# 직관형 LED램프 컨버터에 회로구동방식을 적용한 LED 형광등 연구

양병문*, 차재상*© 정회원

# A Study on LED Fluorescent Lamp applying Circuit Driven Method to Tubular LED Lamp Converter

Byongmoon Yang*, Jaesang Cha* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 LED 형광등에 활용이 가능한 컨버터 관한 연구를 수행하였다. 기존 고효율에너지 기자재로 지정된 형광램프용 고조도 반사갓이 LED 형광램프의 Heat-sink 구조상 활용할 수 없는 구조이기 때문에 LED 형광램프 컨버터의 에너지 효율이 뛰어난 회로 설계 및 보호회로 설계가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 직관형 LED램프 컨버터에 회로구동방식을 적용한 LED 형광등 연구를 수행하였다. 또한, LED를 광원으로 한 'LED 램프'와 일반 상용 전원에 접속해 직류 전원을 공급할 수 있는 컨버터에 대하여 설계 및 제작을 하였다.

Key Words : LED Fluorescent Lamp, Tubular LED Lamp Converter, Circuit Drive Method

ABSTRACT

In this paper, we perform a study on LED Fluorescent Lamp applying Circuit Driven Method to Tubular LED Lamp Converter. The energy efficiency of LED fluorescent lamp converter requires exceptional protection circuit design, circuit design and structure, because it can not take advantage of Heat-sink structure of the heightened degree Reflector for Fluorescent Lamp. In this paper, we performed a study on LED fluorescent lamp applying circuit driven method to tubular LED lamp converter, Also, we designs LED lamp and converter which can supply DC power common commercial power source.

## I. 서 론

현재 조명기기에 소비되는 전력량이 국내 총 전력량의 28%를 점유하고 있어 에너지절감을 위한 핵심 산업으로 부상하고 있으며, 정부에서도 저탄소 녹색조명을 구현하기 위한 15/30 Project로 기존 조명기기를 LED 조명기기로 교체하여 보급 확산을 푸시하고 있다.[1]

현재 개발·보급중인 컨버터 내장형, 컨버터 외장형, 매입형 및 고정형 LED등기구, LED보안등 및 가로등기구는 KS 및 고효율에너지기자재인증을 제정하여 활발하게 연구개발 및 시범 설치 등 다양한 하게 진행 되고 있다.

그림 1과 같이 국내에 직관형 형광램프가 3억 6000만개(44.7%)가 설치되어 에너지절감 효과를 극대화할 수 있는 형광램프 대체용 Linear LED램프는 필드에서 발생할 잠재문제가 도출되어 연구개발 및 보급 확산에 어려움에 직면하고 있는 실정이다.[2]

현재까지 개발중인 Linear LED램프는 기존 동등사이즈의 형광램프와 비교하여 초기광속뿐 아니라 발광강도 저하 및 좁은 방사각도에 따른 배광분포가 협소하여 기존 형광등기구의 발광면적 및 조도 균제도를 감안할 때 공간 발광효율이 저하하는 것으로 나타나고 있다.

LED소자의 최적화 특성 규격을 확보하지 못한 상태에서 Junction Temperature에 대한 방열설계 및 방열소재의 적정성 미흡으로 인한 발열화재, 전기Shock 등 안전성 미흡 및 장시간 사용에 따른 광학성능 저하가 노출되고 있다.

기존 고효율에너지 기자재로 지정된 형광램프용 고조도

※ 이 연구의 일부는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.
*서울과학기술대학교 NID융합기술대학원 방송통신융합프로그램
접수일자 : 2015년 3월 3일, 수정완료일자 : 2015년 3월 12일, 최종게재확정일자 : 2015년 3월 18일

반사갓이 LED 형광램프의 Heat-sink 구조상 활용할 수 없는 구조이기 때문에 LED 형광램프 컨버터의 에너지 효율이 뛰어난 회로 설계 및 보호회로 설계가 필요하다.[3]

그림 1. 형광램프대체용 LED램프

본 논문에서는 LED램프의 컨버터에 회로 구동 방식이 적용한 LED 형광등를 개발 하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 서론에 이어 2장에서는 LED 램프 관련 국내외 동향을 분석하고, 3장에서는 회로 구동 방식이 적용된 컨버터 설계 및 제작에 대하여 연구하며, 4장에서는 실험을 통해서 성능분석을 진행하며, 5장에서는 결론으로 마무리 지으려 한다.

## Ⅱ. LED 램프 관련 국내외 동향

현재 국내에서 생산되어지고 있는 직관형 LED램프는 2010년 12월에 안전인증 품목지정, 2012년 04월에 고효율에너지기자재 품목으로 지정되어 설치 및 보급이 활발히 이루어지고 있다.

많은 기존의 중소업체들이 국내 사무실, 주택 등의 막대한 수요를 예상하고 제품을 개발하고 여러 업체가 수출실적까지 올리고 있지만 전기안전성과 IEC국제표준과의 상충 때문에 신뢰성 검증이 미뤄지고 있어 양산 투자가 지연되고 있다.

방열판 구조문제로 램프무게가 500g 이상이 되어 기존 홀더에 장시간의 damage를 인가할 뿐 아니라 내전압, EMC, Surge 등의 부적합 요인과 제품별 안정기에 따라 점등이 안되는 경우도 다발하고 있는 현상이다.

또한 고효율에너지기자재로 개발, 인증되어 기존 형광등기구 고효율화로 추진되고 있는 고조도 반사갓의 대체작업도 방사각도가 150° 정도의 한계를 지니고 있는 LED램프로의 호환은 에너지효율화 국가사업에 역행하는 것으로 의견이 수렴되어지고 있는 실정이다.[4]

그림 2의 220V를 입력전원으로 사용하는 직결형 컨버터 내장형 LED램프는 IEC 국제표준에 부합할 뿐 아니라 일반 고객의 램프 교체시에 전기쇼트 현상과 감전사고 등이 빈번하게 발생할 가능성을 갖고 있어 안전을 담보할 수 없는 상황이다.

그림 2. 컨버터내장형 LED램프

미국, 유럽의 GE, Philips, Osram 등 주요 조명메이커들과 일본 업체들은 LED 소자 및 LED Down-light, 보안등/가로등기구, 문자 BLU Module 등 응용개발중이나 형광램프 대체용 LED램프에 대해서는 적극적인 개발보다는 국내 일부 업체들의 제품에 대하여 수출을 유도하고 일부는 지역별로 설치를 하여 실증 중인 것으로 나타나고 있다.

미국에서는 'Next Generation Lighting Initiative (Vision2002)'을 통해 조명의 50%까지 LED를 보급시킬 계획으로 추진하고 있다. ENERGY STAR정책을 통해 가정용 조명 기구중 60W 백열전구, 26W CFL과 LED의 실제 비교 실험을 통해 그 결과를 공개하여 각종 기술기준과 표준에 반영, 연차적으로 성능기준을 높여가고 있다. [5]

미국은 제품의 개발보다는 실효적인 기준과 전체적인 에너지정책을 달성하기 위한 정책목표에 중점하고 있는 움직임을 보이고 있다.

일본에서는 조명시장내의 새로운 트랜드로서 LED를 적극 활용하여 건물의 Reform, Renewal과 같은 새로운 수요분야에서 시장확대가 기대되고 있다. 주요 메이커로는 마쯔시타전기산업, 도시바라이텍, 미쯔비시전기, 히따찌 H&L이고, 마쯔시타전기산업 약 37%, 도시바라이텍이 36%정도의 시장을 점유하고 있다.[6]

유럽에서는 오스람, 필립스 등의 고급제품이 70-80%의 시장점유하고 있다. 오스람, 필립스와 같이 수직 통합적 솔루션 업체가 기술개발 및 제품개발을 선도하고 있으며, 모든 제품에 걸쳐 다양한 솔루션을 출시하고 있다.[7]

## Ⅲ. 회로 구동 방식이 적용된 컨버터 설계 및 제작

회로구동 방식을 적용하기 위하여 전압을 고정 하였으며, 전류 가변형, LED 모듈의 LED배열 방식에 따른 전류값을 결정하였다.

높은 역률과 낮은 THD 기능을 제공하는 PFC IC (TDA4863)를 적용하여 Isolation형으로 Flyback type으로 회로를 설계하였다. 기본 동작은 MOSFET이 ON하면 TRANS 2차 측에 1차측과 반대 극성의 전압이 유도되어 다이오드가 OFF되면

서 2차측 전류가 차단된다. 또한 1차측 전류가 ON 되어 자화 Inductor에 에너지가 축적된다. MOSFET이 OFF되면 Inductor 역기전력이 발생하여 2차측에 이전되며 반대 극성의 전압을 유도하여 다이오드가 ON된다. 그리고 자화 Indoctor에 축적된 에너지가 부하에 공급이 된다. 하지만 출력 capacitor의 ripple current가 크다는 단점을 가지고 있다. 제품 사진은 그림 3과 같다.

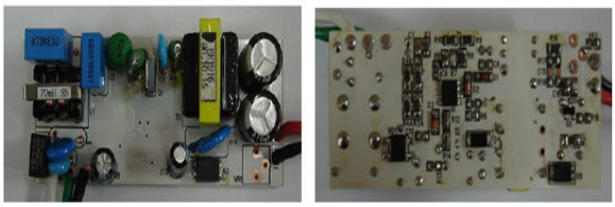


**그림 3. Isolation형 Flyback type 컨버터**

컨버터의 효율 및 전류제어가 쉽지 않고 LED소자의 Vf에 대한 변화폭에 전류의 변화가 심하여, 모듈부에 정전류 IC를 추가 삽입하여 전류를 제어 하였다. 컨버터의 역률 및 LED 모듈과의 정합성 부분도개선 진행하였으나, 온도 및 LED 전압에 따른 전류 제어, 컨버터의 효율 부분에서 개선이 필요하다. 또한 정전류(non-isolation)에서는 전류를 고정 시키기 위하여 전압 가변형, LED 모듈의 LED배열 방식에 따른 전압값을 결정하였다.

LED소자는 반도체 제조 공정을 통해 만들어진 아날로그 영역의 소자로서 순방향 전압 (Forward Voltage)이 사실상 정확하지 않고, 각 소자마다 약간씩의 편차값이 존재한다. 따라서 이들 소자를 직병렬 조합하게 되면 실제로 LED가 동작하기 위한 최적의 전압값이 편차가 있게 마련인데, SMPS는 사람이 임의로 출력 전압을 조정하므로 실제 LED Lamp가 요구하는 최적의 값과는 차이가 있을 소지가 다분하다. 이는 LED Lamp에 적지 않은 Stress를 줘서 LED의 수명을 단축시키는 주요 요인으로 작용할 수 있다.

게다가 SMPS는 아무리 정교하게 제어를 한다고 하더라도 출력단의 전압에는 Ripple 전압 또는 Pulse 전압 성분이 나타나기 쉬운데, 이는 LED에 치명적인 손상을 야기할 소지가 있으므로 SMPS를 이용하여 LED를 구동하는 방법은 최선의 방안이 아니라고 볼 수 있다. 따라서, 정전압 방식의 회로보다 정전류 방식의 회로를 검토하였다.

MBI6901 정전류 IC를 적용하여 Non-isolation type으로 검토하였다. 역률 개선을 위해 Valley-fill 회로를 적용하여 전류 파형의 불연속 구간을 줄이고 Ipeak를 줄이는 2단 capacitor 회로로 구성이 되었다. 입력전류 불연속(crossover distortion) 구간이 발생하여 Total Harmonic Distortion(THD)이 증가하는 단점이 있다.

전기적 특성에서도 PF값이 90%이상으로 고역률이며 효율에서도 21W 기준 약 89%로 효율이 정전압 구동방식에 비해 향상되었다.

정전류(non-isolation)의 컨버터를 그림 4와 같이 구성하였다.

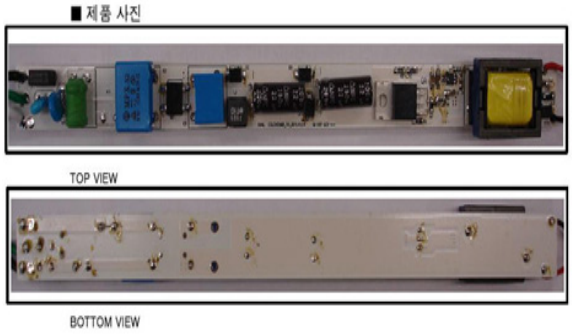


**그림 4. Non-isolation type 컨버터**

고전압 또는 누설전류로 인한 사고로부터 사용자를 보호하기 위해 입력과 출력사이에 전기적인 절연이 요구되어진다. 고주파 트랜스 포머를 사용하여 1차와 2차측을 분리하였으며 이러한 컨버터를 절연형(isolation) 컨버터라고 한다. 절연형 컨버터는 고주파 트랜스 포머가 삽입되어 있다는 점을 제외하고는 비절연형 컨버터와 그 기본 특성이 동일하며 대표적인 회로로는 Flyback, Forward, Push-pull 컨버터 등이 있다. 입력 전원에서 전류파형이 사인파가 아닌 펄스 형태로 될 때 역률 개선을 위해 PFC IC를 적용하였고, LED가 전류제어 소자이며, 안정적인 전류 공급을 위해 OP AMP 소자를 사용하여 출력 전류가 고정되어지도록 그림 5와 같이 구성하였다.

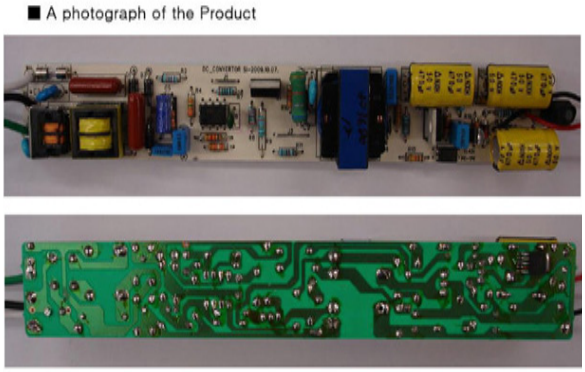


**그림 5. 절연형(isolation) 컨버터**

제품 구성 블록도 및 사진은 위와 같고, 전기적 특성으로 95%이상으로 역률을 높였고, 전류 THD도 15%이하로 낮추어 개선하였으며, 이중필터를 적용하여 입력 noise를 제거하였다. 상기 컨버터 구동방식중 최종적으로 정전류 구동방식(절연형)을 결정하였다.

## Ⅳ. 성능분석

위 장에서 기술한 회로 구동 방식이 적용된 컨버터을 활

용하여, LED 형광등에 적용하였으며, 상온 25℃ ± 5℃에서 정격전압의 100%를 인가하여 LAMP와 안정기를 정상결선 한 후 표 1과 같이 시험 측정한다.

**표 1. 전기적 특성**

| 시험 항목 | 단 위 | 시험 기준 | 측정치 |
|---|---|---|---|
| 입력 전압 | V | AC 220V ± 10% | 220V |
| 입력 전력 | W | 표시치의 ± 10% | 25W |
| 입력 전류 | A | 표시치의 ± 10% | 0.116A |
| 역 률 | % | 90% 이상 | 97% |
| 2차 전압 | V | - | 37.6V |
| 2차 전류 | A | - | 565mA |
| THD | % | 저고조파 20% 미만 | 14% 미만 |

정격 입력 전압은 Vac 220V로 사용가능하며, 입력허용전압은 AC198V~242V 범위로 사용 가능하다. 주파수도 50/60Hz 구분 없이 사용 가능하다. AC line에 입력 과전류 상황에서 전원 공급기에 어떠한 손실을 입지 않도록 fuse를 사용하여 입력 과전류에 대한 보호기능을 갖도록 하였다. 출력측은 정격출력 전류로 570mA로 고정시켰으며, 출력전압은 30Vdc ~ 40Vdc로 사용가능하다. 컨버터 효율을 보면 정격입력 조건에서 Typ. 80%이상으로 규정하고 있으며, 80%이상의 효율을 나타내고 있다. 보호회로로는 무부하, 과전압, 과전류, 출력선 쇼트 방지등의 기능들이 갖춰져 있다.

신뢰성 검토는 제품 수명 연장을 위해 전해 콘덴서 수명을 5K~10K 부품을 적용하였고, 자체 신뢰성 검증 절차에 따라 시험을 진행하였다. 먼저 ON(10초) / OFF(30초) 시험을 통해 약 30,000회 이상 문제가 발생되지 않았으며, 항온항습기에 고온(70℃) / 저온(-10℃)에서 24시간 이상 AGING 시험을 진행하였고, 제품은 소손없이 정상동작이 되었다. 컨버터 내부 부품 온도를 보면 그림 6, 그림 7과 같다.

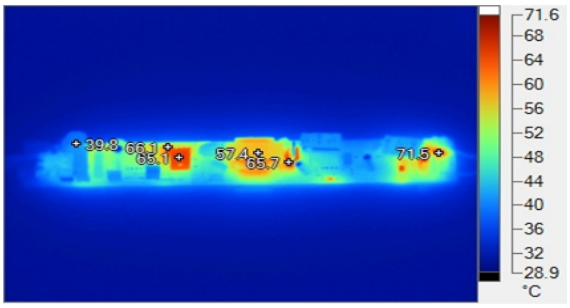


**그림 6. 컨버터 내부 부품 온도**

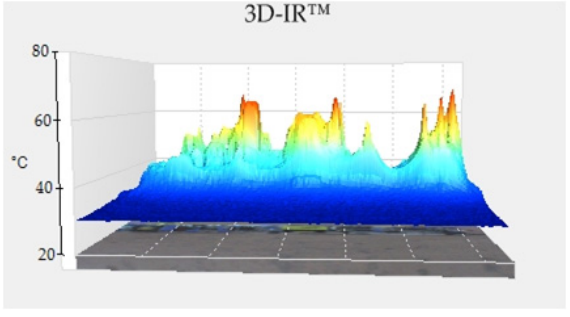


**그림 7. 컨버터 내부 부품 온도 3D-IRTM**

위 그림을 보면 스위칭 소자인 MOSFET와 TRANS, 다이오드에서 약 65℃ 정도의 열이 발생되고, 센싱저항에 가장 높은 약 71℃의 발열이 발생된다. 발열에 내구성이 우수한 부품을 사용하였으며, 신뢰성 검증을 통해 이상 유무를 확인하였고, 발열 최소화를 위해 방열 및 다른 방법도 검토 중이다.

서지 검토는 컨버터를 전원 입력측에 Surge Generator를 연결하여 그림과 같은 조건으로 각 5회 인가 후 부품의 파손 및 기능 동작의 이상 유무를 확인하여 이상이 없어야 한다.

Surge 전압 인가 조건은 Full load로 전압 +/- 2KV 이며, Ringwave는 0.5uS/100KHZ이고, Impulse는 1.2/50uS이며, Surge 인가 Interval은 30sec이다.

컨버터를 전원 입력에 따른 이상 유무 관계도는 그림 8과 같다.

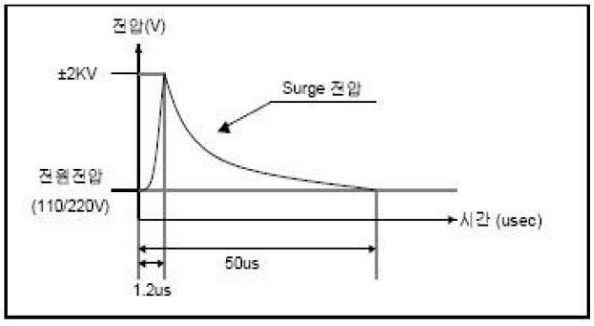


**그림 8. 컨버터를 전원 입력에 따른 이상 유무 관계도**

시험규격은 컨버터 정격이 25W를 기준으로 변하는데 소비전력이 25W 제품으로 시험을 진행하였다. 규격은 선간 1KV, 전원선 접지간 2KV로 측정하게 되어 있고 규격을 만족한다.

EMI 전도 및 방사는 아래 표 규격에 대해 만족하여야 하며 표 2, 그림 9와 같은 결과를 얻었다.

**표 2. EMI 전도 및 방사 결과**

| 주파수 대역 | 한계치 dB(μV) | |
|---|---|---|
| | 준첨두값 | 평균값 |
| 9㎑~50㎑ | 100 | - |
| 50㎑~150㎑ | 90~80 | - |
| 150㎑~0.5㎒ | 66~56 | 56~46 |
| 0.5㎒~5㎒ | 56 | 46 |
| 5㎒~30㎒ | 60 | 50 |

a. 경계 주파수에서는 낮은 한계값이 적용된다.
b. 50㎑~150㎑와 150㎑~0.5㎒의 주팟 범위에서 한계값은 주파수와 대수적 증가에 따라 직선적으로 감소한다.
c. 무전극램프 및 무전극 조명기기에 있어서, 주파수 대역 2.51㎒~30㎒에서의 한계값은 준첨두값 73dB(μV)와 평균값 63 dB(μV)이다.

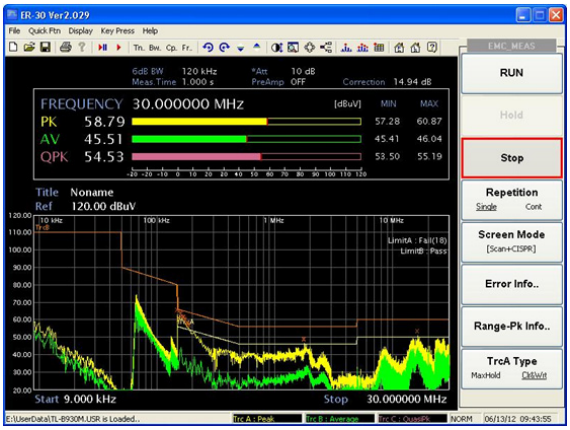


그림 9. EMI 전도 및 방사 결과 그래프

EMI 방사부분은 챔버사용을 하지 않고, CDN으로 측정하였으며, 아래와 같은 규격에 만족해야하며 표 3, 그림 10과 같은 결론을 얻었다.

표 3. CDN 측정에 따른 결과

| 주파수 범위㎒ | 준 첨두치 한계값dB(㎶)주1) |
|---|---|
| 30 ~ 100 | 64 ~ 54 주2) |
| 100 ~ 230 | 54 |
| 230 ~ 300 | 61 |
| 주1) 경계 주파수에서는 낮은 쪽의 한계값이 적용된다.<br>주2) 한계값은 주파수의 대수적 증가에 따라 직선적으로 감소한다. | |

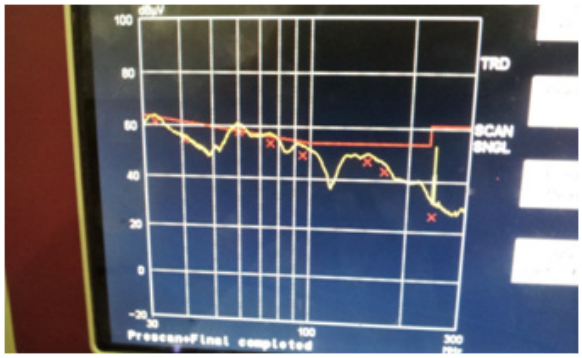


그림 10. CDN 측정에 따른 결과 그래프

## Ⅴ. 결론

본 논문에서는 직관형 LED램프 컨버터에 회로구동방식을 적용한 LED 형광등 연구를 수행하였다. LED를 광원으로 한 'LED 램프'와 일반 상용 전원에 접속해 직류 전원을 공급할 수 있는 컨버터에 대하여 설계 및 제작을 하였다.

전구형 LED 램프와는 달리 '별치 형식의 점등회로'를 구비하기 때문에 LED에서 발생하는 열이 점등회로에 부하를 주지 않아 LED 램프와 함께 고출력으로 또 신뢰성 높은 램프로 만들 수 있다.

첫 번째 특징은 완전한 호환성 확보라고 하는 역할을 부여한 점이다. 즉 기존의 직관형 형광등 시스템과는 전혀 다르다는 의미이다. 구체적으로 말하면 기존의 직관 형광등용 조명기구에 새로운 'LED 램프'를 전기적으로 접속할 수 없다. 또한 기존의 직관 형광등을 직관형 LED 램프 시스템용 조명기구에 전기적으로 접속할 수 없으며, 기존의 직관 형광등용 조명기구에 새로운 'LED 램프'를 기계적으로 장착할 수 없다. 마지막으로 기존의 직관 형광등을 직관형 LED 램프 시스템용 조명기구에 기계적으로 장착할 수 없다.

두 번째 특징은 현재의 직관 형광등의 시환경(밝기, 연색성 등)을 저하시키지 않는 역할을 갖게 한 점이다. 직관형 LED 램프 시스템 규격에서는 LED 램프 빛의 확산, 밝기, 연색지수(Ra)의 최소치 등을 규정했다.

구체적으로 LED 진화에 어느 정도로 대응했는가 하면 직관형 LED 램프 시스템 규격에 포함되는 데이터 시트(형식 : LEL40)에서 제조된 조명기구는 대체 가능한 기존의 일반적인 직관 형광등(36W 래피트 스타트형 N색 2700 lm, EN색 3280 lm)의 W당 밝기와 비교하면 최소한 같은 정도의 밝기에서부터 약 2~2.5배의 밝기까지 대응하는데 이는 미래에 약 2~2.5배의 절전 성능이 있는 램프와 교환할 수 있음을 의미한다.

현 수준에서 FLR 32W 형광램프와 직관형 LED 램프의 전기적 및 광특성을 비교해 보면 표 4와 같다.

표 4. FLR 32W 형광램프와 직관형 LED 램프의 전기적 및 광특성을 비교

| 항 목 | 단위 | 직관형 LED 램프 | FLR 32W 형광등 |
|---|---|---|---|
| 수명 | hrs | 50,000hrs | 10,000hrs |
| 소비전력 | W | 21W | 32W |
| 광속 | lm | 2,474lm | 2,050.7lm |
| 효율 | lm/W | 116.7lm/W | 67.6lm/W |
| 색온도 | K | 5729K | 6,628K |
| 연색지수 | Ra | 75이상 | 75이상 |
| 컨버터 | | 정전류 방식 | 형광램프용 컨버터 |
| 전기요금 | 원/년 | 6,048,000 | 9,216,000 |

하지만, 아직까지도 수출품이라던지, 시장 보급품으로 제작되어진 제품은 광성능이 기준치에 부족하다. 갈수록 LED 소자 기술이 발달하고, 매년 인증 기준이 증가함에 따라 직관형 LED 램프의 품질 수준(에너지 SAVING, 광속, 효율)들이 향상되면서 자연스럽게 시장 보급품 수준도 오를 것으로 보인다.

## 참 고 문 헌

[1] 2009 지식경제 통합기술청사진 2009
[2] 장우진, 여인선, 김훈, 이진우, 염정덕, 김수길, 최신 조명 환경 원론 문운당, 2010

[3] IES LM-79-08, Electrical and Photometric Measurements of Soid-State Lighting Priducts, 2008
[4] 김유신, 최안섭, “간접 반사형 LED 조명기구의 반사판 형태에 따른 배광형태 및 조명환경 변화 분석”, 한국조명 전기설비 학회 논문지, 제25권, 제1호, pp. 9-17, 2011.
[5] Relux Professional 2007 Manual.
[6] R.H. Simon, A, R, Been, Lighting Engineering, Architectural Press 2009.
[7] E, Fred Schubert, Light-Emitting Diode, 2nd Edition Cambridge University Press, 2007.

## 저자

**양 병 문(Byongmoon Yang)** **정회원**

・2007년 2월 : 인천대학교 전자공학과 학사졸업
・2003년 2월 : 서울과학기술대학교 전기공학과 석사졸업
・2014년 8월 : 서울과학기술대학교 NID 융합기술대학원 방송 통신프로그램 박사수료
・2003년 2월 ~ 현재 : (주)선일일렉콤 조명연구소 연구소장
<관심분야> : LED통신, 조명IT융합신기술, 무선 홈네트워크

**차 재 상(Jaesang cha)** **정회원**

・2000년 : 일본 東北(Tohoku)대학교 전자공학과 공학박사
・2000년 ~ 2002년 : 한국전자통신연구원(ETRI) 무선방송 기술연구소 선임연구원
・2008년 : 미국 Florida University, Visiting Professor
・2005년 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 전자IT미디어공학과 부교수
<관심분야> : LED통신, 조명IT융합신기술, LBS, ITS, UWB, 무선 홈네트워크, 무선통신 및 디지털방송 등