

## 금형의 고정형 5축 가공 시 공구자세 셋업 정보 산출시스템 개발

이정근\*, 양성진\*\*, 박정환\*\*\*

### Setup Data Generation for Positional 5-axis Machining of Die and Mold

Jung Geun Lee\*, Seong Jin Yang\*\* and Jung Whan Park\*\*\*

#### ABSTRACT

Five-axis machining has been applied to manufacture of turbine blades, impellers, marine propellers. Nowadays it extends to mold & die machining, where more productivity as well as added value is expected. The five-axis machining can be divided into positional and continuous, according to the variability of tool orientation during material removal process. The positional five-axis machining is commonly applied to the regional machining on a whole part surface in mold manufacturing industry, where the tool orientation for each region (area) should be determined to be feasible, that is, avoiding any interference such as machine tool collision, etc. Therefore it is required for a CAM programmer to decide a feasible tool orientation in generating tool-paths on a designated area, because it is a very tedious job to obtain such information by utilizing a commercial CAM system. The developed system generates feasibility data on tool orientation and machining region, which facilitates the CAM programmer's decision on a feasible tool orientation.

**Key words :** Positional 5-axis machining, Die and mold, Tool orientation

#### 1. 서 론

일반적으로 5축 가공은 3축 가공과 비교 하였을 때 많은 이점 및 품질향상효과가 있는 것으로 알려져 있다<sup>[1,2]</sup>. 과거 5축 가공의 주류는 전용기를 활용한 특수 부품의 양산<sup>[3,4]</sup>이었으나, 최근 들어 금형 제조사들의 고효율 및 고부가가치 가공에 대한 욕구가 증대 되면서 금형 제작에 5축 가공을 적용하는 사례가 늘고 있다<sup>[10-13]</sup>. 이러한 5축 가공의 경우 기계의 기구학적 구조를 포함한 기계특성 및 가공특징현상을 잘 고려해야 함은 물론이며, 가공을 위한 종합적인 정보로부터 최적의 공정계획을 수립해야만 원활한 5축 적용을 기대할 수 있다.

기존의 5축 가공 관련 연구는 공구 자세 최적화<sup>[14-16]</sup>, 공구경로 계획<sup>[17,18]</sup>, 피삭재 및 공구 축 방향 최적화<sup>[19,20]</sup>,

공구자세에 따른 가공특성 연구<sup>[21,22]</sup> 등으로 구분할 수 있으며, 지속적으로 많은 연구가 이루어지고 있다.

현재 5축 가공은 절삭가공 중 공구 축 방향(tool orientation) 변화 여부에 따라 고정형(positional) 5축 및 동시(continuous) 5축 가공으로 구분한다<sup>[12]</sup>. 고정형 5축 가공은 3+2축 가공이라고도 불리며, 절삭가공 중에는 공구 축 방향 변화가 없는 가공이다. 금형 가공의 경우, 영역 별로 공구 축 방향을 달리하여 가공을 적용할 수 있고, 동시 5축 가공에 비해 가공데이터 생성이 수월한 측면 때문에 많이 사용하고 있다<sup>[12]</sup>.

따라서 금형의 특정 영역을 가공하기에 적절한 공구 축 방향을 결정하는 일이 필수적이다. 이를 위해 기존 상업용 CAM 시스템의 기능을 활용할 수도 있겠지만, 특화된 기능이 아닌 이유로 상당히 번거로운 과정을 거치거나 혹은 기능이 없는 경우가 많다. 그러므로 보다 간편한 시스템의 개발이 필요하게 되었다.

본 연구에서는 5축 가공기를 활용한 금형의 고정형 5축 가공 시, 공구자세(공구 축방향) 셋업을 위한 정보를 생성하는 시스템을 개발하였다. 본 시스템의 기능은 크게 두 가지로 구분하는데, (1) 지정한 공구 축 방향으로 가공 가능한 영역 탐색, (2) 지정한 영역에

\*정회원, 월테크

\*\*영남대학교 대학원 기계공학과

\*\*\*교신저자, 중신회원, 영남대학교 기계공학과

- 논문투고일: 2008. 03. 21

- 논문수정일: 2008. 06. 19(1차) 2008. 07. 16(2차)

2008. 08. 11(3차)

- 심사완료일: 2008. 08. 21

대해 가공 가능한 공구 축 방향 범위 탐색이다. 참고로, 공작물 좌표계에서 계산한 공구 축 방향은 해당 5축 가공기의 기계 회전축 값 정보로 변환함으로써, 사용자 편의를 도모하였다.

2절에서는 고정형 5축 가공 및 가반 모델을 살펴보고, 3절에서 5축 가공기 모델링 및 공구 축 방향 및 가공 가능 영역 탐색을 다루고자 한다.

## 2. 고정형 5축 가공

### 2.1 5축 가공 개요

일반적인 5축 가공기는 x, y 및 z의 3개 병진 이동축 외에 추가로 부가되는 2개의 회전축을 가지게 된다. 본 연구에서는 5개 축을 동시에 제어하여 가공하는 동시 5축 가공(continuous 5-axis machining)과, 절삭가공 중 회전축 값을 고정하여 가공하는 고정형 5축 가공(positional 5-axis machining 또는 3+2축 가공)으로 구분하였다 (Fig. 1 참조).

모든 공구 접촉점에서 절삭속도 등의 절삭조건을 조절한다는 측면에서는 동시 5축 가공이 유리한 것은 사실이지만, 가공데이터 생성 및 가공 진행상태 파악이 상대적으로 수월하기 때문에 현장에서는 고정형 5축 가공도 많이 활용한다.

일반적으로 금형 가공은 다수 개의 단위 가공 공정(unit machining operation)으로 이루어지는데, 가공방

식으로 구분하면 3축 가공, 고정형 5축 가공 및 동시 5축 가공의 조합으로 전체공정이 구성된다. 또한 CAM 프로그래머는 곡면의 국소적인 형상특성, 공구 특성 및 단위공정의 특성을 잘 반영하여 적절한 가공방법을 선택하게 된다.

### 2.2 고정형 5축 가공 시 고려사항

고정형 5축 가공의 경우, 해당 가공 영역에 대해 간섭(interference)이 없는 공구 축 방향을 결정해야 한다. 본 연구에서 고려하는 간섭은 충돌(collision), 기계축 값 벗어남(stroke-over)이며, 공구 축 방향은 5축 가공기 회전축 값으로 표현한다.

일반적으로 CAM 프로그래머는 상용 CAD/CAM 시스템을 활용한 가공데이터 산출 시, 공구자세 셋업을 위해 기계 회전축 값 또는 해당 공정을 위한 국소 좌표계(local coordinate system)를 필요로 하게 된다. 이러한 국소 좌표계는 일반적으로 가공하고자 하는 영역의 국부적인 곡면특성을 분석하여 임의로 기존의 공작물 좌표계에서 x, y 및 z 방향으로 임의로 회전시킨 좌표계를 생성하고, 그 좌표계 z축 방향에 공구 축 벡터(tool axis vector)를 일치시켜 가공데이터를 생성하는 것이 일반적이다.

이러한 방식의 국소 좌표계 생성 및 공구 축 방향 설정 예를 Fig. 2에 보이고 있다. 이때, 간섭 등의 문제로 주어진 공구자세(공구 축 방향)로 해당 가공영역을 제대로 가공하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 따라서 해당 가공영역을 분석하여 사용자가 지정한 특정 공구 자세에 의한 가공 가능 여부를 쉽게 파악하고, 또한 지정된 영역에 대해 가공 가능한 공구 자세 범위를 파악하는 일이 필수적이다. 이때 공구 자세, 즉 공구 축 방향 정보는 해당 기계 회전축 값으로 변환하여 줄으로써, 공구자세 셋업을 위한 정보를 CAM 프로그래머에게 알려주게 된다.

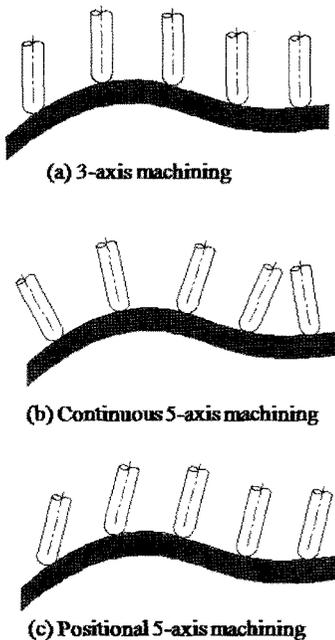


Fig. 1. Machining types.

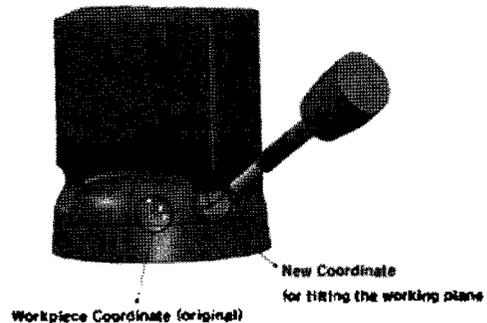


Fig. 2. Setting local coordinate frame for positional 5-axis machining.

### 2.3 기반 모델

기존의 3축 가공에 있어서 기반 모델로 z-map 모델을 많이 사용해 왔다. 이는 간단한 데이터 구조로 인하여 오프셋팅(offsetting), 블렌딩(blending) 등과 같은 곡면 조작의 편리함, 계산의 강건함(robust)등의 장점을 가지고 있기 때문이다. 하지만 z-map의 자료구조의 특성상 언더컷(undercut) 형상부위(위에서 보았을 때 그림자가 지는 부위)에 대해서 표현의 제약이 따르며 수직벽, 꺾인 모서리(sharp edge) 등의 표현 시 높은 정밀도를 기대하기 어렵다.

이러한 z-map의 특성을 살리면서 제약을 극복하는 자료구조로서 (x,y)대해 여러 개의 곡면 z값을 저장할 수 있는 extended z-map<sup>17,9)</sup>, dixel(depth element)<sup>18)</sup>이 제시된 바 있다. 이를 통해 z-map 모델의 정밀도를 어느 정도 향상시킬 수 있으나, 수직 벽의 정밀도와 언더컷 형상을 완벽하게 보완할 수는 없다. 따라서 본 연구에서는 z-map 모델의 단점을 보완하기 위해 삼각형 모델을 보조적으로 사용하는 하이브리드 알고리즘을 적용 하였으며, Fig. 3에 그 개념도를 나타내었다.

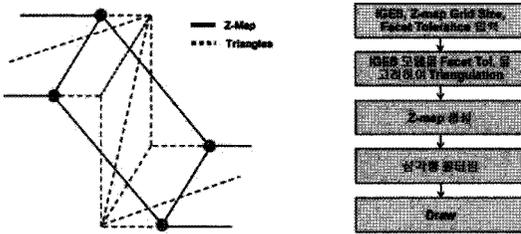


Fig. 3. Hybrid model construction procedure.

기반 모델을 생성하기 위해 IGES모델과 형상 허용오차(tolerance)로부터 삼각화(triangulation)를 실시하여 삼각형 모델을 생성한다. 전체 형상에 대해서는 z-map모델을 병행 생성한 후, 개별 삼각형을 z-map모델과 비교하여 수직 거리가 허용오차보다 큰 삼각형만을 남기는 필터링 과정을 거치게 하였다. 이렇게 함으로써 z-map 모델의 형상 오차가 존재하는 부위 즉, 언더컷, 수직벽, 꺾인 모서리 부위의 삼각형들만이 남게 된다.

이렇게 생성된 기반모델을 통하여 삼각형이 존재하는 부위에서는 z-map모델에 대한 계산을 배제하고 삼각형만을 활용하여 계산을 실시하며, 삼각형이 존재하지 않는 부위에서는 기존의 방식과 동일하게 z-map 모델만을 활용하는 계산 방식이 사용된다. 이 방식은 기존의 z-map모델의 장점 및 특성을 살릴 수 있을 뿐

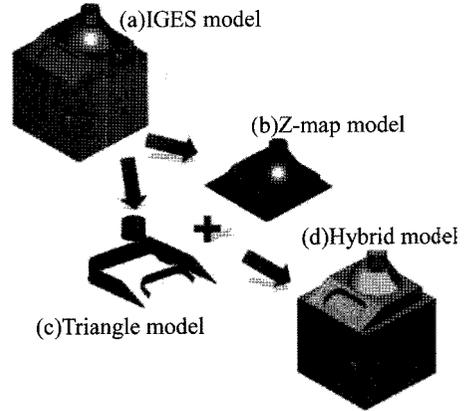


Fig. 4. Hybrid model construction.

만 아니라, 언더컷, 수직벽, 꺾인 모서리 부위의 삼각형모델을 활용함으로써 z-map모델의 단점을 보완할 수 있다.

본 알고리즘을 활용하여 기반모델을 생성하는 과정을 Fig. 4에 도식적으로 보이고 있다. 제시된 기반 모델은 활용함으로써 단일 z-map모델만 사용하였을 때 보다 전반적으로 정확한 결과를 도출 할 수 있을 것으로 기대하며 특히 수직 벽, 언더컷 형상부위에서의 정밀도는 z-map모델보다 월등히 우수한 결과를 얻었다. 또한 삼각형 다면체(triangular facet) 모델만을 활용하는 경우와 비교한다면, 충돌검사를 위한 오프셋면 생성이나 간섭 확인 등의 과정에서 계산시간 단축 및 계산 안정성(robustness) 효과를 얻을 수 있다.

## 3. 공구자세 셋업 정보 산출

### 3.1 기구학 모델링

5축 NC 기계의 경우 직선 운동축과 회전 운동축의 축구성에 따른 기계 컨피그레이션(configuration)이 상이한 경우가 많고, 따라서 NC 기계의 기구학(kinematics)을 고려하여 각 CL(cutter location) 데이터에 대해 5개 축 값을 계산하거나, 주어진 축 값에 대해 공구위치(CL 데이터)를 계산해야 한다.

Fig. 5는 기구학 모델링을 위해 본 연구에서 적용한 5축 가공기(FPT사의 DINO)에 링크 좌표계를 설정한 모습이다. 적용한 5축 기계는 스피들이 각각 y축 과 z축으로 회전하는 기구학적 구조를 가지게 되는데 이를 각각 B축 및 C축으로 정의하고 있다.

좌표계는 Denavit-Hatenberg 표현을 이용하여 설정하였으며, Table 1에 링크 좌표계 파라미터를 나타내었다. 이때  $X_0Y_0Z_0$ 는 기계에 설정된 기준 좌표계이며,

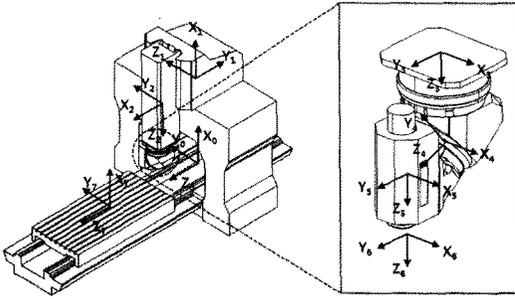


Fig. 5. Link coordinate systems on the 5-axis machine.

Table 1. Link parameters

Link	$\theta$	d	l	$\alpha$	Variable
1	0	L	2	-L1	-90
2	0	L <sub>y</sub>	L3	-90	L <sub>y</sub>
3	0	Lz+L4	0	0	Lz
4	$\theta_2$	L5	0	-50	$\theta_2$
5	$\theta_1$	L6	0	50	$\theta_1$
6	0	L7+d	0	0	
Link	$\theta$	d	l	$\alpha$	Variable
7	0	0	Lx	0	Lx

공구 기준점까지의 좌표계를 그림과 같이 순서대로 나타내었다. 최종적으로 공구 좌표계를 나타내는 변환 행렬방정식은 식 (1)과 같이 정의 할 수 있으며, 식 (1)로부터 정기구학 및 역기구학 해를 구할 수 있다.

$$[n \ o \ u \ p] = ({}^0T_1) ({}^1T_2) ({}^2T_3) ({}^3T_4) ({}^4T_5) ({}^5T_6) \quad (1)$$

식(2)는 정기구학 해로써, **u** 벡터와 **p** 벡터를 나타낸다. 여기서 **u** 벡터는 공구의 축 방향 단위벡터(즉 공구 자세)를, **p** 벡터는 공구 기준점(즉 공구 위치)을 나타낸다.

$$\begin{aligned} u_x &= S\theta_1 C\theta_2 S\theta_\alpha + (C\theta_1 - 1)S\theta_2 C\theta_\alpha S\theta_\alpha \\ u_y &= S\theta_1 S\theta_2 S\theta_\alpha + (C\theta_1 - 1)C\theta_2 C\theta_\alpha S\theta_\alpha \\ u_z &= S\theta_\alpha^2 C\theta_1 - C\theta_\alpha^2 \end{aligned} \quad (2)$$

$$p_x = (S\theta_1 C\theta_2 S\theta_\alpha + S\theta_2 C\theta_\alpha S\theta_\alpha (C\theta_1 - 1))(L_7 + d) - S\theta_2 S\theta_\alpha L_6 + L_3 - L_1 - l_x$$

$$p_y = (S\theta_1 S\theta_2 S\theta_\alpha + C\theta_2 C\theta_\alpha S\theta_\alpha (C\theta_1 - 1))(L_7 + d) - C\theta_2 S\theta_\alpha L_6 + l_y$$

$$p_z = (-C\theta_1 S\theta_\alpha^2 - C\theta_\alpha^2)(L_7 + d) - C\theta_\alpha L_6 - L_5 - L_4 + L_2 - l_z$$

이때  $\theta_1 = 50$ 이며, 식 (2)는 링크 4, 5의  $\alpha$ 값을 식 (1)에 넣어 계산한 결과이다.

다음으로, 공구 CL 데이터 **u**, **p**가 주어졌을 경우 기계의 축 값을 계산하는 역기구학 해를 식(3)-(5)에 나타내었다. 여기서  $L_x, L_y, L_z, \theta_1, \theta_2$ 는 각각 X, Y, Z 축 및 B, C 축의 기계 축값을 나타낸다.

$$\theta_1 = \text{atan}\left(\frac{S\theta_1}{C\theta_1}\right)$$

$$C\theta_1 = \frac{C\theta_\alpha^2 - u_z}{S\theta_\alpha^2} \quad (3)$$

$$S\theta_1 = \pm \sqrt{\frac{u_x^2 + u_y^2 - (C\theta_1 - 1)^2 C\theta_\alpha^2 S\theta_\alpha^2}{S\theta_\alpha^2}}$$

$$\theta_2 = \text{atan} 2\left(\frac{S\theta_2}{C\theta_2}\right)$$

$$C\theta_2 = \frac{1}{W} \begin{vmatrix} u_x & B \\ u_y & -A \end{vmatrix}, \quad S\theta_2 = \frac{1}{W} \begin{vmatrix} A & u_x \\ B & u_y \end{vmatrix} \quad (4)$$

$$W = -(A^2 + B^2)$$

$$A = S\theta_\alpha S\theta_1, \quad B = (C\theta_1 - 1)C\theta_\alpha S\theta_\alpha$$

$$L_x = (S\theta_1 C\theta_2 S\theta_\alpha + S\theta_2 C\theta_\alpha S\theta_\alpha (C\theta_1 - 1))(L_7 + d) - S\theta_2 S\theta_\alpha L_6 + L_3 - L_1 - p_x$$

$$L_y = (S\theta_1 S\theta_2 S\theta_\alpha - C\theta_2 C\theta_\alpha S\theta_\alpha (C\theta_1 - 1))(L_7 + d) - C\theta_2 S\theta_\alpha L_6 + p_y$$

$$L_z = (-C\theta_1 S\theta_\alpha^2 - C\theta_\alpha^2)(L_7 + d) - C\theta_\alpha L_6 - L_5 - L_4 + L_2 - p_z \quad (5)$$

참고로, 식(3)에서  $\sin\theta$ 의 값이 (+), (-) 두 가지 경우를 가지는 것을 알 수 있다. 이는 하나의 공구 자세 **u**, **p**에 대해 2가지 역기구학 해를 가질 수 있는 것을 의미한다.

### 3.2 간섭검사 및 전처리

본 연구에서 다루고자 하는 문제는, 전체 영역 중 지정된 공구 자세(공구 축 방향)로 가공이 가능한 영역을 탐색하는 문제와, 지정된 영역에 대해 가공이 가능한 공구 자세 범위를 찾는 것이다. 따라서 특정 영역 내의 개별 공구 접촉점(CC point: cutter contact point)에 공구를 접촉한 상태에서 충돌 등의 간섭 여부를 검사하는 기본적인 기능이 필요하다.

우선 본 연구에서 다루는 간섭 항목은 충돌(collision)

및 기계 축값 벗어남(stroke-over)이다. 축값 벗어남 여부는 해당 공구 자세에서 계산한 기계 축값을 따져 확인하였다. 충돌의 경우, 공구 생크(shank) 및 홀더와 금형 곡면 간의 충돌을 고려한다. 여기서 생크는 공구 바닥에서 공구 반지름 만큼 올라온 지점에서 홀더 바닥면까지로 정의하였으며, 홀더는 실린더 형상으로 사용자가 정의하도록 한다. 참고로 생크 하단부는 절삭 날 부위로 정의한다. 이후 공구 및 홀더 모델과 2.3절에서 구성한 기안모델 간에 충돌 검사를 수행한다.

공구 생크, 홀더에 대한 충돌검사 과정은 크게 두 단계로 구분하여 수행하며 이를 Fig. 6에 보이고 있다. 생크를 예로 들어 설명하자면, 우선 생크 반지름 만큼 읍셋한 z-map을 준비하고, 생크 중심축 선분과 읍셋 z-map을 비교한다. 이때 일정 여유값(tolerance) 내에서 간섭이 발생한다고 판단되면, 좀더 정확한 검사를 위해 생크의 점군(point set)과 기반모델(hybrid model) 간의 간섭 검사를 실시한다. 홀더에 대해서는 홀더 형상으로부터 추출한 선분 및 점군 모델과 기반 모델간의 간섭검사를 수행한다.

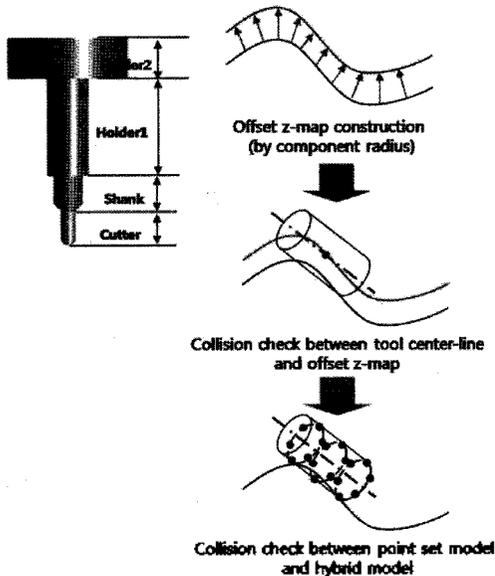


Fig. 6. Collision check.

다음으로, 사용자가 지정한 영역에 대해 일정한 간격으로 공구 접촉점을 추출하고, 추출된 공구 접촉점을 대상으로 간섭 검사를 수행한다. 여기서, 공구를 접촉한 상태에서 공구 절삭날 부위에 간섭이 발생하는 공구 접촉점은 상기 검사에서 제외하였는데, 이는 일반적으로 가공 데이터 생성 시 공구 간섭(gouge)이 발생하는 영역을 제외하는 것과 동일한 맥락이다. 볼 엔

드밀의 경우 이러한 공구 접촉점을 걸러내는 방법을 개념적으로 Fig. 7에 보이고 있다. 우선 공구 반경만큼 읍셋한 곡면을 생성한 후, 공구 접촉점을 법선(normal) 방향으로 공구 반경만큼 읍셋한 점이 읍셋 곡면 내부에 포함되면 공구간섭이 발생하는 것으로 판단하고 검사에서 제외하도록 하였다.

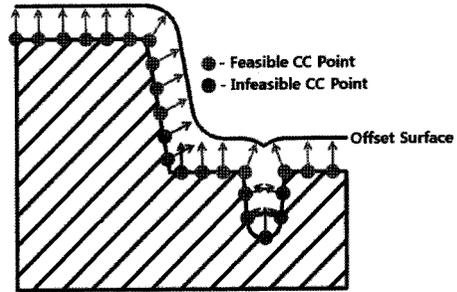


Fig. 7. CC point filtering.

3.3 주어진 공구자세에 대한 가공 가능영역 산출

고정형 5축 NC 가공데이터 생성 시, 공구자세 셋업을 위한 회전축값 정보를 경험적으로 산출하여 사용하는 경우가 많다. 이러한 경우 예상치 못한 문제가 발생할 가능성이 높으며 이를 최소화하기 위해 실제 가공 전 상기 회전축값, 즉 사용자가 지정한 공구 축 방향으로 가공이 가능한, 즉 간섭이 발생하지 않는 가공 영역을 계산해 봄으로써 위험을 최소화 하고 신뢰도를 높일 수 있다.

가공 가능영역 산출을 위한 순서도를 Fig. 8에 나타내었다. 앞서 기술한 5축 기계 기구학 해와 기계 모델을 기반으로 IGES파일, 공구정보, 탐색 공구 축 벡터, 탐색영역, 기타 입력 사항들로부터 일련의 연산이 수행된다. 본 과정에서 Fig. 8의 'Is valuable CC Point?' 판별은, 공구 축벡터가 CC 점의 접평면(tangent plane) 위에 놓이는지를 판단하는 과정이다. 이때 금형 형상 IGES 파일을 입력으로 받고 있는데, 본 연구에서는 I-Master<sup>[22]</sup> 상용 CAM 소프트웨어에서 제공하는 API를 활용하여 IGES 파일의 곡면 데이터를 NURBS 곡면으로 저장하여 활용하였다. 이후 매개변수형 곡면  $r(u,v)$ 의  $u$  (또는  $v$ ) 방향 등매개변수 (iso-parametric) 곡선 상에서 일정한 간격으로 CC 점을 추출하였다. 참고로 3차원 간격을  $dL$ ,  $u$  (또는  $v$ ) 방향 접선벡터를  $T$ 라고 하면,  $uv$ -domain 에서의 간격  $du$  (또는  $dv$ )는 근사적으로  $dL/|T|$ 로 계산할 수 있다(즉, 국소적인 평면으로 근사).

자동차 렌즈 금형 모델에 대해 전 영역에 대한 가

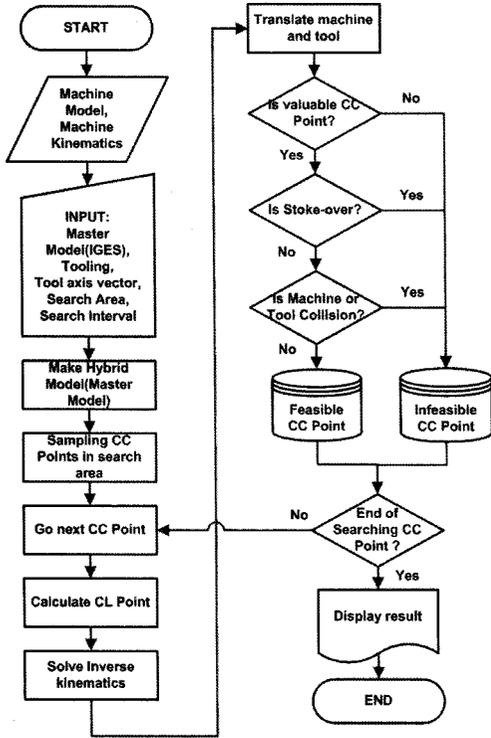


Fig. 8. Search of feasible (machinable) region for given tool orientation.

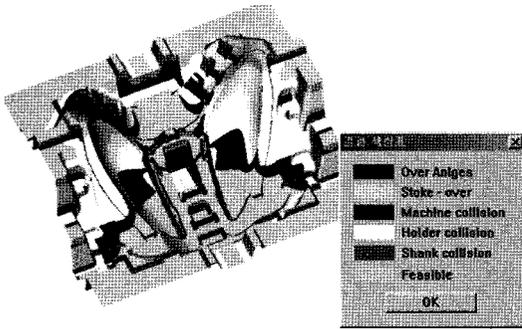


Fig. 9. Sample feasible region.

공 가능영역 산출 결과 예시 Fig. 9에 보이고 있다. 충돌이 발생하는 CC 점에서 충돌 부위에 따라 다른 색깔로 구분하여 표시하여 주었으며, 공구간섭(gouge)이 발생하는 오목한 부위의 CC 점은red, CC 점의 접평면과 공구 축벡터 간의 검사에 걸린 CC 점은 black, 가공이 가능한 CC 점은 green 등과 같이 3차원 모델 상에서 color-map으로 표시하였다. 이는 사용자가 가공 가능영역과 불가능한 영역을 쉽게 파악할 수 있으며, 불가능 영역에서의 위치를 한눈에 파악할 수 있도록 하고자 하였다.

### 3.4 주어진 영역에 대한 유효 공구자세 산출

앞서 기술한 바와 같이 고정형 5축 가공에 있어서 경험적으로 공구 자세를 결정하는 경우가 많다. 그러나 형상이 복잡하여 자칫 부적절한 공구 자세를 사용할 경우 가공 불량 등의 문제가 생길 수 있다. 따라서 임의의 가공 영역에 대해 가공 가능한 공구 자세의 범위를 신속하게 파악하는 일은 매우 중요하다. 유효한(feasible) 공구 자세, 즉 기계 회전축 값 범위 산출은 3.2절과 유사한 과정을 거치며, Fig. 10에 전반적인 절차를 보이고 있다.

앞서 기술한 가공 가능영역 산출과 비교한다면, 입력으로 공구 축 벡터 대신 탐색 각도 범위와 각도 중분값을 입력 받는다는 것이 다르며, 연산에 필요한 일련의 과정은 유사하다. 즉 지정된 범위 내에서 공구 자세를 일정하게 변화시키면 반복적으로 간섭 검사를 되풀이 하여, 지정된 영역에 대해 가공이 가능한 공구 자세 범위를 파악하는 것이다.

이러한 일련의 과정을 거쳐 산출된 결과의 예를

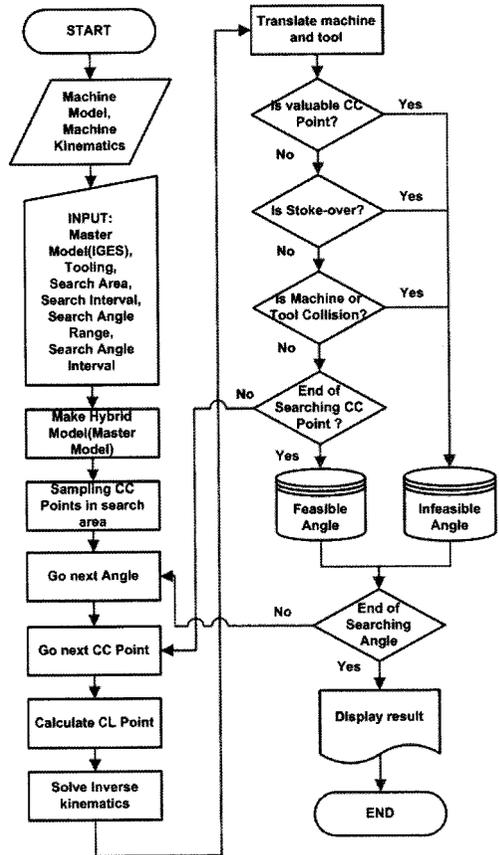


Fig. 10. Search of feasible tool orientation range for given machining region.

Fig. 11에 보이고 있다. 여기서, black은 사용할 수 없는 각도를 나타내며, 사용 가능한 각도는 green 혹은 blue로 표시하였다. 사용 가능 각도의 색깔이 2가지로 표현되는 것은 적용 NC 기계의 특성으로서, 3.1절에서 언급하였듯이 임의의 공구자세에 대해 역기구학해는 2가지가 가능하기 때문이다.

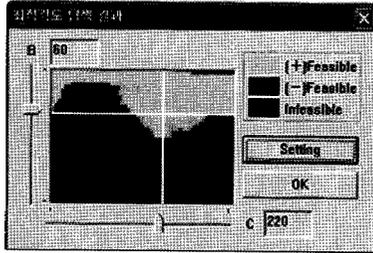
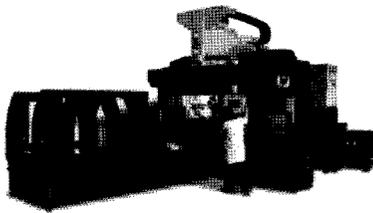


Fig. 11. Sample feasible tool orientation range.

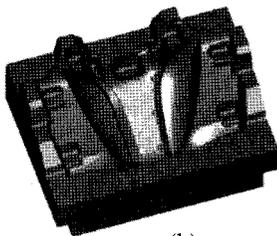
### 4. 적용사례

본 연구에서 제안한 시스템은 Windows XP 환경에서 I-Master<sup>[22]</sup> 상용 CAM 소프트웨어를 기반으로, Visual C++ 및 OpenGL graphic library를 활용하여 구현하였다. 본 연구에서 적용한 5축 가공기의 모습을 Fig. 12a에 보이고 있다. 적용 5축 가공기계는 FTP사의 DINO가공기이며, 스피들 축에 Y축 및 Z축을 중심으로 회전하는 2개 회전축을 가진다.

Fig. 12b는 공구자세 셋업 정보산출시스템을 적용한 금형 곡면 예를 보이고 있다. 금형의 크기는 1020×730×480 mm이며 자동차 렌즈 부품을 제작하기 위



(a)

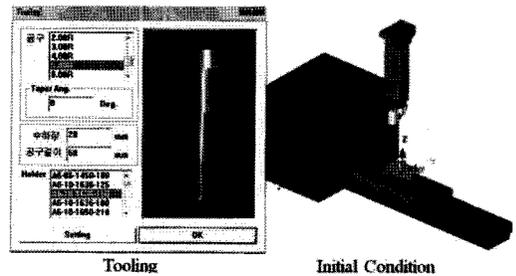


(b)

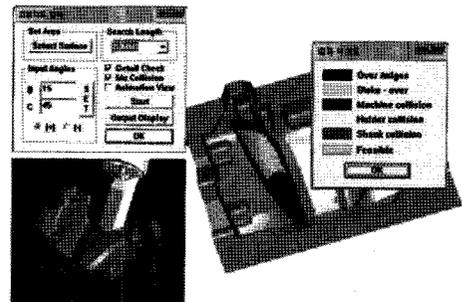
Fig. 12. Five-axis machine and part surface of molding die.

한 금형이다.

Fig. 13은 적용 금형의 제품 형상부 가공을 위해 공구 자세 셋업 정보 산출 시스템을 사용하는 전반적인 과정 및 결과를 보이고 있다. 공구, 홀더 정보 및 시스템 사용을 위한 초기 상태를 Fig. 13a에 나타냈으며, Fig. 13b는 입력된 축 벡터에 대해 가공 가능 영역 산출 과정 및 결과를 보이고 있다. 탐색 결과 가공가능 영역이 존재 하나, 일부 영역에서 기계 충돌, 생크 충돌이 발생하는 것으로 나타났다. Fig. 13c는 탐색영역에서 충돌이 발생하지 않는 각도 범위를 산출한 결과를 보이고 있다.



(a)



(b)



(c)



(c)

Fig. 13. Implimented system.

## 5. 결 론

본 연구에서는 금형의 고정형 5축 가공 시 공구자세 셋업 정보 산출 시스템을 개발하였다. 구현된 시스템은, 주어진 광구 자세로부터 가공 가능한 영역을 산출하는 기능과, 주어진 영역에 대해 유효한 공구 자세 범위를 계산하는 기능을 가진다. 본 시스템에서 공구 자세는 사용자 편의를 위해 기계 회전축 값으로 변환하여 표현하였다.

본 연구는, 주어진 가공형상에 대해 공구자세 셋업 정보를 CAM 프로그래머에게 신속하고 간편하게 제공함으로써, 상용 CAM 시스템을 이용한 가공데이터 생성 시 부적절한 공구자세로 발생하는 가공 오류를 사전에 제거하고 가공정정 설계를 지워함으로써 효율적인 5축 가공에 기여할 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부의 I-메뉴팩처링사업 지원으로 (주)브이엠에스 솔루션스와 영남대학교가 공동으로 수행하였습니다.

## 참고문헌

1. Mason, F., "5x5 for High-productivity Airfoil Milling", *American Machinist*, Nov, pp. 37-39, 1991.
2. Tonshoff, H.K. and Hernaendex-Camacho, J., "Die Manufacturing by 5-and 3-Axis Milling", *J. of Mechanical Working Technology*, Vol. 20, pp. 105-119, 1989.
3. Takeuchi, Y. and Watanabe, T., "Generation of 5 Axis Control Collision-free Tool Path and Postprocessing for NC Data", *Annals of the CIRP*, Vol. 41/1/1992, pp. 535-542, 1992.
4. Choi, B.K., Park, J.W. and Jun, C.S., "Cutter-location Data Optimization in 5-Axis Surface Machining", *Computer Aided Design*, Vol. 25, No. 6, pp. 377-386, 1993.
5. Gursoz, E.L., Choi, Y. and Prinz, F.B., "Boolean Set Operations on Non-manifold Boundary Representation Objects", *Computer-Aided Design*, Vol. 23, No. 1, pp. 33-39, 1991.
6. Lee, K. and Kwon, B.W., "Efficient Modeling Method of Sheet Objects", *Proc. ASME Computers in Engineering Conference*, San Francisco, CA, Vol. 1, pp. 437-446, August 2-3, 1992.

7. 김찬봉, 양민양, "5축 CNC 가공의 검증에 관한 연구", *대한기계학회논문집*, Vol. 18, No. 1, pp.93-100, 1994.
8. Hool T.V., "Real Time Shaded NC Milling Display", *Computer Graphics*, Vol. 20, No. 4, pp.15-20, 1986.
9. Takata S., Tsai M.D. and Inui, M., "A Cutting Simulation System for Machinability Evaluation Using a Workpiece Model", *Annals of the CIRP*, Vol. 38, pp.417-420, 1989.
10. Waurzyniak, P., "Five-axis machining: adding a fifth axis can cut machine setups, and improve quality and productivity", *Manufacturing Engineering*, Vol. 132, No. 6, June 2004.
11. 강약수, 김석원, 김정석, 이기용, "사출금형의 5축 고속가공에서 공구자세에 따른 가공특성에 관한 연구", *한국공작기계학회 2006 추계 학술대회논문집*, pp. 195-200, 2006.
12. Hopkin, B., "Benefits of positional five-axis machining", *Moldmaking Technology*, May 2005.
13. Toensmeier, P., "Five-axis machining is a key requirement for high-precision molds", *Moldmaking Technology*, December 2006.
14. Warkentin, A. and Ismail, F., "Multi-point tool positioning strategy for 5-axis machining of sculptured surfaces", *CAGD*, Vol. 17, pp. 83-100, 2000.
15. Makhanov, S., "Optimization and correction of the tool path of the five-axis milling machine: Part 1. Spatial optimization", *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 75, pp. 210-230, 2007.
16. Makhanov, S., "Optimization and correction of the tool path of the five-axis milling machine: Part 2. Rotations and setup", *Mathematics and Computers in Simulation*, Vol. 75, pp. 231-250, 2007.
17. Ivanenko, S.A., Makhanov, S.S., and Munlin, M.A., "New numerical algorithms to optimize cutting operations of a five-axis milling machine", *Applied Numerical Mathematics*, Vol. 49, pp. 395-413, 2004.
18. Anotaiapaiboon, W. and Makhanov, S.S., "Curvilinear space-filling curves for five-axis machining", *Computer-Aided Design*, Vol. 40, pp. 350-367, 2008.
19. Anotaiapaiboon, W., Makhanov, S.S., and Bohez, E. L. J., "Optimal setup for five-axis machining", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, Vol. 46, pp. 964-977, 2006.
20. Radzevich, S.P., *Kinematic geometry of surface machining*, CRC Press, 2008.
21. Lim, T.S., Lee, C.M., Kim, S.W. and Lee, D.W., "Evaluation of cutter orientations in 5-axis high speed milling of turbine blade", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 130-131, pp. 401-406, 2002.
22. 큐빅테크, <http://cubictek.com>.



**이 정 근**

1997년 영남대학교 기계공학과 학사  
1999년 영남대학교 기계공학과 석사  
2003년 영남대학교 기계공학과 박사  
2007년 원제 휠테크 대표  
관심분야 : 5축 가공, CAPP, 레이저가공



**양 성 진**

2006년 영남대학교 기계공학과 학사  
2008년 영남대학교 기계공학과 석사  
관심분야 : 5축 가공, 설계자동화



**박 정 환**

1987년 서울대학교 물리학과 학사  
1991년 한국과학기술원 산업공학과 석사  
1995년 한국과학기술원 산업공학과 박사  
1995년~1997년 Chrysler Technology Center 연구원  
1997년~현재 영남대학교 기계공학부 부교수  
관심분야 : Virtual Manufacturing, RE, OMM