

휴대폰 폴더힌지기구를 위한 원통캠 형상 설계에 관한 연구

이수준*(경남대 대학원 기계공학과), 박종근(경남대 기계자동화공학부)

A Study on the Shape Design of Cylindrical Cam in a Folder Hinge Mechanism for Mobile Phones

S. J. Lee(Mech. Eng. Dept., KNU), J. K. Park(Mech. Eng. Dept., KNU)

ABSTRACT

In this paper, we developed an algorithm of generating cam contour curve for hinge mechanism of folder-type mobile phone. The main feature of this hinge mechanism is that we can operate uniform torque to open or close the mobile phone. We divided the opening or closing intervals of the cam into finite sub-intervals, and then we determined the cam contour curve of each sub-interval as a parabolic curve. Finally, these finite parabolic curves form the total cam contour. We can design single cam, which composed moving cam with contour curve and fixed cam that plays only roller, and twin cam with contour curve that is made up the pair of two cams symmetrically.

Key Words : Mobile Phone (휴대폰), Folder-type Hinge Mechanism (폴더형 힌지기구), Single cam (단일캠), Twin cam (복합캠), Golden Section Search Method (황금분할탐색법)

1. 서론

오늘날 휴대폰은 현대인들이 살아가는데 필수품이 되고 있다. 휴대폰이 점차 기능이 다양화되고 소형화 및 경량화 되면서 힌지기구 내부의 스프링의 힘을 고려한 캠의 형상 설계가 중요시 되고 있다.

폴더형 휴대폰에 사용되는 힌지기구는 설계와 생산 방식이 지금까지의 경험에 의존하고 있을 뿐 이론적이고 체계적인 연구는 이루어지지 않고 있다.

기존의 힌지기구에 사용되는 캠은 휴대폰을 열고 닫는 전체 구간 중에 회전력의 최대값을 일정한 값으로 유지하도록 캠의 윤곽을 설계하고 있다. 하지만 이와 같은 캠은 개폐 구간 전체의 회전력이 균일하지 않고 가공 상의 오차까지 부가되어 폴더를 개폐하는 느낌이 부드럽지 못한 결점이 있다.

본 연구에서는 폴더의 개폐구간 전체를 통하여 개폐에 필요한 회전력이 균일하도록 캠의 윤곽곡선을 설계하는 알고리즘(Algorithm)을 개발하였다. 전체의 윤곽곡선을 유한한 개수의 구간으로 나누고 한 구간 내에서 윤곽곡선이 포물선이 된다고 가정한 후 이 포물선의 계수를 결정하고 각각의 구간에서 계산된 포물선의 연결점에서 1차 도함수까지 연속이 되

도록 전체의 윤곽곡선을 구성하였다.

2. 폴더힌지기구

2.1 폴더힌지기구의 모델링

일반적으로 폴더형 휴대폰에서 사용하고 있는 폴더힌지기구는 Fig. 1과 같다.

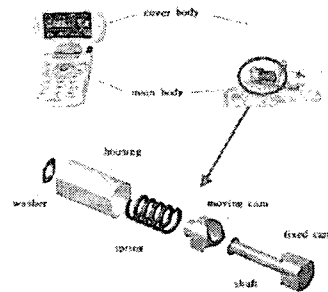


Fig. 1 Folder hinge mechanism for mobile phone

즉, 휴대폰에 장착되어 구동되는 폴더힌지기구는 이동캠(moving cam), 고정캠(fixed cam), 스프링(spring) 그리고 하우징(housing) 등으로 구성되어 있다.

캠 윤곽곡선의 형상에 따라 단일캠(single cam)과 복합캠(twin cam)으로 나눌 수 있다. 즉, 단일캠은 이동캠에 윤곽곡선을 만들고 고정캠은 단순히 롤러(roller)의 기능만 하는 캠이다. 복합캠은 이동캠과 고정캠에 동일한 캠 윤곽곡선을 대칭으로 만들고 이 두 윤곽이 이동캠이 회전함에 따라 점 접촉하도록 하는 구조이다.

3. 캠의 설계

3.1 설계요구사항

Fig. 2와 같은 휴대폰의 폴더힌지기구는 인력에 의해 개폐되기 때문에 외부의 작은 힘에 의하여 기구가 개폐되거나 이를 위해 필요 이상의 큰 힘을 요구하는 등의 작동상의 문제를 수반하면 안 된다.

본 연구의 주안점은 일정한 회전력으로 휴대폰의 커버바디를 개폐할 수 있는 캠 윤곽을 설계하는 것이며 이를 위한 설계 조건은 다음과 같다.

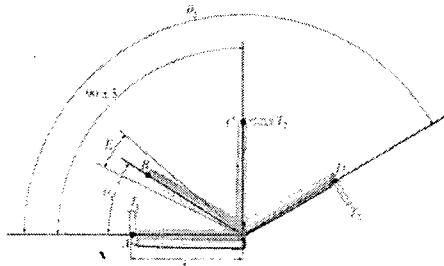


Fig. 2 Operation and torque condition

- T_1 : 위치 A에서 위치 B 까지 열 때의 회전력 (5.0? kg·mm)
- T_2 : 위치 D에서 위치 B 까지 닫을 때의 회전력 (3.0? kg·mm)
- θ_1 : 위치 A에서 위치 B 까지 여는 회전각도 (40?)
- θ_2 : 위치 A에서 위치 D 까지 전체 회전각도 (150?)
- E : 중립점(original range of neutral point)의 각도 범위 (20? 이내)

3.2 힌지용 캠의 기하학적 조건

이동캠이 회전함에 따라 캠의 윤곽곡면이 균일한 접촉을 유지하기 위하여 캠 윤곽곡면의 등고선은 Fig. 3(a)와 같이 방사형이 되어야 하고 section A의 기하학적 조건은 Fig. 3(b)와 같다.

즉, dh 는 원통의 미소 높이, $d\phi$ 는 호의 미소 회전각, R_i, R_o, R_e 는 내부, 유효, 외부 원통의 반지름, $R_i d\phi, R_o d\phi, R_e d\phi$ 는 내부, 유효, 외부에 대한 호의 길이, $\theta_i, \theta_o, \theta_e$ 는 내부, 유효, 외부 원통에 대한 캠의 경사각 이라고 두면, 원통의 미소 회전각 $d\phi$ 에 대하여 다음 식이 성립한다.

$$\theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{R_o}{R_i} \tan \theta_o \right) \quad (1)$$

$$\theta_o = \tan^{-1} \left(\frac{R_e}{R_o} \tan \theta_e \right) \quad (2)$$

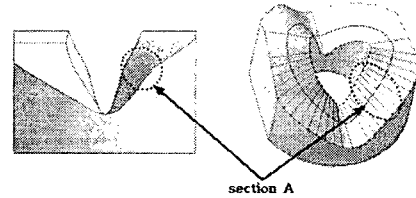


Fig. 3(a) Contour line of moving cam

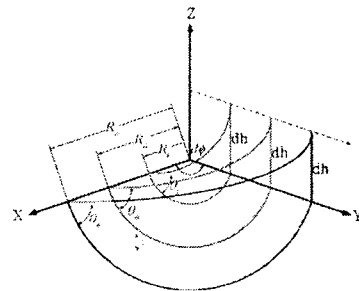


Fig. 3(b) Illustration of section A on moving cam

3.3 평형방정식

Fig. 4는 휴대폰의 커버바디가 외부회전력 T_1 혹은 T_2 에 의해 개폐되어 고정캠이 이동캠의 윤곽곡선을 따라 상승, 하강 할 때 힘의 평형방정식을 나타낸다. 여기서, F 는 스프링의 복원력, H 는 커버바디를 개폐하기 위한 회전력 T_1 혹은 T_2 를 유효반경 R_o 의 위치에서 고정캠을 수평으로 미는 하중으로 변환한 힘, H' 는 스프링의 복원력 F 에 의해 고정캠이 이동캠을 하강하는 것을 저지하기 위한 수평방향의 힘, μN 은 고정캠이 이동캠의 윤곽곡선을 상승할 때 고정캠에 가해지는 마찰력, $\mu N'$ 은 고정캠의 하강에 저항하는 마찰력 N 은 수직 반력, θ_o 는 R_o 에서의 이동캠의 경사각이다. 고정캠이 이동캠을 상승, 하강 할 때의 평형방정식은 다음과 같다.

$$\theta_o = \tan^{-1} \left(\frac{H - \mu F}{\mu H + F} \right) \quad (3)$$

여기서, $H \cdot R_o$ 가 외부에서 커버바디에 가해지는 회전력이다.

고정캠이 이동캠의 윤곽곡선을 하강 할 때의 평형방정식은 다음과 같다.

$$\theta_o = \tan^{-1} \left(\frac{-\mu F' - H'}{\mu H' - F} \right) \quad (4)$$

$$H' = \frac{-\mu F \cos \theta_o + F \sin \theta_o}{\cos \theta_o + \mu \sin \theta_o} \quad (5)$$

여기서, $H \cdot R_0$ 가 중립점을 지난 후 스프링의 복원력에 의해 커버바디가 받는 회전력이다.

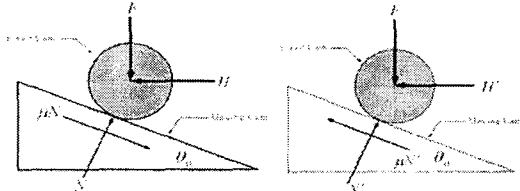


Fig. 4 Free body diagram in sliding up-down

3.4 캠 윤곽 설계

3.4.1 단일캠(single cam)

Fig. 5에서 아래쪽의 굽은 선이 이동캠의 캠 윤곽곡선이고 여기에 접촉하고 있는 원이 고정캠의 롤러이다.

여기서, θ_0 는 중립점에서 이동캠의 경사각이다. r 은 롤러의 반경, (x_0, y_0) 는 캠의 중립점 좌표, (x^*, y^*) 는 θ_0 에 대한 롤러 중심의 좌표, F_{max} 는 스프링의 최대복원력이다.

다음은 캠 윤곽곡선의 형상을 구하는 단계이다.

단계 1. 이동캠의 중립점에서 스프링의 최대복원력 F_{max} 는 식(5), 캠의 경사각 θ_0 는 식(6), 캠의 경사각 θ_0 만큼 이동한 롤러의 중심의 y 좌표 y_0^* 는 식(7)와 같다.

$$F_{max} = k\delta_{max} \quad (5)$$

$$\theta_0 = \tan^{-1} \left(\frac{H - \mu F_{max}}{\mu H + F_{max}} \right) \quad (6)$$

$$y_0^* = r(1 - \cos\theta_0) \quad (7)$$

여기서, 캠의 윤곽곡선의 중립점 좌표는 $(x_0, y_0) = (0, r)$ 이다.

단계 2. 고정캠의 롤러 중심의 하강거리 h^* 를 Δy^* 로 등분하면 아래의 식을 구할 수 있다.

$$y_i^* = i\Delta y^* \quad , \quad i = 1, \dots \quad (8)$$

$$F_i = k(\delta_{max} - i\Delta y^*) \quad , \quad i = 1, \dots \quad (9)$$

$$\theta_i = \tan^{-1} \left(\frac{H - \mu F_i}{\mu H + F_i} \right) \quad , \quad i = 1, \dots \quad (10)$$

$$y_i = y_i^* + r\cos\theta_i \quad , \quad i = 1, \dots \quad (11)$$

$$x_i = x_i^* - r\sin\theta_i \quad , \quad i = 1, \dots \quad (12)$$

식(8) ~ 식(12)을 이용하여 y_i^* 과 y_i 을 구한다. (x_{i-1}, y_{i-1}) 과 (x_i, y_i) 사이의 캠의 윤곽곡선을 포물

선으로 가정한다.

- (1) 이미 구해진 (x_{i-1}, y_{i-1}) 의 좌표값
- (2) 이 점에서 기울기가 $\tan\theta_{i-1}$
- (3) (x_i, y_i) 에서 기울기가 $\tan\theta_i$

위의 3개의 조건을 이용하면 위의 포물선의 계수 3개를 구할 수 있다. 이 계수 3개를 이용하여 나머지 1개의 계수를 구하는 과정에서 비선형 방정식을 풀어야하므로 황금분할탐색법(Golden Section Search Method)을 이용한다. 나머지 계수인 x_i 가 구해지면 x_i 를 식(12)에 대입하여 x_i^* 를 구한다.

단계 3. 단계 2를 계속 반복하여 롤러 중심의 x 좌표 x_i^* 가 설계조건에서 지정한 거리만큼 나갈 때까지 계산을 반복한다.

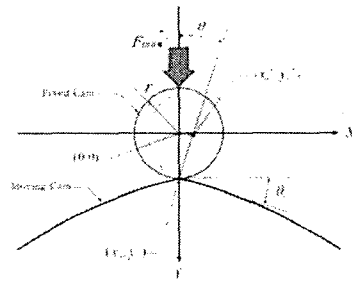


Fig. 5 Trace of roller center in neutral area

Fig. 6은 이동캠의 윤곽곡선과 롤러 중심의 좌표를 구하는 과정을 도시한 것이다.

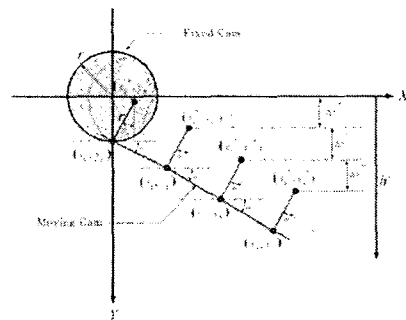


Fig. 6 Generation of contour curve for single cam

3.4.2 복합캠(twin cam)

복합캠은 앞에서 설명한 단순캠과 달리 고정캠과 이동캠에 동일한 캠의 윤곽곡선을 대칭으로 만들어 주는 것이다.

앞에서와 마찬가지로 캠의 전체 윤곽곡선을 y 방향의 증분 Δy 간격으로 구각을 나누면 아래의 식을

구할 수 있다.

$$y_i = i\Delta y \quad , \quad i = 1, \dots \quad (13)$$

$$F_i = k(\delta_{\max} - 2i\Delta y) \quad , \quad i = 1, \dots \quad (14)$$

두 점 (x_{i-1}, y_{i-1}) 과 (x_i, y_i) 사이를 포물선으로 가정하여 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$y_{i-1} = ax_{i-1}^2 + bx_{i-1} + c \quad (15)$$

$$\tan\theta_{i-1} = 2ax_{i-1} + b \quad (16)$$

$$y_i = ax_i^2 + bx_i + c \quad (17)$$

$$\tan\theta_i = 2ax_i + b \quad (18)$$

위의 4개의 식으로부터 미지수 a, b, c, x_i 구할 수 있다.

이 4개의 미지수를 구하는 과정이 비선형 방정식이므로 황금분할탐색법을 이용한다. 이와 같은 반복 계산을 x_i 가 설계에서 요구하는 캠의 회전각에 대한 원주길이의 절반이 될 때까지 진행한다.

4. 캠의 형상 설계 결과

4.1 단일캠 형상

Table 1의 입력 값을 기본으로 하여 Fortran 프로그램을 이용한 단일캠 윤곽곡선은 다음과 같다

Fig. 7은 개폐회전력 T_1, T_2 , 외경 d_o , 최대복원력 F_{max} 의 변화에 대한 캠의 윤곽곡선이다.

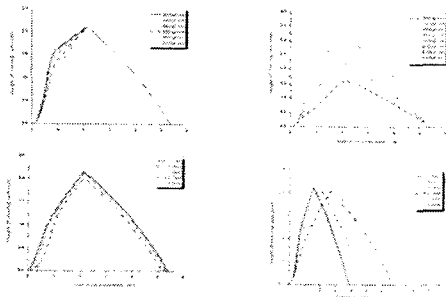


Fig. 7 Contour line of single cam

4.1 복합캠 형상

Table 1의 입력 값을 기본으로 하여 Fortran 프로그램을 이용한 복합캠 윤곽곡선은 다음과 같다.

Fig. 8은 개폐회전력 T_1, T_2 , 외경 d_o , 최대복원력 F_{max} 의 변화에 대한 캠의 윤곽곡선이다.

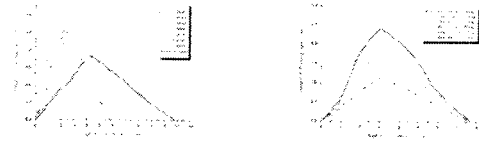
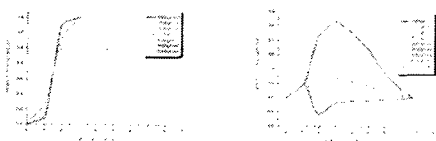


Fig. 8 Contour line of twin cam

Table 1 Input data for contour line of single cam and twin cam

Important factor	Single	Twin
Outer diameter of hinge (d_o)	4.6mm	7.0mm
Inner diameter of hinge (d_i)	2.0mm	2.0mm
Coefficient of friction (μ)	0.15	0.15
Swing angle of hinge to open (θ_1 ')	45°	45°
Swing angle of hinge to close (θ_2 ')	110°	110°
Torque to open folder hinge (T_1)	5000gf mm	5000gf mm
Torque to close folder hinge (T_2)	3500gf mm	3500gf mm
Spring constant (k)	700gf/mm	700gf/mm
Maximum deflection of spring (δ_{max})	4.3mm	5.0mm

5. 결론

본 연구에서 폴더 형 휴대폰의 힌지 기구에 사용되는 캠의 윤곽곡선을 설계하였다. 기존의 힌지기구는 폴더를 개폐할 때 최대 회전력만을 일정한 값으로 제한한 반면 본 연구에서 개발한 힌지기구는 일정한 회전력으로 폴더를 개폐할 수 있으므로 휴대폰 폴더를 부드럽게 작동시킬 수 있다.

이동캠에는 윤곽곡선을 내고 고정캠은 롤러 역할만 하는 단순캠과 두 개의 캠에 동일한 캠 윤곽곡선을 대칭으로 내는 복합캠 두 가지를 개발하였다. 캠의 전체 윤곽곡선을 유한 개수의 구간으로 나누고 각각의 구간을 포물선으로 가정한 후 양 끝점에서 3개의 조건을 이용하여 구간 내에서 윤곽곡선을 구하고 이를 연결함으로써 전체의 윤곽곡선을 구하였다.

캠의 윤곽을 설계한 결과 폴더를 개폐시키는 회전력을 크게 할수록, 스프링의 복원력이 작을수록 그리고 캠의 원통의 직경이 작을수록 캠 윤곽의 경사각이 커진다.

접촉면의 마찰계수(μ)를 0.15로 두면 중립점을 통과한 후 스프링의 복원력으로 회전하는 구간에서 폴더를 구동시키는 회전력은 중립점을 통과하기 전에 폴더에 가해지는 회전력의 약 절반이다.

후기

본 연구는 (주)레이원텍의 지원을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참고문헌

지면 관계상 생략