

# 고경도강의 나사선삭

## (Ball Screw Cutting of Hardened Steel)

\*황 동 환, 박 철 우(연세대학원), 김 대 은, 이 상 조(연세대 기계공학과)

### ABSTRACT

Ball screw is a critical machine component which dictates the precision of a given machine tool. The conventional manufacturing method requires the heat treated ball screw to be ground to its final dimensions. This study looks into the feasibility of replacing the grinding process with a simpler process, namely threading on NC lathe. The purpose is to reduce the capital investment as well as production time in the manufacture of ball screws. Ceramics and CBN cutting tools are compared with respect to their ability to machine hardened steel. It is shown that CBN tools can be successfully utilized to machine precision ball screws with superior surface qualities.

### 1. 서론

정밀 볼나사는 CNC 공작기계, 정밀 측정기기의 위치결정 장비에 사용되는 필요불급한 정밀부품임은 물론 점차 자동화 기계의 점유율이 높아짐에 따라 그 수요가 날로 증대되고 있다. 그러나 국내에서 소비되는 볼나사의 대부분이 수입에 의존하고 있어서 공작기계의 생산단가를 높이는 요인이 될 뿐만 아니라 납기의 장기화로 생산차질의 원인이 되고 있고 국내에서 생산되는 볼나사는 정밀도면에서 일본제품에 가격면에서 대만, 독일제품 등에 밀리고 있는 실정이므로 국내개발이 시급하다. 따라서 볼나사 가공기술의 개발은 국내 독자적인 기술의 확보라는 측면에서 당연히 연구되어야 할 부분이며, 공작기계의 고성능화 및 생산능률의 향상을 위해서 꼭 필요한 중요한 부분이므로 이에 대한 연구가 절대적으로 필요하다.

현재의 볼나사 축 생산공정에는 정밀한 제품의 생산에 악영향을 미치는 요소들이 있어 양질의 볼나사 생산효율을 저하시키고 있고, 특히 나사선삭후 열처리과정을 거치면서 진직도 및 피치변형으로 인해 나사선삭 공정에 부담을 주고 변형정도에 따라 최종정밀도에 악영향을 주게된다. 그러므로 환봉인 상태로 열처리를 하게되면 변형이 적고 변형이 있다하더라도 교정이 용이하고, 열처리후 나사선삭을 행하면 진직도 확보가 쉽고 CNC선반을 사용할 경우 피치정밀도가 양호하여 연삭여유를 최소화

할 수 있으므로 연삭부하를 줄여주고 가공정밀도를 향상시킬 수 있게 된다. 그러나 소재는 SCM 5H를 고주파 열처리한 Hrc 60정도의 고경도강이고 피삭성이 불투명함으로 나사선삭이 어렵다는 문제점이 있으나 최근 우수한 공구재종의 개발로 가공이 가능하고 생산효율이 좋을 뿐만 아니라 CBN공구를 사용할 경우 정밀마무리 가공이 용이하므로 나사선삭만으로 볼나사를 생산할 수 있는 가능성을 타진하는 것이 필요하다고 생각된다.

따라서 본연구에서는 나사선삭된 볼나사의 표면조각(surface texture)과 표면품질(surface integrity)를 연구하여 생산공정에서의 연삭 대체 가능성을 평가하고자 한다.

### 2. 실험방법 및 장치

#### 2.1 시험편 및 절삭공구

본실험에 사용된 피삭재는 SCM 5H를 고주파 열처리한 것으로 시험편의 표면경도는 Hrc 58~62, 경화층 깊이는 3.5mm이상이고 화학적성분은 표1과 같다.

절삭공구는 세라믹( $Al_2O_3-TiC$ )과 CBN 재종을 사용하였고 이 공구재종의 물리적·기계적 성질은 표2와 같다.

#### 2.2 실험장치 및 측정기기

표1 시편의 화학적 성분 (단위:wt)

화학적분	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
SCM 5H	0.42~0.49	0.15~0.35	0.55~0.90	.030이하	.030이하	0.85~1.25	0.15~0.35	0.30이하	0.25이하

표2 공구재종의 물리적·기계적 성질

	경도 ( <i>mHv</i> )	탄성계수 ( <i>Kg/mm<sup>2</sup></i> )	열팽창계수 ( $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ )	열전도율 ( <i>Cal/Cm <math>^{\circ}\text{C}</math> Sec</i> )	밀도 ( <i>g/Cm<sup>3</sup></i> )
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiC</i>	3200	32000	7.4	0.04	4.92
<i>CBN</i>	4500	71000	4.7	3.1	3.48

나사가공을 위하여 NC선반(대우 PAN20, semi-closed loop control type)을 사용하였고 가공면의 표면거칠기 측정을 위해 표면거칠기측정기(Mitutoyo, SURFTTEST SV-600)를 사용하였다. 형상정밀도는 형상측정기(Mitutoyo, CDH-410)로 측정하여 plotter로 출력하였고 미세경도는 마이크로비커스 경도기(BUEHLER, MICROMET 2003)를 이용하여 마이크로비커스 경도를 저장하였다.

### 2.3 실험방법

#### (1) 절삭실험

절삭실험은 표3의 절삭조건을 적용하였고 매절삭마다 표2의 재종별로 공구를 교환하여  $\phi$  40mm, 길이 250mm의 시편에 그루브지름 5mm, 피치 8mm, 나사부 길이 100mm인 볼나사를 가공하였다.

표3 절삭조건

절삭속도(m/min)	절입(mm)	이송(mm/rev)	절삭유제
25	0.01	8	사용
50			
75			

#### (2) 평가 파라미터의 측정

가공물의 표면거칠기는 컷오프(cut off)값을 0.8mm로 선정하여 그루브진행방향에 수직으로 측정하였다. 정확한 측정값을 얻기 위하여 3개소를 위상각 120° 씩 위치 변경하며 측정하여 중심선평균거칠기(Ra)를 저장하고 그 평균값을 기록하였다.

형상정밀도는 시편을 V-Block 위에 고정시킨 후 3개의

그루브를 형상측정기로 측정하여 그루브의 곡률반경과 피치를 측정·저장하였다.

마이크로경도검사를 위해 가공표면의 조직에 영향이 없도록 절편을 채취하였고 에지(edge)보호를 위해 마운팅하였다. 이 시편을 폴리싱한 후, 나이탈(Nital) 3%용액으로 에칭하고 피드방향과 반대방향쪽의 그루브와 볼이 접촉하는 영역으로 부터 45° 방향으로 측정하여 마이크로 경도를 기록하였다.

### 3. 실험결과

#### 3.1 표면거칠기

표4는 나사선삭의 가공조건과 공구재종에 따른 중심선 평균거칠기와 현재 한국·일본·대만에서 나사연삭에 의해 생산되고 있는 제품의 중심선평균거칠기를 나타낸 것이고 그림1은 나사선삭의 가공조건과 공구재종에 의한 중심선평균거칠기(Ra)의 특성을 나타낸 것이고 그림2과3은 표면거칠기측정기에서 출력된 결과이다. 본 열처리강 나사선삭에서는 절삭속도의 증가로 표면거칠기가 향상되었고 CBN공구가 세라믹공구보다 더 향상된 결과를 나타냈다. 이는 표2에서 알 수 있듯이 세라믹공구보다 CBN공구의 기계적·물리적 성질이 우수하여 공구마모나 손상이 덜하기 때문으로 생각된다. 그리고 CBN공구를 사용하면 연삭가공에 의한 표면거칠기보다 더 좋은 결과가 나타난 것을 알 수 있다.

#### 3.2 형상정밀도

표5는 가공조건과 공구재종에 따른 형상정밀도를 나타낸 것이고 그림4는 형상측정기에서 출력된 결과이다.

누적 실리이드 오차의 경우는 가공에 사용된 공작기계  
의 정밀도에 의존하기 때문에 타당한 값으로 생각되고,  
공구재종의 의존성이 큰 곡률반경의 경우 CBN이 세라믹  
공구보다 더 좋은 결과를 나타내었다.

표4 나사선삭의 가공조건과 공구재료에 따른  
중심선평균거칠기와 나사연삭에 의한 중심선평균거칠기  
(단위 :  $\mu\text{m}$ )

절삭속도	공구재종	세라믹		CBN		나사연삭	
		세라믹	CBN	HIWIN	대성	NSK	
25 m/min		0.53	0.35	0.49	0.49		
50 m/min		0.43	0.21	0.19	0.19		
75 m/min		0.34	0.18	0.13	0.13		

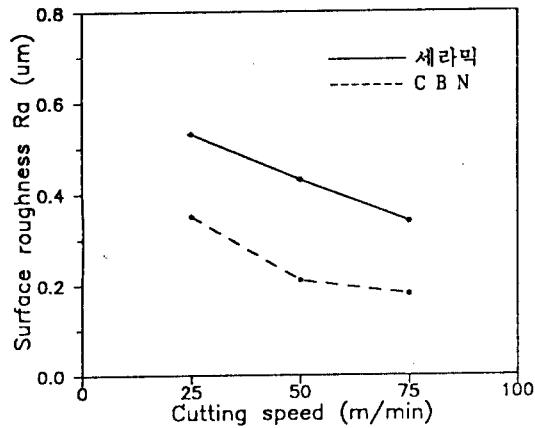
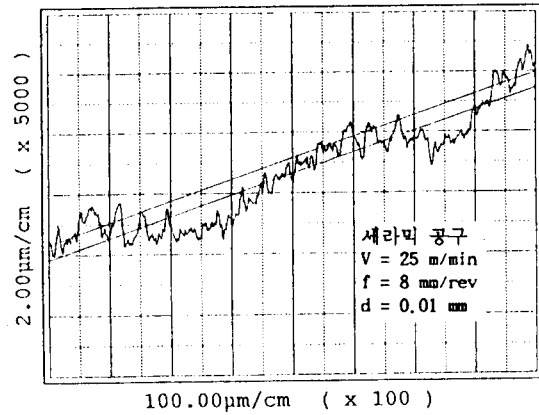


그림1 가공조건과 공구재종에 따른 중심선표면거칠기

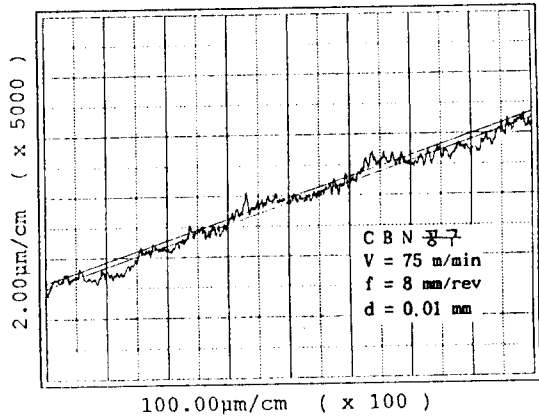
표5 가공조건과 공구재종에 따른 형상정밀도  
( R:곡률반경, E:누적 실리이드 오차, 단위:mm )

절삭속도	공구재종	세라믹		CBN	
		R	E	R	E
25 m/min		4.910	+ 0.002	4.950	- 0.004
		4.895	- 0.004	4.924	0.000



Evaluation curve: (R )  
 Speed: 0.100mm/s  
 Range: 600 $\mu\text{m}$   
 le(L): 0.800mm  
 No. of le(L): 1  
 Start-up length: 0.800mm  
 Finish length: 0.800mm  
 Calculation: No error  
 Low-band cutoff: 0.800mm  
 Amplitude transmittance: 75%  
 Filter: 2CR-PC  
 Ra: 0.51 $\mu\text{m}$

그림2. 표면거칠기의 출력결과



Evaluation curve: (R )  
 Speed: 0.100mm/s  
 Range: 600 $\mu\text{m}$   
 le(L): 0.800mm  
 No. of le(L): 1  
 Start-up length: 0.800mm  
 Finish length: 0.800mm  
 Calculation: No error  
 Low-band cutoff: 0.800mm  
 Amplitude transmittance: 75%  
 Filter: 2CR-PC  
 Ra: 0.18 $\mu\text{m}$

그림3. 표면거칠기의 출력결과

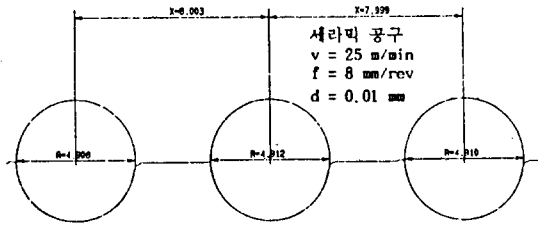


그림4. 형상측정기의 출력 결과

### 3.3 마이크로경도

그림5는 마이크로 비커스경도 측정부의 사진을 보인 것이고 그림6은 피드방향의 그루브와 볼 접촉점에서부터 45° 방향으로 측정한 경도의 변화를 나타낸 것이고, 그림7은 피드반대방향의 경도변화를 나타낸 것이다. 깊이가 증가할수록 경도가 감소하는데 이는 열처리에 의한 것이고 깊이 1.25mm정도부터 경도가 급격히 감소하는 것은 경화부에서 모재부로의 천이에 의한 것이다.

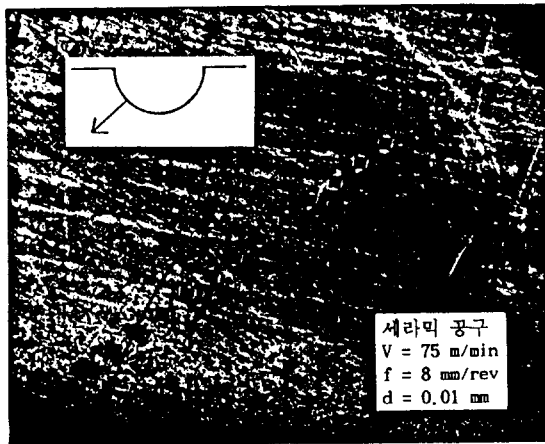


그림5 마이크로 비커스경도의 측정부 (×50)

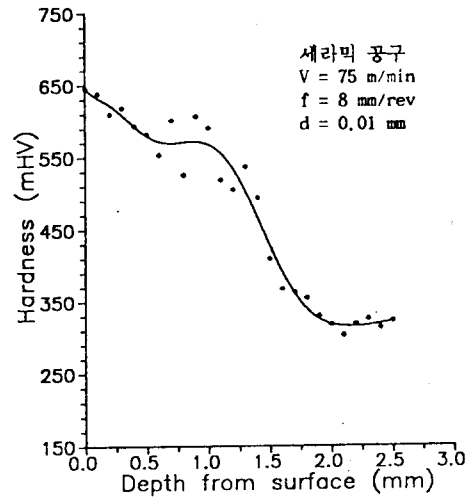


그림6 볼 접촉점으로부터의 경도변화 (피드방향)

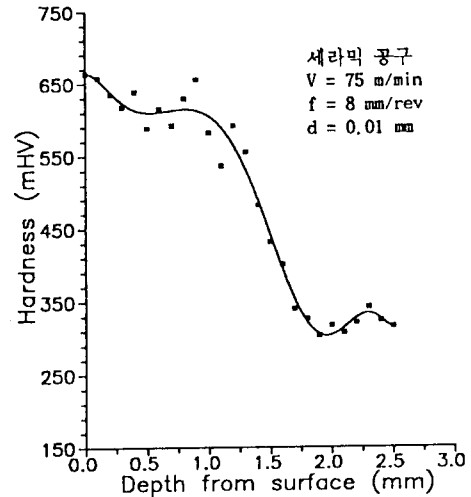


그림7 볼 접촉점으로부터의 경도변화 (피드 반대방향)

#### 4. 결론

SCM5H를 고주파 열처리한 후 세라믹공구와 CBN공구로 나사가공하여 나사그루브의 표면거칠기, 형상정밀도, 마이크로경도를 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 나사선삭가공에 의한 나사그루브의 중심선평균거칠기는 절삭속도가 증가할수록 향상되었고, CBN공구에 의한 가공정도가 세라믹공구에 의한 가공정도보다 더 양호하였으며 나사연삭가공에 의한 표면거칠기보다 더 좋은 결과를 나타내었다.

2) 곡률반경의 경우 CBN공구가 세라믹공구보다 더 좋은 결과를 나타내었고, 누적 실리드 오차의 경우 가공에 사용된 NC를 고려하면 양호한 값을 얻었다.

3) 열처리부의 경도는 표면으로부터 깊이가 증가할수록 감소하였고 열처리부에서 모재부로 천이될 때 경도가 급격히 감소함을 알 수 있었다.

#### <참고문헌>

- [1] "절삭가공론", 문운당, 1992.
- [2] "난삭재의 절삭가공기술", 기술정보, 1989
- [3] Y.Matsumoto, M.M.Barash, C.R.Liu, "Effect of Hardness on the Surface Integrity of AISI 4340 Steel", ASME Journal of Engineering for Industry, 1986
- [4] P.Leskovar, J.Peklenik, "Influence Affecting Surface Integrity in the Cutting Process", Annals of the CIRP, 1982
- [5] W.König, A.Berkold, K.F.Koch, "Turning versus Grinding - A Comparison of Surface Integrity Aspects and Accuracies", Annals of the CIRP, 1993
- [6] N.Narutaki, Y.Yamane, K.Hayashi, T.Kitagawa, "High-Speed Machining of Inconel 718 with Ceramic tools", Annals of the CIRP, 1993