

## 원호보간법을 이용한 평면 캠 가공 정보 분석에 관한 연구

조인영\*, 김봉주, 김종찬(창원대 대학원 기계설계공학과),  
신중호, 권순만(창원대 기계설계공학과), 우정윤(경남 전략산업기획단)

### A Study on Machining Information Analysis of Disk Cam using Circular Interpolation

I. Y. Cho, B. J. Kim, J. C. Kim(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept., CWNU),  
J. H. Shin, S. M. Kwon(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept., CWNU),  
J. Y. Woo(Gyeongnam Regional Innovation Agency)

#### ABSTRACT

The disk cam mechanism cam produce a positive motion with a relatively few components. In the present paper a shape design of cam using the relative velocity method and the machining information analysis using the circular interpolation are introduced. In the first part of the paper a machining information at each point using the circular interpolation is taken. This study purposes the analysis method of the cutting error due to the moving path of the cutter, so that we can lead to the optimum design in a disk cam mechanism..

**Key Words** : Disk cam mechanism ( 평면캠기구 ), Cutter moving path ( 공구이동경로 ), Circular interpolation ( 원호보간법 ), Cutter access angle ( 공구접근각 ), Cutting error ( 가공오차 ), Machining information analysis ( 가공정보분석 )

#### 1. 서론

평면 캠기구는 적은 구성품으로 다양한 운동을 발생 할 수 있는 접촉운동기구로서, 정확한 운동 전달(positive motion)장치이다. 일반적으로 평면 캠기구는 종동질의 운동 형태와 모양에 따라 다양한 형태로 구성된다. 본 논문에서는 평면 캠기구의 형상을 순간속도중심법[1]이나 상대속도법[2]을 이용하여 설계한 후, 정밀 가공을 위한 가공 정보의 처리 및 정밀분석에 목표를 둔다.

산업기계, 자동화기계, 섬유기계 등에 이용되는 평면 캠기구에서 회전축 상에 평면 캠의 구성은 2가지 형태로 이루어진다. Fig.1과 같이 축 상에 1~2개의 평면 캠이 설치되는 경우와 Fig.2의 경우인 3개 이상의 평면 캠으로 구성된다. 또한, 평면 캠이 회전축에 결합될 때 키홈을 이용하는 경우와 단일 몸체에서 직접 가공되어야 하는 경우가 있다. 따라서, 각각의 구성 형태에 따라 평면 캠의 형상 가공

을 위해 측면 공구 절삭(side cutter machining)응용과 엔드밀절삭(end mill machining)응용이 요구된다. 본 논문에서는 측면 공구 절삭을 위한 원호보간법을 응용하여, 평면 캠 형상의 정밀 가공을 위한 공구 접근각과 공구 이동경로를 정의하고, 발생될 가공 오차에 대해 분석하며, 적용 예를 통하여 결과의 효율성 및 그 타당성을 제시하고자 한다.

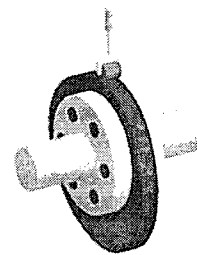


Fig. 1 Single cam system

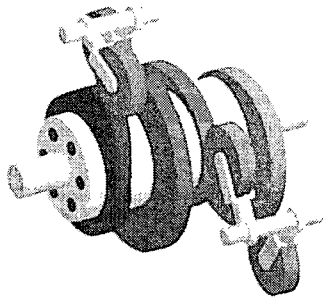


Fig. 2 Multiple cam system

## 2. 원호보간법의 정의

평면 캠의 형상좌표 중에 서로 인접하는 3점으로 원을 구성하고 이들 점 사이에 존재하는 직교중심선 상에 추가점을 2개 구성한다. 이들 2개의 중심선 상의 추가점들로 캠의 형상좌표를 재구성하면 추가점에서의 접선방향각 또는 법선방향각은 연속적으로 연결될 수 있으며, 이들 추가점에서 연속되는 다음 추가점으로 지정된 반경을 유지하면 효율적 원호연결형상을 구할 수 있다.

## 3. 원호보간법에 의한 가공정보 처리

Fig.3에서와 같이 임의의 평면 캠 형상 중에 연속하는 3개의 좌표를  $m, i, n$ 점이라면 각 구간(1구간 : 점  $m$ 에서 점  $i$ 까지, 2구간 : 점  $i$ 에서 점  $n$ 까지)에 대한 법선방향 기울기는 식(1)과 같다.

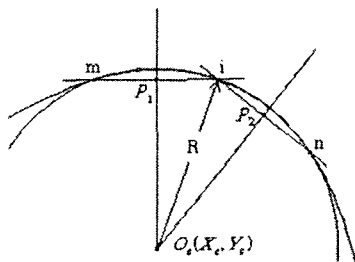


Fig. 3 A circle generated by 3 consecutive points

$$K_1 = -\frac{X_m - X_i}{Y_m - Y_i}, \quad K_2 = -\frac{X_n - X_i}{Y_n - Y_i} \quad (1)$$

중심점의 좌표는 식(2)와 같다.

$$P_1(P_{1x}, P_{1y}) = \left( \frac{X_i + X_m}{2}, \frac{Y_i + Y_m}{2} \right)$$

$$P_2(P_{2x}, P_{2y}) = \left( \frac{X_i + X_n}{2}, \frac{Y_i + Y_n}{2} \right) \quad (2)$$

식(1)과 식(2)를 이용하여 중심점  $(X_c, Y_c)$ 와 곡률 반경  $R$ 은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$X_c = \frac{(K_1 P_{1x} - K_2 P_{2x}) - (P_{1y} - P_{2y})}{K_1 - K_2}$$

$$Y_c = K_1(X_c - P_{1x}) + P_{1y} = K_2(X_c - P_{2x}) + P_{2y} \quad (3)$$

$$R = \sqrt{(X_c - X_i)^2 + (Y_c - Y_i)^2} \quad (4)$$

곡률중심  $O_c$ 에서 반경  $R$ 을 유지하면서 각 구간의 중심점  $(P_1, P_2)$ 을 지나는 추가점  $(S_1, S_2)$ 와 그 방향각  $(\theta_{cut1}, \theta_{cut2})$ 은 Fig.4의 관계로부터 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\theta_{cut1} = \tan^{-1} \frac{P_{1y} - Y_c}{P_{1x} - X_c}$$

$$\theta_{cut2} = \tan^{-1} \frac{P_{2y} - Y_c}{P_{2x} - X_c} \quad (5)$$

$$S_{1x} = X_c + R \cos \theta_{cut1}$$

$$S_{1y} = Y_c + R \sin \theta_{cut1} \quad (6)$$

$$S_{2x} = X_c + R \cos \theta_{cut2}$$

$$S_{2y} = Y_c + R \sin \theta_{cut2} \quad (7)$$

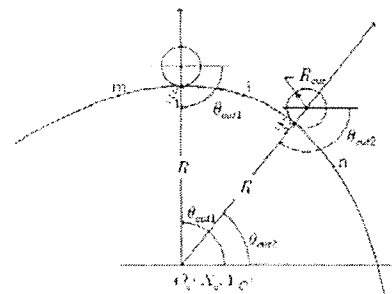


Fig. 4 Position and direction of cutter

위의 과정을 통하여 각 구간에서 추가점  $(S)$ 들을 모두 정의하고 평면 캠 형상의 초기 형상설계 좌표들을 제거하면 추가점들로 캠의 형상좌표를 재

구성할 수 있다. 추가점에 도달되는 공구의 방향각은 식(5)에서 정의된 식으로 각각의 공구접근방향각이 정의되며, 만일 절삭공구의 반경값( $R_{cut}$ )이 주어지면, 공구중심좌표( $CC_x, CC_y$ )는 식(8)을 이용해서 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} CC_x &= S_x + R_{cut} \cos \theta_{cut} \\ CC_y &= S_y + R_{cut} \sin \theta_{cut} \end{aligned} \quad (8)$$

#### 4. 원호보간법의 형상오차

부드러운 자유곡면에 대한 원호보간법은 매우 정밀한 형상을 재현해낼 수 있는 장점을 보유하고 있으며, 직선보간법에 비해 매우 정밀하다. 그러나, 급격한 형상 변화의 곡면에서는 Fig.5에서와 같은 추가점의 위치에서 곡률반경 불연속현상(Jump)이 발생한다.

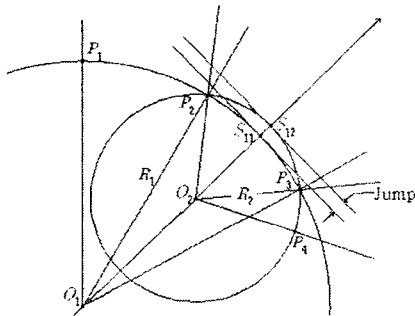


Fig. 5 Radial jump between two circles

즉, 점  $P_1, P_2, P_3$ 에 의한 곡률의 중심( $O_1$ )과 반경  $R_1$ 에 의한 구간( $P_2$ 와  $P_3$ )의, 추가점  $S_{11}$ 의 좌표와 점  $P_2, P_3, P_4$ 에 의한 원호의 중심( $O_2$ )과 반경  $R_2$ 에 의한 같은 구간의 추가점  $S_{12}$ 의 좌표는 같은 방향각을 유지하고 있으나, 반경방향으로  $R_1 \neq R_2$ 인 곡률 불연속 현상이 발생된다. 이 현상은 결국 공구 중심위치의 이동위치를 제시하게 되고 가공오차를 유발하게 된다. 반경 방향의 상승량(Jump)은 2개의 좌표간의 거리에 해당된다.

정밀가공을 위하여 공구이동경로를 제시하기 위해, 공구중심좌표와 회전방향 및 회전반경을 정의한다. 이 때, Fig.5에서의 추가점  $S_1$ 에서의 점  $S_{12}$ 와 Fig.6의 점  $S_2$ 는 원호보간법에서 결정된 중심  $O_2$ 에서 반경  $R_2$ 로 완벽하게 연결될 것이다. 그러나, 앞의 구간에서 정의된 추가점의 좌표  $S_{11}$ 에서  $S_2$ 로 향하는 과정에서는 같은 반경  $R_2$ 에 대해 중심이  $O_2$ 로

변경될 수밖에 없다. 이러한 중심의 이동은 평면 캠의 형상오차를 발생시키면서, 또한 공구접근각을 변화시켜 가공오차를 유발시킬 수 있다.

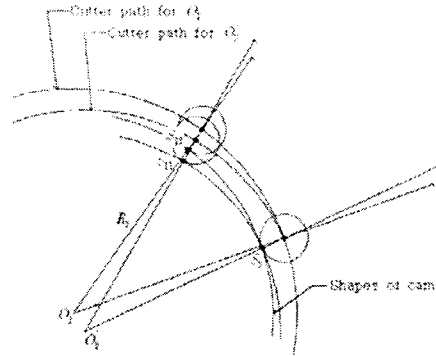


Fig. 6 Shape error from changed centers

따라서, 구간별 반경방향의 상승량(Jump)이 형상설계 공차범위 이내이거나 가공허용 공차범위 이내의 미세한 크기일 때는 부드러운 곡선에 해당되며, 이 경우에 대한 원호보간법의 가공정보는 매우 큰 신뢰성을 확보할 수 있으며, 신뢰성 분석을 위한 중요한 요소로 작용한다.

#### 5. 적용예

평면 캠의 측면 공구가공을 위한 원호보간법을 적용하기 위해, Fig.7과 같은 변위선도( $0^\circ \sim 60^\circ$ ; 정지상태,  $60^\circ \sim 180^\circ$ ; 수정사인상승곡선,  $180^\circ \sim 240^\circ$ ; 정지상태,  $240^\circ \sim 360^\circ$ ; 사이크로이드하강곡선)을 갖는 평면 캠을 고려한다. 이 때, 평면 캠기구 설계를 위해 캠의 기본원지름 60 mm, 톨러지름 20 mm, 편심은 없는 경우로서 변위량은 30 mm이다. 설계된 캠의 형상은 Fig.8과 같다.

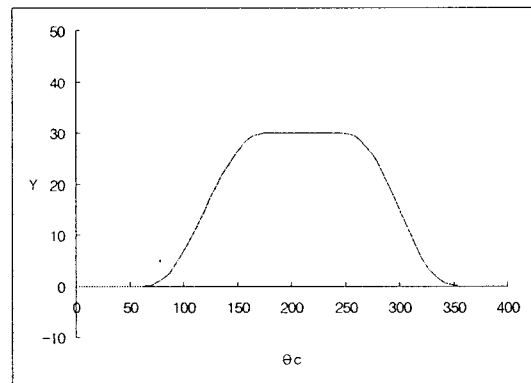


Fig. 7 Displacement motion curve

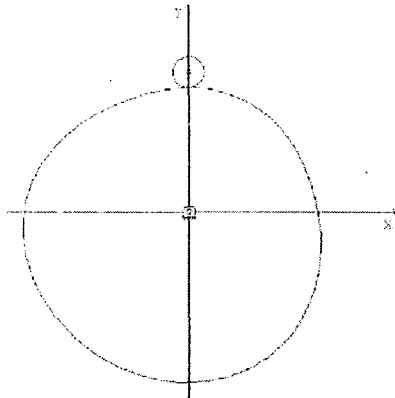


Fig. 8 Shape of cam mechanism

본 논문에서 제시한 원호보간법을 이용하여 주어진 적용 예의 평면 캠의 가공정보를 분석하면 캠의 형상좌표가 매우 부드러운 곡선의 연결로 인하여 가공공차가 매우 미세함을 발견할 수 있다. Fig.9는 캠의 형상에 대한 공구이동경로 상의 공구 위치를 표현한 것이다.

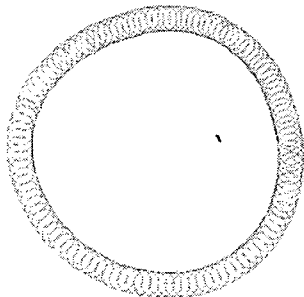


Fig. 9 Cutter moving path

## 6. 결론

본 논문에서는 평면 캠의 정밀가공을 위해 원호보간법을 이용한 캠 가공정보 처리를 정의하고, 형상오차 발생요인과 가공오차에 대한 관계를 제시하였으며, 설계와 제작의 상호 관계를 추론하였다. 적용 예로서 일반적으로 널리 이용되는 직선 왕복운동용 평면 캠기구를 제시하였고 상대속도법에 의해 평면 캠의 형상을 정확하게 설계하였다.

Table 1 Coordinates of shape error

No.	$S_{r1}$		$S_{r2}$		Jump (mm)
	x	y	x	y	
19	84.3358	-34.9328	84.4535	-34.9484	0.1187
20	82.5163	-44.7481	82.6440	-44.7786	0.1313
21	79.6059	-54.5040	79.7409	-54.5525	0.1434
50	-87.3548	41.5438	-87.4726	41.6496	0.1583
51	-80.0919	48.7794	-80.1857	48.8849	0.1412
52	-72.2532	55.0915	-72.3252	55.1908	0.1227

Table 1은 평면 캠의 형상좌표로 60 point를 유지했을 때 구간 사이에 지정된 추가점들의 위치좌표를 급격한 변화부분만 발췌한 것으로 본문에서 제외된 형상오차의 발생량이 매우 미세함을 알 수 있다.

결론적으로 캠기구의 변위선도에 의해 설계된 평면 캠의 형상이 부드러운 곡선으로 연결된다면 원호보간법에 의한 평면 캠의 형상오차발생량이 매우 적어진다는 사실을 확인하였으며, 이러한 부드러운 형상을 위해 캠기구의 설계에서 제시되는 변위선도, 캠의 기본 원 및 롤러원 등의 제원 결정이 매우 중요함을 인식할 수 있었다.

## 후기

이 논문은 산업자원부의 지역특화기술개발사업과 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업의 지원 사업을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 김종수, "원반 캠기구의 설계해석 자동화를 위한 형상설계와 운동해석에 관한 연구," 박사학위논문, 국립창원대학교, 1996.
2. 신중호, 강동우, 김종수, 김대원, "중동질의 상대속도를 이용한 원반 캠의 형상설계에 관한 연구," 한국정밀공학회, 제17권, 제2호(통권 107호), 2002.
3. 김도현, 신중호, 김종수, 김상진, "Inverse Cam Mechanism 설계에 관한 연구," 한국정밀공학회 학술논문집, pp.916 - 919, 2002.