한국기계가공학회지, 제19권, 제12호, pp. 98~104(2020.12) ISSN 1598-6721(Print)
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 19, No. 12, pp. 98~104(2020.12)ISSN 2288-0771(Online)

https://doi.org/10.14775/ksmpe.2020.19.12.098

볼기어캠의 5-축 가공에 관한 연구

조현덕*,#, 우현구*, 신용범**

*경일대학교 기계자동차학부, **대영코어텍(주) 우수기술연구센터

A Study on the 5-Axis Machining for Ball Gear Cam

Hyun-Deog Cho*,#, Hyun-Gu Woo*, Yong-Bum Shin**

*KYUNGIL UNIVERSITY, **DAEYOUNG-CORETEK LTD.

(Received 29 August 2020; received in revised form 05 October 2020; accepted 06 October 2020)

ABSTRACT

In this work, a study on the 5-axis machining of ball gear cam is conducted which is a continuation of reference [1]. The ball gear cam used in this study delivers motion in conjunction with the ball supported by the turret. Therefore, it requires carbonizing heat treatment and is usually completed using a 4-axis machining with a carbide ball end mill. If the nose part of the ball end mill is not allowed to participate in the machining, then CBN tools without the nose part can be used. However, machining of certain shapes can be carried out only by contacting the ball in some of the areas on either side which can improve the surface of the machining. This requires a 5-axis machining in order to maintain a constant angle for the processing path. Therefore, in this work, the 5-axis machining method is studied in order to maintain the direction of the cutter axis at a constant angle with the tangent direction of the curve-ball gear cam. Furthermore, the 5-axis machining program for the ball gear cam was developed and the machining experiment was completed and verified.

Key Words : 5-Axis Machining(5-축 가공), Automatic Tool Changer(자동공구교환장치), Ball Gear Cam(볼기어캠), Cam Box(캠박스), Turret(터렛)

1. 서 론

볼기어캠(ball gear cam)은 자동공구교환장치의 캠박스(cam box)나 로터리테이블(rotary table) 등에 롤러기어캠(roller gear cam) 대신 사용되는데, 롤러기어캠에 비해 가공시간과 캠구동 시간이 짧아 저하중이 걸리는 제품에서 볼기어캠으로 대체되고 있다[1]. 본 연구는 자동공구교환장치의 캠박스에 사용되는 볼기어캠을 대상으로 하며, 볼기어캠의 가공은 4-축 가공만으로도 가능하나[1] 특정한 경우에는 5-축 가공이 유리한 장점이 있다[2].

볼기어캠은 캠박스의 테렛(turret)에 지지된 볼과 맞물려 운동을 전달하므로 침탄열처리를 해야 하고 열처리 후 초경 볼엔드밀 공구로 4-축 가공하여 제작하는 것이 일반적이다[1]. 그러나 볼엔드밀의 끝단인 노즈(nose) 부분이 가공에 참여하거나 가공면과 접촉하는 공구날의 위치가 다르면 절삭주속도가 변하여 균일한 가공성을 기대하기 어려운데, 볼엔드밀의 동일한 볼 영역이 가공에 참여하고 노즈 부분을 피할 수 있도록 하기 위해서는 5-축 가공이 필요하다[2]. 특히 직경이 작은 볼엔드

Corresponding Author : hdcho@kiu.kr
Tel: +82-010-3544-8528, Fax: +82-53-600-5339

Copyright © The Korean Society of Manufacturing Process Engineers. This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-Noncommercial 3.0 License (CC BY-NC 3.0 http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

밀 형상의 숫돌로 침탄열처리 된 강을 연삭하기는 어렵다. 경사 타입 등속조인트의 경우 공구 형상의 CBN 공구로 5-축 가공을 실시하여 가공면의 양쪽 일부 영역만 볼(ball)과 접촉하도록 하여 안정된 구동이 되게 한다. 이와 같이 열처리 후 볼기어캠의 곡선가공에서도 노즈 부분이 없는 CBN 공구로 가공할 수 있으며 이를 위해서는 반드시 4-축 가공이 아닌 5-축 가공이 필요하다.

본 연구에서는 공구날의 일정 영역이 가공에 참여하도록 하여 가공면을 균일하게 하고, CBN 공구로도 가공이 가능하게 하기 위하여 볼기어캠을 5-축 가공하는 방법을 연구하였다. 5-축 가공을 위한 기준으로 가공경로의 접선방향에 대해 일정한 각도로 공구축의 방향이 유지되게 하였으며, 5-축 가공 프로그램을 개발하여 가공실험으로 검증하였다. 볼기어캠의 캠곡선(cam curve) 설계는 캠 회전운동과 터렛의 회전운동에 대한 캠선도를 바탕으로 터렛과의 기하학적 특성을 적용하였고[1,3,4], 정숙한 캠운전을 위해 볼기어캠 곡선의 입구와 출구의 일정구간에서 2중 곡선을 적용하여 설계하는 알고리즘이 적용되었다[1]. 본 연구의 볼기어캠 5-축 가공 포스트프로세싱을 AB타입과 BC타입 5-축 가공기[5]에 대해 적용하였고 전용 CAM 소프트웨어를 개발하였으며, BC-타입 5-축 복합가공기로 볼기어캠을 5-축 가공하였다.

2. 볼기어캠 설계

자동공구교환장치의 주요 장치인 캠박스의 핵심부품은 롤러기어캠 또는 볼기어캠과 터렛인데, 기어캠 단면에는 평판홈캠(plate groove cam)이 가공되어 있다. 기어캠은 터렛을 회전시켜 암(arm)을 왕복 회전운동을 제어하고 평판홈캠은 암이 상하운동을 하게 한다. 여기서 암의 상하운동은 주축과 공구매거진(tool magazine)에 공구를 탈착 또는 장착시키고 암의 회전운동은 주축과 공구매거진간의 공구를 교환하는 기능을 한다. Fig. 1은 자동공구교환장치의 캠박스 기구로서 볼기어캠과 평판홈캠의 역할을 보여준다. 이러한 두 캠의 캠곡선의 상관관계는 Fig. 2와 같으며, 볼기어캠과 평판홈캠은 일체형이므로 캠이 회전하면 터렛과 연결된 암축(arm shaft)은 BBW방향

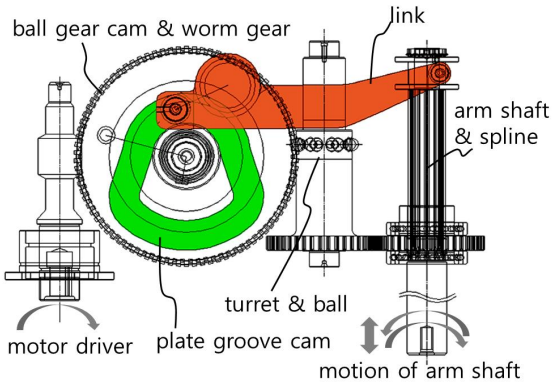


Fig. 1 Cam box mechanism of automatic tool changer

으로 회전하고 이 때 평판홈캠은 정체하고 있다가 암축의 회전이 멈춘 후 암축을 아래로 밀어 내는데, 이 동작은 암이 공구홀더와 매거진 소켓에 있는 공구를 뽑는 동작을 의미한다. 캠이 계속하여 회전하면 터렛과 연결된 암축이 180° 회전하여 암 양측에 있는 공구의 위치를 바꾸고 암축의 회전이 멈추면 평판홈캠에 의해 암축이 상부로 올라가면서 주축과 매거진 소켓에 공구홀더를 장착한 후 볼기어캠의 계속적인 회전으로 암축을 반대방향인 AAW방향으로 회전시켜 암이 공구홀더를 빠져나오게 하여 공구교환 동작을 모두 마치게 된다. 여기서 볼기어캠과 평판홈캠은 공구홀더가 경사져 있으므로 회전과 직선운동이 일부 동시에 이루어지기도 한다.

볼기어캠과 평판홈캠의 설계에서 상호 곡선의 시작점은 Fig. 1의 전체 기구설계에서 위치점을 결정하

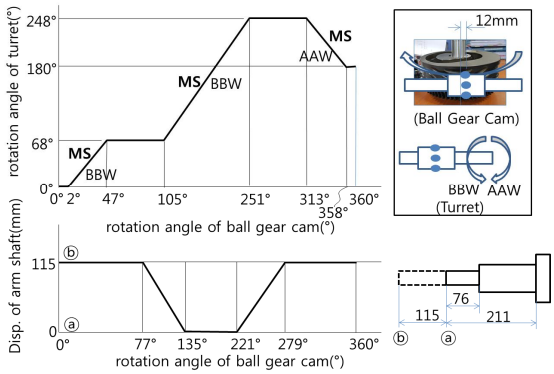


Fig. 2 Relationship between cam curves of ball gear cam and plate groove cam

며, 일반적으로 가공지그와 연계하여 맞춤 핀 구멍(pin hole)이나 키이(key)의 위치를 기준으로 일정 회전각도인 시작점을 설정한다.

볼기어캠의 설계방법은 롤러기어캠[3,4]과 유사하며 단계별로 요약하면 다음과 같다[1].

(1단계) 캠선도 정의
(2단계) 캠선도 피팅(fitting)
(3단계) 볼의 접촉이 이탈하는 위치 계산
(4단계) 터렛 회전각 $\pm\phi_e$ 영역의 캠곡선 형성
(5단계) 터렛의 볼 개수에 해당하는 캠곡선 형성

각각의 회전각에 인덱스(index) i를 붙이면 i번째 곡선의 캠 곡선은 (1)식으로 표현되며, 터렛에 8개의 볼이 지지되어 있을 경우 Fig. 3과 같이 8개의 곡선이 정의된다[1].

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

ϕ_i : i번째 곡선의 터렛 회전각
ϕ_{i1}, ϕ_{i2} : i번째 곡선의 터렛 회전각 범위
θ : 볼기어캠 회전각
ϕ : 터렛 회전각
ϕ_s : 터렛 회전각의 시작각
N : 터렛에 지지되어 있는 볼의 개수

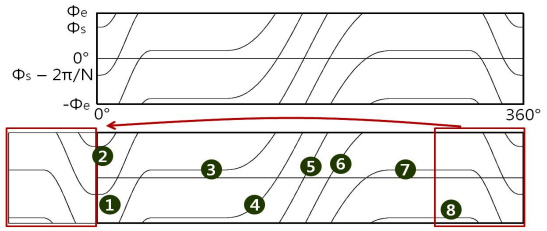


Fig. 3 Ball gear cam curve

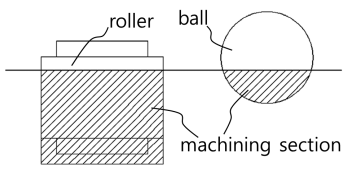
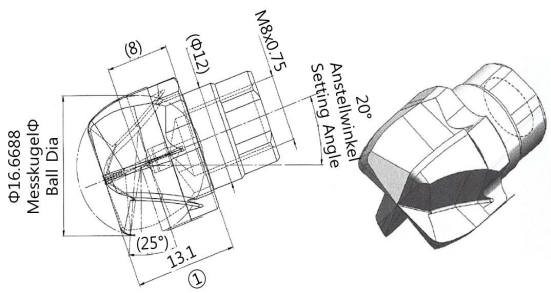


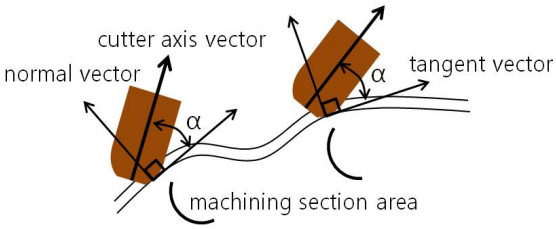
Fig. 4 Comparison of machining sections of roller gear cam and ball gear cam

3. 볼기어캠 5-축 가공

롤러기어캠과 볼기어캠의 중요한 특징은 고하중이 필요로 하는 캠박스의 경우 롤러기어캠을 사용하고, 경하중의 경우 공구교환시간이 짧아 최근 볼기어캠을 사용한다. Fig. 4에서와 같이 볼기어캠이 가공영역이 훨씬 작아 가공시간이 짧게 됨을 알 수 있다. 그러나 볼기어캠 제작공정의 주요 특징은 SCM415 재료를 사용하며 침탄 열처리를 해야 한다. 침탄 후 초경 볼엔드밀을 사용하여 최종 마무리 가공을 할 수 있으나 공구마모가 많아 양산에서는 CBN 공구를 사용한다. Fig. 5는 CBN 볼엔드밀 공구와 일정각도로 기울여 5-축 가공하는 방법을 보여준다. 볼엔드밀 끝단의 노즈가 있을 경우에도 노즈부분에서의 가공을 피하고, 공구의 동일한 영역에서 절삭을 하는 것이 동일한 원주속도로 가공하므로 균일한 가공면을 얻을 수 있기 때문에 본 연구에서는 Fig. 5(b)와 같이 공구축벡터가 접선벡터에 일정각도를 유지하는 5-축 가공방법에 대해 포스트프로세싱 절차를 개발하였으며 이를 적용하는 전용 소프트웨어를 개발하였고 NC 프로그램을 출력하여 5-축 가공기로 가공실험을 하였다.



(a) CBN ball end mill insert with special shape



(b) 5-axis machining method of cam curve

Fig. 5 CBN ball end mill and 5-axis machining method

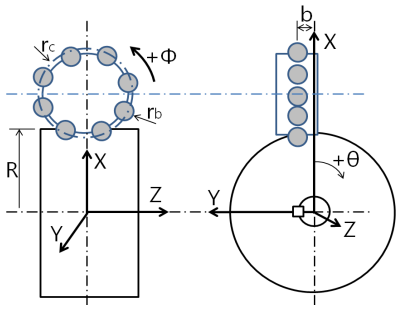


Fig. 6 Ball gear cam mechanism of this study

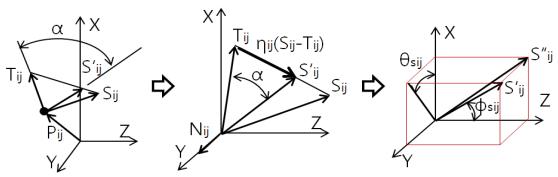


Fig. 7 Procedure for obtaining cutter axis vector

3.1 볼기어캠 5-축 가공방법

본 연구의 볼기어캠 5-축 가공을 위해 BC-타입 5-축 복합가공기를 사용하였다. 곡선의 시작과 끝 부분에서 볼이 진출 및 퇴출하는 순간에 작용력 충격이 발생하는데 이를 완화하기 위해 입구와 출구에 대해 2중 곡선을 적용하였다[1]. 2중 곡선은 일정 구간에서 기존 곡선과 완만하게 접하도록 새로운 곡선을 추가하여 중첩 설계하는 것으로 롤러기어캠의 경우 측면에 대해 적용하지만 볼기어캠에 대해서는 캠의 회전중심을 향하는 반경에 대해 적용하였다. 본 연구의 BC-타입 5-축 복합 가공기에서 볼기어캠의 5-축 가공방법을 설계절차[1]와 연속하여 설명하면 다음과 같다.

(6단계) 공간상에 있는 곡선의 임의 위치 점에서 접선벡터에 대한 법선벡터는 하나의 법선평면을 구성하여 무수히 많은 법선벡터가 존재한다. 공구 축의 방향은 특정평면이 존재해야 하므로, 본 연구의 5-축 가공에서는 볼기어캠 곡선은 터렛을 회전시키는 역할을 하므로 곡선의 임의의 위치에서 터렛의 회전중심을 지나는 벡터와의 접선벡터가 이루는 평면 내에서 공구축의 방향을 결정하였다. 우선 공구축의 방향이 터렛의 회전중심을 향하도록 가공하는 공구의 중심 데이터를 입출구에서 2중 곡선의 중첩을 반영하여 적용하면 다음과 같다[1]. 여기서 L_t는 캠과 터렛 중심과의 거리이고 r_c는 볼중심에 대한 터렛의 반경이며 δ는 입출구 이중곡선의 반경증가량이며 ij첨자는 i번째 곡선에 대한 j번째 곡선 데이터를 의미하고, θ_{ij}와 ϕ_{ij}는 볼기어캠과 터렛의 회전각이며 b는 Fig. 6과 같이 터렛이 설치된 편심거리이다.

$$\begin{bmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \\ b_{ij} \\ c_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_t-(r_c+\delta_{ij})\cos\phi_{ij} \\ b \\ (r_c+\delta_{ij})\sin\phi_{ij} \\ \phi_{ij} \\ \theta_{ij} \end{bmatrix} \tag{2}$$

(7단계) 볼의 중심을 기준으로 하는 곡선의 임의의 위치 $\boldsymbol{P}_{ij}$에서 접선벡터 $\boldsymbol{T}_{ij}$와 터렛의 회전중심을 향하는 벡터 $\boldsymbol{S}_{ij}$와 공구축의 방향을 표시하는 벡터 $\boldsymbol{S}_{ij}'$의 관계는 Fig. 7과 같이 표시된다. 공구축 벡터 $\boldsymbol{S}_{ij}'$는 접선벡터 $\boldsymbol{T}_{ij}$와 터렛의 회전중심을 향하는 벡터 $\boldsymbol{S}_{ij}$가 이루는 평면에 놓이게 되므로 (3)식과 (4)식을 사용하여 접선벡터 $\boldsymbol{T}_{ij}$와 일정한 각도 α를 유지는 η_{ij}를 구하여 공구축 벡터 $\boldsymbol{S}_{ij}'$를 구할 수 있다. 여기서 접선벡터 $\boldsymbol{T}_{ij}$는 볼기어캠 곡선 데이터의 위치 변화에 따른 좌표변환 등을 통해 구할 수 있다. Fig. 7과 같이 BC-타입 5-축 가공기에서 공구축 벡터 $\boldsymbol{S}_{ij}'$에 의해서 변화되는 B-축과 C-축의 각도변화량 ϕ_{sij}와 θ_{sij}를 구하면 (5)식과 (6)식이 된다. 따라서 (2)식에 추가 회전각를 반영하면 볼엔드밀 중심의 좌표값은 (7)식과 같이 된다.

$$\boldsymbol{S}_{ij}' = \begin{bmatrix} S_{ijx}' \\ S_{ijy}' \\ S_{ijz}' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{ijx}+\eta_{ij}(S_{ijx}-T_{ijx}) \\ T_{ijy}+\eta_{ij}(S_{ijy}-T_{ijy}) \\ T_{ijz}+\eta_{ij}(S_{ijz}-T_{ijz}) \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\boldsymbol{S}_{ij}' \cdot \boldsymbol{T}_{ij} = |\boldsymbol{S}_{ij}'|\,|\boldsymbol{T}_{ij}|\cos\alpha \tag{4}$$

$$\phi_{sij} = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{|\boldsymbol{S}'_{ij}|^2 - S'^2_{ijz}}}{S'_{ijz}}\right) \tag{5}$$

$$\theta_{sij} = \tan^{-1}\left(\frac{S'_{ijy}}{S'_{ijx}}\right) \tag{6}$$

$$\begin{bmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \\ b_{ij} \\ c_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{sij} & \sin\theta_{sij} & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\theta_{sij} & \cos\theta_{sij} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_t - (r_c + \delta_{ij})\cos\phi_{sij} \\ b \\ (r_c + \delta_{ij})\sin\phi_{sij} \\ \phi_{sij} \\ \theta_{ij} + \theta_{sij} \end{bmatrix} \quad (7)$$

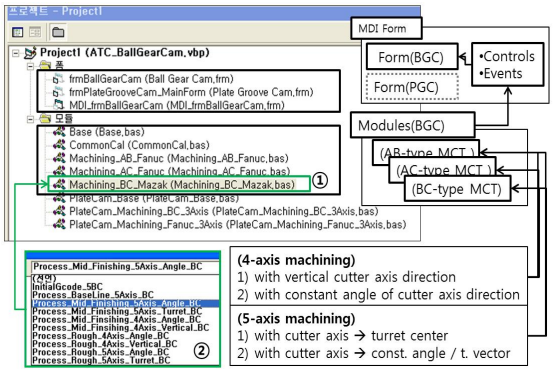
(8단계) (2)식과 (7)식의 좌표위치는 모두 볼엔드밀 공구의 중심에 대한 위치 데이터이므로 공구의 끝점에 대한 CL-데이터를 구해야 한다. BC-타입 5-축 가공기에서 4-축 가공에 대해서는 x-방향으로 $-r_b$만큼 아래쪽에 위치하지만, 5-축 가공에서는 B-축의 회전각 ϕ_{sij}에 의해 공구 끝점의 위치는 경사위치에 존재하므로 (7)식은 (8)식으로 변경된다. 여기서 볼엔드밀 공구의 반경은 터렛에 지지되는 볼의 반경과 동일한 것으로 한다. 그리고 볼엔드밀 공구의 끝점에 대해 공구길이보정을 하고 프로그램에 공구선단점제어 방식을 지정할 경우 공구끝점의 CL-데이터로 NC 프로그램을 작성해야 한다.

$$\begin{bmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \\ z_{ij} \\ b_{ij} \\ c_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta_{sij} & \sin\theta_{sij} & 0 & 0 & 0 \\ -\sin\theta_{sij} & \cos\theta_{sij} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_t - (r_c + \delta_{ij})\cos\phi_{sij} \\ b \\ (r_c + \delta_{ij})\sin\phi_{sij} \\ \phi_{sij} \\ \theta_{ij} + \theta_{sij} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r_b \sin\phi_{sij} \\ 0 \\ r_b \cos\phi_{sij} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

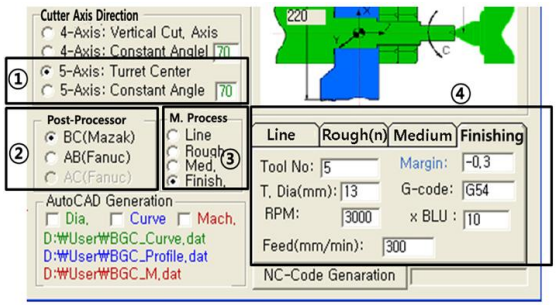
3.2 가공 소프트웨어 개발

볼기어캠의 설계절차는 선행연구[1]가 적용되었고 AB-타입 5-축 가공기와 BC-타입 5-축 가공기에 대해 포스트프로세싱(post processing) 방법을 적용시켰으며, 상기 수학적 전개는 BC-타입 5-축 가공기를 기준으로 작성하였다. Visual BASIC 프로그램 언어를 사용하여 Fig. 8과 같이 전용 SW를 개발하여 NC파트프로그램을 생성하였다. Fig. 8의 볼기어캠 가공 전용 SW는 선행 연구인 4-축 가공[1]과 본 연구에서 개발한 5-축 가공이 동시에 실행되도록 하였다.

Fig. 8(a)은 프로그램 코딩을 위한 폼(form), 모듈(module), 부프로그램(sub program) 등의 연관성을 나타내며, MDI폼은 볼기어캠과 평판홈캠에 대한 폼을 포함하고 있으며 이러한 폼에는 각종 컨트롤(control)들을 설계하여 이벤트(event)들을 코딩하였고, 볼기어캠과 평판홈캠에 대한 모듈들을 프로그램하였는데 볼기어캠에서는 사용 5-축 가공기의 타입에 따라 분류하였고 각각에는 4-축 가공과 5-축 가공에 대한 부프로그램들을 프로그래밍하여 연결하였다. 기본적으로 4-축 가공은 AB, AC, BC-타입 5-축 가공기에서 가공이 가능하도록 하였고 5-축 가공은 AB-타입과 BC-타입 5-축 가공기에서 가공이 가능하도록 하였다. 그리고 Fig. 8(a)에서 ①은 BC-타입 5-축 가공기에 대한 모듈이고 ②는 여기에 포함되는 여러 개의 부프로그램들을 나타낸다.



(a) Program structure and elements



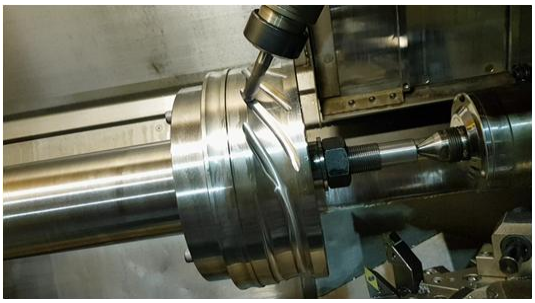
(b) Developed software controls

Fig. 8 Program components and developed software

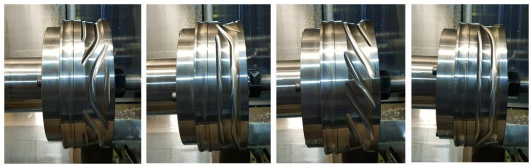
Fig. 8(b)은 ①5-축 가공에 따른 공구축의 방향을 선택하고 ②가공기계, ③가공공정, ④절삭조건 등을 선택하고 지정할 수 있도록 했다. ③가공공정 항목에서 기준선 가공공정은 초기 중삭까지 가공한 후 침탄열처리를 위해 공작물을 이탈하고 열처리 후 다시 정확한 세팅을 위해 C-축의 공작물 좌표를 측정하기 위한 것으로 센터드릴로 측면에 일정 길이의 직선을 가공한다.

Table 1 Cutting Conditions

cutting conditions	rough	medium m.	finishing
cutting tool	ball end mill	ball end mill	ball end mill
tool diameter(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	0.3	0.1
cutting times(No)	3	1	1
cut. margin(mm)	0.7	0.4	0.3



(a) 5-axis machining of ball gear cam



(b) Machined ball gear cam with 90° spacing

Fig. 9 5-axis machining result of ball gear cam

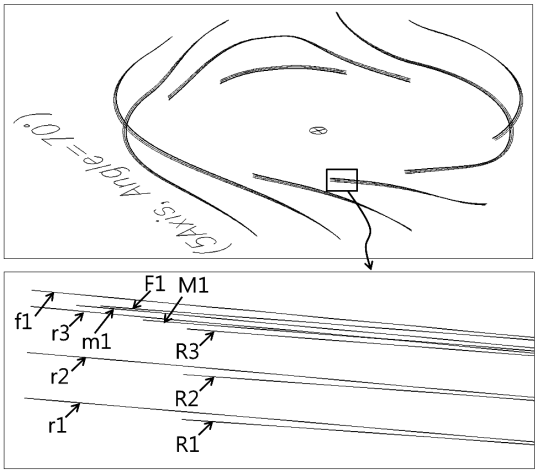


Fig. 10 Tool paths for 5-axis machining of ball gear cam

3.3 볼기어캠 5-축 가공

Table 1과 같은 절삭조건으로 BC타입 5-축 가공기인 마작(Mazak) 복합가공기(Integrex-200IV)에서 SCM415재료와 ϕ13mm 초경 볼엔드밀 공구로 볼기어캠을 5-축 가공하였다. 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. Table 1의 정삭에서 0.3mm의 잔삭여유를 두는 것은 침탄열처리에 의한 변형을 고려하여 연삭여유를 남겨 둔 것이다.

Fig. 9(a)는 가공 상황을 보여주며 Fig. 9(b)는 90°회전 방향에 대해 가공된 볼기어캠의 곡선을 보여주는 것으로 기대했던 형상으로 가공이 잘 진행되었다. Fig. 10은 Fig. 8(b)의 가공면을 체크하여 AutoCAD에 가공경로를 도시한 결과이며, 황삭은 3회에 걸쳐 가공하므로 3개의 곡선을 나타내었고 중삭 및 정삭은 각각 1개의 곡선으로 나타내었다. 본 연구에서도 캠의 입출구에서 2중 곡선 원리를 적용하였으며, Fig. 10에서 R1, R2, R3, M1, F1은 2중 곡선을 적용하지 않은 3회의 황삭경로와 각 1회의 중삭 및 정삭경로를 표시하고, r1, r2, r3, m1, f1은 2중 곡선을 적용한 3회의 황삭경로와 각 1회의 중삭 및 정삭경로를 표시한 것이다. AutoCAD를 통한 공구경로의 표현은 가공 프로그램에 대해 정확한 위치를 표시하는 것이 아니고 공구경로의 구분과 캠곡선의 기하학적 모양을 파악하기 위한 것으로 당초 목표가 잘 실현되었음을 알 수 있었다.

4. 결 론

볼기어캠의 5-축 가공에 관한 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 볼기어캠의 설계 과정을 반영하여 캠 곡선의 임의의 위치에서 접선방향과 공구축이 서로 일정한 각도를 이루도록 하는 5-축 가공 포스트프로세스 방법을 개발하였다.
2. 캠곡선의 입구와 출구 영역에서 2중 곡선을 적

용하여 볼과의 충돌현상을 최소화할 수 있는 볼 기어캠 5-축 가공방법을 개발하였다. 2중 곡선을 적용했을 때와 하지 않았을 때의 공구경로 차이를 확인하였다.

3. 본 연구의 이론적 내용을 바탕으로 NC-code를 생성할 수 있는 전용 소프트웨어를 개발하였고, 그 결과를 활용하여 AB-타입과 BC-타입 5-축 가공기에서 5-축 가공을 실현하였다.

후 기

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

REFERENCES

1. Cho, H. D. and Shin, Y. B., "Study of 4-Axis Machining for Ball Gear Cam", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 18, No. 9 pp. 81-87, 2019.
2. Cho, H. D., Park, J. B., Shin, Y. B., Lee, Y. C., Lee, G. S., "A Study on 5-Axis Machining of Ball Gear Cam", Proceeding of the KSMPE Autumn Conference, pp. 47-47, 2018.
3. Cho, H. D., Yoon, M. C. and Kim, K. J. "5-Axis CNC Machining of Roller Gear Cam", Journal of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 19, Vol. 19, No. 6, pp. 739-745, 2010.
4. 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.
5. Cho, H. D., Park, J. B., Shin, Y. B., Lee, K. S., "5-Axis CNC Machining for Drum Cam with Rotational Follower - I(Post Processing Method for Rough Machining)", Journal of The Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 19, No. 5 pp. 678-683, 2010.
6. 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.
7. 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.
8. Junga, 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.