

## 연마 로봇의 원격 관리를 위한 모니터링 시스템 개발

### Development of Monitoring System for Remote Management of Polishing Robot

고석조\*(동의공업대학), 이민철(부산대학교), 홍창우(부산대학교 대학원)

Seok-Jo Go\*(Donggeui Institute of Tech.), Min-Cheol Lee(Pusan National Univ.), and  
Chang-Woo Hong(Graduate School, Pusan National Univ.)

부산광역시 부산진구 양정동 산72 동의공업대학 기계시스템계열  
Tel : (051) 860-3152, Fax : (051) 860-3324, E-mail : sjgo@dit.ac.kr

#### Abstract

In the previous study, a polishing robot system was developed to automate the polishing process and to cope with the shortage of skilled workers. This polishing robot system has several advantages: reduced time for setting polishing work, decreased labor costs, effective operation, continuous polishing work without an operator, improved machine accuracy, and the ability to polish a free curved surface die. However, still the problem remains that a worker must stay to monitor the polishing process in the poor working conditions for a long time. Nowadays some advanced manufacturing companies need to find a way to check the performance of their production equipments and plants from remote sites. Thus, this study constructed the communication network and developed the monitoring programs (a servo program and a client program) to operate the polishing robot from remote sites. Using these programs, workers are able to monitor and control the polishing robot on the web page, in any place where internet service is possible. To guarantee a stable operation in spite of a variable computer operating environment, the monitoring system is implemented in Java. The experimental results showed that the developed monitoring programs provided a stable communication.

#### 1. 서론

현재 대부분의 제조 공정에서는 많은 부분 자동화가 이루어지고 있지만 가공 분야에서는 아직도 자동화가 미진한 실정이다. 특히 금형 연마 공정과 같이 높은 형상 정밀도를 요구하는 곳에서는 대부분이 숙련공의 수작업으로 수행되고 있다. 이러한 연마 공정은 전체 금형 제작 시간의 약 30%-40%를 차지함으로써 상당히 많은 시간을 요하는 작업이고, 제품의 외형에 대한 작업이므로 제품의 품질에 직접적으로 영향을 미치는 중요한 공정이라 할 수 있다. 그러나, 이와 같은 연마 공정의 경우 작업 시 발생하는 먼지, 소음, 진동 등으로 인하여 작업자들이 점차 기피하게 되어 기능인력이 점점 줄어들고 있는 실정이다<sup>1)3)</sup>. 이러한 문제를 해결하기 위해 자유곡면을 가진 금형 연마 공정을 자동화하여 생산성 향상을 추구하고자 국내외에서는 이미 활발한 연구가 진행되어 왔다<sup>1)7)</sup>. 국내의 경우, 다관절 로봇을 이용하여 연마 시스템을 개발한 연구 사례가 있었다<sup>7)</sup>. 그러나, 이 경우에는 공작 기계와 비교해서 강성과 위치결정정도가 떨어지는 단점이 있었다. 따라서 본 연구의 선행 연구에서는 이런 점들을 고려하여 3차원 곡면 연마에 가장 적합한 금형 연마 로봇 시스템과 윈도우즈(windows) 환경에서 사용자가 연마 시스템을 쉽게 구동할 수 있는 통합 프로그램을 개발하였다<sup>8)9)</sup>.

그러나, 현재 산업 현장에서 공장 자동화를 위해 보급되어 있는 산업용 머시닝 센터들이나 이미 개발된 연마기의 대부분은 작업자가 직접

생산 현장에 상주하면서 시스템의 동작을 지속적으로 모니터링 해야 함으로 작업자는 유해한 작업 환경에 노출되어야 한다는 단점을 안고 있다. 따라서, 최근 산업현장에서는 생산현장에 지속적으로 상주하지 않고 유해한 환경에도 노출되지 않기 위해 원격지에서의 생산시스템 조작에 관한 연구가 요구되고 있다.

한편, 현대 사회는 개인용 컴퓨터의 보급과 전용선 서비스의 확대에 인하여 네트워크 환경이 급속히 발달되고 있다. 국내의 경우에도 네트워크 인프라가 광범위하게 구축되어 있으므로 개인용 컴퓨터를 이용하여 인터넷에 쉽게 접속이 가능하고, 거리와 장소에 관계없이 데이터를 주고 받을 수 있다. 따라서, 이러한 네트워크 기술을 일반 산업 현장에 적용시킴으로써 보다 능률적인 공장자동화를 구축할 수 있고 생산의 효율성도 높일 수 있을 것으로 기대된다<sup>10),11)</sup>. 즉, 실제 작업 현장과 동일한 환경과 정보에 의해 모델링된 가상 생산시스템을 구축함으로써 시스템의 적합성과 효율성 및 안전성을 사전에 테스트 해 볼 수 있고, 실제 시스템에서 생길 수 있는 돌발적인 사고 및 고장을 미리 테스트해 볼 수 있어 생산시스템의 도입단계 및 설비 증설시 적합성 판단에 필요한 정보를 제공할 수 있다<sup>12)</sup>.

따라서, 본 연구에서는 작업자가 유해한 환경에 노출되는 것을 방지하고, 시간과 공간적 제약에서 벗어나 웹서비스(web service)가 제공되는 어떠한 환경에서도 연마 로봇을 보다 지속적이고 효율적으로 관리할 수 있게 하기 위한 인터넷 기반의 모니터링 시스템을 구축하고자 한다.

이를 위하여 개발된 모니터링 프로그램은 서버 프로그램(server program)과 클라이언트 프로그램(client program)으로 구성되어 있다. 서버 프로그램에서는 사용자의 작업명령을 받아 연마 로봇 제어를 수행하며 그 상태를 모니터링 해 주는 기능을 제공하고 있다. 클라이언트 프로그램에서는 서버 프로그램으로부터 제공된 정보를 이용하여 사용자에게 연마 로봇의 상태를 알려주고, 사용자의 입력을 서버 프로그램에 전달해주는 기능으로 구성되어 있다. 특히, 클라이언트 프로그램의 경우에는 웹서비스가 지원되는 모든 환경에서 실행 가능하도록 설계되어야 하므로 본 연구에서는 자바(java) 언어를 이용하여 애플릿(applet)의 형태로 개발하였다. 그리고, 원격지에서의 연마 로봇 관리를 위해 연마 로봇의 구동 상황을 영상 카메라

를 통하여 실시간으로 전송하여 연마기의 관리를 더욱 효율적으로 될 수 있도록 하였다. 또한, 개발된 원격 관리 모니터링 시스템에 대한 안정성 평가를 위해서 각 주요 기능에 대한 실험을 수행하였다.

## 2. 연마 로봇 시스템

본 연구의 대상 시스템은 선행 연구에서 개발한 금형 연마 로봇으로서 그 외관은 Fig. 1과 같다<sup>8),9)</sup>. 개발된 연마 시스템은 곡면 금형의 자동 연마를 위해 개발된 연마기로서 3축의 직선 운동부와 2축의 회전운동부로 구성되어 있으므로 연마 공구가 임의의 자유곡면과 항상 법선 방향을 유지하며 일정한 연마력으로 연마할 수 있다. 그리고, 최대 가공중량물 2500 kg을 적재할 수 있으며 테이블 작업 면적은 1250 mm × 560 mm이다. 각 축의 위치제어를 위해서는 Delta Tau사의 개방형 PC-NC 제어기인 PMAC을 사용함으로써 동시 5축 제어에 이용하였다.

연마시스템에 대한 네트워크 프로그램은 윈도우즈 환경에서 사용자가 쉽게 구동할 수 있는 사용자 지향형 통합 환경 프로그램과 클라이언트의 접속요구를 받아들일 수 있는 서버 프로그램, 원격지의 작업자가 시스템의 상태 모니터링과 원격조작을 지원하는 클라이언트 프로그램으로 구성되어 있으며 Visual C++을 이용하여 개발하였다. 본 연구에서 개발된 프로그램은 웹 브라우저 상에서 상태 모니터링과 원격 조작, 화상 전송을 지원할 수 있게 개발되었으며, CGI 방식보다 서버의 부하를 적게 주는 애플릿 형태로 개발되었다<sup>13)</sup>. 개발도구는 Sun의 JDK 1.3 버전과 JMF 2.1.1 버전을 이용하였다.

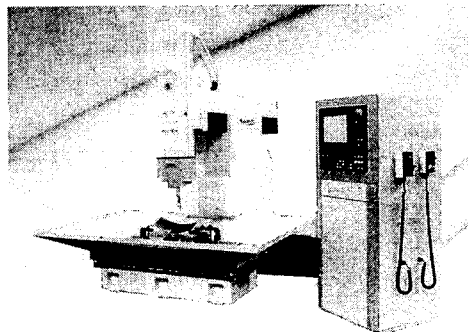


Fig. 1 Polishing robot system

### 3. 네트워크 환경의 구축

#### 3.1 네트워크 구성

연마 시스템에 대한 네트워크 프로그램은 Fig. 2에서와 같이 서버 프로그램과 클라이언트 프로그램으로 구성되어 있다. 서버 측 산업용 컴퓨터에는 자동 연마 로봇을 구동하기 위한 PMAC 제어기와 서버 프로그램이 있다. 일반적으로 인터넷을 기반으로 한 원격 제어 시스템의 경우와 같이 클라이언트, 서버, 구동 장치로 나누어진 것과 크게 다르지 않으나, 본 연구에서는 영상 정보를 전송하기 위한 서버를 별도로 두었다. 이것은 영상 정보를 전송하기 위한 서버를 연마 로봇 구동을 위한 서버와 하나로 통합할 수도 있지만 네트워크 부하를 분산시키고, 애플릿의 보안상 제약을 극복하기 위해서 이를 분리하였다.

클라이언트는 서버에 접속 요청 후 접속되어 데이터를 주고받을 수 있다. 여기서 서버와 클라이언트의 소켓 구조를 보면 서버는 서버 소켓과 데이터 소켓 두개의 소켓으로 구성되고 클라이언트는 데이터 소켓 하나로 구성된다. 서버소켓의 기능은 클라이언트로부터 접속요청을 받아 클라이언트의 데이터소켓과 서버의 데이터소켓을 연결시켜주는 기능을 하고, 데이터소켓은 실제로 데이터를 송수신하는 기능을 한다. Fig. 3은 데이터 소켓의 통신과정을 나타낸다.

#### 3.2 통신 프로토콜

네트워크 상에서 컴퓨터간에 통신을 하고자 할 때에는 서로 같은 통신 규약(protocol)을 사용하여야 한다. 연마 로봇 시스템에 사용한 통신 프로토콜로는 TCP/IP(transmission control protocol/internet protocol) 프로토콜 구조를 사용하였다. TCP/IP는 현재 많이 보급되어 있는 인터넷의 표준 프로토콜이기도 하므로 인터넷 브라우저에서 실행되는 애플릿 프로그램과 서버 프로그램간의 통신을 연결하기에는 가장 적합하다<sup>14)</sup>.

TCP/IP는 연결 지향 방식이므로 패킷을 보내기 전 먼저 받을 쪽과 연결이 성립되어야만 통신이 가능하다. TCP/IP의 통신 구조는 Fig. 4와 같이 하부 계층부터 물리적 계층(physical layer), 인터넷 계층(internet layer), 트랜스포트 계층(transport layer), 애플리케이션 계층(application layer)의 네 개의 계층으로 나누어져 있다. 물리 계층은 데이터 통신을 위한 하드웨어를 관할하는

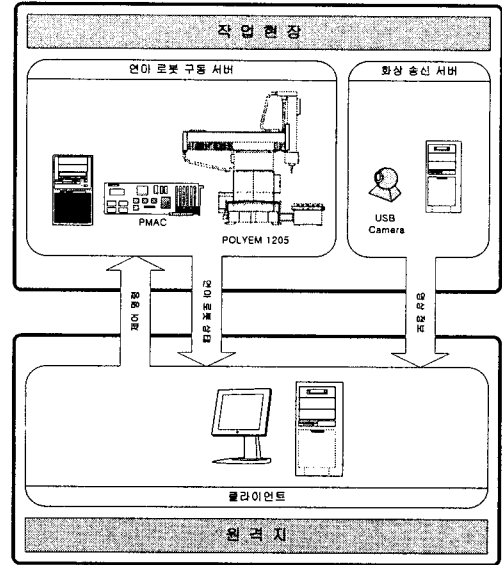


Fig. 2 Network of the polishing robot

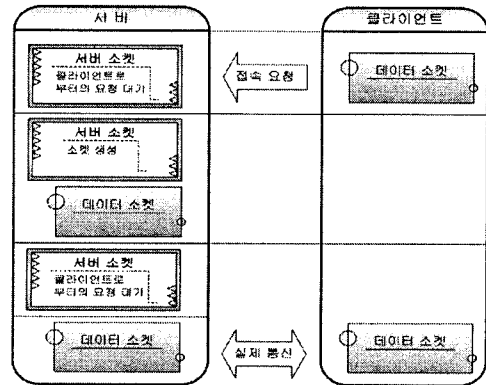


Fig. 3 Data socket and communication

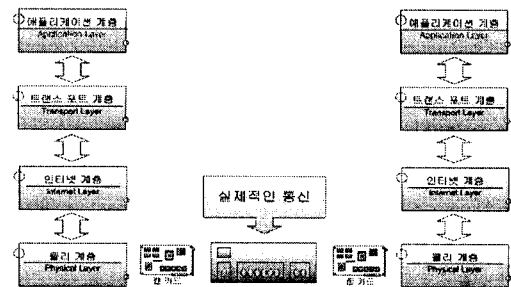


Fig. 4 Construction of TCP/IP protocol

계층으로 랜 카드(lan card) 등을 직접 제어하는 계층이다. 인터넷 계층은 데이터를 정해진 위치에 정확히 전달하는 역할을 수행하는 계층이다. 즉, 데이터를 전송할 송·수신지 주소 및 각종

정보를 덧붙여 패킷(packet)을 만들고 데이터를 받을 때 패킷에서 필요한 정보를 분리해 내는 일을 담당한다. 트랜스포트 계층은 데이터를 오류 없이 전송하도록 에러를 검출하고 정정하는 계층이다. 끝으로 애플리케이션 계층은 실제 인터넷 애플리케이션이 수행되는 계층이다. 여기서 트랜스포트 계층과 인터넷 계층, 물리적 계층은 운영체제(operating system)에서 처리해 주며, 윈도우 애플리케이션에서 프로그래밍 할 때에는 애플리케이션 계층만 이용한다.

그리고, 원격지의 연마 로봇을 모니터링하기 위한 화상 정보를 네트워크를 통하여 송신할 때는 RTP(real-time transport protocol)을 이용한다. 이것은 영상을 전송할 경우 데이터의 무결성보다는 실시간성이 더 중요시되기 때문이다. 중간에 손실된 데이터가 발생할 경우에도 손실된 데이터의 양이 경미한 경우에는 수신측에서 이를 복원시키는 방식을 사용하며, JMF(java media framework)를 이용할 경우 이는 자동으로 처리된다. RTP는 트랜스포트 계층의 상위에 존재하는 실시간 전송 프로토콜로서 트랜스포트 계층에 독립적이기 때문에, TCP 또는 UDP(user datagram protocol) 등 여러 종류의 전송 프로토콜을 사용할 수 있다. 하지만, TCP에는 전송의 안정성을 보장하기 위한 헤더가 덧붙여지므로 속도 면에서 유리한 UDP가 주로 기반 프로토콜로 사용된다. 따라서, JMF에서는 RTCP(real-time control protocol)을 사용하여 안정성의 약점을 보완한다<sup>15)</sup>. Fig. 5는 RTP의 구조를 나타낸다.

#### 4. 모니터링 프로그램

##### 4.1 서버 모니터링 프로그램

서버 프로그램은 자동 연마 로봇을 구동하기 위한 PMAC 통신부와 클라이언트와 접속요청 및 작업요구를 처리하는 부분으로 구성되어 있다. Fig. 6은 본 연구에서 개발한 서버 프로그램의 화면 구성을 나타낸다. 서버 프로그램의 기능으로는 상태 모니터링, 시뮬레이션, 교시 및 NC 프로그램 수행이 가능하도록 구성하였다. 그리고, 수동조작 모드나 교시 모드 사용 시에는 조이스틱으로 연마 로봇을 구동할 수 있도록 하였다.

##### 4.2 클라이언트 모니터링 프로그램

화상 전송을 위한 서버 프로그램은 JMF를

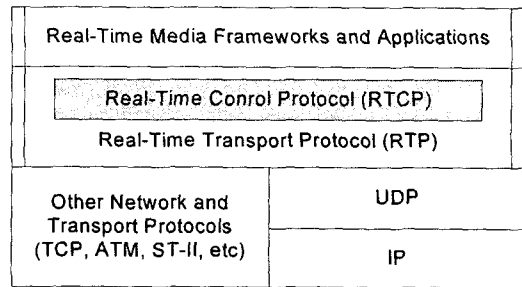


Fig. 5 Architecture of RTP

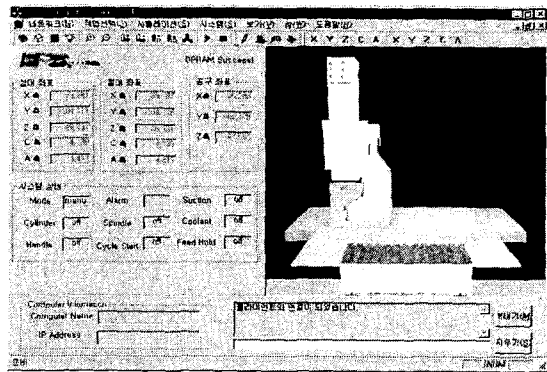


Fig. 6 Server monitoring program

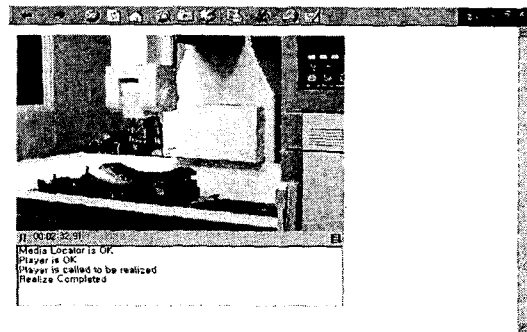


Fig. 7 Transmission of a picture data

이용하여 개발되었으며, 영상 카메라로부터 화상 정보를 캡처하여 RTP 스트림을 생성한다. 그리고, 생성된 스트림은 본 연구에서 개발된 클라이언트 프로그램에 의해 원격지로 전송이 된다. Fig. 7은 원격지로 전송된 연마기의 화면을 나타낸다.

클라이언트 프로그램은 브라우저 상에서의 구동과 플랫폼 독립성을 위해 자바 언어를 사용하여 애플릿으로 구현되었고, 원격지에서의 연마기 구동 및 관리를 위해서 시스템의 상태 모니터링, 수동 조작, 교시, 자동 모드에서의 NC 프로그



Fig. 8 Menu of a client applet

램 수행 기능이 가능하도록 구성하였다. Fig. 8은 클라이언트 애플릿이 수행할 수 있는 기능을 나타내며, Fig. 9는 웹브라우저에서 나타난 클라이언트 애플릿의 화면 구성 모습이다.

#### 4.3 상태 모니터링 및 수동 조작

시스템의 상태 정보는 Fig. 9에서와 같이 서버 프로그램으로부터 주기적으로 전송 받아 나타낸다. 상태 정보에는 X, Y, Z, C, A 각 축의 위치 정보와 조작 패널에 나타나는 쿨런트(coolant), 석션(suction), 스피들(spindle), 공압 실린더(pneumatic cylinder) 등에 관한 정보가 포함되어 있다.

따라서, 연마 로봇의 조작 패널에 있는 대부분의 기능들을 서버 프로그램과 클라이언트 모니터링 시스템에 구성함으로써 작업자가 연마 로봇을 쉽게 구동할 수 있도록 하였다. 서버 프로그램에서는 연마 로봇을 임의의 방향으로 구동하기 위해서 조그 버튼 박스를 이용한 방식과 조이스틱을 이용한 방식 두 가지를 제공하고 있다. 그러나, 원격지의 구동에서는 웹에서 실행된다는 환경을 고려해야 함으로 클라이언트 프로그램에서는 조그 버튼 박스에 의한 연마 로봇 구동 모드만 실행되도록 하였다. Fig. 10은 원격지에서 조그 버튼 박스를 이용해 연마 로봇을 구동하는 과정과 실제 연마 로봇이 구동되는 모습을 화상 정보로 나타낸 것이다.

### 5. 결론

본 연구에서는 3차원 곡면 연마를 위해 개발

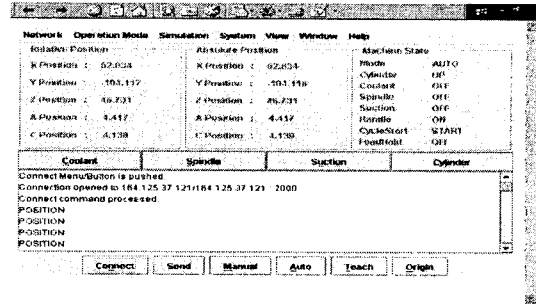
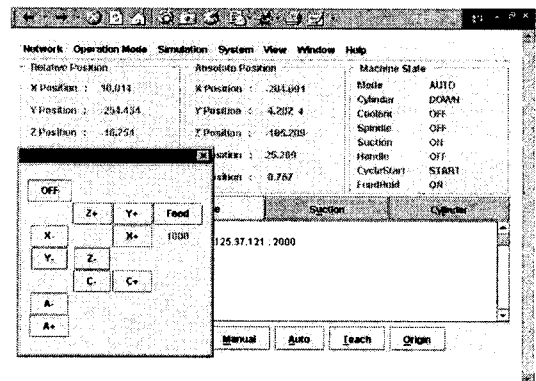
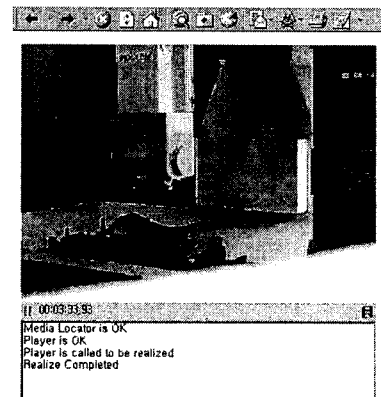


Fig. 9 Client applet in a web browser



(a) Jog button box



(b) Remote operation

Fig. 10 Remote operation of polishing robot

된 연마 로봇 시스템을 대상으로 인터넷을 통해 원격지의 작업자가 연마 로봇에 대한 시스템의 모션과 상태를 모니터링하고, 연마 로봇을 조작할 수 있는 기능들을 구현하였다. 즉, 인터넷이 가능하지만 하면 어디서든 연마 로봇의 상태를 감시하고 조작할 수 있게 되어 공간적인 제약과 이에 수반되는 시간적 제한을 극복하여 간편하게

상태를 모니터링하고, 문제점이 있을 경우 순발력 있게 대처할 수 있게 하고자 하였다. 그리고 수치상으로 나타나는 정보만으로는 작업자가 연마 로봇의 위치와 작업 상태를 파악하기가 쉽지 않으므로, 영상 카메라를 이용하여 실제 구동 상태를 원격지로 전송함으로써 작업 효율을 높이고자 하였다. 본 연구에서 개발한 모니터링 프로그램의 성능을 평가하기 위한 연마 로봇의 원격 구동 실험에서는 웹 상에서 연마 로봇을 원격 구동하고 관리할 수 있음을 확인하였다. 향후 연구에서는 실제 연마 작업 시에 나타날 수 있는 통신 지연 문제를 해결하기 위한 다각적인 접근 방법과, 연마 로봇의 감시, 운전뿐만 아니라 생산 내용 관리, 시스템의 가동률측정, 공장 전체의 모니터링 시스템과의 연동 등이 가능한 종합적인 모니터링 시스템 개발에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

#### 후기

이 논문은 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터에 의하여 지원되었으며 2001년도 두뇌 한국21사업 핵심분야에 의하여 지원되었음.

#### 참고문헌

1. M. Kunieda, T. Nakagawa, and T. Higuchi, "Robot Polishing of Curved Surface with Magnetically Pressed Polishing Tool," JSPE, Vol. 54, No. 1, pp. 121-125, 1988
2. M. Suzuki, S. Ichiyasu, K. Kirii, S. Sunahara, T. Sakuta, and A. Asai, "Development of Die-finishing Robotic System Controlled by CAD/CAM System," JSPE, Vol. 58, No. 8, pp. 1309-1314, 1992
3. 박관명, 장진희, 한창수, "자동경면 다듬질 장치의 실험적 분석에 관한 연구," 한국정밀공학회지, 제12권 제9호, pp. 30-39, 1995
4. 강성철, 김문상, 이교일, "금형 연마작업을 위한 로봇 오프라인 프로그래밍 시스템의 개발 및 적용," 한국정밀공학회지, 제14권 제1호, pp. 69-77, 1997
5. K. Shunichi, A. Tojiro, and I. Ichiro, "Development of a Robot-Polishing System (Polishing Force Control by Means of Fuzzy Set Theory)," JSME J. Series C, Vol. 57, No. 543, pp. 3714-3719, 1991
6. K. Saito and T. Miyoshi, "Automation of polishing process for a cavity surface on dies and molds by using an expert system," Annals of CIRP, Vol. 42, No. 1, pp. 553-556, 1993
7. 박삼진 외 8명, 3차원 곡면의 설계 및 가공 통합시스템 개발, 최종보고서, 한국기계연구원, 1993
8. Min Cheol Lee, Seok Jo Go, Man Hyung Lee, Cha Soo Jun, Dong Soo Kim, Kyung Duck Cha, and Jung Hwan An, "A Robust Trajectory Tracking Control of a Polishing Robot System Based on CAM Data," Int. J. of RCIM, Vol. 17:1-2, pp. 177-183, 2001
9. 고석조, 이민철, 이만형, 안중환, 전차수, 이돈진, "자동 연마 시스템의 사용자 지향형 통합 프로그램 및 자동 교시 시스템 개발," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제7권 제4호, pp. 334-343, 2001
10. 小林和彦, "인터넷과 방전 가공의 관계," 월간 기계설계, Vol. 15, No. 9, pp. 40-44, 2000
11. 정영수, 공상훈, 이교일, 한영근, "인터넷을 기반으로 하는 가상 가공 시스템과 원격 조작 시스템 개발," 한국자동제어학술회의, pp. A5-A8, 1999
12. Spyros G. Tzafesta, Costas S. Tzafestas, "Virtual Reality in Telerobotics: The state-of-the-art," IEEE ISIE'99 - Bled, Slovenia, pp. 280-286, 1999
13. 강성철, 정낙영, "인터넷기반 원격 매니플레이션 : 일본의 연구개발 사례를 중심으로," 제어·자동화·시스템공학회지, 제6권 제6호, pp. 21-26, 2000
14. Merlin Hughes, Michael Shoffner, Derek Hammer, Umesh Bellur, JAVA Network Programming, 인포북
15. JMF 2.0 FCS API Guide, Sun Micro systems, Inc. 1999