

# 생산설비 유지보전을 위한 볼-스크류 이송계의 상태 신호 분석

## A signal analysis about positioning system with ball screw to maintain manufacturing equipment

\*이원기<sup>1</sup>, #이문구<sup>1</sup>, 이진우<sup>1</sup>, 남성호<sup>2</sup>, 김보현<sup>2</sup>

\*Won Gi Lee<sup>1</sup>, #Moon G. Lee(moongulee@ajou.co.kr)<sup>1</sup>, Jin Woo Lee<sup>1</sup>, Sung-Ho Nam<sup>2</sup>, Bo-Hyun Kim<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>아주대학교 기계공학과, <sup>2</sup>한국생산기술연구원 디지털협업센터

Key words : Ball screw, Condition based maintenance, Vibration analysis, Fast Fourier transform

### 1. 서론

오늘날 생산제조 환경은 다양한 제품 요구에 신속하고 유연하게 대응하여야 한다. 이러한 생산 제조 환경에서 생산 시스템은 개발시간 단축, 생산성 향상, 고품질 유지, 비용 절감을 이루기 위하여 점차 지능화, 자동화, 통합화 되어가고 있다. 특히, 공장 자동화로 인하여 생산설비를 하루에 24시간 동안 가동할 수 있게 되어, 제품의 생산성을 크게 향상 시킬 수 있었다. 그러나 이러한 생산 시스템의 지능화, 자동화, 통합화는 다양한 기계적 문제 발생을 증가시켰으며, 설비 고장으로 발생하는 경제적 손실을 증가시켰다. 이에 생산 설비 및 시스템을 유지 보전하는데 많은 비용이 소비되고 있으며, 효율적인 유지 보전을 위하여 많은 노력을 하고 있다. 최근 생산 설비의 유지 보전 비용을 감소시키고 공장 전체의 효율을 증가시키기 위한 노력의 일환으로 '상태 기반의 유지 보전 (Condition based maintenance, CBM)' 방법이 개발되고 있다. 이는 설비의 고장 발생 및 성능의 감퇴를 나타내는 지표들의 변화를 고려하여 설비에 대한 유지 보전 활동을 수행하는 방법이다. CBM 방식의 유지 보전 활동은 필요한 시기에 유지 보전을 수행할 수 있게 하여, 기존의 정기적인 유지 보전 방식에서 발생하던 불필요한 유지 보전 수행을 막을 수 있다. 또한, 고장이 발생하면 즉시 고장의 원인을 찾아 낼 수 있어 전체적인 생산 시간(Lead time)을 줄일 수 있으며, 연속적인 설비의 상태 모니터링을 통하여 생산라인에서 필요한 고가 부품들의 예비 보관율을 낮춤으로 경제적인 측면에서 이득을 얻을 수 있다. 이러한 CBM 방식의 유지 보전을 수행하기 위해서는 지표가 되는 신호를 통해 설비의 상태를 정확하게 평가할 수 있어야 한다. 때문에 설비 상태

모니터링 및 진단 기술 개발이 필요하다. 오랜 기간 동안 상태 모니터링에 대한 연구가 진행되어왔다. 특히 회전체와 회전기계에 대하여 수 많은 이론과 방법들이 연구되었다. [1] 그러나 볼-스크류 이송시스템이나 리니어 모터와 같은 왕복식 기계에 대한 연구는 별다른 성과를 얻을 수 없었다. 이는 회전식 기계와는 달리 한번 발생된 신호는 다음에 발생하는 신호와는 달라 매번 순간의 신호를 받아 처리를 하기 때문이다. 이러한 특성으로 인하여 왕복식 기계의 상태 모니터링에는 고도의 신호 측정 기술과 신호 해석 방법이 필요하다. [2]

본 논문에서는 선형 왕복식 기계의 상태 모니터링에 필요한 신호측정 및 신호 분석 방법을 연구하기 위하여, 볼-스크류 이송계 상태 신호를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 CBM 시스템을 설계하였다. 다음으로 볼-스크류 이송계의 구동상태 지표로서 진동신호를 측정 및 수집하였다. 마지막으로 수집된 신호를 Fast Fourier transform (FFT)을 이용하여 주파수 영역에서 분석하였으며, 볼-스크류 이송계의 동적특성에 대하여 평가하였다.

### 2. 실험 장치 및 방법

볼-스크류 이송계의 진동신호를 측정하고 분석하기 위하여 Fig. 1과 같은 모니터링 시스템을 설계하였다.



Fig. 1 Ball screw type positioning system and condition based monitoring system

Table 1 Specification of monitoring system

Equipment	Specifications	Value	Model(Maker)
Accelerometer	Frequency range	0.5~5000 Hz	356A16 (PCB)
	Voltage sensitivity	100 mV/g	PIEZOTRONICS)
A/D converter	Resolution	24 bits	PXI-4472 (NATIONAL INSTRUMENTS)
	Sampling Rate	102.4 kS/sec	
	Input Range	-10 ~ +10 V	
Signal Analyzer			PXI-8187 (NATIONAL INSTRUMENTS)

모니터링 시스템을 구성하는 장비 목록 및 사양은 Table 1에 나열 되어있다. 가속도계는 중력방향 (Z축 방향)의 진동을 측정하기 위하여 볼-스크류 이송계의 스테이지 중앙에 설치되었다. 먼저, 이송계가 정지 상태와 구동 상태일 때의 진동신호를 측정하였으며, 구동 상태에서 스테이지는 전후로 38.2 mm 구간을 왕복하였다. 스테이지의 속도와 가속도는 각각 13.4 mm/sec 와 500 mm/sec<sup>2</sup> 이다. 신호처리는 LabVIEW 소프트웨어를 사용하여 Fast Fourier transform (FFT)을 기반으로 수행되었다. 다음으로 스크류와 스테이지 사이의 마찰력 증가로 인한 성능 저하에 대한 영향 및 상태 변화를 알아보기 위하여 진행방향에 반대의 인위적인 하중을 추가하여 진동신호를 측정하였다.

### 3. 결과

먼저, 정지 상태일 때 진동신호는 Fig. 2에서 보이는 것과 같이 120, 240, 360, 9,000, 18,000 Hz의 주파수 성분으로 구성되며, 구동 상태일 때는 1,300 Hz의 주파수 성분이 추가되는 것을 확인할 수 있다.

다음으로 구동반대 방향의 인위적인 하중이 추가되었을 때 주파수 성분은 Fig. 3에 보이는 것과 같다. 20 Hz의 주파수 성분이 발생하며, 20 Hz 이하의 주파수 성분들이 높은 주파수 영역으로 확장되는 것을 확인할 수 있다.

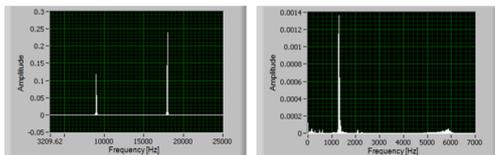


Fig. 2 Frequency domain signal analysis when the positioning system is stationary (Left) and operated (Right).

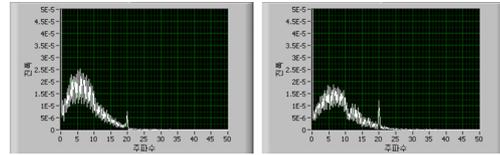


Fig. 3 Frequency domain signal analysis when the positioning system is operated with 10 N (Left) and 40 N (Right).

### 4. 결론

본 논문에서는 볼-스크류 이송계의 진동신호를 FFT를 이용하여 주파수 영역에서 분석하였다. 정지 상태의 주파수 성분들 중 120, 240, 360 Hz의 성분들은 60 Hz의 구동 전원으로 발생하는 고조파 (Harmonics)이며, 9,000 Hz와 18,000 Hz의 성분들은 펄스 폭 변조 (Pulse width modulation, PWM) 제어를 위한 900 Hz의 입력 신호로 발생된 고조파인 것을 알 수 있다. 구동 상태에서 발생하는 1,300 Hz의 성분은 과도 응답 신호이며 이를 분석하기 위해서는 볼-스크류 이송계에 대한 수학적 모델과 시간-주파수 영역을 기반으로 한 분석 방법이 추가적으로 수행되어야 한다. 이와 같은 분석은 차후에 진행될 연구에서 다룰 예정이다. 구동 반대방향의 인위적인 하중 하에서 실험을 통하여 설비의 성능 저하로 발생하는 마찰력이 20 Hz의 이상의 주파수 성분을 증가시키는 것을 확인할 수 있으며, 이러한 성분은 마찰력에 따라 서보 모터에 추가적으로 입력되는 구동 전원에 의한 것으로 설비의 성능을 평가하기 위한 지표로 사용할 수 있다.

### 후기

본 연구는 지식경제부에서 추진하는 산업원천 기술개발사업과 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. 김봉석, 이수훈, "가속중 로터-깃 시스템의 특징 신호 추출을 위한 연구와 실험", 한국공작기계학회 추계학술대회 논문집, pp. 409-414, 2005.
2. 채장범, "기계의 상태/고장 진단", 한국소음진동공학회지, 제 6권 제 4호, pp. 387-393, 1996.