

회전형 속도검출기를 사용한 철도차량에서 공전, 활주의 검출방법

이을재, 김영석, 윤용기, 이재호, 류상환, 정락호
 이경산전(주), 인하대학교, 한국철도기술연구원

Slip/Slide Detection Method for the Railway Vehicles using Rotary Type Speed Sensor

Eul-jae Lee, Young-seok Kim, Yong-ki Yoon, Jae-ho Lee, Sang-hwan Ryu, Rak-Kyo Jeong
 EK Systems Ltd, Inha Univ., KRRI

Abstract - The most generally implemented method to detect the ground speed of the railway vehicles is to use the rotary type speed sensor attached to wheel axle. The Slip or sliding phenomenon on the railway vehicles occurs frequently caused by the weak viscosity of the wheel. Thus, precisely to control the car, the slip/sliding detection system is required. In this paper we proposed for the speed data management system, which uses rotary type speed sensor. Proposed speed management system can detect the slip/sliding with wheel axle as well as correct the generated speed error during in error time, to provide accurate speed and precise location data. The effectiveness for adapting to the railway system is clarified by the computer simulation.

에는 제동축의 속도를 검출하고 제동시에는 반대로 역행축의 속도를 검지하여 공전과 활주에 따른 오차의 범위를 최소화하고 있으나 경량전철 등에서와 같이 바퀴의 수가 적고 역행과 제동을 동일축에서 동시에 사용하는 경우에는 오차의 범위가 증가되는 문제가 발생한다.

본 논문에서는 회전형 속도 검출장치가 부착된 바퀴축에서 발생하는 공전과 활주현상을 검출하는 새로운 알고리즘에 대하여 제안한다. 제안된 공전/활주 검출 알고리즘은 기존의 방법에서와 같이 각 바퀴축에 부착된 여러 개의 속도검출기의 신호로부터 복잡한 결정논리를 거쳐 평균적인 속도신호를 발생시키는 것이 아니라 열차의 가감속 한계값과 과거의 속도변화로부터 예측된 속도신호를 발생하여 공전/활주를 검출하는 구조로 이루어져 있다. 따라서 알고리즘이 복잡하지 않고 소프트웨어적으로만 구성이 가능하며 공전과 활주가 발생된 시점과 중점을 시스템에 알려주고 그 기간 동안에는 보정된 속도신호를 발생하여줌으로써 공전/활주 중에도 가능한 정확한 위치와 속도정보가 얻어질 수 있다. 제안된 속도신호 검출방법은 시뮬레이션을 통하여 철도차량에의 적용 가능성을 조사하였다.

1. 서 론

철도차량을 제어하기 위한 가장 기본적인 파라미터로 열차의 순시속도가 사용된다. 순시속도로부터 열차의 위치, 가감속 명령 및 차량간의 안전거리 등이 제공되므로 운행 초기부터 속도를 정확히 검출하기 위한 여러 가지의 방법이 제안되어 왔다. 회전형 속도 검출장치(속도 발전기 또는 광신호 발생기)를 사용한 고전적인 방법으로부터 파동의 반사를 이용하여 속도를 검출하는 도플러 레이더(doppler radar), GPS(global positioning system)를 이용한 절대지점의 비교방법 등이 개발되었고, 지상에 일정간격을 갖는 표시기(tag)를 설치하여 절대위치를 검출하는 방식도 사용되고 있으며, 근래에 들어서는 무선측정에 의한 3각점 비교방식도 시도되고 있다[1]. 하지만 회전형 속도검출기를 사용한 방식을 제외한 나머지의 경우에 있어서는 각각의 방식이 갖는 제약성으로 인하여 아직까지 보편화가 이루어지지 못하고 있다. 예를 들어 도플러 레이더의 경우 차축과의 접촉부가 없어서 공전이나 활주의 우려가 없지만 기후, 대기 압력 등에 따라 오차의 범위가 변동하며 선로상의 임의의 장애물(눈, 빙판, 새 등)에 대하여 취약한 단점이 있다. 위성이나 지자기를 이용한 GPS 방식에서도 위치오차의 한계성으로 정확한 속도를 구하는 것이 어려우며, 지상의 표시기를 사용하는 경우에는 표시기의 간격에 따라 위치의 정확도가 좌우되므로 정밀도의 향상을 위해서는 설치비용의 상승이 불가피하다. 최근에 개발된 무선측정에 의한 속도 검출방식의 경우에도 비교적 정확한 위치의 검출은 가능하지만 열차의 속도제어에 필요한 정밀도를 제공하지는 못하는 형편이다. 이에 따라 현재까지 열차의 순시속도를 구하기 위한 보편적인 방법으로 회전형 속도 검출장치가 사용되고 있다.

회전형 속도 검출장치를 이용하여 순시속도를 검출하는 경우에 있어서 가장 문제가 되는 것은 열차 바퀴의 점착력의 부족으로 인한 출발시의 공전(slip)과 제동시의 활주(slide)의 발생이다. 이에 따라 통상 역행과 제동에 소요되는 바퀴축에 각각 속도검출기를 부착하고 역행시

2. 공전/활주 검출 알고리즘

2.1 공전/활주 검출 방식의 예

공전 및 활주는 바퀴와 레일 사이의 마찰력이 습기, 먼지 등의 이물질에 의하여 점착력이 감소한 경우에 발생한다. 공전이 발생하면 열차추진 시스템은 모터의 회전전력을 감소시켜 재점착이 가능하도록 제어하며 활주의 경우에는 제동 시스템에서 반대의 기능을 수행한다. 따라서 추진 및 제동 시스템이 정상이라고 가정할 때 공전과 활주가 발생하면 그 즉시 발생지점을 제어 시스템에 알려줌으로써 신속히 차량의 점착력이 회복될 수 있도록 하는 것이 필요하며 동시에 공전/활주 중에도 차량의 정확한 속도와 위치를 파악하기 위한 방법이 제공되어야만 한다.

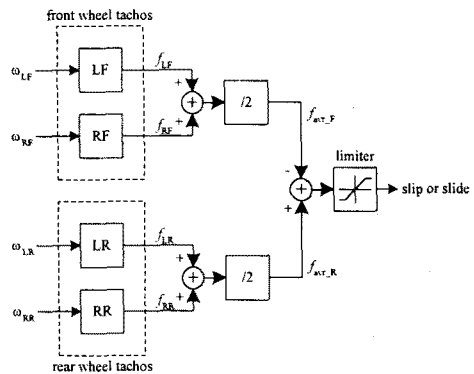


그림 1 공전/활주 검출장치의 예

그림 1은 경량전철에서 바퀴의 공전과 활주를 감시하기 위하여 사용되는 검출 방식의 예를 나타낸 것이다[3]. 그림에서 보면 차량의 전후와 좌우측 4곳에 속도검출기를 부착하고 전면부의 평균속도와 후면부의 평균속도를 비교함으로써 공전 및 활주가 검출되도록 시스템을 구성하고 있다. 경량전철의 경우에는 추진 차축과 제동 차축의 구분이 없이 단지 4개 바퀴의 속도 편차로부터만 공전과 활주의 검출이 가능하므로 추진 차축과 제동 차축이 구분되는 중량전철에 비하여 검출의 어려움이 증가된다.

2.2 제안하는 검출 알고리즘

본 논문에서는 공전/활주의 발생을 검출하기 위한 방법으로 차량의 가속속도와 과거 속도의 변화량으로부터 현재의 속도를 추정하는 예측 알고리즘을 사용하여 추정 오차의 편차로부터 공전/활주가 발생함을 판단한다. 현재 속도검출기에서 발생하는 속도신호를 $s(n)$ 이라 할 때에 차량의 속도기울기 $a(n)$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a(n) = \frac{s(n) - s(n-k)}{k} \quad (1)$$

여기서 k 는 시간지연상수로 $s(n-k)$ 는 k 만큼 지연된 속도신호이므로 $a(n)$ 은 k 샘플 구간동안의 기울기가 된다. 구해진 속도 기울기 값에 대하여 왜란 등에 의한 갑작스런 변화를 방지하기 위하여 방형장을 갖는 FIR 필터에 통과시키면 아래의 식으로 정리할 수 있다.

$$\tilde{a}(n) = \frac{1}{I} \sum_{i=0}^{I-1} a(n-i)w(i) \quad (2)$$

위 식에서 I 는 창함수의 크기이고 w 는 창함수 값을 나타낸다. $\tilde{a}(n)$ 은 현재까지의 속도 기울기 값의 평균값을 의미하므로 짧은 구간동안 차량의 속도 변화가 가속도의 범위를 벗어나지 않는다고 가정하면 1샘플만큼 예측된 속도 기울기를 $\hat{a}(n+1)$ 으로 가정할 수 있다. 따라서 식 (1)을 식 (2)에 대입하면 다음의 식을 얻는다.

$$\hat{a}(n+1) = \frac{1}{I} \sum_{i=0}^{I-1} \frac{s(n-i) - s(n-i-k)}{k} w(i) \quad (3)$$

식 (3)으로부터 속도신호의 예측값 $\hat{s}(n+1)$ 은 다음과 같이 간단한 1차식으로 나타낼 수 있다.

$$\hat{s}(n+1) = \hat{a}(n+1) \cdot n + \hat{b} \quad (4)$$

여기서 \hat{b} 는 절편값으로 다음과 같다.

$$\hat{b} = s(n) - \hat{a}(n) \cdot n \quad (5)$$

공전과 활주의 발생은 속도신호의 예측값 $\hat{s}(n)$ 과 실제 열차의 속도 $s(n)$ 을 연속 비교함으로써 검출이 가능하다. 즉 현재 열차가 정상적인 가속도와 감속도의 범위 내에서 운전된다면 다음 샘플의 열차 예측속도 $\hat{s}(n+1)$ 의 범위는 아래와 같이 표시된다.

$$[s(n) - \Delta s_D] \leq \hat{s}(n+1) \leq [s(n) + \Delta s_A] \quad (6)$$

여기서 Δs_A 와 Δs_D 는 열차의 가속속도 한계값을 나타낸다. 따라서 공전이나 활주가 발생하게 되면 속도검출기의 출력값이 식 (6)의 범위를 초과하게 되므로 공전/활주를 검출할 수 있으며 이 기간 중에 열차의 속도는 예측값으

로 대체되고, 속도검출기의 출력값이 범위로 다시 들어오면 공전/활주가 종료된 것으로 간주한다. 이상의 과정을 그림 2의 블록도에 나타내었다.

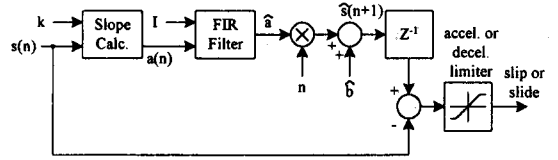


그림 2 공전/활주 검출기의 블록도

3. 시뮬레이션 결과

제안된 알고리즘의 적용 가능성 여부를 판단하기 위하여 실제차량의 운전속도 데이터에 대하여 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션에 적용된 데이터는 역행가속 후 제동이 인가되어 연속적인 감속이 발생되고 있는 바퀴축의 데이터를 사용하였으며 활주가 발생하지 않은 정상속도 데이터와 활주가 발생하고 있는 제동바퀴축의 데이터를 사용하였다.

그림 3은 감속시 열차의 정상속도 $s(n)$ 의 커브를 나타낸 것으로 약 3km/h/s의 감속도로 속도가 감소하고 있음을 보인다. 그림 4에 활주가 발생한 바퀴축의 속도와 제안한 알고리즘에 의하여 추정된 열차의 속도 $\hat{s}(n)$ 을 나타냈다. 열차의 최고 시속은 50km/h를 약간 초과하였으며 제동을 인가하여 완전정지까지는 약 17초 가량이 소요되었는데 그림에서 보이고 있는 바와 같이 여러 번의 활주가 발생하였다. 제안된 알고리즘에 의하여 추정된 열차의 속도는 비교적 정확하게 열차의 실제 속도를 추정하고 있으며 그림 5에 보이는 것처럼 약 2km/h의 오차 범위내에서 열차의 속도를 추정하고 있음을 알 수 있다. 그림 6은 활주가 발생하고 있는 구간을 검출한 파형과 과거의 속도 데이터로부터 구한 순시 속도의 기울기 $\hat{a}(n+1)$ 를 나타낸 것이다.

3. 결 론

본 논문에서는 회전형 속도검출기를 사용한 열차의 속도 검출 시스템에서 공전 및 활주 현상을 검출하고 보정된 속도 및 위치데이터를 출력하기 위한 공전/활주 검출 알고리즘에 대하여 제안하였다. 제안된 알고리즘은 열차의 가속 한계값과 과거의 속도변화로부터 예측된 속도 신호를 발생하여 공전/활주를 검출한다. 열차의 제동시에 발생하는 실제 활주 데이터를 적용하여 시뮬레이션을 실시한 결과 활주가 발생된 시점과 중점이 정확히 검출되었으며 그 기간 동안에는 보정된 속도신호를 발생하였고 비교적 정확한 속도 보정능력이 있음을 확인하였다. 추후 과제로는 공전에 대하여도 알고리즘을 적용하는 것과 전후, 좌우측으로부터 신호를 입력하고 그에 따른 적절한 결정논리를 보강하는 것이 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] T. Rappaport, J. Reed, and B. Woerner, "Position Location using Wireless Communication on Highways of the Future", IEEE Commun. Magazine, Vol. 34, No. 10, pp. 33-41, 1996
- [2] J. Makhoul, "Linear Prediction : A Tutorial Review", Proc. IEEE, Vol. 63, pp. 561-580, 1975
- [3] D. Sellers, "Development of A Slip Detection Technique for the AIRTRANS Rubber-tired Vehicle", Proc. IEEE, Vol. , pp. 214-220, 1980

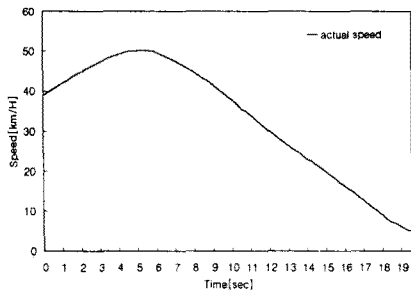


그림 3 감속시 열차의 실제속도

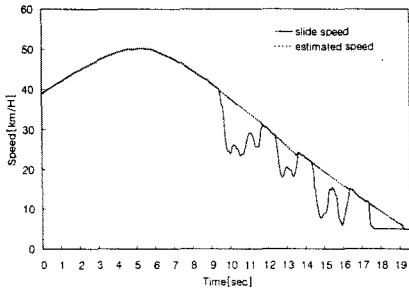


그림 4 활주시의 속도와 예측속도

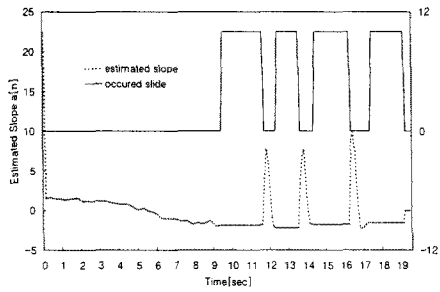


그림 5 예측된 속도기울기와 활주검출 구간

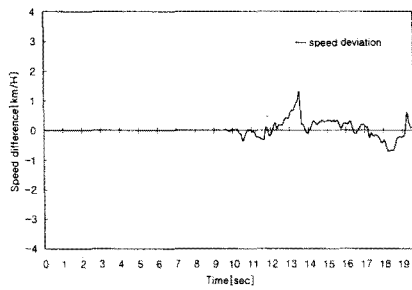


그림 6 실제속도와 예측속도의 오차