

## 5축가공용 Post-Processor 개발에 관한 연구

황종대\*(창원대 대학원 기계공학과), 정윤교\*\*(창원대 기계공학과), 정종윤\*\*\*(창원대 산업시스템공학과)

### Study on the Development of Post-Processor for 5-Axis NC machining

J. D. Hwang(Mech. Eng. Dept., CNU), Y. G. Jung(Mech. Eng. Dept., CNU), J. Y. Jung(Industry. and System. Eng. Dept, CNU)

#### ABSTRACT

This study deals with the method of post-processing in the automatic tool path generation for 5-axis NC machining. The 5-axis NC machining cannot only cope with the manufacturing of complicated shapes, but also offers numerous advantages such as reasonable tool employment, great reduction of set-up process and so on. Thus 5-axis NC machining has been used for aircraft parts, mold and die as well as for complicated shapes such as impeller, propeller and rotor. However, most of the present CAM systems for 5-axis NC machining have limited functions in terms of tool collision, machine limits and post-processing. Especially 5-axis machine configurations are various according to the method which the rotational axes are adapted with the table and spindle. For that reason, in many cases the optimal numerical control (NC) data cannot be obtained or considerable time is consumed. To solve this problem, we applied a general post-processor for 5-axis NC machining. The validity of this post-processor should be experimentally confirmed by successfully milling to a helix shaped workpiece.

**Key Words** : 5-axis NC machining, Post-Processor, CL Data, NC Data

#### 1. 서론

5축가공기는 3개의 직선이송축에 2개의 회전이송축을 추가함으로써 주어진 CC(Cutter Contact Point) 데이터에 대하여 공구의 자세가 자유롭기 때문에 3축가공기로는 가공이 불가능하던 Un-Cut 곡면이나 뒤틀린 형상의 자유 곡면에 대하여 효과적인 가공을 수행할 수 있을 뿐만 아니라 공구자세 변화를 통하여 가공효율 및 생산성을 높일 수 있기 때문에 그 적용범위가 더욱 넓어질 것으로 예상된다.

그럼에도 불구하고 5축가공기의 보급을 가로막는 요소는 회전이송시 충돌 및 간섭 문제, 미절삭 및 과절삭 문제, Post-Processing 문제 등이 있다. 특히 워크좌표계의 CL(Cutter Location) 데이터를 실제 기계가 구동하기 위한 NC 데이터로 변환하는 Post-Processing 과정의 난해함은 5축가공의 보급을 가로막는 결정적인 원인이다. 5축가공기의 메커니즘은 회전이송축이 Table과 Spindle에 부가되는 방식에 따라 Configuration에 영향을 미쳐 순서 조합의 수가 매우 다양해지므로 Post-Processing 시 해당 5축가공기의 메커니즘을 정확

하게 설정해 주는 작업이 필수 불가결한 요소이다. 또한 현장기술자들이 어려움 없이 주어진 5축가공기에 맞는 NC 변환 작업을 원활히 수행할 수 있도록 사용상의 용이함이 전제되어야 한다. 그러나 국내에서 진행되고 있는 포스트프로세싱 문제에 대한 연구는 특정 메커니즘에 국한되어 있으며 범용 Post-Processor에 대한 연구는 미비하다.<sup>1-6</sup>

따라서 본 연구에서는 현장 기술자들이 손쉽게 해당 5축가공기의 메커니즘에 맞는 NC 데이터로 변환할 수 있는 5축가공용 범용 Post-Processor를 개발하고자 한다. 이를 위하여 각 기계 메커니즘별로 역기구해를 제시하며 기계 이송한계의 설정, 위상반전 문제, 무한증분회전 방식에 대한 고려 및 매크로 기능의 정의 등에 대한 연구가 선행되었으며 연구 결과 5축가공기의 다양한 메커니즘을 대표할 수 있는 5가지 경우에 대한 범용 Post-Processor의 국산화를 이루었다. 또한 개발된 Post-Processor와 기존의 상용 소프트웨어와의 결과값을 비교한 후 실제 5축가공을 수행함으로써 정확도 및 실용성을 검증하고자 한다.

## 2. Post-Processor 개발

### 2.1 Post-Processing의 주요 문제

Fig. 1은 전체 5축가공 과정에서 Post-Processing이 수행하는 역할과 주요 문제에 대하여 정의한 것으로서 가공기의 기구학적 해석을 바탕으로 기계이송관계의 설정, 위상반전 문제, Pivot Length(이하 P/L), Gage Length(이하 G/L)의 적용, 파일 입, 출력 부에 대한 매크로 기능 등이 주요 문제임을 알 수 있다.

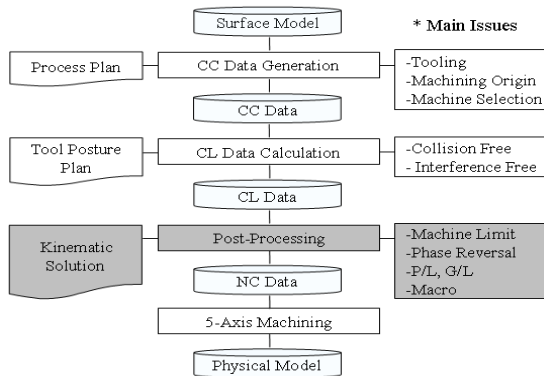


Fig. 1 Procedure for 5-axis NC machining

### 2.2 5축가공기 메커니즘 및 역기구학

#### 2.2.1 서론

5축 가공기는 크게 3가지 형태의 메커니즘을 갖는다.<sup>7</sup> 첫째는 회전하고 틸팅하는 2개의 회전 이송축을 주축에 장착하는 경우이다(Head Tilting - Head Rotation, 이하 HT-HR). 둘째는 3축 밀링 기계에 로테이션과 틸팅을 수행하는 2축 로터리 테이블을 올려놓는 것이며(Table Tilting - Table Rotation, 이하 TT-TR), 마지막으로로는 로터리 테이블과 틸팅이 가능한 회전공구축을 갖는 경우이다(Head Tilting - Table Rotation, 이하 HT-TR).

세가지로 구분한 메커니즘은 또다시 무한회전을 하는 로테이션각과 유한회전을 하는 틸팅각의 조합 방식에 따라 각각 AB, AC, BC 타입으로 나누어지므로 총 9가지 메커니즘이 파생되며 수평형과 수직형 밀링에 각각 정의하면 총 18가지가 된다. 본 연구에서는 여러가지 메커니즘의 조합방식 중에서도 현재 가장 널리 사용되고 있는 5가지 경우에 대하여 일반화함으로써 범용성을 부여하고자 하며 각각의 경우는 Table 1에 예시한 바와 같다.

기구학적 해를 얻기 위하여 공구자세축의 단위벡터를 사용한 역함수로부터 로테이션각과 틸팅각을 구한 후 이들을 이용하여 파트좌표계를 머신좌표계로 맵핑한다.

Table 1 Adapted mechanisms in 5-axis machines

1) HT-HR AC(Merim CMM, Ims, England)	
2) TT-TR BC(X-120, Niken, Japan)	
3) TT-TR AC (VMCT, Daewoo, ROK)	
4) HT-TR BC(I200, Mazak, Japan)	
5) HT-TR AC(T35, CMI, USA)	

#### 2.2.2 로테이션각과 틸팅각의 정의

앞절에서 제시한 각 메커니즘에 대한 로테이션각의 일반식은 식 (1)과 같다.

$$K_{ij} : \theta_j = -\left( \cos^{-1} \left( \frac{u_k}{\sqrt{u_k^2 + u_i^2}} \right) \right) \quad (1)$$

여기서,  $K_{ij}$ 는 해당 메커니즘 타입으로 하첨자  $i, j, k$ 는 각각 회전중심축  $x, y, z$ 를 의미한다. 예를 들어  $K_{ik}$ 는 회전중심축이  $x$ 인 A와 회전중심축이  $z$ 인 C로 이루어진 AC 타입을 의미하며, 이 때  $\theta_k$ 는 회전중심축이  $z$ 인 C의 각도를 의미한다.  $u_i, u_j, u_k$ 는 각각  $x, y, z$  방향에 대한 공구자세축의 단위벡터이다.

각 메커니즘에 대한 틸팅각은 식 (2) 및 식 (3)과 같이 일반화할 수 있으며 식 (2)는 수직형 5축가공기에 식(3)은 수평형 5축가공기에 적용할 수 있다.

$$K_{ij} : \theta_i = \cos^{-1}(u_j) \quad (2)$$

$$K_{ij} : \theta_i = \sin^{-1}(u_j) \quad (3)$$

여기서,  $\theta_i$ 는 각 메커니즘에서의 틸팅각을 의미한다.

### 2.2.3 머신좌표계로 맵핑

로테이션각과 틸팅각이 주어지면 파트좌표계에서 주어진 위치데이터를 기계좌표계로 맵핑해주어야 한다.

**HT-HR**인 메커니즘의 경우는 공작물의 회전이 일어나지 않기 때문에 파트좌표계와 기계좌표계가 동일하며 식 (4)와 같다.

$$\vec{P}_m = \vec{P}_p \quad (4)$$

여기서,  $\vec{P}_m$ 은 머신좌표계의 위치벡터이고  $\vec{P}_p$ 는 파트좌표계의 위치벡터이다.

**TT-TR**인 메커니즘은 공작물이 테이블 위에서 로테이션과 틸팅을 수행하기 때문에 각각의 회전각을 사용한 회전변환을 하며 식(5)와 같다.

$$K_{ij} : \vec{P}_m = \vec{P}_p \cdot R_j(-\theta_j) \cdot R_i(-\theta_i) \quad (5)$$

여기서,  $R_j(-\theta_j)$ 는 로테이션각에 의한 회전변환 행렬을,  $R_i(-\theta_i)$ 는 틸팅각에 의한 회전변환 행렬을 나타낸다.

**HT-TR**인 경우는 공작물이 테이블 위에서 로테이션을 수행하기 때문에 로테이션각을 사용한 회전변환을 해준 뒤 Head가 틸팅함에 따른 이동변환을 수행해야 하며 식(6)과 같다.

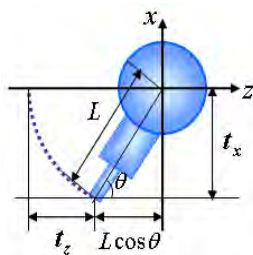
$$K_{ij} : \vec{P}_m = \vec{P}_p \cdot R_j(-\theta_j) \cdot T(t_i, t_j, t_k) \quad (6)$$

여기서,  $T(t_i, t_j, t_k)$ 는 틸팅에 따른 이동변환행렬로서 틸팅각이 B인 경우  $t_i, t_j, t_k$ 는 다음과 같다.

$$t_i = t_x = L \cdot \sin\theta,$$

$$t_j = t_y = 0,$$

$$t_k = t_z = -(L - L\cos\theta)$$



이상과 같이 구한 로테이션각, 틸팅각 및 기계좌표로 맵핑한 위치데이터를 통하여 주어진 CL 데이터를 각 기계 메커니즘에 맞는 NC 데이터로 변환할 수 있으며 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{APT} [ \vec{P}_p, \vec{u} ] \Rightarrow \text{NC} [ \vec{P}_m, \theta_i, \theta_j ] \quad (7)$$

### 2.3 위상반전 시 회전각 및 무한증분회전각도

삼각함수를 이용하여 로테이션각과 틸팅각을 정의하면 Fig. 2와 같은 위상반전문제가 발생한다. 즉 역함수를 통하여 얻은 회전각도는 주기함수의 특성상  $2\pi$  이내의 값으로 정해지며 그 중에서도 작은 값으로 나타난다. 사인함수는  $\pi/2$  및  $3\pi/2$ 를 축으로 작은 값으로, 코사인함수는  $\pi$ 를 축으로 작은 값으로 나타나며 이는 기계가공시 오동작을 초래하는 원인이 된다. 또한 탄젠트 함수는  $\pi/2$  및  $3\pi/2$ 인 구간에서 무한대가 되므로 사용 자체가 불가능하다.

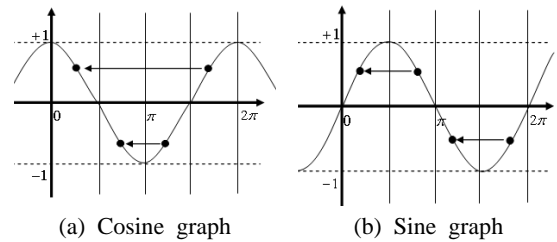


Fig. 2 Characteristics of the trigonometrical function

따라서 위상반전 시에 발생하는 오류값을 수정하기 위한 조건이 필요하며 Fig. 3과 같이  $u_i$  및  $u_j$ 의 부호가 속한 사분면을 정의한 후 식 (8)과 같이 수정된 각도값에 대한 알고리즘을 정의할 수 있다. Fig. 3의 (a)와 같이 1,2 사분면에 역함수값이 존재하면 위상반전 문제는 없고 시계방향으로 전환하기 위한 식 (8-1)을 적용하며, 3,4분면에 존재하면 위상반전에 따라 1,2 사분면의 값으로 나타나므로 실제값으로 수정하기 위한 식 (8-2)를 적용한다.

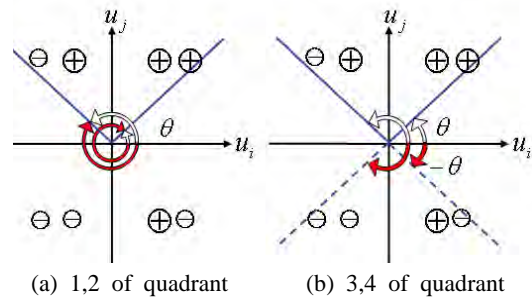


Fig. 3 Solution of phase reversal

If  $u_j > 0$  then  $\theta = -360 + \theta$  (8-1)

ElseIf  $u_j < 0$  then  $\theta = -360 + (360 - \theta) = -\theta$  (8-2)

ElseIf  $u_i > 0, u_j = 0$  then  $\cos^{-1} 1 = 0^\circ$  (8-3)

ElseIf  $u_i = 0, u_j > 0$  then  $\cos^{-1} 0 = -270^\circ$  (8-4)

ElseIf  $u_i < 0, u_j = 0$  then  $\cos^{-1} (-1) = -180^\circ$  (8-5)

ElseIf  $u_i = 0, u_j < 0$  then  $\cos^{-1} 0 = -90^\circ$  (8-6)

삼각함수는  $2\pi$ 를 주기로 하는 주기함수이므로 역함수를 이용하여 각도를 구하면 증분하지 않고  $2\pi$ 이내의 값만 구해진다. 따라서 Fig. 4와 같이 각도가 증분되기 시작하는 구간을 설정하여 이 범위를 지나는 역함수가 나오면 식 (9)와 같이 계산해준다. 즉 1사분면에서 4사분면으로 역함수의 값이 변화할 때마다  $2\pi n$ 씩 회전각에 곱해준다.

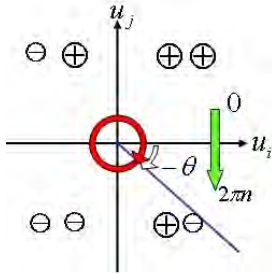


Fig. 4 Solution of incremental angle

If  $u_i(n-1) \geq 0, u_j(n-1) > 0$  and (9)

$u_i(n) > 0, u_j(n) \leq 0$  Then  $\theta = 2\pi n\theta$

### 2.4 기계이송한계의 설정, 매크로기능 및 이송속도 구현

5축가공기마다 직선이송한계와 회전이송한계가 다르므로 Post-Processing 시 각 기계의 규격에서 제시하는 이송한계를 정의해 주고 이를 넘어서는 값이 출력될 경우 에러 메시지를 띄어야 한다. 따라서 Post-Processor의 입력창에 이송한계를 정의해주는 기능을 추가하였다.

각 기계마다 사용하는 NC 데이터의 도입부 및 종료부의 포맷이 다르기 때문에 이에 대한 매크로 기능을 추가하였다. 정의 방식은 각 기계의 도입부와 종료부 포맷을 사용자가 텍스트 파일로 정의하면 NC 데이터의 서두와 종료부에 자동으로 추가되도록 하였다.

## 3. Post-Processor의 구현 및 정확도 검증

### 3.1 Post-Processor의 구현

이상과 같이 정의한 NC 데이터 생성 이론을 통하여 Fig. 5와 같은 Post-Processor를 구현하였다(이하 E-POST). E-POST는 5가지의 대표적인 5축가공 메커니즘을 각각의 탭페이지에서 활용할 수 있도록 했으

며 이송한계 및 회전각도 방식 정의, P/L 및 G/L 값 입력 기능, 도입부와 출력부의 매크로기능 등을 수행할 수 있다.

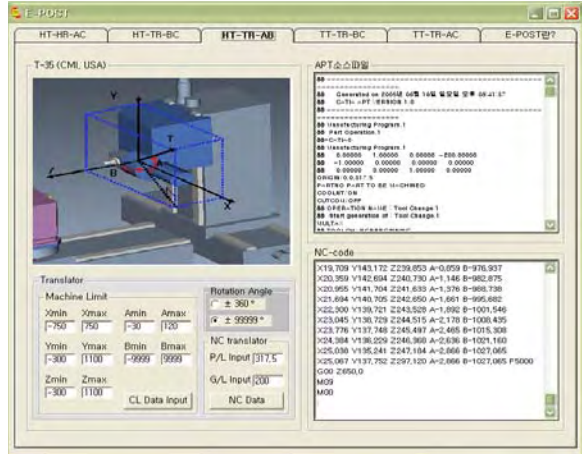
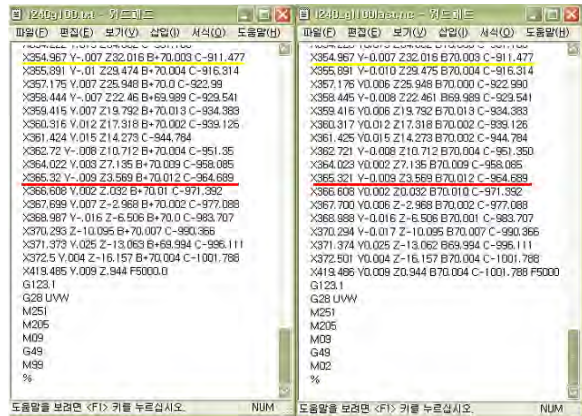


Fig. 5 Developed Post-Processor, E-POST

### 3.2 정확도 검증

E-POST의 값을 검증하기 위하여 기존에 개발된 Post-Processor의 출력값과 상호 비교하였다. 기존의 Post-Processor는 미국의 NCCS사에서 개발한 'P-WORKS'로서 현재 가장 널리 사용되고 있다. 비교결과 Fig. 6과 같이 정확하게 출력값들이 일치함을 알 수 있다. Fig. 6은 HT-TR BC 타입에 대한 NC 변환값으로 좌측은 P-WORKS로 변환한 값이고 우측은 E-POST로 변환한 값이다.



(a) NC Data by P-WORKS (b) NC Data by E-POST

Fig. 6 Output comparison between P-WORKS and E-POST

기존 상용 소프트웨어와의 비교를 통하여 정확도를 검증함과 더불어 실제 5축가공을 통한 정확도 검

증을 수행하였다. E-POST를 통하여 변환한 NC 데이터를 사용하여 Fig. 7과 같이 모의 가공을 수행하여 NC 데이터의 적합성 여부를 검증한 후 Fig. 8과 같은 실제 가공을 수행하였다. 가공에 사용된 5축가공기는 일본의 MAZAK사에서 제작한 I-200 5축복합가공기로서 가공 결과 성공적으로 헬릭스 형상의 테이퍼 켈 가공을 수행할 수 있었다.

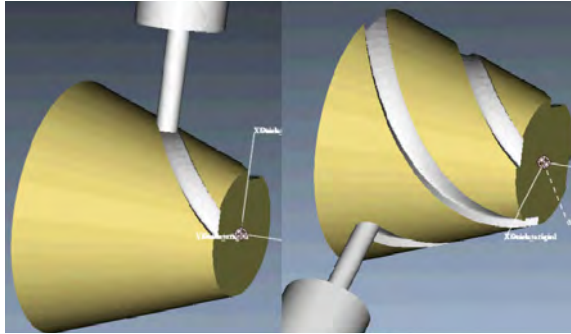


Fig. 7 Simulation of cutting using NC Data generated by the E-POST



Fig. 8 5-axis NC machining using NC data generated by the E-POST

#### 4. 결론

1. 본 연구에서는 5축가공기마다 상이한 메커니즘을 갖고 있어 Post-Processing이 까다로운 점을 감안하여 대부분의 메커니즘을 수용하면서도 사용이 용이한 5축가공용 범용 Post-Processor를 개발하였다.

2. 개발된 Post-Processor는 피벗길이, 게이지길이 입력 및 NC 데이터 도입부와 종료부에 대한 매크로 기능, 360도 이내회전과 무한증분회전의 동시 사용가능 등의 확장된 기능성을 제공하고 있다.

3. NC변환의 정확도를 검증하기 위하여 기존 소프트웨어와의 출력값을 비교한 결과 5가지 메커니즘 모두 정확한 데이터를 출력하였으며 NC 데이터를 사용한 모의가공 및 실제 5축가공 결과 또한 성공적이었다.

#### 후기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. Lee, C. S., Park, K. R., "Generation of 5-axis NC Data for Machining Turbine Blades by Controlling the Heel Angle," Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 4, No. 2, pp. 110-120, 1996.
2. Cho, H. D., Jung, D. I., Choi, D. S., "The Development of Exclusive CAD/CAM System for Impeller Blades Formed by Ruled Surface I," Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers Vol. 10, No. 6, pp. 71-77, 2001.
3. Cho, H. D., Jung, D. I., Choi, D. S., "The Development of Exclusive CAD/CAM System for Impeller Blades Formed by Ruled Surface II," Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers Vol. 11, No. 3, pp. 1-7, 2002.
4. Jang, D. K., Sin, J. K., Hong, S. K., "A Study on Reverse Engineering and 5-axis NC Machining of Impeller," Journal of Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 6 pp. 60-68, 1994.
5. Jun, C. S., Part, J. S., "Development of dedicated CAM system for turbine blades," Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Annual Meeting, pp. 517-521, 1990.
6. Jun, C. S., Cha, K. D., "Optimal Tool Positions in 5-axis NC Machining of Sculptured Surface," Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Vol. 5, pp. 393-402, 2000.
7. Lee, C. S. and Lee, J. P., "Calculating the Feedrate of 5-Axis NC Machining Data for the Constant Cutting Speed at a CL-point," Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers, Vol. 6, pp. 69-77, 2001