

LED가로등 열화특성 분석연구

(The characteristics research of lifetime degradation for LED Lighting System)

Se-Hyun Lee*, Seung-Yong Yang, Myung-Keun Hwang, Sang-Wuk Shin, Jae-Yup Rho, Seok-Joon Choi, Jeong-Keun Lee, Jeong-Jin Seo

Korea Institute of Lighting Technology

Abstract

In this paper, We has been studied the lifetime degradation of LED lighting system compared to MH lighting. Especially the effect of temperature level on the lifetime degradation has been investigated. The results show that temperature plays a role in the lifetime degradation and slope of degradation line represent as temperature level differently. However, It is possible to estimate the lifetime of LED lighting system using equation induced the slope of degradation line.

1. 서론

최근 들어 광원 기술의 발달로 인한 여러 형태의 새로운 신광원이 개발되고 있다. 특히, 장수명(Long Life)과 저전력을 내세우는 LED 광원이 근래에 들어 크게 대두되면서 광원 자체의 신뢰성(Reliability)을 평가하기 위한 여러 가지 방법들이 제안되고 있다.

그 중 제품의 품질 특성치인 수명(Life)에 관한 데이터를 분석하는 것은 제품의 신뢰성을 판단하기 위한 가장 좋은 수단 중 하나로서, 보통 수명 시험(Life Test)을 통해 필요한 데이터를 획득한다.

하지만 고 신뢰성(High Reliability)의 제품일 경우 수명 시험을 통해 데이터를 얻기까지의 시간(Time)이 과다하게 소요되므로, 일반적으로 사용 조건보다 가혹한 스트레스(Stress)를 가하는 가속 시험(Accelerated Test)이 널리 적용되고 있다.

특히, 고장(Failure)날 가능성이 아주 희박하거나 전혀 고장이 발생하지 않는 제품의 경우, 수명 시험을 통해 고장 데이터를 확보하는 것은 거의 불가능하며, 이런 경우 제품의 수명에 결정적인 영향(critical effects)을 미치는 특성치의 열화(Degradation)량을 추이하여 수명을 추정하는 열화시험(Degradation Tests)이 활용되고 있다.

LED조명시스템의 경우 이러한 고 신뢰성을 내세우는 LED 광원을 적용한 조명기기로서, 50,000시간 이상의 장수명과 저전력 소모, 탁월한 조광기능 등으로 차세대 조명으로 현재 급부상 중이며, 여러 가지 관련된 응용제품이 출시되고 있다. 따라서 LED에 대한 신뢰성 부분, 특히 수명 특성에 대한 시험 분석 및 예측이 필수 불가결적으로 요구되는 상황이다.

이에 본 논문에서는 현재 개발되고 있는 LED 가로등시스템을 대상으로 광속열화 특성평가를

통하여 열화 곡선을 추정하고, 이를 기존 메탈헬라이드 램프의 열화특성과 비교분석하였으며, 본 자료를 토대로 LED가로등시스템의 적절한 수명 평가방법을 제안하였다.

2. 본론

2.1 실험시료

본 논문에서는 LED가로등시스템(120W급)과 메탈헬라이드 램프(400W급)에 대한 열화특성을 비교분석하였다.

LED가로등에 대한 실험용 시료는 연구개발단계는 있는 120W급 LED가로등 시스템을 선정하였으며, 측정 중 발생할 수 있는 임의의 고장을 대비하여 동일한 사양의 시료 2세트를 동일한 환경에서 실험을 실시하였다. 이러한 LED가로등 시스템 시료를 그림 1에 나타내었다. 또한 400W급 메탈헬라이드 램프의 수명시험을 병행하여 특성치를 분석하였다.

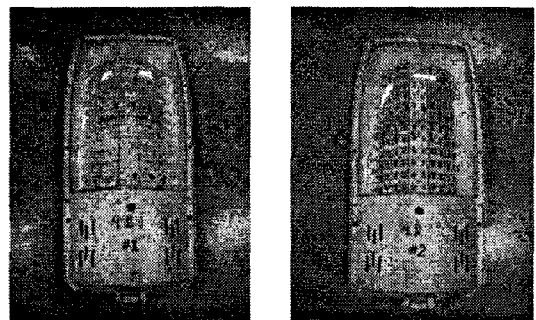


그림 1. 실험시료
Fig 1. Test samples

2.2 메탈헬라이드 램프수명시험

실험시료는 메탈헬라이드 400W급 램프를 4개社 각 2종씩 임의로 선정하여 초광속을 측정한다

후, 400시간까지는 매 100시간 마다 광속을 측정하고, 1,000시간까지는 매 200시간 마다 광속을 측정하였다. 이러한 사항을 표 1에 정리하였다.

또한 광속 측정시 1.5m 적분구안에서 주위온도 $25 \pm 5^\circ\text{C}$ 만족하는지 확인한 후, 소비전력이 안정화된 이후에 측정하였다.

표 1. 시료수 및 측정 시간

Table 1. Test samples number and measurement time

시료수	4개社 × 2종 = 8개
소비전력	400W급
광속 측정시간	1차 : 100h, 200h, 300h, 400h 2차 : 600h, 800h, 1000h

4개社 총 8개의 실험 시료에 대해 1,000시간까지의 광속변화량을 추이하여 이를 그림 2에 나타내었으며, A社의 경우 초광속 대비 1,000시간 후의 광속은 10%정도 떨어졌으며, B社는 12%, C社는 9%, D社는 8%로 감소하였다.

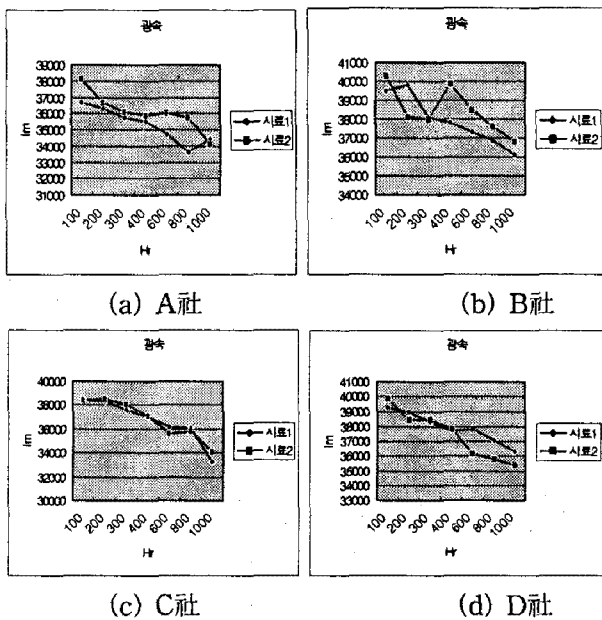
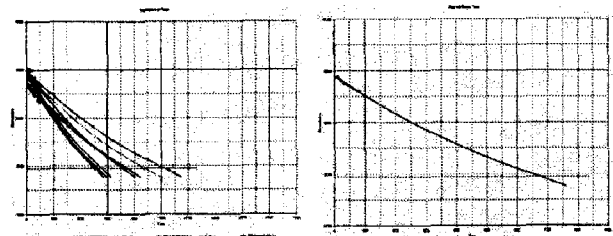


그림 2. 측정시료의 광속변화량 추이

Fig 2. The flux variations of test samples

이는 실험 시료의 광속 열화 특성을 1,000시간까지 추이함으로써, 이를 통해 나타내어질 수 있는 열화 방정식을 찾아 실험 시료의 수명을 예측하고자 하는 것이다.



(a)시료별 광속 열화 곡선 (b)평균 광속 열화 곡선
(a)The degradation lines (b)The average line

그림 3. 시료의 광속 열화 특성 곡선

Fig 3. The lines of flux degradation

그림 3은 이러한 광속 열화 특성 방정식을 유도하기 위한 방법으로 실험시료에 대한 열화 특성을 분포 특성별로 시뮬레이션하여 가장 최적의 분포 유형을 갖는 지수형(Exponential distribution)으로 해석하여 나타낸 것이다. 그림 3의 시뮬레이션 결과로부터 식 1의 최적화 방정식을 유도하였다.

$$y = b \cdot \exp(a^x)$$

여기서

$$a = -0.104335 \times 10^{-4}$$

$$b = 38978.85$$

(1)

식 (1)에 의해 광속유지율이 초기광속 대비 50% 이하로 떨어지는 시간이 약 7,000h 으로 나타났다.

2.3 LED가로등시스템 수명실험

2.3.1 동실험에 활용된 장비

LED광원 같은 편방향성 조명기기의 경우 적분구를 통해 광속을 측정하면 적분구내 편방향성 확산분포에 기인하여 측정오차가 생기게 된다. 이러한 오차를 줄이기 위한 방법 중 하나로서, 그림 4의 절대광속 측정기를 사용하는 방법이 있다. 절대광속 측정기는 측정센서부가 입체각(4π)을 모두 이동하면서 광도값을 적분하므로 정확한 광속값을 측정할 수 있다. 동실험에서는 LED가로등시스템의 정확한 광속을 측정하기 위하여 절대광속 측정기를 활용하였다.

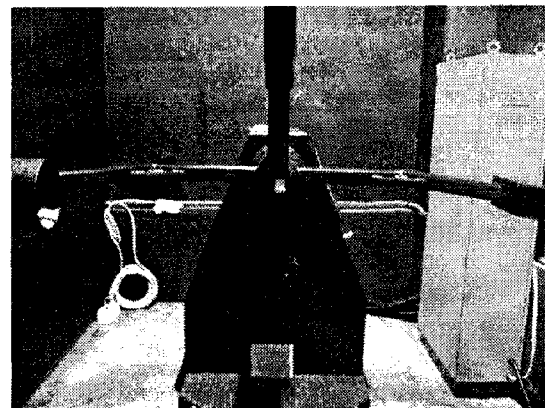


그림 4. 절대광속 측정기

Fig 4. The measurement system of absolute flux

2.3.2 실험방법 및 결과

본 연구에서는 LED가로등의 수명에 결정적인 요소로 작용할 수 있는 광속(Luminous flux)을 장시간 추이하면서 그 특성치를 특정시각마다 측정하여 기록하였다. 또한 열화속도에 영향을 줄 수 있는 온도변화 요인을 최소화 하기 위하여 챔버내에서 실험하였다. 이러한 실험모습 및 배광특성을 그림 5, 6에 각각 나타내었다.

또한 챔버내 온도는 $25^{\circ}\text{C} \pm 0.01^{\circ}\text{C}$, 습도는 25%를 유지하였으며, 광속측정 시간은 초기 500시간 까지는 100시간 주기로 광속을 측정하였고, 그 후 250시간 간격으로 1,500시간 까지 측정 후 500시간이 지난 다음에는 2,000시간에 측정을 하였다. 그 결과표를 표 2에 나타내었다.

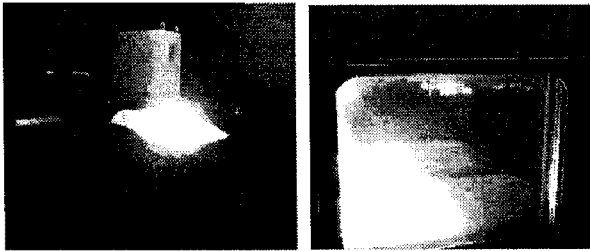


그림 5. 시료측정모습
Fig 5. The figure of measurement

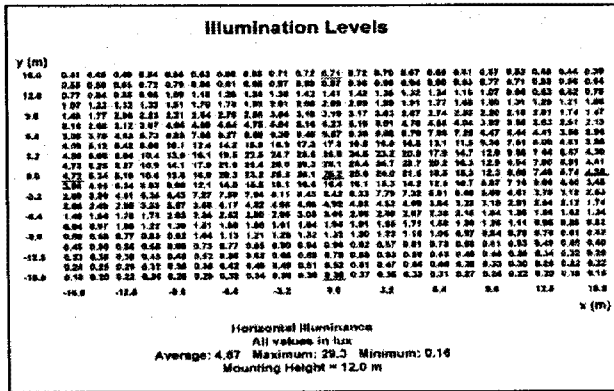


그림 6. 조도분포
Fig 6. The distribution of illuminance

표 2. 광속측정 결과
Table 2. The result of flux measurement

측정횟수	광속(lm)	누적시간
1	7755.4	0
2	7755.7	100
3	7756.8	200
4	7757.2	300
5	7757.9	400
6	7758.3	500
7	7758.5	750
8	7762.2	1,000
9	7760.4	1,250
10	7761.5	1,500
11	7761.2	2,000

초기 광속은 총광속이 7,755.4lm으로 측정되었으며, 이 값은 1,000시간까지 꾸준한 상승추이를 나타내었다. 그 후 2,000시간까지도 광속 값은 어느정도 일정하게 유지되는 양상을 나타내었다. 이는 LED광원이 초기특성을 나타내기까지 일반 광원보다 좀더 많은 시간이 필요하다는 것으로 사료되며, 적어도 6,000시간까지의 지속적인 열화추이를 살펴볼 필요성이 있는 것으로 판단된다.

그림 7은 광속량의 변화를 그래프로 나타낸 것으로 일반적인 조명용 광원의 경우, 초기 100시간~200시간 지난후에는 광속이 열화되는 것이 통상적인 현상이나 LED광원의 경우, 반도체 물성에 기인하여 초기 에이징시간이 일반 방전형 램프보다 많이 필요한 것으로 보인다.

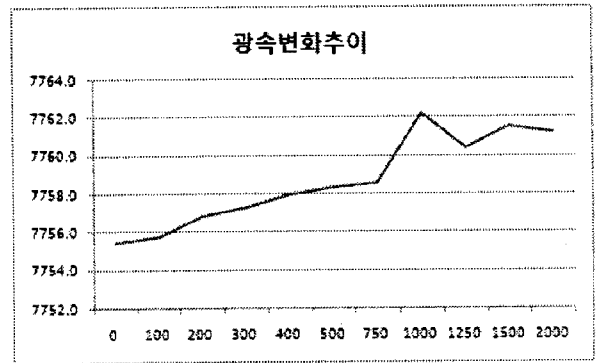


그림 7. 시간에 따른 광속변화
Fig 7. The flux variation as time flow

2.3.3 열화방정식 추정

상기에서 얻은 데이터로 미니탭의 적합선 플롯 기능을 이용한 회기분석을 실행하여 수명방정식을 추정해내었다. 1차식과 2차식의 두가지 방법으로 방정식을 도출해 내었으며, 2차식이 1차식보다 데이터를 잘 설명하는 것으로 나타났다.

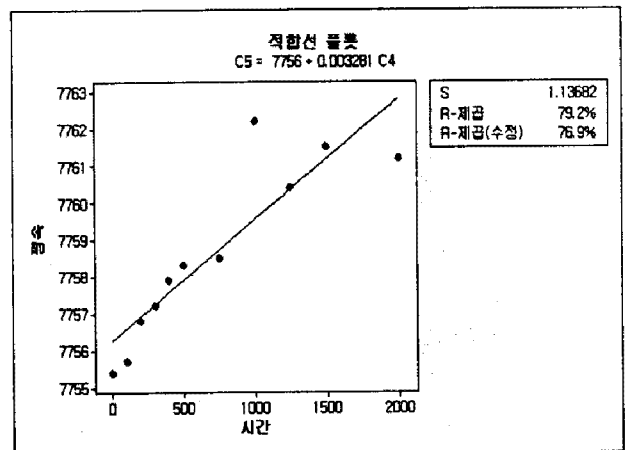


그림 8. 1차식 적합선 플롯
Fig 8. The fitted line of linear expression

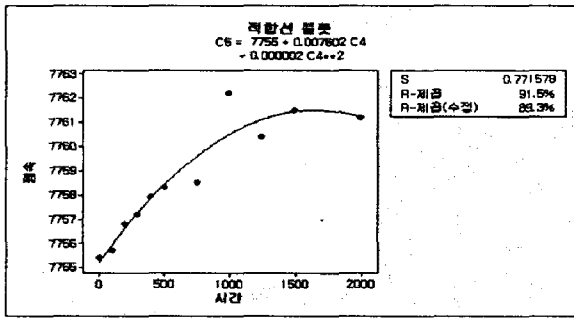


그림 9. 2차식 적합선 플롯

Fig 9. The fitted line of nonlinear expression

R^2 및 수정된 R^2 값은 시간이 설명하는 광속의 변동 비율을 나타낸다. R^2 (R-제곱)은 광속값에서 시간에 의해 설명되는 변동량을 나타낸다. 예를 들어 1차식으로 나타낸 광속에 대한 시간의 적합선 플롯의 경우 시간은 광속 변동의 79.2%를 설명한다.

수정된 R^2 은 모형의 항 수에 대해 수정된 R^2 의 변형이다. 불필요한 항을 포함시키면 R^2 이 비정상적으로 커질 수 있으며, R^2 과 달리 수정된 R^2 은 모형에 항을 추가할 때 작아질 수 있다.

1차식으로 분석을 한 결과 R^2 값이 79.2%로 2차식으로 했을 때의 91.5%보다 낮게 나왔다. 따라서 LED 가로등기구의 수명을 설명하는 식으로는 2차식이 적합하다고 판단하여 LED가로등기구의 수명방정식으로 채택하였다. 정리하면 다음 식과 같다.

$$\text{광속} = -0.000002(\text{시간})^2 + 0.007602(\text{시간}) + 7755$$

2.3.4 수명방정식에 따른 수명 추정

상기에서 구한 수명방정식으로 측정시료의 광속이 0이 될 때까지의 시간을 추정하였으며, 그 결과를 그림 10에 나타내었다.

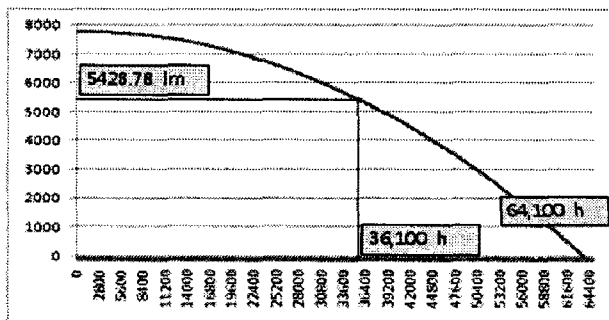


그림 10. 수명방정식에 따른 광속변화 추이

Fig 10. The flux degradation as a lifetime equation

광속이 0이 될 때까지의 시간은 약 64,100시간으로 추정된다. 하지만 광출력이 일정 수준 이하로 떨어지게 되면 조명기구로서의 제 기능을

다 한다고 볼 수가 없다. 일반조명으로 많이 쓰이고 있는 형광램프의 경우 경제적인 수명을 램프의 광속이 최초광속의 80% 수준으로 떨어질 때 까지로 규정하고 있다. 일반적인 형광램프의 경우 초기광속 대비 70%의 광속이 나올 때까지를 수명으로 규정하고 있다.

본 연구에서는 초기 광속량 대비 70%가 되는 시점까지를 수명으로 규정하고 그 시간을 추정하였다. 초기 광속량은 7,755.4lm으로 이것의 70%수준은 5,428.78 lm이다. 상기 추정한 식을 이용하여 5,428.78 lm이 되는 시점을 추정한 결과 약 36,100시간으로 추정되었다.

본 실험을 통해 유추한 결과로는 LED가로등시스템의 경우 상온에서 정상 점등시 35,000시간까지 초기 광속대비 70%의 광속을 보장할 수 있을 것으로 사료된다.

3. 결론

본 논문은 현재 활발하게 개발되고 있는 LED 광원을 사용한 LED가로등시스템의 수명평가를 위하여 2,000시간까지 광속을 측정하여 변화를 추이하면서 광속 데이터들의 최적 표현을 위한 방정식을 유도하여 그 수명을 추정하였다. 또한 일반 가로등용 메탈할라이드 램프의 수명과 비교 시험하여 그 자료를 분석하였다.

○ LED 가로등시스템의 경우 총광속량이 7,755.4lm으로 측정되었으나, 기존 150W 나트륨램프(전광속: 14,000lm), 150W 메탈할라이드 램프(전광속: 11,250lm)와 비교하여 효율 및 온도제어면에서 기술개발이 더 필요할 것으로 사료된다.

본 연구자료는 장수명, 저전력의 LED 가로등 시스템 뿐만 아니라 각종 고 신뢰성이 요구되는 조명기구의 수명 분포 해석 및 수명 예측을 예상하는 데 적절하게 쓰일 수 있을 것이라 판단되며, 차후 6,000시간까지의 지속적인 실험 자료를 통해 검증이 될 수 있도록 하겠다.

[참고 문헌]

- [1] 이상용, "신뢰성 공학", 형설출판사, pp. 9~124, 2003
- [2] 이세현 외4, "무전극 형광램프 시스템의 서어지 특성 연구", 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, pp. 141~148, 2004
- [3] 서순근, 하천수, "단순 확률계수 열화모형하에서 수명시험과 열화시험의 비교연구", Journal of the Korean Institute of Plant Engineering, Vol.7, No. 2, JUN 2002.
- [4] ReliaSoft, "Life Data Analysis Reference", ReliaSoft Publishing, pp. 1~365, 2004
- [5] 김광섭, "신뢰성평가 전문인력 양성-신뢰성 분석 및 시험", 기술표준원, 아주신뢰성센터 pp. 1~262, 2004
- [6] 산업자원부, "초고속 신뢰성 평가를 위한 가속수명 시험", 산업자원부 기술표준원, pp. 5~160, 2004

본 연구논문은 에너지자원기술개발사업(사업명: 지능형 Power LED가로등기구 및 시스템 기술개발사업)으로 수행되었으며, 관계자분들께 감사드립니다.