

사각형상 종동캠을 갖는 Inverse Cam Mechanism의 운동해석과 형상설계에 관한 연구

신중호, 권순만(창원대 기계설계공학과), 김종찬*, 김봉주(창원대학교 대학원)

A Study on Motion Analysis and Shape Design of Inverse Cam Mechanism with Square Shaped follower

J. H. Shin, S. M. Kwon(Mech. Design. & Manuf. Eng. Dept., CWNU), J. C. Kim, B. J. Kim(Mech. Design. & Manuf. Eng. Dept., CWNU)

ABSTRACT

Current mechanical devices are trending toward being a small size, high speedy, automation. For performing these functions, machinery elements organizing a machine should be designed exactly. Cams have high confidence and economics in ability to transmit a motion. Accordingly, A cam mechanism is very important for processing the machine automatically.

This paper introduce an inverse cam mechanism. A square shaped cam which cannot be commonly analyzed is designed and manufactured by using the NURBS interpolation algorithm. The objective of this paper is to develop a computer-aided design program. In this paper, a displacement curve of oscillating motion inverse cam mechanism with square shaped follower is analyzed. The data is redistributed by the NURBS algorithm. A cam shape is designed by the instant velocity center method, and simulated to verify the validity of the operation state.

Key Words : Inverse cam mechanism(역전 캠 기구), Square shaped oscillating follower(사각형태 요동 종동절), Cam shape design(캠 형상 설계), Instant velocity center method(순간속도 중심법), NURBS

1. 서론

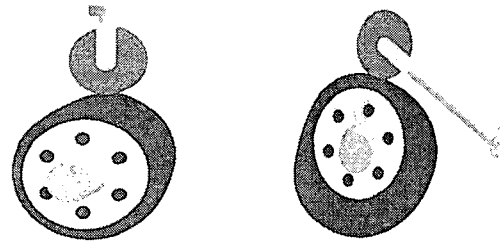
공작기계, 인쇄기계, 자동차 및 자동화기계에서 많이 사용되고 있는 캠은 필요한 모든 형태 운동을 발생시킬 수 있는 기구로서, 구동축의 회전에 대해 출력축의 운동을 특정 함수로 구성하는데 용이하므로 고 기능화 기계에서 매우 유용하게 응용되고 있는 기계요소이다.

일반적인 캠 기구에서는 캠은 고정되어 회전운동을 하며, 종동절이 운동을 전달하는 구조로 되어 있고, 종동절의 형태에 따라 여러 가지 타입으로 분류된다. 본 논문에서는 사각 형태 종동절의 요동운동용 역전 캠에 대해 변위 곡선을 해석하고, 그 데이터를 NURBS 알고리즘[1]을 이용하여 보완, 순간속도 중심법[2]을 사용하여 제안 된 타입의 캠 형상을 설계한다. 또한, 설계된 캠 기구의 작동 상태를 검증하기 위한 전산원용 프로그램을 작성하여 모의 동작구

현을 수행하고자 한다.

2. Inverse Cam Mechanism 정의

일반적인 캠 기구에서 캠의 회전운동은 볼러에 전달되며 볼러는 종동절에 그 운동을 전달한다.

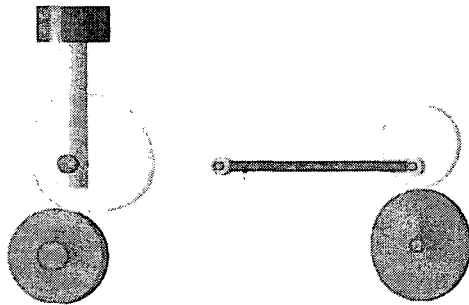


(a) Translating cam mechanism (b) Oscillating cam mechanism

Fig. 1 Common cam mechanisms

Fig. 1의 (a)는 일반적인 병진운동용 종동절을 가진 캠 기구이고, (b)는 일반적인 요동운동용 종동절을 가진 캠 기구를 보여준다.

역전 캠 기구(Inverse cam mechanism)[3]는 종동절에 캠이 설치된 형태로서, 롤러가 고정점을 중심으로 회전할 때 접촉운동에 의해 캠이 회전하면서 종동절에 운동을 발생시키는 구조로 되어있는 새로운 형태의 캠 기구이다. Fig. 2의 (a)는 병진운동용 종동절을 가진 역전 캠 기구(Translating inverse cam mechanism)이고, (b)는 요동운동용 종동절을 가진 역전 캠 기구(Oscillating inverse cam mechanism)이다.



(a) Translating cam mechanism (b) Oscillating cam mechanism

Fig. 2 Inverse Cam Mechanisms

3. NURBS 기법

3.1 개요

일반적으로 곡선이나 곡면을 정의하는 방법으로 Cubic-spline, Bezier, B-Spline, NURBS(Non-Uniform Rational B-Spline)등의 여러 가지 수학적 정의들이 존재한다.

NURBS는 Cubic-spline, Bezier, B-Spline등의 일반화된 함수이다. 특징으로는 복잡한 형상의 정의가 간편하고 공간상의 점들의 간격이 일정하지 않아도 사용가능하며, 적은 데이터로서 매우 복잡한 형상의 표현이 가능하다. 또한 파라미터의 변화만으로 다양한 형상의 표현이 가능하기 때문에 CAD/CAM 및 컴퓨터 그래픽스에서 널리 사용되고 있다.

3.2 NURBS 알고리즘

NURBS 기법[4]을 이용한 곡선은 조정점에 가중치를 사용하여 각각을 (xw, yw, xw, w) 의 형태로 표시하고 이들 네 개의 좌표를 블렌딩 함수로 섞어 주면 된다.

$$x \cdot w = \sum_{i=0}^n (w_i \cdot x_i) N_{i,k}(u) \quad (3.1)$$

$$y \cdot w = \sum_{i=0}^n (w_i \cdot y_i) N_{i,k}(u) \quad (3.2)$$

$$z \cdot w = \sum_{i=0}^n (w_i \cdot z_i) N_{i,k}(u) \quad (3.3)$$

$$w = \sum_{i=0}^n (w_i) N_{i,k}(u) \quad (3.4)$$

NURBS 곡선상의 점 x, y, z 좌표는 식(3.1), (3.2), (3.3)을 식(3.4)로 나누어주면 된다. NURBS의 일반적인 정의 식은 식(3.5)와 같다.

$$r(u) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,k}(u) w_i P_i}{\sum_{i=0}^n N_{i,k}(u) w_i} \quad (3.5)$$

여기서 u : 곡선의 파라미터
 k : 기저함수의 차수
 w_i : i 번째의 가중치
 P_i : i 번째의 조정점
 $N_{i,k}(u)$: i 번째의 기저 함수

식 (3.5)에서 $r(u)$ 에 대한 1차 미분식은 식(3.6)이고, 2차 미분식은 식(3.7)이다.

$$\frac{dr(u)}{du} = \frac{\frac{d}{du} \left[\sum_{i=0}^n N_{i,k}(u) w_i P_i \right] \cdot \sum_{i=0}^n N_{i,k}(u) w_i}{\left[\sum_{i=0}^n N_{i,k}(u) w_i \right]^2} - \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,k}(u) w_i P_i \cdot \frac{d}{du} \left[\sum_{i=0}^n N_{i,k}(u) w_i \right]}{\left[\sum_{i=0}^n N_{i,k}(u) w_i \right]^2} \quad (3.6)$$

$$\frac{d^2r(u)}{du^2} = \frac{\frac{d^2}{du^2} [B] \cdot \frac{d}{du} [A] \cdot [A]^2 - \frac{d}{du} [B] \cdot [A] \cdot \frac{d}{du} [A]^2}{[A]^4} - \frac{\frac{d}{du} [B] \cdot \frac{d^2}{du^2} [A] \cdot [A]^2 - [B] \cdot \frac{d}{du} [A] \cdot \frac{d}{du} [A]^2}{[A]^4} \quad (3.7)$$

$$\text{여기서 : } A = \sum_{i=0}^n N_{i,k}(u)w_i$$

$$B = \sum_{i=0}^n N_{i,k}(u)w_i P_i$$

Fig. 3은 NURBS에 있어서 Control vertices V_i , Knot spans ∇_i , End tangent vectors t_0, t_n , Data point P_i 의 관계를 나타낸 것이다.

Input data

$P_i : (i = 0, 1, 2, \dots, n) : 3D \text{ data point}$

$t_0, t_n : \text{end tangent vectors of the composite curve}$

Determine

$P_i (i = -2, -1, 0, 1, \dots, n+1) : \text{knot spans}$

$V_i (i = 0, 1, 2, \dots, n+1) : \text{control vertices}$

$\nabla_i = |P_{i+1} - P_i| (i = 0, 1, 2, \dots, n-1)$

$\nabla_{-2} = \nabla_{-1} = \nabla_{n+1} = \nabla_n = 0$

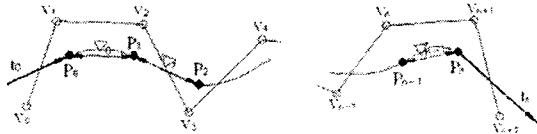


Fig. 3 Non-uniform B-spline curve fitting

NURBS 알고리즘은 식(3.8)과 같다. 1차, 2차 미분은 기저 함수에 영향을 미치지 않고 단지 곡선의 파라미터 [U]행렬에만 영향을 미친다. 캠 해석에 있어서 1차 미분된 [U]행렬은 속도를 나타내고 2차 미분된 [U]행렬은 가속도를 나타낸다. 식(3.9)는 Control point를 계산하는 식이다.

$$r^i(u) = UN_c^i R^i \quad (0 \leq u \leq 1) \quad (3.8)$$

$$(i = 0, 1, 2, \dots, n-1)$$

여기서 : $U = [1 \ u \ u^2 \ u^3]$ (변위)

$$U = [1 \ u \ u^2 \ u^3] \text{ (속도 1차 미분)}$$

$$U = [1 \ u \ u^2 \ u^3] \text{ (가속도 2차 미분)}$$

$$\text{여기서 : } n_{43} = - \left\{ \frac{1}{3} n_{33} + n_{44} + \frac{(\nabla_i)^2}{(\nabla_i^2 \nabla_{i-1}^3)} \right\}$$

$$\nabla_i^k = \nabla_i + \nabla_{i+1} + \dots + \nabla_{i+k-1}$$

$$N_c^i = \begin{bmatrix} \frac{(\nabla_i)^2}{\nabla_{i-1}^2 \nabla_{i-1}^3} & (1-n_{11}-n_{13}) & \frac{(\nabla_{i-1})^2}{\nabla_{i-1}^2 \nabla_{i-1}^3} & 0 \\ -3n_{11} & (3n_{11}-n_{23}) & \frac{3\nabla_i \nabla_{i-1}}{\nabla_{i-1}^2 \nabla_{i-1}^3} & 0 \\ 3n_{11} & -(3n_{11}+n_{33}) & \frac{3(\nabla_i)^2}{\nabla_{i+1}^2 \nabla_{i-1}^3} & 0 \\ -n_{11} & (n_{11}-n_{33}-n_{11}) & n_{13} & \frac{(\nabla_i)^2}{\nabla_{i-1}^3 \nabla_i^2} \end{bmatrix}$$

Control Point

$$\begin{bmatrix} -3 & 3 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f_1 & h_1 & g_1 \\ & & f_{n-1} & h_{n-1} & g_{n-1} & 0 \\ & & 0 & 0 & 0 & 1 \\ & & 0 & 0 & -3 & -3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \\ V_{n+1} \\ V_{n+2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{t}_0 \\ P_0 \\ P_1 \\ \vdots \\ P_{n-1} \\ P_n \\ \hat{t}_n \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

여기서 :

$$h_i = 1 - f_i - g_i$$

$$f_i = \frac{\nabla_i^2}{\nabla_{i-1}^2 \nabla_{i-2}^3}$$

$$g_i = \frac{\nabla_i^2}{\nabla_{i-1}^2 \nabla_{i-1}^3}$$

$$\nabla_i^k = \nabla_i + \dots + \nabla_{i+k-k}$$

4. NURBS를 이용한 캠 기구의 해석 프로그램

4.1 개요

본 논문에서 개발된 역전캠 기구의 해석 프로그램은 그래픽 기술을 이용하여 해석된 형상과 순간속도 중심점을 시뮬레이션을 통하여 시각화하며, 그 결과를 예측 가능하게 한다.

4.2 요동운동용 역전캠 해석 적용

Fig. 4은 해석 프로그램을 실행하여 시뮬레이션 하는 과정이다. 우선 형상데이터를 측정기로 측정하여 프로그램에 입력한후 설계 프로그램으로부터 형상 데이터를 입력한뒤 NURBS를 이용하여 해석한다.

Fig. 4에서 보듯이 종동결이 직각 사각형 모양일 때 Fig. 5에서 결과를 보듯이 모든 구간에서의 운동 특성을 구할 수 없다. 하지만 NURBS를 이용하여 데이터를 확장시키고 각변위 선도를 미분하여 각속도 선도를 찾고 다시 한번 미분하여 각가속도 선도를 찾는다. Fig. 6과 같이 일정한 운동특성이 나타나는 것을 알 수있다.

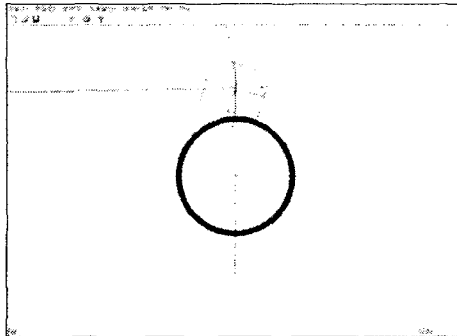


Fig. 4 Simulation of inverse cam mechanism with rectangular shaped oscillating cam

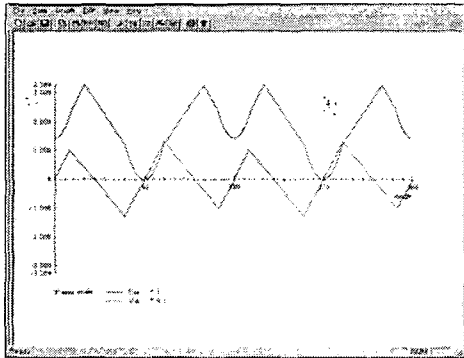


Fig. 5 Displacement and velocity curves of the analyzed lens

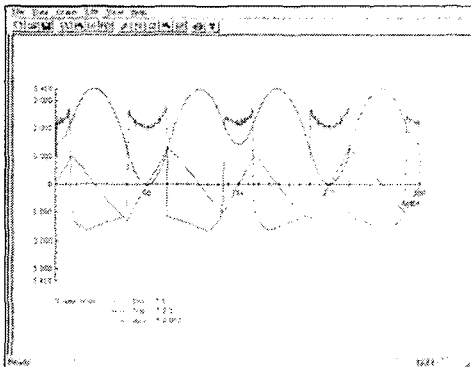


Fig. 6 Displacement, velocity and acceleration curves of the analyzed cam by using NURBS

4.3 요동운동용 원반 역전 캠의 설계 적용

다음은 요동운동용 역전 캠의 해석이론을 이용하여 옥습기에서 안경의 형상을 설계하고 가공한 것이다. Fig. 7은 Fig. 6의 변위 곡선에 대해 순간속도 중

심법을 이용하여 형상설계 및 최적화 과정을 거쳐 가공되어진 안경 렌즈이다.

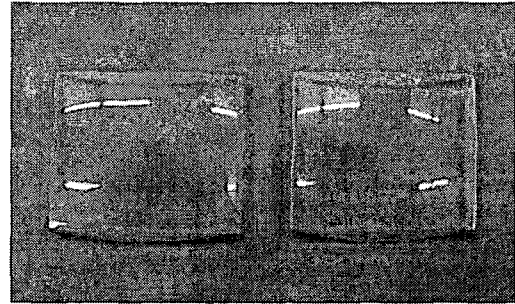


Fig. 7 Rectangular shaped lens

4. 결론

본 논문에서는 산업현장에서 많이 쓰이고 있는 캠 기구 중에 역전 캠 기구(Inverse cam mechanism)를 정의하고, 많은 곡선 정의 중 NURBS 기법을 이용하여 변위 선도를 보완 하였으며 개발된 컴퓨터 프로그램을 이용하여 해석과 설계 결과를 시각적 시뮬레이션을 통하여 검증할 수 있었다.

본 논문에서 제안한 NURBS를 이용한 캠 해석 프로그램은 실제 캠 기구를 해석하고 복제하는데 유용한 방법으로 쓰일 것이라 생각된다.

후기

이 논문은 산업자원부의 지역특화 기술개발사업과 한국 산업 기술 재단의 지역혁신 인력양성 사업의 지원사업을 받아 이루어 졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 김상진, 밭URBS를 이용한 캠 기구의 운동해석과 최적화에 관한 연구, 석사학위논문, 창원대학교, 2002.
2. 김종수, 원반 캠기구의 설계해석 자동화를 위한 형상설계와 운동해석에 관한 연구, 박사학위논문, 창원대학교, 1996.
3. 김도현, 신중호, "Inverse Cam Mechanism 설계에 관한 연구, 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp.916-919, 2002.
4. 김상진, 신중호, 밭URBS를 이용한 캠 기구의 역설계에 관한 연구, 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, pp.920-024, 2002.