

# 차세대 고속철도 차량의 감속시 주행 안전성 평가

## Running Safety Assessment of the Next Generation High-Speed Railway vehicle model on acceleration/deceleration

\*김지영<sup>1</sup>, #박재원<sup>2</sup>, 김영국<sup>3</sup>, 윤지원<sup>4</sup>, 조계익<sup>1</sup>, 박재홍<sup>2</sup>

\*J. Y. Kim<sup>1</sup>, #T. W. Park(park@ajou.ac.kr)<sup>2</sup>, Y. G. Kim<sup>3</sup>, J. W. Yoon<sup>4</sup>, J. I. Cho<sup>1</sup>, J. H. Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 기계공학과, <sup>2</sup>아주대학교 기계공학부, <sup>3</sup>한국철도기술연구원, <sup>4</sup>아주대학교 자동차부품혁신연구센터

Key words : the Next Generation High-Speed Railway vehicle model, UIC 518OR, Normal method

### 1. 서론

프랑스, 독일 및 일본 등 철도관련 분야의 해외 선진국에서는 고속열차의 독자적인 설계능력과 다양한 제작기술을 확보하고 있으며, 고속열차의 운영경험을 통하여 더욱 선진화된 고속철도 시스템을 개발하기 위한 신기술 확보에 전념하고 있다.[1] 이에 따라 국토해양부는 국내의 고속철도 시장의 능동적 대응과 지속 가능한 고속철도 기술 경쟁력을 확보하기 위해 차세대 고속철도 기술개발사업을 2007년부터 시작했다. 차세대 고속철도기술개발사업의 목표는 최고시속 400km/h, 운영속도 370km/h 성능을 갖는 동력분산형 고속열차를 2013년까지 개발하는 것이다.[2]

철도차량은 기계, 전기, 전자, 제어, 통신 등의 기술과 여러 가지 시스템이 종합적으로 결합된 결정체로 각 시스템의 성능검증을 통한 안전성과 신뢰성 확보가 필요하다. 특히 고속으로 주행하는 고속철도 차량의 경우 이러한 성능검증을 통한 안전성과 신뢰성의 확보는 필수적이다. 철도차량의 안전성과 신뢰성의 확보를 위한 방법에는 여러 가지가 있다. 기존의 연구들은 UIC 518OR의 Simplified method를 사용하여 철도차량의 안정성 및 신뢰성을 평가하는데 그쳤다.[5,6]

본 연구에서는 UIC 518OR의 Normal method를 이용하여 철도차량의 주행안전성을 평가하였다. UIC 518OR의 Normal method는 횡가속도와 수직가속도를 이용해 주행안전성을 평가하는 Simplified method와는 달리, 횡력과 탈선계수(횡력과 수직력의 비)로 철도차량의 주행안전성을 평가한다.[3]

철도 해석 프로그램인 ADAMS/Rail을 이용하여 차세대 고속철도 차량의 모델을 구현하고, 감속시에 대한 동역학 해석도 진행했다. 해석에 사용된 트랙은 경부고속선 풍세교~비룡터널 사이 약 30km 구간 중 일부이고, 해석을 수행한 속도는 0 ~ 300km/h 사이이다.

### 2. 주행안전성 평가 기준 및 해석 방법

#### 2.1 주행 안전성 평가 기준 선정 및 해석 방법 개요

주행 안전성을 평가하는 다양한 기준들 가운데, 철도차량의 주행안전성 평가에 일반적으로 사용되는 기준인 UIC 518OR을 사용하여 차세대 고속철도 차량 모델의 주행 안전성을 평가하였다.

감속시의 CASE를 선정하여 ADAMS/Rail의 속도 및 작용력 제어 기능을 이용하여 CASE별 해석을 수행하였다.

#### 2.2 UIC 518OR 의 시험영역(test zone)

UIC 518OR의 시험 영역은 크게 직선구간, 반경 600m 이상의 큰 곡선 구간, 반경 600m 이하의 작은 곡선 구간으로 나누어진다. 본 연구에서는 경부고속선의 풍세교~비룡터널 구간을 사용하였는데, 이 구간은 반경 7000m의 곡선을 두 번 포함했지만, UIC 518OR이 규정하는 직선 구간과 동일하다고 볼 수 있다. 이에 따른 세부 시험 조건은 Table 1에 정리하였다.

#### 2.2.2 안전성(Safety) 평가 기준 및 방법

차세대 고속철도의 안전성 평가를 위하여, UIC 518OR의 Normal method를 이용하였다. Normal method를 적용하면 횡력

Table 1 Test conditions of UIC 518OR

Test Zone	Tangent track (including large-radius curve)
Test speed	$V = 1.1V_{lim}$ (a minimum of $V_{lim} + 10\text{km/h}$ )
Cant deficiency	$I \leq 40\text{mm}$
Number of sections	$N \geq 25$
Length of each section	$l = 500\text{m}$ (if $V_{lim} > 220\text{km/h}$ )
Minimum length of the zone	$L = N \cdot l \geq 10\text{km}$

$V_{lim}$  : limit operating speed of vehicle

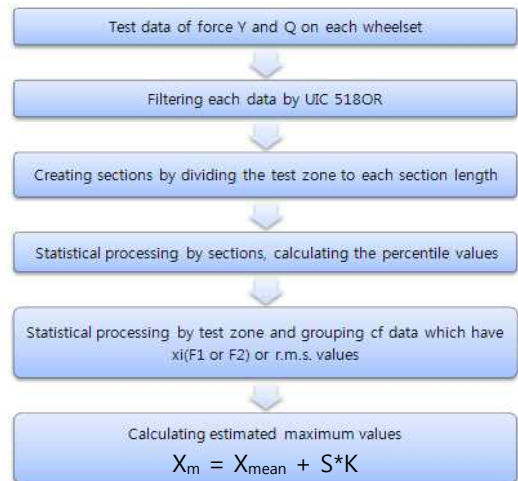


Fig. 1 calculating process of safety estimated values by UIC 518OR

(Y)와 탈선계수(Y/Q)를 이용하여 차량의 주행안전성을 평가하게 된다. Normal method의 평가 방법은 Fig. 1에 나타났다. 먼저 UIC 518OR에 따라 휠-레일의 접촉에 따른 횡력(Y)과 수직력(Q)을 각 차륜마다 측정한다. 측정된 횡력(Y)과 수직력(Q)을 이용하여 탈선계수(Y/Q)를 구한다. low-pass filter를 이용하여 횡력(Y)과 탈선계수(Y/Q)를 20Hz 기준으로 필터링하고, 각 구간별로  $F_1$  또는  $F_2$  값을 추출한다. 추출된 자료를 이용하여 평균과 표준편차를 계산한다. 평균과 표준편차를 UIC 518OR이 제시하는 방법에 따라 계산하면 평가값(E.V., estimated values)을 구할 수 있다.[3]

### 3. 동역학 해석

#### 3.1 동역학 모델링

차세대 고속철도는 최고속도 400km/h, 운영속도 370km/h에 도달하는 것을 목표로 하는 차량이다. 본 연구에서는 ADAMS/Rail을 이용하여 Fig.1과 같이 차세대 고속철도의 1량 모델을 모델링하였다.

#### 3.2 제동력의 적용

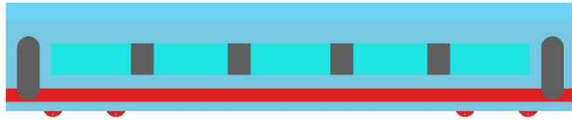
차량의 감속 상황은 다르게 표현하여 차량에 제동력이 작용하는 상황이라고 표현할 수 있다. 실제 철도 차량에는 철도 차량에서 요구되는 감속도 이내에서 열차를 안전하게 정지할 수 있는 성능이 확보되도록 철도차량의 제동시스템이 구성되어 있다. 이러한 제동성능을 나타내는 것이 바로 차량의 제동력 선도이다.

## 후기

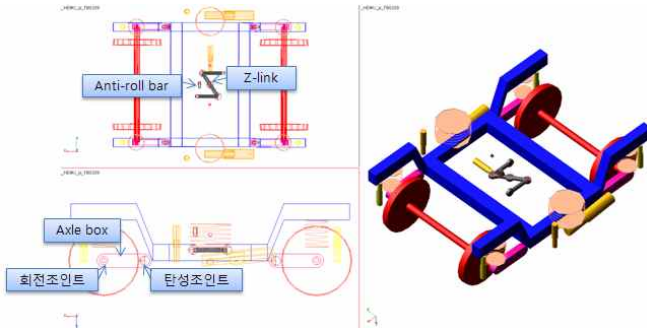
본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원 (과제번호 07 차세대고속철도A01)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 이영엽, 류상현, 이준원 "차세대 고속차량 종합계측시스템 구축방안 연구", 한국 철도학회 2009년도 추계학술대회논문집, PP.3095-3102, 2009.
2. 이태형, 박춘수, 최성훈, 김상수, 한인수, 김기환 "차세대 고속열차 시스템요구사항 관리", 한국 철도학회 세미나자료, PP.395-400, 2009.
3. UIC code 518OR(2003), "Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour-Safety-Track fatigue-Ride quality"
4. 김영국, 김석원, 목진용, 김기환, 김영모, 박태원 "견인/제동/타행 성능 해석 프로그램 개발 및 검증", 한국 철도학회 논문집, 제 10권, 제 2호, PP.153-160, 2007.
5. 조재익, 박태원, 윤지원, 정광열, 김지영 "차세대 고속철도 (HEMU-400X)차량의 안정성 및 동특성 해석", 한국 철도학회 2009년도 추계학술대회논문집, PP.3086-3089, 2009.
6. 박찬경, 김기환, 김영국, 김석원, 목진용 "UIC 518의 진동 가속도 계측을 통한 한국형 고속전철의 350km/h 주행 동적 거동 평가", 한국 철도학회 논문집, 제 9권, 제 5호, PP.554-549, 2006.



(a) vehicle model



(b) bogie model

Fig. 2 Modeling of the next generation high-speed railway vehicle (a) vehicle model, (b) bogie model

제동력 선도는 차량의 속도에 따른 제동력의 변화를 나타낸 것이다. 제동력 선도에 의해 차량의 감속 상황을 조절할 수 있다.[4] 이에 따라 Table 2에 감속 상황에 대한 정리하였다.

Table 2 condition under deceleration

Case	Running condition	Train speed(km/h)	PWM(%)
deceleration	braking	300 → 0	100

### 3.3 안전성(Safety) 해석

ADAMS/Rail에서 구현된 차세대 고속철도 차량 모델의 주행거동을 실제 차량의 주행거동과 비교하기 위하여, 해석에서도 실제 차세대 고속철도 차량이 주행하게 될 경부고속선 중 풍서교~비룡터널 사이 30km구간에 대한 트랙을 생성하여 해석에 사용하였다. ADAMS/Rail의 차량 모델의 각 차륜에서 횡력(Y)와 수직력(Q)을 입력받아 자료로 사용하였다. 해석의 수행 속도는 0 ~ 300 km/h 사이이다. 본래 차세대 고속철도 차량은 최고 속도 400km/h, 운영속도 370km/h지만 현재에는 G7 차량의 견인력 및 제동력 선도를 준용하여 해석을 수행하였기 때문에 본 연구에서는 해석에 300km/h까지만 해석을 수행하였다.

Table 3 Result of safety analysis

Sections		Limited Values	Estimated Values
Safety	Sum of guiding force Y	45.36	38.22
	Y/Q ratio per wheel	0.8	0.5118

## 4. 결론

본 연구에서는 차세대 고속철도 차량을 ADAMS/Rail 프로그램을 사용해 모델링하고, 감속시의 주행안전성을 평가하기 위한 동역학 해석을 수행하였다. 실제 경부고속선 중 일부 구간에 대한 트랙을 이용하여, 300 ~ 0km/h로 감속했을 때 주행 해석을 수행하였다. 안전성 해석은 UIC 518OR의 힘을 이용한 분석방법인 Normal Method를 이용하였다. 주행안전성 분석 결과 UIC 518OR 기준에 만족하는 결과를 확인할 수 있었다.

추후 실제 차세대 고속철도 차량의 견인력 및 제동력 선도를 이용하여 실제 운영 속도 구간까지 가속 및 감속 시 주행안전성 해석을 수행하면, 차세대 고속철도 차량의 주행안전성을 평가하는데 있어 더 신뢰성 있는 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.