

고속 환경에서의 철도 트랜스폰더 시스템 위치 정확도 분석

박성수[°], 이재호^{*}, 김성진^{**}

Location Accuracy Analysis of Railway Transponder System in High-Speed Environment

Sungsoo Park[°], Jae-Ho Lee^{*}, Seong Jin Kim^{**}

요 약

터널 등 위성신호 음영지역이 많은 국내 철도환경에서 300km/h 이상의 고속열차의 위치를 정확하게 파악하기 위해서는 선로에 설치된 트랜스폰더 태그를 활용하여 차륜센서 및 관성센서의 누적 오차를 보정하여야 한다. 이를 위해서는 트랜스폰더 리더가 트랜스폰더 태그를 통과하는 수 msec 내에 전력 전송 및 위치정보 송수신이 완료되어야 하며, 트랜스폰더 리더 안테나의 물리적/전기적 중심이 트랜스폰더 태그의 물리적/전기적 중심을 통과한 시점을 정확하게 추정하여야 한다. 본 논문에서는 트랜스폰더 리더가 선로에 설치된 태그로부터 수신한 텔레그램을 바탕으로 태그의 위치를 정확히 추정하는 기법을 제안하고, 실험실 환경에서 300km/h 이상의 고속 이동성을 구현할 수 있는 고속시험지그를 제작하여 제안 기법의 정확도를 분석하였다.

Key Words : Railway, Transponder, Location Accuracy, High-speed, Test Jig

ABSTRACT

In order to accurately detect the location of the high-speed train of 300km/h or higher in a railway environment, it is necessary to compensate for the accumulated error of the wheel sensors and inertial sensors by utilizing the transponder tags installed on the track. To this end, the transponder system should complete tele-powering and uplink transmission during the transponder reader passes a transponder tag, and also detect the exact time that the physical and electrical center of the transponder reader passes the physical and electrical center of the transponder tag. In this paper, we proposed an accurate location detection method for the railway transponder system based on the successfully decoded telegrams. We then analyzed the location accuracy of the proposed method using high-speed test jig capable of accelerating transponder tag faster than 300km/h in a lab.

I. 서 론

국내 고속철도에 적용 중인 열차 위치검지 기술은

지상에 설치된 궤도회로를 활용하여 폐색의 점유 여부를 확인하거나 열차에 설치된 도플러레이더 및 차륜센서를 활용하여 열차의 속도를 측정하는 방식을

※ 본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업(열차자율주행제어 핵심기술개발)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

•° First and Corresponding Author: Train Control & Communication Research Team, Korea Railroad Research Institute, sspark@krii.re.kr, 정회원

* Train Control & Communication Research Team, Korea Railroad Research Institute, prolee@krii.re.kr

** Train Control & Communication Research Team, Korea Railroad Research Institute, sjkim@krii.re.kr, 정회원

논문번호: KICS2017-10-313, Received October 18, 2017; Revised November 3, 2017; Accepted November 4, 2017

활용하고 있으나, 고속주행환경에서는 차륜 마모 및 기/감속시 발생하는 차륜의 공전/활주에 의한 위치오차가 발생하는 단점이 있다. 최근 관성센서 및 GPS를 활용하여 차륜센서의 누적 오차를 보정하는 기법이 국내외에서 연구되고 있으나, 터널 및 도심지 등 GPS 음영지역이 많은 국내 철도환경에서는 GPS의 낮은 가용성으로 인해 활용이 제한적이다. 이에 대한 대안으로 지상에 트랜스폰더 태그를 일정 간격으로 설치하고, 열차에 설치된 트랜스폰더 리더가 태그에 전력을 공급한 뒤 태그가 송신하는 위치정보를 수신하는 방식으로 차륜센서 및 관성센서로 인한 누적오차를 보정하는 고정밀 열차 위치검지시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{1,2)}.

300km/h 이상의 고속 환경에서 차륜센서 및 관성센서로 인한 누적오차를 정확하게 보정하기 위해서는 트랜스폰더 리더가 트랜스폰더 태그를 통과하는 수 msec 내에 전력 전송 및 위치정보 송수신이 완료되어야 하며, 트랜스폰더 리더 안테나의 물리적/전기적 중심이 트랜스폰더 태그의 물리적/전기적 중심을 통과한 시점을 정확하게 추정하여야 한다³⁻⁹⁾. 유럽 열차제어 시스템(European train control system)을 구성하는 하부시스템으로 지상에서 차상으로의 열차 제어정보 전송 및 위치검지 용도로 사용되는 유로발리스(Eurobalise)의 경우, vital 목적으로 사용될 경우 $\pm 1m$ 이내의 위치 정확도를 만족하여야 하며, non-vital 목적으로 사용될 경우 선로 중심에 설치되는 유로발리스의 물리적 중심을 기준으로 측정된 위치 오차가 신뢰 구간 99.8%를 기준으로 40km/h 미만 속도에서는 $\pm 0.2m$ 이내를 만족하여야 하고, 40km/h 이상 500km/h 이하 속도에서는 $\pm 0.2m \sim \pm 0.7m$ 이내를 만족하여야 한다¹⁰⁾.

고속 환경에서 철도 트랜스폰더 시스템의 위치 정확도를 분석하기 위해서는 고속으로 주행하는 열차에 설치된 트랜스폰더 리더 안테나의 물리적 중심이 선로에 설치된 트랜스폰더 태그의 물리적 중심을 통과한 시각과, 트랜스폰더 리더가 트랜스폰더 태그로부터 수신한 텔레그램을 바탕으로 추정한 태그 통과 시각의 차이를 측정하고, 정확한 열차 속도를 바탕으로 시간 차를 위치 오차로 환산하여야 한다. 하지만, 트랜스폰더 리더 안테나의 물리적 중심이 선로에 설치된 트랜스폰더 태그의 물리적 중심을 통과한 시각을 측정하기 위해서는 별도의 계측 설비를 선로에 구축하여야 하며, 열차의 속도 추정 오차가 발생할 경우 정확한 위치 정확도 분석이 어려워진다. 본 논문에서는 이러한 제약사항을 해결하기 위하여, 실험실 환경에서

300km/h 이상의 고속 이동성을 구현할 수 있는 고속 시험지그를 구축하여 철도 트랜스폰더 시스템의 위치 정확도를 분석하였다.

2장에서는 철도 트랜스폰더 시스템의 구성 및 동작 원리를 간략히 소개하고, 트랜스폰더 리더가 트랜스폰더 태그로부터 수신한 텔레그램을 바탕으로 태그의 위치를 추정하는 기법을 제안한다. 3장에서는 제안된 위치 추정 기법의 정확도를 분석하기 위한 고속시험지그를 소개하고, 위치 정확도 분석 방법을 설명한다. 4장에서는 고속시험지그를 활용한 위치 정확도 시험 결과를 제시하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 철도 트랜스폰더 시스템

2.1 철도 트랜스폰더 시스템

고정밀 열차 위치검지시스템은 그림 1과 같이 GPS, 트랜스폰더 시스템, 관성센서, 차륜센서 및 센서 정보 융합처리장치로 구성된다^{1,2)}. 철도 트랜스폰더 시스템은 차상에 설치되는 리더, 지상에 설치되는 태그 및 태그에 텔레그램을 다운로드하기 위한 휴대용 장비인 프로그래머로 구성된다. 차량 하부에 설치되는 리더는 태그에 무선으로 전력을 공급하고, 태그로부터 텔레그램을 수신한다. 선로 상에 설치되는 태그는 리더로부터 원격으로 전력을 공급받아 구동 전압이 유지되는 동안 텔레그램을 반복적으로 송신한다. 텔레그램은 태그가 설치된 위치에 대한 정보를 포함하고 있으며, 순환코드 기반의 부호화 기법이 적용되어 트랜스폰더 리더에서 오류 검출이 가능하다.

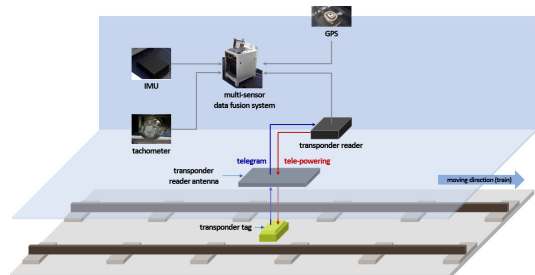


그림 1. 고정밀 열차 위치검지시스템
Fig. 1. High-precision train position detection system

2.2 철도 트랜스폰더 시스템 위치 추정 기법

본 장에서는 트랜스폰더 리더가 선로에 설치된 태그로부터 수신한 텔레그램을 바탕으로 태그의 위치를 정확히 추정하는 기법을 제안한다. 그림 2와 같이 트랜스폰더 태그가 트랜스폰더 리더의 컨택 존(contact

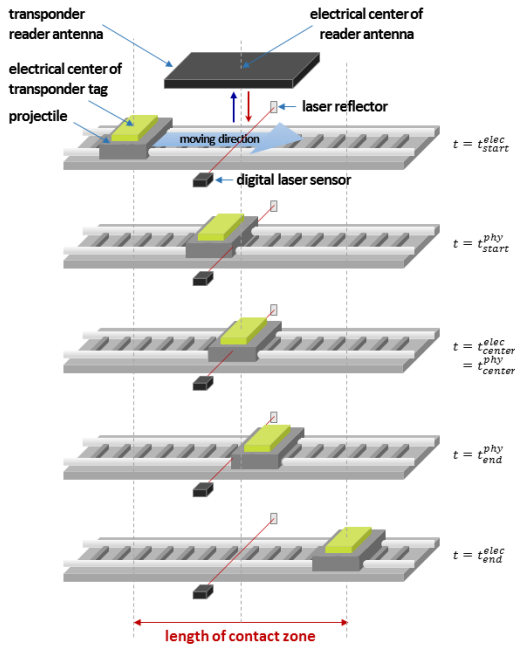


그림 2. 시간 경과에 따른 트랜스폰더 태그 위치
Fig. 2. Location of transponder tag over time

zone)에 진입하여 무선으로 전력을 수신하기 시작하는 시점을 t_{start}^{elec} , 컨택 존을 빠져나가 무선 전력전송이 종료되는 시점을 t_{end}^{elec} 로 정의하자. 열차가 등속으로 주행하고, 트랜스폰더 리더와 트랜스폰더 태그 안테나의 전기적 방사패턴이 열차 진행방향으로 대칭이라고 가정하면, 트랜스폰더 태그의 전기적인 중심이 트랜스폰더 리더의 전기적인 중심을 통과하는 시각 t_{center}^{elec} 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$t_{center}^{elec} = \frac{t_{start}^{elec} + t_{end}^{elec}}{2} \quad (1)$$

트랜스폰더 리더가 컨택 존을 통과하는 동안 트랜스폰더 태그로부터 N 개의 텔레그램을 수신하여 복호화(decoding)에 성공하였다고 가정하자. 트랜스폰더 리더가 텔레그램을 복호화하는데 소요되는 시간이 텔레그램 1개를 전송하는데 소요되는 시간(telegram duration)에 비해 매우 작다고 가정하면, 트랜스폰더 리더는 태그로부터 수신한 텔레그램의 복호화 결과를 바탕으로 t_{start}^{elec} 와 t_{end}^{elec} 를 추정할 수 있다. 트랜스폰더 리더가 트랜스폰더 태그로부터 n 번째 텔레그램을 수신하여 복호화에 성공하는 시점을 t_n ($1 \leq n \leq N$)

이라고 가정하면, 트랜스폰더 태그가 트랜스폰더 리더로부터 무선 전력을 수신하기 시작하는 시점을 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\tilde{t}_{start}^{elec} = t_1 - t_t - t_{start-up} \quad (2)$$

수식 (2)에서 $t_t = \frac{B}{R}$ 는 트랜스폰더 태그가 텔레그램 1개를 전송하는데 소요되는 시간을 의미하며, B 와 R 은 각각 텔레그램에 포함된 비트 수(bits)와 데이터 전송률(bits/sec)이다. $t_{start-up}$ 은 트랜스폰더 태그가 트랜스폰더 리더로부터 무선으로 전력을 수신하기 시작한 시점부터 텔레그램 전송을 시작하기까지 소요되는 시간(start-up time)을 의미한다. 한편, 트랜스폰더 태그가 컨택 존을 빠져나가 무선 전력전송이 종료되는 시점은 트랜스폰더 리더가 마지막 텔레그램의 복호화에 성공하는 시점 t_N 으로부터 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\tilde{t}_{end}^{elec} = t_N \leq t_{end}^{elec} \quad (3)$$

트랜스폰더 리더는 \tilde{t}_{start}^{elec} 와 \tilde{t}_{end}^{elec} 를 바탕으로 그림 3과 같이 트랜스폰더 태그의 전기적인 중심이 트랜스폰더 리더의 전기적인 중심을 통과하는 시각을 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\tilde{t}_{center}^{elec} = \frac{\tilde{t}_{start}^{elec} + \tilde{t}_{end}^{elec}}{2} \quad (4)$$

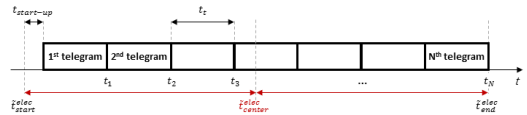


그림 3. 철도 트랜스폰더 시스템 위치 추정 기법
Fig. 3. Location estimation of railway transponder system

III. 철도 트랜스폰더 시스템 위치 정확도 분석

3.1 트랜스폰더 시스템 고속시험지그

제안된 철도 트랜스폰더 시스템 위치 추정 기법의 정확도를 분석하기 위하여, 실험실 환경에서 300km/h 이상의 고속 이동성을 구현할 수 있는 고속시험지그(high-speed test jig)를 제작하였다. 고속시험지그는 그림 4와 같이 가속 장치(acceleration device), 고속

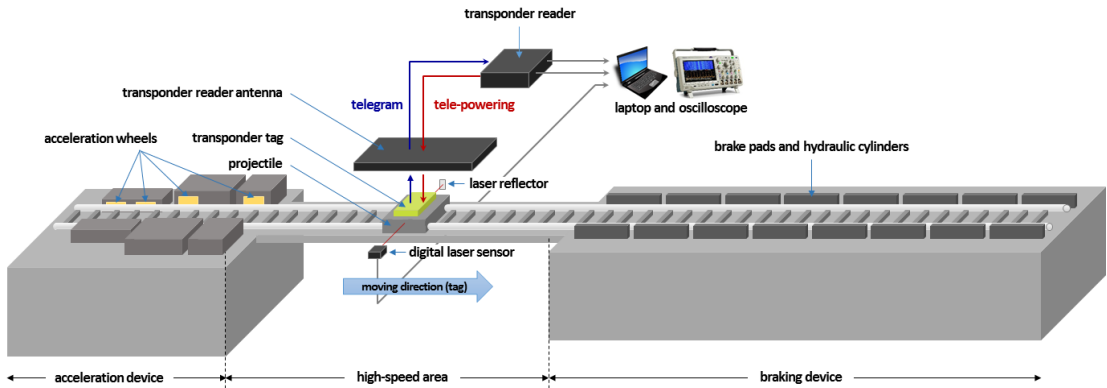


그림 4. 철도 트랜스폰더 시스템 위치 정확도 평가를 위한 고속시험지그 구성도
 Fig. 4. Architecture of high-speed test jig for location accuracy evaluation of railway transponder system

구간(high-speed area), 제동 장치(braking device), 발사체(projectile), 제어 장치(control device) 등으로 구성되며, 총 길이는 약 25m이다. 실차 환경에서는 열차 하부에 트랜스폰더 리더 안테나를 부착하여 지상에 설치된 태그를 인식하지만¹⁵⁻⁹⁾, 실험실 환경에서 300km/h 이상의 고속 이동성을 구현하기 위하여 트랜스폰더 리더 안테나를 고속시험지그의 가속 장치와 제동 장치 사이에 위치한 고속 구간 상단에 고정시키고, 가속 장치를 활용하여 상대적으로 부피가 작고 가벼운 트랜스폰더 태그가 부착된 발사체를 가속하여 고속 구간을 통과하도록 하였다.

가속 장치는 발사 휠(acceleration wheels) 8식(소 4, 대 4)으로 구성되며, 발사체가 발사 휠을 통과할 때마다 단계적으로 가속하여 300km/h 이상의 고속으로 고속 구간을 통과하도록 하였다. 제동 장치는 브레이크 패드(brake pads) 및 유압 실린더(hydraulic cylinders)로 구성되며, 고속 구간을 통과한 발사체를 단계적으로 감속하여 정지시킨다. 가속 장치를 구성하는 각 발사 휠의 회전속도(rpm), 발사체 발사 시점, 브레이크 패드 및 유압실린더 작동 여부 등을 제어하기 위하여 컨트롤 박스, 변압기, 차단기, 공기 압축기, 발사 스위치 등으로 구성된 제어 장치를 별도로 구성하였다.

3.2 위치 정확도 분석 방법

고속시험지그를 활용하여 제안된 철도 트랜스폰더 시스템 위치 추정 기법의 정확도를 분석하기 위해서는 트랜스폰더 태그의 물리적 중심이 고속 구간 상단에 고정된 트랜스폰더 리더 안테나의 물리적 중심을 통과한 시각을 측정하고, 리더가 태그로부터 수신한 텔레그램을 바탕으로 태그의 전기적 중심이 리더 안

테나의 전기적 중심을 통과한 시각을 측정된 후, 태그 이동속도를 바탕으로 시간 차를 위치 오차로 환산하여야 한다. 리더 및 태그의 물리적 중심과 전기적 중심은 동일하고, 트랜스폰더 태그는 발사체의 중심에 고정된다고 가정한다.

트랜스폰더 태그의 물리적 중심이 트랜스폰더 리더 안테나의 물리적 중심을 통과한 시각과 태그의 이동속도를 측정하기 위하여 고속시험지그 고속 구간의 트랜스폰더 리더 안테나 설치위치 측면에 레이저 센서(digital laser sensor)와 반사판(reflector)을 설치하였다. 가속 장치에서 발사된 발사체가 고속 구간을 통과하며 레이저 센서와 반사판 사이를 가로막기 시작하는 시점을 t_{start}^{phy} , 종료되는 시점을 t_{end}^{phy} 로 정의하자. 열차 진행방향을 기준으로, 레이저 센서와 반사판이 트랜스폰더 리더 안테나의 물리적 중심에 고정되어 있다고 가정하면, 트랜스폰더 태그의 물리적 중심이 트랜스폰더 리더의 물리적 중심을 통과한 시각 t_{center}^{phy} 은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$t_{center}^{phy} = \frac{t_{start}^{phy} + t_{end}^{phy}}{2} \quad (5)$$

한편, 발사체의 측면 길이를 d 라고 가정하면, 태그의 이동속도는 수식 (6)과 같이 계산할 수 있다.

$$v = \frac{d}{t_{end}^{phy} - t_{start}^{phy}} \quad (6)$$

트랜스폰더 리더가 트랜스폰더 태그로부터 수신한 텔레그램의 복호화 결과를 바탕으로 추정된 $\tilde{t}_{center}^{elec}$

과 레이저 센서를 활용하여 계측한 t_{center}^{phy} 로부터 철도 트랜스폰더 시스템의 위치 오차 l_{error} 는 다음과 같이 계산된다.

$$l_{error} = v | \tilde{t}_{center}^{elec} - t_{center}^{phy} | \quad (7)$$

IV. 철도 트랜스폰더 시스템 위치 정확도 시험

4.1 시험 환경

그림 5와 같이 고속시험지그에 레이저 센서를 설치하고, 가속 장치를 활용하여 트랜스폰더 태그가 52.9km/h~325.7km/h의 속도로 고속 구간을 통과하도록 하였다. 트랜스폰더 태그의 물리적 중심이 트랜스폰더 리더 안테나의 물리적 중심을 통과한 시각과 태그의 이동 속도를 측정하기 위하여 레이저 센서 출력을 오실로스코프로 계측하였으며, 시험에 사용된 발사체의 측면 길이는 $d=0.29m$ 이다. 태그의 전기적 중심이 리더의 전기적 중심을 통과하는 시각을 측정하기 위하여 트랜스폰더 리더가 트랜스폰더 태그로부터 텔레그램을 수신하여 복호화에 성공할 때마다 150usec 길이의 펄스를 출력하도록 설정하고, 이를 오실로스코프로 계측하였다.

시험에 사용된 트랜스폰더 시스템 사양은 표 1과 같다. 트랜스폰더 태그의 start-up time은 138.8usec이며^[9], 태그의 물리적 중심이 리더의 물리적 중심을 통과하는 시각을 정확히 측정하기 위하여 트랜스폰더 태그가 트랜스폰더 리더의 컨택 존을 통과하는데 소요되는 수 msec에 비하여 상대적으로 빠른 80usec의 응답시간을 갖는 레이저 센서를 사용하였다.

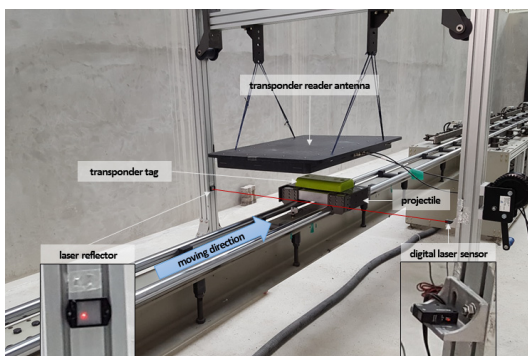


그림 5. 고속시험지그에 설치된 레이저 센서
Fig. 5. Laser sensor installed on high-speed test jig

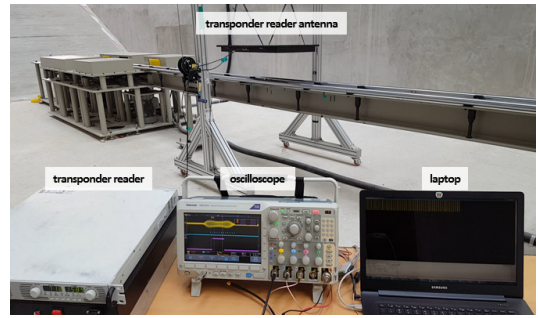


그림 6. 트랜스폰더 시스템 위치 정확도 분석 시험 장비
Fig. 6. Test equipment for location accuracy evaluation of transponder system

표 1. 트랜스폰더 시스템 사양
Table 1. Specification of transponder system

items		values
frequency	tele-powering	27.095MHz
	data transmission	2.822MHz, 3.386MHz
telegram	modulation	FSK
	data rate (R)	564,480bps
	length of telegram (B)	341bits
reader antenna size	tele-powering (Tx)	800×400mm
	data transmission (Rx)	700×300mm
tag antenna size	tele-powering (Rx)	134×260mm
	data transmission (Tx)	80×180mm

4.2 시험 결과

트랜스폰더 태그의 이동속도가 325.7km/h일 때의 시험 결과를 그림 7에 도시하였다. 그림 7의 첫번째 그래프는 트랜스폰더 리더가 트랜스폰더 태그로부터 텔레그램을 수신하여 복호화에 성공할 때마다 내보내는 150usec 길이의 펄스 출력이다. 그림 7의 두번째 그래프는 레이저 센서 출력으로, 태그가 부착된 발사체가 레이저 센서와 반사판 사이를 가로막을 경우 0V, 가로막지 않을 경우 약 -23V를 출력하도록 설정하였다. 첫 번째 그래프에서 확인할 수 있듯이, 트랜스폰더 리더는 325.7km/h로 이동하는 트랜스폰더 태그로부터 텔레그램을 13회 반복 수신하는데 성공하였다. 트랜스폰더 리더가 트랜스폰더 태그로부터 수신한 텔레그램의 복호화 결과를 바탕으로 추정된 $\tilde{t}_{center}^{elec}$ 과 레이저 센서를 활용하여 계측한 t_{center}^{phy} 의 차이는 0.427msec으로 측정되었으며, 이를 수식 (7)을 활용하여 위치 오차(l_{error})로 환산할 경우 0.038m으로

V. 결론

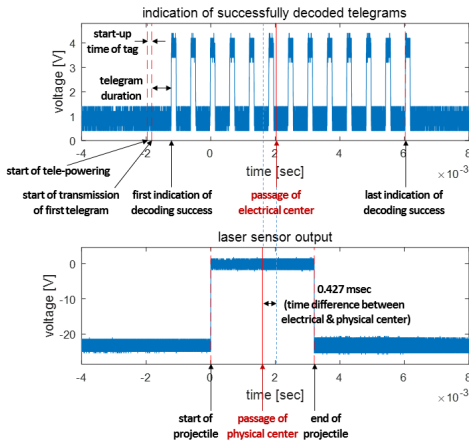


그림 7. 트랜스폰더 시스템 위치 정확도 분석
Fig. 7. Location accuracy evaluation of transponder system

분석되었다.

트랜스폰더 태그의 이동 속도에 따른 철도 트랜스폰더 시스템 위치 추정 기법의 정확도의 변화를 확인하기 위하여 트랜스폰더 태그의 이동 속도를 52.9km/h~325.7km/h으로 변화시켜가며 반복 시험을 실시한 결과를 그림 8에 도시하였다. 성능 비교를 위하여 유로발리스의 위치 정확도 요구조건^[10]을 그림 8에 함께 도시하였다. 트랜스폰더 태그의 이동 속도가 빨라짐에 따라 트랜스폰더 리더가 오류 없이 수신 가능한 텔레그램의 수가 감소하여 수신된 텔레그램을 바탕으로 태그의 위치를 추정하는 제안 기법의 위치 오차가 증가하지만, 325.7km/h의 고속에서도 유로발리스의 위치 정확도 요구조건을 만족하는 것을 확인할 수 있다.

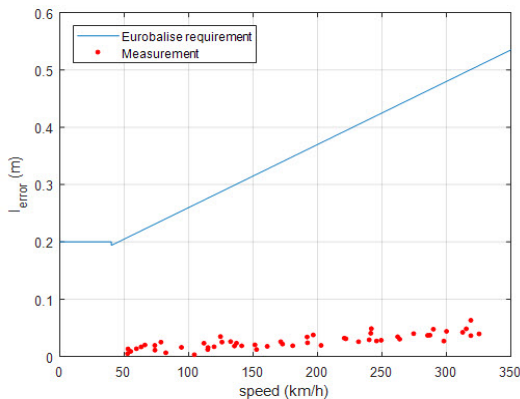


그림 8. 속도에 따른 위치 정확도 시험 결과
Fig. 8. Location accuracy of transponder system with respect to speed

300km/h 이상의 고속 환경에서 열차의 위치를 정확히 파악하기 위해서는 트랜스폰더 리더가 트랜스폰더 태그를 통과하는 수 msec 내에 전력 전송 및 위치 정보 송수신이 완료되어야 하며, 트랜스폰더 리더 안테나의 물리적/전기적 중심이 트랜스폰더 태그의 물리적/전기적 중심을 통과한 시점을 정확하게 추정하여야 한다. 본 논문에서는 철도 트랜스폰더 시스템의 위치 추정 기법을 제안하고, 300km/h 이상의 고속 이동성을 구현할 수 있는 고속시험장지를 활용하여 제안된 기법의 위치 정확도를 분석하였다. 시험 결과, 이동 속도가 325.7km/h일 때 제안된 위치 추정 기법의 오차는 0.038m 수준으로, 유로발리스의 위치 정확도 요구조건을 만족하는 것을 확인하였다.

본 연구를 통해 고속 환경에서 철도 트랜스폰더 시스템을 적용하여 고정밀 위치정보 제공이 가능함을 확인하였으며, 트랜스폰더 시스템의 위치 정확도가 차륜센서 및 관성센서의 누적오차 보정에 미치는 영향에 대한 추가 연구를 통해 열차 위치검지시스템의 정확도를 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] J. Lee, S. Park, and H. Kim, "Study on high-speed and high-precision train position detection," in *Proc. 2013 Autumn Conf. Korean Soc. Railway*, pp. 1361-1365, Daegu, Korea, Nov. 2013.
- [2] K. Kim, S. Seol, and S. Kong, "High-speed train navigation system based on multi-sensor data fusion and map matching algorithm," *Int. J. Control, Automat., and Syst.*, vol. 13, no. 3, pp. 1-10, Jun. 2015.
- [3] S. Park, et al., "Testbed implementation for performance evaluation of train positioning system," in *Proc. 2014 Autumn Conf. Korean Soc. Railway*, pp. 973-977, Jeju, Korea, Oct. 2014.
- [4] H. Kim, et al., "Study on environmental resistance of railway transponder tag for wayside installation," *The Trans. Korean Inst. Electrical Eng.*, vol. 64, no. 6, pp. 948-953, Jun. 2015.
- [5] S. Park, et al., "Test result of railway

transponder system with HEMU-430X,” in *Proc. Korean Soc. Precision Eng. 2015 Spring Conf.*, pp. 1188-1188, Jeju, Korea, May 2015.

- [6] S. Park, S. Kim, and J. Lee, “Field test of high-speed transponder system for rail transport,” *The Trans. Korean Inst. Electrical Eng.*, vol. 65 no. 1, pp. 208-213, Jan. 2016.
- [7] S. Park, J. Lee, and S. Kim, “Performance assessment of high-speed transponder system for rail transport on high-speed line,” *J. Korean Soc. Railway*, vol. 19, no. 3, pp. 304-313, Jun. 2016.
- [8] S. Park, S. Kim, and J. Lee, “A study on maximum speed test for railway transponder system,” in *Proc. Symp. Korean Inst. Commun. Inf. Sci.*, pp. 108-108, Jeju, Korea, Jun. 2017.
- [9] S. Park, J. Lee, and S. Kim, “Performance evaluation of railway transponder system in high-speed environment,” *J. KICS*, vol. 42, no. 09, pp. 1806-1814, Sept. 2017.
- [10] UNISIG, *The Specification of FFFIS for Eurobalise*, SUBSET-036, Issue 3.0.0, Feb. 2012.

박 성 수 (Sungsoo Park)



2006년 2월 : 연세대학교 전기
전자공학과 학사
2008년 2월 : 연세대학교 전기
전자공학과 석사
2010년 8월~2011년 2월 :
Purdue Univ. 방문연구원
2012년 2월 : 연세대학교 전기

전자공학과 박사

2012년 3월~2013년 2월 : 연세대학교 박사후연구원
2013년 3월~현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원
<관심분야> 철도 위치검지, LTE, LTE-R, 재난망,
열차 자율주행, V2X

이 재 호 (Jae-Ho Lee)



1989년 : 광운대학교 대학원 전
자공학과 석사
2005년 : 고려대학교 대학원 메
카트로닉스학과 박사
1995년~현재 : 한국철도기술연
구원 책임연구원
<관심분야> 열차 신호, 제어
이론

김 성 진 (Seong Jin Kim)



2001년 : 연세대학교 전자공학
과 학사
2003년 : 한국과학기술원 전기
및전자공학과 석사
2011년 : 한국과학기술원 전기
및전자공학과 박사
2011~2013년 : 포항산업과학연

구원 시스템솔루션연구그룹 선임연구원

2013년~현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야> 철도 위치검지, 로봇 제어, 칼만 필터