

야간 조명 변화에 따른 초분광 영상의 분광 정보 분석

이윤호*

*(주)하이드로셈 과장

e-mail: lyh4118@gmail.com

Spectral Characteristics Analysis of Hyperspectral Images under Nighttime Lighting Variations

Yun-Ho Lee*

*HydroSEM Inc.

요 약

본 연구는 태양광이 부족한 야간 및 악천후 환경에서 초분광 카메라를 안정적으로 운용하기 위한 기초연구로, 암실 조건에서 상용 인공조명(형광등, 할로겐, LED)의 분광 특성을 분석하였다. 실험에는 Corning사의 MicroHSI 410 초분광 카메라를 사용하여 표준 반사판(Spectralon) 및 다양한 반사율을 갖는 표준 반사체를 촬영하고, ENVI 소프트웨어를 통해 각 광원별 스펙트럼 반사율과 반사 휘도 분포를 비교하였다. 분석 결과, 태양광은 넓은 파장대역에서 높은 반사 휘도를 보였으며, 인공광원 중에서는 할로겐등이 750nm 부근에서 태양광과 유사한 반사 특성을 보여 야간 대체 광원으로 가장 적합하였다. 본 연구는 향후 부유사 농도 분석 등 하천 모니터링 분야에서 초분광 기반 계측 기술 개발의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

최근 원격탐사 관련 기술과 장비가 발전함에 따라 다양한 분야에서 비접촉식 측정 방법들이 많이 사용되고 있다. 하천 분야에서도 수표면의 영상으로 수심과 표면유속을 추정하거나(Dolcetti et al., 2022), 여러 가지 측정 방법(무인항공기, 열영상, 가시광 영상, LiDAR)을 이용하여 원격으로 표면유속을 계산하는 연구(Kinzel, Snyder, & Tucker, 2019)가 활발하게 진행되고 있다.

특히, 부유사 농도 측정은 전통적으로 하천수를 직접 채취하거나 하천 내에 장비를 설치하는 접촉식 방법에 의존해 왔다. 그러나 홍수기에 장비가 손·망실되거나 계측자의 안전 문제로 인해 비접촉식 자동 분석 방법의 필요성이 커지고 있다(Paulista et al., 2023; Long et al., 2013).

비접촉식 분석 방법 중에서는 영상 기반 분석 기술이 대표적으로 사용되고 있다. 그러나 일반 가시광선(RGB) 영상의 파장 대역만으로는 부유사 농도를 정밀하게 분석하기 어렵다. 이러한 한계를 보완하기 위해 최근에는 무인항공기에서 촬영한 초분광(hyperspectral) 영상, 그리고 현장 샘플링을 병행하여 부유사 농도를 측정하는 연구(Kwon et al., 2022)가 늘어나면서 멀티스펙트럼 및 초분광 기술이 연구의 핵심으로 자리 잡고 있다.

그러나 초분광 카메라는 패시브(passive)형 센서로서 자체적으로 에너지를 방출하지 않고 태양광과 같은 외부 에너지를 감지한다. 따라서 야간이나 흐린 날씨에는 정확하고 안정적인 초분광 영상을 얻기 어렵다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위하여 외부 광원이 차단된 암실에서 상용 인공조명(LED, 할로겐 등)의 분광 특성을 분석하였다. 이를 통해 자연광이 제한된 환경에서도 안정적으로 초분광 영상을 촬영할 수 있는 인공조명의 조건에 대해 연구하였다.

2. 연구 방법

분광영상은 일반적인 RGB 카메라가 3개의 채널만 기록하는 것과 달리, 넓은 파장 범위를 수십~수백 개의 좁은 파장대역(band)으로 세분화하여 기록한다. 기록되는 파장대역이 5~10개 수준이면 다분광 영상이라 하며, 수십~수백 개의 연속적이고 좁은 파장대역을 포함하면 초분광 영상이라고 한다. 초분광 영상은 각 물질이 가지는 고유한 분광특징(spectral signature)을 정밀하게 구분할 수 있어, 하천 부유사 농도와 같이 세밀한 분석에 유리하다.

본 연구에서 사용한 Corning사의 MicroHSI 410 초분광 카메라는 400nm에서 1000nm까지의 파장대를 4nm간격의 파장대역으로 나누어 총 150개의 채널을 기록할 수 있어 고해상도의

스펙트럼 정보를 제공한다.

실험에서는 250nm~2500nm의 넓은 파장 범위에서 매우 높은 반사율(95% 이상)과 균일한 분광 특성을 유지하는 표준반사판(reference reflectance target, spectralon)을 활용하였다. 또한 반사율이 8%, 24%, 55%, 66%인 표준 반사천을 함께 사용하여 각 광원의 스펙트럼 반사율과 반사휘도 분포를 측정하였다. 촬영의 일관성을 확보하기 위해 [그림 1]과 같이 전용 촬영 장치를 제작하여 일정한 높이와 각도를 유지하며 촬영할 수 있도록 하였다. 광원 조건은 태양광을 기준으로 하고, 비교 대상으로는 현장에서 인공광원으로 가장 많이 사용되고 있는 LED, 할로젠, 형광등을 사용하였다. 태양광 촬영은 맑은 날 실외에서 촬영하였으며, 인공광원은 외부 광원을 완전히 차단한 암실 환경에서 촬영하였다.



[그림 1] 초분광 카메라 촬영장치

획득한 영상은 상용 초분광 영상 분석 프로그램인 ENVI를 이용하여 분석하였다. 각 광원별 영상의 스펙트럼 특징을 추출하고 밴드별 세기 분포, 스펙트럼 안정성, 재현성 등을 평가하여 비교 분석하였다.

3. 연구 결과

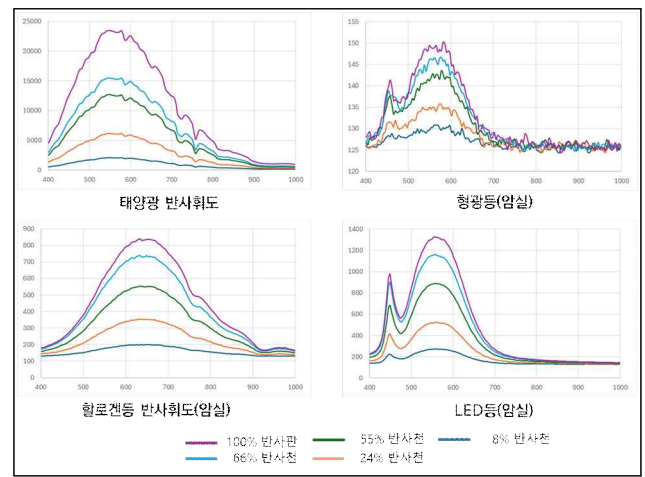
각 광원 조건에서 초분광 영상을 촬영하고 [그림 2]와 같이 광원별 데이터를 그래프로 정리하였다. 분석 결과, 태양광의 분광 정보는 약 540nm에서 최대 반사휘도 약 23000DN(Digital Number, 무차원)을 보였고, 이후 800nm까지 점진적으로 감소하였다. 다만, 580nm, 720nm, 750nm에서 주변 파장대역에 비해 비교적 낮은 반사휘도가 나타났다.

형광등의 분광정보는 약 540nm에서 가장 높은 반사휘도를 보였고, 450nm에서도 주변에 비해 다소 높은 반사휘도를 보였다. 그러나 650nm 이상의 파장대역에서는 반사율 간 구별이 어려울 정도로 낮은 반사휘도를 보였고, 점멸하는 형광등의 동작 특성으로 인해 데이터 안정성이 떨어졌다. 최대 반사휘도 또한

150DN으로 매우 낮았다.

할로젠등의 분광정보는 약 650nm에서 가장 높은 반사휘도를 보였고, 약 750nm에서 다소 감소하였다. 920nm 이상의 파장대역에서는 반사율의 차이가 거의 나타나지 않았으며, 최대 반사휘도는 약 830DN으로 나타났다.

LED등의 분광정보는 형광등과 유사하게 나타났다. 그러나 LED등은 점멸하지 않고 일정한 광량을 유지하고 있어 데이터가 상대적으로 안정적으로 나타났다. 다만 650nm 이상의 파장대역에서는 형광등과 마찬가지로 반사율 구분이 어려울 정도로 낮은 반사휘도를 보였다.



[그림 2] 광원 별 분광정보

태양광의 분광정보와 세 가지 인공광원의 분광정보를 종합적으로 비교한 결과, LED의 경우 인공광원 중 가장 높은 반사휘도를 보였으나, 특정한 좁은 파장대역에만 반사특성을 보였다. 특히 450nm 근처에서 높은 반사휘도를 보였지만, 전반적으로 태양광을 대체하기에는 부족한 것으로 나타났다. 반면 할로젠 등은 LED등에 비해 최대 반사휘도는 낮았으나 넓은 파장대역에서 안정적인 반사 특성을 나타냈다. 특히 750nm 부근에서는 태양광과 유사한 분광 특성을 보여, 야간 환경에서 태양광을 대체하기에 적합한 인공광원으로 판단되었다.

4. 결론

본 연구에서는 태양광이 부족한 환경에서 초분광 영상을 촬영할 수 있는 인공조명의 조건을 규명하기 위해, 암실에서 LED와 할로젠등의 분광 특성을 분석하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

1. 태양광은 540nm에서 최대 반사휘도를 보였으며, 800nm 이후 점진적으로 감소하였다.

2. LED는 비교적 안정적인 스펙트럼을 보였으나, 특정 파장대에 집중되는 특성으로 인해 광역 스펙트럼 확보에는 한계가 있었다.

Sustainability, vol. 15, no. 9, pp. 7049–7063, 2023년.

3. 할로겐등은 최대 반사휘도는 낮았으나 넓은 파장대역에서 안정적인 반사 특성을 보였고, 특히 750nm 부근에서 태양광과 유사한 특성이 확인되어 야간 대체 광원으로 적합한 것으로 평가되었다.

따라서 본 연구는 야간이나 우천시와 같이 태양광이 부족한 조건에서도 초분광 영상을 촬영할 수 있도록 사용가능한 인공조명의 활용 가능성을 제시하였다. 이는 향후 실제 하천현장에서 부유사 농도 무인 자동계측시스템과 같이 장시간 측정이 필요한 경우 기술 개발의 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 결과물은 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 미래변화 대응 수자원 안정성 확보 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다.(RS-2024-00397970).

참고문헌

- [1] G. Dolcetti, M. Basso, and F. Ballio, “Using noncontact measurement of water surface dynamics to estimate discharge,” *Water Resources Research*, vol. 58, no. 6, pp. 1–17, 2022년.
- [2] P. J. Kinzel, J. A. Snyder, and G. E. Tucker, “sUAS-based remote sensing of river discharge using visible and thermal imagery, and lidar bathymetry,” *Remote Sensing*, vol. 11, no. 19, pp. 2317–2335, 2019년.
- [3] J. Kwon, H. Park, and S. Lee, “Measurement of suspended sediment concentration in open channel flows based on hyperspectral imagery from UAVs,” *Science of the Total Environment*, vol. 850, pp. 158–170, 2022년.
- [4] C. Long, Y. Chen, and X. Wang, “Remote sensing of suspended sediment concentration and reflectance studies,” *Remote Sensing of Environment*, vol. 134, pp. 50–60, 2013년.
- [5] R. F. Paulista, L. M. Silva, and A. C. Souza, “Estimating suspended sediment concentration using remote sensing for the Teles Pires River, Brazil,”