

차상중심 열차제어시스템 실용화를 위한 트램 우선신호 전략 연구

A Study on a Tram Signal Priority Strategy for Commercialization of the On-Board Oriented Train Control System

백 종 현[†] · 성 유 석^{*} · 김 건 엽^{*} · 최 현 영^{*}
(Jong-Hyen Baek · Yu-Suk Sung · Gonyop Kim · Hyeon Yeong Choi)

Abstract - For efficient and economical train operation in low-density railway line, on-board oriented train control system, which reduces expensive wayside equipment, is being developed. In this paper, we discuss a tram signal priority strategy which enables efficient and safe train operation when the developing system is applied to train-tram railway environment. Based on the well-known transit signal priority strategies, we develop a tram signal priority algorithm and conduct simulations by using model-based systems engineering (MBSE) tool. Various considerations such as operation procedure, linkage to existing road traffic system, applicability with respect to crossroad types, and so on, are also dealt with.

Key Words : Transit signal priority, On-board oriented train control, Tram

1. 서 론

국내 철도 저밀도 지선 구간에서 고가의 지상 신호제어장치 운용에 따른 비효율성을 해결하기 위해 차상중심 열차제어시스템 개발 및 현장시험이 진행 중이다[1-6]. 기존 열차제어시스템이 관제센터와 지상 설비를 통해 선로변 시설물을 제어하는 반면, 차상중심 열차제어시스템은 차상 장치에서 직접 선로변 시설물을 제어함으로써 열차 운용의 효율성을 증대시킬 수 있다. 이러한 차상중심 열차제어시스템은 일반철도 지선 구간뿐만 아니라, 트램 운행 구간 또는 일반철도와 트램이 연계되는 트레인-트램 등 다양한 철도 환경에 적용가능 할 것으로 기대된다.

한편, 최근 친환경 신호통신수단으로서 국내에서도 다시 주목받고 있는 트램은 도로교통과 철도교통의 장점을 흡수하여 현대적으로 재해석함으로써 계속해서 증가하는 도심의 교통정체와 대중교통 이용률의 정체 문제를 해결하려고 한다[7]. 이와 함께 기존 신호운영 체계에서 트램을 효율적으로 운영하기 위한 다양한 우선신호 전략에 관한 연구가 진행되고 있다[7-11].

트레인-트램(Train-Tram) 시스템은 도심 내에서는 트램과 같은 기능을 하며, 도심외곽에서는 일반 트레인과 같은 기능을 동시에 수행하는 차량으로 무환승으로 이웃한 도시를 편리하게 갈 수 있는 철도 시스템이다[12]. 차상중심 열차제어시스템을 이러한 트레인-트램 철도 환경에 적용하는 경우 제어 방안을 표 1에

도출하였다. 여기서 '트레인' 구간은 열차집중제어장치(Centralized Traffic Control; CTC)의 제어를 받는 일반철도, '트램' 구간은 차상중심 열차제어시스템이 적용된 트램 구간을 가정한다. 본 논문에서는 차상중심 열차제어시스템을 트레인-트램 철도 환경에 적용하는 경우 트램의 효율적인 신호운영 및 안정성 확보를 위한 우선신호 전략에 관하여 논의한다.

2. 대중교통 및 트램 우선신호 전략

2.1 대중교통 우선신호 전략

1960년대 유럽에서 최초로 대중교통 우선신호를 적용한 이래 우선신호의 제공방법과 관련한 다양한 기법들이 개발되어왔다[8]. 우선신호는 대중교통 차량에 추가적인 녹색시간을 제공하는 방식에 따라 크게 우대신호(Preemption)와 우선신호(Priority)로 구분된다. 우대신호는 정상현시를 강제로 종료하여 대중교통에 신호교차로의 통행우선권을 주기 위한 대중교통 우선처리 신호제어 전략으로, 대중교통 현시를 우선적으로 제공하기 위해 일반적으로 우선신호보다 강제적인 방법을 이용한다.

우선신호는 정상적인 신호운영 상황을 고려하여 대중교통에 신호교차로의 통행우선권을 주기 위한 대중교통 우선처리 신호제어 전략으로, 능동형 우선신호(Active Signal Priority)와 고정형 우선신호(Passive Signal Priority)로 나누어진다. 고정형 우선신호는 대중교통의 운영패턴을 이용하여 대중교통에 유리한 신호시간을 고정적으로 적용하는 방식이다. 능동형 우선신호는 대중교통 검지 시에만 우선신호를 요청하여 대중교통에 유리한 신호시간을 일시적으로 적용하는 방식으로 녹색신호 조기시작(Early

[†] Corresponding Author : Korea Railroad Research Institute, Korea

E-mail : jhbaek@krii.re.kr

^{*} Korea Railroad Research Institute, Korea

Received : June 1, 2015; Accepted : September 9, 2015

표 1 트레인-트램 제어 방안

Table 1 Train-tram control scheme

요구사항	
1	'트레인' 구간의 CTC와 '트램' 구간의 지역제어센터는 연계를 위한 인터페이스를 제공한다.
2	'트레인' 구간의 CTC와 '트램's 구간의 지역제어센터 연계 시 열차제어 권한이 유연하게 넘어가야 한다.
3	'트램' 구간의 지역제어센터와 '트레인' 구간의 CTC 제어 권한이 중첩된 영역을 제공한다.
4	'트레인' 구간에서 '트램' 구간 진입 시 스케줄 조정 기능을 제공한다.
5	'트램' 구간에서 '트레인' 구간 진출 시 스케줄 조정 기능을 제공한다.
6	'트램'의 도로 주행 시 다른 도로교통 수단과 상충되지 않도록 노선을 구성한다.
7	'트램'의 도로 주행 시 다른 도로교통 수단보다 높은 우선순위를 제공한다.
8	'트램' 기관사가 실수로 정차역을 지나치지 않도록 태그를 설치하여 트램을 정차역에 정차시키는 기능을 제공한다.
9	'트램'이 교차로에 근접하였을 때, 우선신호를 요청할 수 있는 기능을 제공한다.
10	'트램'이 교차로에 근접하여 우선신호 승인을 받으면, 교차로에 정차 없이 통과할 수 있는 기능을 제공한다.
11	'트램'이 교차로에 근접하여도 우선신호 승인을 받지 못하면, 교차로에 반드시 정차할 수 있는 기능을 제공한다.
12	'트램' 구간을 셔틀 운행할 수 있는 기능을 제공한다.
13	'트램' 구간을 셔틀 운행하는 차량을 위한 기지를 제공한다.
14	기지 내 운행을 위한 기지 운행모드를 제공한다.
15	차상중심 열차제어시스템의 비상시 대처 방안을 제공한다.

Green), 녹색신호 연장(Green Extension), 좌회전 감응현시 (Actuated Transit Phase), 현시삽입(Phase Insertion), 현시순서 변경(Phase Rotation), 현시생략(Phase Suppression) 등이 있다.

Early Green은 그림 1에 보듯이 대중교통이 적색시간 동안에 도착하였을 경우, 현시를 정상상태 보다 일찍 시작하는 방법이다. Green Extension은 대중교통이 녹색시간 종료 전 까지 교차로를

통과하는 것이 불가능한 경우 현시를 일부 연장하는 방법으로 그림 2에 나타나있다. Green Extension 기법은 적색시간 만큼 통행시간 감소가 발생하여 Early Green 대비 지체 개선 효과가 우수하나 발생가능 시간대가 Early Green 대비 짧아 발생빈도는 상대적으로 낮다. 이와는 반대로 Early Green은 대중교통 현시가 적색인 경우 언제든지 구동이 가능하다는 특징이 있다[8].

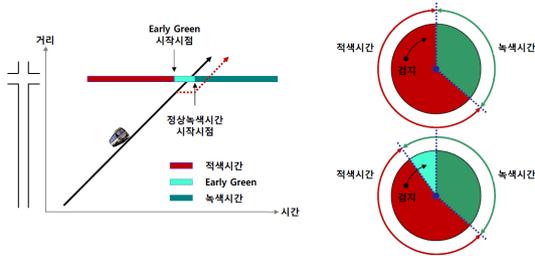


그림 1 녹색신호 조기사작 전략

Fig. 1 Early green strategy

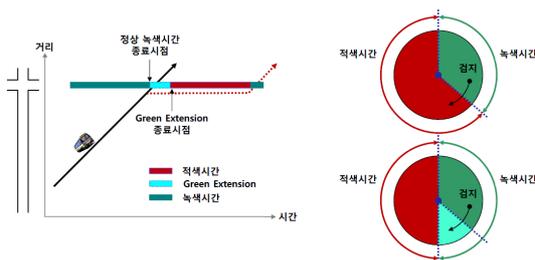


그림 2 녹색신호 연장 전략

Fig. 2 Green extension strategy

2.2 트램 우선신호 사례

현재 세계 각 도시들에서 운영 중인 대부분의 트램 시스템은 대중교통 우선정책에 따라 트램에 교차로 통행 우선권을 부여하는 우선신호 형태로 신호운행을 수행하고 있다.

각 도시의 주요 간선도로에서 운영되고 있는 트램의 우선신호는 크게 고정식 우선신호 제어, 능동식 우선신호 제어, 실시간 신호제어 시스템으로 나눌 수 있다. 표 2의 해외 트램 우선신호 사례에서 알 수 있듯이 우선신호 전략으로 Early Green과 Green Extension 전략을 사용하고, 검지기는 교차로 100~200m 내외 위치에 설치하고 있다. 우선신호 적용 시 우선현시를 위해 비우선 현시로부터 가져오는 녹색시간 크기를 의미하는 우선신호 길이는 10초 내외를 적용하고 있다[8, 9].

3. 트레인-트램 우선신호 제공 알고리즘 설계

3.1 우선신호를 위한 운영절차 및 운행정보

트램 운영형태는 교차로 내 하나의 축에서만 트램 선로를 운영하는 싱글트램, 교차로 내에서 2개 이상의 축에 트램 선로를 운영하는 멀티트램으로 구분할 수 있으며, 동일 트램 선로에서

표 2 트레인-트램 제어 방안

Table 2 Train-tram control scheme

구분	도시	우선신호 전략	우선신호 길이	검지기 위치
TCRP 90	Los Angeles	Early Green / Green Extension	10 s	-
Sacramento-Watt avenue transit priority	Sacramento	Early Green / Green Extension	10 s	300~600 feet
Active transit signal priority for street cars	Toronto	Early Green / Green Extension	16~30 s	Within 100 meters
SCATS for tram signal	Melbourne	Early Green / Green Extension	Max. 20% of cycle	200 meters

운영하는 트램 노선 수에 따라 단일노선과 다중노선으로 구분할 수 있다. 본 연구에서는 그림 3, 4와 같이 단일노선/싱글트램과 단일노선/멀티트램 환경에서 우선신호 적용을 고려하였다.

트램은 도로 중앙에 위치한 트램전용차로에서만 운행하며 다른 도로교통수단보다 우선하는 것을 가정한다. 트램 우선신호는 도로교통 흐름의 방해를 최소화하도록 하며, 우선신호를 위한 신호 삽입 및 삭제는 허용하지 않는다. 트램 우선신호 적용을 위해서는 그림 5와 같이 지역 교통관제센터와 트램관제센터간 연계가 필요하며, 두 개의 센터 간에는 시간 동기화가 되어 있어야 한다. 이때 지역 교통관제센터는 관할 지역의 교통신호제어기만 관리하고, 교통정보는 연계하지만 개별 교통신호제어기의 정보는 연계하지 않는다. 트램 선로가 관할 구역을 넘어갈 경우를 대비해 트램관제센터는 교통신호제어기의 ID 정보를 가지고 있어야 한다. 트램관제센터는 트램 도착예정시간, 교차로 통과 소요시간, 노선 정보, 진행방향 정보, 위치정보 등의 트램 운행정보와 그 외의 교통신호 제어기 정보를 교통관제센터에 제공하도록 한다. 교통관제센터는 우선신호 적용을 위해 DB에 우선신호 계획 정보, 교통

신호제어기 DB정보, 교차로 앞막힘 검지정보, LSU 등기 정보, 트램관제센터 ID 등의 정보를 가지고 있어야 한다.

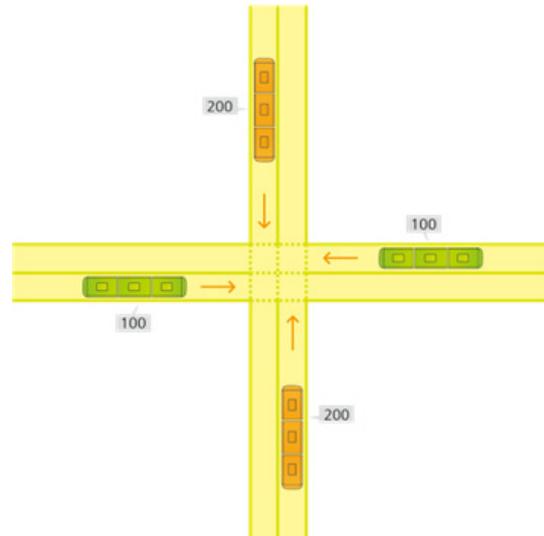


그림 4 단일노선/멀티트램
Fig. 4 Single line / Multiple tram

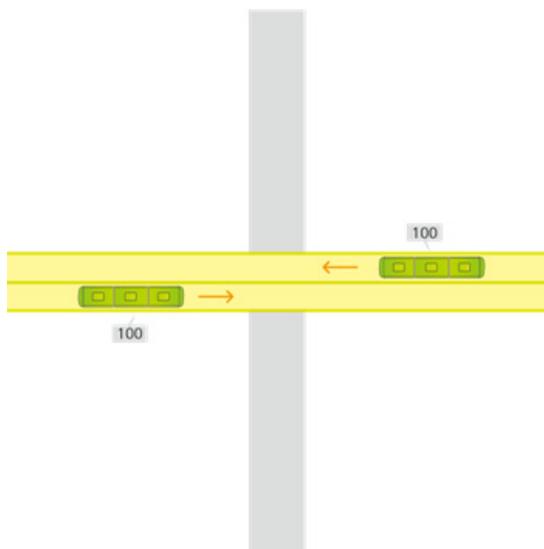


그림 3 단일노선/싱글트램
Fig. 3 Single line / Single tram

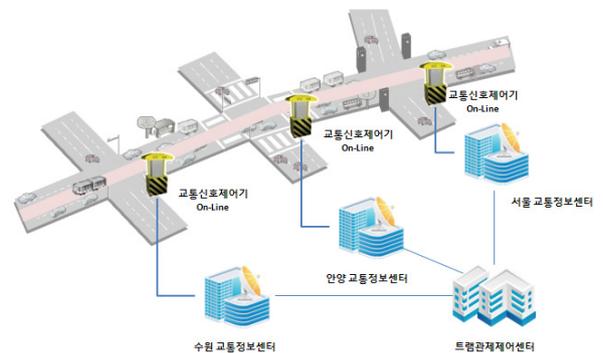


그림 5 지역 교통관제센터와 트램관제센터간 연계 예시
Fig. 5 Example of linkage between local traffic control centers and a tram control center

3.2. 교차로 상황에 따른 트램 우선신호 적용 가능성 검토

교차로 구조는 기존 도로교통 차량 교차로에 트램 노선이 중첩되는 복합교차로와 트램 노선이 도로교통 차량에 교차하여 생성되는 횡단교차로로 나누어 생각할 수 있으며, 횡단교차로의 경우 철도 건널목과 유사한 특성을 갖는다. 그림 6과 같은 복합교차로/싱글트램인 경우, 트램의 직진과 일반차량의 좌회전이 상충될 수 있다. 그림 7과 같이 트램의 좌회전이 가능한 복합교차로/멀티트램의 경우에는 트램 우회전 시 일반차량 직진과 상충된다. 그림 8은 횡단보도가 위치한 경우를 나타내는데, 보행자 우선신호 시 최소 녹색시간이 보장되어야 한다. 그림 9와 같은 횡단교차로 상황에서는 기본적으로 트램이 우선하도록 하고, 보행시간 종료 후 원활한 도로교통 흐름을 위해 차량의 최소 녹색시간을 보장한 후에 트램 우선신호를 적용한다.

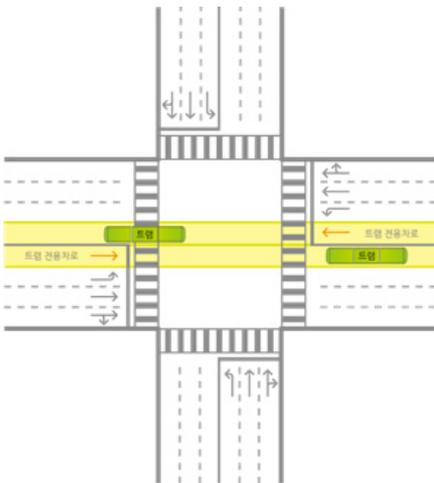


그림 6 복합교차로/싱글트램
Fig. 6 Mixed crossroad / Single tram

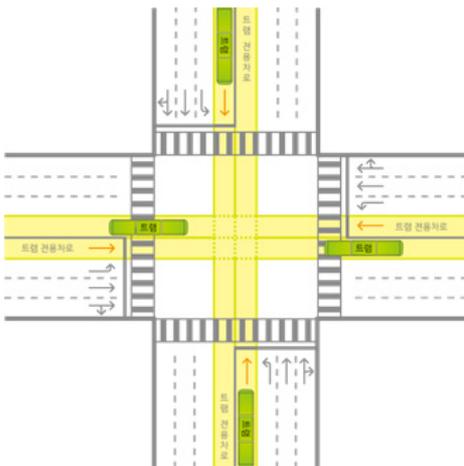


그림 7 복합교차로/멀티트램
Fig. 7 Mixed crossroad / Multiple tram

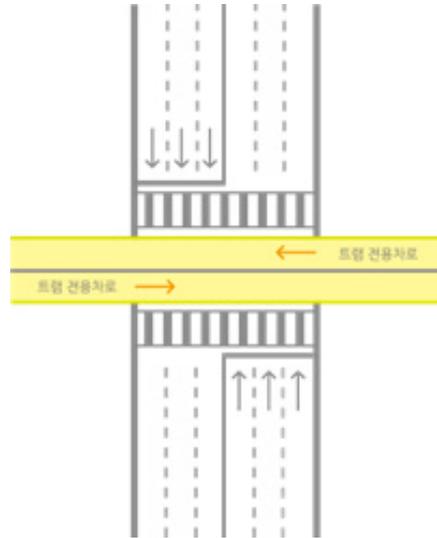


그림 8 횡단교차로/보행자 우선신호
Fig. 8 Traversal crossroad / Pedestrian signal priority

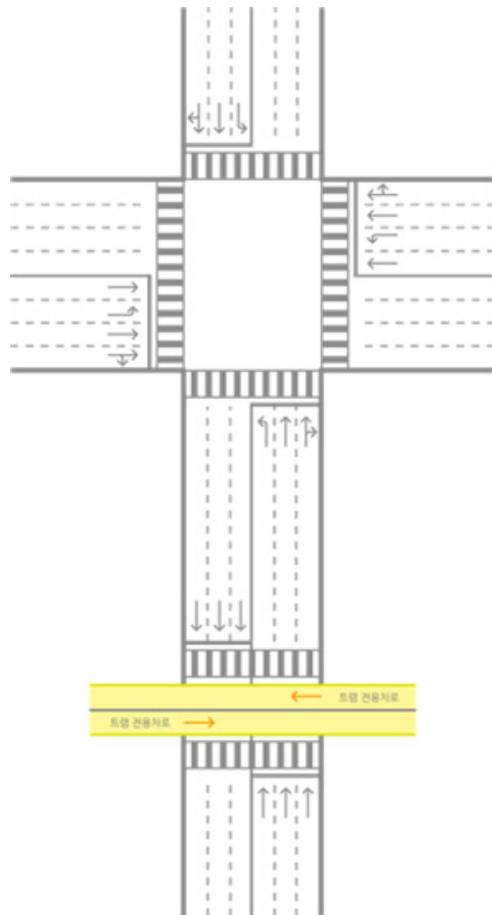


그림 9 복합교차로 인근 횡단교차로/보행자 우선신호
Fig. 9 Traversal crossroad adjacent to mixed crossroad / Pedestrian signal priority

3.3. 트램 우선신호 제어 과정

트램 우선신호 요청이 없는 경우 기존의 일반적인 신호시간계획 절차를 따른다[13]. 즉, 교통수요와 포화교통량 등을 확인한 후 소요현시율을 계산하는데, 이를 바탕으로 신호주기가 120초 이내가 되도록 현시체계와 황색시간을 결정한다. 보행자 횡단시간을 감안하여 녹색시간이 보행시간보다 작은 경우는 주기를 재결정하고, 보행시간보다 큰 경우 결정된 주기 및 현시를 적용, 운영한다.

트램 우선신호 요청 이벤트가 발생하면 교통량과 보행신호 동작을 확인하여 트램 우선신호 적용 여부를 결정한다. 교통량의 경우 포화도비 1 이상인 과포화 상태를 제외한 그 외의 근포화 상태(포화도비 0.8~1) 또는 한산 상태(포화도비 0.8 이하)인 경우에 한하여 트램 우선신호를 적용한다. 보행 우선신호 입력이 있는 경우는 보행자의 안전을 우선하도록 하여 트램 우선신호 적용을 위한 현시 조기종결이 불가능하므로 이를 제외한 경우에 우선신호 계획에 따라 Early Green, Green Extension, 또는 이 둘을 혼합한 알고리즘을 적용한다.

그림 10은 이러한 일련의 과정을 나타낸 흐름도이다.

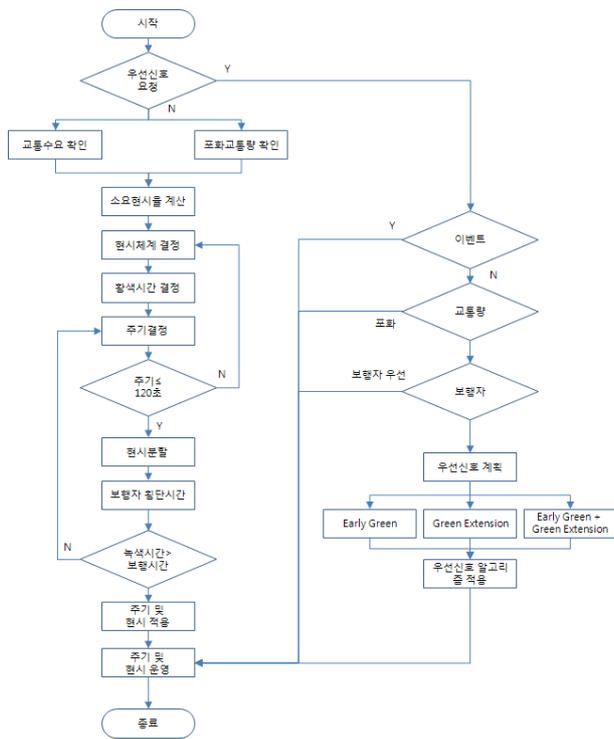


그림 10 트램 우선신호 제어 흐름도
Fig. 10 Flow chart of the tram signal priority

3.4. 트램 우선신호 알고리즘 도출

트램의 도착예정시간을 확인하여 현재 현시 및 이전 현시에 도착 가능하지 않다면 정상신호를 운영하고 이 신호에 따라 트램

이 운행하도록 한다.

만약 이전 현시에 트램이 도착 가능하다면 이전 현시를 조기종결하여 트램이 우선적으로 통과할 수 있도록 Early Green을 적용한다. 이때 이전 현시에 배정된 시간 중 최소녹색시간을 확보한 나머지 시간을 단축 가능한 가변스텝으로 두고, 이 안에서 적절한 단축 시간을 결정한다. 여기서는 가변스텝의 70%에 해당하는 시간을 고려하였다. 이러한 이전 현시 단축 시간과 다음 현시로의 신호변화에 따른 황색시간, 추가적인 여유시간 1초의 합이 트램 도착예정시간보다 큰 경우 Early Green을 적용하여 트램의 우선통행이 가능하도록 한다. 이를 수식으로 나타내면 (1)과 같다.

$$T_{arr,i} < 0.7 \times \Delta_{i-1} + Y + 1 \quad (1)$$

여기서 $T_{arr,i}$ 는 현시 i의 도착예정시간, Δ_{i-1} 은 현시 i-1의 가변스텝, Y는 황색시간이며 단위는 초로 나타낸다. 식 (1)이 만족하지 않는 경우는 트램의 감속 여부를 결정하도록 한다.

교차로를 통과중인 트램이 현재 현시 내에 완전히 통과하지 못하게 될 경우, 현재 현시의 녹색시간을 연장하여 트램이 통과할 수 있도록 Green Extension을 적용한다. 즉, 현재 현시의 종료시간이 트램의 도착예정시간과 교차로 통과예상시간, 추가적인 여유시간 1초의 합보다 작은 경우 트램 녹색시간을 연장하도록 한다. 이를 수식으로 나타내면 (2)와 같다.

$$T_{arr,i} + T_{pass,i} > T_{end,i} - 1 \quad (2)$$

여기서 $T_{pass,i}$ 는 현시 i의 통과예상시간, $T_{end,i}$ 는 현시 i의 현시종료시간이다.

이 때 녹색 연장시간은 적색시간 길이를 조정함으로써 결정하게 되는데, 여기서는 가변스텝 최솟값의 30%에 해당하는 시간으로 하였다. 단, 이 연장시간은 최대 10초를 넘지 않도록 하였는데, 이 조건은 식 (3)과 같다.

$$0.3 \times \Delta_{i,min} < 10 \quad (3)$$

트램 우선신호 요청으로 인하여 Early Green을 적용한 후, 트램이 이 현시 내에 교차로 통과가 불가능한 경우 다시 우선신호 요청을 하면 Green Extension을 적용하여 녹색시간을 연장할 수 있는데, 이 경우는 일반차량의 교통흐름을 위해 주기 내 1회로만 한정하도록 한다.

이러한 트램 우선신호 알고리즘이 동작하는 트램, 트램관제센터, 교통관제센터, 교통신호제어기 상호간의 시퀀스 다이어그램을 그림 11에 나타내었다.

3.5. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 모델기반 시스템엔지니어링(Model-Based Systems Engineering; MBSE) 전산도구인 CORETM[14]를 사용하였으며,

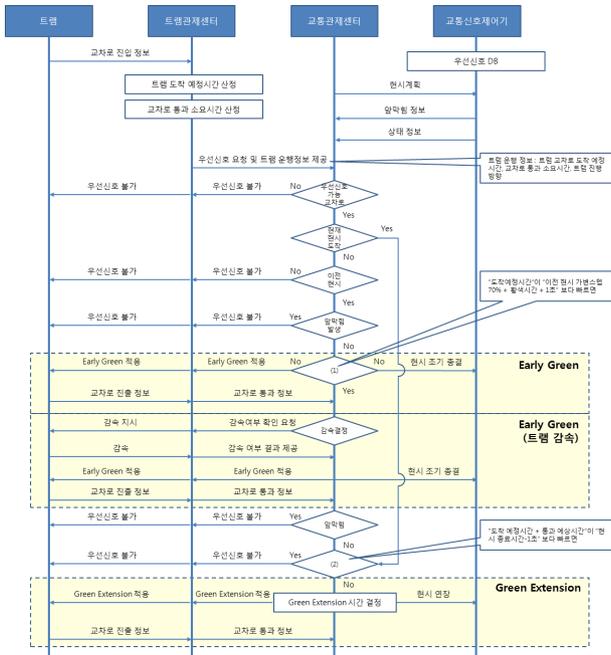


그림 11 트램 우선신호 알고리즘 시퀀스 다이어그램

Fig. 11 Sequence diagram of the tram signal priority algorithm

모델링은 도구 내의 향상된 기능흐름블록도(Enhanced Functional Flow Block Diagram; EFFBD)를 통하여 이루어졌다. 시뮬레이션의 대상이 되는 EFFBD는 그림 10의 우선신호 제어 흐름도와 그림 11의 트램 우선신호 알고리즘 시퀀스 다이어그램을 기반으로 모델링을 수행하였다. 모델의 큰 흐름은 우선신호 제어 흐름도를 기반으로 구성하였고, 우선신호 제어 흐름도에서 우선신호 알고리즘이 적용되는 부분에 대해서 트램 우선신호 알고리즘 시퀀스 다이어그램을 추가하였다. 시뮬레이션을 통해 우선신호 제어 흐름에서 발생할 수 있는 여러 가지 경우를 확인하고, 본래 계획한 대로 흘러가는지 시계열(Timeline) 분석을 수행하였다. 시뮬레이션 수행에 따라 다양한 결과들이 도출되었는데, 이는 제어 흐름도와 트램 우선신호 시퀀스 다이어그램을 기반으로 만들어진 모델이라 많은 분기점이 존재하기 때문이다.

그림 12의 시뮬레이션 결과의 흐름은 다음과 같다. 먼저 트램 관제센터에서 트램 도착 예정시간과 교차로 통과 소요시간을 산정하여 교통관제센터에 우선신호를 요청하게 된다. 교통관제센터는 우선신호 요청과 함께 전달받은 트램 운행 정보로부터 트램이 현재 현시 내에 도착 불가능함을 검지하고 이전 현시를 확인한 결과 최종적으로 우선신호 불가능을 트램관제센터를 통해 다시 트램으로 전달하게 된다.

그림 13은 우선신호 요청이 없는 경우의 결과 모습이다. 이 경우 교통수요와 포화교통량을 확인한 후 차례대로 소요현시율 계산과 현시체계, 황색시간, 주기 결정이 이루어지게 된다. 주기가 120초 이내인 경우 현시분할과 보행자 횡단시간을 확인하고

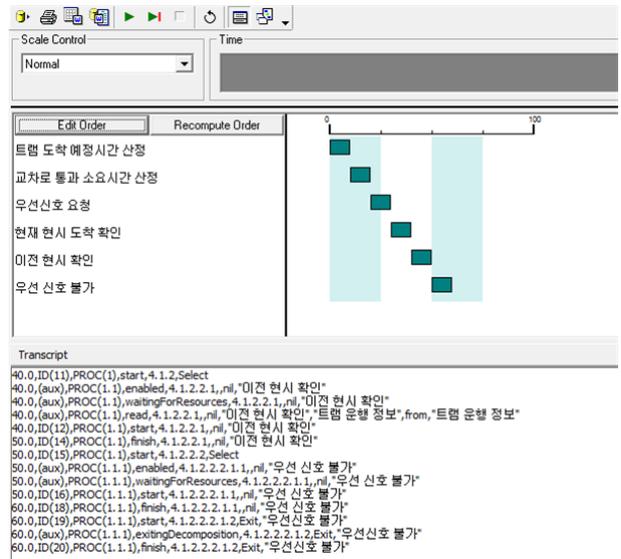


그림 12 우선신호 알고리즘 시뮬레이션 결과 #1

Fig. 12 Simulation results #1 of developing algorithm

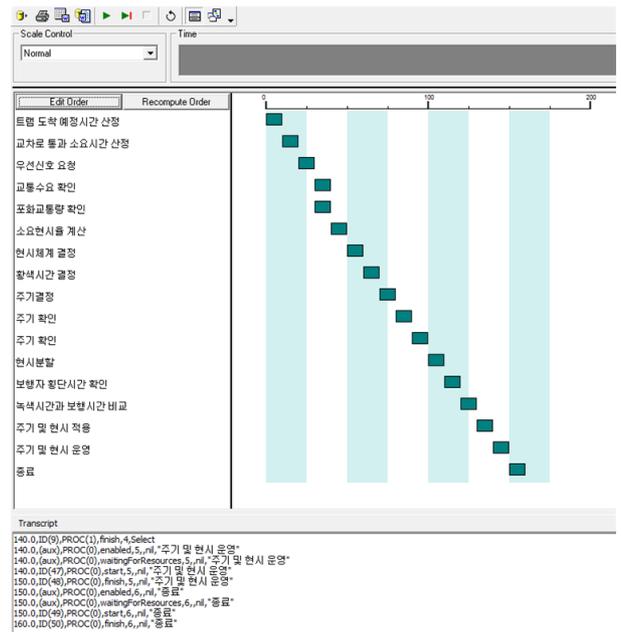


그림 13 우선신호 알고리즘 시뮬레이션 결과 #2

Fig. 13 Simulation results #2 of developing algorithm

녹색시간과 보행시간을 비교하게 된다. 보행시간이 녹색시간보다 짧은 경우 결정된 주기 및 현시를 적용, 운영함으로써 전체 흐름이 종료되는 것을 확인할 수 있다.

그림 14는 Green Extension 우선신호 알고리즘이 적용되는 경우의 결과 화면이다. 우선신호 요청까지는 앞의 경우와 같고, 트램이 현재 현시 내에 도착 가능함을 검지한 후, 도착 예정 시

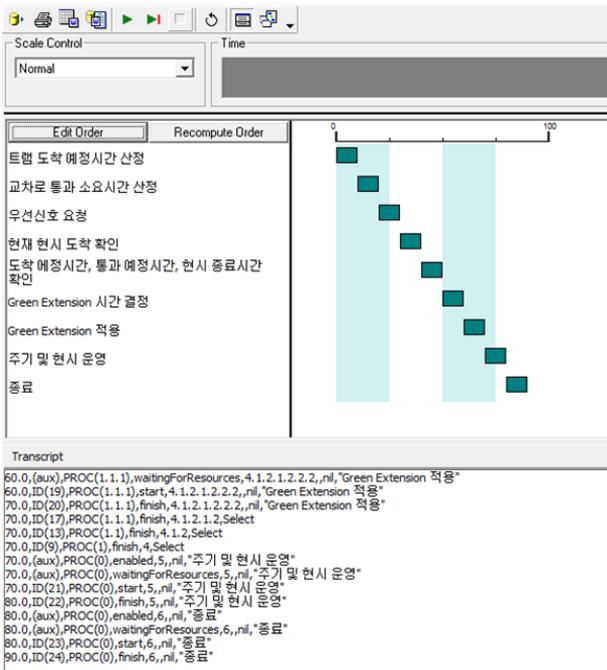


그림 14 우선신호 알고리즘 시뮬레이션 결과 #3
 Fig. 14 Simulation results #3 of developing algorithm

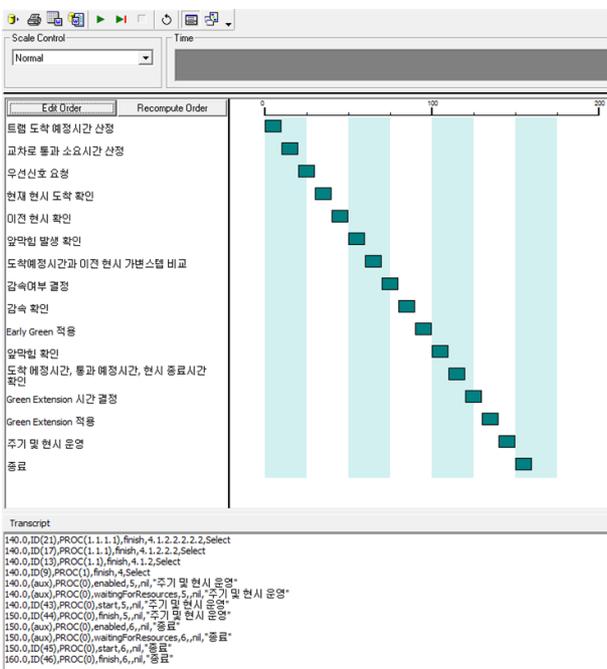


그림 15 우선신호 알고리즘 시뮬레이션 결과 #4
 Fig. 15 Simulation results #4 of developing algorithm

간, 통과 예상 시간, 현시 종료시간 사이의 관계로부터 식 (2)의 조건을 만족하는 경우 Green Extension을 적용하도록 한다. 교

통관제센터는 Green Extension 시간을 결정하고 그에 따라 교통 신호제어기의 현시를 연장하도록 한다.

그림 15는 Early Green과 Green Extension이 모두 적용되는 경우의 결과 화면이다. 현재 현시 도착과 이전 현시를 확인하고, 앞막힘 발생 여부를 판단하여 앞막힘이 발생하지 않는 경우 도착 예정 시간과 이전 현시 가변시스템, 황색 시간 등의 관계로부터 식 (1)의 조건을 판별한다. 식 (1)이 만족하지 않는 경우 교통관제센터는 감속결정 여부를 결정하여 트램관제센터를 통하여 트램에게 감속 지시를 한다. 감속 지시에 의해 트램이 감속하고 그에 대한 결과를 다시 교통관제센터로 전달하면 Early Green 우선신호 알고리즘을 적용하게 된다. Early Green 적용 후 앞막힘이 발생하지 않고 트램 현시 녹색시간이 끝나기 전에 우선신호 재요청이 발생하면 식 (2) 조건을 판별하여 Green Extension 알고리즘을 적용하게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 차상중심 열차제어시스템을 트레인-트램 철도 환경에 적용하는 경우를 가정하여 트램 우선신호 제공 알고리즘을 정립하였다. 교차로 구조와 신호운영 및 교통량 상황에 따라 우선신호 적용여부를 검토하였고, Early Green과 Green Extension 및 이를 조합한 우선신호 알고리즘을 도출하였다. 모델기반 시스템 엔지니어링 전산도구를 이용한 시뮬레이션을 통하여 알고리즘이 의도한 바대로 구축되었음을 확인하였다. 추후 실제 교통 환경과 유사한 상황에서 제안한 우선신호 알고리즘의 성능 검증을 위하여 미시적 시뮬레이터를 개발하여 시뮬레이션을 수행할 예정이다. 본 연구에서는 단일노선에서의 싱글트램 및 멀티트램에 대한 우선신호 제공알고리즘을 설계하여, 트램 도입 시 적용 가능한 신호운영 기술과 그 가능성을 제시하였다. 향후 보다 복잡한 다중노선을 고려한 추가적인 연구가 필요하다. 이러한 기술적인 연구와 더불어 도로교통법을 검토한 결과 실시간 신호제어권 관련 업무 분장 등 쟁점사항이 존재한다. 또한 현재 트램 관련 우선신호를 제공할 수 있는 근거가 부재하므로 관련 법규의 보완이 필요하다고 하겠다.

감사의 글

본 연구는 한국철도기술연구원 주요사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

[1] H.-J. Jo, J.-H. Baek, Y.-G. Kim, K.-M. Lee, "A Study on the On-board Centered Train Control System to Enhance Efficiency of Low-density Railway Line," Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation

Society, vol. 13, no. 11, pp. 5434-5441, November 2012.

[2] J.-H. Baek, H.-J. Jo, E.-K. Chae, H.-Y. Choi, Y.-G. Kim, "Feasibility Study of Improved Train Control System Using On-board Controller for Intelligent Control of Trackside Facilities," Journal of the Korean Society for Railway, vol. 16, no. 6, pp. 528-533, December 2013.

[3] J.-H. Baek, J.-G. Hwang, H.-J. Jo, J.-T. Kim, K.-M. Lee, "A Study on the Operation Scenario of Onboard Oriented Train Control System of Low-density Branch Railway Lines," Proceedings of the 2013 KICS Winter Conference, pp. 140-141, 2013.

[4] C.-H. Park, H.-Y. Choi, J.-H. Baek, "Preliminary Field Trial of Improved Train Control System Using On-board Control," The Journal of Korea Information and Communications Society, vol. 39C, no. 3, pp. 298-306, March 2014.

[5] J.-H. Baek, "Communication Consecutive Test of Train Oriented Control System for Wayside Equipment Control," Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 63, no. 5, pp. 703-712, May 2014.

[6] Korea Railroad Research Institute, "Development of Technology to enhance ICT based Safety of Train Operation and Operational Efficiency," Final Report of the 4th year, 2014.

[7] I. Lee, Y. Kim, J.-I. Lee, S.-H. Oh, "Development of the Traffic Signal Control Strategy and Signal Controller for Tram," Journal of Korean Society of Transportation, vol. 33, no. 1, pp. 70-80, February 2015.

[8] Y. Jeong, H.-J. Jeong, D.-H. Joo, H.-W. Lee, N.-W. Heo, "Signal Timing and Intersection Waiting Time Calculation Model using Analytical Method for Active Tram Signal Priority," Journal of Korean Society of Transportation, vol. 32, no. 4, pp. 410-420, August 2014.

[9] Y. Jeong, "A Study on Application of Traffic Signal Priority for Introduction of Trams in Korea," KoRoad Regular Seminar, March 2014.

[10] I.-K. Lee, Y.-C. Kim, "A Study on Active Priority Control Strategy for Traffic Signal Progression of Tram," The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, vol. 13, no. 3, pp. 25-37, June 2014.

[11] I.-K. Lee, Y.-C. Kim, "A Development of the Traffic Signal Progression Model for Tram and Vehicles," Journal of Korean Society of Transportation, vol. 32, no. 3, pp. 280-292, June 2014.

[12] H.-Y. Lee, K. S. Choi, S. J. Gwon, J. S. Lee, "Research

Trends of 200km/h Class Train-Tram System," Proceedings of the 2014 Spring Conference of the Korean Society for Railway, pp. 1632-1635, May 2014.

[13] Korean National Policy Agency, "Manual for Installation and Management of Traffic Signal System," December 2011.

[14] Vitech Corporation, <http://www.vitechcorp.com/>

저 자 소 개



백 종 현 (Jong-Hyen Baek)

1995년 2월 : 전북대학교 제어계측공학과 학사, 1997년 2월 : 광주과학기술원 메카트로닉스공학과 석사, 2009년 8월 : 전북대학교 메카트로닉스공학과 박사, 1997년 1월~현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원



성 유 석 (Yu-Suk Sung)

2003년 8월 : 서울대학교 전기공학부 학사, 2014년 8월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사, 2014년 12월~현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원



김 건 옹 (Gonyop Kim)

2008년 6월 : University of Toronto 기계공학과 학사, 2011년 2월 : 한국과학기술원 로봇공학과 석사, 2011년 2월~현재 : 한국철도기술연구원 주임연구원



최 현 영 (Hyeon Yeong Choi)

2003년 2월 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 학사, 2005년 8월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 석사, 2010년 2월 : 한국과학기술원 전기전자공학과 박사, 2010년 3월~2011년 2월 : 한국과학기술원 정보전자연구소 연구원, 2011년 3월~2013년 4월 : KDDI R&D Labs 연구원, 2013년 5월~현재 : 한국철도기술연구원 선임연구원