

자율주행차 및 C-ITS 지원을 위한 디지털 교통신호 제어기의 신호정보연계장치 및 전이 알고리즘 개선 연구

Study on Improvement of Connected Vehicles Interface Board and Transition Algorithm of Digital Traffic Signal Controller for Autonomous Vehicles and C-ITS

고 세 진* · 최 은 진** · 고 광 용*** · 한 음**** · 윤 일 수*****

* 주저자 : (주)서돌전자통신 부설연구소 개발팀 수석연구원
 ** 공저자 : 도로교통공단 융합기술연구처 선임연구원
 *** 공저자 : 도로교통공단 융합기술연구처 처장
 **** 공저자 : 도로교통공단 교통공학연구처 선임연구원
 ***** 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

Sejin Ko* · Eunjin Choi** · Gwang-Yong Gho** · Eum Han** · Ilsoo Yun***

* Development Team of R&D Center, Suhdol E&C
 ** Traffic Science Institute, Road Traffic Authority
 *** Dept. of Transportation Eng. Ajou University
 † Corresponding author : Ilsoo Yun, ilsooyun@ajou.ac.kr

Vol.20 No.2(2021)

April, 2021
pp.15~29

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2021.20.2.15>

Received 13 January 2021
Revised 5 February 2021
Accepted 26 February 2021

© 2021. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요 약

신호교차로는 차량들의 회전 등으로 인한 상충이 빈번히 발생하고 차량의 주행이 교통신호에 의해 통제되기 때문에 자율주행차에게 가장 도전적인 공간이다. 교통신호가 존재하는 도시부 도로에서 안전한 주행을 도모하기 위해서는 자율주행차가 V2I 통신을 통하여 교통신호정보를 인프라로부터 제공받을 필요가 있다. 이러한 배경 하에 경찰청 교통신호제어기 표준규격서에는 교통신호정보 제공을 위한 규약이 추가되었다. 하지만, 기존 규약이 아날로그 교통신호제어기 위주로 정의되어 있어 현재 개발되고 있는 디지털 교통신호제어기에 적용하는 것에는 기술적 한계가 존재한다. 따라서 본 연구에서는 디지털 교통신호제어기로부터 자율주행차에게 교통신호정보를 제공하기 위한 신호정보연계모듈 개발 방안과 교통신호 전이 시의 정확한 교통신호정보를 제공할 수 있는 알고리즘 개선 방안을 제시하고자 한다.

핵심어 : 자율협력주행, 디지털 교통신호제어기, 신호정보연계장치, 신호정보연계모듈, 전이

ABSTRACT

The signal intersection is the most challenging space for autonomous vehicles. To promote the safe driving of autonomous vehicles on urban roads with traffic signals, autonomous vehicles need to receive traffic signal information from infrastructure through V2I communication. Thus, a protocol for providing traffic signal information was added to the standard traffic signal controller specification of the National Police Agency. On the other hand, there are technical limitations when applying this to digital traffic signal controllers because the protocols are defined mainly for analog traffic signal controllers. Therefore, this study proposes developing a signal information linkage module to provide traffic signal information from a digital traffic signal controller to an autonomous vehicle and an algorithm improvement method that can provide accurate traffic signal information at the time of traffic signal transition.

Key words : Automated connected driving, Digital traffic signal controller, Connected vehicles interface board, Connected vehicles interface module, Transition

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

지난 2010년 구글의 자회사인 웨이모(Waymo)는 자율주행차(autonomous vehicle)를 선보여 전 세계의 이목을 집중시켰다. 그리고 2020년 현재 세계의 많은 나라의 자동차 제작사와 IT 기업들이 자율주행차 개발 경쟁에 참여하고 있다. 다임러 AG, 메르세데스-벤츠, BMW, GM, 그리고 현대자동차 등 완성차 제조업체는 점진적인 기술 개발을 통해 자동차 산업의 주도권을 유지하는 전략을 추구했으며, 테슬라, 구글, 아마존, 우버 등 IT 기반 기업은 인공지능(artificial intelligence, AI)과 소프트웨어 기술을 기반으로 단숨에 Level 3 이상의 단계를 구현하는 전략을 구사하면서 경쟁 관계를 유지하고 있다.

미국 자동차공학회(SAE International)는 자율주행 발전 단계를 Level 0에서 5까지 6단계로 분류하고 있다. 운전자가 직접 운전하는 Level 0, 1개 이상의 자동제어기능을 갖춘 Level 1, 2개 이상의 자동제어기능을 갖춘 Level 2, 대부분의 운전기능을 수행하고 필요시만 운전자가 제어하는 Level 3, 특정 도로 상황에서 운전자 개입이 필요 없는 Level 4, 모든 도로 모든 상황에서 운전자 개입이 필요 없는 Level 5로 구분하고 있다(Park et al., 2019).

그러나 자율주행차의 센서만으로 단독 자율주행(stand-alone autonomous driving)을 수행하는 것은 한계가 있다. 2016년 5월 테슬라 자율주행차의 첫 사망사고가 발생했다. 사고 원인은 테슬라의 센서가 전방의 트레일러 차체의 하얀색 면을 하늘과 구분하지 못해 충돌한 것으로 보고 있다. 그리고 2018년 3월 우버의 자율주행차가 교차로를 건너던 보행자를 치어 사망에 이르게 했다. 이처럼 자율주행차의 센서만으로 주변 환경을 인지하는 데에는 한계가 있다. 그래서 최근에는 자율협력주행(connected automated driving)으로 발전해 나아가고 있다. 예를 들어, 차량들의 회전과 차로변경 등으로 인한 상충이 빈번히 발생하고 차량의 주행이 교통신호에 의해 통제되는 신호교차로는 자율주행차에게 가장 도전적인 공간이다. 따라서 자율주행차의 안전한 주행을 도모하기 위하여 차량-인프라(vehicle to infra, V2I) 통신을 통한 교통신호정보(traffic signal information) 제공과 같은 인프라로부터의 협력이 가장 필요하다(Ko et al., 2019).

이러한 인프라로부터의 협력을 통한 서비스의 예로는 Green Light Optimized Speed Advisory(GLOSA)와 Cooperative Intersection Collision Avoidance Systems(CICAS) 등이 있다(Katsaros et al., 2011; Elleuch et al., 2017). 이와 같이 인프라에서 정보를 받을 수 있다면 안전과 편의에 도움이 될 수 있다. 이와 같은 서비스를 위해 정확한 교통신호정보 제공이 필요한 시점이다.

이러한 자율주행차의 신호교차로 주행 안전성 확보를 위한 교통신호정보 공개 서비스를 위하여 교통신호 상태정보를 제공하기 위한 기술 표준이 「경찰청 교통신호제어기 표준규격서」에 포함되어 있다(Korean National Police Agency, 2018; Korean National Police Agency, 2019; Korean National Police Agency, 2020). 그러나 기존의 「경찰청 교통신호제어기 표준규격서」에 기술되어 있는 내용은 아날로그 교통신호제어기에 적용하기 위한 기술 규격만을 다루고 있다. 따라서 현재 개발되고 있는 디지털 교통신호제어기에 맞는 기술 규격이 새로이 정의될 필요가 있다. 또한 「경찰청 교통신호제어기 표준규격서」에서는 전이, 수동, 감응, 점멸 등 교통신호정보를 정확히 제공하기 어려운 상황에서 255초의 고정된 교통시간정보만을 제공하도록 규정하고 있어, 실제 자율주행차가 안전한 주행을 위하여 교통신호정보를 사용하는 데 분명한 한계를 보이고 있다.

따라서 본 연구에서는 현재의 「경찰청 교통신호제어기 표준규격서」에서 아날로그 교통신호제어기 중심으로 정의되어 있는 자율주행차에 대한 교통신호정보 제공 기능을 최근에 개발된 디지털 교통신호제어기에서도 구현할 수 있도록 필요한 기능을 개발하고, 개발된 기능의 성능을 검증하고자 한다. 이를 위해 현재의 아

날로그 교통신호제어기에서 교통신호정보를 제공하기 위한 옵션보드(option board)인 신호정보연계장치(connected vehicle information board, CVIB)를 대체하여, 옵션보드를 설치할 수 없는 디지털 교통신호제어기에서 사용이 가능하도록 신호정보연계모듈(connected vehicle information module, CVIM)을 개발하였다. 또한 교통신호정보를 정확히 제공하지 못하는 여러 상황 중 전이(transition) 상황에서 표출시간과 잔여시간을 계산하는 알고리즘을 개선하여 정확한 교통신호정보를 제공하고자 하였다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 2018년에 배포된 「경찰청 교통신호제어기 표준규격서(NPA-TSC-2010-R23)」(Korean National Police Agency, 2018)를 기준으로 디지털 교통신호제어기의 자율주행차에 대한 교통신호정보 제공을 위한 요구사항 도출, 기능 개발 그리고 성능 검증을 수행하고자 한다. 참고로 표준규격서는 2019년과 2020년에도 갱신되었으나, 자율주행차에 대한 교통신호정보 제공을 위한 규정은 큰 차이가 없다.

본 연구를 수행하기 위해 2장에서는 디지털 교통신호제어기와 신호정보연계장치에 대한 이론과 관련 연구들을 고찰하였다. 3장에서는 「경찰청 교통신호제어기 표준규격서」(Korean National Police Agency, 2018) 분석을 통하여 디지털 교통신호제어기가 교통신호정보를 제공하기 위해 필요한 요구사항을 도출하였다. 4장에서는 앞서 도출된 요구사항에 맞게 디지털 교통신호제어기가 교통신호정보를 제공할 수 있는지를 검증을 하였다. 마지막으로 결론 및 향후 연구과제를 도출하였다.

II. 관련 이론 및 연구 고찰

1. 관련 이론 고찰

1) 디지털 교통신호제어기

도로교통공단에서 디지털 교통신호제어기 통신체계 개발(Kim et al., 2013)로부터 시작된 디지털 교통신호제어기(digital traffic signal controller)는 2014년부터 4년 동안 개발되었다. 2021년 1월 현재에는 현장에 설치되었을 때 아날로그 교통신호제어기의 부대장치와 호환성을 유지하는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. 디지털 교통신호제어기는 같은 철주에 위치하는 같은 방향의 신호등에 한 쌍의 저전압 케이블을 공통으로 사용하여 전력을 공급함으로써 땅 속에 매설되는 전원 케이블 수를 현저히 감소시키고, 필요한 토목공사량을 줄이는 효과가 있다(Ko et al., 2019).

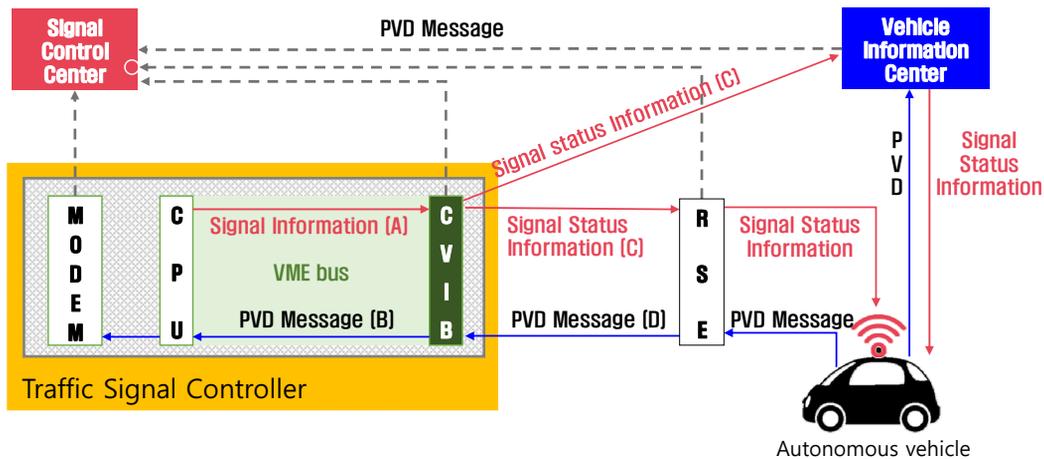
디지털 교통신호제어기 내에서 신호제어를 위해 가장 중요한 장치는 주제어부(master local controller, MLC)와 등기구동부(signal lighting controller, SLC)이다. 디지털 교통신호제어기 내에는 하나의 MLC와 하나 이상의 SLC가 전력선과 통신선으로 연결되어 있다. 그리고 부대장치로서 검지제어부(detector local controller, DLC), 디지털 보행자통합버튼(pedestrian integration button, PIB), 디지털 보행자잔여시간 표시장치(pedestrian remaining time display device, PTD) 등으로 구성되어 있다(Ko et al., 2019).

디지털 교통신호제어기는 아날로그에서 디지털로의 전환뿐만 아니라, 2010년 규격의 아날로그 표준교통신호제어기를 사용하면서 필요하다고 느꼈던 부분들의 개선이 이루어진 제품이다. 개선점으로, 고전압을 저전압으로 변경하여 안전성 개선, 큰 일체형 합체를 분산시킨 합체 소형화, 96개의 외부 연결 개수를 최대

434개로 증가, 시그널맵¹⁾의 스텝수를 32개에서 64개로 증가시켜 더욱 다양한 신호시간계획 구현, 점점 방식의 부대장치를 데이터 통신방식으로 변경을 통한 정확성 향상 등이 있다.

2) 신호정보연계장치

신호정보연계장치(Connected vehicles interface board, CVIB)는 교통신호제어기와 노변장치(road-side equipment, RSE) 또는 가칭 차량정보센터(vehicle information center)²⁾ 간 signal phase and timing(SpAT) 형식의 신호상태정보(signal status information) 및 차량운행정보인 probe vehicle data(PVD)를 상호 연계하는 장치이다. 정보연계는 <Fig. 1>에서 보는 바와 같이 CPU→CVIB(A), CPU←CVIB(B), CVIB→RSE(C), CVIB←RSE(D)로 진행된다(Korean National Police Agency, 2018).



Source: Traffic Signal Controller Standard Specification(Korean National Police Agency, 2018)

<Fig. 1> Information transmission diagram based on CVIB

2. 관련 연구 고찰

Bae et al.(2018)는 자율주행차와 관련하여 여러 분야에서 기술 발전이 진행되고 있으며, 특히 자율주행차의 안전운행을 위해서는 “동적전자지도 플랫폼”이 필요하다고 하였다. 그리고 여기에는 교통신호정보와 안전시설물 정보가 반드시 필요함을 언급하였다. 또한, 교통신호정보를 제공함에 있어서 교통신호제어기에서 차량으로 직접 제공하는 방법과 전국의 신호센터를 연계하여 전국 DB로 통합하여 제공하는 방법이 가능하나, 공공 데이터로서 누구나 사용하기 쉽고 접근이 편리하게 하기 위해서는 후자의 방법이 적절하다고 주장하였다.

Yoon et al.(2020)는 V2X를 이용하여 교통신호정보를 예측하고 예측된 정보를 이용하여 자율주행차의 중방향 제어를 할 수 있는 방안을 개발하였다. 이 연구에서 V2X를 통해 제공된 교통신호정보를 이용하여 해당 교차로의 신호주기길이(cycle length)를 추정하고, 이것을 이용하여 가상 신호등을 생성한 다음, 자율주행차의 속도에 따라 교차로 진입 시점에서 신호등의 변화를 예측하고 있다. 이렇게 예측된 정보를 이용하여 교차로에서 제한 속도를 초과하지 않고 통행 시간을 단축하기 위한 중방향 제어 알고리즘을 제시하였다.

1) 시그널 맵은 신호시간계획을 구현하기 위한 매트릭스로 그 형태는 <Fig. 6>과 같음.
 2) 차량정보센터는 교통신호정보를 자율주행차에게 직접 또는 local dynamic map(LDM) 형태로 제공해주는 기능을 하게 될 센터 또는 기관을 의미함.

해외의 경우에는 Green Light Optimized Speed Advisory(GLOSA), Cooperative Intersection Collision Avoidance Systems(CICAS) 등 교통신호정보 제공을 통해 자율주행차의 이동 효율성과 안전성을 높이기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있는 것에 비하여 국내에서는 교통신호정보를 자율주행에 적용하는 연구가 부족한 실정이다(Katsaros et al., 2011; Elleuch et al., 2017). 또한 자율주행차의 신호교차로 통행 시 안전성을 높이기 위해서는 정확한 교통신호정보를 실시간으로 제공할 필요가 있다. 하지만, 교통신호제어기에서 자율주행차로 정확한 교통신호정보를 제공하기 위한 연구 및 노력들도 부족한 것으로 판단된다.

Korea Expressway Corporation(2018)은 'C-ITS 기반 우선신호 시스템 개발 연구'에서 긴급신호에 대한 교통신호정보 제공, 긴급신호 제어 알고리즘 개발, H/W, 통신, 알고리즘 등의 현장테스트를 수행한 바가 있다. 이 연구에서는 기존의 아날로그 교통신호제어기의 CVIB를 이용하여 C-ITS 단말기에 교통신호정보를 제공하였다. 그리고, 긴급차량 우선신호(emergency vehicle preemption) 이후 신호주기(cycle length)와 오프셋(offset)을 맞추기 위한 전이(transition) 시에는 표출시간과 잔여시간이 미리 설정된 "255"초로 제공된다. 하지만, 최근에 생산되는 아날로그 교통신호 제어기는 본 연구를 통해서 개선된 전이 알고리즘이 적용되었기 때문에 정확하게 계산된 표출시간과 잔여시간이 제공된다.

3. 연구의 차별성

자율주행차의 안전한 운행을 위해서는 현재 어떤 방향(동, 서, 남, 북)의 어떤 신호(예, 좌회전, 직진 또는 직·좌 등)가 등화되어 있으며, 잔여시간이 얼마인 지에 대한 정보를 포함한 교통신호정보가 꼭 필요하다. 특히, 우리나라와 같이 교통신호등의 위치(교차로 통과 전 또는 후의 교통섬 또는 보도 등)가 복잡하여 영상을 통하여 교통신호 등화 정보를 취득하는 것이 어려운 경우 V2X를 통해서 제공되는 교통신호정보는 자율주행차의 안전한 주행에 필요한 중복성(redundancy)을 담보하는 방안 중에 하나이다. 예를 들어, 자율주행차가 카메라를 이용하여 교통신호등의 위치를 파악하고, 신호등에 표출된 현시 정보를 정확하게 취득하는 기능이 있다고 하자. 하지만, 해당 자율주행차에 설치된 카메라에 이물질이 묻어서 해당 정보를 취득하지 못하는 상황이 발생하더라도, V2X를 통하여 교통신호정보가 제공된다면 그 자율주행차는 안전하게 신호교차로를 통과할 수 있다. 이러한 예가 자율주행차에서 중복성의 필요성을 대변한다고 할 수 있다.

그러나 교통신호정보 제공을 위해 차량의 데이터를 신호센터와 연계하여 제공하는 방법에는 여러 단계를 거쳐야 하므로 시간지연(latency)이 발생할 수 밖에 없다. 데이터 개방을 위한 정보수집은 신호센터와의 정보연계로 제공해도 된다. 그러나 자율주행차에 보내는 정보는 지연시간을 최소한으로 해야 한다. 따라서 현장에서 직접 교통신호정보를 제공하는 방식을 사용하든지, 아니면 차량정보센터 등을 이용하는 방식이라 하더라도 최소한의 단계만 거쳐야 한다. 또한, 현재의 규격은 아날로그 교통신호제어기에 맞춰서 만들어진 규격이므로 디지털 교통신호제어기에서는 동일한 방법으로 구현을 할 수가 없다. 이에 따라 디지털 교통신호제어기에 적용이 가능한 방법을 연구하고, RSE 또는 차량정보센터에 신호정보의 제공이 가능함을 검증하고자 한다. 또한 현재의 「경찰청 교통신호제어기 표준규격서」(Korean National Police Agency, 2018)에서는 전이, 감응, 수동, 온라인 RC제어 등의 전이모드에서 현재 잔여시간/전체 잔여시간 데이터를 실제 값이 아닌 255/255로 고정해서 표시한다. 이 중 본 연구에서는 대부분의 교차로에서 가장 많이 발생하는 전이 상황에서 알고리즘 개선을 통하여 정확한 교통신호정보를 전달 가능함을 검증하고자 한다.

Ⅲ. 자율주행차에 교통신호정보를 제공하기 위한 디지털 교통신호제어기 기능 개선

1. 아날로그 교통신호제어기의 옵션보드 방식

아날로그 교통신호제어기는 타 장치와 정보 연계(예, 데이터 전송)를 위해서는 반드시 옵션보드 형태의 신호정보연계장치를 사용하여야 한다. 예를 들어 시각(time) 동기를 위한 GPS 보드, 보행자 신호를 제어하기 위한 보행자 버튼 입력장치와 연계하는 PED 보드, 긴급 및 우선제어를 위한 PPC 보드 그리고 신호정보연계를 위한 CVIB 등이 옵션보드(option board)에 해당한다. 이러한 옵션보드는 정보전달과 제어를 위해 CPU와 통신을 해야 하는데 아날로그 교통신호제어기에는 versa module eurocard bus(VME버스)라는 인터페이스를 사용하고 있다. 아날로그 교통신호제어기는 최대 7종류의 옵션보드를 사용할 수 있으며, CPU는 지정된 주소지정 범위를 검색하여 장치의 설치 여부 및 타입을 인식할 수 있다.

그리고 CPU와 옵션보드는 지정된 VME버스 데이터 프로토콜에 의해 HEADER, RW DATA, SIG DATA의 정보를 주고받는다. 신호정보연계를 위한 CVIB도 CPU와 정보전달을 위해 VME버스 인터페이스를 사용하고 있으며, 그 중에서 교통신호정보는 <Table 1>에서 제시된 “SIG DATA” 영역을 사용한다.

<Table 1> VME버스 interface protocol

Data name			Types	Contents
Area	Offset	Size (byte)		
Bus header	0	256	TYPE	Board type that designates OPT DATA format
	1		VENDER	Device manufacturer code
	2		RUN	Operation status value increasing at intervals of 100msec or less (0-255)
	3		ReqSigInfo	If the value is 1, the CPU provides signal operation status regardless of the type (Recommended only for boards using CPU)
	4		RelayMsg	Message mediated between the center and the option board (Recommended only for boards using CPU)
	5		ReadSize	If ReadSize is not 0, CPU reads ReadSize from 'RW DATA' address and resets ReadSize to 0
	6		WriteSize	CPU writes MSG to 'RW DATA' and updates WriteSize to WriteSize, and resets WriteSize to 0 after OPT reads data
	~15		-	Reserved for future use
OPT DATA	16 ~ 255	256	-	Address range that stores information generated by optional equipment
RW DATA	256 ~ 383		-	Option board and CPU data exchange area
SIG DATA	384 ~ 511		-	Transmission area of operation information to option devices that require signal operation status

그러나 디지털 교통신호제어기는 일체형으로 구성되어 있어서 아날로그 교통신호제어기에서 사용하는 옵션보드를 설치할 수가 없으며 VME버스 인터페이스도 사용할 수 없다. 따라서 디지털 교통신호제어기에는 이와 같은 성능을 위해 각 서비스별 기능을 소프트웨어 모듈로서 구현해야 한다. 이러한 소프트웨어 모듈을

MLC에 설치하고, 동일한 서비스에 대해서는 옵션보드 규격에 정의된 데이터 형식을 그대로 사용하고자 한다.

2. Connected Vehicle Information Module 개발

디지털 교통신호제어기는 아날로그 교통신호제어기의 CVIB에 해당하는 기능을 소프트웨어 모듈로 처리하고자 한다. 이를 위해 개발한 소프트웨어 모듈을 본 연구에서는 Connected Vehicle Information Module(CVIM)이라고 정의하였다. CVIM의 기능은 MLC에서 신호정보를 수신하여, RSE 또는 차량정보센터에 교통신호정보를 송신하는 것이다. 그리고 상황에 따라 차량에서 보내오는 PVD를 수신하여 MLC에 전달한다. 이를 위해 디지털 교통신호제어기의 CVIM은 다음과 같은 기능을 수행하도록 개발되었다.

1) 교통신호정보 생성

MLC는 시그널맵(signal map), 주기길이(cycle length), 현시시간(phase interval) 데이터를 이용하여 각 방향별로 신호등 출력정보에 따라 표출되고 있는 현시(phase)와 잔여시간을 계산한다. 디지털 교통신호제어기의 CPU가 CVIB에 전송하는 데이터를 제공 형식에 맞춰 내부 메모리에 저장한다. CVIM은 내부 메모리에 저장된 데이터를 읽어서 CVIB와 RSE 간의 메시지 형태(예, SPaT)로 변환한다. 자율주행차이 교통신호정보를 정확히 이해하려면 각 신호등면(signal face)의 위치를 알아야 한다. 이를 위해 Traffic Signal Controller Standard Specification(Korean National Police Agency, 2018)에서 제시된 방향 정보를 사용한다. 참고로, 방향정보는 Map 매칭 방안에 따른 방향코드로 이루어져 있으며, 이때 보행자 버튼에 대한 정보도 함께 전송된다.

2) RSE와 통신

CVIM은 RSE 또는 차량정보센터와 TCP(transfer control protocol) 통신을 하며, 신호상태정보(예, SPaT)를 전송하고 차량운행정보(예, PVD)를 수신한다. TCP 통신은 CVIM이 Client Mode로 동작하며, Server 측 Port는 7071을 사용한다. CVIM은 접속이 되면 100msec 간격으로 통신 프로토콜에 따라 교통신호정보를 전송하도록 개발하였다. <Table 2>는 CVIB와 RSE 간에 주고받는 데이터 프레임 구조를 보여주고 있다.

<Table 2> Data frame structure for communication between CVIB and RSE (Unit: Byte)

Areas	STX1	STX2	LEN	DIR	OPCODE	DATA	CHKSUM
Sizes	1	1	2	1	1	8 + 4N	2
Values	0x7E	0x7E	Size(LEN...CHKSUM)	0~255	0x01~0xFF	...	CRC16

CVIM에서 보내는 교통신호정보는 구체적으로 8Byte의 상태정보와 4Byte의 신호상태정보 블록으로 구성되며 <Table 2>의 “DATA” 영역에 기록된다. <Table 3>는 “DATA” 영역의 블록의 상세 내역을 보여주고 있다. 예를 들어, 4지 신호교차로의 경우 상태정보는 1개, 신호상태정보는 접근로별 등화 종류(직진, 좌회전, 보행)별 12개에 대하여 방향정보(direction information), 출력정보(signal information), 표출시간(display time), 잔여시간(remaining time)을 제공하고 있다. 여기서 표출시간은 현재 등화가 표출되는 총 신호시간이고, 잔여시간은 현재 신호가 남은 시간을 의미한다. 그리고, <Table 3>에서 N은 총 이동류의 수를 의미한다. 예를 들어, 총 4지 교차로에 총 12개의 이동류(접근로별 좌회전, 우회전, 직진 이동류)가 존재한다면, N은 12가 된다.

<Table 3> Data area block details (unit: Byte)

Areas	Status information	#1 Signal status information block				. . .	#N			
Sizes	8	1	1	1	1		1	1	1	1
Values	① Staus information	② Direction information	③ Signal information	④ Display time	⑤ Remaining time		②	③	④	⑤

먼저, <Table 3>의 ① 상태정보(status information) 블록은 교차로의 수동 운영(manual operation), 점멸 운영(flashing operation), 감응 운영(actuated operation), 소등 등의 운영정보(operation information)와 고장정보(fault information), 주기길이 카운터(cycle length counter), 그리고 전송되는 데이터 패킷의 신호상태정보 블록의 개수(No. of blocks), 현재 시간(current time) 등으로 이루어져 있다. <Table 4>는 상태정보 블록의 상세 내역을 보여주고 있다.

<Table 4> Status information block details (unit : Byte)

Areas	Operation information	Fault information	Cycle length counter	No. of blocks	Current time
Sizes	1	1	1	1	4
Values	Bit0: manual operation Bit1: flashing operation Bit2: light out Bit3: actuated operation Bit4: Transition Bit5~MSB: reserved	Bit0: conflict fault Bit1: center communication fault Bit2: SCU communication fault Bit3: Database fault Bit4: BUS fault Bit5~MSB: reserved	1~255	0~255	time

Note: MSB means the most significant bit, SCU means the signal control unit.

<Table 3>의 신호상태정보 블록은 방향별, 출력별(직진, 좌회전, 보행, 자전거, 우회전, 버스)로 필요하며, 각각의 신호상태정보 블록에는 방향정보(direction information), 출력정보(signal information), 표시시간(display time), 잔여시간(remaining time) 정보로 구성되어 있다. <Table 3>의 ② 방향정보는 방향코드(북, 북동, 동, 남동, 남, 남서, 서, 북서)에 해당하는 일련 번호)와 보행자신호 입력장치의 검지정보로 구성된다. <Table 3>의 ③ 출력정보는 직진, 좌회전 같은 의미를 나타내는 신호등두(signal head)의 출력형태(movement)와 녹색, 황색, 적색을 알려주는 신호등 색상과 점등, 점멸의 상태를 알려주는 신호등 상태(signal stage) 정보로 이루어져 있다. 그리고 교통신호제어기가 정확한 신호 시간을 산출할 수 없는 상태임을 알려주는 시간정보 신뢰성(time information reliability)에 대한 정보도 포함되어 있다. <Table 5>는 ③ 출력정보의 상세 내역을 보여주고 있다.

<Table 5> Indication information details (Unit : Bit)

Areas	Movement	Time information reliability	Signla Stage
Sizes	4	1	3
Values	0(reserved), 1(through), 2(left-turn), 3(pedestrian), 4(bicycle), 5(right-turn), 6(bus), 7(u-turn)	0(fixed time interval), 1(variable time interval)	0(light-out), 1(red indication), 2(yellow indication), 3(green indication), 4(red flashing), 5(yellow flashing), 6(green flashing)

<Table 3>의 ④ 표출시간은 현재 등화된 신호가 표출되는 총 신호시간이며, <Table 3>의 ⑤ 잔여시간은 현재 신호가 남은 시간이며, 값의 범위는 0 ~ 255초이다. 여기서, 잔여시간(remaining time)은 자율주행차의 안전한 주행을 위해 매우 중요한 정보인데, 전이(transition) 중에는 이 값을 정확하게 계산하지 못하는 한계가 존재하였다. 따라서, 본 연구에서는 전이 중에도 잔여시간을 계산하여 표출할 수 있도록 전이 알고리즘을 개선하였다.

3. 전이 알고리즘 개선

1) 기존 전이 알고리즘의 신호상태정보 생성 방법

전이(Transition)란 주기길이(cycle length)가 변하는 시점이나 오프셋(offset)이 변하는 시점에 주기길이나 오프셋을 맞추기 위해 본래의 계획된 주기길이를 연장하거나 축소하는 것을 말한다(Yun et al., 2012). 따라서, 전이 동안의 주기길이인 전이 주기의 길이는 기존 신호시간계획 상의 주기길이와 다르다. 전이는 한 주기에서 다섯 번의 주기 내에 완료되어야 하며, 세 주기 이내로 완료되는 것을 권고한다. TOD(time of day)로 운영³⁾되는 신호교차로에서 하루에 TOD Pattern의 수만큼 전이가 발생하게 된다.

교통신호제어기의 전이 알고리즘은 다음과 같다. 전 주기(cycle)가 종료되어 새로운 주기가 시작되면, 센터 서버에서 현재의 시각을 가져오고, 센터 서버의 TOD 테이블에서는 현재 시각의 목표 주기길이(goal cycle length)와 오프셋(offset)을 가져온다. 시그널맵 테이블을 이용하여 각 현시의 최소 녹색시간과 최대 녹색시간을 산출한다. 그리고 0시를 기준으로 주기길이와 오프셋을 고려하여 편차를 계산하며, 전이가 필요인지 판단한다. 주기의 최소 녹색시간과 최대 녹색시간을 고려하여 전이 횟수가 최소가 되도록 전이의 방향을 결정한다. 또한 각 현시의 최소 녹색시간과 최대 녹색시간을 고려하여 각 현시의 비율에 맞춰 현시시간(phase interval)을 계산한다. 그리고 듀얼링 및 최소 동시시간을 적용하여 최종적으로 현시시간을 결정하고 알고리즘을 종료한다. 현재 운영 중인 전이 알고리즘은 <Fig. 2>의 (a)와 같다.

앞서 설명한 전이 알고리즘을 이용할 경우, 표준 교통신호제어기는 매 주기 시작 시점에 다음 1주기(cycle)만의 주기길이 및 현시시간을 계산한다. 따라서, 주기가 시작이 되어야만 운영될 주기와 현시시간을 알 수가 있다. 그러므로 TOD의 시간대가 변경되면 연동(progression)을 맞추기 위한 전이가 시작되고, 다음 주기길이를 예측할 수가 없기 때문에 잔여시간을 산출할 수가 없고, 정확한 신호시간정보를 전달할 수가 없다.

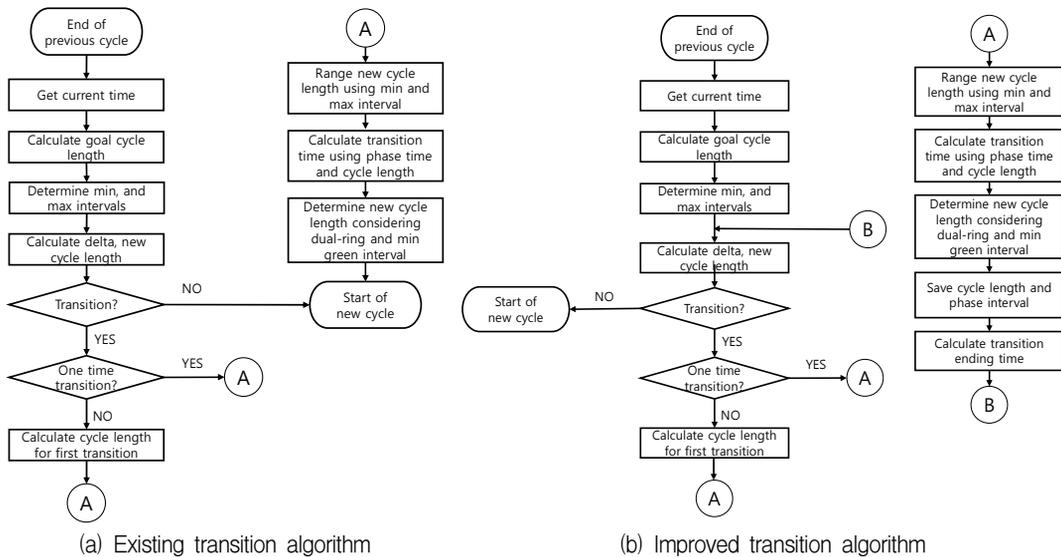
현재의 「경찰청 교통신호제어기 표준규격서」(Korean National Police Agency, 2018)에는 <Fig. 5>에서 보인 바와 같이 전이 시 잔여시간과 표출시간을 모두 “255초”로 고정된 값을 전송하게 되어 있다. 따라서 하루 중 TOD의 변경 시점마다 잔여시간과 표출시간을 알 수 없는 상태가 발생하게 되고, 자율주행차는 교통신호의 정보를 알 수 없는 상태가 되어 자율주행에 큰 장애로 작용하고 있다. 예를 들어, 정확한 잔여시간을 알 수 없으면, 자율주행차는 해당 교차로를 통과할지 또는 정지할지에 대한 판단을 할 수 없다. 그리고, Green Light Optimized Speed Advisory(GLOSA) 또는 Cooperative Intersection Collision Avoidance Systems(CICAS)는 하류 신호교차로까지 주행시간과 해당 신호교차로의 해당 현시의 잔여시간을 고려하여 속도 등을 조정하여 주행하는 데, 잔여시간이 정확하지 않다면 이러한 기능을 사용할 수 없게된다.

3) 오전첨두, 비첨두, 오후첨두, 심야 등 시간대를 구분하여 다른 신호시간계획(주기길이, 녹색시간, 오프셋)을 이용하는 신호운영 방식

2) 전이 알고리즘 개선

개선된 알고리즘 역시 전이가 1회로 완료될 경우에는 기존 전이 알고리즘과 동일하다. 그리고 1회 이상의 전이가 필요할 경우에도 주기와 각 현시를 계산하는 방식은 기존 전이 알고리즘과 유사하다. 하지만, 1회로 전이가 완료되지 않을 경우에는 계산된 주기와 현시를 저장해 두고, 전이 계산의 시점을 첫 번째 전이가 끝난 시점으로 이동한 후에 편차 및 새 주기를 결정한다. <Fig. 2>의 (b)는 개선된 전이 알고리즘의 순서도이다.

개선된 전이 알고리즘에서는 매주기 시작 시점에 첫 번째 주기의 주기길이와 현시시간을 계산하고, 첫 번째 주기길이만큼 시간을 이동하여 두 번째 주기의 주기길이와 현시시간을 계산한다. 적색신호의 잔여시간은 현재주기의 남은 시간과 다음 주기의 현시시간 시작 전 시간의 합이므로 2번째 주기를 미리 계산함으로써 TOD 변경시간대에 전이가 진행되어도 잔여시간을 정확하게 예측이 가능하다. 따라서 전이 시에도 자율주행차에 정확한 교통신호정보를 제공할 수 있게 된다.



<Fig. 2> Comparison of existing and improved transition algorithm

3) 개선된 전이 알고리즘의 신호상태정보 생성

이렇게 개선된 알고리즘의 작동 과정은 <Fig. 3>에서 설명하고 있다. <Fig. 3>에서 TOD #1이 16:59:40에 종료 되면 TOD #2가 시작되어야 한다. 하지만, TOD #1과 #2의 주기길이(cycle length)가 다르기 때문에 연동 (progression)을 위한 오프셋(offset)을 맞추기 위하여 전이(transition)가 시작된다. 이때 기존 전이 알고리즘에서는 첫 번째 전이 중 현시 2(phase 2)의 표출시간과 잔여시간을 모두 <Fig. 5>에서 보인 바와 같이 “255초”로 전송하였다. 하지만, 개선된 전이 알고리즘을 사용할 경우, <Fig. 6>에서 제시된 바와 같이 모든 현시들에 대하여 정확한 잔여시간을 표출할 수 있게 된다. 참고로 표출시간과 잔여시간은 해당 현시가 녹색, 황색, 적색으로 등화되어 있을 때 모두 계산되어야 한다.

TOD	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Cycle length	# of TOD
09:00:00 ~	60	25	30	25	140	TOD #1
17:00:00 ~	65	30	35	30	160	TOD #2

Types	Phase 1	Phase 2	Phase 3	Phase 4	Cycle length	Cycle dosing Time
TOD #1	50	25	30	35	140	16:59:40
First transition	87	40	47	40	214	17:03:14
Second transition	87	40	47	40	214	17:06:48

Time remaining from Phase #2 to Phase #2 of the next cycle = 47s + 40s + 87s = 174s

<Fig. 3> Working example of the improved transition algorithm

IV. 교통신호정보를 제공하기 위한 교통신호제어기 기능 성능 시험

1. 성능 시험 방법

교통신호제공을 위한 디지털 교통신호제어기의 성능 시험을 위해서는 디지털 교통신호제어기 1세트(MLC 1식, SLC 4식)와 신호제어와 운영상태를 확인 할 수 있는 PC 운영 프로그램, 그리고 CVIM에서 RSE로 보내는 신호상태정보를 분석할 수 있는 CVI 분석 프로그램이 필요하다. <Fig. 4>는 실제 시험 구성화면이다. 아래 그림에서 “교통신호제어기”라고 표기되어 있는 함체가 주제어부(master local controller, MLC)이고, 그 옆에 있는 작은 함체들이 신호등두를 켜고 끄는 동기구동부(signal lighting controller, SLC)이다. 이 SLC는 작동 상태는 교차로 형태로 만들어진 LED의 점등여부로 확인할 수 있다.



<Fig. 4> Test environment configuration

시험에 사용한 신호의 출력 데이터는 사거리 교차로에 직진과 좌회전 차량신호가 존재하고 각 방향의 보행이 존재하는 것을 사용하였다. 시험을 위한 시나리오로서 신호 운영 중 가장 많은 상태인 정주기를 유지하는 상태와 TOD 변경 시 전이가 발생하는 상태의 신호정보제공을 대상으로 선정하였으며, 기존 전이 알고리즘을 사용할 때와 개선된 전이 알고리즘을 사용하였을 때를 각각 시험하였다.

- 시나리오 1: 기존 전이 알고리즘의 정주기 상태
- 시나리오 2: 기존 전이 알고리즘의 전이 시 상태
- 시나리오 3: 개선 전이 알고리즘의 정주기 상태
- 시나리오 4: 개선 전이 알고리즘의 전이 시 상태

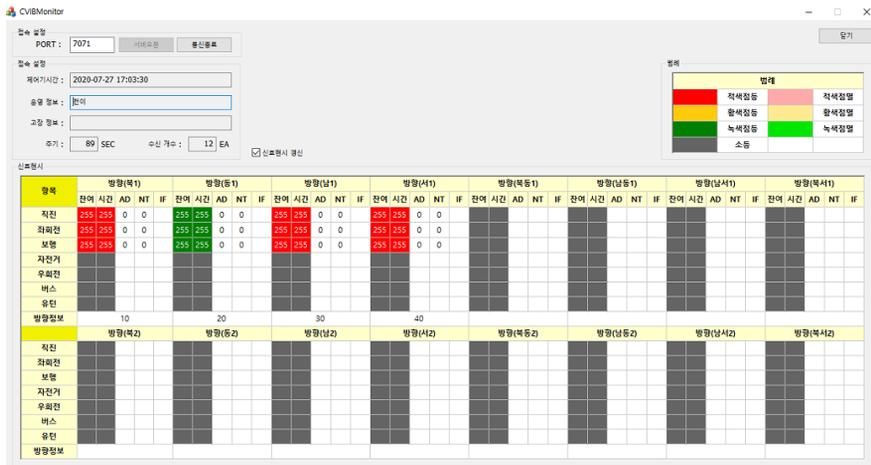
상기 네 가지 Case들은 기존 전이 알고리즘과 개선된 전이 알고리즘의 정주기 상태와 전이 시 상태를 표현하고 있다. 이러한 네 가지 시나리오를 이용함으로써 정상 신호운영 상황 및 전이 시에 정확한 신호정보를 제공하는 지 확인할 수 있다.

2. 시험 결과

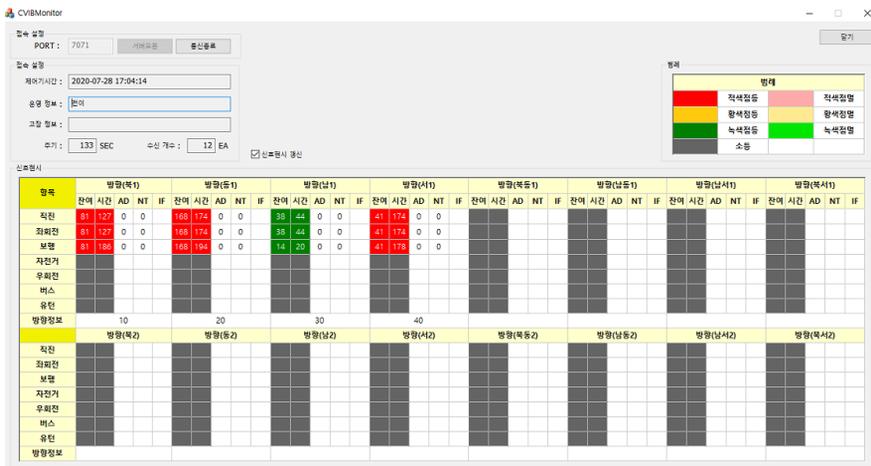
개선된 디지털 교통신호기에 대한 시험은 다음 두 가지를 검정하고자 시행되었다. 첫 번째 검정은 디지털 교통신호제어기가 본 연구를 통해서 개발된 CVIM을 이용하여 자율주행차와 C-ITS 서비스에 교통신호정보 제공할 수 있는가를 확인하는 것으로 CVIM의 성능에 대한 검정이다. 두 번째 검정은 개선된 전이 알고리즘을 이용하여 디지털 교통신호제어기가 TOD가 변경되는 전이 시에도 잔여시간과 표출시간을 정확하게 계산하는지를 확인하는 전이 알고리즘의 성능에 대한 검정이다. 상기 두 가지 검정 대상에 대한 시험 결과는 디지털 교통신호제어기에서 CVI 분석프로그램으로 전송되는 데이터를 분석하여 화면에 표출해주는 것으로 확인이 가능하다. 즉, <Fig. 4>의 모니터에 표출된 것이 CVI 분석 프로그램이며, CVI 분석 프로그램에 표출된 정보가 사전에 계산된 정보와 동일한 지 여부를 확인함으로써 교통신호제공을 위한 디지털 교통신호제어기의 성능을 확인하였다.

본 실험을 통하여 정상 신호운영 상황을 가정한 시나리오 1과 시나리오 3의 경우 정확한 교통신호정보를 제공함으로 확인하였다. 또한 전이 시 신호운영 상황을 가정한 시나리오 2와 4의 경우도 마찬가지로 실험을 수행하였으며, 그 결과는 <Fig. 5> 및 <Fig. 6>에 제시되어 있다. 참고로 본 실험에서는 동일한 시나리오를 이용하여 다수의 실험을 시행하였으며, 그 결과들은 모두 동일하였다.

CVIM의 성능에 대한 검정과 관련하여 <Fig. 5> 및 <Fig. 6>에서 보인 바와 같이, 디지털 교통신호제어기가 CVIM을 이용하여 교통신호시간을 제공할 수 있음을 보여주고 있다. 전이 알고리즘의 성능에 대한 검정과 관련하여서는 <Fig. 5>와 <Fig. 6>에 표출된 정보를 비교하여야 한다. <Fig. 5>는 기존 전이 알고리즘을 이용하여 계산된 잔여시간과 표출시간을 보여주고 있으며, <Fig. 6>은 개선된 전이 알고리즘을 이용하여 계산된 시간들을 제공하고 있다. <Fig. 5>는 9시에 시작된 신호시간계획(signal timing plan)이 17시에 다른 신호시간계획으로 변경이 되어 전이가 발생하는 시점으로 기존 알고리즘에서는 잔여시간과 표출시간이 255초로 표출되어 시간을 알 수가 없다. 그러나 <Fig. 6>은 개선된 알고리즘을 사용하여 전이 시간 중에도 정확하게 시간이 표출됨을 알 수 있다.



<Fig. 5> Transition state result of the existing transition algorithm (Case 2)



<Fig. 6> Transition state result of improved transition algorithm (Case 4)

상기 시험결과를 보면 CVIB를 사용하지 않는 디지털 교통신호제어기에서도 그 기능을 대체하는 CVIM을 사용하여 동일하게 교통신호정보를 차량관제센터로 보낼 수 있는 것을 확인할 수 있다. 또한, 현재의 교통신호제어기 규격에서 정보를 제공할 수 없는 특수 상황 중에서 가장 많이 발생하는 상황인 전이 시에 개선된 알고리즘을 사용함으로써 정확한 교통신호정보를 제공할 수 있음을 검증하였다.

V. 결론 및 향후 연구과제

1. 결론

최근의 자동차시장은 자율주행에 충력을 기울이는 모습이다. 근래에 출시되는 많은 차량에는 자율주행을 지원하는 여러 가지 기능들이 도입되고 있다. 그리고 자율주행차에 있어서 안전은 매우 중요한 목표라고 할 수 있다. 이러한 목표를 위해 이미 자율주행차에는 주변 상태를 파악 할 수 있는 많은 센서가 장착되어 있다. 그리고 도시부에서 빼놓을 수 없는 주행환경 중 하나가 교통신호이다.

현재도 신호등의 인지는 영상센서에 의해서 가능하지만 빛의 반사 등에 의해 오류를 일으킬 가능성이 존재한다. 그러나 인프라가 교통신호정보를 정확히 제공해준다면 안전은 그만큼 향상될 것이다. 따라서 자율주행차에 있어서 교통신호정보제공은 매우 중요한 요소이다.

따라서 본 연구에서는 아날로그 교통신호제어기 중심으로 정의되어 있는 자율주행차에 대한 교통신호정보 제공 기능을 최근에 개발된 디지털 교통신호제어기에서도 구현할 수 있도록 CVIB를 대체할 수 있는 CVIM을 개발하고, 개발된 CVIM의 성능을 검증하였다. 또한 교통신호정보를 정확히 제공하지 못하는 여러 상황 중 전이(transition) 상황에서 표출시간과 잔여시간을 계산하는 전이 알고리즘을 개선하여 정확한 교통신호정보를 제공하도록 하였다. 또한 개발된 CVIM과 개선된 전이 알고리즘을 성능을 검증하기 위하여 총 네 가지 전이 시나리오에 대하여 디지털 교통신호제어기에서 CVI 분석프로그램으로 전송되는 데이터를 분석하였다. 그 결과 개발된 CVIM이 개선된 전이 알고리즘을 통해서 계산된 표출시간과 잔여시간을 정확하게 제공함을 확인하였다.

본 연구는 기존 아날로그 교통신호제어기가 CVIB를 통해 자율주행차 및 C-ITS에 교통신호정보를 제공하지만, 최근 개발된 디지털 교통신호제어기는 기존 CVIB를 사용하지 못하는 문제점과 교통신호계획 전이 시 부정확한 교통신호를 제공한다는 문제점을 CVIM 개발 및 전이 알고리즘 개선을 통하여 해결하는 데 의의가 있다. 이러한 본 연구를 통해 개발 및 개선된 CVIM과 전이 알고리즘을 이용하여 디지털 교통신호제어기가 자율주행차와 C-ITS 서비스에 정확한 교통신호정보를 제공할 수 있게함으로써 자율주행차의 주행 안전성을 확보하고 교통신호운영 관련 C-ITS 서비스를 가능하게 할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 향후 연구과제

교통 환경이 계속 변화하듯이 교통신호제어의 종류도 계속 진화하고 있다. 교통상황을 감지하여 제어하는 특수제어인 감응제어도 여러 가지 종류와 상황이 존재한다. 또한 최근에는 긴급차량 출동시스템을 지원하는 경우도 있다. 이러한 특수제어의 상황에서 교통신호정보제공이 정확히 이루어지는지, 또는 제공할 수 없다면 가장 최선의 정보제공 방법이 무엇인지 연구가 필요해 보인다.

ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 도로교통공단의 “자율주행차 교통신호정보제공을 위한 교통신호제어기 기술개발” 과업의 내용을 바탕으로 2020년도 정부(경찰청)의 재원으로 도로교통공단의 지원을 받아 수행된 연구임 (Police-L-00002-02-202, 자율주행을 위한 AI 기반 신호제어 시스템 개발).

REFERENCES

- Bae K. S., Lee S. C. and Gang S. I.(2018), *Research Report on Establishment of Integrated Information Provision System for Traffic Safety Facilities and Establishment of Utilization Plan*, Road Traffic Authority Transportation Science Academy.
- Elleuch I., Makni A. and Bouaziz R.(2017), “Cooperative Intersection Collision Avoidance Persistent System Based on V2V Communication and Real-Time Databases,” *2017 IEEE/ACS 14th International Conference on Computer Systems and Applications(AICCSA)*, pp.1082-1089.
- Katsaros K., Kernchen R., Dianati M. and Rieck D.(2011), “Performance study of a Green Light Optimized Speed Advisory(GLOSA) application using an integrated cooperative ITS simulation platform,” *2011 7th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference*, pp.918-923.
- Kim M. S., Ko K. Y., Lee C. K., Jeong J. and Heo N.(2013), “Development of a Communication Protocol for a Digital Traffic Signal Controller,” *The Journal of Korean Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 2, no. 3, pp.1-10.
- Ko S., Lee J., Park S., Gho G. Y. and Yun I.(2019), “A Study on the Development of the Digital Traffic Signal Controller,” *The Journal of Korean Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 18, no. 6, pp.43-59.
- Korea Expressway Corporation(2018), *Study on Development of Emergency Vehicle Preemption System based on C-ITS*.
- Korean National Police Agency(2018), *Traffic Signal Controller Standard Specification*.
- Korean National Police Agency(2019), *Traffic Signal Controller Standard Specification*.
- Korean National Police Agency(2020), *Traffic Signal Controller Standard Specification*.
- Park S., So J., Ko H., Jeong H. and Yun I.(2019), “Development of Safety Evaluation Scenarios for Autonomous Vehicle Tests Using 5-Layer Format(Case of the Community Road),” *J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst.*, vol. 18, no. 2, pp.114-128.
- Yoon S., Jo H. J., Kwak S. W., Lee J. C. and Lee H. S.(2020), “Prediction of Traffic Signal and Longitudinal Control Method for Autonomous Vehicles using V2X,” *The Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 30, no. 3, pp.173-180.
- Yun I., Park B., Lee C. K. and Oh Y. T.(2012), “Comparison of Emergency Vehicle Preemption Methods Using a Hardware-in-the-Loop Simulation,” *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 16, no. 616(6).