

호남 고속 철도 차량의 주행 저항식에 관한 연구

A Study on the Equation of Running Resistance for Honam High Speed Train

남성원*†, 윤수환*

Seong-Won Nam*†, Su-Hwan Yun*

Abstract In this study, it has been analyzed on the equation of running resistance for Honam high speed train. Running resistance has to be considered as main parameter to calculate traction force and to make train performance simulation. In principle, running resistance must be measured in flat and straight track, but we don't have that sort of track. In this study, we measured velocity-time data in short range of velocity and synthesize these data to make full scale running resistance of Honam high speed train. And we compared experimental results with predicted ones and analyzed running resistance of relevant trains.

Keywords : Running resistance, High speed train, Air resistance, Coasting performance test

초 록 본 연구에서는 호남 고속 철도 차량의 주행 저항식에 관하여 분석하였다. 주행 저항식은 차량 개발 초기 단계에서부터 예측하여 검토되어야 되는 파라미터로서, 그 크기에 따라 추진 견인력을 설계하고, 이를 참고로 하여 열차 운행 선도를 작성하게 된다. 차량의 주행 저항 측정은 평탄 직선 선로에서 타행 운전을 하며, 감속도를 측정하는 것이 바람직하지만, 본 연구에서는 운행 선로 조건이 이에 충족하지 않아서, 속도 구간별로 감속도를 측정하고, 이를 전체 속도 대역에 대하여 합성하는 방법으로 주행 저항식을 구하였다. 현차시험으로 구한 주행 저항식과 예측식을 비교하였으며, 관련 차종들의 주행 저항식과 비교 분석하였다.

주요어 : 주행 저항, 고속 열차, 공기 저항, 타행 성능 시험

1. 서 론

열차가 평탄한 직선 선로를 일정 속도에서 타행 운전하면, 여러가지 요인에 의하여 일정 시간동안 주행후 최종적으로는 정지하게 된다. 이처럼 타행 운전하는 열차를 정지시킬려고 하는 힘이 주행 저항력이다. 주행 저항은 차량 개발 초기 단계에 추진력을 산정하고, 운전 패턴을 정하는데에 반드시 고려되어야 할 요소이며, 차량 운영시의 에너지 소모 예측을 하여 차량 운전에 소요되는 동력비를 산정하는 데에도 필요하다. 철도 차량의 일반적인 주행 저항식은 주로 다음과 같은 다섯 항목으로 구성되어 있으며,

† 교신저자: 한국철도기술연구원 철도안전인증센터 (swnam@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 고속철도연구본부

각각 ①차축의 베어링 마찰에 의한 저항 ②레일과 차륜과의 전동 마찰에 의한 저항 ③차량과 기계부의 마찰 또는 충격에 의한 저항 ④차량의 전후부 및 측면에서의 공기저항 ⑤차량의 동요에 의한 저항으로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 호남 고속 철도 차량을 이용하여 운행 선로 시운전 시험을 실시하였으며, 그 결과를 바탕으로 주행 저항식을 구하였다.

2. 주행 저항

열차의 주행저항은 에너지 소비와 관계되며, 특히, 고속 열차에서는 저감 방법이 중요한 과제이다. 일반적으로 열차의 주행 저항은 기계 저항과 공기 저항의 합으로 구성되며,

$$D = a + bV + cV^2 \quad (1)$$

위와 같이 표현된다. 여기서 a, b, c 는 상수이며 V는 열차의 속도를 나타낸다. 기계저항은 전체 저항에서 공기 저항을 제외한 저항으로, 차륜-레일간 전동, 회전 부위의 마찰, 궤도의 변형 등에 기인하는 저항을 포함한다. 일반적으로 주행 저항은 속도의 2차 방정식으로 알려져 있으나, 상수 결정 과정에 2차항만이 공기 저항이라고 하기에는 애매한 면이 있어서 공기 저항을 독립적으로 평가할 필요가 있다. 주행 저항에 관하여는 고속 열차를 먼저 운행한 국가들이 활발히 검토하여 왔다. 처음부터 동력 분산식을 채택한 일본 신간선의 경우, 1964년 개통한 0계 신간선 차량을 필두로, 100계, 200계, 300계, 500계, 700계로 발전하여 왔으며, 0계 및 700계 차량의 개활지에서의 주행 저항식은 다음과 같다.

$$0\text{계 신간선} : D = 11.43 + 0.2096V + 7.0854 \times 10^{-5}V^2 \quad (\text{kN}) \quad (2)$$

$$500\text{계 신간선} : D = 14.6999 + 0.00699V + 8.374 \times 10^{-4}V^2 \quad (\text{kN}) \quad (3)$$

한편, 관절형 대차와 동력 집중식을 사용한 프랑스 TGV 열차의 일반 주행 저항식은 다음과 같다.

$$D = \{0.77\sqrt{10nM} + 0.008MV + (0.02225 + 0.00352T)V^2\}/100 \quad (\text{kN}) \quad (4)$$

여기서, M: 열차질량(t), n: 軸數, T: 客車數 를 각각 나타낸다.

3. 주행 저항 측정

Figure 1에 타행시의 속도 검출 개략도를 나타내었다. 미리 선정한 직선 평탄선 구간에서

계획한 속도보다 조금 높은 속도에서 타행운전을 시작하고, 계획한 속도보다 더 감속될 때까지 측정하였다. 앞서서도 언급한 바와 같이, 특정 속도에서 타행을 시작하여 차량이 거의 정지할때까지 연속으로 측정하는 것이 바람직하지만, 우리나라 선로 여건상, 이를 충족할만한 직선 평탄 선로가 없기 때문에 구간별로 측정하였다. 예를들면, 280km/h의 계획 속도에서는 대략 285km/h에서 타행을 시작하여 275km/h까지 측정하고, 270km/h의 계획 속도에서는 대략 275km/h에서 타행을 시작하여 265km/h까지 측정하여, 각 구간별로 구한 속도 변화를 연결하는 방법으로 하였다.



Fig. 1 Schematic Sketch of Measurement

4. 결과 및 분석

Figure 2에 타행 속도의 결과를 나타내었다. 그림에서 (a)는 타행속도 280 km/h 구간에서 실시한 것이며, (b)는 270 km/h 구간에서 실시한 것이다. 1k 샘플링으로 측정한 속도 데이터는 순간적으로는 노이즈 등으로 큰 변동이 있는 것처럼 보이지만, 짧은 시간에 걸친 측정 구간에서는 일정 감속도로 속도가 저감됨을 알 수 있다. 즉, 차량 속도가 280 km/h 구간에서는 0.0991 m/s^2 의 평균 감속도이며, 270 km/h 속도 구간에서의 평균 감속도는 0.0927 m/s^2 임을 알 수 있다.

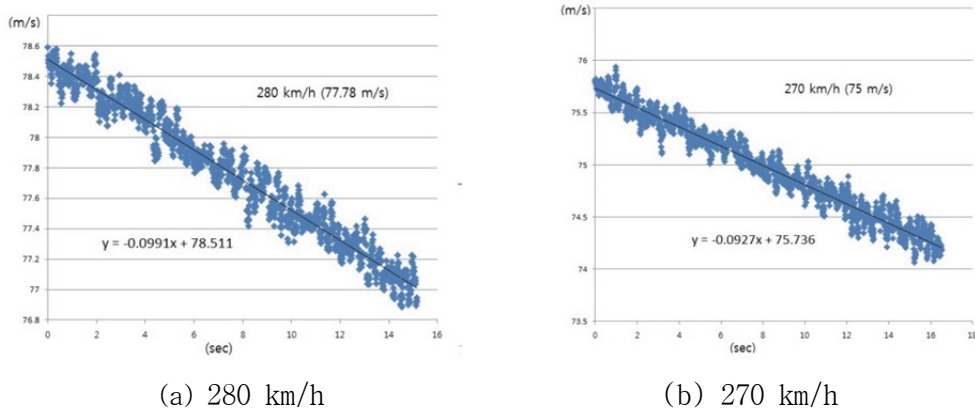


Fig. 2 Results of Coasting Test

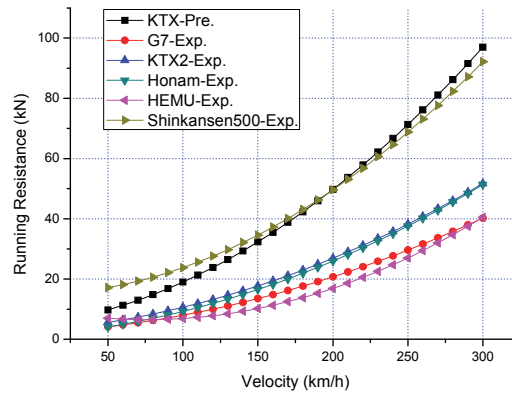


Fig. 3 Comparison of Running Resistance

Figure 3은 비교 대상이 될만한 고속 열차들의 주행 저항을 나타낸다. 비교 대상 차종은 ■가 KTX 열차에 대한 예측값, ●는 G7열차에 대한 시험값, ▲는 KTX산천 열차에 대한 시험값, ▼는 호남 고속 열차에 대한 시험값, ◀는 HEMU 열차에 대한 시험값, ▶는 신간선 500계 열차의 시험값을 각각 나타낸다. 이들 주행 저항값은 편성량수, 총중량, 차량 편성 형식, 대차형식 및 전후두부 형상 등에 따라 다르므로 열차간의 직접적인 비교 평가는 어렵지만, KTX와 신간선 500계가 비슷한 양상을 나타내며, 호남고속열차는 KTX 산천과 거의 같고, HEMU 열차는 G7 열차와 비슷함을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 호남 고속 철도 차량의 주행 저항식에 관하여 분석하였다. 차량의 감속도는 미리 선정한 직선 평탄선 구간에서 계획한 속도보다 조금 높은 속도에서 타행 운전을 시작하고, 계획한 속도보다 더 감속될 때까지 측정하였다. 특정 속도에서 타행을 시작하여 차량이 거의 정지할때까지 연속으로 측정하는 것이 바람직하지만, 우리나라 선로 여건상, 이를 충족할만한 직선 평탄 선로가 없기 때문에 구간별로 측정하였다. 전 속도에 걸친 주행 저항 곡선은 각 구간별로 구한 속도 변화를 연결하는 방법으로 하였다. 현차 시험 데이터의 분석 결과, KTX와 신간선 500계가 비슷한 양상을 나타내며, 호남고속열차는 KTX 산천과 거의 같고, HEMU 열차는 G7 열차와 비슷함을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Test Procedure of Running Resistance in Main Line Test for Honam HSR (2013), KRRI.
- [2] T.Maeda (1998) Aerodynamic Characteristics of Train and Countermeasures for Decreasing Micro-pressure Wave, *RTRI Report*, 20, pp. 23-80.(in Japanese)
- [3] Hyeok-bin Kwon (2014) Assessment of the Running Resistance of a High-speed Train Using a Coasting Test, *J.KSR*, 17(3), pp.165-170.(in Korean)