

고속이송용 Ball Screw의 소음 저감에 관한 연구

A Study of Noise Decrease on The High-speed Ball Screw

*#박동근¹, 이춘만², 김현구³

*#D. K. Park¹(pdg_0105@hanmail.net), C. M. Lee², H. K. Kim³

¹ 창원대학교 클러스터사업단, ² 창원대학교 메카트로닉스공학부, ³ Tic볼스크류(주)

Key words : Tube, Endcap, Surface roughness, Nano reforming

1. 서론

최근들어 공작기계나 자동화 장비들의 이송속도가 고속화되면서 이송의 핵심인 볼스크류의 열변형, 소음 등이 큰문제로 대두되고 있다. 지금까지 볼스크류의 소음 및 발열현상은 볼이 스크류 홈을 따라 접촉되며 구름 마찰을 하며 회전이송되므로 궤도면의 조도 즉 거칠기에 따라 소음과 발열현상이 좌우되는 것으로 밝혀져 있다. 그러므로 고이송용 볼스크류의 소음, 발열 저감을 위해서는 볼의 스크류 궤도를 매우 원활하게 굴러갈수 있도록 궤도면 조도향상과 너트내의 볼의 흐름이 잘되도록 설계하는 것이 가장 중요하다고 하겠다.

그 외에도 볼스크류의 소음 원인은 많은 인자를 가지고 있으나 가장 큰 요인이 볼의 너트내에서 회전 순환하는 구조상 문제와 궤적의 표면거칠기가 중요한 요인이므로 본 연구에서는 이 두가지 문제에 국한하여 연구하였다.

2. 볼스크류의 원리

볼스크류는 회전운동을 직선운동으로 변환시키는 기계요소로 용도에 따라 위치결정용 이송용 및 액츄에타용 등으로 구분되며 볼스크류의 구조는 너트부, 스크류샤프트부, 볼 및 순환부로 구성되어 있으며 그 전체구조는 Fig. 1에 나타내었고 볼이 스크류의 궤도면을 따라 구름마찰 운동을 하므로 미끄럼 운동을 하는 구조에 비해 마찰계수가 현저히 작아 큰동력이 필요치 않으며 기계적 효율이 향상되므로 그 활용도가 매우 높은게 특징이다.

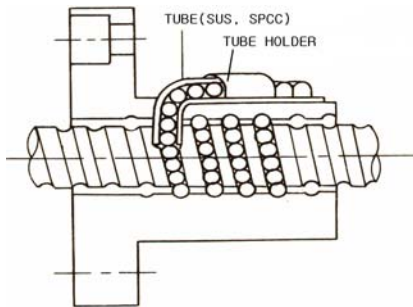


Fig. 1 Principle of ball screw

3. 볼스크류의 소음의 원인

볼스크류는 구조상 구름마찰운동을 하기 때문에 근본적으로 기본 소음을 내포하고 있다. 따라서 소음은 구름마찰운동을 얼마나 원활하게 수행되는가에 따라 소음의 크기가 결정되는데 가장 큰 요인으로 궤도면의 거칠기와 볼의 너트내의 순환 궤적의 최적화가 가장 중요하다.

1) 궤도면의 거칠기 측정은 현재 국내 T사의 C2급의 $\Phi 35$ 볼스크류의 표면조도를 측정하는 장면과 그 결과에 대한 그림을 Fig. 2에 나타냈다. 궤도면의 측정은 일반적인 가공면 조도의 측정과는 달리 구름궤적을 따라 거칠기를 측정할 수 있는 특수장비에 의해 정확하게 측정되어진다. Fig.3 는 특수장비에 의해 계측된 표면조도의 측정 결과를 나타낸 것이다.

2) 불순환 구조에 따른 소음

국내에서 가장 많이 사용되고 있는 볼스크류는 Tube Type형태의 불순환구조로 2,000rpm 이하에서는 소음과 큰관계가 없지



Fig. 2 Measured of traces ball screw

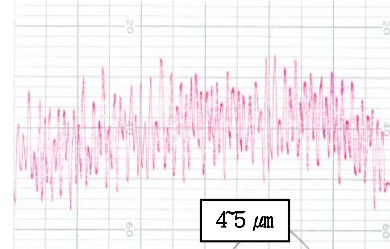


Fig. 3 Result before improve

만 그 이상에서는 Fig. 4 에 나타난 것과 같은 구조로는 불순환이 Tube을 타고 흐르는 경우 볼이 Tube을 타고 넘어가는 순간 일정한 각도로 꺾이며 순환하기 때문에 꺾이는 순간 튕기는 힘이 발생하여 Tube에 볼이 부딪히는 충격 때문에 소음이 증폭되는 경향이 있다.

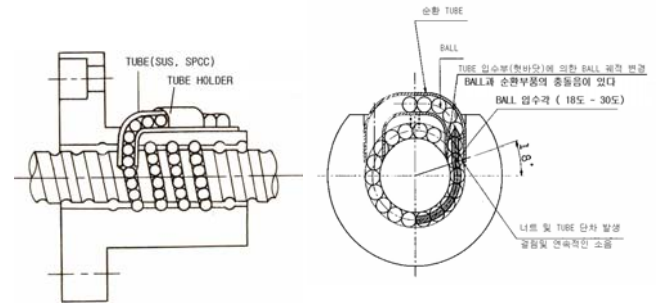


Fig. 4 Mechanism of tube TYP ball screw

이와 관련하여 소음 및 진동의 측정은 Fig. 5와 같이 소음 및 진동분석 장치를 통해 측정된 결과 3,000rpm의 경우 최고소음이 fig. 6과 같이 약 78dB로 나타났다. 이 경우 주파수의 공진현상 때문에 장비 전체가 울리는 울리는 경향이 있었다.

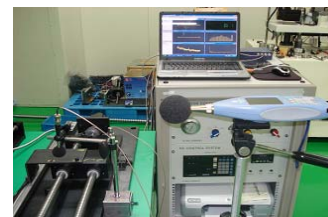


Fig. 5 Measurement on noise and vibration

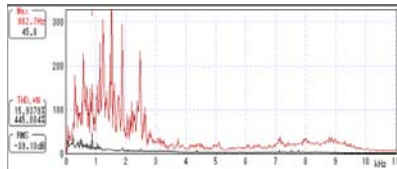


Fig. 6 Result of measurement

4. 개선방안 제시

표면거칠기 향상을 위해 볼스크류 최종공정인 나사연삭공정에서 주축 및 스핀들의 최적 회전수를 찾아내고 연삭숫돌의 형태를 정밀드레싱하여 주축 궤도면의 정밀도를 올리려 노력하였다. 또한 Fig. 7와 같이 특수 나노개질처리장치를 이용하여 초당 200회 정도의 미세초음파 가격을 하여 표면거칠기를 다듬고 엠보싱효과를 내 윤활성을 높인 결과 Fig. 8에서 나타난 것 처럼 개선전 4~5 μ m이었던 표면거칠기가 1.5~2 μ m로 나타났다.

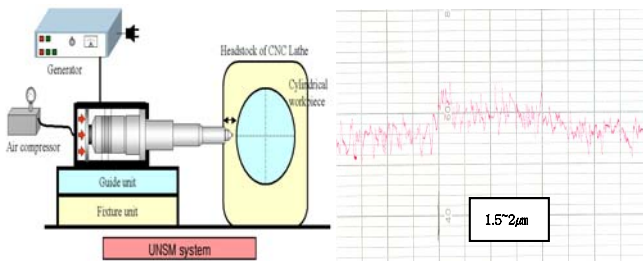


Fig. 7 Device of nano reforming Fig. 8 Result of after improve

더욱이 궤도면의 거칠기 향상을 위해 나사연삭 공정에서 연삭숫돌과 Screw의 상대운동의 최적화가 매우 중요한데 현장실험을 통해 Table 1과 같은 최적화 조건을 찾아냈다.

Table 1 Optimal condition of grinding for surface roughness

	Beore improvement	After improvement
Shaft Taper	4 μ m	2 μ m
Shaft grinding rpm	1,650	1,800
Shaft rpm	20	30
Shaft dressing rpm	1,200	1,000
Nut grinding rpm	12,000	14,400
Nut dressing rpm	13,500	14,000

또한 Ball의 순환구조는 Fig. 4과 같이 Tube 순환구조에서 Endcap구조로 바꾸고 수지계통재질을 사용하여 순환회로가 Tube없이 Endcap을 통해 너트 몸체를 통해 다시 순환하는 구조로 하여 일본의 NSK, THK 등에서 사용되는 Tube Type에서 벗어나 독자적인 형태를 유지하므로 궤도면의 최적 순환 통로를 확보하고 강성을 유지하므로 고속이송 볼스크류용으로 소음을 획기적으로 줄일 수 있었다. Fig. 9은 Endcap Type 순환형태를 나타내었고 Fig. 10는 궤적면의 표면조도 향상과 Endcap Type 구조에 의한 볼순환 궤적의 최적화를 달성하면서 개선전과의 소음에 대한 결과를 비교하여 측정된 데이터 이다.

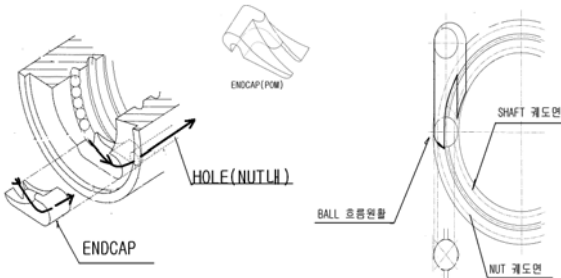


Fig. 9 Mechanism of endcap type ball screw

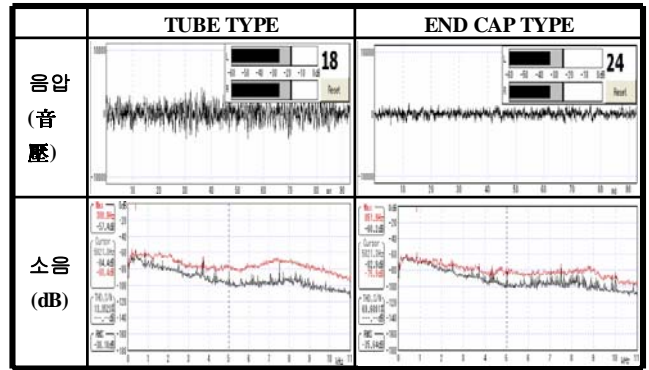


Fig. 10 Compare tube type with endcap type of ball screw noise

5. 결론

볼스크류의 소음은 스크류 궤적의 표면조도와 3,000rpm 이상의 고속 회전시 Tube Type 볼순환구조는 Ball이 구름운동을 하면서 어떤 각도로 꺾일때 속도가 늦어지면서 볼이 튜브와 충돌하고 바로 뒤볼이 앞의 볼과 충돌하면서 소음이 커지는 것을 알아냈다. 이 문제를 해결하기 위해 표면조도를 향상하기 위한 연삭숫돌들의 회전수, 형상의 최적화를 찾아냈고 볼의 순환구조를 Tube Type에서 합성수지의 Eedcap형태로 재설계하여 소음을 개선전 78dB에서 개선 후 72dB로 6dB이상 낮출 수 있었다. 본 연구를 통해 고속용 볼스크류의 소음개선을 위해 무엇보다 표면조도 피치오차등을 정확히 측정할 수 있는 측정장비가 조속히 개발되어야 한다는 것도 알았다.

후기

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업(RTI04-01-03) 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Isawa Minoru, 볼스크류와 그 응용기술, 1990 - P68, 7.1 볼스크류의 마찰, P88 7.4 볼스크류의 진동 및 소음
2. Takaya Dohi, 대리드 볼스크류의 너트나사연마에 대한 특수가공법, 1997
3. Takaya Dohi, 볼스크류 표면경화처리에 의한 변형특성 해석, 1982
4. Mizuho Ninomiya, Kazuo Miyakuchi, NSK 1998, 최근의 볼스크류 추이
5. Hiroki Yamaguchi, Tsutomu Ohkubo, NSK 1999, Retainer Type 볼스크류
6. Takumi Tandou, Hirotaka Yamaguchi, Tadatsu Satomi, 2004 - 공기식 정압이송나사에 관한 연구