

LED 가로등 디밍제어를 통한 에너지 절감에 관한 연구

정재원*, 전옥표*, 남궁혁*, 한광용*, 함동령*, 안재혁*, 홍정민*
한국수자원공사*

A study on energy savings through LED street light dimming control

Jae-won Jeong*, Uk-pyo Jeon*, Hyuk Namkung*, Gwang-yong Han*, Dong-ryeong Ham*, Jae-hyeok An*, Jeong-min Hong*
K-water*

Abstract - 가로등은 공공 부문 전력 사용량 중 절대적인 비중을 차지하지만 불필요한 전력 소모로 인한 낭비요인이 적지 않았다. 통상적으로 가로등은 조금만 어두워도 안전사고 우려가 높아 법적 기준보다 10~20% 정도 밝게 설계되고 있는 실정이다. 그래서 도로조명의 가로등은 에너지절약을 위하여 격등방식으로 사용하고 있으나 등주사이의 조도 분포가 균일하지 않아, 조도가 낮은 곳에서 운전자가 불안감을 느끼고 피로가 증가하여 사고로 이어지며, 조도조절이 불가능해 차량 이동이 적은 새벽 시간까지 밝게 유지해야 하는 비효율이 발생, 불필요한 전력 소모로 이어지는 등의 문제점에 대해서 본 고에서는 가로등에 디밍제어 시스템을 구현하여 안정적인 조도 유지하고 에너지 절감효과를 증가시킬 수 있는 방안에 대해 고찰하고자 한다.

1. 서 론

가로등은 야간 생활이 많아진 지역 주민과 자동차 운전자의 시각적 능력을 주간과 같은 정도로 유지해주어서 야간활동의 제약을 해소하고 교통안전에 도모하며 도로이용 효율을 향상시키고 보행자 및 자동차 운전자의 불안감 제거와 피로의 경감 및 범죄 방지 등의 기능을 가지는 도로의 필수적인 생활편익시설의 하나로 자리 잡고 있다. 따라서 가로등 시설의 적절한 설치와 활용에 있어서 체계적이고 효율적인 관리는 도로 관리하고 있는 지자체에 있어서 중요한 관심사항이다. 그러나 현재 한 개의 지자체에서 관리하고 있는 가로등 수량 수준은 그 시설 개수만도 수천개에서 수만개에 이르고 그 분포도 지역 곳곳에 산재되어 있어 효율적인 관리와 비용절감에 많은 어려움을 가지고 있다.

도로조명은 설치 단계에서 도로 조명이 위치할 장소의 교통량, 조도, 휘도, 노면의 특성 등을 살펴 이에 적합한 도로 조명을 선정한 후 이를 배치하게 된다. 현재는 이미 설치되어 운용중인 대부분의 도로 조명은 나트륨 혹은 메탈할라이드 램프를 광원으로 사용하고 있다.

현재 LED 광원은 광변환 효율과 기술의 안정화로 인해 LED 도로 조명에 적극 도입되고 있는 추세이며 고효율 및 그린 에너지 정책 등 국가 정책적으로 LED 조명 도입을 적극 권장하고 있으며 공공기관에서는 정부의 시책에 따라 의무화하고 있다.

이렇게 LED 도로 조명의 확대는 당연한 수순으로 받아들여지고 있으므로 이를 적극활용 할 수 있는 방안 또한 함께 검토되어야 한다.

LED 광원이 도로 조명에 등장하기 이전에 설치된 절대 다수의 도로 조명은 디밍제어 방법을 고려하지 않았다. 하지만 LED 조명은 조명기구 자체의 효율뿐만 아니라 제어 방법을 부가하여 에너지 절감을 배가하기 매우 용이하므로 LED 조명 기구 교체와 함께 제어 시스템을 동시에 교체함이 더욱 효과적이다.

2. 본 론

2.1 도로의 조명환경

2.1.1 조명시설

도로의 조명시설은 도로의 대표적인 교통안전시설로 주·야간의 도로 이용자가 안전하고 불안감 없이 통행할 수 있도록 적절한 조명환경을 확보함으로써 운전자에게 심리적 안정감을 제공하는 동시에 운전자의 시선을 유도하는 기능 등 적절한 시각정보를 제공한다.

특히, 야간에 운전자가 도로 전방의 상황이나 도로의 선형 등을 쉽게 인지할 수 있도록 조명을 제공하여, 장애물이나 도로상의 급격한 변화를 정확히 판별 후 운전 조작을 할 수 있도록 하는 것을 목표로 한다.

도로의 조명시설의 주요 기능을 요약 정리하면 다음과 같다

- 교통안전의 향상
- 도로 이용 효율의 향상
- 운전자의 불안감 제거와 피로 감소
- 운전자의 심리적 안정감 및 쾌적감 제공
- 운전자의 시선 유도를 통해 보다 편안하고 안전한 주행 여건 제공

- 보행자의 불안감 제거
- 범죄의 방지와 감소

이러한 도로 조명설비는 조명 기준에서 정하는 양적·질적 요구사항을 달성 하도록 설계되어야 한다.

o 도로의 주·야간 이용자들에게 적절한 조명환경을 제공해 주기 위한 도로 조명시설의 설치 및 관리 기준은 자국의 경제 사정, 인구 밀도와 교통 혼잡도, 통행규모 등의 여러 요소들을 고려하여 개별 국가마다 조금씩 다르게 채택하여 사용하고 있다.

o 다음은 도로 조명의 기본적인 요건을 정리한 것이다

- 적절한 노면휘도가 유지되고, 휘도의 분포가 균일할 것
- 조명기구의 눈부심이 운전자에게 불쾌감을 주지 않도록 충분히 제어되어 있을 것
- 적절한 배치배열로 도로의 선형이 급격히 변하는 곳, 교차로, 도로의 합. 분류점 등 특수한 곳의 유무 및 위치 등을 운전자가 분명히 인지할 수 있을 것
- 조명시설이 도로와 도로 주변의 경관을 해치지 않을 것

2.1.2 도로조명기준

가. 한국산업표준의 도로 조명 기준(KS A 3701 : 2007)

o 한국의 도로 조명 기준은 기존 국제조명위원회의 도로 조명 지침(CIE 115-1995)을 토대로 하고 있으며, 다음 표와 같이 도로의 종류와 교통량에 따라 M1~ M5로 분류하고 있다.

<표 1> 도로 및 교통의 종류에 따른 도로 조명등급

도로의 종류	교통의 종류와 자동차 교통량	도로조명등급
상하생선이 분리되고 교차부는 모두 입체 교차로로서 출입이 완전히 제한되어 있는 고속의 도로, 자동차 전용도로 또는 고속 도로	교통량이 많으면서 도로 선형이 복잡한 경우	M1
	교통량이 많거나 도로 선형이 복잡한 경우	M2
고속의 도로, 상하행선 분리 도로	교통량이 적고 도로 선형이 단순한 경우, 또는 주변 환경이 어두운 경우	M3
	교통제어와 다른 형태의 도로 사용자의 분리가 부족 함.	M1
주요한 도시 교통로, 간선 도로, 국도	교통제어와 다른 형태의 도로 사용자의 분리가 잘 되어 있음.	M2
	교통제어와 다른 형태의 도로 사용자의 분리가 부족 함.	M2
중요도가 낮은 연결 도로, 지방 연결 도로, 주택지역의 주 접근 도로, 사유지로의 접근 도로와 연결 도로	교통제어와 다른 형태의 도로 사용자의 분리가 잘 되어 있음.	M3
	교통제어와 다른 형태의 도로 사용자의 분리가 부족 함.	M4
	교통제어와 다른 형태의 도로 사용자의 분리가 잘 되어 있음.	M5

<표 2> 운전자에 대한 도로 조명의 휘도 기준

도로 조명 등급	평균노면 휘도 (최소 허용치) Lavg(cd/m ²)	휘도 규제도(최소 허용치)		임계치 증분 (TI, %) (최대 허용치)
		종합규제도(UO) Lmin/Lavg	차선축간제도(UI) Lmin/Lmax	
M1	2.0	0.4	0.7	10
M2	1.5	0.4	0.7	10
M3	1.0	0.4	0.5	10
M4	0.75	0.4	-	15
M5	0.5	0.4	-	15

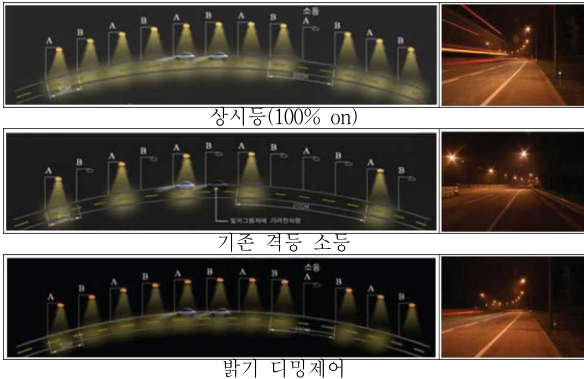
도로의 노면 휘도는 도로 조명설계의 가장 기본적인 요소로 설치 대상 지점의 도로·교통 특성에 따라 적절한 휘도와 균일한 휘도분포를 유지하는 것이 중요하며 이러한 노면 휘도는 조명기구의 광특성이나 배치, 노면의 종류(반사, 거칠기, 색상 등) 등에 따라 변하므로 설계시 이 요소들을 고려해야 한다.

2.2 디밍제어 (Dimming Control)

2.2.1 도로 조명 환경의 안전성 확보

도로 조명에 가장 많이 사용되는 고압나트륨 램프의 연색성 수준은 30(Ra) 정도로 밝은 조명 환경에서는 큰 문제가 없으나 색상을 구분하기 곤란한 어두운 조명 환경에서는 안전에 큰 영향을 미친다. 연색성(color rendering)은 어떤 빛으로 물체를 조사(照射)하여 볼 때 보이는 물체의 색의 느낌을 연색성이라 한다.

시험광원의 연색성이 좋을수록 평균 연색지수가 100(Ra)에 가깝게 나타난다. 반면 일반적인 LED 조명의 연색성은 75(Ra) 이상이며 현재는 타 광원에 비해 연색성 문제를 제기할 필요성이 없을 정도의 기술 수준에 이르렀다. 기존 도로조명에 적용된 고압방전 조명기구는 디밍제어가 어려워 에너지 절약 방안으로 스케줄에 따라 00시 이후 일출시간까지 격등제어를 하였으며, 이는 도로 노면의 밝기 균일도가 나빠지는 단점을 지닌다. 또한 도로 노면의 밝기 균일도 저하 및 그림자 발생은 장애물 인식 장애와 운전자의 시인성 감소로 인해 교통사고 위험이 높아지는 가능성을 지니고 있다. 더불어 격등제어는 플리커 문제를 유발할 가능성이 있으며, 적절히 제어되지 않은 플리커에 의한 정신적인 피로감을 유발하여 안전성에 대한 큰 위협 요인이 된다. 이를 기존 격등제어 운영에서 밝기 조절의 디밍제어를 통해 밝기 균일도를 유지하면서 동시에 에너지 절감이 가능하다. 동일한 에너지를 사용함에도 균일한 조도면을 확보할 수 있는 LED 조명을 사용한 디밍제어 방식 도입이 적절하다 하겠다. 다음 그림은 격등제어와 디밍제어에 따른 노면 밝기 균일도를 나타낸 것이다.



〈그림 1〉 가로등의 격등제어와 디밍제어에 따른 노면밝기 균일도 비교

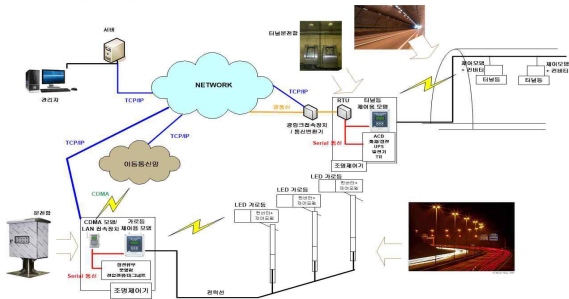
2.2.1 디밍제어의 필요성

LED 조명은 반도체 조명으로서 타광원에 비해 점등 및 디밍제어가 매우 용이하므로 이러한 LED 조명의 도로조명으로써의 적극적인 도입은 에너지 절감 및 안전성 확보는 물론 디밍제어 기술 수준을 제고시키고 관련 업체의 기술 경쟁력을 높이는데 크게 일조할 것이다.

2.2.2 디밍제어의 개념도

아래그림에 전체 시스템의 개념도를 나타내었으며, 구분되어지는 통신 유형은 다음과 같다.

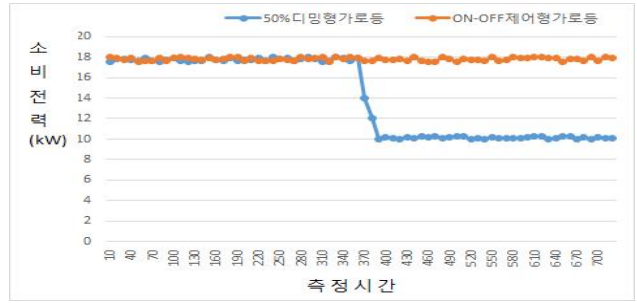
- 등기구와 제어모뎀 간 디밍 인터페이스
- 제어모뎀과 조명제어기간의 통신
- 조명제어기와 서버간의 통신
- 조명제어기와 센서간의 통신



〈그림 2〉 LED 디밍제어 시스템 개념도

2.2.3 에너지 절감

도로 조명을 위해 지자체가 지불해야하는 전기료의 상당 부분은 가로등과 터널등이 차지하고 있다. 1일 12시간 100% 밝기로 운영할때를 기준으로 1일 6시간을 100%로 운영하고 6시간은 50% 운영 하였을 때 전력소모량을 비교해보았다.

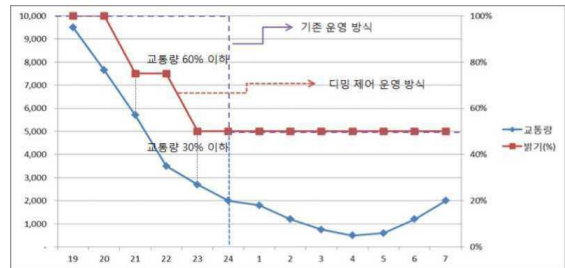


〈그림 3〉 소비전력 측정 그래프

전력소모량 측정그래프와 같이 ON-OFF 제어형 가로등에 비교하여 50% 디밍제어를 해주는 가로등의 소비전력이 약 40% 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 동일 소비전력의 약 20%의 에너지 절감을 기대할 수 있었다. 도로 조명 환경과 다소 거리가 있긴 하나 건물 내 에너지 절감 방법에 있어서도 가장 큰 역할을 하는 것은 디밍제어 방식이다. 건물 내 에너지 절감을 위한 방법은 디밍제어, 주광 이용, 스케줄 제어 등의 방식이 있다. 하지만 이 중 가장 큰 효과가 있는 것은 디밍제어 방식으로 도로 조명 제어 운영 방안에 적용할 가치가 충분할 것으로 보인다. 또한 일반 도로 조명에 비해 터널에 설치되는 조명의 개수가 더욱 많으며, 항상 점등 되어 있어야하는 터널의 경우는 특성상 디밍제어에 의한 에너지 절감을 개선 여지는 더욱 크다 하겠다.

2.8.2. 가로등 스케줄 디밍제어 운영안

조명설계를 함에 있어 보수율을 적용하여 초기 밝기는 기존 밝기에 비해 밝게 설계되며, 이러한 과설계 부분은 LED 조명의 디밍을 통해 에너지 절감이 가능할 것이다. 또한 사용 시간에 따른 LED 광원의 광속저하에 따라 적용된 디밍을 조절하며 기존 밝기의 유지가 가능하다. 가로등 점등 후부터 심야시간까지 시간당 교통량 변화(지차의 측정 통계자료 활용)에 의거 교통량이 설정 기준보다 낮아지는 시간부터 평균 노면 휘도 0.75cd/m²(M4 등급)을 유지하다가 심야시간 이후 평균 노면 휘도 0.5cd/m²(M5 등급)까지 최대 제어 운용 방안 다음과 같이 제안하고자 한다. 교통량 연계되는 가로등 디밍제어 운영안은 다음과 같다.



〈그림 4〉 교통량에 따른 가로등 제어운영방안

3. 결 론

조명에 대한 디밍제어기술은 디밍이 용이한 LED 광원의 보급 및 각국의 에너지 절감 정책으로 인해 당연한 기술 개발 흐름으로 인식되고 있다. 과거 On/Off만을 제어하던 조명과 달리 LED 조명은 디밍이 용이하며 이러한 점을 심본 발휘하기 위해 국내를 포함한 세계 각국의 조명회사 또한 디밍 기술에 대한 관심을 갖고 있으며 관련 기술은 크게 발전할 것으로 사료된다.

디밍제어 기술 자체는 어려운 기술은 아니나 조명의 종류, 특성, 그리고 이들이 위치한 환경에 따라 디밍제어 알고리즘은 크게 달라져야 할 것이다. 반면 많은 업체들이 디밍 해상도 혹은 디밍제어 방식 자체에만 많은 고민을 하고 있는 실정이다.

따라서, 국가적인 차원에서 국내 조명업체의 디밍 기술 개발을 촉진하고 국내 도로 조명 환경을 개선하기 위해서는 국가의 선도적인 역할이 중요할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국표준협회, "KS A3701 도로조명기준", 2007
- [2] 한국도로공사, "LED 도로조명 디밍 표준화 및 성능평가시스템 개발 연구", 2014