

긴급차량 융합형 우선신호 제어 알고리즘 개발

A Fusion Priority Signal Control Algorithm for Emergency Vehicles

이 승 봉* · 이 진 수** · 장 재 민*** · 이 영 인****

* 주저자 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사수료
 ** 교신저자 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 석사졸업
 *** 공저자 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 박사수료
 **** 공저자 : 서울대학교 환경대학원 환경계획학과 교수

Soong-bong Lee* · Jin-soo Lee** · Jae-min Jang*** · Young-Ihn Lee****

* Dept. of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University
 ** Dept. of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University
 *** Dept. of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University
 **** Dept. of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University
 † Corresponding author : Jin-soo Lee, iamjinsoollee@snu.ac.kr

Vol.17 No.2(2018)

April, 2018

pp.113~127

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

<https://doi.org/10.12815/kits.2018.17.2.113>

2018.17.2.113

Received 14 March 2018

Revised 3 April 2018

Accepted 4 April 2018

© 2018. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

본 연구에서는 긴급상황 시 긴급차량의 무정차 통과를 위해 융합형 우선신호 제어 알고리즘을 개발하였다. 융합형 우선신호는 센터제어와 현장제어를 결합한 방법이다. 센터제어는 긴급상황이 접수되면 긴급차량 경로의 각 교차로에 대하여 우선신호를 적용한다. 긴급차량 출발 이전에 신호시간을 제어하기 때문에 대기차량을 효과적으로 제거할 수 있다. 하지만, 실시간 긴급차량의 소통정보(속도, 위치)를 사용하지 않기 때문에, 센터제어 시 예측한 긴급차량의 교차로 도착시각과 실제 도착시각이 차이를 보일 수 있으며, 이런 경우 신호로 인한 지체를 경험할 수 있다. 현장제어는 실시간 긴급차량의 정보를 활용하여 우선신호를 제어하지만, 대기차량 소거시간을 반영할 수 없는 한계가 있다. 본 연구에서는 센터제어와 현장제어의 단점을 보완하고, 장점을 극대화하기 위하여 융합형(센터+현장) 제어 알고리즘을 제안하였다. 융합형 제어 알고리즘은 긴급상황 시 긴급차량의 지체를 감소시킬 수 있을 것으로 기대한다.

핵심어 : 긴급차량 우선신호, 융합형(센터+현장) 제어, Green extension, Early green

ABSTRACT

This study develops a fusion priority signal control algorithm to pass without delay in emergency events. Fusion priority signal control is method combined center control with local control. The center control method applies signal times for each signalized intersection on the emergency vehicle's route when an emergency call is received. As signals are controlled before the emergency vehicle leaves for its destination, it is possible to clear the queues at each intersection more effectively. However, since the traffic information (speed, position) of the real-time emergency vehicle is not used, the intersection arrival time predicted by center control and actual arrival time of the emergency vehicle may be different from each other. In the case, it is possible to experience a delay caused by the signal. Local control method operate priority signal use the real-time information of EV, but there is a limitation that queue elimination time can not be reflected. In this study, fusion(center+local) control algorithm is proposed to compensate the disadvantages of center and local control also maximizing its advantages. Proposed algorithm is expected to decrease delay time of EV in emergency situation.

Key words : Emergency vehicle priority signal, Fusion(center+local) signal control, Green extension, Early green

I. 서론

도로교통법 제2조 22호에 의하면 긴급차량은 소방차, 구급차, 혈액 공급차량, 그 밖에 대통령령으로 정하는 자동차로서 그 본래의 긴급한 용도로 사용되고 있는 자동차를 말한다. 이러한 긴급차량의 특례는 전용차로 이용, 속도위반, 갓길이용, 정지신호무시 등 공공의 이익을 위해 우선권이 주어진다. 하지만 긴급차량의 특례에도 불구하고 도로교통상황에 따라 해당 우선권을 발휘할 수 없어 지연도착이 일어나고 있는 실정이다. 이와 같은 긴급차량의 지연도착을 최소화하기 위해서는 긴급차량이 우선권을 발휘할 수 있도록 도로교통상황을 적절히 제어해야 할 것이다.

국내 지능형교통체계(ITS : Intelligent Transportation System)는 교통수단과 시설에 전자·제어 및 통신 등과 같은 첨단교통기술과 교통정보를 활용하여 도로교통상황을 관리 및 제어하고 있다. 과거 도시부 도로의 운영효율성 향상을 위해 매설식 지점검지에서 수집된 자료를 활용하여 실시간 교통류에 대응하는 교통신호체계인 한국형 실시간 신호제어시스템(COSMOS : Cycle, Offset, Split Model Of Seoul)이 개발되어 현재까지 운영되고 있는 실정이다. 하지만 급변하는 정보통신기술로 인해 과거 루프 및 영상검지기 등을 통한 도로기반 지점검지 중심의 교통정보 수집체계에서 도로, 자동차 및 보행자간의 다양한 수집 체계를 통한 실시간 구간검지 체계 중심의 차세대 지능형교통체계(C-ITS : Co-operative ITS)로 빠르게 진화하고 있다. 따라서 현재 국내의 COSMOS 신호제어시스템을 보완 및 대체하기 위해 구축된 비매설식 교통정보수집시스템 자료를 활용하여 긴급차량의 우선권을 보장할 수 있는 실시간 신호제어를 수행해야 한다.

긴급차량 우선신호 제어전략은 제어 주체 및 운영에 따라 크게 센터제어, 현장제어 두 가지로 구분된다. 센터제어의 경우 Emergency Call이 접수되면, 목적지까지 경로 내 교차로의 신호를 미리 제어할 수 있으며, 실시간 교통자료를 통해 경로 내 대기차량을 예측하여 미리 소거할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 현장 상황으로 인해 긴급차량의 경로가 변경되거나, 교통상황의 예측이 잘못될 경우 긴급차량의 지연도착 최소화를 보장할 수 없다. 현장제어의 경우 각 교차로별 긴급차량의 검지시각을 기반으로 현장에서 우선신호를 부여하는 방법이다. 하지만 긴급차량이 검지되기 전 긴급차량 경로 내 존재하는 대기차량의 소거가 불가능하며, 보행자의 안전을 위해 최소녹색시간을 보장해야 하므로, 이로 인한 지체가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 기존의 긴급차량 우선신호 제어전략인 센터제어, 현장제어의 단점을 극복하고 장점을 극대화 할 수 있는 융합제어 알고리즘을 개발하고자 한다.

II. 기존연구 검토

1. 긴급차량 우선신호 관련연구 고찰

긴급차량 우선신호제어 방식은 크게 센터제어와 현장제어 방식이 존재하며, 제어방법별로 살펴보았다.

센터제어 관련 기존연구 중 Kwon et al.(2003)은 긴급차량의 경로기반으로 신호를 동적으로 제어하는 센터제어형 알고리즘을 구축하였다. 해당 알고리즘은 실시간 교통데이터를 검지기를 통해 센터에 수집됨을 가정하였고, 출동요청이 발생하면 센터에서 경로를 설정하여 해당 경로 내 교차로를 제어하도록 구현되었다. 특히 교차로 간 링크길이와 혼잡도의 함수로 통행시간을 정량화하여 경로선택 및 신호제어를 위한 긴급차량 교차로 도착시점 예측에 사용하였다. 경로기반의 제어는 교차로 기반의 제어전략에 비해 효율적임을 언급했다.

Choi et al.(2006)은 DSRC(Dedicated Short Range Communication) 통신기반의 정보를 센터에서 실시간으로 수집하여 긴급차량의 위치와 속도 기반으로 긴급차량 경로 내 교차로 신호를 제어하는 시스템을 제안하였

다. 해당 시스템은 긴급차량의 교차로 도달 시 수집된 정보를 통해 해당 교차로 신호를 제어함과 동시에 다음 교차로 예상 진입 시각을 산정한다. 산정된 다음 교차로 예상 진입시각 기반 다음 교차로 신호를 제어하며 해당 과정을 반복하는 형태로 구성된다. 제안된 시스템은 긴급차량의 무정차 운행이 가능할 것이며, 운행의 안전성도 확보될 것으로 예상된다고 언급하였다.

Lee et al.(2010)은 실시간 차량정보 기반 우선 신호제어 방식의 센터제어 알고리즘을 제안하였다. 해당 알고리즘은 긴급차량의 출발시각을 기반으로 인접교차로 도착시각을 산정한 후 해당 교차로의 신호를 제어하는 방식으로 제어 시 현시별 최소녹색시간을 보장하도록 구현되었다. 교차로의 도착이 확인되면 이후 교차로의 신호를 제어하며 일련의 과정이 반복되며 시뮬레이션을 통해 해당 알고리즘을 검증한 결과 긴급차량의 속도가 기존대비 17~60% 향상되었다고 언급하였다.

Kotani et al.(2011)은 일본 도쿄 Fast Emergency Vehicle Preemption System의 성능을 소개하였다. Fast는 긴급차량의 초기 검지정보를 기반으로 이후 교차로 도착시각을 예측하여 신호를 제어하는 센터제어 방식으로 녹색시간 연장, 적색시간 감소로 제어를 수행한다. 시스템 적용이후 긴급차량 통과 시 평균 교차로 통행속도가 1.5km/h 증가하였으며, 교차로당 정지차량수가 약 15%정도 감소했다고 언급하였다. 특히 해당 시스템은 초기 검지정보를 기반으로 수행되기 때문에 예측 및 실제 교차로 도착시각에 차이가 생기는 경우 긴급차량의 지체는 불가피함을 언급하였다.

Adekunle and Oluwaseyitan(2014)은 다중 무선네트워크 센서를 이용한 센터형 긴급차량 제어 시스템을 구축하였다. 해당 시스템은 RFIR(Radio frequency Identification Readers) 센서를 통해 검지된 일반차량 대수를 센터에 전송하여 해당 교차로의 대기행렬 길이를 산정한다. 센터에서 상시 모니터링 되고 있는 긴급차량의 위치정보와 각 교차로별 대기행렬 길이를 고려하여 진입 교차로의 주기를 재설정함으로써 제어를 수행한다. 해당 시스템은 비상차량의 위치를 모니터링 하여 차량이 교차로 도달이 확인되기 이전에 미리 제어를 수행하기 때문에 제어 교차로내 대기행렬을 미리 소거할 수 있음을 언급했다.

Noori and Shiravi(2016)은 모든 차량이 DSRC 시스템을 통해 정보를 제공함과 이중 긴급차량을 검지할 수 있음을 가정 하에 긴급차량 경로 내 교차로 신호를 제어하는 센터제어 방법론을 제안하였다. Eltayeb et al.(2013)의 시스템과 유사하게 긴급차량의 예상도착시간이 미리 산정된 임계시간보다 작거나 같을 경우 제어가 수행되도록 고안하였다. 해당 방법론은 Eltayeb et al.(2013)과 다르게 긴급차량의 경로 내 모든 교차로를 대상으로 임계시간을 산정하여 경로 내 모든 교차로를 사전에 제어 할 수 있도록 고안되었다.

Lee et al.(2017)은 긴급차량의 출동정보를 기반으로 긴급차량 경로 내 교차로 신호를 제어하는 센터제어 알고리즘을 개발하였다. 해당 알고리즘은 긴급차량의 출동과 동시에 센터에서 긴급차량의 목적지까지의 경로를 설정하고, 경로 내 모든 교차로의 신호제어를 각 교차로 도착시각을 예측하여 일괄적으로 수행한다. 특히 긴급차량의 각 교차로 도착시각 및 대기차량 소거시간을 긴급차량 출발 시점에 산출하여 적용하기 때문에 실제 교통상황에 따라 긴급차량의 지체가 발생할 수도 있어 추후 센터제어와 현장제어를 결합한 새로운 형태의 긴급차량 우선신호 제어가 필요함을 언급했다.

현장제어 관련 기존연구 중 Lee et al.(2009)은 지점 검지기 기반 현장제어 알고리즘을 개발하였다. 해당 연구에서는 검지기로 수집된 일반차량과 긴급차량의 정보를 기반으로 긴급차량의 대기행렬 합류시간과 대기행렬 소거시간을 고려하여 제어시점을 산출하는 방식으로 구현된다. 주도로 링크길이(200m, 500m, 800m)와 V/C(0.6, 0.8, 1.0)를 기준으로 9가지 상황을 가정하여 시뮬레이션을 통해 검증한 결과 링크길이가 길고 V/C가 낮을수록 기존 현장제어 방식에 비해 개선효과가 크게 나타났다고 언급하였다.

Hong et al.(2012)은 UTIS(Urban Traffic Information System)를 활용한 현장제어 알고리즘을 개발하였다. 해당 연구에서는 긴급차량의 연속주행과 일반차량의 제어지체 최소화를 목표로 하는 우선 신호제어 시스템을

구현 하였으며 UTIS 통신기술을 활용하여 진행방향을 사전에 파악할 수 있도록 설정하였다. 연구의 목표에 따라 현시조정과 현시삽입 방식을 시뮬레이션을 통해 구현하였다. 검증 결과 긴급차량의 통행시간측면에서는 현시삽입의 경우가 우수한 반면, 일반차량의 제어지체측면에서는 현시조정이 우수하게 나타났다. 특히 대기행렬 차량의 소거시간을 고려하여 보다 정교하고 효율적인 제어 알고리즘 구현이 필요하다고 언급하였다.

Eltayeb et al.(2013)은 GPS 기반의 긴급차량 현장제어 시스템을 구축하였다. 신호제어기에 긴급차량 GPS 수신기를 부착하여 긴급차량 접근 시 해당 교차로의 신호제어를 수행하며, 교차로 내 교통상황을 파악하기 위해 검지기로부터 대기차량수를 실시간으로 수집하여 대기행렬 소거시간을 임계시간으로 산정하였다. 긴급차량의 교차로 예상도착시간과 임계시간을 비교하여 예상도착시간이 임계시간보다 작거나 같을 경우 신호제어를 수행하도록 구현하였다. 실제 교차로에 적용한 결과 시스템은 효율적으로 나타났으며, GPS 정보송수신 지연시간이 신호제어에 영향을 미칠 수 있음을 언급하였다.

Lee and Seok(2013)은 UTIS를 활용하여 수집된 자료를 기반으로 현장제어형식의 신호제어 시스템을 구축했다. 해당 시스템은 소방차의 접근을 검지하면 수행되는 체계로 검지기과 신호제어기간 우선통신을 통해 검지시점 이후 긴급차량의 우선신호 제어가 이루어진다. 우선신호 제어는 긴급차량이 해당 교차로를 통과할 때 까지 유지되며 이후 일반신호로 복귀하는 과정으로 구성되어 있다.

센터제어 관련연구를 정리하면, 대부분의 연구는 경로기반의 신호제어 방법을 적용하였다. Choi et al.(2006)와 Lee et al.(2010)는 교차로 도달 시 수집정보를 이용하여 해당교차로와 다음교차로를 제어하는 방법을 적용하였고, 나머지의 대부분의 연구는 긴급차량 출발시점과 경로정보를 이용하여 센터에서 모든 교차로에 대하여 교차로 도착시점을 예측하여 우선신호 제어를 적용하는 방법을 적용하였다. 반면, Kwon et al.(2003)의 연구는 교차로 도착시각 예측 시 링크연장과 혼잡도로 구성된 함수로 통행시간을 예측하였다.

현장제어 관련연구를 살펴보면, 차량단말기와 교차로에 설치된 검지기와의 통신을 통해 긴급차량의 교차로 진입여부를 판단하고, 검지기를 통해 대기차량길이를 산정하여 긴급차량 통과를 위한 신호제어를 수행하였다.

2. 시사점 도출

긴급차량 우선신호와 관련한 기존연구들을 살펴보면 대부분 센터제어 또는 현장제어로 구분하여 제시하고 있으며, 긴급차량이 신호지체 영향을 최소화하여 통과하기 위하여 Green Extension, Early Green, Phase Insertion 등의 전통적인 제어 방법을 적용하여 알고리즘을 개발하고, 시뮬레이션을 이용하여 평가하였다.

센터제어 방식의 경우 긴급 상황이 접수되면 중앙센터에서 최적경로를 제공하고, 사전에 진행방향 교차로의 진입시각을 예측하여 긴급차량 우선신호 제어를 수행하는 방식이다. 사전에 신호제어가 가능하여 교차로 접근 전 대기차량 소거가 가능하며, 진행경로 파악이 가능하여 신호의 비효율성을 줄일 수 있다. 하지만, 긴급차량의 교차로 도착시각 예측정보가 잘못되었을 경우 신호대기로 인한 지체가 발생할 수 있다.

현장제어 방식의 경우 차량단말기(OBE, On Board Equipment)와 교차로에 설치된 검지기(RSE)간의 통신을 통해 긴급차량의 교차로 진출입을 검지하여 우선신호 제어를 수행하는 방식이다. 대부분의 현장제어 방식은 개별 교차로 검지시각을 기준으로 신호제어가 수행되기 때문에 긴급차량 검지 시 해당주기의 신호현시 변경이 불가능하고, 단지 force-off 명령을 제어기에 전달하여 긴급신호 제어로 변경이 가능하다. 현장제어는 긴급차량의 진행방향을 파악할 수 없기 때문에 신호의 비효율성(적좌동시신호)이 증가할 수 있고, 사전제어가 불가능하므로 대기차량을 소거하는데 한계를 보인다. 또한, 보행자의 안전을 위해 최소녹색시간을 보장해야하기 때문에 이로 인한 지체가 발생할 수 있다는 단점이 존재한다.

본 연구에서는 현장제어와 센터제어의 한계를 보완하여 긴급차량의 지연도착 최소화를 보장할 수 있고, 실제 시스템에 적용 및 운영이 가능한 융합제어 알고리즘을 제안하고자 한다.

Ⅲ. 분석방법론

1. 분석개요

긴급차량의 신호지체를 최소화하기 위해서 본 연구에서는 센터제어와 현장제어 방식을 결합한 융합형 긴급차량 우선신호 제어 알고리즘을 개발하고자 한다. 앞서 살펴보았듯이 센터제어 방식의 효과는 현장제어보다 우수하지만, 돌발상황 및 교통혼잡 등으로 인하여 긴급차량의 교차로 도착시간 예측결과와 불일치할 경우 신호로 인한 지체가 발생할 수 있다. 이는 실시간 긴급차량의 소통정보(속도 및 위치) 반영이 불가능하기 때문에 발생하는 문제이며, 이를 보완하기 위하여 현장제어 방식을 접목하면 해결이 가능할 것으로 판단된다. 현장제어 방식은 긴급차량의 차량단말기(OBE)의 GPS장치를 통해 실시간으로 위치정보 및 속도정보 수집이 가능하며, 교차로 진출입여부에 대한 판단이 가능하다.

융합형 우선신호제어 방법은 긴급상황이 접수되면 1차적으로 센터제어 방식을 통해 우선신호를 적용하고, 센터제어 예측결과가 불일치 할 경우 현장제어를 통해 어떠한 상황에서도 통과가 가능하도록 제어하는 방식이다. 추가로, 긴급차량 이동경로를 사전에 파악 가능하므로, 현장제어 적용 시 센터제어 예측결과와 임계값($t_{threshold} = 10$ 초) 이상으로 차이를 보일 경우 이후 교차로에 대하여 신호시간을 조정할 수 있도록 설계하였다.

2. 긴급차량 우선신호제어 알고리즘 개발

본 연구에서는 긴급차량의 신호지체 최소화를 위하여 위한 융합형 우선신호제어 알고리즘을 개발하고자 한다. 융합형 제어는 센터제어와 현장제어를 결합한 방법이며, 알고리즘의 효과평가를 위하여 센터제어, 현장제어, 융합형(센터+현장) 제어를 위한 알고리즘을 각각 개발하고 효과를 비교·평가하고자 한다.

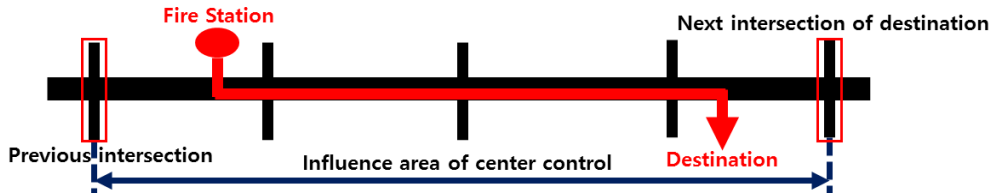
1) 센터제어 우선신호제어 알고리즘

센터제어는 긴급차량 출발 전에 신호를 제어하므로 각 교차로의 대기차량을 사전에 소거하여 긴급차량의 지체를 최소화할 수 있다. 또한, 일반차량 운전자의 혼란을 방지하기 위하여 현시 순서를 변경하거나 현시를 생략하지 않도록 Green Extension과 Early Green을 적용하고, 각 현시의 최소녹색시간을 보장하는 것을 원칙으로 하였다. 추가로 Green Extension 적용 시 녹색시간이 무리하게 길어지는 것을 방지하기 위하여 선보상 개념을 적용하였다. 센터제어 시 입력자료는 5분단위의 링크별 속도, 대기차량 길이, TOD정보가 활용된다.

본 연구에서는 센터제어 방식의 우선신호 제어를 다음과 같은 과정을 거쳐 수행하였다.

① Step 1 : 긴급차량 우선신호제어 영향권 설정

긴급차량 우선신호 센터제어를 위해서는 긴급차량의 진행경로 파악이 선행되어야 한다. 긴급차량의 진행경로는 최단경로로 설정되며, 분석의 영향권은 긴급차량 진입전 1개 교차로, 긴급차량 목적지 이후 1개 교차로를 포함하여 영향권을 설정하였다. 긴급차량 진입전 1개 교차로는 긴급상황 접수 시 긴급차량 진행경로에 진입하는 통행량을 최소화하기 위해 설정하였고, 목적지 이후 교차로는 대기차량으로 인해 목적지로 접근에 방해가 될 수 있는 요인을 최소화하기 위한 목적으로 설정하였다.

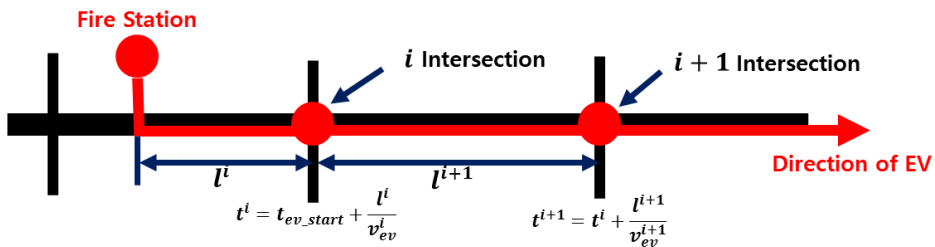


〈Fig. 1〉 influence area of emergency vehicle priority signal

② Step 2 : 긴급차량 경로의 각 교차로별 긴급차량 도착시각 예측

긴급차량 출동 요청 접수 시, 긴급차량의 출발지에서 목적지까지의 경로를 설정하고, 해당 경로의 각 신호 교차로 i 에 대하여 긴급차량의 도착시각(t^i)을 예측한다. 긴급차량의 도착시간은 긴급차량 출발시각과 긴급차량 속도(v_{ev}), 교차로간의 거리(l^i)를 이용하여 예측한다. 본 연구에서 긴급차량의 속도는 VISSIM을 통해 Emergency call 수집 전주기의 링크별 대표속도(중위값)를 긴급차량의 속도로 설정하여 적용하였다.

$$t^{i+1} = t^i + \frac{l^{i+1}}{v_{ev}^{i+1}} \tag{식(1)}$$



〈Fig. 2〉 predicting intersection arrival time of emergency vehicle

③ Step 3 : 긴급차량 도착 시 대기차량 소거시간 추정

긴급차량의 해당교차로별 도착시각을 Step 2에서 예측하였고, 긴급차량이 해당교차로를 대기차량의 지체를 받지 않고 통과하기 위해서는 대기차량을 소거하기 위한 신호시간이 필요하다. 대기차량 길이는 교차로별로 산정되어야 하며, 실시간 교통상황이 반영되어야 하므로 긴급상황 Call이 발생한 시점을 기준으로 교차로별 대기차량 길이를 적용하였다. 본 연구에서는 VISSIM QueueCounter를 이용하여 5분단위로 대기차량 길이(q_{length}^i)를 산정하고, 차량간 평균길이($l_{veh} = 6m$)와 차량 당 평균소거시간($h = 4초$)을 적용하여 대기차량 소거시간을 산정하였다. 차량 당 평균소거시간은 시뮬레이션 분석을 통해 파라미터를 최적화한 값을 적용하였다. 또한, 긴급차량이 대기차량으로 인한 영향을 최소화하기 위하여 최소 대기차량 소거시간($t_{min_q} = 30초$)을 설정하였고, 해당기준 이하일 경우 최소대기시간을 적용하도록 하였다. 대기차량 소거시간은 긴급차량 우선신호 운영 시 매우 중요한 변수로, 대기차량이 충분히 처리될 수 있도록 설정하였다.

$$t_q^i = \frac{q_{length}^i}{l_{veh}} \times h \tag{식(2)}$$

④ Step 4 : 긴급차량 통과현시의 요구녹색시점 및 종료시점 산정

긴급차량의 통과를 위하여 긴급차량의 통과현시의 요구녹색시점(t_{start}^i)과 종료시점(t_{end}^i) 산정이 필요하며, 이를 통해 요구녹색시간을 설정한다. 요구녹색시점은 긴급차량의 교차로별 도착시각과 대기차량 소거시간으로 산정된다. 추가적으로 긴급차량 속도의 변동성을 고려하여 버퍼시간($t_{buffer} = 10$ 초)을 적용하여 신호로 인한 지체 가능성을 낮추도록 하였다.

$$t_{start}^i = t^i - t_q^i - t_{buffer} \tag{3}$$

녹색종료시점은 긴급차량의 교차로별 도착시각과 교차로 통과시간으로 산정하였다. 긴급차량의 교차로 통과시간(t_{th})은 긴급차량이 균집주행을 하는 상황과 교차로 폭을 고려하여 10초로 가정하였고, 요구녹색시점과 동일하게 긴급차량 속도의 변동성을 고려하여 버퍼시간($t_{buffer} = 10$ 초)을 적용하였다.

$$t_{end}^i = t^i + t_{th} + t_{buffer} \tag{4}$$

긴급차량의 요구녹색시간은 긴급차량 통과현시의 녹색종료시점과 녹색시작시점의 차이로 산정하여 적용하였고, 이는 긴급차량 통과를 위한 현시값으로 적용된다.

$$G_{req}^i = t_{end}^i - t_{start}^i \tag{5}$$

⑤ Step 5 : 긴급차량 우선신호제어 (Green Extension 또는 Early Green) 계획 수립

요구녹색시점의 현시가 녹색이 아닐 경우, 또는 요구녹색시점의 현시가 녹색이지만 긴급차량이 해당 녹색 현시가 종료되기 전에 통과 불가능한 경우, 해당 교차로에 대하여 우선신호제어를 적용한다. 우선신호제어는 요구녹색시점의 현시가 녹색이 아닐 경우, 현시 조정 방식의 결정을 위해 Early Green을 적용할 때 증가하는 녹색시간(ΔEG)과 Green Extension을 적용할 때 증가하는 녹색시간(ΔGE)을 산정한다. 증가하는 녹색시간($\Delta EG, \Delta GE$)의 크기는 긴급차량의 교차로 도착시점과 요구녹색시점과 종료시점을 이용하여 산정된다.

Early Green을 적용하는 경우 긴급차량 진행방향 녹색시간이 증가하는 만큼 부도로의 녹색시간은 감소하므로, 부도로 최소녹색시간(r_{min}^i) 보장 여부를 확인하기 위해 Early Green 적용 시 부도로의 녹색시간(r^i)을 산정하여, 최소녹색시간이 보장될 경우 Early Green을 적용한다.

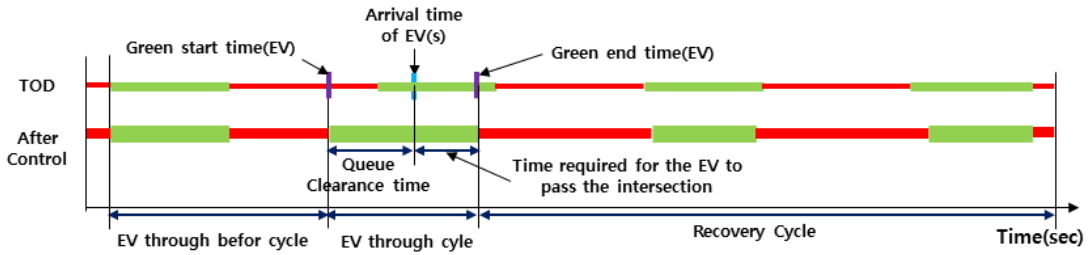
Green Extension을 적용하는 경우는 긴급차량 통과를 위한 신호시간 조정크기(ΔGE)가 Early Green 적용을 위한 조정크기(ΔEG)보다 작은 경우 Green Extension을 적용한다. 추가로, Early Green 적용 조건 중 부도로 녹색시간(r^i)이 최소녹색시간(r_{min}^i)보다 작은 경우에도 Green Extension을 적용한다.

$$EG : \text{if } \Delta EG < \Delta GE \text{ and } r^i - \Delta EG > r_{min}^i \tag{6}$$

$$GE : \text{if } \Delta EG > \Delta GE \text{ or } r^i - \Delta EG < r_{min}^i \tag{7}$$

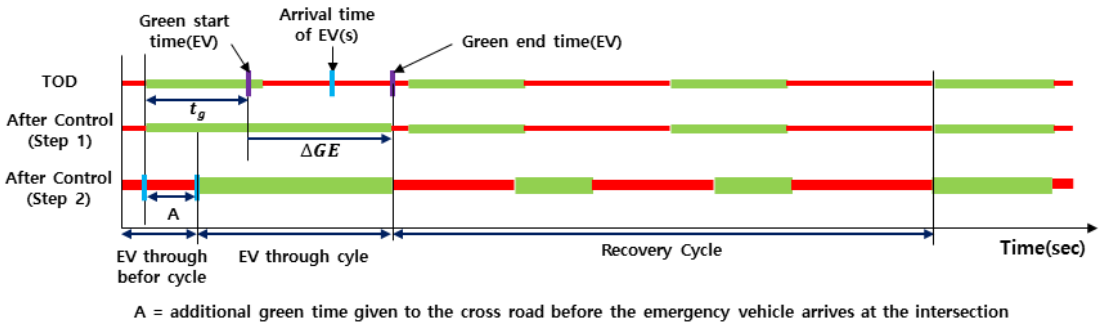
Early Green 적용 시에는 긴급차량 통과 전주기의 부도로 녹색시간을 ΔEG 만큼 감소시키고, 요구녹색시점부터 긴급차량 진행방향에 녹색현시를 부여하고, 긴급차량 통과시간 종료 시점에 해당 녹색현시를 종료시킨

다. Early Green 적용 이후에는 회복주기를 통해서 기존 TOD로 회복한다.



〈Fig. 3〉 Signal times before and after priority control (Early Green)

Green Extension 적용 시에는 긴급차량 통과를 위하여 녹색종료시점까지 녹색시간을 연장한다. 하지만 긴급차량 진행방향의 녹색시간이 지나치게 길어지는 문제가 발생할 수 있으므로, 본 연구에서는 선보상 방법을 통하여 부도로의 신호시간을 우선적으로 부여하는 방법을 적용하였다. 선보상의 크기는 요구녹색시점에 긴급차량통과 주기 녹색시작시점(TOD기준)의 차이(t_g)의 50% 해당하는 값을 적용하였고, 회복주기를 통해 기존 TOD로 회복하도록 하였다.



〈Fig. 4〉 Signal times before and after priority control (Green Extension)

⑥ Step 6 : 회복주기(기존 TOD로 복귀)

회복주기는 긴급차량 우선신호 제어로 인한 각 현시별 손실시간을 보상하면서 기존 TOD 신호시간으로 회복하는 과정이다. 부도로에 대한 손실시간 보상을 위해서는 우선신호 제어 후 각 현시별 녹색시간과 기존 TOD에 따른 녹색시간의 차이를 계산한다. 현시별 손실시간이 산정된 후에는 회복주기수를 산정하여 주기별로 동일한 비율로 회복하도록 하였다. 회복주기 수는 최소녹색시간을 고려하여 산정하며, 신호시간의 변동을 최소화하기 위하여 최소 2주기 이상에 걸쳐 회복하도록 설정하였다.

2) 현장제어 우선신호제어 알고리즘

현장제어 우선신호는 차량에 설치된 단말기(OBE)와 교차로에 설치된 검지기(RSE)와의 통신을 통해 긴급차량이 통과할 수 있도록 우선신호를 제공하는 시스템이다. 센터제어와 달리 긴급차량이 교차로에 진입하기 전에 사전제어가 불가능하며, 관제센터가 없으므로 대기차량길이 산정에도 한계가 있다. 현장제어의 경우 긴급차량이 해당교차로 진입 검지 시점과 현시정보를 입력자료로 하여, 긴급차량을 위한 우선신호를 제공하게

된다. 이때, 검지시점의 현시가 긴급차량 통과현시가 아닐 경우 최소녹색시간을 제공한 후 신호제어권을 긴급차량 우선신호로 넘겨 신호시간으로 변경하게 된다. 그리고 긴급차량이 해당교차로를 완전히 통과한 것을 검지한 이후에는 긴급차량을 위한 우선신호는 멈추고, 회복주기를 통해 기존 TOD로 회복하게 된다. 본 연구에서 제안하는 현장제어 시스템은 별도의 관제시스템 및 대기차량 검지를 위한 검지가가 설치되지 않은 환경을 고려하여 개발하였다. 현장제어 시 입력자료는 긴급차량의 실시간 정보(속도, 위치), 교차로 검지영역 DB, TOD정보가 사용되었다.

본 연구에서는 현장제어 방식의 우선신호 제어를 다음과 같은 과정을 거쳐 수행하였다.

① Step 1 : 긴급차량 교차로 진입확인(가상의 검지영역 설정)

긴급차량이 해당교차로에 진입여부를 확인하기 위하여 본 연구에서는 교차로 중심을 기준으로 가상의 검지영역(200m)을 설정하여, 차량단말기에서 수집되는 차량위치가 해당영역에 진입할 경우 긴급차량이 해당교차로를 진입한 것으로 판단하도록 설계하였다. 본 연구에서는 VISSIM을 이용하여 실시간으로 긴급차량의 위치정보(Link ID, Position)를 수집하여 교차로 진입을 판단하였다. 검지영역은 실제 현장에 적용할 경우에는 해당구간의 기하구조 등을 판단하여 설정할 수 있으며, DB화하여 저장하여야 한다.

② Step 2 : 긴급차량 우선신호로 변경(황색예비등 점등 후)

긴급차량이 해당교차로의 검지영역에 진입할 경우 로컬 제어기에서는 현재 진행현시가 긴급차량 통과현시인지 아닌지를 판단하여 긴급차량 우선신호를 제어하게 된다. 긴급차량 통과현시인 경우 해당현시의 녹색시간을 제공하고, 만약 해당현시 내에 긴급차량이 통과하지 못할 경우, 긴급차량이 통과할 때 까지 녹색현시를 연장하여 제공한다. 반면, 긴급차량 통과현시가 아닌 경우에는 해당현시의 최소녹색시간까지만 보장한 후 황색점등 후 긴급차량 처리를 위한 신호로 변경하고, 긴급차량이 통과할 때 까지 녹색시간을 제공하게 된다.

③ Step 3 : 긴급차량 교차로 통과확인(우선신호 종료)

긴급차량이 해당교차로를 통과할 경우 로컬 제어기에서는 긴급차량 처리를 위한 우선신호는 종료한다. 긴급차량 통과확인인 마지막 차량이 통과할 때를 기준으로 수행하며, 황색신호 점등 후 회복주기를 적용하도록 설정하였다. 긴급차량의 교차로 통과확인인 Step 1에서와 같이 긴급차량의 위치정보를 활용하여 판단하였다.

④ Step 4 : 회복주기(기존 TOD 복귀)

현장제어 방법의 회복주기 적용은 센터제어와 동일하게 현시별 손실시간을 산정 후, 회복주기 횟수에 따라 각 주기별로 손실시간을 회복하여 기존 TOD로 복귀하게 된다.

3) 융합제어 우선신호제어 알고리즘

융합형제어 우선신호 제어는 1차적으로 센터제어 알고리즘을 수행하여 긴급차량 우선신호를 운영한다. 이 때, 센터제어를 통해서 예측한 긴급차량의 교차로 도착시각이 실제 교차로 도착시각과 차이를 보일 때 현장제어 방법을 적용하여 긴급차량이 통과할 수 있도록 보조하는 역할을 수행한다. 또한 긴급차량의 진행방향을 알고 있기 때문에 이후 진행방향 교차로에 대해서도 신호시간 업데이트가 가능하며, 긴급차량의 지체를 최소화 할 수 있는 방법이라고 할 수 있다. 실제 센터제어의 경우 긴급상황 접수시점을 기준으로 긴급차량의 이동경로에 포함된 모든 교차로를 제어하기 때문에 긴급차량의 속도 및 대기차량 소거시간이 잘못 예측될

경우 신호로 인한 지체가 발생할 수 있기 때문에 이를 방지하기 위하여 융합제어 알고리즘을 제안하였다. 융합제어 시 입력자료는 센터제어, 현장제어 시 사용된 모든 자료가 활용된다.

본 연구에서는 융합형제어 방식의 우선신호 제어를 다음과 같은 과정을 거쳐 수행하였다.

① Step 1 : 센터제어 우선신호 알고리즘 수행

융합형 제어는 긴급상황이 접수되면 1차적으로 센터제어 알고리즘을 수행하여 긴급차량이 통과할 수 있도록 신호시간을 산정하여 적용한다. 센터제어 알고리즘 수행과정은 앞서 제시한 내용과 동일하다.

② Step 2 : 긴급차량 교차로 진입 검지 시 교차로 도착시간 예측

긴급차량이 대상 교차로(i) 검지영역에 도달하여 검지되면, 검지범위($l_{detector}=200m$), 교차로 내 긴급차량 최초 검지시간(t_d^i), 실시간 긴급차량 속도(v_{ev}^i)를 이용하여 해당교차로 도착시간을 예측한다. 긴급차량 단말기는 1초단위로 긴급차량의 위치좌표와 속도자료가 수집된다. 차량단말기에서 수집되는 GPS 지점속도 자료는 오차 발생위험이 높으므로, 중위값을 대푯값으로 설정하였다. 또한, 긴급차량의 교차로 진입여부 판단을 위한 검지범위는 200m로 설정하였으며, 이를 이용하여 교차로 진입 시 교차로 도착시간(t_a^i)을 예측하였다.

$$t_a^i = t_d^i + \frac{l_{detector}}{v_{ev}^i} \tag{8}$$

③ Step 3 : 긴급차량 진행방향 교차로 신호시간 업데이트

융합형 제어방식은 긴급차량의 진행방향을 알 수 있으므로, 해당교차로에 대해 센터제어를 통해 예측한 결과와 현장제어를 통해 산정된 예측값과의 차이(t_{gap})가 임계치(10초) 수준 이상일 경우에 한에서만 진행방향 교차로에 대하여 신호시간을 업데이트 하였다. 신호시간 업데이트를 위한 제약조건은 긴급차량 검지주기와 통과주기가 다를 경우, 즉 현재 운영 중인 주기가 아닌 경우에만 적용되며, 신호시간의 업데이트는 위의 조건을 만족하는 교차로에 대해서, 신호시간의 차이(t_{gap})만큼 긴급차량 통과현시 시간을 조정하도록 설계하였다.

$$t_{gap} = t_a^i(center) - t_a^i(local) \tag{9}$$

④ Step 4 : 긴급차량 통과 시까지 녹색현시 유지

센터제어 시 산정된 긴급차량 우선신호 시간 내에 긴급차량이 통과가 불가능할 경우에는 현장제어를 통해 녹색현시를 유지하여, 긴급차량이 통과할 수 있도록 신호시간 제공하도록 설정하였다. 즉, 돌발상황 및 교통정체로 인하여 긴급차량이 센터제어 시 예측한 도착시점과 차이를 보일 수 있으므로, 현장제어를 통해 해당교차로를 통과할 때 까지 녹색현시를 유지하며, 현장제어 방법과 동일하다.

⑤ Step 5 : 긴급차량 해당교차로 통과 시 회복주기 적용(기존 TOD 복귀)

긴급차량의 교차로 통과여부 판단은 현장제어 시 적용한 방법과 동일하며, 센터제어 시 산정된 긴급차량 우선신호 시간 내에 긴급차량이 통과가 불가능한 경우에 변경된 신호시간을 고려하여, 회복주기를 갱신한다.

IV. 개발 알고리즘 적용

1. 시뮬레이션 분석 개요

본 연구에서 개발한 긴급차량 우선신호 제어 알고리즘의 효과 평가를 위해 VISSIM을 이용하였고, 긴급차량 우선신호를 구현하기 위해서 Com-Interface를 이용하여 분석을 수행하였다. 분석대상 구간은 종로1가~신설동역 오거리 교차로 간 3.2km에 대하여 분석을 수행하였다. 분석대상구간에는 7개의 교차로가 존재하며, TOD정보를 이용하여 신호시간을 적용하였다. 긴급차량은 종로소방서에서 출발하여, 동묘앞~신성동역 교차로 사이에서 진출하는 것으로 설정하였고, 긴급차량이 특정시간에 발생할 수 있도록 설정을 하였다. 시뮬레이션 분석시간은 혼잡상황 구현 및 긴급차량 우선신호로 인한 지체의 변화를 살펴볼 수 있도록 1시간으로 설정하였고, 5분단위로 일반차량의 지체 변화를 살펴보았다. 또한 TOD대비 긴급차량 우선신호 제어의 효과를 분석하기 위하여 random seed번호는 동일하게 적용하여 비교 분석하였다.

2. 분석시나리오 설정 및 효과척도 설정

긴급차량 우선신호 융합형제어 알고리즘에 대한 효과를 비교하기 위하여, TOD운영, 센터제어, 현장제어, 융합형 제어 시 총 4가지 시나리오에 대하여 긴급차량의 지체변화를 분석하였다. 또한, 교통상황에 대한 효과평가를 위해 교통량 시나리오는 주도로 V/C=0.6, 1.0, 부도로 V/C=0.6 총 2가지 상황을 설정하였다. 마지막으로 긴급차량의 출발시간대에 따라 우선신호의 효과는 차이를 보일 것으로 예상되므로 긴급차량의 출발시각을 1,600초, 1,650초, 1,700초 총 3가지 시나리오를 설정하여 분석하였다. 분석시나리오를 정리하면, 신호체계(4가지), 긴급차량 출발시간대(3가지), 교통상황(2가지) 총 24가지에 대하여 시뮬레이션 분석을 수행하였다.

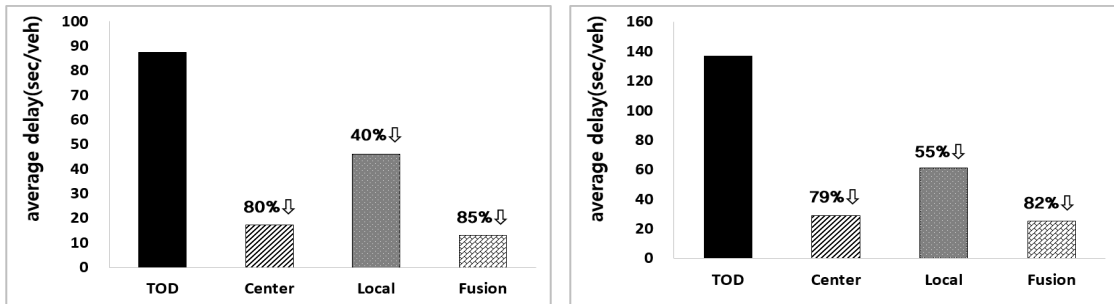
긴급차량 우선신호 제어 평가를 위한 효과척도는 긴급차량 지체시간과 통행시간을 산정하였고, 일반차량에 대해서는 주도로/부도로로 분류하여 평균지체시간을 산정하였다. 일반차량 평균지체시간은 긴급차량 우선신호 적용으로 인한 영향을 분석하기 위하여 5분단위로 집계하여 시간의 흐름에 따른 변화를 살펴보았다.

3. 시뮬레이션 분석결과

긴급차량 출발시각을 달리 적용한 시뮬레이션 결과의 평균값은 다음과 같으며, 융합형제어 운영 시 긴급차량 우선신호의 효과가 가장 높은 것으로 분석되었다. 현장제어의 경우 사전에 대기차량 소거가 어렵고, 긴급차량의 교차로 진입 시 최소녹색시간이 보장되지 않을 경우에 신호로 인한 지체가 발생할 수 있으므로, TOD대비 지체감소율은 가장 낮은 것으로 분석되었다. 센터제어와 융합형 제어는 지체감소 측면에서는 유사한 효과를 보였지만, 만약 돌발상황 및 교통혼잡으로 인하여 긴급차량의 교차로 예측시간이 큰 차이를 보일 경우 신호로 인한 지체가 크게 발생할 수 있을 것이다.

〈Table 1〉 Simulation results(Emergency Vehicle)

Main street V/C	Minor street V/C	Signal control method	Travel time(s)	Average delay(sec/veh)	Delay reduction rate against TOD
0.6	0.6	TOD	265	88	
		Center	195	17	80%
		Local	223	46	47%
		Fusion	189	13	85%
1.0	0.6	TOD	313	137	
		Center	207	29	79%
		Local	238	61	55%
		Fusion	202	25	82%

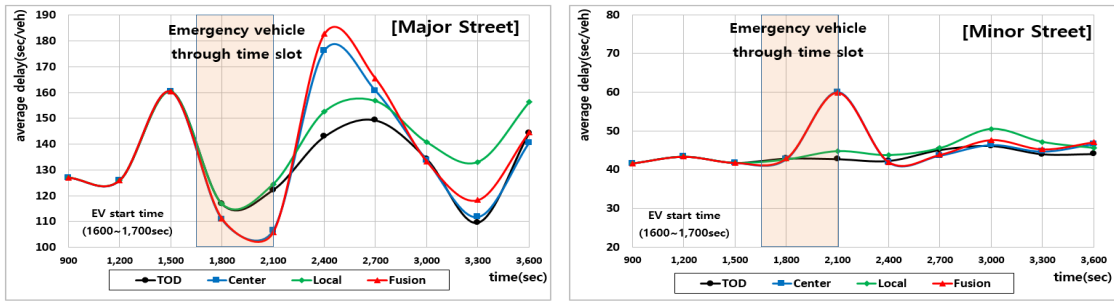


〈Fig. 5〉 Delay reduction rate against TOD

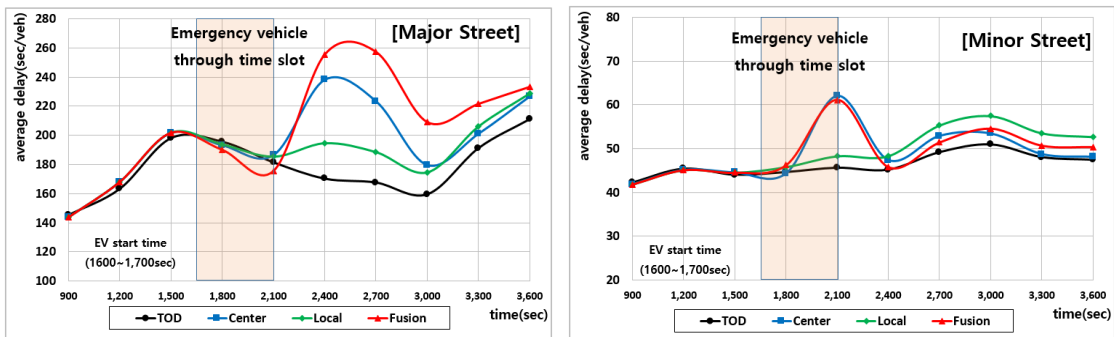
긴급차량 우선신호 적용으로 인하여 일반차량에 대한 지체의 변화를 분석한 결과 긴급차량 우선신호 제어 시간대, 즉 긴급차량이 통과하는 시간대에서는 주도로 방향의 지체가 다소 감소하고, 이후 회복주기에서는 지체가 증가하는 패턴을 보이는 것으로 분석되었다. 긴급차량 통과 후 회복주기 시 주도로의 지체는 긴급차량 통과를 위해 증가된 녹색시간을 회복주기를 통해 기존 TOD 복귀하는 과정에 녹색시간이 감소하여 지체가 증가한 것으로 분석되었다. 또한, 교통량이 많은 경우 긴급차량 우선신호제어로 인한 일반차량의 지체 증가율이 더 높은 것으로 나타났고, 부도로 보다 주도로의 지체증가가 큰 것으로 나타났다.

〈Table 2〉 Simulation results(normal vehicles)

Classification	Major street V/C	Minor street V/C	Signal control method	Average delay(sec/veh)	Delay reduction rate against TOD
Major street	0.6	0.6	TOD	133	
			Center	137	2.90%
			Local	139	4.00%
			Fusion	139	4.40%
	1.0		TOD	176	
			Center	192	9.30%
			Local	198	12.60%
			Fusion	201	14.40%
Minor street	0.6	TOD	42		
		Center	44	4.20%	
		Local	43	2.60%	
		Fusion	44	4.70%	
	1.0	TOD	45		
		Center	47	5.10%	
		Local	47	5.70%	
		Fusion	47	5.80%	



〈Fig. 6〉 Delay change of normal vehicles in priority signal control(major V/C=0.6)



〈Fig. 7〉 Delay change of normal vehicles in priority signal control(major V/C=1.0)

V. 결 론

긴급차량 우선신호와 관련한 대부분의 연구에서는 센터제어 또는 현장제어에 대하여 독립된 형태의 시스템을 개발하여 적용하였다. 교통인프라 구축 상황에 따라 센터제어와 현장제어 방법은 긴급차량 통과를 위하여 유용하지만, 각각의 시스템은 단점을 갖고 있다. 센터제어의 긴급차량 출발 전 사전제어가 가능하여 대기차량 소거를 위한 시간을 반영할 수 있지만, 돌발상황 및 교통정체로 인하여 긴급차량의 교차로 도착시각이 큰 차이를 보일 경우 신호로 인한 지체를 경험하게 될 것이다.

현장제어의 경우 중앙관계 센터가 없이도 긴급차량에 설치된 단말기와 교차로에 설치된 검지기만을 이용하여 긴급차량 우선신호 적용이 가능하며, 단말기를 통해 실시간 긴급차량의 위치정보 및 속도정보 수집이 가능하여 긴급차량 교차로 통과여부를 판단할 수 있는 장점이 있다. 하지만, 긴급차량의 교차로 진입 검지 시 우선신호 제어가 가능하므로, 센터제어와 같이 사전에 대기차량 소거를 위한 신호계획 수립이 불가능하고, 보행자의 안전을 위해 최소녹색시간을 보장해야하기 때문에 긴급차량 검지시점에 따라 신호로 인한 지체를 경험할 가능성이 높다.

본 연구에서는 긴급상황 발생 시 긴급차량의 통과를 위하여 융합형 우선신호 제어 알고리즘을 개발하였다. 융합형제어 우선신호는 현장제어와 센터제어의 한계를 보완하여 긴급차량의 지연도착 최소화를 보장할 수 있도록 하였다. 융합형 제어 알고리즘은 센터제어를 통해 대기차량 소거를 위해 긴급차량 출발 전에 우선신호 계획을 수립하고, 현장제어를 통해 긴급차량의 실시간 위치정보 및 속도 정보를 이용하여, 센터제어 시

예측한 긴급차량의 교차로 도착시각이 차이를 보일 경우에도 긴급차량이 통과할 수 있도록 하였다. 추가로 현상제어 적용 시 긴급차량의 진행방향을 알 수 있으므로, 센터제어 예측정보와 실제 도착시점과의 차이가 일정수준 이상일 경우 긴급차량 진행방향 이후 교차로에 대하여 조정할 수 있도록 하였다. 향후 연구로는 센터제어 시 긴급차량의 대표속도 산정에 대한 연구가 필요할 것이다. 본 연구에서는 전주기의 링크별 대표속도를 적용하였지만, 실제 긴급차량 우선신호 시 대기차량 소거 및 연동으로 인하여 예측 시 적용한 속도보다 높을 가능성이 높다. 따라서 다양한 상황에 대한 시뮬레이션 분석을 통해 수집된 자료들을 바탕으로 긴급차량의 속도를 예측할 수 있는 방법론 개발이 필요하다. 또한, 긴급차량 우선신호 적용 이후 일반차량의 지체를 최소화하기 위한 회복주기 알고리즘 개발에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 미래창조과학부 재원으로 경찰청과 치안과학기술연구개발사업단의 지원을 받아 수행된 치안과학기술연구개발사업임. (PA-A000001-2015-405)

REFERENCES

- Adekunle O. O. and Oluwaseyitan O., Emergency Vehicle Priority Preference at Multiple Wireless Network Sensors (MWNS) Intelligent Road Traffic Signal Control System.
- Choi K. J., Kim D. H., Yoon D. W. and Park S. K.(2006), "The traffic management system for Emergency Vehicles based on DSRC System," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea TC*, vol. 43, no. 9, pp.40-48.
- Eltayeb A. S., Almubarak H. O. and Attia T. A.(2013), "A GPS based traffic light pre-emption control system for emergency vehicles. In Computing, Electrical and Electronics Engineering (ICCEEE)," 2013 International Conference on IEEE, August, pp.724-729.
- Hong K. S., Jung J. H. and Ahn G. H.(2012), "Development of the Emergency Vehicle Preemption Control System Based on UTIS," *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 11, no. 2, pp.39-47.
- Kotani J., Yamazaki K. and Jinno M.(2011), "Expanding Fast Emergency Vehicle Preemption System in Tokyo," In 18th ITS World Congress TransCoreITS AmericaERTICO-ITS EuropeITS Asia-Pacific.
- Kwon E., Kim S. and Betts R.(2003), "Route-based dynamic preemption of traffic signals for emergency vehicles operations," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 9.
- Lee J. H. and Lee S. S.(2009), "A Study on the Preemption Control Strategies Considering Queue Length Constraints," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 27, no. 2, pp.179-187.
- Lee J. I. and Seok J. S.(2013), "A Study on Construction of an emergency vehicle dispatch support system," *Journal of the Korea Safety Management and Science*, vol. 15, no. 2, pp.95-101.
- Lee J., Lee S., Lee J., Um K. H. and Lee Y.(2017), "A Passive Traffic Signal Priority Control Algorithm for Emergency Vehicles," *Journal of Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 16, no. 3, pp.110-119.
- Lee S., Lee J., Kim D. and Ko S.(2010), "A Study on the Preemption Control Strategies considering Minimum

Green-time based on Real-time Vehicle Information,” *Conference of Korea Institute of Intelligent Transportation Systeys*, pp.174-179.

Noori H., Fu L. and Shiravi S.(2016), A connected vehicle based traffic signal control strategy for emergency vehicle preemption. In Transportation Research Board 95th Annual Meeting (No. 16-6763).