

# 상대속도를 이용한 병진운동용 롤러 종동절을 가진 원통캠의 형상설계에 관한 연구

윤호엽\*(창원대 대학원 기계설계공학과), 신중호(창원대학교 기계설계공학과),  
김종수(한국기계연구원), 김상진(창원대 대학원 기계설계공학과)

## A Study on Shape Design of Cylindrical Cam with Translating Roller Follower Using Relative Velocity

H. E. Yoon(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept., CWNU), J. H. Shin(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept.,  
CWNU), J. S. Kim(KIMM) and S. J. Kim(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept., CWNU)

### ABSTRACT

A cylindrical cam with a translation roller follower provides to transfer the translation motion and it's very useful mechanism in the automation. But, it's very difficult that the shape is defined accurately. This paper, proposes a new shape design method of the cylindrical cam with translation roller follower using the relative velocity method[1]. 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 kinematical constraints. Finally, we present an example in order to prove the accuracy of the proposed methods.

**Key Words** : Cylindrical Cam(원통 캠), Follower(종동절), Relative Velocity(상대속도), Shape Design(형상 설계)

### 1. 서론

캠(cam)은 회전운동을 병진운동 또는 회전운동으로 변환하여 운동을 전달하는 기구로서 주어진 변위 선도에 의해 운동을 하며 연속적인 운동뿐만 아니라 일단 정지 운동이 가능함으로 산업기계는 물론 일반 기계에 이르기까지 복잡한 운동을 필요로 하는 부분에 널리 이용된다. 병진운동용 롤러 종동절을 가진 원통캠은 원통 형상을 하고 있으며, 캠의 회전축과 종동절의 운동축이 평행하게 운동하는 것이 특징이다. 하지만, 형상설계와 형상정의에 어려움이 있어 손쉽게 사용되지는 못하는 실정이다.

원통 캠에 관한 연구는 많은 학자에 의해 연구되었다. Phande[2]는 입체 캠의 형상을 해석적으로 나타낼 수 있는 방법에 대해 연구하였고, Yan[3]은 미분기하학을 이용하여 캠과 롤러의 접촉점을 해석하였다. 그리고 김찬봉[4]은 벡터 해석법을 이용하여 입체캠에 대한 설계와 가공에 관하여 연구하였다.

상대속도를 이용한 형상 설계방법(상대속도법)은 강동우[1]에 의해 제안된 방법으로 앞선 방법에 비해 명확하고 수식 전개가 간단하다는 장점이 있다.

본 논문에서는 강동우에 의해 제안된 상대속도법을 이용하여 병진 운동용 롤러 종동절을 가진 캠의 형상 설계에 관하여 연구한다.

### 2. 상대속도를 이용한 형상설계[1]

상대속도란 운동하고 있는 두 물체 사이에서 한 물체를 기준으로 계산한 다른 물체의 속도를 말하며, 두 물체 사이의 운동특성을 나타낸다. 이는 캠(cam)과 같은 두 물체가 접촉운동을 하는 기구의 형상설계에 이용될 수 있다. 접촉 운동을 하고 있는 두 물체에 있어서의 상대속도는 두 물체의 접촉점에서의 접선과 항상 평행을 이루어야 한다. 두 물체 사이의 상대적인 운동의 움직임을 나타내는 상대 속도와 접촉점에서의 접선이 평행을 이루지 않으면 두 물체

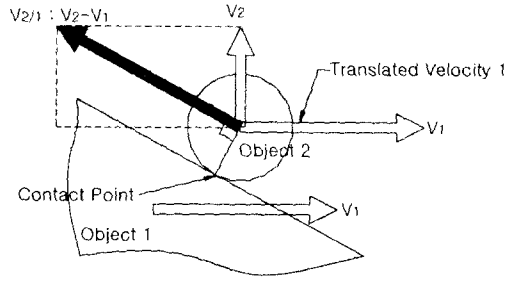


Fig. 1 Relative velocity and contact points

는 서로 접촉을 이탈하거나 서로 간섭을 일으키는 게 된다.

Fig. 1에서 두 물체 1과 2는 서로 접촉 운동을 하고 있으며 물체 1은  $V_1$ 의 속도로 운동하고 물체 2는  $V_2$ 의 속도로 운동하고 있다. 따라서 두 물체 사이의 상대속도  $V_{2/1}$ 는 그림과 같다. 그림에서  $V_{2/1}$ 은 물체 1에서 바라본 물체 2의 상대속도이다. 이는 곧 물체 1의 관점에서 관찰할 때 물체 2의 움직임의 방향과 속력을 나타낸다. 따라서 물체 1과 2의 접촉점에서의 접선은 반드시 상대속도와 평형을 이루어야 하고, 종동절(물체 2)이 원형이므로 접촉점을 구할 수 있다. 상대 속도에 의한 형상설계방법은 단순한 원리를 가지고 있지만 2차원의 형상 설계뿐만 아니라 3차원 형상을 가진 기구에서도 적용이 가능하다.

### 3. 병진운동용 롤러 종동절을 가진 원통캠의 형상설계

#### 3.1 병진운동용 롤러 종동절을 가진 원통캠

Fig. 2는 병진운동용 롤러 종동절을 가진 원통 캠을 나타낸 것이다. 캠의 회전축과 종동절의 병진운동축은 평행을 이루고 있으며 종동절에 캠의 중심으로부터 향하는 하나 또는 다수의 롤러가 부착되어 종동

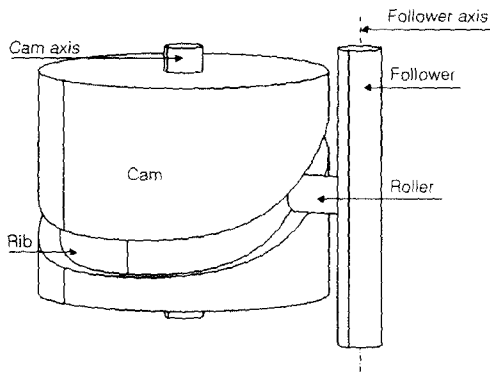


Fig. 2 Common feature of cylindrical cam and translation follower

절을 이루게 된다. 그림은 하나의 롤러가 부착된 모습이다. 캠과 종동절의 롤러가 접촉을 이루고 있는 부분을 리브(rib)라고 하며 리브에 의해 형성된 캠의 원통 상의 홈을 안내홈(groove)라고 한다. 일반적으로 캠은 계속해서 회전운동을 반복하게 되는데, 특수한 캠은 일정한 각도만큼 회전운동후에 정지하거나 반대로 회전하는 캠도 존재하며 이 경우 캠의 원주 상에 여러층의 안내홈이 존재하는 경우도 있다. 그리고 종동절축에 다수의 롤러가 부착되어 있는 경우에는 같은 형상의 안내홈에 여러 개 생성된다.

#### 3.2 좌표계 설정

병진운동용 롤러 종동절을 가진 원통캠의 설계를 위해서 일반적인 병진운동용 롤러 종동절을 가진 원통캠 시스템에 다수의 국소좌표계를 설정한다.

국소좌표계는 캠과 종동절의 속도를 각각의 좌표계를 기준으로 정의하고 각각의 좌표계에 의해 정의된 속도에서 상대속도를 구하기 위해 기준 좌표계로 통일하기 위해 사용되며 상대속도에 의해 접촉점이 해석된 후에 캠의 형상을 완성하기 위해서도 사용된다.

Fig. 3에서  $O_C$ 는 캠의 회전중심,  $\theta_C$ 는 캠의 회전 각도,  $\omega_C$ 는 캠의 회전속도,  $d$ 는 캠의 중심으로부터 종동절의 중심까지의 수평거리,  $h$ 는 기본적인 롤러의 수직 위치로부터 주어진 변위 선도에 의해 상승한 높이,  $R_L$ 은 종동절의 중심으로부터 종동절 롤러의 높이를 나타낸다. 그리고  $R$ 은 롤러의 반경을 나타낸다. Fig. 3에 도시된 병진운동 롤러 종동절

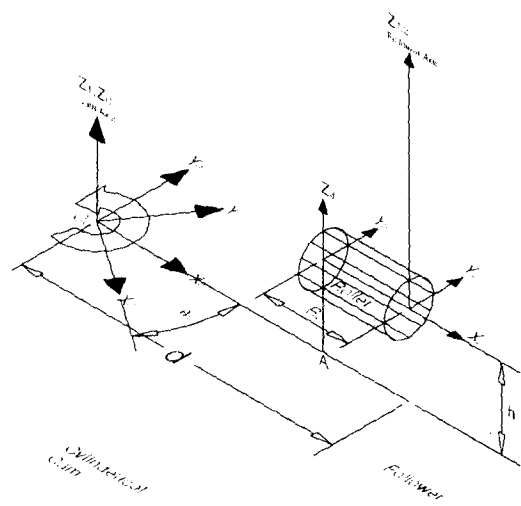


Fig. 3 Coordinate systems and velocity of cylindrical cam with translating follower

을 가진 원통캠의 좌표계 시스템은 5개의 좌표계로 정의하였다. 0-좌표계는 고정된 좌표계이며 C-좌표계는 캠의 회전각도  $-\theta_C$ 만큼 회전된 좌표계를 나타내며 1-좌표계는 0-좌표계에서 x방향으로  $d$ 만큼 이동한 좌표이고 2-좌표계는 1-좌표계에서  $h$ 만큼 이동한 좌표계를 나타낸다. 그리고 3-좌표계는 종동절의 롤러 끝에 위치한 좌표계로서 2-좌표계에서  $-x$  방향으로  $R_L$ 만큼 이동한 좌표계를 나타낸다. 식(1)은 0-좌표계에서 3-좌표계로의 변환행렬을 나타내고, 식(2) C-좌표계에서 0-좌표계로의 변환 행렬을 나타낸다.

$$T_3^0 = T_1^0 T_2^1 T_3^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d-R_L \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & h \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T_0^C = \begin{bmatrix} \cos \theta_C & \sin \theta_C & 0 & 0 \\ -\sin \theta_C & \cos \theta_C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

### 3.3 상대속도법에 의한 형상설계

캠의 회전에 의해 발생하는 캠의 속도는 점 A에서 식(3)과 같다. 식(3)은 기준 좌표계가 0-좌표계인데 이를 3-좌표계로 변환해도 결과는 같다. 종동절의 속도를 3-좌표계를 기준으로 나타내면 식(4)와 같다.

$$\begin{aligned} V_{C_{x_0}} &= V_{C_{x_3}} = 0 \\ V_{C_{y_0}} &= V_{C_{y_3}} = (d-R_L)\omega_C \\ V_{C_{z_0}} &= V_{C_{z_3}} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} V_{f_{x_3}} &= 0 \\ V_{f_{y_3}} &= 0 \\ V_{f_{z_3}} &= v\omega_C \end{aligned} \quad (4)$$

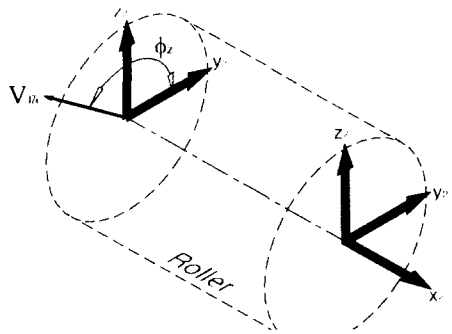


Fig. 4 Directional angles and relative velocities

식(4)에서  $v$ 는 주어진 변위선도에 의해 속도값인데, 이 값은 캠의 회전속도를 단위속력으로 계산된 값이므로 실제적인 속도는 식(4)과 같이 캠의 회전속도를 곱하여야 한다.

식(3)과 식(4)를 이용하여 캠에 대한 종동절의 상대 속도를 계산하면 식(5)와 같고, 종동절의 롤러에 상대 속도를 표시하면 Fig. 4 와 같다. 여기서 상대 속도  $V_{f/c_3}$ 의 각을 계산하면 식(6)와 같다.

$$\begin{aligned} V_{f/c_{x_3}} &= 0 \\ V_{f/c_{y_3}} &= (R_L-d)\omega_C \\ V_{f/c_{z_3}} &= v\omega_C \end{aligned} \quad (5)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{V_{f/c_{z_3}}}{V_{f/c_{y_3}}} = \tan^{-1} \left( \frac{v}{R_L-d} \right) \quad (6)$$

앞서 제안한 것과 같이 상대속도는 캠과 종동절의 접촉점에서의 접선과 평행함으로 접촉점의 좌표는 식(7)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} Q_{x_3} &= 0 \\ Q_{y_3} &= R_r \cos(\phi \pm 90^\circ) \\ Q_{z_3} &= R_r \sin(\phi \pm 90^\circ) \end{aligned} \quad (7)$$

식(7)은 3-좌표계를 기준으로 한 식이다. 이를 고정된 0-좌표계를 기준으로 변환하고 이것을 다시 캠의 좌표계로 변환하는 과정을 거쳐야 캠의 형상이 완성된다. 따라서 3-좌표계에서 0-좌표계로의 변환과 0-좌표계에서 C-좌표계로의 변환식은 각각 식(8)과 식(9)와 같다. 식(8)에 식(1)의 변환 행렬을 대입하여 계산하면 식(10)와 같다. 그리고 식(10)를 식(9)에 의해 변환한 식은 식(11)과 같다. 식(11)이 최종 형상설계식이다.

$$Q_0 = T_1^0 T_2^1 T_3^2 Q_3 = T_3^0 Q_3 \quad (8)$$

$$C_C = T_0^C Q_0 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} Q_{x_0} &= d-R_L \\ Q_{y_0} &= R_r \cos(\phi \pm 90^\circ) \\ Q_{z_0} &= h + R_r \sin(\phi \pm 90^\circ) \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} C_{x_C} &= Q_{x_0} \cos \theta_C + Q_{y_0} \sin \theta_C \\ C_{y_C} &= -Q_{x_0} \sin \theta_C + Q_{y_0} \cos \theta_C \\ C_{z_C} &= Q_{z_0} \end{aligned} \quad (11)$$

#### 4. 형상설계 적용례

캠은 360° 반복적인 회전운동을 하고 종동결은 상하 반복운동을 하는 예제이다. 캠의 설계에 사용된 변위 선도는 Fig. 5 와 같고 캠의 설계에 필요한 변수는 Table 1과 같다. Fig. 6은 Fig. 5와 Table 1에 의해 설계된 형상을 보여주고 있으며 Fig. 7은 설계의 정확성을 확인하기 위해 컴퓨터 모의 시험 (Simulation)하는 장면이다.

Table 1 Design parameters of cylindrical cam and translating follower mechanism

Item	Values	Note
Cam Radius	60	
Cam Height	60	
Cam Base Height	10	
Distance between cam axis and follower axis	70	
Roller radius	5	
Roller Height	20	
Rotational Direction	CCW	
Reciprocation Motion	Reciprocation	

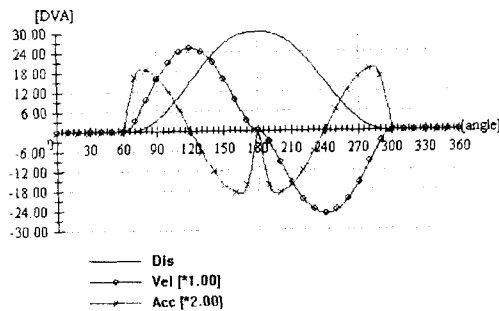


Fig. 5 Displacement, velocity and acceleration curves for example

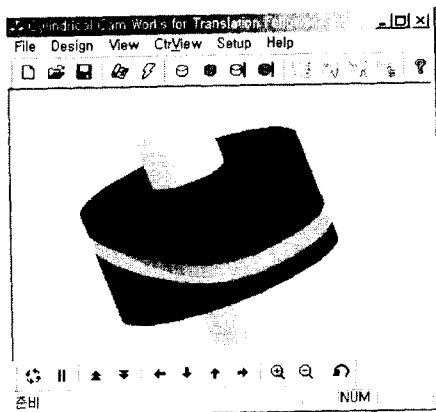


Fig. 6 Designed shape of the cylindrical cam

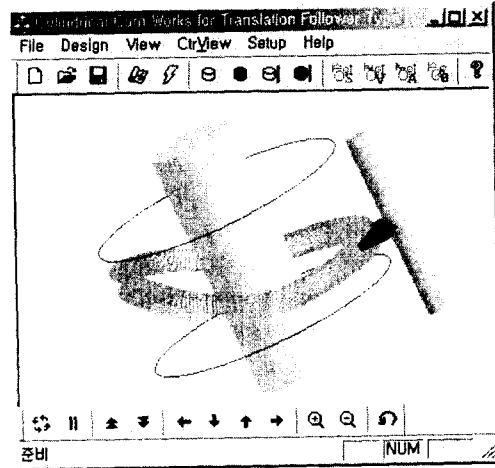


Fig. 7 Simulation of the cylindrical cam mechanism

#### 5. 결론

본 연구에서는 상대속도법을 이용하여 병진운동용 롤러 종동결을 가진 원통캠에 관하여 연구하였다. 상대속도법은 다른 방법에 비해 수식 전개가 간편하며 정확한 캠의 설계방법을 제공해 준다.

그리고 본 연구에서 설계된 캠의 정확성을 검증하기 위해 2가지의 예를 적용하여 모의 동작 시험 (Simulation)을 통하여 본 연구에서 제안된 바렐 캠의 설계를 위한 상대속도법과 개발된 CAD프로그램의 정확성을 검증하였다.

#### 참고문헌

1. 강동우, "다축제어용 원반 캠과 원통 캠의 복합 기구의 설계 자동화에 관한 연구," 박사학위논문, 국립장원대학교, 2000.
2. S.G. Phande, B.S. Shadoria and J. Chakraborty, 1975, "A Unified Approach to the Analytical Design of Three-Dimensional Cam mechanism," Trans. of ASME, Journal of Engineering for Industry, pp327-333.
3. Liu J.Y. and Yan H.S., 1994, "Surface Geometry of Variable Pitch Cylindrical Cams with Conical Meshing Elements," Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design, Vol.116, pp. 862-866.
4. 김찬봉, 양민양, 1993, "'입체캠의 형상설계와 가공에 관한 연구,' 대한 기계 학회 논문집, 제 17권 제6호, pp.1361-1371