

강화도 남단 조간대에 도래하는 마도요류의 환경수용능력 예측

문영민 · 김관목 · 유정칠⁺

경희대학교 생물학과

Bird-Days Carrying Capacity Estimation of the Curlews Stopping Over in the Southern Intertidal Zone of Kanghwa Island

Young-Min Moon · Kwan-Mok Kim · Jeong-Chil Yoo⁺

Department of Biology, Kyunghee University

요약

본 연구는 현재 강화도 남단 조간대의 마도요류(알락꼬리마도요 *Numenius madagascariensis*와 마도요 *Numenius arquata*) 서식지로서의 질을 평가하고자 환경수용능력(Carrying capacity)을 추정하였다. 저서무척추동물(칠개 *Macrophthalmus japonicus*)의 생물량 추산에 있어 토양 입도(Sediment grain size)의 공간 분포를 고려하였으며, GIS의 공간 분석 기법을 이용하였다. 추정 결과 2012년 봄철은 약 153일 동안 11,767개체가 이용할 수 있는 수준이었으며, 가을철은 약 122일 동안 16,275개체가 이용할 수 있는 수준이었다. 환경수용능력 대비 평균 도래 개체군의 차지 비율은 봄철 9.4%, 가을철 5.9%의 수준이었으며, 이는 분석 방법이 달라 직접 비교는 어려우나 1993-94년 선행 연구 대비 2.8-6.3% 수준이 감소한 수치였다. 과거에 비해 환경 수용 능력이 감소한 현재의 상황에서 향후 서식지 보전을 위한 지속적인 연구와 관리가 매우 시급하다고 판단되며, 나아가 향후 조간대의 다양한 서식지 특성을 반영한 공간 분석을 통해 더욱 정교한 예측이 필요하다.

핵심용어 : 환경수용능력, 마도요류, GIS 공간 분석, 공간분포

Abstract

In this study we estimated the carrying capacity of the southern intertidal zone of Kanghwa Island to evaluate the habitat quality for Curlews(Far Eastern Curlew *Numenius madagascariensis* and Eurasian Curlew *Numenius arquata*). Biomass of the macroinvertebrate(*Macrophthalmus japonicus*) was estimated by based on the spatial distribution of the sediment grain size using GIS tools. According to our analysis the southern intertidal zone of Kanghwa Island was able to support 11,767 individuals for 153 days in the Spring 2012 and 16,275 individuals for 122 days in the Autumn 2012. The proportion of mean population to the carrying capacity in the Spring and Autumn was 9.4% and 5.9%, respectively. These values are 2.8-6.3% smaller than those of the previous study held in 1993-94. For the conservation of the study area, more research and management is needed. And in further studies, diverse characteristics of the intertidal habitat should be considered in spatial analysis to have a precise estimate of the carrying capacity.

Keywords : Carrying capacity, Curlews, GIS spatial analysis, Spatial distribution

1. 서 론

대한민국은 동아시아-대양주 철새이동경로(EAAF)상의 16개 핵심 지역(Important Bird Area, IBA) 중 하나로 IBA 5로 지정되어 있으며, 높은 생물다양성을 지닌 지역이다(Mackinnon *et al.* 2012a, 2012b), 그 중에서도 강화도 남단 조간대는 2000년 7월 6일 천연기념물 419호로 지정된 주요 보전 지역이다(Cultural Heritage Administration). 따라서 각종 개발에 의해 조간대 소실이 지속적으로 이루어지는 현재의 국내 상황에서 강화도 남단 조간대는 도요·물떼새 보전을 위한 매우 중요

한 서식지의 역할을 하고 있고 현재의 서식지 상태를 평가하고 향후 보전 방안을 마련하는 작업은 매우 중요하다고 할 수 있다.

이러한 서식지 평가의 개념 중 하나인 환경수용능력(Carrying capacity)은 주로 이동성 수조류(Migratory waterbirds)의 중간기착지 또는 월동지에서 서식지 질을 평가할 수 있는 효과적인 지표로써 이용되며, 일반적으로 한정된 서식지의 먹이자원을 일정 기간 동안 이용 가능한 최대 개체수의 개념인 Bird-days로 표현된다(Goss-Custard 1985; Sutherland and Anderson 1993; Goss-Custard *et al.* 2002, 2003; Van Gils *et al.* 2004).

⁺ jcyoo@khu.ac.kr

한편, 강화도 남단 조간대에서의 도요·물떼새에 대한 환경 수용 능력 선행 연구는 Yi(1995)의 연구가 유일하며, 20여년 가까이 연구가 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 현재 강화 남단 조간대에 도래하는 도요·물떼새에 대한 환경수용능력을 추정하고 그 결과를 토대로 과거에서 현재로의 변화 양상 및 서식지의 현재 상태를 점검하고자 하였다. 도래하는 도요·물떼새류 중 가장 몸집이 크고 칠개를 주 식이물로 하기 때문에(Yi et al. 1994) 타 종파의 식이물의 종류 및 크기의 중첩이 거의 없어 다른 종들과 구분하여 환경수용능력을 추정하기에 적합하다고 판단되는 알락꼬리마도요 *Numenius madagascariensis*와 마도요 *Numenius arquata*를 대상으로 분석을 하였다. 한편, 두 종 모두 세계 자연 보전 연맹(IUCN)에 의해 각각 알락꼬리마도요는 취약종(Vulnerable, VU), 마도요는 취약근접종(Near Threatened, NT)으로 지정되어 있어(IUCN 2012) 보전 방안 마련이 시급하다.

환경수용능력의 추정에 있어 매우 중요한 저서무척추동물(칠개 *Macrophthalmus japonicus*)의 생물량 추산은 과대 혹은 과소 추산을 최소화하고자 GIS의 공간 분석 기법을 이용하여 토양 입도(Sediment grain size) 분포 지도를 생성하고 토양 입도에 따른 생물량 분포 차이를 고려하였다.

2. 연구 지역 및 방법

2.1 연구 지역

본 연구는 황해 동부에 위치한 강화도(Latitude: 37.58, Longitude: 126.40) 남단 조간대에서 수행되었다(Fig. 1). 강화도 남단 조간대는 최간조시 좌우 약 18km, 육지로부터 약 4.5km 범위로 노출되며, 전체 면적은 약 87.49km² 정도로 이른다. 또한 최대조차는 8m 내외로 조수간만의 차이가 크다(Korea Hydrographic and Oceanographic Administration). 강화 남단 지역은 산림, 농경지, 가옥 등이 주를 이루고 있고 조간대와 인접한 지역에는 새우양식장, 해수욕장 등이 위치해 있다. 관광객 등 외부로부터의 유동 인구가 많은 편이고 숙박 시설을 중심으로 한 인공구조물의 조성이 활발하여 내륙은 인간활동에 의한 방해의 강도가 지속적으로 증가하는 추세이다. 조간대에서는 현재 굴, 조개 양식을 비롯한 어업 활동이 주를 이룬다.

2.2 연구 방법

2.2.1 강화도 남단 조간대의 칠개 생물량 추정

강화도 남단 조간대 전체의 칠개 *M. japonicus* 생물량 추정은 칠개 굴의 입구 크기(Burrow width)를 이용한

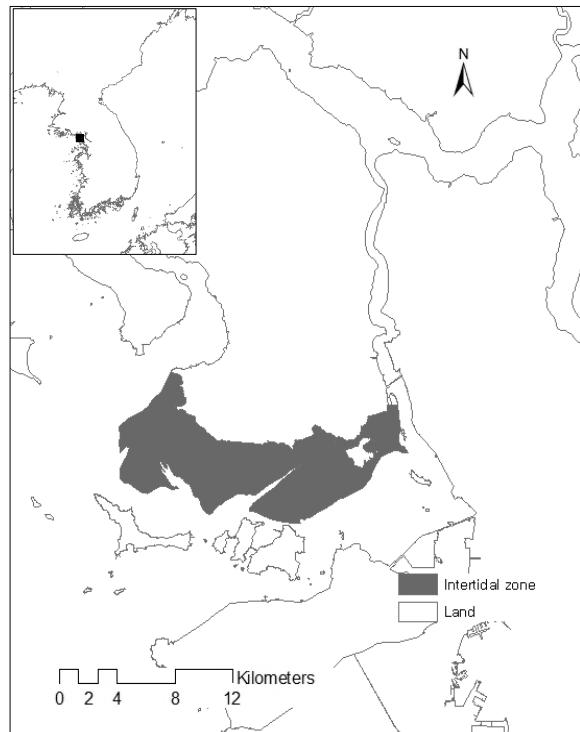


Fig. 1. Study area of the Intertidal zone in the southern part of Kanghwado Island, Republic of Korea

추산 방법을 이용하였다. 2012년 봄(4-5월)과 가을(9-10월) 계절별로 1회씩 총 2회에 걸쳐 조간대에 400m 등 간격으로 설정된 85개의 채집 정점에서 정점 당 1×1m의 방형구 3개를 무작위로 선정하여 칠개 굴의 입구 크기를 측정하였다. 이 때 굴 입구에 칠개의 발자국과 흙무더기 등 서식 흔적이 있는 굴만을 대상으로 하였으며, 동일 개체의 굴은 하나만 측정하였다.

측정된 굴 입구 크기를 통해 칠개의 생물량을 추산하기 위해 몇 가지의 회귀방정식을 산출하였다. 우선 굴 입구의 크기를 측정한 후 해당 굴에 실제 서식하는 칠개의 세로 갑폭 크기(Vertical carapace width)를 측정하여 세로 갑폭 크기-굴의 입구 크기 간 회귀방정식을 산출하였으며, 다음으로 생물량(Biomass)-세로 갑폭 크기 간 회귀방정식을 산출하였다. 최종적으로 정점별로 측정된 칠개 굴의 입구 크기를 이 두 가지 식에 순서대로 대입하여 정점별 1×1m의 면적의 칠개 평균 생물량을 추산하였다.

이 때 생물량 추산의 정확도를 높이기 위해 마도요류가 실제로 취식하는 칠개 크기의 범위를 추산하고 해당하는 굴만을 분석에 이용하였다. 강화도 남단 조간대에서 수거한 마도요류의 펠렛(Pellet)에서 분리한 가동지(Movable finger), 부동지(Immovable finger)를 각각 세로 갑폭 크기-가동지, 세로 갑폭 크기-부동지 간 회귀방정식에 대입하여 마도요류가 실제로 취식한 칠개의 갑폭 크기 범위를 추산하였고 여기서 얻어진 갑폭의

최소 크기를 칠개의 세로 갑록 크기-굴의 입구 크기 간 회귀 방정식에 대입하여 이용 가능한 칠개 굴 입구의 최소 크기를 추정 후 해당 크기 이상의 굴만을 생물량 추산에 이용하였다.

한편, 토양 입도는 조간대에서 대형저서무척추동물의 분포에 영향을 미치는 중요한 요소 중 하나이므로 (Islam *et al.* 2013) 정점별로 추정된 칠개의 평균 생물량은 다시 조간대의 토양 입도 범위에 따라 구분하고 각 토양 입도별 면적에 삽입하여 전체 생물량을 추산하는 과정이 필요하다. 이에 평균 토양 입도(Sediment mean grain size, Φ)를 기준으로 하는 강화 남단 조간대의 토양 입도 분포 지도를 생성하였다.

우선 0m 조위에 가까운 Landsat-TM satellite image(U.S Geological Survey)를 이용하여 강화 남단 조간대 지도를 생성하고 이후 강화 남단 해역 219개 정점에서 채집된 토양 입도 자료(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs 2011)를 내삽기법(Interpolation tool)중 Kriging method를 이용하여 Grid cell 10×10m의 평균 토양 입도 단계 구분 분포 지도를 생성하였다. 최종적으로 각 토양 유형에 해당하는 정점의 평균 생물량을 토양 유형별로 산출된 면적에 대입하여 강화 남단 조간대 전체의 칠개 생물량을 추산하였다. 생물량의 단위는 g AFDW로 하였으며, 채집한 칠개를 Dry Oven을 이용하여 60°C에서 24시간동안 건조시킨 후 건중량(Dry Weight, g)을 측정하고 다시 회화로(Murflie furnace)를 이용하여 550°C에서 6시간동안 재만남을 때 까지 처리한 후 회중량(Ash Weight, g)을 측정하였다. 최종적으로 에너지량은 건중량에서 회중량을 뺀 회분체거건중량(Ash-Free Dry Weight, g AFDW)으로 하였다. 토양 평균 입도에 따른 유형 구분은 Wentworth(1992)의 기준을 따랐다. 회귀식 추정에는 IBM SPSS 20.0을 사용하였으며, 지도 생성 및 공간 통계는 ArcGIS 10.0을 이용하였다.

2.2.2 환경수용능력 추정

강화도 남단 조간대에 도래하는 마도요류의 전체 에너지 소비량과 환경수용능력을 추정하기 위하여 (Eq. 1)를 이용하였다(Meire *et al.* 1994).

$$C = \frac{D \times N \times 3 \times BMR}{Q \times F} \Leftrightarrow \\ N = \frac{C \times Q \times F}{D \times 3 \times BMR} \quad (\text{Eq. 1})$$

C : 마도요류에 의한 칠개의 전체 소비량(g AFDW)

N : 환경수용능력(Bird-days)

BMR : 기초대사율(Basal metabolic rate kJ/d)

Q : 식이물의 동화율(Assimilation efficiency of the food)
 F : 식이물의 에너지량(kJ/g AFDW)
 D : 체류 기간(Days)

BMR 은 $5.06 \times LW^{0.729}$ (Kersten and Piersma 1987)의 수식에 의해 계산되며, 이때 LW 는 Lean(Fat-free) Weight(g)이다. 최종적으로 kJ/d 단위로 변환된 값을 (Eq. 1)에 대입하였다. 본 연구에서는 Meire *et al.*(1994)에 의해 계산되어진 BMR 값을 이용하였다(Table 1). 식이물의 동화율 Q 는 0.85를 대입하였으며(Kersten and Piersma 1987; Zwarts and Blomert 1990), 식이물의 에너지량 F 는 22kJ/g AFDW을 대입하였다(Zwarts and Blomert 1990).

Table 1. Body measurement values of the curlews for estimating carrying capacity

Lean weight(g)	BMR(kJ/d)
700	337

Data from Meire *et al.*(1994)

2.2.3 조류 조사

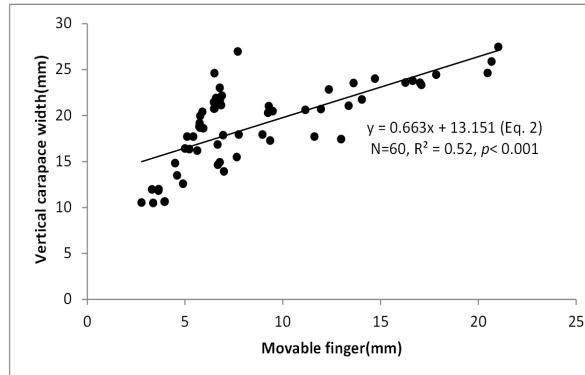
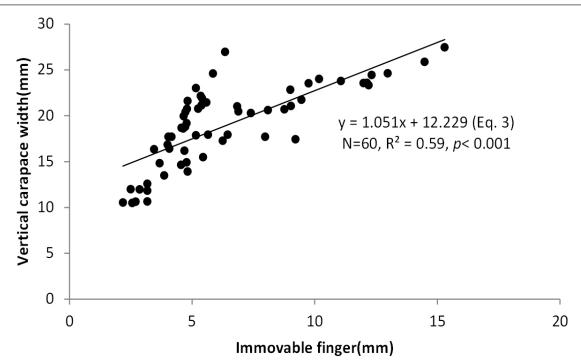
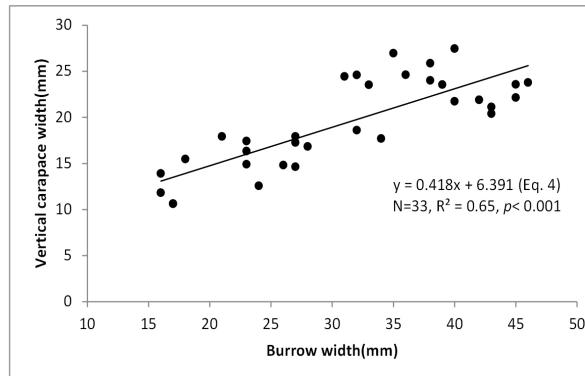
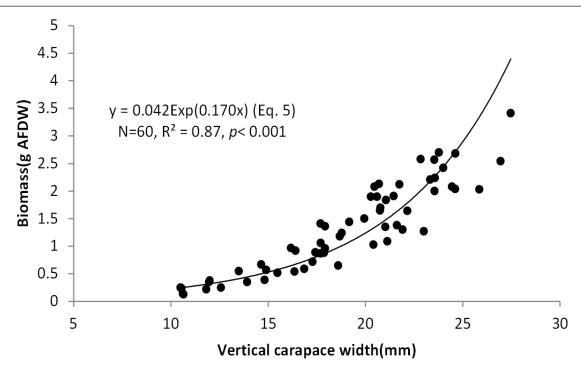
강화도 남단 조간대에 도래하는 마도요류의 도래 개체군 규모 및 시기를 알아보기 위해 2012년 1월부터 12월까지 조류 조사를 수행하였으며, 조석패턴에 맞춰 월별 2회씩 나누어 조사하였다. 집중도래시기가 아닌 1, 2, 6, 12월은 월 1회 조사하였다. 조사는 만조 전후 2시간에 수행하였으며, 차량을 이용하여 만조 시 휴식을 위해 개체가 집중되는 지역을 정점으로 선정하여 조사하였다. 조사는 쌍안경(Leica 10×25)과 망원경(Leica 25-50×82)을 이용하였다.

3. 결 과

3.1. 강화도 남단 조간대의 칠개 생물량 추정

마도요류가 실제로 취식하는 칠개 크기의 범위를 추산하기 위하여 강화도 남단 조간대에서 수거한 72개의 펠렛에서 분리한 379개의 가동지와 243개의 부동지의 크기를 가동지, 부동지와 세로 갑록 간 회귀방정식(Fig. 2, 3, Eq. 2, 3)에 대입하여 산출한 실제 취식한 칠개의 최소 세로 갑록 크기는 15.66mm이었으며, 이를 (Fig. 4, Eq. 4)에 대입하여 추정된 굴의 입구 크기는 22.17mm이었다. 정점별 칠개의 생물량 추산에 해당 크기 이상의 굴만을 이용하였다.

정점별로 추정된 칠개의 평균 생물량은 다시 조간대의 토양 입도 범위에 따라 구분하기 위하여 평균 토양 입도를

Fig. 2. Vertical carapace width(mm) in relation to the movable finger(mm) of the *Macrocephalus japonicus*Fig. 3. Vertical carapace width(mm) in relation to the immovable finger(mm) of the *Macrocephalus japonicus*Fig. 4. Vertical carapace width(mm) in relation to the burrow width(mm) of the *Macrocephalus japonicus*Fig. 5. Biomass(g AFDW) in relation to the Vertical carapace width(mm) of the *Macrocephalus japonicus*Table 2. Number of grid cell(10×10 m) according to each mean grain size(ϕ) range estimated by interpolation tool of ArcGIS

Sediment category		No. of Grid cell	Grid cell area(m ²)	No. of Sampling point	No. of Sampling quadrat(1×1m)
Mean grain size(ϕ)	Type				
3 - 4	Sand-very fine	137,195		2	6
4 - 5	Silt-coarse	399,888	100	24	48
5 - 6	Silt-medium	323,331		55	110
6 - 7	Silt-fine	14,507		4	8

기준으로 강화 남단 조간대의 토양 입도 분포 지도를 생성한 결과 평균 입도 3 - 4 ϕ (Sand-very fine), 4 - 5 ϕ (Silt-coarse), 5 - 6 ϕ (Silt-medium), 6 - 7 ϕ (Silt-fine)의 네 가지 범위로 구분되었다. 생성된 Grid cell(10×10 m)의 수는 각 Sand-very fine 137,195개, Silt-coarse 399,888개, Silt-medium 323,331개, Silt-fine 14,507개로 토양 입도 범위별 차지 면적은 Silt-fine < Sand-very fine < Silt-medium < Silt-coarse 순이었다(Table 2).

공간적 분포 양상은 동검도 인근을 중심으로 한 동측 조간대가 전반적으로 Silt-fine, Silt-medium의 세립한 입도 특성을 보였으며, 서측으로 갈수록 조립화되는 경향이었다. 특히 서측 가장자리와 서남측 조간대는 사질의 토양이 분포하는 경향이었다(Fig. 6).

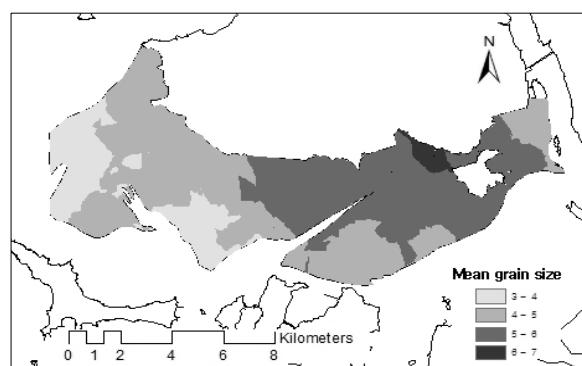
Fig. 6. Classified raster map of the tidal flat in the southern Kanghwado Island predicted by using interpolation tool using ArcGIS based on the mean grain size(ϕ)

Table 3. Mean biomass(g AFDW/m²) of the *Macrophthalmus japonicus* according to each mean grain size(ϕ) range in the spring and autumn

Sediment category	Mean grain size(ϕ)	3 - 4	4 - 5	5 - 6	6 - 7
	Type	Sand very fine	Silt coarse	Silt medium	Silt fine
Biomass	Mean	0.22	0.62	1.97	3.96
	SE	0.22	0.15	0.27	0.95
Autumn	Mean	0.64	0.86	1.79	4.54
	SE	0.22	0.18	0.21	0.60

Table 4. Total biomass(g AFDW) of the *Macrophthalmus japonicus* in the spring and autumn

Mean grain size(ϕ) (Type)	No. of Grid cell	Biomass(g AFDW)			
		Spring		Autumn	
		Mean (g/m ²)	Total(g)	Mean (g/m ²)	Total(g)
3 - 4 (Sand-very fine)	137,195	0.22	2,986,933.58	0.64	8,756,496.54
4 - 5 (Silt-coarse)	399,888	0.62	24,775,316.33	0.86	34,268,880.29
5 - 6 (Silt-medium)	323,331	1.97	63,823,844.92	1.79	57,741,852.94
6 - 7 (Silt-fine)	14,507	3.96	5,750,579.91	4.54	6,579,879.10
	Sum		97,336,674.74		107,347,108.87

$$\text{Total biomass(g AFDW)} = \text{No. of Grid cell} \times \text{Mean biomass(g AFDW/m}^2) \times \text{Grid cell area(100m}^2)$$

각 토양 입도 범위에 해당하는 칠계 생물량 채집 정점은 Sand-very fine 2개, Silt-coarse 24개, Silt-medium 55개, Silt-fine 4개였으며(Table 2), 1×1m의 방형구 기준 칠계의 평균 생물량(Mean g AFDW/m²)은 각 토양 입도 범위별로 봄철에는 0.22, 0.62, 1.97, 3.96, 가을철에는 0.64, 0.86, 1.79, 4.54으로 Sand-very fine < Silt-coarse < Silt-medium < Silt-fine 순으로 세립한 토양 입도에 칠계의 평균 생물량이 높은 경향을 나타내었다(Table 3). 토양 입도 범위별 칠계의 평균 생물량(Mean g AFDW/m²)을 No. of Grid cell×Mean biomass(g AFDW/m²)×Grid cell area(100m²)에 대입하여 전체 생물량을 추산한 결과 봄철 97,336,674.74g AFDW, 가을철 107,347,108.87g AFDW으로 추산되었다(Table 4).

3.2. 환경수용능력 추정

계절별 추산된 칠계의 생물량을 기준으로 강화도 남

단 조간대의 마도요류 환경수용능력을 추정하였다. 도요·물떼새의 주 이동시기인 봄철 3-5월, 가을철 9-10월을 기준으로 계절별 90일 내외를 도래기간으로 설정하는 것이 일반적이나 2012년 강화도 남단 조간대의 마도요류 도래양상을 보았을 때 5월 말과 8월 초 도래개체군의 감소를 제외하곤 6월과 7월에 일찍 남하하는 개체군의 도래가 지속적으로 이어지는 양상을 보여 봄철과 가을철의 도래기간 구분이 불명확한 특성을 보였다(Fig. 7). 따라서 환경수용능력 분석 시 봄철을 3-7월 153일, 가을철을 8-11월 122일로 설정하여 추정하였다. 추정 결과 봄철의 경우 약 153일의 도래기간동안 이용 가능한 마도요류의 개체수는 11,767개체였으며, 가을철의 경우 약 122일의 도래기간동안 16,275개체였다(Table 5). 계절별 평균 도래개체군이 환경수용능력에서 차지하는 비중은 각각 봄철 9.4%, 가을철 5.9% 수준이었다(Table 6).

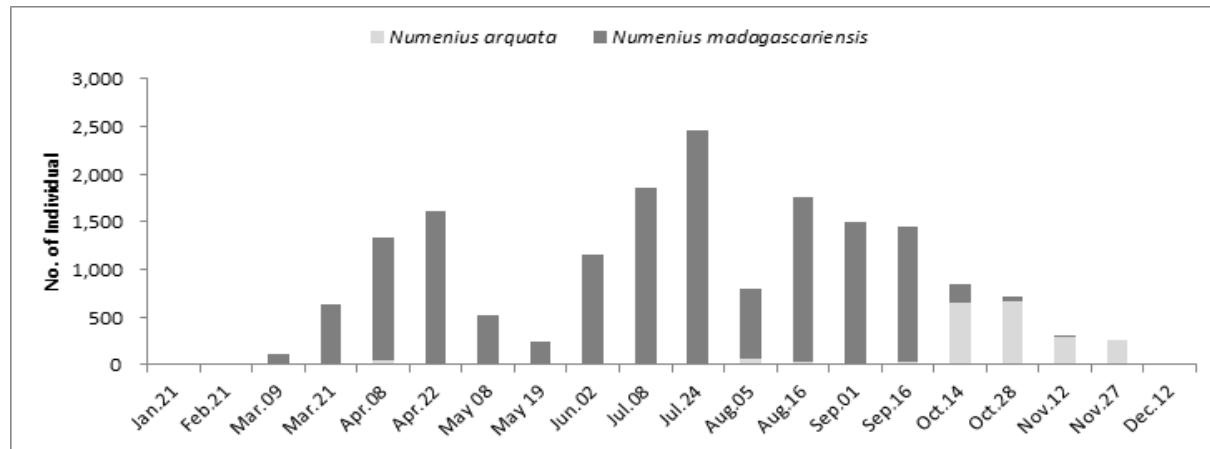


Fig. 7. The migration pattern of the curlews that stopover in the southern Kanghwa Island

Table 5. Estimation values of the carrying capacity in the spring and autumn

Season	Carrying capacity (Bird-days)	
Spring	$N = \frac{97,336,674.74 \times 0.85 \times 22}{153 \times 3 \times 337}$	= 11,767
Autumn	$N = \frac{107,347,108.87 \times 0.85 \times 22}{122 \times 3 \times 337}$	= 16,275

Table 6. The proportion of the number of mean population to the carrying capacity in the spring and autumn

Season	No. of individual	Carrying capacity (Bird-days)	N/Carrying capacity(%)
Spring	Mean	1,102.33	9.4
	SE	263.69	
Autumn	Mean	954.25	5.9
	SE	198.57	

4. 고찰

2012년 강화도 남단 조간대의 마도요류 환경수용능력 추정 결과 봄철은 약 153일 동안 11,767개체가 이용할 수 있는 수준이었으며, 가을철은 약 122일 동안 16,275개체가 이용할 수 있는 수준이었다(Table 5). 조간대에서의 칠개 생물량은 봄철에 비해 가을철 다소 증가하는 경향을 보였으며(Table 4), 반대로 도래하는 마도요류의 개체군은 가을철에 다소 감소하는 경향을 보여 환경수용능력 대비 평균 도래 개체군의 비율은 봄철 9.4%, 가을철 5.9%의 수준이었다(Table 6). 강화도 남단 조간대에서의 환경수용능력에 관한 유일한 선행 연구인 Yi(1995)의 결과에 따르면 1993-94년 당시 도래 개체군의 환경수용능력 수준은 약 3.1%로 현재는 2.8-6.3% 수준 감소한 것으로 판단된다. 하지만 환경수용능력의 분석 방법이 다르다는 점, 당시 분석에는 상

위 우점 8종이 포함되어 대상종의 범위가 다르다는 점, 마도요의 경우 당시 우점종 순위에 포함되지 않아 환경수용능력 추정에 이용되지 않았다는 점 등 과거 선행연구와 본 연구 간의 차이점이 많아 직접적인 비교는 어렵다고 판단된다.

그럼에도 불구하고 1993-94년 칠개의 평균생물량은 10.7g AFDW/m²(Mean annual biomass 7.06 g AFDW/m² + Production 3.64 g AFDW/m²/year)으로 현재의 연평균 1.82 g AFDW/m²(봄철 평균 1.69g AFDW/m², 가을철 평균 1.95g AFDW/m²)에 비해 약 5배 이상 높은 생물량을 보였으며, 칠개 생물량의 감소와는 반대로 마도요류의 도래 개체군 수준은 최대개체수 기준 1993-94년 1,766 개체, 1998-99년 1,080개체(Lee 2000), 2002년 3,856개체(Kim 2003), 2012년 3,123개체로 2000년 이후 약 2배가량 증가하여 강화도 남단 조간대의 칠개 생물량 감소와 마도요류 도래 개체군의 증가에 따른 강화도 남단

조간대의 잠재적 환경수용능력 수준이 감소된 것으로 판단된다. 동아시아-대양주 철새 이동 경로상(EAAF)에서의 지속적인 마도요류 개체군 감소 추세(Amano *et al.* 2010, Mackinnon *et al.* 2012c)에도 불구하고 강화도 남단에 도래하는 개체군이 증가한 이유는 이동 경로 내 조간대를 포함한 습지들이 많이 소실되었고 특히 황해 지역 내 조간대 소실(International Wader Study Group 2003, Mackinnon *et al.* 2012d)이 심각한 수준으로 진행된 것에 따른 개체군의 집중화 때문이라 판단된다. 이러한 현재의 상황에서 강화도 남단 조간대의 서식지 질적 향상은 매우 중요하며, 현재까지는 개발에 의한 면적 소실이 거의 없기 때문에 향후 보전의 가능성과 필요성 또한 매우 크다고 할 수 있다. 따라서 향후 서식지 보전을 위한 지속적인 연구와 관리가 매우 시급하다고 판단된다.

한편, 현재 단계의 분석 결과는 환경수용능력의 최대 추정치라 할 수 있는데 조수 간만이 연속적으로 반복되는 조간대의 경우 공간에 따른 이용 가능 시간이 다르다는 점, 방해 요인 등에 따라 공간의 질적 수준 달라질 수 있다는 점 등을 고려하고 향후 이와 같은 공간적 특성을 분석에 반영한다면 더욱 정밀한 환경수용능력이 추정될 것이다.

본 연구를 시작으로 향후 서식지의 다양한 환경 특성을 반영하고 서식지의 질적 상태 평가 및 서식지간, 시기간 비교·분석에 적합한 더욱 정교한 예측 기법의 개발과 발전이 무엇보다 중요할 것이다.

감사의 글

Development of utilization technique for tidal energy (2011) 사업 자료를 제공해 주신 국토해양부에 감사드립니다. 현장 조사에 도움을 주신 경희대학교 연구실원들과 강화도 지역 도요·물떼새 선행 연구를 통해 많은 도움을 주신 선배님들께 감사의 뜻을 전합니다.

References

- Amano, T., Székely, T., Koyama, K., Amano, H., Sutherland, W.J. (2010). A framework for monitoring the status of populations An example from wader populations in the East Asian Australasian flyway. *Biological Conservation*, 143, pp. 2238-2247.
- Cultural Heritage Administration. <http://www.cha.go.kr/>
- Goss-Custard, J.D. (1985). Foraging behavior of wading birds and the carrying capacity of estuaries. *Behavioural Ecology* (eds R.M. Sibley & R.H. Smith), pp. 169-189. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Goss-Custard, J.D., Stillman, R.A., Caldow, R.W.G., West, A.D., Guillemain, M. (2003). Carrying capacity in overwintering birds: when are spatial models needed? *Journal of Applied Ecology*, 40, pp. 176-187.
- Goss-Custard, J.D., Stillman, R.A., West, A.D., Caldow, R.W.G., McGrorty, S. (2002). Carrying capacity in overwintering migratory shorebirds. *Biological Conservation*, 105, pp. 27-41.
- International Wader Study Group. (2003). Waders are declining world wide. In: Conclusions from the 2003 International Wader Study Group Conference, Cádiz, Spain. *Wader Study Group Bulletin*, vol. 101/102, pp. 8-12.
- Islam, M.S., Azim Sikder M.N., Al-Imran, M., Hossain, M.B., Mallick, D., Morshed, M.M. (2013). Intertidal Macrobenthic Fauna of the Karnaphuli Estuary: Relations with Environmental Variables. *World Applied Sciences Journal*, 21(9), pp. 1366-1373.
- IUCN. (2012). IUCN Red List of Threatened Species. Version 2012.2. <www.iucnredlist.org>.
- Kersten M, Piersma T. (1987). High levels of energy expenditure in shorebirds; metabolic adaptations to an expensive way of life. *Ardea*, 75, pp. 175-187.
- Kim, H.C. (2003). Roosting habitat use and movement of migrant shorebirds on Ganghwa and Yeongjong Island. Ph.D. dissertation, Kyung Hee University, Seoul, Republic of Korea. pp. 10.
- Korea Hydrographic and Oceanographic Administration. <http://www.khoa.go.kr/>
- Yi, J.Y., Yoo, J.C., Won, P.O. (1994). Foraging behavior and energy intake of premigratory Australian Curlews *Numenius madagascariensis* on Kanghwa Island, Korea. *The Korean Journal of Ornithology*, 1(1), pp. 1-13.
- Yi, J.Y. (1995). Ecology of Migrating to Kanghwa Island on the West Coast of Korea. Master's Degree. dissertation, Kyung Hee University, Seoul, Republic of Korea. pp. 33-36.
- Lee, S.W. (2000). Feeding ecology of migratory waders in relation to the preys on the southern tidal flat of Kanghwa Island in the west coast of Korea. Ph.D. dissertation, Kyung Hee University, Seoul, Republic of Korea. pp. 168-169.
- MacKinnon, J., Verkuil, Y. I., Murray, N. (2012a). IUCN situation analysis on East and Southeast Asian intertidal habitats, with particular reference to the Yellow Sea (including the Bohai Sea). Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission, 47, pp. 5-9.

- MacKinnon, J., Verkuil, Y. I., Murray, N. (2012b). IUCN situation analysis on East and Southeast Asian intertidal habitats, with particular reference to the Yellow Sea (including the Bohai Sea). Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission, 47, pp. 69.
- MacKinnon, J., Verkuil, Y. I., Murray, N. (2012c). IUCN situation analysis on East and Southeast Asian intertidal habitats, with particular reference to the Yellow Sea (including the Bohai Sea). Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission, 47, pp. 19, 39-40.
- MacKinnon, J., Verkuil, Y. I., Murray, N. (2012d). IUCN situation analysis on East and Southeast Asian intertidal habitats, with particular reference to the Yellow Sea (including the Bohai Sea). Occasional Paper of the IUCN Species Survival Commission, 47, pp. 14-16.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (2011). Development of utilization technique for tidal energy R&D Report. 2(4), pp. 95-105.
- Meire P.M., Schekkerman H, Meininger P.L. (1994). Consumption of benthic invertebrates by waterbirds in the Oosterschelde estuary, SW Netherland. *Hydrobiologia*, 282-283(1), pp. 525-546.
- Sutherland, W.J., Anderson, C.W. (1993). Predicting the distribution of individuals and the consequences of habitat loss: the role of prey depletion. *Journal of Theoretical Biology*, 160, pp. 223-230.
- U.S Geological Survey. <http://calval.cr.usgs.gov/LDGST.php>
- Van Gils, J.A., Edelaar, P., Escudero, G., Piersma, T. (2004). Carrying capacity models should not use fixed prey densities thresholds: a plea for using more tools of behavioural ecology. *Oikos*, 104, pp. 197-204.
- Wentworth, C.K. (1992). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30, pp. 377-392.
- Zwarts L., Blomert A.M. (1990). Selectivity of Whimbrels feeding on fiddler crabs explained by component specific digestibilities. *Ardea*, 78, pp. 193-208.

- 논문접수일 : 2013년 04월 12일
- 심사의뢰일 : 2013년 04월 24일
- 심사완료일 : 2013년 05월 29일