

CAD를 위한 제품형상 모델링 기법

최 영

한국과학기술연구원 CAD/CAM연구실



● 1957년생
● 솔리드 모델링을 전공하였으며, Geometric Modelling 및 CAD/CAM 분야에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

최초의 설계작업은 손에 의한 스케치에 의해 이루어졌다. 설계 스케치와 미술작품은 3차원 형상을 표현한다는 점에서는 같았지만, 설계 스케치는 설계자의 의도와 상세구조를 표현하기 위해 문자로 주석을 달았다는 점에서 미술작품과 달랐다. 설계 스케치에 추가된 주석은 제품을 만드는데 필요했기 때문이었다.

설계 스케치는 그 후 도면으로 대체되었는데, 도면은 미리 지정된 기호를 이용하여 작성되기 때문에 구체적인 주기(註記)의 필요성이 줄어들게 되었다. 도면은 3차원 형상의 스케치 대신에 명확한 치수기입이 가능한 몇 개의 2차원 투영도로 작성된다. 그런데 1975년경 3차원 CAD시스템의 출현은 이러한 설계개념을 다시 한 번 바꾸었다.

3차원 와이어프레임 모델링 기술은 3차원 형상을 컴퓨터 내에 모델링하고 그로부터 치수기입이 된 정확한 2차원 도면의 생성을 가능하게 하였다. 그러나 설계자들은 다시 2차원 화면상에서 3차원 도형요소들을 대화식으로 정의하고 이동시키는 방법들을 배워야 했다. 3차원 와이어프레임 모델은 물체의 면을 정의하는 정보를 가지고 있지 않기 때문에 모델을 모호하지 않게 가시화(visualize)할 수는 없었다.

곡면 모델링 기법은 실제 모델을 제작하지 않

고도 복잡한 형상을 정의하고 해석할 수 있는 길을 열어 주었다. 이 기술은 특히 자동차와 항공기 산업과 관련하여 발전했으며 컴퓨터를 이용한 물드와 금형의 제작도 가능하게 하였다. 곡면을 기초로 하는 CAD시스템들은 평면, 기하학적 곡면, sweep 곡면 및 자유곡면 등 여러 가지 형태의 면들을 제공한다. 자유곡면은 Bezier와 de Boor(B-spline)의 알고리즘들에 기반을 두고 있다. 가장 최근의 CAD시스템들은 NURBS(non-uniform rational B-splines)를 자유곡면의 표현방법으로 채택하고 있다. 곡면 모델링이 와이어프레임 모델링보다는 더 상세하게 3차원 형상을 표현하게 하지만 아직도 완벽하게 표현하기에는 부족했다.

2. 솔리드 모델링

솔리드 모델링의 개념은 와이어프레임 모델링과 곡면 모델링에 비하여 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- 완벽한 기하학적 형상 표현
- 간섭체크 기능
- 기본형상과 부울리언(boolean)을 이용한 형상 모델링
- 제품모델의 완벽한 3차원 화상처리
- 표면적 및 부피, 무게, 무게중심, 관성모멘트 등의 계산 용이
- FEM 요소의 자동생성

• NC 데이터의 자동생성

1973년에 두 가지의 서로 다른 솔리드 모델링 개념이 독립적으로 소개되었는데 두 가지 방법 모두 기본 솔리드 형상, 변환행렬 및 부울리언 작업에 의하여 복잡한 형상을 모델링하도록 하였다. 그러나 비록 사용자에게는 두 시스템이 서로 비슷하게 보였지만 모델의 내부적인 표현 방법은 서로 완전히 달랐다. TIPS⁽¹⁾에서는 모델이 기본 솔리드의 종류, 변환 행렬 및 부울리언 작업에 의해서 표현되었는데 그 표현방법은 현재 CSG(constructive solid geometry)라고 불리우고 있다. BUILD⁽²⁾에서는 모델이 페이스(face), 에즈(edge) 및 버텍스(vertex)들의 집합과 그들 상호간의 위상관계에 의해서 표현되었는데 이 방법은 현재 B-rep (boundary representation)이라고 불리우고 있다.

현재까지 개발되어 온 거의 모든 시스템들은 CSG나 B-rep 또는 두 가지 방법을 함께 채택하고 있다. 두 가지 방법은 서로 장단점을 가지고 있는데, 내부적으로는 CSG 표현을 사용하지만 와이어프레임 디스플레이를 위해서 B-rep 데이터 생성 기능을 부가시킨 PADL-1⁽³⁾의 등장으로 인해 두 가지 방법의 상대적인 우월성을 따지기는 어렵게 되었다. B-rep으로 표현된 데이터로부터 CSG 표현을 유도하기는 쉬운일이 아니지만 B-rep은 모델수정방법의 다양성이라는 측면에서 CSG에 비해 상당히 큰 장점을 가지고 있다. 다음의 두 절에서의 CSG와 B-rep에 대해 언급하고자 한다. CSG와 B-rep 이 외에도 여러 가지 솔리드 모델링 기법이 발표되었으나 여기에서는 생략하고자 한다.⁽⁴⁾

3. CSG(Constructive Solid Geometry)

CSG 모델은 기본도형과 부울리언 연산자로 이루어진 바이너리 트리(binary tree)이다. 기본도형들은 바이너리 트리의 맨아래에 위치하며 중간 노드(node)들은 복잡한 형상을 나타

내게 되고 트리구조의 맨상단 노드가 완전한 형상을 표현하게 된다. 각각의 기본도형들은 위치, 방향 및 크기를 지정하는 변환행렬을 동반한다. 사용되는 부울리언 연산자 들에는 유니온(union), 인터섹션(intersection) 및 디퍼런스(difference)가 있다. 모델생성 작업은 텍스트, 메뉴 또는 아이콘 등을 통해 이루어진다. 모델은 기본도형의 파라미터를 변경하거나 트리의 가치를 제거하거나 삽입함으로써 수정이 가능하다. CSG 모델은 직접적으로 페이스, 에즈, 버텍스에 관한 정보를 갖고 있지 않기 때문에 대화식으로 국부적인 수정을 할 수는 없다. 그림 1은 CSG 모델의 한 예를 보여주고 있다.

B-rep의 경우와는 달리 CSG표현은 최소의 정보만을 직접 저장하고 있기 때문에 모델의 디스플레이나 부피특성 계산시 B-rep에 비해 상당히 많은 양의 계산이 필요하다. 화소(pixel)

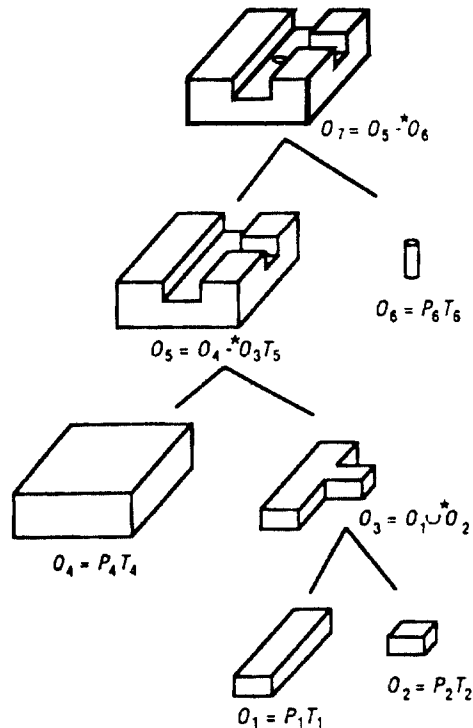


그림 1 CSG 모델링의 예

단위의 이미지는 CSG 모델로부터 레이 트레이싱(ray tracing) 방법에 의해 직접 생성될 수 있다. 이 기법은 초기의 사용 솔리드 모델링 시스템 중의 하나인 SYNTHAVISION에 의해 사용되었다. 그러나 이 시스템은 CSG 모델을 디스플레이하는 가장 보편적인 방법도 제공하였는데, 그 방법이란 우선 CSG 모델로부터 와이어프레임 모델을 생성한 다음 그 와이어프레임 이미지를 벡터 그래픽스에 의해 디스플레이하는 것이었다.

CSG 모델을 직접 이용하는 응용분야는 기본도형과 트리로부터 필요한 정보를 추출해서 사용하여야 한다. CSG의 장점 중의 하나는 모델링의 과정이 모델 데이터 속에 그대로 저장되어 있다는 것이다. 그러나 똑같은 모델을 표현하는 데도 여러 가지 다른 기본도형, 변환행렬 및 연산자를 사용할 수 있기 때문에 CSG 모델은 유일성(uniqueness)이 없다고 볼 수 있다.

TIPS는 솔리드 기본도형 외에도 하프스페이스(half-space)를 기본도형으로 사용하였다. 하프스페이스란 3차원 공간을 솔리드구역(solid region)과 빈 구역(empty region)으로 양분하는 무한면으로 정의되며 식으로 표현될 수 있다. 예를 들면 정육면체는 여섯개의 평면 하프스페이스의 교집합으로 표현될 수 있다. 이론적으로는 어떤 형상이든지 이러한 방법으로 표현할 수 있지만 실제로는 곡면간의 교차선 계산 알고리즘의 어려움 때문에 사용이 제한되어 있다. 실제로 n 종류의 곡면이 사용될 경우 필요한 교차선 계산 알고리즘의 개수는 $n(n-1)/2$ 이다. 그러므로 한 시스템에서 보통 사용되는 기본도형의 종류는 제한되어 있다. PADL-1은 볼록과 실린더만을 제공했는데 이것만으로는 실제 산업체에서 이용하기에 불충분했다. 1982년에 발표된 PADL-2⁽⁵⁾는 2차곡면(quadric)을 가진 기본도형을 제공하게 되었다. 상용 시스템인 Unisolds는 PADL-2를 기본으로 하여 만들어진 시스템이다.

B-rep과 비교하여 CSG의 장점은 다음과 같

다.

- CSG는 데이터구조가 간단하고 데이터 양이 작아서 다루기 쉽다.
- CSG 모델은 언제나 유효한 솔리드이다.
- CSG를 내부표현으로 채택한 시스템은 통상 B-rep으로의 데이터 변환 기능을 제공하기 때문에 여러 가지 응용분야에서 유리하다.
- CSG는 모델의 형상이라기 보다는 모델링 과정을 정의하기 때문에 부울리언 연산자, 변환행렬 및 기본도형의 변경에 의한 모델의 수정이 용이하다.

CSG의 단점으로는 다음과 같은 점들이 있다.

- 모델생성 방법의 제한성(부울리언 작업만 가능)
- 경계면 들이 직접적으로 정의되어 있지 않기 때문에 와이어프레임 디스플레이, 음영처리, 레이 트레이싱 등의 작업에 시간이 많이 소요된다.

4. B-rep(Boundary Representation)

B-rep은 곡면 모델링 기법을 기본으로 한 솔리드 모델링 기법이다. 초기의 B-rep 모델러들은 페이스, 에즈 및 버텍스의 테이블만으로 솔리드를 표현하였다. 그림 2는 이러한 데이터 구조의 한 예를 부여주고 있다. 페이스 테이블에는 각 페이스에 인접해 있는 모든 에즈에 관한 정보가 저장되어 있다. 각 페이스를 둘러싼 에즈의 나열순서가 그 페이스의 어느 편이 솔리드의 내부인지를 암시한다. (통상 솔리드의 외부에서 어떤 페이스를 보았을 때 반시계 방향의 순서로 에즈들을 저장한다.) 에즈 테이블은 각 에즈의 양끝 버텍스를 저장한다. 마지막으로 버텍스 테이블은 각 버텍스의 좌표를 저장한다. 그런데 이러한 데이터 구조 하에서는 각 요소간의 위상정보(topology)를 추출하는 것이 매우 비효율적이었다. 예를 들자면, 특정 에즈에 접해있는 두 페이스를 찾는다는가 어떤 버텍스에 접해있는 에즈들을 찾는다는가 하는

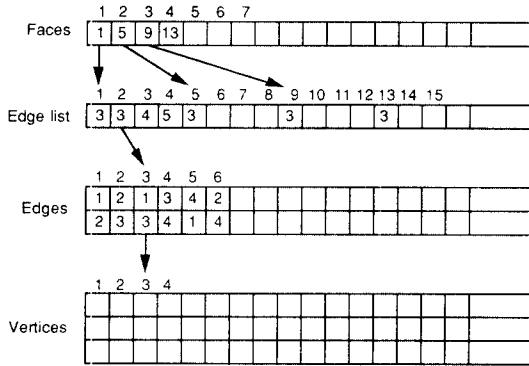
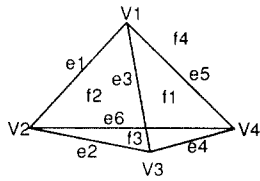


그림 2 초기 B-rep 데이터구조의 예

일이 쉽지가 않았다.

Baumgart가 그의 GEOMED 시스템에서 사용한 윙드에지(winged-edge) 데이터 구조는 그 후의 B-rep 모델러의 개발에 큰 영향을 끼쳤다.⁽⁶⁾ 아직도 많은 시스템에서 사용되고 있는 이 데이터 구조는 세 가지 종류의 데이터 구조로 이루어져 있는데 그림 3에 나타난 바와 같이 윙드에지구조(winged-edge structure), 페이스구조(face structure) 및 버텍스구조(vertex structure)가 바로 그것이다. 윙드에지구

조는 각각의 에지에 대해서 인접한 에지들, 에지를 공유하는 두 개의 페이스 및 에지의 두 끝 버텍스를 저장한다. 페이스구조는 각각의 페이스에 연결된 에지들과 버텍스 자신의 좌표를 저장한다. 이 데이터 표현방법으로 인해 앞에서 언급되었던 각 요소간의 위상관계를 체크하는데 있어서의 비효율성이 해결될 수 있었다.

1970년대 중반에 GEOMAP⁽⁷⁾, COMPAC⁽⁸⁾ 및 GLIDE⁽⁹⁾ 등의 B-rep 모델러들이 개발되었다. 대부분의 초기 모델러들은 평면요소로 이루어진 모델만을 허용하였기 때문에 곡면은 평면요소를 이용하여 근사적으로 표현하였고 이 방법은 평면근사법(facetting)이라고 불리었다. 두 개의 솔리드를 가지고 부울리언 작업을 할 경우에 한 솔리드의 모든 페이스들이 다른 솔리드의 모든 페이스들에 대해 체크되어야 한다. 즉 계산시간이 두 솔리드의 페이스 숫자의 곱에 비례한다고 할 수 있다. 바로 이러한 점이 곡면을 평면요소로 근사적으로 표현할 때에 얻을 수 있는 정밀도에 실질적인 한계를 부여한다. 또한 평면근사표현이 디스플레이 목적으로는 충분하다 하더라도 CAM 및 다른 응용분야에는 만족스럽지 못하다. 그래서 제2세대의 B-rep 모델러는 실린더, 원추 및 구 등의 기하학적 곡면(analytical surface)을 가진 기본도형을 포함하게 되었다. 곡면을 제공하는 시스템들은 정확한 기하학적형상을 가진 복잡한 제품의 모델링을 가능하게 하였다. 그러나 이

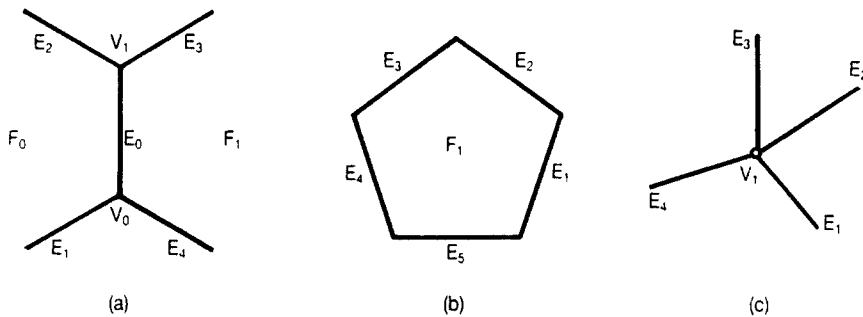


그림 3 윙드에지 구조, 페이스 구조, 버텍스 구조⁽¹⁷⁾

시스템들에는 더 복잡한 교차선 계산 알고리즘이 필요하게 되었다. 또한 계산시간이 많이 소요되고 컴퓨터의 제한된 정밀도로 인한 에러발생의 소지가 증가 되었다.

1975년에 “오일러 오퍼레이션(euler operation)”이라 부르는 모델링 작업방법이 Baumgart에 의해 개발되었는데, 이 작업방법은 Euler-Poincare 공식($V-E+F=2$)에 따라서 솔리드에 페이스, 에즈 및 버텍스들을 더하거나 빼는 것이다.⁽¹⁰⁾ 오일러 오퍼레이터(euler operator)는 모델링 작업이나 수정시에 항상 위상학적으로 유효한 솔리드를 유지하기 위해서 고안된 것이다. Braid는 구멍이 있는 페이스를 허용하는 데이터 구조를 제안하였다.⁽¹¹⁾ 이 방법은 페이스를 면 위의 제한된 면적으로 정의하고 있다. 이 경우 페이스의 경계는 하나의 외부 루프(loop)와 영 또는 하나 이상의 내부 루프로 이루어진다. 이것을 위하여 Braid는 “루프”라는 데이터 구조를 제안하고 페이스와 에즈구조를 변형시켜 사용하였다. 루프는 자신이 속하는 페이스와 그 루프를 구성하는 에즈들 등의 하나를 저장한다. 그림 4와 같이 하나의 페이스와 관련이 있는 모든 루프들은 한 방향의 링크 구조로 연결되어 있으며 페이스는 자신에 속해있는 모든 루프를 저장한다. 변형된 워드에즈 데이터구조는 두 개의 페이스 대신에 두개의 루프를 저장한다. 이렇게 변형

된 데이터 구조는 실제로 BUILD2에서 사용되었다.

최초의 상용 터키 B-rep 모델러의 하나인 ROMULUS는 BUILD를 개발했던 팀에 의해서 1979년에 발표되었다. ROMULUS는 BUILD와 GEOMED의 개념으로부터 출발하였으나 그것들과는 다른 아키텍처를 채택하였다. ROMULUS는 근사적 모델링이 아닌 정확한(exact) 모델링을 지원한다. 에즈들로 이루어진 루프로부터 와이어나 면(sheet) 오브젝트를 만들고 이를 스위프(sweep)하여 솔리드를 생성하는 기능을 가지고 있다. 이렇게 만들어진 스위프 오브젝트들은 기본솔리드 형상으로 이용될 수 있다. 또한 표면거칠기, 면 오브젝트의 두께 및 나사 등이 사용자가 정의한 속성(attribute)을 솔리드에 추가할 수 있는 기능을 가지고 있다. ROMULUS는 핵심 모델러(kernel modeler)로도 만들어져서 CAD-X, GRAFTEK과 UNICAD 등의 상용 CAD/CAM 시스템에서 채택되기도 하였다.

1980년에 Baumgart의 오일러 오퍼레이션의 연장이라 생각될 수 있는 “단계적 구성 방법(stepwise construction method)”이 Braid에 의해 개발되었다.⁽¹²⁾ 현재는 이 방법이 “국부작업(local operation)”이라고 불리우고 있다. 국부작업이란 그림 5와 같이 에즈의 생성, 제거 또는 수정과 페이스의 스위프를 통해서 국

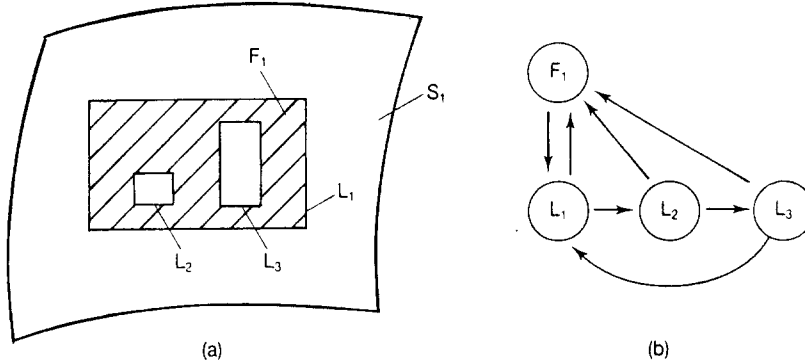


그림 4 내부 루프가 있는 페이스와 링크된 루프들로 이루어진 페이스구조⁽¹⁷⁾

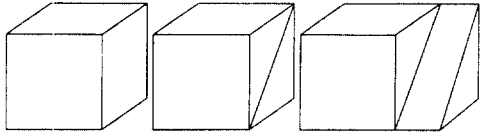


그림 5 국부작업에 의한 모델링작업

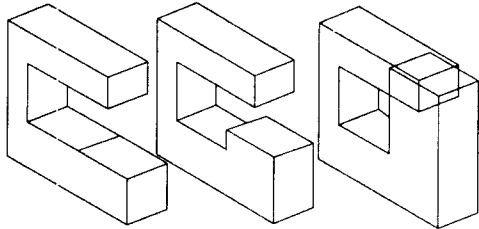


그림 6 국부작업에 의해 생성된 자체교차하는 솔리드

부적으로 B-rep 모델을 수정해 나가는 것을 말한다.

이 때는 전체적인 간섭 체크가 필요치 않기 때문에 부울리언 작업보다 유리한 경우가 많다. 결과적으로 계산시간은 작업중인 모델의 복잡성에 비례하지 않는다. 국부작업의 단점으로는 그림 6과 같이 솔리드 자신을 교차하는 결과를 만들어 낼 수도 있다는 것이다. 국부작업을 거친 솔리드가 위상학적으로는 오일러 공식을 만족하더라도 실제로 유효한 솔리드인지를 확인하기 위해서는 전체적인 간섭체크를 거쳐야 한다. 국부작업은 B-rep에서만 가능한 개념이고, CSG에서는 이러한 개념이 적용되지 않는다.

CAM-I에서는 테스트베드 솔리드 모델러⁽¹³⁾와 별개의 치수 및 공차 모델링 시스템이 개발되었다.⁽¹⁴⁾ CAM-I의 치수 및 공차 모델링 시스템은 자체 테스트베드 솔리드 모델링 시스템뿐만 아니라 CAM-1 AIS(application interface specification)⁽¹⁵⁾를 제공하는 다른 솔리드 모델링 시스템들과도 연계가 가능하다. 최근에 개발된 파라솔리드, ACIS 등과 같은 상용 시스템들은 자체 모델러와의 인터페이스를 위해서 CAM-I AIS를 제공하고 있다.

현재 B-rep 모델링 분야에서의 주요 연구분

야로는 효과적인 부울리언 작업 제산을 위한 알고리즘 개발, B-rep으로 표현가능한 형상범위의 확대 등을 들 수 있다.

CSG에 비해 B-rep의 장점으로는 다음과 같은 점들이 있다.

- B-rep 모델은 경계선의 정보를 직접 저장하고 있기 때문에 와이어 프레임 디스플레이에 시간이 많이 소요되지 않는다.

- 복잡한 형상을 가진 모델을 생성할 수 있는 여러 종류의 모델링 방법들을 제공한다.

B-rep의 단점은 다음과 같다.

- 데이터 구조가 복잡하고 양이 많아서 관리하기가 어렵다.

- Boolean 작업에 의한 사소한 모델수정이 때로는 번거로울 수 있다. 예를 들면, 어떤 구멍의 직경을 줄여야 하는 경우에 유니온 작업으로 구멍을 메운 다음에 다시 작은 직경의 실린더로 디퍼런스 작업을 수행하여야 한다. CSG의 경우에는 변환행렬에서 스케일을 정하는 파라미터를 수정하기만 하면 된다.

- 국부작업의 경우에 부적합한 솔리드가 생성될 수 있다.

B-rep의 가장 고질적인 결점은 그림 7과 같이 실수에 의한 모델의 형상변경으로부터 원래의 형상을 회복하기가 어렵다는 것이다. 원래 형상을 회복하기 위해서는 실수를 보상할 수 있는 일련의 작업을 시도할 수는 있으나 이것이 항상 가능하지는 않다. 둘째 방법으로는 모델링 작업의 모든 과정을 저장함으로써 작업중인 모델에 이상이 생겼을 경우에 그 이전 단계까지의 모델을 재생성할 수 있도록 하는 것이다. 세번째 방법은 중간단계의 모델을 저장해 나가는 것이다. 그러나 매우 복잡한 형상을 모델링하는 경우에는 너무 많은 메모리가 소요되는 단점이 있다. 다른 방법으로서 모든 기본적인 모델링 작업의 undo가 가능하도록 시스템을 설계하는 것이다.^(16,17)

가장 최근의 GEOMOD와 ACIS 같은 B-rep 모델러들은 곡선과 자유곡면의 표현 방식으로 NURBS를 채택하였다. ACIS는 BUILD를 만

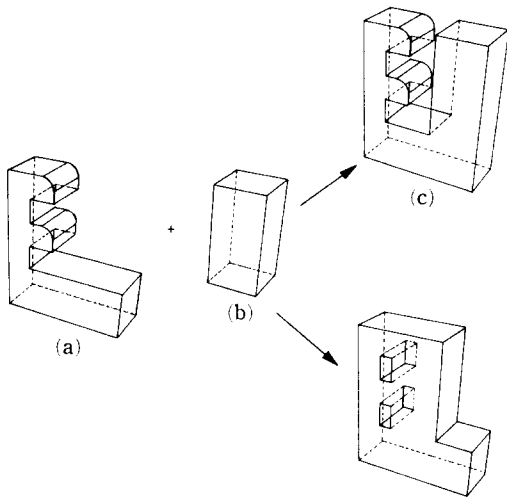


그림 7 회복 불가능한 B-rep부울리언 작업⁽¹⁷⁾

들었던 팀중의 몇 명에 의해 개발된 핵심모델러인데 C++로 프로그램되었고 신속한 undo와 redo기능을 제공하고 있다. ACIS는 와이어프레임, 자유곡면 및 솔리드를 통일된 데이터 구조에 의해서 표현한다. ACIS는 부울리언 및 스위프 외에 두 솔리드의 교차경계선을 계산하는 슬라이스 작업도 지원한다. 또한 이 시스템은 공차, 구속조건 등의 사용자에게 정의되는 속성을 다룰 수 있는 기능을 지원한다. ACIS는 곡면의 계산을 위한 다른 소프트웨어와의 인터페이스도 제공하고 있다.

5. Non-manifold 모델링

1980년대 중반에 들어 Non-manifold 모델링이라는 새로운 모델링 개념이 탄생되었는데 이는 전통적인 솔리드 모델링의 개념으로부터 탈피하여 와이어프레임, 곡면 및 솔리드를 하나의 데이터 구조로서 표현하려고 하는 것이다. 즉 non-manifold 모델은 오일러 공식을 만족시키지 않는 형상도 포함한다. 이러한 표현방식을 채택함으로써 아직 솔리드로 완성되지 않은 모델이라든가 또는 실제 3차원 물체의 추상적인 모델을 표현할 수 있게 되었다. 이로 인

하여 모델링 작업에 자유도가 더 주어지고 추상적인 모델에 의한 기하학적 추론이 더 용이하게 되었다. 예를 들면 기계조립체의 조립순서 해석이나 FEM 요소 생성에는 여러 개의 셀을 가진 셀구조의 모델을 채택하는 것이 더 효과적일 것으로 기대된다. Non-manifold 모델링을 위한 데이터 구조로는 Radial-edge,⁽¹⁸⁾ Vertex-based,⁽¹⁹⁾ SGC(selective geometric complex)⁽²⁰⁾ 등이 발표되었다.

현재 대부분의 사용 솔리드 모델링 시스템에서는 초기의 문제점들이 거의 모두 해결되었다. 많은 시스템들이 CSG와 B-rep의 혼합방식으로 모델링 과정을 저장할 수 있게 하고 있다. 그러나 순수 솔리드 모델링 시스템에서는 아직도 모델링 작업자체가 내부데이터 구조와 너무 밀착되어 있고 실제 설계작업에 사용하기에는 너무 제한된 설계방법만을 제공하고 있다. 그래서 설계자가 사용하기에 더 편리한 모델링 시스템의 필요성이 대두되었다.

6. 파라메트릭 (Parametric) 모델링

파라메트릭 모델링은 사용자가 제품모델의 치수를 어떤 숫자로 고정시키지 않고 유동적으로 정의할 수 있도록 하는 것이다. 이 경우에 치수는 식의 형태로 주어진다. 어떤 치수를 수정하였을 경우에, 기하학적 모델과 치수결정 시스템(dimensioning scheme) 간의 양방향의 데이터 연결고리에 의하여 그와 관련된 부위의 치수가 자동적으로 수정되고 모델 또한 자동적으로 변경된다. 이러한 방식으로 유연한 (flexible) 제품 모델이 생성될 수 있다. 많은 CAD 시스템들이 2차원 파라메트릭 모델링을 지원하고 있고 최근에는 Pro/Engineer나 UGConcept (parasolids) 같은 3차원 파라메트릭 모델링 시스템들이 출현했다. 3차원 파라메트릭 모델링을 지원하는 이 두 시스템들은 B-rep을 기본으로하여 설계되었고 기본적인 형상을 이용한 특징형상 모델링(feature based modeling) 기능을 제공한다. 물론 사용자가 복잡한

모양의 특징형상을 필요로 하는 경우에는 기본형상의 조합에 의해 원하는 특징형상을 정의해서 사용할 수 있도록 되어 있다.

7. 특징형상 모델링

공학적 특징형상(engineering feature)이란 부품의 어느 부분으로서 어떤 공학적인 중요성을 가진 요소⁽²¹⁾이다. 그리고 특징형상은 다음과 같은 조건을 만족시켜야 한다.⁽²²⁾

- 부품의 실제적인 구성요사이어야 한다.
- 어떤 일반적인 형상으로 분류가 가능하여야 한다.
- 공학적인 중요성을 가져야 한다.
- 예상 가능한 성질을 가져야 한다.

특징형상은 특정 파라미터들과 기하학적 및 위상학적 요소들의 구성과 상관관계의 조합으로 표현될 수 있다.

특징형상의 공학적 중요성이란 그것의 기능, 제조 또는 가공되는 방법, 그 부분의 유무로 인해서 취해져야 할 조치 등을 포함한다. 따라서 특징형상은 어떤 특정한 공학적인 작업과 직접적인 관련이 있는 “공학적 기본요소”라고 생각될 수도 있다.

특징형상은 부품들의 구성요소이기 때문에 결과적으로 조립체의 구성요소이기도 하다. 특징형상의 속성(attributes)은 제품설계의 어느 단계에서나 즉 어느 정도의 추상적개념 단계에서나 정의가 가능하다. 만일에 설계과정의 초기 개념설계 단계에서 특징형상이 필요하다면 개념적인 또는 추상적인 특징형상의 정의가 허용되어야 한다. 여기에는 한 가지 제약이 있는데, 개념적으로 정의된 특징형상들은 자신들에 관련된 모든 제품데이터가 완벽해진 단계에서는 실제로 제품의 일부부분으로 되어야 한다는 것이다. 또한 형상을 완벽하게 정의하기 위해서는 치수 파라미터들이 정해져야 한다. 개념적인 특징형상 데이터에 대해서는 컴퓨터나 인간에 의한 여러 가지 추론이 가능하여야 한다. 특징형상 모델링이란 빌딩블럭을 가지고 설계

를 한다는 개념이다. 기본형상으로서 실린더, 볼러, 원추 및 구 등을 사용하는 것이 아니라 어떤 특정한 응용분야와 직접적인 관련이 있는 더 높은 단계의 기본형상을 사용한다. 이 모델링 방법은 솔리드 모델링 시스템의 사용을 더 쉽게 해줄 수가 있다. 그러나 현대의 특징형상 모델러들은 제한된 종류의 특징형상들만을 제공하기 때문에 실제 현장에서 사용되기에는 아직 미흡하다.

제품기능의 정의를 제품의 형상으로 변환시키는 일은 간단하지가 않을 뿐더러 기능과 형상에는 일대일의 관계가 존재한다고 볼 수도 없다. 일반적으로 좋은 설계는 기능과 형상의 조합에 의해서 이루어진다고 생각된다. 특징형상은 부품의 일부분을 이루기 때문에 부품의 종류에 따라서 다른 종류의 특징형상들이 존재하게 된다. 예를 들면 금속 관재부품의 특징형상들은 기계가공 부품이나 복합재료 부품과는 일반적으로 관련이 없고 그 역도 마찬가지이다. 어떤 부품을 특징형상들을 이용하여 형성하거나 분해할 때 사용되는 특징형상의 종류 및 구성은 응용분야에 따라서 다르다.⁽²³⁾ 하나의 부품을 여러 (응용)관점에서 볼 수 있다는 것은 한 부품을 동시에 여러 관점에서의 특징형상으로 모델링할 필요가 있다는 것을 의미한다. 이 때에 한 가지 관점에서의 특징형상 표현을 주표현으로 하고, 필요한 경우 다른 관점에서의 특징형상 표현, 즉 부표현으로 변환시킬 수 있는 방법을 제공하는 것이 논리적인 것 같다. 하지만 그렇게 되면 주표현에서 어떤 수정이 이루어졌을 경우에는 부표현이 의미를 잃게 된다. 주모델이 수정될 때마다 부모델이 자동적으로 그에 상응하게 수정될 수 있도록 할 수 있는 메카니즘을 고안해 낼 수 있는지는 의문이다. 그러나 그 이전에 해결되어야 할 문제는 과연 어떤 한 가지 관점으로부터의 특징형상이 다른 관점에서의 특징형상으로 변화될 수 있는가 하는 것이다.⁽²⁴⁾

부품의 기하학적 형상이 완전히 정의되었을 때, 특징형상은 부품의 일부부분에 해당되어야 하

므로 특징형상의 표현은 기하학적 모델링에 기반을 두어야 한다. 일반적으로 특징형상 표현을 위한 기하학적 모델링으로 솔리드 모델링이 채택되어 사용되고 있다. 특징형상은 구체적형상으로(explicitly) 표현될 수도 있고 함축적으로(implicitly) 표현될 수도 있다. 함축적 특징형상은 제품형상에 필요한 기본형상이 아니라 그것을 생성할 수 있는 정보에 의해 정의된다. 함축적 특징형상은 종류, 위치, 방향 및 파라미터 등에 의해 정의된다. 특징형상설계 및 특징형상인식 분야에서는 주로 구체적 특징형상이 사용되어 왔다.

최초의 특징형상 모델링 기법은 DSG(destructive solid geometry)인데, 사실상 DSG는 디퍼런스작업만을 사용한 CSG라고 말할 수 있다. 다시 말하면 기본 소재 모델로부터 가공 특징형상들을 연속적으로 제거하는 방법인데, 제품설계가 완성되어 감에 따라 가공계획도 동시에 세워지게 된다. 이 방법은 다른 연구자들에 의해서도 채택되었는데, 모두 미리 정해진 종류의 특징형상 만을 제공하였다.^(25,26)

DSG와 다른 접근방법은 특징형상들을 조합해서 설계를 해 나가는 것인데 많은 시험 시스템들이 이 방법에 의해서 만들어졌다.^(27,28)

초기의 특징형상 모델러들에서는 제한된 특징형상들만이 제공되었으며, 시스템이 특정응용분야를 대상으로 개발되었다. 또한 모든 특징형상들의 위치는 하나의 기본좌표계(global coordinate)를 이용하여 정하였다. 이후에 개발된 시스템들은 사용자가 특징형상을 정의하여 사용할 수 있게 하였다. 사용자에 의한 특징형상의 정의는 다음 사항들을 위한 규칙과 과정을 정함으로써 이루어진다.

- 특징형상의 생성과 수정
- 솔리드 모델의 생성
- 파라미터의 유도
- 특징형상 작업의 유효성 체크

이러한 시스템들에서는 특징형상의 위치를 상대적으로 정하기도 하고, 어떤 시스템에서는 복잡한 종속 메카니즘을 채택하여 이를 콘트롤

하기도 한다.^(31,33)

대부분의 특징형상 모델링에 관한 연구는 B-rep을 사용하여 수행되고 있는데 그 이유는 CSG가 기본 솔리드 형상에 기반을 두고 있기 때문이다. 비록 CSG가 항상 유효한 솔리드를 생성하고, 특징형상을 빠르고 쉽게 정의할 수 있게 하지만 다음과 같은 점들 때문에 특징형상 모델링에 적합하지 않다.

- 특정모델을 여러 가지 방법으로 표현 가능하다(non-uniqueness).
- 대화식으로 기하학적 요소들을 다룰 수 없다.
- 국부적인 형상변경이 불가능하다.
- 기본형상의 면에 속성을 부가할 수 없다.

Requicha⁽³⁴⁾와 Faux⁽³⁵⁾는 CSG 하프스페이스를 이용한 특징형상 모델링 방법을 제안했다. 이로 인하여 면에 속성을 부가하는 문제는 해결되었으나 부피가 무한대인 부적절한 솔리드의 생성 가능성이 존재하였다. 이 문제는 다시 기하학적인 구속조건을 이용함으로써 해결되었다.^(29,33)

8. 특징형상 모델링의 문제점

특징형상 모델링의 가장 큰 문제점은 특징형상의 조합으로 부품을 설계할 경우 그 방법이 복수로 존재한다는 것이다. 즉 필요한 특징형상의 종류가 거의 무한대에 가까워질 수 있다. 그래서 사용자가 특징형상을 정의하고 특징형상 라이브러리를 증가시킬 수 있어야 한다.^(36,37) 그러나 이방법을 사용할 경우, 다른 CAD 시스템과의 데이터 호환성이 전혀 없어지고 다른 응용 모듈과의 인터페이스도 어려워진다. 그래서 특징형상과 그 속성에 대한 표준화가 필요한데 이것은 다시 특징형상을 제한하는 결과를 가져오게 된다. 이런 맥락에서 보면, 현재의 PDES/STEP(product data exchange using step/standard for exchange of product data)처럼 제한된 특징형상만의 표준화를 시도하는 것은 바람직하지 못하다. 가장 바람직

한 방향은 특징형상 정의를 위한 공식적인 언어를 개발하는 것이다.^(22,38) 유럽의 IMPACT 프로젝트(ESPRIT 2165)는 STEP의 제품 모델링 언어(product modelling language)인 EXPRESS를 기반으로한 PDGL이라는 특징형상 정의언어를 사용하고 있다. 앞으로 STEP은 표준화된 특징형상 정의언어에 의해서 사용자가 특징형상을 정의하여 사용하도록 할 계획이다.

9. 지식베이스 CAD시스템

설계에 있어서 기능과 형상과의 관계가 아직 확실히 정립되어 있지는 않다.⁽²²⁾ 즉 어떤 기능을 형상으로 또는 그 역으로 1대 1로 변환할 수 있는 함수가 존재하지 않는다. 예를 들면 똑같은 막대형상의 요소가 스프링으로 사용될 수 있으며 축(軸)으로서도 사용될 수도 있다. 또한 병마개를 따는 똑같은 기능을 가진 전혀 다른 형상의 병따개들이 존재할 수 있다. 또한 기능이란 어떤 한 가지의 단위형상으로 이루어지기 보다는 여러 단위형상들의 조합에 의해서 만들어진다.

특정 기능을 수행하는 표준 라이브러리에 의한 설계시스템이 존재하기는 하지만 극히 한정된 부분에서만 응용이 가능하다.⁽³⁹⁾ 그럼에도 불구하고 설계 초기단계에서의 제품 모델링을 위한 컴퓨터를 이용한 설계시스템에 대한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다.^(40,46)

Shah의 ASU feature testbed는 기계부품의 설계, 문서, 평가를 위한 모듈들의 집합으로 이루어져 있다. 이는 두개의 셸(shell)로 이루어져 있는데 하나는 부품설계를 위한 것이고 다른 하나는 특징형상의 맵핑(mapping)을 위한 것이다.⁽⁴¹⁾ 테스트베드의 셸들은 특징형상, 설계 규칙(design rule) 및 지식베이스의 확장에 의해 각자의 목적에 맞게 전용화될 수 있다. 이 테스트베드는 사용자가 특징형상, 치수, 공차, 기하학적 형상(geometry), 위상관계(topology) 및 설계규칙을 정의방법, 특징형상 라이

브리리 확장방법 및 설계시 특징형상의 사용방법들을 포함하고 있다. 이 시스템에서는 특징형상을 표현하기 위하여 4단계의 데이터구조를 채택하고 있다. 제일 높은 단계에는 특징형상의 관계들이 특징형상 그래프(feature graph)에 의해 표현된다. 둘째 단계에는 특징형상의 성질(properties)과 생성방법이 feature property리스트에 저장된다. 셋째 단계에는 특징형상의 파라미터(instance parameter)가 저장되고, 넷째 단계에는 특징형상을 형성하는 솔리드가 CSG형태로 저장된다. 마지막 단계의 데이터는 솔리드 모델러 인터페이스에 의해 어떠한 솔리드 모델러의 데이터 형태로도 변환될 수 있기 때문에 이 시스템은 특정 솔리드 모델링 기법에 구애받지 않는다.

초기의 “Knowledge-Based Engineering” 시스템인 ICAD와 Wisdom은 분류법(taxonomy)과 설계규칙(rule)을 이용하여 비기하학적인 모델링 기반하에서 부품들과 조립체로 이루어진 설계를 가능하게 한다. 이 시스템들은 자체의 기하학적 모델링 기능을 제공하고 있으나 타 모델러와의 인터페이스도 가능하게 한다.

10. 맺음말

설계란 주어진 구속조건 하에서 어떤 목표를 달성해 나가는 일련의 과정이라고 할 수 있다. 이 과정은 여러번의 합성(synthesis), 분석(analysis) 그리고 의사결정 루프에 의해 이루어진다. 이러한 개념설계 또는 설계초기 단계에서 사용될 수 있는 컴퓨터를 이용한 새로운 설계 기법들과 앞 부분에서 설명된 솔리드 모델링과 같은 구체적 형상모델링 기법의 조화가 미래에 등장할 새로운 CAD 시스템의 기반을 이룰 것이다.

참고문헌

- (1) Okino, N., Kakazu, Y., Kubo, 1973, “TIPS-1 : Technical Information Processing

- System for Computer Aided Design, Drawing and Manufacturing," in Computer Languages for Numerical Control, J. Hatvany, Ed., North Holland, Amsterdam, pp. 141~150.
- (2) Braid, I.C. and Lang, C.A., 1973, "Computer Aided Design of Mechanical Components with Volume Building Bricks," in Computer Languages for Numerical Control, J. Hatvany, Ed. North Holland pp. 173~184.
- (3) Voelcker, H.B. and Requicha, A.A.G., 1977, "Geometric modelling of Mechanical Parts and Processes," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 10, pp. 48~57.
- (4) Requicha, A.A.G., 1980, "Representation for Rigid Solids : Theory, Methods and Systems," ACM Computing Surveys, Vol. 12, pp. 437~464.
- (5) Brown, C.M., 1982, "PADL-2 : A Technical Summary," IEEE Computer Graphics and Applications, 2, pp. 69~84.
- (6) Baumgart, B.G., 1974, "Geometric Modelling for Computer Vision," Report STAN-CS-74-463, Stanford University : Stanford Artificial Intelligence Laboratory.
- (7) Hosaka, M., Kimura, F. and Kakishita, N., 1974, "A Unified Method for Processing Polyhedra," Information Processing '74, North Holland, Amsterdam, pp. 167~172.
- (8) Spur, G., Gausemeier, J., 1975, "Processing of Workpiece Information for Production Engineering Drawing," Proceedings of the 16th International Machine Tool Design and Research Conference, Manchester, pp. 17~21.
- (9) Eastman, C. and Henrion, M., 1977, "GLIDE : A Language for Design Information Systems," Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH '77), Vol. 11, pp. 24~33.
- (10) Baumgart, B.G., 1975, "A Polyhedron Representation for Computer Vision," AFIPS Conference Proceedings, 44, pp. 589~596.
- (11) Braid, I.C., 1978, "Notes on a Geometric Modeller," CAD Group Document No. 101, Computer Laboratory Cambridge.
- (12) Braid, I.C., Hillard, R.C. and Stroud, I.A., 1980, "Stepwise Construction of Polyhedra in Geometric Modelling," in Mathematical Methods in Computer Graphics and Design, K.W. Brodie, Ed., Academic Press, New York, pp. 123~141.
- (13) CAM-I, 1985, "CAM-I Test Bed Modeller," CAM-I PS-85-GM-01, Arlington.
- (14) CAM-I, 1986, "CAM-I D&T Modeller, Version 1.0-Dimensioning and Tolerancing Feasibility Demonstration Final Report," CAM-I PS-86-ANC/GM-01, Arlington.
- (15) General Dynamics Corporation, 1985, "Volume Decomposition Algorithm-Final Report," CAM-IR-82-ANC-01, Arlington.
- (16) Mantyla, M. and Sulonen, R., 1982, "GWB : A Solid Modeller with Euler Operators," IEEE Computer Graphics and Applications, 2, pp. 17~81.
- (17) Chiyokura, H., 1988, "Solid Modelling with Designbase," Addison-Wesley, Reading.
- (18) Weiler, K.J., 1988, "The Radial Edge Structure : A Topological Representation for Non-Manifold Geometric Modelling," M. Wozny, H. MacLaughlin, J. Encarnacao, Eds. Geometric Modelling for CAD Applications, North Holland, pp. 3~36.
- (19) Gursoz, E.L., Choi, Y. and Prinz, F.B., 1990, "Vertex-based Representation of Non-Manifold Boundaries," M. Wozny, J. Turner, K. Preiss, Eds, Geometric Modelling for Product Engineering, North Holland, pp.

- 107~130.
- (20) Rossignac, J.R. and O'Connor, M.A., 1990, "SGC : A Dimension-Independent Model for Pointsets with Internal Structures and Incomplete Boundaries," M. Wozny, J. Turner, K. Preiss, Eds, Geometric Modelling for Product Engineering, North Holland, pp. 145~180.
- (21) CAM-I, 1989, "Functional Requirements for A Feature Based Modelling System," CAM-I R-89-GM-01, Arlington.
- (22) Shah, J.J., 1990, "Philosophical Development of form Feature Concept," in Proceedings of the CAM-I Features Symposium, P-90-PM-02, pp. 55~77.
- (23) Hummel, K.E., 1990, "The Role of Features in Computer Aided Process Planning," Proceedings of the CAM-I Features Symposium, P-90-PM-02.
- (24) Shah, J.J., 1989, "Feature Transformations between Application Specific Feature Spaces," CAE Journal, Vol. 5, No. 6.
- (25) Cutkosky, M., Tenenbaum, J. and Miller, D., 1988, "Feature Based Design," ASME Computes in Engineering Conference, San Francisco.
- (26) Turner, G.P. and Anderson, D.C., 1988, "An Object Oriented Approach to Interactive Feature Based Design for Quick Turn around Manufacturing," ASME Computes in Engineering Conference, San Francisco.
- (27) Miner, R.H., 1985, "A Method for Representation and Manipulation of Geometric Features in a Solid Model," MS thesis, Mechanical Engineering Dept., MIT, Cambridge.
- (28) Luby, S.C., Dixon, J.R. and Simmons, M. K., 1986, "Creating and Using a Features Data Base," Computers in Mechanical Engineering, Vol. 5, No. 3.
- (29) Burchart, R.L., 1987, "Feature Based Geometric Constraints Applied to CSG," MS Thesis, Purdue.
- (30) Chung, J.C., Cook, R.L., Patel, D. and Simmons, M.K., 1988, "Feature Based Geometry Construction for Geometric Reasoning," ASME Computers in Engineering Conference, San Francisco.
- (31) Shah, J.J., et al., 1988, "Current Status of Features Technology," CAM-I Report R-88-GM-04.
- (32) Requicha, A.A.G. and Vandenbrande, 1989, "Form Features for Mechanical Design and Manufacturing," ASME Computers in Engineering Conference, Anaheim.
- (33) Van Emmerik, M.J.G.M., 1990, "Interactive Design of Parameterized 3D Models by Direct Manipulation," Ph.D. Thesis, Delft University of Technology.
- (34) Requicha, A.A.G. and Chang, S.C., 1986, "Representation of Geometric Features, Tolerances and Attributes in Solid Modelers Based on Constructive Geometry," IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. 2, No. 3, pp. 156~166.
- (35) Faux, I.D., 1986, "Reconciliation of Design and Manufacturing Requirements for Product Description Data Using Functional Primitive Part Functions," CAM-I Report R-86-ANC/GM/PP"01.1.
- (36) Shah, J.J. and Rogers, M.T., 1988, "Functional Requirements and Conceptual Design of Feature Based Modelling Systems," Computer Aided Engineering Journal, Vol. 5, pp. 9~15.
- (37) Shah, J.J. and Rogers, M.T., 1988, "Feature Based Modelling Shell: Design and Implementation," in Proceedings of the ASME Computers in Engineering Conference, San Francisco.

- (38) Pratt, M., 1990, "Automated Feature Recognition and Its Role in Product Modeling," Proceedings of the CAM-I Features Symposium, P-90-PM-02, pp. 185~206.
- (39) Pahl, G. and Beitz, W., 1984, Engineering Design, A Systematic Approach, Springer Verlage.
- (40) Wingard, L., 1990, "Form Features in Product Models," Report on STU's Research Program CAD/CAM with Product Models and AI, Dept. of Manufacturing Systems, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- (41) Shah, J.J., et.al., 1990, "The A.S.U. Features Testbed : an Overview," in Proceedings of the CAM-I Features Symposium, P-90-PM-02, pp. 129~165.
- (42) Schmekel, H., 1989, "A System for Conceptual Design of Mechanical Products," Lic. Thesis, Dept. of Manufacturing Systems, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- (43) Kimura, F. and Suzuki, H., 1986, "Variational Product Design by Constraint Propagation and Satisfaction," Annals of CIRP, Vol. 35/1.
- (44) Kjellberg, T., 1985, "Product Model Knowledge Bases, Project Plan," Dept. of Manufacturing Systems, Royal Institute of Technology, Stockholm.
- (45) Kjellberg, T., 1988, "Tools for Intelligent Human Communication and Collaboration for Better Manufacturing," 2nd Toyota Conference : Organization of Engineering Knowledge for Product Modelling in CIM, Elsevier, Tokyo, pp. 359~379.
- (46) Lu, S.C-Y., 1990, "Annual Report of the Knowledge-Based Engineering Systems Laboratory, Urbana-Champaign. 