

## 베어링 내륜의 내면 연삭가공에서 진원도 개선 방안

김정석\*, 강명창\*\*, 배정철\*\*\*

### A Scheme on Roundness Improvement in Internal Grinding of Bearing Inner Race

Jeong-Suk Kim\*, Myeong-Chang Kang\*\*, Jeong-Cheol Bae\*\*\*

#### ABSTRACT

Precision of bearing race is very important to maintain the clearance between ball and inner race. In internal grinding of bearing race, its roundness is dependent on shoe wear, accuracy of jig, dressing method and grinding conditions. In this study, the characteristics of shoe wear and eccentricity of workpiece were investigated experimentally. When wear of front shoe reaches at  $100\mu\text{m}$  and that of rear shoe reaches at  $114\mu\text{m}$ , eccentricity of inner race is increased to  $1.4\mu\text{m}$ . Roundness of race is mainly related to wear of rear shoe and ring type shoe is recommended to improve roundness of race.

**Key words** : Internal Grinding(내면 연삭), Shoe Wear(슈우 마멸), Roundness(진원도), Roller Type(롤러 형태), Automatic Alarm System(자동경보시스템)

#### 1. 서론

베어링의 제조공정에 있어서 연삭가공은 공작물의 최종적인 마무리 공정으로서 불량품이 발생하면 손실이 크고 타공정에 비하여 가공현상에 미치는 요인이 많으므로 트러블의 발생시 대응시간이 많이 소요된다. 특히 내면 연삭가공은 다른 연삭가공에 비하여 가공상의 제약이 많고 결함(Trouble)이 발생하기 쉬운 작업이다.

회전운동을 하고 있는 기계요소에 발생하는 오차는 회전체인 내륜의 진원도에 원인이 있으며, 이 진원도가 나

쁠 경우 회전축의 진동이 증가하게 되어 여러가지 불량상태 즉, 소음이 발생하거나 미세 간극부의 접촉, 이에 의한 마멸과 발열 등의 원인을 가져온다.<sup>(1-2)</sup>

그러므로 최근에는 운전 중인 회전기계에서 사용되고 있는 볼 베어링도 고정도의 진원도에 대한 중요성이 한층 부각되어 축의 회전정도에 대한 연구와 함께 진원도 향상에 대한 많은 연구가 보고되고 있다.<sup>(3-4)</sup>

일반적으로 베어링의 진원도에 영향을 주는 요인을 살펴보면 주로 슈우(Shoe)의 마멸, 슷들의 흔들림, 백킹 플레이트(Backing Plate), 단면의 흔들림 등 치공구의 정

\* 부산대 정밀기계공학과/정밀정형 및 금형가공 연구센터

\*\* 부산대 기계기술연구소

\*\*\* 부산대 대학원

도에 의한 원인과 슷돌 직경의 변화, 드레싱의 오차로 인한 연삭의 결함, 연삭조건 등이 있다.<sup>(5)</sup> 이러한 요인 중에서 두개의 슈우 지지 백킹 플레이트 구동형의 내면 연삭에서는 슈우의 마멸로 인한 공작물 지지의 중심점 변화 및 지지상태가 불안정하여, 공작물의 회전정도는 저하되고 이로 인해 가공 중 공작물의 진원도에 영향을 주어서 중대한 품질저하 문제를 초래한다.

따라서 본 연구에서는 베어링의 내면 연삭에 널리 사용되고 있는 두 개의 슈우 지지 백킹 플레이트 구동형 연삭기를 대상으로 2-3각의 진원도가 발생하는 원인을 규명하기 위하여 슈우의 마멸량에 따른 진원도 값의 분포도를 파악한다. 또한 진원도 값의 변화 추이 및 특성을 분석하여 공작물의 회전정도 저하 및 진원도 불량 발생의 근본적 원인을 규명하여 베어링의 진원도를 향상시키는데 그 목적을 두고자 한다.

## 2. 슈우 지지에 의한 내면 연삭

### 2.1 슈우 지지 연삭의 원리

슈우 지지 연삭의 가공방법은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 주축대의 주축에 설치된 마그네틱척에 의해 백킹 플레이트를 개재시켜 공작물을 주축의 회전중심에서 편심(Offset)량  $e$ 만큼 편심하여 흡착시키고 전후 2개의 슈우 위에 공작물을 올려놓고 지지하면서 회전 구동시켜 연삭한다.

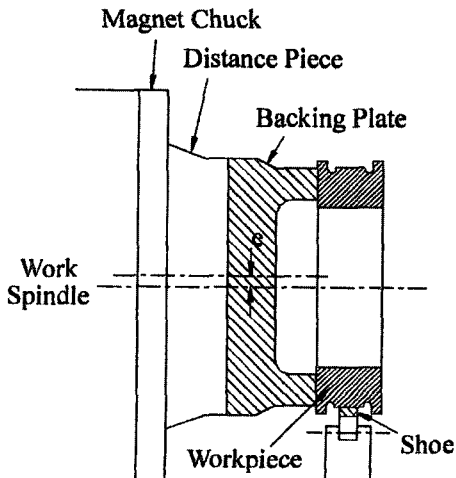


Fig. 1 Principle of grinder and off-set of shoe

가공원리는 주축에 설치된 백킹 플레이트와 공작물이 상호간의 마찰저항에 의해 슷돌의 회전과 동일방향으로 슷돌에 의한 흔들림을 방지하면서 공작물 구동 및 슷돌을 절입하며 하향 절삭하는 가공법으로서, 공작물 회전방향을 슷돌의 회전방향과 동일하게 하는 것은 공작물 구동력의 방향을 전방 슈우(Front Shoe)와 후방 슈우(Rear Shoe) 사이에 향하게 하여 회전을 안정시키기 위함이다.<sup>(6)</sup>

슈우지지에 의한 연삭은 설비의 고정도와 전문적인 기술이 요구된다. 이렇게 고정도를 유지하기 위해서는 가공정도에 크게 영향을 미치는 슈우의 편심량을 충분히 고려해야만 한다.

### 2.2 슈우와 편심량의 관계

공작물을 구동시키는 주축 스피indle에 부착되어 있는 백킹 플레이트의 중심과 공작물의 중심이 동심을 유지할 수 있다면 회전 중에도 공작물이 원심력에 의하여 중심선 밖으로 벗어날 수 없을 것이다.

그러나 회전 중인 공작물은 가공 중에 슷돌의 간섭으로 저항을 받게되어 Fig. 2와 같이 법선 방향(Normal Force)으로 큰 저항을 받게 되므로 전방 및 후방 슈우는 균일하게 마멸되지 않고 공작물 지지가 불안정하여 불규칙한 형태로 회전을 함으로서 결국은 가공 후 요구되는 진원도를 얻을 수 없게 될 것이다.

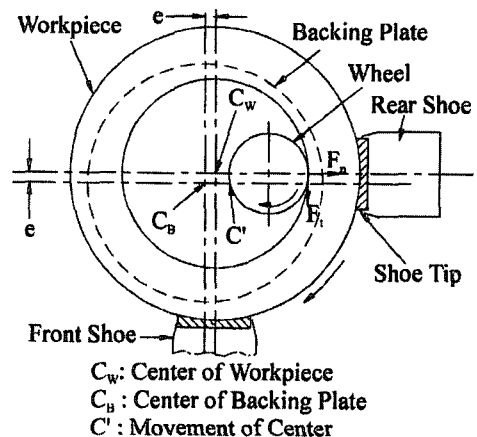


Fig. 2 Off-set of shoe and force both wheel and workpiece

따라서 공작물과 구동축간에 편심을 주어 공작물이 항상 C<sub>2</sub>점을 향하여 원심력을 갖도록 편심량을 주고 슈우가 공작물을 지지하여 가공함으로써 공작물의 이탈을 방지하도록 설계되어져 있다. 여기서 고려할 사항은 편심량을 변화시키는 요인이 슈우의 마멸에 있다는 것을 쉽게 알 수 있다. 회전 중인 공작물을 지지하고 있는 슈우는 공작물의 회전진행에 비례하여 점진적으로 마멸현상이 발생될 것이며 슈우 팁의 마멸은 결국 편심량의 위치를 변화시켜 C'점을 향하게 되므로 편심량의 변화에 따라 공작물이 슈우의 중심에서 이탈하려는 힘이 크게 작용될 것이다. 이러한 진행과정을 계속하면서 결국 슈우의 마멸량이 증가함에 따라 공작물의 회전정도는 저하되어 진원도의 불량률이 유발됨을 알 수 있다.

따라서 진원도값의 산포를 줄이고 안정된 정도의 제품을 얻기 위해서는 적절한 시기에 슈우를 교환하고 고정도를 관리 유지하는 것이 매우 중요하다.

### 3. 실험장치 및 실험조건

#### 3.1 실험장치

본 실험에 사용한 실험장치의 사양은 Table 1에 나타나 있다.

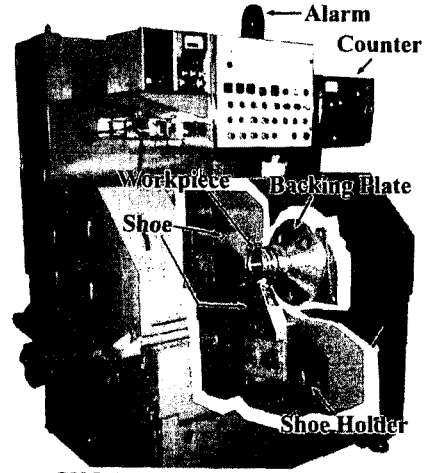
Table 1 Specification of experimental set-up

Instrument	Model (Maker)
CNC Grinding Machine	T-117B(Toyo)
Roundness Measuring system	260(Talyrond)
Grinding Wheel	53A 120L 8(S)
Workpiece	SUJ2

실험장치는 Fig. 3에 나타난 바와 같이, 슈우지지 연삭기를 이용하여 내륜내경을 연삭하기 위하여 백킹 플레이트, 두개의 슈우에 의하여 공작물을 지지했다.

공작물의 성분조성은 Table 2에 나타난 바와 같이 고탄소 크롬강을 담금질과 뜨임을 심부까지 균일하게 하여 로크웰경도 60~65정도로 열처리하여 경화한 것으로, 두께가 25(mm)이하의 케도륜에 사용된다.

진원도 측정장치의 기록 배율은 5,000배이며 1눈금은 0.4(μm)이다. 측정은 최소 자승 원법(Least Squares Circle Method)에 의한 형상기억에 의해 1회 측정으로



CNC Internal Grinding Machine

Fig. 3 Experimental apparatus of workpiece, shoe assembly and backing plate in grinding machine

Table 2 Chemical compositions of workpiece

Chemical Compositions						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo
0.95~	0.15~	0.50	0.025	0.25	1.30~	0.08
1.10	0.35	max	max	max	1.60	max

분석하며 원형기록과 동시에 연산된 측정결과는 원형 기록계에서 진원도형상을 기록한다.

#### 3.2 실험조건

본 실험에 사용한 연삭조건을 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Grinding conditions of specimen

Grinding Condition	Depth of cut	Finish	60μm
		Spark Out	10μm
Grinding Condition	Feed Speed	Finish	800μm/min
		Skip Number	Wheel Big 13/11(EA)
Dressing Condition	Compensated Rate		φ 20μm
Main Speed Ratio	Total Wheel		72,000rpm
	Workpiece		2,275 rpm

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 가공일수에 따른 진원도값의 변화 특성

동일 작업조건에서 가공한 제품 42,000개 중 1일 100개씩 샘플링하여 5일간의 특성 추이를 조사하여 Fig. 4(a), (b)에 나타내었다.

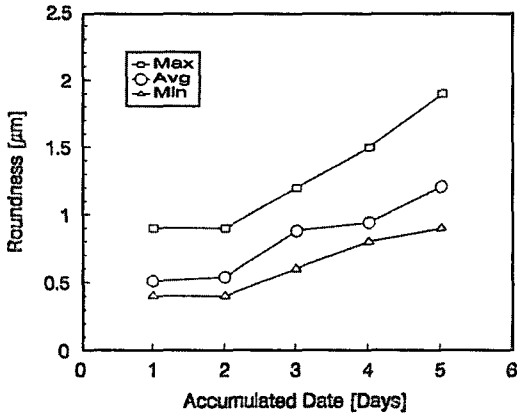


Fig. 4(a) Relation between accumulated date and roundness

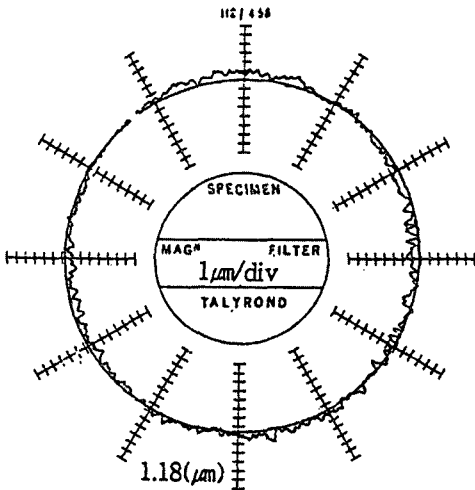


Fig. 4(b) Value of average roundness(5days)

Fig. 4(a)에서 평균 진원도값이 수집 1일째는 0.47(μm)을 나타내고 점차적으로 증가하여 5일째의 값은 1.18(μm)을 나타내어 시간이 경과함에 따라 진원도값이 증가하고 있는 경향을 알 수 있다. Fig. 4(b)는 5일째의 진원도값을 측정된 예로서 1.18(μm)의 평균 진원도값을

나타낸다. 이와 같은 현상은 슈우의 마멸에 의한 편심량의 위치변화로 공작물의 회전정도가 저하되어 진원도가 나빠진다고 추정된다.

이와 같은 결과를 검증하기 위하여 동일 조건에서 슈우를 교환하여 재현성 실험한 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

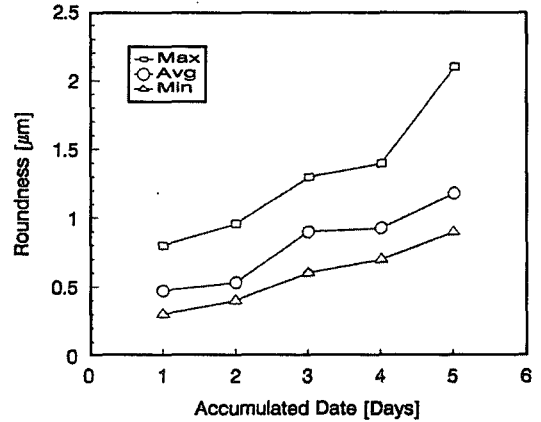


Fig. 5 Relation between accumulated date and roundness by reappeared experiment

진원도의 평균값은 1일째 0.51(μm)을 나타냈으나 시간의 경과에 따라 점차적으로 증가하여 5일째는 1.21(μm)의 값을 나타내고 있는데, 이는 슈우 마멸에 의한 진원도의 산포가 발생되고 있음을 설명하고 있다.

##### 4.2 슈우의 마멸량과 진원도 관계

일반적으로 베어링 제조공정에서 적용되고 있는 공정 관리규격의 항목 중 최대 진원도값의 제한항목을 살펴보면, 내경 연삭은 1.5(μm)이하, 내케도 슈우퍼 피니싱의 경우는 1.2(μm)이하로 설정되어 있다.<sup>(7)</sup>

슈우퍼 피니싱 가공을 끝낸 내륜 케도의 진원도값은 원래 내경을 기준면으로 가공되기 때문에 내경을 그대로 복사해 놓은 듯이 케도 진원도 문제가 발생하고 있다.

따라서 케도 진원도값을 향상시키기 위해서는 내경의 진원도값이 최소한 케도 진원도 측정값과 동일하거나 그 이하로 설정하는 것이 타당할 것이다.

제품의 생산량과 슈우의 마멸량의 관계를 Fig. 6에 나타내었는데, 생산량의 증가에 따라 슈우와 공작물의 최초 접촉에서는 슈우의 마멸량이 급격히 증가하는 경향을 보이며, 시간이 경과함에 따라 마멸량이 점진적으로 증가되고 있음을 알 수 있다.

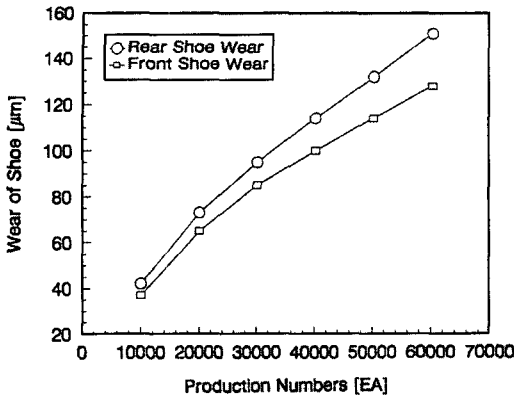


Fig. 6 Relation between production numbers and shoe wear

또한, 후방 슈우 팁의 마멸량은 전방 슈우 팁의 마멸량보다 크게 나타나고 있는데, 이는 후방 슈우 팁이 마멸의 저항을 크게 받고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 생산량의 증가에 의한 진원도값의 변화를 나타낸 것으로, 생산량이 증가함에 따라 공작물의 진원도가 저하되고 있다.

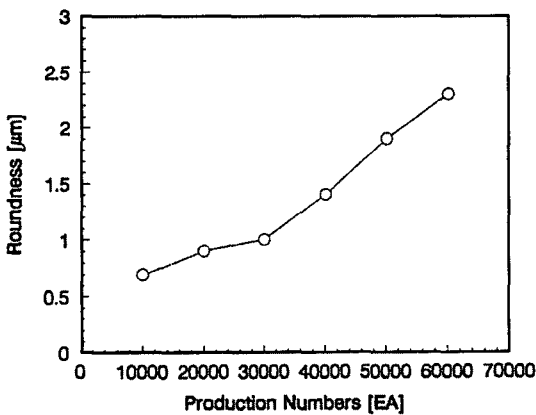


Fig. 7 Relation between production numbers and roundness

여기서 공정 관리규격에서 제시한 공작물의 진원도 값 1.2(μm)을 유지하기 위해서는 제품 35,000개를 생산한 후 슈우 팁을 교환해야 한다는 것을 알 수 있다.

위의 실험결과를 토대로, 후방 슈우의 마멸량과 진원도값의 관계를 Fig. 8에 나타내었다.

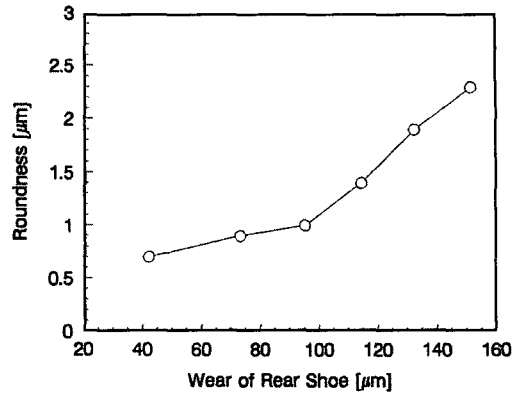


Fig. 8 Relation between wear of rear shoe and roundness

연삭숫돌의 저항을 크게 받는 후방 슈우팁의 마멸량이 114(μm)을 초과하는 경우에 진원도값은 1.4(μm)을 나타내고 있다. 따라서 공작물의 진원도값 1.2(μm)을 유지하기 위해서는 후방 슈우팁의 마멸량이 약 100(μm)를 초과하지 않아야 됨을 알 수 있다.

#### 4.3 현상(現狀)의 슈우 마멸량과 진원도

앞 절의 실험결과와 비교하기 위하여, 생산공정 중의 슈우 마멸량과 진원도 관계를 조사하기 위하여 가공후 재연마 대기 중인 슈우의 마멸량을 형변에 관계없이 10세트를 추출하여 검토하였다.

공정 관리규격에서 제시한 최대 진원도값 1.2(μm)의 요구선(Required Line)에 대하여, 현상의 슈우 마멸량을 조사하면 Fig. 9와 같이 나타난다.

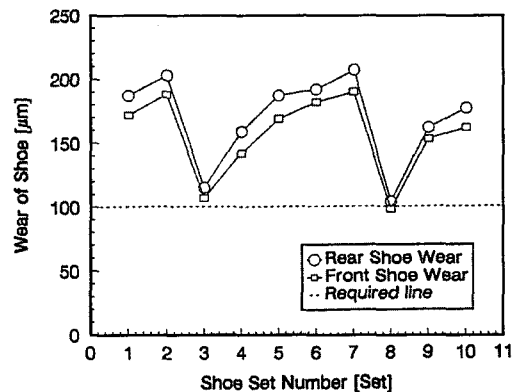


Fig. 9 Relation between shoe set number and shoe wear

후방 슈우의 마멸량 114( $\mu\text{m}$ ), 전방 슈우의 마멸량이 100( $\mu\text{m}$ )에 도달할 때 진원도값을 측정하면 1.4( $\mu\text{m}$ )에 해당하는데, 이는 실제 공정에 있어서 슈우의 마멸량이 더 진전되었을 때 슈우 팁을 교환하고 있음을 알 수 있다.

#### 4.4 진원도 향상 대책

Fig. 3의 실험장치에서 살펴본 바와 같이, 슈우 팁은 슈우 홀더에 고정되어 있으며 공작물과 접촉되는 부분은 극히 일부분에 해당된다. 슈우를 교환하기 위하여 필요한 분해 및 조립공정의 소요시간은 총 56분, 즉 슈우의 제거 및 조립을 하기 위한 필요한 시간은 9분이고 설비에 부착되는 부가적인 치공구를 분해 및 조립하는데 사용되는 시간은 47분이다. 각각의 소요시간을 알아보면, 슈우자체만의 분해 및 조립하는데 소요되는 시간의 비중은 16(%)이고, 나머지 84(%)가 부대 부속품을 분해 및 조립하는데 사용된다. 그러므로 고정 슈우의 분해 및 조립을 위해 사용되는 총 소요시간의 손실이 84(%)임을 알 수 있다.

이상의 사실로부터, 베어링의 내면 연삭가공에서 진원도 향상을 위해서는 공정 관리규격의 최대 진원도값을 기준으로 볼 때 슈우의 마멸량에 따른 적절한 교환주기를 설정하고, 슈우의 교환공정을 단순화하는 방법이 필요하다.

따라서 이러한 사항을 해결하기 위한 방안으로 Fig. 10에 나타난 바와 같이 현재의 고정 슈우형식의 초경 팁을 베어링의 형상을 지닌 롤러 형태(Roller Type)의 슈우로 개선하고, 생산량에 따른 슈우의 교체시기를 쉽게 판단할 수 있도록 설비에 부착되어 있는 공작물 카운터를 이용하여 자동경보시스템(Automatic Alarm System) 방식을 운용하여야 한다.

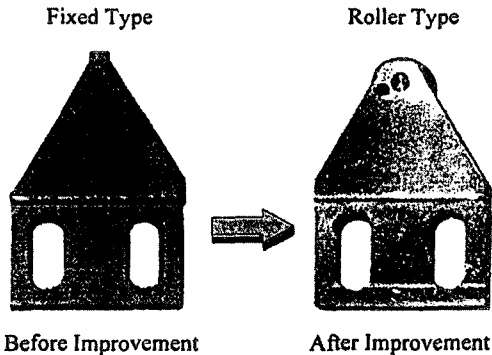


Fig.10 Shoe type in case of improvement

#### 4.5 본 실험 개선 전후의 비교

고정 슈우 팁의 형태에서 베어링에 의한 롤러 형태로 개선하여 시험해 본 결과를 살펴보면 Table 4에 나타난 바와 같다.

Table 4 Comparison of changing time

Item	Before Improvement	After Improvement	Remarks
Changing Time of Shoe Wear	105~200 $\mu\text{m}$	100 $\mu\text{m}$ (Rotation)	
Required Time	56min	3min	△53min
Regrinding Period	1 time	9 times	900% up
Cost	27,000 won	141,000 won	△102,000
Changing Period	Operator	Auto Alarm System	

개선 전후의 주요결과를 비교하면 베어링에 의한 롤러 형태일 때 슈우 팁의 수명이 약 9배 증가되어 슈우의 소비비용은 102,000원 절감되었으며, 슈우 팁을 선회하는 방법으로 단순화함으로써 교환 소요시간을 56분에서 약 3분으로 단축시킬 수 있었다.

Fig. 11은 동일 작업조건에서 5일간 생산된 42,000개 중 1일 100개씩 샘플링하여 진원도값의 분포를 개선 전과 후에 대하여 비교한 것으로서, 개선 전에는 공정관리 목표치인 1.2( $\mu\text{m}$ )이상의 진원도값을 초과한 제품은 15개 인데 반하여 개선 후에는 전혀 발생하지 않았다는 것을 알 수 있다.

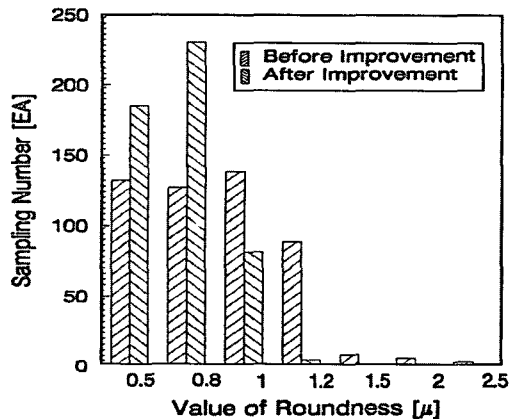


Fig.11 Comparison of roundness distribution with improvement

또한 Fig. 12는 개선 활동 전의 데이터 수집 1일째와 5일째의 진원도 평균값의 분포차가 0.70( $\mu\text{m}$ )인 경우(Fig. 5)와 비교하기 위하여 개선 활동후의 결과를 나타낸 것이다.

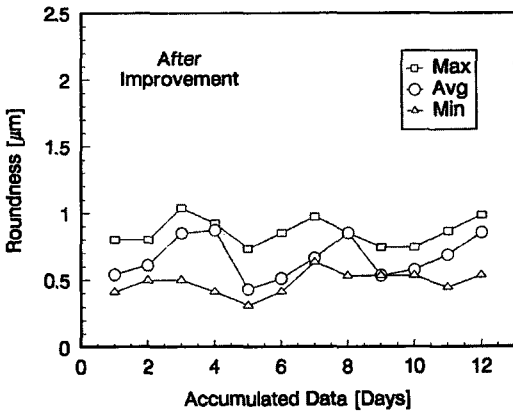


Fig.12 Characteristic of roundness in case of improvement

제품의 한계 생산량에 따른 슈우의 교환주기를 설정하여 교환주기표에 의한 실험 활동을 한 결과 1일째와 5일째 가공된 제품의 평균 진원도값의 차이는 0.44( $\mu\text{m}$ )로서 개선 전의 분포값 차보다 0.26( $\mu\text{m}$ )정도 향상되었으며, 5일후 부터 12일째까지도 분포차가 크지 않음을 알 수 있다. 또한 본 실험의 공정관리 목표치인 1.2( $\mu\text{m}$ ) 이상의 진원도 값을 초과한 제품은 전혀 발생하지 않았다.

### 5. 결 론

베어링의 내면 연삭가공에서 진원도 개선 방안에 관한 연구를 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 내경 진원도의 향상을 위해서는 내륜 내경연삭의 공정관리 규격을 1.5( $\mu\text{m}$ )에서 1.2( $\mu\text{m}$ )이하로 재설정할 필요가 있다.
2. 후방 슈우의 마멸량이 114( $\mu\text{m}$ ) 이상 초과 사용되었을 때 시험편의 진원도의 최대값은 1.4( $\mu\text{m}$ )을 나타내었다. 공정 관리규격인 진원도값 1.2( $\mu\text{m}$ )을 유지하기 위해

서는 후방 슈우의 마멸량은 114( $\mu\text{m}$ )을 초과하지 않아야 한다.

3. 연삭기 관련 설비를 사용하기 쉽도록 하기 위해서는 치공구의 교환 작업을 보다 단순화하고 슈우의 교환에 필요한 시간을 단축할 필요가 있다.

이상의 연구결과에 의하면, 가공물의 진원도를 향상시키기 위해서는 슈우의 형태를 고정된 슈우 타입에서 링 타입(Ring Type)으로 개선하고, 공작물 카운터를 이용하여 자동 경보 시스템을 채택하는 것이 바람직하겠다.

### 참 고 문 헌

1. Braun, S., and Datner, B., "Analysis of Roller / Ball Bearing Vibrations", J. of Mechanical Design, Vol.101, pp. 118~125, 1979.
2. Kanai, H., Abe, M., and Kido, K., "Estimation of the Surface Roughness on the Race or Balls of Ball Bearings by Vibration Analysis", J. of V.A.S.R. in Design, Vol.109, pp. 60~68, 1987.
3. 加藤秀雄, 中野嘉邦, "センタの眞圓度方圓筒研削面の眞圓度へ及ぼす影響", 精密工學會誌, 52卷, 9號, 1986.
4. Kato, H., Nakano, Y., Nikura, M., "Improvement of Circularity of Workpiece by Utilizing Elastic Deflection of Center in Cylindrical Grinding", JSPE, Vol.55, No.8, 1989.
5. 澤邊雅二, "高精密回轉軸の回轉精度測定法とその問題點", 精密機械 48卷 10號, pp. 1237~1242, 1979.
6. Harris T.A., Rolling Bearing Analysis, John Wiley & Johns, 1984.
7. NSK Miniature Ball Bearing, NSK Bearings, 1989.