

면-모서리 그래프를 이용한 사출 금형의 파팅 라인 및 파팅 서피스와 코어 캐비티 형상의 추출†

이철수 · 박광렬 · 김용훈

전남대학교 산업공학과

Generating the Parting-Line, Parting-Surface and Core/Cavity for an Injection Mold by using Face-Edge Graph

Cheol-Soo Lee · Gwang-Ryeol Park · Yong-Hoon Kim

In this paper, an efficient algorithm is proposed to find parting lines(PL) and generate parting surfaces(PS) for an injection mold design. We used a Face-Edge Graph which can be made by B-rep information of solid model. The graph is useful for finding the peripheral-loop edges for PL and the inner-loop edges for hole-patch. The PS can be generated automatically by selecting pre-defined direction lines. We can create a core and cavity molds by trimming the raw stock block with the PS and the upper/lower faces of a product model.

We implemented proposed method with Unigraphics API functions and C language, and tested on Unigraphics V15.

1. 서론

1.1 연구 배경 및 필요성

최근 3D CAD가 널리 보급되면서 제품의 디자인과 설계 단계부터 솔리드 모델러를 이용하는 사례가 많아지고 있다. 사출 금형을 이용하여 플라스틱 제품이 제작되는 경우 금형의 설계도 3차원으로 하면 납기 단축이나 불량 감소 등의 효과를 거둘 수 있을 것이다. 그러나 금형의 설계가 쉽지 않으며 3D 기반의 금형 부품, 몰드 베이스 등의 표준화된 라이브러리 등의 데이터베이스가 충분히 구축되어 있어야 한다. 특히 코어(core) 금형, 캐비티(cavity) 금형, 슬라이드 코어(slide core) 등과 같은 성형부의 분리작업(parting)이 2D 작업에서와 같이 개념적으로 이루어지지 않고 제품의 형상 모델에 의한 정확한 3D 형상을 구해야 한다. 이러한 금형의 분리 공정은 파팅 라인과 파팅 곡면만 정확하게 만들어 주면 매우 간단하게 이루어질 수 있다.

실제로 3차원으로 금형의 설계가 이루어지면 제품 변경에

대한 금형의 변경이 용이해지고 2D에서는 어려운 간섭이나 형합에 대한 검사가 가능하며 무엇보다도 파팅 곡면(parting surface)을 정확하게 3차원에서 설계할 수 있어 코어, 캐비티 및 슬라이드 코어가 정확하게 생성될 수 있게 된다. 같은 제품에 대해서도 파팅(parting)이라 부르는 금형의 분리 방법이 여러 가지 있을 수 있는데, 제품 형상의 특징에 따른 제약이나 금형 구조 등의 이유로 CAD에서 이 과정을 자동화 하기에는 어려움이 있었다. 본 논문에서는 솔리드 모델러(solid modeler)로 설계된 제품의 파팅 라인(parting line)을 자동으로 추출하고 금형의 상하 분리를 위한 파팅 곡면 자동 생성에 관한 알고리즘을 제안하는데 기본적으로 형상 정보를 이용하여 생성한 면-모서리 그래프(Face-Edge Graph)를 이용한다.

1.2 관련 연구

지금까지 몰드베이스 자동 설계를 위한 부품 라이브러리 구축에 대한 연구(이철수 외, 1999)와 상용 솔리드 모델러를 이용한 사출 금형 설계 시스템의 구축에 관한 연구(이건우 외, 1999)가 소개되었다. 상용 솔리드 모델링 시스템에서 자체적으로

† 본 논문은 1999년도 두뇌 한국21 사업에 의하여 지원되었음.

파팅 라인이나 파팅 곡면의 생성을 돕기 위한 기능을 지원하고 있다(Unigraphics Solutions, 1997; Parametric Technology Corporation). 최근 이러한 상용 모델링 시스템을 기반으로 하여 몰드 베이스 설계 단계에서 부품 설계부터 제품 모델에 의한 금형의 자동 생성까지 지원하는 별도의 시스템들이(I-MOLD; K-MOLD, 1999; Fujitsu Ltd.; UG-MOLD) 개발되고 있는데, 내부적인 알고리즘은 특별하게 알려진 바 없다. 파팅 라인 및 파팅 곡면과 관련한 기능을 잘 지원하는 시스템의 경우도 실제로 파팅 라인과 파팅 곡면의 결정은 수작업을 병행한 대화식으로 진행되는 경우가 많다. 본 논문이 접근과 유사한 방법으로 슬라이드 및 코어 형상 필요 부분을 돌출하기 위해 곡면의 방향, 형상 및 인접 곡면과의 위상학적 정보를 이용한 사례가 있다(Hui, 1997).

2. 제품 모델을 이용한 금형 생성

2.1 개요

사출 성형에 의한 플라스틱 제품에는 제품을 꺼내기 위해 일반적으로 금형이 상하판으로 분리(parting)된다. 상하판 금형과 제품이 동시에 접치는 부분의 선을 '파팅 라인(Parting Line)'이라고 하고, 상판과 하판이 만나는 부분을 '파팅 곡면(Parting Surface)'이라고 한다(유병렬, 1990). <그림 1>의 (a)와 (b)의 아래 그림이 각각 파팅 라인과 파팅 곡면의 예이다.

제품 형상을 이용하여 상하판 금형을 생성하는 과정을 <그림 1>에서 개략적으로 보이고 있다. <그림 1>의 (a)의 굵은 선으로 표시된 파팅 라인을 연장하여 <그림 1>의 (b)와 같은 파팅 곡면을 생성한다. 이 파팅 곡면과 제품 형상으로 <그림 1>의 (c) 같은 블록 형상의 솔리드를 빼면(subtract) <그림 1>의 (d)와 같은 두 개의 솔리드 형상을 얻을 수 있다. 이러한 두 가지 형상에서 블록 또는 오목한 금형을 코어 또는 캐비티 금형이라고 하자.

2.2 파팅 라인

제품 형상의 특징에 따라 손쉽게 파팅 라인을 결정할 수 없거나 여러 개의 파팅 라인이 있어 선택이 필요한 경우가 있다. 본 연구에서는 솔리드 형상을 이루는 모서리에 파팅 라인이 존재한다고 가정하고 있다. 실제로 모서리에 파팅 라인이 없

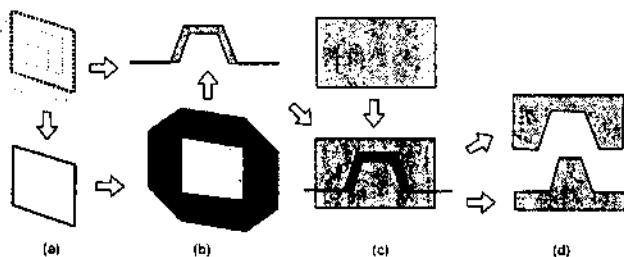


그림 1. 제품 솔리드에서 코어 및 캐비티 형상 금형의 생성 절차.

는 제품 형상은 설계 단계에서 솔리드를 이루는 면에, 예를 들어 실루엣 곡선 같은 것을 표식(imprint)하여 모서리로 추가해 주어야 한다.

2.3 파팅 곡면과 상하분리

파팅 곡면은 파팅 라인을 제품의 외부 방향으로 연장하여 만들어지는 곡면을 말한다. 이러한 파팅 곡면과 제품 솔리드를 블록 형상의 솔리드에서 제외(subtract)시키면 코어와 캐비티에 해당하는 두 개의 솔리드를 얻을 수 있는데 이 과정을 상하분리라 한다. 제품 솔리드에 구멍 형상이 있는 경우는 상하분리가 되지 않으므로 구멍을 메꾸는 홀 패치(hole patch) 과정이 선행되어야 한다. 파팅 곡면은 파팅 라인을 어떻게 결정하느냐에 따라 달라지기도 하지만 같은 파팅 라인을 사용하더라도 연장 곡면 생성 방법에 따라 파팅 곡면이 달라질 수 있다.

파팅 라인이 결정되면 제품 모델의 전체 면을 두 가지로 구분할 수 있는데 캐비티 금형과 인접하는 '상판면(upper faces)'과 코어 금형과 인접하는 '하판면(lower faces)'으로 분류될 것이다. 상판면과 하판면을 결합하면 제품을 곡면 모델로 표현할 때의 곡면과 일치하게 되며 두 면이 만나는 모서리는 파팅 라인과 일치한다. 이 곡면 모델은 금형 제작을 위한 형상 가공을 할 때 기준이 되는 곡면 모델의 일부가 된다. 연장 곡면은 상하판 금형의 형합만 일치하면 어떠한 방법으로 생성해도 상관 없지만 파팅 라인을 금형의 바깥 쪽으로 일정하게 연장한 룰드 곡면(ruled surface)을 사용하는 경우가 많다.

2.4 제안된 시스템의 구성

본 연구에서는 <그림 3>과 같이 디자인된 제품의 솔리드 모델을 가지고 모델의 곡면 및 경계 정보를 추출하고 일련의 과정을 거쳐 최종 솔리드 형상인 상하판 금형을 생성하기 위한 효과적인 방법을 제안한다. 본문에서 소개하는 각 과정의 알고리즘을 이용하여 제품의 금형을 자동 생성하기 위한 시스템의 구성은 <그림 2>와 같다.

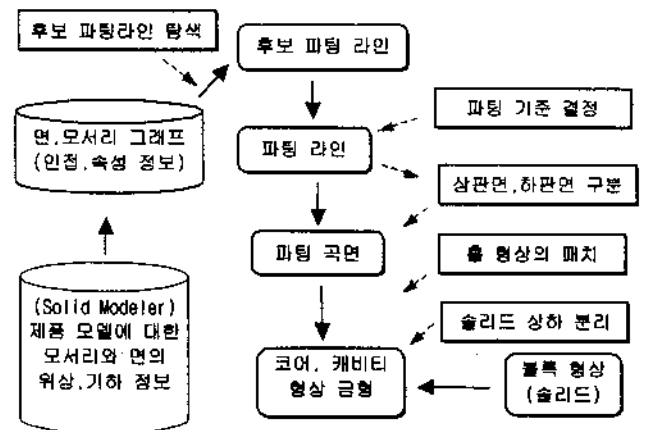


그림 2. 제안된 방법에 의한 금형 자동 생성 시스템의 구성도

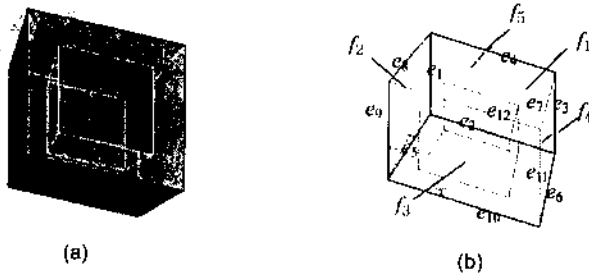


그림 3. 예제 형상으로 사용하는 제품 솔리드와 그 면과 모서리의 표현.

3. 면-모서리 그래프(Face-Edge Graph)의 생성

면-모서리 그래프(FEG)는 그래프의 노드와 간선에 면과 모서리 정보를 동시에 가지도록 표현한 그래프이다. 제안된 FEG는 크게 두 가지 정보를 포함하는데, 하나는 B-rep와 관련한 면과 모서리의 인접 관계 정보이며 두 번째는 형상 정보나 솔리드 모델러의 데이터베이스 접근을 위한 태그와 빠른 탐색을 위한 인덱스나 플래그 등의 속성 정보이다.

3.1 면과 모서리의 인접 관계의 표현

솔리드 형상이 곡면과 모서리 간의 B-rep(Boundary representation)로 표현되는 경우 형상에 대한 면의 기하학적 정보나 면이 공유하는 모서리 또는 모서리와 인접한 면 등의 위상학적 정보의 참조가 가능하다. 예를 들어, <그림 3>의 (a)와 같이 솔리드로 모델링되어 있는 제품-형상은 <그림 3>의 (b)처럼 면(face)과 모서리(edge)가 구성되어 있을 것이다. 이 제품-형상은 11개 면과 24개 모서리로 구성되어 있는데, <그림 3>의 (b)에서 e_i 와 f_j 로 표현하고 있다. 실제로 솔리드 모델링을 지원하는 CAD 시스템이 사용하는 대부분의 커널(Kernel)들은 솔리드 형상에 대한 B-rep 정보를 형상 데이터베이스에서 추출할 수 있도록 지원하고 있다. 예를 들어 <그림 4>와 같은 형상의 각 면들이 배지어 곡면이라면 조종점을 모두 알 수 있고, 면 f_i 의 경계 모서리는 e_1, e_2, e_3, e_4 이며, 모서리 e_1 의 인접 면은 f_1 과 f_2 라는 것도 솔리드 모델러에서 지원하는 API 함수를 이용한 데이터베이스 접근을 통하여 알 수 있다.

3.2 면과 모서리의 속성

제품 솔리드에서 면과 모서리에 대한 정보를 추출한 후 각 면과 모서리에 대한 속성을 정한다. 면의 속성은 <그림 4>의 (a)와 (b)에서 보인 것처럼 Top, Bottom, Upper, Lower, Side 등으로 구분하고 각각의 첫 글자를 따서 T, B, U, L, S로 명명하기로 하자. 모서리의 속성은 모서리와 인접한 두 면의 속성에 의해 TT, BB, UU, LL, SS, TB, TU, TL, TS, BU, BL, BS 또는 US, LS, UL 등으

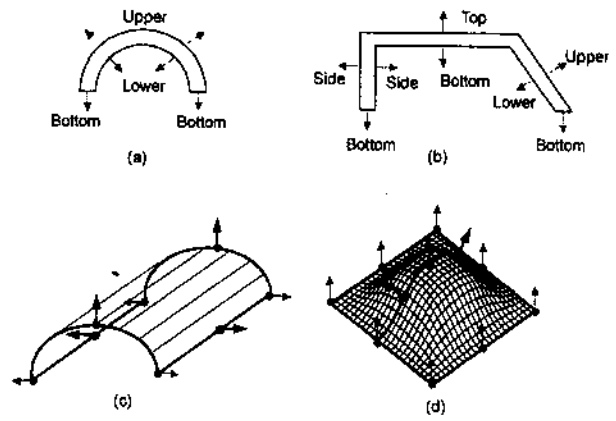


그림 4. 면의 속성과 속성 판단을 위한 법선 벡터의 설정.

로 정의될 수 있을 것이다. 모서리의 속성은 인접한 면의 두 개의 속성 모두를 포함하게 된다. 즉, 모서리에 인접한 두 면의 속성이 Up과 Top이면 모서리의 속성은 두 면의 속성의 첫 글자를 따서 UT가 된다. 면 속성은 다음 프로시저에 의해 구한다. 여기서 $FA(i)$ 는 면 f_i 의 속성을 의미한다.

Part := Solid_Tag of Product in Feature Database

for $i := 1$ to number of faces in Part do begin

$F(i) :=$ Face_Tag of current face in Feature Database

$\mathbf{n}(nx, ny, nz) := (0, 0, 0)$

for $j := 1$ to number of Edges in $F(i)$ do begin

$E(j) :=$ Edge_Tag of current edge in Feature Database

S := Coordinate of Start Vertex of $E(j)$

E := Coordinate of End Vertex of $E(j)$

N1 := Normal Vector of Point S on $F(i)$

N2 := Normal Vector of Point E on $F(i)$

$\mathbf{n} := (\mathbf{n} + (\mathbf{N1} + \mathbf{N2}) / 2) / 2$

end

$\mathbf{n} := \mathbf{N} / |\mathbf{N}|$ (* normalizing *)

if $(nz = 1.0)$ then $FA(i) := T$ (* Top *)

if $(nz = -1.0)$ then $FA(i) := B$ (* Bottom *)

if $(nz \neq 1.0)$ and $(nz > 0)$ then $FA(i) := U$ (* Upper *)

if $(nz \neq -1.0)$ and $(nz < 0)$ then $FA(i) := L$ (* Lower *)

if $(nz = 0.0)$ then $FA(i) := S$ (* Side-wall *)

end

위의 프로시저에서 \mathbf{n} 은 해당 면을 대표하는 법선 벡터를 의미하는데, <그림 4>의 (c)나 (d)와 같이 곡면의 경계 모서리의 끝점에 해당하는 위치에서 법선 벡터들만 참조하여 결정하면 이 곡면의 방향을 대표하지 못하는 경우가 있을 수 있다. 하나의 곡면이 언더 컷이 있는 경우도 포함되는데, 이 경우에는 모델링 단계에서 면들이 적절한 모서리를 가지도록 미리 분할되어 있어야 한다. 언더 컷이 없는 경우에는 모서리의 양끝 점 외에 이분점이나 사분점에 해당하는 위치에서의 곡면의 법선 벡

터를 대표 법선 벡터를 계산할 때 함께 고려해 주면 된다. 모서리의 이분점 및 사분점이란 곡면의 경계 곡선이 매개변수 곡선일 때 곡선을 내분하는 위치를 말하는데, <그림 4>의 (b)에서 굵은 방향 벡터가 그 예이다. <그림 4>의 (c)와 같은 곡면을 디자인 단계에서 분할해 주지 않았다면 이분점이나 사분점을 취하더라도 속성이 Up이 아닌 Top으로 판단될 수 있다. 이 경우는 곡면 내부의 점을 샘플링하여 대표 법선 벡터를 계산할 때 고려해 주는 방법을 사용할 수 있다. 면이 트립된 자유 곡면인 경우는 곡면 내부의 점을 샘플링하는 데 많은 시간이 소요될 수 있다. 샘플링 방법은 (u, v) 매개변수 공간 상의 트립라인의 내부 점을 탐색하는 알고리즘을 이용하여 자동으로 원하는 개수의 내부 점을 구할 수 있다.

3.3 면-모서리 그래프의 생성

솔리드 형상의 제품 모델에서 각 모서리를 공유하는 면은 두 개인데 각 모서리에 대해 인접한 두 개의 면의 태그(tag)와 모서리의 시작 및 끝점 등의 요소를 보관해 둘 수 있다. 만일 면과 모서리의 개수가 매우 많은 경우는 그래프(graph)의 내용을 참조할 때 많은 탐색 시간이 걸리게 된다. 이러한 경우에 내용을 리스트 형태로 보관할 때 각 요소를 키(key)로 하여 정렬하여 보관해 둘 필요가 있다. 모서리에 인접한 면(adjacent face)이나 한 모서리와 연결된 이웃하는 모서리(linked edge)를 찾을 때 이진 탐색(binary search)이 가능하기 때문이다.

본 연구에서는 <그림 5>와 같은 모서리와 면에 대한 그래프를 이용하여 파팅 라인에 관련한 정보를 추출하도록 하였다. 이 그래프의 각 노드(node)는 제품 솔리드의 각 면의 태그(tag) 또는 인덱스(index)와 면의 속성을 보관한다. 그래프의 노드를 연결하는 간선(edge)은 양쪽 두 노드에 해당하는 면을 공유하는 모서리의 태그와 인덱스, 속성을 보관한다. <그림 5>의 노드와 간선의 내용에서 괄호 안은 속성을 표현한 것이다. 태그는 모델러의 데이터베이스를 참조할 때 사용되고 인덱스는 앞서 설명한 리스트나 그래프를 탐색할 때 사용된다.

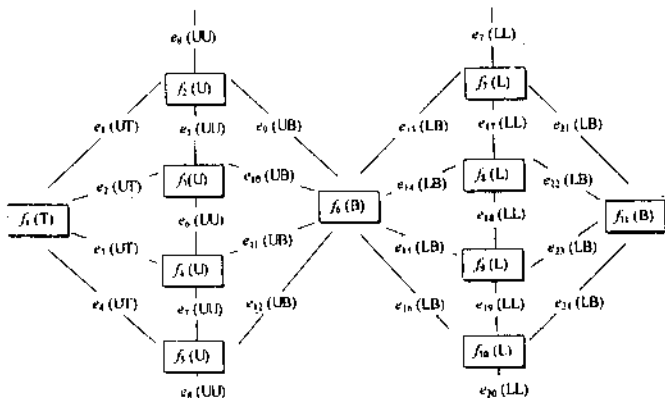


그림 5. 예제 형상에 대한 면-모서리 그래프의 예.

4. 파팅 라인의 자동 생성

4.1 후보 파팅 라인에 해당하는 모서리의 탐색

파팅 라인을 구하는 기본 개념은 위로 향하는 면과 아래로 향하는 면이 만나는 모서리를 찾는다는 것이다. 위나 아래가 아닌 옆을 향하는 면이 있으면 복수의 후보 파팅 라인이 존재하게 되는데 모서리의 탐색 과정에서 이러한 정보를 면-모서리 그래프의 속성에 보관한다. 면-모서리 그래프가 완성되면 후보 파팅 라인에 해당하는 모서리들(edges)을 구하는 절차는 다음과 같은데, 여기서 Stack은 선입 선출(first in first out)하는 리스트이다.

- Step 1. 모든 edge의 flag 값을 0으로 초기화하고 Stack을 비운다. 속성이 {BS, TS, UB, US, UL, TL, UL}인 하나의 edge를 선택한다.
 - 선택된 edge가 없으면 종료한다.
- Step 2. 선택된 edge를 Current Edge로 하고 edge의 flag를 1로 세팅한다.
- Step 3. Current Edge 끝점과 인접하고 속성이 {BS, TS, UB, US, UL, TL, UL}인 Next Edges를 찾는다.
- Step 4. Next Edge가 없거나 Next Edges의 flag이 모두 1이면 Step 5로 간다(POP). Flag이 0인 Next Edges중 하나를 Current Edge로 하고 flag을 0으로 한다. 나머지 Next Edges에서 flag이 0인 edge는 모두 Stack에 넣는다(PUSH). Step 3으로 간다.
- Step 5. Stack이 비어 있으면 종료하고 아니면 Stack에서 한 edge를 POP한다.
- Step 6. 선택된 edge의 flag이 1이면 Step 5로 간다.

제품 모델 전체 모서리 중에서 파팅 라인으로 가능한 모서리를 연결하면 루프(loop)가 생성될 수 있는데 이를 후보 파팅 라인이라고 하자. 하지만 여러 개의 루프가 가능하면서 서로 루프가 만나지 않으면 홀 형상의 발견된 경우인데 이 모서리는 제외시켜야 한다. 모서리가 만나면서 여러 개의 루프가 존재하는 경우는 XY 평면과 수직인 측벽과 같은 S 속성을 가진 면에 의해 여러 개의 파팅 라인을 가질 수 있는 경우이다.

4.2 홀 형상에 대한 모서리의 추출

제품의 단면이 <그림 6>과 같을 때 후보 파팅 라인은 UB나 TL 속성을 가진 모서리를 따라 생성될 것이다. 이때 생기는 두 개의 루프 중에서 내부 루프는 홀 형상에 대한 루프이므로 후보 파팅 라인에서 제거해야 한다. 실제로는 별도로 보관하여 홀 패치 과정에서 패치 곡면의 모서리 정보로 사용하도록 한

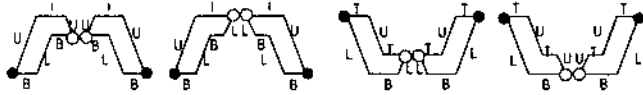


그림 6. 면-모서리 그래프의 속성 정보에 의한 홀 형상의 판단.

다. <그림 6>에서 문자는 면의 속성이고, 색칠된 점은 파팅 라인에 해당하며 색칠이 안된 점은 홀 형상에 해당하는 모서리 부분을 의미한다.

4.3 파팅 라인의 결정

후보 파팅 라인들이 추출되면 실제로 파팅을 시도하는 파팅 라인을 결정하여야 한다. 파팅 라인은 3차원상의 닫힌 곡선의 형태인데, 곡선이 이루는 루프가 유일하지 않으면 여러 개의 파팅 라인 중에서 적절하게 하나를 선택하여야 한다. 면의 속성이 S인 것이 있으면 후보 파팅 라인 중에서 하나를 선택해야 한다. 실제로 이 경우에 파팅 라인은 속성이 S인 면의 위쪽 또는 아래쪽의 모서리를 포함하여 결정된다. 따라서 모서리가 S 속성을 포함한 경우 U, T를 우선하는 정책과 B, L을 우선하는 정책 중 하나를 미리 선택하게 한다. 정책을 미리 선택하면 파팅 라인은 형상이 여러 개의 파팅 라인을 존재하더라도 위쪽이나 아래쪽으로 일관된 위치에 생성된다. 예를 들어 <그림 7>의 (a)와 같은 형상에서 모서리 속성에서 U, T를 우선하는 정책을 따르면 <그림 7>의 (b)와 같이 파팅 라인이 생성되고 B, L을 우선하면 <그림 7>의 (c)와 같이 생성된다. 그러나 실질적으로 사출 금형의 경우 금형에서 제품이 잘 빠지도록 측벽에 구배(draft)를 지정하는 경우가 대부분이므로 자동으로 추출된 후보 파팅 라인이 단일 파팅 라인이 되는 경우가 많다.

5. 파팅 곡면의 생성

본 연구에서는 파팅 라인을 이용해 곡면을 형성할 때 두 가지 방법을 사용하였다. 첫번째 방법은 파팅 라인을 구성하는 각 모서리에 해당하는 곡선들의 연장 방향을 지정해주고 그 곡선을 그대로 대응 곡선으로 하여 생성된 볼드 곡면을 파팅 곡면을 취하는 방법이다. 이 방법을 '단순 연장'에 의한 방법이라고 하자. 두번째 방법으로는 몇 개의 대표적인 방향만을 지정하고 그 외의 방향을 자동 계산하고 대응 곡선은 원래 파팅 곡선을 변형하여 생성하는 것이다. 이 방법을 '변형 연장'에 의한 방법이라고 하자.

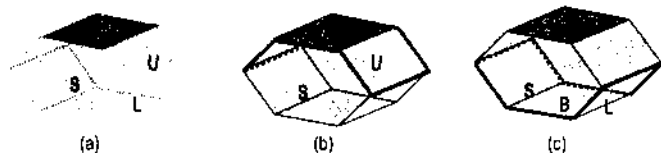


그림 7. 면-모서리 그래프를 이용한 파팅 라인 결정의 예.

5.1 단순 연장에 의한 파팅 곡면 생성

단순 연장 방법은 구현이 간단하지만 방향을 일일이 지정하다 보면 단순 반복 작업이 많아질 수 있다. 본 연구에서는 파팅 라인의 일정 구간의 시작과 끝을 지정한 후 대화상자에 의해 방향 벡터를 선택할 수 있도록 하였다. <그림 8>에서 이 방법의 예를 보이고 있다. <그림 8>의 (a)와 (b)에서 보이는 직선과 같은 곡면의 연장 방향을 결정한다. 실제로 파팅 라인은 3차원상의 자유 곡선(free-form curve)인 경우가 대부분인데 연장 방향으로 일정한 거리가 떨어진 곳에 파팅 라인과 같은 크기와 형태의 곡선이 생성되는 볼드 곡면의 대응 곡선이 된다. 그 다음에 <그림 8>의 (c)와 같이 파팅 곡면의 연결이 끊어지는 경우를 찾아서 <그림 8>의 (d)와 같이 이 부분을 메꾸는 삼각형 형태의 곡면을 추가로 생성해 주면 된다. 절차를 설명하면 다음과 같다.

- Step 1. 파팅 라인을 이루는 모서리에 해당하는 곡선 CV_i 와 모서리의 연결점인 P_i 를 구한다($i=1\sim n$).
- Step 2. 파팅 곡면의 연장 길이 E 와 곡선 CV_i 에 대한 연장 방향벡터인 D_i 를 얻는다.
(예 : 곡선 $CV_2\sim CV_4$ 구간을 방향벡터 $(1, 0, 0)$ 을 적용한다면 $D_2=D_3=D_4=(1, 1, 0)$ 이다)
- Step 3. CV_i 를 방향 D_i 로 거리 E 만큼 복사이동(copy & translate)한 대응 곡선 CV'_i 를 구한다.
- Step 4. 두 곡선 CV_i 와 CV'_i 로 n 개의 볼드 곡면인 RS_i 를 생성한다.
- Step 5. 모든 i 에 대해 P_i 에 걸치는 CV_i 와 CV'_{i+1} 의 D_i 와 D_{i+1} 가 같으면 종료하고 아니면 RS_i 와 RS_{i+1} 을 연결하는 추가의 삼각 패치 곡면 TS_i 를 생성한다. 삼각 패치의 수를 m 에 보관한다.
- Step 6. 파팅 곡면 PS 는 모든 RS_i 와 TS_i 를 결합한(sewing) 것이다($i=1\sim n, j=1\sim m$).

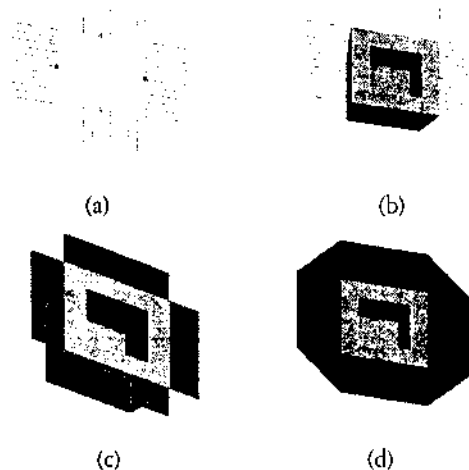


그림 8. 볼드 곡면에 의한 파팅 곡면의 생성 절차의 예.

5.2 변형 연장에 의한 파팅 곡면 생성

단순 연장 곡면에 의한 방법에서는 삼각 패치 과정이 필요하지만 변형 연장에 의한 방법은 그 과정이 필요없다. 이 방법은 단순 연장과 비슷한 절차를 거치지만 연장 곡면에 해당하는 월드 곡면을 생성할 때 미리 반 곳이 생기지 않도록 변형된 대응 곡선을 지정한다. 즉, 파팅 라인을 이루는 모서리 곡선(edge curve)의 수만큼 생성되는 대응 곡선이 모두 연결된 형태가 되도록 하는 것이다. 단순 연장 방법은 파팅 라인의 모서리에 해당하는 각 곡선(curve)에 대해 방향 벡터가 필요하다. 하지만 변형 연장 방법에서는 파팅 라인의 각 모서리의 시작과 끝 점이 일치하도록 모서리에 해당하는 곡선의 각 조종점(control point)에 대해 방향벡터를 지정한다. 변형 연장 방법의 절차를 설명하면 다음과 같다.

- Step 1. 파팅 라인에 해당하는 n 개의 모서리 곡선 CV_i 와 연결점 V_i 를 얻는다.
- Step 2. 연장 방향벡터에 해당하는 m 개의 방향 직선 L_k 와 연장 길이 E 를 입력받는다.
- Step 3. 3차 B-spline곡선인 CV_i 의 조종점 P_{ij} 를 구한다($j = 1 \sim 4$).
- Step 4. 직선 L_i 중에서 조종점 P_{ij} 와 가장 가까운 점이 직선 2개 U, V 를 추출한다.
- Step 5. 이 두 직선 U, V 의 방향벡터 u, v 로 새로운 방향벡터 $d_{ij} = (u+v)/|u+v|$ 를 구한다.
- Step 6. 조종점 P_{ij} 로 새로운 조종점 $P'_{ij} = P_{ij} + D_{ij}$ 를 구한다($D_{ij} = d_{ij} \cdot E$).
- Step 7. 새로운 조종점 P'_{ij} 로 대응 곡선 CV'_i 를 구한다.
- Step 8. CV_i 와 CV'_i 로 월드 곡면을 생성한다.
- Step 9. 파팅 곡면 PS 는 RS 를 모두 결합한(sewing) 것이다($i = 1 \sim n$).

<그림 9>에서 이 절차의 예를 보이고 있다. <그림 9>의 (a)에 굵은 선으로 표시된 CV_1 로 표현되는 파팅 라인은 공간상의 3차 B-spline 곡선으로 표현될 수 있다. 이 곡선의 조종점 P_{ij} 를 m 개 직선 L_k 의 방향과 연장 길이 E 를 이용해 구한 이동 벡터 D_{ij} 만큼 이동하여 P'_{ij} 를 구한다. 이 P'_{ij} 로 새로운 B-spline 곡선 CV'_1 를 구할 수 있는데, <그림 9>의 (b)에서 굵게 표시한 곡선이다. <그림 10>에서 CV_2 와 CV_5 는 조종점이 일직선 상에 있는 직선(straight line)인데 조종점들이 같은 이동벡터를 가지지 않아 CV_2 와 CV_5 가 곡선으로 변화한 것을 볼 수 있는데 적용 과정에서 곡면을 생성하는 데 문제가 되지는 않았다.

5.3 홀 형상의 패치

앞서 4.2절에서 언급한 대로 홀 형상이 추출되면 이 부분을 메꾸어 주어야 파팅이 가능하다. 따라서 파팅 곡면을 생성할

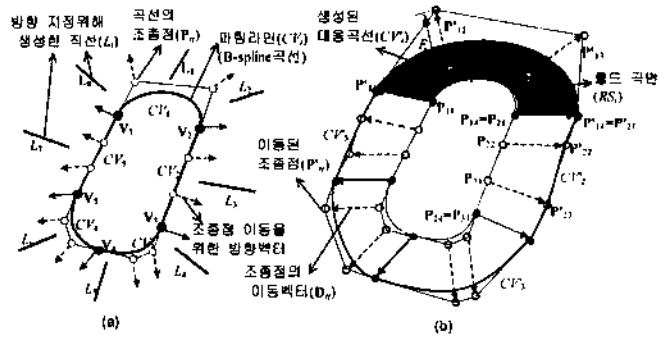


그림 9. 변형 연장 방법에 의한 파팅 곡면.

시기에 파팅 라인에 의한 연장 곡면을 생성하면서 홀 형상을 메꾸는 패치(patch) 작업을 함께 해주어야 한다.

패치 작업은 두 가지로 구분해 볼 수 있다. 먼저 홀이 단일 곡면에서 트림(trim)된 형태로 되어 있는 경우와 여러 곡면의 경계에 의해 형성된 경우이다. 첫번째 경우에는 단일 곡면(one surface)의 트림(trim) 정보를 삭제한 후 다시 새로운 경계 곡선으로 트림(trim)하면 된다. 즉, 처음에 곡면의 트림 정보에서 모든 경계 곡선 루프를 구한 다음 외곽 루프(peripheral loop)만을 보관하고 있다가 곡면의 트림 정보를 삭제한 후 외곽 루프의 경계 곡선만으로 곡면을 트림하면 홀이 제거된 곡면을 얻을 수 있는 것이다.

두 번째 경우는 주어진 개수의 경계 곡선(edge)으로 새로운 곡면을 생성해주는 과정이 필요한데, 모서리들이 평면에 있지 않는 경우는 곡면의 생성 절차가 복잡해질 수 있다. 이 경우가 가장 간단한 방법은 사각 형태를 닮도록 각 모서리를 4가지 경우로 분류하여 각 경우의 모서리를 이어서 4개의 경계 곡선으로 하는 1×1차 쿤스 곡면(Coons surface)을 생성하는 것이다. 각 경계 곡선과 인접한 제품 곡면과 연속성을 유지해 주는 방법도 생각해 볼 수 있다. 이 경우에도 파팅 라인이 설정되는 위치에서 제품에 파팅의 흔적은 남게 되는데 패치 곡면의 생성 절차가 복잡해지고 계산량이 많아지게 된다.

홀 형상이 별 모양 등과 같이 매우 복잡하여 사각 형태로 경계 곡선이 잘 분류되지 않는 경우는 적당하게 영역을 분할하여 여러 개의 사각 형태의 영역을 만들어 쿤스 패치 곡면을 생성하면 된다. 그 외에 다른 방법으로는 각 모서리의 끝점을 정점(vertex)으로 하여 삼각 형태 패치가 망으로 이루어진 면들의 집합으로 홀 패치를 메꿀 수 있다. 이 때 경계 곡선 내부에 새로 생성된 모서리(edge)를 이용한 삼각 패치는 쿤스 삼각 패치나 베지어 삼각 패치(Farin, 1995)를 이용하면 된다.

6. 상하 분리

상하 분리는 <그림 1>과 같이 블록 형상 솔리드에서 제품 솔리드와 파팅 곡면을 빼서(subtract) 코어 및 캐비티에 해당하는 두 개의 솔리드 형상이 생성하는 과정이다. 하지만 실제로 이

방법의 구현 과정에서 적용한 솔리드 모델러에서 솔리드 및 곡면 간의 불(Boolean) 연산 과정에서 적절한 결과를 얻지 못하는 경우가 발생하였다. 따라서 본 연구에서는 2.1절에서 언급한 제품의 상판 곡면(upper faces)과 하판 곡면(lower faces)을 이용하여 코어 및 캐비티 금형 형상을 얻는 방법을 사용하였다. 따라서 제품을 구성하는 면을 상판 및 하판 곡면으로 구분하는 절차가 필요하다.

6.1 상하 곡면의 구분

이미 구해 놓은 그래프 형태의 제품 형상의 면과 모서리에 대한 정보를 이용하면 제품 면을 상하 곡면을 분류하는 것은 면의 속성에 의해 간단하게 구할 수 있다. 먼저 면의 리스트(list)를 작성하고 각 면의 플래그(flag)를 0으로 한다. 속성이 U인 경우를 상판면으로 분류하고 L인 경우를 하판면으로 분류한다. 분류된 면의 플래그는 1로 한다. 그 다음 파팅 라인의 모서리의 인접한 두 면을 차례로 참조하면서 분류가 되지 않은 면에 대해 모서리 속성에 의해 상 또는 하판으로 분류할 수 있다. 이러한 과정을 거치고 난 다음에도 여러 개의 패치로 된 복합 곡면의 경우에는 분류되지 않은 면이 존재하게 된다. 아직 분류되지 않은 곡면은 파팅 라인과 인접하지는 않으므로 면의 리스트에서 플래그가 0인 것이 있으면 인접한 면의 분류 기준에 따르면 된다.

6.2 파팅 곡면에 의한 상하 분리

파팅 곡면이 생성되면 상판으로 분류된 곡면과 파팅 곡면을 결합한(sewing) 곡면을 '상판 절단면'이라 하고 하판으로 분류된 곡면과 파팅 곡면을 결합한 곡면을 '하판 절단면'이라 하자. <그림 10>의 (a)와 (b), (c)에서 파팅 라인과 이에 따른 '상판 절단면'과 '하판 절단면'을 보이고 있다. 두 절단면으로 똑같은 두 블록 형상에서 각각 절단(trim)하면 <그림 10>의 (d)와 같은 두 개의 솔리드 형상을 얻는다. 이러한 상하 분리 과정을 거쳐 생성된 두 솔리드는 금형의 코어 및 캐비티 형상에 해당한다.

7. 적용 사례

제안된 알고리즘은 C언어로 Unigraphics Solutions사의 Unigraphics

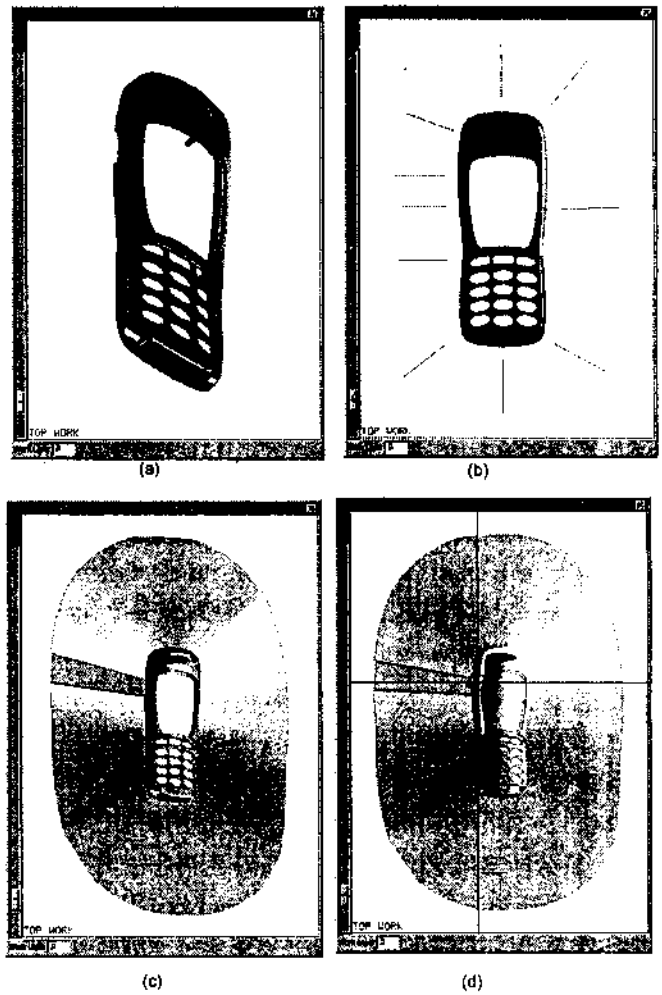


그림 11. 제안된 방법의 적용 사례-파팅 라인 및 파팅 곡면 생성.

V15를 기반으로 지원되는 API 함수(Unigraphics Solutions, 1998)를 이용하여 구현하였다. <그림 11>은 핸드폰 커버 형상의 플라스틱 제품에 적용하여 파팅 라인 및 파팅 곡면을 구한 예이다. <그림 11>의 (a)는 후보 파팅 라인을 추출한 것인데 홀 형상에 대한 모서리도 추출된 것을 볼 수 있다. <그림 11>의 (b)는 파팅 곡면 생성 과정에서 연장 방향을 지정하는 과정이다. 이 방향을 참조하여 5.2절의 변형 연장 방법으로 파팅 곡면을 생성하면 <그림 11>의 (c)와 같은 파팅 곡면이 생성된다. 실제로 방향의 지정은 작업자의 개입이 필요할 수 있는데 미리 직선을 생성해 놓으면 배치처리가 용이하게 된다. 특히 이 형상의 경우 상하분리를 위해서는 <그림 11>의 (d)와 같이 홀 패치 과정이 필요하다. 이 예제 형상의 홀은 단일 곡면의 트림 경계인 경우인데 모두 곡면의 트림을 재실시하는 방법으로 패치하였다.

이와 같이 파팅 곡면이 생성되면 상하 분리 과정을 거쳐 캐비티 및 코어 형상을 생성할 수 있다. 실제로 이 과정은 프로그램에 의해 작업자의 개입 없이 일괄처리로 진행될 수 있다. <그림 12>에서 두 가지 형상에 대한 상하 분리 과정을 보이고 있는데, <그림 12>의 (a), (b), (c)는 <그림 11>과 같은 핸드폰 커버 형상이고 <그림 13>의 (d), (e), (f)는 TV의 커버 형상의 예이

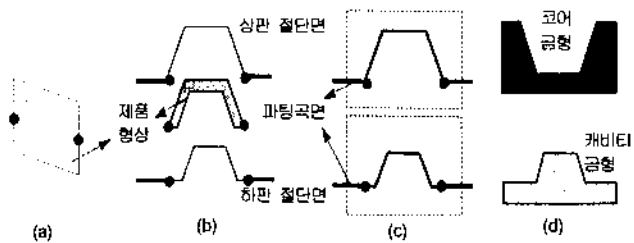


그림 10. 파팅 라인과 파팅 곡면에 의한 상하 분리 과정.

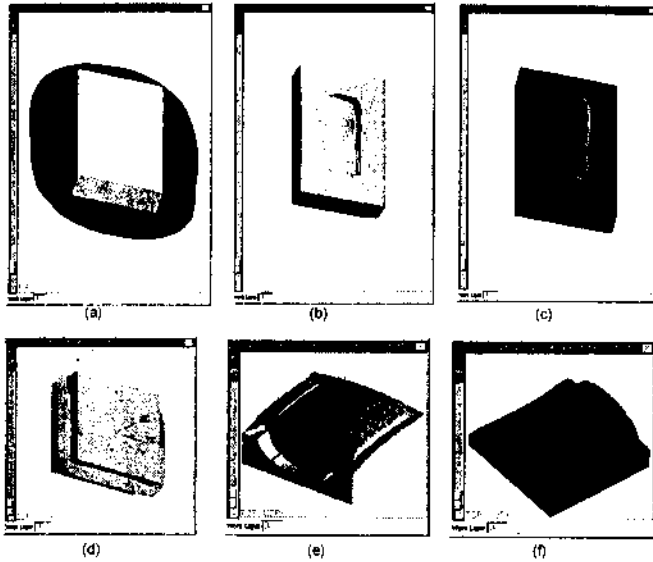


그림 12. 제안된 방법의 적용 사례-상하분리.

다. <그림 12>의 (a), (d)는 블록과 파팅 곡면을 보인 것이고 <그림 12>의 (b), (f)는 상하 분리된 후의 캐비티 형상이다. <그림 12>의 (c)는 코어 형상 위에 제품 솔리드가 함께 놓여 있고 <그림 12>의 (e)는 코어 형상만 있는 모습이다. <그림 12>에서 두 형상의 코어, 캐비티의 순서가 다른 이유는 제품 형상의 처음 자제가 핸드폰 형상은 상판면(Upper Faces)을 블록 부위로 놓은 상태에서, TV 형상은 오목 부위로 놓은 상태에서 파팅을 실시했기 때문이다.

8. 결론

본 논문에서는 솔리드 모델의 B-rep 정보에서 모서리와 면에 대한 위상 정보를 표현한 그래프를 기반으로 자동으로 파팅라인을 추출하고 파팅 곡면을 생성하는 알고리즘을 제안하였다.

제안된 방법을 사용하면 후보 파팅 라인이 여러 개인 경우에도 설계자의 의도에 따른 일관된 위치의 파팅 라인을 자동으로 선택될 수 있다. 제안된 파팅 라인 추출 방법은 홀 형상의 탐색도 가능하여 복잡한 형상의 경우에 매우 유용하다. 또한 방향 지정을 위한 대표 직선의 선택만으로 파팅 라인에 의한 파팅 곡면이 자동으로 생성된다.

제안된 알고리즘은 상용 솔리드 모델러인 Unigraphics V15에 (Unigraphics Solutions, 1997) 적용하였는데, 제품 형상만 가지고 파팅 라인에 의한 파팅 곡면의 생성과 상하분리에 의한 코어 및 캐비티 형상의 금형을 생성하는 일련의 과정을 배치 처리할 수 있었다.

제안된 알고리즘은 솔리드 모델을 기반으로 했기 때문에 곡면 모델의 경우는 위상 정보의 재구성 과정이 선행되어야 적용이 가능하다. 따라서 곡면 모델에서 재구성 과정에 관한 연구와 또는 이러한 과정이 필요 없는 다른 접근 방식의 알고리즘에 관한 연구가 필요하다.

참고문헌

유병렬(1990), 알기쉬운 플라스틱금형, 성안당.
 이진우 외 (1999), 상용 Solid Modeler 기반 사출금형설계 CAD System의 개발, 한국CAD/CAM 학회 학술발표회 논문집.
 이철수 외 (1999), 사출금형 몰드베이스와 몰드금형부품의 3차원 CAD 라이브러리 구축에 관한 연구, IE interfaces 산업공학.
 Farin, Gerald (1995), Curves and Surfaces of Computer Aided Geometric Design, 3rd Edition, ACADEMIC PRESS.
 Fujitsu Ltd., <http://www.fujitsu.co.jp>.
 Hui, K.C. (1997), Geometric aspects of the mouldability of parts, Computer-Aided Geometric Design, 29(3), 197-208.
 I-MOLD, <http://www.eng.nus.edu.sg/imold>.
 K-MOLD (1999), 제품소개서.
 Parametric Technology Corporation, <http://www.ptc.com>.
 UG-MOLD, <http://www.ugsolutions.com/products>.
 Unigraphics Solutions (1997), Unigraphics Essentials, UGS.
 Unigraphics Solutions (1998), User Function Programming Manual, UGS.



이철수
 한양대학교 산업공학과 학사
 한국과학기술원 산업공학과 석사
 한국과학기술원 산업공학과 박사
 현재: 전남대학교 산업공학과 부교수
 관심분야: CAD/CAM과 CNC 컨트롤러



김용훈
 전남대학교 산업공학과 학사
 전남대학교 산업공학과 석사
 현재: 전남대학교 산업공학과 박사과정
 관심분야: CAD/CAM, Solid Modeling



박광렬
 전남대학교 산업공학과 학사
 전남대학교 산업공학과 석사
 현재: 전남대학교 산업공학과 박사과정
 관심분야: CAD/CAM, 생산자동화