

GIS를 이용한 재두루미의 한강 하구 서식지 이용에 대한 공간 분석

김 성 옥*⁺ / 이 상 돈**

Spatial Analysis of White-naped Crane(*Grus vipio*) Habitats in the Han-River Estuary with GIS application

Kim, Sung Ok*⁺ / Lee, Sang Don**

요약 : 지리정보시스템(GIS)을 이용하여 멸종위기종 재두루미의 월동서식지인 한강하구역의 서식지 이용을 분석하였다. 한강하구역의 재두루미 서식지 이용경향을 검증하기 위해 인공위성 추적(satellite tracking method)으로 구한 재두루미의 위치포인트(n=228)를 중심으로 반경 100 m, 200 m, 500 m 및 1 km의 버퍼를 설정하고 대분류 토지피복도의 7개의 서식지 항목에 대하여 분석을 실시하였다. 서식지이용에 대한 분석을 위해 카이제곱 검정을 실시한 결과 500 m버퍼까지는 서식지의 선택적 이용은 나타나지 않았으나 반경 1 km버퍼의 경우 서식지의 선택성이 나타났다.

핵심용어 : 한강하구역, 재두루미, 인공위성추적, 서식지

Abstract : The habitat composition in the Han-river estuary, where white-naped crane(*Grus vipio*; endangered migrating bird) spend winter, was analysed by the geographic information system(GIS). And the habitat use pattern of white-naped crane collected by satellite tracking method was analysed. The % composition of seven habitat categories of land cover classification was compared for the buffers of radii 100 m, 200 m, 500 m, and 1 km, respectively, around the white-naped crane position point(n=228), and the statistical analysis was done using chi-square test. The results showed no selective use of habitat area by white-naped crane in the buffers of 100 m, 200 m and 500 m, but showed clear selection of habitat use ($p < 0.05$) in the case of 1 km buffer.

Keywords : Han-river estuary, white-naped crane, satellite tracking method, habitat

1. 서 론

비무장지대(DMZ)를 포함한 한강하구는 서울에 인접해 있으면서도 지금까지는 비교적 자연적인 하구습지를 잘 보전하고 있는 지역이다. 특히 이 지역은 천연기념물 203호 재두루미의 월동지와 중간기착지로서 매우 중요한 지역(원병오, 2004; Higuchi et al., 1996; Kim and Wilson, 2002; Lee et al., 2007)이며, 경기도 파주군과 김포군

의 한강하류 동서 하안과 충적지, 그리고 임진강과 한강이 교차되는 삼각주일원의 광활한 초지는 1973년 재두루미의 규칙적인 도래지임이 알려졌고, 1975년 2월 21일 천연기념물(도래지) 250호로 지정되었다(문화재청, 2003).

그러나 현재 재두루미의 채식지로서 이용되고 있는 한강하구 습지 주변의 논들은 택지개발로 인하여 그 면적이 줄어들고 있으며, 1980년대에 이미 한강하구 삼각주 중심부는 갈대와 띪의 집단

+ Corresponding author : sokleekim@hanmail.net

* 정희원 · 이화여자대학교 환경공학과 박사과정·교육학석사

** 교신저자 · 정희원 · 이화여자대학교 환경공학과 부교수·환경학박사

이 침입하여 재두루미의 식이식물들이 밀려나고 재두루미 집단은 한강하구와 임진강하류로 옮기게 되었다(구태회, 1984). 또한 하상준설 및 인간의 인위적 접근으로 인하여 한강하구생태계는 악영향을 받고 있는 실정이다(이창희, 2003; 한강유역환경청, 2007).

철새들의 이동경로와 서식지에 대한 연구는 인공위성에 의해 추적되는 송신장치(transmitter)의 발달에 힘입어 최근에 더 진전되었다(Higuchi *et al.*, 1996; Jouventin and Weimerskirch, 1990; Javed *et al.*, 2003; Nagendran *et al.*, 1994). 아울러 최근에 와서 인공위성을 통한 두루미류의 원격추적이 장거리이동을 하는 철새들의 이동경로를 파악하는데 아주 효율적인 방법으로 증명되었다. 그러나, 현재 위성추적(satellite-tracking)을 이용한 대부분의 연구는 이동 경로에만 초점을 맞추고 있어 지상에서의 서식지 이용현황은 많이 알려지지 않은 실정이다. 특히 인공위성추적장치가 이동경로를 파악하는데 주안점을 둔 반면 본 연구는 지상에서 월동하는 재두루미의 개체군에 대해 지상에서 먹이활동 및 휴식활동을 취할 때 선호하는 지역을 밝히는데 의의가 있다.

본 연구에서는 인공위성추적으로 구한 재두루미의 위치자료를 GIS기법을 이용하여 분석함으로써 재두루미가 이동하는 주요지점을 파악하고 그 지점에서 서식지 종류에 따라 재두루미의 서식지 이용경향을 분석하였다. 특히 버퍼의 크기를 변화시켜 분석함으로써(Baker *et al.*, 1995) DMZ를 포함한 한강하구역의 생태적 특성과 공간분석의 크기(scale)와의 관계를 고찰하였다.

2. 연구방법

2.1 GPS자료

일본 큐우슈우 이즈미지방에서 각각 다른 집단에서 추출한 4마리(Higuchi *et al.*, 1996)의 재두루미 등에 장착한 송신장치(PTT: platform transmitter terminals, 모델명 T-2050)로부터 위치정보자료를 받는다. 즉, 대상동물에게 송신기

를 부착시켜 거기서 나오는 전파를 인공위성으로 포착하여 추적하는 방법으로 GPS자료를 획득하였다.

이 연구에서 사용된 GPS 자료는 각각 1993년 3월 초에서 4월말, 10월 말부터 11월 말까지 하루에 1-4번 수집되었으며 재두루미 위치 포인트는 총 228개이다.

2.2 GIS 분석

상용 프로그램인 ArcView 9.2(Environmental Systems Research Institute, ESRI Korea, Inc.)를 사용하여 GIS분석을 하였다. 재두루미의 위치자료(GPS, WGS84좌표체계)를 "ArcMap"에서 우리나라 중부원점 TM좌표로 변환한 후 토지피복도 레스터파일과 대조하여 재두루미의 위치포인트를 중심으로 각각 반경 100 m, 200 m, 500 m 및 1 km의 버퍼를 설정하였다. 또한 토지피복도의 레스터파일을 공간 데이터 유형을 바꾸고 토지피복도의 속성테이블을 통하여 토지항목별로 중첩된 재두루미의 위치포인트 수와 서식지 항목별 면적을 구하였다.

2.3 서식지 분석

수집된 위치정보는 ArcView 9.2 프로그램에서 TM좌표로 변환하여 한반도 내의 재두루미의 위치를 파악한 후 이 위치포인트를 환경부에서 Landsat TM 위성영상을 이용하여 제작한 대분류 토지피복도(환경부, 1999; 환경부, 2002)와 중첩시켜 7항목의 서식지(시가화/건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역)에 대하여 이용경향을 분석하였다. 서식지 선호도는 재두루미의 GPS위치자료와 동일한 개수로 연구지역 내에 설정한 랜덤포인트를 비교분석하여 파악하였다. 또한 재두루미 위치데이터는 주간(06:00-18:00)과 야간(18:00-06:00)으로 나누어 각각 시간대별 재두루미 서식지 이용경향을 분석하였다. 재두루미의 서식지 이용경향을 알아보기 위해서 재두루미 위치포인트와 랜덤포인트를 가지고 토지피복도

를 바탕으로 하여 분석된 결과를 카이제곱검정(김우갑과 김관선, 1997; Zar, 1999)으로 검증하였다.

3. 결과 및 고찰

인공위성추적으로 수집한 재두루미의 GPS데이터를 GIS를 이용하여 지도상에 표시한 결과, 총 228개의 위치포인트가 한강하구역과 비무장지대에 산포되었다. 이들 지점을 중심으로 각각 반경 100 m, 200 m, 500 m 및 1 km로 버퍼를 설정하였다. 각각의 버퍼는 재두루미의 지상에서의 서식지를 이용하는 데 기준점으로 사용되었다. 재두루미의 서식지는 한강하구역중에서도 김포, 고양, 파주일대의 한강하구와 판문점을 포함한 DMZ일대에 밀집되어 있어, 이웃 버퍼들이 겹쳐져 있는 것을 알 수 있다.

재두루미의 위치데이터(n=228)를 환경부에서 설정한 대분류 토지피복도의 7개항목(시가화/건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역)의 서식지로 나누어 그 빈도와 백분율을 나타내었다(Table 1). 재두루미는 토지피복도의 7개항목 서식지 중 어느 서식지도 배척하지 않는 것을 볼 수 있다. 그러나 대분류 토지피복도의 기본 픽셀(pixel) 크기가 30 mX30 m인 점을 고려하면 실제상황은 Table 1에 나타난 경향과 약간 다

를 수 있다. 예를 들면 시가화/건조지역 픽셀에 나타난 재두루미는 실제로는 이 픽셀 내 작은 영역의 초지나 습지 등을 서식지로 이용하였을 수도 있다는 것이다. 이것은 원래 토지피복도를 작성할 때 픽셀내의 최대 면적을 기준으로 작성하며 픽셀의 크기가 실제 면적과 비교하여 그다지 크지 않으므로 허용할 수 있는 GIS 토지피복도 상의 문제로 파악될 수 있다.

재두루미의 위치포인트를 중심으로 설정한 버퍼 228개의 총 면적 내 토지피복도의 7개 항목 서식지 면적 분율을 각각 100 m, 200 m, 500 m 및 1 km 버퍼 경우에 대하여 나타내었다(Table 2). 또 광역의 한강하구역 내에서 무작위로 선정한 위치(random point)를 중심으로 한 버퍼 228개의 총 면적 내 토지피복도의 7개항목 면적 분율도 따로 나타내었다(Table 1).

재두루미 위치포인트 주위에 설정한 버퍼 전체로 형성된 지역 내에서 재두루미의 서식지 이용경향이 선택적으로 이루어졌는지를 파악하기 위하여 총 버퍼지역 내 7개 항목 서식지 면적 분율에 비례하는 예상 빈도를 설정하고 χ^2 -검정을 실시하였다(Table 2). 버퍼크기 100 m, 200 m 및 500 m 각각의 경우 모두 유의하지 않은 결과를 얻었다. 그러나 버퍼크기 1 km의 경우에는 $p < 0.05$ 로 유의수준 5%에서 귀무가설을 기각할 수 있음을 알 수 있다.

Table 1. Habitat use pattern of white-naped crane(*Grus vipio*) in Han river estuary and the surrounding habitat. The habitat category was based on land coverage map (Ministry of Environment, 1999)

Habitat Category	Points from Satellite		Study Area(Han-river Estuary)		Random Data points	
	N	%	Area(m ²)	%	N	%
Urban or Built-up Land	7	3.07	487,147,500	14.40	28	12.28
Agricultural Land	61	26.75	782,028,000	23.11	45	19.74
Forest Land	58	25.44	1,124,258,400	33.23	85	37.28
Grassland	55	24.12	251,372,700	7.43	22	9.65
Wetland	21	9.21	83,347,200	2.46	8	3.51
Barren Land	6	2.63	109,602,900	3.24	7	3.07
Water	20	8.77	545,548,500	16.12	33	14.47
Total	228	100.00	3,383,305,200	100.00	228	100.00

Table 2. Habitat composition(%) of white-naped crane(*Grus vipio*) with different buffer-size in Han-river estuary

Habitat Category	100 m	200 m	500m*	1 km**
Urban or Built-up Land	3.76	3.98	3.91	4.40
Agricultural Land	25.36	25.96	29.16	33.40
Forest Land	28.49	28.51	29.99	29.11
Grassland	21.01	19.95	16.35	14.65
Wetland	9.52	9.75	9.43	9.57
Barren Land	3.60	3.64	3.25	2.84
Water	8.26	8.20	7.91	6.03
Total	100.00	100.00	100.00	100.00

*P=0.078, **P=0.001 for comparison of satellite points with study areas

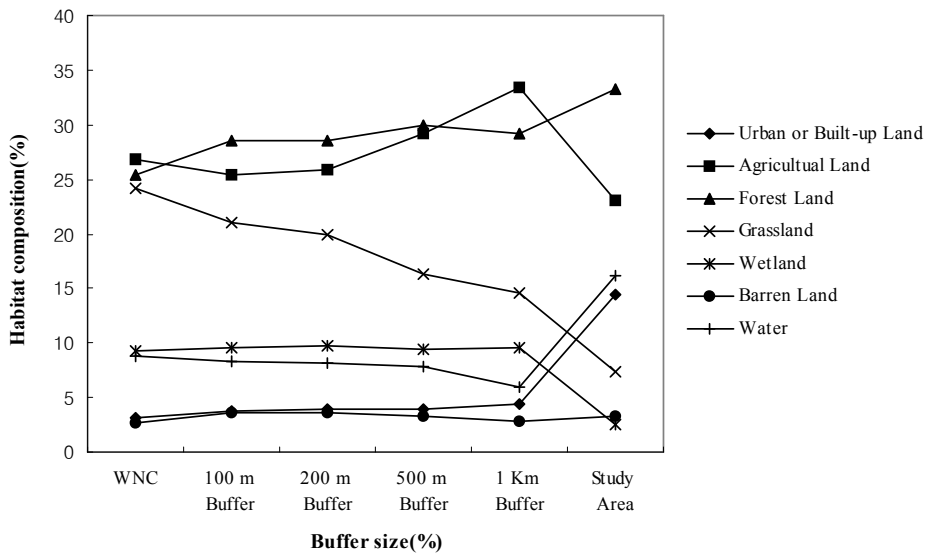


Fig. 1. Habitat composition change with different buffer-size for white-naped crane(*Grus vipio*) in Han-river estuary and DMZ

이렇게 버퍼크기가 χ^2 -검정에 영향을 미치는 것이 한강하구역 내에서 일반적인 것인지를 알아보기 위하여, 한강하구역 내에 무작위로 재두루미의 위치포인트(random point)를 설정한 후 버퍼크기를 달리하여 χ^2 -검정을 실시하고 결과를 나타내었다. 이 검정결과 재두루미의 위치포인트 경우와는 달리 랜덤포인트의 경우에는 버퍼크기에 상관없이 모두 $p > 0.05$ 로서 유의수준 5%에서 귀무가설을 기각할 수 없었다.

따라서 재두루미의 위치포인트는 한강하구역 내에서도 선별된 지점으로 재두루미는 한강하구역의 일반적인 토지이용분포와 다르게 선호하는 지역이 있음을 나타내고 있다. 재두루미의 위치포인트 서식지 구성에서 농업지역, 초지, 그리고 습지의 비율이 한강하구역 전체의 평균보다 상대적으로 높은 것을 알 수 있다(Table 1). 따라서 재두루미의 위치포인트를 중심으로 어떤 크기의 버퍼를 설정하면 χ^2 -검정에 의한 결과 선호하는 지

역이 토지피복도에서 도출될 것이다. 즉, 어떤 크기의 버퍼에서 p값이 0.05보다 작게 나타날 것이며 궁극적으로는 버퍼를 한강하구역 전역으로 설정하면 p값은 더 작아질 것이다. 그러나 어떤 크기보다 작은 버퍼를 설정하면 버퍼내의 서식지 구성비율이 재두루미의 위치포인트 서식지구성과 별 차이가 없어 χ^2 -검정에서 p값이 0.05보다 크게 나타날 것이다.

반경 500 m의 버퍼에서는 $p=0.078$, 그리고 반경 1 km버퍼에서는 $p=0.001$ 이다. 이것은 한강하구역에서는 재두루미의 위치포인트를 중심으로 반경 약 500 m까지는 서식지 구성 비율이 재두루미가 선택한 위치의 것과 비슷하고 반경 500-1000 m이상에서부터 서식지 구성이 어느 정도 달라진다는 것을 의미한다(Table 2, Fig. 1). 한편 이것은 한강하구역에서 재두루미의 활동반경이 500 m가 넘어야 할 것이며, 최소한 1,000 m 이상의 행동반경을 가지고 있다는 것을 추론할 수 있다.

따라서 재두루미들이 사초과-벼과식물이 자라는 습지와 초지 그리고 농경지를 채식지로 선호(Archibald and Lewis, 1996)하고, 채식지 가까이 있으면서 인간의 방해가 없는 넓은 습지를 서식지로 이용하는(Cooper, 1996) 재두루미의 서식지 보존 계획을 세울 때에도 한강하구역에서 재두루미의 활동범위가 반경 약 1 km가 되는 점을 감안하여야 할 것이다. 본 연구결과는 한강하구역에 두루미 서식지보전을 위한 공간영역의 설정에 도움을 줄 것이며, 이 지역의 자연환경보전전략에 활용될 수 있다.

4. 결 론

지리정보시스템을 이용하여 한강하구역의 재두루미 서식지를 확인하고 버퍼크기를 달리하여 서식지 이용경향을 분석한 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 재두루미는 대분류 토지피복도에 의하면 7 항목(시가화/건조지역, 농업지역, 산림지역,

초지, 습지, 나지, 수역)의 서식지를 모두 이용하고 있다.

- 2) 재두루미는 한강하구역 내에서도 농업지역, 초지 및 습지의 비율이 상대적으로 높은 지역(김포, 고양, 파주일대의 한강하구와 판문점을 포함한 DMZ 일대)을 선택적으로 이용한다.
- 3) 한강하구역 내에서 재두루미의 위치포인트를 중심으로 반경 500-1000 m 버퍼는 서식지 비율의 변화가 작은 지역이며 재두루미의 주된 활동범위로 볼 수 있다.
- 4) 따라서 한강하구역에서 재두루미의 서식지 이용경향을 분석할 때는 적어도 반경 1 km 이상의 버퍼를 사용하는 것이 바람직하다.
- 5) 또한 한강하구역에서 재두루미의 서식지 보존계획을 세울 때에도 재두루미의 주요 활동 범위가 반경 약 1 km가 되는 점을 감안하여야 할 것이다.

본 연구는 수자원의 지속적확보기술개발사업(SWRR 1-0-3)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 구태희, 한국에 도래하는 재두루미의 월동생태, 경희대학교 논문집, 제13권, pp. 509-514, 1984.
- 김우갑, 김관선, 생물통계학, 정문각, 1997.
- 문화재청, 천연기념물 조류서식·번식지 실태조사 및 관리방안 연구, 문화재청 보고서, pp. 1-137, 2003.
- 원병오, 날아라 새들아, 도서출판 다른세상, 2004.
- 이창희, 하구역 환경보전 전략 및 통합관리 방안 수립(한강하구역을 중심으로), KEI 연구보고서, RE-02: 1-23, 2003.
- 한강유역환경청, 2007, 한강하구 습지보전계획 수립연구.
- 환경부, 대분류토지피복도, 환경부 지리정보 원본 신청, 1999.
- 환경부, 인공위성영상자료를 이용한 토지피복지도

- 구축, 2002.
- Archibald, G. W. and J. C. Lewis, Crane Biology, 1996.
- Baker, B. W., B. S. Cade, W. L. Mangus, and J. C. MacMillen, Spatial analysis of sandhill crane nesting habitat, *Journal of Wildlife Management*, 59: 752-758, 1995.
- Cooper, J. M., Status of the sandhill crane in British Columbia, *Wildlife Society Bulletin*, B-83: 1-28, 1996.
- ESRI. <http://www.esri.com/>,
- Higuchi, H., K. Ozaki, G. Fujita, J. Minton., M. M. Soma, and N. Mita, Satellite tracking of white-naped crane migration and the importance of the Korean zone, *Conservation Biology*, 10: 806-812, 1996.
- Javed, S., H. Higuchi, M. Nagendran, and J. Y. Takekawa, Satellite telemetry and wildlife studies in India: Advantages, options and challenges, *Current Science*, 85(10): 1439-1443, 2003.
- Jouventin, P. and H. Weimerskirch, Satellite tracking of wandering albatrosses, *Nature*, 343: 746-748, 1990.
- Kim, K. and E.O. Wilson, The land that war protected, editorial article, *New York Times*, 2000.
- Lee, S., P. G. Jablonski, and H. Higuchi, 2007. Winter foraging of threatened cranes in the Demilitarized Zone of Korea: Behavioral evidence for the conservation importance of unplowed rice fields, *Biological Conservation*, 138: 286-289.
- Nagendran, M., H. Higuchi, and A. G. Sorokin, A harnessing technique to deploy transmitters on cranes, *The Future of Cranes and Wetlands*: 57-60, 1994.
- Zar, J. H., *Biostatistical Analysis*, 4th edition, Prentice-Hall International, Inc., Saddle River, N.J., U.S.A. 1999.