

철도차량용 LED전조등의 수명시험 장치 구축을 위한 개념설계

Conceptual Design for Lifetime Test System for LED Headlamps on Rolling Stock

온정근 · 정기석* · 정종덕

Jung-Ghun Ohn · Ki-Seok Jeong · Jong-Duk Chung

Abstract LED luminaires as a lighting system have attracted much research attention due to their high efficiency and long lifetimes. However, disappointing outcomes have been noted in terms of performance levels and lifetimes as compared to desired system requirements in practice due to certain electrical and thermal characteristics of LEDs. LM-80 and TM-21 established by IESNA are the best known standards for lifetime test procedures and estimation techniques. However, they only handle LED light sources without guaranteeing the LED luminaire in a reliability test. They also operate for more than 6,000 hours and undergo various stresses, such as the operating current and temperature. Therefore, a lifetime standard for LED luminaires has not yet been established. This paper proposes a conceptual design of a lifetime test system for LED headlamps depending on the operating environment. Eventually, this method can assist with evaluations of the validity of lifetime standard tests of LED headlamps.

Keywords : LED Headlamp, Lifetime Test, Rolling Stock

초 록 LED 조명은 고효율과 장시간의 수명 특성으로 각광받고 있지만 LED소자의 구동전류와 열에 의한 특성으로 예측된 수명에 미치지 못하는 경우가 많다. 특히 철도차량의 전조등의 운행환경은 주변온도 변화에 민감한 구조를 지니고 있다. LED소자에 대한 수명을 예측하기 위한 시험방법 및 예측방법이 북미조명학회에서 LM-80과 TM-21 등으로 제시되고 있지만 수명 확인을 위해 장기간이 소요되며 전류와 온도 등의 다양한 스트레스로 인하여 LED제품에 대한 수명시험 표준이 구체적으로 정립되어 있지 않다. 본 논문에서는 실제제품의 수명을 예측할 수 있는 방안과 시험방법의 적합성을 확인하여 궁극적으로 LED제품에 대한 수명시험 표준으로 타당성을 검증하기 위한 선행연구로서 철도차량의 운행환경을 반영한 조건에서 수명 시험이 가능한 측정 설비의 개념설계를 제시하고 이에 대한 설계 타당성을 검토한다.

주요어 : LED전조등, 수명시험, 철도차량

1. 서 론

전조등은 철도차량의 전두부에 설치되어 야간이나, 지하구간, 안개 등과 같은 열악한 환경에서 기관사의 전방 시야를 확보하여 돌발상황 발생 시 조기발견 및 신속한 대처를 통해 사고를 미연에 방지하기 위한 중요한 장치이다[1]. 국내 철도차량용 전조등은 필라멘트 형식의 쉘드빔과 HID(High Intensity Discharge) 형식의 고압방전관이 주로 사용되어 왔으나 짧은 수명과 발열, 전력사용량 측면에서 비효율적이며, 잦은 교체로 인한 유지보수성이 문제가 되고 있어 최근 3만~5만시간의 LED 전조등을 개발하여 일부 차량에 적용 중이다[2-5].

LED 전조등 기술은 전동차의 경우 5만 칸델라급, 신조 기관차의 경우 15만 칸델라급 LED전조등이 적용되고 있으며, 고속철도차량 및 해외 차량의 경우 더 높은 광도의 LED전조등이 요구되고 있다[6]. 철도차량 핵심부품의 국산화 사업의 일환으로 100만 칸델라급 LED전조등 개발되고 있으나, 제품의 수명 확인을 위한 시험방법 및 예측기술에 대한 기준 마련 및 적합성 평가를 위한 장치 설계에 대한 연구가 부족한 실정이다. 또한 국내의 LED제품 KS규격에서 수명평가에 대하여 제시하고 있으나 철도차량용 LED전조등의 수명 예측에 대한 적절한 근거를 제시하지 못하고 있다. 현재까지 LED광원/모듈/패키지 등에 대한 구체적인 수명시험 방법은 북미조명학회의 LM-80에서 미국 LED제조업체들의 방대한 수명시험 데이터를 바탕으로 제시하고 있으며, 가속수명시험 방법을 통한 수명예측은 TM-21에서 명시하고 있다[7-9]. 그러나 LED조명제품의 최종 수명은 방열판, 전도 발열체, LED소자 등이 조합된 광특성과 온도 특성에 의해 결정되므로 LED소자 단계의 수명

*Corresponding author. Tel.: +82-31-460-5208, E-mail : jks14@krii.re.kr.

© 2015 The Korean Society for Railway. All rights reserved.

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2015.18.2.111>

시험뿐 아니라 완제품 단계에서의 수명특성을 확인하는 것이 필요하다[10-11]. 현재 대부분 LED제품의 수명특성은 LED소자의 수명시험으로 추정하고 있으나 완제품 단계의 수명특성이 소자단계에서 측정된 수명특성과 동일하다 볼 수 없어 현재의 LED소자 단계의 수명 시험은 완제품 단계의 운용과 수명을 예측하는 데는 한계를 가진다.

본 논문에서는 LM-80과 TM-21의 수명시험방법 및 수명예측 방법을 바탕으로 철도차량용LED전조등의 완제품 단계의 수명시험을 수행하기 위한 수명시험 장치 구축에 대해 논한다.

2. 본 론

2.1 수명시험방법

2.1.1 LED의 수명 특성

일반조명은 수명시간이 지난 후 급작스럽게 광출력을 상실하지만 LED광원은 상실 없이 광출력이 계속 감소하며 광출력 감소율이 일반조명에 비하여 매우 더디어 장기간의 수명을 보장하고 있다[12]. LED의 수명은 광속유지율로 표현하며, 일반적으로 초기 광속 대비 70% 수준을 대부분 적용한다[13].

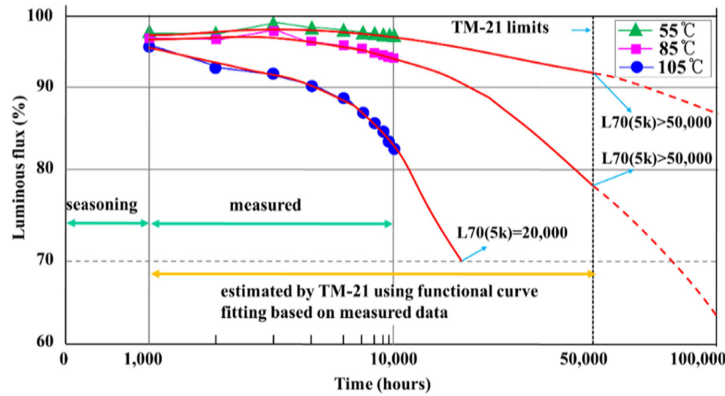


Fig. 1. Conceptual graph of lamp lumen maintenance factor based on LM-80 and TM-21.

LED소자는 반도체에 의한 광원으로써 그림 2와 같이 전류와 온도 변수에 의하여 많은 차이를 보인다. 따라서 수명시험 장비는 정전류 전원 및 온도 유지를 위한 기능이 필수적이다. LED제품에서 전류와 온도는 LED조명의 가속수명시험에서 수명-스트레스 관계식 결정에 중요한 요소들이다. LED조명제품은 대부분 온도에 의해 수명이 결정되므로 일반적으로 3개의 다른 온도조건에서 아레니우스 관계로 가속인자를 도출하여 수명을 예측하게 된다.

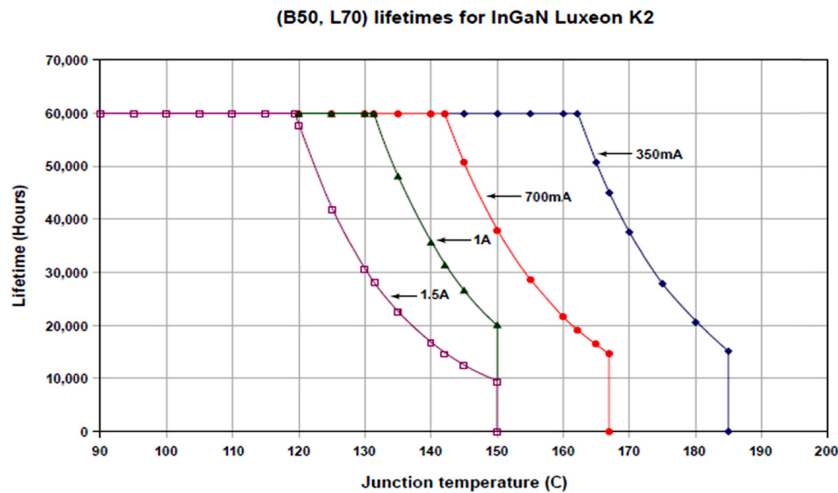


Fig. 2. Expected LED life curves based on drive current with LED junction temperatures. (Source : Philips Lumileds) [13].

2.1.2 LM-80-08 및 TM-21-08의 주요내용

LM-80은 무기 LED 기반의 패키지, 모듈, 어레이의 광속유지율을 측정하는 방법을 다루고 있으며, 램프 수명 내에 광 출력 변화에 대해 동일한 결과를 얻도록 LED광원을 제어된 조건하에 동작시킬 수 있는 절차를 기술하고 있다. LED의 수명은 대부분 5만시간 이상으로 LM-80에서는 수명예측을 위하여 최소 6,000시간 또는 10,000시간 이상의 측정 기간을 요구하고 있다. 시료의 수량은 측정값의 노이즈를 제거할 수 있도록 최소 10개 이상의 시료를 권고하고 있으며 10개 이하의 시료에서 관측되는 정보에 의한 수명예측의 결과는 보장하지 않고 있다. TM-21에서는 시료 수량을 10개로 선정할 경우 5배율을 적용하여 측정지속시간 6,000 시간에 대해 3만시간의 예측방법을 제시하였으며 측정시간을 1만시간의 경우는 5배율에 의한 5만 시간의 수명예측이 가능하다. 여기서 시료 수량이 20개 이상으로 6배율을 적용할 경우 6만 시간의 수명예측이 가능하게 된다.

수명 측정시험에서 온도는 수명에 가장 큰 중요한 요소로서 주변온도는 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 를 유지해야 하며 LED소자 정선온도는 일정(55°C , 85°C , 제작사 권고 온도 등)하게 유지되어야 한다.

2.1.3 수명시험 방법

LED전조등은 크게 기구부와 전원부로 구성되며, 기구부는 COB(Chip On Board) 기반의 LED모듈과 방열판 그리고 렌즈 등을 포함하고 있다. 수명시험을 위한 시료 수량은 10개 이상으로 선정하며, LM-80에서 권장하는 6,000시간을 측정하는 동안 1회/1일 이상의 측정 주기로 광학/온도/전기 정보를 수집한다. 또한 광원을 일정위치로 고정하기 위한 고정부와 외부광원이 측정에 영향을 미치지 않도록 암막설비를 갖추어야 한다.



Fig. 3 Bird's-eye view of the conceptual design of the lifetime test system shown in Fig. 4.

그림 4는 제안한 수명시험 장치를 이용한 전체 수명시험 절차를 나타내며, 초기 배광시험 전에 열특성 분석과 보정된 시험방법을 포함한다. 상기의 수명시험장치는 10개 이상의 LED제품을 동시에 측정되어야 하며 측정장비의 소급성을 확보하기 위해서는 보정된 시험방법이 적용되어야 한다[11]. 보정된 시험방법은 수명시험 전후에 LED조명제품의 측정소급성 확보를 위한 배광시험 및 광특성 시험을 실시하며 수명시험장치를 통하여 LED제품의 수명특성곡선을 확보한다.

수명시험은 LED소자 정선온도를 기준으로 온도유지가 필요하나 실제적으로 수명시험 중에 정선온도의 직접적인 측정이 불가능하므로, 적정 온도 측정점과 온도유지범위를 결정하기 위하여 LED 제품의 온도성능과 방열판의 성능을 확인하는 특성시험이 필요하다[6].

2.2 수명시험 측정 장치 개념설계안

2.2.1 시스템 구조

LED전조등 수명시험 장치는 그림 4와 같이 온도제어부, 광챔버부, 측정부 및 저장부로 구성된다. 온도 제어부는 여러개의 온도조절 팬과 온도제어기로 구성되며, 광챔버부는 LED제품을 고정하고 여러 개의 제품을 동시에 시험할 수 있도록 밀폐공간을 형성하기 위한 차단막으로 구성된다. 광챔버부에 고정되는 LED제품은 온도조절 팬에 의하여 일정 온도로 유지된다. 광챔버부의 반대쪽에는 광특성을 측정하기 위한 센서가 고정되며 측정된 정보는 저장부에 정기적으로 저장된다. LED 제품에 공급되는 전원장치는 전류를 일정하게 제어할 수 있는 정전류전원으로 구성되며, 수명시험장치가 설치되는 공간은 일정하게 주변온도가 제어되도록 항온항습설비가 갖추어져야 한다. 저장부는 온도제어부 및 측정부의 온도/ 광학정보와 전원 공급장치의 전기적 정보 등을 저장하게 된다.

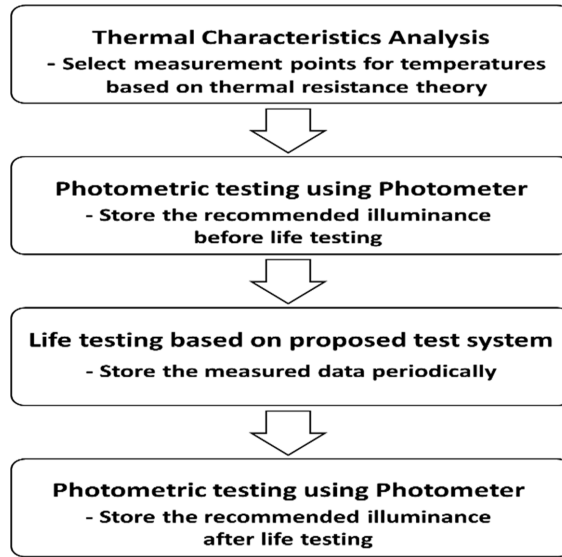


Fig. 4. Flow chart of the lifetime test procedure using the proposed test system.

2.2.2 수명시험장치의 요구사항 및 주요 기능

수명시험장치의 요구사항은 표 1에서 구성 요소 별로 수록한다. 주요 기능으로 항온 설비의 팬은 시제품을 냉각하기 충분한 공기를 공급해야 하며, 시제품의 온도를 측정하여 일정온도로 조절 가능하고, 연속적인 속도제어 기능이 가능해야 한다. LED Holder는 LED광원과 조도계 간의 초점 일치를 위한 상하 각도조절을 통해 LED 완제품 시험부의 위치를 보정하여 광 측정점을 일정하게 유지한다. LED전조등 수명시험 장치는 열전대로부터 입력되는 방열판의 케이스 온도정보를 PLC와 기록장치에 전송하며, PLC는 온도정보를 선형제어 기반의 속도값으로 변환하며, 계산값은 인버터와 모터를 통해 냉각 팬의 회전속도를 제어하여 방열판의 온도를 주기적으로 유지한다. 전원설비는 LED 드라이버, 인버터에 직류 전원과 저장 유닛에 교류전원을 공급하며, LED 드라이버는 LED 패키지에 직류 전원을 공급한다.

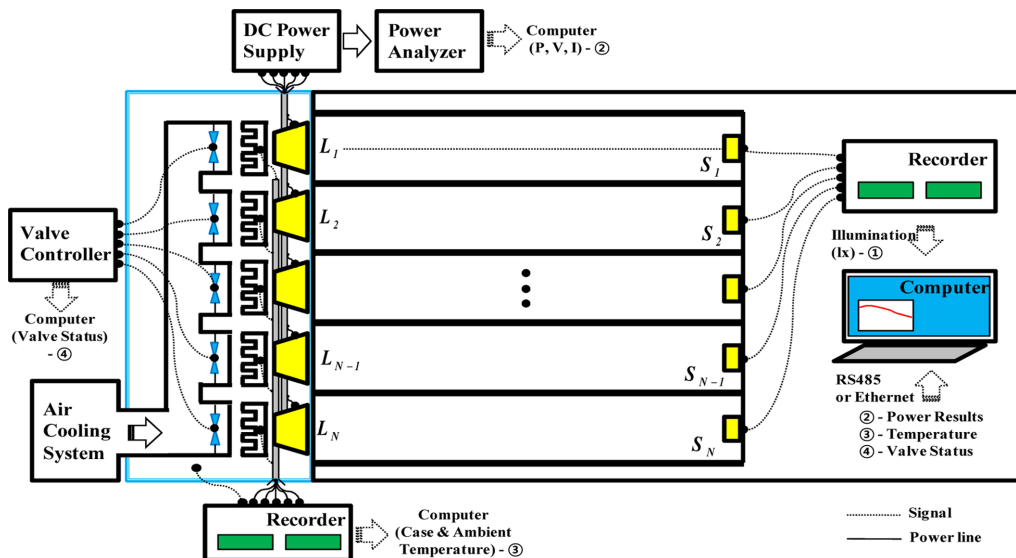


Fig. 5. Conceptual diagram of the lifetime test facility with a sensing, recording and monitoring system for optical, electrical and thermal information.

Table 1. Lifetime test system specifications for multiple LED headlights capable of one million candela power.

Terms		Specifications
Light chamber unit (LCU)	Sample quantity	more than 20 samples
	Measurement distance	Above 10 m
	Sealing type	Blackout function
	Fixation method	screw socket/no deformation
Temperature control unit (TCU)	Case temperature	Desired temperature $\pm 1^{\circ}\text{C}$
	Cooling type	Fan motor speed control
	Additional function	Recording function of FAN output power and case temperature
	Ambient temperature	$25 \pm 2^{\circ}\text{C}$
Optical measuring unit	Sensor type	Illuminance Sensor
	Protective function	Light-cut function for the deterioration prevention of optical sensor
Data recording unit	Channel number of optical data	More than 20 channels
	Channel number of TCU	More than 20 channels
	Channel number of ambient temperature	One channel
	Electrical data	Input voltage/current/power consumption
	Recording interval	1 sec (recording cycle : initially 1 weeks)

3. 결 론

본 연구는 여러 개의 철도차량용 LED 전조등 완제품의 수명시험을 동시에 수행하기 위한 수명시험 장치 구축에 관한 개념 연구로써, 다양한 시료와 시험조건에 따라 변형과 시료별 개별 측정이 가능하고, 기존 LED소자 단위의 수명시험 기준에 부합되는 장치의 설계안을 제시한다.

LED 수명은 주로 온도, 구동전류에 의해 차이를 보이므로, 일정 온도 및 일정 전류의 유지가 필수적이며, 제안한 측정 장치는 온도유지를 위한 별도의 온도제어설비와 정전류 방식의 DC전원공급장치를 포함한다. 수명시험에 관한 전반적인 요구사항은 IESNA의 LM-80과 TM-21을 만족하며, 전원공급장치를 제외한 COB 기반의 LED모듈과 방열판 그리고 렌즈로 구성된 LED전조등의 기구부를 대상 시료로 고려하였다. 수량은 10개로 선정하며, 6,000시간을 측정하는 동안 1일 1회 주기로 광특성 정보를 수집한다.

제안한 수명시험 장치를 이용한 전체 수명시험 절차는 온도특성시험, 초기 광특성시험, 수명특성시험 및 최종 광특성시험으로 수행되며, 수명특성시험 전후에 실시되는 광특성시험은 수명특성시험 결과의 소급성 유지를 위하여 수행한다.

본 논문에서는 LED전조등의 수명특성을 확인하기 위한 시험장비 개념 설계와 사양을 제시하였으며, LED제품에 대한 수명관련 규격인 LM-80과 TM-21을 만족하고 있다. 향후, 수명시험 장비를 활용한 LED전조등의 수명특성 연구와 수명시험 방법에 대한 후속연구가 진행되어야 한다.

후 기

본 연구는 국토교통부에서 시행한 철도기술연구사업 “도시철도 핵심부품 국산화 및 장치고도화 개발 1단계” 3세부 고위도(100만 칸델라급) LED전조등 개발(14RTRP-B067917-02) 과제의 연구비로 수행한 결과입니다.

References

- [1] K.H. Choi, S.H. Jeon, B.H. Jung, B.S. Lee, et al. (2004) A study on the headlight design for high speed train, *Proceedings of the Korean Society for Railway Annual Spring Conference*, Gyeongju, pp. 172-177.
- [2] J.K. Khoo, H.S. Park, D.I. Kim (2012) Application and improvement of LED head light for rolling stock, *Proceedings of the Korean Society for Railway Annual Autumn Conference*, Gyeongju, pp. 814-818.

- [3] J.S. Choi, B.W. Seo, C.C. Park (2009) Development of LED type head light for rolling stock, *Proceedings of the Korean Society for Railway Annual Autumn Conference*, Jeju, pp. 2830-2841.
- [4] B.J. Jeong, S.G. Kim, E.J. Cho, I.K. Kim, G.S. Kil (2011) Design and fabrication of a LED headlight for railroad vehicles, *Proceedings of the Korean Society for Railway Annual Autumn Conference*, Jeju, pp. 1517-1522.
- [5] S.I. Lee, C.Y. Chang, M.S. Song (2014) High brightness LED head lamp market and analysis of technology roadmaps, *Proceedings of the Korean Society for Railway Annual Spring Conference*, Changwon, pp. 1317-1322.
- [6] J.G. Ohn, J.D. Chung, J.U. Kim, I.K. Kim (2013) An analysis of the heat-sink module for rail vehicle's LED headlamp, *Proceedings of the Korean Society for Railway Annual Spring Conference*, Pyeongchang, pp. 416-421.
- [7] IES Testing Procedures Committee (2008) IES LM-80-08 - IES Approved method for measuring lumen maintenance of LED light sources, Illuminating Engineering Society of North America, New York, pp. 1-10.
- [8] IES Testing Procedures Committee (2011) IES TM-21-11 - Projecting long term lumen maintenance of LED light sources, Illuminating Engineering Society of North America, New York, pp. 1-25.
- [9] J.M. Lim, H.Y. Lee, K. Lee, D.H. Kim, et al. (2013) International standard trends of computing life assumption value of a light source through lumen maintenance, *Proceedings of The Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Annual Spring Conference*, wonju, pp. 122-123.
- [10] J.G. Ohn, K.S. Jeong, J.D. Chung (2014) Fundamental design of lifetime test system for LED headlamp on a rolling stock, *Proceedings of the Korean Society for Railway Annual Autumn Conference*, Jeju, pp. 948-952.
- [11] J.G. Ohn, K.J. Gwon, I.S. Han, Jeong, J.D. Chung (2014) The study of method for Lumen maintenance testing of rail vehicle's LED headlamp, *Proceedings of the Korean Society for Railway Annual Spring Conference*, changwon, pp. 453-457.
- [12] T.H. Kim (2010) Life Evaluation and International Standards of LED lightings, *The Magazine of the IEEK*, 37(2), pp. 164-170.
- [13] www.eere.energy.gov

【 Received 17 December 2014; Revised 14 April 2015; Accepted 15 April 2015 】

Jung-Ghun Ohn : jgohn@krrri.re.kr

Metropolitan Transit System Research Division, Korea Railroad Research Institute,
176 Cheoldobakmulkwon-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, Korea

Ki-Seok Jeong : jks14@krrri.re.kr

Metropolitan Transit System Research Division, Korea Railroad Research Institute,
176 Cheoldobakmulkwon-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, Korea

Jong-Duk Chung : jdchung@krrri.re.kr

Metropolitan Transit System Research Division, Korea Railroad Research Institute,
176 Cheoldobakmulkwon-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, Korea