

본 연구는 1989년도 문교부 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

## 자유곡면의 연마공정을 위한 오프라인 로봇작업 프로그래밍 시스템의 개발

정 성종\*, 국 금환\*\*, 최 기봉\*\*

### Development of off-line Robot Task Programming System for Polishing Process of Sculptured Surfaces

S. C. Chung\*, K. H. Kuk\*\*, G. B. Choi\*\*

#### Abstract

In order to achieve high accuracy of teaching and increase productivity using industrial robots in polishing process of dies, an off-line task programming system was developed on IBM-PC/386 under WINDOWS 3.0 operating system. The internal structure and the mathematical basis of CAMPolii are described. Surface modeling technique of polishing dies with sculptured surfaces is introduced by using data interpolation methodology through the use of CL-data transmitted from conventional CAM system. Tool selection, polishing speed, polishing pressure and kinds of tool motions can be determined and selected by user specified polishing variables. Task creation and verification of polishing path via computer graphics simulation of polishing tool can be done by the menu-driven function of CAMPolii system. Post-processing module is attached to generate robot language. Some simulation results are provided as verification means of the system.

#### 1. 서 론

3차원 자유곡면을 볼엔드밀 (Ball-End Mill) 을 사용하여 금형가공 할 경우, 가공면에는 공구경로에 따른 흔적과 NC공작기계의 직선보간시 발생되는 오차에 의하여 가공오차가 필연적으로 발생된다. 따라서

공작기계 상에서 금형가공을 수행한 후에는 가공오차를 제거하고 금형의 표면을 매끄럽게 하기 위하여 연마작업이 필연적으로 요구된다.

종래에는 이와같은 연마작업을 수작업 또는 공작기계 상에서 수행하거나 또는 전용기를 이용하여 수행하여 왔으나, 공작기계를 이용하는 경우는 공작기계

\* 한양대학교 공과대학 기계설계공학과

\*\* 한국기계연구소 자동화연구부 로봇공학실

의 축수가 3축으로 제한되어 공작물에 수직한 방향으로 연마를 하지 못하는 단점을 가지게 되고, 전용기를 이용하는 경우는 연마공정의 유연성을 중대시킬 수 없는 단점을 가지게 된다. 따라서 자유곡면을 갖는 금형의 연마작업을 보다 유연성이 높게 수행할 수 있도록 하기 위하여 로봇을 이용하는 경우, 로봇에게 연마작업을 교시할 수 있는 오프라인 프로그래밍 시스템의 개발은 필수적이라고 하겠다.<sup>(1)-(4)</sup>

오프라인 프로그래밍은 로봇과 프로그래머가 분리된 상태에서 그래픽 시뮬레이터를 이용하여 로봇을

교시할 수 있는 프로그램을 작성하는 기법이다.

이 오프라인 프로그래밍을 이용하면 생산현장에서 로봇의 교시에 소비되는 시간단축은 물론 까다로운 작업의 교시를 원활하게 수행할 수 있게 되어 단종 소량생산 체제에 걸맞도록 로봇의 유연성을 중대시킬 수 있게 된다.<sup>(5)</sup> 국내에서는 PC(Personal Computer)를 이용한 금형연마공정의 오프라인 프로그래밍 시스템에 관한 연구가 수행되어지지 않고 있으며, 국외에서는 이 분야의 연구가 부분적으로 실용화(일본 Yaskawa의 ROTSY, 일본 신호체널의

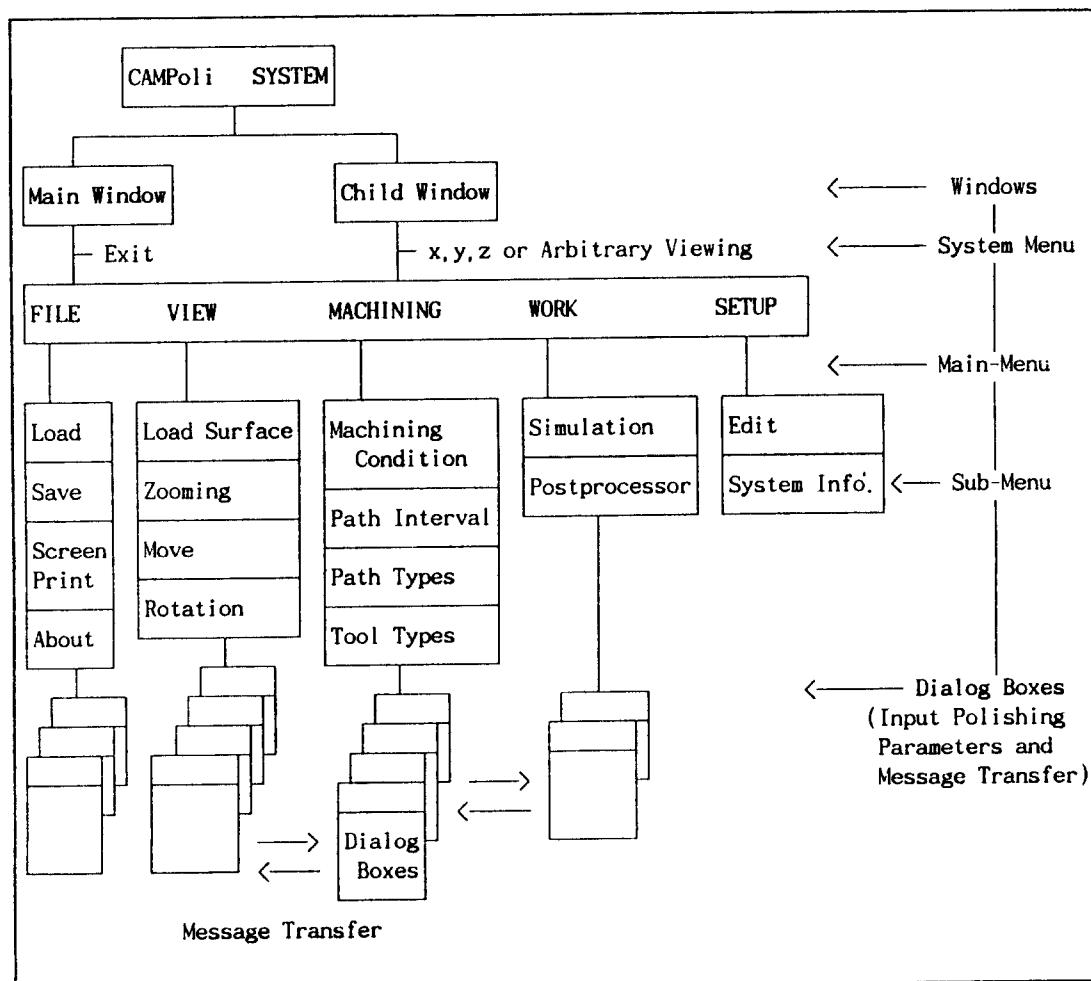


Fig. 1 Structure of CAMPolii System

WEL-CAM, 일본 FANUC사의 KAREL 등) 되어지고 있지만, 전용 CAD/CAM 장비가 고가이고, 그의 운용이 복잡하여 PC를 이용한 금형연마 오프라인 프로그래밍 시스템의 개발은 필요하다고 하겠다.

본 연구에서는 3차원 자유곡면으로 이루어진 금형의 연마가공에 로봇을 도입하고, 이를 위한 로봇 작업단의 경로제어시 비전문가라 할지라도 CAM시스템으로부터 금형가공용 NC공작기계의 공구경로데이터 (Cutter Location Data; CL-Data)를 받으면 자유곡면을 모형화한 후 자유곡면의 법선벡터와 연마로봇 작업단의 위치벡터를 자동으로 생성하고, 그에 따른 로봇의 작업명령을 자동으로 생성할 수 있는 CAMPoli 오프라인 로봇 프로그래밍 시스템을 개발

하였다. CAMPoli 시스템은 마이크로소프사의 WINDOWS 3.0 오피레이팅 시스템<sup>(6)</sup>을 이용하여 IBM-PC/386 상에서 개발되었으며 그 주요한 내용들은 다음과 같다. i) CAM시스템으로부터 입력된 CL-데이터로부터 연마면에 대한 자유곡면을 생성하고, ii) 연마공정의 데이터베이스에 기초한 연마 변수의 지정 및 변경을 수행하고, iii) 자유곡면 연마를 위한 로봇 공구의 위치벡터와 법선벡터를 계산하고, iv) 실제 로봇작업단의 가공경로인 오프셋곡면(Offset Surface)을 생성하고, v) 기존의 로봇언어를 이용한 오프라인 소스프로그램(Source Program)을 생성 및 그래픽 시뮬레이션하는 과정으로 구축되었다.

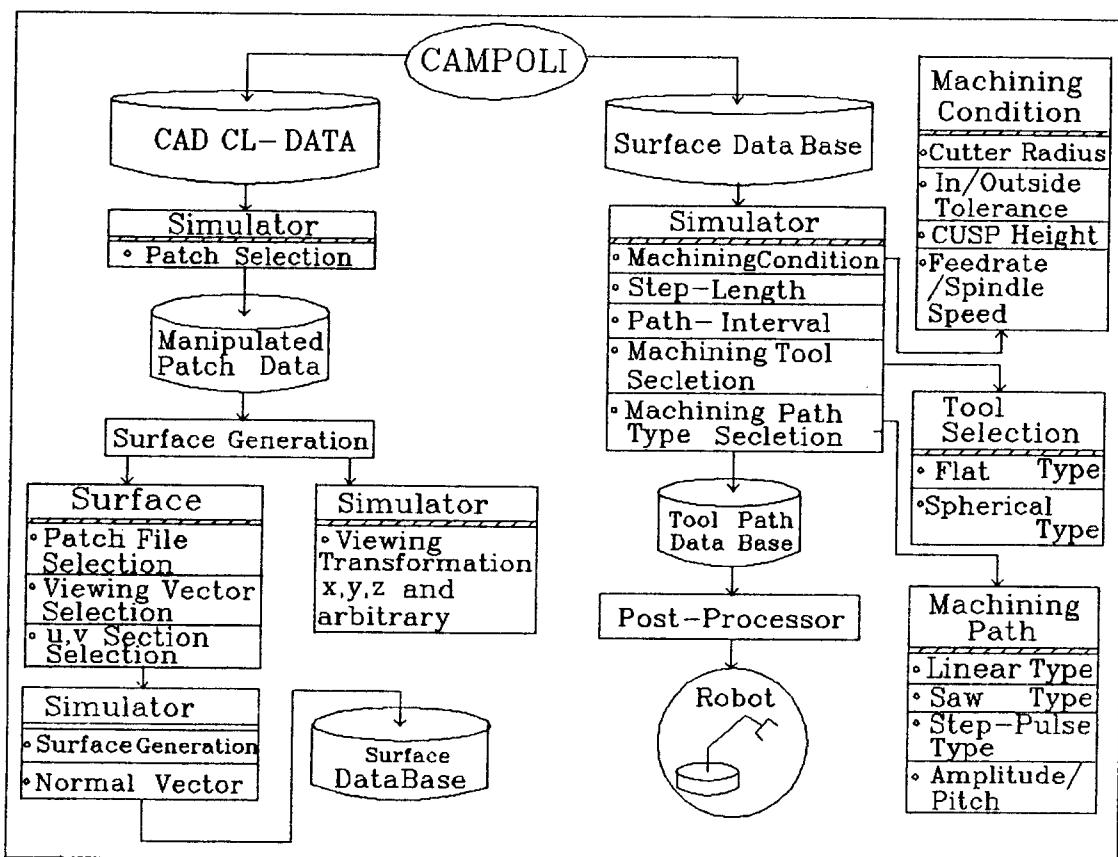


Fig. 2 Flow-Graph of CAMPoli System

## 2. CAMPolii 시스템의 구성

CAMPoli 시스템은 컴퓨터 모니터상에서 마우스(Mouse)와 메뉴, 윈도우(Child Window) 및 다이얼로그박스(Multi-Dialog Box) 등을 활용하여 연마공정을 위한 교시작업으로부터 로봇언어로의 포스트프로세싱(Post-Processing) 과정까지를 대화식으로 프로그래밍을 수행할 수 있도록 개발되었다.

Fig. 1은 전체적인 프로그램의 구성도를 나타낸다. 메인메뉴중 File의 기능은 CL-Data의 그래픽, 스크린의 프린트, 시스템에 대한 정보 등을 제공하며, View에서는 단위곡면데이터의 그래픽과 좌표변환의 기능을 제공한다.

Machining에서는 연마변수, 공구 및 가공경로 등에 대한 기능을 제공하고, Work에서는 연마작업의 그래픽시뮬레이션과 포스트프로세싱 기능을 제공한다. 그리고 Setup에서는 입력사항에 대한 시뮬레이션 결과가 만족스럽지 못할 경우 입력변수의 변경이나 새로운 출력결과를 얻기위한 편집기능과 시스템에 대한 정보를 제공하는 구조로 되어 있다. 사용자 인터페이스에 기초한 시스템의 전반적인 체계는 Fig. 2와 같으며 그 주요기능 부분은 다음과 같다.

### (1) 기하학적 모형화 모듈

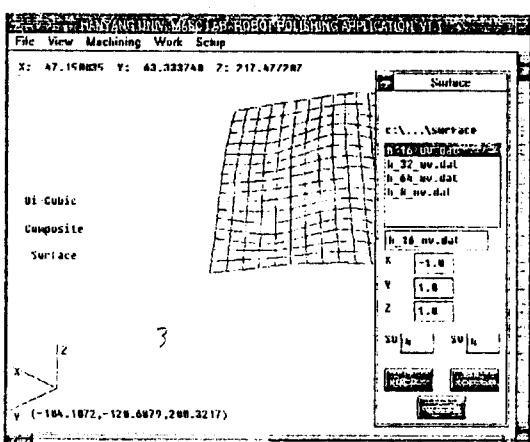


Fig. 3 Composite Surface and Input Conditions

Fig. 3과 같이 CAM시스템 또는 측정시스템으로부터 얻어진 3차원 CL-데이터를 출력하고 단위곡면수를 결정한다. Ferguson의 점데이터 보간법을 이용하여 CL-데이터로부터 단위곡면 데이터화일을 생성한 후 각 단위곡면들을 합성하고 합성곡면으로 모형화한 후 데이터를 저장하는 기능을 가진다.

### (2) 연마변수 설정 모듈

연마할 곡면의 기하학적 모형화가 끝나면 Fig. 4와 같이 공구회전수, 가압력, 이송속도, 공구모양 및 곡률에 따른 공구반경의 선택, 연마면의 공차, 공구흔적에 따른 표면조도 등을 마우스 인터페이스에 의한 메뉴와 다이얼로그 박스를 통하여 설정하고, 이를 저장하는 기능을 가진다.

### (3) 경로계획 모듈

연마변수 지정이 끝나면 자유곡면 연마를 위하여 필요한 로봇 작업단에 부착된 연마공구의 위치벡터와 법선벡터를 계산하고 연마경로를 결정한다. CAMPoli 시스템은 지정된 연마변수를 바탕으로 대상곡면의 곡률반경을 고려한 공구모양 및 크기의 선택, 연마 허용공차 범위내를 만족하는 보간길이, 연마공구의 기하학적 모형에 의하여 발생되는 표면조도에 따른 최적의 경로 간격, 그리고 로봇 작업단의 위치벡터와 법선벡터 등을 자동으로 결정하는 기능을 가진다.

### (4) 연마작업 수행 시뮬레이션 모듈

위의 (1), (2), (3)에서 얻어진 결과로부터 화면을 통하여 실제의 연마작업을 교시하고 확인하기 위한 기능을 가지고 있다. 연마작업의 효율성을 증대시키기 위하여 연마공구의 운동법을 고려하였다. 즉, Fig. 5에서와 같이 정해진 진폭과 피치에 따라 로봇작업단에 부착된 공구의 경로형태를 결정하는 것으로 직선형, 사각파형, 삼각파형으로 제한하였다. 이는 메뉴와 마우스를 통하여 선택되어지고 시뮬레이션으로부터 적합한 결과를 얻은 후 메모리에 저장된다. Fig. 6은 Fig. 5와 같이 결정된 공구경로에 따라서 로

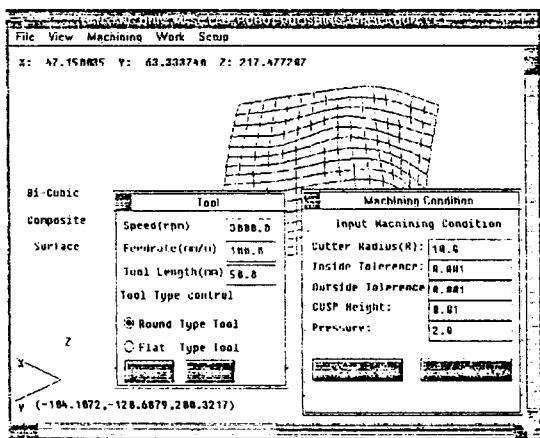


Fig. 4 Input of Polishing Conditions

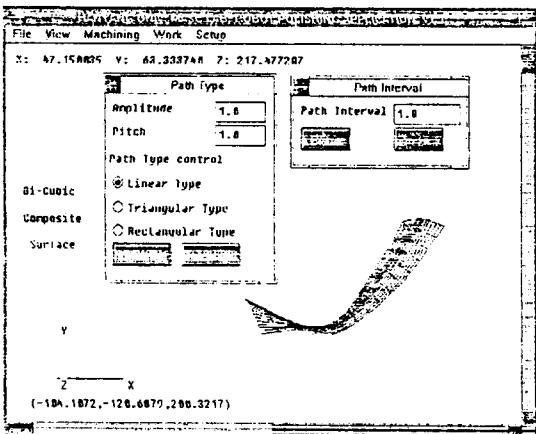


Fig. 5 Tool Path Planning

봇작업단을 구동시키는데 필요한 오프셋곡면과 그에 따른 연마작업의 수행과정을 보여준다.

##### (5) 포스트프로세싱 모듈

(4)의 결과로부터 얻어진 로봇 작업단의 연마데이터를 포스트프로세서에 의하여 로봇이 인식할 수 있는 언어로 변환시키고 이 결과를 로봇 콘트롤러에 전송할 수 있도록 하는 기능을 가진다. Fig. 7은 본 시스템을 통하여 발생된 연마작업을 위한 프로그램의 예를 보여준다.

### 3. 점 데이터의 곡면모형화와 연마데이터 생성

#### 3. 1 점 데이터의 곡면모형화<sup>(1-3, 7-8)</sup>

CAM 시스템으로부터 입력된 CL-데이터로부터 설계된 자유곡면의 형상에 맞게 로봇연마를 위한 자유곡면을 생성 및 인식하기 위하여는 곡면을 모형화하고자 하는 단위곡면수에 따라서 2절의 (1)의 과정을 이용하여 입력데이터 화일을 생성하여야 한다.

Fig. 8과 같이 합성곡면을 생성하기 위한 입력점 ( $r_0, r_{01}, \dots, r_{MN-1}, r_{MN}$ )이  $(M+1) \times (N+1)$  개로 주어지면,  $r_{ij}, r_{0i}, r_{ij}, r_{v, ij}, r_{uv, ij}$ 의 입력 데이터가 필요하게 된다. 여기서 합성곡면 모서리 부위의 접선 벡터 ( $r_{u, 00}, \dots, r_{u, MN}; r_{v, 00}, \dots, r_{v, MN}; r_{v, 0N}, \dots, r_{v, MN}$ ) 등은 3점을 지나는 원의 접선벡터 추정법을 이용하여 결정하고 꼬임벡터 ( $r_{uv, 00}, \dots, r_{uv, MN}$ )는 0으로 한다. 일정한 간격으로 나누어진 합성곡면상에 존재하는 k번째 단위곡면을 Ferguson이 제시한 3차 다항식 곡면으로 표현하면

$$r(k)(u, v) = uCQ(k)CTv \quad \dots \dots \dots (3.1)$$

이 되고, 여기서

$$Q(k) = \begin{bmatrix} r_{i-1, j-1} & r_{i-1, j} \\ r_{i, j-1} & r_{i, j} \\ \hline r_{u, i-1, j-1} & r_{u, i-1, j} \\ r_{u, i, j-1} & r_{u, i, j} \\ \hline r_{v, i-1, j-1} & r_{v, i-1, j} \\ r_{v, i, j-1} & r_{v, i, j} \\ \hline r_{uv, i-1, j-1} & r_{uv, i-1, j} \\ r_{uv, i, j-1} & r_{uv, i, j} \end{bmatrix}$$

$$i=1, 2, \dots, M-1; j=1, 2, \dots, N-1;$$

$$k=1, 2, \dots, (M \times N)$$

$$u = [1 \ u \ u^2 \ u^3],$$

$$v = [1 \ v \ v^2 \ v^3]$$

$$0 \leq u \leq 1, 0 \leq v \leq 1; \text{매개 변수}$$

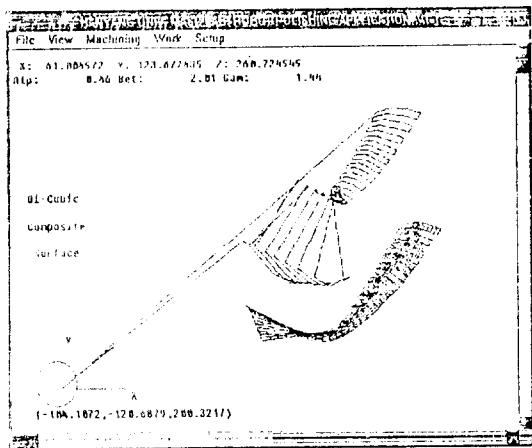


Fig. 6 Simulation of Polishing Process

```

SET s=3000 0000
SET t=100 0000
M85
SET p=2 0000
SET QHWH X 104 1072Y 120 6879Z200 32170,000000 00000J 0000;
DELAY 30.
START
MOVE TO Y 41 173409Y7 288389Z272, 943710I 01395180 556958G1 560737.
MOVE TO X 40 768600I6, 897657279 700389A1 01971690 551135G1 562094.
MOVE To Y 40 269962I6, 421165Z86, 428795A1 028673B0 542213G1 561920.
MOVE To X 39 696316V5 867162Z93 107224I1 04007B80 530827G1 560225.
MOVE To Y 39 067486Y5, 245390Z99 697121A1 053355B0 517663G1 556975.
MOVE To X 38 404346Y4 567316Z106 185181A1 067747B0 503163G1 552097;
MOVE To X 365 675323Y125, 157234Z235, 009872A0, 472761B2 022060G1, 439446;
MOVE To X 364 116868I124, 739238Z224I, 387497A0 469262B2 017918G1, 437962;
MOVE To X 363 2/93883124, 3378142Z17, 810211A0, 465972B2 014478G1, 437770;
MOVE To X 362 1125833123, 976631Z254, 261353A0, 463353B2 012166G1, 438948;
MOVE To X 361 045741123, 677437Z260, 723454A0, 461818B2 011456G1, 441578;
RETURN;
END;

```

Fig. 7 Example of Creating Robot Code

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -3 & 3 & -2 & -1 \\ 2 & -2 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

이 된다.

여러개의 단위곡면들의 집합으로 이루어진 합성곡면을 모형화 하기 위하여는 k번째 단위곡면에서  $Q^{(k)}$ 를 결정하여야 한다. 합성곡면의 내부점에서의 접선 벡터와 꼬임벡터를 단위곡면들이 접하는 경계선에서 접선벡터와 곡률이 연속이라는 조건을 이용하면 식 (3.2) 와 같은 3열 대각행렬로 구하여 진다.

$$r_{u,i-1,j} + 4r_{u,i,j} + r_{u,i+1,j}$$

$$= 3(r_{i+1,j} - r_{i-1,j})$$

$$i = 1, 2, \dots, M-1 ; j = 0, 1, \dots, N$$

$$r_{v,i,j-1} + 4r_{v,i,j} + r_{v,i,j+1}$$

$$= 3(r_{i,j+1} - r_{i,j-1})$$

$$i = 0, 1, 2, \dots, M ; j = 1, 2, \dots, N-1$$

$$r_{uv,i-1,j} + 4r_{uv,i,j} + r_{uv,i+1,j}$$

$$= 3(r_{v,i+1,j} - r_{v,i-1,j})$$

$$i = 1, 2, \dots, M-1 ; j = 0, 1, \dots, N$$

$$\dots \dots \dots (3.2)$$

식 (3.2)로부터 합성곡면의 내부점에서의 접선벡터와 꼬임벡터를 구하게 되면 임의의 k번째 단위곡면을 공간상에서 정의할 수 있으며,  $(M \times N)$  개의 단위곡면의 합으로 표현되는 합성곡면의 방정식은 식 (3.1)로 나타낼 수 있게 된다. 그리고 이 합성곡면의 k번째 단위곡면상의 법선벡터를 구하면

$$n^{(k)}(u, v) = \frac{r_u^{(k)}(u, v) \times r_v^{(k)}(u, v)}{\|r_u^{(k)}(u, v) \times r_v^{(k)}(u, v)\|} \quad \dots \dots \dots (3.3)$$

$$k = 1, 2, \dots, (M \times N) : \text{단위곡면 번호}$$

이 된다.

### 3.2 연마공구 반경 선택

자유곡면 연마과정에서 Gouging 현상과 공구간섭 현상을 방지하면서 연마과정이 이루어질 수 있도록 하기 위하여는 연마를 수행하고자 하는 곡면상에서 연마공구의 반경 R이 곡면상의 임의에 점에서 법선곡률  $K_n$ 의 최대치의 역수보다 작게 선택되어 있어야  $K_n$ 의 최대치는 모든  $r(u, v)$  점에서

$$k_n = (b + \sqrt{b^2 - ac}) / a \quad \dots \dots \dots (3.4)$$

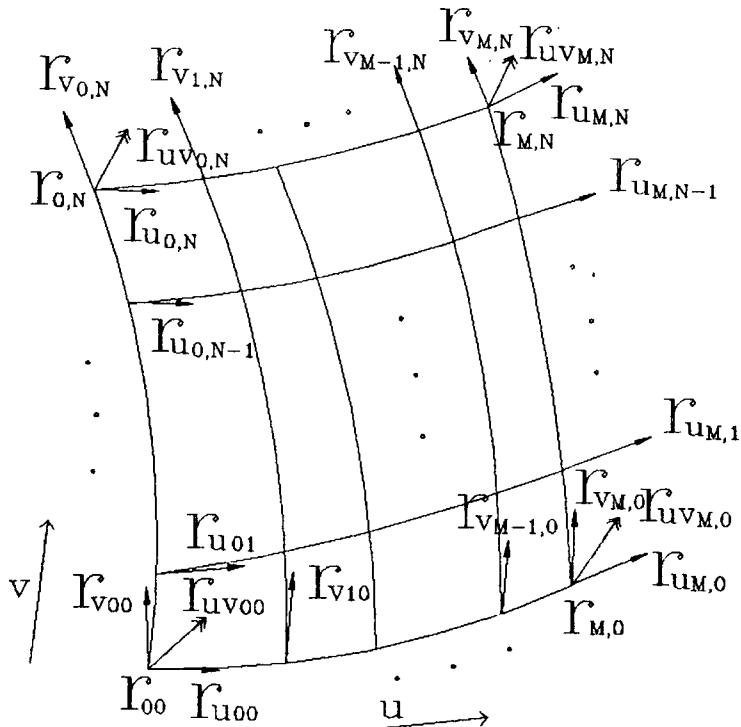


Fig. 8 Data Points for Composite Surface Modeling

이며<sup>(1-2, 6)</sup>, 여기서

$$a = (r_u^T r_u)(r_v^T r_v) - (r_u^T r_v)^2$$

$$b = \left[ \frac{-(r_u^T r_u)(n \cdot r_{vv}) + (r_v^T r_v)(n \cdot r_{uu})}{2} - (n \cdot r_{uv})(r_u^T r_v) \right]$$

$$c = (n \cdot r_{uu})(n \cdot r_{vv}) - (n \cdot r_{uv})^2$$

$$n = \frac{r_u \times r_v}{|r_u \times r_v|}$$

이다.

### 3.3 연마경로의 직선보간거리 (Step-Length) 계산

CAM시스템으로부터 얻어진 점데이터를 이용하여 3.1절에서 유도된 곡면모형화 과정을 수행하면, 임의의 자유곡면을 매개변수 표현법으로 구할 수 있게 된다. 이와같이 얻어진 자유곡면상에서 로봇을 이용한 연마작업을 수행하는 경우 로봇 연마공구의 경로제어가 이루어지도록 연마공구의 직선보간거리 계산작업이 이루어져야 한다. 주어진 공차( $\delta_1$ , 외부공차 $\delta_0$ )를 만족하는 절삭경로의 직선보간길이를 결정하기 위한 알고리즘은 다음과 같다.

1) Fig. 9의 단면곡선의  $r_i$ 에서 단면곡선의 오목

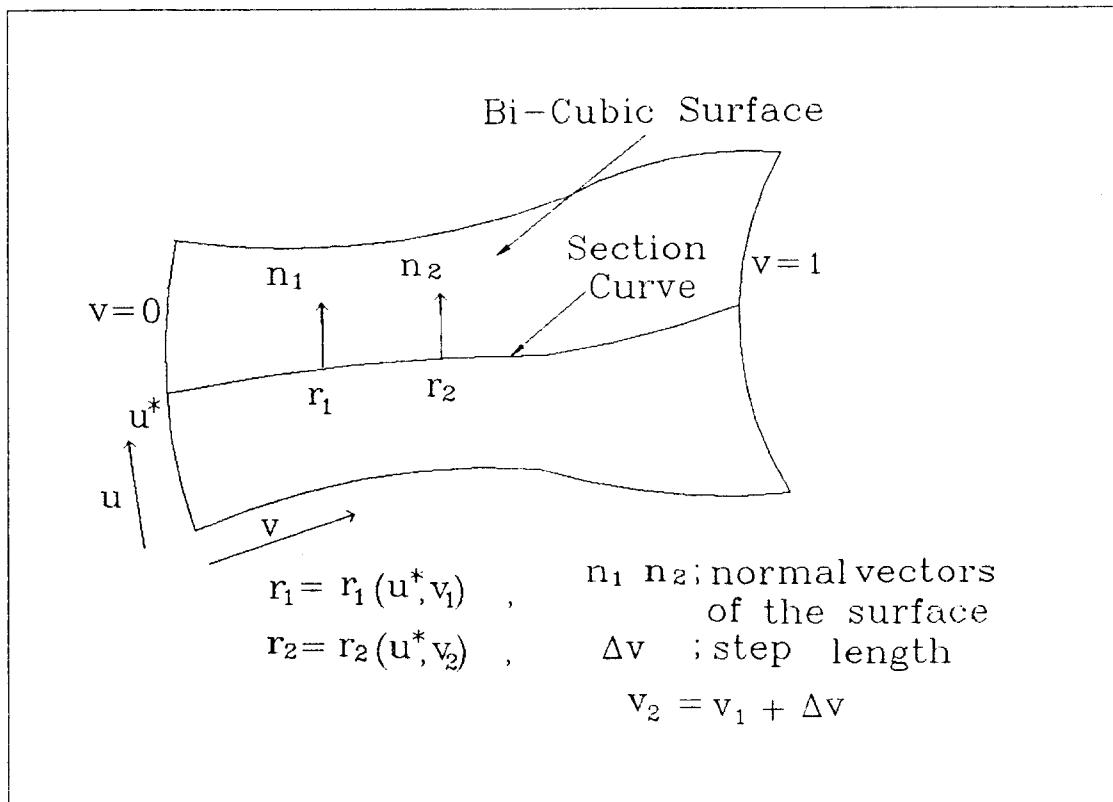


Fig. 9 Section Curve on the Bi-Cubic Surface

및 볼록을 결정한다.

$$n \cdot r_{vv}(u^*, v_1) = \begin{cases} >0 \text{이면 오목} \\ <0 \text{이면 볼록} \\ =0 \text{이면 평활} \end{cases}$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left[ \frac{\rho - R - \delta_0}{\rho - R} \right] : \text{오목의 경우}$$

$$\alpha = \cos^{-1} \left[ \frac{\rho + R - \delta_1}{\rho + R} \right] : \text{볼록의 경우}$$

- 2) i) 1)의 과정에서  $n \cdot r_{vv}(u^*, v_1) = 0$ 이면  $v_2 = v_1 + \Delta v$ 로 하고, 여기서  $\Delta v$ 는 사용자가 적절히 선정한다. 그리고 7)의 단계로 진행한다.  
 ii) 1)의 과정에서  $n \cdot r_{vv} \neq 0$ 이면  $r_1$ 에서 변화율  $s = |r_v(u^*, v_1)|$ 을 계산한다.  
 3) 단면곡선의 곡률반경  $\rho = s^3 / |r_{vX} r_{vv}|$ 을 계산한다.  
 4) Fig. 10에 주어진 보간각도  $\alpha$ 를 단면곡선의 오목, 볼록에 따라서 구한다.

- 5) 다음 단계에서의 직선보간거리를 구한다.  
 $\Delta v = 2\rho \sin \alpha$   
 6) 다음 위치에서의  $v_2$ 값을 구한다.  
 $v_2 = v_1 + \Delta v$   
 7) 다음 위치에서의 위치 벡터  $r_2(u^*, v_2)$ 를 구한다.  
 8)  $v_2$ 를  $v_1$ 으로 치환하고 위의 1) 단계로  $v_2 = 1$ 이 될 때까지 직선보간을 진행한다.

### 3. 4 연마경로간 간격 (Path-Interval) 계산

주어진 연마경로를 따라서 볼엔드밀 형태의 연마공구로 연마작업을 수행하게 되면 연마공구의 형태에 따라서 가공경로 사이에 흔적이 남게 된다. 이 경우 흔적의 높이  $h$ 는 곡면의 곡률반경이 공구 반경  $R$  보다 큰 경우 가공경로와의 사이에  $L_p = 2\sqrt{h(R-h)}$ 의 관계가 성립하게 된다. 이와같이 선택된  $L_p$ 에 따른 가공경로의 간격  $\Delta u_i$ 는  $u_i$ 이 선택된 경우 다음의 알고리즘으로 계산된다.

- 1)  $\Delta u_i = L_p / (|r_v| / |r_u \times r_v|)$  를  $u = u_i, v = v_i$ 인 모든 점에서 계산한다.
- 2) 계산된  $\Delta u_i$ 로부터 최소의  $(\Delta u_i)_{min}$ 을 찾는다.
- 3)  $u_2 = u_1 + (\Delta u_i)_{min}$ 으로 치환하고 3. 3절에서  $u^*$ 에  $u_2$ 를 치환하고, 절삭경로의 직선보간거리 계산을 수행한 후  $u_2 = 1$ 이 될 때까지 위의 1)

및 2)의 과정을 반복한다.

### 3. 5 연마데이터의 생성<sup>[9]</sup>

연마공구경로는 간접방지를 위하여 연마작업 대상 곡면의 모형화 후, 연마공구가 대상곡면의 최소 곡률반경보다 작은 반경을 갖도록 연마공구를 선정한 후 가공을 위한 연마조건(회전속도, 이송속도, 가압력, 흔적높이와 가공오차 등)을 입력하여 정해진 오차내에서 가공이 이루어지도록 한다. 발생된 경로데이터는 공구길이와 대상곡면의 법선벡터에 따라서 로봇작업단의 경로제어 궤적이 오프셋되어 나타내어지며, 이 결과는 포스트프로세싱 단계로 이전되어 실제 로봇작업단의 경로제어가 이루어질 수 있도록 한다. Fig. 6은 직선형 운봉에 따른 로봇작업단의 연마공정의 결과를 보여준다.

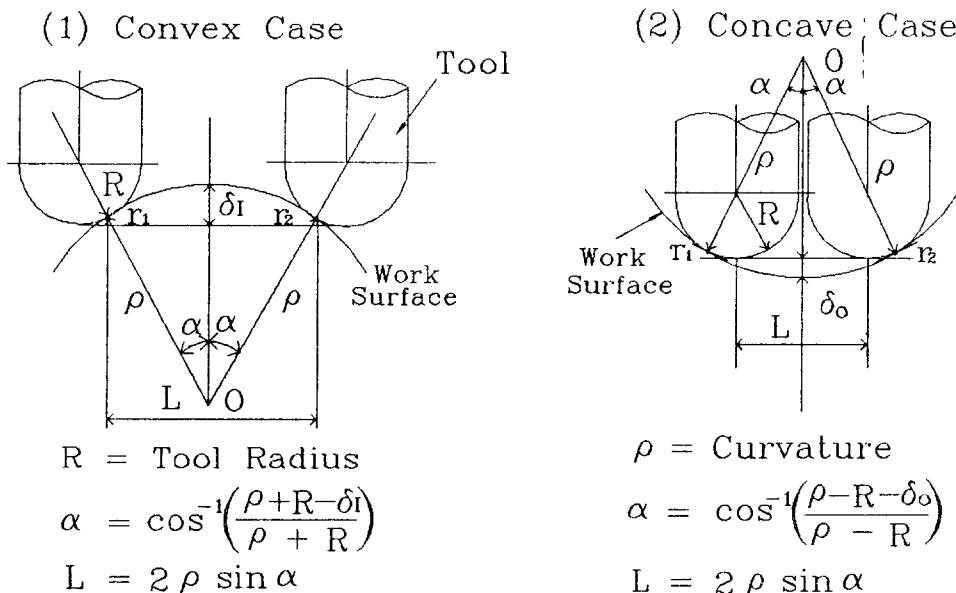


Fig. 10 Linear Interpolation Errors in Machining Process

### 3.6 포스트프로세싱<sup>(10-12)</sup>

3. 1절부터 3. 6절까지 사이에서 개발된 곡면모형화 과정을 수행하면 연마가공오차를 만족하는 직선보간 경로 점들을 구할 수 있게 된다. 이렇게 구한 직선경로보간 점들은 그 점에서의 위치벡터( $x, y, z$ ) 값과 법선벡터( $\alpha, \beta, r$ )의 성분으로 주어지게 된다. 2. 2절에 주어진 CAMPoli시스템상의 연마가공변수 지정모듈을 이용하면 실제 연마가공에 필요한 로봇연마공구의 이송속도, 회전속도, 가압력 등을 로봇에 교시할 수 있게 된다. 이와같은 과정을 통하여 CAMPoli시스템에서 얻어진 연마변수들은 사용되어질 로봇의 언어로 변환된다. Table 1은 CAMPoli에서 사용된 로봇언어를 보여주고 있다. 범용 로봇언어로 이용되고 있는

Table 1 Robot Language Used for CAMPoli System

Language	FUNCTION
ABS	Absolute Coordinate
DELAY	Dwell Time x (Second)
END	Stop Signal
INC	Incremental Coordinate
MOVE TO x	Linear Interpolation
RETURN	Return to Robot Origin
SET f=x	Set Feedrate with x (m/min)
SET ORIGIN x	Position of Robot Origin With Respect to Polishing Starting Point
SET p=x	Set Pressure with x (kgf/cm <sup>2</sup> )
SET s=x	Set Spindle Speed with x (rpm)
START	Starting Signal

AL또는 AML에서는 충돌회피경로 등을 반영하나 CAMPoli에서 채용한 언어는 여러가지 연마조건과 로봇작업단의 원점을 지정하면 이를 바탕으로 로봇작업단이 연마대상곡면에 대하여 오프셋 곡면상에서 연마가공후 다시 원점으로 되돌아가는 과정으로 진행되는 로봇지향적 언어체계로 되어 있다. Fig. 7은 로봇연마공구의 길이  $l=50\text{mm}$ , 회전속도  $s=3000\text{rpm}$ , 이송속도  $f=100\text{mm/min}$ , 가압력  $p=2\text{kgf/cm}^2$ 로 하

고 오프셋 곡면상의 시작점( $x_1, y_1, z_1, \alpha_1, \beta_1, r_1$ )으로부터 끝점( $x_n, y_n, z_n, \alpha_n, \beta_n, r_n$ )까지 Fig. 6과 같은 완만한 자유곡면으로 이루어진 연마대상 곡면에서의 CAMPoli를 통한 오프라인 프로그래밍 후 완성된 포스트프로세싱 결과를 보여준다.

### 4. 결 론

CAMPoli는 그의 원리에 있어서 자유곡면을 갖는 모든 대상작업에 로봇을 이용할 수 있도록 오프라인 시스템으로 개발되어있으며, 특히 공정이 연마작업과 유사한 금형의 가공오차 측정 및 검사작업, 페인팅 작업, Deburring작업, 아크용접, 리벳팅 및 조립작업 등에 로봇을 이용한 오프라인 프로그래밍을 수행하는 경우 유용하게 사용되어질 수 있을 것이다.

CAMPoli 프로그래밍 시스템이 더욱 세련된 로봇용용 오프라인 프로그래밍 시스템으로 개발되어지기 위하여는 다음과 같은 문제점들이 보완되어져야 하겠다.

1) CAMPoli는 기존의 CAM 시스템으로부터 입력된 점데이터만을 이용하여 합성곡면을 생성함으로써 그의 작업대상 곡면에 제한을 가지고 있는바, 앞으로 Ruled Surface, Coons Surface, Sweep Surface 그리고 구, 원통 및 직육면체 등의 기본도형들이 합성되어 이루어진 복합곡면 금형 등의 연마작업에 적용될 수 있도록 개발되어져야 하겠다.

2) CAMPoli의 포스트프로세싱 모듈부분은 단순한 직선보간 데이터의 이송명령만을 활용하는 것으로 개발되어졌는데, 로봇의 형태와 작업에 따라서 충돌방지 및 포스트프로세싱 과정의 효율성을 증대하기 위하여는 전문적인 로봇언어와의 인터페이싱이 이루어지도록 개발되어져야 하겠다.

3) 로봇작업단의 이송속도 지정은 곡면의 형상에 관계없이 가공중 일정하게 유지되도록 개발되어졌는데, 곡면의 형상에 따라서 일정한 표면조도를 얻기 위하여는 곡면상에서의 작업단의 이송속도가 일정한 값으로 적용 변경될 수 있도록 이송속도를 실시간으로 계산할 수 있는 모듈이 개발되어져야 하겠다.

### 참고문헌

1. 정성종, 생산자동화 특론 강의 노트, 한양대학교 공과대학 기계설계학과 대학원, 1989.
2. I. D. Faux, M. J. Pratt, Computational Geometry for Design and Manufacture, John Wiley & Sons, 1981.
3. Fujio, Yamaguchi, Curves and Surfaces in Computer Aided Geometric Design, Springer-Verlag, 1988.
4. A. Storr and J. F. Mcwaters, Off-Line Programming of Industrial Robots, Elsevier, 1987.
5. G. M. Mair, Industrial Robotics, Prentice Hall, 1988.
6. MSC Windows 3.0, Microsoft Windows Reference Guide, MSC, 1990.
7. 최병규, NC 절삭가공과 CAM 시스템, 청문각, 1989.
8. Johan, A. P. Kjellander, "Smoothing of Bi-Cubic Parametric Surfaces", Computer-Aided Design, pp. 288-293, 1983.
9. G. DueLEN, R. Bernhardt and G. Schreck, "Use of CAD-Data for the off-Line Programming of Industrial Robots", Robotics, Vol. 3, pp. 389-397, 1987.
10. T. Lozano-Perez, "Robot Programming", Proceedings of the IEEE, Vol. 71, No. 7, pp. 821-841, 1983.
11. Shinji Kawabe, "Generation of NC Commands for Sculptured Surface Machining from 3-Coordinate Measuring Data", Annals of the CIRP Vol. 29, pp. 369-372, 1980.
12. T. Kurakano, "The Presdam System for Designing and Manufacturing Freeform Objects", Proceedings of the JAPAN-USA Symposium on Flexible Automation, pp. 931-938, 1988.

### 용어해설

## CIM & AI을 위한

### ● Unlatch instructions PC(Personal Computer):

PC(Personal Computer)의 하나의 명령. 출력을 「OFF상태」로 한다. 단, 어떻게 하여 명령이 간결하게 되느냐는 생각하지 않는다. 분리된 단에 있어서의 러치명령에 의해서만 「ON상태」로 되돌릴 수 있다.