

금형의 Polishing 작업자동화를 위한 Robot System개발

김 문 상* · 박 종 오* · 박 세 형**
(*KIST 로봇트 응용 및 유공압연구실 선임 연구원,
**동 CAD/CAM 연구실 선임 연구원)

1. 서 론

금형생산의 합리화 및 생산성 향상을 위해 공정 자동화 및 전체 생산라인의 집적화가 꾸준히 시도되고 있다. 그러나, 그 중 금형 마무리 및 Polishing 작업은 금형제작 공정 중 소요시간 및 인원비율이 제일 큰 분야 중의 하나임에도 불구하고 단위 공정 자동화는 물론 생산라인에의 집적화가 이루어지지 못하고 대부분 수작업에 머물러 있다. 그 주요 원인으로서는 금형의 극도의 소량생산, Polishing공정의 다양성 및 작업자의 배타성을 들 수 있다.

본 연구개발의 목적은 금형 Polishing작업을 로봇 기술을 이용하여 자동화하고 금형 설계 Data를 로봇트 기술을 이용하여 금형생산 자동화 라인에 집적시키는데 있으며 결국 금형생산 Lead time을 획기적으로 단축시키는데 그 목표를 두고 있다.

국내에서는 아직 이 분야 자동화에 관심을 가지고 있는 단계이며 세계적으로 일본, 프랑스 등지에서 금형 Polishing 공정의 제한적인 자동화 또는 기계화를 시도하고 있는 단계이다. 본 시스템에서는 금형 Polishing작업에 필요한 로봇트의 경로 Data를 금형 설계에 사용된 Surface Modeler의 곡면 Data를 이용하여 생성한 후, Robot의 Off-line Programming S/W Data로 변환시켜 로봇트 제어기에 전달된다.

금형연마공정을 로봇트를 이용하여 자동화하기 위해 유연성 Robotonic Tool System이 개발되었고 이 시스템에 다양한 Polishing 공구들을 장착하여 금형 연마 공정을 분석하였다.

본 Paper에는 곡면설계용 Surface Modeler의 구성 및 응용 프로그램, 개발 Environment가 분석되고 Modeler와 Off-line Programming System의 연계 및 Off-line Programming S/W의 기능 및 Robot와의 Communication 그리고 로봇트를 이용한 금형연마 Cell의 구성 및 연마공정 자동화 기술이 소개된다.

2. 곡면의 설계를 위한 Surface Modeler

Surface Modeler는 주로 자유곡면을 갖는 제품의 설계 및 가공을 위하여 사용되어 왔다. 본 연구에서 개발되고 있는 Surface Modeler는 자유곡면을 갖는 금형의 Core 및 Cavity 부의 설계에서 부터 NC 가공을 거쳐 Robot Programming과 측정에 이르는 일련의 공정을 단일한 Software로서 지원할 수 있도록 개발되고 있다. 이를 위한 요구조건으로는 우선 다양한 곡면설계기능과 응용프로그램 작성의 용이성을 들 수 있다. 곡면정의 방법으로는 단순한 Ruled Surface, Surface of Revolution, Coons Surface,

Tensor Product Surface 등 이외에도, Lofted Surface, Offset Surface, Sweep Surface, Blending Surface 및 측정데이터를 이용한 곡면생성 기능들이 포함된다. 응용프로그램의 작성 및 이용을 용이하게 하기 위해서는 우선 프로그램을 Module화하여 개발하였으며, Documentation을 철저히 하여 쉽게 응용 프로그램을 작성할 수 있도록 하였다. 응용프로그램을 작성할 때 Database 관리모듈을 이용하여 CAD로 설계된 형상정보를 데이터변환없이 그대로 이용할 수 있으며, 대화식입출력 모듈을 이용하여 모델러와 같은 작업환경에서 작업이 가능하도록 할 수 있다. Robot, NC 및 측정기의 경로생성이 용이하도록, 곡면과 곡면사이의 연속관계, 곡면의 점유공간 등이 데이터구조에 포함되어 있으며, Interactive 작업시 Visual효과를 높이기 위하여 Local Transformation, 화면분할, Attribute수정, Shading 등의 Graphics 기능을 최대한 활용할 수 있도록 시스템이 구성되어 있다.

Surface Modeler는 Micro VAX(VMS O/S)와 Megatek Workstation(WAND Graphic Library)을 이용하여 FORTRAN으로 개발되었으며, Dynamic Memory Allocation을 위하여 Virtual Memory를 사용하는 VMS System Routine들을 사용하였다.

3. off-line Programming System

생산 시스템에서의 로봇의 이용은 반복성과 유연성으로 가공작업이나 공작물 이동 등에서 그 중요성을 더해가고 있다. 특히 시장변화에 따른 제품의 다양화와 제품수명의 단축 등으로 인하여 로봇 System의 유연성(flexibility) 등을 더욱 요구하게 되었다.

금형 가공작업에도 있어서 가공작업시의 여러 문제로 인하여 로봇이나 전용기계를 이용하려는 시도가 이루어지고 있다. 금형가공후의 마무리작업인 Grinding, Lapping 등이 수작업으로 이루어짐으로 인해서 마무리 작업에 소요되는 시간은 일반적으로 전체공정의 반이상을 차지하며, 이에 투입되는 인원도 매우 큰 부분을 차지한다. 또한 연마작업이 가지는 특성 중 반복성이라는 면은 이와 자동화라는 측면을 뒷받침 해주고 있다.

그러나 금형이라는 대상이 가지는 또 다른 면은

단지 한두개의 수량에 지나지 않다는 면이다. 따라서 마무리 작업을 위하여 로봇이 투입될 시 이의 작업프로그램의 생성이 문제가 된다. 일반적인 Teach-in 방식을 통한 작업 Program의 창출은 금형의 마무리 작업을 위해서는 무의미하며 따라서 작업상태의 사전 Test를 겸한 Off-line을 이용한 작업 및 Programming이 요구되고 있다.

3.1 연마용 Robot를 위한 Off-line Programming System Configuration(PROPS)

금형의 마무리 작업중 Polishing작업을 로봇을 이용하여 자동화함에 있어, 3차원 곡면형상에 대한 로봇 작업 Program을 기존 CAD System으로부터 Position 및 Orientation Vector를 취득하여 열외(Off-line)적인 방식으로 만드는 방식이 제시되었다. 그림 3-1은 Off-line Programming System의 전체구성을 나타내는 그림이고 그림 3-2는 S/W의 흐름도이다.

PROPS는 먼저 Micro VAX에서 금형의 형상을 CAD system으로부터 받은 후 금형의 재질, robot,

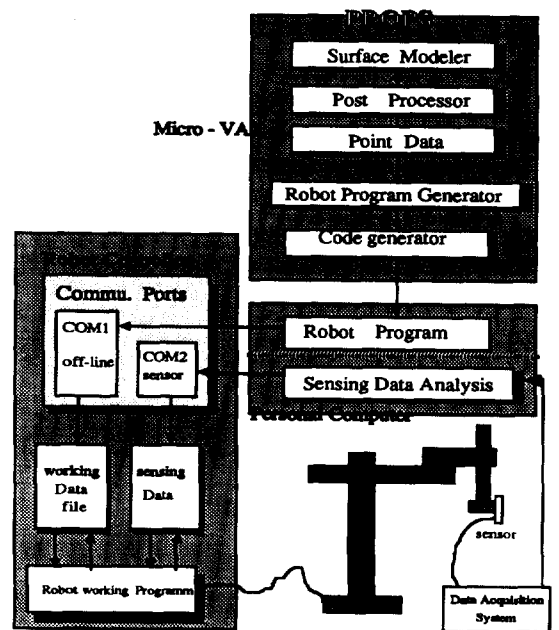


그림 3-1. 작업중심의 off-line programming system

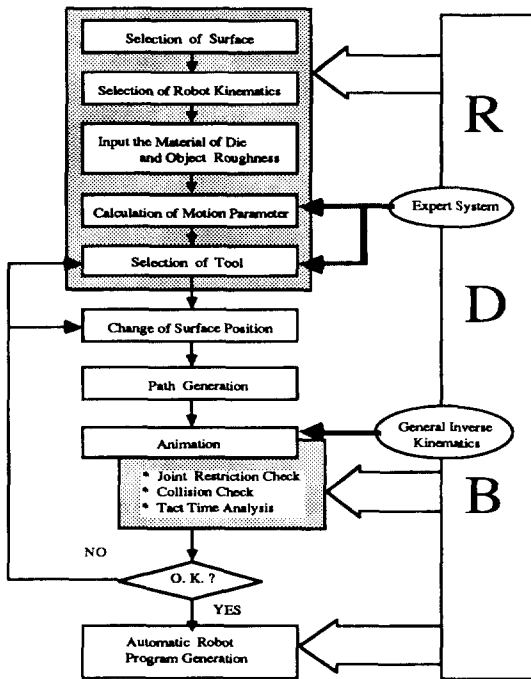


그림 3-2. off-line programming system의 주요 flow

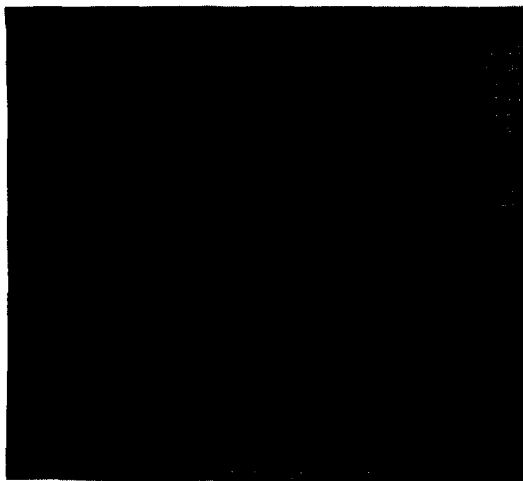


그림 3-3. 작업조건 설정 과정

tool, tool-tip 등을 interactive하게 선택한다. (그림 3-3) 그림 3-4는 tool-tip을 선택하는 과정을 나타낸다.

공구의 dimension과 path width가 정해짐으로 가공 path를 generation하게 된다. VAX는 내장되어



그림 3-4. tool-tip 선택 과정

있는 relational data base와 window를 이용하여 표면의 roughness, 가압력과 같은 input을 받는다. 위의 input을 이용하여 인공지능기술(AI)를 이용한 expert system을 사용하여 공구의 r.p.m, 구동속도 등의 robot polishing parameter를 계산해낸다. 가공 path와 parameter를 이용하여 simulation을 수행하면서 tact time과 joint restriction과 충돌을 check한다. path의 검증이 끝나면 robot구동 program을 생성한다. 이 program은 pc로 보내져 robot controller와 communication이 이루어진다. robot system이 생성된 position을 정확하게 수행하기 위하여 robot kinematics의 calibration을 통하여 Kinematical parameter를 정확하게 identify한다. Robot를 구동하면서 sensor의 data를 받아서 제어를 한다.

3.2 simulation

그림 [3-5]과 [3-6]는 graphic driver를 이용한 Simulation과정을 보여준다. 로봇 System과 금형이 결정되면 3각법에 의하여 1차적인 layout이 결정된다. (로봇과 금형과의 정확한 위치선정은 부가적인 calibration process를 거쳐 정확하게 결정된다) 우선단계에는 현재 surface원점의 위치를 나타낸다. (그림 3-5).

금형 surface가 로봇트 좌표계에 위치하면 사용해야 할 공구가 각 surface에 따라 결정되고, 공구

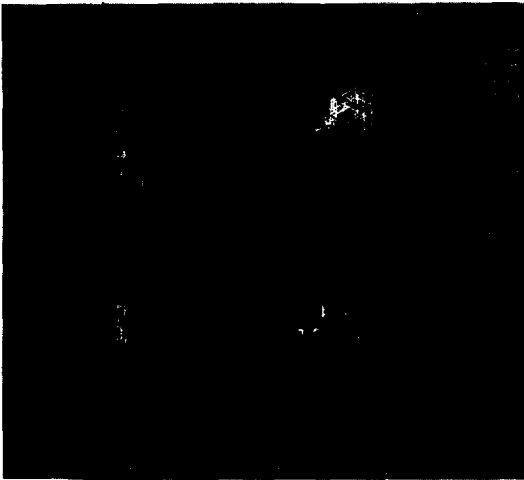


그림 3-5. 3각법에 의한 Layout Planning

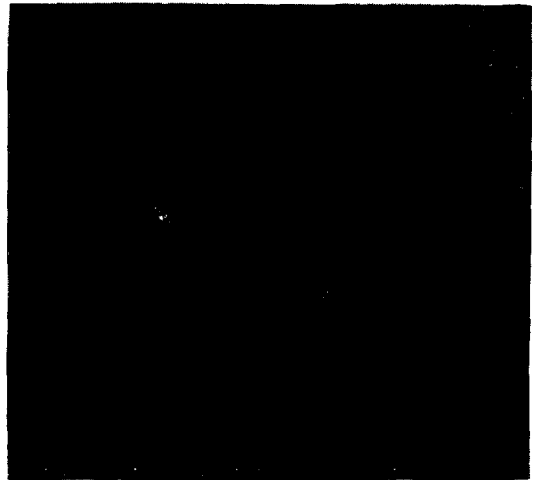


그림 3-7. 확대된 Surface에서의 Simulation

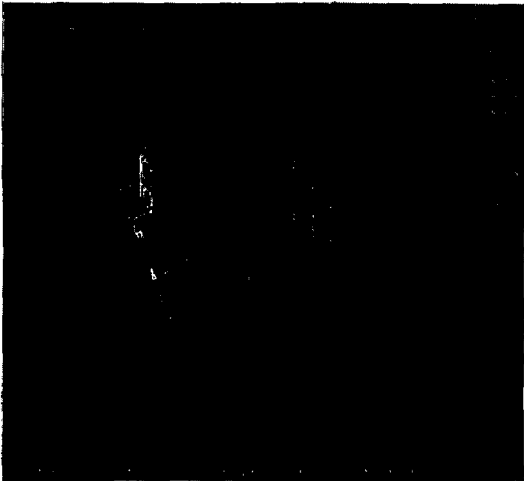


그림 3-6. Simulation

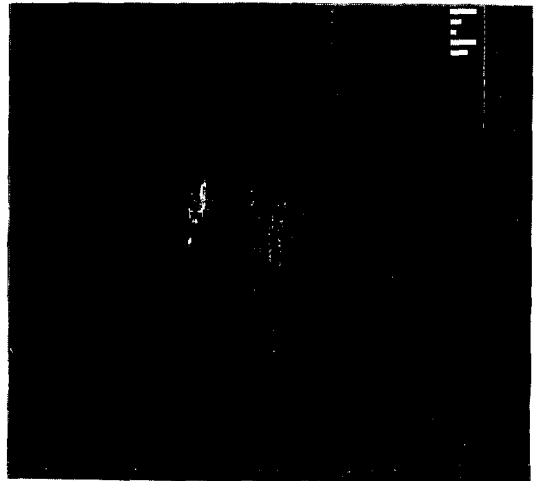


그림 3-8. Teach-in

dimension과 특성 data로부터 robot path가 생성된다. 생성된 path를 따라 robot의 animation이 시작되어 tact time analysis와 collision check와 joint restriction check를 한다. 그림 3-6에서는 우상단에 각 joint값을 나타내고 좌상단에는 tact time을 나타낸다. 그림 3-7는 surface와 tool tip만 확대하여 보이게 함으로써 작업을 명료하게 보여준다.

그림 3-8은 원하는 위치의 입력과 tool 교환과정등을 입력하기 위한 Teach-in과정을 나타낸다. 우상단에는 robot joint값들을 숫자와 그림으로 나타내고 x, y, z좌표값과 roll, pitch, yaw값을 나타낸다. 우하

단의 teach box는 PTP, CP, CPC의 여러가지방법의 animation이 가능하고 joint 값, global point 값, local point 값 등 여러가지 입력을 받을 수 있다.

이와같이 check된 robot motion data는 polishing 작업을 수행하기 위한 추가적인 parameter를 relational database management system을 이용하여 결정된 후, robot code로 바뀐 후 robot controller에 전송된다.

4. Robot를 이용한 Polishing 공정자동화

4.1 금형 마무리 작업기술 현황

금형 마무리 공정은 NC공작기계에 의한 금형가공 제작 이후의 작업을 말하며 보통 초벌 다듬질(기계 가공 자국제거), 평할 다듬질(일정조도 다듬질) 그리고 경면다듬질(경면같은 광택면) 공정으로 구분한다. 현재 국내에서 금형 마무리 작업의 자동화 시도는 아직 없다. 일반적으로 국내 대형 금형공장에서는 마무리작업 공정표준을 사내적으로 정하여 수작업으로 수행하고 있다. 외국에서의 관련기술 자동화

사례로서 축부착 탄성숫돌에 의한 다듬질 가공(1), 2축 마이크로 연삭공구를 사용한 다듬질 가공(2), 연마벨트에 의한 적응제어마무리 가공(3), 스틱 숫돌에 의한 정압식 연마가공(4), 자기흡인식 연마공구에 의한 다듬질 가공(5) 등을 들 수 있다.

4.2 금형연마 Cell의 구성

로봇을 이용한 금형연마 자동화 Cell의 요구기능은 다음과 같다. 공구 핸들링 기능, 공구 구동기능,

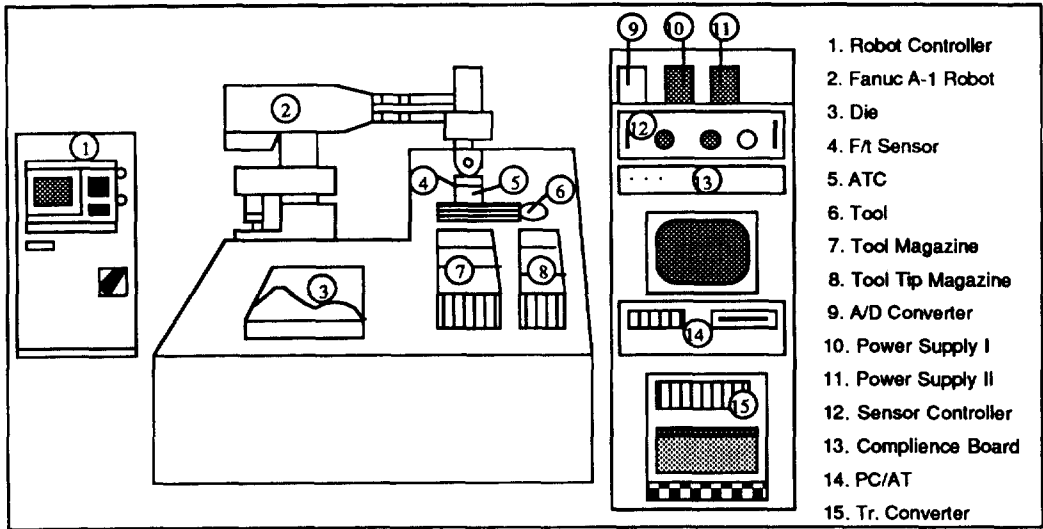


그림 4-1. 로봇셀의 기구학적 Lay-out

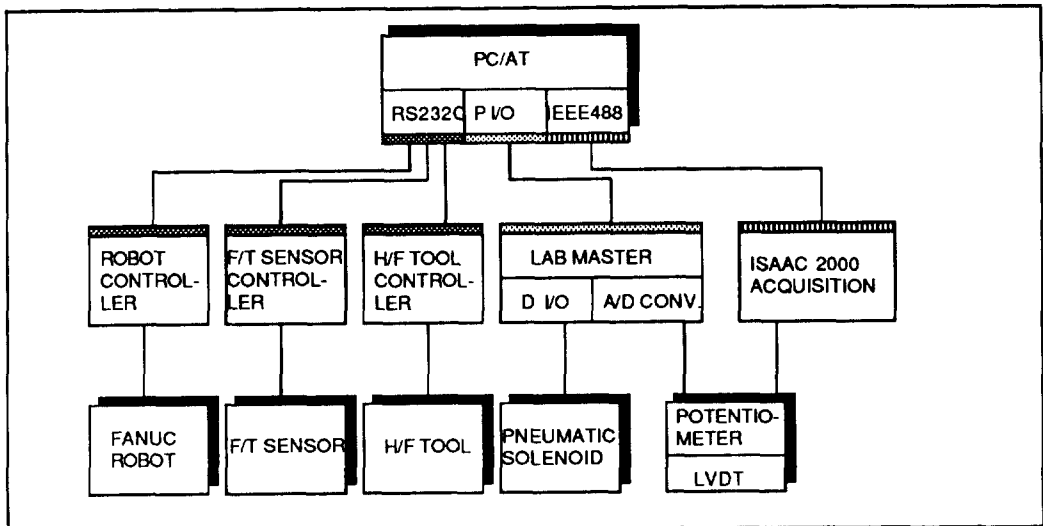


그림 4-2. 로봇셀의 Control Layout

No.	A	B	C
CONFI-GURA-TION	로봇도플렌지	로봇도플렌지	로봇도플렌지
운동방향 COMPLIANCE방향			
구동	공압 회전 (6-8 bar)	공압항복(6-8bar)	전동회전(0-300 Hz)
형상인식 방식	-공압Compliance방식 -자력흡인방식 -스프링Compliance방식	-공압Compliance방식 -스프링Compliance방식	-공압Compliance방식 -스프링Compliance방식 -F/T센서제어방식
공정제어 방식	-동일압력가압방식 -압력변환제어방식	-동일압력가압방식 -압력변환제어방식	-동일압력가압방식 -가공율제어방식 -Contour제어방식

그림 4-3. 개발된 3종류의 Robotonic Tool System의 제원

요소 교환기능, 금형 이송 기능, 공정 감시기능 및 Cell제어 기능. 다음 그림 4-1과 그림 4-2는 구성된 로봇 Cell의 기구학적 및 Lay-out를 보여준다.

4.3 ROBOTONOMIC TOOL SYSTEM 개발

로봇을 이용한 금형연마 자동화 Cell에서 로봇트는 공구 핸들링 기능을 수행한다. 로봇트에는 금형연마에 적합한 기능들이 고려되지 않았기 때문에 금형연마에 적합한 TOOL SYSTEM 및 제어기능이 추가되어야 한다. 현재 금형연마의 수작업에 사용되고 있는 공구들은 작업자에 적합한 시스템 즉

ERGONOMIC SYSTEM으로 개발되었으나 로봇트는 인간과 유연성, 자유도, 가변하중, 접근성, 위험도, 제어기능이 차이가 있으며 로봇트에 적합한 금형연마용 ROBOTONOMIC TOOL SYSTEM이 개발되어야 한다. 금형연마용 ROBOTONOMIC TOOL SYSTEM의 구성요소기능으로서 공구기술, 공구구동기술, 자유곡면 인식/적용 기술 그리고 공정제어 기술을 들 수 있다.

4.4 자유곡면 적응성 분석

본 실험의 목적은 자유곡면으로 이루어진 공작물 표면을 직선이동경로로 진행할 때 공구의 Compliance에 의한 공작물 표면에 대한 적응성을 측정하고 공구 Tip과 공작물의 접촉상태 등을 분석하기 위한 것이다(그림 4-4). 모델금형 자유곡면형상(a)과 공구에 부착된 센서신호에 의한 실제 공구이동 경로(b)를 보여주고 있다.

실험결과로부터 공구의 Compliance에 의해서 약 20mm정도의 변위차를 갖는 자유 곡면은 충분히 적용가능함을 알 수 있고, 변위차가 클 경우에는 다단계로 분할하여 이동 위치를 입력시켜줌으로써 적용이 가능하다. 단 금형의 연마가공시는 평균접촉에 의한 가공이 가장 효율이 높게 되고 일정한 접촉면적을 유지하는 것이 품질의 균일성과 경로 Data의 입력 용이성이 있다.

6. 결 론

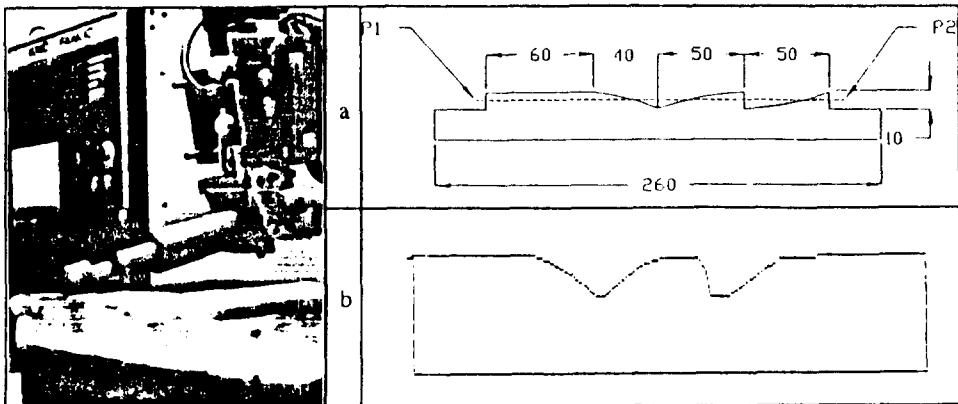


그림 4-4. 개발공구의 자유곡면 적응 분석 실험

가. CAD System과 PROPS를 접속하여 CAD System에서 Design된 Surface를 사용할 수 있으며 Robot Kinematics를 Graphic Library화하여 Surface배치 수정 및 Path Generation 및 Animation을 통하여 가공작업을 위한 로봇트 운동을 Simulation할 수 있게 되었다.

나. Denavit-Hartenberg Transformation Form에 의해 여러 Robot Kinematic을 일반적인 형식으로 Library화하였다.

다. 금형 가공의 공정들을 Menu로 만들어서 Expert System을 도입, 손쉽게 Interactive한 작업을 할 수 있게 하였다.

라. 차후의 연구 목표는 로봇트 Calibration S/W의 개발 및 실현 그리고 Expert System을 이용한 Robot Program Generator의 완성을 통한 전체 Off-line Programming System을 정립하는데 있다. 이를 위해서 더 실제적인 Tool Path Generation과 Expert System을 이용한 가공 조건의 결정 및 User Interface를 위한 Window가 개발되어야

한다.

마. 1차년도에 개발된 Robotomic Tool System의 유연성을 확장시킨다. 실험결과를 바탕으로 공정 자동화 시스템을 확장시킨다.

바. 연마공정자동화에 필수적인 공구 및 공구 Tip의 표준화 및 자동교환장치를 개발한다.

사. 금형연마 Cell의 구성요소들간의 Interface 및 System Controller에서의 집적화를 시킨다.

참 고 문 헌

- [1] K. Saito, T. Miyoshi, et al: Proceedings of JSPE Annual Meeting(1977) 121.
- [2] K. Saito, T. Miyoshi: Proceedings of JSPE Annual Meeting (1980) 161.
- [3] J. Shibata, I. Inagaki, S. Yonetsu: Proceedings of JSME Annual Meeting(1981) 903.
- [4] K. Nato, T. Kawai: Proceeding of JSPE Annual Meeting (1981) 536.
- [5] M. Kunieda, T. Nakagawa, et al: Proceedings of 24th CIRP (1983) 295.