

# 디지털 교통신호제어기 개발 연구

## A Study on the Development of the Digital Traffic Signal Controller

고 세 진\* · 이 재 관\*\* · 박 상 민\*\*\* · 고 광 용\*\*\*\* · 윤 일 수\*\*\*\*\*

\* 주저자 : (주)서둘전자통신 부설연구소 개발팀 책임연구원  
 \*\* 공저자 : (주)서둘전자통신 부설연구소 개발팀 책임연구원  
 \*\*\* 공저자 : 아주대학교 건설교통공학과 박사과정  
 \*\*\*\* 공저자 : 도로교통공단 융합기술연구처 처장  
 \*\*\*\*\* 교신저자 : 아주대학교 교통시스템 공학과 교수

Sejin Ko\* · Jaekwan Lee\* · Sangmin Park\*\* · Gwang-Yong Gho\*\*\* ·  
 Ilsoo Yun\*\*\*\*\*

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

Vol.18 No.6(2019)

December, 2019

pp.43~59

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2019.18.6.43>

2019.18.6.43

Received 5 September 2019

Revised 1 October 2019

Accepted 21 November 2019

© 2019. The Korea Institute of  
 Intelligent Transport Systems. All  
 rights reserved.

### 요 약

현재 국내에서 사용되고 있는 교통신호제어기는 220V의 고전압을 신호등에 일대일로 직접 전달하는 스위치 제어 방식이다. 이러한 방식은 교통신호제어기와 신호등들을 연결하는 데 상대적으로 많은 케이블이 소요되고, 또한 감전에 대한 우려가 있다. 이에 따라 도로교통공단에서는 경찰청 교통신호제어기 표준규격서에 디지털 통신 방식을 이용한 디지털 교통신호제어기의 규격을 추가하였다. 본 연구에서는 이러한 표준규격서를 바탕으로 디지털 교통신호제어기를 개발하고자 하였다. 또한 디지털 교통신호제어기와 아날로그 교통신호제어기가 혼재되어 있어도 현재 운영 중인 신호제어시스템에서 운영이 가능함을 검증하였다.

핵심어 : 디지털 교통신호제어기, 캔 통신, 주제어부, 신호구동부

### ABSTRACT

The Traffic controller currently used in Korea is a switch control system that directly transfers 220V of high voltage to traffic lights one to one. This method requires a lot of cables, and there are concerns about electric shock. Accordingly, Korea Road Traffic Authority added the digital communication signal controller standard using digital communication method to the standard specification of the communication signal controller of the National Police Agency. Based on these specifications, this paper intended to develop digital communication call controllers. In addition, it was verified that even if the digital communication signal controller and analogue communication call controller were mixed, they could operate in the signal control system currently in operation.

Key words : Digital Traffic Signal Controller, Controller Area Network(CAN), Master Local Controller(MLC), Signal Lighting Controller(SLC)

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

우리나라 교통신호제어기(traffic signal controller)는 1970년대에 최초로 개발되었으나, 지금의 모습을 갖춘 제어기의 등장은 1990년대에 개발한 신신호시스템의 등장 이후라고 할 수 있다. 신신호시스템은 이후 실시간 신호제어시스템으로 개칭하고 영문으로 Cycle, Offset, Split Model of Seoul(COSMOS)라고 불리었다. 1996년 서울 지방경찰청은 교통신호제어기의 규격(안)을 제정하고, 2001년에 이를 보완 적용한 서울특별시 교통신호제어기 규격서를 발행하였다(Seoul Metropolitan Police Agency, 2001). 이 규격서를 보통 COMOS 규격서라 하고, 이를 기반으로 만든 제어기가 COSMOS 제어기이다. 이후 COSMOS 제어기가 전국적으로 보급되기 시작하였다. 2004년에 경찰청에서는 이를 보완하여 경찰청 교통신호제어기 표준규격서를 발행하여, 지금의 표준 교통신호제어기가 탄생하였다(Korean National Police Agency, 2004). 그 이후 교통체계선진화를 목적으로 3색 신호등 체계 전환을 위한 표준규격서가 발행되었고, 이것이 현재의 2010년 규격 교통신호제어기이다(Korean National Police Agency, 2010). 2010년 규격 교통신호제어기에는 2004년 표준규격에 정의 되지 않아 지역별, 업체별로 혼재되어 있던 보행압버튼, 반감응, 전감응, 우선신호 등의 소프트웨어 기능이 추가되었고, Ethernet 포트 추가, Option 보드 확장 등의 하드웨어 변경이 이루어졌다.

현재 우리나라 모든 교차로에 설치되어 운영되고 있는 교통신호제어기는 220V의 강전을 신호등까지 직접 연결하여 신호등을 점화하는 스위치 제어 방식으로 사용되고 있다. 따라서 교차로에 설치되어 있는 신호등 두들과 교통신호제어기를 일대일로 연결하기 위해서는 많은 케이블이 신호제어기 내부로 인입되어 있다. 또한 지중에 매설된 케이블은 연한이 오래 될수록 관리와 보수에 많은 비용을 초래한다. 그리고 220V의 높은 전압을 그대로 사용하다보니 누설에 의한 감전 위험에 노출되어 있는 상태이다.

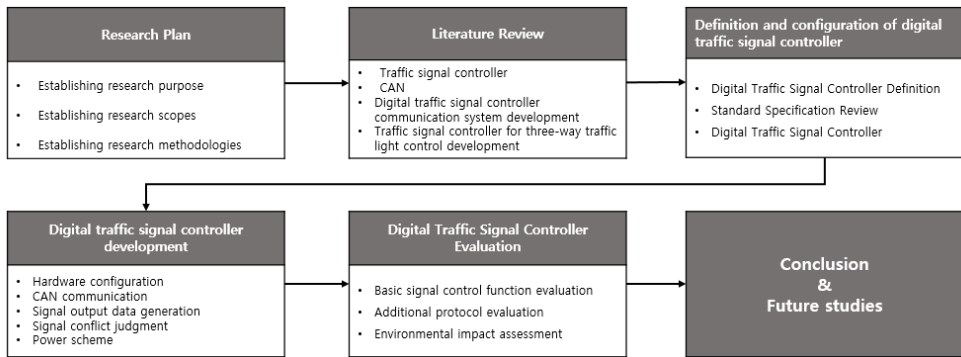
도로교통공단에서는 이러한 문제점을 인식하고 2014년부터 2017년까지 4년 동안 기본연구과제로 “디지털 신호기 시제품 개발연구”를 수행하였으며, 「경찰청 교통신호제어기 표준규격서」(Korean National Police Agency, 2018)에 “디지털 교통신호제어시스템 규격”을 추가하여 개발을 가능하게 하였다(Korea Road Traffic Authority, 2017; Korean National Police Agency, 2018).

교통신호제어기는 안정성을 최우선으로 검증된 기술 위주로 사용되는 시스템이다. 따라서, 본 연구에서는 「경찰청 교통신호제어기 표준규격서」(Korean National Police Agency, 2018)에서 제시하는 요구사항으로 디지털 교통신호제어기를 개발, 운영 가능함을 검증하고, 아날로그제어기와 혼재되어 현재 운영 중인 신호제어시스템에서 운영할 수 있는지를 검증하고자 한다.

### 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 2018년에 배포된 「경찰청 교통신호제어기 표준규격서」 상의 디지털 교통신호제어시스템 규격에 대한 하드웨어 및 소프트웨어 규격을 준수하여 개발 및 검증하려고 한다.

본 연구를 수행하기 위해 2장에서는 교통신호제어기와 CAN통신방식에 대한 이론을 고찰하였으며, 관련 연구들을 고찰하였다. 3장에서는 「경찰청 교통신호제어기 표준규격서」 분석을 통하여 디지털 교통신호제어기 제작을 위한 최소 요구사항을 도출해내고, 관련 기술을 연구하였다. 4장에서는 디지털 교통신호제어기의 하드웨어와 소프트웨어 개발과정을 통하여 디지털 교통신호제어기가 아날로그 교통신호제어기를 교체할 수 있는지 성능 검증을 하였다. 마지막으로 결론 및 향후 연구과제를 도출하였다. 본 연구의 수행절차는 <Fig. 1>과 같다.



<Fig. 1> Study process

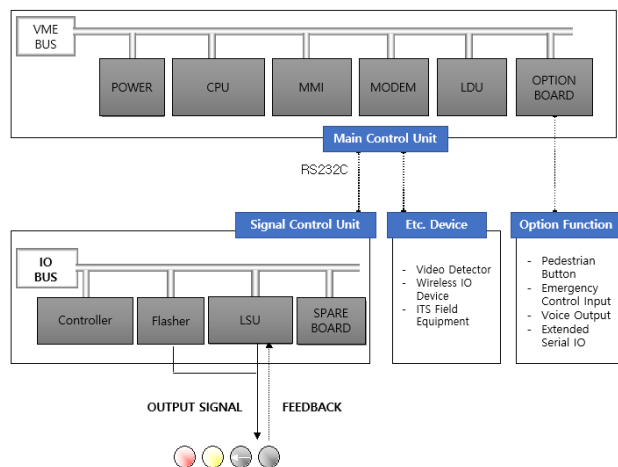
## II. 관련 이론 및 연구 고찰

### 1. 관련 이론 고찰

#### 1) 교통신호제어기

교통신호제어기는 교통상황정보 처리, 제어알고리즘 처리, 관제센터와 통신, 운영자 입력장치 접속 등의 중추적 역할을 하는 주제어부(main control unit, MCU)와 주제어부의 명령에 따라 신호등의 전기 출력을 수행하고 출력결과를 감시하고 주제어부의 장애 발생 시 기본 신호출력제어를 수행하는 신호구동부(Signal Control Unit, SCU)로 구성되어있다.

<Fig. 2>에서 보는 바와 같이 MCU는 VME 버스(Versa Module Eurocard Bus)로 연결되어 각 보드간의 통신을 하고 있고, SCU는 IO 버스(Input Output Bus)로 연결되어 각 보드간의 통신을 하고 있다. 또한 MCU와 SCU는 RS323C를 이용하여 통신을 하고 있다.



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

<Fig. 2> System Block Diagram

MCU는 중앙처리장치(central processing unit, CPU), 모뎀(modulator-demodulator, MODEM), 검지기(loop detection unit, LDU), 운영자 입력장치(man-machine interface, MMI), 옵션보드(option board, OPT), 전원장치(power supply, PWR)로 구성되어 있다. CPU는 신호계획의 작성 및 운영, 데이터베이스의 관리, 검지정보의 가공, 외부기기와의 통신을 담당하며, 신호운영에 관련된 중요한 데이터는 메모리 백업기능에 의해 정전 시에도 항상 데이터를 유지하는 컨트롤러보드이다. MODEM은 관제센터 중앙장치와 교통신호제어기간에 데이터 통신을 하는 장치이며, LDU는 도로 노면에 설치되어 차량을 검지하는 장치이다. MMI는 교통신호제어기에 필요한 데이터를 입력 또는 수정할 수 있는 장치로서 화면 표시장치를 통해 운영자가 쉽게 데이터를 확인하도록 한다. OPT는 교통신호제어기의 기본 기능 이외의 확장기능을 제공하기 위한 장치들을 말하며, 확장성 및 호환성을 고려하여 VME버스 규약을 지켜야 한다. PWR은 외부에서 공급되는 AC전원을 받아서 장치를 동작하기 위한 안정된 DC전원으로 변환하여 교통신호기내에 공급하는 장치이다(Korean National Police Agency, 2004; Korean National Police Agency, 2010; Korean National Police Agency, 2018).

SCU는 컨트롤러보드(controller, CONT), 점멸기(flasher unit, FLU), 등기구동장치(load switch unit, LSU)로 구성되어 있다. CONT는 MCU의 신호구동 DATA를 근거로 시간진행에 따라 직접 LSU를 제어하여 등기를 구동하며, 모순 발생시 FLU를 작동시킨다. FLU는 DC전원 이상, CONT 이상, CONT의 점멸 지시에 따라 독립된 전원에 의해 신호등을 점멸한다. LSU는 신호등에 공급되는 전력을 직접 제어하며, 그 제어 결과에 대한 폐환신호를 발생하여 CONT에 제공하는 기능을 수행한다(Korean National Police Agency, 2004; Korean National Police Agency, 2010; Korean National Police Agency, 2018).

## 2) CAN

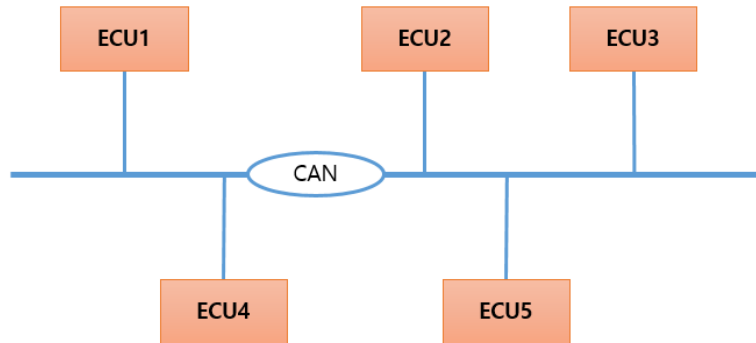
CAN(controller area network)이란 1985년 Bosch사에서 차량 내에서 호스트 컴퓨터 없이 마이크로 컨트롤러나 장치들이 서로 통신하기 위해 설계된 표준 통신규격이다. CAN은 메시지 기반 프로토콜이며, 최근에는 차량뿐만 아니라 산업용 자동화 기기나 의료용 장비에서도 많이 사용되고 있다. CAN은 장치들 간의 통신을 위해 주로 사용되는 Non-Host Bus방식의 메시지 기반 네트워크 프로토콜이다. CAN의 특징은 다음과 같다.

첫째, CAN은 메시지 지향성 프로토콜로서 노드의 주소에 의해 데이터를 주고받는 것이 아니라 메시지의 우선순위에 따라 식별자(identification, ID)를 할당하고, 이 ID를 이용해 메시지를 구별하는 방식이다. 예를 들어, 임의의 노드가 다른 노드에 메시지를 전달하기 위해서는 메시지 내용에 맞는 ID를 부여하여 전송한다. 나머지 노드들은 메시지가 ID를 판단하여 자신에게 필요한 메시지이면 수용하고, 아니면 무시한다.

둘째, CAN은 네트워크를 관리하는 Master가 필요 없는 Multi Master 방식이다. <Fig. 3>에서 보인 바와 같이, 모든 노드가 Master가 되어 버스가 사용 중이 아니면 즉시 메시지를 전송하고, 사용 중이면 기다렸다가 전송한다. 또한 2개의 노드가 동시에 메시지를 전송하면 우선순위가 높은 메시지가 먼저 전송이 된다.

셋째, CAN은 다양한 에러 검출 알고리즘이 적용되어 높은 안정성을 보장한다. 메시지 전송 시 에러가 감지되면 즉시 재전송하는 기능이 있기 때문에 에러 회복시간이 짧다.

이 외에도 차폐연선(shielded twist pair)을 사용하여 전기적 노이즈에 강하고, 가격이 저렴한 특징이 있다.



<Fig. 3> Multi-Master Method  
 Note) ECU : electronic control unit

CAN 프로토콜은 다음과 같다. CAN버전은 ID의 길이가 11비트인 2.0A 표준포맷과 29비트인 2.0B 확장포맷이 있다. CAN2.0B 컨트롤러는 표준/확장 포맷 2가지에 대해 모두 송수신이 가능하나, CAN2.0A 컨트롤러는 2.0A 포맷만 지원하고, 2.0B 포맷의 메시지는 수신할 수 없다. CAN의 메시지 구조는 데이터프레임, 리모트프레임, 에러프레임, 오버로드프레임의 4가지 프레임 타입을 정의하고 있으며, CAN 2.0A의 메시지 프레임의 구조는 <Fig. 4> 및 <Table 1>과 같다.

Start Field	Arbitration Field		Control Field (6Bit)			Data Field	Safety Field	Ack Field	End Field
	1 bit	11 bit	1	1	1	4	Max 8 byte	16 bit	2 bit
SOF	11 bit ID	RTR	IDE	r0	DLC	Data 0 ~ 7	CRC	ACK	EOF

<Fig. 4> CAN 2.0A Message Frame Structure

<Table 1> Explanation of CAN 2.0A Message Frame Structure Item

Section	description
SOF	The beginning of a frame. Use for synchronizing nodes
ID	Standard 11-bit. Determines the priority when sending concurrent messages. Determining whether a message is received or not
RTR	Differentiate between data frames and remote frames
IDE	Differentiate between standard and extended frames
r	Reserved bit
DLC	Number of data bytes in the data frame
DATA	8Byte. data to be transferred
CRC	Consists of a CRC sequence of 15 bits and a Delimiter of 1 bit. Check for error of message.
ACK	Composed of 1 bit of Ackslot and 1 bit of Delimiter. Response field
EOF	End of frame

## 2. 관련 연구 고찰

### 1) 디지털신호제어기 개발을 위한 통신체계 개발

Kim et al.(2013)는 디지털방식의 신호제어를 위해 신호제어기와 다양한 주변장치 간에 필요한 통신체계를 개발하였다. 본 연구에서는 실시간 디지털 신호제어기 통신방식의 요구조건으로 안전적인 통신, 장거리 통신, 단일모듈 구성, 저비용 설치 및 유지, 모순검지 등을 제시하였다. 구체적인 조건으로 첫째, 언제 어디서든 안정적인 통신이 가능해야하며, 둘째 연동설치거리를 고려하여 최대 1km, 최소 500m 이내의 장거리 통신이 가능해야 한다. 셋째, 신호점화의 기능과 제어를 위한 여러 출력데이터가 필요하므로 빠른 전송속도를 보여야 하며, 넷째 시공이 용이해야 하며, 마지막으로 설치 및 유지관리 비용이 저렴해야 한다. 이에 현재 개발되어 사용 중인 LEDs, RS-485, PLC, Wireless, CAN등의 통신방식에 대해서 안정성, 속도, 거리, 단일케이블, 비용, 에러검출 등 6개 항목의 적합 유무를 분석하였으며, 분석결과 CAN 통신이 6개의 항목에 모두 적합한 것으로 나타났다.

CAN은 안정성, 최대 1Km의 통신거리, 신뢰성, 오류처리, 저비용, 빠른 속도 등 실시간 디지털 신호제어기 통신 체계 요구조건에 모두 충족되어 이 연구에서는 CAN방식을 최종 통신 대안으로 결정하였다. 이 연구에서는 설계 구성을 신호 등화 디바이스, 내부 디바이스, 검지기 디바이스로 구성하였다. 노드별 식별자 체계는 표준(CAN 2.0A)방식으로 11비트를 사용하여 "OP-CODE"의 동적 식별자 형태로 구성하여 상대적으로 낮은 우선메시지들의 전송 지연이 증가하는 문제를 보완하였으며, 기존 교통신호제어기 메시지 형태를 그대로 적용할 수 있도록 구현하였다.

### 2) 3구신호등 제어용 교통신호제어기 개발

Han(2010)은 기존 4구신호등(적색, 황색, 녹색화살표, 녹색) 체계로 개발된 표준규격 교통신호제어기를 3구신호등(적색, 황색, 녹색) 체계에 맞도록 신호등기부를 개선하는 방법으로 3구신호등용 교통신호제어기를 개발하였다. 국가경쟁력강화위원회에서는 교통운영체계 선진화사업에 방향별 차종별로 전용신호로 운영하는 신호운영체계 전반에 대하여 변화를 모색하고 있었는데, 표준규격에서는 4구신호등용 등기구용 시스템을 기본으로 하기 때문에 3구 신호등 운영체계에 맞도록 기존 교통신호제어기의 설계를 변경하는 목적이 있었다. 이 연구에서는 3구신호등 운영체계에 맞도록 교통신호제어기의 하드웨어 및 소프트웨어의 설계를 보완하였다.

3구신호등은 운영목적은 방향별 차종별로 신호등을 분리 설치하여 운영하는 형태이다. 4지형 교차로를 기준으로 3구신호등의 전체 출력은 방향별 차량용 36개, 중앙버스용 12개, 자전거용 16, 보행용 16개, 방향별 연등용 16개씩 총 96개의 출력이 요구된다. 이러한 출력 용량의 증대를 위해서 2가지 방안을 제시하였다. 첫 번째 방안은 기존 PR, PG, R, Y, A, G를 R1, Y1, G1, R2, Y2, G2로 재구성하고 LSU를 8장에서 16으로 증가시키는 방법이다. 두 번째 방안은 PR, PG, R1, Y1, G1, R2, Y2, G2로 구성하고 LSU는 그대로 8장으로 사용하는 방법이다. 그러나 2안은 8개의 출력단자를 수용하기 위해서 LSU의 높이를 기존 3U에서 6U로 변경이 필요했다. 그러나 높이의 변경은 합체의 전반적인 변경이 수반되기 때문에 1안을 개발방향으로 개발하였다.

출력용량의 변경은 다른 하드웨어의 변경을 동반되어야 한다. 적색등 이상시 점멸을 구동하는 입출력 단자의 수가 LSU보드당 2개의 적색출력을 갖게 되므로 기존 8개에서 32개가 필요하므로 출력용량을 확장할 수 있도록 점멸기(FLASHER) 외에 확장점멸기(FLS-E) 2개를 추가 구성하였다. 또한 16개의 LSU와 3개의 FLASHER 및 컨트롤러를 19인치 표준 랙에 수용하기 위해 장치 전면 판 너비를 8HP에서 4HP로 축소하여 전체 80HP(426.72mm)로 구성하였다. 16개의 LSU를 제어하려면 버스신호선이 기존의 약 2배가 필요한데, 현재의 3U의 버스구조로 설계할 수 없다. 그래서 LSU를 2개의 그룹(LSU1-8, LSU9-16)으로 나누고, LSU의 그룹선택 신호선(GSEL)을 할당하였다.

4구신호등에서 3구신호등으로 출력형태가 변경되었으므로, 출력을 지정하는 출력코드도 출력구성에 맞추어 정의하였다. LSU의 각 출력코드는 NIBBLE 단위로 비트조합하여 사용할 수 있도록하고, 다양한 운영체계를 지원 할 수 있도록 신호등별로 점멸 및 소등할 수 있는 코드 값을 사용하였다.

이와 같이 이 연구는 기존 4구 신호등 체계고 개발된 교통신호제어기 표준규격을 3구신호등 운영체계에 맞도록 하드웨어 및 소프트웨어의 설계방안을 제시하였다.

### 3) 연구의 차별성 도출

이전의 교통신호제어기는 하나의 합체에 모든 구성을 갖추는 중앙 집중식 방식이라면, 본 연구에서 제시하고 있는 디지털 교통신호제어기는 MCU와 SCU를 독립적인 합체로 구성하며 CAN통신을 이용하는 네트워크 분산 방식이라고 할 수 있다. 이것은 하나의 합체에서 각 신호등까지 많은 케이블을 사용하던 방식에서 하나의 케이블을 공통으로 사용함으로써 합체의 분산 및 소형화를 이룰 수 있다. 또한 본 연구에서는 기존의 220V의 강전을 사용하던 방식에서 52V를 사용하는 저전압을 사용하여 혹시 모를 감전사고에 대비하여 안전성을 보완한 제어기를 개발하였다. 따라서 본 연구에서는 기존 교통신호제어기의 효율성과 안전성을 확보할 수 있는 새로운 형태의 교통신호제어기를 개발한 점이 주요 차별성이라 할 수 있다.

## Ⅲ. 디지털 교통신호제어기 개발

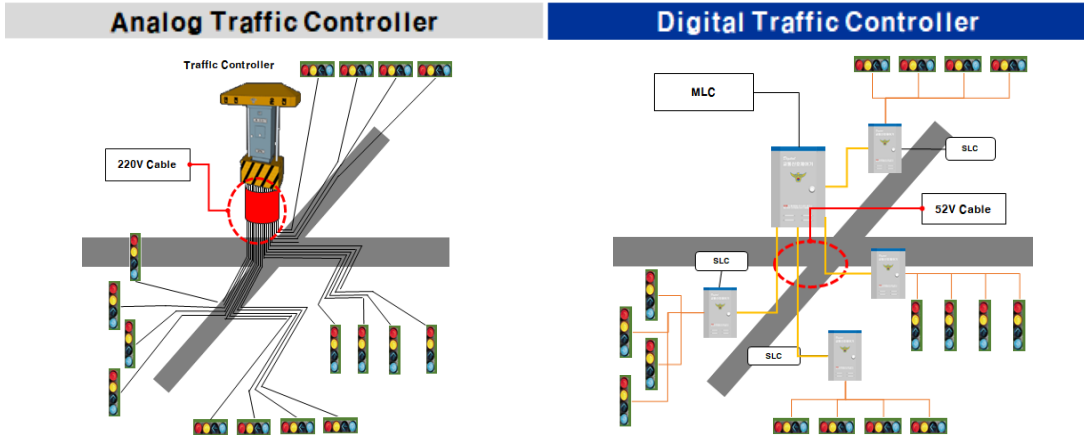
### 1. 디지털 교통신호제어기의 정의 및 요구기능

#### 1) 디지털 교통신호제어기 정의

본 연구에서 디지털 교통신호제어기는 모든 신호등이 하나의 저전압 케이블을 공통으로 사용하여 신호등에 전력을 보내는 방식으로 지중 매설되는 전원 케이블 수를 현저하게 감소시켜 누설 전력을 차단하고, 토목 공사를 줄여 비용을 절감하며, 저전압 사용으로 보행자 감전을 방지할 수 있는 제어기로 정의하고자 한다. 디지털 교통신호제어기는 주제부(master local controller, MLC)와 신호구동부(signal lighting controller, SLC)로 이루어지며, 두 장치간의 통신은 CAN통신 방식을 사용한다. 이러한 디지털 교통신호제어기는 저전압 디지털 방식으로 신호를 구동함으로써 합체의 분산 및 소형화가 가능하며 에너지 소모를 줄일 수 있다. 디지털 교통신호제어기의 주요 구성은 다음과 같다.

- MLC : 디지털 교통신호제어기의 주제부로서 SLC, 관제센터, 외부 시스템들과의 정보연계를 위한 다양한 통신 인터페이스와 신호제어 기능을 갖추고 있음. 주제어부는 확장성과 설치환경에 따라 일체형 타입과 Rack 타입으로 구성 될 수 있음
- SLC : 디지털 교통신호제어기의 신호등 등기 출력 제어부로서 MLC의 신호진행 명령에 따라 신호등의 전기 출력을 수행하고 출력결과를 감시하는 장치를 말함
- 전원장치부(power supply unit, PSU) : MLC 합체 내부에 설치되는 기본 전원장치임
- 부대장치 : 디지털 수동조작기, 디지털 보행자통합버튼(pedestrian integration button, PIB), 디지털 보행자 잔여시간 표시장치(pedestrian remaining time display device, PTD), 검지제어부(detector local controller, DLC), 디지털 LED 신호등이 있음

대개의 교차로에서 신호등은 방향별로 보통 3~5개를 설치하므로 4거리 교차로는 12~20개의 신호등을 설치하게 된다. 따라서 기존 아날로그 교통신호제어기와 비교하면 설치방법에 따라 1/3에서 ~ 1/10까지 케이블의 길이를 줄일 수가 있을 것이다. 케이블 연결의 기본 개념은 <Fig. 5>와 같다.



<Fig. 5> Digital Traffic Signal Controller System Cable Connection Diagram

## 2) 디지털 교통신호제어기 관련 표준규격서 검토

본 연구에서 사용될 표준규격서는 별도로 존재하는 것이 아니며, 국내에 설치되는 모든 교통신호제어기가 반드시 따라야하는 「경찰청 교통신호제어기 표준규격서」(Korean National Police Agency, 2018)의 한 부분으로 디지털 교통신호제어시스템 규격으로 명시되어 있다.

「경찰청 교통신호제어기 표준규격서」(Korean National Police Agency, 2018)에는 디지털 교통신호제어시스템의 목적, 시스템 구성, 통신체계와 디지털 교통신호제어기의 최소 요구사항이 정의되어 있다. 최소 요구사항에는 디지털 교통신호제어기인 MLC, SLC, PSU에 대한 사양과 부대장치인 수동조작기, PIB, PTD, DLC, LED 신호등의 최소사항이 기술되어 있으며, 장치 간 연계를 위한 최소요구사항이 기술되어 있다. 또한 모든 장치는 통신으로 연계가 되어있으므로, 이에 필요한 디지털 교통신호제어시스템의 통신프로토콜과 HOST와 연결되는 통신프로토콜이 정의되어 있다. 따라서 본 연구에서는 관련 표준규격서를 검토하여 디지털 교통신호제어기의 최소 요구사항을 정의하고자 한다.

이러한 디지털 교통신호제어기의 MLC는 다음과 같은 최소 요구사항을 갖는다.

- CPU : 32bit이상, 100Mhz이상의 산업용 Microprocessor
- Memory : 8Mbyte 이상의 Flash Memory, 16Mbyte 이상의 RAM Memory
- Status LED : MLC 동작상태 표시용 LED
- CAN : CAN2.0 A/B 호환 Controller
- Network : 10/100 Base T Network 2Port 이상, PoE 4포트 이상
- Serial Port : RS-232C Serial Port 6Port 이상, RS-422/285 Serial Port 2Port 이상
- OS 및 운영환경 : Multi Task가 가능한 RTOS 또는 Linux
- 데이터베이스 관리 기능 : 표준 교통신호제어기 기반 데이터베이스
- 신호운영 정보 생성 및 제공 : TOD 및 Dual-ring 신호운영, GPS기반 연동기능



- 신호운영 모순관리 : GG Fail / Red-Fail 모순검지 , Output/Input Feedback 신호모순검지
- SLC 정보연계 : 100ms이내 SLC 구동정보 전송, 100ms이내 SLC 상태정보 수집
- 신호관제센터 정보연계 : 교준교통신호제어기 프로토콜 수용, 전용선 연계, LTE 연계
- 운영콘솔 연계 : D-SUB9 또는 RJ45 컨넥터, Telnet Client 접속지원, 통신모니터링, 운영모니터링

디지털 교통신호제어기의 SLC는 다음과 같은 최소 요구사양을 갖는다.

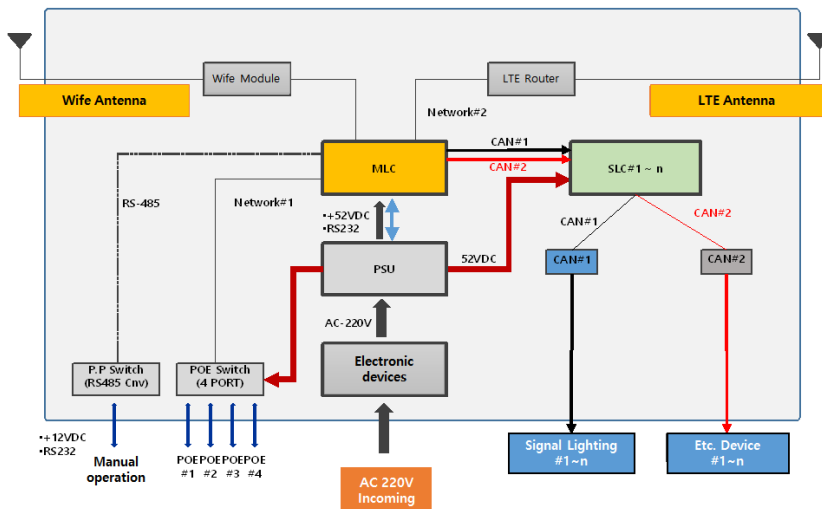
- 전원부 : DC 45~ 55V의 입력전압, 전원인가시 50A/0.5ms 이하의 피크전류
- 통신부 : CAN 2.0A/B 2Port(MLC 통신용 1Port, 다른 디바이스 통신용 1Port), Consol용 RS-232C
- LAMP출력부 : 14개의 LAMP 출력, 각 LAMP당 최대 4개, 공통단자는 +극, 출력포트별 점멸 설정
- LAMP검지부 : 전류검출은 LAMP 전류검출, 전압검출은 출력 드라이브 회로이상 및 선로 단선 검출
- ID 설정부 : ID(방향) 설정, ID 채널포시

디지털 교통신호제어기의 PSU는 다음과 같은 최소 요구사양을 갖는다.

- 출력전압 : DC 52V±5%, 출력전력 400W, 출력단자8포트, 2A/포트, 포트당5A/3ms피크에 견딜것
- 출력전력 : 400W이상
- 출력단자 : 8포트, 2A/포트
- 피크전류 : 포트당 5A/3ms, 100A/1ms까지 견딜 것

## 2. 디지털 교통신호제어기의 구성 및 개선점

앞서 도출된 MLC, SLC, PSU의 최소 요구사항을 바탕으로 디지털 교통신호제어기의 구성은 <Fig. 6>과 같이 정의할 수 있다. 그리고 디지털 교통신호제어기는 향후 아날로그 교통신호제어기를 대체하여 활용되어야 하므로, 기존 교통신호제어기 이상의 기능을 구비하여야 한다.



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

<Fig. 6> Digital Traffic Signal Controller System Block Diagram

특히, 디지털 교통신호제어기는 버스전용차선, 자전거, 트램 등 점점 더 증가하는 신호에 대비하여 아날로그 교통신호제어기와 비교하여 현격히 증가한 출력용량(434출력)을 보여준다. 또한 하나의 교통신호제어기로 다양한 신호를 구성하다보니 점점 더 많은 신호의 조합이 필요한 경우가 발생하여 기존 대비 2배(64스텝)를 구현 가능하도록 하였다. 이 외에도 디지털 교통신호제어기는 여러 가지 개선점이 있는데, 그 내용은 <Table 2>와 같다.

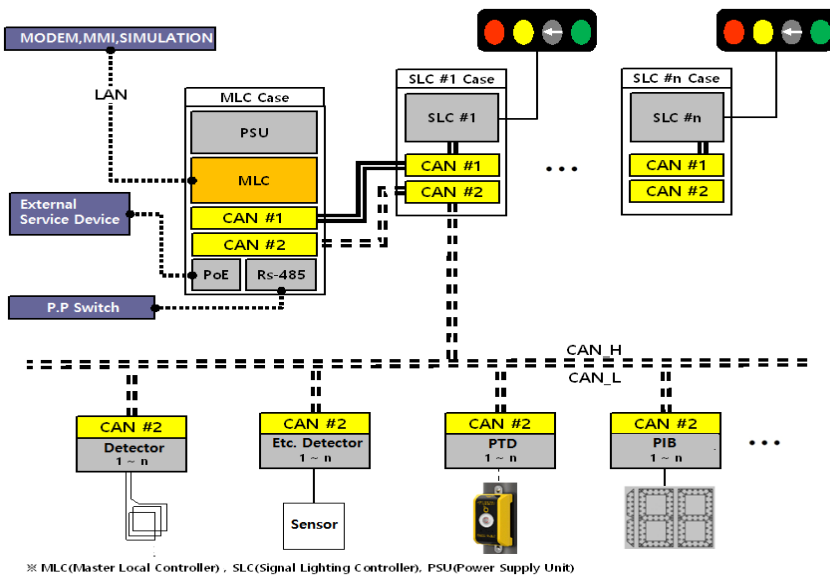
<Table 2> Improvement point of Digital Traffic Signal Controller

Types	Analog traffic signal controller	Digital traffic signal controller	Merits
Power specification	AC 220V	DC 52V	Improved safety
Cabinet	Integral cabinet	Distributed cabinet	No need for Pedestal
No. of steps in signalmap	32	64	Increased output ranges
Method to operate accessories (i.e., manual control button)	Physical contact method	Data communication method	Improved incredibility
Type of option	H/W type	S/W type	Reduced physical modules
Information display of manual control button	No display	Time and status display	Improved efficiency

### 3. 디지털 교통신호제어기 개발

#### 1) 디지털 교통신호제어기의 CAN통신

디지털 교통신호제어기의 CAN라인은 MLC와 SLC간에 2Port가 연결된다. CAN1은 MLC와 SLC 간의 통신으로 신호등화 명령 시 이용되며, CAN2는 MLC와 부대장치 간의 통신에 이용된다. CAN1과 CAN2를 분리하는 이유는 신호등화에 필요한 데이터 전송은 안정성을 보장하기 위해서이다. <Fig. 7>은 디지털제어기의 CAN통신 구성을 나타낸다.



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

<Fig. 7> Digital Traffic Signal Controller Can Communication Block Diagram

SLC의 ID 부여체계는 북쪽을 기준으로 북→동→남→서 순으로 ID를 부여하는 방식이며, 없는 방향은 무시한다. SLC가 있는 순서대로 ID를 부여한다. PIB와 PTD의 ID 체계는 방향별 출력맵에 지정된 방향으로 매핑한다. DLC는 부여체계 없이 DB를 통하여 매칭한다. <Table 3>은 CAN ID Filed의 전체 형식이고, <Table 4>는 장치의 그룹별 상세내역과 장치별 상세내역이다. 디지털 신호제어기 구성과 관련된 각 장치들은 <Table 3>과 <Table 4>에 의해서 ID가 정해진다.

<Table 3> CAN ID Field

ID Field										
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Group ID			Dir	Code		Local ID				

<Table 4> ID Field Specific

Section	Range	Detail description
Group ID	0~7	0 : MLC, 1 : SLC, 2 : DLC 3 : PIB, 4 : PTD, 5 - 7 : Reserve
Dir	0~1	0 : MLC → DEV 1 : DEV → MLC
Code	0~3	Data frame classification code for each device default(0)
Local ID	31(0x1F)	Designated as the BCM(Broad Cast Message) for that group and processed by all devices in that group
	0~30	SLC Incrementally in clockwise order from north. Use from '0' to '30'
	0~3	DLC 0(North), 1(East), 2(South), 3(West)
	0~15	PIB, PTD 0(North-Up), 1(North-Down), 2(East-Up), 3(East-Down), 4(South-Up), 5(South-Down), 6(West-Up), 7(West-Down), 8(NorthEast-Up), 9(NorthEast-Down), 10(SouthEast-Up), 11(SouthEast-Down), 12(SouthWest-Up), 13(SouthWest-Down), 14(NorthWest-Up), 15(NorthWest-Down)

2) 디지털 교통신호제어기 신호출력 데이터 생성

아날로그 교통신호제어기는 방향별 출력지정테이블에서 각 방향의 출력회로를 하나의 LSU와 출력그룹(R1,Y1,G1 또는 R2,Y2,G2)으로 지정하고, LSU의 출력여부를 지정할 수 있고, 시그널맵(signal map)에 <Fig. 8>에서 보는 바와 같이 LSU1번부터 16번까지 물리적인 LSU에 출력될 신호가 스텝순서에 따라 코드로 지정이 되어있다.



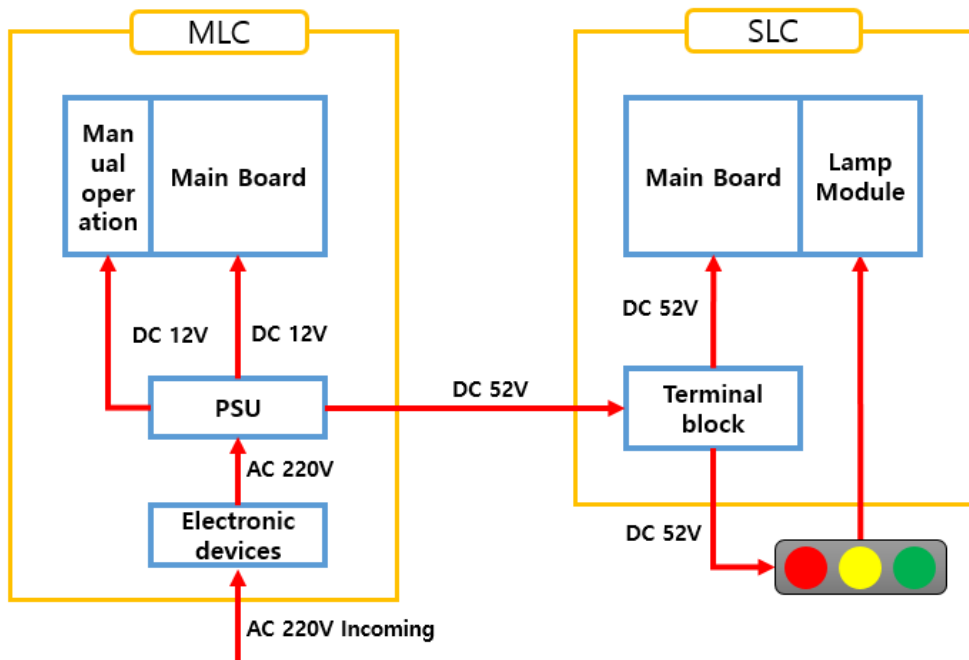
3) 디지털 교통신호제어기 신호모순판단

아날로그 교통신호제어기에서는 신호출력의 피드백을 측정하여 출력의 모순을 검지한다. 모순종류는 H/W 모순과 S/W모순으로 나누고, H/W모순은 다시 R-Fail과 G-G모순으로 나누며 검지 주체는 LSU이다. S/W모순은 모순맵에 의한 검지를 하며, 검지주체는 CONT이다. R-Fail은 적색출력의 Fail을 검지하는 것이고, G-G모순은 녹색출력의 점등을 검지하는 것이다.

그러나 디지털 교통신호제어기는 SLC에서 전압과 전류에 대한 피드백을 측정하여 MLC로 전송만 한다. MLC는 각 SLC의 피드백데이터를 취합하여 모순을 판단하고, 모순이라 판단이 되면 각 SLC에 모순상태를 전송한다. SLC는 모순 신호를 수신하면, SLC 설정점멸을 동작한다.

4) 디지털 교통신호제어기 전원 구성

디지털 교통신호제어기는 220V의 전원이 PSU에 인입되고 그 이후부터는 DC만으로 전원이 구성된다. SLC를 포함하여 DLC, PTD 등의 부대장치들은 DC52V±5%(46~56V)를 사용한다. 각 장치의 내부 전원은 DC-DC Converter를 이용하여 필요한 DC 전원을 만들어서 사용하게 된다. MLC의 Main Board는 PSU에서 DC 12V전원을 인가받아 필요한 전원을 만들어 사용하고, 수동조작기 역시 DC12V를 이용한다. SLC의 Main Board는 PSU에서 DC 52V를 공급받아서 필요한 전원을 만들어 사용한다. 신호등은 PSU에서 공통전원으로 DC52V+ 전원을 받고, SLC의 Lamp Module의 스위칭 제어를 통하여 등기 출력을 만들 수 있도록 구성하였다. <Fig. 11>은 디지털 교통신호제어기의 전원구성도이다.

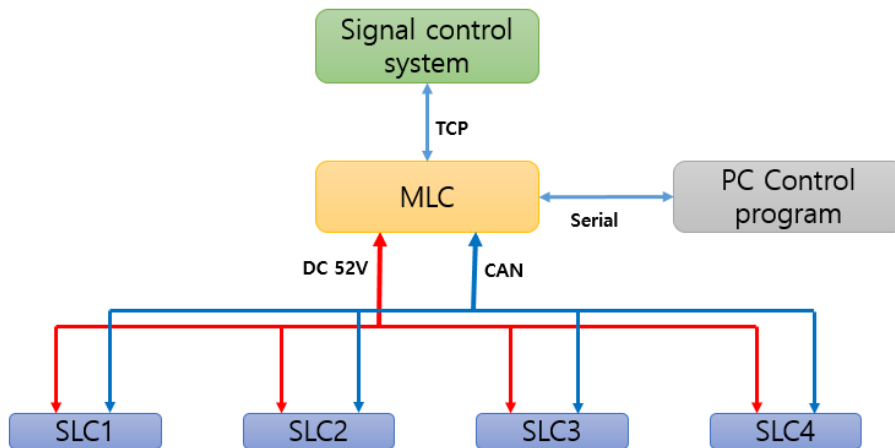


<Fig. 11> Digital Traffic Signal Controller Power-supply Block Diagram

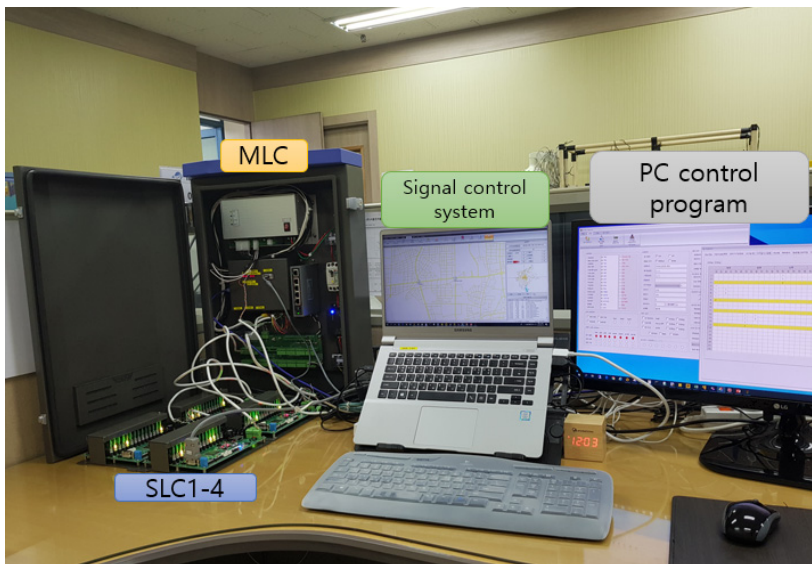
## IV. 디지털 교통신호제어기 평가

### 1. 평가 방법

연구에서 제작된 디지털 교통신호제어기의 평가는 2가지 방법으로 진행하였다. 첫 번째는 디지털 교통신호제어기를 신호제어시스템에 TCP통신으로 연결하여 기존의 아날로그 교통신호제어기의 신호제어기능을 대상으로 수행하였다. 두 번째는 디지털 교통신호제어기에 추가된 프로토콜은 기존 신호제어시스템에서 확인을 할 수가 없어서 별도로 제작된 PC운영프로그램으로 수행하였다. 아래 <Fig. 12>는 평가를 위한 디지털 교통신호제어기 시험 구성도이고, <Fig. 13>은 실제 연결한 시험 구성 모습이다.



<Fig. 12> Digital Traffic Signal Controller Test Block Diagram



<Fig. 13> Test Environment Configuration

평가를 위하여 사용한 시험항목들은 크게 통신 규약 운전 시험, 원격 운전 시험, 제어모드별 기능 시험으로 구분할 수 있으며, 시험항목을 이렇게 설정한 목적은 다음과 같다. 통신규약 운전 시험은 디지털 교통신호제어기와 신호제어시스템간의 통신규약을 확인하는 시험이고, 원격 운전 기능 시험은 주기, 시간, 제어 상태 등의 정보가 정확히 보고되는지 확인하는 시험이며, 제어모드별 기능 시험은 오프라인, 온라인 모드의 운영 상태 및 입력된 데이터베이스가 제대로 운영되는지 확인하는 시험이다.

## 2. 평가 결과

평가방법에 의해 도출된 2가지 방법과 3가지 시험항목을 토대로 항목별 시험내용을 추가적으로 도출하였으며, 시험 내용에 따라 다음과 같은 결과를 도출하였다. 통신규약 운전시험의 special command test를 통해서 flash control, lamp-off control 등을 테스트하였다. flash control 시에는 따로 지정된 flash map과 방향별 출력지정에 지정된 SLC의 단자번호대로 출력하는지 확인하여야 한다. 일간계획(Day plan), 주간계획(week plan), 기능 테이블(function-table)은 기존의 그것과 동일하여 같은 의미로 신호의 시간과 제어를 만들어주는지 확인하였다. 원격운전기능 시험은 위의 통신규약 운전시험을 통하여 만들어진 flash control, lamp-off control 등의 제어정보가 정확히 보고되는지와 교차로의 주기, 현시, 카운트 등의 운영정보가 보고되는지 확인하였다. 또한 모순은 아날로그 제어기와 다르게 MLC에서 판단을 하므로 SLC의 피드백을 통하여 정확하게 모순을 검출하고 이를 다시 SLC의 모순점별로 제어가 이루어지는 확인하였다. 제어모드별 기능 시험은 센터와 연계되어 있는 디지털 교통신호제어기가 센터의 명령을 받아서 online-mode가 제대로 이루어져 아날로그 교통신호제어기와 혼재되어 있는 네트워크에서도 운영이 가능한지를 확인하였다. 또한 DB에 입력되어 있는 week plan과 day plan을 이용하여 정확한 주기와 현시시간이 계산되어 운영되는지 확인하였다.

추가 프로토콜 시험 항목인 digital signal map과 digital direction output map Test는 signal map에서 지정한 방향의 신호가 direction output map에서 지정한 SLC의 단자번호에 지정한대로 출력이 되는지 확인하여야 한다. Output map에 여러 개의 단자번호가 지정이 되어있으면, 지정한 숫자만큼의 출력이 나와야한다.

디지털 교통신호제어기 신호제어기능 시험 항목 및 결과는 <Table 5>와 같다.

<Table 5> Digital Traffic Signal Controller Signal Control Function Test Item and Result

Test item	Test description	Result
Protocol of communication test	Special command processing verification	OK
	DayPlan, WeekPlan Up/Download compliance verification	OK
	Function-table Up/Download compliance verification	OK
Remote driving functional test	Intersection status report verification	OK
	Flash control, Lamp-off control verification	OK
	Conflict status, DB status report verification	OK
Control mode functional test	Online-mode TOD control verification	OK
	Offline-mode TOD control verification	OK
	Offline-mode function-table control verification	OK
	WeekPlan and DayPlan operation verification	OK

디지털 교통신호제어기 추가 프로토콜 시험 항목 및 결과는 <Table 6>과 같다.

<Table 6> Digital Traffic Signal Controller Addition Protocol Test Item and Result

Test item	Test description	Result
Protocol of communication test	Digital Signalmap Up/Download verification	OK
	Digital Direction Outputmap Up/Download verification	OK

상기 시험 결과는 디지털 교통신호제어기의 기본 기능인 신호의 출력, online-mode TOD, offline-mode TOD의 원활한 운영과 점멸제어, 소등제어 등의 특수제어가 정상적으로 운영이 가능함을 보이고 있다. 또한 지금의 신호제어시스템과 연계하여 운영하여도 원활한 운영이 가능함을 보인다. 그리고 새로이 추가된 디지털 시그널맵과 방향별 출력맵을 이용하여 신호출력의 생성이 가능함을 확인할 수 있었다.

## V. 결론 및 향후 연구과제

### 1. 결론

최근 모든 분야에서 아날로그시대에서 디지털시대로 전환을 맞이하고 있다. 교통신호제어기에서도 디지털 방식을 도입하여 제어기의 소형화와 통신방식을 도입하여 등기선의 절약을 도모하려하고 있다. 향후 디지털 교통신호제어기는 아날로그 교통신호제어기를 대체하게 될 것이다. 이에 본 연구에서는 디지털 교통신호제어기가 아날로그 교통신호제어기를 대체하였을 경우, 기존의 신호제어시스템과 호환되어 운영될 수 있는지, 현장에서 운영되었을 때 문제가 없는지 등을 개발 및 검증하였다. 시험결과는 디지털 교통신호제어기가 기존의 아날로그 제어기의 기능을 대체하여 운영할 수 있을 것으로 판단된다.

### 2. 향후 연구과제

디지털 교통신호제어기는 CAN이라는 통신방식을 이용하여 아날로그 교통신호제어기의 등기선을 획기적으로 줄일 수 있게 되었다. 그러나 CAN은 125Kbps에서 500m라는 통신의 한계를 가지고 있다. 따라서 대형 교차로와 연동지 교차로에서는 문제점이 발생할 가능성이 있다. 하지만 본 연구에서는 500m 이상이 되는 거리의 실험 및 검증하지 못한 한계가 있다. 향후 연구에서는 통신거리에 따라 어떤 영향이 있는지, 대안은 어떤 것이 있는지의 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문의 일부는 도로교통공단의 “디지털신호기 기준제어기 개발” 물품 제조구매에 의해 수행되었으며, 일부는 2019년도 정부(경찰청)의 재원으로 도로교통공단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (1325163906, 자율주행을 위한 AI 기반 신호제어 시스템 개발)



## REFERENCES

- Han, W. S.(2010), “Development of a Traffic Signal Controller for the Tri-light Traffic Signal,” *The Journal of Korean Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 9, no. 5, pp.49-58.
- Kim, M. S., Ko, K. Y., Lee, C. K., Jeong, J. H. and Heo, N. W.(2013), “Development of a Communication Protocol for a Digital Traffic Signal Controller,” *The Journal of Korean Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 12, no. 3, pp.1-10.
- Korea Road Traffic Authority(2017), *Development of a Digital Traffic Signal Controller Prototype*.
- Korean National Police Agency(2004), *Traffic Signal Controller Standard Specification*.
- Korean National Police Agency(2010), *Traffic Signal Controller Standard Specification*.
- Korean National Police Agency(2018), *Traffic Signal Controller Standard Specification*.
- Seoul Metropolitan Police Agency(2001), *Traffic Signal Controller Specification*.