

## 차량 주행 속도 프로파일 계산

## Calculation of Velocity Profile for Railway Vehicle

강주석\*†, 정훈\*\*, 이원상\*\*

Juseok Kang<sup>\*†</sup>, Hoon Jung<sup>\*\*</sup>, Won-Sang Lee<sup>\*\*</sup>

**Abstract** In this paper, a method to calculate velocity profile of railway vehicle taking into account tractive and braking effort, resistance force and maximum permissible velocity is proposed. Resistance of the vehicle and external load are formulated with the driving velocity and the vehicle location. The vehicle velocity and the load that meet the maximum permissible velocity of the station section are estimated.

**Keywords** : velocity profile, tractive effort, braking effort, resistance, external load

**초 록** 본 연구에서는 견인모터의 추진력과 제동력, 차량의 주행 저항을 포함하여 주행 최고속도를 넘지 않는 차량의 속도 프로파일 계산 방법을 제안한다. 차량주행저항과 외력은 거리와 속도의 함수로 표현되며, 역 구간의 최고 속도에 맞게 구간 주행에 대해 수치해석적인 방법으로 차량의 속도와 주행 하중을 계산한다.

**주요어** : 속도 프로파일, 견인력, 제동력, 저항, 외력

## 1. 서 론

철도차량의 주행계통은 구배나 곡률, 공기 저항 등 차량의 주행저항을 견디고 차량을 견인하고 제동을 하므로 지속적인 하중에 노출된다. 차량 운행 패턴, 차륜 직경 변화, 승객 하중 변동 및 트랙의 조건에 따라 차량 주행계통에 가해지는 하중은 달라지게 된다. 이들 다양한 파라미터를 정확하게 고려하여 차량의 주행 속도 프로파일을 계산하여야 차량의 주행 하중이 결정될 수 있다.

본 연구에서는 견인모터의 추진력과 제동력, 차량의 주행 저항을 포함하여 주행 최고속도를 넘지 않는 차량의 속도 프로파일 계산 방법을 제안한다. 대차의 윤축, 구동기어, 베어링 등의 구조 내구성, 수명 평가에 있어 실제 운행 선로에 따른 차량의 운행 상태 (승객하중 변화, 운행 여건, 차륜 삭정 등)를 고려한 하중, 토크의 변화량 및 분포를 차량 전체 운행 기간에 대해 구해야 할 필요가 있으므로 본 연구에서는 이들 변수를 고려한 철도차량 속도 프로파일을 주행하중을 계산하고자 한다.

\*† 교신저자: 한국교통대학교 철도대학 철도차량시스템공학과(kjuseok@ut.ac.kr)

\*\* 현대로템 기술연구소

## 2. 주행 속도 계산

철도차량의 주행속도 및 견인력 계산을 위한 종방향 동역학은 트랙 전후 방향에서의 차량의 운동역학으로 정의할 수 있다. 철도차량 종방향 동역학은 견인 모터 및 제동 토크에 의한 외력, 주행에 저항하는 외력과 차량의 관성의 평형에 의해 구해지는 차량의 속도 관계를 구하는 문제이다. 본 연구에서는 차량 종방향 주행 동역학 해석을 통해 주어진 주행 조건에서 얻어지는 주행 하중을 계산하고자 한다.

종방향 주행 동역학 해석을 위해서는 Fig. 1과 같이 승객 하중, 곡률, 구배, 터널/개활지 유무, 구간 별 속도 제한 등 차량 운행 조건과 같은 입력 값이 필요하다. 승객 하중은 AW0, AW1, AW2, AW3 등이 고려된다. 입력 데이터에는 차량의 질량과, 구동계의 회전관성, 차량의 하중, 차륜 직경 등의 차량 데이터와 견인 모터의 견인 특성, 토크-RPM 특성 및 기계 제동, 회생 제동 등의 제동 특성의 데이터가 포함된다. 입력데이터로부터 차량의 종방향 주행 동역학 해석을 수치해석적 방법으로 풀어 차량의 속도, 주행에 필요한 견인 토크, 모터의 RPM을 구한다. 이들 결과 값은 시간 함수 값으로서 속도와 주행하중을 구하기 위해서는 통계적인 하중 카운트가 필요하다. 운행 사이클 및 시간대별 승객 하중을 고려하는 통계적 방법을 통해 속도와 주행하중의 히스토그램이 계산될 수 있다.

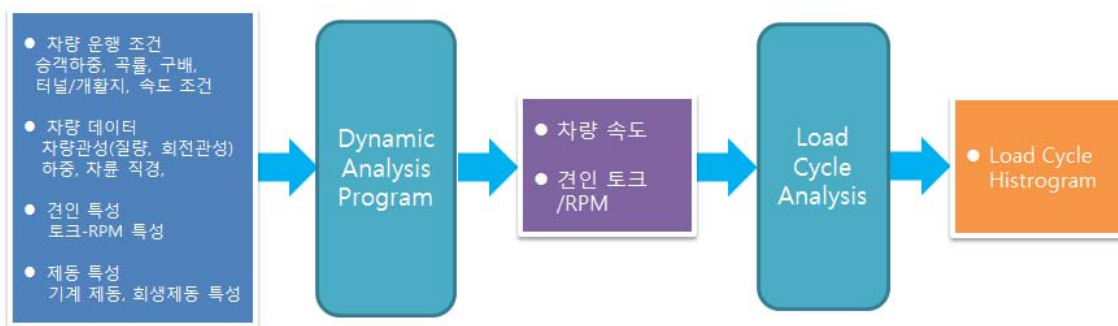


Fig. 1 Flow chart to calculate load cycle

열차의 종방향 동역학 식은 다음과 같다.

$$M_{eq} a = F - R_v - R_g - R_c \quad (1)$$

여기서  $M_{eq}$ 는 차량의 상당 관성이며  $a$ 는 가속도다.  $R_v$ 는 주행 저항,  $R_g$ 는 구배 저항,  $R_c$ 는 곡선 저항이다. 하중  $F$ 는 차량에 가해지는 외력으로 견인, 타행, 제동에 따라 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

주행저항  $R_v$ 는 구름저항과 공기저항의 합으로 정의된다. 차량의 형상과 설계, 운행 조건에 따라 주행저항은 변하게 된다. 주행저항은 일반적으로 다음 식과 같은 형태로 나타난다.

$$R_v = A + BV + CV^2 \quad (2)$$

구배저항은 중력항의 주행방향 성분으로서 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_g = mg \sin \theta \quad (3)$$

곡선저항은 트랙의 곡률반경 뿐 아니라 차량의 설계 조건, 캔트, 휠과 레일 형상 등이 차량의 저항에 영향을 줄 수 있다. 이러한 여러 변수를 모두 고려하여 곡선저항을 정의하기 어려우므로 일반적으로 다음과 같은 식을 이용하여 곡선 저항을 평가한다[1].

$$R_c = 6116 / R \quad (N / ton) \quad (4)$$

위의 주행저항이 결정되면, 주행저항을 고려하여 가속할 수 있는 견인력이 필요하다. 그러나, 견인력은 Fig. 1과 같이 허용 최고속도를 고려하여 결정되어야 하므로 다음 식과 같이 견인, 타행, 제동 중의 하나로 정해진다.

$$F = \begin{cases} F_t & : \text{견인} \\ 0 & : \text{타행} \\ F_b & : \text{제동} \end{cases} \quad (5)$$

위의 식 (1)은 오른쪽 항이 속도와 거리, 시간의 항이므로 다음 식과 같이 비선형 미분 방정식의 형태로 나타낼 수 있다.

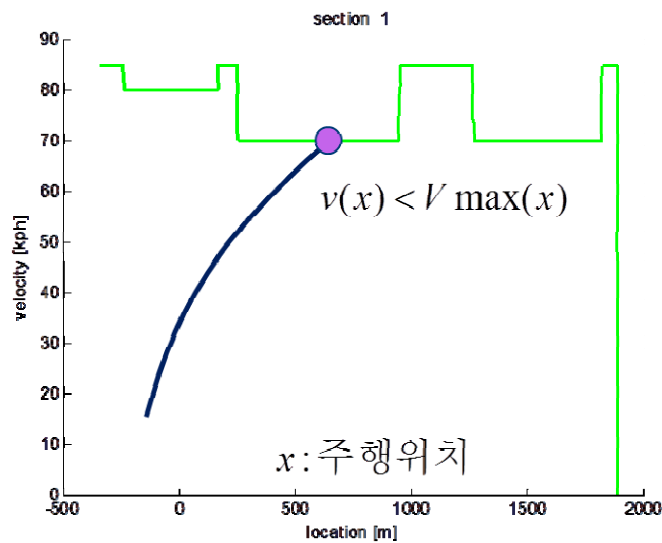


Fig. 1 The input and response signals measured in the forward process

$$\frac{dv}{dt} = f(v, x, t) \quad (6)$$

위의 식은 수치적분을 통해 해를 구할 수 있다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 견인모터의 추진력과 제동력, 타행 등의 하중 조건과 차량의 주행 저항을 포함하여 주행 최고속도를 고려하여 차량의 속도 프로파일을 계산하는 방법을 제시하였다. 차량주행저항과 외력은 거리와 속도의 함수로 표현되며, 역 구간의 최고 속도에 맞게 구간 주행에 대해 수치해석적인 방법으로 차량의 속도와 주행 하중을 계산할 수 있다.

### 참고문헌

- [1] Hay, W. W., Railroad Engineering, 2nd ed., Wiley, New York, pp. 69 82, 1982.