

LED를 이용한 항공등의 점멸 방법에 대한 연구

(The Design of Flash Lantern using LED for aeronautical ground lights)

정학근* · 정봉만 · 박석인 · 유승원 · 신구용

(Hak-Geun Jeong · Bong-Man Jung · Sukin Park · Seung-Won Yu, Kyu-Yong Shin)

Abstract

The advantages of LED(Light Emitting Diode) are low electric power consumption, long life time and excellent visibility. And a LED light source does not include the mercury(Hg) and or a filament, it is expected as an environmentally friendly next generation light source with its good reliability. In order to design and develop the flash lantern using LED for aeronautical ground lights, technical trends and new standards about the aeronautical ground lights were inspected, and power consumption and flash time for effective luminous intensity of aeronautical ground lights were analyzed.

1. 서 론

현재 한국전력공사에서 운영하고 있는 송전선로의 크세는 항공장애등의 경우 과도하게 높은 순시광도의 점멸에 의하여 주거지역 인근 거주자의 민원 발생 소지가 있고, LED 광원 기술의 성장과 더불어 LED 광원을 항공등에 사용하고자 하는 요구가 증대되고 있다. 또한 이러한 시점에 건설교통부에서는 항로표지의 새로운 국제기준을 준수할 것을 요구하고 있다.

본 논문에서는 새로운 광도기준을 검토하고, 광도기준에 적합한 항공등을 LED 램프로 대체할 때 필요한 소비전력 및 점멸주기에 따른 유효광도 등을 분석하였다.

2. 본 론

2.1. 섬광의 개념

항공등뿐만 아니라 섬광과 같은 지속시간이 짧은 빛을 보는 경우에는 그 빛이 주는 시각효과를 고려해야 한다. 야간의 어떤 조건에서 일정한 빛의 광도를 가진 회전식 항공등을 관측방향으로 고정하여 그 빛을 부동광의 상태로 하였을 때 어떤 거리에서 그 빛을 겨우 인지하였다고 하면 다음에 항공등을 회전시켜 동일 거리에서 관측할 때는 이 빛을 볼 수 없으며, 이 빛을 보기 위해서는 더 높은 광도의 등명기가 요구된다. 결국 빛은 그 지속시간이 짧으면 짧을수록 눈에 들어오는 자극량이 적게 되고 그 결과 눈에 보이는 등화의 광도가 떨어지는 것과 같은 상황이 되지만, 이것은 순간적 발광에 대하여 시각이 대응할 수 없기 때문에 일어나는 것이다. 지금 광도 I_e 를 가진 부동광이 가시역에 있을 때 똑같은 관측조건 아래에서 어느 섬광이 겨우 인지된다면 그 섬광의 실효광도를 I_e 라고 한다. 이 현상은 지금부터 90여 년 전에 블론델-레이에 의

하여 연구된 것으로서 두 사람은 많은 실험을 통하여 1911년에 빛의 파형이 사각형 또는 사각형에 가까울 때의 섬광의 광도와 지속시간사이에는 다음의 기초적 관계가 있다는 것을 증명하였다.(블론델-레이의 법칙)[1]

$$\frac{I_e}{I} = \frac{t}{a+t} \quad (1)$$

I_e = 섬광의 실효광도 (cd)
 I = 그 섬광이 연속광일 때의 광도 (cd)
 t = 섬광시간 (초)
 a = 블론델 - 레이 상수 (초)

이 법칙에서는 광원의 크기, 색, 관측자의 눈의 순응상태 등에 관계없이 성립된다는 것을 기초로 하였다. 빛을 인지하려면 역치이상의 각막조도가 필요하지만, 시신경이 빛을 보았다는 정보를 뇌에 전달하려면 어느 일정한 최소광량 Q 가 필요하며 이 양은 $Q = E \cdot a$ 이다. 단, E_i 는 부동광의 조도의 역치이다.

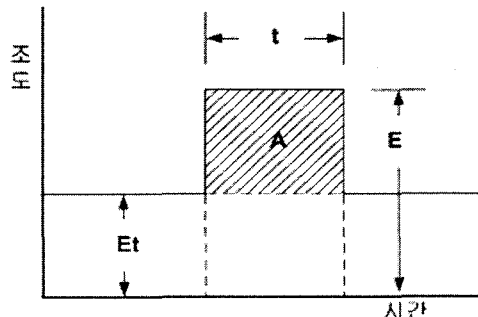


그림 1. 실효광도
 Fig. 1. Effective Luminous Intensity

예를 들면 그림 1과 같은 사각형의 섬광을 생각하여 사진 표시부분 A는 시신경에서 뇌로 감각을 전하는데 이용할 수 있는 광량을 알리는 면적으로 $A = (E - E_t) \cdot t$ 가 된다. 이 빛을 인지하게 되면 $A = Q$ 가 된다. 따라서 $(E - E_t) \cdot t = E_t \cdot a$ 이고 여기서 E 는 섬광의 역치조도이다.

$$\frac{E_t}{E} = \frac{t}{a+t} \quad (2)$$

그리고 이 이론은 그림 2에 표시한 것과 같이 임의의 불규칙한 형에서도 통용할 수 있다. 이때 전과 동일한 사진표시부분의 면적 A는 뇌에 감각을 전달하는데 이용할 수 있는 면적이며 이것은 다음과 같다.

$$A = \int_{t_1}^{t_2} e \cdot dt - E_t(t_2 - t_1) \text{이고, } A = Q \text{라고 하면,}$$

$$E_t \cdot a = \int_{t_1}^{t_2} e \cdot dt - E_t(t_2 - t_1) \text{가 된다.}$$

따라서, $E_t = \frac{\int_{t_1}^{t_2} e \cdot dt}{a + (t_2 - t_1)}$ 이다. 이것을 광도로 전환하면, 아래와 같다.

$$I_e = \frac{\int_{t_1}^{t_2} i \cdot dt}{a + (t_2 - t_1)} \quad (3)$$

다만 t_2 또는 t_1 은 I_e 의 값이 최대로 될 수 있게 선택한다.

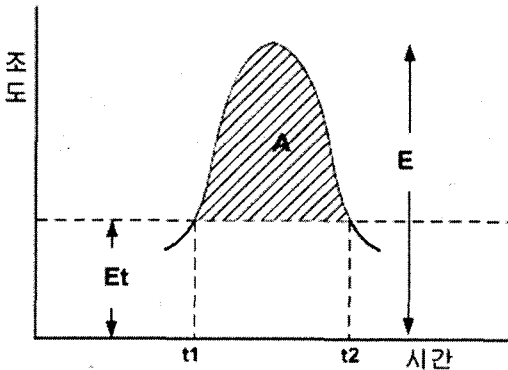


그림 2. 실효광도(불규칙한 형태)
Fig. 2. Effective Luminous Intensity

양변을 최대광도 I로 나누면, 아래의 식이 된다.

$$\frac{I_e}{I} = \frac{1}{I} \cdot \frac{\int_{t_1}^{t_2} i \cdot dt}{a + (t_2 - t_1)} \quad (4)$$

$$\frac{I_e}{I} = \frac{t}{a' + t}, \quad a' = t \left[\frac{I(a+t)}{\int_{t_1}^{t_2} i \cdot dt} - 1 \right]$$

곡선에서 값을 결정하게 된다.

위의 결과로서 식(1)은 섬광의 실효광도에 관한 일반적인 형으로 생각할 수 있다. 또 시각의 시정수 a에 대하여 1977년에 발표한 광도의 결정에 관한 권고에 따라 야간은 0.2초, 주간은 배경휘도 $100 [cd/m^2]$ 이상일 때 0.1초를 적용할 수 있다.

2.2. 광도기준의 검토

현재 항공등을 구매, 설치, 운영하고 있는 곳은 한국전력공사로, 새로운 광도기준을 채용한 한국전력공사의 항공등 등록 구매시방서를 보면 표 1과 같다.

표 1. 광도기준
Table 1. Luminous Intensity Reference

성능	종류	저광도, A형태 (고정장애등)	저광도, B형태 (고정장애등)	중광도, B형태
	색채	적색	적색	적색
	신호형태 (섬광주기, 분당섬광/fpm)	고정	고정	섬광 (20'60fpm)
배경휘도의 최대광도(칸델라/cd)	500cd/m ² 이상	-	-	-
	50-500cd/m ²	10이상	32이상	-
	50cd/m ² 미만	10이상	32이상	2000(a) ±25%
수직 범 확산각도(b)	10°	10°	3°이상	
각도별 등화시설의 광도(칸델라/cd)(c)	-10°(d)	-	-	-
	-1°(e)	-	-	50%이상 75%이하
	±0°(e)	-	-	100%이상
	+6°	10이상(f)	32이상(f)	-
	+10°	10이상(f)	32이상(f)	-

(a) 효과적인 광도는 항공법에서 별도로 정하여 고시하는 바에 의한다.

(b) 범 확산은 장애등의 수량이 두 방향 사이의 수직각으로써 위 표의 배경휘도의 최대광도에 기재된 광도값 허용오차 50퍼센트의 광도를 갖는 범위를 말한다. 범 형태는 최대 광도가 발생하는 수직각도에 대하여 반드시 대칭되어야 하는 것은 아니다.

(c) 수직각도는 수평선을 기준으로 한다.

(d) 표의 "배경휘도의 최대광도"라 함은 광도값으로 운영될 경우 같은 방사부에서의 실제 최고 광도값에 대한, 퍼센트(%) 값으로서 특정방사 수평면에서의 광도를 말한다.

(e) 표의 “각도별 등화시설의 광도”라 함은 광도값 중에서 낮은 허용오차에 대한 퍼센트(%) 값으로서 특정방사 수평면에서의 광도를 말한다.

(f) 장애등은 ±0°에서 50°사이의 각도에서 눈에 잘 띄도록 하기 위하여 충분한 광도를 가져야 한다.

2.3. LED 항공등의 설계

먼저 항공등의 요구성능을 만족하기 위해 필요한 소비전력 산정을 위해, 현재 유통되는 다양한 LED의 성능을 기준으로 각각의 경우에 대한 소비전력 산출은 현실적으로 무의미하므로 항공법에서 요구하는 항공장애등에 필요한 총광량을 산출하여 유효광속에 필요한 표준화된 Efficacy를 적용하여 계산하였다.

수평각도 전 방향에 대하여 기준을 만족하고 항공법에서 요구하는 수직빔의 발산각에 필요한 유효 광속은 수직 빔의 발산각이 10°의 폭으로 32[cd]를 만족할 때 아래와 같이 계산될 때 35[lm]의 광속이 필요하다.

$$\Phi = \int Idw \approx 32 \times 2\pi \times \frac{10}{180} \pi$$

또한 수직 빔의 발산각이 3°의 폭으로 2000[cd]를 만족할 때의 유효광속은 667[lm]이 필요하게 된다.

현재의 LED의 성능(2002년 LRC-Lighting Research Center 발표 Typical LED 소비전력자료 인용)을 고려하여 그림 3에 있는 5mm LED 적색의 경우 약 30 [lm/W]로 이러한 LED를 적용한다면, 항공장애등의 소비전력은 각각 1.2[W], 22[W]를 사용하게 된다. High Power LED를 적용할 경우 0.8[W], 15[W]가 필요하게 된다.

Color	Efficacy (LPW)	Flux per device (Lumens)
Red	29	1.7
Green	36	2.0
Blue	8	0.5
White	12	0.7

(a) 5mm LED의 성능

High-Power LEDs		Typical Products	
Color	Flux per device	Efficacy (lm/W)	
Red	43	44	
Red-Orange	54	55	
Amber	36	36	
Green	30	25	
Blue	14	11	
White	22	18	

(b) High Power LED의 성능

그림 3. LED의 성능
Fig. 3. Performance of LED

표 2는 LED 순시광도에 대한 유효광도의 조건별로 계산하여 표로 정리하였다. 계산 조건은 순시광도에 대하여 점등시간별로 유효광도의 변화를 나타내었고, LED 등기구의 전형적인 점멸 시각을 기준으로 하였고, 현재 항공법의 중광도 B형대는 2000[cd]±25%의 유효광도로 분당 20*60 fpm의 점멸을 요구하고 있으므로 점등시간을 적절하게 설계하여 요구하는 순시광도를 조절할 필요가 있음을 알 수 있다.

표 2. 유효광도의 계산

Table 2. Calculation of Effective Intensity

I [cd] 순시 광도	t2-t1[sec] 점등시간	con't 시각 상수	Ie_38 유효 광도	Ie_2000 유효 광도	Ie_2500 유효 광도	Ie_3000 유효 광도
38	0.1	0.2	12.7	666.7	833.3	1000.0
2000	0.2	0.2	19.0	1000.0	1250.0	1500.0
2500	0.3	0.2	22.8	1200.0	1500.0	1800.0
3000	0.4	0.2	25.3	1333.3	1666.7	2000.0
	0.5	0.2	27.1	1428.6	1785.7	2142.9
	0.6	0.2	28.5	1500.0	1875.0	2250.0
	1	0.2	31.7	1666.7	2083.3	2500.0

3. 결론

본 연구에서는 현재 한국전력공사에서 운영하고 있는 송전 선로의 크세는 항공장애등을 급속한 기술성장을 거듭하고 있는 LED 광원을 항공등에 사용하고자 새로운 국제기준에 적합한 제품의 설계를 위하여 새로운 광도기준을 검토하고, 광도 기준에 적합한 항공등을 LED 램프로 대체할 때 필요한 소비전력 및 점멸주기에 따른 유효광도 등을 분석하였다.

항공등의 경우 수평으로는 전방향으로 빛을 발산해야 하므로, 광도의 기준이 낮은 저광도의 경우는 High Power LED보다 5mm LED를 사용하는 것이 효율적이고, 중광도의 경우는 High Power LED를 사용하는 것이 적절하였고, LED 항공등의 시스템을 구성하기 위하여 일반적으로 적용 가능한 LED의 구동회로의 효율을 90%, 렌즈의 효율을 80%를 고려하여, 저광도의 소비전력은 1.7[W], 중광도의 소비전력은 21[W]로 계산되었고, 최적 설계를 위해서 필요한 점멸주기 또한 계산되었다.

참 고 문 헌

- (1) IALA, "Recommendations for the colours of light signals on aids to navigation", MOMAF Standards, 1977, 12.
- (2) IALA, "Recommendations on the determination of the luminous intensity of a marine aid-to-navigation light", MOMAF Standards, 1977, 12.
- (3) B. Jung, "Research and Development of LED Lantern", Final Report, 2002, 12.
- (4) H. Jeong, "LED Marine Lantern Technology" Energy Saving Technology Workshop, Vol. 18, pp575~pp580, 2003, 11.