분값} \\ \text{꼭지점에서 } s \text{에 대한 미분값} & \text{꼭지점에서의 교차 미분값} \end{bmatrix} \tag{5}$$

꼭지점좌표, 접선벡터, 꼬임벡터를 변화시킴으로써 다양한 곡면을 얻을 수 있다.

파라메트릭 3차 곡면은 모든 꼬임벡터를 0으로 함으로써 단순화될 수 있다. 이것을 Fuguson 혹은 F-patch라 부른다^[1]. 이것이 비록 식을 단순화 시키기는 하지만 꼭지점 부근에서 곡면이 평탄해지는 경향이

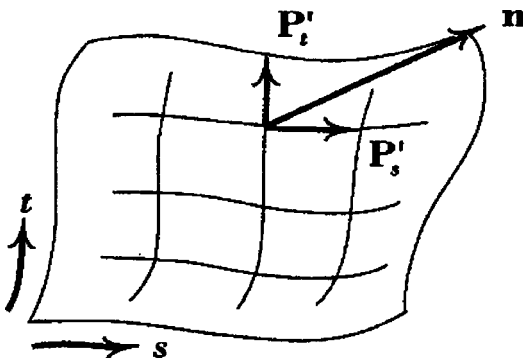


Fig. 4. Representation of the normal to a parametric cubic surface.

Table 1. Expression for B-spline surfaces

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

있기 때문에 실제로 F-patch가 자주 사용되지 않는다. 대부분의 공학 응용분야에서는 0이 아닌 꼬임벡터가 사용되어야 한다^[17].

곡면의 법선은 수치제어 계산 또는 로봇을 위한 간섭 감지 등의 형상모델링 응용에서 매우 중요하다. 매개변수 3차 곡면의 특징점에서의 법선은 Fig. 4에서처럼 그 점에서의 매개변수 미분값의 벡터곱에 의해서 계산된다^[17]. 따라서

$$n = P'_s \times P'_t \tag{6}$$

2.5 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.

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

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

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 (7)로 정의된다.

$$P(t) = \frac{\sum_{i=1}^{n+1} V_i w_i N_{i,k}(t)}{\sum_{i=1}^{n+1} w_i N_{i,k}(t)} \quad t_{\min} \leq t \leq t_{\max}, \quad 2 \leq k < n+1 \quad (7)$$

V_i : position vector of control point in Euclidean space⁷⁾

w_i : weight value

$N_{i,k}(t)$: B-spline basis function

$n+1$: number of control points

k : order of B-spline basis function

계수(order)가 k 인 i 번째 B-spline 기저함수는 Cox-de Boor 공식에 의하여 식 (8)로 정의된다.

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

$$N_{i,k}(t) = \frac{(t - t_i)N_{i,k-1}(t)}{t_{i+k-1} - t_i} + \frac{(t_{i+k} - t)N_{i+1,k-1}(t)}{t_{i+k} - t_{i+1}} \quad (8)$$

여기서 t_i : i^{th} knot vector

식(2)에서 t_i 는 $t_i \leq t_{i+1}$ 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 (9)로 정의된다.

$$P(s, t) = \frac{\sum_{i=0}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} w_{i,j} V_{i,j} N_{i,k}(s) M_{j,l}(t)}{\sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} w_{i,j} N_{i,k}(s) N_{j,l}(t)}$$

$$= \sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{m+1} V_{i,j} S_{i,j}(s, t) \quad (9)$$

$V_{i,j}$: position vector of control point

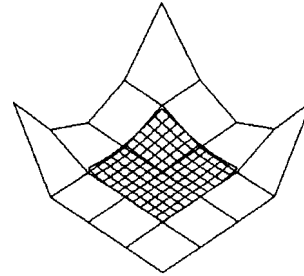
$w_{i,j}$: weight value of $V_{i,j}$

$N_{i,k}(s)$: B-spline basis function in s direction

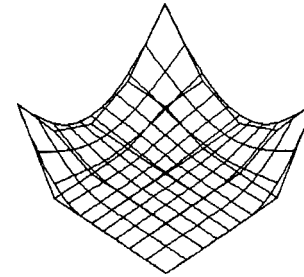
$N_{j,l}(t)$: B-spline basis function in t direction

$S_{i,j}(s, t)$: rational B-spline basis function

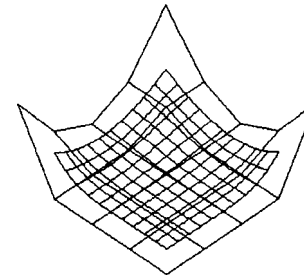
유리 B-spline 기저함수에는 균일주기(periodic uniform), 균일개방형(open uniform), 비균일(nonuniform)



(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.

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. 5의 (a), (b), (c)는 각각 균일주기, 균일개방형, 비균일 절점벡터를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 NURBS 곡면을 사용하였으며, 곡면의 기저함수 계수행렬식으로 표현하여 곡면산출 시간을 단축시켰다. 또한 절점벡터는 균일개방형으로 하였으며, 자유곡면을 국부적으로 수정하고자 할 때 일괄수정이 가능하도록 하는 기능과 모델링이 완성된 후에는 디스플레이 화면에서 수정한 데이터를 데이터베이스에 저장하도록 하는 모듈을 포함하고 있다.

3. 시스템 구현

본 연구에서는 파라메트릭 기법을 이용하여 3차원 자유곡면모델링을 수행하며, 구성된 자유곡면을 결합하여 보다 쉽게 복합곡면을 구성할 수 있도록 하였다. 결합은 C⁰로 단순히 결합한 후 메인화면에서 패치 수를 조절하여 C¹ 연속으로 결합되도록 하였다. 또한 실제적인 모델 생성에 있어서 조정점을 국부수정할 수 있도록 하여, 보다 원활하게 곡면 수정을 할 수 있도록 하였다. 또한 제어점의 조정은 View 창(window)과 기본창에서 모두 수정이 가능하도록 하였다.

데이터베이스는 MS-Access를 이용하여 데이터베이스를 구축하였으며, 구축된 데이터베이스를 DAO(Data Access Object)를 활용하여 프로그램과 연계시켰습니다. 즉, 메인화면의 데이터입력창이 데이터베이스와 연계되어 데이터 입력시 데이터베이스에 저장되게 됩니다. 또한 Draw 창에서 데이터를 수정한 후에는 메인화면으로 전환하여 Draw 메뉴의 Rev_update(reverse update)를 선택하여 Draw 창에서 수정한 데이터가 수정되어 데이터베이스에 저장되도록 하였습니다. 데이터베이스 구축에 있어서는 제어점, BOM, Tool 정보에 대한 것을 한 파일에 포함되어 있으나, 각각의 데이터베이스를 형성하고 있다.

즉, 다음과 같은 형태이다.

그리고, 자유곡면에 대한 여러 기법 중 설계단계부터 제어점을 이용하여 모델링함으로써, 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 유효한 데이터베이스 엔진이다¹⁸⁾. 따라서 DB는 DAO를 활용하

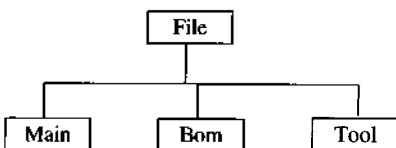


Fig. 6. Structure of database file.

여 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 여러개의 패치를 생성하여 모델링하므로, 본 연구에서는 여러개의 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 데이터베이스와 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. 7에 나타낸 것과 같으며, 본 시스템 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 자유곡면 모델링을 하는데 있어서 파라메트릭 기법을 적용함에 따라 빠른 모델링이 가능하며, 기존에는 제어점을 한 개씩 조정하며 곡면을 모델링하

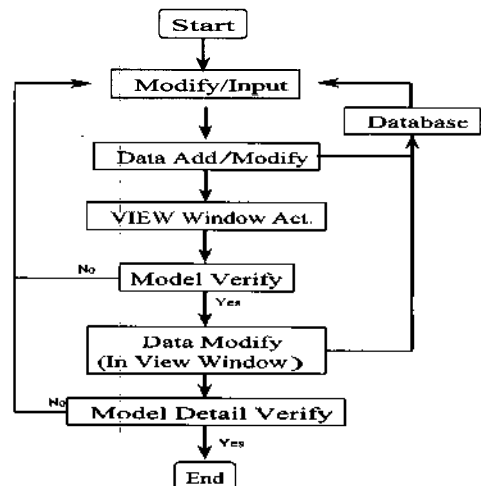


Fig. 7. The flowchart of modeling system.

였으나, 본 연구에서는 메인화면에서 Modify 메뉴에서 single 모드나 local 모드를 선택함으로써 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 모델링할 수 있도록 하여, 추후 고도의 자유곡면 모델러를 개발할 수 있는 기술적인 기초를 마련하였다.

(3) 곡면 모델러는 복합곡면을 이루고 있을 때 더욱 쉽게 모델링할 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 모델링할 수 있도록 하였다. 따라서 곡면 형상의 기하학적 형상을 표현하는 기본 역할 이외에, 임의의 형상을 독자적으로 모델링할 수 있도록 개발하여 모델링 시스템의 가용성을 높였다.

4. 적용사례

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

최초로 곡면모델러를 구동시키면 디스플레이되는 화면이 Fig. 8이다. 이 화면에서는 레코드의 추가, 삭제 가능하며, 데이터의 입력, 수정, 삭제를 할 수 있

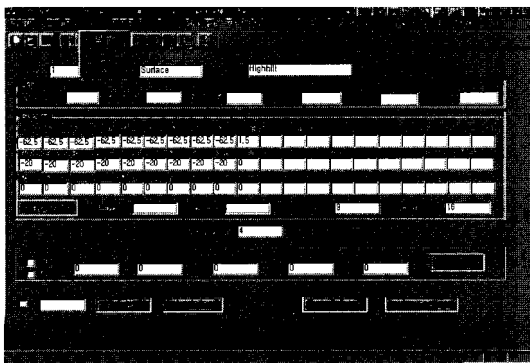


Fig. 8. Initial screen of surface modeling system.

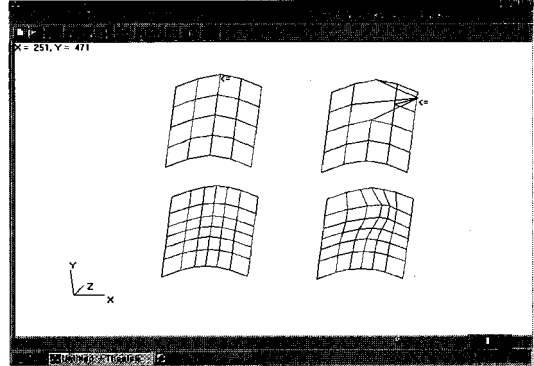


Fig. 9. The effect of lifting one of control points.

다. 여기에서 데이터의 레코드로 이동하여 각종 메뉴를 통하여 데이터의 수정, 입력, 그리고 삭제를 수행한다. 데이터베이스 화면에서 데이터의 처리가 끝나면 모델링된 곡면을 보기 위한 Draw 화면으로 전환하여 실제 모델링된 결과를 확인할 수 있다. 이것은 기존의 데이터가 있을 경우에 실시하는 것이며, 데이터가 전혀 없고 처음부터 모델링을 할 경우에는, 초기화면에서 데이터를 입력하지 않고 곧바로 Draw 화면으로 전환하여 단순히 제어점으로 이루어진 평면을 가지고, 제어점을 조정하여 모델링을 하는 것이다.

본 연구에서는 s방향의 제어점은 최대 20개로 하였으며, t방향의 제어점은 제한을 두지 않았다.

Fig. 9와 Fig. 10은 Draw메뉴에서 서브메뉴인 Single이나 Local 모드를 선택하고, 제어점을 이동하였을 때 곡면의 변형됨이 이루어진 것을 나타내고 있다.

Fig. 9에서 하나의 제어점을 선택하여 이동시키면 곡면이 미세하게 움직이는 볼 수 있으나, Fig. 10에서는 Local 모드로 하여 여러개의 제어점을 이동하면 동시에 여러 제어점이 이동하여 곡면의 변화가

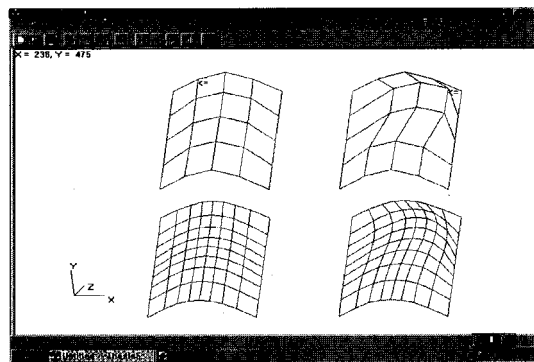


Fig. 10. The Effect of lifting multi-point of the control points.

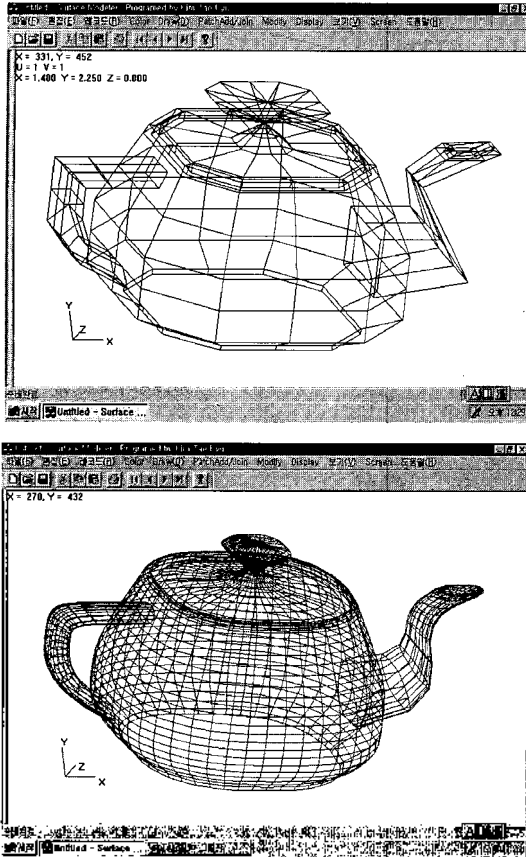


Fig. 11. An example of NURBS surface modeling for teapot.

크게 일어나는 것을 알 수 있다. 곡면을 수정할 때에는 제어점을 수정하여 상세하게 하지 못할 경우에는, Main 화면의 Form메뉴에서 Draw화면으로 전환하고 Modify메뉴에서 Single이나 Local 모드를 선택한 후, Draw메뉴에서 B-spline이나 NURBS를 선택하고, 값을 변경하면 곡면이 변화하는 것을 직접 확인하면서 모델링할 수 있다. Modify메뉴의 하위메뉴에서 Local 모드를 선택하면 더욱 빠르고 쉽게 곡면을 모델링할 수 있다.

Fig. 11은 기존의 있는 데이터(2)를 직접 입력하여 모델링한 예를 보여주는 것이다. 이와 같이 기존의 데이터가 있는 경우에는 손쉽게 모델을 할 수 있으며, 수정하고자 할 때에는 우선 수정하고자 하는 곡면을 탭키를 눌러서 선택하게 된다. 곡면이 선택된 후에는 수정하고자 하는 제어점 하나를 수정하거나, 일정영역을 수정하고자 할 때에는, Modify 메뉴를 선택한다. Modify 메뉴를 선택하면 하위 메뉴에 Single모드와 Local 모드가 있는데, Single 모드를 선택

하면 제어점 하나에 대한 x, y, z 값을 변경하는 것이며, Local 모드를 선택하면 일정영역을 수정하는 모드로서, 시작위치에 화살표 키로 커서를 이동시킨 후 리턴키를 누른후, 끝위치로 다시 커서를 이동시킨 후 리턴키를 누르면 시작 위치와 끝 위치 내에 있는 모든 제어점이 선택된다. 선택된 데이터를 화살표 좌우 키이로 x 값을 $-$, $+$ 로 증감시킬 수 있으며, 상,하 키이는 y 값을 $+$, $-$ 로 증감시킬 수 있다. z 값의 증감은 x 와 z 키이로 증감시키도록 하였다. 이렇게 함으로써 선택된 영역내의 모든 점들을 원하는 값으로 신속하게 수정할 수 있다. 선택된 영역내의 모든 점들이 동시에 수정되므로 어느 특정한 부분을 다시 수정하고자 할 때에는 영역을 다시 잡으면 되고, 한 점을 수정하고자 할 때에는 다시 Single 모드로 변환하여 수정하면 된다. 수정이 완료된 후수정모드에서 나가려면 리턴키를 누르면 된다. 그리하여 본 논문에서는 사용자가 원하는 부분을 선택하여 원하는 형상을 모델링할 수 있도록 한 것이다.

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, 주둥이와 손잡이는 s, t 방향 모두 7개의 조정점으로 이루어져 있고, 뚜껑은 7개와 13개의 조정점으로 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 제어점에서의 가중치는 1로 균일하게 주었으며, 원하는 곡면형상은 제어점을 조정하여 완성하였다.

Fig. 12는 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 데이터가 없는 경우에는 이와 같이 직접 모델링을 할 수 있도록 한 것이다. 이것은 절점 벡터와

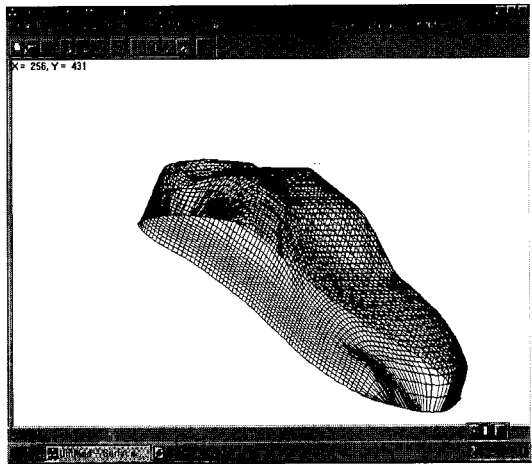
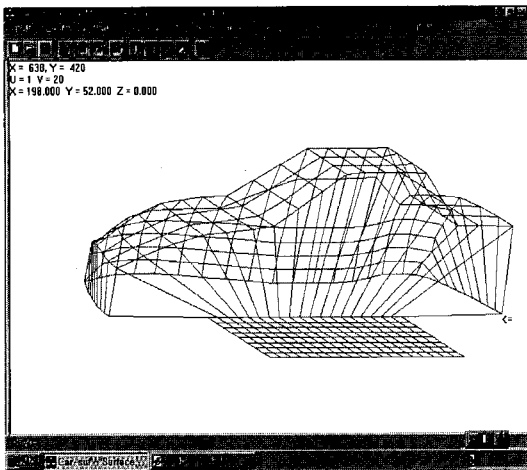
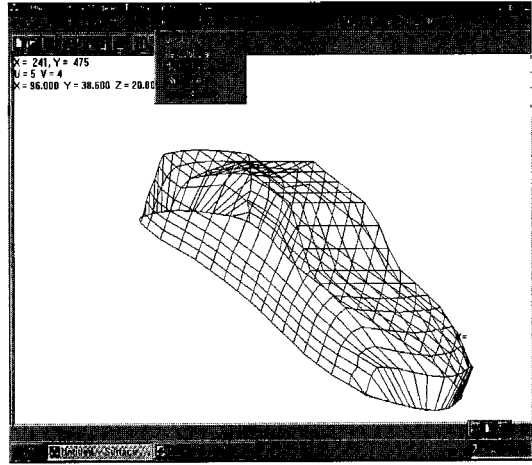
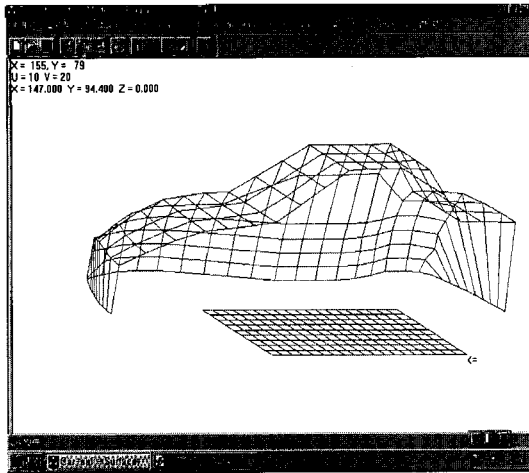


Fig. 12. An example of car body modeling.

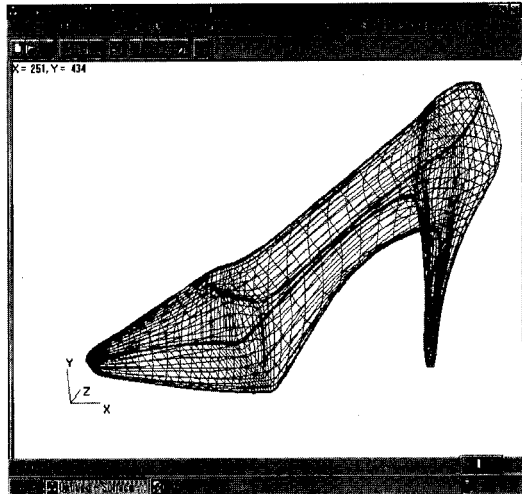
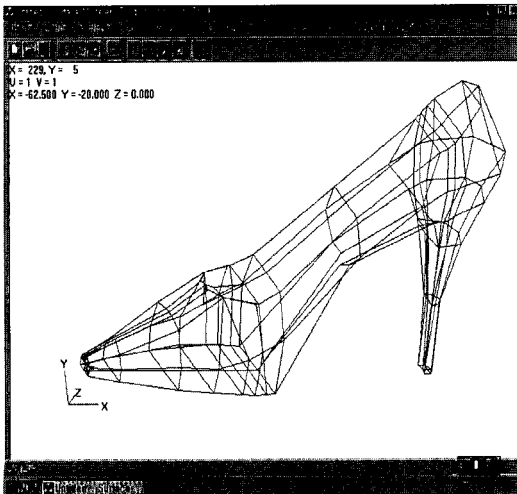


Fig. 13. An example of NURBS surface for a shoe.

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. 13은 곡면 모델러를 이용하여 구두형상을 모델링한 결과를 나타낸 것이다. 이 곡면도 Fig. 12와 마찬가지로 데이터가 없는 상태에서 제어점 망을 이용하여 모델링을 한 것이다. 이 곡면은 s, t방향에 대하여 9개와 16개의 제어점으로 제어점 망(Control Net)을 형성하고, 각 방향에 대한 곡선은 3차로 지정하였으며, 절점벡터의 형태는 균일개방형으로 지정하였다. 또한 이전의 곡면에서와 마찬가지로 가중치는 모든 제어점에서 1로 균일하게 주어 모델링하였다.

Fig. 14와 Fig. 15는 각각 모델링을 완성한 후 BOM과 공구 정보를 입력한 화면이다. 이 데이터는 모델링 데이터와 함께 공유되므로, 추후 다른 엔지니어가 어떻게 가공되고 어떤 정보를 가지고 있는

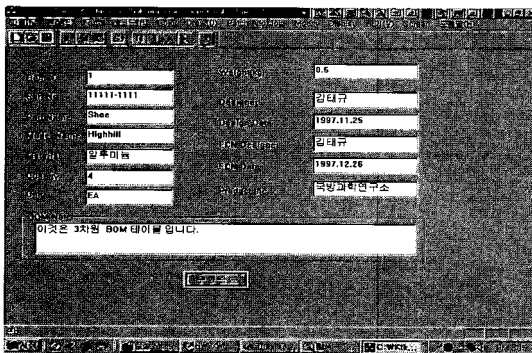


Fig. 14. An example of BOM screen.

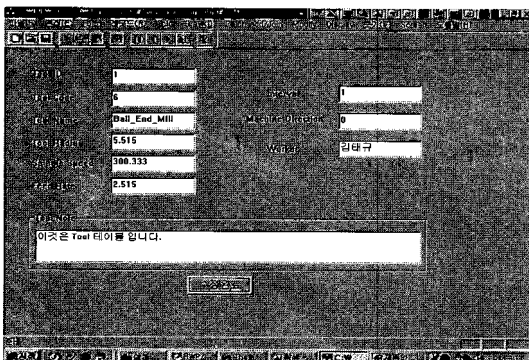


Fig. 15. An example of TOOL information screen.

지, 또한 어떤 재질로 제작되었는지에 대한 모든 정보를 알 수 있다.

5. 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 뛰어나 MS Access를 사용하였다.

기존의 데이터베이스를 활용하여 개발한 시스템들은 ODBC를 위주로 개발하였으나, PC급에 맞는 DAO를 적용하여 개발하였으며, PC에서 여러 화면, 즉 메인화면, Draw화면, Tool화면, BOM화면을 데이터베이스와 연계하여 각종 정보를 입력하는 모듈을 개발하였다. 또한 데이터를 저장에 있어서도 Text 형태로 저장되게 하여 메모리를 적게 차지하도록 하였다. 실질적으로 제어점에 대한 정보만 저장하므로 다른 저장방법(DWG, IGES, DXF)보다 용량을 적게 차지하는 것을 알 수 있었다.

따라서, 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 제어점을 활용하여 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 B-spline과 NURBS 기저함수를 이용하여 자유곡면을 표현하도록 하여 추후 확장성도 도모하였다.

또한 곡면 모델러는 복잡한 형상을 모델링하고자 할 경우에 한 번에 모델링하기 어려운 곡면을 분할하여 작업한 후 곡면 결합 명령에 결합시킬 수 있도록 하여, 복잡한 모델을 보다 쉽게 모델할 수 있도록 하였다.

추후 곡면 Intersection⁶⁾과 마우스를 이용한 곡면 모델링, 곡면의 연산작업(surface intersection)기능과 5축 NC 가공^{10,11,12)}에 대한 연구가 계속되어 이에 대한 모듈이 추가되어야 할 것이다.

참고문헌

1. Faux, I.D. and Pratt, M. J., *Computational Geometry for Design and Manufacture.*, New York:Wiley,

1985.

2. Watt, A.H., *Fundamentals of Three-Dimensional Computer Graphics.*, Addison Wesley, 1989.
3. 김병인, 김광수, "단면도를 이용한 3차원 파라메트릭 설계", *대한산업공학회지*, Vol. 20, No. 3, pp. 35-53, 1994.
4. 유우식, 신하용, 최병규, "단면곡선의 캐직을 고려한 곡선망 보간 곡면 형성", *대한 산업공학회지*, Vol. 20, No. 2, pp. 77-90, 1994.
5. 전차수, 주상윤, 전명길, "히미트 보간을 이용한 곡물 연속 현길이 스플라인 곡면", *대한 산업공학회지*, Vol. 20, No. 1, pp. 87-98, 1994.
6. 주상윤, 전차수, "접근으로부터 형성된 다각곡선망을 보간하는 곡면모델링에 관한 연구", *대한 산업공학회지*, Vol. 21, No. 4, pp. 529-540, 1995.
7. 이상찬, "자동차 외형설계를 위한 CAD 시스템의 개발", Seoul Univ., Ph.D Thesis, 1992.
8. Choi, B.K. and Ju, S.Y. "Constant-radius blending in surface modeling", *CAD*, Vol. 21, No. 4, pp. 213-220, 1989.
9. Feng, J., Peng, L.M.Q., "A New Free-form Deformation through the Control of Parametric Surfaces", *Computer & Graphics*, Vol. 20, No. 4, pp. 531-539, 1996.
10. 전차수, "5축 NC 가공을 위한 프로그래밍 시스템 개발", *과학기술 제 3차년도 연구보고서*, pp. 73-124, 1991.
11. 전차수, "3차원 측정데이터로부터 자유곡면의 NC 가공", Master Thesis, KAIST, 1985.
12. 전차수, "자유곡면 NC가공에서의 공구간섭방지", Ph.D Thesis, KAIST, 1989.
13. 조현덕, "자유곡면을 위한 5축 정밀가공에 관한 연구", Ph.D Thesis, KAIST, 1993.
14. 박정환, "금형의 5축 NC 가공을 위한 CAM 시스템 개발에 관한 연구", Ph.D Thesis, KAIST, 1994.
15. 정형배, 나승수, 박종환, "NURBS Surface Global Interpolation에 대한 한 방법", *한국 CAD/CAM학회 논문집*, 제 2권, 제 4호, pp. 237-243, 1997.
16. Faux, I.D. and Pratt, M.J., *Computational Geometry for Design and Manufacture*, New York: Wiley, 1985.
17. 이현찬, 채수원, 최영, 컴퓨터 그래픽스 및 형상모델링, 시그마프레스, 1996.
18. KMK 정보산업연구원, 백정렬, 박준기, 정도진, 성상훈, *Visual C++ 4.x: Technical Programming*, 도서출판 삼각형, 1997.
19. Anand, V.B., "Computer Graphics and Geometric Modeling for Engineers", John Wiley & Sons Inc.,

- 1993.
20. 최병규, "CAD/CAM 시스템과 CNC 절삭가공", *희중당*, 1996.
21. 변문현, 김태규, "콘트롤 포인트를 이용한 자유곡면 생성에 관한 연구", *충남대학교 산업기술연구소 논문집*, 제 12권, 제 1호, pp. 111-115, 1997.
22. Foly, J.D. and Van Dam, A., *Fundamentals of Interactive Computer Graphics*, Addison Wesley, 1984
23. 오익수, "솔리드모델러를 기반으로한 특징 형상 모델링 시스템 개발에 관한 연구", Ph.D Thesis, 충남대학교, 1996.
24. Farin, G., "Algorithms for rational bezier curves", *CAD*, Vol. 15, No. 2, pp. 1-17, 1985.
25. Piegl, L. and Tiller, W., "Curve and surface constructions using rational B-splines", *CAD*, Vol. 19, No. 9, pp. 485-498, 1987.
26. 변문현, 김태규, "디지털 설계자료 관리 및 응용에 관한 연구", *대한기계학회 추계학술대회 논문집*, pp. 1202-1207, 1996.
27. 변문현, 김태규, "곡면데이터를 위한 데이터베이스 구축에 관한 연구", *한국 CAD/CAM학회 학술발표회 논문집*, pp. 75-83, 1998.

김 태 규



1989년 충남대학교 기계설계공학과 학사
 1991년 충남대학교 기계설계공학과 석사
 1995년 충남대학교 기계설계공학과 박사
 수료
 1989년~1998년 3월 국방과학 연구소 근무
 1998년~현재 덕덕대학 산업공학과 전
 임강사
 관심분야: Surface modeling, CNC 가공,
 CAD/CAM

변 문 현



1957년 서울대학교 기계공학과 학사
 1959년 서울대학교 기계공학과 공학석사
 1986년 일본 동경대학 공학박사(精密機械工學科 佐田-木村研)
 1994년~1995년 대한기계학회 생산 및 설계공학부문 위원장
 1975~1998년 2월 충남대학교 공과대학 기계설계공학과 교수
 1995년~현재 한국 CAD/CAM학회 근무
 1998년~현재 충남대학교 명예교수
 관심분야: CAD/CAM, Geometric modeling, CIM, CALS, 생산가공