

무인모니터링 시스템을 활용한 논습지에 도래하는 조류 개체군 동태 연구

남형규·김명현·권순익·어진우·송영주[†]

농촌진흥청 국립농업과학원

Study of Population Dynamics of Birds Using Unmanned Monitoring System in Rice Paddy

Hyung-Kyu Nam·Myung-Hyun Kim·Soon-Ik Kwon·Jinu Eo·Young-Ju Song[†]

National Institute of Agricultural Sciences

(Received : 21 March 2018, Revised: 02 May 2018, Accepted: 02 May 2018)

요약

본 연구는 무인모니터링 시스템을 활용하여 논에 도래하는 조류의 현황과 개체군 변동 특성을 확인하기 위해 수행되었다. 무인모니터링 시스템을 이용한 조사와 전문가에 의한 현장 조사를 비교하여 개체군 변동 특성의 유사성을 파악하였고, 무인모니터링 시스템 조사를 통해 확인된 조류의 개체군 변동을 시공간적으로 평가하였다. 무인모니터링 시스템을 활용한 조사는 철원, 당진, 부안, 해남 4곳에서 2014년 1월 1일부터 2016년 12월 31일까지 06:00부터 20:00까지 14시간 동안 10분 단위로 촬영하였다. 전문가에 의한 현장 조사는 2016년 1월부터 12월까지 당진에서 월 1회 수행되었다. 무인모니터링 시스템을 활용하여 조사기간 동안 한 대의 무인모니터링 시스템에서 총 91,980장의 이미지를 획득하였다. 획득한 이미지 자료를 분석하여 백로류, 도요물떼새류, 오리기러기류의 동정 및 개체군 변동을 확인하였다. 무인모니터링 시스템과 현장 조사를 비교해보면 수조류 군집 변동 패턴이 현장 조사 결과와 유사한 것을 확인 할 수 있었다. 특히 백로류의 개체군 변동의 유사성이 가장 높게 나타났다. 무인모니터링 시스템을 이용하여 지역별 백로류의 개체군 변동 특성을 확인한 결과 지역에 따라 개체군 변동 특성이 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 또한 무인모니터링 시스템은 월 단위, 일 단위, 분 단위와 같이 다양한 시간 스케일에서 개체군 변동 특성을 확인 할 수 있는 장점을 가지는 것으로 나타났다. 무인모니터링 시스템을 이용한 장기적인 자료 축적은 논습지를 활용하는 수조류 군집의 세부적인 장기변동 특성뿐만 아니라 미래 예측에도 유용하게 이용될 것으로 기대된다.

핵심용어 : 개체군 동태, 논습지, 무인모니터링 시스템, 수조류

Abstract

This study was conducted to identify the characteristics of bird population dynamics using unmanned monitoring system in rice paddy. We compared the similarity of population dynamics of birds between unmanned monitoring system and field survey, and evaluated the spatial and temporal patterns of population dynamics of birds using the unmanned monitoring system. The monitoring using the system was conducted from January 1, 2014 to December 31, 2016 in Cheolwon, Dangjin, Buan, and Heanam. The images from the system were obtained at 10-min intervals from 6:00 to 20:00. The field survey was conducted once a month in Dangjin from January to December 2016. Total 91,980 images were obtained from the unmanned monitoring system. We extracted the number of individuals for herons, shorebirds, and waterfowl from the images. The population dynamics of waterbirds using the unmanned monitoring system were similar to that in field survey. Especially, population dynamics of herons was more similar than other waterbirds. It was identified that the population dynamics of herons using the unmanned monitoring system was different among the Cheolwon, Dangjin, Buan, and Heanam. Furthermore, the unmanned monitoring system was available on various time scale such as month, day, and minute. It is expected that long-term data storage using the unmanned monitoring system can be used to identify in detail and forecast the population dynamics of birds in rice paddy.

Key words : Population dynamics, rice field, unmanned monitoring system, waterbirds

[†] To whom correspondence should be addressed.
National Institute of Agricultural Sciences
E-mail: syj8109@korea.kr

1. 서 론

전세계적으로 자연습지가 급격히 감소하면서 조류의 대체 서식지로 눈에 대한 관심이 높아지고 있다(유립: Lourenço and Piersma, 2008; 북미: Elphick and Oring, 2003; 아시아: Maeda, 2001). 일부 지역의 눈은 높은 보전 관심이 필요한 종에게 필수 서식지로 작용하기도 한다(Shuford et al., 2001; Sánchez-Guzmán et al., 2007). 우리나라에서 눈과 조류에 관한 연구는 눈을 중요 서식지로서 인식하기 보다는 특정 조류 분류군의 연구에서 확인되는 여러 서식지 중 하나라는 인식이 주를 이루고 있다(백로류: Choi et al., 2007; Choi et al., 2008; 기러기류: Yoo et al., 2008; Park et al., 2013). 최근 연구에서 조류 서식지로서 눈의 구조와 기능에 관한 연구가 점차 증가하고 있다(Nam et al., 2012; Kim et al., 2013; Nam et al., 2015; Nam et al., 2016).

눈은 시기별 다양한 영농활동에 의해 수생태계와 육상생태계가 계절에 따라 반복적으로 나타나며(Fasola and Ruíz, 1996), 이러한 특성으로 인해 다양한 생물에게 주요한 서식 공간을 제공하고 있다(Stafford et al., 2010; Han et al., 2013). 특히, 조류에게는 번식지(breeding sites), 중간기착지(stopover sites), 월동지(wintering sites)와 같이 계절에 따라 뚜렷한 기능을 가진 서식지를 제공한다(Fujioka et al., 2001). 눈 서식지를 이용하는 조류의 다양성이 상당히 높은 이유도 사계절 내내 다양한 취식지 및 서식지로 이용할 수 있기 때문인 것으로 고찰한다(Nam et al., 2015).

최근 생태학 연구에서는 다양한 기술을 접목하여 조류 모니터링 방법의 시공간적 접근의 한계성을 조금씩 극복하고 있다(Sardà-Palomera et al., 2012). 예를 들어 무인 카메라를 활용한 희귀종이나 멸종위기종 연구(O'Brië and Kinnaird, 2008; Dinata et al., 2008), 태양전지와 비디오 카메라를 활용한 접근이 어려운 지역에서 번식하는 조류 연구(Margalida et al., 2006), 인공위성 영상자료를 활용한 서식지 평가 연구(Toral et al., 2011), 레이저 빔과 열 화상 카메라를 활용한 이동성 조류 연구(Gauthreaux and Livingston, 2006) 등과 같이 기술의 발전으로 인해 조류 모니터링에서도 다양한 방법이 적용되고 있다. 기술의 집약적인 발전과 더불어 산업 발전의 패러다임이 변화함에 따라서 새로운 기술의 적용을 통한 다양한 기술개발 방향을 모색하고 있다.

눈 생태계를 포함한 농업생태계는 환경오염, 농약의 과다 사용, 기후변화 등의 문제로 인해 생물다양성 감소나 생물계절 변화와 같은 큰 위협을 받고 있다(Chamberlain et al., 2000; Kim, 2003; Crick, 2004). 이러한 위협의 영향을 확인하기 위해 생물다양성 감소나 생물계절 변화에 관한 객관적이고 구체적인 자료가 필요하다. 융합기술을 활용한 장기적인 생물모니터링 시스템 개발과 구축은 농업생태계의 변화 양상에 대한 자료를 정량적이고 효율적으로 확보할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 IT 기술의 기능인 정보의 저장 및 전송이 가능한 무인모니터링 시스템을 활용하여 눈에 도래하는 조류의 개체군 변동 특성을 확인하기 위해 수행되었다. 무인모니터링 시스템을 전문가에 의한 현장 조사와 비교하여 시스템의 정확성을 확인하고, 무인모니터링 시스템을 활용하여 지역별, 시기별 특성을 파악하고자 한다. 이를 통해 장기적인 조류 개체군 변동 자료의 효율적인 수집 가능성을 확인하고 실제 눈에 도래하는 조류를 대상으로 적용 가능한 범위를 가능해보고자 한다.

2. 재료 및 방법

2014년 1월 1일부터 2016년 12월 31일까지 강원도 철원군, 충청남도 당진시, 전라북도 부안군, 전라남도 해남군에 무인모니터링 시스템을 설치하여 눈을 이용하는 조류의 개체군 변동을 확인하였다. 이들 지역의 선정은 위도별 위치, 무인모니터링 시스템의 설치 가능 여부, 유지 및 관리의 용이성을 고려하여 선정되었다.

무인모니터링 시스템은 촬영부와 전원공급부로 구성되어 있다(Fig. 1). 촬영부는 촬영 시간과 간격 등을 조절할 수 있는 소프트웨어가 탑재된 디지털카메라(Cannon Powershot G1X Mark III 24megapixel format)와 디지털카메라를 보호하는 틀로 구성되어 있다. 촬영부의 점검 및 자료 수집을 위해 도르레와 와이어를 이용하여 촬영부 전체를 움직일 수 있도록 하였다. 전원공급부는 태양광을 집광하여 전압을 발생시키는 솔라모듈과 직류 전압으로 변환시키는 솔라컨트롤러, 전기를 충전하는 배터리로 구성되어 있다.

무인모니터링 시스템의 촬영부는 관찰이 용이하도록 6m 높이에서 06:00부터 20:00까지 10분 단위로 총 14시간동안 촬영하였다. 촬영 간격은 10분단위였고 촬영한 이미지는 메모리카드에 저장하여 월 1회 수거 및 교체하거나 인터넷망을 이용하여 직접 이미지 자료를 전송 받았다. 지역 당 1일 획득한 이미지는 총 84장이었고, 2014년부터 2016년까지 3년간 획득한 이미지는 총 91,980장이었다. 획득한 이미지를 바탕으로 백로류(왜가리 포함), 도요물떼새류, 오리기러기류로

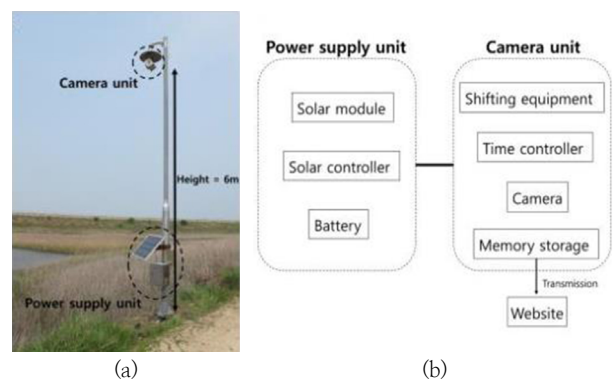


Fig. 1. The structure of unmanned monitoring system. (a) Photograph of unmanned monitoring system. (b) Diagram of specific structure of unmanned monitoring system.

Table 1. List of waterbird species observed using unmanned monitoring system in rice paddy

Group	Common Name	Scientific Name
Herons	Black-crowned Night Heron	<i>Nycticorax nycticorax</i>
	Striated Heron	<i>Butorides striata</i>
	Eastern Cattle Egret	<i>Bubulcus ibis</i>
	Grey Heron	<i>Ardea cinerea</i>
	Great Egret	<i>Ardea alba</i>
	Intermediate Egret	<i>Egretta intermedia</i>
	Little Egret	<i>Egretta garzetta</i>
Shorebirds	Black-winged Stilt	<i>Himantopus himantopus</i>
	Northern Lapwing	<i>Vanellus vanellus</i>
	Common Snipe	<i>Gallinago gallinago</i>
	Black-tailed Godwit	<i>Limosa limosa</i>
	Spotted Redshank	<i>Tringa erythropus</i>
	Common Greenshank	<i>Tringa nebularia</i>
	Wood Sandpiper	<i>Tringa glareola</i>
Waterfowl	Bean Goose	<i>Anser fabalis</i>
	White-fronted Goose	<i>Anser albifrons</i>
	Mandarin Duck	<i>Aix galericulata</i>
	Falcated Duck	<i>Anas falcata</i>
	Eurasian Wigeon	<i>Anas penelope</i>
	Mallard	<i>Anas platyrhynchos</i>
	Eurasian Spot-billed Duck	<i>Anas poecilorhynchos</i>
	Northern Shoveler	<i>Anas clypeata</i>
	Northern Pintail	<i>Anas acuta</i>
	Eurasian Teal	<i>Anas crecca</i>

나누어 동정하고 개체수를 함께 기록하였다(Table 1 참고). 전문가에 의한 현장 조사는 2016년 1월부터 12월까지 월 1회 당진에서 조사가 수행되었다. 농로를 따라 이동하면서 출현하는 모든 종과 개체수를 쌍안경(Leica 10 x 42)과 망원경(Leica 25 x 50)으로 확인하였다. 확인된 종들의 개체수는 무인모니터링 시스템과 비교하기 위해 백로류, 도요물떼새류, 오리기러기류로 합산하였다.

무인모니터링 시스템과 전문가에 의한 현장조사에 의한 개체군 변동 특성의 정확성을 확인하기 위해 두 조사법에 의한 개체군 변동을 퍼센트로 치환하여 비교하였다. 개체군 변동 폭을 20%로 설정하여, 총 5개 변동 폭(0-20%, 21-40%, 41-60%, 61-80%, 81-100%)으로 나누어 변동 폭의 일치와 불일치를 확인하여 최종적인 정확성을 파악하였다. 또한 두 조사방법에 따른 수조류 군집 별 개체군 변동의 유사성을 확인하기 위해 Kolmogorov-Smirnov test를 수행하였다. Kolmogorov-Smirnov test 결과 나타난 D 값은 비교하고자 하는 두 조사방법에서의 최대 거리를 의미한다. 따라서 D 값이 작을 경우 유사성은 커지게 된다. Kolmogorov-Smirnov test는 R 프로그램을 이용하였다(R Development Core Team, 2017).

3. 결과 및 논의

철원, 당진, 부안, 해남 총 4지역의 무인모니터링 시스템을 통해 수집된 사진은 총 367,920장이었고, 그 중 백로류, 도요물떼새류, 오리기러기류의 사진은 총 81,998장으로 확인되었다. 분류군별로는 백로류 80,949장, 도요물떼새류 280장, 오리기러기류 769장 이었다. 조류들 중 일부 명확한 외형적 특성을 가지고 있는 조류(예: 왜가리, 장다리물떼새, 두루미, 까치 등)를 제외하고는 종 수준으로 동정하기에는 어려움이 있었다. 그러나 백로류, 도요물떼새류, 오리기러기류와 같이 수조류 군집 별 동정이 불가능한 경우는 확인된 전체 수조류 군집 사진 중에서 0.001% 미만으로 나타났다. 이를 통해 무인모니터링 시스템을 활용한 백로류, 도요물떼새류, 오리기러기류 수준에서의 분석은 충분한 가능성이 있는 것으로 판단된다.

무인모니터링 시스템을 통해 확인된 백로류, 도요물떼새류, 오리기러기류는 지역(철원, 당진, 부안, 해남)에 따라 개체군 변동 특성이 다르게 나타났다(Fig. 2). 백로류는 철원을 제외한 나머지 3지역에서 모두 매년 봄철에 도래하기 시작하여 여름철에 증가하는 주기적인 특성이 확인되었지만 철원에서는 2016년도에 확인되지 않았다. 도요물떼새류는 철원과 부안에서는 봄철에만 관찰되는 특성을 보였고, 당진과 해남에서는 봄철 또는 가을철에도 관찰되었다. 무인모니터링 시스템 조사에서는 도요물떼새류의 지역별 차이가 뚜렷이 나타나고 연 중 도래 패턴이 유사하게 나타나진 않았다. 오리기러기류는 주로 가을철 또는 겨울철에 관찰되었다. 개체수는 철원에서 가장 많이 확인되었고 다음으로 당진, 부안, 해남 순으로 나타났다. 무인모니터링 시스템을 통해 확인된 오리기러기류 역시 지역별 차이가 뚜렷이 나타나고 연 중 도래 패턴이 유사하게 나타나진 않았다.

무인모니터링 시스템과 전문가에 의한 조사 방법을 활용한 수조류 군집별 계절적 도래 특성을 확인해본 결과 관찰되는 개체수는 차이가 크게 나타났지만, 계절적 도래 패턴은 유사하였다(Accuracy, Herons = 91.7%; Shorebirds = 83.3%; Waterfowl = 75.0%) (Fig. 3). 또한 일반적으로 논을 이용하는 수조류 군집별 계절적 도래 특성인 봄철 도요물떼새류의 도래, 여름철 백로류의 도래, 겨울철 오리기러기류의 도래하는 특성이 무인모니터링 시스템을 활용한 조사에서도 뚜렷이 나타났다(Yoo et al., 2008; Nam et al., 2012).

두 조사법에 의해 확인된 백로류의 개체군 변동은 다른 수조류 군집과 비교했을 때 상당히 유사한 것으로 나타났다(Herons, $D = 0.250$, $p = 0.848$; Shorebirds, $D = 0.285$, $p = 0.937$; Waterfowl, $D = 0.333$, $p = 0.518$) (Fig. 3). 이는 백로류가 다른 자연서식지보다 논을 가장 선호하기 때문으로 판단된다(Fasola and Ruiz, 1996). 백로류의 번식 동지 수는 번식지 주변 논 면적이 중요 인자로 작용할 만큼 백로류는 논과 밀접한 관련성을 가진다(Fasola and Barbieri, 1978). 또한 다른 수조류에 비해 조사 시 명확히 관찰된다는 특성도 두 조사방법에 의한 차이가 줄어든 것으로 생각된다(Maeda, 2001).

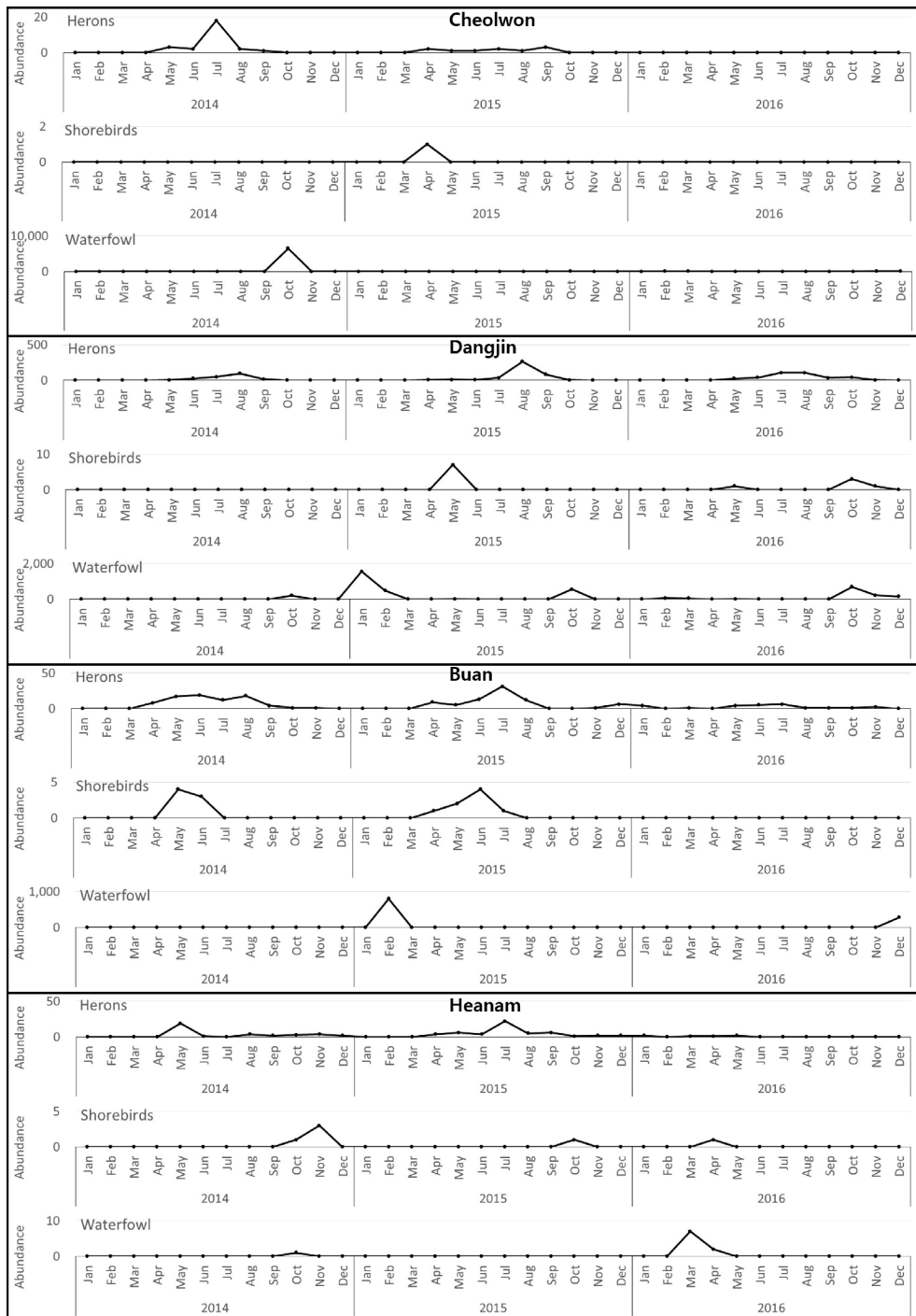


Fig. 2. Population dynamics of herons, shorebirds, and waterfowl using unmanned monitoring system from January 1, 2014 to December 31, 2016 among the four regions such as Heanam, Buan, Dangjin, and Cheolwon.

도요물떼새류의 개체군 변동을 비교해보면, 봄철 도래 패턴은 유사했으나 가을철 도래 패턴에서는 차이가 있었다. 도요물떼새류의 가을철(9월) 도래 패턴은 전문가 조사에 의한 조사에서는 일정 개체수가 확인되었지만, 무인조류모니터링 시스템에서는 관측되지 않았다. 9월 현장 조사에 의해 관찰된 도요물떼새류는 대부분이 알락도요였다. 이 시기는 벼가 높이 성장하기 때문에 크기가 작은 알락도요가 무인모니터링 시스템에서는 관측되지 않은 것으로 판단된다. 오리

기러기류는 10월에 최초 도래하는 특성과 1-2월에 월동하는 특성은 무인모니터링 시스템과 전문가에 의한 조사에서 유사하게 나타났으나 11-12월까지 개체수 패턴과 최대 개체수가 관측되는 시기에는 두 조사법에 차이가 있었다. 오리기러기류는 무리를 형성하는 습성으로 인해 필지당 이용개체수가 다른 수조류 군집에 비해 상당히 많다(Nam et al., 2015). 즉, 논에서 관찰이 될 경우 많은 수가 관측되고 그렇지 않은 경우 관찰이 거의 되지 않는 특성을 가진다. 또한 월동

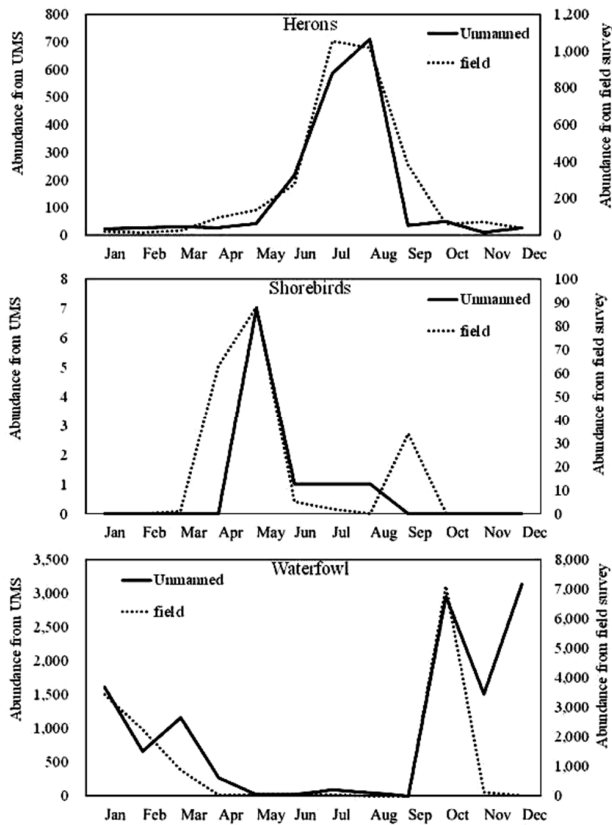


Fig. 3. Comparison of population dynamics according to census methods among the each waterbirds from January 1, 2015 to December 31, 2015.

후반으로 갈수록 행동 범위가 커지는 특성으로 인해 월 1회로 수행된 현장 조사에서 관찰이 되지 않을 가능성이 있다 (Yoo et al., 2008).

백로류, 도요물떼새류, 오리기러기류에서 두 조사방법에 따른 개체수 차이는 조사 면적의 차이에 의한 원인이 클 것으로 판단된다. 무인모니터링 시스템의 관찰 범위는 약 2.5 ha 였고 전문가에 의한 조사 범위는 약 3,900 ha 로 1,500배 이상 차이가 난다. 오히려 단위 면적당 개체수를 비교하게 되면 무인모니터링 시스템이 더 많은 것을 확인 할 수 있다. 이러한 특성을 고려해 볼 때, 초기 무인모니터링 시스템 조사 범위 설정 시 조류의 분포 밀도가 높은 지점을 선택할 경우 효율적인 개체군 변동 특성을 확인할 수 있을 것으로 생각된다.

무인모니터링 시스템을 이용하여 철원, 당진, 부안, 해남 지역에서 백로류의 개체수 변동을 확인한 결과 지역별 세부적인 특성이 다르게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다 (Fig. 4). 철원은 7월에 18개체가 최대개체수로 관찰되었고, 당진은 8월, 263개체, 부안은 7월, 31개체, 해남은 7월 22개체가 관찰되었다. 전체 도래 최대개체수는 당진이 가장 높았고 부안, 해남, 철원 순으로 나타났다. 한반도 중서부에 위치한 지역은 백로류의 번식지 수나 번식지당 동지 수는 북부나 남부지역에 비해 높게 나타난다(NIER, 2012). 또한 당진에 설치된 무인모니터링 시스템의 위치는 친환경농업 시범 단지 내에 위치해 있어 친환경 재배라는 이점으로 인해

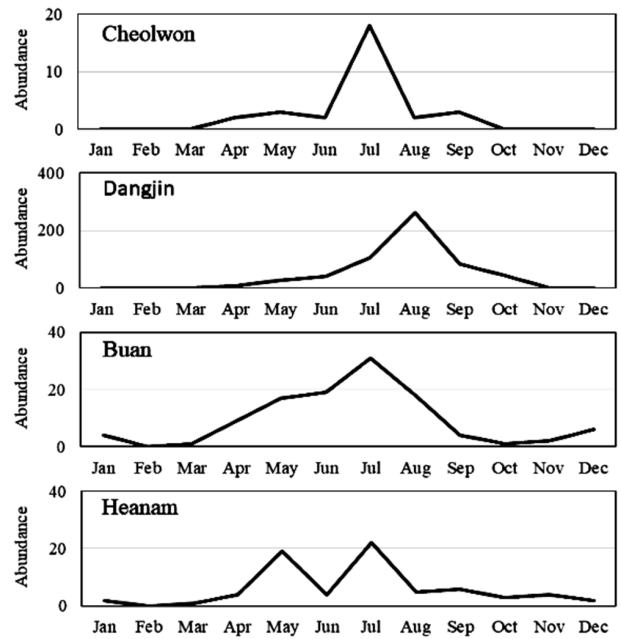


Fig. 4. Comparison of herons population change among Cheolwon, Dangjin, Buan, and Heanam from 2014 to 2016 using unmanned monitoring system. The population indicated monthly maximum counts during survey period.

백로류의 먹이원이 되는 생물들이 많을 것으로 생각된다 (Nam et al., 2016). 이러한 종합적인 지역 특성으로 인해 한반도 중서부 지역에 위치해 있는 당진에서 8월까지 많은 개체수가 관찰된 것으로 생각된다. 또한 부안은 동진강 하구 지역에 위치하고 있어서 백로류가 이용할 수 있는 갯벌과 같은 다양한 서식환경이 주변에 존재한다(Kim and Yoo, 1997; Kang et al. 2011). 이러한 주변 경관적 요인에 의해 부안이 해남과 철원에 비해 상대적으로 많은 개체수가 확인된 것으로 판단된다. 부안과 해남에서는 겨울철에도 소수의 백로류가 관찰되는데(Fig. 4) 이는 우리나라에서 월동하는 대백로이거나 월동지로 이동하지 못한 일부 백로류가 남부 지역 논에 남아있는 것으로 판단된다(Kang et al., 2011). 철원이나 당진은 상대적으로 기온이 낮아 농경지 주변 하천이나 저수지 등이 결빙될 가능성이 높다. 결빙은 겨울철 조류의 분포를 결정하는 중요한 요인이다(Kwon et al., 2007; Park et al., 2017). 따라서 백로류가 부안이나 해남과 같은 남부지역을 중심으로 겨울철에 남아 있을 가능성이 높다.

무인모니터링 시스템을 활용할 경우 다양한 시간 스케일에서 개체군 변동을 확인해 볼 수 있다(Fig. 4). 최대개체수 기준으로 월별 특성과 일별 특성을 비교할 경우 백로류의 개체군 변동 특성이 확인한 차이가 나타난다(Fig. 5a and 5b). 월별 특성에서는 지속적으로 증가 또는 감소 패턴이 보이지만 일별 변동을 확인해보면 증가 또는 감소하는 추세에서도 세부적으로 또다시 증감 패턴이 있는 것을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라 무인모니터링 시스템을 활용할 경우 일일 개체군 변동도 확인할 수 있다. 10분단위의 무인모니터링 시스템을 통해 백로류는 오전 9시경까지 증가 후 오후 2시까지 감소하는 특성을 확인할 수 있었고,

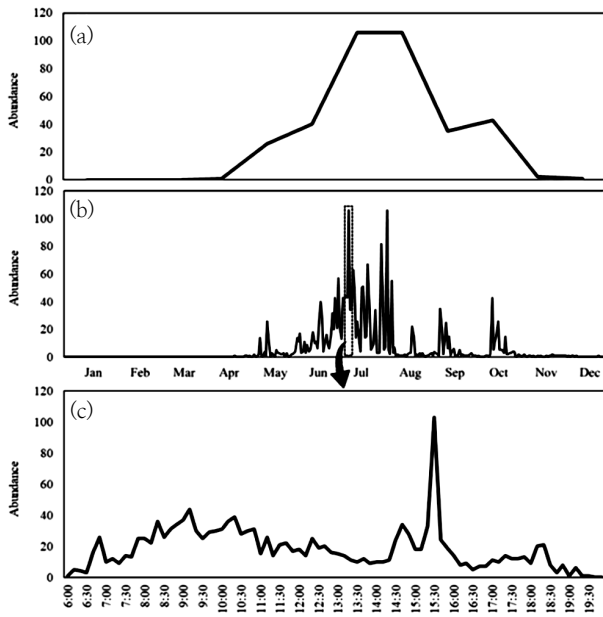


Fig. 5. Population dynamics of herons from different time scale interval at 2016 in rice paddy using unmanned monitoring system. The different time scales showed (a) monthly, (b) daily, and (c) 10 minute. 10 minute time scales represent at July 11 2016 that was recorded maximum counts from January 1 2016 to December 1 2016 (square dotted line of figure 3b). Monthly and daily time scales used maximum counts.

다시 증가하여 오후 3시 30분경에 최대개체수가 관찰되는 특성을 확인할 수 있었다(Fig. 4c). 이를 통해 최대 개체수가 확인된 날에 백로류가 하루 동안 논을 많이 이용하는 시간은 오후 3시 30분경인 것을 확인할 수 있었다. 개체군 변동의 시간 단위가 짧아질수록 구체적인 개체군 변동 특성을 확인할 수 있다. 이는 논을 이용하는 백로류의 분포와 변동 특성에 대한 이해를 높인다.

4. 결 론

본 연구를 통해 무인모니터링 시스템을 활용한 수조류의 개체군 변동 특성에 대해 확인하였다. 무인모니터링 시스템과 전문가에 의해 조사된 특성을 확인했을 때 개체군 변동이 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 특히 백로류는 다른 수조류 군집과 비교하여 시기별 증감 패턴이 상당히 유사한 것으로 나타났다. 또한 무인모니터링 시스템은 다양한 시공간적 스케일에서 개체군 변동을 확인할 수 있다. 시간 스케일에 따른 세부적인 개체군 변동 특성을 확인할 수 있는 것은 무인모니터링 시스템이 가지는 큰 장점으로 평가된다. 무인모니터링 시스템은 자료를 이미지화하기 때문에 객관적이고 장기적인 자료 수집이 가능하다. 따라서 지속적인 자료 수집을 통해 장기적인 개체군 변동 특성을 확인하기에 효율적인 것으로 판단된다. 논 생태계가 다양한 요인에 의해 영향을 받고 있기 때문에 무인모니터링 시스템을 활용한 장기적인 자료 분석은 농업생태계의 변화를 예측하고 대응 방안을 모색하는데 유용하게 이용될 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01249003)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

References

- Chamberlain, DE, Fuller, RJ, Bunce, RGH, Duckworth, JC and Shrubbs, M (2000). Changes in the abundance of farmland birds in relation to the timing of agricultural intensification in England and Wales, *J. of Applied Ecology*, 37(5), pp. 771–788. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2000.00548.x>
- Choi, YS, Kim, SS and Yoo, JC (2010). Feeding activity of cattle egrets and intermediate egrets at different stages of rice culture in Korea, *J. Ecology and Field Biology*, 33(2), pp. 149–155. <https://doi.org/10.5141/JEFB.2010.33.2.149>
- Choi, YS, Kwon, IK and Yoo, JC (2007). Foraging habitat preferences of herons and egret, *J. Ecology and Field Biology*, 30(3), pp. 237–244.
- Crick, HQ (2004). The impact of climate change on birds, *Ibis*, 146(1), pp. 48–56. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2004.00327.x>
- Dinata, Y, Nugroho, A, Haidir, IA and Linkie, M (2008). Camera trapping rare and threatened avifauna in west-central Sumatra, *Bird Conservation International*, 18(1), pp. 30–37. <https://doi.org/10.1017/S0959270908000051>
- Elphick, CS and Oring, LW (2003). Conservation implications of flooding rice fields on winter waterbird communities, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 94(1), pp. 17–29. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00022-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00022-1)
- Fasola, M and Barbieri, F (1978). Factors affecting the distribution of heronries in northern Italy, *Ibis*, 120(4), pp. 537–540. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1978.tb06823.x>
- Fasola, M and Ruiz, X (1996). The value of rice fields as substitutes for natural wetlands for waterbirds in the Mediterranean region, *Colonial waterbirds*, 19(1), pp. 122–128. <https://doi.org/10.2307/1521955>
- Fujioka, M, Armacost, JW, Toshida, H and Maeda, T (2001). Value of fallow farmlands as summer habitats for waterbirds in a Japanese rural area, *Ecological Research*, 16(3), pp. 555–567. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.2001.00417.x>
- Gauthreaux, SA and Livingston JW (2006). Monitoring bird migration with a fixed-beam radar and a thermal-imaging camera, *J of Field Ornithology*, 77(3), pp. 319–328. <https://doi.org/10.1111/j.1557-9263.2006.00060.x>
- Han, MS, Nam, HK, Kang, KK, Kim, M, Na, YE, Kim, HR and Kim, MH (2013). Characteristics of benthic invertebrates in organic and conventional paddy field, *Korean J. of Environmental Agriculture*, 32(1), pp. 17–23. [Korean

- Literature] <https://doi.org/10.5338/KJEA.2013.32.1.17>
- Kang, TH, Yoo, SH, Yu, JP, Lee, HS and Kim IK (2011). A study on the community of wintering waterbirds in Saemangeum, *Korean J. of Environment and Ecology*, 25(1), pp. 81–90. [Korean Literature]
- Kim, CG (2003). Strategies and directions for developing sustainable agriculture in Korea, *J. of Environmental Policy*, 2(2), pp. 17–41. [Korean Literature]
- Kim, HC and Yoo, JC (1997). Wintering waterbirds at Dongjin river estuary, *Bulletin of Korea Institute of Ornithology*, 6(1), pp. 47–53. [Korean Literature]
- Kim, MR, Nam, HK, Kim, MH, Cho, KJ, Kang, KK and Na, YE (2013). Status of birds using a rice paddy in South Korea, *Korean J of Environmental Agriculture*, 32(2), pp. 155–165. [Korean Literature] <https://doi.org/10.5338/KJEA.2013.32.2.155>
- Kwon, YS, Nam, HK, Yoo, JC and Park, YS (2007). Distribution patterns of wintering waterbird communities in urban streams in Seoul, Korea, *Korean J. of Environment and Ecology*, 21(1), pp. 55–66. [Korean Literature]
- Lourenço, PM and Piersma, T (2008). Stopover ecology of Black-tailed Godwits *Limosa limosa limosa* in Portuguese rice fields: a guide on where to feed in winter, *Bird study*, 55(2), pp. 194–202. <https://doi.org/10.1080/00063650809461522>
- Maeda, T (2001). Patterns of bird abundance and habitat use in rice fields of the Kanto Plain, central Japan, *Ecological Research*, 16(3), pp. 569–585. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.2001.00418.x>
- Margalida, A, Ecolan, S, Boudet, J, Bertran, J, Martinez, J and Heredia, R (2006). A solar-powered transmitting video camera for monitoring cliff-nesting raptors, *J of Field Ornithology*, 77(1), pp. 7–12. <https://doi.org/10.1111/j.1557-9263.2006.00007.x>
- Nam, HK, Choi, SH, Choi, YS and Yoo, JC (2012). Patterns of waterbirds abundance and habitat use in rice fields, *Korean J. of Environmental Agriculture*, 31(4), pp. 359–367. [Korean Literature] <https://doi.org/10.5338/KJEA.2012.31.4.359>
- Nam, HK, Choi, SH, Choi, YS and Yoo, JC (2015). Distribution of waterbirds in rice fields and their use of foraging habitats, *Korean J. of Environmental Agriculture*, 38(2), pp. 173–183. [Korean Literature] <https://doi.org/10.1675/063.038.0206>
- Nam, HK, Kim, MR, Choi, G, Jang, D, Choi, SH, Cho, KJ, Choe, LJ, Na, YE and Kim, MH (2016). Influence of pesticide use on distribution of waterbirds in rice fields at mid-western part of South Korea, *Korean J of Environmental Biology*, 34(4), pp. 361–364. [Korean Literature] <https://doi.org/10.11626/KJEB.2016.34.4.361>
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2012). *Egret and herons in Korea*, National Institute of Environmental Research, 41pp. [Korean Literature]
- O'Brien, TG and Kinnaird, MF (2008). A picture is worth a thousand words: the application of camera trapping to the study of birds, *Bird Conservation International*, 18(S), pp. 114–162. <https://doi.org/10.1017/S0959270908000348>
- Park, BK, Han, BH, Lee, KJ, Kwak, JI and Im SS (2013). A study on the biotope structure of wintering place and behavior characteristics of *Anser fabalis* in Cheongna Area, Incheon Free Economic Zone, Korea, *Korean J. of Environment and Ecology*, 27(3), pp. 305–315. [Korean Literature]
- Park, YW, Lee, HG and Choi, JK (2017). A study on the population fluctuation of wintering waterbirds on Wonju-Stream by the temperature, *Korean J. of Environment and Ecology*, 31(2), pp. 135–151. [Korean Literature]
- R Development Core Team. 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at <http://www.R-project.org>. accessed 1 May 2018.
- Sánchez-Guzmán, JM, Morán, R, Masero, JA, Corbacho, C, Costillo, E, Villegas, A and Santiago-Quesada, F (2007). Identifying new buffer areas for conserving waterbirds in the Mediterranean basin: the importance of the rice fields in Extremadura, Spain, *Biodiversity and Conservation*, 16(12), pp. 3333–3344. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9018-9>
- Sardà-Palomera, F, Bota, G, Viñolo, G, Pallarés, O, Sazatornil, V, Brotons, L, Gomáriz, S and Sardà, F (2012). Fine-scale bird monitoring from light unmanned aircraft systems, *Ibis*, 154(1), pp. 177–183. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2011.01177.x>
- Shuford, WD, Humphrey, JM and Nur, N (2001). Breeding status of the Black Tern in California, *Western Birds*, 32(4), pp. 189–217.
- Stafford, JD, Kaminski, RM and Reineche, KJ (2010). Avian foods, foraging and habitat conservation in world rice fields, *Waterbirds*, 33(1), pp. 133–150. <https://doi.org/10.1675/063.033.s110>
- Toral, GM, Aragonés, D, Bustamante, J and Figuerola, J (2011). Using landsat images to map habitat availability for waterbirds in rice fields, *Ibis*, 153(4), pp. 684–694. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2011.01147.x>
- Yoo, SH, Kim, IK, Kang, TH, Yu, JP, Lee, SW and Lee, HS (2008). Wintering bird community in Cheonsu Bay and the relationship with food resources, *Korean J. of Environment and Ecology*, 22(3), pp. 301–308. [Korean Literature]
- Yoo, SH, Kim, JB and Kim IK (2008). Distribution aspect and seasonal distribution change of the wintering geese in Cheonsu Bay, *Korean J. of Environment and Ecology*, 22(6), pp. 632–639. [Korean Literature]