

본 논문은 1989년도 한국과학재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

## 금형의 자유곡면 가공용 CAD/CAM SYSTEM 구축에 관한 연구

구영희\*, 이동주\*, 남궁석\*, 강민식\*

### A Study on the Construction of CAD/CAM system; for Machining of Sculptured Surface of Die

Young-Hae Koo\*, Dong-Ju Lee\*, Suk Namgung\*, Min-Sik Kang\*

#### ABSTRACT

A study on the construction of a CAD/CAM system operated by 16 Bit PC basic language, for machining sculptured surface of die, was carried out.

The system consists of 2 steps i.e., process for geometric modelling by wire frame and process for machining data generation.

Geometric modelling for sculptured surface is made by the point data fitting, parallel sweeping, normal sweeping and linear connection of cross section curve.

Machining data are gained by cutter off-set of geometric model data and machining carried out by DNC.

This system is to be proved enough for rough cutting by actual machining experiment.

But, for becoming a high level system, another method of cutter off-set has to be regarded and system must be reconstructed by another program language.

#### 1. 서론

우리 주변에서 볼수있는 가전제품이나 자동차, 항공기, 선박, 유체기계류등에서 나타나는 곡면은 직교좌표상의 해석함수(analytic function)로는 표현되지 않는 곡면, 즉, 비해석적인 자유곡면(sculptured surface)들이 포함되어 있는데, 이들 자유곡면은 특별한 기능을 수행하기 위하여 설계되거나 또는 시각적인 미를 목적으로 만들어지게 되며, 최근에는 이러한 자유곡면으로 이루어진 제품의 수요가 늘어남에 따라 이들 곡면 형상의

설계와 함께, 이를 가공할 수 있는 NC 가공기법에 대한 필요성이 증대되고 있다.

자유곡면의 형상 설계와 가공은 크게 두방향으로 발전되어 오고 있는데, 첫째는 점 데이터로부터 곡면을 형성하는 방식(point data fitting)으로써 주어진 입력 점을 지나는 원활한 곡면을 얻도록 하는 것이며, 둘째는 주어진 곡면을 정의하는 방식(curve net interpolation), 또는 보다 곡선의 특성을 적극적으로 이용하는 단면곡선(section curve)의 이동(sweeping) 또는 비례전개법(proportional development)에 의한

\* 충남대학교 공과대학 기계과

곡면 형성 방식이다. 그 결과 이를 공업적으로 응용하는 여러 CAD/CAM 시스템들이 출현하였으며 계속하여 수정, 보완 작업이 진행되어 오고 있다.

본 연구에서는 소규모의 3차원 데이터를 이용하여 금형의 자유곡면을 설계하고 가공하기 위한 CAD/CAM 시스템 구축에 목적을 두고, 16비트 PC를 이용하여 자유곡면을 설계하고 가공하기 까지의 기초적인 연구 과정을 수행하고자 한다.

## 2. 시스템의 구조 및 특징

CAD/CAM(Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing) 시스템이란 만들고자 하는 제품을 도면화하고, 이의 정보를 이용하여 NC 기계가 가공할 수 있도록 NC 가공을 위한 정보를 산출하는 것이 그 목적이라고 할 수 있다. 다시 말하면, 형상 설계 과정을 거쳐 정의된 곡면으로 부터 CL(cutter location) 데이터를 산출하고 기계에 맞는 프로그램(post processor)을 이용하여 NC 기계가 인식할 수 있는 NC 코드로 변환하는 것이라고 볼 수 있다.<sup>1,2)</sup>

이와 같은 CAD/CAM 시스템을 사용하는 과정에서 가장 많은 시간을 보내는 작업은 제품을 구상화하여 컴퓨터에 입력하는 것이라고 할 수 있는데, 이 경우에 시스템의 사용 방법에는 대화식과 일괄처리방식이 있다. 대화식은 명령어를 입력하면 바로 화면에 도형이나 메시지가 나와서 시스템과 사용자가 서로 대화하는 방식으로 작업을 하는 것을 말하며, 일괄처리방식은 사용자가 정의하고자 하는 곡선과 곡면, 가공조건 등을 약속된 문법으로 모두 작성한 후 한번에 프로그램을 수행하는 방식으로 작업을 하는 것을 말한다. 본 연구에서는 사용자가 16비트(Bit) PC(Personal Computer)를 이용하여 대화식 사용 방법을 통하여 자유곡면의 형상 설계과정과 NC 가공 정보 생성과정을 거쳐 DNC(Direct Numerical Control) 전송에 의하여 가공에 들어가는 방식으로 수행한다.

본 연구에서 수행하는 시스템의 소프트웨어(software)는 CAD에 해당된다고 할 수 있는 자유곡면의 형상 설계과정과 CAM에 해당된다고 할 수 있는 NC 가공 정보 생성과정으로 나누어 생각할 수 있다.

곡면의 형상 설계과정은 도면에 곡면을 표시하는 방법에 따라서, 첫째로 점 데이터의 집합으로 표현하는 경우에는 이들 점 데이터를 입력점으로 하여 이들의 조

정을 통하여 자유곡면 형상을 설계하게 되며,<sup>3)</sup> 둘째로 곡선정보로 표현하는 경우에는 이들 곡선 데이터의 조정과 곡선의 이동(sweep)에 의하여 자유곡면 형상을 설계하게 된다.<sup>4)</sup> 이 과정들은 표시된 곡면형상정보를 입력하는 것으로 부터 시작하여 컴퓨터와 사용자 간에 대화식으로 진행되며, 3차 Bezier 곡선과 곡면식을 적용하여 이루어진 소프트웨어의 처리에 의하여 곡면의 형상을 생성하게 되는 것이다.

일반적인 CAD/CAM 시스템에서는 형상 설계과정에서 와이어 프레임모형(wire frame model), 곡면모형(surface model), 물체모형(solid model) 등이 사용되는데,<sup>5,6,7)</sup> 본 연구에서는 항상 설계과정을 거쳐 생성되는 형상데이터로 부터 가공시의 조건을 고려하여 일정한 간격(pitch)으로 형상을 표현하게 되며, 이 과정에서 "wire 모형"이라고 부르는 단면곡선의 집합체로서 화면에 나타난다.<sup>8,9)</sup>

NC 가공 정보 생성과정은 곡면의 형상 설계과정에서 생성된 wire 데이터를 가지고 공구반경값을 고려하여 공구와 공작물 간의 간섭을 점검하여 공구경로(cutter path)가 구해진 후, 여기에 가공조건 등을 입력하여 실제가공을 행하는 NC 명령이 생성되며, 이어 RS-232C 인터페이스(interface)를 통하여 컴퓨터와 NC 기계 사이에 직접 전송이 이루어짐으로써 가공에 들어가게 된다.<sup>10,11)</sup>

본 시스템은 BASIC 언어로 프로그래밍되어 있고, 수행과정에서 발생하는 문제점들을 그때 그때 수정, 보완하면서 작업이 가능하도록 각기 기능별로 나뉘어져 화일(file)명이 주어졌으며, 이들을 적절히 조합함으로써 형상 설계작업과 NC 가공 정보 생성이 이루어진다.

이상의 과정을 Fig. 2-1에서 개략적으로 나타내고 있다.

## 3. 자유곡면의 형상 설계

### 3.1. 점 데이터를 이용한 자유곡면의 형상 설계

제품의 실물모형(physical model)을 3차원 좌표측정기 등으로 측정하거나, 설계도면상에서 주어지는 점군을 수학적으로 fitting하여 곡면을 형성하게 되는데, 여기에서는 공간상에서의 단위곡면(patch)을 하나의 매개변수 다항식(parametric polynomial equation)으로 나타내어 이러한 단위곡면들의 조합으로 주어지는 점군을 통과하는 곡면을 형성하는 방식(Composite Surface

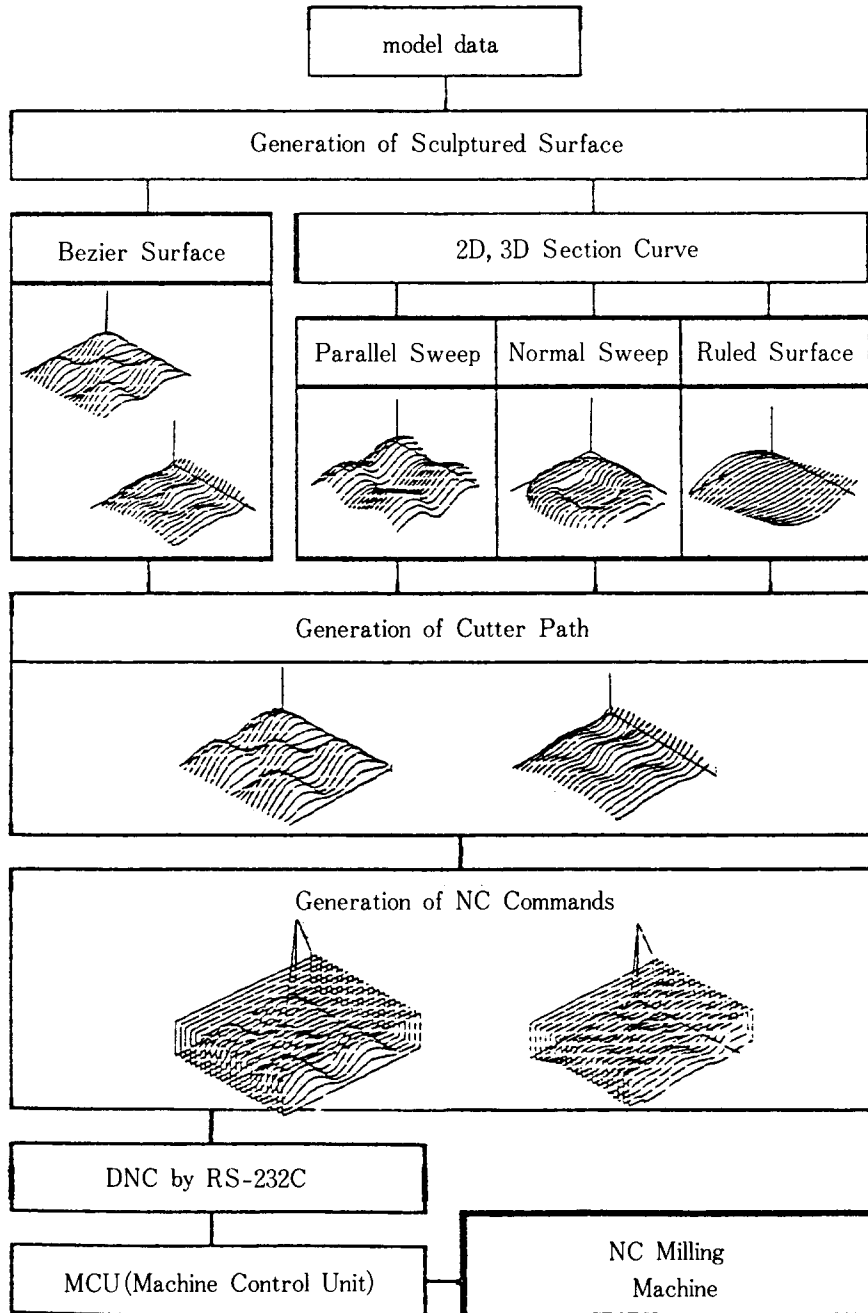


Fig. 2-1 Structure of the system

Fitting) 을 이용한다.<sup>12,13,14</sup>

본 연구에서는 곡면상에서의 입력 데이터로 취하는 점군의 분포형태가 사각형 그물모양의 분포를 갖는 경우에 대하여 Bezier 사각 곡면 방식을 적용하여, 대화식 사용방법을 통하여 점 데이터를 조정함으로써, 주어지는 점군을 매끄럽게 연결하는 하나의 3차 Bezier 곡면으로 표현되는 단위곡면을 정의하고, 이들 여러개의 단위곡면을 위상학적인 배열을 갖도록하여 자유곡면을 형성하게 된다.<sup>15,16,17</sup> 이처럼 시스템 구축에 적용된 Bezier 곡선과 곡면식의 프로그래밍 과정을 살펴보면 아래와 같다.

○ Bezier 곡선

n+1개의 점열 {R<sub>i</sub>}로 표현되어지는 n차 Bezier 곡선 R(t)는 다음과 같다.

$$R(t) = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} R_i \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (1)$$

여기에서 R<sub>0</sub>, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ..., R<sub>n</sub>으로 만들어지는 다각형을 조종 다각형(control polygon)이라 하고 R<sub>i</sub>는 공간내의 점을 나타내는 위치벡터로서 조종점 또는 제어점(control point)이라 한다.

Fig. 3-1과 같이 점열 P<sub>i</sub>를 입력점으로하여 Bezier 곡선을 표현할 때, 이 점열 P<sub>i</sub>를 매끄럽게 연결하기 위해서는 점열 Q<sub>i</sub>를 결정하게 되는데, 점열 P<sub>i</sub>를 연결하는 Bezier 곡선의 단위구간(segment)상에 정의되는 위치벡터인 제어점 Q<sub>i</sub>가 결정되어지면, Q<sub>i</sub>에 의해서 표현되어지는 곡선은 P<sub>i</sub>를 Fig. 3-1에서와 같이 매끄럽게 연결하게 된다. Fig. 3-1의 첫번째 구간과 같은 3차 Bezier 곡선을 생각하면 다음과 같다. 표현되는 곡선은 식(1)에 의하여 4개의 제어점 Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>, Q<sub>4</sub>가 필요하다.

$$R(t) = (1-t)^3 Q_1 + 3(1-t)^2 t Q_2 + 3(1-t) t^2 Q_3 + t^3 Q_4 \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (2)$$

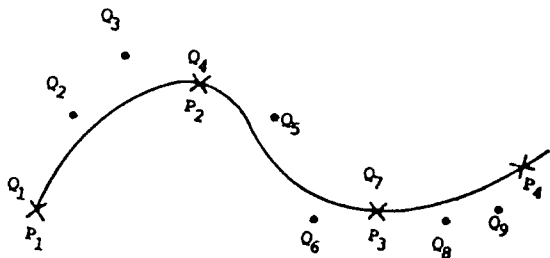


Fig. 3-1 Points of Bezier curve

그런데, 여기에서 제어점은 Q<sub>1</sub>는 입력점 P<sub>1</sub>에, Q<sub>4</sub>는 P<sub>4</sub>에 대응하므로 나머지 2개의 제어점 Q<sub>2</sub>, Q<sub>3</sub>을 구하면 된다.

Fig. 3-2에서 구간 [P<sub>i</sub>, P<sub>i+1</sub>]의 곡선을 R<sub>i</sub>(t), 구간 [P<sub>i+1</sub>, P<sub>i+2</sub>]을 R<sub>i+1</sub>(t)라 하고, 점 P<sub>i+1</sub>에 있어서 1차 미분 연속의 조건(slope continuity)과 2차미분 연속의 조건(curvature continuity)을 적용하고, 이를 입력되어지는 n개의 입력점 P<sub>i</sub>에 대하여 Fig. 3-2에서와 같이 벡터 표현식으로 확대시켜서, b<sub>i</sub>에 관한 연립방정식을 행렬식으로 나타낸 후에, 이를 Gauss의 소거법(algorithm)을 이용하여 b<sub>i</sub>와 c<sub>i</sub>를 구하는 방법으로 2개의 제어점을 구해나가는 과정을 거치도록 프로그램이 구성되었다.

그 결과를 적용하면 식(2)로 부터 구간 [P<sub>i</sub>, P<sub>i+1</sub>]에 있어서 곡선 R<sub>i</sub>(t)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_i(t) = (1-t)^3 P_i + 3(1-t)^2 t (P_i + b_i) + 3(1-t) t^2 (P_{i+1} - c_i) + t^3 P_{i+1} \quad (0 \leq t \leq 1) \quad (3)$$

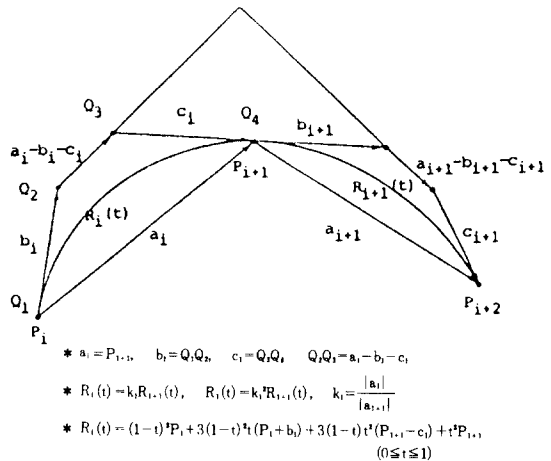


Fig. 3-2 Relationship between input points and control points

○ Bezier 곡면

곡선의 경우에서 처럼 식(1)과 같이 (m+1)(n+1)개의 점열 {P<sub>ij</sub>}이 주어졌을 때, 곡면 S를 결정하는 식은 u, v를 매개변수(parameter)로 하여 다음과 같다.

$$S(u, v) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n \binom{m}{i} \binom{n}{j} u^i v^j (1-u)^{m-i} (1-v)^{n-j} P_{ij} \quad (0 \leq u, v \leq 1) \quad (4)$$

여기에서  $u=u_0$ 라 하면  $S(u_0, v)$ 는

$$S(u_0, v) = \sum_{j=0}^n \binom{n}{j} v^j (1-v)^{n-j} \left\{ \sum_{i=0}^m \binom{m}{i} u_0^i (1-u_0)^{m-i} P_{i,j} \right\} \quad (5)$$

로 쓸수 있다.  $\binom{m}{i}$ 안의 것은 점  $P_{i,j}$  ( $i=0, 1, \dots, m$ )을 제어점으로 하는 Bezier 곡선의  $u=u_0$ 에 대한 값으로 생각할 수 있으므로, 그 값을  $P_{0,j}$ 로 하여 식(5)는 점  $P_{0,j}$  ( $j=0, 1, \dots, n$ )을 제어점으로 하는 Bezier 곡선이므로, 이와 같이 Bezier 곡선을 구하는 동일한 조작을 반복하여 곡면을 표현할 수 있다.

또, Fig. 3-3(a)에 나타낸 곡면의 왼쪽 아래 부분의 4개의 입력점( $P_{00}, P_{10}, P_{11}, P_{01}$ )으로 정해지는 단위곡면(patch)을 생각할 때, Fig. 3-3(b)에서 단위곡면 내의 4개의 제어점( $Q_{11}, Q_{21}, Q_{22}, Q_{12}$ )이 정해지지 않았는데, 이는 입력점  $P_{00}$  ( $u=0, v=0$ )에서의 곡면이  $P_{00}$  ( $Q_{00}$ ),  $Q_{01}$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{11}$ 로 결정되는 평면에 접하는 조건으로 아래와 같이  $Q_{11}$ 을 결정하게 된다.

$$Q_{11} = Q_{10} - Q_{00} + Q_{01} \quad (6)$$

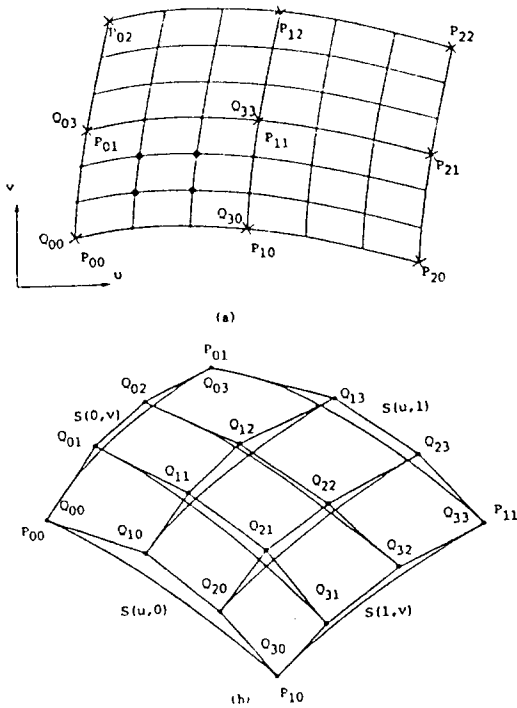


Fig. 3-3 Bezier surface patch

다른 3점에 대해서도 이와 같이 접평면(tangent plane)을 형성하는 동일한 방법으로 구할 수 있다. 이러한 과정을 거쳐서 단위곡면(patch)내의 4개의 제어점이 구해짐으로써 단위곡면의 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S(u, v) = (1-u)^3 [(1-v)^3 Q_{00} + 3(1-v)^2 v Q_{01} + 3(1-v) v^2 Q_{02} + v^3 Q_{03}] + 3(1-u)^2 u [(1-v)^3 Q_{10} + 3(1-v)^2 v Q_{11} + 3(1-v) v^2 Q_{12} + v^3 Q_{13}] + 3(1-u) u^2 [(1-v)^3 Q_{20} + 3(1-v)^2 v Q_{21} + 3(1-v) v^2 Q_{22} + v^3 Q_{23}] + u^3 [(1-v)^3 Q_{30} + 3(1-v)^2 v Q_{31} + 3(1-v) v^2 Q_{32} + v^3 Q_{33}] \quad (7)$$

위에서 설명한 바와 같은 과정을 거치도록 구성되어 있는 소프트웨어의 처리에 의하여 형상을 생성하게 되는데, 이때에 사용된 입력점을 연결한 경우와 생성된 wire 모형의 예가 Fig. 3-4에 제시되어 있다.

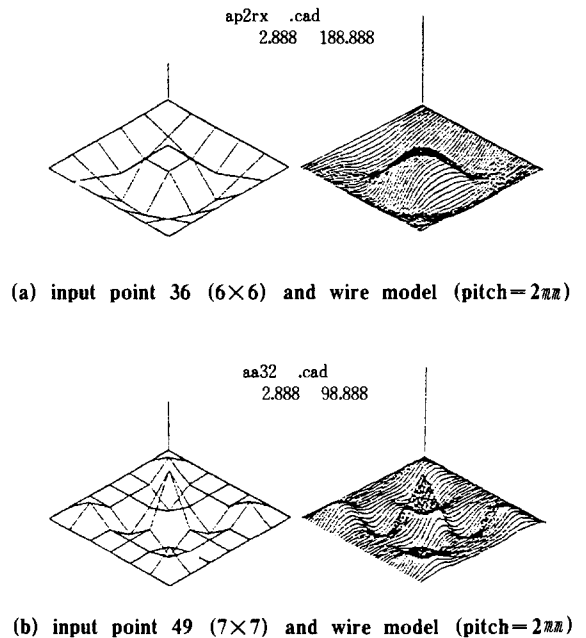


Fig. 3-4 Modeling of sculptured surface by Bezier surface

### 3.2. 곡선정보를 이용한 자유곡면의 형상 설계

제품의 실물모형이나 설계도면으로 부터 주어지는 곡면의 특징을 나타내는 특징곡선이라고 할 수 있는 단면곡선(section curve)에 대한 형상정보를 이용하여 자유곡면을 형성하는 보다 직관적인 방법으로써 단면곡선을 이용(sweep)하는 방법을 생각할 수 있는데,<sup>18,19)</sup> 여기에서 곡면의 생성은 이동곡선(generator)에 해당하는 동작곡선을 안내곡선(guide curve)에 해당하는 기준곡선에 대하여 일정한 이동규칙(sweeping rule)에 의해서 공간상에서 이동시킴으로써 이루어진다.

본 연구에서는 모든 단면들이 서로 평행하게 놓이게 되는 평행이동(parallel sweeping)과 단면이 기본평면에 투영된 설계축 곡선(안내곡선 또는 spine)의 접선벡터에 수직으로 놓이게 되는 법선이동(normal sweeping)의 두가지 이동규칙을 적용하여 이동변환을 통하여 곡면을 생성하게 되며,<sup>20,21)</sup> 여기에 추가하여 이들의 특수한 형태로서 주어지는 단면곡선 사이를 직선으로 연결하여 이루어지는 연결곡면(ruled surface)으로 곡면이 생성된다.

또한, 이 과정에 사용되는 단면곡선은 2차원 또는 3차원 공간상의 직선, 원호 및 Bezier곡선과 이들이 조합된 형태로 표시하게 되며, 그 표현 형식은 아래와 같다.

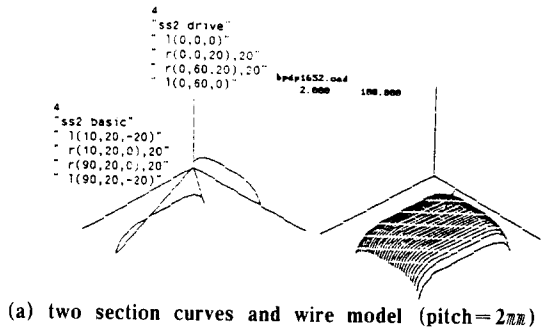
- 직선: 앞 또는 뒤에 정의된 점에서 현재 "l(x, y)" 또는 "l(x, y, z)"로 정의된 점을 잇는 선분으로 정의된다.
- 원호: 앞과 뒤에 정의된 두점에서 현재 "r(x, y, R)" 또는 "r(x, y, z, R)"로 정의된 점을 잇는 구선분에 대하여 반경 R로 접하는 원호로 정의된다.
- Bezier곡선: 입력점을 의미하는 "b(x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>), (x<sub>2</sub>, y<sub>2</sub>), ..., (x<sub>n</sub>, y<sub>n</sub>)" 또는 "b(x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>, z<sub>1</sub>), (x<sub>2</sub>, y<sub>2</sub>, z<sub>2</sub>), ..., (x<sub>n</sub>, y<sub>n</sub>, z<sub>n</sub>)" 형식으로 주어지는 점열을 지나는 매끄러운 곡선으로 정의된다.

이상과 같이 단면곡선을 정의하여 사용한 예는 Fig. 3-5에서 Fig. 3-7에 걸쳐서 잘 나타나 있다.

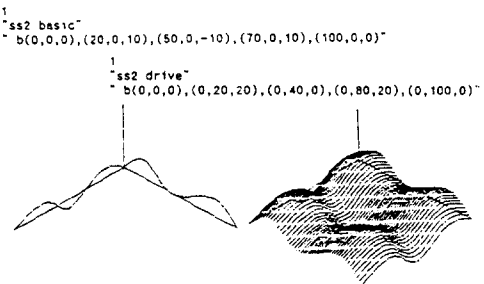
#### 3.2.1. 평행이동에 의한 자유곡면의 형상 설계

곡선의 이동은 동작곡선 DC(Drive Curve)로 부르는 3차원 공간상의 곡선이 기준곡선 BC(Basic Curve)로 부르는 공간곡선을 따라서 평행하게 이동하는 과정을

거쳐 곡면을 생성하게 된다. 여기에서 각각의 3차원 공간상의 곡선은 대화식 사용방법을 통하여 약속된 곡선 정의문의 형식으로 기술되어 형상정보로 입력하게 된다. 이 곡선 정의문의 예와 이들 두 곡선을 평행이동시킴으로써 생성된 자유곡면의 wire 모형이 Fig. 3-5에示되어 있다.



(a) two section curves and wire model (pitch=2πm)



(b) two section curves and wire model (pitch=2πm)

Fig. 3-5 Modeling of sculptured surface by the parallel sweeping of section curve

#### 3.2.2. 법선이동에 의한 자유곡면의 형상 설계

단면곡선의 평행이동에 의한 곡면의 형상 설계시에는 동작곡선이 기준곡선을 따라서 그대로 평행하게만 이동함으로써 곡면을 생성하는데 반하여, 여기에서는 동작곡선을 포함한 평면이 기준곡선에 대하여 법평면(normal plane)을 형성하면서 기준곡선을 따라서 이동하여 곡면을 생성하게 된다. 따라서 동작곡선 DC는 2차원 공간상의 곡선으로 정의하게 된다. Fig. 3-6에 법선이동에 의한 곡면의 형상 설계에 따른 곡선 정의문의 예와 그로부터 생성된 wire 모형이 예시되어 있다.

#### 3.2.3. 직선연결에 의한 자유곡면의 형상 설계

단면곡선을 이동규칙에 의해서 이동변환하여 곡면을 형성하는 위의 두가지 경우와는 다르게, 주어지는 2개

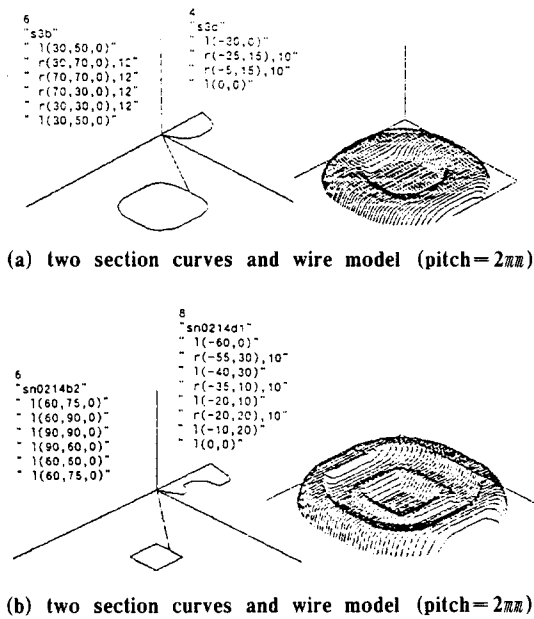


Fig. 3-6 Modeling of sculptured surface by the normal sweeping of section curve

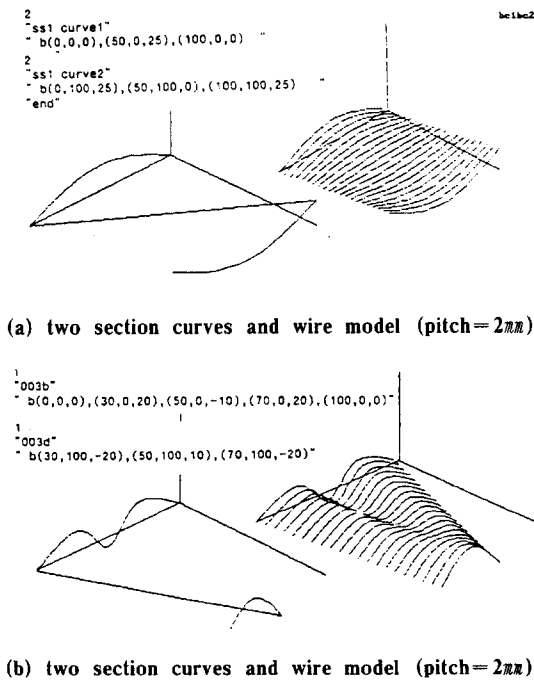


Fig. 3-7 Modeling of sculptured surface by the linear connection of section curve

의 3차원 공간상의 곡선을 각각 동일한 간격으로 분할하고 그 각각의 점들을 직선으로 연결하여 곡면을 생성하게 된다. 따라서 단면곡선의 정의방법에 있어서도 기준곡선과 동작곡선으로 구분하여 정의할 필요가 없다. 여기에서도 두 공간곡선을 대화식 사용방법으로 약속된 곡선 정의문의 형식으로 기술되어 형상정보로 입력하게 된다. 이 곡선 정의문의 예와 이동곡면의 특수한 형태로 주어지는 두 단면곡선 사이를 직선연결(linear connection)하여 생성된 자유곡면의 wire 모형이 Fig. 3-7에 예시되어 있다.

#### 4. NC 가공 정보의 생성과 DNC 가공

##### 4.1. 공구경로의 생성

점 데이터나 곡선정보로부터 가공할 곡면에 대한 형상 설계과정이 끝나면 이를 가공하기 위한 공구의 이동경로를 결정하게 된다. NC 가공에서 공구의 위치를 나타내는 좌표값을 CL(cutter location) 데이터라고 한다. 대개의 기계가공시에 있어서 곡면형상의 절삭가공에는 ball-end mill이 주로 사용되는 관계로 여기에서는 공구의 바닥 끝점을 기준으로 하여 CL 데이터를 결정하게 되며, 공구는 절삭가공을 할 때 CL 데이터에서 주어지는 점을 따라서 움직이게 된다.

일반적으로 CL 데이터는 사용공구의 종류와 치수, 곡면의 보정(offset) 량, 가공공차 등을 고려하여 곡면상의 절삭경로로 구하게 된다. 본 연구에서는 형상 설계과정에서 생성된 wire 모형의 데이터를 가지고 양단의 인접하는 wire 데이터와 공구간섭을 일으키지 않도록 하는 조작을 통하여 공구경로(cutter path)를 생성한다. 절삭가공시에 사상가공 상태를 양호하게 하기 위하여 보다 작은 직径의 공구를 사용하게 되지만, CL 데이터는 실제 사용할 공구보다 큰 직径의 공구를 사용하는 것을 가정하게 wire 데이터로부터 구함으로써 공구반경의 차이가 다음의 절삭가공을 위한 여유로 본다. 또한 실제 wire 간격(pitch)보다 큰 반경의 공구를 사용할 때에는 Fig. 4-1에서와 같이 인접하는 wire에 공구간섭이 일어남으로써 과절삭이 되므로 본 연구에서는 공구경로의 생성시에는 이를 회피하기 위하여 아래와 같은 방법으로 처리한다.

1) 형상 설계과정에서 생성된 wire 모형에 대하여 공구반경에 해당하는 wire 간격(pitch)만큼 +Y방향으로 위치 이동(shift)한 형상을 생성하여 이것과 원래의

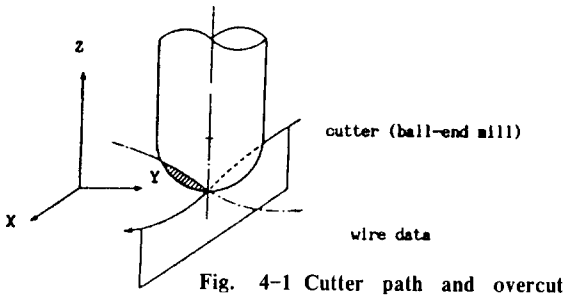


Fig. 4-1 Cutter path and overcut

wire 모형과의 합(union)의 합성연산을 한다.

2) wire 모형에 대하여 이번에는 1)과는 반대로 -Y 방향으로 역시 공구반경에 해당하는 wire 간격만큼 위치 이동한 형상을 1)에서 합성한 형상과 같은 방법으로 합성연산을 한다.

3) 이상의 방법에 의하여 생성된 wire 모형으로부터 공구경로를 구한다.

합의 합성연산을 통하여 생성된 공구경로상에서 공구는 양단의 wire 데이터를 포함하여 가장 큰 z표피값을 통과함으로써, 1개의 wire 데이터를 공구 직경  $d$  ( $d \leq \text{pitch} \times 2$ ) 인 공구가 이동하는 경우에, 양단에 인접하는 wire 데이터와 공구간섭을 일으키지 않게 된다. Fig. 4-2는 형상 설계과정에서 생성된 wire 모형과 이에 대응하는 공구경로를 생성한 것을 예시하고 있다.

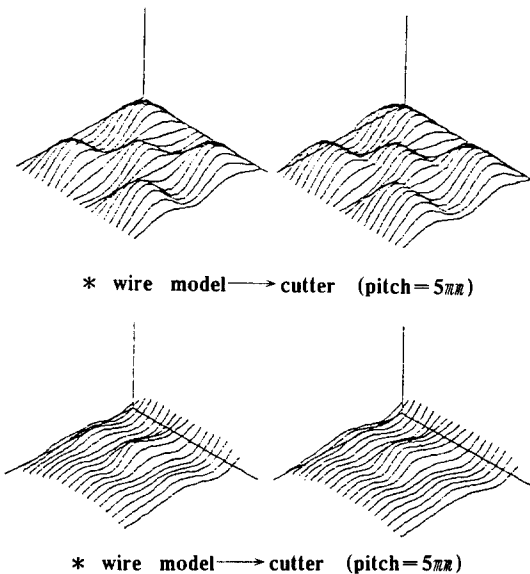


Fig. 4-2 Example of cutter path drawing on the basis of wire model

#### 4.2. NC 명령 생성 및 DNC 가공

생성된 공구경로를 이용하여 NC 기계가 가공할 수 있도록 NC 명령을 생성하는 과정은 생성된 곡면으로부터 위와 같은 과정을 거쳐서 산출된 CL 데이터를 이용하여 NC 기계가 인식할 수 있는 NC 코드로 변환시키는 작업이라고 할 수 있다. 이를 CL 데이터의 후처리(post processing)라고 하는데, 이는 기계의 제작자마다 서로 다르므로 그 기계에 맞는 프로그램(post processor)이 있어야 한다.

본 연구에서는 공구의 기본적인 이동이 주어지는 공구경로를 따라서 한쪽방향으로만 가공되도록 하는 one-way 방식으로 이동함으로써 기계가공된 곡면의 질을 좋게 하고자 한다.<sup>22, 23</sup> 또한, 가공조건 등을 적절히 지정할 필요가 있는데, 이는 NC 가공의 생산성 및 정밀도 달성에 중요한 요소가 된다. 본 시스템에서는 사용자가 컴퓨터와 대화하는 방식으로 작업 화일을 불러들여서 Fig. 4-3에 나타낸 것과 같이 NC 코드 명령프로그램 번호(Program No.), 최소 설정 단위(least input increment;  $\mu\text{m}$ ), 공구 번호(Tool No.), 공구지름(Tool Diameter;  $\mu\text{m}$ ), 공구 보정 번호(Tool compensation No.), 공구 보정값( $\mu$ ), 주축회전수(rpm), 이송속도(mm/min), 안전한 공구이동을 위한 공작물의 최대 높이(mm)와 같은 가공조건 및 공구정보 등의 데이터를 입력함으로써 해당 NC 기계에 따라 구성되어진 소프트웨어의 처리에 의하여 NC 명령을 생성한다.<sup>24</sup> 이어서 컴퓨터와 NC 기계간에 RS-232C 인터페이스(interface)를 통하여 DNC(Direct Numerical Control) 전송이 이루어짐으로써 절삭가공에 들어가게 된다.

```

-----
- Generation of NC commands on the basis of wire data : Koo, Y H
-----
** You can load any wire data stored in Disk Unit:A **
*****.***
Load File name ? p5k5 .cm0          FILE NAME : p5k5 .cm0
-----

NC commands *****.***  min.unit = .01
File name ? p5k5 .cm0      pitch = 5
-----
PROGRAM No. ? 501          NC UNIT (,um) ? 1000
TOOL No. ? 1              TOOL Dia (,um) ? 10000
TOOL C.No. ? 21          TOOL C.R (,um) ? 5000
SPEED (rpm) ? 800
FEED (mm/min) ? 1000     TOP Z (mm) ? 25
-----
    
```

Fig. 4-3 Generation of NC commands on the basis of wire data



이상에서 설명한 경우에 대한 실제 NC 가공의 예를 종합하면, Fig. 4-4는 NC 명령의 목록(list)을 프린터로 출력시킨 것으로 이러한 NC 명령은 디스크(floppy disk)에 저장되어 추후에 기계가공시에 이용하게 되거나 또는 직접 RS-232C를 통하여 가공에 사용되는 NC기계, 형태에 맞도록 변환시켜서 전송하게 된다.

```

&X50:
T 1 R 5 L0.000 S A A ( )
Z
(&X501)
N1 G0 X+0 Y+0 Z+100
N2 G17 T 1
N3 G0 X-15 Y 0 Z 45
N4 S 800
N5 G0 Z C
N6 G1 X O F 1000
N7 X 5 Z 1.45
N8 X 10 Z 3.72
N9 X 15 Z 6.05
N10 X 20 Z 7.84
N11 X 25 Z 8.425
N12 X 30 Z 7.25
N13 X 35 Z 4.87
N14 X 40 Z 2.06
N15 X 44.42 Z C
N16 X 55.56 Z C
:
N570 X 44.42 Z 0
N571 X 55.56 Z 0
N572 X 60 Z 2.06
N573 X 65 Z 4.87
N574 X 70 Z 7.26
N575 X 75 Z 8.429
N576 X 80 Z 7.84
N577 X 85 Z 6.05
N578 X 90 Z 3.72
N579 X 95 Z 1.48
N580 X 100 Z 0
N581 X 115
N582 G0 Z 45
N582 G0 X-15 Y 105
N582 Z C
N582 G1 X C
N586 X 100 Z 0
N587 X 115
N588 G0 Z 45
N589 T 0
N590 G0 Z+100
N591 G0 X+0 Y+0 M30
?

&X503
T 1 R 5 L0.000 S A A ( )
Z
(&X503)
N1 G0 X+0 Y+0 Z+100
N2 G17 T 1
N3 G0 X-15 Y 0 Z 45
N4 S 1000
N5 G0 Z 11.38
N6 G1 X O F 200
N7 X 5.88 Z 6.53
N8 X 6.859 Z 4.4
N9 X 11.9 Z 2.9
N10 X 15 Z 2.35
N11 X 17.95 Z 2.77
N12 X 20.89 Z 3.72
N13 X 23.90 Z 4.97
N14 X 26.95 Z 6.26
N15 X 30 Z 7.55
:
N716 X 45 Z 5
N717 X 48.04 Z 5.07
N718 X 51.06 Z 5.23
N719 X 54.09 Z 5.37
N720 X 57.07 Z 5.33
N721 X 60 Z 5
N722 X 63.03 Z 4.22
N723 X 66.01 Z 3.17
N724 X 68.95 Z 1.98
N725 X 71.97 Z .87
N726 X 75 Z 0
N727 X 77.93 Z -.47
N728 X 80.9 Z -1.62
N729 X 83.909 Z -2.54
N730 X 86.95 Z -3.1
N731 X 90 Z 0
N732 X 90 Z 5
N733 X 105
N734 G0 Z 45
N735 T 0
N736 G0 Z+100
N737 G0 X+0 Y+0 M30
?
    
```

Fig. 4-4 Example of NC part program

Fig. 4-5는 이와 같은 NC 명령을 기계가공에 앞서 PC의 모니터(monitor)상에서 공구의 절삭경로를 따라서 시뮬레이션(simulation)시켜본 것이다.

또한, Fig. 4-6은 위의 Fig. 4-4의 NC 명령을 PC상에서 RS-232C를 통하여 실제로 독일 DECKEL사의 FP-2 CNC 밀링으로 DNC 전송시켜서 기계가공하여 생성된 공작물과 그때의 가공조건 및 공구정보 등의 예를 나타내고 있다.

### 5. 결론

16비트 PC를 이용한, 급형의 자유곡면 형상설계 및 NC 가공용, 간이형 CAD/CAM 시스템 구축에 관한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 사각형 그물모양의 균일한 배열을 갖는 점 데이터를 대화식 사용방법으로 조정함으로써 사용자가 원하는

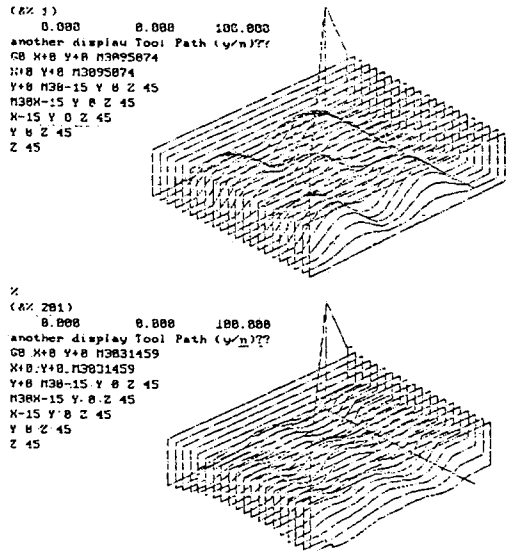


Fig. 4-5 Cutter path drawing of NC part program

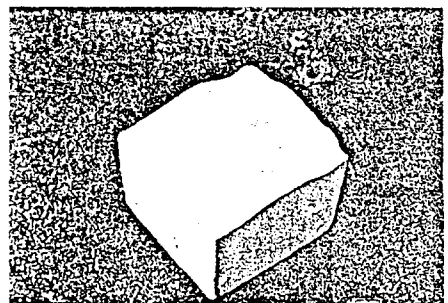
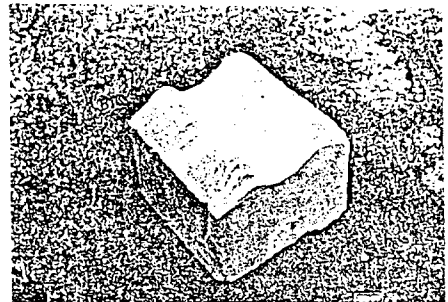


Fig. 4-6 Example of machining

곡면을 생성할 수 있었다.  
 2) 도면 등에서 주어지는 제품의 특성 곡선인 단면 곡선의 평행이동, 법선이동 및 직선연결 방식들을 이용함으로써, 역시 대화적인 방법으로 곡면을 생성할 수 있었다.

3) 이상과 같은 방법에 의하여 생성된 자유곡면의 형상 정보를 이용하여, NC 가공정보를 생성하고, 이를 NC 기계에 직접 전송하여 가공하기까지의 제반 절차를 제시 하였다.

4) 또한 구축된 간이형 CAD/CAM 시스템을 이용하여 실제 가공을 수행함으로써, 자유곡면 황삭 가공용으로서의 실용성을 입증하였다.

그러나, 보다 실용적이고 효율적인 시스템이 되기 위해서는, C언어 등에 의한 시스템의 재구축, 가공 정밀도 향상을 위한 공구, offset 방법 등에 관한 개선이 이루어져야 될 것으로 사료된다.

## 6. 참고문헌

- 1) Groover, M P and Zimmers, E W "CAD/CAM : Computer-Aided Design and Manufacturing" Prentice-Hall(1984)
- 2) 최병규 "NC 절삭가공과 CAM 시스템" 청문각 (1989)
- 3) 전차수 "3차원 측정 데이터로 부터 자유곡면의 NC 가공" 석사학위 논문, 과학기술원(1985)
- 4) 이준웅 "곡선 데이터로 정의된 자유곡면의 가공을 위한 CAM 시스템 개발" 석사학위논문, 과학기술원 (1986)
- 5) Aldefeld, B "On automatic recognition of 3D structures from 2D representations" Computer-Aided Design Vol 15 No 2(March 1983)
- 6) Ho Bin "Inputting constructive solid geometry representations directly from 2D orthographic engineering drawings" Computer-Aided Design Vol 18 No 3(April 1986)
- 7) Richards, T H and Onwubolu, G C "Automatic interpretation of engineering drawing for 3D surface representation in CAD" Computer-Aided Design Vol 18 No 3 (April 1986)
- 8) 竹内芳美 "パソコンCAD/CAM" 工業査會 (1984)
- 9) MacDougall, M H "Simulating Computer System Techniques and Tools" The MIT Press(1987)
- 10) Pressman, R S and Williams, J E "Numerical Control and Computer-Aided Manufacturing" John Wiley & Sons(1977)
- 11) PAO, Y C "Elements of Computer-Aided Design and Manufacturing, CAD/DAM" John Wiley & Sons(1984)
- 12) Faux, I D and Pratt, M J "Computational Geometry for Design and Manufacture" John Wiley & Sons(1981)
- 13) Farin, G "Algorithms for rational Bezier curves" Computer-Aided Design Vol 15 No 2(March 1983)
- 14) 山口富士夫 "刑狀處理工學 [1], [2], [3]" 日刊工業新聞社(1982, 1987)
- 15) Lasser, D "Intersection of parametric surfaces in the Bernstein-Bezier representation" Computer-Aided Design Vol 18 No 4(May 1986)
- 16) Piegl, L "Hermite-and Coons-like interpolants using rational Bezier approximation form with infinite control points" Computer-Aided Design Vol 20 No 1(January/February 1988)
- 17) Cliff Long "Special Bezier quartics in three dimensional curve design and interpolation" Computer-Aided Design Vol 19 No 2(March 1987)
- 18) Rogers, D F and Adams, J A "Mathematical elements for computer graphics" 2nd ed, McGraw-Hill(1989)
- 19) 이철수 "Sweep 곡면 모델링에 관한 연구" 박사학위논문, 과학기술원(1990)
- 20) Kjellander, J A P "Smoothing of bicubic parametric surfaces" Computer-Aided Design Vol 15 No 5(September 1983)
- 21) Timmer, H H "Alternative representation for parametric cubic curves and surfaces" Computer-Aided Design Vol 12 No 1(January 1980)
- 22) Gregory C Loney and Tulgn M Ozsoy "NC machining of free form surfaces" Computer-Aided Design Vol 19 No 2(March 1987)
- 23) 맹희영 "자유곡면 모형의 CAD/CAM 및 시뮬레이션" 경기공업개방대학 논문집 제25집(1987)
- 24) Microsoft "Microsoft Quick BASIC 4.0 & 4.5" Microsoft Corporation(1989)