MIMS: 웹기반 마이크로 머시닝 서비스

추원식*, 안성훈*, 김동수**, 전차수**

MIMS: Web-based Micro Machining Service

Chu, W.-S.*, Ahn, S.-H.*, Kim, D.-S.** and Jun, C.-S.**

ABSTRACT

Presented in this paper is a Micro Machining Service (MIMS) based on the World Wide Web technologies. In order to ensure easy access to the service, the web browsers are used as the user interface. The part geometry as an STL file is uploaded with process paraffeters for 3-axis CNC milling. Depending on the predefined user level, novice or expert, the user interface requires different parameters for process planning. An STL-based CAM resides in the server and automatically provides NC codes upon user's request. Tool-paths for scanning and pencil-cut, which are interference-free and precise, are created by the curve-based polyhedral machining method. A couple of sample parts were fabricated by a micro endmill with 127 µm diameter. From the tests, the parts fabricated by scanning followed by pencil-cut resulted in less error(within 2%) than the parts machined only by scanning tool-path.

Key words: World Wide Web, Micro machining, STL format

1. 서 론

마아크로가공은 반도체 가공, PCB기판 가공, 금형 가공 등의 제조분야부터 약물투여 장치, 제포분리 장 치 등의 생물 및 의학 관련 분야에 이르기까지 그 중 요성이 증가해 가는 분야이다. 대표적인 바이크로 버 시닝인 반도체 공정은 그 재료의 다양성이 제한된 반 면, 기계식 마이크로가공은 절식 가능한 모든 재료에 적용될 수 있어 여러 응용분야에 사용될 수 있다.

반도체 칩의 가공이 MOSIS 등과 같은 주문형 서비스로 자동화된 반면, 일반 기계가공에서는 3차원 형상의 복잡성이 완전 자동화된 서비스의 존재를 어렵게 한다. 일반가공에 비해 마이크로가공에서는 각주형태 (prismatic)인 마이크로 채널이나 마이크로 기어등의 형상이 많고 자유곡면의 복잡성도 상대적으로 낮아 자동화된 생산서비스를 구현하기가 용이하다.

인터넷 및 웹 기술을 기계가공에 응용한 연구는 1990년대 후반에 시작되었다^다의 대표적인 웹 기반 가 공 시스템인 CyberCut^[10]에서는 Java와 같이 웹 환경 을 고려한 프로그래밍 언어를 사용하고 웹브라우저를 사용자 인터페이스로 사용하여 운영체제에 대한 독립 성과 원격지간의 설계 및 절삭가공을 가능하게 하였다. 그 외에도 분산환경에서 인터넷을 이용하는 설계 /제작시스템들이 시도되었다^[11] 4], 그러나 일반적으로 웹을 설계 도구로 사용하는 웹 기반의 CAD는 처리속도가 늦고 산업체에서 요구하는 3차원 형상을 표현하는 데는 그 기능이 부족한 단점이 있다.

본 논문은 기계식 마이크로 가공으로 수백 µm에서 수 mm 크기의 마이크로 가공물을 제작할 수 있는 웹기반의 서비스에 대해 기술한다. 자동화된 마이크로 머시닝 서비스를 집근성(accessibility)이 용이한 웹 환경에서 제공함으로써 설계로부터 가공까지의 시간 및 비용을 설감하는 것이 본 연구의 목표이다.

마이크로가공 분야에 인터넷 기술을 응용하는 것은 새로운 서도일 뿐 아니라 웹 기반 CAD가 아닌 산업체에서 실질적 표준으로 사용하는 STL(STereo Lithography)형식을 사용하여 범용성을 갖춘 설계-생산 시스템을 시도하였다.

2. 웹 기반 시스템

MIMS(Micro Machining Service)는 웹을 사용자

^{*}서울대학교 기계항공공학부

^{**}경상대학교 산업시스템공학부

⁻ 논문투고일: 2003, 07, 19

⁻ 심사완료일: 2004, 04, 20

인터페이스로 사용하고 인터넷 통신을 활용한다. 웹 기반의 시스템으로서 갖는 특징은 다음과 같다.

웹기반의 NC 서비스는 작업자가 CAM 소프트웨어의 구입 없이 웹브라우저를 통해 NC 데이터를 얻을수 있게 한다. 이러한 웹기반 시스템의 연장선에서 웹기반 마이크로머시닝은 장비의 회소성을 또 하나의특징으로 한다. 마이크로머시닝 전용기는 범용 CNC 머시닝센터에서 얻기 어려운 높은 가공정밀도와 주축의 회전속도를 요구한다. 그리고 현재로서는 대학교나 제조업체에서 이러한 전용시스템에 접근하기에는 제한이 있다.

2.1 웹 기반 사용자 인터페이스

CAD/CAM을 사용하는 일반적인 생산과정에서는 엔지니어가 공정계획(Process Planning)을 수립하고 NC 코드 등 가공을 위한 데이터를 추출하는데, 이 과정에 최소 수십 분에서 며칠까지의 시간이 소요된다. 본 과제에서는 공정계획 과정을 수십 초 이내로 최소화하여 웹 기반의 신속한 생산이 가능하도록 시스템을 구축하였다. 설계데이터의 범용성을 위해 거의 대부분의 상용 CAD에서 출력 가능한 STL파일을 표준입력형식으로 설정하였다.

통신 시스템의 확장성을 고려하여 웹브라우저를 1 단계, 웹서비를 2단계, STL CAM을 3단계로 하는 클 라이언트-서비(3 tier) 구조를 사용하였다. Fig. 1은 본 시스템의 개략적인 통신 구조를 보여준다.

본 시스템에서는 사용자의 공정설계에 대한 지식 정도에 따라 '초보자'(novice)와 '숙련자'(expert)로 구 분하여 사용자가 조작의 간편성과 조작가능 정도 중 에 하나를 선택하게 하였다(Table 1). 초보자는 가공 할 공구의 지름, 황삭(roughing)의 필요성만을 지정하 면 공구 경로가 생성된다. 숙련자는 원하는 공정변수 를 일일이 선택할 수 있다.

Fig. 2는 현재 시험 가동중인 MIMS 웹사이트의 숙 련자용 사용자 인터페이스를 보여주며, 웹브라우저로 http://fab.snu.ac.kr/cam에 접속하여 이용할 수 있다.

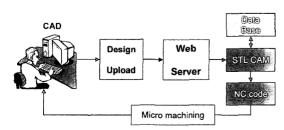


Fig. 1. Communication structure of the web-based system.

Table 1. Comparison of the process parameters for novice and expert users

	Novice	Expert
Cut Mode		0
Plane Normal		0
Pattern Type		0
Tool Diameter	0	0_
Path Interval		0
Cutting Tolerance		0
Surface Offset		0
Start Point		0
Clearance Height		0
Approach and Exit Type		0
Path Connection]	0
Linking Tolerance		0
Feed Rate		0
Spindle Speed		0
Boundary Machining		0_
Roughing	0	0



Cul Mate	Scanning (Now only SCANNING available)			
Input Microel (* sp)	text.ed Check your uploaded model's name, (it will changeable 'cause of same model name)			
Place Normal	x 0.0 Y 1.0 Z 0.0			
Раман Туро	Zigzag *			
Too, Commons	(0.127mm ★			
Parts Inderval	0.5			
Ougang Telerance	0.1			
Surface Offices	0.05			
Stort Point (K.y. St	x 00 Y 00 Z 150			
Clearance Mergrij	Type Abs_Z Yalue 15.0			
Approach High - (Incremental)	2.0			
Activision and Eve Type	Xyplane Approach Length 0.0 Exit Length 0.0			
Papi ტიოლიი დადაქ	DE			
timing 19th ance (between pain and path).	Q.7			
Feed Ran	Sursea 800.0 Approach 800.0 Fivel 800.0 Last 800.0 Connection 800.0			
Specie Special regions;	10000 (1			
Sky, metary Marittering	Yes & No C			
Resident	Yes C No C			
facultier Rhaghary	Stock rhoghs 50 Aug Sungay types 10			
	Submit			

Fig. 2. User interface of the MIMS website.

요구되는 공정변수를 웹브라우서로 입력하고 STL 파일을 업로드(upload) 하면, 약 20초 이내에 NC 코 드가 웹서비에 생성된다. 사용자는 웹브라우저로 생 성된 NC코드를 읽어보거나 텍스트 파일형태로 로킬 PC에 다운로드 할 수 있다. 이를 사용해 설계자가 직접 미세가공을 실시하거나, MIMS를 통해서 원격지의 가공자에게 가공을 의뢰하게 된다.

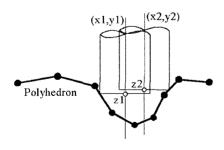
위에 설명된 것 같이 웹 환경에서 구축된 시스템의 통합(system integration)은 웹 기반 공정설계에서 중 요한 역할을 하며 신속한 제작을 가능케 한다.

3. STL 기반 CAM

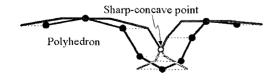
인터넷을 기반으로 하는 CAM 시스템에 있어서 NC 데이터를 안정적이면서 빠르게 생성하고, 사용자의 개입을 최소화하는 것은 매우 중요한 문제이다. 최근 STL 형식의 다면체 모델을 가공하기 위한 스캔 및 펜슬 경로를 효율적으로 생성할 수 있는 "곡선기반방법"이 소개되었는데^[15,16] 본 논문에서는 마이크로 가공에서 일반적으로 사용되는 플랫 엔드밀의 경우에 이를 적용하였다. 곡선기반방법은 인터넷 기반 CAM 시스템의 요구조건을 반족시킬 수 있을 뿐만 아니라 "점기반방법"에 비해 정확한 공구경로를 생성할 수도 있다. Fig. 3은 플랫 엔드밀에 대한 이들 두 가지 방법의 차이를 보여주고 있다.

본 시스템에서 입력으로 사용되는 STL 형식의 다 면체 모델은 위상정보가 없는 삼각면들로 구성되어져 있다. 스캔 가공을 위한 공구 경로 생성 절차는 다음 과 같다:

(1) 입력된 다면체 모델에 대해 요소를 간의 위상학



(a) Point-based approach



(b) Curve-based approach

Fig. 3. Point-based and curve-based approaches.

- 적 관계를 구성하고, 꼭지점과 모서리에 '볼록', '오목', '편평'과 같은 속성을 결정한다.
- (2) "Local offsetting scheme^[15]"에 의해 다면체 모델을 옵셋한다. 삼각면들은 모두 삼각면으로 옵셋되지만, 모서리와 꼭지점은 볼록한 경우에만 각각 기울어진 원통면과 원판으로 옵셋된다^[17].
- (3) 일련의 드라이브 평면들을 이용하여 옵셋 요소 (옵셋 삼각면, 기울어진 원통면, 원판)와의 교선 을 구한다. 교선들은 해당 드라이브 평면에 저장 된다:
- (4) 드라이브 평년별로 저장된 교선들을 트리빙하고 연결하여 CL(cuter location) 경로를 만든다.

위에서 언급한 절차에 의해 계산된 CL 경보는 NURBS 곡선으로 표현되는데 이는 근사되지 않은 정 확한 옵셋곡선이다. 제안된 방법은 이해하기 쉬우며, 계산이 효율적이고 안정적이다.

일반적으로 스캔 가공을 하고 나면 오목한 모서리들을 따라서 큰 커습들이 남게 된다. 이렇게 가공되자 않고 남은 부분을 제거하기 위해서는 펜슬 가공이 추가된다. 펜슬 가공 경로 생성은 자유 곡면 가공에 있어서 가장 어려운 문제 중의 하나이다. 비록 많은 상용 CAD/CAM 시스템들이 펜슬 경로 생성기능을 지원하고는 있지만, 문헌에 발표된 방법은 많지 않다![6.18.19]

본 연구에서는 주어진 다면체 모델과 플랫 엔드밀에 대한 펜슬 경로는 다음의 3단계 절차에 의해 생성된다.

- (1) x방향과 y방향의 스캔 공구 경로들을 이용하여 펜슬 가공을 위한 CL. 곡선들을 만든다.
- (2) CL 곡선들의 오복한 결합점(concave junction point)에서 bi-normal vectors가 이루는 각에 의해 팬슬점(pencil-point)들을 찾아낸다. CL곡선

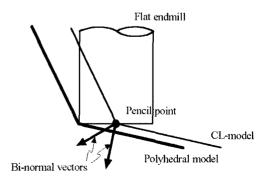
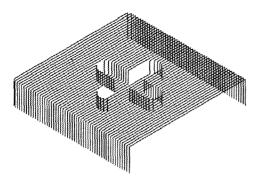


Fig. 4. Pencil point and bi-normal vectors for a flat endmill.



(a) Scanning path

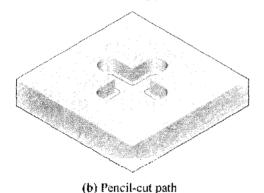


Fig. 5. Scanning and pencilcut tool-paths for a micro channel.

은 옵셋곡면 정보를 가지고 있으며 결합점에서 는 두 옵셋곡면의 법선벡터를 재산할 수 있다 (Fig. 4);

(3) 구혜진 모든 펜슬 점들을 연결하여 팬슬 가공 경로를 만든다.

제안된 방법을 인터넷기반 CAM 시스템으로 구현하고 몇 가지 예계에 적용하였다. Fig. 5는 채널의 가공을 위한 스캔 및 펜슐 공구 경로를 보여주고 있다. 일반적으로 Fig. 5(b)와 같은 종류의 NC 테이터를 자동적으로 생성하기 위해서는 특징형상을 인식해야 하는 것으로 알려져 있다. 그러나 본 연구에서 제안된 방법은 플랫 엔드일을 이용하는 마이크로메시닝 분야에서 사용자의 개입이나 별도의 특징형상 인식 과정없이 계단(step)이나 포켓(pocket) 형상과 같은 각형특징형상(prismatic feature)에 적합한 NC 데이터를 생성할 수 있다.

4. 마이크로머시닝 결과

수백 μm 크기의 마이크로머시닝 공구로(Fig. 6) 가



Fig. 6. Magnified view of the tip of 127 µm micro endmill.

공음 하면 기존의 기계철삭에서는 중요하게 생각되지 않던 공정조건들이 가공성에 영향을 미친다. 특히 여 러 경로에서 발생하는 가공오차는 마이크로머시님에 서는 공구의 직경이 작은 반면에 이송장치의 오차는 상대적으로 커서 경우에 따라 목표로 한 가공 치수의 약 10%~15%까지 영향을 주기도 한다^[20].

상대적인 비교를 위해 극히 단순화된 예를 들어 주축의 런아웃(nun out)에 10 µm인 CNC 가공기의 경우를 고려해 보자. 10 mm 엔드밀을 주축에 부착하여슬롯(slot)가공을 하면 10.01 mm의 치수가 가공되어정밀도에 큰 문제가 안 되지만. 100 µm의 엔드밀로 가공하면 110 µm의 슬롯이 가공되어 10%의 오차가

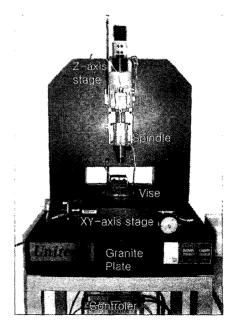
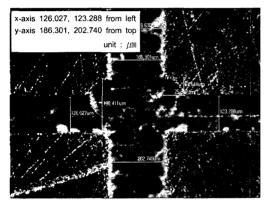


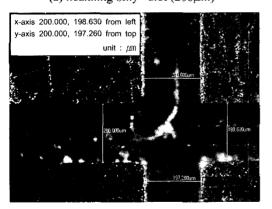
Fig. 7. Hardware system for micro machining.

된다. 여기에 이송장치의 오차를 포함시키면 마이크로머시닝의 경우 일반가공에 비해 상대적인 형상의 오차가 더욱 증가하게 된다. 그러므로 마이크로머시 닝을 위해서는 일반 CNC 가공기에 비해 정밀도가 높은 장비가 요구된다.

MIMS 시스템의 가공정밀도를 높이기 위해 1 μm 해상도의 인코터가 부착된 3축 테이블(Parker Automation)을 화강안 정반위에 구성하였다(Fig. 7). 주축은 최고 43,000 rpm을 제공하는 Fischer HEN40을 사용하였다. 전체시스템의 제어는 PMAC을 사용



(a) Scanning only - slot (200µm)



(b) Scanning(facial) + pencil - slot (200μm)

Fig. 8. Comparison of two micro channels fabricated with different tool paths.

하였다.

MIMS는 2.5차원의 마이크로 채널 및 3차원 자유 곡면의 가공 기능을 제공한다. Fig. 8은 십자형의 슬 롱을 200 um폭으로 가공한 예를 보여준다.

자유곡면(freeform) 가공에 널리 사용되는 스케닝 가공방법(Fig. 8a)은 정밀한 채널 가공에 부적합함을 알 수 있다. 그림상의 수평방향(x-axis)으로 스케닝한 결과 수평방향과 수직방향(y-axis)의 가공된 슬롯 폭이 상당히 다름이 관찰되었고 (최대 약 38% 오차) 경계면도 거칠게 보인다.

그러나 표면 가공 후 펜슬 가공 경로를 이용하여 2.5차원의 슬롯을 가공할 경우(Fig. 8b) 0.0%~1.37%의 치수오차를 보였으며(Table 2) 가공 면이 상당히 깨끗함을 알 수 있다. 이 때 가공물의 오차는 런아웃, 절삭력에 의한 마이크로공구의 변형, 진동 및 측정오차가 복합적으로 작용한다. Table 2의 치수 및 오차는 광학현미경의 영상을 사용하여 측정되었으며, 측정에 사용된 200배의 배율에서 측정오차는 약 ±5 μm이다.

Fig. 9는 3차원 스캐너로 얻은 얼굴의 3차원 좌표를 미사닝을 위해 수정하고 이를 STL로 출력하여 MIMS로 가공한 예를 보여준다. 크기가 각각 10 mm와 20 mm(얼굴크기 약 3 mm와 10 mm)인 자유곡면을





(a) 10mm x 10mm





(b) 20mm x 20mm

Fig. 9. Examples of three-dimensional freeform machining using MIMS.

Table 2. Comparison of errors generated by different machining methods

	Scanning + Pencil-cut			Scanning only				
Axis	size(µm)	error(%)	size(µm)	error(%)	size(µm)	ептот(%)	size(µm)	ептог(%)
Х	200.0	0.0	198.6	0.69	126.0	36.99	123.3	38.36
Y	200.0	0.0	197.3	1.37	202.7	1.37	186.3	6.85

제작하는데 127 µm 앤드빌을 이용하여 각각 56분과 2시간 30분이 소요되었다. 사용된 주축회전수는 15,000 rpm익고 이송속도는 10 mm/min이었다.

5. 결 론

본 연구에서는 웹 기반 마이크로 가공을 지원하는 MIMS 시스템을 구축하였으며, 이는 크게 사용자 인터페이스와 가공 데이터 생성 부분으로 나누어진다. 웹을 기반으로 하는 사용자 인터페이스를 통해 사용상의 편의성과 신속성을 강조하였으며, 대부분의 상용 CAD 시스템으로부터 손쉽게 데이터를 얻을 수 있는 STL 파일을 이용하여 가공 경로를 생성하는 특징을 가지고 있다. 마이크로 앤드밀을 위한 안정적이면서 빠른 가공 데이터 생성을 가능하게 하는 STL 기반 CAM을 제안하였으며, 설제 가공을 통해 이를 검증해 보았다. 현재 시험용 웹 사이트를 운영하며 본시스템의 유용성을 평가하고 있다(http://fab.snu.ac.kr/cam).

감사의 글

본 연구는 두뇌한국 21 사업의 지원과 서울대학교 신임교수 연구정착금의 지원(400-20030177)으로 수행 되었으며 이에 감사드립니다. 김동수와 전차수는 항 공기부품기술연구센터의 지원을 받아 본 연구를 수행 하였습니다.

참고문헌

- Zhang, P. Y., Zhang, C. C. and Wang, H. P. B., "An internet based step data exchange framework for virtual enterprises," *Computers in Industry*, Vol. 41, pp. 51-63, 2000.
- Dong, A. and Agogino, A. M., "Managing design information in enterprise-wide CAD using 'Smart Drawings'," *Computer-Aided-Design*, Vol. 30, No. 6, pp. 425-435, 1988.
- Adamczyk, Z. and Malek, H., "Internet tools supporting creation and management of technological environment of CAD:CAM systems," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 76, pp. 102-108, 1998.
- Huang, G. Q. and Mak, K. L., "Design for manufacture and assembly on the internet," Computers in Industry, Vol. 38, pp. 17-30, 1999.
- Gadh, R. and Sonthi, R., "Geometric shape abstractions for internet-based virtual prototyping," Com-

- puter-Aided-Design, Vol. 30, No. 6, pp. 473-486, 1998
- Adamczyk, Z. and Kocioiek, K., "CAD/CAM technological environment creation as an interactive application on the web," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 109, pp. 222-228, 2001.
- 강석호, 김민수, 김영호, "STEP표준과 Web을 이용한 RPD환경 구축," 한국 CAD/CAM 학회논문접.
 Vol. 5, No. 1, pp. 23-32, 2000.
- 이재열, 김현, 김형선, 한성배, "분산환경하에서 Web 기반 특징형상 모델링," 한국 CAD/CAM 학회 학 술발표회 논문집, pp. 279-284, 1999.
- 9. 지해성, 장호문, 이승원, "Internet을 이용한 RP Preprocessor의 구현," 한국 CAD/CAM 학회 학술 발표회 논문집, pp. 233-238, 2000.
- 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.
- 11. 서윤호, 서석환, 김대영, 여현수, "VRML과 CORBA 를 이용한 웹 기반 CAM 시스템의 구현," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 8, No. 1, pp. 35-40, 2003.
- 정광식, 서석환, 서윤호, 이현수, "Web 기반 가상공 작겨계의 구현," 한국 CAD/CAM 학회논문집, Vol. 6, No. 4, pp. 236-243, 2001.
- 13. 정광식, 서석환, "Web 기반 가상공작기계 모델링 및 구현," 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집、 pp. 1-6, 2000.
- 14. 김현, 명재형, 이재열, 한성베, "가상공학 구현을 위한 Web 기반 엔지니어링 서비스," 한국 CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집, pp. 7-12, 2000.
- Jun, C. S., Kim, D. S. and Park, S., "A new curvebased approach to polyhedral machining," Computer-Aided Design, Vol. 34, No. 5, pp. 379-389, 2002.
- Kim, D. S. and Jun, C. S., "Pencil-cut and filletcut tool-path generations by curve-based scanning method," Society of CAD/CAM Engineers International Symposium, Jeju, Korca, pp. 17-29, 2003
- 17. 윤종윤, 필렛엔드밀을 이용한 다면체곡면의 NC 가 공경로 생성, 석사학위논문, 경상대학교 대학원 산 업시스템공학과, 2000.
- Choi, B. K. and Jerard, R. B., "Sculptured surface machining theory and applications," Kluwer Academic Publishers, 1998.
- Flutter, A. and Todd, J., "A machining strategy for toolmaking," *Computer-Aided Design*, Vol. 33, No. 5, pp. 1009-1022, 2001.
- Lee, K., Ahn, S. H., Dornfeld, D., and Wright, P. K., "The effect of the run-out on design for manufacturing in micro machining," ASME IMECE, November, NY, USA, 2001.



추 원 식

2002년 경상대학교 항공기계공학부 학사 2004년 경상대학교 기계설계학과 석사 2004년-현재 서울대학교 기계항공공학부 연구원

관심문야: 인터넷 기반 설계 및 생산, 마 이크로미사닝, Rapid Prototyping, CAD/CAM



김 동 수

1996년 경상대학교 산업공학과 학사 1998년 경상대학교 산업공학과 석사 2002년 경상대학교산업시스템공학과박사 2003년-현재 씨에스캠(주) 연구원 관심분야: CAD/CAM, Geometric Modeling and Processing, Computer Graphics



안 성 훈

1992년 University of Michigan, Ann Arbor 학사

1994년 Stanford University 석사

1997년 Stanford University 박사 1997년 Stanford University Post-Doc

1997년~2000년 University of California at Berkeley, Research Associate /Lecturer

2000년~2003년 경상대학교 기계항공공 학부 조교수

2003년 - 현재 서울대학교 기계항공공학부 조교수

관심분야: 인터넷기반 설계 및 생산, Rapid Prototyping, 마이크로머시 닝, Design for Manufacturing (DFM)



전 차 수

1983년 부산대학교 기계공학과 학사 1985년 한국과학기술원 산업공학과 석사 1989년 한국과학기술원 산업공학과 박사 1989년-현재 경상대학교 산업서스템공학 부 교수

관심분야: Geometric Modeling, NC Machining, CAD/CAM, e-Manufacturing