무선통신기반 열차제어시스템 ATP 열차간격제어알고리즘 시뮬레이터 개발

Development of ATP Train Separation Control Simulator for Radio-based Train Control System

윤용기^{1†} · 오세찬¹ · 최준영² · 박재영² · 양해원³

Yong-Ki Yoon · She-Chan Oh · June-Young Choi · Jae-Young Park · Hai-Won Yang

Abstract This paper includes ATP(Automatic Train Protection) simulator development and ATP algorithm verification to allocate wayside and train-borne and verify ATP functions of communications based train control system. The train control system has some characteristics such as simple structure and high safety when wireless communication technology is applied to the train control system. Especially, vital functions can be performed with in wayside and train-borne ATP. However, different system can be realized because I/F contents vary in accordance with vital functional allocation of ATP. Drawing characteristics in accordance with wayside and train-borne functional allocation and drawing I/F details affected by such characteristics are needed accordingly. This paper includes ATP simulator development creating train location information by direct activation of an electric motor, verifies train safety distance control algorithm of ATP by functional allocation such as train movement authority and train speed limit to ATP, and draws any supplementation needed. Appropriate simulated environment for verify ATP algorithm and main factors that affect to the ATP function were confirmed.

Keywords : CBTC, MA, MRSP, Train location information, Train safety distance control

초 록 본 연구는 무선통신기반 열차제어시스템의 ATP 기능을 차상장치와 지상장치에 배치하고 이를 검증하기 위한 ATP시뮬레이터 개발과 ATP알고리즘 검증을 포함한다. 무선통신기술을 열차제어에 적용하면 열차제어 시스템을 단순화하고 실시간 열차위치정보를 활용하여 열차운행의 안전성을 높이는 특징이 있다. 특히 ATP 지상장치와 차상장치에서 vital기능을 처리할 수 있다. 이 같은 vital기능을 어디에 배치하는가에 따라서 인터페이스내용이 상이한 서로 다른 시스템이 구현된다. 따라서 지상과 차상에 vital 기능을 배치하는 것에 따른 특징을 도출하고, 이것에 의해서 영향을 받는 인터페이스 내용을 확인하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 ATP 지상장치에 열차이동권한과 열차속도제한 등의 기능을 배치하였고, 전동기를 직접 구동하여 실시간 열차위치정보를 생성하는 ATP시뮬레이터를 개발하였고, 본 시뮬레이터를 사용하여 ATP 알고리즘을 검증하였다. ATP 알고리즘을 검증하기 위한 적절한 모의환경을 확인하였고, ATP 기능에 영향을 주는 주요 인자를 확인하였다.

주요어 : 무선통신기반 열차제어시스템, 이동권한, MRSP, 열차위치정보, 열차간격제어

1. 서 론

현재 철도운영기관에서 운용되고 있는 열차제어시스템(또는 철도신호시스템)은 궤도회로를 이용하여 검지한 열차위치정보(궤도점유정보)를 활용하여 선행열차와 후속열차간 열차안전간격(safety distance)을 보장하고 있으며, 1990년대부터 실시간 열차위치정보를 활용하여 열차안전간격을 제어하는 새로운 열차제어시스템(이하 무선통신기반 열차제어시스템)을 개발하여 상용화하고 있다. 미국의 CBTC(Communication Based Train Control), 유럽의 ETCS(European Train Control System)

및 일본의 ATACS (Advanced Train Administration and Communication System) 등이 대표적인 무선통신기반 열차제어시스템이다. 이러한 열차제어시스템은 지상-차상간의 양방향 연속통신, 실시간 열차위치추적, 무선통신을 이용한 vital정보 전송 및 지상장치와 차상장치에서의 vital기능수행 등의 특징을 갖고 있다[1]. 또한 무선통신기술을 열차진로제어에 적용할 경우, 지상-차상간 폐루프(closed loop)제어, 다양한 진로구성, 하나의 진로에 2편성 이상의 열차진입 등으로 역구내(진로제어구간)의 공간이용률을 높일 수 있다[2].

무선통신기반 열차제어시스템은 지상의 ATS (Automatic Train Supervision), ATP, EI (Electronic Interlocking), 차상의 ATP, ATO(Automatic Train Operation) 및 지상과 차상에 설치되는 열차제어용 무선통신망으로 구성된다.

특히 ATP는 열차위치결정, 열차이동권한설정, ATP 속도 프로파일작성, 열차속도감시, 열차출입문 연동 등 vital기능

[†]교신저자 : 한국철도기술연구원 무선통신 열차제어연구단
E-mail : ykyoon@krii.re.kr

¹한국철도기술연구원 무선통신 열차제어연구단

²우송대학교 철도대학원

³한양대학교 전자컴퓨터공학부

을 수행하여 선행열차와 후속열차간 안전간격을 제어하여 열차추돌사고가 발생하지 않도록 S/W로 구성된 장치이며, 자동화 도구를 개발하여 해당 S/W를 분석하고 있다[3]. 표 1에서 확인할 수 있듯이 대부분의 기능을 차상ATP에서 처리하고 있지만, 열차이동권한결정과 열차속도제한 등의 vital 기능은 지상ATP에서도 수행할 수 있다.

Table 1 ATP functions allocation

Vital 기능	ATP 설치위치	
	차상	지상 또는 차상
열차길이 결정	⊙	
열차위치 결정	⊙	
열차이동권한 결정		⊙
열차목표지점 결정		⊙
열차속도제한(선로선행)		⊙
열차속도제한(열차특성)		⊙
열차제동프로파일 작성	⊙	
ATP프로파일 작성	⊙	
열차현재속도 결정	⊙	
열차주행방향 결정	⊙	
열차현재속도 감시	⊙	
열차현재방향 감시	⊙	
열차출입문제어 인터록킹	⊙	

또한 차상ATP가 여러 기능을 수행하기 위해서 입력정보를 지상ATP로부터 받고 있으며, 차상ATP가 수행한 기능의 결과도 다시 지상ATP로 전송하는 인터페이스체제로 형성되어 있다[4].

표 1에서 알 수 있듯이 표준화된 무선통신기술(IEEE 802.11, GSM-R 등)을 적용하여도 차상과 지상에 배치하는 기능에 의해서 서로 다른 열차제어시스템이 구성될 수 있으므로, 실시간으로 생성되는 열차위치정보환경에서 ATP의 vital기능을 시험하여 각 기능의 수행위치(지상ATP, 차상ATP)배치, 필요한 인터페이스 내용(데이터종류, 주기/비주기)등을 결정하기 위한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 ATP의 vital기능배치와 기능간 인터페이스 내용을 확인하기 위해서 실시간 열차위치정보를 생성하는 시뮬레이터를 제안하였다.

2. ATP시뮬레이터

2.1 ATP시뮬레이터 설계

본 논문은 ATP기능을 확인하는 것이 목적이므로 모의환경을 최소한으로 설정하였으며, 지상ATP에 ATS와 EI의 기능을 최소한으로 구현하는 것으로 ATP시뮬레이터를 설계하였다. ATP시뮬레이터의 모의환경은 그림 1과 같으며, 지상장치는 지상ATP와 선로변 무선장치로 구성하며, 차상장치는 차상ATP와 차상통신장치로 구성하였다.

Fig. 1 Test track configuration of ATP simulator

Table 2 ATP simulator specification

장치명	기능 및 구성품
지상ATP Unit (1set)	<ul style="list-style-type: none"> 기능 <ul style="list-style-type: none"> - 열차위치결정, 열차이동권한설정 - 정적속도프로파일 작성 구성 <ul style="list-style-type: none"> - 본체 : 산업용컴퓨터(Windows XP) - 인터페이스장치 : 통신모듈/변환장치
차상ATP Unit (5sets)	<ul style="list-style-type: none"> 기능 <ul style="list-style-type: none"> - 열차위치 및 속도 연산 - 동적속도프로파일 생성 - 열차속도제어 구성 <ul style="list-style-type: none"> - 본체 : 산업용컴퓨터(Windows XP) - 인터페이스장치 : 통신모듈/변환장치 - 전동기 / 속도센서 전동기형식 : DC전동기 제외 - 전동기용량 : 1마력 이하 - 속도센서 : 높은 분해능 확보

Fig. 2 Test track configuration of ATP simulator

차상ATP와 지상ATP간을 연결하는 열차제어용 무선통신망은 시뮬레이션에서 고려할 내용이 아니므로 안정적인 통신이 이루어질 수 있도록 유선으로 설계하였으며, UDP/IP 프로토콜을 적용하였다. 열차는 PC기반의 프로세스로 동작하며, 열차 5편성을 투입할 수 있도록 5대의 독립적인 PC로 구성되며, 실제 전동기와 연결되어 차상ATP에서 전동기에 지령을 내리고 전동기의 반응값을 읽어 열차의 속도를 제

어/현시하도록 설계하였다. 지상ATP는 모의선로환경을 현시하고 선로에 투입된 열차의 속도, 위치 등의 운행상태를 현시하며 차상ATP가 안전한 열차간격제어를 수행할 수 있도록 필요한 선로이동권한, 선로선형정보를 실시간으로 제공하도록 설계하였다. 표 1에서 차상 또는 지상에 배치할 수 있는 ATP기능의 대부분을 본 연구에서는 우선적으로 모두 지상ATP에 배치하였다. ATP시뮬레이터 사양과 구성도는 표 2와 그림 2와 같다.

2.2 ATP시뮬레이터 소프트웨어 설계

2.2.1 차상ATP의 소프트웨어 구성

차상ATP의 소프트웨어는 TASK_PROCESS_CHK, TASK_TRAIN_SIM, TASK_MOTOR_CONTROL로 구성된다. TASK_PROCESS_CHK는 모의열차UNIT에서 실행되는 각각의 프로세스의 실행상태를 확인하며, 실행상태에 오류가 있으면 재실행을 한다. TASK_TRAIN_SIM는 모의열차의 주요 기능과 차상ATP기능인 열차위치 및 속도계산, 동적 속도프로파일 생성, 열차속도제어를 포함한다. COM_ATP는 ATP UNIT와 UDP 통신의 송신과 수신을 담당한다. 차상ATP를 구성하는 소프트웨어와 소프트웨어간 시퀀스 다이어그램은 그림 3이며, 상세한 내용은 아래와 같다. 추진장치기능을 담당하는 motor driver와는 serial 통신(RS-232, RS-485)을 한다.

Fig. 3 Task sequence diagram of onboard ATP

- (1) 프로세스간 통신을 하기 위한 NamedPipe를 설정한다.
- (2) 설정 파일에서 RS-232 Connect 정보와 RS-485 Connect 정보를 읽는다.
- (3) Serial Connect 상태로 대기한다.
- (4) TASK_ATP_MMI에서 데이터 수신하면 ACK 데이터를 TASK_ATP_MMI로 송신한다.
- (5) TASK_ATP_MMI에서 보내온 Infrastructure Data, Train Data 및 Simulation Mode 정보를 기준으로 시뮬레이션을 위한 초기화 작업을 진행한다.
- (6) Infrastructure Data를 기준으로 해당 Section별로 정해지는 시점, 중점, 제한속도, 구배 및 곡선 정보를 1m 단위로 전개하여 구조화하여 저장한다.
- (7) Infrastructure Data, Train Data의 제한속도 및 Simulation Mode를 감안하여 MRSP (Most Restricted Speed

Profile)를 1m 단위로 계산하여 저장한다.

(8) MRSP와 수신된 열차이동권한 MA(Movement Authority)를 기준으로 DSP(Dynamic Speed Profile)을 생성한다.

(9) 가속 시에는 구배와 곡선 저항을 배제하고 차량의 가속도에 의하여 가속한다.

(10) 감속 시에는 현재위치와 MA 및 MRSP상의 감속지점간의 평균 구배 및 평균 곡선저항 및 열차의 관성계수를 반영하여 제동거리를 산출하고 그 지점부터 감속을 시작하도록 한다.

(11) 평균 구배 및 평균 곡선저항에 의한 제동거리는 오차 및 안전거리 확보를 위하여 20% 추가 거리 지점을 선정하고 그 지점부터 감속하도록 한다.

(12) 현재 위치상의 실제 구배, 곡선저항, 열차의 감속도 및 열차의 관성계수 값을 반영하여 감속도를 계산하고 그 속도를 전동기에 지령하여 구동하도록 한다.

(13) RS232를 통하여 전동기에 속도지령을 내리고 RS485에 수신된 값을 속도로 환산하여 모의열차의 현재 위치 및 속도를 지상ATP측으로 송신한다.

2.2.2 지상ATP의 소프트웨어 구성

지상ATP의 소프트웨어는 TASK_PROCESS_CHK, COM_SIM, TASK_ATP_MMI, TASK_ATP_MA, TASK_ATP_SR로 구성된다.

TASK_PROCESS_CHK는 UNIT에서 실행되는 각각의 프로세스의 실행 상태를 확인하고, 실행상태를 확인 후에 오류가 있으면 다시 실행한다. COM_SIM는 모의열차와 UDP 통신의 송신과 수신을 담당한다. TASK_ATP_SR는 속도제한치 설정(정적 속도프로파일)의 연산처리를 담당한다. TASK_ATP_MMI는 선로의 모양 및 신호설비들을 심볼화하여 표시, 현장 신호설비의 상태 및 열차의 이동 상태를 실시간으로 표시하는 기능을 담당한다. 이것에 대한 시퀀스 다이어그램은 그림 4이며, 상세내용은 아래와 같다.

Fig. 4 Task sequence diagram of wayside ATP

- (1) 프로세스간 통신을 하기 위한 NamedPipe를 설정한다.
- (2) TASK_TRAIN_SIM에서 데이터 수신을 감시하기 위하여 ReceiveThread가 실행된다.
- (3) TASK_ATP_MA에서 데이터 수신을 감시하기 위하여 ReceiveThread가 실행된다.

(4) 데이터 수신이 되면 실시간으로 열차이동, 이동권한을 UI에 Drawing한다.

TASK_ATP_MA는 이동권한 설정의 연산 처리를 담당하며, 시퀀스 다이어그램은 그림 5이며, 상세한 내용은 아래와 같다.

- (1) 프로세스간 통신을 하기 위한 NamedPipe를 설정한다.
- (2) COM_ATP_SIM에서 데이터 수신을 감시하기 위하여 ReceiveThread가 실행된다.
- (3) 운전 시작후 10초후부터 30초 간격으로 모의열차 출발을 위한 MA를 생성한다.
- (4) MA는 5개 Section 중점을 지정하도록 하나 그 이내에 선행열차가 존재할 경우에는 선행열차와 10m의 안전간격을 유지하도록 생성한다.
- (5) 송신 데이터는 TASK_ATP_MMI와 COM_ATP_SIM으로 전송한다.

Fig. 5 Task sequence diagram of ATP-MA

3. 열차간격제어알고리즘

안전한 열차간격제어기술을 구현하기 위해서, 후속열차는 열차제어시스템에서 규정한 속도프로파일에 맞추어 운행해야 한다. 이를 위해 열차제어시스템은 열차이동권한, 선로선행정보, 열차정보의 데이터를 입력받아 속도프로파일을 연산한다. 열차의 속도프로파일은 정적 속도프로파일과 동적 속도프로파일로 구성한다. 차상 ATP는 MA까지의 SSP 연산을 수행한 후 SSP 정보를 바탕으로 DSP 연산을 수행하게 되며 최종 제동명령을 출력하게 된다[5].

그림 6은 열차제어시스템의 열차간격제어를 위한 속도프로파일 연산에서부터 제동명령까지의 전체 흐름도를 나타낸 것이다.

3.1 정적속도프로파일

열차가 주행을 위해 허용된 최대 속도는 다양한 정적인 속도제한과 열차이동권한을 고려하여 결정되어야 한다. 열차의 정적 속도프로파일은 거리에 대한 속도의 계단함수이며, 열차는 정적 속도프로파일을 절대로 초과해서는 안된다.

정적 속도제한은 지상의 선로선행정보, 열차정보, 신호 및 차상장치 모드에 의해 정해지며, 열차이동권한, 열차정보, 선로선행정보를 입력데이터로 활용한다. 실제 응용환경에 따라 다양한 제한항목을 설정할 수 있으며, 본 연구에서는 아

Fig. 6 Flowchart of train safety distance control algorithm

래의 3가지 항목에 대해서 고려하였다.

- 고정속도프로파일 (FSP: Fixed Speed Profile)
- 임시속도제한 (TSR: Temporary Speed Restrictions)
- 최대열차속도 (MTS: Maximum Train Speed)

정적 속도프로파일을 계산하기 위해서는 우선 지상ATP의 역할과 차상ATP의 역할의 두 부분으로 구분할 수 있다. 최종 정적속도프로파일의 데이터를 출력하기 위해서 총 4단계의 정적 속도프로파일 SSP#1, SSP#2, SSP#3, SSP#4로 나눌 수 있다. 지상ATP에서는 열차 데이터인 열차최고속도 데이터를 반영한 SSP#1가 출력되고 시설물 데이터인 선로선행정보를 반영한 SSP#2, 임시속도제한 정보를 반영한 SSP#3의 출력을 수행한다. 또한 차상ATP에서는 SSP#1, SSP#2, SSP#3의 비교 출력 프로파일을 바탕으로 열차데이터 중의 열차길이 정보를 바탕으로 MRSP(Most Restrictive Speed Profile)를 출력하게 된다. MRSP는 주어진 궤도에서 열차가 준수해야 하는 가장 제한적인 속도제한을 의미하며, 구성요소의 어떤 부분이라도 변경되면 다시 계산해야 한다.

구간별 정적 속도프로파일을 그림 7(a)와 같이 가정하였다. 총 4개의 구간에 대해 열차 최고속도 V_{max} , 구간별 고정속도 V_{fix} , 임시 제한속도 V_{temp} 로 정의한다. 이때 선로선행 정보에 의해 구성된 각 구간별 속도를 바탕으로 가장 제한적인 속도프로파일을 식(1)에 의해 선택한다.

$$V_{MRSP} = \min(V_{max}, V_{fix}, V_{temp}) \quad (1)$$

따라서 선택된 구간별 제한 속도는 아래와 같다. 선택된 구간별 가장 제한적인 속도프로파일은 그림 7(b)에 나타내었다.

$$V_{MRSP} \text{ of Section \#1} = \min(V_{max}, V_{fix\#1}) = V_{fix\#1}$$

$$V_{MRSP} \text{ of Section \#2} = \min(V_{max}, V_{fix\#2}) = V_{fix\#2}$$

$$V_{MRSP} \text{ of Section \#3} = \min(V_{max}, V_{fix\#3}, V_{temp}) = V_{temp}$$

$$V_{MRSP} \text{ of Section \#4} = \min(V_{max}, V_{fix\#4}) = V_{fix\#4}$$

Fig. 7 MRSP creation algorithm; (a) Static speed profile by section, (b) Maximum speed limit by section, (c) MRSP conclusion considering train length, (d) MRSP conclusion

이제 도출된 구간별 제한속도에 열차길이를 반영한다. 감속구간의 경우 열차의 전두부가 이미 감속구간의 속도에 맞추어 진입하기 때문에 열차길이에 의한 영향은 감속구간이나 정속구간이 아닌 가속구간에서만 고려하면 된다. 따라서 열차길이(TL)를 고려한 최종 MRSP는 다음과 같은 알고리즘에 의해 생성할 수 있다.

Let length of Section #X, Length(X) then:
if V_MRSP of Section #X $\geq$ V_MRSP of Section #(X-1)
Length(X) = Length(X) + TL;
V_MRSP of Section #X = V_MRSP of Section #(X-1)
else if V_MRSP of Section #X < V_MRSP of Section #(X-1)
V_MRSP of Section #X = V_MRSP of Section #X

즉, 현재 가속 구간인 경우 현재 구간에 열차길이 만큼 더한 구간의 제한속도는 이전 구간속도의 값을 가지게 되며, 감속 또는 정속구간에서는 변함이 없다. 결과는 그림 7(c)와 같으며, 다시 최소 제한속도 값을 갖는 프로파일을 선택한 최종 MRSP는 그림 7(d)와 같이 도출된다.

3.2 동적속도프로파일

동적 속도프로파일은 정적 속도프로파일을 기반으로 하여 열차가 실시간으로 이동할 수 있는 속도의 증감을 나타낸다. 시스템이 작동하여 지상ATP와 차상ATP의 통신이 연결되면 지상ATP에서는 열차정보와 선로정보의 정보를 차상ATP로 전송을 해준다. 또한 지상ATP에서는 일정 주기로 열차의 이동 권한을 의미하는 MA를 차상ATP로 전송을 해 주는데 이러한 정보를 참조하여 차상ATP내에서는 실질적으로 열차속도를 제한하는 동적 속도프로파일이 생성 된다. 이렇게 생

Fig. 8 Mean time gradient calculation to MA

Fig. 9 Calculation of braking curve

성된 동적 속도프로파일은 그림 8과 같이 평균 구배를 사용하여 연산되어 있으며, 각 열차 간의 안전성 확보와 만일에 생길 오차를 대비하여 20%의 추가적인 데이터를 포함하여 연산된다[6,7].

일반적으로 제동곡선은 그림 9와 같이 역방향으로 계산된

다. 즉, 열차의 진행방향으로부터 떨어진 목표지점부터 시작하여 열차로 진행한다. 제동곡선의 계산은 열차의 제동특성과 함께 선로구배도 고려하여야 한다.

4. 모의시험환경 및 ATP알고리즘 검증

4.1 모의시험환경

그림 1과 같은 모의시험환경은 단방향 순환선 구조, 선로 길이 4,709[m], 역사수 2개이며, 곡선반경에서 열차속도를 제한하였다. 모의열차의 열차주행정보는 표 3과 같으며, 모의 열차 5편성을 투입하였다.

Table 3 Train operation specification

항목	내용
열차길이	5량 1편성(100[m])
열차가속도	3.0[km/h/s]
열차감속도	4.0[km/h/s]
열차성능최고속도	100[km/h]
열차주행시간	404[sec/round], 역정차시간 30[sec]
열차평균속도	41.96[km/h]
열차가(감속)시 소요시간	$(V1 - V0) / (\beta + \beta/31 + 800/31R)$ V1 : 열차 가감속 개시전 속도(km/h) V2 : 열차 가감속 개시후 속도(km/h) β : 열차의 가감속률(km/h/s) R : 곡선반경(m)

4.2 ATP알고리즘 구현결과

이상의 모의환경을 활용하여 열차의 이동폐색운행상황을 구현하였으며, 이를 통하여 열차이동권한알고리즘을 보완할 수 있었다. 또한 보완된 열차이동권한알고리즘에서 생성된 열차이동권한과 선로선형정보를 바탕으로 열차의 정적 속도 프로파일 및 동적 속도프로파일 생성알고리즘을 성공적으로 구현하였다. 모의열차의 전동기에서 생성되는 열차주행거리 계의 실시간 값을 연산한 열차 위치값과 열차 속도값을 사용하여 열차가 선행열차와 안전간격을 확보하면서 주행하는 상황을 확인하였다. 또한 열차주행상황을 확인하는 과정에서 모의장치에서 감시해야 할 정보와 저장할 정보를 선정하였으며, 선로선형 정보에 따른 실시간 속도프로파일의 생성 및 갱신 결과를 검증함으로써 열차간격제어알고리즘을 평가하였다.

4.2.1 열차이동권한 및 속도프로파일생성 알고리즘 평가

모의환경 및 ATP시뮬레이터를 이용하여 알고리즘을 평가하였다. 그 결과 그림 10(a)와 같이 열차 간 안전을 충분히 확보할 수 있는 지점에서 열차이동권한이 생성되었다. 그림 10(a)에서 열차는 모서리가 둥근 사각형으로 표시되며, 이동권한은 원으로 표시된다. 열차는 시계방향으로 순환하며 주행하는 열차의 앞에 이동권한이 생성되며, 열차와 해당열차의 이동권한을 같은 색으로 표시하였다.

또한 생성된 열차이동권한과 선로 선형정보를 바탕으로 그

(a)

(b)

Fig. 10 Display of train movement authority (a) and train speed profile (b)

림 10(b)와 같이 열차속도프로파일이 생성되는 것을 확인하였으며, 열차속도프로파일에 따라 열차속도가 제한속도를 초과하지 않도록 제어되는 것을 확인하였다. 이동폐색의 관점에서 열차이동권한은 주기적으로 갱신되며 갱신된 이동권한에 따라 열차의 속도프로파일 또한 실시간으로 갱신되도록 하였으며, 이에 맞추어 열차의 동적속도프로파일은 과거부터 현재의 이동권한까지의 확정된 속도프로파일만 디스플레이 하도록 설계하였다.

4.2.2 열차모의환경 최적화

본 연구에서 적용한 모의환경에서 모의열차 5편성을 모두 투입한 결과 선로의 길이가 충분치 못한 것을 확인하였다. 선로길이를 열차길이를 고려하였을 때 열차 3편성을 투입할 경우 선행열차와 후속열차간 안전간격을 유지하고, 역 구내에서의 정차횟수를 최소화하는 등 3편성의 열차투입이 최적의 조건으로 확인되었다.

본 연구에서 제작한 ATP시뮬레이터는 ATS에서 담당하는 열차운행스케줄을 적용하지 않았기 때문에 발생한 사항이다. 또한 역 구내에서도 궤도회로기반의 연동원칙을 적용하지 않았기 때문에 발생한 사항으로서 무선통신기반의 열차제어시스템에서 구현하는 이동폐색원칙을 충실히 적용한 결과이다. 따라서 3편성의 열차를 투입하더라도 운행스케줄의 미비

(a)

(b)

Fig. 11 Train speed profile of 3 trains operation

로 인하여 역 구내에서의 정차횟수가 다소 발생하는 경향이 있다(그림 11(a)). 하지만 열차 순환 횟수가 늘어남에 따라 (약 2회 이상) 점차 안정화되는 결과를 확인할 수 있었다(그림 11(b)). 그림에서 주황색 라인은 MRSP, 흰색 라인은 동적 속도프로파일, 그리고 회색라인은 열차의 실제속도를 나타낸다.

열차 투입량을 4편성 및 5편성으로 늘리는 경우에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 12에 보여주고 있다.

이 경우에도 열차스케줄 기능의 미비로 인한 영향을 제거하거나 최소화하기 위해서 열차 순환횟수를 충분히 하였다. 열차 투입량이 4편성인 경우, 그림 12(a)와 같이 많이 안정되었지만 역에서 여러 번 정차하는 경우가 지속적으로 발생하였다. 그림 12(b)와 같이 열차 투입량이 5편성인 경우, 열차의 잦은 정차로 인해 열차표정속도가 현저하게 떨어져 오히려 열차 투입량이 3편성인 경우보다 열차운전효율이 저하되는 것을 확인할 수 있다.

3. 결 론

무선통신기반 열차제어시스템이 경량전철, 도시철도에 적용되고 있으며, 열차운행 안전성이 향상되는 것을 기대할 수

(a)

(b)

Fig. 12 Train speed profile of 4 trains(a) and 5 trains(b) operation

있다. 또한 표준화된 무선통신기술을 적용할 경우, 독립적으로 운용되고 있는 철도망을 통합 운영하는 것을 기대할 수 있다. 그렇지만 ATP의 기능을 지상과 차상에 배치하는 것에 의해서 서로 다른 열차제어시스템이 구현될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 ATP의 핵심 기능을 정의하고, 열차이동권한과 열차속도제한과 관련한 기능을 지상에서 담당하는 것으로 ATP시뮬레이터를 구현하고, ATP의 핵심기능을 점검하였다. 또한 차상과 지상간에 필요한 인터페이스내용도 점검하였다.

ATS와 EI에서 필요한 최소한의 기능만을 적용하여 무선통신기반 열차제어시스템의 ATP기능을 점검한 결과 ATP기능배치가 적절한 것을 확인하였다. 또한 열차이동권한을 생성하는 알고리즘, 열차 정적 속도프로파일을 생성하는 알고리즘 및 동적 속도프로파일을 생성하는 알고리즘 및 이에 필요한 데이터가 적절하게 연계되는 것을 확인하였다. 열차 정적 속도프로파일을 생성하는데 있어서 MRSP구조를 단순화하는 방안을 제시하였고, ATP시뮬레이터를 활용하여 이것이 적절한 것을 확인하였다. 또한 모의열차에 해당하는 전동기를 직접 구동하여 실시간 열차위치정보를 활용하여 ATP기능을 점검한 결과 열차길이, 열차 편성수, 열차이동권한의

전송주기 등이 무선통신기반 열차제어시스템에 영향을 주는 것을 확인하였다.

후 기

본 연구는 한국건설교통기술평가원의 “도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템 표준체계구축 및 성능평가” 과제의 지원으로 연구되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] IEEE std 1474.1 (2004) IEEE standard for Communication - Based Train Control(CBTC) Performance and Functional Requirements, pp. 6.
- [2] Y.K. Yoon, J.G. Hwang, J.H. Lee, H.J. Jo (2006) A study on a smart train interlocking system simulator, *The Korea Institute of Electrical Engineering Spring Conference*.
- [3] J.G. Hwang, H.J. Jo, Y.G. Kim (2009) Development of Automatic Tool for Software Metrics Analysis for Railway Signaling System, *Journal of the Korean Society for Railway*, 12(11), pp. 450-456.
- [4] IEEE std 1474.1(2008) IEEE Recommended Practice for Communication - Based Train Control(CBTC) System Design and Functional Allocations, pp. 9-69.
- [5] Y.K. Yoon, S.C. Oh, C.H. Kim, Y.K. Kim (2010) A study on train static speed profiles to control the safety distance between trains, *Journal of the Korean Society for Railway Autumn Conference*.
- [6] D. Barney, D. Haley, G. Nikandros (2001) Calculating Train Braking Distance, *Conferences in Research and Practice in Information Technology*, Vol. 3.
- [7] H.B. Vincze, G. Tarmai (2006) Development and Analysis of Train Brake Curve Calculation Methods with Complex Simulation, *Proceedings of International Exhibition of Electrical Equipment for Power Engineering, Electrical Engineering, Electronics, Energy and Resource-saving Technologies, Household Electric Appliances(ELECTR 2006)*, Zilina. Slovika.

접수일(2011년 10월 6일), 수정일(2011년 12월 29일),
게재확정일(2012년 1월 9일)