

UAV를 활용한 하천녹조지도 작성 방안



박재로

한국건설기술연구원 환경플랜트연구소
jpark@kict.re.kr



황태문

한국건설기술연구원 환경플랜트연구소
taemun@kict.re.kr



김은주

한국건설기술연구원 환경플랜트연구소
kej@kict.re.kr

1. 서론

최근 기후변화 등에 따른 하천·호소의 물리적 환경이 급변하여 상수원 전용댐이나 저수지에 조류 발생의 심각성이 사회 문제화 되고 있다. 특히, 다양한 조류 발생 중에서 남조류는 잠재적인 독성을 가지고 있기 때문에 이에 대한 근본적인 저감 대책이 필요하고, 남조류가 대량 증식된 상수원에 대해서는 정수처리 비용의 증가 및 하천변 인근지역의 위

락행위 제한 등 경제적, 사회적 문제를 야기 시킨다. 녹조 조사를 위해 가장 흔하게 사용되고 있는 방법은 클로로필-a(Chlorophyll-a)를 활용하는 것이다. 클로로필-a 농도는 중요한 수질 항목으로 이용될 수 있으며 여러 수역의 녹조 발생현황을 비교하기 위한 간접지표로서 주로 사용된다. 최근에는 원격탐사(RemoteSensing; RS)기법중 위성영상을 이용하여 조류에 포함된 클로로필-a 예측을 위한 모델 개발에 대한 연구가 진행되고 있으나, 관측지점이 제한적이고, 현장조사결과를 토대로 위성영상을 분석할 수 있는 연구자가 부족하다는 등의 원인으로 연구가 미비한 실정이다. 또한, 현장조사를 병행하지 않고 영상자료와 수집된 수질 데이터의 상관성 분석을 통해 예측하기 때문에 신뢰성이 저하된다. 또한 하천유속 및 수질의 변화가 잦아 동일시점의 현장측정자료 획득의 시간적 한계, 공간적 한계, 두 지점의 지형학적 매치되지 않는 문제 등으로 인해 조류 발생지역의 수질 측정 자료의 재현성이 떨어진다. 최근에는 이러한 한계를 보완하고자, 무인비행시스템(Unmanned Aerial Vehicles; UAV)을 활용하는 원격탐사 기술을 적용하는 사례가 많아지고 있다. 대규모 면적에서 발생하는 하천·호소에서 조류 발생현상 및 확산면적, 이동 등에 대한 2차원적인 감시를 위해서는 별도의 감시기법이 필요하다. 최근 국내에서도 원격탐사기술을 이용한 하천 수질 모니터링에 적용하고자 하는 연구가 시도되어 왔으

나, 해외 연구사례에 비하면 미미한 실정이라고 할 수 있다. 경로비행이 가능한 UAV를 이용하여 실측할 경우 고해상도의 정사영상과 함께, 지상부에서는 알기 어려운 경관의 변화를 지속적으로 모니터링 할 수 있다. 특히 GPS좌표를 활용하여 Waypoint를 지정함으로써 조사대상지에 대한 경로비행의 정확성과 안정성이 확보되었으며, 이를 통해 일정한 고도를 유지한 비행 상태에서 정사투영 촬영을 통한 분석이 가능하게 되었다. 고해상도 영상을 이용한 연구는 정확한 위치정확도 확보가 선행되어야 신뢰성 높은 결과를 얻을 수 있다. 본 고에서는 하천 지역을 대상으로 다중스펙트럼 카메라가 장착되고, 자율비행이 가능한 고정익 타입의 UAV를 적용하여 하천의 클로로필-a 농도 감시를 위한 하천녹조지도 작성 방법을 제시하고자 한다.

2. 하천 녹조지도 구축 방법

2.1 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)의 종류

UAV는 고정익(Fixed Wing) UAV(Plan)와 회전익(Rotary Wing) UAV(Multicopter)로 나눌 수 있으며, 표 1과 같다. 고정익 UAV는 일반적인 비행기

와 같이 고정 날개 형태인 무인항공기시스템이며, 연료 소모가 상대적으로 적어 장기 체공이 가능하나 활주로나 넓은 개활지가 필요하다. 회전익 UAV는 비행체가 헬리콥터형인 무인항공기시스템으로 수직 이착륙이 가능하여 좁은 공간에서의 이착륙이 가능하고 공중에서 정지 비행이 가능하고 상대적으로 급격한 선회가 가능하며, 연료 효율이 낮아 장기 체공이 제한적이다. 산악지형과 선박운용에 적합하며, 단거리 임무 및 기상의 변화가 많은 지역에 적합하다. 이러한 특징으로 하천의 녹조지도 작성을 위한 UAV는 고정익 UAV를 선정하는 것이 적합하다.

2.2 원격탐사를 이용한 하천 녹조 모니터링

수화현상 예측 및 분포 추정을 위해서는 기초적으로 영상과 조류 사이의 관계 파악이 가장 중요하다. 다양한 영상의 활용 및 가능성 평가를 위한 알고리즘 개발과 함께 현장조사 데이터와의 검증방법 및 모델 개발을 통해 오차분석과 정확도 향상을 위한 연구가 진행될 필요성이 있다. 원격탐사는 항공기 또는 인공위성 등과 같은 운반체에 탑재된 센서를 이용하여 자외선, 가시광, 적외선, 마이크로파 영역의 전자기와 자료를 비접촉 탐지·기록하여 다양한 영상처리과정과 해석을 통해 정보를 얻는 것

표 1. 고정익과 회전익 UAV 비교

| | 고정익 UAV | 회전익 UAV |
|--------|---|--|
| 비행 원리 | 동체에 고정된 날개가 엔진의 빠른 속도를 이용한 양력으로 비행 | 회전축에 장착된 프로펠러의 회전을 통해 나오는 양력으로 비행 |
| 배터리 소모 | 날개위아래서 발생하는 공기의 양력을 이용해 비행하므로 에너지 효율이 높아 배터리 소모가 적음 | 프로펠러 회전 방식으로 에너지 효율이 낮아 배터리 소모가 많음 |
| 이 착륙 | 일정 속도 이상으로 비행을 유지해야 하므로 비행중 정지, 수직 이착륙 불가능 | 자유로운 방향 전환, 저속비행, 제자리 비행, 수직 이착륙 가능 |
| 비행 고도 | 고고도 비행 가능 | 고고도 비행 불가능 |
| 비행 시간 | 긴 비행 시간(1시간~1시간 30분) | 짧은 비행 시간(15분 ~20분) |
| 촬영 면적 | 넓은 지역 촬영 가능 | 고정익 비해 상대적으로 좁은 지역 촬영 |
| 속도 | 빠른 속도 | 느린 속도(수평일 때) |
| 자동 비행 | 자동 비행 경로 설정 용이 | 자동 비행 경로 설정 어려움 |
| 활용 분야 | 정찰, 기상 관측, 지도 제작, 정사영상 제작 등 상공에서 오래 머무르며 수행해야 하는 임무에 적합 | 방송 촬영, 소방&구조용, 운송(택배) 등 짧은 시간에 즉시 대응이 가능한 임무에 적합 |

이다. 원격탐사를 이용한 클로로필-a 농도 분석은 Moderate Imaging Spectroradiometer(MODIS), Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor(SeaWiFS), Medium Resolution Imaging Spectrometer(MERIS) 등의 해상 센서(Ocean Color Sensors)의 Blue, Green 밴드를 이용하는 Tassan(1994)의 알고리즘과 NASA의 클로로필-a 표준 알고리즘(OC4v4)과 같은 다양한 클로로필-a 농도 추정 알고리즘이 개발되었다. 특히, 원격탐사 장비에 부착되는 센서에는 일반 카메라 장비 이외에 근적외선(NIR) 분광광도계부터 초분광센서가 적용될 수 있다. 이 등(2015)은 클로로필-a 추정을 위해 개발된 Red-NIR 3-band 모형들을 이용해 의암호 클로로필-a 농도를 추정하고 현장 실측자료와 비교한 결과, 최적 파장대를 선정한 3-band 모형 등에서 클로로필-a 농도를 추정한 결과, 결정계수는 0.65에서 0.88까지 변화를 보임으로써 원격탐사에 의한 하천 수질 모니터링에 대한 타당성을 제시하였다. 기존 연구결과를 바탕으로 본 연구팀에서는 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)를 클로로필-a 농도를 예측하는데 사용하였다. 정규식생지수는 가시광선(Visible: VIS)의 적색광과 근적외선(Near Infrared: NIR) 파장에서 식물의 반사율 차이를 이용하여 만든 식생지수이다. NDVI는 일반적으로 가장 널리 알려져 있는 기법으로 식은 다음과 같다.

$$NDVI = \frac{(NIR - red)}{(NIR + red)}$$

깨끗한 물의 분광반사 특성은 청색(400~500 nm)부터 적색(600~700 nm) 파장영역의 반사율은 일정한 비율로 감소되는데 근적외선(700~900 nm)과 적색파장의 경계부분인 Red-Edge에서 가장 낮은 반사율을 갖는다.

2.3 하천녹조지도 작성절차

하천녹조지도 작성을 위한 UAV 촬영 및 영상분석 절차를 간단히 요약하면 다음과 같다. 크게, 촬영계획 수립, 현장 수질조사, UAV 영상촬영, 측정된 영상의 전처리 및 후처리, 자료 분석의 단계로 이루어진다. 첫 번째, 촬영계획 수립 단계에서는 UAV 촬영 대상 및 촬영대상지를 선정하고, 촬영지역을 분석하여 UAV 비행계획 등을 수립한다. 두 번째는 대상 하천에 대한 수질 조사를 수행하여야 한다. 세 번째, UAV 영상촬영 단계에서는 사전 정합시 정확한 위치보정을 위한 기준점 측량과 사전계획 수립 단계에서 준비된 비행계획에 따라 UAV 영상 촬영을 실시한다. 네 번째, 전처리 및 후처리 단계에서는 불필요한 사진 제거 및 사진 왜곡 보정, 지리부호화 등 전처리 작업을 실시하고, 사진정합, 보안시설 및 개인정보 등 후처리 작업을 실시한다. 마지막으로 자료 분석단계에서는 추출된 UAV 영상 픽셀의 분



그림 1. 하천 녹조지도 작성 절차

광값을 NDVI로 전환하고 실측 수질 자료를 매칭하여 클로로필-a 추정식을 산출한다.

3. 하천녹조지도 작성

본 연구팀에서 사용한 UAV는 영국 QUEST사의 DATAhawk과 Q200 Agri Pro 모델을 활용하였다. 두 모델의 경우는 날개길이 58~90인치, 무게는 2.5 kg ~ 6 kg, 모터의 경우 미연방항공청(FAA)로부터 사용이 승인된 AXI 2820/10 Max 42 AMP 모터가 장착되어 있고, APC사의 프로펠러, Skycircuits SC2 자동항법장치내장, 장착가능 센서는 RGB 카메라(Sony A6000 미러리스), Twin NDVI 카메라(LUMIX), Multispectral 카메라(Tetracam 또는 Mica Sensor), 실시간 비디오촬영(go pro), 열화상 카메라 등 장착이 가능하다.

하천 녹조지도 작성을 위해 K 지역의 A 보 인근 지역을 선정하여 촬영하였다. 정사영상 생성을 위해 Computer Vision(CV)에서 Lowe(2004)에 의

해 개발된 Scale-Invariant Keypoints(SIFT) 알고리즘이 내재된 AgiSoft사의 Pix4D 프로그램을 이용하였다. 클로로필-a의 농도에 따른 면적 산출은 Auto CAD로 수행하였다. 정사영상에 위치 오차가 발생하는데, 이를 보정하기 위하여 지상기준점(GCP; System Arranging Ground Control Points)을 촬영전에 측량하여 사용하게 된다. 즉, 지상기준점은 이미지 정합 후 생성되는 포인트 클라우드의 정확성을 높여준다. 현장 수질 측정 시간은 UAV 촬영 후 1시간 이내에 배를 이용해 수심 50 cm 지점의 표층수를 대상으로 온라인 형광강도계(Multiparameter Portable Fluorometer, MODERNWATER AlgaeChek, UK)로 측정하였다. UAV 무인항공기 활용하여 측정대상 영역에 대한 정사영상 편집을 실시한 결과 생성된 영상의 GCP 오차범위는 X(Horizontal) 및 Y(Vertical) 모두 약 1 cm 이하로 나타났다. 촬영대상지인 하천의 정사영상 결과(RGB)는 그림 3과 같다. RGB 정사영상 결과는 NDVI 분석시 식생과 하천의 클로로필-a와 농도를 구별하는데 도움을 준다.



그림 2. 하천 녹조지도 작성 절차

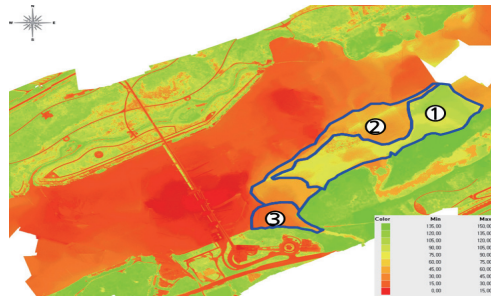


그림 3. 연구에 사용된 UAV

촬영대상지의 하천의 녹조와 간접적 연관성이 있는 클로로필-a를 NDVI와의 상관성 분석을 통해 하천 녹조 지도를 그림 3과 같이 작성하였다. 대상하천 지도와 측정된 클로로필-a 농도를 도시화하면 그림 3에서 보는 바와 같이 적색은 클로로필-a 농도가 0~15 mg/m³이고, 오렌지색은 45~60 mg/m³, 노란색은 75~90mg/m³로 나타났다. 1번 구역의 경우 클로로필-a 농도는 75~105 mg/m³이고, 대상하천면적은 약 49,240 m²로 분석되다. 2번 구역의 경우 클로로필-a의 농도는 45~75 mg/m³이고, 대상 하천 면적은 약 39,580 m²로 분석되었다. 3번 대상구역은 인근 하천 지류에서 발생된 녹조가 유입하여 정체된 구역으로 클로로필-a의 농도는 30~45 mg/m³이고, 대상 하천면적은 약 10,560 m²로 분석되었다.

4. 맺음말

기후변화에 따른 하천녹조 발생분포에 대한 지속적인 감시와 이에 대응하는 정책수립 및 현장에 적합한 녹조제거 대책을 수립하기 위해 본고에서 제시

한 바와 같이 UAV를 활용한 지속적인 하천녹조 모니터링 및 하천녹조지도 데이터베이스 구축은 필요하다. UAV를 활용하여 하천녹조지도 작성을 위해서는 넓은 하천 지역 촬영이 가능하고, GPS 기반 자율 비행이 가능하며, 긴 비행시간을 갖으며 고해상도의 정사영상 제작이 가능한 고정익 UAV가 회전익 UAV 보다 더 적합하다. 고정익 UAV에 장착된 분광센서를 통해 측정된 정규식생지수(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)는 하천에 녹조의 발생분포의 간접지표로 활용 가능한 클로로필-a와 상관성이 높은 것으로 분석되었다. 상기의 방법을 통해 대상 하천의 녹조 발생이 빈번한 녹조 우심수역의 클로로필-a의 농도 분포, 위치와 면적을 산출할 수 있고, 국가하천의 하상변동조사 뿐만 아니라 국가하천의 유입하는 지류의 수질감시가 가능하다. 뿐만 아니라, 분석된 녹조 우심지역에 대하여 녹조 제거대책 수립에도 효과적으로 활용 가능할 것이다. 향후 UAV를 활용한 기술은 하천 유지관리에 관한 실무에 유용한 정보를 제공할 것이다. 그러나 측정된 자료의 정확성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 장기간 동안 주기적인 UAV 장비 운용과 현장 수질 데이터가 확보되어야 할 것이다.

사 사

본 연구는 국토교통부 물관리연구개발사업의 연구비지원(과제번호 16AWMP-B098632-02)에 의해 수행되었습니다.



참고문헌

1. 국립환경과학원 (2011) 원격탐사 자료를 이용한 수질모델 검보정 연구
2. 이권호, 이소현(2012) 해색위성 원격탐사를 이용한 부유성 녹조 모니터링, 한국지리정보학회지, 15(3), 137-147
3. 이혁, 강태구, 남기범, 하림, 조정화 (2015) 분광특성을 이용한 담수역 클로로필-a 원격 추정 모형의 적용과 평가, 한국물환경학회지, 31(3), 272~285.
4. 임정호, 박중화, 손홍규, 원격탐사와 디지털 영상처리, 제3판, 시르마프레스.
5. 지성배 (2013) 다중시기 인공위성을 이용한 호수 수질 모니터링, 청주대학교 석사학위논문.
6. Lowe, G. D. (2004) Distinctive image features from scale-invariant keypoints, International Journal of Computer Vision, 20, 91-110.