

RF 방식의 무선 제어 기능을 내장한 스마트 도로 표지병 시스템에 대한 연구

김형식*, 전준혁**, 김희준***, 안준선****

A Study on Smart Road Stud System with RF Wireless Control

Hyung-Sik Kim*, Joon-Hyeok Jeon**, Hee-Jun Kim***, Joon-Seon Ahn****

요약 반사형 및 태양광 LED 도로 표지병은 도로 환경에 대한 시인성 확보 방법 중 하나로 사용되고 있다. 도로 표지병은 반사형 과 태양광 LED의 개별 제품으로는 범용성, 효율성, 간편성 및 시인성에 대한 장, 단점이 존재 하나 해당 부분 이외에 사고 후 2차 사고 방지 및 기타 교통 시스템과의 연계를 통한 확장성을 가지기 어렵다는 공통적인 단점을 가지고 있다. 본 논문은 기존 태양광 LED 도로 표지병에 RF 방식의 통신을 사용한 무선 제어 기능을 내장한 도로 표지병과 이를 제어하는 시스템에 대해 제안하였다. 제안된 시스템을 스마트 도로 표지병 시스템이라 하였으며 기존 태양광 LED 도로 표지병에 RF 방식의 통신 기능을 내장하여 중앙 통제실과 연계된 중앙제어장치 및 중계기를 통하여 해당 기기를 제어 할 수 있다. 또한 도로 상태에 따라 점등 방법, 색상 등의 제어가 가능하기 때문에 도로의 상태를 운전자에게 제공하여 사고 후 2차사고 방지에 대한 기능을 수행할 수 있다. 또한 LED 및 RF통신의 지속적인 전력 소모량을 최소화 하는 기능을 추가 하였다. 제안된 시스템의 유효성을 검증하기 위해 시제품을 제작 하였으며 기존의 시인성 확보를 통한 사고 방지 기능 외에 기타 교통 시스템과의 연계에 의한 사고 후 2차사고 방지 기능에 대학 역할이 가능함을 확인 하였다.

Abstract Reflective and solar LED road studs are being used as a way of securing visibility for road environments. Road markers have various advantages and disadvantages in terms of versatility, efficiency, simplicity and visibility as individual products of reflective type and solar LED. However, in addition to the above, it is possible to prevent secondary accident after accident, It has a common drawback that it is difficult to have. In this paper, we propose a road stud system incorporating a wireless control function using RF - based communication with existing solar LED road studs and a system for controlling them. The proposed system is called the smart road stud system and it can control the equipment through the central control unit and the relay unit connected to the central control room by incorporating the RF communication function in the existing solar LED road stud. In addition, since it is possible to control the lighting method, color, etc. according to the road condition, it is possible to provide the driver with the state of the road to perform the function for preventing the second accident after the accident. It also adds features that minimize the ongoing power consumption of LED and RF communications. In order to verify the validity of the proposed system, prototypes were produced and it was confirmed that it is possible to act as a university for prevention of accident after accident by linking with other traffic system besides accident prevention function by securing existing visibility.

Key Words : LED, RF, Road Stud, Solar, System, Wireless Control

*Department of Electronic Systems Engineering, Hanyang University(lhks1@hanyang.ac.kr)

**Corresponding Author : Department of Electronic Systems Engineering, Hanyang University
(Joonhyeok91@hanyang.ac.kr)

Received April 09, 2019

Revised April 30, 2019

Accepted May 02, 2019

1. 서론

인구 고령화에 따른 운전자의 고령화 또한 증가하고 있으며 이에 따라서 야간 및 우천 시 등 시인성이 확보 되지 않은 악조건의 도로 환경 상태에서 사고 방지 및 사고 후 2차사고 방지를 위한 시스템이 매우 중요한 사안으로 대두 되고 있다[1][2][3].

도로 표지병은 도로 환경에 대한 시인성 확보에 따른 사고 방지 예방 장치중 한 방법으로 도로에 설치된 노면 표지를 보완 하기 위하여 도로 표면에 설치 하는 시설물이며 미국 FHWA에 의하면 도로 표지병 적용시 직선부 도로에서 30% 곡선부에서 46%의 사고를 감소시킨다고 제시한다[1][2][3][4].

그림 1은 도로 표지병의 종류를 나타내었다. 그림 1(a)와 같이 반사판을 사용한 반사형 표지병과 그림 1(b)와 같이 태양전지, 배터리, LED로 구성된 태양광 LED 표지병이 많이 사용되고 있다 [2][5][6][7].

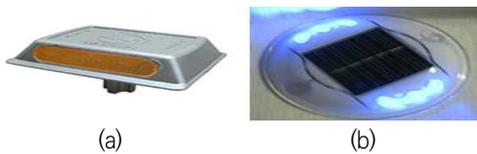


그림 1. 도로 표지병 종류
Fig. 1. Road Stud Type

반사형 표지병은 범용성, 효율성, 간편성 및 저렴한 가격에 주야간 시인성 확보를 통한 사고 방지 예방에 장점이 있지만 우천 시 도로의 시인성 저하에 따른 사고 방지 기능 저하 및 파손시 탈락한 부품이 교통 사고의 한 원인으로 작용한다[6]. 또한 최근 산업계의 IT화에 맞물려 교통량 예측 시스템, 사고 발생 시 사고 발생 자동 알림 시스템을 갖춘 지능형 교통 시스템으로의 연계를 통한 사고 방지 기능을 가지기 위해선 유선 또는 무선 형태의 통신 모듈이 결합 되어야 하지만 다른 기능에 대한 확장성이 어렵다는 단점을 지니고 있다.[7][8][9]

태양광 LED 표지병은 별도의 전원 공급선이 없이 야간 및 우천 시 LED 발광을 통한 시인성 확보가 가능하다는 장점이 있지만 개별 형태의 제품에서는 유선 또는 무선형태의 통신 모듈 결합에 따른 기타

기능에 대한 확장성, LED 밝기, 통신시 사용하는 지속 적인 전력 소모에 따른 배터리 사용 주기 및 수명 저하에 대한 단점을 가지고 있다[2][7][8][9][10].

본 논문은 기존 태양광 LED 표지병에 RF 방식의 통신을 사용한 무선 제어 기능을 내장한 도로 표지병과 이를 제어하는 시스템에 대해서 제안하였다.

제안된 시스템을 스마트 도로 표지병 시스템이라 하였으며 중앙 통제실과 연동된 중앙제어장치 및 중계를 통하여 RF 방식의 통신 기능을 내장한 도로 표지병을 제어 할 수 있도록 설계하였다. 또한 도로의 상태에 따른 점등 방법, 색상 등의 제어가 가능하기 때문에 시인성 확보 이외의 정체, 사고 발생 등 다양한 도로 상태의 상황을 표시하고 다른 교통 시스템과의 연동을 통한 사고 후 2차사고 방지에 대한 기능을 할 수 있다. 또한 제어를 통하여 LED 및 RF 통신에 따른 전력 소모량을 최소화 하는 기능을 추가 하였다. 제안된 시스템의 시제품을 통해서 기존의 시인성 확보 기능 외에 사고 후 2차사고 방지 시스템으로서의 기능에 대한 역할이 가능함을 확인 하였다.

2. 시스템 구성 및 동작 원리

그림 2는 제안된 스마트 도로 표지병 시스템의 기본 구성을 나타내었으며, 그림 3은 실제 도로에 설치되는 기본 형태를 나타내었다.

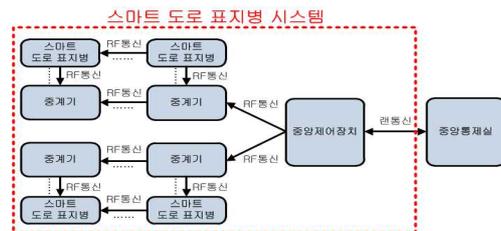


그림 2. 제안된 시스템의 기본 구성
Fig. 2. Basic configuration of proposed system

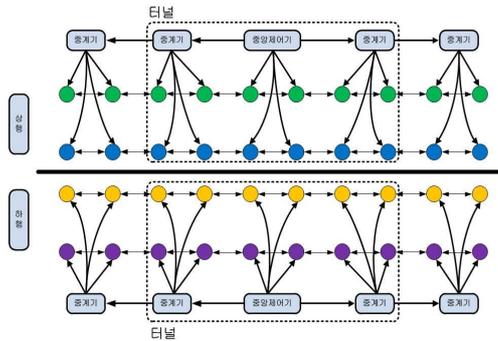


그림 3. 제안된 시스템의 기본 구성
Fig. 3. Basic configuration of proposed system

제안된 시스템은 중앙 제어장치, 중계기, 스마트 도로 표지병으로 구성되어있다.

중앙 제어장치는 전원 공사 및 설치가 비교적 용이한 터널 내부에 설치되며 랜 통신을 통해서 통제실과 송수신 하며 제어 데이터 신호를 중계기와 스마트 도로 표지병에 데이터를 송신하는 역할을 한다. 중계기는 중앙 제어장치의 데이터를 송신 받아 인접한 다른 중계기 및 스마트 도로 표지병으로 데이터를 전송한다. 스마트 도로 표지병은 태양광을 사용한 배터리 충전 Type과, DC 24V 유선을 사용한 배터리 충전 Type으로 나누어지며 중앙제어장치 또는 중계기의 데이터를 받아 지령 받은 상태를 LED 발광으로 표시 및 인접한 다른 표지병으로 데이터를 전송하는 역할을 한다.

2.1 중앙 제어 장치

그림 4에 중앙 제어 장치 및 중계기의 구성을 나타내었다.

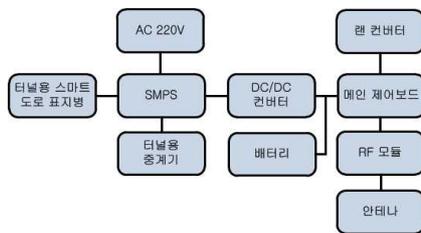


그림 4. 중앙 제어장치 구성도
Fig. 4. Configuration diagram of Central control unit

중앙 제어 장치는 AC 220V를 주전원으로 사용하며 SMPS, 랜 컨버터, 메인 제어보드, 배터리, RF 통신 모듈, 안테나로 이루어져 있다. 터널 내부 AC 220V 전원을 SMPS를 사용하여 DC 24V 전원으로 변환 후 터널용 중계기, 터널용 스마트 도로 표지병 메인 제어보드, RF 통신 모듈 및 보조배터리 공급 전원으로 사용된다. 랜 컨버터는 중앙 통제실에서 중앙제어장치로 연결된 랜 통신 신호를 RS232 통신 신호로 변환해 주는 역할을 하며, 메인 제어 보드는 중앙 통제실의 스마트 도로 표지병의 색상제어, 점멸 등의 다양한 지령을 제어하는 역할을 한다. RF 모듈 및 안테나는 메인 제어 보드에서 보내는 신호를 RF 신호로 변환하여 중계기 및 스마트 도로 표지병으로 신호를 전송하는 역할을 한다.

2.2 중계기

그림 5에 중계기의 구성을 나타내었다.

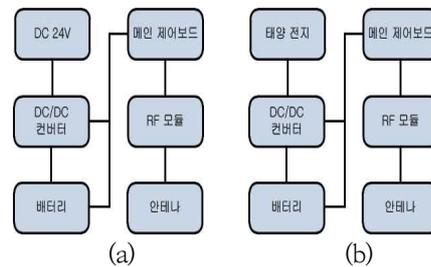


그림 5. 중계기 구성도
Fig. 5. Configuration diagram of Repeater

중계기는 터널 내부에 설치되는 터널형 타입과 터널 외부에 설치되는 외부형 타입으로 나뉘어진다. 터널형 타입은 중앙 제어 장치의 SMPS에서에서 상시 공급되는 DC 24V를 입력전압으로 받는다. 배터리 전원은 정전이나 재해들에 의한 사고로 인해 일시적으로 전원 공급이 어려울 경우 메인 제어 보드에 전원을 공급 한다. 외부형 타입은 낮에는 태양광 발전 전원으로 메인 제어보드 및 배터리 충전을 하며 밤에는 배터리 전원을 사용하여 메인 제어보드에 전원을 공급 한다. 메인 제어보드는 중앙 제어 장치로부터 송신 받은 데이터를 다른 중계기 및 스마트 도로 표지병으로 재전송하는 기능을 가지고 있으며 RF 모

둘 및 안테나는 송수신 할 RF 신호를 변환 하여 다른 중계기 또는 스마트 도로 표지병 으로 재전송 하는 역할을 한다.

2.3 스마트 도로 표지병

그림 6에 스마트 도로 표지병의 구성 도를 나타 내었다.

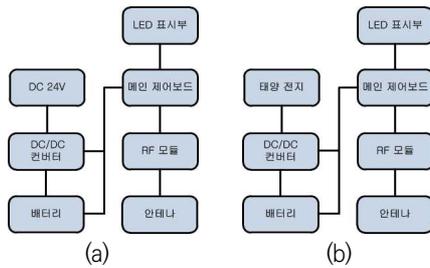


그림 6. 스마트 도로 표지병 구성도
Fig. 6. Configuration diagram of Smart Road Stud

스마트 도로 표지병은 터널 내부에 설치되는 터널형 타입과 터널 외부에 설치되는 외부형 타입으로 나누어진다. 터널형 타입은 중계기와 같이 중앙 제어 장치의 SMPS에서 상시 공급 되는 DC 24V를 입력 전압을 사용하여 메인 제어보드 및 LED 표시부에 전원을 공급한다. 외부형 타입은 낮에는 태양광 발전 전원으로 메인 제어보드 및 배터리 충전을 하며 밤에는 배터리 전원을 사용하여 메인 제어보드 및 LED 표시부에 전원을 공급 한다. 메인 제어보드는 중앙 제어 장치 또는 중계기로부터 송신 받은 데이터 를 다른 스마트 도로 표지병으로 LED 재전송하는 기능을 가지고 있으며 RF 모듈 및 안테나는 송수신 할 RF 신호를 변환 하여 다른 스마트 도로 표지병 으로 재전송 하는 역할을 한다.

2.4 동작 원리

그림 7은 스마트 도로 표지병 시스템의 동작 순서를 나타내었다.

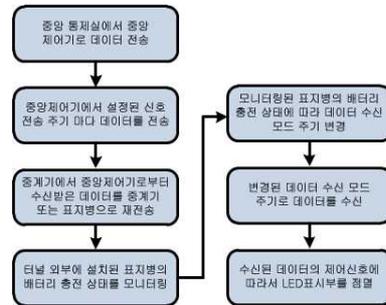


그림 7. 스마트 도로 표지병 동작 순서
Fig. 7. Configuration diagram of Smart Road Stud

중앙 통제실에서 데이터를 전송하는 것을 시작으로 하여 중앙 제어기 및 중계기를 통하여 도로 표지병의 LED 표시 부까지 기본 적인 동작 순서를 나타 내었으며 터널을 기점으로 내부와 외부의 시스템 제어 방법이 나누어진다.

그림 8은 터널 내부와 외부의 도로 표지병 시스템 제어 방법을 나타내었다.

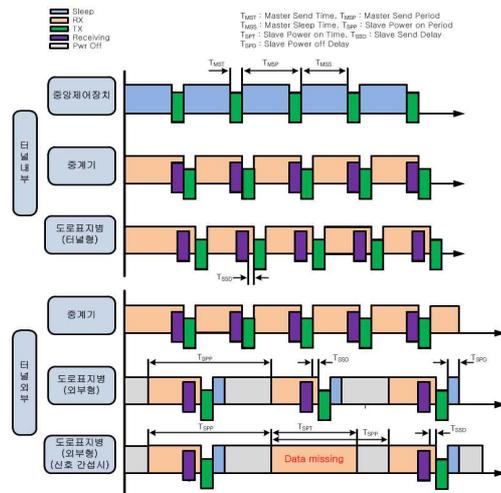


그림 8. 터널 내부와 외부의 스마트 도로 표지병 시스템 제어 방법
Fig. 8. Smart road stud system control method internal and external tunnel

터널 내부에서 중앙제어기는 그림 8과 같이 신호 전송 주기를 가지고 데이터를 전송 한다. 전체 데이터 전송 주기 T_{MSP} 중 설정되어 있는 T_{MST} 의 시간에

데이터를 전송하고 T_{MSS} 시간은 Sleep모드로 들어간다. 증계기 및 터널형 도로 표지병은 중앙 제어기와 유사한 동작을 한다. 증계기는 중앙제어기가 데이터를 전송 하는 T_{MST} 시간에 신호를 Receiving받은 후 해당 데이터를 다른 증계기 및 도로 표지병으로 재 전송 하며, 터널형 도로 표지병은 신호를 받는 동안 딜레이 타임 T_{SSD} 가 있다는 점이 이외에 같은 동작을 한다.

터널 외부에서 증계기는 터널 내부와 같은 동작을 한다. 외부형 도로 표지병은 도로 표면에서 태양광 발전을 해야 하기 때문에 전력 발전량에서 다른 태양광 발전에 비해 발전량이 작다. 때문에 일사량이 적거나 없는 날이 지속 될 경우 전력 소모에 따른 사용 시간이 짧아지기 때문에 제어를 통해서 전력 소모를 최소한으로 하여 사용주기를 증가시키는 방법으로 설계하였다.

첫 번째로 외부형 도로 표지병은 터널형 도로 표지병에 비해서 데이터 전송 주기 T_{SPP} 가 길게 설정되어 있어 데이터를 송수신 하는 동안의 전력소모를 최소한으로 하였으며 두 번째로 데이터 신호를 받고 주변의 다른 도로 표지병으로 신호를 재전송한 후 RF 모듈 전원을 Off하여 전력 소모량을 줄였다. 세 번째로 배터리 충전 전압이 낮아질수록 LED의 밝기를 조절하여 전력 소모량을 낮추었다.

또한 데이터 수신 모드 주기 동안 외부 신호 간섭에 의해서 데이터를 수신에 실패하였을 경우 T_{SPT} 기간 동안 수신 모드 주기를 조절 하여 데이터를 수신하도록 한 후, 해당 데이터 수신 모드 주기를 초기상태로 설정 한다.

3. 시뮬레이션

시스템의 구성에 대한 검증을 위해 시뮬레이션이 가능한 도로 표지병 LED구동부 동작에 대한 PSIM 시뮬레이션을 진행하였으며 그림 9, 그림 10에 시뮬레이션 회로도 및 결과 파형을 나타 내었다. 시뮬레이션 결과 24V입력 전압을 배터리 기준 전압으로 변환 하여 LED구동 시 배터리 전압 레벨에 따라서 LED의 전류가 변화하는 것을 확인 할 수 있었다.

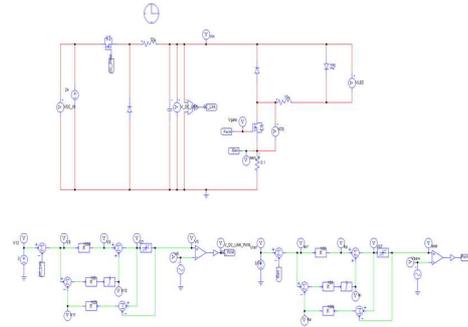


그림 9. LED 구동부 시뮬레이션 모델
Fig 9. Simulation Model of LED Driver

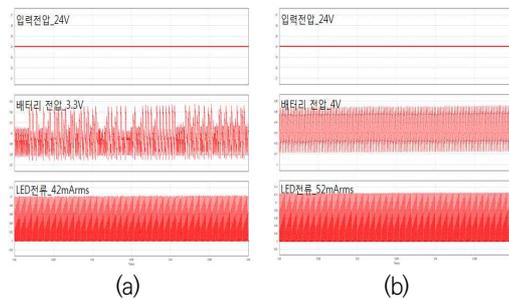


그림 10. LED 구동부 시뮬레이션 결과
Fig 10. Simulation Result of LED Driver

4. 실험 결과

제안된 시스템을 구성하기 위해 프로토타입의 중앙 제어기 및 도로 표지병을 제작 하였으며 주요사항을 표1 및 표2에 정리하였다.

표 1. 제안된 중앙 제어기의 주요사항
Title. 1. The parameter of proposed central controller

Class	Parameter	Unit	Value
SMPS	Rated Power	[W]	220
	Input Voltage	[V _{ACI}]	220
	Output Current	[A]	8
Battery	Rated Voltage	[V]	14.4
	Rated Power	[Ahr]	5.2
RF Module	Input Voltage	[V]	3.3
	Frequency Bandwidth	[MHz]	424

표 2. 제안된 도로 표지병의 주요사항
Title. 2. The parameter of proposed road stud

Class	Parameter	Unit	Value
Solar Cell	Rated Power	[W]	1
	Input Voltage	[V _{DC}]	3 ~ 6
	Output Current	[A]	0.2
Battery	Rated Voltage	[V]	3.6
	Rated Power	[Ahr]	5.2
Road Stud	Rated Current	[A]	0.06
	Power	[W]	0.24
RF Module	Input Voltage	[V]	3.3
	Frequency Bandwidth	[MHz]	424

그림 11과 12는 제작된 중앙 제어기 및 도로 표지병의 시작품의 사진이다.



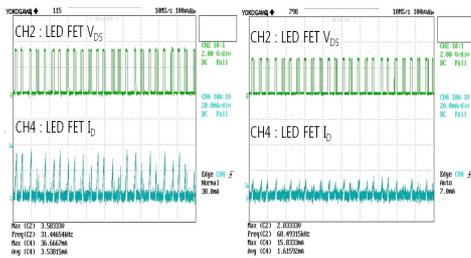
그림 11. 제안된 중앙 제어기 시작품
Fig 11. Proto type of Proposed central controller



그림 12. 도로 표지병 시작품
Fig 12. Proto Type of proposed road stud.

도로 표지병에 사용된 광원은 고휘도 LED광원으로 빨강, 파랑, 초록 등의 색상 변화가 가능하다.

그림 13은 배터리 전압에 따른 LED의 평균 전류를 나타낸 그림이다.



(a)배터리전압 4V (b)배터리 전압 3.3V
그림 13. 배터리 전압에 따른 LED 평균 전류
Fig 13. LED average current with battery voltage

배터리 전압이 최대 4V일 때 LED의 평균 전류는 3.5mA로 측정 되었으며, 최소 3.3V일 때 1.61mA로 측정되었다. 배터리가 방전 하여 전압이 낮아질수록 LED의 평균 전류를 낮춰 밝기를 조절 하여 전력 소모량을 낮추도록 하였다.

그림 14, 그림 15는 터널 내부 및 외부에서 중앙 제어장치 및 스마트 도로 표지병의 통신 주기 파형에 대해서 나타낸 그림이다.

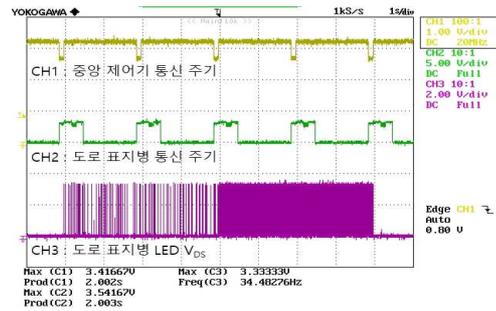


그림 14. 터널 내부 스마트 도로 표지병 시스템 통신 주기

Fig 14. Smart road stud system communication cycle in tunnel inside

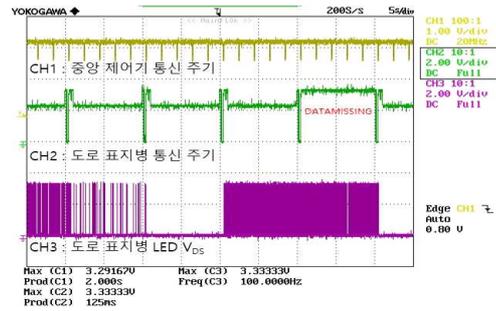


그림 15. 터널 외부 스마트 도로 표지병 시스템 통신 주기

Fig 15. Smart road stud system communication cycle in tunnel outside

그림 14와 그림 15의 중앙 제어 장치의 데이터 전송 주기는 2초로 설정 되어 있으며 2초마다 다른 데이터를 전송한다. 그림 14 터널형 도로 표지병의 데이터 전송 주기는 2초, LED는 4초 주기로 제어한다. 그림 15 외부형 도로 표지병 전송 주기 및 LED는 10초 주기로 제어 한다. 그림 15에서 데이터 수

신에 실패하였을 경우 수신 모드 주기를 조절 하여 데이터를 수신 후, 데이터 수신 모드를 초기상태로 설정 한다.

5. 결론

본 논문에서는 기존의 시인성 확보 기능을 수행하는 태양광 LED 표지병에 RF 방식의 통신을 사용한 무선 제어 기능을 내장한 도로 표지병과 이를 제어하는 시스템에 대해서 제안하고 시작품을 제작하여 제안된 시스템의 성능을 확인하였다.

실험 결과 중앙 통제실의 데이터를 RF통신을 사용하여 최종적으로 LED 도로 표지병의 색상 및 점 등 방법을 제어 할 수 있었으며 이로 인한 2차사고 방지 기능의 가능성을 확인 할 수 있었다. 추후 실제 신호등 또는 기타 교통 제어 시스템과 의 연동을 통하여 해당 시스템에 대한 실효성을 연구할 예정이다.

REFERENCES

[1] K. S Kim, J. S Kim, D. J. Yoo. "LED Cat's Eye System with Ultra Low Power Consumption", The Korean Society Of Automotive Engineers, KSAE AUTUMN CONERENCE & EXHIBITION, pp. 2076-2079, 11, 2010.

[2] K. S. Kim, J. H. Kim. "A Design of the Cat's Eye System with Low Power Consumption Using Solar Energy", Journal of Digital Convergence, Vol.14, No.1, pp. 181-187, 2016.

[3] J. D. Kim. "A Design and Implementation of Smart Cat's Eye for the Visibility of Driver", The Graduate School of Incheon National University, 2, 2017.

[4] K. H. Shin, Y. S. Kim, H. S Kim, J. M. Kim, K. W. Kim, S. B. Song, G. H. Kim. "A Study on the Optical Design of Raised Pavement Maker for Improved Visibility", The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, Proceedings of KIIIE Annual Conference, pp. 145-146, 5, 2013.

[5] Y. J. Heo, S. D. Choi, S. H. Lee. "Development of Smart Markers with

Solar-filled Pattern Recognition", The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Proceedings of The KSMPE Conference, pp. 184-184, 10, 2017.

[6] S. B. Kim, Y. S. Kwon. "A Study on Improvement of the Shape and Performance of Raised Pavement Marker", The Korean Society of Safety, Vol.21, No.6, pp. 82-87, 2006.

[7] H. S. Park. "A Study on the Traffic-Signal Control for The Roadstud using RF", The Graduate School of Hoseo University, 12, 2000.

[8] J. H. Le Roux, A. Barnard and M. J. Booyesen. "Remotely Controllable Wireless Road Stud Network", 16Th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems(ITSC 2013), pp. 762-766, 10, 2013.

[9] S. H. Chai, H. S. Park, J. Y. Kim. "A Study on the Wireless Roadstud Traffic-Signal System", The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences, Vol.28, No.4A, pp. 216-223, 4, 2006.

[10] H. C. JIN, J. H. Lee, S, G, Choi. "Effects of Wireless Controlled In-Pavement Flashing Light System at Pedestrian Crosswalk", The Korean Society for Geospatial Information Science, Journal of the Korean Society for Geo-spatial Information Science, pp. 109-115, 9, 2012.

저자약력

김 형 식 (Hyung-sik Kim)

[정회원]



- 2010년 강원대학교 전기전자공학과 졸업
- 2012년 한양대학교 대학원 전자전기제어계측공학과 졸업(석사)
- 2016년~현재 동 대학원 전자시스템공학과 박사과정

〈관심분야〉 전력전자, 전력변환, 전동기 제어

전 준 혁 (Joon-Hyeok Jeon)

[정회원]



- 2014년 목포해양대학교 전자과 졸업.
- 2017년 한양대학교 대학원 전자 시스템 공학과 수료 (석·박사)
- 2017년 ~ 현재 동 대학원 박사 과정

〈관심분야〉 전력전자, 전력변환

김 희 준 (Hee-jun Kim) [정회원]



- 1976년 한양대 전자 공학과 졸업.
- 1978년 동 대학원 전자 공학과 졸업(석사).
- 1986년 일본 큐슈대 전자공학과 졸업(공학박).
- 1987년 ~ 현재 한양대 전자 공학과 교수.
- 2015년 대한전기학회 회장. IEEE 수석 멤버.

〈관심분야〉 전자회로, 전력전자, 전력변환

안 준 선 (Joon-seon Ahn)

[정회원]



- 1993년 한양대학교 전기공학과 졸업.
- 2006년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박).
- 2008년 ~ 현재 오산대학교 전기과 부교수

〈관심분야〉 전력전자, 전동기제어, 전력변환