

글 ■ 안 성 훈 / 서울대학교 기계항공공학부, 교수  
e-mail ■ ahnsh@snu.ac.kr

이 글에서는 대표적인 웹 기반 설계 및 제조 시스템인 미국 버클리대학(UC Berkeley)의 CyberCut과 포드자동차의 Design Consultant의 예로 웹 환경에서 구현된 설계 및 제조의 특징에 대해 소개한다.

지난 7월에 열린 '차세대 성장 산업 국제회의'에서 국내외의 석학들은 우리나라가 앞으로 5년, 10년 동안 주력해야 하는 산업 중 하나로 IT(정보 산업)을 꼽았다. 잘 구축된 IT 인프라를 활용하여 노동집약적 제조업 중심에서 다양한 기술을 융합하여 고부가가치의 산업을 창출하라는 충고일 것이다. 여러 IT 기술 중 웹(world wide web)은 1990년대 중반부터 폭발적으로 사용되어 IT 혁명을 주도한 대표적 기술로 여겨진다. 웹 기반 설계 및 제조는 웹의 통신 기술과 사용자 인터페이스(user interface)로서의 웹 브라우저를 기존의 설계 및 제조 영역에 응용하면서 시작되었다. 웹 기반 설계 및 제조는 여러 분야의 새로운 시도를 포함하는 용어로 통용되는데, 대표적인 응용 방법으로는 다음과 같은 예를 들 수 있다.

1. 웹 브라우저를 모델링 도구로 사용하는 CAD/CAM 시스템(CyberCut(1))
2. 기존의 CAD/CAM 시스템을 사용하면서 웹 서버에 위치한 설계 및 생산 관련 자료를 활용하는 시스템(Design Consultant(2))
3. 웹 환경의 가상현실 기술을 사용하여 설계, 해석 및 제조 시뮬레이션을 구현하는 방법(3)
4. 웹을 통한 협업/개념 설계 시스템(DOME(4))
5. 웹을 사용하여 부품라이브러리의 설계 자료를 모델링에 적용(Global Spec(5), 3D Content Central(6))

웹을 설계 및 생산에 응용하는 이유는 웹의 특징에서 찾을 수 있다. 아마도 이 글을 읽는 사람 중에 웹 브라우저로 웹 페이지를 클릭해 보지 않은 사람은 없으리라 추측한다. 웹은 컴퓨터가 개

발된 이래 가장 친근하고 대중적인 사용자 인터페이스일 것이다. 또한 인터넷은 빠른 속도로 여러 유형의 데이터를 전달할 수 있어 네트워크에 연결된 웹 브라우저는 어느 위치에서도 정보에 접근이 가능한 무소부재성(ubiquity)을 제공한다.

이 글에서는 대표적인 웹 기반 설계 및 제조 시스템인 미국 버클리대학(UC Berkeley)의 CyberCut과 포드자동차의 Design Consultant의 예로 웹 환경에서 구현된 설계 및 제조의 특징에 대해 소개한다.

그림 1은 '담장 너머의 제조'(over-the-wall manufacturing)라고 불리는 전통적인 설계 및 생산 과정을 단순화하여 보여준다. 설계자가 제조 담당자와 사전 협의 없이 심미적인 제품의 형상을 3차원 CAD로 모델링 한다고 가정하자. CAD 도면 또는 관련 파일을 제작자에게 '담장 너머로'(형상에 대한 구체적인 정보교환 없이) 전달 하였을 때 많은 경우 주어진 제조공정으로 그 형상을 제작할 수 없게 된다. 예를 들어 3축 밀링 가공기로 언더 컷(undercut)을 포함한 형상을 가공하려 한다면 가공이 불가능 하다. 이 문제를 해결하기 위해 제조자가 설계자에게 문제를 제기 하고 재설계 과정이 뒤따르게 된다. 신속한 제품 개발이 가장 중요한 경쟁력 중의 하나인 글로벌 경쟁에서 설계오류로 인한 재설계 및 시제작에 추가되는 시간과 비용은 문제점으로 작용한다.



번째). 만약 MAS에서 3축 CNC가 제안되면 WebCAD를 사용하여 상세설계를 하고 CNC로 시작품을 가공하여 며칠 내에 제품을 우송한다. CyberCut은 이러한 개념설계를 도와주는 MAS와 WebCAD, 공정계획, 그리고 가공에 관련되는 일련의 소프트웨어와 하드웨어를 포함하는 시스템을 가리킨다.

CyberCut은 신속한 설계-제조 공정을 달성하기 위하여 공정인식 CAD(process-aware CAD), 자동 공정 계획(automated process planning) 등 두 가지의 개념을 시도하였다. 이를 통해 제조고려 설계를 3축 CNC 밀링공정에 구현하여 설계와 생산을 밀접하게 연계할 수 있다.

CyberCut의 통신은 3단계 클라이언트-서버구조를 사용한다(그림 4). WebCAD를 버클리 대학의 웹서버에서 다운로드 받고 이를 이용하여 형상을 모델링한다. 완성된 형상은 Solid Interchange Format(SIF)(12)이라는 자료형태로 WebCAD 서버에 전송되고 자동공정계획이 시작된다. 생성된 NC코드를 3축 CNC로 가공하여 공정을 종료한다.

**WebCAD**

공정인식 CAD를 구체화시키기 위해 Java를 사용하여 개발된 WebCAD는 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

1. 무료 CAD - 다른 학교나 연구실과의 협력을 위해 상용 CAD를 사용하지 않고 웹에서 무료로 사용하는 CAD를 사용자 인터페이스로 사용한다.

2. 자동화를 목표 - 연구를 목적으로 개발된 WebCAD는 상용 CAD와의 결합보다는 전 공정의 자동화에 우선순위를 둔다.

3. 설계법칙 제공 - 지리적으로 원거리에서 설계를 하는 네트워크상의 설계자에게 3축 CNC로 형상을 가공하데 필요한 '설계법칙' (Design Rule)을 실시간으로 제공한다.

WebCAD는 밀링가공을 위한 공정계획을 염두에 두고 형상의 모델링 범위를 제한 한다. 가공성을 보장하면서도 다양한 형상을 모델링하는 측면과, 웹환경에서 CAD가 다운로드되는 시간을 단축하기 위해 기능을 최소화하는 측면을 만족시켜주는 것은 WebCAD를 개발하는 데 중요한 이슈가 되었고, 이는 다른 웹환경의 설계 및 제조 소프트웨어에서도 고려해야 할 문제이다.

3축 CNC 머시닝은 구멍가공, 포켓 가공 등을 사용하므로 각 가공 형상들은 Destructive Solid Geometry(DSG)의 형상과 일대일로 대응된다. WebCAD는 자바 애플릿(Java Applet)을 사용하여 실시간으로 DFM을 위한 설계 검사를 가능하게 한다. 그림 5의 우측 상단과 같이 구멍 또는 포켓 가공을 하는 경우 공구 데이터베이스가 설계

자에게 제공되어 필요한 공구를 선택하게 함으로써 공구의 치수가 부정확하여 발생하는 문제를 미연에 방지 한다. 그리고 각 형상을 가공할 경우 공구의 반경으로부터 발생하는 미절삭 된 영역(코너 반지름)을 실시간으로 설계자에게 보여주어 최종 가공형상을 제공한다(그림 5 우측 중앙). 설계자는 이를 보고 공구를 선택하여 코너 반지름을 조절하게 된다. 마지막으로 격벽 가공 또는

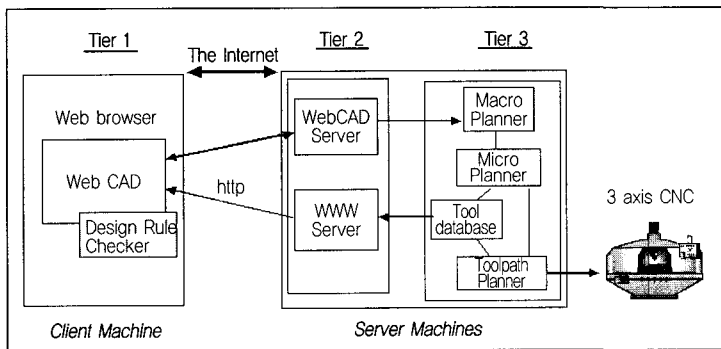


그림 4 CyberCut의 통신체계 - 3층 클라이언트 서버

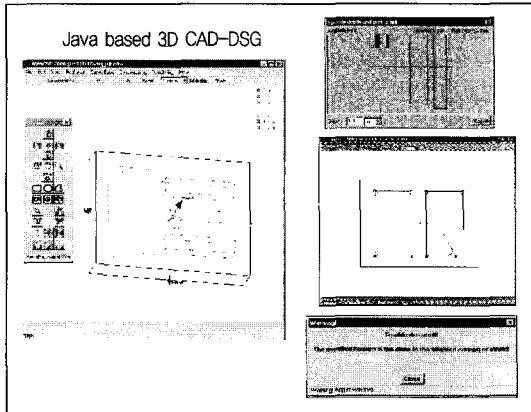


그림 5 WebCAD의 세 가지 DFM 기능들

구멍과 모재의 외벽과의 거리가 너무 작게 설계 될 경우 경고 메시지가 설계자에게 보여서 가공 시 일어날 수 있는 문제를 알려준다.

**자동공정계획**

웹기반의 CAD를 사용하여 DFM 검사를 설계 단계에서 실시하므로 공정 설계에서 발생할 수 있는 가공 문제를 해결하였다. 그림 6은 일반적인 설계 및 제조의 공정 계획과(좌측) CyberCut의 공정 계획(우측)을 비교하여 보여준다. 일반적 공정계획이 대화식으로 사용자의 결정에 따라 진행되는 반면 CyberCut은 완전 자동화된 공정 계획으로 WebCAD로부터 입력된 형상을 매크로플래너, 마이크로플래너로 구분하여 공정 계획을 작성하고 공구 경로와 픽스처 작업 순서를 출력해 준다. 공정 계획 프로그램은 C++로 작성되어 서버에 위치하며 WebCAD로 작성된 어떤 형상이든지 5분 내에 처리한다.

원격지의 설계자가 가공에 사용되는 픽스처의 기능을 이해하지 못한다고 해도 가공이 보장되도록 픽스처 공정을 자동화시켰다. 형상이 바이스로 고정되지 않는 경우 공정 계획 프로그램은 RFPE(Reference Free Part Encapsulation)라고 불리는 만능 픽스처(universal fixture)를 선택하게 된다

(13). RFPE공정에서는 모재와 충전재(encapsulation material)로 구성된 6면체의 가공물을 바이스(vice)로 고정한다(그림 6). 3축 CNC로 {절삭}-{충진}-{6면체회전}공정을 반복하여 최대 여섯 면을 모두 가공한 후 충전재에 열을 가해 가공된 형상을 추출한다. 모재의 고정과 위치가 항상 같은 치수를 유지하는 충전재에 의해 유지되므로 원거리의 설계자가 설계 형상이 어떠한 픽스처에 의해 고정될지 모르고, 가공자가 형상의 특징을 이해하지 못해도 공정계획의 순서대로 가공하면

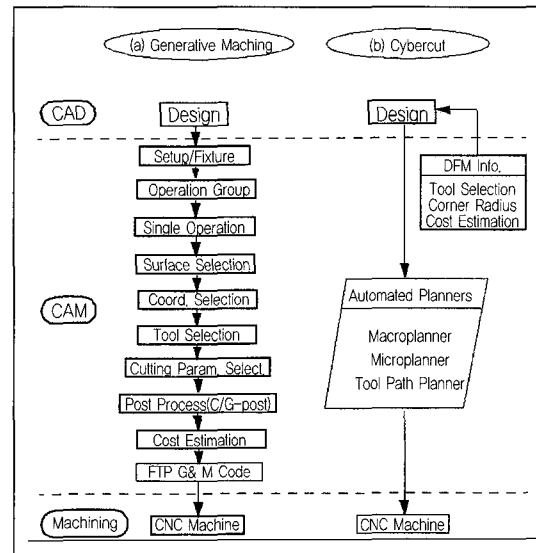


그림 6 자동공정계획

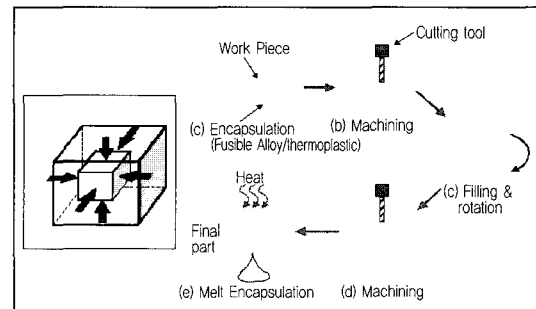


그림 7 CyberCut의 만능 픽스처-RFPE

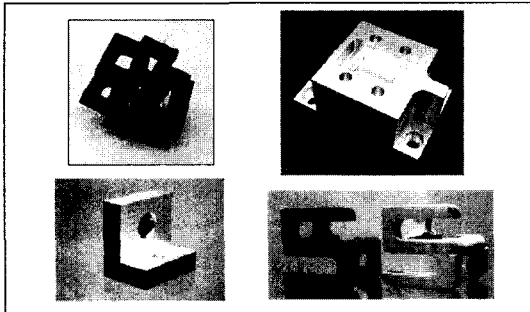


그림 8 CyberCut으로 가공된 형상의 예  
된다.

그림 8은 CyberCut으로 가공된 예를 보여준다. 모두 3축 머시닝센터로 가공되었고 바이스 또는 RFPE를 픽스처로 사용하였다. CyberCut은 비록 제작할 수 있는 형상이 비교적 단순하지만, 웹을 사용하여 원거리의 설계자가 신속하게 시제품을 만들 수 있다는 개념을 기계가공 부문에 적용시킨 최초의 체계적인 시도였다.

### Design Consultant의 소개

웹을 기반으로 한 CyberCut과는 달리 미국의 포드자동차와 비스티온(Visteon)은 SDRC의 I-DEAS를 주요 사용자 인터페이스로 사용하여 CAD/CAE/CAM 지식을 인터넷을 통해 공유하는 Design Consultant 또는 Design Advisor라는 시스템을 1980년대부터 구축하였다[14]. 수십 년에 걸쳐 자동차를 생산하며 축적된 설계, 해석 및 제조관련 지식기반(knowledge base)을 전산화하는 작업은 지식기반공학부(KBE : Knowledge Based Engineering)라는 부서에서 전담한다. KBE부서는 각 제조공정에 대한 지식기반 시스템을 기본적으로 개발하고 제품에 대한 지식기반 시스템을 지속적으로 개발하고 보완한다. 예를 들어 사출성형에 관한 공통적인 지식기반 시스템을 구축하고 대시보드에 사용되는 사출성형 부품을 설계할 때

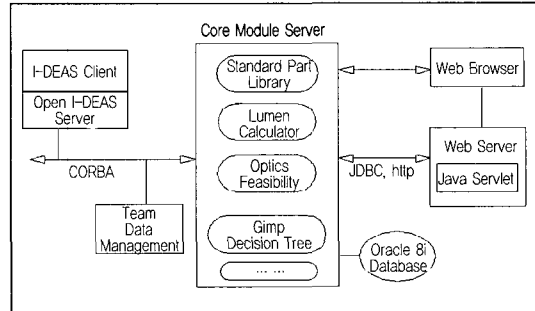


그림 9 Design Consultant의 통신체계. I-DEAS기반 사용자 인터페이스와 웹기반 사용자 인터페이스를 모두 사용함.

는 대시보드용 지식기반으로 보완하여 사용한다.

### 통신구조

Design Consultant의 통신은 CORBA(Common Object Request Broker Architecture)를 이용하여 사용자 인터페이스에서 지식기반이 위치한 Core Module Server에 접근한다. CORBA는 I-DEAS와 외부 응용프로그램을 연결하는 API(Application Programming Interface)인 Open I-DEAS의 근간이고(15) I-DEAS와 Core Module Server간의 의사소통을 목적으로 전문가 시스템 셸(Expert System Shell)이 사용된다. 관련된 CAD데이터 역시 CORBA를 통하여 I-DEAS의 TDM(Team Data Management)에 저장된다.

사용자 인터페이스를 I-DEAS가 아닌 웹 브라우저를 사용하는 경우에도 제한된 범위 내에서 지식기반을 연결하여 정보를 얻을 수 있다. 웹을 사용하는 이유는 CAD를 사용하지 않는 다수의 제품개발 관련자들에게 필요한 정보를 손쉽게 제공하기 위해서 이다. Design Consultant의 개략적인 통신구조는 그림 9에 보인다.

### 자동차 라이트 광도 계산기(Lumen Calculator)의 예

광도 계산기는 Design Consultant의 광학용 설계도구의 하나이다. 이 소프트웨어는 설계자로부터

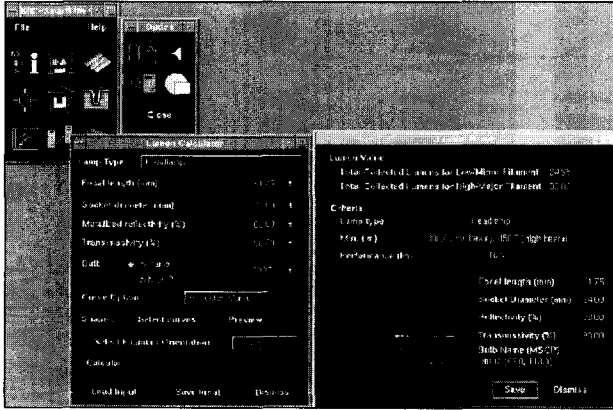


그림 10 자동차 라이트 광도 계산기의 사용자 인터페이스

터 렌즈의 투과율, 모양, 초점거리와 필라멘트의 형태, 반사경의 반사율을 입력변수로 읽어낸 후 빛의 광도값(lumen)을 계산해 준다. 그림 10은 I-DEAS와 연동되는 광도계산기의 사용자 인터페이스를 보여준다. 광도값의 계산은 비스티온에서 개발한 광학용 분석 소프트웨어가 소재한 Core Module Server에서 행해진다. 이 도구의 기본 기능은 I-DEAS기반의 사용자 인터페이스와 웹기반의 사용자 인터페이스에서 동일하나 반사경의 형상을 고려하는 등 CAD정보를 필요로 하는 기능은 I-DEAS 기반에서만 사용 가능하다.

### 자동차 라이트 표준부품 라이브러리 (Standard Part Library)의 예

방대한 양의 데이터베이스에서 적절한 대상을 검색하는 기능은 포드나 비스티온과 같은 생산 업체에서 제품 개발비용과 시간을 줄이는 것이 중요하다. 물론 상업용 Engineering Resource Planning(ERP) 또는 Product Data Management(PDM) 시스템들은 제품개발에 있어서 설계와 생산관련 정보를 공유할 수 있게 하지만, 이들은 기업 규모의 표준 도구가기 때문에 개발단계의 특수한 기능을 만족시키기 위해서는 새로운 도구가 필요하다.

Design Consultant의 표준부품 라이브러리 (SPL)는 I-DEAS에 기반을 둔 사용자 인터페이스와 웹에 기반을 둔 사용자 인터페이스 모두가 인터넷을 통하여 정보에 접근하게 함으로써 많은 사용자들을 수용할 수 있다. 그러므로 제품개발에 관련된 사람이면 누구나 필요한 제품 데이터를 신속하게 입수 할 수 있다. SPL의 기능적 특징은 다음과 같다.

- 라이트시스템의 데이터베이스에 모든 표준부품들을 포함시킨다.
- 광축조절기 결정 트리(Adjuster Decision Tree)는 찾고자 하는 조절기의 카테고리 결정하는데 도움을 주기 위해 사용자들에게 지식지도(Knowledge Map)를 제공한다.
- 원하는 특성을 지닌 부품을 검색하도록 한다.(타입, 크기, 색상, 제조업자 등)
- JPEG/VRML을 이용하여 부품의 모든 특성을 효과적으로 보여준다.
- 설계들에게 3D CAD(I-DEAS)데이터를 검색할 수 있게 하여 설계의 재이용(reuse)을 가능하게 한다.

### 인터넷기반 설계와 생산의 연계와 설계 최적화

CyberCut과 Design Consultant의 기본 철학은 DFM과 네트워크의 결합이다. 네트워크를 사용하여 설계와 생산(또는 공학적 해석)을 연결하여 생산시에 발생할 수 있는 문제점들을 공정의 초기(up-stream)에서 방지하여 궁극적으로 제품의 생산비용과 시간을 절감하는 것이다. DFM의 관점에서 설계와 생산의 관계를 살펴보면 표 1과 같이 구분할 수 있다. 첫째, 일반적인 설계와 제조 사이의 연결이 느슨하다고(loose) 정의하면, 모델링을 자유롭게 하는 장점이 있지만, DFM을 고려하지 않아 재설계의 문제가 발생할 여지가 있다. 둘째로 CyberCut은 가공공법을 설계와 일대일

표 1 설계와 제조의 세 가지 연결 구도

Coupling Mode	Pros	Cons
Loose	Flexible design	Cost&delay for redesign
Stiff	Guaranteed manufacturability	Less design freedom
Strong	Moderately flexible design, guaranteed manufacturability	Some loss of design freedom

대응시키는 경직된(stiff) 연결을 가지고 있어 가공성이 100% 보장되나 설계의 자유도가 부족한 시스템이다. 셋째, Design Consultant는 일반 CAD를 사용하여 설계의 자유도를 상당히 제공하면서 제조가능성을 보장해 주는 견고한(strong) 연결을 가지고 있다.

맺음말

네트워크, 특히 웹, 환경을 이용한 설계 및 제조 시스템은 네트워크의 정보공유 능력과 웹의 무소부재성 및 사용자 인터페이스로서의 친근성과 편리성을 장점으로 갖는다. CyberCut은 연구과제로서 개발되어 현재 버클리 대학에서 교육용 CAD/CAM 시스템으로 사용되고 있으며, Design Consultant는 기업의 현장에서 제품의 개발에 중요한 기능을 제공하고 있다. 이러한 선도적인 연구개발의 결과를 효과적으로 이용하면 새로운 시스템을 개발할 때 시행착오를 줄일 수 있을 것이다. DFM과 같은 생산성 향상을 위한 지식기반을 네트워크로 공유하는 일은 다수의 숙련된 엔지니어와 프로그래머가 필요하지만 제조업체의 경쟁력 확보를 위해 중요한 분야이다. 그리고 웹 브라우저만으로 설계와 생산에 관련된 지식기반과 정보를 공유하고 제공받는 정도의 웹기반 시스템은 중소기업에서도 충분히 적용할 수 있을 것이다.

IT 기술의 발달은 대용량 CAD/CAE/CAM 화일

의 신속한 전송, 상용 엔지니어링 소프트웨어와 웹기반 소프트웨어 도구들의 원활한 연결, 모바일 등 다양한 디바이스를 사용한 정보의 공유, 가상현실을 이용한 고품질의 형상정보 제공 등을 가능하게 할 것으로 예상된다. 이와 함께 설계와 제조를 포함해서 제품개발 과정에 새로운 IT 기술을 접목하는 다양한 시도가 가능할 것이다. IT 기술을 활용한 네트워크화를 제조업에 확대해서 적용한다면 제품의 개발과정, 생산과정, 판매과정에서 효율성을 향상시키고, 나아가 우리나라의 제조업이 경쟁력을 유지하는 하나의 방법이라고 생각한다.

[ 참고 문헌 ]

(1) 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.

(2) 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.

(3) 서윤호, 서석환, 김대영, 이현수, "VRML과 CORBA를 이용한 웹기반 CAM 시스템의 구현," 한국 CAD/CAM학회 논문집, Vol. 8, No. 1, pp. 35-40, 2003.

(4) Pahng, G-D. F., Bae, S., and Wallace, D.,



"Web-based Collaborative Design Modeling and Decision Support," Proceedings of Design Engineering Technical Conferences, September 13-16, 1998, Atlanta, Georgia, USA.

(5) GlobalSpec website-<http://www.globalspec.com>

(6) 3D ContentCentral website - <http://www.3dcontentcentral.com>

(7) Bralla, J. G. (ed.), Design for Manufacturability Handbook, 2nd edition, McGraw Hill, 1998.

(8) Thompson, B. S., Creative Engineering Design, 4th edition, Okemos Press, 1998.

(9) MOSIS website - <http://www.mosis.org>

(10) Smith, C. S., "The Manufacturing Advisory Service: Web Based Process and Material Selection," U C Berkeley Mechanical Engineering Department, PhD Thesis, August 1999.

(11) MAS website-<http://cybercut.berkeley.edu/mas2/html/applet/index.html>

(12) McMains, S., S quin, C. S., and Smith, J., "SIF: A Solid Interchange Format for Rapid Prototyping," Proceedings of the 31st CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, May 26-28, 1998.

(13) Ahn, S. H. and Wright, P. K., "Reference Free Part Encapsulation (RFPE): An Investigation of Material Properties and the Role of RFPE in a Taxonomy of Fixturing Systems," Journal of Manufacturing Systems, Society of Manufacturing Engineers, Vol. 21, No. 2, pp. 101-110, 2002.

(14) Liou, S.-Y. and Riff, R., "DFM Design Advisor," Design Engineering -Concurrent Product Design, ASME. Volume 74, pp. 97-106, 1994.

(15) Open I-DEAS User's Manual, SDRC, Milford, OH, 2000.

### 기계 용어 해설

#### 유한 차분법(Finite Difference Method)

수치 미분법의 한 종류로서 함수의 비선형성 및 각종 복잡성으로 인해 미분값을 직접 구할 수 없을 경우 쓰이는 방법이다. 변수를 작은 범위 내에 변화시켜 이에 따른 함수의 변화량을 계산, 이 값을 변수의 변화량으로 나누어 계산하며 전방 차분법, 후방 차분법, 중앙 차분법으로 세분화된다.

#### 타이어 트레드(Tire Tread)

타이어에 있어 지면과 직접 접하는 고무부분을 지칭한다. 트레드 부분은 빗길 주행성능 향상 등을 위하여 다수의 돌기와 홈이 특정한 패턴으로 구성되어 있다. 여기서 패턴을 트레드 패턴(tread pattern) 그리고 돌기를 트레드 블록(tread block)이라 한다. 타이어 트레드부의 설계는 타이어의 마모성능, 진동 및 소음, 수막특성(hydroplaning) 등의 측면에서 대단히 중요하다.