

무선통신기반 열차간격제어를 위한 전처리 기반 속도프로파일 계산 알고리즘

오세찬*, 김경희¹, 김민수¹
¹한국철도기술연구원 광역도시철도시스템연구실

Preprocessing-based speed profile calculation algorithm for radio-based train control

Sehchan Oh^{*}, Kyunghye Kim¹, Minsoo Kim¹

¹Metropolitan Transit System Research Division, Korea Railroad Research Institute

요약 무선통신기반 열차제어시스템은 차상과 지상과의 양방향 무선통신을 기반으로 실시간 열차간격제어가 가능하므로 운전시각 단축 효과가 있으며 궤도회로를 사용하지 않기 때문에 설비투자를 절감 할 수 있다. 무선통신기반 열차제어시스템에서 가장 중요한 부분인 자동열차방호(ATP: Automatic Train Protection)는 실시간 열차위치 추적을 기반으로 선형열차와 후행열차간의 안전한 간격제어를 수행한다. 본 논문은 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템의 열차간격제어를 위한 전체적인 ATP 열차간격제어 알고리즘과 ATP의 처리속도 향상을 위해 전처리 기반 속도프로파일 계산 알고리즘을 제안한다. 제안된 속도프로파일 계산 알고리즘은 사전에 선로와 열차의 영구속도제한에 해당하는 프로파일을 미리 계산하여 가장제한적인 속도프로파일로 활용한다. 만약 운행 중 특정 노선 구간에 임시속도제한이 발생하는 경우 미리 계산된 영구속도프로파일에 임시속도제한을 반영하여 해당 구간의 속도프로파일을 업데이트함으로써 계산효율을 높일 수 있다. 제안된 속도프로파일 계산 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 시간복잡도 O-notation으로 분석하였으며 그 결과 기존에 비해 시간 복잡도를 개선할 수 있음을 확인하였다. 또한 ATP 열차간격제어 검증을 위해 열차간격제어 시뮬레이터를 제작하였으며 실험결과를 통해 다양한 운영상황에서 안전한 열차간격제어가 이루어지고 있음을 확인하였다.

Abstract Radio-based train control system has driving headway shortening effect by real-time train interval control using two-way radio communication between onboard and wayside systems, and reduces facility investment because it does not require any track-circuit. Automatic train protection(ATP), the most significant part of the radio-based train control system, makes sure a safe distance between preceding and following trains, based on real-time train location tracing. In this paper, we propose the overall ATP train interval control algorithm to control the safe interval between trains, and preprocessing-based speed profile calculation algorithm to improve the processing speed of the ATP. The proposed speed profile calculation algorithm calculates the permanent speed limit for track and train in advance and uses as the most restrictive speed profile. If the temporary speed limit is generated for a particular track section, it reflects the temporary speed limit to pre-calculated speed profile and improves calculation performance by updating the speed profile for the corresponding track section. To evaluate the performance of the proposed speed profile calculation algorithm, we analyze the proposed algorithm with O-notation and we can find that it is possible to improve the time complexity than the existing one. To verify the proposed ATP train interval control algorithm, we build the train interval control simulator. The experimental results show the safe train interval control is carried out in a variety of operating conditions.

Keywords : Automatic train protection, Train interval control, Preprocessing-based, Speed profile calculation, Radio-based, Train control system.

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Sehchan Oh(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5745 email: soh@krrri.re.kr

Received July 29, 2015

Revised September 1, 2015

Accepted September 11, 2015

Published September 30, 2015

1. 서론

열차제어시스템은 차량, 전력, 궤도토목, 역사 및 시설물 등과 상호 유기적으로 동작하는 하나의 철도 운영 시스템이면서 동시에 승객의 안전을 보장해야하는 안전 시스템으로 선행열차와 후행열차의 안전 공간을 확보하는 것이 기술적 핵심이 된다. 하지만 ATP 간격제어에 대한 구체적인 방법에 대해서는 알려지지 않고 있다.

가장 대표적인 도시철도용 무선통신기반 열차제어시스템은 미국의 CBTC(Communication-Based Train Control)이다[8-9]. 하지만 CBTC의 경우 도시철도용 열차제어시스템으로서 IEEE의 표준으로 정의되어있으나 이는 시스템 요구사항 수준의 표준이다. 따라서 시스템 개발 요구사항에 따라 시스템 구성이 달라질 수 있으며 무선통신기반 열차제어시스템 개발에 있어서 핵심이라 할 수 있는 ATP 열차간격제어 알고리즘 역시 시스템 요구사항에 부합하도록 독자적인 개발이 필요하다.

본 논문은 무선통신기반 열차제어시스템에서 안전한 열차간격제어를 위한 ATP 열차간격제어 알고리즘과 전처리 기반 속도프로파일 계산알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 안전한 간격제어를 위해 실시간 열차의 위치 및 방향과 이동권한(MA: Movement Authority)의 결정, 그리고 속도프로파일의 계산과 같은 일련의 기능을 수행한다. MA와 함께 속도프로파일의 결정은 열차 주행 중 주기적으로 계산이 이루어져야하므로 계산의 효율은 간격제어 성능 뿐 만 아니라 하나의 지상 ATP가 관할할 수 있는 열차 편성수와 연결되는 매우 중요한 요소이다. 따라서 본 연구에서는 속도프로파일 결정알고리즘은 정적속도프로파일(MRSP: Most Restrictive Speed Profile) 계산의 효율을 위해 전처리 기반 속도프로파일 결정 알고리즘을 제안한다. 전처리 기반 속도프로파일 결정 알고리즘은 속도프로파일 계산의 입력으로 필요한 선로와 열차의 영구적인 속도제한을 사전에 미리 계산하여 계산의 효율을 높일 수 있다.

제안된 간격제어 알고리즘을 O-notation으로 분석하였고 시스템 성능 검증을 위해 제안된 ATP를 포함한 무선통신기반 열차제어시스템 시뮬레이터를 제작하였으며 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘을 평가하였다.

2. 무선통신기반 열차제어시스템 구성

무선통신기반 열차제어시스템의 구성은 Fig.1과 같이 크게 차상시스템(Onboard System)과 지상시스템(Wayside System)으로 구성된다[4-5]. 차상시스템은 다시 차상 ATP(Onboard ATP), ATO(Automatic Train Operation), DCN(Data Communication Network) Radio, PSM(Precision Stop Marker), TAG Reader로 구성된다. 차상 ATP는 지상 ATP(wayside ATP)와 더불어 열차번호 기능을 수행하며 ATO는 ATP의 감시 하에 자동운전기능을 수행한다. DCN Radio는 양방향 무선 데이터 통신기능을 수행하며 PSM과 TAG Reader는 각각 정위치 정차 및 열차 위치보정을 위한 PSM sensor, TAG 리더기이다.

지상 시스템은 ATS(Automatic Train Supervision), EI(Electronic Interlocking), 지상 ATP, DCN Radio, PSM Sensor, TAG로 구성된다. ATS는 전체 관할 노선에 운행되고 있는 모든 열차의 감시를 수행하며 EI는 열차의 진로를 결정한다. 지상 ATP는 제어 가능한 열차의 편성 수에 따라서 하나 이상으로 구성될 수 있으며 인접 ATP 간 핸드오버를 통해 끊임없는 열차 운행이 가능하다.

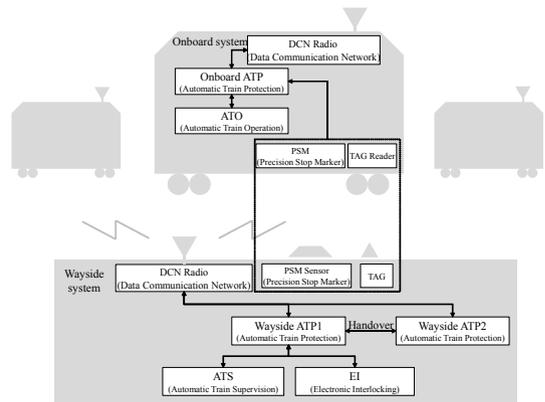


Fig. 1. System configuration of radio-based train control system

3. ATP 열차간격제어 알고리즘

3.1 ATP 간격제어 기능

Fig. 2는 제안된 ATP 열차 간격제어 기능블록을 보여준다. 차상 ATP는 열차의 안전한 간격제어를 위해 주행 거리계(Odometer)와 Tag reader를 통해 자신의 위치를

계산한다. 열차의 위치는 기본적으로 주행거리계에 의존하며 주행에 따른 누적 오차를 보정하기 위해 절대위치를 나타내는 Tag를 읽음으로써 계산한다. 즉 가장 최근 읽은 Tag의 ID와 해당 Tag로부터 이동한 거리를 관할영역의 지상 ATP에 주기적으로 보고한다.

지상 ATP는 관할영역내 열차의 위치를 결정하고 해당 열차에 MA를 부여한다. MA를 결정하기 위해서는 선행열차의 위치, 안전한 진로의 한계, ATS에서 설정한 방호구간을 토대로 가장 제한적인 한계로 결정한다. 또한 지상 ATP는 가장제한적인 MRSP를 결정하여 MA와 함께 주기적으로 차상 ATP에 제공한다.

MRSP 계산을 위한 입력은 노선의 영구 선로속도제한(PISL: Permanent Infrastructure Speed Limit), ATS에서 명령한 임시 선로속도제한(TISL: Temporary Infrastructure Speed Limit), 열차의 최고속도를 의미하는 영구속도제한(PTSL: Permanent Train Speed Limit), 열차의 고장 또는 운전모드로 인한 임시속도제한(TTSL: Temporary Train Speed Limit), 열차의 길이(TL: Train Length)와 MA이다.

차상 ATP는 MA와 MRSP 넘지 않는 동적속도프로파일(DSP: Dynamic Speed Profile)을 생성한다. 열차는 생성된 DSP에 준하여 주행하며 현재위치에서의 허용속도를 결정하고 열차의 현재속도가 이를 초과하는지 감시하고 필요시 열차의 추진제어 장치에 제동 명령을 내린다.

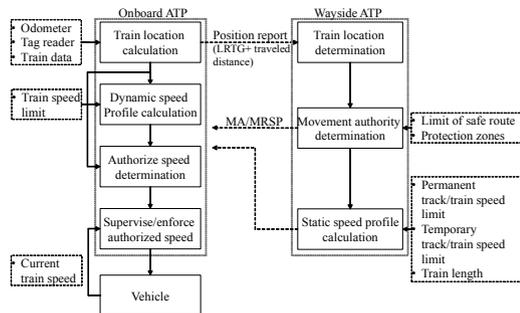


Fig. 2. ATP train interval control functions

3.2 속도프로파일 계산 알고리즘

제한된 MRSP 계산과정은 Fig. 3과 같다. 우선 영구 속도제한에 해당하는 PISL과 PTSL의 입력을 가지고 영구속도제한(PSL: Permanent Speed Limits)을 생성한다. 이를 위해 PISL의 선로구간에 대한 제한속도 중에서 TL

보다 작은 특정 형태의 속도구간을 필터링하여 제거한다. 이후 제거된 각 구간의 제한속도에 TL 만큼 연장한다. PTSL의 속도제한과 비교하여 선로구간에서 가장 낮은 속도제한을 가지는 속도프로파일을 택한다. N개의 선로구간에 대한 PSL은 식(1)과 같이 계산한다.

$$PSL = \sum_{k=1}^N [f(PISL(k)) \cup TL \cup PTSL(k)] \quad (1)$$

여기서 k는 k번째 선로구간을 의미하고 f는 TL보다 작은 속도구간을 필터링하여 제거하는 연산, ∪는 TL 만큼의 속도프로파일을 이어붙이는 연산, ∩는 가장 제한적인 속도프로파일을 택하는 연산을 의미한다. PSL은 사전에 지상 ATP에서 DB형태로 미리 계산이 가능하다.

임시 속도제한(TSL: Temporary Speed Limit)인 TISL과 TTSL이 존재하지 않은 일반적인 운영상황에서는 PSL이 그대로 MRSP로 출력 가능하기 때문에 추가적인 연산이 불필요하다. 만약 TISL과 TTSL 모두 존재하는 경우 TISL의 각 속도 구간에 TL 길이만큼 연장한 후 TTSL, PSL과 비교하여 가장 낮은 속도제한을 선택하여 MRSP를 계산한다. N개의 선로구간에 대한 MRSP는 식 (2)와 같이 계산한다.

$$MRSP = f\left(\sum_{k=1}^N (PSL(k) \cup TISL(k)) \cup TL \cup TTSL(k)\right) = f\left(\sum_{k=1}^N ((f(PISL(k)) \cup TL \cup PTSL(k)) \cup TISL(k)) \cup TL \cup TTSL(k)\right) \quad (2)$$

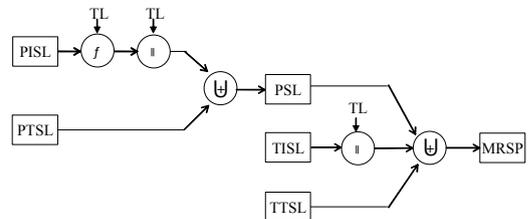


Fig. 3. Most restrictive speed profile calculation

속도프로파일을 TL과 비교하여 필터링하는 이유는 안전측면에서 열차가 낮은 속도구간에서 높은 속도구간으로 주행할 때 열차의 후미부가 완전히 낮은 속도구간을 통과하기 전까지 열차의 증속을 막아야하기 때문이다. Fig. 4와 같이 붉은 색으로 표시된 비교 대상인 속도구간은 Fig. 4(a) 내림계단형태, Fig. 4(b) 오름계단형태, Fig. 4(c) concave 요철형태, 마지막으로 Fig. 4(d)와 같은 convex 요철형태로 구분될 수 있다. 이때 TL 만큼 모든 속도구간을 연장하는 경우 Fig 4(d)와 같은 속도구간은 완전히 사라지게 되므로 사전에 TL보다 작은 convex

요철형태의 속도구간을 제거한다. 이때 이전 속도구간을 연장하여 Fig 4(e)와 같은 속도프로파일을 생성한다.

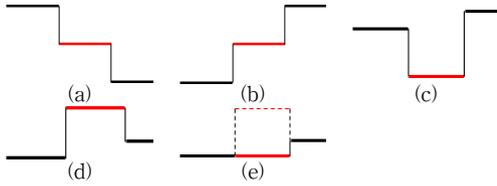


Fig. 4. Shapes of SSP and a filtered out shape (a) down stair form (b) upstairs form (c) concave form (d) convex form (e) filtered out form

Fig. 5는 제안된 알고리즘을 기반으로 7개의 선로구간에 대한 MRSP를 계산하는 과정을 보여준다. MRSP의 계산은 지상 ATP에서 차상 ATP로 주기적으로 반복해서 이루어지며 1회 계산 구간은 열차가 가장최근 위치 보고에 사용한 Tag로부터 지상 ATP가 새롭게 계산한 해당열차의 MA까지의 선로구간이다. Fig. 5(a)는 최초의 PISL 상태를 보여준다. Fig. 5(b)는 TL보다 작은 convex 요철형태의 속도구간을 제거한 결과를 보여준다. 그림에서 sec#2와 sec#4에 해당하는 선로구간이 convex 요철형태이고 TL보다 작기 때문에 이전구간의 속도제한을 갖는다. 따라서 이러한 전처리를 통해 불필요한 계산을 줄일 수 있다. Fig. 5(c)는 각 선로구간의 속도제한을 TL 만큼 연장한 결과를 보여준다. TL 만큼 속도제한을 연장하는 것은 낮은 속도제한구간에서 높은 속도제한구간으로 진입하는 경우, 즉 오름계단 형태에 해당하므로 오름계단 형태인지 사전에 비교하여 선택적으로 해당구간에 TL만큼 연장할 수도 있다. Fig. 5(d)는 PTSL을 반영하여 가장 낮은 연구속도제한을 선택한 결과이다. Fig. 5(e)는 TISL이 설정된 상태에서 속도제한을 TL 만큼 연장한 결과를 보여준다. Fig. 5(f)는 TL만큼 연장된 TISL을 반영하여 가장 낮은 제한속도를 선택함으로써 MRSP를 계산한 결과를 보여준다. TISL와 TTSL의 경우 운영중인 선로상에 특정 이벤트가 발생한 경우에 한하여 MRSP 계산에 반영되므로 일반적인 상황에서는 Fig. 5(d)와 같은 PSL이 곧 MRSP로 간주할 수 있다. 또한 PSL은 TL을 반영한 PISL과 PTSL이므로 사전에 계산하여 DB형태로 저장이 가능하다. 따라서 주행중인 열차의 위치보고에 따라 해당열차의 새롭게 계산된 MA까지의 PSL을 전달함으로써 지상 ATP의 계산시간을 줄일 수 있다.

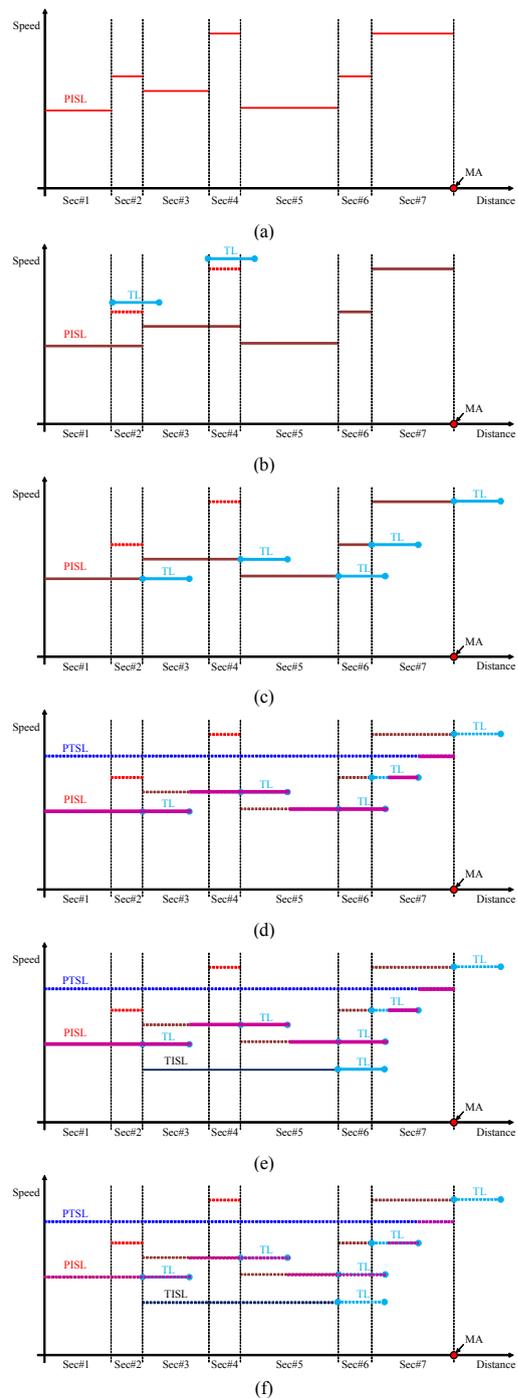


Fig. 5. Calculation of MRSP (a) Initial PISL (b) Filter out convex shape speed limit (c) Extend speed limit as TL (d) Select lower speed limits(PSL) (e) Extend TISL as TL (f) Select lower speed limit(MRSP)

차상 ATP는 지상 ATP로부터 수신된 MA와 MRSP를 기준으로 DSP를 생성한다. Fig 6.과 같이 DSP는 열차가 주행중 MRSP를 초과하지 않도록 열차의 제동곡선을 반영하여 MRSP의 구간인 MA부터 LRTG(Last Relevant TAG Group)까지 열차의 주행방향과 역방향으로 계산한다. 제안된 알고리즘에서 DSP는 EB(Emergency Braking), FSB(Full Service Braking), Warning으로 구성되며 열차의 속도가 EB 프로파일을 초과하면 비상제동을 체결하고, FSB를 초과하면 전상용 제동을, Warning을 초과하면 경고음이 출력된다.

Fig. 6은 DSP의 계산을 보여준다. DSP는 속도계산의 오차를 고려하여 EB, FSB, Warning 프로파일은 각각 5km/h 속도차이를 갖도록 설계하였다. 제동곡선은 일반적으로 역방향으로 계산한다. 즉, 열차의 이동권한의 위치에서 시작하여 LRTG 방향으로 진행된다. 제동거리 S(m)는 식(3)과 같이 계산한다.

$$S = \left[\frac{V_0}{3.6}t + \frac{V_0^2 - V_1^2}{7.2 \times (\beta + R_g)} \right] \quad (3)$$

여기서 V_0 은 초기속도(km/h), V_1 은 나중속도(km/h), β 는 감속도(km/h/s), R_g 는 구배저항(Kg/Ton)을 의미한다.

DSP에서 구배는 각각의 선로 구간마다 다른 구배 값을 가지며 이를 실시간으로 정확하게 반영하기가 어렵기 때문에 평균구배를 사용한다. 하 구배에서 연산 오차로 인하여 실제 구배 값 보다 작은 경우 선행열차와 추돌의 위험이 발생할 수 있기 때문에 만일에 생길 오차를 대비하여 20%의 마진 값이 포함되어 연산된다[10-11]. n개의 선로구간에 걸쳐 존재하는 구배의 평균 G(%)는 식(4)와 같이 계산이 가능하다.

$$G = \frac{\sum_{i=1}^n (s(i)g(i))}{\sum_{i=1}^n s(i)} \quad (4)$$

여기서 s 는 구간거리(m), g 는 구간의 구배(%)를 의미한다.

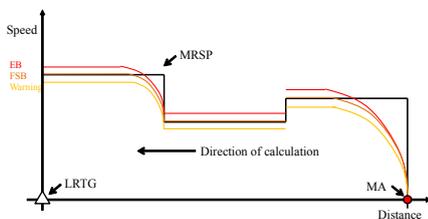


Fig. 6. Calculation of dynamic speed profile

4. 분석 및 실험

4.1 알고리즘 분석

제안된 MRSP 계산 알고리즘의 시간 복잡도를 분석한다. 전체노선에 대한 속도구간에 대해 사전에 PSL을 계산하여 DB 형태로 가지고 있다고 가정한다. LRTG부터 MA까지 n 개의 속도구간이 존재하고 임시속도 제한이 발생될 때 m 개의 속도구간에 대한 MRSP를 다시 계산해야 한다. 하지만 m 의 크기는 n 과 연관이 없으며 $m \ll n$ 이므로 m 은 상수로 간주할 수 있다. 따라서 제안된 MRSP의 시간 복잡도는 $O(1)$ 으로 표현할 수 있다. 마찬가지로 기존의 MRSP 계산 알고리즘의 경우 $O(n)$ 으로 표현이 가능하다. 결과적으로 제안된 알고리즘을 통해 MRSP 계산의 시간 복잡도를 기존의 $O(n)$ 에서 $O(1)$ 으로 단축할 수 있다.

4.2 ATP 간격제어 시뮬레이션

제안된 열차간격제어 알고리즘에 대한 기능과 성능을 검증하기위해 Fig. 7과 같이 시뮬레이터를 구성하였다. 시뮬레이터는 EI simulation PC, wayside ATP simulation PC, ATS simulation PC, onboard ATP/ATO simulation PC와 같이 4대의 PC로 구성하였다. 각각의 PC는 데이터 송수신을 위해 서로 이더넷 통신을 한다. 모니터에는 각각 노선의 상태정보와 차량의 상태정보를 디스플레이 한다.

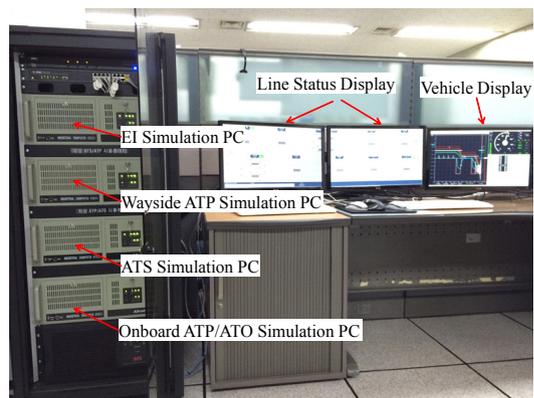


Fig. 7. ATP Simulator

Fig. 8은 ATP 시뮬레이터의 모듈 구조를 보여준다. Process control manager는 전체 시뮬레이션 모듈 프로세스의 실행과 종료, 상태감시를 담당한다. MMI control

은 제어 콘솔의 사용자 입력을 담당하며, 모든 시물레이터 정보에 대한 데이터를 저장하고 관리한다. Process control manager와 ATS, wayside ATP, onboard ATP/ATO simulator와 통신을 위해 각각 wayside/onboard control interface 모듈을 구성하였다.

모의환경에 대한 구성은 Table 1과 같다. 노선은 양방향 운행이 가능한 double-tracked line으로 구성하였으며 전체 노선의 길이는 56.8km, 역사는 10개의 역사로 구성하였다. 열차의 운행최고속도는 80km/h이고 길이는 200m, 가속도 3.0km/h/sec, 전상용감속도는 -3.5km/h/sec, 비상제동 감속도는 -4.5km/h/sec이다.

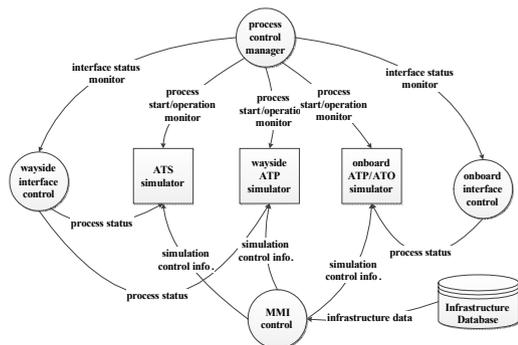


Fig. 8. ATP Simulator module structure

Table 1. Simulation environment properties

Division	Properties
Type of track line	double-tracked line
Number of station	10
Total track length	56.8 [km]
Maximum train operation speed	80 [km/h]
Train length	200 [m]
Maximum acceleration rate	3.0 [km/h/sec]
Maximum deceleration rate	-3.5 [km/h/sec]
Emergency deceleration rate	-4.5 [km/h/sec]

Fig.9는 1편성 열차 운행에 대한 시물레이션 화면을 보여준다. Fig. 9(a)는 시물레이터의 노선에 대한 화면이다. 열차가 노선의 양 종단에서 회차가 가능하도록 선로를 구성하였고 2대의 지상 ATP가 5개의 역에 해당하는 노선을 관할하도록 2개의 zone으로 구성하였다. 열차 위치보정을 위한 TAG 그룹은 전 노선에 걸쳐 200m 동일 간격으로 구성하였다. 열차는 파란색 도형으로 표현되며 열차의 전두부로부터 시작되는 녹색 선은 열차가 지상 ATP로부터 부여받은 이동권한을 나타낸다. 이동권한은 한 번에 최대 1.5km까지 확보가 가능하며 이동권한 내

에 ATS의 방호구간 설정이 이루어진다면 축소도 가능하다. Fig. 9(b)는 해당 열차에 대한 시물레이션 화면을 보여준다. ①은 열차의 속도프로파일을 보여주며 곡선 a는 노치(notch) 값을 보여주며 b, c, d는 각각 동적속도 프로파일의 EB, FSB, warning에 해당하는 속도프로파일을 나타낸다. e는 열차의 목표속도이며 g는 실제열차의 속도를 나타낸다. ②는 속도계 및 이동권한이 표현되는 운전자 화면으로서 i는 남아있는 이동권한을 보여주며 j는 열차의 현재속도를 나타낸다. ③은 열차의 노치 값과 ATP 상태정보를 보여준다.

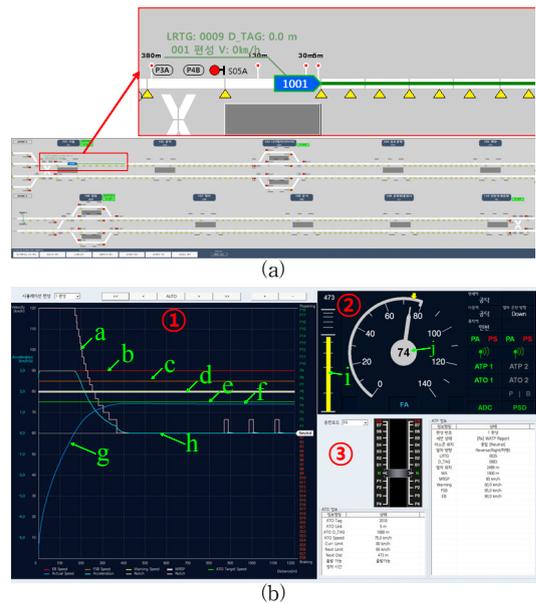


Fig. 9. Simulator display
(a) Line status display (b) Train status display

Fig. 10은 ATS에서 어떤 구간에 임시속도(30km/h) 명령이 내려졌을 경우 열차가 해당 임시속도 이하로 감속해서 운행하는 결과를 보여준다. Fig. 10(a)는 주황색의 임시속도 구간을 1001번 열차가 진입하는 노선상태 화면을 보여준다. Fig. 10(b)는 임시속도 이하로 1001번 열차가 감속하여 진입하는 과정에 대한 속도프로파일을 보여준다. 실제 열차는 목표속도 25km/h에 준하여 운행하고 있음을 볼 수 있다. 또한 간격제어를 위해 1005번 후행열차는 선행열차가 임시속도에 맞추어 속도를 감속하는 동안 충분한 이동권한을 확보하지 못해 이동권한이 감소되었음을 볼 수 있다.

Fig. 11은 ATS에서 방호구간을 설정하였을 때 선행

열차가 방호구간 앞에서 정차하고 후행열차 또한 선행열차의 뒤에서 안전하게 정차하였음을 보여준다. Fig. 11(a)는 붉은색의 방호구간 영역 전에 1003번 선행열차와 1005번 후행열차가 안전하게 정차하였음을 보여준다. Fig. 11(b)는 1003번 선행열차에 대한 속도프로파일 및 속도계 화면을 보여준다. 선행열차는 방호구간 시점 앞에서 정차하기 위해 자신의 동적속도프로파일과 목표 속도 프로파일을 계산하고 해당 속도프로파일을 준수하기 위해 가감속을 반복하였음을 알 수 있다. 결과적으로 선행열차는 방호구간의 시점인 4,600m 지점 전에 정차하였음을 확인할 수 있다. 마찬가지로 Fig. 11(c)는 1005번 후행열차의 속도프로파일 및 속도계 화면을 보여준다. 후행열차는 열차길이 200m 및 안전마진을 고려하여 약 4,400m 지점 전에 정차하였음을 확인할 수 있다.

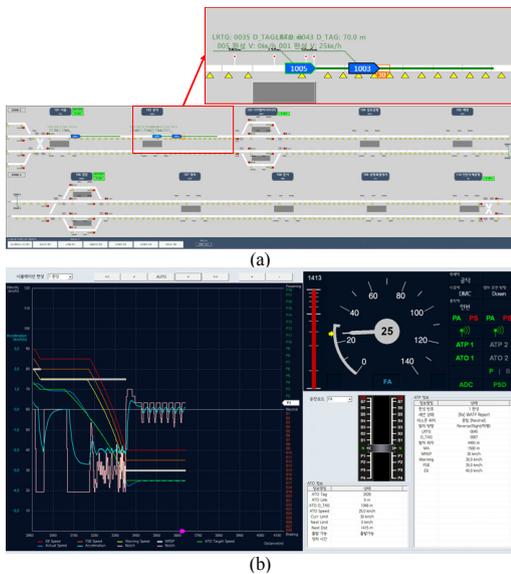


Fig. 10. Simulation result for temporary speed restriction
(a) Line status for temporary speed restriction
(b) Train status for temporary speed restriction

5. 결론

본 논문은 무선통신기반 열차제어시스템에서 안전한 열차간격제어를 위한 ATP 열차간격제어 알고리즘과 전처리 기반 속도프로파일 계산알고리즘을 제안하였다. 특히 속도프로파일 계산의 효율을 위해 선로와 열차의 영구적인 속도제한을 사전에 미리 계산하여 계산의 효율을

높일 수 있는 전처리 기반 속도프로파일 계산 알고리즘을 제안하였다.

제안된 간격제어 알고리즘의 시간 복잡도를 O-notation으로 분석하였으며 시스템 성능 검증을 위해 제안된 ATP를 포함한 무선통신기반 열차제어시스템 시뮬레이터를 제작하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 열차의 이동권한과 정적 및 동적 속도프로파일을 실시간으로 갱신함으로써 임시속도제한 및 방호구간의 설정 등과 같은 여러 가지 운영상황의 변화에도 선행열차와 후행열차 간에 안전한 간격제어가 이루어졌음을 확인하였다. 제안된 속도프로파일 계산알고리즘은 무선통신기반 열차제어시스템의 간격제어 성능향상에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

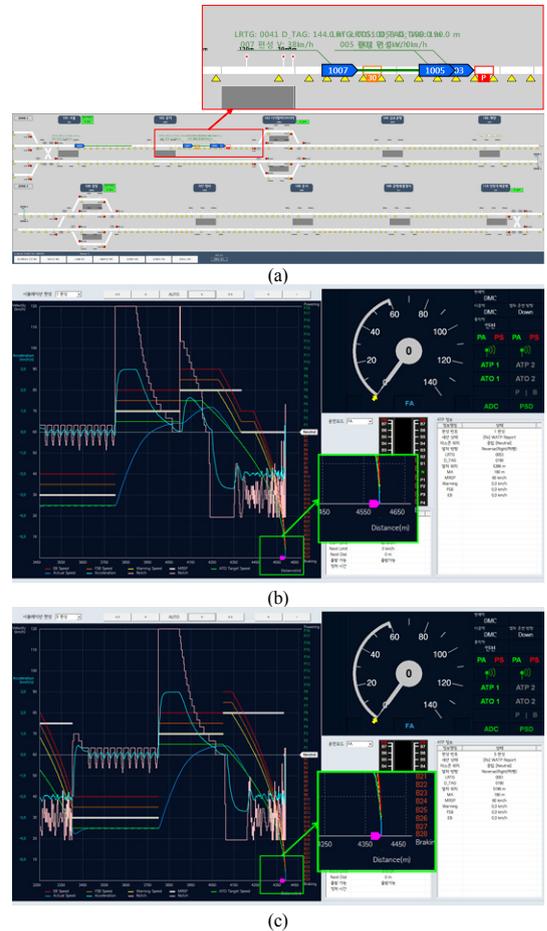


Fig. 11. Simulation result for temporary speed restriction
(a) Line status for protection zone (b) Train status display for preceding train (c) Train status for following train

References

- [1] Yoon, Yong-Ki, et al. "Development of ATP Train Separation Control Simulator for Radio-based Train Control System." Journal of the Korean society for railway 15.1 29-36, (2012).
- [2] Quan, Zhong-Hua, et al. "Modeling for CBTC car-borne ATP/ATO functions and its applications." SICE Annual Conference (SICE), 2011 Proceedings of. IEEE, 2011.
- [3] Kaixia, Dong, Liu Xiaojuan, and Zhu Yunyan. "Simulation Study of ATP Subsystem of CBTC System in Urban Mass Transit [J]." Railway Signalling & Communication 4 (2011): 004.
- [4] Oh, Sehchan, et al. "Design of ATP functions and communication interface specifications for Korean Radio-based Train Control System." Control, Automation and Systems (ICCAS), 2013 13th International Conference on. IEEE, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/iccas.2013.6704161>
- [5] Oh, Sehchan, et al. "ATP functional allocation for Korean radio based train control system." Control, Automation and Systems (ICCAS), 2012 12th International Conference on. IEEE, 2012.
- [6] Oh, Sehchan, Yongki Yoon, and Jonghyen Baek. "Development of Wireless Communication based Train Separation Control Simulator." Conference of Korean Society for Railway. 2011.
- [7] Xiangqi, Kong, et al. "Design and Implementation of ATS and ATP/ATO Interface in Chongqing Light Metro Line 3." Railway Signalling & Communication (2013): S1.
- [8] IEEE 1474.1 IEEE Standard for Communication -Based Train Control(CBTC) Performance and Functional Requirements.
- [9] IEEE 1474.3 IEEE Recommended Practice for Communication-Based Train Control(CBTC) System Design and Functional Allocations.
- [10] Vincze, Bela, and Geza Tarnai. "Development and analysis of train brake curve calculation methods with complex simulation." Advances in Electrical and Electronic Engineering 5.1-2 174-177, 2011.
- [11] Barney, David, David Haley, and George Nikandros. "Calculating train braking distance." Proceedings of the Sixth Australian workshop on Safety critical systems and software-Volume 3. Australian Computer Society, Inc., 2001.

오 세 찬(Sehchan Oh)

[정회원]



- 2004년 8월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
- 2013년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 컴퓨터 공학 박사과정
- 2004년 11월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 광역도시철도시스템연구실 선임연구원

<관심분야>

Modular TCS, DTO/UTO 설계

김 경 희(Kyunghee Kim)

[정회원]



- 1999년 8월 : 전북대학교 공과대학원 산업공학과 (산업공학석사)
- 2006년 2월 : 전북대학교 공과대학원 산업공학과 (산업공학박사)
- 2006년 2월 ~ 2007년 8월 : 동부 CNI RFID파트 과장
- 2007년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

최적화, 정보통신

김 민 수(Minsoo Kim)

[정회원]



- 1997년 2월 : 숭실대학교 공과대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2003년 8월 : 숭실대학교 공과대학원 전기공학과 (공학박사)
- 2004년 2월 ~ 2005년 11월 : 세종대학교 연구교수
- 2005년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원

<관심분야>

철도제동, 열차제어