

국내 LED 교통 신호등용 안정기 구조별 특성 비교

A Comparison Characteristics on the Structures of the LED Traffic Signal Lamp Controller for the Domestic Use

박종연* 노경호**
Park, Chong-Yeun No, Kyung-Ho

Abstract

Instead of the incandescent lamps the LED lamps have been used on the traffic signal lamp with the advantages of small loss, no lens and long life.

In this paper, we have compared three kinds of the LED controller structures and showed the LED array decision methods. We studied the temperature characteristics on LED and the temperature compensation network.

The experimental results showed that the electrical characteristics of three kinds of the LED controller structures were different each other.

We concluded that the temperature compensation is the important technique, the best compensation network has the $\pm 10\%$ variation for the luminous intensity.

키워드 : LED 교통 신호등, LED 배열, 온도특성, 온도 보상

Keywords : LED lamps, LED array, temperature characteristics, temperature compensation

1. 서론

현재 대부분의 교통 신호등으로 사용되는 광원은 백열등이다. 백열등은 필라멘트를 가열하여 나오는 빛을 이용하므로 다른 광원에 비해 연색성이 좋은 반면 열 발생에 의한 낮은 발광효율과 짧은 수명 특성을 가지고 있다. 또한 각 신호등에 해당하는 착색렌즈를 필요로 한다. 렌즈의 사용으로 빛의 손실이 일어나며 특히 팬텀효과에 의한 나쁜 시감 특성을 가지고 있어 비효율적인 광원이라 할 수 있다.[1][2]

최근에 교통 신호등은 여러 개의 LED(Light Emitting Diode)와 구동회로로 구성되는 LED 교통 신호등으로 교체되고 있다. 이는 발열에 의한

열 손실이 거의 없고, 특정 파장대의 빛을 발산하므로 착색렌즈가 필요가 없다. 백열전구 대비 수명은 10배 이상이며 이에 따른 유지보수비용을 절감할 수 있다. 또한 시인성이 좋아 운전자 혹은 보행자의 교통사고를 줄이는데 큰 역할을 하고 있다 [3][4].

LED 교통 신호등의 수요가 늘면서 LED와 LED를 구동하기 위한 구동 회로의 수요 또한 늘고 있다. LED는 직류로 구동 되는 반도체 소자로서 상용전원 220V, 60Hz의 교류전원을 직류전원으로 변환시켜주는 회로를 이용하여 구동된다. 그것은 주변의 가전기기나 컴퓨터에 들어가는 스위칭 모드 파워 서플라이 (Switching Mode Power Supply)를 의미한다.

하지만 LED 교통 신호등의 구동회로는 일반적인 SMPS와는 달리 일정한 전기적 특성을 만족하여야 하는데 이는 KS 규격에 명시되어 있으며 내용은 다음과 같다.

* 강원대학교 전기공학과 교수, 공학박사

** 강원대학교 대학원 전기공학과 석사과정

표1 LED 구동 회로의 전기적 특성 [5]

역율 (Power Factor)	> 0.9
전고조파 왜율 (Total Harmonic Distortion)	< 40%
소비전력	< 10W

단, 25℃ 온도에서 정격전압으로 점등했을 때

역율은 구동회로의 입력 전압과 입력 전류, 두 벡터 사이의 위상각 θ 의 $\cos\theta$ 값으로 계산된다. 총 고조파 함유율은 입력전류(기본파=60Hz)에 함유된 고조파성분의 함유율을 의미한다. 고조파 함유율이 낮을수록 전고조파왜율은 작아진다. 위에서 살펴본 역율과 전고조파왜율은 대부분의 광원을 구동하는 안정기의 정격에서 살펴 볼 수 있다.

본 논문에서는 LED 교통 신호등 구동 회로에 관하여 국내의 대부분 제조기업에서 사용하는 3개의 구조에 대하여 제품을 비교, 분석하였다. 첫째로 구동 회로의 구조를 살펴보고 두 번째로는 LED 개수 및 배열에 따른 구동 회로의 구조적 변화에 대해서 셋째로는 LED의 온도특성을 보완하기 위한 온도보상회로에 대해서 비교, 분석 하였다. 마지막으로 구성 방식에 따른 전기적 특성에 관하여 알아보았다.

2. LED 신호등용 구동회로의 특성

2.1 구동회로의 구조 비교

(1) A 구조

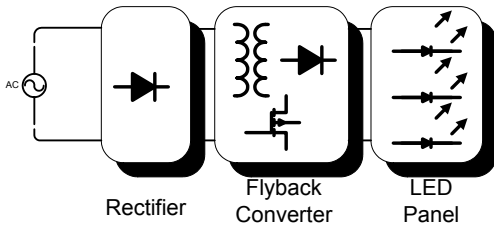


그림 1 'A'구조 구동회로 구조

'A' 구조에서 사용한 구조는 2 Stage라고 알려져 있는 구조이다. 220V, 60Hz의 전원 입력을 다이오드 정류기를 거쳐 120Hz의 DC로 만든다. PFC(Power Factor Correction) IC와 부스트 컨버터를 이용해 400V에 높은 DC-Link 전압을 생성한 후 PWM(Pulse Width Modulation) IC와 플라이백 컨버터를 이용해 원하는 LED 구동 전압을 생성하게 된다.

부스트 컨버터를 사용함으로써 입력 전류의 모

양을 입력 전압과 같은 60Hz의 정현파로 생성하면서 역율의 값을 1에 근접시킬 수 있게 되며 또한 고조파의 함유량이 적어져 총 고조파 함유율도 낮출 수 있게 된다. 부스트 컨버터를 사용함으로써 다른 구동 회로보다 역율, 전고조파왜율 면에서 좋은 특성을 보이는 구조이다.

이 회로의 장점은 앞단의 부스트 컨버터와 뒷단에 플라이백 컨버터를 따로 설계해서 연결을 할 수 있다는 것이다. 다시 얘기하면 설계의 용이성이다. 이것은 중간에 400V라는 DC-Link 전압이 있기 때문에 가능한 일이다. 단점으로는 컨버터 구조가 2번 사용되어 인덕터 및 스위칭 소자, PWM IC가 많이 사용되었다는 점이다.

(2) B 구조

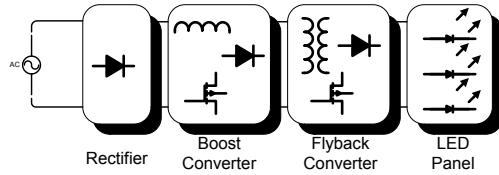


그림 2 'B'구조 구동회로 구조

'B' 구조에서 사용한 구조는 'A'구조의 구동 회로와 비교해 보았을 때 부스트 컨버터가 생략된 형태이다. 하지만 중요한 점은 플라이백 컨버터를 PFC IC를 이용하여 구동한다는 점이다. 부스트 컨버터를 이용하여 역율과 전고조파왜율의 성능을 좋게 했던 것처럼 플라이백 컨버터구조에 PFC IC를 사용함으로써 역율과 전고조파왜율의 성능을 향상시킬 수 있게 된다.[6]

구조가 간단하고 쉽게 구성 가능한 것이 장점이다. 하지만 구조가 간단해진 만큼 역율의 전기적 특성에서는 A구조의 구동회로보다 좋지 않은 단점을 지니고 있다.

(3) C 구조

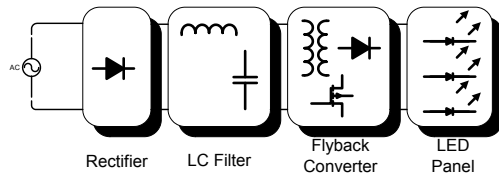


그림 3 'C'구조 구동회로 구조

'C' 구조에서 사용한 플라이백 컨버터를 사용한 방법은 B구조의 회로와 유사하나 L과 C를 이용한

수동 필터를 이용하여 역을 개선을 시도하였다. 보통 L을 직렬 연결하는 것으로도 전류의 변화를 줄여 역을 개선을 할 수 있으나 C를 사용하여 고주파수의 성분을 필터링 함으로써 필터의 성능을 발휘하였다.

2.2 교통 신호등 LED 개수 및 배열 결정

LED의 색에 따른 전기적 특성은 다음과 같다.

표2 LED의 전기적 특성[10]

	적색	황색	녹색
구동 전압 (V)	2.2	2.2	3.5
구동 전류 (mA)	20	20	20
광도 (cd)	3	3	4

여기서 전체 LED 구동 전압을 24V로 고정하면 직렬 LED 개수를 구할 수 있다.

표3 직렬 개수와 출력 전압

	적색	황색	녹색
직렬 개수	11	11	7
Vo(V)	24.2	24.2	24.5

여기서 LED 구동전압을 모든 LED에 일정하게 설정하면 구동 회로 제작 시 부하의 영향을 최소화 시킬 수 있는 장점이 있다.

전체 광도와 각각 광도로부터 LED의 개수를 계산하면 다음과 같다.

표4 전체광도와 각각광도에 의한 총 개수 계산

	적색	황색	녹색
전체 광도(cd)	340	340	340
광도(cd)	3	3	4
총 LED 개수	113	113	85

총 LED 개수로부터 병렬의 LED 개수 계산하면 다음과 같다.

표5 총 개수와 직, 병렬 개수

	적색	황색	녹색
총 LED 개수	113	113	85
직렬 개수	11	11	7
병렬 개수	10	10	12

직렬 개수는 구동전압을 결정짓고 병렬개수는 구동전류를 결정짓는다. 배열 결정시 만약 직렬 개수가 적고 병렬 개수가 많으면 적은 전압의 조절로 많은 전류를 컨트롤해야 하는 어려움이 있고 반대로 직렬 개수를 대폭 늘리면 직, 병렬 배열 시 전류가 통과할 수 있는 경로가 줄어들어 LED 고장 시 다른 LED에 과전류의 부담을 주게 된다.

본 논문에서는 구동전압을 24V로 고정하여 직렬 개수를 결정짓고 그 외 LED 개수를 늘리는 경우에는 병렬로 LED를 추가하면서 배열을 구성하는 방법을 제안한다.

본 논문에서 비교한 각 구조의 LED 개수를 보면 다음과 같다.

표6 3개 구조의 LED 개수

	적색	황색	녹색
'A'구조	180	216	144
'B'구조	140	190	126
'C'구조	125	125	100

3개 회사의 LED 개수는 본 논문에서 결정한 LED 개수보다 1.1배에서 1.9배의 개수로 결정하였다. LED는 1개당 흘릴 수 있는 전류 정격이 있는데 이는 최대 30mA까지 규정하고 있다. 개수를 늘림으로써 전류를 정격 이내에 두어 온도 보상 시 LED를 보호하려 한 것으로 보인다.

3. 실험 및 검토

3.1 LED의 온도 특성 및 온도 보상 회로

(1) LED 온도 특성

LED의 광도는 주변 온도가 상승함에 따라 감소하는 특성을 가지고 있다. KS규격을 살펴보면 'LED 교통 신호등은 -30℃ ~ 70℃에서 상온의 광도 밝기의 ±20%를 유지해야 한다'라는 내용을 포

함하고 있다. [1]

LED 온도 대 광도, 전류 특성은 다음과 같다.

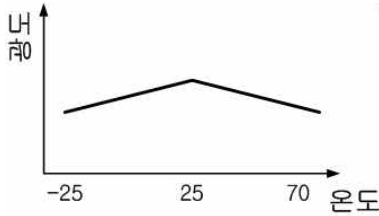


그림 4 온도에 따른 광도 특성

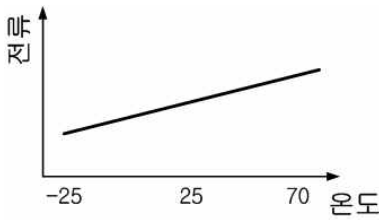


그림 5 온도에 따른 전류 특성

위와 같은 특성을 갖는 LED를 온도 변화에 따라 다음 그림과 같이 일정한 광도를 유지하기 위해서는

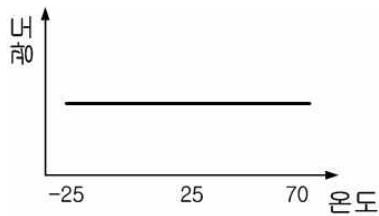


그림 6 온도에 따른 일정한 광도 변화

온도 보상회로를 추가하여 전체적인 LED 구동 전류를 상승시켜 주어야 한다.

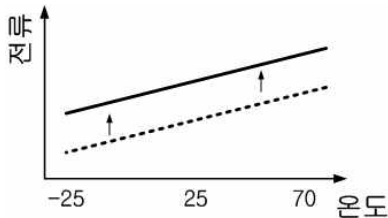


그림 7 온도에 따른 전류 보상 범위

(2) 온도 보상 회로

온도 보상 회로는 대부분 NTC (Negative Temperature Coefficient) 서미스터라는 온도 센서를 이용하게 된다.[7]

'A'구조의 온도 보상회로는 다음과 같다.

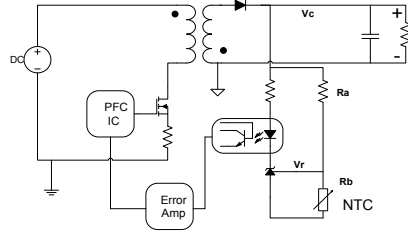


그림 8 A구조의 온도 보상 회로

그림은 플라이백 컨버터 구조이다. 2차측은 LED 교통신호등, 정류 다이오드, 평활 커패시터, 포토커플러 그리고 2차측 전압평화에 사용되는 프로그래머블 셉트 레귤레이터(TL431)로 이루어져 있다. 온도센서인 NTC 서미스터를 TL431의 기준 전압을 결정하는 저항으로 사용한다.[4]

TL431의 기준전압은 식(1)에 의해 결정된다.

$$V_r = \frac{R_b}{R_a + R_b} \times V_c \quad (1)$$

기준 단자의 전압을 내부 기준 전압인 2.5V와 비교하여 캐소드에서 애노드로의 도통 상태를 결정한다. 기준 단자의 전압(V_r)이 커지면 캐소드에서 애노드로 도통 되어 포토다이오드로 전류가 흐른다. 이 때 포토트랜지스터 양단 전압이 작아져 오차 증폭기 입력 전압의 값이 상승한다.

반대 경우 기준 전압이 2.5V보다 작게 되면 캐소드에서 애노드로 끊어진 상태로 되고 포토트랜지스터 양단 전압이 커져 오차 증폭기 입력 전압의 값이 하강한다. 오차 증폭기는 입력전압의 크기에 따라 스위칭 듀티를 조절한다. 이 과정을 반복하면서 온도에 해당하는 전압과 전류가 LED 교통신호등에 인가된다.

이 회로의 단점은 온도 보상을 주변온도에만 의존하여 온도보상을 함으로 LED의 고장 및 파손 상태에 따른 부하 전류의 변화에 의한 광 출력의 변동을 예측 할 수 없는 데에 있다.

'B'구조의 온도 보상 회로는 다음과 같다.

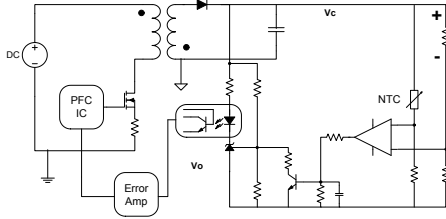


그림 9 B구조의 온도 보상 회로

그림의 회로는 온도보상을 함에 있어 주변온도와 부하전류를 모두 고려하였다. 온도변화는 NTC를 이용하여, 부하에 흐르는 전류는 직렬로 연결된 저항에 걸리는 전압으로 센싱 하여 비교기를 통해 비교하게 된다. 비교기의 출력은 트랜지스터의 on/off를 결정하고 이는 TL431의 기준 전압의 변화를 가져와 그림(8)의 회로와 같은 원리로 온도를 보상하게 된다.

이 회로의 단점은 비교기에 의해 비교되는 전압이 매우 작다는 것이다. 부하 전류를 센싱 하기 위해서 부하출력 전압에 영향을 주지 않을 만큼 작은 저항으로 전압을 센싱 하는데 그 값이 매우 작다. 이 전압과 비교될 전압도 이와 비슷한 값을 유지하여야 하고 또한 NTC 저항값 변화에 따른 영향도 고려하여야 함으로 저항값의 선정에 어려움이 있다.

'C'구조의 온도 보상 회로는 다음과 같다.

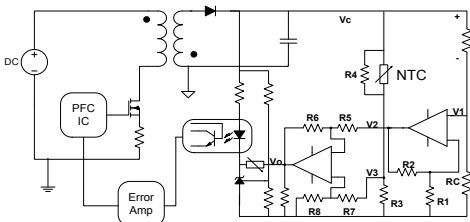


그림 10 C구조의 온도 보상 회로

위의 회로는 주변 온도의 변화와 부하 전류의 변화를 센싱 받아 온도보상을 하였다. 또한 센싱된 전압을 연산 증폭기를 이용한 증폭된 값으로 비교함으로써 저항값 선정이 용이하고 비교가 수월하다.[8]

서미스터 NTC의 변화 값은 R3의 전압(V3)으로, LED 교통 신호등으로 흐르는 전류의 변화 값은 RC의 전압(V1)으로 센싱 하였다.

온도보상회로의 출력 전압 (Vo)은 식(2)~(4)로 구할 수 있다.

$$V_2 = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times V_1 \quad (2)$$

$$V_3 = \frac{R_3}{R_4/R_{NTC} + R_3} \times V_C \quad (3)$$

$$V_O = \left(1 + \frac{R_6}{R_5}\right) \left(\frac{R_8}{R_7 + R_8}\right) V_3 - \frac{R_6}{R_5} V_2 \quad (4)$$

이렇게 구해진 Vo는 TL431의 캐소드전압이 되고 Vc와의 레벨 차이에 따라 포토다이오드의 전류 흐름이 제어된다. 만약 온도가 올라가 LED의 광도가 감소하고 Vc값이 하강 하게 되면 온도보상 회로에 의해 Vo의 값은 Vc값과 같게 설정되고 포토다이오드로 전류의 흐름을 중지시킨다. 이 신호는 오차 증폭기의 입력 전압을 작게 하여 스위칭 듀티를 증가시킨다. 그 결과 Vc값을 상승시켜 일정한 광출력을 유지하게 된다. 반대로 온도가 내려가게 되면 Vc값은 상승하며 Vo값과 레벨차이가 커져 포토다이오드의 전류가 많이 흐른다. 이는 피드백 신호가 많음을 의미하며 스위치의 듀티를 감소시키게 된다. 그 결과 Vc값을 낮게 하여 일정한 광출력을 유지한다.

3.2 구동회로를 이용한 LED신호등 특성 측정

측정 조건은 가로 0.3m, 세로 0.3m, 높이 1m의 암실상자를 제작하였고 측정거리를 1m로 하여 조도계를 사용하여 광도를 측정하였다. 그 외 전기적 특성은 Power analyzer를 이용하여 측정하였다.

광도는 조도 값과 측정거리를 이용하여 다음 식(5)에 의해 계산된다.[1]

$$I = E \times l^2 \quad (I=\text{광도}, E=\text{조도}, l=\text{측정 거리}) \quad (5)$$

측정된 대상은 LED개수가 125개인 적색 LED 신호등이다.

A, B, C구조 구동 회로의 전기적 특성을 정리하면 다음과 같다.

표7 3가지 구조 구동 회로의 특성 비교

항목	A구조	B구조	C구조
역율	0.94	0.94	0.96
전고조파 왜율(%)	28	23	18
Pi	8.1	8.0	8.0
Po	4.94	4.96	5.12
η	0.61	0.62	0.64
광도(cd)	490	498	520

- [6] Bahman Sharifipour, J.S. Huang, and Peter Liao, Laszlo Huber and Milan M. JovanoviC, "Manufacturing and Cost Analysis of Power-Factor-Correction Circuits", 1998, IEEE.
- [7] 이상철, Thermistor(NTC, PTC, Thermistor), 포항공과대학교.
- [8] 노경호, "LED 교통 신호등의 구동 회로 설계 및 특성", 한국조명·전기설비학회 2005 춘계 학술대회 논문집, pp.106~110, 2005.
- [9] TL431 datasheet, FAIRCHILD.
- [10] ITSWELL Co, Ltd LED data sheet.

4. 결론

본 논문에서는 국내 LED 교통 신호등 안정기의 구조별 특성에 관한 특성을 비교하였다. 먼저 구동 회로의 종류 및 동작원리를 비교하였고 LED 개수 및 배열 결정 방법을 제안 하였다.

LED의 전기적 특성 측정 결과 세 가지 구조 모두 역율은 0.94이상, 전고조파왜율은 28%이하, 광도는 490cd이상, 효율은 0.6이상의 특성을 나타내었다.

LED 온도 특성 및 온도보상회로에 관한 측정에서는 LED의 온도 특성을 정확히 판단하고 온도와 LED 구동전류를 센싱한 후 연산 증폭기를 이용해 보상을 실시하여 광도 변화 범위가 $\pm 10\%$ 인 C 구조의 성능이 다른 구조의 성능보다 우수함을 알 수 있었다.

온도의 변화에 대한 광도 변화 범위를 줄임으로써 계절, 낮/밤에 상관없이 운전자에게 시인성과 선명성 등을 제공함으로써 뛰어난 사고예방효과를 얻을 수 있게 된다.

본 연구는 강원대학교 BK21사업단의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 산업자원부, "에너지 절약형 LED 교통신호등 규격연구 및 시스템 개발", 2002.4.10.
- [2] 전남 대학교 광응용기술연구소, "고휘도 LED를 이용한 조명제품 개발에 관한 연구"
- [3] 장우진 외, "국내의 광원분야의 신기술 동향", 한국 조명·전기설비학회 2004춘계학술대회 조명분야 전문워크샵, PP.6, 2004.
- [4] 김훈, "조명 광원으로서 LED", 한국 조명·설비 학회지 제 17권 제5호, pp3~10, 2003.10.
- [5] LED 교통 신호등 KS 규격, KS C 7528-2002.