

# 베어링 궤도 선삭가공용 총형공구의 형상 보정기법

문호근\*, 정재현\*, 문석찬\*, 전만수#

## Tool Shape Compensation Scheme for Formed Turning Tools Shape of Ball Bearing Raceways

Ho-Keun Moon\*, Jae-Hyun Joung\*, Suck-Chan Moon\* and Man-Soo Joun#

### ABSTRACT

In this paper, we propose a new shape compensation scheme to make up for the difference in groove radius between the formed tools and the machined bearing raceways, which inherently takes place during machining the ball bearing raceways by the turning process using conventional formed tools. The associated conventional methods of the formed tool design and its modification such as a simple depth compensation method and a graphical compensation method are introduced and the latter, which has been known to be the better of the two, is experimentally investigated in detail to reveal its drawback. The algorithm is given and it is applied to develop a formed tool design program.

The program developed by the presented approach is successfully applied to design the formed turning tool for the bearing raceways.

**Key Words** : Ball Bearing Raceway (볼 베어링 궤도), Turning (선삭), Grinding (연삭), Rake Angle (경사각), Relief Angle (여유각), Formed Tool (총형공구), Shape Compensation Scheme (형상보상기법)

### 1. 서론

일반적으로 구름베어링의 내륜(inner race)과 외륜(outer race)의 생산공정은 단조(forging), 링 압연(ring rolling), 선삭(turning), 열처리(heat treatment), 연삭(grinding) 공정으로 구성된다. 단조와 링 압연공정은 소재의 기계적 성질 향상 및 제조원가 최소화와 직결되며, 이에 관한 폭넓은 연구가 수행되었다.<sup>1-2</sup>

선삭공정 역시 후속 공정의 생산성 및 제품의

정밀도와 직결되므로 매우 중요하다. 선삭공정의 설계시 감안해야 할 주요 요소는 가공시간의 최소화화 정밀도이다. 이러한 요구 조건을 충족시키기 위하여 총형공구(formed tool)가 널리 사용되고 있다.<sup>3-4</sup> 그런데 총형공구를 이용하는 경우 선삭가공 후 공구와 가공물의 형상이 동일하지 않는 문제가 발생하고 있다. 특히 베어링 내·외륜의 궤도 반경(inner or outer groove radius)의 경우, 총형공구의 형상이 좌우 대칭인데도 불구하고 실제 가공된 선삭부품들의 궤도반경은 좌우 비대칭이 되는 경우

접수일: 2006년 12월 27일; 게재승인일: 2008년 1월 2일

\* 세폴러 코리아(유) R&D 센터

# 교신저자: 경상대학교 항공기계공학부, 경상대학교 항공기부품기술연구소

E-mail msjoun@gsu.ac.kr Tel. (055) 751-5316

도 흔하다. 따라서 후속된 연삭공정의 가공량을 증가시켜 가공시간(cycle time)을 증가시키는 원인이 되고, 가공 중 공구의 편마모를 일으키는 원인이 된다.

총형공구와 가공물의 형상 차이를 발생시키는 요소, 즉 공정설계 변수는 공구의 여유각(relief angle)과 경사각(rake angle), 가공물의 직경, 공구의 위치, 즉 공구의 중심 높이 등이 있다.<sup>5</sup> 그러나 이러한 원인들과 치수 차이의 상관관계에 관한 이론적 규명이 미흡하여, 현장에서는 시행착오적 방법으로 가공물의 허용치수를 만족하는 공구의 형상을 설계하고 있는 실정이다.

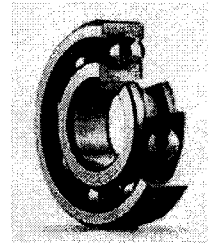
총형공구에 관한 기존의 연구를 정리하면, Lee 등<sup>3</sup>은 미세구조물 금형가공을 위한 총형공구에 관한 연구를 실시하였고, Noh 등<sup>4</sup>은 총형공구를 이용한 베어링 시일(rubber seal)의 금형가공에 관한 연구를 수행하였으며, Kim 등<sup>6</sup>은 엔드밀의 형상이 가공특성 및 절삭시간에 미치는 영향에 관하여 연구를 수행하였다. 총형공구에 대한 연구는 여러 연구자들에 의해 수행되었지만 베어링 궤도반경 가공용 총형공구에 대한 기존의 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 기존의 베어링 궤도반경 가공용 총형공구의 설계방법인 단순 깊이 보정법과 작도에 의한 보정 방법을<sup>5</sup> 분석함으로써 설계방법 상의 문제점과 개선 방안을 도출하고, 총형공구의 여유각과 경사각, 공구의 중심높이 변화가 가공물의 형상에 미치는 영향을 분석하고자 한다. 그리고 볼베어링 궤도 반경 가공 시의 연삭가공 시간을 줄이고, 연삭부품의 품질 향상을 위해 총형공구의 형상보정 기법을 개발하여 실공정 적용을 실시하고자 한다.

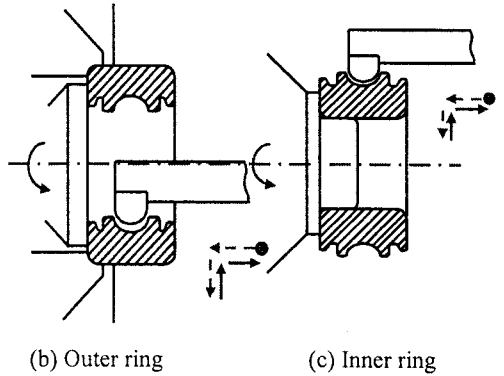
## 2. 총형공구의 형상보정기법

본 연구에서 취급하는 총형공구는 Fig. 1(a)의 깊은 홈 볼 베어링(deep groove ball bearing) 내·외륜의 궤도 반경 가공을 위한 것이다. Fig. 1(b)와 Fig. 1(c)는 베어링 외·내륜의 척킹 형상과 공구의 이송경로를 나타내고 있다.

Fig. 2에 본 연구에 사용된 총형공구의 전면 형상과 주요 변수인 경사각(rake angle)  $\alpha$ , 여유각(relief angle)  $\beta$ , 회전각(rotation angle)  $\delta$ 를 정의하고 있다.



(a) Deep groove ball bearing



(b) Outer ring

(c) Inner ring

Fig. 1 Typical deep groove bearing and its machining processes

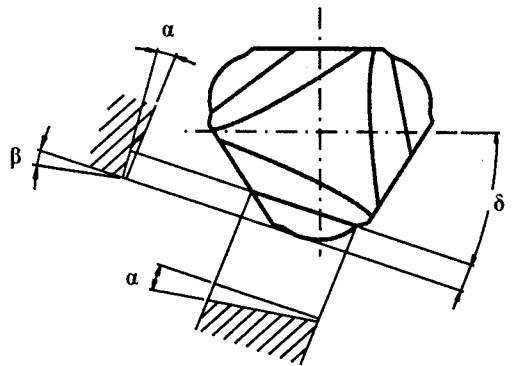


Fig. 2 Rake angle( $\alpha$ ), relief angle( $\beta$ ) and rotation angle( $\delta$ ) of the formed tool

먼저 반경이 일정한 총형공구로 가공된 볼 베어링 내·외륜의 문제점을 분석하기 위하여 두 개의 볼 베어링, 즉 볼 베어링 6206 과 볼 베어링 6207의 외륜 궤도 반경을 3점 측정법으로 측정하였다. 측정결과를 Table 1에 나타내었다. Fig. 3(a)에 6206 외륜 궤도반경의 평균값과 Fig. 3(b)에 6207 외륜 궤도반경의 평균값을 나타내었다.

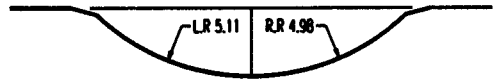
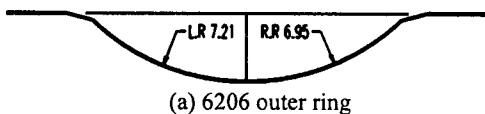
Table 1 Measured radii of the turned products

(unit : mm)

No	6206 outer ring			6207 outer ring		
	L.R.	R.R.	T.R.	L.R.	R.R.	T.R.
1	5.11	4.98	4.99	7.24	6.98	7.10
2	5.10	5.02	4.99	7.24	6.96	7.10
3	5.12	4.98	4.98	7.23	6.95	7.10
4	5.11	4.98	4.98	7.23	6.99	7.11
5	5.10	4.96	4.99	7.25	6.92	7.09
6	5.09	4.97	4.98	7.19	6.93	7.09
7	5.11	4.98	4.99	7.23	6.92	7.10
8	5.11	4.97	4.98	7.20	6.92	7.09
9	5.11	4.97	4.98	7.19	6.95	7.09
10	5.12	4.98	4.99	7.20	6.95	7.10
11	5.11	4.97	4.99	7.20	6.95	7.10
12	5.11	4.99	4.98	7.19	6.94	7.09
13	5.09	4.99	4.98	7.20	6.94	7.10
14	5.09	4.99	4.99	7.21	6.93	7.10
15	5.10	4.98	4.98	7.23	6.94	7.09
Min.	5.09	4.96	4.98	7.19	6.92	7.09
Max.	5.12	5.02	4.99	7.25	6.99	7.11
Avg.	5.11	4.98	4.99	7.21	6.95	7.10
a)	4.97		7.11			
b)	5.04		7.20			
c)	5.07		7.22			

- \* L.R. : Left radius, R.R. : Right radius, T.R. : Total radius
- \* a) : Groove radii in the turning process drawing
- \* b) : Groove radii in the tool drawing
- \* c) : Measured tool radii

이 실험에 사용된 총형공구는 작도에 의한 보정법<sup>5</sup>으로 설계 및 제작되었으며, 공구의 반경이 일정하다. Table 1의 측정결과에서 보는 바와 같이 총형공구의 반경이 일정함에도 불구하고 베어링 케도반경의 좌측 반경(L.R)과 우측 반경(R.R)이 비대칭이다. 베어링 6206의 외륜 케도반경의 비대칭량은 0.13mm이었으며, 베어링 6207의 외륜 케도반경의 비대칭량은 0.26mm이었다.



(b) 6207 outer ring

Fig. 3 Measured groove radii

단순 깊이 보정법<sup>5</sup>에서는 선삭 가공시 발생하는 총형공구와 공작물의 치수 차이의 원인인 총형공구의 여유각과 경사각을 고려하여 공구의 치수를 보정하였다. Fig. 4에 단순 깊이 보정법을 개념적으로 나타내었다.

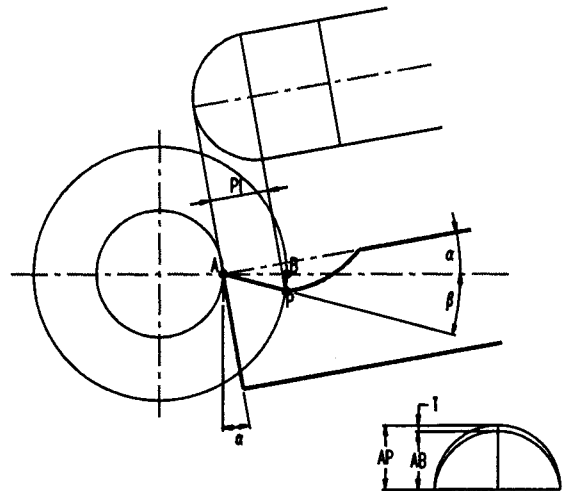


Fig. 4 Conceptual diagram of a simple depth compensation method

이 방법에서는 총형공구 설계 시 보정량  $T$ 를 다음 식으로 구하였다.

$$T = \overline{AP} - \overline{AB} \quad (1)$$

여기서  $\overline{AB}$ 는 공작물의 가공 깊이를 나타내며,  $\overline{AP}$ 는 경사각과 여유각에 의하여 변화된 절삭날의 깊이를 의미한다. 즉,

$$\overline{AP} = \frac{P_t}{\cos(\alpha + \beta)} \quad (2)$$

이다. 식 (2)에서  $P_t$ 는 절삭날의 초기 길이를 의

미한다.

이 방법에서는 공구의 회전각을 취급할 수 없으며, 공구의 중심높이 등도 근사적으로 반영할 수 밖에 없다. 뿐만 아니라 공작물의 직경을 반영할 수 없는 단점을 지니고 있다.

한편, 단순 깊이 보정법이 안고 있는 문제를 해결하기 위한 방법으로 작도에 의한 보정법<sup>5</sup>이 관련 기업체에서 널리 사용되고 있다. 이 방법에서는 공구의 경사각, 중심높이, 가공물의 직경 등을 반영할 수 있는 반면, 공구의 여유각을 반영할 수 없는 문제점을 안고 있다. 그 결과, Fig. 3의 측정결과에서 알 수 있는 것처럼, 가공물이 비대칭 형상으로 가공된다.

기존의 방법을 분석해 보면, 일정한 공구의 반경으로 좌우 대칭인 원하는 형상의 궤도반경을 가공한다는 것은 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 전술한 기존 방법의 문제를 개선시키기 위한 베어링 궤도반경 가공용 총형공구 설계방법을 제시한다. 이 방법은 선삭가공시 치수 차이를 유발하는 원인 즉, 공구의 여유각과 경사각, 가공물의 직경 및 가공물에 대한 공구의 사용 위치(공구의 중심높이) 등을 모두 고려하였으며, 궤도형상을 분할하여 표시할 수 있도록 하였다.

총형공구의 설계순서는 다음과 같으며, Fig. 5에 흐름도를 도시하였다.

단계 1 : 베어링 궤도반경과 같은 총형공구의 형상을  $N$  개의 영역으로 분할하여 분할점( $i^N$ )을 구한다.

단계 2 : 총형공구의 분할점( $i^N$ )을 공구의 중심에 대하여 주어진 회전각, 여유각, 측면경사각 및 상면연마각(또는 상면경사각)만큼 회전시킨 후 공구를 가공위치(또는 중심높이)로 이동시킨다.

단계 3 : 단계 2에서 구해진 분할점( $i^N$ )을 가공물의 중심에 대하여 가공물의 수평면까지 회전시킨 후, 이 분할점과 베어링 궤도반경과의 차를 구한다.

단계 4 : 설계 개선을 반복 실시하여 베어링 궤도반경과 분할점의 차를 최소화 또는 일치시키는 분할점( $i^N$ )을 구한다.

단계 5 : 분할점( $i^N$ ) 사이의 반경은 연속된 3개의 분할점을 이용하여 구한다.

단계 6 : 상기의 설계순서로 구한 분할점( $i^N$ )과

분할점과 반경을 이용하여 총형공구의 궤적을 작도한다.

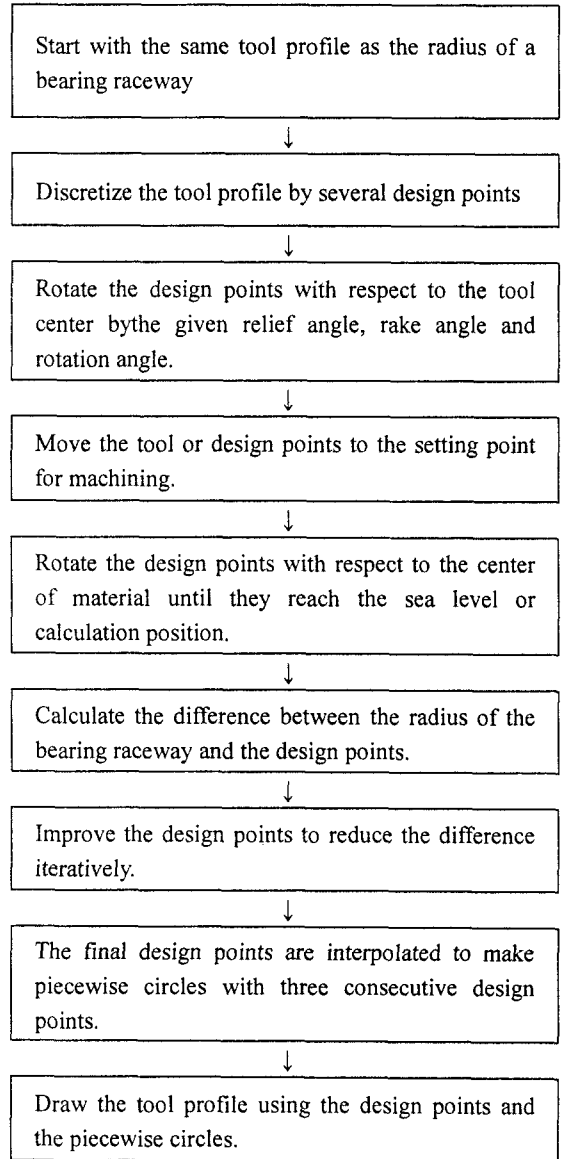


Fig. 5 Flow chart of the design procedure

Fig. 6은 본 연구에서 개발한 전술한 알고리즘을 바탕으로 총형공구 설계를 위해 개발된 프로그램의 입력창을 나타낸다.

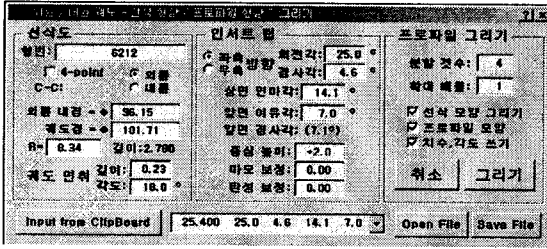
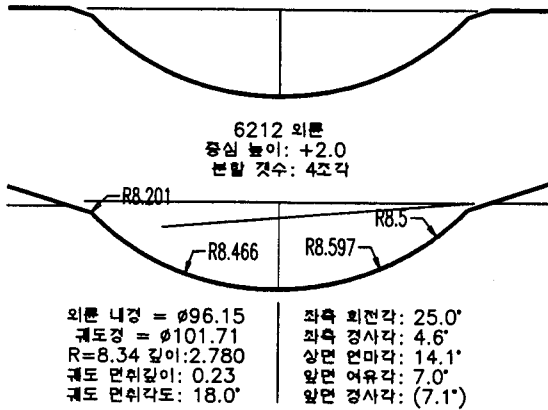
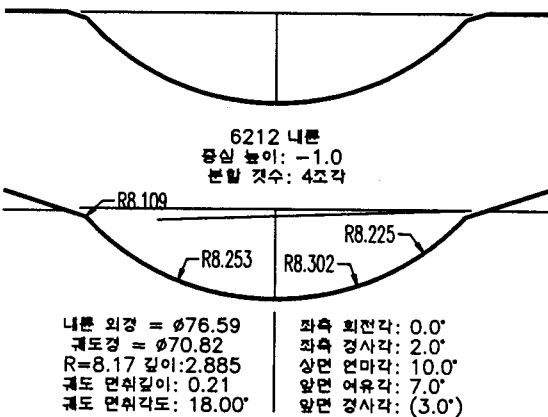


Fig. 6 Input data window of the developed program



(a) Outer ring



(b) Inner ring

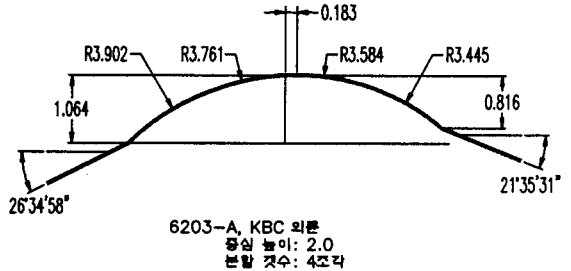
Fig. 7 New tool profiles for a 6212 ball bearing

Fig. 7 은 전술한 새로운 방식으로 설계한 볼 베어링 6212 의 내·외륜의 궤도반경 선삭가공용 총형 공구의 형상을 보여준다.

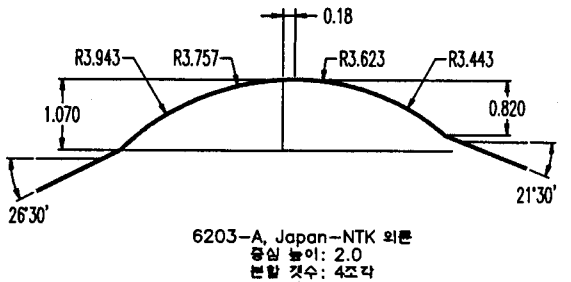
### 3. 공정 적용

먼저 개발된 방법의 타당성을 검증하기 위하여 선진업체인 일본 N 사의 공구 설계도면과 비교하였다. 이 목적으로 6203 볼베어링의 외륜을 선정하였으며, 비교결과를 Fig. 8 에 나타내었다. 분할 개수와 중심높이는 동일하게 하였으며, 각각 4 개와 2.0mm 이다.

Fig. 8 에서 굵은 실선은 총형공구 형상을 나타내며, 좌우궤도의 높이 차이, 궤도반경 분할개수, 분할된 궤도의 반경, 궤도중심의 편심 등이 개발된 프로그램의 설계결과와 매우 유사한 결과임을 알 수 있다.



(a) New profile



(b) Reference profile designed by a Japanese company

Fig. 8 Comparison of the tool profiles for outer rings of a 6203 ball bearing

개발된 프로그램에 의해 설계된 공구형상을 바탕으로 공구를 제작하여 6212 볼 베어링의 외륜 및 내륜 궤도 가공을 수행하였다. 외륜의 경우, 개선전 궤도 대칭도와 평행도의 합이 0.20mm 였으며, 개선후 0.14mm 로 줄어 들었다. 궤도반경은 8.26mm 에서 8.34mm 로 변경되었다. 내륜의 경우, 개선전

궤도 대칭도와 평행도의 합이 0.21mm 이었으며, 개선후 0.17mm 로 줄어 들었다. 궤도반경은 8.13mm 에서 8.17mm 로 변경되었다. 새롭게 제작된 공구에 의해 가공된 내·외륜을 조사한 결과 궤도 비대칭현상은 발생하지 않았으며, 연삭가공시 가공여유가 줄어들어 가공시간을 줄일 수 있었으며, 지석의 편마모 현상이 없어졌다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 볼 베어링 궤도가공을 위한 총형공구 설계방법이 제시되었다. 기존의 방법이 지니고 있던 문제점을 분석하였으며, 이를 바탕으로 공구의 여유각, 경사각, 상면 연마각과 가공물에 대한 공구의 중심높이 등의 인자들을 모두 반영하는 방법을 제안하였다.

개발된 방법을 바탕으로 베어링 궤도 가공용 총형공구 설계 프로그램을 개발하였으며, 이를 바탕으로 제작된 총형공구의 타당성을 검증하였다. 이를 위하여 선진업체의 설계와 비교하였으며, 실공정 적용 목적으로 제작된 총형공구에 의해 가공된 제품을 측정하여 설계값과 비교하였다. 비교결과, 측정값이 설계값과 잘 일치함을 알 수 있었으며, 연삭 가공량과 가공시간을 줄이는데 큰 역할을 하였다.

#### 후 기

본 논문은 산업자원부 지방기술혁신사업 [RT104-01-03] 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. Liu, R., Lu, Y., Du, Q. and Sun, Q., "A new forming technology for bearing rings by means of precision rolling," Journal of Materials Processing Technology Vol. 52, No. 2, pp.515-523, 1995.
2. Joun, M. S., Moon, H. K. and Shivpuri, R., "Automatic Simulation of a Sequence of Hot-Former Forging Processes by a Rigid Thermo-viscoplastic Finite Element Method," Trans. ASME, J. Eng. Mat. Tech., Vol. 120, No. 4, pp. 291-296, 1998.
3. Lee, H. K., Kim, Y. S., Kim, D. H., Roh, S. H. and Yang, G. E., "A Study on Formed Tool to Machine

Mini-structure Mold," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 2, No. 4, pp. 5-10, 2003.

4. Roh, S. H., Lee, H. K., Kim, Y. S., Kim, D. H. and Yang, G. E., "A Study on Die of Bearing Rubber Seal by Formed Tool," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 2, pp. 21-26, 2004.
5. Chung, J. H., "A Study on the Difference of Dimension between Formed Tool and Workpiece During Turning Process," KBC Tech., Vol. 7, pp. 59-65, 1989.
6. Kim, B. H. and Chu, C. N., "Study on the effects of endmill's shape on the machinability and the cutting time," Korean Society of Precision Engineering Spring Conference, pp. 52-57, 1994.