

〈論 文〉

## 경계표현법을 기본으로 한 특징형상 모델러의 개발

홍상훈\* · 서효원\*\* · 이상조\*\*\*

(1992년 6월 23일 접수)

### Development of Feature Based Modeller Using Boudary Representation

Sang Hoon Hong, Hoy Won Suh and Sang Jo Lee

**Key Words :** Feature(특징형상), Feature Based Modelling(특징형상모델링), Solid Modelling(솔리드 모델링)

#### Abstract

By virtue of progress of computer science, CAD/CAM technology has been developed greatly in each area. But the problems in the integration of CAD/CAM are not yet solved completely. The reason is that the exchange of data between CAD and CAM is difficult because the domains of design and manufacturing are different in nature. To solve this problem, a feature based modeller is developed in this study, which makes it possible to communicate between desgin and mnu-facturing through features. The modeller has feature definition facility and modelling scheme by the feature. In order to define general form feature, the concept of semi-bounded plane is introduced, and implemented as a B-rep sheet model using half-edge data structure. The features are then created on a part by local modification of the boundary on a part based on feature template information. This approach generalizes the modelling of features in a geometry model.

#### 1. 서 론

CAD/CAM기술은 컴퓨터의 발달에 힘입어 눈부신 진보를 이룩하였으나, CAD/CAM통합에 관한 연구성과는 아직 만족스럽지 못한 단계에 머물러 있다. 그 이유는 설계와 생산이라는 각기 다른 두 영역에서 사용하는 정보의 형태가 본질적으로 서로 달라 상호간의 정보교환에 어려움이 있기 때문이다. 특히 기존의 CAD 데이터베이스가 제공하는 정보만으로는 CAPP에서 요구하는 충분한 입력자료를 구성하는데 어려움이 있다. 따라서 생산 자동

화에 필요한 기하학적/비기하학적 정보를 기존의 CAD데이터와 함께 총괄하여 처리하기 위한 수단으로서 특징형상 개념의 도입이 요구된다. 이러한 특징형상 연구의 접근방법에는 다음 세 가지가 있다.<sup>(1,2)</sup>

- (1) Interactive feature definition(human-assisted)
- (2) Automatic feature recognition/extraction (FEX)
- (3) Design by feature, feature based design (FBD)

첫번째 방법은 인간이 직접 개입하여 CAD모델링 정보로부터 대화식작업을 통하여 특징형상을 추출하는 수동적인 방법이며, 두번째 방법은 주어진 솔리드모델의 정보로부터 특징형상을 인식/추출하

\*연세대학교 기계공학과 대학원

\*\*생산기술연구원 기계기계기술센터

\*\*\*정희원, 연세대학교 기계공학과

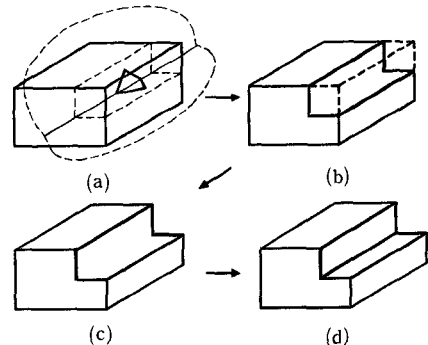
고자 하는 것으로서 지금까지 가장 많은 연구가 행해져 왔지만 인식가능한 특징형상이 비교적 제한되어 있다는 단점을 가지고 있다. 세번째 방법은 특정한 응용분야마다 일련의 특징형상집합(feature set)을 미리 정의해 놓고 설계시점에서부터 이들 특징형상을 이용하여 제품을 모델링해 나가는 방법(design by feature)으로서, 설계와 생산에 필요한 정보의 통합관리가 가능하며 기존의 솔리드모델링에서 문제가 되어온 복잡한 형상모델링 과정을 보다 간단하게 수행할 수 있는 장점을 가지고 있으므로 CAD/CAM통합을 위하여 상대적으로 가장 현실적인 접근방법이라고 말할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 CAD/CAM통합을 위하여 특징형상을 도입함에 있어서 세번째 방법을 채택하였다.

특징형상 모델링방법을 개발하는 데 있어서 특징형상의 표현방법이나 그 정의방법은 주요한 고려대상이 되며, 특히 솔리드모델링에 있어서 특징형상의 모델링방법은 솔리드모델러의 표현방안과 밀접하게 연관된다. 솔리드모델러를 이용한 특징형상 모델링기법으로는 Arbab<sup>(3)</sup>가 처음 제안한 DSG (destructive solid geometry)가 있는데, 이러한 Desturctive modelling기법은 CSG모델러에서 쉽게 구현가능하고, 설계가 진행되어 나감에 따라 공정계획도 동시에 수행할 수 있다는 장점을 가지고 있으나 표현가능한 특징형상이 depression 형상에 한정되므로 절삭가공에 관련된 응용분야에만 적합하다는 문제점이 있다.

그후 B-rep을 바탕으로 하여, volume primitive로 특징형상을 표현한 뒤 이들의 boolean조합을 이용하여 특징형상을 모델링하는 방법이 제안되었다.<sup>(4,5)</sup> Pratt<sup>(6)</sup>는 특징형상을 함축적 특징형상(implicit feature)과 구체적 특징형상(explicit feature)로 구분하였고, 이를 각각 CFV(canonical feature volume)와 AFV(attached feature volume)로 구분하였으며, Shah<sup>(7)</sup> 등도 특징형상을 FPV(feature producing volume)라는 volume primitive로 정의하고 CSG tree로서 특징형상을 표현하였다. 특징형상을 volume primitive로 정의하게 되면 특징형상간에 발생하는 간섭(interaction)을 처리하기가 용이하고 특징형상의 삭제작업(deletion operation)을 간단히 구현할 수 있는 이점이 있다. 그러나 모든 기하학적 형상이 2차원 다양체(2-manifold)의 특성을 가지는 B-rep 솔리드 모델에서는 특징형상을 volume으로 표현하기가 어

려운 점이 있는데, 예를 들어 surface 특징형상을 volume으로 만들어 주기 위해서는 부가적인 closure face<sup>(8)</sup>를 도입하여야 하고 volume을 저장할 수 있는 자료구조를 따로 만들어야 한다는 문제점이 있다. 한편 특징형상을 CSG방식으로 정의함으로써 한가지 단위 특징형상이 모델링방법에 따라 여러가지의 다른 특징형상으로 표현될 가능성이 있으므로 특징형상표현의 유일성에 문제가 있으며, 또한 이러한 volume feature primitive간의 불리언작업을 수행하기 위해서는 매우 많은 계산작업이 필요하게 된다. 반면에 김현석<sup>(8)</sup>은 특징형상을 반쪽공간(half space)을 생성하는 무한곡면의 집합으로 정의하고, 이들 면의 집합과 물체면과의 불리언작업을 통해 특징형상을 생성하는 모델링 기법을 제안하였다. 이 방법에 의하면 사용자가 임의의 특징형상을 면의 집합으로 표현할 수 있고, 또한 모델링의 측면에서도 특징형상의 실제 구성면만을 불리언연산에 참가시킴으로써 과도한 계산작업의 낭비를 줄일 수 있다. 그러나 특징형상 정의방법이 복잡해지고, 생성되는 특징형상도 depression 형상에만 국한하였다.

본 연구에서는 특징형상을 이용한 솔리드모델링을 수행하기 위하여 특징형상의 고유한 특성을 가지고 있는 특징형상 형판(feature template)을 제안하였다. 특징형상 형판은 반유한평면(semi-bounded plane)의 개념을 도입하여 정의하였고, 이를 Sheet 형태의 B-rep 솔리드로 구현하였다. 특징형상 모델링은 국부수정작업(local modification)



Positioning of feature template  
 Generation of feature boundary loop  
 Deletion of inner edges  
 Completion of feature

Fig. 1 Proposed modelling approach

의 개념을 바탕으로, (1) B-rep 솔리드에서 특징 형상이 형성되었을때 발생하는 경계모서리를 생성하고, (2) 경계내부의 형상을 삭제하여 단일면으로 만든 뒤, (3) 여기에 특징형상의 geometry를 작성하는 순으로 진행된다. 이때 특징형상 형판은 모델링의 각 단계에 있어 필요한 정보를 제공한다. Fig. 1은 본 연구에서 제안한 특징형상 모델링 기법의 개요를 나타낸 것이다.

## 2. 특징형상 형판의 정의

### 2.1 특징형상 형판

경계표현법을 이용한 모델링기법에서, 임의의 기하학적 형상은 2차원 다양체공간(2-manifold space) 상에서의 면(face)의 집합으로 이루어진다. 특징형상도 2차원 다양체 경계표면의 일부이므로 단순히 면들의 집합만으로 표현될 수 있다. 예를 들어 SLO 특징형상의 경우 Fig. 2와 같이 3개의 면으로 정의된다. 따라서 본 연구에서도 SLOT과 같은 특징형상 모델링을 위하여 특징형상 형판(feature template)을 정의하였다. 특징형상 형판은 반유한평면(semi-bounded plane)과 유한평면(bounded plane)의 집합으로서 정의하였다. 여기서 반유한평면은 평면을 일정한 경계를 갖도록 유계시키는 모서리들 중 일부 모서리가 정의되지 않은 것(unbounded)이다. 이 모서리는 모델링 작업이 이루어진 후에 확정된다. 반면에 유한평면은 그 경계를 이미 확정된 모서리로 정의할 수 있는 평면

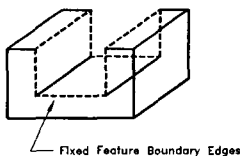


Fig. 2 SLOT feature  
Fixed feature boundary edges

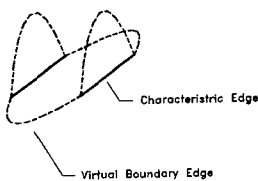


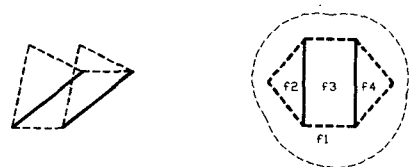
Fig. 3 Semi-bounded plane(for SLOT feature)  
Characteristic edge, Virtual boundary edge

을 말한다. Fig. 3은 SLOT 특징형상 형판에 대하여 반유한평면의 개념을 나타낸 것이다.

Fig. 3에서 SLOT 특징형상 형판은 3개의 반유한평면으로 정의되었다. 여기서 실선으로 나타낸 직선은 특징형상 형판의 특성모서리(characteristic edge)라고 정의한다. 특성모서리는 특징형상 형판의 구성면들을 부분적으로 유계시키며, 따라서 특징형상 형판의 고유한 기하학적/위상적 특성을 규정한다. 한편 현재 점선으로 표시되고 있는 것은 특징형상이 솔리드모델위에 실제로 생성된 후에 그 기하학적 성질이 완전히 결정되는 모서리로서, 이러한 유계되지 않는 가상적인 모서리를 본 연구에서는 가상경계 모서리(virtual boundary edge)라고 정의한다. 이러한 특성모서리와 가상경계모서리를 도입함으로써 특징형상 형판의 구성면들을 일부만이 유계된 평면, 즉 반유한평면으로 표현할 수 있다. 이때 반유한평면에 존재하는 가상경계모서리들은 1개의 폐쇄된 루프를 형성하게 되며, 이것은 특징형상 형판을 이용한 모델링작업이 끝났을때 B-rep 모델에서 특징형상의 경계루프를 형성하게 된다.

### 2.2 특징형상 형판 라이브러리

이러한 유한/반유한평면의 집합으로 특징형상 형판을 정의하였을 때, 이를 실제로 구현하기 위하여 본 연구에서는 sheet 형태의 2-manifold B-rep 솔리드 모델을 도입하고, 이를 사용하여 사용자가 특징형상을 정의할 수 있도록 하였다. Fig. 4는 SLOT 특징형상에 대하여 정의된 특징형상 형판과 그 Plane model을 나타낸 것이다. Fig. 4에서 실선으로 나타난 모서리는 특징형상 형판의 특성모서리이고, 점선으로 나타난 모서리는 가상경계 모서리이다. 이러한 가상경계 모서리는 가상면(f1)의 경계루프를 형성한다. 특징형상 형판은 부피를 가지



(a) Feature template (b) Plane model

Fig. 4 SLOT feature template and it's plane model diagram

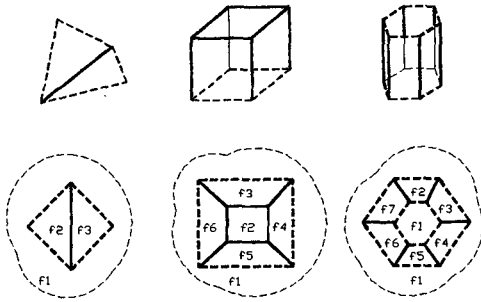


Fig. 5 Example of feature template

지 않는 sheet 형태의 Lamina model로서, 가상면 (f1)의 존재로 인하여 Euler식을 만족하게 되는 유효한(valid) B-rep 솔리드모델이다. 본 연구에서는 half-edge 자료구조를 사용하여 이를 구현하였다. Fig. 5는 몇가지 특징형상에 대하여 정의한 특징형상 형판의 예를 나타내었다.

본 연구에서는 사용자가 특징형상 형판을 정의하는데 필요한 최소한의 정보를 사용하여 특징형상 형판을 생성하고, 이를 라이브러리에 저장한 후 나중에 그 특징형상 형판을 이용하여 모델링작업을 수행할 때 필요한 변수를 입력받게 하였다. 예를 들어 SLOT과 같은 특징형상을 모델링하기 위해서는 "SLOT"을 메뉴로부터 선택하고 그에 필요한 치수(WIDTH)와 같은 값을 입력시켜준다. 지금까지 살펴본 바와 같이 사용자가 특징형상 형판을 정의함에 있어서 고려하여야 할 정보를 정리하면 Fig. 6과 같다. 특징형상 형판 라이브러리를 구축하기 위하여 Fig. 6과 같은 정보를 바탕으로 오일러 연산자를 이용하여 SLOT, STEP, BOSS, HOLE 등의 특징형상 형판을 직접 구성하였다. 특징형상 형판이 가지고 있는 평면들의 기하학적 조건은 국부좌표계내에서 특징형상 형판을 이루는 정점(vertex)의 좌표를 오일러 연산자의 인자(argument)로 지정해 줌으로써 표현된다.

2.3 모델링을 위한 특징형상 형판의 정보

특징형상 형판의 정의가 끝나면 정의된 형판을 특징형상 모델러의 형판 라이브러리에 등록시켜 놓은 뒤, 모델링시에 이들 형판을 불러내어 사용할 수 있다. 이러한 모델링작업은 특징형상 형판으로부터 유도해낼 수 있는 다양한 정보를 사용하여 이루어지게 된다. Fig. 7은 SLOT 특징형상 형판으

```

* Name      : SLOT
* Face      : f2, f3, f4, f1(virtual)

* Face-Adjacency : f1 f2 f3 f4
  Matrix
    f1 . 1 1 1
    f2 1 . 1 0
    f3 1 1 . 1
    f4 1 0 1 .

* Size list  : ( WIDTH )
* Euler Operator Sequence set :
  for boundary : ( MVFS, MEV, MEV, MEV, MEV, MEV, MEP )
  for inner geometry : ( MEP, MEP )
* Feature Template Face Equation
  (coefficients) : (f2 : a, b, c, d)
                  (f3 : a, b, c, d)
                  (f4 : a, b, c, d)
    
```

Fig. 6 Required information to define SLOT feature template

```

* Name : SLOT
* Virtual Boundary Loop Edges :
  ( f1 : h12, h23, h34, h45, h56, h61 )
* Face Loop Half Edges :
  ( f2 : h16, h65, h51 )
  ( f3 : h15, h54, h42, h21 )
  ( f4 : h24, h43, h32 )
* Projection Vectors :
  V1 = ( x, y, z ) : (from h51 in f2)
  V2 = ( x, y, z ) : (from h42 in f3)
  V3 = ( x, y, z ) : (from h24 in f4)
  V4 = ( x, y, z ) : (from h15 in f3)
* Feature Template Face Equations
  (coefficients) : (f2 : a, b, c, d)
                  (f3 : a, b, c, d)
                  (f4 : a, b, c, d)
* Feature Axis Origin : (x,y,z)
* Feature Axis Orientation : (x,y,z) (x,y,z) (x,y,z)
* Euler Operator for Modelling : (MEP, MEP)
* Size Parameter Identifier : WIDTH
    
```

Fig. 7 Derived information from SLOT feature template

로부터 알아낼 수 있는 모델링에 필요한 정보들이다.

위의 정보는 앞서 소개한 반유한평면의 개념을 바탕으로 특징형상을 모델링하기 위한 정보이다. 특징형상 형판 구성면의 면 방정식(face equation)과 projection vector 등의 기하학적 매개변수들은 모델링좌표계에 특징형상 형판을 위치시켰을때 계산된다. Virtual boundary loop edges는 모델링과 정중에 결정되는 유계되지 않은 모서리이다. Projection vector란 형판을 솔리드표면으로 확장시키기 위하여 필요한 방향정보로서, 특징형상 형판의 가상경계 모서리에 연결된 내부 특성모서리의 half-edge로부터 추출된다. 예를 들면 SLOT 특징형상 형판(Fig. 8)에서 projection vector V1은 f2에 존재하는 half-edge h51로부터 유도된다. Fig. 9

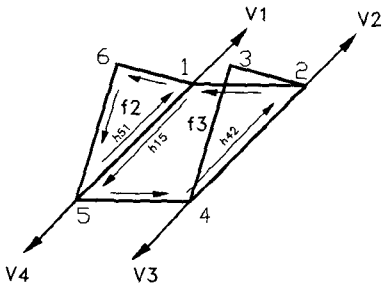


Fig. 8 Derivation of projection vectors, from feature template (for SLOT feature)

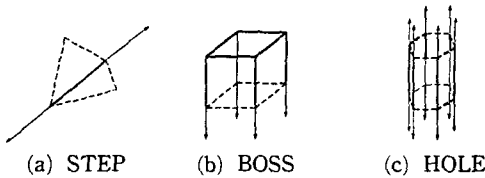


Fig. 9 Example of feature templates with projection vectors

는 몇가지 특징형상 형판에 대하여 projection vector를 나타낸 예이다. 이와같이 특징형상 형판에서 유도되는 projection vector와 특징형상 형판 구성면의 면 방정식, 그리고 형판 구성면의 half-edge 리스트와 같은 정보들은 모델링 단계에서 특징형상의 경계루프를 구하는 데 사용된다.

한편 특징형상 형판 라이브러리에는 특징형상 형판을 작성하기 위한 오일러 연산자의 리스트(euler operator sequence)가 저장되어 있는데, 이들 오일러 연산자들 중에서 특징형상의 내부 특성모서리를 만드는데 사용되는 연산자들이 특징형상 모델링에 필요하다. 본 연구에서는 이들 오일러연산자를 심볼(symbol) 형태로 저장하고, 모델링 단계에서 오일러 연산자를 구문해석(syntax analysis)하여 수행시키는 방식을 채택하였다.

### 3. 특징형상 모델링

특징형상 형판정보를 이용하여 솔리드모델을 작성하기 위한 작업은 다음과 같이 두 단계로 구성하였다.

- 1단계 : Base solid의 작성
  - 2단계 : Base solid의 특징형상을 생성
- 1단계에서는 경계표현법을 이용하여 base solid

를 작성한다. base solid는 특징형상이 포함되지 않은 기본적인 형상으로서, 오일러연산자를 이용하여 쉽게 만들수 있는 B-rep 솔리드이다. 2단계는 특징형상 모델링 단계로서, 특징형상 형판정보를 바탕으로 오일러연산자를 이용하여 base solid를 국부적으로 변형시켜 원하는 특징형상을 얻는 국부수정작업(local modification)의 개념하에 진행된다. 본 연구에서 개발한 특징형상 모델링방법은, (1) 먼저 솔리드모델의 표면에서 특징형상의 경계를 생성하고, (2) 생성된 경계루프내의 면들을 하나의 면으로 변형시킨 뒤, (3) 이 면을 특징형상의 특성을 지니도록 국부수정작업을 통하여 변형시키는 과정으로 이루어진다.

#### 3.1 특징형상 경계루프 모서리의 작성

사용자가 특징형상 형판을 원하는 위치에 위치시키고 나서, 형판을 구성하는 각 평면을 형판의 내부 특성모서리에 의하여 경계지어진(bounded) 상태에서 확장시켰을 때, 이 평면이 base solid의 경계표면과 교차할때 발생하는 일련의 교선들은 특징형상의 경계루프(feature boundary loop: FBL)를 구성하는 모서리를 이루게 된다. 여기서 STEP과 같은 depression 특징형상의 경우에는 base solid의 내부에, BOSS와 같은 protrusion 특징형상은 base solid의 외부에 특징형상 형판이 존재하여야 한다. Fig. 10에서 면 f2는 모서리에 ab에 의하여 경계지어진 상태에서 무한으로 확장되어 block의

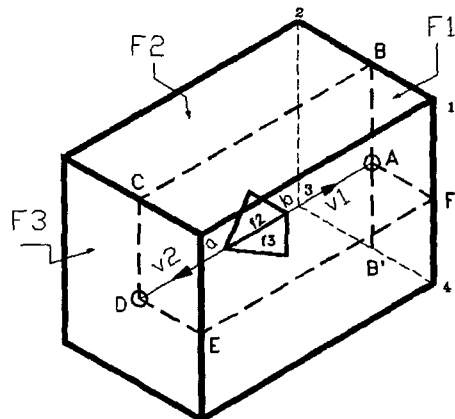


Fig. 10 Generation of feature boundary loop edges (for STEP feature)

면 F1, F2, F3와 교선을 이룬후 교점 A,B,C,D를 생성하게 된다. 여기서 semi-bounded plane에 의하여 특징형상에 필요한 모서리 AB, BC, CD를 구할 수 있다. 모서리를 구하는 과정에서 솔리드의 topology, 즉 face adjacency를 이용하여 모서리의 순서에 의한 loop를 구할 수 있다. 다음에 보다 상세한 내용을 정리해 보기로 한다.

Fig. 10에서 점선으로 나타낸 모서리들은 특징형상의 경계루프를 이루고 있는데, 이들 모서리들 중 AB, BC, CD는 특징형상 형판의 f2면과 base solid의 표면과의 교선이며, 모서리 DE, EF, FA는 특징형상 형판의 f3면과 base solid의 교선이다. 즉 반시계방향으로 A→D점까지는 형판의 f2면을 기준으로 교선을 구하고, D→A점까지는 형판의 f3면을 기준으로 교선을 구하면 base solid상에서 폐쇄된 특징형상 경계루프와 루프내의 정점(vertex)들(A, B,C,D,E,F)을 구할 수 있다. 그 상세한 순서는 다음과 같다.

우선 A점과 D점은 STEP 특징형상 형판의 projection vector에 의하여 구하며 이들을 경계루프기점(loop base vertex)이라 정의한다. 즉 A는 특징형상 형판의 f2에서 유도되는 projection vector v1과 base solid의 표면 F1과의 교점을 구함으로써 얻어진다. 마찬가지로 D는 v2와 F3의 교점을 구함으로써 얻어진다. 그리고 교선 AB, BC, CD를 구하기 위하여 우선 f2와 base solid의 경계표면 F1, F2, F3과의 교선을 구한다. 이때 교선은 유계되지 않는 무한 직선이기 때문에, 이 교선들을 유계시키기 위한 점 B,C를 구해야 하는데 그 방법은 다음과 같다.

Fig. 12에서 A가 놓여있는 base solid 면(F1)에 종속된 모든 모서리(e12, e23, e34, e41)를 선분의 매개변수방정식으로 표현한뒤, 이 식과 교선(f2와 F1)의 방정식을 연립하여 풀면 2개의 점(B, B')을 구할 수 있다 여기서 f2가 유계되지 않는 방향으로의 확장을 고려하면 B'점은 기각되고 B점만이 선택된다. B점은 base solid 경계표면(F1)의 모서리 위에 생성되므로, base solid 경계표면의 위상관계를 탐색하여 이 모서리에 인접한 평면(F2)을 알아낼 수 있다. 이 새로운 평면과 형판의 탐색면 f2와의 교선을 구한 후 지금까지의 작업을 반복해 나가면 C점을 구할 수 있고, 결과적으로 특징형상 경계루프를 이루는 일련의 유계된 모서리(AB, BC, CD)를 차례로 구할 수 있다.

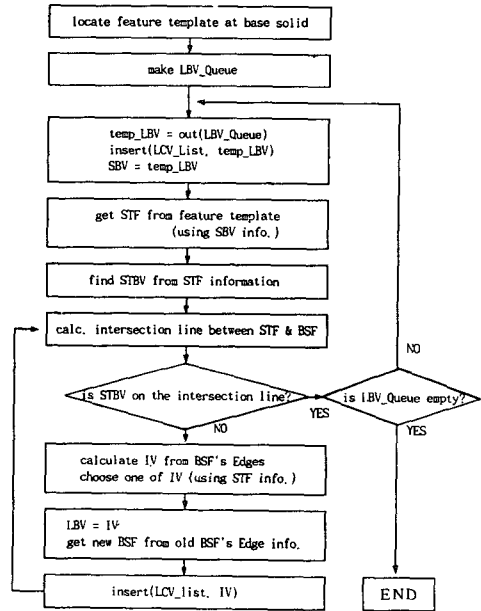


Fig. 11 Flow chart for generation of feature boundary loop

이와같이 알고리즘에 의하여 경계루프 구성점 리스트(LCV list) A, B, C, D, E, F와 경계모서리(AB, BC, CD, DE, EF, FA)가 생성되며 이들 경계루프 구성점들을 오일러연산자로 연결하면 base solid 경계표면에는 특징형상 경계루프의 모서리들이 생성된다. Fig. 11은 이러한 과정을 순서대로 나타낸 것이다.

3.2 특징형상 경계모서리 내부형상의 삭제

특징형상의 경계모서리 생성 후 그 내부에 특징형상 형판정보에 따라 특징형상을 생성해 내야 한다. 본 연구에서는 국부수정작업을 사용하였기 때문에 내부를 잘라내고 특징형상 형판을 갖다 붙이는 것이 아니라 내부의 형상을 지우고 특징형상 형판을 새로이 생성하는 방법을 채택하였다. 경계모서리 내부에 존재하는 임의의 기하학적/위상적 요소를 삭제하는 작업은 경계모서리 루프를 순차적으로 검색하여 루프 안쪽으로 연결된 모서리들을 삭제하고, 이로 인하여 특징형상 경계루프와 분리되어 생성되는 내부 루프구조를 제거함으로써 이루어진다. Fig. 12에서 STEP을 생성하기 위하여 내부모서리 제거작업을 나타내었는데, 경계모서리 loop를 따라 B,C,E,F에서 내부로 연결된 모서리들을

( $e_1, e_2, e_3, e_4$ ) 제거하고 분리된 모서리( $e_5$ )를 제거하면 내부의 면이 단일한 면으로 된다. 이러한 작업을 위하여 본 연구에서 적용한 알고리즘의 순서도를 Fig. 13에 나타내었다. 이때 새로 발생한 루프에 중속된 위상학적 요소(topological entities)

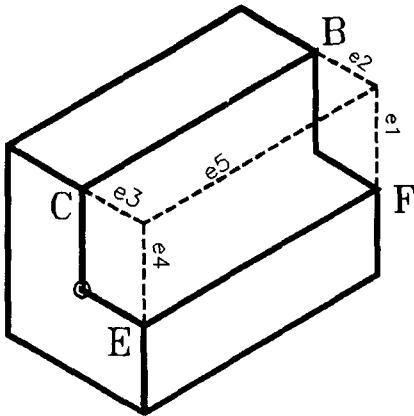


Fig. 12 Deletion of inner edges inside feature boundary loop

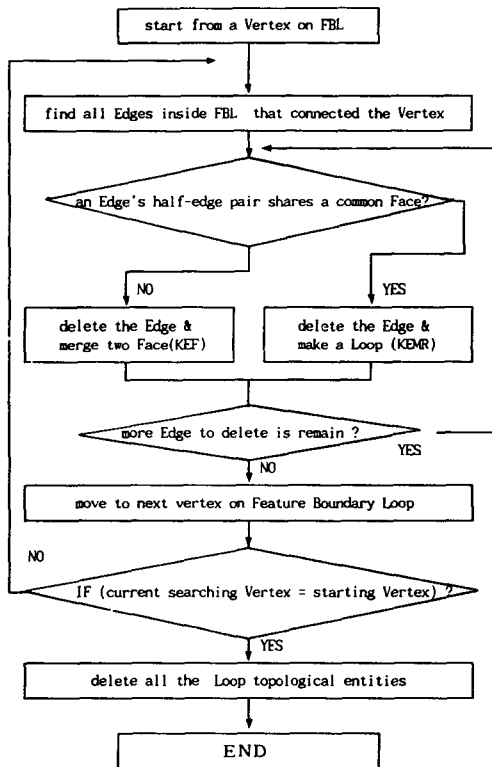


Fig. 13 Flow chart for elimination of inner edges inside feature boundary loop

를 제거하는 작업은 그래프조작을 이용하여 수행된다.

### 3.3 특징형상의 생성

앞에서 루프내부의 형상을 삭제하고 나면 루프 내부에는 위상적으로는 단일평면만이 존재하게 되는데, 이 면위에 특징형상을 작성하게 된다. 이때 필요한 오일러 연산자는 특징형상 형판의 정보로부터 얻을 수 있다. 특징형상 형판을 만들기 위한 연산자 집합은 앞서 기술한 바와 같이 특징형상의 가상경계 모서리를 구성하기 위하여 필요한 연산자들과 특징형상 경계내부의 특성모서리들을 만들기 위해 마련된 연산자로 구성되어 있는데, 이때 후자의 것만이 사용된다. 이러한 작업은 모든 특징형상에 대해서 동일하게 적용할 수 있으므로 특징형상 형판이 가지고 있는 오일러연산자로부터 특징형상 경계내부의 고유한 형상을 생성해 내는 작업이 가능하다.

### 3.4 특징형상 모델링의 UNDO 기능

일반적인 modeling에 있어서 사용자의 오류나 model 변경을 위하여 UNDO의 기능은 필수적이다 UNDO의 기능을 구현하는데는 기본적인 방법으로는 modeling history를 저장하여 UNDO 수행에 따라 전단계의 model을 불러내는 방법이 있는데 이것은 modeling history가 유계(bounded)될 수 없기 때문에 일반적인 방법으로 사용할 수가 없다. 일반적인 UNDO기능을 위하여서는 현단계의 특징형상 모델링에 의하여 제거된 모델 부분 및 변형된 특징형상의 재생성이 필요하다. 위와같은 UNDO

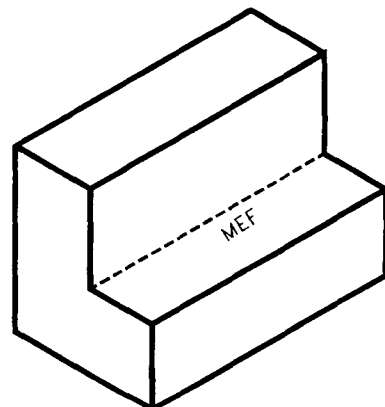


Fig. 14 Completion of feature generation

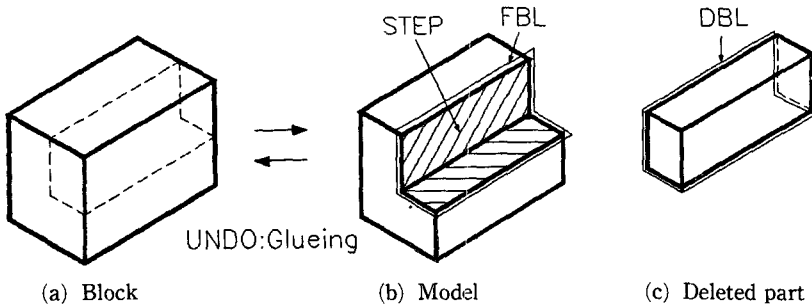


Fig. 15 UNDO operation

기능을 위하여 앞서 사용한 sheet 모델을 사용할 수 있다. Fig. 15에서 STEP 특징형상을 만들때 제거 되는 부분(c)을 특징형상 형판을 저장한 것과 같은 솔리드 sheet 모델로 저장한다. 이때 STEP의 경계모서리 FBL(feature boundary loop)과 대응되는 Deleted Part의 모서리 루프를 DBL(deleted part boundary Loop)로 저장한다. 따라서 모델(b)의 단계에서 UNDO가 수행되면 Model(b)와 Deleted Part(c)를 Glueing에 의하여 다시 Block(a)로 재생성할 수 있다. 위와같은 UNDO기능을 위하여서는 특징형상과 Deleted Part의 sheet 모델을 쌍으로 하여 특징형상 자료구조에 저장하여야 한다.

한편 Fig. 16에서와 같이 특징형상의 간섭에 의하여 새롭게 정의된 특징형상(STEP)의 UNDO에 의한 재생성은 특징형상의 FBL과 Deleted Part의 DBL이 부분적으로 일치되어 삭제되면서 원래의 특징형상(NOTCH)이 생성되게 된다. 이때 특징형상의 유형은 특징형상의 history 및 사용자의 도움에 의해 정해질 수 있다.

3.5 모델링의 제한점

본 연구에서는 특징형상 형판(featre template)

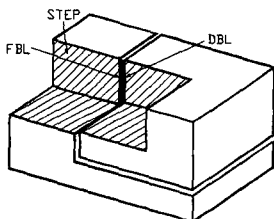


Fig. 16 Regeneration of NOTCH feature

의 개념을 도입하여 각각의 특징형상에 대해 경계 모서리, 내부형상 등을 생성할 수 있는 정보를 저장하여 놓았다. 이러한 형판에 저장된 정보를 바탕으로 형상 모델링을 할 때 앞서 제안된 알고리즘은 몇가지 제한점이 있는데, (1) depression 생성시 특징형상 형판은 base solid내부에 위치시켜야 하고 (2) protrusion 생성시 특징형상 형판은 base solid의 외부에 위치시켜야 하며 또한 (3) 일반적으로 특징형상 형판의 확장된 면과 base solid의 경계면과의 교선은 특징형상 형판에 대해 하나의 폐루프(one closed boundary loop)를 생성되게 형판을 위치시켜야 한다. 예를 들면 Fig. 17에서와 같이 SLOT이 있는 solid(a)에 두개의 STEP(b)를 만들고자 할때 본 연구에서 제안된 알고리즘에 의하여서는 (c)에서와 같이 두번의 모델링과정을 거쳐야만 두개의 STEP을 만들 수 있다.

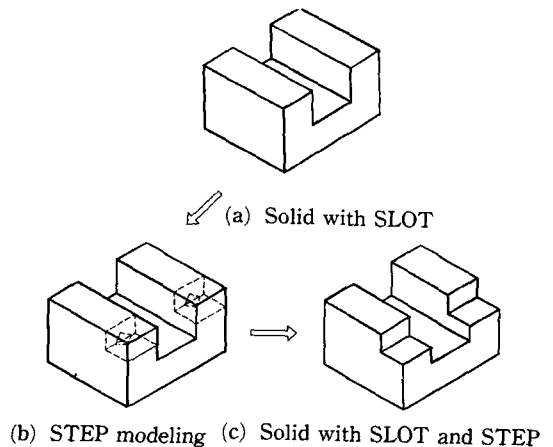


Fig. 17 Limitation of feature



### 4. 적용 예

지금까지 기술한 모델링 방법을 바탕으로 경계표현법을 기본으로 한 특징형상 모델러를 개발하였다. 특징형상 라이브러리에 구축한 일련의 특징형상 형판을 이용하여 특징형상 모델링에 적용하는 과정을 실제 모델러의 사용 예를 들어 살펴보면 다음과 같다. 먼저 특징형상 모델링의 처음 단계인 base solid를 마련하고, 특징형상 라이브러리로부터 STEP 특징형상 형판을 선택한뒤 그 위치와 방향을 지정하면(Fig. 18) Fig. 19에서 보는 바와 같이 경계모서리 생성(a), 내부형상 삭제(b), 내부형상 생성(c)과정들을 통하여 STEP형상이 생성된다. Fig. 20은 STEP과 POCKET생성후 protrusion 특징형상인 REC-BOSS(REC tangular BOSS)를 base solid에 첨가하는 작업을 나타낸 것이다. Fig. 21에서는 특징형상의 생성시 형상정보뿐만 아니라 표면정보(surface finish)와 같은 비형상 정보의 입력을 가능토록 한 것을 보여준다. Fig. 22는 기존에 만들어진 STEP 특징형상에 BLIND-HOLE을 생성함으로써 특징형상간의 상호간섭(interaction)이 발생한 예이다. 시스템은 새로운 특징형상이 생성될때 특징형상 경계루프(FBL)와 접하는 외부의 면이 기존의 특징형상 구성면(feature construction face: FCF)이면 사용자에게 간섭상황의 발생을 보고하고, 기존의 특징형상은 구성면의 경계모서리들을 조사하여 새로운 경계모서리(FBL)를 재생성하고 특징형상의 유형은

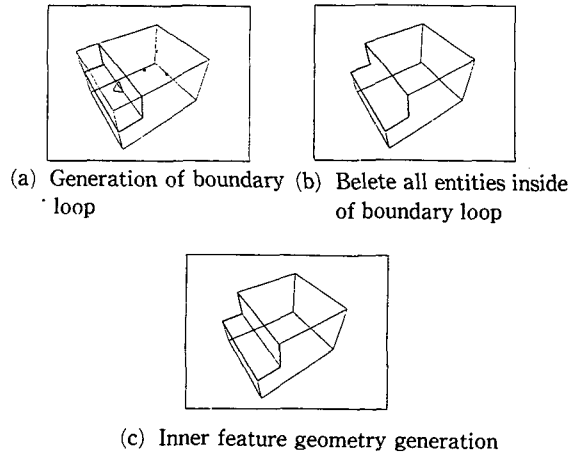


Fig. 19 Generation procedure of STEP feature

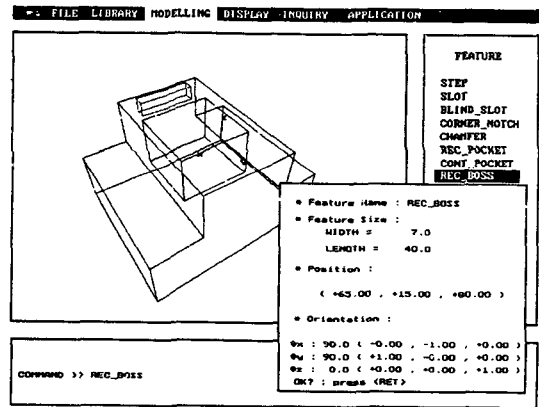


Fig. 20 Making BOSS feature (protrusion feature)

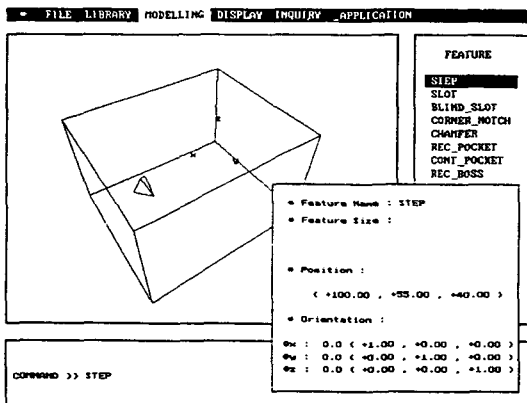


Fig. 18 Set position and orientation of feature template

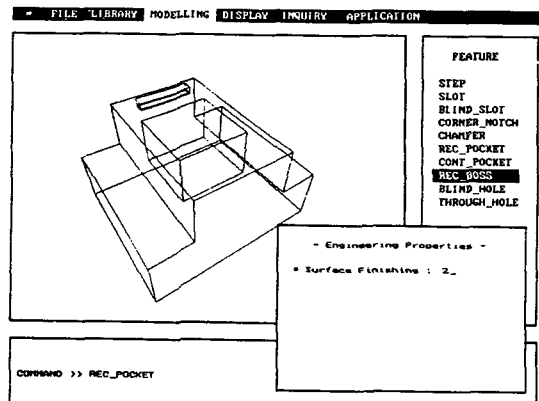


Fig. 21 Input of engineering properties (surface finish)

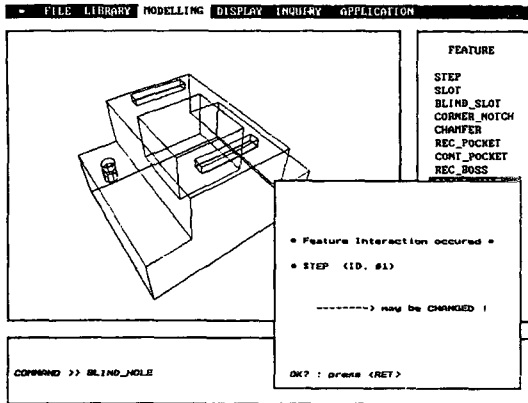


Fig. 22 Occurence of feature interaction

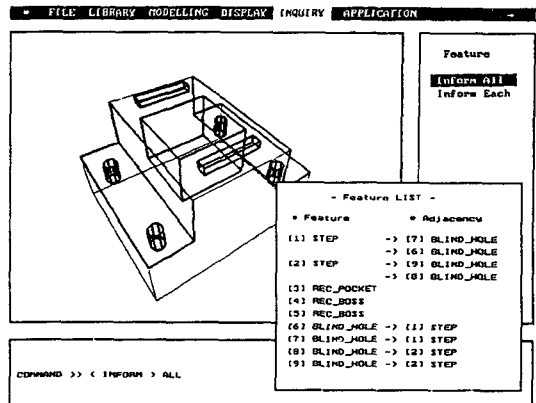


Fig. 24 List of all features in final product (with adjacent feature)

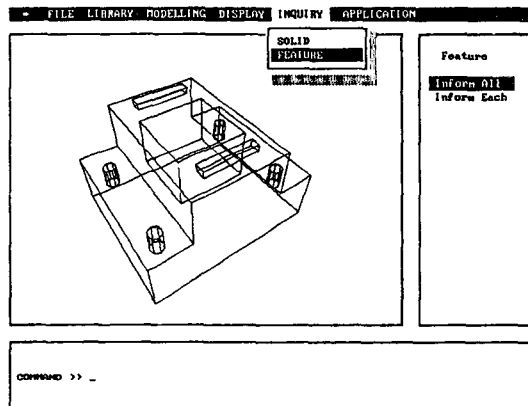


Fig. 23 Final product

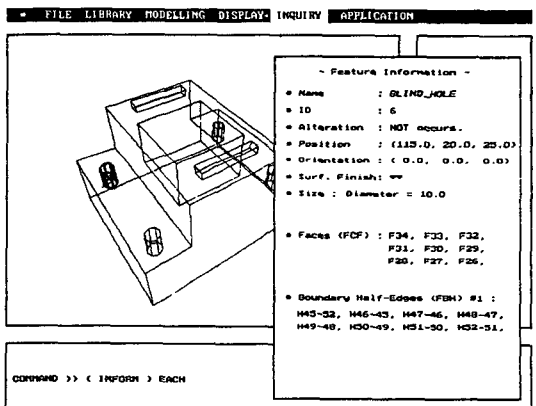


Fig. 25 Inquiry on HOLE feature

사용자가 새롭게 정의할 수 있게 하였다. Fig. 23은 이러한 과정을 통하여 최종적으로 완성된 모델링형상을 나타낸 것이다. 본 연구에서는 특징형상을 구성하는 면의 집합으로서 특징형상의 자료구조를 구성하여 특징형상과 솔리드모델과의 통합 자료구조를 개발하였다. 따라서 Fig. 24과 같이 모델에 존재하는 모든 특징형상과 그 특징형상에 인접한 특징형상에 관한 정보를 리스트하는 것이 가능하며, Fig. 25와 같이 개별 특징형상에 관한 정보를 대화식으로 조회할 수 있다. 이러한 특징형상의 정보는 별도의 파일로서 저장되어, CAPP와 같은 응용분야에서 입력파일로 사용할 수 있다. (Fig. 26)

위의 적용 예에서 볼 수 있듯이 사용자는 특징형상의 위치와 치수에 관한 정보만을 입력함으로써 쉽게 base solid에 특징형상을 생성시킬 수 있으며, 별도의 기준면(reference face)을 지정해 줄

필요없이, 일반적인 위치와 방향에 특징형상을 생성시킬 수 있다. 물론 이를 기준면이나 기준모서리의 극부좌표계에 대하여 상대적으로 지정해 주는 작업도 특징형상의 좌표축을 기준 좌표축에 대하여 상대적으로 기술함으로써 간단히 구현할 수 있다. 한편 특징형상의 정의단계에서 그 크기는 변수로 처리되므로 입력단계에서는 간단히 특징형상의 크기를 조정할 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 경제표현법을 기본으로 한 특징형상 모델러를 개발하였으며, 이 모델러에서 추출한 특징형상의 정보를 이용하여 컴퓨터원용공정계획(CAPP)이나 CAM에 적용할 수 있는 기틀을 마련하였다. 사용자에게 의한 특징형상 정의를 위하여 반

유한평면의 개념을 도입하여 특징형상을 표현하였으며, 이를 B-rep 솔리드모델인 특징형상 형판으로 구현하여 일반적인 특징형상 정의가 가능하도록 하였다. 한편 정의된 특징형상 형판을 이용한 모델링을 수행하기 위해 B-rep에서의 국부수정작업을 기본으로 한 특징형상 모델링기법을 개발하였으며, 여기서 특징형상 형판은 생성될 특징형상의 경계루프 모서리 및 내부형상생성을 위한 오일러연산자를 구하는데 사용되었다.

또한 특징형상 모델링을 위하여 특징형상 형판을 이용한 국부수정작업기법을 사용하였으므로 사용자는 depression 특징형상뿐만 아니라 protrusion 특징형상을 포함한 임의의 특징형상을 모델링할 수 있다. 그러나 특징형상 형판의 정의에 있어서 2차원 다양체의 자료 구조를 이용했기 때문에 특징형상의 정의를 위하여 요구하는 수준에 비하여 다소 복잡한 자료구조가 사용되었다. 한편 본 연구에서 제안한 특징형상 알고리즘은 기본적으로 국부수정작업의 개념하에서 수행되었으므로, 불리언연산에 의하여 B-rep 특징형상 모델링을 수행하는 방식에 비하여 계산작업을 절약할 수 있는 이점이 있으며, 또한 Volume Primitive간의 불리언연산에 의하여 유일성이 결여된 특징형상이 생성되는 것을 방지할 수 있는 장점이 있다. 그러나 기본적으로 본 모델링기법은 B-rep 모델의 표면만을 변형시키게 되므로, 특징형상 형판의 절단면을 가로지르는 hole을 비롯하여 복잡한 형태의 내부 공동이 base solid에 존재하는 경우 이를 처리하지 못하는 제한점을 가지고 있다.

향후 연구과제로서 특징형상 형판관리를 단순화하고 일반화하기 위해, gluing연산 등을 통하여 특징형상 형판의 기하학적/위상적 정보를 직접 base solid의 자료구조에 결합시키는 방법, 또는 특징형상 형판을 위한 비다양체(non-manifold)의 자료구조의 도입 등이 필요하다. 한편 특징형판 간섭에 있어서 상호간섭결과 기존의 특징형상이 새로운 특징형상으로 변형되었을 때, 이를 자동적으로 재인식하기 위한 지능적인 알고리즘의 개발이 필요하다. 또한 특징형상을 이용한 모델링작업의 편의를 위하여 특징형상의 UNDO작업이 필요한데, 특징

형상간의 간섭발생직후를 비롯한 일반적인 상황에서 적용 가능한 UNDO 알고리즘의 개발이 필요하다. 나아가 본 연구에서 제시한 모델링기법은 평면으로 이루어진 특징형상에만 국한되었으나, 앞으로 곡면을 포함한 보다 일반적인 특징형상의 모델링에 있어서도 이러한 기법을 확장하여 적용하기 위한 연구가 요구되며, 특징형상을 이용한 Parametric modelling에 대한 고려가 필요하며, 아울러 치수와 공차를 통합하여 관리할 수 있는 방안에 관한 연구도 행해져야 할 것이다.

## 참고문헌

- (1) Shah, J.J., 1991, "Assesment of Features Technology," Computer Aided Design, Vol. 23, No. 5.
- (2) Suh, H.Y., 1991 "Shape Feature Generation for Concurrent Engineering Enviroment," PhD thesis, West Virginia.
- (3) Henderson, M.R., 1984, "Extraction of Feature Information from a Three-Dimensional CAD Data," PhD Thesis, Pirdue University.
- (4) Pratt, M.J., 1988, "Synthesis of an Optimal Approach to Form Feature Modelling," Proceeding of ASME Computers in Engineering Conf., San Francisco.
- (5) Chang, T.C., 1990, "Expert Process Planning for Manufacturing," Addison-Wesley.
- (6) Pratt, M.J., 1989, "A Hybrid Feature-Based Modelling System," Proceeding of GI-IFIP International Symposium, West Berlin, 8~10.
- (7) Shah, J.J., 1988, "Expert from Feature Modeling Shell," Rogers, M.T., Computer Aided Design, Vol. 20, No. 9.
- (8) 김현석, 1992, "특징형상 정의가 가능한 모델링 기법의 개발," 서울대학교 석사학위 논문.
- (9) Mantyla, M., 1988, "An Introduction to Solid Modeling," Computer Science Press.
- (10) Chiokura, H., 1988. "Solid Modelling with DESIGNBASE: Theory and Implementation," Addison-Wesley.