

# 항로표지용 점멸식 등명기의 배광 및 유효광도 특성분석

( The analysis of beam divergence and the effective intensity of extinction light signals on aids to marine navigation )

정재훈\*, 송상빈, 허영규, 김훈

(Jae-Hoon Jeong, Sang-Bin Song, Young-Kyu Heo, Hoon Kim)

(한국항로표지기술협회, 강원대학교 전기정보통신공학부 교수)

## 요 약

항로표지용 광파표지는 섬광을 통해 관측자에게 정보를 제공하고 있으므로, 부동광도 값을 기준으로 성능(광달거리)을 산출하면 안된다. 그러나 실제로 유효광도 값은 측정하기 어려우며, 계산식 또한 명확하지 않다.

본 논문에서는 항로표지용 광파표지의 유효광도에 대한 IALA(국제항로표지협회)와 해양수산부의 권고기준에 대하여 알아보고, 국내 항로표지용 점멸식 소형등명기의 배광 및 유효광도를 배광측정기로 측정하고, 이를 비교·분석하였다.

## 1. 서 론

선박의 안전한 항해와 운항능률을 향상시키기 위하여 각종 항로표지가 이용되고 있으며, 이러한 항로표지에는 크게 광파표지, 형상표지, 음파표지, 특수신호표지 등이 있다. 특히 우리나라는 서해안과 남해안의 해안선이 복잡하고 섬들이 많은 관계로 항로표지의 중요성이 많이 부각되고 있으나, 실제로 그 해당 기술력은 외국과 비교하여 뒤쳐져 있는게 사실이다.

광파표지로 이용되는 등명기의 경우, 광원이 보이는 방법에 따라 점멸식과 회전식 등명기로 구별하며, 광파표지의 주류를 이루는 등부표와 무인 등대에는 점멸식 등명기를 주로 사용하고 있다.

그러나 점멸식 등명기는 사용 광원이 백열전구와 할로겐전구이므로, 섬광 동작시 광원의 백열화와 암화 시간으로 인해 부동광도보다 시인성이 떨어지게 된다. 이에 IALA(국제항로표지협회)와 해양수산부는 섬광 동작시 실제 광도를 계산할 수 있는 유효광도 계산식과 기준을 권고하고 있다.

본 논문은 현재 국내 등명기의 주류를 이루는 점멸식 등명기를 대상으로 유효광도 산출방식과 권고 기준을 알아보고, 실제 사용되는 점멸식 등명기의 배광 및 유효광도를 배광측정기로 측정하고 이를 비교·분석하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 항로표지용 점멸식 등명기의 종류

국내에서 사용되는 유·무인 등대의 등명기는 대략 21종에 이르고 있으며, 크게 섬광을 생성하는 방법에 따라 점멸식과 회전식 등명기로 구분할 수 있다. 또한 렌즈 내경에 따라 소형등명기(300 mm이하), 중형등명기(300~750 mm), 대형등명기(750 mm이상)로 구분할 수 있으며, 소형등명기는 수백~수천 cd의 부동광도를 나타내는 점멸 방식을 사용하고, 중형 및 대형등명기는 수만 cd 이상의 부동광도를 나타낸다.

국내에서 사용되고 있는 점멸식 소형등명기는 155 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm로 나뉘어진다. 이중에서 155 mm와 300 mm 등명기는 대부분 외국 제품의 수입에 의존하며, 사용대수도 200 mm, 250 mm 등명기에 크게 못 미친다. 현재 200 mm, 250 mm 등명기는 국내에서 대부분 생산하고 있다.

그림 1과 표 1은 본 논문에서 주요 대상이 되는 200 mm, 250 mm 등명기의 모양과 특성을 나타내고 있다.

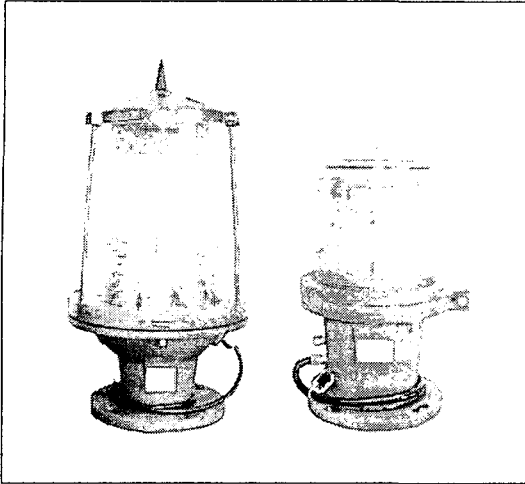


그림 1. 200 mm, 250 mm 점멸식 소형등명기

표 1. 점멸식 소형등명기 특성 비교표

		200 mm 등명기	250 mm 등명기
렌즈 재질		아크릴	아크릴
하부몸체 재질		내식성 알루미늄	내식성 알루미늄
사용램프		백열, 12 V, 2.03 A	백열, 12 V, 2.03 A
램프 광속 (lm)		380	380
부동광도 (cd)	백색	360(렌즈)	700(렌즈)
	적색	85(렌즈)	140(필터)
	황색	244(렌즈)	350(필터)
	녹색	108(렌즈)	140(필터)
발산각		±4°	±8°
등질(섬광)		15종(ISO 제외)	15종(ISO 제외)
일광감지기		있음	있음
섬광기 전구교환기		일체형	분리형

주) 위에 기재된 특징들은 일반적인 형태를 의미하며, 입체별로 일부 차이가 있음.

## 2.2 유효광도계산의 이론적 배경 및 해양수산부 권고 기준

일반적으로 등명기는 관측자에게 특정한 정보를 제공하기 위해, 일정한 패턴을 가지는 섬광으로 이용된다. 그 중에서 점멸식 소형등명기는 주로 백열전구나 할로겐전구를 사용하므로, 전구의 특성(필라멘트의 백열화와 암화 시간)에 의해 관측자가 실제로 느끼는 광도는 부동광으로 동작할 때와 비교하여 현저

히 떨어지게 된다. 이런 섬광에 따른 광도(유효광도)를 결정하기 위해서, IALA(국제항로표지협회)와 해양수산부에서는 몇 가지 기준을 권고하고 있다.

### 2.2.1 유효광도의 계산식

#### 가. Schmidt-Clausen 방식

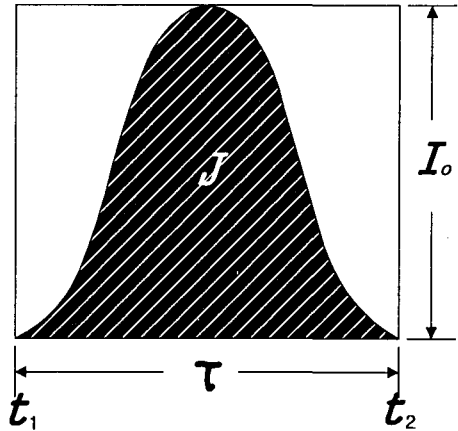


그림 2. 유효광도 계산

$$I_e = \frac{J}{C + \frac{J}{I_o}}$$

여기서,

$I_e$  : 유효광도 (cd)

$I_o$  : 섬광하는 동안의 순간최대광도 (cd)

$J$  : 광도의 시간 적분량 (cd·s)

$$J = \int_{flash} I dt, \quad I : \text{순간광도 (cd)}$$

$C$  : 시각의 시정수(밤 0.2초, 낮 0.1초)

또

$$I_e = \frac{I_o \tau}{\frac{C}{F} + \tau}$$

여기서, 각 계수의 값은 다음과 같다.

$\tau$  : 전 섬광시간 (초)

$F$  : 상대계수

$$F = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I(t) dt}{I_o(t_2 - t_1)}$$

나. Allard 방식

$$I_e = \frac{J}{A}$$

여기서,

$A$  : 시각의 시정수(밤 0.2초)

다. Blondel · Rey · Douglas 방식

$$I_e = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I(t) dt}{a + t_2 - t_1}$$

단섬광에 대하여는

$$I_e = \int_{t_1}^{t_2} [I(t) - I_e] dt$$

여기서,

$I(t)$  : 시간 t에 대한 순간광도 (cd)

$a$  : 시각의 시정수(밤 0.2초, 낮 0.1초)

### 2.2.2 IALA(국제항로표지협회) 및 해양수산부 권고 기준

유효광도 계산식들은 약간씩의 차이가 있으며, 어느 계산식이 정확한지는 아직 입증되지 않고 있다. 그러므로 현재 각국에서 사용되는 방식이 차이가 있을 수 있으며, 이에 대해 IALA에서는 몇 가지 권고안을 내놓고 있다.

1) 섬광이 매분 300회 이하의 비율로 발광할 경

우에 Schmidt-Clausen 방식을 적용한다.

2) 섬광의 등질이 시간차가 있는 섬광이거나 또는 볼 수 있는 방향이 차이가 있는 섬광이 포함되었을 때는 각 최저값을 유효광도로 본다.

3) 순간광도의 변화를 측정할 수 없을 때는 다음의 식으로 유효광도 값을 얻는다.

$$\frac{I_e}{I} = \frac{\tau}{a + \tau}$$

여기서,

$a$  : 시각의 시정수

$\tau$  : 전 섬광시간 (초)

4) 융합한도 이상의 반복률로 되풀이되는 섬광으로, 겹보기에 연속광으로 보이는 등화의 유효광도는 Talbot's law를 적용하여 결정한다.

현재 국내에서 사용되는 등명기는 대개 섬광이 매분 300회 이하로 발광하므로, IALA의 권고안에 따라 유효광도 기준을 Schmidt-Clausen 방식에 의해 산출된 값으로 정하고 있으며, 또한 최대광도의 50%가 되는 시간범위를 섬광시간(명간)으로 규정하고 있다.

표 2는 국내의 점멸식 소형등명기의 유효광도 기준값을 나타낸다.

표 2. 국내의 점멸식 소형등명기 유효광도 기준 (백색렌즈 기준)

	유효광도 (cd)	
	200 mm	250 mm
단섬광 (명간 1초)	300	583.3
군섬광 급성광 모르스광 (명간 0.5초)	257.1	500
장섬광 (명간 2초)	327.3	636.4

주) 본 표는 백색렌즈를 사용할 경우의 유효광도 기준값을 의미하며, 유색렌즈나 필터를 사용할 경우의 값과는 차이가 있음

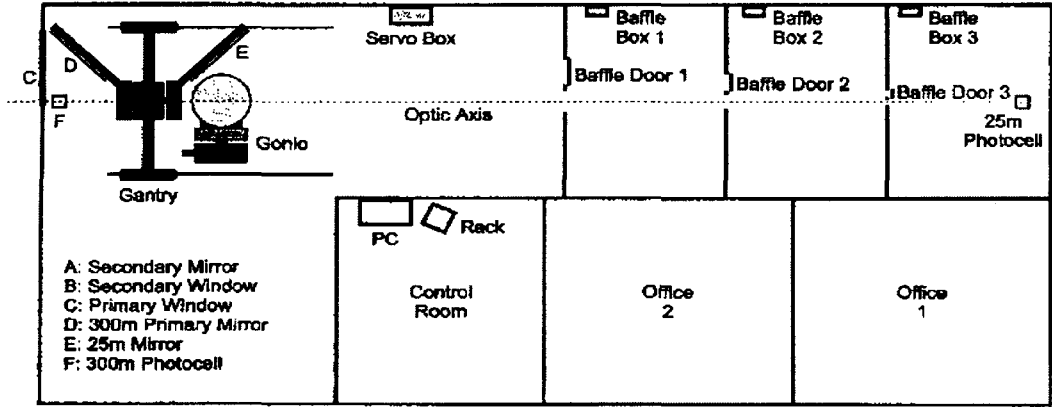


그림 3. 배광측정기 시스템 대략도

### 2.3 200 mm, 250 mm 등명기의 유효광도 측정

#### 2.3.1 측정방법

등명기의 유효광도 및 배광(발산각) 특성은 (재) 한국향로표지기술협회에서 보유하고 있는 배광측정기로 측정하였다. 본 장비는 호주의 OPT사로부터 특수 주문 제작된 형태의 것으로 수평각 360°, 수직각 ±30°까지 최소각 0.01° 간격으로 측정이 가능하며, 측정타입은 CIE에서 규정하는 배광측정 A타입 형태이다. 측정거리는 IALA(국제향로표지협회)의 권고안에 따라, 소형등명기 전체와 중형등명기 일부의 경우는 실내 25 m에서 측정하며 중형등명기와 대형등명기의 경우는 실외 300 m에서 측정하고 있다. 본 논문과 관련하여, 200 mm와 250 mm 소형등명기의 유효광도는 실내 25 m에서 측정한 데이터이다. 측정 대상은 국내에서 현재 생산중이거나 사용중인 등명기를 색상별로 샘플 채취하였으며, 사용광원은 DC 12 V, 2.03 A 백열전구를 사용하였다. 그리고 250 mm 등명기의 경우 적색과 녹색은 그 사용빈도 수가 현저히 떨어지므로 백색과 황색으로 한정하였다.

그림 4는 0.5초 선탐시간을 나타내는 250 mm 등명기의 유효광도 실측 그래프이다.

#### 2.3.2 유효광도 계산식에 따른 비교

본 실험에서는 백색 250 mm 등명기 15대를 측

정하였으며, 측정기준 부동광도 평균값은 751.6 cd, 표준편차는 28.04로 해양수산부의 부동광도 기준 700 cd 보다 높다. 그림 5는 IALA에서 추천하는 유효광도 계산식에 의해 얻어진 값을 비교한 것으로써, 현재 국내에서 적용되고 있는 Schmidt-Clausen 방식이 가장 높은 값으로 계산되는 것을 볼 수 있으며, Allard 방식에 의해 얻어진 값과는 15 % 이상의 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 또한 선탐 시간에 따라서도 Schmidt Clausen 방식과 Blondel · Rey · Douglas 방식은 유효광도값이 크게 차이가 있음을 볼 수 있으나, Allard 방식은 상대적으로 적게 나타났다.

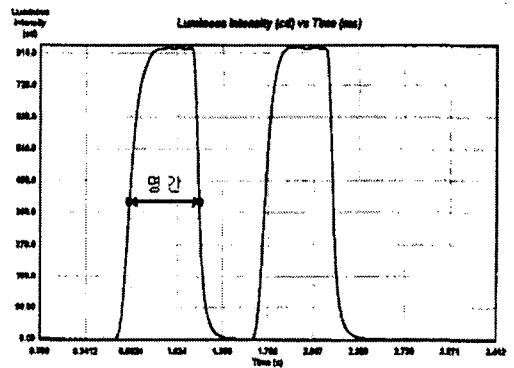


그림 4. 유효광도 실측 그래프

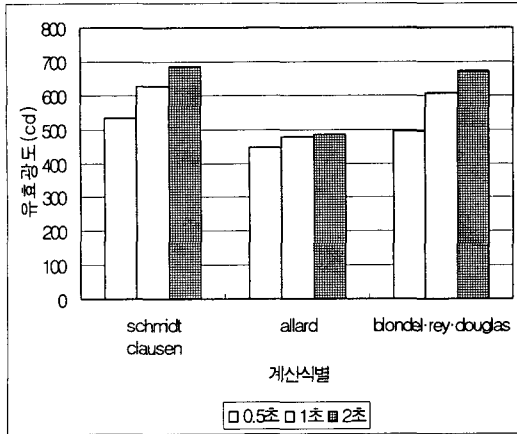


그림 5. 250 mm 백색 소형등명기의 유효광도 계산식에 따른 비교

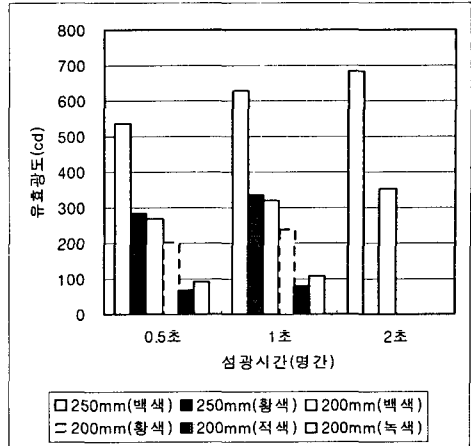


그림 6. 점멸식 소형등명기의 유효광도 비교

### 2.3.3 렌즈 크기 및 등색에 따른 유효광도 비교

그림 6은 소형등명기의 색상 및 종류별 유효광도를 실측에 의해 비교한 것이다. 본 실험에는 250 mm 백색과 황색 등명기 총 20대와 200 mm 백색, 황색, 적색, 녹색 등명기 총 20대가 샘플로 채취되었다. 그림 6에 이용된 유효광도 계산식은 Schmidt-Clausen 방식에 의해 산출된 값이며, 백색을 제외하고는 0.5초와 1초 명간에서만 측정하였다. 실제로도 국내 기준에 의하면 색상을 가진 등명기의 유효광도 측정 시에는 사용자의 특정한 요구가 있지 않으면, 0.5초(균점광)와 1초(단점광)만을 측정하도록 규정하고 있다.

200 mm 색상 등명기의 경우에는 대부분 색렌즈를 이용하고 있으며, 250 mm 색상 등명기의 경우에는 필터를 이용하고 있다. 현재 250 mm 황색 등명기의 경우, 색필터의 투과손실에 의해 유효광도 값이 백색의 경우와 큰 차이를 보이고 있다.

또한 부동광도와 비교하여 0.5초 점광시간의 유효광도는 약 70%, 1초 점광시간은 약 83%, 2초 점광시간은 약 90%를 나타내고 있으며, 이는 점광시간이 짧을수록 필라멘트 백열화와 암화시간에 영향을 많이 받는다는 것을 의미한다.

### 2.3.4 렌즈 내경과 등색에 따른 배광특성

렌즈 내경과 등색에 따라 점멸식 소형등명기의 배광특성을 알아보았다. 배광특성은 크게 수직발산각과 부동광도로 나누어지며, 수평각도 45°, 수직각도 0.5° 간격으로 측정하도록 권고하고 있다. 또한 수직발산각은 최대광도의 10%가 되는 사이의 각을 의미한다.

표 3은 측정된 종류별 배광특성을 나타내고 있다. 수직발산각의 경우 200 mm 등명기가 250 mm 등명기에 비해 약 두 배 정도 넓게 나타났다. 이것은 200 mm 등명기가 상대적으로 초점거리에 비하여 필라멘트 길이가 긴 것이 원인이며, 이로 인해 부동광도 값 또한 낮게 나타났음을 알 수 있다.

표 3. 점멸식 소형등명기의 종류별 배광특성

		수직발산각	부동광도(cd)
250 mm 등명기	백색	5.05°	751.6
	황색	5.86°	403.2
200 mm 등명기	백색	11.12°	386.8
	황색	10.66°	285.2
	적색	10.44°	95.2
	녹색	10.76°	127.0

### 3. 결 론

본 논문에서는 IALA와 해양수산부에서 권고하는 항로표지용 점멸식 소형등명기의 유효광도 기준과 계산식을 알아보았으며, 실측을 통해 유효광도와 배광을 비교·분석하였다. 그 결과 200 mm 등명기가 250 mm 등명기보다 두 배 정도 수직발산각이 넓고, 부동광도가 낮게 나타났으며, 색상에 따른 유효광도 편차도 적게 나타났다. 또한 점광시간에 따라서는 점광시간이 짧을수록 유효광도가 작아짐을 알 수 있었고, Schmidt-Clausen 방식에 의해서 얻어진 값이 Allard 방식에 의해 얻어진 값과 큰 차이를 보이는 것을 알 수 있었다. 현재까지는 IALA에서 조차도 어떤 방식에 의해 산출된 값이 가장 타당한지를 증명할 수 없는 단계라고 판단하고 있어, 추후에 계속적인 연구를 통하여 유효광도 계산식에 대한 개선된 대응책을 찾아야 할 것이다.

마지막으로 본 논문을 통해 등명기의 일부 특성을 알아보았으나, 실제로는 사용되는 광원과 렌즈의 특성 또한 간과할 수 없는 부분으로 많은 연구가 진행될 것으로 보이며, 또한 광도 최고점까지의 도달 시간을 최소화하여 유효광도를 크게 향상 시킬 수 있는 장점을 가지고 있는 LED 등명기에 대하여도 많은 연구가 진행될 것으로 본다.

#### 참 고 문 헌

- (1) 해양수산부, “항로표지기초이론”
- (2) 해양수산부 항포표지 업무편람
- (3) 해양수산부, “IALA Recommendations”
- (4) 해양수산부, “표준화 등명기 연구 개발”, 2003
- (5) CIE Publication No. 70, “The Measurement of Absolute Luminous Intensity Distributions”, 1987