

웹 서비스 기반 마이크로 가공 시스템

김형중*(서울대 대학원), 안성훈(서울대 기계항공공학부)

Web Service based Micro Fabrication System

H. J. Kim(School of Mechanical & Aerospace Engineering, Seoul National University),

S. H. Ahn(School of Mechanical & Aerospace Engineering, Seoul National University)

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. For the user interfaces, the concepts of Design for Manufacturing (DFM) were 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.

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

1. 서론

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 MOSIS¹ 등과 같은 주문형 서비스로 자동화 될 수 있는 반면, 기계식 일반 가공은 3 차원 대상 형상의 복잡성으로 인해 자동화된 가공 서비스를 제공하는 것이 어렵다². 하지만, 기계식 마이크로 가공의 경우 대상 형상이 각주형태(prismatic)의 마이크로 채널이나 기어, 랩온어칩(lab on a chip) 등과 같은 대체로 단순한 2.5 차원 형

상이기 때문에 자동화된 가공 서비스를 구현하기에 용이하다.

설계 및 가공 시스템이 네트워크화된 기계가공을 위해 인터넷 및 웹 기술을 응용한 연구는 1990년대 후반부터 시작되었다³⁻⁹. 대표적인 웹 기반 설계 및 가공 시스템인 Smartlite¹⁰에서는 HTML(HyperText Markup Language)과 Java Servlet을 이용하여 인터페이스를 구성하여 다양한 사용환경에서 접근이 가능하도록 하였다. 또한 클라이언트와 서버 간의 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 통합 설계 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 분산 환경에서 제공함으로써 설계부터 가공까지의 비용과 시간을 절감하는 것이 본 연구의 목표이다.

2. 생산 고려 설계와 웹 서비스

2.1 생산 고려 설계

제조에서 설계의 중요성을 부각시킨 생산 고려 설계(Design for Manufacturing)는 설계와 가공 시스템의 통합을 위한 중요한 개념이다. 이 개념을 적용함으로써 설계와 제조의 단절로 인한 문제들을 해결하고, 나아가 시스템 통합을 통한 높은 가공성, 효과적인 설계 피드백 등과 같은 시너지(synergy) 효과를 얻을 수 있다.

마이크로 가공에서는 기존의 일반 가공과는 달리 정확도와 정밀도가 크게 중요하게 여겨진다². 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 앞서 언급한 것과 같은 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 되었다⁶.

웹 서비스(Web Service)는 기존의 분산된 서비스들을 HTTP 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 있다¹¹.

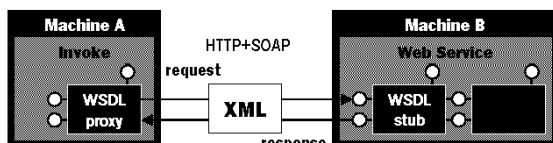


Fig. 1 Communication between server and client

3. Slice CAM

대상 형상의 특징을 잘 반영하면서 보다 빠르고 정확한 가공 경로를 생성하는 것이 CAM(Computer-Aided Manufacturing) 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 된다¹². 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.

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 단면형상으로 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 있다².

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 분산객체 기술인 웹 서비스를 사용하며, 전체적으로 3-tier 구조로 이루어져 있다.

CAD (Computer-Aided Design) 소프트웨어와 이에 탑재되는 SmartFab 클라이언트 유틸리티가 클라이언트(1st tier) 인터페이스로 사용된다. SolidWorks™를 사용함으로써 기존의 설계환경과 동일한 작업 환경을 제공하며, SmartFab 클라이언트는 SolidWorks™의 API (Application Programming Interface) 함수를 통해 구현된 검증자와 서버 측의 웹 서비스 모듈을 통해

전달 받은 정보를 이용하여 설계 프로세스를 지원한다. SmartFab Server(2nd tier)는 클라이언트와 서버에 탑재된 어플리케이션(3rd tier)과의 연동을 담당한다. 어플리케이션은 크게 데이터베이스와 클라이언트에 생산 고려 설계 정보를 전달하는 도움자 모듈로 구성된다.

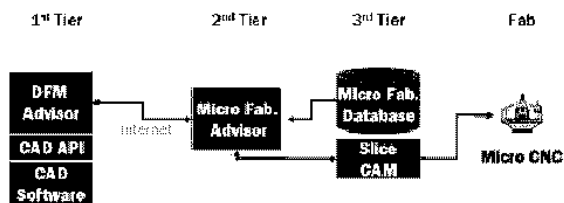


Fig. 2 Communicaton architecture of SmartFab

5. 구현사례

이 장에서는 본 논문에서 제안한 SmartFab 의 실제 구현 사례를 서술하고자 한다. 전체 시스템은 제조에서의 설계 및 가공 과정과 유사하게 진행된다. 설계자는 클라이언트 모듈을 SolidWorks™ 상에서 실행하고 추가된 SmartFab 용 아이템을 통해 설계 초기화를 수행하는 것으로, 전체 시스템이 시작된다. 설계 초기화 과정에서는 가공을 위한 작업 재료와 가공에 사용될 공구가 선택되며, Fig. 3에서는 이러한 두 가지 초기화 과정을 보여주고 있다.

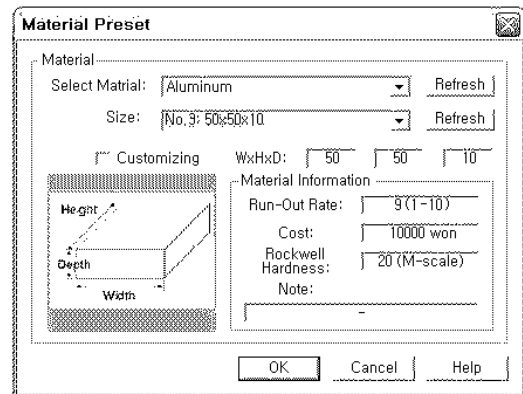
이때 선택되는 재료 및 공구의 정보는 가공 서비스가 제공되는 서버에서 웹 서비스를 통해 제공된다. 웹 서비스를 기반으로 한 분산 환경에서 정보를 실시간으로 제공함으로써, 설계와 가공 시스템 간의 단절 문제를 해소하고, 보다 가공성이 높은 설계가 이루어지도록 지원할 수 있다.

선택된 재료와 공구 정보의 설정 후, 설계된 형상을 모델링을 함과 동시에 형상 검증 기능을 형상의 가공성을 평가한다.

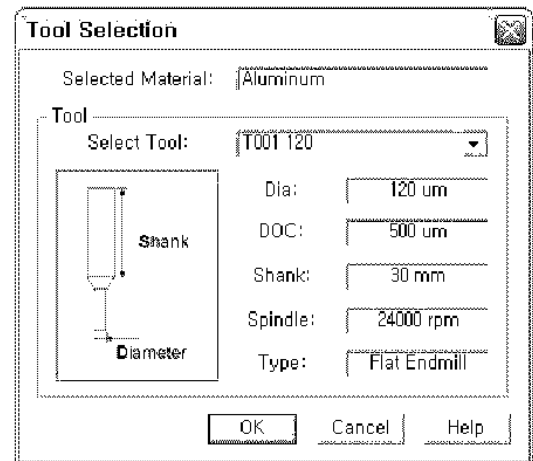
모델링을 마친 최종 형상 데이터는 STL 포맷으로 저장되며, 이때 가공용 공구 경로 생성을 위한 공정 변수들을 함께 설정한다. 공정변수는 설계자의 작업 능력도에 따라 Table 1 과 같이 부여된다.

Table 1 Comparison of process parameters for novice and expert users

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



(a) Material Selection

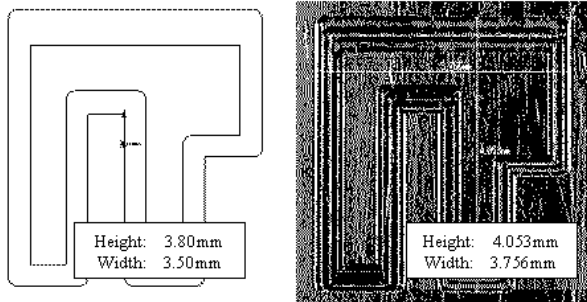


(b) Tool Selection

Fig. 3 User interface for material and tool selection

웹 기반 가공 지원 서비스는 STL 형상 데이터와 공정 변수 파일을 입력 데이터로 하고, SmartFab 서버에 탑재된 Slice CAM 모듈을 이용하여 공구 경로를 생성한다. 본 서비스는 ASP(Active Server Page) 형태로 제공되기 때문에 다양한 작업환경에서 접근이 용이하다. 또한 사용자의 설계 형상 및 공정 변수 변경과 같은 의사결정을 지원하기 위하여, 웹상에서 STL 기반 슬라이스 데이터와 가공 경로를 VRML(Virtual Reality Modeling Language) 기반의 3차원 형상으로 제공한다.

이후 가공작업은 서비스 제공자 측에 의해 수행되며, 가공 담당자는 서버에 업로드 된 공정 변수에 정의된 재료와 공구 정보 그리고 가공 지원 서비스를 통해 생성된 공구경로를 기반으로 가공을 한다. Fig. 4는 SmartFab 을 통하여 생성된 공구 경로를 기반으로 가공된 형상(machined part)과 설계 형상(CAD part)을 비교한 것이다. Table 2 에서는 SmartFab 의 설계 지원 서비스를 통해 설계된 형상과의 가공 결과 간의 오차 정도를 보여주고 있다.



(a) CAD part (b) Machined part

Fig. 4 Comparison of micro channels

Table 2 Comparison of errors between CAD part and machined part (unit: μm)

	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

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 극대화시켰으며, 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

- University of Southern California's Information Sciences Institute, The MOSIS VLSI Fabrication Service, <http://www.isi.edu/mosis/>.
- Kim, D. S., Jun, C. S., Chu, W. S., Song, C. K. and Ahn, S. H., "Web-Based Micro Machining Service," International Conference on Internet and Multimedia Systems and Applications (IMSA 2004), Kauai, USA, August 16-18.

- Pahng, F., Senin, N. and Wallace, D., "Distributed Modeling and Evaluation of Product Design Problems," Computer-Aided Design, Vol. 30, No. 6, pp.411-423, 1988.
- 이창근, 이수홍, 방건동, "웹 기반 통합 설계 환경 구축에 관한 연구," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 7, No. 2, pp.110-120, 2002.
- 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., "CyberCut : An Internet Based CAD/CAM System," ASME Journal of Computing and Information Science in Engineering, Vol. 1, No. 1, pp.52-59, 2001.
- 서윤호, 서석환, 김대영, 이현수, "VRML 과 CORBA 를 이용한 웹 기반 CAM 시스템의 구현," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 8, No. 1, pp.35-40, 2003.
- Adamczyk, Z., Jonczyk, D. and Kociolek, K., "A new approach to a CAD/CAM System as a part of distributed environment: Intranet database," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 133, No. 1-2, pp.7-12, 2003.
- Huang, G.Q. and Mak. K.L., "Design for manufacturing and assembly on the internet", Computers in Industry, Vol. 38, No. 1, pp.17-30, 1999.
- Adamczyk, Z. and Kociolek, K., "CAD/CAM technological environment creation as an interactive application on the Web," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 109, No. 3, pp.222-228, 2001.
- Ahn, S. H., Bharadwaj, B., Khalid, H., Liou, S.Y. and Wright, P. K., "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, 2002.
- 이경하, 이규철, "웹 서비스의 표준화 동향과 발전 방향," 데이터베이스연구, Vol. 19, No. 1, pp.80-87, 2003.
- 지해성, 이승원, "분산객체를 이용한 RP preprocessor 의 기능 구현," 한국정밀공학회지, Vol. 20, No. 2, pp.120-128, 2003.
- Lee, S. H., Kim, H. C., Hur, S. M. and Yang, D. Y., "STL file generation from measured point data by segmentation and Delaunay triangulation," Computer-Aided Design, Vol. 34, No. 10, pp.691-704, 2002.