

전동차 진동시험방법 고찰

Consideration of Vibration Test Method for Electric Multiple Unit

*#홍재성¹, 김길동¹, 이장무¹, 정의진¹, 이한민¹, 원종운¹, 성창원²

*#J. S. Hong(jshong@krri.re.kr)¹, G.D.Kim¹, J.M.Lee¹, E.J.Joung¹, H.M.Lee¹, J.H.Won¹, W. Sung²

¹ 한국철도기술연구원 차세대 전동차 연구단, ² 대림대학 자동차과 교수

Key words : AUTS, Vibration

1. 서론

국내 도시철도차량은 제작이 완료된 후 영업운전을 하기 전에 국토해양부에서 고시한 “도시철도차량성능시험에관한기준”에 의거 구성품시험, 완성차시험, 본선시운전시험을 하도록 되어있다. 본선시운전시험중 “진동시험” 항목은 도시철도차량주행시 차체에서의 진동가속도, 진동수 등 진동특성에 대한 시험내용을 담고 있다. “진동시험”에서 기술하고 있는 상하-좌우방향 진동시험은 선로를 10km/h에서 80km/h까지 매 10km/h 마다의 일정속도로 주행시킨후 저장된 진동가속도 신호를 매 100m 구간마다 나누어 각 구간 진동가속도의 최대진폭과 그때의 속도를 구한후 동일속도마다 진동가속도의 최대진폭의 평균치를 구한다. 판정기준으로는 40km/h 미만에서는 진동가속도 값이 0.15g 이하, 60km/h 이하에서는 0.2g 이하, 80km/h에서는 0.25g 이하이다. 이 시험방법은 최대진폭의 평균치를 구하기 때문에 특정 속도에서 차체에 이상진동 등이 발생되더라도 모두 기준치 안에 들어오므로 열차전반에 관한 진동특성을 파악하기에는 어려움이 있다. 본 논문에서는 외국 진동분석 전문회사에서 시행하고 있는 열차의 진동특성 방법에 대한 시험내용을 소개하여 국내 도시철도차량의 정확한 진동특성을 파악하기 위해 적용할 수 있는지를 판단하고자 한다.

2. 진동가속도계 설치

6량1편성(Mc1, T1, M1, T2, T3, Mc2 로 가정)의 전동차인 경우 열차의 진동특성을 파악하기 위해 Fig. 1에서 보는바와 같이 진동가속도계 및 변위계를 설치한다.

진동가속도계는 각 차량의 객실바닥, 대차프레임, 운축 주전동기 프레임에 46채널, 변위계는 차량간 중간연결기등에 총 25개를 설치하여 총 채널수는 71개이다. 진동가속도계 외에 변위계를 차량간 설치하는 이유는 연결기의 댐퍼가 열차의 주행중

인장/압축을 반복하면서 진동특성에 영향을 주는 지를 파악하기 위함이다.

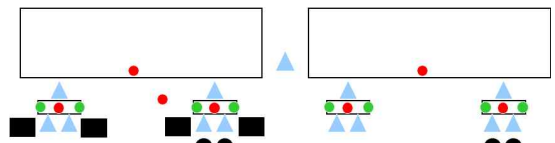


Fig.1 Vibration Acceleration and Displacement gauge(Mc1, T1)

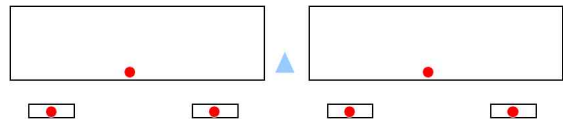


Fig.2 Vibration Acceleration and Displacement gauge(M1, T2, T3, Mc2)

- 진동가속도계(x방향, 차체 6곳, 대차 12곳)
- 진동가속도계(z방향, 차체 4곳, 대차 8곳)
- ▲ 변위계(차체-차체 5곳, 차체-대차 4곳, 대차-운축 왼쪽/오른쪽 16곳)
- 진동가속도계(xz 방향, 주전동기 4곳, 8채널)
- 진동가속도계(x 및 z 방향, 액슬박스 왼쪽/오른쪽 8곳)

3. 시험방법

- 1) 최대가속/감속 운전시험
 - ① 0km/h(P4)→80km/h까지 가속 후 비상제동 취급 후 정지(양방향 2회 주행)
 - ② 0km/h(P4)→80km/h까지 가속 후 B7 취급 후 정지(양방향 1회 주행)
- 2) 정상 운행조건에서의 운전시험
 - ① 0km/h(P4)→80km/h까지 가속 후 영업선 기준으로 정지(양방향 3회 주행)
- 3) 파워링별 가속도 시험

- ① 0km/h(P1)→80km/h→B7(정지)
- ② 0km/h(P4)→80km/h→타행(약 3~4km)→ B7(정지)
- 운행속도를 80km/h~30km/h까지 10km/h 단위 별로 기준하여 양방향으로 시험

4) Wedge 시험

- ① Bogie pitching asynchronous
- ② Motor bogie pitching synchronous
- ③ Bogie bouncing/Carbody pitching



Fig. 3 Wedge Test

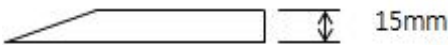


Fig. 4 Wedge Shape

웨지 형상 및 시험을 Fig 2. 및 Fig 3.에 묘사하였다. Fig 3.에서와 같이 Wedge의 높이는 15mm이며 열차 속도를 5km/h 미만으로 제한하여 시험시 탈선의 우려가 없도록 하여야 한다.

4. 시험특성

1) 최대가속/감속 운전시험

본 시험은 최대 운행속도로 운전하다가 비상제동을 잡았을때의 차량의 진동특성을 파악하는 시험이다. 비상제동시에는 회생제동이 작동하지 않고 오로지 마찰제에 의한 기계제동만 작동하므로 주전동기의 진동영향이 적게 미치므로 주전동기 제어에 의한 이상 진동 유무를 판단할 수 있다.

2) 정상 운행조건에서의 운전시험

본 시험은 영업운전조건으로의 운전시험으로서 최대 운행속도로 운행하다가 단계별 감속을 하여 최종 정거장에 정차하도록 주행하여 이때의 진동특성 및 차량간 변위량의 변화를 분석할 수 있는 시험이다.

3) 파워링별 가속도 시험

각 파워링(4단계)별로 최고운행속도까지 가속하여 타행으로 주행후 최대감속도로 정지하는 시험으로써 각 파워링 단계별로의 차량에 미치는 진동 특성을 파악하여 인버터 제어가 견인전동기 진동특성에 미치는 영향을 파악하는 시험이다. 또한 파워링이 가해지지 않는 타행 주행중에 차량의 진동특성을 파악할 수 있는 시험이다.

4) Wedge 시험

서론에서 언급한 “도시철도차량성능시험에 관한 기준”중 구조체 하중시험에서 내장품 및 전장품을 장착하지 않고 구조체 자체만의 고유진동수를 측정하는 시험이 있다. 시험 방법은 1톤의 추를 구조체 중앙에 매달아 놓고 순간적으로 추만 제거했을 때 구조체의 고유진동수를 측정한다. 보통 전동차의 구조체 고유진동수는 약 15~16Hz 정도가 측정된다. 대차의 고유진동수는 5~6 Hz 정도가 측정된다. 구조체와 대차는 공진을 반드시 피하도록 설계되어야 한다.

하지만 차체에 에어컨, 의자 출입문 등 내장품이 장착되고 하부에는 인버터, 밧데리 등 전장품들이 설치되면 차체의 강성이 강해져 고유진동수가 낮아지는 현상이 발생한다.

Wedge 시험은 완성차 상태에서 차량이 고유진동수를 측정할 수 있는 좋은 시험으로서 대차와의 공진 여부를 판단할 수 있다.

Wedge를 이용하여 고유진동수를 측정하기 위해서는 한 개의 차량의 모든 휠 앞쪽(8곳)에 Wedge를 설치하여 시속 5km/h 미만의 속도로 차량을 통과시켜야 한다.

4. 결론

본 논문에서는 차량의 진동특성을 여러 가지 시험방법을 통해서 알아 볼수 있는 방법을 제시하였다. 국내 전동차는 요즘 VVVF방식의 인버터 제어를 하는데 기존의 1C4M(1Control 4Motor)제어에서 1C2M, 1C1M의 정밀 제어 방식으로 변화하고 있다. 한 차량에는 4개의 주전동기가 장착되어 있어 곡선 통과시 1개의 인버터가 1개의 주전동기를 각각 정확하게 제어하게 되면 휠의 마모감소등 차량의 성능향상이 기대된다. 그러나 제어에 오차가 발생되면 각각의 휠 및 주전동기에 특이한 진동이 발생될수 있다. 또한 차량의 축중 및 윤중에 과도한 편차가 있도록 차량이 제작된 경우도 특이한 진동이 발생될 수가 있어 본 논문에서 기술한 여러 가지 진동시험을 거쳐 그 특성을 파악할 수 있다.