

연구논문

## 무주 남대천에 서식하는 조류의 공간적 분포특성 분석을 위한 공간자기상관 적용 연구

강종현\* · 김용기\*\* · 연명훈\*

국립환경과학원 자연자원연구과\*, 인천대학교 생물자원환경연구소\*\*

(2013년 8월 20일 접수, 2013년 9월 24일 승인)

### Application of Spatial Autocorrelation for Analysis of Spatial Distribution Characteristics of Birds Observed in Namdaecheon River, Muju-gun, Jeollabuk-do, Korea

Jong-Hyun Kang\* · Yong-Ki Kim\*\* · Myung-Hun Yeon\*

Nature Conservation Research Division, National Institute of Environmental Research\*  
Bio-Resource and Environmental Center, Incheon National University\*\*

(Manuscript received 20 August 2013; accepted 24 September 2013)

### Abstract

This study was conducted to find out characterization of spatial distribution of birds observed in river areas. Our bird survey was carried out 4 times at 31 sites from January to September in 2011. A total of 1,609 accumulated individuals belonging to 59 species, 28 families and 11 orders were observed. In the result of spatial autocorrelation analysis using the richness index of the maximum counts of each sites, we confirmed that the distribution of birds in Namdaecheon river was clustered and the tendency of spatial autocorrelation was apparent. The area of each sites within a 200m radius was classified in four biotope categories such as agricultural land, forest, residential area and water area, and the spatial autocorrelation was analysed about four types. In the result of spatial autocorrelation analysis for four biotope categories, all types were showed the positive spatial autocorrelation, but the type of water area was higher than other types. The positive correlation was found between the water area and water birds in statistical significance. However, the forest birds had non-significance values. Therefore, it is appropriate to focus on water birds except for forest birds, when researches of bird distribution in river ecosystem is conducted. The number of bird species and individuals increased as the riverside of water area was to widen. Thus, if the areas of riverside offering the feeding and roosting area increase, it will be accommodated many birds. Also, the areas of riverside should be maintained naturally because it is an important habitats of birds. Our study area is on the outskirts the city of higher rates of

forest and agricultural land, it may be unreasonable to apply our results to the whole rivers. If the research about the river flowing around the city will be conducted, it is expected to be useful to the relation study area such as ecological river's restoration.

**Keywords :** Spatial autocorrelation analysis, Biotope category, Water area, Water bird, Riverside

## I. 서론

하천은 흐르는 물에 의해 생성된 지형에 식생이 피복된 공간으로(Odum, 1971) 산림생태계와 구별되는 독립적인 생태계를 지니고 있다. 이러한 하천생태계는 산간계류, 평지하천, 대규모 강 등 다양한 크기와 종류의 유수 생태계를 일컬으며, 하나의 연속성의 개념(river continuum concept)으로 보고 있다(Vannote *et al.*, 1980). 하천 연속성의 개념은 하천의 흐름에 따라 온도, 하상물질, 유기물의 종류 등 환경요인이 연속적인 변화를 보여주고, 그러한 환경에 적응한 생물상도 연속적인 변화를 보여준다는 것이다(Allan, 1995; Horne and Goldman, 1994; Hynes, 1970; Vannote *et al.*, 1980). 이러한 연속적인 환경은 서로 멀리 떨어진 곳보다 인접한 곳에서 유사성을 갖고 있으며(Tobler, 1970), 공간간에 서로 상호관련 현상이 나타나는 것을 공간자기상관(spatial autocorrelation)이라고 한다(Griffith, 1987). 이 '공간자기상관'은 공간상에 분포하고 있는 실체(spatial entities)들이 위치의 유사성이 높아짐에 따라 이 실체들이 갖는 값의 유사성 또한 높아가는 현상을 말한다(Anselin and Bera, 1998). 따라서 이것들이 갖는 공간상의 유사성(similarity) 및 차이성(dissimilarity)에 대하여 측정할 수 있다(Lee and Wong, 2001). 또한 공간자기상관은 공간자료를 시각화(visualization)해서 공간자기상관의 유의성을 검증하는 분석방법으로 자료의 공간의존성 및 자기상관과 공간상의 이질성 등의 공간적 특성을 파악하는데 유용하게 이용된다(김광구, 2003). 이처럼 공간상에서 획득한 자료가 공간자기상관을 갖는가를 확인하는 것은 야외에서 얻어진 생물 분포 및 군집을 연구하는데 있어 중요한 역할을 한다(Bahn *et al.*, 2006). 국내에서 공간자기상관을 고려한 공간통계에 대한 연구는 인문사회분야에서 활발하게 진행되고 있으나, 자연환경분야에서는 잘

활용되지 못하는 실정이다(김광구, 2003). 이에 자연 환경과 공간과의 관련성에 대한 연구를 통해 자료 속성의 분포 특성을 보다 잘 이해할 수 있으며, 어떤 현상의 모니터링과 서로 다른 분류군에 대한 비교, 공간분포의 변화 등도 가늠할 수 있게 된다(Mitchell, 2005; 최현우 등, 2007). 이처럼 생태계 사이의 공간적인 관계를 정확히 파악할 수 있는 통합된 평가방법이 절실히 필요한 실정이다(황국웅과 박소윤, 2003; 이동근 등, 2010).

생물의 분포와 빈도는 서식지의 질과 양, 경쟁자, 포식자 및 기생자의 존재와 같은 선택압(selective pressures)에 의해 조절될 수 있다(Furness and Monaghan, 1987). 이 중 조류는 서식지의 특성에 따라 서식하기에 적합한 환경을 인지할 수 있으며(Hilden, 1965), 생태계의 구성원으로서 먹이사슬을 유지하는데 중요한 역할을 하고 있어 생태계 사이의 공간적인 관계를 파악하는데 좋은 지표로 활용되고 있다(Krebs, 1994; Bibby *et al.*, 2000; Devictor *et al.*, 2007; Lin *et al.*, 2008). 최근 국내에서도 서식지와 조류분포현황에 대한 공간분석 연구가 많이 진행되어 왔지만(김수경 등, 2008; 강태한 등, 2010; 강종현 등, 2011; 유승화 등, 2011; 조항수 등, 2011; 강종현 등, 2012), 하천의 연속적인 환경을 대상으로 한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

본 연구의 조사지역으로 선정된 남대천은 무주구천동 계곡에서 발원하는 하천으로 최상류에 해당하며 하천변에는 임상이 수려하게 발달되어 있고 비교적 자연 하천 상태를 유지하고 있어 수량이 풍부하고 수질이 양호한 상태로 하천생태계 보존 가치가 매우 높은 지역이다(김익수, 2000). 이처럼 자연하천은 인공적인 구조물 등으로 유속과 유량, 유수, 유역폭 등이 변경되지 않고, 상류에서 하류까지 하천 연속성 개념이 잘 표현되는 하천을 말한다. 본 하천 대부분의 조사지역이 자연하천상태를 그대로 유지하고 있

어 조류 서식에 인위적인 방해 및 훼손지역이 적게 나타난다. 따라서 남대천을 대상으로 연속적인 공간에서 관찰되는 조류에 대한 공간자기상관분석을 통해 자연하천에서 나타나는 생태적 특징뿐만 아니라 조류의 분포 특성에 대해 알아보기 위하여 본 연구를 수행하였다.

## II. 조사지역 및 방법

### 1. 조사지역 및 시기

본 조사지역인 남대천은 금강의 지류로서 상류지역인 전라북도 무주군 무풍면에서 설천면, 용화면, 무주읍을 걸쳐 금강 본류와 합류되며, 그 구간은 약 43.5km이다. 이 구간 중 도계교부터 서면교까지 모두 31곳의 교각 위에서 조사를 실시하였다(Figure 1). 조사기간은 2011년 2월 10일-11일, 4월 7일-8일, 6

월 23일-24일, 9월 8일-9일로 총 4회에 걸쳐 계절별로 수행하였다.

### 2. 조사방법

본 연구를 수행하기 위하여 남대천에서 접근이 가능하고 일정 간격을 고려한 31개 지점을 설정하여 조류 조사를 실시하였다. 지점별로 조류의 분포를 비교하기 위해서는 동일한 조사시간을 두어야 하므로 한 지점당 30분씩 조사를 실시하였다. 조류조사는 육안과 쌍안경(Leica Ultravid 8×42)으로 각 교각의 중심부에서 정점조사법(point count)에 의해 수행되었다(Bibby *et al.*, 1992). 조류는 크게 물새류와 산새류로 구별되며, 구분은 Hayman *et al.*(1986), 이우신 등(2000), 서정화와 박종길(2008a, 2008b)의 자료를 참고하였다. 조류목록은 한국조류학회(2009)에

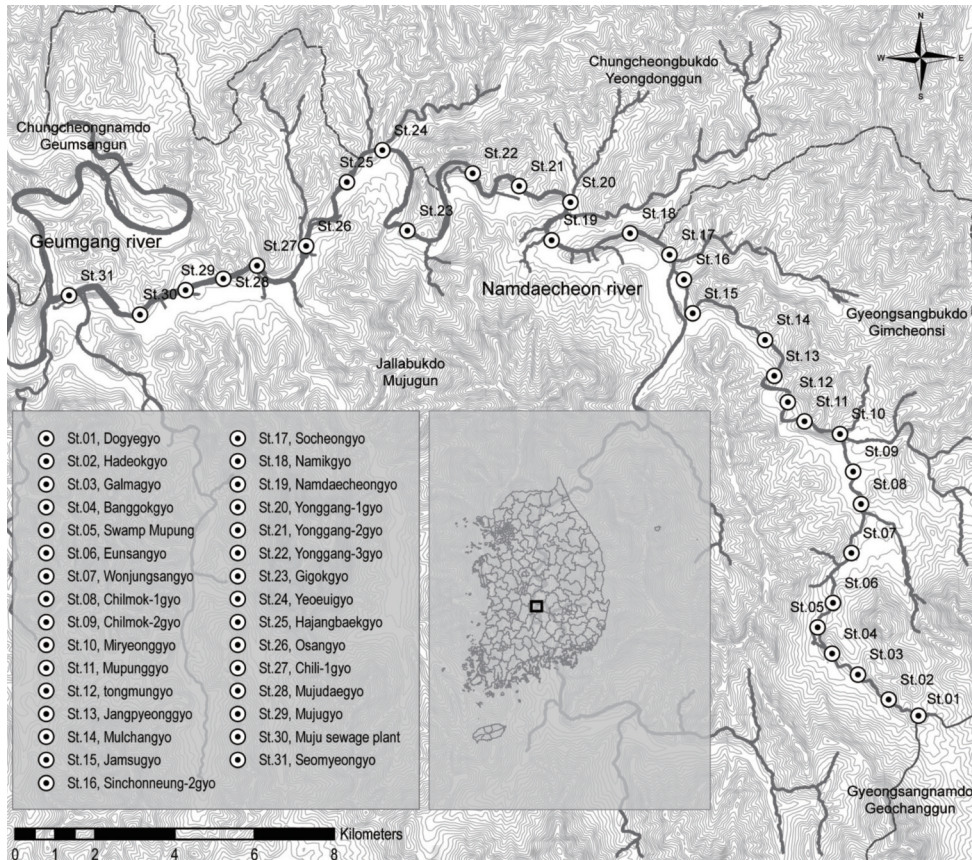


Figure 1. Map of survey area in Namdaechon river, Muju-gun, Jeollabuk-do, Korea.

서 발간한 자료에 따랐다.

남대천의 공간적 특성과 하천에 서식하는 조류의 분포특성에 대한 관련성을 파악하기 위하여 다음과 같이 3단계의 과정을 수행하였다. 첫째, 각 조사지점으로 부터 반경 200m 내 지역을 토지이용형태에 따라 구분하였다. 각 지점별 토지이용형태는 비오톱 유형(안) 작성지침(환경부, 2009)의 표준대분류안에 따라 농경지, 산림, 수공간, 주거지의 4가지 유형으로 분류되었으며, 각 유형별 면적을 산출하였다. 수공간의 경우는 물이 흐르는 수로와 둔치(초지, 나지 등)의 2가지로 세분화하였다. 둘째, 비오톱 유형(안)으로 분류된 각 지점의 면적과 인접 지점과의 상호 관련성 유무, 관찰된 조류의 개체수 및 최대개체수의 종풍부도간의 관련성을 확인하기 위해서 아크지아이에스 9.3(Arcgis 9.3)을 이용하여 공간자기상관분석(spatial autocorrelation analysis)을 수행하였다. 종풍부도는 각 조사 지점에서 확인된 조류의 종별 균등성을 비교하는 종다양도와 달리 조사지점의 조류 생물량을 추정하는데 유리한 지수라고 할 수 있다(Hurlbert and Jetz, 2007). 따라서 종별로 구분하지 않고 조류가 많이 관찰되는 지역과 그렇지 않은 지역간의 공간자기상관 현상이 발생하는지를 분석하기에 좋은 지수로 많은 연구에서 활용되고 있다(Pressey *et al.*, 1993; Ferrier, 2002; Primack, 2004; Newbold, 2010). 종풍부도는 조사결과가 지점별로 4회에 걸쳐서 조사한 자료이기 때문에 비교·분석을 위해 각 종의 최대개체수를 이용하여 아래와 같은 방식으로 산출하였다(Margalef, 1958).

• 종풍부도(species richness index: RI)

$$RI = \frac{(S-1)}{\ln(N)} \quad (S: \text{전체종수}, N: \text{관찰된 총개체수})$$

공간자기상관분석은 Moran's I를 이용하여 불규칙분포(random distribution)와의 차이를 통해 통계적으로 유의성을 검증하는 방법이다. 이러한 공간자기상관은 단일 변수가 갖는 관측값들인 공간단위(areal units)들이 지표상에 배열되는 방식(Griffith, 1987)으로 두변수 사이의 관계에 대한 일반적인 상관계수와는 다르다. Moran's I에서 이용하는 표준점수

(z-score)는 관측치에서 기대치를 뺀 후, 기대분포의 표준편차로 나눈 값이며, 그 값이 양수이면 집단 분포, 음수이면 분산분포를 나타낸다(최현우 등, 2007). 그리고 그 값이 -1.96보다 작거나 1.96보다 큰 수이면 유의수준이 0.05이상에서 분산분포하거나 집단분포하는 것을 의미하며 그 안의 수는 불규칙분포하는 것을 의미한다. 또한, -2.58보다 작거나 2.58보다 크면 유의수준이 0.01로써 그 패턴은 상당히 유의한 의미를 갖는다, Moran's I와 z-score( $Z_i$ )의 수식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

• Moran's I

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} Z_i Z_j}{S_o \sum_{i=1}^n Z_i^2}$$

$$S_o = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j}, \quad Z_{i \text{ or } j} = (X_{i \text{ or } j} - \bar{X})$$

( $n$ : 전체분포의 합계수,  $W_{i,j}$ :  $i$ 분포와  $j$ 분포의 근접거리,  $S_o$ : 모든 지점의 가중치 합,  $Z_{i \text{ or } j}$ : 분포  $i$  또는  $j$ 가 가지는 속성에 대한 편차,  $X_{i \text{ or } j}$ : 분포  $i$  또는  $j$ 의 비교하고자 하는 속성값,  $\bar{X}$ : 비교대상의 속성들의 평균값)

• 표준점수(z-score)

$$Z_i = \frac{I - E[I]}{\sqrt{V[I]}}, \quad E[I] = \frac{-1}{(n-1)},$$

$$V[I] = E[I^2] - E[I]^2$$

( $I$ : 관측된 속성값,  $E[I]$ : 기대치,  $n$ : 관측된 자료의 수,  $V[I]$ : 기대분포의 표준편차)

셋째, 각 조사지점간 조류 출현율을 분석하기 위하여 출현개체수와 종풍부도를 이용하였고, SPSS12.0K를 이용하여 상관관계분석과 선형회귀분석을 실시하였다.

### III. 조사결과 및 고찰

#### 1. 분석 대상지역의 서식지 유형 및 조류 종 조사결과

##### (1) 분석 대상지역의 서식지 유형

31개 조사지점을 중심으로 반경 200m 내 지역을 토지이용형태에 따라 세분화한 결과 경작지, 수공간,

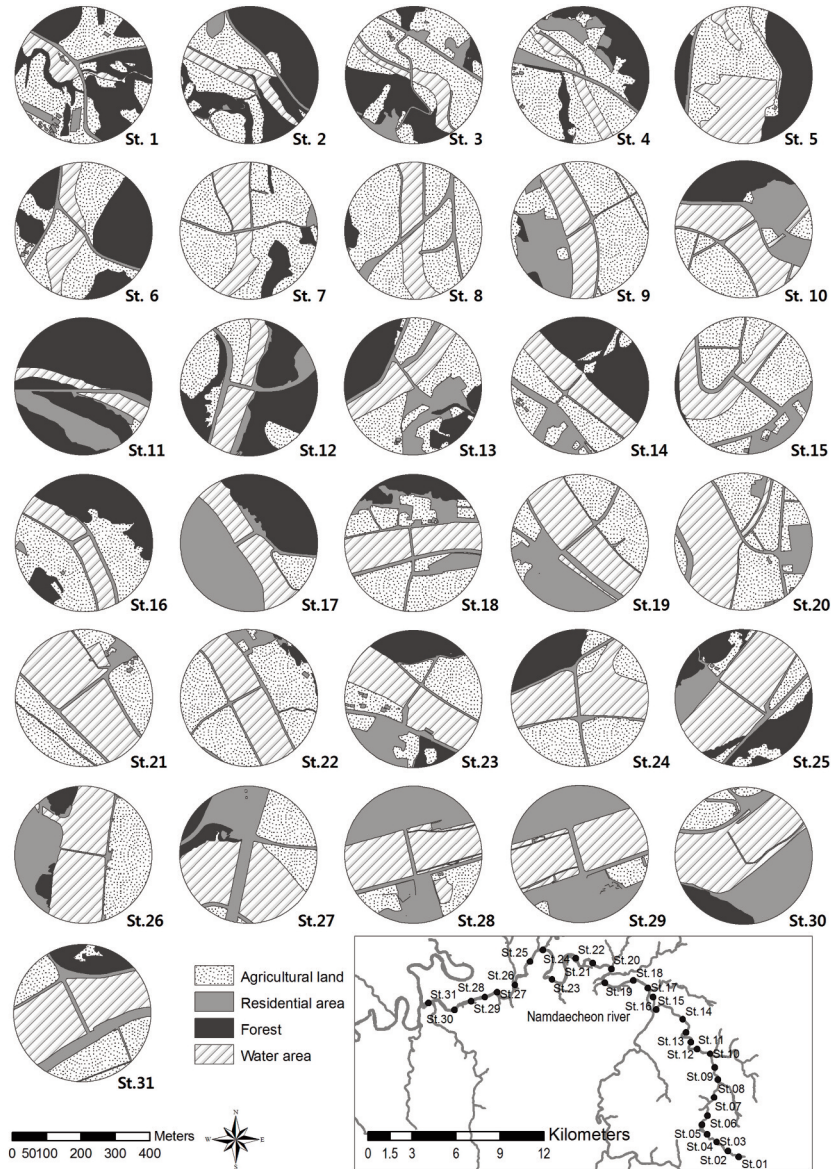


Figure 2. Map of survey area classified by biotope classification criteria.

산림, 주거지의 4가지 유형으로 분류되었으며, 대상 지역의 서식지유형을 Figure 2에 나타내었다. 유형별 면적은 경작지 1,38km<sup>2</sup>, 수공간 1,08km<sup>2</sup>, 주거지 0,73km<sup>2</sup>, 산림 0,71km<sup>2</sup>의 순으로 구성되었다. 그 중 조사지점 19-21, 28-29는 산림의 분포 면적이 없다. 또한, 주거지, 산림, 경작지의 면적은 상류에서 하류로 갈수록 증가하거나 감소하는 경향은 보이지 않았으나, 수공간 중 둔치를 제외한 수로는 하류로

갈수록 면적이 증가하는 것이 나타났다.

## (2) 조류 조사결과

본 지역에서 관찰된 조류는 총 11목 28과 59종 누적개체수 1,609개체이었다. 계절별로 겨울에는 28종 393개체, 봄에는 37종 525개체, 여름에는 30종 337개체, 가을에는 31종 354개체로 봄에 다소 많은 종 및 개체수가 관찰되었고, 봄 이외의 계절은 거의 비

Table 1. No. of species and total of max. counts of birds observed at each site

Site	No. of species	Total of max. counts	Site	No. of species	Total of max. counts	Site	No. of species	Total of max. counts
St.01	8	19	St.12	7	11	St.23	20	41
St.02	5	9	St.13	8	23	St.24	16	38
St.03	8	11	St.14	18	54	St.25	14	24
St.04	8	21	St.15	10	16	St.26	16	55
St.05	13	27	St.16	13	25	St.27	20	59
St.06	11	18	St.17	12	27	St.28	15	24
St.07	9	22	St.18	16	38	St.29	8	15
St.08	12	21	St.19	28	250	St.30	17	59
St.09	20	99	St.20	15	46	St.31	21	161
St.10	16	35	St.21	15	35			
St.11	10	12	St.22	16	50			

슷한 종 및 개체수가 확인되었다. 이는 봄에 여러 종류의 철새(겨울철새, 여름철새, 통과철새)가 도래 또는 통과 중에 관찰되고(이준우 등, 1989), 이들이 번식을 위한 활동성 증가로 인하여 다른 계절보다 많이 관찰된 것으로 판단된다(Lack, 1996; 임신재, 1997; 임신재 등, 2002; 황지희 등, 2011). 이를 서식형태에 따라 분류해 보았을 때, 텃새는 붉은머리오목눈이(*Paradoxornis webbianus*), 참새(*Passer montanus*) 등 31종, 여름철새는 검은등기해오라기(*Butorides striata*), 중대백로(*Ardea alba modesta*) 등 14종, 겨울철새는 청둥오리(*Anas platyrhynchos*), 개똥지빠귀(*Turdus eunomus*) 등 11종, 통과철새는 발종다리(*Anthus rubescens*), 뺨뺨도요(*Tringa ochropus*) 등 3종이었다(Appendix 1).

본 조사결과를 종에 따라 분류해 보았을 때, 가장 많은 개체수가 관찰된 종은 참새로 누적개체수 227개체였으며, 가장 적은 개체수가 관찰된 종은 새호리기(*Falco subbuteo*), 말뚝가리(*Buteo buteo*), 흰목물떼새(*Charadrius placidus*), 알락도요(*Tringa glareola*), 쇠딱다구리(*Dendrocopos kizuki*), 오목눈이(*Aegithalos caudatus magnus*), 굴뚝새(*Troglodytes troglodytes*), 백할미새(*Motacilla alba lugens*)의 8종으로 누적개체수 1개체만 관찰되었다. 조사지점별 종수 및 최대개체수를 분석한 결과 중상류부인 지점 19에서 28종 250개체로 가장 많은 종 및 개체수가 확인되었고, 그 다음으로 하류부인 지점

31에서 21종 161개체, 중상류부인 지점 9에서 20종 99개체 순으로 조사되었다. 지점 2에서는 5종 9개체, 지점 3에서는 8종 11개체로 종 및 개체수가 적게 관찰되었다(Table 1). 이처럼 조류는 대체적으로 수공간의 면적이 넓은 중하류 지역에서 많이 관찰되었고, 수공간의 면적 비율이 낮은 상류 지역에서 적게 관찰되었다. 그러나 수공간의 면적 크기와 정비례하지는 않았으며, 인접한 지점과 비교했을 때 상대적으로 수공간이 넓은 지역에서 조류가 더 많이 관찰되는 경향을 보였다.

## 2. 공간자기상관 분석결과

### (1) 대상지역 분석결과

31개의 각 조사지점 주변의 동일 면적을 구성하고 있는 주거지, 경작지, 수공간, 산림의 비율에 대한 공간자기상관 분석 결과, 신뢰수준 1%와 5%이내에서 집단분포하는 것으로 나타났다(Table 2). 하천의 연속성이 갖는 특성상 인접한 지점 간에 면적비율은 유사한 것으로 분석되었다. 그러나 경작지와 산림은 신뢰수준 5%이내에서 유의한 값을 나타내었고, 주거지와 수공간은 신뢰수준 1%이내에서 유의한 값을 나타냈다. 수공간을 수로와 둔치로 나누어 분석해 본 결과 둔치는 1%이내, 수로는 5%이내에서 유의한 값을 나타냈다. 이는 하천 주변의 지형과 토지이용이 인접한 환경일수록 유사하다는 것을 알 수 있었다. 이러

Table 2. Result of spatial autocorrelation analysis for each area classified by biotope classification criteria

Source	Agricultural land	Forest	Residential area	Water area	Water area	
					Water edge(river side)	Watercourse
Moran's I	0.346	0.295	0.424	0.735	0.469	0.340
Expected index	-0.033	-0.040	-0.033	-0.033	-0.033	-0.033
Variance	0.023	0.028	0.023	0.024	0.023	0.022
z-score	2.481	2.006	3.044	4.951	3.299	2.496
p-value	*0.013	*0.045	**0.002	**0.000	**0.001	*0.013

\* There is less than 5% likelihood that this clustered pattern is the result of random chance

\*\* There is less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance

Table 3. Result of spatial autocorrelation for species richness index of observed birds

Source	Richness index of maximum individuals of whole birds	Richness index of maximum individuals of water birds	Richness index of maximum individuals of forest birds
Moran's I	0.307	0.546	-0.040
Expected index	-0.033	-0.033	-0.033
Variance	0.023	0.023	0.022
z-score	2.223	3.831	-0.046
p-value	*0.026	**0.000	†0.964

\* There is less than 5% likelihood that this clustered pattern is the result of random chance

\*\* There is less than 1% likelihood that this clustered pattern could be the result of random chance

† The pattern is neither clustered nor dispersed

한 자연환경과 토지이용의 연속성은 자연 상태에서 흔하게 나타나는 현상이다(Tobler, 1970; Anselin and Bera, 1998; Lee and Wong, 2001). 남대천의 상류부는 경작지와 산림이 주로 구성되어 있고, 중류부와 하류부는 주거지의 비율이 산림 비율보다 높은 지점이 있으나, 수공간을 제외하고는 하류부로 갈수록 면적이 넓어지는 선형구조를 하고 있지 않았다(Figure 2). 하천의 상류에서 하류로 물이 흘러가면서 수량과 수폭, 하천 폭이 증가하여 이 같은 공간자기상관 현상이 나타나고 있으나, 하천 주변의 환경 즉 경작지, 주거지, 산림의 구성 비율은 하천보다 낮은 수준으로 공간자기상관 현상이 나타났다.

(2) 조류분석결과

지점별로 관찰된 조류의 공간자기상관 여부를 확인하기 위하여 최대개체수에 대한 종풍부도를 이용하였다. 전체 종, 물새류, 산새류에 대한 종풍부도를 분석한 결과, 전체 종에 대한 종풍부도는 신뢰수준 5%이내에서, 물새류의 종풍부도는 신뢰수준 1%이내에서 공간자기상관을 갖는 것으로 확인되었고, 산새

류는 지점별로 불규칙하게 나타났다(Table 3). 수공간 중 둔치 면적과 물새류의 종풍부도 역시 양의 상관관계를 나타냈지만, 산새류는 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. 물새류의 경우 각자의 생태적 지위(ecological niche)에 따라 다양한 유형의 습지에 서식하며(White and James, 1978), 이들의 분포와 풍부도는 식생구조 및 먹이구조 등 습지의 환경을 반영한다고 볼 수 있다(Hoyer and Canfield, 1990; Hoyer and Canfield, 1994; 문영민 등, 2010). 따라서 계절별 분포변화와 이동성이 큰 조류에서 공간자기상관 현상이 나타난 것은 이 지역이 자연하천상태를 그대로 유지하고 있어 서식지의 단편화가 적게 나타나며 조류 서식에 인위적인 방해 및 훼손이 적기 때문인 것으로 판단된다(Debinski and Holt, 1999). 또한 하천의 연속성이 갖는 특성상 인접한 지점 간에 면적 비율이 유사하여 서식공간의 안정성과 종풍부도에 직접적인 영향을 준 것으로 판단된다(Forman and Godron, 1986; Turner *et al.*, 2001). 하지만, 산새류는 하천 면적과는 상관없이 관찰되는 것으로 분석되었으며, 물새류와 수공간의 상관관계를 다소 떨어

Table 4. Coefficient of correlation analysis between water areas and observed birds

Source	Water area	Water edge(river side)	Watercourse
Richness index of maximum individuals of whole birds	**0.595	**0.541	0.288
Richness index of maximum individuals of water birds	**0.536	*0.422	0.324
Richness index of maximum individuals of forest birds	0.163	0.251	-0.023

\* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

\*\* Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

뜨리는 결과를 나타냈다. 따라서 하천에서 관찰되는 조류를 이용하여 하천의 건강성 평가 등을 하고자 할 때에는 물새류를 중심으로 분석하는 것이 더 유용할 것으로 판단된다. 그러나 이 결과는 조사 대상지의 지역적 특성일 가능성을 배제할 수 없으므로 다른 하천에 대해서도 산새류가 동일하거나 유사한 현상을 나타내는지에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

### 3. 상관분석결과

수공간의 면적과 조류의 종풍부도와의 상관분석을 실시한 결과, 전체 종 및 물새류에 대한 종풍부도는 수공간, 둔치의 면적과 유의한 양의 상관관계를 보였으며, 수로와는 유의한 상관성이 나타나지 않았다. 산새류에 대한 종풍부도는 수공간, 둔치, 수로와 유의한 상관성을 나타나지 않았다(Table 4). 수공간을 구성하는 공간요소 중에서 수로보다는 둔치의 면적이 더 많은 조류의 서식에 영향을 주는 것으로 판단된다. 하지만 산새류는 수공간의 구성비율과는 상관없이 이용하는 것으로 나타나 본 연구에서 산새류의 조사결과는 부정적이거나 불분명한 결과를 보이는 것으로 판단된다.

상류에서 하류방향으로 서식지 유형 면적과의 상관성을 알아보기 위하여 회귀분석을 실시한 결과, 수공간은 하류로 갈수록 유의한 차이로 증가( $r^2=0.747$ ,  $p<0.01$ )하는 것으로 나타났으며, 산림( $r^2=0.195$ ,  $p<0.05$ ), 주거지( $r^2=0.274$ ,  $p<0.01$ ), 경작지( $r^2=0.234$ ,  $p<0.01$ )는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 하천의 주변 공간은 공간자기상관성을 나타냈지만, 선형구조로 증가하거나 감소하는 경향은 나타나지 않았다. 이와 같이 경향이 나타나지 않는 특징은 무주군 남대천에서만 보이는 것으로 판단되며, 하천의 주변 공간은 지역별로 다르기 때문에 공간상관성의

유무는 각각 다를 것으로 판단된다.

공간분석과 통계분석을 통하여 하천환경의 연속적인 특성에 따라 관찰되는 조류도 공간자기상관을 갖는 것으로 나타났으며, 하천 둔치의 면적이 넓어짐에 따라 관찰되는 조류의 종 및 개체수가 증가하는 경향도 확인하였다. 이처럼 하천의 둔치는 조류가 취식하고 휴식하기 위한 공간으로써 이 공간의 증가는 더욱 많은 조류의 종 및 개체를 수용할 수 있을 것으로 판단된다.

## IV. 결론

본 연구는 하천구간에 따라 관찰되는 조류의 공간자기상관성 및 상호 공간관련성을 알아보기 위하여 전라북도 무주군에 위치한 남대천의 31개 지점을 대상으로 2011년 2월부터 9월까지 계절별로 조류조사를 수행하였다. 이 지역에서 관찰된 조류는 총 11목 28과 59종 누적개체수 1,609개체이었다. 지점별 조류의 최대개체수에 대한 종풍부도를 이용하여 분석한 결과 집단분포와 공간자기상관현상이 나타나는 것을 확인하였다. 각 조사지점 반경 200m 내의 토지 이용형태에 따라 세분화한 결과, 경작지, 수공간, 산림, 주거지의 4가지 유형으로 분류되었으며, 각 유형별 공간자기상관분석을 실시하였다. 비오톱 유형별로 분석한 결과 모든 유형에서 공간자기상관현상이 나타났다. 그 중 수공간 유형은 공간자기상관현상이 가장 높게 확인되었고, 산림, 주거지, 경작지 유형은 수공간보다 낮은 공간자기상관을 나타내는 것으로 분석되었다. 또한, 수공간은 상류에서 하류로 갈수록 면적이 증가하는 경향이 나타났으나, 나머지 3가지 유형(산림, 주거지, 경작지)에서는 면적이 증가하거나 감소하는 경향이 나타나지 않았다. 수공간 면적과

물새류는 높은 양의 상관관계가 나타났으나, 산새류와는 유의한 상관관계가 나타나지 않았다. 따라서 하천에서 관찰되는 조류를 대상으로 하천상태와 연관 지을 경우 물새류에 대해 더 중점적으로 분석하는 것이 유용할 것으로 판단된다. 또한 수공간과 바로 인접한 주변의 공간형태에 따른 물새류의 분포특성의 변화에 대한 연구도 이루어져야 할 것이다. 그러기 위해서는 본 하천에 서식하는 물새류에 대한 종별 생태적 지위, 서식지의 식생구조, 먹이구조 등 습지환경에 대한 추후 연구가 선행되어야 할 것이다. 수공간 중 둔치의 면적이 넓어짐에 따라 관찰되는 조류의 종 및 개체수가 증가하는 경향을 확인하였다. 이처럼 하천의 둔치는 조류가 취식하고 휴식하기 위한 공간으로써 이 공간의 증가는 더욱 많은 개체와 종을 수용할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 하천의 둔치는 조류의 중요 서식처로서 인위적으로 훼손되지 않고 자연적으로 존치될 수 있도록 신경 써야 할 부분이다. 하천의 정비, 훼손된 지역의 복원, 복구 등의 관리가 필요할 경우 원상태의 둔치면적을 고려하는 것도 그 지역의 조류 생태계의 교란을 완화하는 좋은 방법일 것으로 판단된다. 본 조사지역은 산림과 경작지의 비율이 높은 도시외곽지역의 결과이기 때문에, 국내 모든 하천에 적용하는 것은 무리가 있을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구는 일반적이고 보편적인 자연현상으로 인식될 수 있는 하천의 상류와 하류 면적, 그리고 물새류와의 서식특성을 정량적으로 측정하고 비교하여 분석한 결과라는 점에서 의의를 가질 수 있다. 즉, 의도되지 않고 자연적으로 관찰된 사실에 대하여 주변 환경과 유의한 상관관계가 있음을 객관적으로 증명한 사례이다. 이에 다른 지역의 하천 혹은 도심을 흐르는 하천의 경우에도 이와 같은 연구가 진행된다면, 친환경적인 하천 복원 등 관련분야에 유용한 연구 자료로 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

## 사 사

본 연구는 환경부 국립환경과학원 “제3차 전국자연환경조사”의 일환으로 수행되었습니다. 아울러 본 연구에 도움을 주신 국립환경과학원 및 인천대학교

관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 강종현, 조항수, 김창희, 배양섭, 2011, 영흥도 남단의 서식지유형별 조류 분포 현황, 한국조류학회지, 18(1), 43-57.
- 강종현, 조항수, 이윤경, 김동원, 김창희, 김명진, 배양섭, 2012, 영종도 북부지역의 조류 종다양도를 이용한 격자별 공간 분석, 한국환경영향평가학회지, 21(5), 649-664.
- 강태한, 김성현, 한성우, 이시완, 백운기, 2010, 금강 하구에 도래하는 수조류의 군집특성과 서식지 이용에 관한 연구, 한국조류학회지, 17(1), 1-10.
- 김광구, 2003, 공간자기상관(spatial autocorrelation)의 탐색과 공간회귀분석(spatial regression)의 활용, 정책분석평가학회지, 13(1), 273-294.
- 김수경, 김남신, 정석환, 김영훈, 성하철, 박시룡, 2008, GIS를 이용한 황새(*Ciconia boyciana*) 번식지의 환경특성 분석: 1970년대의 경기도와 충청도 지역을 대상으로, 한국지리정보학회지, 11(1), 125-137.
- 김익수, 2000, 덕유산 일대의 담수어류, 무주·거창(03-06)의 자연환경, 제2차 전국자연환경조사(1999), 환경부, pp.445-522.
- 문영민, 최진환, 유정철, 2010, 저수지의 환경요인이 월동수조류의 개체수와 종수에 미치는 영향, 한국조류학회지, 17(4), 289-302.
- 서정화, 박종길, 2008a, 한국의 야생조류 길잡이 산새, 신구문화사, 515pp.
- 서정화, 박종길, 2008b, 한국의 야생조류 길잡이 물새, 신구문화사, 391pp.
- 유승화, 권혁수, 박종준, 박종화, 2011, 두루미류 취식지역의 공간적 분포 및 서식밀도와 잠자리, 도로, 인가지역과의 관계, 한국환경생태학회지, 25(4), 516-525.
- 이동근, 김은영, 이은재, 송원경, 2010, 개발사업에

- 다른 조류종 영향평가모형 개발 및 적용, 한국환경영향평가학회지, 19(3), 347-356.
- 이우신, 구태희, 박진영, 2000, 한국의 새, LG상록재단, 320pp.
- 이준우, 김준선, 류창희, 1989, 가야산 국립공원의 이용객이 야생조류의 서식에 미치는 영향, 응용생태연구, 7(2), 213-220.
- 임신재, 1997, 서식지 구조에 따른 번식기조류군집과 소형포유류 개체군의 변화에 관한 연구, 서울대학교 석사학위논문.
- 임신재, 허위행, 이우신, 2002, 설악산의 고도별 조류군집의 특성, 한국생태학회지, 25(3), 179-187.
- 조향수, 강중현, 김창희, 배양섭, 2011, 영흥도 남부 지역의 조류 분포현황에 따른 시·공간적 마이크로-핫스팟(Micro-hotspot) 분석, 한국자연보호학회지, 5(2), 96-106.
- 최현우, 김계현, 이철용, 2007, 해양환경 공간분포 패턴 분석을 위한 공간자기상관 적용 연구, 한국지리정보학회지, 10(4), 60-74.
- 한국조류학회, 2009, 한국조류목록, 한림원주식회사, 133pp.
- 환경부, 2009, 비오톱 유형(안) 작성지침.
- 황국웅, 박소윤, 2003, 지속가능한 토지이용을 위한 경관규모 생태계평가 기법연구, 한국지리정보학회지, 6(1), 78-84.
- 황지희, 이운숙, 권영수, 2011, 월출산국립공원의 조류분포 및 관리방안, 한국조류학회지, 18(3), 227-240.
- Allan, J. D., 1995, Stream ecology, Structure and function of running waters, Chapman and Hall, 388pp.
- Anselin, L., and Bera, A. K., 1998, "Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics," in Aman Ullah and David Giles(eds.), Handbook of Applied Economic Statistics, New York, pp.237-289.
- Bahn, V., O'Connor, R. J., and Krohn, W. B., 2006, Importance of spatial autocorrelation in modeling bird distributions at a continental scale, *Ecography*, 29, 835-844.
- Bibby, C. J., Burgess, N. D., and Hill, D. A., 1992, Bird census techniques, Academic Press, London, 257pp.
- Bibby, C. J., Burgess, N. D., Hill, D. A., and Mustoe, S. H., 2000, Bird census techniques, 2nd edn. Academic, New York.
- Debinsky, D. M., and Holt, R. D., 1999, A survey and overview of habitat fragmentation experiments, *Conservation Biology*, 14, 342-355.
- Devictor, V., Julliard, R., Couvet, D., Lee, A., and Jiguet, F., 2007, Functional homogenization effect of urbanization on bird communities, *Conservation Biology*, 21, 741-751.
- Ferrier, S., 2002, Mapping spatial pattern in biodiversity for regional conservation planning: Where to from here?, *Systematic biology*, 51, 331-363.
- Forman, R. T. T., and Godron, M., 1986, Landscape Ecology, John Wiley and Sons, Inc.
- Furness, R. W., and Monaghan, P., 1987, Seabird Ecology, Chapman and Hall, London, p.164.
- Griffith, D. A., 1987, Spatial Autocorrelation: A primer, Resource Publications in Geography, Association of American geographers, 82pp.
- Hayman, P., Marchant, J., and Prater, T., 1986, Shorebirds, An identification guide to the waders of the world, Croom Helm, UK, 412pp.
- Hilden, O., 1965, Habitat selection of birds, A review, *Annales Zoologici Fennici*, 2, 53-75.

- Horne, A. J., and Goldman, C. R., 1994, *Limnology*, McGraw-Hill, Incorporated, 576pp.
- Hoyer, M. V., and Canfield, Jr. D. E., 1990, Limnological factor influencing bird abundance and species richness on Florida lakes, *Lake and Reservoir Management*, 6, 133-144.
- Hoyer, M. V., and Canfield, Jr. D. E., 1994, Bird abundance and species richness on Florida lakes: Influence of trophic status, lake morphology, and aquatic macrophytes, *Hydrobiologia*, 279/280, 107-119.
- Hurlbert, A. H., and Jetz, W., 2007, Species richness, hotspots, and the scale dependence of range maps in ecology and conservation, In *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, pp.13384-13389.
- Hynes, H. B. N., 1970, *The ecology of running waters*, Liverpool University Press, Liverpool, UK.
- Krebs, C. J., 1994, *Ecology: The experimental analysis of distribution and abundance* (4th ed.), Harper Collins College Publishers, New York.
- Lack, D., 1996, *Population studies of birds*, Clarendon Press, Oxford.
- Lee, J., and Wong, D. W. S., 2001, *Statistical Analysis with ArcView GIS*, John Wiley and Sons, Inc.
- Lin, Y. P., Yeh, M. S., Deng, D. P., and Wang, Y. C., 2008, Geostatistical approaches and optimal additional sampling schemes for spatial patterns and future sampling of bird diversity, *Global Ecology and Biogeography*, 17, 175-188.
- Magalef, R., 1958, Information theory in ecology, 3, 36-71.
- Mitchell, A., 2005, *The ESRI guide to GIS analysis*(Volume 2: Spatial measurements and statistics), ESRI Press, 238pp.
- Newbold, T., 2010, *The value of species distribution models as a tool for conservation and ecology in Egypt and Britain*, PhD thesis, University of Nottingham.
- Odum, 1971, *Fundamentals of Ecology*, 3rd ed., Philadelphia: W. B. Saunders Company, 574pp.
- Pressey, R. L., Humphries, C. J., Margules, C. R., Vane-Wright, R. I., and Williams, P. H., 1993, Beyond opportunism: Key principles for systematic reserve selection, *Trends in Ecology and Evolution*, 8, 124-128.
- Primack, R. B., 2004, *A primer of conservation biology*, Sinauer.
- Tobler, W., 1970, "A computer movie simulating urban growth in the Detroit region." *Economic Geography*, 46, 234-240.
- Turner, M. G., Gardner, R. H., and O'neil, R. V., 2001, *Landscapae Ecology in Theory and Practice*, Springer Science Business Media, Inc.
- Vannote, R. L., Minshall, G. W., Cummins, K. W., Sedell, J. R., and Cushing, C. E., 1980, The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37, 130-137.
- White, D. H., and James, D., 1978, Differential use of fresh water environments by wintering waterfowl of coastal Texas, *The Wilson Bulletin*, 90, 99-111.

Appendix 1. List of observed birds in Namdaecheon river, Muju-gun, Jeollabuk-do, Korea

Scientific name	Korean name	No. of individuals by Four season				Status*
		Winter	Spring	Summer	Autumn	
<i>Phasianus colchicus</i>	꿩		5			Res
<i>Aix galericulata</i>	월양	1	39	4	6	Res
<i>Anas platyrhynchos</i>	청둥오리	94	6			WV
<i>Anas poecilorhyncha</i>	흰뺨검둥오리	17	10		1	Res
<i>Anas crecca</i>	쇠오리	17				WV
<i>Tachybaptus ruficollis</i>	논병아리	1			1	Res
<i>Butorides striata</i>	검은댕기해오라기			13	32	SV
<i>Bubulcus ibis</i>	황로				5	SV
<i>Ardea cinerea</i>	왜가리	1	12	18	17	Res
<i>Ardea alba modesta</i>	중대백로		14	5	22	SV
<i>Egretta garzetta</i>	쇠백로			1	5	Res
<i>Falco tinnunculus</i>	황조롱이	1		1		Res
<i>Falco subbuteo</i>	새호리기			1		SV
<i>Buteo buteo</i>	말뚱가리	1				WV
<i>Charadrius placidus</i>	흰목물떼새	1				Res
<i>Charadrius dubius</i>	꼬마물떼새			3		SV
<i>Tringa ochropus</i>	백뺨도요		1		1	PM
<i>Tringa glareola</i>	알락도요				1	PM
<i>Actitis hypoleucos</i>	갯작도요		4	13	4	SV
<i>Streptopelia orientalis</i>	멧비둘기		30	7	42	Res
<i>Cuculus canorus</i>	삿꾸기			3		SV
<i>Eurystomus orientalis</i>	파랑새			3	1	SV
<i>Alcedo atthis</i>	물총새		1	4	8	SV
<i>Dendrocopos kizuki</i>	쇠딱다구리		1			Res
<i>Dendrocopos major</i>	오색딱다구리				1	Res
<i>Picus canus</i>	청딱다구리		7		1	Res
<i>Oriolus chinensis</i>	피꼬리			7		SV
<i>Garrulus glandarius</i>	어치		7	3	22	Res
<i>Cyanopica cyanus</i>	물까치	7		18	1	Res
<i>Pica pica</i>	까치	7	9	17	14	Res
<i>Corvus frugilegus</i>	떼까마귀		31			WV
<i>Corvus macrorhynchos</i>	큰부리까마귀	4	13	5	14	Res
<i>Bombycilla japonica</i>	홍여새		26			WV
<i>Parus major</i>	박새	8	9	7	6	Res
<i>Parus varius</i>	곤줄박이		3			Res
<i>Parus palustris</i>	쇠박새	2	11	6	2	Res
<i>Aegithalos caudatus magnus</i>	오목눈이		1			Res
<i>Microscelis amaurotis</i>	직박구리	13	16	33	18	Res
<i>Paradoxornis webbianus</i>	붉은머리오목눈이	60	71	13	48	Res
<i>Troglodytes troglodytes</i>	굴뚝새		1			Res
<i>Sitta europaea</i>	둥고비		2			Res

Appendix 1. Continued

Scientific name	Korean name	No. of individuals by Four season				Status*
		Winter	Spring	Summer	Autumn	
<i>Sturnus cineraceus</i>	찌르레기		19			SV
<i>Turdus naumanni</i>	노랑지빠귀	6				WV
<i>Turdus eunomus</i>	개똥지빠귀	87				WV
<i>Phoenicurus aureus</i>	딱새	5	7	5	2	Res
<i>Saxicola torquatus</i>	검은딱새		9	1		SV
<i>Cinclus pallasii</i>	물까마귀	1		3	2	Res
<i>Passer montanus</i>	참새	21	58	118	30	Res
<i>Motacilla cinerea</i>	노랑할미새		6	8	16	SV
<i>Motacilla alba leucopsis</i>	알락할미새		17	5	16	SV
<i>Motacilla alba lugens</i>	백할미새	1				WV
<i>Motacilla grandis</i>	검은등할미새	11	11		12	Res
<i>Anthus rubescens</i>	발총다리		4			PM
<i>Carduelis sinica</i>	방울새		38			Res
<i>Uragus sibiricus</i>	긴꼬리홍양진이	2	2			WV
<i>Emberiza cioides</i>	멧새	5	17	10	3	Res
<i>Emberiza rustica</i>	쓱새	2				WV
<i>Emberiza elegans</i>	노랑턱멧새	15	7	2		Res
<i>Emberiza pallasi</i>	북방검은머리쓱새	2				WV
<b>Total (59 species)</b>	<b>No. of species</b>	<b>28</b>	<b>37</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	
	<b>No. of individuals</b>	<b>393</b>	<b>525</b>	<b>337</b>	<b>354</b>	

\* Res: Resident, WV: Winter Visitor, SV: Summer Visitor, PM: Passage Migrant