

병진운동용 원형 종동절을 가진 원통캠의 형상설계에 관한 연구

윤호업*·신중호*·구병국*
(2002년 12월 2일 접수, 2003년 6월 16일 심사완료)

Study on Shape Design of Cylindrical Cam with A Translating Roller Follower

Ho-Eop Yoon, Joong-Ho Shin and Byong-Kook Gu

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

Abstract

A cylindrical cam with a translating roller follower provides to change the rotational motion of the cam to the translation motion of the follower. It's a very useful mechanism in the automation. But, it's very difficult that the shape is defined accurately. This paper proposes a shape design method of the cylindrical cam with a translation roller follower using the relative velocity method^(9,11-13). 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 examples in order to prove the accuracy of the proposed methods.

1. 서론

캠(cam)은 회전운동을 병진운동 또는 회전운동으로 변환하여 운동을 전달하는 기구로서 종동절(follower)은 주어진 변위 선도에 의해 운동을 하며, 연속적인 운동뿐만 아니라 일단 정지 운동이 가능하다. 따라서 산업기계는 물론 일반기계에 이르기까지 복잡한 운동을 필요로 하는 부분에 널리 이용된다.

롤러 종동절을 가진 원통캠 기구에서는 원통캠은 원통 축에 대해 회전하고 종동절이 캠의 회전축과 평행하게 병진운동하는 것이 특징이다. 기

본적인 형상은 Fig. 2와 같으며, 특히 산업기계, 인쇄기계, 섬유기계를 비롯한 자동화기계에 폭넓게 활용되고 있다.

원통 캠에 관한 연구는 많은 학자에 의해 연구되었다. Phande⁽¹⁾는 원통 캠의 형상을 해석적인 방법으로 나타낼 수 있는 방법에 대한 연구하였으며, 김찬봉^(2,3)은 벡터 해석법을 이용하여 원통캠에 대한 설계와 가공에 관하여 연구하였다. 신중호^(4,8)는 디스크형 판형캠의 형상설계에 순간속도중심점을 이용한 형상설계법을 제안하였으며, Yan,^(5,6) Wei,⁽⁷⁾ Chen⁽⁶⁾등은 미분기하학을 이용하여 원통 캠과 롤러의 접촉점을 해석하였다. 그리고 윤호업⁽¹⁰⁾은 신중호^(4,8)가 제안한 순간속도중심점 방법을 이용하여 사이크로이드 감속기의 사이크로이드 판기어 형상설계에 적용하였다.

그러나 Phande가 사용한 방법은 해석적인 방법으로 정확한 형상정의가 어렵고, 김찬봉, Yan, Wei, Chen이 사용한 방법은 수식 전개가 복잡하

* 책임저자, 회원, 창원대학교 기계설계공학과

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

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

* 창원대학교 대학원 기계설계공학과

다는 단점이 있고, 순간속도중심점 방법은 2차원 형상에 대해서는 적용이 용이하나 3차원 형상에 대해서는 공간상에서 순간속도중심을 해석하기가 난해해 적용하기가 쉽지 않은 점이 있다. 상대속도를 이용한 형상 설계법^(9,11~13)은 앞선 여러 가지의 방법에 비해 3차원 공간상의 형상에 대해 적용이 용이하며 정확하다는 장점과 수식 전개가 간단하여 쉽게 원통캠의 형상 설계에 적용이 가능하다는 이점이 있으며 여러 종류의 캠을 설계하는데 적용되었으며 그 유용성을 입증 받고 있다.^(11~13)

본 논문에서는 상대속도를 이용한 형상설계법을 이용하여 병진 운동용 롤러 종동절을 가진 캠의 형상 설계에 관해 연구 하고자 한다.

2. 상대속도를 이용한 형상설계

상대속도란 운동하고 있는 두 물체 사이에서 한 물체를 기준으로 계산한 다른 물체의 속도를 말한다. 상대속도는 운동하고 있는 두 물체 사이의 운동관계를 잘 나타내며, 두 물체가 서로 접촉 운동을 하고 있을 경우 접촉점에서의 접선과 평행을 이룬다.^(9,11~13) 이는 캠(cam)과 같이 두 물체가 접촉운동을 하는 기구의 형상설계에 이용할 수 있다.

임의의 순간에 접촉 운동을 하고 있는 두 물체의 접촉점에서의 접선은 두 물체사이의 상대속도와 평행을 이루어야 한다. 두 물체 사이의 상대적인 운동의 움직임을 나타내는 상대 속도와 접촉점에서의 접선이 평행을 이루지 않으면 두 물체는 접촉을 이탈하거나 서로 간섭을 일으키는 현상이 발생한다.

Fig. 1에서 두 물체 1과 2는 서로 접촉 운동을 하고 있으며 물체 1은 V_1 의 속도로 운동하고,

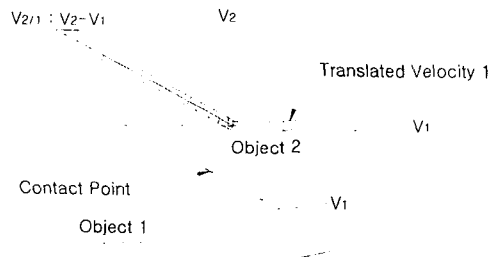


Fig. 1 Relative velocity and contact points

물체 2는 V_2 의 속도로 운동하고 있다. 두 물체 사이의 상대속도 $V_{2/1}$ 는 Fig. 1에 나타난 것과 같다. 그림에서 $V_{2/1}$ 은 물체 1에서 바라본 물체 2의 상대속도이다. 이것은 곧 물체 1의 관점에서 관찰할 때 물체 2의 움직임의 방향과 속력을 나타낸다. 따라서 물체1과 2의 접촉점에서의 접선은 반드시 상대속도와 평행을 이루어야 하고, 종동절(물체2)가 원형이므로 접촉점을 해석할 수 있다. 그리고 모든 순간에 대해 적용하면 제품의 형상을 설계할 수 있다.^(4,9~13)

상대속도에 의한 형상설계는 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 원통캠(cylindrical cam with a translating roller follower)을 나타낸 것이다. 캠의 회전축과 종동절의 병진 운동축은 평행을 이루고 있으며, 종동절에 캠의 중심으로 향하는 하나 또는 다수의 롤러(roller)가 부착되어 종동절을 이루고 있다. 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 연속으로 회전운동을 수행하는데, 특수한 캠은 일정한 각도만큼 회전운동후에 정지하거나 반대로 회전하는 캠도 존재하며, 이 경우 캠의 원주 상에 여러층

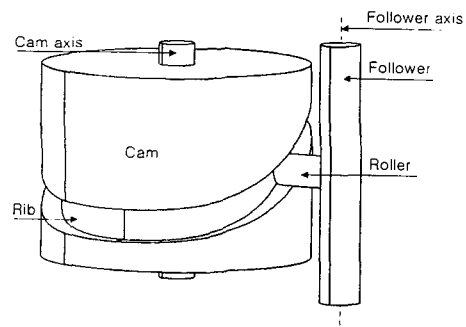


Fig. 2 Common feature of cylindrical cam with a translating roller follower

의 안내홈이 존재하는 경우도 있다. 그리고 종동절축에 다수의 롤러가 부착되어 있는 경우에는 같은 형상의 안내홈이 여러개 생성된다.

3.2 좌표계 설정

병진운동용 롤러 종동절을 가진 원통캠의 설계를 위해서 일반적인 병진운동용 롤러 종동절을 가진 원통 캠 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.^(9~13)

Fig. 3에서 O_C 는 캠의 회전중심, θ_C 는 캠의 회전 각도, ω_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_f 은 롤러의 반경을 나타낸다. Fig. 3에 도시된 병진운동 롤러 종동절을 가진 원통캠의 좌표계 시스템은 5

개의 좌표계로 정의하였다. 0-좌표계는 고정된 좌표계이며 C-좌표계는 캠의 회전각도 $-\theta_C$ 만큼 회전된 좌표계를 나타내며 1-좌표계는 0-좌표계에서 x 방향으로 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. 각각의 좌표 변환 행렬은 다음과 같다. 식 (1)은 0-좌표계에서 1-좌표계로의 변환 행렬을 나타내고, 식 (2)는 1-좌표계에서 2-좌표계로의 변환행렬, 식 (3)은 2-좌표계에서 3-좌표계로의 변환 행렬, 식 (4)는 C-좌표계에서 0-좌표계로의 변환 행렬을 나타낸다. T_j^i 는 i -좌표계에서 j -좌표계로의 좌표 변환 행렬을 나타낸다.

$$T_1^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T_2^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & h \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$T_3^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -R_L \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T_0^C = \begin{bmatrix} \cos \theta_C & \sin \theta_C & 0 & 0 \\ -\sin \theta_C & \cos \theta_C & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

3.3 상대속도에 의한 형상설계

캠의 회전에 의해 발생하는 캠의 속도는 점 A에서 식 (5)와 같다. 식 (5)는 기준 좌표계가 0-좌표계인데 이를 3-좌표계로 변환해도 식은 동일하다. 속도는 벡터인데 벡터를 평행이동하더라도 결과는 동일하기 때문이다. 변환한 식은 식 (6)과 같다.

$$\begin{aligned} V_{C x_0} &= 0 \\ V_{C y_0} &= (d - R_f) \omega_C \\ V_{C z_0} &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

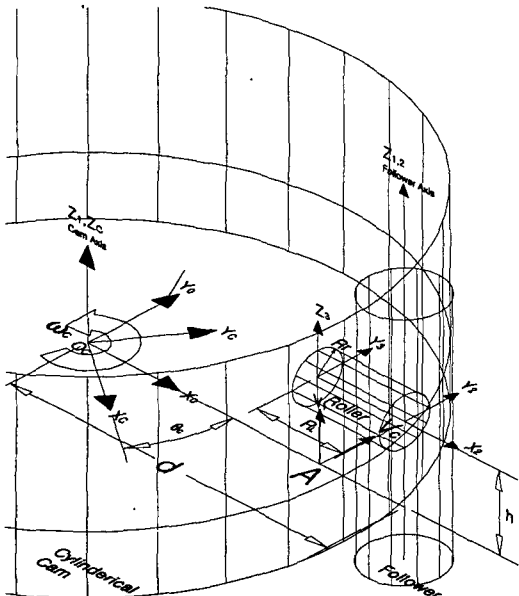


Fig. 3 Coordinate systems and velocity of a cylindrical cam and a translating roller follower

$$\begin{aligned}
 V_{C x_3} &= 0 \\
 V_{C y_3} &= (d - R_l) \omega_C \\
 V_{C z_3} &= 0
 \end{aligned} \tag{6}$$

주어진 변위 선도에 의한 중동절의 속도를 3-좌표계를 기준으로 나타내면 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned}
 V_{f x_3} &= 0 \\
 V_{f y_3} &= 0 \\
 V_{f z_3} &= v \omega_C
 \end{aligned} \tag{7}$$

식 (7)에서 v 는 주어진 변위선도에 의한 속도 값인데 이 값은 캠의 회전속도를 단위속력으로 계산된 값이므로 실제적인 값은 식 (7)과 같이 캠의 회전속도와 곱의 형태로 나타난다

따라서 식 (6)과 식 (7)을 이용하여 3-좌표계를 기준으로 한 캠에 대한 중동절의 상대속도를 계산하면 식 (8)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 V_{f/c x_3} &= 0 \\
 V_{f/c y_3} &= (R_l - d) \omega_C \\
 V_{f/c z_3} &= v \omega_C
 \end{aligned} \tag{8}$$

중동절 롤러에 식 (8)의 상대속도를 표현하면 Fig. 4와 같이 표현된다. 여기서 상대속도 $V_{f/c 3}$ 과 y_3 축이 이루는 각을 계산하면 식 (9)와 같다.

$$\phi = \tan^{-1} \frac{V_{f/c z_3}}{V_{f/c y_3}} = \tan^{-1} \left(\frac{v}{R_l - d} \right) \tag{9}$$

앞에서 제안한 것과 같이 상대속도는 캠과 중동절의 접촉점에서의 접선과 평행하므로 접촉점의 좌표는 식 (10)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 Q_{z_3} &= 0 \\
 Q_{y_3} &= R_r \cos(\phi \pm 90^\circ) \\
 Q_{x_3} &= R_r \sin(\phi \pm 90^\circ)
 \end{aligned} \tag{10}$$

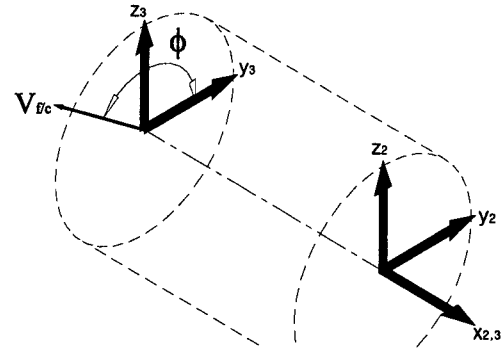


Fig. 4 Relative velocities and directional angle

식 (10)은 3-좌표계를 기준으로 한 식이다. 이를 고정된 0-좌표계를 기준으로 변환하고 이것을 다시 캠의 좌표계로 변환하는 과정을 거쳐야 캠의 형상이 완성된다. 먼저 3-좌표계에서 0-좌표계로의 변환식은 식 (11)과 같다.

$$Q_0 = T_1^0 T_2^1 T_3^2 Q_3 \tag{11}$$

식 (11)에 식 (1)부터 식 (3)의 변환 행렬을 대입하여 계산하면 식 (12)와 같다.

$$\begin{aligned}
 Q_{x0} &= d - R_l \\
 Q_{y0} &= R_r \cos(\phi \pm 90^\circ) \\
 Q_{z0} &= h + R_r \sin(\phi \pm 90^\circ)
 \end{aligned} \tag{12}$$

그리고 0-좌표계에서 C-좌표계로의 변환식은 식 (13)과 같고 이로부터 계산된 캠의 형상정의식은 식 (14)와 같다. 식 (14)가 원통캠의 최종 형상 설계식이 된다.

$$C_C = T_0^C Q_0 \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
 C_{x_c} &= Q_{x0} \cos \theta_C + Q_{y0} \sin \theta_C \\
 C_{y_c} &= -Q_{x0} \sin \theta_C + Q_{y0} \cos \theta_C \\
 C_{z_c} &= Q_{z0}
 \end{aligned} \tag{14}$$

4. 형상설계 적용례

4.1 적용 예제 I

예제I은 캠은 360°회전운동을 하고, 종동절은 상하 반복 운동을 하는 예제이다. 캠의 설계에 사용된 변위선도는 Fig. 5와 같고, 캠의 설계에 필요한 설계데이터는 Table 1과 같다. Fig. 6은 변위선도와 설계데이터를 이용하여 설계된 형상을 보여주고 있다. Fig. 7은 설계의 정확성을 검증하기 위해 컴퓨터상에서 캠을 회전에 의한 종동절의 운동에 의한 변위와 접촉관계(간섭의 유무)를 확인하는 절차이다. 시뮬레이션에 의한 변위의 비교로 Fig. 8와 같이 주어진 변위선도 Fig. 5와 일치함을 보여준다. 그리고 Fig. 9는 설계된 형상데이터를 기반으로 가공한 캠의 모습으로서 측정형상과 설계형상이 동일함을 확인하였다.

Table 1 Design parameters of cylindrical cam with translating roller follower mechanism(I)

Item	Values
Cam Radius	75
Cam Height	150
Cam Base Height	40
Distance between cam axis and follower axis	95
Roller radius	10
Roller Height	35
Rotational Direction	CCW
Reciprocation Motion	Reciprocation

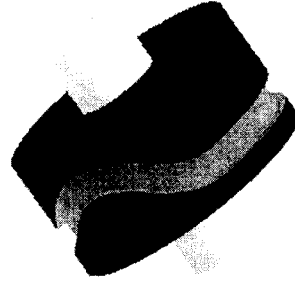


Fig. 6 Designed shape of the cylindrical cam (I)

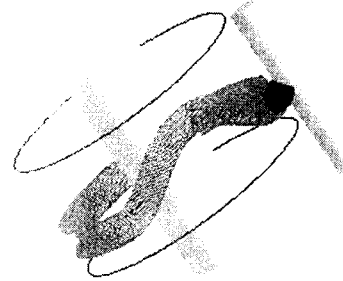


Fig. 7 Simulation of the cylindrical cam mechanism(I)

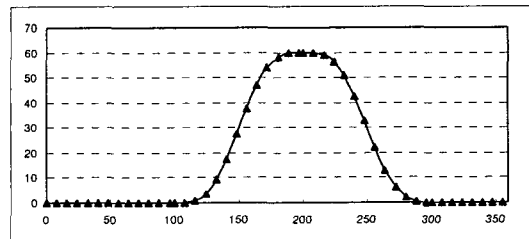


Fig. 8 Comparison between displacement data

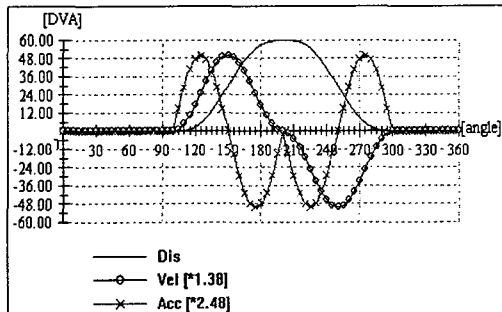


Fig. 5 Displacement, velocity and acceleration curves for example(I)



Fig. 9 The manufactured cylindrical cam(I)

4.2 적용 예제 II

예제II는 캠이 600° 반복적인 회전운동을 하고 종동절은 직선왕복운동을 한다. 캠의 설계를 위한 변위 선도는 Fig. 10과 같고, 캠의 설계에 필요한 설계데이터는 Table 2와 같다. Fig. 11은 변위선도와 설계데이터에 의해 설계된 형상을 보여주고 있다. Fig. 12는 설계의 정확성을 검증하기 위해 예제I과 동일한 방법으로 검증하는 과정이다. 시뮬레이션에 의한 변위의 비교로 Fig. 13과 같이 주어진 변위선도 Fig. 10과 일치함을 보여준다. Fig. 14는 설계된 형상데이터에 의해 기계가공한 캠의 형상인데, 예제I과 같은 방법으로 검증하였다.

Table 2 Design parameters of cylindrical cam with translating roller follower mechanism(II)

Item	Values
Cam Radius	75
Cam Height	150
Cam Base Height	25
Distance between cam axis and follower axis	100
Roller radius	10
Roller Height	40
Rotational Direction	CCW
Reciprocation Motion	Non-Reciprocation

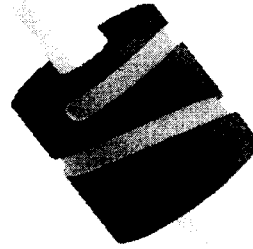


Fig. 11 Designed shape of the cylindrical cam (II)

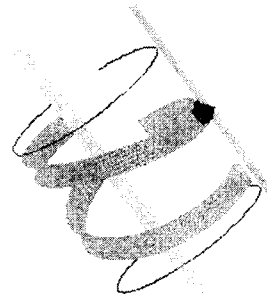


Fig. 12 Simulation of the cylindrical cam mechanism(II)

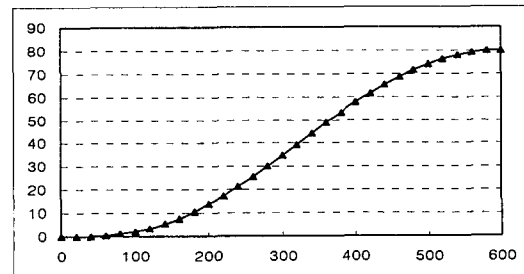


Fig. 13 Comparison between displacement data

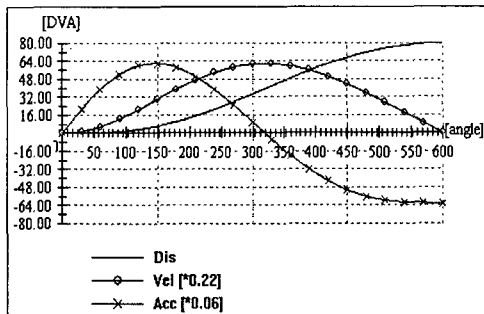


Fig. 10 Displacement, velocity and acceleration curves for example(II)

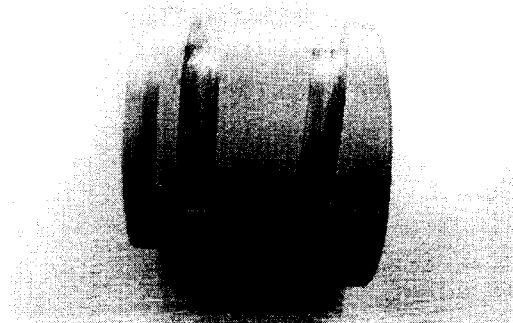


Fig. 14 The manufactured cylindrical cam(II)

5. 결론

본 연구에서는 상대속도를 이용한 형상설계법을 이용하여 병진운동용 틀러 중동절을 가진 원통캠에 관하여 연구하였다. 원통 캠 시스템에 상대속도 해석과 접촉점 해석을 위해 수개의 국소좌표계를 설정하였으며 국소좌표계를 이용하여 상대속도 해석과 접촉점 해석 단계를 거쳐 원통캠의 형상설계식을 유도하였다.

그리고 유도된 형상설계식에 의한 형상설계 방법의 검증을 위해 2가지의 예를 적용하여 형상설계와 시뮬레이션 그리고 가공을 하였다. 시뮬레이션의 통해 캠과 중동절 간의 간섭과 변위의 정확성을 확인하였으며, 캠의 가공품에 대해 측정기를 사용하여 측정결과 설계결과와 동일함의 확인하였다. 따라서, 본 연구에서 제시한 형상설계식과 설계방법의 정확성을 확인하였다.

참고문헌

- (1) Phande, S.G., Shadoria, B.S. and Chakraborty, J., 1975, "A Unified Approach to the Analytical Design of Three-Dimensional Cam mechanism," *Transaction of ASME, Journal of Engineering for Industry*, pp. 327~333.
- (2) Kim, C. B. and Yang, M. Y., 1991, "A CAD/CAM System for Plate Cams with Three CNC Interpolation Methods," *Transaction of the KSME*, Vol. 15, No. 3, pp. 869~879.
- (3) Kim, C. B. and Yang, M. Y., 1993, "A Study on Design and Manufacture of Spatial Cams," *Transaction of the KSME*, Vol. 17, No. 6, pp. 1361~1371.
- (4) Shin, J. H. and Kim, J. S., 1994, "Study on Instant Velocity Center Method for Design of Disk-Typed Cam Mechanisms," *Transaction of the Institute of Industrial Technology, Changwon National Univ.*, Vol. 8, pp. 123~139.
- (5) 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.
- (6) Yan, H. S. and Chen, H. H., 1996, "Geometry Design of Globoidal Cams With Generalized Meshing Turret-Rollers," *Transactions of the ASME, Journal of Mechanical Design*, Vol. 118, pp. 243~249.
- (7) Tsay, D. M. and Wei, H. M., 1996, "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.
- (8) Shin, J. H., Lee, C. M. and Kim, J. S., 1996, "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.
- (9) Kang, D. W., 2000, "A Study on Design Automation Technology of complex Mechanisms with Disk Cams and Cylindrical Cams for Multi-Axis Motion Control," Ph. D. Dissertation, Changwon National Univ., Changwon, Korea.
- (10) Shin, J. H., Yoon, H. E. and Kang, D. W., 2001, "Study on Shape Design Method of Cycloidal Plate Gear," *Transaction of the KSME, A*, Vol. 25, No. 1, pp. 70~80.
- (11) Shin, J. H., Yoon, H. E. and Zhang, Yuhua, 2002, "Study on profile Generation of Conjugate Plate Cams for a Roller Gear Cam Mechanism," *International Journal of the KSPE*, Vol. 3, No. 2, pp. 50~55.
- (12) Shin, J. H., Kim, S. W., Kang, D. W. and Yoon, H. E., 2002, "A Study on Design of Barrel Cam Using Relative Velocity," *Journal of the Korean Society of Precision Engineering*, Vol. 19, No. 8, pp. 47~54.
- (13) Shin, J. H., Kang, D. W. and Kang, H. E., 2002, "A Study on Shape Design of Cylindrical Cam with Rotating Roller Follower in Roller-Gear-Cam Mechanism," *Transaction of the KSME, A*, Vol. 26, No. 8, pp. 1527~1533.