

로터리테이블용 롤러기어캠의 5-축 가공에 관한 연구

조현덕^{*,#}, 박종배^{*}, 신용범^{**}, 이광수^{**}

^{*}경일대학교 기계자동차학부, ^{**}대영코어텍(주)

A Study on 5-Axis Machining of Roller Gear Cam for Rotary Table

Hyun-Deog Cho^{*,#}, Jong-Bae Park^{*}, Yong-Bum Shin^{**}, Kang-Su Lee^{**}

^{*}School of Mechanical and Automotive Engineering, KYUNGIL UNIV., ^{**}DAEYOUNG-CORETEK LTD.

(Received 3 July 2017; received in revised form 24 July 2017; accepted 31 July 2017)

ABSTRACT

A rotary table is a positioning device used in metalworking for the multiple axes of machine tools, and the utilization trend is increasing with machining efficiency. In the construction of a rotary table, the core technology is a power transfer unit that drives the table, typically a gear type and a roller gear cam type. As the rollers installed on the turret column have rolling movement on the contact surface of the roller gear cam, the roller gear cam type has the advantage of low wear, high load, and fast driving. Therefore, it is currently being replaced by a roller gear cam type. In this study, we researched a 5-axis machining method for the roller gear cam on a rotary table and a new method of applying double roller gear cam curve to reduce the noise and shock between the roller and the cam surface. We implemented the 5-axis machining process in this study using software to generate NC-code and machined the roller gear cams using a Mazak Integrex-200IV. We found that the roller gear cam and turret were able to identify mutual touch status and the noise from the operation of the roller gear cam was substantially reduced.

Key Words : 5-Axis Machining(5-축 가공), Roller Gear Cam(롤러기어캠), Rotary Table(로터리테이블)

1. 서 론

최근 복잡한 형상가공의 증가와 가공생산성을 위해 4-축 및 5-축 가공의 수요가 증가하고 있으며, 더불어 로터리테이블(rotary table)의 수요도 증가되고 있다^[1]. 로터리테이블은 테이블을 구동시키는 방법에 따라 기어타입과 롤러기어캠(roller gear cam) 방식으로 대별되며, 기어 방식은 워엄기어 또는 하이포이드기어를 사용하며 롤러기어캠 방식은 롤러기어캠과 터렛(turret)으로 구성된다. 롤러기어캠 방

식은 터렛 원주상에 여러 개 설치되어 있는 롤러기어캠 표면을 구름 접촉하기 때문에 마모가 없어 내구성이 뛰어나고 고속운전이 가능하고 높은 부하를 견디며 터렛과 캠의 축간거리의 조정으로 백래시를 없앨 수 있어 개발 비중이 점차 늘어나고 있다^[1,6].

4-축용 로터리테이블은 1쌍의 롤러기어캠과 터렛이 설치되고 5-축용 로터리테이블은 2쌍이 설치된다^[2]. 롤러기어캠의 5-축 가공을 위한 방법은 4-축용과 5-축용이 동일하므로 본 연구에서는 4-축용의 설계 샘플에 대해 다룬다. 본 연구에서는 로터리테이블용 롤러기어캠의 5-축 가공을 위한 포스트프로세싱을 개발하였고, 캠 산의 시작위치와 끝나는

Corresponding Author : hdcho@kiu.kr

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

위치에서 롤러의 진출입 시 가공공차에 의한 충돌 소음을 제거하기 위해 2중 곡선을 적용하였다. 본 연구에서는 로터리테이블용 롤러기어캠의 5-축 가공을 위해 전용 프로그램을 개발하였고 Mazak Integrex-200IV 5-축 복합가공기로 롤러기어캠을 가공하였으며 4-축용 로터리테이블에 적용하였다.

2. 롤러기어캠 5-축 가공

2.1 롤러기어캠의 기구적 조건

로터리테이블에서 롤러기어캠과 터렛의 구성은 Fig. 1과 같으며, 24개의 롤러를 터렛에 부착하여 롤러기어캠이 1회전 할 때 터렛이 15°회전하도록 하였다. 로터리테이블은 터렛 상부에 테이블이 설치되고 서보모터(servo motor)로 롤러기어캠을 구동하여 운전된다. 롤러들은 서로 15°씩 경사각을 갖고 있으므로 축간거리를 조정하면 백래시(back lash)를 없앨 수 있다^{2,3}. 일반적으로 롤러와 캠 표면의 일정한 접촉을 위해 롤러기어캠의 중심축을 세 방향으로 조절할 수 있도록 해야 하지만⁴, 로터리테이블용 롤러기어캠의 경우 축방향으로만 조절할 수 있게 하고 다른 두 방향에 대해서는 가공정밀도로 맞춘다. 또한 롤러기어캠 방식의 경우 터렛에서 1/24의 감속비를 갖기 때문에 브레이크 장치를 하지 않아도 되며 일반적으로 모터 브레이크만을 사용한다. 서론에서 전술한 장점과 이러한 장점으로 롤러기어캠 방식이 기술적 및 경제적으로 유리하여 최근 산업계에서 많이 개발되고 있다¹¹.

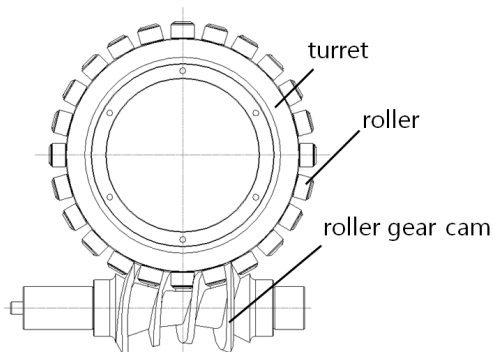
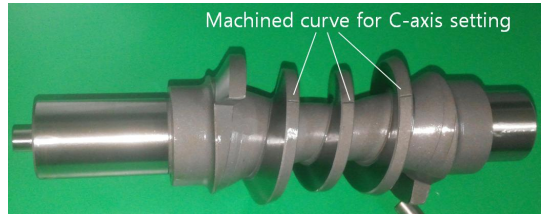


Fig. 1 Composition of roller gear cam and turret



(a) After CNC Turning (b) After rough machining



(c) After heat treatment and shaft grinding



(c) After 5-axis grinding (d) CBN and grinding tool

Fig. 2 Roller gear cams in machining process

2.2 롤러기어캠 제작 공정

본 연구에서 롤러기어캠의 제작공정은 SCM415를 풀림 열처리하여 CNC선삭하고 5-축 머시닝센터에서 0.2mm를 남기고 황삭 및 중/정삭 가공을 하고, 표면경도 Hrc58~62로 침탄 열처리한 후 베어링 등이 연결되는 샤프트(shaft) 영역을 외경 연마하였다. 그리고 5-축 머시닝센터에서 CBN공구를 사용하여 몇 단계의 황삭을 한 후 연마숫돌을 사용하여 마무리 연삭을 하였다. 이러한 일련의 공정에서 열처리 후 롤러기어캠의 연삭공정에서 C-축의 원점을 황삭공정과 동일한 위치에 설정하기 위해 Fig. 2(c)와 같이 황삭공정에서 롤러기어캠의 원주 표면에 센터드릴(center drill) 공구를 사용하여 먼저 원호를 가공하여 두고 연삭공정에서 센터드릴 공구를 다시 불러와 동일한 위치에 도달하도록 하여 원점 C-축을 설정하였다. Fig. 2(a)는 5-축 가공을 하기 전 CNC선삭된 소재를 보여주고, Fig. 2(b)는 황삭 5-축 가공되어 열처리 전 단계의 소재를 보여주고, Fig. 2(c)는 열처리 및 축부 외경연마 후 롤러기어캠의 5-축 5-축 연삭공정 직전 상태를 보여주고 여기서

C-축 재세팅을 위한 커브 가공선을 볼 수 있다. Fig. 2(d)는 CBN공구와 연마 슷돌을 보여주는데, 칩탄 열처리 후 가공량이 많기 때문에 연마 슷돌로는 공구가 밀리는 현상이 크고 공구마모가 많기 때문에 완가공을 하는데 매우 많은 시간과 드레싱 등이 필요하여 CBN 공구를 사용하여 원하는 치수로 가공한 후 최종적으로 연삭작업을 수행하였다.

2.3 롤러기어캠 5-축 가공 경로

전술한 롤러기어캠의 제작공정에서 5-축 황삭, 중삭/정삭 및 연삭공정은 모두 동일한 공정으로 치수만을 변경한 NC프로그램으로 가공할 수 있다^[3,4]. 본 연구에서는 이러한 가공공정을 수행하기 위해 롤러기어캠의 5-축 가공을 위한 포스트프로세싱 방법^[7,8]과 캠의 입구와 출구에서 롤러와의 충돌을 최소화하기 위해 2중 곡선을 적용하였다. Fig. 3은 롤러기어캠과 터렛의 기하학적 관계를 보여주며 다음과 같이 6단계로 설명할 수 있다.

(1단계) 황삭가공을 위한 공구의 위치 계산 단계: 롤러기어캠의 5-축 가공에서 공구의 위치는 Fig. 3과 같이 롤러의 위치와 동일한 기하학적 관계가 성립한다. Fig. 3에서 X,Y,Z,B,C좌표는 BC타입 5-축 가공기의 공작물좌표계이며, 5-축 가공에서 공구의 위치는 롤러 끝단의 위치이므로 (x,y,z,b,c)로 표현할 수 있다. 롤러의 개수(N), 터렛 중심에서 롤러 끝단까지 거리(R), 터렛과 롤러기어캠의 축간거리(L_c)에 대하여 임의의 틸팅각(b)에서 롤러의 위치는 (1)식이 되며 황삭공구경로의 위치좌표이다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_c - R\cos(b) \\ 0 \\ R\sin(b) \\ b \\ Nb \end{bmatrix} \quad (1)$$

(2단계) 롤러기어캠의 좌우측 롤러 경사각 계산 단계 : 가공영역은 롤러가 롤러기어캠과 접촉하는 영역이 되므로 Fig. 3의 우측 기하학적 관계로부터 구할 수 있다. 롤러 직경(D_R), 롤러기어캠 양 끝단의 직경(D₁, D₂), 롤러기어캠 하부 사분점에서 양 끝단까지 거리(L₁, L₂)에 대하여 5-축 가공기의 주

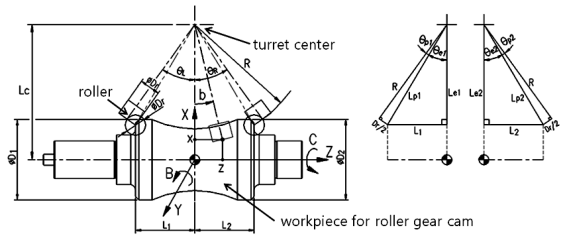


Fig. 3 Geometry of roller gear cam and turret

축이 좌측으로 틸팅할 경우 (-)방향이 되므로 틸팅각 b의 좌측 최대값 θ_L 은 (2)식이 되고, 우측으로 틸팅할 경우 (+)방향이 되므로 틸팅각 b의 우측 최대값 θ_R 은 (3)식으로 표현할 수 있다.

$$\theta_L = -(\theta_{e1} + \theta_{p1}) \quad (2)$$

$$\theta_R = \theta_{e2} + \theta_{p2} \quad (3)$$

여기서,

$$\theta_{e1} = \tan^{-1}(L_1/L_{e1}), \quad \theta_{p1} = \tan^{-1}(D_r/2R)$$

$$L_{p1} = \sqrt{R^2 + (D_r/2)^2}, \quad L_{e1} = \sqrt{L_{p1}^2 - L_1^2}$$

$$\theta_{e2} = \tan^{-1}(L_2/L_{e2}), \quad \theta_{p2} = \tan^{-1}(D_r/2R)$$

$$L_{p2} = \sqrt{R^2 + (D_r/2)^2}, \quad L_{e2} = \sqrt{L_{p2}^2 - L_2^2}$$

이다.

Fig. 3의 기하학적 관계로부터 롤러기어캠을 펼쳐 표현하면 Fig. 4(a)와 같이 되고 중심선으로 표현된 직선은 롤러의 이동경로이면서 공구의 황삭 가공경로를 나타내고, A와 B점은 θ_L 와 θ_R 일 때의 롤러의 중심 위치를 각각 나타낸다.

(3단계) 롤러기어캠의 좌우측 롤러 최대 경사각 계산 단계: 롤러가 최대 기울어지는 최대 경사각은 Fig. 4(b)의 A와 B 위치에서 롤러의 반경만큼 더 진행한 위치인 S와 E 위치를 최대 경사각으로 정의하는데, 이는 롤러기어캠 산의 끝부분을 충분히 가공하기 위해서이다.

Fig. 4(b)의 S점에서의 틸팅각(b)을 θ_s 라고 하면, 롤러의 끝단이 움직인 거리 s_L 은 근사적으로 (4)식으로 표현할 수 있고, $s_L = D_r/2$ 인 θ_s 를 구할 수 있어 S점의 위치를 구할 수 있다. 동일한 방법으로

로 E점에서의 틸팅각(b)을 θ_E 라고 하면, 롤러의 끝단이 움직인 거리 s_R 는 근사적으로 (5)식이 되며, $s_R = D_r/2 \sin \theta_E$ 를 구할 수 있어 E점의 위치를 구할 수 있다. 따라서 틸팅각(b)은 좌측에서 최소값 $\theta_{\min} = -\theta_S$ 이고, 우측에서 최대값 $\theta_{\max} = \theta_E$ 가 된다.

$$s_L = \sqrt{\left(\left(\frac{D_1}{2}\right) \Delta c_L\right)^2 + \left(R \Delta b_L\right)^2} \quad (4)$$

$$= \sqrt{\left(\left(\frac{D_1}{2}\right) N(\theta_S - \theta_L)\right)^2 + \left(R(\theta_S - \theta_L)\right)^2}$$

$$s_R = \sqrt{\left(\left(\frac{D_2}{2}\right) \Delta c_R\right)^2 + \left(R \Delta b_R\right)^2} \quad (5)$$

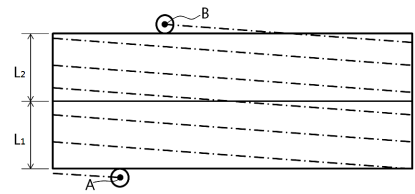
$$= \sqrt{\left(\left(\frac{D_2}{2}\right) N(\theta_E - \theta_R)\right)^2 + \left(R(\theta_E - \theta_R)\right)^2}$$

여기서, $\Delta c_L = N(\theta_S - \theta_L)$, $\Delta b_L = \theta_S - \theta_L$
 $\Delta c_R = N(\theta_E - \theta_R)$, $\Delta b_R = \theta_E - \theta_R$

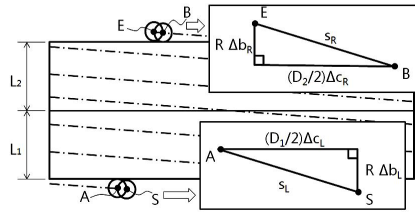
이다.

(4단계) 황삭가공 단계: Fig. 4(c)는 황삭 가공경로를 미소요소로 분할한 것을 보여주며, 임의의 i 위치에서의 가공 좌표점 $(x_i, y_i, z_i, b_i, c_i)$ 는 (1)식으로부터 임의의 틸팅각(b_i)에 대하여 계산할 수 있다. 따라서 Fig. 4(c)와 같이 롤러보다 직경이 작은 황삭용 엔드밀을 사용하여 S점에서 출발하여 E점까지 가공하면 Fig. 4(d)와 같이 된다. 실제 가공에서 롤러의 바닥면이 롤러기어캠과 접촉하지 않도록 하기 위해서는 (1)식의 R을 일정량만큼 증가시켜 대입해야 한다.

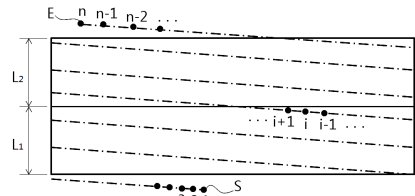
(5단계) 끝단 황삭가공 단계: 황삭가공이 완료되면 롤러기어캠의 산 모형에서 끝단이 날카롭게 되어 롤러를 충분히 지탱할 강성이 부족하므로 양 끝단을 일정부분 가공을 추가로 하는 것이 좋다. Fig. 4(e)의 좌측의 가공은 Fig. 4(c)의 A점에서 롤러반경만큼 떨어진 S점을 구하는 방법과 동일하며 A점으로부터 공구의 반경만큼 떨어진 j점을 구한다. 여기서 j점은 미소요소로 분할된 1, 2, 3, ... n에서 찾아낸 위치를 의미한다. 그리고 회전축 c가 j로부터 360° 후의 위치인 j'를 구하고, j'에서 공구경로의 역방향으로 추적하여 공구의 끝단이 좌측 벽면과 만나는 지점인 j'' 위치를 구한다.



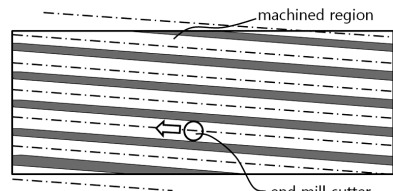
(a) Contact position of roller on the left/right



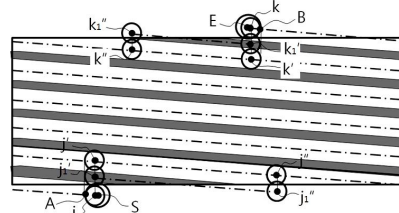
(b) Limit position of tool on the left/right



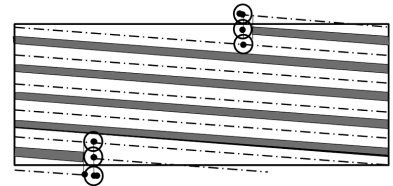
(c) Tool path for rough machining



(d) Geometry after rough machining



(e) Machining method at both ends



(f) Final geometry after rough machining

Fig. 4 Rough machining of roller gear cam

그리고 j 위치와 j' 위치에서의 틸팅각 b 의 증분값을 Δb 라고 할 때 $\Delta b/2$ 을 더하여 j' 에서 j'' 까지 (6)식의 위치값으로 가공한다. 여기서 c_i 는 증분값 $\Delta b/2$ 를 반영하지 않아야 한다.

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ b_i \\ c_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_c - R \cos(b_i + \Delta b/2) \\ 0 \\ R \sin(b_i + \Delta b/2) \\ b_i + \Delta b/2 \\ Nb_i \end{bmatrix} \quad (6)$$

좌측의 공구경로(가공순서)는 $j \rightarrow j' \rightarrow j'' \rightarrow j_1''$ 의 순서이고, 우측의 공구경로는 $k \rightarrow k' \rightarrow k_1' \rightarrow k_1''$ 의 순서이다. 이와 같이 양 끝단에서의 가공을 완료하면 Fig. 4(f)와 같은 형상이 된다.

(6단계) 롤러기어캠 입/출구에서 추가 곡선을 적용한 정삭가공 단계: Fig. 4(f)의 양 끝단 황삭가공 후 일반적인 정삭가공은 Fig. 4(e)의 j 위치에서 출발하여 k' 위치까지와 k 위치에서 출발하여 j' 위치까지 하향절삭으로 가공한다. 이러한 정삭가공 방법은 Fig. 5(a)와 같이 설명할 수 있으며, 롤러 직경(D_r)과 공구 직경(D_t)에 대해 정삭 공구경로를 결정하는 법선방향의 이동위치(δ)는 $(D_r - D_t)/2$ 가 된다. (1)식에서 공구 위치를 나타내는 좌표에 대하여 위치 i 에서 접선벡터와 공구축의 방향벡터를 구하고 가공 진행방향에 따라 계수 $k_s(+1$ 또는 $-1)$ 를 반영하여 법선벡터를 구할 수 있다. 일정한 롤러기어캠의 c -축 방향의 회전에 대하여 주축의 b -축 방향의 회전도 일정하게 움직인다. 따라서 임의의 회전각 b_i 및 c_i 에서의 미소변위를 Δb_i 및 Δc_i 라고 하면, $\Delta b_i = \Delta c_i/N$ 이 성립하고 최종적으로 접선벡터와 접선단위벡터는 (7)식과 (8)식으로 정리된다. 여기서 N 는 롤러의 개수이다.

$$\begin{bmatrix} T_{xi} \\ T_{yi} \\ T_{zi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_s \Delta b_i \sin(b_i) \\ k_s \Delta c_i \\ k_s \Delta b_i \cos(b_i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_s \Delta b_i \sin(b_i) \\ k_s N \Delta b_i \\ k_s \Delta b_i \cos(b_i) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\begin{bmatrix} t_{xi} \\ t_{yi} \\ t_{zi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_s \sin(b_i) / \sqrt{1 + N^2} \\ k_s N / \sqrt{1 + N^2} \\ k_s \cos(b_i) / \sqrt{1 + N^2} \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\begin{bmatrix} C_{xi} \\ C_{yi} \\ C_{zi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(b_i) \\ 0 \\ -\sin(b_i) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$\begin{bmatrix} n_{xi} \\ n_{yi} \\ n_{zi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{xi} \\ t_{yi} \\ t_{zi} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C_{xi} \\ C_{yi} \\ C_{zi} \end{bmatrix} / \left| \begin{bmatrix} t_{xi} \\ t_{yi} \\ t_{zi} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} C_{xi} \\ C_{yi} \\ C_{zi} \end{bmatrix} \right| \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} x_{mi} \\ y_{mi} \\ z_{mi} \\ b_{mi} \\ c_{mi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ b_i \\ c_i \end{bmatrix} + \delta \begin{bmatrix} n_{xi} \\ n_{yi} \\ n_{zi} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ b_i \\ c_i \end{bmatrix} + \frac{(D_r - D_t)}{2} \begin{bmatrix} n_{xi} \\ n_{yi} \\ n_{zi} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

법선벡터를 구하기 위해서는 먼저 공구축의 방향벡터를 구해야 하는데, 공구축의 방향벡터를 C_{xi} , C_{yi} , C_{zi} 라고 하면 임의의 b_i 위치에서 (9)식으로 표현되고, 롤러가 지나가는 경로에 대한 법선 방향벡터는 (10)식으로 된다. 따라서 정삭가공 경로는 (11)식으로 표현된다.

롤러기어캠의 구동에서 롤러가 진출입하는 일정구간에 대하여 추가곡선을 중첩하면 롤러와 캠과의 충돌을 제거할 수 있다. Fig. 5(a)의 ②와 ③은 롤러가 진입 및 진출하는 롤러기어캠 구간(s_0)에서의 정삭가공경로를 보여주고, ①은 중간구간에서의 정삭가공경로를 보여준다. 중간구간에서 정삭가공경로는 Fig. 5(b)와 같이 확대하여 표현할 수 있으며 (11)식으로 구할 수 있다. 입구와 출구에서의 정삭가공경로는 Fig. 5(c)와 Fig. 5(d)로 표현되고, 확대하면 Fig. 5(e)로 표현할 수 있다. 각각의 위치점 $C(i,j,k)$ 에서 i 는 i 번째 가공경로를 의미하는데 로터리테이블용 롤러기어캠의 정삭 가공경로는 1과 2뿐이며, j 는 1과 2로 구분하였는데 하향절삭일 경우 1로 표현하여 공구의 진입부를 의미하고 2는 공구의 진출부를 의미하며, k 는 각 부분에서 공구의 진행순서로 1, 2, 3으로 구분하였는데 1은 시작점이고 2와 3은 추가 곡선구간을 의미한다. 롤러의 진출입부에서 1과 2구간에서는 최대편심량(δ_2 와 δ'_2)만큼 일정하게 편심하여 가공경로가 형성되고, 2와 3구간에서는 2에서는 최대편심량(δ_2 와 δ'_2)이 편심되고 3에서는 중간에서의 편

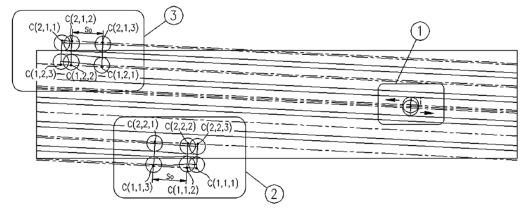
심량과 동일한 일정편심량(δ)만큼 편심되면서 접하는 가공경로가 되어야 한다. 본 연구에서 Fig. 5(b)와 Fig. 5(c)에서 구간설정은 각각 다음과 같이 한다.

- C(1,1,1): Fig. 4(b)의 S점
- C(1,1,2): Fig. 4(b)의 A점
- C(1,1,3): C(1,1,2)점에서 s_0 만큼 떨어진 위치
- C(2,2,1): C(1,1,3)점에서 c 가 -360° 인 위치
- C(2,2,2): C(1,1,2)점에서 c 가 -360° 인 위치
- C(2,2,3): C(1,1,1)점에서 c 가 -360° 인 위치
- C(2,1,1): Fig.4 (b)의 E점
- C(2,1,2): Fig.4 (b)의 B점
- C(2,1,3): C(2,1,2)점에서 s_0 만큼 떨어진 위치
- C(1,2,1): C(2,1,3)점에서 c 가 360° 인 위치
- C(1,2,2): C(2,1,2)점에서 c 가 360° 인 위치
- C(1,2,3): C(2,1,1)점에서 c 가 360° 인 위치

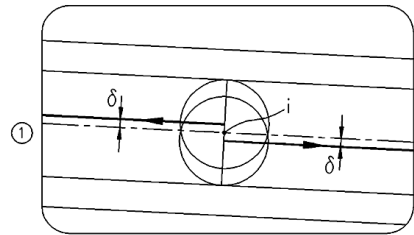
각 구간의 위치는 황삭 가공경로를 미소요소로 분할 한 위치에서 편심량 만큼 법선방향으로 이동한 위치를 의미한다. 정상 가공경로에서 황삭 가공경로로부터의 편심량을 1번 곡선과 2번 곡선에서 동일하게 설정하면 δ_2 와 δ'_2 는 동일하고, 동일한 위치에서 δ_1 과 δ'_1 도 동일하게 된다. 따라서 임의의 위치 s 에서의 δ_1 을 추가 곡선을 더하더라도 각 위치에서 접하는 조건을 만족시키기 위해 (12)식과 같이 설정하였다. 여기서 $\delta = (D_r - D_t)/2$ 이고, δ_2 는 임의로 설정하는 값(예를 들면 0.5mm)이다. 따라서 롤러기어캠의 모든 입출구 구간에서의 정상가공경로는 (13)식이 된다.

$$\begin{aligned} \delta_1 &= \delta + (\delta_2 - \delta) \left| \frac{C(1,1,3) - C(1,1,i)}{C(1,1,3) - C(1,1,2)} \right|^2 \\ &= \delta + (\delta_2 - \delta) \left| \frac{s_0 - s}{s_0} \right|^2 \end{aligned} \quad (12)$$

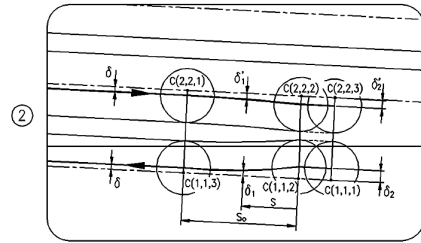
$$\begin{bmatrix} x_{mi} \\ y_{mi} \\ z_{mi} \\ b_{mi} \\ c_{mi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ b_i \\ c_i \end{bmatrix} + \delta_1 \begin{bmatrix} n_{xi} \\ n_{yi} \\ n_{zi} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$



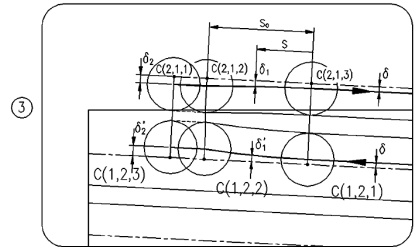
(a) Finishing tool path



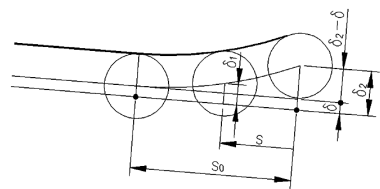
(b) Tool path in middle region



(c) Tool path at entrance region



(d) Tool path at exit region



(e) Overlap curve mechanism

Fig. 5 Finishing tool path of roller gear cam

롤러기어캠의 황삭 가공방법으로 상기 설명과 같이 롤러의 끝단 중심을 지나는 위치에서 1단계 황삭가공을 하고 양 끝단에서 2단계 황삭가공을 실시하며, 롤러의 끝단보다 더 깊게 가공하여 롤러의 바닥면이 롤러기어캠과 접촉하지 않도록 하기 위해서 R을 원하는 깊이만큼 증가시켜 (6)식의 위치 값으로 가공한다. 또한 정삭가공에 있어서도 동일한 방법으로 R을 증가시켜 적용하며, 입출구에서는 (13)식을 적용하고 중간구간에서는 (11)식을 적용한다.

3. 프로그램 및 가공결과

로터리테이블의 가공을 위해 적용된 5-축 가공기는 Mazak Integrex-200IV 5-축 복합가공기를 사용하였으며, Fig. 6은 공작물을 지그 위에 세팅한 상태를 보여준다. 공작물 원점은 Fig. 3과 같이 설정하였으며 기계의 'Set Up' 메뉴에 지정하고 프로그램에서는 G54에 지정하였다. 황삭과 정삭 공구경로를 구하기 위해 Visual BASIC을 사용하여 프로그램하였으며, Fig. 7과 같이 입출력 화면에서 롤러기어캠의 설계조건, 황삭/정삭/연삭/모따기에 따른 절삭조건, 공구의 초기위치 등을 지정하도록 하였다. 연삭가공의 경우 드레싱 후의 스톨 직경에 맞도록 NC-code를 생성하여야 하므로 0.01mm 간격으로 수백개의 프로그램이 자동으로 생성되도록 하여 가공시 프로그램을 선택하여 사용하도록 하였다.

본 연구에서 개발된 Fig. 7의 프로그램으로 NC-code를 생성하여 Fig. 6의 5-축 가공기로 가공한 롤러기어캠은 Fig. 2와 같으며, 특정 모델에 따라

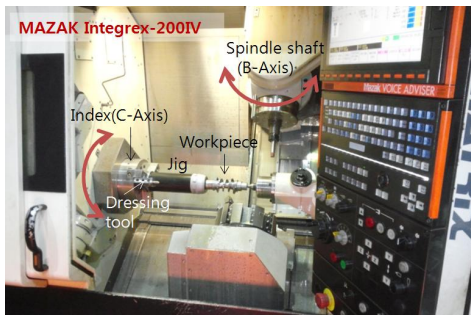


Fig. 6 5-axis machining tool and workpiece setting

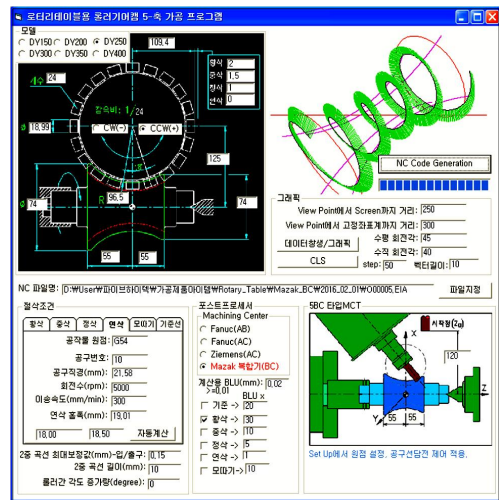


Fig. 7 The program for NC-code generation



Fig. 8 Machined roller gear cams

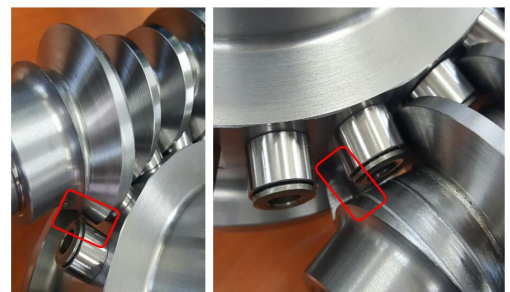


Fig. 9 Turret and roller gear cam

황삭 가공한 롤러기어캠은 Fig. 8과 같이 모두 5종류의 로터리테이블용 롤러기어캠을 가공하여 검증

하였다. 롤러기어캠 입/출구에서 추가 곡선을 적용하여 가공한 롤러기어캠과 터렛을 조립한 결과 롤러가 캠 측면의 입/출구에서 서로 접촉하지 않음을 Fig. 9와 같이 확인할 수 있었다.

4. 결 론

로터리테이블용 롤러기어캠의 5-축 가공에 관한 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 로터리테이블용 롤러기어캠 가공을 위한 5-축 NC-code 생성 과정을 수학적으로 정리하였고, 일련의 과정을 프로그래밍하여 5-축 황삭, 정삭, 연삭, 모따기 등의 공정에 적용하였다.
2. 롤러기어캠의 입/출구에서 추가곡선을 중첩하는 알고리즘을 개발 적용하여 5-축 가공한 롤러기어캠과 터렛을 조립하여 롤러와 캠산의 충돌을 피할 수 있음을 확인하였다.
3. 본 연구의 공구경로 알고리즘을 통해 가공된 롤러기어캠의 열처리 후 최종 연삭 가공공차를 0.01mm 이내 까지도 구현할 수 있었다.

후 기

“이 논문은 미래창조과학부/연구개발특구진흥재단에서 시행한 2015년 대구연구개발특구 특구기술사업화사업의 지원으로 연구되었음”

REFERENCES

1. Muditha Dassanayake K. M. and Tsutsumi M., "High Performance Rotary Table for Machine Tool Applications", Int. J. of Automation Technology, Vol.3, No.3, pp.343-344, 2009.
2. Daeyoung CoreTek Co., Ltd., "Development of Precision Roller Gear Cam Rotary Table", Project Report, pp.12-39, 2017.
3. Cho, H. D., Yoon, M. C. and Kim, K. J. "5-Axis CNC Machining of Roller Gear Cam", Journal of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 19, No. 6, pp.739-745, 2010.
4. Cho, H. D., Yoon, M. C. and Kim, K. J. "5-Axis CNC Machining of Drum Cam with Rotaional Follower - I (Post Processing Method for Rough Machining)", Journal of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 19, No. 5, pp.678-683, 2010.
5. Cho, H. D., Yoon, M. C. and Kim, K. J. "5-Axis CNC Machining of Drum Cam with Rotaional Follower - II (Post Processing Method for Fine Machining)", Journal of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 19, No. 5, pp.684-690, 2010.
6. Cho, S. R., Lee, C. M. and Chung, W. J., "A Study on the Modeling of Roller Gear Cam", Journal of Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 10, No. 3, pp.31-37, 2001.
7. Kim, J. S., Kang, S. K. and Lee, D. S., "A Study on the Machining Characteristics of Prototype of Roller Gear Cams", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 5, pp.60-67, 2012.
8. Jung, H. C., Hwang, J. D., Kim, S. M. and Jung Y. G., "The Postprocessor Technology of for 5-axis Control Machining", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No.2, pp.9-15, 2011.
9. Hwang, J. D., Lim, E. S. and Jung, Y. G., "The Control Technology of Cutter Path and Cutter Posture for 5-axis Control Machining", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.10, No.2, pp.1-8, 2011.
10. Kim, H. J., Jang, J. H. and Kim, N. K., "A Study on Interference Phenomenon of a Machine Tool when 5 Axes Working with Virtual Machine Tool", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.4, No.2, pp.16-23, 2005.
11. Hwang, J. D., Yang, J. S., Yun, S. H. and Jung, Y. G., "Hybrid Technology using 3D Printing and 5-axis Machining for Development of Prototype of the Eccentric Drive System", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol.15, No.2, pp.38-45, 2016.