

NC 데이터와 Off-Line Program을 이용한 연마 로봇 시스템 개발

오영섭(전북대학교 대학원), 유범상, 양균의(전북대학교)
YoungSup Oh(Graduate School, Chonbuk Nat. Univ)
BeomSahng Ryuh, GyunEui Yang(Chonbuk Nat. Univ)

ABSTRACT

This paper presents a method of grinding and polishing automation of precision die after CNC machining. The method employs a robot system equipped with a pneumatic spindle and a special abrasive film pad. The robot program is automatically generated off-line from a PC and downloaded to robot controller. Position and orientation data for the program is supplied from cutter contact (CC) data of NC machining process. This eliminates separate robot teaching process. This paper aims at practical automation of die finishing process which is very time consuming and suffering from shortage of workpeople. Time loss for changeover from one product to next is eliminated by off-line programming exploiting appropriate NC machining data. Dextrous 6-axis robot with rigid wrist and simple tooling enables the process applicable to larger, rather complex 3 dimensional free surfaces.

Key Words: Die(금형), Polishing(광택), Grinding(연마), Robot Automation(로봇 자동화), NC Data(NC 데이터), Off-line Programming(열외적 프로그래밍)

1. 서론

금형은 다품종 소량 생산 개념의 확대로 중요성이 커지고 있고 절삭 후에 연마를 하게 된다. 연마는 정밀도를 유지하며 품질의 척도인 조도(Roughness)와 파상도(Waviness)를 줄이는 작업인데 연마 패턴의 생성과 제어기술이 핵심이 된다⁽⁷⁾. 연마 작업에는 수작업이나 여러 방법에 의한 자동화가 사용된다. 수작업은 작업의 객관성과 연속성에 한계가 있고 전문 인력이 줄어 문제가 되고 있다. 또한 전 공정 시간의 30-40%가 소요된다는 문제를 안고 있다⁽¹⁾. 자동화에는 연마용 NC 전용기에 의한 방법, 금형 절삭 가공기에 특별 장치를 부착하여 연마까지 해결하는 방법, 또는 수직 다관절형 로봇에 의한 방법 등이 보고되고 있다. 각기의 방법은 장단점을 가지고 있다. NC 전용기에 의한 방법은 고능률이나 특정한 범위 내의 제품에 한정이 되고 고가이며 유연성이 적다는 특징을 가지고 있다.

금형 절삭 가공기로 겸용하는 방법은 NC 데이터를 공동 사용할 수 있고 제품 탈착, 고정의 시간을 단축시키는 등 여러 장점이 있으나⁽²⁾ 장시간의 연마 작업 동안 기계는 다른 작업을 할 수 없는 문제가 있다. 수직 다관절형 로봇에 의한 방법은 큰 작업 영역과 민첩성을 이용할 수 있어 복잡한 자유 곡면 연마에 적합하고 가격 경쟁력이 있으며 유연성이 높다. 그러나 기구적으로 약한 경우가 있으므로 (특히 손목 부위) 유의하여야 하고 대부분의 경우 교시반(Teach Pendant)에 의한 별도의 로봇 프로그래밍 작업을 필요로 한다.

현재까지 이루어진 연구를 보면, 경면 다듬질 장치를 CNC에 부착한 방법이 박균명 등에 의해 발표되었다⁽²⁾⁽³⁾. 기존의 CAD 데이터를 사용하여 열외적인(Off-line) 프로그램을 수행한 방법이 발표되었는데⁽⁴⁾⁽⁵⁾ 자체의 모델러가 있어 모델링 과정이 중복되어 있으며 두 모델러가 다른 방식을 취하고 있다면 형상

의 차이가 발생할 수도 있을 것으로 보인다. 또 선 절삭 공정의 CL(Cutter Location)데이터를 이용한 열외적 로봇 프로그래밍 기법도 보고되었는데⁽⁶⁾ CL데이터는 원칙적으로 금형 공작물의 형상과 동일하지 않아 연마 위치 오차 발생의 소지가 있는 것으로 보인다. 이외에 로봇의 6축 끝에 별도의 다관절 기구를 개발 부착한 시스템을 제안한 논문도 발표되었다⁽⁷⁾.

1-1 본 연구의 개요

본 연구에서는 로봇에 의한 금형 연마 시스템을 개발하고자 한다. 로봇은 자체가 6축으로 이루어져 충분한 민첩성(Dexterity)과 접근성(Accessibility)을 가지고 있어 연마 공구는 별도의 기구부가 없는 간단한 구조로 충분하다. 금형은 한 개나 적은 수를 생산하므로 금형마다 별도의 로봇 프로그램을 한다면 자동화의 타당성을 상당히 잃게 된다. 그러므로 본 연구는 선형 공정인 절삭 공정의 NC 데이터를 이용하여 PC에서 열외적인 로봇 프로그램을 자동 생성하고 로봇에 전송하여 로봇을 구동시키는 방법을 개발하였다.

NC 코드 작성 중의 CC(Cutter Contact) 데이터를 이용하여 PC에서 적절한 연마 경로를 생성하고 이를 로봇을 제어하기 위한 위치와 방위 데이터를 만들어 로봇에 전달한다. 이중 방위 데이터는 쿼터니언(Quaternion)의 형태를 갖는다. 로봇 제어기와 통신 규약을 맞추어 주는 통신 프로그램을 개발하여 쿼터니언 값을 RS-232 포트로 전달한다. 컴퓨터 링크에 의한 열외적 프로그래밍 방식의 개발은 다품종 소량 생산을 하는 로봇 자동화에서는 필수적이다. 실제 연마를 담당하는 공구 시스템은 공압 시스템에 의하여 공작물과 일정한 접촉력이 유지되고 공구 컴플라이언스를 갖도록 하였으며 적절한 형태의 사포와 공압 스펀들을 선정하였다.

2. 금형 연마를 위한 로봇 제어 데이터의 생성

금형은 절삭 가공 후 연마가 된다. 본 연구에서는 절삭 가공 과정에서 생성되는 데이터를 로봇 제어에 사용하는 방법을 연구한다. 이를 위해 우선 절삭 가공에서의 데이터 흐름을 살펴 보고 가장 적절한 형태의 데이터를 찾아내어 로봇 제어에 적절한 형태로 변환하는 과정이 필요하다.

2-1 금형의 모델링

입의 형상을 나타내는 곡면의 방정식을 구하는 과정을 모델링이라 한다⁽¹¹⁾. CAD에 의한 모델링에서

곡면은 몇 개의 수식으로 정의된다. 모델링 곡면의 한 방향을 u , 다른 방향을 v 라 하여 입의의 (u, v) 에서 곡면상의 한 점 (x, y, z) 를 계산할 수 있고 법선 벡터를 구할 수 있다.

모델링의 발달과정을 보면 1960년대 초에 퍼거슨 곡선이 나왔고, 1964년에는 쿤스가 그리고 1971년에 베지어가 하나의 다각형에 의하여 곡선을 표현하는 방법을 발표하였다. Gordon과 Riesenfeld는 B-spline을 제안하였다. 이는 베지어 곡선에 연속성을 보완하는 특성을 가지고 있다. B-spline의 특징은 곡선의 연결성과 수정의 편리함에 있다. B-spline 곡선의 정의는 아래와 같다.

$$P(t) = \sum_{i=1}^{m+1} B_i N_{i,k}(t) \quad (1)$$

B-spline 곡면은 B-spline 곡선을 두 개의 매개변수 공간으로 확대시켜 정의할 수 있다. 기저 함수를 u, w 두 개의 매개변수에 대하여 적용한다.

$$Q(u, w) = \sum_{i=1}^{m+1} \sum_{j=1}^{m+1} B_i N_{i,k}(u) M_j N_j(w) \quad (2)$$

여기에서 $N_{i,k}(u), M_j N_j(w)$ 은 u 와 w 방향의 인자를 갖는 B-spline 기저 함수식이다.

Rational B-spline 곡면은 비율을 나타내는 h_i 를 사용하여 나타낸다.

$$Q(u, w) = \sum_{i=1}^{m+1} \sum_{j=1}^{m+1} \left[\frac{h_i B_i N_{i,k}(u) M_j N_j(w)}{\sum_{i=1}^{m+1} \sum_{j=1}^{m+1} h_i B_i N_{i,k}(u) M_j N_j(w)} \right] \quad (3)$$

$B_{i,j}$: 3 차원 다각형 구성점

최근에는 NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline)가 형상 모델링의 표준으로 자리잡아 가고 있으며 IGES(Initial Graphics Exchange Specification)의 표준이 되어왔다⁽¹²⁾.

2-2 절삭 가공의 데이터 생성

금형의 절삭 전에 제품의 형상 모델링이 선행되어야 하고 이를 기본으로 가공 경로의 간격, 재질, 가공 속도 등의 절삭 조건을 정한다. 본 연구에 사용한 SM45C는 인성이 강한 재질이기에 때문에 회전 속도를 높게 한다. 가공 방향과 특성을 고려한 가공 평면을 설정한 후 CC점을 구하고 이를 기초로 CL점을 구한다. 공작물과 절삭 공구와 공구 홀더의 간섭과 충돌을 피하도록 CL을 수정한 후 NC 코드를 작성한다. 시뮬레이션으로 NC 코드를 검증한 후에 수정 보완한다. 보완된 NC 코드를 가지고 NC기계를 작동하여 가공하는 순서로 절삭 가공이 이루어 진다.

금형 절삭 가공에서 CC데이터는 실제 금형의 형상

을 나타냄으로 본 연구에서는 이를 기준으로 로봇 제어 데이터를 생성하는 방법을 개발한다. 로봇 데이터는 위치와 방위 데이터로 구성된다. 방위를 표현하는 방법은 다양하나 연구에서 선정한 로봇은 방위를 쿼터니안(Quaternion)을 이용하여 표현한다. 이는 공간 기구학의 한 방법론으로 대두되었는데 초기에 Kotelnikov⁽¹⁸⁾나 McAulay⁽¹⁹⁾ 등에 의하여 연구되었다. 구체적인 방법은 2-4절에서 언급한다.

2-3 연마 경로 생성

3차원 곡면 위에서의 연마 패턴은 평면, 측면, 경사면은 물론 구면, 원통면 자유곡면 등 모든 면에서 패턴을 생성할 수 있는 알고리즘이어야 하고 또 새로운 연마 패턴의 개발도 필요하다⁽⁴⁾. 연마 패턴이 일정한 방향성을 가지면 과상도를 증가시키므로 임의 방향의 연마 패턴 생성이 중요하다⁽¹⁰⁾. 또한 연마면에 연마 패턴이 나타나지 않도록 일정 패턴으로 연마 작업을 하여야 한다. 아래의 그림은 일반적으로 사용되는 연마 패턴이다. 연마 패턴에 대한 연구는 계속해서 이루어져야 하고 지속적인 발전이 있을 것으로 예상된다⁽⁸⁾⁽¹³⁾.

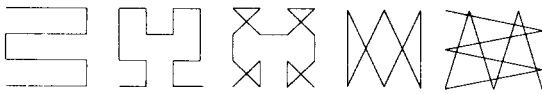


그림 1. 왕복, 페아노, 지그재그 경로

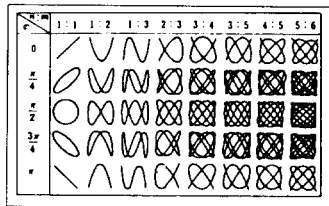


그림 2. 리사쥬(Lissajous) 패턴

리사쥬 패턴은 직각 2방향의 조화 운동을 합성하여 만들어진다. 두 운동을 식으로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$x = A \sin nt, \quad y = B \sin (mt - \phi) \quad (4)$$

이 때 n, m, ϕ 의 값에 의해 다양한 도형을 그린다.

페아노 경로를 사용하여 형상에 입히는 과정을 예로 보이면 X-Y 면상에 경로를 생성하고 공작물의 Z축 방향으로 투영하여 X-Y 면상에 입히는 과정을 취한다. 그림 3은 위 결과를 보이고 있다⁽⁸⁾.

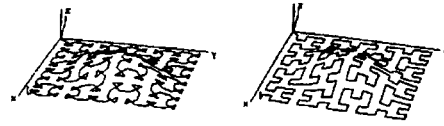


그림 3. 금형 면에 연마 패턴을 입힌 예

2-4 로봇의 위치와 방위 데이터 생성

로봇에 전송할 데이터는 위치와 방위로 구성된다. 위치 데이터는 로봇 제어기의 기중에 따라 문제 되지 않으나 방위 데이터는 로봇 제조사마다 다른 형태를 취할 수 있어 경우에 따라 적절한 형태로 공급하여야 한다. 본 연구에서는 로봇의 방위를 표현하는 방법으로 쿼터니안을 사용한다.

(1) 공작물 좌표계와 공구 좌표계사이의 관계⁽¹⁴⁾

PC는 로봇에 부착된 공구 중심 작업단(TCP)의 위치값과 쿼터니안 값을 로봇 제어기에 전송한다. 쿼터니안 값은 공작물 좌표계와 공구 좌표계 사이의 관계를 통하여 회전 행렬을 만든 후 구할 수 있다.

공작물 좌표계는 W로 공구 좌표계는 T로 나타낸다. 공작물 좌표계는 금형에 붙어 연마 위치를 지정하는 기준이 되고 공구 좌표계는 연마를 담당하는 공구의

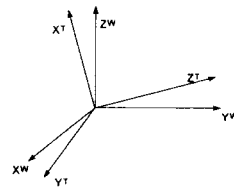


그림 4. 공작물, 공구 좌표계

의 작업단에 원점을 붙이고 실린더 방향을 X축으로 설정한 좌표계이다. 주어진 각각의 연마 경로에서 공작물 좌표계 값으로 표현된 법선벡터를 로봇의 공구 좌표축을 X_T 로 놓는

다. Y_T 의 설정은 Z_W 방향에서 보았을 때 X_W 축과

$$Y_T = li + mj + nk \quad (m=0)$$

(5)

$$X_T = ai + bj + ck$$

이때 a, b, c 는 각 위치점의 곡면에 대한 공구축의 법선 벡터 요소이다. 이제 l 과 n 을 구한다. 여기에서 Y_T 축의 양(+)-방향이 언제나 X_W 축의 양(+)-방향을 향하도록 하여 공구 움직이 항상 곡면의 위쪽에서 작업할 수 있도록 $l \geq 0$ 라는 제한조건을 준다.

$c \geq 0$ 이면 $c < 0$ 이면

$$l = \frac{c}{\sqrt{a^2 + c^2}} \quad l = -\frac{c}{\sqrt{a^2 + c^2}} \quad (6)$$

$$n = -\frac{a}{\sqrt{a^2 + c^2}} \quad n = \frac{a}{\sqrt{a^2 + c^2}}$$

이제 공구 좌표계의 두 축을 알고 있으므로 다른

축 Z_T 은 다른 두 축의 외적으로부터 구해진다.

$$Z_T = bni + (cl - an)j - blk \quad (7)$$

구해진 두 좌표계의 관계에서 쿼터니안을 생성한다.

(2) 쿼터니안 생성

두 좌표계의 회전 행렬은 공작물 좌표계를 기준으로 한 공구 좌표계의 행렬을 나타낸다. 회전 행렬의 각각의 원소는 각 좌표축의 방향 코사인값을 나타낸다.

$${}^W R = \begin{bmatrix} X_T \cdot X_W & Y_T \cdot X_W & Z_T \cdot X_W \\ X_T \cdot Y_W & Y_T \cdot Y_W & Z_T \cdot Y_W \\ X_T \cdot Z_W & Y_T \cdot Z_W & Z_T \cdot Z_W \end{bmatrix} \quad (8)$$

회전 행렬 ${}^W R$ 을 다음과 같이 다시 쓰면

$${}^W R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (9)$$

회전 행렬이 주어졌을 때 쿼터니안값은 아래의 식으로부터 구한다.

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{1}{2} \sqrt{r_{11} + r_{22} + r_{33}} \\ Q_2 &= \frac{r_{32} - r_{23}}{4Q_1} \\ Q_3 &= \frac{r_{13} - r_{31}}{4Q_1} \\ Q_4 &= \frac{r_{21} - r_{12}}{4Q_1} \end{aligned} \quad (10)$$

주의하여 Q_1 이 0이 되는 등각 각도(180도)가 되는 점을 사전에 검사하여야 한다. 4개 쿼터니안 값의 각 인자의 제곱의 합은 항상 1이 되어야 한다.

3 전체 시스템의 구성

연구에 사용한 스웨덴 ABB사의 IRB 2000은 외부의 상위 컴퓨터와 초당 9600 비트의 직렬 비동기식 RS-232를 이용하여 통신하고 열외적인 프로그램이 가능하다. 워드 길이는 8비트, 짝수 패리티 그리고 1비트의 스톱 비트를 사용한다. S/W는 메시지 전송을 위한 통신 규약으로 ADLP-10 (ABB Data Link Protocol)과 메시지의 포맷과 메시지 교환을 위한 규약으로 ARAP(ABB Robot Application Protocol)을 사용한다. 이를 이용하여 상위 컴퓨터는 로봇을 작동시키고 프로그램 블록이나 개개의 프로그램을 저장하거나 로드한다. 또한 로봇 시스템의 작동 모드를 변환시킬 수 있으며 프로그램을 시작하거나 멈추게 할 수 있다. 그리고 각 프로그램을 제거하고 로봇 시스템에 대한 상태 정보를 저장한다. 로봇 시스템이 상태 정보

를 전달하는 등의 많은 기능을 수행할 수 있다⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾. 본 프로젝트에서의 컴퓨터로는 IBM PC를 사용하고 케이블로는 RS-232를 사용하였다.

이상을 종합하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

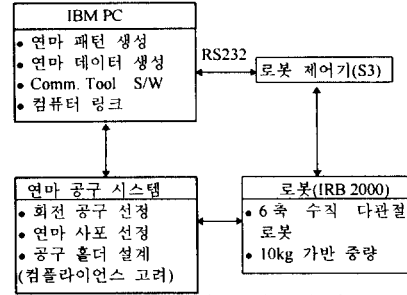


그림 5. 연마 로봇 시스템의 구성 개념

3-1 연마 공구 시스템

작업을 담당하는 공구 시스템은 회전을 담당하는 스피들과 공구 그리고 이들을 잡고 있는 홀더로 구성된다. 공구 시스템은 공작물과 충돌의 가능성이 발생하지 않도록 작으면서도 견고하게 만들어져야 하고 공구의 자세와 힘의 방향을 고려한 공구 컴플라이언스(Compliance)를 고려해야 한다.

(1) 스피들의 선정

일반적으로 가공에 사용되는 스피들에는 전기 모터식과 공압식이 있다. 대개 연마 작업에는 공압식이 사용되며 전기 모터형이 사용되는 경우는 플라스틱 절단이 보고되고 있다. 공압식의 회전수는 약 60,000 rpm의 고속 스피들부터 약 2,000 rpm의 저속형까지 있다. 고속형은 주로 디버링 등의 저 토크 응용 분야에 사용되며 금형 연마 등의 표면 연삭에는 저속형이 사용된다. 연구에 선정된 스피들의 규격은 아래와 같다.

표 1. 스피들의 규격

제조원	형식	회전수	최대출력	최대 토크	길이	무게
Nakanishi	MST2302R	2000RPM	108W	20.6kgf-cm	160.1mm	405g

(2) 연마용 공구의 선정

연마에 사용되는 공구의 주요 종류로는 벨트 그래인더, 브리쉬, 펠트, 버프를 비롯하여 다양한 형상 및 재질의 회전 버 공구등이 있으나 삼차원 금형의 연마, 특히 경면 연마에는 입도가 고운 공구가 이용된다. 수작업으로 행하는 경우에는 절삭에 의한 컷터 마크가 큰 상태에서 줄이나 디스크 그래인더, 샌드 페이퍼, 오일 스톤, 샌드 페이퍼 등의 순서로 대개 이루어진

다. 연마 작업을 수행하는 사포나 특수 필름의 선정은 많은 시행착오를 통해 각 금형 재질, 형상에 따라 선정되어야 한다. 자동화에 의한 방법을 사용할 때는 입도가 각기 다른 다이아몬드 사포, 부직포로 된 소프트 랩, 3M의 특수 필름 등이 사용된다. 이 필름은 원판형의 고무 패드에 부착하여 사용한다. 연구에서는 다이아몬드 사포와 특수필름 두 종류를 사용한다.

표 2. 공구 사양

다이아몬드 사포	#200, 400, 800, 1800.
3M 특수필름	#2000, 3000
고무 패드 직경	10, 20, 30mm

(3) 공구의 접촉력 유지 기구

공구는 작업면에 일정한 각도와 접촉력을 가지고 연마 작업을 수행 한다. 스핀들 방향은 접촉면에 항상 법선 방향을 향하고 스핀들은 접촉면과 정압을 유지하도록 구성되어야 한다. 그리고 접촉면의 일정 방향으로 컴플라이언스를 갖도록 설계되어야 한다. 컴플라이언스는 작업을 위한 외력에 대하여 공구나 모터 또는 홀더가 힘의 작용 방향이나 다른 방향으로 순응하여 굽어지는 현상을 말한다. 공구를 로봇에 부착하기 위하여는 로봇의 특성과 작업의 특성에 맞는 홀더의 설계가 이루어져야 한다.

로봇 특성에 관한 고려로는, 가반중량을 초과하지 않고 로봇 6축에 걸리는 회전 모멘트를 최소화하는 설계로 작업의 힘, 작용점이 로봇 6축의 중심선의 연장선상을 가능한 한 벗어 나지 않도록 설계한다. 공구를 잡고 있는 실린더가 공압으로 작동되며 레귤레이터로 정압이 유지되어 일정한 범위내의 충격을 흡수하므로 별도의 컴플라이언스 기능은 부가하지 않았다. 작업의 특성에 관한 고려로는 스핀들과 가공 금형의 표면이 직각을 유지할 수 있도록 하며 이때 간섭이 없도록 하고 예상외의 충격에서 로봇과 스핀들이 홀더나 공압 부품들로 보호될 수 있도록 하였다. 다음은 공구 시스템의 회로도와 시스템에 사용된 부품의 규격 및 개략도를 보이고 있다.

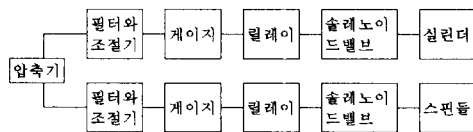


그림 6. 공압 스핀들과 정압조절장치 회로도

표 3. 그림 1의 규격

번호	일련번호	이름	규격
1	FESTO LFR-1/8-SB (3/2 Way)	필터와 레귤레이터	정상유량 770 l/min, 최대 1차 공급압 14 bar, 최대 조절압 12bar
2	MFH-3-M-220-A220-I	솔레노이드 밸브	0-8 bar
3	MA-40-10-1/8	게이지	지시범위 0-10 bar
4		릴레이	Coil : 24V, 220V 연결
5	ESN-10-50-P	실린더	최대사용압 10 bar, 실린더 내경 10 mm, 행정 50 mm

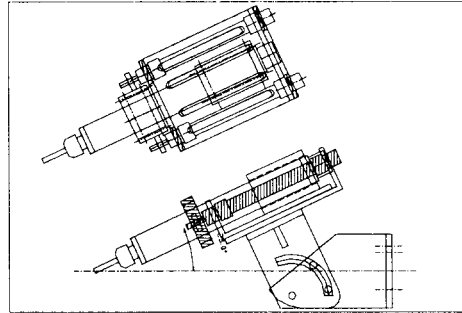


그림 7. 스핀들, 정압조절장치, 홀더의 조합 설계도

4. 실제 문제에서의 적용

본 연구에서 사용된 금형은 재질이 일반적으로 많이 사용되고 있는 인성이 강한 SM45C(KS)이다. 크기 200mm X 100mm로 반경 225mm의 구의 상단 부분의 형상을 직경 20mm인 볼엔드밀로 피치 1mm를 주고 가공하였다. 다양한 연마 패던중 일차적으로 비교적 단순한 왕복 경로를 선정하여 적용하였다. 예가 그림 8에 나타나 있다.

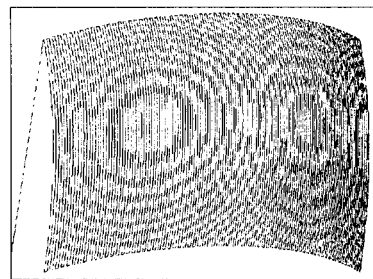


그림 8. 금형 면의 연마 경로

4-1 연마 데이터의 생성

CC 데이터로부터 왕복 경로를 따르도록 연마 경로

를 설정한다. 다음은 연마 경로점과 위치와 법선 벡터를 나타내는 쿼터니언 값의 일부를 보이고 있다.

표 4. 연마 경로점의 일부

x 축	y 축	z 축	x 축 단위벡터	y 축	z 축
-102.652000	-60.000000	-27.721010	-0.386736	-0.219324	0.895730
-102.652000	-55.510420	-26.663030	-0.390002	-0.203376	0.898074
-102.652000	-51.169800	-25.718560	-0.392936	-0.187888	0.900166
-102.652000	-46.794730	-24.844410	-0.395673	-0.172198	0.902103
-102.652000	-42.310880	-24.029480	-0.398246	-0.156026	0.903911

표 5. 연마 경로점의 위치와 쿼터니언 값의 일부

x 축	y 축	z 축	Q1	Q2	Q3	Q4
-102.652000	-60.000000	-27.721010	0.451282	-0.320900	-0.544375	-0.630098
-102.652000	-55.510420	-26.663030	0.446246	-0.325366	-0.548511	-0.627803
-102.652000	-51.169800	-25.718560	0.441379	-0.329722	-0.552435	-0.625526
-102.652000	-46.794730	-24.844410	0.436470	-0.334152	-0.556222	-0.623171
-102.652000	-42.310880	-24.029480	0.431433	-0.338737	-0.560237	-0.620691

이렇게 구해진 쿼터니언 값은 극히 작은 값이 되어 로봇이 인식할 수 없으므로 로봇이 인식하도록 크기 인자로 나누어 주어야 한다. 값을 크게하여 로봇 제어로 전송해야 한다. 크기 인자의 수치는 1/16384이다.

로봇이 작업을 시작하기 전에 실린더와 스펀들에 일정 압력의 압축 공기가 들어가 작업 준비를 마친다. 연마 데이터가 로봇으로 전송되면 데이터의 자세로 로봇이 연마를 시작한다.

5. 결론

본 연구에서는 금형 절삭의 NC 코드 생성에 필요한 CC데이터를 기본으로 로봇의 제적을 구하고 로봇과 PC의 연결을 통하여 열외적인 프로그램으로 로봇의 금형 연마를 시도하였다. 또한 수직 다관절 로봇의 민첩성과 접근성을 최대한 활용한 간단한 공구 시스템을 제작하여 부착하였다.

본 연구는 CC데이터를 기본으로 하여 준비 작업시간을 줄였고 로봇의 특성을 활용한 간단한 공구 시스템의 설계를 수행하여 부가적 장비의 추가 비용을 줄이는 장점을 가지고 있다. 기대되는 연구 방향은

- 1) 금형의 재질을 통한 공구 선정 연구
 - 2) 다양한 연마 패턴의 생성과 적용
 - 3) 각 패턴의 최적화 방법의 연구
 - 4) 연마면에 대한 평가 방법의 연구
 - 5) 로봇의 충돌 검사 수행
 - 6) 데이터 베이스의 구축
- 등으로 말할 수 있다.

참고문헌

[1] 국금환, 최기봉, 정성중, "자유 곡면의 연마공정을 위한 오프라인 로봇작업 프로그래밍 시스템의 개발",

한국정밀공학회지, 제8권 제4호 1991. 12.

[2] 박균명, 장진희, 한창수, "자동 경면 다듬질 장치의 실험적 분석에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 제12권 제9호 1995. 9.

[3] 박균명, 장진희, 한창수, "경면 다듬질을 위한 자동화 장치 개발", 한국정밀공학회 94년도 추계학술대회 논문집, pp 389-394.

[4] 조소형, 박강, 강성철, 김문상, "금형의 연마작업을 위한 로봇 오프라인 프로그래밍 시스템의 개발", 기계학회논문집, 제15권 제4호, pp1387-1397, 1991.

[5] 강성철, 김문상, 이교일, "금형 연마작업을 위한 로봇 오프라인 프로그래밍 시스템의 개발 및 적용", 한국정밀공학회지 제14권 제1호 1997. 1.

[6] 정성중, 국금환, 최기봉, "자유곡면의 연마공정을 위한 오프라인 로봇작업 프로그래밍 시스템의 개발" 한국정밀공학회지 제8권 제4호 1991. 12. pp84-94

[7] 박종오, "금형연마 로봇시스템", 대한기계학회지, 제31권 제 8호 1991. pp728-734

[8] Mizugaki, Y., Sakamoto, M., "Fratral Path Generation for a Metal-Mold Polishing Robot System and Its Evaluation by the Operability", Annals of the CIRP, Vol. 41/1/1992.

[9] Mizugaki, Y., Sakamoto, M., "Development fo a Metal-Mold Polishing Robot System with Contact Pressure Control Using CAD/CAM", Annals of the CIRP Vol. 39/1/1990.

[10] 월간 형기술 96. 7. p. 9.

[11] 이철수, CAD/CAM, 터보테크 출판부.

[12] Roger Adams, "Mathematical Elements for Computer Graphics" McGraw Hill. 2nd Editon.

[13] 월간 형기술 95. 11. p. 66.

[14] Craig, J., Introduction to ROBOTICS Mechanics and Control, Addison Wesley. 2nd editon.

[15] Product manual IRB 2000, ABB Robotics.

[16] ABB Robot Application Protocol for Computer Link (M91), ABB Robotics.

[17] Computer Link / ADALP10 / ARAP S3 (M92), ABB Robotics.

[18] Kotelnikov, A., "Screw Calculus and Some Applications to Geometry and Mechanics", Annals of the Imperial University fo Kazan, 1895.

[19] McAulay, A., Octonions-a Development of Clifford's Biquaternians, Cambridge University Press, Cambridge, England, 1898