

액체냉각에 의한 볼 스크류 이송장치의 포지션 에러 개선 Improvement of Positioning Error on a Ball Screw Drive System by Liquid-cooling

*김동욱¹, 허철수¹, 장기¹, #류성기²,

* D. U. Kim¹, Z. Z. Xu¹, Q. Zhang¹, #S. K. Lyu(sklyu@gsnu.ac.kr)²

¹경상대학교 대학원 기계항공공학부, ²경상대학교 기계항공공학부(항공연 K-MEM R&D Cluster)

Key words : Positioning Error, Ball Screw, Liquid Cooling

1. 서론

높은 생산성과 고 정밀 부품을 제조하기 위해 고속, 고 정밀 이송시스템이 요구되고 있으므로 볼 스크류 시스템에 새로운 기술이 시도되고 있다^[1]. 볼 스크류를 이용한 이송장치가 고속화됨에 따라 더 많은 열을 발생시키게 되어, 이에 따라 더욱 큰 포지셔닝 에러를 발생시키게 된다. 이것은 기계부품의 정밀도에 많은 영향을 미치게 된다^[2].

본 논문에서는 볼 스크류 시스템의 포지셔닝 에러와 냉각시스템의 효과를 예측하기 위해 볼 스크류 시스템의 모든 열원의 발열량 및 시스템 표면의 열 대류량을 정량적으로 계산하였고, 영향을 미치는 인자를 이용한 열 해석 모델로서 예측을 진행하였다.

그리고 순환 액체냉각방식과 강제 액체냉각방식을 이용한 포지셔닝 에러의 개선을 소개하며 예측값과 실험값을 비교하였다. 물, 경유, 냉각유, 절삭유 순환 냉각의 냉각 효과를 고찰하고, 예측값과 실제 측정값을 고찰하였다.

2. 열해석 모델

이송 시스템에서 발생하는 포지셔닝 에러의 대부분은 열변형에 의하여 발생하게 된다. 따라서 본 논문은 볼 스크류 샤프트의 열변형에 초점을 맞추어 작성하였다.

볼 스크류 시스템의 열 모델은 Fig. 1 에 나타난 바와 같으며 열의 냉각과 손실이 표시되어 있다. 볼 스크류 시스템에서의 주요한 열원은 너트, 베어링, 모터이다. 그리고 주요한 열 대류는 각 부품의 표면을 통하는 것이며 이것은 스크류, 너트, 로드, 액체탱크, 파이프이다. 방정식은 아래의 그림으로부터 유도된다.

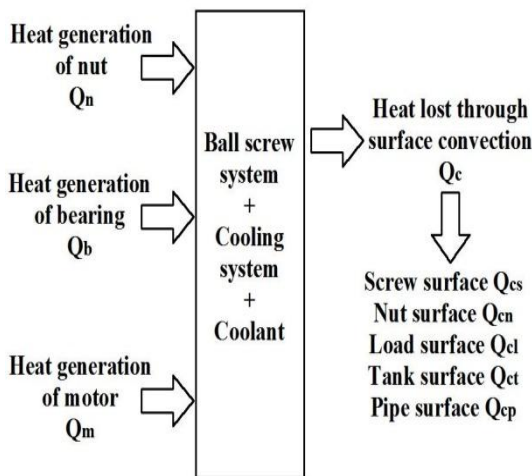


Fig. 1 Thermal model of ball screw system with cooling system

$$Q_n + Q_b + Q_m - Q_{cs} - Q_{cn} - Q_{cl} - Q_{ct} - Q_{cp} = \sum \rho c V \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

3. 정위 오차 예측

3.1 예측 이론

일반적으로 기계요소의 각각의 부품에 대한 열변형 예측은 불가능하다. 그러므로 본 논문에서는 아래에서 설명하는 볼 스크류 시스템의 열에너지 변형 조건을 실험하였다.

볼 스크류 시스템의 순환 냉각과 강제 냉각에 의한 열변형 예측은 Fig. 2 에 나타난 바와 같다. 원형 냉각에서는 냉각액이 전반 볼 스크류 시스템에 포함되어 있다. $\rho c V$ 인자가 연쇄 작용에 의해 변화하게 되고 강제 냉각 방식과는 다르다.

3.2 예측 결과

스크류 샤프트의 온도 분포 예측은 기계 공구에서 매우 중요한 부분이다. 만약 온도 변화를 예측할 수 있다면 이것에 의한 변형을 예측할 수 있기 때문이다.

Fig. 3 은 8L 냉각수를 사용한 경우의 축 방향의 변형 분포를 보여주고 있다. 여기서, 순환형 냉각방식에서 냉각유, 경유, 절삭유를 사용한 경우 열변형이 매우 유사한 경향을 보여주고 있으며 측정결과를 Fig. 3 에 나타냈다.

그러나 강제 냉각방식에서는 순환 냉각과는 약간 다른 경향을 보여주고 있는데, 프로세스가 시작함에 따라 축 방향의 변형은 서로 유사하나, 강제 냉각 방식에서는 초기 단계에서 급격한 축 방향의 열변형이 발생하였지만 점진적으로 축 방향의 열변형이 없어지는 열평형 단계에 접어들었다.

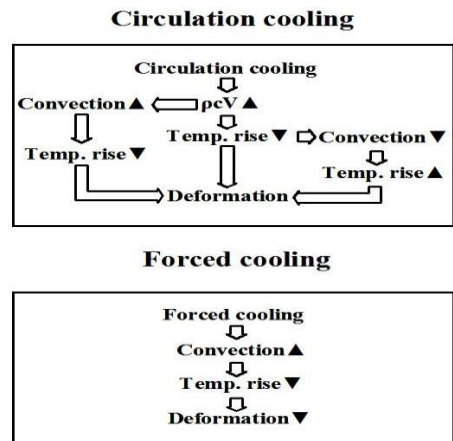


Fig. 2 Predict principal of thermal deformation of the ball screw system

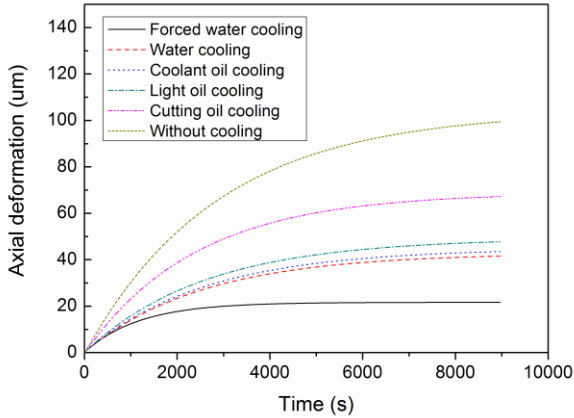


Fig. 3 Axial deformation variation of 8L coolant case

이는 발생하는 열과 방출되는 열이 서로 평형을 이루어 더 이상 열 온도 상승이 없게 되기 때문이다. 이것은 기계 장비가 장시간 사용될 때 매우 중요한 요소이다.

4. 정위 오차의 실험 고찰

수치해석 모델의 예측과 액체 냉각방식의 시스템의 평가를 위해 아래와 같은 실험들을 수행하였다.

4.1 실험 장비

실험 구성도를 Fig. 4 에 나타냈으며 본 실험에서 사용한 시스템은 볼 스크류, 구동 유닛, 데이터 수집 유닛, 제어 유닛과 냉각 시스템을 포함한다. 제어장치는 볼 스크류의 운동을 제어하며 컴퓨터는 열 센서로부터 데이터를 수집할 수 있다. 냉각액은 파이프를 통과하여 밀폐된 클러치와 스크류 센터홀을 통해 순환하여 냉각을 수행한다.

4.2 결과 및 토론

실험을 통하여 우리는 강제 냉각과 순환 냉각을 이용한 축 방향 열변형 분포를 얻을 수 있으며, 이것은 Fig. 5 에 나타나 있다. 그 결과 물, 냉각유, 경유, 절삭유 등 순환 냉각의 열 변형 경향은 무 냉각의 경우와 매우 유사하다.

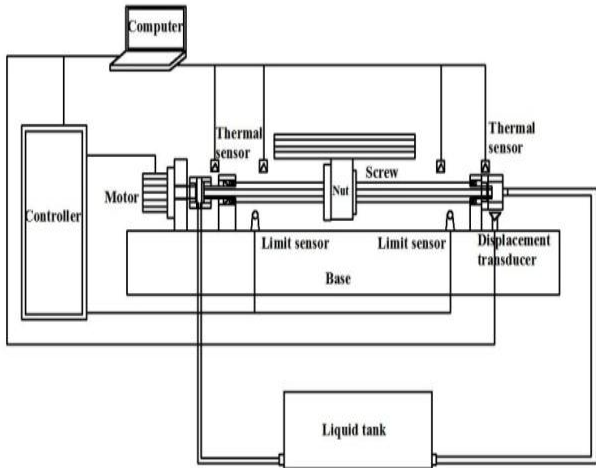


Fig. 4 Schematic diagram of the experimental set up

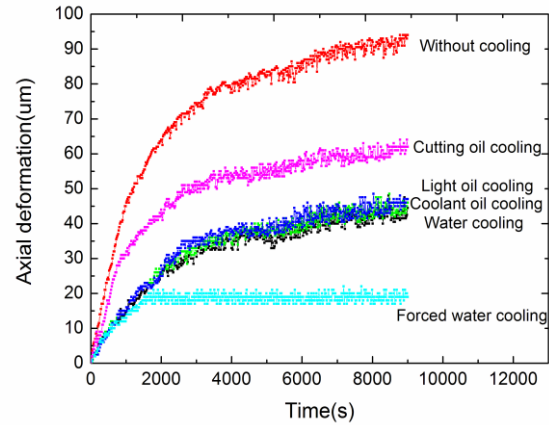


Fig. 5 Test results of liquid cooling

비록 어느 정도의 냉각 효과를 보유하고는 있지만, 강제 물 냉각의 경우와 비교할 때 엄청난 차이를 나타내고 있다. 강제 냉각 방식에서는 처음 시작 단계에서 급격한 축 방향의 열변형이 나타났지만, 점차 기계요소에서 발생하는 열이 공기와 냉각수 속으로 대류 방출되어 평형을 이룸에 따라 최종 변형량에 다가가게 된다.

5. 결론

본 논문에서는 물 순환 냉각, 경유 순환 냉각, 냉각유 순환 냉각, 절삭유 순환 냉각 그리고 무 냉각의 경우에서 서로 유사한 축 방향 열변형 경향이 나타났다. 그러나 강제 냉각에서는 순환 냉각과는 약간 상이한 결과가 발생하였는데, 프로세스의 시작단계에서 축 방향의 열변형량은 서로 유사하나 점차 열평형이 이루어짐에 따라 무 변형 단계에 접어든다. 이는 발생하는 열과 공기속과 냉각수에 흡수되는 에너지는 서로 평형을 이루게 되기 때문이다. 이것은 기계장비를 장시간 사용하는 데 있어서 매우 중요한 요소이다.

후기

본 논문은 산업자원부 지방기술혁신사업 (RTI04-01-03) 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Bryan, J., "International status of thermal error research", Ann. CIRP, Vol. 39 (2), pp. 645-656, 1990.
2. Ramesh, R., Mannan, M.A. and Po, A.N., "Thermal error measurement and modeling in machine tools. Part I. Influence of varying operation conditions", Int. J. Mach. Tools Manufact. Vol. 43, pp. 391-404.