

새로운 원호보간법에 의한 공구경로의 생성

양민양*, 손태영**, 조현덕***

An Improved NC-code Generation Method for Circular Interpolation

Min-Yang Yang*, Tae-Young Shon** and Hyun-Deog Cho***

ABSTRACT

This work is concerned with the algorithm of generating a new circular arc interpolation. This research presents a new biarc curve fitting that is a circular interpolation method based on a triarc curve fitting. The triarc method, where a segment span is composed of three circular arcs, using maximum error estimation has the advantage of generating arc splines easily to a given tolerance. The new biarc method is called when the adjacent radii are the same in the triarc method.

In generating the machining data for various cam curves in CNC machining with the biarc method and the new biarc method, the latter accomplished faster NC-code generation, shorter NC-code block formation and machined the same cam profile more efficiently.

Key Words: Circular interpolation(원호보간), Biarc method(바이아크 보간법), Triarc method(트라이아크 보간법), New biarc method(새로운 바이아크 보간법), Allowable tolerance(허용공차), Tool path generation(공구경로 생성)

Nomenclature

p_1 : 시작점(start knot)	l_{ij} : 점 p_i 와 p_j 사이의 거리
p_2 : 끝점(terminal knot)	o_j : j번째 원호의 중심($j = 1, 2, 3$)
p_3 : 첫번째 원호와 두번째 원호 사이의 연결점	r_j : j번째 원호의 반경($j = 1, 2, 3$)
p_4 : 두번째 원호와 세번째 원호 사이의 연결점	S_j : j번째 원호($j = 1, 2, 3$)
p_v : 현 p_1p_2 에 평행한 접선을 갖는 곡선 위의 점	t_j : 특정 위치에 대한 접선($j = 1, 2, 3$)
p_c : 현 p_1p_2 와 p_v 에서의 법선과의 교점	θ_j : j번째 원호의 중심각($j = 1, 2, 3$)
l_{12} : 두 knot사이의 거리	θ_a : 점 p_3 에서의 접선과 현 p_3p_2 와의 사이각
l_{23} : 두번째 원호의 시작점과 끝점까지의 거리	θ_b : 점 p_2 에서의 접선과 현 p_3p_2 와의 사이각
	θ_{ijk} : 선분 $p_i p_j$ 와 선분 $p_j p_k$ 의 사이각

* 정회원, 한국과학기술원 기계공학과
 ** 정회원, 주성전문대학 금형기술학과
 *** 정회원, 경일대학교 기계공학과

1. 서 론

CNC 기계는 요소 부품을 자동으로 가공할 수 있는 생산 장비들 중의 하나이다. CNC 기계는 NC 프로그램이라 불리는 이동지령(move command)과 제어지령(control command)에 의하여 구동되며, 이러한 NC 프로그램은 CAM(computer aided manufacturing)시스템이나, 공구경로 생성방법들을 사용하는 전문적인 NC 프로그래머들에 의해 생성되어 사용되고 있다. 일반적인 CNC 기계에서의 제어모듈(control module)들은 직선보간(linear interpolation)과 원호보간(circular interpolation) 기능들만 가능하다. 직선보간 모드에서는 두 점 사이를 공구가 직선으로 이동하도록 제어되며, 원호보간 모드에서는 두 점 사이를 공구가 원호를 따라서 이동하도록 제어된다.

공구경로의 생성에서 직선보간을 사용하면 아래의 문제점들이 존재한다. 첫째, 공구경로의 불연속성으로 인하여 가공면에 플랫(flat)이 나타난다. 둘째, 가공방향의 잦은 변경으로 절삭공구의 마멸이 촉진된다. 그리고, 유연한 곡선을 가공할 경우에 NC-code의 증가로 인하여 원호보간에 비하여 가공시간이 많이 걸린다.

보간하고자 하는 곡선(designed curve)의 접선방향을 고려하지 않고 공구경로를 생성하는 단순한 원호보간으로는 접선 방향의 급변과 이로 인한 곡률의 불연속이 발생되어 유연한 가공면을 얻기 어렵다. 이러한 문제를 해결한 것이 biarc method⁽¹⁾에 의한 원호보간으로서 주어진 곡선의 접선을 고려하여 기하학적으로 1차 연속성(G1-continuity)이 유지되는 가공면을 얻을 수 있는 특징이 있다.

Biarc method는 접선이 주어진 임의의 두 점 사이에, 주어진 점선에 접하면서 공통접선을 갖는 두개의 원호를 생성하고자 하는 방법이다. 두개의 원호를 결정하는 유일한 해를 구하기 위해서는 6개의 구속조건(constraints)이 필요한데 5개의 구속조건(시작점의 위치와 접선, 끝점의 위치와 접선, 연결점에서 공통접선)은 필요조건으로 주어져 있다. 최적의 biarc를 생성하기 위하여 나머지 1개의 구속조건을 선정하고자 하는 다양한 방법들이 제시된 바 있다⁽¹⁻⁴⁾.

유연한 외형을 가진 캠형상이나, 자유곡면으로 이루어진 금형을 가공할 경우에는 형상 데이터가 곡선이나 곡면으로 주어진다. 이러한 설계 데이터를 CNC 가공하기 위해서는, 가공 후의 형상오차가 허용공차 내에 들도록 공

구경로 수치데이터인 NC-code를 생성해야 한다. 이에 대하여 작업현장(machining workshop)에서는 생산성 향상을 위해 원호생성의 신속화와 NC-code block의 최소화가 요구되고 있다. 그런데 기존의 biarc method에는 아래의 두 가지 문제점이 존재한다. 첫째, 설계된 형상 위의 두 점을 선택하여 두 점 사이의 형상을 대체하는 원호를 생성하고 있지만, 두 점 사이의 설계된 곡선의 형상에 대하여 아무런 고려도 하지 않고 있다. 둘째, 최대오차의 위치에 대한 정보가 없으므로, 최적의 구간(segment span)을 결정하기 위하여 공구경로를 구한 다음에 수치해석 등의 방법으로 최대오차를 계산하는 작업을 반복적으로 수행하여야 하므로 계산량이 많아진다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 두 점 사이의 설계된 형상을 고려하고, 최대오차 평가(maximum error estimation)에 의하여 원호보간을 하는 triarc method를 제시한 바 있다⁽⁵⁾. Triarc method에서는 하나의 구간에 대하여 3 개의 원호를 생성하는 방법이었지만, triarc method에 대한 구속조건을 일부 변경하여 동일한 개념으로 하나의 구간에 2 개의 원호가 생성되는 new biarc method를 제시하고자 한다.

본 논문에서는 new biarc method의 수학적 근거와, 이 방법에 의해 NC-code를 생성하여 CNC 가공에 적용한 결과를 제시하였다. 이 방법은 최대오차를 계산하기 위한 반복수행(iteration) 없이 NC-code를 생성할 수 있으며, 허용공차의 효율적인 사용에 의하여 NC-code 블록을 최소화 시킬 수 있었다. New biarc method의 효용성을 확인하기 위하여, 캠형상 가공을 대상으로 기존의 biarc method와 비교하였다.

2. 최대오차의 위치

본 연구는 유연한 곡선을 원호로 보간하고자 하는 것으로 설계된 캠형상을 효율적으로 가공하는 것을 대상으로 한다. 캠형상은 복잡한 수식으로 표현되며, 캠가공은 직선보간에 비하여 1차 연속성이 보장되는 원호가공이 필수적이다. 일반적으로 캠의 형상은 중동절의 안정된 운동이 요구되므로 곡률이 급변하지 않는 부드러운 곡선으로 이루어져 있다. 이러한 특징에 착안하여 아래의 제한사항에 대하여 다음과 같은 가설을 제기한다⁽⁶⁾.

제한 : 곡률이 급변하지 않고, 변곡점이 없는 구간에 대하여 1차 연속성이 보장되는 원호보간을 하는 것으로 한다.

가설 : 실제 곡선 위의 점들 중 구간의 양단을 잇는 직선 ($\overline{P_1P_2}$)으로 부터 가장 먼 점 (P_v)을 구할 수 있다. 이때 원호보간의 연결점 (P_3)이 이 점 (P_v)의 법선 위에 존재하며, 두 점 P_v, P_3 의 접선방향이 일치하는 경우 이 위치에서 최대오차가 발생한다(Fig.1).

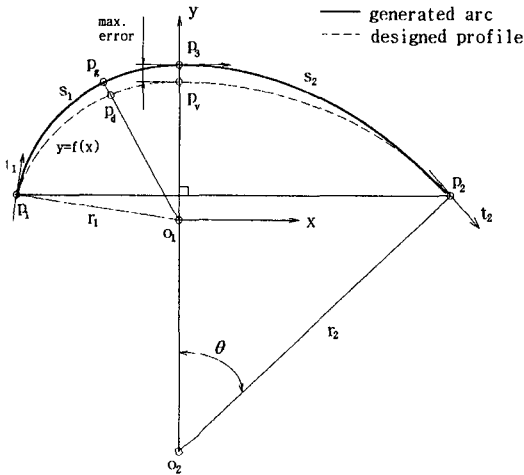


Fig. 1 Maximum error position by the circular interpolation

이 가설은 변곡점과 곡률의 급변이 없는 경우에 대하여 타당함이 쉽게 증명될 수 있다⁽⁶⁾. 이 가설의 중요성은 연결점을 원하는 위치에 존재시키면 최대오차의 발생 위치를 알게 되어 최대오차를 쉽게 구해낼 수 있다는 데에 있다. 이 최대오차가 허용공차와 같도록 원호보간 한다면 허용오차를 충분히 활용하는 공구경로를 생성할 수 있다.

3. New biarc curve fitting

기존의 biarc에서는 최대오차 가설을 적용하면 최대오차의 위치에 대한 조건이 잉여의 구속조건으로 존재하게 되는 문제점이 발생한다⁽⁵⁾. 그러므로 제시된 최대오차 가설을 적용하기 위해서는 보다 많은 자유도가 존재하는 새로운 방법이 요구된다. 이를 위하여 3개의 원호를 사용하여 보간하면 9개의 자유도를 가지므로 최대오차 가설을 만족시키는 원호보간을 수행할 수 있다. 이러한 경우에 아래와 같은 8가지 구속조건이 기본적으로 요구된다.

- 구간의 시작점의 위치 (P_1)
- 구간의 시작점에서의 접선 (t_1)
- 구간의 끝점의 위치 (P_2)

- 구간의 끝점에서의 접선 (t_2)
- 첫번째 원호의 끝점에서의 접선과 두번째 원호의 시작점에서의 접선의 일치
- 두번째 원호의 끝점에서의 접선과 세번째 원호의 시작점에서의 접선의 일치
- 첫번째 연결점(P_3)에서의 접선이 구간의 시작점과 끝점을 연결한 직선에 평행 ($t_3 // \overline{P_1P_2}$)
- 첫번째 연결점의 위치가 양 끝점을 연결하는 직선에서 가장 먼 점의 법선 위에 존재해야 한다

그리고, 마지막 9번째의 구속조건은 두번째 원호와 세번째 원호를 결정하는 최적화에 사용할 수 있다. 이러한 방법은 단일 구간 마다 3개의 원호가 생성되므로 triarc method라고 명명한 바 있다⁽⁵⁾. Triarc method에서는 마지막 구속조건을 두번째 연결점에서의 법선이 두번째 원호의 시작점과 구간의 끝점(terminal knot point)을 연결한 직선에 수직하는 것으로 하였다. 본 연구에서는 마지막 구속조건으로 두번째 원호의 반경 (r_1)을 첫번째 원호의 반경 (r_2)과 같도록 하였다. 이러한 방법은 단위 구간에 3개의 원호를 생성하는 triarc 기법에 기반을 두고 있지만, 첫번째 원호와 두번째 원호의 반경을 같게 하여 결과적으로 단위 구간에 두개의 원호가 생성되도록 하였다. 이러한 기법을 new biarc method라고 칭한다.

이와 같은 구속조건으로 주어진 두 점 사이에 3개의 원호를 결정하는 과정은 다음과 같다. 이에 대한 기하학적 관계는 Fig.2에 제시하였다.

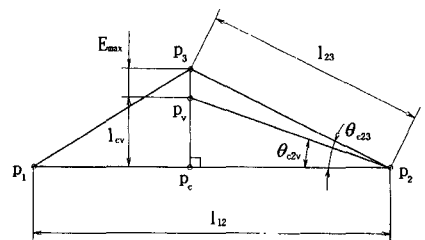
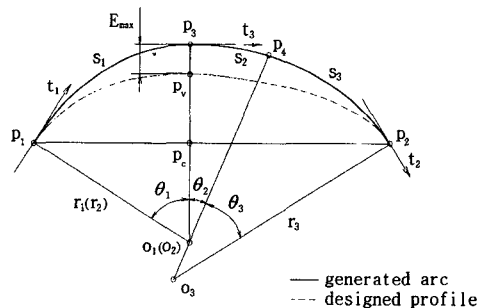


Fig. 2 Geometric relations of the new biarc

이 그림에서 보간해야 할 곡선은 설계에 의하여 주어졌으며, 양단의 절점(knot points)이 임의로 선택되므로 최대오차 가설에 의하여 첫번째 연결점(P_3)의 위치를 결정할 수 있다. 다음에는 주어진 곡선과 보간에 의하여 생성되는 원호 사이의 최대오차를 계산하여야 한다. 이에 대한 수식 전개는 아래와 같다.

$\Delta p_2 p_3 p_v$ 에서 사인 정리(law of Sines)를 적용하면

$$l_{23} = \frac{l_{cv}}{\tan \theta_{c2v} \cos \theta_{c23}} \quad (1)$$

$\Delta o_1 p_1 p_c$ 와 $\Delta p_2 p_3 p_c$ 에서

$$l_{12} = r_1 \sin \theta_1 + l_{23} \cos \theta_{c23} \quad (2)$$

$\Delta p_1 p_3 p_c$ 와 $\Delta p_2 p_3 p_c$ 에서

$$r_1 = \frac{l_{23} \sin \theta_{c23}}{1 - \cos \theta_1} \quad (3)$$

위의 식 (1), (2), (3)을 정리하면

$$\tan \theta_{c23} = \frac{(1 - \cos \theta_1) \left[\frac{\tan \theta_{c2v}}{l_{cv}} l_{12} - 1 \right]}{\sin \theta_1} \quad (4)$$

최대오차인 $\|p_3 p_v\|$ 는

$$E_{\max} = l_{23} \sin \theta_{c23} - l_{cv} \quad (5)$$

이와 같이 계산된 최대오차와 주어진 허용공차가 거의 같은 크기가 되도록 절점 P_2 의 위치를 조정하면서 위의 과정을 반복한다. 절점 P_2 의 위치가 결정되면 주어진 구간(span)에 대한 원호를 생성하기 위하여 3개의 미지

수 (θ_2, θ_3, r_3) 들을 구해야 한다. 이러한 과정에 필요한 기하학적 관계는 Fig.3에 상세히 나타나 있다.

그림에서 $\overline{P_3 P_2} = \overline{P_3 Q_c} + \overline{Q_c P_2}$ 이므로

$$l_{23} = \frac{r_2 \sin \theta_2}{\cos(\theta_a - \theta_2)} + \frac{\gamma_3 \sin \theta_3}{\cos(\theta_3 - \theta_b)} \quad (6)$$

$\Delta p_3 Q_b Q_c$ 와 $\Delta p_2 Q_a Q_c$ 에서

$$\theta_a - \theta_2 = \theta_3 - \theta_b \quad (7)$$

$\overline{O_3 P_4} = \overline{O_3 Q_a} + \overline{Q_a Q_c} + \overline{Q_c Q_b} + \overline{Q_b P_4}$ 이므로

$$r_3 = r_3 \cos \theta_3 + r_3 \sin \theta_3 \tan(\theta_3 - \theta_b) + r_2 \sin \theta_2 \tan(\theta_a - \theta_2) + r_2(1 - \cos \theta_2) \quad (8)$$

식(6), (7)을 식(8)에 대입하면

$$r_3 = \frac{r_2(1 - \cos \theta_2) + l_{23} \sin(\theta_a - \theta_2)}{1 - \cos \theta_3} \quad (9)$$

식(6) 에서

$$r_3 = \frac{l_{23} \cos(\theta_a - \theta_2) - r_2 \sin \theta_2}{\sin \theta_3} \quad (10)$$

식(7) 에서

$$\theta_3 = \theta_a + \theta_b - \theta_2 \quad (11)$$

식(9), (10), (11)을 정리하면

$$\begin{aligned} & r_2 \{ \sin(\theta_a + \theta_b) \cos \theta_2 - \cos(\theta_a + \theta_b) \sin \theta_2 + \sin \theta_2 - \sin(\theta_a + \theta_b) \} \\ & = l_{23} \{ \cos \theta_a \cos \theta_2 + \sin \theta_a \sin \theta_2 - \cos \theta_b \} \end{aligned} \quad (12)$$

식(12)를 정리하면

$$K_1 \sin \theta_2 + K_2 \cos \theta_2 = K \quad (13)$$

where

$$K_1 = r_2 \{ 1 - \cos(\theta_a + \theta_b) \} - l_{23} \sin \theta_a$$

$$K_2 = r_2 \sin(\theta_a + \theta_b) - l_{23} \cos \theta_a$$

$$K = r_2 \sin(\theta_a + \theta_b) - l_{23} \cos \theta_b$$

식(13)을 정리하면

$$\theta_2 = \sin^{-1} \frac{K}{\sqrt{K_1^2 + K_2^2}} - \alpha \quad (14)$$

where

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{K_2}{K_1}$$

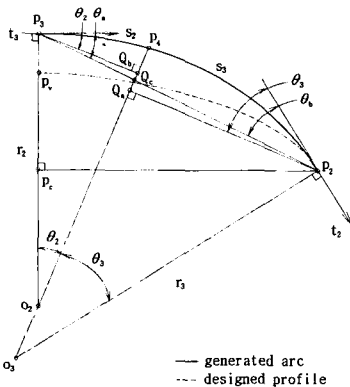


Fig. 3 Detailed diagram for the second arc and the third arc

위의 결과들에 의하여 두 점사이의 곡선구간을 세개의 원호로서 유연하게 보간할 수 있다. 여기서 첫번째 원호와 두번째 원호의 반경이 같으므로 가공을 위한 NC-code는 단위 구간에 대하여 2개의 원호로 생성된다.

4. 가공경로의 생성 및 고찰

New biarc curve fitting의 특성을 확인하기 위하여 기존의 biarc curve와 본 논문에서 제시한 new biarc curve를 비교하였다. biarc의 생성은 Parkinson and Moreton 논문의 부록에 정립된 수식을 기준으로 하였다⁷⁾. 이 방법은 생성되는 두 원호 사이의 반경 차이를 최소화(minimum $|r_1 - r_2|$)하는 조건으로 biarc의 유일해를 구하였다. biarc에서는 P_2 를 임의로 선정하고 생성된 원호와 주어진 곡선과의 사이의 전체영역에서 최대오차를 계산한다. 이러한 과정을 반복하여 최대오차와 허용공차가 거의 같아지는 P_2 의 위치를 구하게 된다. 본 연구에서는 최대오차와 허용오차의 차이가 1% 이내면 서로 같은 것으로 인식하도록 프로그래밍하였다. P_2 에 대한 최적의 위치를 찾기 위한 반복수행은 golden section method로 대략적인 위치를 찾고, 상세한 위치는 bi-section method를 사용하였다⁸⁾.

본 연구에서 제안된 new biarc curve에 의하여 보간을 수행하는 알고리즘은 Fig.4에 제시되어 있다.

제안된 방법에서는 최대오차 평가법⁹⁾을 활용하여 단위 구간을 길게하는 효과가 있으므로, 계산시간의 공정한 비교를 위하여 P_2 에 대한 최적의 위치를 찾기 위한 반복수행은 biarc curve와 마찬가지로 golden section method와 bi-section method를 사용하였다. 제안된 방법의 특징은 최대오차를 반복수행 하지 않고 구할 수 있으며, 간단한 계산 후 최대오차와 허용공차를 비교할 수 있으므로 신속하게 최적의 원호를 생성할 수 있다. 그리고, NC-code block의 수를 줄일 수 있는 장점이 있다.new biarc 보간법과 biarc 보간법을 비교하기 위하여 캠형상 가공을 위한 공구경로의 생성을 예로서 제시하였다.

일반적으로 사용되는 다양한 캠곡선들에 대하여 적용해 본 결과가 Table 1에 제시되어 있다. 설계는 왕복 로울러 증동철을 갖는 radial cam에 대하여 설계된 캠형상을 기준으로 하였으며, 정삭가공에서의 허용공차는 0.1 μ m로 하였다.

이 표에서 제시된 바와 같이 new biarc 보간법을 사용하는 것이 기존의 biarc 보간법에 비하여 1/5 정도의 계

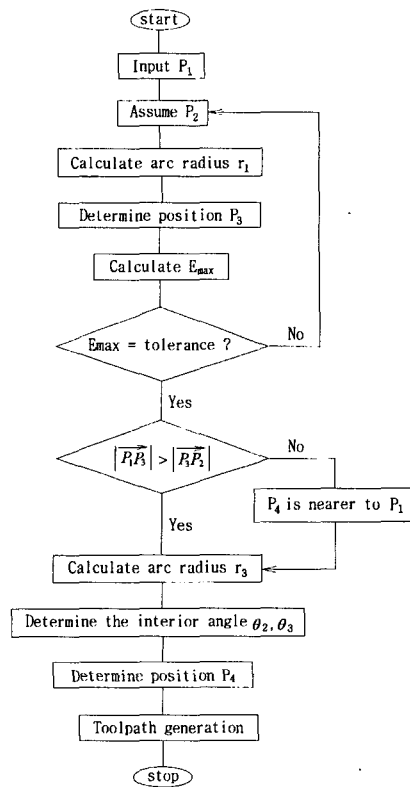


Fig. 4 Flow chart for the new biarc curve fitting algorithm between two knots

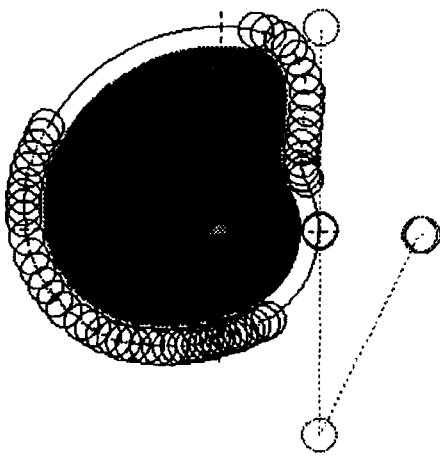
Table 1 Toolpath generation with various cam profiles

Cam curve	NC-code generation time[sec]		NC-code block number[line]	
	Biarc	New biarc	Biarc	New biarc
Constant acceleration	23	5	186	114
Cubic or constant pulse No.1	34	7	220	156
Cubic or constant pulse No.2	26	6	180	118
Cycloidal	32	6	226	150
Frudenstein 1-3 harmonic	31	7	206	160
Gutman 1-3 harmonic	34	7	226	148
Modified trapezoidal	38	7	236	148
Simple harmonic	25	5	180	106

산 시간으로 공구경로가 생성되며, NC-code block 수도 65% 정도로 구현할 수 있다. new biarc 보간법에서 공구경로의 생성시간을 획기적으로 줄일 수 있는 원인은 Fig.4의 알고리즘에서 보는 바와 같이 최대오차를 계산하는데 소요되는 계산량을 줄일 수 있기 때문이다. NC-

code 블록수가 감소되는 이유는 기존의 biarc 보간법은 설계된 곡선의 형태를 고려하지 않지만, new biarc 보간법에서는 설계된 곡선의 형태를 고려하여 생성하므로 단위 구간의 거리를 넓히는 효과가 있기 때문이다. 단위 구간의 시작점과 끝점을 연결한 직선(P_iP_j)과 가정 멀리 떨어진 곡선 상의 위치를 기준으로 연결점(P_j)이 결정되므로, 단위 구간 내에 설계된 곡선에 보다 근접한 공구경로

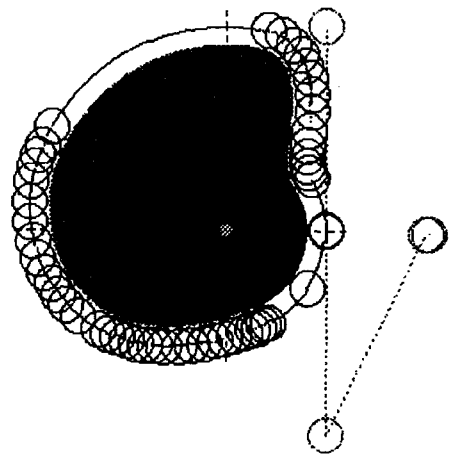
를 생성할 수 있다. 가공에 적용한 예로써 변형사인곡선(modified sine curve)을 사용하는 경우에 대하여 NC-code와 공구가 이동하는 경로를 Fig.5과 Fig.6에 제시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 new biarc method가 기존의 biarc method에 비하여 단위 구간을 넓히는 효과가 있기 때문에 구간의 수가 줄어들었음을 확인할 수 있다.



```

N180 X25.000 Y0.000
N190 G03 X24.146 Y6.478 R25.000
N200 G03 X21.643 Y12.513 R25.000
N210 G03 X21.639 Y12.520 R7.886
N220 G03 X21.497 Y12.764 R114.037
N230 G02 X21.396 Y12.938 R59.587
N240 G02 X21.351 Y13.015 R18.063
N250 G02 X21.293 Y13.117 R18.562
N260 G02 X21.225 Y13.239 R12.912
N270 G02 X21.185 Y13.311 R10.900
N280 G02 X21.094 Y13.482 R10.900
=====
N2440 G03 X8.425 Y-23.624 R60.326
N2450 G03 X8.807 Y-23.463 R51.715
N2460 G03 X9.182 Y-23.301 R51.715
N2470 G03 X10.035 Y-22.919 R43.855
N2480 G03 X10.698 Y-22.604 R35.725
N2490 G03 X11.482 Y-22.209 R32.585
N2500 G03 X12.117 Y-21.868 R27.479
N2510 G03 X12.531 Y-21.633 R25.599
N2520 G03 X12.942 Y-21.389 R25.599
N2530 G03 X21.778 Y-12.277 R25.000
N2540 G03 X25.000 Y0.000 R25.000
    
```

Fig. 5 Generated NC-code and toolpath by biarc curve fitting



```

N180 X25.000 Y0.000
N190 G03 X21.597 Y12.592 R25.000
N200 G03 X21.497 Y12.764 R186.978
N210 G02 X21.369 Y12.983 R51.067
N220 G02 X21.321 Y13.067 R17.488
N230 G02 X21.210 Y13.265 R14.562
N240 G02 X21.131 Y13.412 R10.463
N250 G02 X21.022 Y13.624 R8.589
N260 G02 X20.937 Y13.802 R7.246
N270 G02 X20.823 Y14.063 R6.485
N280 G02 X20.730 Y14.306 R6.028
=====
N1600 G03 X6.752 Y-24.293 R75.005
N1610 G03 X7.361 Y-24.056 R70.175
N1620 G03 X8.206 Y-23.715 R60.642
N1630 G03 X8.723 Y-23.499 R55.124
N1640 G03 X9.464 Y-23.177 R46.879
N1650 G03 X9.939 Y-22.963 R42.995
N1660 G03 X10.680 Y-22.613 R36.524
N1670 G03 X11.893 Y-21.990 R31.651
N1680 G03 X20.498 Y-14.312 R25.000
N1690 G03 X24.912 Y-2.091 R25.000
N1700 G03 X25.000 Y0.000 R25.000
    
```

Fig. 6 Generated NC-code and toolpath by new biarc curve fitting

○ 결과에서 정삭경로에 대한 NC-code를 생성하는 시간은 586 컴퓨터를 사용할 경우 biarc에 의하여 38초가 소요되었지만 new biarc에서는 8초에 생성되었다. NC-code의 길이는 biarc로는 236 블록으로 되었고, new biarc에서는 148 블록으로 나타났다.

위의 두가지 공구경로로 가공된 제품은 Fig.7에 제시된 바와 같이 가공 후의 형상이 동일하고, 표면조도의 상태를 측정 한 결과는 아래와 같다.

For the biarc method : 1.5-2.6[μ m]

For the new biarc method : 1.6-2.4[μ m]

기계가공의 경우 가공물의 정밀도에는 공구경로의 생성 오차 뿐만아니라 절삭력에 의한 공구의 처짐, 가공조건, 공작기계의 정밀도 등에 따른 오차들이 영향을 미친다. 그러므로, 본 연구에서는 가공 작업에서 발생하는 오차를 제외하고, 공구경로의 생성 시 발생하는 오차를 확인하기 위하여 캠을 세밀한 각도로 나누어 오차를 계산해 본 결과 두 방법 모두 허용공차 내에 생성됨을 확인할 수 있었다.

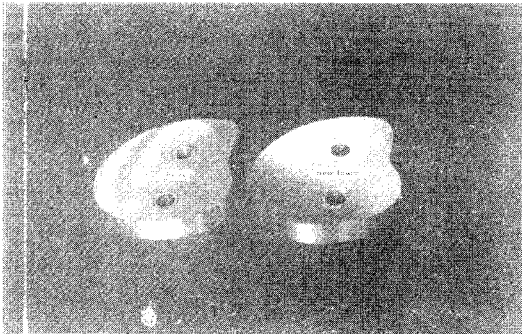


Fig. 7 Machined cams by circular interpolations
(left : biarc method right : new biarc method)

○ 러한 결과에서 new biarc를 사용하는 것이 NC-code 블록 수를 줄여 가공생산성이 향상되면서도, 오차 계산 과정을 단순화하여 계산 시간을 줄일 수 있으므로 biarc에 비하여 효율적이다. 그러므로 3차원 형상인 대형 금형의 가공에서 특히 효과적일 것으로 기대되며, 고속가공으로 가공할 경우 NC-code block의 감소로 인하여 가공시간을 줄일 수 있으므로⁽⁹⁾ 가공생산성을 높일 수 있는 장점이 있다.

5. 결론

본 연구에서는 새로운 원호보간 방법으로서 new biarc

보간법을 제시하였다. 제시된 방법은 최대오차 위치관정법을 제안한 triarc 보간법의 특수한 경우로서, 절점들의 위치와 접선, 그리고 절점들 사이에 설계된 곡선의 형상을 고려하였다. 이 방법은 기존의 biarc 보간법과 마찬가지로 1차 연속성이 유지되면서도 공구경로의 계산시간을 줄일 수 있다. 뿐만아니라 NC-code block 수를 줄여주므로 가공생산성을 높일 수 있는 장점이 있다.

적용 예로서 다양한 캠곡선에 대하여 기존의 biarc 보간법과 비교를 제시하였다. 그 결과 가공경로의 계산시간은 1/5 정도로 줄어들었으며, NC-code block 수는 65% 정도로 줄어들었다. 생성된 공구경로로 캠형상을 가공한 결과 기존의 biarc method와 동일한 가공품위를 갖는 캠을 가공할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Bolton, K. M., "Biarc curves", Computer-aided design, Vol.7, No.2, pp.89-92, 1975.
2. Nutbourne, A. W. and Martin, R. R., "Differential geometry applied to curve and surface design Vol.I : Foundations", Ellis Horwood, 1988.
3. Su, B. Q. and Liu, D. Y., "Computational geometry - Curve and surface modeling", Academic Press, 1989.
4. Schonherr, J., "Smooth biarc curves", Computer-aided design, Vol.25, No.6, pp.365-370, 1993.
5. 양민양, 손태영, 이택민, "캠형상 가공을 위한 새로운 원호보간 방법에 관한 연구", 대한기계학회 추계학술대회 논문집 A, pp.1179-1184, 1996.
6. 손태영, "정밀 캠의 설계 및 가공을 위한 CAD/CAM에 관한 연구", 한국과학기술원 박사학위논문, 1997.
7. Parkinson, D. B. and Moreton, D. N., "Optimal biarc-curve fitting", Computer-aided design, Vol.23, No.6, pp.411-419, 1991.
8. Arora, J. A., "Introduction to Optimum design", McGraw-Hill Book Company, 1989.
9. Vickers, G. W. and Bladley, C., "Curved surface machining through circular arc interpolation", The winter annual meeting of the ASME. Modeling of machine tools : accuracy, dynamics, and control, PED_Vol.45, Nov, pp.25-30, 1990.