

철도차량 주행저항과 차량성능 예측에 관한 고찰

A Study on Prediction of Running Resistance and Train Performance

조현직*, 이원상*†

Hyunjik Cho*, Wonsang Lee**

초 록 철도차량의 주행저항은 차륜과 레일간의 점착 및 접촉조건, 회전체 구성품의 윤활조건, 구동부 메커니즘의 효율 그리고, 기하학적 차량형상에서 기인되는 공력특성이 주요 요인으로 구성된다. 주행저항은 최적의 차량설계를 통해 획기적으로 개선되기에는 한계가 있으므로 차량제작사 입장에서는 주요 요인을 제어하기 어려운 운행환경 조건하에서도 요구되는 차량성능을 확보하기 위한 예측기술을 개발하는데 다양한 연구를 비공개로 수행하고 있는 실정이다. 실제로 주행저항은 차량성능에 영향을 주는 요인으로 추진/제동설계 시 반드시 필요한 정보로는 활용되고 있으나, 절대적인 기준 값으로는 정의하지 않는다. 그러나, 국내의 경우는 주행저항을 성능검증 규정인 철도차량기술기준에 근거하여 설계적합성 대상으로 정의하고, 적용 주행저항의 적절성 입증을 요구한다. 이에 차량특성인 주행저항이 차량의 성능조건의 만족여부와 관계없이 설계적합성 조건으로 적용되는 것에 대한 기술적 한계를 고찰하였다.

주요어 : 주행저항, 공력특성, 차량성능, 철도차량기술기준, 설계적합성

1. 서 론

철도차량의 주행저항은 차량의 주행방향을 방해하는 힘으로 차륜과 레일간의 마찰조건, 회전체 구성품의 윤활조건, 구동부 메커니즘의 효율 그리고, 기하학적 형상에 기인되는 공력특성으로 구성된다. 실제로 이러한 요인들은 운행 중에 복합적으로 발생하며, 속도 조건별로 차지하는 비중이 달라지므로 제어하는 것은 한계가 있다. 또한 저항수준을 정량적으로 예측하는 것 또한 기술적 어려움이 있다.

주행저항은 차량의 추진설계 검토와 제동 성능을 검토하는데 있어서 반드시 필요한 데이터로 활용되므로 차량제작사 입장에서는 정합성이 높은 예측기술을 확보하기 위해 지속적인 연구개발이 필요하다. 그러나 국내 철도차량기술기준[1]에 따른 성능검증 조건은 예측된 주행저항과 실제 주행저항 간의 적합성을 요구하므로 이에 대한 상호간 이해의 기준과 개선이 필요하다.

† 교신저자: 현대로템주식회사 기술연구소
(wonsang@hyundai-rottem.co.kr)

* 현대로템주식회사 기술연구소

2. 주행저항의 정합성 관련

2.1 실측 결과 간 오차

주행저항은 이론적 예측에는 한계가 있으므로 철도차량기술기준에 따라 해당차량의 운행 환경을 고려할 수 있도록 영업선로에서의 타행 시험을 통해 확인하며, 측정결과와 오차로 인해 최소 4회(상행 2회, 하행 2회) 수행한다. 측정된 속도별 감속도 결과들의 평균값을 연결하면 2차 방정식 형태의 주행저항식이 된다. 그러나 실측 결과 간의 오차는 Fig. 1[2]과 같이 동일선로와 동일속도 조건에서도 나타나므로 주행저항식은 측정결과들의 경향을 일반화하는 전제조건이 포함된다고 볼 수 있다.

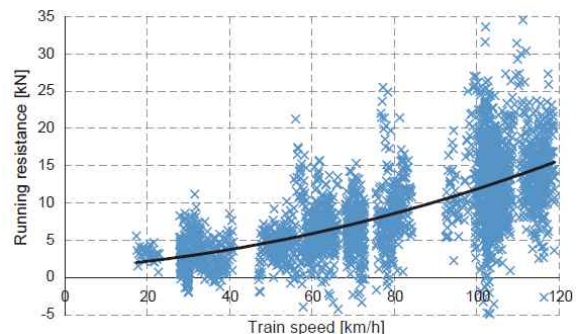


Fig. 1 Running resistance through measurement

2.2 예측 이론식 간 오차

주행저항을 예측하는 여러 가지 이론은 실측에 기반한 경험적 예측에 근거하고 있으며, 차량 및 주요 전장품 제작사에서 활용되고 있다. 대표적인 이론식으로는 Modified Davis식과 JIS식이 있는데 동일 차량조건(4M-4T, 축중 16톤)을 적용하여 단순비교 할 경우 Fig. 2의 결과곡선과 같이 최고속도에서 최대 22%의 상대오차를 나타낸다. 이는 실측기반 이론식으로도 예측에는 많은 불확실성이 존재함을 방증하는 것이다.

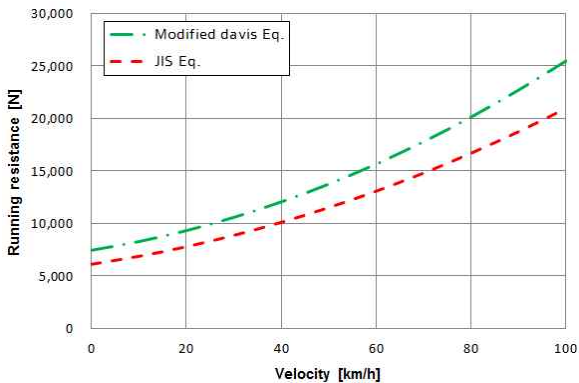


Fig. 2 Comparison between running resistance theories

3. 차량성능 검증의 적합성 검토

추진성능을 검토를 위한 견인력(F) 계산식으로 편성차량의 질량(M), 가속조건(a) 그리고, 주행저항(R)의 합으로 구성되므로, 예측 주행저항은 반드시 고려하여야 한다.

$$F_{Traction\ for\ ce} = M_{Train\ mass}a + R_{Running\ resistance} \quad (1)$$

일반적으로 추진설계 시 계산된 견인력에 여유율을 고려하므로 요구되는 차량성능을 충족할 수 있다. 그러나, 철도차량기술기준은 형식시험을 통해 예측 주행저항의 적합성을 입증하도록 명시하여 주행저항이 차량특성이 아닌 만족시켜야 하는 차량의 제원으로 오인될 여지가 있다. 또한 예측된 주행저항의 적합성이 형식시험을 통해 Fig. 3과 같이 입증되었음에도 기술기준 내 추가 검증대상인 공력특성계수(C)는 기준에서 제시한 부적합 조건이 될 수 있다. 상기 두 가지 기술기준에서 요구하는 조건을 동시에 만족시키기 위해서는 공력특성계수가 설계초기에 충분히 높게 고려되어야 하는데, 이럴 경우 높게 예측된 공력저항계수에 기인하여 Fig. 3의 (c)와 같이 과도한 주행저항이 적용될 수 있다.

실제로 공력특성계수는 차량, 승객, 또는 시설에 직접적인 영향을 주는 설계인자로서 기여

하는 관련 근거가 불분명하여 검증대상으로써의 유효성을 확인할 여지가 있다. 이에 공기역학특성과 압력변화 평가를 만으로도 설계적합성이 충분히 검증될 수 있을 것으로 판단된다.

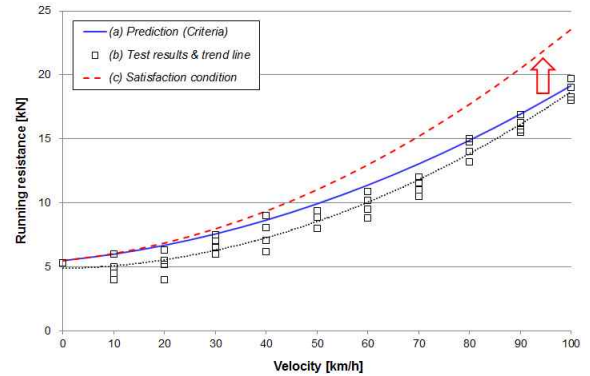


Fig. 3 Running resistance curve of prediction, test and satisfaction condition

Table 1 Running resistance coefficient

	A	B	C
Prediction	5.5	0.04	0.0010
Test	4.9	0.01	0.0013
Satisfaction condition	5.5	0.04	0.0014

*Running resistance formula : $R = A + BV + CV^2$

4. 결론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.
 1) 주행저항은 여러 가지 요인이 복합적으로 나타나는 차량의 감속도 경향이며, 많은 실측 데이터를 통해 확인해야 되는 차량 특성 정보이므로 차량성능의 검증하는 판단기준으로 적합한지는 추가적인 고려가 필요하다고 판단됨
 2) 비록 예측한 공력특성계수가 시험결과 대비 높을 지라도 주행저항이 항상 높은 조건이 되는 명제는 성립하지 않아 차량성능을 기술적으로 판정하기 위한 근거로 부적합하여 검증항목에서 제외되는 것을 제안하며, 관련 공기역학특성과 압력변화 확인으로도 공력 영향을 충분히 판단할 수 있을 것으로 판단됨

참고문헌

- [1] 철도차량기술기준 Part 44(2017), 일반철도차량 [전기동차] 기술기준
- [2] Tomoyuki OGAWA(2017), Method of Calculating Running Resistance by the Use of the Train Data Collection Device, QR of RTRI, Vol. 58, No. 1