

정밀위치결정을 위한 캠 형상 설계

이종호*·이종길**·김병희***·전병희****

Cam Profile Design for Precision Positioning

J.H. Lee, J.K. Lee, B.H. Kim and B.J. Jeon

Abstract

Cam mechanisms are one of the most popular devices for generating intermittent motion and are widely used in many areas. Also, as being interested in research of precision field, cam mechanism is required high accuracy and continuity, too. In this paper, the cam mechanism of filament automatic assembly machine design for precision motion is proposed. The modelling of a cam mechanism, cam profile functions, and the design of the cam considering the precision positioning of the cam mechanism is studied. And, simulation of designed cam mechanism had been carried out dynamic analysis.

Key Words : Cam, Cycloidal Displacement Function, Critical Extreme Position, Critical Path Motion, Dwell

1. 서론

최근 초정밀 가공분야의 연구개발이 급증함에 따라 캠 기구에서도 높은 정도의 정확성 및 연속성이 요구되고 있다. 본 논문에서는 필라멘트 자동조립장치의 운동 및 궤적을 제어하여 실제로 정확한 시점과 위치를 가지는 캠 기구 설계와 해석을 연구대상으로 하였다.

캠 기구는 구조의 단순성, 운동형태의 자유로운 선택, 복합적인 운동묘사의 편이성 때문에 자동차 엔진의 밸브 기구와 여러 소비재를 생산하는 기계들 등 여러 기계적 장치에 사용되고 있다.⁽¹⁾

캠 기구 설계 시 자동차 엔진의 밸브기구는 고속동작으로 인한 기구의 동특성이, 소비재를 생산하는 기계들

에서는 복잡한 기능을 수행하기 위한 운동의 조합이 문제시 되어왔고, 캠 형상설계 시에는 상대변위의 최소화, 기구내의 상대 진동과 상대 진동 에너지, 기구 내에서의 백 래쉬 효과, 기구 내에 작용되는 힘의 변화율, 캠 형상의 속도 가속도특성 및 충격인자 등은 많은 문제점으로 제시되어 왔다. 따라서, 캠 기구의 설계 및 해석에 관한 그 동안의 많은 연구들은 캠의 기구학적인 형상, 캠 기구의 진동현상에 관한 문제, 캠 기구의 동특성을 고려한 캠 형상 설계에 관한 연구를 다루어왔다.^{(2)~(6)} 캠 기구 설계에 있어 입력에 해당되는 캠 형상은 캠이 낮은 속도로 작동하여 캠 기구를 거의 강체로 생각할 수 있는 경우에는 보통 캠 곡선의 연속성, 곡률, 미분 가능 정도, 경계조건 등과 같은 기구학적인 특성을 고려하여, 이에

* 강원대학교 기계메카트로닉스공학과 대학원
** 한국산업기술대학교 기계공학과
*** 강원대학교 기계메카트로닉스공학부
**** 인덕대학 컴퓨터응용기계계열

다른 캠 형상 곡선의 함수를 선택하여 설계하여야 한다.

필라멘트 자동조립장치는 캠 구동의 다중 일시 정지와 정밀위치제어가 요구되기 때문에 캠 형상 설계 시 상대변위의 최소화와 기구학적인 합성을 고려하여 설계하였다. 또한, 필라멘트 자동조립장치를 구성하고 있는 다섯 개의 캠을 조합하였고, 각각의 구동해석을 해보았다.

2. 캠 형상 설계

2.1 캠 형상 설계

캠 형상의 설계에 관한 연구들은 기구학적인 합성, 캠 기구의 동 특성을 고려한 동역학적인 합성, 그리고 최적화 기법을 도입한 최적합성에 관한 연구 등으로 분류할 수 있다. 단순한 운동을 합성하기 위한 캠 곡선으로는 사다리꼴, 사이클로이드(cycloid), 단일 조화함수, 다항식 곡선 등이 주로 사용되고, 자동차 엔진의 캠-벨브기구와 같이 고속회전을 위한 캠 곡선은 고차 다항식, 고차 조화성분 등이 많이 사용되고 있다.

필라멘트 자동 조립장치에 사용되는 캠은 저속회전으로써, 복잡한 기능을 수행하기 위해 다중 일시 정지(dwelling)가 요구되기 때문에 이를 고려하여 캠 형상을 사이클로이드변위함수를 사용하여 설계하였다. 사이클로이드 변위(cycloidal displacement)함수는 다른 가능한 함수에 비해 최대 가속도와 속도의 값이 상대적으로 크다는 것이 단점이지만, 부드러운 가속도와 연속성을 갖기 때문에 다중 일시 정지와 비교적 캠의 구동 속도가 낮고 다중 일시 정지를 요구하는 초소형 필라멘트 자동조립장치에 적합하다.

캠 형상설계에 따른 운동구속조건으로는 임계 극대점(critical extreme position; CEP)과 임계 경로운동(critical path motion; CPM)으로 나눌 수 있다. 임계 극대점은 설계 시 시작점과 끝점을 제한하되 경로에는 다른 구속조건을 부가하지 않는 방법이며, 임계 경로운동은 운동구간별로 1개 이상의 도함수가 경로를 한정하여 적당한 동적 거동의 유지를 가능하게 하는 방법이다. 초소형 필라멘트 자동조립장치에서는 일시정지 구간에서의 정밀위치제어가 목적이므로 임계 극대점 방법의 운동구속조건을 주어 캠 형상을 설계 하였다.

2.2 사이클로이드 변위의 이론적 배경

캠 곡선의 연속성을 유지하기 위해, 캠 곡선의 2계 도

함수인 가속도를 고려하여, 캠을 설계 하였다.

$$a = C \sin\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right) \quad (1)$$

a 는 캠의 가속도이고, 독립변수 θ 를 정량화 하기 위하여 β 구간의 주기로 나눈다. (θ, β 의 단위는 radian이다.) 완전주기 사인파를 필요로 하므로 인자에 2π 의 값을 곱한다. 그러면 사인함수의 인자는 β 값에 관계없이 0에서 2π 의 값을 가진다. 상수 C (진폭상수)는 사인파의 진폭을 정의한다.

$$a = \frac{dv}{d\theta} C \sin\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right)$$

$$\int dv = \int C \sin\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right) d\theta \quad (2)$$

$$v = -C \frac{\beta}{2\pi} \cos\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right) + k_1$$

k_1 은 적분상수이고, k_1 을 구하기 위해, ($\theta=0, v=0$)을 경계조건에 대입한다.

$$k_1 = C \frac{\beta}{2\pi}$$

$$v = C \frac{\beta}{2\pi} \left[1 - \cos\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right)\right] \quad (3)$$

위와 같은 방법으로 변위도 구할 수 있다.

$$v = \frac{ds}{d\theta} = C \frac{\beta}{2\pi} \left[1 - \cos\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right)\right]$$

$$\int ds = \int \left\{ C \frac{\beta}{2\pi} \left[1 - \cos\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right)\right] \right\} d\theta \quad (4)$$

$$s = C \frac{\beta}{2\pi} \theta = C \frac{\beta^2}{4\pi^4} \sin\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right) + k_2$$

진폭상수 C 를 구하기 위해 $\beta=0, s=h$ 의 경계조건을 대입한다.

$$k_2 = 0$$

$$C = 2\pi \frac{h}{\beta^2} \quad (5)$$

h 는 한 구간을 지나는데 최대 중동절 상승 값이다.
상수 C 의 값을 식(1)에 대입하면 가속도는,

$$a = 2\pi \frac{h}{\beta^2} \sin\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right) \quad (6)$$

θ 에 대해 미분하면 저크(jerk)는,

$$j = 4\pi^2 \frac{h}{\beta^3} \cos\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right) \quad (7)$$

상수 C , k_1 , k_2 의 값을 식(2), (4)에 각각 대입하여
속도와 변위를 구할 수 있다.

$$v = \frac{h}{\beta} \left[1 - \cos\left(2\pi \frac{\theta}{\beta}\right)\right] \quad (8)$$

$$s = h \left[\frac{\theta}{\beta} - \frac{1}{2\pi} \sin\left(\frac{2\pi}{\beta}\right) \right] \quad (9)$$

3. 캠 구동 해석

본 절에서는 필라멘트 자동조립장치에 필요한 5가지
캠 구동부를 설계하여 visualNastran-4D의 Kutta-
Merson 적분법을 사용하여 동적 기구해석을 수행하였
다. 기존에 제작된 필라멘트 자동조립장치의 변위곡선과
비교하여 요구되는 변위곡선과의 오차를 최소화 하였다.

Fig. 1은 필라멘트 자동조립장치의 전체 시스템에서
캠들의 위치를 타내고 있으며, 시스템의 배치를 고려하
여 캠 중동부를 설계 하였다.

캠1은 필라멘트 홀더(holder)의 상하운동으로 필라멘
트 장착을 위한 운동하고, 회전속도는 68rpm이다. 캠의
중동부를 직접 필라멘트 홀더(holder)에 연결하는 것은
시스템 배치 상 문제가 되기 때문에, fig. 2와 같이 레버
를 사용하였고, 중동절과 레버의 길이 비를 1:1로 설정하
여 캠의 운동이 확대 축소되지 않고 그대로 전달되도록
하였다.

Fig. 3은 설계 시 요구되는 변위곡선(Required Curve)
기존에 설계된 기존변위곡선(Simulation Curve I)

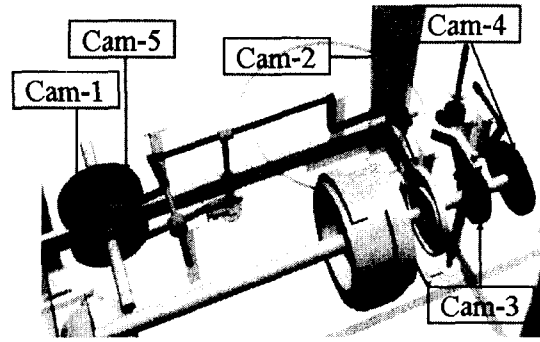


Fig. 1 Position of Cam mechanism

그리고 본 논문에서 캠을 설계하여 시뮬레이션을 한 실
제변위곡선(simulation Curve II)을 캠 각도에 따라 나타
낸 것이다. 해석된 필라멘트 홀더의 운동을 보면 전반적
으로 요구되는 변위 곡선을 양호하게 재현하는 것으로
보인다. 또한 캠1의 최대 속도, 최대 가속도가 0.17m/s,
4.31m/s²로 나타나 동적 영향이 크게 미치지 못한다. 최
대 압력각, 최소 곡률 반지름도 각각 18.72mm, 34.84mm
로 캠 형상에도 문제가 없다.



Fig. 2 Cam mechanism 1

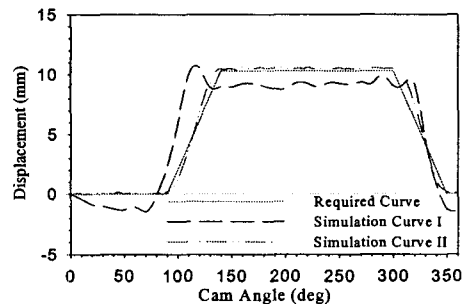


Fig. 3 Displacement curve of cam mechanism 1

캠2는 필라멘트 조립을 위한 필라멘트 홀더(holder)의 상하운동을 담당하고, 캠의 회전속도는 86rpm이고, fig. 4와 같이 레버와 링크의 각을 90°로 하고 길이의 비를 1:1로 하였다. 또한, 최대 속도, 최대 가속도가 0.43m/s, 17.25 m/s²이고, 최대 압력각과 최소 곡률 반지름은 각각 29.89mm, 27.92mm로 설계하였다.

Fig. 5에서와 같이 일시 정지 부분의 요구변위곡선에 대한 실제변위곡선의 오차는 ±0.2mm미만이다. 기존변위곡선은 일시정지 구간에서 약 2mm이상의 오차가 발생하고 있으며, 캠 각도 135°부분에서는 불연속의 영향으로 무한대의 가속도가 발생하므로, 일정시간이 경과하면 캠 형상의 날카로운 모서리는 급속히 마모될 것으로 예상 된다

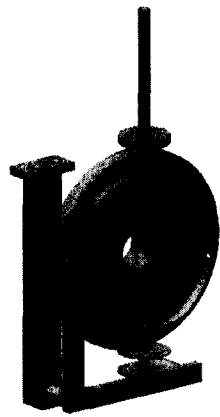


Fig. 4 Cam mechanism 2

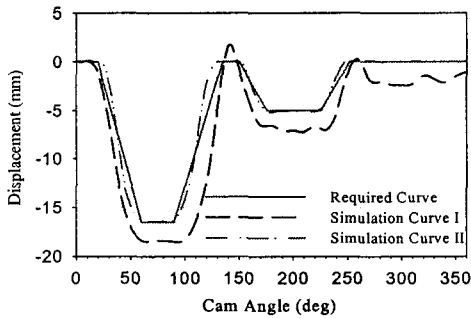


Fig. 5 Displacement curve of cam mechanism 2

캠3 구동부의 형상인 fig. 6은, 필라멘트의 압착을 위한 상하운동을 하며, 구름 중동절은 병진운동을 하고, 캠

의 회전속도는 68rpm이다. 레버와 링크의 각도는 135°로 하고 길이의 비는 1:1로 설계하였으며, 최대 압력각과 최소 곡률 반지름은 29.09mm, 22.25mm로 설계하였다. 캠3에서 최대 속도, 최대 가속도는 0.30m/s, 17.25 m/s²로 나타나 캠 구동 시 동적 영향과 마모 등의 문제가 없을 것으로 보인다.

Fig. 7은 일시정지 부분에서 실제변위곡선과 요구변위곡선의 오차가 ±0.3mm정도 발생하였고, 기존변위곡선의 운동시작 부분과 마지막 귀환행정에서의 오차를 수정하였다.

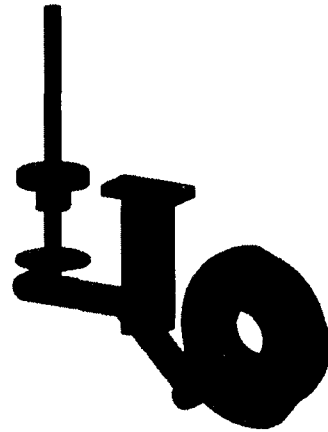


Fig. 6 Cam mechanism 3

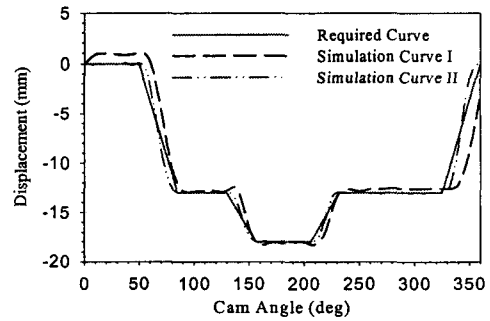


Fig. 7 Displacement curve of cam mechanism 3

캠4는 필라멘트의 위치를 정렬하기 위한 회전운동을 하며, 캠의 회전속도는 68rpm이다. fig. 8과 같이 레버와 링크의 각도는 135°, 길이의 비는 1:1로 설계하였다. fig. 9에서는 실제변위곡선의 일시정지 구간에서 요구변위와 매우 근접하게 구동하는 것을 볼 수 있다. 기존변

위곡선은 4mm정도의 오차를 나타냈으며, 임계 극대점에서는 상당히 큰 진동을 하는 것과 캠 회전각도의 심한 오차를 볼 수 있다. 실제변위곡선은 기존변위곡선의 오차를 수정하여 요구변위 곡선에 가깝도록 설계된 것으로 나타났다.



Fig. 8 Cam mechanism 4

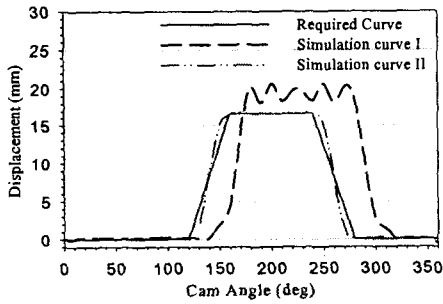


Fig. 9 Displacement curve of cam mechanism 4

캠5는 필라멘트 조립을 위한 필라멘트 홀더(holder)의 상하운동을 하고, 캠의 회전속도는 68rpm이다. fig. 10에 나타나 있는 캠5의 구동부는 최대 속도, 최대 가속도가 0.32m/s, 10.27m/s²이고, 최대 압력각과 최소 곡률 반지름은 각각 28.64mm, 29.27mm로 설계하였다. 시스템 배치 상 캠5의 링크가 상당한 거리를 가지고 있어서, 캠의 구동력 전달이 크게 감소되지만, 초소형 필라멘트의 무게가 매우 작기 때문에, 가공품 무게의 가속과 감속에 기인하는 동적 힘에 영향을 주지 않는다.

Fig. 11은 캠5의 변위곡선이며, 일시정지 구간에서는 요구변위곡선과 거의 오차가 없으며, 기존변위곡선에서의 심한 위치오차와 진동을 줄였다.

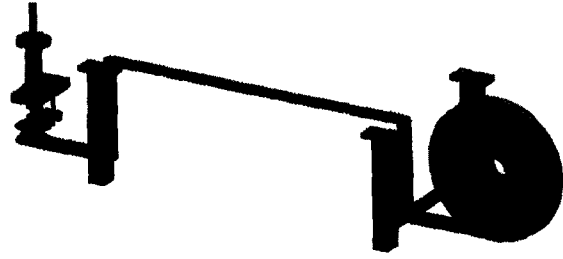


Fig. 10 Cam mechanism 5

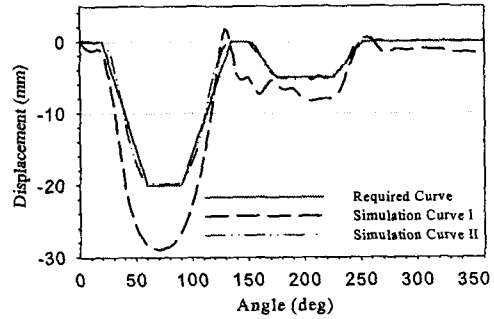


Fig. 11 Displacement curve of cam mechanism 5

4. 결론

본 연구에서는 초소형 필라멘트 자동조립장치에 구성되어있는 캠 구동부의 정확한 위치결정을 위한 캠 형상을 설계하고, 전체 시스템에 맞게 배치하여 캠 구동부의 운동을 시뮬레이션 하였다. 본 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 캠 구동부의 정확한 위치결정을 갖는 캠 형상을 설계하였다.
- (2) 전체 시스템을 고려하여 캠을 배치하고, 각각의 링크들을 구성하여, 캠 구동부의 운동을 시뮬레이션 하였다.
- (3) 기존에 설계된 캠의 운동보다 매우 정확한 위치 제어가 가능하였고, 진동과 마모도 상당히 줄어들었으며, 요구변위곡선의 일시정지 구간에서의 오차를 최고 0.3mm이하로 줄였다.
- (4) 초소형 제품을 제조하기 위해 정밀위치제어가 필요한 캠의 설계가 가능하였다.

참 고 문 헌

- (1) Robert L. Norton, 2000, "Design of machinery", McGRAW-HILL Inc.
- (2) Robert, H. A., 1961, "Cam Dynamics", Proceedings of the International Conference for Teachers of Mechanisms, The shoe string Press: New Haven Conn, pp. 141~155.
- (3) 전혁수, 1990, "캠 기구의 동역학을 고려한 캠 상 최적 설계" 한국과학기술원, 공학박사 학위논문.
- (4) 신중호, 김종수, 하경훈, 1997, "캠구동 슬라이더기구의 기구동역학 해석에 관한 연구" 대한기계학회논문집(A), 제21권, 제6호, pp. 871~883.
- (5) Hrone, J.A., 1948, "An Analysis of Dynamic Forces in a Cam-Driven System", Mechanical Engineering, ASME Transaction, pp. 473~482.
- (6) Roggenbuck, R. A., 1953, "Designing the Cam profile for Low at High Speed", SAE Transaction, pp. 701.~705.