

백로류 집단번식지의 개체수 모니터링을 위한 무인항공기 활용연구 - 천연기념물 209호 여주 신접리 백로와 왜가리 번식지를 대상으로 -

박현철¹⁾ · 길승호²⁾ · 서옥하²⁾

¹⁾ 공간생태연구소 라움 · ²⁾ 강원대학교 생태조경디자인학과

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

Park, Hyun-Chul¹⁾ · Kil, Sung-Ho²⁾ and Seo, Ok-Ha²⁾

¹⁾ Spatial Ecology Institute RAUM Co.,

²⁾ Department of Ecological Landscape Architecture Design, Kangwon National University.

ABSTRACT

In this research, it is a basic study to investigate the population of birds using UAVs. The research area is Ardeidae species(ASP) habitat and has long-term monitoring. The purpose of the study is to compare the ASP populations which analyzed ground observational survey and UAVs imagery. We used DJI's Mavic pro and Phantom4 for this research. Before investigating the population of ASP, we measured the escape distance by the UAVs, and the escape distances of the two UAVs models were statistically significant. Such a result would be different in UAV size and rotor(rotary wing) noise. The population of ASP who analyzed the ground observation and UAVs imagery count differed greatly. In detail, the population(mean) on the ground observation was 174.9, and the UAVs was 247.1 ~ 249.9. As a result of analyzing the UAVs imagery, These results indicate that the lower the UAVs camera altitude, the higher the ASP population, and the lower the UAVs camera altitude, the higher the resolution of the images and the better the reading of the individual of ASP. And we confirmed analyzed images taken at various altitudes, the individuals of ASP was not statistically significant. This is because the resolution of the phantom was superior to that of mavic pro. Our research is fundamental compared to similar

First author : Park, Hyun-Chul, Spatial Ecology Institute RAUM Co.

Tel : +82-31-514-4273, E-mail : cj97044@gmail.com

Corresponding author : Kil, Sung-Ho, Department of Ecological Landscape Architecture Design, Kangwon National University, 1 Kangwondaehak-ro, Chuncheon-si, Gangwon 24341, South Korea,

Tel : +82-33-250-8342, E-mail : sunghokil@kangwon.ac.kr

Received : 30 October, 2018. **Revised** : 31 January, 2019. **Accepted** : 21 January, 2019.

studies. However, long-term monitoring for ASP of South Korea's by ground observation is a barrier of the reliability of the monitoring result. We suggested how to use UAVs which can improve long-term monitoring for ASP habitat

Key Words : Drone, Spatial ecology, Habitat environment, long-term monitoring, protected area

I. 서 론

무인항공기(UAV; Unmanned Aerial Vehicle, 이하 드론이라고 함)는 최초 군사용으로 개발되었고 기체의 소형화, 고해상도 카메라, 다목적 센서 개발 등 관련 기술이 발전하면서 군사, 항공, 측량, 항공촬영 분야에 주로 이용되었으나 위성영상에 비해 실시간 자료 취득이 가능하여 기상관측, 재난대응, 지리정보, 농업 등 다방면의 활용도가 증가하는 추세이다(Austin, 2011; Koh and Wich, 2012; Zhang and Kovacs., 2012). 특히 생태분야의 드론 활용은 영상 분석을 통한 동물 개체수 분석, 식생분석(Berni et al., 2009; Laliberte and Rango, 2009; Vermeulen et al., 2013; Weissensteiner et al., 2015)에 활용되어 생태 모니터링 분야의 중요한 도구가 될 것으로 기대하고 있다(Getzin et al, 2012). 또한 드론에 대한 생태학 연구자들의 이해도가 높아지고 전통적인 조사방식에 비해 효율적, 장비휴대의 간편성, 연구목적에 적합한 데이터의 수집이 가능하기 때문에 생태학 연구에 활용도가 높아지고 있다(Anderson and Gaston, 2013).

특히 개체수 모니터링에서 드론의 활용은 지상육안관측에 비해 정확성이 높기 때문에 개체군 모니터링 방법이 지상관측에서 항공관측으로 변화하는 추세이다(Hodgson et al., 2016; 2018). Weissensteiner et al.(2015)는 *Corvus corni*의 번식생태를 드론을 통해 모니터링 하였으며, Wilson et al.(2017)은 드론에 집음기를 설치하고 녹음된 소리를 분석하여 사람이 접근 불가능한 지역에 종 다양성을 분석하였다. 또한 드론 영상을 통해 조

류 개체군의 크기를 평가하거나(Chabot and Bird, 2012), 다양한 종이 번식하는 서식지에 각 종의 서식 공간을 구별하는 연구에 활용되기도 하였다(Sardà Palomera et al., 2017).

조류 개체군의 장기 모니터링(long-term monitoring)은 서식지 보전에 필수적이며, 기후변화, 토지이용변화에 따른 생태계 변화를 평가할 수 있는 효과적인 수단이다(Lindenmayer and Likens, 2009). 그러나 장기 모니터링에서 조사자의 주관적 측정, 누락, 오류, 조사자 변경에 따른 모니터링의 접근방법 변화에 따라 개체수 변동성이 크기 때문에 조사결과의 객관성을 유지하기 위한 합의가 필요하다(Furness et al., 1993; Thomas, 1996; Magurran et al., 2010). 이러한 상황에서 Hodgson et al.(2016)은 조류 개체수 모니터링의 신뢰성 확보를 위한 방법으로 드론영상을 분석한 개체수 조사 방법을 제안하였다. Hodgson et al.(2018)은 드론영상을 분석한 조류 개체수가 육안관측결과보다 정확하다는 결과를 도출하였으며, 이러한 추세에 맞추어 국내 조류 개체군 연구 특히, 조사결과의 객관성과 정확성이 필요한 장기 모니터링에 드론이 도입될 필요성이 있다.

따라서 본 연구는 장기모니터링의 정확성과 객관성 확보를 위한 드론 활용 기초 연구로 국내에서 장기 모니터링이 시행되고 있는 조류 번식지를 대상으로 육안으로 조사한 개체수와 드론영상을 분석한 개체수를 비교하여 두 가지 조사방법에 대한 개체수 비교하고, 개체군 장기모니터링에 드론 활용 시 장단점을 제시하여 드론 활용 방안을 모색하였다. 특히 시중에서 구매할 수

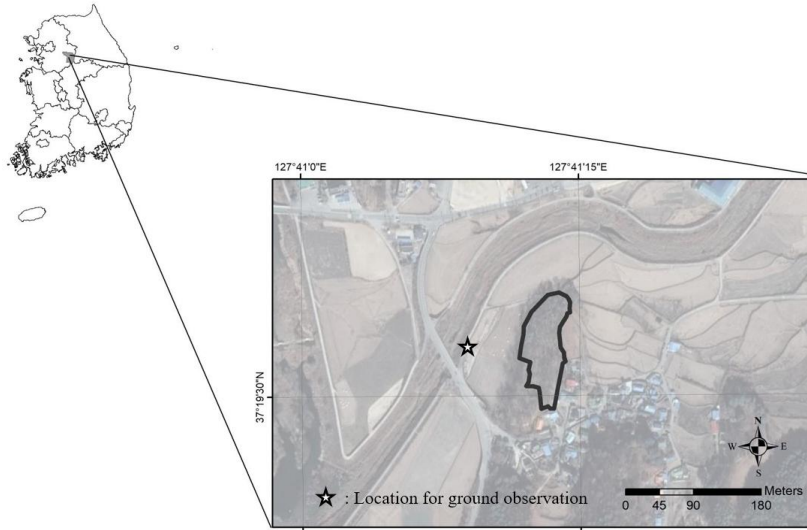


Figure 1. Study area for monitoring of egrets and grey herons populations in Breeding Ground. The black polygon is natural monument in Sinjeop-ri, Yeosu, South Korea

있는 드론 중에서 가격, 휴대성, 센서의 해상도가 다른 두 가지 드론 모델을 사용하여 향후 드론을 활용할 연구에 드론 선택의 방향성을 제시하고자 하였다.

연구 대상은 장기모니터링이 시행되는 중대백로와 왜가리(이하 백로류)가 번식하는 천연기념물로이며 2016년부터 번식 개체수 모니터링이 시행되고 있다. 개체수 조사에 앞서 드론 이동에 의한 백로류 회피를 최소화하기 위해 백로류가 드론을 인지하는 최소거리(도피거리)를 사전에 분석하여 드론 촬영을 위한 최저 고도를 분석하였다.

II. 연구 방법

1. 연구대상 지역

연구대상 지역은 경기도 여주시 북면 신접리 소재 천연기념물 제209호 ‘백로와 왜가리 번식지’이며 1968년 7월 18일 천연기념물로 지정되었다(Figure 1). 지정면적은 6,450m²이고 보호지역에 번식하는 조류는 백로과(Ardeidae)의 중대백로(*Ardea alba modesta*, Egret)와 왜가리(*Ardea cinerea*, Grey Heron)이다. 백로과 조류는 서식지

의 건강성 평가를 위한 생물학적 지표종(biological indicators)이며, 이들의 번식 여부와 개체수는 주변 환경의 변형이나 오염 정도에 매우 민감하게 반응하기 때문에 많은 국가들이 모니터링을 실시하고 있다(Milstein, 1970; NIER, 2012).

2. 드론 모델 선정.

본 연구에 사용한 드론은 항공촬영용 카메라를 탑재한 기성품을 대상으로 하였으며, 드론정보 사이트(www.anadronestarting.com)의 판매순위와 드론의 크기, 휴대성, 카메라 해상도 등을 고려하여 백로류 번식지 촬영에 적합할 것으로 판단되는 두 가지 모델(Mavic pro, Phantom4 pro)을 선정하였다(Table 1).

3. 촬영 최저고도 선정

야생동물은 자신의 행동권 내에 침입하는 외부 물체 또는 포식자로부터 자신을 보호하기 위해 회피하는 성향을 나타내고 외부 물체를 인지하여 최초 회피하는 거리를 도피거리(Escape distance)라고 한다(Ruddock and Whitfield, 2007). 따라서 드론으로 조류를 촬영할 경우 조류가 드론

Table 1. Drone sources

Items	Mavic pro	Phantom4 pro
Manufacturer	DJI	DJI
Weight	734g	1,368g
Max Flight Time	Approx. 31 minutes	Approx. 30 minutes
Camera Sensor	1/2.3" CMOS Effective pixels: 12M	1" CMOS Effective pixels: 20 M
Camera lens	FOV: 78.8° APS-C: 28 mm Aperture: f/2.2	FOV: 84° APS-C: 24 mm Aperture: f/2.8-11
Size	305×244×85 mm (L×W×H)	289.5 × 289.5 × 196 mm (L×W×H)
Rotor noise*	75.4dB	81.0dB

* The rotor noise was measured at a distance of 1m above the ground.

을 인지하여 도피하는 거리를 고려하여 촬영 최저고도를 선정할 필요가 있다.

도피거리 측정을 위해 초경량무인항공기의 법적 제한 고도인 150m에서 하강하면서 연사 촬영을 실시하였고 백로가 드론을 인지하여 최초 도피하는 고도(등지로부터 드론의 거리)를 측정하였다.

본 연구대상지는 중대백로와 왜가리가 번식하는 곳이며 도피거리 측정은 두 종이 번식을 위해 등지를 형성하는 시기(2018년 3월22일)에 측정하였다. 등지 형성에 도피거리를 측정한 이유는 산란 및 포육기에는 알이나 새끼를 보호하기 위해 외부의 위협에도 백로류가 위치를 보전하는 행위(Gilchrist, 1999)를 고려하였기 때문이며 도피거리 측정은 10회 반복하여 그 평균을 촬영 최저고도로 하였다.

4. 개체수 분석

백로류 개체수는 지상육안 관측과 드론으로 촬영한 영상의 개체수를 분석하고 두 방법의 결과를 통계적으로 비교하였다. 따라서 두 방법을 동일기간에 실시하였고 지상육안 관측 후 드론 촬영을 실시하였다(2018년 4월 24일).

① 지상육안 관측

지상육안관측은 번식을 위해 도래한 백로류가 등지를 형성하고 두 종 모두 육추하는 시기에

실시 하였다. 개체수 조사는 천연기념물 조사 지침에 따라 번식개체가 조망되는 지역을 선정하여 조사자 10명이 필드스코트(Barska 20-60×60 WP)와 쌍안경(Nicon Aculon T01 10×21)을 이용하여 육안 관측하고 개체수를 기록하였다(NIER, 2012). 지상육안관측 위치는 백로류 번식지에서 87m이격된 곳으로 번식지를 모두 조망할 수 있는 지역이다(Figure 1).

② 드론 촬영

드론 촬영은 매빅과 팬텀 두 모델을 사용하여 최고 상승 고도(지표면으로부터 150m)에서 도피거리 분석에서 확인된 최저 고도까지 50m 단위로 하강하면서 촬영하였다(Figure 2). 최고 고도에서는 이미지 한 컷에 번식 등지가 모두 촬영되지만, 촬영고도가 낮아질수록 카메라 시야각(FoV)의 영향으로 이미지 한 컷에 번식등지가 모두 촬영되지 않았다. 이를 개선하기 위해 계획비행시스템(flight planning system)을 적용하여 번식지를 분할 촬영하였고 분할된 영상을 병합하여 개체수 분석에 사용하였다. 계획비행시스템은 Pix4D의 Pix4DCapture™을 사용하였으며, 분할 영상 병합은 오픈드론맵(OpenDrone Map, 2017)을 사용하였다.

③ 드론영상 개체수 카운팅

각 드론 모델 및 고도별로 촬영된 이미지를 조

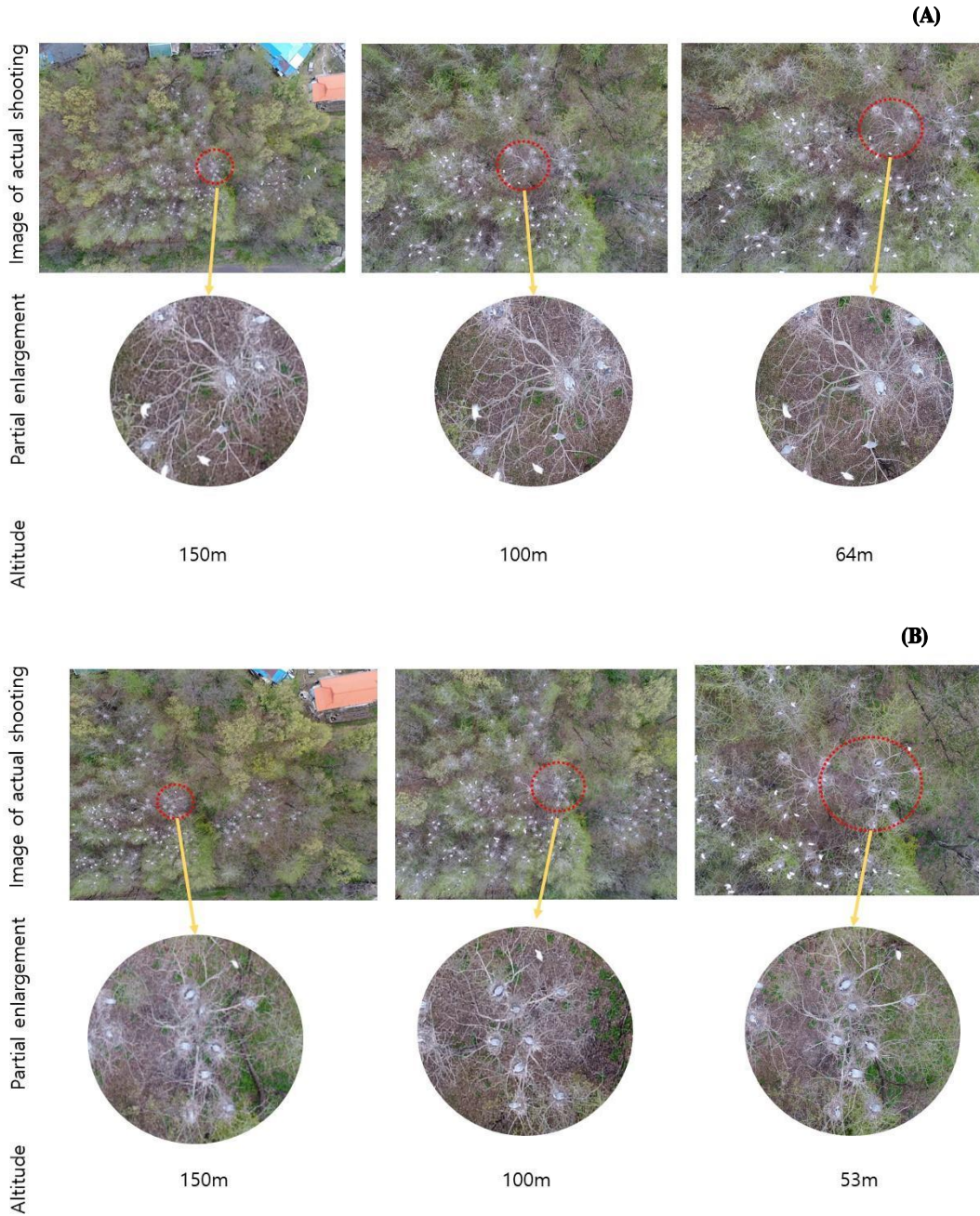


Figure 2. Breeding ground images taken with the drones at various altitudes, and the circle image is a partial enlargement of the original image(A: PHANTOM, B: MAVIC)

사자 10명에게 배분하고 이미지를 캐드 프로그램에서 불러들여 백로류로 판단되는 부분에 마킹을 하도록 하였다. 마킹 이미지는 캐드의 블록

카운팅 기능을 이용하여 마킹 갯수를 계산하고 이를 백로류 개체수로 하였다. 캐드프로그램은 Autodesk의 Autocad 2007을 사용하였다(Figure 3).

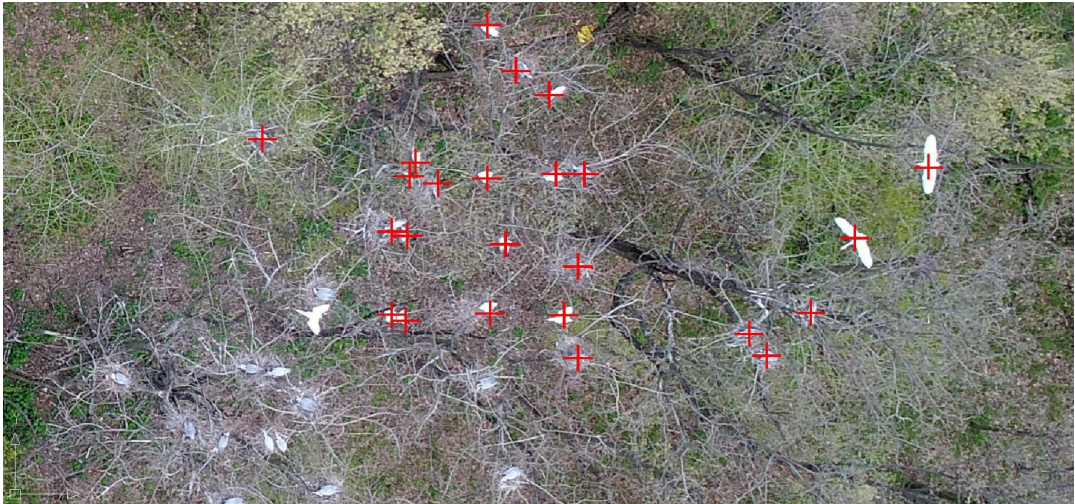


Figure 3. Marking of heron and egret individuals using CAD tool(The cross is a marking block)

5. 통계처리

도피거리 선정과 각 조사 방법에 의한 개체수의 평균 비교를 위해 평균간 비교를 실시하였다. 도피거리는 독립표본 T-test를 실시하였고, 각 분석 조건별 개체수 평균 비교는 다중평균비교방법인 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였으며 통계처리는 R(R Core Team, 2017)을 사용하였다.

III. 연구 결과 및 고찰

1. 촬영 최저고도

매빅의 도피거리 분석결과 평균 도피거리는 $52.9\text{m} \pm 4.8$ 이었으며, 팬텀의 결과는 평균 $63.7\text{m} \pm 3.3$ 이었다(Table 2).

두 모델에서 측정된 도피거리의 평균간 차이를 통계적으로 규명하기 위해 독립표본 t-test를 실시하였으며, 분석결과 양측검정 기준으로 $p=0.0001$ 로 두 드론에서 측정된 도피거리의 평균간 차이가 통계적으로 인정되었다(Figure 4). 이에 따라 개체수 분석을 위한 최저 촬영고도를 매빅은 53m, 팬텀은 64m로 선정하였다. 드론 모델에 따른 도피거리의 차이는 드론의 사이즈 및 로터

의 소음이 원인인 것으로 판단된다. 드론의 특징(Table 1)에서도 매빅이 팬텀보다 로터 발생 소음 및 크기가 작았다.

드론을 활용한 동물모니터링에서 드론이 발생하는 소음은 조사결과 정확성에 관여하는 중요 요인이다(Brisson-Curadeau, 2017). 드론을 포식 동물로 인식하여 공격성을 보여 그로 인해 개체수 조사가 부정확 할 수도 있으며 촬영대상 동물의 행동생태, 측정일의 기상, 배경소음에 따라 회피거리는 달라질 수 있다(Vas et al., 2015; Brisson-Curadeau, 2017). 따라서 드론을 활용한 동물 개체수 조사를 시행할 경우 조사대상 동물의 도피거리에 대하여 사전 분석할 필요가 있으며, 필요에 따라 원거리에서 망원렌즈를 사용하는 방법도 대안이 될 수 있다.

Table 2. The escape distance of the heron and egret measured by different models of drones

Descriptive statistics	Mavic pro	Phantom 4 pro
Mean	52.9	63.7
Max	60	69
Min	45	59
SD	4.8	3.3

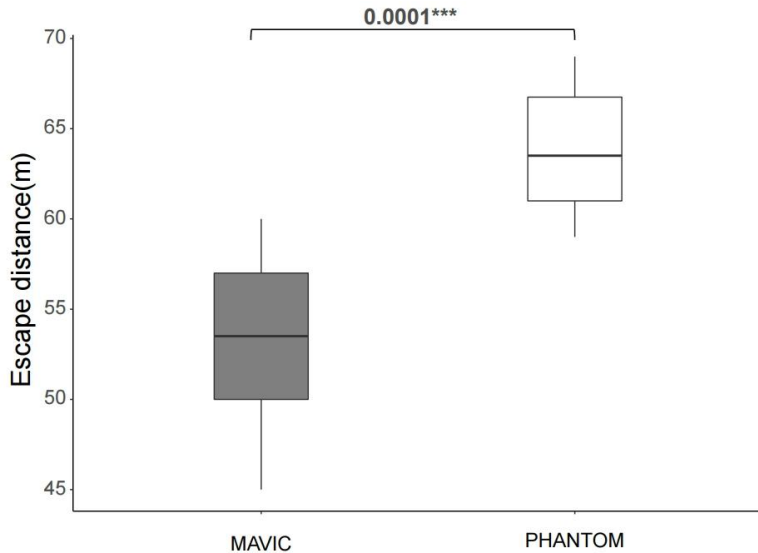


Figure 4. Box plot of expression levels of escape distance by Mavic and Phantom. The plot illustrates that the sets are different from each other in terms of expression level. *p*-value denotes the result from pair-wised t-test.

2. 개체수 측정

① 지상육안 관측

개체수 모니터링을 위한 지상 육안조사는 관측이 용이한 지점에서 10명의 인원이 시행하였다. 조사결과 최대 개체수 219, 최소 개체수 127이었으며, 평균은 174.9 ± 31.6 이었다(Table 3).

본 육안관측에 참여한 인원은 환경부 전국자연환경조사원 분류 기준으로 전문조사원 4명, 일반조사원 6명이었으며, 조사자의 경험이나 주관적 기준에 따라 개체수 편차가 높았다. 이러한 개체수 편차는 유사연구에서도 보고 되었으며 장기 모니터링에 참여하는 인원이 변경될 경우 조사결과와 변동, 왜곡 가능성을 시사하는 것으로 객관적 결과를 도출할 수 있는 개체수 조사의 필요성을 뒷받침한다(Furness et al., 1993; Thomas, 1996; Magurran et al., 2010; Pavlacky et al., 2017; Hodgson et al., 2018).

② 드론영상 개체수 카운팅(매빅)

매빅의 촬영고도는 최고고도를 150m, 도피거

리인 53m를 최저고도, 그 중간단계인 100m로 선정하였다. 촬영된 영상은 10명의 조사자에게 배분하여 백로류로 판별되는 영상패턴에 블록마킹하도록 하였다.

개체수 조사 결과, 최저고도인 53m 영상의 최대 개체수는 252, 최소 개체수는 248였고 평균 249.8 ± 1.2 이었다. 100m에서 촬영한 개체수를 분석한 결과 최대 개체수 249, 최소 개체수 246이었으며, 평균 247.3 ± 1.0 이었다. 가장 높은 고도인 150m에서 촬영한 영상을 분석한 결과 최대 개체수 251, 최소 개체수 243이었으며, 평균 247.1 ± 2.5 이었다(Table 3).

고도별 개체수 평균의 통계적 유의성을 검증하기 위해 일원배치분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고 분석 결과 100m, 150m의 *p*-value는 0.961로 평균간 차이가 없는 것으로 나타났으며, 53m와 100m는 $p=0.007$, 53m와 150m는 $p=0.003$ 으로 유의수준 0.001에서 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(Figure 5).

또한, 촬영고도가 낮아질수록 평균 개체수가

Table 3. The individuals of heron and egret by ground observation and drone image analysis

	Ground observation	mavic			phantom		
		53m	100m	150m	64m	100m	150m
mean	174.9	249.8	247.3	247.1	249.9	248.7	248.4
max	219	252	249	251	251	250	251
min	127	248	246	243	248	247	246
SD	31.6	1.2	1.0	2.5	1.0	1.1	1.8
<i>p</i> -value*	0.16	0.57	0.11	0.93	0.06	0.12	0.13

*The *p*-value is the result of normality verification by the Shapiro - Wilk test

많았으며 이는 촬영고도가 낮을수록 고해상도의 영상을 취득할 수 있기 때문에 영상판독의 정확도가 높아짐을 의미한다. 반면 고도가 높아질수록 해상도가 낮아 인접한 2개체를 한 개체로 판독하는 등 영상의 해상도가 개체수 차이의 원인으로 판단된다.

③ 드론영상 개체수 카운팅(팬텀)

팬텀의 최고와 중간 촬영고도는 매빅 촬영고도와 동일한 150m, 100m 이며, 최저촬영고도는 도피거리 분석에서 선정한 64m로 하였다. 각 고도에서 촬영된 영상은 매빅으로 촬영된 영상과 동일과정을 거쳐 개체수를 파악하였다.

최저고도인 64m에서 촬영된 영상을 분석한 결과 최대 개체수 251, 최소 개체수 248이었으며, 평균 249.9 ± 1.0 이었다. 반면 중간 단계인 100m에서 촬영된 영상에서는 최대 개체수 250, 최소 개체수 247이었으며, 평균 248.7 ± 1.1 이었다. 최고 높이인 150m에서 촬영된 영상에서는 최대 개체수 250, 최소개체수 246이었으며, 평균 248.4 ± 1.8 이었다(Table 3).

각 촬영고도 개체수 평균을 비교하기 위한 일원배치분산분석에서는 64m와 100m에서 $p=0.162$, 100m와 150m의 $p=0.886$, 64m와 150m는 $p=0.066$ 이었으며, 각 그룹 간 *p*-value가 0.05이상으로 평균가 차이가 없는 것으로 분석되었다(Figure 5).

매빅 영상에서 판독된 개체수는 고도별로 차이가 있었으나 팬텀영상은 고도별 개체수의 평균간 차이가 없었다. 이러한 원인은 팬텀의

CMOS 센서가 매빅에 비해 고해상도이기 때문에 높은 고도에서 촬영된 영상을 확대하여도 육안으로 판독이 가능한 충분한 해상도를 확보할 수 있었기 때문이다.

④ 지상육안관측과 드론 영상 카운팅 비교

지상육안관측과 드론 영상판독에 의한 개체수를 비교해본 결과 지상육안관측의 표준편차는 31.6, 드론영상 판독은 1.0~2.5였다(Table 3). 또한 드론영상을 판독한 백로류 개체수가 지상육안관측결과 보다 많았다. 이러한 결과는 지상에서 관측할 수 없는 부분까지 드론 영상에서 확인할 수 있었기 때문이며 드론 영상 판독이 개체수 분석에 유리하다는 것을 시사한다.

이 결과는 Hodgson et al.(2018)의 연구 결과와 같았지만 본 연구에서는 실제 모집단의 크기를 알 수 없었기 때문에 절대오차¹⁾를 통한 개체수 정확성 비교에 한계성이 있었다.

또한 드론 모델별 개체수 비교에서 팬텀은 촬영 고도별 평균 개체수 차이가 없었으나, 매빅의 경우 촬영 고도별 평균 개체수 차이가 있었다. 이러한 원인은 드론 카메라의 해상도 때문으로 판단된다. 따라서 조류 개체수 분석을 위해 드론을 활용할 경우에는 조류 서식지 조건에 맞는 촬영고도와 드론 모델을 선택할 필요가 있다. 또한

1) Hodgson et al.(2018)의 모형조류를 이용한 실험과 같이 모집단을 결정하고 육안지상관측과 드론영상 판독 결과를 절대오차로 비교하면 정확성 비교가 가능하다.

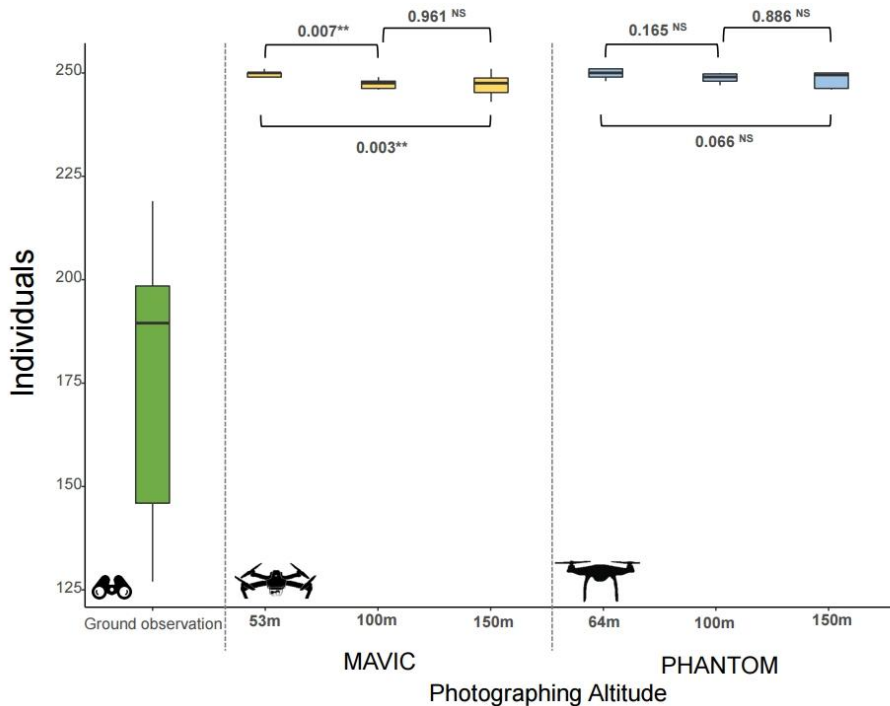


Figure 5. Box plot of expression levels of individuals of heron and egret by image taken with drone and ground observation. The plot illustrates that the sets are different from each other in terms of expression level. p-value denotes the result from one-way ANOVA

본 연구의 드론 촬영 시기는 번식지의 수목이 개엽(開葉)하기 전에 실시하였으나 개엽 이후에 촬영할 경우 상대적으로 하부에 위치한 개체는 판별할 수 없기 때문에 촬영 시기 선정도 고려해야 할 것이다.

IV. 결 론

이 연구는 드론을 활용한 조류 개체수 조사의 기초연구로 장기모니터링이 시행되고 있는 백로류 번식지를 대상으로 육안관측조사와 드론촬영 영상을 분석한 조류 개체수를 비교하여 장기모니터링에 드론의 활용성을 알아보기 위해 수행되었다.

백로류 개체군을 촬영하기 위해 사이즈, 로터소음, 카메라 해상도가 다른 두 가지 드론 모델(매빅, 팬텀)을 사용하였으며, 드론 접근에 의한

백로류 도피거리를 사전에 파악하였다. 회피거리(번식지 상공으로 부터의 거리) 분석결과 매빅의 도피거리는 $52.9m \pm 4.8$, 팬텀은 $63.7m \pm 3.3$ 이었으며 두 모델의 도피거리는 통계적으로 유의하였다. 이러한 차이는 드론의 사이즈 및 로터소음이 원인인 것으로 판단되며, 연구대상 조류 및 서식지 유형에 따라 도피거리가 다를 것이므로 드론을 활용한 조류 개체수 연구에서는 도피거리를 사전에 분석할 필요가 있다.

개체수 측정은 지상육안관측, 매빅과 팬텀으로 촬영한 영상을 활용하였다. 백로류 개체수 조사 방법 별 평균 개체수는 지상육안관측 174.9개체, 매빅 촬영 247.1~249.8개체, 팬텀 촬영 248.4~249.9개체였다. 지상육안관측은 드론촬영 결과보다 편차범위가 상대적으로 컸으며 이는 조사자에 따라 개체수 조사결과가 주관적이라는 것을 방증하는 것이고 시계열 자료의 누적이 목적인

장기모니터링에서 개선될 부분이다. 반면, 드론 촬영 영상을 분석한 결과에서는 촬영고도가 낮을수록 평균 개체수는 증가하였고 이는 고도가 낮을수록 높은 해상도의 영상을 취득하여 개체수 파악에 유리하다는 것을 의미한다.

그러나 촬영 고도별 평균 개체수 비교에서 펜텀은 통계적 유의성이 인정되지 않았기 때문에 고도별 평균 개체수는 같다고 볼 수 있다. 이러한 결과는 펜텀의 CMOS 해상도가 매빅보다 높았기 때문이며, 드론을 활용한 개체수 연구에서 카메라 해상도가 중요 요인임을 시사하고 있다.

백로와 왜가리 집단 번식지는 환경 변화에 따른 번식 개체수 모니터링이 필수적이다(NIER, 2012). 번식지 주변의 일반환경(토양 이화학성, 국지기상, 수질 등)과 인문환경(교통량, 인구밀도 토지이용 변화)은 측정 장비 또는 통계조사에 의한 객관화와 시계열자료 구축이 가능하다. 그러나 개체수 조사는 조사자의 역량에 의해 오차가 생길 수밖에 없다. 이 연구에서도 드론 영상 분석과 지상육안관측의 개체수의 표준편차를 비교하면, 지상 육안조사의 편차가 더 큰 것으로 나타났다. 만약 백로류 번식지의 장기 모니터링을 실시할 때 조사수행기관 또는 조류 조사자가 변경되면 개체수 조사결과의 신뢰도가 객관화된 다른 모니터링 항목에 비해 낮아질 수 있다(Pavlacky et al., 2017). 따라서 개체수의 오차범위 줄일 수 있고 객관성을 확보할 수 있는 본 연구 방법론을 활용한다면 개체수의 시계열 자료 확보에 도움이 될 것이다.

본 연구는 기초연구로 단순 영상판독에만 드론을 활용했으며, 본 연구를 통한 백로류 번식지 개체수 모니터링의 드론 활용 장점은 다음과 같다. ①개체수의 시계열 자료구축에 개인의 주관적 성향이 배제된 객관적 자료 구축 가능 ②중대 백로, 왜가리가 도래하는 경우 두 종의 색상 구별이 확실하여 종별 개체수 구분 가능 ③백로류 번식지의 정상영상(orthophoto)을 이용하여 각 번식지의 공간좌표 생성이 가능할 뿐만 아니라

등지 이용정보(연도별 등지의 공간밀도, 신생 등지, 미사용 등지)의 공간정보화가 가능하다. 또한 드론 영상에 자동 객체인식 기술을 적용한다면 모니터링의 정확성과 효율성은 향상될 수 있다.(Chabot and Francis, 2016; Wich and Kohm, 2018).

반면 드론 운항 시 발생하는 로터 소음에 의한 스트레스는 모니터링 적용에 단점이 될 수 있다(Mulero-Pázmány et al., 2017). 그러나 본 연구에서 드론 촬영은 2명의 인원이 약 5분에 수행하였고, 지상육안 관측은 약 20분 내외가 소요되었다. 또한 번식지 내부에서 개체수, 등지수 등의 번식생태 조사를 하는 시간(일반적으로 3명이 2시간 소요)을 고려한다면 드론 조사가 인건비 및 동물복지 차원에서 더 효율적일 것으로 판단된다.

드론은 센서의 고효율성 및 다양화, 가격의 하락으로 생태학 및 보전생물학 분야에 활용할 부분이 상당하다(Schiffman, 2014; Schofield et al., 2017). 조사자의 주관적 기준에 의한 정보구축의 한계를 벗어나 영상, 공간정보 등 객관적인 자료 기반의 연구가 필요한 시대이며, 이 연구를 통해 백로류 번식지의 개체수 모니터링 방법론이 개선되길 기대한다.

Acknowledgement

이 연구는 2018년도 정부(과기정통부)의 재원으로 한국연구재단 생애 첫 연구사업의 지원을 받아 수행된 연구이며(C1014337-01-01), 백로류 개체수 조사와 드론(펜텀)을 지원해 주신 (주)화정엔지니어링 연구진에 감사드립니다.

References

- Anderson, K and K.J. Gaston. 2013. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11(3):138-146
- Austin, R. 2011. Unmanned aircraft systems: UAVs

- design, development and deployment (Vol. 54). John Wiley & Sons
- Berni, J.A. · P. J. Zarco-Tejada · M. D. Suárez Barranco and E. Fereres Castiel. 2009. Thermal and narrow-band multispectral remote sensing for vegetation monitoring from an unmanned aerial vehicle. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47(3):722-738
- 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
- Chabot, D. and D.M. Bird. 2012. Evaluation of an off-the-shelf unmanned aircraft system for surveying flocks of geese. *Waterbirds* 35(1): 170-174
- Chabot, D. and C.M. Francis. 2016. Computer-automated bird detection and counts in high resolution aerial images: a review. *Journal of Field Ornithology* 87(4): 343-359
- Getzin, S. · K. Wiegand and I. Schöning. 2012. Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles. *Methods in Ecology and Evolution* 3:397-404
- Gilchrist, H.G. 1999. Declining thick-billed murre *Uria lomvia* colonies experience higher gull predation rates: an inter-colony comparison. *Biological Conservation* 87(1):21-29
- Furness, R.W. · J.J.D. Greenwood and P.J. Jarvis. 1993. Can birds be used to monitor the environment?. In *Birds as monitors of environmental change*. Springer. Dordrecht. pp.1-41
- Hodgson, J.C. · S.M. Baylis · R. Mott · A. Herrod and R. H. Clarke. 2016. Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. *Scientific reports*. 6:22574
- Hodgson, J.C. · R. Mott · S.M. Baylis · T.T. Pham · S. Wotherspoon · A.D. Kilpatrick and L.P. Koh. 2018. Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. *Methods in Ecology and Evolution* 9(5): 1160-1167
- Koh, L.P and S.A. Wich. 2012. Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. *Tropical Conservation Science* 5(2):121-132
- Labliberte, A.S. and A. Rango. 2009. Texture and scale in object-based analysis of subdecimeter resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47(3): 761-770
- Lindenmayer, D.B and G.E. Likens. 2009. Adaptive monitoring: a new paradigm for long-term research and monitoring. *Trends in Ecology & Evolution* 24(9):482-486
- OpenDroneMap [Computer software]. 2017. Retrieved from <https://github.com/OpenDroneMap/OpenDroneMap>
- Magurran, A.E. · S.R. Baillie · S.T. Buckland · J.M. Dick · D.A. Elston · E.M. Scott and A.D. Watt. 2010. Long-term datasets in biodiversity research and monitoring: assessing change in ecological communities through time. *Trends in ecology & evolution* 25(10): 574-582
- Milstein, P.L. · I. Prestt and A.A. Bell. 1970. The breeding cycle of the Grey Heron. *Ardea*. 58 (17):1-257
- Mulero-Pázmány, M. · S. Jenni-Eiermann · N. Strebel · T. Sattler · J.J. Negro and Z. Tablado. 2017. Unmanned aircraft systems

- as a new source of disturbance for wildlife: A systematic review. *PloS one* 12(6): e0178448
- NIER. 2012. Egrets and herons in Korea. National Institute of Environmental Research: National Institute of Environmental Research Publishing (in Korean)
- Pavlacky Jr, D.C. · P.M. Lukacs · J.A. Blakesley · R.C. Skorkowsky · D.S. Klute · B.A. Hahn · D.J. Hanni. 2017. A statistically rigorous sampling design to integrate avian monitoring and management within Bird Conservation Regions. *PloS one* 12(10): e0185924
- R Core Team. 2017. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; 2016. Available from: www.r-project.org
- 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
- Sardà Palomera, F · G. Bota · N. Padilla · L. Brotons and F. Sardà. 2017. Unmanned aircraft systems to unravel spatial and temporal factors affecting dynamics of colony formation and nesting success in birds. *Journal of Avian Biology* 48(9):1273-1280
- Schiffman, R. 2014. Drones flying high as new tool for field biologists. *Science* 344 (6183): 459
- Schofield, G · K.A. Katselidis · M.K. Lilley · R.D. Reina and G.C. Hays. 2017. Detecting elusive aspects of wildlife ecology using drones: new insights on the mating dynamics and operational sex ratios of sea turtles. *Functional ecology* 31(12): 2310-2319
- Thomas, L. 1996. Monitoring long term population change: why are there so many analysis methods?. *Ecology*. 77(1): 49-58
- 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
- Vermeulen, C. · P. Lejeune · J. Lisein · P. Sawadogo and P. Bouché. 2013. Unmanned aerial survey of elephants. *PloS one* 8(2): e54700
- Wich, S.A. and L.P. Koh. 2018. Conservation Drones: Mapping and Monitoring Biodiversity. Oxford University Press
- Wilson, A.M · J. Barr and M. Zagorski. 2017. The feasibility of counting songbirds using unmanned aerial vehicles. *The Auk* 134(2): 350-362
- Weissensteiner, M.H · J.W. Poelstra and J.B. Wolf. 2015. Low-budget ready-to-fly unmanned aerial vehicles: An effective tool for evaluating the nesting status of canopy-breeding bird species. *Journal of Avian Biology* 46(4): 425-430
- 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