

신발버핑 작업용 로봇의 모델링

최형식* · 오주환** · 황규득** · 김명훈**

*한국해양대학교 기계정보공학부 교수, **한국해양대학교 기계정보공학부 대학원

Modeling of a Robot Manipulator for Shoes Buffing Operation

Hyeung-Sik Choi*, Gyu-Deuk Hwang**, Ju-whanu Oh**, and Myung-hoon Kim**

*Division of Mechanical and Information Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

**Division of Mechanical and Information Engineering, Graduate school of Korea Maritime University

요 약 : 본 연구에서는 운동화를 포함한 범용 신발의 갑피 버핑을 위한 새로운 형태의 저가형 5자유도 자동 버핑로봇을 개발하였다. 개발한 로봇의 순기구학 및 역기구학을 해석하였고, 이의 제어를 위한 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 Graphic user interface (GUI) 화면 프로그램을 개발하였다.

핵심용어 : 로봇 매니플레이터, 버핑

ABSTRACT : In this paper, an analysis on a new robot manipulator developed for the side buffing of the shoes is presented. The robot manipulator is composed of five degree of freedoms. An Analysis on the forward and inverse kinematics was performed. The hardware system of the robot composed of the control system, input/output interface system, and related electronic system was developed. Also, the communication system was developed to interact the robot with the related surrounding system. A GUI program including the forward/inverse kinematics, control algorithm, and communication program was developed using visual C language.

KEY WORDS : Robot Manipulator(로봇 매니플레이터), Buffing(버핑)

1. 서 론

현재 우리나라의 신발산업은 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.

으로 이 부분의 물리적인 처리 없이 단순한 본드 도포로는 신발 밑창과의 접착력을 높일 수 없다. 따라서 접착력을 높이기 위해서 밑창을 씌우는 갑피부분을 기계적으로 버핑해야 한다. 이 작업은 반복적이고 분진으로 인체에 유해하며 인건비용이 높아서 전용기나 로봇을 이용한 자동 갑피 버핑기를 개발하려는 추세에 있다.

신발 가공을 위한 로봇의 적용은 여러 신발공장에서 이루어져 왔다. 영국의 주)Tectors에서는 1989년에 PUMA 700 다관절 로봇을 정형화된 구두의 갑피의 버핑에 적용하여 왔고 최근에는 스웨덴 ABB사의 다관절 로봇을 적용하여 유사한 작

신발버핑 작업용 로봇의 모델링

사인 ACTIS 사, 독일의 DESMA사, 그리고 미국의 Intelligent Machines 사의 신발 가공 및 생산 자동화에 적용하는 산업용 로봇의 적용 사례와 사용 기술에 대한 사례 연구를 발표하였다[2]. 앞에서 설명한 바와 같이 이미 여러 형태의 로봇을 신발에 적용하는 연구들이 수행되었고 현장에 적용되고 있다. 하지만, 대부분이 정형화된 구두에 대한 적용이거나 기존의 산업용 6축 로봇을 활용한 것이 현실이다. 고가이며 정형화된 구두의 가공에는 고가의 산업용 로봇 적용이 현실적이나 운동화를 포함한 다양한 저가형 신발의 가공에는 고가의 산업용 로봇의 적용이 현실적으로 무리가 있다. 범용적으로 버핑할 수 있는 로봇 매니퓰레이터의 개발은 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 운동화를 포함한 범용 신발의 갑피 버핑을 위한 새로운 형태의 저가형 5자유도 자동 버핑로봇을 개발하였다. 개발한 로봇의 순기구학 및 역기구학을 해석하였고, 이의 제어를 위한 경로 제어 프로그램을 개발하고 로봇이 신발자동가공 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 Graphic user interface (GUI) 화면 프로그램을 개발하였다.

2. 버핑 로봇의 기구 시스템

2.1 로봇의 기구학 해석

본 연구에서 신발의 갑피 버핑을 위해 개발한 버핑 로봇 매니퓰레이터는 Fig. 1(a) 및 (b)와 같으며 5개의 구동축을 갖는 구조이다. 보편적인 작업을 위한 로봇 매니퓰레이터는 말단 장치의 위치 및 방향을 범용적으로 결정할 수 있는 6축을 가져야 하지만, 신발의 형상이 정형에 가까워 가공 경로가 일정한 형태를 가지므로 한 개의 구동축을 축소하여도 버핑 가공이 가능한 경제성이 있는 신발 버핑 전용 로봇 매니퓰레이터를 개발하였다. 개발 로봇 매니퓰레이터는 기저축을 중심으로 4축의 연쇄적인 구조와 포지셔너(positioner)와 같은 독립적인 구조의 1축으로 구성되어 있다. 개발된 로봇에서 직선운동을 하는 하위 2축을 제외한 회전관절 및 사절링크 관절을 포함하는 개념도는 Fig. 2에 나타나 있다. 개발된 로봇은 Fig. 2에 도시된 바와 같이 말단에 버핑 공구를 부착하여 이 공구가 버핑면을 따라 경로를 추적하도록 제어 시스템을 구성하여야 한다. 이를 위해서 작업공간 좌표로 표현된 각각의 경로점들을 로봇의 기저 축에 대한 관절각으로 표현해야 한다. 이러한 공간 사이의 좌표변환은 순기구학 및 역기구학 관계식을 이용하여 이루어진다[3][4].

버핑 로봇 매니퓰레이터는 Fig. 2에 도시된 바와 같이 좌표

모터가 체결되고 모터의 회전에 따라 θ_2 - α 의 각이 결정되는데 이 각도의 관계는 Freudenstein equation에 의해서 해석된다. 따라서 4절 링크의 관절 c에 모터가 체결되어 회전하면 그에 따라 결속된 작업 공구의 끝점이 회전한다. 이의 관계식은 다음과 같다.

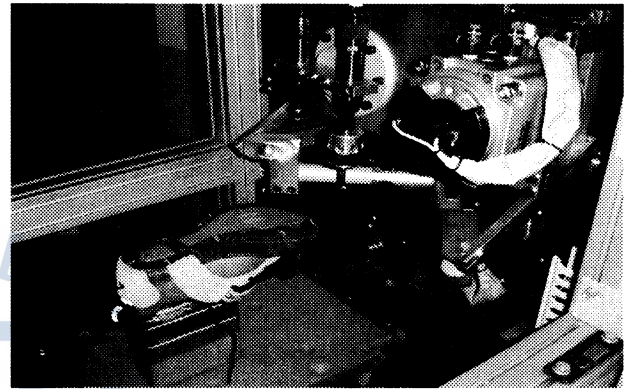


Fig. 1 the developed robot

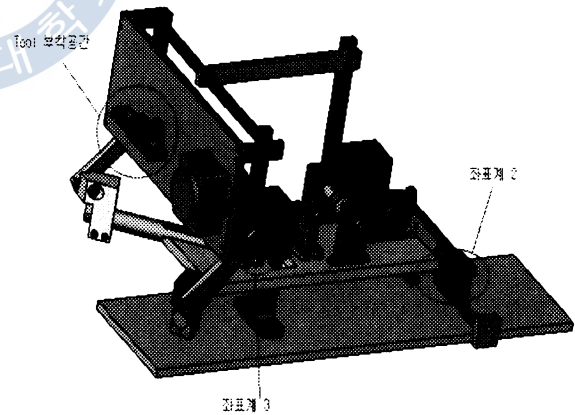
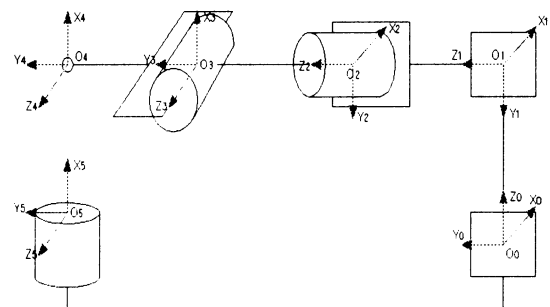


Fig. 1 Schematic diagram of developed robot



버핑 로봇은 버핑 가공을 위해 갑피가 씌어진 라스트를 컨베이어에 의해 로봇의 작업공간 내로 이동하는 연계 시스템과 연결구조를 갖도록 구성되었다. 컨베이어에 의해 갑피가 씌어진 라스트가 이동하여 정지하는 위치는 작업공간 내의 임의의 위치가 될 것이고 라스트 고정기준에 대한 버핑 점들의 Cartesian 좌표계에서의 좌표정보가 주어지면 버핑 로봇 매니플레이터는 좌표에 대해 순기구학 및 역기구학 식을 계산하여 각 관절각의 변위들을 결정된다.

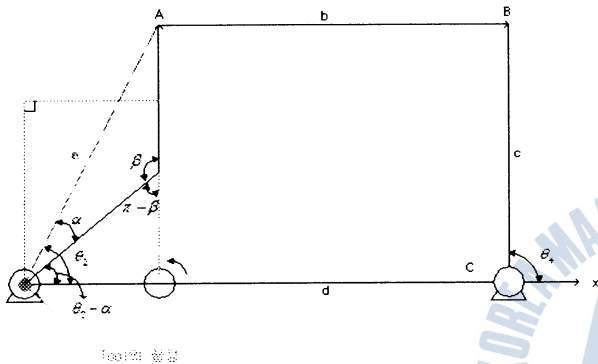


Fig. 3 The relation between four-bar link and joint angle

Fig. 2 에는 버핑 로봇 매니플레이터에서 독립적인 좌표계 5를 제외한 좌표계 0에서 4까지 D-H 규약을 적용하였고[5], 이에 따라 각 파라미터와 변수들을 Table 1과 같이 표현하였다.

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

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

정의된 링크 파라미터를 적용하여 좌표계 0에서 좌표계 4까지 동차변환행렬 T_0^4 을 구하면 다음과 같다.

$$T_0^4 =$$

식(1)의 동차변환 행렬은 좌표계 0에서 좌표계 4로의 회전 및 변위 정보를 가지고 있는 행렬이다.

2.2 로봇의 역기구학 해석

좌표계 0에서 좌표계 4까지의 각 관절 정보는 작업공간에서 공구 끝점의 좌표 설정을 위하여 필요하다. 역으로 기저 좌표계에서 경로를 따라 버핑을 하기 위한 좌표 점들이 작업공간에 주어지면 역기구학 식을 풀어서 좌표계 5의 회전축 각 정보와 좌표계 0에서 좌표계 4까지의 관절각을 구해야 한다. 이를 위해 좌표계 0을 기점으로 좌표계 5의 동차변환 행렬 H_0^5 을 구하면 다음과 같다.

$$H_0^5 = \begin{pmatrix} \cos\theta_5^* & -\sin\theta_5^* & 0 & d_x \\ \sin\theta_5^* & \cos\theta_5^* & 0 & d_y \\ 0 & 0 & 1 & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

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 병진위치들이다. 로봇이 추적해야할 경로상의 버핑 점들은 좌표계 5 상의 점들이므로 Fig. 4와 같이 표시된다.

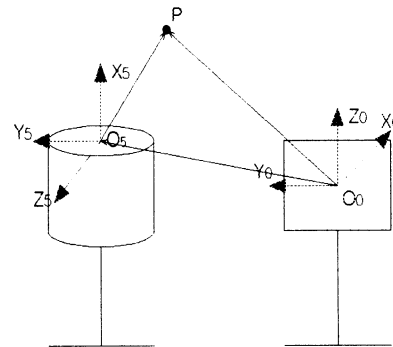


Fig. 4 Relation between the coordinate axis 5 and the coordinate axis 0

이의 관계식은 $P_0 = H_0^5 P_5$ 와 같고 이를 구체적으로 나타내면 다음과 같다.

$$(\cos\theta^* \quad -\sin\theta^* \quad 0 \quad d) \setminus (P)$$

$$= \begin{pmatrix} P_x \cos \theta_5^* - P_y \sin \theta_5^* + d_z \\ P_x \sin \theta_5^* + P_y \cos \theta_5^* + d_y \\ P_z + d_z \\ 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

P_0 는 기준 좌표계에 대한 버핑의 경로점들로서 순기구학 해석을 통해 구한 식 (1)에서 표현된 T_0^4 의 4번째 열과 같은 위치이므로 다음의 관계식들을 유도할 수 있다.

$$P_x \cos \theta_5^* - P_y \sin \theta_5^* + d_z = d_4 \sin \theta_3^* \quad (4)$$

$$P_x \sin \theta_5^* + P_y \cos \theta_5^* + d_y = d_3 + d_2^* \quad (5)$$

$$P_z - d_z = d_4 \cos \theta_3^* + d_1^* \quad (6)$$

식(4)~(6)은 로봇의 기준 좌표에 대해 가공할 버핑 점들의 위치와 관절각과의 관계식들을 나타낸다. 즉 버핑 점들에 버핑 공구의 끝점이 접근해야 하는 위치는 정할 수 있지만 끝점이 접근해야 하는 각도는 버핑 점들의 법선벡터로써 결정한다. 일반적으로 3개의 공구각이 필요하지만 신발 버핑 궤적이 비교적 정형적이므로 2개의 공구각으로 버핑이 가능하다. 따라서, 버핑을 위한 2개의 공구각의 제한조건이 주어져야 한다[6].

3. 제어 프로그램

3.1 GUI로 구성된 제어 프로그램

순기구학 및 역기구학의 해석을 통해 구한 닫힌 해(closed-form solution)를 프로그램화 하였고 이를 사용자가 용이하게 사용할 수 있도록 Fig. 6과 같은 GUI 프로그램을 개발하였다. 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 로봇 관절 구동모터 5개의 동시동작 상태와 관절각의 확인이 가능하며 로봇의 교시 기능과 외부의 주변장치와 데이터의 송수신 기능을 가지고 있으며 공기압 구동기의 단계적 확인기능과 TCP/IP로 서버 컴퓨터에 접속하여 시스템 상태에 대한 정보를 송수신할 수 있도록 구성하였다.

구체적으로 개발 프로그램의 내용을 살펴보면, Fig. 5는 제어 프로그램 화면구성으로서 (1)번 부분은 각 모터의 현재 엔코더

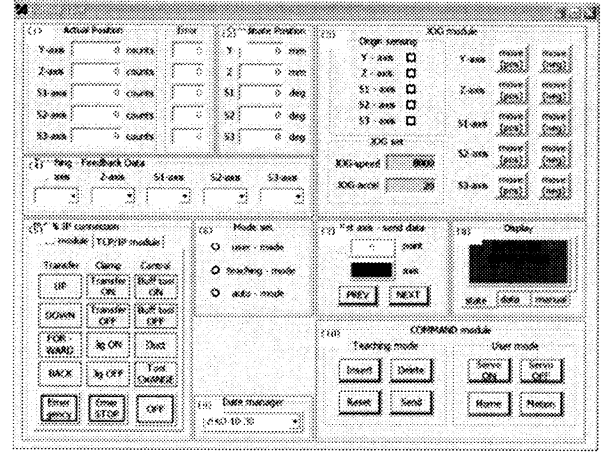


Fig. 5 GUI program for buffering control

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 표시부분으로써 JOG 모듈에서 축을 선택하여 data를 teaching 하고 Command 모듈에서 save, insert, delete를 선택하면 명령에 따라 data들이 저장 혹은 삭제되어 순서대로 display 된다.

(5)번 부분은 PLC 및 TCP/IP 설정 부분으로써MMC controller user output 단자에 연결된 PLC는 MMC 명령 혹은 PLC 자체적인 시퀀스제어가 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 JOG 로서 teaching point를 선택하고 저장할 수 있다. auto mode의 경우는 버핑 data가 미리 입력되어 있는 단계에 자동으로 일련의동작을 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, manual 의 3가지 mode를 선택할 수 있는데 state의 경우는 지금 현재 로봇

(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 프로그램의 일부가 예제로 Fig. 6 및 7에 나타나 있다.

```

// JOG 속도 및 가속도 설정
void JOG_SetSpeedAndAccel(int axis, double speed, double accel)
{
    // 속도 설정
    gcode[axis] = "G01 F" + speed;
    // 가속도 설정
    gcode[axis] += "A" + accel;
}

// JOG 동작 실행
void JOG_Execute(int axis, double speed, double accel)
{
    JOG_SetSpeedAndAccel(axis, speed, accel);
    // JOG 동작 실행
    gcode[axis] += "Z" + JOG_Z_Pos;
    gcode[axis] += "X" + JOG_X_Pos;
    gcode[axis] += "Y" + JOG_Y_Pos;
    gcode[axis] += "G00";
}
    
```

Fig. 6 Coding for making JOG button

```

// JOG 속도 및 가속도 설정
void JOG_SetSpeedAndAccel(int axis, double speed, double accel)
{
    // 속도 설정
    gcode[axis] = "G01 F" + speed;
    // 가속도 설정
    gcode[axis] += "A" + accel;
}

// JOG 동작 실행
void JOG_Execute(int axis, double speed, double accel)
{
    JOG_SetSpeedAndAccel(axis, speed, accel);
    // JOG 동작 실행
    gcode[axis] += "Z" + JOG_Z_Pos;
    gcode[axis] += "X" + JOG_X_Pos;
    gcode[axis] += "Y" + JOG_Y_Pos;
    gcode[axis] += "G00";
}
    
```

Fig. 7 Coding for implementing JOG button

는데 그 데이터는 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

본 연구를 통하여 개발한 버핑 로봇은 주변의 컨베이어와 같이 연결되어 작업의 공정을 순차적수행한다. 신발을 지그에 고정하여 로봇의 작업공간에 이송하는 작업들은 순차적으로 이루어지며 인식된 신발을 버핑 가공하는 작업은 연속적으로 이루어진다. 본 개발에서는 버핑 로봇과 주변 장치와 순차적 작업을 위한 통신 시스템으로 TCP/IP 프로토콜을 사용하였다.

TCP/IP는 인터넷의 기본적인 통신 프로토콜로서, 인터넷이나 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. 또한, TCP/IP는 송수신 기능을 갖는 2개의 계층으로 이루어진 프로그램이다.

본 개발에서는 TCP/IP 프로토콜을 이용하여 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 접속되었다는 것이 나타나게 된다. GUI program 구성부분에서 Date manager 모듈에 의해 날짜 및 시각 정보를 얻을 수 있다. 이를 이용하여 년, 월, 일, 시, 분, 초 및 시스템 상태 코드를 합하여 서버 컴퓨터에 송신하면 서버 컴퓨터에서는 실시간으로 버핑 로봇 시스템의 동작, 에러 및 대기 상태 등을 파악하여 일당 작업량이나 생산에 드는 시간 등을 산출할 수 있도록 구성하였다.

4. 결 론

신발의 감피 버핑을 위해 새로운 구조의 경제성 있는 5축 버핑 로봇 매니플레이터를 개발하였다. 신발 감피의 버핑작업을 자동으로 수행하기 적합한 로봇을 구성하기 위하여 개발 로봇

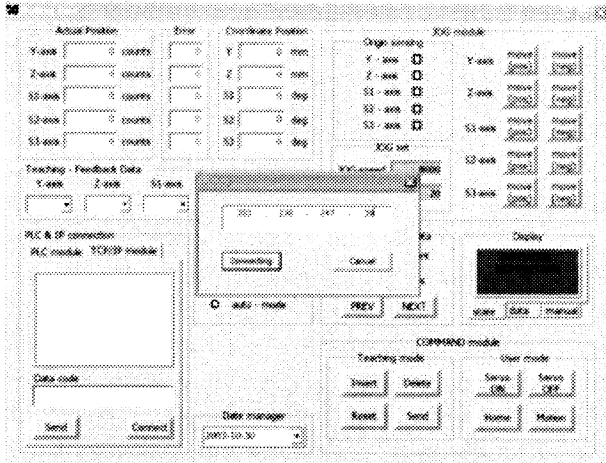


Fig. 8 Connecting to server by TCP/IP rule

자동화된 작업들이 가능하게 하였다.

시스템 관리자에 의해서 라스트의 운반, 고정, 버핑까지의 일련의 동작이 프로그램에 의해서 순차적으로 혹은 전자동으로 이루어짐을 확인하였다. 또한, TCP/IP를 이용하여 버핑 로봇 및 주변장치의 순차적 동작에 대한 시간정보, 시스템 에러의 유무 등을 서버 컴퓨터에 알려줌으로써 로봇의 자동 버핑 작업의 유연성을 향상 시킬 수 있게 되었다.

참 고 문 헌

- [1] Spencer, J.E., "Robotics technology and the advent of agile manufacturing systems in the footwear industry and Robot Manipulators", *Assembly Automation*, 1996, vol. 16, no. 3, pp. 10-15.
- [2] Rooks, B.W., "Robots bring automation to shoe production" *Assembly Automation*, vol. 16, no. 3, pp. 22-25, 1996.
- [3] Botema, O., and Roth, B., *Theoretical Kinematics*, North Holland, Amsterdam, 1979.
- [4] Colson, J.C., and Perreira, N.D., "Kinematic Arrangements Used in Industrial Robots," *Proc. 13th International Symposium on Industrial Robots*, 1983.
- [5] Denavit, J., and Hartenberg, R.S., "A Kinematic Notation for Lower Pair Mechanisms," *J. Applied Mechanics*, Vol. 22, pp.215-221, 1955.
- [6] DUFFY, J., *Analysis of Mechanisms*, 1980.

원고접수일 : 2004년 12월 29일

원고채택일 : 2005년 1월 11일