고무차륜 경량전철 차량의 승차감 평가

김연수*(한국철도기술연구원), 백남욱(한국철도기술연구원),
임태건(한국철도기술연구원), 한석윤(한국철도기술연구원)

Evaluations of Ride Comfort for the Rubber-Tired Light Rail Vehicle

Y. S. Kim(KRRI), N. U. Baek(KRRI), T. K. Lim(KRRI), S. Y. Han(KRRI)

ABSTRACT

The dynamic model was developed to analyze vibration acceleration and ride comfort during the operation of rubber-tired light rail vehicles. The ride comfort for standing passengers was analyzed in accordance with ISO 2631-1, UIC 513R, and CEN Draft prENV 12299 using this model. The result was applied to the detail design of Korean-standard, rubber-tired light rail vehicles, and the detail specifications related to ride comfort was determined based on this result. The ride comfort test was performed along the test track by using 2 car-train, and its result was compared with that of the ride comfort analysis, verifying the validity of the developed dynamic model. It was also verified whether or not the developed Korean-standardized, rubber-tired light rail vehicle met specified target specifications on ride comfort.

Key Words : Ride Comfot(승차감), Rubber Tire(고무차륜), Light Rail Vehicle(경량전철 차량), Dynamic Analysis

1. 서 론

철도차량에 있어서의 승차감은 승객이 느끼는 진동, 소음, 온도, 습도, 조명, 좌석의 질감, 천정높이, 전망, 환풍 등에 의해 복합적으로 결정된다. 따라서 승차감에 대한 연구는 승차감에 영향을 미치는 물리량의 측정 및 분석 부문과, 인간의 응답 및 거동, 인지의 측정 부문으로 분류될 수 있다. 전자의 경우에는 철도차량의 다양한 동적거동을 해석할 수 있는 수치해석 모델 또는 가상 철도 차량 시스템을 개발하고, 승차감을 평가하여 실험결과와 비교하는 연구가 발표되고 있다. 후자의 경우, 승차감에 영향을 미치는 다양한 인자들에 대한 승객 개개인의 느낌이 모두 다르기 때문에 이들을 모두 고려하여 승차감을 정량적으로 평가하는 것이 대단히 어려운 일이었다. 최근 들어 이러한 인자들을 승차감의 정량적 평가에 적용시키려는 연구가 일본에서 시도되고 있다. 그러나 아직까지는 철도차량의 승차감 평가는 진동가속도를 이용하는 방법이 가장 일반적이고 효과적인 방법으로 인식되고 있다.

철도차량 또는 자동차의 주행 중 발생하는 진동가속도를 측정하여 승차감 기준 및 한계를 제시하고, 계속해서 이들을 발전시킨 다양한 연구가 진행되어 왔으며 많은 국가들에서 철도차량의 승차감 평가를 위해 다양한 표준과 기준을 사용하고 있다. 그러나 진동에 대한 인간의 느낌은 개인마다 모두 다르고, 철도차량의 진동은 차량조건과 궤도조건, 그리고 가속과 감속의 빈도, 노선의 구간별 속도제한을 포함한 운전조건에 따라 달라질 수 있기 때문에, 일반적으로 받아들여 질 수 있는 승차감 평가에 대한 국제표준의 정립이 매우 어려웠다. (1,2)

최근 들어 ISO (International Organization for Standardization)에서는 측정된 차량의 진동 가속도를 인간이 느끼는 감응량으로 정량화하여 건강, 승차감, 인지, 멀미를 평가할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 UIC (International Union of Railway)에서는 ISO 2631-1 을 철도차량에 적용시킨 ORE (Office for Research and Experiments) 및 ERRI (European Rail Research Institute)의 연구 결과를 바탕으로 독자적인 철도차량의 승차감 측정 및 평가방법을 제안하였다 그 이후 CEN (European Committee for Standardization)에서는 UIC 513R 을 토대로 하여 철도차량의 승차감 측정 및 평가방법을 제안하였다.(3-5).

본 논문에서는 한국 표준사양, 주행궤도의 불규칙성, 가감속도 및 속도와 같은 차량의 운전조건을

이용하여 주행 중 고무차륜 경량전철 차량에 발생되는 진동가속도와 승차감을 해석할 수 있는 dynamic model 을 Recurdyn 이라는 상용화된 동특성 해석 프로그램을 이용하여 개발하였다.(6) 이를 이용하여 ISO 2631-1, UIC 513R 과 CEN Draft prENV 12299 에서 규정된 방법에 따라 입석승객의 승차감을 해석하였고, 최종적으로 개발된 2 량 1 편성의 열차를 이용하여 시험선에서 입석승객과 좌석승객에 대한 승차감 시험을 수행하였고, 승차감 해석 결과와 비교함으로써 개발된 dynamic model 의 타당성을 확인하였다. 또한 개발된 한국형 표준 고무차륜 경량전철 차량이 한국 표준사양에서 규정된 승차감의 목표사양을 만족하는 을 검증하였다.

2. 승차감

2.1 승차감 평가 방법 및 기준

ISO 2631-1 은 승차감 평가의 정확도를 보장하기 위해서 최소 한계 주파수가 0.5Hz 일 때 227 초 이상의 진동가속도 측정시간을 규정하고 있다. 또한 UIC 513R 과 CEN Draft prENV 12299 은 300 초 동안 진동가속도들을 측정하도록 규정하고 있다. 따라서 본 연구에서는 모든 조건에서 승차감 해석과 승차감 시험에서 진동가속도 측정시간을 300 초로 설정하였다.

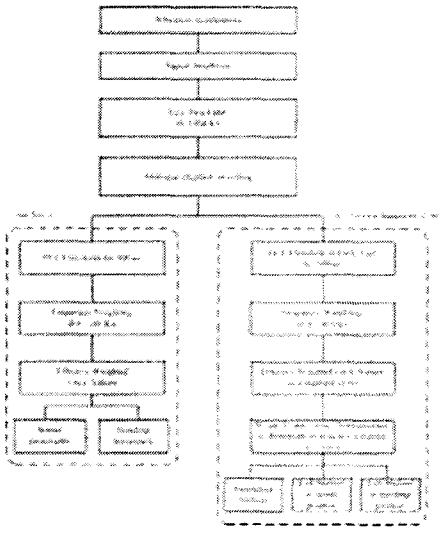

Fig. 1 Overall procedures for ride comfort evaluations

Fig. 1 은 ISO 2631-1, UIC 513R, CEN Draft prENV 12299 에서 규정한 방법에 따라, 본 연구에서 수행된 승차감 평가의 전체 과정을 보여준다. ISO 2631-1 에 의한 승차감 평가에서는 Fig. 1 에서와 같은 위치들에서 300 초 동안 측정된 진동가속도 신호들을 주파수 영역의 디지털 신호들로 변환시킨 후, 규정된 주파수 범위(0.5~80Hz)에 대해 가중함수를 이용하여 가중 r.m.s. 값을 계산한다. 또한 차량에 승차한 입석승객과 좌석승객의 승차감은 식(1), (2)에서 정의된 vibration total value of weighted r.m.s. acceleration 을 계산하여 평가된다.

$$a_{st} = \sqrt{(a_{xp}^{W_d})^2 + (a_{yp}^{W_d})^2 + (a_{zp}^{W_k})^2} \qquad (1)$$

$$a_{se} = \sqrt{(a_{xq}^{W_d})^2 + (a_{yq}^{W_d})^2 + (a_{zq}^{W_k})^2} \qquad (2)$$

UIC 513R 과 CEN Draft prENV 12299 에 의한 승차감 평가에서는 Fig. 1 에서와 같은 위치들에서 5 초(1 block) 동안씩 연속하여 60 번 측정한 진동가속도 신호들을 각각 주파수 영역의 디지털 신호들로 변환시킨 후, 규정된 주파수 범위(0.4~80Hz)에 대해 가중함수를 이용하여 effective weighted r.m.s. values 를 계산한다. 모든 측정위치들에서 계산된 60 개의 effective weighted r.m.s. values 를 이용하여 50% 또는 95% 누적빈도분포를 계산한다. 약식법에 의한 입석승객의 승차감 지수는 식 (3), 정식법에 의한 좌석승객과 입석승객의 승차감 지수는 식 (4), (5)를 이용하여 계산된다.

$$N_{MV} = 6\sqrt{(a_{xp95}^{W_d})^2 + (a_{yp95}^{W_d})^2 + (a_{zp95}^{W_b})^2} \qquad (3)$$

$$N_{UI} = 4(a_{zp95}^{W_k}) + 2\sqrt{+(a_{yq95}^{W_d})^2 + (a_{zq95}^{W_k})^2} + 4(a_{xq95}^{W_c}) \qquad (4)$$

$$N_{VD} = 3\sqrt{16(a_{xp50}^{W_d})^2 + 4(a_{yp50}^{W_d})^2 + (a_{zp50}^{W_b})^2} + 5(a_{yp95}^{W_d}) \qquad (5)$$

3. 승차감 해석

상용소프트웨어인 Recurdy 을 이용하여 dynamic model 을 개발하여 승차감 해석을 수행 하였다. Fig. 2 는 차체와 부수대차, 동력대차, 주행궤도를 모델링한 결과이다.

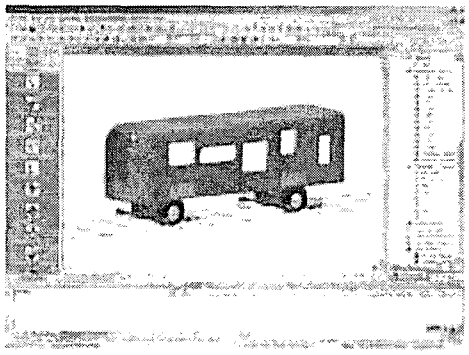

Fig. 2 Dynamic modeling

4. 승차감 시험

개발된 한국형 표준 고무차륜 경량전철 차량에 대해, 승차감을 포함한 목표성능의 만족도를 검증하기 위해, 약 2.4km 길이의 시험선을 건설하였으며 승차감시험은 직선구간과 반경이 480m 인 곡선구간에서 수행되었다.

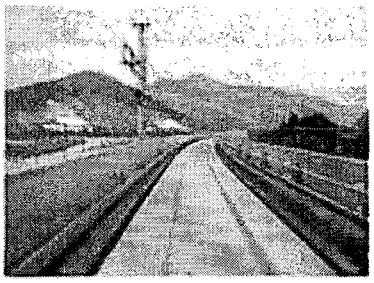

Fig. 3 Test track

5. 결 과

5.1 ISO 2631-1

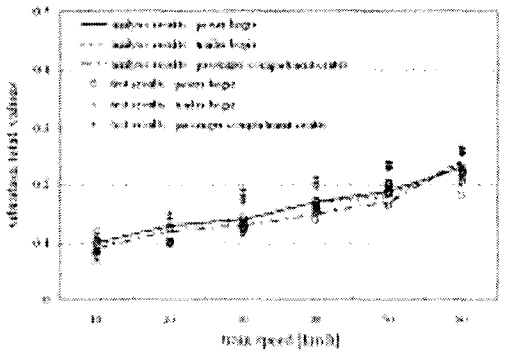

Fig. 4(a) Vibration total values of weighted r.m.s. accelerations for standing passengers under tare weight condition

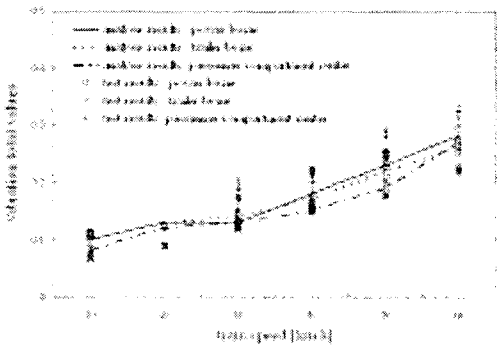

Fig. 4(b) Vibration total values of weighted r.m.s. accelerations for standing passengers under maximum weight condition

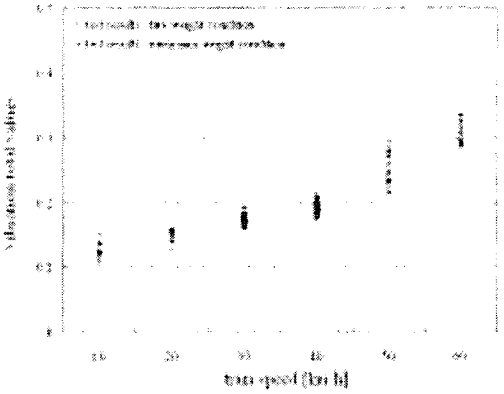

Fig. 5 Test results of vibration total values of weighted r.m.s. accelerations for seated passengers

5.2 UIC 513R/CEN Draft prENV 12299

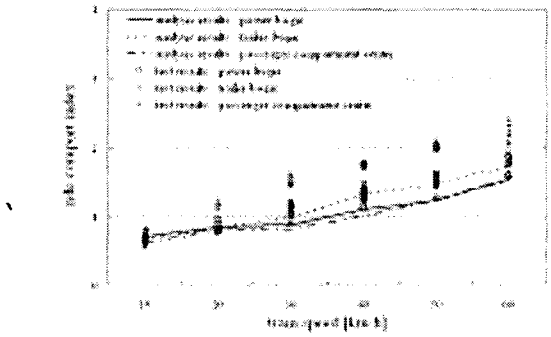

Fig. 6(a) Ride comfort index by UIC 513R and CEN Draft prENV 12299 under tare weight condition : simplified method in standing position

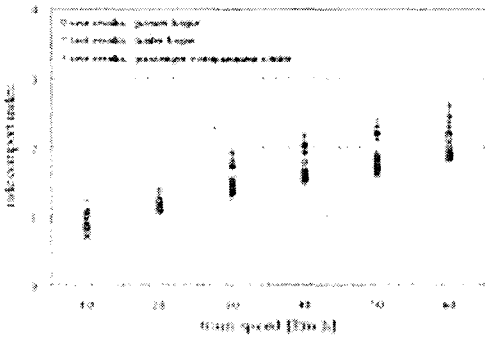

Fig. 6(b) Ride comfort index by UIC 513R and CEN Draft prENV 12299 under tare weight condition : full method in seated position

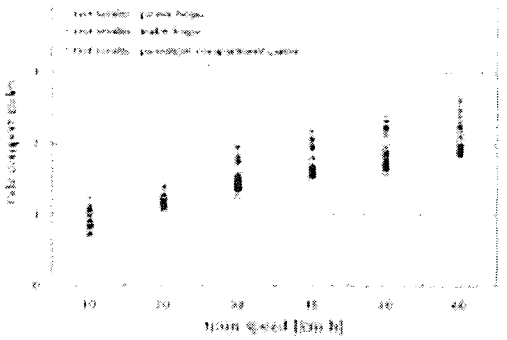

Fig. 6(c) Ride comfort index by UIC 513R and CEN Draft prENV 12299 under tare weight condition : full method in standing position

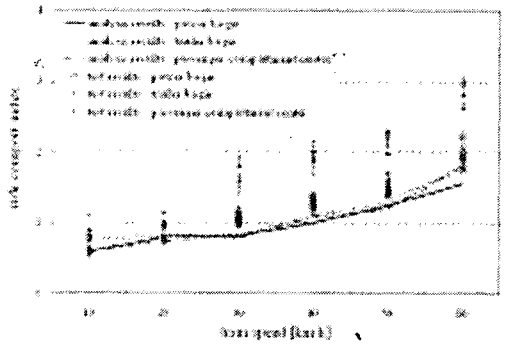

Fig. 7(a) Ride comfort index by UIC 513R and CEN Draft prENV 12299 under maximum weight condition : simplified method in standing position

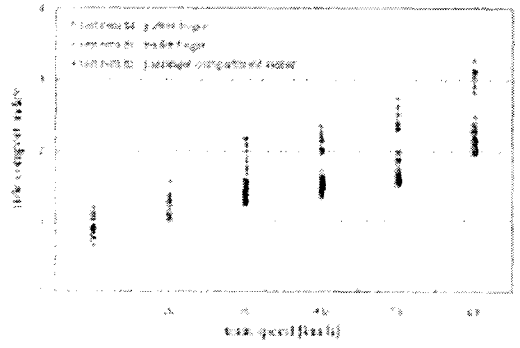

Fig. 7(b) Ride comfort index by UIC 513R and CEN Draft prENV 12299 under maximum weight condition : full method in seated position

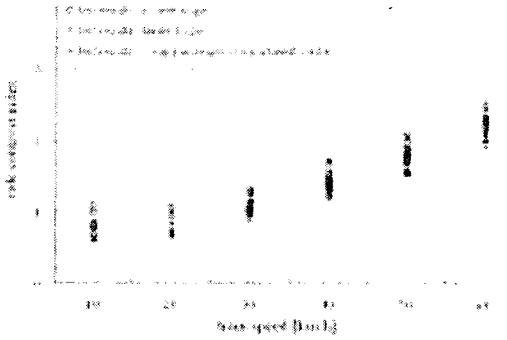

Fig. 7(c) Ride comfort index by UIC 513R and CEN Draft prENV 12299 under maximum weight condition : full method in standing position

6. 결 론

고무차륜 경량전철 차량 에 대해, ISO 2631-1, UIC 513R and CEN Draft prENV 12299 에서 규정한 방법에 따라 입석승객의 승차감을 해석할 수 있는 dynamic model 을 개발하였으며 시험선에서의 승차감 시험을 통해 dynamic model 을 사용한 승차감 해석결과는 신뢰할 수 있음을 증명하였다..

본 연구에서 개발된 dynamic model 을 한국형 표준 고무차륜 경량전철 차량의 설계과정에서 활용하여, 승차감에 영향을 미칠 수 있는 차량 구성품의 상세사양을 결정하였다. 시험선에서의 승차감 시험을 통해, 개발된 한국형 표준 고무차륜 경량전철 차량이 승차감에 대한 개발 목표사양을 만족하였음을 증명하였다.

참 고 문 헌

1. Kim, Y. G, et al., 밅orrelation of the ride comfort evaluation methods for railways vehicles? Proc. Instn Mech Engrs, 2003.
2. Garg, V.K., et al., 밅ynamics of Railway Vehicle Systems? Academic Press Canada, 1984.
3. ISO 2631-1, 밠echanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration? 1997.
4. UIC 513R, 밎uidelines ofr Evaluating Passenger Comfort in Relation to Vibration in Railway Vehicle? 1994.
5. CEN Draft preENV 12299, 밠ailway Application? 1999
6. 김연수, 백남욱, 임태건, ? 고무차륜 AGT 경량전철 차량의 주행특성 해석? 한국정밀학회 추계학술대회 논문집, 2004.