

새로운 신발버핑 작업용 로봇 매니퓰레이터 개발

황규득* · 오주환* · 최형식†

Development of a new Robot Manipulator for shoes Buffing Operation

Gyu-Deuk Hwang, Whan-ju Oh and Hyeung-Sik Choi

Key Words: Robot Manipulator(로봇 매니퓰레이터), Buffing(버핑)

Abstract

In this paper, an analysis on a new robot manipulator developed for the side buffing of the shoes is presented. The robot is composed of five D.O.F. An Analysis on the forward and inverse kinematics was performed. The hardware system including electric wirings, control system, and related system was developed. Also, The teleoperating communication system was developed to shake with other related system. Computer programs to track the bonding line of shoes were developed. An user-friendly graphic program was developed using C++ language for the users.

1. 서 론

현재 우리나라의 신발 산업은 낮은 인건비를 바탕으로 저가 생산을 하는 중국, 베트남 등의 동남아시아에 밀려 많은 어려움을 겪고 있다. 따라서 대부분의 공장을 중국 및 동남아에 이전하고 국내에서는 고부가가치의 특수기능화 같은 전문화를 개발하여 시장 공략에 나서고 있다. 그러나 신발의 특수성으로 가공이 어렵고, 인건비용이 높아서 생산 공정들을 로봇으로 대체하여 제조원가를 낮추어야 하는 실정이다.

특히, 갑피는 발 형상의 라스트에 가죽을 씌운 것으로 보통 여러 가지 염료로 염색되어 있거나 가죽자체의 특성으로 이 부분의 물리적인 처리

없이 단순 본드 칠로는 신발 밑창과의 접착력이 강하지 않다. 따라서 갑피에서 밑창을 씌우는 부분을 기계적으로 버핑해야 한다. 이 작업은 반복적이며 분진등으로 인체에 유해하며 인건비용이 높아서 전용기나 로봇을 이용한 자동 갑피 버핑기를 개발하려는 추세에 있다.

본 연구에서는 신발용 갑피 버핑을 위한 새로운 형태의 5자유도 자동 버핑 로봇을 개발하였다. 개발한 로봇의 순기구학 및 역기구학 특성을 해석하였고, 순차적 공정 작업을 위한 주변 장치 및 제어 시스템을 구성하였다. 또한 개발한 로봇이 접착라인을 자동 추적할 수 있도록 경로 제어 프로그램을 개발하고 로봇이 신발자동 가공 라인에서 순차적으로 작업할 수 있는 통신시스템을 개발하였다. 특히, 로봇의 작동화면을 Visual C++를 사용하여 사용자가 간편히 조작할 수 있거나 로봇의 교시를 할 수 있는 사용자 중심의 GUI 화면 프로그램을 개발하였다.

† 한국해양대학교 기계정보공학부

E-mail : hchoi@hanara.kmaritime.ac.kr

TEL : (051)410-4297 FAX : (051)405-4290

* 한국해양대학교 대학원

2. 버핑 로봇의 구조

2.1 로봇의 기구학 해석

본 연구에서 신발의 갑피 버핑을 위해 개발한 로봇 매니플레이터는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 5개의 구동축을 갖는다. 기저축을 중심으로 4축의 연쇄적인 구조와 포지셔너(positioner)와 같은 독립적인 구조의 1축으로 구성되어 있다. 이러한 로봇을 이용하여 버핑 공구를 버핑면을 따라 경로 제어하기 위해서는 각각의 경로점들을 기저축에 대한 공간좌표와 로봇의 관절각과의 관계식을 이용하여 정의해야 한다. [1,2]

버핑 로봇 매니플레이터는 Fig. 1과 Fig. 2에서와 같이 좌표계 0, 1은 볼나사 구동의 직선 관절을 가지는 구조이고 좌표계 2,3,5는 회전 관절의 구조이다. 로봇의 마지막 4번째 손목 관절은 큰 토크를 생성하기 위해서 사절링크를 이용하여 Fig. 2와 같은 구조로 관절을 구성하였다. Fig. 2에서 θ_4 가 결정되는 관절에 모터가 체결되고 모터의 회전에 따라 $\theta_4-\alpha$ 의 각이 결정되는데 그 각도의 관계는 Freudenstein equation에 의해서 해석될 수 있다. 따라서 4절 링크의 관절 c에 모터가 체결되어 회전하면 그에 따라 결속된 작업 공구의 끝점이 회전한다.

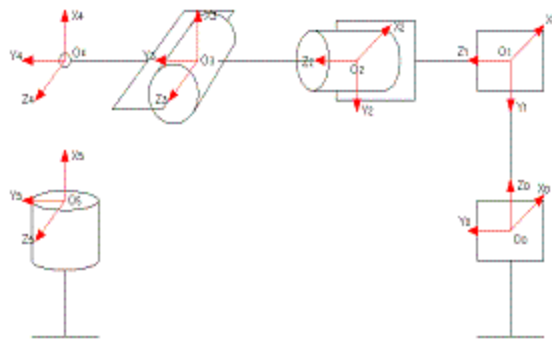


Fig. 1 버핑 매니플레이터

실제 컨베이어에 의해 갑피가 찍어진 라스트가 이동하여 정지하는 위치는 회전 좌표계 5에 인접한 위치가 될 것이고 계측기에서 측정된 라스트 고정기준에 대한 버핑점들의 정보가 주어지면 버핑 매니플레이터는 좌표에 대해 순기구학 및 역기구학을 적용하여 각 관절각의 변위를 결정한다.

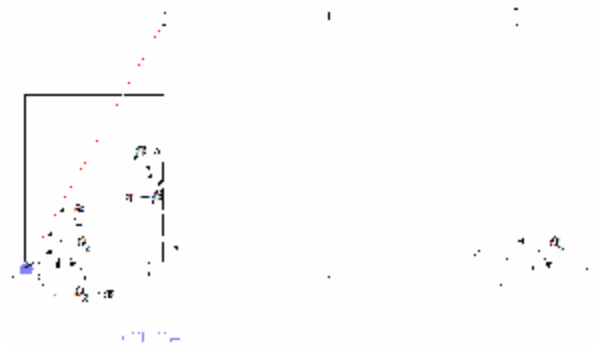


Fig. 2 The relation between four-bar link and angle

Fig. 1과 같은 버핑 매니플레이터에서 독립적인 좌표계 5를 제외한 좌표계 0에서부터 좌표계 4까지 D-H 규약을 적용하였고 [3], 이에 따라 각 파라미터와 변수들을 Table 1과 같이 표현하였다.

link	a_i	α_i	d_i	θ_i
1	0	-90	d_1^*	0
2	0	0	d_2^*	0
3	0	90	d_3	θ_3^*
4	0	0	d_4	θ_4^*

* : variable

Table 1 Link parameters by D-H coordinate of buffing manipulator

링크 파라미터에 의해 좌표계 0에서부터 좌표계 4까지의 동차변환행렬 T_n^n 을 구하면 다음과 같다.

$$T_n^n = \begin{pmatrix} \cos\theta_3^* \cos\theta_4^* & -\cos\theta_3^* \sin\theta_4^* & \sin\theta_3^* \\ \sin\theta_4^* & \cos\theta_4^* & 0 \\ -\sin\theta_3^* \cos\theta_4^* & \sin\theta_3^* \sin\theta_4^* & \cos\theta_3^* \end{pmatrix} \begin{matrix} d_4c \\ \hat{n} \\ \hat{n} \end{matrix} \quad (1)$$

위의 행렬과 같이 동차변환 행렬을 구할 수 있고 이것은 좌표계 0에서 좌표계 4로의 회전 및 변위의 정보를 가지고 있는 행렬이다.

2.2 로봇의 역기구학 해석

좌표계 0에서 좌표계 4까지의 각 관절 정보는 공구 끝점의 좌표 설정을 위하여 필요하다. 역으로 기저 좌표계에서 경로를 따라 버핑을 하기 위한 점들이 주어지면 좌표계 5의 회전축 각 정보와 좌표계 0에서 좌표계 4까지의 관절의 경로에 대한 회전각을 구해야 한다. 이를 위해 좌표계 0을 기점으로 좌표계 5의 동차변환 행렬 H_5^0 을 구하면 다음과 같다.

$$H_5^0 = \begin{pmatrix} \cos\theta_6^* & -\sin\theta_6^* & 0 \\ \sin\theta_6^* & \cos\theta_6^* & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

여기서 d_x, d_y, d_z 는 기준좌표계인 o_0 에 대한 좌표계 5의 원점 o_5 의 x_0, y_0, z_0 방향으로의 병진 거리들이다.

로봇이 추적해야할 경로상의 버핑 점들은 좌표계 5 상의 점들이므로 Fig. 3과 같이 표시된다.

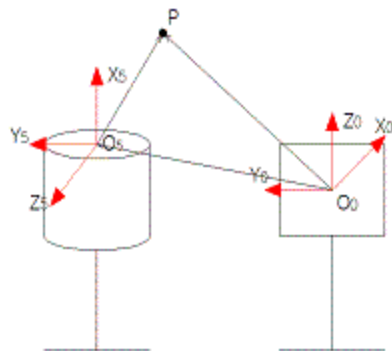


Fig. 3 Point P in the coordinate axis 5 about the coordinate axis 0

이의 관계식은 $P_n = H_5^0$ 와 같고 이를 구체적으로 나타내면 다음과 같다.

여기서,

$$P_n = \begin{pmatrix} \cos\theta_6^* & -\sin\theta_6^* & 0 \\ \sin\theta_6^* & \cos\theta_6^* & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P_x \cos\theta_6^* - P_y \sin\theta_6^* \\ P_x \sin\theta_6^* + P_y \cos\theta_6^* \\ P_z + d_z \end{pmatrix} \quad (3)$$

P_n 는 기준 좌표계에 대한 버핑의 경로점들로서 순기구학 해석을 통해 구한 T_n^0 의 4번째 열과

같은 위치이므로 다음의 관계식들을 유도할 수 있다.

$$P_x \cos\theta_6^* - P_y \sin\theta_6^* + d_x = a \quad (4)$$

$$P_x \sin\theta_6^* + P_y \cos\theta_6^* + d_y = d \quad (5)$$

$$P_z - d_z = d_d \cos\theta_3^* \quad (6)$$

식(4)~(6)이 가지는 의미는 로봇의 기준 좌표에 대해 가공할 버핑점들의 위치들과 관절각과의 관계식들을 나타낸다. 즉 버핑점에 공구단이 접근해야 하는 위치는 정할 수 있지만 공구단이 접근해야 하는 각도는 버핑 점들의 법선벡터로써 결정을 해야 한다. 전체 5자유도이므로 버핑을 위한 2개의 공구각의 조건이 주어져야 한다. [4]

2.3 제어 프로그램

순기구학 및 역기구학의 해석을 통해 구한 결과를 프로그램화 하였고 이를 사용자가 용이하게 사용할 수 있도록 GUI 프로그램으로 구현하였다. 사용된 헤더 파일 및 C 라이브러리 파일은 MMC 모션제어기가 제공하는 것들을 사용하였으며 그 중에서 버핑 로봇 시스템의 세팅에 관련된 함수와 동작에 관련된 함수들을 사용자가 간결하고 용이하게 사용할 수 있도록 구성하였다.

시스템 제어 프로그램은 모터의 동작 상태의 확인 및 teaching 기능과 data 전송 기능을 가지고 있으며 공기압 구동기의 단계적 확인기능과 TCP/IP로 서버 컴퓨터에 접속하여 시스템 상태에 대한 정보를 송수신할 수 있도록 구성하였다.

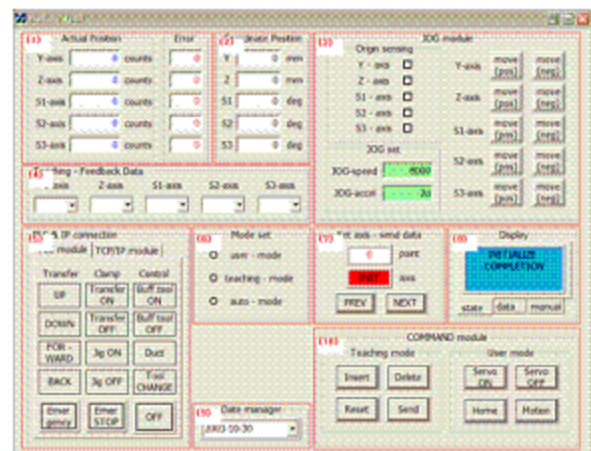


Fig. 4 GUI program for buffering control

Fig. 4는 제어 프로그램 화면구성으로서 (1)번

부분은 각 모터의 현재 엔코더 카운터 값을 나타내고, 제어기의 목표 값과 실제 움직이는 오차를 계산하여 나타낸다. 시스템에 이용된 모터 엔코더의 형태는 9선 인크리멘탈 형이며 1회전당 2048개의 펄스가 출력된다.

Fig. 4의 (2)번 부분은 실제 모터에 연결된 로봇축의 실제의 변위 및 회전각을 엔코더 카운터에 의하여 변환하고 감속비율에 맞춰 계산된 비율이 나타난다.

(3)번 부분은 JOG 모듈 부분으로써 모터의 각 구동을 사용자가 원하는 대로 움직일 수 있고 또한 teaching 하여 그 data를 저장할 수 있다.

이 부분만 처리하는 클래스를 만들어 적용한 프로그램은 Fig. 6에 나타나 있다.

(4)번 부분은 Teaching and feedback data 표시 부분으로써 JOG 모듈에서 축을 선택하여 data를 teaching 하고 (10) Command 모듈에서 save, insert, delete를 선택하면 명령에 따라 data들이 저장 혹은 삭제되어 순서대로 display 된다.

(5)번 부분은 PLC 및 TCP/IP 설정 부분으로써 MMC controller user output 단자에 연결된 PLC는 MMC 명령 혹은 PLC 자체적인 시퀀스 제어가 가능한데 라스트의 운반 및 고정을 담당하는 공기압 구동기의 동작을 수동적으로 하나씩 확인할 수 있는 기능을 가지고 있다. 사용된 함수는 위의 라이브러리 정리부분에 설명되어 있는 set_io(port_value)이다.

(6)번 부분은 MODE SET 부분으로써 user, teaching, auto 3가지의 mode를 선택할 수 있는데 user mode의 경우는 단계적으로 test를 할 수 있고 teaching mode의 경우는 teaching data를 입력하는 즉 JOG로서 teaching point를 선택, 저장할 수 있다. auto mode의 경우는 버핑 data가 미리 입력되어 있는 단계에 자동으로 일련의 동작을 행할 수 있다.

(7)번 부분은 Set-axis & Send data 부분으로써 teaching mode에서 teaching data를 insert 하거나 send 할 경우에 어떤 축의 것을 할 것 인가에 대하여 설정 한다. Y, Z, S1, S2, S3의 다섯축을 설정할 수 있으며 버핑 점이 몇 개인가를 send 명령에 따라 표시한다.

(8)번 부분은 Display 부분으로써 state, data, manual의 3가지 mode를 선택할 수 있는데 state의 경우는 지금 현재 로봇의 동작 상태를

나타내고, data의 경우는 teaching한 점이 제대로 저장되고 있는가 하는 정보를 나타낸다. manual의 경우는 PLC 모듈에서 공기압 구동기를 단계적으로 실행할 때 동작 상태를 나타낸다.

(9)번 부분은 Data 표시 부분으로써 생산정보 프로그램에 송신하기 위한 시간정보를 얻어오는 부분이다.

(10)번 부분은 Command 모듈 부분으로써 로봇의 On, OFF를 담당하고 실제 로봇의 구동 및 teaching data 전송 및 저장, 삭제의 기능을 가지고 있는 모듈이다.

Fig. 5과 같이 JOG 버튼을 따로 만들고 버튼 down 인 경우와 버튼 up 인 경우에 각각 동작 및 정지에 관련한 함수를 실행시킨다. JOG 동작은 다섯 축에 대해 동시에 동작이 가능하며 축을 선택하여 그 축이 동작할 data를 일렬로 저장할 수 있고, JOG의 속도 및 가속도를 설정할 수 있다. 버튼 명령에 따라 동작 및 정지하는 프로그램은 Fig. 6에 나타나 있다.

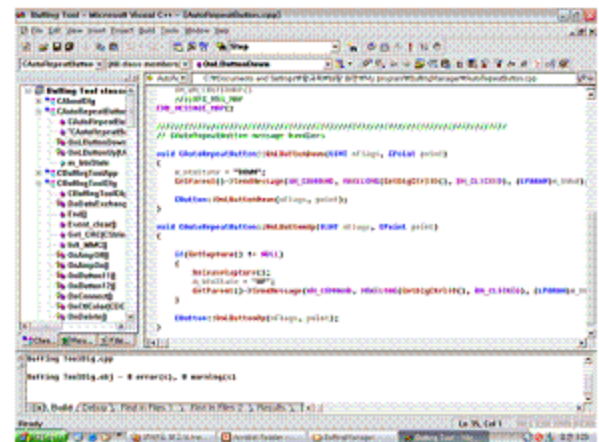


Fig. 5 Coding for making JOG button

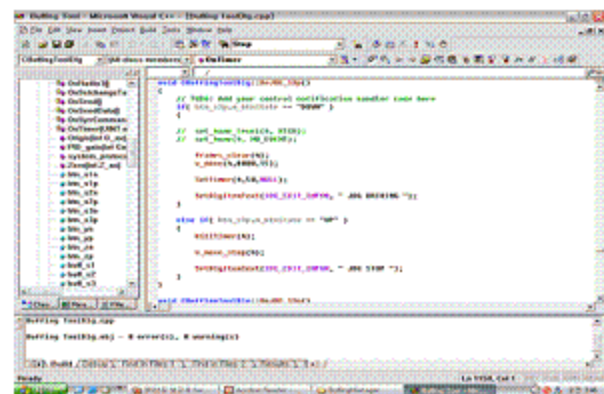


Fig. 6 Coding for implementing JOG button

3. 버핑 로봇 시스템 구성

3.1 제어 시스템 및 주변 장치

버핑 로봇은 컨베이어를 사용하여 신발의 라스트를 운반하고 지그로 라스트를 고정시켜주는 공기압 구동의 시스템과 순차적 회로를 구성하여 작업을 수행한다. 버핑 공구를 장착할 수 있는 버핑 로봇은 AC서보 모터 구동의 5축 관절로 구성되어 있다. 로봇의 관절은 병진운동을 하는 두 축(Y, Z)과 회전운동을 하는 세 축(S1, S2, S3)으로 구성되어 있고, 이 중에서 buffing tool 을 직접 제어하는 피칭 관절은 4절 링크로 구성되어 있다. 여기서, 5번째의 관절은 용접 로봇의 포지셔너와 유사한 시스템으로 가공할 신발을 지지하며 Z축을 중심으로 로봇의 4축들과 공조하여 가공할 신발을 회전하는 독립적 구조로 구성하였다.

버핑 로봇의 하드웨어 구성은 공압 액츄에이터, 로봇의 관절 구동을 위한 5개의 AC servo motor(삼성,미쯔비시) 그리고 servo motor driver(삼성,미쯔비시)로 구성하고 각 관절축을 제어하는 controller는 PC에 장착되는 MMC(Multi-Motion Controller : 8축 제어용)로 구성되었다. 또한, Master-K PLC 사용하여 MMC의 위치제어 신호와 로봇의 모터 드라이버, 컨베이어, 공압 액츄에이터 및 지그와 같은 주변 장치들을 순차적으로 제어 할 수 있도록 구성하였다.

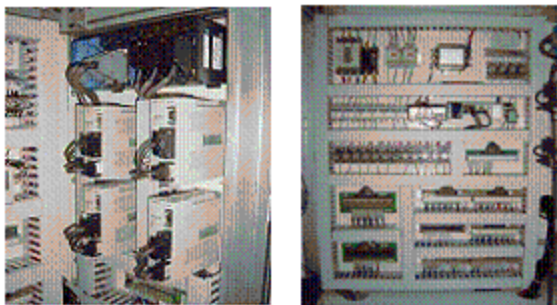


Fig. 7 Servo Drivers and panel for PLC

3.2 제어 프로그램

버핑 로봇의 소프트웨어 제어환경은 Visual C/C++를 기반으로 하여 MMC가 제공하는 헤더 파일과 라이브러리 파일로 구성하였다. Open - architecture 형태의 삼성 MMC (Multi Motion Controller)를 이용하여 모터의 원하는 동작을

제어하는데 그 data는 버핑 로봇의 순기구학 및 역기구학 해석으로 얻은 결과를 컴퓨터 프로그램으로 변환하고 이를 입력하여 버핑 로봇을 용이하게 프로그램 할 수 있도록 GUI(Graphic User Interface) 프로그램을 개발하였다.

3.3 통신 시스템

TCP/IP는 인터넷의 기본적인 통신 프로토콜로서, 인트라넷이나 엑스트라넷과 같은 사설 망에서도 사용된다. 사용자가 인터넷에 접속하기 위해 자신의 컴퓨터를 설정할 때 TCP/IP 프로그램이 설치되며, 이를 통하여 같은 TCP/IP 프로토콜을 쓰고 있는 다른 컴퓨터 사용자와 메시지를 주고 받을 수 있다.

TCP/IP는 2개의 계층으로 이루어진 프로그램으로 상위계층인 TCP는 메시지나 파일들을 좀더 작은 패킷으로 나누어 인터넷을 통해 전송하는 일과, 수신된 패킷들을 원래의 메시지로 재조립하는 일을 담당한다. 하위계층, 즉 IP는 각 패킷의 주소 부분을 처리함으로써, 패킷들이 목적지에 정확하게 도달할 수 있게 한다. 네트워크 상의 각 게이트웨이는 메시지를 어느 곳으로 전달해야 할지를 알기 위해, 메시지의 주소를 확인한다. 한 메시지가 여러 개의 패킷으로 나누어진 경우 각 패킷들은 서로 다른 경로를 통해 전달될 수 있으며, 그것들은 최종 목적지에서 재조립된다.

버핑 로봇 시스템에 관한 정보 및 상태를 자동화 라인 전체를 관리하는 서버 컴퓨터에 송신함으로써 단위 시스템으로 뿐만 아니라 네트워크 시스템으로써의 적용이 가능하도록 구성하였다. win socket 방법을 이용하여 Server 와 Client 간의 통신프로그램을 구성하여 중앙제어 컴퓨터에 로봇의 On·OFF, 동작 정보, error 정보, 생산정보 등을 실시간으로 보낼 수 있도록 구성하였다.

Fig. 8의 모니터링 화면에서 connect 버튼을 누르면 접속하고자 하는 IP address 입력창이 나오게 되고 원하는 IP로 접속하면 Fig. 9와 같이 접속되었다는 것이 나타나게 된다. GUI program 구성부분에서 (9)Date manager 모듈에 의해 날짜 및 시각 정보를 얻을 수 있다. 이를 이용하여 년, 월, 일, 시, 분, 초 및 시스템 상태코드를 합

하여 서버 컴퓨터에 송신하면 서버 컴퓨터에서는 실시간으로 버핑 로봇 시스템의 동작, 예러 및 대기 상태 등을 파악하여 일당 작업량이나 생산에 드는 시간 등을 산출할 수 있도록 구성하였다.

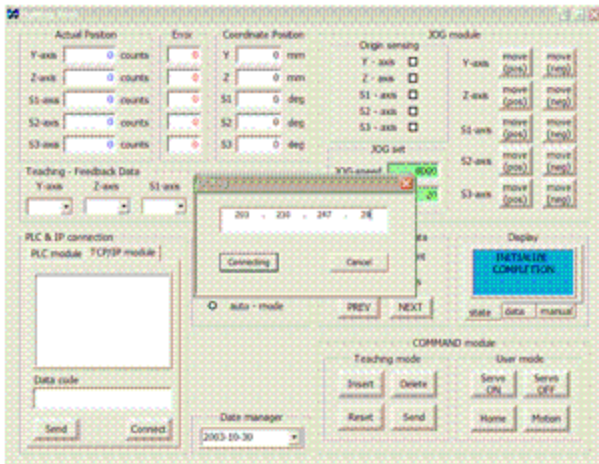


Fig. 8 Connecting to server by TCP/IP rule

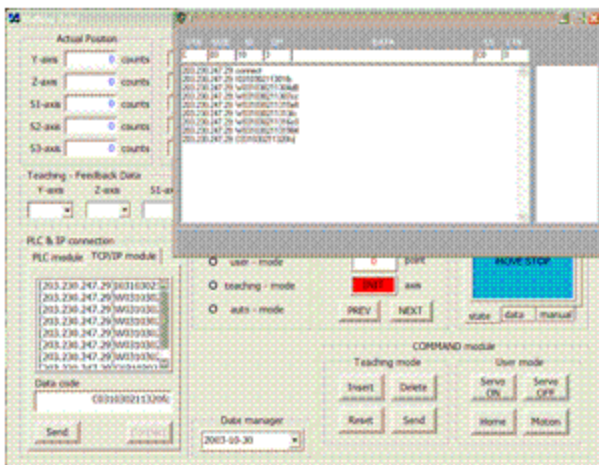


Fig. 9 Connection testing between server and client

4. 결론

신발의 갑피 버핑을 위해 새로운 구조의 5축 로봇 매니플레이터를 개발하였다. 이의 작동을 위해 순기구학 및 역기구학 해석을 하였다. 로봇이 작동할 수 있도록 제어 시스템의 하드웨어를 구성하였고 사용자가 용이하게 접속하여 가공작업을 할 수 있도록 GUI 프로그램을 개발하였다. GUI 프로그램을 적용하여 측정된 data에 의해 자동적으로 로봇 동작이 이루어짐을 확인하였

다. 시스템 관리자에 의해서 라스트의 운반, 고정, 버핑까지의 일련의 동작이 프로그램에 의해서 순차적으로 혹은 전자동으로 이루어짐을 확인하였다.

또한, TCP/IP를 이용하여 시스템이 동작, 정지하는 시간정보 및 시스템 예러의 유무, 시간당 작업량 등을 서버 컴퓨터에 알려줌으로써 생산시스템의 유연성을 향상 시킬 수 있게 되었다.

참고문헌

- (1) BOTEAMA, O., and ROTH, B., 1979, *Theoretical Kinematics*, North Holland, Amsterdam.
- (2) COLSON, J.C., and PERREIRA, N.D., 1983, "Kinematic Arrangements Used in Industrial Robots," Proc. 13th International Symposium on Industrial Robots.
- (3) DENAVIT, J., and HARTENBERG, R.S., 1955, "A Kinematic Notation for Lower Pair Mechanisms," *J. Applied Mechanics*, Vol. 22, pp.215-221.
- (4) DUFFY, J., 1980, *Analysis of Mechanisms and Robot Manipulators*, Wiley, New York.