

1호선 전기동차의 주행특성

Running Characteristics of No. 1 Subway Line Electric Car

이승일*, 윤차중**, 최연선***, 신범식***
Lee, Seung-Il, Yun, Cha-Jung, Choi, Yeon-Sun and Shin, bum-Sik

ABSTRACT

Subway line becomes an important way of transportation as road traffic goes to limit. Recently the large number of passengers of the subway lines near metropolitan area, In-Cheon, Su-Won, Pyung-Teak and Chon-An, is rapidly increasing. The electric cars of the No. 1 subway line in the suburbs are now running fast compared to the downtown area. However, the fast electric car can be uncomfortable to ride in, because there are so much noise and vibration. In this research, the running characteristics of the electric car of the No. 1 subway line in the suburbs is investigated through the measurements of the noise and vibration at running condition.

1. 서론

도로교통이 한계점에 다다름에 따라 전기동차는 대중 교통수단으로 중요한 위치를 차지하고 있다. 특히 인천, 수원, 평택, 천안 등 수도권 거주자의 전기동차에 대한 이용 빈도는 크게 증가하고 있다. 이에 따라 지하철 1호선에서는 수원-천안 등 교외 구간을 주행할 때 가능한 한 고속으로 달리고 있다. 그러나 고속 주행에서의 전기동차 운행은 소음과 진동이 커져 승차감이 나빠질 수 있다.

전동차 관련 연구로 최연선[1]은 전동차 주행 시 전동기, 감속기 등에 의한 구동부의 진동·소음과 차륜/레일에 의해 발생하는 진동·소음을 구별하기 위하여 위터폴 다이어그램, 코히어런스, 모드해석 등을 통하여 구동부의 신호가 지지부에 전달되는 전파경로를 연구하였고, 이를 근거로 구동부의 동적모델을 개발하였다. 서승일[2]은 SMG에서 신규 제작되는 통근형 전동차의 최종 설계안에 대한 상세 소음해석을 통해 예측된 객실 내 소음에 대한 특성을 검토하고, 통근형 전동차의 소음사양(단선터널 내 직선구간을 80 km/h의 속도로 주행 시 객실 내 소음수준이 85dB(A)이하, 객실 내외 소음차가 28dB)을 만족하는지를 검토하였다. 최연선[3]은 적응신호처리법을 이용하여 대차의 진동신호로부터 감속기와 견인전동기 등에 구동부의 진동성분을 추출하여 구동부의 신호에 의한 차실내의 진동과 소음에 미치는 영향을 검토하였다. 김재철[4]은 전동차가 곡선부 주행 시 발생하는 스켈소음에 대하여 수치해석을 통하여 차륜의 모드별 주파수를 파악하여 차륜의 방사소음을 줄일 수 있는 방안에 대하여 연구하였다. 그러나 실제 주행하는 전기동차의 진동 소음을 측정하고 이를 바탕으로 진동 소음을 저감하고자하는 연구는 없는

* 책임저자, 회원, 한국철도대학, 철도차량기계과
E-mail : leeyil@korea.com
TEL : (031)460-4348 FAX : (031)462-2944
** 한국철도공사 철도연구개발센터
*** 성균관대학교 기계공학과

실정이다. 이에 본 연구에서는 실제 노선을 주행하는 1호선 전기동차의 소음·진동 데이터 신호를 측정, 분석하여 고속으로 주행 중 발생하는 소음·진동 특성을 검토하여 1호선 전기동차의 주행 특성을 파악하고자 하였다.

2. 주행시험

2.1 구간별 시험대상 및 측정항목

구간별 주행시험을 위한 대상 차량 및 편성은 Table 1과 같다. 주행시험은 승객이 탑승한 VVVF 전기동차 M'와 TC 차량을 대상으로 수행하였다. 대상 차량에 대하여 실내에서 소음 및 진동을 측정하였으며 센서 부착 위치는 Fig. 1과 같고, 센서 배치도는 Fig. 2와 같다. 시험장비는 3축 가속도계와 1축 가속도계, 소음계를 사용하였다.

Table 1. 전기동차 편성 및 조건

구 분	내 용
차종	VVVF 전기동차 M', TC 차량
구간	성환 → 가산 디지털단지(경부선)
속도	0 ~ 110 km/h



(a) 3축 가속도계



(b) 소음계



(c) 데이터 수집 장치

Fig 1. 측정 장비(구간별)

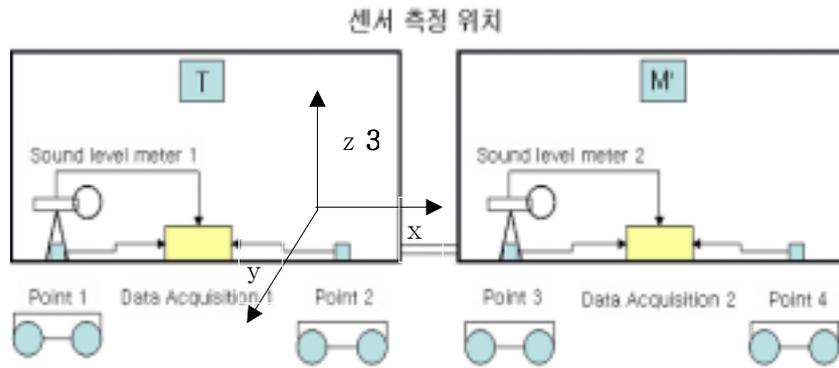


Fig 2. 센서 배치도(구간별)

2.2 편성별 시험대상 및 측정항목

편성별 주행시험을 위한 대상 차량 및 편성은 Table 2와 같다. 시험은 승객이 탑승한 구형 VVVF 전기동차 T와 신형 VVVF 전기동차 T 차량을 대상으로 수행하였고, 전기동차에서 응답의 경향을 분석하기 위해 3축 가속도계 1개, 소음계 1개를 사용하여 측정하였다. Fig. 3은 시험의 센서 부착 위치를 나타내며, Fig. 4는 센서 배치도를 나타낸다.

Table 2. 전기동차 편성 및 조건

구 분	내 용
차종	구형 VVVF의 T, 신형 VVVF_A의 T, 신형 VVVF_B의 T, 신형 VVVF_C의 T
구간	병점 ↔ 서정리(경부선)
속도	0 ~ 110 km/h



Fig. 3 측정 장비(편성별)

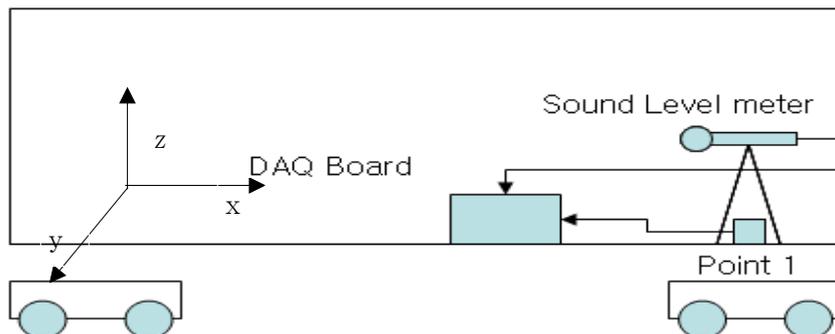
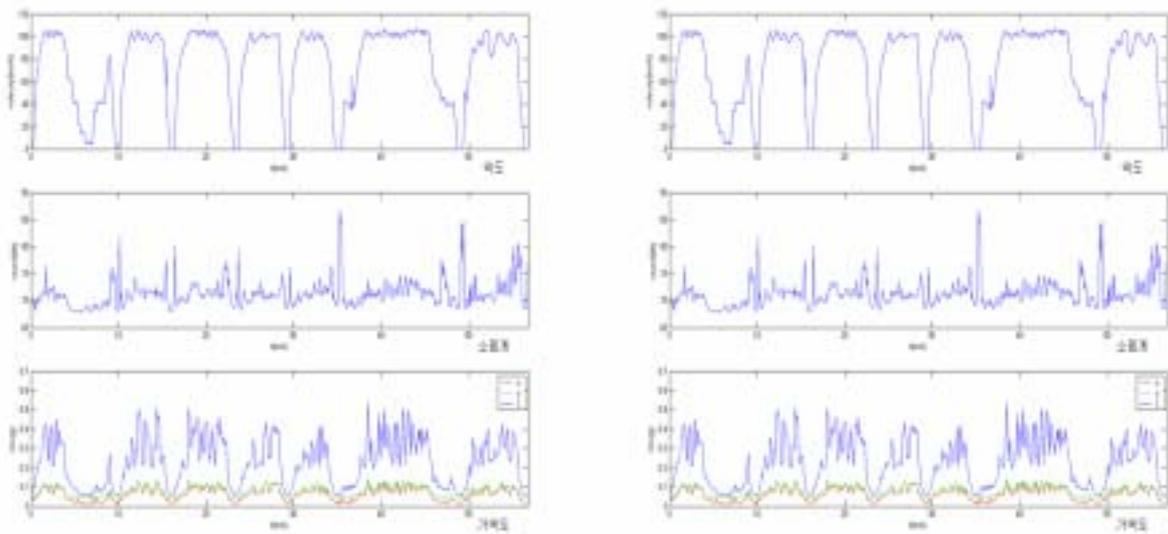


Fig. 4 센서 배치도(구간별)

3. 주행시험 결과 및 분석

3.1 구간별 계측결과

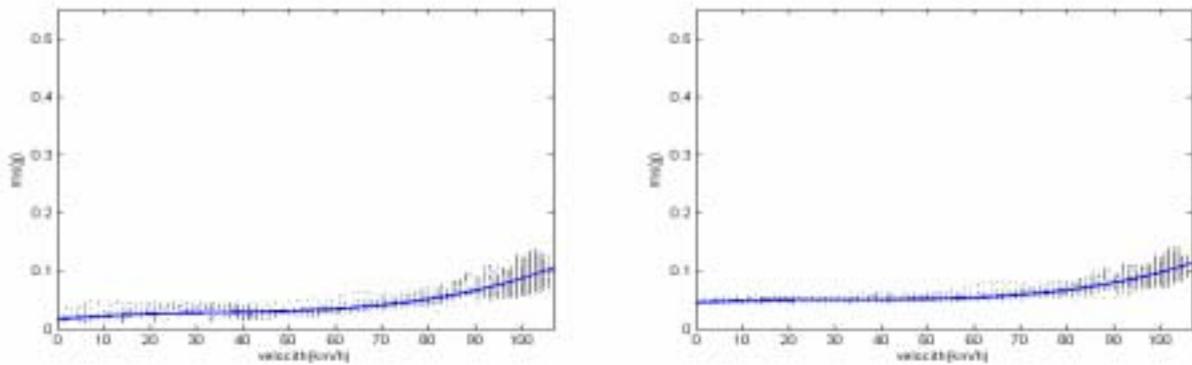
계측은 전기동차의 고속구간에서 측정이 되었고, Fig 5와 같은 측정결과를 얻었다. Fig 5의 (a)는 M' 차량의 응답이며, Fig 5의 (b)는 TC차량의 응답을 나타낸 것이다. 측정결과, 가속도의 크기는 z, y, x 순으로 크기가 크며 가속도의 응답이 속도에 비례하여 커짐을 따라감을 확인할 수 있다.



(a) M' 차량 응답

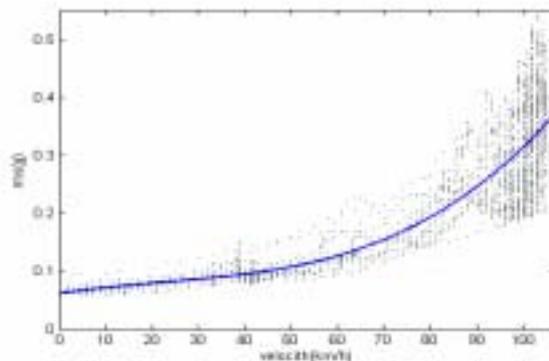
(b) TC 차량 응답

Fig. 5 차량응답



(a) x 방향

(b) y 방향



(c) z 방향

Fig. 6 속도별 가속도계 응답(M')

Fig. 6과 Fig. 7은 x, y, z의 응답을 속도에 대한 가속도 응답의 분포를 나타낸 것이다. 응답 분포의 경향을 보면, x, y, z의 응답에 대하여 60 km/h ~ 70 km/h에서 응답의 변화 추이가 크게 변함을 알 수 있었다. 응답의 변화 추이가 달라지는 구간이 일반 전동차의 운행속도임을 감안하면 고속으로 주행 시 진동 응답이 속도의 변화에 비해 크게 변화함을 알 수 있다.

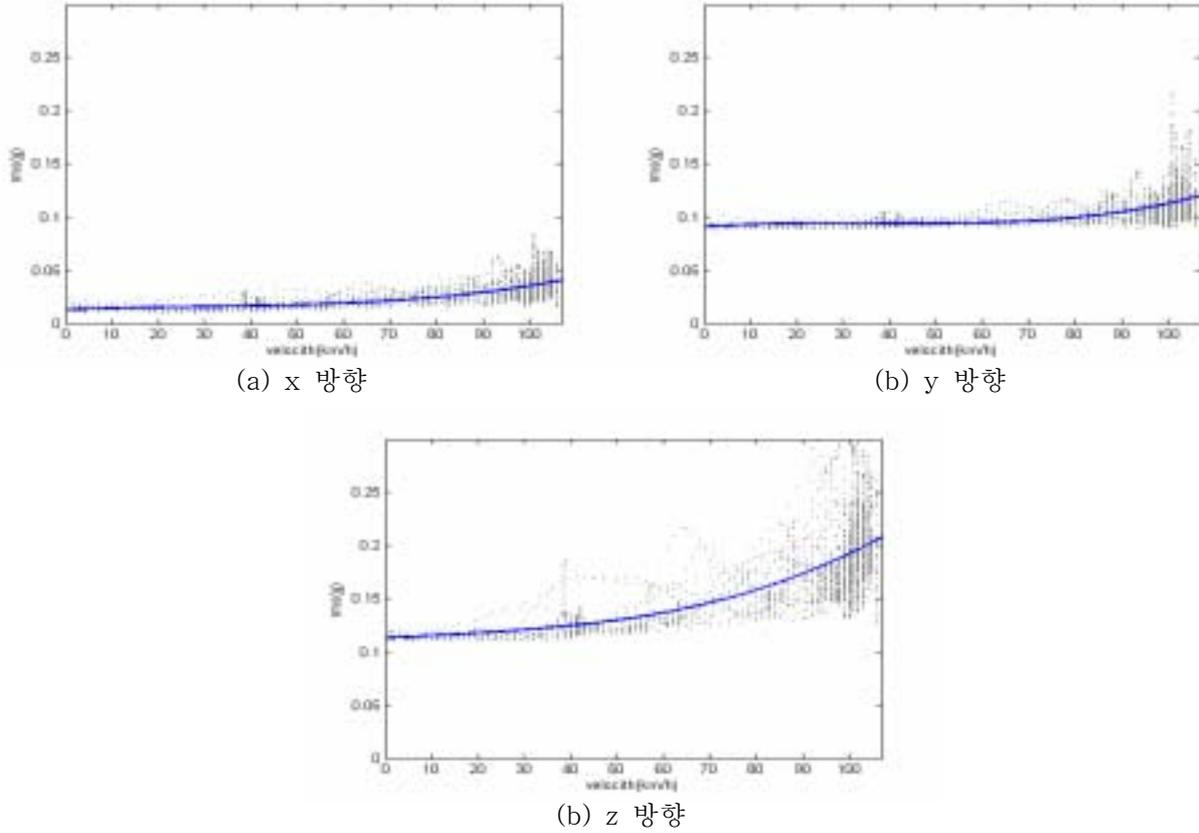


Fig. 7 속도별 가속도계 응답(TC)

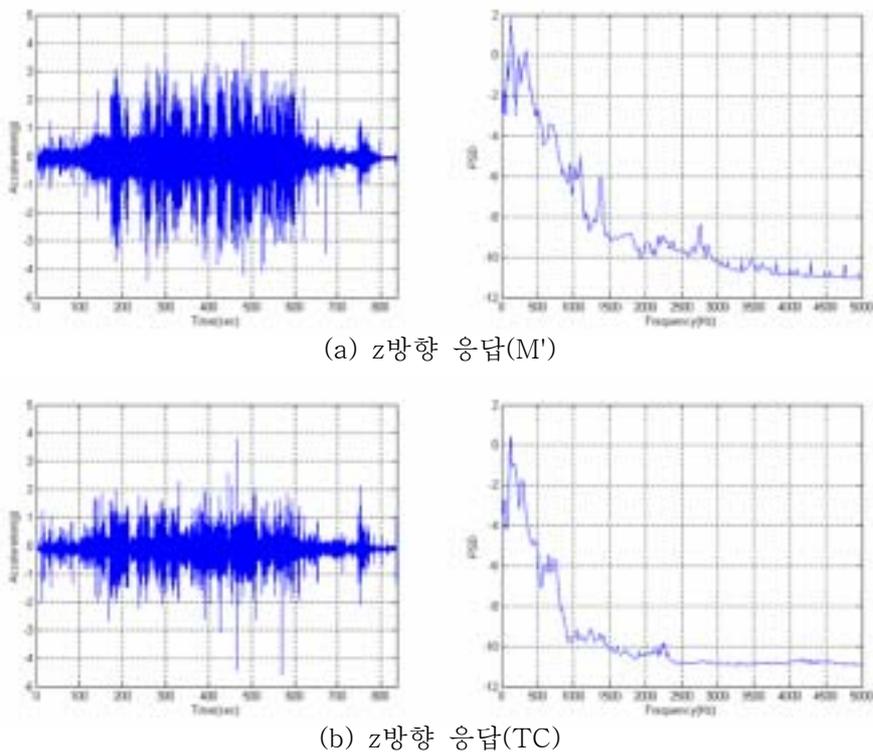


Fig. 8 수원 → 안양 TC, M' 차량의 응답

Fig 8은 진동이 심한 수원 → 안양구간의 응답에 대한 M'과 TC의 응답을 나타낸 것이다. 응답의 변화에서 볼 수 있듯이 동일 편성에 대하여 응답의 크기 및 발생 주파수의 경향이 다를 수 있다. Fig 9의 waterfall 선도에서 확인할 수 있듯이 특정 주파수 응답은 특정영역에서 발생함을 확인할 수 있다. 이는 주행속도와 연관성이 있음을 알 수 있다.

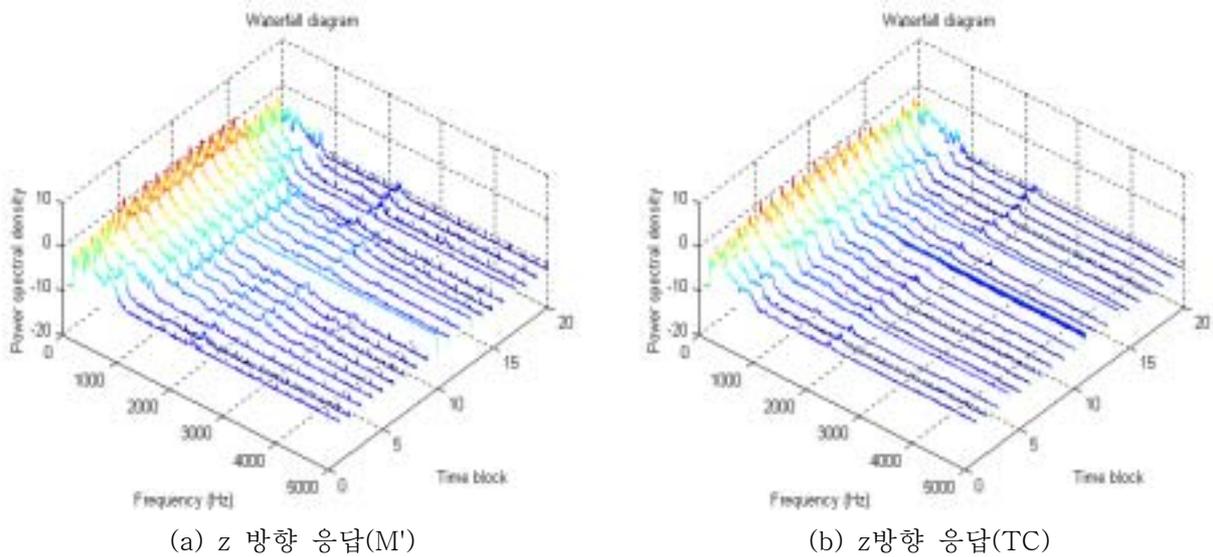
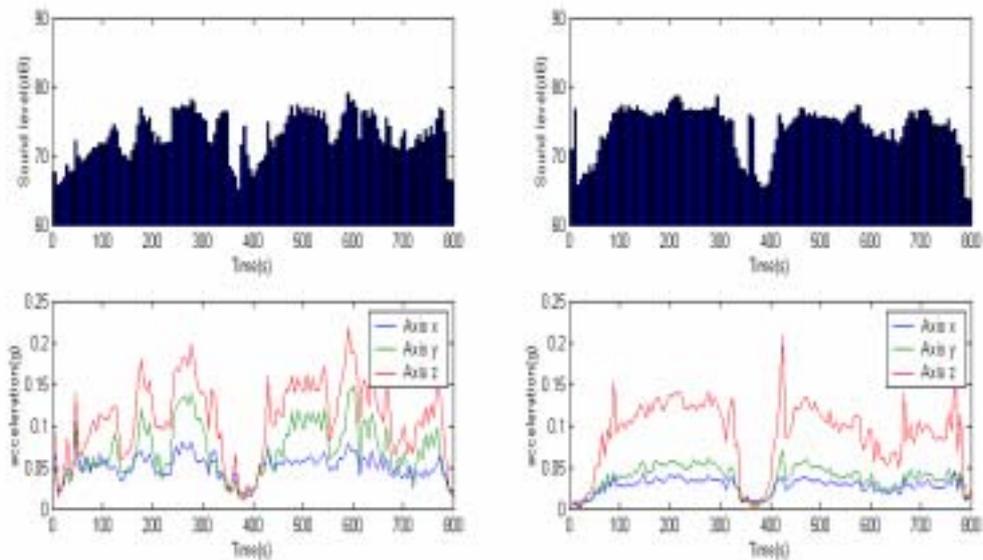


Fig. 9 수원 → 안양 M', TC 차량의 waterfall 선도

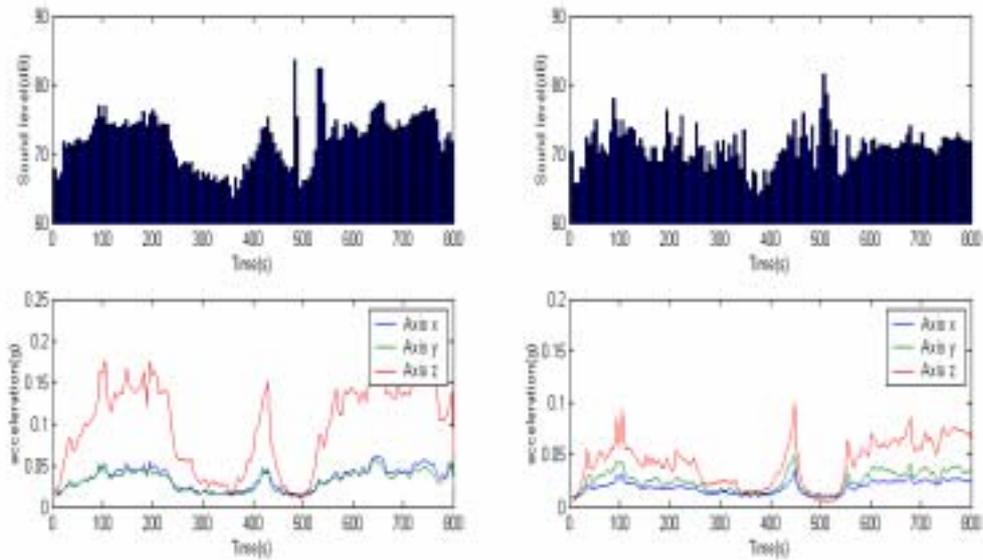
3.2 편성별 계측결과

Fig. 10은 각 차량 편성에 대한 소음레벨의 RMS 결과와 x, y, z방향의 가속도 신호에 대한 RMS 데이터를 나타낸다. 해석결과, 신형 VVVF_C 편성의 T차량의 진동 및 소음레벨이 가장 양호한 상태로 측정 되었으며, 상대적으로 신형 VVVF_A 편성의 T차량의 응답이 상대적으로 큰 값을 갖고 있다. 한편으로 구형 VVVF 편성의 T차량의 소음레벨은 신형 VVVF_A 편성의 T차량의 크기에 비해 작으나, 가속도 응답에 의한 편차가 큰 값을 갖고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 소음레벨의 크기가 작더라도 진동신호의 편차를 크게 가져오는 충격신호를 갖고 있다는 것을 의미한다.



(a) 구형 VVVF 편성의 T차량

(b) 신형 VVVF_A 편성의 T차량



(c) 신형 VVVF_B 편성의 T차량 (d) 신형 VVVF_C 편성의 T차량
 Fig. 10 편성별 소음 및 진동 응답

4. 결론

실제 노선을 주행하는 1호선 전기동차의 소음·진동신호를 측정하고 분석하여 다음과 같은 1호선 전기동차의 주행 특성을 파악하였다. 전기동차의 구간별 주행시험 결과, 전기동차의 일반적인 운행속도인 60~70 km/h 속도에서 x, y, z 방향의 가속도가 커지는 것을 알 수 있었다. 특히 상하방향의 가속도(z방향)의 크기가 커지는 것을 볼 수 있었다. 전기동차의 편성별 주행시험 결과, 신형 VVVF_C 편성의 T차량이 소음레벨 및 진동레벨이 작게 나타났고, 구형 VVVF 편성의 T차량이 가속도의 변화가 큰 것을 알 수 있었다. 전기동차의 가속도는 승객의 승차감에 많은 영향을 미칠 수 있는 요소이므로 전동차가 60~70km/h 이상의 속도로 운행 할 경우에도 상하방향(z방향)진동을 감소시킬 수 있는 대책이 마련되어야 할 것이다. 또한 신형 VVVF 편성 전기동차에 비해 구형 VVVF 편성 전기동차의 가속도 크기와 변화가 많이 나타나므로 진동 유발 요인을 찾아내어 진동을 감소시킬 수 있는 대책이 마련되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 이봉현, 최연선, “전기동차 구동부의 동특성,” 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.329~336, 1998.
2. 서승일, 최문길, 김국현, “통근형 전동차의 객실 내 소음수준예측,” 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp.185~191, 1999.
3. 최연선, “적응신호처리에 의한 주행 전기동차의 진동신호분석,” 한국철도학회 논문집, 제2권 2호, pp.13~20, 1999.
4. 문경호, 김재철, 유원희, 서정원, “국내 전동차 스켈소음에 관한 연구,” 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.62~71, 2002.