

## 곡면 모델링 커널 개발

### Development of a Surface Modeling Kernel

전차수(경상대 산업공학과, 항공기부품기술연구센터), 구미정\*(경상대 대학원), 박세형(KIST CAD/CAM팀)

#### ABSTRACT

Developed in this research is a surface modeling kernel for various CAD/CAM applications. Its internal surface representations are rational parametric polynomials, which are generalizations of nonrational Bezier, Ferguson, Coons and NURBS surface, and are very fast in evaluation. The kernel is designed under the OOP concepts and coded in C++ on PCs. The present implementation of the kernel supports surface construction methods, such as point data interpolation, skinning, sweeping and blending. It also has NURBS conversion routines and offers the IGES and ZES format for geometric information exchange. It includes some geometric processing routines, such as surface/surface intersection, curve/surface intersection, curve projection and so forth. We are continuing to work with the kernel and eventually develop a B-Rep based solid modeler.

Keywords : surface modeling kernel(기하학적 형상 모델링 커널), CAD/CAM, rational parametric polynomial(매개변수 유리 다항식), object-oriented programming(객체지향 프로그래밍)

#### 1. 서론

제품의 제조과정에서 컴퓨터를 이용함으로써 생산성, 납기단축, 품질향상을 기하고자 하는 CAD/CAM에 있어서 제품의 형상을 정확하게 표현·처리하는 기하학적 형상 모델링(Geometric modeling)이 그 핵심을 이루고 있다.

여러 종류의 CAD/CAM 응용에 사용될 수 있도록 만들어진 개방형의 Geometric Modeler를 Geometric Kernel이라고 하는데 본 연구는 자유곡면의 형성과 처리를 하는 곡면 모델링 커널을 개발하고 있다. 여기서 개방형이란 데이터 구조가 공개되고 함수들이 응용 프로그래밍 인터페이스(API)의 형태로 제공됨을 뜻한다.

#### 2. 커널의 구조

본 커널에서 곡선/곡면은 가장 일반적인 표현형태인 매개변수 유리다항식(Parametric rational polynomial)을 사용하고 있으며, 곡면 형성방법으로는 점 데이터 보간, 이동곡면(sweep surface), 블렌딩 곡면 형성 등이 있으며, 곡면 처리를 위한 evaluation, 곡면간 교선, projection등의 기능을 갖고 있다. 본 커널은 object oriented programming개념을 이용하고 있으며 C++로 코딩되어 있다. 본 커널의 개략적인 구조가 그림1에 있다.

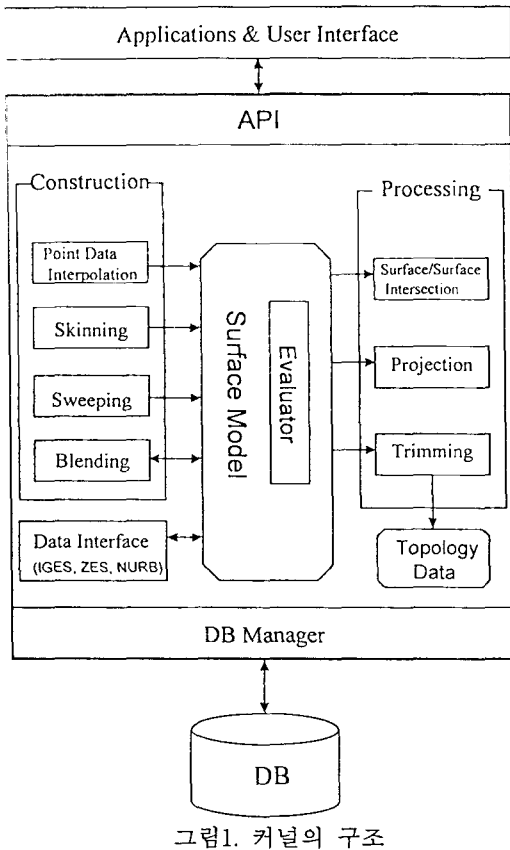


그림1. 커널의 구조

### 3. 매개변수형 유리다항식 곡면

본 연구에서는 임의 차수의 매개변수형 유리다항식 곡면을 곡면 형성/처리의 기본 모델로 이용하고 있다. 이 곡면은 일반 CAD/CAM 시스템에서 가장 많이 이용되는 Bezier, Ferguson, Coons, NURB 등을 포함하는 가장 일반적인 형태로서, 유리다항식의 계수를 직접 저장함으로써 계산 속도가 매우 빠르다는 장점을 갖고 있다.

(m, n)차 유리다항식 곡면의 식은 동차 좌표계 (homogeneous coordinates)에서 다음과 같다[Choi 91].

$$\begin{aligned}
 \mathbf{R}^h(u, v) &= (X(u, v), Y(u, v), Z(u, v), h(u, v)) \\
 &= \mathbf{UAV}^T \\
 &= [1 \ u \ u^2 \ \dots \ u^m] \begin{bmatrix} \mathbf{a}_{00} & \cdot & \cdot & \cdot & \mathbf{a}_{0n} \\ \mathbf{a}_{10} & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ \cdot & & & & \cdot \\ \mathbf{a}_{m0} & & & & \mathbf{a}_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ v \\ v^2 \\ \cdot \\ v^n \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

여기서  $\mathbf{a}_{ij} = ((a_{ij})_x, (a_{ij})_y, (a_{ij})_z, (a_{ij})_h)$

3차원 Euclidean 공간상에서 곡면의 식은

$$\begin{aligned}
 \mathbf{r}(u, v) &= (x(u, v), y(u, v), z(u, v)) \\
 &= \left( \frac{X(u, v)}{h(u, v)}, \frac{Y(u, v)}{h(u, v)}, \frac{Z(u, v)}{h(u, v)} \right)
 \end{aligned}$$

곡선과 곡면의 기하학적 정보를 담은 class 정의는 다음과 같다.

#### ① C\_Curve class의 멤버 데이터

private	int rat	0 = nonrational, 1 = rational
	int NoSeg	곡선 세그먼트의 개수
	int *order	각 세그먼트의 차수 (= degree+1)
	double *coef	곡선의 polynomial coefficients
	int *off	각 세그먼트의 coefficient data 시작 index
	double lim[2]	전체 곡선을 reparameterization했을 때 실제 사용되는 시작과 끝 매개변수 값
public	int closed	0 = open, 1 = closed
	nurbcrv *nurb	NURB Data로 변환된 Curve의 포인터

#### ② C\_Surface class의 멤버 데이터

private	int rat	0 = nonrational, 1 = rational
	int uPat, vPat	U,V 방향의 patch 개수
	double *uOrder, *vOrder	patch의 U,V 방향 차수 (= degree+1)
	double *coef	patch의 polynomial coefficients
	int *off	각 patch의 coefficient data 시작 index
	int normDef	Surface의 법선 벡터 방향
public	int uClosed, vClosed	0 = open, 1 = closed
	nurbsuf *nurb	NURB Data로 변환된 Surface의 포인터

### 4. 곡면의 형성

본 Kernel은 현재 다음과 같은 곡면 생성 기능을 갖고 있다.

#### 1) 점 데이터 보간 곡면

가로 세로 방향의 점의 개수가  $m \times n$  인 준균일한

점군을 곡률 연속 되도록 보간한다. 양 3차 Hermite 보간을 이용한 Chord-length spline 곡면 방식을 이용하고 있다[전차수 94a](그림2).

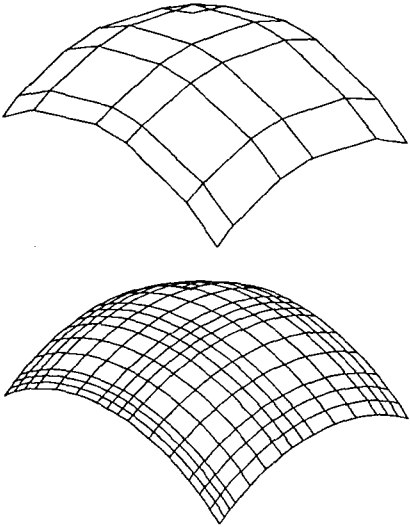


그림2. 점 데이터 보간을 이용한 곡면의 생성

## 2) skinning

일련의 곡선을 보간한 곡면으로 입력된 곡선으로부터 공차를 고려하여 동일한 개수의 점을 추출한 후(remeshing) 점 데이터 보간 방식으로 곡면을 얻는다(그림3).

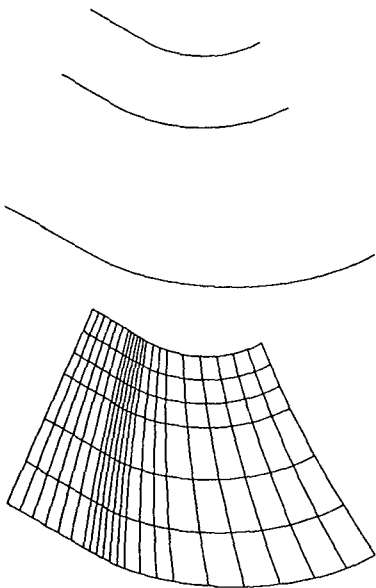


그림3. 단면곡선의 스킨닝

## 3) 이동곡면(sweep surface)

이동곡면이란 2차원 단면 곡선이 어떤 규칙을 갖고 안내곡선을 따라 이동할 때 생기는 궤적으로 정의된다. 단면의 이동규칙에는 평행이동, 회전이동, 법선 이동, 대응이동 등이 있다. 이동곡면의 형성절차는 다음과 같다[전차수 94b].

- ① 단면곡선의 remeshing
  - ② 경계곡선과 안내곡선의 remeshing
  - ③ 단면곡선의 혼합
  - ④ 중간 단면곡선의 수정
  - ⑤ 단면곡선의 이동
  - ⑥ 점군 데이터 보간 방식에 의한 곡면 보간
- 위의 절차로 얻어진 곡면은 곡률 연속을 만족하는 양 3차 곡면이다(그림4).

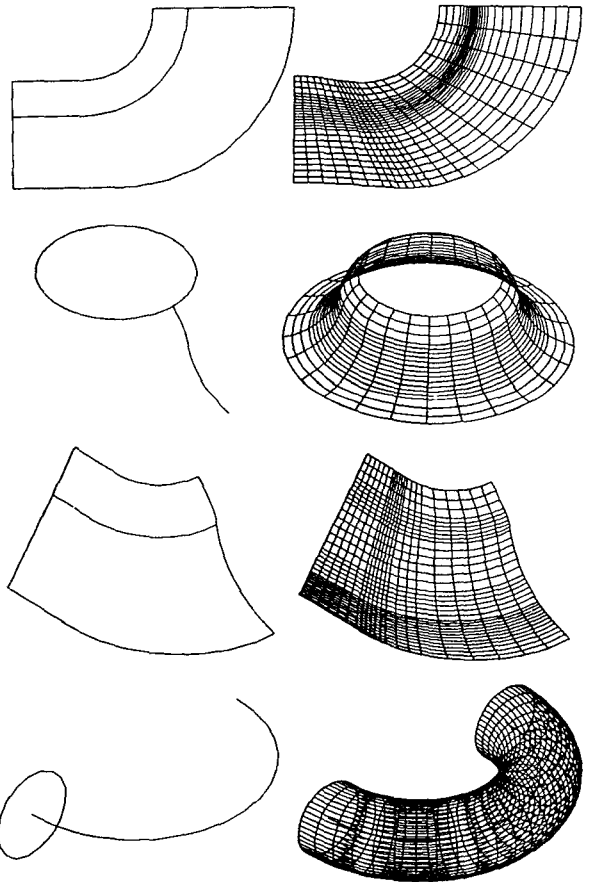


그림4. 평행이동·회전이동·대응이동·법선이동 곡면

## 4) 블렌딩 곡면의 형성

블렌딩 곡면이란 이미 정의된 2개 또는 곡면 사이를 부드럽게 연결하는 곡면으로 rounding, 또는 filletting 곡면으로 불리기도 한다.

본 커널이 지원하는 블렌딩 곡면에는 고정 반경

모서리 블렌딩(그림5), 가변 반경 모서리 블렌딩(그림6), 코너 블렌딩(그림7) 등이 있는데 rolling ball 방식을 이용하고 있다[주상윤 89][전차수 96a].

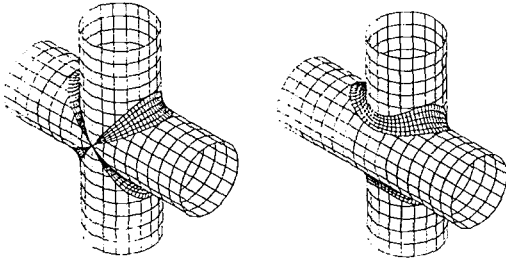


그림5. 고정 반경 모서리 블렌딩

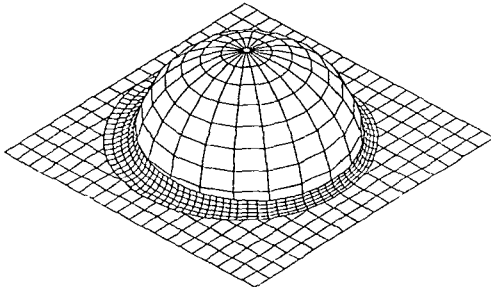


그림6. 가변 반경 모서리 블렌딩

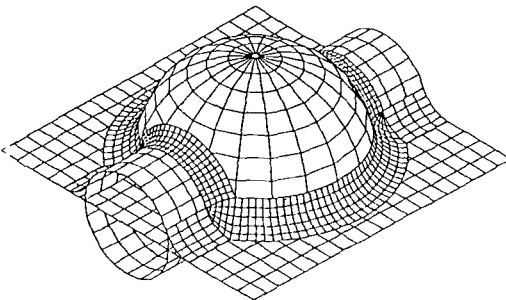


그림7. 코너 블렌딩

## 5. 곡면 데이터 교환

CAD/CAM 데이터의 교환기능은 Geometric Kernel의 중요기능 중 하나이다. 본 커널은 CATIA system과 데이터 교환을 위한 ZES[전차수 96b], 일

반 CAD/CAM 시스템을 위한 IGES, NURB 데이터 입출력을 위한 별도의 데이터 교환 포맷을 지원하고 있다.

## 6. 곡면의 처리

### 1) 곡면간의 교선

곡면과 곡면의 교선은 CAD/CAM 응용분야에서 가장 많이 이용되는 기본적인 기능이므로 전체 시스템의 성능에 큰 영향을 미친다. 따라서 이 기능은 accuracy, robustness efficiency, memory storage의 절약이 고려되어야 한다. 본 연구에서는 Barnhill등이 제안한 tracing 방법[Barnhill 87]을 이용하고 있으며 구현 과정에서 연산 속도를 높이기 위하여 곡면의 매개변수 곡선을 곡면식으로 변환한 뒤 사용함으로써 계산 속도를 향상시키고 있다.

전반적인 절차는 다음과 같다.

- ① mesh의 생성
- ② 출발점 발견
- ③ 추적과정
- ④ 최적화 및 곡선의 fitting

### 2) 기타 곡면 처리 기능

곡면에 대한 점과 곡선의 투영, 곡면의 최대·최소 점등이 지원되고 있으며 곡면의 trimming 기능을 개발 중에 있다.

## 7. 적용 사례

본 커널은 자유곡면 모델링 및 가공 시스템(그림 8), 5축 NC 가공 및 연마 시스템(그림9)과 단조해석을 위한 곡면 mesh 생성 시스템(그림10) 등에 성공적으로 적용하였다.

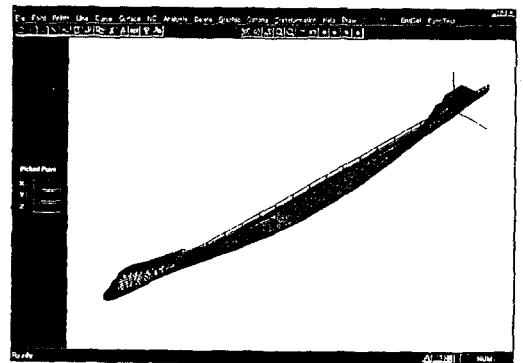


그림8. 자유곡면 모델링 및 가공 시스템에서 측정 데이터로부터의 곡면 형성(ship hull)

## 참고문헌

- 1 Choi, B.K., 1991, Surface Modelling for CAD/CAM, Elsevier.
- 2 전차수, 주상윤, 전명길, 1994a, "허미트 보간을 이용한 곡률연속 현길이 스플라인 곡면", 대한산업공학회지, 20권 1호.
- 3 전차수, 조형래, 박세형, 1994b, 쌍 3차 스플라인 곡면 식에 의한 이동곡면의 표현
- 4 주상윤, 1989, 곡면 모델링에서 블렌드 곡면의 형성
- 5 R.E.Barnhill, G.Farin, M.Jordan and B.R.Piper, 1991, Surface/surface intersection, Computer Aided Geometric Design.
- 6 전차수, "고등곡면 생성 기능 개발", 한국과학기술연구원 연구보고서, 1996a.
- 7 전차수, "이기종 CAD/CAM 시스템간의 데이터 교환 모듈 개발", 경상대학교 항공기부품기술연구소 연구결과보고서, 1996b.

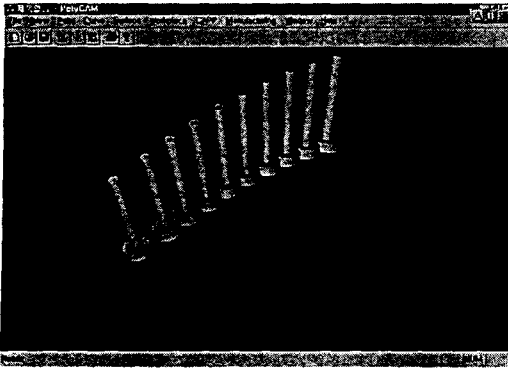


그림9. 5축 NC 가공 및 연마 시스템의 공구 animation

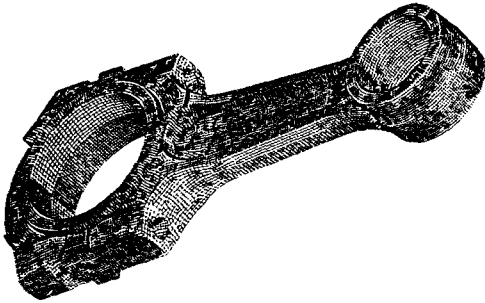


그림10. 단조해석을 위한 connecting rod의 mesh 생성

## 8. 결론

본 연구에서는 CAD/CAM의 핵심 기능인 surface modeling kernel을 개발하였다. 곡면의 내부적인 곡면 모델로는 가장 일반적이면서도 처리속도가 빠른 매개변수 유리 다항식을 이용하고 있다. 다른 CAD/CAM 시스템과의 형상정보를 교환을 위한 IGES, ZES 입출력 기능을 지원하며 NURB 데이터 변환 기능을 갖고 있다.

곡면 형성 기능으로는 점 데이터 보간, skinning, sweeping, blending기능을 갖고 있으며 곡면 처리 기능으로서 곡면과 곡면의 교선, 곡선의 투영, 점의 투영 기능을 갖고 있다.

본 커널은 곡면 모델링 및 가공, 해석 등의 몇 가지 응용에 성공적으로 적용된 바 있다. 앞으로 곡면의 trimming 기능 추가와 Solid modeler로의 확장, 곡면 처리 기능의 추가와 보완이 계속될 예정이다.