

긴급차량 우선신호 센터제어 알고리즘 개발

A Passive Traffic Signal Priority Control Algorithm for Emergency Vehicles

이 증 우* · 이 송 봉** · 이 진 수*** · 엄 기 훈*** · 이 영 인****

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

Jongwoo Lee* · Soong-bong Lee** · Jinsoo Lee*** · Ki Hun Um*** ·
 Young-lhn 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 : Soong-bong Lee, habanera82@hanmail.net

Vol. 16 No.3(2017)
 June, 2017
 pp.110~119

ISSN 1738-0774(Print)
 ISSN 2384-1729(On-line)
<https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.3.110>

Received 10 April 2017
 Revised 26 April 2017
 Accepted 4 May 2017

© 2017. The Korea Institute of
 Intelligent Transport Systems. All
 rights reserved.

요 약

본 연구에서는 긴급차량 우선신호 센터제어 알고리즘을 개발하였다. 센터제어는 긴급차량 출동 요청이 접수되면 긴급차량 경로의 각 교차로에 대하여 신호시간을 산출 및 적용한다. 긴급차량 출발 이전에 신호시간을 제어하기 때문에 대기차량을 보다 효과적으로 소거할 수 있다. 대부분의 기존 연구에서는 긴급차량 도착 시점에 부도로의 녹색현시를 종료하는 preemption 방식을 적용하였다. 본 연구에서는 현시순서를 변경하지 않기 위해 Green Extension 과 Early Green만을 적용하였고 각 현시별 최소녹색시간을 보장하였다. 시뮬레이션 결과, 신호를 제어하였을 때 긴급차량의 지체는 신호를 제어하지 않았을 때에 비해 감소하는 것으로 나타났다. 향후 본 연구에서 제시한 센터제어 알고리즘에 현장제어를 결합하여 긴급차량의 실시간 위치와 교차로 통과 여부를 반영하면 긴급차량의 지체를 추가로 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

핵심어 : 긴급차량 우선신호, 센터제어, Early Green, Green Extension, 최소녹색시간

ABSTRACT

This study develops a passive traffic signal priority control algorithm for emergency vehicles. The passive priority control estimates and 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. Most of the previous studies applied preemption, which ends green time of cross streets when the emergency vehicle arrives at each intersection. This study applies green extension and early green in order not to shift the order of phases, and guarantees minimum green time for each phase. Simulation results show that the delay of emergency vehicles decreases when the signals are controlled. It is expected that delays can be decreased further by integrating the active priority control with the passive priority control algorithm presented in this study.

Key words : Emergency Vehicle Priority Signal System, Passive Signal Control, Early Green, Green Extension, Minimum Green Time

I. 서론

화재, 사고, 응급환자 발생 등 위급한 상황에서는 최대한 빠른 시간 내에 적절한 대응 조치를 취하는 것이 필수적이다. 이러한 상황이 발생했을 때 적절한 대응 시기를 놓쳐 인명 및 재산 피해가 커지지 않도록 하기 위해서는 대응을 위해 필요한 소방차 및 구급차와 같은 긴급차량이 최대한 빠르게 현장에 도착할 수 있도록 할 필요가 있다. 하지만, 긴급상황 장소와의 물리적 거리로 인하여 도착시간을 줄이는 것은 시설물의 증설 이외에는 다른 대안이 없으므로, 신호시스템의 조정을 통해 출동지연 문제를 해결할 필요가 있다.

긴급차량 경로 상의 신호교차로 및 다른 차량들로 인해 긴급차량의 교차로 통과 시 녹색현시가 부여되지 않거나, 경로상의 일반차량으로 인해 지체되는 경우가 있다. 이러한 상황에서 긴급차량이 신속하게 이동하기 위하여 역주행이나 신호 무시를 할 경우, 긴급차량과 일반차량의 안전을 보장하기 어렵다. 긴급차량 우선신호 시스템은 긴급차량의 신속한 교차로 통과를 위하여 신호 제어를 통한 우선신호를 제공하고 기존 신호로 복귀시키는 시스템으로써, 긴급차량이 역주행 및 신호 무시를 하지 않고도 보다 신속하게 교차로를 통과할 수 있도록 함으로써 긴급차량의 대응 시간 단축과 긴급차량 및 일반차량의 안전 확보가 가능하다는 장점이 있다. 본 연구에서는 이와 같이 긴급차량 주행의 안전성과 신속성을 보장하면서도, 신호제어로 인한 일반차량 운전자의 혼란과 부도로 일반차량의 지체 등의 부정적 영향을 최소화하는 긴급차량 우선신호 제어 알고리즘을 개발하고자 한다.

II. 기존연구 검토

긴급차량 우선신호는 일반적으로 긴급차량 출발 시 또는 교차로 접근 시 차량을 검지하고, 긴급차량이 지체 없이 교차로를 통과할 수 있도록 신호 현시 및 주기를 변경하며, 긴급차량이 통과한 후 기존의 신호 체계로 회복하는 단계를 거쳐 신호를 제어한다.

긴급차량 우선신호 시스템은 긴급차량 검지 및 신호제어 범위에 따라 센터제어와 현장제어로 구분할 수 있다. 센터제어의 경우 긴급차량 진행 경로상의 모든 교차로의 신호를 제어하는 방법으로써, 긴급차량이 각 교차로에 도착하기 전에 미리 대기차량을 소거할 수 있다는 장점이 있으나, 긴급차량의 현재 위치 및 교차로 통과 여부를 알기 어려운 경우가 많아 긴급차량의 진행에 따른 유연한 대응이 어렵다는 단점이 있다. 현장제어의 경우 각각의 교차로 단위로 긴급차량의 현재 위치 및 통과 여부에 따라 신호를 제어하는 방식으로, 교차로의 현재 위치 및 통과 여부를 고려하여 신호를 제어할 수 있으나 대기차량이 많을 경우 긴급차량이 도착하기 전까지 대기차량을 모두 소거하지 못하여 지체가 발생할 수 있다.

긴급차량 우선신호 관련 선행연구에서는 신호대기와 일반차량으로 인한 지체를 최소화하는 신호현시 제어 방법을 제시하였다. Choi et al.(2006), Yang et al.(2008), Lee and Seok(2013), Lee et al.(2010), Lee et al.(2009) 등 대부분의 연구에서는 긴급차량의 교차로 도착시점에 맞춰 현재 현시를 종료하고 긴급차량 진행 방향에 녹색현시를 부여하는 Preemption을 적용하였다. 이외에도 Hong et al.(2012)는 긴급차량이 도착하는 시점에 녹색현시가 부여되도록 주기를 늘이거나 줄이는 방법을 제시하였고, Park et al.(2012)의 경우는 현시 삽입 (Phase Insert), Oh and Lee(2006)는 Early Green과 Green Extension을 사용한 방법론을 제시하였다.

또한 기존 연구에서는 긴급차량 우선신호 제어 시 여러 가지 요소를 변수로 고려하였다. Choi et al.(2006), Lee et al.(2009), Lee et al.(2010)의 연구는 긴급차량이 교차로에 도착하였을 때 대기차량이 소거되지 않은 경우 지체가 발생하므로, 긴급차량이 교차로에 도착하기 전에 대기차량을 소거할 수 있도록 녹색시간을 산정

하였다. Hong et al.(2012)는 긴급차량의 진행방향을 고려하여 해당 현시에 대해 신호를 제어하는 방법론을 제시하였다. Lee et al.(2010)는 보행자신호를 부여하기 위한 최소녹색시간을 고려하여 신호 제어 시점을 결정하였다.

또한 긴급차량 우선신호 제어 시 신호가 기존의 주기 및 현시와 다르게 운영되기 때문에, 기존의 신호시간으로 회복하는 과정이 필요하다. Park(2006)은 긴급차량 통과 이후 1개 주기를 회복주기로 설정하고, 해당 주기에 대하여 차량당 평균지체를 최소화하도록 현시별 시간을 산출하는 모형을 제시하였다. Oh and Lee(2006) 또한 긴급차량 통과 이후 1개 주기를 회복주기로 설정하고, Early Green과 Green Extension을 통해 긴급차량 진행방향에 추가로 부여한 녹색시간만큼을 부도로에 보상하였다. Yun et al.(2007)은 시물레이션을 통해 다양한 긴급차량 우선신호 제어전략을 검토한 결과 우선신호 제어 후 2~3주기에 걸쳐 회복하는 것이 가장 효과적이며, 우선신호 제어로 인한 악영향을 최소화하기 위한 현시 순서를 고려할 필요가 있다는 점을 제시하였다. Nelson and Bullock(2000)은 회복 시 전이 방식으로 “smooth”, “add”, “dwell”을 비교하여 “smooth” 방식이 가장 많이 지체를 감소시키는 것으로 분석하였다.

기존의 긴급차량 우선신호 시스템에 대한 연구는 대부분 Preemption 방식을 적용하여 긴급차량 지체를 최소화하고자 하였으나, 부도로 최소녹색시간의 확보가 어려울 수 있고 현시 순서가 변경되거나 현시를 생략하는 경우가 발생할 수 있다. 이는 일반차량의 지체를 증가시키고 운전자의 혼란을 유발한다는 한계점이 있다. 따라서 본 연구에서는 신호현시 순서를 변경하거나 현시를 생략하지 않고 각 이동류별로 최소녹색시간을 보장하면서도 긴급차량의 지체를 최소화하는 알고리즘을 개발하고자 한다.

Ⅲ. 분석방법론

1. 긴급차량 우선신호 센터제어 알고리즘

본 연구에서는 긴급차량 우선신호 센터제어 알고리즘을 개발하고 효과를 평가하고자 한다. 센터제어는 긴급차량 출동 요청을 접수하면, 긴급차량이 출발하기 전에 긴급차량 경로의 모든 신호교차로의 신호를 제어하여 긴급차량의 지체를 최소화하는 우선신호 제어 방법이다. 긴급차량 출발 전에 신호를 제어하므로 각 교차로의 대기차량을 사전에 소거하여 긴급차량의 지체를 최소화할 수 있다. 추가적으로, 일반차량 운전자의 혼란을 방지하기 위하여 현시 순서를 변경하거나 현시를 생략하지 않도록 Green Extension과 Early Green을 적용하고, 각 현시의 최소녹색시간을 보장하는 것을 원칙으로 한다.

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

- Step 1. 긴급차량 경로 설정
- Step 2. 긴급차량 경로의 각 교차로별 긴급차량 도착시각 추정
- Step 3. 긴급차량 도착 시 대기차량 소거 여부 및 긴급차량 진행방향 녹색현시 여부 확인
- Step 4. 긴급차량 지체 발생 시, 현시조정 방식 (Green Extension 또는 Early Green) 결정
- Step 5. 현시 조정 (Green Extension 또는 Early Green)
- Step 6. 기존의 신호시간으로 회복

위의 신호시간 산정 과정을 거쳐 신호를 제어하는 긴급차량 우선신호 센터제어 알고리즘은 아래와 같이 출발지부터 목적지까지의 긴급차량의 지체(D_{ev}^i)를 최소화하는 것을 목적으로 각 교차로 i 에 대하여 주기 c

(긴급차량 통과 주기)의 긴급차량 진행방향 녹색현시(g_c^i)를 구하는 식으로 나타낼 수 있다. 긴급차량 진행방향 녹색현시는 기존의 녹색현시(g_0^i)에 Early Green과 Green Extension 적용으로 인해 증가된 녹색시간(각각 ΔEG , ΔGE)을 더한 값으로, 대기차량 소거시간(q_c^i)과 긴급차량이 교차로를 통과하는 시간(Th_{ev})과 같거나 길어야 한다. 긴급차량 통과 후 부도로에 신호제어로 인해 손실된 시간을 보상하므로, 긴급차량 통과 후 부도로 녹색시간(r_c^i)은 기존의 부도로 녹색시간(r_0^i)에 ΔEG or ΔGE 를 더한 값으로 나타낸다. 만약 EG이 적용될 경우 이전주기 부도로 녹색시간(r_{c-1}^i)은 ΔEG 만큼 감소한다.

여기에서 Early Green과 Green Extension 중 한 가지 방법을 선택하여 적용하며, 조정되는 신호시간은 부도로의 녹색시간보다 길 수 없다. 또한 각각의 현시에 대하여 최소녹색시간 (g_{min}^i, r_{min}^i)이 확보되어야 한다.

$$Minimize \sum_{i=1}^n D_{ev}^i(g_c^i) \tag{1}$$

Subject to

$$\begin{aligned} g_c^i &= g_0^i + \min(\Delta EG, \Delta GE) & r_{c-1}^i &= r_0^i - \Delta EG \\ g_c^i &\geq q_c^i + Th_{ev} & \min(\Delta EG, \Delta GE) &\leq r_0^i \\ r_c^i &= r_0^i + \min(\Delta EG, \Delta GE) & g_k^i &\geq g_{min}^i, \text{ where } k = c-1, c, c+1, \dots \\ g_{c-1}^i &= g_0^i & r_k^i &\geq r_{min}^i, \text{ where } k = c-1, c, c+1, \dots \end{aligned}$$

D_{ev}^i	=	교차로 i 에서의 긴급차량의 지체	q_c^i	=	교차로 i 에서의 대기차량 소거시간
g_c^i	=	교차로 i 에서의 주기 c (긴급차량 통과주기)의 긴급차량 진행방향 녹색시간	Th_{ev}	=	긴급차량의 교차로 통과시간
g_0^i	=	교차로 i 에서의 기존 TOD에 따른 긴급차량 진행방향 녹색시간	r_c^i	=	교차로 i 에서의 주기 c (긴급차량 통과주기)의 부도로 녹색시간
ΔEG	=	Early Green 적용시 증가되는 긴급차량 진행방향 녹색시간	r_0^i	=	교차로 i 에서의 기존 TOD에 따른 부도로 녹색시간
ΔGE	=	Green Extension 적용시 증가되는 긴급차량 진행방향 녹색시간	g_{min}^i	=	교차로 i 에서의 긴급차량 진행방향 최소녹색시간
			r_{min}^i	=	교차로 i 에서의 부도로 최소녹색시간

2. 신호시간 계산 과정

1) 긴급차량 경로설정 및 교차로별 긴급차량 도착시각 추정

긴급차량 출동 요청 접수 시, 긴급차량의 출발지에서 목적지까지의 경로를 설정하고, 해당 경로의 각 신호 교차로 i 에 대하여 긴급차량의 도착시각(T^i)을 추정한다. 긴급차량의 도착시간은 긴급차량의 이전 교차로 도착시간(T^{i-1})과 긴급차량 속도(v_{ev}), 교차로간의 거리($p^i - p^{i-1}$)를 이용하여 산정한다. 본 연구에서 긴급차량의 속도는 도시부 도로의 제한속도인 60km/h로 가정하였다. 본 연구에서 경로설정과 관련한 부분은 다루지 않았으며, 시뮬레이션 상에서 긴급차량의 기중점을 설정하여 경로선택을 하도록 설정하였다.

$$T^i = T^{i-1} + \frac{p^i - p^{i-1}}{v_{ev}} \tag{2}$$

2) 긴급차량 도착 시 대기차량 소거 여부 및 긴급차량 진행방향 녹색현시 여부 확인

긴급차량의 지체를 최소화하기 위해서는 긴급차량이 교차로에 도착하는 시점까지 대기차량을 소거하여야 한다. 각 교차로 i 의 대기차량 소거시간(queue clearance time, qc^i)의 경우, 긴급차량이 교차로 i 에 도착하는 시점의 대기차량 대수(q^i)를 직진이 가능한 차로의 수(N_{Tn}^i)로 나누어 1개 차로당 평균 대기차량 대수를 구한다. 이 값에 차간간격($h=2.0$ 초로 가정)을 곱하여 대기차량 소거시간을 산정한다.

$$qc^i = \frac{q^i}{N_{Tn}^i} \times h \tag{3}$$

본 연구에서는 교차로 $i-1$ 에서 긴급차량 진행방향으로 진입한 차량들 중 교차로 i 를 통과하지 못한 차량의 대수를 교차로 i 의 대기차량 대수(q^i)로 가정한다. q^i 를 산정하기 위해, 우선 교차로 $i-1$ 에서 긴급차량 진행방향으로 직진하여 진입한 차량(V_{Tn}^{i-1}), 우회전하여 진입한 차량(V_R^{i-1}), 좌회전하여 진입한 차량(V_L^{i-1})을 각각 산정하고, 교차로 i 에서 직진하여 통과한 차량(V_{Tn}^i) 또한 산정한다. 각각의 진입 또는 진출 이동류별 차량 대수는 해당 이동류의 진행 가능 녹색시간동안 차량이 일정한 차간간격(좌회전 및 직진의 경우 2.0초, 우회전의 경우 3.5초로 가정)으로 진입한다고 가정하여 산출한다. 교차로 i 의 대기차량 대수는 교차로 $i-1$ 에서 진입한 차량 대수에서 교차로 i 를 통과한 차량 대수를 빼서 산출한다.

$$q^i = (V_L^{i-1} + V_{Tn}^{i-1} + V_R^{i-1}) - V_{Tn}^i \tag{4}$$

긴급차량의 교차로 통과시간(m_{ev})의 경우, 긴급차량 여러 대가 군집을 형성하여 주행하는 상황과 긴급차량이 교차로를 통과하는 데 소요되는 시간을 고려하여 10초로 가정한다.

식 (3)에서 산정한 대기차량 소거시간과 긴급차량의 교차로 통과시간을 합한 시간 동안 녹색현시가 부여되어야 하며, 이 시간의 길이를 요구녹색시간(G_{req}^i)으로 정의한다. 또한, 긴급차량이 통과하는 주기의 녹색현시는 긴급차량의 교차로 도착시각보다 대기차량 소거시간만큼 일찍 시작되어야 한다. 긴급차량 통과 주기의 녹색현시가 시작되어야 하는 시점을 요구녹색시점(T_{req}^i)으로 정의한다.

$$G_{req}^i = qc^i + Th_{ev} \tag{5}$$

$$T_{req}^i = T^i - qc^i \tag{6}$$

식 (6)에서 산정한 요구녹색시점의 현시가 녹색인지 확인한다. 해당 시점의 현시가 적색일 경우 긴급차량의 지체가 발생하게 되므로 이를 최소화하기 위하여 해당 교차로의 신호를 제어한다.

3) 현시 조정 방식 (EG or GE) 결정

위의 과정에서 신호를 제어할 필요가 있다고 판단되면, Early Green을 적용하는 경우와 Green Extension을 적용하는 경우를 비교하고, 이 중 한 가지 방법을 선택하여 신호를 제어한다. Early Green을 적용하는 경우, 긴급차량 통과 녹색현시는 기존 TOD에 따른 긴급차량 진행방향 녹색현시의 시작 시각보다 이른 시점, 즉 식 (6)에서 산정한 요구녹색시점에 시작된다. 이로 인해 증가되는 긴급차량 진행방향 녹색현시(ΔEG)를 산

출한다. 바로 이전 현시, 즉 부도로 녹색시간의 경우 ΔEG 만큼 감소하는데, 이 때 부도로에 최소녹색시간이 보장되는지 확인하기 위하여 기존의 부도로 녹색시간(r)에서 감소하는 녹색시간(ΔEG)을 빼서 부도로의 잔여 녹색시간($r - \Delta EG$)을 산출한다. Green Extension을 적용하는 경우, 긴급차량 통과 녹색현시는 기존 TOD에 따른 긴급차량 진행방향 녹색현시의 종료 시점으로부터 긴급차량의 통과 완료 예상 시점까지 연장된다. 이로 인해 증가되는 긴급차량 진행방향 녹색현시(ΔGE)를 산출한다.

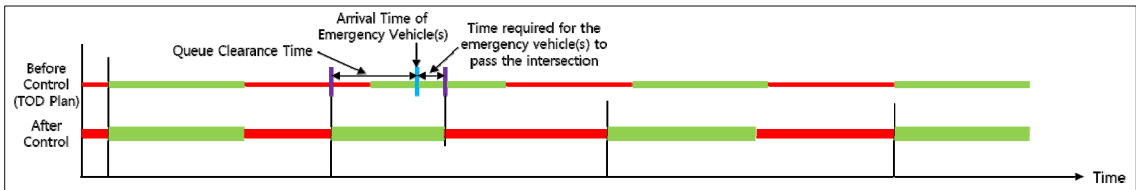
현시 조정 방식 결정을 위하여, 우선 위에서 산출한 ΔEG 와 ΔGE 를 비교한다. Early Green 적용 시 증가되는 긴급차량 통과 현시 시간(ΔEG)이 Green Extension 적용 시 증가되는 긴급차량 통과 현시 시간(ΔGE)보다 짧고, Early Green 적용 후 부도로의 잔여 녹색시간($r - \Delta EG$)이 부도로의 최소녹색시간(r_{min})보다 길거나 같을 경우, Early Green을 적용한다. 이외의 경우에는 Green Extension을 적용한다.

$$EG : \text{if } \Delta EG \leq \Delta GE \text{ and } r - \Delta EG \geq r_{min} \tag{7}$$

$$GE : \text{if } \Delta EG > \Delta GE \text{ or } r - \Delta EG < r_{min} \tag{8}$$

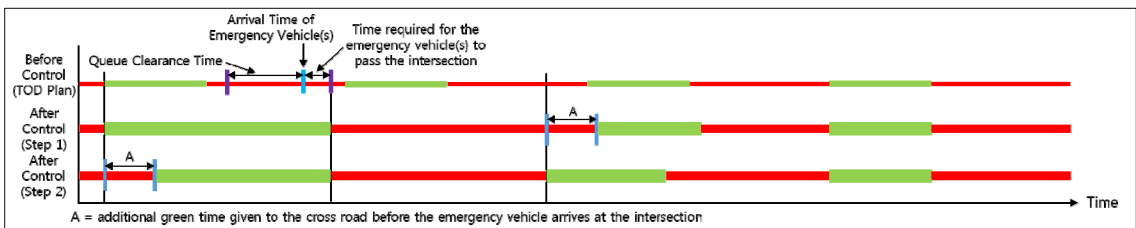
4) 현시 조정 (Early Green 또는 Green Extension)

식 (7)을 만족하여 Early Green 적용 시, 긴급차량 통과 전주기의 부도로 녹색시간을 위에서 산출한 ΔEG 만큼 감소시킨다. 그런 다음 식 (5)에서 산정한 요구녹색시간동안 긴급차량 진행방향에 녹색현시를 부여한다. 긴급차량 통과 후에는 부도로의 녹색시간을 ΔEG 만큼 연장시켜 손실된 시간에 대한 보상을 한다.



〈Fig. 1〉 Signal times before and after priority control (Early Green)

식 (8)을 만족하여 Green Extension 적용 시, 긴급차량 통과주기의 긴급차량 진행방향 녹색현시를 긴급차량의 교차로 통과가 완료되는 시점까지 연장한다. 적용 시 <Fig. 2>의 Step 1에서와 같이 Green Extension 적용 후 해당 현시가 지나치게 길어져서 녹색시간이 효율적으로 사용되지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 방지하기 위하여, <Fig. 2>의 Step 2에서와 같이 긴급차량 진행방향의 녹색현시가 시작되기 전 부도로의 녹색시간을 연장한다. 긴급차량 통과 후에는 부도로에 손실된 녹색시간을 보상한다. 이 때 긴급차량 통과 전 연장된 부도로의 녹색시간은 보상 시간에서 제외한다.



〈Fig. 2〉 Signal times before and after priority control (Green Extension)


5) 기존의 신호시간으로 회복

긴급차량이 통과하고 부도로 신호시간 보상이 종료된 후에는 기존 TOD에 따른 신호시간과 일치하도록 회복하는 과정이 필요하다. 이를 위해, 본 연구에서는 부도로 신호시간 보상이 종료되는 시점부터 다음 TOD 주기가 시작되는 시점까지의 시간을 각 현시별로 분배하는 것을 원칙으로 하되, 각 현시별 최소녹색시간을 확보하지 못할 경우 다음 주기의 시간을 더하여 각 현시별로 분배한다. 분배 비율은 기존 TOD의 현시별 길이의 비율을 적용한다. 회복주기가 종료되면 기존 TOD의 신호시간대로 신호를 운영한다.

IV. 적용 및 평가

1. 시뮬레이션 대상지

본 연구에서 제시한 알고리즘에 따라 우선신호 제어를 실시하였을 때의 효과를 평가하기 위하여 종로1가 교차로부터 신설동역 교차로간 3.6km를 대상 구간으로 선정하여 시뮬레이션을 실시하였다. 대상 구간의 차로수는 왕복 8차로이며, 구간 내에는 8개의 신호교차로가 위치해 있다. 대상 구간 내에 위치한 8개 교차로의 교차로명과 교차로간 거리는 아래의 <Fig. 3>에 표시된 바와 같다.

Jongno Fire Station 	415m	392m	496m	400m	600m	700m	650m	
	Jongno 1-ga	Jongno 2-ga	Jongno 3-ga	Jongno 4-ga	Jongno 5-ga	Dongdaemun Subway Station	Dongmyo Subway Station	Sinseol-dong Subway Station

<Fig. 3> Site selected for simulation, with intersection names and link lengths

2. 평가 시나리오 설정

본 연구에서 제시한 알고리즘의 효과 평가를 위해 CORSIM을 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 긴급차량의 출발지는 종로소방서, 목적지는 동묘앞역과 신설동역 사이 지점으로 가정하였으며, 이에 따라 긴급차량이 종로2가에서 주도로인 종로에 진입하여 동묘앞역과 신설동역 사이에서 진출하는 것으로 경로를 설정하였다. 신호시간의 경우, 기본적으로 교차로별 TOD에 따라 신호가 운영되다가, 긴급차량 1대가 발생하였다고 가정하고 각 교차로의 신호를 제어하여 이에 따른 효과를 평가하였다. 평가 지표로는 긴급차량의 지체시간과 주도로 및 부도로 일반차량의 대당 평균 지체시간을 선정하였다.

우선신호 제어 과정에서 일반차량의 교통량은 대기차량 소거시간에 영향을 미치며, 신호시간의 제어는 일반차량에 영향을 미친다. 따라서 시나리오 설정 시 주도로와 부도로의 V/C를 가정하여, 일반차량의 영향을 신호시간 산정 시 반영하고 일반차량의 지체 또한 효과 평가를 위해 고려하였다. 이를 위해 평가 시나리오를 <Table 1>과 같이 설정하였다.

〈Table 1〉 Scenarios for evaluation of the effectiveness of the passive priority signal control

Scenario	V/C ratio (main road)	V/C ratio (cross road)	Signal Priority Control
1	1	0.6	No
			Yes
2	0.6	0.6	No
			Yes

3. 평가 결과

시뮬레이션을 수행하여 긴급차량의 지체와 주도로 및 부도로의 일반차량 지체를 산출하였으며, 이를 위해 긴급차량의 출발시간을 달리하여 시뮬레이션을 5회 수행하고 결과의 평균값을 산출하였다. 그 결과, 우선신호 제어 적용 시 긴급차량의 지체는 우선신호를 적용하지 않은 경우와 비교하면, 주도로 V/C 1.0인 경우 47초, V/C 0.6인 경우 37초 감소하였으며, 비율로 계산하면 약 55% 감소하는 것으로 나타나 긴급차량 지체 감소 효과가 큰 것으로 나타났다. 긴급차량과 동일한 이동경로(주도로)에 대한 일반차량의 평균 지체의 경우 V/C 1.0인 경우 165초, V/C 0.6인 경우 156초로 나타났다. 부도로에 대한 결과값은 긴급차량과의 상대적 비교가 불가능하여 모든 부도로 링크의 지체시간 평균값을 산정하여 분석하였고, 일반차량 지체의 경우, 2번 시나리오에 비해 주도로의 교통량이 더 많은 1번 시나리오에서 지체가 더 크게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 주도로의 교통량이 더 많으면 대기차량 소거시간 또한 길어지며, 이에 따라 부도로의 일반차량이 교차로에서 대기하는 시간이 더 길어지기 때문으로 보인다.

본 연구에서 개발한 센터제어 알고리즘 적용 시 긴급차량의 지체는 크게 감소하나, 지체가 0초까지 감소하지는 않는 것으로 나타났다. 센터제어 적용 시에는 긴급차량의 속도 및 각 교차로별 도착시각, 대기차량 소거시간을 사전에 산정하여 신호시간을 변경하며, 실시간 긴급차량 속도, 위치 및 교차로 통과 여부와 대기차량 길이를 반영하지 않는다. 따라서 긴급차량의 교차로 도착시각이나 대기차량 길이가 예측값과 다른 경우에도 신호시간을 변경할 수 없다. 이러한 센터제어의 한계점은 긴급차량의 교차로 접근 및 통과 여부를 확인하여 신호시간을 변경할 수 있는 현장제어의 요소를 통해 보완할 수 있다. 즉, 향후 연구를 통해 사전에 신호시간 변경을 통해 대기차량 소거가 가능하다는 장점이 있는 센터제어와 실시간으로 상황을 반영하여 신호시간을 변경할 수 있는 현장제어를 결합하는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

〈Table 2〉 Simulation results

Scenario	V/C ratio (main road)	V/C ratio (cross road)	Priority Control	Delay experienced by emergency vehicle (sec)	Average delay experienced by other vehicles (sec/veh)	
					Main road (route total)	Cross road (per link)
1	1	0.6	No	101	96.6	36.6
			Yes	54	165.1	46.8
2	0.6	0.6	No	85	80.1	33.4
			Yes	48	156.2	36.9

V. 결 론

본 연구에서는 긴급차량 우선신호 센터제어 알고리즘을 제시하였다. 긴급차량 출동 요청이 접수되면, 긴급차량의 경로를 지정하고, 경로의 각 신호교차로에서 긴급차량의 지체를 최소화하도록 신호를 제어한다. 긴급차량이 통과한 후에는 기존 TOD에 따른 신호시간과 일치하도록 회복하는 과정을 거친다. 본 연구에서 제시한 알고리즘에서는 각 현시별 최소녹색시간을 보장하며, 현시순서를 변경하지 않는다. 또한 Green Extension 적용 시 긴급차량 통과 전주기의 부도로 녹색시간을 연장함으로써 일반차량의 지체가 지나치게 증가하지 않도록 한다.

본 연구에서 제시한 알고리즘을 시뮬레이션을 통해 평가한 결과, 센터제어 알고리즘을 적용하였을 때의 긴급차량 지체가 적용하지 않았을 때에 비해 크게 감소하는 것으로 나타났다. 반면 일반차량의 대당 평균 지체는 증가하는 것으로 나타났다.

센터제어 알고리즘을 적용하더라도 지체를 완전히 없애지는 못하는 것으로 나타났다. 긴급차량의 교차로 도착시각 및 대기차량 소거시간을 긴급차량 출발 전에 산출하고, 실제 긴급차량의 속도와 교통량을 반영하여 신호시간을 변경할 수 없어, 긴급차량의 도착 예측시각과 실제 도착시각이 다를 경우 지체가 발생한다. 향후에는 센터제어와 현장제어를 결합하여, 신호시간을 사전에 변경하여 대기차량을 최대한 소거할 수 있도록 하면서도 긴급차량의 실제 도착시각에 따라 신호시간을 변경하도록 센터제어 알고리즘을 고도화하는 연구가 필요할 것으로 판단된다. 연구의 한계로는 긴급차량 진행방향으로 우선신호 제어를 위하여 필수적으로 필요한 대기차량 소거시간 산정 시 해당 교차로 도착시점의 대기차량수를 추정한 결과와 평균 차두간격을 이용하여 소거시간을 산정하였다. 이러한 방법으로 산정된 대기차량 소거시간은 실제의 교통상황과는 차이가 존재하므로, 현실성 있는 대기차량 소거시간 산정을 위한 추가연구가 필요할 것으로 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

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

REFERENCES

- Choi K., Kim D., Yoon D. and Park S. K.(2006), "The traffic management system for Emergency Vehicles based on DSRC System," *The Institute of Electronics Engineers of Korea - Telecommunications*, vol. 43, no. 9, pp.40-48.
- Hong K., Jung J. and Ahn G.(2012), "Development of the Emergency Vehicle Preemption Control System Based on UTIS," *Journal of Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 11, no. 2, pp.39-47.
- Lee J. and Seok J.(2013), "A Study on Construction of an emergency vehicle dispatch support system," *Journal of Korea Safety Management Science*, vol. 15, no. 2, pp.95-101.
- Lee J., Lee S. and Oh Y.(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 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 Systems*, pp.174-179.
- Nelson E. and Bullock D.(2000), "Impact of emergency vehicle preemption on signalized corridor operation: An evaluation," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 1727, pp.1-11.
- Oh S. and Lee Y.(2006), "Development of Signal Model for Emergency Vehicle Preemption Considering Recovery Phases," *Conference of Korean Society of Transportation*, pp.431-441.
- Park H. J.(2006), "Development of Signal Model for Emergency Vehicle Preemption Considering Average Delay in Major Intersections: Calculating Signal Time of Recovery Phases," Master's Thesis, Department of Environmental Planning, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University.
- Park S., Kim D., Kim M. and Lee J.(2012), "Applicability of Emergency Preemption Signal Control under UTIS," *Journal of Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 11, no. 5, pp.27-37.
- Yang R., Lee S. and Oh Y.(2008), "Assessment of Preemption Signal Control Strategy for Emergency Vehicles in Korea," *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 26, no. 5, pp.63-72.
- Yun I., Best M. and Park B.(2007), "Evaluation of Emergency Vehicle Preemption Strategies on a Coordinated Actuated Signal System Using Hardware-in-the-Loop Simulation," *Transportation Research Board 86th Annual Meeting*, No. 07-2415.