

# 고속, 고중량형 로봇 구동을 위한 리니어모터 소음진동 평가

## The Noise and Vibration Validation of Linear Motor for Driving of High Speed and Heavy-load Robot

홍도관† · 주대석\* · 우병철\* · 박동준\*\* · 김태우\*\* · 제상민\*\*  
**Do-Kwan Hong†, Daesuk Joo\*, Byung-Chul Woo\*, Dong-Jun Park\*\*, Tae-Woo Kim\*\* and Sang-Min Jae\*\***

### 1. 서 론

고속, 고중량형 로봇 구동용으로 횡자속 선형전동기를 적용하였다. 횡자속 전동기의 원리는 기본적으로 릴럭턴스 전동기와 같다. 권선 전류에 의한 기자력이 있을 때 자속이 발생하여 자기저항이 최소화되는 방향으로 고정자와 이동자의 치가 일치할 때까지 힘을 발생하게 된다. 자속의 진행방향과 전동기의 이동방향은 횡방향이 된다. 횡자속 선형전동기를 적용하여 추력이 4,000N 이 되도록 설계하였으며, 제어기로 동기제어를 통해서 2 대가 구동되어 총 추력이 8,000N 이 되도록 구성하였다<sup>(1)</sup>. 최대 3m/s 로 구동 시 이동자와 고정자 프레임에 3 축가속도계를 부착하여 진동피크성분을 검출하였으며, 또한 구동 시 발생하는 최대소음을 평가하고, 소음 피크성분을 검토하였다. 횡자속 선형전동기에서 발생하는 가진력의 기본주파수와 LM 가이드를 대신한 롤러에 의한 가진 기본주파수에 하모닉 성분들을 검토하여 진동, 소음신호의 피크성분들과 비교하였다.

### 2. 소음진동 측정 및 분석방법

#### 2.1 가진주파수 분석

(1)횡자속 리니어모터에 의한 가진주파수 구동속도에 극간격을 고려하여 가진주파수를 계산하였으며 가진주파수의 하모닉 10차 성분까지 고려

하였다.

(2)롤러회전에 의한 가진주파수

롤러의 지름과 구동속도를 고려하여 가진주파수의 하모닉 성분을 25차까지 고려하였다. Fig. 1은 가이드웨이 시스템의 롤러 형상을 나타낸다.

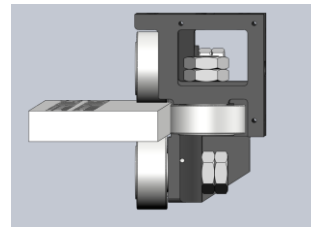


Fig. 1 The roller shape of guide way system

#### 2.2 진동측정

(1)이동자 진동측정

이동자에 3축 진동가속도계를 부착하고 정격 3m/s가되는 속도 프로파일에서 레코딩을 하였으며 FFT (Fast Fourier Transform) 분석을 통해 주파수 피크 성분들을 검출하였다.

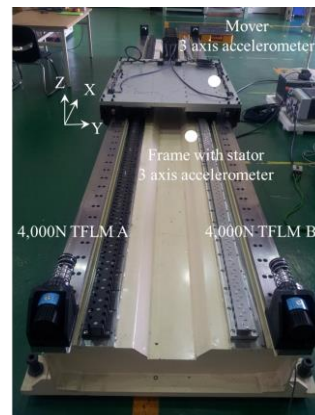


Fig. 2 Tri-axial vibration measurement of TFLM prototype

† 교신저자; 정희원, 한국전기연구원 전동력연구센터

E-mail : dkhong@keri.re.kr

Tel : (055)280-1395, Fax : (055)280-1490

\* 한국전기연구원 전동력연구센터

\*\* ㈜디엠테크놀러지

(2) 고정자 프레임의 진동측정

고정자 프레임에 3축 진동가속도계를 부착하고 정격 3m/s가되는 속도 프로파일에서 레코딩을 하였으며 FFT 분석을 통해 주파수 피크 성분들을 검출하였다. 진동가속도 신호로는 고주파 성분들이 많아서 한번 적분해서 진동속도로 평가하였다. 진동속도에서 주된 피크 성분들 체크하여 가진주파수와 비교하여 분석하였다. Fig. 2는 횡자속 선형전동기의 시작품을 나타내며, 3축 진동가속도계를 이동자와 고정자 프레임의 길이방향 중앙에 부착하였다.

2.3 소음측정

마이크로폰을 리니어모터 주행축 가운데 위치에 3m 떨어진 위치에 삼각대로 고정해두고, 3m/s가 되는 속도 프로파일에서 소음 주파수 피크 성분들을 검토하였다. 마이크로폰으로 측정된 신호로 FFT 분석과 Octave 분석을 통해서 소음의 피크성분과 가청주파수 범위의 Overall 음압레벨을 평가하였다. Fig. 3은 마이크로폰 위치를 나타내며, 길이방향으로 중앙 3m 거리에서 소음을 측정하였다.

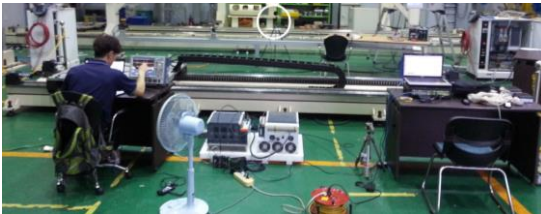
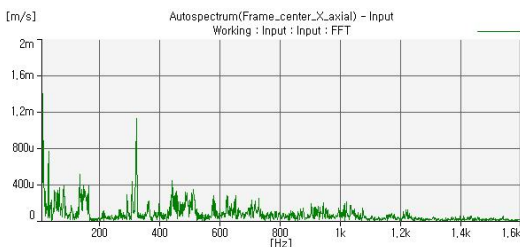


Fig. 3 Noise measurement of TFLM prototype

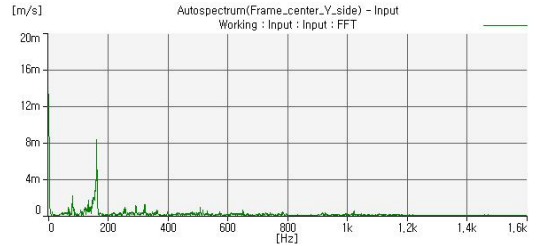
3. 소음진동 측정결과 및 고찰

3.1 횡자속 리니어모터에 의한 가진분석

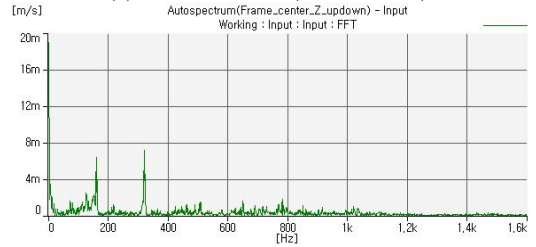
횡자속 리니어모터의 구동속도와 극간격을 고려한 가진주파수와 소음 및 3축 측정 진동속도들과 상호 비교분석을 수행하였다.



(a) X axis vibration (driving direction)

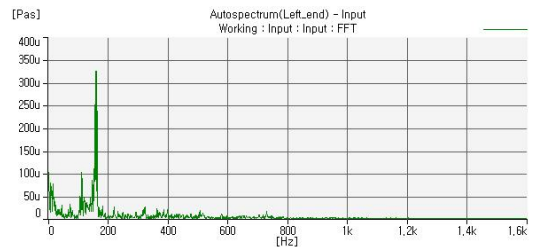


(b) Y axis vibration (side direction)

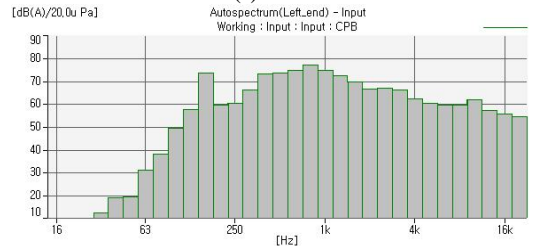


(c) Z axis vibration (up and down)

Fig. 4 FFT of tri-axial vibration velocity in operating



(a) FFT



(b) 1/3 Octave analysis

Fig. 5 FFT and octave analysis of noise in operating

Table 1 Comparison excitation frequency by TFLM with response frequency by tri-axial vibration (3 m/s)

Order	X axis	Y axis	Z axis	Noise
1 (80)	80	80	80	-
2 (160.4)	162	160	159	159, 161
3 (240.6)	-	-	-	-
4 (320.9)	322	321	320	-

Unit : Hz

Fig. 4는 3축 측정 진동속도를 나타낸다. 진동속도의 크기를 비교하더라도 주행방향인 Z축 크기와 Table 1은 소음 및 3축 측정 진동속도의 피크 성분들과 횡자속 리니어모터에 의한 가진주파수의 차수 성분과 비교하였다. 2차, 4차 성분이 주된 소음과 3축 진동으로 나타났다. 그 중에서 측면방향에 해당되는 Y축 진동은 모터에 의한 가진주파수의 2차 성분이 피크로 나타났으며, 그 이외에 진행방향의 X축과 상하방향의 Z축은 4차 성분이 피크로 나타났다.

### 3.2 롤러회전에 의한 가진분석

기존의 LM 가이드를 대신하여 롤러를 횡자속 리니어모터에 적용하였다. 롤러의 지름과 구동속도를 고려한 가진주파수를 산정하였으며 소음 및 3축 측정 진동속도들과 상호 비교분석을 수행하였다. Fig. 5는 소음신호를 FFT한 결과와 소음 옥타브 분석 결과를 나타낸다.

Table 2는 3축 측정 진동속도의 피크 성분들과 롤러에 의한 가진 성분의 차수 성분과 비교를 나타내었다. 12차, 24차 성분이 주된 소음과 3축 진동으로 나타났다. 그 중에서 측면방향에 해당되는 Y축 진동은 모터에 의한 가진주파수의 12차수 성분이 피크로 나타났으며, 그 이외에 진행방향의 X축과 상하방향의 Z축은 24차 성분이 피크로 나타났다.

**Table 2** Comparison excitation frequency by roller with response frequency by noise (3 m/s)

Order	X axis	Y axis	Z axis	Noise
6 (79.56)	80	80	80	-
8 (106.08)	-	-	-	106
10 (132.6)	133	132	132	-
12 (159.12)	162	<b>160</b>	159	<b>156, 161</b>
22 (291.72)	-	291	-	-
24 (318.24)	<b>322</b>	321	<b>320</b>	-

Unit : Hz

횡자속 리니어모터의 3m/s 구동 시 발생하는 가진주파수 범위의 Overall 음압레벨을 평가한 결과 약 83.5dB(A)이 발생하였다. 지배적인 소음주파수는 횡자속 리니어모터의 가진주파수 2차 성분과 롤러에 의한 가진주파수 12차 성분으로 160Hz 근방에 있으며, 이 주파수의 소음을 줄이면 소음저감에 큰 영향을 줄 수 있을 것으로 판단된다. 모달테스팅을 수행하여 분석해본 결과 160Hz 근방의 고유진동수는 이동자의 수직방향 고유진동수와 고정자 프

레이의 수직방향 고유진동수로 나타났다. 횡자속 선형전동기에 의한 가진주파수와 롤러의 가진주파수가 이동자 프레임의 고유진동수와 일치해서 소음이 크게 발생한 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

고속, 고중량형 로봇 구동용으로 횡자속 선형전동기를 개발하였으며, 구동 시 소음진동 성능평가를 수행하였다. 가속 시 가속도를  $10\text{m/s}^2$ 로 하였으며, 질량 400kg으로 정격속도 3m/s로 구동하는 속도 프로파일로 구동 시, 소음 및 3축 진동을 측정하였다. 횡자속 리니어모터에 의한 가진주파수와 롤러에 의한 가진주파수를 계산하여 측정신호와 비교 분석하였다.

횡자속 리니어모터와 롤러에 의한 가진주파수가 기계진동에 지배적인 영향을 주는 것을 확인하였으며, 소음의 경우는 횡자속 리니어모터의 2차 가진주파수와 롤러에 의한 12차 가진주파수가 주된 소음으로 평가되었다.

향후 이동자의 부가질량을 증가시키고, 이동자의 진동성분도 측정하여 소음 및 진동 평가를 수행하고자 한다. 또한 이동자에 제진재를 부착하여 소음저감에 대해서 평가하고자 한다.

## 참고문헌

- (1) Hong, D. K., Joo, D. S., Woo, B. C. and Kang, D. H., 2012, Design of Transverse Flux Linear Motor for High Speed and High Load Driving Robot, Proceedings of the KSME Spring Autumn Conference, pp. 2359~2362.