

상대속도법과 역기구학을 이용한 원통 캠의 가공에 관한 연구

구병국*(창원대학교 기계설계공학과), 신중호(창원대학교 기계설계공학과),
 강동우(두산 중공업), 장세원(창원대학교 기계설계공학과)

A Study On the Manufacturing process of Cylindrical Cam based on Relative Velocity Method and Inverse Kinematics

B. K. Gu(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept. ,CWNU), J. H. Shin(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept. ,CWNU), D. W. Kang(DOOSAN), S. W. Chang(Mech. Design & Manuf. Eng. Dept. ,CWNU)

ABSTRACT

Based on the relative velocity method and the inverse kinematics theory, this paper presents an automated system for designing and manufacturing of an open type cylindrical cam with a rotating follower(OCRF). In the first part, this paper defines the relative velocity method for OCRF and calculates the contact point by using the coordinate transformation technique. In the second part, it generates NC Code of a CNC machine center for inverse kinematics by using the cutter location and the cutter orientation of OCRF. Finally, the automated CAD/CAM program developed in the paper shows an example on the design and manufacture process of OCRF.

Key Words : Cylindrical cam(원통 캠), Relative velocity method(상대속도법), Inverse kinematics(역기구학), Cutter location(공구 위치), Cutter orientation(공구 방위), CNC machine center(머시닝센터)

1. 서론

현대 기계장치는 예전의 기계장치보다 고속화, 소형화, 다양화, 정확한 운동 전달을 요구하므로 원통 캠의 설계 방법에 의한 가공 기술을 습득하여 전산원용 자동화 설계 및 가공 시스템의 구축으로 최적의 원통 캠 기구 설계 및 가공을 이루고자 한다.

2. Opened type 회전운동용 롤러 종동절을 가진 원통 캠 기구(OCRF 기구)

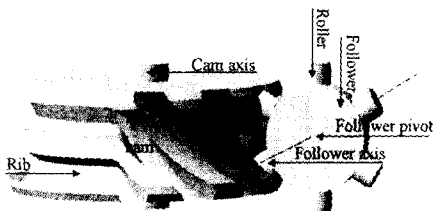


Fig. 1 Common feature of OCRF

Fig. 1은 Opened type 회전운동용 롤러 종동절을 가진 원통 캠 기구의 형상으로 원통 캠의 회전에 의해 종동절은 종동절의 축을 중심으로 360도 이상 회전 할 수 있고, 다수의 롤러를 부착할 수 있어 보다 다양한 운동을 안정적으로 전달 할 수 있다. 원통 캠의 구성은 원통 캠, 캠 축, 리브, 종동절 축, 종동절 피벗, 롤러로 구성되어 있다.

3. 원통 캠 설계

3.1 좌표계 설정 및 좌표변환

Fig. 2는 Opened type 회전운동용 롤러 종동절을 가진 원통 캠 기구의 설계를 위해서 7개의 좌표계를 설정하였다. 원통 캠 중심에서 종동절 피벗점까지의 거리, 종동절 길이, 롤러의 길이를 정의하여 좌표변환을 한다.

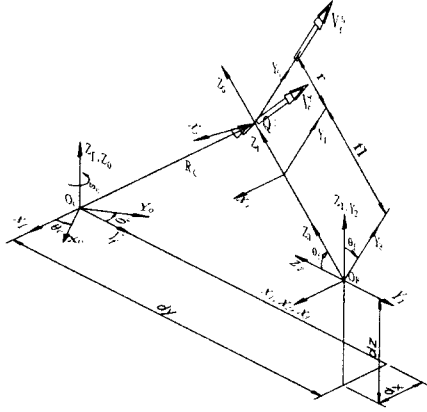


Fig. 2 Coordinate systems and velocities of OCRF

여기서 M_j^i 은 i 좌표계에서 j 좌표계까지 회전 및 이동변환 행렬을 의미한다.

$$\begin{aligned} C^0 &= M_5^0 Q^5 \\ &= M_5^4 M_4^3 M_3^2 M_2^1 M_1^0 Q^5 \end{aligned} \quad (1)$$

3.2 상대속도를 이용한 접촉점 해석[3]

Fig. 2에서 캠 회전중심에서 물러 중심까지의 위치 벡터와 캠의 각속도를 이용하여, f 번 좌표계에서 캠의 회전에 의해서 발생하는 속도 V_c^f 를 정의하면 다음과 같다. V_j^i 은 i 좌표계에서 j 속도성분 값을 의미한다.

$$R_c = dx\hat{i} + [dy - (r+fl)\cos\theta_f]\hat{j} + [dz + (r+fl)\sin\theta_f]\hat{k} \quad (2)$$

$$\omega = -\omega_c\hat{k} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} V_c^f &= R_c\omega \\ &= \begin{bmatrix} i & j & k \\ 0 & 0 & -\omega_c \\ dx & dy - (r+fl)\cos\theta_f & dz + (r+fl)\sin\theta_f \end{bmatrix} \\ &= [dy - (r+fl)\cos\theta_f]\omega_c\hat{i} - dx\omega_c\hat{j} \end{aligned} \quad (4)$$

5번 좌표계에서 종동절의 운동에 의해서 발생하는 속도는 Fig. 2와 같이 5번 좌표계의 Y_5 축 성분만 존재하므로, 변위선도로 부터의 각속도, 종동절의 길이, 물러의 길이, 캠의 각속도를 이용하여 종동절의 속도를 정의하면 다음과 같다.

$$V_j^5 = (r+fl)\omega_c \quad (5)$$

식(4)을 식(5)의 5번 좌표계 축과 동일하게 표시하기 위해 좌표변환을 하여 5번 좌표계에서 캠의 속도로 나타내어 상대속도를 정의하면 다음과 같다. 여기서, A_j^i 은 i 좌표계에서 j 좌표계까지 회전 변환 행렬을 의미한다

$$V_c^5 = A_j^5 V_c^f = A_2^5 A_2^f V_c^f \quad (6)$$

$$V_j^5 = V_j^5 - V_c^5 \quad (7)$$

캠과 물러가 접촉 상태를 유지하기 위해서는 5번 좌표계의 원점과 상대속도가 이루는 평면에서 상대속도와 접촉점에서의 접선은 평행해야 한다. 그러므로 접촉점은 5번 좌표계 원점에서 상대속도에 수직인 선이 물러 표면과 만나게 되는 두 점에 해당한다. 따라서, 5번 좌표계에서 물러 접촉점을 정의하면 다음과 같다.

$$Q_x^5 = r\cos(\phi_2 \pm 90) \quad (8)$$

$$Q_y^5 = r\sin(\phi_2 \pm 90) \quad (9)$$

$$Q_z^5 = r\cos(\phi_2 \pm 90)\tan(\phi_y) \quad (10)$$

식(8), (9), (10)를 0번 좌표계에서 접촉점을 구하기 위해서 식(1)에 대입하여 접촉점을 구하면 캠 전체 형상 Data C^0 을 구할 수 있다.

4. 원통 캠 가공

4.1 공구경로 생성

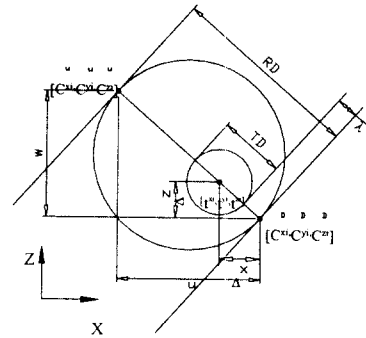


Fig. 3 Cutter location with respect to contact point of OCRF

상대속도법에 의해 설계된 원통 캠의 형상 Data로부터 NC Code를 구하기 위해서 역기구학에서 요구되어지는 Cutter location data 와 Cutter orientation data를 정의한다. Fig. 3은 원통 캠의 형상 Data, 종동절 롤러 지름, Cylindrical end mill 지름, X축 간의 거리, Y축 간의 거리, Z축 간의 거리, 정삭 여유분, 공구 경로 결정을 위한 X의 증분, 공구 경로 결정을 위한 Y의 증분, 공구 경로 결정을 위한 Z의 증분으로 Cutter location data를 정의하면 다음과 같다.

$$\Delta X = Su, \quad \Delta Y = Sv, \quad \Delta Z = Sw \quad (11)$$

$$t_{xi} = C_{xi}^D + \Delta X \quad (12)$$

$$t_{yi} = C_{yi}^D + \Delta Y \quad (13)$$

$$t_{zi} = C_{zi}^D + \Delta Z \quad (14)$$

$$\text{where : } S = \frac{TD + 2\lambda}{2RD}$$

$$u = C_{xi}^U - C_{xi}^D, \quad v = C_{yi}^U - C_{yi}^D$$

$$w = C_{zi}^U - C_{zi}^D$$

$$i = 1, 2, 3 \dots n$$

5축 머시닝센터의 축방향 벡터를 구하기 위해서 Cutter orientation을 정의해야 하므로, Fig. 2에서 원통 캠 기구의 중심에서 롤러 중심까지의 Orientation을 정의하면 다음과 같다.

$$O^0 = A_3^0 \frac{R_f}{|R_f|} = A_1^0 A_2^1 A_3^2 \frac{R_f}{|R_f|} \quad (15)$$

$$\text{where : } R_f = [0 \ 0 \ fl + r \ 1]$$

4.2 CNC 머시닝센터 Configuration set-up

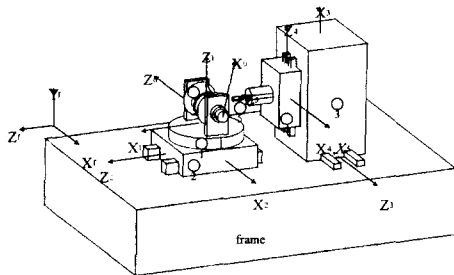


Fig. 4 Five-axis CNC machine center configuration set-up

다축 머시닝센터의 Configuration은 다양하게 구성할 수 있지만, 본 논문에서는 3개의 선형운동축과

2개의 회전축이 부과된 테이블 킬팅 타입으로 구성하는 수평형 5축 머시닝센터로 캠을 가공한다.

4.3 NC Code Generation

Fig. 4에서 0번 좌표계에서 Workpiece에 관련된 Cutter location data 와 Cutter orientation data을 f번 좌표계로 나타내면 다음과 같다.

$$T^f = M_0^f T^0 = M_2^f M_1^2 M_0^1 T^0 \quad (16)$$

$$O^f = A_0^f T^0 = A_1^f A_0^1 O^0 \quad (17)$$

5번 좌표계에서 Spindle에 관련된 Cutter location data 와 Cutter orientation data를 f번 좌표계로 나타내면 다음과 같이 정의된다.

$$T^f = M_5^f T^5 = M_3^f M_4^3 M_5^4 T^5 \quad (18)$$

$$O^f = A_5^f O^5 = A_3^f A_4^3 A_5^4 O^5 \quad (19)$$

따라서, 식(16), (17), (18), (19)부터 5축 CNC 머시닝센터의 각 축 값을 정의하면 다음과 같다.

$$\theta_0 = \tan^{-1} \left[\frac{O_{xi}}{O_{yi}} \right] \quad (20)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left[\frac{-O_{zi}}{O_{xi} \sin \theta_0 + O_{yi} \cos \theta_0} \right] \quad (21)$$

$$X = t_{xi} \sin \theta_0 \sin \theta_1 + t_{yi} \cos \theta_0 \sin \theta_1 + t_{zi} \cos \theta_1 \quad (22)$$

$$Y = t_{xi} \cos \theta_0 - t_{yi} \sin \theta_0 \quad (23)$$

$$Z = -t_{xi} \sin \theta_0 \cos \theta_1 - t_{yi} \cos \theta_0 \cos \theta_1 + t_{zi} \sin \theta_1 - t \quad (24)$$

5. 설계 및 가공 적용례

Opened type 회전운동용 롤러 종동절을 가진 원통 캠 적용례를 통해서 전산원용 프로그램의 범용성 및 유용성을 검증 하고자 한다. Fig. 5는 변위 선도, Fig. 6은 설계 모의 시뮬레이션, Fig.7은 모의 가공 시뮬레이션, Fig. 8은 공작물과 공구의 간섭 확인을 보여주고 있다.

6. 결론

본 논문에서는 공작기계, 섬유기계, 자동차 및 자동화 장치 등과 같은 고속, 고기능 및 고성능 기계 장치에 폭 넓게 사용되고 있는 고부가가치용 원통 캠 기구의 설계 및 가공 방법론을 제시하였다. 그리고 제시된 이론을 바탕으로 보다 효율적이고 정확하게 사용할 수 있는 전산원용설계 및 가공 프로그램을 구축한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Open type 회전운동용 중동절을 가진 원통 캠 기구를 상대속도법과 좌표변환을 이용하여 접촉점을 해석하는 방법을 제시하였다.

2) 본 논문에서는 상대속도법에 의해 설계된 원통 캠 기구의 설계 Data로부터 5축 CNC 머시닝센터의 가공을 위한 Cutter location과 Cutter Orientation을 정의하는 방법을 제시하였다.

3) 본 논문에서는 3개의 선형운동축과 2개의 회전축이 부과된 테이블 틸팅 타입의 5축 CNC 머시닝센터로 원통 캠을 가공하기 위해서 역기구학적으로 NC Code를 생성하는 방법을 제시하였다.

4) 현대의 많은 CAD/CAM 소프트웨어에서 원통 캠 기구의 복잡한 곡면 모델링 및 다축 가공 방법을 제시하지 못했지만, 본 논문에서는 전문지식이 없는 사용자도 응용할 수 있도록 신속하고 정확하게 원통 캠 기구의 설계 및 가공의 실제 동작을 모의 시뮬레이션 할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

참고문헌

1. Wu-Jung Tsai, Jyh-Jone Lee "An Automated system for cam design and manufacture" ASME, 1994.
2. Rong-shean Lee "Tool path generation and error control method for multi-axis nc machining of spatial cam" Vol. 38, pp. 277-290, 1998.
3. 강동우, "다축제어용 원반캠과 원통 캠의 복합 기구의 설계 자동화에 관한 연구" 박사학위논문, pp. 61-72, 2000.
4. 김창봉, 양민양, "입체캠의 형상설계와 가공에 관한 연구" 대한기계학회, 제17, pp. 1361-1371, 1993.

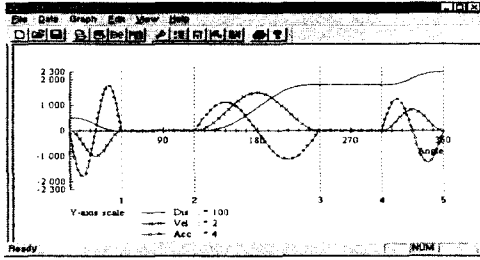


Fig. 5 Displacement, velocity and acceleration curves of OCRF

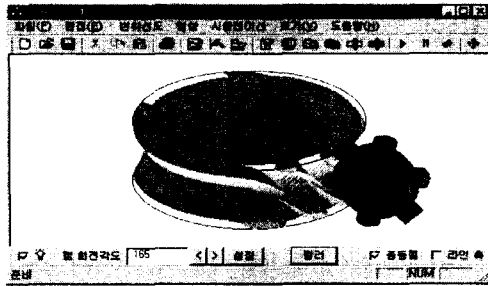


Fig. 6 Shape of the designed OCRF

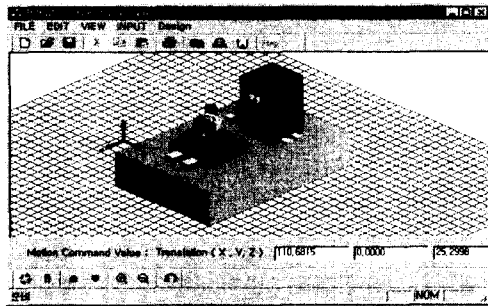


Fig. 7 Overall simulation for assembled process of OCRF and five-axis CNC machine center

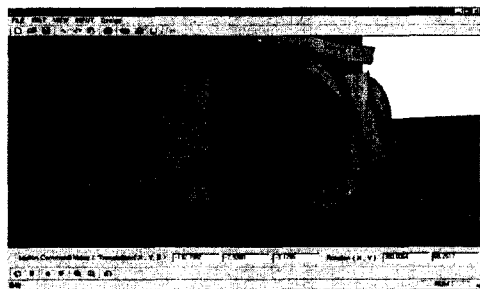


Fig. 8 Detail simulation for assembled process of OCRF and five-axis CNC machine center