

롤러기어캠 편심 가공에 관한 연구

권병두*, 조승래(창원대학교 대학원), 이준만, 정원지(창원대학교 기계설계공학과)

A Study on the eccentric machining of roller gear cam

B. D. Kweon*, S. R. Cho(Graduate School, Changwon National Univ.),
C. M. Lee, W. J. Chung (Changwon National Univ.)

ABSTRACT

In this paper, we developed an automated program for the modeling and manufacturing of three-dimensional roller gear cams. A computer program employing the theory of gearing and coordinate transformation is developed for synthesizing and animating cam mechanisms. A method using wire frame modeling and shading by triangular element is presented, and effectively used for modeling of example with reduced computation time. Then a module for generation NC program for a five-axis CNC machine to manufacture roller gear cam is established

Key Words Roller gear cam, Roller, Turret, Eccentric offset

1. 서론

롤러기어캠(Roller gear cam)은 중동절의 속도와 변위를 제어하는 캠의 하나로서 그 형상이 아주 복잡하고, 정밀하여 5축 이상의 머시닝센터에서만 가공이 가능한 캠이다. 이 캠은 머시닝센터의 자동공구교환장치(Automatic Tool Change, ATC)에 주로 사용되며, 연속 작업시 공구교환에 걸리는 시간을 결정한다. 최근 고속 머시닝센터의 발전 경향은 공구교환에 걸리는 시간을 줄여 생산성을 높이는데 많은 연구를 하고 있다. 이러한 롤러기어캠을 설계하기 위해서는 기본적으로 중동절의 운동을 묘사하는 변위선도가 필요하다. 다음에는 그러한 운동을 얻을 수 있는 롤러기어캠 형상을 모델링 해야 한다.

롤러기어캠에 대한 형상을 정의하기 위한 다양한 접근방법들이 제안되어왔다. 기구학적 해석으로는 Chakraborty와 Dhande⁽¹⁾이 Planar cam과 Spatial cam의 형상인 경우 캠과 중동절의 접촉조건을 결정하기 위하여 Screw theory를 이용하였다. Planar cam, Spherical cam, Spatial indexing cam의 표면 생성을 위해 Gonzalez-Palacios와 Angeles⁽²⁾는 Instantaneous screw motion theory를 적용하였다. 그리고 Wu-Jung Tsai와 Jyh-Jonc Lee⁽³⁾는 접촉 조건을 이용한 좌표변

환에 의해 롤러기어캠을 모델링하고 가공 및 검사까지의 과정을 제안한 바 있다.

본 연구에서는 접촉 조건을 이용한 좌표변환에 의해 롤러기어캠을 모델링하였고, 이렇게 모델링된 롤러기어캠을 두 개의 부가축이 장착된 5축 머시닝센터로 3축을 이용한 가공, 4축을 이용한 가공, 4축을 이용한 편심(Eccentric offset)가공을 하였다.

2. 설계

2.1 롤러기어캠 설계

롤러기어캠의 설계는 롤러기어캠의 회전운동에 대하여 터렛(Turret)의 롤러(Roller)가 회전하면서 생기는 경로를 수식적으로 나타내면 된다.

Fig.1은 터렛의 중심에서 롤러끝까지의 거리를 L , 터렛과 롤러기어 두 축간의 거리를 D , 롤러의 반경을 r , 롤러위의 임의의 점을 P 라 할 때 좌표계를 나타내었다. 롤러기어캠의 회전에 대한 롤러의 경로를 알기 위해서는 롤러기어캠의 좌표계, 터렛의 좌표계, 롤러의 좌표계를 롤러기어캠의 좌표계로 변환시켜 주는 것이 필요하다. 그러므로 각 좌표계에 대한 변환행렬(Transfer matrix)을 만들어서 서로 곱하여 주

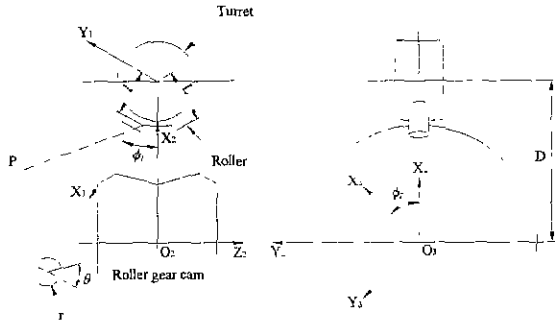


Fig 1 Coordinate system for a roller gear cam

면 롤러기어캠에 대한 롤러의 좌표가 계산된다. 롤러기어캠의 회전에 대한 롤러위의 임의의 점 P 의 이동좌표는 다음 식(1)로 표현되며, l 은 롤러 길이의 변수이다.

$${}^3_P R = [(-lC_1 - rC_\theta S_1 + D)C_2 + rS_\theta S_2 \quad (1)$$

$$(lC_1 + rC_\theta S_1 - D)S_2 + rS_\theta C_2$$

$$-lS_1 + rC_\theta C_1]^T$$

여기서 롤러 중심에 대한 좌표는 식(1)에 $r=0$, $l=L$ 을 넣어 다음 식(2)와 같이 계산하면 된다.

$${}^3_R = [(-LC_1 + D)C_2 \quad (2)$$

$$(LC_1 - D)S_2$$

$$-LS_1]^T$$

2.2 롤러기어캠 모델링

본 연구의 모델링에 사용된 언어는 Microsoft사의 Visual C++이며 3D 모델링을 위하여 Silicon Graphic사의 OpenGL Library를 이용하였다. 롤러기어캠의 모델링 순서는 수치해석적인 방법으로 롤러(Roller)와 립(Rib)의 경로를 계산하고, 먼저 일정간격의 Wire frame을 만든다. 생성된 Wire frame 형상 중 롤러기어캠의 재원을 벗어난 Wire frame은 수정과정을 거치게 된다. 롤러기어캠의 재원에 맞게 수정된 Wire frame이 완성이 되면 3각형 요소(Triangle element)를 이용하여 표면(Surface)을 입힌다. 표면처리된 롤러기어캠에 조명 효과를 주면 빛의 음영이 존재하는 3차원 형상이 된다. 마지막으로 작동 시 물레이션 과정을 통하여 롤러기어캠 형상의 움직임을 확인한다.

3. 가공

롤러기어캠은 복잡한 3차원 형상을 가지므로 일반적인 가공방법으로는 가공하기 힘들다. 이러한 롤러기어캠을 가공하기 위해서는 5축 머시닝센터 또는 롤러기어캠 가공 전용 머시닝센터를 이용하여야 한다.

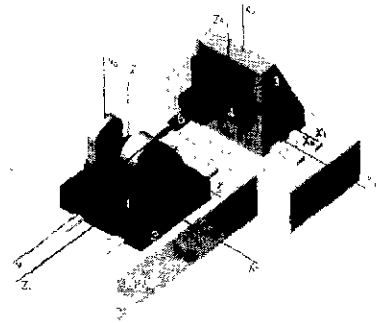


Fig 2 Five-axis CNC machine center

본 연구에서는 범용 3축 머시닝센터에 두 개의 회전축을 가진 부가축을 부착하여 롤러기어캠을 가공하였다. Fig.2은 본 연구에서 사용한 부가축이 장착된 5축 머시닝센터의 모델링과 좌표계를 나타낸 것이다. 그림에서 롤러기어캠이 고정되어 있는 장치 1이 두 개의 회전축을 가진 부가축을 나타낸 것이다.

본 연구에서는 롤러기어캠을 가공하기 위해 3가지 방법을 제안하고자 한다. 첫 번째 가공방법은 두 개의 회전축과 하나의 이송축을 이용한 3축 가공이며, 두 번째 방법은 두 개의 회전축과 두 개의 이송축을 이용한 4축 가공이다. 그리고 세 번째 가공방법은 롤러기어캠을 가공하기 위해서는 전용공구를 사용하여야 한다. 그러나 본 연구에서는 일반적인 범용공구를 사용하여 롤러기어캠을 가공하기 위해 4축 편심 offset 가공방법을 제안한다.

3.1 3축을 이용한 롤러기어캠 가공

롤러기어캠을 가공하기 위해서는 5축을 전부 사용하여 가공할 수도 있지만 본 연구에서는 두 개의 회전축과 하나의 이송축을 이용하여 롤러기어캠을 가공하였다. 롤러기어캠을 가공할 경우 롤러기어캠의 중심과 터렛의 중심이 같은 좌표선상에 존재하고, 가공시 두 중심간의 축간거리 만큼 공작물과 공구의 축간거리를 일치시키면 두 개의 회전축과 하나의 이송축만으로도 가공이 가능하다.

Fig.3에서 두 개의 회전축은 롤러기어캠의 중심축인 A축과 롤러의 회전 중심축인 B축이며, 이송축(Z축)은 롤러길이방향의 이송을 나타낸다. 롤러기어캠의 A축 회전에 대한 롤러의 B축 회전의 값은 2.21절에서 언급한 변위선도를 이용하여 구한다. 롤러길

이 방향 이송축은 플러기어캠 홈의 가공깊이를 조절한다.

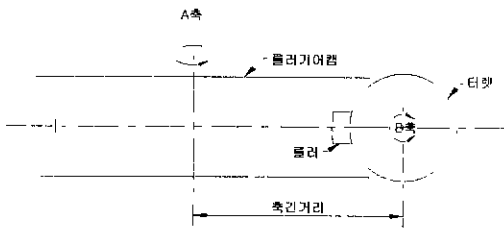


Fig.3 Two axis of revolution(A-axis and B-axis) and feed axis(Z-axis)

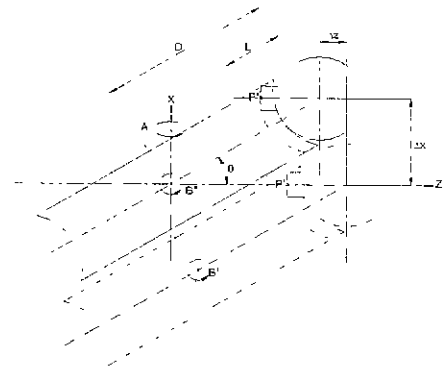


Fig.5 Two axis of revolution(A-axis and B-axis) and Two axis of feed (X-axis and Z-axis) for CNC machine

3.2 4축을 이용한 플러기어캠 가공

플러기어캠을 가공하기 위한 두 번째 방법으로 범용 3축 머시닝센터에 부가축을 장착한 후 두 개의 회전축과 두 개의 이송축을 이용하여 가공해보았다. Fig.4는 4축을 이용한 가공좌표계에서 임의의 플러 중심점 P가 Z축에 대해서 θ 만큼 회전한 것을 나타낸 그림이다.

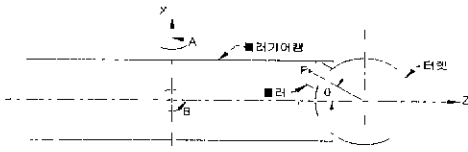


Fig.4 Two axis of revolution(B-axis and C-axis) and Two axis of feed (X-axis and Z-axis)

머시닝센터에서 원통캠을 가공할 때 공구는 플러의 경로를 따라서 가공하면 된다. 하지만 공구는 플러가 움직이는 것과 같은 형태로 움직일 수 없다. 그러므로 터렛의 중심을 축으로 회전하여 생긴 플러의 경로를 원통캠의 회전과 공구의 이송값으로 바꾸어 나타내야 한다

Fig.5은 Fig 4에서 플러가 θ 만큼 회전한 P점을 CNC 공작기계에서 가공하기 위한 좌표계를 그림으로 나타낸 것이다 공구는 Y축에 대하여 회전하지 못하므로 P점을 가공하기 위하여 원통캠을 $-\theta$ 만큼 회전하였다. 그리고 원통캠의 회전중심은 B'이므로 B'을 이동하여 B'와 일치시켰다. 이때 공구는 X축과 Z축방향으로 변위 (Δx , Δz)가 발생한다.

축간거리가 D , 터렛의 반경이 L , 그리고 플러가 θ 만큼 회전한 경우 실제 공구의 P'의 좌표값 (P'_x, P'_y)은 식 (3)과 같다.

$$P'_x = \Delta x, \quad P'_z = D - L - \Delta z = D \cos \theta - L \quad (3)$$

여기서, $\Delta x = D \sin \theta$, $\Delta z = D - D \cos \theta$

3.3 4축을 이용한 플러기어캠의 편심 offset 가공

플러기어캠을 가공할 때는 플러의 직경과 동일한 전용공구를 사용하여야 한다. 이 전용공구는 일반 범용 공구보다 가격이 비싸다. 본 연구에서는 범용 공구를 사용하기 위해 편심 offset 가공방법을 제안한다.

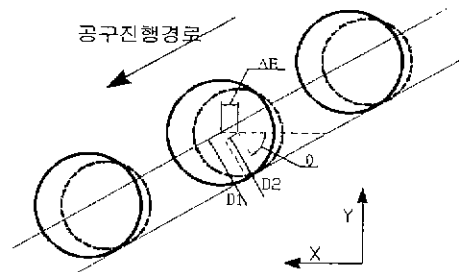


Fig. 6 Eccentric offset

Fig.6은 편심 offset량(ΔE)을 나타내는 그림이다. 플러기어캠을 가공할 때 공구진행방향의 법선방향이가공되므로 offset 방향도 공구진행방향의 법선방향이 되어야 한다 하지만 4축만을 사용하기 위해 X축

방향으로만 offset을 하였다 공구진행방향과 X축과의 이루는 각도 θ 를 계산하고, 롤러의 직경을 D_1 , 공구의 직경을 D_2 라 할 때, offset량 ΔE 를 계산하는 식은 식(4)와 같다.

$$\Delta E = \frac{D_1 - D_2}{\cos \theta} \quad (4)$$

3.4 공구경로와 NC 코드 생성

롤러기어캠을 가공할 때 공구는 터렛에 있는 롤러라 가정하고, 각 롤러가 지나가는 경로대로 공구가 따라서 움직이면 롤러기어캠의 표면에 홈을 만들 수 있다. Fig.7는 6개의 롤러가 회전하면서 만든 경로들의 전개도로써 X축을 A축 회전값인 0° 에서 360° 로 두고, Y축은 A축 회전값에 대한 B축의 회전값에 대하여 나타내었다. Fig.7의 그래프를 통하여 3차원 형태의 공구의 경로를 쉽게 검증할 수 있다.

공구경로에 대한 검증이 끝나면 각 롤러 개수만큼 부분 NC 코드를 만든다. 이렇게 만든 부분 NC 코드는 Fig.7의 전개도를 이용하여 서로 연결하여 하나의 NC 코드를 완성하게 된다. 부분 NC 코드를 서로 연결하는 방법은 공구의 경로가 끝나는 부분에서 다음 가공을 위한 공구경로를 찾게 되는데, 이 때 가장 가까운 곳에 있으면서 A축의 회전방향이 같은 경로를 선택하여 연결하게 된다. 이렇게 서로 연결하면 하나의 전체적인 NC 코드를 완성한다.

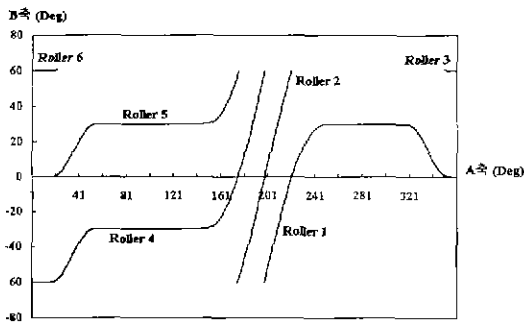


Fig.7 Rotation angle of A-axis and B-axis

5. 결론 및 토론

본 연구에서 수행된 롤러기어캠의 모델링에 관한 연구 내용은 다음과 같다.

1. 접촉 조건을 이용한 좌표변환에 의해 롤러기어캠을 모델링하고, 작동 시뮬레이션 (Simulation)을 할 수 있는 프로그램을 개발하였다.

2. 3축을 이용한 가공에서 롤러기어캠의 중심과 공구의 원점사이의 거리를 롤러기어캠의 중심과 터렛의 중심사이의 거리인 축간거리와 동일하게 한 경우 두 개의 회전축과 하나의 이송축만으로도 가공이 가능하다.
3. 롤러기어캠의 중심을 공작기계의 공구의 원점과 일치시키고, X축의 회전방향을 원통캠 축방향 그리고 Y축의 회전중심을 원통캠의 원주 방향으로 일치시키면 X축과 Z축방향의 변위가 발생한다. 이 값들을 이용하면 4축 가공이 가능하다. 이 방법은 CNC가공시 공작물의 설치가 용이하나 계산과정이 복잡한 점이 있다.
4. 롤러기어캠을 가공할 때 B축과 C축의 각도가 정의되면 롤러기어캠 홈의 벽면 각도가 결정된다. 하지만 본 연구에서 제안하는 편심 offset 방법을 사용하면 롤러기어캠 홈의 벽면 각도가 다르게 나타난다. 하지만 이 방법은 롤러기어캠의 후가공시 면취작업에 사용할 수 있다.

후기

본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. Chakraborty, J, Dhande S. G., Kinematics and Geometry of Planar and Spatial Cam Mechanisms, John Wiley & Son, New York, 1997
2. Gonzalez-Palacios, M. A., Angles, J. Cai, C., ASME, Vol. 46, pp 329-335, 1992
3. Wu-Jung Tsai, Jyh-jone Lee, ASME, Vol. 71, pp.121-128, 1994
4. Hong-Sen Yan, Hsin-Hung Chen, ASME, Vol. 118, pp 243-249, 1996
5. W. H. Wang, C. H. Tseng, C. B. Tsay, ASME, Vol. 119, pp.169-177, 1997