

## 디레이팅 기법에 의한 마이크로 퓨즈 용단의 특성 분석

(Character Analysis of Micro Fuse Fusing as a function of De-Rating technique)

김도경\* · 김종식\*\*

(Do-Kyeong Kim · Jong-Sick Kim)

### Abstract

Recently, Illumination industry of LED module has been focused to industry technology for energy conservation of nation. The LED device is excellent to power efficiency due to semiconductor light source element. And the application to the lighting circuit technology can be designed to the sensitive lighting system for human sensitivity control. In this paper, as a process for analyzing the operating temperature of standardized electronic device including LED device has analyzed about fusing character with in designed micro fuse for electronic device protection from the over current. Using the de-rating technique, which is performed to micro fuse fusing test in the range of  $-30^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$  thermostatic chamber. To the output data in each temperature zone, it is performed to first-order linear fitting. Additionally, applying the resistance temperature coefficient and statistical data for the reliable analysis has derived to the metal element resistance of micro fuse with temperature change of the thermostatic chamber. As a research result, The changed temperature effect of thermostatic chamber was confirmed regarding fusing time change.

Key Words : LED Module, Micro Fuse, De-rating, Fusing Energy, Resistance Temperature Coefficient

### 1. 서 론

국가적으로 에너지 절약을 위한 사회적 확산과 더불어 우수한 소비효율의 반도체 광원을 활용한 신광원 조명 산업이 급속히 발전되고 있다[1]. 대표적인 반도체

광원은 화합물 반도체(compound semiconductor) 기술로 제작할 수 있는 LED(light emitting device) 소자를 예로 들 수 있다. LED소자는 백열등, 형광등보다 에너지 소비 효율이 매우 우수하고 수명시간이 긴 장점이 있다. 상대 온도 및 자체 온도의 영향을 받는 LED소자뿐만 아니라, 모든 전자소자의 제조사는 데이터 시트에 동작온도를 명시하고 있다. 상대 온도 변화는 전류 캐리어의 이동도에 영향을 주고, 반도체 소자 성능에 직접적인 영향을 주기 때문이다[2-3].

반도체 광원소자는 직류 전력으로 동작되며, LED모듈 회로 설계 시 1차측 회로에 전력공급을 위하여 교

\* Main author : Senior Engineer ,Department of R&D, SM HI-TECH CO.,LTD  
\*\* Corresponding author : President & Head of Research Center, SM HI-TECH CO.,LTD  
Tel : 070-7730-3979, Fax : 052-268-5033  
E-mail : dkkim@smhitech.com, jskim@smhitech.com  
Received : 2015. 2. 2  
Accepted : 2015. 3. 31

류-직류 전력 변환 회로가 필요하다. LED모듈 회로 설계에서 1차측 회로의 전원부에는 과잉전류(over current)로부터 전자소자 보호를 위하여 마이크로 퓨즈를 반드시 설계해야 한다[4-5]. 마이크로 퓨즈 역시 자체적인 온도 특성과 상대 온도에 따른 퓨징 에너지(fusing energy)에 영향을 미치며, 용단시간에 영향을 미친다. 마이크로 퓨즈의 신뢰성 검사를 위한 일련의 방법인 디레이팅 시스템의 개략도를 그림 1.에 나타내었다.

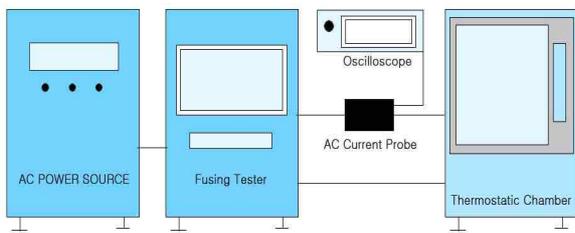


그림 1. 신뢰성 검사를 위한 디레이팅 기법의 개략도  
Fig. 1. Schematic of De-rating technique for Reliability Inspection

디레이팅 기법(de-rating technique)이란 사용 환경 온도로부터 전자 소자의 성능 분석을 위한 신뢰도 검사 방법으로서, 상대 온도를 변화하여 전자소자의 부하 경감에 미치는 영향을 분석하는 방법을 정의한다 [6-7]. 세부적으로, 항온 챔버 내부에 마이크로 퓨즈를 설치하고 상대 온도 변화의 영향에 의한 퓨징 에너지 특성을 검사하는 표준화된 검사방법이다.

본 논문에서는 LED모듈의 작동 시 사용 온도의 환경을 고려하여, 과잉전류로부터 발생하는 마이크로 퓨즈의 용단 분석을 설명하고자 한다. 상대 온도 변화가 마이크로 퓨즈 용단에 직접 미치는 상관관계를 분석하기 위해서 디레이팅 기법을 이용하여 마이크로 퓨즈의 용단 시간을 측정하고 분석하였다. 그 방법은 항온 챔버의 온도  $-30^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$ 범위에서 실 측정된 데이터를 기반으로 하였고, 통계학적 방법으로 접근하여 분석하였다.

## 2. 이론고찰

첫 번째로, 시연 제품 설계 및 양산과정에서 최종 양

산 전 시연제품(prototype)을 다수 제작하고, 무작위로 추출된 시연제품에 한정해서, 통계학적 기법을 적용하여 데이터를 확보 후 제품 평가를 위한 품평회를 실시한다. 그 방법은 실 측정된 제품의 평균 데이터, 편차 데이터, 분산 데이터, 표준 편차 데이터를 순차적으로 계산하여 성능을 평가한다. 먼저 실 측정된 데이터로부터 평균 데이터의 계산을 위한 수식을 식 (1)에 나타내었다.

$$\frac{\sum_{i=1}^n a_n}{n} = \frac{a_1 + a_2 \dots + a_n}{n} \tag{1}$$

식 (1)에서 분자의 상수  $a_1, a_2, a_n$ 은 실 측정 데이터를 정의하며, 분모 상수  $n$ 은 실 측정 데이터의 수량을 정의한다. 이어서 실 측정된 데이터로부터 식 (1)에 의해 계산된 평균 데이터의 차감 과정인 편차 데이터의 계산을 위한 수식을 식 (2)에 나타내었다.

$$\begin{aligned} & \frac{(a_1 - A) + (a_2 - A) + \dots + (a_n - A)}{n} \\ &= \frac{(a_1 + a_2 + \dots + a_n)}{n} - \frac{(A + A + \dots + A)}{n} \\ &= a - A \\ &= 0 \end{aligned} \tag{2}$$

식 (2)에서 상수  $a$ 로부터  $A$ 의 평균 데이터를 차감 후 실 측정 데이터의 수량으로 나누는 과정을 나타낸다. 여기에서  $a_1, a_2, a_n$ 은 실 측정 데이터를 정의하며,  $A$ 는 실 측정 데이터의 평균을 정의한다. 분모 상수  $n$ 은 실 측정 데이터의 수량을 정의한다. 편차 데이터를 제공하여 분산 데이터의 계산을 위한 수식을 식 (3)에 나타내었다.

$$\sigma^2 = \frac{(a_1 - A)^2 + (a_2 - A)^2 + \dots + (a_n - A)^2}{n} \tag{3}$$

마찬가지로  $a_1, a_2, a_n$ 은 실 측정 데이터를 정의하며,  $A$ 는 실 측정 데이터의 평균을 정의한다. 분모 상수  $n$

은 실 측정 데이터의 수량을 정의한다.

두 번째로, 측정 대상에 대한 상대 온도와 전류 캐리어의 농도 변화는 반도체에만 국한되지 않고 금속에도 적용이 된다. 상온에서는 금속의 저항이 낮지만, 금속 결정에서 캐리어의 열적 운동에 따라 금속의 저항은 매우 높아진다. 표준화된 온도 계수식을 적용하면 금속 가용체의 용단점에서 변화되는 금속 가용체의 저항을 쉽게 구할 수 있다. 온수 계수란 저항의 온도가 1°C 증가할 때 금속 가용체 저항의 증가 비율을 말하며,  $a_t [1/^\circ\text{C}]$  표시되며, 표준 금속 가용체는 다음과 같이 정의한다.

$$a_0 = \frac{1}{234.5} \quad (4)$$

상대온도를 기준으로 금속 가용체의 저항 온도 계수는 식 (5)로 나타낼 수 있다.

$$a_t = \frac{1}{234.5 + x} \quad (5)$$

식 (5)에서 미지수  $x$ 는 상대온도를 정의하며, 이 값에 따라 금속 가용체의 저항 온도 계수는 변화되어진다. 식 (6)에 온도 계수식을 나타내었다.

$$R_2 = R_1 \times (1 + a_0(t_2 - t_1)) \quad (6)$$

### 3. 실험

상대 온도 변화가 마이크로 퓨즈 용단에 어떤 특성이 있는지 분석하기 위해서 본 실험에서는 정격전압 250V와 정격전류 2.0A의 마이크로 퓨즈를 대상으로 하였다. 실험 방법은 테스트 실장보드에 마이크로 퓨즈를 실장하고 그림 2와 같이 항온 챔버 내부에 설치하였다. 상온(25°C 기준)에서 마이크로 퓨즈의 양단 저항은 38mΩ이다.

항온 챔버 내부에 설치된 마이크로 퓨즈의 퓨징 시험을 위하여 2.0배 과잉전류를 고정하고, 상대온도는 -30°C ~ 120°C 범위에서 변화시켰다. 그리고 온도 안정화 후 퓨징 시험을 실시하였다. 디레이팅 기법을

이용한 분석 과정으로서, 동일한 조건으로 설계된 마이크로 퓨즈에 대하여 실험 변수를 최대한 감소시켜야 한다. 그러므로 항온 챔버의 온도 설정 후 온도 안정화가 확인되면 퓨징을 실시하였다. 금속 가용체 도선에서 전하의 이동에 따른 열에너지 발생과 녹는점까지 도달되는 시간에서 편차가 발생되기 때문에 이러한 현상을 최대한 감소하여 데이터를 확보하는 것이 중요하다.



그림 2. 항온 챔버에 설치 완료된 마이크로 퓨즈  
Fig. 2. Installation completed micro fuse in thermostatic chamber

### 4. 실험결과 및 논의

정격전압 250V, 정격전류 2.0A의 마이크로 퓨즈에 대하여 2.0배 과잉전류를 인가 후 측정된 퓨징 시험결과를 그림 3에 나타내었다. 공통적으로 챔버 온도 0°C를 기준으로 챔버 온도 감소는 용단시간의 증가 양상을 보였으며, 챔버 온도 증가는 용단시간의 감소 양상을 보였다. 이 현상은 전하가 도선을 이동할 때 발생하는 열에너지와 상대 온도 변화로부터 금속 가용체의 녹는점까지 발생하는 퓨징 에너지에 직접적인 영향을 주기 때문이다.

신뢰성 분석을 위해서 통계학적 방법으로 접근하여 평균 용단시간, 최대 용단시간과 최소 용단시간의 차, 분산데이터, 표준 편차를 도출해 보았다. 먼저 표준 편차를 도출하기 위해서 식 (1)을 활용해서 평균값을 구해야 한다. 평균값은 전체 데이터 합에서 시료의 개수

를 나누어 데이터를 확보할 수 있다. 그 결과를 그림 4에 나타내었다.

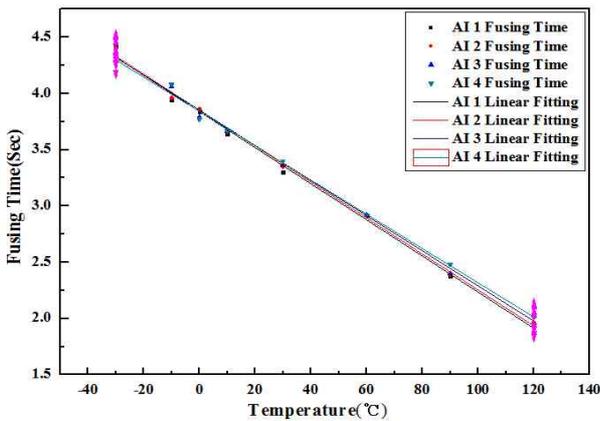


그림 3. 디레이팅 기법을 이용한 마이크로 퓨즈의 용단 분석

Fig. 3. Fusing analysis of micro fuse using de-rating technique

실 측정 데이터를 기반으로 편차 데이터를 도출하기 위해서, 온도구간별로 계산된 평균값에서 실 측정된 용단 시간을 차감하면, 식 (2)에서 정의한 바와 같이 합계는 항상 '0'이 된다.

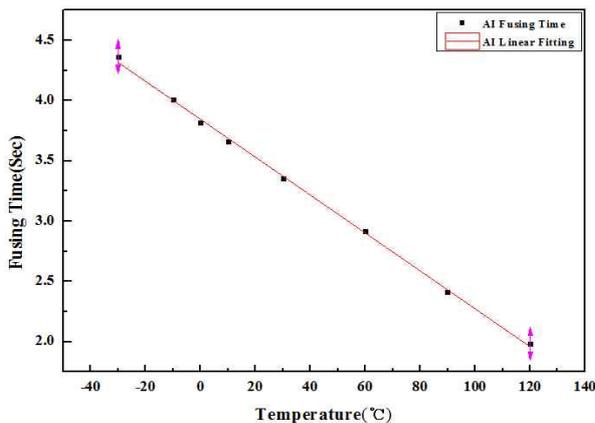


그림 4. 온도 구간별 용단 시간에 대한 평균 데이터  
Fig. 4. Average data as a function fusing time in each temperature zone

이어서 분산 데이터를 계산하기 위한 일련의 과정으로서 실 측정 데이터에서 전체 평균값을 차감한 값을 제공하여 계산해야 한다. 그 결과를 표 1에

정리하였다.

표 1. 온도 구간별 용단 시간에 대한 편차 제곱 데이터  
Table 1. Deviation square data as a function of fusing time of each temperature zone

온도	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	합계
-30°C	0.003	0.001	0.000	0.007	0.011
-10°C	0.005	0.002	0.002	0.005	0.014
0°C	0.001	0.002	0.001	0.002	0.006
10°C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30°C	0.003	0.000	0.000	0.002	0.005
60°C	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
90°C	0.001	0.001	0.000	0.005	0.007
120°C	0.002	0.001	0.002	0.001	0.006

분산 데이터는 편차 제곱 데이터에서 실 측정 데이터를 나누는 과정을 정의한 식 (3)을 이용하여 구할 수 있다. 그 결과를 표 2에 정리하였다.

표 2. 온도 구간별 용단 시간에 대한 분산 데이터  
Table 2. Scatter data as a function of fusing time in each temperature zone

온도	데이터	온도	데이터
-30°C	0.003	30°C	0.001
-10°C	0.004	60°C	0.000
0°C	0.001	90°C	0.002
10°C	0.000	120°C	0.001

마지막으로 표준 편차는 분산 데이터에 루트 값을 계산하여 도출할 수 있다. 그 결과를 그림 5에 도시하였다. 따라서 표준 편차는 식 (7)과 같이 정리할 수 있다.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (a_k - m)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n a_k^2}{n} - m^2} \quad (7)$$

이제까지, 마이크로 퓨즈의 실측정 데이터를 기반으로 통계학적 데이터의 추출과정을 논의하였다. 통계학적 데이터 확보를 위한 시연제품을 모집단이라 하

며, 이 모집단에서 데이터를 확보하는 과정을 표본 추출이라 한다. 모집단으로부터 얻은 데이터를 자료 하나의 데이터로 추출할 때의 기대값을 모평균으로 정의한다.

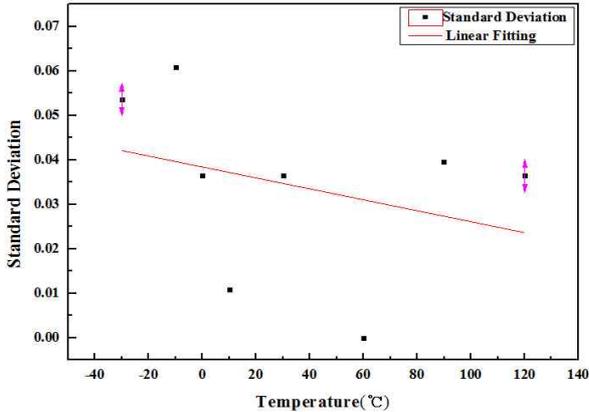


그림 5. 온도 구간별 용단 시간에 대한 표준 편차 데이터  
Fig. 5. Standard deviation data as a function of fusing time in each temperature zone

통계학에서는 표본오차가 반드시 존재하며, 이를 감소시키기 위해서 모집단으로부터 표본 추출 횟수를 증가해야 한다. 계산된 표준편차는 0.000~0.061 사이로 확인되었다. 추가적으로 항온 챔버의 온도 변화에 의한 최대용단과 최소용단의 시간차를 계산해서 그림 6.에 도시하였다.

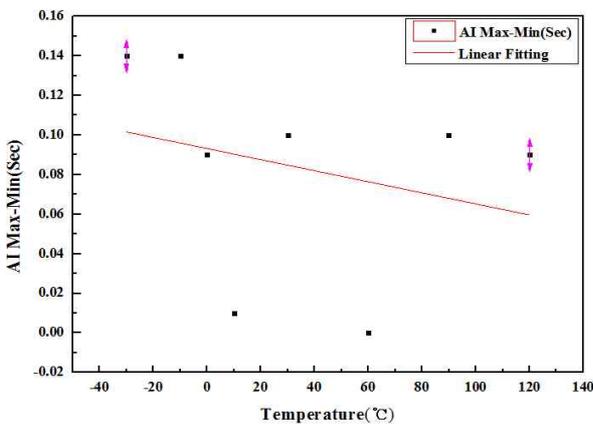


그림 6. 온도 구간별 최대 용단과 최소 용단의 차  
Fig. 6. Difference of Maximum fusing and Minimum fusing as a function of fusing time in each temperature zone

계산 결과, 각 온도 구간별로 측정된 용단 시간의 차는 0~0.14초로 매우 양호한 결과를 확인할 수 있었다.

식 (5)를 활용해서 온도 계수식에 준하여 금속 가용체의 온도 계수와 마이크로 퓨즈의 양단저항을 표 3.에 정리하였다.

표 3. 온도 구간별 상대 온도에 대한 온도 계수와 양단 저항

Table 3. Both resistance and temperature coefficient as a function of relative temperature in each temperature zone

온도	온도 계수	마이크로 퓨즈의 양단저항
-30℃	0.0048 (4.8E-3)	27.9mΩ
-10℃	0.0044 (4.4E-3)	32.1mΩ
0℃	0.0043 (4.3E-3)	33.9mΩ
10℃	0.0041 (4.1E-3)	35.6mΩ
30℃	0.0038 (3.8E-3)	38.7mΩ
60℃	0.0034 (3.4E-3)	42.5mΩ
90℃	0.0031 (3.1E-3)	45.6mΩ
120℃	0.0028 (2.8E-3)	48.1mΩ

## 5. 결 론

본 연구는 마이크로 퓨즈의 설계 및 양산과정에서 효율적인 성능평가를 위한 일련의 방법으로서 디레이팅 기법을 이용하여 상대 온도의 변화 영향에 의한 마이크로 퓨즈 용단의 실 측정 데이터를 수집하였다. 그리고 수집된 데이터에 대하여 통계학적 접근 방법을 적용하였고, 신뢰성 데이터의 산출 과정의 기준을 논의하였다. 디레이팅 기법을 이용한 마이크로 퓨즈의 용단 시험에서 표준화된 온도 계수식을 적용함으로써 항온 챔버의 온도 변화에 따른 마이크로 퓨즈의 금속 가용체 저항을 예상할 수 있었다.

이와 같이 표준화된 방법을 활용하여 신뢰성 데이터를 확보함으로써 LED 모듈 시스템에 설계되는 마이크로 퓨즈의 우수한 전기적 성능 특성을 충분히 분석할 수 있었다. 또한 마이크로 퓨즈가 설계된 전자기기는 다양한 환경 조건에서 사용될 수 있기 때문에 상대

온도 변화 영향에 의해서 변화된 전기적 성능을 정량적으로 분석하였다. 더불어 본 시험품의 성능 특성에 대하여 정량적인 계산을 통한 방법을 적용하고 확인함으로써 경쟁사인 Littell Fuse, Bussman Fuse, AEM Fuse사의 제품 성능에 충분히 대응할 수 있을 것으로 본다. 또한, 당사의 마이크로 퓨즈가 국내 및 국외 시장의 활성화 증가에 목적을 두고 있다.

### References

- [1] MK HWang, HS Jeong, SH Lee, SJ Choi, MJ Lee, JG Lee, Material applied to the LED light source parts and R&D trends, The Korea Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, page 98-99 (2013).
- [2] Jang-weon Lee, Jee-Weon Im, Kyung-han Lee, A Study on Market Trend of LED Products, The Korea Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, page 59-62 (2010).
- [3] In-Sung Kim, Hyeong-Hun Cho, Jun-Young Lee, Sang-Hyeon Kim, Simulation analysis of carrier state by temperature change, The Institute of Electronics and Information Engineers (2011).
- [4] Do-Kyeong Kim, Neung-Hwan Hwang, Jong-Sick Kim, Micro Fuse Design using Wire Bonding Technology, 15th Symposium, The Institute of Semiconductor Test of Korea, page 181-186 (2014).
- [5] Byeong-Jun Kim, Hee-Jun Kwon, Hyeon-Chul Kim, SMD type Micro Fuse using DFR, Symposium, The Institute of Electronics And Information Engineers, page 125-129 (2014).
- [6] Jong-Gurl Kim, Jin-Kuk Kim, Research Trends of Derating Techniques for Reliability Improvement, Spring Symposium Korea Safety Management & Science, page 373-379 (2011).
- [7] Michael Pecht, Richard Cogan, Mechanical Engineering Department University of Maryland College park, Intelligent derating for reliability, IEEE, page 98-102 (1989).

### ◆ 저자소개 ◆



#### 김도경(金渡景)

1982년 9월 26일생. 2010년 2월 광주대학교 일반대학원 전자광통신공학과 졸업(석사). 2008~2009년 한국광기술원 연구원. 2010년 (주)지케이 부설연구소 선임연구원. 2011~2012년 (주)세미텍 부설연구소 선임연구원. 2013년 지에프텍(주) 부설연구소 선임연구원. 2013년~현재 (주)에스엠하이테크 부설연구소 선임연구원.



#### 김종식(金鍾植)

1957년 3월 9일생. 1979년 2월 인하대학교 공과대학 화학공학과 졸업. 1983~2007년 (주)현대중공업 부장. 2007~2009년 (주)현대중공업 인도 법인장. 2009~2010년 (주)현대중공업 상무. 2011~2012년 (주)MS정밀 대표이사. 2012년~현재 (주)에스엠하이테크 대표이사.