

# 미러 타입 컨주게이트 캠의 설계와 가공에 관한 연구

조현덕\*, 김유종<sup>+</sup>, 용부중<sup>++</sup>, 동유계<sup>+++</sup>  
(논문접수일 2004. 5. 14, 심사완료일 2004. 12. 27)

## A Study on Design and Machining of the Mirror Type of Conjugate Cam

Hyun-Deog Cho\*, Yoo-Jong Kim<sup>+</sup>, Boo-Joong Yong<sup>++</sup>, Yu-ge Dong<sup>+++</sup>

### Abstract

A mirror cam mechanism, a kind of conjugate cam mechanism, consists of two cams, two rollers, and two links. Since profiles of two mirror cams are identical, a simultaneous machining of two cams is achievable. Some machining errors on cam profiles do not result in the internal acting force, which often causes problems in high speed cam mechanism, between two links. Also, since angular accelerations of two links are same, the internal acting force by the difference of the angular accelerations does not occur in the mechanism. Thus the mirror cam mechanism is very useful in high speed machinery. This paper studies a design method as well as a machining method, and develops an exclusive CAD/CAM software for mirror cam profiles. The developed CAD/CAM software is applied to a typical mirror cam mechanism, and a mock-up equipment is built in order to test the machined mirror cam. Experimental investigations show that the contact between cam surface and roller surface according to cam rotation agrees well with the simulation on the developed CAD/CAM software. .

**Key Words :** Conjugate Cam(컨주게이트 캠), Cam Mechanism(캠 기구), Cam Profile(캠 윤곽), Exclusive CAD/CAM(전용 CAD/CAM), Machining Error(가공오차), Mirror Line(미러 선), Mirror Cam(미러 캠), Motion Reflection(운동 반사)

## 1. 서론

기계는 많은 부품들로 구성되어 상호 유기적인 작용에

의하여 목표된 기능을 하는 것으로, 각각의 부품 메커니즘들이 정밀하게 조립되고 작동이 원활해야 전체적으로 우수한 성능의 기계가 된다. 따라서 기계장치의 성능은 기계

\* 경일대학교 기계자동차학부(hdcho@kiu.ac.kr)  
주소: 712-701 경북 경산시 하양읍 부호리 33

+ (주)디엠피 기술개발부

++ 경일대학교 기계자동차학부

+++ Hefei University of Technology, in China, School of Mechanical & Automotive Engineering

요소들의 설계, 제작, 조립 품질에 따라 결정된다<sup>(1)</sup>. 자동화 기계나 전용기의 기계장치는 주로 기구학적 방식과 유/공압 방식이 사용되는데, 유/공압 방식은 개발 및 제작측면에서 유연성(flexibility)이 많지만 고속운전과 동시에 정밀한 구동이 필요한 경우에는 적합하지 않고 일반적으로 기구학적 방식이 사용된다<sup>(2,4)</sup>. 많이 사용되는 기구학적 방식으로는 캠 기구(cam mechanism)가 있다. 캠 기구는 오래전에 출현하였지만 정특성 및 동특성에 따른 최적의 형상설계가 난해하여 산업현장에서는 여전히 어려운 기술 분야이다<sup>(2-5)</sup>. 그러나 캠 기구는 다른 구동 기구에 비하여 충격과 가속도가 작아 고속에서도 신뢰성이 높고 정숙한 운동을 얻을 수 있으며, 고장이 적고 긴 수명을 갖기 때문에 섬유기계, 인쇄기, 식품 가공기, 엔진, 자동화기계 및 공작기계 등에 널리 사용되고 있다. 그래서 본 연구는 컨주게이트 캠(conjugate cam)의 일종인 미러 캠(mirror cam)의 설계와 가공에 대하여 다룬다.

컨주게이트 캠 기구는 종동자에 2개의 롤러를 분리하여 고정하고 한 쌍의 캠이 일정한 간격으로 배치되며 각각의 캠과 롤러가 강제로 접촉을 유지할 수 있다<sup>(3)</sup>. 그러나 컨주게이트 캠은 두 윤곽곡선이 서로 달라 두 링크간의 각도에 대한 동특성은 동일하지만 두 종동자의 형상이 서로 대칭이 아닐 경우 질량중심에 대한 동특성은 서로 다르게 된다. 따라서 두 링크간의 불필요한 내부응력이 발생할 수도 있으며, 특히 가공오차에 의한 윤곽곡선의 불균형이 발생할 경우 내부응력은 더욱 커지게 된다. 그러나 미러 캠은 2개의 캠이 동일한 윤곽곡선을 갖도록 설계된 것으로 가공 시 2개의 캠을 겹쳐서 동시에 가공하면 가공오차가 발생하더라도 동일한 오차를 갖기 때문에 똑같은 형상이 제작된다. 따라서 미러 캠은 두 종동자간의 변위, 가속도, 가공오차의 불균형이 없기 때문에 링크간의 내부응력이 전혀 발생하지 않는다. 그리고 가공 시 고정 핀(pin)의 위치도 동시 가공이 가능하므로 제작정밀도와 조립정밀도를 동시에 높일 수 있어 컨주게이트 캠보다 더 고속운전을 할 수 있다.

본 연구에서는 미러 캠의 설계 조건 및 알고리즘을 규명하고 컨주게이트 캠 설계 원리를 적용하여 미러 캠 곡선을 설계하고, 전용 소프트웨어를 개발하여 동특성을 확인하였다. 그리고 소프트웨어를 사용하여 임의의 미러 캠을 설계 및 가공하여 실험용 미러 캠 기구를 제작하였다. 그리고 미러 캠 기구의 운전을 통하여 종동절의 롤러와 캠 곡선과의 접촉 상태를 확인하였다.

## 2. 컨주게이트 캠 설계

컨주게이트 캠은 어느 한 쪽의 캠이 상승운동을 하는 구간이면 상대적으로 다른 쪽의 캠은 하강운동을 할 수 있도록 구성되어 캠의 회전에 대하여 외부의 작용력이 없어도 모든 구간에서 접촉하여 이탈을 피할 수 있다. 일반적인 컨주게이트 캠 기구는 Fig. 1과 같이 캠, 롤러, 링크 등으로 구성되어 있으며 캠의 회전에 의하여 링크가 요동운동을 하며 운동은 캠 곡선에 따라 달라지므로 캠을 설계하는 것이 곧 캠 곡선을 설계하는 것이다<sup>(2,11)</sup>.

캠 곡선 정의에서 기초원의 반지름을  $R$ , 롤러의 반지름을  $r$ , 링크의 길이를  $l$ , 링크의 고정점( $Q$ )과 각 캠의 회전중심( $O$ )까지의 거리를  $P$ , 두 롤러 중심 간의 거리를  $d$ , 링크의 각변위를  $\phi$ , 캠의 회전각을  $\theta$ 라 하면 컨주게이트 캠의 운동에 대한 기하학적 구성은 Fig. 2와 같이 묘사할 수 있다. Fig. 2에서 롤러의  $A$  위치는 캠이 회전하지 않았을 경우 기초원 위에 있을 때이고  $A'$  위치는 캠이  $\theta$ 만큼 회전했을 때의 위치이다.  $N$ 은  $A$  위치에서의 롤러 중심과  $A'$  위치에서의 롤러 중심 간의 직선거리이고,  $r$ 은 캠 중심  $O$ 와  $A'$  위치에서의 롤러 중심 간의 거리이다.  $r'$ 은 캠 중심  $O$ 에서  $A'$  위치에서의 롤러와 캠 곡선이 접하는 점까지의 거리이고,  $\Delta$ 는  $r$  직선과  $r'$  직선이 서로 이루는 각이고,  $\delta$ 는  $r$  직선과 캠 중심  $O$ 와  $A'$  위치의 롤러 중심 간의 직선과 이루는 각이다.  $\rho$ 는 캠의 회전초기 캠 중심과 롤러 중심을 잇는 직선으로부터 캠이  $\theta$ 회전후의 캠 중심과  $A'$  위치의 롤러 중심을 잇는 직선과의 각이고,  $\rho'$ 는 캠의 회전초기 캠 중심과 롤러 중심을 잇는 직선으로부터 캠이  $\theta$ 회전후의 캠 중심과  $A'$  위치의 롤러 접점을 잇는 직선과의 각이다.  $\lambda$ 는  $O$ 와  $Q$ 를 잇는 직선과  $O$ 와  $A'$  위치에서의 롤러 중심을 잇는 직선과의 각이

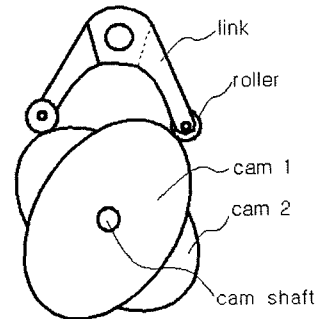


Fig. 1 Conjugate cam mechanism

고,  $\Omega$ 는 A'위치에서의 롤러 중심과 롤러와 캠 곡선의 접점을 잇는 직선과 O점과 A'위치의 롤러 중심을 잇는 직선과 이루는 각이다.  $\gamma$ 는 O와 Q를 잇는 직선과 Q와 A'위치에서의 롤러 중심을 잇는 직선과 이루는 각이고,  $\alpha$ 는 O와 Q를 잇는 직선과 Q와 A'위치에서의 롤러 중심을 잇는 직선과 이루는 각이다.

캠 곡선은 기구의 동작을 묘사하는  $\theta$ 와  $\phi$ 의 관계곡선을 발생할 수 있도록 설계되어야 하는데 다음과 같다<sup>(2,3,11)</sup>. Fig. 2의 삼각형  $\Delta OQA'$ 에 대하여 코사인법칙을 적용하여  $\gamma$ 와  $\lambda$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\gamma = \cos^{-1} \left( \frac{l^2 + P^2 - (R + r_f)^2}{2Pl} \right) \quad (1)$$

$$\lambda = \cos^{-1} \left( \frac{(R + r_f)^2 + P^2 - l^2}{2(R + r_f)P} \right) \quad (2)$$

삼각형  $\Delta OQA'$ 에서 입력조건인  $\phi = f(\theta)$ 가 성립하고  $\alpha$ 는  $\phi + \gamma$ 이므로  $\alpha = f_1(\theta)$ 가 되고, 롤러 중심과 캠 중심과의 거리  $r$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r^2 &= l^2 + P^2 - 2lP \cos \alpha \\ &= l^2 + P^2 - 2lP \cos(\phi + \gamma) \end{aligned} \quad (3)$$

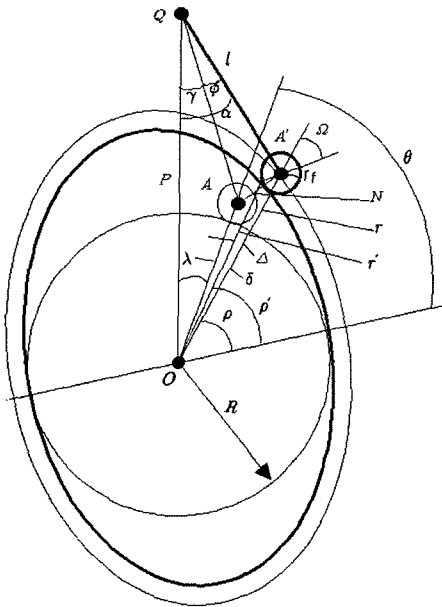


Fig. 2 Kinematic geometry for conjugate cam design

그리고 Fig. 2로부터 회전각  $\rho$ 는 다음과 같다.

$$\rho = \theta \pm \delta \text{ (ccw: +, ccw: -)} \quad (4)$$

여기서  $\delta$ 는 삼각형  $\Delta OAA'$ 에서 구할 수 있으며 다음과 같다.

$$N^2 = 2l^2 - 2l^2 \cos \phi \quad (5)$$

$$\delta = \cos^{-1} \left( \frac{(R + r_f)^2 + r^2 - N^2}{2(R + r_f)r} \right) \quad (6)$$

$\delta$ 가  $\phi$ 의 함수이고  $\phi$ 는  $\theta$ 의 함수이므로  $\delta$ 는  $\theta$ 의 함수이며  $\rho$ 도  $\theta$ 의 함수이다. 즉,  $\delta = f_2(\phi)$  이고  $\phi = f(\theta)$  이므로  $\delta = f_3(\theta)$ 와  $\rho = f_4(\theta)$ 로 표현할 수 있다. 접촉점에서 캠 중심까지의 거리  $r$ 는 롤러의 중심과 캠 곡선과 롤러의 접촉점을 잇는 선과 캠과 롤러의 중심을 잇는 선이 이루는 각  $\Omega$ 을 계산함으로써 구할 수 있다. 캠의 미소 회전에 대한 기구학적 관계는 Fig. 3과 같이 묘사할 수 있는데,  $\rho \neq 0$ 이면 Fig. 3에서  $\Omega'$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Omega' = \tan^{-1} \frac{F'E}{FE} \quad (7)$$

그리고  $d\rho$ 가 미소하므로  $\Omega' = \Omega$ 가 성립하고 식 (7)을 변환하면  $\Omega$ 는 다음과 같이 된다.

$$\Omega = \tan^{-1} \frac{1}{r} \frac{dr}{d\rho} \quad (8)$$

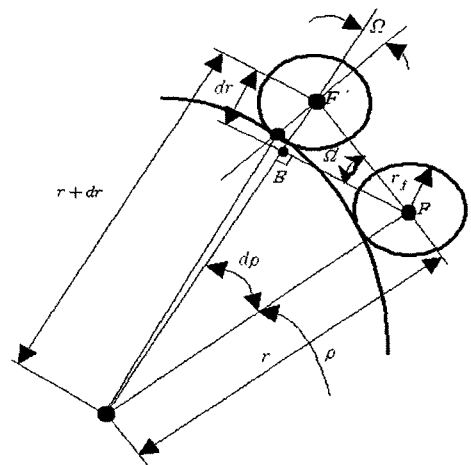


Fig. 3 Mechanism for finite movement of cam

따라서 Fig. 2의 접촉점과 캠의 회전중심까지의 거리  $r$ 와 회전각  $\rho'$ 는 다음과 같다.

$$r'^2 = r^2 + r_f^2 - 2rr_f \cos \Omega \quad (9)$$

$$\rho' = \rho \pm \Delta \text{ (ccw:+, cw:-)} \quad (10)$$

식 (10)에서 (-)부호는 캠이 시계방향으로 회전하는 상승 구간에서 적용할 수 있으며, (+)는 하강구간에서 적용할 수 있다. 그리고  $\Delta$ 는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\Delta = \cos^{-1} \left( \frac{r^2 + r_f^2 - r'^2}{2rr_f} \right) \quad (11)$$

$\rho$ 가  $\theta$ 의 함수이므로  $\rho = f_4(\theta)$ 로 둘 수 있고, 식 (10)으로부터  $\rho'$ 도  $\theta$ 의 함수이므로  $\rho' = f_5(\theta)$ 로 둘 수 있다. 따라서 캠 곡선의 위치 벡터를 직각좌표로 표현하면 다음과 같이 된다.

$$x = r' \cos \rho' \quad (12)$$

$$y = r' \sin \rho' \quad (13)$$

회전각  $\theta$ 와 종동자의 각도 변위량  $\phi$ 와의 관계를 알 때 식 (12)와 식 (13)으로 캠 곡선을 설계할 수 있다. 컨쥬게이트 캠의 경우 2개의 캠으로 기구를 구성하므로 위에서 설명한 방법으로 다른 한 개의 캠 곡선도 구할 수 있다. 최종적으로 컨쥬게이트 캠 기구 구성은 두개의 링크사이의 지정된 각도에 맞도록 캠 위치를 결정하여 설치한다.

### 3. 미러 캠 설계

미러 캠은 컨쥬게이트 캠의 일종으로 윤곽곡선에서 기하학적 특징을 갖는데, 한 캠의 윤곽곡선이 다른 캠의 윤곽곡선을 Fig. 4와 같이 Y-축에 대하여 대칭시켰을 때 생성되는 형상이다. 즉, 동일한 두개의 캠을 Y-축에 대하여 서로 뒤집어 설치하여 캠과 롤러가 모든 구간에서 기계적으로 강제 접촉을 유지할 수 있도록 구성된 것을 미러 캠이라 한다. 컨쥬게이트 캠과 마찬가지로 미러 캠에서도 어느 한 쪽의 캠이 상승운동을 하는 구간이면 상대적으로 다른 쪽의 캠은 하강운동을 할 수 있도록 구성되어 캠의 회전에 대하여 외부의 작용력이 없어도 모든 구간에서 접촉하여 이탈을 피할 수 있다.

Fig. 4에서 두개의 캠은 동일한 캠이며  $O_1$ 과  $O_2$ 는 캠의 회전 중심으로 동일한 위치점이고  $P_1$ 과  $P_2$ 는 링크의 회전

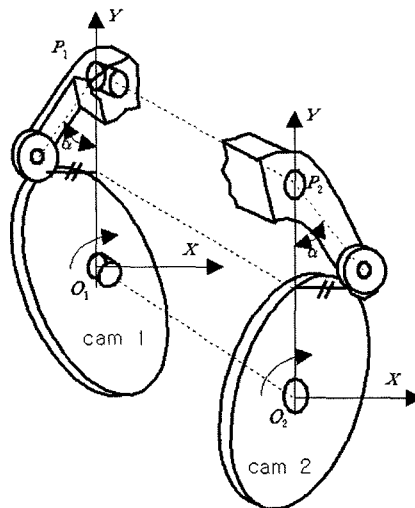
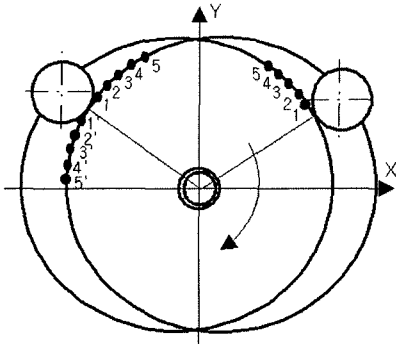


Fig. 4 Construction method of mirror cam mechanism

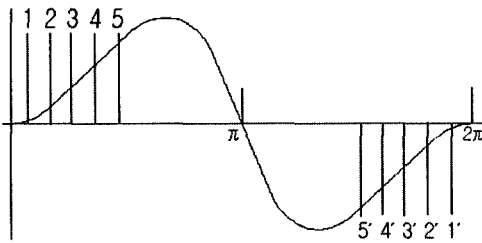
중심으로 역시 동일한 위치 점이며 두 개의 링크는 서로 고정되어 있다. 두 캠의 초기설치는 Fig. 4와 같이 X-Y 좌표계에서 캠의 중심과 종동자의 회전중심을 지나는 Y-축에 대하여 두 개의 캠 곡선이 서로 대칭이 되도록 설치한다.

미러 캠의 변위 곡선은 컨쥬게이트 캠의 원리에서 찾을 수 있으며 하나의 캠 곡선에서 상승변위가 있을 때 양의 변위를 입력하고 다른 한 쪽의 캠에는 상승 변위에 해당하는 만큼 음의 변위를 입력하면 그에 해당하는 하강변위가 된다. 이러한 원리에 따라 미러 캠의 변위 곡선은 상승과 하강이 대칭이 이루어져 나타나야 하는 것을 알 수 있고, 그 대칭점에서 캠의 운동은 상반된다는 결과를 찾을 수 있다.

Fig. 5(a)는 미러 캠을 보여주고 있는데, 오른쪽의 캠을 뒤집어 보면 왼쪽의 캠이 되고 그 위치는 오른쪽의 캠에서 1, 2, 3, 4, 5 위치 점은 왼쪽의 1, 2, 3, 4, 5 위치 점이 된다. 여기서 시계방향으로 두개의 캠이 회전하면 접촉순서는 오른쪽의 캠은 1, 2, 3, 4, 5의 순서로 접촉되고 왼쪽의 캠은 1', 2', 3', 4', 5'의 순서로 접촉되어야 한다. 이러한 원리를 Fig. 5(b)의 캠 회전에 대한 종동자의 변위 곡선에 대하여 적용하면 오른쪽의 캠은 정 방향으로 나타나고 왼쪽은 역방향으로 나타난다. 따라서 미러 캠 회전에 대한 변위곡선은 캠의 한 주기  $2\pi$ 에 대하여 중간점  $\pi$ 에서 점대칭이 된다. 즉, Fig. 5(b)의 1, 2, 3, 4, 5의 위치 점에서의 종동자 변위와 1', 2', 3', 4', 5' 위치에서의 종동자 변위가 서로 순서대로 역방향을 이루면서 크기가 동일하여야 한다. 따라서 미러



(a) Motion reflection on mirror line



(b) Relation between roller displacement and cam rotation angle

Fig. 5 Geometric relations of mirror cam

캠 곡선은 점대칭이 이루어지도록 곡선을 개발하거나 기존의 곡선들을 조합하여 사용할 수 있다.

따라서 미리 캠 윤곽곡선은 Fig. 5와 같은 특징을 갖는 중동자의 출력선도에 대하여 앞에서 설명한 컨주게이트 캠 설계방법을 적용하여 구할 수 있다.

#### 4. 가공 및 결과

미러 타입 컨주게이트 캠 윤곽곡선의 가공을 위한 NC가공 데이터는 식 (12)와 식 (13)의 캠 윤곽곡선에 대하여 법선 방향벡터를 구함으로써 Fig. 6과 같이 벡터 합으로부터 CL 데이터를 구할 수 있다. 여기서  $\vec{r}$ 은 임의의 위치에서의 접선벡터이고  $\vec{n}$ 은 법선벡터이며,  $R_t$ 는 공구반경을 의미한다.

$$\vec{r}_{cl} = \vec{r}' + R_t \vec{n} \quad (14)$$

본 연구에서는 앞에서 설명한 설계 원리를 적용하여 캠 운동의 동특성과 윤곽곡선을 확인할 수 있고 가공 데이터를

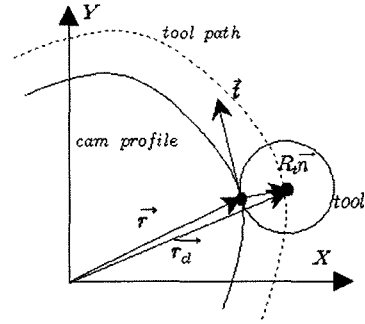


Fig. 6 Cutter location position for NC machining

용이하게 생성할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. Fig. 7은 소프트웨어의 구성을 보여주며, 입력, 캠 윤곽곡선, 캠 운동의 시뮬레이션, 롤러의 운동궤적, NC 파트 프로그램 편집 영역으로 이루어지고 사용법은 입력데이터 값에 따라 개별적으로 실행 가능하도록 하였다.

입력 데이터는 크게 설계와 가공을 위한 데이터로 나누어지며, 주어진 입력 데이터에 따라 설계된 롤러의 운동 특성 곡선을 확인하고 설계자가 입력 데이터를 수정하여 캠 곡선을 재설계할 수 있도록 하였다. 그리고 캠 윤곽곡선의 설계가 완료되면 NC 파트 프로그램도 자동으로 출력될 수 있도록 하였다.

미러 타입 컨주게이트 캠의 설계원리와 소프트웨어의 타당성을 검증하기 위하여 Table 1과 같은 샘플 캠에 대하여 캠 기구를 제작하여 롤러와 캠 곡면의 접촉 특성을 고찰하였다.

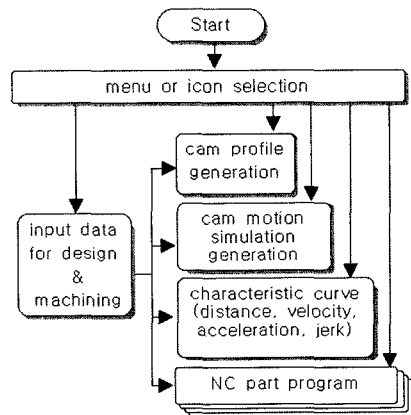
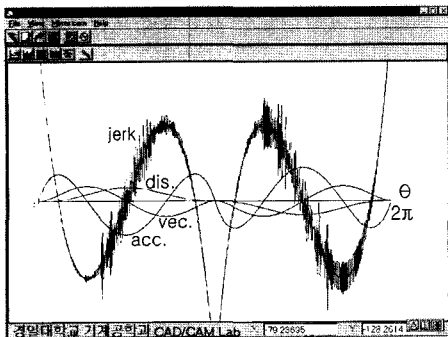


Fig. 7 Software construction for mirror cam

**Table 1 Conditions for a sample mirror cam**

specification	value
base circle diameter	180 mm
roller diameter	26 mm
lever length	140 mm
distance between cam center and lever center	160 mm
cam thickness	15 mm
diameter of cam shaft	26 mm
motion type of cam	RRR(rise and return)
max. angle of follower	0.257 rad
cam profile	3-4-5-6 polynomial
interpolation for machining	arc interpolation

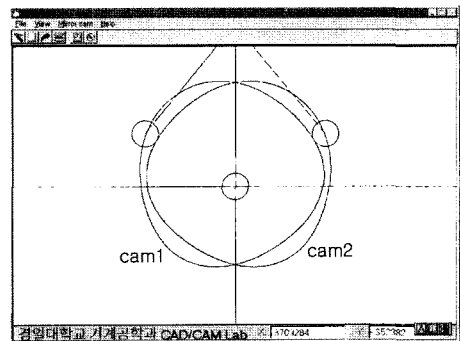
Fig. 8은 Table 1의 샘플 미러 캠을 설계했을 경우 캠 곡선에 대한 종동자의 변위, 속도, 가속도, 약동(jerk)을 보여준다. 앞에서 언급한 바와 같이 미러 타입 컨주게이트 캠은 한 개의 롤러가 0°에서 출발하여 양의 방향으로 회전하면 다른 롤러는 360°에서 출발하여 음의 방향으로 회전한다. 따라서 Fig. 8의 가속도곡선은 180°점에 대하여 변위곡선과 같이 접대칭이 이루어져 두 개의 롤러의 가속도가 동일하여 캠 곡선의 불균형에 의한 링크에 작용하는 내력이 전혀 발생하지 않음을 알 수 있다. 이러한 결과는 미러 캠이 일반 컨주게이트 캠에 비하여 더 고속운전에 적용 가능함을 보여준다. Fig. 8에서 약동 곡선이 불연속적인 파형이 나타난 것은 종동자의 변위를 미소구간에 대하여 점 데이터로 입력하였기 때문에 증분에 대한 오차 중첩에 의해서 생긴 결과이다. 그러나 롤러 직경이 미소구간에 비하여 매우 크기 때문에 실제 운전에서는 연속적인 운동을 한다. Fig. 9는



**Fig. 8 Characteristic curves for follower lever angle of the sample mirror cam**

샘플 미러 캠의 형상을 보여주며, 소프트웨어에서의 시뮬레이션 결과 모든 위치에서 캠과 롤러와의 접촉이 잘 이루어짐을 확인할 수 있었다.

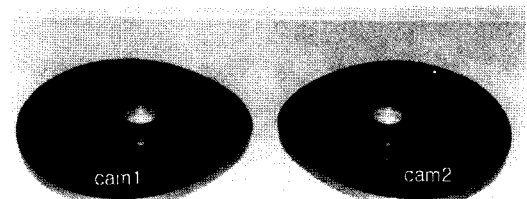
Fig. 10은 서로 짝을 이루는 2개의 샘플 미러 캠 동시에 겹쳐서 가공하는 상황을 보여주며, Fig. 11은 가공 후의 미러 캠을 보여준다. 여기서 캠의 가공경로는 정삭여유를 남기고 황삭하여 정삭을 하였으며 황삭에서는 직선보간으로 정삭에서는 원호보간으로 가공하였다. 원호보간에 대한



**Fig. 9 Mechanism and cam profile of the sample mirror cam**



**Fig. 10 Machining of the sample mirror cam**



**Fig. 11 Machined sample mirror cams**

가공정보는 캠의 각각의 위치에 대하여 캠의 곡률 반경을 산출하여 적용하였다<sup>(1,2)</sup>. 앞에서 언급한 2개의 롤러의 가속도 일치에 의하여 링크간의 내력발생이 차단되는 효과와 같이, 동시 가공은 두 캠의 윤곽에서 동일한 가공오차가 발생하므로 가공오차 차이에 의한 롤러의 변위차도 발생하지 않게 되는 장점이 있다. 여기서 가공오차의 범위는 공작기계의 열변형이나 진동 등에 의한 오차이고 공구치침과 같이 상부 캠과 하부 캠에서 일치하지 않는 오차는 제외된다. 부수적으로 캠 중심과 고정 핀의 위치 등을 동시에 가공함으로써 조립공정에서도 조립 정밀도를 높일 수 있고, 가공 시 공작물 세팅 시간과 가공시간도 줄일 수 있다. 따라서 미러 캠은 가공에 의한 가공오차 불균형도 서로 보완되어 상쇄되는 효과가 있고 조립정밀도도 높아 일반 컨주게이트 캠에 비하여 한 층 더 높은 고속구동이 가능함을 알 수 있다.

Fig. 12는 조립된 미러 캠의 캠 곡면과 롤러의 접촉 상태를 확인하기 위하여 전체 캠 기구를 조립한 상태를 보여주는데, 캠을 구동한 결과 모든 위치에서 캠과 롤러는 항상 구름 접촉을 유지함을 확인할 수 있었다.

## 5. 결 론

본 연구의 미러 타입 컨주게이트 캠 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 컨주게이트 캠의 설계방법 정리 및 미러 캠의 설계조건을 규명하였고, 가공 데이터 산출 및 캠 곡선과 특성 곡선을 확인할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다.

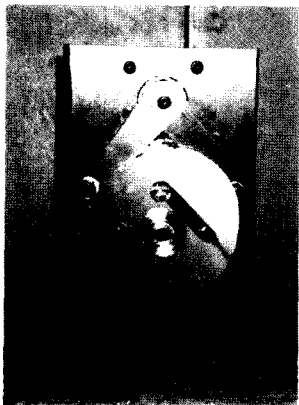


Fig. 12 Mock-up for working test of mirror cam

- (2) 미러 타입 컨주게이트 캠 기구에서 캠 윤곽곡선과 접촉하는 두 롤러간의 가속도가 일치하여 가속도 불균형에 의한 링크간의 내력이 발생하지 않음을 알 수 있었다.
- (3) 미러 캠은 가공 시 두 캠을 동시에 접쳐서 가공하면 동일한 가공오차가 발생하는데, 동일한 가공오차는 롤러의 운동 궤적에 동일한 영향을 이치므로 롤러의 변위차가 발생하지 않음을 알 수 있었고, 고정 핀 구멍가공도 동시 가공할 수 있어 조립 정밀도도 높아짐을 알 수 있었다.
- (4) 미러 타입 컨주게이트 캠은 일반 컨주게이트 캠에 비하여 가속도 및 가공오차에 의한 불균형 영향이 적어 내부응력이 발생하지 않으므로 피로파괴에 강하고 진동발생이 적음을 알 수 있었고, 좀 더 고속운전에 적용할 수 있음을 알 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- (1) Kim, C. B., 1991, *A Study on Development of CAD/CAM Software for Plate Cams and Spatial Cams*, KAIST Master Thesis.
- (2) Kim, Y. J., 1999, *A Study on Development of CAD/CAM Software for Conjugate Cam*, Kyungil Univ. Master Thesis.
- (3) Kim, J. S., 1996, *A Study on Shape Design and Motion Analysis of Disk Cam Mechanisms for Design Analysis Automation*, Changwon Univ. Ph.D. Thesis.
- (4) Shon, T. Y., 1997, *CAD/CAM for Precision Cam Design and Manufacturing*, KAIST Ph. D. Thesis.
- (5) Cho, H. D., 2003, "A Study on Design and Machining of Conjugate Cam on the Basis of Master Cam," *J. of Korea Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol. 2, No. 2, pp. 52~59
- (6) Cho, S. R., Lee, C. M., and Chung, W. J., 2001, "A Study on the Modeling of Roller Gear Cam," *Transactions of the KSMTE*, Vol. 10, No. 3, pp. 31~37.
- (7) Lee, J. S., 2000, "Die Production Technology Using CAD/CAM/CNC," *Transactions of the KSMTE*, Vol. 9, No. 3, pp. 18~26.
- (8) Schonherr, J., 1993, "Smooth Biarc Curves," *Computer Aided design*, Vol. 25, No. 6, pp. 365~370.

- (9) Rothbart, H. A., 1956, *Cams Design, Dynamics, and Accuracy*, John Wiley & Sons Inc.
- (10) Tsay, D. M., and Lin, B. J., 1996, "Improving the geometry design of cylindrical cams using nonparasitic rational B-spline," *Computer Aided Design*, Vol. 28, No. 1, pp. 5~15.
- (11) Chen, F. Y., 1982, *Mechanics and Design of Cam Mechanisms*, Pergamon Press.
- (12) Yang, M. Y. and Shon, T. Y., 1995, "A Study on Blended Cam Design," *Transactions of the KSPE*, Vol. 12, No. 9 pp. 59~65.