

자기부상용 공극 센서의 필터 설계에 따른 부상 안정성 비교

Levitation stability comparison according to filter design for the gap sensor

김민*, 임재원**, 김창현**, 하창완**, 원문철*, 박도영**†

Min Kim*, Jaewon Lim**, Chang-Hyun Kim**, Chang-Wan Ha**, Mooncheol Won*,

Doh Young Park**†

Abstract Magnetic levitation system travels with a constant gap. High resolution and low noise sensor system is key factor for stable levitation control. However, power source and current controller have noise component that cause the vibration and levitation failure. In this paper, four digital filters are applied for gap sensor noise reduction. Levitation simulation results with each filter are compared to evaluate the noise reduction performance. MATLAB/Simulink software is used to analyze the levitation stability and system modeling.

Keywords : Maglev, Levitation Stability, Digital Filter, Noise Reduction

초 록 자기부상 열차와 같이 일정 공극을 기준으로 부상을 유지하는 시스템의 경우, 부상 안정성 구현을 위해서는 부상 공극을 측정하는 센서의 정확성이 필수적으로 확보되어야 한다. 하지만 시스템의 구성에 있어서 전자석 구동에 필요한 전원 및 전류 제어기에 의해 센서에 고주파 노이즈가 발생하게 되며, 이는 직접적으로 부상 제어에 악영향을 준다. 본 논문에서는 부상 정밀도 향상을 위해 네 가지 디지털 필터를 이용한 센서 신호의 노이즈 저감 효과를 확인한다. 또한, MATLAB/Simulink 해석 모델 개발 및 시뮬레이션을 통해 부상에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

주요어 : 자기부상, 부상 안정성, 디지털 필터, 노이즈 저감

1. 서 론

자기부상 무동력 이송자의 개발은 단순한 구성과 캐리어 비용 저감, 별도의 장치 미탑재 등의 이유로 AMOLED 산업 가속화에 영향을 미칠 것이다. 또한, 기존 컨베이어 시스템의 물리적 접촉으로 발생하는 화재 등의 단점을 해결할 수 있다.[1]

본 논문에서는 자기부상 이송자 시스템의 개발에 앞서 부상 정밀도 향상을 위한 공극 센서 노이즈 저감을 목표로 한다. MATLAB/Simulink를 이용한 신호처리로 센서 내의 노이즈 저감 및 부상 안정성 성능 향상을 확인한다. 이는 자기부상 열차의 부상 안정화 향상에 긍정적 영향을 줄 것으로 기대된다.

† 교신저자: 한국기계연구원 자기부상연구실(dypark@kimm.re.kr)

* 충남대학교 공과대학 메카트로닉스공학과

** 한국기계연구원 자기부상연구실

2. 본 론

2.1 자기부상 무동력 이송자 시스템

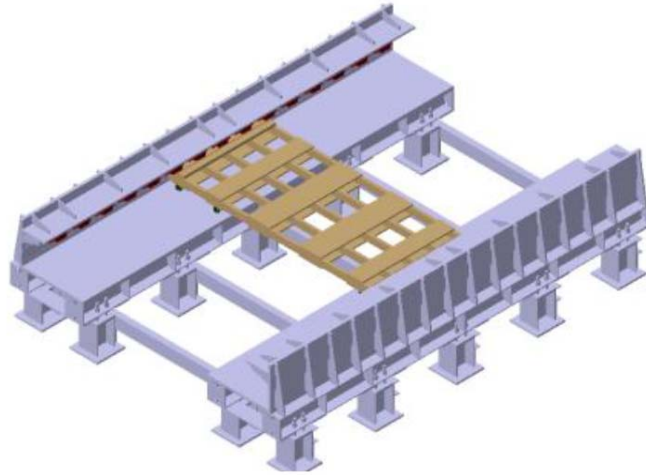


Fig. 1 The modeling of passive maglev carrier transfer system

Fig. 1은 본 논문에서 해석한 자기부상 무동력 이송자 시스템의 3D 모델이다. 좌우 각각 15개 총 30개로 구성된 부상 전자석과 이송자, 프레임, 부상전자석, 공극센서, 랜딩 롤러 등으로 구성되어있다. 부상 방식은 상전도 흡인식 방식이다.[2]

무동력 이송자 시스템에서 이송자의 일정한 공극 유지를 위한 부상 안정화는 시스템의 성능을 평가하는 가장 중요한 요소이다. 자기부상 열차와 같이 일정 공극을 기준으로 부상을 유지하는 시스템의 경우, 부상 안정성을 가속도 센서를 통해 정보를 취득한다.

이송자 시스템에는 별도의 장치가 탑재되지 않으므로 가속도 센서 설치가 불가하다. 그로 인해 공극 센서 값을 미분하여 가속도 값을 취득하며, 이때 발생하는 미분 오차는 정확한 값 취득을 방해한다. 이는 부상 안정화 및 정밀도 저감에 악영향을 미친다. 그러므로 본 논문에서는 부상 안정화 및 정밀도 향상을 위해 네 가지 필터를 이용하여 노이즈 저감 효과를 확인하는데 그 목적이 있다.

2.2 노이즈 분석 실험

부상 시 공극을 측정하는 공극 센서는 측정 분해능과 가격, 크기 등을 고려하여 최대 4mm 까지 측정 가능한 유도식 센서를 선정하였다.[2] 시스템 구성상 공극 센서에는 전원 및 전류 제어기에서 발생하는 노이즈가 포함되어 있으며, 이는 부상 안정화 감소에 직접적인 영향을 주게 된다.

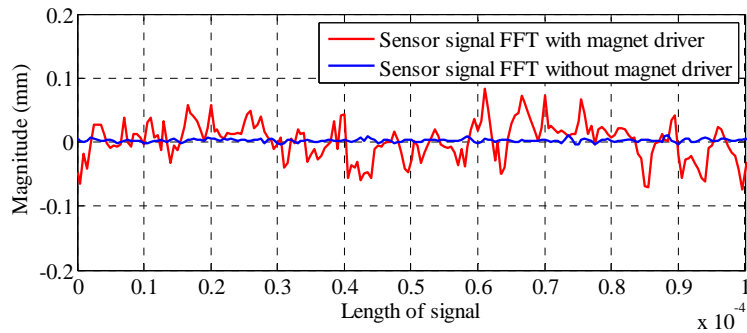
Fig. 2는 사용 공극 센서의 측정 신호이다. 실제 모델의 공극 측정 실험을 통해 얻은 결과는 MATLAB/Simulink를 이용하여 분석하였다. (a)는 전류 제어기 on/off의 결과를 비교한 것이며, (b)는 (a)의 결과를 Fourier Fast Transform을 통해 주파수 도메인으로 나타낸 결과이다. 분석 결과 전류 제어기에 의한 노이즈가 센서에 상당 부분 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 3은 Fig. 2의 FFT 결과 중 특정 대역의 노이즈를 확대한 그래프이다. 이때, 전원 노이즈

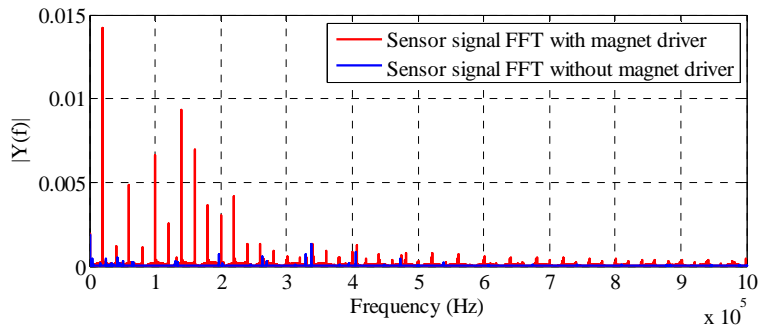
는 전류 제어기의 영향을 받지 않는 것으로 확인 되었으며, 각 노이즈 분석 결과는 Table 1에 나타내었다.

2.3 필터 특성

본 논문에서는 평균, 저역 통과, 노치 필터를 사용한다. 평균 필터는 평균값 데이터와 새로 추가된 데이터를 사용하여 평균을 구하는 방식이다. 이와 같은 방법을 사용하면 평균 필터의 단점인 딜레이를 방지할 수 있다. 저역 통과 필터는 차단 주파수보다 낮은 주파수 성분을 통과시키는 필터이다. 센서의 FFT 결과의 고주파수를 제거하기 위해서 차단 주파수는 시스템 제어 대역폭의 약 6배인 350Hz로 설정하였다. 노치 필터는 특정 주파수 대역만 차단하는 필터이다. 노이즈는 하모닉 성분을 갖고 있으므로 이를 감쇄하기 위해 콤비 필터를 함께 적용한다. 또한, 노치 필터만 사용한다면 고주파수 차단이 어려우므로 저역 통과 필터와 노치 필터를 동시에 사용하는 필터도 적용하여야 한다.



(a) Sensor signal

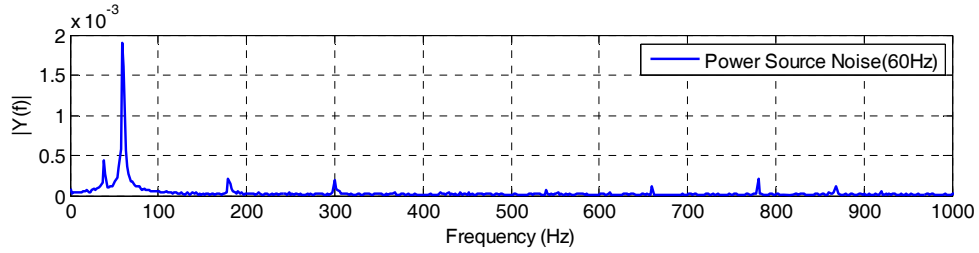


(b) FFT analysis result of sensor signal

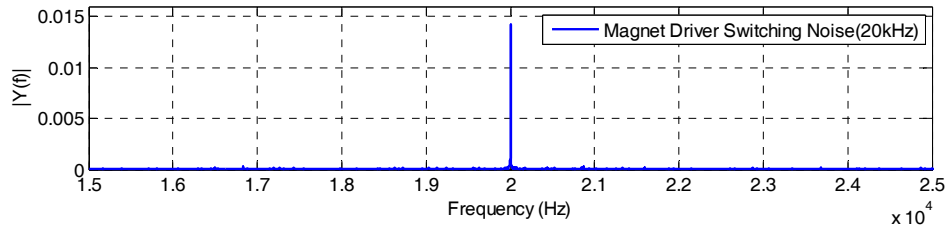
Fig. 2 Sensor signal analysis

Table 1 Sensor signal FFT noise magnitude

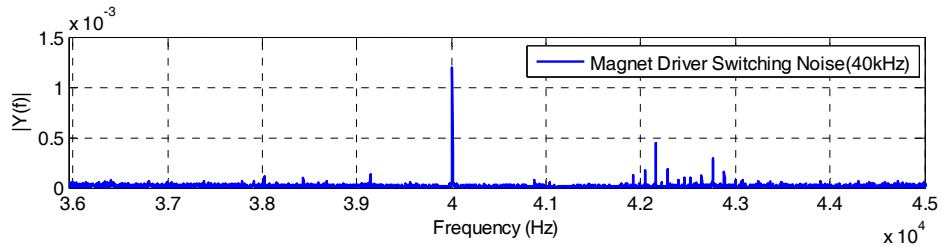
Noise	Magnitude
Power source(60Hz)	0.002
Magnet driver(20kHz)	0.0025
Magnet driver(40kHz)	0.0015



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 (a) power source noise(60Hz) (b) magnet driver noise(20kHz) (c) magnet driver noise(40kHz)

2.3 해석

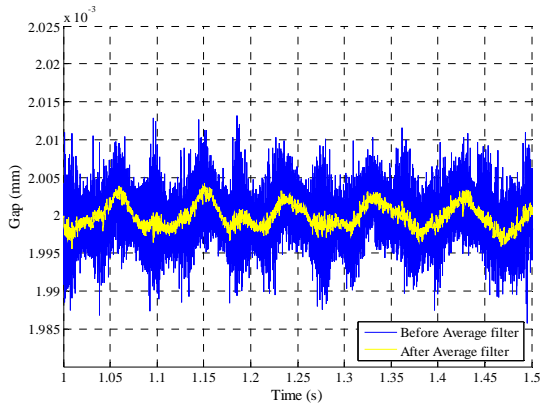
2.3.1 노이즈 저감 해석

MATLAB/Simulink를 사용하여 측정된 공극 센서 데이터의 노이즈 저감을 확인하였다. 공극은 $2mm$ 로 설정하였고 필터 거치기 전과 후의 정상상태를 비교한 결과는 Fig. 4에 나타내었다. 저역 통과 필터를 더한 노치필터와 저역 통과 필터는 노이즈가 약 30%감소했다. 평균 필터는 저역 통과 필터에 비해서 신호 내의 리플을 저감하지 못하는 것을 확인할 수 있다. 노치 필터는 전원 노이즈 성분을 제거하기 위한 필터이므로, 전류 제어기에서 발생하는 고주파 노이즈 제거 결과는 미미하다. 또한, 노치 필터와 저역 통과 필터를 함께 적용한 경우 기준 공극 대비 약간의 오프셋이 적용됨을 볼 수 있다.

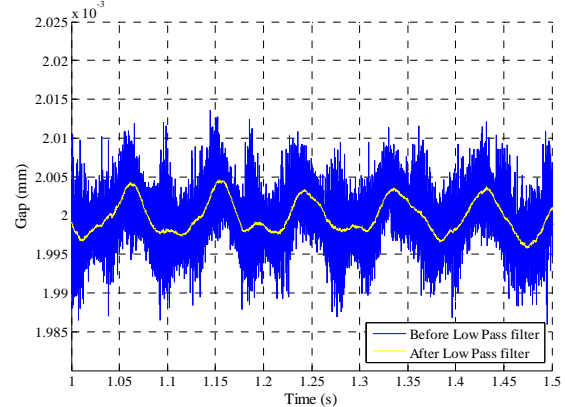
2.3.2 부상 안정성 해석

MATLAB/Simulink의 부상 시뮬레이션을 통해 부상 안정성을 확인했다. 시뮬레이션 결과는 Table 2, Fig. 5와 같다. Fig. 5 (a)는 과도 응답 상태이며 (b)는 정상 상태이다. 공극은 $2mm$ 로 설정하여 부상됨을 확인할 수 있었다. 과도 응답 상태에서는 평균 필터와 저역 통과 필터가 리

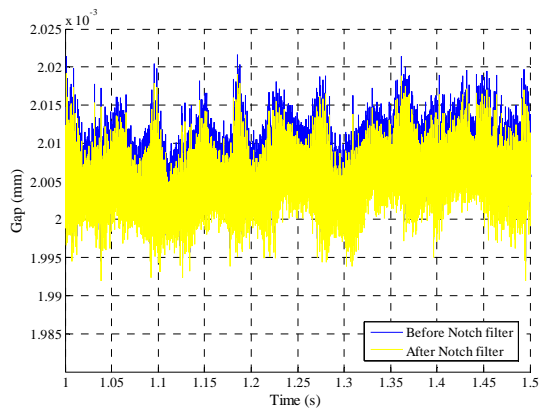
플 없이 안정적으로 부상하였다. 정상 상태의 평균 필터와 저역 통과 필터는 기준 공극으로 맞게 부상하는 것을 확인하였지만, 노치 필터의 경우 약 $50\mu\text{m}$ 의 오프셋이 존재함을 확인할 수 있다. 저역 통과 필터와 이를 더한 노치 필터는 약 $8\mu\text{m}$ 의 리플을 보였으며, 평균 필터는 약 $6\mu\text{m}$, 노치 필터는 약 $5\mu\text{m}$ 의 리플을 확인할 수 있다. 리플의 정도를 보면 노치 필터가 가장 적지만, 고주파 노이즈가 부상에 영향을 미친다. 그리고 노치 필터와 저역 통과 필터를 더한 노치 필터 때문에 부상 시 리플이 발생하였다. 이는 부상 시 진동을 의미하며 부상 안정성의 측면에서 바람직하지 않다.



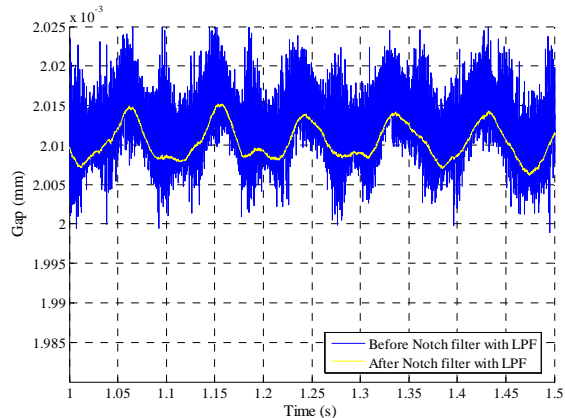
(a) Average Filter



(b) Low Pass Filter

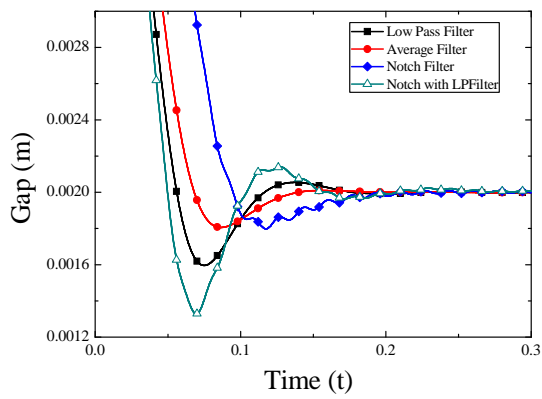


(c) Notch Filter

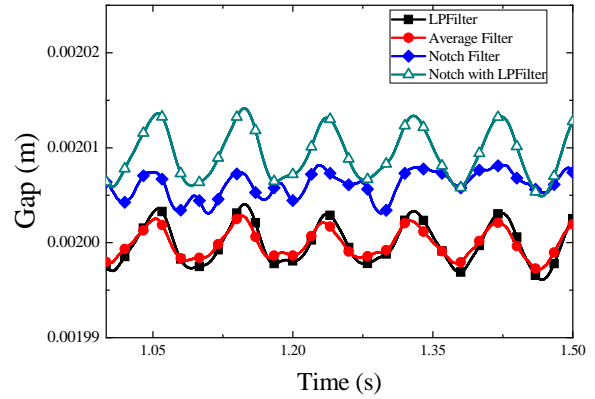


(d) Notch with LPFilter

Fig. 4 Compare the result of applying the filter



(a) Transient



(b) Steady-state

Fig. 5 Levitation Simulation Result

Table 2 Levitation ripple Simulation

Filter	Ripple(μm)
Average	6
Low Pass	8
Notch	5
Notch with Low pass	8

3. 결론

본 논문에서는 높은 부상 정밀도를 확보하기 위하여 네 가지 필터 시스템을 이용하여 자기부상 시스템의 부상 안정성 및 노이즈 저감 효과를 확인하였다. 시뮬레이션 결과 부상 정확한 리플을 모두 고려했을 때, 노치 필터가 가장 적합하다. 이는 자기부상 열차 등에 적용 가능하며 부상 안정성 향상을 위한 연구에 적용할 수 있다고 판단된다. 차후 실제 시스템에 적용하여 시뮬레이션 결과와 비교 분석 하고자 한다.

참고문헌

- [1] Kim, C. H., Lee, J. M., and Han, H. S., 2011, "Development of a Maglev LCD Glass, s Conveyor", KSME-A, Vol.47, No.4, pp. 581~587.
- [2] 이영학 (2015) 자기부상 수동형 시스템의 부상 안정화에 관한 연구, 충남대학교