

2차원 도면에서 교차하는 회전체 형상의 복원

이한민*, 한순홍**

Hint-based Reconstruction of Interacting Solids of Revolution from Orthographic Projections

Lee, H. M.* and Han, S. H.**

ABSTRACT

2D CAD is being replaced by 3D CAD to improve efficiency of product design and manufacturing. Therefore, converting legacy 2D drawings into 3D solid models is required. CSG based approaches construct solid models from orthographic views more efficiently than traditional B-rep based approaches. A major limitation of CSG based approaches has been the limited domain of objects that can be handled. This paper aims at extending the capabilities of CSG based approaches by proposing hint-based recognition of interacting solids of revolution which can handle interacting solids of revolution as well as isolated solids of revolution.

Key words : Hint-based Recognition, Interacting Solids of Revolution, Orthographic Projections, Solid Reconstruction

1. 연구 배경

2차원 도면은 직교 투영 및 노면 기하학이 처음 개발되어 엔지니어링에 적용되었던 18세기 후반 이래로 설계 공정의 주된 요소가 되어 왔다. 기존의 수많은 설계 데이터는 2차원 도면의 형태로 축적되어 있고, 현재도 많은 경우에 2차원 도면이 제품의 설계 및 생산에 중요한 역할을 담당하고 있다. 그러나 2차원 도면은 직관적이지 못하고, 그 자체만으로 설계 검증이 어려우며, 기존 데이터를 효율적으로 재사용할 수 없기 때문에 생산 자동화의 걸림돌이 되고 있다.

CAD 기술이 발달함에 따라 등장한 3차원 솔리드 모델링 기술은 2차원 도면이 갖는 이러한 한계점을 극복하기 때문에, 기존의 2차원 도면에서 3차원 솔리드 모델로 전환하는 일이 필요하게 되었다¹⁾.

2차원 도면을 입력으로 하여 3차원 솔리드 모델을 자동으로 생성하는 연구는, 솔리드의 표현 방법에 따라서 크게 B-rep 기반의 방법과 CSG 기반의 방법으

로 나눌 수 있다^{2,3)}. B-rep 기반의 솔리드 복원 기법은 비교적 복잡한 물체의 경우에도 복원이 잘 되지만, 빈번한 조합 탐색과 복잡한 기하 연산으로 인해 도면이 복잡해질수록 복원 효율성이 떨어지고, 모호성이 발생하는 문제가 있다. 반면, CSG 기반의 솔리드 복원 기법은 복잡한 조합 탐색이나 기하 연산 과정을 거치지 않기 때문에, B-rep 기반의 방법에 비해 비교적 효율적인 복원이 가능하다. 그러나 미리 정의된 2.5차원의 프리미티브에 대해서만 복원을 하거나, 직선 돌출로 생성 가능한 형상에만 국한되어 있기 때문에, 대상 범위가 제한적이라는 문제점이 있다.

본 논문에서는 효율적인 복원이 가능한 CSG 기반의 방법을 기반으로, 회전체 인식 기법을 제안함으로써 대상 범위를 확장하는 데 초점을 맞추었다. 회전체의 2차원 패턴에 해당하는 최소한의 흔적만으로도 회전체를 복원할 수 있는 흔적 기반의 회전체 인식 기법을 통해서, 분리된 회전체뿐만 아니라 교차하는 회전체에 대해서도 인식이 가능하도록 하였다. 본 논문에서 다루고자 하는 회전체는 회전축이 투영면에 수직인 경우로 국한한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련 연구의 현황을 설명하고, 3절에서는 본 논문에서 사용되

*교신저자, 정회원, 한국기계연구원
**중신회원, 한국과학기술원 기계공학과
- 논문투고일: 2004. 07. 15
- 심사완료일: 2005. 06. 27

는 용어에 대한 정의를 내린다. 4절에서는 회전체의 2차원 패턴에 대해서 알아보고, 5절에서는 흔적 기반의 회전체 인식 알고리즘을 상세히 기술한다. 6절에서는 사례 연구를 통해 알고리즘의 유용성을 검증한다.

2. 관련 연구

2.1 B-rep 기반의 솔리드 복원 기법

2차원 도면에서 3차원 솔리드 모델을 생성하는 기존 연구의 대부분은, B-rep 기반의 방법을 기반으로 하고 있다. B-rep 기반 솔리드 복원 기법의 기본적인 순서는 Fig. 1과 같다. 입력 도면에서 2차원 정점들 간의 상관 관계를 이용하여 3차원 후보 정점을 생성한다. 두 후보 정점을 연결한 3차원 변을 투영도 상에 재투영시켜 입력 도면과 일치하는지 확인하고, 이 조건이 만족되면 3차원 후보 변을 생성한다. 후보 변들 중 동일한 평면 상에 위치하는 변을 보아서 평면 그래프를 구성하고, 이들을 서로 연결하여 후보 면을 생성한다. 생성된 후보 면을 서로 연결하여 후보 블록을 생성하고, 이들을 조합하여 최종 솔리드를 구성한다.

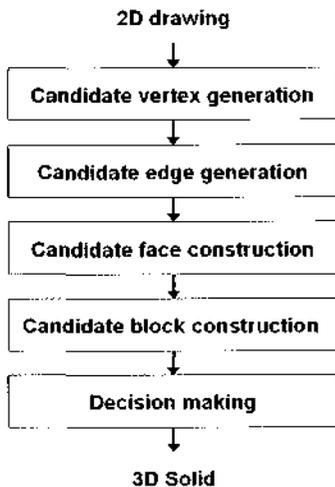


Fig. 1. A typical pipeline of B-rep based approach^[4].

B-rep 기반 방법은 Idesawa^[5]에 의해서 처음으로 제안되었고, Markowsky와 Wesley^[6,7]에 의해서 보다 체계적인 알고리즘으로 정립되었다. Sakurai^[8], Yan^[9], Kuo^[10], Liu^[11] 등은 Markowsky와 Wesley의 방법을 기반으로 하여, 대상 도면의 범위를 확장하고 복원 속도를 높이는 방향으로 연구를 수행하였다. 이^[12]는 형상인식을 이용한 정사영 도면의 3차원 모델링에 대해

서 연구를 수행하였고, Son^[13]은 2차원 기하요소와 3차원 기하 요소들 간의 관계를 이용해서, 검사될 요소의 개수를 줄이는 알고리즘을 제안하였다.

2.2 CSG 기반의 솔리드 복원 기법

CSG 기반의 방법은 2차원 루프를 돌출시켜서 프리미티브를 생성하고, 교차나 결합 등의 불리언 작업을 통해서 솔리드를 구성해 나가는 방법이다. Aldefeld^[13]는 미리 정의한 프리미티브를 인식하기 위해서 패턴 인식 기법을 이용하였다. Shum^[14]은 2단계 돌출 방법을 이용하여 외곽 형상과 내부 형상을 단계적으로 생성하는 연구를 수행하였다. Fig. 2와 같이 1단계에서는 각 투영면의 외곽 영역을 추출하여 돌출시킨 뒤, 이들을 서로 교차시켜 외곽 형상을 생성한다. 2단계에서는 투영면에 남아있는 요소들을 이용하여 내부 형상을 생성한 후, 외곽 형상에서 내부 형상을 제거함으로써 최종 솔리드를 생성한다.

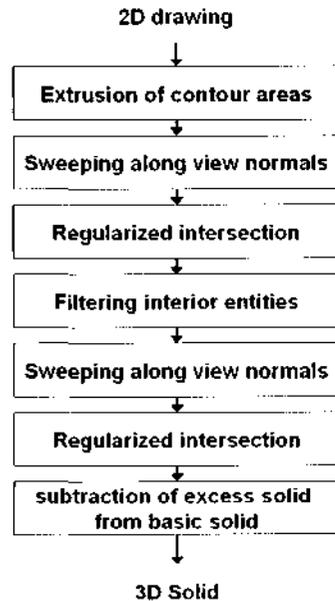


Fig. 2. Two-stage extrusion algorithm^[14].

Son^[15]는 각 투영면 상의 서로 대응하는 루프들을 보았고, 이를 이용하여 직선 돌출이나 회전 돌출을 생성한 후, 이들을 조합하여 최종 솔리드를 생성하는 연구를 수행하였다. Son의 연구는 기존의 CSG 기반 방법에서는 다루지 않았던 회전체에 대한 인식 방법을 제안함으로써 복원의 대상 범위를 확장시켰지만, 회전체 인식 조건이 몇 가지 경우로 한정되어 있어서 일반적인 경우를 수용할 수 없고, 교차하는 회전체에

대한 인식이 불가능하다. 예를 들어, Fig. 3의 경우에는 구의 일부가 잘려나간 형상인데, Soni의 방법을 이용하면 회전체 인식 조건을 만족하지 않기 때문에, 이와 같은 잘려진 구를 생성할 수 없다.

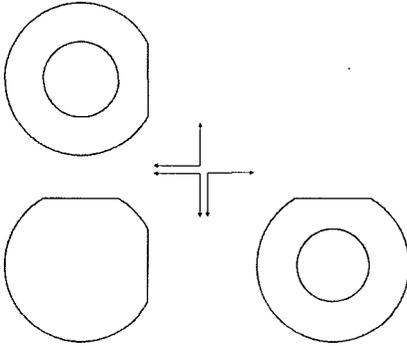


Fig. 3. Spherical part with removed portions^[19].

한편, 이^[16]은 전문가시스템을 이용하여 도면에서 3차원 CAD 모델링 특징형을 인식하는 방법을 제안하였고, 황^[17]은 선체 도면에서 심볼을 인식하여 3차원 선체 모델을 생성하는 연구를 수행하였다.

본 논문에서 제시하는 흔적 기반의 회전체 인식 기법은, Fig. 3과 같이 교차하는 형상에 의해서 일부가 잘려나간 회전체에 대해서도 인식이 가능하다. 제한적인 회전체 인식 조건을 적용시키기 보다, 최소한의 흔적만으로도 교차 이전의 회전 형상을 복원할 수 있는 방법을 제안한다. 복원된 완전한 회전 형상에서 교차 이후의 형상을 생성하기 위해, 잘려나가야 할 부분을 제거함으로써, Fig. 3과 같은 형상에 대해서도 복원이 가능하도록 하였다. 이와 같이 보다 일반적인 경우의 회전체 인식을 통해서, CSG 기반 방법의 복원 대상 범위를 확장시키는 방법을 제안한다.

3. 용어 정의

본 논문에서 사용되는 용어들과 그 정의는 다음과 같다.

공통 좌표축(Common coordinate axis): 주어진 두 개의 투영면에 공통적으로 사용되는 좌표축. 예를 들어, Fig. 4의 view 1과 view 2의 공통 좌표축은 x 축이다.

루프(Loop): 루프는 연결된 변들의 닫힌 집합으로써, 각 변의 끝점은 두 변에 의해서만 공유된다.

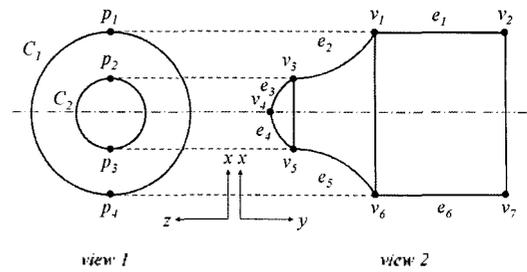


Fig. 4. Matching vertices and matching edges.

회전 프로파일(Profile of rotation): 회전체를 생성하기 위해서 회전축을 중심으로 회전시키는 단면.

회전체의 흔적(Hint of rotational part): 3차원 회전체를 2차원으로 투영시켰을 때, 도면 상에 나타나는 2차원 패턴의 전체 또는 일부.

대응 정점(Matching vertex): 투영면 G_1 의 원 C 에 대해서 다른 투영면 G_2 의 정점 V 가 G_1 과 G_2 의 공통 좌표축을 따라서 C 의 최대 또는 최소 좌표 값과 같은 좌표 값을 가질 때, V 를 C 의 대응 정점이라고 한다. 최대값과 같은 경우 최대값 대응 정점, 최소값과 같은 경우 최소값 대응 정점이라고 부른다. 예를 들어, Fig. 4에서 C_1 의 최대값 대응 정점은 v_1, v_2 이고, 최소값 대응 정점은 v_6, v_7 이다.

대응 변(Matching edge): 투영면 G_1 의 원 C 에 대해서 다른 투영면 G_2 의 변 E 가 양 끝점 모두 C 의 최대값 대응 정점(또는 최소값 대응 정점)일 때(Type I), 양 끝점 중 하나가 C 의 최대값 대응 정점(또는 최소값 대응 정점)이고, 나머지 하나가 회전축 상에 있는 정점일 때(Type II), 양 끝점 중 하나가 C 의 최대값 대응 정점(또는 최소값 대응 정점)이고, 나머지 하나가 C 의 동심원 C 의 최대값 대응 정점(또는 최소값 대응 정점)일 때(Type III), E 를 C 의 대응 변이라고 한다. 예를 들어, Fig. 4에서 e_1 과 e_6 는 C_1 의 Type I 대응 변이고, e_3 와 e_4 는 C_2 의 Type II 대응 변이고, e_2 와 e_5 는 C_1 의 Type III 대응 변이다.

대응 원(Matching circle): 변 E 가 원 C 의 대응 변일 때, C 를 E 의 대응 원이라고 한다.

가상 영역(Virtual region): 교차하는 회전체의 2차원 도면에서 온전한 회전체를 생성하기 위해서, 투영면 상의 형상 요소를 확장하거나 추가할 경우, 새로 생성된 형상 요소에 의해 생성되는 영역을 가상 영역이라고 한다. 가상 영역은 회전체가 생성된 후 제거되어야 할 형상을 나타낸다. 회전축에 수직인 투영면 상의 가상 영역을 R 로 표시하고, 회전축에 평행한 투영면 상의 가상 영역을 R_s 로 표시한다.

4. 회전체의 2차원 패턴

회전체는 회전축을 중심으로 프로파일을 회전시켜서 생성한 형상이다. 360도 회전시켜 생성한 회전체를 2차원으로 투영시키면 Fig. 5(a)에서 볼 수 있듯이, 회전축에 수직인 투영면 상에는 원으로 나타나고, 회전축에 평행한 투영면 상에는 회전축을 중심으로 서로 대칭인 형상으로 표현된다. 따라서 도면 상에서 회전체를 인식하기 위한 기본적인 패턴은, 한 투영면 상의 원과 이에 대응하는 다른 투영면 상의 축 대칭인 형상으로 볼 수 있다. 기존의 연구에서는 위와 같은 기본적인 패턴을 기반으로 하여, 다른 형상과의 상호작용이 없는 분리된 회전체에 대한 인식 방안을 제안하고 있다.

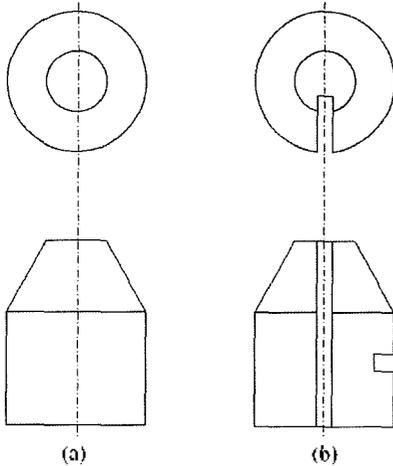


Fig. 5. 2D pattern for (a) isolated and (b) interacting volume of revolution.

그러나 회전체가 다른 형상과 교차하면서 형상의 일부가 잘려나가거나, 360도 회전이 아닌 부분 회전으로 생성된 경우에는, 위와 같은 기본적인 패턴으로는 회전체를 인식할 수 없게 된다. Fig. 5(b)와 같이 형상의 일부가 잘려나간 경우, 회전축에 수직인 투영면 상에는 완전한 원의 형태도 나타나지 않고, 회전축에 평행한 투영면 상에 존재하는 대응 형상들도 회전축에 대하여 대칭을 이루지 않는다.

이와 같이 교차하는 회전체의 인식 문제를 해결하기 위해서, 본 논문에서는 회전체 패턴의 흔적에서 회전체를 인식하는 방법을 제안한다. 회전체의 형상 일부가 잘려나가더라도 최소한의 회전 곡면이 존재한다면, 이를 2차원으로 투영시켰을 때 회전축에 수직인 투영면에는 원의 흔적이 남아 있다.

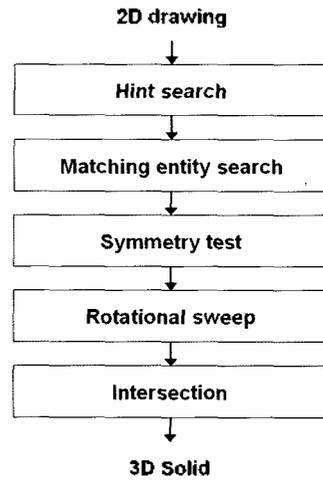


Fig. 6. Hint-based solid reconstruction process.

Fig. 6은 본 논문에서 제안하는 흔적 기반의 회전체 복원의 전체적인 순서를 나타낸다. 원 또는 원호와 같은 회전체 흔적을 기반으로 다른 투영면 상의 대응 요소를 찾고, 대응 요소 간의 대칭성 검사를 통해 회전 프로파일을 생성한다. 회전 프로파일을 회전축을 중심으로 회전시켜서 교차 이전의 온전한 회전체를 생성하고, 제거되어야 할 영역을 돌출시켜 회전체로부터 잘라냄으로써 최종 형상을 생성한다.

5. 흔적 기반의 회전체 인식

5.1 흔적 탐색

흔적 탐색 과정은 회전체 인식의 첫 단계로, 도면 상에 남겨진 회전체의 흔적을 탐색한다. 이 단계에서는 회전체 패턴의 가장 중요한 부분인 원의 흔적을 찾는다. 흔적 탐색 과정은 다음과 같은 순서로 진행된다.

- (1) 각 투영면에서 원을 찾아서 원 리스트에 저장한다.
- (2) 각 투영면에서 원호를 찾아서 다음과 같은 검사할 수행한다.
 - (2.1) 원호 A의 중점과 반지름을 이용하여 원 C를 생성한다.
 - (2.2) 원 C 내부에 존재하는 변만을 대상으로 하여, 원호 A로부터 인접한 변을 차례대로 연결하여 외곽 루프 L을 생성한다.
 - (2.3) 연결된 변들이 닫힌 루프를 형성하지 않는 경우에는 원호 A에 대한 탐색을 중단한다.
 - (2.4) 루프 L이 생성되면, 원 C에서 루프 L을 뺀 가상 영역 R_i를 구한다(R_i = C - L).

(2.5) 원 C를 원 리스트에 저장한다.

(3) 원 리스트에서 중심이 같은 원을 모아서 동심원 리스트에 저장하고, 원의 지름 크기 순서대로 정렬한다.

온전한 회전체를 투영시킬 경우에는 회전축에 수직인 평면에 원이 생기지만, 형상의 일부가 잘려나간 회전체의 경우에는 완전한 원이 아닌 원호로 투영되기 때문에, 교차 이전의 온전한 회전체로 가정하기 위해서 원호를 원으로 확장 시킨다. 그러나 이 과정에서 생성되는 새로운 영역은 교차 과정에 의해서 잘려져 나가야 하는 부분이므로, 저장해 두었다가 회전체를 생성한 후 잘라내기를 수행한다. 또한 동일한 회전축을 가지는 프로파일을 찾기 위해서 같은 중심을 갖는 원들을 찾아 동심원 리스트에 저장하고, 이들 지름 크기 순서대로 정렬해서 작은 것부터 순차적으로 대응 요소 탐색을 수행한다.

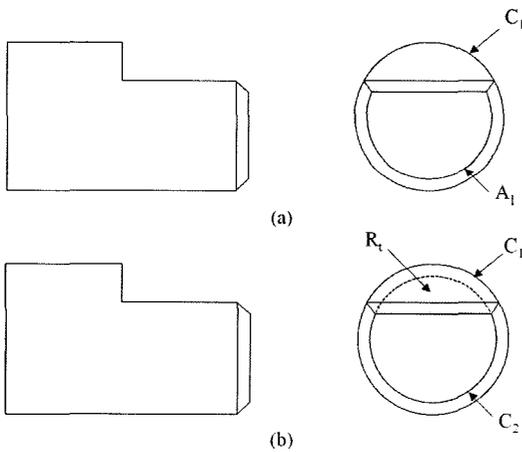


Fig. 7. Hint search.

Fig. 7의 도면을 예로 들면, Fig. 7(a)와 같이 회전체 흔적에 해당하는 원호 A_1 와 원 C_1 을 찾는다. 원호 A_1 의 경우에는 Fig. 7(b)의 원 C_2 로 확장시키고, 이 과정에서 새로 생성되는 가상 영역인 R_1 를 저장한다.

5.2 대응 요소 탐색

대응 요소 탐색 과정은 앞 단계에서 탐색된 각각의 원에 대해서, 다른 투영면 상의 대응 정점 및 대응 변을 찾아내는 과정이다. 동심원 리스트에서 크기가 작은 원부터 차례대로 꺼내어서 다음과 같은 순서로 대응 정점을 탐색한다.

(1) 대응 정점 탐색

투영면 G_i 에 원 C_j 가 존재하고, 투영면 G_j ($i \neq j$)에 존재하는 정점 중에서 C_j 의 대응 정점을 탐색한다고 가정하면,

(1.1) 투영면 G_i 와 G_j 의 공통좌표축 α 를 찾는다.

(1.2) 원 C_j 상의 점들 중에서 공통좌표축 α 를 따라서 최대값을 가지는 정점 V_{max} 와 최소값을 가지는 정점 V_{min} 을 생성한다.

(1.3) 투영면 G_j 에 속하는 정점 중에서 공통좌표축 α 를 따라 V_{max} 와 같은 좌표값을 갖는 정점을 찾아서 최대값 대응 정점 리스트 $VList_{max}$ 에 저장하고, V_{min} 과 같은 좌표값을 갖는 정점을 찾아서 최소값 대응 정점 리스트 $VList_{min}$ 에 저장한다.

(2) 대응 변 탐색

동심원 리스트의 원 C_i 에 대한 대응 변을 탐색한다고 가정하면,

(2.1) 원 C_i 의 최대값 대응 정점 리스트 $VList_{max}$ 에 속하는 두 대응 정점 V_k 와 V_{k+1} 을 양 끝점으로 하는 변이 도면 상에 존재한다면, 이 변을 최대값 대응 변 리스트 $EList_{max}$ 에 저장한다. C_i 의 최소값 대응 정점 리스트 $VList_{min}$ 에 대해서도 이와 같은 작업을 수행하여 최소값 대응 변 리스트 $EList_{min}$ 를 생성한다.

(2.2) $VList_{max}$ 에 속하는 대응 정점 V_k 와 회전축 상에 존재하는 임의의 정점 V 를 양 끝점으로 하는 변이 도면 상에 존재한다면, 이 변을 $EList_{max}$ 에 저장한다. $VList_{min}$ 에 대해서도 이와 같은 작업을 수행하여 $EList_{min}$ 를 생성한다.

(2.3) 동심원 리스트에서 원 C_i 보다 크기가 작은 원 C_j ($j = 0, 1, \dots, i-1$)에 대해서, C_i 의 $VList_{max}$ 에 속하는 대응 정점과 C_j 의 $VList_{max}$ 에 속하는 대응 정점을 연결하는 변이 존재한다면 이 변을 $EList_{max}$ 에 저장한다. C_i 의 $VList_{min}$ 과 C_j 의 $VList_{min}$ 에 대해서도 이와 같은 작업을 수행하여 $EList_{min}$ 를 생성한다.

원에 대한 대응 변의 종류는 Fig. 8과 같이 나눌 수 있다. Fig. 8(a)의 대응 변은 위의 (2) 대응 변 탐색 과정 중 (2.1)의 경우에 해당하는 것으로, 한 원의 두 대응 정점을 서로 연결한 형태이다. Fig. 8(b)의 대응 변은 (2.2)의 경우에 해당하는 것으로, 한 원의

대응 정점과 회전축 상의 점을 서로 연결한 형태이다. Fig. 8(c)의 대응 변은 (2.3)의 경우에 해당하는 것으로, 동심원인 두 원의 대응 정점을 서로 연결한 형태이다.

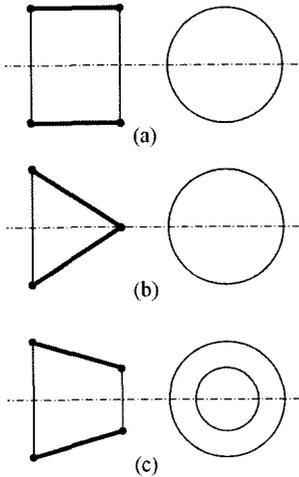


Fig. 8. Types of matching edge.

Fig. 7의 도면에서 위와 같은 대응 정점 및 대응 변 탐색 과정을 거쳐 Fig. 9와 같은 결과를 얻는다. Fig. 9에서 View 1과 View 2의 공통좌표축은 x축이다. 공통좌표축을 따라 View 2 상의 원 C_1 에 대응하는 View 1 상의 대응 정점을 찾으려면, 최소값 대응 정점 리스트는 $VList_{min} = \{1, 2\}$ 이고, 최대값 대응 정점 리스트는 $VList_{max} = \{8, 7\}$ 이다. 원 C_2 의 경우에는 최소값 대응 정점은 정점 3이고, 최대값 대응 정점은 존재하지 않는다. 원 C_1 의 대응 변을 탐색하면, (2.1)의 조건에 의해서 변 1-2와 변 8-7이 구해지고, (2.3)의 조건에 의해서 변 2-3이 구해진다. 원 C_2 의 경우에는 대응 변 조건을 만족하는 변이 존재하지 않는다.

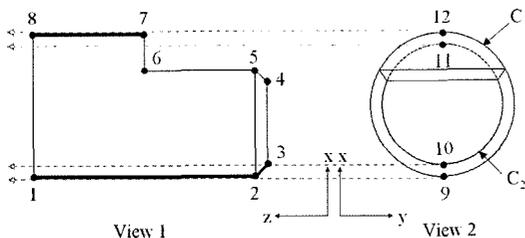


Fig. 9. Matching entity search.

5.3 대칭성 검사

이 단계에서는 각 원의 대응 변들 중 서로 대칭인

것을 찾아서 회전 프로파일을 생성한다. 교차하는 회전체의 경우에는 대응 변들 간에 완전하게 대칭을 이루지 않는 경우도 있고, 대칭인 변이 사라진 경우도 있기 때문에, 다음과 같이 세 가지 경우에 대해서 탐색을 수행한다.

원 C에 대한 대응 변 리스트 $EList_{max}$ 와 $EList_{min}$ 의 대응 변에서 회전 프로파일을 탐색한다고 가정하면,

- (1) 회전축에 대칭인 대응 변 탐색
 - (1.1) $EList_{max}$ 의 각 대응 변 E_{max} 에 대해서 회전축에 대하여 대칭인 대응 변이 $EList_{min}$ 상에 존재하는지 검사한다.
 - (1.2) 대칭인 대응 변 E_{min} 이 존재하면, E_{max} 와 E_{min} 을 C에 대한 프로파일 리스트 PList에 저장한다.
- (2) 부분적으로 회전축에 대칭인 대응 변 탐색
 - (2.1) $EList_{min}$ 에 속하는 대응 변들 중에서 회전축을 기준으로 대칭 이동시켰을 때 E_{max} 와 서로 겹치는 부분을 갖는 대응 변을 찾는다.
 - (2.2) E_{max} 와 부분적으로 대칭인 대응 변 E_{min} 이 존재하면, E_{max} 와 E_{min} 의 양 끝점을 확장하여 서로 완전히 포개어지는 대응 변 E_{max}' 과 E_{min}' 을 생성한다.
 - (2.3) E_{max}' 과 E_{min}' 을 PList에 저장하고, 대응 변의 확장된 부분에 의해서 생성되는 가상 영역 R_c 을 저장한다.
- (3) 교차에 의해 대칭인 대응 변이 제거된 경우 탐색
 - (3.1) E_{max} 에 대해서 (2)와 (3)을 만족하는 대응 변이 존재하지 않을 경우, E_{max} 의 대응 원이 원호로부터 생성되었는지 검사한다.
 - (3.2) E_{max} 의 대응 원 C가 원호 A로부터 생성되었고, C의 최소값 정점 V_{min} 이 원호 A 상에 존재하지 않는다면, 회전축에 대하여 E_{max} 와 대칭을 이루는 대응 변 E_{min}' 을 생성한다.
 - (3.3) E_{max} 과 E_{min}' 을 PList에 저장하고, 새로 생성된 대응 변에 의해서 생성되는 가상 영역 R_c 을 저장한다.
 - (3.4) $VList_{min}$ 의 대응 변 E_{min} 에 대해서도 위의 (3.1), (3.2), (3.3)과 같은 작업을 수행하여 PList를 갱신한다.

회전 프로파일을 생성하기 위해서는 대응 변들 간에 대칭성을 검사하는 과정이 필요하다. 교차하는 회전체의 경우에는 형상 일부가 잘려나가기 때문에 항

상 대칭성을 보장 받을 수는 없지만, 대칭의 흔적을 통해 회전 프로파일을 생성할 수 있다.

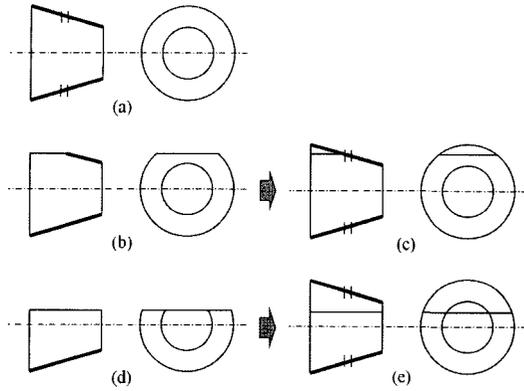


Fig. 10. Symmetry test.

Fig. 10은 대응 변들 간의 대칭성 검사를 통해 회전 프로파일을 생성하는 과정을 보여준다. Fig. 10(a)에서는 두 대응 변이 회전축에 대하여 완전한 대칭을 이루기 때문에 그대로 회전 프로파일이 된다. Fig. 10(b)에서는 두 대응 변이 완전한 대칭을 이루지는 않지만, 회전축에 대하여 부분적으로 대칭을 이루기 때문에 교차 작업에 의해서 회전 프로파일의 일부가 잘려진 경우로 볼 수 있다. 따라서 위의 대칭성 검사 과정 중 (2)의 작업에 의해서 완전한 대칭을 이루도록 Fig. 10(c)와 같이 대응 변을 확장하여 회전 프로파일을 생성한다. 대응 변의 확장된 부분에 의해서 생성되는 가상 영역은 추후 잘라내기 과정을 위해서 저장된다. Fig. 10(d)는 하나의 대응 변에 대해서 대칭을 이루는 대응 변이 아예 존재하지 않는 경우이다. (3)의 작업에 의해서 존재해야 할 대응 변이 교차 과정에서 제거된 경우로 판단되면, 교차 이전의 상태로 복원하기 위해서 Fig. 10(e)와 같이 대칭을 이루는 대응 변을 새로 생성하여 회전 프로파일로 이용한다.

Fig. 11에서는 변 1-2와 변 8-7이 부분적으로 대칭

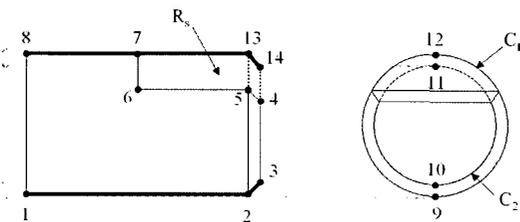


Fig. 11. Rotational profile generation through symmetry test.

을 이루기 때문에, 변 8-7을 확장하여 변 1-2와 완전 대칭을 이루는 변 8-13을 생성한다. 이 과정에서 생성되는 새로운 영역인 R_0 를 저장한다. 변 2-3의 경우에는 대칭을 이루는 변이 존재하지 않으나, (3)의 조건에 의해서 대칭을 이루는 변 13-14를 생성한다. 이 과정에서 생성되는 새로운 영역은 R_0 에 추가된다.

5.4 회전 돌출 생성 및 잘라내기

이 단계에서는 회전 프로파일을 이용하여 온전한 회전체를 생성하고, 가상 영역을 이용하여 제거되어야 할 형상을 생성한 후, 이들 간의 교차 작업을 통해 최종 솔리드를 복원한다. 프로파일 리스트 PList를 이용해서 다음과 같이 회전체를 생성한다.

- (1) PList 내의 회전 프로파일을 회전축을 중심으로 회전시켜 회전체를 생성한다.
- (2) 원 C 의 가상 영역 R_0 가 존재할 때, C 의 대응 변이 회전 프로파일로 이용된 경우에만 R_0 를 투영면에 수직 방향으로 돌출시켜, (1)에서 생성한 회전체에서 잘라낸다.
- (3) R_0 를 투영면에 수직 방향으로 돌출시켜, (1)에서 생성한 회전체에서 잘라낸다.

Fig. 12는 대칭성 검사를 통해서 생성된 회전 프로파일과 이를 회전시켜 생성한 회전체를 보여준다. Fig. 13은 가상 영역 R_0 를 돌출 시키고, 회전체에서 돌출 형상을 잘라내어 최종 솔리드를 생성하는 과정을 보여준다. Fig. 7에서와 같이 원 C_2 에는 가상 영역 R_0 가 존재하지만, Fig. 12의 회전 프로파일은 모두 원 C_1 의 대응 변에서 생성된 것이기 때문에, C_2 의 가상 영역 R_0 에 대해서는 잘라내기를 수행하지 않는다.

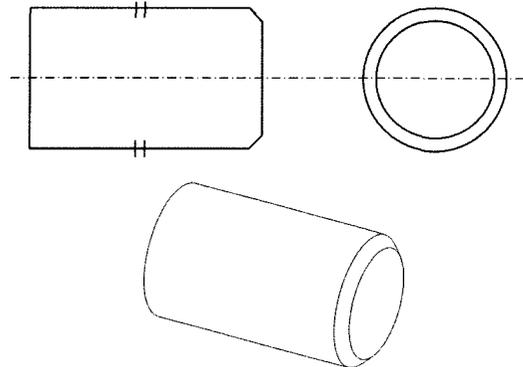


Fig. 12. Rotational profile and volume of revolution without interaction.

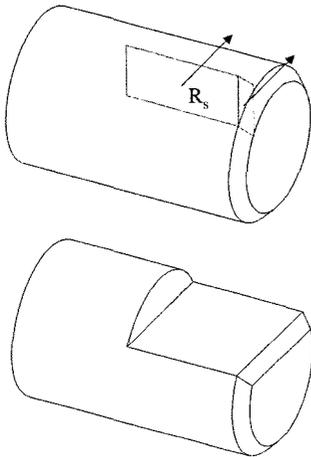


Fig. 13. Extrusion of virtual region and intersection.

6. 구현 및 실험

혼적 기반의 회전체 인식 알고리즘은 Visual Basic 6.0과 Solidworks 2004 API를 이용하여 구현하였다. 검증용 위해서 다음과 같은 예제 도면을 이용하여 3차원 회전체 복원 과정을 실험하였다.

Fig. 14는 스위치 도면에 대한 실험 결과를 보여준다. Fig. 14(b)는 본 논문에서 제안하는 회전체 인식 기법을 통해서 생성된 회전체를 나타내고, Fig. 14(c)는 기존 CSG 기반의 방법에서 제안하는 직선 돌출 및 교차 작업을 통해서 생성된 형상을 나타낸다. Fig. 14(d)는 이 형상들을 합친 최종 솔리드를 나타낸다.

Fig. 15는 샤프트 도면에 대한 실험 결과를 보여준다. Fig. 15(a)의 도면에서 회전체의 흔적을 찾아 회전 프로파일을 탐색하면, Fig. 15(b)의 회전 프로파일 중에서 2, 3만 생성된다. 프로파일 1에 대응하는 원이

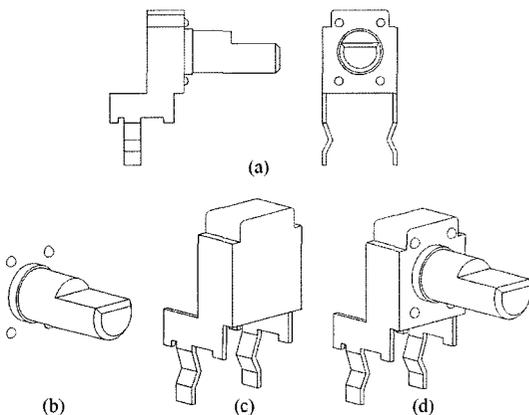


Fig. 14. Switch drawing.

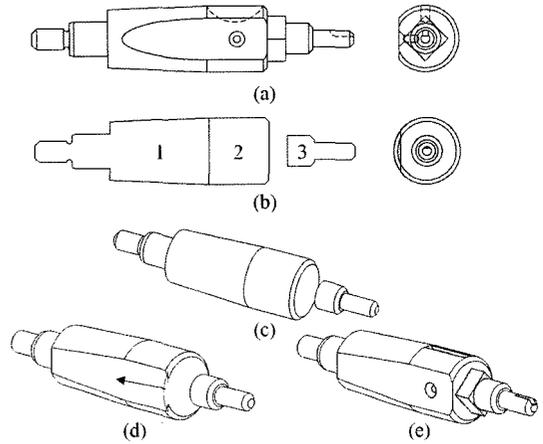


Fig. 15. Shaft drawing.

도면 상에서 생략되었기 때문이다. 동심원이 여러 개 존재할 경우, 은선으로 표시되는 원은 많은 경우에 생략된다. 이와 같은 경우에는 대응 원이 존재하지 않더라도 회전축에 대칭을 이루는 형상이 존재하면 이를 회전 프로파일에 추가한다. Fig. 15(c)는 Fig. 15(b)의 프로파일 1, 2, 3을 회전시켜서 생성한 회전체를 나타낸다. Fig. 15(d)에서는 가상 영역을 들출하여 회전체에서 잘라낸 형상을 나타내고, Fig. 15(e)에서는 나머지 형상을 직선 돌출로 생성하여 최종 솔리드를 복원한 모습을 나타낸다.

Fig. 16은 드라이버 손잡이 부분에 대한 회전체 복원을 나타낸다. Fig. 16(b)에서 온전한 회전체를 생성

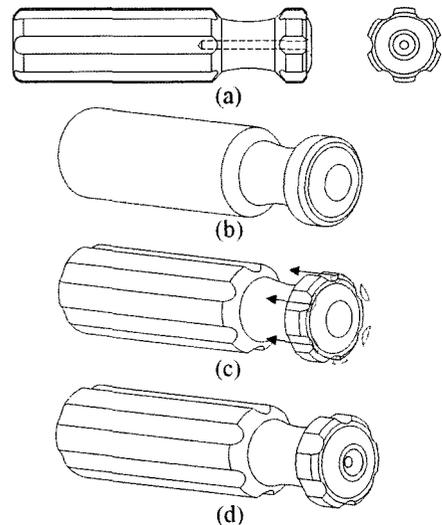


Fig. 16. Screwdriver drawing.

하고, Fig. 16(c)에서는 가상 영역을 늘출하여 회전체에서 잘라내고, Fig. 16(d)에서는 나머지 형상을 생성하여 최종 솔리드를 복원한다.

Fig. 17은 기존의 회전체 인식 연구에서 다루지 못한 형상의 일부가 잘린 구에 대한 복원 과정을 나타낸다. Fig. 17(a)의 정면도에서 회전체의 흔적이 되는 원호를 찾고, 이를 확장하여 원 C를 생성한 후, 가상 영역을 구한다. C에 대응하는 평면도 상의 대응 점 1과 측면도 상의 대응 점 2를 각각 찾는다. Fig. 17(b)에서는 대응 변 탐색 과정을 통해서 평면도 상의 대응 변 1-3과 1-4를 찾고, 측면도 상의 대응 변 2-5와 2-6을 각각 찾는다. Fig. 17(c)에서는 대칭성 검사를 통해서 평면도의 변 1-3과 대칭인 대응 변 7-3, 변 1-4와 대칭인 대응 변 7-4를 각각 생성하여 회전 프로파일에 추가한다. 측면도의 경우에는 변 2-5와 대칭인 대응 변 8-5, 변 2-6과 대칭인 대응 변 8-6을 각각 생성하여 회전 프로파일에 추가한다. Fig. 17(d)에서 회전 프로파일을 회전시켜 구를 생성하고, 가상 영역을 돌출시킨 뒤 잘라내어 최종 솔리드를 복원한다.

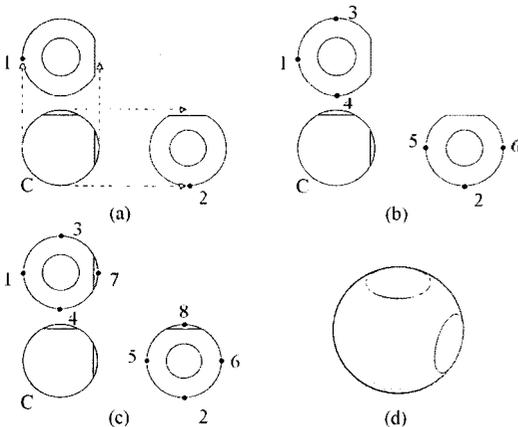


Fig. 17. Reconstruction of a spherical part.

6. 결 론

기존의 CSG 기반 솔리드 복원 기법은 알고리즘의 속도나 결과 모델의 기하학적 타당성의 측면에서 B-rep 기반 솔리드 복원 기법보다 우수하지만, 2.5차원의 형상이나 직선 돌출로 생성 가능한 형상에만 국한되어 있어서 복원 대상 범위가 제한적이었다. 또한 회전체 복원에 대한 연구는 분리된 회전체에만 국한되어 있어서, 교차하는 회전체의 경우에는 다룰 수가 없다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 최소한의 흔적만으로도 교차하는 회전체를 복원할 수 있는, 흔적 기반의 회전체 인식 기법을 제안하였다. 또한 테스트 모델을 대상으로 한 실험을 통해서 제안하는 방법에 대해 검증하였다.

그러나 여전히 회전축이 투영면에 수직인 회전체에 대해서만 복원이 가능하다는 한계점이 있고, 회전체와 교차하는 형상이 직선 돌출로 생성 가능한 형상에 국한되어 있다. 향후에는 이러한 복원 대상의 범위를 넓히기 위해서 CSG 기반의 솔리드 복원 기법과 B-rep 기반의 솔리드 복원 기법을 적절하게 조합하는 연구도 필요하다.

참고문헌

1. 이상현, "2차원 도면의 3차원 CAD 모델로의 변환 비용 예측 방법", 한국 CAD/CAM학회지, 제5권, 제3호, pp. 1-2, 1999.
2. Nagendra, I. V. and Gujar, V. G., "3D Objects from 2D Orthographics Views - A Survey", *Computers & Graphics*, Vol. 12, No. 1, pp. 111-114, 1988.
3. Wang, W. and Grinstein, G. G., "A Survey of 3D Solid Reconstruction from 2D Projection Line Drawings", *Computer Graphics Forum*, Vol. 12, No. 2, pp. 137-158, 1993.
4. 신병석, 신영길, "직교 투영도 기반의 효율적인 솔리드 모델 재구성 알고리즘", 한국정보과학회논문지, 제24권, 제7호, pp. 715-730, 1997.
5. Idesawa, M., "A System to Generate a Solid Figure from Three Views", *Bulletin of JSME*, Vol. 16, pp. 216-225, 1973.
6. Markowsky, G. and Wesley, M., "Fleshing out Wireframe", *IBM Journal of Research and Development*, Vol. 25, No. 5, pp. 582-597, 1980.
7. Wesley, M. and Markowsky, G., "Fleshing out Projections", *IBM Journal of Research and Development*, Vol. 25, No. 6, pp. 934-954, 1981.
8. Sakurai, H. and Gossard, D., "Solid Model Input Through Orthographic Views", *Computers & Graphics*, Vol. 17, No. 3, pp. 243-252, 1983.
9. Yan, Q. W., "Efficient Algorithm for the Reconstruction of 3D Objects from Orthographic Projections", *Computer Aided Design*, Vol. 26, pp. 699-717, 1994.
10. Kuo, M. H., "Reconstruction of Quadric Surface Solids from Three-view Engineering Drawings", *Computer Aided Design*, Vol. 30, No. 7, pp. 517-527, 1998.
11. Liu, S., "Reconstruction of Curved Solids from Engineering Drawings", *Computer Aided Design*, Vol. 33, pp. 1059-1072, 2001.
12. 이석희, 반갑수, 이형국, "형상인식을 이용한 정사영

도면의 3차원 모델링에 관한 연구”, 한국정밀공학회지, 제10권, 제4호, 1993.

13. Aldefeld, B., “On Automatic Recognition of 3D Structures from 2D Representations”, *Computer Aided Design*, Vol. 15, No. 2, pp. 59-64, 1983.

14. Shum, S. S. P., “Solid Reconstruction from Orthographic Views Using 2-stage Extrusion”, *Computer Aided Design*, Vol. 33, pp. 91-102, 2001.

15. Soni, S. and Gurumoorthy, B., “Handling Solids of Revolution in Volume-based Construction of Solid Models from Orthographic Views”, *Journal of Com-*

puting and Information Science in Engineering, Vol. 3, pp. 250-259, 2003.

16. 이한민, 한순홍, “전문가 시스템을 이용한 2차원 설계 특징형상의 인식”, 한국CAD/CAM학회 논문집, 제5권, 제2호, pp.133-139, 2001

17. 황호진, 한순홍, 김용대, “선체구조 특징형상 정의에 의한 2D 도면에서 3D STEP 선체 모델의 생성”, 한국 CAD/CAM학회 논문집, 제8권, 제2호, pp. 122-132, 2003.



이 한 민

1998년 한국과학기술원 기계공학과 학사
 2000년 한국과학기술원 기계공학과 석사
 2005년 한국과학기술원 기계공학과 박사
 2005년-현재 한국기계연구원 e-엔지니어링 연구센터 신입연구원
 관심분야: Feature Technology, Concurrent Engineering, Product Data Exchange, Virtual Reality



한 순 홍

1977년 서울대 조선공학과 학사
 1979년 서울대 조선공학과 석사
 1985년 영국 Newcastle대 석사
 1990년 미국 Michigan대 박사
 1979년~1992년 해사기술연구소(현재 기계연구원)
 1993년~1995년 한국과학기술원 자동화 설계공학과 교수
 1996년-현재 한국과학기술원 기계공학과 교수
 관심분야: CAD모델표준(STEP), Intelligent CAD, 설계전문가시스템, 형상모델링 커널