

실시간 감시를 통한 교통신호제어기의 열화 감지*

김은영 · 장중순 · 오봉식 · 박상철†

아주대학교 산업공학과

Detection of Deterioration of Traffic Signal Controller Through Real-Time Monitoring*

Eun Y. Kim · Joong S. Jang · Bong S. Oh · Sang C. Park†

Department of Industrial Engineering, Ajou University

Purpose: A traffic signal controller needs to control and coordinate to ensure that traffic and pedestrians move as smoothly as possible. Since a traffic signal controller has a significant impact on the safety of vehicles and pedestrians, it is important to monitor the failure and deterioration of the traffic signal controller. The purpose of this paper is to propose an IoT (Internet of Things)-based monitoring system for a traffic signal controller.

Methods: Every traffic signal controller has a nominal system trajectory specified when it is deployed. The proposed IoT-based monitoring system collects the system trajectory information through real-time monitoring. By comparing the nominal system trajectory and the monitored system trajectory, we are able to detect the failure and deterioration of the traffic signal controller.

Conclusion: The proposed IoT-based monitoring system can contribute to the safety of vehicles and pedestrians by maximizing the availability of a traffic signal controller.

Keywords: IoT-Based Monitoring System, Traffic Signal Controller, Trajectory Comparison

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

교통신호제어기(Traffic Signal Control System)는 검지기를 통해 실시간 교통 정보들을 수집하고 신호등을 통해 교통의 흐름을 제어하는 역할을 한다. 교통신호제어기는 교차로에서 서로 다른 흐름의 차량들을 제어하고 도로의 차량들과 도로를 건너려는 보행자를 제어하는 역할을 하기 때문에 교통사고와도 밀접한 관련이 있

다. 차량 수가 많고 도로가 좁아 교통정체가 심한 우리나라의 경우, 교통신호제어기의 역할이 더욱 크다. 교통신호제어시스템의 발전과 변화로 자동차의 정지와 지체가 감소됨에 따라 연료소모량과 배기가스가 감소하는 효율성 측면과 사고수를 줄이는 교통안전 측면의 긍정적인 효과가 있었다[1]. 또한 교통문제의 해결을 위해 ITS(Intelligent Transport System)에서 필요한 영상정보의 획득과 교통신호제어를 함께 운영하기 위한 통합형 교통신호제어기 관련 연구들이 수행되고 있으며[2], 무선통신 네트워크를 사용하여 교통을 제어하는 연구도

* 본 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업(18CTAP-C129828-02)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

† 교신저자 scpark@ajou.ac.kr

2018년 4월 30일 접수, 2018년 6월 11일 수정본 접수, 2018년 6월 12일 게재 확정.

진행되고 있다[3]. 교통상황을 파악하여 교통신호의 우선순위를 분석하고 그에 알맞은 교통신호를 제공하는 제어방법을 통해 교통의 흐름을 원활하게 하려는 등의 연구도 활발히 진행되고 있다[4-5].

교통신호제어기는 신호등을 제어하기 위한 CPU 보드와 중앙서버와의 통신을 위한 통신 장치, 검지기보드 등 많은 전자부품들을 포함하고 있다. 교통신호제어기는 온도 습도 진동이 비교적 일정한 실내와 달리 환경 조건의 변동이 큰 실외에 위치하기 때문에 환경 조건에 영향을 받는 전자부품에 의한 고장을 야기할 수 있으며 이것은 교통신호제어기 전체에 큰 영향을 미친다[6]. 교통신호 제어기의 갑작스런 고장은 교통사고와 같은 교통 안전에 치명적인 영향을 끼치기 때문에 사전에 고장을 관리하는 고장예지 및 건전성 관리 기술(Prognostics and Health Management)의 도입이 필수적이다[7].

PHM이란 결함이나 성능저하 등 건전성을 지속해서 관찰하고, 이상 징후를 진단하여 언제 고장이 날 것인지 예상수명을 예측하고, 정비가 필요할 경우 조치를 하는 건전성관리기술이다[8]. PHM을 통해 지속적으로 관찰하고 신뢰성있는 정보를 가지고 필요한 경우에만 정비를 하므로 고장은 최소화할 수 있고, 유지비용은 크게 절감할 수 있는 장점이 있다[9]. PHM은 자동차, 항공우주, 중장비 등 높은 신뢰성과 안전성이 요구되는 산업에서 활발하게 사용되고 있으며, 환경 및 동작 조건을 고려하여 시스템으로부터 측정된 데이터를 기반으로 잔존 수명을 예측하는 것이 핵심이다[10].

전기 자동차분야에서는 많은 업체들이 기존 자동차 시스템에서는 발생되지 않았던 안전성 신뢰성 문제를 해결하기 위해 PHM을 개발하고 연구하고 있다. 장준순과 장준순·김기태[11]는 현재 자동차부품연구원과 미국의 MTS Technology 등 많은 기관과 업체에서 PHM을 적용한 시스템을 개발하고 관련된 특허를 출원하는 사례를 소개하며, 하이브리드, 전기 자동차가 개발되고 상용화되며 그와 관련된 부품들을 PHM을 이용하여 모니터링 하는 것의 중요성을 언급하였다. 기존의 신뢰성 예측 방법에서 각 부품의 고장률은 수십 년간 고장 이력을 바탕으로 정의되기 때문에 동일한 부품에 대해서는 환경을 고려하지 않고 동일하게 수명을 예측한다. 따라서 다른 환경의 동일한 차량 시스템에 대한 수명을 각각 예측할 수 없는 반면 PHM은 주행 중 발생하는 부하나 동작 등 각 차량에 따른 정보를 바탕으로 수명을 예측하기 때문에 정확하며 환경이 다른 각

차량 시스템의 수명을 예측할 수 있다는 장점이 있다.

최근 제조업은 정보통신기술과 결합하여 4차 산업혁명을 이루려는 준비 중에 있다. IoT 기술과 같은 정보통신기술을 이용한 생산기술들과 생산품간의 통신을 통해, 스스로 생산하고 공정상황을 분석하여 문제를 해결하고 통제하는 등 고도화된 자동화를 이루고자 하는 것이다. 이수학·윤병동[12]은 이러한 제조업의 변화가 지능화된 생산 시스템으로의 발전을 일으키지만, 그에 따른 불확실성과 복잡도는 증가할 것이며, 신뢰성 높은 장비와 시스템뿐 아니라 장비의 유지보수 전략이 중요하고, 스마트 공장의 유지보수 전략으로 센서를 이용하여 장비나 기계시스템의 상태를 모니터링하여 고장의 징후를 포착하는 PHM을 이용할 것을 제시하였다. 또한 PHM을 활용하여 고장예지와 잔여수명을 예측할 경우, 작업자의 접근이 어려운 영역에서의 사고나 고장등을 예방하고 신속한 대응이 가능하다는 장점이 있다. 또한 기계의 유지보수비용보다도 치명적일 수 있는 수리기간 동안 제품 생산이 중단되어 발생하는 기회비용의 손실을 막을 수 있다.

이원규[13]는 함부르크의 SmartRODA, 바르셀로나의 Smart Parking, 싱가포르의 IIT 시스템 등 교통부문에서 IoT를 사용한 사례들을 이야기하며 IoT를 활용한 스마트교차로와 버스 우선 신호 등을 적용하여 하단교차로의 교통 혼잡을 해소하는 연구를 진행하였다[13].

오암석[14]도 ICT 기술을 이용하여 생산 물류, 서비스를 통합적으로 관리하는 스마트팩토리의 중요성을 이야기하며, 블루투스 비콘을 이용한 스마트팩토리 물류관리 시스템을 제안하였다. 실시간 통신을 통해 물류과정과 제품의 보관위치 추적이 가능하고 통신기와 수신 단말기 등을 설치하는 것으로 시스템의 적용이 가능하여 도입이 용이하다는 것이 제안한 시스템의 장점이다[14].

PHM은 4차 산업혁명과 함께 발전하고 있는 Real-Time Technology의 일부로서 안전 신뢰성 획득을 위한 방법으로 여러 분야에 적용되고 있으며 교통 혼잡을 해소하기 위한 교통신호제어기와 관련된 여러 연구들이 진행되고 있지만, 교통신호제어기의 부품 신뢰성을 위한 실시간 모니터링과 관련된 연구는 아직 수행된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 전국의 국도상에 있는 교통신호제어기들을 관리하기 위한 시간과 인력을 줄이고 효과적인 교통신호제어기의 고장관리와 유지보수를 위한 방법으로 IoT 기반 Monitoring System을 제안하고자 한다.

2. IoT 기반 Monitoring System

2.1 연구의 내용 및 방법

IoT(Internet Of Thing)는 여러 사물간의 통신이 가능하도록 센서와 통신기능을 내장하여 인터넷으로 서로 통신할 수 있도록 하는 기술들을 이야기한다 인터넷에 연결된 사물들은 자신이 가진 정보들을 주고받으며 분석하여 제품 스스로 동작하는 것이 가능하다. IoT 기술은 현대산업이 발전해감에 함께 발전되고 있으며 특히 제품주기가 짧아짐에 따라 생산 장비 및 시스템의 복잡성이 증가하고, 사람과 장비와 같은 엔티티들의 상호작용이 중요한 제조업의 경우, IoT 기술과 산업이 융합되어 긍정적인 결과들을 만들고 있다[15].

열화란 부품들의 물리, 화학적 성질이 저하되는 것

을 의미하며, 넓은 의미에서 기능 상실이나 고장에 이르는 과정을 이야기한다. 교통신호제어기는 내부에 많은 전자부품들을 포함하고 있기 때문에 운영조건에 따라 온도, 습도, 염분, 진동, 서지에 의한 부품 열화들이 종합적으로 작용하여 교통신호제어기의 기능을 저하시킨다. 이러한 부품의 열화는 교통신호제어기 전체의 기능 저하 및 고장과도 연관이 있다. 본 연구에서는 교통신호제어기 내부의 열화 각각에 대해 살펴보기보다 각 부품의 열화에 의한 기능저하를 전체 시스템으로서 감지하려고 한다. 교통신호제어기의 상태를 모니터링하기 위해 IoT 보드를 통하여 교통신호제어기의 내부 정보들을 전송하고, PC에서는 교통신호제어기의 데이터를 저장하여 분석하여 교통신호제어기의 열화를 감지하려고 한다.

Table 1 Part of intersection situation information data of traffic signal controller

DATA		(Traffic signal state information when basic information is provided)	
#			Remark
1	7	Power FAIL State	0: Normal, 1: Power FAIL
	6	MCU and SCU Communication State	0: Normal, 1: FAIL
	5	Lighting control State	0: Normal, 1: Controlling Dimming
	4	RING operation System	0: SINGLE-RING, 1: DUAL-RING
	3	BANK Number	0: BANK 1 & 2, 1: BANK 3 & 4
	2 : 0	Traffic Signal Operating Mode	0: SCU Fixed Cycle Mode 1: Non-responsive OFFLINE Control Mode 2: Responsive OFFLINE Control Mode 4: Responsive ONLINE Control Mode 5: Non-responsive ONLINE Control Mode
2	7~5	RING A PHASE	0~7
	4~0	RING A STEP	0~31
3	7~5	RING B PHASE	0~7
	4~0	RING B STEP	0~31
4	7	POLICE PANEL Manual Progression S/W State	1: ON, 0: OFF
	6	POLICE PANEL Manual S/W State	1: ON, 0: OFF
	5	POLICE PANEL Flashing S/W State	1: ON, 0: OFF
	4	POLICE PANEL Lights Out S/W State	1: ON, 0: OFF
	3	Conflict State	1: Conflict, 0: Normal,
	2	Lights Out State	1: Lights Out, 0: Normal,
	1	Flashing State	1: Flashing, 0: Normal,
	0	DATABASE State	1: Abnormal, 0: Normal,
5	7~4	Cause of Flashing	1: Power ON FLASH 2: NORMAL FLASH 3: POLICE PANEL S/W FLASH 4: CONFLICT FLASH 5: DB ERROR FLASH 6: Lights Out(On/Off) FLASH

교통신호제어기는 정해진 현시에 따라 신호등을 제어하는 역할을 한다. 현시 구성 체계에는 신호등이 각 방향별로 점등되는 순서를 지정하는 링(Ring)이라는 개념이 있는데 단일링(Sigle Ring)은 하나의 순서체계를 가지고 신호등 점등 방법을 지정하며 이중링(Dual Ring)은 두 개의 순서체계를 각각의 링에 지정한 것이다. 링은 어느 방향의 신호등이 점등될 것인지를 나타내는 현시로 이루어져 있으며 각 현시는 신호등의 색과 초를 결정하는 스텝으로 이루어져 있고 현시 사이를 나눠주는 배리어가 존재한다. 현시가 어떻게 이루어질 것인지에 대한 스텝과 시간정보가 포함되어있는 것을 시그널 맵이라고 하고 교통신호제어기는 미리 다운로드 받은 시그널 맵을 이용하여 현시를 운영한다.

교통신호제어기는 교통신호제어기의 통신 프로토콜에 따라 현시 진행 동작이 이루어질 때마다 교차로 상황정보를 자동으로 센터에 전송하게 되어있다. 주기 시작 첫 현시 진입 때에도, 교차로 상황정보를 전송 후 연속하여 현시운영정보과 검지기 정보를 센터로 전송한다. 따라서 별도의 요청이나 Input 없이도 현시가 진행되는 시간에 따라 IoT 보드는 지속적으로 교통신호제어기 내부의 정보를 전송하게 된다. 교통신호제어기 내부의 데이터 중 교차로 상황정보 데이터의 일부는 <Table 1>과 같다. <Table 1>의 Power fail state, MCU and SCU Communication state, conflict state, Light Out state, Flashing state 등과 같은 정보들은 제어기의 고장과 직접적인 연관이 있는 데이터라 할 수 있다. 이러한 고장과 직접적인 연관이 있는 데이터들을 통해 일차적으로 이미 발생한 교통신호제어기의 고장을 분석하고, 이차적으로 IoT 보드의 지속적인 통신을 통해 교통신호제어기의 정보가 전달되는 통신시간을

구하여 교통신호제어기의 열화를 감지하고자 한다.

2.2 IoT 기반 Monitoring System

본 연구에서 제안하는 IoT 기반 Monitoring System의 물리적인 구조는 교통신호제어기 내부의 데이터를 전송하기 위한 IoT 보드와 통신을 받고 데이터를 저장할 PC, 교통신호제어기의 상태를 전달받을 Main Center 3가지로 이루어져있으며 <Fig. 1>과 같다. 또한 Monitoring System의 기능적인 구조는 크게 교통신호제어기의 데이터를 전송받아 DB에 저장하는 통신부분과 교통신호제어기의 고장 및 열화를 감지하는 부분으로 나눌 수 있다.

통신부분에서는 Byte 단위로 전송된 데이터들을 교통신호제어기의 표준 통신프로토콜에 따라 데이터를 재가공하고 전송된 시간 등과 같은 추가 정보를 덧붙여 DB에 저장하도록 한다. 고장 및 열화 감지부분에서는 우선적으로 교차로 제어정보에서 고장과 연관되어 있는 데이터를 분석하여 현재 교차로의 상태 이상을 감지한다. 이후 교통신호제어기에서 데이터를 전송하는 시간주기를 통해 교통신호제어기의 열화를 감지한다.

교통신호제어기의 부품에 열화가 발생하면 교통신호제어기의 통신부분에도 영향이 미친다. 따라서 IoT 보드를 통한 데이터의 전송도 느려질 수 있다. 이러한 점을 이용하여 DB에 저장되어있는 통신데이터의 전송시간을 현시주기와 비교해서 늦어지게 되면 열화의 가능성이 있다고 판단하여 Main Center에 경고를 주게 된다. 통신데이터의 전송시간과 현시주기를 비교하는 로직은 다음과 같다.

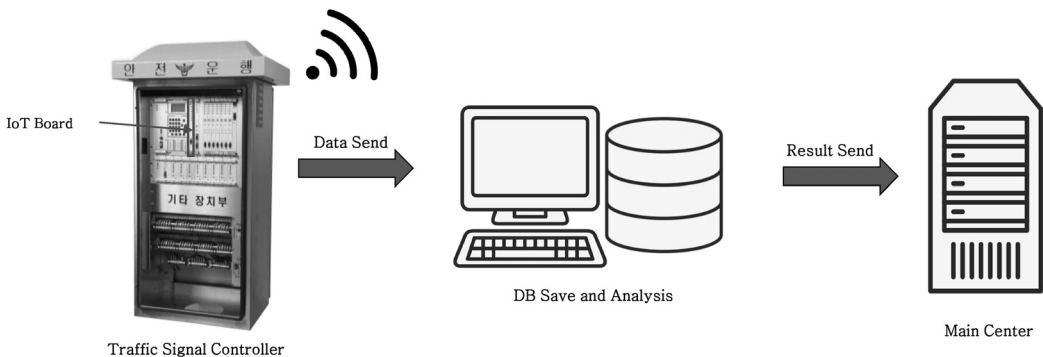


Fig. 1 Physical structure of monitoring system

우선 교통신호제어기의 시그널 맵과 일일자료를 통해 현시주기 및 시간정보를 파악한다 현시정보를 바탕으로 각 현시의 지정된 운영시간을 기준으로 설정하고, 현시가 바뀔 때 전송되는 교차로 상황정보 데이터간의 전송시간의 차이를 현시 운영시간 기준과 비교하여 통신의 지체시간을 구한다. 통신의 지체시간이 특정치 이상일 경우, 경고와 함께 지체하여 전송된 교차로 상황정보를 Main Center로 보낸다.

2.3 Monitoring System 구현

앞서 제안한 교통신호제어기의 이상 및 열화를 감지하기 위한 Monitoring System을 구현하기 위해 교통신호제어기의 시제품과 IoT 보드, PC가 사용되었다. 또한 PC에서 교통신호제어기의 데이터를 저장할 DB는 데이터 객체들이 컬렉션 내부의 독립된 문서로

저장되는 NoSQL 기반의 mongoDB를 사용하고, IoT 보드와 mongoDB, 교통신호제어기의 이상이나 열화가 감지되었을 때 통신하게 될 Main Center를 연결하는 프로그램은 Visual Studio의 C#을 기반으로 하여 개발하였다.

본 연구에서 제안한 프로그램에서 사용한 교통신호제어기의 시그널 맵은 4현시 단일링으로 이루어진 현시구성을 가지고 있으며 보행자신호는 고려하지 않고, 교통신호제어기의 시그널 맵과 현시일일자료는 엑셀파일을 통해 프로그램에 입력받는 것으로 가정하였으며 개발에 쓰인 교통신호제어기의 현재 시그널 맵과 현시 일일자료는 <Fig. 2>와 <Fig. 3>과 같다.

교통신호제어기의 시그널 맵은 교차로의 현시를 지정하여 어떤 순서와 시간, 어떤 신호등에 어느 색의 불을 켜야 하는지를 지정해준다. <Fig. 2>를 보면 엑셀과 같은 형식으로 되어있으며 위쪽의 LSU1, LSU2,

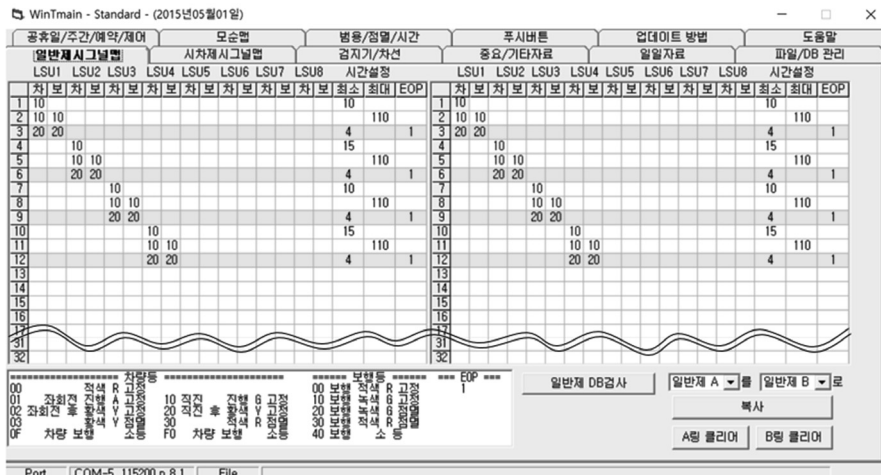


Fig. 2 Signal map of traffic signal controller



Fig. 3 Day plan of traffic signal controller

LSU3, LSU4는 각각 북, 동, 남, 서에 있는 신호등을 제어하는 등기구동장치(Load Switch Unit)를 뜻하고 ‘차’와 ‘보’는 각각 차량등과 보행자등을 뜻한다. 왼쪽의 숫자는 현시의 Step을 의미하며 현시를 입력한 후 현시 Phase의 끝을 의미하는 황색등이 켜질 때 EOP(End of Phase)에 1을 입력하여 현시의 끝을 알려준다. 또한 시그널 맵이 2개로 구성되어있는 것은 이중링일 경우를 대비하여 A링과 B링의 시그널 맵을 위한 것으로 <Fig. 2>의 시그널 맵은 4현시 Phase로 되어있으며 A링과 B링의 현시가 같은 단일링의 시그널 맵이다 <Fig. 2> 시그널 맵의 ‘10’은 녹색등을, ‘20’은 황색등을 의미하며 최소에 적힌 시간(초) 동안 등의 색을 유지한다. 각 Phase의 시간은<Fig. 3>의 Day Plan을 통해 알 수 있으며 시그널 맵과 Day Plan을 통해 Phase의 최대시간이 결정된다. 예를 들어, Phase 1의 유지시간은 20으로 지정되어있지만, 시그널 맵의 Phase 1 최소에 적힌 녹색등 10초와 황색등 4초를 더하면 14초로 6초의 시간이 비게 된다. 이때 최대는 버퍼와 같은 역할을 하며, 부족한 6초의 시간은 최대에 적힌 110초를 사용하게 된다. 따라서 최소시간의 합이 Day Plan의 현시 시간보다 작게 지정될 수 없다. 이와 같은 구조로 교통신호제어기의 현시가 작동하게 된다

교통신호제어기와의 통신은C#에 제공되는 소켓통신 라이브러리와 MongoDB 라이브러리를 이용하여 교통신호제어기의 UDP 통신데이터를 전송받고 MongoDB에 접속하여 데이터를 입력하였고 이를 처리해주는 것은 TCS Connector이다. TCS Connector는 교통신호제어기로부터 교차로 상황정보를 전송받고, 전송받은 데이터를 분석하여 현재 진행되고 있는 현시번호와 전송받은 시간을DB에 저장한다. 또한 진행되던 현시번호가 바뀌면 이를 교통신호제어기의 이상 및 열화 감지를 위한 TCS Monitor에 알려주어 이상감지와 현시시간을 통한 열화감지를 하도록 한다.

TCS Connector가 교통신호제어기로부터 통신신호를 받게 되면 TCS Monitor가 자동으로 생성되고 PC의 교통신호제어기 시그널 맵과 현시일일자료를 열어 현시기준정보를 파악한다. 현시기준정보에 따라 진행되어야 하는 현시와 시간들이 차트에 그려지며 이것이 기준이 된다. 통신이 계속해서 이루어짐에 따라 TCS Connector은 데이터들의 전송된 시간을 보여주며 계속해서 통신이 이루어지고 있다는 것을 화면을 통해 보여주고 TCS Monitor은 전송되는 통신데이

터들을 통해 현재 진행되는 현시를 파악하여 현재 상태를 보여준다. TCS Monitor는 교통신호제어기의 이상과 열화를 감지하여 이상이 없는 경우 Main Center로 이상이 없음을 이상이나 열화가 감지될 경우 경고와 이상의 원인을 전송한다. 아래의 Fig.을 통해 개발 후 통신되고 시간이 지남에 따라 각 프로그램이 어떻게 진행되는지를 볼 수 있다.

<Fig. 4>~<Fig. 6>은 각각 Phase1일 때의 TCS Monitoring System, Main Center를 대신하는 통신 프로그램, TCS Connector를 보여주며 TCS Monitoring System은 통신이 들어옴에 따라 Signal을 표시해주어 <Fig. 7>, <Fig. 8>과 같이 진행된다.

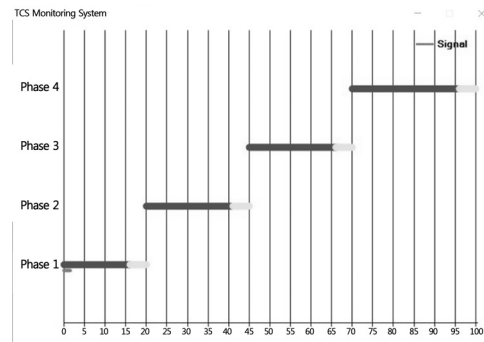


Fig. 4 TCS monitoring system at phase 1

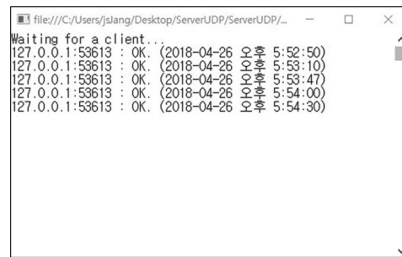


Fig. 5 Main center at phase 1

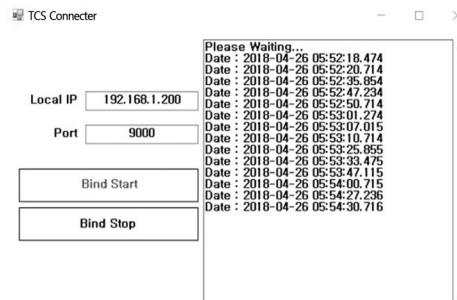


Fig. 6 TCS connector at phase 1

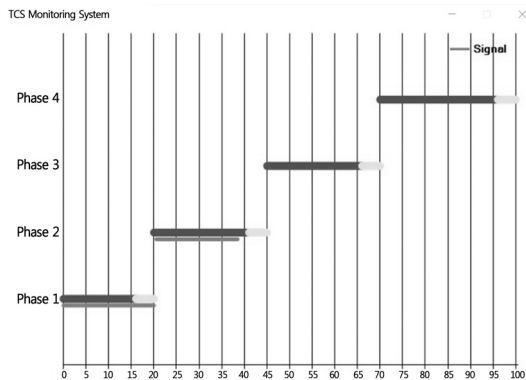


Fig. 7 TCS Monitoring system at phase 2

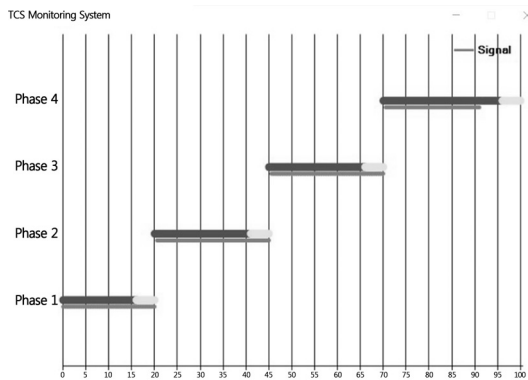


Fig. 8 TCS monitoring system at phase 4

3. 결론

기술이 발전함에 따라 교통신호제어기 또한 발전해왔고, IoT 기술 등을 통해 도로와 차량들과 통신하며 교통의 흐름을 원활하게 해주는 연구들이 활발하게 진행되고 있다. 이에 따라 교통신호제어기에 포함되는 전자부품들의 가지 수와 복잡도도 증가하고 이는 고장에 대한 위험도 증가시킨다. 교통신호제어기의 고장은 교통의 흐름에 큰 영향을 줄 뿐만 아니라 교통사고 발생의 위험을 야기한다. 하지만 현재 국도 상에 있는 교통신호제어기는 일반인의 신고 없이는 고장여부를 알 수 없는 실정이다. 신고를 통해 고장을 발견하여 교통신호제어기 업체가 직접 현장을 찾아가 고장의 원인을 파악하고 수리한다 등이 꺼졌는지, 점멸등인지 등 현재 신호등의 상태에 따라 어떤 부품으로 인한 고장인지를 대략적으로 파악할 수는 있지

만 직접 가서 보기 전에는 어떤 문제로 인한 고장인지 알 수 없다. 본 연구에서 제안한 IoT 기반 Monitoring System은 통신주기를 통해 교통신호제어기 전체 시스템의 열화에 대해 분석하고 교통신호제어기 내부의 데이터를 통해 국도 상에 있는 교통신호제어기의 고장여부를 알 수 있다. 따라서 교통신호제어기의 열화가 감지되었을 때, 미리 유지, 보수하여 교통신호제어기의 고장을 예방할 수 있으며 고장이 났다고 하더라도 빠르게 고장을 발견 및 수리하여 고장에 의한 문제가 발생하는 것을 줄일 수 있다. 추가적으로 교통신호제어기의 열화의 정도를 파악하여 부품들의 잔여 수명을 예측하고 이를 통해 유지, 보수해야 할 시기와 부품을 파악한다면, 교통신호제어기의 유지, 보수비용과 시간 또한 절약할 수 있으며 이후 교통신호제어기의 고장으로 인한 여러 교통문제와 사고 발생을 막을 수 있을 것으로 예상된다.

References

- [1] Song, T. J. (2015). “[News from Overseas Communication Service] Next Generation Adaptive Traffic Signal Control System”. Monthly KOTI Magazine on Transport, Vol. 2015, No. 2, pp. 83-89.
- [2] Kang, D. Y., Lee, C. K., Oh, Y. T., and Lee, H. P. (2008). “The evaluation and application plan of integrated traffic signal controller”. Journal of Korean Society of Transportation, Vol. 2008, No. 3, pp. 455-464.
- [3] Collotta, M., Bello, L. L., and Pau G. (2015). “A novel approach for dynamic traffic lights management based on Wireless Sensor Networks and multiple fuzzy logic controllers”. Expert Systems with Applications, Vol. 42, No. 13, pp. 5403-5415.
- [4] Ahmed, F. and Hawas, Y. E. (2015). “An integrated real-time traffic signal system for transit signal priority, incident detection and congestion management”. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 60, pp. 52-76.
- [5] He, Q., Head, K. L., and Ding, J. (2014). “Multi-modal traffic signal control with priority, signal actuation and coordination”. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 46, pp. 65-82.

- [6] Medjaher, K., Skima, H., and Zerhouni, N. (2014). "Condition assessment and fault prognostics of micro-electromechanical systems". *Microelectronics Reliability*, Vol. 54, No. 1, pp. 143-151.
- [7] Choi, J. H. (2013). "Introduction of Prognostics and Health Management Technology". *Journal of the KSME*, Vol. 53, No. 7, pp. 24-34.
- [8] Compare, M., Bellani, L., and Zio, E. (2017). "Reliability model of a component equipped with PHM capabilities". *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 168, pp. 4-11.
- [9] Choi, J. H. and Kim, H. S. (2017). "Prognostics and Health Management for Battery Remaining Useful Life Prediction Based on Electrochemistry Model: A Tutorial". *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 42, No. 4, pp. 939-949.
- [10] Kim, Y. S. and Jeong, Y. B. (2016). "A Study on Framework of Prognosis and Health Management for Predicting Remaining Useful Life". *The Korean Institute of Plant Engineering*, Vol. 21, No. 4, pp. 73-83.
- [11] Jang, J. S. and Kim, K. T. (2013). "A Case of PHM Technology Application in Hybrid/Electric Vehicle Field". *Journal of the KSME*, Vol. 53, No. 7, pp. 35-39.
- [12] Lee, S. H. and Yun, K. D. (2015). "Industry 4.0 and Direction of Prognostics and Health Management Technology (PHM)". *Journal of KSNVE*, Vol. 25, No. 1, pp. 22-28.
- [13] Lee, W. G. (2016). "IOT-based intersection traffic communication". *BDI Policy Focus*, Vol. 314, pp. 1-12.
- [14] Oh, A. S. (2015). "Smart Factory Logistics Management System Using House Interior Position Tracking Technology Based on Bluetooth Beacon". *Journal of the Korea Institute of Information and Communication*, Vol. 19, No. 11, pp. 2677-2682.
- [15] Lim, J. W., Jo, D. H., Lee, S. Y., Park, H. J., and Park, J. W. (2017). "A Case Study for the Smart Factory Application in the Manufacturing Industry". *Korean Journal of Business Administration*, Vol. 30, No. 9, pp. 1609-1630.