

긴급차량 우선신호시스템 현장운영에 따른 적용성 분석

Adaptability Analysis of Emergency Preemption System in Field Operation

김 상 연* · 고 광 용** · 박 순 용*** · 정 영 제**** · 이 철 기*****

* 주저자 : 경찰청 교통운영과 첨단교통계 경위
 ** 교신저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 책임연구원
 *** 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원
 **** 공저자 : 도로교통공단 교통과학연구원 선임연구원
 ***** 공저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

Sang-Yeon Kim* · Kwang Yong Ko** · Soon Yong Park*** ·
 Young Gje Jeong**** · Choul Ki Lee*****

* Dept. of Traffic Operation., Korea National Police Agency
 ** Dept. of Advanced Traffic Eng., Korea Road Traffic Authority
 *** Dept. of Advanced Traffic Eng., Korea Road Traffic Authority
 **** Dept. of Advanced Traffic Eng., Korea Road Traffic Authority
 ***** Dept. of Transportation System Eng., Univ. of Ajou

† Corresponding author : Kwang Yong Ko, gwangyong@koroad.or.kr

Vol. 16 No.3(2017)
 June, 2017
 pp.95~109

ISSN 1738-0774(Print)
 ISSN 2384-1729(On-line)
<https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.3.95>

Received 13 March 2017
 Revised 29 March 2017
 Accepted 26 May 2017

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

요 약

긴급출동을 위한 골든타임 확보는 생명과 직결되는 것으로, 초동 출동시간 단축방안에 대한 국민적 관심이 증가하고 있다. 본 연구에서는 초동 출동시간 단축을 위해 ‘긴급차량 우선 신호시스템’을 실제 현장에 도입하고, 시범운영한 후 국내 도입가능여부를 판단하였다. 도입 여부 판단은 긴급차량 우선신호 효과검증을 위해 통행시간을 분석하였고, 부방향과 대향직진 방향에 미치는 영향 정도는 알아보기 위해 대기행렬길이 분석을 수행하였다. 분석결과, 긴급차량 효과검증에서는 우선신호를 운영할 경우에 긴급차량의 통행시간이 최대 350%에서 최소 24%까지 감소하는 것을 확인하였다. 우선신호에 의한 부방향과 대향방향의 영향은 포화상태일 때 대기행렬길이 최대 15분, 근포화상태에서는 30분에서 45분 정도까지 지속되었으며, 비포화 상태에서는 긴급차량 통과 직후에도 대기행렬길이 감소되는 것으로 나타났다.

핵심어 : 긴급차량, 우선시스템, 현장시험, 통행시간, 대기행렬길이

ABSTRACT

The golden time of emergency vehicle is directly connected to the public safety. Therefore, national attention has increased to cut down the emergency vehicle's travel time. In order to shorten the initial dispatch time of it, emergency preemption system was installed at five intersections, and after test operation, whether it could be introduced in the country was estimated. We analyzed the effect of the traffic volume, emergency vehicle's travel time, and queue length under preemption and non-preemption. In the verification of the emergency preemption system, it was confirmed that the emergency vehicle's travel time was reduced from 350% to 24% compared to non-preemption system(TOD). In the saturated condition, queue length were remained 15 minutes and near saturated condition was about 30 or 45 minutes. At the non-saturated condition, the queue length's difference between emergency preemption system and general signal was small.

Key words : Emergency vehicle, Preemption system, Filed test, Travel time, Queue length

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

화재, 구조, 구급 등 재난상황의 신속한 대응을 위해서는 골든타임이 무엇보다도 중요하다. 골든타임은 화재 또는 사고환자 발생 후 최초 5분을 말한다. 긴급출동을 위한 골든타임 확보는 생명과 직결되는 것이기에 초동 출동시간 단축방안에 대한 국민적 관심이 증가하고 있는 추세이다.

이를 위해 소방방재청에서는 도로교통법 제29조(긴급자동차의 우선 통행)에 근거하여, 소방차 길터주기 운동 및 소방서 단위의 훈련을 실시하고 있다. 그러나 대부분의 일반 운전자들의 경우에는 관련 법규 및 통행방법에 대한 인식부족으로 이를 이행하지 않고 있으며, 현실적인 해결대안으로 보기에는 어려움이 있다. 미국 및 유럽 등 선진국에서는 이러한 실질적인 문제점을 보완하기 위해 ‘긴급차량 우선신호시스템’을 도입 중에 있으며, 현장적용을 통해 효과를 확인하였다. 국내의 경우에는 긴급차량 우선신호 알고리즘 개발 및 모의실험 검증 등의 이론적 접근에서 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

본 연구는 이론 및 모의실험 단계에서 탈피하여, 실제 국내 현실을 반영한 긴급차량 우선신호시스템을 개발하고, 실제 현장(의왕시)에 시범운영하여, 효과검증(통행시간) 및 운영에 따른 영향(대기행렬) 정도를 파악한 후, 국내 도입가능 여부를 판단하였다.

2. 연구의 범위 및 추진절차

연구의 범위는 실제 화성시에 설치된 긴급차량 우선신호시스템을 대상으로 적용성 분석을 실시하였다. 연구 추진절차는 첫째로, 기존문헌조사를 통해 기술 및 연구현황을 파악하였다. 두 번째로 국내 현실에 맞도록 현장에 긴급차량 우선신호시스템을 개발하고, 운영방안을 제시하였다. 네 번째로 실제 현장에 시범운영하여 효과검증 및 영향분석(일반차량의 영향)을 통해 현장 적용성 분석을 실시하였다. 마지막으로 분석된 결과를 토대로 국내 도입가능 여부를 판단하였다.

II. 기존문헌조사

National Police Agency(enforcement date: 2017) 도로교통법 2조 22에 따르면 긴급자동차란 소방차, 구급차, 혈액 공급차량, 그 밖에 대통령령으로 정하는 자동차로 정의 되어 있다. 긴급자동차의 통행에 대하여는 도로교통법 제29조(긴급자동차의 우선 통행)에 “모든 차의 운전자는 교차로나 그 부근에서 긴급자동차가 접근하는 경우에는 교차로를 피하여 도로의 우측 가장자리에 일시 정지하여야 한다. 다만, 일방통행으로 된 도로에서 우측 가장자리로 피하여 정지하는 것이 긴급자동차의 통행에 지장을 주는 경우에는 좌측 가장자리로 피하여 정지할 수 있다.”라고 명시되어 있다.

Choi et al.(2006)은 DSRC(Dedicated Short Range Communication)와 교통신호제어기가 상호 정보를 연계하여 실시간으로 교통상황을 반영할 수 있는 ‘긴급차량우선통과시스템’을 제안하고 있다. 실시간교통정보를 반영하여 긴급차량을 운행할 경우, 교차로에서 논스톱(Nonstop) 운행이 가능하고, 안전성면 측면에서도 기존 긴급차량 운전자의 판단에 의해 운행하는 것보다 상대적으로 효과가 있다고 제시하였다.

Hong et al.(2012)은 ITS무선통신 인프라인 UTIS(Urban Traffic Information System)를 활용한 긴급차량 우선신

호제어시스템을 제시하였다. 이 시스템은 기존 방식과 달리 사전에 긴급차량의 진행방향(직/좌)을 파악하여 일반차량의 제어지체를 최소화 할 수 있는 Emergency Vehicle Preemption(EVP) 제어가 가능하도록 구현하였다.

Kim and Gu(2015)는 V2X(차량 간)통신을 기반으로 한 “긴급차량 우선 통과 시스템”의 시나리오를 제안하였다. 이 시나리오는 V2X통신 기술을 이용하여 긴급 차량의 상황을 타 차량과 교통신호 제어기 등의 도로 인프라에 전송하는 것이다. 이 시스템은 타 차량이 긴급차량이 우선 통과하도록 경로를 확보할 수 있게 하고, 교통신호제어기는 긴급차량의 경로를 분석하여 교통신호를 부여할 수 있다. 제안된 시나리오를 기반으로 긴급차량 우선신호시스템의 수행기능을 제시하였다.

Park et al.(2012)은 UTIS를 활용하여 보행자를 고려한 현시전략과 회복전략을 반영한 긴급차량 Preemption 알고리즘을 개발하고, 시뮬레이션 분석을 통해 효과를 검증하였다. 현시전략은 보행자와의 상충을 최소화 할 수 있도록 최소녹색시간 및 긴급차량의 교차로 통과시간을 고려하였고, 삽입된 현시는 직진과 좌회전의 신호를 동시에 녹색 점등하도록 구성하였다. 운영방법은 긴급차량이 접근하면 보행자 최소녹색시간 종료 이전에는 최소녹색시간을 보장하며, 최소녹색시간 종료되는 시점 이후 preemption 현시를 삽입할 수 있도록 설정하였다. 회복을 위한 전략은 “Dwell” 및 “Add” 또는 “Subtract”을 이용하였다.

Yong et al.(2008)는 긴급차량 우선신호 알고리즘을 제시하였다. 알고리즘 평가는 V/C를 달리하여 효과분석을 시행하였다. 분석결과 긴급차량의 지체감소 및 통행속도 증가를 확인하였다. 그러나 동시에 일반차량의 지체가 증가하는 문제도 발생하였다.

Lee and Seok(2013)은 도로교통 환경에 적합한 소방차 출동 지원 시스템을 검토하였다. 미국의 EVP 구축 사례와 일본의 현장급행지원시스템(Fast Emergency Vehicle Preemption Systems:FAST)의 구축 사례를 통하여 시스템의 효과를 검증하였으며, 국내의 도시교통정보시스템(UTIS)을 시스템을 통한 우선신호 제어전략과 절차 연구를 요약하여 제시하였다.

Sung and Ha(2016)은 긴급차량 서울시 출동현황자료를 기반으로 긴급차량 우선신호제어시스템이 우선적으로 도입되어야 할 지역을 선정하였다. 지역 선정 후, PARAMICS 교통시뮬레이션을 통해 도입에 따른 효과를 분석하였다. 분석결과 긴급차량의 평균 출동소요시간이 단축되었다.

Bullock et al.(1999)은 긴급차량의 통행시간, 교차로 지체, preemption제어 이후 회복과정을 CORSIM을 통해 분석하였다. 그 결과 접근로의 길이와 포화도에 따라 통행시간 및 지체의 차이가 발생하였다.

Nelson and Bullock(2000)은 연동화 신호교차로에서 교차로 간격, 전이알고리즘, 교차로의 포화도, 우선신호 시간, 주기에서 낭비되는 시간이 통행시간 및 지체에 영향을 준다고 제시하였다. 이를 최소화하기 위해서는 회복주기에 “Smooth”, “Add” 그리고 “Dwell”의 전이 방식을 사용하였다. 분석 결과 “Smooth” 방식이 타 전이 방식에 비해 지체감소 측면에서 우수한 것으로 확인되었다.

Yun et al.(2007)은 preemption에 대한 모의실험을 수행하였다. 그 결과 일반차량의 지체와 통행시간이 증가되는 것을 확인하였다. 이를 해결하기 위해 주기 회복 시 2-3주기에 걸쳐 “Short Way”를 적용하면 이를 최소화 할 수 있다고 제시하였다.

U.S. DOT(2015)에서는 OPTICOM이라는 긴급차량우선신호의 성공적인 운영 사례가 존재한다. 현재 미국에서는 1960년대 시스템이 개발되어 현장에 활용되었으며, 78개의 대도시에 있는 신호교차로 중 약 20%에 해당하는 교차로에서 긴급차량 우선신호제어시스템이 운영 중에 있다.

Jirou and Katsunori(2011)에서 제시한 FAST(Fast Emergency Vehicle Preemption System)은 긴급상황 발생 시 발생지점까지의 도착시간 단축을 위해 본 시스템을 도입하였다. 또한 긴급차량의 출동 중 발생하는 사고를 줄이려는 목적도 포함된다. 초기 동경 내 137개의 교차로만을 대상으로 시행되었으며, 경찰국(MPD :Metropolitan Police Department)에서는 확대운영 중에 있다.

기존 연구에서는 UTIS, V2V 등의 기존 또는 신규장치와 결합한 긴급차량우선시스템을 개발하거나, 이와 관련된 알고리즘을 제시하여 모의분석을 통해 효과검증을 실시하였다. 국내 연구에서는 모의시뮬레이션을 통한 효과검증이 대부분인 반면, 국외의 경우에는 긴급차량우선시스템을 실제 현장에 구축하고, 운영 결과에 따라 도입여부를 판단하는 방식을 취한다. 본 연구는 기존 모형 및 알고리즘 개발 중심의 이론적 접근을 탈피하여, 국내 현실에 맞는 시스템 및 운영방법을 개발하고, 실제 현장에 적용이 가능한지를 판단하는 것으로 기존 국내 연구와 차별성을 두었다.

Ⅲ. 긴급차량 우선신호시스템

1. 시스템 구성

현장(의왕시)에 적용되는 긴급차량 우선 시스템은 크게 신호등에 설치되는 TCE(Traffic signal Control Equipment), 신호제어기 내에 설치되는 TCI(Traffic signal Control Interface Unit)와 PPCU(PPCU : Preemption & Priority Control Unit), 긴급차량에 설치되는 차량 단말기 EV-OBE(EV-OBE ; Emergency Vehicle On Board Equipment)로 <Fig. 1>에서 보는 바와 같이 구성된다.

각 기능을 살펴보면, 긴급차량에 설치되는 OBE는 GPS 정보를 기반으로 현재 차량이 이동하는 위치정보를 항상 확인하고, 신호등에 설치된 TCE와 접속하여 위치정보를 전송하게 된다. 위치정보를 수신한 TCE는 TCIU와 PPC를 통해 신호제어기의 신호를 변경하는 기능을 담당한다.

2. 시스템 동작

긴급차량 우선신호시스템 동작은 제어 시와 복귀 시로 구분된다. 긴급차량 우선신호 제어절차는 첫째로 긴급차량의 위치 및 속도 정보를 실시간 측정한다(EV-OBE). 두 번째로 EV-OBE로부터의 위치 및 속도정보를 기반으로 긴급차량의 진행방향 및 검지영역(반경 약 1km 이내) 진입여부를 판단한다(TCE). 세 번째로 긴급차량의 진행정보를 기반으로 우선신호를 제어한다(PPCU). 마지막으로 우선신호 제어에 따라 긴급차량이 교차로를 통과하는 순으로 진행된다.

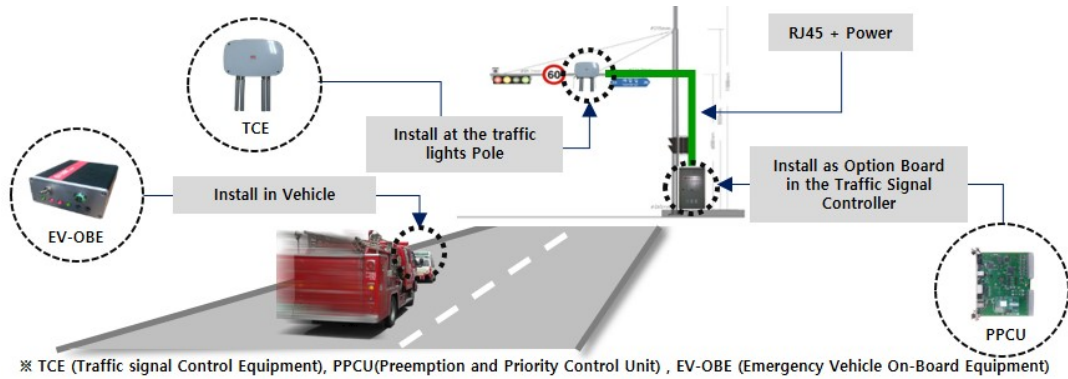
현시 신호 복귀 절차는 3단계로 진행된다. 첫째로 EV-OBE로부터의 위치 및 속도정보를 기반으로 긴급차량의 교차로 진출 여부 판단한다. 두 번째로 긴급차량의 진행정보를 기반으로 현시복귀 제어를 수행한다(PPCU). 마지막으로 현시복귀에 따른 일반신호 운영을 수행한다.

3. 시스템 운영

긴급차량 우선신호의 현시 전환은 현재 진행 중인 현시의 보행자신호 시간(보행자 녹색시간 + 녹색점멸)을 확보하고, 이후 긴급차량 우선현시를 제공하여 차량과 보행자간의 상충을 최소화시키도록 하였다. 다만 보행자 신호 시간을 확보해야 함에도 불구하고, 횡단 보행자가 임시로 대기할 수 있는 교통섬 등이 존재할 경우에는 긴급차량의 이동성 확보를 위해 공학적 판단에 근거하여 보행자 녹색시간을 단축할 수 있다.

현시복귀는 특정차량에게 우선현시 시간을 제공하기 때문에, 일반 신호현시시간에 영향을 끼치게 되므로, 우선신호는 제어기의 최대 녹색시간 및 연동 값과는 상관없이 설정된 우선신호 최대시간까지 우선현시를 제공할 수 있다. 우선현시 이후 복귀를 위해서는 30초에서 7분 정도의 전환시간이 요구되며, 이는 1~3주기 내

에서 이루어진다. 이때 우선신호에 의해 영향을 최소화하며 운영효율과 안전성을 고려하여 기존 신호로 복귀하도록 운영하였다.

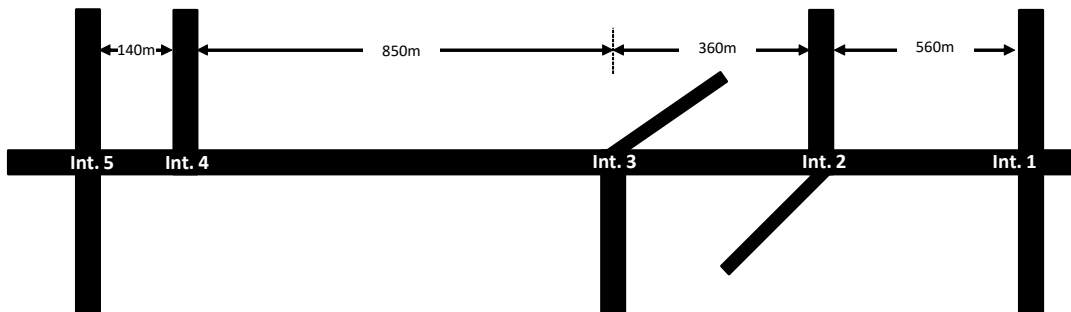


〈Fig. 1〉 Emergency Vehicle Preemption System

IV. 현장시험

1. 현장시험구간

현장시험구간은 의왕시 지자체와의 협조를 통해 경수산업도로(국도 1호선)인 고천 사거리(Int.1), 기업은행 사거리(Int.2), 오전동 사거리(Int.3), 원골로 삼거리(Int.4), 모락로 사거리(Int.5)를 대상으로 하였다.



〈Fig. 2〉 Field Test Site

2. 현장시험 방법론

현장시험은 사전(긴급우선신호 미운영)과 사후(긴급우선신호 운영)로 구분하여 조사하였다. 현장시험 자료는 긴급차량 우선신호 효과를 검증하기 위해 통행시간을 조사하였고, 긴급차량 통과 후 일반차량의 교통상황을 파악하기 위해 부방향과 대향방향의 대기행렬길이를 측정하였다.

현장시험 방법은 <Table 1>에서 보는 바와 같이 사전(긴급차량 우선신호 미운영) 1회, 사후(긴급차량 우선신호 운영) 1회에 대하여 동일 요일에 포화(08:00~10:00), 근포화(10:00~12:00), 비포화(14:00~16:00)로 구분하

고, 남북방향별로 총 6회(SB 3회, NB 3회) 조사를 수행하였다.

조사방법은 긴급차량의 통행시간 경우에는 조사자가 차량에 탑승하여 통행시간을 실측하였으며, 일반차량의 대기행렬 길이, 시간대별 교통량은 비디오 촬영 및 조사원 실측(비디오 촬영 각도에 의해 시각적 제한이 있는 지점)을 통해 수행하였다.

<Table 1> Field Study Scenario

구분	Value	Int.1	Int.2	Int.3	Int.4	Int.5	End(▶) Start(◀)
Saturated (08:00~10:00)	NB(▶)Start 08:00	→	→	→	→	→	End time 09:00
	End time 10:00	←	←	←	←	←	SB(◀)Start 09:00
Near-Saturated (10:00~12:00)	NB(▶)Start 10:00	→	→	→	→	→	End time 11:00
	End time 12:00	←	←	←	←	←	SB(◀)Start 11:00
Non-Saturated (14:00~16:00)	NB(▶)Start 14:00	→	→	→	→	→	End time 15:00
	End time 16:00	←	←	←	←	←	SB(◀)Start 15:00

start : Starting point, End : End point

V. 현장 적용성 분석

1. 교통량 분석

사전(긴급차량 우선신호 미운영, TOD 운영) 및 사후(긴급차량 우선신호 운영)을 적용성 분석을 위해서는 두 교통량의 차이가 없어야 한다. 그 이유는 교통량이 동일해야 긴급차량 우선신호에 의한 긴급차량 통행시간, 대기행렬길이의 차이의 원인을 신호운영에 의한 것으로 볼 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 통계적 분석 기법인 쌍체비교(Paired-Comparison)을 통해 교통량에 차이가 발생하는지를 분석하였다. 분석은 포화, 근포화, 비포화로 구분하고, 15분 단위로 조사하여 총 1시간 교통량을 비교하였다.

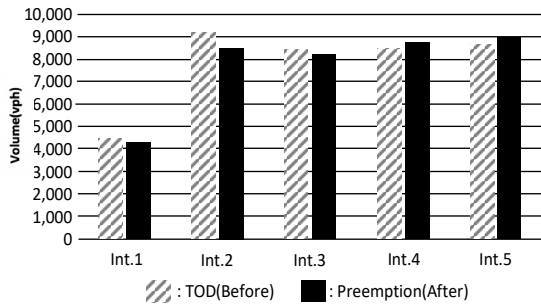
1) 포화상태 교통량

포화상태인 08~09시의 교통량을 교차로별로 비교분석한 결과, <Fig. 3>에서 보는 바와 같이 1, 2, 3교차로의 경우는 일반신호로 운영되었을 때 교통량이 많은 것으로 나타났으며, 4, 5교차로의 경우는 우선신호를 운영했을 때 교통량이 많은 것으로 확인되었다. 통계검증을 통해 유의성을 확인해 본 결과 <Table 2>에서 보는 바와 같이 p-value 값이 0.6756으로 95% 신뢰수준인 유의확률 0.05보다 크므로 통계적 차이는 유의하지 않은 것으로 분석되었다. 09~10시의 교차로별 교통량은 1교차로의 경우, <Fig. 4>에서 보는 바와 같이 거의 동일하고, 2교차로는 일반신호, 3, 4, 5교차로는 우선신호 운영 시 교통량이 많은 것으로 나타났다. 그러나 통계검증 결과 08~09시 교통량과 같이 p-value 값이 0.1741로 95% 신뢰수준에서 통계적 차이는 없는 것으로 분석되었다.

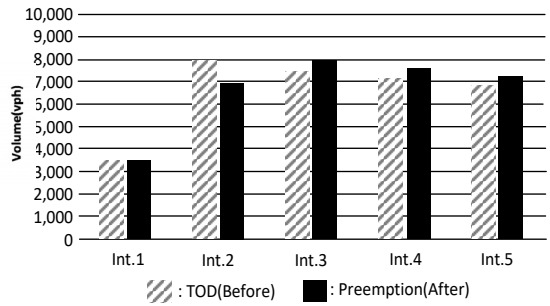
<Table 2> Traffic Volume Paired-Comparison Analysis(Saturated)

Section(Saturated)		Average	Standard Deviation	t-value	p-value
08:00~09:00(NB) Volume	Before(TOD)	1,937	471	+0.425	0.6756
	After(Preemption)	1919	467		
09:00~10:00(SB) Volume	Before(TOD)	1,595	490	-1.411	0.1741
	After(Preemption)	1,641	503		

TOD : Time of Day(General Signal), Preemption : Emergency Vehicle Preemption



<Fig. 3> Traffic Volume Analysis(Saturated, AM 08~09)



<Fig. 4> Traffic Volume Analysis(Saturated, AM 09~10)

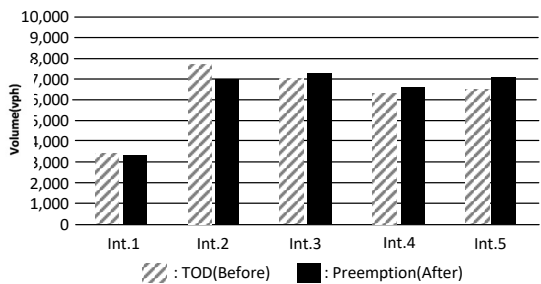
2) 근포화상태 교통량

근포화상태 오전 10~11시 사이의 교차로별 교통량은 <Fig. 5>과 같이 1, 2교차로는 일반신호를 운영한 때의 교통량이 많았으며, 3, 4, 5교차로는 우선신호를 운영했을 때의 교통량이 많은 것으로 나타났다. 이에 대한 통계적 검증 결과는 <Table 3>에서 보는 바와 같이 p-value 값이 0.3163으로 95% 신뢰수준에서 교통량의 통계적 차이는 없는 것으로 분석되었다. 11~12시 사이의 교차로별 교통량은 <Fig. 6>에서 보는 바와 같이 1, 2, 4교차로는 일반신호 교통량이 많았으며, 3, 5교차로는 유사한 형태를 보였다. 통계적 검증 결과, value 값이 0.4854로 95% 신뢰수준에서 교통량의 통계적 차이는 없는 것으로 분석되었다.

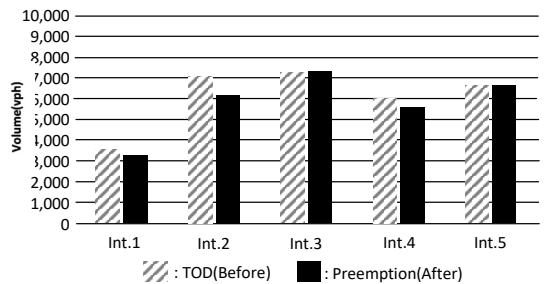
<Table 3> Traffic Volume Paired-Comparison Analysis(Near-Saturated)

Section(Near-Saturated)		Average	Standard Deviation	t-value	p-value
10:00~11:00(NB) Volume	Before(TOD)	1,528	379	-1.029	0.3163
	After(Preemption)	1,559	382		
11:00~12:00(SB) Volume	Before(TOD)	1,483	438	+0.711	0.4854
	After(Preemption)	1,432	496		

TOD : Time of Day(General Signal), Preemption : Emergency Vehicle Preemption



<Fig. 5> Traffic Volume Analysis (Near-Saturated, AM 10~11)



<Fig. 6> Traffic Volume Analysis (Near-Saturated, AM 11~12)

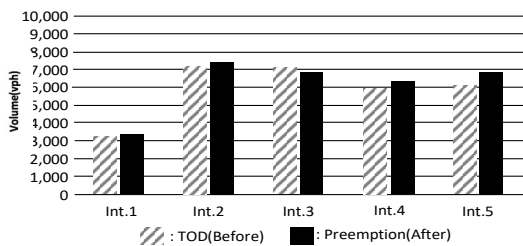
3) 비포화상태 교통량

비포화상태는 교통량이 적은 야간 및 새벽 시간을 선정하는 것이 적절하다. 그러나 본 현장시험구간의 경우에는 일반차량의 교통량이 현저하게 작아, 긴급차량 우선신호 효과를 분석하기에는 어려움이 있었다. 본 연구에서는 비침투 시간대인 14~16시 사이를 비포화상태로 간주하여 시험을 수행하였다. 오후 14~15시 사이의 교차로별 교통량은 <Fig. 7>에서 보는 바와 같이 3교차로를 제외하고, 우선신호 운영을 했을 때 교통량이 더 많은 것으로 확인되었다. 통계검증 결과는 <Table 4>에서 보는 바와 같이 p-value 값은 0.0370으로 95% 신뢰수준에서 일반신호 운영 시와 우선신호 운영 시의 교통량 차이는 유의한 것으로 나타났다. 이는 우선신호 운영 시 교통량이 일반신호 운영 시 보다 통계적으로 많았다는 것을 의미한다. 그러나 해당 시간대의 교통량 차이는 56대로, 다른 시간대의 교통량 차이보다 작았지만, 표준편차가 작아 통계적으로 유의한 차이가 나타난 것으로 판단된다. 15~16시 사이의 교차로별 교통량은 <Fig. 8>에서 보는 바와 같이 1, 2, 3교차로는 일반신호 교통량이 많았으며, 4, 5교차로는 유사한 형태를 보였다. 그러나 통계검증 결과는 <Table 4>에서 보는 바와 같이 p-value 값이 0.9400로 95% 신뢰수준에서 차이를 나타내지는 않는 것으로 분석되었다.

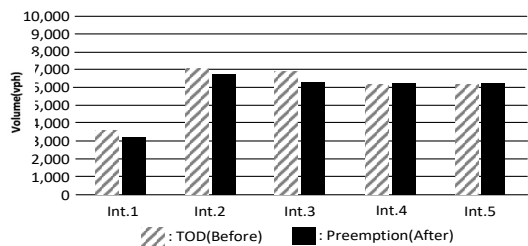
<Table 4> Traffic Volume Paired-Comparison Analysis(Non-Saturated)

Section(Non-Saturated)		Average	Standard Deviation	t-value	p-value
14:00~15:00(NB) Volume	Before(TOD)	1,510	369	-2.235	0.0370
	After(Preemption)	1,566	387		
15:00~16:00(SB) Volume	Before(TOD)	1,423	450	+0.075	0.9400
	After(Preemption)	1,419	473		

TOD : Time of Day(General Signal), Preemption : Emergency Vehicle Preemption



<Fig. 7> Traffic Volume Analysis (Non-Saturated, PM 14~15)



<Fig. 8> Traffic Volume Analysis (Non-Saturated, PM 15~16)

4) 교통량 종합분석 결과

쌍체비교 통계검증 결과, 비포화 상태인 14~15시를 제외하고는 95% 신뢰수준에서 그 차이는 유의하지 않은 것으로 확인되었다. 14~15시를 제외한 나머지 시간대는 교통량 차이보다는 우선신호 운영에 의한 것으로 예상할 수 있다.

2. 통행시간 분석

본 통행시간 분석은 사업대상지를 통과하는 긴급차량의 통행시간의 변화를 분석하는데 목적이 있다. 전체

사업대상지를 통과하는 교통량 차이가 없다는 전제 조건하에서 긴급차량이 일반신호 및 우선신호에 의한 영향이 있는지를 확인하였다(비포화 상태 14~15시 제외).

1) 긴급차량 우선신호 미운영

긴급차량 우선신호 없이 긴급차량의 통행시간을 현장에서 측정해 보았다. 이때 긴급차량은 차량 경광등과 사이렌소리를 내며 주행하였으며, 이는 일상적인 긴급차량 출동과 동일한 상황으로 교통신호의 도움 없이 사이렌 및 차량경광등만으로 운영하는 방식이다. 그 결과 <Table 5>에서 보는 바와 같이 5개 교차로를 통과하는 최대 통행시간은 포화 북향방향의 522초(8분42초)로 확인되었으며, 최소 통행시간은 근포화 남향방향 355초(5분55초)로, 화재출동과 관련된 5분 이론을 충족하지 못한 것으로 나타났다. 특이사항으로는 포화 시 긴급차량이 우회전 차량 대기행렬에 의해 한 주기 동안 움직이지 못하는 상황이 발생하였다. 이는 긴급차량이 주도로 끝 차선이 우회전 도류화가 이루어지지 않고 직진·우회전 동시차선으로 이용되는 도로상황에서 발생할 수 있는 상황이다. 이는 긴급차량 우선신호는 접근로의 모든 방향의 차량을 제거할 수 있어야 한다는 의미로 전방향 진행이 가능한 동시 신호가 반드시 필요하다고 해석할 수 있다[* 고천사거리에서 직진차량이 우회전차선 대기로 인해 통행시간 증가(1주기 180초), * 비포화 상태 14~15시 분석 제외].

<Table 5> Traffic Travel Time of Emergency Vehicle(TOD: Before)

Section		Travel Time (Min : Sec)							Total(Sec)
		Start(▶) End(◀)	Int.1	Int.2	Int.3	Int.4	Int.5	End(▶) Start(◀)	
Saturated	NB(▶) 08:00~09:00	00:00	02:39	04:49	05:16	07:41	07:54	08:42	522(08:42)
	SB(◀) 09:00~10:00	06:25	06:03	05:08	04:33	02:27	02:14	00:00	385(06:25)
Near-Saturated	NB(▶) 10:00~11:00	00:00	01:46	03:46	04:15	06:13	06:33	07:16	436(07:16)
	SB(◀) 11:00~12:00	05:55	05:36	04:38	04:10	02:13	01:56	00:00	355(05:55)
Non-Saturated	* NB(▶) 14:00~15:00	00:00	01:12	02:53	03:20	05:18	05:28	06:10	370(06:10)
	SB(◀) 15:00~16:00	*08:42	*08:18	04:56	04:16	02:33	02:05	00:00	522(08:42)

2) 긴급차량 우선신호 운영

일반 TOD 신호와 동일하게 긴급차량 우선신호 상황에서도 긴급차량이 출동하는데 걸리는 시간(통행시간)을 측정하기 위해 긴급차량의 경광등 및 사이렌소리를 내며 주행하였다. 긴급차량은 교차로 진입 이전(약 400m)부터 진행방향의 직진과 좌회전 신호를 동시에 녹색 점등하도록 우선신호를 운영하였다. 그 결과, 긴급차량 우선신호 시 통행시간은 <Table 6>에서 보는 바와 같이 포화상태 북향방향의 418초(6분 58초)를 제외하고, 화재출동 5분 이론은 만족하고 있다. 특이사항으로는 포화상태 북향방향에서 기점기준 4번째 교차로인 원골로 삼거리에서 교통지도요원인 모범운전사가 하류부에서 긴급차량이 접근하는 것을 인지하지 못하여, 우선신호가 정상 작동함에도 불구하고, 주기 길이에 상응하는 120초 이상을 타 이동류에게 수신호로 부여하여 긴급차량의 통행시간이 증가되는 현상이 야기되었다[* 교통지도요원 수신호 통제로 인하여 120초 이상 통행시간 증가, * 비포화 상태 14~15시 분석 제외].

<Table 6> Traffic Travel Time of Emergency Vehicle(Preemption: After)

Section		Travel Time (Min : Sec)							Total(Sec)
		Start(▶) End(◀)	Int.1	Int.2	Int.3	Int.4	Int.5	End(▶) Start(◀)	
Saturate d	NB(▶) 08:00~09:00	00:00	00:48	01:36	02:13	※05:37	06:45	06:58	418(06:58)
	SB(◀) 09:00~10:00	04:22	02:22	03:11	02:19	01:05	00:53	00:00	262(04:22)
Near- Saturate d	NB(▶) 10:00~11:00	00:00	00:28	01:24	01:55	0:02:48	02:53	03:02	182(03:02)
	SB(◀) 11:00~12:00	03:31	02:19	02:43	02:19	01:33	01:18	00:00	211(03:31)
Non- Saturate d	* NB(▶) 14:00~15:00	00:00	00:46	02:03	02:27	03:18	03:27	03:33	213(03:33)
	SB(◀) 15:00~16:00	03:29	02:05	02:39	01:59	00:59	00:46	00:00	209(03:29)

3) 통행시간 비교분석

본 통행시간 비교 분석은 이 두 운영조건에 따른 긴급차량의 통행시간 차이를 살펴보았다. <Table 7>에서 보는 바와 같이 근포화 상태에서 긴급차량 우선 시 254초로 가장 많이 출동시간 단축되었고, 포화상태에서 104초로 가장 적게 단축되었다. 전체적으로 북향방향의 418초(6분 58초)를 제외하고, 화재출동 5분(골든타임) 이론을 만족하고 있다(* 비포화 상태 14~15시 분석 제외).

<Table 7> Difference of Travel time

Section		General TOD Control Travel Time(: Sec)	Preemption Control Travel Time(: Sec)	Reduction Time()	Reduction rate (÷ : %)
Saturate d	NB(▶)	522	418	104sec	19.93
	SB(◀)	385	262	123sec	31.95
Near- Saturate d	NB(▶)	436	182	254sec	58.26
	SB(◀)	355	211	144sec	40.57
Non- Saturate d	*NB(▶)	370	213	157sec	42.44
	SB(◀)	522	209	313sec	59.97

3. 대기행렬 길이 분석

대기행렬 길이 분석은 대상지의 5개의 교차로의 전체적인 교통상황을 살펴볼 수 있는 지표로, 본 연구에서는 긴급차량 우선신호 시 부방향과 대향방향의 영향 및 상쇄 시간을 검토하였다. 분석방법은 교통상태별로 구분하고, 북남방향으로 각각 한 차례씩 운행하여 15분 단위로 총 1시간의 변화에 대해서 추이 분석을 실시하였다. 여기서 상쇄시간은 회복되는 시간을 의미하며, 해소되는 시간을 의미하지 않는다.

1) 교차로 평균 대기행렬(포화상태)

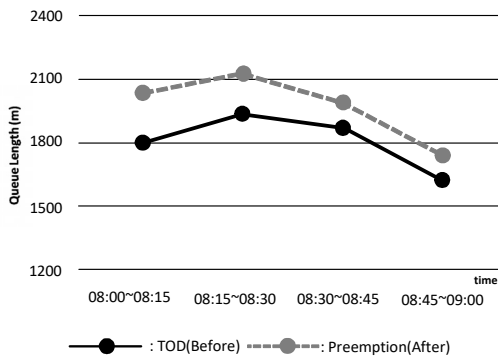
오전 8시에 북쪽(NB)방향의 대기행렬길이 차이를 살펴보면, <Table 8>에서 보는 바와 같이 08:00~15분대에는 사후가 2,035m로 사전 대비 약 238m 더 증가되는 결과를 보였으며, 15분 이후부터 점차 두 격차가 감

소되는 것을 확인하였다. 오전 9시에 남쪽(SB)방향도 마찬가지로 사후가 1,998m로 사전 대비 약 465m로 큰 차이를 보이다가 15분대 이후부터는 108m로 급격하게 두 격차가 감소되는 것을 확인하였다.

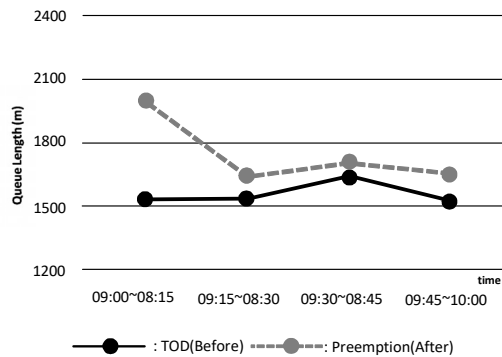
<Table 8> Total Saturated Queue Length(Sub + Opposing Through)

Section(Saturated)		Total Queue Length(Sub + Opposing Through)			Emergency Vehicle Transit time		
		Before: General TOD Control Total Queue Length(A)	After : Preemption Control Total Queue Length(B)	(B)-(A)	(A)	(B)	(B)-(A)
NB(▶) Start time 08:00	08:00~08:15	1,797m	2,035m	238m	08:08:42	08:06:58	104sec
	08:15~08:30	1,938m	2,133m	195m			
	08:30~08:45	1,871m	1,991m	120m			
	08:45~09:00	1,620m	1,744m	124m			
SB(◀) Strat time 09:00	09:00~09:15	1,533m	1,998m	465m	09:06:25	09:04:22	123sec
	09:15~09:30	1,541m	1,649m	108m			
	09:30~09:45	1,647m	1,710m	63m			
	09:45~09:00	1,526m	1,656m	130m			

포화상태의 대기행렬길이 패턴을 분석해 보면, 북쪽(NB)방향의 경우 <Fig.9>에서 보는 바와 같이 15분까지는 대기행렬이 증가하다가 이후부터 점차 상쇄되었다. 남쪽(SB)방향의 경우 <Fig.10>에서 보는 바와 같이 긴급차량 통과직후인 09:00 ~ 15분대까지는 대기행렬길이 급격하게 증가하다가 점차 상쇄되는 것을 확인하였다. 양쪽방향 모두가 긴급차량 통과 직후에 사전과 사후의 대기행렬길이의 차이가 크게 발생하였다. 이후 15분부터는 점차 대기행렬의 차이가 줄어들었다.



<Fig. 9> Total Queue Length(Saturated NB, Sub+Opposing Through)



<Fig. 10> Total Queue Length(Saturated SB, Sub+Opposing Through)

2) 교차로 평균 대기행렬(근포화상태)

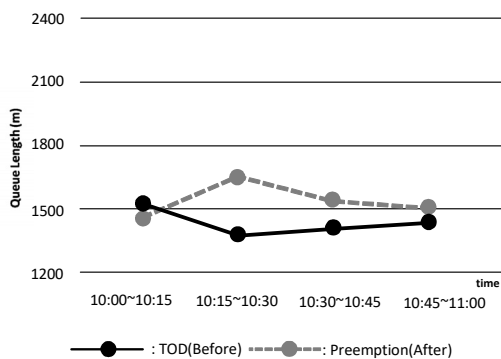
오전 10시에 북쪽(NB)방향 근포화상태의 대기행렬길이 차이를 살펴보면, <Table 9>에서 보는 바와 같이 10:00~15분대에는 사전이 1,528m로 사후 대비 64m 더 증가된 결과를 보였다. 15분 이후에는 사후가 1,656m로 사전보다 276m 더 증가되는 결과를 나타냈다. 두 격차가 증가되다가 30분 뒤부터 점차 감소되는 것을 확인하였다. 오전 11시에 남쪽(SB)방향 11:00~15분대에 사후가 1,583m로 사전 대비 약 382m로 정도로 큰 차이

를 보이다가 15분 이후부터 격차가 감소되었다. 30분 이후부터는 사후가 1,400m로 사전보다 530m 대기행렬이 낮게 나타났고, 45분부터 두 격차가 감소되는 것을 확인하였다.

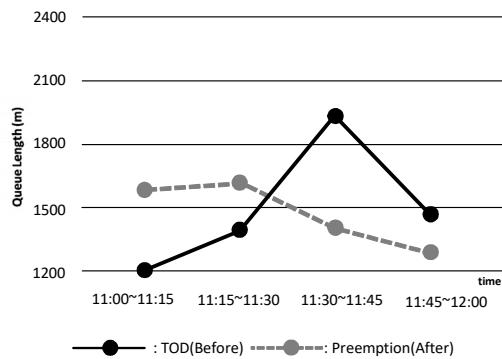
<Table 9> Total Near-Saturated Queue Length(Sub + Opposing Through)

Section(Near-Saturated)		Total Queue Length(Sub + Opposing Through)					
		Total Queue Length(Sub + Opposing Through)			Emergency Vehicle Transit time		
		General Control Total Queue Length(A)	Preemption Control Total Queue Length(B)	(B)-(A)	(A)	(B)	(B)-(A)
NB(▶) Start time 10:00	10:00~10:15	1,528m	1,464m	-64m	10:07:16	10:03:02	254sec
	10:15~10:30	1,380m	1,656m	276m			
	10:30~10:45	1,415m	1,544m	129m			
	10:45~11:00	1,440m	1,509m	69m			
SB(◀) Start time 11:00	11:00~11:15	1,201m	1,583m	382m	11:05:55	11:03:31	144sec
	11:15~11:30	1,393m	1,616m	223m			
	11:30~11:45	1,930m	1,400m	-530m			
	11:45~12:00	1,462m	1,287m	-175m			

근포화상태의 대기행렬패턴을 분석해 보면, 북쪽(NB)방향의 경우 <Fig.12>에서 보는 바와 같이 사후의 대기행렬길이가 증가하다가 15분 이후부터는 점차 상쇄되는 것을 확인하였다. 긴급차량 우선신호를 운영하였을 경우에 대기행렬길이가 전체적으로 높게 나타났으며, 긴급차량 통과 직후 시간대에 대기행렬길이가 지속적으로 증가하다가 15분 이후부터는 점차 대기행렬의 상쇄되는 것을 확인하였다. 남쪽(SB)방향의 경우 <Fig 12>에서 보는 바와 같이 15분까지는 사후의 대기행렬이 점차 증가하다가 15분 이후부터는 대기행렬이 감소하였다. 사전의 경우에는 45분까지 대기행렬이 급격하게 증가하다가 이후부터는 급격하게 상쇄되었다.



<Fig. 11> Total Queue Length(Near- Saturated NB, Sub+Opposing Through)



<Fig. 12> Total Queue Length(Near- Saturated SB, Sub+Opposing Through)

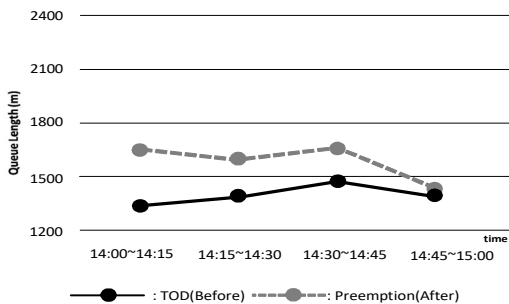
3) 교차로 평균 대기행렬길이(비포화상태)

비포화상태에서는 비교적 교통량이 작아서 사전과 사후의 격차가 작게 나타났다. 남쪽(SB)방향의 경우 <Table 10>에서 보는 바와 같이 15:00~15분대에 사후가 1,524m로 사전 대비 48m로 정도 높게 나타났다. 15분대 이후에는 10m까지 격차가 거의 없는 상태로 지속되었다. 이후 30분 이후부터 사후가 사전보다 더 감소되다가 45분 이후부터 사전보다 약 107m 더 높게 증가되는 현상이 나타났다(* 비포화 상태 14~15시 분석 제외).

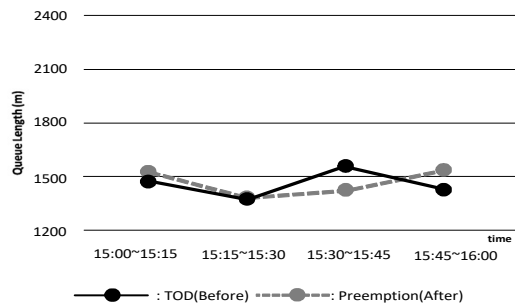
<Table 10> Total Non-Saturated Queue Length(Sub + Opposing Through)

Section(Non-Saturated)		Total Queue Length(Sub + Opposing Through)			Emergency Vehicle Transit time		
		General Control Total Queue Length(A)	Preemption Control Total Queue Length(B)	(B)-(A)	(A)	(B)	(B)-(A)
					(A)	(B)	(B)-(A)
*NB(▶) Start time 14:00	14:00~14:15	1,334m	1,654m	320m	14:06:10	14:03:33	157sec
	14:15~14:30	1,386m	1,593m	207m			
	14:30~14:45	1,474m	1,663m	189m			
	14:45~15:00	1,392m	1,437m	45m			
SB(◀) Start time 15:00	15:00~15:15	1,476m	1,524m	48m	15:08:42	15:03:29	313sec
	15:15~15:30	1,371m	1,381m	10m			
	15:30~15:45	1,555m	1,423m	-132m			
	15:45~16:00	1,426m	1,533m	107m			

비포화상태의 대기행렬패턴을 분석해 보면, 남쪽(SB)방향의 경우 <Fig. 14>에서 보는 바와 같이 긴급차량이 통과직후에도 대기행렬이 증가하지 않고 상쇄되는 것을 볼 수 있다. 비포화 상태에서는 교통량이 작아 긴급차량 우선신호에 대한 영향은 미비하다는 것을 알 수 있다(* 비포화 상태 14~15시 분석 제외).



<Fig. 13> Total Queue Length(Non-Saturated NB, Sub+Opposing Through)



<Fig. 14> Total Queue Length(Non-Saturated SB, Sub+Opposing Through)

4) 대기행렬 종합분석 결과

우선신호에 의한 부방향과 대향방향의 일반차량 영향은 포화 상태일 때에는 15분, 근포화 상태에서는 30

분에서 45분 정도 지속되었다. 비포화 상태에서는 긴급차량 통과 직후에도 대기행렬길이가 감소하였으며, 사전과 사후의 차이가 가장 적었다. 종합적으로 살펴보면, 교통량이 많을수록 대기행렬길어도 증가되었으며, 긴급차량의 통과시간이 우선신호를 통해 단축된다고 해도 부방향과 대향직진방향의 영향을 주는 정도가 미비하다는 것을 확인하였다. 이는 긴급차량 우선신호를 운영할 경우에는 도로의 특성 및 교통량 상태를 반드시 고려해야한다는 것을 의미한다.

VI. 결 론

긴급차량 효과 검증에서는 긴급차량 우선신호 우선신호를 운영 시 긴급차량의 통행시간은 최대 350%에서 최소 24%까지 감소하는 것을 확인하였다. 교통 조건 및 환경에 의해 통행시간 감소효과는 차이가 있었으나, 긴급차량 우선신호의 효과는 정량적으로 검증되었다.

긴급차량 우선신호 시 대기행렬길이의 경우에는 포화 상태일 때에 최대 45분, 근포화 상태에서는 최대 30분 정도 지속하는 것으로 확인되었으며, 비포화 상태에서는 긴급차량 통과직후에도 대기행렬이 감소되었다. 우선신호의 효과를 종합적으로 검토해본다면, 교차로의 서비스 수준이 2단계(A에서 F로 갈수록 정체수준이 악화, A-F) 악화되는 교차로에 대해서는 우선신호 적용 이후 기존 신호로 복귀 시 일반차량의 지체 감소를 위한 추가적인 운영기법이 적용되거나, 우선신호 운영을 심각히 고려해 볼 필요성이 있다.

본 연구에서 적용된 우선신호 방식은 현장제어방식으로는 교통량이 상대적으로 많지 않은 집·분산 및 국지도로에 사용하는 것을 제안하며, 간선도로에서는 중앙관제 우선신호시스템을 사용하여 일반차량의 지체 및 대기행렬을 최소화 하는 방식을 제안한다.

향후 긴급차량 우선신호가 설치·운영될 도시에서는 해당 매뉴얼에 의한 운영이 이루어져야 할 것이며, 제시한 매뉴얼(안) 이외의 사항에 대해서는 추가적인 검토 및 분석이 이루어진 이후 긴급차량 우선신호 운영에 적용해야할 것이다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 미래창조과학부 재원으로 경찰청과 치안과학기술연구개발사업단의 지원을 받아 치안과학기술연구개발사업입(PA-A000001)

REFERENCES

- Bullock D., Morales J. M. and Sacterson B.(1999), "Impact of Signal Preemption on the Operation of the Virginia Route 7 Corridor," *Proceedings of the 1999 ITS America Conference*, pp.19-22.
- 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*, vol. 43TC, no. 9, pp.40-48.
- 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*, vol. 11 no. 2, pp.39-47.
- Kim J. S. and Gu B. G.(2016), “Consideration of Preemptive Passing System for Emergency Vehicle based on V2X Communication,” *Proceedings of KIIT Summer Conference*, pp.140-142.
- Kotani J. and Yamazaki K.(2011), “Expanding Fast Emergency Vehicle Preemption System in Tokyo,” 18th ITS World Congress.
- Lee S. I. and Seok J. S.(2013), “A Study on Construction of an emergency vehicle dispatch support system,” *The Journal of The Korea Safety Management & Science*, vol. 15, no. 2, pp.95-101.
- National Police Agency(Traffic Laws, enforcement date: 2017), <http://www.law.go.kr>, 2017.03.03.
- Nelson E. and Bullock D.(2000), “Impact of Emergency Vehicle Preemption on Signalized Corridor Operation: An Evaluation,” *The Journal of the Transportation Research Record*, vol. 1727, pp.1-11.
- Park S. Y., Kim D. N., Kim M. S. and Lee J. B.(2012), “Applicability of Emergency Preemption Signal Control under UTIS,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport*, vol. 11 no. 5 pp.27-37.
- U.S. Department of Transportation, <http://www.itsdeployment.its.dot.gov>, 2015.11.16.
- Yang L.H., Lee S. S. and Oh Y. T.(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,” *The 85th TRB Annual Meeting, CD-ROM*.