

열차분리결합 자동화를 위한 운영시나리오 및 기능요구사항 연구

Operation scenario and functional requirements for an automated train
coupling/decoupling system오세찬^{*†}, 이강미^{*}, 채은경^{*}, 김민수^{*}Sehchan Oh^{*†}, Kangmi Lee^{*}, Eungkyung Chae, Minsoo Kim^{*}

Abstract Most of the coupling/decoupling technologies of train are used for usual formation building, relief drive of train, and furthermore, they are used for the operation with variable formation and direct operation according to the change in transportation demand within the same line. However, there are problems of long time required and frequent occurrence of accidents due to the human error since existing train coupling/decoupling operation is completely accomplished by the intervention of operator. In this paper, we propose operation scenario and functional requirements of train control system for automated coupling/decoupling operation. Through this study, we expect that the proposed coupling/decoupling operation scenario and functional requirements will play a key role in system development and implementation in the future.

Keywords : Automated coupling/decoupling, operation scenario, functional requirements.

초 록 열차의 분리결합 기술은 통상적으로 열차의 편성조성과 구원 운전시 사용되며 더 나아가 동일 노선내 수송 수요변화에 따른 가변편성 운행과 본선과 지선의 배차간격을 균등화하기 위한 직결운행에 반드시 필요하다. 하지만 현재까지의 열차 분리결합은 전적으로 운영자의 개입 하에서 이루어지고 있어 소요시간이 길고 인적 오류에 의한 사고가 빈번하게 발생하는 문제가 있다. 본 연구에서는 열차제어시스템의 개입에 의한 열차분리결합 자동화를 위한 열차의 분리와 결합상황에 대한 운영시나리오를 제시하며 이를 위해 새롭게 개발이 필요한 열차제어시스템 기능 요구사항을 제시한다. 본 연구를 통해 제시된 열차분리결합 운영시나리오 및 열차제어시스템 기능요구사항은 향후 시스템 개발 및 도입시 기초가 되는 접근방법으로 활용될 것으로 기대된다.

주요어 : 열차분리결합 자동화, 운영시나리오, 기능요구사항

1. 서 론

열차의 분리결합 기술은 통상적으로 열차의 편성조성과 구원 운전시 사용되며 더 나아가 동일 노선내 수송 수요변화에 따른 가변편성 운행과 본선과 지선의 배차간격을 균등화 하기 위한 직결운행에 반드시 필요하다. 하지만 기존의 열차 분리결합은 전적으로 운영자의 개입에 의해 이루어지므로 소요시간이 크며 인적 오류에 의한 사고상황이 빈번하게 발생하는 문제가 있다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원 무선통신열차제어연구단(soh@krrri.re.kr)

* 한국철도기술연구원

이러한 문제들로 인해 분리결합 운영을 필요로 하는 노선이 있다 하더라도 널리 적용하기는 제약이 따른다. 따라서 안전하고 자동화된 열차 분리결합 시스템의 개발이 필요하다. 일반적으로 열차는 안전을 위한 자동 방호기능 즉, Automatic Train Protection(ATP) 기능을 가지고 있기 때문에 선형열차와의 안전한 간격을 유지함으로써 추돌을 피하고 안전한 운행을 보장할 수 있다. 하지만 열차 분리결합 운영을 자동화하기 위한 방호기능은 새롭게 연구가 필요하다.

2. 열차분리결합 운영시나리오

열차 분리결합의 자동화는 일반적으로 운영자의 개입 없이 분리결합을 수행하는 것을 의미하며, 이를 위해서는 열차의 연결과 분리 절차에 대한 안전하고 기술적으로 타당한 시나리오가 우선적으로 도출되어야 한다.

본 연구에서는 무선통신기반 열차제어시스템을 대상으로 운영시나리오를 도출하였으며 도출된 열차의 분리절차와 연결절차는 다음과 같다.

2.1 열차 결합 시나리오

열차의 결합은 사전에 정의된 구간 내에서 이루어지며 이 구간은 직선 구간이어야 하며, 선 선로전환기, 건널목이 설치되지 않아야 하며, 지상 ATP의 핸드오버 경계로 설정되지 않은 구간이어야 한다.

결합구간에 접근하는 전부편성 열차와 관할 지상 ATP는 다음과 같이 동작한다. 지상 ATP는 결합구간으로 접근하는 전부편성 열차에게 전부편성결합 예고를 전송한다. 이때 전부편성결합 예고에는 분리결합 구간 정보와 후부편성 열차의 정보를 포함한다. 결합예고를 수신한 전부편성은 주기적으로 열차 무결성(Train Integrity) 및 열차길이 모니터링 장치를 통해 실제 열차의 결합성공 여부를 확인한다. 지상 ATP는 결합구간에 다른 열차 혹은 방호구간이 존재할 경우, 결합구간에 진입하지 못하도록 한다. 지상 ATP는 전부편성에 Fig. 1과 같은 속도프로파일을 제공한다. 이는 등속운행을 위한 프로파일이며, 전부편성은 프로파일에 따라 운행한다. 결합구간의 끝을 이동권한(Movement Authority)으로 설정하며, 열차 결합이 성공 또는 취소가 아닌 경우 이동권한을 유지한다. 전부편성은 후부편성 열차가 지연된 경우 분리결합 구간 끝에서 정차 후 대기한다.

결합구간에 접근하는 후부편성 열차와 관할 지상 ATP는 다음과 같이 동작한다. 지상 ATP는 후부편성이 결합구간에 접근하면 후부편성결합 예고를 전송한다. 마찬가지로 후부편성결합 예고에는 결합구간 정보와 전부편성에 대한 정보를 포함한다. 후부편성결합 예고를 수신한 후부편성 열차는 무결성 및 열차길이 모니터링 장치를 통해 실제 열차결합 성공여부를 결정한다. 또한 전부편성 열차에 자신을 등록한다. 이때 전부편성 열차는 어떠한 이유로 등속운행을 하지 못한 경우 안전측으로 등록된 후부편성에 비상제동 명령을 전송한다. 지상 ATP는 후부편성에 Fig. 1과 같은 열차결합 속도프로파일을 제공한다. 이는 등속운행을 위한 속도프로파일이며 후부편성열차는 프로파일에 따라 운행한다. 결합구간 끝을 이동권한으로

설정하며, 열차의 결합이 성공 또는 취소가 아닌 경우에는 이동권한을 유지한다. 지상 ATP는 후부편성 열차가 분리결합 구간에서 완전히 진입하면, 해당구간으로 다른 열차가 진입하지 못하도록 방호한다.

결합이 완료된 경우 전부편성은 지상 ATP에게 후부편성 열차에 대한 정보를 전송한다. 전부편성과 후부편성 모두 지상 ATP에게 결합 완료보고를 한다. 지상 ATP는 결합완료로 결정한다. 이후 지상 ATP는 이동권한을 갱신한다. 후부편성은 standby 모드로 전환한다.

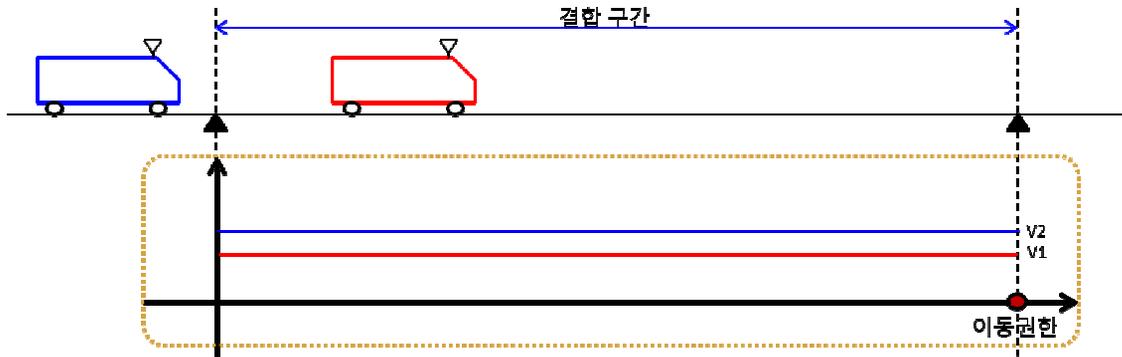


Fig. 1 Train coupling section and speed profiles for front and rear formation

2.2 열차 분리 시나리오

열차의 분리는 사전에 정의된 구간 내에서 이루어지며 이 구간은 직선 구간이어야 하며, 선로전환기, 건널목이 설치되지 않아야 하며, 지상 ATP의 핸드오버 경계로 설정되지 않은 구간이어야 한다.

분리구간에 진입한 열차 및 관할 지상 ATP는 다음과 같이 동작한다. 지상 ATP는 분리구간에 다른 열차 또는 방호구간이 존재할 경우, 분리구간에 진입하지 못하도록 방호한다. 지상 ATP는 분리기간에 진입한 열차에 분리에고를 전송한다. 이때 분리될 전부편성과 후부편성 모두에게 전송된다. 분리에고를 수신한 각각의 전부편성과 후부편성은 주기적으로 열차 무결성 및 열차길이 모니터링 장치를 통해 실제 열차의 분리여부를 결정한다. 지상 ATP는 각각의 전부편성과 후부편성 모두에게 Fig. 2와 같은 속도프로파일을 제공한다. 속도프로파일은 등속운행을 하기 위한 속도프로파일이며 열차는 프로파일에 따라 운행한다. 분리구간 끝을 이동권한으로 설정하며 열차 분리가 성공 또는 취소가 아닌 경우 이동권한을 유지한다.

분리기간에 진입한 열차 및 관할 지상 ATP는 다음과 같은 동작을 한다. 전부편성과 후부편성 열차는 각각 열차가 분리구간에 완전히 진입하면, 각각 지상 ATP에게 결합이전의 열차 정보를 전송한다. 즉, 열차를 결합할 수 있는 열차만 열차분리운행을 할 수 있어야 하며, 결합된 후부편성의 차상 열차제어시스템은 standby 상태가 되어야 한다. 후부편성은 열차가 분리구간에 완전히 진입한 것을 확인하면 standby 상태를 해제한다. 후부편성은 결합되기 이전의 상태로 열차를 제어한다. 후부편성은 전부편성 열차보다 더 낮은 속도(Fig. 2에서 파란색 속도프로파일)로 열차의 분리가 이루어진다.

분리가 완료된 후 전부편성과 후부편성은 각각 지상 ATP에 열차 분리완료를 전송하고, 지상 ATP는 전부편성에 갱신된 이동권한을 제공한다. 지상 ATP는 전부편성이 분리구간을 완전히 빠져나간 것을 확인하면 후부편성에 갱신된 이동권한을 제공한다. 이 때 후부편성은 연결시 전부편성에 등록하였던 등록을 삭제 요청한다. 지상 ATP는 열차가 분리구간을 완전히 빠져나간 것을 확인하면 해당 열차에 대한 분리가 완료되었음을 결정한다.



Fig. 2 Train decoupling section and speed profiles for front and rear formation

3. 열차분리결합 기능요구사항

제시한 열차분리결합 시나리오에 의한 자동화된 열차분리결합을 달성하기 위해 기존 무선 통신기반 열차제어시스템에 추가 또는 변경되어야 할 기능 요구사항은 다음과 같다.

3.1 상대위치기반 열차위치측정

기존의 열차제어시스템은 지상 ATP가 관할영역 내에 있는 모든 열차의 위치를 받아 각각의 열차에 이동할 수 있는 이동권한을 부여한다. 지상 ATP에 보고되는 열차의 위치는 위치 계산 오차, 통신지연 등을 포함하고 있으므로 일반적으로 무선통신기반 열차제어시스템에서 두 열차간 최대 근접거리는 약 20m 내외가 된다. 하지만 열차의 분리결합을 자동화하기 위해서는 기본적으로 방호개념이 필요하며 방호시스템은 최대 근접거리 20m 이내로 접근하는 것을 허용하지 않는다.

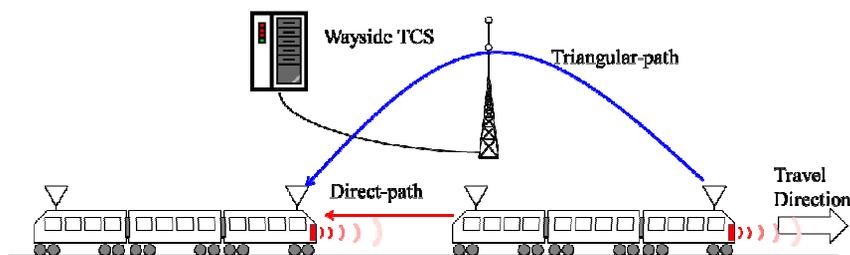


Fig. 3 Control flows for an automated train coupling/decoupling system

따라서 열차의 분리결합이 이루어지는 분기결합 구간에서는 Fig. 3과 같이, 기존의 선형 열차-지상 ATP-후행열차로 이어지는 Triangular-path(Fig. 3의 파란색 선)의 절대위치 대신 후행열차-선행열차 간 Direct-path(Fig. 3의 빨간색 선)를 통한 상대위치 기반의 선행열차 위치측정 방법이 필요하다.

일반적으로 후행열차-선행열차간 측정된 상대위치에 대한 오차는 측정센서오차이므로 선행열차-지상 ATP-후행열차간 계산되고 전달된 절대위치보다 오차가 매우 적어 근접주행이 가능하다.

3.2 근접주행제어

기존 열차제어시스템에서의 이동권한은 열차의 점유정보, 진로정보, 방호구간을 토대로 지상 ATP에서 결정하여 해당열차로 제공한다. 하지만 제안된 시스템에서는 Fig. 4와 같이 분리결합구간 내 근접주행을 위해서 지상 ATP에서 전달된 이동권한을 차상에서 측정된 상대 위치를 기반으로 결정한다.

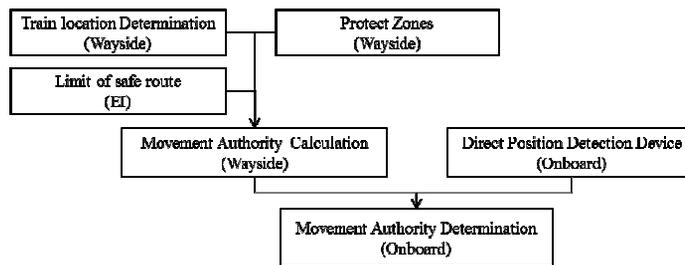


Fig. 4 Movement authority calculation and determination

결정된 MA는 다시 Fig. 5에서와 같이 열차 목표점 결정에 반영되고, 속도프로파일 계산에 반영이 된다. 따라서 이동권한뿐 만 아니라 위치측정 장치로부터 선형 열차의 속도 입력을 받아 방호함으로써 자동 열차분리결합에 필요한 수준으로 근접 주행이 가능하다

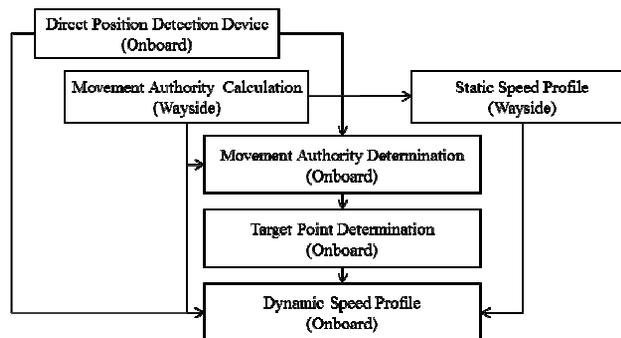


Fig. 5 Speed profile calculation

4. 결 론

본 논문은 열차제어시스템의 개입에 의한 열차의 분리결합 자동화를 위한 열차의 분리와 결합상황에 대한 운영시나리오를 제시하며 이를 위해 새롭게 개발이 필요한 열차제어시스템 기능 요구사항을 제시하였다. 이를 위해 분리와 결합상황 각각에 대한 자동화 시나리오를 차·지상 ATP 측면에서 제시하였으며 이러한 분리결합 시나리오를 달성하기 위해 필요한 열차제어시스템 기능요구사항에 대해서 제시 하였다. 제시된 기능요구사항은 차상과 지상 열차제어시스템 기능으로 기능 배분을 통해 구체화 할 계획이다.

본 연구를 통해 제시된 열차분리결합 운영시나리오 및 열차제어시스템 기능요구사항은 향후 시스템 개발 및 도입시 기초가 되는 접근방법으로 활용될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Sehchan Oh, Yongki Yoon, Minsoo Kim, Yongkyu Kim, ATP Functional Allocation for Korean Radio based Train Control System, *International Conference on Control, Automation and Systems*, Oct. 2012.
- [2] Sehchan Oh, Yongki Yoon, Yongkyu Kim, Automatic Train Protection Simulation for Radio-based Train Control System, *International Conference on Information Science and Applications*, May. 2012.
- [3] Sehchan Oh, Yongki Yoon, Kyunghee Kim, Yongkyu Kim, Design of ATP functions and Communication Interface Specifications for Korean Radio-based Train Control System, *International Conference on Control, Automation and Systems*, 2013.
- [4] North American Joint Positive Train Control Project, Federal Railroad Administration, April. 2009
- [5] Guillaume de Tiliere, Interoperability in Europe: Case of the ERTMS development in the new European rail market, Association for European Transport 2004.
- [6] IEEE 1474.1 IEEE Standard for Communication-Based Train Control(CBTC) Performance and Functional Requirements.
- [7] IEEE 1474.3 IEEE Recommended Practice for Communication-Based Train Control(CBTC) System Design and Functional Allocations
- [8] ERTMS, Functional Requirements Specification, Ver 5.00
- [9] ERTMS, System Requirements Specification, Ver 2.3.0