

초정밀 비구면 선삭가공용 CAM 소프트웨어 개발에 대한 연구

The Development of CAM Software for Ultra-precision Aspheric Surface

양민양 (KAIST), 이택민, 이성찬(KAIST 원), 이재윤, 김태형 (대우중공업)

M. Y. Yang, T. M. Lee, S. C. Lee(KAIST), J. Y. Lee, T. H. Kim (Daewoo Heavy Industries)

ABSTRACT

As consumer electronics, information, and aero-space industry grow, the demand for aspheric lens increases higher. To enhance the precision and productivity of aspheric surface, a CAM system for ultra-precision aspheric surface needs to be realized. In this study, the developed CAM system can generate NC code for various aspheric surfaces fast and precisely by Tri-arc interpolation method that the location of maximum error is fixed. The cutting condition input module and the NC code verification module are adequate to ultra-precision machining, so that a operator can obtain products fast and easily.

Key words : aspheric(비구면), CAM(캠), ultra-precision(초정밀), Tri-arc interpolation(트라이아크 보간)

1. 서론

오늘날 영상 정보 산업, 항공 우주 산업 등의 발전과 더불어 CD 플레이어, 캠코더용 비구면 렌즈, 그리고 광학용 렌즈 등의 수요가 급증하고 있는 추세이다. 종래의 렌즈 시스템은 많은 경우에 있어서 구면으로 구성되어 있던 반면 오늘날의 렌즈들은 그 기능에 따라 다양한 형상을 이루고 있다. 구면의 광학 소자에서는 구면 수차가 존재하여 빛을 한 점으로 모으는 것이 불가능하였으므로 여러 개의 구면 광학 소자를 조합하여 구면 수차를 제거하였으나, 오늘날에는 장비의 소형화가 필요로 되어 구면 수차가 제거된 비구면 식을 이용한 면이 사용되고 있다. CD 플레이어, 캠코더에 사용되는 렌즈들이 비구면 식을 이용한 형상이며, 광학 렌즈들도 비구면의 일종인 포물면, 타원면, 또는 쌍곡선면 형상이다.

고정도의 렌즈 또는 렌즈의 금형들은 형상 정밀도가 수십 나노미터에 이르는 초정밀 제품으로써 초정밀 다이아몬드 선삭 가공기에서 가공된다. 초정밀 가공에서는 공구의 가공물에 대한 상대 운동이 그대로 가공물에

전사되므로 생성되는 NC Code의 정확도가 중요하다⁽¹⁾. 따라서 NC Code 생성시 주어진 허용 공차를 벗어나지 않는 보간 방법의 적용이 필요로 된다.

초정밀 가공의 또 다른 특징 중의 하나는 일반적인 선삭 가공에 비해 윤곽 가공을 여러 번 해야 한다는 것이다. 가공변질층으로 인해 가공 표면이 나빠지는 것을 피하기 위해 절삭 깊이를 점점 줄이면서 여러 차례의 윤곽 가공을 실시해야 고정도의 가공면을 얻을 수 있다⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾, 따라서 초정밀 가공용 CAM 소프트웨어에 윤곽 가공을 여러 번 할 수 있도록 지원하는 기능이 있다면 사용자가 편리하게 사용할 수 있을 것이다.

초정밀 가공에서는 표면 거칠기를 좋게 하기 위해 작은 이송 속도로 가공을 하므로 가공 시간이 길어진다. 그리고, 초정밀 선삭 가공기와 다이아몬드 공구는 고가이므로 잘못 생성된 공구 경로는 시간적인 손실 뿐만 아니라 고가의 장비를 망가뜨릴 수도 있다. 따라서 공구 경로를 검증할 수 있도록 생성된 NC Code를 시뮬레이션하는 기능 필요로 된다.

본 연구의 목적은 위에서 설명한 초정밀 가공의 특성에 맞추어 허용 공차를 벗어나지 않는 보간 방법, 여러

번의 윤곽 가공을 지원하는 기능, 그리고 NC Code 검증 기능의 개발을 통해 다양한 비구면 형상들을 가공할 수 있는 CAM 소프트웨어를 구현하는 것이다.

2. CAM 소프트웨어의 구조

전체 구조는 Fig.1과 같이 입력부, 처리부, 그리고 출력부로 이루어져 있다. 입력부에서는 가공할 형상, 공구, 원소재, 그리고 가공 조건을 입력받고, 처리부에서는 공구 경로를 계산한 후, NC 코드를 생성 및 검증을 수행한다. 출력부에서는 입력된 데이터와 NC 코드의 수정, 편집이 가능하며 파일로 관리할 수 있도록 구현하였다. Fig.1에서 설명된 전체 시스템을 구현하기 위한 CAM의 전체 메뉴는 Fig.2와 같다.

Figure 메뉴에서는 가공할 형상을 계수의 입력을 통해 정의하고, Tool & Stock 메뉴에서는 공구와 원소재에 대한 입력을 한다. 다음으로 보간 방법을 선택한 후 Basic Condition과 Advanced Condition을 선택해서 가공 조건들을 입력한다. 이처럼 모든 가공에 필요한 정보를 입력한 후 NC Code Generation을 선택하면 NC Code가 생성된다. View 메뉴의 Report를 통해 입력된 정보를 볼 수 있으며, NC code를 통해 생성된 NC Code를 볼 수 있고 편집할 수도 있다. 이와 같이 생성된 NC Code를 Simulation하여 검증한 후 File 메뉴를 통해서 입력된 정보와 NC 코드를 저장하고, 초정밀 비구면 가공기에 전송하여 초정밀 가공을 수행할 수 있다.

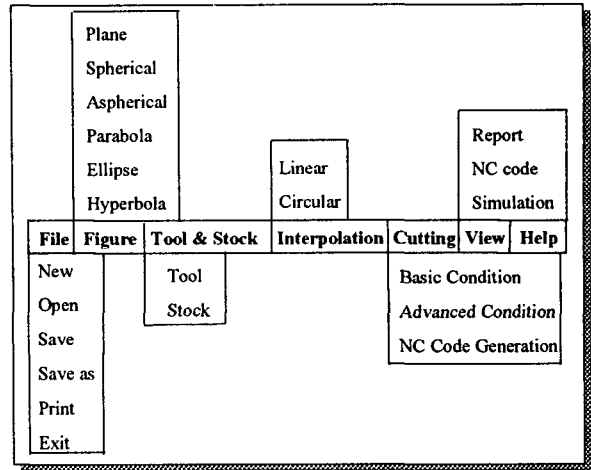


Fig. 2. The Entire Menu Structure

3. 비구면 형상의 종류

비구면 형상은 크게 축대칭 비구면과 비축대칭 비구면 형상으로 나눌 수 있다. 이중 초정밀 비구면 선삭 가공기에서 가공될 수 있는 형상은 축대칭 비구면 형상으로 비구면 계수들로 표현이 되어지는 비구면 식을 이용한 면 이외에 광학계에 사용되는 렌즈나 집광 장치들의 형상으로 포물면, 타원면, 그리고 쌍곡선면이 있다. 이러한 형상들에 대한 방정식과 입력되어야 할 계수들을 Table 1.에 나타내었다. 그 외에 평면과 구면에 대해서도 CAM이 지원하도록 정의를 해놓았다.

CAM이 지원하는 형상	방정식	입력 파라미터
평면	.	.
구면	$Z^2 + X^2 = R^2$	R
비구면 계수를 이용한 면	$Z = \frac{cX^2}{1 + \sqrt{1 - (1+K)c^2X^2}} + AX^4 + BX^6 + CX^8 + DX^{10}$	c, K, A, B, C, D
포물면	$Z = a \times X^2$	a
타원면	$\frac{Z^2}{A^2} + \frac{X^2}{B^2} = 1$	A, B
쌍곡선면	$\frac{Z^2}{A^2} - \frac{X^2}{B^2} = 1$	A, B

Table 1. Figure Input Module of the CAM Software for Ultra-precision Aspheric Surface

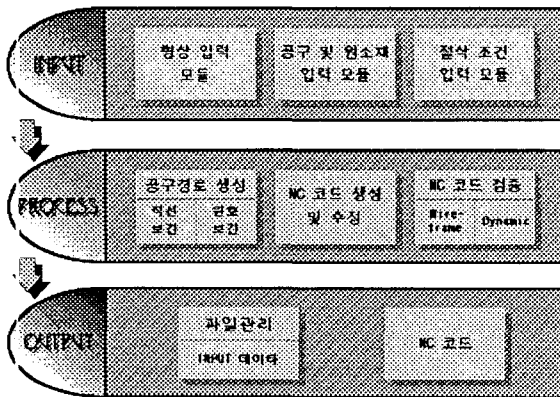


Fig.1. The structure of CAM

4. 비구면 형상의 가공

일반적으로 공작 기계는 직선 가공과 원호 가공을 할 수 있다. 따라서 직선이나 원호로 이루어져 있지 않은 곡선은 허용 공차를 만족하는 직선이나 원호로 보간을 하여야 한다.

직선 보간의 경우 매우 작은 허용 공차를 만족하는 범위에서 직선으로만 형상을 이루기 때문에 많은 블록의 NC Code가 생성된다. 그리고 실제 가공 시에 한 직선마다 공구의 가감속이 발생하여 가공 시간이 길어지며, 스텝 마크도 생길 수 있다.

이에 반해 원호 보간의 경우는 각 원호들의 연결 점들이 1차 미분 값까지 연속이므로 각 원호마다 가감속이 발생하여도 형상 오차가 생길 가능성이 적게되며 직선 보간에 비해 생성되는 NC Code 블록 수도 적어서 공구의 가감속에 의한 가공 시간도 줄어든다. 그러나, 허용 공차를 정확히 만족할 수 있도록 원호 보간을 할 경우 많은 계산을 필요로 하여 NC Code 생성시간이 길어진다는 단점이 있다.

4.1 직선 보간 방법

일반적으로 기존의 직선 보간은 계산의 편리함을 위해 실제 곡선이 원호인 것으로 가정한 후 스텝 길이 (Step Length)를 구하여 보간을 했다. 그러나, 이 방법의 적용은 실제 곡선이 원호가 아니므로 초정밀 가공용 CAM에는 적합하지 않다. 따라서 Fig.3과 같이 실제 곡선과 생성한 직선의 직접적인 비교를 통해 직선 보간을 해야 한다.

처음 시작점(x_1, y_1)을 알 때 다음 점(x_2, y_2)을 정하면 직선 보간의 최대오차점(x_3, y_3)이 결정된다. 최대오차점(x_3, y_3)은 실제 곡선 식의 미분값이 보간한 직선의 기울기와 같은 점이다. 이 최대 오차(e)가 허용 공차와 같아야 하므로 다음 점(x_2, y_2)을 반복 수행 방법(Iteration Method)으로 결정한다.

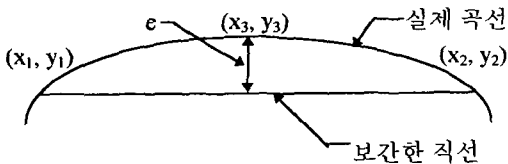


Fig. 3 Linear Interpolation

4.2 원호 보간 방법

지금까지의 원호 보간 방법으로는 바이아크(Bi-arc) 보간법이 널리 사용되어 왔다⁽⁴⁾. 하지만 바이아크 보간에서는 보간 최대오차가 허용공차를 정확히 만족하게 하기 위해 최대오차점을 찾아낼 때 많은 계산량을 필요로 하므로 계산 시간이 오래 걸린다. 이에 본 CAM 소프트웨어에는 바이아크 보간 대신 원호 3개를 이용하여 한 개의 스텝 길이(Step Length)를 이루도록 하여 정확한 허용 공차를 만족할 수 있도록 새로 고안된 트리아크(Tri-arc) 보간법을 적용시켰다.

트리아크 보간법은 가공을 해야 할 곡선의 식을 알 때 Fig.4와 같이 처음 점(p_1)에서 다음 점(p_2)까지 원호 3개를 이용하여 보간하는 것이다. 이때 다음 점(p_2)을 임의로 선택하고 직선 보간 시 발생하는 최대오차점(p_v)을 찾고, 그 점에서 법선을 그어 그 법선 위에 첫번째 원호의 중심이 위치하도록 첫번째 원호를 넣어서 트리아크 최대오차가 첫번째 원호(p_3) 끝에 발생하도록 한다. 이 값이 허용 공차 내에 들 때까지 다음 점(p_2)를 반복 수행 방법으로 찾아서 다음 점이 결정되면 나머지 2개의 원호는 기존의 바이아크를 구성하는 방법대로 한다.

본 트리아크 보간법은 최대오차점을 고정된 위치에 발생시킴에 의해 최대오차점을 찾기 위한 반복 수행이 사용되는 기존의 바이아크 방법에 비해 빠르고 정확하게 보간을 할 수 있게 된다.

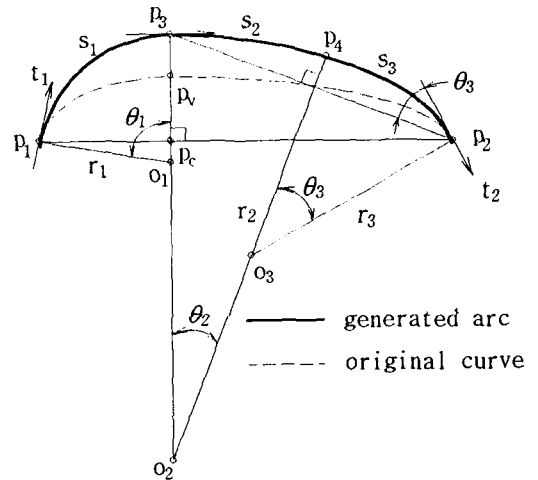


Fig.4 Tri-arc Interpolation

<input type="checkbox"/> 황삭	<input type="checkbox"/> 1차 Contour
절삭 깊이 <input type="text"/>	절삭 깊이 <input type="text"/>
Feed Rate <input type="text"/>	Feed Rate <input type="text"/>
스핀들 속도 <input type="text"/>	스핀들 속도 <input type="text"/>
Offset <input type="text"/>	Offset <input type="text"/>
허용 공차 <input type="text"/>	허용 공차 <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> 절삭유	<input type="checkbox"/> 절삭유
<input type="checkbox"/> 2차 Contour	<input type="checkbox"/> 3차 Contour
절삭 깊이 <input type="text"/>	절삭 깊이 <input type="text"/>
Feed Rate <input type="text"/>	Feed Rate <input type="text"/>
스핀들 속도 <input type="text"/>	스핀들 속도 <input type="text"/>
Offset <input type="text"/>	Offset <input type="text"/>
허용 공차 <input type="text"/>	허용 공차 <input type="text"/>
<input type="checkbox"/> 절삭유	<input type="checkbox"/> 절삭유
<input type="checkbox"/> Once More	<input type="checkbox"/> Once More

Fig.5 Cutting Condition Input Module for Ultra-precision Machining

5. CAM이 지원하는 가공 방식

CAM이 지원해야 할 가공 방식은 원통형 소재가 입력되었을 경우와 이미 황삭을 다른 선반으로 한 비구면 형태의 소재가 입력되었을 경우에 따라 크게 두가지로 구분될 수 있다.

원통형 소재가 입력될 경우 황삭에서부터 마지막 정삭까지 한번에 짚을 수 있는 NC Code가 생성되어야 한다. 이 때 황삭 다음에 여러번의 중삭을 거친 후 정삭을 하여야 하는 데 이들을 윤곽 가공이라 명하였다. 본 CAM 시스템에서는 원통형 소재가 입력되었을 경우 Fig.5에서 황삭, 1차, 2차, 3차 윤곽 가공 버튼을 모두 선택하면 황삭 가공과 3번의 윤곽 가공을 지원할 수 있도록 하였다.

다른 선반에서 황삭을 한 후 초정밀 선반에서는 윤곽 가공만을 하려 할 때에는 1차, 2차, 3차 윤곽 가공 버튼을 선택하여 이것에 대한 NC Code만을 생성할 수 있도록 하였다. 즉, 원하는 가공의 버튼을 누르면 그것에 해당하는 NC Code가 한번에 생성되도록 한 것이다.

6. 가공 시뮬레이션

가공 시뮬레이션은 두가지 기능을 갖도록 하였다.

공구 경로가 제대로 생성되었는지를 시각적으로 확인할 수 있도록 동적인 시뮬레이션 기능을 구현하였다.

입력된 원소재의 형상을 그려 놓고, 다이아몬드 공구의 형상을 공구 반경을 고려하여 그린 후, 이 공구를 NC Code에 따라 움직이도록 하여 원소재와 접치는 부분은 지워 나가는 방식의 기능을 통해 사용자는 공구 경로가 제대로 생성되었는지와 절삭 깊이, 이송 속도 등의 가공 조건이 제대로 주어졌는지를 확인해 볼 수 있다.

시각적인 검증으로도 공구 반경의 간섭에 의한 미세한 과절삭은 식별해 낼 수 없다. 이러한 공구 반경에 의한 간섭은 비구면 형상의 곡률 반경이 공구 반경보다 작은 값을 가지는 부분이 있을 경우에 발생한다. 따라서 비구면 식으로부터 곡률반경의 최소값을 구해서 공구 반경과 비교하는 해석적인 기능을 구현하여 문제를 해결하였다.

7. 결론

본 연구를 통해서 초정밀 비구면 가공용 CAM 소프트웨어를 개발하였다. 가공할 형상으로는 평면, 구면, 비구면 식을 이용한 면, 포물면, 타원면, 그리고 쌍곡선면을 입력 받도록 하였고, 직선, 원호 보간 모두에 대해서 허용공차를 정확히 만족하고 계산 시간도 빠른 알고리즘을 새로이 개발하였다. 또한 초정밀 가공의 특성에 맞도록 가공 조건을 입력하는 기능을 적용하여 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 하였으며, 생성된 NC Code를 편집할 수 있는 기능도 첨가하였다. 이와 같은 과정을 통해 생성된 NC Code를 검증하는 부분도 시각적인 검증과 해석적인 검증을 통해 초정밀 가공에 적합하도록 하였으며, 사용자가 데이터베이스를 구축할 수 있도록 입력한 정보와 생성된 NC Code를 저장하고, 읽을 수 있도록 하였다.

참고 문헌

- (1) N. Ikawa, 1991, Ultraprecision Metal Cutting - The Past, the Present and the Future, CIRP Vol.40/2/1991
- (2) Toshimichi Moriwaki, 1989, Machinability of Copper in Ultra-Precision Micro Diamond Cutting, CIRP Vol.38/1/1989
- (3) T.Sugano, 1987, Diamond Turning of an Aluminum Alloy for mirror, CIRP Vol.36/1/1987
- (4) Bolton, K. M., 1975, Biaric curves, Computer-aided design, Vol.7, No.2, pp.89-92.