

병진운동용 원통캠기구의 운동해석을 위한 수치해석법 연구

김상진*(창원대 대학원 기계설계공학과), 신중호(창원대 기계설계공학과),
김대원(남도대 기계자동차과), 박세환(창원대 대학원 기계설계공학과)

A Study on Numerical Method for Motion Analysis of Cylindrical Cam with Translate Follower

S. J. Kim(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept., CHNU), J. H. Shin(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept.,
CHNU), D. W. Kim(Mech. Automobile Eng. Dept., NDPC),
S. H. Park(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept., CHNU)

ABSTRACT

Cylindrical cam mechanisms are used commonly in many automatic machinery. But the cylindrical cam is very difficult to design and manufacture the shape. The motion analysis of the cylindrical cam can check the accuracy between designed data and manufactured data of the cam shape and can reproduce without the cam design data. The motion analysis of the cylindrical cam consists of displacement analysis, velocity analysis and acceleration analysis. This paper performs the motion analysis of a cylindrical cam with translating follower by using a relative velocity method and a central difference method. The displacement is calculated by using the central difference method and the velocity is calculated by the relative velocity method. The relative velocity method is defined by the relative motion between follower and cam at a center of a follower roller. The central difference method is derived in the 3 dimensional space.

Key Words : Cylindrical cam(원통캠), Translating follower(병진운동용 종동절), Relative velocity method(상대속도법), Central difference method(중앙 차분법)

1. 서론

캠 기구는 고속에서도 안정된 동작을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 고장이 적고 운동구간 선정이 자유로우며, 특히 고속의 간헐 이송운동(index motion)에 있어서 정확하고 신뢰성 있는 운동 특성으로 인하여 자동기계, 자동 조립기, 공작기계에 그 사용이 증가하고 있다.

접촉에 의해 운동하는 캠 기구는 설계와 가공의 정확성이 매우 중요하다. 또한 가공의 정확성과 수명을 예측하기 위해서는 캠을 해석하여 설계 데이터와 비교 검토하는 과정이 필연적으로 요구된다. 캠의 해석은 역공학(reverse engineering)의 의미로 이미 설계 가공된 캠의 형상(profile)을 측정기로 측정하고, 이 측정 데이터를 형상설계의 방법을 이용하여 종동절의 운동을 분석하는 방법이다.

캠 해석에 관한 연구는 아직까지 미비한 실정이

다. 신중호⁽¹⁾, 구병국⁽⁷⁾에 의해 평판캠에 관한 연구는 이루어 졌으나 원통캠 해석은 아직까지 그 연구 사례가 없다.

본 연구에서는 중앙 차분법과 상대속도를 이용한 형상설계법^(3,8)을 이용하여 원통캠 종동절의 운동해석 방법을 제시하고, 제시된 방법을 이용하여 설계 가공된 캠을 직접 해석하여 설계 데이터와 비교 검토함으로써 병진운동용 원통캠의 역설계의 가능성을 검증한다.

2. 3차원 공간상에서의 중앙 차분법

본 연구에서는 3차원 공간상에서 중앙 차분법을 이용하여 리브(rib)의 기울기를 찾았다. 중앙 차분법은 불균등 분할간격에서의 미분식을 Taylor이론을 이용하여 유도한 것이다. Fig. 1은 3차원 공간상에서 중앙 차분법을 그림으로 나타낸 것이다. 가로축

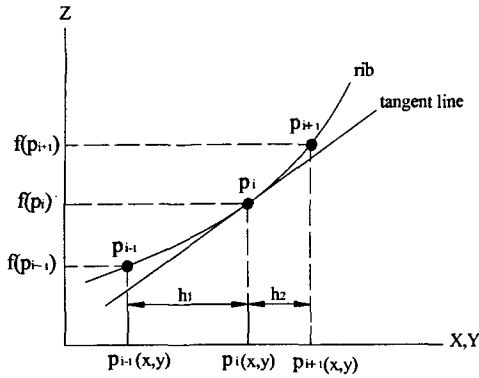


Fig. 1 Scheme of central difference method

은 X, Y 평면에서 P_{i-1}, P_i, P_{i+1} 의 좌표값이다. 세로축은 P_{i-1}, P_i 의 Z 좌표값이다.

$$f(P_{i-1}) = f(P_i) - h_1 f'(P_i) + \frac{h_1^2}{2} f''(P_i) - \dots \quad (1)$$

$$f(P_{i+1}) = f(P_i) + h_2 f'(P_i) + \frac{h_2^2}{2} f''(P_i) + \dots \quad (2)$$

(where: $h_1 = |P_i - P_{i-1}|$, $h_2 = |P_{i+1} - P_i|$)

$$\begin{bmatrix} f'(P_i) \\ f''(P_i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -h_1 & h_1^2/2 \\ h_2 & h_2^2/2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} f(P_{i-1}) - f(P_i) \\ f(P_{i+1}) - f(P_i) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\tan \phi_z = f'(P_i) \quad (4)$$

3. 병진운동용 원통캠

Fig. 2은 병진운동용 롤러 중동절을 가진 원통 캠으로 캠은 캠의 회전축을 중심으로 회전하게 되며 중동절은 중동절 축을 따라 병진 운동을 하게 된다. Fig. 2에서 d 는 캠 축과 중동절 축의 수직거리이다.

3.1 병진운동용 원통캠 중동절의 변위해석

Fig. 3은 리브(rib)의 기울기 ϕ_z 를 그림 상으로 나타낸것이다. r_r 은 롤러의 반지름이고, 캠과 중동절의 상대속도(V_{rc})는 항상 리브(rib)의 접선과 평행이다. 식(5)에서 리브의 기울기 ϕ_z 는 중앙 차분법을 사용하여 구했고, 점 P_{i-1}, P_i, P_{i+1} 는 리브(rib)위에 있는 점으로서 3차원 측정기로 직접 얻는 값이다. 식(6)에 의해 캠 중심에서 롤러의 중심까지의 높이 h 값을 구할 수 있다.

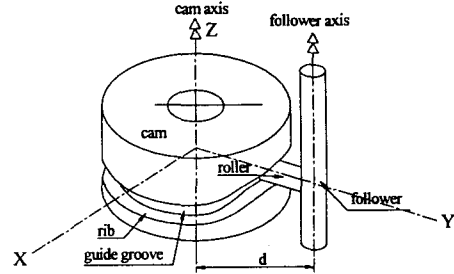


Fig. 2 Cylindrical cam with translating follower

$$\phi_z = \tan^{-1}(f'(P_i)) \quad (5)$$

$$h = P_{i(z)} + r_r \cos \phi_z \quad (6)$$

강동우(3)의 식(4.39)을 다시 쓰면 식(7)과 같다. 식(4.38)에서 β 의 값을 0으로 간주하였고, 식(4.37)에서 $\phi_z = 90$ 의 값을 사용하였다. 그리고 C_{x0}, C_{y0}, C_{z0} 는 $P_{i(x)}, P_{i(y)}, P_{i(z)}$ 의 값과 같다.

$$C_{x0} = [r_r \sin \phi_z] \cos \theta_c + [d - r] \sin \theta_c$$

$$C_{y0} = -[r_r \sin \phi_z] \sin \theta_c + [d - r] \cos \theta_c \quad (7)$$

$$C_{z0} = [-r_r \cos \phi_z + h]$$

식(7)을 이용하여 측정 점에 대한 캠의 회전각도 θ_c 를 식(8)과 같이 구할 수 있다. 식(8)에서 θ_c 가 두 개로 나타 나는데 본 논문에서는 양의 값을 사용하였다.

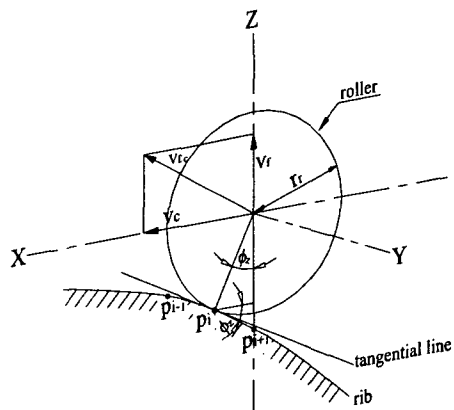


Fig. 3 Angle ϕ_z between X - Y plane and tangential line on rib curve

$$\theta_{c1,2} = 2 \times \tan^{-1} \left(\frac{c_{y0} \pm \sqrt{c_{y0}^2 + c_{x0}^2 - (r_r \sin \phi_2)^2}}{(-r_r \sin \phi_2) - c_{x0}} \right) \quad (8)$$

3.2 병진운동용 원통캠 중동절의 속도해석

식(9)은 캠의 회전속도 v_c 이고, 식(10)은 상대속도를 이용하여 구한 X, Y 평면과 리브(rib)가 이루는 각 ϕ_2 와 중동절의 속도 v_f , 캠의 속도 v_c 의 관계를 나타냈고, 식(11)에서 중동절의 속도 v_f 를 구했다.

$$v_c = (d-r) \times \omega_c \quad (9)$$

$$\tan \phi_2 = \left(\frac{v_f}{v_c} \right) \quad (10)$$

$$v_f = v_c \times \tan \phi_2 \quad (11)$$

4. 원통캠 중동절의 운동해석 적용예

본 연구에 적용하기 위해 설계된 변위선도는 Table 1과 같고, 성분들은 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다. 또한 캠 기구의 형상은 Table 1과 Table 2의 자료를 이용하여 Fig. 5와 같이 가공하였다. 가공된 캠을 접촉식 3차원 측정기로 측정한다. 측정 데이터 수는 365개로서 그 일부는 Table 3과 같고, 이 값과 Table 2의 값을 이용하여 해석하였다.

Table 1 Displacement conditions for cam design

section	cam angle (deg)	displacement	curve type
1	0~80	dwel	
2	80~180	60mm rise	Full cycloidal
3	180~280	60mm return	Full cycloidal
4	280~360	dwel	

Table 2 Input data for motion analysis

	cam radius (R)	roller radius (r_r)
cam	75mm	10mm

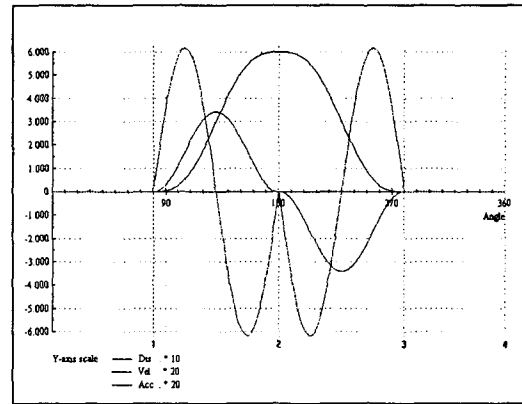


Fig. 4 Displacement, velocity and acceleration curves for the cam design



Fig. 5 A manufactured cam

Table 3 A part of measured point

	x	y	z
1	70.5938	19.8834	-65.7313
2	70.6314	18.7837	-65.7373
3	71.1055	17.0709	-65.7503
...
363	68.3514	23.6195	-65.7147
364	68.4855	22.6344	-65.7188
365	69.1989	21.0774	-65.7227

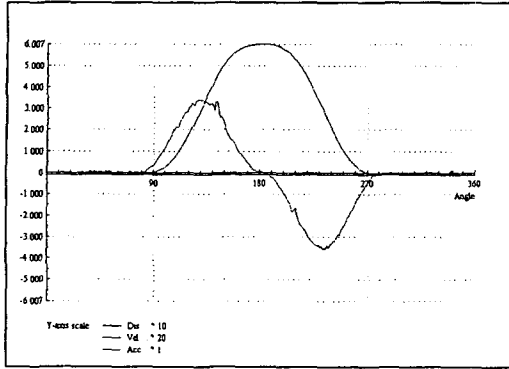


Fig. 6 Motion properties after analyzed the manufactured cam

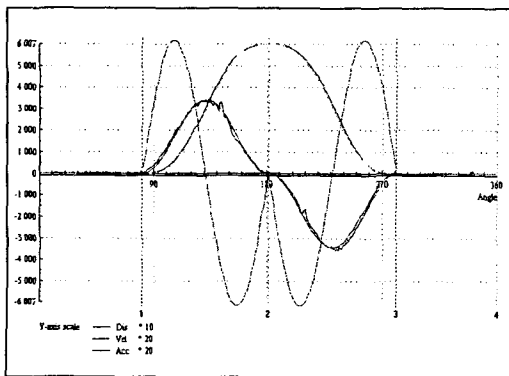


Fig. 7 Compare with the design curves and the analyzed curves

Fig. 6은 365개의 측정 데이터와 Table 2의 값을 이용하여 해석한 변위와 속도 곡선이다. Fig. 7은 설계 데이터 곡선과 해석 데이터 곡선을 비교해 놓은 것이다.

5. 결과 및 고찰

해석결과를 나타내는 Fig. 7에서 변위 곡선은 주어진 설계곡선과 매우 흡사하게 일치하였고, 속도 곡선은 약간의 차이가 발생하였다. 본 연구에서 발생하는 오차는 설계오차, 가공오차, 측정오차, 그리고 해석오차가 있는데 가공오차와 측정오차 이 두 요소가 해석하는데 가장 큰 영향을 주었다.

6. 결론

본 연구에서 원통캠의 변위 곡선을 찾기 위해서 상대속도법과 중앙 차분법을 이용하였고, 원통캠 기구의 운동해석을 위한 해석법을 정립하였다. 또한 이 해석법을 이용하여 해석한 결과 Fig. 7에서 보는 것과 같이 설계 그래프와 해석 그래프가 거의 일치함을 확인하였다. 이로써 임의의 캠을 재 설계 할 수 있으며, 가공된 캠의 정확도를 체크할 수 있다.

결론적으로 본 연구에서 제시된 상대속도와 중앙 차분법을 이용한 원통캠의 해석은 산업 현장에서 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 손주리, 신중호, 1989, "디스크형 캠의 자동설 계용 CAD S/W 개발, 설계 및 해석 알고리즘개발," 한국기계연구소소보, pp.149~154.
2. 김종수, 1996, "원반 캠기구의 설계해석 자동화를 위한 형상설계와 운동해석에 관한 연구," 박사학위논문, 창원대학교, pp.16~65.
3. 강동우, 2000, "다축제어용 원반 캠과 원통캠의 복합 기구의 설계 자동화에 관한 연구," 박사학위논문, 창원대학교, pp.34~84.
4. 김성원, 2000, "회전 톨러 중동절과 원통캠기구의 상대속도법에 의한 형상설계 자동화에 관한 연구," 석사학위논문, 창원대학교.
5. R. L. Norton, 1992, "Design of Machinery," McGraw-Hill, pp.353~369.
6. G. H. Matrin, 1982, "Kinematics and Dynamics of Machines," McGraw-Hill, pp.20~152.
7. 구병국, 2000, "요동운동 톨러 중동절과 디스크 캠 기구의 운동해석을 위한 원호 접근법에 관한 연구," 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp. 523-526,
8. 윤호엽, 신중호, 김종수, 김상진, 2001, "상대속도를 이용한 병진운동용 톨러 중동절을 가진 원통캠의 형상설계에 관한 연구," 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp.639~642.