

자유곡면 가공을 위한 Machining Configuration 결정에 관한 연구

강재관* 서석환
포항공과대학 산업공학과

Determining Machining Configuration for NC Machining of Free Surfaces

Jae-Kwan Kang* Suk-Hwan Suh
Department of Industrial Engineering
POSTECH, Pohang-Korea, 790-600

ABSTRACT

Process planning is a key feature that an intelligent CAD/CAM system should possess. In this paper, we address the problem of determining process configuration to manufacture the free surfaces. For analyzing the surface, the method of surface subdivision is used. The developed algorithm evaluates the processability of the given surface by applying the three/four/five-axes procedures sequentially. To illustrate and test the developed algorithm, numerical simulations are presented.

1. 서론

NC 가공은 설계형상을 실제형상으로 구현하는 생산공정으로서, 제품의 형상이 복잡해지고 고정밀도를 요구하는 현대 산업에서 중요한 기능을 담당한다. NC 가공에 필요한 기계 및 공구의 동작을 수치 정보로 표현한 것을 NC 코드라 하는데, 종래에는 수동 프로그래밍 방식을 사용하여 NC 코드를 작성하였으나 컴퓨터 기술의 발달과 더불어 자동프로그래밍 방식을 거쳐, 최근에는 형상의 설계에서 가공을 일관 처리하는 CAD/CAM 방식으로 발전하기에 이르렀다.

CAD/CAM 방식이란 이를 지원하는 소프트웨어인 CAD/CAM 시스템에 공작물의 형상, 가공순서 및 절삭조건을 대화형으로 입력하면 컴퓨터는 이것을 기반으로 공구의 궤적 및 공작 기계의 동작을 제어할 수 있는 NC 코드를 자동으로 산출해주는 시스템을 말한다. 이 방식은 종래의 방법들에 비해 프로그래밍이 편리해지고 정확도를 기할 수 있는 장점을 갖고 있으나, 아직도 공정 계획기능이 취약함에 따라 이에 관한 정보를 사용자가 일일이 제공해야 하는 문제점을 안고 있다. 따라서 CAD/CAM 시스템에 있어서 공정 계획 기능은 차세대 지능형 CAD/CAM 시스템이 보강해야 할 필수적인 기능이라 말할 수 있다.

그런데 절삭 공정에 있어 공정 계획은 가공 대상물의 형상에 따라 다면체 형상(prismatic shape)과 자유곡면 형상(free surface shape)의 두가지로 분류될 수 있다. 다면체 형상 가공의 경우 공정 계획은 허용 오차를 포함하는 CAD 데이터 입력으로 받아 공정 순서(route sheet)로 일컫어지는 가공 데이터를 생성하는 기능으로서 가) 가공기계결정, 나) 소재준비, 다)공구선정, 라)치구 계획, 마)셋업 방식 등이 결정해야 할 주된 사항이다. 이에 반하여 자유곡면 형상의 가공에 있어서는 사용 기계가 대부분 밀링 머신으로 고정되고 공구는 ball endmill 또는 bucket type endmill이기 때

문에 다면체 형상의 경우와 달리 가)가공 가능한 머신 컨피그레이션 나)공구의 사이즈 등이 주된 결정 사항이 된다.

지금까지 다면체 형상의 공정 계획에 관해서는 비교적 많은 연구가 되었으나 자유곡면에 관한 것은 소수에 불과하다. 그러나 설계 형상이 복잡해지고 다축 기계 가공의 수요가 많아질수록 머신 컨피그레이션 결정은 중요한 문제로 대두되게 될 것이다. 따라서 본 연구에서는 자유곡면 형상의 가공 시 필요한 공정 계획중 일부인 머신 컨피그레이션을 결정하는 문제에 대하여 그 해결 방안을 제시한다.

주어진 자유곡면에 대하여 가공에 필요한 머신 컨피그레이션을 결정하는 연구는 아직까지 보고된 것이 없지만, 임의의 자유곡면이 3 축 머신 컨피그레이션으로 가공 가능한지를 판단하는 방법에 대해서는 몇몇 연구된 바가 있다. Tseng과 Sanjay [5]는 Bezier 곡선과 곡면에 대하여 feasible tool direction을 결정하는 알고리즘을 제시하였는데 이 방법은 Bezier 곡선에 대해서는 정확한 반면, 곡면의 경우에는 정확도가 확실하지 않는 문제점이 있다. Kim[1]도 Bezier 곡면을 대상으로 control point들의 convex hull 특성을 이용하여 가능한 공구자세영역 visibility cone의 형태로 유도하였는데, 실제 곡면을 사용하지 않기 때문에 구한 visibility cone이 실제 가공 가능 영역보다 작아지게 되고 결과적으로 가공 가능한 형상이 불가능한 형상으로 판정될 수 있는 문제점을 가지고 있다.

이와는 다르게 Su와 Mukerjee[4]는 자유곡면 형상이 아닌 다면체 형상에 대하여 3 축 밀링 가공 가능성 여부와 가능할 경우 공작물 셋업자세를 어떻게 결정할 것인가에 대하여 연구하였고, Woo[6]는 앞서의 다면체 형상에서 각 면을 평면이 아닌 3 축 가공 가능한 자유 곡면으로 가정하고 3,4,5 축 머신 컨피그레이션에 따른 최소 셋업횟수에 관하여 연구하였다. 그러나 이 연구는 기본적으로 자유곡면이 아닌 다면체 형상에 대한 연구이므로 본 논문의 주제와는 다르다고 볼 수 있다.

이상에서 보듯이 기존의 연구들은 대부분 자유곡면이나 다면체 형상의 3 축 가공 가능성의 여부를 판정하는 문제를 대상으로 하고 있고, 그 중 자유 곡면의 경우에는 아직까지 일반적으로 적용할 수 있는 알고리즘이 없는 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 일반적인 자유 곡면에 대하여 3 축 가공 가능성의 여부를 판단해 주는 새로운 방법을 제시하고 이를 앞서 언급한 공정 계획의 기능으로 확장시켜 4 축, 5 축 머신 컨피그레이션으로 가공 가능한지를 판정하는 방법을 제시한다.

2. 가공 컨피그레이션

NC 머신은 구동모터를 사용 공구 혹은 머신테이블을 이송하여 원하는 형상을 절삭하게 된다. 각 구동모터는 1 운동자유도를 제공하며 이송 형태에 따라 선형운동(linear motion)과 회전운동(rotary motion)으로 분류되며, 동작기계는 이들 운동의 조합과 동작 자유도의 숫자에 따라 머신 컨피그레이션이 결정된다.

본 논문에서는 머신 컨피그레이션과 가공 컨피그레이션이란 용어를 다음과 같이 구분한다. 머신 컨피그레이션(machine configuration)이란 앞서 언급한대로 동작 기계를 분류하는 용어로서 '동작기계의 제어 축수와 동시 제어 축수의 관계로부터 정의 되는 개념이고 가공 컨피그레이션(machining configuration)은 가공 공작물의 형태에 따른 분류로서 가공에 필요한 최소 제어축 수를 의미하는 개념이다.

다시 말해 머신 컨피그레이션에는 2.5 축, 3 축, 3.5 축(부가 4축), 4축, 4.5축(각도 분할 5축), 5 축 등이 있으나 공작물의 가공 컨피그레이션은 3 축, 4 축, 5축 세가지가 존재하게 된다.

3축 가공 컨피그레이션

3 개의 제어축으로 가공이 가능한 자유 곡면 형상의 경우로서, 일반적으로 2.5축 머신 컨피그레이션과 3 축 머신 컨피그레이션으로 가공 가능한 형상을 의미한다. 2.5축 머신 컨피그레이션이란 x, y, z 직교 3 축을 가지고 있으나 동시에 제어되는 축 수는 2 개인 경우를 의미하고 3 축 머신 컨피그레이션이란 동시 제어되는 축 수가 3 개인 경우를 의미한다. 3 축 가공 컨피그레이션 형상의 예가 그림 1 에 나타나 있는데, 임의의 한 방향으로 곡면 상의 모든 점이 접근 가능한 형상인 경우이다.

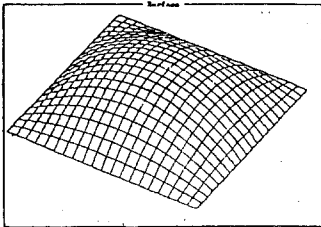


그림 1. 3 축 가공 형상

4축 가공컨피그레이션

4 개의 제어축으로 가공이 가능한 자유 곡면 형상의 경우로서, 4 개의 제어축이란 선형 운동을 하는 x, y, z 축외에 공작물의 회전을 담당하는 회전축이 있는 경우를 말한다. 회전축에 의해 가공의 자유도가 증가하므로 3 축 가공시에는 간섭으로 가공 불가능한 형상을 공작물의 회전을 통하여 가공할 수 있게 된다.

머신 컨피그레이션으로 보면 3.5 축(동시 제어축수가 3 개인 경우)이나 4 축 머신 컨피그레이션으로 가공 가능한 형상들이 되는데, 이에 대한 예가 그림 2에 나타나 있다. 즉 임의의 한 방향으로서는 곡면의 모든 점으로 접근할 수가 없고 최소 한 방향으로 형상을 회전시키면 공구의 접근이 가능해지는 형상인 경우이다.

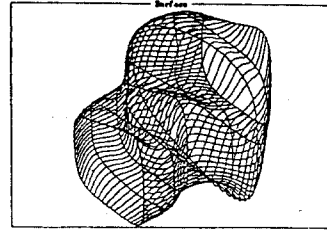


그림 2. 4 축 가공 형상

5축 가공컨피그레이션

5 개의 제어축으로 가공이 가능한 자유 곡면 형상의 경우로서, 5 개의 제어축이란 선형 운동을 하는 x, y, z 축외에 공작물의 회전을 담당하는 회전축이 2 개 있는 경우를 말한다. 즉 4.5 축(동시 제어축수가 4개인 경우)이나 5 축 머신 컨피그레이션으로 가공 가능한 형상들이 되는데, 이에 대한 예가 그림 3에 나타나 있다.

이들은 3축, 혹은 4축 머신 컨피그레이션으로는 가공불가능이고 최소 두 방향으로 회전 시킬 경우에만 공구의 접근이 가능한 형상의 경우이다.

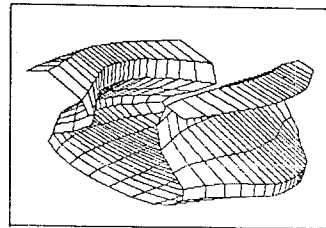


그림 3. 5 축 가공 형상

3. 3 축 가공성 규명

ball endmill로 곡면 가공을 하는 경우, 어느 곡면점을 가공하기 위해 사용되는 공구의 부위는 공구 끝의 반구로 제한 된다(그림 4(a)). 그러므로 곡면 상의 임의의 점을 가공하기 위하여 접근할 수 있는 공구의 자세는 곡면 점에서의 법선 벡터와 수직을 이룰 때 까지 가능하다. 즉 이는 곡면의 한점을 가공하기 위하여 접근가능한 공구의 자세는 그 곡면 점에서의 법선 벡터를 중심으로 하는 반구가 된다는 의미이다.(그림 4(b)).

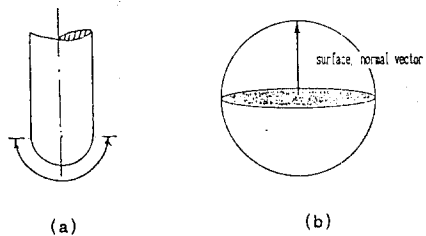


그림 4. ball end mill 과 가공 가능 영역

따라서 전곡면을 가공하기 위하여 공구가 접근할 수 있는 영역은 곡면의 각점에서 정의되는 반구들의 교집합을 계속하여 구해 나가서 최종적으로 남는 영역이라고 말할 수 있다.

이 개념에 의하여 3축 가공성을 규명하는 알고리즘은 다음의 네 과정으로 구성된다:

- 가) 자유곡면의 평면분할.
- 나) 각 평면에서의 법선 벡터산출.
- 다) 각 평면에서의 접근가능 반구산출.
- 라) 모든 평면셀에 나)-다)를 적용하여 교집합 산출.

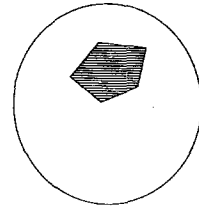


그림 6. 임의의 상태에서 반구들의 교집합

만약 마지막까지 교집합의 영역이 존재하면, 그 곡면은 교집합 영역내의 임의의 방향으로 3축 가공이 가능하다고 판별하고, 교집합이 존재하지 않으면 3축 가공 불가능이라 판정하고 4축 가공 규명 알고리즘으로 넘어 간다.

가)에서 평면분할 과정을 시행하는 것은 곡면상의 한점을 접근할 수 있는 공구의 자세영역이 반구가 되기 위해서는 그 점 주위가 평면이라고 가정되어야 하기 때문이다. 자유곡면을 평면으로 표현하는 방법으로는 기존의 subdivision 알고리즘을 적용할 수 있으며, 본 연구에서는 Peng[3]의 방법을 사용하였다. 이하에서는 가) - 다) 과정이 수행되었다는 가정하에 공구 자세 영역을 구하는 과정을 상술한다.

임의의 평면 셀에 접근 가능한 공구의 자세 영역이 반구라 했을 때 이 반구는 이반구의 중심 벡터(평면 셀의 법선 벡터)값 하나로 표현 가능하다. 그리고 이 반구들의 교집합을 구하기 위해서는 각 셀에서 얻어지는 법선 벡터들을 우선 원점에 모두 모은 후에 각 법선 벡터에 대하여 반구를 생성해 나가면서 차례로 교집합을 구해 나가야 한다. 이 때 반구간의 교집합을 구하기 위해서는 반구의 대원(Great circle)간의 교점을 구하는 기본적인 작업이 필요한데 이 때 필요한 식은 다음과 같다.

이웃하는 두평면 셀의 법선 벡터 (unit normal vector)를 각각 a, b라면 Intersection Point를 나타내는 벡터 x는 다음의 세식으로 표현된다.(그림 5)

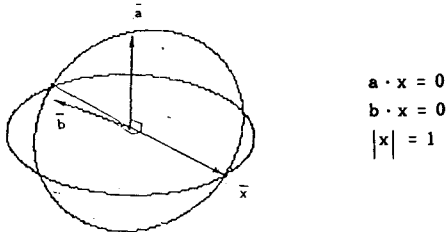


그림 5. 대원(great circle)간의 교점

이 식을 대수적으로 풀면 두 대원의 교점을 얻을 수 있다. 이것을 이용하여 새로운 셀의 법선 벡터가 들어올 때마다 남아 있는 영역과의 교점을 차례로 구해 나가면서 교집합의 영역을 Update시켜 나간다.

예컨대 임의의 상태에서 반구들의 교집합에 의해 남아 있는 교집합의 모습이 그림 6 과 같다고 하자. 구 상에서 교집합의 영역은 항상 convex polygon의 형태를 가진다.

이 상태에서 새로운 평면 셀의 법선 벡터가 입력되면 이에 의해 Update되는 교집합의 모습은 다음의 3 가지 경우중 하나가 될 것이다.

- (가) 새 법선 벡터에 의해서 기존의 교집합이 Update되는 경우 (그림 7(a)).

(나) 변화가 없는 경우 (그림 7(b)).

(다) 교집합이 공집합이 되는 경우 (그림 7(c)).

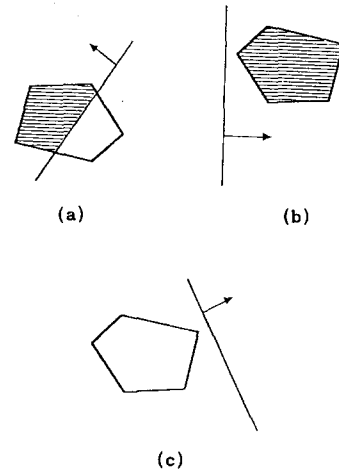


그림 7. 교집합이 update되는 유형들

이런 경우들을 매번 체크하며 마지막까지 Update한 결과 최종적으로 남는 교집합의 영역이 존재하면 3축 가공 가능이라 판정하고, 만약 교집합을 구하는 중간에 공집합이 되면 ((다)의 경우) 이 곡면은 3축으로는 가공 불가능한 형상이라 판정하고 4축 가공성 체크로 넘어간다.

4. 4 축 가공성 규명

3축 가공 불능의 판정을 받았을 경우 이를 4축 머신 킨 피겨레이션으로 가공할 수 있는지를 체크하기 위한 알고리즘은 다음과 같은 세과정으로 구성된다.

- 1) 공구축의 설정
- 2) 가공 불능 영역 추출
- 3) 회전축 가능 영역의 탐색

4-1. 공구축의 설정

곡면을 가공할 수 있는 4축을 설정한다는 것은 공구축과 그리고 이와 수직인 평면 상에서 회전축을 동시에 찾아내는 문제가 된다. 본 논문에서는 동시에 두 축을 찾아내는데 어려움이 있어 우선 공구축을 먼저 설정하고, 설정된 공구축에 대하여 회전축의 영역을 순서적으로 찾는 방법을 사용한다.

이에 따라 공구축은 Subdivision된 표면에서 각 셀들을 가장 많이 가공해 주는 방향으로 설정하기 위해 각 셀에서의 법선 벡터를 평균한 값으로 하였다.

4-2. 가공 불능 영역 추출

앞절에서 제시한 방법으로 공구축을 설정하면 표면상의 셀들 중 가공 할 수 없는 셀들이 생긴다. 이 때 가공 할 수 없는 셀이란 다음의 두가지 경우이다.

- (a) 공구 축과 셀의 법선 벡터가 둔각을 이루는 경우. (그림 8(a))
- (b) 공구 축과 셀의 법선 벡터는 예각을 이루지만 셀이 다른 셀에 의해 공구 축 방향으로 간섭 (Interference)이 일어 나는 경우. (그림 8(b))

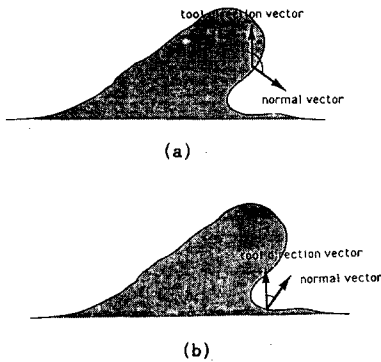


그림 8. 설정된 공구축으로 가공되지 않는 셀들

(a)의 경우는 공구축과 셀의 법선 벡터와의 내적을 위해 볼으로써 쉽게 판별할수 있지만 (b)의 경우는 판별을 위해서 좀 더 복잡한 알고리즘을 요구한다.

(b)의 문제를 해결하기 위하여 우선 3 차원 공간 상에서 정의 되어 있는 셀 들을 공구축 방향과 수직인 평면으로 그림 9와 같이 공구의 축을 따라 투영 시킨다.

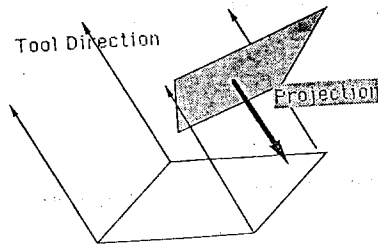


그림 9. 공구축 방향과 수직인 평면으로의 Projection

이 때 투영된 평면 상에서 체크하는 셀과 다른 셀들의 관계는 그림 10의 (a), (b), (c), (d) 와 같은 경우들로 나뉘어 질 수 있다. 그림 10(a)는 간섭이 일어 나지 않는 경우이고 그림 (b)는 부분적으로 간섭을 하는 경우이며 (c)는 다른 셀이 체크 대상 셀 내부에 포함되어 간섭하는 경우이고 (d)는 체크 대상 셀 전체를 간섭하는 경우이다.

부분 간섭에 대한 체크

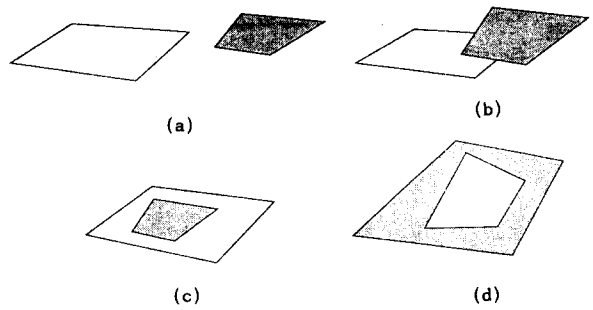
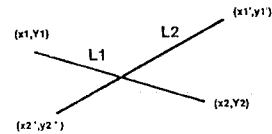


그림 10. 간섭의 유형들

부분 간섭이란 체크대상 셀과 임의의 셀의 모서리 선이 서로 교차하는 경우로서 이에 대한 판별은 기본적으로 선분의 교차 여부를 판별하는 알고리즘[2]을 응용하여 해결할 수 있다.

임의의 두 직선 L1은 (x1,y1)와 (x2,y2)를 잇는 직선이고 L2는 (x1',y1')와 (x2',y2')를 잇는 직선이라 하자 (그림 11). 이 때 두 직선의 교점은 다음 식과 같다.



$$L1: mx - y + (y1 - mx1) = 0$$

$$L2: m'x - y + (y1' - m'x1') = 0$$

$$x^* = \frac{(y1 - y1') \cdot (m'x1 - m'x1')}{m' - m}$$

$$y^* = \frac{(y1 - mx1)m' - (y1' - m'x1')m}{m' - m}$$

이 교점에 대하여 아래의 8 개의 조건이 모두 만족되지 않으면 두 선분은 교차점이 없게 된다.

$$x^* < A1, x^* > B1, x^* < C1, x^* > D1$$

$$y^* < A2, y^* > B2, y^* < C2, y^* > D2$$

$$A1 = \min(x1, x2) \quad B1 = \max(x1, x2) \quad C1 = \min(x1', x2') \quad D1 = \max(x1', x2')$$

$$A2 = \min(y1, y2) \quad B2 = \max(y1, y2) \quad C2 = \min(y1', y2') \quad D2 = \max(y1', y2')$$

이와 같은 방법을 응용하여 xy 평면에 투영된 두셀의 각 모서리 선분간의 교차 여부를 체크할 수 있다. 만약 한 모서리라도 교차점이 생기면 체크 대상 셀은 다른 셀에 의하여 부분간섭이 생긴 경우이다.

전체 간섭과 포함 간섭에 대한 체크

전체 간섭이란 임의의 셀이 체크 대상 셀을 전체적으로 간섭하는 경우이고 포함 간섭은 투영된 평면 상에서 임의의 셀이 체크 대상 셀 내에 포함되어 있는 경우를 말한다.

이러한 경우에 대한 판별은 그림 12와 같이 어떤 점이 임의의 다각형 내부에 있는지 외부에 있는지를 체크하는 방법을 응용하여 해결할 수 있다.

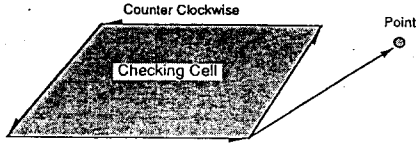


그림 12. 임의의 점과 다각형과의 관계

다각형 내·외부에 대한 판정을 위해서는 다시 어떤 점과 어떤 선분에 대해서 왼쪽에 있는지 오른쪽에 있는지를 판정하는 방법을 사용하는데 그 판정 방법은 다음과 같다. 즉 D 값의 부호에 의해 벡터 P 를 기준으로 벡터 Q의 방향이 결정된다.(그림 13)

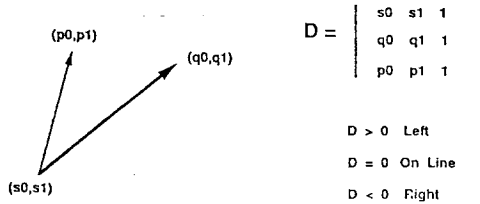


그림 13. 세 벡터간의 관계

그러므로 사각형의 각 모서리를 반시계방향으로 돌아가면서 벡터로 표현하면 임의의 포인트가 이 사각형 내부에 있는지 외부에 있는지를 알 수 있다. 즉 각 체크 대상 셀의 모서리 벡터에 대하여 임의의 한 셀의 모서리 포인트들이 모두 왼쪽에 위치하면 이는 포함 간섭이 발생하는 경우이고, 거꾸로 임의의 셀의 각 모서리 벡터에 대해서 체크 대상 셀의 각 포인트들이 모두 왼쪽에 위치하게 되면 이는 전체 간섭이 일어나는 경우가 된다.

이렇게 세가지 간섭 유형을 각각의 셀 들에 대하여 체크하면 설정된 공구축으로 접근할 수 없는 셀 들을 얻게 된다.

4-3 회전축 영역의 탐색

설정된 공구축으로 접근할 수 없는 영역은 공작물을 회전시켜 접근토록한다. 이때 이것을 가능케 하는 축을 제 4 축(회전축)이라 하는데, 제 4 축은 3 축과 수직인 평면 상에 존재 하므로 우선 공구축에 수직인 평면을 하나 설정한다. 설정된 평면의 임의의 방향으로 제 4 축(회전 축)을 가정하고 가정된 4 축의 회전에 의하여 3 축에 의해 가공되지 못한 셀 들이 가공 될 수 있는지를 체크한다.

회전 축을 회전 시킨다는 것은 상대적으로 공구축이 회전하는 것으로 설명 할 수 있으므로 공구축의 벡터를 일정 양 만큼 변화 시키면서 앞서의 방법과 같이 하여 체크 대상 셀이 간섭 없이 가공 가능해지는지를 체크한다. 이렇게 하여 3 축으로 가공될 수 없었던 모든 셀이 가공 가능해지면 가정된 4 축은 하나의 feasible solution(가능해)가 된다.

이 과정을 설정한 평면 상의 모든 방향에 대하여 시행하면 가공을 가능케 해주는 회전축의 존재 가능 영역을 얻게 된다. 그러나 만약 설정한 평면에 대하여 feasible한 solution을 얻지 못하면 4 축 가공 불가능 형상이라 판단하고 5축 가공 가능 여부 체크로 넘어 간다.

5. 5 축 가공성 규명

앞서 제시한 알고리즘에 의하여 4 축 가공 가능성을 체크하였을때 feasible한 4 축이 존재하지 않으면 이는 4 축의 회전에 의해서는 곡면 전체를 가공할 수 없음을 의미한다.

이 경우에는 5 축 가공 가능성 여부를 규명해야 하는데 5 축 가공 가능성이란 앞서의 3, 4 축 가공성 여부와 그 개념에 있어 다른 면이 있다. 즉 기본적으로 머신 컨피규레이션이 5 축이 되면 이는 공구가 곡면에 대하여 어떤 자세도 취할 수 있음을 의미한다. 그러므로 이론적으로 볼 때 어떤 형상의 곡면이더라도 5 축의 컨피규레이션이면 접근 가능하다고 볼 수 있다. 그러나 이러한 경우 문제가 되는 경우는 그림 14와 같이 공작물의 간섭에 의해 공구가 어떤 자세로도 접근 할 수 없는 경우이다.

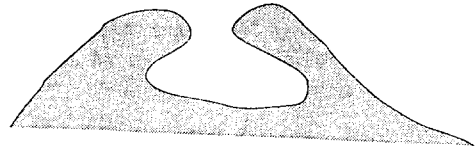


그림 14. 어떤 자세로도 접근 불가능한 형상

이러한 경우는 설계상의 실수에 의하여 가공할 수 없는 형상을 정의한 경우인데, 그러므로 5 축 가공성 규명이라는 것은 이러한 가공불능 즉 설계 미스의 경우를 찾아내는 것이라 말할 수 있다. 본 연구에서는 구체적으로 5 축 가공성 규명에 대한 알고리즘을 구현하진 않았지만 차후 다음과 같은 방법에 의하여 5 축 가공 가능성 여부를 규명할 예정이다.

앞서 밝힌대로 5 축 컨피규레이션이란 공구가 임의의 자세를 취할 수가 있으므로 5 축 가공성 규명이란 기본적으로 Subdivision된 각 셀에 대하여 임의의 자세로도 접근 할 수 없는 경우를 찾아 내는 것이라 볼 수 있다. 그러므로 이를 위하여 각 셀마다 셀의 평면에 접하는 반구를 만들고 이 반구 표면을 그림 15와 같이 분할하여 분할된 포인트에 대하여 접근 가능 여부를 체크하는 방법을 사용할 수 있다. 물론 이때 얼마만큼 많이 분할하는가에 따라 solution의 정확도에 차이가 생기지만 어느 한 셀이라도 접근할 수 없는 셀이 생기면 이는 5축 가공 불가능을 의미 하게 된다.

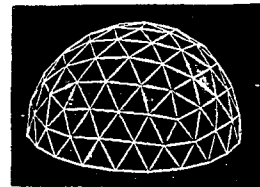


그림 15. 반구상의 샘플링 포인트들

6. 적용 예

앞 절에서 제시한 알고리즘의 유효성을 검증해 보기 위하여 여러가지 자유 곡면 형상에 대하여 적용한 결과가 다음과 같다.

그림 16는 3 축 가공이 가능한 예제로서 콜라병 모양의 곡면이다. 앞서 언급한대로 Subdivision 알고리즘에 의해서 평면 분할되었다.

이 곡면에 대하여 feasible tool approach 영역을 구한 것이 그림 17의 (a), (b) 이다. (a)는 위에서 본 그림인데 이 그림에서 feasible 영역이 Y축을 따라 잘린 이유는 그림 16

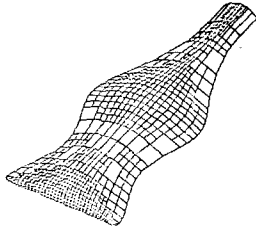


그림 16. 콜라병 형상의 자유곡면

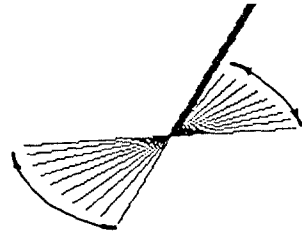


그림 19. 공구축의 방향과 가능한 4축 존재 영역

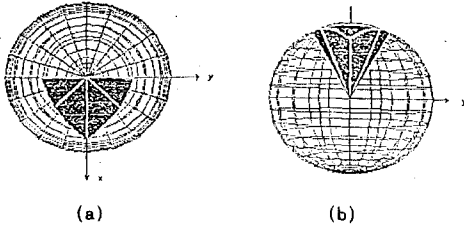


그림 17. Feasible Tool Approach 영역

에서 보듯이 콜라병 바닥이 콜라병의 옆면과 수직이기 때문이다. 즉 바닥을 가공할 수 있는 공구의 자세가 X 축의 양의 방향으로 제한 되기 때문이다. 그림(b)는 정면에서 바라본 모습이다.

그림 18(a)은 3 축 기계로 가공 불가능한 곡면으로서 이 곡면에 대하여 3 축 가능성 판별 알고리즘을 구하면 반구들의 교집합이 공집합이 된다.

그러므로 이 곡면에 대해서는 4축 가공가능성 체크를 해야하는데 이를 위하여 앞서 언급한 두가지 간섭체크를 곡면에 행한 그림이 그림 18(b)이다. 그림에서 까맣게 표시되어 있는 부분이 3 축으로 접근 되지 않는 부분들이다.

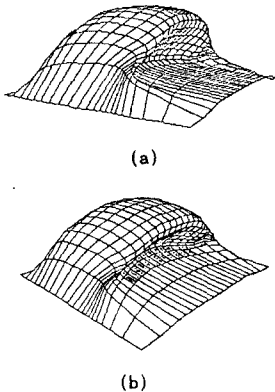


그림 18. 4 축 가공 가능성 체크

이제 4 축 가공 가능성 규명을 위해 앞서 설명한 알고리즘을 적용한 결과가 그림 19에 나타나 있다. 화살표로 표시된 구간이 가능한 4 축의 영역으로서 이 구간내에 4축을 설정하면 전체 곡면이 이 축의 회전에 의해 가공 가능함을 나타낸다.

7. 결론

본 논문에서는 자유곡면 형상의 가공시 필요한 공정 계획 중 일부인 머신 키퍼레이션을 결정하는 문제에 대하여 그 해결 방안을 제시하였다. 곡면 형상의 분석을 위하여 곡면을 다면체화 시키는 접근 방법을 사용하였는데 이를 통해 문제가 간결하게 표현되고 해결 방법도 쉽게 구해짐을 보였다.

3 축 가공성 규명에서는 가공성 규명뿐만 아니라 공작물의 feasible 셋업 자세 영역도 구했으며, 4 축 가공성 규명에서도 규명에 의한 최선의 설치 가능영역을 제공하여 사용자로 하여금 더 많은 정보를 얻을 수 있도록 하였다.

아직 미완성된 5 축 규명 알고리즘의 구현과 공정 계획에 필요한 또 다른 기능인 공구 사이즈에 대한 고려, 여기서 얻은 정보를 공구 경로 계획과 간섭 제거 문제에 이용할 수 있는 방법에 대한 연구 등이 추후 연구 과제로 남아 있다.

참고문헌

- [1] Kim, D.S., Woo, T.C., Papalambros, P.Y., "Tangent, Normal and Visibility Cones for Bezier Surfaces", submitted to Computer Aided Geometric Design.
- [2] Park, C., Interactive Microcomputer Graphics, Addison Wesley Publishing Co., 1985
- [3] Peng, Q.S., "An Algorithm for finding the intersection lines between two B-spline surfaces", Computer-Aided Design, Vol.16 No.4.,1984, pp.191-196
- [4] Su, C.J., Mukerjee, A., "Automated Machinability Checking for CAD/CAM", IEEE, trans. on Robot and Automation, Vol 7, No. 5, 1991, pp 691-699
- [5] Tseng, Y.J., Joshi, S., "Determining feasible tool approach directions for machining Bezier Curves and Surfaces", Computer-Aided Design, Vol.23 No.5, 1991, pp 367-379
- [6] Woo, T.C., Von Turkovich, B.F., "Visibility Map and its application to numerical control", CIRP, Vol 39, No. 2, 1990, pp 451-454