

솔리드 모델러를 기반으로 한 사출 금형용 전극 형상의 모델링

이철수*, 박광렬**, 이태경***

Geometric Modeling of Electrodes for Injection Mold based on a Solid Modeler

Lee, C. S.*, Park, G. R.** and Lee, T. K.***

ABSTRACT

Electrical discharge machining(EDM) is an important process of machining the injection mold. This paper includes efficient design processes of electrodes for EDM. Based on the solid modeler, electrodes can be created by boolean and offset operations with core/cavity models. The built-in offset operations of the solid modeler may occur unexpected results due to the limitations of the solid modeler. We proposed the multi-step and moving-face offset processes in order to apply the EDM clearances. The proposed design processes are implemented with Unigraphics V15 API functions and C language and tested on Windows NT 4.0.

Key words : EDM, Electrode, Mold, Solid modeler, Offset

1. 서 론

금형의 대표적인 가공 방법으로는 절삭가공, 연삭가공, 방전가공(EDM; Electrical Discharge Machining) 등이 있는데 절삭가공과 함께 연삭이나 방전가공이 이루어 지기도 하고 금형 전체를 방전가공을 하기도 한다. 특히 플라스틱 사출 금형(mold)의 경우 금형의 면이 제품의 면이 되는 경우가 많아 금형의 가공면 품질은 매우 중요하다. 방전가공은 가공면이 좋지만, 가공 시간 등의 이유로 꼭 필요한 부분 외에는 잘 이용되지 않다가 최근 방전가공 기술의 발달로 방전가공을 이용한 금형의 제작 사례가 늘고 있다^[1-2].

방전가공의 공구(tool)는 자체가 전도체의 역할을 하기 때문에 '전극(electrode)'이라고 부르고 성형부는 금형의 반대 형상으로 모델링 되어야 한다. 전극

의 성형부가 자유 곡면인 경우 2D CAD로 표현이 어렵고 3D 모델러를 사용하더라도 전극 부위 만들 별도로 설계해 주어야 한다. 전극은 금형과 마찬가지로 절삭가공 등에 의해 제작하므로 정확한 형상 데이터를 가지고 있어야 하며 전극의 재질이나 가공 방법 등에 따라 각종 여유량을 고려하여 설계해 주어야 한다^[3-4].

최근 금형 설계 분야에서 2D 도면이 아닌 3차원 형상 데이터를 직접 이용하려는 노력이 많아지면서 솔리드 모델러가 널리 보급되고 있는데, 따라서 솔리드 모델러 기반의 금형 설계 기술에 관련한 연구도 늘고 있다. 금형 설계와 제작 공정설계에 관한 연구^[5-6]가 소개된 바 있는데 전극의 설계기술 관련 연구는 가공 관련 연구에 비해 거의 이루어진 바가 없는 편이다. 방전가공 프로세스에 관련하여 작업물의 형상 기반 내용(description)을 입력 받아 가공비, 전극비, 셋업비 등의 비용 요소를 고려한 평가 함수를 이용해 방전가공 시간을 예측하는 방법에 대한 연구가 제안된 바 있다^[7]. 최근 솔리드 모델러 기반의 상용 몰드 설계 시스템이 발표되면서 전극 모델링에 관한 관심이 높아지고 있다^[8-10].

*중신회원, 전남대학교 산업공학과

**전남대학교 산업공학과

***(주)포스메이타

- 논문투고일: 2000. 10. 11

- 심사완료일: 2000. 11. 10

본 논문은 금형 가공의 생산성을 위해 금형의 특정 부위를 방전가공하는 경우에 효율적인 전극 설계를 위한 방법론에 대한 연구 내용이다. 실제로 방전가공을 위해서는 가공할 형상에 맞춘 전극을 가공할 금형 부위마다 설계하고 제작해야 하는 문제가 있고 전극의 설계와 가공 시간은 금형 제작 시간에 더해지기 때문에 이 전극 모델링 방법에 따라 금형 제작의 전체 공정이 줄어들 수 있다. 제안된 프로세스는 솔리드 모델러의 API함수를 이용해 내부 모듈로 구현하여 설계 작업자가 솔리드 모델러 환경에서 사용할 수 있다¹¹⁾.

2. 방전가공과 전극

2.1 방전가공 특징

방전가공은 전기가 방전할 때의 열을 이용하여 원하는 형상의 반대 형상으로 제작된 전극으로 금속성 피가공물을 성형한다. 전극 재료는 방전가공 특성, 가격, 절삭성 등에서 어느 정도 한정되지만 동(銅), 흑연, 은텅스텐, 동텅스텐, 강, 황동 등이 이용되는데 절삭성이 좋은 재료의 경우에 전극의 가공은 상대적으로 용이하다.

방전가공은 절삭가공이나 연삭가공 만으로 제작하는 것보다 생산성이 높은 경우에 실시되는데 주로 금형의 성형부에서 높은 정밀도를 필요한 부분이나 절삭이나 연삭이 힘든 초경합금 등과 같은 난삭재인 경우에도 사용된다¹²⁾. 예를 들어 코어(core)나 캐비티(cavity) 금형을 가공할 때 절삭 공구의 반지름의 크기에 제약을 받아 간섭이 생기는 부위가 있거나 금형 재료나 성형부의 형상을 고려하여 방전가공을 실시한다.

방전가공은 일반 절삭이나 연삭과 달리 경도에 관계없이 가공이 이루어지고 무인가공이 가능하며 숙련된 작업자를 필요로 하지 않는다. 또 전극이나 가공물에 큰 힘이 가해지지 않아 가느다란 전극의 사용이나 얇은 피가공물의 변형 없는 가공이 가능하고 정밀도가 높다. 그러나 공구로 사용하는 전극의 정확한 설계와 가공이 이루어져야 하고 가공 부분에 변질 층이 남게 된다. 실제로 전극과 공작물 사이에는 근소하기는 하지만 가공 간극(gap)이 필요하며 이 간극의 크기가 가공오차로 이어질 수 있다. 따라서 전극을 설계할 때 여유량(clearance)의 적용이 필요하다.

2.2 방전여유와 도피여유

가공이 이루어질 때 실제 전극 형상보다 조금 크게 성형이 되는 것을 대비하여 전극의 크기를 미리

줄인 상태에서 방전가공을 하는데 이때 줄여주는 양을 '방전 여유(discharge gap)'라고 한다. 이 값은 면조도, 방전 에너지의 크기, 방전액의 맑음 정도 등의 기준에 의해 결정된다.

'도피 여유(escape gap)'는 방전가공을 할 때 전극의 성형부 외의 면을 일정 거리만큼 도피시켜서 불필요한 곳에서 방전이 일어나지 않도록 하기 위한 도피 거리이다.

2.3 전극의 솔리드 모델링

솔리드 모델러를 이용하여 전극을 모델링 하는 경우, 전극은 금형의 반대 형상이므로 솔리드 형상에 대한 불리언 연산 기능 중에서 subtraction 연산을 이용하면 된다. 물론 그 전에 방전가공이 필요한 부위와 전극의 초기형상이 결정되어 있어야 한다. 또 각종 여유량의 고려는 솔리드 모델러의 오프셋(offset) 기능을 사용할 수 있다. 그러나 솔리드 모델러가 가진 고유의 오프셋 기능 만으로는 원하는 전극 형상을 얻을 수 없는 경우가 있다. 본 논문에서는 이러한 경우를 처리하기 위해 전극 형상에 여유량을 적용하기 위한 보완된 오프셋 방법들을 제안한다.

솔리드 모델러를 기반으로한 제안된 전극 형상의

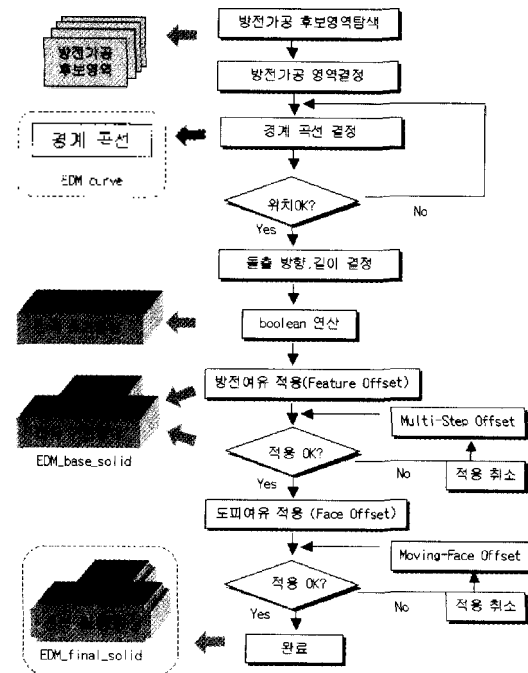


Fig. 1. The overall procedure of proposed electrode modeling process based on solid modeler.

모델링 프로세스를 Fig. 1에서 개략적으로 보이고 있다. 방전가공영역에 대한 경계곡선을 이용해 전극 기본형상을 생성한 후 여유량을 고려한 전극 최종형상을 생성하도록 한다.

3. 금형 모델을 이용한 전극 설계

3.1 방전 영역과 전극 경계 곡선

금형의 형상을 눈으로 직접 확인하며 방전가공이 필요한 부위를 작업자가 직접 검색하며 찾는 방법도 있지만, 특정한 기준에 의해 방전가공이 필요한 부위를 추출하여 추천해 주면 실제할 때 누락을 방지하는 효과를 얻을 수 있다. 또한 금형 형상에서 전극 형상을 자동으로 추출하기 위한 일련의 과정을 작업자의 최소한의 입력으로 가능하게 할 필요가 있다.

솔리드 모델은 면(face)과 모서리(edge)의 위상 관계로 표현되어 있는데 모서리에 인접한 두 면이 이루는 모양을 기준으로 방전가공 후보 영역을 찾는 방법을 생각할 수 있다. 면이 이루는 모양이란 두 면의 대표 방향 벡터를 구해 두 벡터가 이루는 각도로 결정한다. 면의 대표 방향 벡터는 평면의 경우 법선 방향을 취하면 되지만 곡면의 경우는 곡면을 대표하는 방향을 별도로 구해야 한다.

곡면의 대표 방향벡터를 구하는 방법은 간단하게 두 가지 방법을 생각할 수 있다. 첫번째는 곡면 내부의 점을 샘플링 하는 것이다. 예를 들어, 곡면 모서리의 양 끝점이나 이분점, 사분점 또는 곡면 상의 등매개 곡선 상의 점들을 샘플링 한다. 트림곡면(trimmed surface)인 경우는 샘플링 위치의 선택에 시간이 소요될 수 있다. 솔리드 모델러는 곡면을 주로 매개변수식으로 표현되는 곡면(예: NURBS)으로 보관하는 데 등매개 곡선 상의 하나의 점을 샘플링한 후에 매개변수(예: u, v)의 도메인에서 샘플링한 점이 폐곡선(트림라인)의 내부인지를 탐색적 기법으로 판단하면 된다.

두번째 방법은 곡면을 표현하는 다면체(polyhedron) 모델을 이용하는 것이다. 예를 들어 삼각망(triangle-mesh)으로 근사화된 곡면의 대표 법선 벡터는 해당 곡면의 삼각형을 포함하는 평면의 법선벡터를 모두 구해 평균을 취하는 것이다. 곡면을 다면체로 근사화하는 것은 별도의 계산 시간이 소요되긴 하지만 솔리드 모델러의 경우 대부분이 렌더링(rendering) 이미지를 생성하기 위해 자체적으로 곡면에 대한 삼각망을 데이터베이스에 보관하고 있다. 따라서 이를 이용하면 빠르고 간단하게 솔리드 모델을 이루는 각 곡면의 대표방향 벡터를 구할 수 있다.

금형의 형상에 대한 솔리드 모델의 모든 면에 대한 대표 방향 벡터가 구해지면 모델의 모서리를 모두 탐색하면서 인접 면이 이루는 모양을 판단하여 급격한 방향 변화를 이루는 모서리를 찾아 작업자에게 추천해주면 된다. 예를 들어 측벽 관련 부위를 방전가공 할 때 후보 영역의 탐색과정을 단계별로 정리하면 다음과 같다.

- 단계 1. 금형 솔리드의 면 F(i)과 모서리E(j) 추출
- 단계 2. 모든 F(i)에 대해 대표 법선방향 N(i) 산출
- 단계 3. E(j)에 대해 두 인접면(adjacent faces)인 F(a), F(b) 산출
- 단계 4. F(a)와 F(b)의 방향 N(a)와 N(b)이 측벽 형상인지 검사
- 단계 5. E(j)가 측벽 형상을 이루는 모서리면 후보 모서리로 등록
- 단계 6. 모든 모서리에 대해 단계 3,4,5를 반복
- 단계 7. 후보 모서리로 등록된 모서리와 인접한 면을 후보 면으로 등록

실제로 방전가공은 공구 반경 등의 제약으로 절삭가공이 어려운 필렛면(fillet-surface) 등의 부분에 적용하는 경우가 많다. 이러한 면의 탐색은 대표 방향을 결정하는 것처럼 곡면의 내부점을 샘플링한 후에 그 점 위치의 곡률(curvature)을 이용해 판단할 수 있다. 주어진 공구 반경 R로 미절삭될 수 있는 곡면을 탐색하는 절차를 정리하면 다음과 같다.

- 단계1. 금형 솔리드의 모든 면 F(i) 추출
- 단계2. 면 F(i)에서 N개의 점 P(j)를 샘플링
- 단계3. 오목한 구간 상에 있는 모든 점에서의 곡률반경의 최소값을 구함
즉, $r = \text{Min} \{P(j) \text{의 곡률 반경}\}$, for 오목한 구간 상의 점 p(j)의 j
- 단계4. $r < R$ 이면 방전 후보면으로 등록
- 단계5. 모든 면에 대해 단계 2,3,4 반복

위와 같은 과정들을 거쳐 추천된 후보 모서리와 후보 면을 기준으로 작업자는 방전가공영역의 경계를 결정한다. 예를 들어 방전가공이 +Z축 방향에서 내려가면서 이루어진다면 임의의 XY평면을 기준으로 방전가공의 후보 영역을 설정할 수 있다. 즉, 구해진 후보 면이나 모서리 중에서 작업자가 선택한 영역을 포함하는 XY 평면 상의 사각 또는 원 형상의 경계 영역(bounding area)을 자동으로 구할 수

있을 것이다. 이와 같이 전극에 의한 방전가공이 이루어질 영역은 XY 평면 상의 영역의 경계를 이루는 폐곡선인데 이를 전극의 '경계 곡선' 경계이라고 하자.

전극 경계 곡선은 전극의 기본형상을 만들기 위해 사용되는데 이 형상을 자동으로 생성하려면 경계 곡선이 적절한 z값을 가지는 위치(높이)에 있어야 한다. 예를 들어 금형 성형부가 위쪽(+Z)일 때 z=0인 XY 평면에 있는 전극 경계곡선은 금형 성형부보다 더 위쪽의 적절한 위치에 있도록 z좌표가 수정되어야 한다. 본 연구에서는 금형을 포함하는 최소 경계 상자(bounding box)의 마주보는 두 꼭지점의 z좌표가 각각 Zmin과 Zmax 이고 Zmin>Zmax 일 때 곡선의 높이를 $z=Z_{max}+(Z_{max}-Z_{min})/p$ 와 같은 식으로 구하여 사용하였다. 이 식에서 p는 금형 형상의 높이에 대한 전극의 길이의 비율인데, 예를 들어 p=2로 하면 전극이 금형의 파팅 곡면(parting surface)의 제일 높은 곳에서 금형 전체 높이의 절반만큼 돌출된 길이로 생성된다.

3.2 전극 기본형상의 생성

전극의 경계 곡선을 알면 전극의 기본형상에 해당하는 솔리드 모델을 자동으로 생성할 수 있다. 즉, 경계 곡선의 내부에 해당하는 평면(bounding plane)을 생성한 후 Z축 방향으로 스위프(sweep)하면 솔리드가 된다. 이 솔리드에서 금형 솔리드를 제외시키면 전극의 기본형상이 완성 된다. 이러한 과정은 설계 공정에서 작업자의 개입없이 모두 배치(batch)로 이루어질 수 있다.

면의 직선 방향 스위프 기능은 솔리드 모델러의 고유 기능인 면의 돌출(face extrude)에 의해 가능하다. 면은 경계 곡선이 평면에 있으므로 경계 사각 영역을 내부로 하는 평면을 생성하여 경계 곡선으로 트림(trim)하면 된다. 돌출 방향과 길이는 금형의 형상과 위치 그리고 경계 곡선의 위치 정보를 이용하여 자동 산출이 가능한데 그 예를 Fig. 2의 (a)에서 보이고 있다. 돌출방향은 방전가공이 적용되는 캐비티나 코어의 경계상자의 마주보는 두 꼭지점의 z좌표인 Zmin, Zmax을 구하고, 이 값과 경계곡선의 위치의 z좌표인 EDM_curve_z 값을 비교하여 구한다. 즉, $Z_{min} < Z_{max} < EDM_curve_z$ 이면 -z의 방향으로 돌출하고 $EDM_curve_z < Z_{min} < Z_{max}$ 이면 +z의 방향으로 돌출하면 된다. Fig. 2의 dz에는 돌출 방향이 +z면 (-1)을 아니면 (+1)을 보관한다.

돌출 방향과 금형의 크기를 알면 돌출 길이의 산출이 가능하다. 앞서 구한 방향정보를 가지고 길이

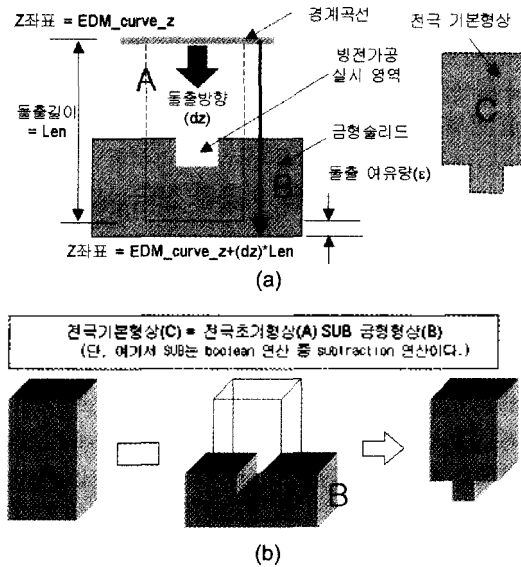


Fig. 2. Overall design process of base electrode solid before applying gap.

는 $(EDM_curve_z - Z_{min})$ 과 $(EDM_curve_z - Z_{max})$ 의 절대값을 비교하여 큰 것을 선택한 후 여유량인 ϵ (단, $\epsilon > 0$)을 빼면 돌출 길이 Len을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Len = \text{MAX}(|EDM_curve_z - Z_{min}|, |EDM_curve_z - Z_{max}|) - \epsilon$$

돌출 여유량(ϵ)을 길이에서 빼주는 이유는 솔리드 간의 불리언 연산(Boolean Operation)과정에서 거의 인접한 두 평면 간의 지오메트리(Geometry) 연산 중에 오류(non-manifold error)가 발생하는 경우가 있기 때문이다. Fig. 2의 (b)는 돌출(extrusion)기능으로 스위프된 솔리드(swept solid)와 금형 솔리드의 불리언 연산 과정에 의한 전극의 형상의 생성 과정을 개념적으로 보인 것인데 'C'형상이 전극 기본형상(EDM_base_solid)이 된다. 이 형상에 방전 가공과 관련한 여유량을 적용한다.

3.3 방전여유와 도피여유의 적용

방전 여유와 도피여유를 형상의 음셋 기능을 이용한다면 Fig. 3와 같이 설명할 수 있다. 방전 여유는 솔리드 전체 형상에 대해 솔리드 모델러가 기본으로 내장한(built-in) '형상 음셋(feature offset)' 기능을 사용한 것이고 도피여유는 솔리드의 한 면만 음셋하는 '면 음셋(face offset)기능'을 사용할 수 있다.

3.3.1 솔리드 모델러의 내장된 음셋 기능의 문제점



Fig. 3. Discharging gap and escape gap for EDM.

방전여유는 전극과 금형이 접하는 모든 면에 적용되어야 하는데, 방전가공 여유만큼 필요한 곡면을 동일하게 금형에서 간격을 주기위해 그림 Fig. 3의 두 번째 그림과 같이 솔리드에 대한 형상 오프셋(feature offset) 기능을 사용하는 것이다.

그러나 실제로 솔리드 모델러의 내장된 오프셋 기능으로 원하는 형상을 얻을 수 없는 경우가 있다. 예를 들어 Fig. 4와 같은 문제를 발생하여 솔리드 모델러에서 형상 오프셋을 성공적으로 수행하지 못하거나 원하지 않는 형상이 추출되는 결과를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 이러한 경우를 처리하기 위한 보완된 오프셋 프로세스로 방전여유와 도피여유를 적용하여 원하는 전극 형상을 구하는 방법을 제시한다.

3.3.2 형상 오프셋 기능의 보완

Fig. 4의 (a)와 같은 오류는 솔리드 모델러가 지오메트리 관련한 계산을 실시한 후 위상 정보에 대한 재구성을 못하기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 솔리드 형상의 오프셋 기능은 형상에 따라 오프셋량을 줄이면 정상적으로 작동하게 된다. 따라서 본 연구에서는 이런 모서리나 면 소실의 오류가 발생하는 경우에 자동으로 다음과 같은 '멀티 오프셋(multi-offset)' 방법으로 방전 여유를 적용하도록 하였다. 이러한 방법으로 전극 기본형상(EDM_base_solid)에 방전여유를 적용한 새로운 솔리드 형상(EDM_shrunked_solid)를 생성하기 위한 절차를 정리하면 다음과 같다.

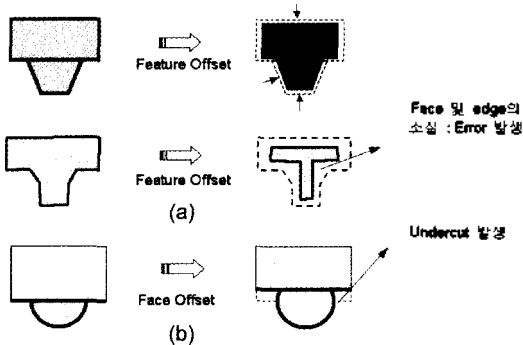


Fig. 4. A problem when using 'built-in offset' operation of solid modeler.

- 단계 1. 방전 여유 즉, 오프셋량인 gap을 입력받음
- 단계 2. gap 만큼 <Feature Offset>기능을 실시
- 단계 3. 만일 Geometry Error 가 없으면 완료
- 단계 4. $S \leftarrow 0$
(수동 모드인 경우)

- 단계 5. 멀티 오프셋량(Δ)을 입력받음
- 단계 6. <Feature Offset>기능을 실시
- 단계 7. 만약 Geometry Error 가 있으면 단계 5
- 단계 8. $S \leftarrow S + \Delta$, 만약 $S < \text{gap}$ 이면 단계 6
(자동 모드인 경우)

- 단계 5. 멀티 오프셋량 초기화 (예; $\Delta \leftarrow \text{gap}/2$)
- 단계 6. <Feature Offset>을 실시
- 단계 7. 만약 Geometry Error 가 없으면 단계 9
- 단계 8. 멀티 오프셋량 줄이고(예; $\Delta \leftarrow \Delta/2$) 단계 7
- 단계 9. $S \leftarrow S + \Delta$, 만약 $S < \text{gap}$ 이면 단계 7

3.3.3 면 오프셋 기능의 보완

도피 여유의 경우 솔리드 모델러의 내장된 기능에서 특정 면만 오프셋을 해주는 면 오프셋(face offset) 기능을 사용하는 예를 Fig. 4의 (b)에서 보인다. 이처럼 전극 성형부가 타원체와 블록 솔리드의 합침(union)으로 모델링된 경우 면 오프셋의 결과로 언더컷 부위가 발생한다. 솔리드 형상간의 불리언 연산으로 모델링된 형상의 면 오프셋은 항상 이러한 문제에 노출되어 있다.

이러한 경우 본 연구에서는 솔리드의 면(face)을 추출(extract)하여 재구성한 다음 다시 솔리드로 재구성하는 방법을 사용하였다. 제안된 방법을 간단하게 설명하면, 먼저 생성된 전극에서 도피면(escape face)을 선택 받고 전극 형상에 해당하는 솔리드의 모든 면(Face)을 추출한다. 그 다음 도피면에 대해 면이동(moving-face)을 실시하고 이동에 따른 인접 면의 필요 없는 부분을 잘라낸다(trim). 마지막으로 남은 면을 결합(sewing)하여 도피 여유량이 반영된 전극에 해당하는 솔리드 형상을 재구성하는 것이다.

이 과정을 솔리드 모델러에서 구현하기 위해 단계 별로 정리하면 다음과 같다

- 단계 1. 전극 형상의 솔리드 EDM_shrunked_solid를 이루는 n개의 면(faces)을 추출(extract)하여 AF에 보관
예: CAD_API_extracted_face_from_solid(
↓ EDM_base_solid, ↑ AF, n)
- 단계 2. 생성된 전극 형상에서 도피면을 선택하고 선택된 면을 EF에 보관하고, 선택되지 않은 면을 RF에 보관

단계3. 도피면(EF)의 경계 곡선 BC(boundary-curve)을 추출

예: CAD_API_make_curve_of_edge(↓S, ↑AF, ↑n)

단계4. 선택된 도피면을 도피여유량(escape-gap)만큼 이동한 새로운 도피면 EF'를 생성

단계5. 경계곡선 BC를 도피 방향으로 도피여유량(escape-gap)만큼 이동한 새로운 곡선 BC'를 생성하고 BC와 BC'에 의한 롤드곡면 WF 생성

예: CAD_API_make_ruled_face(↓BC, ↓BC', ↑WF)

단계6. EF의 주변의 면 SF(side face)를 구하고 이것을 EF의 경계로 트림(trim)하여 SF'를 산출

예: CAD_API_trim_face_with_face(↓SF, ↓EF, ↑SF')

단계7. 곡면을 결합하여 결합된 곡면에 의한 솔리드를 생성

예 : CAD_API_make_solid_by_sewing_face(↓SF', ↑EDM_final_solid)

위 절차에서 마지막으로 생성된 솔리드가 전극 최종형상 EDM_final_solid이다. Fig. 5는 위 과정을 솔리드의 단면으로 개념적으로 그린 것인데 각 곡면 또는 솔리드 형상의 의미와 관계를 정리하면 다음과 같다.

- AF (All Faces): 전극 솔리드 형상의 모든 면
- EF (Escape Faces): AF 중에서 선택된 도피면
- BC (Boundary Curve): EF의 경계(peripheral)곡선
- SF (Side Faces): EF와 인접한 면 중에서 도피방향에 존재하는 전극의 옆면

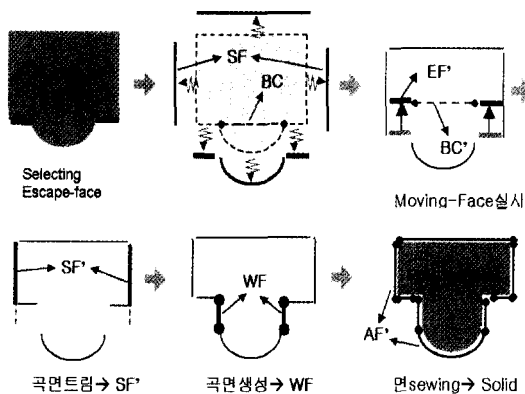


Fig. 5. A new face-offset process by moving-face method.

RF (Remained Faces)={AF-EF}

EF (Moved Escape Faces): 도피여유만큼 이동된 면

SF (Trimmed Side Faces): SF를 EF로 트림한 면

BC' (Moved Boundary Curve): EF의 경계곡선

WF (Wall Faces): BC와 BC'로 생성된 롤드곡면

즉, EF와 EF'의 경계 곡선으로 만든 측벽면

AF' (New All Faces): {(RF-SF)+EF'+SF'+WF}

전극 최종형상인 EDM_final_solid는 위에서 구해진 AF'의 모든 곡면을 결합(sewing)해서 내부를 채운 솔리드이다.

4. 적용 사례

제안된 전극 설계 방법은 Unigraphics V.15의 API함수와 C언어를 이용하여 구현하여 테스트하였다. 실제로 위와 같은 프로세스에 의해 전극을 생성하기 위해 필요한 기능을 정리하면 다음과 같다.

- 방전 영역의 선택과 경계 곡선 생성, 이동 기능
- 경계 곡선에 의한 전극 생성과 삭제
- 방전여유 적용 위한 보완된 형상 음셋기능
- 방전, 도피여유 적용 위한 보완된 면 음셋기능

위 기능을 모듈로 시스템을 구성하고 설계 작업자에게 최소한으로 입력 받아야 할 내용은 대화 상자를 통해서 입력받도록 하였다. 실제로 Fig. 6과 같은 전극 설계용 대화 상자를 구현하였는데 경계곡선 지정, 전극 기본형상 생성, 여유량의 적용 등의 단계로 구분되어 있다.

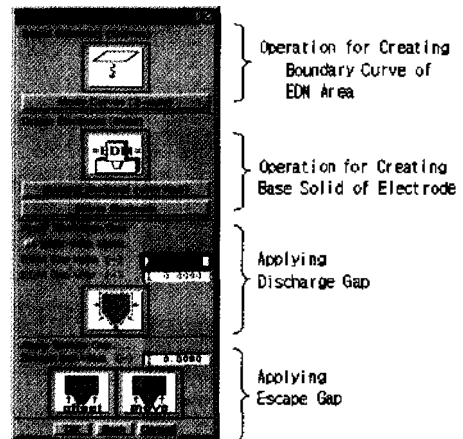


Fig. 6. Dialogue box for modeling electrodes.

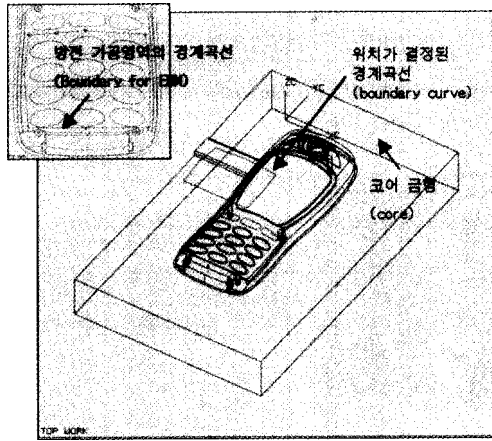


Fig. 7. An example of boundary curve for EDM.

Fig. 7은 휴대폰 커버의 버튼 부분을 방전가공하는 경우의 코어금형(A)과 돌출된 솔리드(B), 전극 기본 형상을 보이고 있다. 이 과정은 경계곡선의 지정에 의해 자동으로 이루어진다. 지정된 경계곡선에 의한 전극 초기 형상과 Fig. 2와 같이 금형과의 불리언 연산을 실시한 후의 전극 기본형상을 Fig. 8에서 보이고 있다.

Fig. 9는 방전가공과 관련한 여유량을 적용하는 과정인데 왼쪽 상단은 형상 옵션에 의한 방전 여유 적용 과정이고 왼쪽 하단은 보완된 면 옵션 방법에 의한 도피여유의 적용 과정이다. Fig. 9의 오른쪽 그림은 이와 같은 과정으로 완성된 전극 형상과 코어 금형을 같이 보인 것이다.

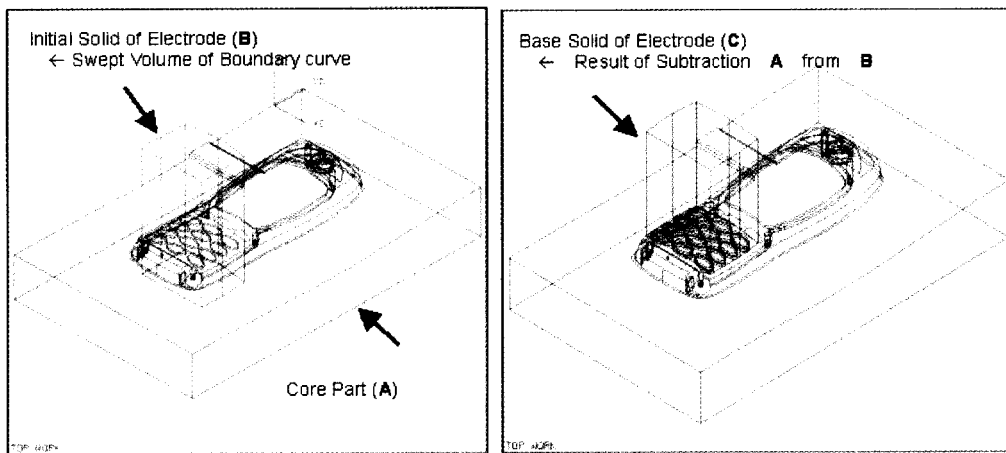


Fig. 8. An example of modeling process for generating the base solid of an electrode.

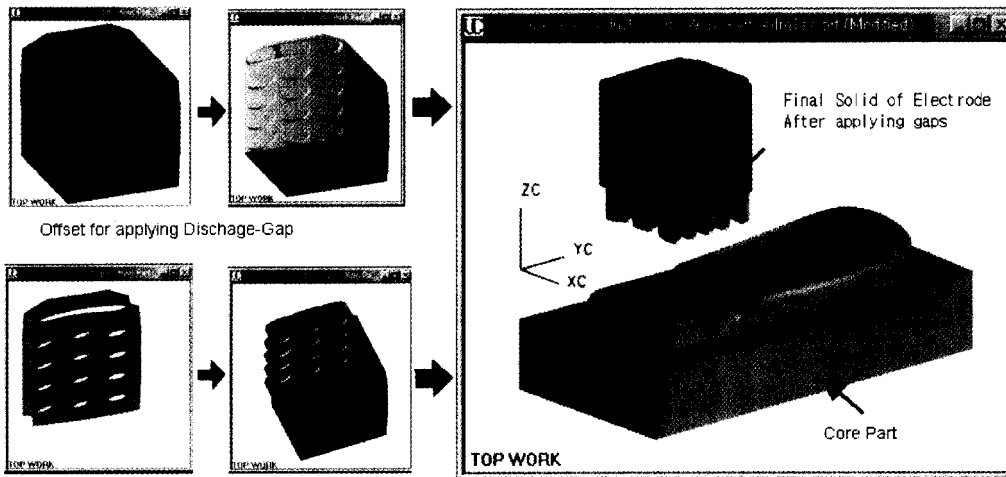


Fig. 9. An example of the modified offset operation for applying discharge-gap and escape-gap of an electrode.

5. 결 론

본 논문에서는 솔리드 모델러에서 디자인된 3차원 형상의 금형의 전극을 설계하기 위한 효율적인 방법론에 대한 내용이다. 전극 형상이 필요한 부분을 탐색하고 작업자가 지정한 경계 곡선에 의해 자동으로 전극 형상에 해당하는 솔리드 모델을 생성하는 프로세스를 제안하였다. 방전가공의 여유량(clearance)을 적용할 때 솔리드 모델러의 고유한 옵션 기능으로 불가능한 경우가 있는데 멀티 옵션 방법과 면 옵션을 보완한 방법을 제안하여 사용하였다.

제안된 프로세스 및 방법은 Unigraphics V.15의 API 함수와 C언어를 이용하여 모듈을 구현하였으며 Window-NT 환경에서 테스트 하였다.

참고문헌

1. 吉田弘美(著) 금형가공기술연구회(譯), "金型加工技術", 機電研究社, 1991.
2. 김창호, "방전가공-형조방전 및 와이어 방전가공의 완전한 활용법", 機電研究社, 1992.
3. 유병렬, "알기쉬운 플라스틱금형", 성안당, 1990.
4. 조용식, 사출 성형 금형 설계 기술, 機電研究社, 1997
5. 박상봉, 강성수, "디프 드로잉 트랜스퍼 금형의 설계 및 제작에 있어서 전문가 시스템", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제4권 제1호, pp. 52-59, 1999.
6. 박동환, 박상봉, 강성수, "타원형 디프 드로잉 트랜스퍼 금형의 공정 설계 전문가 시스템 (I)", 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제5권 제3호, pp. 255-262, 2000.
7. Lauwers, B. and Pierre, J. K., Computer Aided Process Planning for EDM Operations, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 13, No. 5, 1994.
8. I-MOLD, <http://www.eng.nus.edu.sg/imold>, 2000.
9. Unigraphics Solutions, UG/Mold Wizards, <http://www.ugsolutions.com>, 2000.

10. Cimatron Ltd., <http://www.cimatron.com>, 2000.
11. Electronic Data Systems Corporation Unigraphics Division, *UG/OPEN API Programming and reference Guide*, EDS Corp., 1998.



이 철 수

1984년 한양대학교 산업공학과 학사
1986년 한국과학기술원 산업공학과 석사
1990년 한국과학기술원 산업공학과 박사
1990년~현재 전남대학교 산업공학과 부교수
관심분야: CAD/CAM과 CNC 컨트롤러



박 광 렬

1993년 전남대학교 산업공학과 학사
1997년 전남대학교 산업공학과 석사
1997년~현재 전남대학교 산업공학과 박사
과정
관심분야: CAD/CAM, 생산자동화



이 태 경

1998년 전남대학교 산업공학과 학사
2000년 전남대학교 산업공학과 석사
2000년~현재 주포스테이터 제작
관심분야: CAD/CAM, Computer Graphic