

# 신호의 안전성 향상을 위한 교통신호기와 LED신호등의 연계 특성 개선 방안 연구

## A Study on Local Standard Complement Between the LED Signal Head and Traffic Controller for Improving Signal Safety

이철기\*      이정준\*\*      오봉식\*\*\*  
(Choul-Ki Lee)    (Jeong-Jun Lee)    (Bong-Sik Oh)

### 요약

본 논문에서는 기존의 전구방식 신호등과 비교하여 LED신호등의 교통신호기 간 신호 안전성 측면의 연계 호환성을 실험 검토하고 보완 방안을 설계하여 제안하였다. 실험 분석 결과 신호의 안전성을 향상하기 위하여, 교통신호기의 출력 누설전류에 따른 LED신호등의 OFF 상태 누설전압의 과다로 인한 문제와, 누전상황 대응에 대한 문제에 대하여 보완이 필요한 것으로 나타났다. 보완을 위한 교통신호기 규격의 개선 방안은 220V 전원을 기준으로 출력 누설전류 허용 값을 기존의 8mA사양에서 3mA로 변경하고, 출력전압 평가의 기준을 기존의 25-45V에서 65-75V로 변경하는 것이며, LED신호등 규격의 개선 방안은 기존과 동일하게 95V이하에서 OFF상태를 유지하도록 함에 더하여 OFF상태에서 10Kohm이내의 임피던스를 유지하도록 하는 내용을 추가하는 것이다.

### Abstract

The off-state impedance of LED signal head is greater than that of a traditional bulb signal head, and the traffic controller has inherent off-state output leakage current. These two characteristics make the field trouble and reduce signal safety when the LED signal head is installed with traffic controller. In this paper, a complement method of the LED signal head and traffic controller local standard (220Vac line voltage) for improving signal safety is suggested. The point of designed complement method is to reduce the output leakage current of the traffic controller under 3mA, to increase the voltage feedback threshold to 70±5V, and to make LED signal head maintain off-state in 0-95Vac with 10 Kohm maximum impedance.

**Key words:** LED signal head, traffic controller, signal safety, local standard

### I. 서론

국내의 교통 신호등은 기존의 전구 방식에서 최근 에너지 효율이 높고 시인성이 양호한 LED(Light

Emitting Diode) 방식으로 빠르게 교체되어 왔다. LED신호등은 교통신호기의 출력 전력으로 동작 하는 바, 안전한 신호의 운영 을 위하여 교통신호제어 기 간 전기적 호환 특성이 매우 중요하다. 국내의

\* 주저자 : 아주대학교 ITS 대학원 교수  
\*\* 공저자 : 모루시스템 대표이사, 아주대학교 건설교통공학과(박사수료)  
\*\*\* 공저자 : 모루시스템 상무이사, 아주대학교 건설교통공학과(박사과정)  
† 논문접수일 : 2009년 2월 16일  
† 논문심사일 : 2009년 3월 2일(1차), 2009년 3월 16일  
† 게재확정일 : 2009년 3월 17일

LED신호등과 표준 신호기는 각각 2008년 3월에 제정된 경찰청 LED교통신호등 표준규격 및 2004년 2월에 제정된 경찰청 교통신호제어기 표준규격(통칭 COSMOS 신호제어기 표준규격)에 따라 제작 설치되고 있다.

교통신호기 표준 규격은 기존의 전구 방식 신호등과의 호환을 위하여 장기적으로 연구되고 검증되어 왔던 내용을 토대로 LED신호등 호환을 위한 부분적 변경을 통하여 제정되었으며, LED신호등 표준규격은 이후 독립적 규정으로 제정되었다 [1, 2].

본 논문에서는 기존의 전구식 신호등과 LED신호등의 동작특성을 비교하여 시험하고 그 결과와 표준 규격을 토대로 LED신호등과 신호제어기 간 호환 특성을 분석하였다. 또한 신호의 안전성 향상을 위한 양측 규격의 보완 방안을 설계하여 제안하였다.

## II. 기존 연구 및 규격에 대한 검토

국내의 LED 교통신호등 규격에 대한 기존 연구 결과는 광도 기준 값 산출, 전기적 사양과 온도적응 특성, 시제품제작 및 현장시험 등의 내용을 포함하고 있다 [3]. 신호의 안전성 향상 관점에서 LED 교통신호등과 교통신호기 간 호환 특성에 대한 기존 연구는 발견되지 않았다.

2004년 2월에 제정된 경찰청 교통신호기 표준규격은 비 정상 신호가 출력된 상황을 검출·판정·조치하는 모순신호 대응 메커니즘에 대한 규정을 포함하고 있다 [1]. 출력 신호의 적합성 판정을 위한 ON·OFF 판별 전압의 기준은 220V 상태에서 25V미만은 OFF로, 45V이상은 ON으로 판정하도록 정하고 있다. 신호등 간 호환에 영향을 미칠 수 있는 신호기의 출력회로별 누설전류는 110V를 기준으로 8mA 이내로 정의하고 있다 [1].

2008년 3월에 제정된 국내의 LED교통신호등 표준규격에서는 95V(±5V) 이하의 낮은 전압에서는 신호등이 CUT-OFF 상태를 유지하도록 정의하고 CUT-OFF의 판단 기준은 광 출력이 없는 상태로 하였다 [2].

미국의 NEMA-TS1 및 TS2 사양에서는 신호기의 차량등 녹색신호 출력의 ON·OFF 판별 전압 기준을

15V미만은 OFF로, 25V이상은 ON으로 판정하도록 정하고 있다 [4, 5]. NEMA-TS1 및 TS2의 출력회로별 누설전류 사양은 사용전압 최고치(135V)를 기준으로 각각 20mA 이내 및 10mA 이내로 정의되었다 [4, 5].

## III. LED신호등의 구동방식 분류

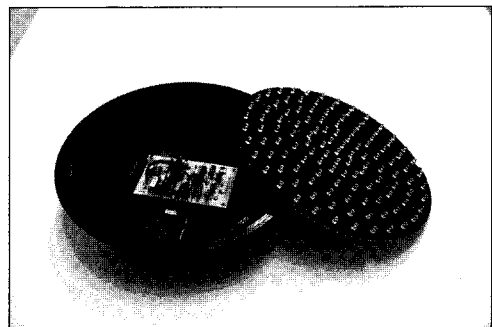
전구식 신호등의 단순한 전기적 구조와는 달리, LED신호등은 외부에 노출된 LED 배열 이외에도 등기구 내부에 다수의 부품으로 구성된 전원회로를 포함하고 있다.

국내에서 운영되는 LED신호등 내부의 전원회로 구성 방식을 분석한 결과 아래의 3가지 종류로 구분되었다.

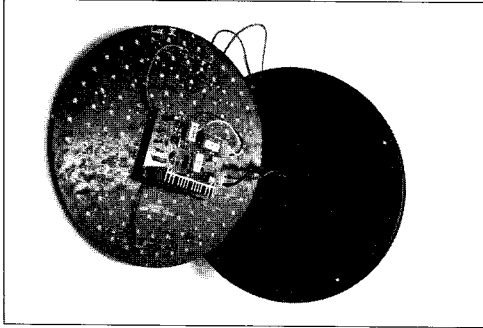
- 스위칭파워(SMPS) 방식
  - 리니어(Linear) 방식
  - 강압 트랜스포머(TRANSFORMER) 방식
- 방식별 적용 비율을 조사한 결과 스위칭파워 방식이 지배적이었고, 리니어 방식이 10% 내외, 강압 트랜스포머 방식은 1% 내외로 조사되었다.

### 1. 스위칭파워 방식

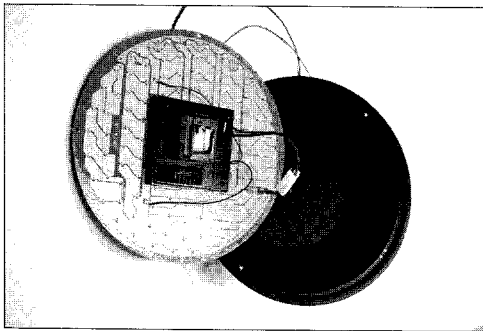
스위칭파워 방식은 220V의 AC 입력을 정류회로를 통하여 고전압 직류로 변환한 후 수십~수백 Khz의 스위칭 파워 구동 회로를 통하여 절연모드의 저전압 DC 전력으로 변환하여 LED 발광소자 배열을 구동하도록 구성되었다.



<그림 1> 스위칭파워 방식 LED신호등  
<Fig. 1> LED signal head with SMPS circuit



<그림 2> 리니어방식 LED신호등  
<Fig. 2> LED signal head with linear power circuit



<그림 3> 강압 트랜스포머 방식 LED신호등  
<Fig. 3> LED signal head with power transformer circuit

## 2. 리니어 방식

리니어 방식은 220V의 AC 입력을 정류회로를 통하여 비 절연 모드의 직류로 변환한 후 일정한 출력을 위한 정전류 회로를 구성하여 LED 발광소자 배열을 구동하도록 구성되었다.

## 3. 강압 트랜스포머 방식

강압 트랜스포머 방식은 220V의 AC 입력을 강압 트랜스포머를 통하여 절연 모드의 저전압 AC로 변환하고 이를 정류회로를 통하여 저전압 DC 전력으로 변환하여 LED 발광소자 배열을 구동하도록 구성되었다.

## IV. 신호등 특성 시험 및 문제점 분석

### 1. 특성시험 방법

#### 1) 시험 항목의 선정

본 연구에 적용한 시험 항목은 전구식 신호등과 LED신호등의 기본적인 특성을 비교하기 위한 항목, 교통신호기의 출력단 누설전류 대응 특성 항목, 그리고 등기선로 배선체계에서의 누전 상황 대응 특성을 중심으로 다음과 같이 선정하였다.

- 기본 특성 시험
  - 인가전압과 소비전류 특성시험
  - 인가전압과 소비전력 특성시험
  - 인가전압과 발광 휘도 특성시험
- 교통신호기 출력단 누설전류 대응특성 시험
  - 용량성 누설 전류와 누설 전압 특성시험
  - 용량성 누설 전류와 발광 휘도 특성시험
- 누전상황 대응특성 시험
  - 저항성 누설 전류와 누설 전압 특성시험
  - 저항성 누설 전류와 발광 휘도 특성시험

#### 2) 시험 대상의 선정

본 연구를 위한 시험 대상은 현장에서의 LED신호등의 각 방식별 현장 적용 비율과 기존 전구식과의 비교를 위한 샘플 데이터의 획득을 고려하여 다음과 같이 정하였다.

- 전구식 신호등(2008년 철거 시료)
- 스위칭파워(SMPS)방식-A사(2004년 제조)
- 스위칭파워(SMPS)방식-B사(2008년 제조)
- 리니어(Linear) 방식(2008년 제조)
- 강압트랜스포머(TRANS)방식 (2004년 제조)

각 신호등은 차량용 녹색등을 대상으로 시험하였으며, 전구식 신호등에 적용된 전구의 규격은 220V/75W로 확인되었다. 각 신호등은 방식별 대표성을 높이기 위하여 회로의 정상작동 여부를 평가하여 시험에 투입하였다. 적용 비율이 높은 스위칭파워 방식은 제조사가 서로 다른 2개 모델을 선정하였다. 발광 휘도의 평가는 다른 광원이 없는 환경에서

피 시험 신호등으로부터 30cm 거리에서 측정하였다.

### 3) 시험 방법

기본 동작특성 평가는 가변전압장치(슬라이더)에 피 시험 LED신호등을 연결하고 인가전압·소비전류·소비전력·발광휘도 측정환경을 구축하여 시험하였으며, 인가전압은 0~250V(5V Step)로 변화시키면서 측정하였다.

교통신호기 누설전류 대응특성 시험은 운영조건에서의 교통신호기 출력단 보호회로로 인한 누설전류 특성을 고려하여 용량(콘덴서)성 직렬 임피던스 환경을 구성하여 시험하였다.

누전상황 대응특성 시험은 누전전류의 경로가 되는 토양과 수분의 주요 임피던스 특성을 고려하여 저항성 직렬 임피던스 회로를 구성하여 시험하였다.

### 4) 계측기 및 장치

본 연구의 시험에 사용한 주요 장치 및 계측기는 다음과 같다.

- AC POWER METER (HIOKI 3333)  
: AC전압·전류·전력 측정
- CHROMA METER (MINOLTA CL-200)  
: 신호등 발광 휘도(Lux) 측정
- 가변전압기(슬라이더) (0~300V AC,3A)  
: 가변 AC 전원 Source
- 콘덴서(TEAPO XG-HS 275V AC 0.1uF



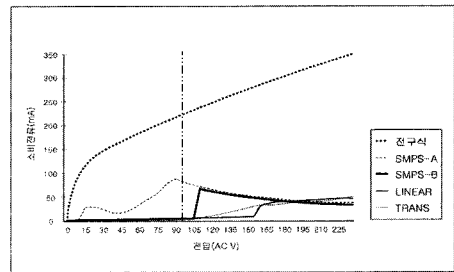
〈그림 4〉 특성평가를 위한 시험 장면  
〈Fig. 4〉 Bulb and LED signal head test environment

Capacitor)의 병렬조합을 이용한 0.3uF 합성  
- 저항(2.2K, 5W 시멘트저항)

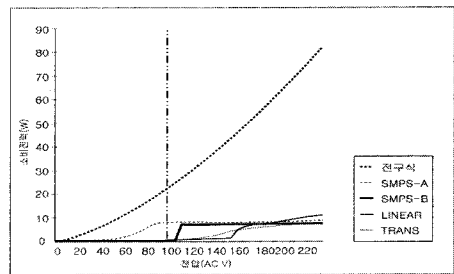
## 2. 시험 결과

### 1) 기본 동작 특성 시험 결과

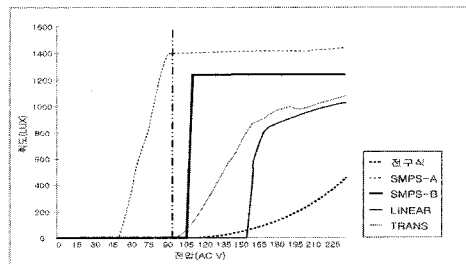
전압변화에 따른 소비전류량과 소비전력의 변화는 전구식은 낮은 전압부터 전력소비가 시작되어 점진적으로 증가되었고, LED식은 구형 스위칭파워식(SMPS-A) 시료를 제외한 다른 시료들은 LED신호등



〈그림 5〉 전압변화에 대한 소비전류의 변화  
〈Fig. 5〉 V-I Characteristic of LED signal heads



〈그림 6〉 전압변화에 대한 소비전력의 변화  
〈Fig. 6〉 V-W Characteristic of LED signal heads



〈그림 7〉 전압변화에 대한 발광휘도 변화  
〈Fig. 7〉 V-Lux Characteristic of LED signal heads

의 동작 금지전압(95V) 이하에서는 전류와 전력 소비량이 0에 가까웠다.

LED신호등의 동작 금지전압(95V) 이하에서의 발광 휘도는 전구식을 포함한 모든 시료가 소등 특성을 보인 반면 SMPS-A 시료는 50V부터 점등을 시작한 바, 이는 동작 금지전압(95V) 규격이 제정되기 이전에 생산된 시료로 추정되었다.

2) 용량성 누설전류 대응 특성 시험 결과

용량성 누설전류 시험은 교통신호기 표준규격에 정한 출력 누설전류 기준값인 8mA를 포함한 0~25mA 범위를 대상으로 실시하였다. 전구식은 시험범위 전 구간에서 누설전압이 0V로 측정되어 교통신호기의 소등 검출전압 기준(25V)보다 충분히 낮았다. LED식의 경우 누설전류 기준값인 8mA에서 교통신호기의 소등 검출전압 기준(25V)를 크게 상회하는 높은 유도전압(<그림 8>의 음영 영역) 이 나타나 교통

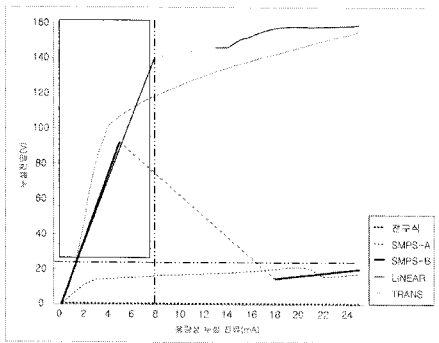
신호기 규격과의 호환성이 결여되어 있음을 보였다.

용량성 누설전류에 따른 발광 휘도 특성시험 결과는 교통신호기 표준규격에 정한 출력 누설전류 기준값인 8mA를 포함한 0~25mA 범위를 대상으로 실시하였다. 전구식은 시험범위 전 구간에서 발광휘도가 0Lux로 측정되었다. LED식의 경우 누설전류 기준값인 8mA에서 대체로 소등상태를 유지하였으나 Trans 식 LED신호등 시료는 발광 현상이(<그림 9>의 음영 영역) 나타나 교통신호기 규격과의 호환성이 결여되어 있음을 보였다.

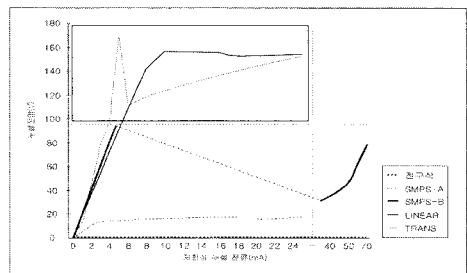
3) 저항성 누설전류 대응 특성 시험 결과

표준신호기 사양에서는 누전차단기의 동작전류를 정의하지 않았으나, 국내에서 교통신호기에 일반적으로 차단전류 30mA 사양의 누전차단기를 적용하고 있다. 이를 감안하여 등기선로 누전 상황 대응특성을 평가하기 위한 저항성 누설전류 시험은 0~50mA 구간을 대상으로 실시하였다.

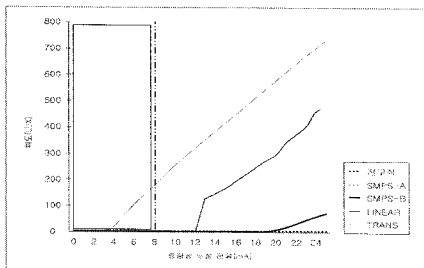
전구식의 경우 시험구간 전체에서 유도전압과 발



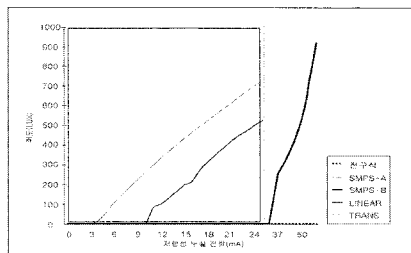
<그림 8> 용량성 누설전류에 따른 유도전압  
<Fig. 8> Induction voltage vs capacitive leakage current



<그림 10> 저항성 누설전류에 따른 유도전압  
<Fig. 10> Induction voltage vs resistive leakage current



<그림 9> 용량성 누설전류에 따른 발광휘도  
<Fig. 9> Brightness vs capacitive leakage current



<그림 11> 저항성 누설전류에 따른 발광휘도  
<Fig. 11> Brightness vs resistive leakage current

<표 1> 도출된 문제점 내역  
<Table 1> Produced standard deficiencies

구분	신호기 조건	LED신호등 특성	문제점
신호기 출력 제한	신호의 OFF상태서 누설전류 8mA 이하 규격 적용	20V이상의 누설전압 발생 출력 제한 OFF판정 곤란	청신호 OFF상태 제한 확인 곤란
누전 상황 대응	누전차단기 일반적 적용시양 30mA	95V이상의 누설전압 발생, LED 발광	누전 시 차단기를 통한 신호안전성 확보 곤란

<표 2> 신호기 출력 제한 관련 규격 개선 방안  
<Table 2> Standard improvement scheme table

구분	항 목	현행 규격	개선 방안
교통 신호기	누설전류	최대 8mA	최대 3mA
	전압판정기준 (@220V)	25V이하:OFF 45V이상:ON	65V이하:OFF 75V이상:ON
LED 신호등	동작금지전압	95V	95V(유지)
	동작 전 상태의 임피던스	없음	0~5mA AC 정전류에서 10Kohm이내

광휘도가 검출되지 않았다. LED신호등의 경우 복수 개의 시료에서 LED신호등 동작 금지전압(95V)을 상회하는 유도전압이 발생되었고, 이에 따른 LED의 발광이 개시되어 휘도가 측정되었다. 이러한 결과는 LED신호등이 일반적으로 등기신로의 누전 상황에서 누전차단기를 통한 신호의 안전성 확보가 곤란함을 나타내고 있다.

4) 문제점 분석 결과

본 연구의 시험 결과는 국내 표준신호기와 LED신호등의 연계운영 안전성이 미흡한 상태에 있음을 보이고 있다. 도출된 문제점을 표로 요약하면 <표 1>과 같다.

LED신호등 적용 현장에서 빈번하게 보고되어 온 장애 내용 중 교통신호기의 출력 제한 검증기능(통칭 모순검출 기능)의 오작동 현상이 있었던 바, 이는 본 연구의 시험결과로 도출된 문제점의 내용과 일치된다.

V. 현행 규격 개선방안

1. 규격 개선 방안

안전한 신호의 운영을 위하여 교통신호기가 규격에 정한 출력특성을 제공하고 이에 규격에 정한 LED신호등을 연결하여 운영하였을 때 어떠한 경우라도 안정적인 출력상태의 제한 및 검증이 가능하여

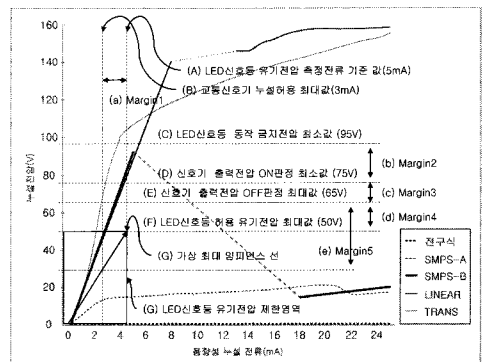
야 한다.

본 연구의 규격 개선방안의 설계는 교통신호기의 출력 누설전류를 경감하고 LED신호등의 OFF상태에서의 임피던스를 규정하는 순서로 진행하였다.

교통신호기의 출력 제한 기능과 관련된 220V용 교통신호기 및 LED신호등의 규격 보완 방안을 설계한 결과는 <표 2>와 같다.

본 연구의 규격 개선 방안을 그래프로 도시하면 <그림 12>와 같다.

교통신호제어기 및 LED교통신호등은 옥외환경에서 운영되어야 하고 동작온도 사양이 -34℃ ~ +74℃로 규정되어 있다. 전자회로로 구성된 교통신호기 및 LED신호등은 주변온도 변화에 따라 물리적인 동작 특성의 변화가 수반된다. 이를 고려하여 연구의 규격 보완 방안의 설계는 각 기준사양 경계에 사양



<그림 12> 규격 개선 방안의 그래프 도시  
<Fig. 12> Standard improvement scheme graph

여유 폭(Margin1~5)을 포함하였다.

현행 규정은 LED신호등이 95V이내의 낮은 전압에서는 동작을 하지 않도록 정하고 있으나, 교통신호기의 출력특성을 고려하였을 때 동작하지 않는 상태에서의 임피던스를 추가로 규정하는 것이 반드시 필요하다. 임피던스는 0~5mA AC 상태에서 10Kohm 이내로 유지될 것을 정의 하였던 바, 이는 최대 누설 전압 값이 50V 이내가 되도록 관리하기 위한 방안이다. 적합성 평가 방법으로는 정전류를 인가한 상태에서 LED신호등 양단에서 관측되는 누설전압 최대 값이 50V이내인지를 확인하여 검증할 수 있다. 평가 방법으로 정전류원을 사용하는 것은 본연구의 시험에서 LED신호등이 용량성 누설전류와 저항성 누설전류에서의 시험 결과가 큰 차이를 나타내지 않은 점에 근거한 것이다.

<그림 12>에서 전구식 신호등은 누설전류 평가영역(24mA이내)에서 상시 0V의 유기전압 특성을 보여 충분한 낮은 임피던스를 갖고 있으므로, 본 연구의 규격 보완 방안은 기존의 전구식 신호등을 위하여 공통 적용할 수 있다.

## 2. 누전상황 대응방안

누전상황에서의 신호등 오 점등의 발생은 교통신호등과 1:1로 결선된 등기선로에 유기되는 누설전압을 평가하여 판단할 수 있다. 본 연구의 규격 보완 방안에 따라 제작된 교통신호기와 LED신호등은 출력전압 케환 및 검증이 명확하게 이루어질 수 있도록 고려되었으므로, 이를 통하여 누전상황에서의 신호운영 중단 등 대처가 가능하다.

기존의 전구식 신호등에서는 출력전압 케환 및 검증 방식 이외에도 누전차단기를 통한 누전상황 대응을 동시에 할 수 있어서 보다 높은 단계의 신호 안전성을 확보할 수 있었다. 그러나 LED신호등의 경우 전기의 저항성 누설전류 시험 결과에서 확인된 바와 같이 누전 누설전류에 의하여 누전차단기 작동 이전

상황에서 점등을 시작하는 것으로 평가되어 이중화된 누전상황 대응은 어렵다.

누전차단기는 감도전류가 15mA 사양과 30mA 사양이 일반적으로 상용화 되어있으나, 보다 높은 감도전류 특성을 갖는 특수사양의 누전차단기는 교차로의 지중화 된 등기선로 배선 환경을 고려하였을 때 안정적 운영이 어려운 것으로 조사되었다.

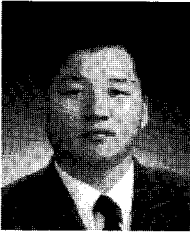
## VI. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 대표적인 신호 안전성 관리 대상인 차량 녹색등을 기준으로 기존의 전구식 신호등과 비교하여 LED신호등의 교통신호기 간 신호 안전성 측면의 연계 호환성을 실험 검토하였다. 실험 결과 도출된 문제점은 교통신호기의 규격 내 출력단 누설전류에 의한 LED신호등의 과다 누설전압 발생에 대한 문제와, 누전상황에서의 대응 방안에 대한 것이었다. 도출된 문제를 해소하기 위한 방법으로 교통신호기 및 LED신호등 규격의 관련 내용 개선방안을 설계하였다. 향후 본 연구의 규격 개선방안을 적용한 교통신호기의 현장 연구와, 다른 차량등 및 보행등에 대한 추가적인 실험을 통한 보완 연구가 필요하다. 또한, LED신호등의 신호 안전성을 향상하기 위한 다른 방안으로 DC 구동방식 신호제어기 및 신호등에 대한 연구가 필요하다.

## 참 고 문 헌

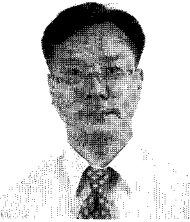
- [1] 경찰청, *교통신호제어기 표준규격서*, pp. 70-71, 79-82, 2004. 2.
- [2] 경찰청, *LED 교통신호등 표준지침*, pp. 6-8, 2008. 3.
- [3] 산업자원부, *에너지 절약형 LED 교통신호등 규격연구 및 시스템 개발*, pp. 59-65, 2002. 4.
- [4] NEMA, *NEMA std. TS-1*, 1983.
- [5] NEMA, *NEMA std. TS-2*, 1992.

저자소개



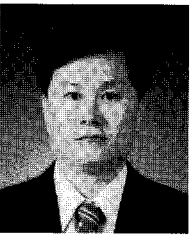
이 철 기 (Lee, Choul-Ki)

2006년 3월 ~ 현재 : 아주대학교 ITS대학원 특임교수  
2004년 ~ 2006년 : 아주대학교 교통연구센터 부센터장  
2000년 ~ 2004년 : 서울지방경찰청 교통개선기획실장  
1998년 : 아주대학교 건설교통공학과 교통공학전공 졸업 (박사)



이 정 준 (Lee, Jeong-Jun)

1986년 2월 : 전북대학교 전자공학과(공학사)  
1990년 12월 ~ 1996년 7월 : LG산전(주) 연구소 선임연구원  
1995년 1월 : LG산전 CU 최우수 발명왕  
1996년 8월 ~ 1999년 2월 : C&C ENG. 연구소장  
1999년 4월 ~ 현재 : 모루시스템 대표이사  
2006년 2월 : 아주대학교 ITS대학원 교통공학과(공학석사)  
2008년 2월 : 아주대학교 건설교통공학과(공학박사 수료)



오 봉 식 (Oh, Bong-Sik)

1980년 4월 ~ 2001년 6월 : LG그룹(LG전자, LG산전) 도시·철도교통사업 본부  
2001년 7월 ~ 2007년 1월 : 에턴시스템 도시교통사업부  
2007년 2월 ~ 현재 : 모루시스템 상무이사  
2007년 7월 ~ 현재 : 아주대학교 건설교통공학과(박사과정)