

Research Paper

# 부산 연안역의 서식지 질 및 위험도 평가

정세화 · 성기준

부경대학교 생태공학과

## Assessing Habitat Quality and Risk of Coastal Areas in Busan

Sehwa Jeong · Kijune Sung

Department of Ecological Engineering, Pukyong National University

**요약:** 높은 개발 압력과 이용 강도로 인해 연안생태계 건강성이 악화되고 있는 부산은 연안역의 지속가능한 이용 및 생태계 보전을 위해 인간과 자연환경을 함께 고려하는 생태계 관리가 필요한 실정이다. 본 연구에서는 서식지 중심의 생태계 기반 관리를 위하여 InVEST 서식지 질 및 위험도 모델을 적용하여 부산 연안 육역과 연안 해역의 서식지를 평가하였다. 평가 결과 연안 육역은 강서구 가덕도, 남구 이기대·신선대, 기장군 일대 지역의 서식지의 질이 높고, 서구, 중구, 동구, 수영구는 낮은 것으로 나타났다. 연안 해역의 경우 낙동강 하굿둑 하부 지역의 위험도가 낮았으며, 영도구, 사하구, 강서구 일부 지역의 위험도가 높은 것으로 나타났다. 이에 연안 생태계 서식지의 가치를 높이고 지속가능한 이용 및 보전을 위하여 훼손된 서식지를 개선하고 위험요인을 줄여 생태계서비스를 증진할 수 있는 관리 방안을 마련해야 할 것으로 판단된다. 또한 연안 육역의 개발사업 계획 시 연안 해역에 미치는 영향을 충분히 고려하여야 할 것이다. 본 연구의 연안 육역의 서식지 질 모형 결과는 도시생태현황지도와 국토환경성평가지도와 유사한 경향성을 가지는 것으로 파악되었으며, 연안 해역의 서식지 위험도 평가 결과 또한 해역의 서식지 파악, 위험요인 관리 등에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**주요어:** 생태계 기반 관리, 생태계서비스, InVEST, 지속가능한 이용, 연안생태계

**Abstract:** Busan, where the coastal ecosystem health is deteriorating due to high development pressure and intensity of use, needs ecosystem management that considers humans and the natural environment together for sustainable use and ecosystem preservation of the coastal areas. In this study, the InVEST model was applied to assess the habitat status of the coastal land and coastal sea to manage the ecosystem based on habitats. As a result of the assessment of the coastal land, the habitat quality of Gadeok-do, Igidae, and Sinseondae, Gijang-gun are high, and Seo-gu, Jung-gu, Dong-gu, and Suyeong-gu are low. In the case of the coastal sea, the habitat risk of the Nakdong river estuary is low, and some areas of Yeongdo-gu, Saha-gu, Gangseo-gu are high. Therefore, for the sustainable use and preservation of coastal ecosystems, it is necessary to prepare ecosystem-

based management measures to improve damaged habitats and reduce threats. In addition, the impact on coastal seas should be fully considered when planning coastal land development. The results of the InVEST habitat quality model in coastal land show similar tendencies to the biotope and environmental conservation value assessment map. The results of the habitat risk assessment in the coastal sea are expected to be utilized to identify habitats in the coastal sea and management of threat factors.

**Keywords :** Ecosystem-Based Management, Ecosystem Service, InVEST, Sustainable use, Coastal Ecosystem

## I. 서론

육상과 해양생태계가 공존하는 부산의 연안 지역은 이용 수요가 증가하면서 지속해서 개발 압력을 받고 있다. 하지만 과도한 개발 행위는 연안 생태계를 훼손하여 생물들의 서식지 감소 및 생물다양성의 저해로 이어질 가능성이 커지며, 연안 도시의 건강성을 위협하는 요인으로 작용하게 된다. 연안 생태계의 지속 가능한 이용과 생태계 보전을 위해서는 인간과 자연환경을 함께 고려한 생태계 기반 관리(Ecosystem-based Management)를 통해 도시와 생태계 모두의 건강성을 증진해야 할 필요가 있다.

생태계 기반 관리를 위해서는 인간에 의해 발생하는 활동을 고려하여 누적되는 위험 영향을 파악하고, 공존하는 여러 생태계를 함께 관리하는 방안 제시를 목적으로 하며, 이를 실천하기 위해서는 우선 생태계의 상태를 파악해야 한다(Ansong et al, 2017; Harvey et al, 2018; NOAA 2021). 이에 서식지를 중심으로 대상 지역의 생태계 현황을 파악하고 서식지의 가치를 평가하기 위한 연구들이 진행되고 있다. 이 중 생태계서비스 기반의 평가 모델인 InVEST(Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs)의 육상 서식지 질을 평가하는 Habitat Quality(HQ)나 해양 서식지 위험도를 평가하는 Habitat Risk Assessment(HRA)를 적용한 연구들이 진행된 바 있다. 국내·외에서 InVEST HQ 모델을 이용하여 국립공원, 개발에 따른 도시 지역 및 유역과 습지 지역 등을 대상으로 육상 서식지의 상태를 파악하기 위한 연구가 진행되었으며(Seo 2017; Choi et al, 2019; KNPRI 2019; Zhai et al, 2020; Zhang et al,

2020), 바닷새 보전을 위해 인간 활동을 고려한 해양 서식지 평가, 해양 공간계획 수립을 위한 연안-해양 생태계의 생태계서비스 평가를 위해 InVEST HRA 모델을 이용하여 서식지 위험도를 평가하였다(Guerry et al, 2012; Studwell et al, 2021). 하지만 대부분 육상생태계와 해양생태계를 분리하여 각 지역의 보전·관리를 위한 연구를 진행한 것으로, 서로 다른 특성을 가진 두 생태계를 함께 고려한 연구는 거의 수행되지 않았다.

연안역은 육상과 해양이 만나는 곳으로 어느 한 지역의 변화가 다른 지역 생태계에 큰 영향을 미칠 수 있으므로, 인접한 육상과 해양생태계를 함께 고려하여 관리하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 부산 연안역의 서식지를 고려한 생태계 기반 관리를 위해 InVEST HQ 모델을 이용한 연안 육역의 서식지 질 평가와 InVEST HRA 모델을 이용한 연안 해역의 서식지 위험도를 함께 고려하여 부산 연안역의 서식지 상태를 평가하고자 한다. 또한 연안 육역과 연안 해역 서식지에 영향을 미칠 수 있는 위협 인자와 영향 정도를 파악하여, 향후 부산 연안역의 생태계 기반 관리 방안 수립에 필요한 기초자료로 사용하고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구 범위 및 지도 구축

본 연구는 모델 수행을 위한 기초자료 획득이 가능한 2019년을 기준으로 수행하였다. 2019년의 연안 지역 서식지 평가는 연안 육역의 서식지 질과 연안 해역의 서식지 위험도를 구분하여 진행하였다. 연안 육역의 경우 연안관리법 제2조 제3호에 따라 해안선 기

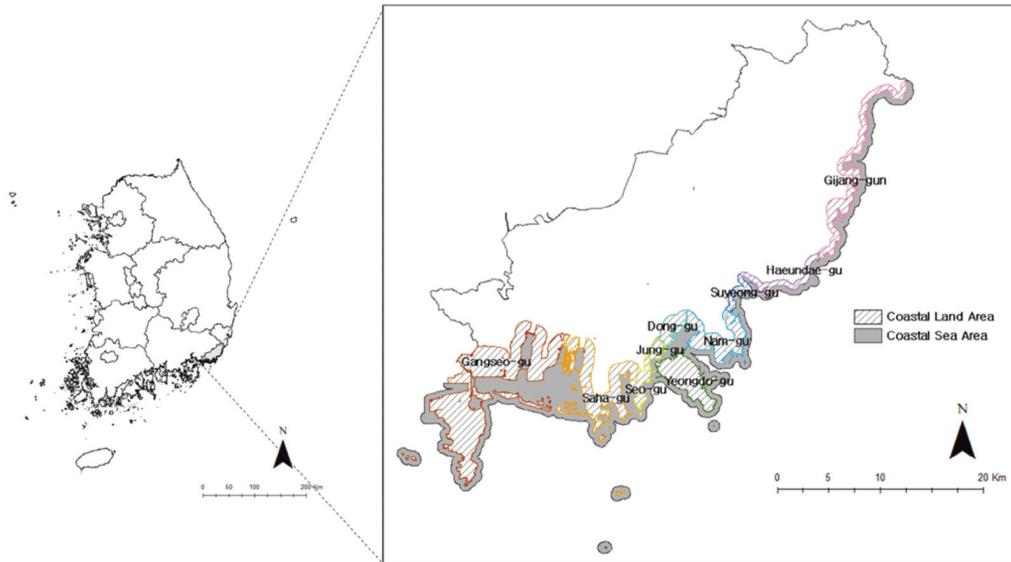


Figure 1. Study Area

준 육지 방향 500m 이내 지역으로 설정하였으며, 항만, 국가 어항 혹은 산업단지인 경우 1,000m 이내 육지 지역으로 설정하였다. 연안 해역의 경우 가용할 수 있는 자료의 한계로 해안선 기준 해양 방향 500m로 설정하였다. 공간적 범위는 Figure 1과 같다. 연구 범위에 해당하는 연안 육역 면적은 143.61km<sup>2</sup>, 연안 해역 면적은 133.15km<sup>2</sup>이다.

모델에서 사용된 자료는 ESRI 사의 ArcMap 10.5.1 프로그램을 사용하여 해상도 5m의 raster 형태로 구축하였다. 연안 육역의 경우 환경부 2019년 세분류 토지피복도를 활용하였으며, 연안 해역의 경우 국립해양조사원에서 제공된 재질본포도와 세분류 토지피복도를 이용하였다(EGIS 2020). 서식지 및 위협 요인 관련 자료는 낙동강관리본부 낙동강하구에코센터, 국가공간정보포털, 국가해양정보마켓센터에서 제공되는 자료를 활용하였다(KOMC 2021; NSDI 2021). 또한 본 연구에서 서식지 질(HQ) 평가 결과를 부산광역시 도시생태현황지도와 국토환경성평가지도와 비교 평가하였다(BDI 2020; ECVAM 2021).

## 2. InVEST HQ 모델

HQ 모델은 생물다양성과 관련된 육상 서식지의 질을 평가하며, 토지 이용에 따라 서식지에 미치는 영

향을 정성적인 값으로 나타낸다. 평가 결과는 0~1 사이 값으로 나타나며, 1에 가까울수록 서식지 질이 우수한 것을 의미한다. 서식지 질(Q<sub>xj</sub>)은 서식지에 미치는 위협 요인과 그 위협 요인의 영향 정도를 나타내는 4가지 인자를 고려하여 다음의 식 Eqs. (1)~(4)를 이용하여 계산한다(Sharp et al. 2020).

본 연구에서 대상 서식지는 환경부의 세분류 토지 피복 유형을 이용하여 문화·체육·휴양시설, 교육·행정시설, 농업지역(논, 밭, 시설재배지, 과수원, 기타농경지), 산림 지역(활엽수림, 침엽수림, 혼효림), 초지(자연초지, 인공초지), 습지, 자연 나지(해변, 하안지, 암반), 하천 및 호소로 분류하여 적용하였다.

인간 활동에 주로 영향을 받는 위협 요인의 경우 서식지 주변 토지 이용 현황을 고려하여 적용할 수 있다. 본 연구에서는 Invest 모형의 사용자 가이드와 국내 선행연구 자료를 참고하여 거주지역, 상업지역, 산업단지, 교통 지역, 환경기초시설, 농업지역, 인공 나지로 구분하여 적용하였다(Sharp et al. 2020; Kim et al. 2015; KNPRI 2019; Lee et al. 2015; Kim 2018; Seo 2017). 다만 농업지역은 서식지로서 역할도 하지만, 시비 및 농약 등 인간의 농업 활동에 따라 인근 하천의 부영양화 혹은 토양오염 등 부정적 영향도 초래할 수 있으므로 본 연구에서는 서식지인

동시에 위협 요인으로 구분하여 적용하였다(Kim et al. 2015; Kim 2018).

위협 요인에 영향을 미치는 4가지 인자는 위협 요인에 대한 상대적 영향력, 서식지 유형별 상대적 민감도, 위협 요인이 서식지에 미치는 영향 거리, 토지의 법적·제도적·사회적·물리적 보호 수준이며, 본 연구에서는 국내·외 선행연구를 참고하여 사용하였다(Kim et al. 2015; Lee et al. 2015; Seo 2017; Sallustio et al. 2017; Kim 2018; KNPRI 2019; Xu et al. 2019). 총 위협 수준은 다음의 식 (1)로 계산한다.

$$D_{xy} = \sum_{r=1}^R \sum_{y=1}^Y \left( \frac{w_r}{\sum_{r=1}^R w_r} \right) r_y i_{rxy} \beta_x S_{jr} \quad (1)$$

여기서  $D_{xy}$ 는 위협 요인  $x$ 와 서식지  $j$ 에 따른 총 위협 수준을 의미하며,  $Y_r$ 은 위협 요인으로 입력된 래스터 픽셀의 합,  $w_r$ 은 위협 요인에 대한 가중치,  $r_y$ 은 감소 요인,  $i_{rxy}$ 은 상대적 영향력,  $\beta_x$ 는 보호 수준,  $S_{jr}$ 는 상대적 민감도이다.

위협 요인에 대한 상대적 영향력인  $i_{rxy}$ 는 서식지와 위협 요인 간의 거리가 멀어질수록 위협 요인의 영향이 일정하게 감소하며, Eqs. (2), (3)로 계산한다.

$$i_{rxy} = 1 - \left( \frac{d_{xy}}{d_{r,max}} \right) \text{ if linear} \quad (2)$$

$$i_{rxy} = \exp \left( - \left( \frac{2.99}{d_{r,max}} \right) d_{xy} \right) \text{ if exponential} \quad (3)$$

위협 요인의 영향이 일정한 선형 감소(linear) 모형 혹은 기하급수적인 감소(exponential) 모형을 선택하여 위협 요인에 대한 상대적 영향력을 계산한다. 이때  $d_{xy}$ 는 서식지와 위협 요인의 거리,  $d_{r,max}$ 는 위협 요인이 서식지에 미치는 최대 영향 거리를 의미한다.

$$Q_{xy} = H_j \left( 1 - \left( \frac{D_{xy}^z}{D_{xy}^z + k_z} \right) \right) \quad (4)$$

최종적으로 서식지 적합성인  $H_j$ 와 {1-총 위협 수준( $D_{xy}$ )}을 곱하여 위협 요인  $x$ 의 영향을 받는 서식지 유형  $j$ 에 대한 서식지 질인  $Q_{xy}$ 을 0~1 사이의 값으로 산출하게 된다(Eq. 4). 총 위협 수준에 포함된  $k$ 는 반포화상수로, 디폴트 값인 0.5를 입력하였다(Sharp et al. 2020).

### 3. InVEST HRA 모델

HRA는 해양 서식지에 대한 위험도를 평가하는 모델로, 인간 활동이 서식지에 미치는 누적 위험을 나타낸다. 위협 요인에 많이 노출될수록 서식지의 위험도가 높게 나타나는데, 이는 서식지가 훼손되거나 나빠질 가능성이 큰 것을 의미한다. 본 연구 대상 연안 해역의 서식지는 해초지, 염생식물, 갯벌, 경성 저질, 연성 저질로 구분할 수 있다(Sharp et al. 2020). 해당 서식지에 위협 요인으로 작용할 수 있는 인간 활동은 양식장, 어업 활동, 레크레이션, 항만 활동, 발전소와 산업단지 등이 있으며, 위협 요인에 대한 영향 정도는 다음의 식 Eqs. (5)~(8)에 의해 계산한다(Sharp et al. 2020).

$$E_i = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{e_i}{d_i \times w_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i \times w_i}} \quad (5)$$

$$C_i = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{e_i}{d_i \times w_i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i \times w_i}} \quad (6)$$

노출 인자( $E_i$ )는 서식지와 위협 요인 간의 공간적·시간적 중첩 기간, 위협 요인 강도 등의 영향을 고려한 노출 정도( $e_i$ ), 입력된 데이터의 과학적 객관성( $d_i$ ), 위협 요인에 따른 가중치( $w_i$ )로 계산하게 된다. 결과 인자( $C_i$ )는 위협 요인에 노출되면서 나타나는 서식지 훼손·변화 정도, 자연재해 발생 빈도, 회복 능력 등을 고려한 반응 정도( $c_i$ ), 데이터의 과학적 객관성, 가중치를 통해 계산한다. 위협 요인의 설정 및 관련된 노출 인자와 결과 인자 평가를 위해 필요한 자료는 관련 선행연구를 참고하여 적용하였다(Chung 2012; Caro et al. 2020; Sharp et al. 2020).

$$R_i = \sqrt{(E_i - 1)^2 + (C_i - 1)^2} \text{ if Euclidean} \quad (7)$$

$$R_i = E_i \times C_i \text{ if Multiplicative} \quad (8)$$

Eqs. (5)~(6)을 통해 계산된 노출 및 반응 인자의 결과값을 결합하여 서식지에 영향을 미치는 위협 요인별 위험도( $R_i$ )를 계산하는데, 이때 유클리드 수식 혹은 곱셈 수식을 이용한다. 선행연구에서는 유클리

드 수식을 적용한 서식지 위험도 평가 결과와 서식지 단편화, 생태계 건강성 평가 결과와 긍정적으로 일치하는 것으로 나타나 본 연구에서도 유클리드 수식을 적용하였다(Sharp et al, 2020). 마지막으로 Eq. (9)를 이용하여 연구 대상 지역 내 모든 위험 요인의 영향을 받아 서식지에 누적된 위험도(R)를 계산하게 된다.

$$R = \sum_{k=1}^K R_k \quad (9)$$

모형 수행 결과 얻게 되는 HQ와 HRA 값은 다양한 기준으로 구분하여 평가할 수 있으나, 본 연구에서는 선행연구를 참고하여 등 간격으로 5등급으로 분류하여 적용하였다(Guerry et al, 2012; Studwell et al, 2021).

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 부산 연안 육역 서식지 질

2019년 부산 연안 육역의 서식지 질 평가 결과를 Table 1, Figure 2에 제시하였다. 서식지 질 평가 결과의 범위는 0에서 1로, 평균값은 약 0.415로 나타났다. 전반적으로 연안 육역에서 산림과 초지가 많은 지역의 서식지 질이 높았으며, 서식지 질이 높은 지역인 경우에도 서식지에 부정적인 영향을 미치는 시가지, 나지와 같은 위협 인자에 인접할수록 서식지 질이 점차 감소하는 것으로 나타났다. 도시생태현황 지도, 국토환경성평가지도와 비교하기 위해 0-1의 범위로 나타난 서식지 질을 5등급으로 분류하였을 때 대상 지역 중 상대적으로 서식지 질이 높은 것으로 구분할 수 있는 Group 1(0.8-1)의 지역은 전체의 약 29.6%로 나타났으며, 강서구 가덕도, 남구 이기대-신선대, 사하구 유원지, 영도구 산지, 기장군 일대 지역 등이 해당하는 것을 알 수 있다. 반면 서식지 질이 상대적으로 낮은 것으로 구분할 수 있는 Group 5(0-0.2) 지역은 전체의 약 50%로, 기장군과 강서구 가덕도를 제외한 지역 대부분 혹은 일부가 포함되는 것으로 나타났다. 특히 동구, 중구, 수영구 일대 연안 육역의 서식지 질이 대부분 낮은 것으로 나타났는데, 대

Table 1. Habitat Quality Value of Coastal Land Area

| Group   | Range   | Area Ratio |
|---------|---------|------------|
| 1       | 0.8-1.0 | 29.56%     |
| 2       | 0.6-0.8 | 13.80%     |
| 3       | 0.4-0.6 | 4.49%      |
| 4       | 0.2-0.4 | 2.53%      |
| 5       | 0.0-0.2 | 49.61%     |
| Average | 0.415   |            |

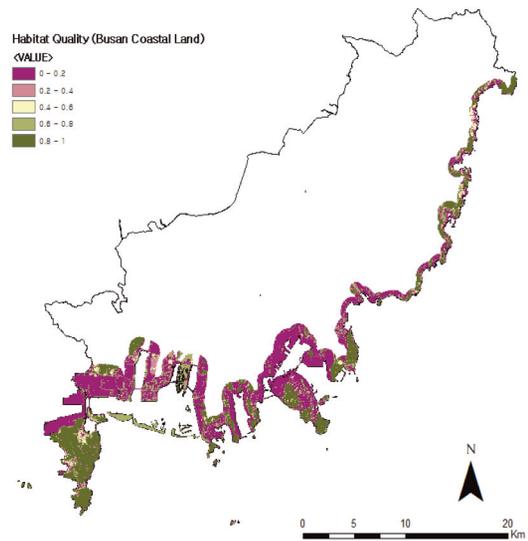


Figure 2. Habitat Quality of Coastal Land in Busan

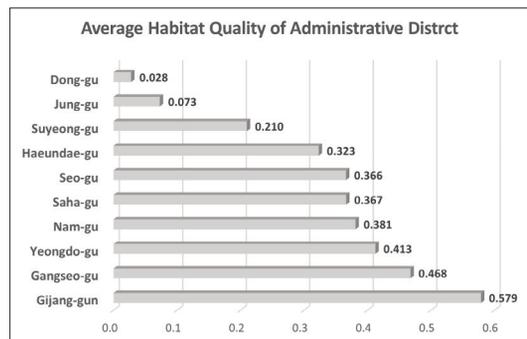


Figure 3. Average Habitat Quality of Coastal Land in the Administrative District in Busan

부분 인간 활동이 많은 시가지, 나지 등으로 이미 연안 육역에서 개발이 진행되어 서식지 질이 많이 감소한 지역임을 알 수 있다(Figure 3).

이에 연안 지역의 지속 가능한 이용 및 서식지 보

전을 위해서는 서식지 상태가 우수한 지역의 경우 악화되지 않도록 해당 서식지는 물론이고 서식지 주변 지역의 지속적인 모니터링과 관리가 필요할 것이며, 서식지 상태가 좋지 못한 지역의 경우 서식지 가치를 높이고 위험도를 낮출 수 있는 친환경적인 기술 개발 및 법적 규제를 통해 서식지를 회복하는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

### 2. 부산 연안 해역 서식지 위험도

2019년 부산 연안 해역의 서식지 위험도 평가 결과를 Table 2, Figure 4에 제시하였다. 평가 결과 서식지 위험도 값의 범위는 0에서 0.773으로, 평균값은 약 0.421로 나타났다. 대상 지역 중 상대적으로 서식지 위험도가 높은 Group 5(0.618-0.773)의 지역은 전체의 약 5.56%, 위험도가 비교적 높은 Group 4(0.464-0.618) 지역은 약 50.40%로 나타났으며, 영도구, 사하구 다대포, 강서구 명지신도시·산업단지

Table 2. Habitat Risk Value of Coastal Sea Area

| Group   | Range       | Area Ratio |
|---------|-------------|------------|
| 1       | 0.000-0.155 | 0.56%      |
| 2       | 0.155-0.309 | 23.70%     |
| 3       | 0.309-0.464 | 19.79%     |
| 4       | 0.464-0.618 | 50.40%     |
| 5       | 0.618-0.773 | 5.56%      |
| Average | 0.421       |            |

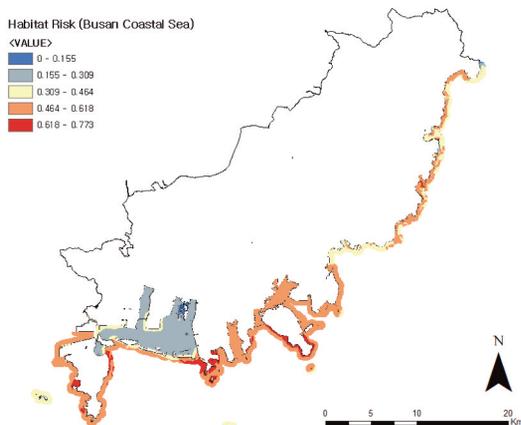


Figure 4. Habitat Risk Assessment of Coastal Sea in Buisan

주변 연안 해역이 해당하는 것으로 나타났다. 해당 지역들은 항만 이용, 레크레이션 활동, 어업 활동, 산업단지 등 인간 활동이 연안 해역 서식지에 부정적인 영향을 미치면서 서식지 위험도가 높게 나타났다. 해초지와 갯벌의 경우 항만 이용 및 산업단지에서 부정적인 영향을 주로 미치는 것으로 나타났으며, 염생식물 서식지의 경우 항만 이용이 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 경성 저질에서는 레크레이션 활동과 어업 활동, 연성 저질에서는 레크레이션 활동, 항만 이용 및 어업 활동이 서식지에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 이러한 활동들이 지속될 경우 중요 서식지가 계속해서 훼손되면서 서식지 면적 감소 및 건강성 악화가 일어날 가능성이 큰 것으로 판단된다. 반면 서식지 위험도가 상대적으로 낮은 Group 1(0-0.155) 지역은 전체의 약 0.56%, 위험도가 비교적 낮은 Group 2(0.155-0.309)인 지역은 약 23.70%로 나타났으며, 연구 대상지 중 낙동강 하굿둑 하부 지역이 이에 해당한다.

대상 지역인 부산 연안 해역은 상대적으로 위험도가 높은 서식지의 면적이 위험도가 낮은 서식지에 비해 약 2.3배 더 넓은 것으로 나타났으며, 특히 항만 이용과 레크레이션 활동으로 인해 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 따라서 주요 서식지의 위험도를 낮출 수 있도록, 보호지역 설정 및 주요 서식지 주변에서의 이용행위 제약 등 적극적인 서식지 관리 방안이 필요할 것으로 판단된다. 아울러 산업단지 개발과 연안에서 운영하는 발전소 등은 연안 해역 서식지에 위협 요인으로 작용할 수 있어서 연안 육역의 개발과 이용에 있어 이러한 행위가 연안 해역에 미칠 수 있는 잠재적 영향을 충분히 고려하여야 한다. 연안 해역의 중요 서식지의 경우에는 완충 지역 및 보호구역 확대를 통해 각 서식지에 미칠 수 있는 부정적인 영향을 최소화해야 한다.

### 3. 연안 육역 서식지 질-부산 도시생태현황지도 비교

연안 육역의 서식지 질 평가 결과와 2019~2020년 조사하여 작성된 부산 도시생태현황지도(비오톱지도)는 자연 및 생태적 특성과 가치를 반영하여 정밀하게 나타난 지도로, 환경부고시(제2019-47호)에 따라 개

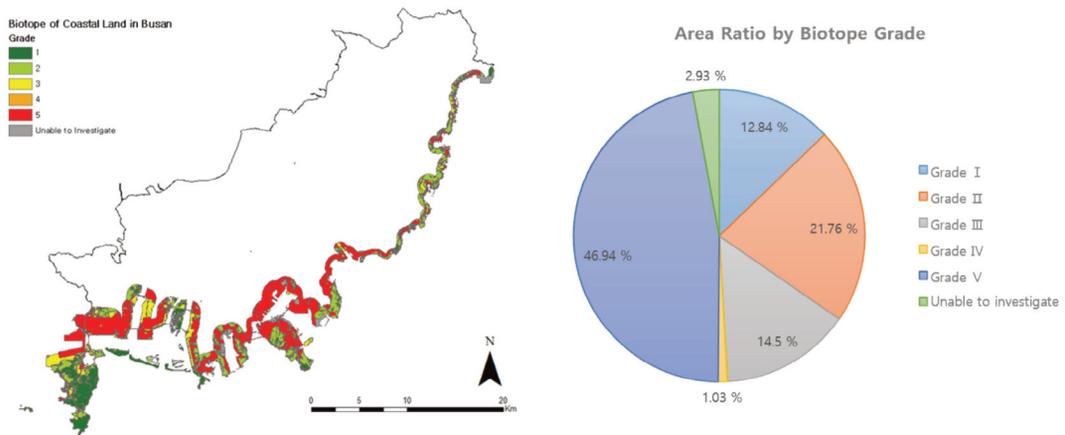


Figure 5. Biotope of Coastal Land in Busan. (a) Map, (b) Area Ratio by Grade

Table 3. Average Habitat Quality by Evaluation Grade of Biotope and ECVAM

| Map \ Grade | Grade 1     | Grade 2     | Grade 3     | Grade 4     | Grade 5     |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Biotope     | 0.876±0.241 | 0.891±0.254 | 0.371±0.320 | 0.335±0.378 | 0.081±0.216 |
| ECVAM       | 0.879±0.236 | 0.833±0.295 | 0.336±0.305 | 0.189±0.300 | 0.029±0.134 |

별 비오톱 평가와 비오톱 유형 평가를 통해 5등급으로 구분하였으며, 1등급에 가까울수록 생태적 가치가 뛰어난 지역을 나타낸다(BDI 2020). 본 연구 대상인 연안 육역에 해당하는 도시생태현황지도 분석 결과 5등급의 면적 비율이 46.94%로 가장 높았으며, 강서구 가덕도, 기장군, 남구 이기대·신선대, 연안 육역에 위치한 산림 지역을 제외한 대부분 지역에 고루 분포되어있는 것을 알 수 있다(Figure 5). 특히 서구, 중구, 동구, 수영구 일대 지역은 재생 가능성이 낮은 5등급으로 나타났으며, 해당 지역 대부분이 Group 5로 나타난 본 연구의 서식지 질 평가 결과와 비교했을 때 유사한 것을 알 수 있다.

한편 도시생태현황지도 1, 2등급과 3, 4등급에 해당하는 지역의 서식지 질 평균값은 각각 0.879±0.241과 0.891±0.254, 0.371±0.320과 0.335±0.378로 서로 큰 차이가 없는 것으로 나타나, 본 연구에서 서식지 질 평가가 부산의 생태 현황 지역을 좀 더 세분화하여 구분하지는 못한 것으로 조사되었다(Table 3). 이러한 결과는 생물서식 상태와 토지이용현황을 함께 고려한 도시생태현황지도와는 달리, 토지피복 유형으로만 평가하였기 때문이다. 하지만 도시생태현황

등급이 낮아짐에 따라 서식지 질 평갯값도 감소하는 것으로 나타나 전체적인 도시 생태 현황의 경향성을 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 도시생태현황지도가 있는 지역의 경우 이를 활용하여, 서식지 질 평가 모형의 보정 자료 등으로 활용하여 모형의 정확도를 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 연안 육역 서식지 질-국토환경성평가 지도 비교

연안 육역 서식지 질 평가 결과와 2019년 국토환경성평가 지도를 비교하였다. 국토환경성평가는 환경정책기본법에 따라 법적 평가와 환경·생태적 평가 기준을 바탕으로 국토의 보전 및 환경 가치를 5등급으로 나타난 지도로, 1등급에 가까울수록 환경적 중요도가 높은 지역이다(ECVAM 2021). 연구 대상 지역에 해당하는 국토환경성평가 지도 분석 결과 5등급이 41.94%로 가장 높았으며, 앞서 비교한 도시생태현황지도, 서식지 질과 유사하게 분포하고 있는 것으로 나타났다(Figure 6).

국토환경성평가 1, 2등급 지역의 서식지 질 평가 결과는 각각 0.879±0.241와 0.891±0.254로 큰 차이가 없는 것으로 분석되어, 도시생태현황지도에서

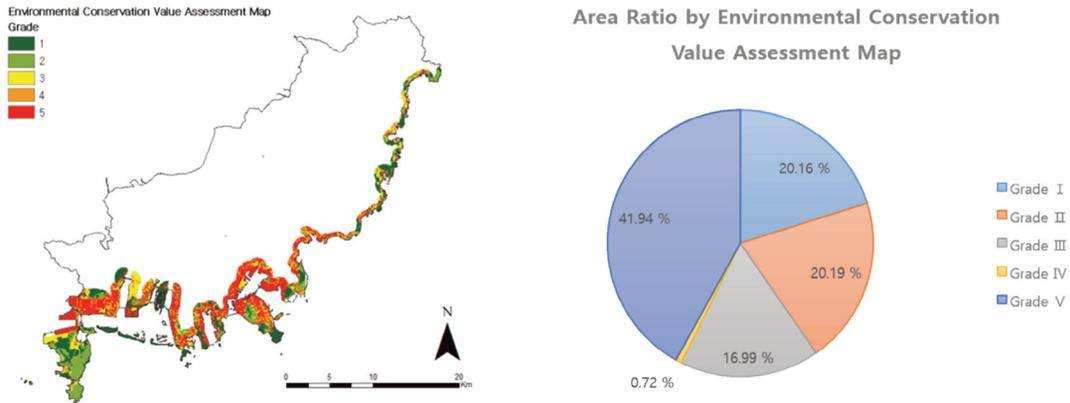


Figure 6. Environmental Conservation Value Assessment Map (ECVAM) of Coastal Land in Busan. (a) Map, (b) Area Ratio by Grade

와 마찬가지로 서식지 질 평가만으로 국토 환경성이 높은 상위지역의 세분화는 어려운 것으로 나타났다 (Table 3). 하지만 3등급 이하 지역의 경우 서식지 질 평가 결과 간에 분명한 감소 추세를 보여주는 것으로 나타나, 서식지 질 평가 모형이 국토환경성평가 등급의 경향성을 좀 더 잘 반영하는 것으로 판단된다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 연안 지역의 서식지를 중심으로 한 생태계 기반 관리를 위해 연안 육역의 경우 InVEST HQ, 연안 해역의 경우 HRA 모델을 적용하여 부산 연안역에 위치한 서식지 상태를 평가하였다. 연안 육역의 경우 강서구 가덕도, 남구 이기대·신선대, 기장군 일대 지역 등에서 서식지 질이 다른 지역보다 높은 것으로 나타나 이들 지역의 토지 이용 규제 등 적절한 관리를 통해 서식지 가치를 지속해서 보전해야 할 것으로 판단된다. 반면 연구 대상지 중 연안 육역의 약 50%의 지역에서 서식지 질이 이미 낮아 서식지가 훼손되거나 나빠진 것으로 나타났다. 전반적으로 서식지 질이 낮은 중구, 동구, 수영구 지역은 대부분 시가지와 나지로서, 이용과 개발이 활발하게 일어나는 지역이기 때문에 향후 이들 지역에 대하여 추가적인 훼손을 최소화하거나 이미 훼손된 지역의 복원을 통해 서식지 개선이 필요할 것으로 판단된다.

연안 해역의 경우 연구 대상지 중 낙동강 하굿둑 하부 지역의 서식지 위험도가 낮아 상대적으로 양호한 것으로 나타난 반면, 영도구, 사하구 다대포, 강서구 신도시·산업단지 주변의 연안 해역은 양식장, 어업 활동, 항만 이용, 레크레이션 활동 등 서식지 주변의 과다 이용 혹은 서식지 지역의 직접적인 이용으로 인해 서식지 위험도가 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 연안 지역의 지속 가능한 이용 및 서식지의 가치를 증진하기 위해서는 서식지 상태가 우수한 지역은 물론이고 주요 서식지에 잠재적인 영향 범위 내에 있는 지역들을 포함하여 지속적인 모니터링과 관리가 필요할 것이다. 아울러 연안 육역의 개발이나 이용이 연안 해역 서식지에 위협요인으로 작용할 수 있으므로, 연안 육역에서 개발사업을 계획할 때 연안 해역에 미치는 영향을 충분히 고려하여야 할 것이다.

서식지 질 모형을 이용한 연안 육역의 경우 도시생태현황지도, 국토환경성평가 결과와 유사한 경향성을 가지는 것으로 파악되어 도시생태현황지도나 국토환경성평가 등과 함께 평가자료로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 비록 비교할 수 있는 관련 자료의 부족으로 다른 평가자료와 비교하지는 못하였지만 연안 해역의 서식지 위험도 평가 또한 해역의 서식지 파악 및 위협 요인 관리 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## 사사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2021년)에 의하여 연구되었습니다

## References

- Ansong J, Gissi E, Calado H. 2017. An approach to ecosystem-based management in maritime spatial planning process. *Ocean&Coastal Management*. 141: 65-81.
- Busan Development Institute (BDI). 2020. 2020 Biotop map in Busan metropolitan city. Busan Metropolitan City Publishing; pp. 51-60. [Korean Literature]
- Byun YH, Park JK, Jung HS. 2002. A comparison of ensemble method between models in prediction of season. *Journal of Korean Meteorological Society* 12(1): 1-3. [Korean Literature]
- Cantor SB, Sun CC, Tortolero-Luna G, Richard-Kortum R and Follen M. 1999. A comparison of C/B ratios from studies using receiver operating characteristic curve analysis. *Journal of Clinical Epidemiology* 52: 885-892.
- Caro C, Marques JC, Cunha PP, Teixeira Z. 2020. Ecosystem services as a resilience descriptor in habitat risk assessment using the InVEST model. *Ecological Indicators* 115: 106426.
- Choi JY, Lee YS, Lee SD. 2019. A study on the ecosystem services value assessment according to city development: In case of the Busan eco-delta city development. *J Environ Impact Assess*. 28(5): 427-439. [Korean Literature]
- Chung MG. 2012. Mapping ecosystem services and statistical analysis for ecosystem-based management of coastal areas. Master. dissertation. Yonsei University, Seoul. [Korean Literature]
- Dormann CF. 2007. Effects of incorporating spatial autocorrelation into the analysis of species distribution data. *Global Ecology and Biogeography* 16(2): 129-138.
- Elith J, Graham CH, Anderson RP, Dudik M, Ferrier S, Guisan A, Hijmans RJ, Huettmann F, Leathwick JR, Lehmann A, Li J, Lohmann LG, Loiselle BA, Manion G, Moritz C, Nakamura M, Nakazawa Y, Overton J McC, Peterson AT, Phillips SJ, Richardson KS, Scachetti-Pereira R, Schapire RE, Soberon J, Williams S, Wisz MS and Zimmermann NE. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29: 129-151.
- Environmental Geographic Information Service (EGIS) [Internet]. c2020. Korea: Ministry of Environment (ME); [cited 2021 Oct 31]. Available from: <https://egis.me.go.kr/main.do>
- Environmental Conservation Value Assessment Map (ECVAM) [Internet]. c2021. Korea: Ministry of Environment (ME); [cited 2021 Oct 31]. Available from: <https://ecvam.neins.go.kr/main.do>
- Gibson L, Barrett B and Burbidge A. 2007. Dealing with uncertain absences in habitat modelling: a case study of a rare ground-dwelling parrot. *Diversity and Distributions* 13(6): 704-713.
- Goulding M, Venticinque E, Ribeiro MLB, Barthen RB, Leites RG, Forsberg B, Petry P, Silva-Junior UL, Ferraz PS, Canas C. 2018. Ecosystem-based management of Amazon fisheries and wetlands. *Fish and Fisheries* 20(1): 138-158.
- Guerry AD, Ruckelshaus MH, Arkema KK, Bernhardt JR, Guannel G, Kim CK, Marsik M, Papenfus M, Toft JE, Verutes

- G, Wood SA, Beck M, Chan F, Chan KMA, Gelfenbaum G, Gold BD, Halpern BS, Labiosa WB, Lester SE, Levin PS, McField M, Pinsky ML, Plummer M, Polasky S, Ruggiero P, Sutherland DA, Tallis H, Day A, Spencer J. 2012. Modeling benefits from nature: Using ecosystem services to inform coastal and marine spatial planning. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management* 8: 107-121.
- Harvey BJ, Nash KL, Blanchard JL, Edwards DP. 2018. Ecosystem-based management of coral reefs under climate change. *Ecology and Evolution* 8(12): 6354-6368.
- Hyun BK, Jung SJ, Sonn YK, Park CW, Zhang YS, Song KC, Kim LH, Choi EY, Hong SY, Kwon SI and Jang BC. 2010. Korean Journal of Soil Science and Fertilizer 43(5): 696-704. [Korean Literature]
- Kim NY. 2018. Assessment of habitat potential at the isolated green patches in Seoul. M.A. Degree. thesis. Seoul National University, Seoul. [Korean Literature]
- Kim TY, Song CH, Lee WK, Kim MI, Lim CH, Jeon SW, Kim JS. 2015. Habitat quality valuation using InVEST model in Jeju island. *J. Korean Env. Res. Tech.* 18(5): 1-11. [Korean Literature]
- Korea National Park Research Institute (KNPRI). 2019. 2019 National park ecological service value evaluation study - Focusing of Seoraksan mountain · Deogyusan mountain · Mudeungsan mountain · Byeonsan peninsula national park -. Korea National Park Publishing; pp. 293-311. [Korean Literature]
- Korea Ocean Data Market Center (KOMC) [Internet]. 2021. Korea: Korea Hydrographic and Oceanographic Agency; [cited 2021 Oct 31]. Available from: <http://www.khoa.go.kr/komc/>
- Lee HW, Kim CK, Hong HJ, Roh YH, Kang SI, Kim JH, Shin SC, Lee SJ, Kim TY, Kang JY, Spencer W, David F. 2015. Development of decision supporting framework to enhance natural capital sustainability: Focusing on ecosystem service analysis. Korea Environment Institute Publishing; pp. 93-104. [Korean Literature]
- National Spatial Data Infrastructure Portal (NSDI) [Internet]. 2021. Korea: Ministry of Land, Infrastructure and Transport; [cited 2021 oct 31]. Available from: <http://www.nsdigo.kr/lxportal/?menuno=2679>
- Sallustio L, Toni AD, Strollo A, Febbraro MD, Gissi E, Casella L, Geneletti D, Munafo M, Vizzarri M, Marchetti M. 2017. Assessing habitat quality in relation to the spatial distribution of protected areas in Italy. *Journal of Environmental Management* 201: 129-137.
- Seo SB. 2017. Analysis of habitat quality in the Nam-Han River Upstream Watershed using InVEST model. M.A. Degree. thesis. Ewha Womans University, Seoul. [Korean Literature]
- Sharp R, Douglass J, Wolny S. 2020. InVEST User's Guide - Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs Version 3.9.0. Natural Capital Project.
- Studwell A, Hines E, Nur N, Jahncke J. 2021. Using habitat risk assessment to assess disturbance from maritime activities to inform seabird conservation in a coastal marine ecosystem. *Ocean and Coastal Management* 199: 105431.
- What is Ecosystem-Based Management [Internet]. 2021. USA: NOAA; [cited 2021 Dec 16].

Available from: <https://ecosystems.noaa.gov/EBM101/WhatisEcosystem-BasedManagement.aspx>

Xu L, Chen SS, Xu Y, Li G, Su W. 2019. Impacts of land-use change on habitat quality during 1985-2015 in the Taihu lake basin. *Sustainability* 11(13): 3513.

Zhai T, Wang J, Fang Y, Qin Y, Huang L, Chen Y. 2020. Assessing ecological risks caused by human activities in rapid urbanization coastal

areas: Towards an integrated approach to determining key areas of terrestrial-oceanic ecosystems preservation and restoration. *Science of the Total Environment* 708: 135-153.

Zhang Y, Jin R, Zhu W, Zhang D, Zhang X. 2020. Impacts of land use changes on wetland ecosystem services in the Tumen river basin. *Sustainability* 12(23): 9821.