

# 바이모달 트램 차량의 승객 진동피폭 평가

## Human Exposures to Mechanical Vibration in the Bi-Modal Tram

\*,#김연수<sup>1</sup>, 박성혁<sup>1</sup>, 장세기<sup>1</sup>, 목제균<sup>1</sup>

\*,#Y.S. Kim(yskim@krri.re.kr)<sup>1</sup>, S.H. Park<sup>1</sup>, S.K. Chang<sup>1</sup>, J.K. Mok<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국철도기술연구원

Key words : Bi-Modal Tram, Human Exposure, Mechanical Vibration, Comfort, Health.

### 1. 서론

바이모달 트램은 굴절버스와 유사한 차량에 도시철도시스템의 운영개념을 결합한 신교통시스템으로서, 전용궤도 위를 주행할 수 있을 뿐만 아니라 필요에 따라서는 일반도로에서도 운행이 가능하다. 따라서 기존의 도로를 주행궤도로 활용할 수 있으므로 도시철도(지하철, 경전철 등)와 비교할 때 건설비용을 크게 낮출 수 있고, 전용 주행궤도에서 운행될 경우에는 정시성을 보장할 수 있는 신개념의 교통시스템이다.<sup>(1,2)</sup>

본 논문에서는 국내에서 개발된 바이모달 트램 차량을 시험선에서 자동운전으로 운행하면서 측정된 진동가속도가 입석승객과 좌석승객의 건강과 안락도에 미치는 영향을 ISO 2631-1과 2631-4에서 정의된 방법과 기준을 준용하여 평가하였다.

### 2. 바이모달 트램

바이모달 트램은 승객수요에 따라 2량편성에서 4량편성까지 구성이 가능하다. 전체차륜조향(all wheel steering) 기능은 12m의 곡선반경에서도 차량을 운행시킬 수 있고, 직렬형 CNG 하이브리드 추진장치(CNG엔진 + Li-polymer 배터리)는 연비와 배출가스를 개선시킬 수 있다. 또한 도로 위에 설치된 영구자석을 감지하여 차량을 안내 및 조향하는 자동운전기능은 역에서의 정밀정차, 곡선부에서의 안전운행을 보장할 수 있다. 또한 복합소재차체(유리섬유/에폭시수지 + 알루미늄 하니콤 패널 + 알루미늄 보강재)를 적용하여 차량을 경량화시켰으며, 독립현가형 구동장치와 차륜 분산구동형 감속기 및 견인전동기는 승객의 승하차 편의 증진을 위한 차량 저상화에 크게 기여할 수 있다. Table 1은 진동피폭 평가에 이용된 2량 편성(18m) 바이모달 트램 차량의 주요사양을 보여준다.<sup>(1,2)</sup>

Table 1 Specifications of the bi-modal tram (2-car tram)

length×width×height	18,000×2,480×3,393 [mm]
tare weight	190 [kN]
propulsion	series hybrid
floor height	340 [mm]
maximum speed	80 [km/h]
maximum gradient	12 [%] - 50% passenger load
steering	all wheels steering
turning radius	12 [m]
vehicle operation	manual / automatic

### 3. 평가방법 및 조건

시험선 내에서 수행된 바이모달 트램 승객의 진동피폭 평가는 Fig. 1과 같이 자동운전 모드에서 수행되었다. 바이모달 트램용 시험선은 직선구간이 짧아 차량은 최고 약 30km/h로 운행되었다. 또한 진동피폭 평가는 Table 2와 같이 공차상태(단, 측정자 및 측정기자재 포함), 50% 적차조건, 75% 적차조건 하에서 수행되었다. 차량에 설치된 진동가속도계는 Fig. 2와 같이 Carriage 1, 3의 좌석 각 1곳, Carriage 3 차체 중앙의 차실바닥 1곳에 3방향(x, y, z 방향)으로 설치되었다.



Fig. 1 Human exposure evaluation of the bi-modal tram in automatic operation at the test track

Table 2 Load condition for human exposure evaluation

load conditions	axle load 1 (kgf)	axle load 2 (kgf)	axle load 3 (kgf)	total (kgf)
tare	4,284	7,538	7,605	19,427
50% of passengers	5,086	9,160	8,223	22,469
75% of passengers	5,936	9,686	8,630	24,252

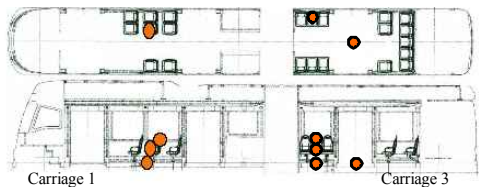


Fig. 2 Vibration accelerometers in the bi-modal tram

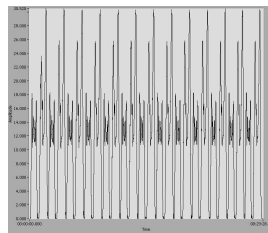


Fig. 3 Speed under 50% passengers at the test track

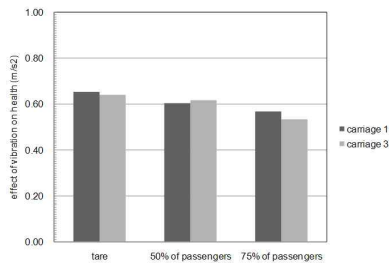


Fig. 4 Effect of vibrations on health of seated passengers

#### 4. 결과 및 토의

Fig. 3은 시험선에서 승객하중의 50%를 적재한 조건으로 자동 운행되는 바이모달 트램의 속도를 보여준다. Fig. 4는 공차하중조건(95분 피폭), 50% (90분 피폭) 및 75% (90분 피폭) 적차하중조건 하에서 자동운전으로 운행될 때 Carriage 1과 3의 좌석에서 발생하는 진동가속도가 승객의 건강에 미치는 영향을 평가한 결과를 보여준다. ISO 2631-1에서 제안한 건강지침 주의영역을 바탕으로 평가한 결과, 2곳의 좌석에서 발생한 진동은 승객의 건강에

위험을 미치지 않는 것으로 분석되었다. Fig. 5는 바이모달 트램이 Fig. 4와 동일한 조건으로 운행될 때, Carriage 3의 차체바닥 중앙에서 5분 간격으로 분석된 승객의 안락도에 대한 결과를 보여준다. 일부분을 제외한 대부분의 결과가 첫 번째 등급인 ‘편안하다(not uncomfortable)’의 결과를 나타냈다.

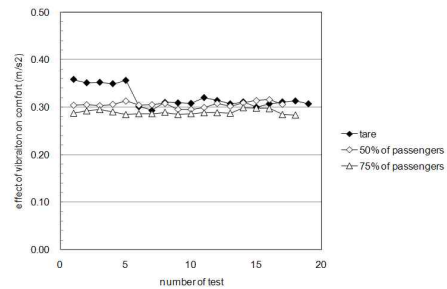


Fig. 5 Effect of vibrations on comforts of standee

#### 5. 결론

바이모달 트램을 시험선에서 자동운전으로 운행하면서 좌석 2곳과 차체중앙 1곳에서 측정된 진동가속도를 이용하여 ISO 2631-1과 2631-4를 기준으로 승객의 건강과 안락도에 미치는 영향을 평가한 결과, 승객의 건강과 안락도에 위험을 미치지 않는 것으로 분석되었다. 그러나, 보다 객관적이고 실제적 평가를 위해 100% 승객하중 조건, 80km/h까지의 주행속도, 그리고 차량 내의 측정위치를 추가하여 진동피폭을 분석할 필요가 있다.

#### 후기

본 논문은 국토해양부와 한국건설교통기술평가원이 지원하는 신에너지 바이모달 수송시스템 기술개발 7차년도 연구결과의 일부를 정리한 것입니다.

#### 참고문헌

1. 한국철도기술연구원, "신에너지 바이모달 수송시스템 기술개발 7차년도 보고서," R&D/03 (교통핵심 B01), pp. 220~340, 2010.
2. 김연수, 박성혁, 장세기, 목재균, "바이모달형 저상굴절 차량의 승차감 평가," 2010년도 대한기계학회 추계학술대회 논문집, 2010.
3. ISO 2631-1/2631-4, "Mechanical Vibration and Shock Evaluation of Human Exposure to whole body vibration," 1997/2001.