

# 자율가공 시스템에서의 CAD/CAM 연계기술



**류 갑 상**

(KIMM 자동화연구부)

- '83 전남대학교 계산통계학과(학사)
- '85 전남대학교 대학원 계산통계학과(석사)
- '91 정보처리기술사
- '85-현재 한국기계연구원 선임연구원



**신 보 성**

(KIMM 자동화연구부)

- '85 부산대학교 정밀공학과(학사)
- '87 부산대학교 대학원 기계공학과(석사)
- '90-현재 한국기계연구원 선임연구원



**최 두 선**

(KIMM 자동화연구부)

- '85 영남대학교 기계과(학사)
- '89 영남대학교 대학원 기계과(석사)
- '90-현재 한국기계연구원 연구원

## 1. 머릿말

제조업을 중심으로 한 생산업체들은 급변하는 국내의 기술 발전과 제품수명의 단축, 인건비 및 원자재의 상승으로 인해 약화된 경쟁력을 강화하고자 다품종 소량체제의 생산환경 시스템을 절실히 요구하고 있다. 이러한 요구는 각 단위 공정의 자동화로 이어졌고 이 과정에서 컴퓨터의 전략적 활용을 위한 CAD/CAM 시스템의 운용은 이제 보편화되고 있으며 차츰 컴퓨터통합생산을 지원하는 한 모듈로서 CAD정보의 공유 및 CAM 공정의 자동화를 실현하는 추세로 바뀌고 있다. 제조공정의 무인화를 주목적으로 하는 고기능 자율가공 시스템에서 CAD/CAM 기술은 기술분류상 작업준비자동화에 속하며 여기에는 가공부품의 제조도면이 입고된 시점에서 부터 부품의 모델링, NC 가공을 위한 NC 프로그램 생성 및 NC 장치의 Set-Up에 이르는 각종 엔지니어링 정보의 생성과, 가공을 다루는 컴퓨터 응용기술을 다루게 된다. 본고에서는 부품의 자율가공과 직접 관련이 있는 기술 중 가공 부품의 컴퓨터 도형 모델링, 부품의 CAD정보 공유, CAD/CAM 연계를 위한 공정설계 및 NC 프로그램의 자동생성을 위한 기술들을 최근의 연구동향을 중심으로 기술하고자 한다.

## 2. 부품의 모델링

제품의 설계와 제조를 위해서는 부품제작에 필요한 각종 정보를 이용하여 대상 부품을 컴퓨

터상에 기하학적인 형상으로 표현하여야 한다. 이러한 기하학적인 형상은 제작 또는 해석을 위한 공학적 의미를 갖고 있으며 형상의 복잡도와 이의 활용 내용에 따라 수학적으로 표현하는 기법을 달리하고 있다. 3차원 공간에서의 부품모델링을 가능케 하는 여러 기법들을 살펴본다.

### 2.1 와이어 프레임 모델링(wireframe modeling)

1970년대 3차원 CAD 시스템의 출현으로 시작된 와이어프레임 모델링 기법은 건축의 3차원 빌딩 모형과 건물내부의 전기배선 등을 표현하는데 주로 많이 사용된다. 그러나 모델링된 물체의 면에 대한 정보를 가지고 있지 않으므로 모델이 모호하게 표현되는 단점이 있어 현재는 별로 사용하지 않고 있다.

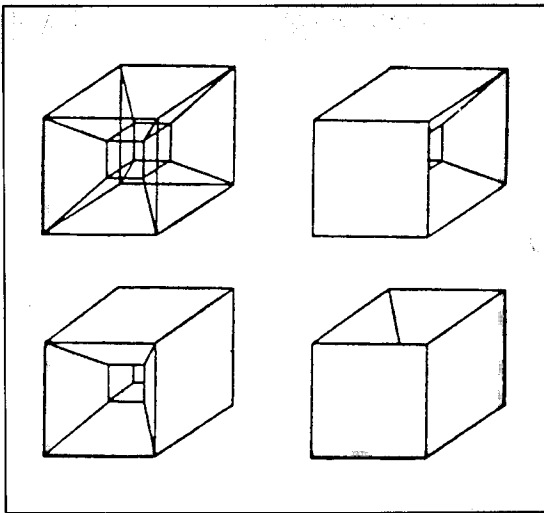


그림 1. 와이어프레임 모델 예

### 2.2 곡면 모델링(surface modeling)

자동차, 배 및 항공기 등의 자유곡면(sculptured surface)을 가공하기 위해 이미 1960년대부터 시작된 곡면 모델링기술은 실제모형을 제작하지 않고도 곡면의 복잡한 형상을 정의하고 해석할 수 있는 방법을 제공하게 되었다. 곡면을 기초로

한 이 기법은 평면, 기하학적 곡면, 스위프(sweep) 곡면 그리고 자유곡면등 여러가지 형태의 면들을 제공한다. 곡면모델링은 와이어프레임모델과는 달리 곡면상의 교선계산, 은선(hidden line)제거 등이 가능하지만 형상특징값을 계산하거나 NC 데이터를 자동생산하는 일은 여전히 곤란한 점으로 남아 있다.

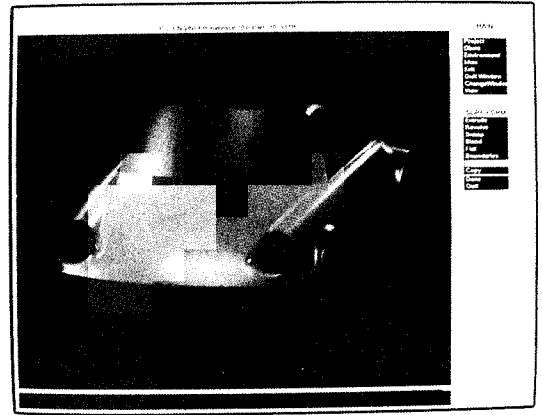


그림 2. 자동차 외관의 곡면 모델링

### 2.3 솔리드 모델링(solid modeling)

1970년대 초반에 연구가 시작되어서 현재는 거의 모든 CAD 시스템의 도형모델링에 이용되고 있다. 솔리드모델링은 앞에서 언급한 다른 모델링과는 달리 완벽한 기하학적 형상표현이 가능하고 모델간의 간섭체크가 가능하며, NC 프로그램의 자동생성을 위한 가공정보를 산출할 수 있는 기능을 제공한다. 아울러 제품모델의 표면적 및 부피, 무게, 무게중심, 관성, 모우멘트 등의 계산이 용이하므로 제품 설계를 위한 컴퓨터 해석 및 시뮬레이션에도 효과적으로 활용되고 있다. 솔리드모델링 기법들은 여러가지가 개발되어 활용되고 있으며 보다 많은 엔지니어링 정보를 표현할 수 있도록 지속적인 연구가 이루어지고 있다. 그림 3에서는 솔리드 모델링 시스템의 발전과정을 보여주는데 괄호안의 내용은 대표적 개발자의 이름이나 회사명을 나타내며 화살표는 개발과정에서 영향을 주고 받은 관계를 나타내고 있다.

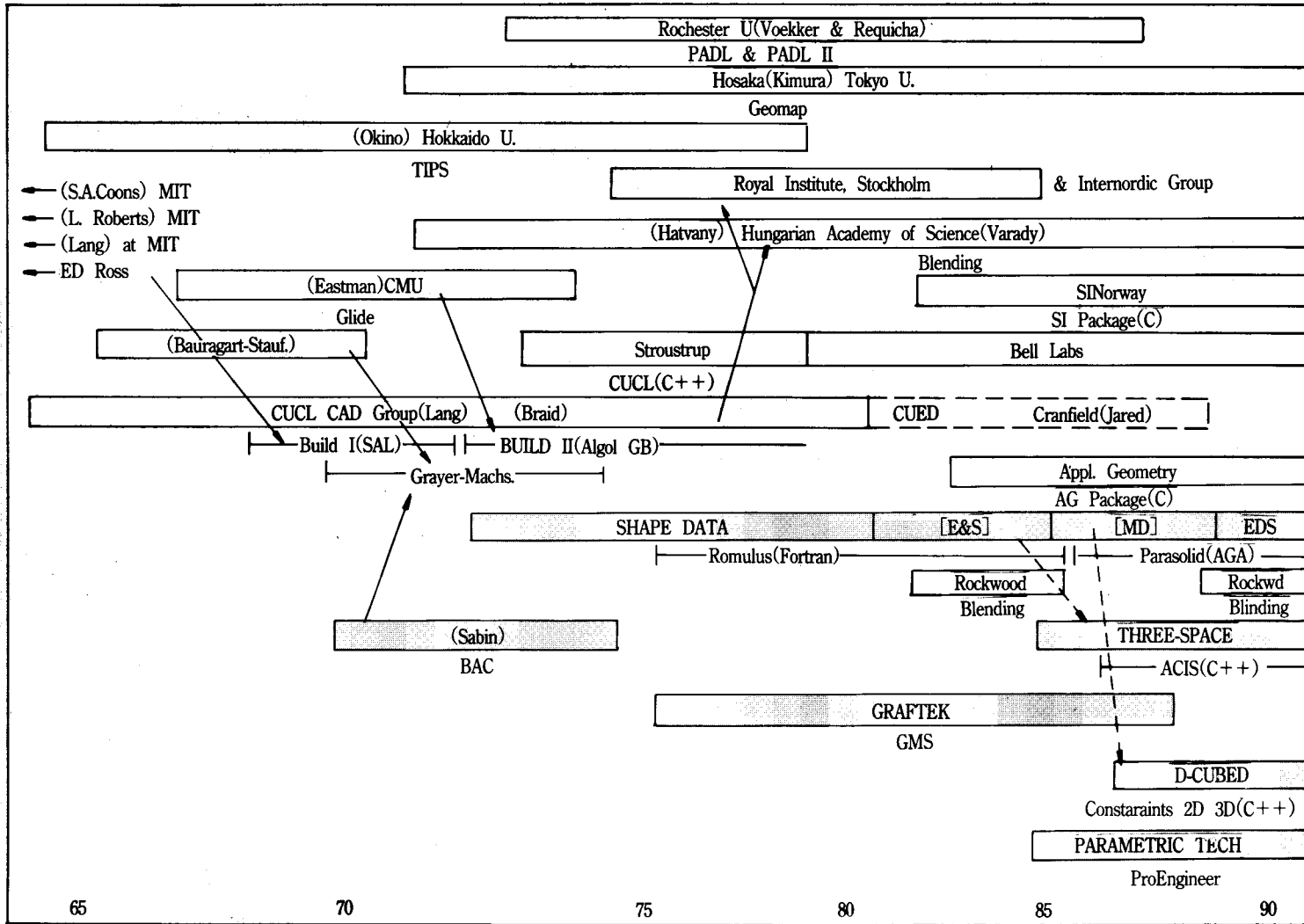


그림 3. 솔리드모델링시스템 발달 과정

①CSG 모델링

이 기법은 부품의 솔리드를 구축하기 위하여 실린더(cylinder)나 박스(box)등과 같은 도형요소(primitive)들을 연산집합하는 것으로 그 구성방법에 따라 트리구조와 2층구조의 자료구조를 갖는다. 연산에서 사용되는 도형요소의 불리안 오퍼레이션에서는 합(union), 차(difference), 교(intersection) 집합 연산이 있으며 GDP, GMSOLID, PADL, SHAPES, SYNTHAVISON 등의 상용 CAD 시스템이 이 방법을 채택하고 있다.

②B-REP 모델링

부품을 구성하는 면과 면 사이의 위상 기하학적인 관계를 정의함으로써 물체의 모형을 표시한다. 모형은 몇개의 면으로 구성되어 있고 각 면은 면의 종류와 기하 데이터 및 경계 모서리(edge)에 관한 정보를 저장하고 있는 메모리 포인터를 가지고 있다. 부품형상이 집합연산과 국소적 조작으로 변하게 되면 꼭지점, 면, 면의 관계가 변하게 되므로 이들 꼭지점의 좌표값과 함수식 계수 그리고 상호간의 관계를 효과적으로 표현하기 위해 윈드에지(winged edge)의 자료구조를 사용한다. 윈드에지 자료구조는 물체, 면, 모서리, 꼭지점으로 된 네종류의 노드(node)로 구성되며 이들 노드는 포인터로서 서로 관계를 맺고 있다. BUILD, COMPAC, EUC-

LID, GEOMAP, GMSOLID 등의 상용 CAD 시스템이 이 방법을 채용하고 있다. 그림 4는 모서리를 기준으로 한 경계표현의 자료구조를 보인 것이다.

③특징형상 모델링

최근들어 3차원 모델링 데이터로부터 부품 가공에 대한 정보를 직접 얻으려는 연구가 활발히 진행되고 있으며 이러한 요구를 만족시키는 모델링 기법으로 특징형상모델링(feature-based modeling) 기법이 소개되고 있다. 일반적으로 솔리드로 모델링된 모형에 구멍이 있으면 드릴링 작업이 필요하고 포켓이 있으면 밀링작업이 필요함을 알수 있듯이 모델링된 입체를 제작하는 공정계획 단계에서 부터 구멍, 포켓과 같은 특징형상(feature)을 부여하여 모델링하면 필요한 형상 가공정보를 쉽게 얻을 수 있다는 개념이다. 상용 시스템마다 다르지만 특징형상은 대체로 구멍(hole), 모따기(chamfer), 필렛(fillet), 슬롯(slot), 포켓(pocket), 컷(cut), 키웨이(keyway) 등이 지원되고 있다. 특징형상은 설계와 제조를 연결하는 교량역할을 하기 때문에 특징형상을 이용하여 디자인을 하게 되면 사용자 의도를 초기 디자인 단계에서 파악할 수 있고 각 내부에는 응용분야에 적합한 정보를 수용할 수 있기 때문에 공정계획, NC가공, 조

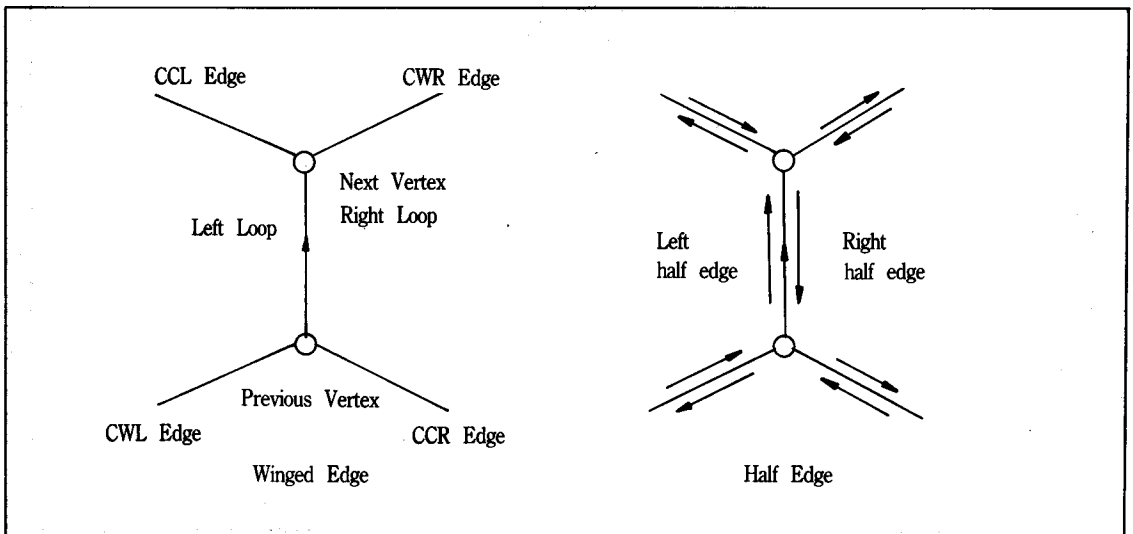


그림 4. 모서리 중심의 경계표현 기법

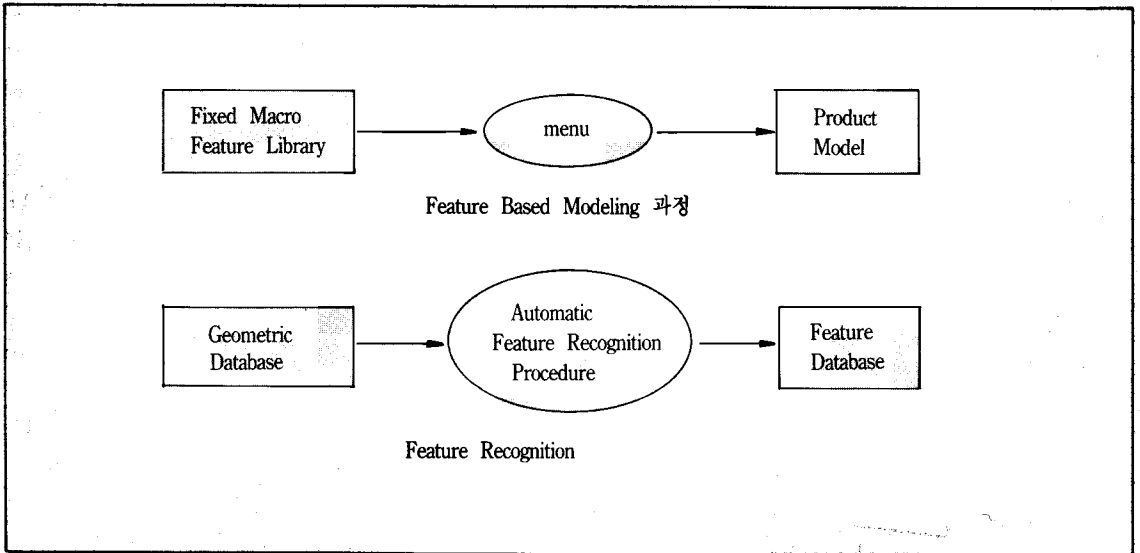


그림 5. 특징형상모델링 기법

립공정들을 수월하게 해준다. 특징형상에 관한 연구는 특징형상인식(Feature Recognition)과 특징형상디자인(Feature-based Design)으로 나눌 수 있으며 이들 기법에 의한 설계과정은 그림 5와 같다.

④ 파라메트릭 모델링

임의의 형상을 특징형상으로 정의하면서 주요치수를 파라미터(parameter)로 지정할 수 있도록 하고 이때 이들 치수값의 변화에 따라 다양한 크기나 모양의 부품을 모델링하는 기법이다. 이 기법은 점, 선, 면과 같은 요소들의 일정한 관계를 치수의 함수로 부여하고 임의 요소의 기하학적인 변화가 치수간들의 관계식인 구속조건(constraint)을 만족시키면서 전체 형상에 적절히 반영될 수 있도록 하고 있다. 따라서 형상의 구체적인 치수가 확정된 후 도면을 작성하거나 형상모델링을 하던 기존의 모델링 방법과는 다르게, 이 기법은 설계자의 개념적인 형상만으로 형상을 모델링하고 구속조건이 점차 구체적으로 정해지면서 설계변수들이 확정되는 과정을 그대로 반영할 수 있도록 되어 있다. 현재 상용화된 CAD시스템은 이러한 기법을 채택하였거나 도입을 서두르는 실정이며 미국의 PTC에서 개발된 Pro/Engineer는 특징형상 모

델링 기법을 기반으로 하고 파라메트릭기법을 채용한 대표적인 시스템으로 알려지고 있다. Pro/Engineer는 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 1) 구멍, 슬롯, 필렛 및 모따기 등과 같은 특징형상을 사용하고,
- 2) 치수, 패턴, 하중 및 경계조건 등을 파라메트릭하게 입력가능하며,
- 3) 하중과 경계조건 그리고 형상들과의 관계식을 이용한 설계가 용이하고,
- 4) 어떤 모듈에서 작업된 형상데이터 이든지 항상 양방향으로 교환 및 수정이 가능한 특징을 가지고 있다.

3. CAD 데이터 공유방안

최근들어 엔지니어링 환경이 클라이언트-서버 체계의 분산환경으로 바뀌어가고 있으며 기존 단일공정의 자동화에 기여하던 이기종의 CAD 시스템들을 통합하여 전체 생산공정을 자동화하려는 노력이 활발히 진행되고 있다. 이러한 시스템통합은 CAD 정보의 공유 및 교환에 대한 활발한 연구와 함께 표준화된 CAD 정보교환 프로토콜의 제정을 전담하는 국제적인 연구그룹을 활성화시키고 있다. 본 장에서는 CAD 데이터 공유를 위한 방법들을 기술하고 아울러 CAD 데이터화일의 표준화에 대한 노력들을 살펴본다.

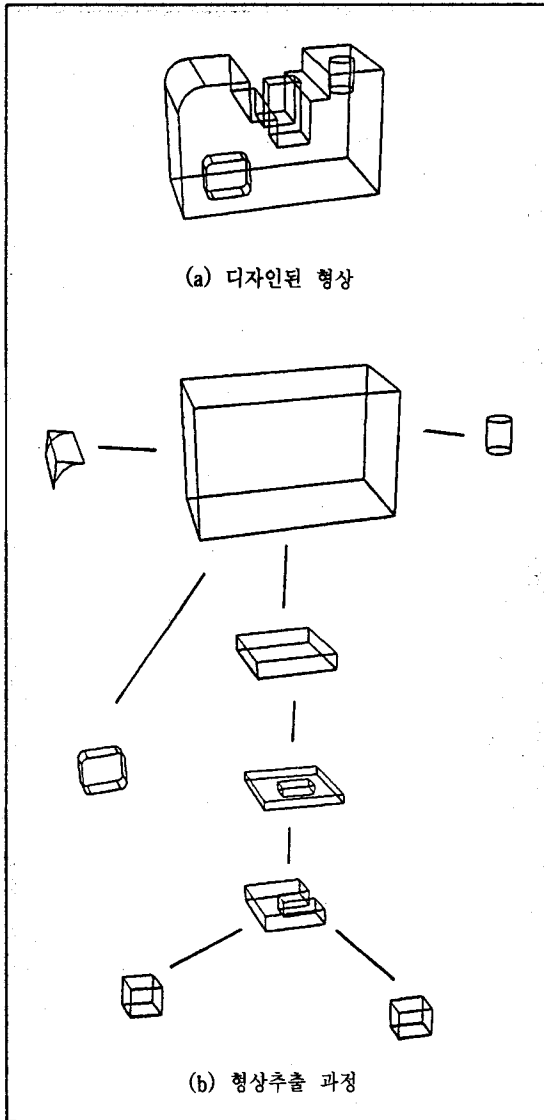


그림 6. 특징형상모델에서의 가공형상추출 예

### 3.1 CAD 도구간의 정보의 교환

일반적으로 CAD 도구들간에 데이터를 교환하는데는 파일교환, CAD 도구들간의 프로세서 통신, 데이터베이스 공유라고 하는 세가지 방법이 있다. 파일 단위로 데이터를 교환하는 방법은 기존의 CAD 도구를 수정하지 않고 사용할 수 있으며 단순히 데이터 파일만 다루면 되는 효율적인 면이 있으나 버전제어, 동시설계제어, 트랜잭션 지원

등에 문제가 있다. 반면 공동데이터베이스를 사용하면 파일교환에서 발생하는 문제점들은 해결할 수 있고 데이터변환이 불 필요하나 디스크 입출력 등 성능상 불리하게 될 가능성이 있고 레코드 중심의 기존의 관계형 데이터베이스로서는 강력한 모델링 기능을 제공하지 못하는 문제점들도 있다. 그러나 최근들어 객체지향 개념을 구현할 수 있는 프로그래밍 도구와 데이터베이스관리시스템이 개발되고 있어 실제계의 여러 복잡한 모형을 모델링할 수 있는 객체지향 DB에 대한 연구를 통해서 CAD 도구간에 데이터를 효율적으로 공유할 수 있는 엔지니어링 DB가 출현할 수 있을 것이다.

### 3.2 CAD 데이터 표준화

기존에 사용하고 있는 CAD도구들을 수정하지 않고 이기종 CAD 시스템을 통합하기 위한 현실적인 노력은 표준화된 일정규격의 파일형태로 CAD 데이터를 교환하는 방법이 많이 이용되고 있다. CAD 데이터의 표준화는 오래전부터 연구되어 DXF, IGES 등이 일반적으로 많이 사용되고 있으나 점차 차세대 중립형태 표준을 표방하고 STEP에 대한 연구로 점차 방향을 잡아가고 있다. 현재 주로 이용되고 있는 데이터 파일 변환 포맷들을 살펴보면 다음과 같다.

#### ①IGES(Initial Graphics Exchange Specification)

IGES는 미국의 NBS(National Bureau of Standard) 주관하에 1980년 IGES 1.0이 발표된 이후 ANSI의 승인을 받아 CAD/CAM 벤더들의 폭넓은 지원하에 전 세계적으로 CAD 데이터 교환의 표준으로 가장 많이 사용되고 있다. 처음에는 설계도면에 나타나는 3차원 형상요소와 문자정보를 정의하는 파일형식으로 출발하였으나 1990년 버전 5.0이 발표되기까지 점차 개선되어 곡면과 3차원 와이어프레임, CSG 및 BSG에 의한 솔리드모델 데이터의 일부와 유한요소 모델을 정의할 수 있도록 되어 있다. 그러나 원래부터 IGES는 설계자의 의도까지 전달하기 보다는 단지 결과로 나온 설계도면의 그래픽 정보를 전달하려는 목적에서 출발하였기 때문에 설계 정보를 정확히 전달하지 못하고 있다. 특히 파

라메트릭을 위한 토폴로지정보, 그레고리페치 등의 직접표현과 컴퓨터그래픽스의 질감, 색, 광택표시정보, 광원이나 운동 시뮬레이션을 위한 연결정보 등은 IGES 파일상에 표현할 수가 없기 때문에 관련 정보의 전달이 불가능하다.

②DXF(Data Exchange File)

DXF는 AutoCAD의 데이터 인터페이스이다. 요소가 간편하며 모든 정보를 하나의 파일 중에 가지고 있기 때문에 확실히 재현할 수가 있으나 표현할 수 있는 요소가 2차원으로 제한되고 데이터 양도 많다는 단점을 가지고 있다. DXF 파일은 모든 데이터를 입/출력하는 경우와 엔티티섹션의 데이터만을 입/출력하는 두가지 방법을 제공하며 AutoCAD 버전에 따라 각 형식이 달라지는데 상위 버전 호환을 원칙으로 하고 있다.

③STEP(Standard for the Exchange of Product Model Data)

IGES를 비롯 도면데이터 변환을 위한 표준들이 난립하고 있는 상황에서 국제적인 표준의 설정이 필요하다는 세계각국의 의견이 모아져 ISO TC184/SC에서는 표준규격 ISO 10303하의 각 파트들로서 구분된 표준화 작업을 진행하고 있으며 이를 PDES라 부른다. 근본적으로 STEP는 이기종의 CAD 시스템간에 원래의 설계의도를 잃지 않고 제품모델 데이터를 교환할 수 있는 중립적인 데이터 형식의 정의를 목표로 하고 있기 때문에 각 시스템간의 접속의 개념을 넘어서 통합화를 추구하고 있다. STEP의 구조는 기준모델(Reference Model)과 형식정의언어(Formal Definition Language)로 구성되어 있고 하드웨어(Physical), 개념(Logical), 응용(Application)의 3계층으로 나뉘어져 있으며 Express라는 형식언어를 사용하여 개념계층으로 표현한다. CAD 데이터 교환에 STEP을 이용하면 도면데이터간의 호환 뿐만 아니라 제품데이터의 호환이 가능하고, CAD 시스템과 NC/CNC기기의 정보호환이 가능할 뿐만 아니라 성공적인 컴퓨터 통합체제의 구현을 실현할 수 있는 잇점을 제공할 수 있다.

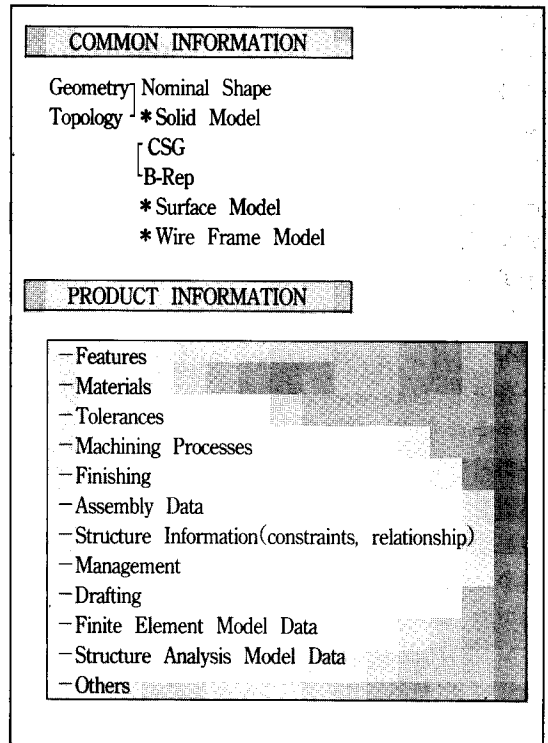


그림 7. STEP에서의 Product Model

4. 지적 공정계획 기술

고기능 자율가공 시스템의 실현을 위해서는 CAD와 CAM을 연결시키기 위한 공정계획의 자동화 즉 CAPP(Computer-Aided Process Planning)의 개발이 중요하다. 공정계획은 CAD도면으로부터 추출된 가공특징형상을 실제로 가공하기 위하여 취해지는 일련의 공정지시이다. 따라서 공정계획에는 최소한 대상부품을 가공하기 위한 공정(Process)과 생산자원인 가공기계(Machine Tool), 절삭공구(Cutting Machine), 치공구(Fixture)에 대한 정보가 제공되어야 한다. 컴퓨터를 이용한 공정계획에는 Variant 방식과 Generative 방식 두가지가 일반적이다. Variant 방식은 유사한 부품에 대한 기준가공계획을 데이터베이스화 하여 새로운 부품의 가공시 그것이 속한 부품군의 기준가공계획을 얻어 이를 수정하는 방식으로 G. T개념을 부품군의 형성에 이용하고 있다. 그러나 Genera-

tive 방식은 설계단계에서 상세한 가공정보를 입력하고 이를 프로그램내의 논리적인 결정 알고리즘을 사용하여 필요한 공정의 선택과 가공조건을 자동으로 만들어 내는 방식으로 현장에서 활용되는 대부분의 공정계획시스템에 이용되고 있다. 최근들어 특징형상모델에서 가공특징형상을 추출하여 공정계획을 수립하는 연구가 일부에서 활발히 진행되고 있다. 이들 연구에서는 특징형상의 장점을 유지하기 위해 특징형상 디자인과 특징형상 인식을 동시에 고려하고 있으며 기본형상 추출과정, Depression 형상추출과정, Protrusion 형상추출과정 및 가공형상으로의 변환과정으로 세분화시켜 부품의 가공정보를 추출해 내고 있다. 이러한 생산관련 정보들은 데이터베이스에 저장되는데 생산자원들의 특성상 그 구성요소들이 계층적 관계와 부속적 관계가 많은 복잡한 구조를 가지고 있어 객체지향적인 데이터베이스를 사용하여 실제의 생산자원을 표현하려는 연구가 일부 진행되고 있다. 기존의 관계형데이터베이스로 생산자원정보를 표현하면 정보들의 단편화가 심하여 질의시 복잡한 결합(Join)이 필요하게 되어 질의 비용이 비싸다. 따라서 복잡한 구성계층과 유전계층을 가진 생산환경의 모델링에 적합한 객체지향 개념의 데이터베이스에 관심이 모아지고 있다.

### 5. NC 프로그래밍과 시뮬레이션

부품의 최적가공을 위한 전단계로 부품의 모델링이 이루어지고, 부품 가공에 필요한 각종 정보와 공정계획이 확정되면 최종적으로 부품 가공에 필요한 NC 코드를 생성할 수 있도록 NC 프로그래밍을 하여야 한다. 공정계획 프로그램에서 부품 가공에 필요한 가공기계, 가공방식, 치공구 그리고 절삭조건 등이 결정이 되면 이를 기준으로 부품을 가공할 수 있는 부품이동경로를 계산한 후 공구의 진입, 후퇴 방향 등을 설정하고 회전속도(spindle rate)와 진행속도(feed rate) 등을 지정하여 NC데이터를 산출한다.

일반적으로 복잡한 NC 프로그래밍은 밀링작업이 주를 이루는데 밀링작업에서의 NC 프로그래

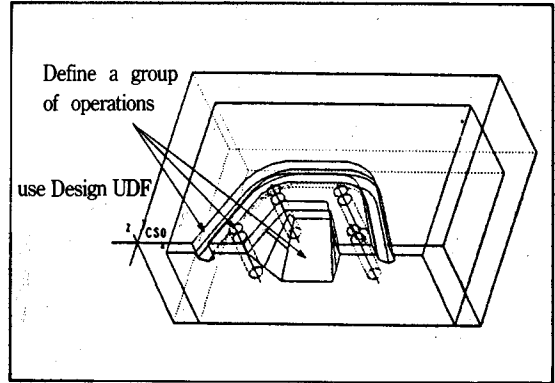


그림 8. NC데이터 생성 예

밍은 다음 여러 가지를 고려하여야 한다. 밀링가공이 결정되면 가공 대상면에 따라 가공방식을 결정해야 하는데 통상 킨투어링(contouring), 프로파일링(profiling), 포켓팅(pocketing) 등의 가공방식중 하나를 택하게 된다. 가공방식이 결정이 되면 절삭조건에 따라 공구경로의 운동방식을 지정할 수 있는데 이에 나선형방식(spiral), 지그재그방식(zigzag), 일방향방식(one way) 등이 있다. 다음으로 가공 정밀도를 설정하기 위하여 몇가지 허용오차를 부여하는데 공구경로 간격 때문에 경로사이에서 발생하는 가공이 안되는 부분인 커스프(cusp)의 허용가능한 높이와, 공구를 선형으로 제어하기 위한 직선운동으로 인해 발생하는 오차(step length)를 입력하여야 한다. 위에서 열거한 여러 사항들에 대한 입력이 주어지면 공구경로가 산출이 된다. 각 면에 대한 NC 데이터의 산출이 끝나면 실제 가공에 앞서 데이터가 유효한지를 확인하는 공구경로 검증 시뮬레이션이 필요한데 그래픽화면에 공구가 지나가는 과정을 도시함으로써 공구가 예상치 못한 방향으로 움직이는 것을 확인할 수 있다. NC데이터의 확인 절차가 끝나면 실제 가공을 하기 위해 NC기계가 판독할 수 있는 형태로 데이터를 바꾸어 주는 후처리(postprocessing)가 수행되면 APT형태의 NC데이터는 G-code 형태로 변환되어 실제 NC가공작업에 사용된다.

이와 같은 모든 작업은 CAM 시스템과 작업자간의 대화식 정보입력으로 이루어지고 있는데 최근들어 엔지니어링데이터베이스를 이용한 인터



페이스프로그램을 통해 작업자가 입력하는 가공 정보를 줄여 CAM 작업을 자동화 시킬 수 있는 연구가 일부에서 진행되고 있다.

## 6. 결 언

무인화를 목표로 하는 고기능 자율가공 시스템이 원활히 가동되기 위해서는 가공부품의 각종 엔지니어링 정보를 효율적으로 표현할 수 있어야 하고 이들 정보가 다음 공정에 활용이 되어 모든 처리가 일괄적으로 이루어져야 한다. 따라서 부품의 설계 및 가공도면에 나타난 각종 정보들은 모델링 단계에서 부터 관련된 다른 공정들과 연관되어 활용될 수 있도록 고려되어야 한다. 본고에서는 CAD 작업과 CAM 작업을 별개로 생각하고 단순히 부품의 형상정보만 주고 받는 일차원적인 관계를 유지하고 있는 기존의 상용 CAD/CAM 시스템에서 CAD와 CAM 기능을 보다 유기적으로 연결시킬 수 있는 방안을 모색하기 위해 기본적으로 고려해야 하는 각종 기술들을 소개하였다.

특히 형상정보모델링 기술을 기반으로 한 공정 계획 자동작성과 보다 자동화된 CAM 시스템 구현을 위한 인터페이스 기술 그리고 엔지니어링 데이터의 복잡한 구조를 모델링할 수 있는 객체 지향적인 데이터베이스의 활용방안 등이 중점 연구되므로서 무인화가 가능한 고기능자율시스템이 개발될 수 있을 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Jon Owen, "STEP An Introduction", information geometers Ltd, 1993.
- [2] 이진우, "컴퓨터 그래픽과 CAD", 연지문화사, 1994.
- [3] 한국과학기술원, "CIM을 위한 차세대 솔리드 모델러: 이론 및 응용", 1990.
- [4] V. Akman, T. Tomyama, "A fundamental and theoretical framework for an intelligent CAD system", CAD V.22, No.6, Aug. 1990.