

롤러기어캠 기구를 위한 회전운동형 롤러 종동절을 가진 원통 캠의 형상 설계에 관한 연구

신중호[†] · 강동우* · 윤호엽**
(2001년 11월 3일 접수, 2002년 4월 22일 심사완료)

A Study on Shape Design of Cylindrical Cam with Rotating Roller Follower in Roller-Gear-Cam Mechanism

Joong-Ho Shin, Dong-Woo Kang and Ho-Eop Yoon

Key Words: Roller-Gear-Cam(롤러기어캠), Cylindrical Cam(원통 캠), Follower(종동절), Relative Velocity Method(상대속도법), Shape Design(형상 설계)

Abstract

When a mechanism transfers a motion to an intersected shaft, a cylindrical cam mechanism may be the best choice among the mechanisms. The cylindrical cam with a roller follower provides to transfer the motions to the intersect shafts simply without other connecting equipments of the intersect shafts. Typical example may be a roller-gear-cam mechanism. But the shape of the cam must be exactly defined in order to satisfy the conditions for the prescribed motion of the follower. This paper proposes a new method for the shape design of the cylindrical cams and also a CAD program is developed by using the proposed method. The relative velocity method calculates the relative velocity of the follower versus the cam at a center of roller, and then determines a contact point by using the geometric relationships and the kinematic constraints. The constraint used in the relative velocity method is that the relative velocity must be parallel to a common tangent 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. Finally, this paper presents an example in order to prove the accuracy of the proposed methods in this paper and the application of the CAD program "CamDesign".

1. 서 론

고기능 기계시스템에서는 운동축이 공간상에서 서로 교차되어 결합될 때가 있다. 이런 경우 원반 캠(disk cam)이나 기어 구동장치를 사용하게 되면, 운동축을 서로 연결하는 장치가 부가되면서 복잡하고 부품수가 급격히 증가하게 된다. 반

면, 원통 캠(cylindrical cam)을 사용하게 되면 운동의 방향전환을 위한 간접적인 장치 없이도 직접적으로 캠의 운동을 종동절로 전달할 수 있다. 따라서, 원통 캠은 공작기계와 같은 고기능성 기계에 많이 사용되고 있다. 이 적용례로서 CNC 공작기계의 자동공구교환장치(ATC)에 사용되는 롤러기어캠기구(roller gear cam mechanism)가 대표적이다.

원통 캠에 관한 연구는 많은 학자에 의해 연구되었다. Phande⁽¹⁾는 입체 캠의 형상을 해석적으로 나타낼 수 있는 방법에 대한 연구하였고, Yan, Wei, Chen⁽²⁻⁴⁾ 등은 미분기하학을 이용하여 캠과 롤러의 접촉점을 해석하였다. 그리고 그의 김찬봉^(5,6)은 벡터 해석법을 이용하여 입체캠에 대

[†] 책임저자, 회원, 창원대학교 기계설계공학과

E-mail : joongho@sarim.changwon.ac.kr

TEL : (055)279-7571 FAX : (055)263-5221

* (주)두산중공업 환경기술연구원

** 회원, 창원대학교 대학원 기계설계공학과

한 설계와 가공에 관하여 연구하였다.

본 논문에서는 회전운동을 하는 롤러 종동절과 결합되는 원통 캠의 형상설계에 대해 논의한다. 캠의 형상설계를 위해 캠의 회전각에 대한 종동절의 변위와 속도 및 접촉상태의 기하학적 관계에 의해 캠과 종동절의 상대속도를 구하고, 상대속도가 접촉점에서의 접선과 평행하다는 조건을 이용하여 캠과 종동절의 접촉점을 구해 캠의 형상을 설계한다. 본 논문에서 제안되는 원통 캠은 캠 회전축과 종동절 회전축이 서로 교차하고 있는데 상대속도 해석과 형상 정의를 위해 캠과 종동절에 5개의 국부 좌표계를 설정한다. 캠과 종동절의 절대속도는 각각의 국부 좌표계에 대해 나타낼수 있는데 상대속도를 계산하기 위해서는 각각 절대 속도를 동일 좌표계로 일치시켜야 한다. 그리고 계산된 상대속도를 이용하여 접촉점을 구한다. 접촉점 역시 국부 좌표계에 대해 계산되므로 국부 좌표계에 대한 접촉점을 캠의 원점에 대한 전역좌표계로 좌표 변환하여 캠의 형상을 완성한다.

캠의 형상은 종동절의 변위형태와 캠과 종동절의 크기나 결합형태에 따라 캠의 형상이 변하고 복잡함으로 정확한 형상설계를 위한 형상설계법을 제안하고자 한다.

2. 회전운동용 롤러 종동절을 가진 원통 캠

롤러기어캠 기구인 회전운동용 롤러 종동절을 가진 원통 캠의 형태는 Fig. 1과 같으며, 원통형

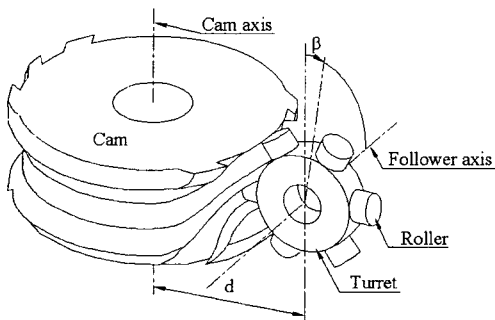


Fig. 1 Common feature of cylindrical cam with rotating roller

캠과 다수의 롤러가 옆면에 부착된 롤러 종동절로 구성되어 있다. 그림에서 원통 캠은 수직 축을 중심으로 원통 모양으로 다수의 복잡한 홈으로 형상을 이루고 있으며 원통 캠의 축과 교차하는 수평 축에 여러개의 롤러로 구성된 것이 종동절이며 터렛(turret)이라 부른다. 그리고 종동절 롤러의 운동을 유도하는 원통 캠의 옆면의 홈을 안내홈(guide groove)이라 하며 안내홈의 옆면을 리브(rib)라고 정의한다. 캠의 회전축(cam axis)과 종동절의 회전축(follower axis)이 어긋나게 교차되어 있는 것을 볼 수 있는데 캠이 회전하게 되면 캠에 파여진 안내 홈의 리브에 종동절 롤러의 옆면이 서로 접촉하면서 종동절의 축에 대해 종동절이 요구되는 회전운동 또는 정지운동을 수행하게 된다.

3. 상대 속도를 이용한 원통 캠의 형상설계

Fig. 1에서 보는 것과 같이 회전운동용 롤러 종동절을 가진 원통 캠은 캠의 회전축과 종동절의 회전축이 서로 어긋나게 교차되어 있다. 즉, 캠의 회전축을 그림에서와 같이 수직방향으로 설정한다면, 종동절의 회전축은 캠의 외각원의 접선방향으로 놓이게 된다. 캠의 회전축과 터렛 중심의 수직 거리를 d 라하고, 그림에서와 같이 터렛의 중심에서 캠의 회전축과 같이 나란히 세워진 선을 기준으로 터렛이 기울어진 각도를 β 라고 정의한다.

캠과 종동절 사이의 상대 속도 해석과 캠의 접촉점 해석과 형상 생성을 위해서 먼저 원통 캠 장

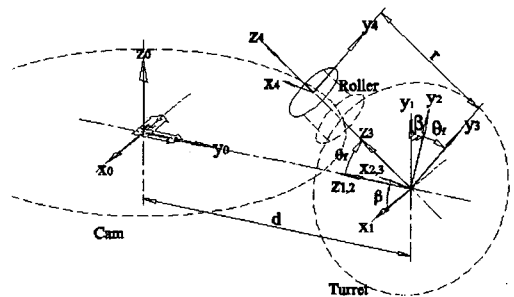


Fig. 2 Coordinate systems of cylindrical cam with rotating follower

치에 5개의 국부 좌표계를 설정한다. 5개의 국부 좌표계는 Fig. 2의 표시와 같다. Fig. 3은 Fig. 2에 표시된 각각의 좌표계 사이의 좌표변환 관계를 자세히 표현한 그림이다. Fig. 2에서 캠의 회전 중심을 원점으로 하고, 캠의 회전축이 z 축으로 하는 좌표계를 $x_0 - y_0 - z_0$ 로 표시한다. 두 번째 좌표계인 $x_1 - y_1 - z_1$ 는 Fig. 3(a)와 같이 y_0 축 방향으로 캠의 중심과 터렛의 중심간 거리 d 만큼 이동한 터렛의 중심을 원점으로 하고 x_0 축에 대해 시계 반대방향으로 90° 회전된 좌표축으로 설정한다. 좌표계 $x_2 - y_2 - z_2$ 는 Fig. 3(b)에 표시된 것과 같이 좌표계 $x_1 - y_1 - z_1$ 에서 z_1 축에 대해 터렛이 기울어진 각도 β 만큼 회전하여 터렛과 $y_2 - z_2$ 평

면이 나란히 놓이도록 하고, x_2 축이 중동절의 회전축과 같이 놓이도록 좌표계 $x_2 - y_2 - z_2$ 를 설정한다. 좌표계 $x_3 - y_3 - z_3$ 는 Fig. 3(c)에 표시된 것과 같이 x_2 축을 회전축으로 롤러가 위치한 각도 θ_r 만큼 회전된 좌표계를 좌표계 $x_3 - y_3 - z_3$ 로 설정한다. Fig. 3(d)에 표시된 것과 같이 z_3 축 방향으로 터렛의 중심에서 롤러 중심선의 임의의 점까지의 거리 r 만큼 이동된 좌표계를 좌표계 $x_4 - y_4 - z_4$ 설정한다.

중동절의 롤러의 중심은 좌표계 $x_4 - y_4 - z_4$ 의 원점에 위치하며, 좌표계 $x_4 - y_4 - z_4$ 의 어느 한 점 p_4 를 좌표계 $x_0 - y_0 - z_0$ 에 대한 p_0 로 변환

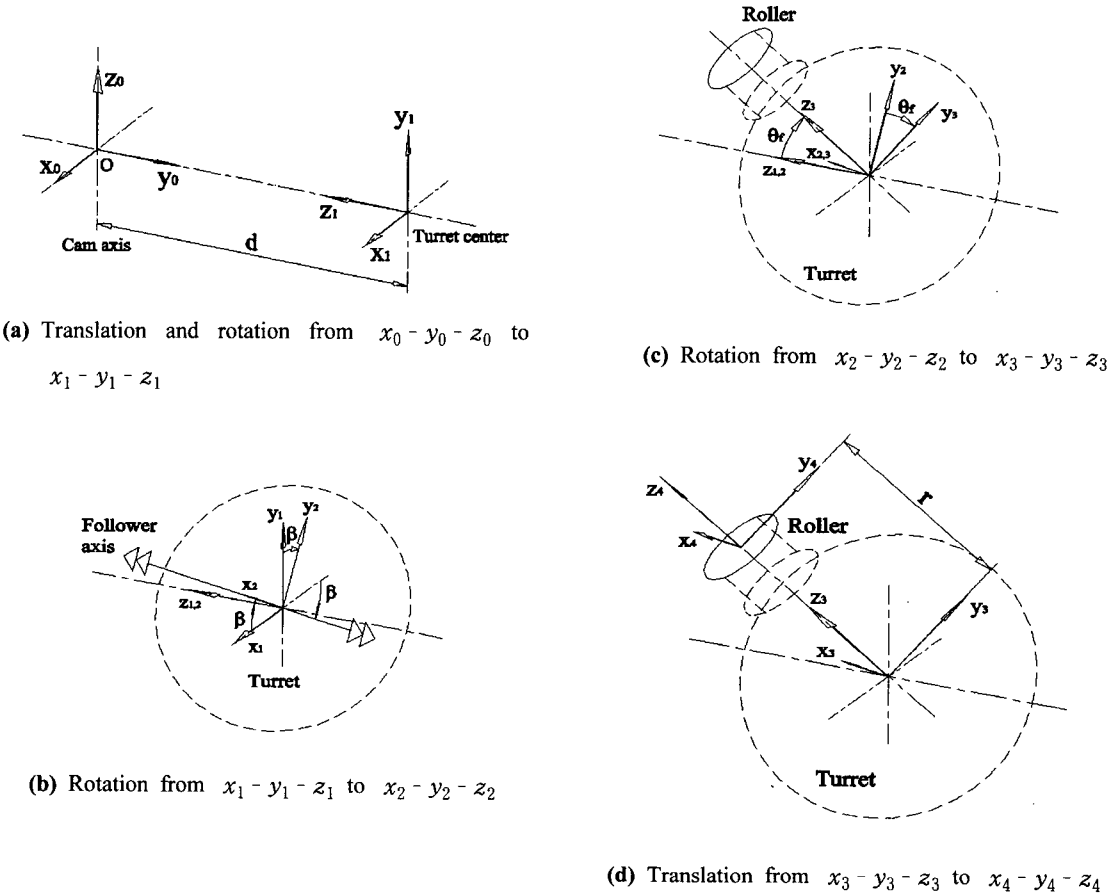


Fig. 3 Coordinate transformations for cylindrical cam with rotating follower

하기 위해 좌표변환은 식 (1)과 같다. y_0 축 방향으로 d 만큼 평행이동한 변환행렬은 식 (2)와 같고, x_0 축에 대해 90° 회전변환 행렬은 식 (3)과 같다. 그리고 z_1 축에 대해 각도 β 만큼 회전하는 회전변환 행렬은 식 (4)와 같고 x_2 축에 대해 각도 θ_f 만큼 회전하는 회전변환 행렬은 식 (5)와 같으며 z_3 축 방향으로 r 만큼 평행이동하는 변환행렬은 식 (6)과 같다.

$$p_0 = T_{y_0, d} R_{x_0, 90} R_{z_1, \beta} R_{x_2, \theta_f} T_{z_3, r} p_4 \quad (1)$$

$$T_{y_0, d} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_{x_0, 90} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R_{z_1, \beta} = \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$R_{x_2, \theta_f} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_f & -\sin \theta_f & 0 \\ 0 & \sin \theta_f & \cos \theta_f & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$T_{z_3, r} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Fig. 4는 캠의 회전과 종동철의 운동에 의해 임의의 순간에 발생하는 속도를 도시한 그림이다. 그림에서 C에서는 임의의 순간에 원통 캠의 회전에 의해 속도 V_{C0} 를 가지게 되는데, 터렛에 부착된 롤러의 중심을 원점으로 하는 좌표계 $x_4 - y_4 - z_4$ 의 원점 A 점에서 속도 V_{C0} 를 관찰하면, 캠은 z_0 방향의 높이를 갖는 원통형이므로 속도 V_{C0} 의 크기는 z_0 방향의 높이와는 무관하며 $x_0 - y_0$ 평면과 평행하게 z_0 축과 떨어진 거리와

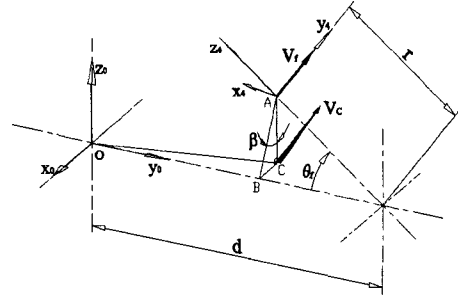


Fig. 4 Velocities on cylindrical cam with rotating follower

캠의 회전속도에만 관계된다. 그러므로 V_{C0} 는 Fig. 4에 표시된 것과 같이 캠의 $x_0 - y_0$ 평면에 수직으로 내린 점 C에서의 속도와 동일하다. 캠의 회전속도를 ω_c 로 정의하고 캠이 반시계방향으로 회전하게 되면 V_{C0} 는 캠의 중심점 O에서 수선의 발 점 C까지의 길이와 ω_c 를 곱한 값에 해당되는 크기를 갖고 캠의 중심점 O에서 수선의 발 점 C까지 이은 선상과 반시계방향으로 수직인 방향성분을 갖는다. 이를 좌표계 $x_0 - y_0 - z_0$ 에 대해 식으로 나타내면 식 (7)과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned} V_{C_{x_0}} &= (-d + r \cos \theta_f) \cdot \omega_c \\ V_{C_{y_0}} &= (r \sin \beta \sin \theta_f) \cdot \omega_c \\ V_{C_{z_0}} &= 0 \end{aligned} \quad (7)$$

변위선도(displacement curve)에서 주어지는 속도값은 캠의 속도에 대한 단위속도이므로 속도값을 ω 라고 하면, ω 는 캠의 각속도에 대한 상대값이므로 종동철의 각속도는 ω 에 캠의 회전속도 ω_c 를 곱하여야 한다. 좌표계 $x_4 - y_4 - z_4$ 원점에서 종동철의 운동에 의해 발생하는 속도 V_{f4} 은 좌표계 $x_4 - y_4 - z_4$ 에 대해서 y_4 축 성분만이 존재하며 식 (8)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} V_{f_{x_4}} &= 0 \\ V_{f_{y_4}} &= r\omega \cdot \omega_c \\ V_{f_{z_4}} &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

회전하는 캠의 중심에 대한 롤러의 상대속도를

구하기 위해 V_{c0} 성분을 좌표계 $x_4 - y_4 - z_4$ 에 대해 나타내어 동일한 좌표계로 표시하여야 하므로 식 (9)와 식 (10)에서 식 (12)로 정의된 각각의 변환행렬을 이용하여 좌표변환을 수행하면 식 (13)과 같이 V_{c4} 를 구해낼 수 있다.

$$V_{c4} = R_{x_3, -\theta_f} R_{z_2, -\beta} R_{x_1, -90} V_{c0} \quad (9)$$

$$R_{x_3, -\theta_f} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta_f & \sin \theta_f & 0 \\ 0 & -\sin \theta_f & \cos \theta_f & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

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

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

$$V_{c_{x_4}} = (-d \cos \beta + r \cos \beta \cos \theta_f) \cdot \omega_c$$

$$V_{c_{z_4}} = (-d \sin \beta \sin \theta_f + 2r \sin \beta \sin \theta_f \cos \theta_f) \cdot \omega_c \quad (13)$$

$$V_{c_{y_4}} = (d \sin \beta \cos \theta_f - r \sin \beta \cos^2 \theta_f + r \sin \beta \sin^2 \theta_f) \cdot \omega_c$$

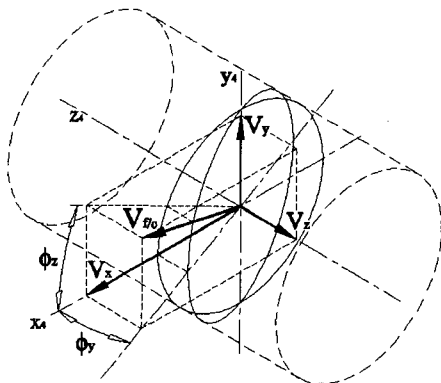


Fig. 5 Position angles of relative velocities at roller center

회전하는 캠의 중심을 원점으로 하는 좌표계를 기준으로 계산된 상대속도 V_{fc0} 는 식 (14)와 같이 V_{f0} 과 V_{c0} 의 차와 같으므로 식 (8)과 식 (13)에서 구한 속도를 대입하여 이를 정리하면 식 (15)와 같다. 식 (15)에서 상대속도 V_{fc0} 는 좌표계 $x_4 - y_4 - z_4$ 에 대해 나타낸 것이다.

$$V_{fc0} = V_{f0} - V_{c0} \quad (14)$$

$$V_{fc_{x_4}} = (d \cos \beta - r \cos \beta \cos \theta_f) \cdot \omega_c$$

$$V_{fc_{y_4}} = (r \omega - d \sin \beta \cos \theta_f + r \sin \beta \cos^2 \theta_f - r \sin \beta \sin^2 \theta_f) \cdot \omega_c \quad (15)$$

$$V_{fc_{z_4}} = (d \sin \beta \sin \theta_f - 2r \sin \beta \sin \theta_f \cos \theta_f) \cdot \omega_c$$

Fig. 5는 접촉각과 접촉점 해석을 위해 중동절의 롤러 부분을 자세히 표현한 것이다. 상대속도 V_{fc0} 가 좌표계 $x_4 - y_4 - z_4$ 와 이루는 각을 계산하면 $x_4 - z_4$ 평면과 이루는 각 ϕ_y 는 식 (16)과 같고 $x_4 - y_4$ 평면과 이루는 각 ϕ_z 는 식 (17)과 같다.

$$\phi_y = \tan^{-1} \left(\frac{V_{z_4}}{V_{x_4}} \right) \quad (16)$$

$$\phi_z = \tan^{-1} \left(\frac{V_{y_4}}{V_{x_4}} \right) \quad (17)$$

캠과 롤러가 접촉상태를 유지하기 위해서는 좌표계 $x_4 - y_4 - z_4$ 의 원점과 상대속도 V_{fc4} 가 이루는 평면에서 V_{fc4} 와 접촉점에서의 접선은 평행하여야 완전한 접촉이 이루어진다. 만일 평행하지 않으면 접촉이 분리되거나 롤러가 캠의 간섭하게 된다. 그러므로 접촉점은 좌표계 $x_4 - y_4 - z_4$ 의 원점에서 V_{fc4} 에 수직인 선이 롤러 표면과 만나게 되는 두 점에 해당된다. 롤러의 반경을 r_r 이라 정의하면 식 (18)과 같이 좌표계 $x_4 - y_4 - z_4$ 에 대한 접촉점 Q_4 가 구해진다.

$$\begin{aligned}
 Q_{x_1} &= r_r \cos(\phi_z \pm 90) \\
 Q_{y_1} &= r_r \sin(\phi_z \pm 90) \\
 Q_{z_1} &= r_r \cos(\phi_z \pm 90) \tan \phi_y
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

식 (18)을 식 (1)에 대입하여 계산하면 캠의 중심 좌표계 좌표계 $x_0 - y_0 - z_0$ 에 대한 캠의 접촉점이 나오게 된다.

$$\begin{aligned}
 Q_{x_0} &= Q_{x_1} \cos \beta - Q_{y_1} \sin \beta \cos \theta_f \\
 &\quad + Q_{z_1} \sin \beta \sin \theta_f + r \sin \beta \sin \theta_f \\
 Q_{y_0} &= -Q_{y_1} \sin \theta_f - Q_{z_1} \cos \theta_f \\
 &\quad + d - r \cos \theta_f \\
 Q_{z_0} &= Q_{x_1} \sin \beta + Q_{y_1} \cos \beta \cos \theta_f \\
 &\quad - Q_{z_1} \cos \beta \sin \theta_f - r \cos \beta \sin \theta_f
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

여기서, 캠이 z_0 를 축으로 θ_c 만큼 회전하게 되면 접촉점은 역으로 회전하는 것과 같으므로 z_0 에 대해 $-\theta_c$ 만큼 회전하는 것과 같다. 그러므로 캠의 전체 형상좌표는 식 (20)과 같이 나타난다.

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

4. 원통캠 형상설계 결과

캠의 형상 설계를 위한 종동절의 변위조건을 Table 1과 같이 정의하면 변위선도는 Fig. 6과 같이 나타난다. 그리고 캠의 설계를 위한 캠과 종동절의 형상조건은 Table 2와 같다. 캠의 회전방향은 시계방향으로 설정하고 종동절의 운동은 시계방향의 회전을 양의 값으로 정하여 캠 형상설계를 수행한다. Fig. 7은 본 논문에서 형상설계법을 기초로 개발된 "CamDesign" CAD 프로그램에 Table 2의 조건을 입력하여 캠을 설계한 형상선으로 보여 주고 있다. Fig. 8은 보다 사실적인 표현이 가능하도록 Fig. 7에 먼치리한 그림이다.

Fig. 7 및 Fig. 8와 같이 형상 설계된 캠과 종동

절을 변위에 대해 모의 동작 시험하여 캠과 종동절의 간섭 여부와 캠과 종동절이 정확히 접촉함을 확인하였고 본 논문에서 제시된 형상 설계법으로 원통 캠의 형상설계가 올바르게 이루어졌음을 확인할 수 있다.

Table 1 Displacement conditions for a cylindrical cam and rotating follower

section	cam angle(°)	motion	curve type
1	0~10	dwell	-
2	10~60	55° return	Modified sine
3	60~125	dwell	-
4	125~245	180° rise	Modified sine
5	245~310	dwell	-
6	310~360	55° rise	Modified sine

Table 2 Design parameters of a cylindrical cam and rotating follower mechanism

Parameters	Values
Radius of base circle of cam(Cr)	111 mm
Height of cam(Ch)	81 mm
Radius of turret(r)	41 mm
Length between cam rotating center and turret center(d)	140 mm
Radius of roller(r _r)	12 mm
Height of roller(r _h)	14 mm
Number of roller(N)	6

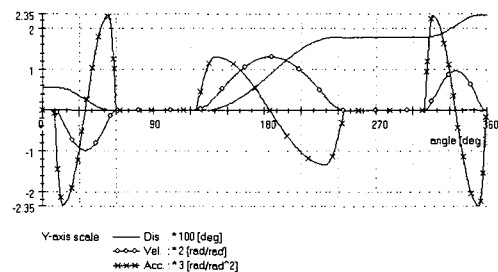


Fig. 6 Displacement, velocity and acceleration curves of a rotating follower

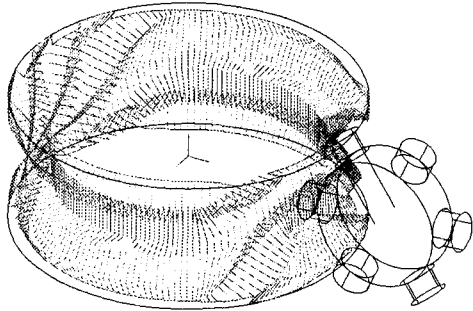


Fig. 7 Shape of the designed cylindrical cam

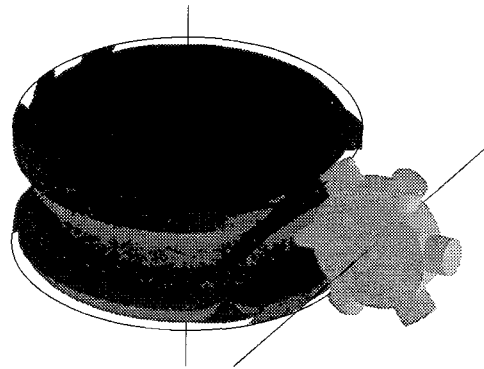


Fig. 8 Solid model of the designed cylindrical cam mechanism

5. 결론

본 논문에서는 공간상에 서로 교차되어 결합되어 있는 축 간에 정밀한 운동 전달을 위해 다양한 분야에서 응용이 가능한 원통 캠의 형상 설계에 관하여 연구하였으며, 원통 캠의 형상 설계를 위하여 상대속도를 이용한 형상설계법을 제안하였다.

상대속도를 이용한 형상설계법은 캠과 중동절의 속도해석을 통해 상대속도를 구하고, 상대속도가 중동절의 톨러나 평면 위에 존재하는 접촉점의 공통접선과 평행하여야 한다는 조건을 이용하여 캠과 톨러의 접촉점을 찾게 된다. 원통 캠의 경우 캠의 좌표축과 중동절의 좌표축이 동일한 평면에 존재하지 않고, 축이 교차되어 있으므로 접촉점을 해석하기 위해 5개의 국부좌표계를 이용한다. 제안된 방법으로 해석된 접촉점은 캠의 회전방향에 대한 역방향으로 회전변환 수행하

면 전체 캠의 형상을 얻을 수 있다.

마지막으로 본 논문에서는 제안된 상대속도를 이용한 원통 캠의 형상설계법의 검증과 정확하고 신속한 설계를 위하여 “CamDesign” 프로그램을 개발하였고, 개발된 프로그램에 실제적인 원통 캠의 설계 예제를 적용하였다. 적용 결과 정확한 형상이 설계되었고 모의 동작 시험을 통하여 원통 캠과 중동절의 톨러가 간섭 없이 접촉을 이루면서 동작하는 것을 확인하였다.

이로서 본 연구에서 제안된 원통 캠의 새로운 설계 접근 방법은 그 정확성을 입증하였고, 고기능 기계장치의 기술 및 최적설계 기술의 향상에 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌

- (1) Phande, S.G., Shadoria, B.S. and Chakraborty, J., 1975, "A Unified Approach to the Analytical Design of Three-Dimensional Cam Mechanism," *Trans. of ASME, Journal of Engineering for Industry*, pp. 327~333.
- (2) Liu, J.Y. and Yan, H.S., 1994, "Surface Geometry of Variable Pitch Cylindrical Cams with Conical Meshing Elements," *Trans. of the ASME, Journal of Mechanical Design*, Vol. 116, pp. 862~866.
- (3) Yan, H.S. and Chen, H.H., 1996, "Geometry Design of Globoidal Cams With Generalized Meshing Turret-Rollers," *Trans. of the ASME, Journal of Mechanical Design*, Vol. 118, pp. 243~249.
- (4) Tsay, D.M. and Wei, H.M., 1996, "A general approach to the determination of planar and spatial cam profiles," *Trans. of the ASME, Journal of Mechanical Design*, Vol. 118, pp. 259~265.
- (5) Kim, C. B. and Yang, M. Y., 1993, "A Study on Design and Manufacture of Spatial Cams," *Trans. of the KSME, A*, Vol. 17, No. 6, pp. 1361~1371.
- (6) Kim, C. B. and Yang, M. Y., 1991, "A CAD/CAM System for Plate Cams with Three CNC Interpolation Methods," *Trans. of the KSME, A*, Vol. 15, No. 3, pp. 869~879.