

고무차륜 AGT 경량전철 차량의 진동해석

김연수*(한국철도기술연구원), 정탁교(한국철도기술연구원),
임태건(한국철도기술연구원), 이정선(한국철도기술연구원)

Vibration-Analysis of rubber-tired AGT light rail vehicle

Y. S. KIM(KRRI), R.G.JEONG(KRRI), T.K.LIM(KRRI), J. S. LEE(KRRI)

ABSTRACT

Dynamic model of the Korea standardized rubber-tired AGT light rail vehicle, and boundary conditions between vehicle and infrastructures (running track, guidance rail) were defined to analyze vehicular vibration behaviors occurred at the worst condition. Using the commercialized software RecurDyn, vibration accelerations of car body and bogies were analyzed. and, based on the ISO standard 2631-1, the vibration characteristic test is performed in the test track. As the results, the Korea standardized rubber-tired AGT light rail vehicle satisfied the ISO standard criteria and design requirement .

Key Words : Rubber-Tired AGT(고무차륜 AGT), Light Rail Vehicle(경량전철 차량), Vibration Analysis(진동해석)

1. 서 론

경량전철 시스템은 버스와 지하철의 중간규모 수송능력을 가지며, 무인운전으로 운행되는 첨단 도시철도 시스템이다. 기존의 전동차(지하철)에 비해 건설비 및 운영비가 저렴하고, 버스나 승용차와 같은 도로교통수단에 비해 정시성, 신속성, 환경친화성이 우수한 장점을 가지고 있다. 다양한 경량전철시스템 중 고무차륜 AGT 시스템은 기존의 철도차량과는 달리 가감속 성능, 등판성능, 주행 중 소음 저감을 위해 고무타이어를 주행륜으로 사용한다.(1) 기존 철도차량의 경우 원추형 차륜이 철계레일을 따라 차량을 조향하고 안내하는 반면, 고무차륜 AGT 차량은 고무타이어가 도로와 유사한 주행궤도면을 주행하고, 대차의 안내프레임에 설치된 안내륜이 주행궤도 측벽에 설치되는 안내레일을 따라 주행하면서 차량의 안내 및 조향을 수행한다. 따라서 주행궤도와 안내레일의 설치조건에 따른 차량의 진동특성이 승객의 승차감과 시스템 전체의 성능에 큰 영향을 미치게 된다.

본 논문의 목적은 설계 및 제작이 완료된 고무차륜 AGT 경량전철 차량에 대해 주행궤도와 차량의 조건에 따라 주행 중에 발생하는 진동특성을 해석하였다. 특히 진동피폭시간과 인간이 느끼는 승

차감에 대한 영향을 고려할 수 있는 진동평가방법(ISO 2631-1)을 사용하여 개발된 한국형 고무차륜 경량전철에 대해서 적용하였다. 본 연구를 위해 경상북도 경산시 남천면에 실제로 건설된 총 연장 2.7km 의 시험노선에서 진동가속도 측정시험을 수행하였다. 그리고, 상용소프트웨어인 Recurdyn 을 이용하여 차량과 주행궤도에 대한 dynamic 모델을 제안하고, 차량과 구조물 사이의 다양한 설치 및 시공조건을 정의한 후 실제로 건설된 시험선과 동일한 조건인 가상의 주행노선에서 차량의 각종 사양을 변화시키면서 다양한 주행속도별로 차량의 진동특성을 해석하였다. 또한 실제 시험노선에서의 시험결과와 dynamic 모델을 이용한 시뮬레이션 결과를 통해 고무차륜 AGT 경량전철 차량의 진동특성에 대해서도 비교 평가하였다.(2)

2. 진동평가 방법

기존 철도차량에 있어서 진동평가는 주로 차량에서 발생하는 수직방향 및 횡방향 진동가속도를 도시철도시험성능기준에 의해서 평가하거나, UIC 513R 또는 ISO 2631-1 규격을 이용하여 진동가속도를 인간이 느낄 수 있는 승차감으로 환산하여 안락한 정도를 평가하였다.

그러나, 본 논문에서는 기존의 진동가속도 및 승차감을 이용한 진동특성의 해석 이외에 ISO 2631-1 에서 제시되어 있는 방법으로서 인간이 느낄 수 있는 멀미피폭값과 건강에 미치는 영향등을 정량화 할 수 있는 방법을 사용하여 개발된 한국형 고무차륜경량전철의 진동특성에 대하여 평가하였다.

특히 진동이 건강에 미치는 영향은 주파수범위가 0.5~80Hz 에서 측정된 진동가속도값을 사용하고 멀미피폭값에 대해서는 0.1~0.5Hz 에서 측정된 값을 사용한다. 측정된 진동가속도는 ISO 2631-1 에서 제시된 값으로 주파수 가중화되고 주파수 가중화된 진동가속도의 실효값과 진동피폭시간을 이용하여 일정시간동안 진동에 노출되었을 때 진동이 건강에 미치는 영향과 멀미피폭값을 평가하였다.

3. 진동특성 해석

3.1 차량 및 주행궤도 모델링

진동특성 해석을 위한 고무차륜 AGT 차량의 모델링은 상용소프트웨어인 Recurdyn 을 사용하였으며, 차량의 개발 목표사양을 적용하였다. 모델은 크게 차체, 부수대차, 동력대차로 구성된다. 또한 대차는 대차와 차체의 상대운동을 위한 선회프레임, 주행궤도에 설치되는 안내레일과 접촉하는 안내프레임, 액슬 등의 강체들로 구성되며, 차량의 주행운동은 동력대차에 의해 수행된다. 각 강체들은 서로 joint element, force element, contact element 로 구성되어 있고 차량의 개발 목표사양에 적합한 특성을 가지고 있다. Fig. 1 은 본 연구에서 사용된 차량 모델을 보여준다.(3,4)

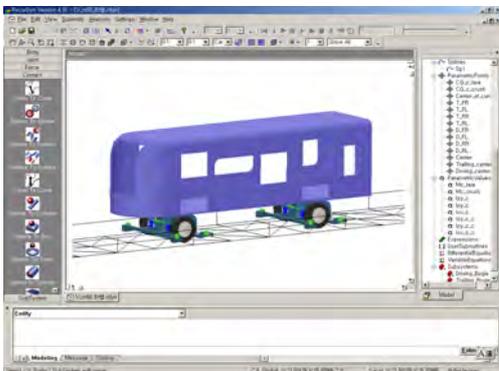


Fig. 1 Definitive vehicle modeling for ride comfort analysis

주행궤도의 모델링은 크게 주행면과 안내레일의 모델로 분류되며, 각각은 개발 목표사양의 최대의 시공공차로 모델링 되었다. Table 1 과 Fig. 2 는 이들의 허용 시공공차와 완성된 모델을 보여준다.

Table 1 Allowable tolerances of guidance rails and running surface in the rubber-tired AGT light rail system

Modeling components	Allowable irregularities
Distance between guide rails(guide rail profile)	Less than 2,900+10mm per 3,000mm
Cross level of running surfaces	Less than 4mm
Vertical profile of running surfaces	Less than 3mm per 3,000mm

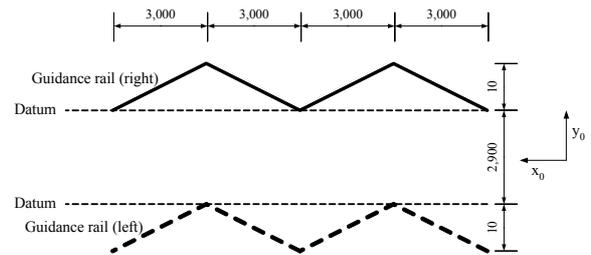


Fig. 2(a) Running track modeling : guide rail profile

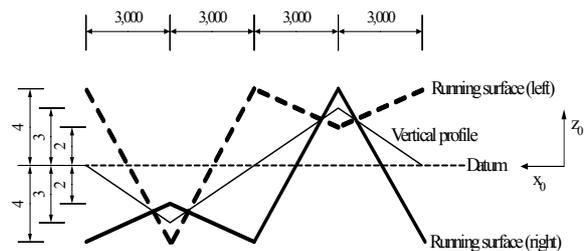


Fig. 2(b) Running track modeling : cross level and vertical profile

4. 진동가속도 측정시험

4.1 한국형 고무차륜 경량전철 차량

건설교통부의 지원하에 경량전철 시스템 기술개발사업의 일환으로 개발된 한국형 고무차륜 경량전철 차량은 1 량 2 편성으로 구성하였으며 Fig. 3 에서 보는 바와 같다.



Fig. 3 Korea standardized rubber-tired light rail vehicle

4.2 진동가속도 측정 시스템

고무차륜 AGT 경량전철 차량의 진동가속도를 측정하기 위해 부수대차와 동력대차 중심 상의 차체바닥에 1 축진동가속도계(KISTLER사의 8312A10)를 차량의 진행방향, 좌우방향, 상하방향 3 방향으로 설치하여 상하 및 좌우, 전후 진동가속도를 측정하였다. Fig. 4는 설치된 진동가속도계를 보여주고 있다.



Fig. 4 vibration accelerometer

4.3 시험조건 및 시험 방법

개발된 한국형 고무차륜 경량전철 차량에 대해 진동특성 해석을 위하여 약 2.4km 연장의 시험선에서 진동가속도 측정시험을 하였다. 시험 구간은 곡선구간, 직선구간, 평탄구간, 구배구간, 분기구간 등 상용노선에서 발생할 수 있는 모든 노선을 고려하여 전노선에서 측정되는 진동가속도 값을 측정하였다.

5. 시험 및 해석 결과

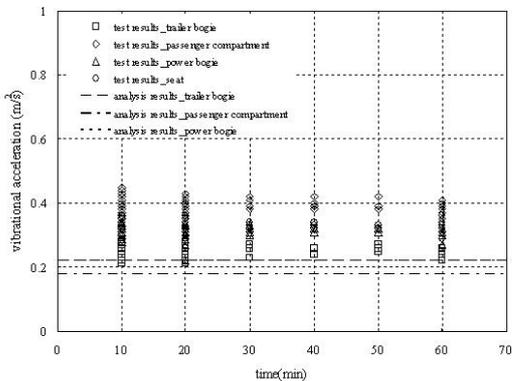


Fig. 5 (a) Comport value under tare weight condition

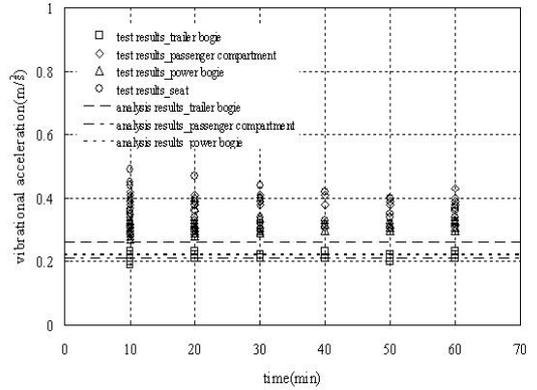


Fig. 5 (b) Comport value under maximum weight condition

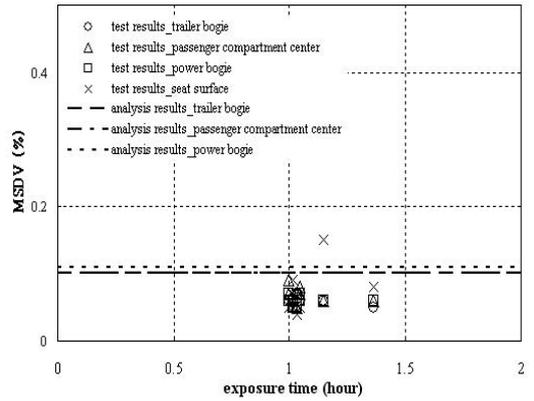


Fig. 6 (a) Motion sickness dose value under tare weight condition

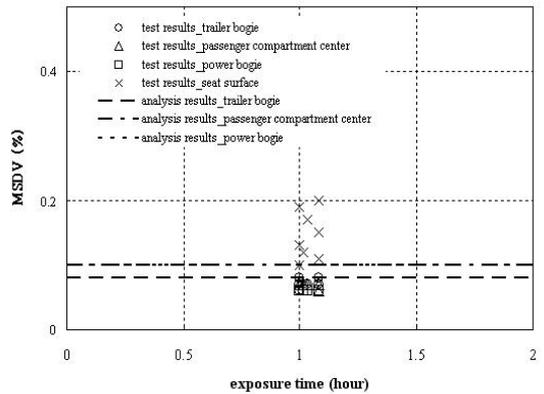


Fig. 6 (b) Motion sickness dose value under maximum weight condition

Fig 5 (a) ~ (b)는 시험이 수행된 전구간의 진동가속도를 인간이 느끼는 안락감 즉, 승차감으로 정량화한 값에 대하여 평가한 결과이다. 전위대차, 후위대차, 차체중양, 좌석에 측정된 시험 결과와 dynamic 모델을 사용하여 전위대차, 후위대차, 차체중양에서 해석된 결과이다. 시험결과와 dynamic 모델을 이용한 결과 모두 ISO 2631-1 에서 제시한 기준에 의하면 보통이상의 수준임을 알 수 있었다. dynamic 모델에 의한 결과는 시험결과에 비해 현저하게 적게 나오는데 이는 주행면과 안내면의 모델링이 시공공차를 고려한 최악조건으로 모델링 되어 있기 때문이다.

Fig. 6(a)~(b)는 멀미피폭값에 대하여 실제 시험과 dynamic 모델을 이용한 결과에 대해서 평가한 결과이다. 멀미의 빈도는 백분율(%)로 표시되었으며 1 시간동안 진동에 노출된 시간을 기준으로 해석하였다. 또한, 전위대차, 후위대차, 차체중양, 좌석에서 측정된 결과와 공차조건과 만차조건을 고려하여 비교평가하였다.

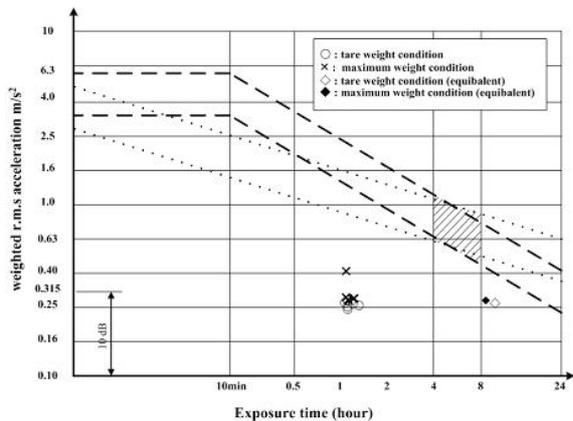


Fig. 7 Health guidance caution zone

Fig. 7 은 진동이 건강에 미치는 영향을 평가한 결과이다. ISO 2631-1 에 의하면 진동피폭시간은 8 시간이상으로 규정되어 있고 본 연구의 시험결과 또한 8 시간의 진동피폭시간에 대해서 진동이 건강에 미치는 영향에 대하여 평가하였다. 더불어 1 시간의 진동피폭시간에 대하여도 평가하였다. Fig. 7 의 빗금친 영역이 ISO2631-1 에서 규정하는 안전영역이며 본 연구에서의 시험한 공차조건과 만차조건 상태의 시험결과는 모두 기준에 만족하는 것을 알 수 있다.

6. 결 론

개발된 한국형 고무차륜 경량전철의 차량에 대하여 ISO 2631-1 규격에서 제시된 평가방법으로 진동가속도에 대하여 평가를 하였으며 시험선에서의 진동가속도 시험과 dynamic 모델을 이용한 해석결과를 비교평가 한 결과 모두 기준을 만족하는 것을 알 수 있었다.

특히 측정된 진동가속도를 인간이 느낄 수 있는 승차감과, 건강에 미치는 영향, 멀미에 대한 피폭값으로 다양하게 평가함으로써 향후 한국형 고무차륜 경량전철 차량의 설계과정에 활용할 수 있으리라 본다.

후 기

건설교통부의 지원으로 한국철도기술연구원이 총괄 주관하는 경량전철시스템 기술개발사업으로 수행되었음을 알려드립니다.

참고문헌

1. 한국철도기술연구원, "경량전철시스템 기술개발사업 5 차년도 결과보고서(분야:종합시스템 엔지니어링)," 2003.
2. 김연수, 백남욱, 임태건, "고무차륜 AGT 경량전철차량의 주행특성 해석", 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 2004.
3. 김연수, 박성철, 백남욱, "악천후에 대한 고무차륜 AGT 경량전철의 안전 운행속도," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 2003.
4. 김연수, 윤성철, 백남욱, "노선특성에 따른 고무차륜 AGT 경량전철의 제한속도," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 2004