

〈논문〉 SAE NO. 943757

자동차 판넬 금형의 NC 가공을 위한 공구 경로 생성

Tool-Path Generation in NC Machining of Automobile Panel Die

이 철 수*
C. S. Lee

ABSTRACT

This paper discusses a method to generate the tool path for NC machining of automobile panel dies. The source data representing a panel die may be generated from digitizing machines, other CAD/CAM systems via IGES files, or compound surface models. From the source data, three types of interference-free tool paths are generated automatically: a parallel(Cartesian), an isometric, and a pencil cutting tool path. For the interference-free tool path, a polyhedral model composed of several triangles, and an 'offset triangle' approach are exploited. Finally, some practical examples are illustrated.

주요기술용어 : Automobile Panel Die(자동차 판넬 금형), CAD/CAM, NC Machining(NC 가공), Interference-Free Tool Path(공구 간섭 제거), Isometric Machining(등고선 가공), Pencil Machining(펜슬 가공)

1. 서 론

1.1 연구의 배경과 필요성

자동차의 외관은 심미적인 측면과 기능적인 측면을 함께 고려하여 설계되므로 자동차 판넬 금형은 3차원 자유곡면이 복합된 매우 복잡한 형상이다. 자동차 판넬금형은 크게 외판 금형과 내판 금형으로 나누어진다. 외판 금형은 자동차의 외형을 이루는 것으로 유선형의 평활한 곡면을 이룬다. 반면에 내판은 외판을 내부에서 받쳐주는 판넬로 외판과 비교하여 형상이 복잡하다.

이와 같은 판넬금형의 생산은 종래에는 모델에

의한 모방가공(Copy Milling)이 주종을 이루어 왔다. 모방 가공의 장점은 원하는 형상을 실물로 제작하여 가공에 이용하기 때문에 형상을 잘못 판단하여 생기는 오류가 없다는 것이다. 또한 금형을 모방 가공에 의하여 가공할 때 다양한 공구 경로와 여러 크기의 공구를 사용하여 공구의 간섭이 없는 가공을 할 수 있다는 것이다. 반면에 모델을 제작하는데 많은 비용이 들고 모델을 장기간 보관할 때 모델의 형상이 변형을 일으킬 수 있으므로 형상의 재현성이 나쁘다는 단점이 있다. 뿐만 아니라 모방가공은 정밀도가 좋지 않아 기계 가공 후에 사상할 때 많은 공수를 필요로 한다.

* 정희원, 전남대학교 산업공학과 조교수

모방가공의 정밀도 문제는 NC 기계를 사용하므로 해서 해소될 수 있다. NC 기계는 수치에 의하여 동작하기 때문에 약 0.01mm의 가공 정밀도(명령할 수 있는 정도는 0.001mm이다)는 보장된다. 그러나 NC 기계를 사용하기 위해서는 가공 데이터가 준비되어야 한다. 자동차 판넬에 관련하여 NC 가공 데이터가 생성되는 곳은 크게 보아서 3차원 디지털링(Digitizing, Scanning)에 의한 것과 CAD/CAM에 의한 데이터로 구분할 수 있다.

모방가공은 스타일러스(Stylus)가 모델을 따라 곡면 형상을 읽으면서 움직이면 공구가 그 움직임에 동조하여 곡면을 가공하게 된다. 반면에 3차원 디지털링에 의해 가공 데이터를 얻는 것은 스타일러스의 움직임을 읽어서 3차원 좌표값을 기억장치에 저장하는 것을 말한다. 이 데이터는 일반적으로 디스켓에 저장되는데 시간이 경과하여도 물리적인 모델과 같이 변형이 일어나지 않으므로 형상의 재현성이 좋다. 이것은 바로 사용할 수 있는 NC 코드이므로 NC 기계에 입력하면 그대로 원하는 형상을 가공할 수 있다. 그러나 여러 크기의 공구를 사용하려면 공구의 종류와 크기에 상응하는 스타일러스를 이용하여 디지털링하여야 하므로 디지털링의 공수가 많아지는 단점이 있다.

CAD/CAM에 의하여 설계된 자동차는 3차원 형상을 곡면이나 솔리드 모델의 형태로 가지고 있다. 이들 형상을 가공하기 위한 NC 코드를 만들려면 시스템의 기능을 이용한다. 이때 대두되는 가장 큰 문제 중에 하나는 공구의 간섭이다. 공구의 간섭이란 곡면을 가공하면서 원하지 않는 부분을 가공하는 것을 말한다. 이것은 CAD/CAM 시스템마다 차이가 있지만 그 처리를 위해서는 CAD/CAM 시스템의 사용자가 많은 조작을 통하여(예를 들면 간섭이 일어날 것 같은 부분에 필렛팅을 하는 것과 같은 조작) 공구 간섭을 막고 있다. 이런 작업은 자동차의 판넬금형과 같이 곡면의 갯수가 여러개인 경우에는 매우 많은 작업 시간을 요구하는 것이다.

이와 같은 모방가공과 3차원 디지털링, CAD/CAM 시스템의 단점을 보완하고 장점을

취하기 위하여 자동차 판넬 금형 가공용 시스템이 필요하다. 본 연구에서 개발된 시스템은 SPADE라고 하는데 이 시스템을 이용할 때의 흐름도는 그림 1과 같고 다음과 같이 설명된다.

- ① 가공하는 형상 데이터는 디지털링에 의한 것과 다른 CAD/CAM 시스템에서 생성된 IGES(Initial Graphics Exchange Specification) 데이터, 곡면 모델링에 의한 데이터 등이다.
- ② 이들 데이터를 점의 연속인 패스(Path) 데이터로 변환한다.
- ③ 패스데이터를 이용하여 공구 간섭이 없는 데이터를 생성한다.
- ④ 공구 간섭이 없는 데이터를 이용하여 등고선 가공과 펜슬 가공 데이터를 생성한다.
- ⑤ 가공 경로를 NC 코드로 변환하여 NC 가공한다.

본 연구는 자동차 판넬 금형을 가공하는데 있어서 다면체 모형을 이용한 공구 간섭제거와 등고선 가공, 펜슬가공 등의 방법론을 제시하고 CAD/CAM 시스템에 어떻게 이용될 수 있는가를 살펴보고 있다. 또한 실제 자동차 판넬 가공의 예를 제시하여 실제 이용 가능성을 검토하기로 한다.

1.2. 기존의 연구

공구의 간섭을 없애는 방법은 다면체(또는 삼각형)를 이용하는 방법¹⁻²⁾, Z-Map를 이용하는 방법³⁾ 등이 있다. 다면체를 이용하는 방법은 계산시간을 요구하는 단점이 있지만 간섭이 제거된 공구 경로를 생성할 수 있다. 본 연구에서 제안한 공구 경로 생성 방법은 (1)의 방법과 비슷하지만 삼각형에 대하여 읍셋 삼각형의 아이디어를 사용한 것이 다르다. Z-Map은 계산 시간은 매우 짧지만 원하는 정도를 만족시키려면 Grid 간격을 좁혀야 한다는 단점이 있다. 예를 들어 수평면과 수직인 면을 가공하는 경로를 0.01m의 정도로 가공하려면 Grid 간격을 0.01mm로 하여야 하는데 이것은 계산시간이나 컴퓨터 메모리 문제 때문에 많은 어려움이 있다. z-map은 공구간섭을 제거

하는데 이용되기 보다는 NC 가공 검증용으로 사용되는 것이 보편적이다.

본 연구에서는 공구 간섭의 제거에 관한 아이디어와 함께 등고선 가공과 펜슬가공에 대한 아이디어도 제시하고 있다. 펜슬가공이나 등고선 가공은 몇몇 상업용 시스템에서 지원하지만 그 내부 알고리즘은 밝혀진 바가 없다. 상업용 시스템에서 공구 간섭을 처리하는 방법은 정확히 알려지지 않는 않지만 다면체를 이용하는 것으로 추측되고 있다.⁴⁾

2. 형상데이터의 원천

SPADE에서 데이터를 처리하기 위해서는 가공해야 할 곡면 형상이 있어야 한다. 형상을 이루는 데이터의 원천은 다음과 같다.

- ① 디지털이징된 데이터와 곡면 가공용 NC 코드
- ② IGES
- ③ SPADE 내부에서 모델링된 곡면

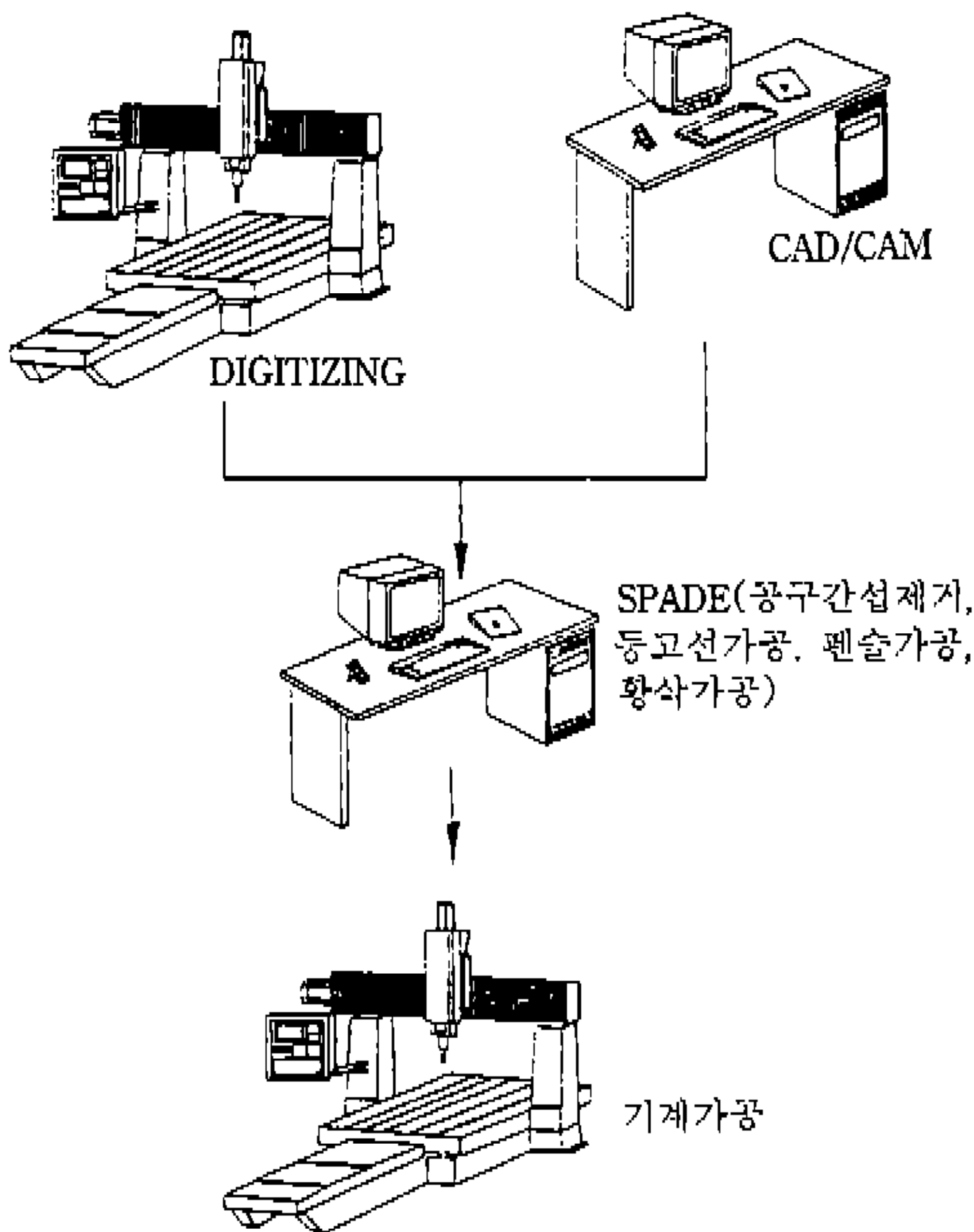


그림 1 SPADE를 이용한 자동차 판넬 가공을 위한 공구 경로 생성과정

판넬 가공을 위하여 기존의 방법과 같이 모델을 만드는 경우에는 3차원 디지털이징에 의하여 형상데이터를 SPADE에 넘겨 줄 수 있다. 3차원 디지털이징 데이터는 3차원 점의 연속인 NC 코드 형태로 되어 있는데 이것을 읽어 형상 데이터의 원천으로 삼는다. 여기서 한 방향을 따라 움직인 것을 패스라고 하고 이들 패스가 여러개 연속되었을 때 하나의 곡면 형상이 이루어진다.

IGES는 다른 기종의 CAD/CAM 사이에서 데이터를 교환할 수 있는 방법 중에서 가장 보편적으로 사용하는 방법이다. IGES는 Trim된 NURB(Non-Uniform Rational B-Spline) 곡면까지 표현할 수 있는 데이터의 형태이다. IGES에 의하여 데이터가 전달되면 SPADE는 그것을 내부의 곡면 모델로 변환하거나 곡면을 패스 형태로 바꾼다.

SPADE는 간단한 구면에서 복잡한 자유곡면까지 자체적으로 곡면을 모델링할 수 있는 기능이 있다. 생성된 곡면사이에는 필렛팅 등으로 수정할 수 있고 생성된 곡면을 가공하는 것도 가능하다. 곡면 모델은 공구간섭이 없는 다양한 공구 경로를 생성하기 위하여 삼각 다면체로 변환된다. 곡면에서 패스를 생성하는 방법은 곡면의 등매개(Iso-parameter) 곡선을 따라 주어진 허용오차 내에서 점 데이터를 계산하면 된다.

따라서 이들 3종류의 데이터는 모두 패스의 형태로 표현된다. 그 원천이 무엇이든지 모두 패스에 의하여 표현되고 그것이 이후의 공구 경로 생성에 직접 이용된다.

3. 공구 간섭의 제거

3.1 개 요

공구간섭은 금형의 가공에서 치명적이다. 금형의 원하지 않는 부분을 과절삭하므로 해서 금형 전체가 불량처리 되거나 과절삭된 부분을 용접하여 재사용하게 되는데 이것은 금형과 제품의 품질을 저하시키고 가공 공수의 손실을 야기한다. 본 연구는 삼각형으로 이루어진 다면체(삼각 다면체)에 의하여 공구 간섭을 제거하는 방법을 이용한다.

공구 간섭 제거의 방법은 다음과 같다.

- ① 주어진 데이터로 삼각 다면체를 구성한다.
- ② 각각의 삼각형을 읍셋된 삼각형 1개와 3개의 원통, 3개의 구로 구성한다.
- ③ 임의의 공구 위치(x, y)에서 공구 간섭이 일어나지 않는 가장 낮은 공구의 높이(z)를 구한다. 즉 (x, y)에서 그은 z축에 평행한 수직선이 읍셋된 삼각형의 집합과 만나는 가장 높은 점을 구한다.
- ④ 공구의 위치를 일정 방향으로 옮기면서 높이를 구하여 공구 경로를 생성한다.

3.2 삼각 다면체의 형성

공구 경로를 계산하기 위한 자료의 원천은 디지털이징된 데이터, 다른 CAD/CAM 시스템의 IGES 데이터, 곡면 모델 등이었다. 이들 데이터는 그림 2와 같이 모두 패스형태로 변환하였으므로 여기서는 이것을 이용하여 삼각 다면체를 형성하는 방법을 설명한다.

이와 같은 데이터를 이용하여 삼각 다면체를 만들려면 이웃하는 두개의 패스만을 고려하여 삼각형들을 만들고 이것을 모든 이웃에 대하여 반복하여 완성한다. 패스는 일정한 점의 연속으로 이루어지고 임의의 패스 i의 j번째 점을 PT_{ij} 라고 정의하기로 한다. 이때 삼각 다면체를 형성하는 알고리즘은 MACRO MAKE-TRI-MAP와 같이 표현된다.

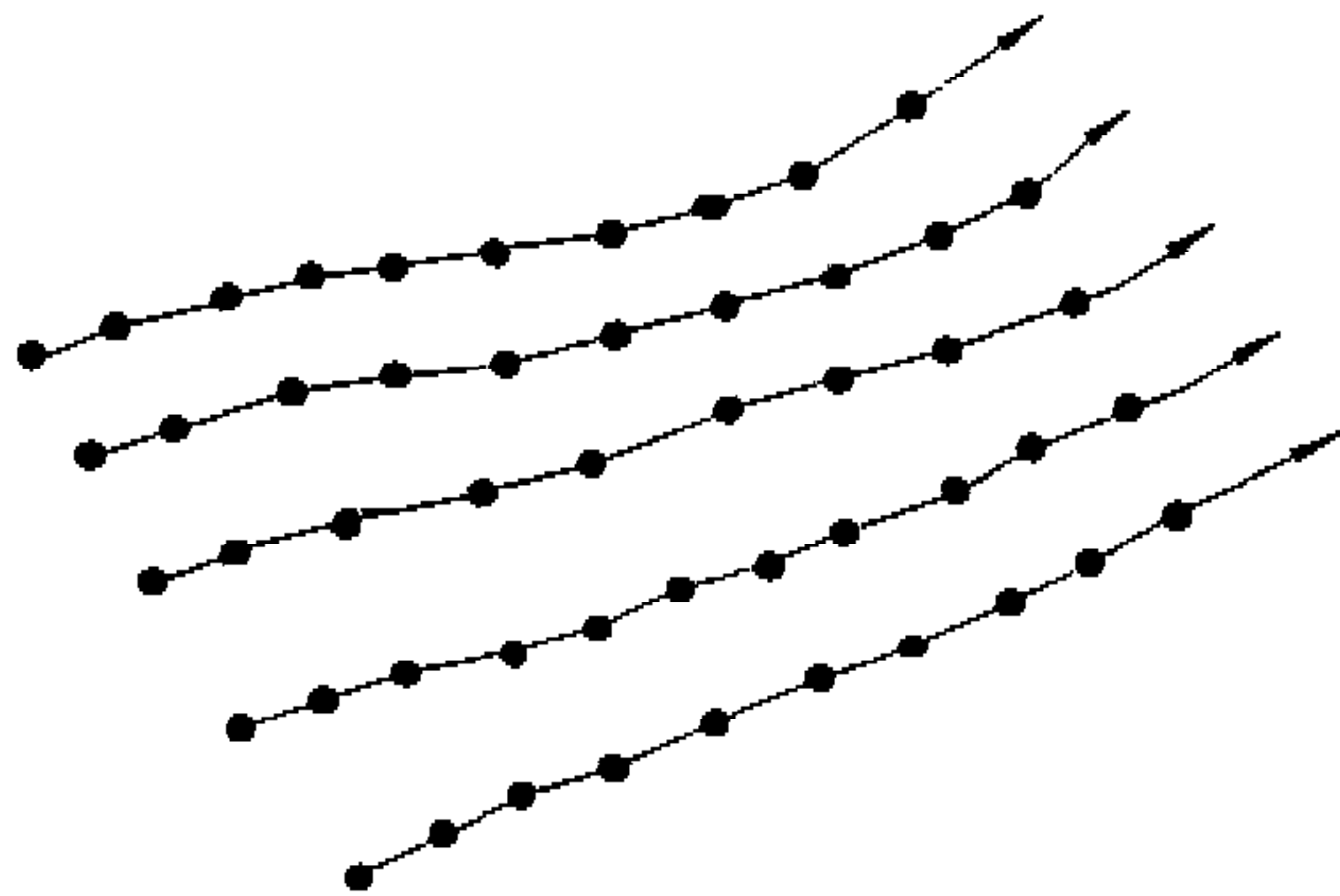


그림 2 패스 형태로 변환된 삼각 다면체의 기초 데이터(·은 점데이터의 위치)

MACRO MAKE-TRI-MAP

// PT_{ij} 를 이용하여 삼각다면체를 형성

```

1. j1=0
   j2=0 // 시작점의 번호
2. 조건(j1 < N1 or j2 < N2)를 만족하면 반복
   { // N1, N2는 각각 패스에서 점의 갯수
     2-1 P11= $PT_{ij1}$  // 두개의 삼각형을 만들기
       위한 4개의 점
       만일(j1 < N1-1)이면
         P12= $PT_{ij1+1}$ 
       아니면
         P12=(∞, ∞, ∞) // 가상의 매우 먼
           점
         P21= $PT_{i+1j2}$ 
       만일(j2 < N2-1)이면
         P22= $PT_{i+j2+1}$ 
       아니면
         P22=(∞, ∞, ∞) // 가상의 매우 먼
           점
     2-2 Len1=Length(P11, P22) // 엇갈린 두점
       사이의 거리
       Len2=Length(P12, P21)
     2-3 만일(Len1 < Len2)이면 {
       // 삼각형 P11-P21-P22
       삼각형(P11, P21, P22)을 저장
       j2=j2+1
     }
     아니면 {
       // 삼각형 P11-P12-P21
       삼각형(P11, P12, P21)을 저장
       j1=j1+1
     }
   } // 반복
    
```

이것은 두개의 이웃하는 패스를 따라 삼각 다면체를 만들때 후보가 되는 두개의 삼각형 중에서 정삼각형에 가까운 것을 찾아서 삼각형으로 저장하는 것을 보이고 있다.(그림 3 참조) 주어진 하나의 곡면 형상에 대해서 삼각 다면체를 형성하는 방법은 모든 이웃하는 패스 사이에 대하여 MACRO MAKE-TRI-MAP을 수행하면 된다.

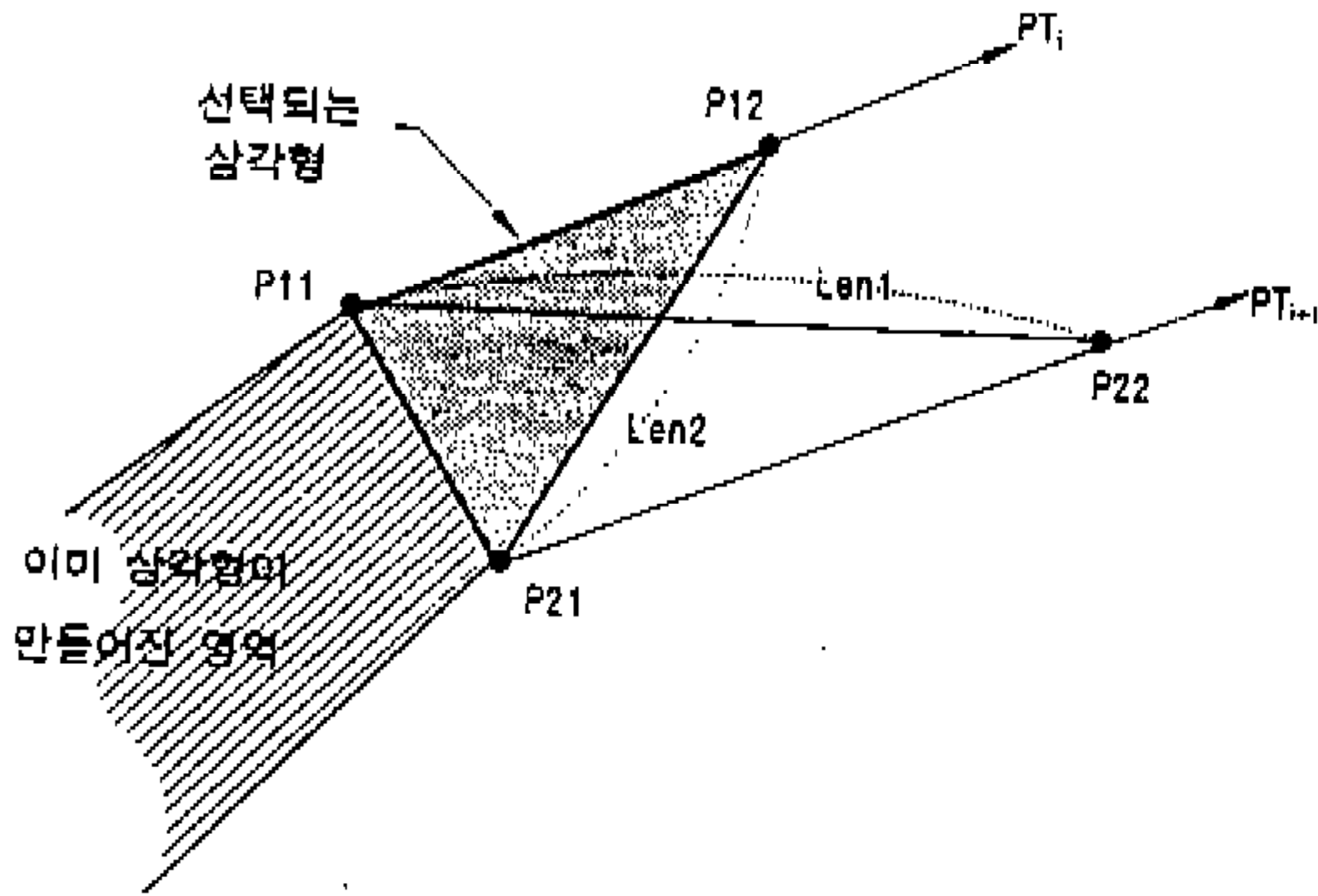


그림 3 이웃하는 두 패스에 대한 삼각 다면체

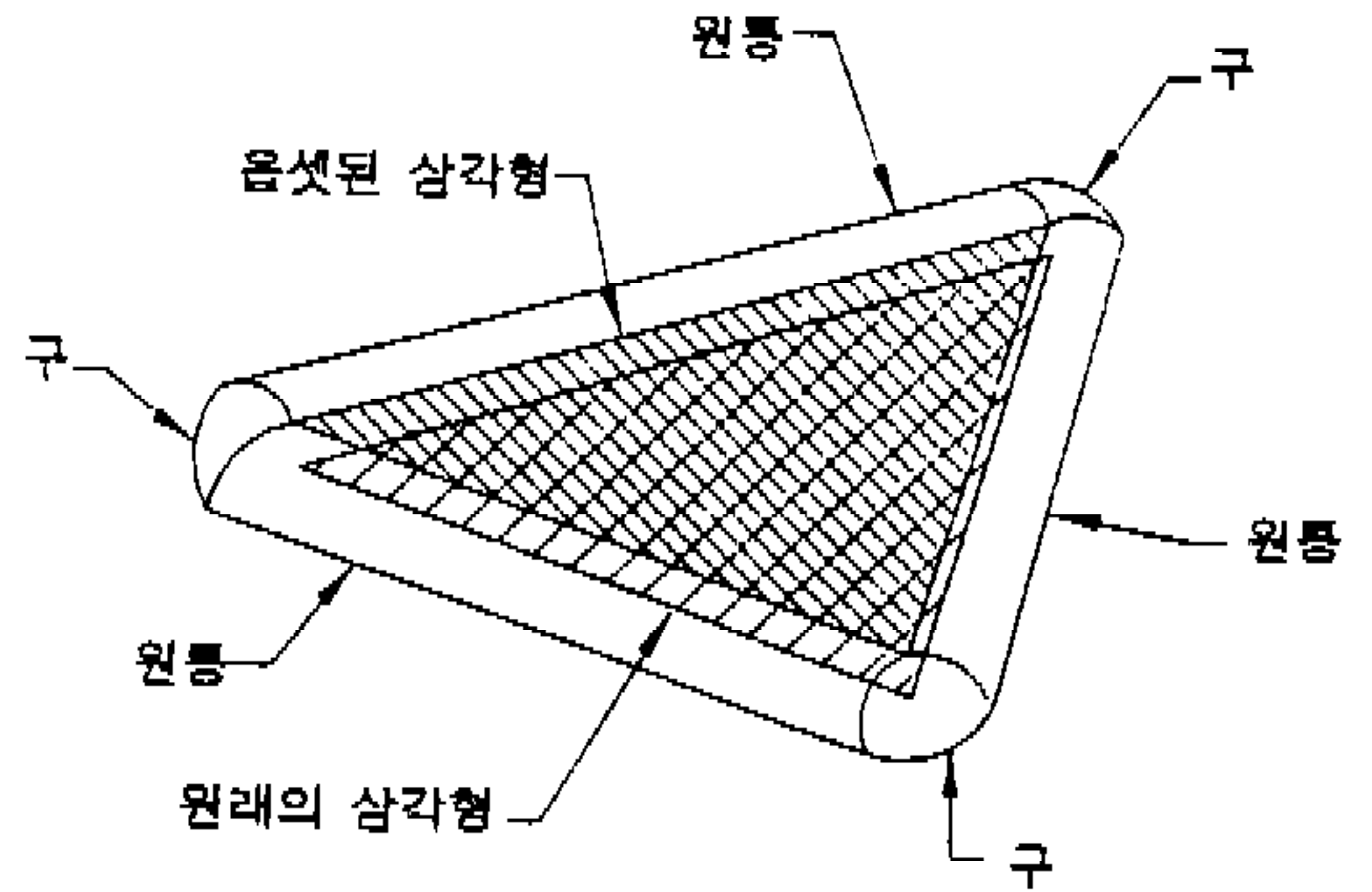


그림 4 공구 간섭제거를 위하여 옴셋된 삼각형

3.3 삼각형의 옴셋

하나의 삼각형을 공구 간섭없이 가공한다고 할 때 공구가 지나는 위치를 상상하여 보자. 만일 공구가 볼엔드밀이고 지나는 위치가 볼의 중심이라고 하면 공구의 궤적은 다음과 같을 것이다.

- ① 공구가 평면 부위를 가공한다면 그 궤적은 원래 삼각형이 공구의 반지름만큼 옴셋된 삼각형을 이룬다.
- ② 공구가 모서리를 가공한다면 그 궤적은 원통을 이루는데 원통의 중심은 모서리이고 원통의 반지름은 공구의 반지름이다. 모서리가 3개이므로 원통은 3개가 된다.
- ③ 공구가 꼭지점을 가공한다면 그 궤적은 구를 이루고 구의 반지름은 공구의 반지름이다. 꼭지점이 3개이므로 구는 3개가 된다.

옴셋된 삼각형은 그림 4와 같다.

본 연구에서 제안하는 공구 간섭제거의 주요 아이디어는 삼각 다면체를 이루는 하나의 삼각형을 옴셋 삼각형(삼각형, 원통, 구)으로 변환하고 가공 경로의 공구 중심이 삼각 다면체의 모든 옴셋된 삼각형보다 위에 있도록 하는 것이다.

하나의 삼각형을 가공하기 위하여 점 (x, y) 에 대한 공구의 높이를 결정하는 방법은 MACRO CHECK-TRI와 같이 표현할 수 있다.

```
MACRO CHECK-TRI(x, y, z, new_z)
// 입력 : (x, y, z), 현재 공구의 위치
// 출력 : new_z, 공구의 새로운 높이
```

1. // 옴셋된 삼각형에 대한 높이 결정
만일 (x, y) 가 xy 평면에 투영된 옴셋된 삼각형의 내부에 있다면 {
z축에 평행하고 (x, y) 를 지나는 직선과 삼각형의 교점을 구함
new_z = 교점의 z
return
}
2. // 모든 원통에 대한 새로운 높이 지정
모든 원통에 대하여 다음을 계산 {
z축에 평행하고 (x, y) 를 지나는 직선과 원통의 교점을 구함
만일 두점이면
z1 = 두 점 중에서 높은 점
아니면
z1 = 교점
만일 $(z1 > z)$ 이면
z = z1
} // 반복
3. // 모든 구에 대한 새로운 높이 지정
모든 구에 대하여 다음을 계산 {
z축에 평행하고 (x, y) 를 지나는 직선과 구의 교점을 구함
만일 두점이면
z1 = 두 점 중에서 높은 점
아니면
z1 = 교점
만일 $(z1 > z)$ 이면

```
z=z1
} // 반복
```

```
4. newz=z
return
```

z축에 평행한 직선이 평면이나 원통, 구와 만나는 교점을 구하는 방법은 간단하므로 여기서는 생략하기로 한다.

3.4 공구 경로의 생성

삼각 다면체 전체에 대한 공구 간섭이 없는 공구의 높이는 MACRO CHECK-ALL-TRI에 의하여 표현된다.

```
MACRO CHECK-ALL-TRI(x, y, z)
// 입력 : (x, y) 공구의 위치
// 출력 : z, 공구의 새로운 높이
1. ztemp=z // z값을 기억함
z=-∞ // z=-∞로 지정
2. 삼각 다면체 위의 모든 삼각형에 대하여
다음을 계산 {
CALL-MACRO CHECK-TRI(x, y, z, newz)
z=newz
}
3. 만일 (z=-∞)이면 // 어느 삼각형과도
만나지 않으면
z=ztemp
만나지 않음
}
아니면 {
만남
}
```

하나의 공구 위치에 대한 공구 간섭의 체크는 위와 같은 방법으로 완벽하게 수행된다. 그러면 공구가 정해진 경로를 따라 움직여서 가공하게 되는 공구 경로의 생성에 대하여 알아보자. 일반적으로 곡면에 있어서 공구의 경로를 생성하는 것은 곡면의 곡률과 주어진 허용오차를 함께 고려하여 얼마의 간격으로 직선 경로(자동차 금형의 가공에서 경로의 방향은 공구의 가공 부하 등을 고려하여 곡면을 가공하는 경우 xy평면을 기준으로 공구가 직선으로 움직이는 것이 일반

적이다)를 생성하여 가공하는가에 달려 있다. 그러나 본 연구에서 제안된 방법은 곡률의 개념을 적용하는 것이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 일정간격으로 공구 간섭이 제거된 패스를 적용 하되 만일 꺾이는 점이 있을 때에는 중간점을 Check한다. 수치 해석적인 방법(그 구간에서 가장 꺾임이 큰 점을 찾음)으로 그 점을 찾아서 연결하여 준다.(그림 5)

```
MACRO MAKE-ONE-PATH(x0, y0, ang, MaxLen)
```

```
// 입력 : (x0, y0), 시작점
// ang, 공구 경로가 x축과 이루는 각도
// MaxLen, 공구 경로의 길이
// 출력 : 공구 경로
1. // 초기화
xold=x0
yold=y0
CALL-MACRO CHECK-ALL-TRI(xold, yold, zold)
(xold, yold, zold)를 공구 경로로 저장
Len=delta // delta는 스텝의 길이
2. 조건 (Len < MaxLen)을 만족하면 계속 {
2-1 x=x0+Len*cos(ang)
y=y0+Len*sin(ang)
x1=(x+xold)/2
y1=(y+yold)/2
2-2 CALL-MACRO CHECK-ALL-TRI(x, y, z)
CALL-MACRO CHECK-ALL-TRI(x1, y1, z1)
2-3 만일 (x1, y1, z1)이 (x, y, z)-(xold, yold, zold)가 이루는 직선과 거리가 허용오차 밖에 있으면 { // 그림 5 참조
꺾이는 점을 계산
꺾이는 점을 공구 경로로 저장함
}
2-4 (x, y, z)를 공구 경로로 저장함
2-5 // 현재 위치를 기억함
```

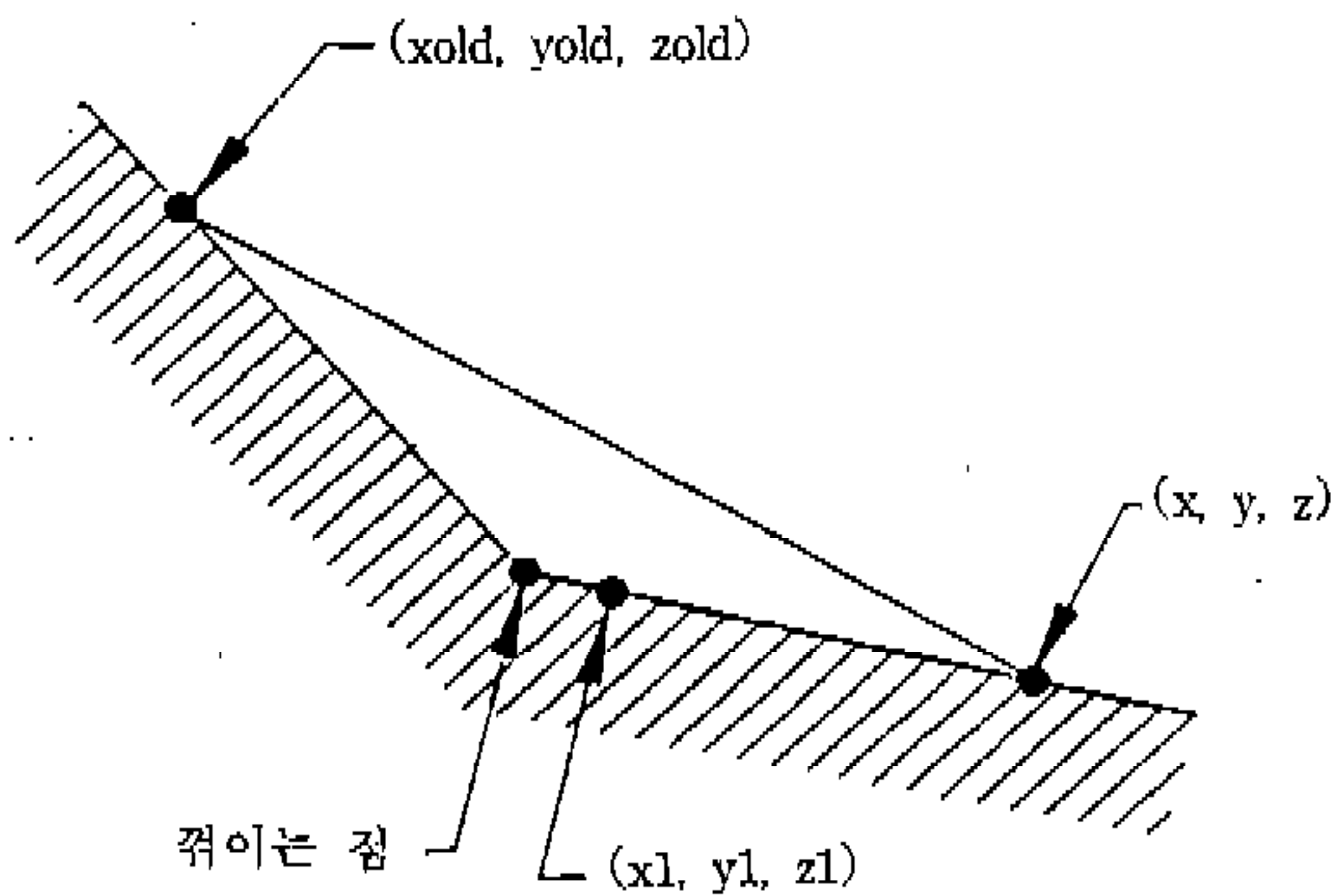



그림 5 패스 생성 중의 꺾이는 점

```
xold=x
yold=y
zold=z
Len=Len+delta
{ // 반복
```

3. // 한 패스의 끝점에 대한 공구 중심점


```
x=x0+MaxLen*cos(ang)
y=y0+MaxLen*sin(ang)
CALL-MACRO CHECK-ALL-TRI(x, y, z)
(x, y, z)를 공구 경로로 저장함
```

4. 등고선 가공

4.1 개요

등고선 가공은 곡면을 가공하는 좋은 방법 중에 하나로 자동차 판넬 금형 가공에 필요한 기능이다. 이것은 공구가 동일 높이에서 곡면 형상을 가공하기 위하여 움직이는 것으로 형상이 있는 최고 높이에서 최소 높이로 차례로 가공하는 것이다. 등고선 가공을 위한 기초 데이터는 설명의 편의를 위해서 앞에서 언급한 공구 간섭이 제거된 공구 경로로 한다. 주어진 일정 높이에서 형상을 등고선 가공하는 공구 경로를 생성하는 방법은 아래와 같다.

- ① Hunting : 공구 간섭이 제거된 모든 경로와 주어진 $z=c$ 인 평면과 만나는 모든 점을 구하여 기억한다.
- ② Tracing : ①에서 구한 점을 일련의 공구 경로로 만들기 위하여 연결한다. 이때 이

웃한 점이 일정 거리 이상 떨어져 있으면 적접 연결하지 않고 공구가 펌프(Jump)하여 연결되도록 한다.

하나의 완전한 판넬을 가공하기 위해서는 형상이 존재하는 최고 높이부터 최저 높이까지를 주어진 간격으로 내려오면서 가공하면 된다.

4.2 등고선 가공의 Hunting과 Tracing

Hunging에 대한 MACRO는 아래와 같이 정의된다.

MACRO ISO-HUNTING(z, S)

```
// 입력 : z, 등고선을 구하는 높이
// 출력 : 집합 S
```

```
모든 패스에 대하여 다음을 반복 {
  패스 내의 모든 선분에 대하여 다음을 반복
  { // (x1, y1, z1) : 선분의 시작점
    // (x2, y2, z2) : 선분의 끝점
    만일  $(z-z1) * (z-z2) <= 0$ 이면 {
      // 이 경우는 반드시 교점이 존재하는 경우이다.
      d=z2-z1;
      d1=z-z1;
      만일  $(|d| > 0)$ 이면 {
        x=(x2-x1)*d1/d+x1
        y=(y2-y1)*d1/d+y1
      }
    }
  }
}
```

```
아니면 {
  x=x1
  y=y1
  (x, y, z)를 Tracing을 위하여 집합 S에 저장한다.
}
} // 반복
} // 반복
```

Tracing에 대한 MACRO는 다음과 같이 정의된다. Hunting에서 구한 일정 높이에 있는 모든 점들은 집합 S에 저장되어 있다.

MACRO ISO-TRACING(S, x, y, z)

```
// 입력 : 집합 S
```

```
(x, y, z), 등고선이 시작되었으면 하는 점
```

```
// 출력 : 공구 경로
```

```
1. xold=x
```

yold=y

zold=z

2. S가 공집합이 아닐 때까지 다음을 반복 {
 - 2-1 집합 S에서 (xold, yold, zold)와 가장 가까운 점을 찾음. 이 점을 (x, y, z)라 한다.
 - 2-2 만일 경로의 시작이 아니고 앞의 경로와 현재의 경로가 일정거리 이상 떨어져 있으면 {
 - (xold, yold, zold, z-relief)를 공구 경로로 함
 - // z-relief : 안전한 이동 높이
 - (x, y, z-relief)를 공구 경로로 함
 - (x, y, z)를 공구 경로로 함
 - 2-3 (x, y, z)를 집합 S에서 제거함
- } // 반복

5. 펜슬 가공

5.1 개요

다른 금형의 가공도 마찬가지로이지만 자동차 판넬 금형은 하나의 공구로 가공이 완료되지는 않는다. 예를들어 황삭은 직경 50mm인 공구로 가공하고 25mm, 16mm, 8mm 공구의 순서로 가공한다고 하자. 공구의 크기가 약간 다를 수도 있지만 그 순서는 거의 비슷하다. 만일 50mm인 공구로 황삭을 하고 다음 25mm인 공구로 종삭 또는 정삭을 하는 경우에 50mm에서 가공될 수 없었던 부분은 오목하게 들어간 부분일 것이다.

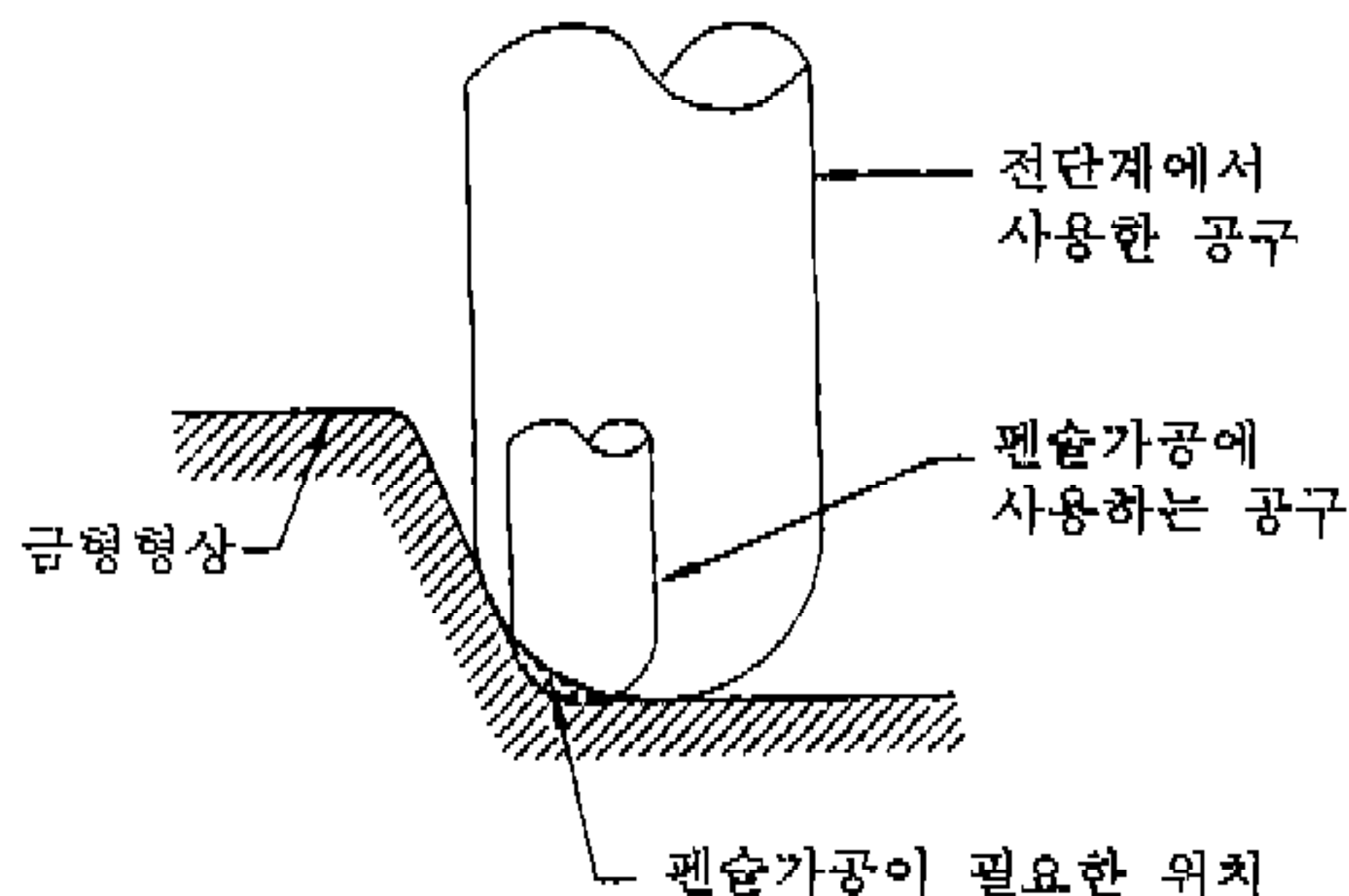


그림 6 펜슬가공이 필요한 위치

(그림 6 참조) 그러나 볼록한 부분은 이미 50mm 공구에 의하여 약간의 여유만을 남기고 가공되었다. 이 때 25mm 공구로 가공할 때 공구에 가공 부하가 많이 걸리는 곳은 50mm 공구로 가공할 수 없었던 오목하게 들어간 부분이다. 그런데 평활하거나 볼록한 부분을 기준으로 일률적인 절삭 속도로 가공을 행한다면 분명 오목한 부분에서는 과부하가 걸린다. 그렇다고 오목한 부분을 기준으로 절삭속도를 지정하면 생산성에 문제가 있으므로 그렇게 할 수도 없다. 이러한 문제를 해결하는 것이 펜슬 가공이다. 펜슬 가공은 오목한 부분만을 찾아서 미리 25mm 공구로 가공하고 나서 전체 곡면을 평활하거나 볼록한 부분을 기준으로 한 절삭속도로 가공하도록 하는 것이다.

펜슬 가공은 모방가공에서 유래된 것으로 그 방법이 효율적이어서 CAD/CAM 시스템을 사용하는 지금도 잘 사용하면 유용하다. 즉 수작업으로 펜슬 가공하는 것과 같은 공구 경로를 CAD/CAM 시스템에서 자동 생성하여 준다면 생산성 향상에 도움을 줄 수 있다. 이것은 큰 공구에서 작은 공구로 가공할 때 행하면 가공 생산성이 높아진다. 펜슬 가공을 위한 기초 데이터는 설명의 편의를 위해서 앞에서 언급한 공구 간섭이 제거된 공구 경로로 한다. 펜슬 가공 경로를 생성하는 방법은 아래와 같다.

- ① Hunting : 공구 간섭이 제거된 모든 경로에서 꺾임이 발생하는 부분을 모두 찾는다. 이것은 공구 간섭이 제거된 공구 경로에서 볼록한 부분은 원통과 구에 의하여 체크가 되었기 때문에 적어도 공구 반경이상으로 둥글게 되어 있고 펜슬 가공이 필요한 부분만 꺾임이 발생하기 때문에 꺾인 점을 찾는다는 것이다.
- ② Tracing : ①에서 구한 점을 일련의 공구 경로로 만들기 위하여 연결한다. 이때 이웃한 점이 일정 거리 이상 떨어져 있으면 직접 연결하지 않고 등고선 가공과 같이 공구가 점프(Jump)하여 연결되도록 한다.

5.2 펜슬 가공의 Hunting과 Tracing

Hunting에 대한 MACRO는 아래와 같이 정의

된다.

MACRO PEN-HUNTING

모든 패스에 대하여 다음을 반복 {
 패스의 시작 점과 끝 점을 제외한 모든 점에
 대하여 다음을 반복 {

// (x1, y1, z1) : 앞의 점
 // (x2, y2, z2) : 현재 점
 // (x3, y3, z3) : 뒤의 점
 $ax = x2 - x1$
 $ay = y2 - y1$
 $az = z2 - z1$
 $bx = x3 - x2$
 $by = y3 - y2$
 $bz = z3 - z2$

만일 (ax, ay, az)와 (bx, by, bz)의 내적이 주어진
 양 이하이면 {

// 내적이 일정량 이하라는 것은 꺾이는 점의
 각도가 얼마 이상이라는 말과 같은 뜻이다.
 (x, y, z)를 Tracing을 위하여 집합 S에 저장한다.
 }
 }
 }

Hunting에서 구한 펜슬 가공의 후보점들이 집
 합 S에 저장되어 있다면 Tracing방법은 등고선
 가공과 같다.

6. 적용 사례

본 연구에서 제시된 알고리즘은 SPADE라는
 시스템으로 개발되었다. SPADE는 UNIX를 Ope-
 rating System으로 하는 DEC-Station에서 C-언
 어로 프로그래밍 되었다. 그래픽은 X-Window를
 사용하였다.

SPADE의 소프트웨어는 데이터를 처리하는
 부분을 중심으로 유저인터페이스, 2차원 도형
 모델러, 3차원 곡면 모델러, 다른 CAD/CAM 시
 스템과의 인터페이스 모듈, NC 기계와 인터페
 이스를 위한 포스트프로세서 등이다. 그 흐름도는
 그림 7과 같다.

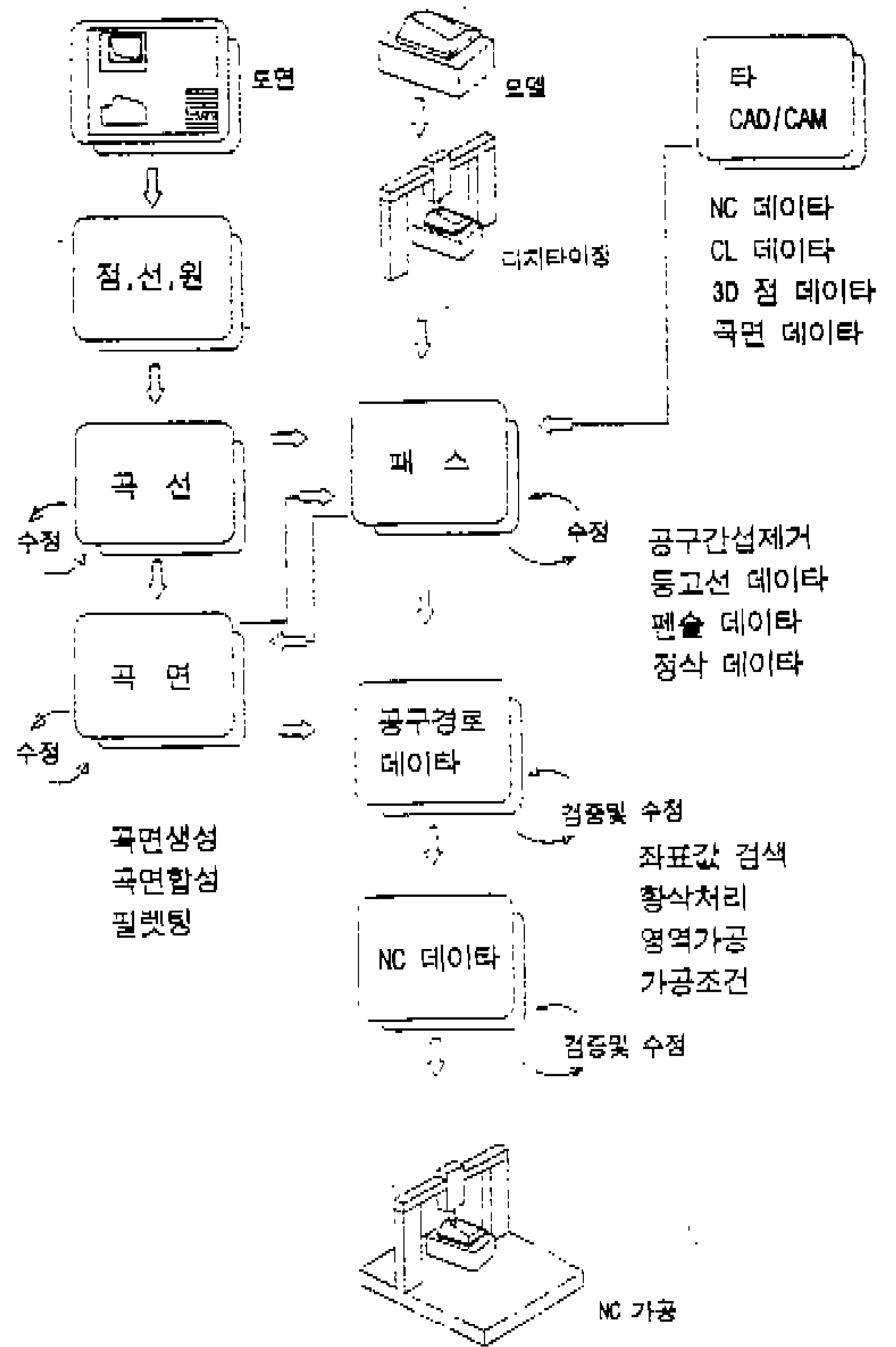


그림 7 SPADE의 흐름도

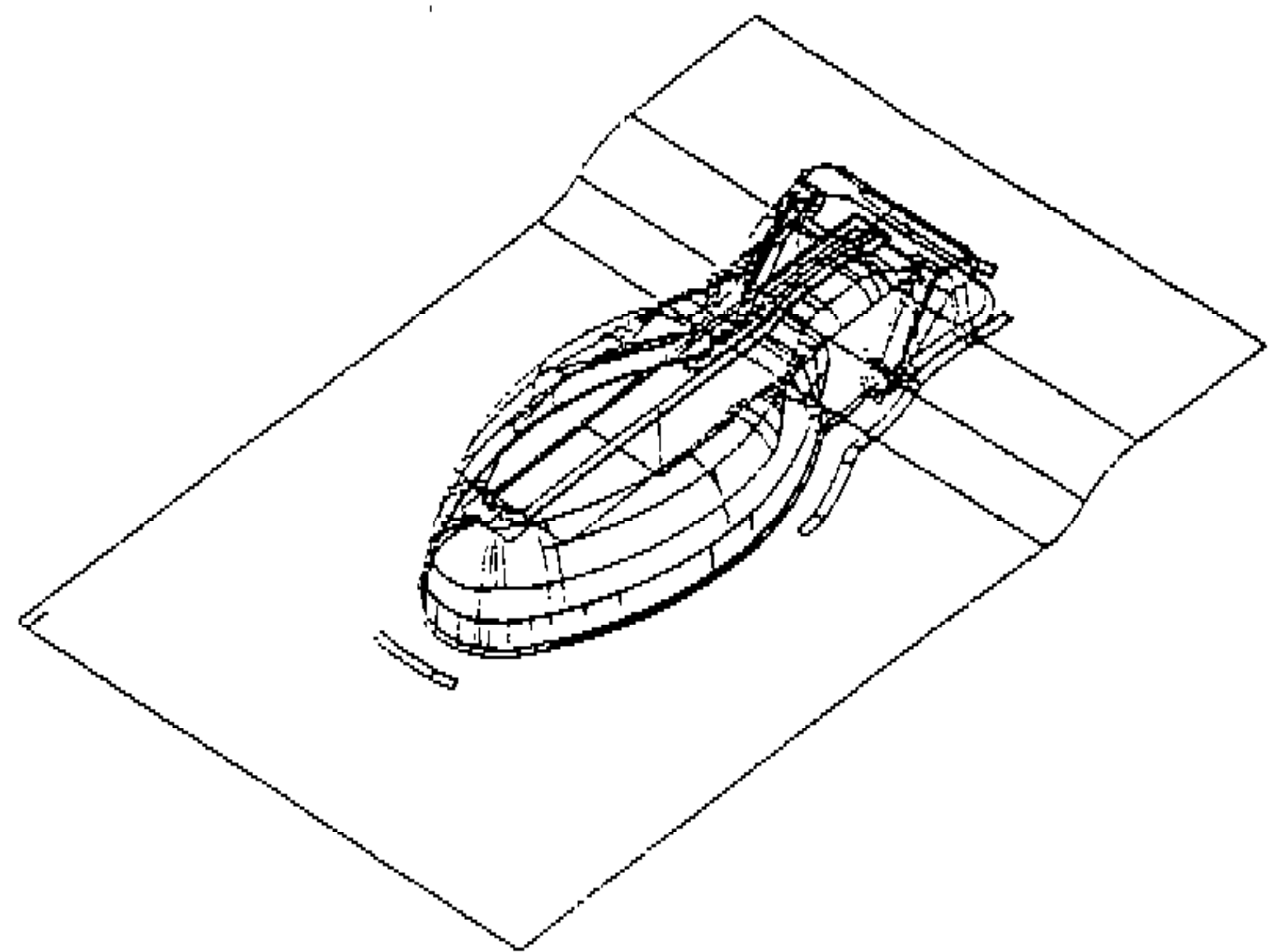


그림 8 가공한 예의 곡면 모델

6.2 공구 경로 생성의 예

이 절에서는 SPADE를 사용해서 CAD/CAM에
 서 만들어진 데이터를 입력하여 가공을 위한 공구
 경로의 예를 보인다. 그림 8은 형상을 나타내는
 곡면 모델로서 CATIA에서 모델링된 것을 IGES를

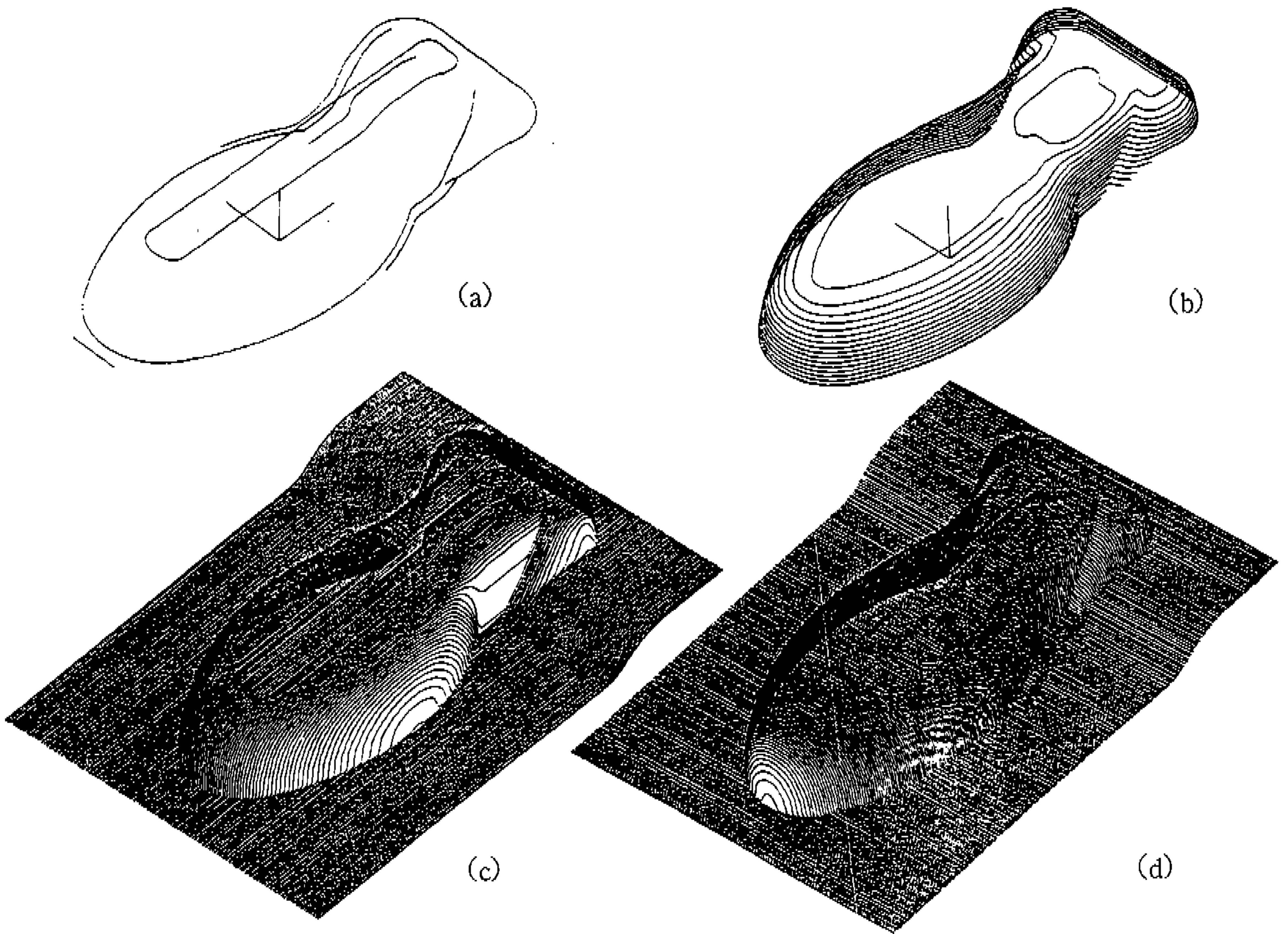


그림 9 공구 경로 (a) 50mm 펜슬, (b) 50mm 등고선, (c) 30mm x방향 정삭, (d) 30mm의 y방향 정삭

통하여 SPADE로 받아들인 것이다. 가공한 데이터는 D사의 자동차 내판(Wheel House Inner) 금형이다.

가공의 순서는 다음과 같다. 사용한 공구는 모두 볼 엔드밀이다.

- ① 직경 50mm 펜슬 가공
- ② 직경 50mm 등고선 가공
- ③ 직경 30mm 펜슬 가공
- ④ 직경 30mm 정삭 가공
- ⑤ 직경 16mm 펜슬 가공
- ⑥ 직경 10mm 펜슬 가공

예를들어 보인 공구 경로는 그림 9에 나타내고 있다. 그림 9-(a)는 50mm 펜슬이고, 그림 9-(b)는 50mm 등고선, 그림 9-(c)는 30mm의 x방향 정삭 공구 경로, 그림 9-(d)는 30mm의 y방향 정삭 공구 경로이다. 기타 펜슬 가공은 그 형태가

50mm 펜슬 가공과 공구의 크기만 다를 뿐 형상이 비슷하므로 생략하였다.

8. 결 론

본 연구는 자동차 판넬 금형을 가공하기 위한 공구 경로의 생성에 대한 아이디어를 제시하였다. 제시된 아이디어는 현장에서 알고리즘의 안정성과 실용성을 실증하였다.

본 연구에서 제시한 주된 내용은 육십 삼각형을 이용한 공구간섭의 제거와 등고선 가공, 펜슬 가공 등을 위한 데이터 산출 방법이다.

이러한 아이디어를 이용할 때 기대할 수 있는 효과는 다음과 같다.

- ① 공구간섭 자동처리에 의한 CAD/CAM 시스템의 생산성 향상

- ② 모델 제작 없이 모방 가공과 같은 편리한 작업을 추구
- ③ NC 기계 가공에 의한 정밀도 향상과 사상과 금형 조립 공수 단축
- ④ 디지털이징 기계를 이용할 때 디지털이징 공수를 절감

참 고 문 헌

1. J.P.Duncan and S.G.Mair, *Sculptured Surfaces in Engineering and Medicine*, Cambridge University Press, 1983.
2. J.S.Hwang, "Interference-free tool-path generation in NC machining of parametric compound surface", *Computer Aided Design*, Vol.24, No.12, 1992.
3. Y.Takeuchi, M.Sakamoto, Y.Abe and R.Orita, "Development of personal CAD/CAM System for Mold Manufacturing Based on Solid Modeling Techniques", *Annals of the CIRP*, Vol.38, No.1, 1989.
4. Argotechnos21, *CLIKS Users Manual*.