

◆특집◆ 인터넷 기반 생산시스템

인터넷 기반의 쾌속조형장비 개발

최태림*, 송용억*, 박세형*, 강신일**

Development of Internet-Based Rapid Prototyping Machine

T. Choi*, Y. Song*, S. Park* and S. Kang**

Key Words : rapid prototyping (쾌속조형기술), internet (인터넷), remote control (원격제어), order-adaptive manufacturing system (주문 적응형 생산시스템)

1. 서론

기업은 변화되는 소비자의 다양한 기호에 맞추어 제품 개발기간을 단축하고 효율적이고 유연한 제조활동을 수행하여야 한다. 이러한 제품 개발 추세에 Rapid Prototyping (이하 RP)기술은 제품의 개발 과정 초기에 설계의 결과를 검증하고 개선할 수 있도록 지원함으로써 제품 개발 과정을 단축하고 개발비용을 절감하며 다양한 설계 가능성을 시험하여 설계의 최적화를 달성하는데 큰 도움을 주고 있다. 현재 광경화성 수지를 사용하는 SLA 방식이 가장 널리 보급되었으나 최근에 들어서는 기존의 고가 장비보다 디자인 시제품을 빠르고 저렴하게 제작할 수 있는 저가 쾌속 조형 장비인 3차원 프린터가 급속도로 보급되기 시작하였다.

그러나, 이러한 3차원 프린터의 등장에도 불구하고 아직까지 쾌속조형 장비 가격과 소재비가 기존의 가공 장비에 비해 고가이고, 장비 유지에 전문 지식과 많은 추가 비용이 소요되는 이유로 널리 보급되고 있지 않는 실정이다. 따라서 현재까지는 전문 연구기관이나 학교, 대기업에서 주로 활용되고 있다.

좀 더 많은 일반 사용자들이 손쉽게 RP장비에 접근하여 이 기술을 제품 개발이나 교육 및 기타 용도로 활용할 수 있도록 하기 위하여 현재 정보 데이터 교환용으로 주로 활용하던 인터넷을 이용하고자 하는 시도가 활발히 이루어지고 있다.

앞으로 이러한 개념이 더 발전되어 소비자가 직접 자신의 취향에 맞게 디자인 한 제품의 STL파일을 인터넷을 통해 장비로 수신하여 RP로 제작한 제품을 다시 받아보는 형식의 생산방식이 가능할 것이라 예상된다. 이와 같은 생산 방식을 통해 사용자의 다양한 요구를 만족시키며 유연하게 고객 주문에 대처할 수 있는 소위 주문적응형 생산시스템이 구현될 것으로 본다.

본 연구에서는 이러한 인터넷 기반의 생산 시스템 구현의 한 일환으로 원격지에서 RP장비 서버에 접속하여, 제작하고자 하는 3차원 데이터 파일을 전송하고 특별한 전문적인 지식 없이도 시제품 제작을 가능하도록 하는 시스템을 구축하고자 한다.

* 한국과학기술연구원 CAD/CAM연구센터

Tel. 02-958-5638, Fax. 02-958-5649

Email: yongak@kist.re.kr

쾌속조형기술 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

** 연세대학교 기계공학과

Tel. 02-361-2829, Fax. 02-362-2736

Email: Snlkang@yonsei.ac.kr

정보 저장기용 미세 부품의 설계 및 가공기술 개발에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

2. 기술 현황

현재 생산 장비를 인터넷으로 원격 제어하는 연구는 전세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 국내의 경우 서울대학교 자동화시스템공동연구소에서 기존의 3축 NC장비를 인터넷으로 원격 제어하는 연구를 수행중이다^[1]. 또한 국내 벤처기업인 Sena Technologies사에서는 HelloDevice라는 인터넷 접속 장치를 개발 판매하고 있다^[2]. 한국과학기술연구원 CAD/CAM연구센터에서는 인터넷을 통한 RP장비의 이용한 원격 제어를 시도하고 있다^[3].

국외에서는 미국 샌디에고 소재 캘리포니아주립대에서 RP를 이용한 제작 서비스를 인터넷으로 제공하는 원격 생산 방법을 연구하고 있다^[4]. 이곳 캘리포니아 주립대 소속 Tele-Manufacturing Facility (TMF)에서는 LOM1050 장비와 Z402장비를 활용하여 외부에서 보내온 STL 데이터를 받아 주문 제작해 주는 서비스를 수행하고 있다. Fig. 1에는 이와 같은 원격 생산방식으로 제작한 파트들이 나타나 있다.

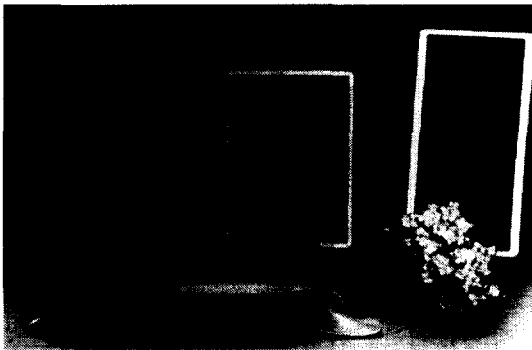


Fig. 1 Different parts produced by tele-manufacturing facility using rapid prototyping (source:TMF)

이곳에서 개발한 mpr(manufacturing printer) 프로그램을 통해 일반 프린터에 파일을 보내 작업 큐에 대기시키듯 외부 사용자가 보낸 STL 파일을 작업 큐에 대기시키고 있다가 작업 파일을 RP 장비로 전송하게 된다. 이때 작업 큐를 관리하는 서버에서는 먼저 이러한 제작 주문이 권한이 있는 컴퓨터 및 작업자로부터 왔는지 확인하고 큐에서 대기하도록 한다. 장비 책임자에게는 큐에 대기하고 있는 작

업파일들의 순서를 바꿀 수 있고 언제라도 큐를 정지 또는 시작할 수 있는 권한이 부여된다.

현재 패속조형기술분야에서 공용 포맷으로 사용하고 있는 STL 파일은 완벽한 포맷이 아니기 때문에 반드시 검사를 한 후 필요할 경우 수정해야 할 필요가 있다. STL 파일 검사와 동시에 작업을 수행하기 위하여 제품의 성형 최적 위치와 배치가 결정된다. 이러한 검증이 완료된 후 RP장비에서 현재 작업을 수행할 수 있는 상태인지를 최종적으로 확인한 후 장비 컨트롤러로 해당되는 파일이 보내게 된다.

현재 이러한 작업을 수행하며 장비의 생산성, 한개의 서버를 가지고 제어할 수 있는 장비의 개수, 큐에 보내진 파일들의 순위 선정 방법, 작업 지시를 내린 사용자에게 작업 진행에 관한 정보의 전달 방법등에 관해 연구가 진행되고 있다. 현재까지 이곳에서 얻어진 연구결과는 다음과 같다.

- 처음부터 완벽한 STL파일이 들어오지 않기 때문에 파일 수정작업이 반드시 필요하다.

- 따라서 제대로 작동되는 STL파일 translator와 파일 수정용 에디터가 필요하다.

- 인터넷을 이용한 원격 RP 시스템을 사용 시 아직도 많은 사람들이 파일을 직접 서버에 올리기 보다 디스켓이나 테이프에 저장된 파일을 들고 와 작업의뢰를 한다.

따라서 이곳에서는 앞으로 인터넷 기반의 패속조형장비를 본격적으로 사용하기 위해서는 STL파일을 대체할 수 있는 새로운 포맷이 필요하며, 보다 사용자가 접근하기 쉽고 사용하기 편리한 시스템개발이 필요하다고 보고 있다. Tele-Manufacturing Facility의 웹사이트 주소는 <http://www.sdsc.edu/tmf/>이다. 이 주소로 접속하면 RP장비를 이용하여 파트가 제작되는 모습을 카메라를 통해 실시간으로 볼 수 있다.

이외에 대만 중정 대학에서 FDM방식의 장비를 개발하여 인터넷을 통해 원격 제어한 연구 사례가 알려져 있다^[5]. 이곳에서는 캘리포니아 주립대의 TMF와 마찬가지로 CCD 카메라를 사용하여 웹에서 실시간으로 작업 과정을 관찰할 수 있도록 되어 있지만, 인터넷을 통해 장비 축들의 원격 제어가 가능하도록 구현되어 있다. 원격제어용 웹 페이지에서는 STL파일을 업로드시키고 지지대 생성, 슬라이싱, 경로 생성, 작업 시작, 작업 진행 장면 제공 기능 등이 제공된다.

3. 고속조형장비 개발

3.1 하드웨어

인터넷 기반의 원격 제어에 관한 연구를 수행하기 위하여 LOM(Laminated Object Method)방식의 RP 장비인 Active Proto를 활용하였다, Fig. 2.

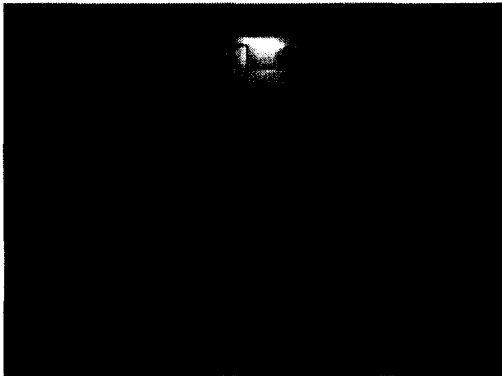


Fig. 2 Active Proto as test site for internet-based remote control and manufacturing

이 장비는 스티커 용지를 연속적으로 공급하고 커팅 플로터를 이용하여 원하는 형상을 절단한다. 장비의 상부에서는 종이의 커팅과 테두리선의 절단이 이루어지며, 하부에서는 종이의 급지와 절단된 종이를 감는 작업이 이루어진다. 원활한 급지를 위해 도트 프린터의 급지 방식으로 용지를 공급한다. 이러한 방식의 종이 급지는 정확한 용지의 이송을 가능하게 하여 Two Cutting 방식으로 내부의 hole을 제거 할 수 있게 하여 LOM 방식의 단점인 후처리 비용의 소요를 줄일수 있게 하였다⁶⁾. Table. 1에는 개발된 장비 사양이 나타나 있다.

Table 1 Machine specification

장비 크기(mm)	1300 x 1100 x 1700
파트 크기(mm)	300 x 200 x 200
정밀도(mm)	≤0.3(높이방향) ≤0.1(가로방향)
제작속도	25sec/layer

가로방향의 정밀도는 LOM 파트의 특성상 거의

일어나지 않지만, 높이 방향으로의 수축이 발생하여 정밀도가 감소된다. 따라서 이를 고려한 높이 제어가 필요하여 현재 개발중이다.

3.2 공정 지원 소프트웨어

Fig.3 에서는 개발된 RP장비의 파트 생성 전처리 프로세스가 나타나 있다. 먼저 사용자는 3D CAD modeler를 사용하여 생성한 모델을 STL 포맷으로 저장하고, 제대로 파일 변환이 되었는지 STL File Viewer⁷⁾를 통하여 확인한다. STL 데이터로부터 단면 데이터를 생성할 때 슬라이싱 방향과 삼각형 패치의 방향과의 상대적 위치에 따라 슬라이싱 작업 시 문제가 발생할 수 있다. 따라서 STL 모델을 일정한 두께로 슬라이싱 한 후 각 단면 파일을 CLI Viewer를 통해 보면서 슬라이싱 작업이 제대로 수행되었는지를 검증하는 작업이 필요하다. 마지막으로 슬라이싱 파일을 커팅 플로터 구동언어인 HP-GL 파일 형식으로 변환 생성한다.

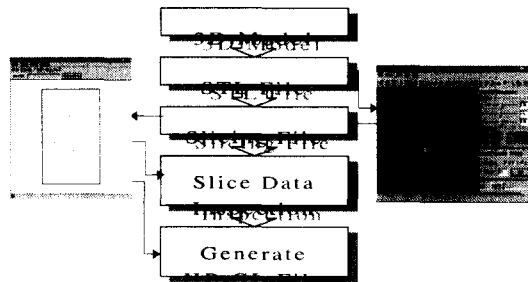


Fig. 3 Preprocessing steps

내부 루프에 속하는 단면을 1차 커팅에서 제거하고 나서 단면의 외부 루프와 단면의 사각형 테두리 부분에는 적절한 해칭 패턴을 만들어 주어 디큐빙 작업을 최대한 간단하게 만들어야 한다. 디큐빙을 수월하게 하기 위하여 많은 해칭 선을 넣을 경우 후처리 작업 시간이 줄어드는 대신 본 작업 시간이 길어지기 때문에 적절한 양 만큼의 해칭선을 넣어 주어야 한다. 또한 디큐빙 작업을 좀 더 수월하게 하기 위하여 해칭 간격을 형상에 따라 조절하여 줄 수 있는 기능도 요구된다. 현재까지는 단면의 테두리와 파트의 외곽선 사이에 상하좌우로 가로지르는 간단한 십자가 형태의 해칭 패턴만을 생성하여 준다.

4. 인터넷 기반 쾌속조형장비

4.1 시스템 개요

인터넷 기반 시스템의 구성도는 Fig. 4에 나타나 있다. 클라이언트는 인터넷을 통하여 사용자 인증 절차를 거쳐 RP장비가 연결되어 있는 웹 서버에 접속한다. 장비 제어를 위하여 웹 서버에는 장비 서버 프로그램을 윈도우즈 응용프로그램으로 제작하였으며 클라이언트의 웹에서는 자바 애플릿을 이용하여 서버 프로그램과 소켓 통신을 하게 된다. 그리고, 카메라 서버를 별도로 설치하여 장비의 구동 모습을 실시간으로 전송한다. 서버상에서는 JMFStudio를 설치하여 카메라에 캡처된 영상을 영상 스트림으로 변환하며 영상을 요청한 클라이언트에게 실시간으로 영상을 전송한다. 카메라 서버를 별도로 둔 이유는 실시간 전송에 따른 시스템의 과부하가 장비 컨트롤에 영향을 미치지 못하도록 하기 위함이다.

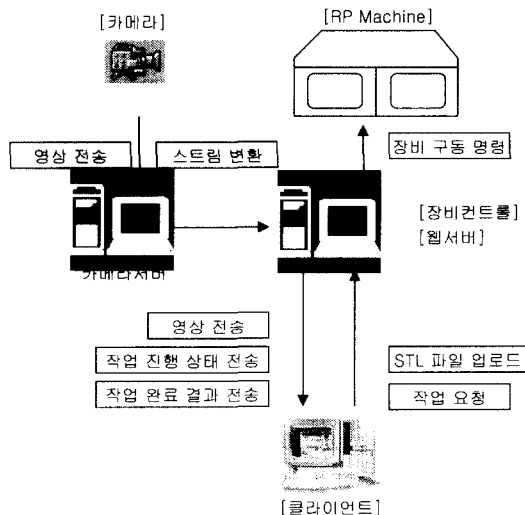


Fig. 4 System configuration

Table. 2에는 시스템의 사양이 나타나 있다. 운영체제는 Windows 98을 사용하여 관리자의 편의를 도모하였으며, 웹서버는 Freeware인 Win98용 Samba Server를 이용하여 설치하였다. 장비의 각 축들은 MMC(Multi Motion Controller) 보드를 이용하여 제어하며 플로터는 시리얼 통신으로 HP-GL 파일을 전송 받는다.

Table 2 System specification

카메라 서버	CPU: Pentium - III 600 OS: Win 98
장비 컨트롤	CPU: Pentium - III 233
웹 서버	OS: Win 98, WebServer: Samba Server 4.4
카메라	Kodak DVC325 Digital
Controller	FARA MMC Multi Motion Controller
Plotter	RS232C Serial Communication

4.2 작업 순서

본 연구에서 개발한 시스템은 Fig. 5와 같은 작업 흐름을 갖는다. 먼저, 클라이언트는 인터넷 웹 페이지를 통하여 서버에 접속하며, 인증 과정을 거쳐서 정당한 사용자인지 판명되면 접속이 허가되게 된다. 클라이언트는 웹 시스템의 초기화면에서 자신에게 주어진 아이디와 패스워드를 입력하면 서버측의 ASP(Active Server Page)는 MS-SQL 데이터베이스와 연동되어 사전에 입력된 사용자인지를 판별하고 입력된 사용자일 경우에만 다음 작업으로 계속 진행해 나가는 것을 허용하게 된다. 접속이 허가되어야만 클라이언트는 자신이 가지고 있는 STL 파일을 서버에 업로드 할 수 있으며 메뉴를 선택함으로써 STL 파일을 볼 수 있는 ActiveX Control을 다운로드 할 수 있고 자신이 업로드한 파일을 3D 형태로 Viewing 할 수 있다.

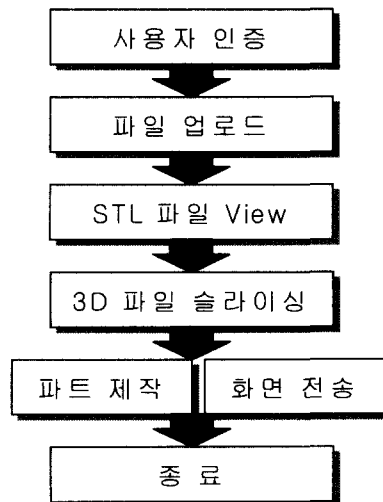


Fig. 5 System work flow

사용자 인증이 끝난 뒤에 클라이언트에게는 Fig. 6와 같은 화면이 제공된다. 여기서, "찾아보기" 버튼을 클릭하게 되면 사용자는 자신의 하드디스크 상에 존재하는 파일을 볼 수 있는 파일 선택 대화상자를 보게 되고, 여기서 클라이언트가 작업하고자 하는 STL 파일을 선택한 후에 "Upload" 버튼을 누르면, 자신의 하드디스크 상에 있는 파일이 서버측으로 전송되게 된다.

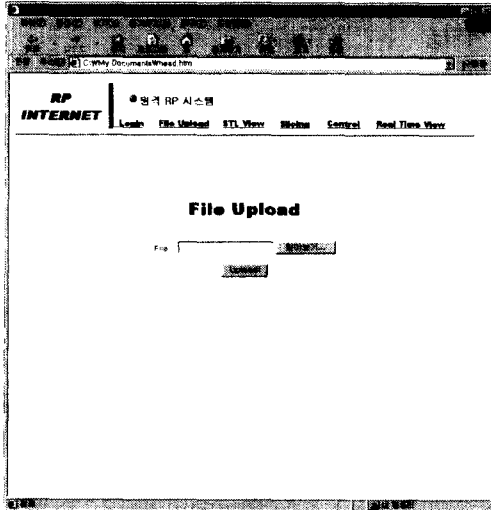


Fig. 6 File upload page

4.2.1 STL 파일 view

STL 파일을 웹 상에서 확인 할 수 있게 하기 위해서 MicroSoft 사의 ActiveX 기술을 이용하여 웹상에 임베디드된 STL File Viewer 소프트웨어를 개발하였다. Fig. 7. ActiveX는 COM 이라는 소프트웨어 부분간의 상호 작용을 위하여 소프트웨어가 제공하는 서비스 접근의 공통된 방법을 정의한 표준을 적은 용량과 인터넷 환경에 적합하도록 개선한 MS사의 기술 표준이다.

3차원 데이터 처리를 위하여 ActiveX 컨트롤 내부적으로 Silicon Graphics 사에서 개발한 3차원 그래픽 처리 라이브러리인 OpenGL을 이용하였다. 개발된 ActiveX 컨트롤은 STL 파일을 볼 수 있게 만들어졌으며, 마우스 오른쪽 버튼을 클릭하면 모델을 돌려가며 볼 수 있다.

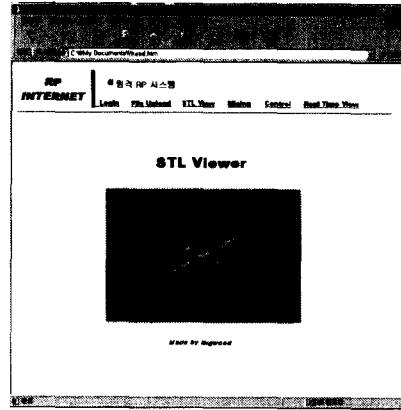


Fig. 7 STL file viewer developed by ActiveX

4.2.2 STL 파일 slicing

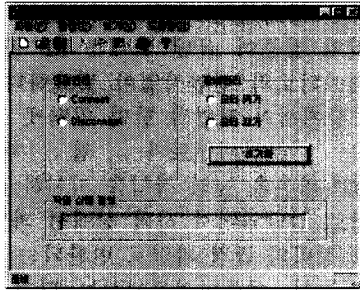
오프라인 상에서의 작업과 비슷하게 3차원 데이터 파일의 검증이 끝난 뒤에는 RP 프로세스에 적합한 데이터로의 변환작업이 필요하다. 하지만, 오프라인 상에서의 작업과 달리 인터넷 기반의 시스템에서는 클라이언트가 웹 페이지상의 "SLICING" 버튼을 눌러 작업을 지시하게 되면 명령은 서버로 전달되어져 서버 상에서 파일이 슬라이싱 되고 장비의 규격 파일로 변환되는 과정이 수행된다. 따라서, 클라이언트에서는 단지 슬라이싱 수행을 명령만 하고, 모든 작업은 서버측에서 이루어지게 된다. 슬라이싱된 STL 파일은 CLI 형식으로 저장되고, CLI 파일은 다시 장비에서 사용하는 HP-GL 파일 형식으로 재 변환되어 저장된다.

4.2.3 장비 제어

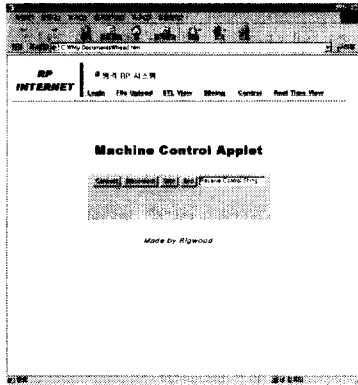
장비 제어를 위해 사용되는 소켓 인터페이스는 TCP/IP 프로토콜 기반의 네트워크 프로그래밍을 위해서 개발된 API이다. 먼저 서버 프로그램에서는 클라이언트로부터의 접속을 대기하기 위한 소켓을 생성하고 대기 상태로 들어가게 된다. 서버 프로그램에서 이와 같이 대기하고 있던 소켓에 클라이언트의 접속 요청이 감지되면, 새로운 소켓을 하나 생성하여 접속한 클라이언트와의 통신을 책임지게 된다. 그리고 대기하고 있던 소켓은 또 다른 클라이언트의 접속을 기다리게 되는 것이다.

Fig. 8에서 보는 것처럼 원격 장비 구동을 위해서 2개의 소프트웨어를 개발하였다. 서버측에는

Visual C++를 이용하여 윈도우 어플리케이션을 만들었으며(Fig. 8a), 클라이언트에서는 Java를 이용하여 인터넷상에서 이용할 수 있는 Applet을 제작하였다(Fig. 8b). 서버상에서는 TCP/IP를 이용하여 상대방의 장비 구동 요청을 받게 된다. 서버쪽에서는 장비를 시동한 뒤에 연결관리 항목에서 Connect를 선택하여 연결을 설정하고, 연결이 설정되면 윈도우 소켓이 열리고 클라이언트에서 신호가 들어올 때까지 대기한다. 클라이언트에 작업 화면을 전송한 뒤에 클라이언트는 연결을 설정하고 Start 버튼을 눌러 작업 시작을 서버에 알린다. 실시간으로 이 두 개의 소프트웨어는 자신의 작업 요청과 결과를 소켓 통신을 이용하여 주고 받을 수 있으며 클라이언트의 부당한 동작 요청과 장비의 상태를 서로 파악할 수 있게 한다.



(a) Server Part Software



(b) Client Part Software

Fig. 8 Machine control software

4.2.4 실시간 화면 전송

스트림 전송 서버로는 Real Player사의 Real Server나 MS사의 WMS를 많이 사용하나, 이들은 상용 소프트웨어로서 사용 시 사용료를 지불하여야 한다. 하지만, Java 언어를 사용할 경우, 여러 가지 개발물 들을 무료로 제공해주으로써 큰 비용을 치루지 않고 스트림 전송의 막대한 기능을 이용할 수 있다. 또, Java 언어가 가지고 있는 높은 이식성은 플랫폼을 구별하지 않는 인터넷의 특성에 부합되는 장점이다.

JMF는 기존의 자바 프로그래밍에서의 가장 취약했던 멀티미디어 제어관련 API 및 SDK를 보강한 것으로서, 옛날 윈도우의 Video for windows 프로그래밍 SDK와 마찬가지로, 비디오 및 오디오의 캡처, 저장, 전송, 스트리밍 기술등에 이용되는 기술이다.

STL 파일의 검증이 끝난 클라이언트는 STL 파일을 슬라이싱하고 장비에 적합한 파일 포맷으로 변환시킨다. 파일 변환 작업을 끝낸 후에는 작업 시작을 결정하여 실제 RP작업을 수행할 수 있으며 수행되는 작업은 카메라 서버를 통하여 웹 상에서 실시간으로 확인이 가능하다. Fig. 9에서와 같이 서버쪽에서는 JMFStudio를 이용하여 카메라에 입력되는 화상데이터를 스트리밍 서비스하기 위해 변환하고, 네트워크상으로 전송하게 된다. 클라이언트에서는 전송되어온 스트리밍 데이터를 Java API를 이용해 개발한 Viewer로 볼 수가 있다.

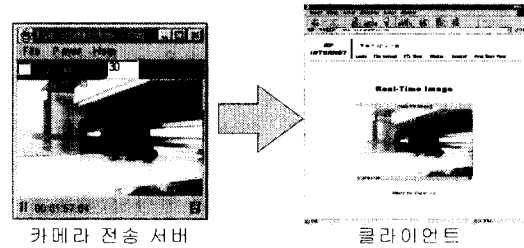


Fig. 9 Real transfer of picture

4.2.5 적용실험

개발된 시스템의 성능을 테스트하기 위하여 Fig. 10에 나타난 Crank shaft를 모델링 한 후, 이를 인터넷 원격 제어되는 RP장비를 사용하여 제작하였다. 먼저, Pro/Engineer를 사용하여 Crank shaft를 모델링한 후 (Fig. 10a), 모델링한 모델을 RP 작업을

하기 위한 파일 포맷인 STL 파일 포맷으로 저장한다.(Fig. 10b)

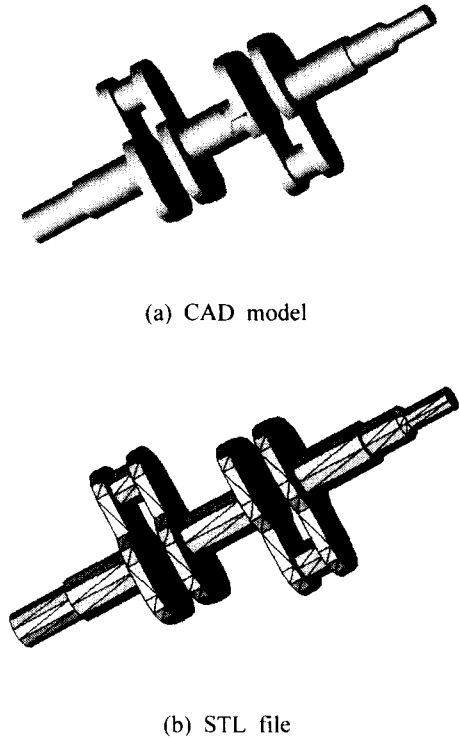


Fig. 10 CAD and STL file of crank shaft

최종 제작된 파트의 모습을 Fig. 11에서 볼 수 있다.



Fig. 11 Final part fabricated by the developed system

Fig. 11에 나타난 파트의 크기는 85*200*65 mm이며, 총 제작시간으로는 4시간 15분이 소요되었다. 이와 같은 결과는 개발된 인터넷 기반 원격제어 시스템을 통하여 원격지에서도 쾌속조형장비를 활용할 수 있음을 보여준다.

5. 결 론

본 연구에서는 인터넷 기반의 RP 장비를 구현하여, 이를 실제 파트 제작에 응용하였다. 한국과학기술연구원에서 개발된 RP장비를 웹 서버에 연결시킨 후 웹을 통해 STL파일을 전송하고, 전송된 파일의 오류 여부를 검증한 후 작업에 필요한 파일을 생성하고 작업을 시작할 수 있도록 시스템을 개발하였다. 또한 장착된 카메라를 통해 전 작업 과정을 원격지에서도 지켜 볼 수 있도록 하였다.

인터넷 환경이 점차 대용량 전송을 가능하게 함으로써 이러한 시도는 앞으로 긍정적인 평가를 받을 것으로 기대된다. 하지만, 인터넷이라는 개방된 환경 하에서 RP 장비를 노출시킬 경우 적의 가진 침입자에 의해 장비의 오동작을 유발시킬 수 있고, 장비에 대한 지식을 가지고 있지 못한 클라이언트에게 장비를 충분히 활용할 수 있게 하는 구체적인 시스템 마련이 더 중요한 문제로 대두 될 수 있다. 따라서, 다음과 같은 점들에 대한 보완이 이루어져야 현실적인 시스템으로서 충분한 활용이 이루어지리라 예상된다.

- ① 접속자의 인증에 의한 시스템 불법 침입 감시
- ② 작업 내용의 데이터 베이스화를 통한 작업 일정 관리
- ③ 작업 시 발생할 에러에 대한 사항을 시스템에 반영
- ④ 클라이언트가 일으킬 수 있는 불필요한 장비의 동작 명령등 여러 가지 예외 사항에 대한 처리
- ⑤ 정밀도의 향상, 조립품의 제작등 비전문적인 클라이언트들의 다양한 요구사항을 자동으로 처리할 수 있는 기능 마련

여러 종류의 쾌속조형장비를 인터넷을 통해 활용할 수 있을 경우 필요한 제품 사항에 맞추어 최적의 장비를 사용자에게 자동으로 선택해 주고 소요되는 시간 및 비용에 대한 자동 견적을 줄 수 있는 시스템 기능도 요구된다.

참고문헌

1. 공상훈, "인터넷을 통한 생산설비의 원격제어," FA저널, pp. 90-96, 2001.2월호
2. <http://www.sena.com>
3. 최태림, 송용익, 강신일, "인터넷 기반의 원격제어를 이용한 RP시스템 개발," 2001년 한국정밀공학회 춘계학술대회, pp. 24-27, 2001. 5.18.
4. M. Bailey, "Tele-Manufacturing Rapid Prototyping on the Internet," IEEE Computer Graphics and Applications Journal, pp. 20-26, November 1995.
5. Ren C. Luo, Wei Zen Lee, Jyh Hwa Chou, and Hou Tin Leong, "Tele-Control of Rapid Prototyping Machine Via Internet for Automated Tele-Manufacturing," Proceedings of the 1999 IEEE International Conference on Robotics & Automation, pp. 2203-2208, 1999.
6. 조인행, "판재적층방식 쾌속조형기를 위한 후처리 최소화 공정 및 CAD 시스템의 개발," 서울대학교 대학원 기계설계학과 박사학위논문, 1999.2.
7. <http://www.cyberrrp.com>