

태양광을 이용한 저전력의 LED 표지병 설계

김근식*, 김종훈**

아주자동차대학 자동차계열*, 경동대학교 컴퓨터공학과**

A Design of the Cat's Eye System with Low Power Consumption Using Solar Energy

Keun-Sik Kim*, Jong-Hoon Kim**

School of Automobile Engineering, Ajou Motor College

Department of Computer Engineering, Kyungdong University

요약 도로에 설치된 일반적인 재귀반사형 표지병은 우천시나 안개가 끼는 날씨에서는 야간에 운전자의 시인성에 문제를 초래한다. 반면에 LED 표지병은 이러한 조건에서 운전자에게 시인성을 확대시켜준다. 본 논문에서는 태양광을 이용한 LED 도로 표지병에 대하여 30톤급 차량의 하중량에 견디고 국제방수 IP68 규격을 만족하는 구조 설계 결과를 나타낸다. 또한 태양에너지를 충분히 충전하지 못하는 혹설기 등을 고려하여 저 전력을 소모하는 LED 구동 회로 설계 기법을 제시한다. 본 LED 표지병은 국내는 물론 해외에서 자동차 전용도로와 자전거 도로에 설치되어 운용되고 있다.

주제어 : LED 표지병, 시인성, LED표시등, 도로 표지병, 재귀반사형, 방수규격

Abstract Typical Retro-reflectors installed on road have problems such as limiting a driver's visibility at night when it is foggy or rainy. On the other hand, LED illuminated studs, called cat's eye system, extends a driver's visibility under these conditions. In this paper, we present a design of the LED cat's eye system using solar energy that can sustain vehicles with about 30-ton weight and is compliant with the IP68 code for water proof as IEC standard 60529. In addition, we propose a scheme of designing a LED driving circuit consuming low power to take into accounts cold weather or rainy season with limited sunlight. This LED cat's eye studs is currently installed and used on expressway and bike route nationally as well as overseas.

Key Words : LED Cat's eye, Driver's Visibility, LED Indicator, LED illuminated studs, Retro-reflectors, IP68

1. 서론

고령층의 인구가 증가되고 노령 운전자가 급증하는 추세임에 따라 야간 운전 중 도로에 대한 향상된 시인성

은 매우 중요한 요소로 부각되고 있다[1,2]. 시인성을 높이기 위한 방안으로 도로의 중앙선 혹은 경계선에 자동차 전조등 불빛에 반응하는 재귀반사형 도로표지병이 대부분의 도로에 설치되어 운영되고 있다[3]. 미국 연방도

* 본 논문은 ㈜유비정보기술과 산학협력으로 연구되었음

Received 13 November 2015, Revised 28 December 2015

Accepted 20 January 2016

Corresponding Author: Keunsik Kim(Ajou Motor College)

Email: kskim@motor.ac.kr

© The Society of Digital Policy & Management. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

로공사의 보고서[4]에 따르면 표지병이 설치된 직선부 도로에서는 30%, 곡선부 도로에서는 46% 정도 교통사고가 감소되었다고 한다. 뿐만 아니라 한국도로공사 연구 결과에서도 차선의 시인성이 증가되면 약 18~40%의 교통사고를 감소시킬 수 있다고 제시하고 있다[5].

그러나 야간에 비나 눈이 오는 도로에 설치되어 있는 기존의 재귀반사형 도로표지병은 도로와 차선의 시인성을 극도로 저하시킨다. 이상에서 언급한 악조건외의 환경에서도 운전자가 도로의 시인성을 확보하기 위해 제시된 대안이 LED 도로표지병이다[6].

한편, 최근 몇 년 동안 지자체와 중앙정부에서 주민의 건강뿐만 아니라 관광 및 레저용을 고려한 자전거 도로에 대한 다양한 정책을 시행해왔다. 행정안전부와 국토해양부가 제시한 '자전거 이용시설 설치 및 관리지침'에서는 자전거 도로에 관련된 지침을 제시하고 있다[7]. 이 지침에서 안전에 관한 부분은 방호울타리, 조명시설, 과속방지시설, 시선유도시설, 코너 반사경 설치 및 진입방지시설에 대한 기본적인 요구사항을 기술하고 있다. 그러나 조명시설의 경우 에너지 측면이나 주변의 방해로부터 사고가 야기되지 않도록 하는 설치조건은 강제조건이 아닌 고려 대상만으로 언급되고 있다.

도로교통공단에 따르면 전체 교통사고는 2.4%씩 매년 감소되는 추세이지만, 자전거 도로에서 사고는 최근 10% 이상의 증가 추세를 보이고 있다[8,9]. 이를 개선하기 위한 방안으로 자전거 도로 환경 유형, 이용자 유형 그리고 편의성과 안전성을 고려한 자전거 도로의 형태에 대한 연구가 발표되었다[10,11]. 또한 안전장치로는 안전표지, 안전시설, 분리시설 등의 설치를 통하여 교통수단별 이용자 간의 통행분리에 대한 방안을 제시하고 있다[12].

이와 같이 자전거도로에서 안전을 고려한 다양한 형태의 시설물이 제안되고 있지만, 대부분의 자전거 도로는 조명시설이 없을 뿐만 아니라 야간에는 자동차 도로와 자전거 전용도로 사이에 차량진입 방지시설이 잘 분별되지 않기 때문에 자전거 주행의 안전사고가 잠재하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안도 도로표지병과 마찬가지로 시인성을 확보하기 위한 대안이 자전거도로용 LED 표지병을 설치하는 것이다.

이상에서 언급한 LED 표지병은 전기에너지를 소모하기 때문에 모든 도로나 자전거 도로에 전기설비를 설치하여야 하는 기술적, 경제적인 문제를 안고 있다. 이를

해소하기 위해서는 주간에 태양광 솔라 에너지를 충전하고 이 전력을 야간에 LED 표지병을 동작시키는 것이다. 이와 같은 개념으로 국내에서 솔라에너지를 이용한 LED 도로표지병이 일부 도로에 설치되고 있다. 그런데 2010년 1월 중 3일 이상 연속해서 내린 폭설과 녹지 않은 눈의 영향 등으로 약 7일 이상 솔라 에너지를 LED 도로표지병의 충전지에 충전할 수 없게 되어 기 설치된 LED 도로표지병이 모두 소등되는 문제를 야기했다[13]. 또한 기존 도로에 설치된 LED 도로표지병의 경우 표지병 구조물이 돌출되어 있어서 차량의 무거운 중량으로 표지병의 구조물이 파손될 뿐만 아니라 누수로 인한 회로의 오동작을 초래하고 있다.

그간 태양광을 이용한 LED 도로표지병의 실용화에서 가장 큰 이슈는 도로에서 트럭 등의 하중을 견디며 국제방수 IP68 요구조건을 만족하는 구조물 설계인데 이에 관한 연구결과 논문은 아직 발표된 바 없다. 또한 본 연구결과와 유사한 제품들의 경우 LED 구동회로는 Mirochip사의 MCP1640[14] 등 전용 IC 소자를 응용하는 것이다. 출시된 이러한 전용 IC들은 건전지 전원으로 LED구동을 위한 DC-DC Converter로써 입력전류대 출력전류의 최대 효율이 35% 이하로써 혹설기에 3일 이상 눈이 오는 경우에는 적용이 불가능하다.

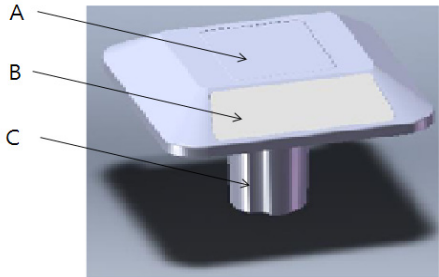
본 논문에서는 주간에는 AA사이즈 1.2[V]축전지에 솔라셀을 이용하여 충전하고, 야간에는 충전된 전기에너지를 이용하여 LED를 밝히는 도로표지병을 설계한 결과를 제시한다. 설계된 제품은 한국도로공사가 요구하는 30톤급의 도로 하중을 견디고 국제방수 IP68 규격을 만족하는 누수방지를 위한 기구 설계 결과를 제시한다. 그리고 혹한을 고려하여 7일 이상 솔라셀로부터 충전이 이루어지지 않더라도 도로표지병이 동작하도록 Impulse Injection방법을 고안하여 극 소 전력(8mA)을 소비하는 LED표지병의 개념 설계에 관한 내용을 기술한다.

2. LED표지병 설계

2.1 기구설계

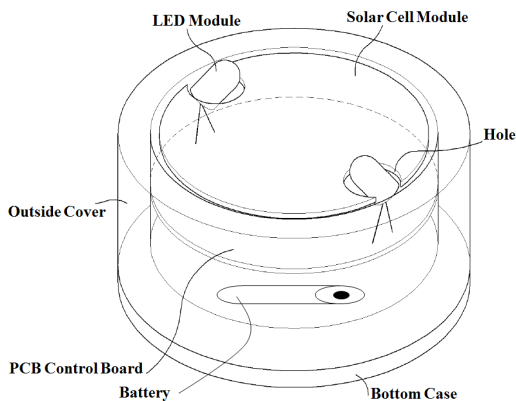
일반적인 LED 표지병은 기존의 재귀반사형 도로표지병 구조물의 하단 공간, 즉 [Fig. 1]에 보인 표지병 기둥(C)에 충전지를 장착하고, 상단(A)에 솔라셀을 추가 장

착하는 형태이다. 그리고 구동회로를 내장한 후 반사판 영역(B)에 LED가 점등되도록 구성되어 있다.



[Fig. 1] Cat's eye Stud

이런 형태의 표지병은 차량의 충격에 의해 구조물이 쉽게 파손될 뿐만 아니라 여기를 넘나드는 차량의 타이어에도 충격을 주어 타이어 마모 원인으로 작용한다. 또한 상면에 스크래치가 쉽게 발생하여 솔라셀의 충전효율을 떨어뜨리고 구조물이 약해져 누수로 인한 LED구동회로가 오동작하게 하는 직접적인 원인을 제공한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 [Fig. 2]와 같은 형태의 새로운 표지병 구조 설계를 제시한다.



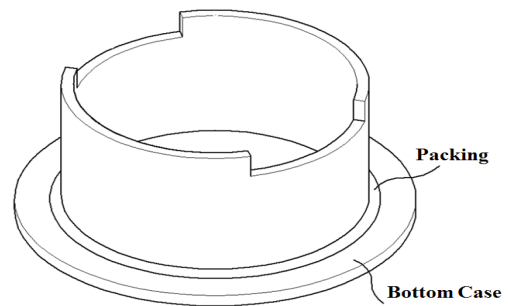
[Fig. 2] New Cat's eye stud structure

제시된 표지병의 구조물은 하부케이스와, 하부케이스에 설치되는 PCB제어보드, PCB에 장착되는 LED모듈과 PCB 상부에 설치되는 솔라셀 모듈, 그리고 이들 구성품을 수분이나 충격 등 외부 환경으로부터 보호하기 위해 하부케이스와 조립되는 투명한 외부덮개로 구성된다. 본

논문에서 제시한 원통형 구조형태는 사각형 구조형태와는 달리 곡면에 작용하는 힘이 분산되는 효과를 가져와 주행하는 차량의 하중으로 인한 충격으로부터 구조물을 보호하는 중요한 역할을 한다.

하부케이스와 외부덮개 사이에 누수방지를 위해서는 일반적으로 실리콘 패킹을 삽입한다. 이를 적용한 결과, 아세트산이 포함된 실리콘 패킹의 경우 장시간 햇빛에 노출되면 패킹이 폴리카보나이트와 반응하여 누수의 치명적인 영향을 미치는 것으로 나타났다.

이 문제를 해결하기 위하여 [Fig. 3]과 같이 햇빛에 반응이 없는 실리콘 무-아세트산계열의 패킹을 사용하여 외부덮개와 결합함으로써 이 문제를 완벽하게 해결하였다. 외부덮개는 투명한 재질의 하부만 개방된 실린더 형태로써, 솔라셀 모듈과 PCB를 포함하고 하부케이스와 조립이 되어 상부에서 올 수 있는 누수를 원천적으로 차단하는 구조이다.

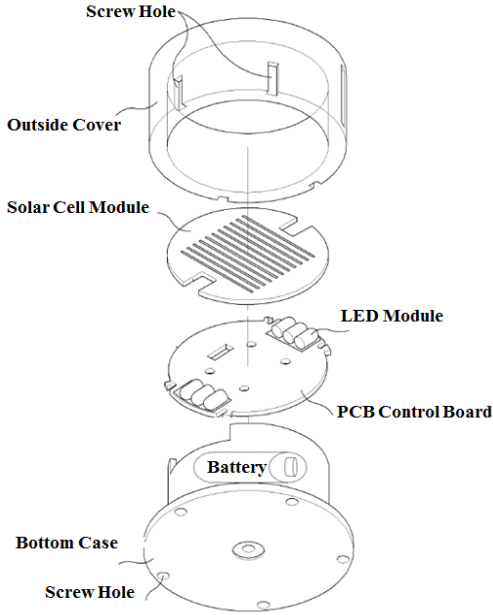


[Fig. 3] Non-acetic acid packing for waterproof.

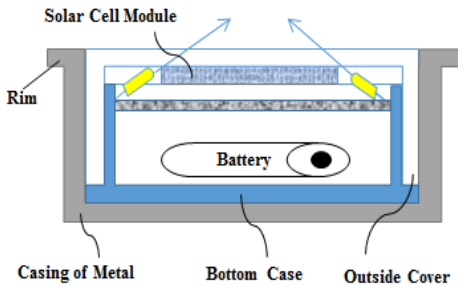
또한 표지병 하부에서 올 수 있는 누수를 차단하기 위하여 [Fig. 4]와 같이 하부케이스와 외부덮개는 무-아세트산계열의 패킹을 사용할 뿐만 아니라 나사로 결합 가능한 다수의 나사홈을 형성하여 볼트로 결합하여야 한다. 이는 실험 결과 나사 홈의 결합수가 증가할수록 방수 효과는 비례적으로 커진다.

한편 일반적인 LED 표지병은 반사판 자리를 LED로 대체하였기 때문에, LED 빛을 도로에 방출하기 위하여 표지병을 도로에 돌출하여 설치하여야 한다. 그러나 본 논문에서는 [Fig. 5]에 나타난 바와 같이 LED가 서로 마주보는 상향 방향으로 5° ~ 15° 비스듬하게 쏠리도록 하여 기구적으로 표지병이 도로에 돌출하지 않더라도 운전

자에게 높은 LED 시인성을 주도록 고안하였다. 이와 같이 금속 케이싱의 테두리(rim) 상부가 지면과 수평면을 이루면서 도로에 묻히도록 설계하여 도로 표면으로부터 기구적인 돌출이 발생하지 않아 차량의 하중에 견디며 표면에 스크래치가 발생하지 않도록 하였다.



[Fig. 4] Assembly view.

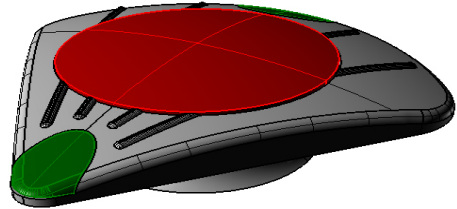


[Fig. 5] Side view of new Cat's eye stud

이 구조는 또한 외부덮개를 통해 LED의 빛이 밖으로 조사될 때 중앙부위에서 빛이 모아지는 효과뿐만 아니라 투명한 외부덮개를 통과해 나온 LED 불빛이 산란작용으로 빛이 퍼져나가 표지병 상부 전체가 밝은 원형을 형성하도록 하여 시인성을 크게 향상시킨다. 더불어 이 구조

는 표지병의 한 쪽 방향에서만 빛을 인식할 필요가 있는 환경에서는 LED모듈을 모두 같은 방향으로 조사하도록 하여 빛이 약 2배 밝아지는 효과를 나타낼 수 있다.

같은 설계 개념으로 방수와 자전거 상정을 고려하여 자전거용 도로표지병을 [Fig. 6]과 같이 설계하였다.



[Fig. 6] Cycletrack Cat's eye stud

2.2 제어회로설계

다음의 설계 요구조건을 설정하고 저소비 전력을 소비하는 LED 표지병을 구현하였다.

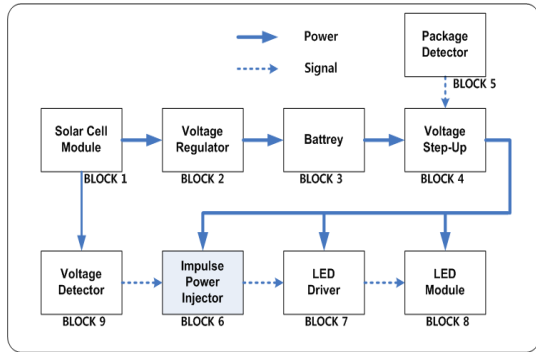
1) Impulse Injection 기법에 의한 저 소비전력 LED구동회로 설계 : 일반적인 표지병의 LED 모듈은 약 30[mAH] 이상 전류가 소모되어 장시간 LED를 구동할 수 없는 단점을 가지고 있다. 이 단점을 보완하기 위하여 김근식 등[15]이 제시한 아날로그 Impulse Injection 기법을 보완하여 6개의 LED를 포함한 표지병 전체의 총 소모전류를 8[mAH] 이하로 구동하는 아날로그 회로를 구현한다.참고로 일반적인 AA사이즈의 정격 1.2Vdc 1,900[mAH] 충전지의 경우 -15°C 환경에서 0.01C로 방전하여 1.0[V]까지 시험을 실시한 결과 약 1,600[mAH]를 사용할 수 있는 것으로 조사되었으며 이를 토대로 8mA x 24H x 8일=1,536[mAH]에 의거 8일간 무충전으로도 동작할 수 있도록 구동회로를 설계한다.

2) 솔라모듈의 가변 전력출력에 대한 충전 보호회로 설계 : 대기환경에 따라 0 ~ 수[V]의 솔라셀 모듈의 가변 출력으로 정격 1.2V AA 사이즈 충전지에 일정전압 충전 및 과충전을 방지하기 위한 아날로그 충전보호 회로를 구현한다.

3) 전용 아날로그 DC-DC Converter설계 : 극 저 손실 전용 아날로그 Step-Up 회로 설계한다.

이상의 설계를 토대로 실용개발 단계에서 고안하여 제시한 태양광을 이용한 도로표지병의 설계 개념[15]은 [Fig. 7]과 같다.

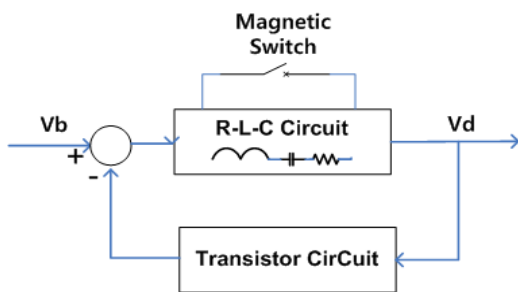
BLOCK 1 : 빛의 양에 따라 0~4[V]전압이 출력되는 솔라셀 모듈로 최대 60mA의 전류를 공급한다.



[Fig. 7] Design concept of LED Cat's eye system

BLOCK 2 : BLOCK 3.의 1.2[V] AA사이즈 축전지에 안정적인 전력을 충전하는 회로로써, 과충전 방지기능 및 저온과 고온에서 충전을 위한 온도보상회로 그리고 축전지로부터 솔라셀로의 역 전류보호 기능을 포함한다.

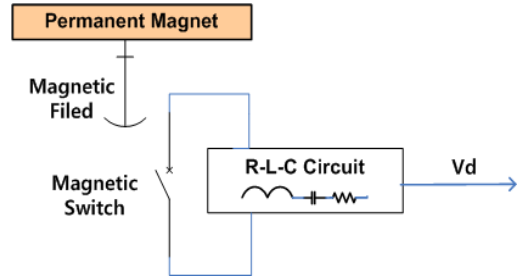
BLOCK 4 : 일반적인 LED는 정격 2[V] 혹은 3[V]로 동작하는데, BLOCK 4.는 축전지 전압을 LED의 구동전압으로 상승시켜주는 BLOCK이다. 이 BLOCK에서는 [Fig. 8]과 같이 R-L-C 충전전 회로에 되먹임 제어기능을 갖는 아날로그 회로를 구현하여 전류소모량을 최소화한다.



[Fig. 8] Step-up Analog Circuit

BLOCK 5 : LED 표시병을 제조하여 설치하기 전까지 일시적으로 박스 등에 보관할 때에는 솔라셀 모듈은 어두운 환경으로 인식한다. 따라서 LED가 점등되어 축전지의 전류가 소모되는데, 이를 방지하는 블럭이다. 이

를 해결하기 위하여 [Fig. 9]와 같이 LED 도로표지병 외부에 소형 영구자석을 부착한다. 그리고 비접촉 마그네트 스위치를 R-L-C 충전전 회로에 내장한다. 이때 영구자석의 자기장을 인식하면 충전전 회로의 동작을 멈추게 하여 소모되는 전류를 차단한다.



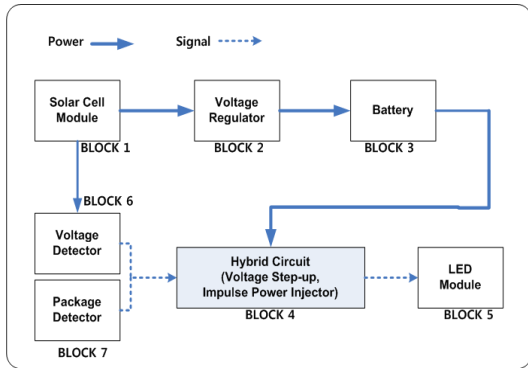
[Fig. 9] Operation Protection at Packing

BLOCK 6 : 일반적인 표시병의 LED 모듈이 최소 30[mA]를 소모한다 하더라도 혹설기와 같이 충전이 불가능한 환경에서는 1일(24시간)동안 동작시키면 축전지는 720[mAH]의 용량이 방전된다. 이는 약 1,600[mAH] 축전지를 이용하여 3개 LED를 구동시킨다면 53시간 밖에 사용하지 못하게 되어 약 2일 정도 되면 LED 도로표지병은 동작이 멈추게 된다. 이러한 문제를 해소하기 위하여 [Fig. 10]과 같이 LED 구동드라이버에 Duty \approx 0[%]인 Impulse Power Injector신호를 생성하여 인가한 개념으로 설계하였다. 그러면 신호가 인가되는 동안만 LED 도로표지병은 순간적으로만 동작하기 때문에 LED 구동소모량이 극소화함으로써 솔라셀 모듈로부터 축전지로 충전이 이루어지지 않더라도 7일 이상 동작하게 한다. 이때 순간적으로 LED를 약 40[Hz]이상 동작시키면 사람의 착시현상으로 LED가 지속적으로 동작하는 것처럼 보이는 현상을 이용하는 것이다. 실제 회로에서는 약 3~4% Duty를 갖는 회로를 적용하였다.



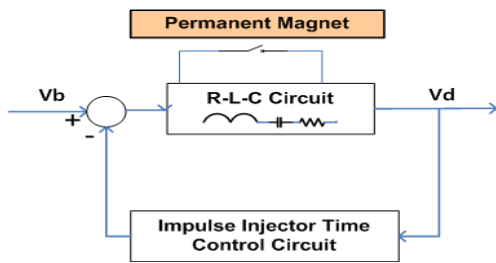
[Fig. 10] Impulse Injection Concept

실용단계 완료 후 4개월 운영시험과 충격시험 그리고 방수시험을 통해 제품의 구조부분을 보완함과 동시에 구동회로를 [Fig. 11]과 같이 이러한 Impulse Injection 개념을 전압 Step-up회로와 혼합하여 설계함으로써 에너지 손실을 최소화하는 설계 개념으로 2단계 제어회로를 단순화하였다.



[Fig. 11] New design concept of LED Cat's eye system

이는 1.2V의 전압을 2~3[V] 전압으로 승압하기 위해서는 R-L-C공진회로를 이용하는데, 이때의 공진주파수와 출력을 Impulse 생성부분과 연계함으로써 전압 승압회로와 Impulse Power Injector회로가 [Fig. 12]와 같이 동시 동작하는 혼합형 회로(Hybrid Circuit)를 구현하여 자체 소비전력을 줄이고 회로를 단순화 하였다.



[Fig. 12] Hybrid Circuit

3. 결론

본 논문에서는 노령 운전자와 자전거 도로 이용자의 안전성과 편의성을 고려하여 도로의 시인성을 높이는 방

안으로 저 소비전력을 갖는 LED 표지병의 개발에 대하여 기술하였다. 차량으로부터 표지병에 가해지는 하중의 영향을 극소화하고 국제 방수 규격 IP68을 만족하는 표지병을 설계하기 위하여, LED 표지병이 지면과 돌출 없이 수평해지도록 RIM 구조를 설계함으로써 표지병이 지상으로 노출되는 요인을 완전히 제거하였다. 그리고 실리콘 구조물 설계로 하중의 분산을 도모하였으며, 무아세스단계열 방수용 패킹 적용과 방수 효과를 극대화하기 위하여 외부덮개와 하부케이스사이에 나사체결 등을 제시하였다. 그 결과 충격시험 결과 한국도로공사가 요구하는 90°에서 순간 충격 1톤, 30톤 하중시험을 만족하였으며, IP68등급의 방수시험에 합격하였다.

또한 소위 Impulse Injection 기법을 이용하여 혹설기 충전불능 환경에서도 7일 이상 동작하도록 LED의 소모전력을 최소화하였다. 뿐만 아니라 LED에 인가되는 펄스의 듀티를 조절할 수 있도록 설계하여 고객의 요구에 따라 밝기를 조절할 수 있다. 아울러 작동온도는 -20℃ ~ 80℃ 범위내서 동작 가능하도록 회로의 온도 보상회로를 설계하였다.

본 논문에서 제시된 LED 도로 표지병과 자전거 도로 표지병은 조달청 나라장터에 등록되어 현재 국내 15개 지자체관할 도로, 고속도로 진출입로, 그리고 호주를 비롯한 해외 5개국에 설치되어 운용되고 있다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was performed as a Academic-Industrial Collaboration.

REFERENCES

- [1] O Heung-Un, "Retroreflectivity Performance Characteristics Under Environmental Roadway Conditions Based on Influencing Factors", Korean Society of Civil Engineers, Vol. 27, pp.289-295, 2007
- [2] Lee Hyun-Seok, O Heung-Un, Jang Jeong-Hwa, "Analysis of Pavement Marking Performances Considering Influential Factors", Korean Society of Civil Engineers Conference, pp.3549-3552, 2006

- [3] Sang Bum Kim, Yong Seok Kwon, "A Study on Improvement of the Shape and Performance of Raised Pavement Marker", The Korean Society of Safty, Vol. 21, pp.82-86, 2006
- [4] Federal Highway Administration(FHWA), "Cost Effectiveness Techniques for Highway Safety", 1985
- [5] O Heung-Un, Lee Hyeok-Seok, "Traffic Accidents and Retroreflectivities", Pavement Engineers, Vol.5, No.1 pp.53-59, 2003
- [6] Lee Ho-Won, "A Study on The Improving Road Visibility for a Traffic Accident Reduction", Korea Road Traffic Authority, 2009. 2013
- [7] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Korea Cycling Design Standards: Process and Contents", 2010
- [8] Shin, Heui-Chul, "Implication by Traffic Accident Analysis", The Korea Transport Institute, 2012
- [9] Korea Road Traffic Authority, "A Analysis of Bicycle Traffic Accident, KoRoad Vol. 150, 2014.
- [10] Oh Seok Jin,, Kim Yoon Mi, Im Jung Jae, Ha Tae Jun, "A Study on Improvement of Design Standards Through the Analysis on Problems of BikeRoad", Korean Society of Civil Engineers, pp.703-704, 2014
- [11] Lee Sungwon, Kim Gunyoung, "A Quantitative Analysis of Policy Instruments on the Cycling Safety Perception in Korea", Korea Tranport Institute, Vol 20, pp.15-28, 2013
- [12] Choi Byoung GiI, Park Hong-Ki, Na Young-Woo, "A Study on the Design Improvement and Information Service of Bicycle Road Considering Environmental Factor", Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry abd Cartography, vol. 90, pp.11-20, 2011
- [13] Cha Eun-Jeong, "A Report of Socio-Economic Meaning of the Snow Storms in Jan. 2010", Korean Society of Hazard Mitigation, Vol. 10, No. 4, pp.6-13, 2010
- [14] <http://www.microchip.com>, "MCP1640 Data Sheet", 2015
- [15] Keunsik Kim, Jaeseol Kim, Dong-Joo Yoo, "LED

Cat's Eye System with Ultra Low Power Consumption", Korean Society of Civil Engineers, pp.2076-2079, 2010

김 근 식(Kim, Keun Sik)



- 1985년 2월 : 한양대학교 공과대학 전자공학과(공학사)
- 1987년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2003년 8월 : 충북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1987년 2월 ~ 1993년 10월 : 국방 과학연구소(ADD)
- 1994년 10월 ~ 1996년 2월 : 자동차부품연구원(KATECH)
- 1996년 2월 ~ 현재 : 아주자동차대학 자동차계열 교수
- 2008년 8월 ~ 2014년 8월 : 산학협력중심대학육성 사업단장, LINC사업단장, 지역산업인력양성사업단장
- 관심분야 : 전자제어, 자동차 전장설계, 산학협력
- E-Mail : kskim@motor.ac.kr

김 중 훈(Kim, Jong Hoon)



- 1985년 2월 : 한양대학교 공과대학 전자공학과(공학사)
- 1991년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학석사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 경동대학교 컴퓨터공학과 부교수
- 관심분야 : 컴퓨터네트워크, 광전자
- E-Mail : jhkim@kduniv.ac.kr