

## 고무차륜 AGT 경량전철 차량의 진동특성 평가

임태건\*(한국철도기술연구원), 김연수(한국철도기술연구원),  
정상기(한국철도기술연구원), 이정선(한국철도기술연구원)

### Vibration characteristics of rubber-tired AGT light rail vehicle

T. K. Lim(KRRI), Y. S. KIM(KRRI), S. G. Chung(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. Based on the Korea performance test criteria for urban transit, vertical and lateral vibration of car body were calculated and evaluated. As the results, the Korea standardized rubber-tired AGT light rail vehicle satisfied the performance 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 철도 차량과는 달리 가감속 성능, 등판성능, 주행 중 소음 저감을 위해 고무타이어를 주행륜으로 사용한다.(1) 기존 철도차량의 경우 원추형 차륜이 철재레일을 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 해

석하고, 개발 차량이 관련 규정을 만족하는 지를 분석하는 것이다. 이를 위해 경상북도 경산시 남천면에 실제로 건설된 총 연장 2.7km의 시험노선에서 도시철도성능 시험기준을 바탕으로 진동특성에 대한 시험을 완료하여 좌우방향과 상하방향의 진동가속도 및 좌우방향 정상가속도 등의 측정을 통해서 고무차륜 AGT 경량전철 차량에 대한 진동특성을 분석하였다.(2)

이와 더불어 상용소프트웨어인 Recurdyn을 이용하여 차량과 주행궤도에 대한 동적 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 동적모델을 이용한 시뮬레이션 결과를 통해 고무차륜 AGT 경량전철 차량의 진동특성에 대해 비교 평가하면서 제안된 동적모델을 검증하고 차량의 상세설계에 활용하였다.(2)

#### 2. 진동특성 해석

##### 2.1 동적모델을 이용한 진동특성 해석.

### 2.1.1 차량의 모델링

진동특성 해석을 위한 고무차륜 AGT 차량의 모델링은 상용소프트웨어인 Recurdyn 을 사용하였으며, 차량의 개발 목표사양을 적용하였다. 모델은 크게 차체, 부수대차(trailer bogie), 동력대차(power bogie)로 구성된다. 또한 대차는 대차와 차체의 상대운동을 위한 선회프레임(rotation frame), 주행궤도에 설치되는 안내레일과 접촉하는 안내프레임(guidance frame), 액슬(axle) 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)

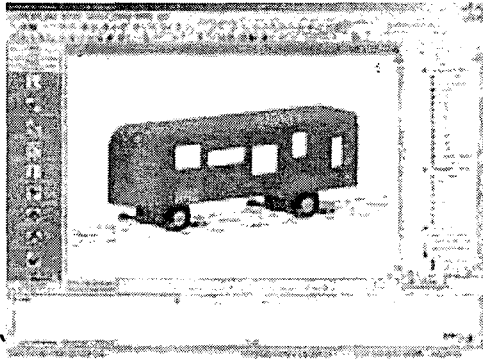


Fig. 1 Definitive vehicle modeling for ride comfort analysis

### 2.1.2 주행궤도의 모델링

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(guidance 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

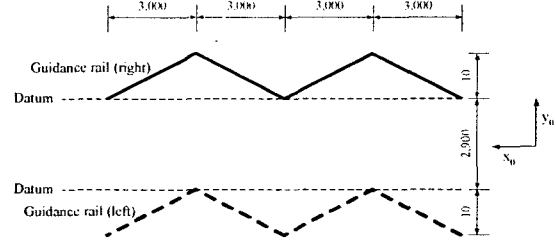


Fig. 2(a) Running track modeling : guide rail profile

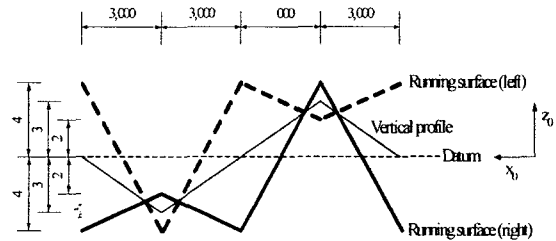


Fig. 2(b) Running track modeling : cross level and vertical profile

### 2.1.3 해석조건

주행궤도는 직선구간 100m 와 반경이 480m 인 곡선구간 300m 로 구성되어 있고 실제 진동가속도 측정시험이 수행된 시험선 구간 길이의 약 1/4 이다. Fig. 2 와 같은 특성을 가지는 주행궤도를 따라 차량의 주행속도를 변화시키면서 진동특성을 해석하였다. 실제노선에서는 2 량 1 편성을 기본으로 4 량 편성, 6 량 편성 등이 운영되지만 해석의 용이함을 위하여 1 량만을 모델링하여 해석하였다. 또한 하중조건은 도시철도성능시험기준에 의거하여 공차중량 12ton 으로 진동특성 해석을 수행하였다.

도시철도 차량 성능시험 기준에 따라 부수대차와 동력대차 중심 상의 차체바닥에서의 수직방향과 수평방향 진동가속도를 차량의 주행속도를 변화시켜가면서 해석하였다

## 3. 진동가속도 측정시험

### 3.1 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. 특히 차체는 강도와 강성이 우수하고 시스템을 경량화 시킬수 있기 때문에, 철도 차량용으로 널리 사용되고 있는 알루미늄 A6005A 의 압출재로 제작되었다.

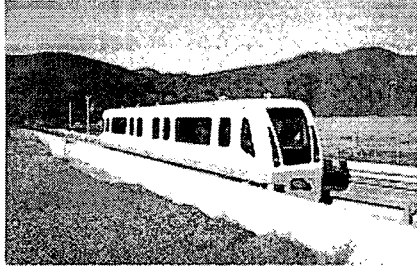


Fig. 3 Korea standardized rubber-tired light rail vehicle

### 3.2 진동가속도 계측 시스템

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

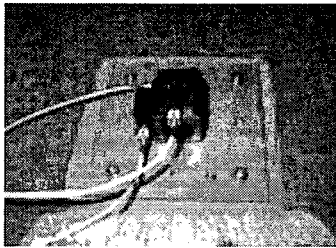


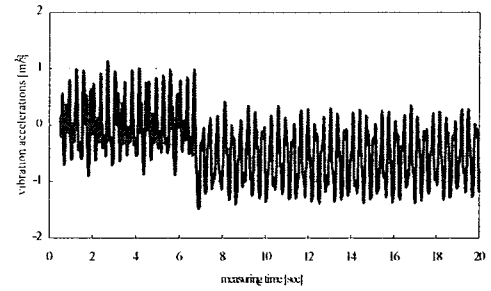
Fig. 4 vibration accelerometer

### 3.3 시험조건 및 시험 방법

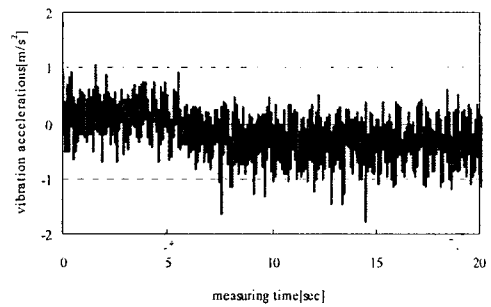
개발된 한국형 고무차륜 경량전철 차량에 대해 진동특성 및 목표성능을 검증하기 위해, 약 2.4 km 길이의 시험선을 건설하였으며, 특히 진동가속도 측정시험은 약 250m 길이의 직선구간과 약 750m 길이의 반경 480m 인 곡선구간에서 수행되었다. 도시철도 성능기준 시험방법에 준하여 2 회 이상 동일한 조건에서 수행하였으며 공차하중 조건으로 시험하였다.

## 4. 시험 및 해석 결과

Fig. 5 는 공차하중 조건의 차량이 약 60km/h 의 속도로 주행할 때, 동력대차 중심선상의 차체 바닥에서 발생하는 횡방향 진동가속도에 대해 동적모델을 이용한 해석결과와 시험선에서 시험한 결과를 보여준다. 모든 조건에서 동력대차와 부수대차의 중심선상의 차체바닥에서 발생하는 진동가속도들에 대한 해석결과와 시험결과는 서로 유사한 경향을 나타내는 것을 알 수 있으며 동적모델은 시험결과와 비교해 볼 때 신뢰가능한 것을 확인하였다.



(a) analysis result



(b) test result

Fig. 5 y-directional acceleration on floor level of rotation axis of power bogie

그리고, 도시철도차량 성능시험 기준에 따라 부수대차와 동력대차 중심 상의 차체바닥에서의 수직방향과 수평방향 진동가속도를 차량의 주행속도에 따라 해석하였고 각 속도별로 진동가속도의 최대진폭을 구한 후 중력가속도를 나눠서 도시철도 차량 성능시험 기준에서 제시한 진동가속도 평가기준과 비교하였다. Fig. 6 은 부수대차 중심상의 차체바닥에서 측정한 수직방향 진동가속도와 횡방향 진동가속도를 평가한 결과이다.

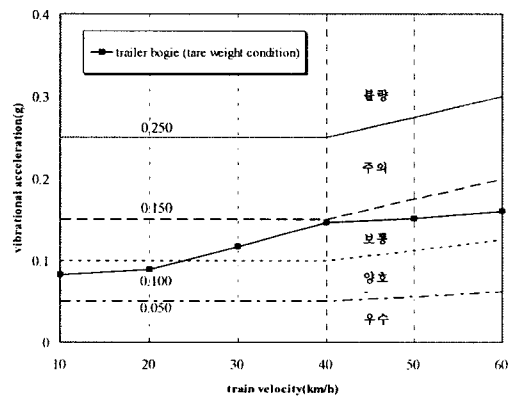


Fig. 6(a) Vertical vibration Evaluation criteria for car body lateral on trailer bogie

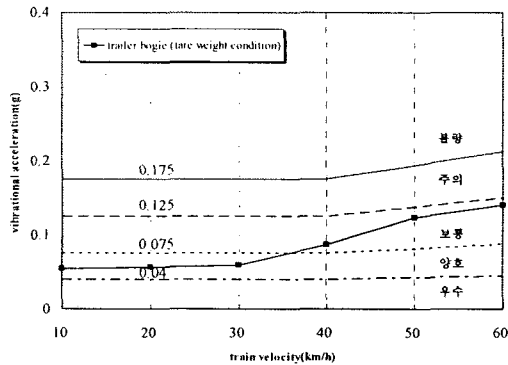


Fig. 6(b) Lateral vibration Evaluation criteria for car body lateral on trailer bogie

직선구간과 곡선구간이 혼합되어 있는 시험선을 주행하는 경우 개발된 차량의 수직방향과 횡방향의 진동특성은 유사한 경향을 보이고 있으며 특히 30km/h까지는 양호한 진동특성을 가지고 있으며 성능최고속도인 60km/h에 이르러서는 보통의 진동특성을 보여준다.

Fig. 7은 좌우방향 정상가속도를 도시철도 차량 성능시험기준에서 제시한 평가기준과 비교한 결과이다.

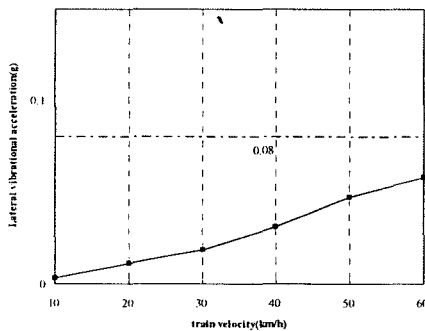


Fig. 7 Vibration Evaluation criteria for car

## 5. 결 론

개발된 한국형 표준 고무차륜 AGT 경량전철 차량에 대해 동적모델을 이용하여 진동특성을 해석한 결과 실제 시험선에서 시험한 결과와 유사한 경향을 보이고 있는 것을 확인하였으며 제시된 동적모델은 신뢰할 수 있는 것으로 분석되었다. 이렇게 검증된 동적모델은 차량의 설계변경등을 통하지 않고도 한국형 표준 고무차륜 AGT 경량전철 차량의 성능개선에 도움을 줄 수 있는 있을 것이라고 본다.

또한 시험주행을 통해서 개발된 차량의 진동특성을 분석한 결과 수직방향 진동가속도, 횡방향 진동가속도, 좌우방향 정상가속도 모두 도시철도 차량성능 시험 기준을 만족하는 것을 확인하였다.

## 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, 백남옥, 임태진, 고무차륜 AGT 경량전철차량의 주행특성 해석? 한국정밀공학회 추계학술대회 논문집, 2004.
3. 김연수, 박성혁, 백남옥, "악천후에 대한 고무차륜 AGT 경량전철의 안전 운행속도," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 2003.
4. 김연수, 윤성철, 백남옥, "노선특성에 따른 고무차륜 AGT 경량전철의 제한속도," 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 2004