UIC 518 OR의 가속도계를 이용한 차세대고속열차(HEMU-430X) 동적 거동 안전성 평가

Safety Evaluation of the Dynamic Behavior of HEMU-430X using the Accelerometers of UIC 518 OR

류상현* · 김상수 · 홍준희 · 송두상 · 곽양양

Sang-hyun Ryu · Sang-soo Kim · June-hee Hong · Doo-sang Song · Yang-yang Guo

Abstract The next generation high-speed train(HEMU-430X) is Korea's first electric multiple unit type, high speed vehicle resulting from a national R&D project. Tests have been conducted on the Kyungbu High Speed Line running at speeds up to 354.64km/h, and analysis of the dynamic behavior of the train was carried out to evaluate its safety. In this study, a simplified method using an accelerometer(the method specified in UIC 518 OR) was chosen to analyze the safety of the train's dynamic behavior. The section chosen for analysis section was $\pm 10\sim 20\text{km/h}$ with respect to the maximum speed point. In addition, we analyzed the trend of this dynamic behavior with increasing speed by comparing the analyzed values with those of UIC 518 OR. The dynamic behavior results met the limit values of UIC 518 OR and the study indicates that this trend is predicted to continue at speeds above 354km/h.

Keywords : Dynamic behavior, Next generation high speed train , Acceleration, UIC 518 OR

초 록 차세대고속열차는 국가 연구개발사업으로 국내에서 최초로 개발한 동력분산식 차량이다. 차세대고속열차의 성능시험을 위해 경부고속 구간에서 속도 354.64km/h 까지 1차 시운전을 종료하였다. 따라서 주행안전성을 위해 대차 및 차체의 동적 거동 분석을 통한 안전성 평가가 필요하다. 본 연구의 동적 거동 안전성 분석방법은 UIC 518 OR의 가속도계를 이용한 단순방법(Simplified method)를 이용하였고, 분석구간은 최고속도 지점 기준으로 $\pm 10\sim 20\text{km/h}$ 범위로 하였다. 이에 분석된 결과 값을 UIC 518 OR의 제한기준 값과 비교하여 차량마다 해당 속도에서의 동적 거동과 속도증가에 따른 경향을 분석하였다. 본 연구의 결과, 동적 거동 분석결과는 UIC 518 OR 제한기준에 모두 만족하였고, 이러한 경향은 속도 354km/h 이상에서도 지속될 것이라 예측된다.

주요어 : 동적 거동, 차세대고속열차, 가속도, UIC 518 OR

1. 서 론

프랑스, 독일, 일본 등 국외 철도선진국에서는 지리적 환경과 차량의 특성 등을 고려하여 고속열차의 동력방식을 동력집중식에서 동력분산식으로 채택하고 있는 추세이다. 특히, 일본은 화산지형으로 지반이 연약하여 축중을 경감하고 역간 거리가 짧아 가·감속 성능이 우수해야 한다는 이유로 과거부터 동력분산식을 적용하고 있다.

이에 국내에서도 세계적 추세에 맞는 동력분산식 시험차량인 차세대고속열차(HEMU-430X : High speed Electric Multiple unit-430km/h eXperiment)를 국토해양부 주관의 차세대고속철도기술개발사업으로 제작하였다.

이 시험차량의 목표 최고속도는 430km/h로써 2012년 9월에 속도 354.64km/h까지 달성하였다. 과거 동력집중식 한국

형고속열차(HSR-350x)는 속도 352.4km/h의 속도를 기록한 바 있고[1], 이에 대해 가속도계를 이용한 주행안전성 평가가 이루어졌다[2].

차세대고속열차는 동력분산식 동력방식을 국내 최초로 적용하였을 뿐만 아니라, 대차방식도 기존 동력집중식 고속차량의 관절대차 방식과 달리 독립대차 방식으로 설계·제작하였다. 따라서 독립대차의 특성을 파악하기 위하여 각 차량 대차마다의 동적 거동과 차체에 대한 동적 거동 안전성 분석이 필요하다. 또한, 시험선로가 없는 국내 여건상 야간 시간대를 이용하여 영업선로에서 시험운행을 하기 때문에 안전에 대한 부분이 강조됨과 동시에 차량에 대한 안전성 확보가 절실히 필요하다.

UIC 518 OR에서는 안전성 평가 시 정속주행 일 때, 구간길이 500m씩 25개 이상 구간을 분석하여 평가하도록 제시되어 있으나, 국내 시험환경 여건이 이러한 조건을 적용함에 있어 제약이 따르기 때문에 향후 국내 환경을 고려한 자체적인 평가기준(안)마련이 필요함에 따라 기초적인 자료가 필요할 것이라 생각된다. 따라서 본 연구에서는 주행거리가 짧은 관계로 구간길이 100m씩 분할하여 분석하였고,

*Corresponding author.

Tel.: +82-31-460-5607, E-mail : djguy2240@hanmail.net

©The Korean Society for Railway 2013

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2013.16.1.032>

이에 속도 300km/h일 때 구간길이 100m씩 분할하여 분석한 결과와 500m씩 분할하여 분석한 평가대상 값(Estimated value)의 차이를 확인하고, 그 차이에 대한 원인을 구간길이에 따른 구간 별 평균 값과 표준편차 분석을 통해 밝히고자 한다.

따라서 본 연구에서는 해당속도에 따른 차량 별 대차의 횡방향과 제어객차인 TC차량, 동력객차인 M2차량, 제어동력차인 MC차량의 차체 횡 및 상·하 방향의 동적 거동을 분석하고 평가하기 위해 국제철도연맹에서 제정한 UIC 518 OR의 가속도계를 이용한 단순방법(Simplified method)을 적용하였다[3]. 또한, 차량 별로 분석된 대차 및 차체의 평가대상 값(Estimated value)이 속도증가에 따라 변화되는 차이와 다음 속도에서의 경향을 예측하였다.

아울러 본 연구에서 수행한 속도 300km/h 일 때(KP303-311.5), 100m씩 구간 분할하여 분석된 결과 값과 UIC 518 OR에서 제시한 500m씩 분할하여 분석한 결과 값의 차이를 확인하고자, 구간 분할길이 100~500m까지 100m씩 증가시켰을 때의 평균 값과 표준편차 차이를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 시험개요

차세대고속열차는 Fig. 1과 같이 6량 1편성이며, 제어객차인 TC(Trailer car + Controlled), 동력객차인 M1~M4(Motor car), 제어동력차인 MC(Motor car + Controlled)로 구성되며, 대차는 BN(Bogie number) 01~12까지 12대이다.

본 시험에 사용된 가속도센서는 Fig. 2의 DYTRAN사의 저주파용 Capacitance type의 가속도센서를 사용하였고, 대차 센서의 모델(Model)명은 7500A4, 차체는 7500A2이다[9].

대차 센서는 대차프레임에 설치하였고, TC차량 및 M2차량의 차체 센서는 대차상부 앞쪽의 차체 바닥, MC차량의 차체 센서는 뒤쪽 차체 바닥에 설치하였다.

시운전 전체 구간은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 시험구간 선정을 위한 연구를 통해 선정된 동대구~부산 간이며[4-5], 최고속도 시험은 신경주~동대구 간에서 수행하도록 계획되어 있다.

본 연구의 시험속도는 300~354km/h이며, 시험구간은 울

Fig. 1 Test vehicle configuration

Fig. 2 Capacitance type accelerometer

Fig. 3 Maximum running section for the on-line test

Fig. 4 Actual scene of the vehicle measurement system rack

산(KP366)~고모(KP297)간 상행선이다.

본 연구에 이용된 대차 및 차체 가속도 계측데이터 수집 및 저장을 위한 계측모듈은 Fig. 4와 같이 랙 형태로 구성하여 각 차량마다 수화물 칸에 설치하였다. 차량계측 랙(Rack)은 상단부터 컨트롤러가 내장된 PXI, 터미널블록(Terminal block), 신호처리새신인 SCXI, 센서의 전원을 공급하기 위한 직류전원공급장치(P/S), 그리고 무정전 전원공급장치(UPS) 순으로 구성하였다. 계측된 데이터는 National Instruments사의 SCXI 및 PXI를 통해 디지털로 저장되며, Sampling frequency는 1kHz이다. 또한, 차량계측모듈에서 광 케이블을 통해 전송된 가속도 계측데이터를 모니터링하기 위한 PC는 별도로 구성한 종합계측실(M2 car)에 설치하였고, 모니터링프로그램을 설치하여 계측시험 상태를 실시간으로 현시가 가능하도록 하였다[6,7].

2.2 동적 거동 분석방법 및 절차

동적 거동 안전성 평가에 이용된 단순방법(Simplified method)은 가속도계를 이용하여 대차 횡 가속도와 차체의 횡 및 상·하 가속도를 계측하고, 계측한 값에 대해 구간(Section)을 분석하여 안전성을 평가하는 방법이다.

데이터 처리 시 필터링은 대차 횡 가속도에 대해 10Hz low-pass filter, 차체 횡 가속도는 6Hz low-pass filter, 차체 상·하 가속도는 0.4~4Hz band-pass filter를 적용하였다.

Table 1 Test Sections for the UIC 518 OR analysis

Speed(km/h)	Kilo post(km)
300	303.7~311.5
310	303.6~309.4
320	303.5~306.8
330	302.4~306.6
340	304.7~308.5
354	303.9~307.9

Fig. 5 The flow chart of data processing in UIC 518 OR analysis

UIC 518 OR에서 제시된 구간길이(Section length)는 500m 씩 구간을 나누어 25개의 구간 이상이다. 그러나 본 연구에서는 시험구간이 짧기 때문에 100m로 하였고, Table 1과 같이 해당최고속도 지점에서 전·후 $\pm 10 \sim 20$ km/h의 범위에 해당되는 구간의 데이터를 분할하였다.

본 연구에 이용된 분석방법은 Fig. 5의 데이터 처리 절차에서 보는 바와 같이 평가를 위한 구간의 필터링 한 가속도 데이터의 값 중 상위 99.85%(F1) 혹은 하위 0.15%(F2) 값 중 큰 값의 절대 값을 해당 구간의 대표 값으로 정하였다.

각 구간에서 계산된 통계 값은 전체 시험구간에서 취합하며, 취합된 값의 평균 값(X_{mean})과 표준편차(s)를 이용하여 예측 값(X_m)을 식 (1)과 같이 계산하였다. 이 예측 값을 UIC 518 OR에서 규정된 제한기준 값과 비교하여 안전성을 판정하도록 하였다.

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

여기서 k 는 평가항목 및 가속도 특성에 따른 지수를 나타내며, UIC 518 OR의 규정에 의해 대차는 3, 차체는 2.2를 적용하였다.

Table 2 Limit value of the safety evaluation

Item	Limit value(m/s ²)
Bogie lateral acceleration	$12 - M_b/5$
Vehicle body lateral acceleration	3
Vehicle body vertical acceleration	3

Table 2는 대차 횡, 차체 횡 및 상·하의 동적 거동 안전성 허용한도 기준을 나타낸 것이고, M_b 는 대차질량(ton)을 의미한다[2].

TC차량의 대차질량은 6.407ton, M차량(M1~MC)의 대차질량은 7.663ton이므로 식 (2)를 적용하여 계산하면 TC차량의 대차 횡 가속도 허용한도 기준은 10.72 m/s^2 가 되고, M차량의 대차 횡 가속도 허용한도 기준은 10.47 m/s^2 이 된다.

$$X_{lim} = 12 - M_b/5 \quad (2)$$

본 연구에서는 계측데이터 분석은 별도의 프로그램을 개발하여 이용하였고, 분석프로그램은 메인 분석프로그램과 UIC 518분석 프로그램으로 구분된다. 메인 분석프로그램은 계측데이터의 후처리 및 구간분할을 위해 이용하고, UIC 518 분석프로그램은 분석 구간길이, 데이터 처리 필터 등 설정을 통해 안전성을 평가하기 위해 이용하였다[8].

2.3 분석결과 및 고찰

본 연구에서는 차량 전체의 대차와 TC, M2, MC차량 차체의 가속도를 계측하고, UIC 518 OR에서 제시한 분석방법을 적용하여 해당속도의 차량 별 동적 거동 안전성과 속도증가에 따른 동적 거동 변화에 대한 분석을 수행하고, 다음 속도에 대해 예측하였다.

아울러 속도 300km/h구간에 대해 분석 시 100m에서 500m까지 구간 분할길이 변화에 따른 Estimated value 값의 차이를 확인하고, 그 원인에 대해 구간 별 평균 값과 표준편차를 분석하였다.

Fig. 6은 속도 300km/h일 때 전체 시운전 구간에 대한 계측결과를 나타내고 있으며, 차체 횡 가속도의 경우 계측 신호가 아래쪽(-)으로 나타난 것은 곡선 주행 시 원심력에 의

Fig. 6 Measurement results of the TC car at 300km/h

해 곡선 주행상태에서 진행 방향(TC차량 방향) 우측 바깥쪽으로 치우친 것을 의미하며, 위쪽(+)인 경우 좌측 바깥쪽으로 치우친 것을 의미한다.

2.3.1 동적 거동 안전성 분석결과 및 예측

차량 별 대차 및 차체의 동적 거동 안정성을 평가하기 위하여 2.2항에서 제시한 분석방법을 이용하여 평가대상 값과

허용한도 기준 값과의 수준을 비교하였다. 비교결과 본 연구에서 수행한 평가대상인 대차와 차체의 동적 거동은 허용한도 기준에 모두 만족함을 확인하였다. 아울러 속도증가에 따른 차량 별 동적 거동 변화를 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7(a)의 TC차량 대차 및 차체의 동적 거동은 속도 300~354km/h까지 허용한도 기준을 모두 만족한 것으로 나

(a) TC

(b) M1

(c) M2

(d) M3

(e) M4

(f) MC

Fig. 7 Analysis results of the dynamic behavior of the trains

타났으나, 340km/h 구간에서 후위대차(BN02)의 평가대상 값이 2.492m/s^2 , 전위대차(BN01)의 평가대상 값이 4.839m/s^2 로 허용한도 기준에 대해 약 21.9%의 차이를 나타냈다. 또한, 속도 340km/h 이상 일 때 전·후위대차의 거동이 현저히 증가하는 것으로 나타났다.

(b)의 M1차량의 대차의 동적 거동은 허용한도 기준에 만족하였고, 속도 증가에 따라 급격하게 증가하진 않았다.

(c)의 M2차량 차체의 거동은 속도증가에 따라 비례적으로 증가하진 않았고, 대체로 거동에 대한 큰 차이가 없이 안정적으로 나타났다. 이는 고속주행 조건을 고려한 설계가 잘 이루어진 것으로 생각된다.

또한, M2차량의 대차의 동적 거동은 모두 허용한도 기준 이내를 만족하였고, 속도 330km/h 구간에서 전위대차(BN05)의 평가대상 값은 속도 330km/h 이외에 평균 값 1.538m/s^2 보다 높은 2.374m/s^2 로 나타났다. 마찬가지로 후위대차(BN06)의 평가대상 값은 속도 330km/h 이외에 속도 평균 값 2.384m/s^2 보다 높은 3.298m/s^2 로 나타났다. 이는 시운전 주행환경에 따른 순간적인 영향으로 인한 것으로 생각되며, 안전성에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

(d)의 M3차량 대차 동적 거동은 모두 허용한도 기준 이내를 만족하였고, 속도 354km/h에서 다른 속도에서 보다 상대적으로 높게 나타난 것으로 나타났다.

(e)의 M4차량 대차의 경우 허용한도 기준에 충족하였고, 340km/h에서의 후위대차(BN10)의 평가대상 값이 속도 340km/h 이외에 속도 평균 값 2.372m/s^2 보다 높은 3.599m/s^2 로 나타났다.

(f)의 MC차량의 차체 횡 및 상·하 방향의 동적 거동은 허용한도 기준 이내를 모두 만족하였고, 매우 안정적으로 나타났다. 대차의 횡 방향 동적 거동은 속도에 따라 다소 차이가 있는 것으로 나타났다. 이는 허용한도 기준에는 만족하였으나, 향후 속도 354km/h 이상 일 때 동적 거동 분석을 계속 수행하여 유사한 현상 발생 시 이에 대한 원인분석 및 추가적인 보안을 통한 안정화가 필요할 것으로 판단된다.

Fig. 7의 분석한 결과를 살펴보았을 때 TC차량과 MC차량의 대차 횡 가속도는 다른 차량에 비해 높은 것으로 나타났다.

아울러 앞서 분석된 결과 값을 이용하여 속도 430km/h일 때, 평가대상 값의 변화를 분석하여 위험에 대한 예측을 수행하였다. 대차 횡 가속도는 선두차인 TC차량의 전위대차(BN01)와 중간동력차인 M2차량의 후위대차(BN06), 후부차량인 MC차량의 후위대차(BN12)를 대상으로 예측하였으며, 차체 횡 및 상·하 가속도는 TC차량, M2차량, MC차량을 대상으로 예측하였다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 MC차량의 후위대차의 경우가 TC차량의 전위대차, M2차량의 후위대차에 비해 다소 높은 증가형태를 보였다. 이는 높은 증가형태를 나타내었으나, 허용한도 기준에는 50%이하 수준임을 고려한다면 속도 430km/h까지 증속하여도 안전에 대한 위험은 없을 것으로 판단된다.

차체 횡 가속도의 경우, Fig. 9에서 보는 바와 같이 속도 가 증가할수록 평가대상 값이 현저히 증가하는 것으로 나타

Fig. 8 Predicted results of the lateral acceleration of the bogies

Fig. 9 Predicted results of the lateral acceleration of vehicle bodies

Fig. 10 Predicted results of the vertical acceleration of vehicle bodies

났고, 속도 430km/h일 때 가장 높게 예측된 MC차량의 경우에는 허용한도 기준에 대해 약 1/3 수준으로써 안전성을

충족할 수 있는 결과를 나타냈다.

Fig. 10의 차체 상·하 가속도의 경우에도 평가대상 값이 가장 높게 예측된 M2차량의 값이 허용한도 기준 1/3수준에 불과하여 속도 430km/h까지 증속 시에도 안전에 대한 위험은 없을 것으로 판단된다.

2.3.2 구간 분할길이 변화에 따른 분석결과

본 연구에서는 UIC 518 OR에서 제시하는 분석조건을 적용하여 구간길이 변화에 따른 차이를 확인하고자 본 연구에서 수행한 분석구간인 KP303-311.5에 대해 구간 분할길이 100m일 때와 500m까지 100m씩 증가시켜 분석한 값을 Fig. 10에서 볼 수 있다.

대차 횡 가속도 분석은 M2차량의 전위대차(BN05), M4차량의 후위대차(BN10)를 대상으로 하였고, 차체 횡 및 상·하 가속도 분석은 M4차량을 대상으로 수행하였다. 이 때, 해당 최고속도 주행거리가 짧은 관계로 정속주행 조건은 충족하지 못하였다

Fig. 11 Analysis results for the section length change(KP303~311.5)

Fig. 12 Analysis results for the average and corresponding standard deviation for the selected section length(Bogie 05 lateral acc.)

Fig. 11에서 보는 바와 같이 구간 분할길이 증가에 따라 평가대상 값(Estimated value)이 급격하게 증가하지는 않았으나, 근소한 차이는 있는 것으로 나타났다.

이는 구간 분할길이가 증가함에 따라 분할한 구간 개수 감소로 인한 통계적 편차로 인한 현상이라 추정된다.

대차의 횡 가속도의 경우 Fig. 12와 Fig. 13에서 보는 바와 같이, 구간길이 100m씩 분할하였을 때와 500m씩 분할하여 분석한 결과 값이 다소 차이가 있는 것으로 나타났으나 허용한도 기준에는 충분히 만족하였다. 이에 대한 구간별 평균 값과 표준편차 분석을 수행하여 구간길이가 증가할수록 평균 값과 표준편차도 다소 차이가 있는 것을 확인하였다.

Fig. 14의 차체 횡 가속도와 Fig. 15의 상·하 가속도의 경우에도 구간길이 증가에 따라 구간별 평균 값과 표준편차도 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

위 분석결과를 종합해보면 대차 5번의 횡 가속도는 구간

Fig. 13 Analysis results for the average and corresponding standard deviation for the selected section length(Bogie 10 lateral acc.)

Fig. 14 Analysis results for the average and corresponding standard deviation for the selected section length(Vehicle body lateral acc.)

Fig. 15 Analysis results for the average and corresponding standard deviation for the selected section length (Vehicle body vertical acc.)

길이 100m일 때와 500m일 때 평가대상 값의 차이는 허용한도 기준에 대해 약 2.5%의 차이를 보였고, 대차 10번의 경우 약 2.6%의 차이를 보였다. 차체 횡 가속도는 경우 구간길이 100m일 때와 500m일 때 평가대상 값의 차이는 허용한도 기준에 대해 약 1.9%의 차이를 보였고, 차체 상·하 가속도는 약 7%의 근소한 차이를 보였다.

안전성 평가 시 구간길이 100씩 분할하여 분석하였을 때 보다 구간길이 분할을 500m씩 하였을 때, 구간분할 개수 감소에 의한 통계적 편차가 커짐을 고려해야 할 것이다. 이에 UIC 518 OR에서 제시하는 분석조건으로 안전성을 평가하는 방법은 필요하나 주행조건을 만족시키지 못하였을 경우에는 구간길이 100m씩 분할하여 평가하는 방법이 유효하다고 판단된다. 따라서 본 분석결과는 향후 자체적인 안정성 평가 기준(안) 마련을 위한 연구를 위한 검토자료로 이용될 수 있을 것이라 생각되며, 향후 본 연구를 통해 분석된 결과를 기초로 하여 더욱 체계적인 연구를 진행 할 계획이다.

3. 결 론

본 연구에서는 속도 300~354km/h까지 대차 및 차체의 동적 거동 안전성 평가 및 속도증가에 따른 동적 거동 경향 분석 및 속도 430km/h일 때 평가대상 값에 대해 예측하였다. 분석은 UIC 518 OR의 Simplified method를 이용하였으며, 이에 대한 데이터 처리과정과 방법론 및 결과를 기술하였다. 아울러 UIC 518 OR에서 제시한 분석방법을 적용하여 평가대상 값(Estimated value)의 차이를 확인하였다. 이에 다음과 같은 결론을 내릴 수 있었다.

(1) 본선시운전을 통해 취득된 대차 횡 가속도, 차체 횡 및 상·하 가속도 데이터를 이용하여 동적 거동 안전성을 평가한 결과, UIC 518 OR에서 제시하는 허용한도 기준을 모두 만족함을 확인하였다.

(2) 속도증가에 따른 차량 별 동적 거동을 분석한 결과 중 TC, M2 및 MC차량의 차체 횡 및 상·하 방향의 동적 거

동은 속도증가에 따른 큰 차이는 보이지 않았다. 대차의 횡 방향 동적 거동은 전반적으로 속도증가에 따라 급격하게 증가하는 경향은 보이지 않았으나, TC차량의 후위대차와 MC차량의 전위 및 후위 대차의 동적 거동은 속도 340km/h부터 현저히 증가하는 경향을 보였다. 또한, 속도 430km/h일 때 대차 및 차체의 동적 거동에 대한 예측결과 속도 354km/h이상 일 때 모두 허용한도 기준에 충족하였고, 안전에 대한 위험은 없었다.

(3) UIC 518 OR에서 제시하는 분석조건인 구간길이 500m를 적용하여 구간길이 100m씩 분할하여 분석한 값과의 차이는 근소하였고, UIC 518 OR에서 제시하는 분석방법을 적용하여 안전성 평가를 수행하는 것이 필요하나, 주행조건을 만족하지 않았을 경우에는 구간길이 100m씩 분할하는 방법이 유효할 것이다.

본 연구를 통해 시험차량의 성능시험을 위해 증속함에 있어서, 큰 위험은 없을 것으로 생각되고, 시험차량의 최고목표속도가 430km/h임을 고려한다면, 향후 본 연구에서 평가한 속도 300~354km/h 범위 이상에서의 대차 및 차체의 동적 거동에 대한 안정성 분석이 지속적으로 이루어져야 할 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 국토해양부가 시행하는 미래철도기술개발 사업으로 수행되었음을 알려드립니다.

참고문헌

- [1] K.H. Kim, C.K. Park, S.W. Kim. (2006) A progressive course of the next generation high-speed rail development project, *Proceedings of the Korean Society for Railway Conference*, pp.7-12.
- [2] C.K. Park, et al. (2006) Estimation of the dynamic behavior for korean high speed train at 350km/h using the accelerations according to the UIC Code 518OR, *Journal of the Korean Society for Railway*, 9(5), pp.342-347.
- [3] British Standard Norme Europeenne (2005) Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behavior-Safety-Track fatigue-Ride quality, International Union of Railways, UIC Code 518 OR.
- [4] B.C. Cho, et al. (2008) The feasibility study of commission plan in HEMU(High-speed Electric Multiple Unit) system, *Proceedings of the Korean Society for Railway Conference*, pp. 1025-1030.
- [5] B.M. Kang, et al. (2009) The feasibility study of the scenario for 400kph maximum speed test in HEMU(High-speed Electric Multiple Unit) system, *Proceedings of the Korean Society for Railway Conference*, pp.429-433.
- [6] S.H. Ryu, K.T. Kim, J.H. Hong, K.H. Oh. (2012) A study on measuring system development for HEMU-430X performance test(I) - hardware, *Proceedings of KSMTE Conference*, pp.298-298.

- [7] S.H. Ryu, K.T. Kim, J.H. Hong. (2011) A Study on overall measurement system development of HEMU-400X, *Journal of the Korean Society for Railway*, 14(6), pp.484-488.
- [8] S.H. Ryu, J.H. Hong, K.H. Oh. (2012) A Study on measuring system development for HEMU-430X performance test(II) - software, *Proceedings of KSMTE Conference*, pp.299-299.
- [9] DYTRAN Instruments, Specifications accelerometer.

접수일(2013년 1월 2일), 수정일(2013년 1월 3일),
게재확정일(2013년 1월 6일)

Sang-hyun Ryu : djguy2240@hanmail.net

High-speed Railroad Systems Research Team, Korea Railroad Research Institute, 176 Cheoldo banagmulgwan-ro, Uiwang, Gyeonggi-do 437-757, Korea

Sang-soo Kim : sskim@krri.re.kr

High-speed Railroad Systems Research Team, Korea Railroad Research Institute, 176 Cheoldo banagmulgwan-ro, Uiwang, Gyeonggi-do 437-757, Korea

June-hee Hong : hongjh@cnu.ac.kr

Department of Mechanical Engineering, Chungnam University, Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea

Doo-sang Song : mania626@hanmail.net

Department of Mechanical Engineering, Chungnam University, Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea

Yang-yang Guo : lucky_gyaa@hanmail.net

Department of Mechanical Engineering, Chungnam University, Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea