

〈論 文〉

# PC를 이용한 3차원 입체형상 모델생성 연구(I)

변 문 현\* · 오 익 수\*\*

(1988년 8월 2일 접수)

## Personal Computer Aided 3-D Model Generation ( I )

Moon Hyun Byun and Ick Soo Oh

**Key Words :** 3-D Object (3차원 물체), Geometric Modelling (기하형상 모델링), Modeller (모델러), Primitive (원형), Hidden Line Removal (은선제거), Interactive Input (응답식 입력)

### Abstract

The purpose of this study is to develop a personal computer aided 3-D geometric modeller. To perform this study, we set up a cube, a cylinder, and a prism as primitives in the first segment of this study. By modelling the 3-D object through their transformation, addition, and subtraction, we proved the validity of the developed algorithm and its computer program. Some examples show the results of applying the program to model a few simple shapes of the machine parts. These results met the first aim of this study.

### 1. 서 론

기술이 점차 고도화되어 기술집약적 산업의 형태를 지향해 나가는 추세에 맞추어 단일 컴퓨터 시스템으로 제품의 설계에서부터 생산에 이르기까지 체계화하여 통합 처리할 수 있는 CAD/CAM (Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing) 시스템의 이용범위가 날로 확대되고 있다<sup>(1,2)</sup>. 또한 마이크로컴퓨터 (microcomputer)의 기능향상과 함께 CRT의 그래픽스기능 향상에 힘입어 마이크로컴퓨터 수준의 CAD/CAM 시스템이 상품화되고 있다. 이와같은 마이크로컴퓨터 수준의 시스템은 용량 (memory) 과 처리시간 (computing time)에 있어서 한정적인 제약을 받지만 시스템의 가격이 저렴하므로 비교적 간단한 형상의 부품을 취급하는 중소기업으로의 확산이 기

대되고 있다<sup>(1~3)</sup>.

이러한 CAD/DAM 시스템을 이용하여 물체를 형상설계할 경우에는 물체형상의 사실적인 표현이 요구되며 형상설계된 물체의 해석 (analysis)은 물체의 형상에 근거하여 물체를 다수의 작은 요소로 분할하여 수행된다. 또한 CAD/CAM 통합 시스템 (integrated CAD/CAM system)에서는 설계과정을 마친 물체의 가공을 위하여 물체의 형상에 따르는 수치제어 공구경로 (NC cutter path)를 발생시켜야 한다. 이와같이 물체의 형상을 표현함과 동시에 형상정보를 발생시키는 입체형상 모델링 시스템, 즉 모델러 (modeller)는 CAD/CAM 시스템에 있어서 가장 기본적인 시스템중 하나가 된다. 이와같은 모델러로는 GEOMED, ROMULUS 등과 같은 다수의 강력한 모델러가 이미 기술선진국에서 개발되어 시판되고 있으나 이의 대부분이 그 구입가가 고가인 동시에 미니급 이상의 컴퓨터에서 운용되고 있다. 따라서 미니급 이상의 컴퓨터를 보유하지 못한 대부분의 국내 중소기업이나, 사용자에 따라 모델

\* 정회원, 충남대학교 공과대학 기계설계학과

\*\* 충남대학교 대학원

를 국부적으로 변경시켜 기능을 추가하거나 확장시킬 필요성이 있는 경우에는 기존 모델러의 이용이 불가능하므로 목적에 알맞는 염가의 전용 3차원 형상모델링시스템의 개발이 시급히 요구된다. CAD/CAM 시스템에 대한 국내의 연구동향을 보면 1980년대초 턴키 베이스 CAD/CAM 시스템(turnkey base CAD/CAM system)을 도입하기 시작한 이래, 용도에 따른 기존 시스템에 대한 전용 입력시스템의 개발, 수치제어 가공프로그램(NC part program)의 자동프로그래밍에 관한 연구등이 진행되어 왔으나 PC 수준의 모델러 개발에 관한 연구는 극히 미진하였다 할 수 있다<sup>(4)</sup>.

본 연구는 이상에서 언급된 경향과 3차원 형상모델링 시스템 개발의 필요성에 따라 1차적으로 직육면체, 원기둥, 삼각기둥을 원형(primitive)으로 하는 모델러를 개발하여 CAD/CAM 시스템 개발의 기초자료를 제공함과 동시에 궁극적으로는 국내중소기업에서의 간단한 설계, 제작 생산분야에 알맞는 PC 수준의 전용 3차원 형상모델링 시스템을 개발할 목적으로 수행되었다.

## 2. 이 론

### 2.1 입체도형의 구성

하나의 입체도형은 다수의 면으로 정의되며 입체도형을 이루는 각 면은 모서리의 집합으로, 각 모서리는 2개의 꼭지점으로 정의된다. 즉  $J$ 개의 면으로 이루어지는 입체도형은 다음과 같은 순차적 정의에 의해 정의된다.

$$\text{VOLUME} = \{\text{SURFACE}(I) | I=1, J\} \quad (1)$$

여기서  $J$ 는 입체도형(VOLUME)을 구성하는 면의 수,

$$\text{SURFACE}(J) = \{\text{EDGE}(J, K) | K=1, L\} \quad (2)$$

여기서  $L$ 은  $J$ 면(SURFACE( $J$ ))을 구성하는 모서리의 수,

$$\text{EDGE}(J, K) = \{\text{VERTICE}(J, K, M) | M=1, 2\} \quad (3)$$

여기서 EDGE( $J, K$ )는  $J$ 면을 구성하는  $K$ 번째 모서리,

$$\text{VERTICE}(M) = \{x, y, z\} \quad (4)$$

여기서  $x, y, z$ 는 3차원 공간상의 꼭지점의 좌표이다.

### 2.2 투영과 변환(Projection and Its Transformation)

3차원 물체를 CRT나 플롯터 등과 같은 2차원 출력장치로 표현하기 위하여 원근이 구별되어 사람의 감각에 가장 가까운 투시투영법(perspective projection method)을 이용하였다.

투시투영은 세계좌표계(world coordinate system)에서 눈좌표계(eye coordinate system)로의 변환과 눈좌표계로부터 화면좌표계(screen coordinate system)로의 변환을 포함하며 이때의 각 변환은 식(5)와 식(6)에 의하여 정의된다.

$$X_e = -X \sin \theta + Y \cos \theta$$

$$Y_e = -X \cos \theta \cos \phi - Y \sin \theta \cos \phi + Z \sin \phi$$

$$Z_e = -X \cos \theta \sin \phi - Y \sin \theta \sin \phi - Z \cos \phi + D \quad (5)$$

여기서  $D$ 는 눈좌표계의 원점을 구면좌표계(spherical coordinate system)로 표시할때의 동경이며  $\phi$ 는 방위각,  $\theta$ 는 천정각을 표시한다.

$$X_s = d \left( \frac{X_e}{Z_e} \right), \quad Y_s = d \left( \frac{Y_e}{Z_e} \right) \quad (6)$$

여기서  $d$ 는 관찰점(viewpoint)으로부터 화면까지의 거리를 표시한다.

## 3. 알고리즘

### 3.1 원형(Primitive)의 구성

본 시스템의 모델링 방식은 직육면체(cube), 삼각기둥(prism), 원기둥(cylinder)을 원형(primitive)으로 정의하여 놓고, 모델링 과정에서 필요한 원형을 사용자가 선택, 지정한 후 이들의 치수조작(sizing)과 합체(addition), 또는 차감(subtraction)을 통하여 임의의 형상을 갖는 하나의 모델을 완성하는 방식으로 되어 있다. 입체도형의 구성형식에 따르는 각 원형의 구성은 다음과 같이 되어 있다.

#### (1) 직육면체(cube)

6개의 면이 정의된 다음, 각 면에 대하여 그 면을 경계짓는 4개의 모서리가 물체의 외부에서 보아 반시계방향으로 진행되며 정의된다. 이러한 구성형식을 Fig. 1에 나타냈다. 원하는 직육면체의 생성 명령은 원형선택명령과 함께 세계좌표계에서의  $X, Y, Z$  각 방향으로의 길이를 대화식으로 지정하여 줌으로써 이루어진다.

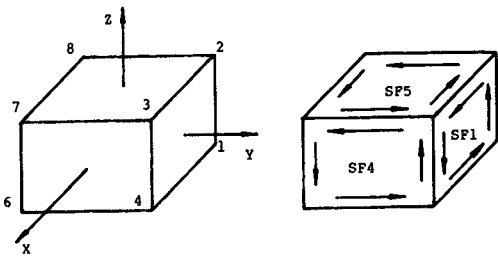


Fig. 1 Structure of the cube, where SF is a surface

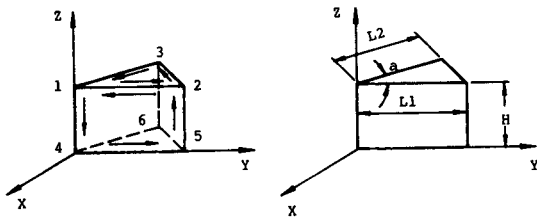


Fig. 2 Structure of the prism and its input data

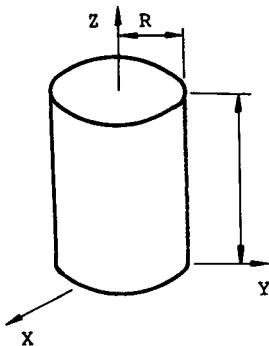
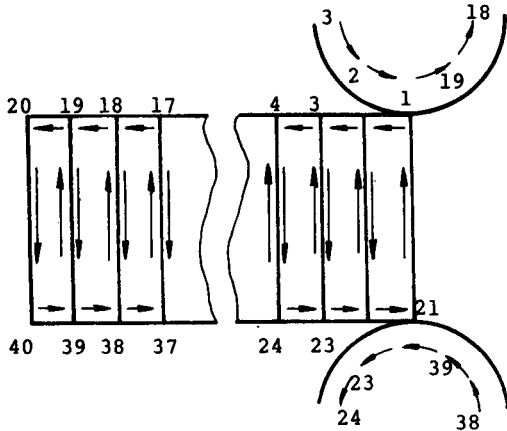


Fig. 3 Structure of the cylinder and its input data

(2) 삼각기둥 (prism)

면과 모서리의 구성은 직육면체와 같은 형식으로 이루어진다. 사용자가 원하는 삼각기둥의 생성명령은 원형선택명령과 함께 2개의 기준모서리의 길이와 두 기준모서리의 사이각, 그리고 높이를 지정함으로써 이루어진다. 이를 Fig. 2에 나타냈다.

(3) 원기둥 (cylinder)

본 시스템은 곡면을 처리할 수 없으므로 정다각기둥으로 원기둥에 근사 시키는 근사방식을 이용하였다. 정다각기둥의 각수가 일정하다 할 때, 물체의 크기가 커질수록 원기둥의 근사정도는 떨어지며 이를 보완하기 위하여 각수를 증가시키면 데이터량과 계산량이 증가하여 컴퓨터 처리시간이 많이 소요된다. 따라서 사용자는 원하는 근사정도와 처리시간을 고려하여 정다각기둥의 각수를 커맨드 파라미터 (command parameter)로 지정한다. 본 시스템에서는 실용상 적합하다고 인정되는 20각주를 지정값으로 하였다. 원기둥의 생성명령은 원형선택명령과 함께 정다각기둥의 각수와 생성될 원기둥의 반경, 그리고 높이로 지정되어 지정된 반경을 갖는 원기둥에 내접하는 정다각기둥의 근사원기둥이 생성된다. 20각주에 의한 근사원기둥의 구성형식을 Fig. 3에 나타냈다.

3.2 은면 및 은선제거 (Hidden Surface and Hidden Line Removal)

하나의 모델을 완성하기 위하여 포함되는 각 요소들에 대하여 은면과 은선을 제거함으로써 형상해석에 있어서의 혼란을 배제한다.

(1) 은면제거

다면체의 검증되는 각 면에 대한 수직벡터 (normal vector)  $\vec{N}$ 을 식(7)에 의하여 산출한 다음  $\vec{N}$ 의 시작점으로부터 관찰점까지의 시선벡터  $\vec{L}$ 을

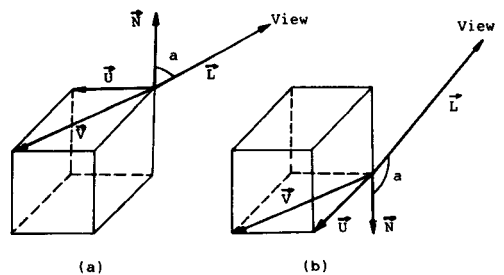


Fig. 4 Determine the hidden surface; (a) Visible surface, (b) Hidden surface

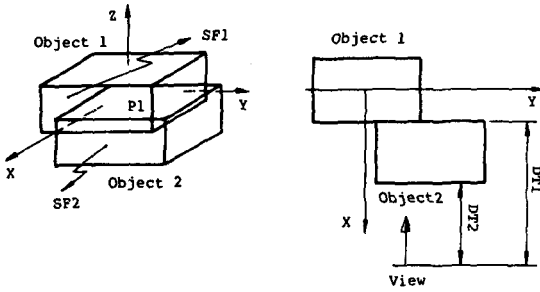


Fig. 5 Determine the object priority and the hidden line

정의한다. 이때의  $\vec{N}$ 과  $\vec{L}$ 이 이루는 각  $a$ 가  $0^\circ < a < 90^\circ$ 의 범위에서 벗어나는 면이 은면으로 결정되어 제거된다. 이를 Fig. 4에 나타냈다.

$$\vec{N} = \vec{U} \times \vec{V} \quad (7)$$

(2) 은선제거

은선제거에는 많은 알고리즘이 있으나 Newell 등이 제시한 알고리즘을 이용하였다. 즉 비교되는 2개의 물체가 서로 간섭현상을 일으켜 하나의 물체가 타물체에 의해 일부 혹은 전체가 가려진다면 경우, 두 물체에 대하여 관찰자로부터 물체까지의 거리를 산출하고 각 물체에 대한 이들 거리를 비교하여 물체의 우선순위(priority)를 판정함으로써 우선순위가 뒤진 물체의 은선부를 결정, 제거 하였다. 이를 Fig. 5에 나타냈다.

Fig. 5에서 물체 1(object 1)과 물체 2(object 2)가 서로 간섭하여 은선부가 존재할 경우 관찰자로부터 물체 1까지의 거리 DT 1과 물체 2까지의 거리 DT 2를 산출하여 거리가 가까운 물체 2에 우선순위를 부여함으로써 우선순위가 뒤진 물체 1의 간섭받는 부분, 즉 은선부가 제거된다.

3.3 합체(Addition)

본 시스템의 모델링 방식은 다수의 원형들을 서로 합체시킴으로써 하나의 모델을 완성하는 형식으로 되어 있다. 이때의 합체과정을 (1)~(3)에서 설명한다.

(1) 합체위치의 지정과 좌표변환

사용자는 합체위치를 지정하기 위하여 합체될 요소에 할당된 요소번호와 함께 합체될 면, 그리고 그 면에서의 위치를 길이단위로 대화식 입력에 의하여 입력시킨다. 이와같이 사용자에게 의하여 입력된 정보에 따라 데이터 화일에 저장되어 있는 합체

될 요소의 데이터를 읽어 합체위치에 알맞은 이동 변환을 행한다.

(2) 모델의 은선제거

현재까지의 알고리즘으로는 다수의 원형들이 조합되어 완성된 모델을 완전한 하나의 물체로 재인식할 수 없다. 따라서 다수의 원형들이 조합된 모델의 은선제거는 그 모델을 구성하고 있는 각 원형을 단위로 하는 비교과정을 통하여 이루어진다. 예를들어 하나의 모델이 5개의 원형의 조합으로 이루어진 경우, 10번의 비교작업을 수행한 후 은선제거가 완료되며 이때의 비교작업은 Table 1과 같은 순서로 2개의 요소를 선택하여 수행된다.

Table 1 Comparison sequence for five components

Object 1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4
Object 2	2	3	4	5	3	4	5	4	5	5

(3) 면의 재구성

합체후에 동일한 평면위에 있는 2개의 면이 접함으로써 1개의 새로운 면이 생성될 경우, 일치면의 판단과 함께 기존면을 구성하는 모서리들중 새로운 면을 생성하기 위하여 제거되어야 하는 소거부를 결정한 후 제거한다. 이러한 과정은 Table 1과 같이 은선제거를 위한 순차적 비교과정중 행해진다. 이러한 기본 알고리즘은 다음과 같다.

(i) 비교되는 두 요소의 각 면들에 대하여 Fig. 6(a)와 같이 면상에 존재하는 벡터  $\vec{U}_1$ 과  $\vec{V}_1$ ,  $\vec{U}_2$ 와  $\vec{V}_2$ 를 각각 정의한다. 이때 각 면에 대한 일반 면방정식은 식 (8)로 표현될 수 있으며 식 (8)의 미지수들은 식 (9)에 의하여 결정된다.

$$A1X + B1Y + C1Z + D1 = 0, \quad (8)$$

$$A2X + B2Y + C2Z + D2 = 0$$

$$(A1, B1, C1) = \vec{U}_1 \times \vec{V}_1,$$

$$(A2, B2, C2) = \vec{U}_2 \times \vec{V}_2 \quad (9)$$

또한, 결정되지 않은 미지수  $D1, D2$ 는 해당면

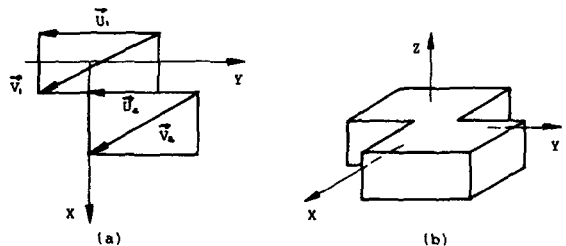


Fig. 6 Accordant line segment removal

을 구성하는 임의의 꼭지점의 세계 좌표를 식 (8)에 대입함으로써 결정된다.

(iii) 각 면의 면방정식을 결정한 후, 면방정식이 일치하는 면들에 대하여 그면을 구성하는 모서리를 비교하여 Fig. 6(b)와 같이 모서리의 일치부분을 검증하여 일치부분을 제거함으로써 하나의 새로운 면을 생성시킨다.

### 3.4 차감(Subtraction)

하나의 형상을 만들기 위하여 요구되는 다수의 합체작업을 단 한차례의 차감작업으로 대체할 수 있는 경우, 차감은 합체에 비하여 편리하고 능률적인 모델링 방식이 된다. 따라서 본 시스템에서는 다음과 같은 기본 알고리즘을 통하여 합체와 차감을 병행할 수 있도록 하였다.

#### (1) 차감물체의 구성

사용자에 의하여 원형선택명령과 함께 차감명령이 입력되면 차감할 원형을 구성하는 각 면은 면의 외부에서 보아 시계방향으로 진행되는 모서리에 의해 경계지어지도록 재구성된다.

#### (2) 기존모델의 면생성

차감을 위하여 선택된 원형을 차감물체라 한다면 차감물체는 차감하고자 하는 기존모델에 새로운 면을 생성시킨다. 이때, 차감물체와 새로이 생성되는 면사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

(i) 차감물체의 면과 일치하는 기존모델의 면은 새로운 면으로 재구성 된다. 이와같은 일치면에 의한 새로운 면의 재구성을 위하여 다음 과정을 거친다.

(a) 식(8)과 식(9)를 이용하여 비교되는 2개의 면방정식을 결정한다.

(b) 면방정식이 일치하는 두 면에 대하여 해당 면을 경계짓는 모서리들을 비교하고 중복되는 모서리부를 제거한다.

이러한 기존모델면의 재구성을 Fig. 7(a)에 나타내었다.

(ii) 기존모델의 면과 일치하지 않는 차감물체의 면은 기존모델 내부에 새로운 면을 생성시킨다. 이때 차감을 위하여 선택된 원형의 면은 시계방향으로 진행되는 모서리에 의해 경계지어 지므로 차감물체에 의해 기존모델 내부에 새로이 생성되는 면은 반시계 방향으로 진행되는 모서리에 의해 경계지어진다. 따라서 새로이 생성된 면은 앞에서 언급된 은면 및 은선제거 과정에 적용될 수 있으므로 새로이 생성된 각 면에 대하여 이러한 과정을 적용시킴으로써 은선이 제거된 면을 표현할 수 있다.

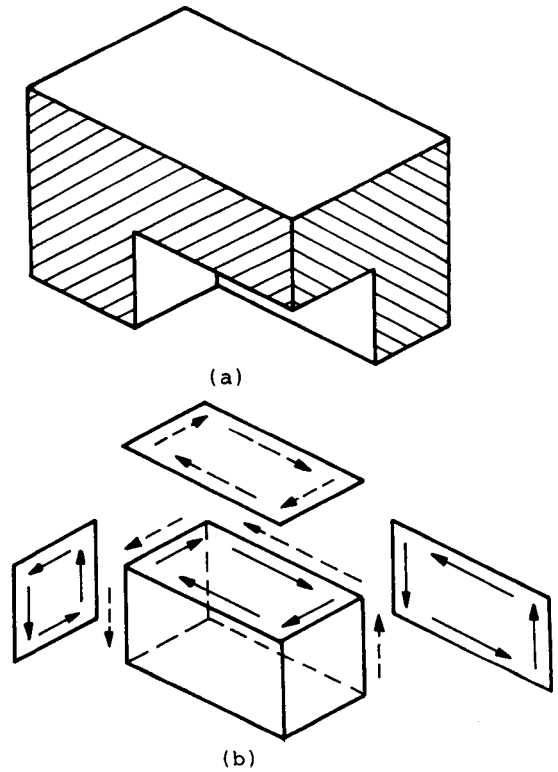


Fig. 7 New surface generation

이와 같은 기존모델 내부의 새로운 면 생성을 Fig. 7(b)에 나타냈다.

#### (3) 타물체와의 은선제거

본 시스템에서는 차감된 물체가 완전한 하나의 물체로 재인식 되지 못하므로 데이터 포인터를 이용하여 기존모델과 차감물체를 상호연계시켜 은선제거를 수행한다. 따라서 타물체와의 은선제거는 다음의 두 단계를 거친후 이루어진다.

(i) 새로이 조합되는 물체와 기존모델과의 비교

(ii) 새로이 조합되는 물체와 차감물체와의 비교  
이때 (i)의 과정에서 은선으로 결정된 부분중 다음

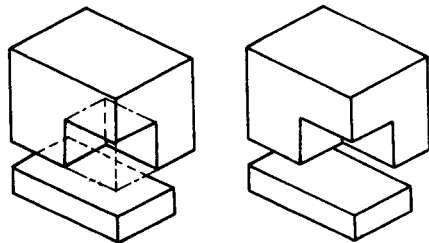


Fig. 8 Determine the hidden line between the subtracted model and other component

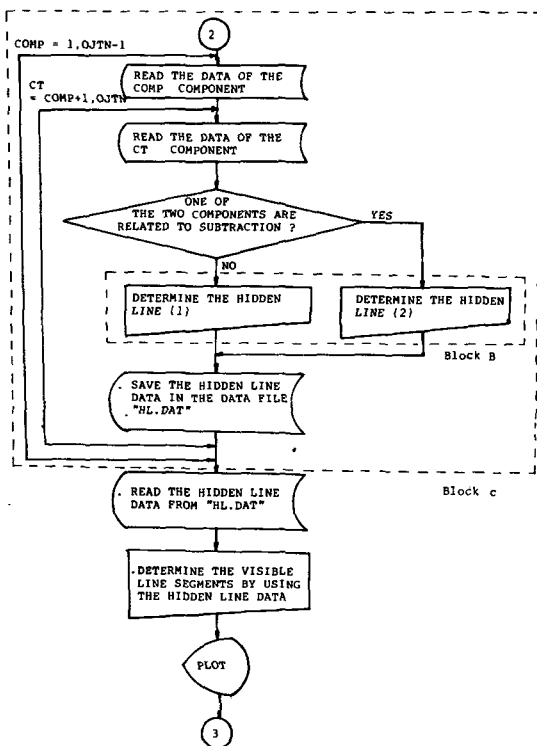
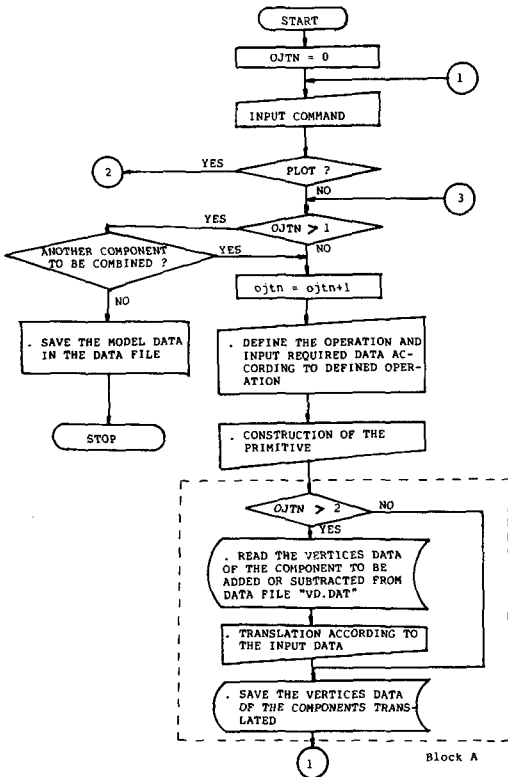


Fig. 9 Algorithm of 3-D modelling

의 두 조건을 만족하는 모서리부는 가시모서리부가 된다.

- (a) 차감물체의 외곽선내에 포함되는 부분
- (b) 기존모델 내부에 새로이 생성된 면에 의해 은폐되지 않은 부분.

이와같은 과정을 Fig. 8에 나타냈다.

이상과 같은 은면및 은선제거과정과 조합과정을 포함한 시스템의 전체적인 흐름을 Fig. 9에 나타냈다.

Fig. 9에서의 OJTN은 하나의 모델을 완성하기 위하여 조합된 원형들의 수를 나타낸다. 블록 A는 합체위치에 따른 요소들의 이동변환과 각 요소에 대한 데이터의 저장을 나타내며 블록 B는 선택된 두 요소의 비교를 통한 은선제거, 그리고 블록 C는 Table 1과 같은 반복비교과정을 통한 완성모델의 은선제거를 나타낸다.

#### 4. 응용결과

본 시스템을 이용하여 몇가지 기계부품의 모델을 생성시킨 결과를 Fig. 10~Fig. 12에 나타내었다. Fig. 10은 약식 유니버설 조인트의 유사모델을 정

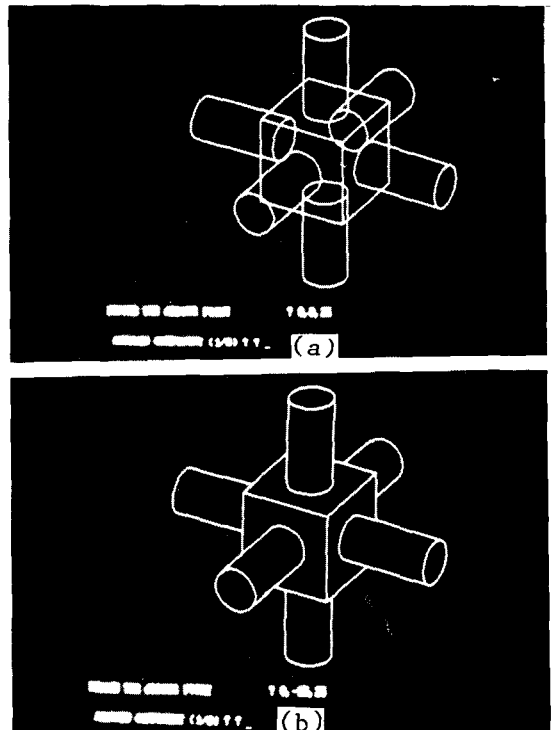


Fig. 10 Model 1; (a) before removing the hidden line, (b) after removing the hidden line

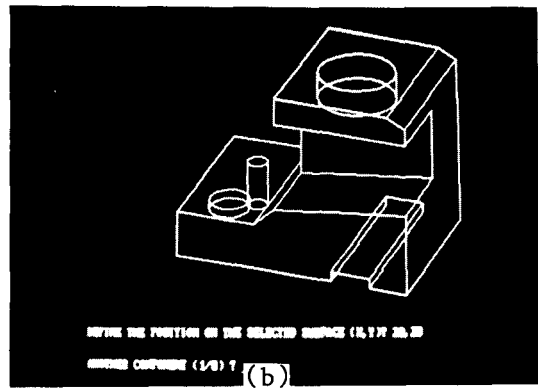
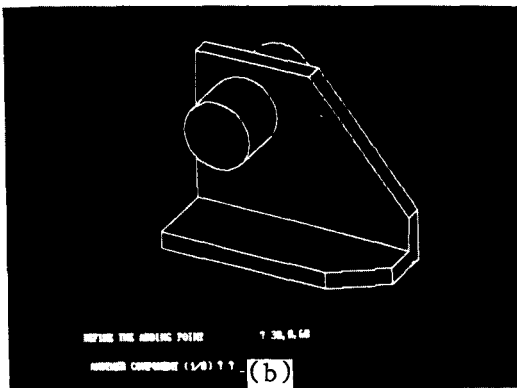
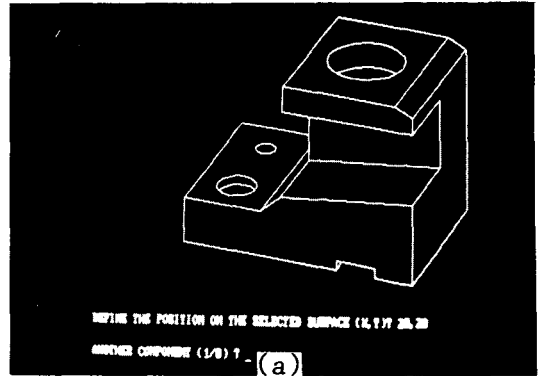
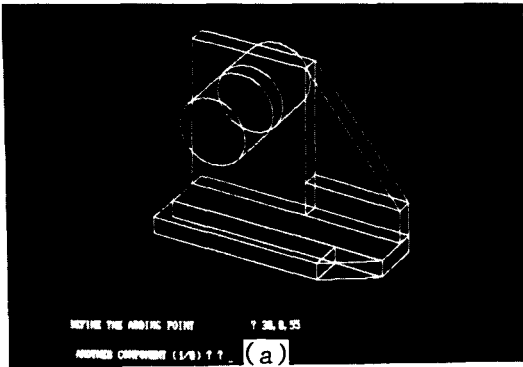


Fig. 11 Model 2; (a) before removing the hidden line, (b) after removing the hidden line

Fig. 12 Model 3; (a) before removing the hidden line (b) after removing the hidden line

육면체와 원기등을 조합하여 모델링한 결과이며 Fig. 11은 본 시스템에 정의되어 있는 3개의 원형을 합체하여 베어링축의 부품을 모델링한 결과로서 Fig. 10과 Fig. 11의 (a)와 (b)는 각각 은선을 제거하기 전과 제거한 후의 결과를 나타낸다.

Fig. 12는 3개 원형의 합체와 차감을 통하여 하나의 형상을 표현한 것으로서 Fig. 12(a)는 은선제거전의 상태이며 Fig. 12(b)는 은선제거후의 결과를 나타낸다. Fig. 12와 같은 형상모델링의 경우 컴퓨터 처리시간은 약 12~13초가 소요되었다. 이와같이 많은 처리시간이 소요되는 것은 조합된 모델이 완전한 하나의 물체로 재인식 되지 못하기 때문에 은선제거를 위하여 모델을 구성하는 각 요소들을 반복 비교함으로써 발생하는 문제점으로 생각된다.

따라서 Boolean operation에 의한 물체의 재인식을 위하여 이에대한 알고리즘의 개발작업이 시급히 요구되며 차후의 지속적인 연구에 의하여 해결되리라 기대된다.

### 5. 결 론

PC 수준의 전용 3차원 형상모델링 시스템을 개발할 목적으로 본 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) PC를 이용하여 정육면체, 삼각기둥 및 원기등을 원형으로하여 3차원 형상을 모델링하는 알고리즘과 함께 그 컴퓨터 프로그램을 개발하여 이를 응용한 결과 간단한 형상의 기계 부분품을 형상설계할 수 있게 되었다.

(2) 보다 복잡하고 다양한 형상을 설계할 수 있는 모델러를 개발하기 위하여는 다양한 각종 원형들을 더 만들고 이의 적용 및 응용기술을 개발하여야 한다.

### 참 고 문 헌

- (1) John K.Krouse, 1982, "Computer-Aided Design

- and Computer-Aided Manufacturing”, MARCEL DEKKER. INC.
- (2) C.B. Besant, 1983, “COMPUTER-AIDED DESIGN AND MANUFACTURE”, Ellis Horwood Limited.
- (3) 변문현, 1984, “자유곡면의 절삭가공 (1)-절삭가공을 위한 자유곡면 입체형상도의 발생”, 충남대학교 공업연구소 논문집, Vol. 7, No. 1, pp. 59~64.
- (4) 한국과학기술원, 1985, “기계의 CAD/CAM 및 Mechatronics화 기술개발”.
- (5) G.Spur, F.L Krause, 1979, “A Survey about Geometric Modelling Systems”, Annals of the CIRP Vol. 28/2.
- (6) David F. Rogers and J. Alan Adams, 1976, “Mathematical Elements for Computer Graphics” McGRAW-Hill, New York.
- (7) Newmen, W.M, and R.F, Sproull, 1979, “Principles of Interactive Computer Graphics”, McGraw Hill, New York.
- (8) Yvon Gardan and Michel Lucas, 1984, “Interactive Graphics in CAD”, Kogan Page Ltd.
- (9) P.P. Loutrel, 1970, “A Solution to the Hidden Line Problem for Computer-Drawn Polyhedra” IEEE, March.