

Research Paper

경관생태학적 특성이 조류출현에 미치는 영향 - 낙동강 하구를 대상으로 -

김범수* · 여운상** · 오동하** · 성기준*
부산발전연구원*, 부경대학교 생태공학과**

Effects of Landscape Ecological Characteristics on Bird Appearance - Focused on The Nakdong River Estuary -

Bum-soo Kim* · Unsang Yeo** · Dongha Oh** · Kijune Sung*

Busan development Institute*, Dept. of Ecological Engineering, Pukyong National University**

요약 : 철새도래지로서 기능을 유지하며 지속가능하게 낙동강 하구를 이용하기 위해서는 조류서식지의 특성을 고려한 토지이용 및 하구관리가 필요하다. 본 연구에서는 낙동강 하구의 조류서식지를 갈대, 갯벌, 경작지, 담수개방수면, 사주, 수변림, 새섬매자기, 수로, 인공물, 초지, 해수·기수개방수면 등 지역적 특성을 고려하여 총 11개의 유형으로 분류한 후 12개 조사권역으로 구분하여 서식지 및 경관 특성을 분석하였다. 낙동강 하구의 주요 조류 서식지 중 갯벌, 인공물, 경작지, 갈대 등 4개의 유형이 전체 육역 면적의 약 80%를 차지하였으며, 특히 인공물과 경작지의 비율이 높아 대상 지역이 인간의 간섭을 많이 받고 있음을 보여주었다. 서식지를 구성하는 패치수와 밀도는 서낙동강, 삼락둔치, 맥도강, 대저수문 등에서 크게 나타나 이들 지역에서 서식지 파편화가 많이 진행되어 있었다. 관찰된 조류의 총 종수와 개체수는 조사면적과 서식지를 구성하고 있는 서식지의 유형수와 양의 상관관계가 있는 것으로 나타났다. 연구 결과 서식지 관리에 있어서 충분한 면적의 확보 특히 새섬매자기 서식지의 보존이 중요하며, 개발 등으로 인한 서식지 감소 시 낙동강하구를 찾는 조류 개체군에 가장 큰 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 낙동강 하구가 철새서식지로서의 기능을 유지하기 위해서는 중요한 서식지의 보존 정책이 먼저 수반되어야 할 것으로 판단된다.

주요어 : 경관지수, 조류서식지, 유형분류, 서식처 파편화, 새섬매자기

Abstract : If the Nakdong River estuary is to be sustainable, land use management practices need to consider bird habitat requirements, especially given that the area serves as an important migratory bird sanctuary. In this study, bird habitats found in the Nakdong River estuary were classified into 11 different types including *Phragmites australis*, mud flat, farmland, open surface in freshwater, sand bar, riparian forest, *Scirpus planiculmis*, waterway, construction, grasslands, and open surface in sea or brackish water. Taking into consideration the regional characteristics, habitat properties,

and landscape indices, a total of 12 study sites were analyzed. Mud flat, construction, farmland, and *P. australis* account for 80% of the total land area. The high area ratio of construction and farmland to other types of habitat revealed a high amount of historical human activity and intervention in the area. Both patch numbers as well as patch density were high in West Nakdong River, Samrak Waterfront, Maekdo River, and Daejeo Floodgate, with these areas showing the greatest fragmentation as well. Total numbers of species and individuals had a positive correlation with the area and the number of habitat types. Findings suggest that protecting the habitat area, especially in *S. planiculmis*, is the most important factor for bird habitat management and that future development could result in habitat loss, having a profoundly adverse impact on bird populations. Therefore, it is important that the total area should be carefully protected by land use regulations in order to ensure that the Nakdong River estuary maintains its functional integrity as a migratory bird sanctuary.

Keywords : landscape index, bird habitat, type classification, habitat fragmentation, *Scirpus planiculmis*

I. 서론

낙동강하구는 국가간 또는 대륙간 장거리를 이동하는 철새들의 기착지와 겨울새의 월동지 및 여름새의 번식지로 중요한 위치를 차지하고 있다(Hong, 2004). 낙동강이 남해와 만나는 기수역에 위치한 낙동강하구는 생물다양성이 풍부하여 한때 동양최대의 철새도래지로 알려졌으며 그 중요성 때문에 자연환경보전법의 자연환경보전지역, 문화재보호법의 문화재구역, 습지보전법의 습지보호지역, 해양오염방지법의 특별관리해역 등 4개의 법으로 보호하고 있다(Busan Metropolitan City, 2011). 하지만 일원화되지 않은 법적 관리체계와, 낙동강 중상류지역에서 배출되는 오염물질의 유입, 낙동강하굿둑의 건설을 시작으로 공단 및 주거단지조성, 도로 및 교량 건설과 4대강 사업 등 지속적인 개발에 의해 이미 많은 지역이 훼손 또는 변형되어, 지속적인 철새 서식환경에 대한 악영향을 간과할 수 없는 형편이다. 서식지는 생물의 생존과 번식을 위해 필요한 자원, 조건 및 모든 주변적 요인과 환경요인을 포함한다(Hall *et al.*, 1997). 따라서 기본적으로 조류가 지속적으로 서식하기 위해서는 이들에게 필요한 중요한 자원과 조건을 갖춘 핵심서식지를 우선적으로 도출하고 관리하는 것이 필요하다(Rho *et al.*, 2010). 하지만 최근에 생태공원이라는 이름으로 생태복원을 진행하고 있는 낙동강 하구의 둔치지역을 보더라도 이용 위주로 조

성 되면서 서식지 복원이 아닌 서식지 교란의 위험성을 내포하고 있다. 따라서 중요한 철새도래지로서의 낙동강 하구의 중요성을 인지하면서 지속가능한 하구관리를 수행하기 위해서 낙동강 하구의 중요 조류 서식지 특성을 고려한 토지이용 및 관리가 필수적이라 할 수 있다. 이러한 이유로 부산광역시에서는 낙동강 하구 전체에서 중수에서 20% 이상, 개체수에서 3% 이상 관찰된 조류 서식지역을 파악하고 철새도래의 저해요인을 분석하여 주요 서식지별 관리방안을 제안한 바 있다(BMC, 2005). 또한 보호조의 유무, 출현 종수와 개체수 등 조류현황을 나타내는 지표들을 이용하여 서식상태를 평가하고 이와 함께 인간의 접근성, 서식지의 연결성 등 외부압력 요인을 고려한 지표들로서 서식잠재성을 평가하여 철새서식지평가를 작성한 바 있다(BMC, 2007).

하지만 끊임없이 개발위협에 노출되어 있는 낙동강 하구의 주요 서식지를 효율적으로 관리하기 위해서는 낙동강하구에 존재하는 서식지유형을 파악하고 주요 경관 특성들에 대한 분석을 통하여 조류 서식지 유형의 정량적인 분포 특성과 주요 조류 출현지역의 형태적 특성을 파악하는 것이 필요하다. 경관지수는 지역생태계나 유형을 분류하는데 효과적으로 사용될 수 있는데(Kim and Oh, 2011; Cho, 2000; Mcgarigal and Marks, 1994), 이러한 서식지의 유형과 경관특성에 대한 정보는 핵심서식지의 보전과 복원이나 대

체서식지의 조성 등에 유용한 자료로 활용 될 수 있다. 지금까지의 조류 서식환경평가나 서식지 유형분석에 관한 연구는 주로 우리나라 전역을 대상으로 진행되었거나, 산림이나 도시 등을 대상으로 수행되었기 때문에, 갈대나 새섬매자기 등 독특한 서식조건을 가지고 있는 낙동강하구에 바로 적용하기에는 무리가 따를 수 있다(Yoo *et al.*, 2012; Rho *et al.*, 2010; Jeong, 2001). 따라서 본 연구에서는 중요한 철새도래지의 역할을 담당하고 있는 낙동강 하구의 주요 조류서식지에 대한 유형 분류 및 경관 특성을 분석하여 향후 낙동강 하구의 조류서식지 관리에 활용할 수 있도록 하고자 하였다. 또한 낙동강 하구에 대한 경관생태학적 분석 결과는 중요 조류 서식지의 양적 또는 구조적 특성을 파악할 수 있으므로, 개발압력에 노출되어 있는 낙동강 하구에서의 잠재적 사업들이 조류서식지에 미치는 영향을 분석하는데 도움을 줄 수 있어 향후 환경영향 평가에도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

II. 연구방법

1. 대상지역의 특성 및 서식지 유형분류

대상지역의 조류 출현종과 개체수는 부산발전연구

원에서 실시하였던 낙동강하구 생태계 모니터링(2003년-2011년) 자료를 이용하였는데, 조류 조사는 수역과 육역을 나누어서 진행되었으며 2003년-2004년에는 총 6회, 2004년-2005년 이후부터는 총 8회 실시되었다(BMC, 2002, 2004, 2005, 2006, 2007a, 2008, 2009, 2011). 조사 횟수 등의 차이가 있어서 본 연구에서는 해당기간 동안에 누적 총종수와 총개체수를 이용한 분석을 실시하였다. 한편 조류 조사가 실시되었던 동일지역에 대하여 서식지의 유형분류 및 경관특성을 분석하였는데, 분석지역은 지리적 요인이나 토지이용 측면을 고려하여 구분된 낙동강 하구의 12개 지역이다(Fig. 1).

조류 서식지의 유형 구분은 법정보호 야생조류의 서식환경평가방안에서 델파이 기법을 이용하여 서식지 유형과 대상종(목표종)을 선정하고, 산림, 육수, 해안·해양, 거주지 및 개활·농경지 등 5개 유형으로 1차 분류한 후 다시 이를 세분하여 구분한 Rho *et al.*(2010) 등을 참고하였다. 하지만 이는 우리나라 전역에 대한 서식지 유형을 분석한 것으로 낙동강하구에 바로 적용하기에는 갈대, 새섬매자기, 사주 등 하구만의 특수한 유형의 서식지를 담아내지 못하는 한계가 있으므로 본 연구에서는 이를 다음과 같이 낙동

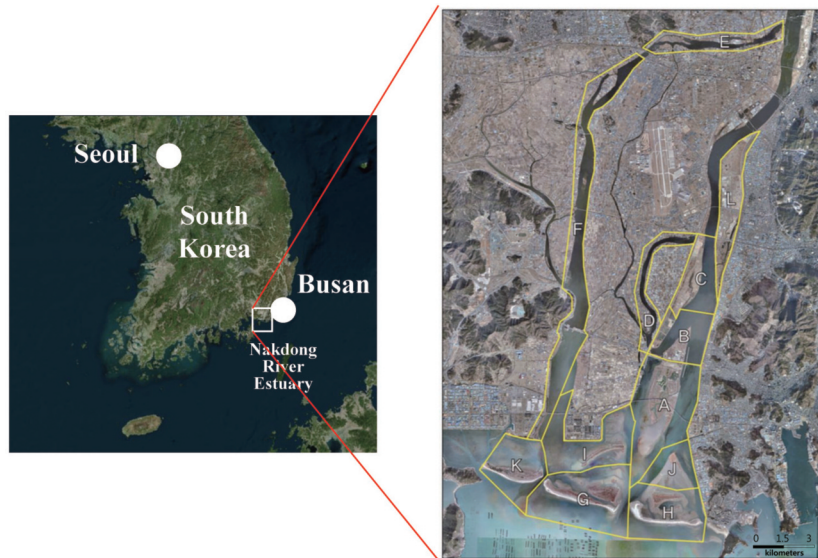


Figure 1. Major bird habitats and observation regions in the Nakdong river estuary(BMC, 2011). A: Eulsukdo, B: Ilungdo, C: Yeomak Waterfront, D: Maekdo River, E: Daejeo Floodgate, F: West Nakdong River, G: Sinja · Jangjado, H: Baekhap · Doyodeung, I: Myungji, J: Mangeummuri deung, K: Jinwoodo, L: Samrak Waterfront

강하구 특성에 맞게 다시 구분하였다. 담수역은 수생 식물의 영향이 적은 담수개방수면과 개방수역의 가장자리나 소규모 하천 등 수생식물이 자생하는 지역을 수로로 구분하였다. 육지에서 먼 외해인 해양은 조사 지역이 아니므로 제외하고 해수·기수개방수면으로 분류하였으며 물에서 가깝고 조수간만의 영향을 받아 생물다양성이 풍부한 지역인 갯벌을 중요 서식지 유형으로 설정하였다. 또한, 갯벌지역 중에서 고니류 등의 주요 먹이원인 새섬매자기 군락지역은 따로 구분하였다. 거주지는 사람의 영향을 직접 받는 지역이므로 공원화된 지역과 함께 인공물로, 낙동강 하구역에 많이 자생하는 갈대는 갈대지역으로 구분하였으며, 낙동강하구의 특별한 서식지 유형인 사주도 따로 분류하였다. 초본류가 자라는 지역은 초지로 논과 경작지는 경작지로 구분하였으며, 산림은 물새들이 많은 낙동강하구 조류의 주요 서식지는 아니지만 대상 지역에 일부가 포함되어 있어 서식지 유형으로 고려할 필요가 있었다. 하지만 면적이 적어서 활엽수림지역, 침엽수림지역 등으로 세분하지 않고 수변림으로 분류하였다. 이렇게 분류된 낙동강하구의 조류서식지는 새섬매자기, 갈대, 갯벌, 사주, 인공물, 해수·기수 개방수면, 담수개방수면, 수로, 초지, 경작지, 수변림 등 총 11개 이다.

2. 경관요소 및 통계분석

Fig. 1에 제시된 12개의 조사권역에 대한 경관지수 중 경관요소들이 대상지역을 구성하고 있는 정량적 그리고 형태적 특성인 서식지 유형별 면적, 육역과 수역의 면적, 패치수, 패치밀도, 평균패치크기, 가장자리길이, 가장자리 밀도는 부산광역시(2007b)의 비오톱 유형도를 ArgGIS 10.0을 이용하여 계산하였으며, 서식지의 이질성을 나타내는 서식지다양도, 서식지풍부도, 서식지균등도는 다음의 식(1) - 식(3)을 이용하여 분석하였다(Kim and Oh, 2011; Mcgarigal and Marks, 1995).

$$\text{서식지다양도지수(HDI)} = -\sum_{i=1}^m (P_i \ln P_i) \quad (1)$$

$$\text{서식지풍부도지수(HRI)} = \frac{(m-1)}{\ln TA} \quad (2)$$

$$\text{서식지균등도지수(HEI)} = \frac{HDI}{\ln m} \quad (3)$$

여기서 m : 서식지 유형수, P_i : i 번째 서식지 유형의 면적(A_i)을 전체면적(TA)으로 나눈 값이다. 한편 본 연구에서는 조사권역별 실제 면적이 다르기 때문에 서식지의 양적 구성 특성을 분석하기 위해서 서식지 유형별 면적에 대한 분석과 더불어 유형별 면적 구성비에 대한 분석도 함께 하였다. 유형별 면적의 구성비에 대한 분석은 수역을 포함한 전체 서식지의 면적비와 수역을 제외한 육역에 대한 구성비를 따로 구분하여 수행하였는데 이는 실제 토지이용 변화나 개발 압력이 주로 육역에서 일어나기 때문에 육역이 서식지관리의 주 대상지역이 될 수 있기 때문이다. 또한 조사권역별 관찰된 조류의 총 개체수, 총 종수 및 주요 우점종 등 조사권역별 조류특성도 함께 고려하였다.

조사권역에 대한 서식지유형별 면적특성 및 경관지수를 이용하여 주성분분석을 실시하였으며, 이들 특성간의 상관 정도를 알아보기 위하여 상관분석을 실시하였다. 통계분석은 SAS 9.3(SAS Institute Inc. USA)를 이용하였으며, 통계적 유의수준은 $p < 0.05$ 를 기준으로 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 조사권역별 조류특성

조사권역별로 2003년부터 2011년까지 조사된 조류특성을 비교해 보면 Table 1과 같다. 종수가 가장 많이 관찰된 조사권역은 을숙도(171종)였고 다음으로 서낙동강(141종), 일웅도(124종), 명지(123종), 삼락둔치(121종) 순이었다. 개체수는 명지(208,601개체), 서낙동강(198,886개체), 을숙도(151,381개체), 백합·도요등(150,445개체) 순으로 많이 관찰되었다. 단위면적당 관찰된 개체수는 명지지역에서 조류의 종수는 일웅도에서 많은 것으로 나타났다. 종다양성지수는 서식지유형을 포함하여 종수와 개체수가 많은 을숙도가 3.11로 가장 높았으며 개체수가 가장 많은 명지

Table 1. Bird properties(2003-2011) observed at the survey regions in the Nakdong river estuary

Survey Region	Cumulative Number of Species	Cumulative Number of Individuals	Species Diversity Index	Number of Species/Area (No/ha)	Bird Density (No/ha)	Dominant Species(%)
Eulsukdo(A)	171	151,381	3.11	0.17	154	<i>Anas platyrhynchos</i> (18.54), <i>Larus crassirostris</i> (14.95), <i>Anas poecillorhyncha</i> (9.59)
Ilungdo(B)	124	63,355	3.05	0.28	145	<i>Aythya ferina</i> (15.38), <i>Fulica atra</i> (11.11), <i>Anas poecillorhyncha</i> (10.76)
Yeomak Waterfront(C)	115	32,230	2.78	0.27	75	<i>Anser fabalis</i> (22.31), <i>Anas platyrhynchos</i> (18.82), <i>Anas poecillorhyncha</i> (16.82)
Maekdo River(D)	77	28,498	2.43	0.23	85	<i>Anas clypeata</i> (32.54), <i>Fulica atra</i> (20.34), <i>Anas poecillorhyncha</i> (7.90)
Daejeo Floodgate(E)	101	52,182	2.52	0.26	133	<i>Anas platyrhynchos</i> (24.73), <i>Anser fabalis</i> (19.06), <i>Anas poecillorhyncha</i> (13.04), <i>Fulica atra</i> (10.38)
West Nakdong River(F)	141	198,886	2.94	0.11	159	<i>Anas platyrhynchos</i> (25.98), <i>Anas poecillorhyncha</i> (10.21), <i>Anas acuta</i> (7.10)
Sinja · Jangjado (G)	115	71,189	3.03	0.12	76	<i>Anas platyrhynchos</i> (13.03), <i>Calidris alpina</i> (12.04), <i>Larus argentatus</i> (11.14)
Backhap · Doyodeung(H)	116	150,445	2.91	0.17	226	<i>Sterna albifrons</i> (16.92), <i>Anas platyrhynchos</i> (11.99), <i>Larus crassirostris</i> (8.51), <i>Calidris alpina</i> (7.44)
Myungji(I)	123	208,601	2.60	0.18	301	<i>Anas platyrhynchos</i> (25.17), <i>Anser fabalis</i> (13.44), <i>Anas poecillorhyncha</i> (10.21)
Mangeummuri deung(J)	84	84,620	2.80	0.26	270	<i>Larus crassirostris</i> (16.99), <i>Anas platyrhynchos</i> (11.89), <i>Cygnus cygnus</i> (11.71), <i>Larus argentatus</i> (7.72)
Jinwoodo(K)	90	17,775	2.92	0.17	34	<i>Larus crassirostris</i> (16.01), <i>Tadorna tadorna</i> (14.36), <i>Anas falcata</i> (12.61)
Samrak Waterfront(L)	121	44,892	2.85	0.26	98	<i>Anser fabalis</i> (24.74), <i>Anas platyrhynchos</i> (10.21), <i>Anas poecillorhyncha</i> (8.13), <i>Fulica atra</i> (7.52)

지역은 상위 우점 3종의 비율이 약 50%로 편중된 종 분포를 보여 2.60으로 비교적 낮은 편이었다.

최우점종인 청둥오리(*Anas platyrhynchos*)는 전 지역에서 고루 관찰되었지만 쇠제비갈매기(*Sterna albifrons*)는 78.4%가 사주지역인 백합 · 도요등에서 집중적으로 분포하였으며, 고니류는 76.2%가 갯벌과 새섬매자기 군락이 발달한 명지와 맹금머리등 지역에서 분포하는 것으로 나타났다. 경작지가 많은 염막둔치, 대저수문, 삼락둔치에서는 큰기러기(*Anser fabalis*)와 청둥오리의 관찰 비율이 높았고 육역에서 인공물의 점유가 높았던 일웅도에서는 수면부 지역에서 활동하는 흰죽지(*Aythya ferina*) 또는 물닭(*Fulica atra*) 등의 잠수성 조류가 상대적으로 많은 것으로 나타나 낙동강하구에서 서식지 유형이 우점종의 분포와 연관성이 있는 것으로 조사되었다.

2. 조사권역내 서식지 유형 분포

낙동강 하구의 주요 조류 서식지는 해수 · 기수개방수면이 2,304.9ha로 전체면적의 31.1%를 차지하여 가장 넓었고 그 다음으로 담수개방수면 1,331.7ha(17.9%), 갯벌 1,081.0ha(14.6%), 인공물 794.9ha(10.7%)순이었다(Fig. 2a). 수면부를 제외한 육역의 면적비는 갯벌이 28.6%로 가장 넓었고 그 다음 인공물(21.0%)과 경작지(16.4%), 갈대(13.2%) 등으로 이들 4개의 유형이 육역 전체 면적의 약 80%를 차지하였다. 특히 인공물과 경작지등의 비율이 높은 것으로 보아 낙동강 하구에 인간의 간섭에 의한 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있었다. 그 외의 서식지 유형으로는 낙동강하구의 중요한 조류 먹이원인 새섬매자기 서식지의 비율이 7.9%로 높게 나타났다(Fig 2b).

Fig. 2c에서 보듯이 빠른 확장성으로 문제가 될 수

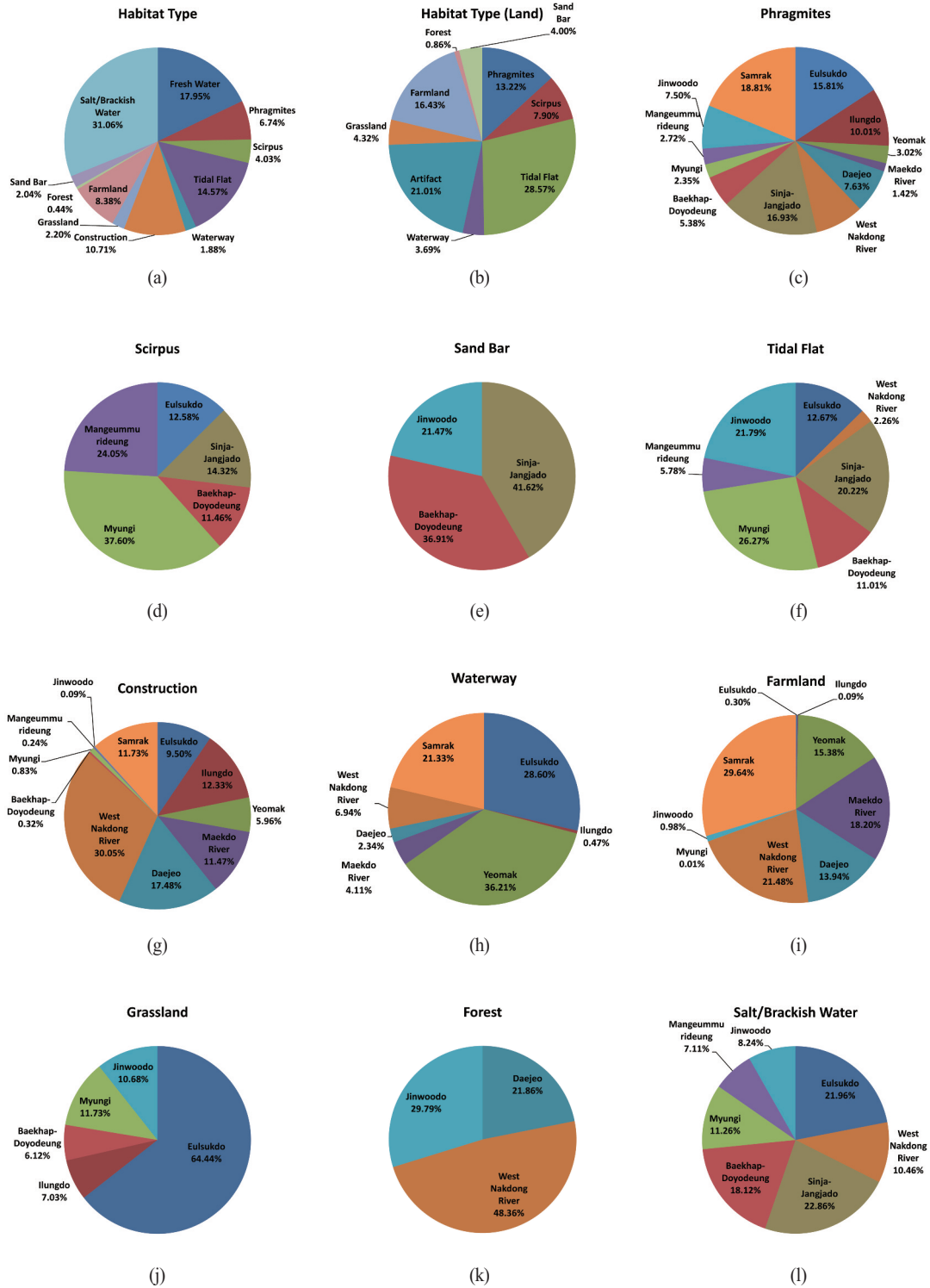


Figure 2. Area composition of 11 habitats in the observed regions and area distribution of major habitat type in the Nakdong river estuary

있는 갈대는 12개의 모든 조사권역에 분포하는 것으로 조사되었다. 특히 삼락둔치(18.8%), 신자·장자도(16.9%), 을숙도(15.8%) 등에 넓게 분포하고 있는 것으로 나타나, 지나친 세력 확장으로 다른 서식지에 영향을 미칠 경우 조절이 필요할 것으로 판단된다(Sung, 2006; Chung *et al.*, 2008). 새섬매자기는 명지(37.6%), 맹금머리등(24.1%), 신자·장자도(14.3%), 을숙도(12.6%), 백합·도요등(11.5%) 등 주로 해수·기수역에 주로 분포하고 있었다(Fig. 2d). 쇠제비갈매기가 주로 번식하는 사주는 신자·장자도(41.6%), 백합·도요등(36.9%) 및 진우도(21.5%)에 부분적으로 분포하고 있어 쇠제비갈매기의 서식지 보존을 위해서는 이들 지역에 대한 특별한 관리와 모니터링이 필요한 것으로 나타났다(Fig. 2e). 인공물은 서낙동강(30.1%)과 대저수문(17.5%), 맥도강(11.5%)에서 수로는 염막둔치(36.2%), 을숙도(28.6%), 삼락둔치(21.4%)에 주로 분포하여 이들 조사지역이 인간의 간섭이 많은 지역임을 보여주었다(Figs 2g-2h). 한편 전체초지의 64.4%가 을숙도에 분포하고 있었으며 수변림은 담수지역에서는 서낙동강과 대저수문, 해수지역에서는 진우도에만 분포하고 있었다(Fig 2j-2k).

각 서식지유형의 분포특성에 따라 낙동강하구의 조사권역별 특성을 분석할 수 있는데, Fig 3a는 각 조사권역을 구성하고 있는 서식지유형의 면적을 고려한 조사지역들의 상대적 위치를 나타낸다. 분석한 축1에서 축4의 고유치는 각각 0.3337, 0.2766, 0.1360, 0.0866 으로 이중 총 61.4%의 누적분산을 갖고 있는 축1과 2를 고려할 때, 수로와 경작지가 많고 담수지역에 존재하는 삼락둔지, 염막둔치, 일웅도, 맥도강, 대저수문이 유사한 특성을 해수·기수역에 존재하며 새섬매자기, 갯벌 및 사주가 분포하는 백합·도요등, 명지, 진우도, 신자·장자도가 유사한 특성을 갖고 있음을 알 수 있다. Fig 3b는 각 조사권역별 분포하는 서식지유형의 면적 구성비를 고려한 대상지역의 상대적 위치를 나타낸다. 분석한 축1에서 축4의 누적분산은 92.4%로 이중 총 82.7%의 설명력을 갖고 있는 축1과 2를 고려하면, 해수·기수역 위치한 지역은 주로 새섬매자기와 사주 분포 특성에 따라 을숙도, 명지, 맹금머리등과 백합·도요등,

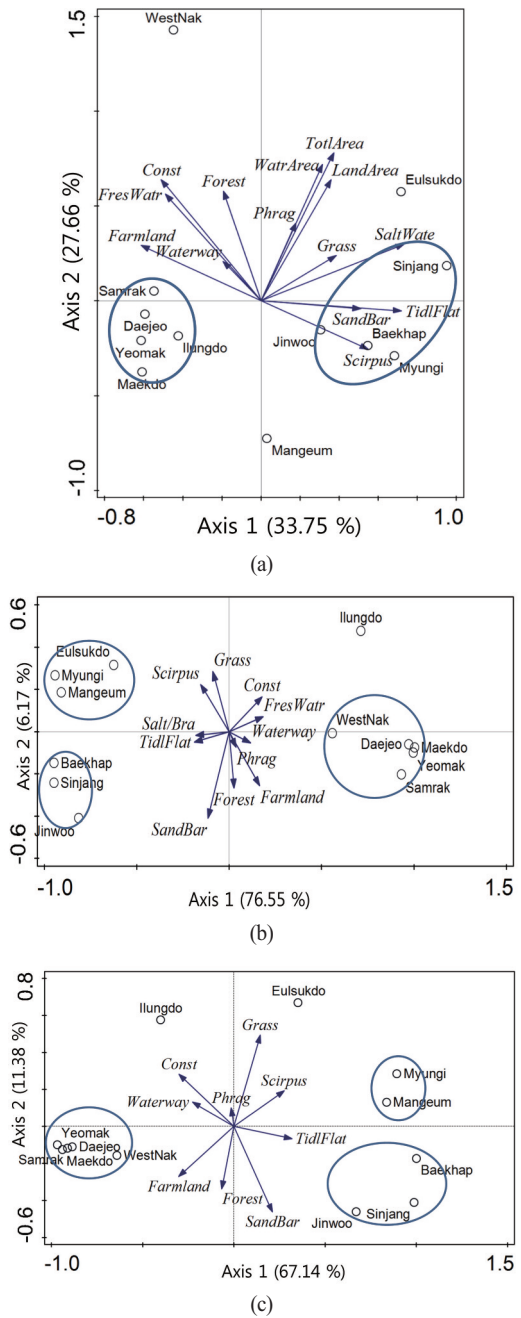


Figure 3. Principal component analysis biplots showing habitat type and observation region in the Nakdong river estuary considering of (a) total area (b) total area ratio (c) land area ratio. WestNak: West Nakdong river, SinJang: Sinja · Janjado, Baekhap: Baekhapdeung, Mangeum: Mangeummurideung, Jinwoo: Jinwoodo, Phrag: Phragmites, Grass: Grassland, Salt/Bra: Salt · Brackish water, FresWatr: Fresh water, Const: Construct

Table 2. Properties of landscape indices in the Nakdong river estuary

Survey Region	Total Area(ha)	Patch Number	Average Patch Area(m ²) ¹	Patch Density (No/km ²)	Habitat Richness	Habitat Diversity	Habitat Evenness	Total Edge(m)	Edge Density (1/m) ²
Eulsukdo(A)	982.7	185	53,120	18.83	0.50	0.65	0.30	162,010	164.9
Ilungdo(B)	436.1	83	52,543	19.03	0.33	0.97	0.54	44,290	101.6
Yeomak Waterfront(C)	427.7	149	28,708	34.83	0.26	1.29	0.80	84,268	197.0
Maekdo River(D)	335.5	521	6,439	155.29	0.27	1.24	0.77	138,825	413.8
Daejeo Floodgate(E)	391.3	294	13,309	75.14	0.33	1.40	0.78	142,402	363.9
West Nakdong River(F)	1249.6	951	13,140	76.11	0.43	1.48	0.71	300,203	240.2
Sinja · Jangiado(G)	935.9	45	207,985	4.81	0.25	1.20	0.75	83,469	89.2
Baekhap · Doyodeung(H)	666.2	54	123,374	8.11	0.38	1.17	0.60	86,595	130.0
Myungji(I)	693.4	80	86,680	11.54	0.38	1.24	0.64	115,580	166.7
Mangeummuri deung(J)	313.8	22	142,633	7.01	0.27	1.17	0.72	39,631	126.3
Jimwoodo(K)	529.4	13	407,234	2.46	0.45	1.33	0.64	53,694	101.4
Samrak Waterfront(L)	458.6	404	11,352	88.09	0.26	1.45	0.90	246,586	537.7

¹Average patch area=Total area(m²)/Patch number, ²Edge density=Total Edge(m)/Total area(m²)

신자 · 장자도, 진우도의 두 개의 특성을 갖는 그룹으로 나눌 수 있었다. 한편 일용도를 제외한 서낙동강, 대저수문, 맥도강, 염막둔치, 삼락둔치는 수로와 경작지 등 대상지역을 구성하는 서식지유형의 면적비가 유사한 것으로 나타났다. 실제 개발이나 이용 등에 대상이 되는 육역만을 분석한 네 개 축의 누적분산은 92.3%로서 이 중 총 78.5%의 설명력을 갖고 있는 축1과 2를 고려한 대상지역의 상대적 위치를 나타낸 Fig 3c에 의하면 염막둔치, 삼락둔치, 맥도강, 대저수문이 매우 유사한 것으로 나타났다. 이는 육역에 분포하는 서식지유형이 이미 인간의 간섭을 많이 받은 형태인 경작지, 인공물, 수로 등으로 구성되어 있기 때문이다. 일용도의 경우 인공물의 구성 비율이 크기 때문에, 을숙도는 초지의 비율이 상대적으로 높아 다른 조사권역과 차이가 있는 것으로 구분되었다.

3. 조사지역의 경관특성

조사권역별 면적은 서낙동강(16.8%), 을숙도(13.2%), 신자 · 장자도(12.6%) 순이었으며 맹금머리 등(4.2%), 맥도강(4.5%) 지역이 가장 작았다. 그 외 조사권역별 경관특성은 Table 2에 나타내었는데, 서식지 유형을 구성하는 패치수는 서낙동강, 삼락둔치, 맥도강, 대저수문 순으로 많았으며 맥도강, 삼락둔

치, 서낙동강, 대저수문의 순서로 패치밀도가 높았으며 평균패치크기 또한 작은 것으로 나타났는데, 이들 지역이 인간의 간섭정도를 나타내는 인공물과 수로 등이 많은 지역임을 고려하면(Figs. 2g-2h), 낙동강 하구의 조사지역들 중에 가장 많이 파편화되어 있는 지역임을 알 수 있었다. 서식지가 파편화됨에 따라 이들 지역의 가장자리의 길이 또한 크게 나타났는데 패치수와 조사면적이 가장 컸던 서낙동강에서 가장 길게 나타났지만 면적당 가장자리의 길이를 나타내는 가장자리밀도는 상대적으로 조사면적이 작고 패치수가 많았던 삼락둔치, 맥도강, 대저수문 순으로 크게 나타났다.

서식지의 파편화는 외부압력을 증가하고 서식처의 연결성과 핵심지역의 크기를 감소시켜 조류의 서식에 영향을 미칠 수 있다(Forman, 1995; Park and Lee, 2002). 서식지의 패치수와 가장자리가 큰 지역들인 서낙동강, 삼락둔치, 염막둔치 등은 인공물과 경작지가 많은 지역들로서 면적당 종수는 다른 지역보다 많지만 개체수는 상대적으로 적은 수준이다. 이는 서식지의 파편화로 인하여 다양한 종이 살 수 있는 기회가 증가되었지만 새들이 안정되게 서식할 수 있는 여건은 상대적으로 좋지 않은 상태임을 추측할 수 있다. 이러한 서식지의 파편화와 가장자리의 증가

에 의한 조류의 종 풍부도는 내부와 가장자리를 모두 이용할 수 있는 일반종의 출현여부에 영향을 받는다고 보고한 바 있다(Choi *et al.*, 2006).

서식지풍부도는 조사권역에서 다양한 유형의 서식지를 포함하고 있는 을숙도와 진우도에서 높게 나타났지만, 서식지다양도는 서낙동강, 삼락둔치, 대저수문, 진우도에서 높게 나타났다. 서식지다양도를 나타내는 식(1)에 의하면 서식지 유형의 면적비가 유사한 지역에서 서식지다양도가 크다는 것은 경우 좀 더 다양한 유형의 서식지가 존재함을 의미하며 유사한 서식지풍부도를 가지는 지역에서 서식지다양도가 크다는 것은 각 서식지 유형의 크기가 비슷하다는 것을 의미한다. 따라서 유사한 서식지풍부도를 가지는 을숙도와 진우도 중 을숙도의 서식지다양도가 작은 것은 을숙도에 존재하는 각 서식지유형간 면적의 차이가 진우도보다 크기 때문이다.

한편 서식지균등도는 삼락둔치와 염막둔치가 다른 지역보다 큰 것으로 나타났는데, 서식지균등도는 유사한 서식지다양도를 갖는 지역인 경우 서식지유형이 단순할수록, 서식지유형이 유사할 경우에는 서식지다양도가 높을수록 크게 된다. 따라서 유사한 서식

지풍부도를 갖는 대저수문에 비해 일웅도에서 서식지균등도가 낮은 이유는 일웅도에서 특정 유형의 서식지가 편중되어 존재한다고 해석할 수 있다.

이러한 경관지수를 이용하여 주성분분석을 수행하여 Fig. 4와 같은 총 74.48%의 설명력을 갖는 행렬도를 구하였다. 이는 서식지유형의 질적인 특성이 아닌 구조나 양적인 특성을 나타내는 서식지의 크기와 파편화 등을 중심으로 분석한 것으로 크게 대저수문, 맥도강, 삼락둔치 지역으로 이루어진 그룹 A, 명지, 백합 · 도요동, 신자 · 장자도, 진우도, 일웅도 지역으로 이루어진 그룹 B, 그리고 특별히 그룹화되지 않는 을숙도와 서낙동강 및 염막둔치와 맹금머리등으로 분류됨을 알 수 있다. 이 중 서낙동강과 을숙도는 조사면적과 가장자리 및 서식지풍부도 등이 높아 다른 조사지역과 다른 경관구조를 갖고 있음을 알 수 있었다. 이러한 경관지수를 이용한 분석은 서식지의 유형을 고려하지 않았기 때문에 조류서식지에 적합성을 평가하기 위한 방법으로는 사용하기는 어렵다. 하지만 조류관찰지역의 형태적 특성 등에 대한 정보를 제공하기 때문에 서식지의 복원이나 관리 등에는 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 예를 들면, 일웅도는 진우도나 백합 · 도요동 또는 신자 · 장자도와 유사한 경관 구조를 가지고 있지만 지역을 구성하는 서식지유형이 전혀 다르기 때문에 주로 우점하여 서식하는 조류종이 다를 수 있다. 일웅도의 조류 관찰 결과도 이를 뒷받침하는데 인공물이 많은 육역보다는 담수를 주로 이용하는 잠수성 조류가 대부분을 차지하는 것도 이러한 이유 때문이다. 따라서 육역지역을 조류서식지로서 복원하거나 개선하기 위해서는 진우도나 백합 · 도요동 또는 신자 · 장자도의 서식지유형 특성을 반영하여 토지이용의 변화를 유도한다면 큰 경관구조의 변화 없이도 서식지의 복원이 가능할 것이다.

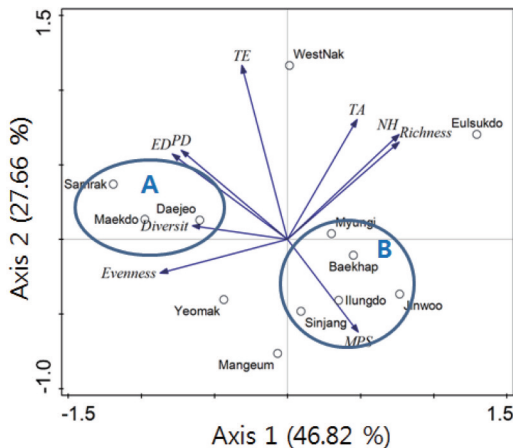


Figure 4. Principal component analysis biplot showing observation region in the Nakdong river estuary considering of landscape indices. TE: Total edge, TA: Total area, PD: Patch density, NH: Number of habitat type, MPS: Mean patch size, ED: Edge density, WestNak: West Nakdong river, SinJang: Sinja · Janjado, Baekhap: Baekhapdeung, Mangeum: Mangeummurideung, Jinwoo: Jinwoodo

4. 서식지특성과 조류분포와의 상관분석

Table 3은 낙동강하구 서식지의 유형과 조류분포 간의 상관관계 분석 결과 중 95% 이상의 유의성을 갖는 특성들만 요약하여 제시한 것이다. 관찰된 총 중

Table 3. Results of correlation analysis showing habitat properties and landscape indices with higher than 95% of significance

Properties	Positive Correlation	Negative Correlation
Total Species Number(TSN)	Habitat Type Number*, Total Area*, Land Area(A)*, Water Area(A)*, Grassland(A)*, Grassland(TAR)*, Grassland(LAR)*, TIN*, SD*, <i>Calidris alpina</i> *	HE*
Total Individual Number(TIN)	Total Area*, Land Area(A)*, Water Area(A)*, TSN*, Bird Density*	
Species Diversity(SD)	Water Area*, <i>Phragmites</i> (A)*, <i>Phragmites</i> (LAR)*, Grassland(LAR)*, TSN*	Patch Density*, Farmland(TAR)*, Farmland(LAR)*
Habitat Richness(HR)	Habitat Type Number *, Grassland(A)*, Grassland(TAR)*, Grassland(LAR)*, TIN, Land Area(A)*, TSN*	HE*
Habitat Diversity(HD)	Land Area(A)*	Grassland(A)*, Grassland(TAR)*, Grassland(LAR)*
Habitat Evenness(HE)	HD*, Waterway(TAR)*, Farmland*(TAR), Farmland(LAR)*	Grassland(A)*, Grassland(TAR)*, Grassland(LAR)*, HR*, TIN*, SD*
<i>Phragmites</i> (A)	<i>Phragmites</i> (TAR)*, <i>Phragmites</i> (LAR)*	
<i>Scirpus</i> (A)	Tidal Flat(A)*, <i>Scirpus</i> (TAR)*, Tidal Flat(TAR)*, <i>Scirpus</i> (LAR)*, Tidal Flat(LAR)*, Bird Density*, <i>Cygnus columbianus</i> *, <i>Anser fabalis</i> *, <i>Calidris alpina</i> *, Sea/Brackish(TAR)*	Freshwater(TAR)*, Construction(TAR)*, Construction(LAR)*, <i>Fulica artra</i>

*(p<0.05). A: Area, TAR: Total Area Ratio, LAR: Land Area Ratio

수는 조사면적($r=0.75$, $p<0.001$)과 구성하고 있는 서식지유형수($r=0.65$, $p=0.029$)와 양의 상관관계를 보여주었으며, 총 개체수는 총 종수($r=0.649$, $p=0.031$), 조사면적($r=0.70$, $p=0.016$), 조류밀도($r=0.695$, $p=0.017$)와 양의 상관관계를 갖고 있는 것으로 나타났다. 이는 다양한 조류가 서식하기 위해서는 서식지의 양(면적)이 가장 중요함을 의미하며, 개발에 의한 서식지 감소가 조류의 개체군에 가장 큰 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 따라서 낙동강 하구가 철새서식지로서의 기능을 유지하기 위해서는 낙동강 하구 서식지의 양적 보존 정책이 수반되어야 한다. 특히 새섬매자기의 면적이 조류밀도에 영향을 미치는 것으로 나타났다($r=0.78$, $p=0.004$), 면적당개체수, 고니($r=0.95$, $p<0.0001$), 기러기($r=0.64$, $p=0.033$), 민물도요($r=0.69$, $p=0.019$)의 수와도 양의 상관관계를 갖고 있어서 이들 조류의 중요한 서식지역임을 알 수 있었다. 단위면적당 서식하는 조류의 수가 많다는 것은 이들을 부양하는 자원이 풍부하고 환경이 양호하여, 낙동강 하구에서 매우 중요한 서식지유형임을 나타낸다. 새섬매자기의 경우 고니 등 겨울철새의 주요 먹이자원을 제공하는 중요한 서식지이지만, 생산량의 연간 변동도 크며 지역 간의 성장량의 차이도

있기 때문에 특별한 보존과 관심이 필요한 서식지이다(Yi *et al.*, 2011; Yi *et al.*, 2013). 새섬매자기 서식 면적은 갯벌($r=0.64$, $p=0.035$) 및 해수기수지역 면적비($r=0.61$, $p=0.044$)와는 양의 상관관계를 답수($r=-0.65$, $p=0.029$), 인공물면적비($r=-0.61$, $p=0.044$)과는 음의 상관관계를 갖고 있는 것으로 나타났는데 이는 현재 새섬매자기 서식지의 지리적 특성을 잘 보여줄 뿐만 아니라 앞으로 서식지 보전에 있어서 주변 토지이용에 대한 관리가 매우 중요할 수 있음을 보여준다. 숲에서 조사한 유사연구에서도 핵심서식지의 감소가 일반종보다는 전문종에 더 위협적인 것으로 보고된 바도 있다(Carrara *et al.*, 2015). 따라서 낙동강하구의 조류서식지 관리 혹은 토지이용에 있어서 새섬매자기와 같은 주요 조류 서식지역의 서식면적 관리가 우선적으로 수행되어야 한다.

한편 초지의 유무에 따라 관찰되는 종수에 영향이 있는 것으로 나타났는데($r=0.70$, $p=0.016$), 이는 초지가 부족한 낙동강하구에서 초지가 먹이의 제공이나 은신처로서의 역할을 하여 수조류뿐만이 아니라 멧새류, 오목눈이류 등 보다 다양한 조류가 서식할 수 있는 환경을 제공하고 있음을 알 수 있다.

한편 본 연구는 현재 낙동강하구의 서식지 특성을 경관생태학적으로 분석한 연구로서 과거 낙동강 하구의 서식지 변화 즉 경관생태학적 변화가 대상지역에서 조류출현이나 분포의 변화에 미치는 영향을 파악하기에는 무리가 따른다. 그러므로 지금까지 대상지역 개발 등으로 인하여 경관생태학적 특성의 변화가 지금까지의 조류 출현에 어떠한 영향을 끼쳤는지를 파악하기 위해서는 차후 지속적인 연구가 필요하다. 하지만 본 연구의 결과는 앞으로 대상지역 개발이나 기후변화 등에 따른 서식지의 변화가 낙동강하구의 조류상에 미치는 영향을 연구하는데 유용한 기초 자료로도 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 결론

본 연구는 개발위협에 노출되어 있는 낙동강 하구의 주요 서식지를 효율적으로 관리하기 위하여 낙동강 하구의 주요서식지를 갈대, 갯벌, 경작지, 담수개방수면, 사주, 수변림, 새섬매자기, 수로, 인공물, 초지, 해수·기수개방수면 등 총 11개의 유형으로 분류한 후 12개의 조사권역에 대하여 서식지 및 경관특성에 대한 분석을 수행하였다. 낙동강 하구의 주요 조류 서식지는 해수·기수개방수면, 담수개방수면, 갯벌, 인공물 순으로 넓었으며, 갯벌, 인공물, 경작지, 갈대서식지역이 수면부를 제외한 육역 면적의 약 80%를 차지하였다. 특히 인공물과 경작지 등의 비율이 높게 나타나 낙동강 하구가 인간의 간섭에 의한 영향을 많이 받았음을 보여주었다. 실제 개발이나 이용 등에 대상이 되는 육역만을 고려하였을 경우, 인간의 간섭이 많은 경작지, 인공물, 수로 등이 중요 서식지 유형인 염막둔치, 삼락둔치, 맥도강, 대저수문이 매우 유사한 것으로 나타났으며, 서식지의 경관생태학적 특성을 고려하면, 대저수문, 맥도강, 삼락둔치 지역과, 명지, 백합·도요등, 신자·장자도, 진우도, 일용도 등이 두 개의 유사한 그룹으로 분류됨을 알 수 있다. 관찰되는 총 종수는 조사면적 및 서식지 유형 수와 양의 상관관계를, 발견되는 총 개체수는 총 종수와 조사 면적과 더불어 조류밀도와도 양의 상관관계를 갖고 있는 것으로 나타났다. 특히 새섬매자기

의 면적은 낙동강 하구의 주요 조류종인 고니와, 기러기, 민물도요의 개체수에 영향을 주고 있으며, 새섬매자기 서식지역의 조류밀도 또한 높은 것으로 나타나 조류서식지의 충분한 면적 확보 특히, 새섬매자기 서식지의 보존이 중요함을 확인할 수 있었다. 이는 개발로 인한 서식지 감소가 낙동강하구를 찾는 조류 개체군에 가장 큰 영향을 미칠 수 있음을 의미하므로 낙동강 하구가 철새서식지로서의 기능을 유지하기 위해서는 새섬매자기를 포함한 중요 서식지의 총량유지 등 중요한 서식지의 양적 보존이 하구관리나 영향평가에 있어서 가장 먼저 고려되어야 함을 의미한다.

감사의 글

본 연구의 일부는 부산광역시에서 시행한 낙동강 하구 생태계모니터링 연구의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

인용문헌

- 김한수, 오충현. 2011. 경관지수를 활용한 농촌마을 유형분류: 경관생태학적 접근, 농촌계획 17(3), 1-13.
- 노백호, 윤정호, 최준규, 이석원, 서현지. 2010. 범정보호 야생조류의 서식환경 평가방안, 한국환경정책·평가연구원.
- 박찬열, 이우신. 2002. 농촌경관에서 파편화가 조류군집에 미치는 영향, 한국환경생태학회지, 16(1), 22-33.
- 부산광역시. 2000. 낙동강하구 일원 환경관리기본계획 철새도래지 생태계 조사.
- 부산광역시. 2002. 낙동강하구 생태계 모니터링 연구.
- 부산광역시. 2004. 낙동강하구 생태계 모니터링.
- 부산광역시. 2005. 낙동강하구 생태계 모니터링.
- 부산광역시. 2006. 낙동강하구 생태계 모니터링.
- 부산광역시. 2007a. 낙동강하구 생태계 모니터링.
- 부산광역시. 2007b. 비오톱지도 제작을 통한 낙동강하구 일원 자연환경보전종합계획.
- 부산광역시. 2008. 낙동강하구 생태계 모니터링.

- 부산광역시. 2009. 낙동강하구 생태계 모니터링.
- 부산광역시. 2010. 낙동강하구 생태계 모니터링.
- 부산광역시. 2011. 낙동강하구 생태계 모니터링.
- 성기준. 2006. 을숙도 및 낙동강하구의 갈대관리방안에 관한 연구, 부산지역환경기술개발센터.
- 유승화, 이기섭, 박종화. 2012. 조류서식지로서 지뢰지대 삼림습지의 경관생태학적 평가, 한국생태학회지, 166(2), 247-256.
- 이용민, 여운상, 성기준. 2013. 낙동강하구 새섬매자기의 초기밀도, 생태량과 괴경량의 관계, 한국습지학회지, 15(1), 9-17.
- 이용민, 오동하, 여운상, 성기준. 2011. 낙동강하구 새섬매자기의 연간변동과 환경특성, 한국습지학회지, 13(3), 567-579.
- 정성은. 2001. 해안 간척지에서의 조류서식처 복원에 관한 연구; 석사학위논문, 서울대학교 대학원 조경학과.
- 정용현, 성기준, 강대석, 이석모, 박소영. 2008. 을숙도 생태공원내 서식지별 환경요인과 갈대분포 특성, 환경복원녹화, 11(3), 50-61.
- 조용현. 2000. 경관지수를 이용한 지역생태계 평가, 환경영향평가, 9(4), 349-362.
- 최창용, 남현영, 허위행, 이우신, 김현중, 황근연. 2006. 온대 활엽수림에 서식하는 산림성 조류의 가장자리 선호도 분석, 한국생태학회지, 29(3), 191-203.
- 홍순복. 2004. 낙동강 하류 권역별 조류군집의 특성, 한국생태학회지, 27(5), 269-281.
- Carrara E, Arroyo-Rodriguez V, Vega-Rivera JH, Schondube JE, de Freitas SM, Fahrig L. 2015. Impact of landscape composition and configuration on forest specialist and generalist bird species in the fragmented Lacandona rainforest, Mexico, Biological Conservation, 184, 117-126.
- Forman RTT. 1995. Land mosaic: the ecology of landscapes and regions, Cambridge University Press, New York.
- Hall LS, Krausman PR, Morrison ML. 1997. The habitat concept and a plea for standard terminology, Wildlife Society Bulletin, 5, 173-182.
- Mcgarigal K, Marks BJ. 1995. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA Forest Service, General Technical Report PNW-GTR-351, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon.

References

- Busan Metropolitan City(BMC). 2000. Environment management general planning for Nakdong River Estuary.
- Busan Metropolitan City(BMC). 2002. Nakdong river estuary ecosystem monitoring.
- Busan Metropolitan City(BMC). 2004. Nakdong river estuary ecosystem monitoring.
- Busan Metropolitan City(BMC). 2005. Nakdong river estuary ecosystem monitoring.
- Busan Metropolitan City(BMC). 2006. Nakdong river estuary ecosystem monitoring.
- Busan Metropolitan City(BMC). 2007a. Nakdong river estuary ecosystem monitoring.
- Busan Metropolitan City(BMC). 2007b. Environment management general planning for Nakdong River Estuary using biotope mapping.
- Busan Metropolitan City(BMC). 2008. Nakdong river estuary ecosystem monitoring.
- Busan Metropolitan City(BMC). 2009. Nakdong river estuary ecosystem monitoring.
- Busan Metropolitan City(BMC). 2010. Nakdong river estuary ecosystem monitoring.
- Busan Metropolitan City(BMC). 2011. Nakdong river estuary ecosystem monitoring.
- Carrara E, Arroyo-Rodriguez V, Vega-Rivera JH, Schondube JE, de Freitas SM, Fahrig L.

2015. Impact of landscape composition and configuration on forest specialist and generalist bird species in the fragmented Lacandona rainforest, Mexico, *Biological Conservation*, 184, 117-126.
- Cho Y. 2000. Evaluation of regional ecosystem by landscape ecological measure - Case study in Yongin City-, *Korean Journal of Impact Assessment*, 9(4), 349-362.
- Choi C, Nam H, Hur W, Lee W, Kim H, Hwang G. 2006. Edge preference of forest-dwelling birds in temperate deciduous forests, *Journal of Ecology and Field Biology*, 29(3), 191-203.
- Chung Y, Sung K, Kang D, Lee S, Park S. 2008. Environmental factors and Phragmites distribution at various habitats in Eulsukdo ecological park, *Journal of Korean Environment Restoration and Revegetation Technology*, 11(3), 50-61.
- Forman RTT. 1995. *Land mosaic: the ecology of landscapes and regions*, Cambridge University Press, New York.
- Jeong S. 2001. Study on habitat restoration for birds in reclaimed tideland: focus on the habitat infrastructure for waterfowls in Taeho reclaimed tideland. Master thesis, Seoul National University.
- Hall LS, Krausman PR, Morrison ML. 1997. The habitat concept and a plea for standard terminology, *Wildlife Society Bulletin*, 5, 173-182.
- Hong S. 2004. Properties of bird community by regions in the Nakdong River Estuary. *Korean Journal of Ecology*, 27(5), 269-281.
- Kim HS, Oh CH. 2011. Classification of rural villages based on Landscape Indices-Focusing on Landscape ecological aspects, *Rural Planning*, 17(3), 1-13.
- Mcgarigal K, Marks BJ. 1995. FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA Forest Service, General Technical Report PNW-GTR-351, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon.
- Park CY, Lee WS. 2002. Effects of fragmentation on the bird community in agricultural landscape, *Korean Journal of Ecology and Environment*, 16(1), 22-33.
- Rho B, Yoon J, Choi J, Lee S, Seo H. 2010. Habitat evaluation strategy for legally protected wildbirds in Korea. Korea Environment Institute.
- Yoo S, Lee K, Park C. 2012. Landscape ecological evaluation for avian fauna habitats at the forest swamp minefields of civilian control zones(CCZ) close to the demilitarized zone(DMZ) of Korea, *Korean Journal of Environment and Ecology*, 166(2), 247-256.
- Sung K. 2006. Research on *Phragmites* control measures in Eulsukdo and Nakdong river estuary, Environment Busan Environment Technology Development Center.
- Yi YM, Yeo US, Sung K. 2013. Relationship of initial density, biomass and tuber productivity of *Scirpus planiculmis* in the Nakdong river estuary, *Journal of Wetland Research*, 15(1), 9-17.
- Yi YM, Yeo US, Oh DH, Sung K. 2011. Annual changes in *Scirpus planiculmis* and environmental characteristics of the Nakdong river estuary, *Journal of Wetland Research*, 13(3), 567-579.