

연마 로봇용 자동공구교환장치와 Windows 환경에서의 통합용 프로그램 개발

박상민*, 안종석**, 송문상**, 김재희**, 유범상#

The Development of Automatic Tool Change System for Polishing Robot and Windows-Environment Integration Program for Application

Sang Min Park*, Jong Suk An**, Mun Sang Song**, Jae Hee Kim**, Beom Sahng Ryuh#

ABSTRACT

An effective die-polishing robot system is developed. ATC (Automatic Tool Change), tool posture angle control, and robot program for polishing application are developed and integrated into a robotic system that consists of a robot, pneumatic grinding tool, and grinding abrasives (papers and special films). ATC is specifically designed to exchange whole grinding tool set for complete unmanned operation. A tool posture angle control system is developed for the tools to maintain a specified skew angle rather than right angle on the surface for best finishing results. A PC and the robot controller control ATC and tool posture angle. Also, there have been more considerations on enhancing the performance of the system. Elastic material is inserted between the grinding pad and the holder for better grinding contact. Robot path data are generated automatically from the NC data of previous machining process.

Key Words : ATC(자동공구교환장치), Die(금형), Tool Posture Angle(공구 자세각), Polishing Robot System(연마 로봇 시스템)

1. 서론

제품의 대량생산을 위해서는 이에 대한 금형 제작이 필수적이다. 금형제작을 위해서는 금형을 가공한 후 표면을 매끄럽고 단단하게 하기 위한 연마 작업이 필수적인데, 아직까지 연마작업은 상당부분 수작업에 의뢰하고 있는 실정이다. 따라서, 금형의 표면 거칠기와 정밀도를 확보하면서 작업 시간을 단축시킬 수 있는 연마 자동화시스템에 대

한 연구가 필요하다. 아울러, 금형연마 자동화시스템은 금형연마가공 지식에 대한 체계화, 작업환경 개선, 숙련공 부족의 해소 등에도 기여할 수 있다.

연마 자동화에 대한 연구동향을 살펴보면 금형가공용 NC 에 별도로 부착된 연마장치에 의한 방식^{1,2}, 연마 전용기에 의한 방식³, 그리고 로봇을 이용한 방식⁴⁻⁸ 등이 있다.

금형가공용 NC 에 연마장치를 부착하는 방법은 NC 데이터를 공동으로 사용할 수 있고 제품의

접수일: 2002년 8월 12일; 게재승인일: 2003년 4월 28일
* 전주공업대학 컴퓨터응용기계계열
** 전북대학교 대학원 정밀기계공학과
교신저자: 전북대학교 기계공학부
Email: ryuhbs@moak.chonbuk.ac.kr, Tel: (063) 270-2480

탈착/고정 시간을 단축시킬 수 있다는 장점이 있지만 머시닝센터와 연마장치를 동시에 조작할 수 있는 제어가 별도로 필요하다는 단점이 있다.

연마 전용기에 의한 방법은 작업속도가 빠르다는 장점이 있으나 자유곡면에 적용이 어렵고 수작업으로 공구를 교체해야 하는 단점이 있다. 따라서, 연마 전용기를 사용시 공구 교체를 자동으로 하기 위하여 자동공구교환장치(ATC, Automatic Tool Change)를 도입하는 경우도 있는데, 이는 업체에 상당한 부담이 되고 있다.

로봇을 이용하는 방법은 연마공구에 충분한 자유도를 부여할 수 있으므로 연마하고자 하는 자유곡면과 수직인 자세를 연속적으로 구현할 수 있다. 따라서, 작업영역이 확대되고 복잡한 자유곡면 연마에 적합하며 유연성이 좋으므로 다양한 작업이 가능하다. 하지만, 현재까지 개발된 연마용 로봇자동화시스템을 살펴보면 연마패드를 수작업으로 교환하고 연마면과 연마패드의 접촉각도를 한쪽 방향으로만 고정시키는 방법^{4,5}이 대부분이다.

본 연구에서는 경면 연마를 목적으로 구축한 로봇 연마자동화 시스템^{4,5}에서 작업자가 공구를 교환하는 기존의 방법을 개선하여 ATC에 의한 자동 공구교환 시스템을 구현하였다. 또한, 금형의 모델링 데이터로부터 곧바로 연마경로 데이터를 생성할 수 있는 프로그램을 개발하였고, 윈도우즈(Windows) 환경에서 로봇과 ATC를 동시에 제어할 수 있는 PC용 통합 제어 프로그램을 개발하였다. 아울러, 연마패드와 연마면 사이의 각도최적화 제어기법을 적용하여 연마면의 품질향상에 중점을 두었다.

2. 연마용 로봇 시스템의 구성

연마용 로봇시스템은 6축 수직 다관절 로봇, 로봇 전용제어기, 통합 제어용 PC, ATC 등으로 구성된다. 본 시스템은 주로 연마를 목적으로 하므로 로봇의 선정은 지속적인 반력과 본진, 손목 부위의 내구성 등을 고려하여야 하는데, ABB사의 IRB-2000 6축 수직 다관절 로봇을 사용하였다. 이 로봇은 정밀도가 아주 높은(DIN 1급) 치차 감속기로 구성되어 있으며, 현재까지 유사한 프로세스 가공분야에서 좋은 실적을 보이고 있다⁹.

IRB-2000 로봇에는 전용 제어기(S3)가 사용되는데, 이는 로봇에서 PC로 데이터 전송을 위한

매개체 역할을 수행한다. 본 시스템에 사용되는 제어용 PC는 펜티엄급(CPU 인텔 333MHz, RAM 256MB)인데, 본 연구에서는 윈도우(Windows) 환경에서 로봇 전용제어기와 ATC를 동시에 제어할 수 있는 통합용 프로그램을 개발하였다.

일반적으로 ATC는 ABC(Automatic Bit Changer)와 BRD(Bit Rotation Device)로 이루어진다. 본 로봇 연마시스템에서는 ATC 제어를 위한 독립 제어기(89C51 Kit)를 설치하였다. 또한, 로봇이 공간상 임의의 점에서 연마작업을 할 수 있도록 ABC를 로봇의 6축에 설치하였고, 연마작업의 각 공정에서 필요한 공구를 선택할 수 있도록 BRD를 공작물 테이블에 부착하였다. Fig. 1은 연마용 로봇시스템의 전체 구성도를 나타내고 있다.

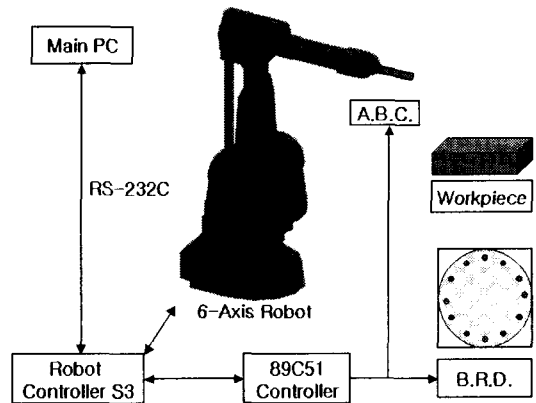


Fig. 1 Polishing robot system with ATC

3. 연마 로봇용 자동공구교환장치

본 연마용 로봇시스템에 사용되는 ATC는 연마작업을 수행하는 과정에서 작업자가 연마패드를 수작업으로 교체하기 위하여 작업을 중단하는 것을 방지하는 역할을 한다. 이를 위하여 스핀들에 자체 개발한 ABC를 부착하여 한 작업이 종료되면 필요로 하는 연마패드를 선택하여 다음 작업을 수행할 수 있도록 하였는데, ATC의 작동은 공압을 이용한다. BRD는 12개의 연마패드를 장착할 수 있으며, 89C51 Kit로 제어된다.

3.1 스핀들 제어

본 연구에서 사용되는 ABC의 스핀들은 스핀들의 축 방향으로 컴플라이언스를 유지시킬 수 있

는데, 이에 대한 제원은 Table 1 과 같다.

Table 1 Specification of the spindle

Maker	Nakanishi
Type	MST2302R
Revolution	2000rpm
Max. torque	20.6kgf-cm
Max. watt	108W
Length	160.1mm
Weight	405g

3.2 ABC 의 설계 및 제작

3.2.1 Collet Chuck Nut Part 개발

본 ABC 의 스펀들은 Collet Chuck 부분이 회전하므로 슐레노이드 방식이나 기어 방식으로는 Bit Handling 이 어렵다. 따라서, 스펀들의 Bit 작업을 자동화하기 위한 방법으로 공압을 이용한다.

스핀들 표면에 Air Cylinder 를 부착하고, 비례압력밸브를 통한 유량제어로 Air Cylinder 를 후진시켜 Bit Handling 이 가능하도록 한다. Fig. 2 는 본 연구를 통하여 개발한 ABC 의 설계도면이며, Fig. 3 은 Collet Chuck 의 동작상태를 나타낸다.

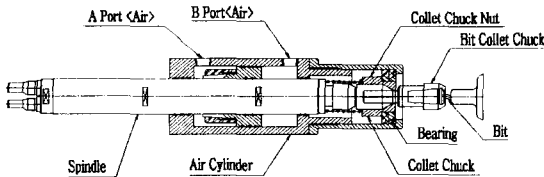
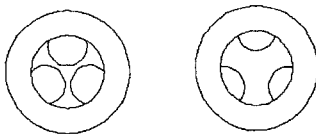


Fig. 2 Design of ABC



(a) Close (b) Open

Fig. 3 State of collet chuck

Fig. 2 에서 스펀들은 홀드에 고정되어 움직이지 않는다. Bit 는 연마재가 부착되어 있는 곳으로 Bit Collet Chuck 에 의하여 고정된다. Collet Chuck 은 Bit Collet Chuck 을 고정하기 위하여 사용되는데, 이는 Collet Chuck Nut 에 의하여 작동된다. Collet

Chuck Nut 는 베어링에 둘러싸여 있으며 스펀들과 같이 회전하게 된다. A Port 는 Collet Chuck 을 조이기 위한 공기 주입구이고, B Port 는 Collet Chuck 을 풀기 위한 공기 주입구이다.

3.2.2 작동원리

ABC 의 작동은 Bit Collet Chuck 의 고정과 이탈로 구분된다. Fig. 2 에서 A Port 에 공기를 주입시키면 Air Cylinder 가 우측으로 이동한다. 이 때, Collet Chuck Nut 가 Collet Chuck 을 조이게 되어 Bit Collet Chuck 을 고정시킨다. 스펀들이 회전하여도 Collet Chuck Nut 는 Air Cylinder 에 고정된 Bearing 에 둘러싸여 있으므로 Bit Collet Chuck 에 회전력을 전달할 수 있다.

Bit Collet Chuck 을 이탈시키려면 Fig. 2 에서 B Port 에 공압을 주입시키면 된다. 그러면, Air Cylinder 가 좌측으로 이동한다. 이 때, Bit Collet Chuck 을 고정시키던 Collet Chuck 이 Cylinder 와 함께 이동하므로 Collet Chuck 이 풀리게 되어 Bit Collet Chuck 이 이탈된다.

3.2.3 공압제어

Bit Collet Chuck 이 Collet Chuck 에 삽입되는 유효 이동거리가 불과 6 mm밖에 되지 않으므로 급격하게 공기를 주입시키면 BRD 에 고정되어 있는 Bit Collet Chuck 을 정확히 고정시키지 못할 가능성이 있다. 이 경우, Cylinder 와 스펀들에 충격을 주게 되어 정확한 위치제어가 어렵다. 이 문제점을 해결하기 위하여, ABC 의 공압을 제어할 때 Fig. 4 와 같이 5/2way 슐레노이드 밸브와 비례압력 제어 밸브를 사용한다. 또한, 초기에 공기를 주입할 경우 비례압력 제어밸브를 통해 저압의 공기를 주입하고 서서히 고압으로 높여 Air Cylinder 가 원활하게 운동할 수 있도록 한다.

공기흐름은 5/2way 슐레노이드 밸브에 전기적인

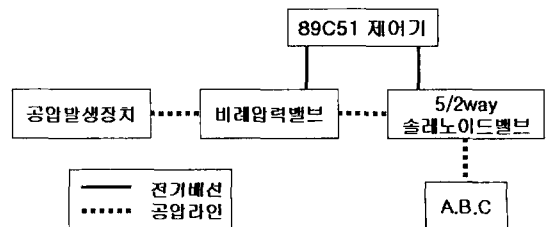


Fig. 4 Control flow of ABC pneumatic line

신호(DC 24V)를 주어 제어하는데, 이 신호는 89C51 제어기에 의해 제어된다.

3.2.4 로봇연결용 ABC 홀더

ABC 를 로봇 엔드이펙터에 부착시키기 위하여 홀더를 개발하였다. 홀더에는 Air Cylinder 를 부착하여 스피ن들을 고정시켰는데, Air Cylinder 의 외경은 $\varnothing 16$ 이고 공급되는 공기의 압력은 5Pa 로서, 이 Air Cylinder 에 의하여 작업물에 대한 접촉력을 유지하도록 하였다. Fig. 5 는 ABC 와 홀더의 외관을 보여주고 있다.

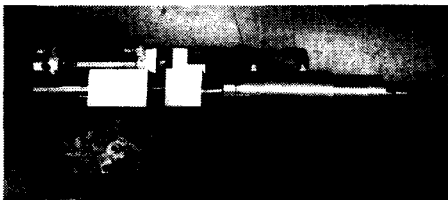


Fig. 5 ABC and holder

3.3 BRD 의 설계 및 제어

Fig. 6 과 같이 BRD 에는 Bit 가 결합되어 있는 Bit Collet Chuck 이 고정되어 있다. 연마작업 중 필요한 공구를 선정하는 신호를 BRD 에 보내면, BRD 는 회전판을 회전시켜 필요한 Bit Collet Chuck 를 교체 위치에 정렬시킨다. 그러면, ABC 를 부착한 로봇이 Bit Collet Chuck 의 교체위치로 이동하게 된다.

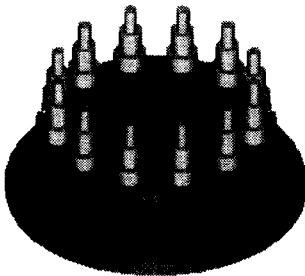


Fig. 6 BRD and bit collet chucks

BRD 는 Bit Collet Chuck 이 정확히 고정되도록 Bit Collet Chuck 이 삽입되는 부분에 돌출부를 만들었다. 이는 12 개의 Bit Collet Chuck 을 장착할 수 있는 고정대가 있으며, 회전부가 정지하였을 때 움직이지 않도록 공압으로 작동하는 회전고정부가 Fig. 7 과 같은 구조의 물림부에 물리게 된다.

BRD 의 회전에는 Geared AC 모터(120:1)가 사용되며, 두 개의 광센서로 원점과 카운터를 체크한다. 또한, 89C51 을 제어기로 사용하였고, 3 개의 포트에 세크먼트, 입력부, 출력부를 두었다. Fig. 8 은 BRD 의 외관을 보여주고 있다.

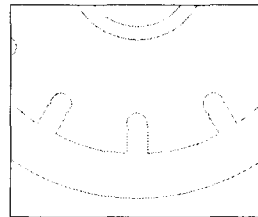


Fig. 7 Projection part

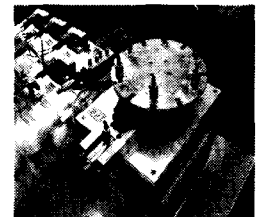


Fig. 8 BRD system

3.4 ATC 시스템의 제어

3.4.1 핸들링 경로

Fig. 9 는 ABC 가 Bit Collet Chuck 을 핸들링하는 경로를 나타내고 있다. Bit Collet Chuck 을 교체하는 경우, 제어신호에 의하여 BRD 가 필요한 Bit Collet Chuck 을 교체위치에 놓는다. 이 때, 로봇 엔드 이펙터에 부착된 ABC 는 위치①에서 위치②로 이동하여 Bit Collet Chuck 을 핸들링한 후, 다시 ①의 위치로 이동하여 연마 작업을 수행한다. 또한, Bit Collet Chuck 을 BRD 에 고정시킬 경우에는 빈 곳을 찾아 고정시키게 된다.

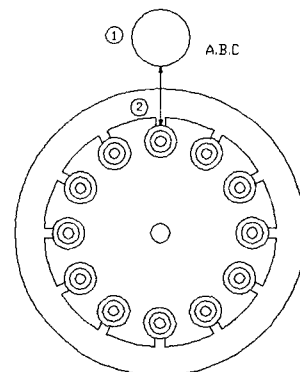


Fig. 9 Bit handling path of ABC

3.4.2 ATC 제어 알고리즘

본 ATC 시스템의 순차적인 제어순서는 다음과 같다. 먼저, PC 에서 Robot Controller 에 금형 연마용 데이터를 입력하면 로봇은 연마작업을 수행하

게 된다. 연마작업 중, Bit 교체를 하기 위하여 PC 에서 명령을 내리면 Robot Controller Output 단자에서 89C51 제어기로 신호를 전송한다. 이 때, 89C51 제어기는 각각의 경우에 대응하는 명령어를 수행하여 ABC 와 BRD 를 제어한다.

BRD 에 신호를 보내 필요한 Bit Collet Chuck 을 교체위치에 정렬시키면 Robot 은 연마작업을 일시 중지하고 ABC 를 교체위치로 이동시킨다. 다음에 89C51 제어기가 ABC 의 Air Cylinder 를 작동시켜 Bit Collet Chuck 을 교환한다. 이 과정이 완료되면 로봇은 다시 연마작업을 수행한다. Fig. 10 은 ATC System 의 제어흐름도를 나타내고 있다.

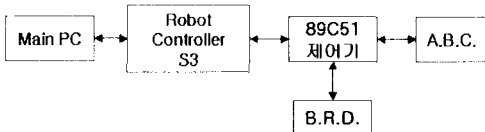


Fig. 10 Control flow of ATC system

4. 통합 제어용 프로그램

로봇 제어기와 ATC 를 통합 제어하는 PC 는 펜티엄 II 333 으로 CATIA 에서 생성된 APT 소스 (Automatically Programmed Tool Source)를 연마 데이터로 변환시키는 프로그램과 로봇 구동을 위한 오프라인 프로그램을 구동시킨다. 이 통합 제어용 프로그램은 Visual C++ 6.0 환경에서 개발되었으며, 작업 전 공작물에 대한 공구의 각도를 확인할 수 있는 시뮬레이션 기능과 로봇의 수동제어, ATC 제어기능 등을 포함하고 있다

Fig. 11 은 본 연마프로그램의 플로우 차트를 나타내고 있으며, Fig. 12 는 연마프로그램의 전체 프레임과 생성된 연마데이터를 OpenGL 에 의해 나타내고 있다.

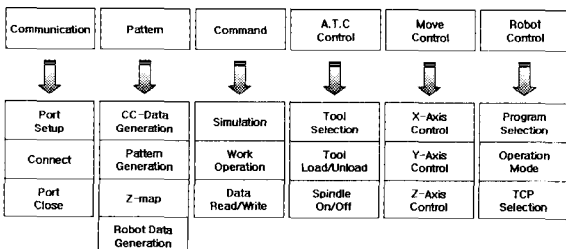


Fig. 11 Menu configuration of operating program

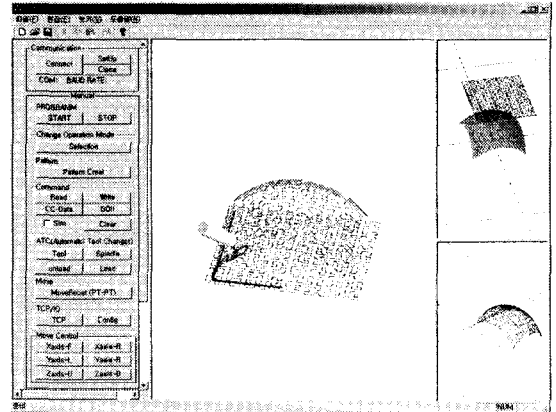


Fig. 12 Polishing program shown on the screen

5. 연마 데이터의 생성

5.1 모델링 데이터 획득

본 연구에서 사용된 CAD 시스템은 CATIA V4 이며, 금형연마를 위하여 CATIA 의 NC 프로그래밍에 사용되는 APT 소스를 이용하였다. APT 소스는 연마프로그램을 통해 CC(Cutter Contact) 데이터로 변환되고, 변환된 CC 데이터의 각 점은 3 개의 위치 데이터 (X,Y,Z)와 3 개의 방위 데이터 (α, β, γ) 로 구성되어 있다¹⁰.

5.2 연마패턴 생성

3 차원 곡면 위에서의 연마패턴은 평면, 측면, 경사면은 물론 구면, 원통면, 자유곡면 등 모든 면에서 패턴을 생성할 수 있는 알고리즘이어야 한다. 또한, 일정한 방향성을 가지는 연마패턴은 파상도를 증가시키기 때문에 임의의 방향과 불규칙한 방향의 연마패턴 생성이 중요하다. 본 연마에서는 선행 연구⁴에서 사용했던 일반적인 연마패턴보다 매끈한 연마면을 얻을 수 있도록 Fig. 13 과 같은 지그재그(Zigzag) 패턴과 페아노(Peano) 패턴을 사용하였다.

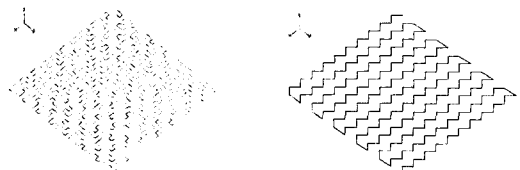


Fig. 13 Peano, zigzag pattern for polishing work

5.3 연마경로 데이터 생성

본 연구에서는 연마경로를 생성하기 위하여 선행 연구⁵에서 사용했던 Z-map 을 이용하였다. 이는 기울기가 큰 부분(법선벡터가 xy 평면과 거의 평행한 경우)에 대해서는 정확도가 떨어지지만, 데이터 구조가 간단하고 조작속도가 빠르며, 경사가 급한 일부 측벽을 제외하고는 데이터에 대한 신뢰도가 높기 때문이다.

CATIA 시스템으로부터 얻어진 CC 데이터 연마 패턴 평면에 투영시키고, 패턴 데이터에 근사하는 데이터를 덧입혀 생성하였다. Fig. 14는 본 방법에 의해 연마경로 데이터를 생성한 모습을 보여준다.

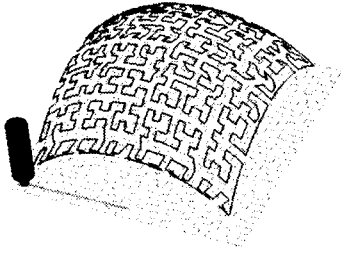


Fig. 14 Pass of polishing surface

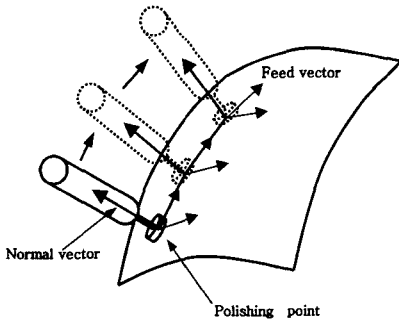


Fig. 15 Relation between normal vector and tool

5.4 이동 경로에 대한 공구 기울임

본 연구에서 공구의 자세각은 Fig. 15 와 같이 연마 경로상 임의의 한 점에서의 법선벡터와 일치한다. 하지만, 연마 작업과정에서 연마패드의 중심부는 회전운동이 없으므로 미끄럼운동만 발생하고, 패드의 바깥쪽 부분은 스핀들에 가해지는 압력을 받지 못하므로 연마가 거의 일어나지 않는다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 선행 연구^{4,5}에서는 공구를 금형면과 일정한 각도만큼 기울여 연마를 수행하였다. 본 연구에서는 수 차례의 연마실험을 통하여 공구를 법선벡터를 이동경로에 대하

여 15° 기울여 연마하는 방법을 사용하였다.

Fig. 16 은 이동경로에 공구의 기울임을 나타내고 있다. P_1 은 이동 경로상의 한 점이며, 이 점에서의 법선벡터를 \hat{N}_v 라 하자. P_1 에서 이동점 P_2 로의 단위벡터를 \hat{D} 라 하면, \hat{D} 와 \hat{N}_v 에 의해 생성된 평면에 수직인 벡터 \hat{K} 는 다음과 같다.

$$\hat{K} = \hat{D} \times \hat{N}_v \quad (1)$$

\hat{K} 을 회전축으로 \hat{N}_v 를 θ 만큼 회전시키면 다음과 같이 공구벡터 \hat{N}_r 을 구할 수 있다.

$$\hat{N}_r = R(\hat{K}, \theta) \hat{N}_v \quad (2)$$

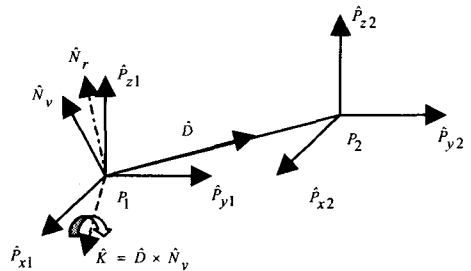


Fig. 16 Normal vector rotation

5.5 로봇용 위치 및 방위 데이터 생성

앞에서 생성된 연마경로 데이터에 의해 로봇이 작업을 수행하기 위해서는 위치 및 방위 데이터를 로봇에 전송해야 한다. 본 연구에서는 선행 연구⁴에서 사용된 바 있는 쿼터니언^{11,12} 방법을 이용하여 로봇 공구점(TCP, Tool Center Point)의 위치 및 방위를 나타내는 쿼터니언 값을 로봇 제어기에 전송하였다. Fig. 17 은 로봇 공구점 좌표계와 공작물 좌표계 사이의 관계를 나타내고 있다.

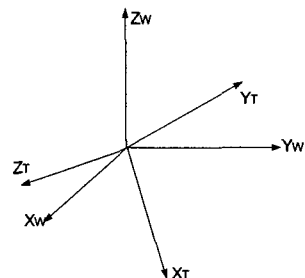


Fig. 17 Coordinates of robot and workpiece

Fig. 17에서 회전행렬이 다음과 같다고 하자.

$${}^w R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (3)$$

쿼터니언 값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Q_1 = \sqrt{1+r_{11}+r_{22}+r_{33}}, \quad Q_2 = \frac{r_{32}-r_{23}}{4Q_1} \quad (4)$$

$$Q_3 = \frac{r_{13}-r_{31}}{4Q_1}, \quad Q_4 = \frac{r_{21}-r_{12}}{4Q_1}$$

쿼터니언 데이터에 절대좌표와 상대좌표 분별, 코드분별, 이송속도인식 등을 추가하여 최종 연마 경로 데이터를 완성한 후 연마 프로그램을 통하여 로봇에 전송된다. 아울러, 연마 프로그램의 명령어 창에서 작업할 공구의 번호와 연마 경로 데이터를 지정하여 로봇을 제어할 연마 데이터를 생성한다.



Fig. 18 Metal mold (1), (2)

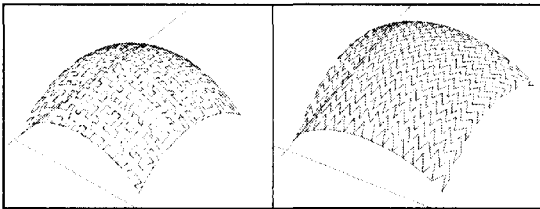


Fig. 19 Pass of polishing surface (1)

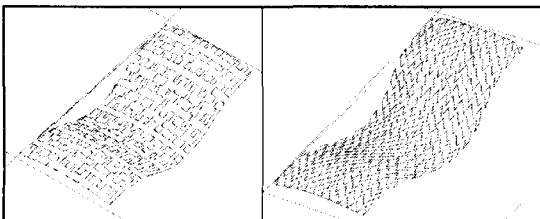


Fig. 20 Pass of polishing surface (2)

6. 금형 연마 실험

연마에 사용되는 금형재질로는 SM45C(KS 규격 품)를 선택하였다. Fig. 18은 연마에 사용될 금형을 나타내는데, 직경 10mm 볼엔드밀을 feed 폭 1mm로 (1) 단순곡면(100×100mm)과 (2) 복합곡면(200×100mm)으로 구분하여 금형을 제작하였다. Fig. 19와 20은 연마경로 데이터를 나타내고 있다.

Table 2와 3은 연마에 적용된 세부사항을 나타내고 있다. 스피들은 약 2,000rpm의 정속운동을 한다. 연마작업시 스피들에 입력되는 압력은 약 2.5~3kg/cm²로 설정하였고, 컴플라이언스 유지기구의 압력은 약 1.5~2 kg/cm²로 설정하여 실험을 수행하였다.

BRD에는 6개의 연마공구를 장착하여 로봇이 정해진 작업을 수행한 후, 연마 패드를 교체하여 다음 작업을 수행하였다. 연마작업시 공구와 금형과의 접촉면을 증가시키기 위하여 Fig. 21과 같이 연마사포와 연마패드 사이에 탄성체를 부착하였다. 이 탄성체의 역할로 공구는 금형을 감싸면서 연마 작업을 수행한다.

Table 2 Polishing work (1)

Order	Pattern	Time(min)	Work	Mesh
1	Peano(4th)	22	Remove Cusps	120
2	Zigzag	20	Remove remaining Cusps	200
3	Peano (5th)	25	Finish Trace	800
4	Zigzag	30	1st Polishing	1000
5	Peano (6th)	40	2nd Polishing	3000

Table 3 Polishing work (2)

Order	Pattern	Time(min)	Work	Mesh
1	Zigzag	30	Remove Cusps	120
2	Peano (5th)	30	Remove remaining Cusps	200
3	Zigzag	30	Finish 1st Trace	400
4	Peano (5th)	35	Finish 2nd Trace	800
5	Zigzag	40	1st Polishing	1000
6	Peano (6th)	50	2nd Polishing	3000



Fig. 21 Tool with elastic material (left) and figure (right)

Fig. 22 와 23 은 최종 경면가공을 한 후 촬영한 금형의 모습이다.

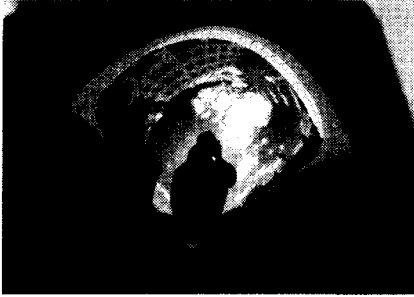


Fig. 22 The final surface (1)



Fig. 23 The final surface (2)

7. 결론

본 연구에서 연마 로봇용 자동공구교환장치 개발과 이를 Windows 환경에서 사용할 수 있는 통합용 프로그램에 대하여 알아보았는데, 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

첫째, 임의의 금형 모델링 데이터를 통하여 복합곡면에서 연마작업이 가능한 연마 데이터를 생성할 수 있었다. 둘째, 탄성체를 부착한 연마패드에 의하여 볼록곡면 및 오목곡면이 결합된 복합곡면에서 연마작업이 가능함을 보였다. 셋째, 연마패드가 연마경로에 따른 기울기를 갖도록 하면 연마면에 수직방향으로 연마를 실시할 경우보다 연마 품질이 향상되었다. 넷째, ATC의 개발로 작업자가 배제된 연마 시스템을 구성하여 연마작업 자동화의 가능성을 보여주었다.

아울러, 로봇을 이용한 연마면 평가에 대한 Data Base가 부족하므로 이에 대한 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Jang, J. H., Park, G. M. and Han, C. S., "The Development of the Automatic System for Fine Polishing Process," J. of the KSME, Vol. 19, No. 12, pp. 3382-3391, 1995.
2. Lee, M. C. and Ha, D. J., "A Study on the Development of Polishing Robot System Attached to Machining Center for Curved Surface Die," J. of the KSPE, Vol. 16, No. 4. pp. 163-177, 1999.
3. Park, G. M., Han, C. S. and Jang, J. H., "A Study on the Experimental Analysis of the Automatic Fine Polishing System," J. of the KSPE, Vol. 12, No. 9, pp. 20-39, 1995.
4. Ryuh, B. S. and Oh, Y. S., "The Development of Grinding Robot System Using NC data and Off-line Programming," J. of the KSPE, Vol. 16, No. 3, pp. 9-17, 1999.
5. Lee, S. H. and Ryuh, B. S., "The Metal-Mold Polishing Automation System Using Modeling Data," Fall Conference Proceeding of the KSPE, pp. 773-776, 1999.
6. Ge, D. F., Takeuchi, Y. and Asakawa, N., "Automation of polishing work by an industrial robot(3rd Report, 6-axis control polishing with L-type rotational tool)," Transactions of the JSME, Vol. 60, No. 571, pp. 1084-1089, 1994.
7. Asakawa, N. and Takeuchi, Y., "Automation of polishing work by an industrial robot(4th Report, Polishing with reference to surface roughness)," Transactions of the JSME, Vol. 61, No. 584, pp. 1715-1719, 1995.
8. Kang, S. C., Kim, M. S. and Lee, K. I., "Development and Verification of a Robot Off-line Programming System for Die Polishing Process," J. of the KSPE, Vol. 14, No. 1, pp. 69-77, 1997.
9. Product manual IRB 2000, ABB Robotics.
10. Numerical Control Fixed Axis Milling, IBM CATIA TRAINING CENTER, Version 4 Release 1.6, April 1996.
11. Kotelnikov, V., "Screw Calculus and Some Applications to Geometry and Mechanics," Annals of the Imperial University of Kazan, 1895.
12. McAulay, A., "Octonions a Development of Clifford's Biquaternion, Cambridge University Press Cambridge," England, Vol. 39, pp. 526-532, 1898.