

자기부상열차용 인버터 및 컨버터 소음에 관한 연구

° 김현실*, 김재승*, 강현주*, 김봉기*, 김상렬*

A Study of Maglev Train Inverter and Converter Noise

Hyun-Sil Kim, Jae-Seung Kim, Hyun-Joo Kang, Bong-Ki Kim, and Sang-Rul Kim

ABSTRACT

Noise of the VVVF inverter and DC/DC converter, which are the most dominant noise sources of maglev train at low speed, is studied. The coils inside inverter and converter are excited by electro-magnetic forces, which results in core vibration and generations of the noise. It is found that the spectra of the noise show many harmonics, where there exist several different fundamental frequencies. Some noise reducing techniques are known for the transformer noise such as changing stiffness and using different core materials, which make less electrostatic responses, and consequently less noise. In this study, it is shown that the most effective and feasible noise reducing method is to increase the switching frequencies of the inverter and converter, where peaks in higher frequency are significantly reduced.

1. 서론

자기부상열차는 레일 위를 떠서 주행하므로 휠/레일 마찰소음을 근본적으로 제거할 수 있으므로 소음레벨도 일반 철도차량에 비해 작다. 고속으로 주행시 가장 중요한 소음원은 공력소음이나 일반 철도차량과 유사한 저속으로 주행시 가장 중요한 소음원은 VVVF 인버터이며[1-3] 정차시는 DC/DC 컨버터 소음이다[4]. 자기부상열차의 전반적인 소음레벨은

낮으나 특정 주파수 성분과 하모닉 성분이 매우 강해 귀를 거슬리게 하는 등 승객에게 불쾌감을 초래하는 문제점이 있다. VVVF 인버터는 자체소음보다는 추진장치인 Linear motor가 사실상의 주 소음원이나 소음/진동과 관련된 모든 변수는 VVVF 인버터에 의해 조절되므로 본 논문에서는 편의상 VVVF 인버터와 Linear motor를 같이 묶어서 고려한다. Linear motor와 DC/DC 컨버터는 근본적으로 코일과 철심 등 탄성체로 이루어져 있는데 전기가 흐를 경우 탄성체는 발생된 전자

* 한국기계연구원 음향연구그룹

기력에 의해 진동을 하게 되며 또한 소음을 발생한다[5, 6]. 이와 같은 소음발생현상은 가정용 변압기, 형광등의 인버터, 발전용 대형 변압기, 산업체용 VVVF 인버터 등 코일과 철심을 포함하는 다양한 전기장치에서 발견된다.

변압기 등 탄성체의 소음/진동발생원인은 magnetostriction 현상[5,6]과 전자기력(electromagnetic force)으로 구분된다. Magnetostriction 현상은 탄성체가 자기장에 노출될 때 발생하는 것으로 자기장이 시간에 따라 변하면 탄성체의 길이변화가 발생하는 것을 말하며 스트레인과 자속밀도와의 관계로 표현한다. Magnetostriction 현상은 스트레인 곡선이 자속 밀도에 대해 대칭이므로 자속밀도가 60Hz로 변하면 스트레인은 120Hz로 변하므로 소음은 기본 주파수의 2배, 4배, 6배 등 2배수의 하모닉으로 나타나는 것이 특징이다.

변압기나 모터 소음/진동은 magnetostriction 현상과 전자기력 두 가지가 모두 영향을 주나 일반적으로는 magnetostriction 현상이 더 주 원인으로 알려져 있다

본 논문에서는 자기부상열차용 인버터와 컨버터의 소음특성연구와 저감에 대한 내용을 다루었다.

2. DC/DC 컨버터 소음

사진 1은 DC/DC 컨버터 소음 측정 모습이며 컨버터 및 인버터는 바닥 해치 밑에 위치하고 있으며 각각의 장비는 또한 cover로

덮혀있다.

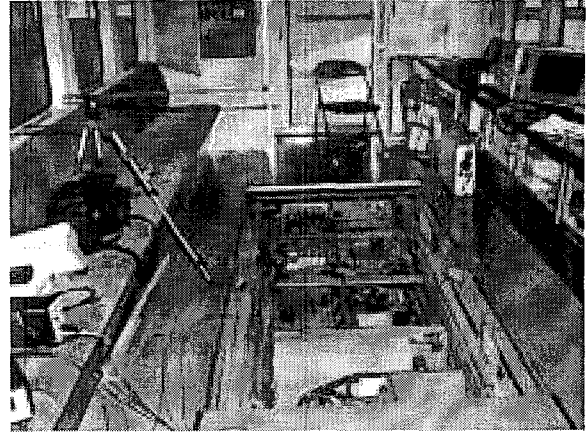


사진 1. DC/DC 컨버터

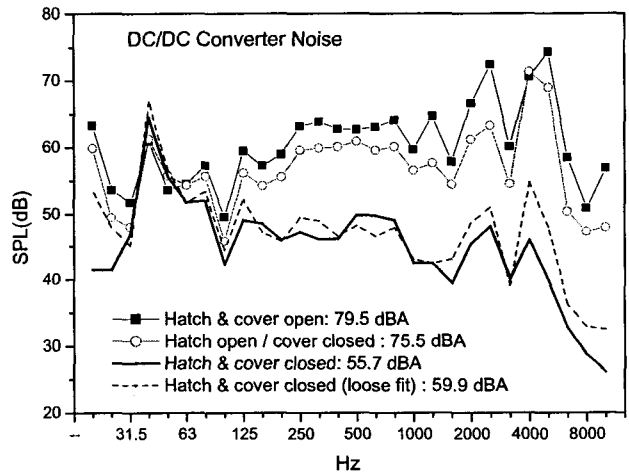


그림 1. DC/DC 컨버터 소음

DC/DC Converter는 두 개의 변압기(transformer)가 있는데 첫 번째 (TR1) 변압기는 입력전압 1200 - 1250 VAC를 220 - 250 VAC로 바꾸며 switching 주파수는 400 Hz이며 두 번째 (TR2) 변압기는 220 VAC를 110 VAC로 바꾸며 switching 주파수는 60 Hz이다.

DC/DC Converter 덮개와 hatch를 닫아가며 소음을 측정하였는데 1/3-옥타브 밴드레벨로

본 소음계측결과는 그림 1 과 같다.

뚜껑을 닫을수록 소음이 감소하는데 덮개의 STL 및 밀봉성은 미약해서 약 4dB 의 감소효과밖에 없다. 반면 hatch 는 약 24dB 의 감소효과가 있으며 전반적으로 고주파수 대역에서 효과가 있다.

DC/DC converter 의 소음의 스펙트럼은 그림 2 와 같으며 다음과 같은 두 가지 종류의 하모닉 성분이 존재한다.

- . 280(278) Hz, 559 Hz, 840 Hz, 1120 Hz,....
- . 400 Hz, 800 Hz, 1200 Hz,...

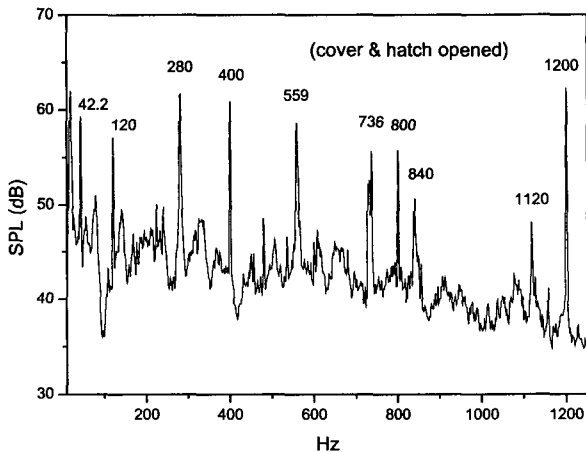


그림 2. DC/DC 컨버터소음 spectrum

280 Hz 및 400 Hz 는 TR1 의 switching 주파수 성분으로 보이는데 주파수가 고정된 일반 변압기와는 달리 DC/DC converter 는 회로가 있어서 다수의 주파수 성분이 존재한다.

대략적으로 2kHz 이상의 고주파수 피크는 바닥 hatch 를 통과할 때 감소하지만 저주파수 성분(특히 278Hz, 400Hz)이 귀를 거슬리는 피크로 보인다 근본적으로 TR1 의 switching 주

파수를 크게 높여(수 kHz 대역) 방사되는 소음의 크기를 줄이는 것이 중요하다.

그림 3 에는 TR1 의 수직방향 가속도를 보였다. 400Hz 의 하모닉성분이 강하게 나타나서 switching 주파수임을 알 수 있다.

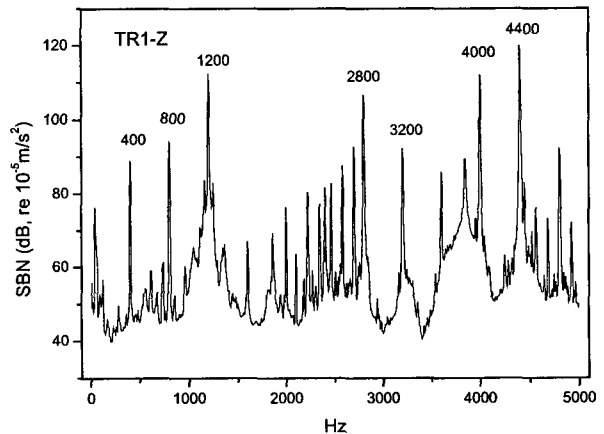


그림 3. Transformer No.1 의 가속도 (수직 방향)

3. VVVF 인버터소음

후속 자기부상열차에 탑재되는 VVVF 인버터는 소음을 줄이기 위해 여러 가지 사항이 개선되었는데 자연 냉각형으로 설계되어 냉각 fan 소음이 근본적으로 제거되었다. 가장 중요한 점으로는 변환 주파수(switching frequency)를 증가하여 LM(Linear Motor)를 통해 발생하는 방사소음을 줄이고자 하였다. 사진 2 는 VVVF 인버터를, 사진 3 은 Linear Motor 소음측정모습을, 사진 4 는 Linear Motor 표면에 가속도계를 부착한 모습을 보여준다. VVVF 인버터는 직류를 교류로 바꾸어 linear motor 에 공급하는데 인버터 자체는 대부분 회로로 구성되어 있고 냉각용 fan 도

없으므로(자연냉각식) 특별한 소음발생요인이 없다.

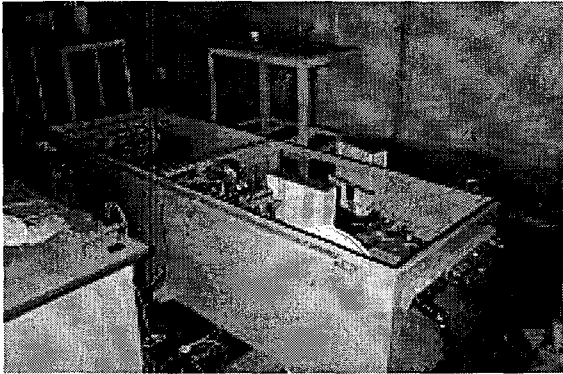


사진 2. VVVF 인버터

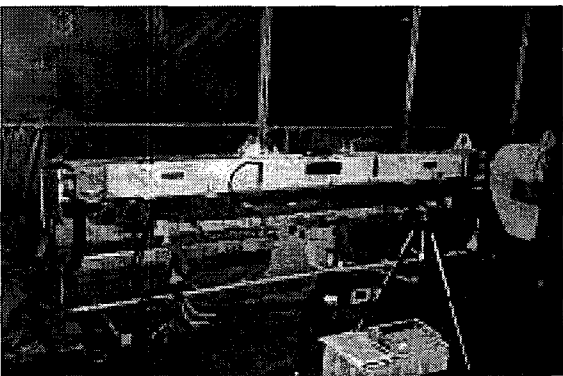


사진 3. Linear motor 소음 측정

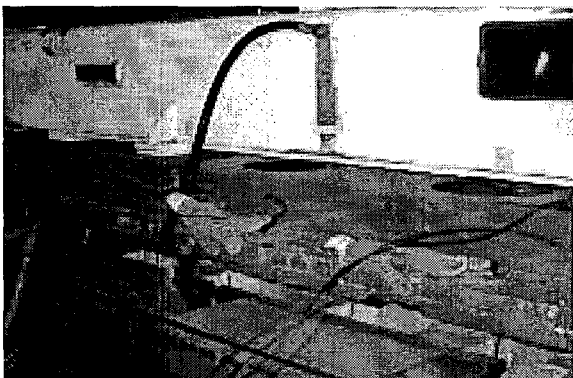


사진 4. Linear motor 표면 가속도 측정

주 소음은 Linear motor 의 철심에서 발생

하는데 측정 당시 VVVF 인버터 입력은 550V DC, 출력은 350 V AC, 125 A 이며 switching 주파수를 700Hz, 1000Hz, 1500Hz, 2000Hz, 2400Hz 로 변환시키며 linear motor 에서 1 meter 떨어진 지점에서 소음을 측정하였고, 동시에 linear motor 표면의 수직방향과 수평 방향의 가속도를 측정하였다. 그림 4 에는 주 파수변화와 소음레벨을 나타냈다. Switching 주파수 700Hz 는 일반 철도차량용 인버터 등 에 주로 사용되는데 주파수를 올림에 따라 소음레벨은 점점 감소하는데 2.4kHz 로 올리 면 소음레벨은 처음 64dBA 에서 58dBA 로 약 6dB 감소함을 알 수 있다.

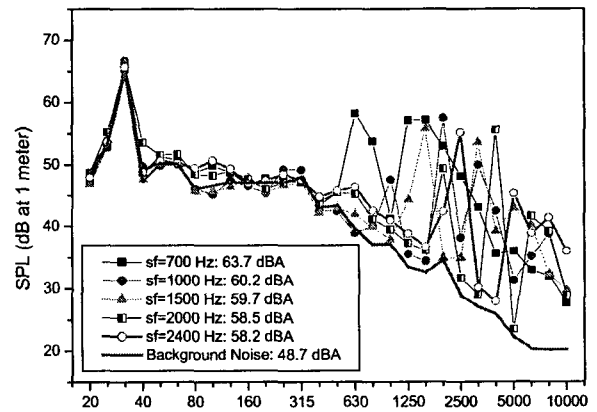


그림 4. VVVF 인버터소음

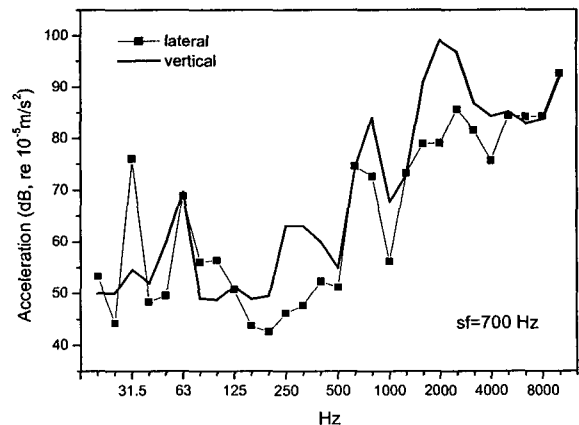


그림 5. Linear motor 가속도

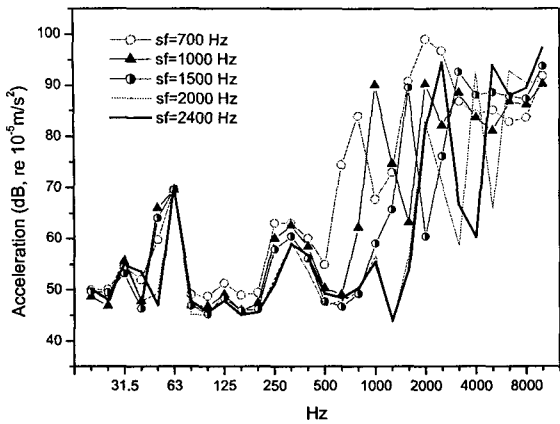


그림 6. 수직방향 가속도변화

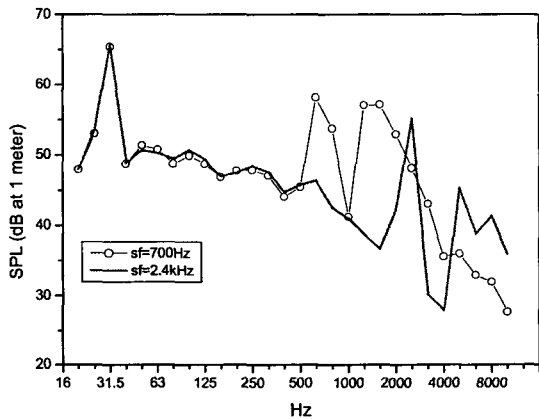


그림 7. 소음레벨비교(Sf=700Hz, 2400Hz)

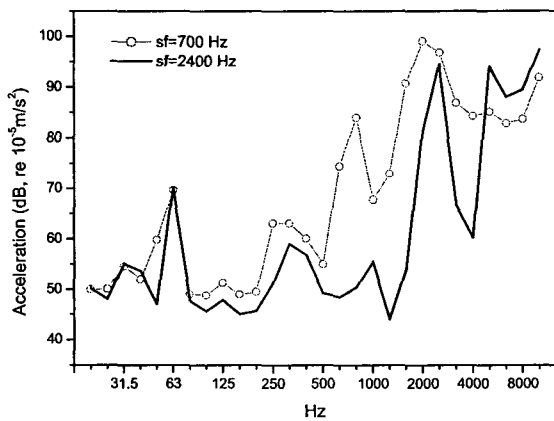


그림 8. 가속도비교(Sf=700Hz, 2400Hz)

그림 5에는 sf=700Hz에서 수직과 수평방

향의 가속도를 비교하였고 그림 6에는 수직 방향의 가속도를 주파수변화에 대해 나타냈다. 그림 7과 8에는 sf=700Hz, 2400Hz에 대해 소음과 가속도를 비교하였는데 switching 주파수증가에 따라 하모닉성분이 오른쪽으로 점차 이동하며 레벨도 낮아짐을 보여준다. 그림 9와 10에는 sf=700Hz에서 소음과 가속도의 스펙트럼을 나타냈는데 700Hz의 하모닉성분 외에 중간에 많은 하모닉이 존재함을 보여준다.

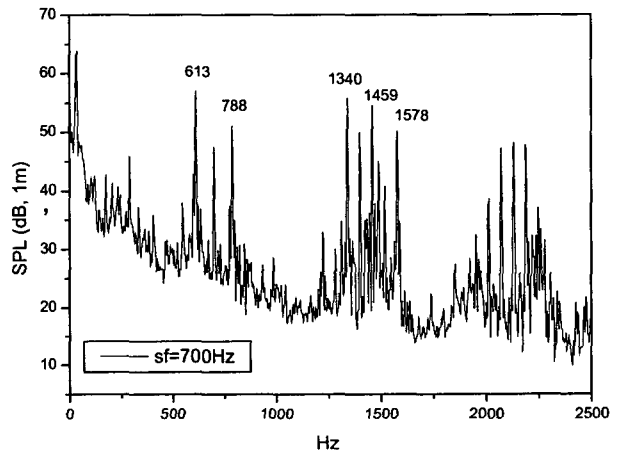


그림 9. 소음스펙트럼(sf=700Hz)

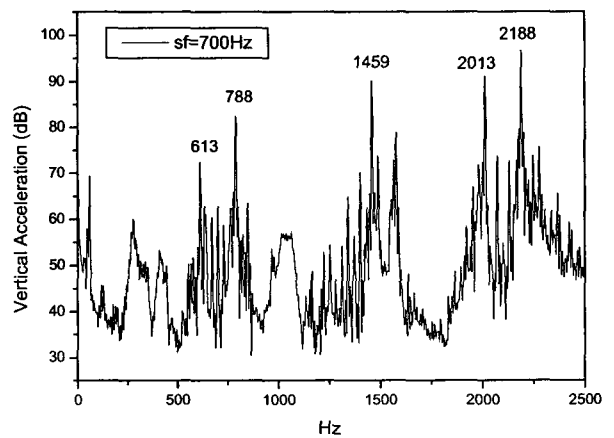


그림 10. 가속도 스펙트럼(sf=700Hz)

4. 검토 및 결론

가진주파수가 탄성체의 기본 고유진동수보다 큰 영역으로 증가한다면 일반적으로 진동 및 소음방사는 줄어들 것으로 예상된다. 본 측정에서 VVVF 인버터의 switching 주파수 증가로 인한 linear motor의 소음감소는 상기한 원인에 의한 것으로 보인다.

일반적으로 VVVF 인버터를 사용하면 소음 및 전력사용이 감소하는 이점이 있다고 알려졌다. 이는 출력전압 및 회전주파수변화에 따른 현상으로 본 연구에서 다루고자 하는 고정된 전압과 회전주파수에 대한 소음감소와는 다르다.

VVVF 인버터의 출력이 순수한 정현파라면 아무 문제가 없으나 실제로는 파형이 왜곡되기 때문에 switching 주파수와 관련된 많은 하모닉성분이 존재하며 귀를 거슬리는 소음이 발생한다. Switching 주파수의 증가는 소음 감소면에서는 유리하나 반면 출력손실 같은 단점도 있으므로 실제로는 최적상태를 찾아야 한다.

참 고 문 헌

[1] Tanaka, M., Fujino, M., and Murai, M, 1998, "The Results of Running Test of the HSST-100I Vehicle," Proceedings of the Maglev '98, Japan, pp. 62-67.

[2] Tanaka, T., and Ogata, S., 1992., "A Basic Study on a Moving Source Identification by Using the Acoustic Holography," 3rd Report,

Japan Transportation Research Center, pp. 129-132.

[3] Tanaka, T., and Ogata, S., 1994, "Improvement of External Noise in Powering of Electro-Magnetically Levitated Urban Transporting System (HSST-100)," JSME 3rd Symposium on Railroad, (No.940-57), pp. 331-334.

[4] 김현실, 자기부상열차 소음저감연구, 한국기계연구원, 2001. 1.

[5] Weiser, B., Hasenzagl, A., Booth, T., and Pftzner, H, 1996, "Mechanics of Noise Generation of Model Transformer Cores", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, Vol. 160, pp 207-209.

[6] Noise and Vibration of Elecetrical Machines, edited by P. L. Timar, Elsevier, 1989.