

# 전구 자동화 생산기계용 바렐 캠의 형상설계에 관한 연구

김종수\* · 윤호엽\*\*

## A Study on Design of Barrel Cam for Automatic Bulb Production Machine

*Jongsoo Kim\* · Hoeop Yoon\*\**

### ABSTRACT

A barrel cam is used as a very important part of an index drive unit. The index drive unit must have an intermittent-rotational motion. The barrel typed cam and roller gear mechanism has the advantages of high reliability to perform a prescribed motion of a follower.

This paper proposes a new method for the shape design of the barrel cam and also a CAD program is developed by using the proposed method. As defined in this paper, the relative velocity method for the shape design calculates the relative velocity of the follower versus cam at a center of roller, and then determines a contact point by using the geometric relationships and the kinematic constraints, where the direction of the relative velocity must be parallel to a common tangential line at the contact point of two independent bodies, i.e. the cam and the follower. Then, the shape of the cam is defined by the coordinate transformation of the trace of the contact points.

This paper presents shape design of the barrel cam in order to prove the accuracy of the proposed methods

Key Words : Bulb(전구), Barrel Cam (바렐 캠), Index Driver Unit(인덱스 드라이브 유니트), Shape Design(형상 설계)

---

\* 첨단산업기술연구부 레이저응용시스템그룹 책임연구원

\*\* 창원대학교 대학원

## 1. 서 론

전구의 베이스접합과 용접시스템 용 바렐캠 (Barrel cam)은 Fig. 1과 같이 Rotary table 상부에 전구가 위치하고, 있으며, Rotary table은 Cam의 종동절로 회전운동을 하게 된다. 바렐캠의 역할은 캠 1회전 당 Rotary table을 10° 회전과 정지운동으로 전구를 하나씩 작업위치에 위치하게 한 후에, 다음 작업의 수행이 가능하게 만드는 역할을 한다. 바렐캠을 사용함으로써 다른 여타 기구에서 구현이 어려운 일시정지 운동을 용이하게 구현이 가능하다.

바렐 캠은 자동화 시스템에 널리 이용되는 인덱스 드라이브에 사용되는 캠으로서 원통의 형상을 하고 있으며 캠의 회전축과 종동절의 회전축이 서로 90°의 위상으로 직교하고 있다. 바렐 캠은 인덱스 드라이브가 가져야할 필수적인 요건인 일정하게 들어오는 회전 입력에 대하여 회전과 일단정지 동작의 구현이 가능하며

구성 또한 간단하다. 따라서, 다른 기구를 사용하기보다는 특정한 출력함수를 만들어 낼 수 있는 캠을 널리 사용한다. 바렐 캠은 바렐 인덱스 드라이브를 설계하는데 핵심적인 부품이지만 설계와 가공에 많은 어려움을 가지고 있어 선진국 기술에 많이 의존하고 있는 실정으로서 설계기술 개발이 시급하다.

바렐 캠과 같은 원통형 캠에 관한 연구는 많은 학자에 의해 연구되었다. Phande(1)는 입체 캠의 형상을 해석적으로 나타낼 수 있는 방법에 대해 연구하였고, Wei, Yan, Chen(2~4)등은 미분기하학을 이용하여 캠과 롤러의 접촉점을 해석하였다. 그리고 김찬봉(5~6)은 벡터 설계 해석법을 이용하여 입체캠에 대한 설계와 가공에 대하여 연구하였다.

본 논문에서는 상대속도를 이용하여 바렐 캠의 형상설계에 관하여 연구한다. 상대속도를 이용한 캠의 설계 방법은 정확한 캠의 형상 설계가 가능할 뿐만 아니라 다른 방법에 비해 수식 전개가 간단하며 명확하다는 장점이 있다.

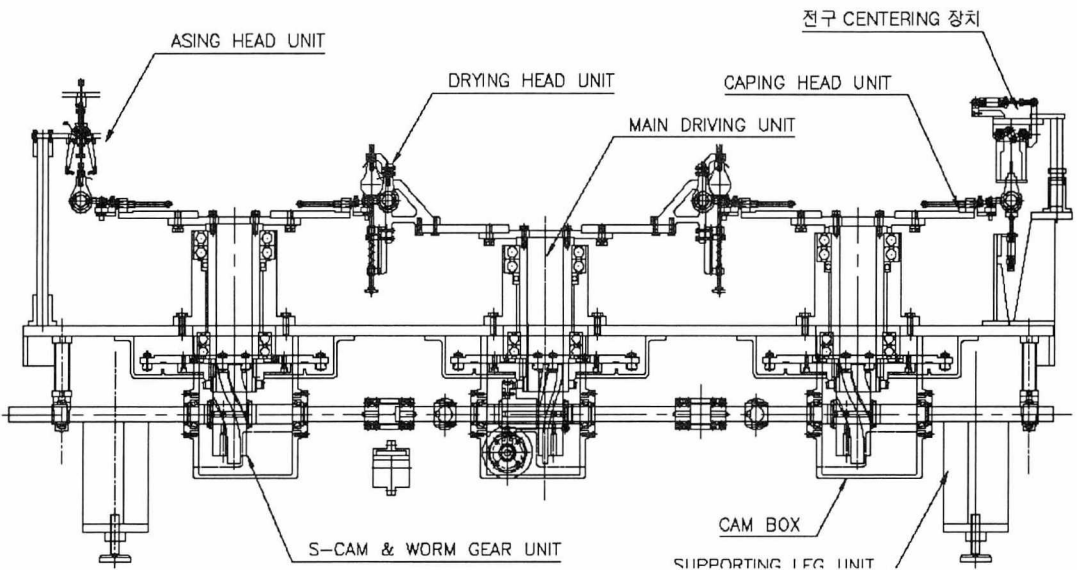


Fig. 1 Basing & welding system

바렐 캠의 설계에 있어 상대속도법을 적용하기 위해 여러 개의 국부 좌표계(local coordinates)를 이용하게 된다. 국부 좌표계는 캠의 회전축에 대한 속도와 종동절의 운동축에 대한 속도를 각각 정의하는데 이용되며, 이 속도들은 동일 좌표축으로 변환되어 상대속도를 결정한다. 기구학적 특성에 의해 접촉 기구에서의 상대속도는 접촉점에서의 공통접선 방향과 같은 방향이어야 한다는 조건에 의해 접촉점을 결정하게 된다.

마지막으로 제시된 설계 방법을 이용하여 CAD프로그램을 작성하고, 이 CAD프로그램에 2가지 예를 적용하여 프로그램과 본 논문에서 제시한 이론을 검증한다.

## 2. 바렐 캠

바렐캠은 Fig. 2과 같은 형태로 바렐 캠과 롤러를 포함한 종동절로 구성되어 있다. 캠은 입력축에 의해 일정하게 회전하면 종동절은 캠의 회전에 의해 회전 또는 정지운동을 하게 된다. 이때 캠의 형상은 종동절의 회전운동이 특정 변위 곡선에 따라 운동할 수 있도록 설계되어야 한다. 바렐캠의 핵심 부분이 바렐 캠과 종동절인데, 바렐캠기구의 자세한 모양은 Fig. 2와 같다. 즉, 원통 캠과 하나 또는 다수의 롤러가 축과 평행하게 일정한 원주 방향으로 결합된 종동절로 구성되어 있다. 바렐 인덱스 드라이브에서는 종동절을 터렛(turret)이라 한다. 그리고 캠의 형상은 종동절 롤러의 운동을 유도하기 위해 원통 캠의 옆면에 파여진 홈을 안내홈(guide groove)이라고 하며 안내홈의 옆면을 리브(rib)라고 정의한다. 그림에서와 같이 캠의 회전 축(cam axis)과 종동절의 회전축(follower axis)이 어긋나게 교차되어 있는 것

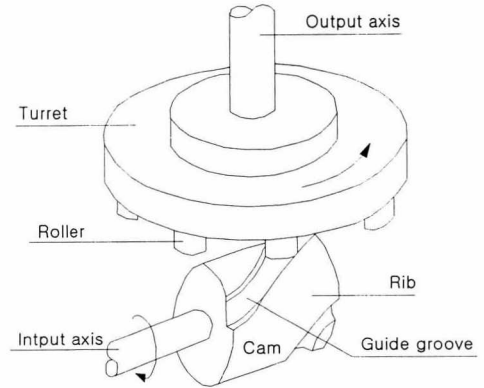


Fig. 2 Common feature of cylindrical cam

을 볼 수 있고, 캠이 회전하게 되면 캠에 파여진 안내홈의 리브에 종동절 롤러의 옆면이 서로 접촉하면서 종동절의 축에 요구되는 회전 또는 정지 운동을 수행하게 된다.

## 3. 상대속도를 이용한 바렐 캠의 형상 설계

Fig. 2에서와 같은 바렐 캠 기구는 캠의 회전축과 종동절의 회전축이 어긋나게 교차되어 구성되어 있다. 그림에서 캠의 회전축을 상하로 바꾸어 설정하면, 종동절의 회전축은 캠의 외곽원의 접선방향으로 놓이게 된다. Fig. 3은 Fig. 2에서 캠의 회전축을 상하로 바꾸어 표시한 그림이다. Fig. 3에서 캠의 회전축과 터렛 중심의 수직 거리를  $d$  라 한다.

형상설계를 위해 Fig. 3에서와 같이 바렐 캠과 종동절에 5개의 국부 좌표계를 설정한다. 우선, 캠의 회전중심 좌표계를 원점  $O$ 로 하고 캠의 축이  $z$  축으로 놓인 좌표계를  $x_0, y_0, z_0$  좌표계로 표시한다. 두 번째 좌표계는  $y_0$  축 방향으로 캠의 중심과 터렛의 중심간 거리를 각각  $x_0, y_0, z_0$  축에 대하여  $-f, -d, -g$

만큼 이동하여 터렛의 중심에 위치하는 좌표축을  $x_1, y_1, z_1$ 로 하고 1-좌표계에서  $x_1$  축에 대해 터렛이 캠을 향하고 있는 각도로 직각으로 회전하여 터렛의 회전축이  $z_2$ 축이 되도록 한 좌표계를  $x_2, y_2, z_2$ 로 정의한다. 즉, 중동절의 회전축을 의미한다. 터렛에 부착된 N개의 롤러 중 캠과 접촉하고 있는 임의의 롤러를 선택하고, 롤러가 위치한 방향으로  $z_2$  축을 중심으로  $x_2$ 를 회전시켜 롤러의 위치와 동일 방향으로 향한 좌표계를  $x_3, y_3, z_3$ 라 정의한다.  $x_2$  축이  $x_3$  만큼 회전한 각도가  $\theta_r$ 이다.  $x_3$  축을 따라서 롤러의 밑면으로 이동한 좌표계를  $x_4, y_4, z_4$ 로 정의하고  $z_4$  축 방향으로 롤러 중심선을 따라서 임의의 점까지의 거리  $-h$  만큼 이동된 축을  $x_5, y_5, z_5$  표시한다. 즉, 임의의 선택된 롤러의 중심좌표에 해당된다. 중동절의 롤러의 중심 좌표계는  $x_5, y_5, z_5$

에 위치하며 5-좌표계의 어느 한 점  $p_5$ 를 0-좌표계의  $p_0$ 로 변환하는 좌표변환식은 식(1)과 같다. 그리고 각각의 좌표변환 행렬은 식(2)에서 식 (6)에 나타낸 것과 같다. 각각의 식들을 살펴보면 캠의 중심에 위치한 0-좌표계에서 터렛의 중심으로  $x_0, y_0, z_0$  축을 따라 각각  $-f, -d, -g$  만큼 평행이동하는 변환행렬은 식(2)와 같고,  $x_1$  축에 대해  $-90^\circ$  회전 변환 하는 행렬은 식(3)와 같다. 그리고  $z_2$  축에 대하여  $-\theta_r$  만큼 회전하는 변환행렬은 식(4)와 같이 나타낼 수 있고,  $x_3$  축을 따라 롤러의 밑면으로 평행이동하는 변환행렬은 식(5)와 같다. 롤러의 중심선을 따라서 밑면에서 임의의 위치로 평행이동 변환행렬은 식(6)과 같다.

$$p_0 = T_{x_0, -f} T_{y_0, -d} T_{z_0, -g} R_{x_1, -90} R_{z_2, -\theta_r} T_{x_3, r} T_{z_4, -h} p_5 \quad (1)$$

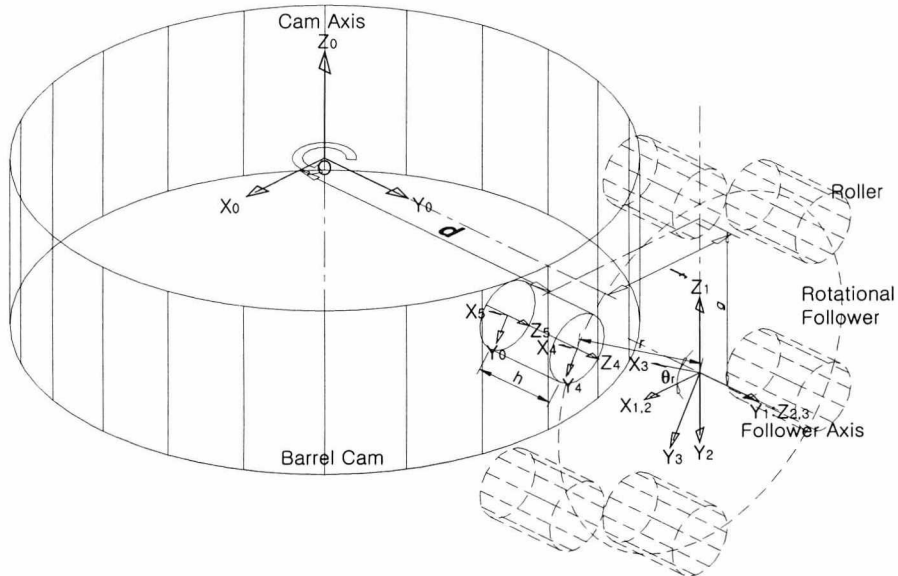


Fig. 3 Coordinate systems of grooved barrel cam with rotating follower

$$T_{x_0, -f} T_{y_0, -d} T_{z_0, -g} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -f \\ 0 & 1 & 0 & -d \\ 0 & 0 & 1 & -g \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_{x_1, -90} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R_{z_2, -\theta_r} = \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \sin \theta_r & 0 & 0 \\ -\sin \theta_r & \cos \theta_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$T_{x_3, r} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & r \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$T_{z_4, -h} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -h \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

상대속도 해석을 위해 Fig. 4의 A점에서의 캠의 속도와 종동절의 속도를 계산해야 한다. A점에서의 캠의 속도를 계산하기 위한 식은 식(7)과 같고, 이를 계산한 식은 식(8)과 같다. 식(8)은 0-좌표계에 대해 나타낸 식인데 이는 캠의 회전속도가 0-좌표계에 대해 표현되어 있으므로, 계산을 용이하게 하기 위한 것이다.

$$V_{c_0} = \omega_c P_{A/0} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} V_{cx_0} &= (h-d)\omega_c \\ V_{cy_0} &= (r \cos \theta_r - f)\omega_c \\ V_{cz_0} &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)에서  $\theta_r$ 은 종동절의 회전각을 나타내며 주어진 변위선도를 따라 운동한다. 캠의 설계를 위해 지정된 변위선도로부터 얻어지는 종동절의 속도값을  $\omega$ 라고 정의하면,  $\omega$ 는 캠의 단위 회전속도에 대한 값이므로 종동절의 각속도는  $\omega$ 에 실제 캠의 회전속도  $\omega_c$ 를 곱하여야 한다.  $x_5, y_5, z_5$  원점에서 종동절의 회전에 의해 발생하는 속도  $V_f$ 은 5-좌표계에 대해서  $y_5$ 축 성분만이 존재하며 식 (9)과 같다.

$$\begin{aligned} V_{f_{x_5}} &= 0 \\ V_{f_{y_5}} &= r\omega \cdot \omega_c \\ V_{f_{z_5}} &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

회전하는 캠의 중심에 대한 롤러의 상대속도를 구하기 위해  $V_c$  성분을 5-좌표계에 대해 나타내어 동일한 좌표계로 표시하여야 하므로 식 (10)에 식 (11)에서 식 (12)로 정의된 각각의 변환행렬을 적용하여 좌표변환을 수행하면 식 (13)과 같이  $V_{c_5}$ 가 나타난다.

$$V_{c_5} = R_{z_2, -\theta_r} R_{x_1, -90} V_{c_0} \quad (10)$$

$$R_{z_2, -\theta_r} = \begin{bmatrix} \cos \theta_r & \sin \theta_r & 0 & 0 \\ -\sin \theta_r & \cos \theta_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$R_{x_1, -90} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} V_{cx_5} &= (-d \cos \theta_r + h \cos \theta_r) \omega_c \\ V_{cy_5} &= (-d \sin \theta_r + h \sin \theta_r) \omega_c \quad (13) \\ V_{cz_5} &= (r \cos(\theta_r) - f) \omega_c \end{aligned}$$

회전하는 캠의 중심에서 바라본 롤러의 상대 속도  $V_{flc}$  는 식 (14)와 같이  $V_f$  과  $V_c$  의 차와 같으므로 식 (9)과 식 (13)에서 구한 속도를 대입하여 이를 정리하면 식 (15)와 같다. 여기서 구한  $V_{flc_5}$  는 5-좌표계에 대해 나타낸 것이다.

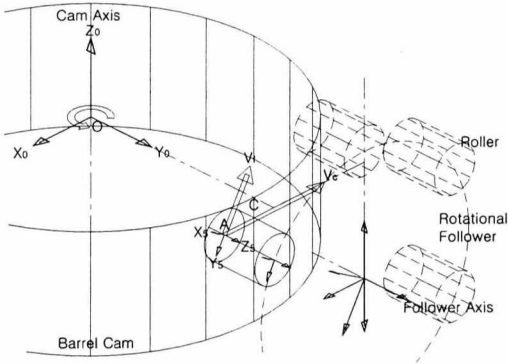


Fig. 4 Velocities on barrel cam with rotating follower

$$V_{flc} = V_f - V_c \quad (14)$$

$$\begin{aligned} V_{flcx_5} &= (d \cos \theta_r - h \cos \theta_r) \omega_c \\ V_{flcy_5} &= (r \omega + d \sin \theta_r - h \sin \theta_r) \omega_c \\ V_{flcz_5} &= (-r \cos(\theta_r) + f) \omega_c \quad (15) \end{aligned}$$

Fig. 5에서 보는 바와 같이 상대속도  $V_{flc_5}$  가 5-좌표계와 이루는 각을 구해보면  $x_5, z_5$  평면과 이루는 방향각  $\phi_y$  는 식 (16)과 같고

$x_5, y_5$  평면과 이루는 방향각  $\phi_z$  는 식 (17)과 같다.

$$\phi_y = \tan^{-1} \left( \frac{V_{z_5}}{V_{x_5}} \right) \quad (16)$$

$$\phi_z = \tan^{-1} \left( \frac{V_{y_5}}{V_{x_5}} \right) \quad (17)$$

캠과 롤러가 접촉상태를 유지하기 위해서는 5-좌표계의 원점과 상대속도  $V_{flc_5}$  가 이루는 평면에서  $V_{flc_5}$  와 접촉점에서의 접선은 평행하여야 한다. 만일 평행하지 않으면 접촉을 하지 않거나, 파고드는 현상이 발생한다. 그러므로 접촉점은 5-좌표계의 원점에서  $V_{flc_5}$  에 수직인 선이 롤러 표면과 만나게 되는 두 점에 해당된다. 롤러의 반경을  $r_r$  이라 정의하면 Fig. 5의 그림에서 기하학적인 관계에 의해 두 개의 접촉각을 내포한 접촉점 Q에 관한 식(18)이 구해진다. 식(18)은 5-좌표계에 대해 나타낸 것이다.

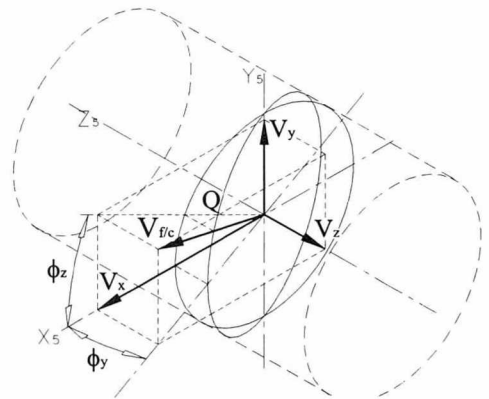


Fig. 5 Directional angles and relative velocities

$$\begin{aligned}
 Q_{x_5} &= r_r \cos(\phi_z \pm 90) \\
 Q_{y_5} &= r_r \sin(\phi_z \pm 90) \\
 Q_{z_5} &= r_r \cos(\phi_z \pm 90) \tan \phi_y
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

식(18)을 식 (1)에 대입하면 캠의 중심 좌표계 0-좌표계에 대한 캠의 접촉점이 계산되는데 이는 식(19)와 같다. 식(19)는 식(18)에 의해 계산된 캠과 종동철의 접촉점을 5-좌표계에서 0-좌표계로 좌표변환 한 것으로 어떤 순간에 캠과 종동철이 접촉하는 접촉점을 캠의 중심에서 계산된 좌표값을 의미한다.

$$\begin{aligned}
 Q_{x_0} &= \cos \theta_r x_5 + \sin \theta_r y_5 + r \cos \theta_r + f \\
 Q_{y_0} &= z_5 + d + h \\
 Q_{z_0} &= \sin \theta_r x_5 - \cos \theta_r y_5 - r \cos \theta_r + g
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

식 (19)에서 캠이  $z_0$  를 축으로 캠의 회전각도  $\theta_c$  만큼 회전하게 되면, 어떤 순간의 접촉점은 반대 방향으로 회전하는 것과 같으므로  $z_0$  에 대해  $-\theta_c$  만큼 회전하는 것과 같다. 따라서 이를 식(19)에 적용하여 좌표변환하면 고정된 좌표계의 캠의 각도에 대한 캠의 전체 형상은 식 (20)과 같은 표현된다.

$$\begin{aligned}
 C_{x_0} &= \cos \theta_c Q_{x_0} + \sin \theta_c Q_{y_0} \\
 C_{y_0} &= -\sin \theta_c Q_{x_0} + \cos \theta_c Q_{y_0} \\
 C_{z_0} &= Q_{z_0}
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

#### 4. 바렐 캠 설계

본 논문에서 제안된 설계법 이용하여 전구의 베이스접합과 용접 시스템 용 바렐 캠의 형상설계를 위해 종동철의 운동곡선인 변위선도곡선의 구간별로 데이터를 정리하면 Table 1과 같다. 그리고 Table 1에 의해 생성된 변위선도곡선은 Fig. 6과 같다.

Table. 17 Displacement curve generation data

| Section | Cam Angle | Motion | Displacement |
|---------|-----------|--------|--------------|
| 1       | 0°~120°   | Rise   | 10°          |
| 2       | 120°~360° | Dwell  | 0            |

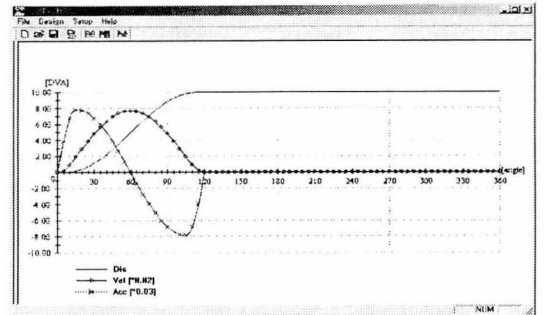


Fig. 6 Generated displacement curve for barrel cam system

Table. 2 Design parameters of a barrel cam system

| Parameters  | Values            |
|---|-------------------|
| Radius of base circle of cam  | 160 mm            |
| Height of cam   | 95 mm             |
| Radius of turret(h)   | 300 mm            |
| Length between cam rotating center and turret center $x, y, z$ (-f,d,g) | (164,298.86,12.5) |
| Radius of roller  | 17.5 mm           |
| Height of roller(r)   | 25 mm             |
| Number of roller  | 36                |

전구의 베이스접합과 용접 시스템 용 바렐 캠의 설계 데이터는 Table 2와 같다. Table 2에서 Radius of base circle of cam은 원통형 캠의 외경을 나타내고 있으며, Height of cam은 원통 캠의 높이를 나타낸다. Radius of turret은 중동절의 회전 중심으로부터 중동절의 롤러의 중심까지의 거리이며, Length between cam rotating center and turret center  $x, y, z$  는 캠의 중심으로부터 중동절 회전의 중심의 위치는 나타내고 있다. 롤러 of 롤러는 중동절의 롤러의 반경 Height of roller는 중동절 롤러의 높이, Number of roller는 터렛에 장착되어 있는 롤러의 수를 나타낸다.

바렐 캠의 변위선도와 캠의 설계 데이터에 의해 설계된 캠의 형상은 Fig. 7과 같으며, Fig. 8은 중동절과 캠이 결합한 화면이다. Fig. 7의 형상을 살펴본 결과, 정확하게 캠의 형상이 형성된 것을 알 수 있다. Fig. 8은 캠이 중동절과 결합된 모습이다.

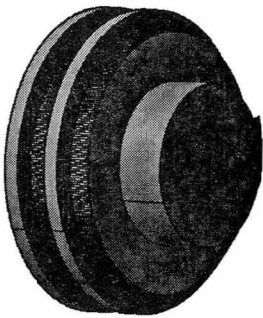


Fig. 7 Designed barrel cam shape

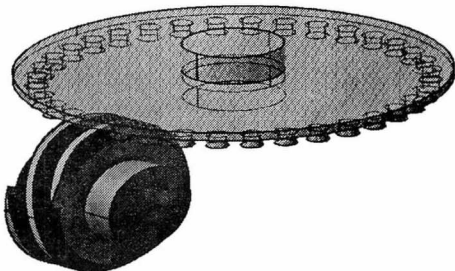


Fig. 8 Barrel cam with rotating roller follower

## 5. 결 론

본 연구에서는 전구의 베이스접합과 용접 시스템의 전구이송에 있어서의 핵심적인 역할을 하는 바렐 캠의 설계에 관하여 연구하였다. 본 연구에서는 상대속도를 이용하는 설계방법으로 정확한 접촉점의 해석을 통하여 바렐 캠을 설계하였다. 상대속도법은 다른 방법에 비해 수식 전개가 간편하며 정확한 캠의 설계방법을 제공해 준다.

그리고 실제적인 설계의 적용과 형상의 확인을 통해서 정확한 캠의 설계를 확인하였다.

## 참고문헌

1. S.G. Phande, B.S. Shadoria and J. Chakraborty, "A Unified Approach to the Analytical Design of Three-Dimensional Cam mechanism," Trans. of ASME, Journal of Engineering for Industry, pp. 327-333, 1975.
2. Liu J.Y. and Yan H.S., "Surface Geometry of Variable Pitch Cylindrical Cams with Conical Meshing Elements," Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design, Vol. 116, pp. 862-866, 1994.
3. H.S. Yan and H.H. Chen, "Geometry Design of Globoidal Cams With Generalized Meshing Turret-Rollers," Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design, Vol. 118, pp. 243-249, 1996.
4. D.M. Tsay and H.M. Wei, "A general approach to the determination of planar and spatial cam profiles," Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design,



Vol. 118, pp. 259-265, 1996.

5. 김찬봉, 양민양, “입체캠의 형상설계와 가공에 관한 연구,” 대한 기계 학회 논문집, 제 17권 제6호, pp. 1361-1371, 1993.
6. 김찬봉, 양민양, “세가지 보간방법을 이용한 평판 캠의 CAD/CAM시스템,” 대한 기계 학회 논문집 제15권, 제3호, pp. 869-879, 1991.
7. 신중호, 이춘만, 김종수, “Shape Design of Disk Cam Mechanisms Using Instant Velocity Center,” Proceedings of 6th International symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, Vol. 1, pp. 178-186, 1996.
8. 신중호, 김종수, “디스크형 캠기구 설계를 위한 순간속도 중심설계법의 연구,” 창원대학교 산기연 논문집, 제8집, pp. 123-129, 1994.
9. 신중호, 김종수, 하경훈, “캠 구동 슬라이더 기구의 기구동역학 해석에 관한 연구,” 대한 기계 학회 논문집, 제21권 제6호, pp. 871-883, 1997.
10. 신중호, 윤호엽, 강동우, “사이크로이드 판 기어의 형상설계법에 관한 연구,” 대한기계 학회논문집 A, 제25권, 제1호, pp. 70~80, 2001.