

5축 볼 엔드밀 가공에서의 간섭이 배제된 공구경로 산출

Interference-free tool path generation for 5-axis NC machining with ball-endmill

강대호*, 시식환, 이정재

포항공과대학교 산업공학과 CAM 실험실

Abstract

본 연구에서는 볼 엔드밀을 사용한 5축 가공에서 공구 간섭회피를 위한 효율적인 알고리즘과 가공 가능한 많은 자세들 중에서 공구 전상부위와 이진자세류 고려한 공구 자세설정 알고리즘을 개발하였다. 공구 간섭 검사는 공구 밀면 간섭과 몸체 간섭으로 나누어 순차적으로 수행하고, 공구 밀면 간섭을 배제한 CL데이터를 산출한 후에 이를 기준으로 공구 몸체 간섭이 없는 공구 자세를 설정한다. 공구 몸체 간섭검사는 곡면의 다각형 모델과 공구 축과의 관계를 사용하여 행한다. 간섭이 발생하였을 경우 간섭회피 벡터의 공구 축벡터가 이루는 평면(간섭회피 평면)을 간섭회피 및 자세조정 영역으로 설정하고 유효한 공구 자세의 범위를 정한 후, 이 범위 내에서 공구 전상 부위 및 이진 자세를 고려한 효율적 공구 자세를 설정한다. 위 알고리즘을 사용하여 얻은 공구 자세를 사용하여 공구 경로를 산출하였으며, 시뮬레이터를 통해 그 유효성을 검증하였다.

keywords : 5축 가공, 공구 간섭, 공구 자세, 간섭회피벡터, 자세조정 영역

1. 서론

NC기술의 발달과 더불어 복잡한 형상의 제품을 가공하기 위한 5축 NC 가공에 대한 관심이 증가하고 있다. 특히 자동차, 항공기 등의 부품인 터빈 블레이드(Turbin Blade), 프로펠러(Propeller), 임펠러(Impeller) 등의 복잡한 곡면을 3축 기계로 가공하기 위해서는 공작물을 여러 번 셋업해야 하므로 가공시간, 정밀도 등에서 상당히 뒤떨어지지만, 5축 기계로 가공할 경우 공작물에 대해 훨씬 다양한 자세로 공작물에 접근할 수 있으므로, 한 번의 셋업으로 가공할 수 있고, 가공정밀도를 크게 향상시킬 수 있다.

또한 3축에서 한 번의 셋업으로 가공가능한 완만한 곡률을 가진 3차원 곡면인 경우에 있어서도, 플랫 엔드밀(Flat Endmill)이나 페이스 밀(Face Mill)을 사용한 경사가공으로 볼 엔드밀 가공과 같은 효과를 가지면서 가공효율을 극대화시킬 수 있다.

이러한 5축가공을 위한 पार्ट프로그램을 작성하기 위해서는 기본적으로 해결해야할 몇가지 중요한 문제들이 있으며, 이러한 문제들을 해결하는 것이 5축가공의 중요한 이슈가 되고 있다. 이러한 문제들로는 1) 공작기계의 기구학적 모델링, 2) 공구 외 공작물 간의 간섭방지, 3) 효율적인 공구 자세선정문제, 4) 공구의 접근 및 후퇴 등의 공구경로 계획 등을 들 수 있다[8].

현재까지 5축에 관련된 연구들은 위의 문제들을 해결하기

위한 것으로써, 주로 공작기계의 기구학적 모델링(5),[6], 선형 계획최화문제(5),[8])와 곡률이 완만한 곡면에 대해 플랫 엔드밀이나 페이스 밀을 사용한 경사가공에서의 간섭검사회피 및 공구 자세설정에 관한 연구(3),[6],[7])가 주류를 이루었다.

즉 이제까지의 연구는 단순히 가공을 위한 간섭회피문제와 다른 5축 문제들을 다루어 왔고, 효율적인 공구 자세의 설정에 관해서는 아직까지 연구가 많이 진척되고 있지 않은 상태이다. 페이스 밀을 사용한 경사가공에서 전상효율을 생각한 자세설정 에 대한 연구가 이루어졌으나[3], 일반적인 경우에 적용하기에는 아직 미미한 점이 존재한다. 또한 간섭검사 알고리즘에서도 간섭 검사법을 사용하는 방법이 많이 택하였으나(3),[4],[6]), 복잡한 형상의 볼 엔드밀 가공에서는 많은 간섭 검사방법으로 인하여 간섭검사에 많은 시간이 소요되므로 효율적인 간섭검사 알고리즘이 개발되어야 한다.

본 논문에서는 복잡한 형상의 볼 엔드밀을 사용한 5축 가공에 있어서의 효율적인 간섭검사문제와 효율적인 공구 자세의 설정문제에 관한 연구와 이를 바탕으로 한 5축 NC가공용 CAM 시스템을 개발에 관하여 다음의 순서로 기술한다. 2절에서는 공구 간섭문제와 검사 알고리즘 및 공구의 자세설정 에 대해 다루며, 3절에서는 알고리즘의 구현결과를 마지막으로 4절에서는 결론 및 추후 연구과제로 맺는다.

2. 공구간섭 및 자세설정

볼 엔드밀 가공에서의 간섭은 공구 밀면간섭과 공구몸체간섭으로 나눌 수 있다. 플랫 엔드밀을 사용한 경사가공에서의 밀면 간섭과 몸체간섭은 따로 떼어 놓고 볼 수 없고, 공구의 자세에 따라 함께 고려되어야 하니, 볼 엔드밀을 사용한 경우 공구 밀면의 전상부위 형상이 자세가 달라져도 항상 동일하므로 밀면간섭과 몸체간섭으로 나누어 생각할 수 있다.

Fig 1(a)에서의 같이 공구 밀면 간섭의 경우는 공구의 크기에 의해 발생하는 것으로 공구 자세 조정에 의해 회피될 수 있는 성질의 것이 아니고, 간섭부위의 CC 데이터를 조정해 줌으로써 피해될 수 있다. Fig 1(b)와 같은 공구몸체간섭은 공구의 밀면부위에 발생하는 것으로 공구의 자세를 조정해 줌으로써 회피될 수 있다.

5축 가공경로를 생성해 주기 위해 가장 기본적으로 해결해 주어야 할 일이 위의 간섭을 회피하는 것이다. 밀면 간섭이 존재하는 부위는 현재의 공구로 가공할 수 없는 부위로, 다른 공구를 사용하여 다시 가공해 주어야 한다. 그러므로, 현재의 공구

로 자세를 설정해 주기 위한 공구 몸체간섭검사를 수행하기 전에 공구 밀면간섭을 완전히 제거해 주어야 한다.

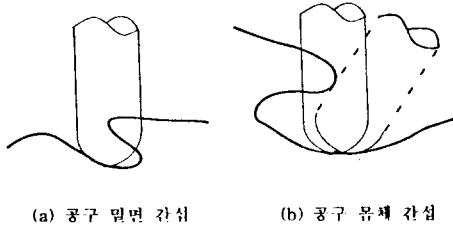


Fig.1 공구 간섭.

2.1 공구 밀면 간섭의 검사

공구 밀면간섭은 곡면의 곡률(curvature)이 공구 반지름보다 클 경우 발생한다. 이러한 간섭이 발생하는 지의 여부는 곡면의 공구 중심점에서 곡면까지의 거리를 계산함으로써 알 수 있다. 이 거리를 쉽게 계산하기 위해 곡면모형을 곡면식 또는 CC데이터로 부터 삼각형으로 근사한 다면체 모델을 사용한다. 다면체 모델을 사용함에 따라 계산의 안정성이 증가하지만, 계산시간에 있어서의 단점이 존재한다. 이를 해결하기 위해 공구 볼 속에 포함되는 다가형을 찾는 알고리즘을 개선하여, 모든 다면체들을 평면상에서 일정한 그리드(grid) 속에 나누어 먼저 공구 볼을 포함하는 그리드를 선정한 후, 이 그리드 속의 삼각형에 대해서만 공구 볼 속에 포함되는 삼각형을 찾게함으로써 계산상의 효율성을 높였다.

공구 중심점과 삼각형과의 거리는 위에서 찾는 삼각형을 대상으로 아래의 알고리즘을 적용하여 쉽게 계산할 수 있다.

<Algorithm 1 : 공구 중심점과 삼각형과의 거리>

Step 1. 삼각형의 세 꼭지점(P_1, P_2, P_3)이 이루는 평면 정의 (P1)

$$N_x x + N_y y + N_z z + D = 0 \quad (1)$$
 where $N = \text{Unit}(P_2P_1) \times \text{Unit}(P_3P_1)$,
 $D = N_x P_{1x} + N_y P_{1y} + N_z P_{1z}$

Step 2. 공구 중심점(C)에서 평면에 내린 수선위의 점 (P1) 계산

$$P1 = -N \cdot d \quad (2)$$
 where $d^2 = \frac{(N_x C_x + N_y C_y + N_z C_z + D)^2}{(N_x^2 + N_y^2 + N_z^2)}$

Step 3. 점 P1이 삼각형 내부의 점인지 검사
 $A = C P_1 \times C P_2, B = C P_2 \times C P_3, C = C P_3 \times C P_1$
 if 내부점이면 ($A \cdot B > 0$ and $B \cdot C > 0$ and $C \cdot A > 0$)
 점 C와 P1사이의 거리 계산

$$\text{dist} = \sqrt{(C P_x - P1_x)^2 + (C P_y - P1_y)^2 + (C P_z - P1_z)^2} \quad (3)$$
 goto Step 7.
 else
 goto Step 4.

Step 4. 점 C와 삼각형의 세 꼭지점과의 거리 계산.
 그 중 가까운 두 점 선택.

Step 5. 점 C에서 두점이 이루는 Edge(EP1 - EP2)에 내린 수선위의 점(P2) 계산.

$$P2 = EP1 + N \cdot t \quad (4)$$

where $N = \text{Unit}(EP2-EP1)$,

$$t = N_x \cdot (C - EP1)_x$$

$$et = \sqrt{(EP1_x - EP2_x)^2 + (EP1_y - EP2_y)^2 + (EP1_z - EP2_z)^2}$$

Step 6. 점 P2가 Edge 내부에 존재하는지 검사.

if 내부점이면 ($t \geq 0$ and $t \leq et$)

점 C와 P2사이의 거리 계산

goto Step 7.

else

점 C와 두 꼭지점 중 가까운 거리계산

Step 7. End.

위의 알고리즘을 사용하여 계산된 거리가 공구 반지름보다 작으면 간섭이 발생한 것이다. 간섭이 발생하면, 간섭을 회피하기 위해 간섭점과 비간섭점 사이의 경계점을 찾아 삽입하여야 한다.

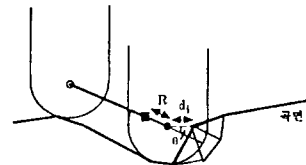
3.2 밀면 간섭의 처리

공구 밀면 간섭이 발생하였을 경우, 간섭이 발생한 CC점을 없애줌으로써 간섭을 제거할 수 있다. 그러나, 공구의 사용 효율을 높이기 위해서는 간섭이 발생하지 않는 최대 부위까지 절삭해 줘야 한다. 즉, 간섭점과 비간섭점 사이에 경계점을 찾아 삽입해 주는 작업이 필요하다. Binary Search Algorithm을 사용하여 새로운 이 경계점을 찾는 방법이 제안되었으나[1], 여기에서는 공구의 간섭량을 고려하여 경로상에서 바로 경계점을 찾는 방법을 제안한다.

Fig.2와 같이 간섭이 발생하였을 경우, 간섭이 일어난 삼각형까지의 거리로 부터 간섭량을 계산할 수 있다. 이 간섭량을 공구 진행방향에 대해 투영한 거리가 최대인 양만큼 후퇴한 점이 경계점이 된다.

$$R = \text{Max}_{i=0, \dots, n} (G_i \cos \theta) \quad (5)$$

where R : 최대 후퇴량, G_i : 공구반지름 - d_i : 간섭량
 d_i : 공구 중심점에서 다면체까지 거리



○ 비간섭점 ● 간섭점 ■ 경계점

Fig.2 간섭점과 비간섭점 사이의 경계점 삽입.

2.3. 공구 축 간섭의 검사 및 자세조정

공구 밀면에 대해 간섭이 매체된 공구 중심점 데이터가 나온 후, 공구 축에 대한 간섭검사 및 공구 자세 조정이 이루어져야 한

다. 이 부분은 5축가공을 위해 가장 중요한 문제로서 필수적으로 해결되어야 문제이다. Fig.3은 공구 축 간섭을 검사하기 위해 해야 할 단계를 보여주고 있다. 이후에서는 각 단계별의 과정을 자세히 설명하도록 한다.

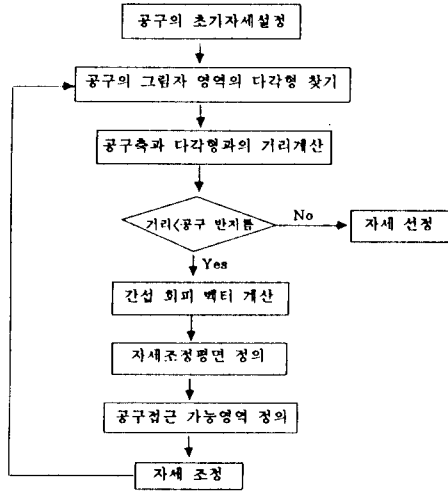


Fig.3 공구 축 간섭 검사 및 자세조정 단계.

3.3.1 초기자세의 설정

공구몸체간섭검사를 하기에 앞서 현재의 위치에서 초기 공구 자세를 설정해 줄 필요가 있다. 초기 자세의 선정은 전사부위를 고려한 자세와 이전자세와의 관계를 고려하여 선정해 준다.

사용자에 의해 Fig.4와 같이 곡면의 법선(Normal)에 대해 Tilting 각 ϕ 와 Rotating 각 θ 의해 설정된 전사부위를 고려한 자세는 공구의 자세에 따라 공구의 전사되는 부위가 달라짐으로 해서 전사력의 차이가 존재하므로, 공구 자세 선정에 있어서 이러한 전사력을 고려해 주기 위한 것이다. 이 자세에 의해 공작물에 대해 초기진입자세가 결정되므로, 전체적인 공구자세에 많은 영향을 미치게 된다.

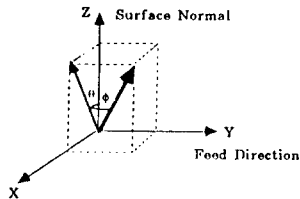


Fig.4 전사 부위 고려한 자세.

이전자세에 대한 고려는 공구자세의 변화가 크게되므로 해서 발생하는 문제, 즉 기계에 대한 무리, 실행모간 등의 문제를 감소시키기 위한 것이다. 위의 두 요소에 대해 각각 가중치(weight)를 부여하여 각 요소의 가중치에 따라 Fig.5와 같이 초기 자세를 설정하도록 한다.

$$V = \text{Rot}(N, \theta_1, V1) \quad (6)$$

where $\text{Rot}(N, \theta_1, V1)$: $V1$ 을 N 을 중심으로 θ_1 만큼회전한 벡터,
 $V1$: 이전자세, $V2$: 전사부위 고려자세,
 $N = V1 \times V2$ (자세조정평면 법선벡터),
 $\theta_1 = w_2 \theta$, $\theta = \cos^{-1}(V1 \cdot V2)$,
 w_1 : 이전자세에 대한 가중치,
 w_2 : 전사부위 고려 자세에 대한 가중치

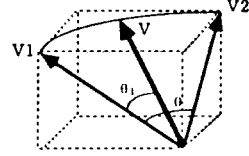


Fig.5 초기 자세의 설정

위의 초기자세는 공구의 부드러운 동작을 유지하면서 공구의 전사부위를 고려해 주는 자세를 나타낸다. 공구간섭이 존재하지 않을 경우, 초기자세가 가공을 위한 적합한 공구자세로 선정되어 진다.

2.3.2 공구의 그림자 영역 정의 및 삼각형 찾기

공구의 초기자세가 선정된 후, 이 자세에 대해 공구몸체간섭을 행해야 한다. 공구 몸체 간섭을 행하기 이전에 공구축을 평면에 투영하여, 이 투영된 선분을 공구 반지름 만큼 offset시키 공구 직사각형으로 근사한다. 그리고, 이 투영된 직사각형 속에 속해있는 삼각형을 찾는 작업을 수행한다. 이 작업 또한 처음부터 모든 삼각형을 대상으로 찾는 것이 아니고, 공구의 투영영역에 속한 그리드를 먼저 찾고 이 그리드 속의 삼각형에 대해서 다시 투영영역에 속하는지 검사한다. 삼각형이 공구의 투영영역에 속하는가를 검사하기 위해서는 삼각형과 투영된 공구의 직사각형의 변이 만나는지를 검사함으로써 알 수 있다.

2.3.3 공구몸체 간섭검사

공구몸체간섭검사는 위에서 구한 공구의 그림자 영역에 속해있는 삼각형만을 대상으로 이 삼각형들과 공구 축을 형성하는 선분(Line Segment)과의 거리계산을 통해 이루어 진다. 즉, 삼각형과 공구 축과의 거리가 공구 반경보다 기으면, 간섭이 발생한 것으로 간주할 수 있다. 삼각형과 공구 축과의 거리는 아래와 같이 계산될 수 있다.

<Algorithm 2 : 공구축과 삼각형과의 거리>

- Step 1. 삼각형의 세꼭지점이 이루는 평면 정의.
- Step 2. 공구축과 평면과의 점 P' 계산.
- Step 3. if 점 P'가 삼각형 내부점이면
 거리 = 0, goto Step 6.
 else goto Step 4.
- Step 4. 삼각형의 세 꼭지점과 공구 축과의 거리 계산.
 가까운 두 점 선택.
- Step 5. Step 4에서 구한 두 점이 이루는 Edge와 공구 축과의 거리 계산.
- Step 6. End.

위의 공구 축과 삼각형과의 거리 계산 알고리즘에 의해 계산된 거리가 공구반지름보다 작을 경우 공구 몸체 간섭이 발생한 것이다.

2.3.4 간섭회피 벡터의 산출

간섭이 발생했을 때 Fig.6과 같이 간섭이 발생하는 다면체 P_i 와 공구 축과의 거리를 d_i 라 하고, 다면체에서 공구 축으로의 방향벡터를 E_i 라 하면, 이 때 E_i 는 단위 간섭회피 벡터가 된다. 이러한 단위 간섭회피 벡터의 크기는 다면체로부터 축까지의 거리 d_i 를 반지름으로부터 뺀 값이 된다

$$|E_i| = R - d_i \quad (7)$$

where R : 공구 반지름
 d_i : 공구축에서 다면체까지 거리

이 때, 간섭회피 벡터는 단위 간섭회피벡터의 합으로 계산되어 진다.

$$E = \sum_i E_i \quad (8)$$

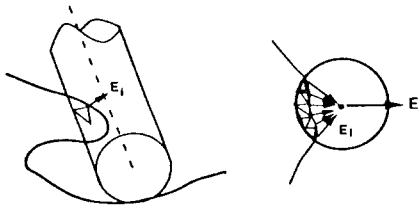


Fig.6 단위간섭회피 벡터

위 간섭회피벡터는 간섭이 발생했을 때, 간섭을 회피하기 위한 공구자세조정 방향을 나타내어 주는 것으로, 기존에는 간섭이 발생한 방향만을 고려하여 산출하였으나[4], 여기에서는 간섭량도 함께 고려하여 산출하였다.

2.3.5 공구 자세 선정

5축에서 어느 한 CC에 대한 접근가능한 영역은 Fig.7(a)와 같이 Conc와 같은 형태를 지니게 된다. 이를 PVC(Point Visibility Conc)이라 한다([9],[10]). 이러한 PVC를 구하면 공구의 자세설정 문제를 쉽게 풀 수 있으나, 계산량이 너무 많고 구하는데 시간이 너무 많이 걸림으로 인하여, 적용하기에는 많은 문제점을 내포하고 있다[11].

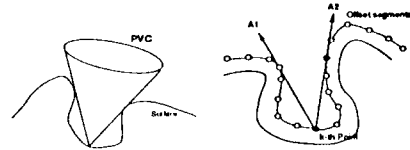
여기에서는 전체적인 공구접근 가능영역을 계산하는 것이 아니라, 초기 자세로부터 간섭이 발생했을 경우, 위에서 구한 간섭회피벡터를 사용하여 공구자세조정영역을 설정하여 부분적으로 공구접근가능영역을 계산하는 방법을 사용하였다(Fig.7(b)). 이 방법은 PVC를 구하는 것보다 계산량과 계산시간을 훨씬 줄일 수 있다.

먼저 위에서 구한 간섭회피벡터와 공구 축벡터를 포함하는 자세조정 평면을 정의한다. 자세조정 평면은 아래의 식에 의해 정의 된다.

$$N_x x + N_y y + N_z z + D = 0 \quad (9)$$

where $N = A \times E$, $D = N_x C_x + N_y C_y + N_z C_z$
 A : 공구 축 벡터 E : 간섭회피벡터
 C : 공구 중심점

공구의 자세조정은 이 평면 상에서 이루어지며, 이 평면 상에서 공구의 접근 가능영역을 계산한다. 공구의 접근 가능영역을 설정해 주기 위한 알고리즘은 아래와 같다.



(a) PVC (b) 자세조정평면에서의 접근가능 영역

Fig.7 공구접근 가능영역

<Algorithm 3 : 공구 접근 가능 영역의 계산>

- Step 1. 윗셋 곡면을 정의. (공구중심점 데이터를 사용하여 윗셋 다면체로 근사)
- Step 2. 윗셋 다면체들과 자세조정평면과의 교점 P_i들을 계산.
- Step 3. P_i 들을 연결 순서대로 배열.
- Step 4. 배열에서 현재 공구중심점(C)의 위치 찾기.
- Step 5. $V = CP_k \times A$ A : 공구 축 벡터
- Step 6. 초기 Λ_1 설정. $\Lambda_1 = CP_{k-1}$
- Step 7. $\Lambda_1 = CP_k$
 if $(\Lambda_1 \times A) \cdot V < 0$ 이면
 $\Lambda_1 = \Lambda_1$
 else goto Step 7.
- Step 8. if $j = k$ 이면 goto Step 8.
 else $j = j+1$ goto Step 6.
- Step 9. $V = A \times CP_j$
 초기 Λ_2 설정. $\Lambda_2 = CP_{k-1}$
- Step 10. $\Lambda_r = CP_{k-j}$
 if $(A \times \Lambda_r) \cdot V < 0$ 이면
 $\Lambda_2 = \Lambda_r$
 else goto Step 10.
- Step 11. if $j = n-k$ 이면 goto Step 11.
 else goto Step 9.
- Step 12. End.

위에서 구한 접근가능영역의 상에서 계산된 초기자세로부터의 변화가 적은 자세를 선정한다. 이렇게 구한 자세는 공작물을 전체적인 공작물의 형태를 고려하여 선정된 것이 아니기 때문에, 구한 자세에 대해 반복적으로 공구 몸체간섭을 수행하여 완전히 공구 간섭을 회피하도록 해야 한다. 하지만, 알고리즘 적용결과 대부분의 경우 여러 번의 반복 수행없이 한 두번의 자세조정으로 간섭이 회피됨을 볼 수 있었다.

3. 시스템 구현 및 검증

위의 알고리즘을 사용한 5축 CAM시스템은 IBM PC 486에서 HI-C로 구현되었으며, 시스템의 구성은 Fig.8과 같다.

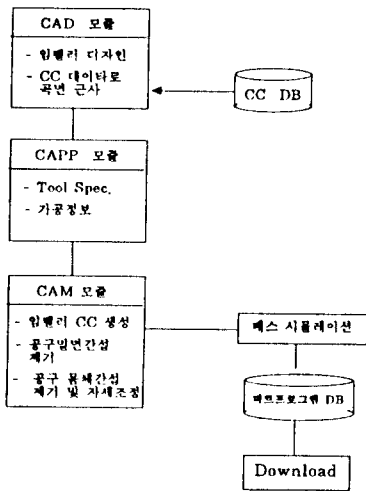
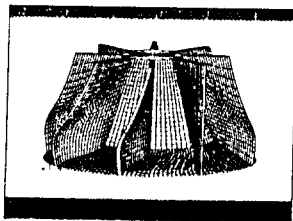


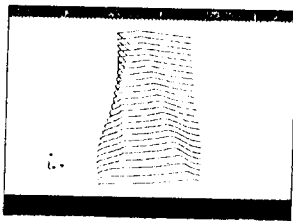
Fig.8 시스템의 구성

Fig.8에서 보여주는 것처럼 CAD모듈에서 자유곡면의 CC데이터를 사용하여, 곡면을 다면체로 근사하여 표현하니, 임펠러 형상에 관해서는 IMPELLER모듈에서 설계할 수 있는 기능과 CC 데이터를 생성하는 기능을 통해 표현하였다.

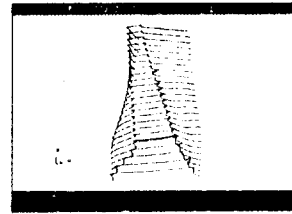
Fig.9(a)는 디자인된 임펠러 형상을 보여주고 있다. 설계된 임펠러 형상에 대해 CC데이터는 CC Catesian 방식에 의해 생성되며, 생성된 CC는 Fig.9(b)에 표현되고 있다. Fig.9(b)의 CC는 임펠러의 한 날개에 대해 구한 것이다. 산출된 CC데이터에 대해서 공구 중심점 데이터를 산출하면 Fig.9(c)와 같이 밀면간섭이 발생한 부위에 루프(loop)가 발생한다. 밀면간섭의 검사와 제거를 위해 위에서 제안한 방식을 사용하여, Fig.9(d)와 같이 밀면간섭이 배제된 공구중심점 데이터를 얻을 수 있었다.



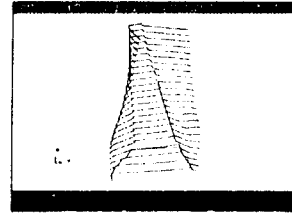
(a) 임펠러 형상



(b) 임펠러 가공을 위한 CC데이터 산출



(c) 공구 중심점 데이터



(d) 밀면 간섭이 배제된 후

Fig.9 임펠러에 대한 공구 중심점 경로 산출

위의 과정을 거쳐 밀면 간섭을 제거한 후에, 공구 유체간섭과 자세조정을 해야 한다. 곡면에 대해 공구 자세는 이진자세와 공구의 절삭부위를 고려한 자세를 생가 하여 선정해 주는데, 이렇게 함으로서 메스사이의 부드리움(smoothness)이 증가하고, 공구의 절삭부위를 고려해 줄 수 있게 된다. Fig.10은 임펠러를 가공하는 모습을 보여주고 있다.

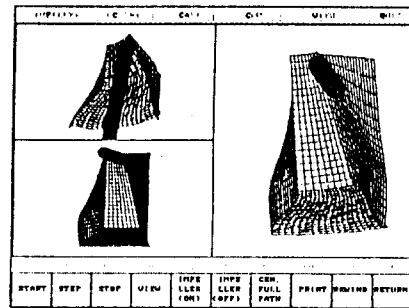


Fig.10 임펠러 가공 모습

위의 알고리즘을 사용하여 선정된 자세들의 유효성은 두가지 측면에서 분석할 수 있다. 1) 간섭이 회피 되었는가?, 2) 자세들의 민화가 부드리운가? 하는 측면이다.

간섭의 회피는 5축 분쇄에서 가장 중요하고 필수적인 문제이다. 가공 전 이러한 간섭회피 문제를 검증할 수 있는 방법은 시뮬레이션을 통한 것이 있으며, Fig.10의 와이어 프레임(wire frame)형태에서 다양한 시점(view)를 통해 확인할 수 있다.

자세들 사이의 변화폭이 커질수록 기계에 대해 무리가 가고, 선형화시오차(linearization error)가 증가하게 되므로, 자세들 사이의 변화폭이 적고, 부드리게 연결되는 것이 바람직하다. Fig. 11은 임펠러 가공을 위해 절삭부위를 고려한 자세로 곡면의 법

선벡터(normal vector)를 선정했을 경우($\theta=0$, $\theta=0$, $w_1=0.5$, $w_2=0.5$) 자세의 변화를 그래프로 나타낸 것이다.

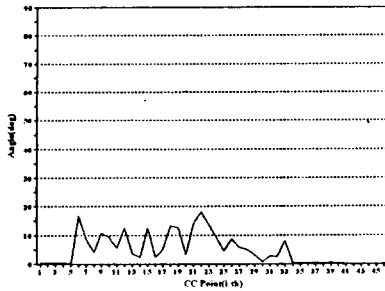


Fig.11 자세변화 그래프

위 Fig.11에서 곡면 법선벡터의 변화가 커지는 부분, 즉 곡면과 곡면의 인접부분에서 자세의 변화가 약간 크게 나오지만, 전체적으로 자세의 변화량이 크지 않고, 부드럽게 연결됨을 볼 수 있다.

위의 검증을 통해 선정된 자세는 이전자세와 전사부위를 자세선성에 잘 반영해 주면서 간섭이 회피되고, 자세의 부드러움과 절삭효율이 향상된 자세로 판단할 수 있다.

4. 결론 및 추후 연구

본 논문에서는 볼 엔드 밀을 사용한 5축 가공에서의 공구간섭 검사 및 자세조정 알고리즘에 대해 연구하였으며, 이를 적용한 5축 CAM시스템의 개발을 통해 알고리즘을 검증하였다.

본 연구에서 적용한 알고리즘들은 기존의 알고리즘에 비해 속도면에서 잇점을 가지고 있다. 기존의 알고리즘은 간섭검사의 갯수에 따라 간섭검사의 신뢰도가 향상되지만, 간섭검사시간은 간섭검사갯수와 곡면의 다면체모형에서 다면체의 갯수에 따라 비례적으로 증가하게 된다. 적용한 알고리즘은 간섭검사횟을 사용하지 않고 공구 축과의 관계를 고려함으로써, 다면체의 갯수에만 종속적이면서, 간섭검사의 신뢰도는 증가한다. 또한 다면체를 찾는 알고리즘(Search Algorithm)을 개선함으로써, 속도면에서 향상시켰다.

또한 단순한 간섭회피만이 아닌 볼 엔드밀의 전사부위를 고려하여 전사성이 향상되고, 이전자세를 고려하여 자세들 사이의 변화가 부드럽게 이어질 수 있도록 함으로써, 선정된 자세에 대한 효율성을 제고하였다.

추후 연구로는 황삭가공과 미절삭 부위에 대한 재가공, 5축 기계의 기구학적 특성을 반영한 파트 프로그램의 작성, 절삭조건 산출, 보다 나은 검증시스템의 개발 등의 수행이 뒤따라야 한다. 또, 5축 형상의 곡면모델링을 어떻게 할 것인가 하는 문제와 공구의 전사부위에 따른 절삭력의 차이 등도 추후 연구과제로 남아 있다.

참고문헌

[1] B. K. Choi, C S Jun, "Ball-end cutter interference avoidance in NC machining of sculptured surfaces,"

Computer-Aided Design, vol. 21, no. 6, pp. 371-378, 1989.

- [2] A. Hansen, F. Arbab, "Fixed-axis tool positioning with built-in global interference checking for NC path generation," IEEE Journal of Robotics and Automation, vol. 4, no. 6, pp. 610-621, 1988.
- [3] B. K. Choi, J. W. Park and C. S. Jun, "Cutter-location data optimization in 5-axis surface machining," Computer-Aided Design, vol. 25, no. 6, pp. 377-386, 1993.
- [4] Y. Takeuchi, T. Idemura, "5-axis control machining and grinding based on solid model," Annal of the CIRP, vol. 40, no. 1, pp. 455-458, 1991.
- [5] Y. Takeuchi, T. Watanabe, "Generation of 5-axis control collision-free tool path and postprocessing for NC data," Annal of the CIRP, vol. 41, no. 1, pp. 539-542, 1992.
- [6] H. D. Cho, Y.T. Jun and M. Y. Yang, "Five-axis CNC milling for effective machining of sculptured surfaces," International Journal of Production Research, vol. 31, no. 11, pp. 2559-2573, 1993.
- [7] Susan X Li, R. B. Jerard, "5-axis machining of sculptured surfaces with a flat-end cutter," Computer-Aided Design, vol. 25, no. 3, pp. 165-178, 1993.
- [8] 진차수, 박세형, 전용태, "자유곡면의 5축 NC 가공을 위한 CAM 시스템 개발," 한국정밀공학회지, vol. 10, no. 1, pp. 52-61, 1993.
- [9] S.II.Suh and J.K.Kang, "Process planning for multi-axis NC machining of free surfaces," to appear on International Journal of Production Research.
- [10] 강계관, 서석환, "자유 곡면의 5축 가공성과 셋업 자세," 대한산업공학회 '94 추계학술대회 발표논문집, pp. 611-626, 1994.
- [11] 이정재, 서석환, "자유 곡면의 5축 가공성과 셋업 자세," 대한산업공학회 '94 추계학술대회 발표논문집, pp. 591-600, 1994.