

산업용 클린룸에서의 Teardrop LED 등기구 개발 및 경제성 분석에 관한 연구

A Study on Developing a Teardrop LED Lighting Fixture and Economic Analysis at Industrial Clean Rooms

이 상 춘*
Lee, Sang Choon

최 여 진**
Choi, Yeo Jin

최 영 준***
Choi, Young Joon

Abstract

On the electricity consumption in Korea, the lighting sector takes about 17% of annual total electricity consumptions. In the midst of higher interests on energy conservation measures, design and choice of energy-saving lighting fixtures have been more important. With growth of technology-intensive industries like advanced material, semiconductor, and biotechnology from the 1980s, needs for clean room and thus illumination at clean rooms have been increased. In this paper, development, specification, and features of a Teardrop LED(hereinafter TD LED) lighting fixture as replacement of Teardrop florescent lighting one that has been popularly installed at clean rooms were presented. Also we performed the economic analysis of return on investment(ROI) about energy savings by the installation of the TD LED lighting fixture at a new-built clean room. The economic analysis showed that the new-developed TD LED lighting fixture would be able to withdraw the initial installation cost within 4 years. Lastly, improvement directions and development plans of the next TD LED lighting fixture for wider applications at clean rooms were described.

키워드 : 산업용 클린룸, LED, Teardrop 조명기구, 경제성 분석

Keywords : Industrial clean room, LED, Teardrop lighting fixture, Economic analysis

1. 서 론

1.1. 연구배경

2013년 산업통상자원부의 국회 업무보고에서 경남 밀양 지역의 송전탑 건설 지연으로 인하여 신고리 원자력발전소 3호기의 정상 운전이 불가능하여 전력수급난이 올해 여름부터 지속될 우려가 있을 것으로 발표하였다. 전 세계적으로 조명부문의 전력소비량이 총 소비량의 약 20%를 차지하고 있는 가운데 「2011년 에너지통계연보」에 의하면 국내에서도 연간 총 전력소비량(426,384 GWh) 중 조명부문의 전력소비량(73,764 GWh) 비율은 약 17%에 달하는 것으로 나타났다. 이는 원전 1기당 평균 발전 전력량을 7,430 GWh로 추산하면 조명 전력의 10% 감소는 국내 원전 하나를 줄일 수 있는 큰 효과를 가지는 것으로 나타난다. 따라서 지구온난화 및 이산화탄소 배출에 대한 지구환경위기 속에서 에너지 절약방안에 대한 관심이 점점 더 고조되어지고 있는 가운데 에너지 절약을 위한 조명 설계

및 선택의 중요성이 강조되고 있다.

클린룸(Clean Room)¹⁾ 기술은 반도체, 식약품 개발, 정밀부품 및 의학 등의 분야에서 매우 중요하게 사용되는 기술이며 국내의 경우 1980년대 중화학공업과 함께 신소재, 반도체, 생명공학 같은 첨단 산업분야가 급속하게 성장하면서 클린룸 기술에 대한 많은 관심을 가지기 시작하였다. 이러한 기술집약적 산업의 성장으로 클린룸의 수요가 증가하였으며 부수적으로 클린룸에 사용되는 조명의 수요도 꾸준히 증가하였다.

지난 30여 년간 클린룸용 조명은 Fig. 1의 타입과 같이 천장의 몰드 바를 따라서 설치되는 Teardrop 형광등이 보편적이었다. Teardrop 형광등은 층고가 비교적 높고 자연채광이 전무하여 조도의 확보를 전적으로 인공조명에 의존해야 하는 클린룸의 환경적 특성에 적합한 조명으로서 인지되어 왔다. 그러나 기존의 Teardrop 형광등에 일반적으로 쓰이는 광원인 형광램프는 에너지 절약 측면에서는 전력소모가 심하고 유지관리 측면에서는 램프의 수명이 1년 미만으로 짧아서 교체주기가 잦으며 조도 측면에서 충분한 조도의 구현이 어려운 단점을 가지고 있어 최근 조명등에 많이 사용되는 전기장 발광(Electro-luminescence)

* Main author, Technology Development Team, Nepes ENC Inc., South Korea (leesc@nepes.co.kr)

** School of Architecture, Catholic University of Daegu, South Korea (yojin76@cu.ac.kr)

*** Corresponding author, Technology Development Team, Nepes ENC Inc., South Korea (yjchoi@nepes.co.kr)

1) 클린룸이란 공기 중에 부유되어 있는 먼지입자의 농도, 온도, 습도, 기압 및 기류 등이 정밀하게 제어되는 공간 또는 건물을 지칭함.

을 이용한 광원의 일종으로서 반도체 소자인 LED(Light Emitting Diode, 발광 다이오드) 조명기구를 사용하기 위한 많은 연구개발 및 적용이 이루어지고 있다.



Fig. 1. Existing Teardrop Florescent Lighting Fixture

1.2. 연구목적

최근 에너지절감이 지구환경보존 및 전력수요와 결부되면서 건물에너지 소비에서 많은 부분을 차지하고 있는 조명부분의 에너지를 어떻게 절감할 것인가 하는 문제가 제기되었다²⁾. 이에 따라 기존의 형광램프를 대체할 저에너지 소비 광원으로 LED 조명이 주목받게 되었다. LED는 양(+)와 음(-)의 전기적 성질을 가진 두 화합물이 접합하여 전기가 흐르면서 빛을 내는 광반도체를 이용한 광원으로서 1962년 미국 GE사에서 개발된 적색 LED의 개발을 시작으로 현재는 모든 천연색 구현이 가능한 장수명, 무수은, 저전력의 친환경 조명으로서 크게 각광을 받고 있으며 실내외 및 특수 조명분야 뿐만 아니라 수송기기, LCD, 디스플레이 분야에서도 많이 적용되어지고 있다. LED 조명은 형광램프에 비해 가격은 다소 높으나 램프 수명이 길어 교체주기가 길며 전력소모가 형광등 대비 20~40%가 적다는 장점이 있다. 본 연구에서는 부문별 조명전력 사용비율에서 약 12%를 차지하고 있는 산업부문 클린룸에서 사용된 기존의 Teardrop 형광등을 대체하는 Teardrop LED(이하 TD LED) 등기구의 개발 과정 및 기술적 특징을 기술하고 기존 형광등의 에너지 소비와 비교한 경제성 분석을 실시하고 향후 개선 방향을 제시하고자 한다.

2. TD LED 등기구 개발

2.1. LED 등기구의 기본 특성³⁾

조명 기술은 광원의 고효율·장수명화와 소형·박형화를 실현하여 조명기구와 일체화를 이루어 간결하고 인간의 생리·심리적 요소를 고려한 지능형 조명을 구현하는 기술로 발전하고 있다. 이러한 광원의 요소를 구비하고 있는 새로운 광원으로는 무전극방전램프, CNT(탄소나노튜브), LED, OLED(유기발광다이오드) 등이 있으며 현재 고효율을 실현하고 소형·박형화가 유리한 LED가 광원으로서 주류를 이루고 있다.

이러한 LED는 기존 광원인 백열전구 및 형광등과 비교하여 다음과 같은 장점이 있다.

- (1) 광변환 효율⁴⁾이 기존 광원보다 높으며, 에너지 소비

량은 백열전구 및 형광등에 비해 매우 적다.

- (2) LED 크기가 소형, 전력소비가 적으며 제어방식(DC 구동)이 단순하여 복잡한 구동회로가 필요하지 않기 때문에 광원과 시스템의 소형·박형·경량화를 구현할 수 있다.

- (3) 다른 광원과 달리 필라멘트나 전극이 없기 때문에 수명이 길며 충격에 강하고 안정적이어서 반영구적으로 사용할 수 있다.

- (4) 수은이나 방전용 가스를 사용하지 않기 때문에 환경친화적이다.

- (5) 고체 발광으로서 열 및 가스방전 발광이 아니기 때문에 예열시간이 필요 없으며 점·소등 속도가 빠르다.

- (6) 안정적인 직류 점등방식으로 반복성 펄스 동작이 가능하여 눈의 피로를 감소시킬 수 있으며 서로 다른 광색과 특성을 가진 LED를 조합하여 다양하고 동적인 광원의 모양과 광색을 표현할 수 있다.

2.2. 전원공급장치

조명기구에서 전원으로 사용되는 DC전원을 안정되게 공급하기 위한 전원장치를 사용하는 것은 필수적이며 DC 전원공급장치는 고신뢰성, 안정성 및 경량화, 즉 고효율의 필요성이 절실히 요구되고 있으며 형광등에서는 안정기가 이와 같은 역할을 한다. LED 등기구의 전원공급장치방식으로서 선형(Linear)방식과 스위칭(Switching)방식으로 분류할 수 있으며 최근 개발된 LED 등기구에서는 스위치모드 파워서플라이(SMPS, Switching Mode Power Supply)가 DC전원공급장치로서의 역할을 할 수 있게 회로 설계를 하고 있다. SMPS는 기존 LED 등구에 많이 사용되어 왔던 선형 파워서플라이(Linear Power Supply)에 비해 높은 효율을 가지며 내구성이 강하여 소형, 경량화에 유리한 안정화 전원장치이다⁵⁾. 이에 TD LED 등기구의 개발에서 SMPS방식의 전원공급장치를 적용하였으며 안정기 1개에 램프 1개가 장착되는 기존 Teardrop 형광등과는 달리 SMPS 1개당 2개의 모듈을 장착하여 제작비용을 절감하였다(Fig. 2 참조).

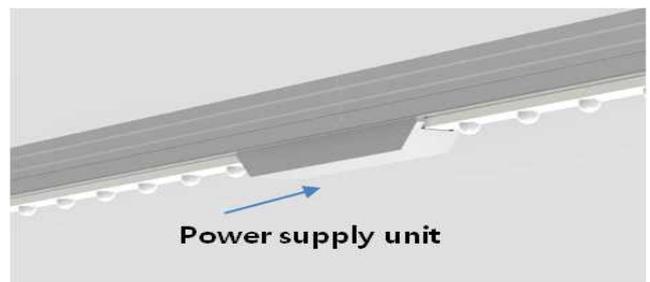


Fig. 2. SMPS on TD LED Lighting Fixture

- 2) 장우진, 반도체 조명제품의 국내의 기술과 인증동향, 한국조명·전기설비학회지, Vol. 25. No. 5. 2011, pp.2.
- 3) 백중협, 황남, 송상빈, 조용익, 유영문, LED의 기초와 응용, 광학과 기술, Vol. 11. No. 2. 2007.
- 4) 광변환 효율이란 전력 1W당 광원에서 발광되는 광속(빛의 양)을 의미함.
- 5) 김보현, LED 구동용 SMPS 시스템 설계, 석사학위논문, 조선대학교 대학원, 2010.

2.3. 모듈 디자인

기존 클린룸에서 많이 사용되어 온 Teardrop 형광등은 1개의 안정기에 1개의 형광램프가 장착되고, 그 외부에 반원통형 아크릴 커버가 결합되는 형태로 되어있다(Fig. 1 참조). 이러한 조명은 본체와 아크릴 커버의 결합이 약하여 아크릴 커버가 분리되어 낙하할 위험이 있으며, 또한 형광램프에서 발광하는 빛이 아크릴 커버를 통과하여 외부로 조사되는 형태이기 때문에 충분한 조도의 구현이 어려운 단점이 있다⁶⁾.

이러한 단점을 해결하기 위하여 개발된 TD LED 등기구는 LED 모듈 외부에 아크릴 커버를 장착하지 않는 형태로 제작되었다. 그 대신 대전방지 처리된 Cap LED 모듈에 일렬로 장착하여 먼지 등 기타 오염물질의 안착을 사전에 예방하였다(Fig. 3 참조).

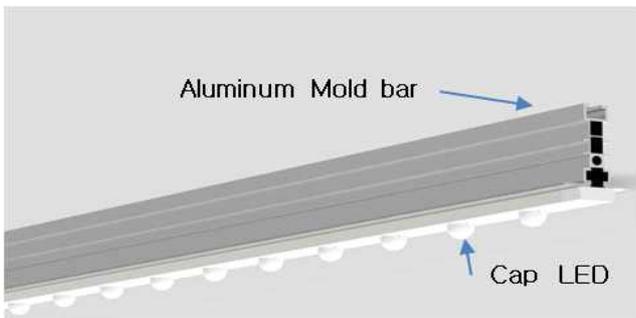


Fig. 3. Module Design for TD LED Lighting Fixture

3. TD LED 등기구 사양 및 특허

3.1. 사양

LED가 조명용으로 사용되기 위해서는 대용량화가 필요하며 이는 LED 자체가 발열량의 증가로 LED 발광효율을 저하시키며 수명을 감소시키는 단점을 가질 수 있다. 따라서 LED 조명 등기구 설계과정에서 방열구조의 개선은 아주 중요하다. 이에 개발된 TD LED 등기구의 프레임 부분은 알루미늄을 압출 성형한 몰드 바 형태로 제작되었으며 열전달이 우수한 알루미늄 소재로 제작되어 양 측면이 공기와 접촉하는 방열면을 이루어 LED 모듈에서 발생하는 열을 쉽게 방출할 수 있게 설계하였다.

TD LED 등기구의 전체 길이는 2,400mm로 일반적인 산업용 클린룸 Ceiling 규격인 1,200mm×1,200mm의 배수로 제작되어 조명 설계과정 및 현장에서의 설치가 용이하도록 하였다(Fig. 4 참조). 또한 천장으로부터 수직방향의 높이는 기존 Teardrop 형광등기구 대비 약 4분의 1로 축소시켜 공기 중의 먼지 등 부유 입자를 제어대상으로 하는 산업용 클린룸의 공기순환에 대한 간섭을 최소화하였다(Fig. 5 참조).

개발된 TD LED 등기구의 상세 사양은 표 1과 같으며 전력은 45W, 광효율은 4,050lm/W, 색온도⁷⁾는 6,500K, 연색성⁸⁾은 80Ra, 수명은 70,000시간으로 설계하였다.

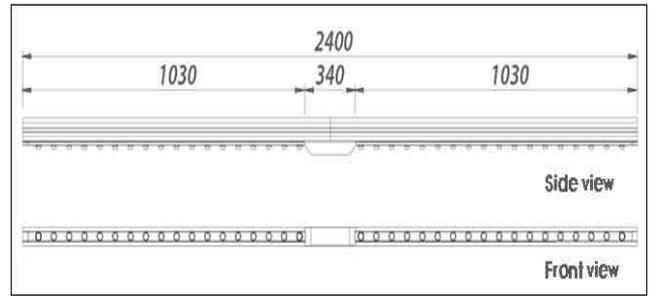


Fig. 4. Longitudinal Section on TD LED Lighting Fixture

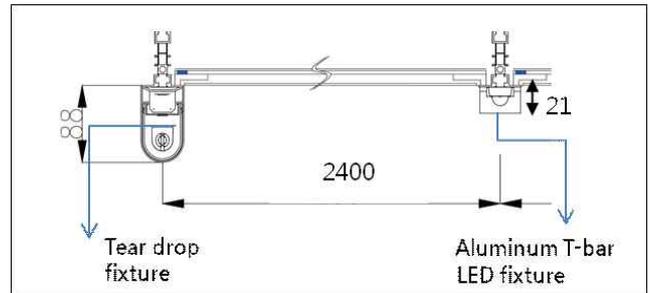


Fig. 5. Cross Section on TD LED Lighting Fixture

Table 1. Detail Specifications on TD LED Lighting Fixture

Type	Content
Model	TD LED 45W
Electricity(W)	45W
Size(mm)	L2,400×W27×H21
Color temperature(K)	6,500
Input voltage(V)	100~240
Power factor	0.9
Luminance efficiency(lm/W)	4,050
Beam angle(°)	140
Color rendering index(CRI, Ra)	80
Weight(kg)	4
Life span(Hrs)	70,000

3.2. 특허출원⁹⁾

등기구의 제작 및 설치가 용이하고 설치 후 유지보수가 용이하며 에너지 소모를 줄이면서도 높은 조도를 구현할 수 있는 조명장치로서 개발된 TD LED 등기구의 독창성과 기술성을 보호하기 위하여 본 TD LED 등기구를 특허출원하였다. 본 특허 발명의 배경은 기존 형광등의 전구와 유사한 형태의 LED 조명장치¹⁰⁾로서 기존 특허 등록된

6) 박호진, 김유경, 노진두, 양방향 입력전원 처리가 가능한 엘이디 모듈 형광등 구동회로, 특허출원 No. 10-2008-0074251, 2008.07.29.

7) 색온도(K, Kelvin)이란 광원이 가지고 있는 에너지의 색도, 색온도가 낮을수록 따뜻한 색을 의미한다. 백열램프의 경우 2,700K, 주광색형 광램프의 경우 5,700K 정도임.

8) 연색성(CRI, Color Rendering Index)이란 인공광원이 표준광과 얼마나 근접하게 물체색을 표현할 수 있는가를 나타내는 지수이며 태양광 아래서 나타나는 물체의 원색 표현 정도를 의미함. 태양광의 연색성은 100임.

9) 최영준, 손영우, 송준호, 엘이디 조명장치, 특허출원 No. 10-2012-010523, 2012.09.21.

10) 대한민국 등록특허공보 제10-866586호. (2008.10.28. 공고)

LED 조명장치는 반원형 베이스와 평판형 고정부를 갖춘 본체와 다수의 LED가 장착된 기판으로 구성되어 본체의 고정부에 장착되는 LED 모듈 및 모듈의 상부를 덮는 반원통형 캡(커버)을 구비하였다.

그러나 이러한 LED 조명장치는 LED에서 발광하는 빛이 반원통 형태의 캡을 통과하여 외부로 조사되는 형태이기 때문에 조도가 낮아 충분한 밝기를 구현하기 어려운 단점이 있다. 조도를 높이기 위해서는 LED 모듈의 기판에 LED의 집적도를 높여야 하나 이럴 경우 에너지 소모가 크고 방열문제로 인해 성능저하를 초래할 수 있다. 또한 LED 조명장치는 각 LED 모듈마다 1개의 파워서플라이를 연결하는 형태이고 기존의 형광등처럼 별도의 등기구를 천장에 설치한 후 장착하기 때문에 장치의 구성이 복잡하고 설치가 어려울 뿐만 아니라 천장공간의 점유율도 커진다. 결과적으로 이러한 구성의 복잡함으로 인해 제조원가도 높아질 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 제작과 설치가 용이하고 설치 후 유지보수가 쉽게 하기 위해서 LED 등기구의 구성을 단순화하고 제품의 부피를 줄이면서도 높은 조도와 균일한 배광을 구현할 수 있는 LED 조명 등기구의 발명을 목표로 설정하였다. 또한 중앙에 배치되는 1개의 파워서플라이로부터 양측에 배치된 2개의 LED바에 전원이 공급되도록 함으로써 조명장치의 길이를 길게 하면서도 양측 LED바의 전압강하를 최소화할 수 있고 이를 통해 조도를 전체적으로 균일하게 유지할 수 있는 LED 조명 등기구를 제공하고자 하였다.

TD LED 특허출원에 대한 상세내역은 Table 2와 같다.

Table 2. Details for Patent on TD LED Lighting Fixture

Type	Content
Application number	10-2012-0105236
Application date	2012. 09. 21.
Applicant	Nepes ENC, Inc.(1-2012-049473-8)
Inventors	Young Joon Choi and two members
Invention name	LED illumination device
Technology area	Energy saving and high illuminance driven LED lighting fixture that is easy to manufacture, install, and maintain after installation

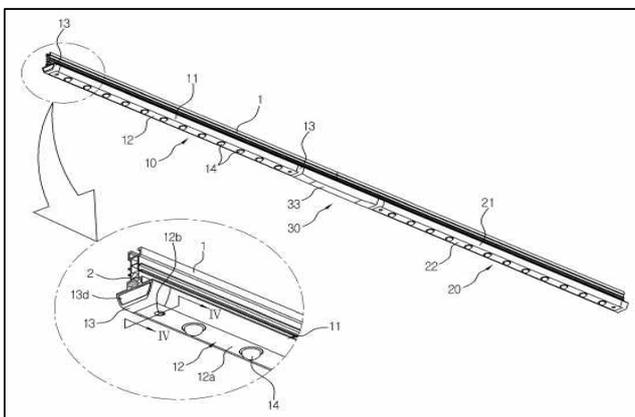


Fig. 6. Perspective on Patented TD LED Lighting Fixture

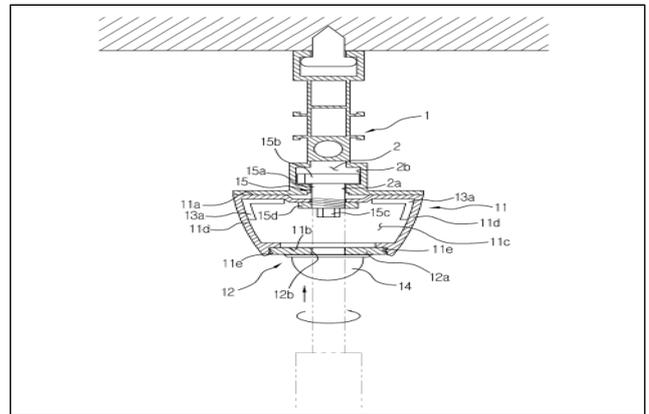


Fig. 7. Cross Section on Patented TD LED Lighting Fixture(Line IV~IV on Fig. 6)

3.3. 개발효과

산업용 클린룸에 적용할 수 있는 특허 등록된 TD LED 등기구의 개발 효과는 다음과 같다.

(1) 각 LED 모듈의 프레임은 알루미늄 압출 성형방식으로 제조할 수 있고 LED바를 프레임에 슬라이딩방식으로 장착할 수 있기 때문에 제작이 용이하고 각 LED 모듈을 설치부재로 걸어서 장착할 수 있기 때문에 설치가 용이하며 파워서플라이유닛만을 별도로 분리할 수 있기 때문에 유지보수가 용이하다.

(2) 다수의 LED가 외부에 노출된 상태로 설치되기 때문에 높은 조도를 구현할 수 있어 에너지 소모를 줄이면서도 필요한 요구조도를 쉽게 구현할 수 있다. 또한 각 LED의 반구형 캡 내면의 파장 변환층으로부터 방출되는 빛이 반구형 캡을 통하여 광범위하게 분산되면서 외부로 조사되기 때문에 높은 조도를 구현할 수 있고 배광효과 또한 높일 수 있다.

(3) 중앙에 설치된 1개의 파워서플라이로부터 양 측의 LED바에 전원이 공급되도록 하기 때문에 조명장치의 길이를 길게 하면서도 양측 LED바의 전압강하를 최소화할 수 있고 이를 통해 각 LED바에 설치된 다수 LED의 조도를 전체적으로 거의 균일하게 유지할 수 있다.

(4) 파워서플라이유닛이 양 측의 LED 모듈 사이에 설치되기 때문에 전체적으로 조명장치의 구성을 단순화할 수 있고 양 측 LED 모듈의 부피를 줄여 제품을 슬림화할 수 있다.

4. TD LED 등기구 시공사례

4.1. 설치 및 조도 시뮬레이션

개발된 TD LED 등기구는 기존 Teardrop 형광등기구 대비 전력소비량이 적으며 넓은 배광각으로 균제도가 높아 작업성을 향상시킨다. 이러한 특성을 실제 현장 시공사례를 통하여 분석 및 검증하였다.

2013년 3월 신축된 공장건물의 3층 디스플레이 모듈라인에 TD LED 등기구를 시범적으로 설치하였다. TD LED

등기구가 설치된 모듈라인은 약 160m²의 면적 규모이며 30개의 등기구(45W)가 사용되었다. 설치 전 시뮬레이션 결과에 의하면 최고조도 801 lx, 평균조도 624 lx, 균제도는 0.45로 나타나 작업에 충분한 조도가 확보되는 것으로 분석되었다(Fig. 8, 9 및 Table 3 참조).

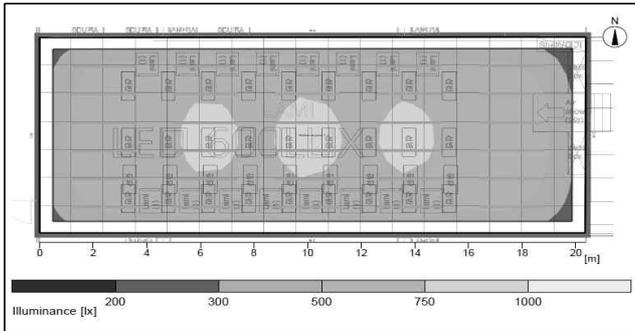


Fig. 8. Illumination Simulation at Display Module Line

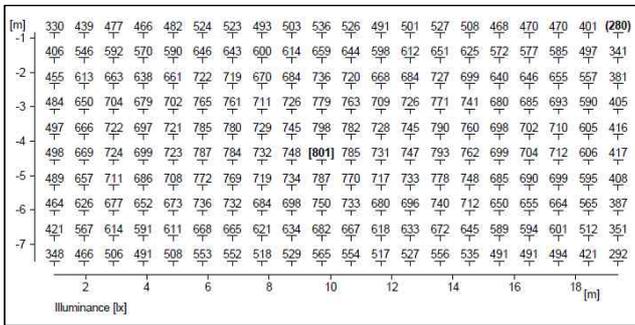


Fig. 9. Illumination Distribution at Display Module Line

Table 3. Simulation at Display Module Line (Illumination Analysis)

Type	Content
Reference plane height	0.75 m
Average illuminance(Eavg)	624 lx
Minimum illuminance(Emin)	280 lx
Maximum illuminance(Emax)	801 lx
Uniformity g1(Emin/Eavg)	1 : 2.23 (0.45)
Uniformity g1(Emin/Emax)	1 : 2.87 (0.35)

상기 설계 및 시뮬레이션 결과에 따라 실제 모듈라인에 설치한 모습은 다음과 같다(Fig. 10, 11 참조).



Fig. 10. Installation of TD LED Lighting Fixture(1)



Fig. 11. Installation of TD LED Lighting Fixture(2)

4.2. 경제성분석

형광등과 같은 기존 광원보다 높은 신뢰성과 에너지 절감을 위한 LED 조명기구는 많은 장점에도 불구하고 초기 설치비가 높아 시장에 잘 적용되지 못하는 실정이다. 이에 디스플레이 모듈라인에 설치된 TD LED 등기구의 ROI(Return on Investment:투자대비 회수율)에 대한 경제성분석을 실시하였으며 그 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. ROI Result at Display Module Line

Type	Florescent fixture	LED fixture
Lighting fixture	Teardrop FL (32W*2)	Teardrop LED (45W)
Number (Ea.)	30	30
Cost(Won)	85,000	125,000
Total amount(Won)	2,550,000	3,750,000
Power consumption(KW)	1.92	1.35
Annual electric charges(Won) (KW*125Won*12Hr*365Day)	1,051,200	739,125
Investment recovery period(Yrs)	1,200,000 (Won) / 312,075 (Won) ≒ 3.8 (Yrs)	

디스플레이 모듈라인은 신축 건물의 3층 부분으로서 기 설치된 조명이 없으므로 동일한 수량의 Teardrop 형광등의 설치를 가정하여 경제성을 비교, 분석하였다.

동일 수량 설치시 Teardrop 형광등은 총 2,550,000원, TD LED 등기구는 3,750,000원으로 TD LED 등기구의 초기비용이 1,200,000원 더 높은 것으로 나타났다. 설치 후 1년 간 소비전력 예상치는 Teardrop 형광등의 경우 1.92 KW, TD LED 등기구는 1.35KW로 연간 약 0.57KW가 절약될 것으로 추산되며 KW당 전기료를 125원으로 적용할 경우 일일 12시간 365일 조명기구의 사용을 가정하면 연간 312,075원의 전기요금 절감되는 것으로 나타났다.

따라서 TD LED 등기구의 설치시 초기 초과투자비용 1,200,000원을 연간 전기료 절감액 312,075원으로 나누어 투자비용 회수기간을 산정한 결과 약 3.8년 후 투자비용이 완전히 회수되는 것을 확인하였다.

5. 결 론

본 연구에서는 기존의 Teardrop 형광등 조명기구보다 제작 및 설치, 유지보수가 용이하며 소비전력 대비 높은 조도를 구현할 수 있는 TD LED 등기구의 개발 및 특징을 제시하였으며 TD LED 등기구의 설치를 통한 에너지 절감 및 자본회수에 대한 경제성분석을 실시하였다.

본 연구에서 특허 등록된 TD LED 등기구 개발의 의미 및 보완점을 정리하면 다음과 같다.

(1) 산업용 클린룸에서 사용되어 온 기존 Teardrop 형광등은 일정 사용기간 경과시 열로 인하여 아크릴 커버가 분리되는 경우가 잦았고, 이로 인한 생산라인 사고 방지를 위해 아크릴 커버 없이 Cap LED 모듈을 그대로 노출시켜 제작하는 방법을 채택한 결과 아크릴 커버에 의해 조도가 낮아지는 현상을 해결하였다.

(2) 본 연구에서 개발된 TD LED 등기구는 제작과 설치가 용이하고 설치 후 유지보수가 용이하며 에너지 소모를 줄이면서도 높은 조도를 구현할 수 있도록 등기구를 설계하였다.

(3) 실제 산업용 클린룸에서의 현장 시공사례에 대한 경제성분석을 통하여 기존 Teardrop 형광등 사용과 비교하여 개발된 TD LED 등기구의 사용이 투자대비 회수율(Return on Investment) 측면에서 불리하지 않음을 확인하였다.

(4) 다만, LED 등기구의 구성을 단순화하고 부피를 줄였으나 Teardrop 형광등 대비 약 30% 정도의 추가 제작 비용이 요구된다. 따라서 투자회수기간을 좀 더 단축시키기 위하여 VE(Value Engineering)를 통하여 제작 단가를 줄이는 등 기술적인 보완이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

References

- [1] Bo Hyun Kim. The SMPS system design for LED drive circuit. Master Thesis, Chosun University. 2010.
- [2] Ho Jin Park, Yu Kyum Kim, Jin Doo Ro. Driving circuit for LED-module lamp. Patent application No. 10-2008-0074251. 2008.07.29.
- [3] Jong Hyup Back, Nam Hwang, Sang Bin Song, Yong Ik Cho, Young Moon Yu. LED fundamentals and applications. Optical Science and Technology. Vol. 11. No. 2. 2007. p. 21-38.
- [4] Sun-Yong Lee, Jong-Kook Lee. A case-based study on the architecture considerations in the operational characteristics of industrial clean room. Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System. Vol. 7. No. 1. 2013. p. 48-57.
- [5] Woo Jin Jang. Technology and certification trend of semiconductor lighting fixtures. The Proceedings of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers. Vol. 25. No. 5. 2011. p. 2.
- [6] Dal Nim Jung. Lighting design for energy saving. Korean Journal of Air-Conditioning Refrigeration Engineering. Vol. 42. 2013. p. 50-58.

- [7] Ministry of Knowledge Economy, Korea Energy Economics Institute. Yearbook of energy statistics. 2011.
- [8] Young Joon Choi, Young Woo Son, Jun Ho Song. LED illuminance device. Patent application No. 10-2012-010523. 2012.09.21.
- [9] Korean Intellectual Property Office, Registered Patent Press Release. No. 10-866586. 2008.10.28.

투고(접수)일자: 2013년 7월 9일

수정일자: (1차) 2013년 8월 12일

게재확정일자: 2013년 8월 13일