

롤러기어캠의 모델링에 관한 연구

조승래*, 이춘만**, 정원지**

A Study on the modeling of roller gear cam

Seung-Rae Cho*, Choon-Man Lee**, Won-Jee Chung**

Abstract

In this paper, we developed an automated program for the modeling and simulation of three-dimensional roller gear cam mechanisms. The three-dimensional modeling of a roller-gear cam employs coordinate transformations based on the contact condition. The wire frame modeling followed by the shading technique using triangular meshing elements incorporated the "tangent path technique" to reduce the number of data and computational load. Computer simulations for two kinds of products for roller-gear cam mechanism illustrate the relative motion between the modeled roller-gear cam and a turret and thus show the effectiveness of the proposed modeling.

Key Words : Roller gear cam, Roller, Turret, Wire frame modeling

1. 서 론

롤러기어캠(roller gear cam)은 종동절의 속도와 변위를 제어하는 캠의 하나로서 그 형상이 아주 복잡하고, 정밀하여 5축 이상의 머시닝센터에서만 가공이 가능한 캠이다. 이 캠은 머시닝센터의 자동공구교환대(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. 이처럼 제품의 생산성에 큰 영향을 주는 ATC는 유·공압 작동기(actuator)의 순차적 작동에 따라 공구 교환을 수행하는 방식을 주로 사용해 왔다. 그러나, 1985년경부터 선진 공작기계 제작업체에서는 공구교환암(tool change arm)이 전기 모터 및 캠(cam)으로 작동되는 고속 ATC 개발을 해 왔다. 고속 ATC 기구에 사용되는 롤러기어캠은 전기 모터에 의해 제어하므로 간편하며, 정확한 운동을 얻을 수 있다. 그리고 롤러기어캠의 1회전에 의하여 축회전과 축방향 이송이 동기화 되어 공

* LG-EDS

** 창원대학교 기계설계공학과

(이춘만:cmlee@sarim.changwon.ac.kr)

구의 교환이 연속적으로 일어나므로 유·공압장치의 순차적인 운동에 비하여 속도가 현저하게 빠른 장점이 있다. 그러나, 그 형상이 매우 복잡하여 설계와 가공에 어려움이 있다.

롤러기어캠을 설계하기 위해서는 기본적으로 종동절의 운동을 묘사하는 변위선도가 필요하다. 이 선도를 이용하여 종동절의 운동을 얻을 수 있는 롤러기어캠 형상을 모델링해야 한다. 롤러기어캠에 대한 형상을 정의하기 위한 다양한 접근방법들이 제안되어왔다. 기구학적 해석으로는 Chakraborty와 Dhande⁽¹⁾이 평판캠(planar cam)과 입체캠(spatial cam)에 대해 캠과 종동절의 접촉조건을 결정하기 위하여 스크류 이론을 이용하였다. Gonzalez-Palacios와 Angeles⁽²⁾는 평판캠과 여러종류의 입체캠의 형상 생성을 위해 순간 스크류운동 이론(Instantaneous screw motion theory)를 적용하였다. Wu-Jung Tsai와 Jyh-Jone Lee⁽³⁾는 접촉 조건을 이용한 좌표변환에 의해 롤러기어캠을 모델링하고 가공 및 검사까지의 과정을 제안한 바 있다. 또한, 많은 연구자들⁽⁴⁻⁸⁾에 의해 여러 형태의 입체캠에 대한 연구를 활발하게 진행 중에 있으나, 국내에서는 그 연구가 미비한 실정이다. 그러나, 기어에 대한 연구⁽⁹⁻¹²⁾는 활발히 진행중이며, 5축 가공⁽¹³⁾에 대한 연구도 늘어나고 있는 실정이다. 특히 국내 공작기계업체에서는 롤러 기어캠을 생산하기 전에 미리 시뮬레이션 할 수 있는 프로그램을 필요로 하고 있다. 이러한 3차원 형상의 롤러기어캠을 모델링하기 위해서는 매우 많은 점데이터와 계산 시간이 필요하게 된다. 특히 작동을 시뮬레이션 하려면 계산 점데이터의 수와 계산시간을 줄여야만 가능하다. 따라서 본 연구에서는 롤러기어캠을 보다 효율적으로 모델링하기 위한 방안을 제시하였다.

본 연구의 목적은 접촉조건을 이용한 좌표변환에 의해 롤러기어캠을 모델링하고, 작동을 시뮬레이션(simulation) 할 수 있는 전산화 프로그램을 개발하는데 있다. 이 때 롤러기어캠의 모델링을 위하여 필요한 롤러 경로의 점데이터는 롤러의 진행방향과 기준 롤러 끝단면의 원주상의 점들 중에서 접선방향이 같은 점만을 계산하였다. 이는 원주상의 점 전체에 대하여 계산을 하지 않으므로 계산시간을 절약하고, 데이터 수를 줄일 수 있다. 또한 와이어 프레임 모델링(wire frame modeling)과 삼각형 요소를 이용하여 셰이딩(shading)함으로써 모델링 과정의 효율성을 높였다. 주어진 치수와 변위선도를 이용하여 롤러기어캠과 터렛이 맞물려 돌아가는 작동시뮬레이션을 3차원 그래픽으로 나타내었다.

2. 롤러기어캠의 형상 정의

롤러기어캠의 설계란 롤러기어캠의 회전운동에 대하여 터렛의 롤러가 회전하면서 생기는 경로를 수식으로 나타내면 된다. 본 연구에서는 Tsai와 Lee⁽³⁾의 접촉조건에 의한 좌표변환법을 이용하여 롤러기어캠의 형상을 나타내었다.

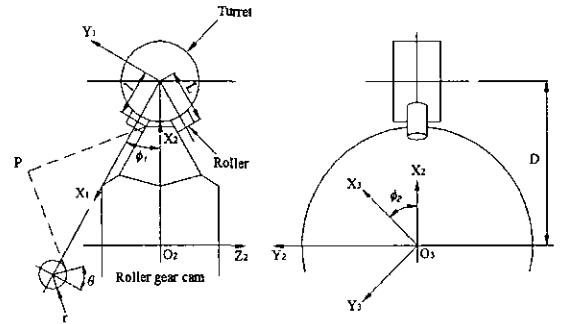


Fig. 1 Coordinate system for a roller gear cam

Fig.1에 터렛의 중심에서 롤러끝까지의 거리를 L, 터렛과 롤러기어 두 축간의 거리를 D, 롤러의 반경을 r, 롤러 위의 임의의 점을 P라 하고, 롤러기어캠의 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 주면 롤러기어캠에 대한 롤러의 좌표가 계산된다. 롤러위의 임의의 점 P의 좌표는 다음 식(1)로 표현된다.

$${}^1_p R = [I - rC - rS]^T \quad (1)$$

여기서 $C = \cos\theta$, $S = \sin\theta$, l 은 롤러 길이의 변수이다.

롤러의 좌표계를 터렛의 좌표계로 변환하기 위해서는 다음 식(2)의 변환행렬을 사용한다.

$${}^2_1 M = \begin{bmatrix} -C_1 & S_1 & 0 & D \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ -S_1 & -C_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서 $C_1 = \cos \phi_1$, $S_1 = \sin \phi_1$ 이다.

터렛의 좌표계를 롤러기어캠의 좌표계로 변환하기 위해서는 다음 식(3)의 변환행렬을 사용한다.

$${}^3M = \begin{bmatrix} C_2 & S_2 & 0 & 0 \\ -S_2 & C_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서 $C_2 = \cos \phi_2$, $S_2 = \sin \phi_2$ 이며, ϕ_1 은 롤러의 회전각을 나타내고, ϕ_2 는 캠의 회전각을 나타낸다.

각 좌표계에 대한 변환행렬이 구해지면 롤러기어캠에 대한 롤러의 좌표는 다음 식(4)와 같이 구할 수 있다.

$$[{}^3R] = {}^3M \times {}_2^1M \times [{}^1R] \quad (4)$$

식(1),(2),(3)을 이용하면 최종적으로 3R 를 구하면 다음 식(5)와 같이 된다.

$${}^3R = \begin{bmatrix} -lC_1 - rC_2S_1 + D & rS_2 \\ (lC_1 + rCS_1 - D)S_2 + rSC_2 \\ -lS_1 + rCC_1 \end{bmatrix}^T \quad (5)$$

여기서 롤러 중심에 대한 좌표는 식(5)에 $r=0, l=L$ 을 넣어 다음 식(6)과 같이 계산하면 된다.

$${}^3R = [(-LC_1 + D)C_2 \quad (LC_1 - D)S_2 \quad -LS_1]^T \quad (6)$$

3. 롤러기어캠의 모델링 방법

본 연구의 모델링에 사용된 언어는 Microsoft사의 Visual C++이며 3차원 모델링을 위하여 Silicon Graphic사의 OpenGL Library를 이용하였다. Fig. 2는 롤러기어캠을 모델링 하는 전체흐름도를 나타낸 것이다. 롤러기어캠의 모델링 순서는 수치해석적인 방법으로 롤러와 림(Rib)의 경로를 계산하고, 먼저 일정간격의 와이어 프레임 모델을 만든다. 그리고 와이어 프레임 형상 위에 3각형 요소(triangle element)를 이용하여 표면(surface)을 입히고, 조명 효과를 주게되면 3차원 형상을 얻을 수 있게 된다.

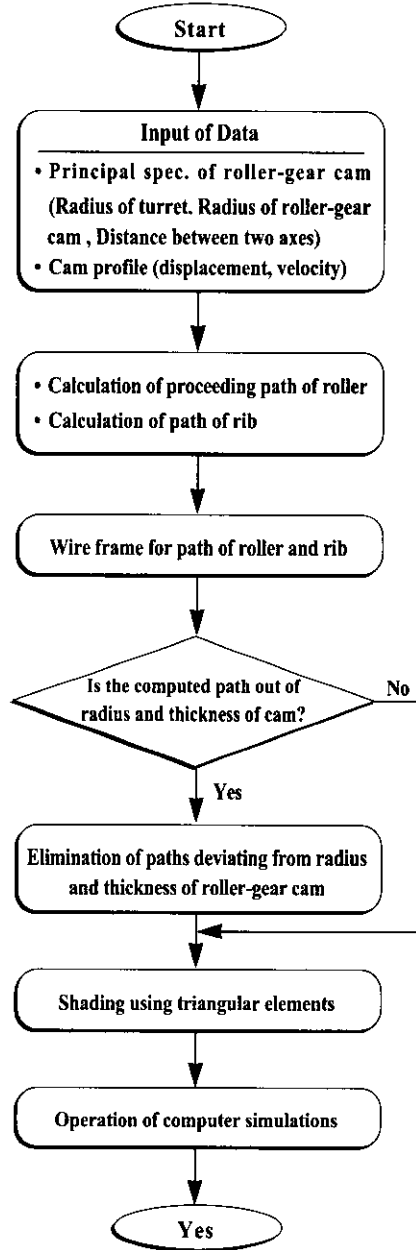


Fig. 2 Flow chart for modeling of a roller gear cam

3.1 데이터 입력

롤러기어캠을 모델링하기 위해서는 롤러기어캠과 터렛의 제원 그리고 롤러기어캠의 회전각도에 대한 터렛의 변위 등의 입력 데이터가 필요하다. Table 1과 Fig. 3은 롤러

Table 1 Specification of the roller gear cam

(Unit : mm)

roller gear cam		roller		turret
diameter	height	diameter	length	diameter
230	76	24	14	82

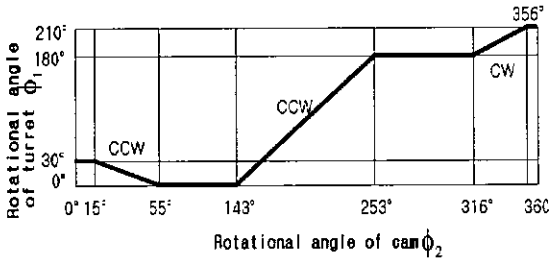


Fig. 3 The cam curve diagram

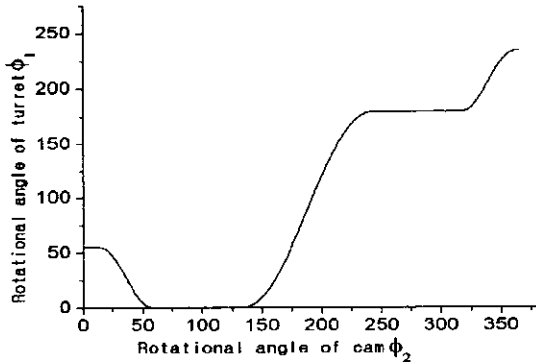


Fig. 4 The modified cam curve diagram

기어캠의 모델링에 필요로 하는 제원과 변위선도이며, Fig. 4는 근사수식을 이용하여 구한 Fig. 3에 대한 수정변위 선도를 나타낸다. 여기서, ϕ_1 은 롤러의 회전각을 나타내고, ϕ_2 는 캠의 회전각을 나타낸다.

3.2 롤러진행 경로 계산

Fig. 5와 같이 원통 모양의 표면에 롤러가 지나간 경로를 제거하면 롤러기어캠의 형상이 된다. 롤러가 지나간 경로를 구하기 위해서는 먼저 임의의 롤러 중 하나를 기준 롤러(base roller)로 정한다. 그리고 이 기준 롤러가 지나가면서 만드는 경로는 롤러의 진행방향과 기준 롤러 끝단면의

원주상의 점들 중에서 접선방향이 같은 점만을 계산한다. 이는 원주상의 점 전체에 대하여 계산을 하지 않으므로 계산시간을 절약하고, 데이터 수를 줄일 수 있다. 기준 롤러가 지나가면서 계산하여 얻은 점들을 선(line)으로 연결하면 하나의 롤러에 대한 경로가 완성이 된다. 나머지 롤러에 대한 경로는 기준 롤러의 좌표계에 대한 회전각도 만큼 회전한 좌표계를 이용하여 데이터를 구한다. 여기서 회전각도는 기준 롤러에서부터 구하고자 하는 롤러사이의 각도이다.

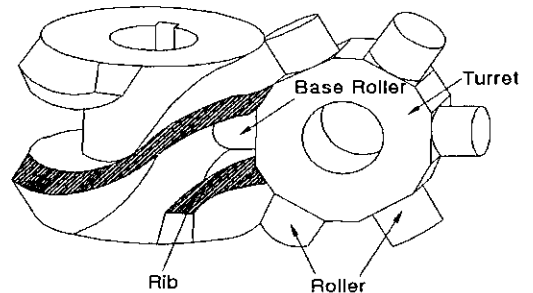


Fig. 5 Roller and rib path of roller gear cam

3.3 립(rib) 경로 계산

립(rib)은 원통 모양의 캠에서 터렛의 롤러가 지나가고 남은 형상이 되므로 립에 대한 모델링 데이터는 존재하지 않는다. 본 연구에서는 롤러기어캠의 립에 대하여 모델링을 하기 위해서 립에 대한 데이터를 만들었다. 이 데이터는 롤러와 롤러사이를 가상의 롤러로 가정하고, 3.2절의 롤러경로를 만드는 방법으로 립의 경로를 만들었다.

3.4 와이어 프레임 모델링과 벗어난 경로의 제거

3.2절과 3.3절에서 생성된 롤러와 립의 경로들을 진행 방향으로 서로 연결하여 주면 와이어프레임 모델링이 된다. 하지만 와이어 프레임으로 모델링한 경로 중에는 실제 롤러기어캠의 재원을 벗어나는 경로도 포함하고 있다. 본 연구에서는 롤러기어캠의 제원(Specification)을 벗어나는 경로들의 노드(node)를 찾아내고 Fig. 6과 같이 노드들을 수정하여 연결하였다.

3.5 3각형 요소를 이용한 셰이딩

롤러와 립에 대한 경로가 완성되면 셰이딩(shading)을 하기 위한 준비 단계로 각각의 노드들을 3각형의 요소

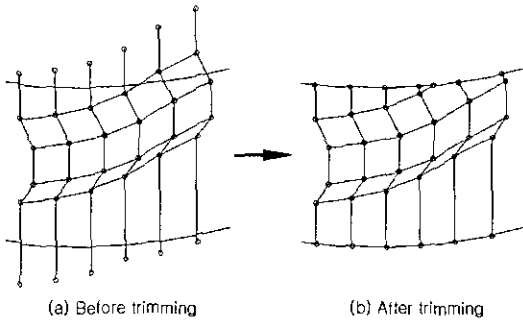


Fig. 6 Trimming

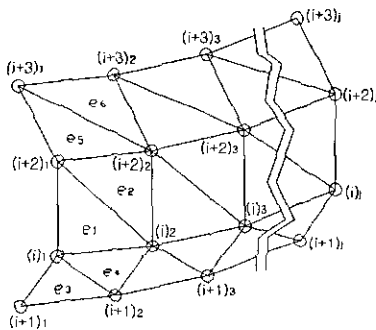


Fig. 7 Modeling by triangular element for shading

(element)로 연결한다. 3각형 요소는 평면을 만들기 쉽고, 계산시간이 다른 형태의 요소보다 줄어들기 때문이다. Fig. 7은 셰이딩을 하기 위하여 3각형 요소로 모델링하는 과정을 보여준다. 셰이딩은 3각형 요소를 표면(surface)을 만들고, 색채를 입히는 작업이다. 이 때 주위의 조명에 의한 롤러기어캠 표면의 3차원적인 효과를 주기 위하여 표면의 법선벡터(normal vector)를 정의하여야 한다. 본 연구에서는 노드의 번호매김(numbering) 방향을 반시계방향(counterclock wise, CCW)으로 하고, 오른손 법칙을 이용하여 엄지손가락 방향을 법선방향으로 정의하였다. Fig. 7에서는 노드 $(i)_1, (i)_2, (i+2)_1$ 를 이용하여 요소는 e_1 을 만들며, 법선방향은 지면에서 나오는 방향이 된다.

3.6 시뮬레이션

입력된 데이터와 제원에 의해 모델링한 롤러기어캠과 터렛의 작동을 시각적으로 확인하는 것을 시뮬레이션(simulation)이라 한다. Fig. 8은 롤러기어캠과 터렛의 작

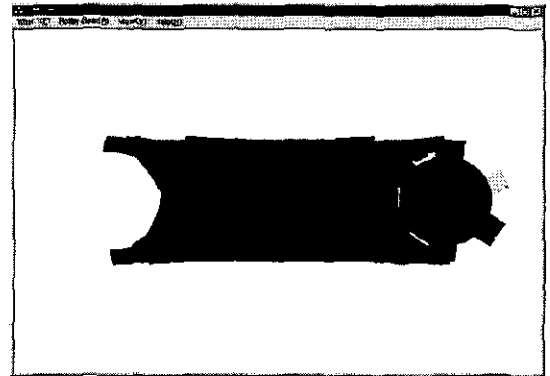


Fig. 8 Simulation of roller gear cam

동 시뮬레이션을 나타내고 있다.

4. 결과 및 토의

본 연구에서는 롤러기어캠을 생산하고 있는 A, B 두 업체의 실제 제품을 모델링하여 보았다. A업체에서 생산하는 롤러기어캠의 제원은 Table 2와 같고, 변위 선도는 Fig. 9와 같다. 여기서, ϕ_1 은 롤러의 회전각을 나타내고, ϕ_2 는 캠의 회전각을 나타낸다.

이 경우 롤러기어캠의 와이어 프레임 모델링은 Fig. 10과 같이 나타난다.

Table 2 Specification of the roller gear cam currently used in company A

(Unit : mm)				
roller gear cam		roller		turret
diameter	height	diameter	length	diameter
230	76	24	14	110

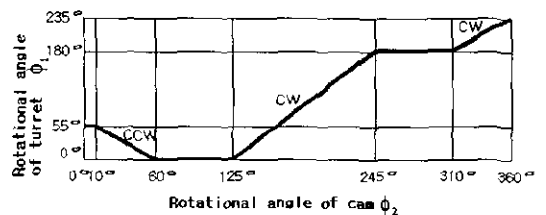


Fig. 9 The cam cure diagram currently used in company A

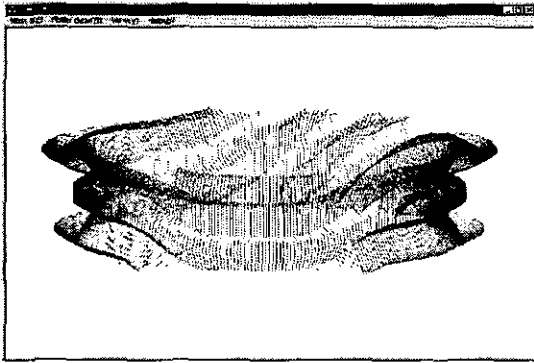


Fig. 10 Wire frame modeling of roller gear cam currently used in company A

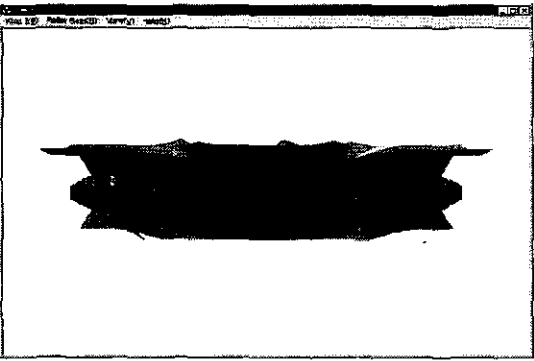


Fig. 11 Shading of roller gear cam currently used in company A

Table 3 Specification of the roller gear cam currently used in company B

(Unit : mm)

roller gear cam		roller		turret
diameter	height	diameter	length	diameter
221	83	24	14	110

Fig.11은 와이어 프레임 모델에 3각형 요소를 이용하여 색이딩한 모습을 나타낸 것이다.

다음은 B업체에서 생산하는 롤러기어캠의 제원은 Table 3과 같고, 터렛의 변위 선도는 Fig.12와 같다

이 경우 롤러기어캠의 와이어 프레임 모델링은 Fig. 13 과 같이 나타낸다.

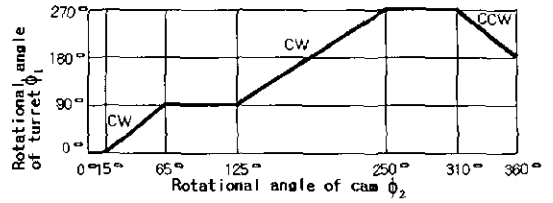


Fig. 12 The cam curve diagram currently used in company B

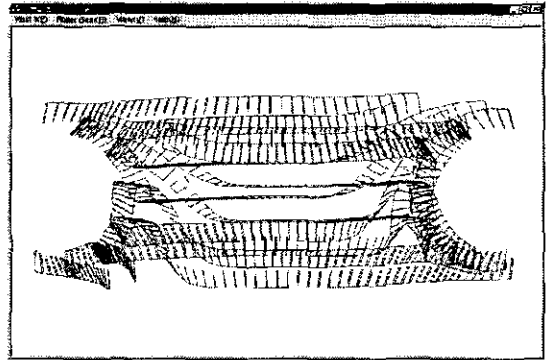


Fig. 13 Wire frame modeling of roller gear cam currently used in company B

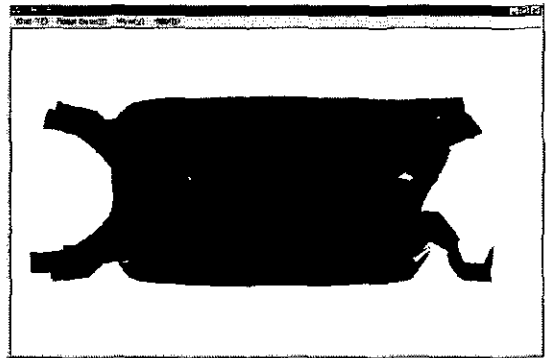


Fig. 14 Shading of roller gear cam currently used in company B

Fig. 14는 와이어 프레임 모델링에 3각형 요소를 이용하여 색이딩한 모습을 나타낸 것이다.

이와 같이 모델링한 롤러기어캠은 복잡한 3차원 형상의 롤러기어캠을 가공하기 전에 시뮬레이션을 통하여 롤러기어캠의 형상을 미리 알 수 있고, 터렛과의 상대운동을 예측할 수가 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 접촉조건을 이용한 좌표변환에 의해 롤러기어캠을 모델링하고, 작동을 시뮬레이션(simulation)할 수 있는 전산화 프로그램을 개발하였다. 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 접촉 조건을 이용한 좌표변환에 의해 구한 점데이터 중 반드시 필요로 하는 점데이터만 이용하여 롤러기어캠을 효율적으로 모델링하였고, 롤러와 터렛의 작동을 시뮬레이션을 할 수 있는 프로그램을 개발하였다.
- (2) 효율적인 모델링을 위하여 필요로 하는 점데이터는 롤러의 진행방향과 기준 롤러 끝단면의 원주상의 점들 중에서 접선방향이 같은 점만을 계산하였다. 이는 원주상의 점 전체에 대하여 계산을 하지 않으므로 계산시간을 절약하고, 데이터 수를 줄일 수 있었다.
- (3) 점데이터를 이용한 와이어 프레임 모델링을 한 후 3각형 요소를 이용하여 모델링하는 방법을 제시하여 롤러기어캠 모델링 과정의 효율성을 높였다.

본 연구를 통하여 복잡한 3차원 형상의 롤러기어캠을 가공하기 전에 미리 시뮬레이션 할 수 있으므로 롤러기어캠의 형상을 미리 알 수 있고, 터렛과의 상대운동을 예측할 수 있도록 하였다.

후 기

본 연구는 한국과학기술연구원 지원에 의한 것입니다.

참 고 문 헌

- (1) J. Chakraborty, and S. G. Dhande, Kinematics and Geometry of Planar and Spatial Cam Mechanisms, John Wiley & Son, New York, 1977.
- (2) M. A. Gonzalez-Palacios, J. Angles, C. Cai, "Generation of Contact Surfaces of Indexing Cam Mechanisms -A Unified Approach", ASME J. of Mech. Design, Vol. 116, Vol. 2, pp. 369~374, 1994.
- (3) W. J. Tsai, J. J. Lee, "An automated system for cam design and manufacture", The 23rd Biennial Mechanisms Conf., ASME Design Engineering Division, New York, Vol. 71, pp. 121~128, 1994.
- (4) H. S. Yan and H. H. Chen, "Geometry design and machining of roller gear cams with cylindrical rollers", Mech. Mach. Theory., Vol. 29, No. 6, pp. 803~812, 1994.
- (5) H. S. Yan, H. H. Chen, "Geometry design of globoidal cams with generalized meshing turret-rollers", ASME J. of Mech. Design, Vol. 118, pp. 243~249, 1996.
- (6) D. M. Tsay, H. M. Wai, "A general approach to the determination of planar and spatial cam profiles", ASME J. of Mech. Design, Vol. 118, Vol. 71, pp. 259~265, 1996.
- (7) W. H. Wang, C. H. Tseng, C. B. Tsay, "Surface Contact Analysis for a Spatial Cam Mechanism", ASME J. of Mech. Design, Vol. 119, pp. 169~177, 1997.
- (8) P. D. Lin and Y. F. Lee, "Applications of D-H notation in machining and on-line measurement of roller-gear cams on 5-axis machine tools", J. Manufacturing Science and Engineering, Vol. 119, pp. 393~401, 1997.
- (9) 김종관, 김경석, 송상기, 정진형, "기어의 백래쉬를 고려한 승용차 조향계의 동특성 연구", 한국공작기계학회지 제5권 제3호, pp. 40~49, 1996.
- (10) 안병민, 최은호, 홍동표, "기어쌍의 래틀진동에 대한 영향도 평가 및 기어 진동 저감을 위한 대책 제시", 한국공작기계학회지 제7권 제3호, pp. 29~36, 1998.
- (11) 한홍삼, 최종근, 이동주, "자유곡선 기어의 창성 알고리즘에 관한 연구", 한국공작기계학회지 제8권 제5호, pp.96~101, 1999.
- (12) 김재실, 최현호, "자동선반 거어박스의 진동방지", 한국공작기계학회지 제8권 제6호, pp. 119~125, 1999.
- (13) 조현덕, 박종봉, 윤문철, 최두선, 신보성, 이상철, "임펠러 5-축 CNC 가공에 관한 연구", 한국공작기계학회지 제6권 제4호, pp. 19~26, 1997.