

# ND 필터를 적용한 실외 광도측정 시스템 성능 검증에 관한 연구

이충진, 채정근, 박종현, 이제형, 이동엽

한국항로표지기술원

cjlee@katon.or.kr, jgchae@katon.or.kr, jpark2020@katon.or.kr, leejh@katon.or.kr, dy1624@katon.or.kr

## Performance evaluation of an outdoor luminous intensity measurement system with an ND filter

Chungjin Lee, Jeonggeun Chae, Jonghyun Park, Jehyoung Lee, Dongyeob Lee

Korea Institute of Aids to navigation.

### 요약

본 논문은 빛을 이용하여 선박의 위치, 항로 및 위험물의 존재 등을 표시하는 항로표지의 광도를 측정하기 위해 디지털 카메라를 활용하여 실외 환경에서 광도를 측정할 수 있는 시스템을 개선한 연구를 다룬다. 기존 연구에서 고휘도 광원에서 이미지 센서의 포화로 인해 측정 정확도가 저하되는 문제를 ND 필터를 적용하여 해소하였고, 간단한 실험을 통해 결과를 도출했다. 본 연구는 실제 항로표지에 사용되는 등명기를 대상으로 광도측정 실험을 수행하였으며, 그 결과 ND 128 필터 적용 시 3.8%, ND 256 필터 적용 시 8.9%, ND 512 필터 적용 시 24.7%의 오차를 확인했다. 이는 카메라를 통해 촬영되는 영상이 어두워질수록 잡음의 영향이 증가하기 때문인 것으로 사료된다. 따라서, 실제 측정 시에는 측정 대상 광원의 밝기를 고려하여 ND 필터의 수치를 결정해야 함을 의미한다. 향후 실외 측정 실험을 통해 보다 정밀한 결과를 확보하고, 더 밝은 광원을 대상으로 실험을 수행할 예정이다. 아울러 측정 정확도 향상을 위한 후속 연구를 지속적으로 수행할 예정이다.

### I. 서론

빛을 이용하여 선박의 위치, 항로 및 위험물의 존재 등을 표시하는 항로표지의 성능은 광도(Luminous Intensity,  $cd$ ) 단위를 기준으로 평가된다 [1][2]. 이는 국내 도로교통법 및 빛공해 방지법에서 빛의 세기를 평가할 때 휘도(Luminance,  $cd/m^2$ ) 단위를 사용하는 것과 차이가 있다[3]. 항로표지는 특정 방향으로 방출되는 빛의 세기가 중요한 성능 요소이므로, 광도를 기준으로 평가가 수행된다. 하지만, 일반적으로 광도는 실외 환경에서 측정할 수 없는 단위이다. 때문에 표준광원이라고 불리는 보조광원을 사용하여 휘도를 측정한 뒤 비례식을 사용해 광도로 변환하는 방법을 사용한다[4]. 측정 시스템의 편의성을 개선하기 위해 디지털 카메라를 활용하여 실외 환경에서 광도를 측정할 수 있는 시스템을 개발하였으며, 광자 유입으로 인한 포화 문제를 해결하기 위해 ND(Neutral Density) 필터를 사용하여 측정 정확도를 높였다. 또한, 실험실 환경에서 McBeth Color Checker를 사용하여 간단한 실험을 통해 결과를 도출하였다[5]. 하지만, 실제 측정에서 적용되는 방식과는 다른 방법으로 수행되어, 보다 정확한 실험 결과의 확보가 필요하다. 본 논문에서는 실제 항로표지에 사용되는 등명기 2기를 활용하여 광도측정 실험을 수행하였으며, 이를 통해 성능을 분석하였다.

### II. 등명기 광도측정 실험

본 논문에서는 등명기 2기를 활용하여 광도측정 실험을 진행했다. 덕성 해양개발 및 피앤류스 업체의 7마일 백색 일체형 등명기를 사용했으며, 실험 전 암실에서 배광검사기를 사용하여 정확한 광도를 검사하여 시험성적서를 발행했다. 측정 장비로는 Canon EOS R5 모델과 Canon RF 50mm F1.9 STM 렌즈를 사용했다. 또한, K&F사의 Nano-X Variable ND32-512 필터를 사용하여 입사광의 세기를 제어한다. 본 실험에서는

ND 128, ND 256 및 ND 512 특성으로 고정하여 진행했다. 마지막으로, 그림 1과 같이 카메라로 촬영된 영상의 분석하기 위한 광도 분석 프로그램을 제작하여 진행했다. 측정의 정확도를 높이기 위해 암전류(Dark Current), 렌즈 음영(Uniformity) 및 선형성(Linearity) 교정이 수행되었으며, 촬영된 영상 속 선택한 영역의 휘도를 추출한 뒤 광도로 변환하는 알고리즘이 탑재되었다.

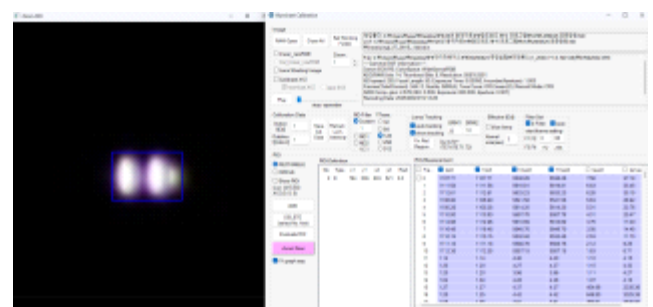


그림 1. 광도 분석 프로그램

Fig. 1. Luminous intensity analysis program



그림 2. 광도측정 환경

Fig. 2. Luminous intensity measurement environment

등명기를 활용한 광도측정 환경은 그림 2와 같이 구성했다. 등명기와 측정을 위한 카메라는 25m 간격으로 배치하였으며, 등명기의 발산각을 고려하여 높이를 1m로 설정하여 측정했다.

카메라는 등명기의 광도를 고려하여 ND 128, ND 256, ND 512로 각각 설정하였다. 또한, ISO Speed 200, 노출시간 0.0005s, f-number 1.8로 설정하였으며, 등명기가 점멸되는 성질을 고려하여 고속연사 촬영 기능을 사용하여 다수의 프레임을 측정했다.

III. 등명기 광도측정 결과

그림 3 및 표 1은 ND 128, ND 256, ND 512 필터를 사용하여 등명기 광도를 측정한 결과이다.

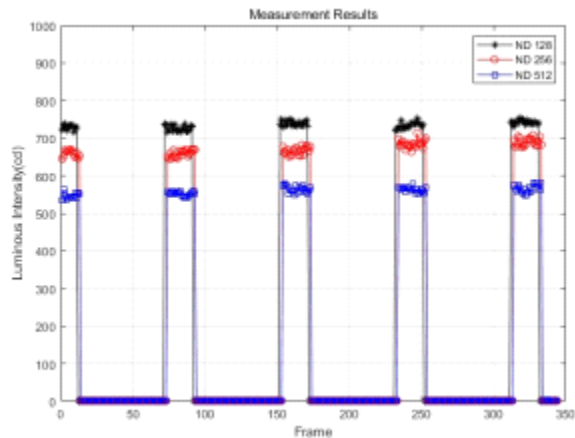


그림 3. 광도측정 실험 결과 그래프

Fig. 3. Luminous intensity measurement results graph

표 1. 광도측정 실험 결과표

Table. 1. Luminous intensity measurement results table

|        | 배광검사기 검사 결과   | 실외 측정 결과        | 분석오차   |
|--------|---------------|-----------------|--------|
| ND 128 | 783 <i>cd</i> | 753.2 <i>cd</i> | 3.8 %  |
| ND 256 | 783 <i>cd</i> | 713 <i>cd</i>   | 8.9 %  |
| ND 512 | 783 <i>cd</i> | 589.6 <i>cd</i> | 24.7 % |

측정하고자 하는 광원의 실제 광도는 783 *cd*로 암실에서 배광검사기를 사용하여 정확히 검사한 결과이며, 실외 측정 결과는 디지털 카메라를 사용하여 측정한 결과이다. ND 128 필터를 적용한 결과는 3.8% 오차를 보이며 우수한 성능을 보였으나, ND 256 필터와 ND 512 필터를 사용했을 때의 결과는 8.9%와 24.7%로 나타났다. 전반적으로 ND 필터의 수치가 높아질수록(어두워질수록) 투과율 교정 시 고증폭으로 인한 잡음의 영향으로 오차가 커지는 것을 확인했다.

IV. 결 론

본 논문에서는 ND 필터를 적용한 디지털 카메라를 이용하여 실외 환경에서 광도를 측정할 수 있는 시스템의 성능을 검증하기 위한 실험을 수행했다. 실험 결과 ND 128 필터를 적용한 측정 결과는 3.8%로 비교적 우수한 성능을 보였으나, ND 256 및 ND 512 필터를 적용한 경우에는 각각 8.9%와 24.7%의 오차를 나타내어 성능이 저하됨을 확인했다. 이는 카메

라 영상이 어두워질수록(즉, ND 필터의 수치가 높아질수록) 잡음의 영향 증가하기 때문인 것으로 사료된다. 따라서, 실제 측정 시에는 측정 대상 광원의 밝기를 고려하여 ND 필터의 수치를 결정해야 함을 의미한다. 향후 실외 측정 실험을 통해 보다 정밀한 결과를 확보할 예정이며, 약 2,000,000*cd* ~ 3,000,000*cd* 수준의 밝기를 갖는 광원을 대상으로 실험을 수행할 예정이다. 또한 측정 정확도 향상을 위한 후속 연구를 지속적으로 수행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2026년도 해양수산부의 재원으로 "26년도 항로표지 장비·용품 등 연구개발사업"의 지원을 받아 수행된 연구임(B0070206000660).

참 고 문 헌

[1] 항로표지 장비·용품의 기능 및 규격 기준.  
[2] 항로표지 장비·용품 검사기준.  
[3] 인공조명에 의한 빛공해 방지법 시행규칙.  
[4] 박제섭, 최영중, "항로표지 광도측정 업무의 효율화 방안," 한국항해항만학회 학술대회논문집, 327-330, 2014, .  
[5] 이충진, 채정근, 박종현, 이제형, 이동엽, "디지털 카메라 기반 등명기 광도측정 시스템 성능 향상에 관한 연구," 한국통신학회 추계종합학술발표회, 911-912, 2025, .