

# 회전형 종동절을 갖는 드럼 캠의 5-축 CNC 가공 - I (황삭가공을 위한 포스트 프로세싱)

조현덕\*, 윤문철\*\*, 김경진+  
(논문접수일 2010. 8. 20, 심사완료일 2010. 9. 30)

## 5-Axis CNC Machining for Drum Cam with Rotational Follower - I (Post Processing Method for Rough Machining)

Hyun-Deog Cho\*, Moon-chul Yoon\*\*, Kyung-Jin Kim+

### Abstract

The drum cam with rotational follower is used to apply the ATC and index table of machine tools and it has the merit of minimizing the backlash. In general, to machine the drum cam with rotational follower, 5-axis CNC machine must be used and its kinematic principle must be included in modeling on CAM. So, the commercialized CAM software can't be applied to this machining of drum cam. Though some special software for machining drum cam was developed, it could be applied to special 5-axis CNC machine tools and the finish machining module was not applied. To solve this problem, this study includes the induction of the post processing algorithm for the rough machining of drum cam on several 5-axis CNC machine tools, type AC, AB and BC. The finish machining software will be treated in next study. A sample drum cam was machined on 5-axis CNC machine tool of AC type. The designed geometric profile of drum cam consist to the measured profile after machining well. This post processing algorithm for rough machining of the drum cam was clearly verified.

**Key Words** : 5-Axis CNC Machining(5-축 CNC 가공), ATC(자동공구교환장치), Drum Cam(드럼 캠), Index Table(인덱스 테이블), Post Processing(포스트프로세싱), Rotational Follower(회전형 종동절), Rough Machining(황삭 가공)

## 1. 서론

균일한 회전운동을 전달하기 위해서는 기어나 벨트 등을

사용하지만, 회전각에 따른 임의의 각도 및 각속도를 조정하면서 운동을 전달할 필요가 있을 경우에는 회전형 종동절을 갖는 드럼 캠(Drum Cam)이 사용될 수 있다<sup>(1,2)</sup>. 회전형

\* 경일대학교 기계자동차학부  
\*\* 부경대학교 기계자동차공학과  
+ 교신저자, 경일대학교 기계자동차학부 (kkj@kiu.ac.kr)  
주소: 712-701 경북 경산시 하양읍 부호리 33

종동절을 갖는 드럼 캠은 종동절의 원주방향에 여러 개의 롤러를 설치하여 드럼 캠의 경사면 양쪽에 2개의 롤러가 동시에 접촉하여 백래시(Backlash)가 거의 없고 구름접촉으로 내구성이 뛰어나므로 인덱스 테이블, ATC(공구교환장치; Auto Tool Changer) 등 정밀구동이 필요한 곳에 주로 사용된다<sup>(1,2)</sup>. 드럼 캠을 가공하기 위해서는 5-축 CNC 가공기계가 필요하고, 드럼 캠의 기구적 메커니즘이 설계에 반영되어야 모델링이 가능한데 상용 CAM은 아직 이러한 기능이 적용되지 않는다. 따라서 드럼 캠의 가공은 기구적 원리와 5-축 CNC 가공기계의 구조적 특성을 복합적으로 반영한 별도의 전용 프로그램의 개발이 필요하다. 실질적으로 공작기계에 사용되는 분할 정밀도가 높은 인덱스 테이블의 경우 대부분 드럼 캠을 사용하고 있으며 이러한 5-축 가공기술의 부족으로 국산화가 뒤진 품목이기도 하다. 일부에서는 전용 소프트웨어를 자체 개발하여 사용하고 있으나 정삭가공은 공구의 형상을 가공 폭에 맞도록 제작하여 총형가공으로 처리하고 있다. 이는 5-축 가공에서의 인덱스 테이블 회전각에 대한 공구경로를 구현하지 못하였기 때문이다<sup>(1)</sup>. 5-축 정삭가공 데이터를 결정하는 공구경로 방향과 공구 움직임 방향이 5-축 가공기의 회전 및 틸팅 방식에 맞도록 NC 데이터의 현재 블록(Block)을 기준으로 다른 모든 데이터를 재계산해 주어야 하는데 이는 기존 3-축 가공분야와 큰 차이점이기도 하다<sup>(3-6)</sup>.

드럼 캠 가공을 위한 설계요소인 회전각도 선도는 A-축 상부에 C-축이 회전하는 인덱스를 갖는 수직주축 타입, B-축 상부에 A-축이 회전하는 인덱스를 갖는 수평주축 타입, C-축을 갖는 인덱스와 B-축을 주축으로 하며 주축 틸팅(Tilting)을 하는 복합가공기 타입의 세 가지 경우가 있을 수 있는데 본 연구에서는 우선 5-축 CNC 가공기계에 대하여 포스트 프로세싱 방법을 밝혀내고, 이를 A-축 상부에 C-축이 회전하는 인덱스를 갖는 수직주축 타입의 5-축 CNC 가공기계에 적용하여 드럼 캠 황삭가공을 수행하였다. 연구 II에서는 상기 5-축 CNC 가공기계에 대하여 정삭가공을 위한 공구경로 산출 방법을 연구하고 실제 가공에 적용하여 그 정밀도를 확인하고자 하였으며, 향후 순차적으로 6개의 롤러가 설치된 종동절을 갖는 드럼 캠에 적용하여 포스트 프로세싱 방법, 정삭을 위한 공구경로, 소음 감소를 위한 가공경로 생성 등에 대하여 연구를 수행할 것이다.

본 연구에서 가공된 샘플 드럼 캠을 별도 제작한 캠 기구 세팅장치에 설치하여 구동특성을 검토하였으며, 드럼 캠의 회전에 따른 종동절의 회전각을 측정된 결과 설계사양의 회전각 선도와 잘 일치함을 확인하였고, 포스트 프로세싱 방법

은 C-축이 회전하는 인덱스를 갖는 수직주축 타입의 5-축 CNC 가공기계에 대하여 응용될 수 있음을 확인할 수 있었다.

## 2. 드럼 캠의 설계

드럼 캠의 구성은 Fig. 1과 같이 회전하는 축에 롤러를 설치한 종동절과 롤러의 회전면과 일치하는 둘레윤곽을 갖는 드럼 형태의 캠으로 구성되며, 드럼 캠의 형상을 좌우대칭으로 하지 않고 한 쪽에 치우치도록 일반화하였다. 여기서 W는 종동절의 롤러 지름이며 Wc는 가공 폭을 의미하며 롤러 직경보다 약간 크게 가공하여야 한다. 드럼이 Fig. 1과 같이 우측 방향 기준으로 시계방향으로 계속 회전할 경우 캠 곡선을 따라 종동절은 반시계방향과 시계방향을 주기적으로 요동하게 된다. 종동절 롤러 축의 방향은 캠 곡선의 홈(Groove)을 엔드 밀 공구로 가공할 때 공구 축의 방향과 일치함을 알 수 있다.

드럼 캠의 홈을 설계하기 위해서는 드럼과 종동절의 회전각에 대한 각도선도가 주어져야 하며 본 연구에서는 Fig. 2

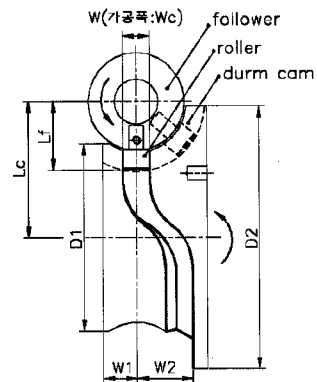


Fig. 1 Drum cam mechanism with rotational follower

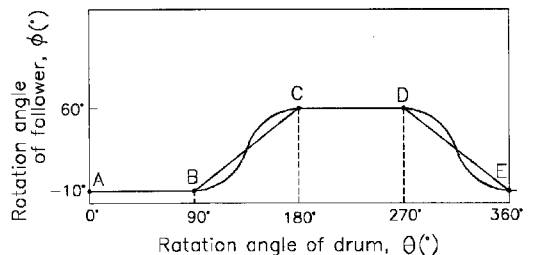


Fig. 2 Rotation angle profile between drum cam and follower

와 같이 설정하였으며, 경사면에 대한 운동속도 제어는 기능에 영향을 미치지 않는다고 가정하여 사인 곡선(Sine Curve)으로 각도선도를 변환하였다. 따라서 Fig. 2에서 직선의 조합은 식 (1)로 표현되고, 이를 경사면에 대해 사인 곡선으로 변화하면 식 (2)로 표현된다. 식 (2)는 Fig. 2의 드럼 캠의 전체 회전구간에서 성립하며 수평선인 AB 및 CD구간에 대해서도 사인 곡선으로 표현됨을 알 수 있다.

$$\phi(\theta) = \begin{cases} -10^\circ & , 0^\circ \leq \theta < 90^\circ \\ \frac{7}{9}\theta - 80^\circ & , 90^\circ \leq \theta < 180^\circ \\ 60^\circ & , 180^\circ \leq \theta < 270^\circ \\ -\frac{7}{9}\theta + 270^\circ & , 270^\circ \leq \theta < 360^\circ \end{cases} \quad (1)$$

$$\phi(\theta) = a_i + b_i \sin(c_i(\theta - d_i)) \quad (2)$$

$$\text{여기서, } a_i = \frac{\phi_{i+1} + \phi_i}{2}$$

$$b_i = \frac{\phi_{i+1} - \phi_i}{2}$$

$$c_i = \frac{\pi}{\theta_{i+1} - \theta_i}$$

$$d_i = \frac{\theta_{i+1} + \theta_i}{2}$$

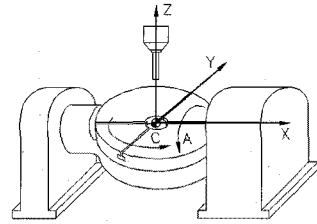
$i$ 는 A, B, C, D, E로서 각각 0,1,2,3,4,5임.

따라서 식 (2)는 5-축 가공을 위해 필요한 직선가공(Linear Interpolation)의 미소요소에 대한 기초 데이터로 사용된다.

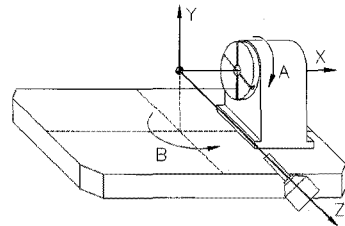
### 3. 드럼 캠의 포스트 프로세싱

5-축 가공을 위해서는 먼저 5-축 CNC 가공기계의 구성요소가 반영되어야 하는데, 본 연구는 산업현장에서 많이 사용되는 3가지 타입에 대하여 포스트 프로세싱 방법을 각각 구현하였다. Fig. 3(a)는 A-축 상부에 C-축이 회전하는 수직주축 타입, Fig. 3(b)는 B-축 상부에 A-축이 회전하는 수평주축 타입, Fig. 3(c)는 Z-축을 중심으로 회전하는 C-축을 갖고 X-축이 주축이면서 Y-축을 중심으로 틸팅하는 B-축을 갖는 복합가공기 타입이다. 5-축 NC 데이터에서 A, B, C-축의 +와 -를 판단하는 기준은 X, Y, Z-축을 중심으로 회전하는 오른손 법칙을 따르며, 회전축 구성이 인덱스 테이블이 회전하는 경우 실제 공작물이 -방향으로 회전해야 공구는 +로 상대 회전하게 된다.

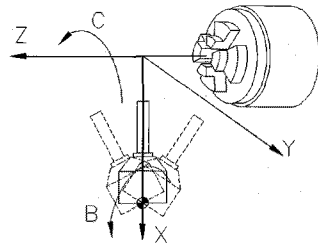
Fig. 3(a)과 같이 A-축 상부에 C-축이 회전하는 수직주축



(a) Vertical M/C with C-axis index on A-axis index (AC type)



(b) Horizontal M/C with A-axis index on B-axis index (AB type)



(c) Turning M/C with C-axis index and B-axis tilting (BC type)

Fig. 3 Types of 5-axis CNC machine tool

타입의 5-축 CNC 가공기계에서 드럼 캠 가공 메커니즘은 Fig. 4로 묘사할 수 있다. G54는 지역좌표계를 의미하며 세팅 파라미터는 공구 끝점이 바닥에 닿을 때의 기계좌표와 A-축에  $-90^\circ$ 를 입력해 두었기 때문에 Fig. 4(a)의 상태에서 좌표는 (0, 0, 275, 90, 0)이 된다. 그리고 Fig. 4(b)와 같은 상태에서 A-축 방향은 NC데이터에서 +가 사용되는데 이는 중동절 회전 방향과 일치하게 되므로 A-축 각도는  $\phi$ 가 되고, C-축 각도는 NC데이터와 반대 방향이므로  $-\theta$ 가 된다.

X, Y, Z 위치좌표는  $R_1, R_2, R_3$  벡터 합으로 구할 수 있으므로 NC 데이터 좌표 값은 식 (3)으로 나타난다.

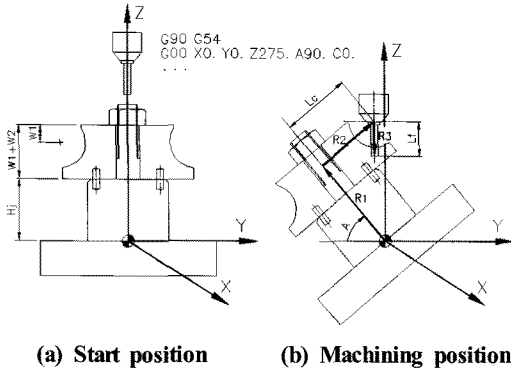


Fig. 4 Machining mechanism on AC type 5-axis M/C

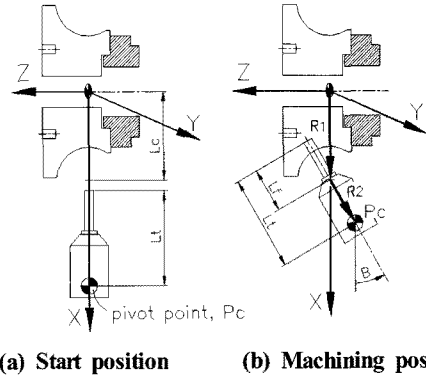


Fig. 6 Machining mechanism of AB type 5-axis turning M/C

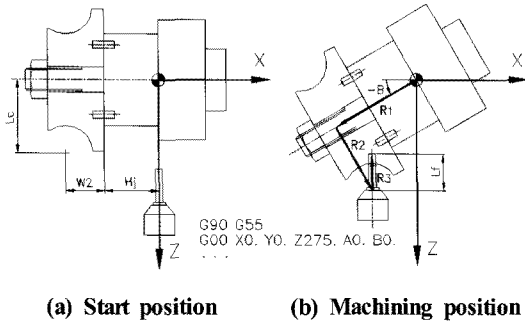


Fig. 5 Machining mechanism of AB type 5-axis M/C

Fig. 3(c)과 같이 Z-축을 중심으로 회전하는 C-축을 갖고 X-축이 주축이면서 Y-축을 중심으로 틸팅하는 B-축을 갖는 5-축 복합가공기에서 드럼 캠의 가공 메커니즘은 선삭이 필요한 외경, 내경, 핀 구멍까지 동시에 가공하기 위하여 Fig. 6과 같이 공작물을 반대방향으로 척에 설치하여 묘사하였다. 여기서 가공 시작위치가(275, 0, 0, 0, 0)라고 하면 NC 데이터는 공구의 피벗 점(Pivot Point)을 기준으로 설정하여야 한다. B-축 방향은 NC데이터와 종동절 회전 방향과 동일하게 +방향이 되므로 각도는  $\phi$ 가 되고, C-축 각도는 NC데이터와 반대 방향이 되어  $-\theta$ 가 된다. X, Y, Z 위치좌표는 역시  $R_1, R_2$ 의 벡터 합으로 표시할 수 있으며 NC데이터를 위한 좌표 값은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ A \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -(H_j + W_2)\cos\phi + L_c\sin\phi \\ (H_j + W_2)\sin\phi + L_c\cos\phi - L_f \\ \phi \\ -\theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

Fig. 3(b)과 같이 B-축 상부에 A-축이 회전하는 수평주축 타입 5-축 CNC 가공기계에서 드럼 캠의 가공 메커니즘은 Fig. 5로 나타낼 수 있다. B-축 방향은 NC데이터에서 -가 종동절 회전 방향의 +방향이 되므로 각도는  $-\phi$ 가 되고, A-축 각도는 NC데이터와 동일한 방향이므로  $\theta$ 가 된다. X, Y, Z 위치좌표는 역시  $R_1, R_2, R_3$ 의 벡터 합으로 표시할 수 있으며 NC데이터를 위한 좌표 값은 식 (4)와 같이 된다.

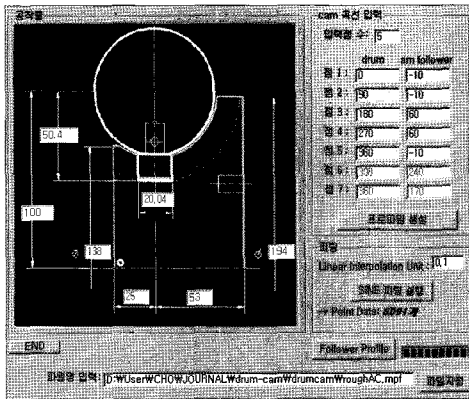
$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_c + (L_t - L_f)\cos\phi \\ 0 \\ -(L_t - L_f)\sin\phi \\ \phi \\ -\theta \end{bmatrix} \quad (5)$$

#### 4. 가공실험 및 고찰

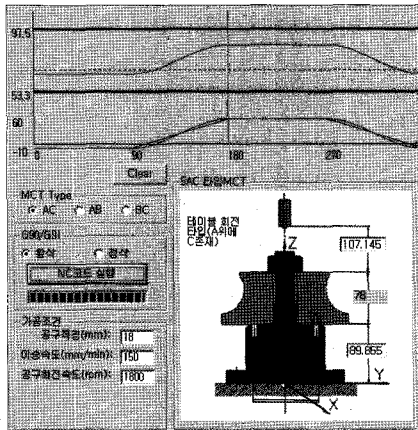
본 연구에서는 Fig. 3(a)와 같은 AC 타입의 5-축 CNC 가공기계인 WIA Hi-V560M/5A와 Fig. 2의 각도선도를 갖는 드럼 캠에 대하여,  $\phi 18\text{mm}$ 인 HSS 엔드밀 공구와 AL 공작물을 사용하여 가공하였다.

5-축 가공에서는 회전각에 대한 BLU(Basic Length Unit)가 도(Degree)의 단위이기 때문에 이송속도가 뜻하지 않게 가속 및 감속이 발생하여 위험할 수 있다. 따라서 이송속도를 균일하게 지정하기 위해서는 구간간의 이동거리를 정확

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(H_j + W_2)\cos\phi + L_c\sin\phi \\ 0 \\ (H_j + W_2)\sin\phi + L_c\cos\phi - L_f \\ \theta \\ -\phi \end{bmatrix} \quad (4)$$



(a) Input parameters of drum cam



(b) Cam profile and workpiece setting

Fig. 7 Developed software for machining of the drum cam

히 계산하여 원하는 이송속도( $f, mm/min$ )에 이동거리를 나누어 준 값을 G93과 함께 F에 지정한다. 예를 들면, F2가 G93과 함께 주어졌다면 NC 블록간 거리를 1/2min[MCU: SINUMERIK 840D]에 가공을 완료됨을 의미한다<sup>(7)</sup>. 따라서 본 연구의 가공실험에서는 X, Y, Z의 위치는 드럼 캠의 기하학적 조건에 의하여 A와 C에 의하여 결정되고 A와 C는 완전히 독립되므로,  $\Delta A$ 의 변화에 의한 거리  $\Delta S_A$ 와  $\Delta C$ 의 변화에 의한 거리  $\Delta S_C$ 는 식 (6)과 식 (7)로 표현되고 미소 구간의 전체거리  $\Delta S$ 는 두 회전각의 방향이 수직이고 미소 구간이므로 대각선의 방향으로 설정하면 식 (8)과 같이 된다. 따라서 미소구간을 가공하는데 걸리는 시간  $\Delta T(min)$ 는 식 (9)로 나타난다. 여기서  $\Delta A$ 와  $\Delta C$ 는 미소 구간에서의 회전각의 변위이고,  $X_1, Y_1, Z_1$ 는 현재위치이며,  $X_2, Y_2, Z_2$

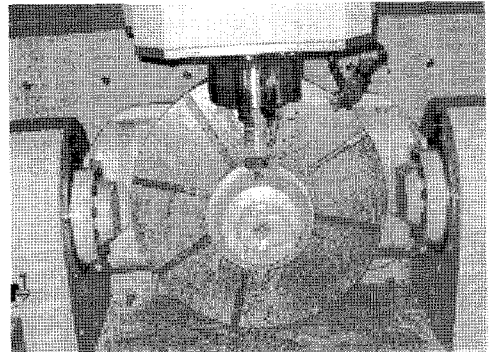


Fig. 8 5-axis machining of the drum cam

는 이동할 위치를 의미한다. 여기서 드럼 캠의 기구적 메카니즘에서  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ 는 A와 C에 의해 구속되어 있기 때문에 고려할 필요가 없다.

$$\Delta S_A = \sqrt{Y_1^2 + Z_1^2} \Delta A \quad (6)$$

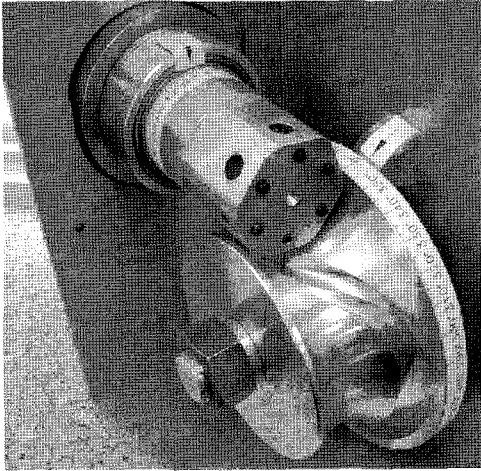
$$\Delta S_C = (L_c - L_f \cos A) \Delta C \quad (7)$$

$$\Delta S = \sqrt{\Delta S_A^2 + \Delta S_C^2} \quad (8)$$

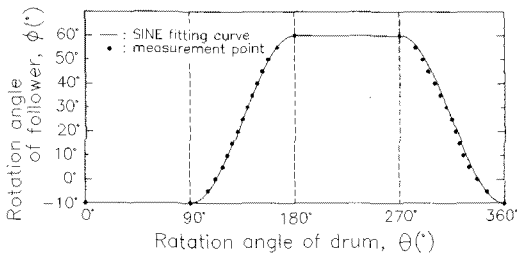
$$\Delta T = \frac{f}{\Delta S} \quad (9)$$

본 연구의 5-축 가공 포스트 프로세싱 방법을 적용하기 위해 Fig. 7과 같은 전용 S/W를 개발하였으며, Fig. 7(a)은 드럼 캠 샘플의 설계치수를 나타내고 Fig. 7(b)은 가공을 위한 지그 세팅 상태 및 캠 곡선 등을 보여준다. Fig. 7(a)에서 중동절 롤러의 직경은 20mm이고 정상가공 후의 캠 곡선의 폭이 20.04mm인 것을 의미한다. 본 연구의 황삭가공에서는 공구의 직경 18mm를 사용하여 1회만 가공하였기 때문에 캠 곡선 홈의 폭은 18mm가 된다. Fig. 8은 Hi-V560M/5A 5-축 기계에서  $\phi 18mm$  HSS 엔드밀로 AL소재를 지그에 물려 가공하는 상황을 보여준다.

본 연구의 드럼 캠 가공결과를 검증하기 위하여 Fig. 9(a)와 같이 세팅기구를 제작하여 드럼 캠과 중동절 둘레에 각도를 표시하는 리본을 부착하여 드럼 캠 각도선도를 눈으로 확인할 수 있도록 하였으며, 세팅장치는 중동절 하우징(Housing)을 상하, 좌우, 전후로 조정할 수 있도록 하여 설계위치에 정확히 설치되도록 하였다. 드럼 캠의 운동 상태를 관찰한



(a) Setting device of the drum cam



(b) Machined cam profile data

Fig. 9 Setting device and machined profile data

결과 회전이 부드럽게 이루어지는 것으로 보아 본 연구의 포스트 프로세싱 방법에 의한 NC 데이터 X, Y, Z, A, B가 설계치수와 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다. 그리고 Fig. 9(b)는 드럼 캠의 회전각도에 따른 종동절의 회전각도를 눈으로 직접 확인한 결과를 보여주며, 캠 곡선에 대한 설계치수와 가공결과가 정확하게 일치됨을 알 수 있었다.

### 5. 결론

종동절의 회전각을 제어하는 드럼 캠의 5-축 황삭가공을 위한 포스트 프로세싱 방법에 대한 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 세 종류의 5-축 CNC 가공기계에 대하여 드럼 캠 가공을 위한 포스트 프로세싱 방법을 개발하여 다른 타입의

5-축 가공기계에도 쉽게 응용할 수 있도록 하였으며, Hi- V560M/5A 5-축 가공기계에서 샘플 드럼 캠을 가공하여 검증하였다.

- (2) 드럼 캠 세팅 기구를 제작하여 드럼 캠의 회전에 대한 종동절의 회전각을 측정된 결과 캠 곡선의 설계치수와 가공결과가 정확하게 일치함을 알 수 있었다.
- (3) 본 연구의 황삭가공 포스트 프로세싱 방법은 정삭가공에도 적용될 수 있으며 캠 선도의 변화가 가능하여 드럼 캠이 필요한 다양한 제품에 적용될 수 있다.

### 후기

본 연구는 지식경제부 지정 경일대학교 자동차부품시험 지역혁신센터사업의 지원에 의한 것입니다.

### 참고 문헌

- (1) Kim, C. S., Choi, J. H., and Kim, J. U., 2010, "Technology trend and design of index table," *Transactions of the KSMTE*, Vol. 19, No. 2, pp. 141~146.
- (2) Kim, C. S., Choi, J. H., Cho, H. M., and Cho, S. Y., 2010, "A study on the stability of a barrel cam type index table," *Spring conference of the KSMPE*, pp. 147~148.
- (3) Jo, E. J., Hwang, J. D., and Jung, Y. G., 2006, "Study on the development of post-processor for 5-axis NC machining," *Transactions of the KSMTE*, Vol. 15, No. 3, pp. 53~58.
- (4) Cho, H. D., Jun, Y. T., and Yang, M. Y., 1993, "Five- Axis CNC Milling for Effective Machining of Sculptured Surfaces," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 31, No. 11, pp. 2559~2573.
- (5) Jun, J. Y., 2004, "5-axis machining for precision machining of complicate geometric workpiece," *Journal of the KSMTE*, Vol. 13, No. 2, pp. 23~29.
- (6) Hwang, J. D., Jung, J. Y., and Jun, Y. G., 2004, "A study on the application of reverse engineering for impeller using polynomial regression," *Transactions of the KSMTE*, Vol. 13, No. 5, pp. 103~109.
- (7) SIEMENS AG, 2004, *SINUMERIK 840D/840Di/810D fundamentals programming guide*, pp. 234~241.