

열차제어시스템에서의 속도전달 지연에 대한 실험적 추정방안

김 정 태*

Experimental Estimation of Speed Transmission Delay in Train Control System

Jungtai Kim*

요 약

열차제어시스템은 열차 간 간격을 적절히 유지하여 충돌을 방지하고 승강장의 정확한 지점에 정차하도록 하여 승객이 편히 타고 내리게 하는 역할을 담당한다. 이를 위해서는 열차제어시스템이 열차의 위치를 정확히 알아야 한다. 열차제어시스템에서는 타코미터에서 측정된 차륜의 회전수에 직경을 곱하여 속도를 계산하고 이 정보를 열차제어시스템 내의 각 장치가 공유한다. 이 때 타코미터에서 측정된 정보가 열차제어시스템으로 전달되면서 지연이 발생하며 다른 장치를 거쳐 전달될 경우 최종 도착하는 장치에는 지연시간이 더욱 커지게 된다. 이 정보로 위치를 계산할 경우 현재의 속도가 아닌 과거의 속도로 위치를 계산하는 것이므로 큰 오차가 발생하며 이는 제어의 정확성을 해치게 되는 요인이 된다. 본 논문에서는 실험적으로 이러한 지연시간을 추정하는 방법에 대하여 제안한다. 열차를 등감속도로 이동시키고 주어진 거리와 계산된 거리와의 차를 이용하여 속도수신 지연시간을 추정한다. 휠직경 측정오차가 있는 경우에 대해서도 추정하는 방법에 대하여 제안한다. 추정된 지연시간을 사용하여 속도를 보상하고 위치 추정을 하였을 때 정확성이 향상됨을 보임으로써 본 방법의 적용 가능성을 보인다.

Key Words : Delay, Localization, Speed, Tachometer, Train control system

ABSTRACT

Train control systems maintain intervals between train to prevent collision and stop the train precisely at the platform for passengers to get on and off conveniently. Therefore train control system should know the train location accurately. Train control system calculates the train speed by multiplying wheel diameter with the rotation rate acquired by tachometer and this speed information is shared with each devices in the train control system. The delay occurs when the rotation information measured by tachometer is transferred to the train control system, and the delay increases if this information is transferred in series for one device to another device. The train location calculated with delayed speed information contains noticeable error hence this becomes one of major cause of deteriorating the control accuracy. In this paper, experimental method to estimate the speed transmission delay is proposed. If train is decelerating with a difference between given distance and calculated distance. Proposed method can estimate the transmission delay even in the presence of a measurement error for wheel diameter. Applicability is represented by showing the localization accuracy is increased if the train speed is compensated with the delay estimated by the proposed method experimentally.

* 본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

*° First Author and Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-0085-7261)Korea Railroad Research Institute, jtkim@krii.re.kr, 정회원
논문번호 : 201809-280-C-RU, Received September 11, 2018; Revised September 28, 2018; Accepted October 2, 2018

I. 서 론

열차제어시스템은 열차 간 간격을 적절히 유지하고 진로를 제어하여 충돌과 추돌을 방지하는 시스템^[1]이며 자동운행장치(ATO: Automatic Train Operation)를 포함하는 제어시스템의 경우 승강장의 정확한 지점에 정차하도록 하여 승객이 편히 타고 내리게 하는 기능도 가지고 있다^[2]. 이를 위해서는 열차의 위치를 정확히 인지하는 것이 필수적이다. 열차의 위치는 속도에 경과시간을 곱하여 추정되는데 열차의 속도는 타코미터에서 획득한 차륜의 회전수에 기 입력된 차륜의 직경을 곱하여 얻어진다. 이 과정에서 오차가 발생할 수 있는데 측정된 차륜 회전수의 오차, 입력된 차륜의 직경 값 오차 외에도 정보의 전달과정에서 발생하는 지연시간에 의한 오차가 있다^[3]. 즉 타코미터에서 측정된 회전수가 열차제어시스템으로 전달되고 속도로 변환되어 위치를 추정할 때까지의 시간이 소요됨에 따른 오차이다. 이 경우 열차제어시스템에서 현재의 속도로 위치를 추정하는 것이 아니라 과거의 속도로 위치를 추정하게 되므로 오차가 발생하며 특히 열차가 가속하거나 감속할 때 오차가 더욱 커지게 된다(그림 1). 더욱이 그림 2와 같이 열차제어시스템이 여러 개의 부속 장치로 구성되어 있고 속도 정보가 장치에서 장치로 전달이 되는 경우 최종적으로 속도 정보를 받는 장치에서 추정하는 위치의 오차는 큰 비중을 차지할 수 있다. 그림 2는 국내 도시철도 전동차의 열차제어시스템 구성의 한 예이며 타코미터에서 측정된 회전수는 TCMS(Train Control and Monitoring System)에서 속도로 변환되고 이 정보는 ATO(Automatic Train Operation)으로 전달되어 열차 자동제어에 활용된다. 이 때 ATO가 수신한 속도를 그대로 열차 위치 추정에 사용한다면 오차가 커지게 되어 제어를 정확히 수행할 수 없다.

오차를 줄이기 위해서는 지연시간을 정확히 측정하거나 추정하고 이를 수신된 속도에 반영하여 보정한 후 위치 추정을 수행하여야 한다. 열차제어시스템을 처음부터 제작하는 경우 제작 단계에서 측정할 수 있으며 실제 열차에 장착된 상태에서 측정하는 경우 그림 2와 같이 속도 정보 전달과 관련된 각 장치의 단자(검은 색 박스)가 식별되어 계측기의 프루브를 접속할 수 있어야 측정이 가능하다. 그러나 열차제어시스템의 일부 장치를 개량하거나 대체하는 경우 기존 시스템에 별도의 단자가 마련되어 있지 않으면 실제 운행하는 열차에서 속도전송 지연시간을 측정하는 것은 불가능하다.

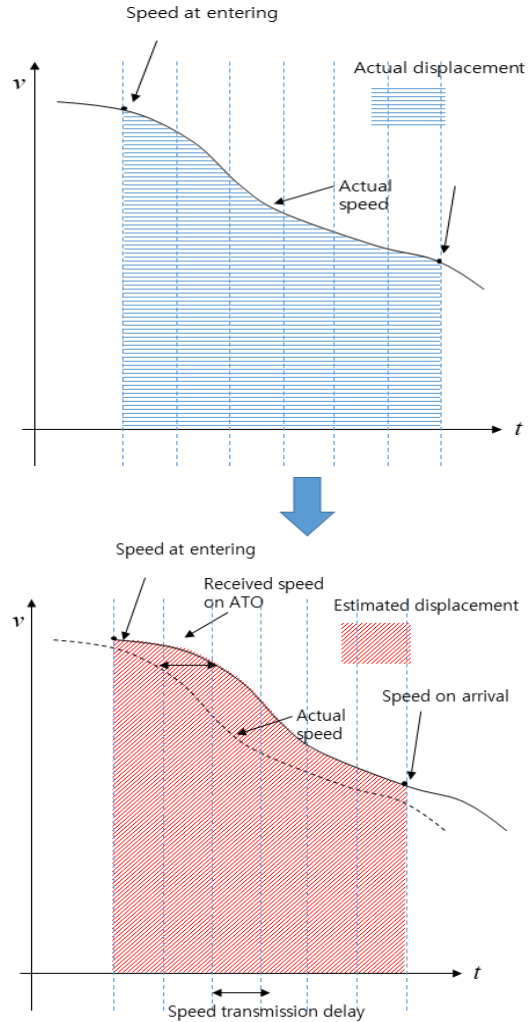


그림 1. 열차 속도 전송지연에 의한 이동 거리 추정 오차 발생
Fig. 1. Error in displacement estimation due to the speed transmission delay

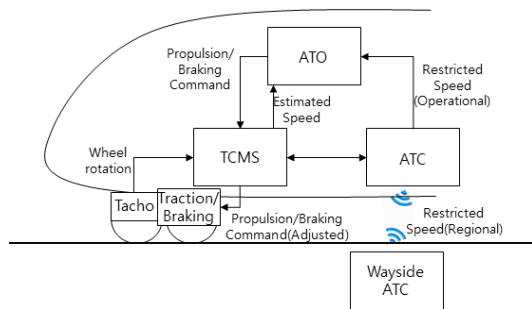


그림 2. 열차제어시스템의 구성과 열차 위치 추정 및 열차 제어와 관련된 정보 전달[3]
Fig. 2. Essential parts of the train control system and transmission of information for the train control[3]

본 논문에서는 실험적으로 이러한 속도전송 지연시간을 측정하는 방법에 대하여 제안한다. 거리가 일정한 구간을 다양한 가감속도로 열차를 이동시킨 후 추정된 이동거리와 실제 거리의 차를 이용하는 것이다. 특히 차륜경 측정값에 오차가 있는 경우에 대해서도 지연시간을 추정하는 수식을 도출하였다. 제안하는 방법으로 지연시간을 추정하고 이를 가지고 속도 정보를 보정한 후 열차의 위치(이동 거리)를 추정하였을 때 추정값의 오차가 감소하는 것을 확인함으로써 본 방법의 적용 가능성을 보인다. 이를 위해 본 논문은 다음의 구성으로 작성되었다. 먼저 본론의 1절에서는 속도 정보 전달 지연시간이 열차위치 추정에 미치는 오차에 대하여 다시 한 번 기술한다. 2절에서는 횡직경 오차가 없는 경우 지연시간을 추정하는 수식을 도출하고 3절에서는 횡직경 오차가 있는 경우 이를 고려한 지연시간 추정 수식을 도출한다. 4절에서는 실험을 통하여 횡직경 오차와 지연시간을 추정한 후 이를 가지고 속도 정보를 보정하였을 때 열차 이동 거리의 추정 오차가 감소함을 보인다. 끝으로 결론을 제시한다.

II. 본 론

2.1 지연시간과 위치추정

열차의 위치를 추정하는 방법은 크게 지상시스템에서 측정하는 방법과 차상시스템에서 측정하는 방법으로 나눌 수 있다. 지상시스템에서 측정하는 대표적인 방법은 궤도회로이다. 궤도회로는 열차의 궤도를 일정 구간으로 나누고 각 구간 별로 양쪽 레일에서 전류가 흐르도록 한 후 릴레이를 통해 이를 검지하여 열차의 점유 여부를 확인하는 방법이다⁴⁾. 열차가 없을 경우 릴레이에 전류가 흐르지만 열차가 점유하는 경우 차륜과 차축으로 많은 전류가 흐르게 되므로 반대쪽에 있는 릴레이에서는 전류가 적게 흘러 릴레이를 구동하지 못하게 됨으로써 점유가 검지된다. 궤도회로는 간단한 구성과 동작의 장점이 있어 100년 넘게 사용되어 왔다. 그러나 궤도회로의 경우 열차의 정확한 위치를 검지하는 것이 아니라 열차가 점유하는 구간을 알아내는 것이므로 노선의 효율성 증대에 한계가 있으며 최신의 규격이나 개발과제에서의 열차제어시스템은 궤도회로를 사용하지 않는다⁵⁾.

차상시스템에서 측정하는 방법 중 대표적인 것은 타코미터를 이용하는 방법이다. 타코미터에서 차륜의 회전수를 측정하고 여기에 기 입력된 차륜경을 곱하여 속도를 구한 후 경과시간을 곱하여 이동거리를 추정함으로써 열차의 위치를 구한다. 그러나 이 방법

에서는 차륜의 슬립 등에 의하여 발생하는 회전 수 오차, 입력된 차륜경 값의 오차, 속도 측정과 이동거리 계산 시간과의 차이에 의해 발생하는 오차³⁾ 등이 발생한다. 오차를 제거하기 위해서 GPS나 지상 장치에서 절대 위치를 받아 보정하는데 GPS는 터널이나 지하구간에서 사용할 수 없으므로 우리나라에서는 주로 Balise나 PSM(Precision Stop Marker)와 같은 지상 태그를 사용한다. 또한 타코미터를 이용한 속도 측정에 오차가 있으므로 도플러레이더를 장착하여 속도를 측정하는 경우도 있다⁶⁾. 그러나 태그가 있는 지점에서 위치 보정이 되더라도 지속적인 열차의 위치에 정확성을 확보하기 위해서는 타코미터를 통한 속도와 위치 계산의 정확성이 중요하다.

그러나 타코미터로 속도를 측정하는 경우 회전수를 계산하고 전달하는데 시간이 소요된다. 그림 2와 같이 측정값이 TCMS에서 속도로 변환되고 이 속도가 ATO로 전달되는 경우 ATO가 정보를 받는 때까지 걸리는 시간은 주목할 만하여 이는 장치 간 통신에 의해서 이루어지므로 수백 마이크로초에서 수백 밀리초가 걸린다⁷⁾. 만약 열차가 $0.8m/s^2$ 으로 감속하고 있고 현재 속도가 $10m/s$ 이며 열차 위치 계산 주기가 $100ms$ 이며 속도 정보 수신 지연시간이 $200ms$ 라고 가정할 경우 현재 위치 계산 주기에서의 실제 이동거리는

$$(10m/s + 0.8m/s^2 * 0.2s) \times 0.1s = 1.016m \quad (1)$$

가 되어 1.6%의 오차가 발생한다. 비록 자체로는 크지 않지만 누적될 경우 수 미터 이상으로 값이 커지게 되고 특히 저속에서는 오차의 비율이 커진다. 일반적으로 열차제어시스템의 위치 추정 허용오차는 수 미터 이상이므로 (참고로 한국형 무선통신 열차제어시스템의 허용오차는 6.25m 이다⁸⁾) 본 속도 정보 전달 지연에 의한 오차는 허용치보다 작지만 다른 오차 요인을 고려할 경우 더 줄일 필요가 있으며 특히 수십 센티미터의 규격을 갖는 정위치 정차오차를 충족시키기 위해서는 오차를 줄이는 것이 필요하다.

2.2 속도전달 지연시간 추정방법: 횡 직경 오차가 없는 경우

횡 직경 오차가 없을 경우 거리가 정해진 구간에서 열차를 등가속도 혹은 등감속도로 이동 시킨 후 경과 시간과 수신된 속도, 그리고 추정한 이동거리 정보를 이용하여 지연시간을 추정할 수 있다. 이는 열차의 중량이 크기 때문에 열차의 가속도는 비교적 일정하게

유지된다는 점을 이용한 것이다. 실제로 열차 운행 시 승객의 보호를 위해 저크 한계를 $0.8m/s^3$ 이하로 유지해야 함이 법으로 규정되어 있으며 실제 운행에서는 승차감 향상을 위해 이보다 낮은 값으로 설정한다. 그림 3의 (a)와 (b)는 각각 우리나라와 외국의 도시철도 열차가 정차 시 시간에 따른 속도를 나타낸 것이다. 감속 시작 후 정차점에 어느 정도 가까워 질 때까지 일정한 감속도로 운행함을 확인할 수 있다. (그래프의 직선 구간)

가감속도가 일정하게 유지될 경우 아래와 같은 등가속도 직선운동에서의 속도와 거리 공식을 이용한다.

$$v_1^2 - v_0^2 = 2as \tag{2}$$

여기서 v_1 은 ATO에서 수신한 구간 도착 속도, v_0 는 ATO가 수신한 구간 진입속도, a 는 가속도, s 는

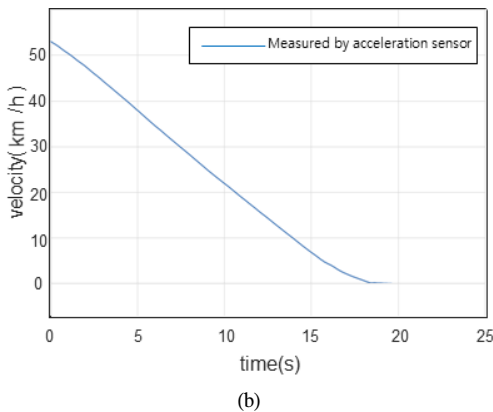
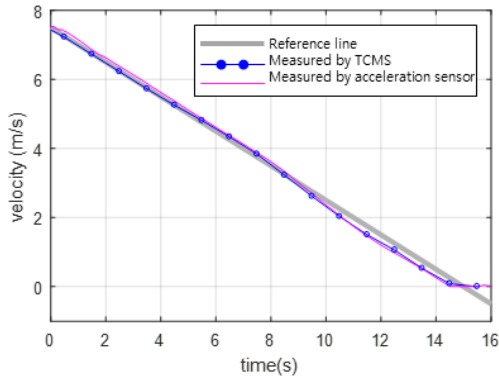


그림 3. 열차 정차 시 속도 프로파일 (a) 서울 5호선 방화 시험선 (b) 마드리드 6호선 메트로폴리타노역 [9]
Fig. 3. Speed profile at the train stops (a) Seoul line 5 test line at Banghwa depot (b) Madrid line 6 Metropolitana st.[9]

ATO가 추정한 이동거리이다. 이 때, 속도 정보 수신 지연시간을 t_d 라 하면 실제 구간 진입 속도(v_{or})와 구간 도착 속도(v_{1r})는 각각 다음과 같다.

$$v_{or} = v_0 + at_d \tag{3}$$

$$v_{1r} = v_1 + at_d \tag{4}$$

따라서 실제 열차 이동 거리(s_r)는 다음과 같다.

$$s_r = \frac{(v_1 + at_d)^2 - (v_0 + at_d)^2}{2a} \tag{5}$$

식 (5)를 가감하여 정리한 후 식 (1)을 대입하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_d = \frac{s_r - s}{v_1 - v_0} = \frac{s_r - s}{v_{1r} - v_{or}} \tag{6}$$

위 수식을 이용하여 구간 진입속도와 도달 속도, 실제 이동 거리와 추정거리를 대입하여 속도수신 지연 시간을 구할 수 있다. 실제 이동 거리는 거리가 정해진 구간을 이용하는 것이 좋으며 자동운전을 지원하는 서울도시철도 노선의 경우 4개의 정위치정차마크 (PSM)가 정차점으로부터 일정한 거리에 설치되어 있으므로 이 구간을 이용하면 된다. 그림 4는 PSM과 정차지점과의 거리를 나타낸 것이다.

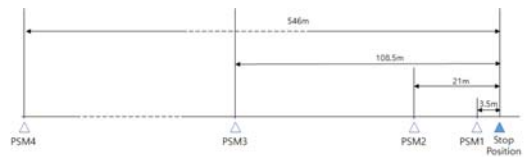


그림 4. 도시철도 설치 규격에 따른 PSM의 위치[3]
Fig. 4. Location of PSMs according to the urban railway specification [3]

2.3 속도전달 지연시간 추정방법: 휠 직경 오차가 있는 경우

휠 직경 오차가 없을 경우 거리가 정해진 구간에서 열차를 등가속도 혹은 등감속도로 이동 시킨 후 경과 시간과 수신된 속도, 그앞 절에서 기술한 바와 같이 ATO가 수신하는 속도는 차륜의 회전수에 차륜의 직경을 곱한 것이다. 그런데 차륜의 직경은 측정 시 오차가 발생할 수 있으며 차륜의 마모 등에 의해 측정값

과 실제값 사이에 오차가 발생할 수 있다. 또한 도시 철도의 경우 열차 차량에는 총 8개의 차륜이 있는데 시스템에 따라 일부의 차륜을 측정하여 평균으로 입력하므로 실제로 작용하는 차륜경의 크기를 알기 어렵다. Choi^[10]와 Lee^[11]에서는 차륜경 입력 오차가 정위차 정차 오차의 원인임을 기술하고 있다. 이렇게 횡직경 오차가 있는 경우 이전의 속도수신 지연시간에 추가로 미지수가 증가한다. 여기서는 횡 직경 오차를 고려하기 위해 입력 직경 대비 실제 직경의 비율 r_w 를 미지수로 설정한다. 따라서 앞서 도출한 수식 (6) 을 보완하여 횡 직경 오차가 있는 상태에서의 이동거리 추정의 실제값 및 측정값과 속도수신 지연시간과의 관계식을 도출하면 다음과 같다. 마찬가지로 등가 속도 직선운동에 대한 속도와 거리 공식을 통하여 ATO가 추정한 이동거리 s 를 구하는 수식

$$s = \frac{v_1^2 - v_0^2}{2a} \quad (7)$$

을 얻을 수 있다. 여기서 v_1 은 ATO에서 수신한 구간 도착 속도, v_0 는 ATO가 수신한 구간 진입속도, a 는 가속도이다. 여기서 a 는 실제가속도가 아니며 수신된 속도로 계산한 가속도로써

$$a = \frac{v_1 - v_0}{t_r} \quad (8)$$

로 구한 값이다. 이때 t_r 은 주어진 구간 동안 이동하는데 소요된 시간이다.

다음으로 실제 이동거리는 다음과 같이 구한다. 먼저 실제 속도는 아래와 같이 주어진다.

$$v_{or} = r_w(v_0 + a_r t_d) \quad (9)$$

$$v_{1r} = r_w(v_1 + a_r t_d) \quad (10)$$

여기서 r_w 은 입력 횡직경 대비 실제 횡직경의 비율 이고 a_r 은 실제 가속도(혹은 감속도)이다. 직경 측정 값에 오차가 있으므로 속도 및 가속도에 오차가 발생하므로 실제 값으로 환산하여야 한다. 실제 가속도 a_r 은 다음과 같이 도출된다.

$$a_r = \frac{v_{1r} - v_{or}}{t_r} = r_w \frac{v_1 - v_0}{t_p} = r_w a \quad (11)$$

실제 이동거리(s_r)는 다음과 같이 수식으로 정리된다.

$$s_r = \frac{v_{1r}^2 - v_{or}^2}{2a_r} = r_w^2 \frac{v_1^2 + 2a_r v_1 t_d - v_0^2 - 2a_r v_0 t_d}{2a_r} = r_w s + r_w^2 (v_1 - v_0) t_d \quad (12)$$

미지수가 r_w 와, t_d 2개 있으므로 2회 이상의 시험을 통해 그 값을 구할 수 있다. $v_1 - v_0$ 가 다른 값이어야 다른 식이 되므로 시험 시 가속도를 다르게 해야 하며 그 차이(가속도의 차이)는 클수록 좋다.

3회 이상의 시험을 수행할 수 있다면 r_w 와 $r_w^2 t_d$ 에 대한 최소자승법으로 해를 보다 정확하게 구할 수 있으며 그 과정은 다음과 같다. 즉 3회 이상의 시험을 수행할 경우 각각의 시험에 대하여 s 와 $v_1 - v_0$ 를 측정하게 되고 s_r 은 이미 정해진 값이므로 다음의 행렬 형태의 방정식을 얻게 된다.

$$A \begin{bmatrix} r_w \\ r_w^2 t_d \end{bmatrix} = B \quad (13)$$

여기서 A 의 각 행은 해당 시험 차수에 대한 s 와 $v_1 - v_0$ 를 열 원소로 갖게 되며 B 는 실제 거리를 값으로 갖는 열벡터이다. (크기는 시험 횟수가 된다.)

이를 최소자승법으로 풀게 되면

$$\begin{bmatrix} r_w \\ r_w^2 t_d \end{bmatrix} = (A^T A)^{-1} A^T B \quad (14)$$

가 된다. 첫 번째 해는 r_w 이고 두 번째 해는 $r_w^2 t_d$ 가 되는데 t_d 는 두 번째 해에서 첫 번째 해의 제곱을 나눔으로써 얻게 된다.

2.4 실험 및 결과

이 절에서는 실제 실험을 통하여 속도 측정과 거리 추정을 수행하고 이로부터 속도 정보 전달 지연시간을 추정하여 보정한 결과에 대하여 기술한다. 서울도 시철도 5호선의 방화차량기지 시험선(그림 5)에서 시험을 수행하였으며 그림 4의 PSM2와 PSM3구간을 4차례 각기 다른 속도와 가속도로 이동하며 수신된 속도값과 이동거리 추정값을 기록하였다. 이 때 시험선을 실제로 측정한 결과 실제거리 s_r 은 설계규격인



그림 5. 실험 구간(방화차량기지 시험선) 항공사진[3]
Fig. 5. Sky view of test track in Banghwa maintenance depot [3]

87.5m가 아닌 87.3m임이 확인되었다. 선로 및 열차 특성으로 인하여 실제 열차가 이동할 때에는 감속도에 변화가 있었으며(약 $0.098m/s^2$) 또한 수신된 속도 값에도 오차가 발생하였다. 따라서 PSM2에서 PSM3을 지나는 구간에서의 수신된 속도값과 시간을 가지고 최소제곱법으로 1차식으로 근사화하였으며 이렇게 구한 수치를 표 1에 나타내었다.

이를 가지고 식 (14)를 이용하여 해를 구하면 $r_w = 1.003$, $t_d = 140ms$ 를 얻게 된다. 실제 차륜경 측정결과 좌측 차륜은 844mm, 우측은 841mm가 나왔는데 TCMS에 입력한 값은 839mm이므로 측정 시의 휠직경 실제/입력 비율은 좌측 $r_w = 1.0060$, 우측 $r_w = 1.0024$ 이 나오며 실험을 통해 구한 값은 이 값의 중간에 위치함을 알 수 있다. t_d 와 r_w 를 얻으면 이를 이용하여 수신한 속도를 보정하고 이에 따라 열차 이동거리를 추정한다. 수신 속도 v_r 을 이용하여 보정 속도 v_c 를 구하는 식은 다음과 같다.

$$v_c = r_w(v_r + a_e t_d) \quad (15)$$

여기서 a_e 는 가속도 추정값이며 이전에 받은 여러 개의 수신된 속도값으로부터 가속도를 계산하고 평균

표 1. 시험 결과: 이동거리 추정값과 속도(m/s) 및 시간 측정값
Table 1. Test results: estimated displacement and time, speed(m/s) measurements

Trial No.	$s(m)$	v_0	v_1	$v_1 - v_0$	t_r
1	87.6357	8.516	4.025	-4.266	13.783
2	87.5552	8.639	4.417	-4.222	13.478
3	88.0065	8.631	3.119	-5.512	15.005
4	87.7590	8.424	2.286	-6.135	16.492

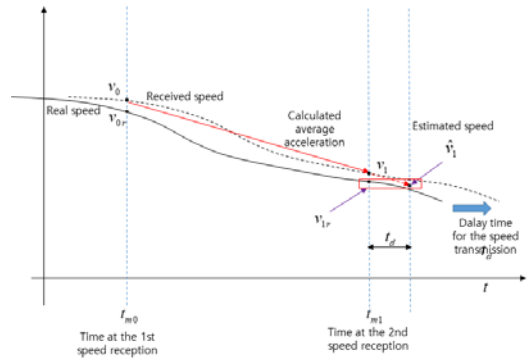


그림 6. 수신속도와 지연시간 추정값으로 실제 속도를 추정하는 과정
Fig. 6. Process of actual speed estimation from the received speed and transmission delay

한 값인데 본 시험에서는 8개의 샘플을 사용하였다. 수신된 속도와 가속도로부터 실제 속도를 추정하는 과정을 그림 5에 나타내었다.

속도 보정 전과 후의 이동거리 추정값과 오차의 크기를 비교하기 위해 서울5호선 방화차량기지의 PSM3과 2 사이의 구간 (실제거리 87.3m), PSM2와 PSM1 사이의 구간 (실제거리 17.7m)에 대하여 동일한 열차를 10회 이동시킨 후 추정값을 기록하였다. 표 2는 그 결과에 대한 통계적 수치를 나타낸 것이다. 감속구간이므로 속도 보정 전에는 추정 이동거리보다 실제보다 크게 나왔는데 제안하는 보정 알고리즘 적용 후 그 오차가 줄어들었음을 확인할 수 있다. 또한 이동거리 추정값도 일정하게 유지되어 통계적으로 안정적인 결과를 나타냄을 알 수 있다.

표 2. 시험 결과: 속도 보정 전과 지연시간 보정 후의 이동거리 추정값 비교
Table 2. Test results: estimated displacement with received speed and compensated speed for the transmission delay

Trial No.	PSM3-PSM2 (87.3m)		PSM2-PSM1 (17.7m)	
	Conventional	Proposed	Conventional	Proposed
Min.	87.45	87.11	17.96	17.68
Max.	87.85	87.39	18.58	17.74
Avg.	87.653	87.26	18.41	17.71
Std.Dev.	0.130	0.084	0.206	0.003
Max Err.	0.55	0.19	0.97	0.04
Avg. Err.	0.353	-0.038	0.71	0.009

III. 결 론

열차의 위치는 열차제어의 핵심이 되는 정보이며 따라서 열차 이동거리를 정확하게 추정하는 것이 중요하다. 그런데 이동거리 추정에 사용되는 속도 정보를 수신하는데 지연시간이 있을 경우 추정 오차가 커지는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 이 지연시간을 실험적으로 측정하는 방법에 대하여 제안하였고 그 값을 도출하는 수식을 구하였으며 실험을 통하여 지연시간을 추정하였다. 실제 운행하는 열차에서의 속도 수신 지연시간을 측정하기가 어려우므로 추정한 지연시간을 가지고 수신된 속도를 보정하고 이를 이용하여 열차 이동거리를 계산하여 추정된 지연시간 값과 속도 보정 방법이 타당한지 확인하였다. 실험결과 기존 방법보다 정확하고 안정적으로 이동거리를 계산하는 것을 확인하였다. 본 논문에서 제안하는 방법은 지연시간 측정이 어려운 열차제어시스템 대체품 개발 등에 활용될 수 있다.

References

[1] S. H. Hong, "The recent trends and prospects of the train control system," *Mag. IEIE*, vol. 34, no. 11, pp. 18-28, 2007.

[2] L. Ma, "Analysis on train stopping accuracy based on regression algorithms," *J. Software*, vol. 9, no. 5, pp. 1237-1244, May 2014.

[3] J. Kim, "Method for the accuracy improvement of the train localization using time and acceleration information," *J. KICS*, vol. 43, no. 4, pp. 761-767, Apr. 2018.

[4] H. J. Lee and J. W. Lee, "A study on interference between high voltage impulse track circuit(HVITC) and AF track circuit," *The J. Korean Soc. Railway*, vol. 18, no. 3, Jun. 2015.

[5] Y. K. Kim, et al., "Construction plan for train control system without track circuit for conventional and high speed railway through KRTCS technical analysis," *The J. Korean Soc. Railway*, vol. 21, no. 6, Jul. 2018.

[6] L. Yuan, W. Zhao, C. Li, and D. Zhou, "Error correction method for train speed measurement using Doppler radar in train control system," in *2013 IEEE Eleventh*

ISADS, pp. 1-4. Mar. 2013.

[7] *Stack overflow*, Retrieved Aug. 2018, from <https://stackoverflow.com/questions/41987430/what-is-the-lowest-latency-communication-method-between-a-computer-and-a-micro>

[8] J. Kim, "A study on the high speed train localization using doppler frequency in the wireless communication," *J. Korea Academia-Ind. Cooperation Soc.*, vol. 18, no. 11, pp. 826-833, Nov. 2017.

[9] S. H. Ryu, et al., "Final report of the research project: Development of demand related future urban railway technologies," *Korea Railroad Res. Inst.*, p. 184, 2015.

[10] Y. G. Choi, "The study of the cause analysis of over-run in automatic train driver by ATO system," M. S. thesis, The Graduate School of Education, Kyung Hee University, pp. 16-24, 2003.

[11] D. Lee, "A study on the Seoul metro line 2 train information to improve the position stops," M. S. thesis, Seoul National University of Science and Technology, pp. 42-45, 2013.

김 정 태 (Jungtai Kim)



1997년 2월 : 서울대학교 전기공학부 졸업
 1999년 2월 : 서울대학교 전기공학부 석사
 2011년 8월 : KAIST 전기및전자공학과 박사
 2012년 8월~현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야> 열차제어, 신호처리, 임베디드 시스템