

# 미국전동차에 요구되는 철도차량 안전성에 대한 연구

## A Study for the Safety of railway vehicle required in EMU of US

양희주\*<sup>†</sup>, 박길배\*, 이남진\*, 성재호\*

Hee-Joo Yang\*<sup>†</sup>, Gil-Bae Park\*, Nam-Jin Lee\*, Jae-Ho Seong\*

**초 록** 철도차량 안전 관련, 미국에서는 연방철도청(FRA : Federal Railroad Administration) 과 미 대중교통협회(APTA : American Public Transportation Association)에서 안전관련 항목을 규정하고 있다. 안전 항목으로 운중감소율(Wheel Unloading), 차량 전복(Vehicle Overturning), 차륜당 탈선계수(Wheel Climb), 운측당 탈선계수(Track Panel Shift), 대차당 탈선계수(Gauge Widening Forces), 대차 헌팅(Truck Hunting) 및 저속 탈선이 있다. 본 논문에서는 미국 FRA와 APTA에서 규정하고 있는 철도차량 안전 항목에 대해 살펴보고 이에 따른 해석 결과를 나타내었다.

**주요어** : FRA, APTA, 운중감소율, 차량 전복, 탈선계수

### 1. 서 론

철도차량 안전 관련, 미국에서는 연방철도청(FRA : Federal Railroad Administration) 과 미 대중교통협회 (APTA : American Public Transportation Association)에서 안전관련 항목을 규정하고 있다. 안전 항목으로 운중감소율(Wheel Unloading), 차량 전복 (Vehicle Overturning), 차륜당 탈선계수 (Wheel Climb), 운측당 탈선계수 (Track Panel Shift), 대차당 탈선계수 (Gauge Widening Forces), 대차 헌팅 (Truck Hunting) 및 저속 탈선이 있다. 본 논문에서는 미국 FRA와 APTA에서 규정하고 있는 철도차량 안전 항목에 대해 살펴보고 이에 따른 해석 결과를 나타내었다.

### 2. 본 론

#### 2.1 안전 항목

미국내 철도차량은 안전 관련하여 FRA와 APTA에서 요구하는 항목이 있다. 각각의 항목에 대한 제한치 및 분석방법을 Table 1에 정리하였다.

Table 1 Requirements related in Safety limit according to FRA and APTA

Parameter		Safety limit	Filter /Window
CFR 213.334	APTA-M-009-98		
Single Wheel Vertical load ratio	Wheel unloading	$\geq 0.1$	LOF 25Hz /5ft
Single Wheel Vertical load ratio	Vehicle Overturning	$\geq 0.6$	LOF 25Hz /5ft
Single Wheel L/V ratio	Wheel Climb	$\leq \frac{\tan \alpha - \mu}{1 + \mu \tan \alpha}$	LOF 25Hz /5ft
Net Axle L/V ratio	Track Panel Shift	$\leq 0.5$	LOF 25Hz /5ft
Truck Side L/V ratio	Gauge Widening forces	$\leq 0.6$	LOF 25Hz /5ft
Truck RMS lateral acc.	Truck Hunting	$\leq 0.4g$ RMS mean-removed	LOF 10Hz /2sec
Low Speed Derailment		$\leq \frac{\tan \alpha - \mu}{1 + \mu \tan \alpha}$	LOF 25Hz /5sec

##### 2.1.1 운중 감소율 (Wheel unloading)

운중 감소율은 주행 중 한 차륜에 작용하는 수직 방향 하중과 정적 운중의 비로 평가하며, 10% (0.1)이상을 제한치로 규정하고 있다. 운중 감소율은 25Hz Low Pass Filter와 5ft (1.524m) Window를 적용하여 계산하였다.

##### 2.1.2 차량 전복 (Vehicle Overturning)

차량 전복은 곡선 선로에서 정차 시와 주행 시에 대해 평가한다. 차륜에 작용하는 수직방

<sup>†</sup> 교신저자: 현대로템(주) 기술연구소 응용기술연구팀 (yanghj@hyundai-rottem.co.kr)

\* 현대로템(주) 기술연구소 응용기술연구팀

향 하중과 정적 운중의 비로서 60%이상을 제한치로 규정하고 있다. 정차 시는 최대 캔트 6inch (152mm)조건에서 해석하였고, 주행 시는 캔트 부족량 4inch (102mm)조건에서 해석하였다. 차량 전복은 25Hz Low Pass Filter와 5ft (1.524m) Window를 적용하여 계산하였다.

### 2.1.3 탈선계수 (Wheel Climb)

탈선 계수는 주행 중 차륜에 작용하는 수평방향 하중 (L)과 수직방향 하중 (V)의 비로 평가한다. 제한치를 정하기 위해 FRA와 APTA에서는 아래 수식이 적용된다.

$$L/V = [\tan\delta - \mu] / [1 + \mu \tan\delta]$$

Where  $\delta$  = wheel rail contact angle (75 degree)

$\mu$  = friction coefficient (0.5)

마찰 계수 (0.5) 와 차륜/레일 접촉각 (75°)를 적용한 탈선계수 제한치는 1.13이다. 탈선계수는 25Hz Low Pass Filter와 5ft (1.524m) Window를 적용하여 계산하였다.

### 2.1.4 윤축당 탈선계수 (Track panel shift)

윤축당 탈선계수는 한 윤축에 대한 탈선계수로서 주행 중 두 차륜에 작용하는 수평방향 힘과 정적 운중의 비로 평가한다. 윤축당 탈선계수는 0.5이하를 제한치로 규정하고 있다. 윤축당 탈선계수는 25Hz Low Pass Filter와 5ft (1.524m) Window를 적용하여 계산하였다.

2.1.5 대차당 탈선계수 (Gauge widening force) 대차당 탈선계수는 한 대차의 측면당 탈선계수로서 주행 중 한 대차의 측면 차륜들에 작용하는 수평 방향 힘과 수직 방향 힘의 비로 평가한다. 대차당 탈선계수는 0.6이하를 제한치로 규정하고 있다. 대차당 탈선계수는 25Hz Low Pass Filter와 5ft (1.524m) Window 적용하여 계산하였다.

### 2.1.6 대차 헌팅 (Truck Hunting)

대차 헌팅은 대차의 수평 방향 가속도로 평가하는 항목으로 유효값(RMS) 0.4g이하를 제한치로 규정하고 있다. 대차 헌팅은 10Hz Low Pass Filter와 2초 Window를 적용하여 계산하였다.

### 2.1.7 저속 탈선 (Low speed derailment)

저속 탈선은 곡선선로상에서 여러 wavelength 별 (10, 20, 40, 62 feet) 3inch 선로 변형에 대한 저속운행시의 평가항목이다. 저속탈선은 25Hz

Low Pass Filter와 5ft (1.524m) Window를 적용하여 계산하였다.

Safety 관련 항목들에 대한 해석 결과를 Table2에 정리하였다.

Table 2 Analysis result for Safety according to FRA and APTA

Parameter		Safety limit	Analysis result
CFR 213.334	APTA-M-009-98		
Single Wheel Vertical load ratio	Wheel unloading	$\geq 0.1$	0.58
Single Wheel Vertical load ratio	Vehicle Overturning	$\geq 0.6$	0.78
Single Wheel L/V ratio	Wheel Climb	$\leq 1.13$	0.42
Net Axle L/V ratio	Track Panel Shift	$\leq 0.5$	0.17
Truck Side L/V ratio	Gauge Widening forces	$\leq 0.6$	0.42
Truck RMS lateral acc.	Truck Hunting	$\leq 0.4g$ RMS mean-removed	0.36g
Low Speed Derailment		$\leq 1.13$	0.71

## 3. 결론

FRA와 APTA 규격에 따라 safety 관련 항목들을 해석 하였다. 해석 결과, 운중감소율(Wheel Unloading), 차량 전복 (Vehicle Overturning), 차륜당 탈선계수 (Wheel Climb), 윤축당 탈선계수 (Track Panel Shift), 대차당 탈선계수 (Gauge Widening Forces), 대차 헌팅 (Truck Hunting), 저속 탈선 (Low speed derailment) 항목에 대하여 APTA RP-M 009-98과 FRA 규정을 만족하였음을 확인 하였다.

## 참고문헌

- [1] Federal Railroad Administration, "49 Code of Federal Regulation, § 213.334", 2005
- [2] The American Public Transit Association, "APTA RP-M-009-98 Rev1, Recommended Practice for New Truck Design," 1999