

바이모달 경량전철 차량의 승차감에 대한 고찰 Passenger Comforts of Bimodal Rubber-Tired Light Rail Vehicle

*, #김연수¹, 문두영², 문경호³, 목재균⁴

*, #Y. S. Kim(yskim@krii.re.kr)¹, D. Y. Moon², K. H. Moon³, J. K. Mok⁴
1, 2, 3, 4 한국철도기술연구원 바이모달수송시스템 연구단

Key words : Bimodal Tram, Rubber-Tired Light Rail Vehicle, Passenger Comfort

1. 서론

다양한 형태의 경량전철시스템 중에서 고무차륜 AGT (Automated Guideway Transit)는 급구배와 급곡선에 대한 대응성이 우수하고, 가감속 성능이 우수하여 역간거리가 짧은 노선에서도 쾌속성을 유지할 수 있는 장점을 갖는다. 반면 고무타이어를 주행륜으로 사용하므로 주행 중 주행궤도에 전달하는 진동과 충격은 감소될 수 있으나, 차량에 승차한 승객의 승차감은 오히려 저하될 수 있다. 따라서 차체는 강도와 더불어 강성이 크게 설계하여 주행 중에 발생하는 처짐에 의한 승차감 저하를 방지해야 하고, 대차로부터 전달되는 진동을 차단할 수 있도록 설계해야 한다. 한국형 고무차륜 경량전철(K-AGT)이 개발되어 시험선 시운전을 통해 성능과 안전성 검증이 이뤄지고 있다. 또한 다양한 시험을 통해 운행 중에 차량에 발생하는 진동, 승차감, 멀미와 건강에 대한 영향도가 평가된 바 있다.⁽¹⁻³⁾

본 논문에서는 곡선반경에 대한 제한속도, 주행궤도의 허용 불규칙도, 진동에 대한 인체의 반응 (신체조건) 등이 우리나라와 가장 유사한 일본의 JNR 기준에 따라 K-AGT의 승차감 레벨(ride comfort level)을 실험적으로 분석하였다. 또한 JNR 기준에 따라 분석한 결과는 기 수행된 UIC, ISO 기준에 따른 분석결과와 유사하게 승객이 안락감을 가질 수 있는 수준이었다. 이러한 결과는 고무타이어를 주행륜으로 사용하며 전용궤도와 일반도로를 모두 주행 가능한 바이모달 트램(Bimodal Tram) 차량의 승차감 관련 요구사항 정의 및 관리에 활용 가능할 것으로 기대된다.

2. 평가방법 및 기준

운행 중에 차체 바닥에서 발생하는 진동가속도는 Fig. 1에서와 같이 3개 위치에서 각각 차량의 횡방향(x)과 수직방향(z)으로 측정되었다.

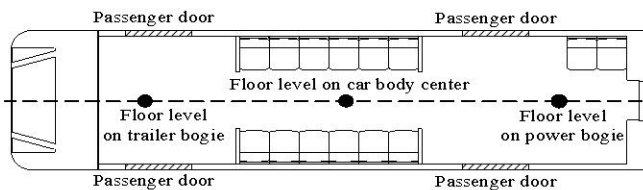


Fig. 1 Vibration measuring locations on floor level of the car body

JNR에서 정의한 승차감 레벨(ride comfort level)은 0.4~80 Hz의 주파수 범위 내에서 식 (1)과 같이 계산된다. 여기서 r.m.s. 값인 A_w 는 각각의 측정위치에서 2방향으로 약 10분 동안 측정된 진동가속도로 계산되며, A_0 는 기준 진동가속도인 $10^{-5}m/s^2$ 이다.⁽⁴⁾

$$RCL = 20 \log_{10} \left(\frac{A_w}{A_0} \right) \quad (1)$$

Table 1은 JNR이 제안한 승차감 레벨에 대한 기준을 요약한 표이다. 경량전철, 바이모달 트램을 포함한 대중교통수단은 개인용 교통수단 (택시, 자가승용차 등)과는 달리 일반적으로 2~3등급의 승차감 사양을 갖는다.

Table 1 JNR's criteria for ride comfort level

Rank	Ride comfort level	Evaluation
1	RCL < 83	Good
2	83 ≤ RCL < 88	
3	88 ≤ RCL < 93	
4	93 ≤ RCL < 98	
5	98 ≤ RCL	Poor

Fig. 2는 K-AGT의 시제차량을 보여주며, Fig. 3은 K-AGT 성능검증을 위해 건설된 약 2.4km의 시험선을 보여준다. 시험선은 4개의 역, 반경이 40m, 400m, 480m의 곡선, 그리고 0.9%와 5.8%의 경사도를 포함하고 있다. 공차하중 조건(116 kN per a car)은 시험장비와 연구자를 제외하고는 어떠한 하중도 적재하지 않은 조건이며, 만차하중 조건(175 kN per a car)은 하나에 196 N의 중량체를 승객 하중만큼 시제차량에 적재한 조건이다. Fig. 3에서 표시된 역 위치에 따라 C~B~A~B~D 주행시험과 D~B~A~B~C 주행시험을 각각 32회씩 총 64회(약 640분)의 승차감 주행시험을 수행하였다.



Fig. 2 Prototype (2 car-train) of the Korean-standardized rubber-tired light rail vehicle (K-AGT)

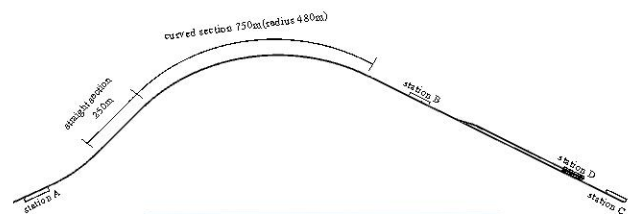
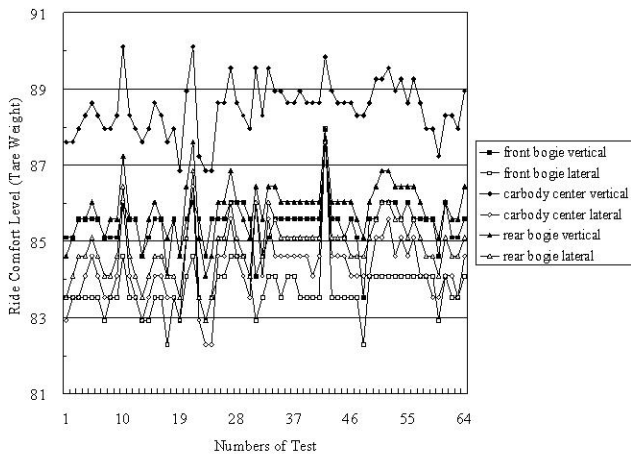


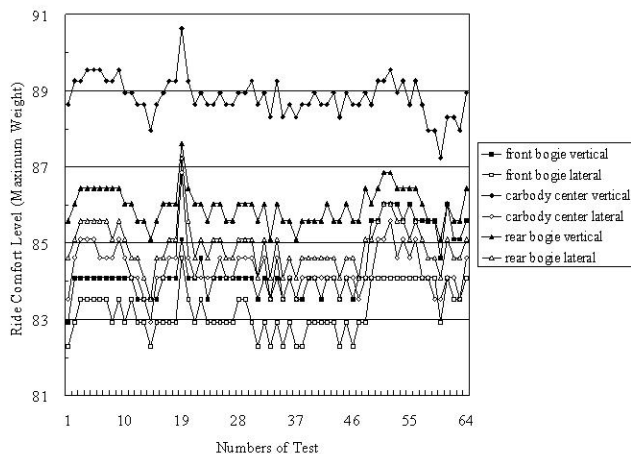
Fig. 3 Test track for performance verification of the rubber-tired light rail vehicle (K-AGT)

3. 결과 및 토의

Fig.4 는 JNR 기준에 따라 K-AGT 의 승차감 레벨(ride comfort level)을 분석한 결과를 보여준다. 차체 중앙에서의 수직방향을 제외하면, 공차조건과 만차조건에서 큰 차이를 나타내지 않았으며, 대부분의 결과에서 Table 1 의 2 등급을 나타냈다. 반면 차체 중앙에서의 수직방향 승차감 레벨은 대부분의 결과에서 3 등급을 나타냈으며, 공차하중 조건에 비해 만차하중 조건은 더욱더 악화되는 결과를 나타냈다. 이러한 결과는 실외장치 및 승객하중에 의한 차체의 처짐이 수직방향 진동가속도에 반영되었기 때문인 것으로 분석되었다. 그럼에도 불구하고, K-AGT 의 승차감 레벨은 대중교통수단으로서 충분한 안락함을 가졌다. K-AGT 의 승차감을 개선시킬 경우에는 언더프레임의 강성도를 증대시켜 주행 중에 발생하는 처짐을 감소시켜야 할 것이다. 또한 K-AGT 의 차체는 알루미늄 압출재를 용접하여 제작되었으므로 언더프레임의 강성도 향상을 위해 보강재를 사용하는 방법보다는 언더프레임의 단면계수와 단면 2 차모멘트를 증가시키는 방법이 타당할 것이다.



(a) Tare weight condition



(b) Maximum weight condition

Fig. 4 Ride comfort level of the Korean-standardized rubber-tired light rail vehicle (K-AGT)

바이모달 트램의 차체는 복합소재로 설계되고 있으므로 K-AGT 와 유사하거나 그 이상의 승차감 레벨을 위해서는 언더프레임의 강성도가 충분해야 한다. 바이모달 트램은 저상굴절 차량이므로 대부분의 실외장치가 차량후미에 집중되기 때문에 차체의 처짐이 K-AGT 보다 감소될 것이지

만, 언더프레임 전체를 복합소재로 설계하므로 강성도가 감소될 우려가 있다. 또한 본 논문에서의 승차감 레벨은 10 분 이상의 주행시험을 통해 분석된 결과이지만, 승객이 느끼는 승차감은 장시간에 누적된 진동가속도 뿐만 아니라 순간적으로 발생하는 진동가속도에 의해서도 크게 영향을 받는다. 따라서 순간적으로 발생하는 큰 진동가속도에 의한 승차감지수(ride comfort coefficient)를 함께 분석할 필요가 있다. 그렇지 않을 경우 승차감은 평가기준을 만족하지만, 승객이 실제로 느끼는 승차감은 만족스럽지 않다는 평가를 받을 수 있기 때문이다. 따라서 바이모달 트램의 승차감 관련 요구사항 및 개발목표사양은 장시간 운행에 의한 승차감과 순간적인 승차감도 동시에 정의하여야 할 것이다.

4. 결 론

JNR 기준에 따라 K-AGT 의 승차감 레벨(ride comfort level)을 분석한 결과, 차체 중앙에서의 수직방향 승차감 레벨은 3 등급, 다른 위치에서는 2 등급을 나타냈다. 따라서 K-AGT 는 대중교통수단으로서 충분한 승차감 레벨을 갖는 것으로 분석되었다. 또한 K-AGT 의 승차감을 개선시킬 경우에는 언더프레임의 강성도를 증가시키는 방법이 타당할 것이다. K-AGT 개발단계에서 정의된 승차감 및 진동관련 요구사항과 승차감 시험을 통해 분석된 개선점을 바이모달 트램(Bimodal Tram)의 승차감 관련 요구사항 및 개발목표사양에 준용한다면 대중교통수단으로서 만족할만한 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 아울러, 바이모달 트램의 경우 장시간의 누적 진동 가속도에 의한 승차감 뿐만 아니라 순간적인 진동가속도에 의한 승차감도 동시에 정의해야만 만족할 만한 승차감을 갖는 차량이 개발될 것으로 예측되었다.

후 기

본 논문은 건설교통부의 지원 하에 수행되는 국가연구개발사업의 일부이며, 관계자 분들께 감사드립니다.

참고문헌

1. 김연수, 백남욱, 임태건, 한석윤, "고무차륜 경량전철 차량의 승차감 평가에 관한 연구," 한국정밀공학회 2005년도 춘계학술대회 논문집.
2. 임태건, 김연수, 정상기, 이정선, "고무차륜 AGT 경량전철 차량의 진동특성," 한국정밀공학회 2005년도 춘계학술대회 논문집.
3. 김연수, 정락교, 임태건, 이정선, "고무차륜 AGT 경량전철 차량의 진동해석," 한국정밀공학회 2005년도 춘계학술대회 논문집.
4. H. Suzuki, "Research trends on riding comfort evaluation in Japan," Proc Instn Mech Engrs Part F 212, pp. 61-72, 1998.