

Development of Message Broker-Based Real-Time Control Method for Road Traffic Safety Facilities Equipment and Devices Integrated Management System

JeongHo Kho*, Eum Han*

*Senior Researcher, Dept. of Transportation Operation, Korea Road Traffic Authority, Wonju, Korea

*Senior Researcher, Dept. of Transportation Operation, Korea Road Traffic Authority, Wonju, Korea

[Abstract]

The current road traffic signal controller developed in the 1990s has limitations in flexibility and scalability due to power supply problems, various communication methods, and hierarchical black box structures for various equipment and devices installed to improve traffic safety for road users and autonomous cooperative driving. In this paper, we designed a road traffic safety facilities equipment and devices integrated management system that can cope with the rapidly changing future traffic environment by solving the using direct current(DC) and power supply problem through the power over ethernet(PoE) technology and centralized data-driven control through message broker technology. In addition, a data-driven real-time control method for road traffic safety facilities equipment and devices operating based on time series data was implemented and verified.

▶ **Key words:** Road Traffic Safety Facility, SCADA, Traffic Signal Controller, PoE, Power over Ethernet, Message Broker, Real-time Control

[요 약]

1990년대 개발되어 현재의 모습을 갖춘 교통신호제어기는 최근 도로 이용자의 교통안전 향상 및 자율협력주행 등을 목적으로 설치되는 다양한 장치들에 대한 전원공급 문제와 다양한 통신방식, 계층화된 블랙박스 구조 등으로 인해 유연성과 확장성에 한계를 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 이더넷전원장치(PoE : Power over Ethernet) 기술을 통해 직류(DC) 전원 사용과 전원공급 문제를 해결하고, 메시지 브로커(Message Broker) 기술을 통해 중앙화된 데이터 기반 제어를 함으로써 빠르게 변화하는 미래 교통환경에 대응이 가능한 교통안전시설 통합관제시스템을 설계하였다. 또한 시계열 데이터를 기반으로 동작하는 교통안전시설 장치를 위한 데이터 기반 실시간 제어 방안을 구현하고 검증하였다.

▶ **주제어:** 교통안전시설, 제어시스템, 교통신호제어기, 이더넷전원장치, 메시지 브로커, 실시간 제어

-
- First Author: JeongHo Kho, Corresponding Author: JeongHo Kho
 - *JeongHo Kho (kotda.cowork@gmail.com), Dept. of Transportation Operation, Korea Road Traffic Authority
 - *Eum Han (hano3106@koroad.or.kr), Dept. of Transportation Operation, Korea Road Traffic Authority
 - Received: 2023. 11. 20, Revised: 2023. 12. 13, Accepted: 2023. 12. 14.

I. Introduction

교통안전시설(Road Traffic Safety Facilities)은 도로 이용자에 대하여 필요한 정보를 사전에 정확하게 전달하고 또한 통일되고 균일한 행동이 이루어지도록 통제함으로써 교통의 소통을 증진하고, 도로상의 안전을 보장하기 위한 신호기(Road Traffic Signal), 안전표지(Road Traffic Safety Sign) 등과 함께 이러한 시설을 보조하는 장치(Equipment and Devices)를 의미한다.

교통안전 핵심 시설물인 교통신호제어기(TSC : Traffic Signal Controller)는 신호 운영을 핵심 기능으로 하기에 이와 연계 운영하는 교통안전시설 장치 수용성이 낮아, 장치별로 전원공급 방법, 교통신호정보 취득 방법 등이 파편화되어 현장에서 이를 운영하는 비용이 날로 상승하고 있어 지자체에서는 이를 해소하기 위한 노력을 하고 있다.

또한 최근에는 도로 이용자의 교통안전 향상 및 자율협력주행 등을 목적으로 다양한 장치들이 개발되고, 설치됨에 따라 이러한 장치들의 관제에 대한 요구가 증가하고 있으나, 2000년대부터 규격 또는 지침으로 제정되어 운영되어 온 보조장치들을 통합적으로 관제하기에는 노후화된 아키텍처의 한계가 있다.

이에 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 경찰청 규격 또는 지침으로 제정된 장치들의 전원공급과 통신방식을 물리적, 논리적으로 정규화하고, 자율협력주행 등 빠르게 변화하는 미래 교통환경에 대응해 출시될 장치를 통합 관제하기 위한 시스템을 설계하고, 메시지 브로커를 사용해 시계열의 특성을 가진 교통신호정보를 기반으로 교통안전시설 장치를 실시간으로 제어하는 방안을 연구하고 구현하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 교통신호제어시스템과 교통안전시설 장치의 현황 분석과 최신 ICT 기술을 통해 해결 과제를 도출하고, 제3장에서는 교통안전시설 장치를 통합 관제하기 위한 시스템을 설계하고, 제4장에서는 시계열 특성이 있는 교통신호정보를 메시지 브로커를 기반으로 실시간 제어가 가능함을 확인한다. 마지막 제5장에서는 이를 토대로 진행될 시범운영과 향후 연구 계획을 소개한다.

II. Related Works

교통안전시설은 크게 신호기, 안전표지 및 이를 보조하기 위한 장치로 구분하며 경찰청에서 규격 또는 지침으로 제정하여 관리하고 있고, 국내에 이러한 교통안전시설을

설치하기 위해서는 관련 규격 또는 지침을 반드시 준수해야 한다. 따라서 본 논문에서는 신호기와 보조장치의 관련 규격과 지침을 중심으로 연구하였다.

1. Standard and Guideline

현재 경찰청에서 규격 또는 지침으로 제정한 신호기는 교통신호제어기(Traffic Signal Controller), LED 교통신호등(LED Traffic Lights)이 해당하며, 신호기와 연계하여 동작하는 보조장치는 시각장애인용 음향신호기(Accessible Pedestrian Signal for Blind People), 보행신호등 보조장치(Pedestrian Countdown Signal), 보행자 작동신호기(Pedestrian Push Button), 보행자 자동 인식 신호기(Pedestrian Auto-Detection Signal), 보행신호 음성 안내 보조장치(Audible Pedestrian Signal), 바닥형 보행신호등 보조장치(Floor-type Pedestrian Signal), 보행신호 자동 연장 시스템(Auto-Extension Pedestrian Signal) 7종으로 교통신호제어기를 제외하고는 규격과 지침의 명칭이 국문으로만 되어 있다.

Table 1. Standards/Guidelines

Standard or Guideline	Est. Date	Rev. Date
Traffic Signal Controller Standard	25 Aug 2010	18 May 2023
LED Traffic Lights Guideline	09 Apr 2002	27 Apr 2022
Accessible Pedestrian Signal for Blind People Standard	18 Jan 2000	27 Apr 2022
Pedestrian Countdown Signal Guideline	07 Mar 2008	04 Feb 2022
Pedestrian Push Button Installation Guideline	21 Jul 2010	05 Oct 2021
Pedestrian Auto-Detection Signal Guideline	13 Sep 2013	05 Oct 2021
Audible Pedestrian Signal Guideline	02 Jul 2014	20 Jul 2022
Floor-type Pedestrian Signal Guideline	28 Mar 2019	20 Jul 2022
Auto-Extension Pedestrian Signal Standard	19 Oct 2020	20 Jul 2022

교통신호와 연계가 필요한 자율협력주행(Cooperative Automated Driving) 또는 도로 이용자의 안전을 향상하기 위한 장치를 개발 또는 연구하기 위해서는 관련 규격 또는 지침을 반드시 준수해야 하기에, 본 논문에서는 [Table 1]과 같이 영문 명칭과 제정일(Establish Date), 최신 개정일(Revision Date)을 정리하였다.

2. Road Traffic Signal Controller

2.1 Analog Traffic Signal Controller

아날로그 교통신호제어기(A-TSC : Analog Traffic Signal Controller)는 1970년대에 최초로 개발되었으나, 현재의 모습을 갖춘 교통신호제어기는 1992년부터 개발하기 시작한 신신호시스템부터라고 할 수 있다. 1996년 서울지방경찰청은 교통신호제어기의 규격(안)을 제정하고, 2년간 시범운행을 통해 이를 보완 적용한 서울시 표준 구매 사양서를 2001년에 발행하며, 실시간 신호제어시스템으로 개칭하고 영문으로 COSMOS(Cycle, Offset, Split Model of Seoul) 시스템으로 불리었다.

경찰청에서는 2004년 이를 보완하여 4색 신호등 체계의 경찰청 교통신호제어기 표준 규격을 제정함으로써, COSMOS 또는 2004년식 교통신호제어기가 전국적으로 보급되기 시작하였고, 2010년 교통체계 선진화를 목적으로 3색 신호등 체계 전환을 위한 표준 규격을 제정함으로써, 2010년식 교통신호제어기가 전국적으로 보급되기 시작하였다. 2010년식 교통신호제어기에는 2004년 규격에 정의되지 않아 지역별, 업체별로 다양한 방식이 혼재되어 있던 보행자 압버튼(Pedestrian Push Button Signal), 반감응 신호(Semi-Actuated Signal), 전감응 신호(Full Actuated Signal), 우선 신호(Preemption & Priority Signal) 등의 소프트웨어 알고리즘이 추가되고, 이더넷(Ethernet) 포트 추가, 옵션보드(OTPB : Option Board)를 통한 확장 기능 지원 등의 하드웨어 변경이 이루어졌다[1].

현재의 아날로그 교통신호제어기는 [Fig. 1]과 같이 신호 제어의 중추적인 역할을 하는 주제어부(MCU : Main Control Unit)와 신호등의 전기 출력을 제어하는 신호구동부(SCU : Signal Control Unit)로 구성된다. 주제어부(MCU)에는 교통신호제어기와 신호등을 구동하기 위한 전원공급장치(PSU : Power Supply Unit), 지자체 교통정보센터의 교통신호제어시스템과 통신하기 위한 모뎀(Modem), 차량통행정보 처리를 위한 검지기부(DETU : Detector Unit), 보조장치 연결을 위한 옵션보드(OPTB)가 장착된다. 신호구동부(SCU)에는 신호등의 점소등을 제어하기 위한 컨트롤러(CONT : Controller), 이상 상태 운영을 위한 점멸기(FLS : Flasher), 신호등의 전기 출력을 제어하는 LSU(Load Switch Unit)로 구성되어 있다[2].

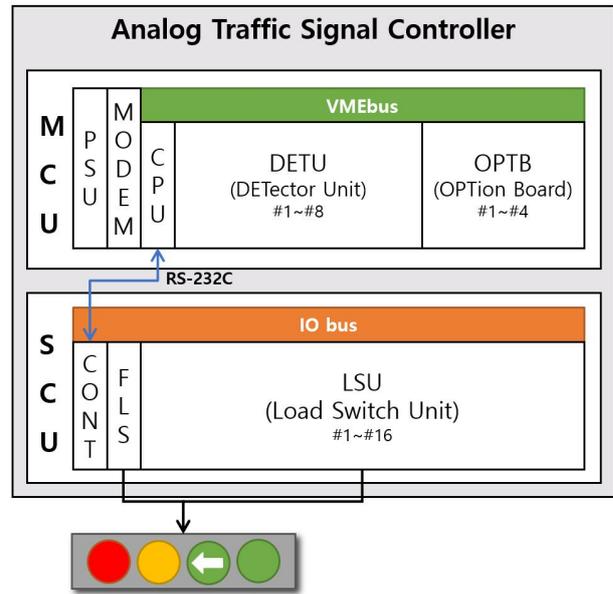


Fig. 1. A-TSC System Block Diagram

아날로그 교통신호제어기의 CPU에서 생성하는 신호정보(SIG DATA)는 [Fig. 2]와 같이 VMEBus를 통해 옵션보드(OPTB)에 제공하고 있고, 전송 주기(Interval)는 200ms 이내로 규정하고 있으며, 128바이트의 길이 제한이 있어 이를 초과하는 정보를 송신 시 분할 전송 해야 한다[3]. 따라서 CPU와 옵션보드 제조사 간 호환성 문제가 발생하고 있다.

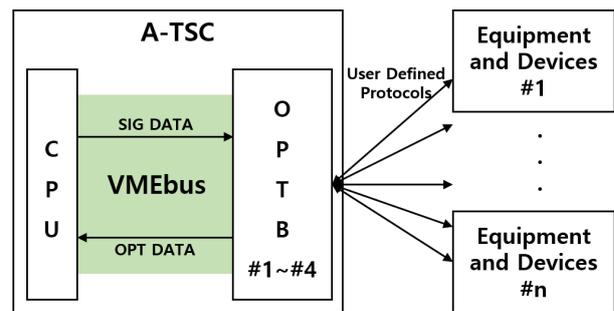


Fig. 2. A-TSC Communications

또한 옵션보드와 보조장치 간의 통신은 사용자 정의 프로토콜(User Defined Protocols)로 제조사마다 통신방식, 데이터 프로토콜 등이 다르기에 같은 종류의 보조장치가 설치되더라도 타사의 옵션보드이면 사용하지 못하고, 자사의 옵션보드를 추가로 장착해야 한다.

따라서 교통안전 향상과 자율협력주행을 위해 설치되는 장치가 늘어감에 따라 옵션보드와 장치 간 프로토콜 호환성은 큰 이슈로 대두되었고, 이러한 호환성 문제를 해결하기 위해 RS-485 통신방식으로 외부 데이터 프로토콜까지

정확한 외부장치 통합 인터페이스 보드(EDIB : External Device Integrated Interface Board) 규격이 2023년 추가되었다[4]. 하지만 38,400 bps의 느린 통신 속도로 인해 송수신 정보가 상당히 제한적이다.

또한 아날로그 교통신호제어기는 제어기 함체에서 신호 등과는 1:N으로 연결되는 스타(Star)형 토폴로지를 가지고, 보조장치를 위한 전원과 통신 선로는 버스(Bus)형 토폴로지를 가지기에 [Fig. 3]과 같이 관로 포화화 많은 선로 비용의 문제가 발생하고 있고, 이에 따른 보행자 안전을 위협할 수준의 대형 함체와 장치별로 별도의 제어부를 가지고 있기에 도시 미관 저해의 문제를 가지고 있다. 또한 선로 길이에 따른 전압강하, 신호 감쇠 등의 문제와 관로 포화로 인한 전기공사 안전 수칙을 무시한 편법적인 시공 방법 사용 등의 문제를 가지고 있다.



Fig. 3. A-TSC Cabling Problem

2.2 Digital Traffic Signal Controller

디지털 교통신호제어기(D-TSC : Digital Traffic Signal Controller)는 아날로그 교통신호제어기의 한계를 해소하고자 도로교통공단에서 2014년부터 4년간 개발하여 2021년 경찰청 규격에 포함되었으나, 연구 개발 단계에서의 시범운영을 제외하고 현재까지 현장에 설치되어 운영되고 있지는 않다.

하나의 함체 내에 주제어부(MCU)와 신호구동부(SCU)를 내장한 아날로그 교통신호제어기(A-TSC)와 달리 주제어부(MLC : Master Local Controller)와 신호구동부(SLC : Signal Lighting Controller)를 별도의 함체로 분리하고, 주제어부(MLC)에서 각 신호구동부(SLC)로 직류(DC : Direct Current) 52V를 정격전압으로 공급한다. 주제어부(MLC)와 신호구동부(SLC) 간 통신은 CAN(Controller Area Network)을 이용하여 신호등을 제어하고 일부 보조장치를 수용한다[5].

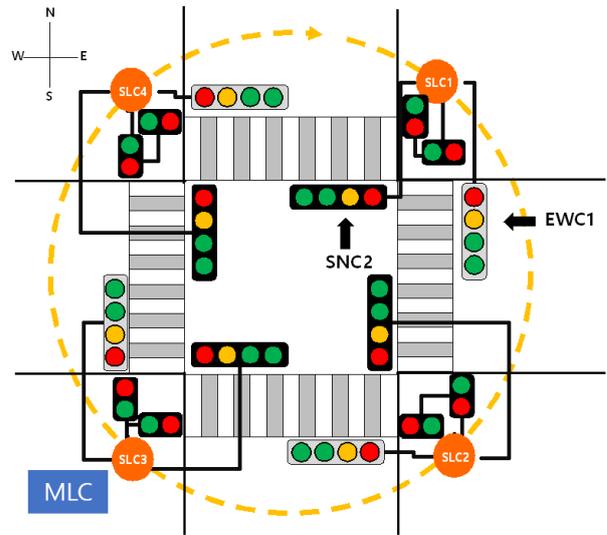


Fig. 4. D-TSC Configuration

디지털 교통신호제어기는 [Fig. 4]와 같이 신호구동부(SLC)를 교차로 방향별로 추가하는 형태인 허브앤스피크(Hub and Spoke) 토폴로지를 가지기에 아날로그 교통신호제어기와는 달리 소형 함체를 가지며, 선로 비용을 줄일 수 있는 장점이 있고, 주제어부(MLC)와 신호구동부(SLC) 간에는 CAN#1, CAN#2, RS-485 통신선, 직류(DC) 전원 선으로 연결되고, 주 제어부에서 구동되는 소프트웨어 모듈이 아날로그 교통신호제어기의 옵션보드를 대체하여 보조장치를 수용하는 구조이다[6].

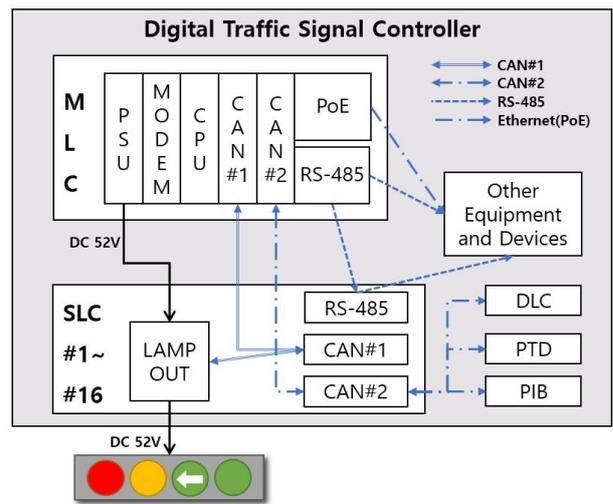


Fig. 5. D-TSC System Block Diagram

[Fig. 5]와 같이 CAN 포트는 최소 2개를 사용하며, CAN#1 포트는 신호등 제어용으로 사용하고, CAN#2 포트는 검지제어부(DLC : Detector Local Controller), 디

디지털 보행신호 잔여시간 표시장치(PTD : Pedestrian remaining Time Display device), 디지털 보행자 통합버튼(PIB : Pedestrian Integrated Button) 만을 직접적으로 수용하기에, 이를 제외한 보조장치는 각기 다른 데이터 프로토콜을 가진 CAN, RS-485, 이더넷 중 하나 또는 그 이상의 통신방식을 선택해야 하는 문제가 있다.

그리고 디지털 교통신호제어기에서 주 통신방식으로 채택한 CAN은 최대 통신 속도는 1Mbps이지만, 통신방식 선정 시 통신 거리 1km를 기준으로 통신 속도는 40Kbps로 실험을 진행하였고[7], 수십 미터에서 최대 1km까지의 교차로 크기를 고려할 때 실질적인 통신 속도는 40~500kbps 정도일 것으로 예상된다. 또한 주제어부(MLC)의 전원공급장치(PSU)를 통해 신호등과 일부 보조장치만 전력을 나눠 쓰는 구조로 다른 보조장치는 별도의 전원 공급이 필요하기에 전력 공급의 제약은 여전하다.

3. Equipment and Devices Issues

교통신호 운영을 핵심 기능으로 하는 교통신호제어기는 보조장치(Equipment and Devices)를 수용하기 위한 고려가 부족하여 보조장치 관점에서는 파편화된 전원공급(Power Supply)과 통신(Communication)방식으로 인한 문제점을 가지고 있고, 디지털 교통신호제어기가 규격에 포함된 현재도 이와 같은 문제는 개선되지 않았다. 이에 본 논문에서는 보조장치 관점에서 문제점을 정리하고, 해결 과제를 도출하였다.

3.1 Power Supply Issues

아날로그 교통신호제어기(A-TSC)는 옵션보드를 통해 직류(DC) 12V를 공급받는 보행자 작동신호기를 제외한 모든 보조장치는 교류(AC : Alternating Current) 220V를 정격전압으로 사용하기에 장마철 길거리 전기안전 위협 요소로 손꼽히며, [Table 2]와 같이 교통신호제어기로부터 전원을 공급받는 장치와 별도의 전원공급이 필요한 장치로 구분할 수 있다.

시각장애인용 음향신호기, 보행신호등 보조장치와 같이 2010년 이전에 규격 또는 지침으로 제정된 장치들은 보행신호 등기선에 직결하여 전원을 공급받아 동작했지만, 신호 운영의 안정성 확보를 이유로 '21년 10월 신호등 외의 모든 장치는 아날로그 교통신호제어기의 LSU 또는 신호 등기선과 직결할 수 없도록 규격이 개정되었다[8]. 이에 따라 보행신호등 보조장치를 포함한 모든 보조장치는 별도의 누전차단기를 설치하고 전원을 연결해야 한다.

Table 2. Classification by Power

Equipment and Devices	Power Supply		Rated Voltage	
	A-TSC	D-TSC	A-TSC	D-TSC
Accessible Pedestrian Signal for Blind People	X	X	AC 220V	AC 220V
LED Traffic Light	○	○	AC 220V	DC 52V
Pedestrian Countdown Signal	X	○	AC 220V	DC 52V
Pedestrian Push Button	△	○	DC 12V	DC 52V
Auto-Detection Pedestrian Signal	X	X	AC 220V	AC 220V
Audible Pedestrian Signal	X	X	AC 220V	AC 220V
Floor-type Pedestrian Signal	X	X	AC 220V	AC 220V
Auto-Extension Pedestrian Signal	X	X	AC 220V	AC 220V

○ : supply from TSC
 △ : supply from OPTB
 X : separate power

교류(AC)를 사용하는 장치는 역률(Power Factor)에서도 문제를 가지고 있다. 역률은 전기설비에 걸리는 전압과 전류가 얼마나 효율적으로 일을 잘하고 있는지를 나타내는 것으로 한국전력 전기공급약관 제41조 '역률의 유지'에 따라 90% 이상을 유지해야 한다. 이에 따라 장치 제조사는 커패시터 등을 달아 소비 전력을 높이는 등의 조치를 통해 역률을 보상하고 있고, 이는 제품비용 상승과 전력 과잉 소비를 유발하고 있기에 이를 해소할 수 있도록 업계와 지자체에서는 장치의 직류(DC) 전원 사용에 대한 요청을 꾸준히 제기하고 있다.

디지털 교통신호제어기에 들어서는 직류(DC) 52V를 정격전압으로 하고 직접 수용하는 장치가 1종 늘어나긴 했지만 그 수는 여전히 부족하다. 또한 주제어부(MLC)의 전원공급장치(PSU)를 신호등과 함께 나눠 써야 하는 구조로, 대다수의 보조장치는 여전히 별도의 교류(AC) 전원을 공급해 주어야 하기에 장마철 길거리 전기안전 위협 요소 역시 크게 해소되지 못했다.

3.2 Communication Issues

아날로그 교통신호제어기(A-TSC)와 연결하여 동작하는 보조장치들이 교통신호정보를 취득하는 방법은 크게 자기 측정(Magnetic Field Detecting) 센서를 신호 등기선에 부착하는 방법과 옵션보드를 통해 데이터를 교환하는 방법 두 가지를 이용하고 있고, 보행자 작동신호기는 압버튼(Push Button)을 인식하기 위해 B접점(Normally Close)과 데이

터를 교환하기 위해 PLC(Power Line Commucation)를 사용하고 있다.

단순히 보행신호등의 점등 여부를 알면 장치 고유의 서비스 제공이 가능한 시각장애인용 음향신호기, 보행신호 음성 안내 보조장치는 CT(Current Transformer) 센서로 대표되는 자계 측정 센서(Magnetic Field Detecting Sensor)를 이용하고 있다. 그 외 장치들은 아날로그 교통신호제어기에 장착하는 옵션보드(OTPB)를 통해 신호등화 상태, 잔여시간 등을 포함하는 교통신호정보를 받고 있고, 통신방식은 대부분 RS-422/485 시리얼 통신(Serial Communication)을 사용하고 있지만 옵션보드와 장치 간 데이터 프로토콜은 사용자 정의 프로토콜(User Defined Protocol)이라 제조사 간 호환성은 없으며, 제조사 간 호환성을 확보한 외부장치 통합 인터페이스 보드(EDIB)가 규격에 포함되었지만 아직 그 보급율은 저조하다.

Table 3. Classification by Communication

Equipment and Devices	A-TSC		D-TSC
	OPTB	Comm.	
Accessible Pedestrian Signal for Blind People	O	Sensor	CAN / ETH / Serial
Pedestrian Countdown Signal	R	Sensor / Serial	CAN
Pedestrian Push Button	R	NC / PLC	CAN
Auto-Detection Pedestrian Signal	R	NC / Serial	CAN
Audible Pedestrian Signal	O	Sensor	CAN / ETH / RS-485
Floor-type Pedestrian Signal	R	Serial	CAN / ETH / RS-485
Auto-Extension Pedestrian Signal	R	Serial	ETH / RS-485

- OPTB : O(Optional), R(Required)
- Sensor : Magnetic Field Detecting Sensor
- NC : Normally Close
- ETH : Ethernet(UDP)

디지털 교통신호제어기를 포함하여 장치별 통신방식을 정리하면 [Table 3]과 같이 상당히 파편화된 것을 확인할 수 있다. 또한 장치가 개발될 시점의 제어기 규격 버전에 따라 데이터 프로토콜이 다를 수 있기에 보조장치 관점에서는 통신방식과 규격 버전별 데이터 프로토콜을 모두 고려해야 한다.

향후 다양한 통신방식을 지원하지만 통신방식별로 데이터 프로토콜이 모두 다른 디지털 교통신호제어기와의 연계까지는 많은 난관이 예상된다.

3.3 Management Issues

현재 지자체에서 보조장치의 장애 상태를 파악하는 방법은 주로 시민들의 민원에 의존하고 있다. 일부 지자체에서는 별도의 저전력 사물인터넷 전용망이나 LTE(Long Term Evolution)와 같은 무선이동통신망을 이용할 수 있는 모뎀을 장착한 장치를 도입하여 관제하고 있으나, 업체나 지자체별로 다른 프로토콜을 사용하고 있기에 업체와 지자체 모두 통합관제의 어려움을 호소하고 있다.



Fig. 6. Example of Equipment and Devices Problem

[Fig. 6]은 옵션보드를 사용하는 장치의 이상동작을 보여주는 예시로, 옵션보드를 사용하는 보행신호등 보조장치(잔여시간표시기)를 설치하였으나 신호등과 잔여 시간이 다르게 표출되고 있고, 이는 보행자 안전에 직접적인 위협이 될 수 있는 요소이다.

이처럼 아날로그 교통신호제어기에 옵션보드를 사용하는 장치를 연결하여 장애가 발생하는 경우 이를 분석하기 위해서는 교통신호제어기 CPU, 옵션보드, 보조장치 제조사가 모여서 원인 분석을 해야 하고, 교통신호제어기가 온라인 모드로 동작하는 경우 지자체 교통정보센터의 교통신호제어시스템 관계자까지 모여야 한다.

이는 데이터 전송 단계가 나뉘어져 있고, 파편화된 통신 프로토콜과 통합관제 기능의 부재로 인한 현상으로 이러한 문제는 옵션보드가 도입되었을 때부터 현재까지도 진행되고 있다. 보조장치가 확대될수록 더욱 많은 인적, 물적, 시간적 비용 낭비를 초래하고 있고, 더욱 다양한 통신방식을 지원하는 디지털 교통신호제어기가 현장에 설치되면 지금보다 더한 혼란을 유발할 것으로 예상된다.

3.4 Challenges

국민의 교통안전을 향상하기 위한 교통안전시설 장치가 현재 가지는 문제는 크게 세 가지로 정리할 수 있다. 하나는 장치별 전원과 통신 선로의 개별 설치로 인한 시공 비용의 상승 문제이고, 다른 하나는 다양한 통신방식과 데이터 프로토콜로 인한 호환성 저하, 통합관제의 부재 문제이고, 마지막으로 1990년대에 개발되어 현재의 모습을 갖추게 된 교통신호제어기를 기반으로 하는 아키텍처이기에 자율협력주행과 같은 미래 교통환경에 대응하기에는 유연성과 확장성 등의 한계가 명확하다.

또한 장치의 제어부(함체)가 개별로 설치되다 보니 하나의 지주에도 여러 개의 제어부가 설치되고 있고, 이는 도시 미관을 해치고, 보행자와 운전자 모두에게 교통안전을 위협하는 요소로 작용하고 있다.

4. ICT Technologies

본 논문에서는 보편적으로 사용하는 ICT 기술 중 하나인 이더넷전원장치(PoE : Power over Ethernet) 기술을 통해 직류(DC) 전원 사용과 전원공급 방안을 수립하고, 메시지 브로커(Message Broker) 기술을 통해 통신방식, 데이터 프로토콜을 정규화함으로써 미래 교통환경에 대응할 수 있도록 교통안전시설 장치를 통합 관제하고자 한다.

4.1 Power Over Ethernet

이더넷 전원 장치(PoE : Power Over Ethernet)는 PSE(Power Sourcing Equipment)와 PD(Powered Devices)로 구성되어, 이더넷 환경에서 하나의 이더넷 케이블을 통해 데이터와 전원을 동시에 전송할 수 있으며, [Table 4]와 같이 802.3 Type에 따라 최대 15.4W부터 100W까지 전력 공급이 가능하고, 장치의 가용 전력은 100m를 기준으로 12.95W부터 71W이다[9].

Table 4. Comparison of PoE parameters

Property	PoE	PoE+	PoE++	Hi-PoE
	802.3af (802.3at Type 1)	802.3at Type 2	802.3bt Type 3	802.3bt Type 4
available Power	12.95 W	25.5 W	51 W	71 W
Max. Power	15.4 W	30 W	60 W	100 W
Voltage range (at PSE)	44 -57 V	50 -57 V	50 -57 V	52 -57 V
Voltage range (at PD)	37 -57 V	42.5 -57 V	42.5 -57 V	41.1 -57 V

표준화된 이더넷 케이블과 RJ45 커넥터를 사용하고 있기에 물리적 인터페이스의 정규화에 적합하며, 바닥형 보행신호등의 경우 횡단보도 한쪽 표출부 20개를 기준으로 70W 이하로 소비하고, 그 외 장치들은 20W 이하로 동작하는 것으로 파악하고 있기에 PoE 스위치 허브를 추가하는 형태로 Type 1부터 4까지 다양한 조합으로 교통안전시설 장치에 충분한 전원공급이 가능하다.

4.2. Message Broker and Pub/Sub Model

메시지 브로커(Message Broker)는 애플리케이션, 시스템 및 서비스가 서로 통신하고 정보를 교환할 수 있도록 하는 메시지 지향 미들웨어로 개발자가 핵심 논리에 집중할 수 있도록 구성 요소 간의 데이터 흐름을 처리하는 표준화된 수단을 제공한다. 메시지 큐를 통해 비동기로 메시지를 전달하며 메시지 큐에는 메시지가 전송된 정확한 순서대로 저장되며 수신이 확인될 때까지 대기열에 남아 있다[10].

발행/구독 모델(Publisher and Subscriber Model)을 통해 토픽(Topic)에 발행한 메시지는 해당 토픽을 구독하는 모든 소비자(Consumer)에게 전달될 수 있다. 이는 일대다 관계가 있는 브로드캐스트 스타일의 메시지 전달 방법으로 시계열 특성을 가진 교통신호정보가 필요한 교통안전시설 장치의 논리적 인터페이스의 정규화에 적합하다.

메시지 브로커의 발행/구독 모델은 AMQP(Advanced Message Queuing Protocol)와 MQTT(Message Queuing Telemetry Transport) 프로토콜이 대표적으로, 메시지를 발행할 때 메시지 만료 시간인 TTL(Time To Live)을 밀리초(Milli Second) 단위로 설정할 수 있고, 메시지 브로커의 발행/구독 모델이 비동기적 특성을 가짐에도 본 논문에서는 메시지 만료(Message Expiration) 처리를 통해 시계열 특성을 가진 교통안전시설 장치의 실시간 제어를 위한 핵심 요소가 될 수 있음을 증명하고자 한다.

III. Proposed Scheme

본 논문에서 제안하는 ‘교통안전시설 장치 통합관제 시스템(Road Traffic Safety Facilities Equipment and Devices Integrated Management System)’은 경찰청에서 규격·지침으로 제정한 교통안전시설 장치를 통합관제하고, 미래 교통환경에 대응하기 위해 분산형 데이터 기반 제어(Distributed Data-driven Control)를 핵심으로 하며, 메시지 만료(Message Expiration) 처리를 통해 교통안전시설 장치를 실시간으로 제어한다.

1. Road Traffic Safety Facilities Equipment and Devices Integrated Management System

교통안전시설 장치 통합관제시스템(이하 통합관제시스템)은 [Fig. 7]과 같이 교통신호제어기 중심의 신호제어(Signal Control)와 주함체(Main Box) 중심의 장치 관제(Equipment and Devices Management)로 분리하여 장치 관제를 담당하는 시스템이다.

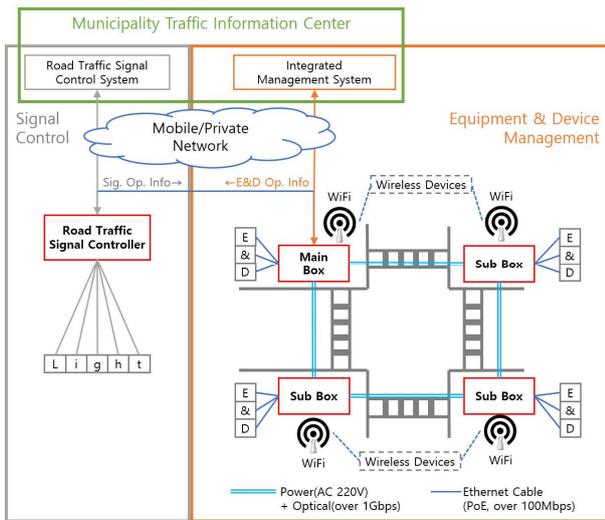


Fig. 7. System Configuration Diagram

본 논문에서 정의하는 통합관제시스템(IMS : Integrated Management System)은 전원 및 통신 선로, 함체 등의 물리적인 요소와 소프트웨어 아키텍처, 통신 프로토콜 등의 논리적인 요소, 감시(Supervisory), 제어(Control), 감사(Auditing), 소프트웨어 업데이트(SW Update) 등 기능적 요소를 포괄적으로 포함하고, 공간적으로는 교차로 현장에 설치되는 시설 외에도 지자체 교통정보센터에 설치되는 통합관제시스템도 포함하지만, 본 논문에서는 교차로 현장에 설치되는 시설을 중심으로 한다.

바닥형 보행신호등과 같이 제어 메시지를 받는 제어부 외에 표출부도 있어야 본연의 기능이 가능한 장비(Equipment)와 잔여시간 표시장치나 스피커 등과 같이 통합게이트웨이로부터 제어 메시지를 받아 단독으로 동작이 가능한 장치(Device)로 구분하지만, 본 논문에서는 장치(EnD : Equipment and Devices)로 통칭한다.

장치(EnD)가 운영되는 교차로 현장 관점에서 통합관제시스템은 다음과 같은 요소로 구성된다.

- 함체(Box) : 외부의 충격으로부터 내부를 보호하기 위한 함체로 스위치 허브류와 전원단자대, HMI(Human Machine Interface) 등을 내장
- 선로 연결(Cabling) : 전원과 통신을 위한 선로로 함

체 간에는 교류(AC) 전원선과 광케이블로 연결, 함체와 장치 간에는 이더넷 케이블로 연결

- 통합게이트웨이(i-GW) : 교통신호제어기로부터 신호 정보를 수신하고, 데이터 교환을 통해 장치를 관제
- 종단 장치(Edge Device) : 통합게이트웨이와 데이터 교환을 통해 교통안전시설로서의 요구 기능을 수행하는 장치(EnD)

디지털 교통신호제어기와 마찬가지로 허브앤스피크(Hub and Spoke) 구조를 가지며, 교차로의 크기에 따라 보조함체(Sub Box)를 추가하는 형태로 확장성을 갖는다.

1.1. Box and Cabling

함체(Box)는 주함체(Main Box)와 보조함체(Sub Box)로 구분하며, [Fig. 8]과 같은 구성으로 다음의 구성 요소를 갖는다.

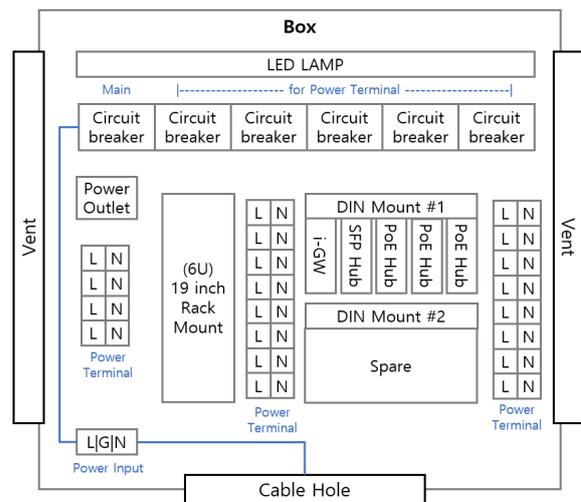


Fig. 8. Box Configuration Diagram

- 통합게이트웨이(i-GW : integrated GateWay) : 교통신호제어기로부터 신호정보를 수신하고, 장치들을 관제하는 핵심 구성요소
- 박스허브(Box Hub) : 함체 간 광통신을 위한 SFP(Small Form-factor Pluggable) 스위치 허브
- 장치허브(EnD Hub) : 신호표출장치, 압버튼 등 종단 장치와 연결하기 위한 PoE 스위치 허브로 PoE 관점에서는 PSE에 해당
- 전원단자대(PTU : Power Terminal Unit) : 배선차단기(Circuit Breaker)와 교류(AC) 220V 사용 장치 또는 함체 간 연결을 위한 단자대(Terminal) 등으로 구성
- HMI(Human Machine Interface) : 경찰 또는 현장 작

- 업자를 위한 수동 조작대, 디스플레이 등의 입출력 장치
- 무선노드(Wireless Node) : 무선통신 장치를 위한 무선 연결 장치
- 외함(Cabinet) : 외부의 충격으로부터 내부 구성 요소를 보호하고, 내부 발열 해소를 위해 환풍구(Vent)와 전원 및 통신 선로를 위한 배선 구멍(Cable Hole), 내부 구성품을 장착하기 위한 랙(Rack) 등으로 구성

주함체(Main Box)와 보조함체(Sub Box)의 구성 요소는 [Table 5]와 같이 구분할 수 있고, 함체 간에는 교류(AC) 220V 전원선과 광케이블(Fiber Optic Cable)로 연결한다. 따라서 함체에는 교류(AC) 220V 전원이 직접적으로 공급되기에 전원 부족 문제에 대응할 수 있고, 광케이블을 사용함으로써 수백 미터에 달하는 지중관로 길이에 따른 감쇠(Attenuation, Loss, Damping, Decay)와 간섭(Noise, Interference)에 대응할 수 있는 장점이 있다.

Table 5. Box Items

Item	Main Box	Sub Box
Cabinet	Required	Required
i-GW	Required	-
Box Hub	Required	Optional
EnD Hub	Required	Required
PTU	Required	Required
HMI	Required	Optional
Wireless Node	Optional	Optional

함체와 장치 간 연결은 노변(Road Side)에서 운영되는 환경을 고려하여 차폐 기능이 있는 STP(Shielded Twisted Pair) 케이블을 사용하며, 연결되는 장치 수에 따라 장치허브(EnD Hub)를 추가함으로써 확장성을 가질 수 있다. 또한 바닥형 보행신호등과 규격화가 예정된 (가칭)LED 안전표지 등과 같이 소비 전력이 높은 장치를 위해 별도의 전원단자대(PTU)를 제공함으로써 시공 편의성을 제공하고, 선로 비용을 절감할 수 있다.

1.2. Integrated Gateway(i-GW)

통합게이트웨이(i-GW) 또는 통합제어기(i-CON : Integrated Controller)는 교통신호제어기로부터 수신한 시계열 특성의 교통신호정보를 기반으로 메시지 브로커(Message Broker)를 통해 장치를 실시간으로 제어하기 위한 핵심 구성 요소이다.

[Fig. 9]와 같이 범용 하드웨어(Universal Hardware)와 범용 운영체제(Universal Host Operation System),

미들웨어(Middleware), 장치용 소프트웨어 패키지(SW Packages for Edge Device)로 구성되며, 소프트웨어 정의 기술(SDx : Software Defined Anything/Everything), 마이크로 서비스 아키텍처(MSA : Micro Software Architecture) 기술을 기반으로 한다.

미들웨어(Middleware) 및 소프트웨어 패키지(Software Packages)를 컨테이너화(Containerization)하여 미들웨어 및 소프트웨어 패키지의 업데이트를 통해 오류 수정 등 단순 기능 개선뿐만 아니라 향후 요구되는 서비스의 형태와 기능에 대해 가상화(Virtualization)를 통해 유연성(Flexibility)을 가질 수 있다.

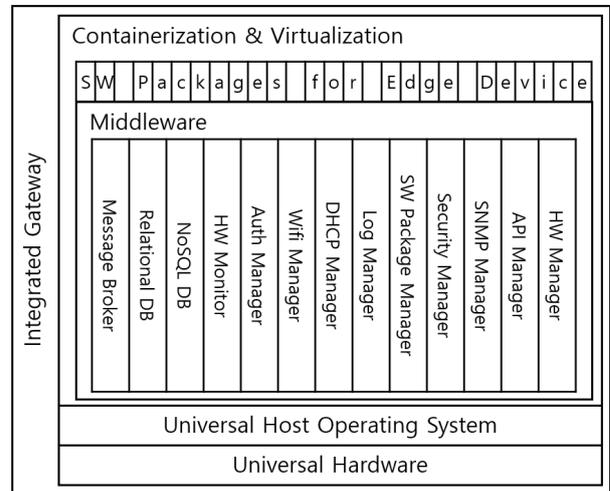


Fig. 9. i-GW Block Diagram

또한 통합관제시스템 운영을 위한 표준화된 미들웨어를 통해 장치 개발자는 핵심 기능 개발 및 고도화에 집중케 하고, 장치용 소프트웨어 패키지(SW Packages for Equipment and Devices)를 통해 보조장치의 제어부를 대체하거나 최소화한다.

1.3. Edge Device

PoE 관점에서는 PD(Powered Device)에 해당하는 종단 장치(Edge Equipment and Device)는 아두이노(Arduino)와 같은 마이크로 컨트롤러 또는 라즈베리파이(Raspberry Pi)와 같은 싱글 보드 컴퓨터를 내장하여 최종적으로 교통안전시설로서 요구되는 기능이 동작하는 장치(EnD)로, 이를 제어하기 위해 통합게이트웨이(i-GW)에서 동작하는 소프트웨어 패키지를 포함한다.

종단 장치는 장치 허브(EnD Hub)를 통해 직류(DC) 전원을 공급받거나 전원단자대(PTU)로부터 교류(AC) 전원을 공급받아 동작하며, 통합게이트웨이(i-GW)로부터의 메

시지를 통해 교통안전시설로서 요구 기능을 동작시키고, 하드웨어와 소프트웨어적 상태를 자가 진단(Self Diagnosis)하고 감시(Monitoring)하여 주기적으로 통합게이트웨이(i-GW)로 보고(Reporting)하고, 장치 운영 상태를 전환하는 판단을 한다.

2. Data-driven Real-time Control

교통신호제어기는 운영자의 잘못된 DB 입력 등의 논리적인 결함이나 전기적인 충격 등 물리적인 결함이 발생할 수 있고, 규격에서는 이러한 결함이 발생하면 아날로그 교통신호제어기는 점멸기(Flasher), 디지털 교통신호제어기는 CAN 통신을 통해 적색 점멸(Red Flashing)을 하도록 요구하는 결함 허용 제어시스템(Fault Tolerant Control System)으로, 이러한 결함에 의한 적색 점멸이나 교통 운영상의 황색 점멸(Yellow Flashing) 시 보조장치는 동작을 중지하여야 한다.

이에 따라 교통신호제어기와 분리된 운영 형태를 가지는 통합관제시스템은 다음의 두 가지 운영 상태를 가진다.

- 일반 운영 상태(Normal Operation Mode) : 통합게이트웨이(i-GW)와 종단 장치(Edge Device) 간 정상적인 데이터를 교환하며, 양쪽 모두 정상적인 서비스를 수행하고 있는 정상적인 운영 상태를 의미
- 장애 안전 운영 상태(Fail-safe Operation Mode) : 통합게이트웨이(i-GW)와 종단 장치(Edge Device) 간 정상적인 데이터의 교환이 이루어지지 않거나 장치의 정상적인 서비스 제공이 불가능한 상태로, 시계열의 특성을 가지는 교통신호정보를 통해 잘못된 신호 등화 정보를 표출하지 않도록 점멸(Flashing)하거나 운영을 중지(Shutdown)하는 운영 방식을 의미

이에 따라 본 논문에서는 데이터 기반 실시간 제어(Data-driven Real-time Control)를 두 가지 관점으로 접근한다. 하나는 통합게이트웨이를 기준으로 장치들이 실시간 제어가 되는지 판단하는 것이고, 다른 하나는 종단 장치를 기준으로 실시간 제어가 되는지 판단하는 것으로 통합게이트웨이와 종단 장치 양쪽에서 운영 상태를 파악하고 운영 상태 전환을 결정한다. 통합게이트웨이는 종단 장치의 제어 불능 시 서비스 중요도에 따라 교차로 내 연결된 모든 장치를 장애 안전 운영 상태로 전환할 수 있다.

Table 6. Comparison of Control Reference Value

Property		Reference Value
A-TSC	G-G Conflict Monitoring	Under 200ms
	Red-Fail Monitoring	Under 700ms
	Communication Interval	Under 200ms
D-TSC Communication Interval		Under 200ms
Lights On/Off	LED Lights	Under 75ms
	Floor-type Pedestrian Signal	Under 75ms

현 규격과 지침에서 요구하는 주요 기능들의 실시간 기준값은 [Table 6]과 같다. 아날로그 교통신호제어기의 모순 검지(G-G Conflict Monitoring) 시간은 200ms 미만, 적신호 실패 검지(Red-fail Monitoring) 시간은 700ms 미만으로 요구하며, 아날로그 교통신호제어기와 디지털 교통신호제어기의 통신주기는 200ms 이하를 요구하고 있고, 교통신호등과 바닥형 보행신호등의 점등 기준은 75ms로 요구하고 있다[11][12][13][14].

2.1 Real-time Control Flow of i-GW

통합관제시스템의 핵심인 통합게이트웨이(i-GW)는 데이터를 기반으로 장치를 실시간으로 제어하며, 메시지 브로커(Message Broker)의 메시지 만료 시간(TTL)과 데드레터(Deadletter)를 적극 활용한다.

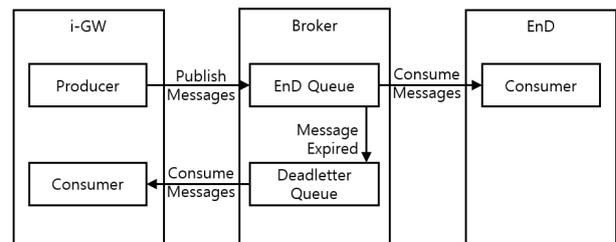


Fig. 10. Message publish process of i-GW

기본 개념은 [Fig. 10]과 같이, 통합게이트웨이(i-GW)의 발행자(Producer)가 발행한 메시지가 큐(Queue)에 저장되고, 이를 종단 장치(EnD)의 소비자(Consumer)가 가져가는 구조에서, 정해진 만료 시간 내에 가져가지 못하면 해당 메시지는 데드레터 큐(Deadletter Queue)로 넘어가게 되고, 만료된 메시지를 가져오게 되면 제어에 실패한 것으로 판단한다. 이러한 절차를 순서화하면 [Fig. 11]과 같다.

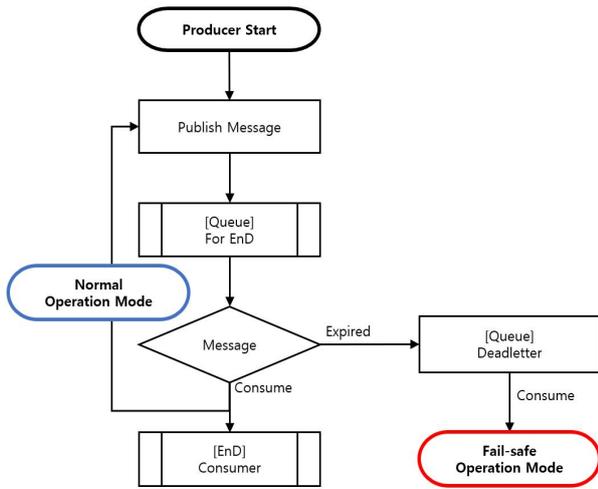


Fig. 11. Operation Mode Change Flow of i-GW

2.2 Real-time Control Flow of Edge Device

통합게이트웨이(i-GW) 또는 네트워크 장비에서 장애 발생 시 중단 장치(Edge Device)는 메시지를 수신하지 못하거나 지연 수신하는 상황이 발생할 수 있고, 시계열 특성의 교통신호정보를 기반으로 하는 중단 장치는 이에 대비해야 할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 중단 장치에서 네트워크 지연시간을 측정하고, 이와 함께 통합게이트웨이로부터 메시지 발행 시간을 포함하는 제어 메시지 수신 시 계산된 지연시간을 반영하여 전체적인 메시지 지연시간을 계산한다.

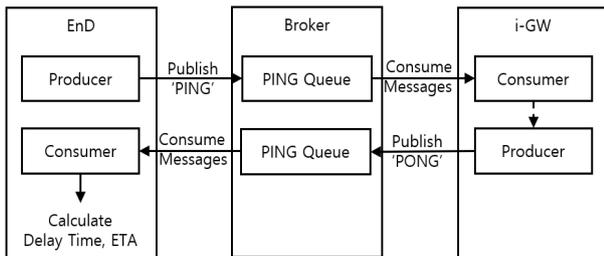


Fig. 12. Heartbeat process between EnD and i-GW

먼저 중단 장치에서 네트워크 지연시간을 측정하는 방법은 [Fig. 12]와 같이 중단 장치(EnD)는 통합게이트웨이(i-GW)와 주기적인 하트비트(Heart-beat) 절차를 수행하며, 중단 장치(EnD)에서 'PING' 메시지를 발행할 때 장치의 메시지 발행 시각을 넣고, 통합게이트웨이에서 'PONG' 메시지를 발행할 때 수신한 장치의 메시지 발행 시각과 통합게이트웨이의 메시지 발행 시각을 넣어 응답함으로써, 중단 장치에서 왕복 시간(RTT : Round Trip Time)을 통한 지연시간(Delay Time), 다음 교통신호정보의 도착 예정 시간(ETA : Estimated Time of Arrival)을 계산한다.

중단 장치는 이렇게 계산된 지연시간과 다음 교통신호정보의 예상 도착 시간을 이용하여 [Fig. 13]과 같이 계산된 시각에 메시지 수신이 안 되거나, 메시지를 수신하더라도 기준 시간보다 늦은 시간에 메시지가 들어오게 되면 실시간 제어에 실패한 것으로 판단하여 장애 안전 운영 방식(Fail-safe Operation Mode)으로 전환하고, 통합게이트웨이에 장애가 발생했음을 알린다.

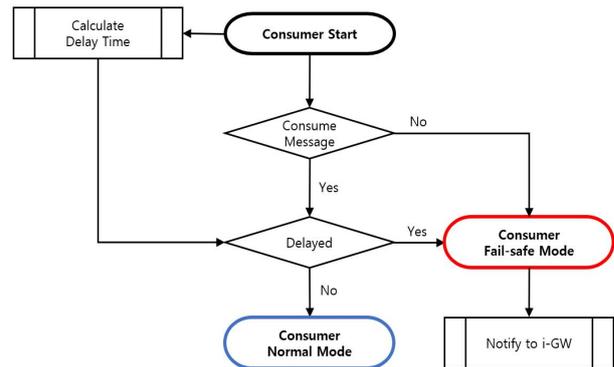


Fig. 13. Operation Mode Change Flow of Edge Device

IV. Development

본 논문에서는 시계열 특성이 있는 교통신호정보를 처리해야 하는 교통안전시설 장치 통합관제 시스템의 핵심 요소인 통합게이트웨이(i-GW)의 실시간 제어 방안을 검증하고자 한다.

1. Development Environment

메시지 프로토콜은 AMQP로 선정하였고, 구현 환경은 [Table 7]와 같이 개발 언어는 파이썬(Python), 메시지 브로커는 AMQP 구현체인 RabbitMQ 3.9.13를 사용하였고, 통합게이트웨이(i-GW)는 저 사양의 미니PC, 중단 장치는 개인용 컴퓨터를 사용해 실험을 진행하였다.

Table 7. i-GW Environment

i-GW	CPU	Intel Celeron N5095
	RAM	16GB RAM
	OS	Ubuntu 22.04.3 LTS
	Broker	RabbitMQ 3.9.13
PC	CPU	AMD Ryzen 6900HX
	RAM	32GB
	OS	Windows 11 Pro
	Runtime Environment	Python 3.11.6

통합게이트웨이(i-GW)가 장치(EnD)로 교통신호정보(TSI : Traffic Signal Information) 메시지를 보내기 위해 [Fig. 14]와 같이 'TSI Exchange'로 메시지를 발행하고 각 장치 큐(EnD Queue)를 'TSI Exchange'와 바인딩(binding)하여, 교통신호정보 메시지 발행자(TSI Message Producer)는 'TSI Exchange'에 메시지를 한번만 발행하도록 하였다.

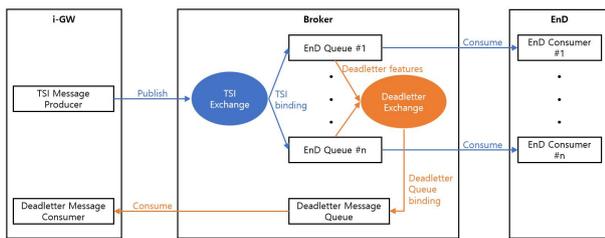


Fig. 14. Broker Configuration

각 장치 큐의 메시지 만료를 위한 상세 설정은 [Fig. 15]와 같이 Deadletter Exchange를 설정하는 'x-dead-letter-exchange'와 밀리초 단위의 만료 시간을 설정하는 'x-message-ttl'를 설정하여야 하고, 본 논문에서는 각각 'dl_exchange'와 50ms로 설정하였다.

Details	
Features	x-dead-letter-exchange: dl_exchange x-message-ttl: 50
Policy	
Operator policy	
Effective policy definition	

Fig. 15. dead-letter-exchange and message-ttl of Queue

익스체인지지를 통해 메시지를 발행하면 각 장치의 큐에는 동일한 메시지ID로 발행이 되기 때문에 문제가 생긴 장치를 구분할 수 없다고 볼 수 있으나, [Fig. 16]과 같이 만료 메시지의 속성(Properties of Deadletter Message) 중 queue를 보면 만료 메시지가 이전에 있던 큐가 어딘지를 알 수 있으므로, 이상이 있는 장치를 찾을 수 있다.

교통신호제어기는 총 10방향의 신호 출력을 관리할 수 있고, 현 경찰청 규격 또는 지침의 보조장치 7종을 설치하였을 때 장치 총수는 140개로, 제1, 2 주신호등과 보행신호등까지 포함하면 장치 총수는 180개이다. 본 논문에서는 예비용 큐를 포함하여 장치용 큐(EnD Queue)는 총 200개로 하였고, 모든 메시지 발행자와 구독자는 Client 환경에서 구동하였고, 교통신호정보는 1초를 주기로 하기에 메시지 발행자는 1초마다 메시지를 발생하였다.

Exchange	dl_exchange		
Routing Key	*		
Redelivered	○		
Properties	headers:	x-death:	count: 1
			exchange: tsi_exchange
			queue: endq89
			reason: expired
			routing-keys: *
			time: 1700291302
	x-first-death-exchange:	tsi_exchange	
	x-first-death-queue:	endq89	
	x-first-death-reason:	expired	

Fig. 16. Properties of Deadletter Message

2. Test Result

2.1 Normal Operation Mode

본 논문에서 제안하는 실시간 제어 절차를 확인하기 위해 메시지 발행자는 'tsi_exchange' 익스체인지에 하나의 메시지를 발행하고, 각 장치 큐에 초당 200개의 메시지가 발행되는 것을 [Fig. 17]과 같이 확인할 수 있다.

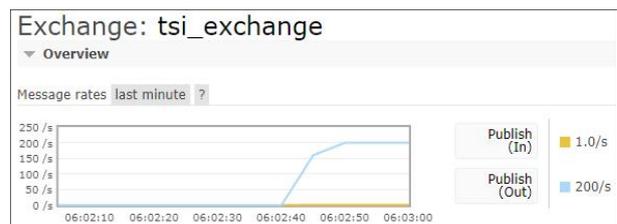


Fig. 17. Test Result - Publish message to Exchange

이러한 상황에서 메시지를 1,000개 발행하고, 하나의 큐에서 메시지를 수신하여 메시지 발행부터 수신까지 걸리는 시간을 확인해 보면 [Fig. 18]과 같이 실시간 제어 기준 시간인 50ms보다 훨씬 작은 평균 5.1ms가 소요되었고, 각 메시지 수신에 대하여 일반 운영 상태(Normal Operation Mode)로 동작 중임을 확인할 수 있다.

```

[x] Sent : 1700341597795 [x] Received 1700341597795 ---Diff : 8 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341598795 [x] Received 1700341598795 ---Diff : 8 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341599797 [x] Received 1700341599797 ---Diff : 8 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341600798 [x] Received 1700341600798 ---Diff : 8 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341601799 [x] Received 1700341601799 ---Diff : 7 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341602800 [x] Received 1700341602800 ---Diff : 7 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341603801 [x] Received 1700341603801 ---Diff : 6 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341604803 [x] Received 1700341604803 ---Diff : 6 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341605803 [x] Received 1700341605803 ---Diff : 8 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341606804 [x] Received 1700341606804 ---Diff : 8 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341607805 [x] Received 1700341607805 ---Diff : 6 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341608806 [x] Received 1700341608806 ---Diff : 7 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341609807 [x] Received 1700341609807 ---Diff : 7 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341610807 [x] Received 1700341610807 ---Diff : 6 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341611808 [x] Received 1700341611808 ---Diff : 7 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341612809 [x] Received 1700341612809 ---Diff : 7 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341613811 [x] Received 1700341613811 ---Diff : 7 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341614812 [x] Received 1700341614812 ---Diff : 6 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341615813 [x] Received 1700341615813 ---Diff : 7 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341616813 [x] Received 1700341616813 ---Diff : 8 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341617814 [x] Received 1700341617814 ---Diff : 9 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341618815 [x] Received 1700341618815 ---Diff : 7 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341619816 [x] Received 1700341619816 ---Diff : 7 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341620817 [x] Received 1700341620817 ---Diff : 8 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341621818 [x] Received 1700341621818 ---Diff : 7 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341622818 [x] Received 1700341622818 ---Diff : 6 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341623819 [x] Received 1700341623819 ---Diff : 7 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341624819 [x] Received 1700341624819 ---Diff : 7 ==> Normal Mode
[x] Sent : 1700341625820 [x] Received 1700341625820 ---Diff : 7 ==> Normal Mode
    
```

Fig. 18. Test Result - Normal Operation Mode

2.2 Fail-safe Operation Mode of i-GW

메시지를 1,000개 발행하고 200개 중 하나의 메시지 큐의 구독을 끊어 데드레터 큐로 이동한 만료 메시지를 수신하여 '장애 안전 운영 상태(Fail-safe Operation Mode)'를 판단하는 것을 확인하였다.

```
[x] Sent : 1700343400303 [x] Received 1700343400303 ---Diff : 53 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343401303 [x] Received 1700343401303 ---Diff : 54 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343402305 [x] Received 1700343402305 ---Diff : 53 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343403306 [x] Received 1700343403306 ---Diff : 52 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343404306 [x] Received 1700343404306 ---Diff : 54 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343405307 [x] Received 1700343405307 ---Diff : 53 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343406308 [x] Received 1700343406308 ---Diff : 51 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343407308 [x] Received 1700343407308 ---Diff : 53 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343408309 [x] Received 1700343408309 ---Diff : 53 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343409310 [x] Received 1700343409310 ---Diff : 52 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343410310 [x] Received 1700343410310 ---Diff : 54 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343411311 [x] Received 1700343411311 ---Diff : 55 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343412311 [x] Received 1700343412311 ---Diff : 55 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343413312 [x] Received 1700343413312 ---Diff : 54 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343414313 [x] Received 1700343414313 ---Diff : 55 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343415315 [x] Received 1700343415315 ---Diff : 53 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343416316 [x] Received 1700343416316 ---Diff : 55 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343417317 [x] Received 1700343417317 ---Diff : 54 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343418318 [x] Received 1700343418318 ---Diff : 53 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343419320 [x] Received 1700343419320 ---Diff : 53 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343420321 [x] Received 1700343420321 ---Diff : 54 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343421322 [x] Received 1700343421322 ---Diff : 52 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343422323 [x] Received 1700343422323 ---Diff : 53 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343423323 [x] Received 1700343423323 ---Diff : 53 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343424324 [x] Received 1700343424324 ---Diff : 53 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343425325 [x] Received 1700343425325 ---Diff : 54 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343426326 [x] Received 1700343426326 ---Diff : 53 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343427327 [x] Received 1700343427327 ---Diff : 53 ==> Fail-safe Mode
[x] Sent : 1700343428328 [x] Received 1700343428328 ---Diff : 52 ==> Fail-safe Mode
```

Fig. 19. Test Result - Fail-safe Operation Mode

[Fig. 19]와 같이 메시지 발행부터 만료 후 수신까지 평균 53.3ms가 소요되었다. 메시지 만료 시간인 50ms를 제외하면 평균 3.3ms 정도가 소요되었기에 현 규격과 지침에서 요구하는 가장 낮은 기준인 75ms 이내에서 통합관제시스템을 통한 데이터 기반 실시간 제어가 가능함을 확인할 수 있다.

V. Conclusions

국민의 생명과 재산을 보호하기 위한 교통안전시설은 ICT 기술의 발전으로 영상을 통한 보행자, 차량 등을 검지하여 이를 안내하고, 블루투스 및 스마트폰에 설치된 앱을 통해 작동하는 등 그 기능은 고도화 되어가고, 사용자 친화적으로 발전하고 있다. 또한 레벨 3에서 레벨 4로 넘어가는 단계인 자율 주행 자동차와 실내를 넘어 실외에서도 운행이 가능한 배달 로봇은 도로 인프라에 기반을 둔 자율 협력주행(Autonomous cooperative driving) 기술이 필요하기에 교통안전시설을 더욱 확산할 필요가 있고, 디지털로의 전환을 통해 미래 교통환경에 대응해야 할 필요가 있다.

본 논문에서는 최신 ICT 기술 동향을 연구하여 물리적, 논리적으로 파편화된 현 교통안전시설의 문제점을 해결할 수 있는 대안으로 교통안전시설 장치 통합관제시스템을 설계하고, 시계열의 특성을 가지는 교통안전시설의 실시간

제어 방안을 메시지 브로커를 통해 구현하여 데이터 기반 실시간 제어가 가능함을 확인하였다.

[Table 8]과 같이 통합관제시스템(IMS)을 기존 교통신호제어기와 비교하여 정리하면, 디지털 교통신호제어기와 같은 허브앤스포크(Hub and Spoke) 구조를 가지지만 통합관제시스템의 주함체는 단독으로 운영이 가능하다는 점이 다르다. 또한 교통신호제어기는 전원공급장치(PSU)를 통해 일부 장치가 전력을 나눠 쓰거나 별도로 전원을 공급해 줘야 하는 구조이지만, 통합관제시스템(IMS)은 PoE 허브 또는 전원단자대(PTU)를 통해 전원을 공급해 주는 구조이기에 장치 수용성과 확장성이 매우 탁월하다.

Table 8. Comparison A-TSC, D-TSC, IMS

Property		A-TSC	D-TSC	IMS
Topology		Star / Bus	Hub and Spoke	Hub and Spoke
Po wer	Supply Unit	1 PSU	1 PSU	Distributed (PoE, PTU)
	Capacity	400W	400W	Scalable (adding PoE)
	Input	AC 110V / 220V	AC 110V / 220V	AC 110V / 220V
	Output	AC 110V / 220V	DC 52V	DC 44.0V ~57.0V
Main Comm.		VMEbus	CAN 2.0 A/B	ETH
Real-time Control Ref. Value		Under 200ms	Under 200ms	Under 50ms
Ext ern al	Comm.	User Defined / RS-485	CAN / ETH / RS-485	ETH
	Speed	38.4Kbps	Max. 1Mbps	over 100Mbps

-PTU : Power Terminal Unit
-ETH : Ethernet

이를 장치의 관점에서 정리하면 [Table 9]과 같이 통합관제시스템은 PoE를 통해 물리적 통일성을 갖고 있고, 모든 장치에 대해 동일한 통신방식과 프로토콜을 사용함으로써 시공을 단순화하고 핵심 서비스 개발에 몰두하게 하며 통합관제를 가능하게 한다.

따라서 통합관제시스템은 유지보수 비용 절감, 직류(DC) 전원화를 통한 에너지 비용 절감, 태양광 같은 친환경 에너지 사용의 도입으로 기후 위기에 대응하며, 빠른 통신 속도와 데이터를 기반으로 더욱 다양한 신규 서비스 개발이 가능한 토대를 마련함으로써 미래 교통환경에 대응하고 대국민 교통안전 향상에 이바지할 것으로 기대된다.

현재 경찰청의 교통안전시설은 -34°C~74°C의 환경에서 정상 동작을 요구하고 있고, 이에 따라 혹한과 혹서 등 실외 노면 환경에서 하드웨어적인 동작 특성과 운영 안정성을 확

Table 9. Comparison A-TSC, D-TSC, IMS from Equipment and Devices

Equipment and Devices	A-TSC		D-TSC		IMS	
	PWR	COMM	PWR	COMM	PWR	COMM
Accessible Pedestrian Signal for Blind People	AC 220V	Sensor	AC 220V	CAN / ETH / Serial	PoE	ETH
Pedestrian Countdown Signal	AC 220V	Sensor / Serial	DC 52V	CAN	PoE	ETH
Pedestrian Push Button	DC 12V	NC / PLC	DC 52V	CAN	PoE	ETH
Auto-Detection Pedestrian Signal	AC 220V	NC / Serial	AC 220V	CAN	PoE	ETH
Audible Pedestrian Signal	AC 220V	Sensor	AC 220V	CAN / ETH / RS-485	PoE	ETH
Floor-type Pedestrian Signal	AC 220V	Serial	AC 220V	CAN / ETH / RS-485	PoE	ETH
Auto-Extension Pedestrian Signal	AC 220V	Serial	AC 220V	ETH / RS-485	PoE	ETH

-Sensor : Magnetic Field Detecting Sensor, -NC : Normally Close, -ETH : Ethernet, -PLC : Power Line Communication

인하기 위해 경찰청, 도로교통공단, 지자체와 시범운영을 협의하고 있다. 시범운영을 통해 운영 안정성이 확인되면 규격화 작업을 통해 현장 보급의 발판을 마련하게 된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by Korea Institute of Police Technology (KIPoT) grant funded by the Korea government(KNPA) (No.092021C26S01000, Development of Transportation Safety Infrastructure Standard and Evaluation Technology for Lv.4 Connected Autonomous Driving)

REFERENCES

- [1] Sejin Ko, Jaekwan Lee, Sangmin Park, Gwang-Yong Gho, Ilsoo Yun, "A Study on the Development of the Digital Traffic Signal Controller", The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 18 No. 6, p. 44, December 2019. DOI: <https://doi.org/10.12815/kits.2019.18.6.43>
- [2] Korean National Police Agency, "Traffic Signal Controller Standard R28", pp. 27-30, May 2023
- [3] Korean National Police Agency, "Traffic Signal Controller Standard R28", pp. 56-57, May 2023
- [4] Korean National Police Agency, "Traffic Signal Controller Standard R28", pp. 86-88, May 2023
- [5] Korean National Police Agency, "Traffic Signal Controller Standard R28", pp. 268-269, May 2023
- [6] Korean National Police Agency, "Traffic Signal Controller Standard R28", pp. 283-284, May 2023
- [7] Min-Sung Kim, Kwang-Yong Ko, Choul-Ki Lee, Jun-Ha Jeong, Nak-Won Heo "Development of a Communication Protocol for a Digital Traffic Signal Controller", The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 12 No. 3, p. 8, June 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.12815/kits.2013.12.3.001>
- [8] Korean National Police Agency, "Traffic Signal Controller Standard R27", p. 141, October 2021
- [9] Migelle, PoE vs PoE+ vs PoE++ Switch: How to Choose?, <https://community.fs.com/article/poe-switch-types.html>
- [10] IBM, What are message brokers?, <https://www.ibm.com/topics/message-brokers>
- [11] Korean National Police Agency, "Traffic Signal Controller Standard R28", pp. 115-116, May 2023
- [12] Korean National Police Agency, "Traffic Signal Controller Standard R28", p. 278, May 2023
- [13] Korean National Police Agency, "LED Traffic Traffic Lights Guideline", pp. 10, April 2022
- [14] Korean National Police Agency, "Floor-Type Pedestrian Signal Guideline", pp. 19, July 2022

Authors



JeongHo Kho received the B.S. and M.S. degrees in Computer Engineering from Hannam University, Korea, in 2007 and 2009, respectively. Mr. Kho joined the Korea Road Traffic Authority, Wonju, Korea, in 2019.

He is interested in ICT convergence signal planing and traffic facility.



Eum Han received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Transportation System Engineering from Ajou University, Korea, in 2012, 2014 and 2017, respectively. Dr. Han joined the Korea Road Traffic Authority, Wonju, Korea,

in 2017. He is interested in signal planing and traffic facility and micro mobility and automated mobility.