

디버링용 지능 로봇 시스템에 관한 연구

박경택*, 최재찬*, 한장남*, 이정규*, 김무용**, 정병균**

*한국기계연구원 자동제어실, **대림기업(주)

Intelligent System for Robotic Deburring

K.T. Park*, J.C. Choi*, J.N. Han*, J.K. Lee*

M.Y. Kim**, B.K. Jung**

*Automatic Control Lab. KIMM

** Daerim Ltd.

Abstract

The integration of deburring robots into product quality and productivity impact the industrial. In this paper the intelligent system of robotic deburring is proposed integrated with robot system, image processing system, force sensor system and host PC. The size, position, recognition of burr is determined by the information that the image processing system processed. The feed velocity of cutting tool is controlled by the information that the force sensor system processed. The integration of these information can remove the uncertainty of the information of deburring on the cutting path. The result of these technologies is useful for the development of the factory automation and automatic inspection equipments.

디버링 공정의 자동화 시작은 형상이 단순하고 대량 생산품을 생산하는 라인에 프레스 타입의 전용 기계를 적용하였으며, 최근 디버링 공정 자동화 수단으로 로봇을 도입하기 시작하였고, 성공한 경우는 주로 대량생산품의 경우이고, 다품종 소량 생산품에 도입 활용하는 경우는 극히 적다. 디버링 공정이 다른 공정에 비하여 산업용 로봇을 적용하여 자동화 하기 곤란한 이유는 용접, 도장, 조립작업에 비교하여 작업 과정이 복잡 다양하고, 비타입, 가공품의 재질에 의존도가 큰 공구와 공정이 존재하는 등이다. 그러나, 컴퓨터를 이용한 제어기술의 발전으로 로봇 기능이 고지능화됨에 따라, 최근 수년간에 디버링용 로봇에 대한 연구 개발이 활발히 이루어지고 있다. 근래에 들어서 국내외 로봇 메이커 및 연구기관에서, 디버링 작업에 관한 로봇의 응용상황 및 공구, 센서, 제어기술 등에 대한 다양한 문헌 [1-16] 등이 많이 발표되고 있다.

1. 서론

디버링 작업은 주물품이나 기계 가공품에 주로 제품적 가치를 부여하는 공정으로 소음, 진동, 분진 등을 동반하는 작업 환경을 갖는다. 작업 환경이 여타 다른 생산 작업 환경과 비교하여 극히 열악하고, 산업 재해가 발생할 소지가 많기 때문에 관련 산업계에서는 디버링 공정이 조속히 자동화로 이루어지기를 바라고 있다.

본 연구에서 기존 산업용 로봇을 디버링 작업에 도입하는데 필요한 로봇 시스템의 지능화를 목표로 하였다. CCD 카메라, Image Grabber, 조명 장치 및 Force Sensor 시스템을 하나의 시스템으로 구성하여 화상처리 기술, Force Sensor 응용 기술 및 통합 제어 기술을 통하여 로봇 시스템의 지능화를 실현 하였다.

2. 적용 대상 주물 및 디버링 공구

주물 작업 공정에서 형을 만든후, 탕구, 탕도 등의 불필요한 부분을 분리, 절단하고, 모래 등을 털고, 버와 같은 불필요한 부분을 절단, 재정정 공정 등으로 이루어지는데, 이 같은 여러 공정 중 버를 제거하는 공정의 자동화가 아직 잘 이루어지지 않고 있다. 현실적으로 주물 버의 발생이 없으면 주물 디버링 작업이 없어지만, 버가 발생하지 않는 주조 기술에 대해서 연구 검토가 되었지만, 특수한 경우를 제외하고는 사용되고 있지 않다. 현재의 여러 여건으로는 버가 없는 주물을 만드는 것이 곤란하다. 이것은 주물 디버링 비용을 포함한 주조 원가가 버가 발생하지 않는 주조기술을 적용하였을 경우 주조 원가가 보다 낮게 나타나기 때문이다.

주대상품인 자동차 부품 서지 탱크의 버 상황은 주로 형의 분할부에 따라 발생한 버들이고, 본 제품의 주조 조건이 비교적 안정적이다. 실측한 결과의 버 특징은 ① 버의 두께는 주로 0.3 - 1 mm 이고, ② 버 높이 2 - 5 mm 정도가 주를 이루고, ③ 높이 변동이 심하지 않다. 주물 재료의 물리적 성질은 알루미늄 합금 주물 4종 AC4B, 인장강도 22Kg/mm^2 , 신장율 8% 이상, 경도 H, 60 이상이다.

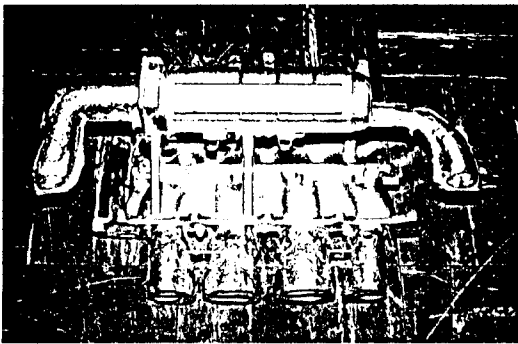


그림 1. 진사상전의 적용 대상 주물

공구 선정은 디버링 작업에서 작업의 성패에 중요 역할을 하며, 디버링 공구는 주철용과 알루미늄용으로 명확한 구별이 있다. 알루미늄 가공시 Loading 현상을 고려하여 날수가 적은(8날) 디

버링용 앤드 밀 (Cylinder with Radius End) 선정을 하였다. 공구 치수 선정은 가공품의 가공 부위의 형상을 고려하여 선정하여야 하고, 공구 수명은 공구재질과 절삭 조건에 좌우지만, 실험실 사정상 절삭유를 사용하지 못하기 때문에 공구 회전 속도에 대한 제한이 있다. 공구 Holder는 공구 길이, 공구 강성, 절삭력, 진동 및 로봇 가반 하중을 고려하여 설계 제작하였다. (그림 2. 참조) 실제 사용한 공구는 적정 구동 공압 $P = 6 \text{ Kg/Cm}^2$ 에서 공구 회전속도는 25,000 rpm이다.

3. 화상 처리 시스템

화상처리 시스템을 이용하여 가공 경로상에 존재하는 버를 찾아 화상처리를 한 다음 다음 버에 대한 정보를 얻는다. 이 정보는 디버링 로봇이 티이칭(Teaching)된 경로를 따라 동작할 때 버의 유무에 따라 가공이 필요한지 아닌지를 판단할 뿐만아니라 불필요한 동작을 줄일 수 있기 때문에 로봇 가동을 증가시킬 수 있다. 가공할 때 생기는 절삭력을 버의 크기에 따라 미리 이송속도를 제어할 수 있어 실시간 제어기능의 문제점을 해결할 수 있는 장점을 갖는다.

하나의 CCD 카메라를 On-Robot으로 사용함으로써 여러 대의 On-Shelf 사용을 대체할 수 있는 장점을 갖고 있다. 로봇 Wrist에 카메라 부착 장치를 설계 제작하여 CCD 카메라(XC-77,B/W)를 부착하고, 조명 장치로 Light Source (GLS-V100B)와 Light Guide(GLG-PS) 2개를 카메라 부착 장치 양옆에 부착하여 사용하였다. Frame Grabber(DT2867-LC)를 PC 386에 장착하고, CCD 카메라를 연결하여 사용하였다.

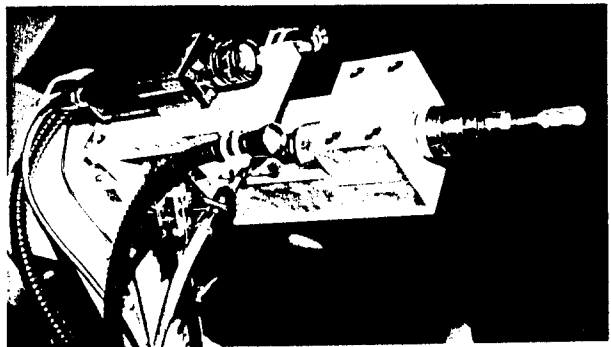


그림 2. CCD 카메라, 조명 및 공구의 부착 장치

세션화가 좋은 이차 미분 연산자 LoG (Laplacian of Gaussian) $\nabla^2 G$ 을 이용하여 윤곽 추출하였으며, 에너지 손실을 줄이기 위해 연산자 LoG의 크기를 3W로 사용하였다. 그림 3의 검은 부분은 연산자 LoG를 사용하여 계산된 부분이며 이중 흰부분이 영점통과(Zero Crossing)가 일어난 부분이다 [17].

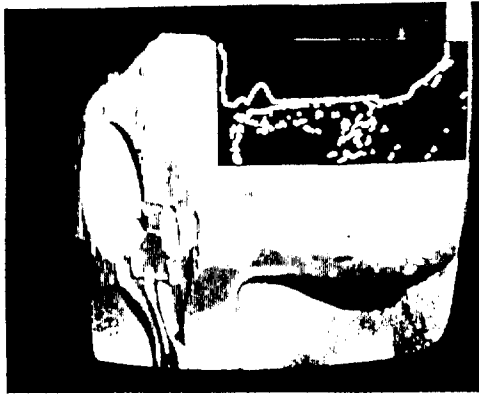


그림 3. 연산자 LoG에 의한 윤곽 추출된 영상

연산자 LoG에 의한 추출된 윤곽선중에서 그림 3.과 같이 물체 내부에도 불필요한 윤곽선이 포함되어 있어 필요한 윤곽선의 정보를 제외한 나머지는 8 방향 Chain Coding 이용하여 삭제하였다. 윤곽선의 시작점, 방향성 및 길이를 추적 비교하여 필요한 윤곽선만 남기고 다시 Chain Decoding으로 윤곽선을 그자리에 그리는 알고리즘 사용한 결과는 그림 4.와 같다. 버가 없는 적용 물체의 윤곽선 Template과 비교하여 버의 존재, 위치, 크기 결정한다. 버의 높이는 버의 방향성이 0이나 4방향 혹은 2 방향이나 4 방향인 경우에는 접선 방향의 거리로 결정하고, 나머지 방향성의 경우에는 법선 방향의 거리로 결정한다. 계산량을 줄이기 위해 전체 화상중 필요한 영역만을 화상처리하는 방법을 이용하였다. 실제 디버링 로봇가 작업을 할 때 가공경로 중에 버의 존재 여부에 따라 동작을 결정한다. 버의 존재 유무, 위치, 크기에 대한 정보를 Host Pc에 전송한다.

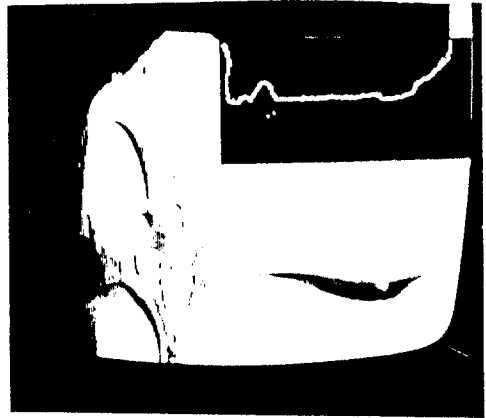


그림 4. 필요한 정보를 가진 윤곽선 화상

정보 전송 데이터 형태

순서	내 용
1 Byte	버 존재 유무 (유:0, 무:1)
2 Byte	Start of X coordinate
3 Byte	Start of Y coordinate
4 Byte	End of X coordinate
5 Byte	End of Y coordinate
6 Byte	Height of Burr

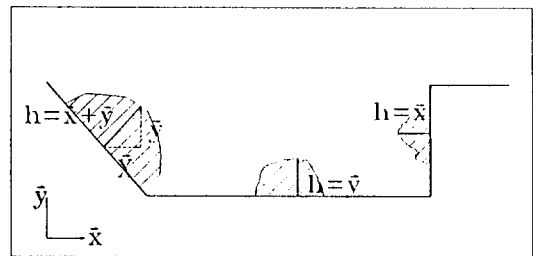


그림 5. 버의 높이 결정 방법

5 FORCE SENSOR 시스템

비전 시스템으로 부터 얻은 가공 경로상의 버의 유무, 위치, 크기에 따라 이송속도가 정해지지만, 복잡한 형상에 따른 불확실성, 주조 기술에 따른 주조물의 형상 치수 오차, 지그의 고정시 발생하는 오차 및 로봇의 과부하 방지를 위하여 사용한다. 본 연구에서 사용한 Force Sensor는

JR3-UFS 시스템 (Nitta 제품) 각축 방향의 Force 3 성분, 각축 방향의 Moment 3 성분을 동시에 고정도 실시간 연속적으로 검출할 수 있는 6축 Force 센서이다. 센서 본체에 AMP, A/D Converter, Serial Driver가 내장되어 있다. 이 UFS 시스템은 자체내의 데이터 처리 상태의 변환을 외부 기기로부터 지령을 받아 수행할 수 있는 Intelligent Device 이다.

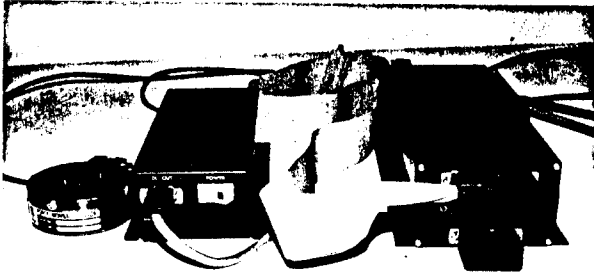


그림 6. UFS 시스템

본체가 RS-422을 통하여 Receiver Board에 연결되어서 노이즈에 강하고, 2 MHz의 Clock으로 작동하고, 125 μ sec로 6축의 데이터를 얻을 수 있어 고속 통신이 가능하다. PC-AT, VME버스에 사용시 Receiver Board 전용의 전자회로부가 불필요하다. 센서 본체에 센서 정격, 간섭보정 행렬이 들어 있는 ROM이 내장이 되어 있어 센서에 대한 조정이 불필요하고, 센서 교환이 용이하다. 센서 본체에 3 개의 링에 부착된 Strain Gage를 이용하여 각 링의 수평, 수직방향의 변형을 검출하여, OP-AMP에서 Analog 연산을 통하여 $F_x \sim M_x$ 의 신호로 변환한다. 각축의 출력을 Multi-Processor 을 하여 순차적으로 선택하여 A/D 변환하고, A/D 변환된 신호가 Serial Driver로 출력한다. 동작 타이밍은 전 센서 board상의 PLD로 행해진다. (기준 Clock은 2 MHz)

시리얼 출력 데이터에 있어서,

ch 0 ~ 6 ($F_x \sim M_x$)	address	4 bit
	data	16 bit
	space	9 bit
ch ₇ (EEPROM내용)	address	4 bit
	data	16x2 bit
	space	11 bit

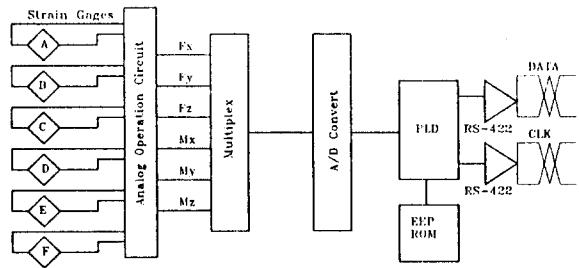


그림 7. 센서 내장회로 블록도

Receiver 측에서는 연속적으로 출력되는 신호들중에서 합치되는 것들을 선택하여 필요한 정보 수신한다. 이 UFS의 Force 데이터들은 A/D 변환을 한후 12 bit 이지만, 이런 데이터들은 Input/Output 으로 16 bit 데이터를 취하는 CPU와 협조를 이루기 위해 16 bit 데이터로 즉시 변환한다.

Force Sensor와 Host PC간의 정보 통신은 직렬 방법과 병렬방법이 있다. 센서 상태 제어를 위해 직렬통신(Port A)을 사용하였으며, 계측 데이터 전송의 실시간처리를 위해서 병렬통신을 병행 처리 하였다. UFS 시스템은 외부 기기와 정보 교환을 위해 다음과 같은 I/O 처리 기능이 있다.

- a) serial I/O (Port A)
- b) serial I/O (Port B)
- c) discrete TTL I/O (8bit IN / 7bit OUT)
- d) analog out (6 chan)
- e) high speed parallel interface (8bit IN / 16bit OUT)

Host PC 와 Force Sensor 간의 직렬통신은 Host PC측의 4 Port 직렬 Interface에 의해 이루어지며 본 연구 수행을 위해 개발한 범용 직렬통신 라이브러리를 이용하여 통신한다. UFS 시스템의 내부 상태를 변환하는 다음 기능들을 직렬통신으로 수행한다

- a) Data Transmission/Display/Offsets
- b) System Checks, Resets
- c) Data Sampling Speed Setting
- d) Tool Frame Translation / Rotation

UFS와 PIO는 Data Request Handshaking Protocol 방식이 적용 되도록 상호 접속하였다.

- a) PC측에서 Data Request Line을 High 상태로 전환한다.
- b) UFS 는 16 Data Line에 현재 데이터를 래치한다 그리고 Data Valid Line을 High상태로 변환한다.
- c) PC측에서 데이터를 읽고 Data Request Line Low 상태로 전환한다.
- d) UFS는 다음 Request를 위해 Data Valid Line 을 Low 로 전환한다.

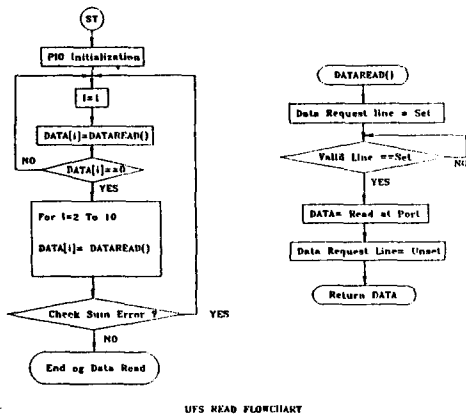


그림 8. Force Sensor 통신 프로그램 Flow Chart

통신 데이터 형식(Data Format)은 아래와 같다.

- 1 0000000000000000 null leader word(0000 fixed)
- 2 XXXXXXXX11101110 mask word (low byte means EA command)
- 3 000001111101101 data Fx(03EDH)
- 4 0000000000000000 data Fy
- 8 111101111101001 data Mz(FBE9H)
- 9 000000000101010 check sum
- 10 1000000000000000 trailer word (8000H fixed)

5. 디버링 로봇 시스템 지능화

디버링 공정이 다른 공정에 비하여 산업용 로봇을 적용하여 자동화 하기 곤란한 이유는 용접, 도장, 조립 작업에 비하여 작업 과정이 복잡 다양하고, 비 타입, 가공품의 재질에 의존도가 큰 공정과 공구가 존재하기 때문이다. 이러한 복잡한 작업을 자동화 하기 위해 제어 기술, 센서 응용 기술 등을 이용하여 로봇 시스템이 지능화가 되도록 해야 한다. 본 연구에서 사용한 로봇 시스템의 Motoman K10S 로봇은 수직 다관절 로봇이고, 6 자유도, 가반 중량 10 Kg, 위치 반복 정도 ± 0.1 mm 이다.

로봇 컨트롤러 YASNAC ERC의 데이터 전송은 I/O 기판에 의한 각종 신호 입출력 기능과 RS-232를 통한 문자전송 기능으로 구성되어 있다

[18]. 전송 형식(Format)은 BSC형식의 패킷 통신 형식을 사용하였다. YASNAC ERC는 다양한 응용을 위해 외부 기기와 각종 신호를 주고 받을 수 있는 I/O 보드가 내장되어 있어, 본 연구에서는 PC와 YASNAC ERC 사이의 시스템 동기를 위해 각종 신호를 ERC의 I/O 보드를 통해 주고 받음 본 연구에서는 Force 센서에 의한 속도제어를 실현하기 위해 ERC측의 인터럽트 기능을 수행하는데 이를 위해 I/O신호의 일부를 ERC의 인터럽트 신호로 사용하였다. PC와 I/O보드간의 신호처리 보조 인터페이스를 설계 제작하여 사용하였다. 호스트 시스템으로 사용되는 PC와 YASNAC ERC 사이의 신호 처리를 위해서 YASNAC ERC의 입출력 형

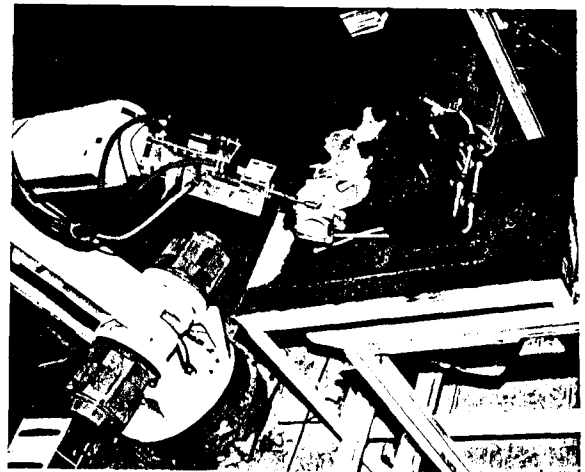
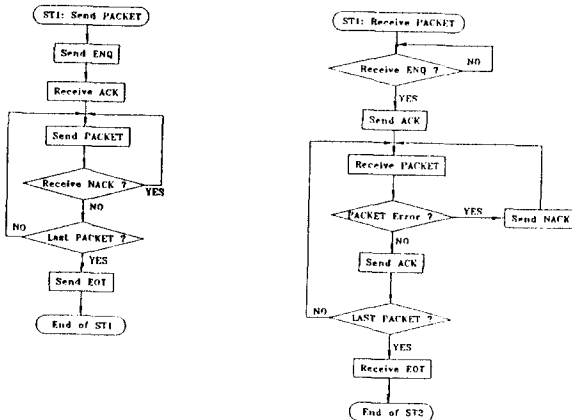


그림 9. 디버링 로봇 시스템

식에서 입력으로 I1 형식을 사용하고 출력으로 O3 형식을 이용하였다. 인터페이스는 ERC 콘트롤러 박스내에 설치하였으며 PC측의 신호처리 Board인 PIO-12와 케이블로 연결되어 있다. ERC측에서 입력신호는 IN#1 ~ IN#7 까지 정의하여 사용 가능하며 출력은 OT#9 ~ OT#16 까지 정의하여 사용할 수 있다. 즉, 입력 신호 8개와 출력 신호 8개를 PC와 YASNAC ERC사이에서 서로 주고 받을 수 있도록 설계 하였다.

YASNAC ERC 와 PC간의 통신을 위한 소프트웨어 라이브러리 개발에서 호스트 측의 통신 장비는 차 후 확장 가능성을 고려하여 RS-232 포트가 4개 장착된 멀티포트 카드를 이용하였다. 통신 소프트웨어는 PC에 기본 장착된 COM1,COM2 를 포함하여 COM6까지 사용 가능하도록 작성되었으며 각 포트에 대해 기본적인 I/O함수를 포함하고 있다. YASNAC ERC의 통신은 Remote 모드와 DCI(Data Communication by Instruction) 기능에 의한 데이터 전송으로 나누어진다.

Remote Mode에서 시스템은 YASNAC ERC의 내부 프로그램(Job)과는 관계없이 외부 기기에서 통신에 의해 지령된 명령되로 운용되고, Off-Line 로봇 프로그래밍이나 외부 기기에서 로봇 시스템을 운용하는데 주로 활용한다. REMOTE 모드에서는 YASNAC ERC로 "START, HOLD, RESET, DELETE, MOVJ, MOVL, RPOS, RPOSJ, RPOSC" 등의 제어함수들을 사용하여 로봇트를 운용한다. 본 연구에서는 Remote 모드는 시스템 운용에 필요한 각종 로봇 제어 프로그램을 Off-Line 방식으로 작성하는데 이용하였다.



FLOWCHART FOR ERC COMMUNICATION

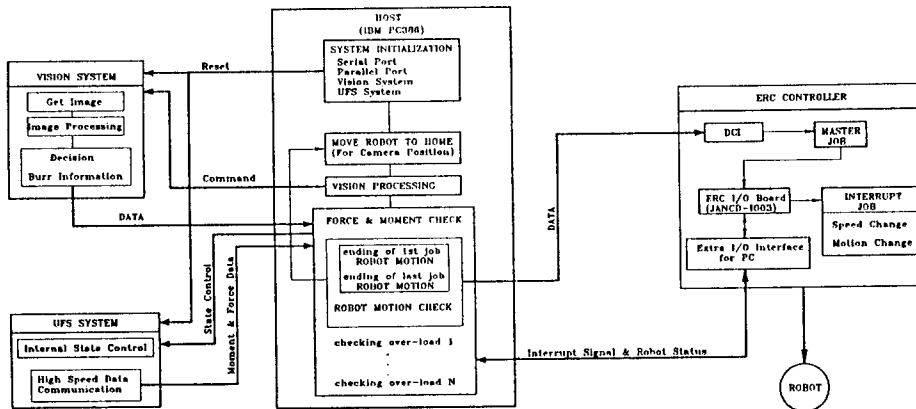
그림 10. Flow Chart of ERC 통신 S/W

DCI 모드에서는 로봇트 운용 프로그램내에 LOADV나 SAVEV등의 명령을 이용하여 프로그램 함으로써 로봇트 동작에 필요한 데이터를 외부 기기와 주고 받게된다. DCI 기능은 YASNAC ERC 제어언어로 작성된 Job에 의해 모든 기능을 수행 하면서 외부 기기와 데이터를 주고 받을 수 있다. DCI기능은 Force 센서의 데이터에 의한 Force 제어, 경로제어를 위해 화상 처리 시스템으로 부터 처리된 정보를 로봇트 제어 프로그램으로 전달 하기 위해 사용하였다.

능률적인 디버깅 작업을 위한 디버깅 제어 시스템은 로봇트 콘트롤러 ERC, Force Sensor의 UFS 시스템 및 화상처리 시스템이 Interface되어 하나의 시스템으로 이루어져 있고, 모든 작업은 Host PC의 통제하에 수행된다. 이 작업 과정은 대략 다음과 같이 이루어진다.

Host PC는 SUB-SYSTEM들에 대해 시스템 Initialization을 행한 다음, 각 시스템의 이상 유무를 확인한후 로봇트 동작을 시작한다. 로봇트는 항상 Home Postion에서 대기한다.

Loading/Unloading 로봇트가 첫 가공물을 지그에 장착한다. 첫 작업을 위해 로봇트가 Setting Postion을 체크하는 위치로 이동한다. 비전 시스템은 가공물이 정확한 위치에 장착이 되었는지를 Setting Postion을 체크하기 위해 Setting Point에 대한 화상처리를 통하여 Setting에 대한 결과를 Host로 전송한다. 만약 부정확 위치에 장착이 되었을 때 재 장착을 요구한다. 정확한 위치에 장착이 되었을 때, 로봇트는 첫 가공경로에 대한 정보를 얻을 수 있는 위치로 이동한 다음,비전 시스템을 통하여 첫 가공 경로에 대한 버의 정보를 얻는다. 이정보는 Host PC로 전송된다. 버의 정보에 따라 이송속도가 정해지는데 버가 없을시 이송속도는 최대로 되며, 버의 높이가 최대일 때 이송속도는 최소로 된다. 따라서, 버의 크기에 따라 최적 이송 속도로 설정된다. 로봇트가 첫 가공경로로 이동하여 가공을 시작하는 동시에 Force Sensor는 가공 부하를 체크한다. 부하의 크기에 따라 이송속도를 조절한다. Force Sensor 체크 기능은 로봇트 동작 중 항상 가동한다. 만약 일정 이상의 과부하가 걸렸을때 로봇트는 Home Postion으로 나온다. Main 시스템에 시스템 이상을 알린다. 과부하 없이 첫 경로 작업이 끝났을때 로봇트는 다음 작업 경로의 위치로 이동한다. 모든 경로에 대한 작업이 끝났을 때 로봇트는 Home Postion으로 이동하여 다음 가공물 기다린다.



INTELEGENET SYSTEM FOR DEBURRING ROBOT

그림 11. 지능 로봇 시스템 구성도

복잡한 형상 주물의 디버링 작업 공정에서 어려운 점은 구석에 있는 버를 가공할 때 공구 본체와 날의 치수 제약과 로봇 실시간 제어의 제약이 있으므로, 버 위치, 크기의 변동에 대해 충분히 여유를 갖고 사용할 수 있게 하기 위해 이송속도를 제어할 수 있어야 한다. 만약 공구에 과부하가 걸렸을 때 회전이 정지되어 파손이 파손되는 것을 방지하기 위해 예상되는 최대 버를 가정하여 이송속도를 설정하여야 하지만, 능률 및 안전을 고려해서 최적 이송속도를 이용하여야 한다.

실제 제품과 동일 재질을 실험 시편을 만들어 절입량, 이송 속도 변화에 따른 절삭 부하율 이 론치 와 실제 실험치를 비교 검토 하였다. 실제

사용한 공구는 정격 공압 $P = 6 \text{ Kg/Cm}^2$ 에서 최대 회전속도는 25,000 rpm이지만, 실험실 사정상 공압 $P = 3.5 \text{ Kg/Cm}^2$ 에서 무부하 공구 회전속도 = 8,700 rpm 이다. 직경 $D = 12 \text{ mm}$, 공구 날 수 = 8 개를 갖는 재질 알루미늄 시편 뚜껑, 절삭 깊이, 이송속도를 변경하여 가면서 실험을 하였다. 실험에서 부하제어 감지 방법으로 디버링용 앤드밀의 단속 절삭 날가공의 경우 Force 센서로 부터 Force를 검출하였는데, 검출치의 진동이 격렬하고, 가공에 대해 6축 방향의 Force과 공구 회전속도를 측정 한 결과, 공구 회전속도가 가공부하에 의해 무부하 상태 8,700 rpm에서 가공 상태 4,800 rpm으로 떨어졌으며, 검출치의 안정성이 비교적 좋은 것으로 나타났다. 무부하 상태에서 Air Compressor 가동 및 공구 회전 진동에 의한 초기 부하

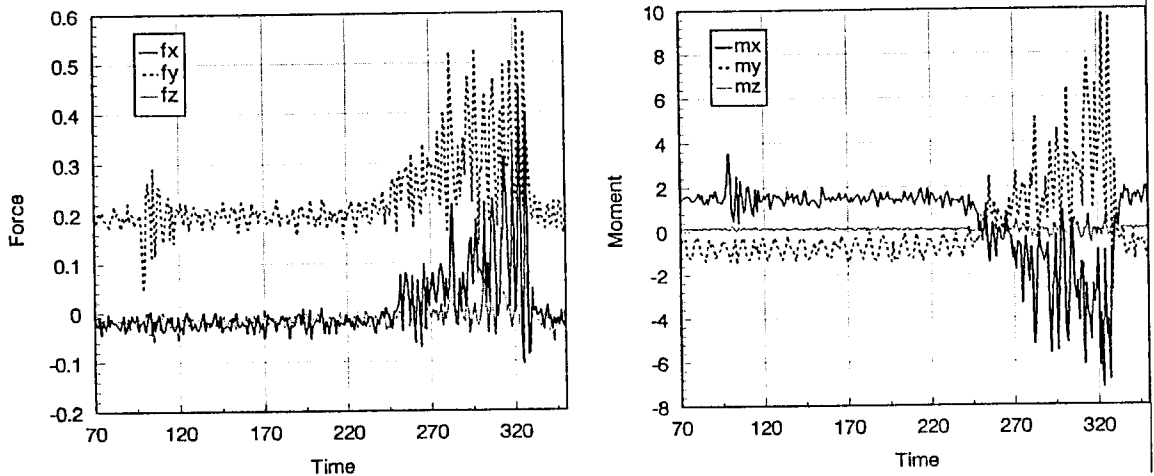


그림 14. 가공 부하 상태 (절삭 두께 = 1 mm, 절입 깊이 = 3 mm, 이송속도 = 20 mm/s)

$$F_x=0.04 \text{ kgf}, \quad F_y=0.2 \text{ kgf}, \quad F_z=0.06 \text{ kgf}, \\ M_x=1 \text{ kgf-Cm}, \quad M_y=1 \text{ kgf-Cm}, \quad M_z=0 \text{ kgf-Cm}$$

참고 문헌

로 나타났다. 버 가공중 Force센서로 부터 공구 부하상태(Force, Moment)에 대한 정보를 검출하여, 부하 상태에 따른 이송속도를 제어하기 위해 로보트 콘트롤러로 정보를 보낸다. 실험에서 얻은 결과는 그림 12.에서 보는 바와 같이 절삭력에 의한 비틀림 토크는 거의 발생하지 않으나 Bending모멘트는 절삭 두께, 절삭 깊이, 이송속도의 증가함에 따라 증가하였고, 이에 따른 제약 조건을 고려할 때, 적정 이송속도 10mm/s ~ 30mm/s 범위로 나타났다.

6. 결 론

본 연구는 기존 산업용 로봇을 디버링 작업에 적용하는데 필요한 로봇 시스템의 지능화를 화상 처리 기술, Force Sensor 응용 기술 및 통합 제어 기술을 통하여 실현하였다. 화상처리를 통하여 디버링 부위 형상 인식 및 버의 유무, 크기, 위치 결정을 할 수 있는 기능과 절삭력에 따른 이송속도를 제어할 수 있는 기능을 이용하여, 디버링 작업 환경에 대한 적응성을 갖는 로봇 시스템의 지능화를 달성하였다. 생산 현장에 적응성을 갖도록 하기 위해 필요한 기능, 즉, 소품종 대량 생산 뿐만 아니라 다품종 소량 생산에 적용할 수 있는 기능을 가질 수 있도록 하였다. 본 연구 결과는 국내 주물업계의 디버링 작업에 로봇 도입을 통한 자동화를 촉진시킬 뿐만 아니라, 화상처리 기술 및 Force Sensor 응용 기술은 공장 자동화, 자동검사 장치 등과 같이 다른 여러 분야에 활용이 될 것으로 기대된다. 디버링 작업 자동화의 목표는 생산성 향상과 제품 품질을 향상시키는 것이지만, 현실적으로 국내 업계의 사정은 생산성보다 작업 환경에 의한 인력난, 산업 재해, 제품 품질의 균일화 및 전후 공정 등이 문제가 되어 디버링 작업의 자동화를 원하는 경우가 많다. 새로운 센서 응용 기술, 신 제어 기술 등을 도입하여 로봇 시스템의 지능화에 대한 연구 개발이 더욱 필요하다.

1. R. Hollowell, Robert Guile, "An Analysis of Robotic Chamfering and Deburring," ASME Vol. DSC- 6, pp. 73-79, 1987.
2. J. Tlusty and D. Wegerif, "Compensation for Deflection of A Robot in Light Machining Operations," ASME Robotics Theory and Application, Vol. DSC-3, pp. 91-100, 1986.
3. H. Kazerooni, "Hybrid Force/Position Control in Robotic Deburring," ASME, Vol. DSC-6, pp. 55-63, 1987.
4. D. A. Dornfeld and T. Masaki, "Acoustic Emission Feedback for Deburring Automation," ASME, Vol-DSC-6, pp. 81-89, 1989.
5. F. W. Paul, T. K. Getty and J. D. Thomas, "Defining of Iron Casting Using A Robotic Positioned Chipper," ASME, Robotics Res. Adv. , pp. 269-278, 1982.
6. Yoichi Kimura, Norio Tanabe and Masaru Kobayashi, "Study on High-Efficient Deburring Robot with Cutting Load Control," 鑄物(日本), 第61卷 第6號, pp. 394-399, 1989.
7. Susumu Watanabe, "Development of Automatic Deburring Machine for Castings," 鑄物(日本), 第61卷 第6號, pp. 388-393, 1989.
8. 原勝明, "ファジィロボットシステムとその活用," 省力と自動化, 第21卷 第10號, pp. 48-53, 1990.
9. G. M. Bone and M. A. Elbestawi, "Active End Effector Control of A Low Precision Robot in Deburring," Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, Vol 8, No. 2, pp.87-96, 1991.
10. Boo-Ho Yang and Haruhiko Asada, "Hybrid Linguistic/Numeric Control of Deburring Robots Based on Human Skills," Proceeding of the 1992 IEEE, International Conference on Robotics and Automation, Nice, France, May 1992.
11. J. O. Park and H. H. Lee, "F/T Sensor Application for Robotic Deburring," '91 KACC, 1991.
12. Richard Volpe and Pradeep Khosla, "An Experimental Evaluation and Comparison of Explicit Force Control Strategies for Robotic Manipulators," Proceedings of the 1992 IEEE, International Conference on Robotics and Automation, Nice, France, May 1992.
12. D. Jeon and Masayoshi Tomizuka, "Learning Hybrid Force and Position Control of Robot Manipulators," Proceeding of the 1992 IEEE, International Conference on Robotics and Automation, Nice, France, May 1992.
13. Sadayuki Ohtomi, "Deburring Robot," UK Patent Application No. 8811809, May 1988.
14. David M. Dombrowski, "Edge Contouring System," United States Patent No 4,993,896, Feb. 19, 1991.
15. Robert A. Thompson, "Passive Actuator to Maintain A Constant Normal Cutting Force during Robotic Deburring," United State Patent No 4,860,500, Aug. 29, 1989.
16. Joseph J. Carroll, "Deburring Tool," United States Patent No 4,860,453, Aug. 29, 1989.
17. B. Paul Horn, Robot Vision, The MIT Press McGraw-Hill Book Company, 1986.
18. YASKAWA, YASNAC ERC II OP2 機能説明, 株式會社安川電機, 1992.