

볼기어캠의 4-축 가공에 관한 연구

조현덕^{*,#}, 신용범^{**}

^{*}경일대학교 기계자동차학부, ^{**}대영코어텍(주) 우수기술연구센터

Study of 4-Axis Machining for Ball Gear Cam

Hyun-Deog Cho^{*,#}, Yong-Bum Shin^{**}

^{*}KYUNGIL University, ^{**}DAEYOUNG-CORETEK LTD.

(Received 31 May 2019; received in revised form 23 June 2019; accepted 28 June 2019)

ABSTRACT

The automatic tool changer of a machining center consists of a tool magazine and a cam box, and the core components of the cam box are a roller gear cam and a turret. Recently, the roller gear cam of a cam box has been replaced by a ball gear cam. In this study, the design and machining method of ball gear cam for an automatic tool changer was studied. Additionally, an algorithm for a 4-axis post processing method was established from an instrumental formula by designing a ball gear cam, thus preventing machining at the bottom of ball end mill and enabling the ball on the turret to be driven at the entrance and exit of a curve without collision due to machining errors. In conclusion, machining using only the 4-axis method including the C-axis on a BC-Type 5-axis machine produced the desired ball gear cam.

Key Words : 4-Axis Machining(4-축 가공), Automatic Tool Changer(자동공구교환장치), Ball Gear Cam(볼기어캠), Cam Box(캠박스), Roller Gear Cam(롤러기어캠), Turret(터렛)

1. 서 론

머시닝센터의 자동공구교환장치는 공구 매거진(tool magazine)과 캠박스(cam box)로 구성되며, 캠박스의 주요 핵심부품은 롤러기어캠(roller gear cam)과 롤러가 방사형으로 부착된 터렛(turret)이 있다^[1-3]. 최근 롤러기어캠의 가공시간 단축과 컴팩트한 캠박스를 용이하게 설계할 수 있는 볼기어캠(ball gear cam)이 개발되고 있다^[1]. 볼기어캠은 볼엔드밀(ball end mill) 공구로 가공되며 4-축과 5-축 가공으로 제작할 수 있다.

본 연구는 정숙한 캠운전을 위해 볼기어캠 곡선의 입구와 출구의 일정구간에서 2중 곡선을 적용하여 설계^[2]하는 알고리즘을 개발하였고, 이를 적용하여 볼엔드밀 공구로 볼기어캠을 4-축 가공 방법을 제시한다. 볼기어캠을 4-축 가공하는 방법으로, 첫 번째 방법은 일반적인 가공방법인 공구축 방향을 터렛과 기구적으로 맞는 위치(position)에서 캠 곡선을 4-축으로 가공하는 것이고, 두 번째 방법은 공구축 방향을 볼엔드밀 공구의 중심 끝점에서의 절삭을 피하기 위해 캠의 회전 방향으로의 접선방향과 일정한 각도가 유지되도록 기울어 4-축 가공하는 방법이다.

본 연구의 볼기어캠 설계의 절차와 4-축 가공 포스트프로세싱 절차를 AC타입, AB타입, BC타입

Corresponding Author : hdcho@kiu.kr

Tel: +82-53-600-5335, Fax: +82-53-600-5339

5-축 가공기에 적용할 수 있도록 전용 CAM 소프트웨어를 개발하였으며, BC-타입 5-축 복합가공기^[3,4]로 볼기어캠을 4-축 가공하여 확인하였다.

2. 볼기어캠 설계

2.1 롤러기어캠과 볼기어캠

롤러기어캠과 볼기어캠의 설계상의 특성을 비교하면, Fig. 1과 같이 롤러기어캠은 캠플로어(cam follower)가 방사형으로 설치된 터렛과 조립되어 상호 캠곡선에 따라 회전운동을 발생시키고, 볼기어캠은 볼(ball)이 원주의 홈에 설치된 터렛과 조립되어 상호 캠곡선에 따라 회전운동을 발생시킨다. 따라서 롤러기어캠을 적용할 경우 캠플로어의 길이로 인해 전체 터렛의 외경이 커져 동일한 축간거리를 유지하기 위해서는 롤러기어캠의 직경을 줄여야 하는데 이는 캠 운동의 동특성과 관련하여 원활한 운전에 큰 장애요소가 된다. 반면 볼기어캠은 볼이 박혀 있는 형태이므로 터렛의 전체 외경이 작아져 볼기어캠의 외경을 증가시킬 수 있어 캠 운동이 원활하고 전체 캠박스 설계를 하는데 많은 유연성을 갖는 장점이 있다.

또한 롤러기어캠 기구의 캠플로어는 니들베어링으로 지지되어 자체적으로 강성이 약한 단점이 있으나, 볼기어캠 기구의 볼은 하나의 강체이며 터렛에 구면으로 접촉하는 미끄럼 베어링의 원리이므로 큰 힘을 전달할 수 있는 장점이 있다. 그러나 캠에 접촉하는 부분에서 캠플로어는 외경에 캠곡면과 곡선으로 접촉하여 캠플로어 높이 방향으로 일정한 힘이 걸리지만 볼은 짧은 원호에 대하여 힘이 경사방향으로 걸리므로 최외곽부위에 더 큰 집중력이 걸려 캠

의 표면경도를 높일 필요가 있다. 그래서 롤러기어캠은 SCM440을 사용하여 질화표면경화처리로 마무리할 수 있으나 볼기어캠은 SCM415를 사용하여 칩탄열처리후 마무리 가공을 하여야 한다. 따라서 롤러기어캠은 재세팅을 하지 않고 정삭 후 연삭을 바로 수행하지만 볼기어캠은 칩탄 열처리 후 다시 세팅하여 고경도 초경공구나 CBN공구로 최종 정삭을 하기 때문에 롤러기어캠 가공공정이 더 간편한 장점이 있다, 그러나 롤러기어캠은 단순한 가공공정인 것보다 황삭가공에 훨씬 많은 시간이 걸리는 단점이 더 크다.

롤러기어캠과 볼기어캠의 특성을 비교하여 큰 힘이 걸리지 않는 캠박스의 경우 볼기어캠이 가공비용이 더 절감되며 설계측면의 유연성이 높고 내구성이 높은 장점이 있어 최근 선진국을 중심으로 사용이 증가되고 있다.

2.2 볼기어캠 설계

볼기어캠의 설계방법은 롤러기어캠^[2,3]과 동일하나 곡선의 시작과 끝의 한계영역을 지정하는 부분에서 차이가 있다. 볼기어캠을 설계방법을 단계별로 요약하면 다음과 같다.

(1단계) Fig. 2와 같이 자동공구교환장치의 기능에 맞게 볼기어캠 회전각과 터렛 회전각에 대한 캠선도를 정의한다.

(2단계) 캠기구의 원활한 구동을 위해 캠선도를 매끄러운 곡선으로 피팅(fitting)한다. MS곡선(modified sine curve)을 적용하면 Fig. 3과 같이 표현되고 (1)식으로 정의할 수 있다. 여기서 θ 는 볼기어캠의 회전각이며 ϕ 는 터렛의 회전각이다.

(3단계) Fig. 3의 캠곡선이 볼기어캠의 외곽원주와 만나는 각도의 위치는 Fig. 4와 같이 볼의 접

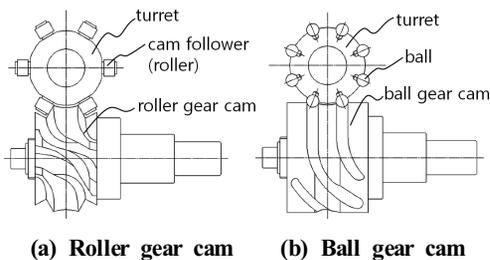


Fig. 1 Mechanism of roller gear cam and ball gear cam

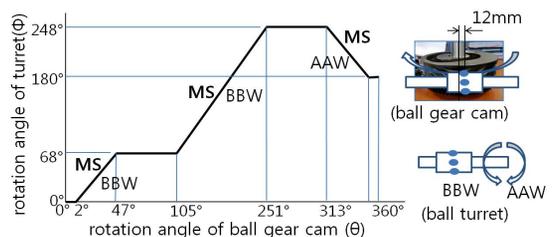


Fig. 2 Cam diagram and rotation direction

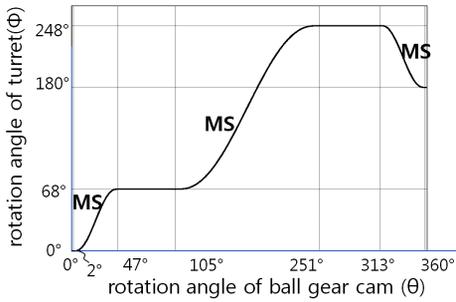


Fig. 3 Cam curve with MS fitting

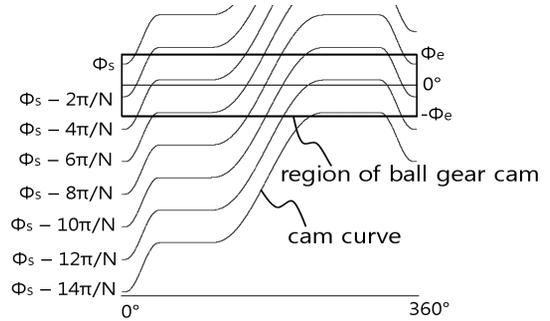


Fig. 5 Relationship between cam and turret angles

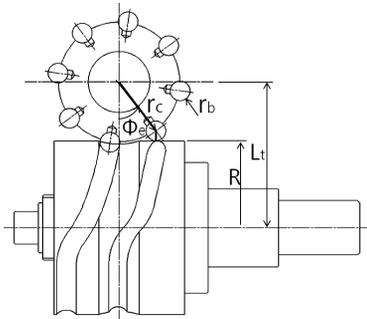


Fig. 4 Geometrical relationship of the moment when the ball deviates from the circumference of the cam

축이 이탈하는 위치로 구할 수 있으며, 이때 터렛의 회전각을 ϕ_e 라고 하면 ϕ_e 는 (2)식으로 된다.

여기서 r_c 는 터렛의 중심에서 볼 중심까지의 거리이고, r_b 는 볼의 반경이고, R 은 캠의 최외곽 반경이며, L_t 는 캠 중심과 터렛 중심간의 거리이다.

$$\phi = f(\theta) \quad (1)$$

$$\phi_e = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{r_c^2 - (L_t - R - r_b)^2}}{L_t - R - r_b} \right) \quad (2)$$

(4단계) Fig. 5와 같이 터렛의 회전각이 $\pm \phi_e$ 가 되는 영역에서 캠곡선이 형성되며, 터렛의 원주상에 회전 가능하도록 조립되어 있는 볼의 개수를 N 개 라면 터렛 중심에서 볼 중심을 잇는 곡선 간격의 각도는 $360^\circ/N$ 이 된다. 1개의 볼이 캠의 홈을 따라 회전운동을 하면 다른 볼도 동일한 회전운동을 하므로 Fig. 5와 같이 여러 개의 캠곡선이 형성되

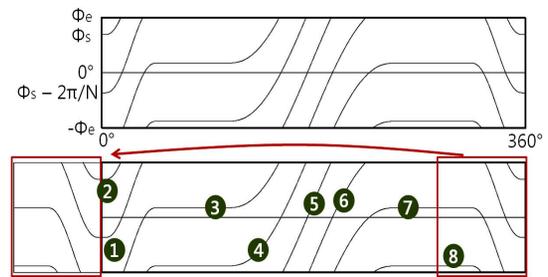


Fig. 6 Ball gear cam curve

어야 한다. 터렛에 설치된 기준 볼의 시작 각도를 ϕ_s 라 하면 볼기어캠 곡선은 Fig. 5의 캠 원주 영역 내에 놓이는 곡선들로 구성된다. 그리고 캠곡선의 개수는 캠선도의 최대 회전각의 크기에 따라 다른데, Fig. 3의 최대 회전각을 248° 라고 하면 Fig. 6과 같이 8개가 된다.

(5단계) 터렛에 8개의 볼이 설치되었다면 Fig. 5의 원리에 의해 Fig. 6과 같이 볼기어캠도 8개의 곡선으로 정의된다. 여기서, 우측 2개의 곡선은 360° 이동하여 좌측으로 보내고 ①~⑧번까지의 번호를 부여하였다. 따라서 캠곡선을 나타내는 (1)식은 8개로 분리하여 개별적으로 표현할 수 있고 각각의 회전각에 인덱스(index) i 를 붙이면 i 번째 곡선의 캠 곡선은 Fig. 5로부터 (3)식과 같이 표현된다. 여기서 ϕ_i 는 i 번째 곡선의 터렛 회전각이고, ϕ_{i1} 와 ϕ_{i2} 은 i 번째 곡선의 터렛 회전각 범위로서 (2)식으로부터 구할 수 있다.

$$\phi_i = f(\theta) + \phi_s - 2\pi(i-1)/N, (\phi_{i1} \leq \phi \leq \phi_{i2}) \quad (3)$$

3. 불기어캠 가공

3.1 불기어캠 4축 가공

불기어캠 곡선의 시작과 끝부분에서 불이 진출 및 퇴출하는 순간에 충돌이 생기는데, 이는 불을 터렛에 고정할 수가 없기 때문에 캠 곡선과 만나기 직전에는 반드시 발생하는 문제이다. 본 연구는 불기어캠 곡선의 시작 위치와 끝나는 위치에서 불이 곡선에 충돌되는 현상을 완화하기 위해 2중 곡선을 적용하여 그 구간을 기존 곡선과 완만하게 접하도록 설계하였으며, 이를 적용한 불기어캠의 4축 가공방법을 개발하였다. 본 연구의 불기어캠의 4축 가공은 BC-타입 5-축 가공기에서 C-축만을 사용하여 가공할 수 있는 원리를 불기어캠의 설계절차와 연속하여 설명하면 다음과 같다.

(6단계) 불기어캠의 원주에 (3)식의 캠곡선을 Fig. 7의 BC-타입 5-축 가공기의 XYZ-축과 C-축을 사용하여 가공하기 위해서는 불기어캠과 터렛과의 기하학적인 조립관계(캠기구)를 정의하여야 한다. 본 연구에서 불기어캠과 터렛의 캠기구는 Fig. 8과 같으며, C-축의 방향은 공작물이 회전하는 것을 기준으로 설정되므로 공작물이 회전하는 방향은 반대가 된다. 따라서 θ 의 +방향은 C-축과는 반대가 된다. 캠곡선의 표현에서 불 중심의 위치 좌표(x_i, y_i, z_i, c_i)는 (4)식이 된다. 여기서 ij 는 i 번째 곡선의 j 번째 위치를 의미한다.

$$\begin{bmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \\ c_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_t - r_c \cos \phi_{ij} \\ b \\ r_c \sin \phi_{ij} \\ \theta_{ij} \end{bmatrix} \quad (4)$$

(7단계) 캠곡선 끝단에서의 2중 곡선을 적용하는 원리를 도시한 Fig. 9와 같이 (4)식을 미세한 구간으로 세분하면 $j=1$ 에서 $j=n$ 까지 n 개의 점의 연결로 정의할 수 있다. 그리고 양 끝단에서 일정 구간을 지정하면 위치 j_1 과 j_2 를 정의할 수 있고, 끝단에서 터렛 중심에서 캠곡선의 위치가 r_c 만큼 떨어져 있는 것을 δ_{max} 만큼 추가로 더 떨어져 있는 것으로 수정하고 점진적으로 작아져 j_1 과 j_2

에서 연속하며 접하도록 하여 매끄러운 새로운 캠곡선을 생성할 수 있다. 여기서 터렛 중심에서 불 중심까지 추가로 떨어진 값을 δ 라고 하면 δ 는 (5)식으로 정의할 수 있으며, 여기서 s 는 시작점에서의 거리이고 s_o 는 2중 곡선이 적용되는 구간의 거리이며 s_j 는 미소요소 j 에서 곡선의 거리를 의미한다. 따라서 (4)식에 (5)식을 적용하면 (4)식은 (6)식으로 수정된다. 본 연구에서 2중 곡선의 적용은 불기어캠 곡선에서 2중 곡선을 적용^[2,4]하는 방법과는 다르다.

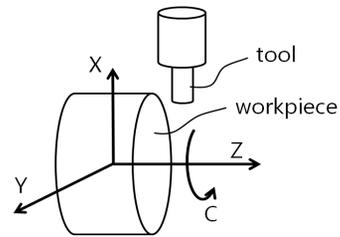


Fig. 7 Coordinate system of 4-axis MCT with C-axis

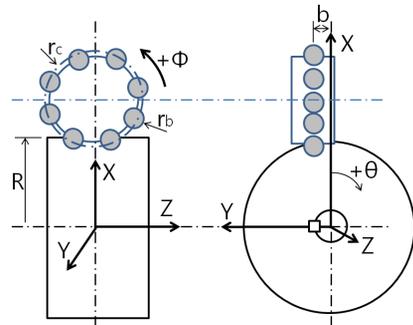


Fig. 8 Ball gear cam mechanism of this study

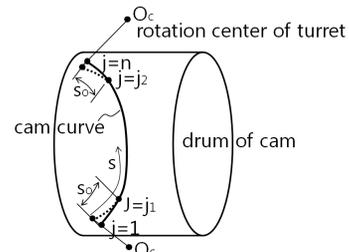


Fig. 9 Principle applying a double curve at the end of a ball gear cam curve

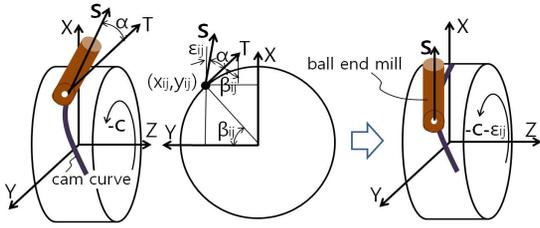


Fig. 10 The principle of keeping the cutter axis direction constant for the tangent direction of the C-axis

$$\begin{aligned} \delta &= \delta_{\max} \left(1 - \sin \left(\frac{\pi s}{2s_o} \right) \right) & 1 \leq j \leq j1 \\ \delta &= 0 & j1 < j < j2 \\ \delta &= \delta_{\max} \left(1 - \sin \left(\frac{\pi (s_n - s_j)}{2s_o} \right) \right) & j2 \leq j \leq n \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \\ c_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_t - (r_c + \delta) \cos \phi_{ij} \\ b \\ (r_c + \delta) \sin \phi_{ij} \\ \theta_{ij} \end{bmatrix} \quad (6)$$

(8단계) 볼기어캠의 가공은 볼엔드밀 공구를 사용하여 가공하는데 볼의 끝부분에서 공구의 회전에 대한 반경이 영(zero)이므로 원주속도가 영(zero)이 되어 절삭이 일어나지 않기 때문에 가공면이 나쁘게 된다. 그래서 본 연구에서는 공구의 끝점이 가공에 참여하지 않도록 공작물을 일정 각도 추가 회전시켜 가공하는 원리를 적용하였다. 즉, 공구축의 방향이 공작물의 가공위치에서 C-축 회전의 접선방향과 항상 일정 각도를 유지하도록 하였는데, Fig. 10과 같이 일정 각도를 유지하기 위해서는 (6)식의 C값에 상당하는 ϕ_{ij} 에 추가 회전각 ϵ_{ij} 을 추가하여야 하고 X,Y,Z 좌표도 C-축의 추가 회전에 의해 변환되어야 한다. 따라서 추가 회전각 ϵ_{ij} 는 (7)식으로 구할 수 있고, 볼엔드밀 중심의 위치좌표인 (6)식은 최종적으로 (8)식으로 표현되며, 여기서 x_{ij} 는 i 번째 캠곡선의 미소요소 j 에서의 x-축 좌표를 의미한다. Fig. 10에서 T 는 C-축 방향에 대한 접선벡터이고 S 는 공구축 방향벡터이다.

$$\begin{aligned} \epsilon_{ij} &= \beta_{ij} - \alpha \\ &= \tan^{-1} \left(\frac{x_{ij}}{y_{ij}} \right) - \alpha \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \\ c_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \epsilon_{ij} & -\sin \epsilon_{ij} & 0 & 0 \\ \sin \epsilon_{ij} & \cos \epsilon_{ij} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \\ c_{ij} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \epsilon_{ij} \end{bmatrix} \quad (8)$$

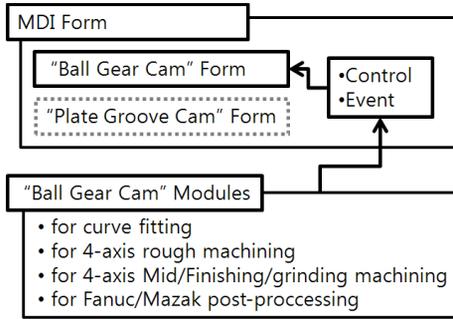
(9단계) 마지막으로 볼기어캠의 4-축 가공을 위해서는 볼엔드밀 공구를 사용하며, (8)식의 결과는 볼엔드밀의 중심을 지나는 경로이므로 가공을 위한 공구의 위치데이터인 CL-데이터(cutter location data)는 (9)식으로 표현된다. 일반적으로 공작기계에서 공구축의 좌표축을 Z-축으로 설정하지만 본 연구에서 적용된 4-축 가공기는 Fig. 7과 같이 5-축 복합가공기를 활용하여 4-축만을 사용하였기 때문에 공구축 방향이 X-축으로 설정되었다.

$$\begin{bmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \\ c_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \epsilon_{ij} & -\sin \epsilon_{ij} & 0 & 0 \\ \sin \epsilon_{ij} & \cos \epsilon_{ij} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \\ c_{ij} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r_b \\ 0 \\ 0 \\ \epsilon_{ij} \end{bmatrix} \quad (9)$$

3.2 설계 및 가공 소프트웨어 개발

본 연구에서 볼기어캠의 설계절차를 적용하고 (4)식과 (8)식을 적용한 볼기어캠의 일반적인 4-축 가공과 (6)식과 (8)식을 적용한 캠선도의 시작과 끝지점에서 2중 곡선을 적용하는 4-축 가공을 하기 위해서 Visual BASIC 프로그램언어로 Fig. 11과 같이 전용 SW를 개발하여 NC파트프로그램을 생성하였다. Fig. 11의 볼기어캠 가공 전용 SW는 본 연구에서의 4-축 가공과 향후 추가 개발될 5-축 가공이 동시에 실현되도록 하였다. Fig. 11(a)는 프로그램 코딩을 위한 폼(form), 모듈(module), 부프로그램(sub-program) 등의 연관성을 나타내며, Fig. 11(b)는 컨트롤(control)들을 보여주며 각각의 컨트롤에는 그 기능에 맞는 이벤트(event)들이 코딩(coding)되어 있다.

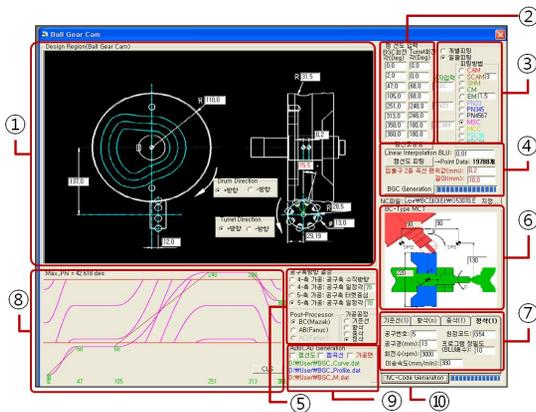
Fig. 11(b)에서 입력조건은 ①설계치수, ②캠선도의 각도, ③캠곡선으로의 피팅방법, ④캠곡선 계



(a) Program structure and elements



(a) 4-axis machining of ball gear cam



(b) Developed software screen

Fig. 11 Program components and software screen

산을 위한 최소길이 설정과 캠곡선 입출구에서의 편위값 및 길이, ⑤공구축 방향 결정으로 4축, 4축 일정 경사각 등 선택 및 공작기계 선정 및 가공공정 선택, ⑥사용 공작기에 맞는 초기 세팅 조건, ⑦절삭조건 등이 있다. 그리고 ⑧볼기어캠 곡선을 확인하는 영역은 ④에 있는 버튼들을 순서대로 클릭하면 나타나고, ⑨결과를 AutoCAD에서 확인하기 위한 기능 선택을 할 수 있고, 최종적으로 ⑩의 버튼을 실행하면 NC-code가 생성된다.

3.3 복합가공기(Mazak Integrex-200IV)에 의한 볼기어캠 4-축 가공

본 연구는 Table 1과 같은 절삭조건으로 마작 복합가공기(Mazak Integrex-200IV), AL재료, $\phi 13$ 초경 볼엔드밀을 사용하여 볼기어캠을 4-축 가공하



(b) Machined ball gear cam

Fig. 12 4-axis machining result of ball gear cam

였다. 볼기어캠 가공은 Table 1과 같이 황삭, 중삭, 정삭의 3개 공정으로 나누어 가공하였으며, 황삭의 경우 가공깊이 1.5mm씩 증가시켜 3회 가공으로 완성하였으며, 중삭과 정삭은 각각 1회 실시하였다.

Fig. 12(a)는 가공 상황을 나타내고 Fig. 12(b)는 가공 결과를 보여주는데, 기대했던 형상으로 가공이 진행되었다. 캠곡선의 입구와 출구에서의 2중 곡선을 적용한 경우와 적용하지 않은 경우에 대해 NC-code를 비교한 결과 Fig. 13과 같이 공구경로에서 차이가 있음을 확인할 수 있었다. Fig. 13은 Fig. 11(b)의 ⑨의 가공면을 체크하여 AutoCAD에 가공경로를 도시한 결과이며, 황삭은 3회에 걸쳐 가공하므로 3개의 곡선을 나타내었고 중삭 및 정삭은 각각 1개의 곡선으로 나타내었다. 좌측 곡선 a_1 은 2중 곡선을 적용하지 않은 경로이고 우측 곡선 a_2 은 2중 곡선을 적용한 경로로서 곡선의 끝단에서 최대편차 만큼 차이가 나고 서서히 일치함을 알 수 있었다.

Table 1 Cutting Conditions

cutting conditions	rough machining	medium machining	finishing machining
cutting tool	ball end mill	ball end mill	ball end mill
tool radius(mm)	13	13	13
cutting speed(rpm)	2,000	2,000	3,000
feed rate(mm/min)	200	200	300
cutting depth(mm)	1.5	0.1	0.2
cutting times(No)	3	1	1
cutting margin(mm)	0.3	0.2	0

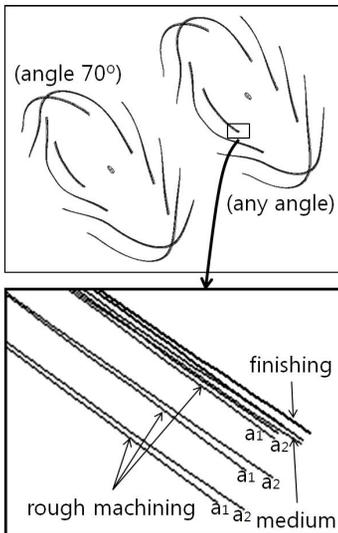


Fig. 13 Tool paths for 4-axis machining of ball gear cam

4. 결론

볼기어캠의 4-축 가공에 관한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 볼기어캠의 설계과정을 수식적으로 전개하고 4-축 가공을 위한 포스트프로세스와 연결하였으며, 캠의 회전방향의 접선벡터와 공구축이 일정한 각도를 유지도록 하여 볼엔드밀 공구의 끝단이 가공에 부정적인 영향을 미치지 못하도록 하였다.
2. 캠곡선의 입출구 영역에서 2중 곡선을 적용하여 볼과의 충돌현상을 최소화할 수 있는 볼기어캠 4-축 가공방법을 개발하였다.
3. 2중 곡선을 적용했을 때와 하지 않았을 때의 캠

곡선의 공구경로 차이를 확인하였다.

4. 본 연구의 이론적 내용을 바탕으로 NC-code를 생성할 수 있는 전용 소프트웨어를 개발하였고, 그 결과를 활용하여 BC-타입 5-축 가공기의 C-축을 사용하여 볼기어캠의 4-축 가공을 실현하였다.

후 기

“이 논문은 산업통상자원부 우수기술연구센터(ATC)사업 지원으로 연구되었음”

REFERENCES

1. Cho, H. D., Park, J. B., Shin, Y. B., Lee, Y. C., Lee, G. S., "A Study on 4-Axis Machining of Ball Gear Cam", Proceeding of the KSMPE Autumn Conference, pp. 46-46, 2018.
2. Cho, H. D., Yoon, M. C. and Kim, K. J. "5-Axis CNC Machining of Roller Gear Cam", Transaction of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 19, No. 6, pp. 739-745, 2010.
3. Cho, H. D., Park, J. B., Shin, Y. B., Lee, K. S., "A Study on 5-Axis Machining of Roller Gear Cam for Rotary Table", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 4 pp.127-134, 2017.
4. Yan, H. S., Chen, H. H., "Geometry design and machining of roller gear cams with cylindrical rollers", Mechanism and Machine Theory, Vol. 29, Issue 6, pp.803-812, 1994.
5. Kim, J. S., Kang, S. K. and Lee, D. S., "A Study on the Machining Characteristics of Prototype of Roller Gear Cam", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 5, pp.60-67, 2012.
6. Jung, Y. H., Lee, D. W., Kim, J. S., Mok, H. S., "NC post-processor for 5-axis milling machine of table-rotating/tilting type", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 130, No. 20, pp.641-646, 2002.