# 무선통신기반 열차제어시스템을 위한 개선된 ATP 핸드오버

## 오세찬<sup>\*</sup>, 김영주 한국철도기술연구원 열치제어통신연구실

## Improved ATP Handover for Radio-based Train Control System

Seh-Chan Oh<sup>\*</sup>, Young-Ju Kim

Department of Train Control and Communications Research, Korea Railroad Research Institute

**요 약** 무선통신기반 열차제어시스템의 모든 열차는 관할영역의 지상 ATP에 자신의 위치를 보고하고 지상 ATP로부터 주행 가능한 거리의 한계인 이동권한을 받아 주행한다. 열차가 두 개 이상의 관할영역을 주행하기 위해서는 열차와 지상 ATP간 복잡한 제어정보 교환 절차인 핸드오버가 필요하다. 본 논문은 한국형 무선통신기반 열차제어시스템의 핸드오버 알고리즘의 문제점을 분석하여 이를 보완할 수 있는 핸드오버 알고리즘을 제시한다. 제안된 핸드오버 알고리즘은 열차의 주행 방향과 위치에 따라 핸드오버 취소 또는 핸드오버 권한 이전을 수행함으로써 다양한 운행 스케줄을 지원한다. 또한 새로운 핸드오버 알고리즘을 지원하도록 한국형 무선통신기반 열차제어시스템의 한국철도표준규격(KRS SG 0069)의 핸드오버 메시지 구조를 새롭게 제시한다. 제안된 핸드오버 알고리즘의 성능분석을 위해 열차 모델과 노선에 대한 zone 을 정의하고 시뮬레이션을 통해 기존 표준규격에서 제시한 기존 핸드오버와 다양한 운행 스케줄을 대상으로 비교분석 한다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 핸드오버 알고리즘은 모든 핸드오버 영역에서의 방향 전환 등의 상황에도 안정적 인 핸드오버가 가능함을 확인할 수 있다.

**Abstract** All trains in a communication-based train control(CBTC) system report their position to a wayside ATP in the jurisdictional area and travel when the wayside ATP provides movement authority, which is a limit of the distance to travel. For a train to travel between two or more jurisdictions, handover is required. Handover is a complex process of exchanging control information between the train and ground ATP. This study analyzes the problems of the handover algorithm of the Korean Radio-based Train Control System (KRTCS) and proposes a handover algorithm that supports various operation schedules by handover revocation or handover authority transfer according to the traveling direction and position of a train. In addition, a handover message structure for the Korean Railway Standards(KRS SG 0069) of KRTCS is proposed to support the new handover algorithm. In order to analyze the performance of the proposed handover algorithm, a zone for a train model and route was defined. Through simulation, the handover suggested in the existing standard and various operation schedules were compared and analyzed. The simulation results confirmed that the proposed handover algorithm enables stable handover even in situations such as a direction change at all handover sections.

Keywords : ATP Handover, Handover Revocation, Korean Railway Standard, Radio-based Train Control, Schedule

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업(열차자율주행제어 핵심기술개발, PK2201B1)의 연구비 지원으로 수행되었습니다. \*Corresponding Author : Seh-Chan Oh(Korea Railroad Research Institute) email: soh@krri.re.kr Received September 29, 2022 Revised November 25, 2022 Accepted December 7, 2022 Published December 31, 2022

## 1. 서론

무선통신기반 열차제어시스템[1-3]은 실시간 열차의 위치를 토대로 열차의 주행 속도에 따른 안전제동거리를 확보하기 때문에 선로를 효율적으로 활용함으로써 높은 수송력[4-6]을 가진다.

Fig. 1과 같이 무선통신기반 열차제어시스템에서 하 나의 노선은 두 개 이상의 관할영역으로 나뉘며 각 관할 영역마다 열차제어를 담당하는 지상 ATP (Automatic Train Protection)가 존재한다.

무선통신기반 열차제어시스템에서 열차가 두 개 이상 의 관할영역을 중단없는 주행을 위해서 지상 ATP 간 핸 드오버[2,7]가 필요하다. 이때 열차와 해당 관할영역 지 상 ATP 그리고 열차와 인접 지상 ATP간, 그리고 지상 ATP와 인접 지상 ATP 간 제어정보의 공유가 함께 이루 어는 복잡한 제어절차가 요구된다.

한국형 무선통신기반 열차제어시스템[8,9]은 정상적 인 운행상황에서의 핸드오버 기능을 지원하지만 퇴행 운 전, 셔틀운행 등의 운행 중에 발생하는 다양한 이례적인 상황에서 핸드오버 과정이 종료된 이후에도 여전히 두 개 이상의 지상 ATP와 정보를 공유하게 되는 문제점을 가진다. 따라서 핸드오버 알고리즘의 보완이 필요하다.



Fig. 1. Typical CBTC System Configuration

본 논문은 한국형 무선통신기반 열차제어시스템의 핸 드오버 알고리즘의 문제점을 분석하여 이를 보완할 수 있는 핸드오버 알고리즘을 제시한다. 제안된 핸드오버 알고리즘은 열차의 주행 방향과 위치에 따라 핸드오버 취소 또는 핸드오버 권한 이전을 수행함으로써 다양한 운행 스케줄을 지원한다. 또한 새로운 핸드오버 알고리 즘을 지원하도록 한국형 무선통신기반 열차제어시스템의 표준규격(KRS SG 0069)[9]의 핸드오버 메시지 및 패킷 구조를 새롭게 제시한다.

제안된 핸드오버 알고리즘의 성능분석을 위해 열차 모 델과 노선에 대한 zone을 정의하고 시뮬레이션을 통해 기존 표준규격에서 제시한 핸드오버 알고리즘을 다양한 운행 스케줄을 대상으로 비교분석 한다. 제안된 핸드오 버 알고리즘은 핸드오버 구간 등 예기치 않은 위치에서 의 방향 전환에도 안정적인 핸드오버를 지원한다.

## 2. 기존 ATP 핸드오버 분석

무선통신기반 열차제어시스템에서 모든 열차는 자신 의 위치를 포함한 상태정보를 주기적으로 관할영역의 지 상 ATP에 전송한다(Fig. 1). 지상 ATP는 연동장치 (Interlocking)로부터 수신한 진로를 토대로 주행 가능 한 거리의 한계인 Movement Authority(MA)를 계산하 여 관할영역 내 열차에 제공한다. 열차는 지상 ATP로부 터 수신한 MA 한계를 넘지 않도록 차량의 동특성을 고 려하여 열차의 속도를 감시하고 제어한다. 관할영역 간 중단없는 주행을 위해서 ATP 간 핸드오버가 필요하다. Fig. 2는 한국형 무선통신기반 열차제어시스템의 핸드오 버 절차를 보여준다.

지상 ATP는 자신의 관할영역 내에서 주행 중인 열차 의 새로운 MA가 zone의 경계를 초과하는 경우 핸드오 버 절차를 시작하며 다음과 같다.

- i. (k)th 지상 ATP는 열차에 핸드오버 예고를 전송 한다.
- ii. 핸드오버 예고에 포함된 정보를 이용하여 열차는 (k+1)th 지상 ATP에 자신을 등록한다.
- iii. 열차는 (k+1)th 지상 ATP로부터 ACK 수신 후,
- iv. (k)th 지상 ATP와 (k+1)th 지상 ATP에 주기적으
   로 자신의 위치를 보고한다.
- v. (k)th 지상 ATP는 인접한 (k+1)th 지상 ATP에 MA를 요청한다.
- vi. (k+1)th 지상 ATP는 열차와 (k)th 지상 ATP에 자신이 생성한 MA를 전송한다.
   이때 (k)th 지상 ATP는 자신이 생성한 MA와 (k+1)th 지상 ATP로부터 수신한 MA를 결합하여 열차에 전송한다.
- vii. 열차 후미부가 완전히 핸드오버 경계를 통과하면 (k)th 지상 ATP에 등록 해제요청 한다.

- viii.
   (k)th 지상 ATP는 열차에 ACK를 전송하고

   (k+1)th 지상 ATP로부터 MA 요청을 중단한다.
- ix. 열차는 (k+1)th 지상 ATP에 주기적인 위치를 보 고한다.
- x. (k+1)th 지상 ATP는 열차가 자신의 관할영역에 존재하므로 열차의 MA를 전송한다.



Fig. 2. ATP Handover Procedure for Korean Radiobased Train Control System (a) Handover Preannouncement, (b) MA Stitching, (c) Handover Complete

Table 1은 ATP 핸드오버 절차에 사용된 열차와 지상 ATP 간 송수신 메시지를 보여준다.

열차의 핸드오버 영역은 핸드오버 예고 시점부터 종료 가 이루어지는 구간을 의미하며 핸드오버 시점과 종점에 서의 열차의 위치는 각각 Eq. (1), Eq. (2)와 같이 정의할 수 있다. 열차의 핸드오버 시점은 핸드오버 종점과 달리 선행 열차의 유무에 따라 열차의 MA 거리가 달라지므로 구간 값을 가진다.

$$P_{TT} \ge P_{border} - (Q_{dir})D_{MA} \tag{1}$$

$$P_{TH} = P_{border} + (Q_{dir})D_{train}$$
<sup>(2)</sup>

Where,  $P_{TH}$  and  $P_{TT}$  are the train's front end and rear end positions, respectively,  $Q_{dir}$  means qualifier to indicate the validity direction of train,  $P_{border}$  is boundary of the zone, and  $D_{MA}$ is distance of the train's MA,  $D_{train}$  means the length of the train.

기존 핸드오버 알고리즘은 열차가 핸드오버 영역 내에 서 방향 전환하는 경우 (k)th 지상 ATP와 (k+1)th 지상 ATP의 역할이 바뀌어야 하므로 예기치 않은 결과를 가 진다. 만약 Eq. (3)  $S_A$ 구간에서 방향 전환하는 경우 핸 드오버 종료 이후에도 열차는 두 개의 지상 ATP와의 연 결이 유지되며, Eq. (4)  $S_B$ 구간에서 방향 전환하는 경우 Fig. 2(a)에서 MA를 병합하는 지상 ATP 주체가 바뀌게 되므로 열차는 주행에 필요한 MA를 얻지 못해 비상제동 을 체결하게 된다.

$$P_{HS} \le S_A < P_{border} \tag{3}$$

$$P_{border} \le S_B < P_{HE} \tag{4}$$

Where,  $P_{HS}$ ,  $P_{HE}$  are the start and end positions of handover, respectively.

Table 1. Handover Messages in Korean Radio-based Train Control System

Indies	Message ID	Message Name	
i	25	Handover Preannouncement	
ii	43	Initiation of a Communication Session	
iii	23	Acknowledgment of Initiation of a Communication Session	
iv	42	ATP Onboard Message	
v	181	Handover MA Request	
vi	21	ATP Wayside Message	
vii	44	Termination of Communication Session	
viii	24	Acknowledgment of Termination of Communication Session	
ix	42	ATP Onboard Message	
x	21	ATP Wayside Message	

## 3. 개선된 ATP 핸드오버

## 3.1 핸드오버 알고리즘

제안된 핸드오버 알고리즘은 Fig. 3과 같다. 그림의 음영 표시된 부분은 ATP 핸드오버 기능 개선을 위해 새 롭게 추가하였다.



Fig. 3. Proposed ATP Handover Algorithm

열차로부터 위치보고를 수신하면 관할영역의 지상 ATP는 MA를 계산한다. 열차의 새로운 MA가 핸드오버 경계를 침범하는 경우 핸드오버 절차에 진입하게 된다. 현재 지상 ATP가 다음 지상 ATP로부터 핸드오버 MA를 수신하지 못한 경우 아직 열차는 다음 지상 ATP와 연결 되지 않은 상황이므로 핸드오버 예고를 전송한다. 핸드 오버 예고를 통해 열차는 다음 지상 ATP로 연결을 수행 한다. 열차의 다음 지상 ATP 연결 이후 현재 지상 ATP 는 다음 지상 ATP로부터 열차의 핸드오버에 필요한 MA 를 수신하게 된다. 열차의 진행 방향이 변경되었는지를 확인한다. 만약 진행 방향이 변경되었다면 핸드오버 취 소를 통해 현재의 핸드오버 방향을 바꾼다.

예를 들면, Fig. 4는 열차가 Zone A에서 Zone B로 의 핸드오버 진행 중 Eq. (3)  $S_A$ 구간에서 열차가 방향 전환하는 상황을 보여준다. Fig. 4(a)와 같이 Zone A와 Zone B의 지상 ATP는 열차의 위치보고 메시지 (message ID 42)를 통해 열차의 진행 방향이 변경되었 음을 인지한다. Zone A의 지상 ATP는 열차와 Zone B 의 지상 ATP에 핸드오버 취소를 알린다. Fig. 4(b)와 같 이 Zone B의 지상 ATP는 핸드오버 취소에 따라 열차의 핸드오버 MA를 요청한다. 열차는 후미부가 border를 지나 Zone A에 완전히 속한 상태이므로 Zone A와 Zone B로부터 동일한 MA를 수신하게 되며 핸드오버 취 소에 따라 Zone B와의 연결을 해제한다.



Fig. 4. Travel Direction Change in Section  $S_A$ , (a) immediately after change of direction, (b) MA generated by wayside ATP after change of direction

Fig. 5는 열차가 Zone A에서 Zone B로의 핸드오버 진행 중 Eq. (4) S<sub>B</sub>구간에서 열차가 방향 전환하는 상황 을 보여준다. Fig. 5(a)와 같이 열차는 Zone A와 Zone B에 걸쳐 있다. 마찬가지로 Zone A와 Zone B의 지상 ATP는 열차의 위치보고를 통해 방향전환을 인지하고 핸 드오버 취소를 전송한다. Fig. 5(b)는 핸드오버 취소 명 령 이후 지상 ATP와 열차간 제어 흐름을 보여준다. Zone B는 Zone A로부터 MA를 요청하여 Zone A와 Zone B를 잇는 새로운 MA를 생성한다. 열차는 Zone A와 Zone B로부터 생성된 MA를 모두 수신하며 Zone B의 MA를 선택하여 주행한다. 열차의 후미부가 완전히 경계를 빠져나오게 되면 Fig. 4(b)의 상황처럼 핸드오버 취소에 따라 Zone B와의 연결을 해제하게 된다.



Fig. 5. Travel Direction Change in Section  $S_B$ , (a) immediately after change of direction, (b) MA generated by wayside ATP after change of direction

#### 3.2 핸드오버 프로토콜 구조

제안된 핸드오버 알고리즘을 수행하기 위해 필요한 핸 드오버 취소에 대한 메시지 구조는 Table 2에 정의하였 다. 핸드오버 취소 메시지 수신자는 당초 핸드오버 예고 대상 열차와 해당 열차를 수용하는 지상 ATP이다.

핸드오버 취소 메시지는 가변 길이를 가지므로 메시지 길이(L\_MESSAGE)를 가진다. 지상 ATP는 관제 ATS의 마스터 clock(T MASTERCLOCK)을 기반으로 자신의 clock를 보정하고 이를 열차에 전송한다. 열차가 가장 최근에 읽어 들인 TAG 그룹의 ID(LRTG)를 함께 보냄 으로써 열차와 지상 ATP로 하여금 위치보고에 사용된 LRTG와 동일 여부를 확인할 수 있다. 열차의 진행 방향 (Q\_DIRTRAIN)과 향후 MA 전송 메시지(message ID 21)의 MA 방향(Q DIR), 그리고 거리에 대한 스케일 값 (Q\_SCALE) 및 핸드오버 경계(D\_HANDOVER)를 다시 지정함으로써 열차와 지상 ATP가 핸드오버 취소 상황임 을 인지하도록 한다. 시스템 구성에 따라 지상 ATP는 2 중계 이상으로 여러 통신 모듈을 가질수 있으므로 각 통신 모듈마다 IP버전(Q IPVer)과 통신 IP(NID HANDOVERIP) 및 통신 PORT (NID\_HANDOVERPORT)를 반복 (N ITER)하여 지정할 수 있도록 한다.

Table	2.	Message	for	Handover	Revocation
-------	----	---------	-----	----------	------------

Variable/Packet	Description
NID_MESSAGE	Message ID
L_MESSAGE	Message Length
T_MASTERCLOCK	Master Clock from ATS
NID_TRAIN	Train ID
NID_LRTG	Last Relevant Tag Group ID
Q_DIRTRAIN	Direction of Train Movement
Q_DIR	Validity Direction of Transmitted Data
Q_SCALE	Qualifier for the Distance Scale
D_HANDOVER	Distance to Handover Border
NID_WAYSIDE	Accepting Wayside ATP ID
N_ITER	Number of Iterations
Q_IPVer(k)	IP v4/v6 flag
NID_HANDOVERIP(k)	Accepting Wayside ATP IP
NID_HANDOVERPORT(k)	Accepting Wayside ATP Communication Port

## 4. 실험 및 분석

본 장에서는 무선통신기반 ATP 핸드오버에 대한 시 뮬레이션을 통해 제안된 핸드오버 알고리즘의 성능분석 을 수행한다.

#### 4.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 python 환경에서 수행한다. 열차 모델 은 Table 3과 같이 속성과 행동을 가지는 class 형태로 구조화하였다. 열차의 속성은 열차의 가속(Accel) 및 감 속(Decel), 비상제동률(EB), 전상용제동률(FSB), 열차의 ID(NID\_TRAIN), 길이(D\_Length), 열차의 위치, 속도 (Speed), 열차가 등록한 지상 ATP ID, 그리고 종점에 도착 여부를 알려주는 Boolean 값(isArrived)을 가진다. 열차의 메소드로 현재속도(V\_C)와 목표속도(V\_N)를 토 대로 제동거리를 연산하는 BD(), 열차의 MA(D\_MA)까 지 주어진 방향(Q\_DIR)으로 일정시간(T\_TD) 만큼 이동 한 거리를 연산하는 Drive(), 핸드오버 예고와 종료에 따 라 지상 ATP에 열차를 등록하고 삭제하는 SOM(), EOM()을 정의하였다.

Table 3. Train Mode	el Class
---------------------	----------

Attributes	Туре			
NID_TRAIN	int			
D_Length	int			
Accel	float			
Decel	float			
EB	float			
FSB	float			
B_isArrived	Bool			
D_BD	float			
Position	float			
V_Speed	float			
Operations				
BD(V_C, V_N, Decel)				
Drive(D_MA, Q_DIR, T_TD, V_LS, EB)				
EOM(Zone_ID, WATP)				
SOM(Zone_ID, WATP)				

시뮬레이션 노선은 Fig. 6과 같다. 노선의 길이는 총 15km이며 세 개의 Zone으로 구성된다. 각 Zone은 5km 구간의 관할영역을 가진다. 열차는 스케줄에 따라 Nominal 방향과 Reverse 방향 모두 주행이 가능하며, MA 길이는 최대 1.5km 이다.



Fig. 6. Simulation Line Configuration

시뮬레이션에 사용된 파라미터는 Table 4와 같다. 시 뮬레이션에 사용된 열차 성능은 일반적으로 적용되고 있 는 도시철도 환경의 전동차 사양[10,11]을 적용한다.

rable 4. Simulation rarameter	Tabl	е4	. Simu	lation	Parameters
-------------------------------	------	----	--------	--------	------------

Parameters	Values
Maximum Line Speed	80 km/h
Number of Zones	3
Jurisdiction section of Each Zone	5 km
Maximum MA Distance	1.5 km
Maximum Train Speed	150 km/h
Train Length	200 m
Full Service Braking (FSB) Rate	3.5 km/h/s
Emergency Braking (EB) Rate	4.5 km/h/s
Maximum acceleration rate	3.0 km/h/s

#### 4.2 시뮬레이션 및 분석

시뮬레이션에서 열차의 스케줄을 목적지와 방향의 tuple로 정의한다. Fig. 7은 열차 스케줄이 (5)와 같이 열차가 Zone A부터 Zone C까지 nominal (N) 방향으 로 방향 전환 없이 주행하는 경우 시뮬레이션 결과를 보 여준다.

$$D_D T G = [[15000, N]] \tag{5}$$

방향 전환이 없는 경우 기존 핸드오버 알고리즘과 제 안된 핸드오버 알고리즘 모두 동일한 결과를 가진다. Fig. 7(a)는 열차의 주행 시간에 따른 속도 변화를 나타 낸다. Table 4에서 정의한 노선 최고속도에 따라 열차는 80km/h에 도달할 때까지 최대 가속하며 이후 등속 주 행한다. 남은 거리와 제동거리를 비교하여 목표지점에 도착하기 위한 감속 주행한다. Fig. 7(b)는 주행시간에 따른 열차 전두부의 위치를 나타낸다. Fig. 7(c), 7(d), 7(e)는 열차가 지상 ATP와의 핸드오버 결과에 따른 등 록 및 해제 여부를 나타낸다. 지상 ATP에 등록되는 경우 1의 값을 가지며 반대로 해제되는 경우 0의 값을 가진다. 열차는 Zone A에서 시작하므로 지상 ATP A에 등록된 상태로 출발한다. 이후 Zone A와 B의 경계 지점인 5km 에서 최대 MA 거리(1.5km) 전방 즉, 약 3.5km 지점에 서 핸드오버 예고에 따라 지상 ATP B에 등록한다. 열차 의 후미부가 Zone A와 B의 경계 지점을 완전히 통과하 면 지상 ATP와의 연결을 해제한다. 마찬가지로 Zone B 와 C의 경계 지점(10km)에서 최대 MA 거리 전방 즉, 약 8.5km 지점에서 핸드오버 예고에 따라 지상 ATP C에 등록한다. 열차의 후미부가 Zone C의 진입 경계를 완전 히 통과하면 Zone B와의 연결을 해제한다.



Fig. 7. Simulation Result without Change of Travel Direction; (a) Train Speed, (b) Train Position, (c) Wayside ATP A Registration, (d) Wayside ATP B Registration, (e) Wayside ATP C Registration

열차가 Eq. (3)  $S_A$ 구간에서 방향 전환하는 경우 기존 핸드오버 알고리즘 시뮬레이션 결과는 Fig. 8, 제안된 핸 드오버 알고리즘 시뮬레이션 결과는 Fig. 9에 제시하였 다. 열차의 스케줄은 (6)과 같다. 이는 열차는 4.9km까 지 nominal(N) 방향으로 진행한 후 다시 2km까지 reverse(R) 방향으로 주행함을 의미한다.

$$D_D T G = [[4900, N], [2000, R]]$$
(6)



Fig. 8. Simulation Result of Existing Handover Algorithm with Change of Travel Direction at  $S_A$ ; (a) Train Speed, (b) Train Position, (c) Wayside ATP A Registration, (d) Wayside ATP B Registration, (e) Wayside ATP C Registration

Fig. 8과 같이 기존 핸드오버 알고리즘은 열차는 핸드 오버 진행 과정에서 지상 ATP B와의 연결 이후  $S_A$ 구 간에 정차후 방향 전환하는 경우 지상 ATP B와의 연결 이 유지되는 오류가 발생 된다.



Fig. 9. Simulation Result of Proposed Handover Algorithm with Change of Travel Direction at  $S_A$ ; (a) Train Speed, (b) Train Position, (c) Wayside ATP A Registration, (d) Wayside ATP B Registration, (e) Wayside ATP C Registration

반면 Fig. 9와 같이 제안된 핸드오버 알고리즘은 방향 전환하여 Zone B와의 핸드오버 영역을 벗어나게 되면 지상 ATP B와의 연결을 정상적으로 해제하게 된다. Fig. 8(b)와 Fig. 9(b)에서 방향 전환 지점(4.9km)에서 약간 의 차이가 발생하는 이유는 Eq. (7)과 같이 방향 전환에 따라 열차의 길이만큼 전두부 위치가 변화되기 때문이 다.

$$P_{T_{Our}} = P_{T_{Prev}} + (Q_{dir})D_{train} \tag{7}$$

Where,  $P_{T_{Prev}}$  and  $P_{T_{Clarr}}$  mean train head positions of before and after direction change, respectively.

다음은 열차가 Eq. (4) S<sub>B</sub>구간에 정차한 다음 방향 전환하는 경우 기존 핸드오버 알고리즘 시뮬레이션 결과 는 Fig. 10, 제안된 핸드오버 알고리즘 시뮬레이션 결과 는 Fig. 11에 제시하였다. 이때 열차의 스케줄은 (8)과 같다. 즉, 열차 길이(200m)를 감안하여 열차의 전두부가 Zone B의 경계구간을 넘되, 열차의 후미부는 아직 Zone A와 B의 경계구간을 통과하지 못하는 경우를 가 정한다. 따라서 5.1km 지점까지 nominal(N) 방향으로 진행한 다음 다시 reverse(R) 방향으로 방향 전환한다.

$$D_D T G = [[5100, N], [2000, R]]$$
(8)

Fig. 10과 같이 기존 핸드오버 알고리즘은 열차는 핸 드오버 이후 정상적인 MA를 현재의 지상 ATP(ATP A) 로부터 수신하지 못하게 되어 Fig. 10(a)와 같이 비상정 지하게 된다. 이때 열차는 지상 ATP A와 지상 ATP B에 등록된 상태를 유지하게 된다. 반면 제안된 핸드오버 알 고리즘은 Fig. 11과 같이 정상적으로 방향전환이 이루어 게 됨을 확인할 수 있다. 열차의 전두부는 Zone B의 경 계지점을 통과하여 100m를 지난 후 정차하게 되므로 열 차의 중간지점에 Zone B의 경계가 존재하게 된다. 즉 열차의 후미부 100m 구간은 Zone A, 전두부 100m 구 간은 Zone B에 존재한다. Fig. 3의 핸드오버 알고리즘 에 따라 현재의 지상 ATP는 ATP A에서 ATP B로 전환 되고 다음 ATP는 ATP B에서 ATP A로 전환되어 열차 는 주행에 필요한 MA를 정상적으로 생성할 수 있게 된다. 열차는 당초 수신한 스케줄을 모두 소화하여 노선의 2km 지점에 정차하게 된다. 이때 Fig. 11(c)와 같이 열 차는 ATP A와는 연결을 지속적으로 유지하게 되며, Fig. 11(d)와 같이 ATP B와는 방향 전환 후 열차의 후미 부가 완전히 Zone A와 B의 경계지점(5km)을 빠져나오 게 되면 등록을 해제한다.



Fig. 10. Simulation Result of Existing Handover Algorithm with Change of Travel Direction at  $S_B$ ; (a) Train Speed, (b) Train Position, (c) Wayside ATP А (d) Registration, Wayside ATP В Wayside ATP С Registration, (e) Registration



Fig. 11. Simulation Result of Proposed Handover Algorithm with Change of Travel Direction at  $S_B$ ; (a) Train Speed, (b) Train Position, (c) Wayside ATP A Registration, (d) Wayside ATP B Registration, (e) Wayside ATP C Registration

Fig. 12는 (9)의 스케줄에 따른 제안된 핸드오버 알고 리즘에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다.

(9)는 nominal(N) 방향으로 7km 지점까지 주행후

다시 reverse(R) 방향으로 전환후 2km 지점까지 주행한 후 다시 방향 전환후 13km 지점까지 주행하는 열차 스 케줄을 의미한다.



 $D_DTG = [[7000, N], [2000, R], [13000, N]]$ (9)

Fig. 12. Simulation Result of Proposed Handover Algorithm with Change of Travel Direction at  $S_B$ ; (a) Train Speed, (b) Train Position, (c) Wayside ATP A Registration, (d) Wayside ATP B Registration, (e) Wayside ATP C Registration

Fig. 12(b)와 같이 열차의 전두부 위치는 7km 지점까 지 증가하다가 방향 전환 이후 2km 지점까지 감소하며 다시 방향 전환 이후 13km까지 증가하게 됨을 확인할 수 있다. Fig. 12(c), 12(d), 12(e)와 같이 열차는 지상 ATP A에 등록된 상태에서 3.5km 지점을 통과하는 순간 지상 ATP B와 핸드오버를 위한 등록을 수행한다. 이후 열차의 후미부가 Zone A와 B의 경계를 통과하면서 지 상 ATP A와의 연결을 해제한다. 7km 지점은 Zone C 와의 핸드오버 예고 지점(8.5km) 전이므로 핸드오버 없 이 방향 전환 후 열차는 Zone B에서 Zone A로의 진입 을 위해 약 6.5km 지점에서 지상 ATP A와 핸드오버를 위한 등록을 수행한다. 열차의 후미부가 완전히 Zone B 와 A의 경계(5km 지점)를 통과하게 되면 열차는 ATP B 와의 연결을 해제한다. 열차는 2km 지점까지 이동 후 마 지막 nominal(N) 방향으로 13km 지점의 스케줄에 의 해 방향 전화하여 다시 Zone B와의 핸드오버 지점(약 3.5km), Zone A와의 핸드오버 종료 지점(약 5.2km), Zone C와의 핸드오버 시점(약 8.5km), Zone B와의 핸 드오버 종료 지점(약 10.2km)을 통과하게 된다.

시뮬레이션 결과로부터 Table 5와 같이 제안된 핸드 오버 알고리즘은 핸드오버 구간을 포함하여 모든 영역에 서 다양한 방향 전환을 지원함을 확인할 수 있다.

Table 5. Simulation Results

Handover Scenarios	Handover Results with Proposed Algorithm	Handover Results with Existing Algorithm
Direction Change at non-handover area	Handover Success	Handover Success
Direction Change at $S_A$ handover section	Handover Success	Handover Fail: Connection with two Wayside ATPs after handover finished
Direction Change at $S_B$ handover section	Handover Success	Handover Fail: Emergency Braking Applied

## 5. 결과 및 고찰

본 논문은 한국형 도시철도용 무선통신기반 열차제어 시스템(KRTCS)의 핸드오버 구간에서의 방향전환 문제 를 개선하기 위해 새로운 핸드오버 알고리즘을 제안한 다. 1. 열차의 주행 방향과 위치에 따라 핸드오버 취소 또는 권한 이전을 수행함으로써 다양한 운행 스케줄을

지원하도록 새로운 핸드오버 알고리즘을 제안하였다. 2. 제안된 알고리즘을 KTCS 표준[9]에 반영하기 위해 핸드 오버 메시지 및 패킷 구조를 새롭게 제시하였다. 3. 알고 리즘 시뮬레이션을 위해 python 환경에서 시뮬레이션 노선과 열차의 모델을 정의하였다. 4. 다양한 열차 스케 줄을 통해 기존 핸드오버 알고리즘과 제안된 핸드오버 알고리즘을 비교 및 분석하였다. 5. 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 핸드오버 알고리즘은 핸드오버 구간에서의 방향 전환 등의 상황에도 안정적인 핸드오버가 가능함을 확인하였다.

본 연구에서 제안한 새로운 ATP 핸드오버 알고리즘 은 기존의 한국형 무선통신기반 열차제어시스템 구조의 근본적인 변경 없이 핸드오버 기능 개선이 가능하므로 향후 한국형 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 및 국내 표준규격[9]의 개정 시 반영하여 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

- [8] Kang, Yong-Sam. "A Study on Interoperability and Applicability of the Korean Radio Based Train Control System(KRTCS)." The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers. The Korean Institute of Electrical Engineers, June 1, 2016. DOI: https://doi.org/10.5370/kiee.2016.65.6.1095
- [9] KRS-SG-0069: Korean Radio Based Train Control System for Urban Rapid Transit. Available From: https://www.kric.go.kr/servlet/ContentDownloadServl et?type=pdf&object\_id=0900271a80178407
- [10] H. Park, and C. Lee, "The analysis on the characteristics of acceleration/deceleration of urban and wide-area railway vehicles." Journal of the Korean Society for Railway, 7.3, 353-360, 2019. DOI: https://doi.org/10.24284/JKOSUR.2019.9.7.3.353
- [11] ERRI B 126 RP 30, "Existing and future train control and command systems on the European railways -Models for deceleration curves", 2001.

## 오 세 찬(Sehchan Oh)

## [정회원]



- 2004년 8월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사 • 2013년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 컴퓨터 공학 박사과정
- 2004년 11월 ~ 현재 : 한국철도기 술연구원 책임연구원

전자공학과 (석사)

전자공학과 (박사)

전자 책임연구원

술연구원 선임연구원

〈관심분야〉 열차제어, DTO/UTO 설계

## 김 영 주(Youngju Kim)

## [정회원]



〈관심분야〉 철도통신, 6G

## References

- [1] IEEE Vehicular Technology Society, "IEEE Standard for Communication Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements". IEEE Standards 1474.1. 2004.
- [2] ERA, UNISIG, EEIG ERTMS Users Group. "ERTMS/ETCS System Requirements Specification (SUBSET-026)", 3.6.0, 2016. [Online]. Available From: https://www.era.europa.eu/sites/default/files/filesyste m/ertms/ccs\_tsi\_annex\_a\_mandatory\_specifications /set of specifications 3 etcs b3 r2 gsm-r b1/index0 04 - subset-026\_v360.zip
- [3] Farooq, J., & Soler, J. "Radio communication for communications-based train control (CBTC): A tutorial and survey." IEEE Communications Surveys & Tutorials, 19(3), 1377-1402, 2017. DOI: https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2661384
- [4] Biagi, M., Carnevali, L., Paolieri, M., & Vicario, E. "Performability evaluation of the ERTMS/ETCS-Level 3." Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 82, 314-336, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.trc.2017.07.002
- [5] UIC. "Influence of ETCS on line capacity-Generic study". 2008.
- [6] Parkinson, T., & Fisher, I. "Rail transit capacity", Vol. 13. Transportation Research Board, 1996.
- [7] J. Lee, S. Lee, et al. "Implementation and Performance Evaluation of Handover Function for KRTCS Onboard Equipment", In Proceedings of the KRS Conference, The Korean Society for Railway, 2014.