

철도차량의 주행저항 측정 및 평가방법

이찬우* 허현무**

Railway Rolling Stock - Test Methods for Running Resis

Chan- Woo Lee, Hyun- Moo Hur

Key Words: Running resistance(주행저항), Curving resistance(곡선저항), KS standardization(업규격 규격화)

Abstract

Revision and establish of KS(Korean Standards) is currently actively discussed. It is just the time for a new world class standards under the new system with WTO(World Trade Organization). This paper is a part of "Researchs on the Standards in Railway rolling stock Field", as one of KS establish projects. The aim of this study is to define the requirements of railway rolling stock-test methods for running resistance. In the former KS, there is no items matched with this purpose. Therefore a new part of KS is proposed.

1. 서론

철도분야 KS 규격의 새로운 제정 및 개정이 최근 활발히 논의되고 있다. WTO(World Trade Organization) 체제에 발 맞추어 국내 뿐만 아니라 세계적으로 활용할 수 있는 분야별 KS 규격화는 매우 중요하고 시급한 일이다. 이러한 배경하에 산업자원부 기술표준원에서는 상품생산에 필요한 기계류·부품·소재를 만드는 산업으로 가격보다는 기술·품질이 중시되고 전체 산업의 경쟁력을 좌우하는 기술 집약적 산업에 대한 KS 규격화를 통하여 국가경쟁력을 추진하고자 1995년 5월 10일 범 정부적인 「자본재 산업육성 대책」을 수립, 이에 대한 일환으로 자본재표준 규

격개발 사업을 단계적으로 추진, 자본재표준화 5개년 계획을 수립하여 2000년까지 600개 표준규격을 개발·보급하고자 하는 계획에 병행하여, 한국철도기술연구원이 주관하고 있는 도시철도차량 표준사양연구의 일환으로 본연구가 수행되었다.

본 연구에서는 철도차량의 성능에 큰 영향을 미치는 철도차량의 주행저항에 대한 측정 및 평가방법에 대하여 제시하였다. 철도차량의 주행저항은 국내 뿐만 아니라 철도선진국이라 할 수 있는 일본, 독일을 비롯한 주요국가에서 고속열차에서 도시철도 차량에 이르기 까지 본 시험을 주요 성능평가시험의 한 항목으로 적용하고 있다. 그러나, 국내에서는 본건에 대하여 KS규격에서 2000년 초까지 제시되지 않았다가 본 연구를 토대를 2000년 12월에 KS R 9217-2000으로 규격화되었다. 본 연구가 이루어지기 전에는 주로 차량발주기관에서 JIS E 6002⁽¹⁾ 등에서 일부 제시되고 있는 규격 일부를 준용 제시한 것이 전부이고, 그나마 본 건에 대한 시험평가방법에 대해서

* 정회원 한국철도기술연구원 차량연구본부

** 정회원, 한국철도기술연구원 차량연구본부

국내의 어느 규격에서도 규격화된 사례가 없는 실정이었다. 따라서, 본 규격을 제정함으로써 철도차량의 주행저항시험에 관한 통일된 표준을 마련하게 되고 이로 인한 철도차량의 품질 및 신뢰성향상을 도모할 목적으로 본 규격 제정 연구가 이루어 졌다. 본 논문에서는 KS R 9217-2000⁽²⁾에 대한 세부내용 고찰 및 특성을 제시하였다.

2. KS R 9217 제정에 대한 개요

2.1 제정 경위

본 규격은 1999년 7월부터 2000년 1월까지 한국철도기술연구원 주관하에 철도운영처, 제작사 등 관련업계의 4차에 걸친 심의를 거쳐 규격개발이 이뤄어졌다. 규격내용은 국내의 적용사례와 한국철도기술연구원의 연구보고서⁽³⁾를 근거로하여 국내 철도환경에 적합하게 제정하였다.

2.2 적용 범위

철도차량 발주처 등에서 제시되는 주행저항식은 JIS E 6002등과 같이 일부 규격에 명시되어있다. 그러나 그 시험방법에 대해선 규격화된 사례가 없으며 이에 대한 필요성이 제기되고 있는 실정이다. 따라서, 본 규격의 적용범위는 철도차량의 공기저항, 구름저항, 회전부위의 마찰 등을 포함한 주행저항을 평가하기 위한 주행저항 시험 및 평가방법으로 한정하였다. 이론식에 대한 규격화는 추후 지속적인 연구를 통해 국내 선로특성에 적합한 이론식이 도출되어야 할 것이다.

2.3 규격 항목의 주요 내용

2.3.1 시험 구간

철도차량 주행저항 측정 및 평가에 있어서 시험 구간은 매우 민감한 사항으로 이상적인 조건인 직선평탄로에서 시험하여야 하나, 현 국내 선로특성상 이 조건에 부합하기 어려울 수 있으므로 인수자와 인도자간의 협의를 거쳐 적절한 선

로를 선정할 수 있도록 하였다. 이 경우 주행 저항을 산출할 때 용이하게 보정값을 보상할 수 있도록 가능한 한 단일 경사도와 단일 곡선이 포함된 시험선로를 선정하도록 하였다.

2.3.2 측정방법

주행저항의 측정을 위해서는 주행거리에 대한 속도의 추이를 측정하여야 한다. 시험차량의 주행속도와 거리를 측정하기 위해선 차륜의 회전변위를 측정하여 속도로 환산할 수 있는 속도-거리계, 속도-거리 신호를 디지털 테이프 레코드와 같은 데이터 저장장치에 기록할 수 있는 기록계, 그리고 기록계에 저장된 데이터를 결과 분석시 출력하여 활용할 수 있는 분석계가 필요하다. 속도-거리계의 정밀도는 통상적으로 주행저항 산출시 사용하는 최소단위인 속도 1km/h, 거리 1m 이하로 하였으며, 최근 장비의 범용화와 정밀도 향상으로 이 시험의 목적에 적합한 장비면 어느 장비도 활용할 수 있도록 하였다.

2.3.3 시험방법

주행저항의 측정은 일반적으로 속도를 일정속도까지 올린 후, 동력전달을 차단한 후 타행시키면서 자연 감속상태를 측정하여 저항을 산출하는 타행시험법이 주로 사용된다. 이 시험을 위해선 선로가 정상적으로 정비되어 있는 직선평탄로에서 수행하여야 하며, 이러한 선로에선 예비구간에서 일정한 타행초기속도까지 속도를 올린 후 타행시켜 정지할 때까지의 감속상태를 연속적으로 측정하면 시험이 종료된다. 그러나 국내 선로 특성상 이러한 조건을 만족하는 긴 시험구간의 선정엔 어려움이 있을 것이며, 따라서 선로가 허용하는 범위내에서, 시험을 초기속도별도 나누어 단계별로 실시할 수 있도록 하였다. 예를들면 타행 최고속도 100km/h에서 0km/h까지 연속적인 데이터측정이 어려울 경우, 100km/h에서 80km/h

까지 시험을 실시하고 다시 같은 구간에서 80km/h에서 60km/h, 60km/h에서 40km/h, 40km/h에서 20km/h, 20km/h에서 정지할 때까지 반복적으로 나누어 힘을 의미한다.

또한, 본 시험의 신뢰성을 제고하기 위하여 상행과 하행에 대한 2회이상 반복시험을 행함으로써 오차를 최소화하는 것을 제시하였다.

2.3.4 성능평가 방법

실측한 데이터로부터 주행저항을 산출하는 방법엔 산출과정이 간략하고 제시된 기준식에 직접 비교가 가능한 일-에너지법을 사용하였다. 일-에너지법은 주행저항 측정 시험을 통하여 구한 속도와 거리를 일과 에너지 이론에 의해 주행저항을 구하고, 이를 제시된 기준값과 비교하는 방법이다.

일-에너지법의 주행저항 산출식은 아래와 같으며, 만약 선정된 선로에 구배가 포함되어 있을 때는 이를 고려하여 아래 식에서 구배저항에 해당하는 값을 포함시킬 수 있다.

위치에너지를 무시할 수 있는 직선평탄로를 주행하는 차량의 속도가 V_0 (타행초기속도)에서 V_1 (타행후기속도)로 되었을 때 작용한 힘을 F (저항력)라 하고 이동한 거리를 dS 라 하면, 일과 에너지정리에 의해서 열차저항력을 이기고 한 일은 병진 운동에너지의 변화량과 같으므로, 무차원수인 주행저항은 다음 식으로 표시된다.

$$\Delta E = W_2 - W_1 \dots \dots \dots (1)$$

여기서, ΔE : 운동에너지 손실량

W_2 : 타행후기 속도 V_1 에서의 운동에너지

W_1 : 타행초기 속도 V_0 에서의 운동에너지

식(1)은 식(2)로 표현된다.

$$-F \cdot dS = \frac{W'}{2g} (V_1^2 - V_0^2) \dots \dots \dots (2)$$

여기서, F : 저항력(kg)

W' : 차량 실중량(kg)

V_1 : 타행후기속도(m/s)

V_0 : 타행초기속도(m/s)

g : 중력가속도(9.81m/s²)

dS : 이동거리(m)

이를 F 에 대하여 표현하면 식(3)과 같다.

$$F = \frac{W'}{2g} (V_0^2 - V_1^2) / dS \dots \dots \dots (3)$$

한편, 차량의 차륜, 차축, 전동기등에는 회전부분이 있으므로, 이 회전부분의 회전속도를 가속하기에 필요한 힘은 직선부분을 가속하는 데 필요한 힘보다 커진다. 즉, 차량 총중량 W 이 어느 정도 증가한 것과 같은 결과가 된다. 이 증가분의 중량을 관성중량 Wg 라 하며, Wg/W 를 관성계수 X 라 한다. 따라서 차량 실중량 W' 는 $W'=W+Wg$ 가 되어 식(3)은 다시 식(4)와 같이 표현된다

$$\begin{aligned} F &= \frac{W'}{2g} (V_0^2 - V_1^2) / dS \\ &= \frac{(W + Wg)}{2g} (V_0^2 - V_1^2) / dS \\ &= \frac{(1 + X)W}{2g} (V_0^2 - V_1^2) / dS \end{aligned} \dots \dots \dots (4)$$

식(4)에서 속도를 km/h, 중량을 ton단위로 다시 표현하면 식(5)로 된다.

$$\begin{aligned} F &= \frac{1000(1 + X)W}{2g \cdot dS \cdot 3.6^2} (V_0^2 - V_1^2) \\ &= 3.933(1 + X)W \frac{(V_0^2 - V_1^2)}{dS} \end{aligned} \dots \dots \dots (5)$$

따라서, 주행저항 R 은 다음식으로 표현될 수 있다

$$\begin{aligned} R &= \frac{F}{W} \\ &= 3.933(1 + X) \frac{(V_0^2 - V_1^2)}{dS} \end{aligned} \dots \dots \dots (6)$$

여기서, R : 주행저항(kg)
 V_1 : 타행후기속도(km/h)
 V_0 : 타행초기속도(km/h)
dS : 이동거리(m)
X : 관성계수(전동차:0.09, 부수차:0.065, 디젤기관차:0.06, 전기기관차: 0.12~0.19, 일반열차:0.06, 객화차:0.05)

한편, 주행저항시험을 위한 적절한 선로가 없을 경우 구배와 곡선의 영향에 의한 저항값을 식(7)과 같이 보정할 수 있다.

$$R = 3.933(1 + X) \frac{(V_0^2 - V_1^2)}{dS} - Re \dots \dots \dots (7)$$

여기서, Re : 구배, 곡선에 의한 환산주행저항

$$Re = G + \frac{700}{L} \sum_{i=1}^n \left(\frac{l_i}{R_i} \right)$$

여기서, G : 천분률로 표현한 구배(%)

L : 시험구간길이(m)

R_i : 각 곡선반경(m)

l_i : 각 곡선길이(m)

n : 시험구간내의 곡선반경의 수

위 식에 의하여 상하행 각 2회 산출한 주행저항값을 각 방향별로 산술평균한 값이 본 시험의 결과값이 되며, 이론식에서 구한 기준값과 비교함으로써 시험차량의 주행저항이 규정값과 적합한지를 판별토록 하였다.

3. 결론

금번 논문에서는 최근 국제표준관련 가장 큰 현안인 국제적 상호 인증제도(Mutual Recognition Accreditation)에서 선언한바와 같이 우리나라를 포함한 모든 선진공업국들은 자체적으로 산업계의 측정 및 평가방법에 대한 표준 방

안 구축과 더불어 품질관리 체계 또한 2003년까지 마무리 하여야 한다. 특히 이러한 업무는 우리의 산업 표준에 대한 모든 절차 방법, 그리고 측정 및 분석에 대한 표준화된 방안 즉 국제적으로 상호 인증할 수 있는 표준화된 방법과 절차 그리고 품질관리 체계 구축을 포함하고 있다. 이러한 국제 상호 인증제도의 구체적 실행 방안으로 관행적으로 적용되어진 철도차량의 주행저항 측정 및 평가방법에 대한 KS R 9217 제정을 위한 연구 결과를 제시하였다.

본 논문에서는 KS 규격의 국제규격 부합화 측면에서 일본의 JIS E 6002에서 제시하는 바와 같이 단순히 차량 주행저항식만을 제시하지 않고 주행저항 측정을 위한 시험방법을 구체적으로 제시하였다.

후기

본 연구는 건설교통부에서 주관하는 도시철도 표준화연구개발사업비에 의해 수행되었으며 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참고문헌

- (1) JIS E 6002-1989 ; General Rules for Performance of Electric Railcars for Commuter Use
- (2) KS R 9217-2000 ; 철도차량-주행저항 시험 방법
- (3) 최성규, 이찬우, 허현무외, 1998년, "전동차대차 성능시험 및 정밀진단 기준연구보고서", pp. 62-75.