한국정밀공학회지 제 16 권 제 9 호 (1999 년 9 월)
Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 16, No. 9, September 1999.

범용 2D MCAD 상에서 경계표현법을 이용한 위상 정보 추출 및 그 저장방식에 관한 연구

홍상훈*, 한성영*, 김용연*

A Study on Extraction and its Storage Method of Topological Information from Common 2-D CAD Using The Boundary-Representation Method

Sang Hoon Hong*, Seong Young Han*, Yong Yun Kim*

ABSTRACT

In spite of the advance of 3D solid modeling technology, there are some distinct areas where 2D CAD S/W are still dominant, and more competent comparing with 3D CAD S/W. For example, in the manufacturing of 2D-shaped electrical parts, most related manufacturing tools have 2D geometric features by nature, and 3D solid models applied to these parts have substantial overheads. Nevertheless, most 2D CAD S/W have no topological inquiry services because they have no such information on their geometrical database inherently. Thus, it is needed to extract such information from 2D CAD database for developing more advanced application such as automated drafting/design S/W. In this paper, the extraction of topological information from 2D CAD has been performed in general way using concept of B-rep. A general extraction algorithm, data structure and meta file format for 2D topological object have been developed and successfully applied to the development of the automated lead frame die design system in Samsung Aerospace. it is also possible to provide a flexible, powerful topology-oriented functionality on any common 2D CAD S/W.

Key Words : Automated Drafting/Design(자동설계), Extraction of Topological Information(위상정보추출), B-rep(경계표현법).

1. 서 론

기계설계에 있어서 3D 솔리드 모델러의 전면적인 도입은 가까운 미래에 대세로 굳어질 것이 틀림없다. 그러나 최근 몇년간 컴퓨터 H/W 의 눈부신 발전에도 불구하고, 일부 분야를 제외하면 아직도 산업 현장에서 3D 솔리드 모델러의 도입이 본격적으로 이루어 지고 있다고 보기는 힘들다. 그 이유는 다음과 같다.

- 높은 도입비용 : 비싼 H/W 및 S/W 가격.
- 높은 운용비용 : 운용인력의 교육비용 및 시스템의 유지보수 비용이 비싸다.
- 낮은 수행 성능 : 2D 도면과 동일한 설계 내용을 표현하기 위하여 대용량 데이터가 필요하고, 따라서 속도가 느리다.

상기한 비용/성능상의 평가들은 2D MCAD 와 비교하였을때의 상대적인 것이지만, 절대적인 가격 대 성능비로 따져 보아도 산업 현장에서 3D 모델러를 도입하기에는 아직 비용상의 부담이 큰 것이 사실이다.

* 삼성항공산업(주)정밀기기연구소 LF Unit

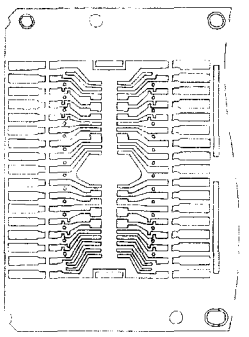


Fig. 1 Lead frame.

이러한 비용상의 문제점이 시간에 따라 해결된다 하더라도, 그 속성상 3D 보다는 2D 작업이 상대적으로 효율적일 수 있는 적용 분야가 엄연히 존재한다. 예를 들어, 제품 자체가 2D 인 경우가 그것인데, 대표적인 예로서 반도체 패키징에 사용되는 lead frame 과 같은 정밀 박판 성형 부품들이 여기에 해당된다.

Lead frame 은 그 제조방법에 따라 순차이송 금형을 이용하여 원소재를 타발하여 만들어지는 SLF(Stamped Lead Frame)와 필름 형태의 마스크 패턴을 제작한 뒤 에칭 용액으로 원소재를 식각하는 방식으로 만들어지는 ELF(Etched Lead Frame)로 나누어지는데, 이들 제품들은 그 최종 형상이 2D 스트립(strip)의 형태이기 때문에, 이것을 생산하기 위한 tool 들도 2 차원적인 특성을 가지고 있다. 즉, SLF 생산에 사용되는 순차이송식 타발금형의 경우 그 설계정보가 대부분 2 차원 평면상에 집약되어 있는 대표적인 2.5D 구조물이며, ELF 의 경우에도 제조에 사용되는 마스크 패턴이 얇은 필름 원판이므로, 역시 설계/가공이 2 차원적인 특징을 가진다 하겠다. 특히, ELF 의 제조는 그 공정상 PCB 패턴 아트워킹과 비슷한 점이 많으며, 따라서 MCAD 의 기능외에 ECAD(Electrical CAD)의 기능도 함께 요구되는 경우가 많다. 따라서 2D 형태의 정밀 박판제품의 설계/가공에 있어서, 3D 모델러의 방대한 능력이 오히려 성능상의 과부하를 초래하는 반면 ECAD 적인 기능(예를 들어 회로적인 측면에서의 엔티티 취급 능력)면에서는 기능상 미흡한 부분이 종종 발견된다. 그러므로, 향후 아무리 3D 솔리드 모델러의 가격이 내려가고 성능이 개선된다 하더라도 이러한 분야에 있어서 적용 효과/투입비용은 상대적으로 항상 작을 것이다.

그러므로 제품 자체가 2D 인 경우에 한하여, 3D 모델러의 도입이 그다지 효과적이라 할 수 없는 영역이 존재함은 명백하다. 그럼에도 불구하고, 현존하는 범용 2D MCAD 에서는 위상 정보 관련 기능을 거의 제공하고 있지 않는 것이 현실이다. 특히, lead Frame 과 같은 박판 성형 제품의 경우 대부분의 형상 특징(feature)이 스트립에 뚫린 구멍(이러한 형상들은 2D MCAD 상에서 루프 형태로 연결되어 보이는 엔티티들로 표현된다)들로 구성되어 있기 때문에, 설계 자동화와 같은 응용 프로그램의 제작에 있어서 이들 위상정보의 자동적인 추출 및 관리기능이 필수적으로 요구된다. 한편 COB(Chip On Board)나 μ BGA(Micro Ball Grid Array)와 같은 차세대의 반도체 패키징 방식에는 기계적인 타발 금형 기술과 화학적인 PCB 아트웍 기술이 더욱 더 혼합되어 사용되고 있는 추세이기 때문에 상기한 특성을 갖는 2D 부품의 영역은 점차 광범위해지고 있다. 이러한 요구에 부응하여, 위상정보 관련 기능을 제공하면서도 2D MCAD 의 특성을 가지는 전문화된 S/W 들이 시판되고 있다[2]. 그러나, 이러한 전문화된 S/W 들은 일단 그 가격이 비싸고, 도면 작성상의 자유도(치수/주기 기능 및 수정/편집의 용이함)나 데이터 파일의 호환성 및 지원 장비와의 인터페이스 측면에 있어서 범용 MCAD 의 기능에 미치지 못하는 경우가 많다.

따라서, 본 연구에서는 ① 범용 MCAD 를 바탕으로 위상 정보를 추출하는 방법을 개발하였고 ② 이를 텍스트 파일로 저장하기 위한 저장형식을 정의하였으며 ③ 이러한 텍스트 메타 화일을 입력/출력으로 하여 형상 모델링 작업을 수행할 수 있는 일련의 프로그램 세트를 구현하였고, ④ 이를 바탕으로 위상정보의 도입이 필요한 설계 지식을 효과적으로 표현하여 설계를 자동화 할 수 있었다.

2. 범용 MCAD 에서의 위상정보 추출의 필요성

범용 2D MCAD는 3D 모델러에서의 vertex(정점) 및 face(면)에 해당하는 엔티티를 가지고 있지 않다. 2D MCAD의 내장 데이터베이스에는 3D B-rep 모델에서의 edge(모서리)에 해당하는 line 이나 arc 와 같은 그래픽 엔티티들이 단순히 저장되어 있을 뿐이며 이들 엔티티 상호간의 정점 연결관계는 전혀 기록되어 있지 않다. 예를 들어, 2D MCAD의 화면상에 직사각형 형태로 그려져 있는 4 개의 line 엔티티가 도면을 해독하는 입장에서는 부품의 slot 을 표현하고 있는 것처럼 보일지라도, 실제로 2D MCAD의 데이터베이스에 그 4 개 엔티티간의 연결정보가 저장되어 있는 것은 아니다. 만일, 이 slot의 안쪽으로 일정량 offset된 커브를 생성하려면 관련 엔티티의 개별적인 선택과, 그 옵셋 방향의 입력이 필수적이다. 이것은 2D MCAD가 외관상 폐루프를 이루는 형상의 안과 밖을 구별하지 못한다는 사실을 예시해주는 대표적인 예이다. 보다 구체적인 예로서, 「Lead frame에 존재하는 구멍을 타발하기 위한 펀치의 단면 형상을 생성하기 위하여, 제품 안의 모든 구멍 형상을 안쪽 방향으로 0.1mm 만큼 옵셋하라」와 같은 문제를 가정해 보기로 한다.(이것은 LF 타발 금형설계에서 있어서 CAD 수작업시 많은 시간소요와 잦은 실수를 야기하는 문제 중의 하나이다). 이를 해결하기 위해서는, 우선 ①자동으로 CAD 화면상의 구멍 형상을 하나의 단위로 인식하는 기능과 ②이렇게 인식된 단위, 즉 폐루프에 대하여 자동적으로 <안쪽으로의> 옵셋 방향을 계산하여 옵셋 커브를 생성할 수 있는 기능이 필요하다.

구멍 형상 인식작업은 전체 엔티티 데이터베이스를 탐색하여 서로 양 끝점이 연접되어 폐루프를 형성하는 엔티티들을 개별 단위로 그룹핑하는 작업으로 귀결된다. 일단 엔티티들이 단일한 루프로서 그룹핑되고, 그룹내 엔티티들을 반시계방향(또는 시계방향)으로 정렬하기만 하면 2 차원 평면상에서 엔티티가 이루는 루프의 내부와 외부가 정의되므로 사용자가 개별 루프의 안쪽방향을 기계에게 일일히 지시할 필요가 없어진다. 이렇듯 위상 정보는 2D MCAD 설계 작업을 지능화/자동화하는데 필수적으로 요구되는 정보라 할 수 있는데, 다음은 대부분의 저가격 2D MCAD에 내장되어 있지 않은 위상정보 관련 응용 기능의 예이다.

- 루프 형상의 개폐 여부 자동 분별.
- 폐루프 형상의 자동 인식과 이에 기반한 옵셋 형상의 자동 생성.
- 폐루프 형상간의 boolean 연산.
- 폐루프 형상간의 상호 포함 여부 조사.
- 조립도면에서의 부품 형상 자동 분리.

MCAD를 이용한 설계작업에 있어서 약간의 자동화라도 이루기 위해서는 상기한 기능들의 구현이 필수적이기 때문에 많은 설계자들이 2D MCAD의 내장 스크립트 언어(예: AutoCAD의 경우 Auto lisp)를 이용하여 이러한 문제를 해결하기 위하여 노력하고 있으나, 대개의 경우 임시방편적인 수준에 머무는 경우가 많다[1]. 따라서, 본 연구에서는 2D MCAD에서의 위상 정보 추출 및 표현 방식을 보다 일반화함으로써, 대부분의 문제를 일관적으로 처리할 수 있는 방안을 강구하였다.

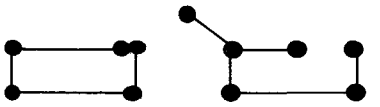
3. 회로(circuit)를 이루는 형상의 위상 정보 추출 알고리즘

솔리드 모델러에서의 위상정보는 엔티티의 생성 단계에서 이미 사용자로부터 주어진다. 솔리드 모델러가 모델링 단계에서 하는 일은 사용자의 명령을 해석하여, 3D 모델 데이터베이스가 항상 정합성을 유지하면서(오일러식을 만족하도록) 갱신되도록 하는 작업에 불과하다. 반면 2D MCAD에서는 <구멍생성>과 같은 명령에 있어 <구멍>과 같은 위상정보는 설계의 숨은 의도에 불과하며 실제로 MCAD가 해주는 것은 그 데이터베이스에 단순히 개별 엔티티를 하나의 엔트리로서 추가하는 것이므로, 위상정보를 취급하기 위해서는 거꾸로 설계의 숨은 의도, 즉 위상 정보를 <추출>해주는 알고리즘이 주된 관심사가 된다. 먼저 상황이 단순한 경우, 즉 2D MCAD 상에 나타난 단순 폐루프만을 추출하는 문제를 생각해 보기로 한다. 2D MCAD 화면상에 표시된 임의의 형상을 그래프(graph)로 표현하기 위하여 개별 엔티티를 edge에, 각 엔티티의 양 끝점을 vertex에 대응시켰을때, 여러개의 엔티티로 닫혀진 다각형을 형성하는 각 엔티티들은 1 개의 회로(circuit)을 가지는 이중연결 그래프(biconnected graph)를 형성한다[3]. 예를 들어 lead frame 제품상에서 나타나는 caivity 형상(Fig. 1 참조)은 대부분 1 개의 회로를 가지는 이중연결 그래프로 모델링 할 수 있다. 이렇게 2D MCAD

상의 각 엔티티들을 그래프상의 edge 에 대응시킬 때 1 개 회로를 가지는 이중연결 그래프를 추출하기 위한 알고리즘은 보통 다음과 같이 기술할 수 있다.

① Line 과 arc 엔티티를 솔리드 모델러에서의 edge 로, 이들 엔티티의 양 끝점을 vertex 로 생각하기로 한다.
② 전체 데이터 베이스를 대상으로 이들 edge 와 vertex 정보를 추출한다.
③ 어떤 edge 의 한 vertex 에 대하여 연결된 (공통 vertex 를 가지는) 다른 edge 를 탐색한다. 이때 공통 vertex 란 vertex 의 좌표가 동일하다는 의미인데, 실제적으로는 주어진 공차 이내로 두 vertex 의 좌표가 두 좌표가 근접해있는지를 점검하여 판정한다.
④ 연결된 edge 가 발견되면 그 edge 의 다른 절점에 대해서 위 작업을 반복 수행한다. 이때 최초로 탐색을 시작한 edge 가 다시 나타나면 일련의 edge 가 루프로 완성되었으므로 (solid modeler 에서는 face 가 된다) 이들 edge 들을 그룹핑하고 별도로 저장한 뒤에, 전체 edge 의 탐색 공간에서 제거한다.
⑤ 탐색공간이 모두 제거될 때까지 연속적으로 edge 루프를 구성한다.

그러나 이러한 단순한 알고리즘은 엔티티가 다음과 같이 트리(tree) 형태의 그래프를 형성하는 경우에 대응하지 못한다.



a) b)

Fig. 2 Tree examples.

Fig. 2 a)의 경우는 대개 폐루프를 표시하려다가 제도 실수의 결과로 발생된 경우가 많다. 그러나 이러한 제도 실수는 실제로 자주 발생되고, 화면상에서 육안으로 식별하기도 곤란하며, 상기한 간단한 알고리즘으로 구현된 위상정보 추출 프로그램의 실행을 방해하게 된다. Fig. 2 b)의 경우 역시 루프로서는 저장할 방도가 없는 전형적인 트리 형상이다. Fig. 3 은 트리는 아니지만, 이와 같이 회로가 2 개 이상인 경우에는 상기한 알고리즘을 적용할 수 없다.

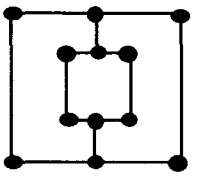


Fig. 3 A plane drawing of die insert – a example of planar graph with multiple circuit.

위 그림은 2 개의 die 입자가 조립되어 있는 것을 2D MCAD 에서 표현한 것으로, 그래프로서는 회로가 3 개인 형상이다. 상기한 루프 추출 알고리즘은 회로형상이 오직 1 개일 때만을 대상으로 하므로 이러한 형상에 대해서는 동작하지 않는다. 따라서, MCAD 데이터를 그래프 구조로 변환함에 있어 회로뿐 아니라 트리까지 일관적으로 표현하고 저장할 수 있게 하는 것은 프로그램의 무결성 보장에 있어 필수적이다. 일반적인 상황에 대처할 수 있는 알고리즘을 위해서는 그 알고리즘이 다루는 자료구조 자체가 일반적이어야 한다. 따라서 본 연구에서는 3D 솔리드 모델링에서 사용되는 경계표현법(Boundary Representation, B-rep)서의 Half-edge 자료구조를 차용하여 일관적인 위상 정보의 저장을 시도하였다.

4. Half-edge 자료구조를 이용한 2D 엔티티의 위상 정보 표현

Half-edge 자료구조는 B-rep 솔리드 모델의 일종인 winged-edge 자료구조의 변형이다[4][5]. 물체를 구성하는 모든 edge 는 한쌍의 서로 다른 방향을 가지는 half-edge 를 가진다고 가정하고, 이 half-edge 를 중심으로 모든 vertex-edge-face 의 위상 관계를 정의하겠다는 것이 이 자료구조의 특징이다. 이 자료구조를 이용하여 물체를 이루는 모든 면정보를 방향성을 가지는 half-edge 의 루프로 일관성 있게 표현할 수 있다. 경계표현법의 특성상 모든 데이터의 구축은 평면 그래프상에서 이루어지므로, 본 연구에서는 이점에 착안하여 half-edge 자료구조

를 2D MCAD 상의 엔터티가 형성하는 위상 정보를 추출하는데 사용하였다. 즉, 2D entity 를 edge 로 상사하여 생각하였을때, 모든 2D entity 에 서로 다른 진행방향을 가지는 half-edge 를 쌍으로 부여하면, 이들 half-edge 를 노드로 하는 그래프는 어떠한 상황에서도 반드시 루프를 생성하게 된다.

Fig. 4 A edge and half-edge.

Fig. 4 와 같이 1 개의 선분에 대해서도, half-edge 를 진행 방향에 따라 탐색하였을때 2 개의 half-edge 로 이루어진 순환 루프를 생성한다는 것을 알 수 있다. Fig. 3 a)의 경우 edge 로는 루프가 형성되지 않지만 half-edge 로 생각하면 1 개의 루프를 생성시킬 수 있다. (Fig. 5)

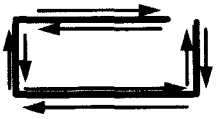


Fig. 5 Half-edge for tree shape.

한편 Fig. 6 과 같이 단일 회로 형상의 경우, half-edge 루프는 2 개가 (CW 및 CCW) 존재한다.

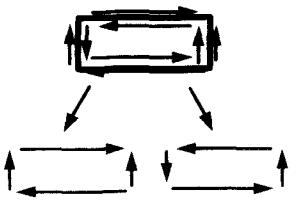


Fig. 6 Half-edge of single circuit.

또한 Fig. 7 과 같이 2 개 이상의 회로를 가지는 복합 형상에 대해서도 일관되게 half-edge 루프를 추출할 수 있다는 사실을 알 수 있다.

Fig. 7 에서는 동일방향을 가지는 a),b),c) 3 개 루프와 그 반대 방향으로 존재하는 d)루프가 추출된 것을 보여준다. a),b),c)방향은 CCW 로 동일시킴으로써 그 방향이 자동적으로 결정되는(CW) d)루프는 2 차원 물체의 최외곽을 나타내게 되며, B-rep 에서 말하는 open-disk 의 경계면을 의미하게 된다. (즉 B-rep sheet model 의 뒷면이 된다)

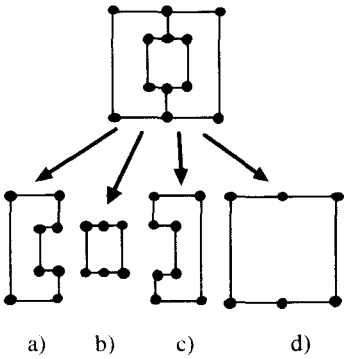


Fig. 7 A example of multiple circuit.

이와 같이, 어떠한 2D 형상이라도 모두 half-edge 의 루프를 가지고 있으므로, 형상이 외관상 열려있건 닫혀있건 간에 모두 루프 구조로서 변환할 수 있다. 모든 형상을 half-edge 루프 구조로 표현하였을때 얻어지는 잇점은 다음과 같다.

① 어떤 형상이라도 half-edge 루프로 변환가능하므로, 일관적인 방법으로 추출/저장/처리가 가능하다. (추출된 정보는 간단한 텍스트 파일로 저장 가능)

② B-rep 모델에서 루프 자료구조만 이용하므로, 프로그램 구성이 간단하다.

③ 폐루프 형상은 반드시 2 개의 half-edge 루프를 생성하므로, 이 성질을 이용하여 열려진 형상 (대개 제도 오류)를 자동 감지할 수 있다.

④ 조립체의 경우 각 부품은 CCW 루프로, 조립된 전체 형상은 CW 루프로 만들어지므로 2 차원 조립 도면으로부터의 개별 부품 자동 분리에 응용할 수 있다.

⑤ 트리 형상도 같은 자료구조로 저장되므로, PCB 에서의 net list 와 같은 non-manifold 형태의 정보의 저장에도 응용할 수 있다.

5. Half-edge loop 추출 알고리즘

Half-edge loop의 추출 알고리즘은 half-edge의 방향성을 따라 전체 half-edge를 탐색한다는 점과, 한 half-edge에 붙어있는 다른 half-edge가 여러개 있을 수 있다는 점을 제외하고는 단일회로를 추적하는 루프형상 추출 알고리즘과 유사하다.

Fig. 8은 한개의 half-edge에 다음 방향으로 연결된 half-edge가 3개 붙어있는 예이다.

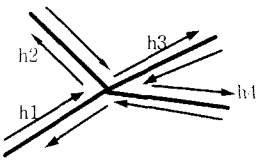


Fig. 8 Half-edge trace.

여기서 half-edge h1의 진행 방향상에 연접된 half-edge는 3개(h2,h3,h4)가 존재한다. 본 알고리즘은 이러한 경우 <왼쪽으로 가장 많이 꺾이는> half-edge인 h2를 선택한다. 이렇게 함으로써 edge로 구획되는 면의 CCW 루프(즉, half-edge 루프)를 추출할 수 있다. Half-edge 루프 추출 알고리즘을 정리하면 다음과 같다.

① Line과 arc 엔티티를 solid modeler에서의 edge로 생각하고, 이들 엔티티의 양 끝점을 vertex로 생각하기로 한다.

② 각 edge마다 서로 반대 방향을 갖는 half-edge를 생성시키고, 전체 데이터 베이스를 대상으로 이들 half-edge와 vertex를 추출한다.

③ 어떤 half-edge의 진행방향에서 한 vertex에 대하여 연결된 (공통 vertex를 가지는) 다른 half-edge를 탐색한다.

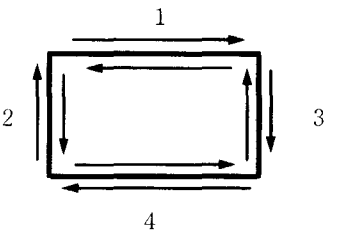
④ 만일 연결된 half-edge가 여러개 발견되면 2차원 평면상에서 가장 왼쪽으로 꺾이는 half-edge를 따라간다. 이 작업을 반복 수행하다가, 최초로 탐색을 시작한 half-edge가 다시 나타나면 1개의 half-edge 루프가(Solid modeler에서는 face가 된다) 완성되었으므로 이들 half-edge들을 그룹핑하고 별도로 저장한 뒤, 전체 half-edge의 탐색 공간에서 제거한다.

⑤ Half-edge 탐색공간이 모두 제거될 때까지 연속적으로 half-edge 루프를 구성한다.

위의 half-edge 루프 추출 알고리즘은 앞서 설명한 일반적인 edge 알고리즘과 거의 유사하면서도 half-edge 개념을 도입한 덕분에 트리 및 회로 형상에 관계없이 어떠한 상황에서도 루프를 구성해 낼 수 있다.

6. Half-edge 루프의 저장을 위한 텍스트 메타 화일

추출된 half-edge 루프의 위상정보는 에지 식별번호 (즉 엔티티의 식별번호)의 리스트에 불과하므로, 간단한 텍스트 파일로 저장이 가능하다. 예를 들어 다음과 같은 엔티티에 대해서는 2개의 half-edge 루프가 생성되므로 이를 파일에 저장하기만 하면 된다.



루프 1 : 1 -> 2 -> 4 -> 3
루프 2 : 1 -> 3 -> 4 -> 2

Fig. 9 Storage Method of loop information.

```
( 루프_식별번호
    ( 엔티티_식별번호 xs ys xf yf )
    ( 엔티티_식별번호 xs ys xf yf )
     .....
)
```

Fig. 10 List form of half-edge loop.

Half-edge 를 단일하게 식별하기 위하여 half-edge 를 파생시킨 edge(즉 CAD 엔티티)의 식별번호와 더불어 그 출발점 좌표 및 도착점 좌표를 함께 저장한다. 1 개의 half-edge 루프를 리스트 구조로 나타내면 Fig. 10 과 같다.Fig. 10 에서 xs,ys 는 half-edge 시작점의 좌표를, xf,yf 는 종착점의 좌표를 나타낸다.

본 연구에서는 이들 half-edge 루프를 위와 같은 형식으로 텍스트 파일에 기록한 것을 가리켜 <HL 화일>이라 명명하였다. 실제적인 응용을 위하여서는 line 뿐 아니라 arc 데이터에 대한 처리도 필요한데, 개념적으로는 arc 도 양 끝점을 가진 edge 로 취급할 수 있으므로 동일한 방법으로 처리하되, 중점좌표와 반경정보, 시작각/증분각 등을 개별 half-edge 의 리스트에 추가해 주어 실제적인 용도에 사용할 수 있게 하였다. 단, arc 의 경우 대부분의 2D MCAD 에서는 시점-종점 정보대신 중점/반경/각도정보만을 가지고 있는 경우가 보통이므로 이들로부터 시점과 종점 좌표를 역으로 계산해 주는 기능이 필요하다. 저장 방식의 특성을 정리하면 다음과 같다.

① Half-edge 루프 리스트는 half-edge 정보를 그 요소로 하는 정렬된 리스트(ordered list)이다.
② 개별 half-edge 의 식별자는 MCAD 에서 부여되지 않으므로, 엔티티(즉 edge) 식별번호와, half-edge 의 좌표정보 (벡터 정보)를 리스트로 하여 표현한다.

상기한 저장방식이 전통적인 B-rep 자료구조와 비교하여 다른 특성은 다음과 같다.

① Vertex, edge, face 노드에 대한 정보를 명시적으로 갖지 않으며, half-edge 리스트 정보 안에 vertex 와 edge 정보 만을 함축하고 있다.
② 한 edge 에 대해 짝을 이루는 half-edge 노드는 서로 명시적인 링크를 가지고 있지 않다.

따라서, 자료구조가 간단해지고 쉽게 위상정보를 일관되게 추출할 수 있는 반면, 실시간으로 변경되는 모델의 위상구조 변환을 동적으로 처리하기엔 부적합하다. 한편, 명시적인 vertex 와 face 노드를 가지고 있지 않으므로 다음과 같은 조회명령에 즉시 응답하지는 못한다.

1. 한 vertex 에 붙어있는 모든 edge 의 조회.
2. 한 edge 의 양쪽에 이웃한 면(즉 루프)의 조회.

위와 같은 조회 명령에 대한 결과를 얻으려면 전체 half-edge loop 정보를 다시 순차 탐색하여 바라는 결과를 재구성하면 가능하지만 솔리드 모델러에서와 같은 즉시 응답은 불가능하다. 그러나, B-rep 솔리드 모델러에서는 데이터의 생성이 3D 모델의 정합성을 유지하면서 이루어지도록 하는 것이 주된 관심사인 반면, 여기에서는 기 형성된 위상 관계를 반대로 추출하는데만 관심이 있다. 즉, edge 간의 연결관계가 어떻게 이루어져 있는지에 주로 관심이 있으므로, 조사 결과를 edge 위주로 정리함으로써 소기의 목적을 달성할 수 있었다.

7. 위상 정보 파일을 대상으로 한 형상 처리 및 현업(Lead frame 금형 설계)에의 적용.

어떠한 2D MCAD 라 할 지라도 entity 정보를 밖으로 추출할때, HL 파일 포맷으로 추출할 수 있으므로, 이 정보를 바탕으로 개별 루프에 대해 자동 offset 이나 boolean 연산 등을 수행할 수 있다. 처리가 끝난 위상정보는 HL 화일로 출력되므로, 이를 다시 MCAD 에 load 함으로써 MCAD 와 독립적으로 모델링 작업을 수행할 수 있다.

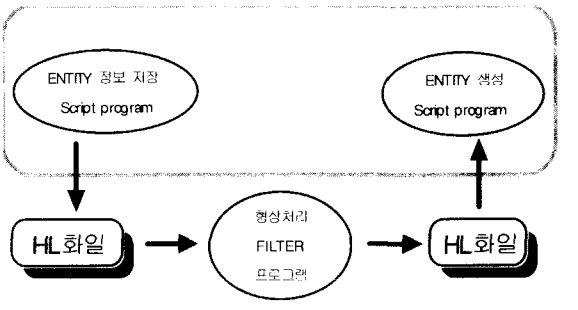


Fig. 11 Methodology for application of topological information on 2D MCAD.

Fig. 11 은 HL 화일을 이용한 2D CAD 에서의 형상처리 모델링 방안을 도식화 한 것이고, Fig. 12 는 이러한 방안을 금형 설계시 die insert 부품의 품번 자동 생성과 조립체에 대한 Explode 기능으

를 구현한 예를 보여준다. 2D MCAD 는 형상정보의 추출 및 재생성만을 담당하고 필요한 형상처리는 MCAD 의 외부 프로그램에서 고속으로 처리할 수 있다. 이때 형상정보의 추출 및 재생은 대부분의 MCAD 가 지원하는 dxf 나 IGES 와 같은 일반적인 텍스트 메타 파일을 이용하여도 되고, MCAD 의 내장언어를 이용하여 직접 구현하여도 된다.

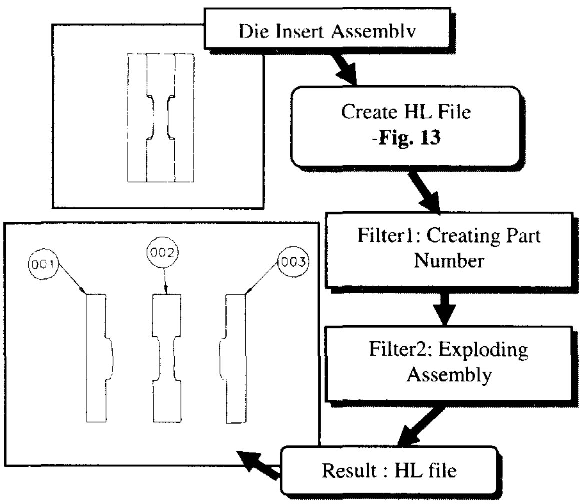


Fig. 12 Application for part explosion and automatic part numbering function.

```
1    13  :  [HL 식별 번호]  [HL내의 Entity 수]
        1    157    2    3    10    8  NONE:1:2          107.0870160000
20.8122510000       106.9715160000       20.8122510000  :
        2    159    2    3    10    8  NONE:1:2          106.9715160000
20.8122510000       106.8560160000       20.8122510000  :
        3    211    2    3    10    8  NONE:1:2          106.8560160000
20.8122510000       106.8560160000       18.2512510000  :
        4    218    2    3    10    8  NONE:1:2          106.8560160000
18.2512510000       106.0360160000       16.3842510000  :
        5    205    2    3    10    8  NONE:1:2          106.0360160000
16.3842510000       105.0160160000       16.3842510000  :
        6    203    2    3    10    8  NONE:1:2          105.0160160000
16.3842510000       101.9720160000       16.2192510000  :
        7    201    2    3    10    8  NONE:1:2          101.9720160000
16.2192510000       101.5680160000       16.2192510000  :
        8    178    2    3    10    8  NONE:1:2          101.5680160000
16.2192510000       101.5680160000       15.9652510000  :
        9    206    2    3    10    8  NONE:1:2          101.5680160000
15.9652510000       101.9720160000       15.9652510000  :
       10    208    2    3    10    8  NONE:1:2          101.9720160000
15.9652510000       105.0160160000       15.8002510000  :
       11    207    2    3    10    8  NONE:1:2          105.0160160000
15.8002510000       106.1630160000       15.8002510000  :
       12    219    2    3    10    8  NONE:1:2          106.1630160000
15.8002510000       107.0870160000       17.9462510000  :
       13    215    2    3    10    8  NONE:1:2          107.0870160000
17.9462510000       107.0870160000       20.8122510000  :
```

Fig. 13 HL File example.

이러한 방식의 장점은 다음과 같다.

① 2D MCAD 의 종류와 상관없이 쉽게 응용 프로그램을 구축할 수 있다. 이렇게 외부에서 구축된 응용 프로그램은 특정 S/W(MCAD) 및 H/W 에 구애받지 않는 독립성이 보장된다.
② 2D MCAD 의 내장언어는 대개 interpreter 방식인 경우가 많고 따라서 수행성능이 낮은 반면, 본 방식에서는 대부분의 기능을 외부에서 보다 범용의 언어(예를 들면 C 언어)를 이용하여 구현하므로 보다 고성능의 프로그램 작성이 가능하다.
③ 형상처리 프로그램을 단순한 기능만을 독립적으로 처리하는 여러개의 작은 모듈로 만들면, 모듈의 재사용성을 높일 수 있으며 이들을 연결하여 복잡한 응용 프로그램을 쉽게 구축할 수 있다.
④ 한편, 단위 프로그램의 입력 및 출력을 HL 화일과 같은 텍스트 메타화일로 통일함으로써, O/S(특히 UNIX)의 필터와 파이프 개념을 활용하여 S/W 개발의 생산성을 높일수 있다.

위상 정보가 필요한 형상 조작에는 다음과 같은 것들이 있다.

① 위상 정보의 변형.
  - Loop 간 의 boolean 연산.
② 위상 정보를 이용한 물질 특성치의 계산.
  - 둘레길이/면적/도심/2 차 모멘트의 자동 계산.
③ 위상 정보를 이용한 형상 정보의 조회.
  - 형상간 포함 여부.
④ 위상 정보를 이용한 새로운 형상 생성.
  - Offsetting.
  - NC tool Path(wire EDM 등) 생성.
⑤ 위상 정보를 이용한 형상특징의 자동인식.

기존의 kernel based modeler 의 경우 모든 형상의 정보가 working memory 에 실시간으로 구성되는 반면 본 연구에서는 형상의 변형되는 흐름을 제어하는 필터의 개념으로 모든 조작을 가하도록 프로그램 세트를 구축하였고 실제로 현업(삼성항공 리드프레임 금형 자동설계 프로그램 개발 프로젝트)에서 유용하게 활용할 수 있었다. 이러한 텍

스트 화일을 입/출력으로하는 필터 프로그램은 UNIX 를 비롯한 대부분의 O/S 에서 지원하며, 역시 OS 에서 지원하는 pipe 기능 등으로 쉽게 입력-출력을 쉽게 연동시킬 수 있다. 이러한 방법은 설계상의 절차적인 지식(특히 제도상의 지식)을 UNIX 의 C-shell 이나 TCL/TK, Perl 과 같은 스크립트 언어로 표현하는데 적합한데, 이들 script 언어는 기존의 언어보다 보통 10 배의 생산성을 나타내는 것으로 알려져 있다[6]. 실제로 리드프레임 금형과 같이 설계 변동이 심한 설계 현장에서의 설계 지식을 나타내거나 응용 프로그램을 개발하는데 매우 적합하다는 결과를 얻을 수 있었다.

8. 결 론

본 연구에서는 범용의 2D MCAD 를 이용하여 B-rep 에 기반한 위상정보를 추출하고, 이를 일반적인 텍스트 화일에 저장함으로써 2D MCAD 의 외부에서 기하 형상 모델링을 수행할 수 있었다. 이러한 방식의 장점은 다음과 같다.

1) 어떠한 2D MCAD 에서도 위상정보를 B-rep 정보로 추출하는 것이 가능하며, 이들 위상정보를 이용한 형상 처리 결과를 다시 MCAD 로 갱신할 수 있다.
2) 2 차원 형상에 불린 연산과 같은 3D 모델링 기법을 적용할 수 있다.
3) 2D 제도 과정에서, 설계자가 의도하지 않았던 위상 관계가 생성되었을 때 이를 자동으로 감지할 수 있는 수단을 제공한다.
4) 추출된 정보를 C 와 같은 범용 언어를 이용하여 CAD 시스템의 외부에서 고속으로 처리할 수 있다.
5) 2D 로 작도한 조립 도면으로부터 개별 부품을 간단히 자동 분리 할 수 있다.
6) 형상처리 프로그램은 단순 기능을 가진 다수의 필터로 분산시켜 개발할 수 있으며, 이 경우 프로그램 작성이 용이하고 모듈의 재사용성도 높아진다.
7) 위와 같은 단위 모듈은 사용자의 응용 프로그램에 포함하기 쉬우며, 절차적인 설계지식을 표현하는데 적합하다. 한편, 특정 MCAD 에 종속되지 않는 응용 프로그램 제작이 용이하다.

본 연구에서는 Half-edge 루프 구조를 저장하기 위하여 HL 화일이라는 독자적인 형식의 텍스트 메타 화일 형식을 제안하였지만, 방향을 가지는 half-edge 루프를 연쇄적인 벡터의 집합체로서 표현할 수만 있다면 그 세부적인 구현은 꼭 특정 형식에 얽매일 필요는 없다고 본다. 즉 HL 화일 포맷 대신 보다 표준적인 그래픽 메타 화일, 즉 STEP 과 같은 업계 표준적인 파일 포맷을 사용할 수 있을 것이며, 이러한 표준적인 파일을 이용함으로써 보다 넓은 분야로의 응용을 확산할 수 있을 것이며, 또한 표준 파일 포맷을 지원/처리하기 위하여 기존 개발되어 있는 프로그램 자원을 활용할 수 있는 측면에서도 유리하리라고 생각된다.

참고문헌

1. 이후용, "VFD MASK drawing 설계지원 시스템," 삼성그룹 CAD 사용자발표대회, 1997.
2. SX-9000 매뉴얼, 일본 SEIKO 사, 1995.
3. 김용운, 김용국, "토폴로지 입문," 1988.
4. mantyla, M., "An Introduction to Solid Modeling," Computer Science Press, 1988.
5. 홍상훈,"경계표현법을 기본으로한 특징형상 모델러에 관한 연구," 연세대학교 석사학위 논문, pp.13-24, 1993.
6. Ousterhout, J. "Scripting : Higher Level Programming for the 21st Century," IEEE Computer Magazine, pp.23-30, March 1998.
7. 최형우 등, "효율적 제품 개발을 위한 설계 자동화 기법," 대한기계학회지 제 34 권, 제 7 호, pp.527-538, 1994.
8. 조웅식, "프레스 금형설계기술", 기전연구사, pp.6, 1994.
9. M.E.Mortenson, "Geometric Modelling," John Wiley & Sons INC., pp.281-372, 1985.