

상대속도를 이용한 자동공구교환장치용 원통 캠의 형상 설계에 관한 연구

김성원*, 신중호**, 강동우***, 장세원****

A Study on Shape Design Approach of Cylindrical Cam for Automatic Tool Changer Using Relative Velocity

S. W. Kim, J. H. Shin, D. W. Kang, S. W. Chang

Key Words: Relative Velocity method(상대속도법), Cylindrical cam(원통 캠), Shape design(형상설계), Coordinate transformation(좌표변환), Automatic Tool Changer(자동공구교환장치)

Abstract

Cam mechanism is one of the common devices used in many automatic machinery. Specially cylindrical cam generates three dimensional motions. Thus, the shape design procedure must have high accuracy. This paper proposes the shape design procedure for a cylindrical cam and follower mechanism using a relative velocity method. The relative velocity method and coordinate transformation are used to find a contact point between cam and follower. Also, the full shape of the cylindrical cam can be generated by using the geometric relationships and the contact constraints. As a result, this paper presents an example for the shape design of the cylindrical cam in order to prove the accuracy of the design procedures.

1. 서론

현대 산업 기계는 고속화 되어가고 있다. 이에 발 맞추어 공작기계도 고속화되어 가고 있다. 최근 공작기계를 대표하는 머시닝 센터도 고속화와 생산성이 성능을 판가름하는 주요 척도가 되고 있다. 현시점에서 머시닝 센터의 정밀도는 비약적인 발전하였고 기술 수준의 비교 척도는 생산성에 초점이 맞추어 지고 있다. 따라서 주축의 고속회전과 급속 이송에 대한 연구가 활발하게 진행중이고 이와 아울러 ATC(자동공구교환장치)에 대한 연구도 활발하게 이루어지고 있다. 공작

기계의 핵심 부분으로 성능에 큰 영향을 주는 ATC(Automatic Tool Changer)는 유·공압 작동기(Actuator)의 순차적 작동에 따라 공구 교환을 수행하는 방식을 주로 사용해 왔다. 그러나, 1985년경부터 선진 공작기계 제작업체에서는 공구 교환암(Change Arm)이 전기 모터 및 캠(Cam)으로 작동되는 고속 ATC 개발에 중점을 두고 있는 실정이다. 캠에 의한 고속 ATC는 캠의 형상 설계가 정확히 될 때 원활한 고속의 운동을 수행할 수 있다.

이에 본 연구에서는 ATC용 원통 캠의 형상설계를 위해 원통 캠과 교환 암(Change Arm)사이의 상대속도와 좌표변환을 이용하여 정확한 접촉점을 해석하고 이를 이용한 원통 캠의 형상 설계법을 제시한다. 또한 제시된 이론을 바탕으로 전

* 창원대학교 대학원 기계설계공학과

** 창원대학교 기계설계공학과

*** 창원대학교 대학원 기계설계공학과

**** 창원대학교 대학원 기계설계공학과

용 프로그램을 작성하여 검증하고 실용설계의 편의를 도모한다.

2. 상대속도를 이용한 형상설계법

Fig. 1은 일반적인 원통 캠과 종동절의 형상을 나타내는 그림으로 캠이 입력축(Input axis)을 따라 360° 회전할 때 종동절은 출력축(Output axis)을 따라 캠과 맞물려 회전하게 된다

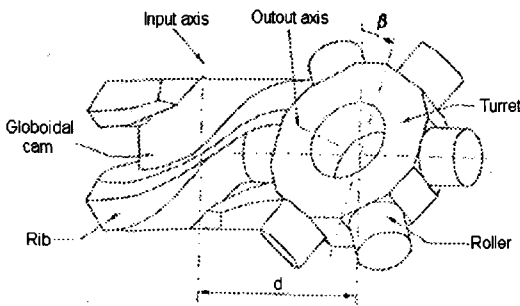


Fig. 1. Common Feature of Cylindrical cam and follower

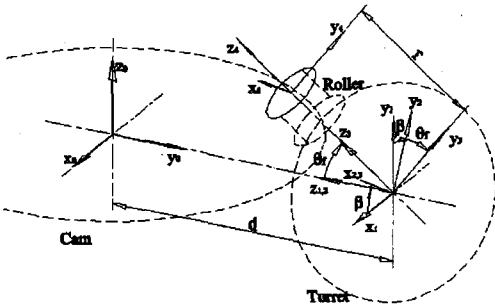


Fig. 2 Coordinate system

캠의 중심을 원점으로 놓고 x_0, y_0, z_0 좌표계로 표시하고 종동절의 롤러중심에서 x_4, y_4, z_4 좌표계로 표시한다. 그러면 Fig. 2와 같이 좌표계 4의 어느 한 점 P_4 를 좌표계 0의 좌표 P_0 로 변환하여 나타내려면 식(1)과 같은 좌표변환을 수행

하여야 하고 각 좌표행렬들은 식(2)에서 식(6)까지와 같다. 여기서 캠과 트렛(Turret) 중심간의 거리를 d 라하고, 트렛(Turret)의 중심에서 좌표계 4의 원점까지의 거리를 r 이라고 하며 트렛이 y_0 축에 대해 기울어진 각도를 β , 트렛 중심을 기준으로 회전된 양을 θ_r 라고 정의한다

$$p_0 = T_{y,d} R_{x,90} R_{z,\beta} R_{x,\theta_r} T_{z,r} p_4 \quad (1)$$

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

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

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

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

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

롤러의 중심좌표계인 x_4, y_4, z_4 원점에서 캠의 회전에 의해 발생하는 속도 V_c 는 캠이 z_0 방향의 높이를 갖는 실린더형이므로 Fig. 3에서와 같이 캠의 x_0, y_0 평면에 수직으로 내린 점에서 캠의 회전에 의해 발생하는 속도와 동일하다. 그러므로 캠이 시계방향으로 회전하며 회전속도는 단위속도 1로 정의하게 되면 V_c 는 캠의 중심에서 수선의 발까지의 길이에 해당되는 크기를 갖고 캠의 중심에서 수선의 발까지 이은 선상에 시계방향으로 수직한 방향성분을 갖는다. 이를 식으로 나타내면 식(7)과 같이 나타낸다.

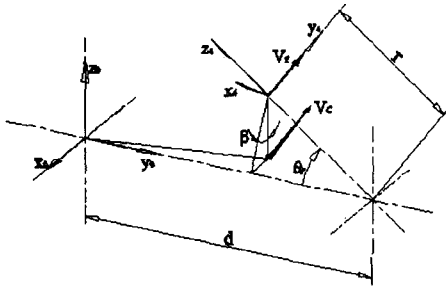


Fig. 3 Velocity of Roller and Cam

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

중동절의 회전운동에 의해 발생하는 좌표계4의 원점에서의 속도 V_R 을 좌표계 4에 대해서 나타내면 속도는 y_4 축 선상에 있으므로 트렛(Turret)의 각속도를 ω 라 정의하면 식(8)과 같이 나타난다.

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

회전하는 캠의 중심에서 바라본 롤러의 상대속도를 구하기 위해 V_C 성분을 좌표계4에 대해 나타내어 동일한 좌표계로 표시되어야 하므로 식(9)과 같이 좌표변화를 수행하여 식(13)과 같이 V_C 를 나타낸다.

$$V_{C_4} = R_{x,-\theta_f} R_{z,-\beta} R_{x,-90} V_{C_0} \quad (9)$$

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

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

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

$$\begin{aligned} V_{C_{x_4}} &= -d \cos \beta + r \cos \beta \cos \theta_f \\ V_{C_{y_4}} &= d \sin \beta \cos \theta_f - r \sin \beta \cos^2 \theta_f \\ &\quad + r \sin \beta \sin^2 \theta_f \\ V_{C_{z_4}} &= -d \sin \beta \sin \theta_f + 2r \sin \beta \sin \theta_f \cos \theta_f \end{aligned} \quad (13)$$

회전하는 캠의 중심에서 바라본 롤러의 상대속도 $V_{R/C}$ 는 식(14)와 같이 V_R 과 V_C 의 차와 같고 이를 정리하면 식(15)와 같다.

$$V_{R/C} = V_R - V_C \quad (14)$$

$$\begin{aligned} V_{R/C_{x_4}} &= d \cos \beta - r \cos \beta \cos \theta_f \\ V_{R/C_{y_4}} &= r\omega - d \sin \beta \cos \theta_f \\ &\quad + r \sin \beta \cos^2 \theta_f - r \sin \beta \sin^2 \theta_f \\ V_{R/C_{z_4}} &= d \sin \beta \sin \theta_f - 2r \sin \beta \sin \theta_f \cos \theta_f \end{aligned} \quad (15)$$

캠과 롤러가 접촉상태를 유지하기 위해서는 $V_{R/C}$ 와 캠과 롤러의 접촉점은 수직인 상태를 유지해야한다. 그러므로 좌표계4의 원점에서 $V_{R/C}$ 에 수직인 선이 롤러 표면과 만나는 점이 접촉점으로 구해진다. 이를 식(1)에 대입하면 캠의 중심좌표계 x_0, y_0, z_0 좌표계에 대한 캠의 접촉점이 나오게 되고 여기에 캠이 z_0 를 축으로

θ_c 만큼 회전하게 되면 접촉점은 역으로 회전하는 것과 같으므로 z_0 에 대해 $-\theta_c$ 만큼 회전하는 것과 같으므로 캠의 전체 형상좌표는 식(16)과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} x_c &= \cos \theta_c x_0 + \sin \theta_c y_0 \\ y_c &= -\sin \theta_c x_0 + \cos \theta_c y_0 \\ z_c &= z_0 \end{aligned} \quad (16)$$

3. 캠 설계 프로그램의 적용예

캠 설계를 위해 먼저 종동질의 운동이 결정되어야 한다. 적용예를 위해 변위선도는 Table. 1에 제시된 것과 같이 정의하면, 변위, 속도 및 가속도 성분들의 그래프는 Fig. 4와 같이 나타낸다.

Table. 1 Displacement curves for a cam design

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

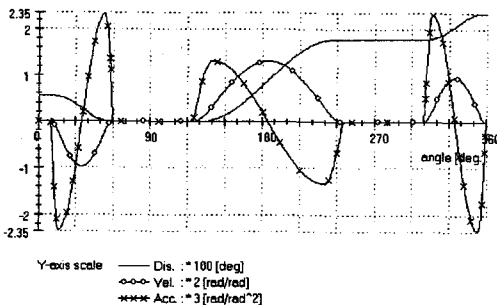


Fig. 4. Displacement, velocity and acceleration curves of the cam mechanism

캠의 형상설계를 위한 캠과 종동질의 치수는 캠의 기초원의 반경을 111mm로, 종동질의 트렛 (Turret)의 반경을 41mm로 하며 캠의 상단과 하단의 높이는 41.5mm로 하고 캠과 종동질의 트렛 (Turret) 중심간의 거리를 140mm로 정하고 종동질의 롤러의 반경을 12mm로, 롤러의 높이는 14mm로 두고 롤러의 개수는 6개로 정한다. 캠의 회전방향은 시계방향으로 정하고 종동질의 운동은 시계방향의 회전을 양의 값으로 정하여 캠 형상설계를 수행한다.

Fig. 5는 본 논문에 제안된 결정법을 이용하여 작성한 캠 형상설계 프로그램의 입력과정을 보여주는 그림이며 Fig. 6은 설계된 캠의 형상을 선으로 보여주며 Fig. 7은 형상 설계된 캠을 입체감 있게 먼저리하여 표현한 모습이다.

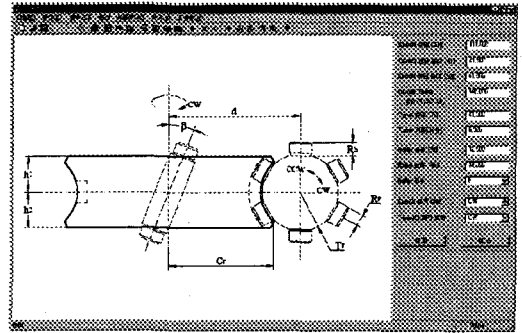


Fig. 5. Feature of the developed program

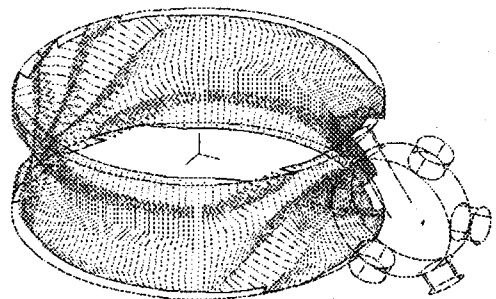


Fig. 6. Shape of the designed cam and follower

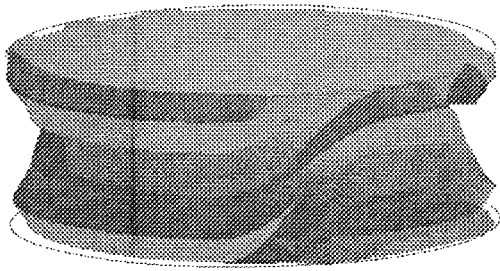


Fig. 7. Solid model

4. 결론

원통 캠에 대하여 종동질의 상대속도를 이용한 캠의 형상설계를 위한 이론식을 전개하고 형상설계 전용 프로그램을 작성하여 적용하였다. 캠의 형상을 360° 회전시키며 종동질의 운동과 움직임을 살펴본 결과 간섭없이 부드럽게 움직이는 것을 볼 수 있었다.

본 연구에서 캠의 형상설계를 위한 형상 좌표점들은 몇몇 식들로 구해지고 본 연구에서 제의된 속도성분 설계법으로 캠의 정확한 형상설계가 가능하며, 개발된 프로그램은 전산 원용설계에 대한 응용성과 간편성을 향상시킨다.

참고문헌

1. G.H. Martin, 1992, "Kinematics and Dynamics of Machines", McGraw-Hill, pp. 20~152.
2. R.L. Norton, 1992, "Design of Machinery", McGraw-Hill, pp.353~369.
3. J.E. Shigley, J.J. Uicker, 1980, "Theory of Machines and Mechanisms", McGraw-Hill, pp. 226~241.
4. J.Y. Liu, H.S. Yan, 1994, "Surface Geometry of Variable Pitch Cylindrical Cams with

Conical Meshing Elements", Transactions of the ASME, Vol. 116. pp. 862~866.

5. H.S. Yan, H.H. Chen, 1996, "Geometry Design of Globoidal Cams With Generalized Meshing Turret-Rollers", Journal of Mechanical Design, Vol. 118. pp. 243~249.

6. 강동우, 2000, "다축제어용 원반 캠과 원통 캠의 복합기구의 설계 자동화에 관한 연구", 박사학위논문, 창원대학교.