

한국형 위성항법시스템을 적용한 열차 자율주행 구현 방안 연구

맹주현, 배진, 임종원, 정인하

한국항공우주연구원

jhmaeng@kari.re.kr

A Study on the Implementation of Autonomous Train Control Systems using KPS

Maeng Ju Hyun, Bae Jin, Lim Jong Won, Jung In Ha

Korea Aerospace Research Institute

요약

본 논문은 열차 간 직접 통신(T2T) 기반 열차 자율주행(ATC)의 안정성을 향상하는 방안을 연구한다. 열차 자율주행은 각 열차의 정확한 주행정보를 파악하여 그 정보를 선·후행 열차 사이 공유하고, 안전거리를 확보하여 운행하는 기술이다. 하지만 선·후행 열차 간 무선신호를 이용하여 송·수신되는 주행정보에 문제가 발생하면 열차의 운영 효율성은 낮아진다. 따라서 열차 자율주행의 안정성을 높이기 위하여 KPS와 같은 위성항법시스템을 적용하는 방안을 제안한다.

I. 서 론

본 논문은 기존 무선통신 기반 열차제어시스템(Communication Based Train Control, CBTC)에 대한 높은 지상 설비 의존도를 낮춘 열차 자율주행(Autonomous Train Control, ATC)의 안정성을 향상하는 방안을 연구한다.[1, 2]

기존 CBTC는 관제센터, 지상 설비, 무선팔, 열차 사이 명령을 전달하여 열차를 제어한다. 또한 지상 설비를 이용하여 얻는 정보를 이용해 선·후행 열차 간 안전거리를 지속적으로 조정한다. 그래서 CBTC는 실시간 대응이 어려울 수 있어 지상 설비에 발생할 문제에 즉각 대처하지 못하면 선로 용량은 낮아질 수 있다. 따라서 무선상 지연시간을 축소하고, 지상 설비의 영향성을 줄이며 열차를 제어하는 열차 자율주행의 구현은 필요하다. 하지만 열차 자율주행은 지상 설비의 도움을 최소화하여 열차 스스로 위치를 파악할 수 있지만, 무선신호의 문제에 대응하기 위해 선·후행 열차 사이 안전거리를 길게 설정해야 할 수 있다.

열차 자율주행을 구현하면, 기존 지상 중심이 아닌 열차 중심의 가상결합으로 배차 간격을 단축해 선로 용량을 증대한다. 또한, 지상 설비의 구축을 최소화하여 유지보수 비용을 절감하고, 기존 CBTC의 중앙 집중형 열차 제어에서 벗어난 분산형 열차 제어로 장애 발생에 원활히 대응함으로써 열차 운영의 효율성을 높인다. 하지만 선·후행 열차 사이 무선통신으로 열차 제어에 필요한 주행정보를 공유하고 그 정보를 바탕으로 열차 스스로 인지 및 판단하는 상황에서 해당 정보의 문제가 발생하면 선로 용량은 낮아질 수 있다. 따라서 한국형 위성항법시스템(Korea Positioning System, KPS)을 활용하여 선·후행 열차 간 송·수신되는 주행정보의 손실을 대비하는 방안을 제안한다.

선·후행 열차별 전송 세기를 강하게 하거나 혹은 주파수 분할 다중 접속(Frequency Division Multiple Access, FDMA), 시분할 다중 접속(Time Division Multiple Access, TDMA), 코드 분할 다중 접속(Code Division

Multiple Access, CDMA)과 같은 기술 등을 구현하여 무선신호 간섭을 해소함으로써 전송률을 향상할 수 있다. 하지만 우주공간에 배치되는 위성들의 신호를 활용하여 각 열차의 위치를 계산하는 방법은 고려할만하다. 왜냐하면 이동통신 인프라가 부족한 대부분의 환경에서 각 열차는 위성별 신호를 수신하여 그 신호에 담긴 정보 기반 열차 스스로 위치를 파악할 수 있기 때문이다. 또한 선로에 설치될 장비의 최소화 역시 가능하다.

한국형 위성항법시스템은 지구 궤도상 4기 이상의 위성을 배치하여 지상으로 항법신호를 방송하는 시스템이다. 이 시스템은 GPS(Global Positioning System)의 의존도를 낮추며 다양한 분야에서 활용하기 위한 목적으로 구축된다.[3] 지상에 위치하는 장치는 각 위성으로부터 수신하는 항법신호를 이용한 거리 측정으로 위치를 결정한다.

본 논문의 구성은 제 2장에서 한국형 위성항법시스템을 활용한 열차 자율주행 시스템 구성 및 방안을 제안한다. 마지막으로 제 3장에서 한국형 위성항법시스템을 적용한 열차 자율주행 구현 방안에 대한 결론을 맺는다.

II. KPS를 활용한 ATC 구현 방안

제안하는 방안은 지상 설비의 구축을 최소화하여 지상 중심이 아닌 열차 중심의 자율주행을 구현하고, 선·후행 열차 간 직접 통신(Train to Train, T2T)으로 지상 기지국을 거치지 않으며 주행정보(현재 속도, 가속/감속 계획, 위치 등)를 공유한다. 다만, 직접 통신 시 무선신호에 문제가 발생하면 이를 대응하기 위해 시간과 장소에 제약이 적은 위성 신호를 활용한다.

이 시스템은 열차 스스로 주변 환경 인지 및 위험을 판단하는 것이 핵심이며, 이를 위하여 열차 사이 통신 및 위성 통신에 따라 수집되는 정보를 이용해 열차를 운행한다. 따라서 다음과 같은 시스템 구성은 필요하다.

표 1. 시스템 구성

분류	기능
열차	주행정보 및 항법메시지를 이용하여 운행
무선신호 송·수신기	주행정보 전달 및 수집
관제센터	상태 감시 및 스케줄 관리
한국형 위성항법시스템	위성시스템/지상시스템으로 구성된 KPS는 항법신호를 이용하여 각 열차에 장착된 항법신호 수신기에 항법메시지 전달
항법신호 수신기	KPS의 위성시스템이 방송하는 항법신호를 수신하여 항법메시지 도출

관제센터는 열차에 명령을 전달하기보단 전체 선로의 흐름 최적화에 집중하고, 열차 제어의 비상 상황이 발생하면 원격 개입한다.

그리고 이 시스템은 직접 통신으로 주행정보 공유와 항법신호를 이용한 측위 방법을 혼합하여 주행정보를 담은 무선신호의 품질이 낮으면 항법신호에 포함된 항법메시지를 이용한 측위로 선·후행 열차를 운행한다.

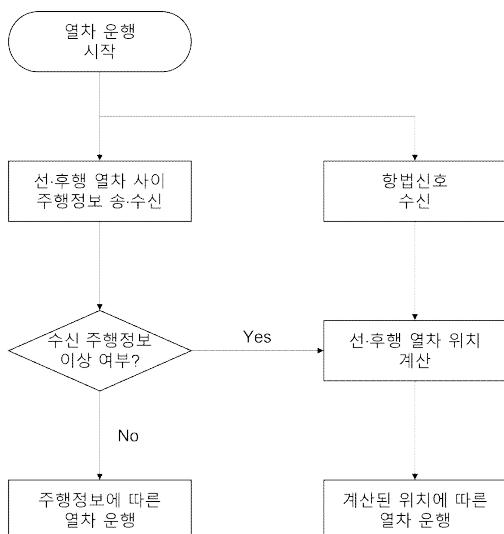


그림 1. KPS를 적용한 열차 자율주행 개념

따라서 다음과 같은 절차를 반복하며 선·후행 열차 간 공유되는 주행정보와 항법신호를 모두 이용하여 운행된다.

- 각 열차는 운행을 시작한다.
- 선·후행 열차는 T2T 기반 주행정보를 송·수신한다.
- 동시에 선·후행 열차는 항법신호를 수신한다.
- 선·후행 열차는 수신한 주행정보의 이상 여부를 신호 품질 분석 결과로 판단한다.
- 동시에 선·후행 열차는 항법신호에 담긴 항법메시지를 이용하여 위치를 계산한다.
- 선·후행 열차가 판단한 신호 품질이 좋다면, 주행정보 기반 운행한다.
- 선·후행 열차가 판단한 신호 품질이 좋지 않다면, 항법메시지를 이용하여 계산된 위치에 따라 운행한다.

III. 결 론

우리는 기존 CBTC의 높은 지상 설비 의존도를 낮춘 열차 간 직접 통신 기반 열차 자율주행의 안정성을 향상하는 방안을 제안하였다.

제안하는 방안은 지상 설비의 구축을 최소화하여 지상 중심이 아닌 열차 중심의 자율주행을 구현하기 때문에 유지보수 비용을 절감하고, 선·후행 열차 사이 직접 통신으로 지상 기지국을 거치지 않으며 주행정보를 송·수신함으로써 지연시간을 축소할 수 있다.

하지만 관제센터는 전체 선로의 흐름 최적화에 집중하며 열차에 제어 명령을 직접 전달하는 것이 아닌, 각 열차 스스로 상황을 인지하고 위험을 판단하기 때문에 선·후행 열차 간 직접 통신에 따른 무선신호에 문제가 발생하면 선로 용량은 낮아질 수 있다. 따라서 열차 간 직접 통신 기반 주행 정보의 이상 발생 시 KPS의 위성시스템이 방송하는 항법신호를 활용하는 방안을 제안한다.

KPS의 위성시스템은 우주공간에 배치되어 이동통신 인프라가 없거나 부족한 대부분의 환경에서 각 열차에 항법신호를 방송하기 때문에 해당 신호를 수신하는 열차는 위치를 계산하여 열차 사이 무선신호의 품질이 낮아지더라도 자율주행을 지속할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 우주항공청의 재원으로 지원을 받아 수행된 것임
(과제번호 : RS-2022-00165802)

참 고 문 헌

- [1] S. Chae, B. Lee, H. Choi, and J. Bang, "Design and Implementation of Safety Functions of Communication-Based Autonomous Train Control System: Part," in *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 45, no. 01, pp. 146–154 , Jan. 2020.
- [2] D. Lee, J. Kim, T. Kim, and R. Jeong, "Development of Autonomous Train Control Technology Using On-board Environmental Perception System," in *Journal of The Korean Society for Railway*, vol. 28, no. 4, pp. 343–352, Apr. 2025.
- [3] J. Yang, K. Shin, and E. Park, "Domestic and Foreign Industry and Policy Trends of GNSS," in *KSAS 2023 Spring Conference*, pp. 1193–1194 , Apr. 2023.