

## 롤러기어캠 모델링 및 가공에 관한 연구

### A Study on the modeling and manufacturing of roller gear cam

조승래\*(창원대학교 대학원), 이춘만, 정원지(창원대학교 기계설계공학과)  
 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

#### 1.서론

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 자동 공구교환장치(Automatic Tool Change, ATC)에 주로 사용되며, 연속 작업시 공구교환에 걸리는 시간을 결정한다. 최근 고속 머시닝센터의 발전 경향은 공구교환에 걸리는 시간을 줄여 생산성을 높이는 데 많은 연구를 하고 있다. 이러한 롤러기어캠을 설계하기 위해서는 기본적으로 종동절의 운동을 묘사하는 변위선도가 필요하다. 다음에는 그러한 운동을 얻을 수 있는 롤러기어캠 형상을 모델링해야 한다.

롤러기어캠에 대한 형상을 정의하기 위한 다양한 접근방법들이 제안되어왔다. 기구학적 해석으로는 Chakraborty와 Dhande<sup>(1)</sup>이 Planar cam과

Spatial cam의 형상인 경우 캠과 종동절의 접촉 조건을 결정하기 위하여 Screw theory를 이용하였다. Planar cam, Spherical cam, Spatial indexing cam의 표면 생성을 위해 Gonzalez-Palacios와 Angeles<sup>(2)</sup>는 Instantaneous screw motion theory를 적용하였다. 그리고 Wu-Jung Tsai와 Jyh-Jone Lee<sup>(3)</sup>는 접촉 조건을 이용한 좌표변환에 의해 롤러기어캠을 모델링하고 가공 및 검사까지의 과정을 제안한 바 있다.

본 연구에서는 접촉 조건을 이용한 좌표변환에 의해 롤러기어캠을 모델링하였고, 이렇게 모델링된 롤러기어캠을 5축 머시닝센터에서 두 개의 회전축과 하나의 이송축을 이용하여 가공해 보았다.

#### 2.이론

##### 2.1 롤러기어캠 설계

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

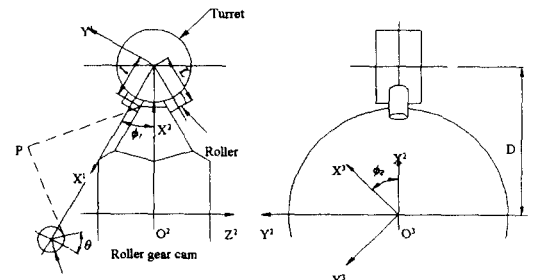


Fig.1 Coordinate system for a roller gear cam

Fig.1은 터렛의 중심에서 롤러끝까지의 거리를  $L$ , 터렛과 롤러기어 두 축간의 거리를  $D$ , 롤러의

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

$${}^3_P R = [(-1C_1 - rC_\theta S_1 + D)C_2 + rS_\theta S_2 \quad (1) \\ (1C_1 + rC_\theta S_1 - D)S_2 + rS_\theta C_2 \\ -lS_1 + rC_\theta C_1]^T$$

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

$${}^3_C R = [(-LC_1 + D)C_2 \quad (LC_1 - D)S_2 \\ -LS_1]^T \quad (2)$$

## 2.2. 롤러기어캠 모델링(Roller gear cam modeling)

본 연구의 모델링에 사용된 언어는 Microsoft사의 Visual C++이며 3D 모델링을 위하여 Silicon Graphic사의 OpenGL Library를 이용하였다. Fig.2는 롤러기어캠을 모델링하는 전체흐름도(Flow chart)를 나타낸 것이다. 롤러기어캠의 모델링 순서는 수치해석적인 방법으로 롤러(Roller)와 립(Rib)의 경로를 계산하고, 먼저 일정간격의 Wire frame을 만든다. 생성된 Wire frame 형상 중 롤러기어캠의 제원을 벗어난 Wire frame은 수정과정을 거치게 된다. 롤러기어캠의 제원에 맞게 수정된 Wire frame이 완성이 되면 3각형 요소(Triangle element)를 이용하여 표면(Surface)을 입힌다. 표면처리가 된 롤러기어캠에 조명 효과를 주면 빛의 음영이 존재하는 3차원 형상이 된다. 마지막으로 작동 시뮬레이션 과정을 통하여 롤러기어캠 형상의 움직임을 확인한다.

### 2.2.1 데이터 입력

롤러기어캠을 모델링하기 위해서는 롤러기어캠과 터렛의 제원 그리고 롤러기어캠의 회전각도에 대한 터렛의 변위선도가 필요하다. 변위선도는 터

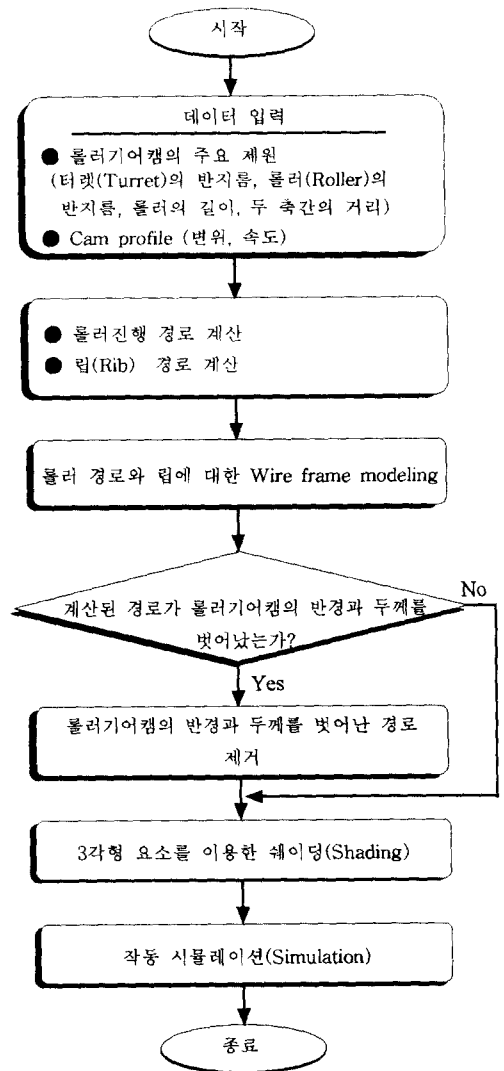


Fig.2 Flow chart for modeling

렛의 속도와 가속도를 구하는데 사용되며, 본 연구에서는 변위선도를 수정 정형파(Modify Sin, MS)로 수식화하여 구하였다.

### 2.2.2 롤러진행 경로 계산

롤러기어캠은 Fig.3과 같이 원통 모양의 표면에 롤러가 지나간 경로를 제거하면 롤러기어캠의 형상이 된다. 롤러가 지나간 경로를 구하기 위해서는 먼저 임의의 롤러중 하나를 기준 롤러(Base roller)로 정한다. 그리고 이 기준 롤러가 지나가면서 만드는 경로는 롤러의 진행방향과 기준 롤러 끝단면의 원주상의 점들 중에서 접선방향이 같은 점만

을 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.

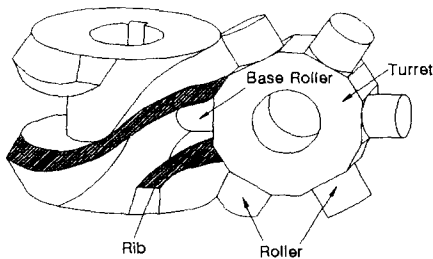


Fig.3 Roller and rib path of roller gear cam

### 2.2.3 립(Rib) 경로 계산

립은 원통 모양의 캠에서 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, 롤러의 높이를 영(Zero)으로 하여 2.2.2절의 롤러경로를 만드는 방법으로 립의 경로를 만들었다. 이렇게 생성된 립의 경로는 롤러의 경로와 정확하게 연결이 되며 립의 모델링을 가능하게 한다.

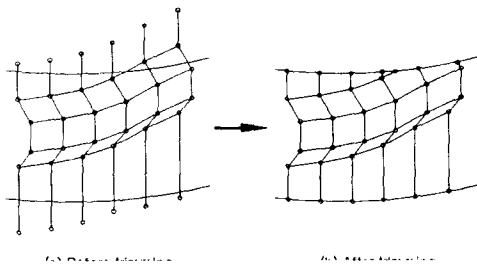


Fig.4 Trimming

### 2.2.4 Wire frame modeling과 벗어난 경로의 제거

2.2.2절과 2.2.3절에서 생성된 롤러와 립의 경로들을 진행 방향으로 서로 연결하여 주면 Wire frame modeling이 된다. 하지만 Wire frame으로 모델링한 경로 중에는 실제 롤러기어캠의 제원을 벗어나는 경로도 포함하고 있다. 본 연구에서는 롤러기어캠의 제원을 벗어나는 경로들의 노드(Node)를 찾아내어 Fig.4와 같이 노드들을 수정하여 연결하였다.

### 2.2.5 3각형 요소를 이용한 Shading

롤러와 립에 대한 경로가 완성되면 셰이딩(Shading)을 하기 위한 준비 단계로 각각의 노드들을 3각형의 요소(Element)로 연결한다. 3각형 요소는 평면을 만들기 쉽고, 계산시간이 다른 형태의 요소보다 줄어들기 때문이다.

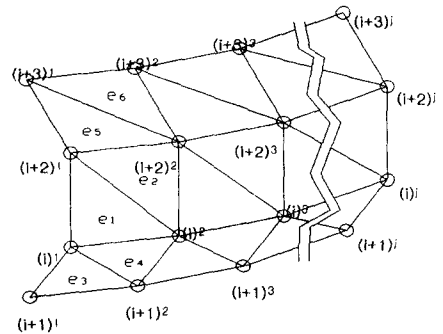


Fig.5 Modeling by triangular element for shading

Fig.5는 셰이딩을 하기 위하여 3각형 요소로 모델링하는 과정을 보여준다. 셰이딩은 3각형 요소로 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(Countclock wise, CCW)으로 하고, 오른손 법칙을 이용하여 엄지손가락 방향을 법선방향으로 정의하였다. Fig.4는 노드를 이용하여 요소를 만드는 그림으로 노드의 번호매김이  $(i)_1, (i)_2, (i+2)_1$  순일 때 요소는  $e_1$ 이 되며, 법선방향은 지면에서 나오는 방향이 된다.

### 2.2.6 Simulation

시뮬레이션(Simulation)이란 입력된 재원과 변위 선도를 이용하여 모델링한 롤러기어캠과 터렛의 작동을 시각적으로 확인하는 것이다. 입력된 변위 선도에 의해 롤러기어캠의 회전하며 그 작용으로 터렛이 회전한다. Fig.6은 롤러기어캠과 터렛의 작동 시뮬레이션을 나타내고 있다.

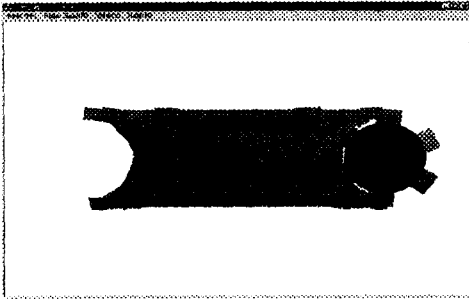


Fig.6 Simulation for the operation of roller gear cam and turret

### 3. 가공

롤러기어캠은 복잡한 3차원 형상을 가지므로 일반적인 가공방법으로는 가공하기 힘들다. 이러한 롤러기어캠을 가공하기 위해서는 5축 머시닝 센터 또는 롤러기어캠 가공 전용 머시닝센터를 이용하여야 한다. 본 연구에서는 범용 3축 머시닝센터에 두 개의 회전축을 가진 부가축을 부착하여 롤러기어캠을 가공하였다.

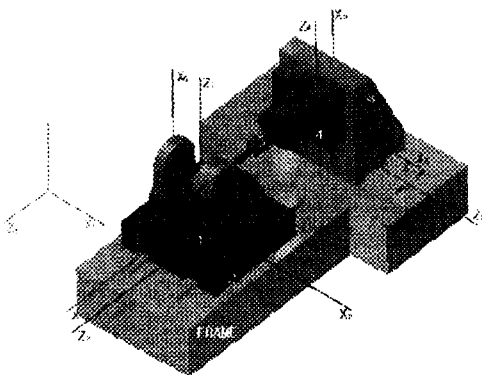


Fig.7 Five-axis CNC machine center

Fig.7은 본 연구에서 사용한 부가축이 장착된 5축 머시닝센터의 모델링과 좌표계를 나타낸 것이다. 그림에서 롤러기어캠이 고정되어 있는 장

치 1 이 두 개의 회전축을 가진 부가축을 나타낸 것이다.

#### 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 축간거리만큼 공작물과 공구의 축간거리를 일치시키면 두 개의 회전축과 하나의 이송축만으로도 가공이 가능하다.

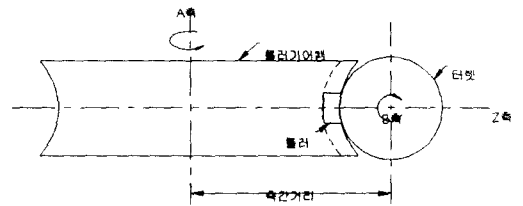


Fig.8 Two axis of revolution(A-axis and B-axis) and feed axis(Z-axis)

Fig.8에서 두 개의 회전축은 롤러기어캠의 중심축인 A축과 롤러의 회전 중심축인 B축이며, 이송축(Z축)은 롤러길이방향의 이송을 나타낸다. 롤러기어캠의 A축 회전에 대한 롤러의 B축 회전의 값은 2.2.1절에서 언급한 변위선도를 이용하여 구한다. 롤러길이 방향 이송축은 롤러기어캠 홈의 가공깊이를 조절한다.

#### 3.2 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.9는 6개의 롤러가 회전하면서 만든 경로들의 전개도로서 X축을 A축 회전값인 0°에서 360°로 두고, Y축은 A축 회전값에 대한 B축의 회전값에 대하여 나타내었다. 위 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.9의 전개도를 이용하여 서로 연

결하여 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.

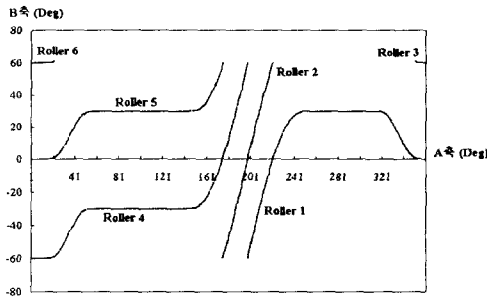


Fig.9 Rotation angle of A-axis and B-axis

#### 4. 결과 및 토론

본 연구에서는 위 절의 내용을 이용하여 롤러기어캠을 모델링하고 가공해 보았다. 모델링과 가공하고자 하는 롤러기어캠의 제원은 Table 1과 같고, 변위선도가 Fig.10인 경우 롤러경로에 대한 Modeling은 Fig.11과 같이 나타난다.

Table 1 Specification of roller gear cam

(단위 mm)

롤러기어캠		롤러		터렛
직경	높이	직경	길이	직경
230	76	24	14	41

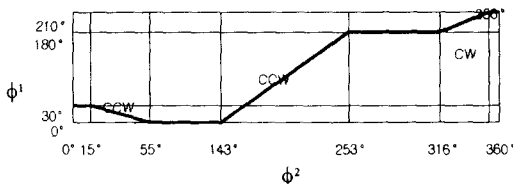


Fig.10 Cam curve diagram

Fig.12는 롤러경로와 립에 대하여 3각형 요소를 이용하여 Wire frame modeling한 것으로 롤러기어캠의 일부를 확대하여 나타내었다.

Fig.13은 Wire frame model에 3각형 요소를 이용하여 셰이딩한 모습을 나타낸 것이다.

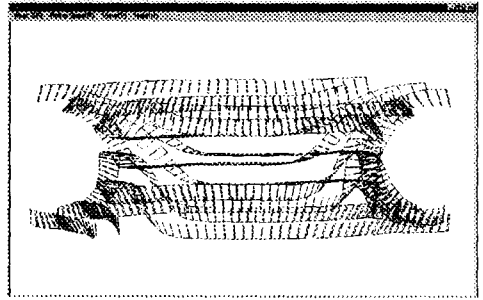


Fig.11 Modeling of roller path

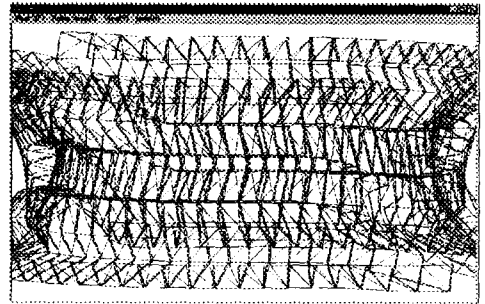


Fig.12 Wire frame modeling using triangular element for shading

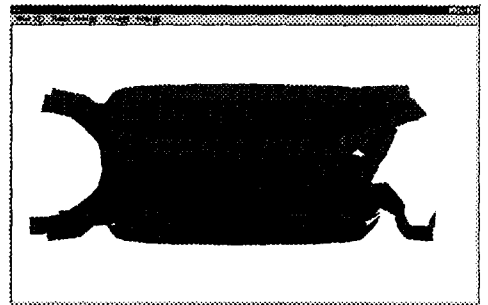


Fig.13 Shading of roller gear cam

위와 같이 모델링한 롤러기어캠은 복잡한 3차원 형상의 롤러기어캠을 가공하기 앞서 작동 시 플레이션을 통하여 롤러기어캠의 형상을 알 수 있고, 터렛과의 상대운동을 예측할 수가 있다.

Table 2는 모델링된 롤러기어캠을 가공하기 위

하여 A축과 B축 그리고 이송축만으로 이루어진 NC 코드의 일부를 나타내었다.

Table 2 NC-code

```
O2200(RRC ROLLER CAM 2000.3.6)
G40G49
G30G91X0Y0Z0M5
M01(D24CARBIDE E/M)
T31M6
G55G90G0A172.25B-66.X0.Y0S500M03
G43Z200.0H31
Z5.0
G01Z-25.F500M8
B-65.651A172.25F50
B-65.168A172.5
B-64.682A172.75
B-64.191A173.
B-63.695A173.25
. . .
```

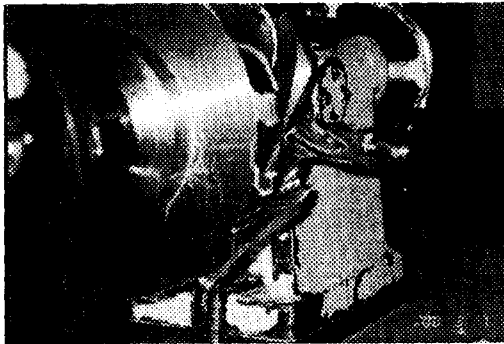


Fig.14 Machining of roller gear cam using CNC machine center

Fig.14는 롤러기어캠을 부가축에 고정하여 가공하고 있는 것을 나타낸 사진이며, Fig.15는 본 연구에 의한 방법으로 가공하여 완성된 롤러기어캠을 사진으로 나타낸 것이다.

### 5. 결론

본 연구에서 수행된 롤러기어캠의 모델링에 관한 연구 내용은 다음과 같다.

1. 접촉 조건을 이용한 좌표변환과 Wire frame modeling을 한 후 3각형 요소를 이용한 롤러기어캠의 모델링으로 모델링 과정의 효율성을 높였다

2. 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 있었다.
3. 롤러기어캠의 중심과 공구의 원점사이의 거리를 롤러기어캠의 중심과 터렛의 중심사이의 거리인 축간거리와 동일하게 한 경우 두 개의 회전축과 하나의 이송축만으로도 가공이 가능하다.
4. 롤러기어캠의 가공효율을 높이기 위해서 각 롤러경로에 대한 전개도를 그리고, 이를 이용하여 효율적인 NC 코드를 생성하였다.

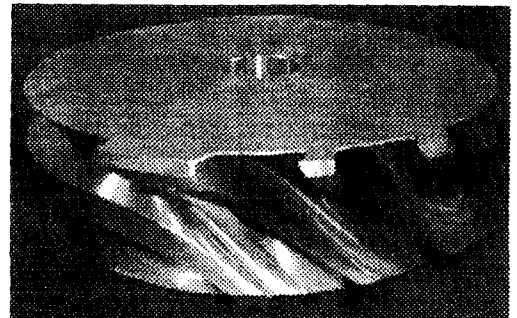


Fig.15 The manufactured roller gear cam

### 후기

본 연구는 한국과학재단 지정 창원대학교 공작기계기술연구센터의 지원에 의한 것입니다.

### 6. 참고문헌

1. Chakraborty. J., Dhande. S. G., Kinematics and Geometry of Planar and Spatial Cam Mechanisms, John Wiley & Son, New York, 1977
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