

PLS(Plasma Lighting System) 가속 수명 분포 특성 연구

이세현*, 신상욱, 조미령, 황명근
한국조명기술연구소

The characteristics research of accelerated life distribution for an Plasma Lighting System

Se-Hyun Lee*, Sang-Wuk Shin, Mee-Ryoung Cho, Myung-Keun Hwang
Korea Institute of Lighting Technology

Abstract - In this paper, We observed degradation characteristics of luminous flux for PLS. Because degradation tests can be a useful tool for assessing the reliability when few or even no failures are expected in a life tests. and we also use a temperature chamber to accelerate degradation of luminous flux for PLS. As a result, Exponential distribution and equation is best suitable model for PLS.

PLS(Plasma Lighting System)의 수명 평가를 위하여 2,300h 동안의 광속 변화량을 측정 한 후, 분석 소프트웨어를 활용하여 60,000h 이후의 광속 감쇠량을 추정하였으며, 가속 열화시험을 통해 얻어진 PLS의 광속 변화량을 분석하여 수명 시험 데이터와 비교하였다. 또한 단시간의 열화 시험을 통해서 장시간후의 광속 감쇠량을 추정할 수 있도록 광속 변화량을 활용한 최적화 방정식을 유도하였다.

1. 서 론

최근 들어 광원 기술의 발달로 인한 여러 형태의 새로운 신광원이 개발되고 있으며, 이를 구동하기 위한 안정기 역시 다양한 형태로 연구되고 있다. 특히, 장수명(Long Life)과 고효율(High Efficiency)을 내세우는 무전극(Electrodeless) 광원 및 외부전극(External Electrode) 형태의 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.

PLS(Plasma Lighting System)는 이러한 고 신뢰성을 내세우는 조명기기로서, 60,000시간 이상의 장수명과 80% 이상의 고효율을 발휘할 뿐만 아니라, 90 Ra 이상의 고 연색성을 나타냄으로 공원 및 도로의 가로등과 국내·외의 고 신뢰성을 요구하는 산업 현장 및 유지보수가 힘든 장소에 설치되어 유용하게 활용될 것이 예상된다. 따라서 PLS에 대한 신뢰성 부분, 특히 수명 특성에 대한 시험 분석 및 예측이 필수 불가결적으로 요구되는 상황이다.

이에 본 논문에서는 현재 상용화에 추진 중에 있는

2. 본 론

2.1 실험 계획

먼저, PLS의 수명 평가를 하기 위해서는 수명과 가속 수명 시험용으로 각각의 시료를 선정할 필요가 있는 데 적절한 측정 자료를 얻을 수 있도록 시료 개수를 확보한 후, 각각의 시험방법을 연구하여 시험을 실시할 수 있도록 계획하였다.

또한 시험 실시후 측정 자료에 대한 여러 가지 수명 분석을 실시할 수 있도록 적절한 시뮬레이션 분석 툴을 활용하여 PLS에 대한 수명 예측 최적화 방정식을 유도할 수 있도록 계획하였다.

이러한 수명 및 가속수명 시험에 대한 개략도를 그림 1에 나타내었다.

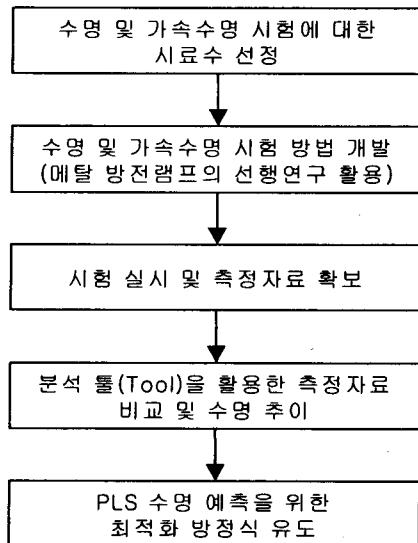


그림 1. 수명 및 가속수명 시험 개략도

2.2 시료수 선정

측정 시료수의 선정은 수명 시험과 가속 수명시험을 구분하여 수명 시험을 위한 시료수는 신뢰성 소프트웨어(와이블++ 6.0)를 활용하여 4개로 결정하였으며, 가속 수명시험을 위한 시료수는 온도 챔버와 측정 시료의 크기를 고려하여 2개로 결정하였다.

또한 측정 오차를 줄이기 위하여 동일한 시기에 제작된 동급 PLS 6대를 선정하여 100시간 에이징 후에 각각의 시험을 실시하였다.

이러한 수명 및 가속수명 시험별 시료수 선정과 시료수 결정 시뮬레이션 결과를 표 1과 그림 2에 각각 나타내었다.

표 1. 수명 및 가속수명 시험별 시료수 선정

구분	수명시험	가속수명시험
소비전력	900W급	900W급
측정 시료수	신뢰성 : 80% 신뢰수준 : 60% 시료수 : 4대	시료수 : 2대

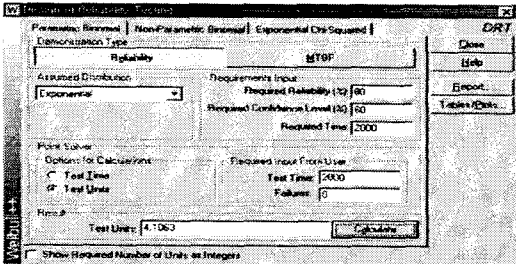


그림 2. 시료수 결정 시뮬레이션 결과

2.3 실험 방법 및 결과

본 연구에서는 PLS의 수명에 결정적인 요소로 작용할 수 있는 광속(Luminous Flux)을 일정 시간 추이하면서 그 특성치를 특정 시각에 측정하여 기록하였다. 그 후 선행 연구된 메탈 방전램프의 수명 분포 유형을 연구하여 PLS의 수명 특성을 분석하였으며, 가속 수명시험 따른 특성치를 분석하여 수명 시험 결과와 비교한 후, 이에 따른 PLS 수명예측 최적화 방정식을 유도하였다.

2.3.1 메탈 방전램프의 수명 예측

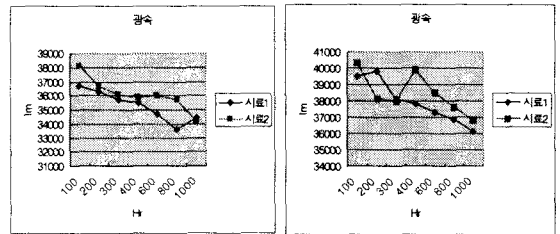
측정 시료는 메탈헬라이드 400W급 램프를 4개사 각 2종씩 임의로 선정하여 초광속을 측정한 후 400시간까지는 매 100시간 마다 광속을 측정하고, 1,000시간까지는 매 200시간 마다 광속을 측정하였다. 이러한 사항을 표 2에 정리하였다.

또한 광속 측정시 1.5m 적분구안에서 주위온도 25±5℃ 만족하는지 확인한 후, 소비전력이 안정화된 이후에 측정하였다.

표 2. 측정 시료수 및 측정 시간

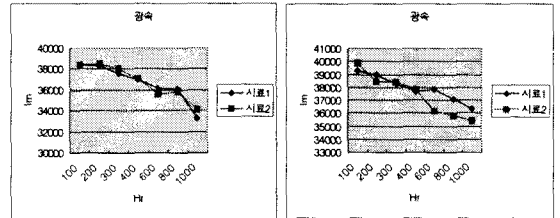
측정 시료수	4개사 × 2종 = 8개
소비전력	400W급
광속 측정시간	1차 : 100h, 200h, 300h, 400h 2차 : 600h, 800h, 1000h

4개사 총 8개의 측정 시료에 대해 1,000시간까지의 광속변화량을 추이하여 이를 그림 3에 나타내었으며, A사의 경우 초광속 대비 1,000시간 후의 광속은 10%정도 떨어졌으며, B사는 12%, C사는 9%, D사는 8%로 감소하였다.



(a) A社

(b) B社

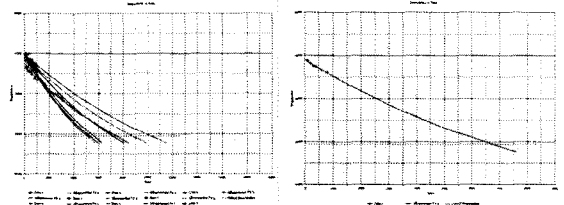


(c) C社

(d) D社

그림 3. 측정시료의 광속변화량 추이

이는 측정 시료의 광속 열화 특성을 1,000시간 까지 추이함으로써, 이를 통해 나타내어질 수 있는 최적화 방정식을 찾아 측정 시료의 수명을 예측하고자 하는 것이다.



(a) 시료별 광속 열화 곡선 (b) 평균 광속 열화 곡선

그림 4. 시료의 광속 열화 특성 곡선(지수분포)

그림 4는 이러한 광속 열화 특성 방정식을 유도하기 위한 방법으로서 측정 시료에 대한 열화 특성을 분포 특성별로 시뮬레이션하여 가장 최적의 분포 유형을 갖는 지수형(Exponential distribution)으로 해석하여 나타낸 것이다.

그림 4의 시뮬레이션 결과로부터 식 1의 최적화 방정식을 유도하였다.

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

여기서

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

$$b = 38978.85$$

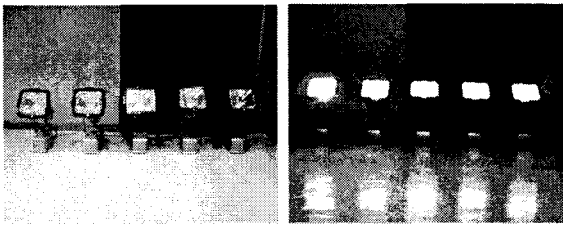
(1)

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

2.3.2 PLS의 수명 예측

2.3.2.1 수명 시험에 따른 분석

수명 시험을 위하여 PLS 900W급 5대를 선정하여 시험실 안의 온도를 25~28℃사이로 유지시켜 하루 24시간을 연속 점등시켰다. 특히, 시료수의 선정에서 4대로 결정되었지만 시험 도중 PLS 시스템이 고장날 것을 대비하여 1대의 여유분을 같이 시험하였다. 이러한 측정 모습을 그림 5에 나타내었다.



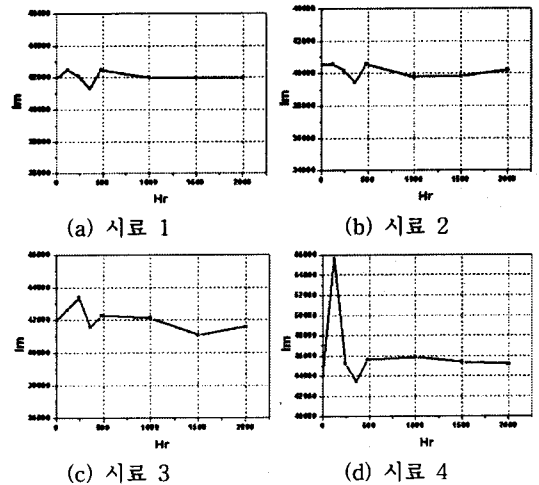
(a) PLS 점등전 (b) PLS 점등후
그림 5. PLS 수명 시험 모습

또한 광속 측정시간을 1,2차로 나누어, 1차는 초기 변화량을 증점적으로 관찰하기 위하여 대략 100h 주기로 광속을 측정하였으며 2차는 대략 500h 주기로 광속을 측정하여 광속 감쇠량을 분석하였으며, 이를 표 3에 나타내었다.

표 3. 측정 시료수 및 측정 시간

측정 시료수	5대
소비전력	900W급
광속 측정시간	1차 : 0h, 121h, 238h, 350h, 494h 2차 : 1,156h, 1,556h, 2,319h

그림 6은 PLS 900W급 시료 4개의 측정 시료에 대해 2,319h 까지의 광속변화량을 추이하여 그 결과를 나타낸 것으로서, 시료 1의 경우 초광속 대비 2,319h 후의 광속은 1%정도 떨어졌으며, 시료 2는 1%, 시료 3은 2%, 시료 4는 거의 동일한 광속값을 나타내었다.



(a) 시료 1 (b) 시료 2
(c) 시료 3 (d) 시료 4
그림 6. 수명 시험에 따른 광속 변화량 추이

PLS 측정 시료별 광속 열화 특성을 2,319h 까지 추이하 여 그 광속 값들의 평균값을 구한 후, 분석틀(와이블++6.0)을 활용하여 열화 특성을 추이함으로써 시료의 수명을 예측하였다. 이러한 열화 특성 곡선을 그림 7에 나타내었다.

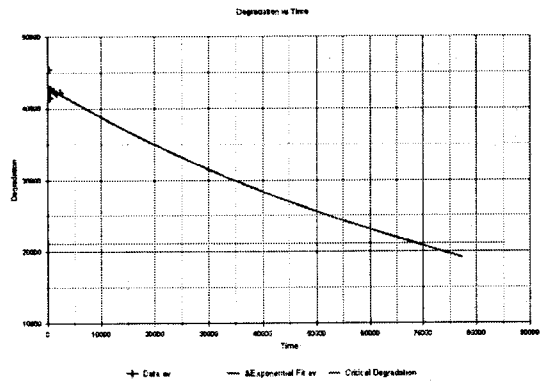


그림 7. PLS 측정시료의 평균 광속 열화 곡선

그림 7의 시뮬레이션 결과로부터 식 2의 최적화 방정식을 유도하였다.

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

여기서

$$a = -1.0934 \times 10^{-5}$$

$$b = 42993.168$$

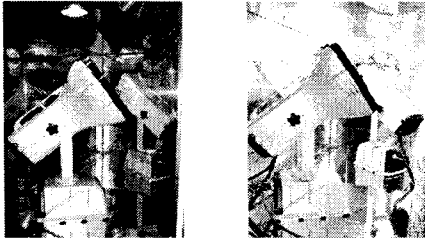
(2)

식 (2)에 의해 광속유지율이 초기광속 대비 50% 이하로 떨어지는 시간이 약 65,000h 으로 나타났다.

2.3.2.2 가속 수명 시험에 따른 분석

수명 시험을 위하여 PLS 900W급 5대를 선정하여 시험실 안의 온도를 25~28℃사이로 유지시켜 하루 24시간을 연속 점등시켰다. 특히, 시료수의 선정에서 4대로 결정되었지만 시험 도중 PLS 시스템이 고장날 것을 대비

하여 1대의 여유분을 같이 시험하였다. 이러한 측정 모습을 그림 8에 나타내었다.



(a) PLS 점등전 (b) PLS 점등후
그림 8. PLS 가속수명 시험 모습

또한 PLS의 광속열화를 가속시키기 위하여 챔버내 온도를 50℃로 조정하여 이를 점등시간 동안 지속적으로 유지하였으며, 점등시간을 1일 8시간으로 정하여 PLS를 가속조건에서 시험토록 하였다. 이러한 사항을 표 4에 나타내었다.

표 4. 측정 시료수 및 측정 시간

측정 시료수	2대
소비전력	400W급
가속 조건	1. 챔버내 온도 : 50℃ 2. 점등주기 : 8시간/1일
측정 시간	0h, 110h

110시간 동안의 가속시험 측정 결과 초기 광속값 대비 8%~10% 가량 광속값이 떨어지는 현상이 나타났다. 이는 가속 조건에 따라 광속 값이 급속하게 떨어진 현상으로 볼 수 있으나, 가속조건에서의 시험이 시간적인 제약으로 인해 110h 까지만 진행된 상태이므로 아직까지는 어느 정도의 결론을 내리기가 모호하며, 차후 장기적인 시험을 통하여 좀더 정확한 분석을 해야 할 것이다.

3. 결 론

본 논문은 현재 상용화를 추진중인 PLS(Plasma Lighting System)의 수명 평가를 위하여 광속의 열화 특성을 추이하면서 광속 데이터들의 최적 표현을 위한 방정식을 유도하였다.

이를 위해 PLS 시스템을 수명시험용으로 4대, 가속 수명시험용으로 2대를 선정한 후, 수명시험은 2,319h 동안 시험하였으며, 가속수명시험은 가속 조건 속에서 110h동안 시험하여 그 결과를 분석하였다.

실험 결과로부터 아래사항을 얻었다.

- 메탈헬라이드 400W급 램프의 광속 열화 특성을 분석한 결과 전광속이 초광속 대비 50% 로 떨어지는 시간이 약 7,000 시간으로 분석되었다.
- PLS 900W급 시스템 4대를 2,319 시간동안 수명 시

험을 진행한 결과 초기 광속값 대비 1~2% 정도의 광속값이 떨어졌으며, 분석툴(와이블++6.0)을 활용하여 분석한 결과 초기 광속 값의 50%이하로 광속이 떨어지는 시간이 65,000시간으로 시플레이션 되었다.

- 따라서 PLS 시스템을 65,000 시간동안 유지보수를 시켜줄 경우 광속 값만으로는 10년 이상을 조명용으로 활용할 수 있을 것으로 사료된다.
- 가속조건에서 110h 동안의 가속 수명시험 결과 8~10% 광속 값이 떨어지는 현상이 나타났는데 차후 지속적인 시험을 통해 측정 자료를 분석한다면 좀더 정확한 수명 예측이 가능할 것이다.

이상의 결과 자료는 장수명, 고효율의 PLS 조명기기 뿐만 아니라 각종 고 신뢰성이 요구되는 조명기기의 수명 분포 해석 및 수명 예측을 예상하는 데 적절하게 쓰일 수 있을 것이라 판단되며, 차후 많은 시험 자료를 통해 실증이 실시된다면 좀더 최적화된 모델식으로 개선될 수 있을 것이다.

[참 고 문 헌]

- [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