

오프 라인 티칭에 의한 디버링 NC 프로그램 생성 및 가공

김선호*, 박경택*, 윤영진**, 이만형**, 이익희***

NC Program Generation Using Off-line Teaching of Deburring Path

Sun Ho Kim*, Kyoung Taik Park*, Young Jin Yun**, Man Hyung Lee**, Ik Hee Lee***

ABSTRACT

Die-casting burr due to casting process is removed by post-process for assembly and quality control of product. Though robot has been widely used for deburring job before, CNC exclusive machine is currently developed for high power, high speed machining and quick tool change. Deburring tool path with complex 3D curve type is defined to make out deburring NC program. But there is no efficient method to define it currently used methods with teaching probe on machine. In this study the efficient method to make out deburring NC program is developed. 5-axis digitizing machine is used to receive data of deburring path. And the post processor for NC program generation is developed in consideration of the machining conditions. The developed system is not dependent on the skill of operator and has the advantage to maintain the flexibility of job to modify NC program due to the wear of tool and aging of the die casting.

Key Words : Burr(버), Deburring(디버링), Off-line Teaching(오프 라인 티칭), NC Program(NC 프로그램)

1. 서론

알루미늄 부품을 다이캐스팅 할 때, 금형의 틈새, 조립정밀도, 노후화 정도, 작동압력 변화 등에 의해 버(Burr)가 발생하게 된다. 이러한 버는 다음 공정의 조립성 그리고 품질향상을 위해 디버링(Deburring) 공정을 거치면서 제거된다. 과거, 디버링 작업은 전형적인 수작업 공정중의 하나였으나, 작업의 균일성 및 환경적인 문제를 고려해, 최근에는 자동화가 이루어지고 있다. 디버링 작업을 자동화하기 위한 방법으로는 로봇(Robot)과 디버링 전용 머신이 주로 이용되고 있다. 로봇을 이용

하는 방법은 시스템 구성이 용이하고, 디버링 경로의 티칭에 유연성이 있으나, 가반 중량이 작고 고속화에 어려움이 있다.^(1,2) 디버링 전용 머신을 이용하는 방법으로는 주로 제어기로 CNC가 이용되고 있다. 이러한 방법은 디버링에 필요한 가공력을 높이는데 용이하며, 고속화, ATC에 의한 공구교환 시간 단축 등에 유리한 점이 있다.^(3,4) 또한, 자동화된 디버링 머신에서 디버링 작업의 효율을 높이기 위한 연구도 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 연구로는 비전을 이용해 버의 크기를 측정한다든지,^(5,6,7) 로봇 매니플레이에 인간의 숙련 기술을 전이한다든지,⁽⁸⁾ 센서를 이용해 버의 높이

* 한국기계연구원 자동화연구부

* 부산대학교 기계공학부

** 대우정밀(주) FA 사업부

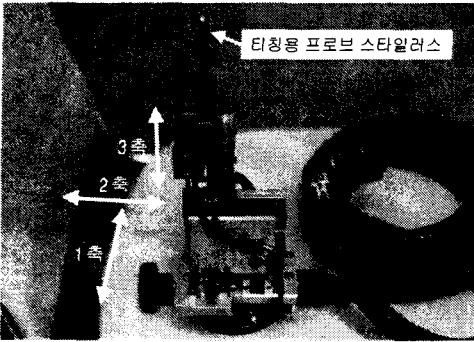


Fig. 1 Teaching Probe with 3 axes moving unit

를 측정하고 이를 숙련가의 디버링 이송속도와 매칭을 하는 연구⁹⁾가 이루어 지고 있다.

최근에 개발되고 있는 CNC 디버링 머신에서는 NC 프로그램을 생성하는 방법으로 디버링 머신에 전용 티칭장치를 설치하고, 이를 이용하여 얻은 점 데이터를 이용해 CNC에서 NC 프로그램을 만드는 방법이 일반적이었다.^(3,10) 이러한 시스템에 사용되는 전용 측정 프로브의 예를 Fig. 1에 나타내었다. 이는 공작기계가 갖는 운동축에 부가적인 3축을 부여하고, 이의 이동량을 외부에서 읽음으로서 디버링 경로의 입력에 유연성을 부여하고 있다. 그러나 이러한 방법의 경우, 티칭이 이루어지는 동안 기계가 생산을 하지 못한다는 점, 티칭이 숙련도에 크게 의존한다는 점, 그리고 가공조건이나 환경이 바뀔 때마다 티칭을 새로이 해야 한다는 점 등은 비생산적인 요소가 될 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 금형의 CAD 도면으로부터 버의 형상을 정의하고 이를 이용해 NC 프로그램을 생성하는 방법과, 다이캐스팅 부품의 마스터(Master)를 이용해 오프 라인으로 NC 프로그램을 생성하는 방법이 있을 수 있다.

본 연구는 다이캐스팅 과정에서 발생한 버를 효과적으로 제거하기 위한 5축 디버링 머신에서 오프 라인 티칭(Off-line Teaching)으로 디버링 NC 프로그램을 생성하고 이를 이용한 가공 시스템에 관한 것이다. 이를 위해 디버링 경로를 오프 라인으로 입력시키기 위한 티칭기술, 디버링 머신의 환경을 고려한 좌표변환, 티칭 데이터를 활용한 NC 프로그램 생성용 포스트 프로세싱(Post

Processing) 기술 등이 개발되었다.

2. 디버링의 정의 및 NC 프로그램 생성 방법

NC 프로그램을 작성하는 일반적인 방법으로 가공형상이 원, 각형과 같이 정형인 경우에는 수동에 의하거나 CAD를 이용하는 방법이 있고, 자유곡면과 같이 비정형인 가공면의 경우에는 CAD를 이용하는 방법이 일반적이다. 그러나 자유곡면이 CAD에서 정의하기에 복잡한 형상의 경우에는 미리 모형(Mock-up)을 만들고 3차원 측정기를 활용해 가공점 데이터를 구하고, 얻어진 점 데이터를 이용해 CAM에서 NC 프로그램을 생성하는 것이 더욱 효과적일 수 있다.

다이캐스팅 부품의 버 형상을 특징적인 측면에서 고려한다면 자유곡면의 단면에 해당하는 자유곡선이 될 것이다. 이러한 특징을 갖는 버를 CNC 디버링 머신에서 제거하기 위해서는 NC 프로그램을 생성해야 한다. 디버링 형상은 곡선의 정의가 복잡하기 때문에 종전에는 디버링 경로의 점 데이터 수집이 용이한 전용 측정 프로브를 설치하고, 이를 이용해 얻은 버 형상 정보를 가지고 NC에서 NC 프로그램을 생성하는 방법이 이용되어 왔다.⁽³⁾ 그러나 이 경우, 컨트롤러가 특정 사양에 의존되고,⁽¹⁰⁾ 전용 프로브를 제어하기 위한 장치가 기계마다 설치되어 비경제적이며, 티칭이 숙련도에 크게 의존한다는 단점을 가진다.

이러한 단점을 극복하기 위해, 본 연구에서는 디버링 경로 데이터 수집을 범용 디지털타이징 머신을 이용해 오프 라인으로 하고자 했다. 수집된 점 데이터를 이용해 PC에서는 가공조건 및 기계구조

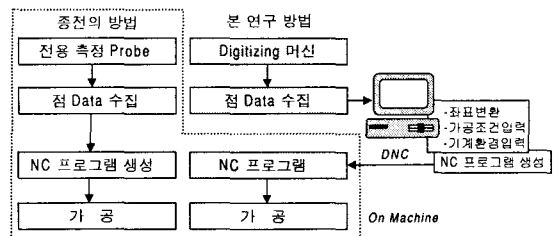


Fig. 2 NC program generation methods

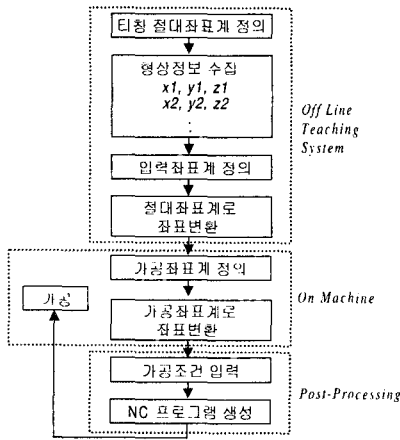


Fig. 3 Procedures of off-line teaching

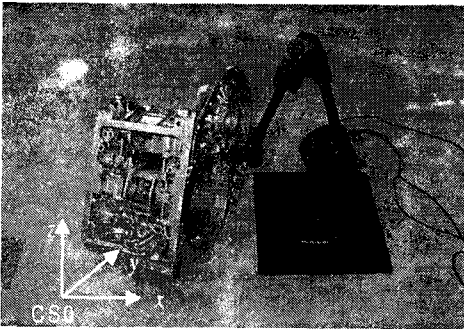


Fig. 4 Gathering of deburring path data using digitizing machine

를 고려하여 좌표변환을 하고 NC 프로그램을 자동으로 생성한다. 생성된 NC 프로그램은 디버링 머신으로 DNC 전송하는 방법을 적용했다.⁽¹¹⁾ 본 방법은 CNC 사양에 의존적이지 않고, 오프 라인 티칭 및 NC 프로그램 생성에 의해 작업의 유연성을 확보할 수 있는 장점을 갖는다. 이에 대한 개념을 Fig. 2에 나타내었다.

3. 시스템 구성 및 작업 흐름

오프 라인 티칭 및 디버링 작업 흐름을 Fig. 3에 나타내었다. 구조는 디버링 경로 점 데이터를 수집하는 오프 라인 티칭 시스템, 디버링 머신의

좌표계를 고려하고 디버링 작업을 수행하는 기계부 그리고 가공조건을 입력하고 NC 프로그램을 생성하는 포스트 프로세싱부로 구성된다.

3.1 디버링 경로 데이터 수집

디버링 경로 데이터를 수집하는 때는 두 개의 좌표계가 사용된다. 데이터 수집장치의 원점을 기준으로 하는 절대좌표계 CS_0 와 임의의 공간에서 평면을 정의하는 입력좌표계 CS_1 을 가진다. 본 연구에서 사용된 디지털링 머신(Micro Scribe-3D)은 5축 관절 구조를 가지고 정밀도가 0.3mm이며, PC에서는 RS-232C를 통해 측정 데이터를 전송 받는다. Fig. 4는 본 연구에서 대상으로 한 자동차 부품으로 디지털링 머신을 이용해 디버링 경로 데이터를 수집하는 모습을 나타낸 것이다.

Fig. 5는 디지털링 머신을 이용해 디버링 경로 데이터를 수집할 때 사용한 좌표계를 정의한 것이다. CS_0 를 정의할 때 O_0 를 (0,0,0)으로 정의한다. CS_1 좌표계에서 $dp_1, dp_2, dp_3 \dots$ 는 디버링 경로를 정의하기 위해 수집된 디버링 위치점을 나타낸 것이고, P1, P2, P3는 CS_1 좌표계의 평면을 정의하기 위해 입력된 점을 나타낸다. 입력좌표계를 절대좌표계로 좌표변환시에는 편의상 P1점을 O_0 그리고 P2 점을 CS_0 좌표계의 X축상에 있도록 정렬한다.

Fig. 5와 같은 디버링 경로를 따라 잘 가공된 마스터 시편을 이용해 3차원 데이터를 수집했다. 수집된 데이터 예를 아래에 보였다.

dp_1	66.15	124.57	236.76
dp_2	70.98	125.20	236.12

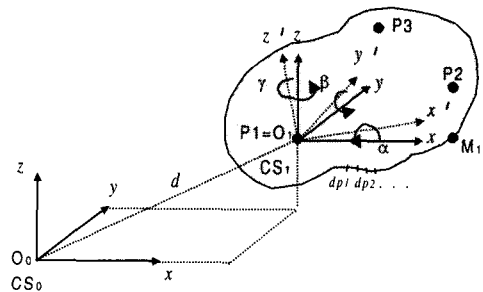


Fig. 5 Coordinate for off-line teaching

dp3	76.49	125.79	235.45
dp4	83.01	127.46	235.11
dp5	87.55	128.68	235.07
dp6	92.32	130.68	234.88

Fig. 6는 오프 라인 터칭에 의해 수집된 222개의 3차원 데이터를 그래픽 처리한 것이다.

3.2 입력 데이터의 좌표 변환

디버링 머신 좌표계를 고려한 NC 프로그램을 생성하기 위해, 입력좌표계를 절대좌표계로 바꾸어야 한다. 아래와 같은 두 좌표축간의 임의의 위치에 대한 관계를 고려한다.

입력좌표계인 CS₁ 좌표계상에 있는 임의의 점 M₁을 절대좌표계 CS₀ 좌표계에 대한 점 M₀로 표시하면,

$$M_0 = H_0^1 M_1 \quad (1)$$

(H: Homogeneous Transformation Matrix)

이 된다. 여기서 구하고자 하는 M₁은 CS₀ 좌표계의 관점에서 표시된 경로의 각각의 점을 CS₁ 좌표계의 관점으로 바꾸는 것으로, 아래와 같이 표현 가능하다.

$$M_1 = (H_0^1)^{-1} M_0 \quad (2)$$

$$H^{-1} = \begin{bmatrix} R^T & \vdots & -R^T d \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \vdots & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서, 행렬 R은 CS₁ 좌표계의 각 축에 대한 유니트 벡터(Unit Vector)를 칼럼 벡터(Column Vector)로 가지는 행렬이 된다. 각 축에 대한 유니트 벡터를 e_x, e_y, e_z라 하면, R은 다음과 같이 정리 가능하다.

$$R = [R_1 \ R_2 \ R_3] = [e_x^T \ e_y^T \ e_z^T] \quad (4)$$

여기서,

$$e_z = (x_z, y_z, z_z),$$

$$e_x = (x_x, y_x, z_x),$$

$$e_y = e_z \times e_x = (x_y, y_y, z_y)$$

그림에서 d는 CS₀ 좌표계의 관점에서 본 두 원점간의 거리가 되며, 여기서는 편의상 P1을 CS₁ 좌표계의 원점이라고 정의한다. CS₁ 좌표계의 평면을 정의하는 세 점 P1, P2, P3는 한 평면내에 있으므로 다음의 행렬식으로 표현이 가능하다.

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 \\ x_2 & y_2 & z_2 \\ x_3 & y_3 & z_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} d \\ d \\ d \end{bmatrix} = [0] \quad (5)$$

$$P \cdot Q + D = 0, \quad \therefore Q = -P^{-1} \cdot D \quad (6)$$

$$P^{-1} = \frac{1}{\Delta} \begin{bmatrix} a_x & a_y & a_z \\ b_x & b_y & b_z \\ c_x & c_y & c_z \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서,

$$\Delta = x_1(y_2 z_3 - z_2 y_3) + x_2(z_1 y_3 - y_1 z_3) + x_3(y_1 z_2 - z_1 y_2) \quad (8)$$

그리고,

$$\begin{bmatrix} a_x \\ b_x \\ c_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_2 z_3 - z_2 y_3 \\ z_2 x_3 - x_2 z_3 \\ x_2 y_3 - y_2 x_3 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} a_y \\ b_y \\ c_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_3 z_1 - z_3 y_1 \\ z_3 x_1 - x_3 z_1 \\ x_3 y_1 - y_3 x_1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} a_z \\ b_z \\ c_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 z_2 - z_1 y_2 \\ z_1 x_2 - x_1 z_2 \\ x_1 y_2 - y_1 x_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

평면 방정식에서 각 항의 계수인 (a,b,c)와 평면의 노말 벡터(Normal Vector)와 관계를 구해보면,

$$a = -(a_x + a_y + a_z) \cdot t,$$

$$b = -(b_x + b_y + b_z) \cdot t,$$

$$c = -(c_x + c_y + c_z) \cdot t, \quad t = d \quad (10)$$

따라서, 유니트 노말 벡터(Unit Normal Vector)

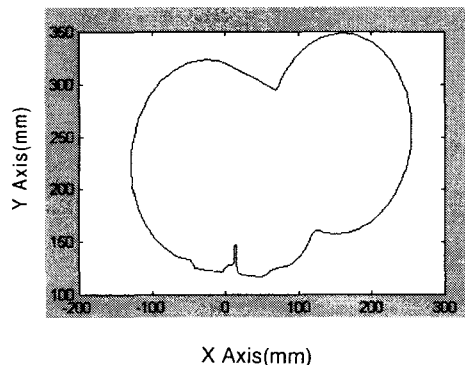


Fig. 6 Deburring path in input coordinate

e_n 은 다음과 같이 된다.

$$e_n = (x_n, y_n, z_n) \quad (11)$$

여기서,

$$x_n = \frac{a}{\sqrt{(a^2 + b^2 + c^2)}}, y_n = \frac{b}{\sqrt{(a^2 + b^2 + c^2)}}, z_n = \frac{c}{\sqrt{(a^2 + b^2 + c^2)}} \quad (12)$$

그리고, 평면의 노말 벡터를 좌표계 Z축에 대한 벡터로 간주할 것이므로,

$$e_z = e_n = (x_n, y_n, z_n) \quad (13)$$

편의상 입력좌표계의 평면을 정의하는 P2 점이 절대좌표계의 X축에 있는 것으로 정렬한다고 가정한다. 이러한 가정을 통해 P1 점과 P2 점에 의해 X축에 대한 유니트 벡터 e_x 를 잡을 수 있고, Y축에 대한 유니트 벡터 e_y 는 벡터 적(Vector Cross Product)에 의해 구할 수 있다. 이를 수식으로 정리하면 다음과 같다.

$$e_x = (x_x, y_x, z_x) \quad (14)$$

여기서,

$$\therefore x_x = \frac{(x_2 - x_1)}{x_m}, y_x = \frac{(y_2 - y_1)}{x_m}, z_x = \frac{(z_2 - z_1)}{x_m} \quad (15)$$

$$x_m = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (16)$$

$$e_y = e_z \times e_x = (x_y, y_y, z_y) \quad (17)$$

여기서,

$$\therefore y_y = (y_x z_x - z_x y_x), z_y = (z_x x_x - x_x z_x), x_y = (x_x y_x - y_x x_x) \quad (18)$$

이상의 식을 통해 각 축에 대한 유니트 벡터 e_x, e_y, e_z 가 구해졌기 때문에 행렬 R을 이용해 두 좌표계간의 변환이 이루어진다.

이상의 식을 이용해 입력좌표계를 정의하는 세 점 P1, P2, P3를 이용해 입력좌표계를 절대좌표계로 변환한다. 3.1절에서 입력좌표계에서 얻은 점 데이터를 절대좌표계로 변환하면 아래와 같다.

$$P1=(47.45, 111.55, 236.60), \\ P2=(229.17, 327.47, 274.28), \\ P3=(-17.55, 327.77, 316.35)$$

$$dp1' \ 21.830 \ -6.489 \ -0.747830 \\ dp2' \ 25.306 \ -9.961 \ -0.765154 \\ dp3' \ 29.181 \ -13.977 \ -0.689908 \\ dp4' \ 34.564 \ -18.025 \ -0.465339 \\ dp5' \ 38.382 \ -20.750 \ -0.140952 \\ dp6' \ 42.918 \ -23.242 \ -0.153992$$

절대좌표계로 변환된 데이터를 그래픽하게 처리한 예를 Fig. 7에 나타 내었다. 만일 절대좌표계가 기계좌표계가 된다면, 입력좌표계에서 기계좌표계로 변환이 가능하다.

3.3 NC 프로그램 생성

측정된 디버링 경로를 이용해 디버링 공구를 선정하고 공구경로를 구한다. 디버링 머신은 5축 CNC로서 기계 본체에서 3축이 구동되고, 테이블에서 2축이 구동되는 구조를 가진다. 즉, 테이블이 고정된 상태에서는 기계는 3축 가공이 이루어진

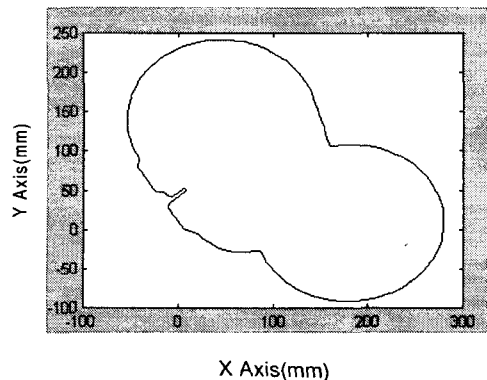


Fig. 7 Deburring path in absolute coordinate

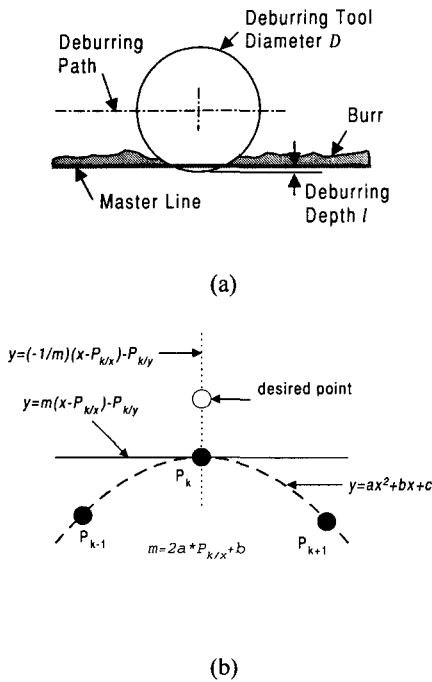


Fig. 8 Debering tool path a) and tool radius offset b)

다.

NC 프로그램의 생성 조건으로는 디버링용 공구의 직경은 디버링 경로의 최소 곡률반경 보다 작은 것을 사용하는 것을 원칙으로 하고, 디버링 머신의 테이블 제어를 통해 기계좌표의 변환이 가능하다는 점을 활용했다. 이러한 환경을 적용하면, P1점을 기계좌표의 원점으로하고 P2점을 기계좌표계의 x축상에 정렬이 가능하다.

오프 라인으로 얻어진 디버링 경로 데이터를 이용해 공구의 패적을 만들기 위해서는 곡선을 생성해야 한다. 이 방법으로는 모든점을 단순하게 잇는 보간과 근사화하는 방법이 있다. 근사화를 위한 방법으로는 Bezier, B-Spline, NURBS 등이 있으나, 이 경우에는 곡선이 측정점을 지나지 않는 경우도 발생한다.⁽¹²⁾ 이것은 가공시 언더 컷(Under Cut) 또는 오버 컷(Over Cut)을 발생 시킬 수 있다. 본 연구에서는 디버링 경로상에서 공구가 모든 측정점을 지나가게 하기 위해 측정점을 단순 연결하는 방법을 택했다.

이상의 환경을 고려하여 공구 오프셋(Offset)을 고려하여 공구경로를 결정하기 위해서는 법선방향

의 벡터를 먼저 구한다. 디버링 공구가 공작물을 따라 깊이 l로 가공이 이루어진다면 Fig. 8 a)와 같이 표시할 수 있다.

디버링 경로를 구하기 위한 공구 오프셋 설정 예를 Fig. 8 b)에 나타 내었다. 그림에서 P_k는 현재 공구가 놓일 위치 결정을 위해 사용되는 점이며, P_{k-1}, P_{k+1}은 이전과 다음의 위치를 나타낸다. 이때 3점을 이용한 곡선방정식은 y=ax²+bx+c로 나타 낼수 있으며, P_k에서 접선방정식은 y=m(x-P_{k/x})-P_{k/y}로 그리고 법선방정식은 y=(-1/m)(x-P_{k/x})-P_{k/y}로 표현할 수 있다. 이때 m은 접선 기울기를 나타낸 것으로 m=2a*P_{k/x} + b로 표현 가능하다.

이때 공구직경을 D, 디버링 깊이 l을 갖는 디버링 좌표의 조건은, 이 법선 위에 존재하고, P_k로부터의 거리가 (D/2 - l) 만큼 떨어진 좌표가 된다. 이러한 조건을 이용하면 2개의 식이 성립한다.

$$(P_{k/x} - X)^2 + (P_{k/y} - Y)^2 = l^2 \quad (19)$$

$$Y = -(1/m)(X - P_{k/x}) - P_{k/y} \quad (20)$$

이 식을 풀게되면 공구경로가 구해진다. 공구 직경을 10mm로 하고, 측정정밀도 및 디버링할 때 공구의 휨 등을 고려하여 디버링 깊이를 0.2mm로 했을 때 구해진 NC 프로그램은 다음과 같으며, 얻어진 공구경로를 Fig. 9에 나타 내었다.

```
G90F300S2000
G01X24.419Y-2.447Z-0.747
G01X28.728Y-6.595Z-0.765
G01X32.426Y-10.440Z-0.689
G01X37.393Y-14.148Z-0.465
G01X40.965Y-16.704Z-0.140
G01X44.945Y-18.892Z-0.153
```

4. 적용 및 평가

개발된 기술의 적용성을 검토하기 위해 실제 가공실험을 수행하고, 기존의 시스템과 기술적, 운

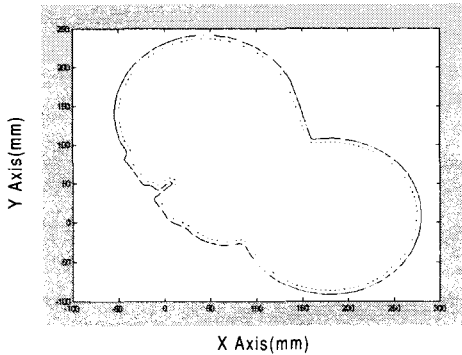


Fig. 9 Tool path for NC program generation

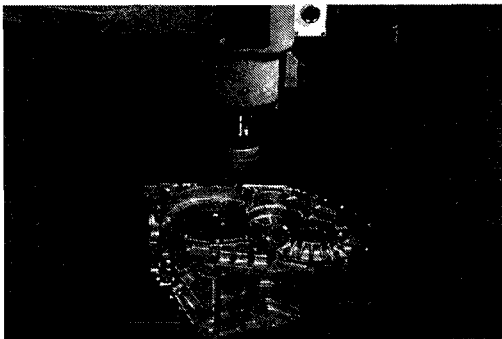


Fig. 10 Photograph of machining

적 그리고 경제적 측면에서 비교 평가를 했다.

가공실험은 개발된 시스템의 범용성을 확인하기 위해, CNC 밀링에서 가공을 수행했다. 사용된 밀링은 FANUC 11MA 컨트롤러를 갖는 수직형 머시닝 센터(대우 FZ25)이며, 디버링 NC 프로그램은 FS232C를 통해 CNC로 전송했다. 절삭은 10mm 직경을 갖는 HSS 엔드밀을 사용해, 1,500rpm에서 수행했으며, 가공장면을 Fig. 10에 나타내었다.

현장에서 통용되는 일반적인 기준을 적용하여, 디버링 작업 결과를 육안으로 관찰할 때 양호한 가공이 이루어 졌다고 판단되었다. 이는 디버링 작업의 기능이 가공정밀도 보다는 돌출 된 버를 단순히 제거하는 기능만 가진다는 점에 근거를 두고 판단한 것이다. 이러한 기능 때문에 디버링 작업은 반복정밀도가 수백 마이크로에 이르는 로봇을 이용해서도 작업이 가능했던 것이다.

개발된 시스템의 특징을 기술적, 운용적, 경제

적 측면에서 평가했다.

기술적 측면에서 보면, 종전의 방법에서는 기계상에서 수동으로 측정 프로브를 이용해 점 데이터를 수집하기 때문에 데이터의 변경이 필요하면, 다시 티칭을 해야 하는 번거로움이 있었다. 그러나 개발된 방법을 적용할 경우, 얻어진 데이터를 활용해 데이터를 수정하거나, 변경을 할 수 있는 장점이 있다.

운용적 측면에서 보면 종전의 방법에서는 티칭 품질이 숙련도에 크게 의존했으나, 개발된 방법은 숙련도에 무관한 장점을 가진다. 측정시간에 있어서도 종전의 방법에서는 중간 정도 숙련자의 경우, 약 70분이 소요되었다. 이를 공정별로 세분해 보면, 프로브를 기계에 설치하는데 10분, 프로브의 좌표 설정에 5분, 프로브의 탈착에 10분 정도 등의 준비시간이 소요된다. 반면, 오프 라인 티칭의 경우 5분 정도가 소요되었다. 측정물이 크거나, 측정 점수가 증가하는 경우에는 소요시간의 차이가 더욱 커진다. 이는 기계의 가동시간 증대를 의미한다.

경제적 측면에서 보면, 컨트롤러의 선택 폭이 넓어지고, 측정 데이터를 NC 프로그램으로 변환하는 기능의 선택사양에 들어가는 비용을 절감할 수 있다. 종전의 방법에서는 디버링 머신마다 측정용 컨트롤러와 프로브를 설치해야 했으나, 개발된 방법의 경우, 범용 디지털저를 적용함으로써 비용 절감이 가능하다. 3대의 기계를 운용한다고 가정하면, 개발된 시스템의 투자효과는 기계 비용의 15% 정도에 이른다. 이를 세분하여 정리하면 다음과 같다. 종전의 방법의 경우, 전용 프로브 제작비용이 500만원, 프로브 컨트롤러 제작비용이 400만원, NC 선택사양 투자비가 700만원, 관련 PLC 투자비용이 300만원 정도가 투자되어 기계당 1,900만원의 비용이 소요된다. 제안된 시스템은 PC와 디지털저에 대한 투자비가 800만원이 소요된다. 따라서, 기계 1대의 가격을 1.5억이라 한다면 약 15%의 투자비 절감이 가능하다.

이러한 분석결과를 Table 1에 정리했다.

5. 결 론

본 연구에서는 다이캐스팅 공정에서 발생한 버를 효과적으로 제거하기 위한 5축 디버링 머신에

Table 1 Specification of off-line teaching

구분	기술내용	특징	
		종전의 방법	본 연구 방법
기술적 측면	디버링 경로 정의	-기계상에서 수동으로 입력	-오프 라인으로 데이터 수집
	데이터 가공 기술	-데이터를 변경하기 위해서는 티칭이 필요	-최적 공구경 산출 -공구, 금형 마멸에 따른 프로그램 변경 가능 -오버 컷 량 조정 가능
운용적 측면	-티칭방법 -측정시간(분)	-숙련도에 의존 -70분(중간정도의 숙련자)	-숙련도에 무관 -5분(중간정도의 숙련자)
경제적 측면	-적용 컨트롤러 -측정 프 로 브 컨트롤러 -측정 프로브	-전용(NC 프로그램 생성 옵션) -기계에 설치 및 보조 PMC 필요 -전용 프로브 제작	-범용(메이커 및 기종에 무관) -외부에 설치 -범용 디지털타이저 적용

참고문헌

1. 박경택 외, "디버링용 지능 로봇 시스템에 관한 연구," 자동제어학술회의논문집, pp. 256-263, 1993.
2. Kramer, B. M. and Shim, S. S., "Development of a system for robotic deburring," Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol.7, No.1, pp. 291-295, 1990.
3. Yasuda Ltd., Debax-I user's manual, 1997.
4. 이만형, 이익희, 박경택, 김선호, 다이캐스팅 전용 디버링 시스템 개발 (공업기반기술개발보고서), 1999.
5. 신상운, 갈축석, 강근택, 안두성, "비전센서와 TSK형 퍼지를 이용한 디버링 공정의 자동화," 한국정밀공학회지, 제13권 제3호, pp. 102-109, 1996.
6. 신상운, 안두성, "비전을 이용한 디버링 기술을 로봇에 전달," 한국정밀공학회지, 제15권 제9호, pp. 93-100, 1998.
7. Tsai, D. M. and Lu, W. J., "Detecting and locating burrs of industrial parts," International Journal of Production Research, Vol. 34, No. 11, pp. 3187-3205, 1996.
8. Asada H. and Arai, Y., "The direct teaching of tool manipulator skills via the impedance identification of human motions," Proceedings IEEE Int'l Conference Robotics and Automation, pp. 1269-1274, 1998.
9. Simokura K. I. and Liu S., "Programming Deburring Robots based on human demonstration with direct burr size measurement," Proceedings IEEE Int'l Conference Robotics and Automation, pp. 572-577, 1994.
10. FANUC Ltd., FANUC 20 series maintenance manual, 1991.
11. 김선호, 이승우, 안남식, 김성복, 안중환, "DNC 시스템 개발," 한국정밀공학회지, 제12권 제12호, pp. 19-29, 1995.
12. Zeid, I, CAD/CAM Theory and Practice, McGRAW-HILL, 1991.

서 오프 라인 티칭으로 디버링 NC 프로그램을 생성하고, 가공하는 것에 관한 연구를 수행했다. 이를 위해 디버링 경로를 오프 라인으로 입력시키기 위한 티칭기술, 디버링 머신의 환경을 고려한 좌표변환 기술, 티칭 데이터를 활용한 NC 프로그램 생성용 포스트 프로세싱 기술 등이 개발되었다.

개발된 기술의 성능과 범용성을 평가하기 위해, 범용 CNC 밀링을 이용해 절삭실험을 수행한 결과, 양호한 결과를 얻었다.

이렇게 개발된 기술은 기술적, 운용적 그리고 경제적 측면에서 몇가지 장점을 부여했다. 기술적 측면에서는 가공조건이나 환경변화에 대응하기 위한 데이터의 변경이나 가공이 용이해져 작업유연성을 확보할 수 있도록 했다. 운용적인 측면에서는 마스터를 이용해 오프 라인으로 티칭이 이루어지도록 함으로서, 작업자의 숙련도에 관계하지 않도록 함으로서, 비가공시간인 측정시간을 감소시켰다. 경제적 측면에서는 CNC 사양에 의존적이지 않고, 각 기계마다 별도의 측정장치를 설치하지 않아도 되는 장점을 가진다.