

UIC 518의 진동 가속도 계측을 통한 한국형 고속전철의 350km/h 주행 동적 거동 평가

Estimation of the Dynamic Behavior for Korean High Speed Train at 350km/h using the Accelerations according to the UIC Code 518OR

박찬경[†] · 김기환* · 김영국* · 김석원* · 목진용*

Chan-Kyoung Park · Ki-Wghan Kim · Young-Guk Kim · Seok-Won Kim · Jin-Yong Mok

Abstract

The characteristics of dynamic vibration are generally analyzed by an acceleration of a car body of high speed train and the acceleration can be applied to evaluation of running safety. The test of process and the analysis method about it are well explained on UIC Code 518 OR which is the spacial international standard about running safety and dynamic behavior on the line test for railway vehicle. Korean High Speed Train designed to operate at speed 350km/h has been tested on high speed line since it was developed in 2002 and it recorded the highest speed 352.4km/h at the 16th Dec. 2004 in Korea. This paper includes the analysis of running behavior of this train at speed 350km/h and the analysis of dynamic safety is presented in it, extending to the range of high speed while the UIC 518 limit the speed below 200km/h.

Keywords : Dynamic Behavior(동적거동), Korean High Speed Train(한국형고속열차), Acceleration(가속도), UIC Code 518 OR

1. 서론

한국형 고속전철은 선도기술개발사업의 일환으로 2002년에 개발을 완료하여 광명-동대구 구간의 고속신선과 서대전-목포 구간의 기존선에서 신뢰성 시험을 위한 주행시험 중에 있다. 현재 고속본선 시험은 300km/h의 속도로 KTX와 동일한 상업 운행 속도로 주행하고 있으며 2004년 12월 16일에는 352.4km/h의 속도를 기록한 바 있다. 일반적으로 철도차량의 동적 성능은 안정성, 안전성, 승차감등이 있으며 이중 안정성은 본선 시운전 시험에서는 수행하기 어려우며 한국형 고속전철의 경우 본선시운전 시험 이전에 Roller Rig Test로 400km/h의 속도에서도 안정성이 확보되는 것을 확인한 바 있다[1].

따라서 본선시운전 시험에서는 안전성과 승차감에 대한 성능분석을 가속도 계측결과를 이용하여 살펴보았다. 이에

대한 기준으로는 국제철도연맹에서 제정한 UIC 518 OR[2] 기준을 적용할 수 있으며 여기에는 휠과 레일의 상호 작용력 계측을 이용한 Normal Method와 가속도계를 이용한 Simplified Method에 대한 시험절차 및 분석방법론에 대하여 명시하고 있다. 그러나 가속도계를 이용한 분석 방법론은 동적거동의 경우 300km/h 속도대역에서도 적용할 수 있는 반면 안전성의 경우 속도 200km/h 이하의 속도에서 평가하게 되어 있어 한국형 고속전철의 350km/h의 속도에 대한 가속도계를 이용한 안전성 평가에는 문제점을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 동적거동에 국한하여 평가분석을 실시하고 이를 속도대역에 대한 경향을 분석하여 속도증가에 따른 동적거동의 크기변화를 예측 할 수 있도록 하고자 한다.

2. 주행시험 개요

한국형 고속전철이 350km/h의 속도로 시운전 시험한 노선은 Fig. 1과 같이 고속 시선의 서울역 기점 KP 115Km~119Km 구간이며 이구간은 4%의 구배와 터널및 토공구간으로 이루어져 있다. 또한, 차량의 동적 특성을 계측하기 위

[†] 책임저자, 정회원, 한국철도기술연구원, 고속철도기술개발사업단
E-mail : ckpark@krrri.re.kr
TEL : (031)460-5613 FAX : (031)460-5649

* 한국철도기술연구원

하여 Fig. 2와 같이 가속도계를 열차의 차체와 대차 및 액슬 박스에 장착하였다. 차체에는 Kistler사의 저주파용 Capacitive type 가속도계(모델명 : 8305A2)를 총 13개 장착하였으며, 대차와 차축 액슬박스에도 Kistler 사의 큰 영역의 가속도 계측이 가능한 ICP type 가속도계(모델명 : 8774A50)를 총 74개 장착하였다[3]. 가속도계에 의해 계측된 신호는 National Instruments사의 신호증폭기(모델명 : SCXI 1531)와 A/D 변환기(모델명 : PXI 6070E) 및 필터를 통하여 디지털 데이터로 저장되며 저

장을 위한 sampling frequency는 계측 모듈의 특성에 따라 500Hz와 1kHz로 구분하였고 디지털 필터는 200Hz를 사용하였다[4,5].

3. 가속도계측을 통한 주행 동적성능 분석

Fig. 2에서와 같이 장착된 가속도계를 이용하여 각 차체와 대차에서 측정된 가속도 값중 동력대차 및 차체와 관절대차 및 객차 차체에 대하여 살펴보면 Table 1과 같다.

Table 1에서 보이는 각 그래프의 X축은 주행시간으로 약 35초간 3km 정도를 주행한 측정결과이며, 각 가속도 값들은 UIC 518 OR에서 제시하는 평가항목인 차체가속도의 횡 및 상하방향 가속도로써 Fig. 3에서 보는바와 같이 각 데이터들의 처리 방법에 따라 차체 상하 및 횡 가속도 모두 0.4~10.0Hz의 Band Pass Filter를 적용 하여 도시하였다. 또한 본 연구에서 적용한 section 길이는 100m로 하였으며 총 section의 개수는 24개를 사용하였다. 이는 실제 UIC 518 OR에서 제시한 500m, 25개 이상의 조건에는 미치지 못하지만 350km/h 속도에서의 시험구간이 짧기 때문에 최대한 근접된 조건을 유지토록 하였다. 각 section에서 계산된 통계값은 전체 시험구간에서 취합하며 취합된 값의 평균값(X_{mean})과 표준편차(s)를 이용하여 예측값(X_m)을 식 (1)과 같이 계산토록 하였다.

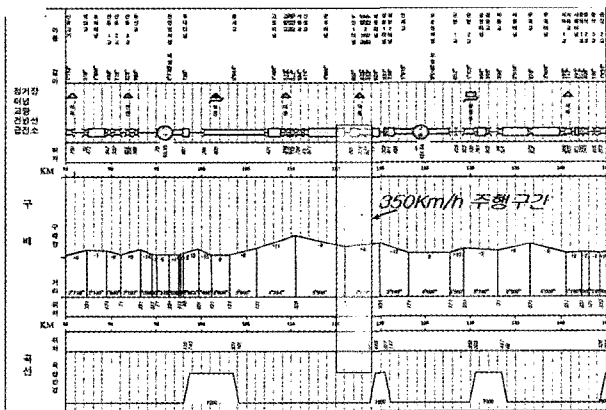


Fig. 1. Diagram of test line including the region of running at 350km/h.

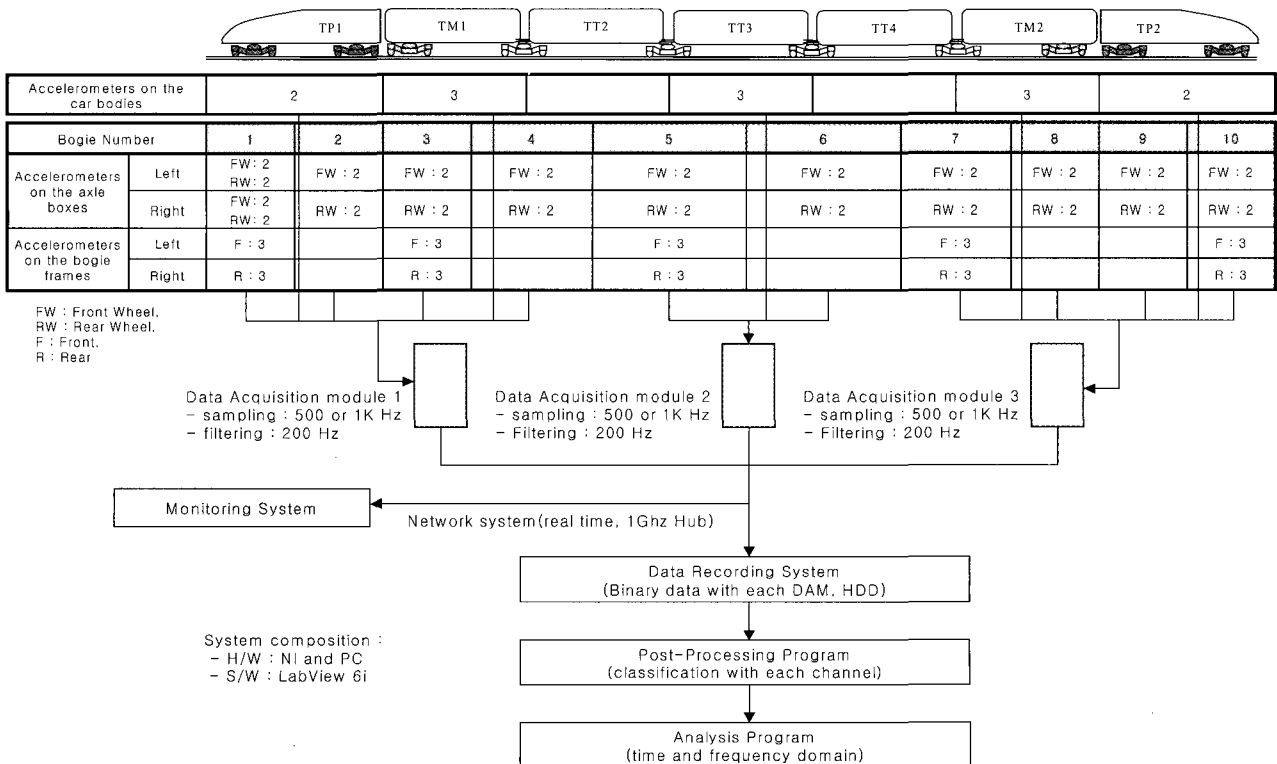


Fig. 2. The composition of the data acquisition systems for KHST dynamics

Table 1. Test Results about Acceleration of Bodies and Bogies at 350km/h

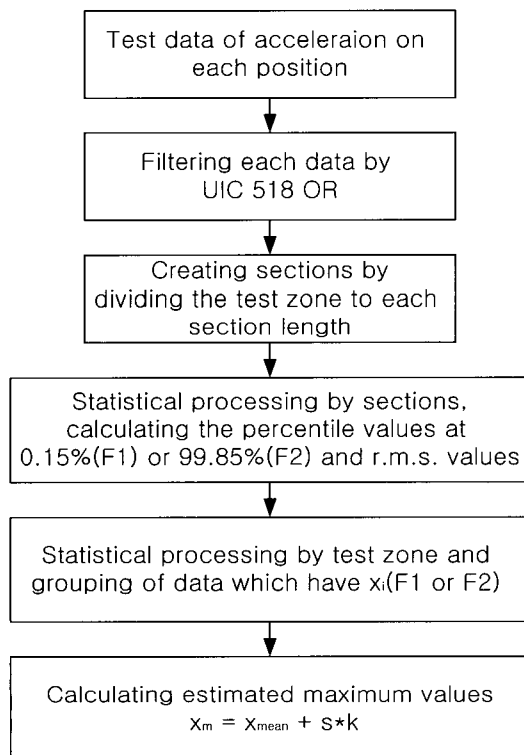
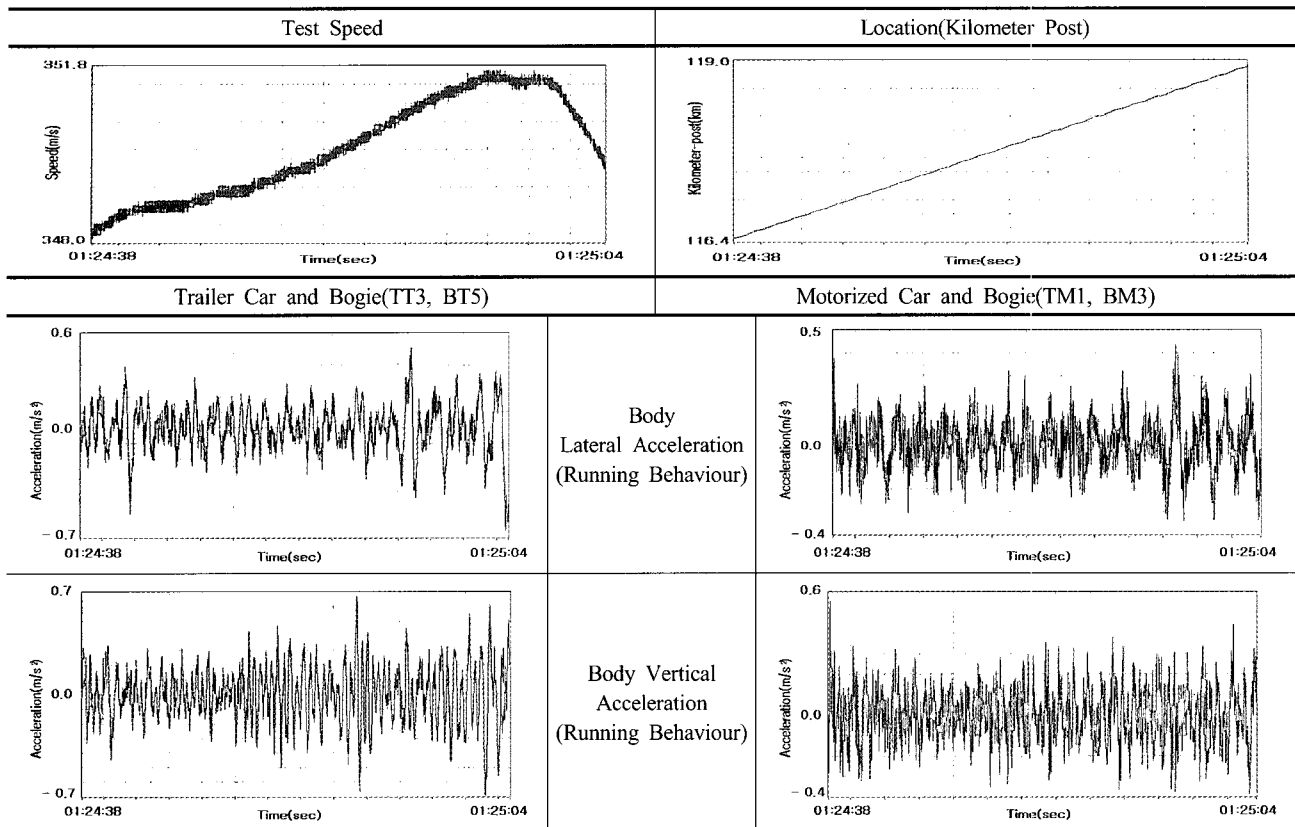


Fig. 3. The flow chart of data processing for UIC Code 518 OR

이 예측값은 UIC 518 OR에 규정된 제한 기준값과 비교하여 주행 거동을 판정토록 하였다.

$$X_m = X_{mean} + s \cdot k \quad (1)$$

여기서, k는 평가항목 및 가속도 특성에 따른 지수로서 UIC 518 OR에 따라 주행거동 관련 항목은 2.2를 사용하였다. Fig. 3의 흐름도는 UIC 518 OR에서 제시하는 평가지수(X_m) 계산과정을 알기 쉽게 정리한 것으로 본 연구에서는 LabView를 이용하여 프로그램을 개발하였으며 시스템적으로 데이터 처리를 할 수 있도록 고안하였다. 한국형 고속열차가 350km/h로 주행한 Table 1의 데이터를 각 section에 대하여 통계값을 구하고 이를 이용하여 식 (1)을 적용하면 각 가속도 구분별로 UIC 518 OR의 기준에 대하여 평가될 수 있으며 그 결과를 살펴보면 Table 2와 같다. Table 2는 총 24개의 Section에 대하여 99.85%에 해당되는 값(max)과 r.m.s.(root mean square) 값을 막대 그래프로 도시하였으며, 식 (1)에 적용되는 X_{mean} 과 s값을 계산하여 제시하였다. 또한 예측값인 X_m 을 기준값과 그 수준을 비교하기 위하여 제시하였으며 이를 종합하여 Table 3에 작성토록 하였다. 여기서 차체의 정상 횡가속도는 곡선반경 7,000m의 곡선을 통과 시에 20Hz Low pass filter

Table 2. The graph of statistical processing results about Table 1.'s data

Trailer Car and Bogie(TT3, BT5)		Motorized Car and Bogie(TM1, BM3)	
	Body Lateral max. Acceleration (Running Behaviour)		Body Lateral max. Acceleration (Running Behaviour)
	Body Vertical max. Acceleration (Running Behaviour)		Body Vertical max. Acceleration (Running Behaviour)
	Body Lateral r.m.s. Acceleration (Running Behaviour)		Body Lateral r.m.s. Acceleration (Running Behaviour)
	Body Vertical r.m.s. Acceleration (Running Behaviour)		Body Vertical r.m.s. Acceleration (Running Behaviour)

Table 3. The results of dynamic behavior for Korean High Speed Train at 350km/h

항 목			기 준(%)		결 과(%)	
			Max.	r.m.s.	Max.	r.m.s.
객차 및 관절대차 (TT3, BT5)	주행 거동	차체 횡 가속도	2.5	0.5	0.52787	0.22728
		차체 상하 가속도	2.5	0.75	0.67058	0.33362
		차체 정상 횡 가속도	1.5		0.41	
동력차 및 동력대차 (TM1, BM3)	주행 거동	차체 횡 가속도	2.5	0.5	0.46946	0.16989
		차체 상하 가속도	2.5	0.75	0.44988	0.18398
		차체 정상 횡 가속도	1.5		0.53	

적용하여 그 평균값으로 계산하였으며 곡선 통과속도는 평균 334.25km/h였으며 최고속도는 348.9km/h였다. Table 3에서 살펴본 350km/h 주행 속도대역에서 가속도 계측 결과를 이용한 한국형 고속전철 동적 거동수준은 기준보다 현저하게 낮은 수준을 나타내고 있어 양호한 것으로 판단되며 그 이상의 속도 주행도 가능할 것으로 판단되고 있다. 이러한 판단은 속도도에 대한 주행거동 특성에 대한 경향을 살펴봄으로써 확인할 수 있다. 이를 위하여 350km/h 주행 시에 적용한 데이터를 이용하여 속도 증가에 따른 동적거동 특성을 UIC 518에 따라 500m Section 마다 99.85%에 해당되는 값을 계산하고 이를

식 (2)와 같은 최소자승법을 적용하여 2차 함수로 근사화하면 오차가 최소화되는 근사식(Fitting Curve)을 얻을 수 있다.

$$Y = Xb \quad (2)$$

where $b = (X'X)^{-1}X'Y$

이렇게 계산된 값을 객차 및 관절 대차에 대하여 적용하고 안전계수 2.2를 고려하여 그래프로 도시하면 Fig. 4~Fig. 7과 같다. 이러한 그래프는 UIC 518의 적용에 따라 제한을 받았던 Section길이 문제를 해결할 수 있었으며 350km/h 이상의 속도에서의 경향을 살펴볼 수 있도록 한다. 먼저 최대값

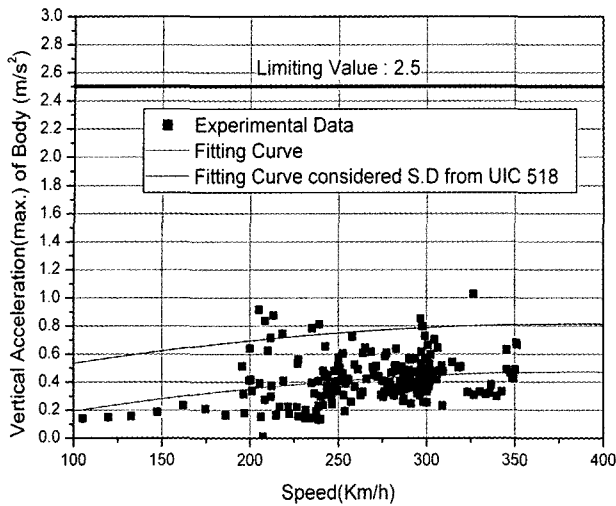


Fig. 4. Vertical accelerations of the body (Max. Dynamic behavior)

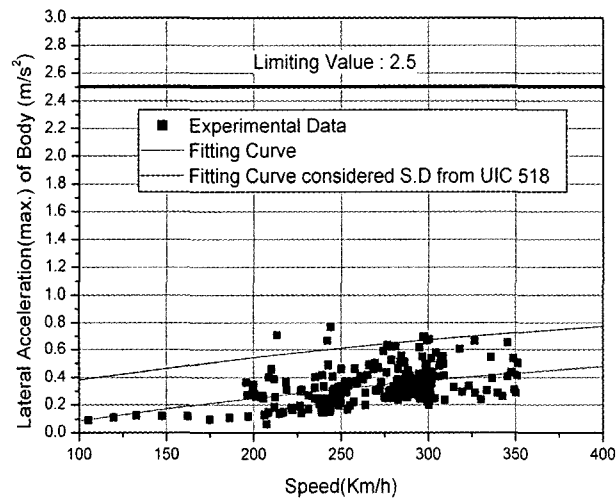


Fig. 5. Lateral accelerations of the body (Max., Dynamic behavior)

기준의 차체 횡 및 상하가속도의 경우를 살펴보면 400km/h시 도 0.8 수준을 나타내고 있으며 r.m.s.값 기준으로는 0.3 수준 을 넘지 않는 것으로 나타나고 있다.

상기분석 결과는 350km/h로 주행된 적은시간동안의 분석 결과와 1회에 걸친 시험분석 내용으로서 충분한 데이터를 확보하고 장시간의 주행결과를 통하여 분석될 필요성이 있으나 본 연구에서는 이에 대한 방법론과 국내 최고속도에서의 결 과를 파악하기 위해서 그 평가 수준을 제시하였다.

4. 결론

본 연구에서는 2004년 12월 16일에 한국형 고속전철이 국 내에서 최초로 350km/h로 주행했을 때 동적 분석내용을 담고 있다. 분석은 UIC 518 OR의 가속도계를 이용한 분석 방법론

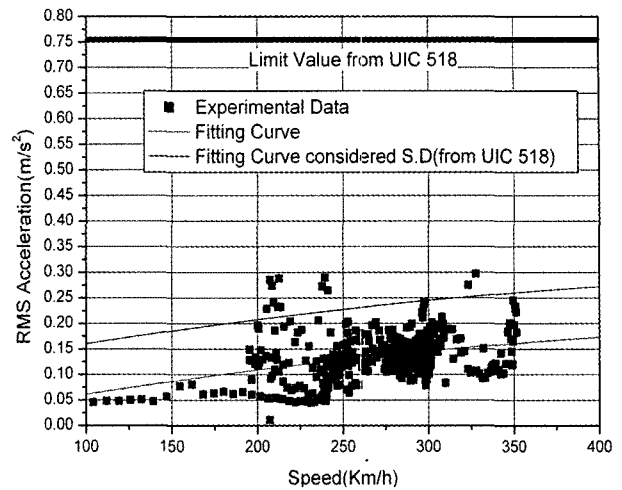


Fig. 6. Vertical accelerations of the body (r.m.s., Dynamic behavior)

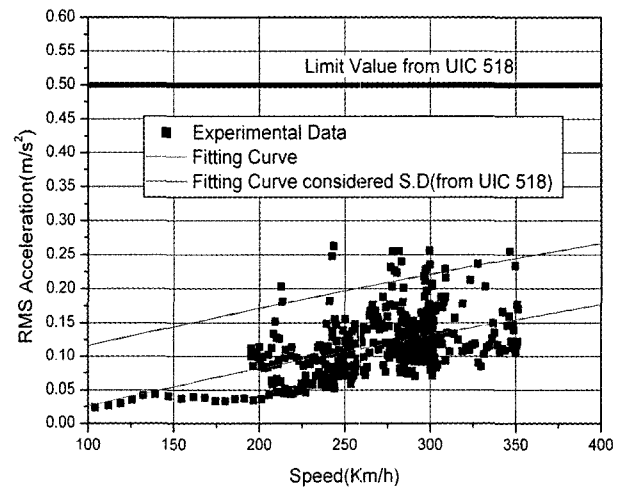


Fig. 7. Lateral accelerations of the body (r.m.s., Dynamic behavior)

을 이용하였으며 본 논문에서는 이에 대한 데이터 처리 과정 과 분석 방법론 및 그 결과를 제시하였다.

분석방법은 통계적 개념이 도입되어 매우 복잡한 절차를 갖고 있으며 본 연구에서는 이에 대한 분석을 시스템적으로 처리할 수 있도록 프로그램을 개발하여 사용하였다. 분석 결 과로는 한국형 고속열차의 350km/h 속도 대역 주행 시에 매 우 양호한 수준을 유지하는 것으로 나타나고 있으며, 제시된 기준보다 매우 낮은 수준 을 나타내고 있어 그 이상의 속도로 주행 가능할 것으로 판단되고 있다.

후 기

본 내용은 건설교통부에서 시행하는 고속철도기술개발사 업의 기술결과임을 밝힌다.

참 고 문 헌

1. 김진태 외 2인 (2002), “주행 시험대에서의 고속전철 개발대차의 주행안정성 평가”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.835-844.
2. UIC code 518 OR (2003), “Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour-Safety-Track fatigue-Ride quality”.
3. 박찬경 외 2인 (2003), “한국형 고속전철의 진동가속도 시험 연구”, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집.
4. 김석원 외 4인 (2002), 고속전철 시운전 시험 및 평가용 측정시스템 개발(I)-하드웨어, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.169-173.
5. 김석원 외 4인 (2002), 고속전철 시운전 시험 및 평가용 측정시스템 개발(II)-소프트웨어, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp.174-181.