

# 자기연마법을 이용한 볼나사의 연마가공에 관한 연구

## A Study on Ball Screw Polishing Using Magnetic Assisted Polishing

이 용 철 ( 연암공전 ), 이 용 숙 ( 한국기계연구원 ), 최 현 중 ( 한국생산기술연구원 )  
Yong-Chul Lee Eung-Sook Lee Hon-Jong Choi  
(Yonam College of Engineering) ( K I M M ) (Korea Institute of Industrial Technology)

### ABSTRACT

The ball screw is one of the important mechanical parts for the linear motion feeding systems. The usage of the ball screw has been growing in various industrial fields such as CNC machine tool, industrial robot and automated systems. Because of ever increasing demand for ball screws, increased accuracy and quality of the ball screw is needed, especially the surface roughness of the ball contact area in order to diminish noise and vibration.

Therefore, to improve the surface roughness of the area, we introduced magnetic assisted polishing which is one of the new potential polishing methods. In this study, diamond slurry and iron powder was used for magnetic assisted polishing of the ball bearing surface. This polishing process was experimentally confirmed to improve the surface roughness of the ball bearing.

Key Words : Ball Screw(볼나사), Magnetic Assisted Polishing(자기연마법), Polishing(연마가공), Surface Roughness (표면조도), Slurry(연마제)

### 1 서론

볼나사(Ball Screw)는 각종 기계장치의 이송 기구로 널리 이용되고 있는 주요 기계요소부품 중의 하나이다. 직선운동 장치의 구동방법에는 여러 가지가 있으나, 볼나사는 가격, 장시간 사용에 따른 작동의 안정성, 스트로크, 강성, 부하 용량, 속도에 대한 넓은 대응성, 여기에 따르는 제어의 용이성 등 많은 장점을 가지고 있어 그 용도는 광범위하다. 특히 공장자동화의 주역을 담당하는 CNC공작기계, 로봇을 비롯하여 전자 제품, 군수산업 등의 구동 및 동력전달의 핵심 요소가 되고 있다.

볼나사의 수요증가와 더불어 볼나사의 품질 및 정밀도 향상이 요구되고 있으며, 특히 진동, 소음 및 토오크 변동에 큰 영향을 미치는 불접 축면의 표면조도 개선이 요청되어, 현재 국내외 적으로 볼나사 연마가공에 관한 연구<sup>1)~4)</sup>가 활발히 진행되고 있다.

볼나사는 SCM5H의 환봉을 가지고 선삭가공에서 볼나사의 형상을 만든 다음 열처리한 후, 이것을 나사연삭기에서 연삭으로 다듬질가공하는 공정을 거쳐 완성되게 된다. 열처리 후의 표면경도는 대개 HRC 58~62정도의 고경도이고, 연삭 후의 표면조도는 0.3~0.42 $\mu$ mRa로 가공되고 있다.

이에 본 연구에서는 고경도상태인 볼나사의 다소 거칠은 연삭상태의 표면조도를 향상시키기 위해서 특수연마가공법인 자기연마법<sup>5)6)</sup>을 도입하여 그 적용가능성과 최적 연마가공조건을 검토하였다.

### 2 자기연마법의 원리 및 실험장치 구성

자기연마법에는 특수제조공법<sup>7)</sup>으로 만들어진 고체자기연마입자를 사용하는 고체자기연마법과 철분과 액상의 연마제 슬러리(Slurry)를 이용하는 액상자기연마법<sup>8)</sup>이 있다. 액상자기연마

법은 복잡하고 비용이 많이 드는 자기연마입자 제조공정을 생략하고, 시중에서 철분과 연마재를 구입하여 쉽게 제작할 수 있을 뿐만 아니라, 연마재의 연속공급으로 연마재 수명의 제한을 받지 않는 등의 장점을 갖고 있다.

따라서 본 연구에서는 액상자기연마법을 채택하여, Fig.1과 같이 자기연마공구시스템을 설계제작하였다. 액상자기연마법은 Fig.1에서 보는 바와 같이 공구인 전자석 연마휠과 철분, 연마재인 액상슬러리, 직류전원공급기, 그리고 연마재 연속순환공급장치 등으로 구성되어 있다.

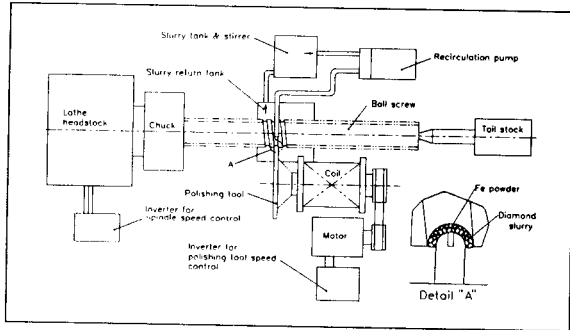


Fig.1 Schematic diagram of magnetic assisted polishing for ball screw

일반구조용 탄소강으로 만들어진 연마휠은 전자석의 철심과 체결되어 회전운동을 하게 설계되어 있다. 연마휠의 원주상에는 일정량의 철분을 분포시킨 다음, Fig.1의 A부상세도와 같이 휠과 공작물인 볼나사의 원통 홈 사이에 일정한 간격을 유지시키면서 직류전류를 통전시킨다. 전류가 흐르면 철분은 자화되면서 휠 원주의 끝단에서부터 공작물 홈 표면까지 브러시 상으로 정렬하게 된다. 이 때에 볼나사도 강자성체이므로 철분을 흡인하게 되며, 이것이 연마 가공의 가공압으로 작용하게 된다. 이런 상태에서 휠에 회전운동을 주면서 슬러리를 철분 입자 사이로 공급하면 이것이 유연성을 가진 연마숫돌 역할을 하게 된다. 슬러리의 침전을 막기 위하여 연마재순환탱크 내에 교반기를 설치하여 연마 중에 계속 섞어면서 순환펌프로 슬러리를 연마위치로 공급하도록 하였다. 한번 사용된 슬러리는 회수탱크를 통해서 다시 회수되어, 재공급되는 연속순환공급장치로 구성되어 있다.

이와 같이 제작된 자기연마공구장치는 일반

선반의 왕복대 위의 공구대를 떼어낸 그 자리에 설치하고, 공작물은 주축과 심압대로 고정시킨 후, 연마휠과 볼나사를 나사가공과 같은 방법으로 동기시켜 나사의 홈을 따라가면서 연마 가공이 이루어지도록 하였다.

연마휠과 선반주축대에는 각각의 회전수 조절용 인버터를 설치하여, 실험에서 요구되는 임의의 회전수로 변화시킬 수 있도록 하였다. 연마휠의 직경은 110mm이고, 자속밀도를 세게 하기 위해서 휠 원주상에 반경방향과 원주방향에 각각 홈을 가공하였다. 전자석의 코일 감은 횟수는 5,000회선이고, 자속밀도는 1.2T로 설정하여 연마가공하였다.

실험에 사용된 철분은 가와사키제철(주) 제인 KIP300AS로 입경 105~150 $\mu$ m사이의 것이고, 슬러리는 볼나사와 같은 고경도재료의 경우, 일반 연마재로는 연마효율이 매우 낮기 때문에 시판 중인 다이아몬드 슬러리(상품명:Aqua Diamond, 입경 9 $\mu$ m, (주)마루토, 일본)를 구입하여 사용하였다.

### 3 자기연마실험

자기연마가공에서 영향을 미치는 주요인자는 연마공구회전수, 연마재의 종류, 연마이송속도, 자속밀도, 연마전의 표면성상 등을 들 수 있다. 연마재 선정은 그동안 SiC, B<sub>4</sub>C, NbC 등을 가지고 실험해 보았으나, 볼나사의 표면경도가 매우 높아 연마가 잘 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구에서는 고경도재료의 연마 등에 널리 쓰이는 다이아몬드슬러리를 사용하였다. 연마전의 연삭면 표면조도는 0.3~0.42 $\mu$ mRa(2.978~3.8 $\mu$ mRmax)로 측정되었다.

첫 번째 실험으로 가장 양호한 표면조도를 얻을 수 있는 최적연마공구회전수를 결정하기 위해서 회전수를 230, 330, 430, 530, 630, 730rpm의 6종류로 변화시키면서 연마하였다. 이 때의 연마이송속도는 15mm/min로 일정하게 하였다.

두 번째 실험에서는 첫 실험에서 얻어진 최적연마공구회전수에서 연마이송속도의 변화에 따른 표면조도 변화를 검토하기 위해서 이송속도를 15, 20, 25, 30, 35, 40mm/min의 6종류로 5mm/min씩 속도를 증가시키면서 연마가공을 실시하였다.

세 번째는 연마효율 향상을 위한 방안으로 두 번째 실험의 각 이송속도 조건하에서 연마

반복회수를 1회에서 3회까지 각각 실시하였다. 연마반복횟수에 대한 예비실험에서 나타난 결과를 보면 3회까지에서 거의 연마가 완료되며, 그 이상의 횟수에서는 아주 미미한 연마현상을 나타내어 3회까지만 연마실험을 실시하였다.

실험방법은 1회 연마가공시에는 연마휠 날이 하나인 휠을 사용하고, 2회 연마가공시에는 볼나사의 피치와 같은 피치를 가진 연마휠 날이 2개인 연마휠을, 3회 연마가공시에는 3개의 날이 부착된 연마휠을 각각 제작하여 사용하였다. 날이 하나인 휠을 가지고 2, 3회 연마하려면 2, 3회 반복해야 되지만, 두날과 세날을 가진 휠을 각각 장착하여 한번씩만 통과하면 2, 3회 연마하는 결과를 가져와 생산성 향상을 가져올 수 있겠끔 하였다.

Photo.1은 자기연마실험 장면의 사진을 보여주고 있다. 연마 전후의 표면조도 측정은 원형흡의 표면조도 측정이 가능한 Form Talysurf (Rank Taylor Hobson사, 영국)에서 측정하였다.

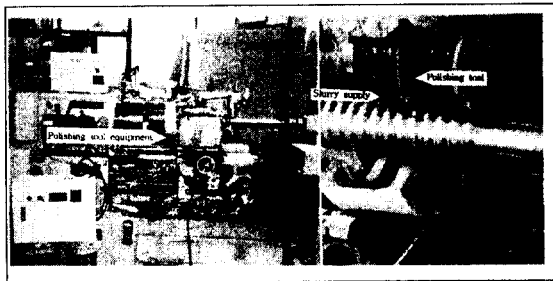


Photo.1 External appearance of magnetic assisted polishing for ball screw

#### 4 실험결과 및 고찰

Fig.2에 연마이송속도를 15mm/min로 일정하게 하고 연마휠 회전수를 변화시키면서 연마했을 때의 표면조도의 변화를 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 회전수가 너무 느리거나 너무 빨라도 연마효율이 떨어지는 경향을 보여주고 있다. 회전수가 느린 경우인 230과 330 rpm(휠의 원주속도는 80~114m/min)의 범위에서는 연삭의 경우에서와 마찬가지로 휠의 원주속도가 너무 느려도 연마가 잘 이루어지지 않는다. 특히 자기연마의 경우는 자력에 의해서 지지되는 철분과 슬러리가 연마숫들의 역할을 하므로 원주속도가 느린 범위에서는 자력에 의

해 형성된 브러쉬상의 연마숫들이 휘어지거나 미끄럼현상으로 정상적인 연마작용이 일어나지 않는 것으로 생각된다.

회전수가 높은 경우인 630과 730rpm(휠의 원주속도 218~252m/min)에 있어서는 휠의 회전에 의한 원심력이 철분 입자간에 작용하는 자력의 세기보다 커서 철분의 탈락현상이 조금씩 발생됨은 물론 고속회전으로 인하여 연마재 슬러리가 철분입자 사이로 골고루 침투되지 못하고 공구의 외부에서만 부분적인 연마작용을 일으켜 연마효율이 낮은 것으로 분석된다.

본 실험에서의 최적 연마휠회전수는 430rpm(원주속도 150m/min)내외로 나타나고 있다.

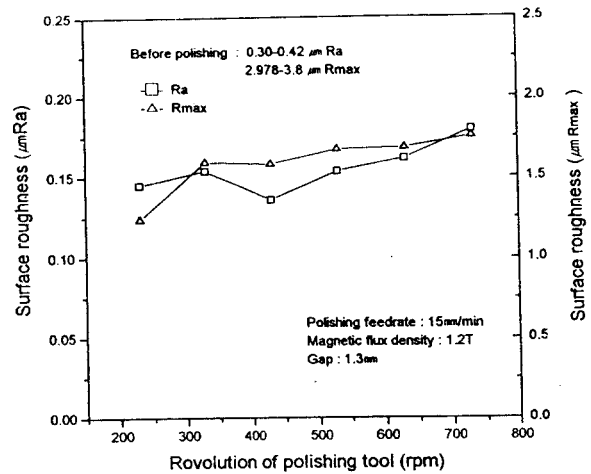


Fig.2 Effect of polishing tool revolution on surface roughness

Fig.3에는 앞 실험에서 구한 최적연마휠회전수 430rpm에서 연마이송속도를 15~40mm/min까지 5mm/min씩 증가시키면서 연마했을 때의 표면조도를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 동일연마조건에 있어서는 연마이송속도가 낮으면 낮을수록 표면은 매끄럽게 연마된다. 그러나 생산성을 고려하여 제품에 요구되는 표면정밀도에 빨리 도달할 수 있는 최적연마이송속도가 있기 마련이므로 그 경향을 살펴보았다.

Fig.4에는 대표적으로 연마전의 표면조도 프로파일과 두 번째 실험인 휠 회전수를 430rpm으로 일정하게 하고 연마이송속도를 변화시키면서 연마했을 때의 표면조도 프로파일을 나타내었고, Photo.2에는 스테레오스코프(Nikon, SMZ-U, 일본)에서 찍은 이것들의 각각의 표면 사진을 실었다.

이송속도가 15~35mm/min의 범위에서는 표면조도가 서서히 거칠어지다가 40mm/min에서는 앞서와 비교해서 다소 급격하게 나빠지고 있다. Fig.4와 Photo.2에서 보는 바와 같이 연마전의 표면상태 프로파일은 중심선을 기준으로 상하 거의 같은 크기의 산과 골로 형성되어

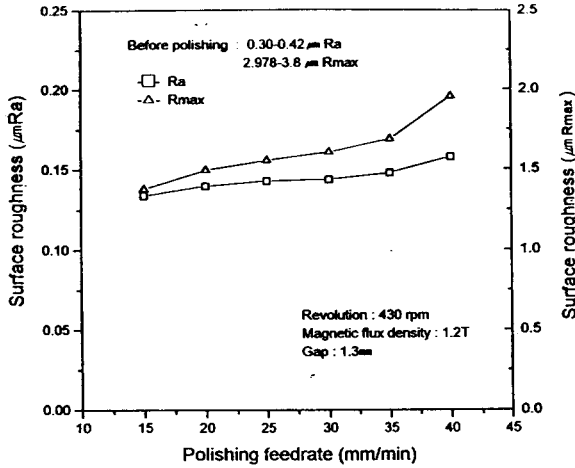


Fig.3 Effect of polishing feedrate on surface roughness

태를 관찰해 보면 Fig.4의 표면 프로파일에서 알 수 있듯이 중심선 상부의 예리하게 돌출되어 있던 산부분이 상당히 무디어져 있음을 알 수 있으며, Photo.2의 표면사진에서도 선명한 산과 골의 결이 연마전에 비해서 희미하게 나타남을 볼 수 있다. 이러한 현상은 저속의 연마이송속도 영역에서 뚜렷하게 나타나며, 이송속도가 빨라지면서 희미하게 나타나고 있다. 이는 이송속도가 느리면 느릴수록 연마효과가 크다는 것을 의미한다.

생산성 향상을 위해서 연마이송속도를 빨리 하는 반면에, 두 번째 실험 경우와 똑같은 연마 조건에서 연마횟수를 2회, 3회 반복 연마했을 때의 표면조도 변화를 Fig.5에 나타내었다.

연마이송속도의 변화에 관계없이 모든 경우

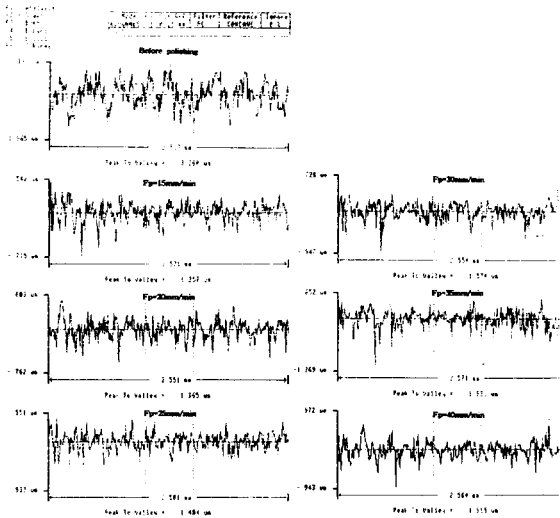


Fig.4 Surface roughness profile before & after polishing

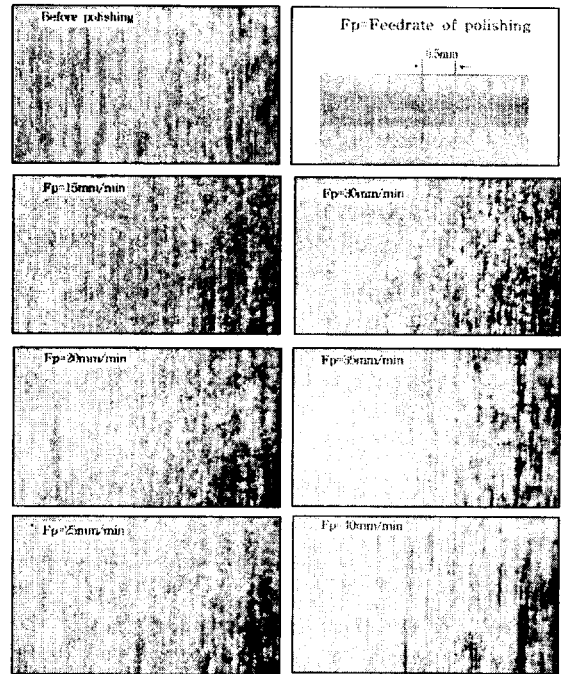


Photo.2 Picture representation of the surfaces before & after polished

있고, 표면사진도 연삭시 연삭입자에 의해 형성된 산과 골을 나타내는 결이 선명하게 나타나고 있다. 그러나 이것들의 연마한 후의 표면상

비슷한 경향을 보여주고 있으며, 연마횟수를 2, 3회 거듭할수록 표면조도가 좋아짐을 알 수 있

다. 따라서 본 실험의 최고속도인 40mm/min의 이송속도에서도 3회정도 반복 연마하면 자기연마효율을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

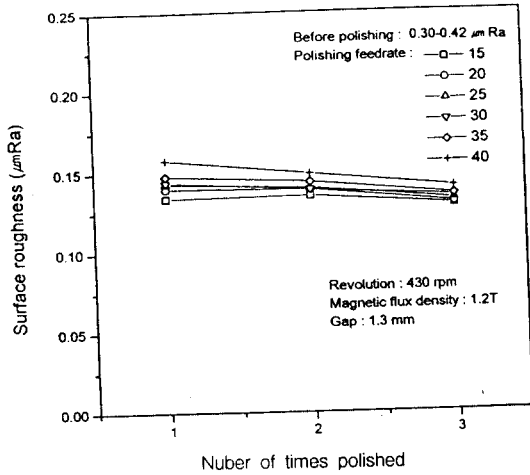


Fig.5 Effect of number of times polished on surface roughness

### 5 결론

본 실험 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 불나사와 같은 고경도 재료의 자기연마 가공에 사용되는 연마재는 다이아몬드와 같은 초연마재를 사용했을 때 연마효율을 기대할 수 있다.
- 2) 가장 양호한 표면조도를 얻을 수 있는 연마휠의 원주속도는 150m/min로 나타나고 있으며, 자기연마 이송속도는 같은 연마조건하에서는 이송속도가 낮을수록 표면조도는 좋게 나타났다.
- 3) 연마 반복횟수에 따른 표면조도의 향상은 1회에서 거의 이루어지며, 생산성을 고려할 때 이송속도를 40m /min로 하고, 3회 반복하면 0.14μmRa까지의 표면조도를 얻을 수 있다.

앞으로 더 연구가 필요한 부분은 철분이 탈락되지 않는 범위에서 다소 많은 량의 슬러리를 어느 정도의 압력과 샤워형식으로 연속공급하면 자기연마효율이 한층 더 상승할 것으로 생각된다.

끝으로 본 연구를 위해서 불나사 시편제공과 실험에 협조해 주신 대성정밀공업(주)에 감사드

립니다.

### 참고문헌

- 1) 山口利明, “ボールねじの高速化”, Motion Engineering Japan '94シンポジウム講演論文集, D3-3-1, 1994
- 2) 松永光夫, 波田野榮十, 進村武男, “鋼球混合磁性研磨材を利用いた R状ねじ溝面の磁気研磨”, '93精密工學會春季學術大會論文集, pp.791~792, 1993
- 3) 이웅숙, 김재구, 제태진, 황경현, “연마재 함유 브러쉬에 의한 불나사 연마의 연구”, 금형저널, 제132호, pp.148~151, 1995
- 4) 長野哲之, 鈴木伸雄, 北嶋弘一, 鈴木清, “砥粒潛入ブラシによるヘリカルスキャン研磨の研究”, '94精密工學會春季學術大會論文集, pp.527~528, 1994
- 5) 中川威雄 外4人, “磁氣利用した金型曲面の表面仕上”, JSPE, Vol.57, No.12, PP.2209~2212, 1991
- 6) 李龍哲, 安齊正博, 中川威雄, “磁氣研磨法을 이용한 금형면의 다듬질가공 자동화에 관한 연구”, 韓國精密工學會'95年度春季學術大會論文集, PP.97~101, 1995
- 7) 中川威雄 外2人, “磁氣研磨用砥粒の新製造技術とその研磨特性”, 生産研究, 第43卷11號, PP. 13~22, 1991
- 8) 安齊正博 外 3人, “スラリー-狀研磨材を用いた磁氣研磨の試み”, 砥粒加工學會誌, Vol.37, No.1, PP.51~55, 1993