2024 현대사진영상학회 논문집 Vol .27 no. 2

The Society of Modern Photography & Video

www.kci.go.kr

www.kci.go.kr

현대사진영상학회 논문집 VOL. 27 no. 2

007 이호영
의경설(意境說)의 정경교융(情景交融)을 통해 본 사진 존재론 연구
A study of photographic ontology through the lens of the Jung kyung fusion of the Yi Kyung Theory

033 김희찬
녹조와 수생식물 분류를 위한 스펙트럼 기법의 효율성
- HSV를 활용한 적외선과 가시광선의 분석연구
A Efficiency of Spectral Techniques for the Classification of Algae Blooms and Aquatic Plants - Analysis of Infrared and Visible Light Utilizing the HSV Method

www.kci.go.kr

www.kci.go.kr

녹조와 수생식물 분류를 위한 스펙트럼 기법의 효율성
- HSV를 활용한 적외선과 가시광선의 분석연구

김 희 찬* · 주 종 우**

Efficiency of Spectral Techniques for the Classification of Algae Blooms and Aquatic Plants
- Analysis of Infrared and Visible Light Utilizing the HSV Method

Heechane Kim (1저자)
Master`s Course, Department of New Media Art, Chung-Ang University, Gyeonggi-do 456-756, Korea

Jongwoo Joo (교신저자)
Associate Professor, Department of New Media Art, Chung-Ang University, Gyeonggi-do 456-756, Korea

목 차

I. 서론
1. 연구 필요성 및 목적

II. 이론적 배경
1. 적외선의 특성과 적용
2. RGB와 HSV
3. 파이썬
4. 녹조
5. 다분광 이미징을 활용한 조류 발생 탐지와 분석

III. 연구내용 및 방법
1. 녹조 파장 실험
1) 실험방법의 개관
(1) 회색 배경지
(2) 적외선 패치

* 중앙대학교 대학원 뉴미디어아트학과 석사과정
** 중앙대학교 대학원 뉴미디어아트학과 부교수 (jw4150@cau.ac.kr)

www.kci.go.kr

(3) IR 필터
(4) HSV 전환 코드
① 색상
② 채도
③ 명도
2) 실험환경 및 방법

IV. 실험 및 결과
1. 녹조 파장 실험 촬영 및 분석
1) 유리수조
(1) RGB Image에서 HSV Image의 변환
(2) HSV Image 색상, 채도, 명도 분리 추출
(3) 명도를 이용한 농도지도
2) 동명저수지
(1) RGB Image에서 HSV Image의 변환
(2) HSV Image 색상, 채도, 명도 분리 추출
(3) 명도를 이용한 농도지도

V. 결론

www.kci.go.kr

[요 약]

본 연구는 수생태계 건전성 모니터링을 위한 녹조 탐지 방법으로서 가시광선과 적외선 촬영 기술의 효율성을 비교 분석하였다. 연구의 주된 가설은 물의 반사와 투과도에 의한 산란이 발생하여 가시광선만을 사용할 경우 녹조와 수생식물 및 부유물을 정확히 구분하기 어렵다는 것에 초점을 맞췄다. 이에 대한 해결책으로 적외선 촬영의 적용 가능성을 탐구하였으며, 실험은 동명저수지와 실험실 환경에서 진행되었다. 사용된 기기는 IR-CUTOFF 필터가 제거된 NIKON D800 카메라였으며, 가시광선 및 다양한 파장의 적외선 필터(IR 720, IR 850, IR 1000)를 통한 촬영을 수행하였다. 본 연구에서는 HSV 분석 방식을 이용하여 촬영 데이터를 분석하였으며, 실험 결과, IR 720 필터가 녹조와 다른 수생식물 및 부유물 간의 구분에 가장 효과적임을 확인하였다. 이러한 결과는 수생태계 모니터링 및 녹조 탐지 기술의 개선에 기여할 것으로 기대된다. 결론적으로, 적외선 촬영 기술은 가시광선에 비해 녹조 탐지의 정확도와 신뢰성을 향상시키는 데 유리하며, 수질 관리 및 환경 보호 정책 결정 과정에서 적극적으로 활용될 수 있다. 본 연구는 또한 Chlorophyll-a 농도의 정밀한 측정을 통해 수중 생태계의 영양 상태 및 생물학적 생산성을 평가하는 새로운 접근법을 제시하며, 향후 더 넓은 파장대의 분석과 상용화된 드론을 이용한 광범위한 실험을 통해 녹조 관리 및 대응 방안을 더욱 발전시키길 기대한다.

[Abstract]

This study compared the efficacy of visible light and infrared imaging techniques for detecting algae in aquatic ecosystems, focusing on health monitoring. The primary hypothesis was that scattering caused by water's reflectance and transmittance makes it difficult to distinguish algae, aquatic plants, and suspended particles using only visible light. Infrared imaging's potential was explored as a solution, with experiments conducted in both Dongmyeong Reservoir and laboratory settings. The equipment utilized was a NIKON D800 camera modified by removing the IR-CUTOFF filter, and photographs were taken using a range of infrared filters (IR 720, IR 850, IR 1000). The HSV analysis method was employed to analyze the photographic data. The results indicated that the IR 720 filter was most effective at distinguishing between algae and other aquatic materials. These findings are expected to contribute to improvements in ecosystem monitoring and algae detection technologies. In conclusion, infrared imaging techniques provide greater accuracy and reliability in detecting algae compared to visible light and are well-suited for active use in water quality management and environmental policy-making. This study also presents a new approach to evaluating the nutritional status and biological productivity of aquatic ecosystems through precise measurement of Chlorophyll-a concentrations. Future research is anticipated to further advance algae management and response strategies through broader spectral analysis and extensive experimentation using commercial drones.

색인어 : 적외선, 가시광선, 녹조, HSV, 클로로필-a
Keyword : Infrared, Visible light, Algal bloom, HSV, Chlorophyll-a

www.kci.go.kr

Ⅰ. 서론

1. 연구 목적 및 필요성

수생태계의 건전성 모니터링은 지구 환경의 지속 가능성을 평가하고 유지하는 데 필수적인 과업으로 자리매김하고 있다. 특히 남조류의 발생은 수질 오염, 생태계 균형의 교란, 및 인간 건강에 대한 중대한 위협을 초래하는 주요 원인으로, 이에 대한 국제적 인식이 점차 확대되고 있다. 이러한 남조류 문제는 세 가지 주요 요인으로 인해 더욱 심각해지고 있다. 첫째, 기후 변화로 인한 수온 상승과 강화된 일사량은 남조류 발생의 빈도와 규모를 증가시키는 주요 원인으로 작용한다(Anderson, 2008). 둘째, 인간 활동의 증가와 농업 분뇨 등의 유입은 수생태계의 오염을 가중시키고 생태계 균형을 변화시켜 남조류 발생을 촉진한다(김범철, 2017). 셋째, 남조류가 인간 건강에 미치는 위협에 관한 연구 결과들이 보고됨에 따라 이 문제에 대한 관심이 점차 높아지고 있다. 이러한 상황들은 남조류 문제에 대한 체계적이고 효과적인 대응의 필요성을 더욱 부각시키고 있다.

본 연구는 가시광선을 사용한 촬영과 분석에서 발생하는 문제점을 해결하기 위해 시작되었다. 연구의 주된 가설은 녹조의 특유한 초록색이 물과 상호작용하면서 빛의 산란을 유발하여 녹조, 수생식물 및 기타 부유물을 정확하게 구분하기 어렵게 만든다는 것이다. 특히 녹조와 수생식물이 동시에 존재할 경우 두 요소 모두 초록색을 띠기 때문에 가시광선을 통한 분석이 더욱 복잡해진다. 이러한 문제의 근본 원인은 물속에서 발생하는 빛의 산란 현상에 있다. 물은 빛을 통과시킬 때 산란과 흡수가 발생하며, 특히 초록색 빛은 녹조와 수생식물의 존재로 인해 강하게 산란되어 이들을 명확하게 구분하기 어렵게 만든다. 따라서 가시광선만을 사용할 경우, 녹조와 수생식물 사이의 광학적 특성 차이를 충분히 드러내지 못해 정확한 분석이 어려워진다.

또한 다른 가설로는 가시광선을 이용하여 물을 촬영할 경우, 물과 공기의 굴절률 차이로 인해 빛이 물 표면에 닿을 때 일부가 반사되어 노출이 과다해지는 현상이 발생할 수 있다는 점이다. 물의 굴절률은 약 1.33으로 공기(약 1.00)보다 높아 가시광선의 정량적 분석에 어려움을 줄수 있다고 판단하였다(Zhang, Z., and Y. Wu., 2010). 반면 적외선은 물이 적외선 파장대에서 에너지를 더 잘 흡수하기 때문에, 이를 활용하면 보다 정확한 분석이 가능할 것으로 보았다.

이러한 상황을 개선하기 위해, 본 연구는 적외선 촬영이 가시광선에 비해 녹조의 광학적 특성을 기반으로 한 세밀한 차이를 식별하는 데 있어 유리하다는 점을 이용한다. 적외선 카메라는 녹조, 수생식물, 그리고 부유물들을 효과적으로 분별할 수 있는 적합한 촬영 파장 범위를 제안함으로써, 가시광선과 적외선 간의 비교 분석을 통해 보다 정확한 환경 분석을 가능하게 할 것이다. 이는 녹조 문제를 보다 효과적으로 관리하고 대응할 수 있는 방법을 제시하는 것이다.

본 연구는 동명저수지를 대상으로 두 가지 실험 환경에서 진행되었다. 첫 번째 실험은 현장에서 가시광선과 적외선을 이용해 녹조를 촬영하는 것이며, 두

www.kci.go.kr

번째 실험은 동일한 수역에서 채취한 녹조 샘플을 실험실로 옮겨 회색 배경지 위에서 같은 방법으로 촬영하여 데이터를 분석하는 것이다. 이 두 실험을 통해 태양광에 의한 물의 반사율 차이를 고려하여 보다 정확한 데이터 값을 확보하고자 하였으며, 현장과 실험실 샘플 간의 데이터 차이를 비교함으로써 수중 생태계 내 생물체 식별의 정확성과 신뢰성을 향상시키는 방안을 모색하였다. 또한, HSV 분석을 통해 가시광선, IR 720, IR 850, IR 1000 파장에서 채취한 촬영 데이터를 분석하여 녹조, 수생식물, 부유물을 구분할 수 있는 최적의 파장 범위를 도출하고, 가시광선과 적외선 촬영의 효율성을 비교 분석함으로써 물의 반사율이 Chlorophyll-a의 농도 추출에 미치는 영향을 평가하였다.

본 연구의 기대되는 기여도는 가시광선과 적외선 촬영 기술의 효율성을 비교 분석하여, 녹조 탐지에 있어 적외선 기술의 적용 가능성과 장점을 명확히 밝히는 데 있다. 이러한 HSV 분석을 통해 수질 관리 및 환경 보호 정책 결정 과정에서 적외선 촬영 기술의 활용을 촉진하고, 녹조 탐지 및 모니터링 방법론에 혁신적인 접근을 제공하여 수생태계 건강 상태 평가의 정확도와 신뢰성을 향상시키고자 한다. 본 연구는 수생태계 모니터링 및 녹조 탐지 기술 발전에 중요한 기초 자료를 제공할 것으로 기대되며, 새로운 접근을 통해 이 분야에 새로운 관점을 도입하고자 한다. 이와 같은 연구의 목적과 기대되는 기여도에 대해 본 논문에서 상세히 서술하고자 한다.

II. 이론적 배경

1. 적외선의 특성과 적용

빛은 자외선, 가시광선, 적외선으로 구성된다. 이 중 인간의 눈이 감지할 수 있는 부분은 가시광선으로, 그 범위는 대략 380nm에서 740nm 사이에 위치한다(Cummins, 1983.). 가시광선의 파장영역은 인종이나 지역에 따라 편차를 보이므로 ISO에서도 규정하지 못하고 있다. 적외선은 가시광선의 범위를 초과하는 파장, 즉 약 700nm 이상을 가진 전자기파로 정의된다. 적외선의 독특한 특성 중 하나는 단위 길이당 진동수가 낮아 투과력이 우수하다는 점이다. 이러한 특성 덕분에 적외선은 사진술, 무선 광통신, 비파괴 검사 등의 다양한 분야에서 광범위하게 활용되고 있다.

적외선의 발견은 1880년 윌리엄 허셸(William Herschel)에 의해 이루어졌으나, 적외선 사진에 대한 체계적인 연구와 발표는 1910년 로버트 우드(Robert W. Wood)가 영국 왕실 사진협회에서 이루어진 발표를 통해 본격화되었다. 적외선 사진은 주로 700~900nm 사이의 근적외선 대역에서 촬영되며, 이는 디지털 카메라의 이미지 센서가 가지는 약 380nm에서 1100nm 사이의 감광 특성과 밀접한 관련이 있다(김상기, 2014.). 가시광선 촬영을 주요 목적으로 설계된 카메라는

www.kci.go.kr

해상도와 색상 재현에 최적화되어 있으며, 이러한 설계 목표를 달성하기 위해 적외선 파장의 영향을 최소화하는 것이 필수적이다. 적외선 파장이 이미지 센서에 도달하면, 이미지의 해상도가 저하될 수 있고 색수차가 발생할 수 있는데, 이는 적외선이 이미지 센서의 빛 감지 능력에 영향을 주어 이미지의 선명도와 색상 정확도를 떨어뜨리기 때문이다. 이를 방지하기 위해, 대부분의 카메라에는 IR Cut-Off Filter가 장착되어 있다. 대부분의 카메라에는 색상 정확도를 개선하기 위해 700nm 이상의 적외선 파장을 차단하고 가시광선을 통과시키는 IR Cut-Off Filter가 장착되어 있다. 그러므로 적외선 촬영을 위해서는 [그림 1]과 같이 해당 필터를 제거해야 한다.

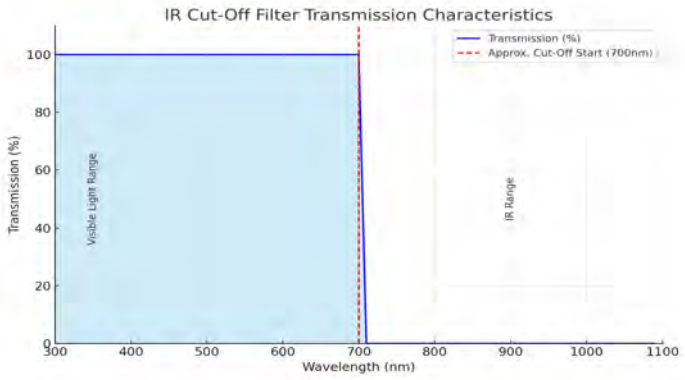


그림 1. IR Cut-Off Filter

또한 적외선의 파장 및 투과율에 대한 그래프의 경우 파장(wavelength)이란 빛과 같은 파동 현상에서 연속적인 파동의 한 점에서 다음 점까지의 거리를 말하며, 나노미터(nm) 단위로 측정된다. 본 실험에서 사용한 적외선 파장 필터는 특정 파장 범위의 빛을 선택적으로 차단하는데 사용되며, 이는 각기 다른 응용을 위해 특정 파장의 빛을 분리하고자 할 때 이용된다. 100% 투과율은 모든 빛의 파장대가 필터를 통과함을 의미하며, 0%는 완전히 차단함을 의미한다. 필터의 투과율은 필터가 적용되는 응용의 효율성과 직접적으로 관련이 있으며, 높은 투과율은 더 많은 빛의 파장대를 허용함을 나타낸다.

2. RGB와 HSV

RGB 색 모델과 HSV 색 모델은 색을 표현하는 두 가지 중요한 모델로, 각각의 목적과 사용 사례에 따라 다르게 설계되었다. RGB 색 모델은 주로 디지털 디스플레이와 이미지 처리에 사용되며, 세 가지 기본 색상인 빨간색(Red), 초록색(Green), 파란색(Blue)의 조합을 통해 다양한 색을 생성한다. 각 성분은 0에서 255 사이의 값을 가지며, 이 값들은 가산 혼합 모델(Additive Mixing Model)을

www.kci.go.kr

통해 최종 색상을 결정한다. 예를 들어, (255, 0, 0)은 순수한 빨간색을, (0, 255, 0)은 순수한 초록색을, (0, 0, 255)는 순수한 파란색을 나타낸다.

HSV 색 모델은 색상을 직관적으로 이해하고 조작하기 위해 설계된 모델로 [그림 2]처럼 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Value)의 세 가지 성분으로 구성된다. 색상는 색의 종류를 나타내며 0° 에서 360° 사이의 값을 가진다. 채도는 색의 선명도를 나타내며, 0에서 255까지의 값을 가지는데, 값이 높아질수록 색이 더 선명해지고 진해진다. 명도는 색의 밝기를 의미하며 0에서 255까지의 값을 가지며, 값이 낮을수록 색이 어둡고, 값이 높을수록 색이 밝아진다 (Kim, 2016).

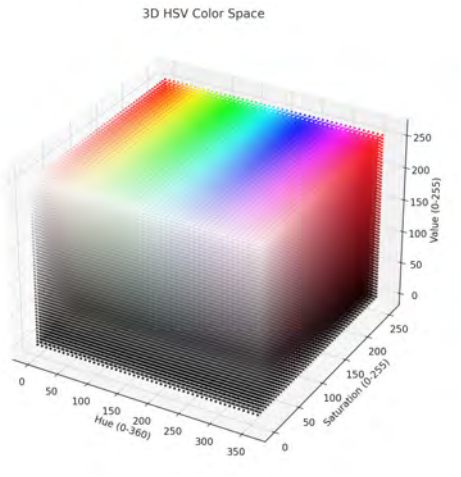


그림 2. HSV color model 정보

RGB와 HSV 간의 변환은 특정 수학적 공식을 통해 이루어진다. 아래는 RGB에서 HSV로의 변환 과정이다.

RGB 값을 사용하여 색상(Hue)을 계산하는 공식은 다음과 같다:

$$H = \cos^{-1}\left(\frac{\frac{1}{2}[(R-G)+(R-B)]}{\sqrt{(R-G)^2+(R-B)(G-B)}}\right)$$

채도(Saturation)를 계산하는 공식은 다음과 같다:

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)}[\min(R,G,B)]$$

www.kci.go.kr

명도(Value)를 계산하는 공식은 다음과 같다:

$$V = \frac{1}{3}(R+G+B)$$

결론적으로, RGB와 HSV 색 모델은 각각의 특성과 변환 과정을 통해 색상을 표현하고 조작하는 데 있어 중요한 역할을 한다. RGB는 디지털 디스플레이와 이미지 처리에 적합한 반면, HSV는 색의 직관적 이해와 조작에 유리하다. 이러한 변환 과정을 이해함으로써 다양한 응용 분야에서 색상을 보다 효과적으로 관리할 수 있다.

3. 파이썬

파이썬은 강력한 데이터 처리 능력과 다양한 라이브러리를 제공하는 고급 프로그래밍 언어로, 과학 연구, 데이터 분석, 웹 개발, 인공지능 등 다양한 분야에서 널리 사용된다. 파이썬의 간결한 문법과 풍부한 라이브러리 생태계는 연구자와 개발자들이 복잡한 작업을 효율적으로 수행할 수 있게 한다. 파이썬은 특히 기계 학습 및 데이터 과학 분야에서 강점을 보이고 있다. 파이썬의 문법은 단순하고 읽기 쉬워 초보자도 쉽게 배울 수 있으며, 이는 데이터 과학자와 엔지니어들이 효율적으로 프로토타입을 개발하고 테스트할 수 있도록 돕는다.

파이썬은 또한 강력한 라이브러리 지원을 제공한다. 넘파이(NumPy)는 효율적인 수치 계산을 위한 기본 패키지로 다차원 배열 객체와 고성능 수치 연산을 제공한다. 사이파이(SciPy)는 과학 및 공학 계산을 위한 라이브러리로 선형 대수, 통계, 최적화 등의 다양한 수학적 도구를 제공한다. 판다스(Pandas)는 데이터 조작 및 분석을 위한 라이브러리로, 데이터 프레임 객체를 통해 데이터 정리, 변환, 조작이 용이하다. 사이킷런(scikit-learn)은 기계 학습을 위한 라이브러리로, 분류, 회귀, 클러스터링 등의 다양한 기계 학습 알고리즘을 제공한다. 텐서플로우(TensorFlow) 및 파이토치(PyTorch)와 같은 딥러닝 프레임워크는 복잡한 신경망 모델을 구축하고 훈련시키는 데 사용된다(Saito, Koki. 2017. 밑바닥부터 시작하는 딥러닝: 파이썬으로 익히는 딥러닝 이론과 구현. 한빛미디어.). 추가적으로, Open Source Computer Vision Library인 OpenCV는 컴퓨터 비전 애플리케이션을 개발하기 위한 강력한 라이브러리로, 이미지 및 비디오 처리 기능을 제공한다.

본 연구에서 파이썬과 더불어 사용한 OpenCV(Open Source Computer Vision Library)의 경우 실시간 컴퓨터 비전과 이미지 처리를 위한 라이브러리로, C++로 개발되었지만 파이썬 인터페이스를 제공하여 파이썬에서도 손쉽게 사용할 수 있다. OpenCV는 이미지 및 비디오 처리에 필요한 다양한 기능을 제공하며, 물체 인식, 얼굴 인식, 모션 추적 등 다양한 컴퓨터 비전 응용 프로그램에서 활용된다. 이처럼 OpenCV는 여러 영상 처리 알고리즘을 갖추고 있어, 본 연구에서는 영상 이미지 처리를 통해 녹조를 탐지하는데 적합하다고 판단하여 이를 채택하

www.kci.go.kr

였다.

RGB를 HSV로 변환하는 방법으로는 위에서 말한 HSV 공식을 활용하여, 파이썬과 OpenCV를 연계한 프로그램을 이용하여 제작하였다. 또한, 본 연구에서는 OpenCV의 cvtColor 함수를 활용하여 RGB 이미지를 HSV로 쉽게 변환하였으며, 이 함수는 입력된 RGB 이미지 데이터를 자동으로 HSV 포맷으로 변환해 주며, 수식 계산을 내부적으로 처리하여 추출하였다.

4. 녹조

녹조 현상은 주로 남조류(Cyanobacteria)와 같은 특정 수생 조류의 대량 발생과 연관되어 있으며, 이는 고온 및 영양염류(Nutrients)인 질소(Nitrogen) 및 인(Phosphorus)의 농도가 증가하는 환경 조건에서 주로 발생한다. 질소는 아미노산, 단백질, 핵산 등 생명체 구성에 필수적인 요소로, 농업 활동에서 사용되는 비료가 하천으로 유입됨으로써 수중 질소 농도의 증가를 초래한다. 인 또한 생물체 내에서 중요한 역할을 하는 요소로, 에너지 전달, 세포막 구성, DNA 및 RNA의 중요 구성 요소 등에 관여한다. 자연 상태에서 인은 주로 암석에 존재하며, 이는 토양과 수역으로 이동하여 식물과 조류에 의해 흡수된다. 농업에서 사용되는 비료에 포함된 인이 하천으로 유입되는 것 역시 영양염류 농도를 증가시키는 주요 원인 중 하나이다. 여름철 기온 상승과 영양물질의 증가는 남조류의 대량 번식에 이상적인 환경을 조성한다. 수체의 정체 상태는 이 과정을 더욱 촉진시키며, 조류의 광합성 작용으로 인한 빠른 증식은 조류의 Chlorophyll-a 농도의 증가와 직결된다. Chlorophyll-a는 광합성 과정에서 빛 에너지를 화학 에너지로 변환하는 데 필수적인 역할을 하는 엽록소 분자 중 하나로, 주로 녹색 식물, 조류, 그리고 특정 박테리아의 엽록체 내에서 발견된다. 조류, 특히 녹조류 내에서 Chlorophyll-a의 농도가 증가하면, 이는 광합성 작용을 통해 더 많은 에너지를 생산하고, 결과적으로 물 환경 내에서 녹조 현상의 주된 원인이 된다. 이를 통해 수체의 색상 변화 및 조류의 생장 및 번식 속도의 지표로 활용된다(이진경, 2023.).

또한, 물 환경에서 과도하게 번식하는 일부 미세 조류나 식물성 플랑크톤을 가리키는 용어인 조류는 특히 물속에서 영양염류가 풍부한 환경에서 발생한다. 이처럼 식물성의 특성을 가지고 있는 조류인 녹조를 파장별 분석을 하면 조류는 400nm에서 750nm 사이의 가시광선 파장을 이용하여 광합성을 수행하며, 이 과정에서 광합성 색소가 빛을 흡수한다. 색소의 종류에 따라 흡수, 반사 또는 투과되는 빛의 파장이 변하지만, Chlorophyll-a은 가시광선 스펙트럼 내 특정 파장에서 빛을 효과적으로 흡수하는 성격을 가지고 있다. Chlorophyll-a는 청색에서 청자색인 400nm에서 500nm 및 적색에서 황적색인 620nm에서 700nm 파장 영역의 빛을 주로 흡수하며, 녹색 파장 영역인 500nm에서 600nm의 빛은 상대적으로 적게 흡수한다. 이는 Chlorophyll-a이 녹색으로 보이는 원인이며, 조류의 색상이 녹색으로 나타나는 이유이다(송동열. 2015.).

Chlorophyll-a는 남조류의 광합성 활동을 평가하는데 있어 필수적인 지표로 활용된다. 남조류의 성장 및 번식과 Chlorophyll-a 농도의 증가는 직접적인

www.kci.go.kr

상관관계를 가지고 있다. 이 농도는 남조류가 생태계 내에서 차지하는 지위와 영향력을 나타내는 지표로 기능하며, 수질 환경의 변화와 연관되어 수질 오염을 지표하는 수단으로도 사용된다. 또한 Chlorophyll-a 농도의 변동은 남조류의 대량 번식을 예측하는 데 중요한 역할을 하여, 수체의 생물학적 건강 및 수질 상태를 모니터링하는 데 있어 매우 유용한 정보를 제공한다. 이러한 이유로 Chlorophyll-a는 남조류의 생태적 및 환경적 영향을 평가하는데 있어 지표 역할을 한다..

남조류의 경우 마이크로시스티스(Microcystis), 아나베나(Anabaena), 아파니조메논(Aphanizomenon)과 같은 종이 존재한다. 마이크로시스티스의 경우 점액질 매트릭스 안에서 구형 세포들이 집합체를 형성하는 시아노박테리아로, 마이크로시스틴과 같은 간독소를 생산한다. 아나베나의 경우 필라멘트 형태의 시아노박테리아로, 공기주머니를 포함해 물 속에서 부유하며, 신경독소와 간독소를 포함한 독소를 생산한다. 또한, 아파니조메논은 긴 필라멘트를 형성하는 시아노박테리아로, 신경독소를 포함하며, 대량 발생 시 수생 환경에 관하여 대량 물고기 폐사와 수생식물의 성장 저하에 영향을 미친다. 이처럼 해당 종들은 높은 수온에서 번성하고, 특정 조건에서는 불쾌한 냄새나 인간 및 수생태계에 유해한 독소를 생산한다. 이러한 독소는 식수원으로 사용되는 수체에서 녹조가 발생할 경우 인간의 폐나 면역력 저하 같은 위험을 초래한다.

이처럼 녹조 현상의 발생은 다양한 환경적, 생물학적 요인들이 복합적으로 작용하는 결과이며, 이로 인한 부정적 영향은 단지 수환경에만 국한되지 않고 인간 사회 전반에 걸쳐 심각한 문제를 야기한다. 이에 따라, 녹조 현상의 관리와 예방은 지속 가능한 수자원 관리 및 보호 정책의 중요한 부분을 구성하며, 이는 과학적 연구와 정책 결정 과정에서 중대한 관심사가 되어야 한다. 오염원의 관리, 영양물질 유입의 감소, 수체 복원 프로젝트의 실행과 같은 종합적인 접근 방식은 녹조 발생을 줄이고 수생태계의 건강을 유지는 것에 있어 필수적이다(박혜경, 2014.).

본 논문에서는 Chlorophyll-a를 분석하기 위해 기존의 연구 결과를 바탕으로 Chlorophyll-a와 H, S, V 값과의 상관관계를 검토하였다. 선행 연구에 따르면, Chlorophyll-a와 H의 상관계수(R^2)는 0.7474, Chl-a와 S의 상관계수는 0.5093, Chlorophyll-a와 V의 상관계수는 0.9349로 나타났다. 이는 녹조의 주된 색상인 녹색의 영향을 받는 데이터 분포와 관련이 있으며, 특히 H와 S의 낮은 상관계수는 이들 변수가 녹조의 양과 직접적인 상관관계가 낮다는 것을 시사한다(정은정, 2021.).

이러한 분석을 통해 특히 노출된 것은 Chlorophyll-a와 V 간의 높은 상관관계이다. 녹조의 밀도가 증가할수록 명도가 낮아지는 경향을 보였으며, 이는 녹조가 적을 때와 비교하여 명도가 높아지는 경향과 대조적이다. 이와 같은 상관관계를 바탕으로 Chlorophyll-a의 농도에 따른 V 값의 변화를 예측하는 회귀식 y = 0.4823x - 35.03이 제시되었다. 이 회귀식은 녹조의 밀도와 명도 사이의 관계를 본 논문에서 정량적으로 판단하는데 사용되었다(정은정, 2021.).

www.kci.go.kr

5. 다분광 이미징을 활용한 조류 발생 탐지와 분석

과거 녹조 감시 방법은 주로 현장에서 특정 지점의 샘플을 직접 채취하고, 이를 실험실로 이송하여 분석하는 방식에 의존하였다. 이러한 접근법은 샘플링 된 지점에서의 녹조 농도를 측정할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 강이나 하천과 같은 광범위한 수역에서의 조류 분포를 종합적으로 이해하는 데는 한계가 있었다. 이러한 문제에 대응하기 위하여, 드론과 가시광선을 활용한 녹조 모니터링 기법에 대한 초기 연구가 진행되었다. 특히, RGB(빨강, 초록, 파랑) 사진을 촬영한 후 이를 HSV 색 공간으로 변환하여 녹조의 농도를 추정하는 방식이 개발되었다. 여기서 HSV 색 공간은 색상(Hue), 채도(Saturation), 및 명도(Value)으로 구성되며, 색의 질감과 밝기를 인간의 시각적 인식에 더욱 근접하게 표현할 수 있는 이점을 제공한다. 색상은 0도에서 360도 사이의 색상환에서 정의되며, 채도는 색의 순수성을 백분율로 나타내고, 값은 색의 밝기를 의미한다. 이 과정을 통해 얻어진 데이터를 기반으로 3D 그래프를 생성하는 방법이 도입되었다(정은정, 2021.). 하지만 가시광선을 사용하는 이 방식은 몇 가지 한계가 있다. 조류의 세포는 수 마이크로미터 크기로, 빛의 파장과 비슷하거나 작아 빛이 세포를 통과할 때 방향이 변경되어 산란 현상이 발생한다. 또한, 조류는 Chlorophyll-a과 같은 광합성 색소를 포함하고 있어 특정 파장의 빛을 흡수하고 나머지 파장은 반사하거나 산란시킨다. 이는 가시광선을 사용한 분석에서 정확한 식별을 어렵게 만드는 요인이다. 또한, 사진을 이어붙이는 스티칭 방법에서는 사진의 노출이 일정하지 않거나 물의 반사로 인해 노출 과다가 발생하는 부분들에 대한 고려가 부족하다. 이러한 문제들은 분석의 정확성을 저하시킬 수 있으며, 추가적인 검증이 필요하다.

이러한 한계를 극복하기 위해 현재 다분광 이미징 기술이 활용되고 있다. 다분광 이미징은 다양한 파장의 빛으로 객체나 장면을 촬영하여 분석하는 기술로, 특정 물질의 구성 요소나 상태를 정밀하게 파악하는 데 필수적인 역할을 한다. 본 기술은 가시광선 스펙트럼을 초월하여 각기 다른 파장에서의 반사율 및 흡수율을 측정함으로써 광범위한 정보를 제공한다는 점에서 차별화된다. 다분광 이미징을 이용한 조류 발생 모니터링 연구는 복수의 파장대에서의 광학적 분리를 가능하게 하는 센서 기반의 접근법을 채택하고 있으며, 이를 통해 대상의 물리적 및 화학적 특성을 상세히 분석하고 정보를 도출하는 방식으로 진행되고 있다. 특히, 환경적 문제인 조류 발생의 감시에서 다분광 카메라는 Chlorophyll-a와 같은 특정 화합물의 농도 측정에 있어 중요한 기능을 수행한다. 이 기술은 다양한 파장대의 빛을 분리하여 각 스펙트럼 밴드에서 얻은 데이터를 기반으로 대상을 분석하는 원리에 기초하고 있다.

다분광 이미징 기술에 관한 연구들의 경우 먼저 초분광 이미징 기술과 연계성이 존재한다. 해당 기술은 물체나 환경을 넓은 파장 범위에 걸쳐 매우 세밀하게 캡처할 수 있는 센서 기반의 기술로 정의될 수 있다. 이 기술은 연속적인 스펙트럼을 통해 대상의 물리적 및 화학적 특성을 고해상도로 분석할 수 있는 능력을 가지며, 수질 분석을 포함한 다양한 응용 분야에서의 잠재적 이점을 제

www.kci.go.kr

공한다. 이를 활용하여 무인 항공 시스템과 다중분광 센서를 활용한 조류 발생 모니터링 연구에서는 높은 해상도와 정밀성을 제공하였지만, 대량의 데이터 처리와 분석의 복잡성, 그리고 환경적 영향 요인을 최소화하기 위한 추가적인 연구가 필요하다는 한계가 지적되었다(김흥민, 2021). 이외에도, 조류 발생 연구에서 무인 비행 시스템과 다분광 카메라를 활용한 고해상도 정사 영상 및 식생 지수 활용은 Chlorophyll-a 농도와의 상관성 분석을 통해, 센서의 특정 조건에서의 제한성과 정사 영상 생성의 복잡성을 드러냈다. 추가적으로, 드론 기반 다중분광 센서를 사용한 연구에서는 분광 지수의 적용성 평가 및 Red-edge 밴드를 포함한 지수가 Chlorophyll-a농도 추정에 있어 높은 상관성을 나타내었다는 점을 강조하였다(추연우, 2018).

해당 선행 연구들에서 다분광 및 초분광 이미징 기술의 공통된 한계점으로는 주로 다분광 카메라의 기술적 특성과 경제적 요인에서 비롯된 문제점들이 존재한다. 첫 번째로, 다분광 카메라는 그 구조상 일반 카메라에 비해 상대적으로 낮은 해상도를 가진다. 이로 인해 수집된 데이터의 품질이 제한적일 수 있으며, 이는 분석의 정확도에 직접적인 영향을 미친다. 다분광 카메라의 대략적인 해상도는 400만 화소인것에 있어 일반 디지털 상용 카메라의 경우 4000만 화소의 해상도를 가지고 있다. 이처럼 다분광 혹은 초분광 카메라는 낮은 해상도는 특히 세밀한 이미지가 요구되는 환경 모니터링에 있어 정확한 데이터 해석에 있어 어려움이 존재한다.

두 번째 한계는 경제적 측면에서 나타난다. 다분광 카메라는 일반 카메라에 비해 상대적으로 가격이 높게 형성되어 있으며, 이는 상용화 과정에서 큰 제한요소로 작용한다. 높은 가격은 특히 제한된 예산을 가진 소규모 연구팀이나 개발도상국에서의 접근성을 제한할 뿐만 아니라, 광범위한 산업적 적용에 있어 제한 요소들이 발생하게 된다.

이러한 한계들을 극복하기 위해서는 기술적 개선과 경제적 접근성 향상을 동시에 추구하는 종합적인 접근 방식이 요구되어져야 된다. 이를 통해 본 논문에서는 상용화가 되어진 일반 디지털 카메라를 가지고 개조하여 녹조를 분석하는 것에 의의를 두고 실험을 진행하였다.

III. 연구내용 및 방법

본 연구는 가시광선 및 적외선(IR) 촬영 기술을 활용하여 수생 식물, 남조류의 Chlorophyll-a, 및 부유물의 광학적 특성을 비교 분석하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 구름, 태양 빛의 양, 태양의 각도 등 외부 환경 변화가 촬영 결과에 미치는 영향을 주요 변수로 고려하였다. 이러한 외부 환경 변화는 녹조 및 수생 식물의 반사율에 변화를 일으키므로, 가시광선과 적외선 촬영에서 나타나는 광학적 특성의 변화를 정밀하게 분석하고 이해하는 것이 필수적이다. 이 부분은 객체의 농도 차이와 더불어 물에 반사되는 부분이 얼마나 영향을 미치는지에 대해 분석할 수밖에 없다고 판단되었다.

www.kci.go.kr

실험은 IR 720, IR 850, IR 1000 및 IR cut-off 필터를 사용하여 수행되었으며, 이를 통해 촬영 데이터를 수집하고 분석하였다. 촬영 데이터는 녹조, 수생 식물, 및 부유물을 구분할 수 있는 최적의 촬영 파장 범위를 상대적으로 비교하기 위해 활용되었다. 이러한 과정을 통해 수중 생태계 내 녹조와 수생식물 및 부유물의 식별 정확성과 신뢰성을 향상시키고자 한다. 또한, 가시광선과 적외선 촬영 기술의 비교 분석하여 보다 정확한 환경 모니터링 방법을 제시하고자 한다.

본 연구의 초기 단계에서는 동명저수지로부터 남조류를 포함하는 녹조 수생 환경 샘플을 5리터 채취하여 실험을 진행하였다. 샘플은 저수지의 표층 수표면 포함 수심 50CM 이내의 깊이에서 채취하고, 전체수심의 1/2와 바닥 부분에 위치한 깊에서 시료를 채취하여 혼합해 시료를 제작하였다. 또한, 채취한 샘플은 신속하게 실험 장소로 이송된 후 유리제 수조에 주입되었다(2022, 정은경). 샘플이 수조 내에서 균일한 분포를 이룰 수 있도록, 주입 직후 5분간의 안정화 시간을 두어 유동성을 감소시킨 후 촬영 전처리 과정을 시행하였다. 이러한 전처리 과정은 광학 측정의 정확도 및 신뢰성을 높이기 위해 실험실에서 실험할 때 동일하게 적용되었다. 본 전처리 절차는 연구의 기본 설정과 일관되면서도, 외부 환경 변화를 고려한 광학적 촬영 기술의 개발과 수중 생태계 내 생물체 식별의 정확성 및 신뢰성 향상을 위해 실시하였다.

실험을 위해 광학적 측정으로는 니콘 D800 디지털 DSLR 카메라가 사용되었으며, 내부 IR cut-off 필터를 제거한 후, IR 720, IR 850, IR 1000 필터와 IR cut-off 필터를 순차적으로 장착하여 사용하였다. 본 연구에서는 특히, 광학적 데이터 취득 시 발생할 수 있는 왜곡을 최소화하고자 카메라 렌즈의 초점 거리를 35mm 표준화각인 50mm로 설정하였다. 이는 실험 데이터의 정밀성 향상을 위한 조치였다.

이후 취득된 이미지 데이터는 파이썬 기반의 분석 알고리즘을 통해 처리되었다. 먼저, 이미지로부터 RGB 데이터를 획득한 후, OpenCV와 파이썬을 이용하여 RGB 데이터를 HSV파일로 변환하였다. HSV 모델은 인간의 시각과 유사한 방식으로 색상을 표현하여 RGB 모델보다 정교하게 색상을 구분할 수 있다. 그런 다음, Chlorophyll-a(Chl-a)와 HSV 데이터 간의 상관관계를 도출하였으며, 실험 대상 지역에서 획득한 Chl-a 값과 H, S, V 값의 상관관계를 정립하고. Chl-a와 V 채널 간의 관계식을 기반으로 2D 모델을 구축하였다. 이를 위해 파이썬을 사용하여 HSV 데이터를 읽고, Chl-a 농도에 따라 V 값을 분류한 후, 이를 기반으로 농도지도를 생성하였다.

1. 녹조 파장 실험

1) 실험방법의 개관

(1) 회색 배경지

www.kci.go.kr

본 연구에서는 녹조 파장 실험에서 회색 배경지를 사용하여 가시광선 및 적외선 촬영을 수행하였다. 회색 배경지는 중립적인 반사율을 제공하기 때문에 선택되었다. 근적외선 촬영에서 회색 배경은 다양한 근적외선 파장에 대해 일정한 반사율을 제공하여, 촬영 대상과 배경 사이의 명확한 대비를 형성하고 대상의 특성을 더욱 선명하게 드러내준다. 이는 영상 처리 과정에서 대비, 밝기, 색상 조정 시 일관된 기준을 제공함으로써 결과의 재현성과 비교 분석을 용이하게 한다.

회색 배경은 다음과 같은 이유로 실험에서 중요한 역할을 한다. 첫째, 중립적인 반사율을 유지하여 대상 물체의 실제 특성을 왜곡하지 않고 정확하게 반영한다. 둘째, 중립적인 색상으로 인해 대상과 배경 간의 명확한 대비를 형성하여, 대상의 세부 특성을 더욱 뚜렷하게 나타낼 수 있다. 셋째, 영상 처리 과정에서 대비, 밝기, 색상 조정 시 일관된 기준을 제공하여, 결과의 재현성을 높이고 비교 분석을 용이하게 한다.

반면, 흰색 배경지와 검정색 배경지는 중립적인 반사율을 제공하지 못하여 실험에 적합하지 않다. 흰색 배경지는 과도한 반사로 인해 촬영 대상의 세부적인 특성을 가리며, 명암 대비를 과장시켜 실제와 다른 이미지를 생성할 수 있다. 특히, 밝은 대상의 경우 흰색 배경과의 구분이 어려워질 수 있다. 검정색 배경지는 극히 낮은 반사율로 인해 촬영 대상의 세부적인 특성을 강조하기보다는 어둡게 만들어, 대상의 윤곽을 불분명하게 하고 세부 정보의 손실을 초래할 수 있다.

실험 방법의 구체적 적용으로는 회색 배경지를 가시광선 및 적외선 촬영 모두에 사용하며, 카메라와 대상 사이에 배치하여 대상의 특성을 명확히 드러낸다. 촬영된 이미지는 영상 처리 소프트웨어를 통해 분석되며, 회색 배경을 기준으로 한 대비, 밝기, 색상 조정을 통해 대상의 특성을 정확히 분석한다.

결론적으로, 회색 배경지의 사용은 녹조 파장 실험에서 대상을 명확히 구분하고 정확히 분석하는 데 필수적이다. 중립적인 반사율을 제공함으로써 실험 결과의 재현성과 신뢰성을 높일 수 있으며, 이는 녹조 현상의 정확한 특성 파악과 분석에 중요한 기여를 한다.

(2) 적외선 패치

적외선 패치는 디지털 적외선 사진술에서 중요한 도구로서, 특수 제작된 반사율을 가진 패치를 활용하여 적외선 사진의 노출을 결정하고 최적화하는 데 기여한다. 이 패치들은 다양한 반사율을 제공함으로써, 적외선 사진에서 객체의 명암과 톤을 정밀하게 조절할 수 있는 가능성을 제공한다. 본 연구에서 사용된 적외선 패치에 대한 반사율은 다음과 같다. Carbon Black의 경우 평균 반사율이 1.6%, Mixed pigment(C+Y)의 경우 4.2%, Hard Anodizing Aluminum의 경우 10.1%, Soft Anodizing(matte) Aluminum의 경우 23.2%, Soft Anodizing(gloss) Aluminum의 경우 53.0%, 그리고 yellow 10P150의 경우 평균 반사율이 88.6%에 해당한다. 이러한 패치들은 Carbon Black에서 1.6%의 극도로 낮은 적외선 반사

www.kci.go.kr

율을 시작으로, yellow 10P150에서는 88.6%에 이르기까지 폭넓은 반사율 범위를 제공한다. 가장 어두운 Carbon Black 패치는 제조사의 반사방지 페인트보다도 낮은 반사율을 보여주며, 이는 먼셀 명도 값 1을 나타내어 적외선 사진에서의 극도의 명암과 톤 조절을 가능하게 한다. 패치 세트는 카본블랙, 혼합 안료, 다양한 처리를 거친 알루미늄(경질, 연질무광, 연질유광), 그리고 high-reflectance yellow 10P150로 구성되어 있으며, 이는 적외선 반사율이 높은 주요 안료로 활용된다. GOLDEN사의 acrylic heavy carbon black은 높은 적외선 흡수율을 가지는 탄소성분이 사용되었다(박우성, 2020.). [그림 3]의 패치을 사용함으로써, 적외선 사진에서의 세밀한 노출 조정을 통해 동일한 농도의 재현을 가능하게 만들고자 하였다.



그림 3. 적외선 패치

(3) IR 필터

본 연구에서는 녹조 파장 실험을 위해 세 가지 IR 필터를 이용하여 분석하고자 하였다. IR 필터는 특정 파장의 빛을 선택적으로 통과시키거나 차단함으로써, 실험의 정확성과 결과의 신뢰성을 높이는 데 중요한 역할을 한다. 특히, 적외선 필터는 녹조의 분광 특성을 분석하는 데 유용하다.

[그림 4]의 그래프에서는 세 가지 다른 적외선 필터의 투과율을 비교하였다. IR 720 필터는 약 720nm에서 투과율이 급격히 증가하며, 이는 필터가 이 파장 이상에서 빛을 거의 완전히 통과시키도록 설계되었음을 나타내었다. 한편 IR 850 필터는 약 850nm에서 투과율이 급상승하는 경향을 보이며, 850nm 이상에서 높은 투과율을 나타내었다. 이 필터는 더 긴 파장의 적외선 빛을 선택적으로 통과시키도록 설계되어 있으며, IR 720 필터보다 더 긴 파장을 허용하였다. 마지막으로 IR 1000 필터는 약 1000nm에서 투과율이 상승하며, 이는 매우 긴 파장의 적외선을 허용하며 더 짧은 파장을 차단하는데 사용될 수 있음을 보여준다.

이와 같은 IR 필터들의 특성을 이해함으로써, 우리는 녹조의 분광 특성을 보다 정확히 분석할 수 있다. 각각의 필터는 특정 파장 대역의 빛을 통과시키기 때문에, 실험 과정에서 필요한 파장 대역을 선택적으로 측정할 수 있다. 이러한 필터들의 비교 분석은 실험 방법 선택에 중요한 참고자료가 된다.

www.kci.go.kr

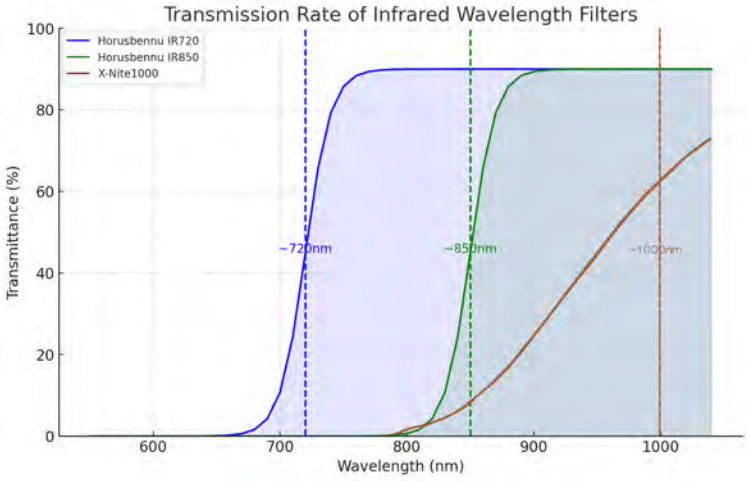


그림 4. Transmission Rate of Infrared Wavelength Filters(Kannan, 2024.)

(4) HSV 전환 코드

본 연구에서는 RGB 색 공간에서 HSV 색 공간으로의 변환 과정이 디지털 이미지 처리, 특히 녹조 실험에 있어서의 중요성을 다룬다. RGB 색 모델은 빨강, 초록, 파랑의 세 가지 기본 색을 사용하여 색상을 구성하며, 이는 대부분의 디지털 디스플레이 및 이미지 센서에서 표준적으로 사용된다. 반면, HSV 색 모델은 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Value)를 기반으로 하여 인간의 색상 인식에 보다 근접하게 설계되었다는 장점을 지니고 있다.

색상은 색의 종류를 결정하는 요소로, 색상 원에서의 위치에 따라 0도에서 360도 사이의 각도로 표현된다. 예를 들어, 녹조 연구에서는 초록색에 해당하는 약 120도의 색상 값을 분석하는 것이 중요하다. 채도는 색의 강도를 나타내며, 순수한 색에 가까울수록 채도가 높다. 이는 녹조의 강도를 평가하는 데 유용하며, 0%에서 100% 사이에서 측정된다.

명도는 색의 밝기를 나타내며, 높을수록 밝은 색, 낮을수록 어두운 색을 의미한다. 녹조의 명도 측정은 물의 상태 및 녹조의 분포를 평가하는 데 있어 핵심적인 지표로 활용된다. HSV 색 공간은 이러한 색상의 다양한 측면을 보다 직관적으로 조작할 수 있게 하며, 특히 녹조 관련 실험에서 색상 조정과 분석을 용이하게 한다.

① 색상

Hue는 색상을 나타내며, R, G, B 값의 차이를 사용하여 계산된다. 먼저, R 과 G, R B 과 의 차이를 더하고 이를 절반으로 나눈 값을 분자로 사용한다. 그 다 음, R G 과 의 차이의 제곱과 과 의 차이와 와 의 R B G B 곱을 더한 값을 분모로 사용하여 아크 코사인을 취한다.

www.kci.go.kr

이때, 0으로 나누는 것을 피하기 위해 작은 상수 를 추가하였다. 결과는 라디안에서 도 단위로 변환된다. 코드는 표 [1]의 내용 을 참고하여 계산하였다.

표 1. Hue (H) 계산

```
# Hue (H) 계산
numerator = 0.5 * ((R - G) + (R - B))
denominator = np.sqrt((R - G)**2 + (R - B) * (G - B))
theta = np.arccos(numerator / (denominator + 1e-10))  # 0으로 나누는 것을 피하기 위해 작은 상수를 추가
H = np.degrees(theta)  # 라디안에서 도로 변환

# B > G인 경우 H 값을 조정
H[B > G] = 360 - H[B > G]
```

② 채도

[표 2]처럼 채도는 은 색의 순도를 나타내며, RGB 값 중 가장 작은 값을 사용하여 계산된다. 다음 코드는 RGB 값 중 최소값을 찾은 후, 이를 총합으로 나눈 값을 사용하여 채도를 계산한다. 0으로 나누는 것을 피하기 위해 작은 상수를 추가하였다.

표 2. Saturation (S) 계산

```
# Saturation (S) 계산
min_rgb = np.minimum(np.minimum(R, G), B)
S = 1 - (3 * min_rgb / (R + G + B + 1e-10))  # 0으로 나누는 것을 피하기 위해 작은 상수를 추가
```

③ 명도

[표 3]처럼 명도는 주어진 이미지의 RGB 값의 평균으로 계산된다. 이는 이미지의 밝기를 나타낸다. 다음 코드는 각 픽셀에 대해 R, G, B 값을 더한 후 3으로 나누어 평균값을 구한다.

표 3. Value (V) 계산

```
# Value (V) 계산
V = (R + G + B) / 3
```

www.kci.go.kr

(4) HSV와 Chlorophyll-a 농도 지도 분석 및 코드

선행 연구에서 Chlorophyll-a(Chl-a)와 Hue(H) 간의 상관관계 분석 결과, 결정계수(R^2)는 0.7474로 비교적 높은 상관관계를 나타냈다. 이는 Chl-a 농도가 Hue에 일정한 영향을 미친다는 것을 의미하지만, 다른 변수와 비교했을 때 Hue와의 상관관계는 다소 낮은 편이다. 반면, Chl-a와 Saturation(S) 간의 상관관계는 결정계수(R^2) 값이 0.5093으로 상관관계가 상대적으로 낮게 나타났다. 이는 Chl-a 농도가 Saturation에 미치는 영향이 크지 않음을 시사하며, 녹조 데이터가 녹색 범위 내에 분포하여 Hue 및 Saturation과의 상관관계가 낮게 나타났다(2021, 정은정.).

Chl-a와 Value(V) 간의 상관관계는 결정계수(R^2) 값이 0.9349로 가장 높은 상관관계를 보였다. 이는 Chl-a 농도가 증가함에 따라 명도(V)가 뚜렷하게 변화함을 의미한다. 녹조가 많이 분포할수록 명도(V)는 낮아지고, 녹조가 적을수록 명도(V)가 높아지는 경향을 보임으로써 Chl-a와 명도(V) 간의 높은 상관관계를 설명할 수 있다. 녹조 데이터가 녹색 범위 내에 주로 분포하기 때문에 Hue(H)와 Saturation(S)과의 상관관계가 낮게 나타난다. 녹조의 색상 변동이 Hue와 Saturation에 미치는 영향이 제한적이므로 이러한 결과가 도출된 것으로 보인다(2021, 정은정.).

녹조가 많이 분포할수록 명도(V)는 낮아지고, 녹조가 적으면 명도(V)는 높아진다. 따라서 Chl-a 농도와 명도(V) 사이의 높은 상관관계가 나타난다. 이는 Chl-a 농도 예측에 명도(V)가 유효한 지표로 사용될 수 있음을 의미한다. Chlorophyll-a(Chl-a)와 명도(V) 간의 상관관계는 다음과 같은 회귀식을 통해 나타낼 수 있다: y=0.4823x-35.03y=0.4823x-35.03. 이 식을 통해 각 Chl-a 농도별 V 값을 도출할 수 있다(2021, 정은정.).

[표 4]는 Chl-a 농도에 따른 V 값을 나타낸다. Chlorophyll-a 농도가 10일 때 V는 93, 20일 때 V는 115, 30일 때 V는 135, 40일 때 V는 156, 50일 때 V는 176, 60일 때 V는 197, 70일 때 V는 218, 80 이상일 때 V는 255로 증가하는 경향을 보인다(2021, 정은정.). 이 표는 Chl-a 농도에 따라 V 값이 증가하는 경향을 보여주며, Chl-a 농도와 명도(V) 사이에 대한 내용을 농도 지도로 제작하였다.

www.kci.go.kr

표 4. Chlorophyll-a 농도과 V값 상관관계

Chlorophyll-a (μg/L)	V color model
10	93
20	115
30	135
40	156
50	176
60	197
70	218
80~	255

2) 실험환경 및 방법

본 실험은 녹조의 탐지 및 분석을 위한 실험적 접근법을 모색하기 위해 수행되었다. 구체적인 실험 환경에서는 NIKON D800 카메라를 사용하였으며, 이 카메라는 적외선 촬영을 위해 IR-CUTOFF 필터를 제거하고 개조하여 적외선 카메라로 활용되었다. 카메라 세팅은 최대 해상도인 3,630만 화소의 RAW 형식으로 촬영하였다. 또한, 초점거리를 50㎜로 촬영을 진행하였다. 또한, 카메라 렌즈의 조리개를 최대 개방값인 F4로 설정하여, 적외선 촬영에서 발생하는 회절을 최소화 하였다(주종우, 2008). 또한, NIKON D800 카메라(24~120㎜ F4 렌즈 포함)가 삼각대에 고정되어 사용되었다. 실험 환경의 경우 필터는 가시광선 촬영 시에는 XNiteCCI 전용 필터(IR-CUTOFF 필터)를 사용하였고, 적외선 촬영 시에는 IR 720, IR 850, IR 1000 필터를 순차적으로 사용하였다. 각 환경에 따라 녹조 촬영 시에는 브라케팅을 이용하여 여러 장을 촬영한 후, [그림 5]처럼 적외선 촬영시 각 필터의 적정 농도에 따른 분석을 위해 적외선 전용 노출 패치를 사용하여 적정 노출값이라고 판단되는 사진을 선택하였다. 이후 선택한 사진을 가지고 포토샵으로 필요 부분만 트리밍하여 진행하였다.

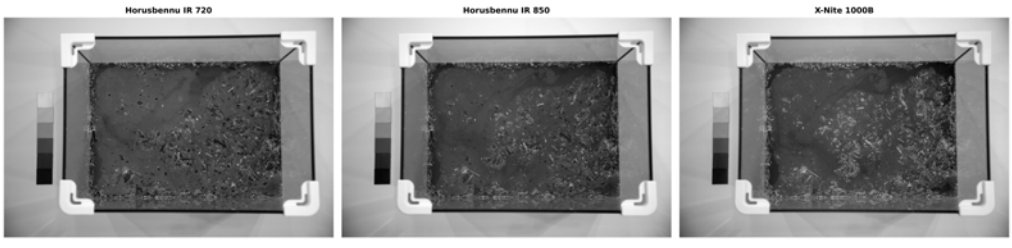


그림 5. 적외선패치 적용

본 실험에서는 두 가지의 환경에서 수행되었다. 첫 번째는 동명저수지에서 낮 12시부터 14시 사이에 이루어진 가시광선 및 적외선 촬영이며, 두 번째는

www.kci.go.kr

동일 수역에서 채취한 약 5L의 녹조 샘플을 유리 수조에 부어 진행된 실험이다. 해당 환경에서의 실험에서는 적외선 필터 사용으로 인한 노출 감소를 고려하여 셔터 스피드를 확보하기 위해 수조에 샘플을 부은 지 약 5분 후 가시광선과 적외선 촬영를 실시하였다. 또한, 두가지의 환경에서 진행된 촬영의 경우 자연광이라는 동일한 조건으로 촬영이 이루어졌다. 다만, 유리 수조 실험에 사용된 회색 배경지의 경우 바닥에서 반사되는 빛의 양을 조절함으로써 객관적인 데이터 취득을 하기위해 추가로 사용되었다. 이처럼 실험의 정밀도를 높이기 위해 유리 수조와 회색 배경지 및 일조량을 제외하고는 동일하게 실험이 진행되었다.

본 연구에서는 이미지 처리 시스템의 순서도를 [표 5]와 같이 설계하였다. 첫 단계에서는 개조된 NIKON D800 카메라를 사용하여 이미지 데이터를 RGB 형식으로 수집하였다. 이후, 수집된 RGB 데이터를 파이썬과 OpenCV를 활용하여 HSV 형식으로 변환함으로써 색상 정보의 해석을 용이하게 하였다. 그 다음 단계에서는 Chlorophyll-a의 농도와 HSV 데이터 간의 상관관계를 분석하였다. 이를 통해 Chlorophyll-a의 농도와 V 채널 값 사이의 관계를 농도지도로 시각화하였다. 추가로, 개구리밥, 나뭇가지 및 Chlorophyll-a에 관한 분석을 수행하였으며, 물 표면에서 나타나는 물 반사에 대한 부분의 문제 유무를 확인하였다.

표 5. 이미지 처리 시스템 순서도

단계	설명
1	개조된 NIKON D800 카메라를 사용하여 이미지 데이터를 RGB 형식으로 수집
2	수집된 RGB 데이터를 파이썬과 OpenCV를 활용하여 HSV 형식으로 변환
3	Chlorophyll-a의 농도와 HSV 데이터 간의 상관관계를 분석
4	Chlorophyll-a의 농도와 V 채널 값 사이의 관계를 농도지도로 시각화
5	개구리밥, 나뭇가지 및 Chlorophyll-a에 관한 추가 분석 수행 및 물 표면에서 나타나는 물 반사에 대한 문제 유무 확인

IV. 실험 및 결과

1. 녹조 파장 실험 촬영 및 분석

1) 유리 수조

본 실험에서는 개조된 디지털 카메라를 사용하여 적외선 카메라의 투과 특성을 분석하고, 이를 통해 녹조와 녹조가 아닌 대상인 수생식물 및 부유물을 효과적으로 구분할 수 있는 최적의 파장대를 탐색하였다. 또한, 자연광 조건에서 발생하는 물의 반사 문제점을 평가하기 위한 것이다. 이를 위해, 자연광으로 사

www.kci.go.kr

용하는 실험 환경에서, 각기 다른 네 가지 필터를 사용한 이미지 촬영을 실시하였다. 구체적으로, IR 720, IR 850, IR 1000, 그리고 IR CUT-OFF 필터를 이용하여 NIKON D800을 개조한 적외선 카메라로 이미지를 촬영하였다.

(1) RGB Image에서 HSV Image의 변환

[그림 6]은 IR720 필터를 이용하여 촬영한 데이터 원본을 필요 부분만 트리밍하여 RGB Image에서 HSV Image의 변환한 사진이며, [그림 6], [그림 7], [그림 8]도 동일하다.

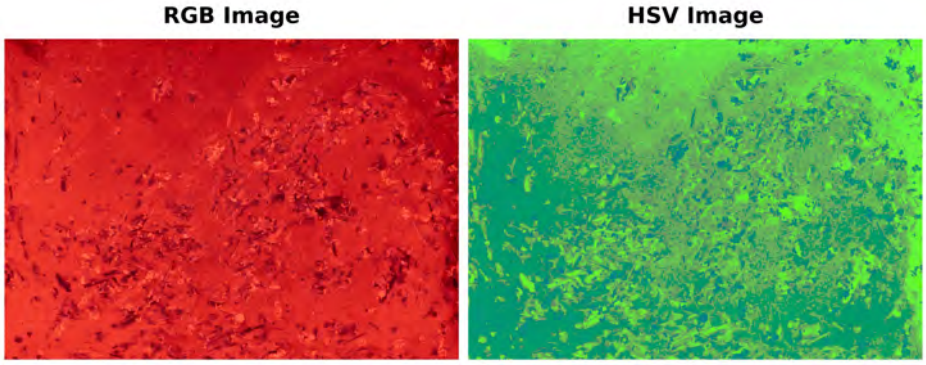


그림 6. IR 720 RGB Image에서 HSV Image 변환

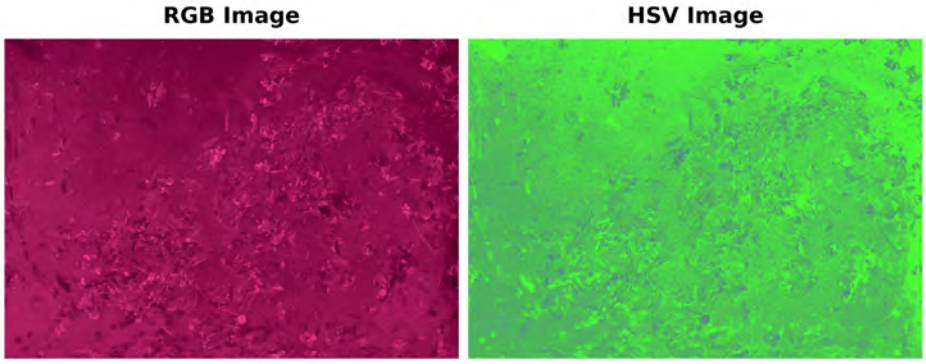


그림 7. IR 850 RGB Image에서 HSV Image 변환

www.kci.go.kr

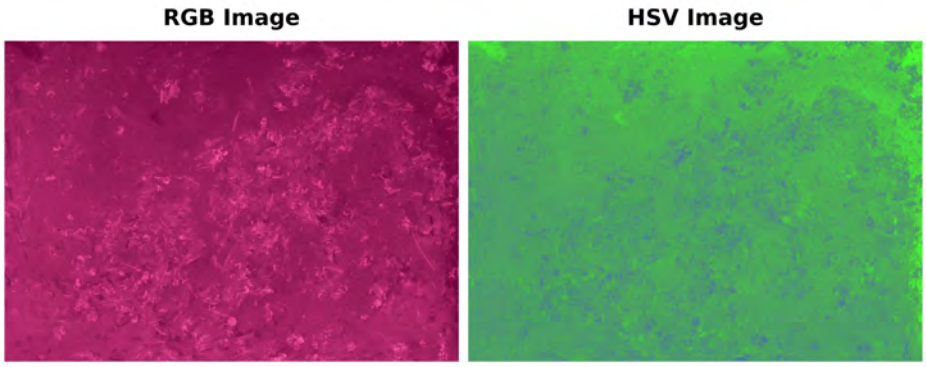


그림 8. IR 1000 RGB Image에서 HSV Image 변환

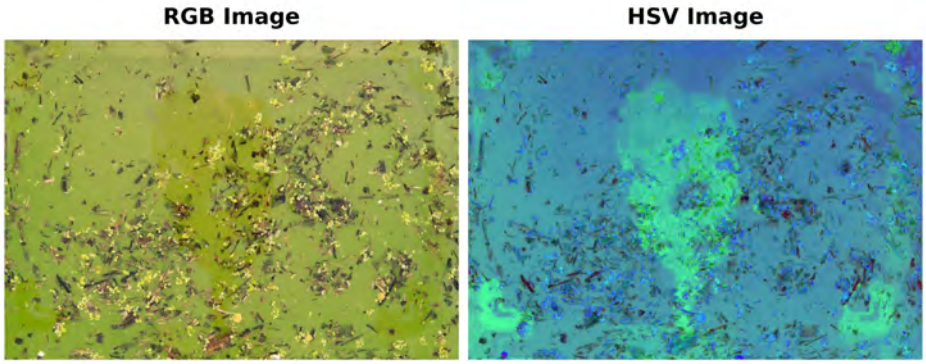


그림 9. IR CUT-OFF RGB Image에서 HSV Image 변환

(2) HSV Image 색상, 채도, 명도 분리 추출

RGB 이미지를 HSV 이미지로 변환한 후 각 파장에 대해 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Value)를 분리 추출하여 Chlorophyll-a(Chl-a)와의 상관관계를 분석하였다. 선행 연구에 따르면 Chl-a와 Hue 간의 결정계수(R^2)는 0.7474로 비교적 높지만, Chl-a와 채도 간의 결정계수는 0.5093으로 상대적으로 낮게 나타나 Chl-a 농도가 Saturation에 미치는 영향이 크지 않음을 시사한다. 가장 높은 상관관계를 보인 Chl-a와 명도 사이의 결정계수(R^2)는 0.9349로, 이는 녹조가 많이 분포할수록 명도가 낮아지고 녹조가 적을수록 명도가 높아지는 경향을 나타낸다. 이러한 결과는 녹조의 색상 변동이 색상과 채도에 미치는 영향이 제한적임을 시사하며, Chl-a 농도와 명도 사이의 높은 상관관계를 통해 명도가 Chl-a 농도 예측에 유효한 지표로 사용될 수 있음을 의미한다. 그러므로 분리 추출을 진행하였다. [그림 10], [그림 11], [그림 12], [그림 13]이에 해당한다.

www.kci.go.kr

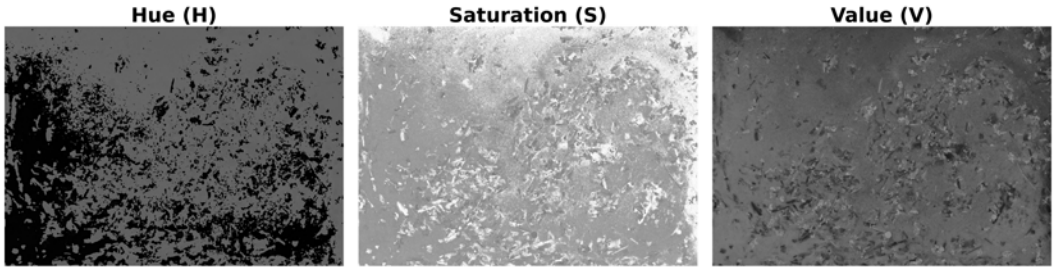


그림 10. IR 720 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Value) 분리 추출

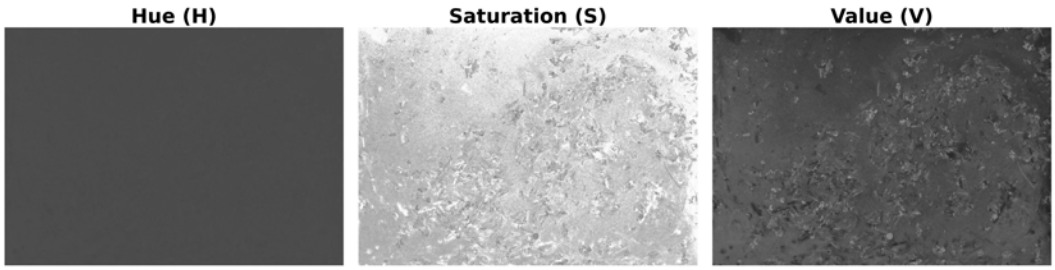


그림 11. IR 850 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Value) 분리 추출

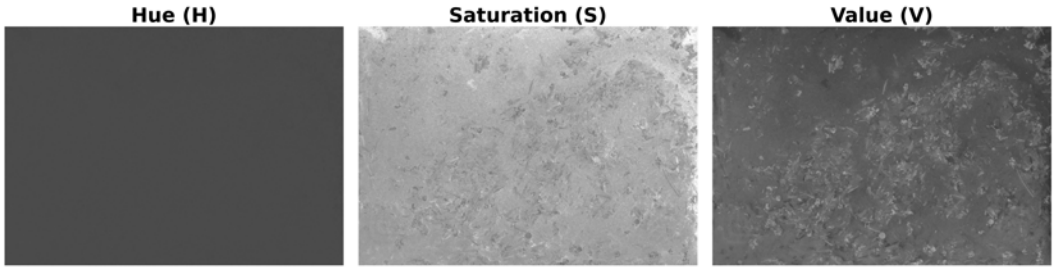


그림 12. IR 1000 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Value) 분리 추출

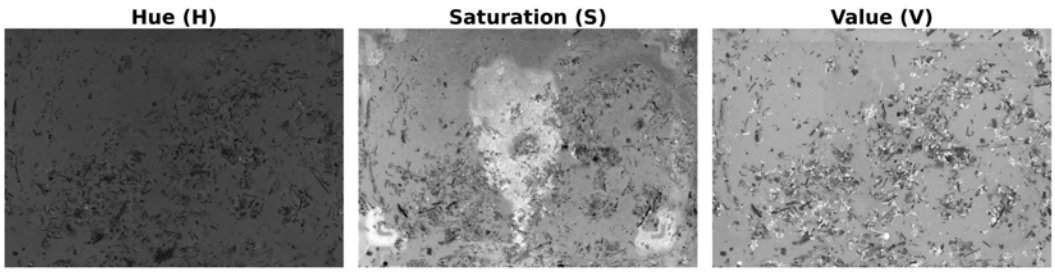


그림 13. IR CUT-OFF 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Value) 분리 추출

(3) 명도를 이용한 농도지도

RGB 이미지를 HSV 이미지로 변환한 후, 각 파장에 대해 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Value)를 분리 추출하였다. 가장 높은 상관관계를 보인 Chlorophyll-a(Chl-a)와 명도(Value)의 결정계수(R^2)는 0.9349로, 녹조가 많이

www.kci.go.kr

분포할수록 명도가 낮아지고, 녹조가 적을수록 명도가 높아진다. 이러한 경향은 명도가 Chl-a 농도 예측에 유효한 지표로 사용될 수 있음을 의미한다. 회귀식 y=0.4823x-35.03y=0.4823x-35.03을 통해 Chl-a 농도별 명도 값을 도출하여 농도 지도를 제작하였다. [그림 14], [그림 15], [그림 16], [그림 17]이 이에 해당하는 사진이다.

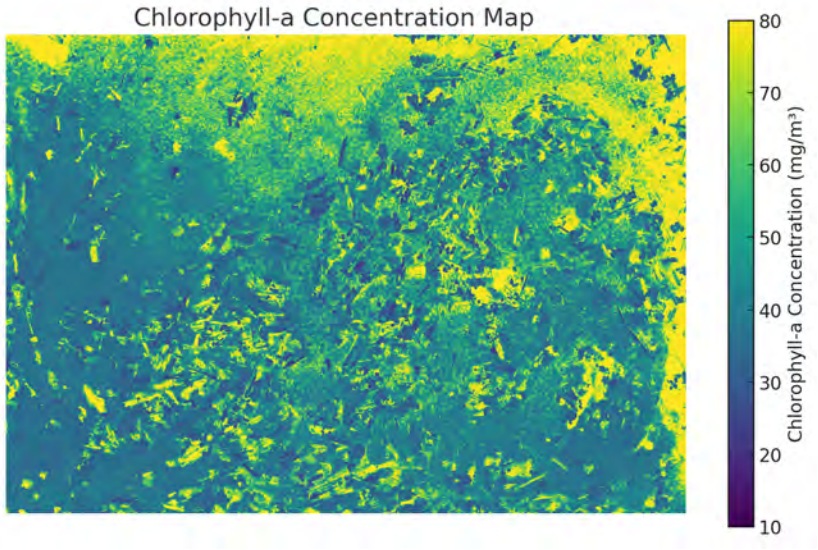


그림 14. IR 720 Chlorophyll-a Concentration Map

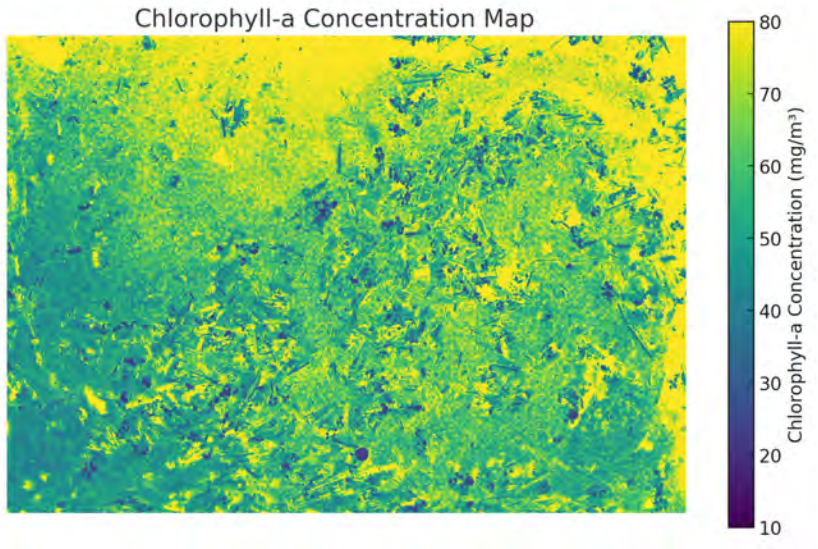


그림 15. IR 850 Chlorophyll-a Concentration Map

www.kci.go.kr

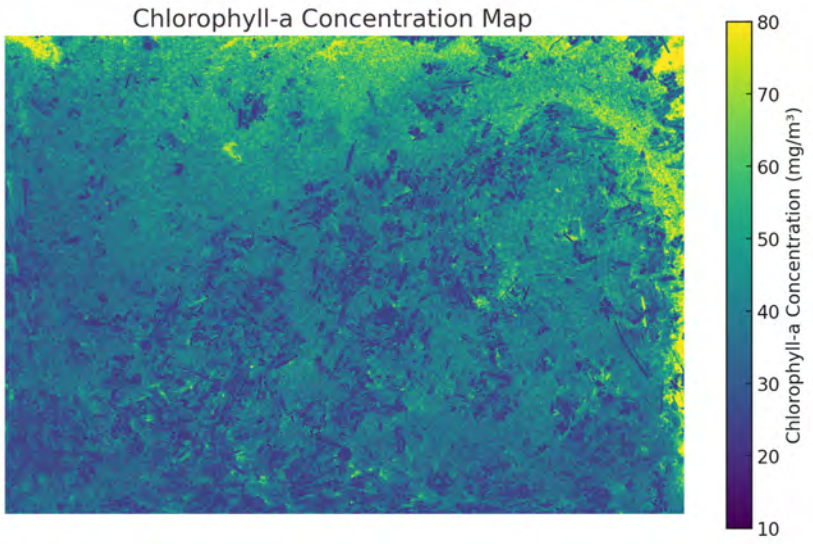


그림 16. IR 1000 Chlorophyll-a Concentration Map

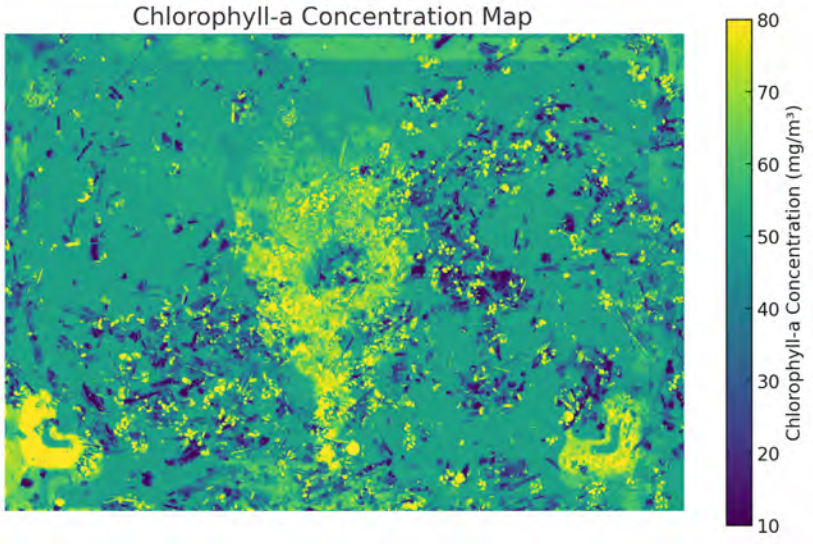


그림 17. IR CUT-OFF Chlorophyll-a Concentration Map

[그림 14], [그림 15], [그림 16], [그림 17]는 HSV 분석을 통해 얻은 해수면의 Chlorophyll-a 농도 분포를 보여준다. 농도 구간 별로 픽셀 수와 해당 픽셀이 전체에서 차지하는 비율을 정리하였다. 먼저 IR 720의 농도 분석의 경우 농도가 10 mg/m³ 인 영역에서는 픽셀 수가 0개로 관측되었으며, 이는 전체 면적 대비 0.00%에 해당한다. 20 mg/m³ 구간에서는 픽셀 수가 5개로 매우 낮으며, 전체의 약 0.00017%를 차지한다. 농도가 증가함에 따라 30 mg/m³ 에서는 85,848개의 픽셀이 관측되었고, 이는 전체의 2.91%를 차지하는 것으로 나타났다. 40 mg/m³ 구간에서는 906,053개의 픽셀이 검출되어 전체의 30.68%를 차지하였으며, 이는 가장 높은 비율을 보인 구간이다. 50 mg/m³ 에서는 픽셀 수가 840,656개로 측정되어, 전체의 28.47%를 차지하였다. 60 mg/m³ 구간에서는 427,505개

www.kci.go.kr

의 픽셀이 관측되어 전체의 14.48%를 차지하였고, 70 mg/m³ 에서는 259,894개의 픽셀이 관측되어 8.80%를 차지하였다. 마지막으로, 80 mg/m³ 이상의 높은 농도 구간에서는 433,255개의 픽셀이 관측되었으며, 이는 전체의 14.67%에 해당한다.

IR 850의 경우 농도가 10 mg/m³ 및 20 mg/m³ 인 영역에서는 픽셀 수가 0으로 관측되어, 이는 전체 면적 대비 0.00%에 해당한다. 이는 해당 농도 구간의 Chlorophyll-a가 지역에서 검출되지 않았음을 나타낸다. 30 mg/m³ 구간에서는 픽셀 수가 192개로 매우 낮으며, 이는 전체의 약 0.0065%를 차지한다. 이어 40 mg/m³ 농도에서는 픽셀 수가 65,184개로 측정되어 전체의 약 2.21%를 차지한다. 50 mg/m³ 농도에서는 371,165개의 픽셀이 검출되어 전체의 12.59%를 차지하였다. 60 mg/m³ 농도에서는 952,941개의 픽셀이 관측되어 전체의 32.31%를 차지하며, 이는 관측된 농도 범위 중 가장 높은 비율을 나타낸다. 70 mg/m³ 에서는 714,779개의 픽셀이 측정되어, 전체의 24.24%를 차지하였고, 마지막으로 80 mg/m³ 이상의 농도에서는 844,859개의 픽셀이 관측되어 전체의 28.65%에 해당한다.

IR 1000의 경우 10 mg/m³ 및 20 mg/m³ 농도 구간에서는 픽셀 수가 0으로 관측되었으며, 이는 전체 면적 대비 0.00%에 해당한다. 이는 해당 농도의 Chlorophyll-a가 해당 지역에서 검출되지 않았음을 나타낸다. 30 mg/m³ 농도에서는 픽셀 수가 13,610개로 측정되어, 전체의 약 0.46%를 차지한다. 이어 40 mg/m³ 농도에서는 픽셀 수가 686,204개로 측정되어 전체의 약 23.27%를 차지한다. 50 mg/m³ 농도에서는 1,457,325개의 픽셀이 검출되어 전체의 49.42%를 차지하였다. 60 mg/m³ 농도에서는 590,133개의 픽셀이 관측되어 전체의 20.01%를 차지하며, 70 mg/m³ 에서는 150,911개의 픽셀이 측정되어, 전체의 5.12%를 차지한다. 마지막으로, 80 mg/m³ 이상의 높은 농도에서는 50,937개의 픽셀이 관측되어 전체의 1.73%에 해당한다.

IR CUT-OFF의 경우 10 mg/m³ 농도에서는 49,706개의 픽셀이 관측되었으며, 이는 전체 픽셀의 1.69%를 차지한다. 20 mg/m³ 농도에서는 84,861개의 픽셀이 측정되어 전체의 2.88%를 차지하는 것으로 나타났다. 더 높은 농도인 30 mg/m³ 에서는 153,904개의 픽셀이 관측되었고, 이는 전체의 5.22%를 차지한다. 40 mg/m³ 농도에서는 339,098개의 픽셀이 측정되어 전체의 11.50%를 차지하였다. 가장 높은 농도 구간인 50 mg/m³ 에서는 1,600,140개의 픽셀이 검출되어 전체의 54.26%를 차지하며, 이는 분석된 농도 구간 중 가장 큰 비율을 나타낸다. 60 mg/m³ 농도에서는 406,631개의 픽셀이 관측되어 전체의 13.79%를 차지하였으며, 70 mg/m³ 에서는 181,523개의 픽셀이 측정되어, 전체의 6.16%를 차지한다. 마지막으로, 80 mg/m³ 이상의 농도에서는 133,257개의 픽셀이 관측되어 전체의 4.52%에 해당한다.

이미지 분석을 통해 IR 720 필터가 개구리 밥과 나뭇가지를 제외하고 녹조를 효과적으로 분석하는 능력을 보여주었다. 적외선 필터인 IR 720, IR 850, IR

www.kci.go.kr

1000을 사용한 실험 결과, 유리 수조 내 반사된 이미지와 지지대가 나타나지 않는 것이 관찰되었다. 반면, IR CUT-OFF 필터를 장착하여 가시광선을 이용한 촬영에서는 녹조 이외의 다른 불투명 물질이나 물 위에 반사된 물체들로 인해 데이터의 정확성이 저하되는 현상이 나타났다. 또한, IR 720, IR 850, IR 1000 필터를 사용한 비교 분석에서는 IR 720 필터가 농도 차이를 이용하여 개구리 밥, 나뭇가지, 녹조를 효과적으로 분리할 수 있었으나, IR 850 및 IR 1000 필터에서는 경계선이 뚜렷하지 않아 이들을 명확하게 분리하지 못하는 결과를 보였다.

2) 동명저수지

본 연구에서는 유리수조에서 진행한 실험과 동일하게 디지털 카메라를 개조하여 실험을 수행하였다. 이는 적외선 카메라의 투과 특성을 분석하고, 녹조와 녹조가 아닌 대상인 수생식물 및 부유물을 효과적으로 구분할 수 있는 적절한 파장대를 탐색하는 것을 목적으로 한다. 더욱이, 자연광 조건에서 물의 반사가 실험 결과에 미치는 영향을 평가하기 위하여 자연광을 이용한 실험 환경에서 네 가지 다른 필터인 IR 720, IR 850, IR 1000 및 IR CUT-OFF 필터를 사용하여 이미지를 촬영하였다. 이러한 방법으로 NIKON D800 카메라를 이용한 적외선 이미지 촬영이 이루어졌다.

(1) RGB Image에서 HSV Image의 변환

[그림 18], [그림 19], [그림 20], [그림 21]은 촬영된 원본 데이터에서 필요한 부분만을 트리밍하여 RGB 이미지를 HSV 이미지로 변환한 결과를 보여준다. 또한 같은 절차를 통해 생성된 이미지임을 나타낸다.

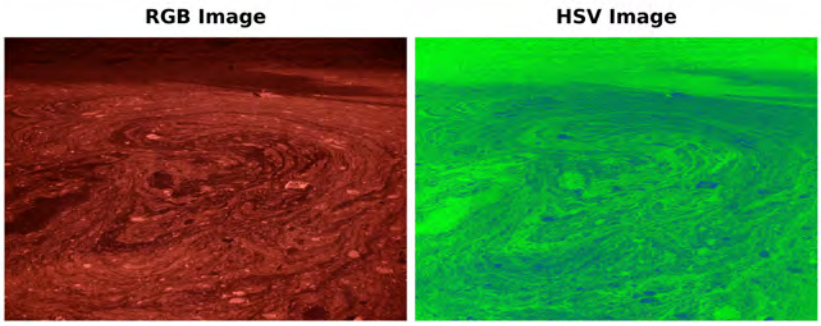


그림 18. IR 720 RGB Image에서 HSV Image 변환

www.kci.go.kr

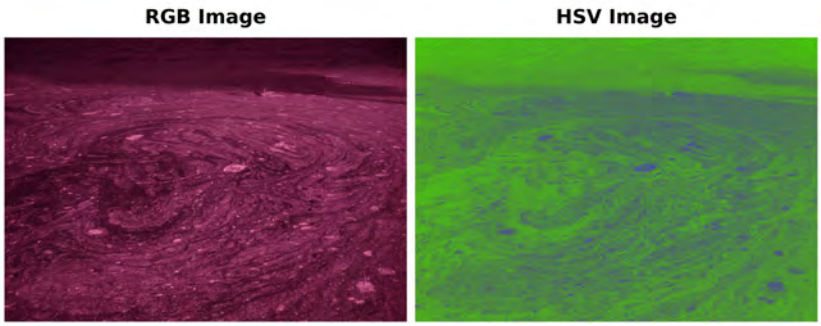


그림 19. IR 850 RGB Image에서 HSV Image 변환

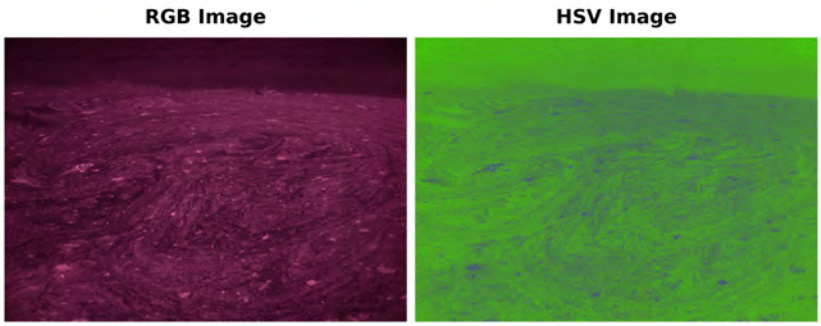


그림 20. IR 1000 RGB Image에서 HSV Image 변환

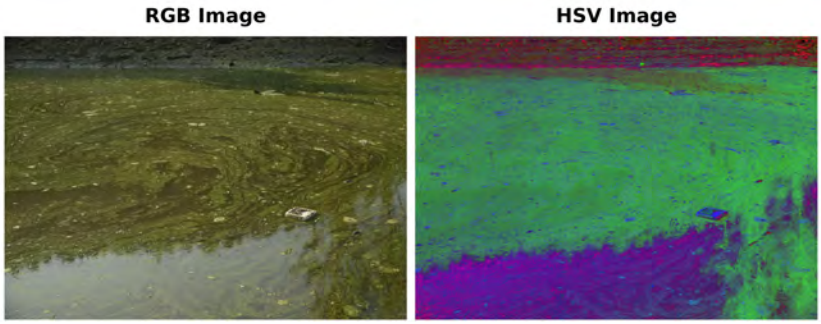


그림 21. IR CUT-OFF RGB Image에서 HSV Image 변환

(2) HSV Image 색상, 채도, 명도 분리 추출

유리수조에서 진행된 실험에서는 동일한 방법으로 RGB 이미지를 HSV로 변환하고, 각 파장의 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Value)를 추출하여 Chlorophyll-a(Chl-a)와의 상관관계를 분석하였다. Chl-a와 색상 사이의 결정계수(R^2)는 0.7474로 나타났으며, 채도와는 0.5093으로 상대적으로 낮은 상관관계를 보였다. 반면, Chl-a와 명도 사이의 결정계수는 0.9349로 매우 높아, 녹조의 농도가 증가할수록 명도가 낮아지는 경향을 확인할 수 있었다. 위의 실험과 동일하게 명도가 Chl-a 농도의 예측에 효과적인 지표로 활용될 수 있음을 시

www.kci.go.kr

사한다. 관련 이미지는 [그림 22], [그림 23], [그림24], [그림 25]에 제시되어 있다.

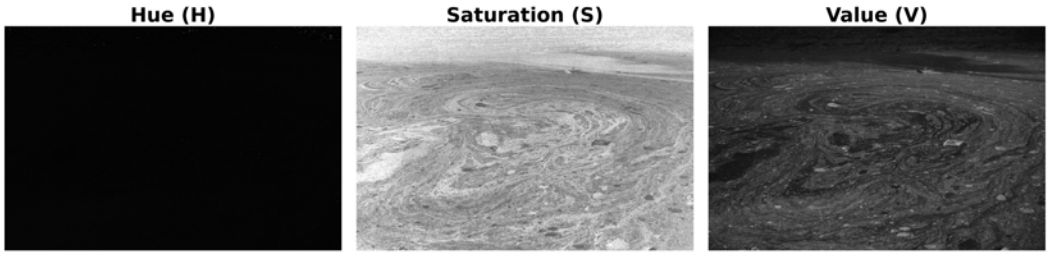


그림 22. IR 720 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Value) 분리 추출

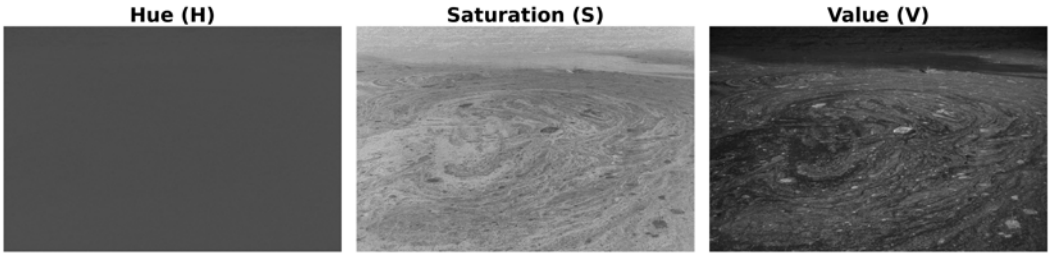


그림 23. IR 850 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Value) 분리 추출

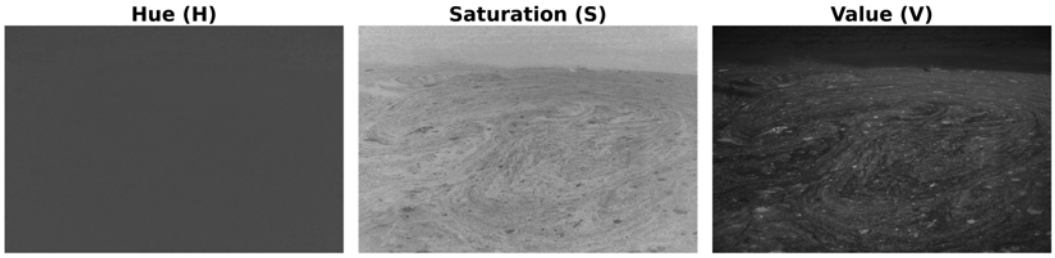


그림 24. IR 1000 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Value) 분리 추출

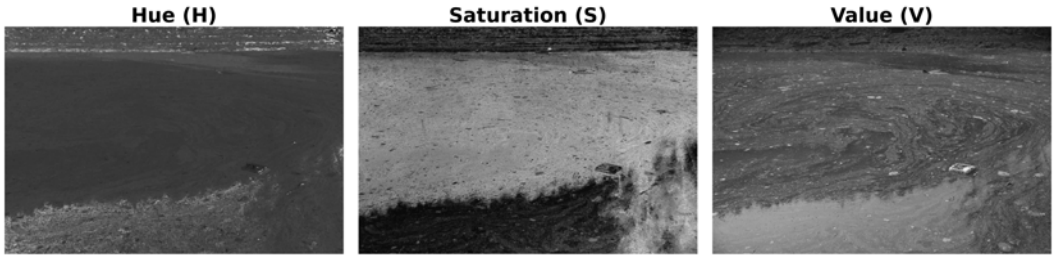


그림 25. IR CUT-OFF 색상(Hue), 채도(Saturation), 명도(Value) 분리 추출

(3) 명도를 이용한 농도지도

www.kci.go.kr

유리 수조에서 진행한 실험과 동일하게 HSV로 변환된 RGB 이미지에서 명도(Value)를 추출하고 분석하였다. 명도와 Chlorophyll-a(Chl-a) 간의 결정계수(R^2)는 0.9349로, 녹조의 밀도가 증가할수록 명도가 감소하는 경향을 나타내었다. 이 데이터를 기반으로 회귀식 y=0.4823x-35.03을 활용하여 Chl-a 농도별 명도 값을 계산하고 농도 지도를 작성하였다. 해당 결과는 [그림 26], [그림 27], [그림 28], [그림 29]까지의 이미지이다.

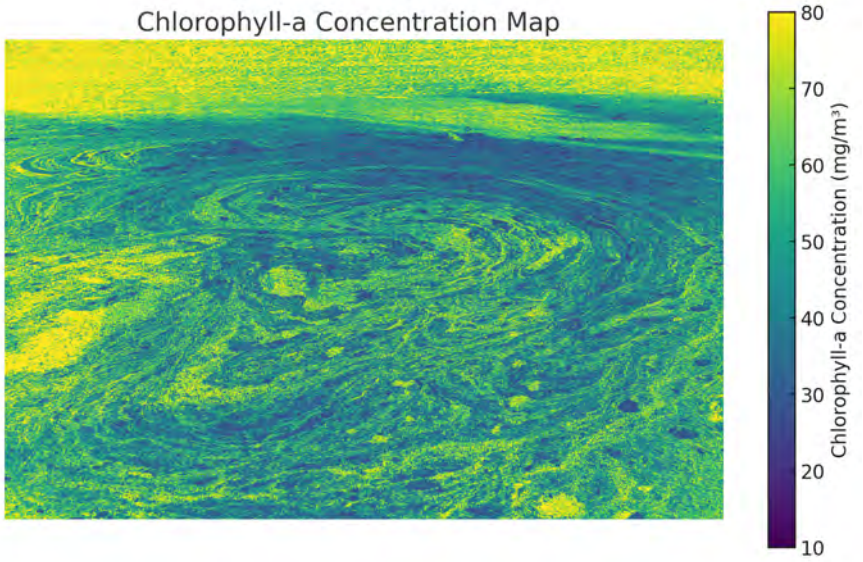


그림 26. IR 720 Chlorophyll-a Concentration Map

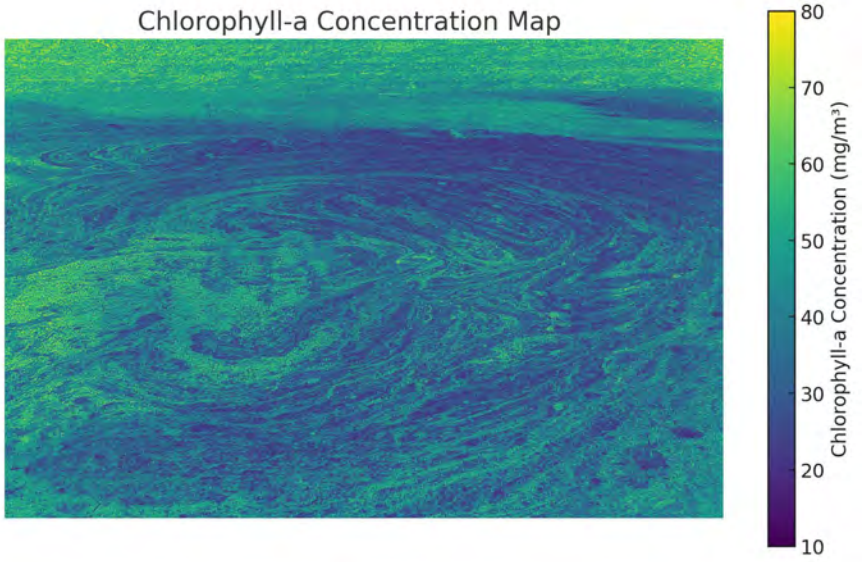


그림 27. IR 850 Chlorophyll-a Concentration Map

www.kci.go.kr

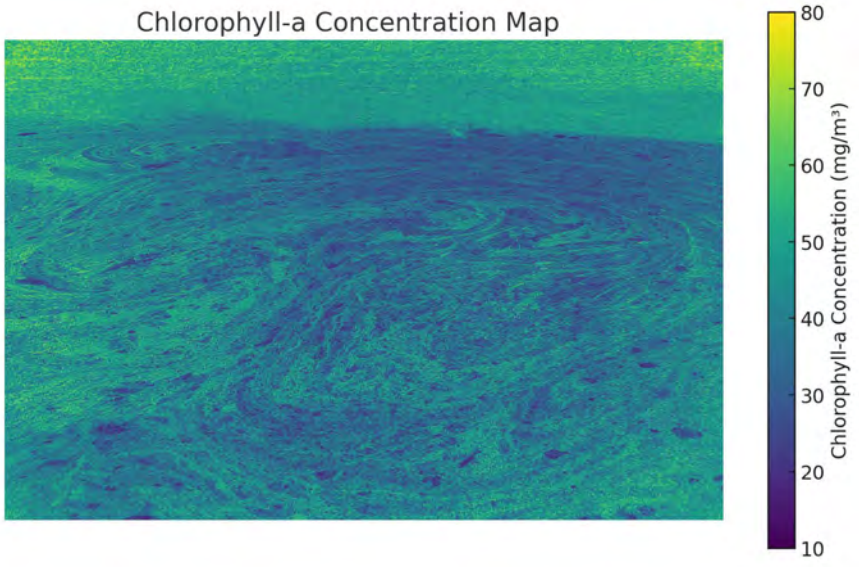


그림 28. IR 1000 Chlorophyll-a Concentration Map

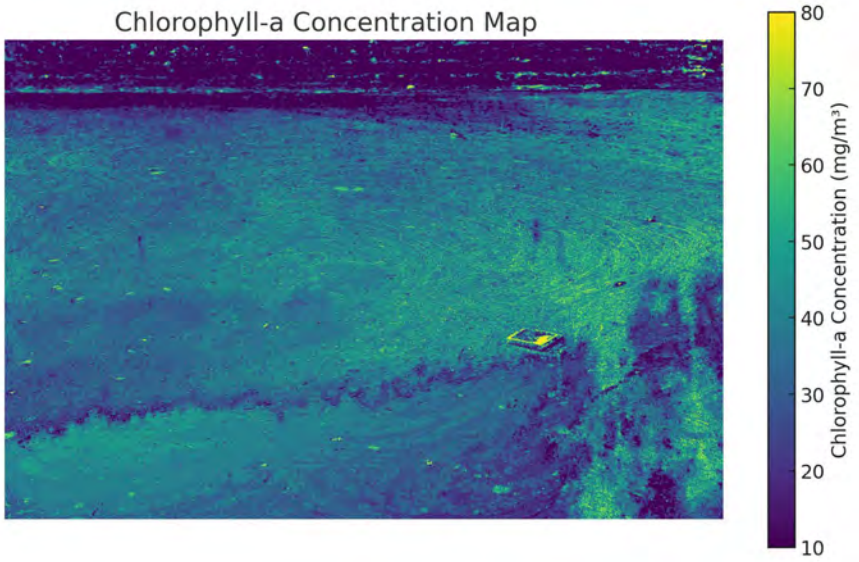


그림 29. IR CUT-OFF Chlorophyll-a Concentration Map

[그림 26], [그림 27], [그림 28], [그림 29]은 HSV 분석을 통해 얻은 해수면의 Chlorophyll-a 농도 분포를 나타낸다. 각 농도 구간별로 픽셀 수와 전체 대비 픽셀의 비율을 정리하였다. 먼저 IR 720의 농도 분석의 경우 농도 10 mg/m³ 에서는 1,484개의 픽셀이 검출되어 전체의 0.053%를 차지하며, 상대적으로 낮은 농도 분포를 보인다. 20 mg/m³ 농도에서는 픽셀 수가 135,881개로 증가하며, 이는 전체의 4.86%에 해당한다. 이는 Chlorophyll-a 농도가 증가함에 따라 분포도 더 넓어지는 것을 나타낸다. 30 mg/m³ 농도에서는 픽셀 수가 400,458개로 더욱 증가하여, 전체의 14.31%를 차지한다. 40 mg/m³ 농도에서는 549,728개의 픽셀이 관측되어, 이는 전체의 19.65%를 차지하며, 이 구간에서 가

www.kci.go.kr

장 높은 농도 분포를 나타낸다. 50 mg/m³ 에서는 픽셀 수가 482,457개로 측정되어 전체의 17.25%를 차지한다. 60 mg/m³ 농도에서는 460,488개의 픽셀이 관측되어 전체의 16.46%를 차지한다. 70 mg/m³ 에서는 364,707개의 픽셀이 측정되어, 전체의 13.04%를 차지하고, 80 mg/m³ 이상의 높은 농도에서는 402,365개의 픽셀이 관측되어 전체의 14.38%에 해당한다.

IR 850의 경우 농도 10 mg/m³ 에서는 3,302개의 픽셀이 검출되었으며, 이는 전체 픽셀의 0.12%를 차지한다. 이는 상대적으로 낮은 농도 분포를 나타내며, 해당 지역의 Chlorophyll-a 농도가 낮음을 의미한다. 20 mg/m³ 농도에서는 픽셀 수가 급격히 증가하여 416,830개가 검출되고, 이는 전체의 14.90%에 해당한다. 이러한 증가는 농도가 상승함에 따라 Chlorophyll-a의 분포가 넓어지는 것을 나타낸다. 30 mg/m³ 농도에서는 픽셀 수가 730,305개로 더욱 증가하여, 전체의 26.10%를 차지한다. 40 mg/m³ 농도에서는 760,167개의 픽셀이 관측되어, 이는 전체의 27.17%를 차지하며, 분석된 농도 구간 중 가장 높은 비율을 나타낸다. 이후 50 mg/m³ 농도에서는 픽셀 수가 585,996개로 측정되어 전체의 20.95%를 차지한다. 60 mg/m³ 농도에서는 243,196개의 픽셀이 관측되어 전체의 8.69%를 차지하며, 70 mg/m³ 에서는 49,530개의 픽셀이 측정되어, 전체의 1.77%를 차지한다. 마지막으로, 80 mg/m³ 이상의 농도에서는 8,242개의 픽셀이 관측되어 전체의 0.29%에 해당한다.

IR 1000의 경우 농도 10 mg/m³ 에서는 559개의 픽셀이 검출되었으며, 이는 전체 픽셀의 0.020%를 차지한다. 이는 상대적으로 낮은 농도 분포를 나타내며, 해당 지역에서 Chlorophyll-a의 낮은 농도를 의미한다. 20 mg/m³ 농도에서는 픽셀 수가 크게 증가하여 143,271개가 검출되며, 이는 전체의 5.12%에 해당한다. 30 mg/m³ 농도에서는 픽셀 수가 664,797개로 더욱 증가하여, 전체의 23.76%를 차지한다. 이어지는 40 mg/m³ 농도에서는 940,164개의 픽셀이 관측되어, 이는 전체의 33.61%를 차지하며, 분석된 농도 구간 중 가장 높은 비율을 나타낸다. 50 mg/m³ 에서는 픽셀 수가 818,592개로 측정되어 전체의 29.26%를 차지한다. 60 mg/m³ 농도에서는 213,297개의 픽셀이 관측되어 전체의 7.62%를 차지하며, 70 mg/m³ 에서는 16,406개의 픽셀이 측정되어, 전체의 0.59%를 차지한다. 마지막으로, 80 mg/m³ 이상의 농도에서는 482개의 픽셀이 관측되어 전체의 0.017%에 해당한다.

IR CUT-OFF의 경우 농도 10 mg/m³ 에서는 327,623개의 픽셀이 검출되었으며, 이는 전체 픽셀의 11.71%를 차지한다. 이는 상대적으로 낮은 농도 분포를 나타내며, 해당 지역에서 Chlorophyll-a의 낮은 농도를 의미한다. 20 mg/m³ 농도에서는 픽셀 수가 증가하여 365,819개가 검출되며, 이는 전체의 13.08%에 해당한다. 30 mg/m³ 농도에서는 픽셀 수가 754,569개로 더욱 증가하여, 전체의 26.97%를 차지한다. 이어지는 40 mg/m³ 농도에서는 849,669개의 픽셀이 관측되어, 이는 전체의 30.37%를 차지하며, 분석된 농도 구간 중 가장 높은 비율을 나타낸다. 50 mg/m³ 에서는 픽셀 수가 356,280개로 측정되어 전체의 12.74%를 차

www.kci.go.kr

지한다. 60 mg/m³ 농도에서는 109,964개의 픽셀이 관측되어 전체의 3.93%를 차지하며, 70 mg/m³ 에서는 25,683개의 픽셀이 측정되어, 전체의 0.92%를 차지한다. 마지막으로, 80 mg/m³ 이상의 농도에서는 7,961개의 픽셀이 관측되어 전체의 0.28%에 해당한다.

여기서도 유리 수조에서 한 실험과 동일한 결과를 볼 수 있었다. 이미지 분석 결과 IR 720 필터는 녹조를 제외한 개구리 밥과 나뭇가지를 효과적으로 식별하는 능력을 입증하였다. IR 720, IR 850, IR 1000 적외선 필터를 사용한 실험에서는 물위로 반사된 이미지나 반사로 인해 노출이 과다하게 부분이 실험결과에 영향을 주지 않음을 관찰할 수 있었다. 반면, IR CUT-OFF 필터를 사용하여 가시광선으로 촬영한 결과, 녹조 이외의 다른 불투명 물질이나 물 위에 반사된 물체들로 인해 데이터 정확성이 저하되는 문제가 발생하였다. 또한, IR 720, IR 850, IR 1000 필터를 이용한 비교 분석에서 IR 720 필터는 농도 차를 활용하여 개구리 밥, 나뭇가지, 녹조를 효과적으로 구분할 수 있었으나, IR 850 및 IR 1000 필터를 사용했을 때는 경계선이 불명확하여 이들을 명확히 구분하는 데 실패하였다.

V. 결론

본 연구는 기존의 가시광선 기반 Chlorophyll-a탐지 방법들과 달리, 적외선 촬영의 유용성을 탐구하고 이를 통한 Chlorophyll-a, 수생식물 및 부유물 간의 농도 차이를 분석하여 탐지 정확성을 평가하고자 하였다. 특히 외부 환경 변화, 즉 구름의 유무, 태양 빛의 양, 태양의 각도 등은 촬영 결과에 중대한 영향을 미치는 변수로 작용하기에 본 연구의 분석 방법론은 외부 환경 변화로 인한 광학적 특성의 변동을 고려하여, HSV 분석을 통해 가시광선, IR 720, IR 850, IR 1000 파장에서 채취한 촬영 데이터를 분석하여 녹조, 수생식물, 부유물을 구분할 수 있는 최적의 파장 범위를 도출하고, 가시광선과 적외선 촬영의 효율성을 비교 분석함으로써 물의 반사율이 Chlorophyll-a의 농도 추출에 미치는 영향을 평가하였다.

실험에 사용된 기기는 IR-CUTOFF 필터가 제거된 NIKON D800 카메라로, 적외선 촬영에 적합하게 개조된 모델이다. 이 카메라는 최대 해상도의 L 사이즈와 RAW 형식으로 설정되었으며, 조리개는 F4로 설정하여 회절 현상을 최소화하였다. 실험은 두 가지 환경에서 수행되었으며, 첫 번째는 동명저수지에서 자연광을 활용한 촬영이고, 두 번째는 유리 수조에 채취한 녹조 샘플을 이용한 실험이다. 각 환경에서 적정 노출값을 가진 사진을 선별하여 분석하였다.

이미지 처리 과정은 개조된 NIKON D800 카메라를 사용하여 RGB 형식으로 이미지 데이터를 수집하는 것으로 시작하였다. 이어서 수집된 데이터는 파이썬과 OpenCV를 활용하여 HSV 형식으로 변환되었다. 변환된 데이터를 바탕으로 Chlorophyll-a의 농도와 HSV 데이터 간의 상관관계를 분석하였고, 이를 통해

www.kci.go.kr

Chlorophyll-a의 농도와 V 채널 값 사이의 관계를 농도지도로 시각화하였다.

유리수조에서는 IR 1000 필터가 50 mg/m³ 농도에서 전체 픽셀의 약 49.42%를 차지하며 가장 높은 비율을 보였다. 동명저수지에서의 실험 결과, 특히 IR 850 필터를 사용했을 때 40 mg/m³ 농도에서 전체의 27.17%를 차지하는 가장 높은 픽셀 비율을 나타냈다. 이러한 결과는 녹조의 농도와 픽셀 수가 필터별로 어떻게 다르게 반응하는지를 보여준다.

그러나 IR 850 및 IR 1000 필터는 실험에서 명확한 경계선을 제공하지 못하고, 개구리밥이나 나뭇가지와 녹조를 명확하게 구분하지 못하는 결과를 드러냈다. 이는 녹조 분석에 있어서 이 필터들이 상대적으로 부적합할 수 있음을 시사한다. 반면, IR 720 필터는 녹조와 다른 물질을 효과적으로 구분할 수 있는 장점을 보였다. 특히 유리수조와 동명저수지의 실험 결과에서 IR 720 필터는 농도 변화에 따라 녹조를 명확하게 식별하며, 개구리밥이나 나뭇가지 등을 효과적으로 제외할 수 있었다.

IR CUT-OFF 필터의 경우 가시광선을 사용한 촬영으로 인해 녹조 이외의 다른 불투명 물질이나 물 위에 반사된 물체들로 인해 데이터의 정확성이 저하되었다. 이 필터는 녹조와 다른 물체 간의 구분이 명확하지 않아, 녹조인 Chlorophyll-a 농도의 정확한 식별과 분석에 어려움을 겪었다. 특히 물 반사 현상으로 인해 영상에서 물체의 세부 정보가 왜곡되거나 가려짐으로써 녹조의 실제 농도를 정확히 파악하는 데 제한을 받았다. 결론적으로, IR 720 필터는 녹조인 Chlorophyll-a 농도를 정확한 분석과 식별에 있어서 매우 유용하다는 점이 본 연구를 통해 명확히 드러났다. 이 필터는 다른 필터들과 비교했을 때 녹조와 다른 물질들 사이의 명확한 구분을 가능하게 하며, Chlorophyll-a 농도 변화에 따라 녹조를 효과적으로 감지하고 분석할 수 있는 능력을 입증하였다.

이에 따른 연구를 통해 Chlorophyll-a, 수생 식물 및 부유물의 농도 차이를 정밀하게 분리 및 파악하는 과정은 수질 모니터링과 관리를 개선하는데 중대한 역할을 수행하며, 이는 오염의 초기 단계를 식별하고 적절한 대응 조치를 취하는데 기초자료가 될 것이다. 또한 해당 분석은 Chlorophyll-a 농도를 통해 생태계 내 영양 상태와 생물학적 생산성을 평가하는 기반을 제공하며, 이를 통해 수생 식물과 부유물의 다양성을 농도 분류를 통해 구분하는데 의의가 있다. 더불어, Chlorophyll-a 농도의 변화 추적을 통해 유해 남조류의 대량 번식인 알고리 블룸을 예측 및 관리할 수 있으며, 이는 수중 생태계에 미치는 부정적 영향을 감소시키는 데 기여한다. 수중 생물 다양성 연구 및 생태계 보존 전략 개발에 중요한 정보를 제공함으로써, 생태계 관리 및 보존 노력을 보다 효과적으로 지향할 수 있다. 마지막으로, 수처리 시설에서는 이러한 분석 결과를 활용하여 물리적 및 화학적 처리 과정을 최적화함으로써, 특정 오염물 제거를 위한 처리 방법과 조건을 보다 효율적으로 설정할 수 있어, Chlorophyll-a, 수생 식물 및 부유물의 농도 차이 분리는 수질 관리와 생태계 보존에 있어 극히 유익한 결과를 가져올 수 있을 것으로 본다.

그럼에도 불구하고, 본 연구는 몇 가지 중요한 한계점을 지니고 있다. 첫째, 본 연구는 계절적 변동성을 고려하지 않고 특정 일에만 녹조 촬영을 수행하여 시간적 범위에 한정된 데이터를 제공하였다. 둘째, 사용된 HSV 분석은 넓은

www.kci.go.kr

파장대를 포착하여 녹조를 분석하는 방법론을 채택하지 않았다는 점이다. 셋째, 카메라를 드론에 탑재하여 넓은 지역에서의 녹조 촬영을 실시하지 않아, 광범위한 실험 결과를 도출하지 못하였다. 이러한 한계를 극복하기 위해, 후속 연구에서는 다양한 파장대를 세밀하게 탐색하고 분석할 뿐만 아니라, 상용화된 드론을 개조하여 Chlorophyll-a 농도를 다양한 환경에서 보다 정확하게 판별할 수 있는 방법론을 개발할 필요성이 제기된다. 따라서, 미래의 연구는 더욱 다양한 환경 조건과 실험 장비 설정을 통합하고, 실제 환경에서의 실험을 확대하여 녹조의 발생과 관리에 실질적인 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

www.kci.go.kr

참고문헌

〈단행본〉

[1] Anderson, Donald M., Joann M. Burkholder, William P. Cochlan, Patricia M. Glibert, Christopher J. Gobler, Cynthia A. Heil, Raphael M. Kudela, et al. 2008. "Harmful Algal Blooms and Eutrophication: Examining Linkages from Selected Coastal Regions of the United States." Harmful Algae. Elsevier.
[2] Cummins, J., Williamson, J., & Samuel, H. Z. 1983. Light and Color in Nature and Art. NY: John Wiley & Sons, Inc.
[3] Saito, Koki. 2017. 밑바닥부터 시작하는 딥러닝: 파이썬으로 익히는 딥러닝 이론과 구현. 한빛미디어.

〈연속간행물〉

[1] Zhang, Z., and Y. Wu. 2010. "Refractive Index of Water and Its Temperature Dependence." Journal of Physical and Chemical Reference Data 39 (3).
[2] Kim, K-M., and T-H. Kim. 2016. "A Study on the Blue-Green Algae Monitoring Applications Design Using Raspberry Pi." Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 28 (2): 376-383.
[3] 김범철. 2017. "녹조현상의 원인과 대책." 물과 미래(한국수자원학회지) 50 (6): 8-14.
[4] 김상기, 김유진. 2014. "법과학 분야에서 디지털 적외선 사진을 위한 노출 결정 방법." 한국콘텐츠학회논문지 14 (2): 181-191.
[5] 김홍민, 장선웅. 2021. "무인항공기 및 다중분광센서를 이용한 하천 녹조 모니터링." 한국측량학회 학술대회자료집 2021 (11): 547-549.
[6] 박우성, 주종우. 2020. "렌즈 내부 난반사에 의한 적외선 핫스팟 이미지 연구." 한국디지털콘텐츠학회논문지 21 (10): 1869-1878.
[7] 박연정, 장현지, 김윤석, 백경희, 이희숙. 2014. "총설 : 초분광센서를 이용한 수질 분석의 적용성에 관한 연구." 환경분석과 독성보건 17 (3): 113-125.
[8] 박혜경. 2014. "녹조의 발생원인과 저감대책." 환경정보 412 (-): 17-21.[9] 추연우, 김태인, 이성종, 강구영. 2018. "무인비행체와 다 분광 카메라를 이용한 수계 내 녹조 연구." 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동 춘계학술발표회 2018 (-): 94-95.
[10] 이용환, 박세원, 홍정의. 2011. "IR Cut-Off Filter가 차단하지 못한 미량의 적외선이 디지털화상에 미치는 영향 분석." 한국콘텐츠학회논문지 11 (5): 205-215.
[11] 이진경, 박은숙, 이인호. 2023. "농업용저수지의 클로로필-a(Chl-a) 농도 변화에 대한 수환경 영향 연구." 한국환경농학회 학술대회집 2023 (0): 282-282.
[12] 최은영, 정경미, 윤종수, 장정희, 김미정, 이호중. 2021. "하천 녹조 모니터링을 위한 드론 다중분광영상의 분광지수 적용성 평가." 대한원격탐사학회지 37 (3): 419-430.

〈학위논문〉

[1] 송동열. 2015. "하천수계의 클로로필-a 농도 추정을 위한 항공 초분광영상의 밴드조합 방법에 관한 연구." 국내석사학위논문, 인천대학교 일반대학원.
[2] 정은정. 2021. "드론 이미지를 활용한 녹조 모니터링 연구." 국내석사학위논문, 연세대학교 대학원.

〈전자자료〉

[1] Kannan, Hemamalini. "A Study of Human Target Tracking Using UV and IR Target Features." Accessed February 8, 2024. https://storm.cis.fordham.edu/~lyons/rcv/malini04a.doc.

www.kci.go.kr

투고일자: 5월 19일
심사일자: 5월 23일
게재일자: 6월 30일

www.kci.go.kr

2024 현대사진영상학회 논문집 Vol .27 no. 2
The Society of Modern Photography & Video

현대사진영상학회 논문집 27권 2호

발행인 정훈
(053-620-2368)
발행처 현대사진영상학회
(대구광역시 중구 남산로 7길 7, 101동 301호)

회장 정훈
수석부회장 주종우
부회장 손영호, 현혜연, 임준형, 이원호, 박은광, 이성호
감사 김대욱, 박시찬
상임고문 이인희

논문편집위원장 주종우
논문편집위원 김성민, 손영호, 정재한, 현혜연, 정훈

전시분과위원장 박은광
전시분과위원 박시찬, 윤석원

대외협력위원장 이성호
사무국장 김의로
사무장 오지현, 엄장훈

논문집 발행 예정일 2024. 6. 30
논문집 발행일 2024. 6. 30

ISSN 1229-3512

©현대사진영상학회
본 논문집은 현대사진영상학회에게 저작권이 있으며 동의없이 무단으로 사용할 수 없습니다.
*논문에 기재된 사진의 저작권 작가에게 있습니다.

www.kci.go.kr