

무인항공기를 활용한 저수지 인공식물섬 조류 이용현황 분석*

김경태 · 김영 · 김혜정 · 김성열 · 김휘문 · 송원경

단국대학교 녹지조경학과

Usage of Waterbirds on the Artificial Floating Islands in Reservoir using UAV*

**Kim, Kyeong-Tae · Kim, Young · Kim, Hye-Joung ·
Kim, Seoung-Yeal · Kim, Whee-Moon and Song, Won-Kyong**

Dept. of Green & Landscape Architecture, Dankook University.

ABSTRACT

Water-Birds are the birds that occupy the highest proportion in Korea, inland wetlands and reservoirs provide them with a good environment as habitat, but their habitats have been losing because of thoughtless development. Therefore, artificial plant islands in reservoirs are important for improving habitat environment and providing food resources. However, there are no research and standards on the built and management of artificial plant islands. So this study is to find out the density of bird using artificial plant island as habitat through monitoring using UAV focus on the Cheonho-reservoirs located in Seobuk-gu, Cheonan-si(Middle Chungcheong Province). Further, the correlation analysis with environmental factors was conducted to determine the effect of artificial plant islands as habitats for water-birds. The supervised classification of the three-time images taken by the drone identified 244 white-billed ducks and 46 mandarin ducks. The utilization rate was different for each photographed date, and more individuals were identified in wet artificial plant islands than dry ones. As a result of analyzing the utilization follow environmental factors, the distance from the trail showed a sig-

* 본 연구는 환경부의 재원으로 한국환경산업기술원의 도시생태 건강성 증진 기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(2019002760001).

* 이 연구는 2019년도 한국환경복원기술학회 춘계학술대회에서 발표한 것을 발전시켰음.

First author : Kim, Kyeong-Tae, Undergraduate school of Dankook University, 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 330-714, Korea, Tel : +82-41-550-6273 E-mail : kttank5@naver.com

Corresponding author : Song, Won-Kyong, Assistant Professor, Dept. of Green & Landscape Architecture, Dankook University, 119, Dandae-ro, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 330-714, Korea, Tel : +82-41-550-3636, E-mail : wksong@dankook.ac.kr

Received : 20 August, 2019. **Revised** : 29 October, 2019. **Accepted** : 25 October, 2019.

nificant correlation, and the other factors did not have a statistically significant effect. This study is the first case of the UAV monitoring method of the water-birds using artificial plant islands in the reservoir, and can be used as the basic data for the built and management.

Key Words : Biotope, Water birds, Multi-copter, Escape distance, NDVI, *Anas poecilorhyncha*, *Aix galericulata*

I. 서 론

우리나라 내 갯벌, 강 하구역 등의 습지생태계는 만주와 시베리아 등지에서 이동하는 수조류의 월동지 혹은 중간기착지로 활용되고 있다(Kang et al., 2008). 특히 수조류는 우리나라에 서식하는 조류 가운데 많은 비중을 차지하고 있는 종으로, 습지생태계는 이들에게 휴식 및 취식 장소로 좋은 환경을 제공하고 있다(Choi et al., 2007). 이처럼 수조류 서식지로서 습지생태계의 중요성이 대두되어 랍사르협약 및 습지보호지역 지정을 통해 개발을 규제하고 있다. 그러나 최근 보호구역으로 지정되지 않은 전국내륙습지가 무분별하게 개발되어 수조류 등 야생동물의 서식처 기능을 상실하고 있다(Dugan, 1990; Moon et al., 2010).

우리나라는 과거 벼농사 발달로 인해 농업용 저수지가 국토 전역에 분포하고 있어 저수지는 수조류잠재 서식지로서의 가능성이 확인되었다(Leeslie et al., 1994; Kwon et al., 2007). 그러나 대부분의 저수지는 조성 목적에 따라 수위 차가 커 수조류가 휴식을 취할 수 있는 여건이 부족하고 생태계 자정 순환 능력이 낮아 서식지로서 큰 한계가 있다. 이에 저수지 내 인공식물섬 조성을 통해 야생생물의 서식 환경 개선에 대한 가능성이 확인되었다(Kwon, 2007).

호소 내 인공식물섬 조성을 통한 침식 방지 및 수질 개선(Jung, 2006; Kim et al., 2013; Kwon et al., 2009; Park et al., 2000) 연구와 플라톤, 미생물 및 수생식물의 증가(Kim et al.,

2001 ; Kim et al., 2007; Lee et al., 2001)등 인공식물섬의 효과 및 먹이자원 제공 관련 연구가 진행되었으나, 인공식물섬을 이용하는 조류의 행동 및 환경 공간 특성을 확인한 연구는 전무한 현실이다. 또한 환경부의 「대체서식지 조성·관리 환경영향평가, 2013」에 따르면 저수지 내 대체서식지 조성은 단순히 저습지 중간에 건식 혹은 습식 인공식물섬을 설치하는 것을 권장하고 있어 조류의 서식 특성을 고려하지 않은 한계가 있다. 따라서 저수지를 서식지 및 월동 거점으로 삼는 조류에 대한 인공식물섬의 이용 특성을 파악하는 것이 필요하며, 나아가 지속적인 모니터링 결과를 반영한 인공식물섬 조성 및 관리 기법의 개발이 필요한 시점이다.

이와 함께 생태계 모니터링 연구 분야에서는 다양한 신기술을 접목하여 시공간적 한계를 극복하고 있다(Sardà-Palomera et al., 2012). 그 중 UAV(Unmanned Aerial Vehicle; 무인항공기)는 지상에서 원격 조종, 사전 경로 프로그램 등을 통한 자율비행 및 항공영상 촬영 기술을 의미하며 생태계 모니터링 연구에서 활용도가 높아지고 있다(Kim et al., 2014). UAV는 실시간 모니터링 및 정사영상, 수치표고모델, 식생지수 등을 구축이 가능하다. 또한 군사, 측량 분야에서 활용을 시작으로 최근 재난, 농업 및 환경 분야의 식생, 수질, 토양 모니터링 연구 등에 활용되고 있다(Zhang and Kovacs. 2012; Song, 2019). 지상 관측으로 인한 제한된 시야를 최소화하고, 육안 관측의 오차 등 한계를 크게 극복할 수 있어 야생생물 모니터링 분야 UAV의 활용성이

대두되고 있다(Park et al. 2019).

따라서 본 연구는 저수지 내 인공식물섬을 대상으로 수조류의 행동 특성을 UAV를 통해 모니터링하고, UAV를 통해 취득한 환경 정보를 접목하여 저수지 내 수조류 이용특성을 파악하고자 한다. 저수지를 이용하는 수조류 행동권에 영향을 미칠 것으로 판단되는 환경 공간 특성을 확인하여 향후 대체서식지 측면 인공식물섬의 설계 및 관리에 활용될 수 있는 기초자료를 제공하는 것이 본 연구의 궁극적인 목적이다.

II. 연구범위 및 방법

1. 연구 대상지

연구의 공간적 범위는 충청남도 천안시 신부동과 안서동 일대에 조성된 천호저수지(이하 천호지)를 대상이다(Fig 1). 천호지는 약 31만㎡의 넓은 면적을 갖는 천안 충남 내륙 지역 최대 저수지이다. 과거부터 천호지는 흰뺨검둥오리(*Anas poecilorhyncha*)와 원앙(*Aix galericulata*) 등 수조류의 중간기착지 및 서식지로 활용되고 있다. 2016년 천호지 인공식물섬 조성공사로 인해 연꽃 등 수생식물의 활착을 돕는 4개의 습식 인공섬과 흙을 성토하여 버드나무류 및 초본이 식재된 12개의 건식 인공섬이 조성되었다. 본 연구에서는 천호지에 조성된 습식 인공섬 4개와 건식 인공섬 12개를 공간적 범위로 한정했다.

2. 연구 대상종

연구 대상종은 연구 기간 천호지에서 주로 관찰된 흰뺨검둥오리와 원앙으로 선정했다. 흰뺨검둥오리는 전국 하천, 호수, 늪, 소택지, 간척지 등의 습지에서 생활하는 텃새로 알려져 있으며, 국내 습지생태계를 거점 및 서식지로 활용하고 있다(Won and Kim, 2011). 또한, 흰뺨검둥오리는 겨울철이 되면 북방지역에서 내려와 월동하는 겨울 철새이기도 하다.

원앙은 천연기념물 327호로서 전국의 산간계

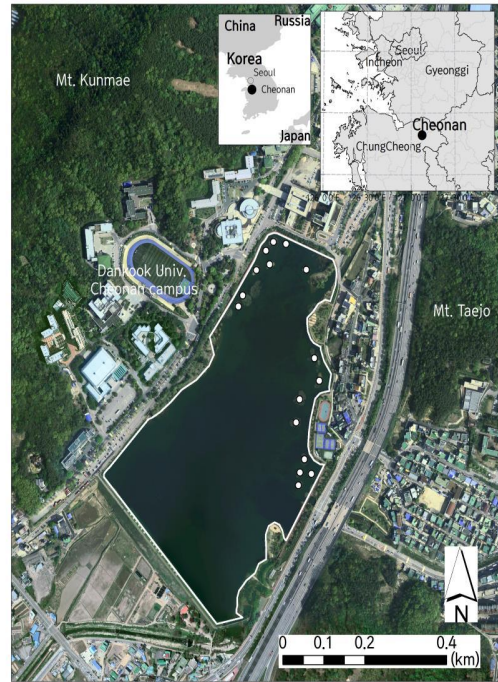


Figure 1. Location of study area, Cheonho- reservoir. Main survey area is designated by solid line, and artificial floating island is designated by white dot

류에서 서식하는 우리나라 텃새이다. 번식기에는 암수 외 무리를 구성하지 않으며, 비번식기가 되면 겨울철 북방지역에서 번식하는 큰 무리와 합류를 한다(Cho and Choi, 2002)

3. 도피거리 및 촬영고도 선정

야생동물은 자기방어를 위해 행동권 내 외부 침입이나 포식자의 등장에 회피하는 성향을 보인다. 도피거리(Escape distance)는 야생동물이 행동권 내 침입을 인지하고 회피를 시작하는 거리를 의미한다(Ruddock and Whitfield, 2007). UAV를 통해 수조류의 저수지 내 서식 특성을 모니터링 하기 앞서, UAV의 출현 및 소음으로 인한 수조류 도피거리를 확인하였다. UVA가 발생시키는 소음은 조사결과의 정확성에 중요 요인으로 관여되며(Brisson-Curadeau et al., 2017), UAV를 포식 동물로 인식하여 개체 수

조사에 부정확한 결과를 도출할 수 있으므로 UAV 도피거리에 대한 사전분석이 필요하다 (Vas et al., 2015; Brisson-Curadeau et al., 2017). 선행연구에 따르면 UAV 교란으로 인한 백로류의 평균 도피거리는 $52.9\text{m} \pm 4.8$ 로 확인되었다 (Park et al., 2019). 따라서 본 연구는 UAV의 법적 제한 고도인 150m를 고려하여 1m 단위씩 하강하였으며, 수조류가 최초로 UAV를 인식하는 도피거리를 측정하였다.

4. UAV 데이터 수집 및 분석

수조류 모니터링은 운량 등 기상 상황을 고려하여 2019년 3월 2주차부터 4월 1주차까지 약 3주 동안 매주 2회 이상으로 진행하였다. UAV 촬영은 천호지 내 대표 우점종인 흰뺨검둥오리의 서식지 이용패턴 및 활동시간을 고려하여 수조류 이동이 거의 없는 오전 8시부터 오전 10시 사이에 주로 진행했다 (Shin et al., 2016). UAV 기체는 DJI사의 Inspire2 회전익 드론과 Zenmuse X5S 카메라를 활용하였다 (Table 1). 데이터 수집을 위한 자동 이동 경로 및 촬영은 Pix4D Capture (Pix4D Inc.)를 활용하였으며 중·횡중복률 70%로 설정하여 영상자료를 취득했다.

Table 1. Specification of DJI INSPIRES2

Model	DJI INSPIRES2
UAV Type	Rotary wing
Flight altitude	2,500m
Flight speed	94km/h
Weight	3,440g
Flight time	23-27 mins
Take off/landing	auto/manual

5. 인공식물섬 이용 수조류 개체 탐지

UAV를 통해 취득한 이미지를 활용하여 인공식물섬을 이용하는 수조류 개체 모니터링을 진행하였다. 무인모니터링 시스템을 활용한 조류 개체군 동태에 관한 선행연구에 따르면 사진이

나 영상을 통해서 조류의 종 단위의 분류에는 한계를 가지지만 군집 별 동정이 불가능한 경우는 0.001% 미만이었다 (Nam et al., 2018). 또한 흰뺨검둥오리와 원앙과 같이 명확한 외향적 특성을 지니는 수조류에 있어서는 종 단위의 분류도 가능한 것으로 알려져 있다 (Nam, 2018).

인공식물섬을 이용하는 수조류의 개체탐지는 ArcGIS 10.5 (ESRI Inc.)를 활용하여 각 날짜별 촬영된 이미지 중 수조류로 판단되는 위치에서 포인트를 추출하는 감독분류 기법을 활용했다. 건식 및 습식 인공섬 반경 5m 내 개체는 인공섬을 이용하는 것으로 분류하였으며, 종(흰뺨검둥오리 및 원앙)을 분류하여 표시하였다 (Fig 2).

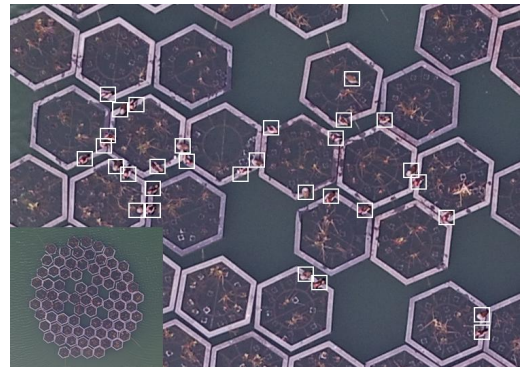


Figure 2. Marking of water-birds individuals using ArcGIS. The water-birds marked by block box

6. 환경 공간 요인

인공식물섬의 공간 및 환경적 특성에 따라 수조류의 출현 패턴과 서식지 이용 현황을 파악하고자 총 5개의 환경요인을 선정하였다. 수조류 행동 특성에 미치는 식생 요인, 지형 요인, 간섭 요인으로 분류하여 수조류와의 상관성을 조사하였다.

1) 식생 요인

식생 요인은 인공식물섬 별 식생이 차지하는 면적을 식생지수로 나타낸 것으로, 이를 통해 수조류가 포식자로부터 몸을 숨기는 은신처나 먹이

자원의 분포를 가능할 수 있을 것으로 확인된다. 식생 및 녹지의 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index; 정규화식생지수)가 조류 다양성 분석에 있어 중요한 변수로서 확인된 바 있다 (Song, 2018). 따라서 본 연구에서는 식생 요인을 확인하고자 식생 건강도 및 활력도 평가에 보편적으로 활용되는 NDVI를 활용하였다. NDVI는 기체에 PARROT사의 COMS 센서 타입 SEQUOIA 멀티스펙트럼 카메라(Multispectral Camera)를 부착하여 근적외선 밴드를 취득한 후 Pix4D Mapper 4.2.1(Pix4D Inc.)를 활용하여 도출했다.

2) 지형 요인

수조류의 행동 특성에 대한 지형 요인을 확인하고자 인공식물섬의 면적, 둘레복잡도지수, 인공식물섬 간 거리 변수를 구축하였다. 지형 요인은 무인항공기를 통해 촬영된 정사영상을 토대로 인공식물섬을 디지털화(Digitizing)하여 분석하였다. 둘레복잡도지수는 저수지의 둘레길 이를 동일면적의 원이 갖는 원주의 길이로 나눈 값으로(Ryding and Rast 1992), 결과값이 '1'에 기준으로 하여 커질수록 둘레의 형태가 복잡하다는 것을 의미한다.

3) 간섭 요인

일반적으로 조류는 자신의 행동권 내 인간의 침입에 영향받으며, 조류 서식지 보전을 위해 인간의 접근의 제한을 요구하는 간섭거리가 필요하다(Song, 2018). 따라서 인공식물섬과 산책로 간 거리를 통해 수조류에 미치는 간섭 요인을 파악하고자 하였다. 특히 천호지는 유동인구가 많은 산책로에 둘러 쌓여있어 많은 간섭이 우려되는 지역으로 인공식물섬과 산책로와의 거리의 관계를 파악하였다. 산책로와의 거리는 국토지리정보원에서 제공하는 1:5000 수치지형도에서 구축하였으며, 앞서 구축된 인공식물섬 공간데이터를 이용하여 현장에서 보정하였다.

7. 통계 분석

인공식물섬의 식생(NDVI), 지형(면적, 인공식물섬 간 거리, 둘레복잡도) 및 간섭(산책로와의 거리)요인과 연구 기간 출현한 수조류의 개체 수의 연관된 정도를 확인하기 위해 Pearson 상관분석을 실시했다. Pearson 상관분석은 두 변수간의 관련성을 확인할 때 보편적으로 이용되는 통계적 분석 방법이다. 상관계수 r 값이 ± 1 에 가까워질수록 강한 음, 양의 상관관계를 보이며 0에 가까워질수록 무시할 수 있는 선형관계를 보이는 것으로 두 변수 간의 관계를 확인할 수 있다. 이를 통해 인공섬을 이용하는 수조류에 영향을 미치는 환경 특성을 확인할 수 있어, 향후 인공식물섬 조성 계획 및 지침에 활용될 수 있는 환경요인을 도출하고자 진행하였다. Pearson 상관분석 및 통계처리는 R 3.4.2와 R Studio 3.4.2를 활용하였다.

III. 연구 결과 및 고찰

1. 도피거리 및 촬영 최저고도 선정

흰뺨검둥오리와 같은 수면성 오리류는 월동기간에 수계와 농경지를 이용하며, 먹이활동을 농경지에서 주로 한다고 보고된 바 있다(Baldassarre and Bolen, 1994). 선행연구와 마찬가지로 수조류의 모니터링을 시행한 인공식물섬은 취식지보다는 휴식지로서 주된 이용을 보였다. 따라서 수조류들이 UAV를 위협요소로 판단하고 휴식 장소를 빠르게 이동하는 시점을 도피거리 측정의 기준으로 삼았다. UAV를 통해 천호지 내 흰뺨검둥오리와 원앙의 도피거리를 측정한 결과 평균적으로 $5m \pm 0.5$ 로 나타났다.

UAV를 통해 백로류의 도피거리를 측정한 선행연구($52.9m \pm 7.8$)와 비교적 큰 차이를 보였다. 이러한 결과는 연구에 사용된 UAV의 종류 및 크기 차이로 인한 소음 발생량, 관측 조류 종의 차이 등으로 해석된다. 특히 본 연구에서는 수조류를 대상으로 조사하였다는 점에서 큰 차이

Table 2. The individuals of Spot-billed duck and Mandarin duck depend on artificial plant island and date

Classification		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	W1	W2	W3	W4	Sum
<i>Anas poecilorhyncha</i>	13 th march	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	28	0	0	32
	25 th march	8	8	1	1	0	0	0	15	0	0	0	0	14	28	0	35	110
	28 th march	8	0	0	15	0	0	13	9	0	0	0	0	2	26	4	23	100
	Sum	16	8	1	16	0	0	13	24	0	0	0	0	20	82	4	58	242
<i>Aix galericulata</i>	13 th march	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	25 th march	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	15	0	7	27
	28 th march	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	2	19
	Sum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	32	0	9	46
Total sum	16	8	1	16	0	0	13	24	0	0	0	0	25	116	4	67	290	

D: dry artificial plant island, W: wet artificial plant island

가 있었을 것이라고 판단된다. 수조류는 월동지 선택 후 특별한 방해요인이 없으면, 매년 동일 지역을 월동지로 이용한다(Kang et al. 2014). 저수지 내 흰뺨검둥오리는 주변 환경요인으로부터 적합한 텃새이자, 겨울 철새다. 따라서 개체 수 분석을 위한 UAV 최저 촬영고도의 기준은 본 실험결과에 따라 10m 이내로 설정했다. 그러나 UAV의 배터리 용량과 저수지 면적을 고려한 최대 드론 비행시간, 수조류 개체 판독분류가 가능한 고도 등을 고려하여 최종 촬영고도를 60m로 선정하였다. 연구는 촬영고도 60m, 평균 1시간 30분간 배터리를 3회 교체하여 촬영을 실시했다.

2. UAV영상을 통한 수조류 개체 탐지

약 3주간 8회 촬영을 실시했으나, 정확한 수조류 개체 분류가 가능한 3월 13일, 25일, 28일에 해당하는 3차례의 영상을 활용하여 수조류의 개체 수를 파악하였다. 저수지 내 12개의 건식 인공식물섬과 4개의 습식 인공식물섬에서는 흰뺨검둥오리, 원앙이 확인되었다. 관측일에 따른 인공식물섬을 이용하는 수조류의 개체 수는 3월 13일에 건식을 제외한 습식 인공식물섬에서 흰뺨검둥오리가 32개체 확인되었으며 원앙은 발

견되지 않아 연구기간 가장 적은 개체가 확인되었다(Table 2). 3월 25일은 흰뺨검둥오리가 건식 인공식물섬에서 33개체, 습식 인공식물섬에서 77개체로 확인되었으며, 원앙이 27개체로 총 137개체가 분류되었다. 3월 28일은 흰뺨검둥오리가 건식 인공식물섬에서 45개체, 습식 인공식물섬에서 55개체가 확인되었으며, 원앙은 습식 인공식물섬에서만 19개체가 확인되어 총 129개체가 분류되었다.

인공식물섬 유형별로 살펴보면 건식 인공식물섬에서 흰뺨검둥오리 총 78개체가 발견되었지만, 원앙은 한 개체도 출현하지 않은 특징을 보였다. 습식 인공식물섬에서는 흰뺨검둥오리가 164개체, 원앙이 46개체가 출현하여 건식 인공식물섬보다 이용 및 출현 빈도가 더 높았다. 특히 원앙의 경우 건식 인공식물섬을 전혀 이용하지 않았는데, 흰뺨검둥오리에 비해 저수지에 출현한 전체 개체 수가 적었고, 두 종이 다른 생활사 전략을 갖고 있는 것으로 판단된다. 또한 이전에 촬영된 영상으로 분석이 진행되어 먹이활동 과정에서 수조류는 습식 인공식물섬 이용률이 높은 것으로 사료된다. 수조류의 경우 오전·오후에 따라 이동거리, 행동패턴 등이 시간에 따라 다르게 나타나기 때문에(Shin et al., 2016),

장기간 모니터링과 보다 지속적인 방법이 필요할 것으로 판단된다. 이에 향후 연구에서는 개체에 직접 부착하는 원격무선추적 모니터링을 활용하여 조류의 이동 시기, 이동 경로, 행동 패턴 등을 다양한 규모로, 보다 과학적인 연구를 장기간 수행할 수 있으며 이를 통해 종의 보호 및 관리를 위한 기초자료로 활용될 가능성이 있다(Aebischer and Robertson, 1993; Yamaguchi et al., 2008; Krementz et al., 2011).

3. 인공식물섬 환경요인

인공식물섬을 이용하는 수조류 개체 수 분포와 인공식물섬 주변 환경요인과 상관관계를 분석한 결과(Table 3), 주변 산책로와의 거리를 제외한 나머지 모든 환경요인은 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 수조류의 출현 개체수는 인공식물섬의 면적($r=0.152$), 둘레복잡도($r=0.078$)가 높을수록 수조류의 높은 이용률을 보였으며, 포식자의 위협과 방해요인으로 인해 저수지의 높은 둘레복잡도 지수는 수조류의 개체 수를 감소시킨 선행연구와는 반대되는 결과였다(Moon et al., 2010). 이는 둘레복잡도가 커질수록 수계 내 포식자의 접근이 올라가는 저수지와는 달리 수조류가 주로 휴식을 취하는 장소인 인공식물섬의 둘레복잡도가 커질수록 수변의 길이가 증가하여, 포식자에 의한 위협과 방해로부터 보다 쉬운 대응이 가능한 것으로 사료된다. 결과적으로 저수지가 원형에 가까울수록(Moon et al., 2010), 저수지 내 인공식물섬은 둘레의 형태가 복잡할수록 수조류의 인공섬이용과 안정적인 분포에 이점으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다. 인공식물섬 간의 거리는 통계적으로 유의하지 않지만 음의 상관관계로서($r=-0.143$), 인공식물섬 간 거리가 가까울수록 인공식물섬을 이용하는 개체 수가 증가하였다. 경관생태학적 관점에서 조각 및 패치의 규모와 연결성은 집중적으로 논의되고 있는 사항으로 패치 간의 높은 연결성은 서식지의 질을 높일

수 있다(Turner et al., 2001; Benton et al., 2003). 이에 패치규모와 조각 특성의 차이가 있지만 유사한 결과가 확인되었으며, 인공식물섬 간 높은 연결성은 인공식물섬이 수조류의 휴식 및 먹이활동의 장소로서의 활용성을 증진시킬 수 있을 것으로 판단된다. 추후 패치규모, 조각 특성 및 종 차이등 수조류 서식처의 경관생태학적 연구를 통해 그관계를 규명하는 것이 필요하다. 인공식물섬 주변 산책로와의 거리는 통계적으로 유의한 양의 상관관계로서($r=0.529^*$, $*=p<0.05$), 산책로와 거리가 클수록 인공식물섬을 이용하는 개체수가 증가하였다. 드론에 대한 수조류의 교란 및 도피거리는 상대적으로 크지 않았으나, 인간과 행동권의 직접적 충돌은 수조류의 인공식물섬 이용에 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 특히 건식 인공식물섬의 경우 습식보다 저수지 내 산책로와 가깝게 설치되어 있어 건식 인공식물섬에서 수조류의 개체수가 적은 것으로 해석된다.

Shimada, 2001.에 의하면 흰뺨검둥오리가 위협으로부터 적합한 서식지는 위협을 받을 때 이동하는 거리와 교란과 간섭을 유발하는 도로의 길이를 곱한 면적이라 한다. 이에 인간 간섭에 대한 영향을 고려하여 수조류의 서식장소로서 인공식물섬을 산책로, 도로, 관찰대 등의 이격 거리를 두고 조성할 필요가 있다. 그러나 일반적으로 수조류는 습지에 의존하여 사는 종으로, 습지가 있는 곳을 벗어나면 경계가 심해지는 양상을 보인다. 따라서 산책로와의 거리보다 먼저, 건식과 습식의 차이가 출현 개체수 차이까지 영향을 끼친 것은 아닌지 짐작할 수 있다.그러나 본 연구는 UAV를 제외한 현장 조사가 따로 이루어지지 않아 대상지 내 종과 개체군의 분포, 서식환경에 대한 검증이 미흡하다. 추후에는 현장 조사를 병행한 다방면의 조사가 진행되어 연구의 한계가 보완되어야 할 것으로 판단된다.

인공식물섬 내 NDVI는 출현 수조류 개체 수와 통계적으로 유의하지 않지만, 양의 상관관계

Table 3. Correlation between population and environmental factor affecting the population

	Area	Circle Complexity	Distance		NDVI
			between artificial islands	Road(Sidewalk)	
Populaiton	0.076	0.078	-0.143	0.529*	0.376

*p < 0.05

를 나타냈다($r=0.376$). 본 연구는 3월 개업 이전 촬영되어 인공식물섬 내 식생들이 완전히 활착되지 않았지만, 습식 인공식물섬 내부에 수생식물과 건식 인공식물섬 내 초본 및 교목의 개업이 시작되는 시기로 이에 어느정도 수조류 출현에 영향을 미친 것으로 판단된다. 본 연구에 활용한 NDVI는 10cm급의 고해상도 영상으로 수조류 개체 단위의 환경변수를 분석하는데 용이한 자료로 의의가 있으나 취득한 NDVI는 3월 한시기만을 고려한 영상으로 NDVI 시계열적 변화에 따른 수조류의 개체 수 변화를 정량적으로 파악하는데는 한계가 있다. 따라서 향후 연구에서는 수조류의 주 이용시기인 11월~3월 시기 간 출현 데이터와 NDVI와 같이 시계열로 데이터가 변하는 변수에 대해 지속적인 데이터 수집이 필요할 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 연구는 UAV를 활용하여 저수지 내 인공식물섬을 이용하는 수조류 모니터링을 위한 연구로서, 흰뺨검둥오리와 원앙을 대상으로 인공식물섬 이용 및 출현 패턴을 파악하고자 하였다. 더불어 인공식물섬의 환경요인에 따른 수조류의 이용률을 파악했다. 수조류 모니터링을 위한 UAV 촬영고도 선정에 앞서 수조류의 도피거리를 파악하였으며, 적절한 개체 분류가 가능한 시점을 고려하여 촬영고도 60m로 진행하였다. 3월 13, 25, 28일 세차례 실시된 UAV촬영을 통해 수조류의 인공식물섬 이용특성을 확인하였다. 그 결과 3월 13일 인공 식물섬 이용률

이 가장 낮았으나, 이는 천호지의 수조류 전체 개체 수를 대변할 수 없다. 인공식물섬 외 저수지 내 전체적으로 고르게 분포하거나 주변 농경지 및 초지에 출현하는 것을 확인하였다. 이에 추후 연구에는 인공식물섬뿐만 아니라 저수지 주변 환경과 저수지의 전반적인 수조류 모니터링을 수행하여, 보다 정확한 저수지 내 서식패턴을 분석하는 것이 필요하다. 또한 두 종 모두 건식 인공식물섬보다 습식 인공식물섬을 선호하였으며 이는 흰뺨검둥오리와 원앙이 다른 생활사 전략을 이용한 것으로 사료된다. 그러나 연구의 기간이 짧고 촬영시간을 오전으로 한정하였기에 한계가 있다. 따라서 저수지 및 습지의 수조류 모니터링을 위해 본 연구방법과 원격무선추적기법을 병행한다면 보다 정확한 서식지 정보를 제공받을 수 있을 것으로 판단된다.

각 인공식물섬의 환경요인에 따른 서식지 이용특성을 살펴본 결과(table 3) 인공식물섬 면적, 둘레복잡도, 산책로와의 거리, 식생활력지수와 양의 상관관계를 나타냈으며, 인공식물섬 간 거리는 음의 상관관계로 분석되었다. 산책로와 거리만 통계적으로 유의한 상관성을 나타냈지만 결과적으로, 인공식물섬의 면적이 크고 형태가 복잡하며 산책로와 거리가 멀고 인공식물섬간 거리가 가깝고 섬 내 식생 활착정도가 높아야 이용률이 높았다. 이에 저수지 내 인공식물섬의 효과적인 조성·관리 방안과 과학적인 기초자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다. 하지만 본 연구는 표본의 수가 적고 단기간 모니터링으로서 한계가 있으며, 원앙과 흰뺨검둥오리만을 대상으로 수행하였기에 추후 연구를 통한 발전

이 필요할 것으로 판단된다. 이후 수조류의 서식처로 활용되는 내륙습지 및 저수지 등으로 확대분석하고 다양한 수조류 종의 검증을 위한 연구가 필요하며, 이를 위한 수조류의 인공식물섬 이용패턴연구의 기초자료로서 활용하고자 한다.

본 연구는 저수지 내 생태계 건전성 확보 및 서식처 제공을 위해 조성되었던 인공식물섬을 무인항공기 모니터링 기법을 통해 수조류 이용현황과 패턴을 파악하였다. 더 나아가 주위 환경요인의 상관관계 분석을 통해 인공식물섬을 과학적인 조성방안에 대하여 타당성을 갖는 최초의 연구로 의의를 갖는다.

References

- Aebischer, N. J. and P. A. Robertson. 1993. Compositional analysis habitat use from animal radio-tracking data. *Ecol.* 74(5): 1313-1325.
- Baldassarre, G.A. and E.G. Bolen(1994) *Waterfowl Ecology and Management*, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Benton, T. G. · J. A. Vickery and J. D. Wilson. 2003. Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends of Ecology and Evolution* 18: 182-188.
- Brisson-Curadeau, É · D. Bird · C. Burke · D.A. Fifield · P. Pace · R.B. Sherley · K.H. Elliott. 2017. Seabird species vary in behavioural response to drone census. *Scientific reports* 7(1):17884
- Choi. Y. B. · I. K. Kim · S. H. Jung · S. H. Yoo · T. H. Kang · H. S. Lee · W. K. Paek and C. G. Choi. 2007. A Study on the Use of Wintering Habitats of Water Birds Arriving at Coastal Wetlands in Jeollanam Province, Korea. *Korean journal of environment and ecology* 18(4): 456 - 464. (in korean)
- Dugan, P. J. 1990. *Wetland conservation: A review of current issues and required action*. Gland, Switzerland: IUCN.
- Jung, Y. J. 2006. Analysis of Floating Island Operation in the Paldang Lake. *Korean J. Society on Quality* 22(6): 1038-1044. (in Korean with English abstract)
- Kang, T.H., D.H. Kim, H.J. Cho, Y.U. Shin, H.S. Lee, J.H. Seo, J.K. Hwang(2014) Movements and Home-range of Mallards by GPS-Mobile based Telementary (WT-200) in Korea. *Korean J. Environ. Ecol.* 28(6): 642-649.
- Kwon, O. B. 2007. Study on the Improvement of Aquatic Ecosystem by Vegetated Artificial Floating Island (Masters dissertation). Kangwon University, Kang-won do, Korea. *Korean Journal of Ecology and Environment* 46(1): 116-127
- Kwon, Y. S. · H. K. Nam. · J. C. Yoo. · Y. S. Park. 2007. Distribution Patterns of Wintering Waterbird Communities in Urban Streams in Seoul, Korea. *Kor. J. Env. Eco.* 21(1): 55-66. (in korean)
- Kwon O.B., E.J. Lee, J.H. Park and T.S. Ahn(2009) Study on the Improvement of Aquatic Ecosystem by Vegetated Artificial Floating Island. *Korean J. Nature Conservation* 3(1): 29-38(in Korean with English abstract)
- Kim, B. Y. · K. S. Kim and Y. D. Park. 1988. Studies on the Nutrient Removal Potential of Selected Aquatic Plants in the Pig Wastewater. *Korean J. Environ. Agric.* 7: 111-135. (in Korean with English abstract)
- Kim, D. I. · Song Y. S. · G. H. Kim and C. W. Kim. 2014. A study on the Application of UAV for Korean Land Monitoring *Journal*

- of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography Vol. 32(1): 29-38 (in Korean)
- Kim, E.S., K.B. Sim, G.H. Chung and H.I. Choi(2013) Analysis and Prediction on Water Quality Improvements by Aquatic Plants in a Storage. Korean J. Soc. Hazard Mitig. 13(6): 439-446.(in Korean with English abstract)
- Kim, Y.J., J.K. Hur, J.H. Nam, I.S. Kim, K.S. Choi, S.I. Choi and T.S. Ahn(2007) Bacterial Abundances and Enzymatic Activities in the Pore Water of Media of Artificial Floating Island in Lake Paro. Korean J. Microbiology 43(7): 40-46.(in Korean with English abstract)
- Kim, Y.K., B.K. Koo and T.M. Ahn(2001). A Study on the Growth Characteristics of Riparian Plants on the Artificial Floating Islands. Korean J. Env. Res. & Reveg. Tech. 4(4): 25-35.(in Korean with English abstract)
- Matthieu G. · P. Hannu. · D. F. Anthony. · A. Celine. · D. Lisa. · E. Johan. · G. Gunnar. · E. H. Thomas. · K. C. Thomas. · L. Aleks. · M. Carl. · R. Jukka and A. P. Moller. 2013. Effects of climate change on European ducks: what do we know and what do we need to know? Wildl. Biol. 19 : 404-419.
- Krementz D. G. · K. Asante and L. W. Naylor. 2011. Spring migration of mallards from Arkansas as determined by satellite telemetry. Journal of Fish and Wildlife Management 2(2): 156-168
- Leslie D. M. Jr. · W. J. Stancill and R. F. Raskevitz. 1994. Use of an old multipurpose reservoir by migrating and wintering non-dabbling ducks. Proceedings of the Oklahoma Academy of Science 74: 21-24.
- Lee, H.H.M., O.B. Kwon, J.H. Suck and K.H. Cho(2001) Selection of Suitable for Artificial Floating Islands Comparisons of Vegetation Structure and Growth of Four Emergent Macrophytes. Korean J. Env. Res. & Reveg. Tech. 4(1): 57-66.(in Korean with English abstract)
- Moon, Y. M. · J. H. Choi. · J. C. Yoo. 2010. Environmental Factors Affecting Wintering Waterbird Abundance and Species Richness in Reservoirs, The Ornithological Society Of Korea, 17(4), 289-302. (in Korean)
- Nam, Hyung-Kyu, Myung-Hyun Kim, Soon-Ik Kwon, Jinu Eo, and Young-Ju Song. 2018. Study of Population Dynamics of Birds Using Unmanned Monitoring System in Rice Paddy. Korean Wetlands Society. 20(2): 124-130. (in Korean)
- Park, H. C. · S. H. Kil and O. H. Seo. 2019. The Use of Unmanned Aerial Vehicle for Monitoring Individuals of Ardeidae Species in Breeding Habitat: A Case study on Natural Monument in Sinjeop-ri, Yeosu, South Korea. The Korea Society For Environmental Restoration And Revegetation Technology. 22(1):73-84.
- Park, H. J. · O. B. Kwon and T. S. Ahn. 2000. Water Quality Improvement by Artificial Floating Island. J. Korean Env. Res & Reveg. Tech. 4(1): 90-97. (in Korean)
- Ryding, S. O. and W. Rast, Eds. 1992. El Control de la Eutrofización en Lagos y Pantanos. UNESCO, Pirámide, Madrid.
- Ruddock, M. and D.P. Whitfield. 2007. A review of disturbance distances in selected bird species. A report from Natural Research (Projects) Ltd to Scottish Natural Heritage

- 181
- Sam Rae Cho, Chung Il Choi. (2002). Special Issue: Ecosystem and Biodiversity of the Dong River Valley, Korea/ Articles; Ecological Studies en Avifauna of Dong River, Korea. Korean Journal of Limnology, 35(5), 337-343.
- Sardà-Palomera, F. · G. Bota. · G. Viñolo. · O. Pallarés. · V. Sazatornil. · L. Brotons. · S. Gomàriz and F. Sardà. 2012. Fine-scale bird monitoring from light unmanned aircraft systems, Ibis, 154(1), pp. 177-183.
- Shimada, T. 2001. Roosting of ducks on open water: resting site selection in relation to safety. Jpn. J. of Ornithol. 50: 167-174.
- Shin, Y. U · M. S. Shin · H. S. Lee · S. W. Han. S. M · Jung and H. S. Oh. 2016. A Study on Spot-billed Ducks' Daily Habitat Use Pattern During Wintering Period in Korea. Korean J. Environ. Ecol. 30(3): 328-334. (in korean)
- Song, W. K. 2019. Application of UAV for Vegetation Monitoring in Urban Green Space. J. Korean Env. Res & Reveg. Tech. 22(1): 61-72. (in korean)
- Song, W. K. 2018. Analysis of Urban Green Areas using NDVI and Development of a Model to Analyze Bird Diversity in Urban Parks. J. Korean Env. Res & Reveg. Tech. 21(1): 73-82. (in korean)
- Tae Han Kang , Seung Hwa Yoo, Si Wan Lee, Ok In Choi, Chong Bin Lee. (2008). A Study on the Habitat Use of Waterbirds and Grading Assessment of the Tidal Flat at Muan Bay in Jeollanamdo, Korea. Korean Journal of Environment and Ecology , 22(5), 521-529.
- Turner, M. G. · R. H. Gardner and R. V. O'Neill. 2001. Landscape Ecology: in the theory and practice. Springer, LLC, USA, 401pp.
- Vas, E. · A. Lescroël · O. Duriez · G. Boguszewski · D. Grémille. 2015. Approaching birds with drones: first experiments and ethical guidelines. Biology letters. 11(2): 2014075
- Won, P. O and H. J. Kim. 2011. The birds of Korea. Academy books. 945pp. (in korean)
- Woo, C. S · J. S. Yoon. · J. I. Shin and K. S. Lee. 2007. Automatic Extraction of Individual Tree Height in Mountainous Forest Using Airborne Lidar Data. Korean Society of Forest Science. 96(3): 251-258. (in korean)
- Yamaguchi, N. · E. Hiraoka · M. Fujita · M. Ueta · K. Takagi · S. Konno · M. Okuyama · Y. Watanabe · Y. Osa · E. Morishita · K. Tokita · K. Umada · G. Fujita and H. Higuchi. 2008. Spring migration routes of mallards(*Anas platyrhynchos*) that winter in Japan, determined from satellite telemetry. zoological Science 25: 875-881.
- Zhang, C and J. M. Kovacs. 2012. The application of small unmanned aerial systems for precision agriculture: a review. Precision agriculture 13(6): 693-712
- ss(AGB)