

## 차상기반 열차위치검지장치의 철도적용 시험 및 성능분석 연구

신경호\*, 신덕호\*, 백중현\*, 이재호\*  
한국철도기술연구원\*

### Study on the Performance Analysis and In-Vehicle Test for Train Location Device

Kyung-Ho Shin\*, Ducko Shin\*, Jong-Hyen Baek\*, Jae-Ho Lee\*  
Korea Railroad Research Institute\*

**Abstract** - 최근 무선통신기반 열차제어시스템의 국산화 개발이 진행 중에 있으며, 이동폐색 및 열차간격의 효율적인 제어를 위해서는 열차에서 직접 열차의 이동위치와 속도를 정확하게 실시간으로 파악할 수 있어야 한다. 하지만 기존 철도시스템에서는 열차의 위치 및 속도확인을 위해 궤도회로와 타코메터를 이용하고 있으며, 효율적인 열차제어를 위해 지상설비의 도움없이 안전하고 정확한 열차위치정보의 확보가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 위성항법수신기, 관성센서, 도플러레이더센서, 타코메터와 같이 열차에 탑재 가능한 위치 및 속도센서를 통합 적용하여 단독으로 열차 위치 및 속도파악이 가능한 차상기반 열차위치검지장치를 구성하고, 한국형 틸팅열차 탑재시험을 통해 위치정확성을 평가하고 철도운영 환경에서의 적용성을 확인한다.

### 1. 서 론

최근 무선통신기반 열차제어시스템의 국산화 개발이 진행 중에 있으며, 이동폐색 및 열차간격의 효율적인 제어를 위해서는 열차에서 직접 열차의 이동위치와 속도를 정확하게 실시간으로 파악할 수 있어야 한다. 하지만 기존 철도시스템에서는 열차의 위치 및 속도확인을 위해 궤도회로와 타코메터를 이용하고 있으며, 효율적인 열차제어를 위해 지상설비의 도움없이 안전하고 정확한 열차위치정보의 확보가 필요하다. 현재 항공, 해양, 도로 등 타 교통분야에서는 위성항법장치, 관성센서 등을 이용한 자율항법시스템 등이 개발 적용 중에 있으나, 철도분야에서는 안전성과 신뢰성 확보의 문제로 단순한 구조의 안전성이 확보된 궤도회로와 타코메터를 이용하여 열차의 위치 및 속도를 파악하고 있는 실정이다. 철도에서 이용하는 궤도회로는 해당 궤도회로내 열차의 존재검지를 통해 열차 위치를 파악하는 구조로서 열차위치 정밀도가 궤도회로 길이로 한정되는 단점이 있으며, 타코메터의 경우 열차운행 시 가속 및 감속에 의한 차륜의 공전/활주현상과 차륜의 마모로 인해 실제 속도보다 더 큰 속도로 검지되는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 위성항법수신기, 관성센서, 도플러레이더센서, 타코메터와 같이 열차에 직접 탑재 가능한 위치 및 속도센서를 통합 적용하여 단독으로 열차 위치 및 속도파악이 가능한 차상기반 열차위치검지장치를 구성하고, 한국형 틸팅열차 탑재시험을 통해 위치정확성을 평가하고 철도운영 환경에서의 적용성을 확인한다.

### 2. 차상기반 열차위치검지장치 구성

#### 2.1 차상기반 열차위치검지장치 구성

차상기반 열차위치검지장치의 구성을 위해 국내 철도환경에 적합한 성능을 갖추고 열차에 탑재가 가능한 위치 및 속도 센서의 선정이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 항공 및 해양 교통분야에서 적용되고 있는 관성센서(자이로, 가속도계), GPS 위성항법수신기와 지상교통수단에서 적용되고 있는 차륜센서와 도플러레이더센서를 적용하여 차상기반 열차위치검지장치를 구성하였다. 특히 300km/h이상의 속도로 운행되는 고속철도운영환경에서도 적용 가능하도록 고속, 고출력 센서를 적용하였으며, 각종 센서정보를 통합 처리하는 항법컴퓨터를 구성하여 최대 10Hz로 열차의 위치 및 속도정보의 계산이 가능하도록 설계하였다.



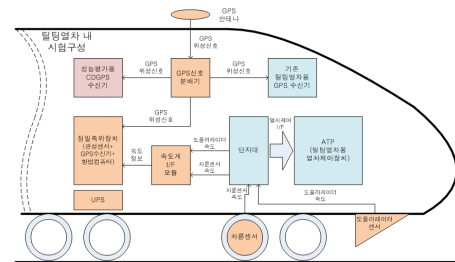
#### 2.2 항법필터의 구성

차상기반 열차위치검지장치의 위치정확성 개선 및 위치정보의 실시간 확보를 위해 적절한 항법필터 구현이 필요하며, 본 논문에서는 관성센서/GPS/속도계 결합을 위해 약결합구조를 적용하였으며, 지상교통환경에 적합하도록 nonholonomic 강제조건을 적용하여 항법필터를 구현하였다. Nonholonomic 강제조건은 열차의 이동방향을 제외한 나머지 속도 성분은 0에 가깝다는 특성을 이용하여 터널 등 GPS를 통한 위치확인이 되지 않는 구간에서도 위치 정확성을 유지할 수 있도록 한다.

### 3. 틸팅열차 탑재시험 환경 및 시험노선

#### 3.1 틸팅열차 탑재시험 환경

차상기반 열차위치검지장치의 성능을 파악하고, 철도운영에서의 적용성을 확인하기 위해서는 열차 탑재시험이 필수적이다. 하지만, 국내의 경우 전용 시험선과 시험차량이 없는 관계로, 상업 운행되는 열차와 상업 철도노선을 임차하여 시험을 수행해야 하기 때문에 많은 비용이 발생하고 철도운영기관의 협조 없이는 탑재시험을 수행하기가 매우 어렵다. 따라서 차상기반 열차위치검지장치의 열차 탑재시험은 한국철도기술 연구원에서 개발하고 시험 중에 있는 한국형 틸팅열차에 탑재하여 그 위치 정확성을 시험하였다. 한국형 틸팅열차는 6량 1편성으로 구성되어 있으며, 현재 실용화를 위해 신뢰성 평가 및 운용기술 개발연구가 진행 중에 있다. 아래의 그림 2와 3은 차상기반 열차위치검지장치의 틸팅열차 탑재시험 환경과 하부 장치간의 인터페이스 구성을 나타낸다.



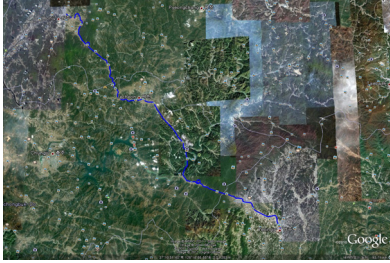
#### 3.2 틸팅열차 탑재시험 시험노선

차상기반 열차위치검지장치의 틸팅열차 탑재시험은 한국형 틸팅열차가 시운전 중에 있는 중앙선의 영주역과 원주역간 110.2km의 구간에서 수행한다. 중앙선은 청량리역부터 경주역까지를 잇는 노선으로 틸팅열차 시운전 구간인 영주역과 원주역간 구간은 체천역을 거쳐 치악산과 소백산을 따라 남북을 잇는 구간으로 총 31개의 터널구간이 존재하며 총 터널의 길이는 18.875km로서 총 시험노선 연장의 약 17%를 차지한다.

#### 4. 틸팅열차 탑재시험 결과

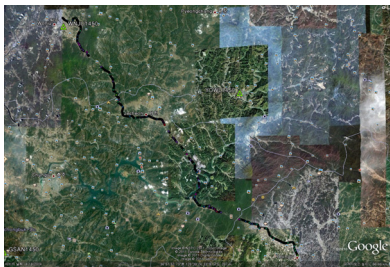
##### 4.1 틸팅열차 탑재시험 시험 계획

차상기반 열차위치검지장치의 틸팅열차 탑재시험은 영주역부터 원주역간 110km의 선로를 2시간 6분 동안 운행하여 진행되었으며, 시험 구간 중 최대 140km/h의 속도로 틸팅열차가 운행되었다. 아래 그림은 틸팅열차 적용시험 시의 시험계획을 Google Earth에 매핑한 결과를 나타낸다.



〈그림 4〉 틸팅열차 탑재시험 시험계획

차상기반 열차위치검지장치의 위치정확성 검증을 위해 CDGPS (Carrier-phase Differential GPS) 기법을 적용하였으며, CDGPS를 통해 확보한 기준위치의 궤적은 아래 그림과 같다. CDGPS 구현을 위한 보정정보는 국토해양부 소속 국토지리정보원의 기준국(예천, 영월, 원주) 정보를 사용하였다. CDGPS를 위한 보정정보는 30초 주기로 제공되기 때문에 1초 주기로 리샘플링하여 적용하였다. 아래 그림에서 보는 바와 같이 터널 통과 시 또는 CDGPS를 위해 필요한 개수의 가시 GPS 위성을 확보하지 못한 경우에는 기준위치가 확보되지 못하기 때문에 영주역-원주역간 기준위치 궤적이 끊기는 현상이 발생하였다.



〈그림 5〉 CDGPS를 이용한 기준위치 확보

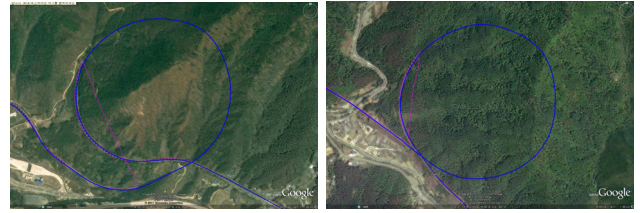
##### 4.2 틸팅열차 탑재시험 결과분석

틸팅열차 탑재시험 시 위치정확성의 분석은 차상기반 열차위치검지장치에 내장된 GPS수신기의 위치결과 및 CDGPS 기준위치와 열차위치검지장치 위치결과를 비교하여 분석하였다. 차상기반 열차위치검지장치는 10Hz로 위치정보를 출력하며, 출력된 위치정보의 개략적인 신뢰성 확인을 위한 용도로 내부적으로 내장 GPS위치결과와 열차위치검지장치 위치결과의 위도, 경도 차이를 1Hz 주기로 출력한다.



〈그림 6〉 죽령터널(4km) 통과 시 위치결과

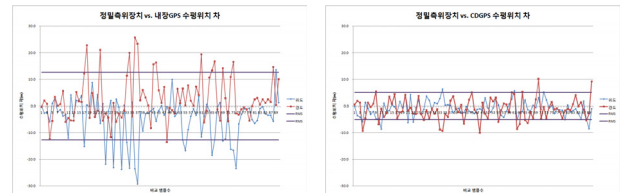
상기 그림은 4km 길이의 죽령터널 통과시의 지도매핑 결과이다. 터널 진출 시 CDGPS(원)는 가시위성수가 부족하여 터널 진출 후 상당한 시간동안 기준위치를 확보하지 못하였으며, 열차위치검지장치 내장GPS(분홍색)는 터널통과 후 충분한 가시위성을 확보하지 못한 상태이므로 위치점핑현상이 발생하여 열차위치검지장치 위치결과(파란색)와 차이가 발생하고 있다. 여기서 내장GPS의 위치결과가 터널 통과 중에도 직선으로 표시된 이유는 Google Earth 매핑 시 위성수신이 중단된 지점과 위성수신이 재계된 지점이 직선으로 이어지는 현상 때문이며, 실제로는 터널 통과 중에 내장GPS를 통한 위치결과는 출력되지 않았다.



〈그림 7〉 대강, 금대제2터널구간 시험결과

틸팅열차 적용시험이 실시된 중앙선 구간 중에는 높은 경사도 때문에 2개의 원형터널구간(대강터널, 금대제2터널, 각 2km)이 있으며, 상기 그림은 원형터널 통과시의 위치결과를 나타낸다. 터널진입은 시계방향으로 이루어졌으며, 터널진입 시 GPS를 통한 위치결정은 불가능하지만 열차위치검지장치의 경우 안정적으로 위치결과가 출력되는 것을 보여준다. 하지만 곡선 주행 시 열차위치검지장치의 위치결과는 열차가 회전하는 방향으로 편향되는 위치오차가 발생하는 문제가 있으며, 이것은 틸팅열차가 곡선 운행 시 발생하는 차체 틸팅(최대 8°)과 GPS 안테나와 열차위치검지장치간의 높이차에 의한 레버-암(Lever-Arm)효과에 기인하는 것으로 판단된다.

다음은 열차위치검지장치 출력위치와 내장GPS 위치, CDGPS 기준위치의 차이 분석을 통한 정량적인 분석 결과로 각 위치결과를 비교하기 위하여 GPS오차가 크게 발생하는 90개의 위치샘플을 추출하여 위도, 경도 오차 비교를 수행하였다.



〈그림 8〉 정량적 위치정확성 분석 결과

상기 그림(좌)는 열차위치검지장치와 내장GPS수신기의 수평(위도, 경도)위치간의 차이를 나타낸다. 위치차이가 20m를 초과하는 현상이 일부 발생하고 있으며 이러한 현상이 발생하는 부분은 주로 터널 진출입 지점 등 가시 GPS위성의 급격한 변화가 발생하는 구간을 틸팅열차가 통과할 때 GPS 위치가 점핑하는 현상 때문에 위치차이가 크게 발생하는 것으로 판단된다. 위 비교 시 열차위치검지장치와 내장 GPS수신기 위치결과간의 차이는 RMS값으로 12.7m이다. 상기 그림(우)는 열차위치검지장치와 CDGPS의 수평위치 차이를 비교하였다. 내장 GPS수신기와 비교한 경우와는 달리 위치차이가 20m를 초과하는 지점은 발생되지 않았으며, 이것은 터널 진출입 지점 및 가시위성의 급격한 변화가 발생하는 경우 내장GPS수신기 위치결과와 품질정보를 기반으로 필터링을 수행하였기 때문이다. 열차위치검지장치와 CDGPS의 수평위치 차이는 RMS값으로 5.1m로 산출되었으며 열차위치검지장치의 위치결과가 내장GPS수신기의 결과보다 더욱 정확한 위치정보를 산출하고 있음을 보여준다.

#### 5. 결 론

본 논문에서는 위성항법수신기, 관성센서, 도플러레이더센서, 타코메터와 같이 열차에 탑재 가능한 위치 및 속도센서를 통합 적용하여 단독으로 열차 위치 및 속도파악이 가능한 차상기반 열차위치검지장치를 개발하여 한국형 틸팅열차 탑재시험을 통해 위치 정확성을 평가하고 철도운영 환경에서의 적용성을 확인하였다. 틸팅열차 탑재시험은 일반철도 중앙선 노선 중 110km 구간에서 수행되었으며, 시험노선의 17%가 터널구간으로 터널구간에서의 안정적인 열차위치 확인성능을 확인하였다. 또한 향후에는 고속철도 운행환경에서의 성능 및 적용성 확인을 위해 고속열차 탑재시험이 필요하며, 국내 철도운영 및 건설기관과의 협의를 통해 추진할 계획이다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] 신경호 외, “능동형 열차위치검지장치 구성방안 연구”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2006
- [2] 신경호 외, “철도차량용 열차정밀측위장치 개발을 위한 요구사항 도출”, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, 2010
- [3] 신경호 외, “철도차량용 열차정밀측위장치 개발 연구”, 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2011