

# 마이크로 가공을 위한 웹 기반 설계 가공 시스템

안성훈<sup>†</sup> · 김형중<sup>\*</sup>

## Web-based Design and Manufacturing System for Micro Fabrication

Sung-Hoon Ahn, Hyung-Jung Kim

**Key Words :** Design for Manufacturing(생산 고려 설계), Micro Fabrication(마이크로 가공), Web Service(웹 서비스)

### Abstract

In this paper a web-based micro fabrication system is discussed. A commercial CAD and a web browser were used as its user interfaces. In these user interfaces the concepts of Design for Manufacturing (DFM) was implemented providing the fabrication knowledge of micro machining to the designers. Simple databases were constructed to store the fabrication knowledge of materials, tools, and micro machining know-how. The part geometry was uploaded to the web server of this system as an STL (Stereo Lithography) format with process parameters for 3-axis micro milling. A Slice-based process planner automatically provides NC codes for controlling micro stages. A couple of micro parts were fabricated using the system with micro endmills. This design and manufacturing system enables network users to obtain micro-scale prototypes in a rapid manner.

### 1. 서 론

마이크로 가공은 제품의 소형화, 고급기술의 집적화 등과 같은 제조업계의 변화와 마이크로와 나노를 대상으로 하는 미세 분야에 대한 관심 및 연구의 증가로 인해 최근 그 중요성이 증가해가는 분야이다. 현재 대부분의 마이크로 가공은 LIGA, EDM(ElectroDischarge Machining) 등과 같은 대상 재료가 한정적인 가공 방법을 사용한다. 이에 반해 기계식 마이크로 가공의 경우, 일반 기계식 가공과 동일하게, 절삭 가능한 대부분의 재료가 적용될 수 있다. 또한 관련 분야에 대한 연구가 초기 단계에 있어 발전 가능성이 높으며, 향후 다양한 분야와의 접목을 통한 활용이 가능하다.

반도체 칩의 가공이 MOSIS[1]등과 같은 주문형 서비스로 자동화 될 수 있는 반면, 기계식 일반 가공은 3차원 대상 형상의 복잡성으로 인해 자동화된 가공 서비스를 제공하는 것이 어렵다[2]. 하지만, 기계식 마이크

로 가공의 경우 대상 형상이 각주형태(prismatic)의 마이크로 채널이나 기어, 랩온어칩(lab on a chip) 등과 같은 대체로 단순한 2.5 차원 형상이기 때문에 자동화된 가공 서비스를 구현하기에 용이하다.

설계 및 가공 시스템이 네트워크화된 기계가공을 위해 인터넷 및 웹 기술을 응용한 연구는 1990년대 후반부터 시작되었다[3-9]. 대표적인 웹 기반 설계 및 가공 시스템인 Smartlite[10]에서는 HTML(HyperText Markup Language)과 Java Servlet을 이용하여 인터페이스를 구성하여 다양한 사용환경에서 접근이 가능하도록 하였다. 또한 클라이언트와 서버 통신을 위해 분산 객체 기술인 CORBA(Common Object Request Broker Architecture)를 이용함으로써 운영체제 및 사용자 인터페이스에 대해 독립적인 분산 환경을 구성하였다. 그러나 웹 브라우저를 설계 인터페이스로 사용하는 웹 기반의 작업 환경은 사용자들에게 우수한 접근성(accessibility)을 제공하는 반면, 제한된 기능 제공과 사용자에 대한 재교육이 필요하다는 단점이 있다.

본 논문은 마이크로 가공을 위한 웹 기반 통합설계 및 가공 시스템(이하 SmartFab)에 대해서 기술한다. 마이크로 가공을 위한 주요 생산 고려 설계 정보를 데이터베이스로부터 설계 환경에 제공하고 최종 결과물의 가공을 위한 서비스를 웹 상의 분산환경에서 제공함으

<sup>†</sup> 서울대학교 기계항공공학부

E-mail : ahnsh@snu.ac.kr

TEL : (02)880-7110 FAX : (02)883-0179

<sup>\*</sup> 서울대학교 기계항공공학부 대학원

로써 설계부터 가공까지의 비용과 시간을 절감하는 것이 본 연구의 목표이다.

## 2. 생산 고려 설계와 웹 서비스

### 2.1 생산 고려 설계

제조업에서 설계의 중요성을 부각시킨 생산 고려 설계(DFM)는 설계와 가공 시스템의 통합을 위한 중요한 개념이다. 이 개념을 적용함으로써 기존의 두 제조 시스템의 단절로 인한 문제들을 해결하고, 나아가 시스템 통합을 통한 높은 가공성, 효과적인 설계 피드백 등과 같은 시너지 효과를 얻을 수 있다.

마이크로 가공에서는 기존의 일반 가공과는 달리 정확도와 정밀도가 크게 중요하게 여겨진다[2]. 이러한 요소들은 공구 및 재료의 런-아웃 특성, 가공시 진동과 절삭력, 스테이지 에러 등의 가공 요소들에 영향을 받기 때문에 가공 시스템에 대한 정보가 기반이 된 설계가 이루어져야 한다. SmartFab 에서는 이러한 문제점들의 해결을 위한 통합 시스템 구성을 위해 마이크로 가공 환경의 정보를 설계 과정에서 제공하여 사전에 가공성이 높은 형상을 설계할 수 있도록 지원한다.

### 2.2 웹 서비스를 통한 분산 컴퓨팅

최근 네트워크 기술의 급속한 발달과 더불어 설계 및 가공 환경에서 다양한 방법으로 정보 공유가 가능하게 되었다. 특히 분산객체 기술의 도입으로 클라이언트/서버 방식을 통해 네트워크 상에 존재하는 다양한 어플리케이션들이 공유되어, 시스템이 다양한 플랫폼 상에서 유연하게 유지될 수 있게 되었다[5]. 이러한 분산객체 기술로 저수준의 통신 인터페이스를 별도로 구성할 필요가 없게 되었으며 객체지향형 프로그래밍이 가능하게 되었다.

웹 서비스(web service)는 기존의 분산된 서비스들을 HTTP(HyperText Transfer Protocol)와 XML(eXtensible Markup Language)을 이용하여 유연하게 묶을 수 있는 분산 컴퓨팅 기술이다. 통신 프로토콜로 HTTP 를 사용하고 데이터 기술 방법으로 현재 범용 데이터 표현 언어의 표준으로 자리잡고 있는 XML 을 사용함으로써 개발 시스템과 언어의 독립성을 보장하고 기존의 웹 환경에서 손쉽게 구현될 수 있다[11].

웹 서비스 기술 기반의 클라이언트와 서버 통신 구성은 Fig. 1 과 같다. 클라이언트에서 필요한 정보를 서버 측에 요청하면 서버의 웹 서비스의 해당 모듈에서는 이를 처리하고 그 결과를 XML 기반의 데이터로 변환한다. 그리고 SOAP(Simple Object Access Protocol)을 이용해 웹 상에서 클라이언트 측에 전달하게 된다.

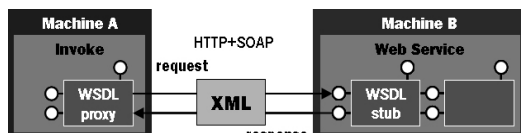


Fig. 1 Communication between server and client

### 2.3 분산 환경 기반 설계지원 유틸리티

SmartFab 에서는 분산 환경 기반의 설계 지원을 통해 DFM 개념을 직접 설계 환경에 적용하고자 하였다. 분산 환경에서 작업함으로써 다음과 같은 장점을 얻을 수 있다.

1) 설계 환경 유지: CAD(Computer-Aided Design) 소프트웨어에서 제공되는 API(Application Program Interface)를 이용하여 사용자 인터페이스를 구성, 탑재함으로써 재교육의 필요성을 최소화하고 작업 효율을 증가시킬 수 있다.

2) Thin-Client/Fat-Server: 대부분의 처리 모듈을 분산 환경의 서버에 탑재하고 이를 웹 서비스를 통해 이용함으로써 클라이언트 작업을 최소화하였다.

3) 유지 및 보수 용이: 클라이언트와 서버를 물리적으로 분리시킴으로써, 통신 규격을 준수하는 수준에서 각 내부 모듈의 관리가 독립적으로 이루어 질 수 있다.

### 2.4 웹 기반 가공 지원 서비스

마이크로 가공 장비는 일반 회사나 연구실에서 직접 구입하여 운영하기에는 비싸고 활용의 범위가 좁다. 따라서 장비를 보유하지 않은 설계자가 가공을 원할 경우, 원격지의 용역서비스를 이용하여야 한다. 이러한 과정은 앞서 언급했던 기존 제조업에서의 문제점을 그대로 내포하고 있는 경우로, 본 SmartFab 에서는 앞서 소개한 설계지원 유틸리티와 함께 이를 통해 설계된 최종 형상의 가공을 위한 웹 기반 가공 지원 서비스를 제공한다.

일반적으로 가공 공정의 설계는 수 시간에서 수일이 걸리는 복잡한 문제이며, 또한 다양한 형상에 대해서 정형화된 공정 계획을 적용하는 것이 불가능한 것이 사실이다[2]. 이에 SmartFab 에서는 최종 형상 데이터와 함께 설계 과정에서 결정된 생산 요소들의 정보, 그리고 공정 변수들을 바탕으로 가공 공정을 생성한다.

공정 변수 선택에 있어서는 초보자와 숙련자를 구분하여 제작하였으며, 각 공정 변수와 사용자들에 대한 변수 선택의 차이를 Table 1 에 나타내었다.

본 서비스는 최종 형상 데이터와 공정 변수 정보를 웹 페이지 상에서 직접 입력 받고, 가공 데이터를 생성하여 전달하도록 함으로써 다양한 작업 환경에서 사용이 가능하도록 하였다.

Table 1 Comparison of process parameters for novice and expert users

Parameter	Novice	Expert
Tool Diameter	√	√
Material	√	√
Path Interval	-	√
Feed Rate	-	√
Spindle Speed	-	√

√: Controllable parameter

### 3. Slice CAM

대상 형상의 특징을 잘 반영하면서 보다 빠르고 정확하게 가공 경로를 생성하는 것이 CAM 시스템의 중요한 목적이다. 특히 마이크로 가공에서는 정확도와 정밀도에 있어 그 중요성이 크게 부각되기 때문에 대상 형상에 합당한 가공 경로 선정이 필수적이다. 본 CAM 모듈에서는 이러한 마이크로 형상들이 대부분 2.5 차원 기반임에 주목하고, 슬라이스 데이터 기반의 가공 경로 방법을 구성하였다.

슬라이스 데이터는 주로 쾌속조형(rapid prototype)에서 사용되어 된다[12]. 쾌속조형은 대상 형상을 일정한 레이어의 단면 형상으로 분할하고 이를 특정 방향으로 적층함으로써 최종 가공물을 완성한다. 본 CAM 모듈에서는 이와 같은 슬라이스 방법을 역으로 적용하여 가공을 수행한다. 주로 2.5 차원 기반의 마이크로 형상은 일정 깊이를 갖는 단면 형상으로 정의가 가능하므로 이와 같은 슬라이스 데이터를 통해 보다 빠르고 정확한 가공 경로 생성이 가능하다.

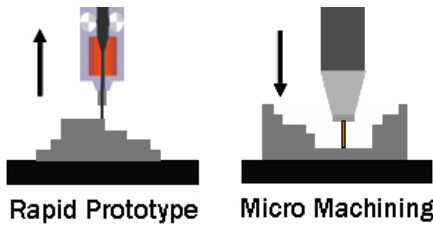


Fig. 2 Comparison of RP and micro machining

슬라이스 데이터를 기반으로 공구 경로를 생성하는 방법은 다음과 같다.

- 1) STL(Stereo Lithography) 포맷을 입력데이터로 하여 다면체 모델(polyhedral model)을 생성한다.
- 2) 슬라이서를 통해 모델을 레이어(layer) 별 단면 형상으로 분할하여 저장한다.
- 3) 저장된 단면 형상을 설계 시 오프셋(offset)하여 오프셋 모델을 저장한다.
- 4) 오프셋 모델과 드라이브 평면 간의 교선을 연결하고 이를 드라이브 평면 별로 저장한다.

위와 같은 방법을 통해 스캐닝 가공 경로와 펜슬 가공 경로를 얻을 수 있으며 펜슬 가공 경로를 통해 높은 가공 정밀도를 얻을 수 있다[2].

#### 3.1 STL 포맷

본 CAM 모듈에서는 CAD 데이터 파일로 STL 포맷을 사용한다. STL 포맷은 쾌속조형가공에서 주로 사용되는 입력데이터로써 삼각망(triangular-net)으로 형상을 근사함으로써 표현이 단순하고 교환과 다면체 모델로의 표현이 용이하다[13].

#### 3.2 슬라이스 데이터 생성

다면체 모델에 대해 일정 간격의 레이어를 형성하고 레이어와의 교선을 이용하여 단면 형상을 저장한다. 이

때 레이어 간의 간격은 설계 시 정의된 공구와 재료의 정보를 바탕으로 가공 데이터베이스에서 선정된 값을 사용한다.

#### 3.3 오프셋 모델과 드라이브 평면들 간의 교선

각 레이어 별 단면 형상을 공구 DB로부터 얻어진 값을 기반으로 오프셋 모델을 생성한다. 저장된 레이어 별 오프셋 모델과 드라이브 평면을 서로 교차 시킴으로써 이들 간의 교선을 구한다. 이는 x,y 평면 상의 1 차 직선들의 교차로 정확하게 구해될 수 있으며, 공구 이동 경로와 연결함으로써 스캐닝 가공 경로(scanning toolpath)가 구해진다. 스캐닝 가공 후 보다 높은 정밀도를 얻기 위해 수행할 펜슬 가공 경로(pencil-cut toolpath)는 앞서 얻어진 오프셋 모델의 각 레이어별 단면 형상을 통해 구할 수 있다. Fig. 3 은 슬라이스 데이터, 오프셋 데이터, 스캐닝 과정을 잘 보여주고 있다. 생성된 최종 가공 경로는 넓은 범위를 가공하는 스캐닝 가공 후 정밀도 향상을 위한 펜슬 가공 순으로 구성된다.

#### 3.4 마이크로 채널의 공구 경로 생성 예

본 CAM 모듈을 이용하여 2.5 차원 기반의 마이크로 채널 형상 가공을 위한 스캐닝 가공 경로와 펜슬 가공 경로를 생성하였다. Fig. 4는 생성된 두 가공 경로를 보여주고 있다.

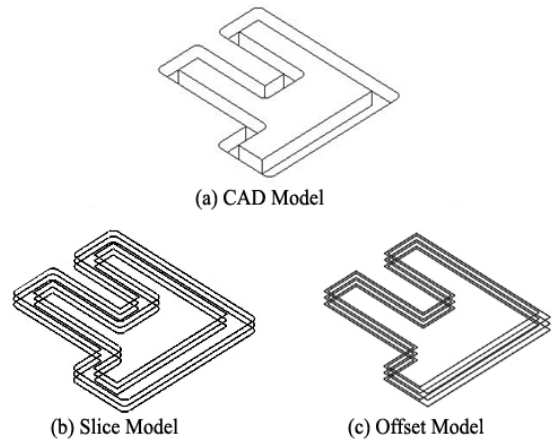


Fig. 3 Slice model and offset model

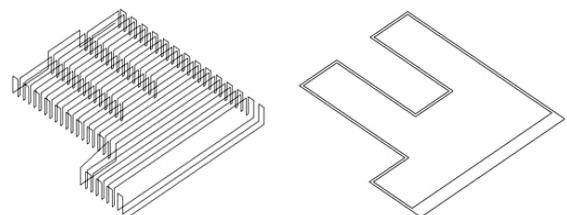


Fig. 4 Scanning toolpath and Pencil-cut toolpath

## 4. SmartFab 의 구성

SmartFab 의 가장 큰 특징은 설계 상에서 생산 고려 설계 정보를 적용함으로써 설계 결과의 가공성을 높이는 것이다. 이를 위해 SmartFab 은 분산 객체 기술인 웹 서비스를 사용하며, 전체적으로 3-tier 구조로 이루어져 있다. CAD 소프트웨어와 이에 탑재되는 SmartFab 클라이언트 유틸리티가 클라이언트(1<sup>st</sup> tier) 인터페이스로 사용된다. SolidWorks™를 사용함으로써 기존의 설계 환경과 동일한 작업 환경을 제공하며, SmartFab 클라이언트는 SolidWorks™의 API 함수를 통해 구현된 검증자와 서버 측의 웹 서비스 모듈을 통해 전달 받은 정보를 이용하여 설계 프로세스를 지원한다. SmartFab Server(2<sup>nd</sup> tier)는 클라이언트와 서버에 탑재된 어플리케이션(3<sup>rd</sup> tier)과의 연동을 담당한다. 어플리케이션은 크게 데이터베이스와 클라이언트에 생산 고려 설계 정보를 전달하는 도움자 모듈로 구성된다.

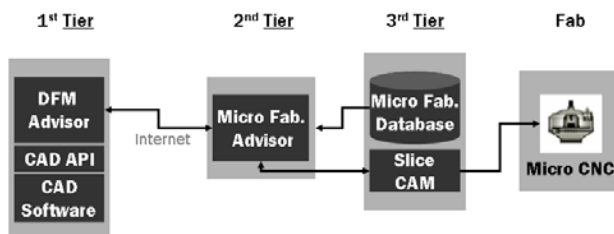


Fig. 5 Communication architecture of SmartFab

### 4.1 SmartFab 클라이언트/서버

설계 지원 프로세스가 클라이언트 측에서 독립적으로 수행될 경우 생산환경에서 일어나는 변화에 대한 신속한 변경이 불가능하다. 이와 같은 문제를 보다 효과적으로 해결하기 위해 SmartFab 은 클라이언트와 서버 모듈로 구성되며, 이 두 모듈은 웹 서비스 기술을 통해 분산환경에서 통신함으로써, 클라이언트 측 처리량을 최소화하고, 대부분의 작업을 서버 측에서 수행한 후 그 결과를 사용자 측에 전달하도록 하였다.

### 4.2 마이크로 가공 데이터베이스

앞서 기술했듯이 마이크로 가공의 경우 기존의 매크로 가공에 비해 생산환경에 따라 결과물에 큰 차이를 보이게 된다. 이에 SmartFab 에서는 이와 같은 가공 특성을 반영하기 위해 관련 정보를 수집하여 생산 고려 설계 데이터베이스를 구축하였다.

SmartFab 의 생산 고려 설계 데이터베이스는 공구 정보, 재료 정보, 마이크로 가공 정보, 이렇게 세가지 정보로 구성된다. 공구정보에는 공구의 형상, 재질, 직경, 컷의 깊이 등의 주요 공구 변수가 입력되며, 재료 정보에는 재료의 종류, 단위 재료의 크기, 런-아웃 에러율 등의 재료 특성이 입력된다. 마이크로 가공 정보에서는 설계 시 고려되어야 할 재료와 공구 간의 상관관계가 정의된다.

### 4.3 스케치/피쳐 검증자

서버 측에서 전달 받은 정보를 사용자의 설계 환경에 반영하기 위해 스케치와 피쳐 검증자를 제작하였다. 검증자는 클라이언트 모듈에 내장되며, 사용자에게 설계되는 스케치와 피쳐의 형상 조건을 서버 측에서 전달 받은 생산 고려 설계 정보를 바탕으로 그 가공성을 검증한다. 가공성 검증을 위해 스케치에 대해서는 공구 반경 및 공구 진행의 유효 여부 등을 검증하며, 피쳐에 대해서는 가공 가능 깊이(depth of cut)와 베이스 재료에 대한 관통 여부 등을 검증한다. 검증과정에서 설계 형상으로 인한 가공성 검증에 문제가 발생할 경우 해당 오류를 서버 측에 전달하고 그에 따른 새로운 정보를 전달받아 이를 설계자에게 전달한다. 가공성에 대한 검증이 끝나면 설계 형상에 대해 공구 반경, 재료 런-아웃 특성 등을 반영하여 보여준다. 이를 통해 설계자는 최종 가공물에 대한 정확한 형상을 확인하면서 설계 과정을 진행할 수 있다.

### 4.4 DFM 도움자

SmartFab 에는 데이터베이스로부터 생산 고려 설계 정보를 효과적으로 검색하기 위해 웹 서비스 기반의 도움자 모듈을 제공한다. 클라이언트로부터 생산환경에 대한 요청이 전해지면 생산 고려 설계 도움자 모듈은 마이크로 가공 정보에서 해당 조건에 해당하는 정보를 검색하고 이에 대한 세부정보를 다른 정보 테이블들로부터 수집한다. 이렇게 수집된 데이터에서 요청에 해당하는 정보를 추출 및 가공하여 클라이언트 측으로 전달한다. 재료와 공구 도움자는 각각 재료와 공구 정보에 대해 관리하는 세부 도움자로서 생산 고려 설계 도움자에 의해 관리되며 생산 고려 설계 도움자의 요청에 따른 세부 정보를 제공한다.

### 4.5 공정 계획 서비스

앞서 소개한 SmartFab 클라이언트를 통해 얻어진 최종설계 데이터와 설계 과정에서 결정된 공정 변수를 기반으로 공정 계획 서비스(process planning service)에서는 마이크로 가공을 위한 공구 경로를 생성한다.

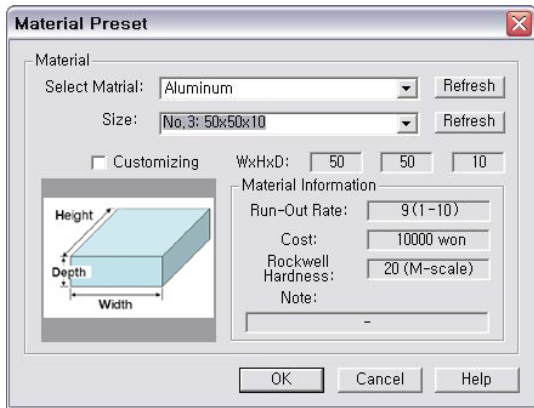
본 공구 경로 서비스는 설계자의 접속이 용이하도록 웹 브라우저를 통해 접속이 가능한 ASP(Active Server Page) 기반 페이지로 제공되며, STL 포맷의 형상 모델과 설계 과정에서 정의된 공정 변수를 입력 데이터로 사용한다. 서버에 업로드 된 형상 모델과 공정 변수를 기반으로 Slice CAM 모듈은 공구 경로를 생성, 웹 상에서 사용자에게 직접 제공한다.

## 5. 구현사례

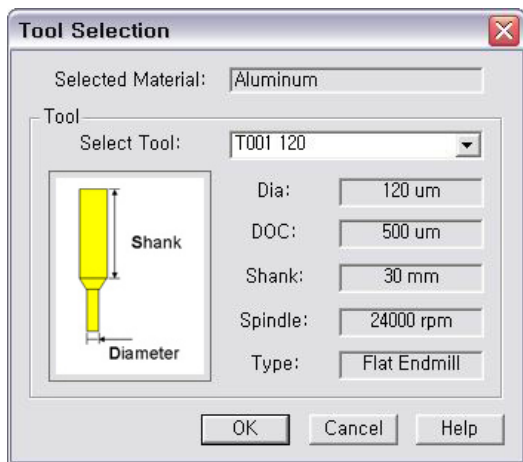
이 장에서는 본 논문에서 제안한 SmartFab 의 실제 구현 사례를 서술하고자 한다. 전체 시스템은 제조업에서의 기존의 설계 및 가공 과정과 유사하게 진행된다.

설계자는 SmartFab 클라이언트 모듈을 SolidWorks™ 상에서 실행하고 추가된 SmartFab 용 메뉴 아이템을 통해 설계 초기화를 수행하는 것으로 전체 시스템이 시작된다. 설계 초기화 과정에서는 가공을 위한 실제 작업 재료의 선택과 이를 가공하기 위한 공구의 선택으로 이루어지며, Fig. 6에서는 이러한 두 가지 초기화 과정을 보여주고 있다. 이때 선택되는 재료 및 공구의 정보는 실제 가공 서비스가 제공되는 곳의 서버에서 웹 서비스를 통해 제공받는다. 웹 서비스를 기반으로 한 분산 환경에서 정보를 실시간으로 제공함으로써, 설계와 가공 시스템 간의 단절 문제를 해소하고, 보다 가공성이 높은 설계가 이루어지도록 지원할 수 있다.

선택된 재료와 공구 정보의 설정 후, 설계된 형상을 재료 상에 모델링을 하는 것과 동시에 형상 검증 기능을 형상의 가공성을 평가한다. Fig. 6에서는 가공성 평가가 끝나고 검증자 모듈에서 재료와 공구의 가공 조건을 반영한 설계 변형을 보여준다. 이를 통해 설계자는 CAD 상의 설계 형상이 가공 후 실제로 어떻게 나타날지 설계과정에서 확인할 수 있다.



(a) Material Selection



(b) Tool Selection

Fig. 6 Material and Tool selection dialogs

모델링을 마친 최종 형상 데이터는 STL 포맷으로 저장되며, 이때 가공용 공구 경로 생성을 위한 공정 변수

수들을 함께 설정한다. 공정변수는 설계자의 작업 능력도에 따라 초보자와 전문가에 따라 다르게 제공된다. Fig. 7은 공정변수를 설정하는 것을 보여주며, 초보자의 경우 기본 설정만으로 공정변수 설정을 마칠 수 있으며, Expert Mode 를 선택할 경우 각각의 공정변수를 선택할 수 있다.

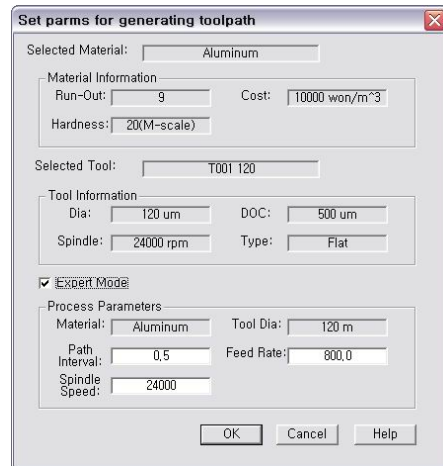
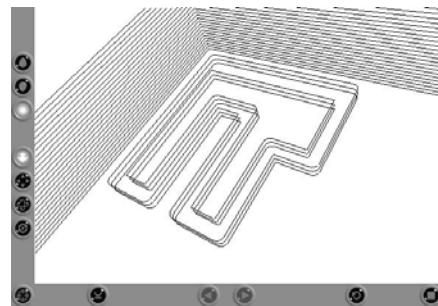
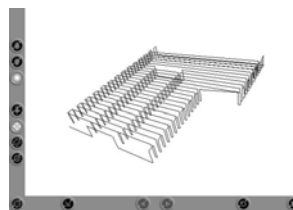


Fig. 7 Process parameters setting dialog

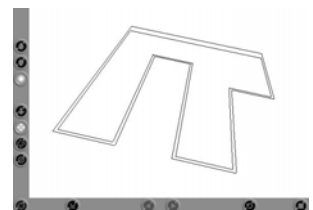
웹 기반 가공 지원 서비스는 STL 형상 데이터와 공정 변수 파일을 입력 데이터로 하고, SmartFab 서버에 탑재된 Slice CAM 모듈을 이용하여 공구 경로를 생성한다. 또한 사용자의 설계 형상 및 공정 변수 변경과 같은 의사결정을 지원하기 위하여, 웹 상에서 슬라이스 데이터와 공구 경로 데이터를 VRML(Virtual Reality Modeling Language) 기반의 3 차원 형상으로 제공한다. Fig. 8은 의사결정지원을 위해 제공되는 VRML 데이터를 보여주고 있다.



(a) Slice Model



(b) Scanning toolpath



(c) Pencil-cut toolpath

Fig. 8 VRML of Slice model and toolpath



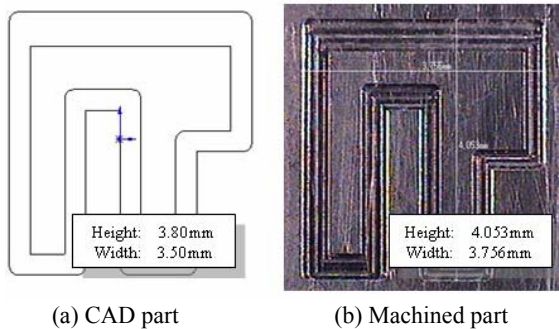


Fig. 9 Comparison of view of micro channels

Table 2 Comparison of errors between CAD part and machined part (unit:  $\mu\text{m}$ )

	CAD part	Machined part	Error(%)
Width	3500	3756	7.3
Height	3800	4053	6.7
Channel width(X)	300	307.2	2.4
Channel width(Y)	300	309.5	3.2
Corner radius	127	126.7	0.28

이후 가공작업은 서비스 제공자 측에 의해 수행되며, 가공 담당자는 서버에 업로드 된 공정 변수에 정의된 재료와 공구 정보 그리고 서비스를 통해 생성된 공구경로를 기반으로 가공을 한다. Fig. 9 는 SmartFab 을 통하여 생성된 공구 경로를 기반으로 실제 가공을 한 최종 결과물과 최종 설계 형상을 비교한 것이다. Table 2 는 SmartFab 의 설계 지원 서비스를 통해 설계된 형상과의 오차 정도를 보여주고 있다.

## 6. 결론

본 연구에서는 웹 기반 마이크로 가공을 지원하는 SmartFab 을 구축하였으며, 이는 크게 설계 지원 서비스와 가공 지원 서비스로 이루어진다. 웹 서비스 기반의 설계 지원 시스템은 기존의 CAD 소프트웨어를 사용하면서 효과적인 DFM 정보를 제공함으로써 설계 형상의 가공성 및 작업 효율을 극대화 시켰으며, 최종 형상의 예측이 가능하도록 하였다. 2.5 차원 기반의 마이크로 형상을 효과적으로 가공하기 위한 슬라이스 데이터 기반의 CAM 을 제안하였으며, 실제 가공을 통해 이의 정확성을 검증해 보았다. 현재 서비스 사이트를 시범 운영 중이며 마이크로 가공을 위한 DFM 정보를 보다 확충하여 제공할 계획이다.

## 참고문헌

(1) University of Southern California's Information Sciences Institute, The MOSIS VLSI Fabrication

Service, <http://www.isi.edu/mosis/>.

- (2) Kim, D. S., Jun, C. S., Chu, W. S., Song, C. K. and Ahn, S. H., 2004, "Web-Based Micro Machining Service," *International Conference on Internet and Multimedia Systems and Applications (IMSA 2004)*.
- (3) Pahng, F., Senin, N. and Wallace, D., 1998, "Distributed Modeling and Evaluation of Product Design Problems," *Computer-Aided Design*, Vol. 30, No. 6, pp.411~423.
- (4) Dong, A. and Agogino, A.M., 1998, "Managing Design Information in Enterprise-wide CAD Using 'Smart Drawings'," *Computer-Aided Design*, Vol. 30, No. 6, pp.425~435.
- (5) Lee, C. G., Lee, S. H. and Pahng, G. D., 2002, "A Study on the Web-based Integrated Environment for Design Systems," *Society of CAD/CAM Engineering*, Vol. 7, No. 2, pp.110~120.
- (6) Ahn, S. H., Sundararajan, V., Smith, C. E., Kannan, B., D'Souza, R., Sun, G., Kim, J., McMains, S., Smith, J., Mohole, A., Sequin, C.H. and Wright, P. K., 2001, "CyberCut : An Internet Based CAD/CAM System," *ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp.52~59.
- (7) Adamczyk, Z., Jonczyk, D. and Kociolek, K., 2003, "A new approach to a CAD/CAM System as a part of distributed environment: Intranet database," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 133, No. 1, pp.7~12.
- (8) Huang, G.Q. and Mak. K.L., 1999, "Design for manufacturing and assembly on the internet," *Computers in Industry*, Vol. 38, No. 1, pp.17~30.
- (9) Adamczyk, Z. and Kociolek, K., 2001, "CAD/CAM technological environment creation as an interactive application on the Web.," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 109, No. 3, pp.222~228.
- (10) Ahn, S. H., Bharadwaj, B., Khalid, H., Liou, S.Y. and Wright, P. K., 2002, "Web-based Design and Manufacturing systems for automobile components: architectures and usability studies," *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 15, No. 6, pp.555~563.
- (11) Lee, Kyong-Ha and Lee, Kyu-Chul, 2003, "The Vision and Standard Activities of Web Services," *Korea Information Science Society*, Vol. 19, No. 1, pp.80~87.
- (12) Jee, Hae-Seong and Lee, Seung-Won, 2003, "RP Preprocessor Based on Distributed Objects," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 20, No. 2, pp.120~128.
- (13) Lee, S. H., Kim, H. C., Hur, S. M. and Yang, D. Y., 2002, "STL file generation from measured point data by segmentation and Delaunay triangulation," *Computer-Aided Design*, Vol. 34, No. 10, pp.691~704.