creative commons

COMMONS DEED

저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조경학석사 학위논문

도시습지 내 외래 거북류의 선호 서식지 분석

Analysis of Preferred-Habitats of Two Exotic Tortoises, *Trachemys scripta* and *Pseudemys concinna*, in an Urban Wetland

2023년 2월

서울대학교 환경대학원

환경조경학과

김 용 환

도시습지 내 외래 거북류의 선호 서식지 분석

지도교수 송 영 근

이 논문을 조경학석사 학위논문으로 제출함
2022년 10월

서울대학교 환경대학원
환경조경학과
김 용 환

김용환의 석사 학위논문을 인준함
2022년 12월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

도시습지 내 외래 거북류의 선호 서식지 분석

서울대학교 환경대학원 환경조경학과
김 용 환

위 논문은 서울대학교 및 환경대학원 환경조경학과 학위논문 관련 규정에 의거하여 심사위원의 지도과정을 충실히 이수하였음을 확인합니다.

2023년 2월

위 원 장 _____ (서울대학교 환경대학원 교수)

부위원장 _____ (국민대학교 산림환경시스템학과 교수)

위 원 _____ (서울대학교 환경대학원 교수)

초 록

도시습지 내 외래 거북류의 선호 서식지 분석

김용환
환경조경학과 환경조경학전공

생태계 교란생물과 외래생물의 위협으로 생물종다양성이 감소되고 있다. 멸종 위기에 처한 생물종 중 14%(594종 중 84종)가 침입 외래종으로 인해 위협을 받고 있다(MA Duenas et al, 2021). 그리고 IUCN(International Union for Conservation of Nature) Red List(IUCN; 국제자연보호연합) 관련 생물 중 1,352종(전체의 27%)이 침입 외래종으로 인해 위협을 받는 것으로 확인됐다(Bellard et al, 2016). 이처럼 외래생물은 생물종다양성에 영향을 주는 주요 요인 중 하나이다. 국내에서는 생태계교란을 야기하는 종으로 붉은귀거북류(*Trachemys scripta elegans*)과 리버쿠터(*Pseudemys concinna*)가 서식하고 있으며, 이러한 외래생물종의 생태적 특성을 이해하기 위한 연구는 미비한 실정이다.

본 연구는 경기도 안산시 상록수 갈대습지로 76에 위치한 안산갈대습지 공원의 상부 지역을 대상지로 진행하였다. 연구 대상종은 생태계교란종과 외래생물종에 해당되는 거북류인 붉은귀거북과 리버쿠터를 대상으로 하였다. 위치자료를 통한 행동권 분석을 하였으며, 드론으로 취득되는 고해상도 기반의 환경공간 변수를 위치자료와 연계하여 모델링 분석을 하였다.

위치센서로 취득된 데이터는 총 1,050개이었으며, 드론으로 취득된 데이터 중 2021년 10월과 2022년 4월의 자료를 활용하였다. 위치데이터는 행동권 분석을 위해 MCP 분석에 활용하였다. 위치데이터와 환경공간 변수간 관계를 파악하기 위한 모델로 MaxENT를 활용하였다. 드론으로 취득된 정보를 기반으로 토지피복도 세분류(2021)보다 상세하게 비오톱 자료로 재구축하였다. 환경 공간변수는 개방수면, 개방수면 내 섬, 정수식물대, 부엽식물대, 도로, 데크, DSM, NDVI와 같이 9개에서 10개의 공간적인 환경변수로 적용할 수 있었다.

가을철, 봄철 거북류의 MCP 분석을 하였으며, 봄철인 4월에 붉은귀거북류가 가장 높은 MCP 면적을 가졌다. 가을철인 10월에 리버쿠터가 가장 낮은 MCP 면적을 나타냈다. 가을철, 봄철 거북류의 MaxEnt 모델 결과는 모두 0.9이상의 AUC 값을 가지며, 표준오차는 0.05 이내의 값을 가졌다. 개방수면 내 섬과 정수식물대, 부엽·부유식물대, 개방수면과 같은 변수들이 외래거북류 출현에 유의미한 변수로 도출되었다. 봄철의 결과를 기반으로 이항 지도를 도출하여 거북류 선호서식지 지역을 확인하였다. 거북류 출현이 예측되는 지역에 포획 트랩을 설치하였으며 외래거북류를 포획하여 모델에 대해 검증하였다.

본 연구는 큰 규모로 진행되어왔던 기존 연구의 한계를 극복하고 작은 규모에서의 시계열적인 서식지 공간 유형 변화와 동물 출현 관계를 파악하는데 차별성을 갖는다. 또한, 이러한 방법을 통한 선호 서식지를 이해한다면 생태계 관리 방안에 기초적인 자료 구축과 생태적인 이해 방향으로 활용될 수 있을 것이다.

.....

주요어 : 생물다양성, 외래생물, 비오톱, 종 분포 모델링, 위치센서, 드론
학 번 : 2020-23623

목 차

제1장: 서론

1절: 연구의 배경 및 목적 ····· 1
1. 연구의 배경 ····· 1
2. 연구의 목적 및 의의 ····· 2
2절: 연구의 범위 ····· 3
1. 공간적 범위 ····· 3
2. 내용적 및 시간적 범위 ····· 3

제2장: 이론적 배경

1절: 생물다양성 및 외래생물 거북류 관련 현황 ····· 6
1. 생물다양성과 외래생물 관련 정책·계획·제도 ····· 6
2. 생태계교란 생물 및 외래생물 ····· 12
3. 기존 선행 연구 파악 및 분석 ····· 12

제3장: 방법론

1절: 외래생물 거북류 대상의 정보 수집 ····· 15
1. 데이터 수집 대상종 ····· 15
2. 개체 포획 및 위치센서 부착 과정 ····· 16
3. 외래생물 거북류에 활용된 위치센서 종류 ····· 17
4. 위치센서 데이터 수집 및 데이터 정제 ····· 18
5. 동물실험계획서 ····· 19
2절: 거북류 주요 출현 서식지 환경자료 구축 ····· 20
1. 드론을 활용한 데이터 수집 ····· 20
2. 드론 촬영 자료를 활용한 환경변수 구축 ····· 21
3. 가을철(9~10월), 봄철(4~5월)의 비오톱 유형 구분 및 환경변수 구축 결과 ····· 24
3절: MCP와 종 분포 모델링 ····· 29

제4장: 결과

1절: 계절별 외래거북류 MCP 결과 ····· 31
1. 가을철(9~10월) 외래 거북류 MCP 분석 결과 ····· 31
2. 봄철(4~5월) 외래 거북류 MCP 분석 결과 ····· 33
2절: 종 분포 모델을 통한 선호서식지 분석 결과 ····· 36
1. 가을철(9~10월), 봄철(4~5월) 붉은귀거북류의 종 분포 모델 결과 ····· 36
2. 가을철(9~10월), 봄철(4~5월) 리버쿠터의 종 분포 모델 결과 ····· 44

3절: 선호서식지 도출을 통한 외래거북류 생태 관리 계획 ·····52
1. 외래 거북류의 이진법 지도(binary maps) 중첩을 통한 주요 출현 지역 도출 ·····52
2. 외래 거북류 포획을 통한 주요 선호서식지 검증 결과 ·····55

제5장: 고찰 및 결론

1절: 시계열적 외래거북류 위치 특성 및 환경공간 변수 간 관계 고찰 ·····56
2절: 외래 거북류 선호 서식지 도출을 통한 생태 관리 계획 고찰 ·····58
3절: 연구의 한계 및 향후 연구 ·····60
4절: 결론 ·····61

참고문헌

부록

표 차 례

[표 4] 생물다양성협약 아이치 타겟 내용 중 외래생물 관련 목표 ····· 7
[표 5] 제2차 외래생물 관리계획(2019~2023)의 추진 전략과 정책과제 ····· 9
[표 6] 환경부 지정 생태계교란 생물 리스트(2022년 기준) ····· 10
[표 7] 붉은귀거북류 및 리버쿠터 관련 부착 센서 및 크기 정보 ····· 16
[표 8] 위치센서 기기별 성능 및 규격 ····· 18
[표 9] 동물실험계획서 중 작성 항목 예시 ····· 19
[표 10] 가을철, 봄철 기간에 드론으로 구축된 안산갈대습지의 래스터 파일 자료 ····· 26
[표 11] MaxEnt 모델에 들어간 샘플 수 및 Test, Training 데이터 퍼센트 비율 ····· 30
[표 12] 가을철의 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값 ····· 42
[표 13] 봄철의 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값 ····· 43
[표 14] 가을철의 리버쿠터 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값 ····· 50
[표 15] 봄철의 리버쿠터 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값 ····· 51

그 림 차 례

[그림 1] 경기도 안산시 안산갈대습지 대상지 현황(드론 촬영자료) ····· 3
[그림 2] 붉은귀거북의 일반적 특징 및 생태적 특징 ····· 4
[그림 3] 리버쿠터의 일반적 특징 및 생태적 특징 ····· 5
[그림 4] 방출 전 위치센서를 부착한 외래거북류 사진 ····· 15
[그림 5] 위치센서 관련 거북류 부착과정 ····· 17
[그림 6] 위치센서 관련 제품 사진 (a) LEGO 3G; (b) NANO; (c) HUB ····· 18
[그림 7] 2021년 10월 18일 가을철 안산갈대습지 드론 촬영 자료 ····· 20
[그림 8] 2022년 4월 18일 봄철 안산갈대습지 드론 촬영 자료 ····· 21
[그림 9] 환경공간정보서비스에서 제공되는 안산갈대습지 관련 토지피복도 세분류[2021] 자료 ····· 22
[그림 10] 토지피복도 분류와 비오톱 유형 분류 과정 ····· 23
[그림 11] 2022년 8월 12일 안산갈대습지 식생조사 현장사진 ····· 24
[그림 12] 2021 토지피복도 및 2021년 10월 비오톱 유형 구축 결과 ····· 25
[그림 13] 다중공선성 검토를 위한 가을철 환경공간변수 별 상관분석 결과 ····· 27
[그림 14] 2022년 4월 비오톱 유형 구축 결과 ····· 28
[그림 15] 다중공선성 검토를 위한 봄철 환경공간 변수별 상관분석 결과 ····· 28
[그림 16] 2021년 가을철 붉은귀거북류 MCP 분석 ····· 31
[그림 17] 2021년 가을철 리버쿠터 MCP 분석 ····· 32
[그림 18] 2022년 봄철 붉은귀거북류 MCP 분석 ····· 33
[그림 19] 2022년 봄철 리버쿠터 MCP 분석 ····· 34
[그림 20] 2021년 9월에 대한 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과 ····· 37
[그림 21] 9월의 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값 ····· 38
[그림 22] 10월의 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값 ····· 39
[그림 23] 4월의 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값 ····· 40
[그림 24] 5월의 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값 ····· 41
[그림 25] 2021년 9월에 대한 리버쿠터 종 분포 모델 결과 ····· 45
[그림 26] 9월의 리버쿠터 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값 ····· 46
[그림 27] 10월의 리버쿠터 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값 ····· 47
[그림 28] 4월의 리버쿠터 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값 ····· 48
[그림 29] 5월의 리버쿠터 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값 ····· 49

[그림 30] 봄철(4월) 붉은귀거북류 종 분포 모델 관련 출현 임계값 결과 지도 ····· 52
[그림 31] 봄철(5월) 붉은귀거북류 종 분포 모델 관련 출현 임계값 결과 지도 ····· 53
[그림 32] 봄철(4월) 리버쿠터 종 분포 모델 관련 출현 임계값 결과 지도 ····· 53
[그림 33] 봄철(5월) 리버쿠터 종 분포 모델 관련 출현 임계값 결과 지도 ····· 54
[그림 34] 외래 거북류 포획을 위한 적지 분석(임계값 결과 중첩 지도) ····· 54
[그림 35] 포획틀 설치 및 성능 확인 현장 사진 ····· 55
[그림 36] 섬과 인접한 정수식물대 구역에서 퇴치 관리 진행 ····· 59
[그림 37] 수심이 낮은 습지 식물대 인근 중심으로 관리 ····· 59
[그림 38] 인간의 간섭이 어려운 정수식물대에서의 관리 ····· 60
[그림 39] 봄철 붉은귀거북류 종 분포 모델 관련 잭나이프 결과값 ····· 67
[그림 40] 봄철 리버쿠터 종 분포 모델 관련 잭나이프 결과값 ····· 68

제1장: 서론

1절: 연구의 배경 및 목적

1. 연구의 배경

생태계 교란생물과 외래생물의 위협으로 생물종다양성이 감소되고 있다. 멸종 위기에 처한 생물종 중 14%(594종 중 84종)가 침입 외래종으로 인해 위협을 받고 있다(MA Duenas et al, 2021). 그리고 IUCN(International Union for Conservation of Nature) Red List(IUCN; 국제자연보호연합) 관련 생물 중 1,352종(전체의 27%)이 침입 외래종으로 인해 위협을 받는 것으로 확인됐다(Bellard et al, 2016). 이처럼 외래생물은 생물종다양성에 영향을 주는 주요 요인 중 하나이다.

최근 생물다양성협약은 2030년까지 자연을 관리하기 위한 새로운 글로벌 프레임워크를 제시하였다. 그 과정에서 2020년까지 제시한 아이치목표 중 목표치까지 달성한 부분은 없었으며, 침입외래종 관리와 같은 6개의 목표에서만 부분적으로 이루어진 것으로 평가하였다. 프레임워크는 2050년까지 “자연과 조화로운 삶”이라는 비전을 제시하며, 외래 침입종에 대하여 도입과 정착률을 50%까지 감소시켜야 한다고 주장하였다. 그리고 기존 서식하는 침입 외래종에 대해 우선순위를 설정하여 통제 또는 제거하여 그 영향을 줄여나갈 예정이다. 하지만 침입 외래종의 영향은 전세계적으로 그 위협이 증가하고 있으며(Sebens et al, 2018), 침입종에 대한 연구 및 관리는 지속적으로 요구되고 있다.

외래 침입종의 확산은 토착종의 생물다양성에 대한 주요 위협 요인 중 하나이다(Diamond, 1985; Bellard et al, 2016; MA Duenas et al, 2021). Franz Essl et al, 2020은 36명의 전문가 설문을 통해 침입종이 20~30%가 증가하면 생물다양성의 사회생태학적 맥락에 큰 영향을 미친다고 하였다. Pyšek et al, 2008은 외래종 관련 연구 문헌들을 조사하였는데, 대부분 식물 분류군 중심으로 연구가 진행되고 있었다. 양서·파충류에 대한 연구는 전체 연구들 중 2%로 그 비중이 적어 관련 연구가 필요한 실정이다. 그리고 침입 외래종의 모니터링을 위해 전통적인 조사방식에서 시민과학, 환경 DNA, 원격탐사(Remote sensing)과 같은 모니터링 기술을 도입한 조사방법이 제시되고 있다(Larson et al, 2020). 특히, 양서·파충류는 원격탐사, 위치센서, 드론을 활용한 분석 연구들이 미진한 실정이다.

국내에서 양서·파충류에 속하고 생태계교란을 야기하는 생물종으로는 붉은귀거북류(*Trachemys spp*)와 리버쿠터(*Pseudemys concinna*)가 있다. 경상남도 진주시, 경상북도 경산시, 경기도 안산시, 경기도 과천시, 제주시, 강원도와 같이 우리나라 전 지역에서 이미 붉은귀거북류가 서식하고 있다(서재영 외, 2021; 구교성 외, 2020; 구교성 외, 2019; 정지화 외, 2019; 구교성 외 2017; 오홍식 외, 2017; 조신일 외, 2017; 정지화, 2014; 오홍식 외,

2007). 하지만 국내에서는 생태계 교란종에 대해 서식 유·무에 대한 전통적인 조사 연구와 제거 방안 위주로 진행되어왔고, 원격탐사와 같은 기법을 활용하여 종의 생태적인 특성을 파악하는 시도는 미비하였다. 원격탐사를 활용한 종의 생태적 이해는 생태계교란종이 선호하는 서식지, 월별 출현 지점, 시기별 이동 변화를 분석할 수 있으며, 이러한 내용 기반으로 선제적인 관리 또는 제거에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 연구의 목적 및 의의

연구의 목적은 위치추적 정보와 고해상도 공간 정보를 통해 생태계교란종에 해당하는 거북류에 대한 선호 서식지를 분석하는 것이다. GNSS(Global Navigation Satellite System)로 얻어지는 위치 데이터와 드론(RPAV)으로 취득되는 m급의 고해상도 환경변수를 활용하였다.

연구의 세부 목표는 다음과 같다. 1) 가을철과 봄철에 따라 두 거북류의 행동권을 파악한다. 2) 계절성에 따라 달라지는 환경공간 요소을 반영하여 거북류의 선호서식지를 설명하는 변수를 분석한다. 3) 두 종의 거북류가 출현할 선호서식지 범위를 비교하고, 주요 출현 지점을 도출하여 생태계교란종 및 외래생물종에 대한 관리 방안을 제시한다.

대규모보다 작은 서식지 규모에서 외래거북류에 위치센서를 활용한 연구는 외래생물종의 출현 및 서식 특성을 파악하는 과정에 의의가 있다. 그리고 이러한 생태계교란종과 외래생물종에 대한 전반적인 이해는 도시생태계에서 사람과 동물 간 영향과 생태계 보전 또는 생태계 관리의 척도로 활용될 수 있을 것이며, 습지의 공간적인 부분과 생태계적인 부분을 고려하여 보완해 나갈 수 있을 것이다.

2절: 연구의 범위

1. 공간적 범위

경기도 안산시 상록수 갈대습지로 76에 위치한 안산갈대습지 공원의 면적은 1.037,500㎡이다. 시화호 상류 일대에 해당하는 곳으로 반월천, 동화천, 삼화천의 비점오염원에 대한 유입방지와 동식물의 보전을 위해 한국수자원공사에서 조성한 국내 인공습지이다. 안산갈대습지는 2022년 동식물 조사 결과(안산녹색환경지원센터, 2020), 식물상에서 380분류군, 포유류 7종, 조류 121종, 양서파충류 13종이 확인되었으며, 법정보호종은 조류 15종, 포유류 2종, 양서류 2종이 확인되었다.

본 대상지를 중심으로 제시된 계획과 연구는 다음과 같다. 안산녹생환경지원센터(2013)는 안산갈대습지 내 생태계교란생물에 대한 관리 방안을 제시하였고, 침입성이 높은 생태교란종 식물인 단풍잎돼지풀, 돼지풀, 가시상추. 가시박 4종에 대한 모니터링 및 관리 방안을 제시하였다. 대상지 내 생태계교란 생물종인 붉은귀거북류에 대한 서식하는 것으로 문헌조사 및 현장조사 확인이 되었으며, 정지화(2019)는 안산갈대습지 내 붉은귀거북에 대한 활동 요인과 시기에 따른 활동 차이를 연구하였다.

본 연구에서는 거북류의 출현 데이터가 존재하는 서식지 범위와 개방수면의 연계성을 고려하여 안산갈대습지의 개방구역 중 상부 북측에 해당하는 개방 수면과 습지지역 일대를 대상으로 연구를 진행하였다.

[그림 1] 경기도 안산시 안산갈대습지 대상지 현황(드론 촬영자료)

2. 내용적 및 시간적 범위

(1) 내용적 범위

연구 대상종은 외래생물종 중 거북류로 붉은귀거북(*Trachemys spp.*)과 국내 서식이 확인된 리버쿠터(*Pseudemys concinna*) 2종을 대상으로 하였다. 하지만 생태계교란종 관련 동물을 대상종으로 진행하는 연구는 국내 동물 윤리, 규제 등으로 인하여 연구 사례들이 부족한 실정이다. 그리고 생태계교란종이나 외래생물종 거북류는 바다, 강(호소), 큰 유역의

하천과 같은 광역적인 스케일(km~m급)에서의 영향 관계를 파악하는 연구가 주로 진행되어 왔고 공원, 작은 습지와 같은 작은 서식지의 규모로 연구한 사례는 많지 않다. 이외, 국내 붉은귀거북류에 대한 연구는 지속적으로 많이 진행되어 왔으나 리버쿠터의 서식 특성을 파악한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 국내에서 지정되어 관리 중인 해당 외래생물종을 대상으로 비교 분석하고자 한다.

붉은귀거북은 *Trachemys spp.*(*Trachemys scripta elegans*)으로 거북목 늪거북과에 속하는 파충류이다. 형태적 특성은 초록색에 노란색 줄무늬가 있으며, 눈의 바로 뒤쪽에는 붉은 무늬가 있다. 등딱지의 길이는 수컷이 약 15.6cm, 암컷이 약 20~40cm 이상이 되는 큰 개체들도 있다. 암수 구별은 발톱과 꼬리의 길이로 알 수 있는데, 수컷은 암컷의 발톱에 비해 길게 자라나고 꼬리의 경우는 수컷이 굵고 길지만 암컷은 꼬리가 짧은 특징이 있다. 생태적 특성은 연못, 호수, 늪, 시내 등 물가 주변에서 거주하고 암석이나 나무에 올라가 일광욕하며 우리나라 전역에 서식한다. 이외, 환경부로부터 2001년 12월 '생태계 위해 외래동식물'로 지정되어 수입이 금지되었다.

		붉은귀거북	
일반적 특징	명명(학명, 종명)	Pond slider(*Trachemys spp*)	
	위해종 지정	외래생물, 생태계교란 생물	
	분포지역	전국	
	유입 특성	애완용으로 도입, 야생 방출	
	형태적 특징	눈의 바로 뒤쪽에 붉은색 무늬, 등딱지는 진초록색으로 노란색의 줄무늬	
	위협요인, 국내 유입 사례 및 피해 사례	고유의 붕어, 미꾸라지 등의 어류와 수서곤충 및 양서류 등을 잡아먹어 호소와 하천 생태계 먹이사슬 교란, 다른 토착 거북류들과 경쟁하며 기생충 전파	
생태적 특징	대상 종의 생활사	3월 ~ 7월 사이에 교미활동, 20 ~ 30년 정도의 수명, 잡식	
	선호하는 서식 환경	습지, 댐, 호소	
	취약한 환경	자료 없음	
	천적, 경쟁종	남생이와 경쟁관계에 있음	
조사 / 방제 방법		정치망, 주낙, 족대	

[그림 2] 붉은귀거북의 일반적 특징 및 생태적 특징

리버쿠터는 *Pseudemys concinna*(*Pseudemys concinna*)으로 거북목 늪거북과에 속하는 파충류이다. 형태적 특성은 갈색, 녹갈색에 황토색과 크림색의 무늬가 있다. 등딱지 길이는 수컷이 약 32cm, 암컷이 약 40cm까지 확인된다. 암수 구별은 발톱과 꼬리의 길이로 확인할 수 있다. 수컷은 암컷의 발톱에 비해서 길게 자라며, 수컷의 꼬리가 굵고 길으며 암컷은

짧다. 생태적 특성은 강이나 늪 등의 물가 주변에서 거주하며, 암석이나 나무에 올라가 일광욕을 한다.

리버쿠터			
일반적 특징	명명(학명, 종명)	River cooter (*Pseudemys concinna*)	
	위해종 지정	외래생물, 생태계교란 생물	
	분포지역	전국	
	유입 특성	애완용으로 도입, 야생 방출	
	형태적 특징	갈색 또는 녹갈색에 황토색에서 크림색의 무늬	
	위협요인,국내유입사례및피해사례	자료없음	
생태적 특징	대상 종의 생활사	이른 봄 사이에 교미활동, 20 ~ 30년 정도의 수명, 잡식	
	선호하는 서식 환경	습지, 댐, 호소	
	취약한 환경	자료 없음	
	천적, 경쟁종	자료없음	
조사 / 방제 방법		정치망, 주낙, 족대	

[그림 3] 리버쿠터의 일반적 특징 및 생태적 특징

본 연구는 외래거북류를 대상으로 위치데이터(GNSS)를 확보하고, 대상지 내 대상종이 출현하는 위치 자료를 구축한다. 그리고 드론을 통해 시계열 기준으로 환경 공간변수를 구축하고 위치 데이터 간 출현 관계를 분석한다. 이를 통하여 생태계교란생물과 외래생물에 해당하는 거북류에 대한 기초적인 생태적 특성을 이해할 수 있다. 또한, 종 분포 모델을 통해 얻어지는 결과를 기반으로 생물종 출현 지역 중심의 관리 방안을 제시한다.

드론을 활용한 환경정보 구축은 연구자가 원하는 시점과 시기마다 촬영이 가능하다는 장점이 있다. 따라서 큰 규모의 접근으로 진행되어왔던 기존 접근에서 작은 스케일 또는 미소서식처 규모에서의 생물종 출현 양상을 볼 수 있다. 이는 작은 공간 규모에서의 생물종과 공간 간 연구의 새로운 방향을 제시할 수 있다.

(2) 시간적 범위

시간적 범위는 2021년 9월부터 10월에 해당되는 가을철 시기와 2022년 4월부터 5월에 해당하는 봄철 시기를 시간적 범위로 설정하였다. 드론 자료의 경우, 2021년 10월과 2022년 4월에 한 번씩 촬영을 하여 자료 구축을 하였다. 겨울철의 경우, 거북류의 동면으로 인해 위치자료 수집에 한계가 있어 제외하였다.

제2장: 이론적 배경

1절: 생물다양성 및 외래생물 거북류 관련 현황

1. 생물다양성과 외래생물 관련 정책·계획·제도

(1) 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity, CBD)

생물다양성은 국제 자연 보전 연맹 (IUCN)과 같은 환경 단체를 중심으로 1987년부터 유엔 환경 계획 (UNEP)을 통해 준비되었다. 이후 다양한 회의를 통하여 합의 채택이 되었으며, 1992년 6월에 브라질의 리우데자네이루에서 개최한 UN 리우 회의를 통해 168개의 국가 및 기관에 서명을 받아 1993년 12월 29일에 발표되었다. 우리나라는 1994년 10월 3일에 164번째 회원국으로 가입을 하였으며 생물다양성 협약 실천을 위한 다양한 노력을 하고 있다.

협약의 주요 내용은 협약의 목적과 필요성, 생물다양성 보전과 지속적 이용 및 환경안전 관리, 생물다양성보전 기술의 접근, 기술이전, 생명공학기술의 취급과 이익의 배분, 재정지원 및 기구 등, 국제규약의 일반적 관례, 사무국의 설치, 과학기술자문보조기구(SBSTTA)의 설치, 의정서이다.

생물다양성협약 제2조에서 생물다양성은 '육상·해상 및 수중태계와 이 부분을 이루는 복합생태계 등 모든 분야의 생물체 간 변이성을 말하며 종 내의 다양성, 종 간의 다양성, 생태계의 다양성을 포함' 한다고 정의하고 있다. 이에 따라 종 다양성(Species diversity)은 식물, 동물, 미생물의 다양한 생물종을 의미하며, 한 지역의 종 다양성 정도, 분류학적 다양성을 의미한다. 생태계 다양성(Ecosystem diversity)은 사막, 삼림, 습지, 산, 호수, 강, 농경지 등 생태계의 다양성을 의미하며 생태계에 속하는 모든 생물과 무생물의 상호작용에 관한 다양성을 의미한다. 유전자 다양성(Genetic diversity)은 종 내 유전자 변이를 의미하는 것으로 같은 종 내의 여러 집단을 의미하거나 한 집단 내 개체들 간 유전적 변이를 의미한다.

이에 맞춰 2010년에 일본 나고야에서 개최된 제 10차 당사국총회에서 '생물다양성 전략계획 2011-2020년(Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020)' 을 채택하였으며, 10년간의 생물다양성 이행을 위한 국제적, 국가적인 지침을 제시하였다. 2020년까지 생태계에 대한 회복과 지속적인 생태계서비스와 생물다양성 손실을 멈추기 위해 5개 전략 목표와 20개의 아이치 타겟(목표)를 설정하였다. 목표 A는 '생물다양성을 정부와 사회 전반이 주류화하고 생물다양성 손실 원인에 대한 대처' 이다. 목표 B는 '생물다양성에 대한 직접적인 압력을 줄이고 지속가능한 이용을 증진' 이다. 목표 C는 '생태계와 생물종, 유전자 다양성을 보호하여 생물다양성 상태의 개선' 이다. 목표 D는 '생물다양성과 생태계서비스가 모두에게 주는 혜택을 증진' 이다. 목표 E는 '참여형 계획 입안, 지식 관리, 역량강화를 통해 협약 이행 강화' 이다. 목표 B의 세부목표 9의 경우, '2020년까지 침입 외래종에 대한 유입경로를 파악하고, 우선순위를 정해 순위가 높은 종에 대한 관리나 제거를 하며, 외래종의

유입과 정착을 막는 조치를 시행한다.’를 제시하고 있다. 이처럼 생물다양성협약은 침입 외래종에 대한 관리 및 제거를 목표로 하고 이행할 것을 제안하고 있다.

[표 4] 생물다양성협약 아이치 타겟 내용 중 외래생물 관련 목표

전략목표 B	생물다양성에 대한 직접적인 압력을 줄이고 지속가능한 이용을 증진
세부목표 5	산림을 포함한 모든 자연 서식지에 대해 손실 속도를 반으로 줄이고, 실현 가능한 지역은 0% 수준까지 낮추어 서식지 훼손과 파편화를 현격히 감소
세부목표 6	모든 어류와 무척추동물, 수생식물에 대해 지속가능하고 합법적인 방식으로 관리 및 채취하며, 생태계 기반의 접근을 적용하여 남획을 방지하고, 그 수가 격감된 생물종의 복원 계획과 조치를 시행함 멸종위기종과 위기 생태계에 어업이 큰 악영향을 주지 않도록 하며, 생물종과 생태계에 영향을 미치는 업을 안전한 생태적 범위 내로 유지
세부목표 7	농업, 양식업, 임업 지역의 생물다양성 보존을 보장하며 지속가능하게 관리
세부목표 8	과잉영양분을 포함한 환경 오염이 환경과 생물다양성에 치명적이지 않은 수준으로 낮춤
세부목표 9	침입외래종과 이들의 유입경로를 파악하고, 우선순위를 정해 순위가 높은 종을 통제하거나 제거하며, 외래종의 유입과 정착을 막을 수 있는 조치를 시행
세부목표 10	산호초에 대해 인위적인 통제를 하고, 기후변화, 해양 산성화에 취약한 생태계를 줄여서 생태계의 온전성과 기능을 유지

한편, 생물다양성협약은 2020년 이행에 끝나는 시점에 맞춰 Post Convention on Biological Diversity를 제시하였다. ‘생물다양성 협약’을 기반으로 구축하고 생물다양성과 사회 관계 변화를 위해 2050년까지 자연과 조화롭게 사는 비전이 달성되도록 계획하였다. 이외, 새롭게 제시되는 생물다양성 협약은 다자간 협정(시민, 지역 사회, 시민 사회, 기업) 등을 통해 목표를 달성하도록 제시하였다.

협약 내용은 다음과 같다. 생물다양성 전략 시행과 생물다양성 주류화를 위한 수단과 해결책을 제공하고, 생물다양성에 대한 위협을 줄여나간다. 지속가능한 이용 여건 조성과 재원, 역략, 기술 등 충분한 시행 수단을 제공하고, 인간의 필요를 충족시키며, 생태계와 종, 유전자 다양성, 공정한 이익공유, 인류의 필요 충족, 시행도구로써 2030년 중간 목표를 달성하여 2050년 비전 실현을 향한 방향을 마련하였다.

Post Convention on Biological Diversity의 초안에서는 2030년까지 21개의 목표로 구성이 되어 있다. 특히, 침입 외래종은 목표 6에서 내용을 다룬다. 목표 내용은 다음과 같다. 외래종을 국가적으로 확인된 종에 대해 침입에 대한 높은 잠재력을 가진 종을 우선순위로 지정하고 관리한다. 그리고 외래종의 유입 및 정착률을 최소 50%까지 방지하거나

감소시키고 잠재적인 침입 외래종에 대한 통제 또는 근절을 통하여 영향에 대해 제거와 저감을 위해 노력한다. 또한, 침입 외래종에 대한 혁신적이거나 새로운 방법에 대한 지원을 최소 75%까지 증가시킨다.

(2) 제2차 외래생물 관리계획(2019~2023)

제2차 외래생물 관리계획(2019~2023)은 생물다양성협약(CBD10)에서 제시하는 생물다양성 보전을 위한 20가지 목표 중 침입 외래종 관리를 이행하기 위해 시행하는 국내 관리 계획이다. 해당 계획 수립과정에서 기존 선행된 문헌을 통하여 침입종에 대한 관리의 필요성을 제시하였다. 예를 들어 전 세계 기준의 농업 분야에서 외래생물에 대한 위협은 124개국 중 우리나라가 35위를 하고 있어 침입종에 대한 관리가 요구된다(D.Paini et al, 2016). 우리나라는 수입과 수출에 대한 의존도가 높아 다른 나라에 비해 외래생물에 대한 침입에 취약하고 그에 따른 피해 비용이 높은 고위험군의 나라로 분류가 되고 있다. 이러한 외래생물 관리계획은 외래생물의 위협으로부터 우리나라 생태계와 생물자원을 지키기 위한 5년 단위(2019~2023) 국가 전략으로 '생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률'에 근거하여 수립된 국내 관리 계획이다.

국내에 외래생물은 지속적으로 종이 증가하고 있다. 그리고 외래생물이 다양한 경로로 국내에 유입되고 있으며 그 수가 높아짐에 따라 생태계 위해 우려도 커지고 있다. 2009년에는 894종에서 2011년에는 1,109종으로 늘어났으며, 2018년도에는 2,160종으로 연평균 20% 이상 증가하는 추세이다.

제1차 외래생물 관리계획 이후, 기존 유입 후 제거 위주의 관리체계에서 이 방식을 보완하여 유입 전 사전 관리를 대폭 강화하는 방향으로 외래생물에 대한 여러 대책을 담았다. '위해 외래생물 차단 및 제거 체계 마련'을 위하여 5대 추진 전략과 주요 13개의 정책 과제를 제시하였다. 5대 추진 전략의 내용은 미유입 위해 의심종의 사전관리 강화, 국내에 이미 유입된 외래생물의 위험 관리 강화, 외래생물 확산 방지체계 구축, 외래생물 관리 기반 확충, 대외협력 및 홍보 강화를 계획하였다.

이에 따라 본 연구는 지속적으로 제시되는 국내 외래생물 계획에 맞춰 '외래생물 확산 방지체계 구축'에서 제시되는 대상종별 확산 방지체계 구축과 외래생물 관리기반 확충 측면에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

[표 5] 제2차 외래생물 관리계획(2019~2023)의 추진 전략과 정책과제

5대 추진 전략	주요 13개의 정책과제
미유입 위해 의심종의 사전관리 강화	1. 유입주의 생물 지정 및 관리기반 마련 2. 국경지역 외래생물 관리 사각지대 해소 3. 외래생물 판별 역량 강화
국내 유입 외래생물 위험 관리 강화	1. 외래생물 모니터링 체계 개선 2. 외래생물 위해성 평가체계 개선
외래생물 확산 방지체계 구축	1. 생태계교란 생물 지정·관리체계 개선 2. 대상종별 확산 방지체계 구축 3. 관계기관 합동 외래생물 대응체계 구축
외래생물 관리기반 확충	1. 외래생물 관리 전담 인프라 확대 2. 외래생물 관리 연구개발 추진 3. 외래생물 DB 통합 활용기반 마련
대외협력 및 국내홍보 강화	1. 국제교류 및 공동 대응체계 구축 2. 대국민 홍보·교육 강화

(3) 생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률

「생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률」은 약칭으로 '생물다양성법'이다. 해당 법률은 '생물다양성의 종합적·체계적인 보전과 생물자원의 지속가능한 이용을 도모하고 「생물다양성협약」의 이행에 관한 사항을 정함으로써 국민 생활을 향상 시키며 국제협력을 증진함'을 목적으로 한다. 동 법에서 "외래생물"이란 외국으로부터 인위적 또는 자연적으로 유입되어 본래의 원산지 또는 서식지를 벗어나서 존재하게 된 생물을 말한다. 해당 법에서는 "생태계 교란생물"과 "생태계위해우려 생물"의 용어 정의를 다루며, "생태계 서비스"에 대한 내용 또한 다룬다.

그 중 외래생물에 대해서는 '제5장 유입주의 생물 등 관리'와 '제6장 연구 및 기술개발 등'에서 내용을 다룬다. '유입주의 생물 등 관리'에서는 위해성평가를 통하여 생태계교란 생물과 생태계위해우려 생물을 지정 및 고시한다. 환경부장관은 서식환경의 변화, 생태계 적응, 효과적인 방제수단의 개발로 인해 '생태계교란 생물' 또는 '생태계위해우려 생물'이 생태계에 미치는 위해가 감소되었다고 인정될 때, 관계 기관장과의 협의를 거쳐 해체하거나 변경하여 고시한다. 생태계교란 생물과 생태계위해우려 생물은 수입, 반입, 사육, 재배, 양도, 양수, 보관, 운반 또는 유통을 하면 안되지만 환경부장관의 허가를 받거나 동법 제11조제1항에 따른 승인을 받은 경우에는 행위를 할 수 있다. 승인받는 행위에는 학술연구 목적인 경우도 해당 행위가 가능하다.

'연구 및 기술개발 등'은 국가와 지방자치단체가 생물다양성 보전 및 생물자원의 지속가능한 이용을 위하여 관련 연구를 추진하도록 내용을 담고 있다. 생물다양성에 영향을

미치는 요인, 생물다양성 및 생태계서비스의 가치에 대한 평가, 생물다양성 보전을 위한 전략 및 기술의 평가, 그 밖에 생물다양성의 보전 및 생물자원의 지속가능한 이용 방안이 관련 연구에 해당된다. 또한, 지속가능한 이용을 촉진하기 위하여 관련 시책을 수립하고 추진해야한다. 외국 · 국제기구 등과의 기술협력 · 정보교환 · 공동연구 또는 공동조사 등의 추진 및 지원, 생물다양성 및 생물자원과 관련된 연구 또는 조사를 수행하는 기관 또는 단체 등의 육성 · 지원, 학계 · 연구기관과의 공동연구 및 관련 학술활동 지원이 해당된다.

이외, "연구 및 기술개발 등"에서 기술개발에 대한 사업 추진을 명시하고 있다. 관련 사업들은 멸종위기종의 증식 · 복원 기술 등 생물다양성의 보전을 위한 기술, 생물다양성에 대한 위협요인 관리기술, 생물자원의 지속가능한 이용에 관한 기술, 훼손된 생태계 및 서식지의 복원기술, 생태계교란 생물 및 생태계위해우려 생물의 제거 및 방제 기술, 생태계 서비스 측정 · 평가 및 증진 기술이 해당된다.

생태계교란 생물은 2022년 기준으로 포유류 1종, 양서류 · 파충류 7종, 어류 3종, 갑각류 1종, 곤충류 8종 식물 17종이 해당된다. 그중 양서류 · 파충류에는 황소개구리 (*Lithobates catesbeianus*), 붉은귀거북속 전종(*Trachemys spp.*), 리버쿠터 (*Pseudemys concinna*), 중국줄무늬목거북 (*Mauremys sinensis*), 악어거북 (*Macrochelys temminckii*), 플로리다붉은배거북 (*Pseudemys nelsoni*), 늑대거북 (*Chelydra serpentina*)이 해당된다.

[표 6] 환경부 지정 생태계교란 생물 리스트(2022년 기준)

구분	종명
포유류	가. 뉴트리아 *Myocastor coypus*
양서류·파충류	가. 황소개구리 *Lithobates catesbeianus*
	나. 붉은귀거북속 전종 *Trachemys spp.*
	다. 리버쿠터 *Pseudemys concinna*
	라. 중국줄무늬목거북 *Mauremys sinensis*
	마. 악어거북 *Macrochelys temminckii*
	바. 플로리다붉은배거북 *Pseudemys nelsoni*
	사. 늑대거북 *Chelydra serpentina*
어류	가. 블루길 *Lepomis macrochirus*
	나. 배스 *Micropterus salmoides*
	다. 브라운송어 *Salmo trutta*
갑각류	가. 미국가재 *Procambarus clarkii*

구분	종명
곤충류	가. 꽃매미 *Lycorma delicatula*
	나. 붉은불개미 *Solenopsis invicta*
	다. 등검은말벌 *Vespa velutina nigrithorax*
	라. 갈색날개매미충 *Pochazia shantungensis*
	마. 미국선녀벌레 *Metcalfa pruinosa*
	바. 아르헨티나개미 *Linepithema humile*
	사. 긴다리비틀개미 *Anoplolepis gracilipes*
	아. 빗살무늬미주메뚜기 *Melanoplus differentialis*
식물	가. 돼지풀 *Ambrosia artemisiaefolia var. elatior*
	나. 단풍잎돼지풀 *Ambrosia trifida*
	다. 서양등골나물 *Eupatorium rugosum*
	라. 털물참새피 *Paspalum distichum var. indutum*
	마. 물참새피 *Paspalum distichum var. distichum*
	바. 도깨비가지 *Solanum carolinense*
	사. 애기수영 *Rumex acetosella*
	아. 가시박 *Sicyos angulatus*
	자. 서양금혼초 *Hypochoeris radicata*
	차. 미국쑥부쟁이 *Aster pilosus*
	카. 양미역취 *Solidago altissima*
	타. 가시상추 *Lactuca scariola*
	파. 갯줄풀 *Spartina alterniflora*
	하. 영국갯끈풀 *Spartina anglica*
	거. 환삼덩굴 *Humulus japonicus*
	너. 마늘냉이 *Alliaria petiolata*
	더. 돼지풀아재비 *Parthenium hysterophorus*

그리고 이러한 생태계교란 생물 등 위해가 있는 생물 종을 학술연구의 목적으로 방출을 할 때는 「생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률」의 시행규칙에서 명시된 허가 신청서를 통해 허가 받아야 한다. 이 신청서는 유역환경청장 또는 지방환경청장의 허가를 통해 진행된다. 생물종명, 학명, 제공국, 원산지, 방출 목적, 수량, 허가구역, 허가조건을 내용으로 허가 신청서를 작성한다.

2. 생태계교란 생물 및 외래생물

(1) 생태계교란 생물과 외래생물 정의

“생태계교란 생물”이란 유입주의 생물 및 외래생물 중 생태계의 균형을 교란하거나 교란할 우려가 있는 생물이거나, 유입주의 생물이나 외래생물에 해당하지 아니하는 생물 중 특정 지역에서 생태계의 균형을 교란하거나 교란할 우려가 있는 생물을 지칭한다. 국내에서는 생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률 제2조(정의)에 의해 정의되고 있으며 이를 통한 생물종의 관리를 법규화하고 있다.

“외래생물”이란 외국으로부터 인위적 및 자연적으로 유입되어 본래의 원산지나 서식지를 벗어나게 되어 서식하게 된 생물을 말한다. 국내에서는 생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률 제2조(정의)에 의해 정의되고 있으며 이에 따라 관리하고 있다. 그리고 유엔환경계획(UNEP)은 외부로부터 도입되어 기존의 서식지에 대해 생물다양성과 생태계 서비스를 저해하며, 인간의 복지를 위협하는 생물을 침입 외래종으로 정의하고 있다(UNEP, 2011). 외래종은 기존의 토착 생물간 서식지 공간과 섭식 경쟁을 통해 토종 생물종에서 우위를 차지하여, 기존의 생태계의 구조와 기능을 저해하고 생태계 건강성에 악영향을 미친다. 다양한 종들이 농축업, 임업, 어업 등을 관련하여 경제적인 피해를 유발하고 있으며, 국민의 보건에 이르기까지 다양한 악영향을 미치고 있다. 침입 외래종은 해양선박과 물류와 같은 다양한 과정을 통해 외부로부터 유입되어 국내 서식지에 문제를 일으키기 때문에 유입 과정의 파악과 사전의 예방 차원의 차단은 중요하다.

세계침입종프로그램(Global Invasive Species Program, GISP)에서 제시하는 외래생물의 도입경로는 4가지로 나뉜다. 첫 번째는 사료용 목초와 관상 및 애완용 동·식물로 들어오는 의도적인 도입이 있다. 두 번째는 농산품, 종자, 토양 등에 붙어서 들어오는 비의도적인 도입이 있다. 세 번째는 연구용 동·식물로 들어오는 폐쇄적인 도입이다. 마지막 네 번째는 도입 후 확산 매개체로 인한 도입이 있다. 외래생물은 이러한 도입경로를 사전 모니터링을 하여 우리나라에 기존에 없던 생물로 인한 생태계 영향을 최소화할 필요가 있으며, 체계적인 관리 및 시스템을 구축할 필요가 있다.

3. 기존 선행 연구 파악 및 분석

(1) 거북류 관련 선행 연구

정지화(2014)는 붉은귀 거북류에 대해 활동요인과 식이물 분석을 진행한 바 있다. 경기도 안산시의 안산갈대습지공원을 연구 대상지로 진행하였다. 9개의 그물을 설치하여 포획을 실시하였으며 4월 9월까지 총 60개체를 포획하였다. 그중 포획된 31개체에 대해 식이물 분석을 진행하였으며, 일별 포획량을 활동량으로 간주하여 13개의 환경적 요인에 대하여

다중 회귀 분석을 실시하였다. 연구 결과, 1,037,500㎡의 대상지 내 94.0±11.4마리(95% 신뢰한계: 78~124마리)의 개체수가 서식하는 것으로 추정하였다. 연구 지역의 절대 밀도는 3.4±0.4마리/ha로 계산하였으며 거북류의 활동에 제약되는 요인이 적어 안산갈대습지공원은 거북류의 서식에 적합한 것으로 판단하였다. 거북류 활동에 영향을 미치는 요인은 일장(Daylength)로 파악할 수 있으며, 활동이 가장 활발해지는 시기는 번식이 시작되는 5월로 판단하였다. 식이물 분석 결과, 성장에 따라 붉은귀거북이 이용하는 동물성 먹이가 증가하였는데 높은 영양 단계의 먹이를 섭취하는 것으로 판단하였다.

Walton, Elizabeth M(2006)은 늪거북류에 해당되는 뮤렌베르그남생이(*Glyptemys muhlenbergii*)가 서식하는 서식처에 대해 원격탐사 자료를 활용하여 출현 서식지를 도출하였다. 해당 연구의 결과에서 인공위성의 해상도의 자료는 고립된 습지를 감지하고 분류하는데 적합하지 않았다. 일부 습지는 Landsat 7의 밴드 융합으로 식별할 수 있었지만 경관 전반에 걸친 일반적인 분석을 하는데는 적절하지 못한 결과를 얻었다. 하지만 CIR(Color-Infrared) 이미지에 대한 무감독 분류는 습지를 쉽게 식별할 수 있음을 보았다. 이는 고해상도의 이미지에서 CIR를 이용하면 습지에 대한 분류를 명확히 할 수 있음을 시사한다. 그리고 보다 명확한 스펙트럼 신호를 감지하여 분류를 하려면 초분광 데이터를 활용할 것을 제안하였다. 그리고 이러한 자료 구축시기는 가을과 겨울 사이의 잎이 없는 시기를 제안하였다. 잎의 캐노피는 지형의 스펙트럼을 차단할 수 있는 점을 이유로 들었다.

Jaeger, Collin P and Vincent A(2012)은 동물의 공간적 분포와 이동이 일반적으로 거북류가 서식하는 수생태계의 구조에 의해 결정된다고 판단하였으며, 수생태계 내에서의 움직임은 대부분 연구되지 않아 이에 대해 진행하고자 하였다. 대형 수계 지역에 해당되는 릴푸트 호수에서 성체 암컷 서부비단거북(*Crysemys picta*)과 붉은귀거북류(*Tracemys Scripta*)을 대상종으로 하였으며, 거북류의 서식지의 영향뿐만 아니라 종간 변화를 조사하기 위해 이동한 거리, 서식지 크기에 대한 선호를 분석했다. 해당 연구는 5월과 8월 사이에 두 종 모두 활동성이 최고로 높았으며, 붉은귀거북류는 더 큰 활동성을 보였고, 더 넓은 서식 범위를 유지했으며, 서부비단거북보다 호수의 더 깊은 지역을 선호하였다. 서부비단거북은 다른 모든 서식지 유형보다 해안선을 주로 선택했지만, 붉은귀거북류는 호수의 개방된 수역을 선호하였다. 해당 연구를 통해 기존에 제시된 거북류의 이동과 서식지 크기가 이전의 추정치보다 크다는 것을 알 수 있으며, 이러한 결과는 거북이의 생태적 특징이 지역의 환경적인 요인에 의해 강한 영향을 받는다는 것을 보여준다.

SC Sterrett et al(2011)은 하천에 서식하는 거북류 조사를 진행한 바 있다. 미국 조지아 남서부의 LFRB(Lower Flint River Basin)이라는 하천 유형의 수계 대상지를 연구했다. 연구 결과, 9종의 거북류를 대상으로 823마리를 포획하였으며, 포획과정에서 붉은귀거북과 리버쿠터의 포획빈도가 가장 높았다. 그리고 개발된 토지 유형의 면적에 따라 거북류의

종다양성이 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

(2) 종 분포 모델 및 서식지 관련 선행연구

Wi Yunju et al(2022)는 붉은귀거북류를 대상으로 개체 역학을 활용하여 서식지 확장과 생존에 관한 연구를 하였다. 서식지 수용력을 포함한 로지스틱 방정식을 사용했으며, 인공적인 확산울 통해 서식지 수용력이 증가한다고 가정했다. 1980년부터 2000년까지 한국의 3% 도시화 증가율을 바탕으로 연간 3%의 확산을 가정하여 붉은귀거북류의 개체 역학을 시뮬레이션했다. 그 결과 붉은귀거북류의 분포와 도시화 지역 간에 밀접한 관계가 있었으며, 도시화가 거북류의 새로운 서식지를 제공하는 데 중요한 역할을 했다는 것을 알 수 있었다. 그리고 습지나 인공연못에 붉은귀거북류를 더 이상 도입하는 것을 금지하고 향후 붉은귀거북류의 확산을 막기 위해 관리해야 한다고 주장하였다. 이외, 교란된 생태계를 복원하고 건강한 생태계를 유지함으로써 붉은귀거북류를 줄이는 것이 중요하다고 제안하였다.

유다영 외(2021)는 HSI와 MaxEnt를 통해 삵(*Prionailurus bengalensi*)의 서식지 예측 모델을 비교하였다. 대상종의 서식지 보전 지역 설정을 위해 HSI와 MaxEnt의 결과를 비교하며, 일치도에 대한 확인 및 연계에 대한 가능성을 모색하였다. 도입하는 환경변수에 대해서는 삵과 관련된 선행연구를 검토하여 해 경사, 고도, 도로로부터 거리, 도시로부터의 거리, 농경지로부터의 거리, 산림으로부터의 거리, 수계로부터의 거리, 토지피복유형 총 8가지의 환경변수를 선정하였다. HSI와 MaxEnt를 통해 도출된 결과의 평균차를 Paired Wilcoxn test를 통하여 통계적으로 유의함을 확인하였다.

오영주 외(2021)은 국내 귀화식물로 기록된 미국쥐손이를 대상으로 적합 서식지의 분포에 영향을 미치는 요인을 파악하고, 미래 변화를 예측하고자 하였다. 전국 대상의 68개 지점을 대상으로 대상종 출연 자료를 수집하고 MaxEnt 모델을 적용하였다. MaxEnt는 1981년도에서 2010년도와 기후시나리오에 따른 적합 서식지 분포를 예측했다. 영향을 미치는 변수는 강수량, 가장 따뜻한 분기의 평균기온(bio10), 가장 건조한 분기의 평균기온(bio09)으로 나타났다. 해당 논문은 외래생물 중 식물을 대상으로 서식에 영향을 미치는 변수를 파악하고, 미래 시나리오를 도출하여 영향을 확인하였다.

제3장: 방법론

1절: 외래생물 거북류 대상의 정보 수집

1. 데이터 수집 대상종

2021년에는 9월부터 붉은귀거북류 3개체와 리버쿠터 2개체를 방출하였다. 붉은귀거북류와 리버쿠터 모두 암컷이었으며, 각 개체는 성체에 해당하는 등갑과 배갑의 크기를 가졌다. 2022년은 4월부터 붉은귀거북 1개체와 리버쿠터 2개체를 방출하였다. 2022년 방출된 3개체는 모두 암컷이었으며, 모두 성체에 해당하는 등갑과 배갑의 크기를 가졌다. 2021년부터 2022년까지 총 4개체의 붉은귀거북이 위치 데이터를 습득하기 위하여 안산갈대습지에 방출되었으며, 리버쿠터의 경우 5개체가 방출되어 데이터를 습득하였다.

외래거북류의 방출일은 2021년에 붉은귀거북(기기번호 8472, 8656)과 리버쿠터(기기번호 8653) 총 3개체를 8월 31일부터 방출을 하였다. 이후, 리버쿠터(기기번호 8722) 1개체를 9월 10일에 방출 하였고, 붉은귀거북(기기번호 8325)과 리버쿠터(기기번호 8321)를 각 1개체씩 10월 7일에 방출하였다. 2022년은 붉은귀거북(기기번호 9035) 1개체와 리버쿠터(기기번호 8317&8658, 8319&8652) 2개체를 3월 31일부터 방출하여 위치 데이터를 수집하였다.

붉은귀거북(암컷)

리버쿠터(암컷)

[그림 4] 방출 전 위치센서를 부착한 외래거북류 사진

[표 7] 붉은귀거북류 및 리버쿠터 관련 부착 센서 및 크기 정보

센서 종류	기기 번호	종	성별	무게 (kg)	등갑 장축	등갑 단축	배갑 장축	배갑 단축
NANO	8472	붉은귀거북	암컷	1.04	19.5	13.8	17.4	8.0
NANO	8656	붉은귀거북	암컷	1.04	18.9	15.1	18.7	12.3
LEGO	8325	붉은귀거북	암컷	1.51	22.5	14.8	21.7	10.0
NANO	8653	리버쿠터	암컷	3.3	29.1	20.7	16.2	12.3
NANO	8722	리버쿠터	암컷	2.77	27.4	20.4	25.4	12.3
LEGO	8321	리버쿠터	암컷	0.68	16.5	11.5	15.0	7.0
LEGO	9035	붉은귀거북	암컷	1.43	21.8	16.3	20.2	11.4
LEGO	8317	리버쿠터	암컷	2.5	26.0	20.0	24.6	14.5
NANO	8658							
LEGO	8319	리버쿠터	암컷	3.2	28.3	19.8	27.0	15.3
NANO	8652							

무게 단위 : kg / 등갑 및 배갑 치수 단위 : cm

2. 개체 포획 및 위치센서 부착 과정

(1) 거북류 개체 포획

위치센서 부착을 위해서 먼저 대상종 포획 및 개체 마련이 필요하였으며, 포획망과 포획틀 제작을 하였다. 민물거북류는 생태계에서 새우류, 어류의 사체 등을 섭식한다. 이에 따라 거북류가 먹이 섭취를 할 수 있는 먹이를 이용하여 포획망으로의 유도 및 포획이 가능하였다. 유도하는 먹이는 거북류 관련 사료, 건조된 새우, 돼지고기, 닭고기를 먹이망에 넣고 포획망 안으로 위치하게 만들었다. 이외, 포획망 또는 포획틀 내에서 포획된 거북류가 수면 밖에서 숨을 쉬게하기 위해 페트병과 같은 부표 역할을 하는 재료를 넣어 거북류가 포획된 상태에서 숨을 쉴 수 있도록 제작하였다.

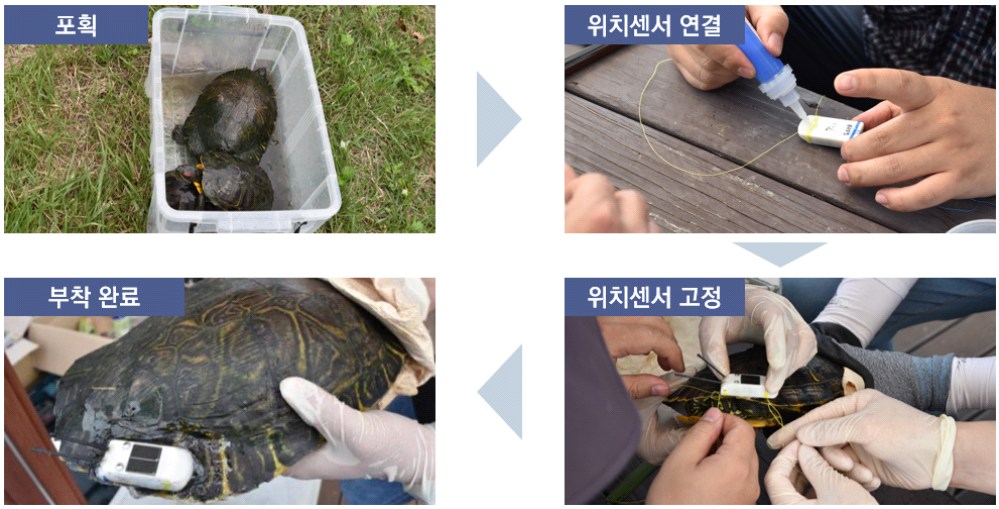
포획망과 포획틀 설치 위치는 거북류가 서식하는 수공간을 예측하고 포획망과 포획틀이 수면 위에 수평으로 잘 놓여질 수 있도록 던져 놓았다. 설치물 끝에는 끈을 연결한 후, 인근 수목이나 기둥에 줄을 묶어 포획 기기가 바람, 강우로 인한 유실이 되는 것을 방지하였다. 개체 포획 유무에 대한 확인 빈도는 현장 여건에 따라 다르게 판단을 하는데, 본 연구에서는 1주일 간격으로 확인하고 개체 포획 여부를 확인하였다.

포획망과 포획틀의 특징은 다음과 같다. 포획망은 수면에서 거북류의 포획을 유도할 수 있어 포획률이 높다는 장점을 가지고 있으나 다른 개체(어류)가 함께 포획되는 단점이

존재하였다. 반면 포획틀은 거북류의 특성에 맞게 제작한다면 목표한 개체만 포획이 되도록 할 수 있었다. 거북류는 수면과 바로 위로 존재하는 솟대(고정된 나무장대), 돌무더기, 노출된 나무 줄기에서 일광욕 및 휴식을 한다. 이러한 특성을 활용하여 면적이 넓은 스티로폼이나 나무 판자, 일광욕을 유도할 수 있는 부유 재질을 활용한 거북류 포획틀을 제작할 수 있었다. 그러나 포획틀은 거북류의 일광욕을 유도하고 포획틀 내 거북류가 포획되는 과정을 적극적으로 유도하기가 어려워 포획망보다 포획률이 낮다는 단점이 있었다.

(2) 위치센서 부착과정

거북류 개체가 포획되면 개체에 위치센서를 부착하는 과정을 진행하였다. 거북류의 등갑은 3개월 정도의 기간동안 탈피하는 생태적 특성이 있다. 이에 따라 등갑에 기기를 고정하지 않는다면 등갑 껍질의 탈피와 함께 위치센서가 유실될 가능성이 있다. 유실을 방지하기 위해서 친황경 실리콘과 에폭시를 활용하여 기기 하단에 접착 후 등갑에 고정하였다. 이후, 등갑 양 끝에 드릴로 구멍을 뚫어 낚시줄을 이용하여 위치센서를 추가적으로 고정하였다. 등갑에 부착된 위치센서를 고정하기 위해 접착제가 건조될 수 있도록 해당 과정이 2~3일 경과 후 연구대상지에 대상종을 방출하였다.



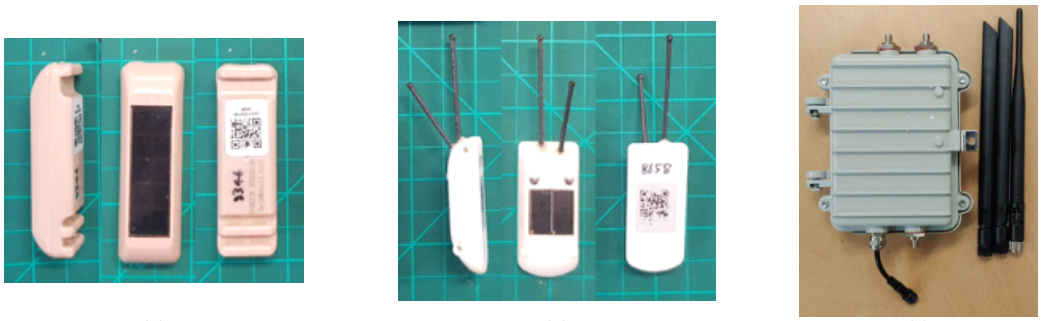
[그림 5] 위치센서 관련 거북류 부착과정

3. 외래생물 거북류에 활용된 위치센서 종류

외래 거북류 위치 추적을 위해 활용된 위치센서는 중국 드루이드(Druid)사의 GNSS 기반 동물용 위치센서로, LEGO 3G, NANO를 기기로 활용하였고, 데이터 수신장치인 HUB 또한 이용하였다.

[표 8] 위치센서 기기별 성능 및 규격

제품명	크기 (mm)	무게 (g)	구동 온도 (℃)	GPS 정확도 (m)	장착 센서
LEGO	68.4 × 21.3 × 16.2	20.4	-10 ~ +60	5	온도, 가속도 센서
NANO	36.2 × 12.9 × 8.8	-	-20 ~ +60	2.5	온도, 가속도 센서, 수중 감지 센서
HUB	230 × 140 × 190	488	-20 ~ +60	2.5	없음



(a) (b) (c)

[그림 6] 위치센서 관련 제품 사진 (a) LEGO 3G; (b) NANO; (c) HUB

4. 위치센서 데이터 수집 및 데이터 정제

위치센서를 통해 습득할 수 있는 데이터는 GNSS(Global Navigation Satellite System), 기온, ODBA(Overall Dynamic Body Acceleration) 정보가 있다. ODBA는 동물의 3차원적인 움직임을 정량화하는 가속도 지수를 뜻하며, 동물의 활동에 대한 대용물과 신진대사율의 대용물로 활용할 수 있다(Gleiss et al, 2011; Ricketts et al, 2020). 취득되는 데이터는 위치 좌표 이외에 위성 개수와 HDOP 등을 확인하여 위치정보의 정확도의 수준을 판단할 수 있다.

거북류의 위치정보 데이터의 측정 간격의 경우, 1시간, 2시간, 4시간 간격으로 설정하였는데 날씨에 따라 태양광 충전 상태가 달라 기기의 전원을 꺼지지 않게 하기 위함이었다. 거북류의 GNSS의 위치정보 데이터는 오전 8시부터 오후 20시까지 확보가 되었다. 이외의 시간은 수중과 흙 밑, 갈대숲 등과 같은 전파가 영향을 미치지 못하는 지역(음영지역)에 위치하여 데이터가 확보되지 못한 것으로 판단되었다. 데이터의 출현에 있어서 기기별 자료의 중복도를 제거하기 위해서 1시간내에 여러번 취득되는 위치 정보의 경우, 1시간에 1개의 데이터만 활용되도록 연구에 정제하여 데이터로 이용하였다.

5. 동물실험계획서

동물 관련 실험을 위해서는 동물실험윤리위원회 IACUC(Institutional Animal Care and Use Committee)에서 동물실험계획서를 승인을 받아야 하였다. 동물실험윤리위원회는 「동물보호법」(제25조 및 같은 법 시행령 제4조) 및 「실험동물에 관한 법률」(제7조 및 같은 법 시행령 제4조)에 따라 동물실험시행기관 · 동물실험시설에 설치하는 동물실험윤리위원회 · 실험동물운영위원회의 구성과 운영에 맞춰 동물을 관련된 실험 진행 시, 사전에 동물실험계획서를 신청해야 하는 것을 명시한다.

동물실험계획서를 제출하기 위해서는 실험정보, 실험동물종, 동물실험의 타당성, 동물실험 윤리사항, 동물실험계획서 및 동물실험윤리(3R) 이행 서약서 등의 항목을 작성하였다. 실험정보에는 기간, 제목, 제출자, 연구참여자에 대한 정보가 해당 되었다. 실험동물종은 실험대상이 되는 종, 개체수, 연령, 반출 여부에 대한 정보가 필요하였다. 동물실험의 타당성은 실험목적, 예상성과, 실험방법에 대한 정보 또한 요구되었다. 동물실험형태는 사체처리법, 실험장소에 대한 정보의 기입이 필요하며, 동물실험 윤리사항은 3R에 따른 동물실험 대체법 검토여부, 동물수에 관한 근거, 동물 선택 적절성, 인도적 실험종료 또는 안락사 기준 에 대한 내용도 작성하였다.

이에 본 연구는 동물실험 수행을 위해 동물윤리교육을 이수하였으며(수료번호 ILAR-01-21-5-010), 본 연구과 관련된 동물실험계획서를 제출하고 승인을 받아 붉은귀거북류와 리버쿠터에 대한 연구를 수행하였다(계획서 접수번호 SNU-220120-2).

[표 9] 동물실험계획서 중 작성 항목 예시

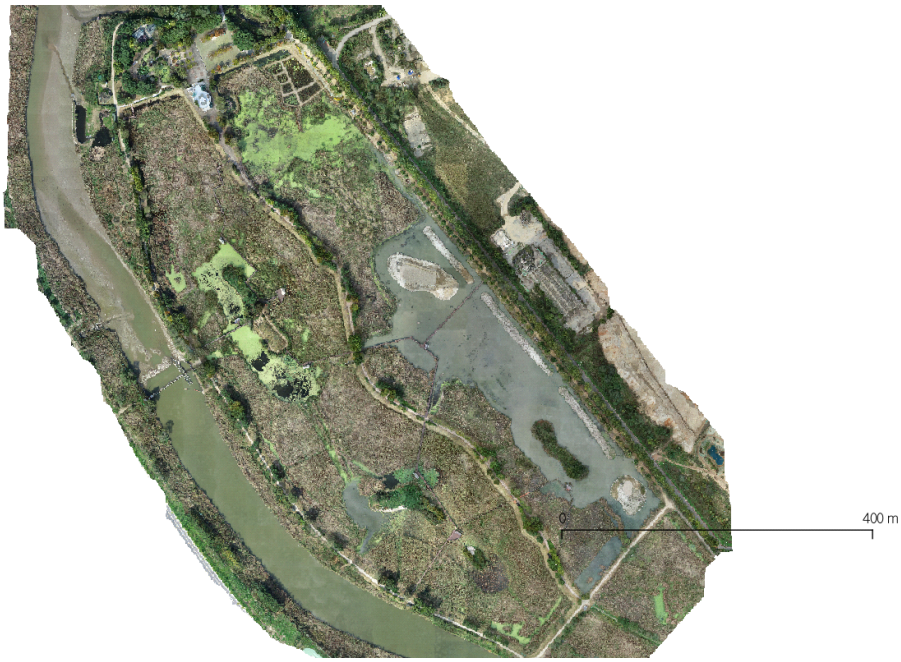
구분	작성 세부 항목
실험정보	실험기간, 실험제목(국/영문), 제출자, 연구책임자, 동물실험 수행연구자, 해당 연구과제명
실험동물종	동물종, 계통, 유전자변형동물, 학내반입여부, 학명, 미생물학적 성상, 체중, 연령(주령), 최초반입두수, 반출 여부
동물실험의 타당성	실험목적, 예상성과, 실험방법
동물실험형태	사체처리법, 실험장소
동물실험 윤리사항	동물실험 대체법 검토여부, 사용 동물수에 관한 근거, 동물 선택의 적절성, Enrichment 방법, 인도적 실험종료 또는 안락사 기준, 실험계획에 따른 실험종료 기준

2절: 거북류 주요 출현 서식지 환경자료 구축

1. 드론을 활용한 데이터 수집

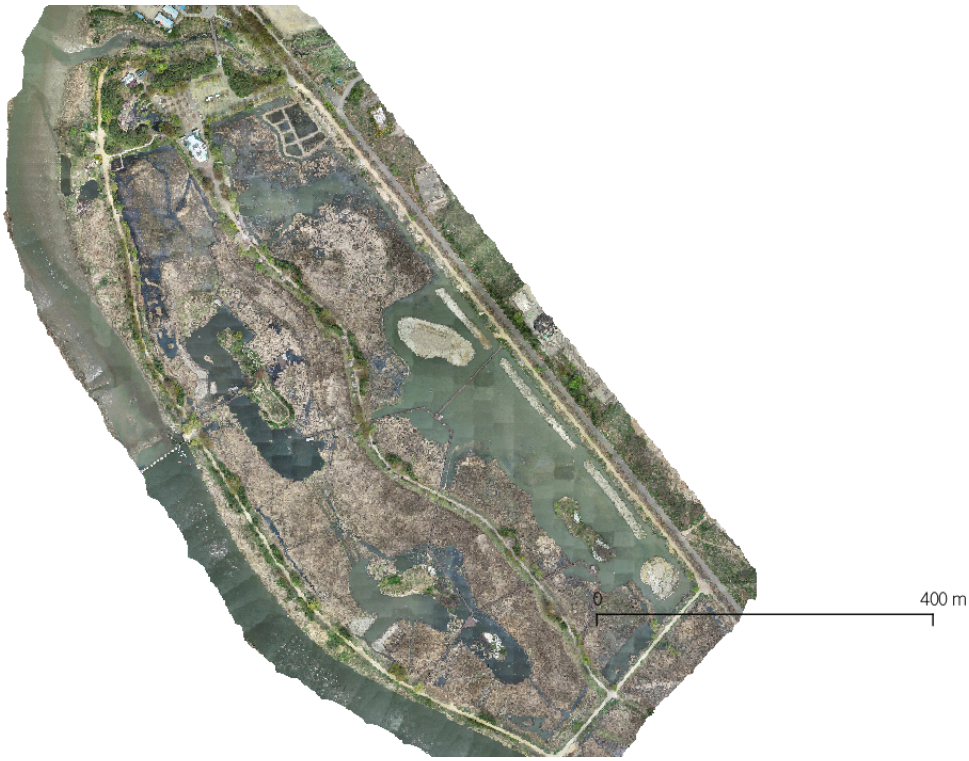
위치데이터와 공간적 정보의 연계를 위하여 드론을 활용하여 대상지에 대한 정사 촬영 데이터를 구축하였다. 초경량비행장치 무인멀티콥터는 국내 ‘드론’이라는 명칭으로 약어를 활용하고 있으며, 드론을 지칭하는 단어는 UAV, RPAV이 해당된다. 드론을 활용한 원격탐사 연구는 시간적인 비용과 인력적인 측면을 줄일 수 있는 장점이 있으며, 고립되어 있는 지형, 높은 식생밀도로 인한 접근에 제약이 있는 지역에 대해 정보를 수집할 수 있다. 이러한 드론을 활용하여 습지 생태계를 촬영 후 비오톱 유형을 분류하는 연구를 진행하였다.

드론은 DJI사의 매트릭스 300 RTK를 활용하였다. 드론 촬영 데이터를 구축하기 위해 사용한 프로그램은 DJI 전용 소프트웨어인 Terra를 이용하였다. 안산갈대습지는 2021년 10월과 2022년 4월에 촬영하였으며, 오전 11시부터 오후 2시까지 진행되었다. 상대고도 75m을 띄워 8m/s의 순항을 하며 데이터를 확보하였다. 각 사진의 중복 정도는 상하, 좌우 약 70%가 겹칠 수 있도록 설정하여 진행하였다. 해당 자료의 좌표 등의 오차를 최소화하기 위해 DJI RTK를 활용하여 GCP(Ground Control Piont)를 활용해야 보완을 할 수 있는 부분들을 대체할 수 있도록 하였다. 이외, 드론을 활용한 다분광 자료 구축도 동일한 일자에 촬영하였다. 거북류가 일광욕에 선호하는 지역은 식생이 없거나, 바위, 나무 위, 건초지 위로 판단되어 이를 반영할 수 있는 NDVI를 활용하여 데이터를 확보하였다.



[그림 7] 2021년 10월 18일 가을철 안산갈대습지 드론 촬영 자료

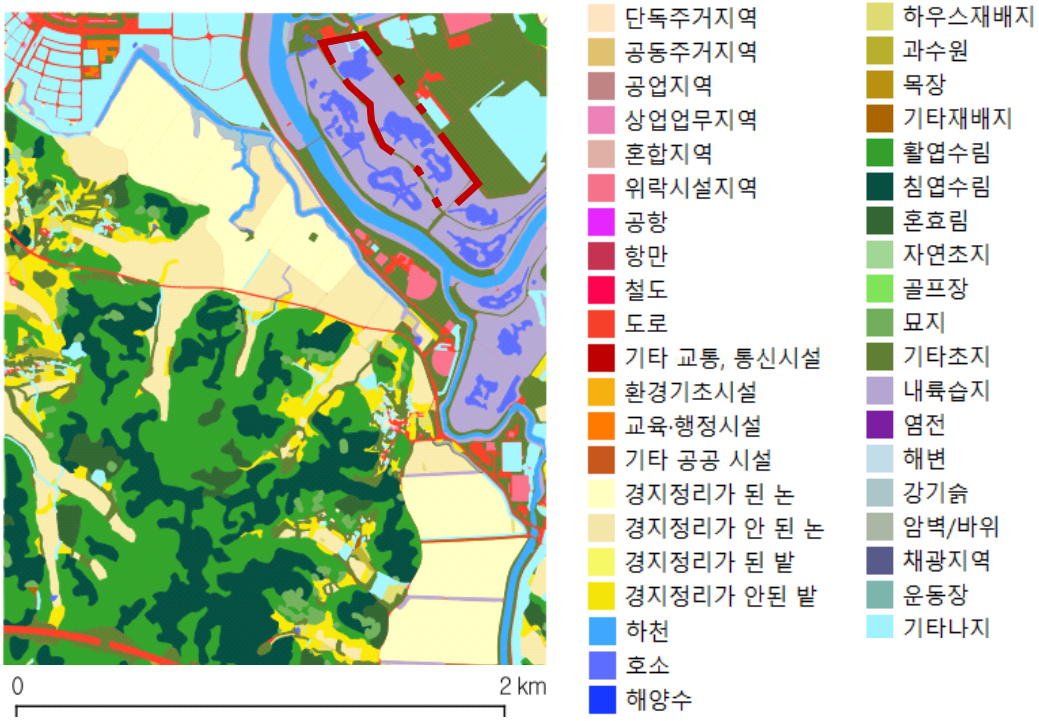
2021년 10월인 가을철에 구축했던 방식과 동일하게 2022년 4월 봄철 시기에도 드론을 활용하여 자료를 구축하였다.



[그림 8] 2022년 4월 18일 봄철 안산갈대습지 드론 촬영 자료

2. 드론 촬영 자료를 활용한 환경변수 구축

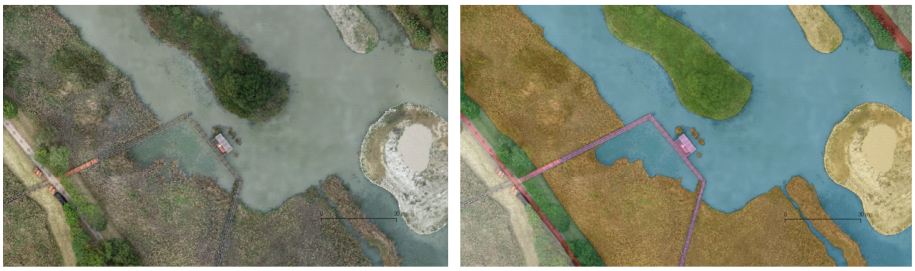
우리나라 환경부에서 제공되는 토지피복도 세분류[2021]자료를 활용하여 토지피복도 정보를 기반으로 습지 내 유형을 분류하였다. 조동길(2004)은 다양한 생물종 서식을 목적으로 하는 습지 모델에서 습지의 유형을 구분하였는데, 습생식물대, 정수식물대, 부엽식물대, 개방수면으로 그 유형을 구분하였다. 따라서 토지피복도에서 분류되지 못하는 호소와 습지 내 정보의 경우, 해당 문헌의 습지유형을 참고하여 구분하였으며, 거북류의 일광욕 등 생태적 특성에 기여하는 정수식물대와 개방수면을 중심으로 유형을 분류하였다.



[그림 9] 환경공간정보서비스에서 제공되는 안산갈대습지 관련 토지피복도 세분류[2021] 자료

습지의 비오톱 정보를 구축하기 위해서 오픈소스 GIS 프로그램인 QGIS를 활용하였다. QGIS의 프로그램에서 “편집 모드” 설정 후, “피쳐 분할” 기능을 활용하여 안산갈대습지 내 비오톱 유형을 나누었다. 구축 과정에서 오차범위를 최소화하기 위하여 1:400 축척을 활용하여 자료 구축을 하였다. 대상지 경계에 해당되는 외부 지형의 경우, 토지피복도 세분류 중 “도로”를 기준으로 동일하게 면적 자료를 구축하였다. 그리고 실질적으로 면적에 차이가 나기 시작하는 기타 초지 경계 구역부터 개방수면 지역 일대에 해당되는 호소, 내륙 습지 구역에 대하여 비오톱 유형으로 정보를 재구축하였다.

토지피복도 세분류로 구분되는 안산갈대습지 내 유형 분류 현황



드론 촬영 자료를 기반으로한 비오톱 유형 분류 과정

[그림 10] 토지피복도 분류와 비오톱 유형 분류 과정

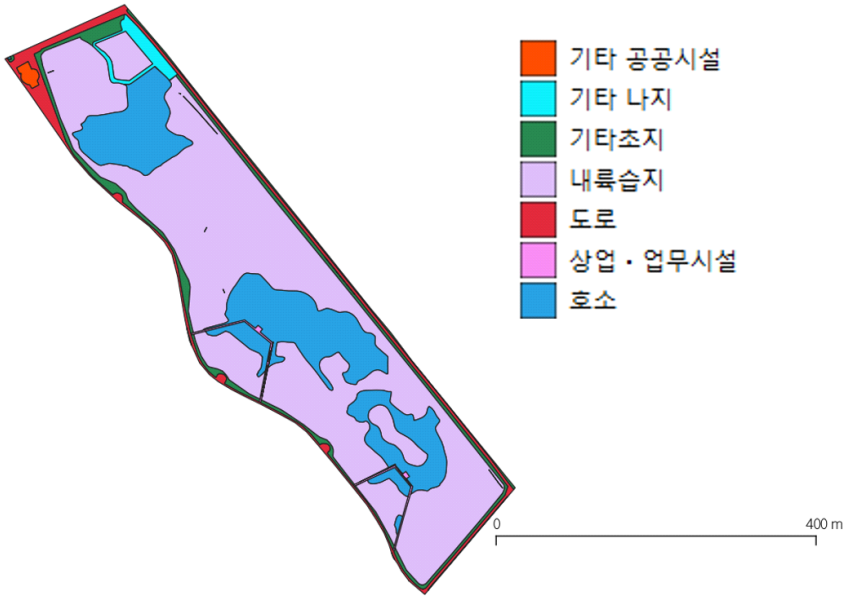
구축된 자료의 식생 및 현황 검증을 위하여 2022년 8월 12일 식생 현장조사를 실시하였다. 해당 패치의 우점하는 식생, 토지 유형이 드론으로 구축된 비오톱 자료와 동일한지 검증을 하였다. 현장에서 개체군의 동정을 위해 꽃, 나무, 식물 이름 찾기 앱(App)인 모야모(Moyamo)를 활용하여 식물 분류군 동정을 하였으며, 추가적인 검증을 위해 재단법인 안산환경재단에서 출판한 '안산갈대습지 생물도감(2021)'를 활용하여 해당 개체군들의 동정하였다. 해당 문헌은 초화류(수생식물)에 대해 총 56종에 대한 안산갈대습지에서 서식하는 종 목록을 기술한 문헌으로 현장에서 식물 패치의 우점종에 대한 검증이 가능하였다.

2022년 8월 12일 식생조사 현장사진

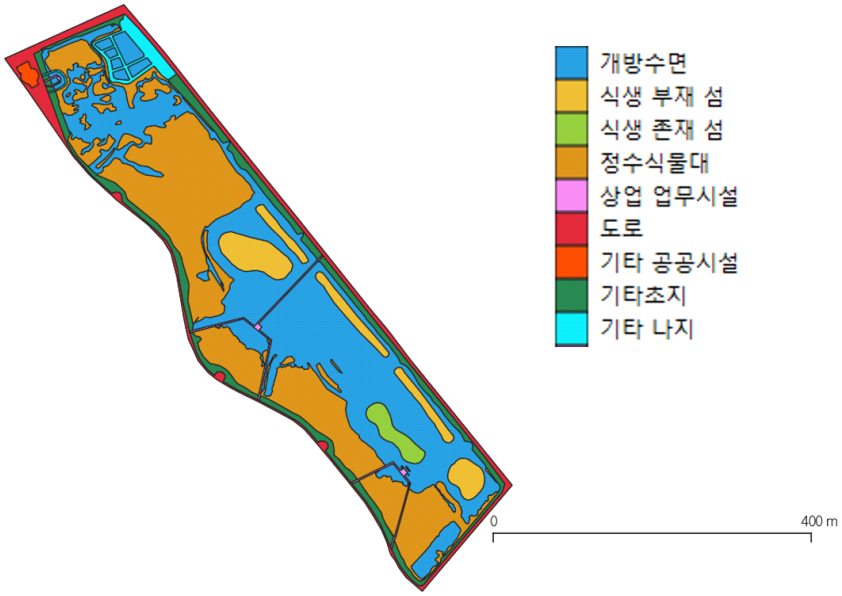
[그림 11] 2022년 8월 12일 안산갈대습지 식생조사 현장사진

3. 가을철(9~10월), 봄철(4~5월)의 비오톱 유형 구분 및 환경변수 구축 결과

안산갈대갈대습지의 비오톱 유형을 구축한 결과, 기존 토지피복도 세분류에서 제공되는 7개의 항목이 9개에서 10개의 항목으로 증가되어 비오톱 유형 자료를 구축할 수 있었다. 특히, 내륙습지와 호소에 해당되는 지역의 정보가 보완되었다. 내륙습지, 호소의 유형들이 정수식물대, 식생 부재 섬, 식생 존재 섬으로 추가적인 분류가 되었고, 호소의 경우 개방수면으로 분류가 되었다. 상업 업무시설에 해당되는 생태탐방 데크길의 경우, 드론 자료를 활용하여 추가적으로 연장되거나 새롭게 구축되었다. 기존 토지피복도로 제공되는 데이터보다 드론을 활용하여 토지피복 정보를 구축할 시 많은 공간 정보를 보완 가능하였다.



안산갈대습지 토지피복도 세분류(2021)



2021년 10월 안산갈대습지 비오톱 유형 구분

[그림 12] 2021 토지피복도 및 2021년 10월 비오톱 유형 구축 결과

가을철 안산갈대습지 비오톱 유형을 구축한 결과 10개의 항목을 확인할 수 있었다. 정수식물대에 해당되는 우점하는 수생식물군은 갈대와 부들로 확인되었다. 대상지에서 식생 중인 마름, 수련, 개구리밥과 같은 부엽·부유식물은 여름철에 높은 활력도를 나타내고 가을철에 확인이 지속적으로 가능하여 변수로 구축될 수 있었다.

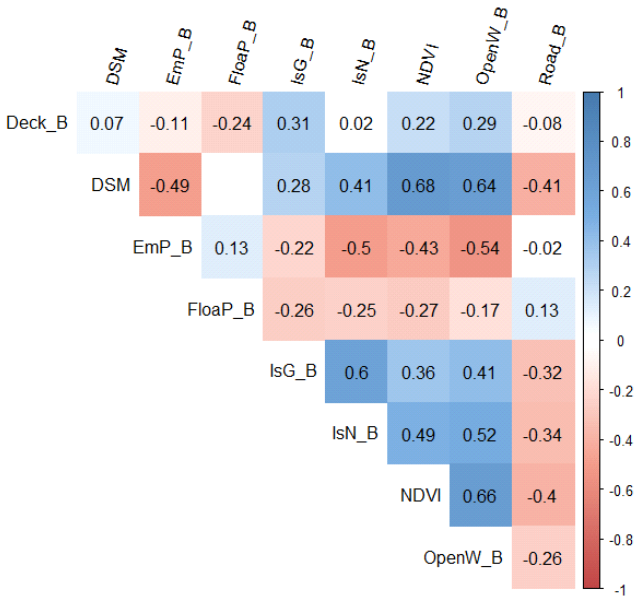
[표 10] 가을철, 봄철 기간에 드론으로 구축된 안산갈대습지의 래스터 파일 자료

변수명	내용		유형	참고 선행 문헌
	2022 년 4 월(봄)	2021 년 10 월(가을)		
Lulc (비오톱 유형)	1 : 개방수면 2 : 개방수면 내 식생 부재 섬 3 : 개방수면 내 식생 존재 섬 4 : 정수식물대 패치 5 : 기타 초지 6 : 도로 7 : 기타 나지 8 : 상업업무시설 – 탐방데크 길 9 : 기타공공시설		명목	Amaral, Silvana et al, 2007; Trebitz, Anett S et al, 2009; Farrell, S. L et al, 2013; Belkhiria, Jaber et al, 2016; Anthony Santoro et al, 2020
	-	10 : 부엽·부유식물		
IsN_B[a] (식생 부재 섬)	0~350.82 m	0~350.82m	연속	Anthony Santoro et al, 2020
IsG_B[a] (식생 존재 섬)	0~632.95 m	0~632.95m		Anthony Santoro et al, 2020
Emp_B[a] (정수식물대)	0~124.74 m	0~125.00m		Trebitz, Anett S et al, 2009
FloaP_B[a] (부엽·부유 식물대)	-	0~137.23m		Trebitz, Anett S et al, 2009
OpenW_B[a] (개방수면)	0~65.12 m	0~64.94 m		Belkhiria, Jaber et al, 2016
Deck_B[a] (탐방데크)	0~208.22 m	0~208.22 m		-
Road_B[a] (도로 및 기타나지)	0~97.8 m	0~97.8 m		Anthony Santoro et al, 2020
DSM (Digital Surface Model)	18.63~45.5 m	14.90~42.62 m		Farrell, S. L et al, 2013
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	−0.35 ~ 0.9	−0.3 ~ 0.94		Amaral, Silvana et al, 2007

a: 거리기반 변수

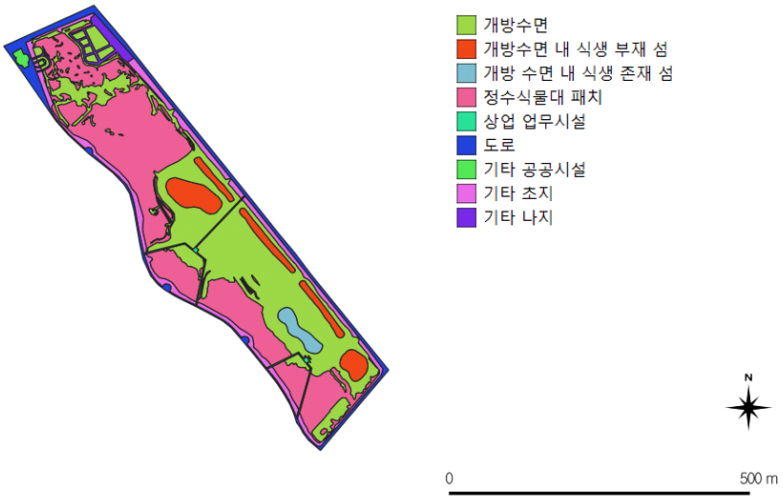
환경공간 변수별 다중공선성(Multicollinearity)의 검토를 위하여 분류된 예측 변수별로 검토하였다. 다중공선성은 사용되는 모형의 예측 변수가 다른 예측 변수와 상관의 정도가 높게 나타나서 데이터 분석 시 영향을 확대하여 분석하거나 부정적인 영향을 주는 현상을 말한다. 이러한 다중공선성을 측정하기 위해서 변수들의 상관관계를 조사하였다.

다중공선성 검토를 위해 대상지 범위 내 10,000개의 무작위 포인트를 만들었고, 그 포인트에 해당되는 각 환경 변수별 값을 추출하였다. 이후, 해당되는 설명 변수 간 상관 관계를 분석하였다. 분석 결과 10월 가을철의 변수들 중 0.8 이상의 상관계수를 갖는 설명 변수들이 없었기 때문에 변수들에 대한 제거 없이 모델링을 진행했다.



[그림 13] 다중공선성 검토를 위한 가을철 환경공간변수 별 상관분석 결과

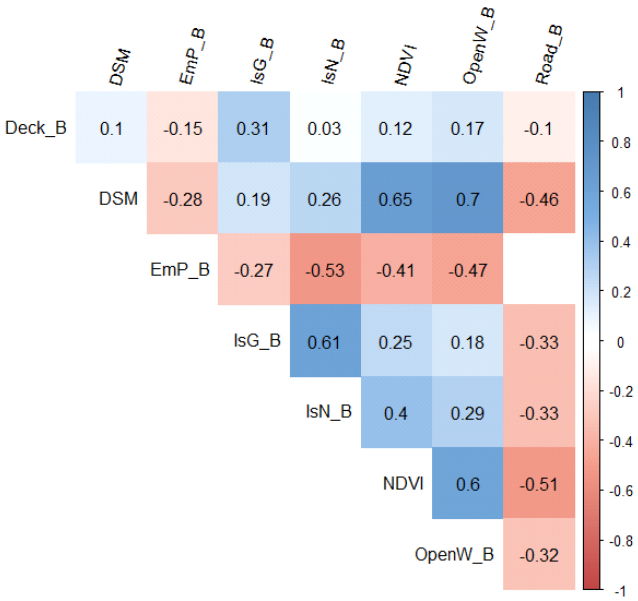
봄철 안산갈대습지 비오톱 유형을 구축한 결과 가을철보다 1개 적은 9개의 항목을 확인할 수 있었다. 정수식물대에 해당되는 우점하는 수생식물군은 갈대와 부들로 확인되었다. 다만 봄철 습지에서 부엽·부유식물이 활력을 갖기 이전의 시기로 해당 환경공간 변수는 포함할 수 없었다.



2022년 4월 안산갈대습지 비오톱 유형 구분

[그림 14] 2022년 4월 비오톱 유형 구축 결과

다중공선성 검토를 위하여 4월 봄철의 대상지 범위 내 10,000개의 무작위 포인트를 만들었고, 그 포인트에 해당되는 각 환경 변수 별 값을 추출하였다. 그 후 4월 봄철의 환경공간 변수들에 대하여 다중공선성 검토를 위한 상관관계 분석을 진행하였다. 그 결과, 변수들 중 0.8 이상의 상관계수를 갖는 설명변수들이 없어 특정 변수들에 대한 제거 없이 모델링을 진행하였다.



[그림 15] 다중공선성 검토를 위한 봄철 환경공간 변수별 상관분석 결과

3절: MCP와 종 분포 모델링

MCP(Minimum Convex Polygon)는 최소블록다각형 분석으로 동물의 위치데이터를 기반으로 행동권을 추정하는 분석 방법이다. 범위와 면적을 산출하기 위해서는 최소 3개 이상의 위치정보가 수집되는 것을 요구한다.

종 분포 모델은 보전과 기후변화의 영향에 따라 종 분포에 대한 중요성이 대두되었으며, 이를 예측하는 통계모델에 대한 요구로 개발된 모델이다(MikeAustin, 2007). 해당 모델은 생태학적 정보와 통계적인 기술의 조합으로 일반적인 통계적인 방법을 극복하고자 제안되었다.

그 중 종분포 모델인 MaxEnt는 머신러닝 기반으로 출현 자료를 기반으로 출현 및 서식 적합성을 판단하는 모델이다. MaxEnt는 최대 엔트로피를 활용하여 불완전한 정보를 예측한다(Phillips et al, 2004). 출현자료 이외에 고려되는 환경 공간적인 변수들은 연속형 변수(Continuous Variable)와 범주형 변수(Categorical Variable)로 적용한다. 이를 통해 종 분포 예측이 가능하며, 로지스틱 분석을 통해 생물종 출현에 영향을 미치는 합을 1의 상수 범위 내로 나타낸다(Pilar A et al, 2006). MaxEnt 모형은 ROC(Receiver Operating Characteristic) 곡선의 AUC(Area Under Cover) 값이 도출된다. 그리고 AUC 값에 따라 등급을 구분할 수 있다(Swets 1988). 0.7에서 0.8은 Fair을 말하며 0.8에서 0.9는 Good과 0.9에서 1.0은 Excellent를 말한다. 따라서 1에 가까울수록 모델의 정확도가 높음을 의미한다.

해당 모델을 통하여 Jackknife의 검증 도출할 수 있는데, 모델 결과에서 가중치가 높은 환경변수를 확인할 수 있어 변수들 간 차이를 비교하는데 용이하다(Phillips et al, 2006). 이외, 변수의 중요성은 기여도(Percent Contribution)와 중요도(Permutation Importane)로 도출할 수 있다. 기여도 값은 모델의 훈련과정에서 각 변수의 기여도를 변화해가며 최적의 결과를 도출할 수 있도록 한 변수의 비율을 나타낸다. 중요도 값은 무작위 자료에 대한 모델 훈련을 할 때 AUC 값을 감소시키는 변수를 말한다(Gill and Sangermano 2016).

종분포 모델 구동에 있어 환경 변수의 개수는 모델 계산의 시간에 영향을 미친다. 또한 서로 간 상관성이 높은 변수의 사용은 결과 해석에도 영향을 미친다(Heikkinen et al. 2006, Dormann et al., 2013). 따라서 설정한 환경 변수들 간 상관성이 높은지 판단하기 위해 다중공선성 검토가 요구된다. 국내에서 오영주 외(2021)는 0.85 이상으로 변수들 간 상관계수가 나타날 시, 초기 모델 구동 결과에서 기여도가 높은 하나의 변수만 선정하여 구동한 사례가 있다.

본 연구는 종분포 모델 실행에서 Response Curves와 Jackknife를 실시하였다. Output format은 Logistic으로 설정하여 결과물을 도출하였다. 랜덤 테스트 퍼센트를 30%로 설정하여 시행하였으며, 5회 반복하여 검증하였다. Max number of background points는 10,000으로 설정했다. 반응곡선(response curves)을 이용하여 각 환경변수 값에 대해 관계를 파악하였다.

변수의 중요도를 평가하기 위하여 Jackknife 검정을 수행하여 부록에서 제시하였다.

[표 11] MaxEnt 모델에 들어간 샘플 수 및 Test, Training 데이터 퍼센트 비율

구분	내용
Total input Samples (위치좌표 자료)	Total : 1,050개 2021년 9월 붉은귀거북류 샘플 : 89개 2021년 10월 붉은귀거북류 샘플 : 72개 2022년 4월 붉은귀거북류 샘플 : 176개 2022년 5월 붉은귀거북류 샘플 : 149개 2021년 9월 리버쿠터 샘플 : 88개 2021년 10월 리버쿠터 샘플 : 33개 2022년 4월 리버쿠터 샘플 : 244개 2022년 5월 리버쿠터 샘플 : 199개
Training Samples	70%
Test Samples	30%

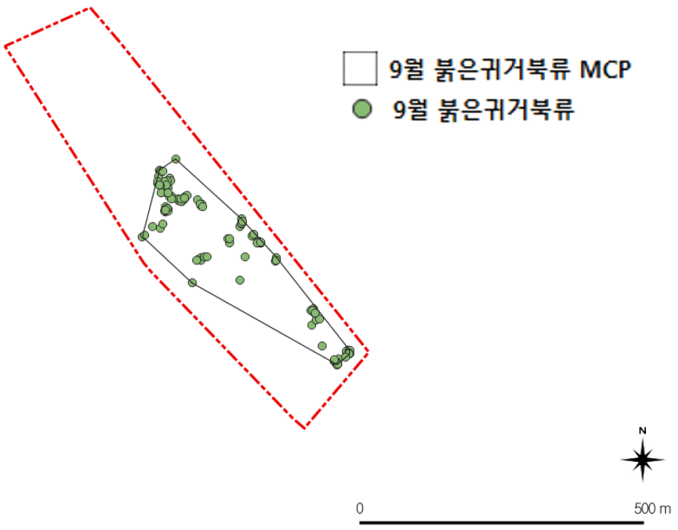
제4장: 결과

1절: 계절별 외래거북류 MCP 결과

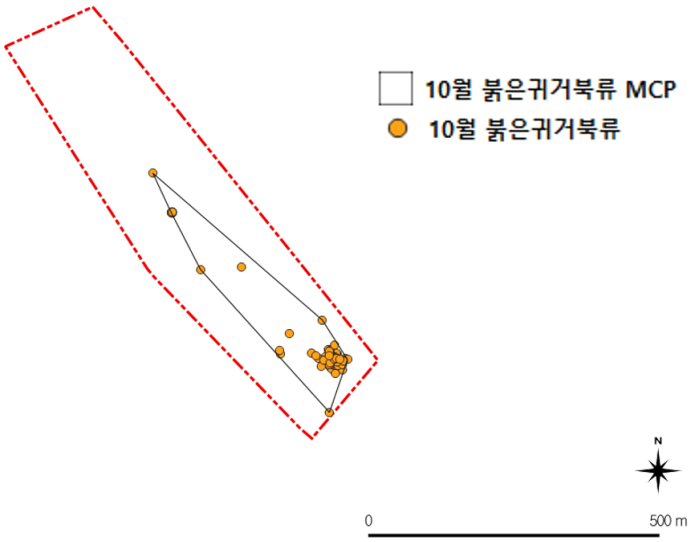
1. 가을철(9~10월) 외래 거북류 MCP 분석 결과

MCP 분석은 많은 연구에서 커널 밀도 추정과 비교하여 예측할 수 없는 특성이 드러났음에도 불구하고, 동물의 행동 범위에 대한 결론으로 이용하는 방법이다(Erlend B, 2008). 또한, 위치정보를 기반으로 동물의 행동생태학적인 측면을 이해하는 가장 기본적인 분석 방법이기도 하다. 하지만 MCP는 큰 범위의 크기가 작은 크기의 범위를 포함할 가능성이 높기 때문에 MCP의 기반이 되는 포인트 데이터에 대한 이해와 분류가 요구된다. 따라서 각 계절별 전체에 해당되는 위치데이터를 분석하기 보다는 월별로 나누어 외래 거북류의 행동면적과 둘레를 산정하여 각 대상종의 행동 면적 변화를 비교하였다.

안산갈대습지 내 붉은귀거북류의 2021년 9월 MCP 면적은 46,868㎡으로 나타났으며, 둘레는 1,055m로 확인되었다. 2021년 10월 붉은귀거북류의 MCP 면적은 32,762㎡로 나타냈으며, 둘레는 1,072m를 보였다.



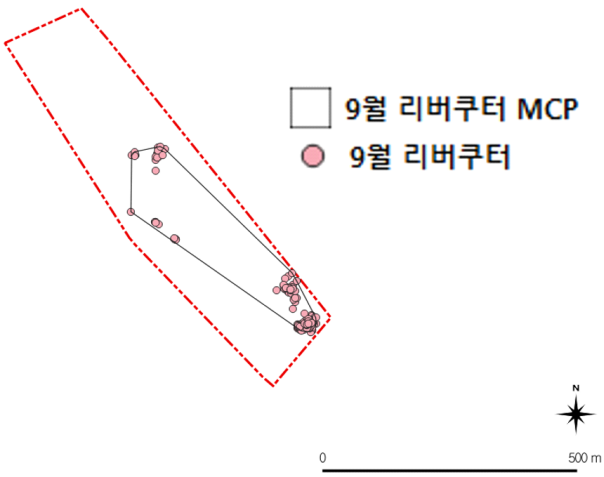
9월 붉은귀거북류 MCP



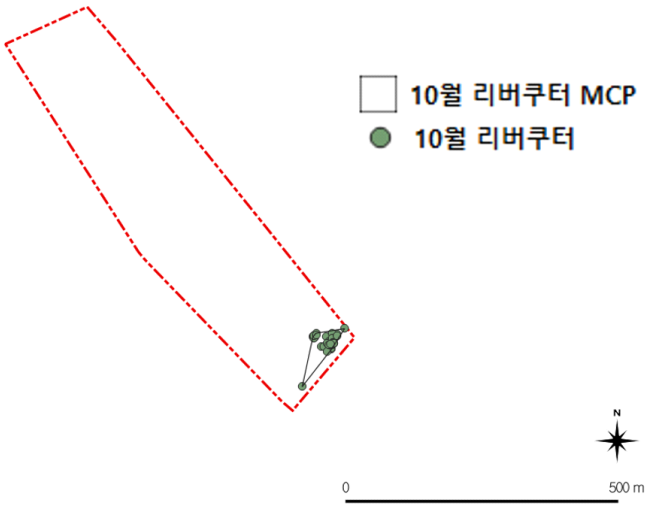
10월 붉은귀거북류 MCP

[그림 16] 2021년 가을철 붉은귀거북류 MCP 분석

안산갈대습지 내 리버쿠터의 2021년 9월 MCP 면적은 46,314㎡으로 나타났으며, 둘레는 1,084m로 확인되었다. 2021년 10월 붉은귀거북류의 MCP 면적은 2,824㎡로 나타냈으며, 둘레는 286m를 보였다.



9월 리버쿠터 MCP

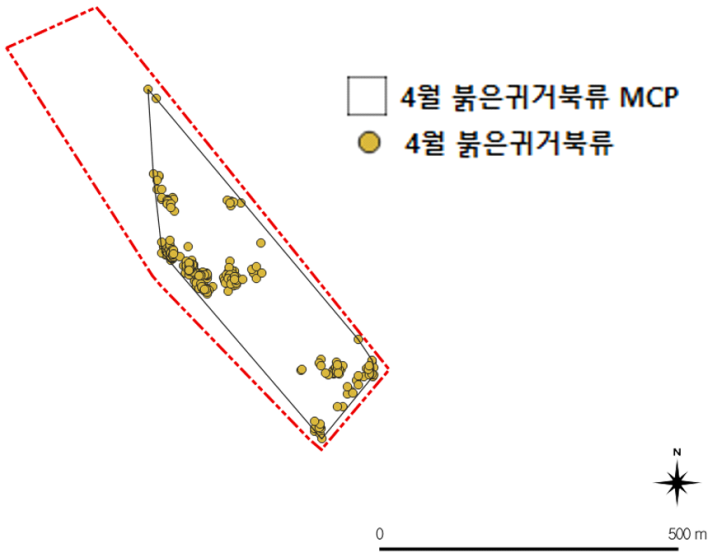


10월 리버쿠터 MCP

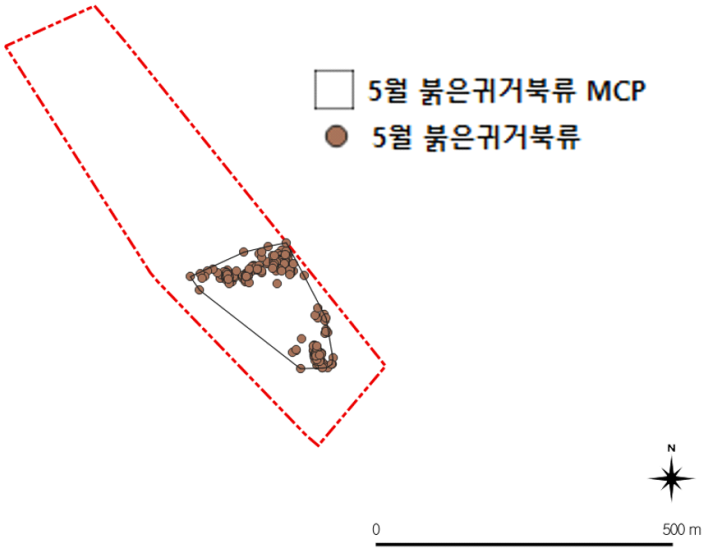
[그림 17] 2021년 가을철 리버쿠터 MCP 분석

2. 봄철(4~5월) 외래 거북류 MCP 분석 결과

안산갈대습지 내 붉은귀거북류의 2022년 4월 MCP 면적은 79,209㎡으로 나타났으며, 둘레는 1,431m로 확인되었다. 2022년 5월 붉은귀거북류의 MCP 면적은 27,309㎡로 나타냈으며, 둘레는 690m를 보였다.



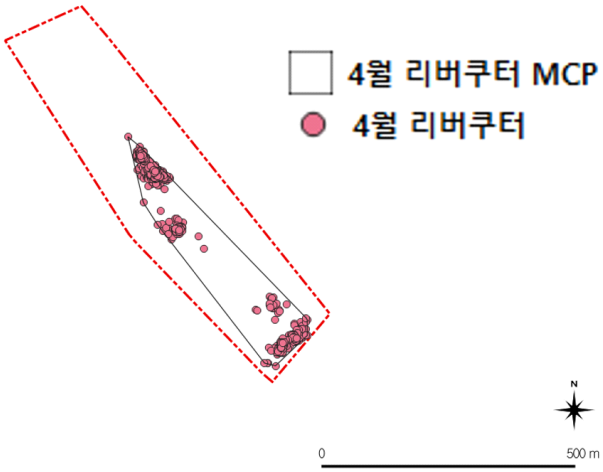
4월 붉은귀거북류 MCP



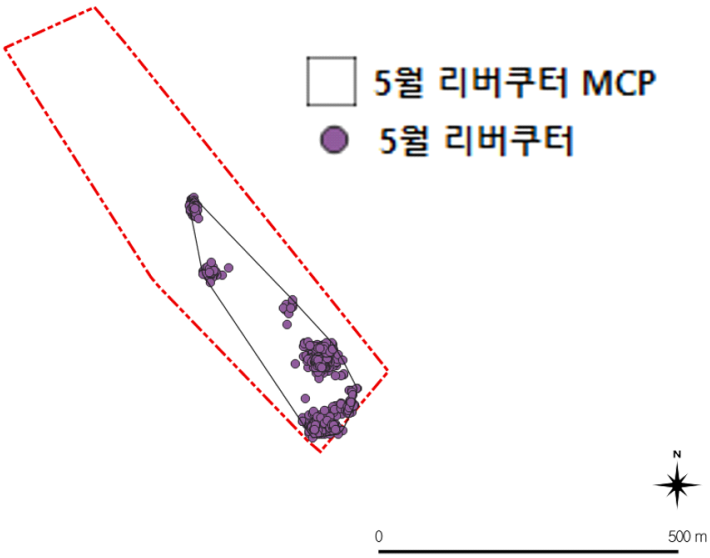
5월 붉은귀거북류 MCP

[그림 18] 2022년 봄철 붉은귀거북류 MCP 분석

안산갈대습지 내 리버쿠터의 2022년 4월 MCP 면적은 44,682㎡으로 나타났으며, 둘레는 1,171m로 확인되었다. 2022년 5월 리버쿠터의 MCP 면적은 39,192㎡로 나타냈으며, 둘레는 1,006m를 보였다.



4월 리버쿠터 MCP



5월 리버쿠터 MCP

[그림 19] 2022년 봄철 리버쿠터 MCP 분석

2절: 종 분포 모델을 통한 선호서식지 분석 결과

1. 가을철(9~10월), 봄철(4~5월) 붉은귀거북류의 종 분포 모델 결과

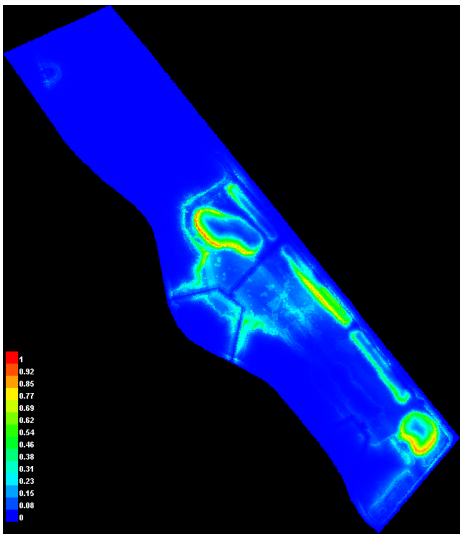
안산갈대갈대습지 내 붉은귀거북류의 그리드별 중앙값(median)으로 도출된 결과는 다음과 같다. AUC값이 높다는 것은 모델의 성능이 훌륭하다는 것을 나타내며, 그 값이 0.8 이상일 때 그 모델이 잘 예측되었다고 설명할 수 있다.

2021년 9월의 붉은귀거북류 종 분포 모델의 AUC(Area Under the Curve)값은 0.924를 나타냈으며, 표준편차(standard deviation)는 0.028를 보여줬다. 첫 번째 모델 테스트에서 68개의 출현 데이터가 Training에 사용되었고, 18개의 출현 데이터는 Testing에 사용되었다. 모델 분포를 확인하는데 총 10,068개의 포인트가 활용되었다. 두 번째 모델 테스트에서는 Training에 69개 Testing에 17개가 활용되었으며, 모델에서 총 10,069개의 포인트가 이용되었다. 따라서 세 번째, 네 번째, 다섯 번째 모델 테스트는 두 번째 모델 테스트의 포인트 활용 개수와 동일하였다.

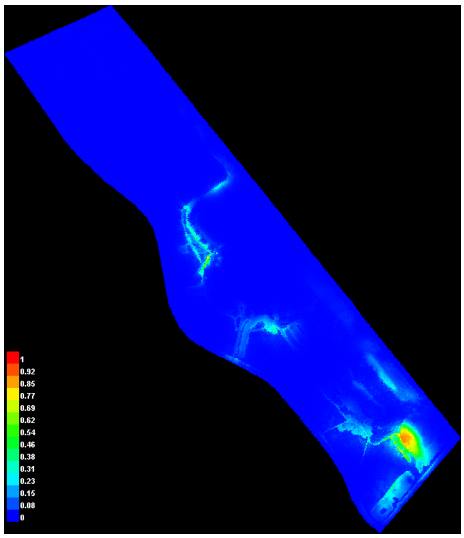
2021년 10월의 붉은귀거북류 종 분포 모델의 AUC는 0.967를 나타냈으며, 표준편차는 0.022를 보여줬다. 첫 번째 모델 테스트에서 52개의 출현 데이터가 Training에 사용되었고, 14개의 출현 데이터가 Testing으로 사용되었다. 모델 분포를 확인하는데 총 10,052개의 포인트가 활용되었다. 두 번째 모델 테스트에서는 Training에 53개 Testing에 13개가 활용되었으며, 모델에서 총 10,053개의 포인트가 이용되었다. 따라서 세 번째, 네 번째, 다섯 번째 모델 테스트들은 두 번째 모델 테스트의 포인트 활용 개수와 동일하였다.

2022년 4월의 붉은귀거북류 종 분포 모델의 AUC는 0.923의 값을 나타냈으며, 표준편차는 0.019를 보여줬다. 첫 번째 모델 테스트에서 132개의 출현 데이터가 Training에 사용되었고, 33개의 출현 데이터가 Testing으로 사용되었다. 모델 분포를 확인하는데 총 10,132개의 포인트가 활용되었다. 따라서 두 번째, 세 번째, 네 번째, 다섯 번째 모델 테스트들은 첫 번째 모델 테스트의 포인트 활용 개수와 동일하였다.

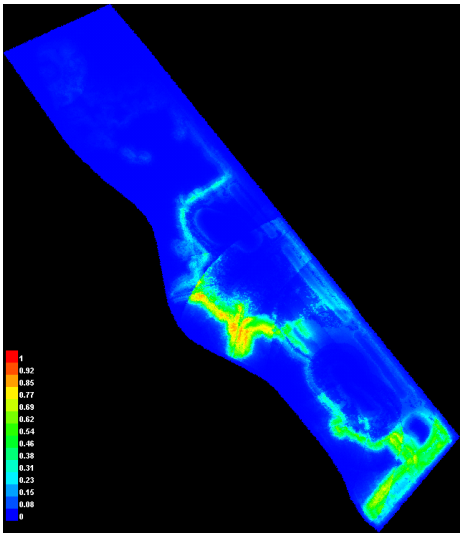
2022년 5월의 붉은귀거북류 종 분포 모델의 AUC 값은 0.947의 값을 보였으며, 표준편차는 0.014로 확인되었다. 첫 번째 모델 테스트에서 114개의 출현 데이터가 Training에 사용되었고, 29개의 출현 데이터가 Testing으로 사용되었다. 모델 분포를 확인하는데 총 10,114개의 포인트가 활용되었다. 두 번째, 세 번째 모델 테스트들은 첫 번째 모델 테스트의 포인트 활용 개수와 동일하였다. 따라서 네 번째, 다섯 번째 모델 테스트에서 Training에 115개 Testing에 28개가 활용되었으며, 모델에서 총 10,115개의 포인트가 이용되었다.



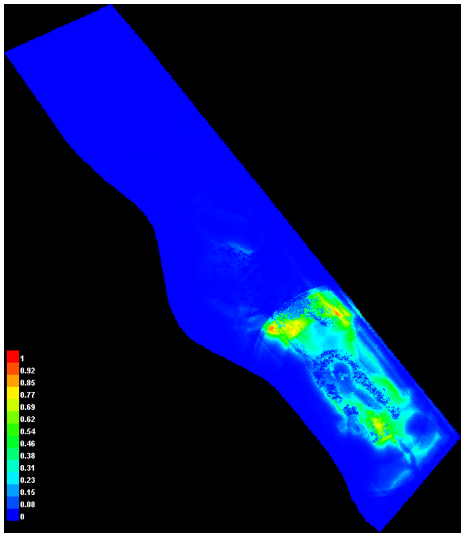
‘21년 9월 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과



‘21년 10월 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과



‘22년 4월 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과



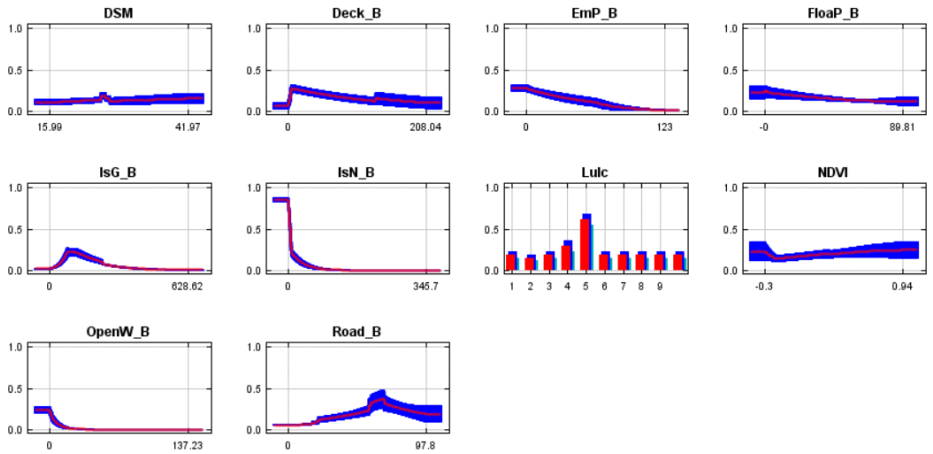
‘22년 5월 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과

[그림 20] 2021년 9월에 대한 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과

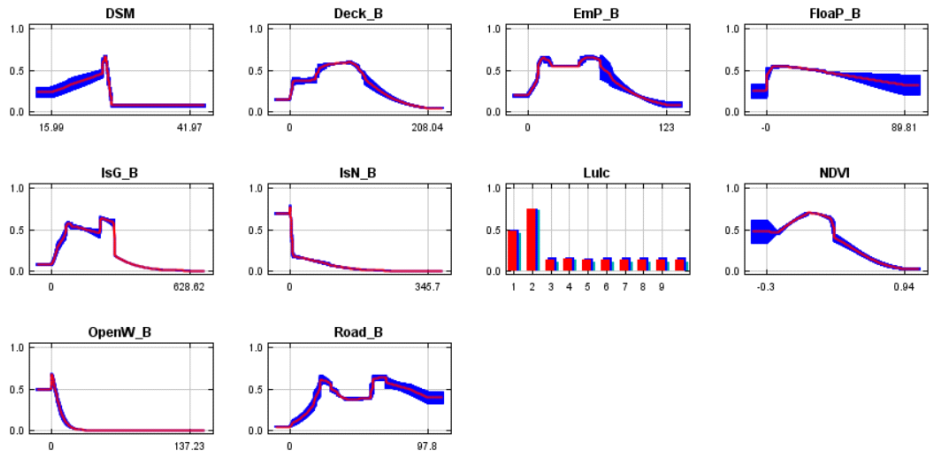
Response curves(반응곡선)는 각 환경변수가 MaxEnt 예측에 어떤 영향을 미쳤는지 보여준다. Response curves의 결과는 다른 모든 환경 변수를 평균값으로 유지하면서 각 환경 변수가 변화함에 따라 예측된 출현 확률이 어떻게 변화하는지 또한 보여줄 수 있는 장점을 가진다.

2021년 9월의 모든 변수들을 고려한 반응곡선에서 0.5이상의 값을 가지는 변수는 ‘개방수면 내 식생이 없는 섬으로부터의 거리’로 확인되었다. 2021년 9월의 각각의 변수별로 0.5 이상 로지스틱의 값을 가지는 구간은 다음과 같다. DSM의 경우, 25~30사이의 값에서 가장 높은 영향이 나타났다. 데크로부터 거리(DECK_B)의 경우, 50~100m 사이에서 0.5 이상의 영향이 확인되었다. 정수식물대로부터 거리(EmP_B)는 15~65m 사이에서 영향을 나타냈다. 부엽·부유식물대로부터 거리(FloaP_B)는 0~40m 사이에서 0.5 이상의 영향을 보여줬

다. 개방수면 내 식생이 존재하는 섬(IsG_B)은 80~300m 사이에서 높은 영향을 나타냈다. 개방수면 내 식생이 존재하지 않는 섬(IsN_B)은 0~10m 사이에서 높은 영향을 보여줬다. Lulc(비오톱 유형)는 식생이 없는 섬 패치에서 0.5 이상의 값을 갖는 것으로 확인되었다. NDVI의 경우, -0.2~0.3 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다. 개방수면(OpenW_B)의 경우, 0~10 사이에서 영향을 주는 것으로 확인되었다. 도로로부터의 거리(Road_B)는 20~30, 60~90 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다.



9월 붉은귀거북류 종 분포 모델의 모든 변수들을 고려한 Response curves의 결과값

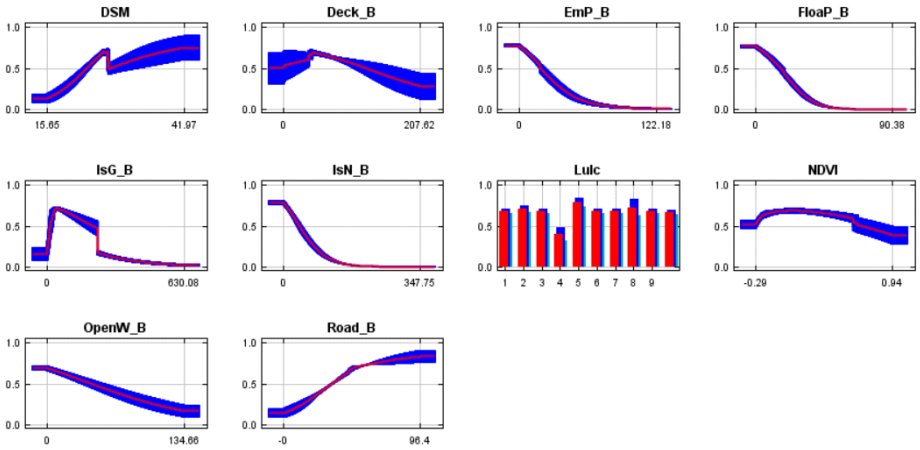


9월 붉은귀거북류 종 분포 모델의 각 변수별로 고려한 Response curves의 결과값

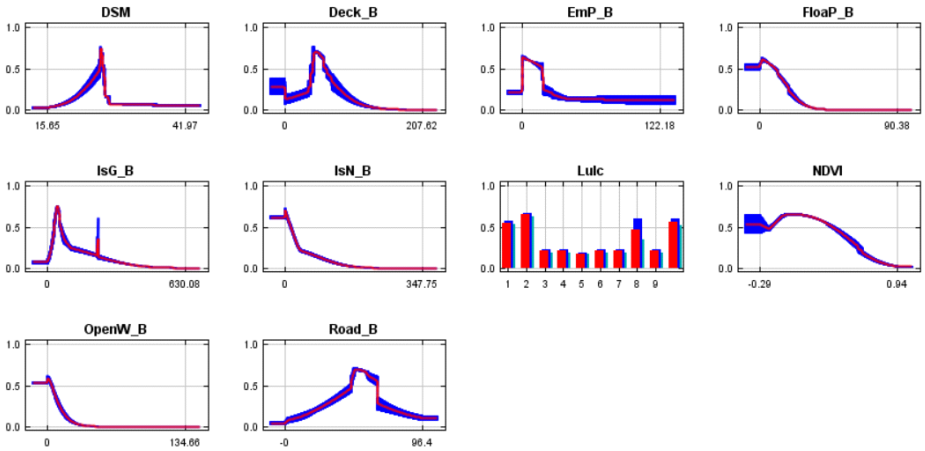
[그림 21] 9월의 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값

2021년 10월의 모든 변수들을 고려한 반응곡선에서 0.5 이상의 반응을 나타내는 변수들은 모든 변수가 해당되었다. 특정 구간에서 반응이 올라가는 변수의 경우 DSM, 데크로부터의 거리(Deck_B), 개방수면 내 식생이 존재하는 섬으로부터의 거리(IsG_B), NDVI로 확인되었다. 2021년 10월 각각의 변수별로 0.5 이상 로지스틱의 값을 가지는 구간은 다음과 같다.

DSM의 경우, 25~30사이의 값에서 가장 높은 영향이 나타났다. 데크로부터 거리(DECK_B)의 경우, 40~70m 사이에서 영향이 확인되었다. 정수식물대로부터 거리(EmP_B)는 0~20m 사이에서 영향을 나타냈다. 부엽·부유식물대로부터 거리(FloaP_B)는 0~10m 사이에서 0.5 이상의 영향을 보여줬다. 개방수면 내 식생이 존재하는 섬(IsG_B)은 50~70m 사이와 약 250m에서 높은 영향을 나타냈다. 개방수면 내 식생이 존재하지 않는 섬(IsN_B)은 0~20m 사이에서 높은 영향을 보여줬다. Lulc(비오톱 유형)는 개방수면, 식생이 없는 섬, 탐방데크, 부유·부엽식물 패치에서 0.5 이상의 값을 갖는 것으로 확인되었다. NDVI의 경우, -0.2~0.4 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다. 개방수면(OpenW_B)의 경우, 0~10 사이에서 영향을 주는 것으로 확인되었다. 도로로부터의 거리(Road_B)는 45~65 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다.



10월 붉은귀거북류 종 분포 모델의 모든 변수들을 고려한 Response curves의 결과값



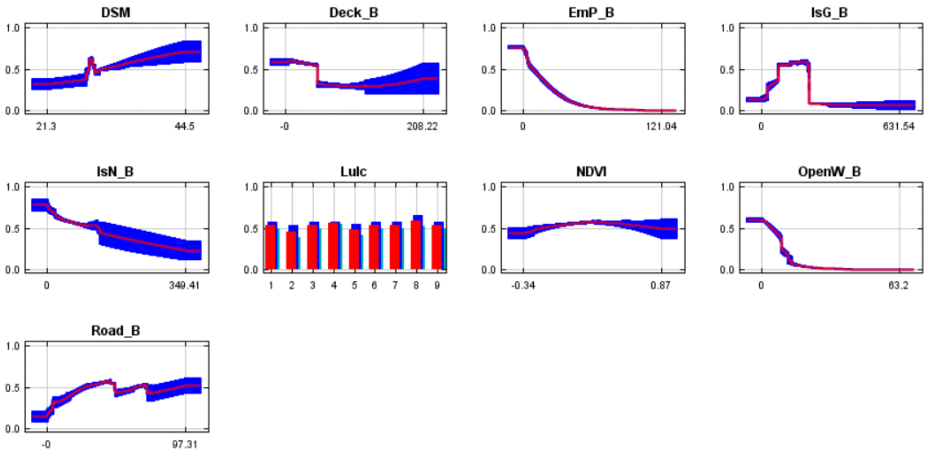
10월 붉은귀거북류 종 분포 모델의 각 변수별로 고려한 Response curves의 결과값

[그림 22] 10월의 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값

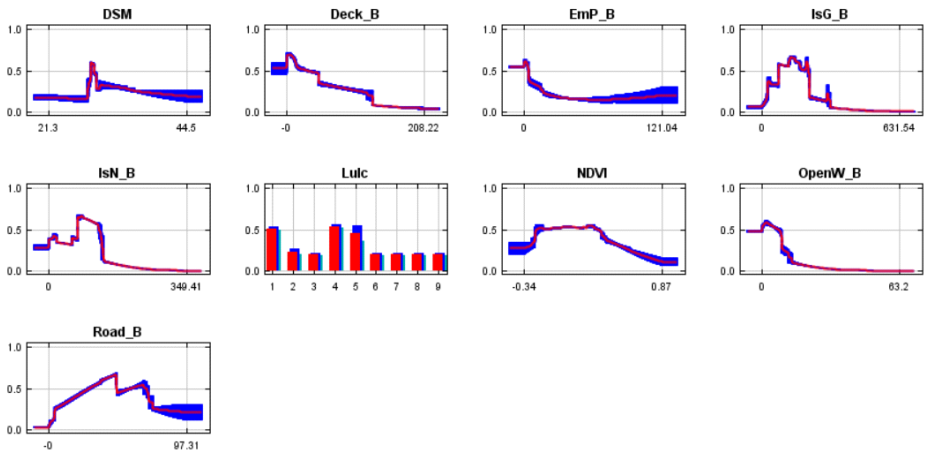
2022년 4월의 모든 변수들을 고려한 반응곡선에서 0.5 이상의 반응을 나타내는 변수들은 활용하였던 모든 변수가 해당되었다. 특정 구간에서 반응이 올라가는 변수의 경우 DSM,

개방수면 내 식생이 존재하는 섬으로부터의 거리(IsG_B), NDVI, 도로로부터의 거리(Road_B)로 확인되었다.

2022년 4월 각각의 변수별로 0.5 이상 로지스틱의 값을 가지는 구간은 다음과 같다. DSM의 경우, 25~30사이의 값에서 가장 높은 영향이 나타났다. 데크로부터 거리(DECK_B)의 경우, 0~50m 사이에서 영향이 확인되었다. 정수식물대로부터 거리(EmP_B)는 0~10m 사이에서 영향을 나타냈다. 개방수면 내 식생이 존재하는 섬(IsG_B)은 90~210m 사이와 약 250m에서 높은 영향을 나타냈다. 개방수면 내 식생이 존재하지 않는 섬(IsN_B)은 75~140m 사이에서 높은 영향을 보여줬다. Lulc(비오톱 유형)는 개방수면, 정수식물대, 기타 초지 패치에서 0.5 이상의 값을 갖는 것으로 확인되었다. NDVI의 경우, -0.2~0.3 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다. 개방수면(OpenW_B)의 경우, 0~10 사이에서 영향을 주는 것으로 확인되었다. 도로로부터의 거리(Road_B)는 30~70 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다.



4월 붉은귀거북류 종 분포 모델의 모든 변수들을 고려한 Response curves의 결과값

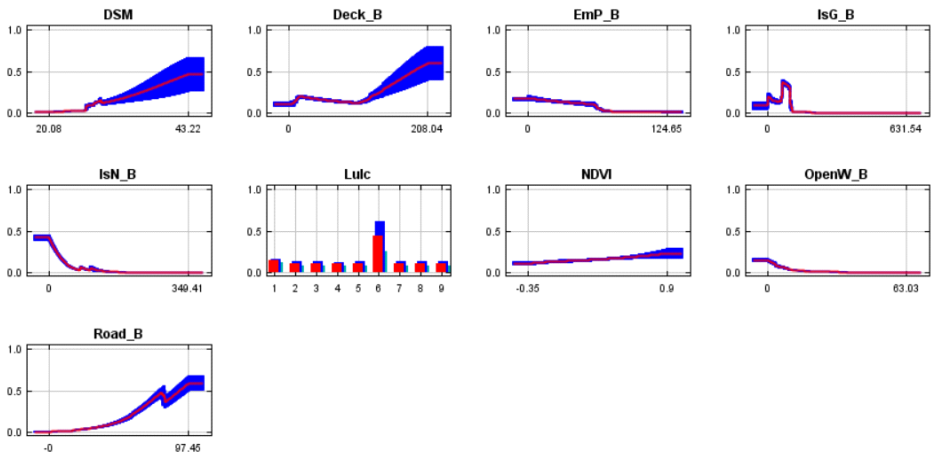


4월 붉은귀거북류 종 분포 모델의 각 변수별로 고려한 Response curves의 결과값

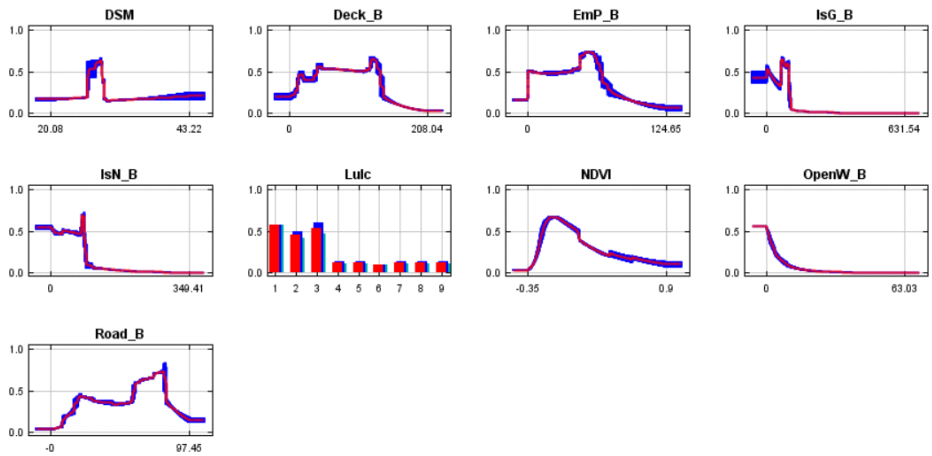
[그림 23] 4월의 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값

2022년 5월의 모든 변수들을 고려한 반응곡선에서 0.5 이상의 반응을 나타내는 변수들은 DSM, 데크로부터의 거리(Deck_B), 도로로부터의 거리(Road_B)가 해당되었다. 특정 구간에서 반응이 올라가는 변수의 경우 도로로부터의 거리(Road_B)로 확인되었다.

2022년 5월 각각의 변수별로 0.5 이상 로지스틱의 값을 가지는 구간은 다음과 같다. DSM의 경우, 25~30사이의 값에서 가장 높은 영향이 나타났다. 데크로부터 거리(DECK_B)의 경우, 50~150m 사이에서 영향이 확인되었다. 정수식물대로부터 거리(EmP_B)는 0~70m 사이에서 영향을 나타냈다. 개방수면 내 식생이 존재하는 섬(IsG_B)은 0~10m 사이와 60~100m에서 높은 영향을 나타냈다. 개방수면 내 식생이 존재하지 않는 섬(IsN_B)은 0~80m 사이에서 높은 영향을 보여줬다. Lulc(비오톱 유형으로 변화된 토지피복 정보)는 개방수면, 개방수면 내 식생이 존재하는 섬에서 0.5 이상의 값을 갖는 것으로 확인되었다. NDVI의 경우, -0.2~0.1 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다. 개방수면(OpenW_B)의 경우, 0에서 영향을 주는 것으로 확인되었다. 도로로부터의 거리(Road_B)는 60~80 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다.



5월 붉은귀거북류 종 분포 모델의 모든 변수들을 고려한 Response curves의 결과값



5월 붉은귀거북류 종 분포 모델의 각 변수별로 고려한 Response curves의 결과값

[그림 24] 5월의 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값

9월의 종 분포 모델에서 개방수면 내 식생이 부재한 섬(IsN_B)의 경우, 52.8의 Percent contribution을 나타냈으며 그 다음은 개방수면으로부터의 거리(OpenW_B)가 18.2를 나타냈다. 10월의 종 분포 모델에서는 개방수면 내 식생이 부재한 섬의 경우, 23.4의 Percent contribution을 나타냈으며 그 다음은 부유·부엽식물대로부터의 거리가 20%, 개방수면 내 식생이 존재하는 섬으로부터의 거리가 15.6%, 정수식물대로부터의 거리가 15.4%로 확인되었다.

[표 12] 가을철의 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값

Month	Variable		Percent Contribution	Permutation Importance
9월	개방수면 내 식생이 없는 섬과의 거리	IsN_B	52.8	52.8
	개방수면과 거리	OpenW_B	18.2	20.3
	정수식물대와 거리	EmP_B	7.1	2.9
	개방수면 내 식생이 있는 섬과의 거리	IsG_B	6.7	12.2
	도로와 거리	Road_B	5.9	3.9
	DSM	DSM	3.6	0.5
	부엽·부유식물대와 거리	FloaP_B	1.9	1.2
	데크와 거리	Deck_B	1.5	3.5
	토지피복 유형	Lulc	1.4	2
	NDVI	NDVI	0.9	0.8
10월	개방수면 내 식생이 없는 섬과의 거리	IsN_B	23.4	21.4
	부엽·부유식물대와 거리	FloaP_B	20.0	29.1
	개방수면 내 식생이 있는 섬과의 거리	IsG_B	15.6	16.6
	정수식물대와 거리	EmP_B	15.4	15.0
	도로와 거리	Road_B	9.2	6.1
	데크와 거리	Deck_B	7.7	1.7
	DSM	DSM	5.9	3.5
	NDVI	NDVI	1.2	0.5
	토지피복 유형	Lulc	1.2	3.1
	개방수면과 거리	OpenW_B	0.4	3.1

4월의 종 분포 모델에서 개방수면 내 식생이 존재한 섬으로부터의 거리의 경우, 36.7의 Percent contribution을 나타냈으며 그 다음은 정수식물대로 부터의 거리가 24.2%, 개방수면으로부터의 거리가 18.9%를 나타냈다. 5월의 종 분포 모델에서는 내 식생이 존재한 섬으로부터의 거리의 경우, 56.7의 Percent contribution을 나타냈으며, 그 다음은 개방수면으로부터의 거리가 14%를 나타냈다.

[표 13] 봄철의 붉은귀거북류 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값

Month	Variable		Percent Contribution	Permutation Importance
4월	개방수면 내 식생이 있는 섬과의 거리	IsG_B	36.7	20.3
	정수식물대와 거리	EmP_B	24.2	22.6
	개방수면과 거리	OpenW_B	18.9	33.7
	도로와 거리	Road_B	6.6	5.4
	DSM	DSM	5.8	2.0
	데크와 거리	Deck_B	5.8	6.2
	개방수면 내 식생이 없는 섬과의 거리	IsN_B	1.7	9.0
	토지피복 유형	Lulc	0.2	0.5
	NDVI	NDVI	0.1	0.4
5월	개방수면 내 식생이 있는 섬과의 거리	IsG_B	56.7	44.4
	개방수면과 거리	OpenW_B	14.0	6.7
	도로와 거리	Road_B	11.6	13.5
	DSM	DSM	7.8	1.2
	데크와 거리	Deck_B	3.7	2.4
	정수식물대와 거리	EmP_B	2.8	7.2
	개방수면 내 식생이 없는 섬과의 거리	IsN_B	2.2	23.3
	토지피복 유형	Lulc	1.1	0.9
	NDVI	NDVI	0.1	0.3

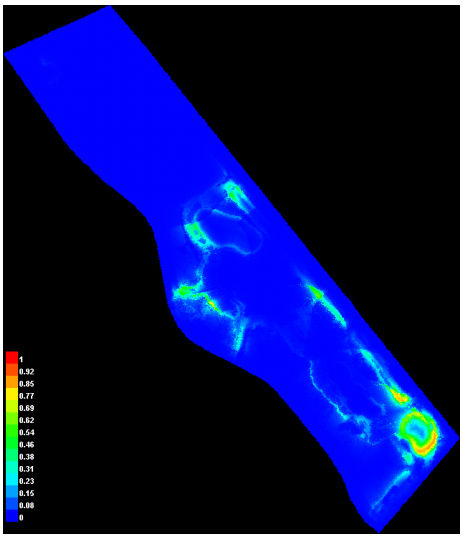
2. 가을철(9~10월), 봄철(4~5월) 리버쿠터의 종 분포 모델 결과

2021년 9월의 리버쿠터 종 분포 모델의 AUC(Area Under the Curve)값은 0.961를 나타냈으며, 표준편차(standard deviation)는 0.023를 보였다. 첫 번째 모델 테스트에서 63개의 출현 데이터가 Training에 사용되었고, 16개의 출현 데이터는 Testing에 사용되었다. 모델 분포를 확인하는데 총 10,063개의 포인트가 활용되었다. 두 번째, 세 번째, 네 번째 모델 테스트는 첫 번째 모델 테스트의 포인트 활용 개수와 동일하였다. 다섯 번째 모델 테스트에서는 Training에 64개 Testing에 15개가 활용되었으며, 모델에서 총 10,064개의 포인트가 이용되었다.

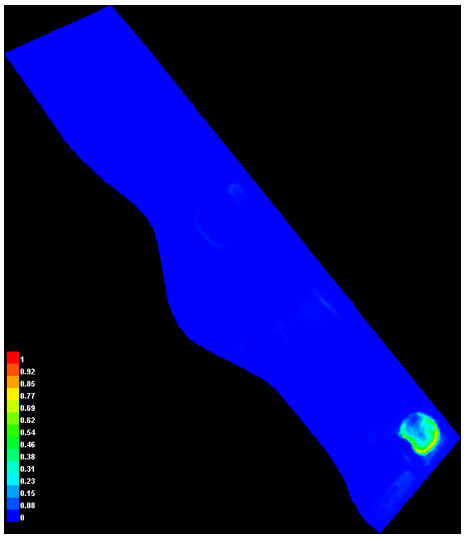
2021년 10월의 리버쿠터 종 분포 모델의 AUC값은 0.990을 나타냈으며, 표준편차의 경우 0.012로 확인되었다. 첫 번째 모델 테스트에서 24개의 출현 데이터가 Training에 사용되었고, 6개의 출현 데이터는 Testing에 사용되었다. 모델 분포를 확인하는데 총 10,024개의 포인트가 활용되었다. 두 번째, 세 번째, 네 번째, 다섯 번째 모델 테스트는 첫 번째 모델 테스트의 포인트 활용 개수와 동일하였다.

2022년 4월의 리버쿠터 종 분포 모델의 AUC는 0.947의 값을 나타냈으며, 표준편차는 0.015로 확인됐다. 첫 번째 모델 테스트에서 180개의 출현 데이터가 Training에 사용되었고, 46개의 출현 데이터는 Testing에 사용되었다. 모델 분포를 확인하는데 총 10,180개의 포인트가 활용되었다. 두 번째 모델 테스트에서는 Training에 181개 Testing에 45개가 활용되었으며, 모델에서 총 10,181개의 포인트가 이용되었다. 세 번째, 네 번째, 다섯 번째 모델 테스트는 두 번째 모델 테스트의 포인트 활용 개수와 동일하였다.

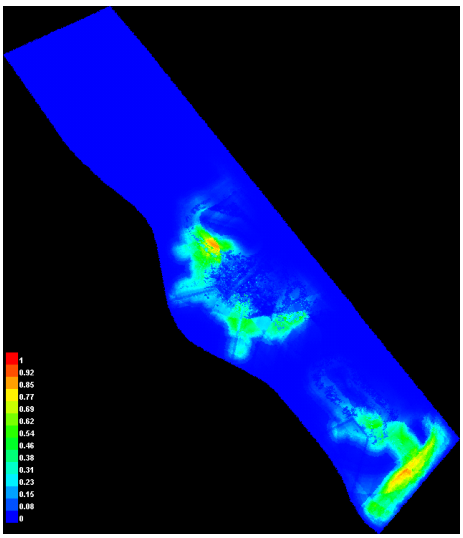
2022년 5월의 리버쿠터 종 분포 모델의 AUC 값은 0.960의 값을 나타냈으며, 표준편차는 0.007를 보였다. 첫 번째 모델 테스트에서 136개의 출현 데이터가 Training에 사용되었고, 35개의 출현 데이터는 Testing에 사용되었다. 모델 분포를 확인하는데 총 10,136개의 포인트가 활용되었다. 두 번째 모델 테스트에서는 Training에 137개 Testing에 34개가 활용되었으며, 모델에서 총 10,137개의 포인트가 이용되었다. 세 번째, 네 번째, 다섯 번째 모델 테스트 모두 두 번째 모델 테스트의 포인트 활용 개수와 동일하였다.



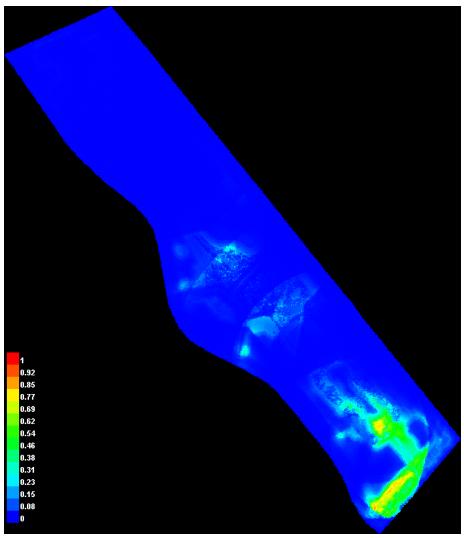
‘21년 9월 리버쿠터 종 분포 모델 결과



‘21년 10월 리버쿠터 종 분포 모델 결과



‘22년 4월 리버쿠터 종 분포 모델 결과



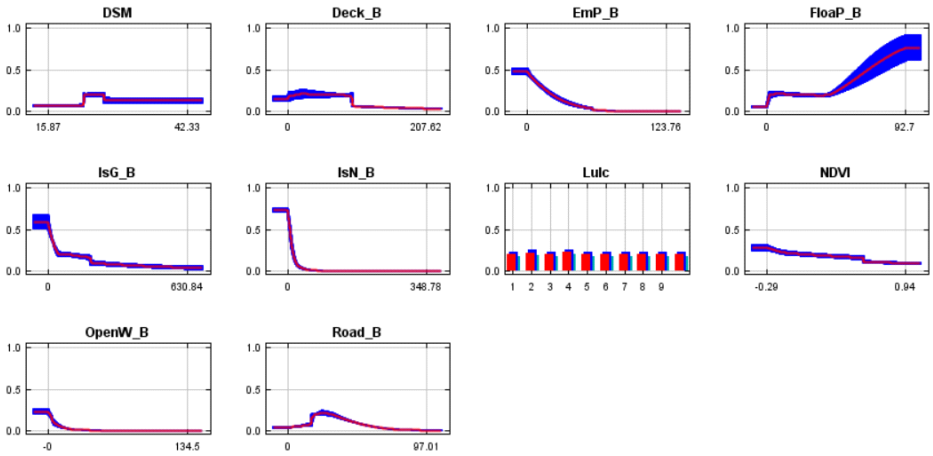
‘22년 5월 리버쿠터 종 분포 모델 결과

[그림 25] 2021년 9월에 대한 리버쿠터 종 분포 모델 결과

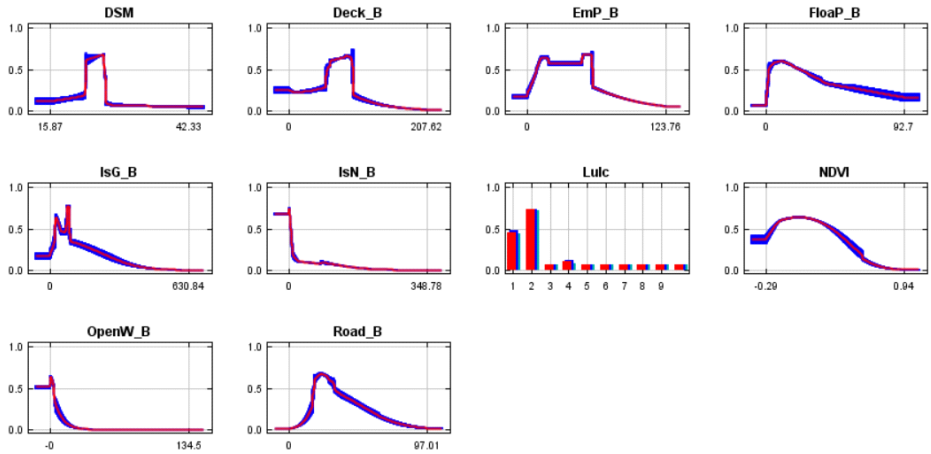
2021년 9월의 모든 변수들을 고려한 반응곡선의 경우, 0.5 이상의 값을 가지는 변수는 부엽·부유식물대로부터 거리, 개방수면 내 식생이 존재하는 섬으로부터의 거리, 개방수면 내 식생이 부재하는 섬으로부터의 거리로 확인되었다.

2021년 9월 각각의 변수별로 0.5 이상 로지스틱의 값을 가지는 구간은 다음과 같다. DSM의 경우, 22~27사이의 값에서 가장 높은 영향이 나타났다. 데크로부터 거리(DECK_B)의 경우, 50~100m 사이에서 영향이 확인되었다. 정수식물대로부터 거리(EmP_B)는 15~60m 사이에서 영향을 나타냈다. 부엽·부유식물대로부터 거리(FloaP_B)는 5~25m 사이에서 0.5 이상의 영향을 보여줬다. 개방수면 내 식생이 존재하는 섬(IsG_B)은 20~100m 사이에서 높은 영향을 나타냈다. 개방수면 내 식생이 존재하지 않는 섬(IsN_B)은 0~10m 사이에서 높은 영향을 보여줬다. Lulc(비오톱 유형으로 변화된 토지피복 정보)는 식생이 없는 섬 패치에서 0.5 이상의

값을 갖는 것으로 확인되었다. NDVI의 경우, -0.2~0.3 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다. 개방수면(OpenW_B)의 경우, 0~10 사이에서 영향을 주는 것으로 확인되었다. 도로로부터의 거리(Road_B)는 15~35 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다.



9월 리버쿠터 종 분포 모델의 모든 변수들을 고려한 Response curves의 결과값



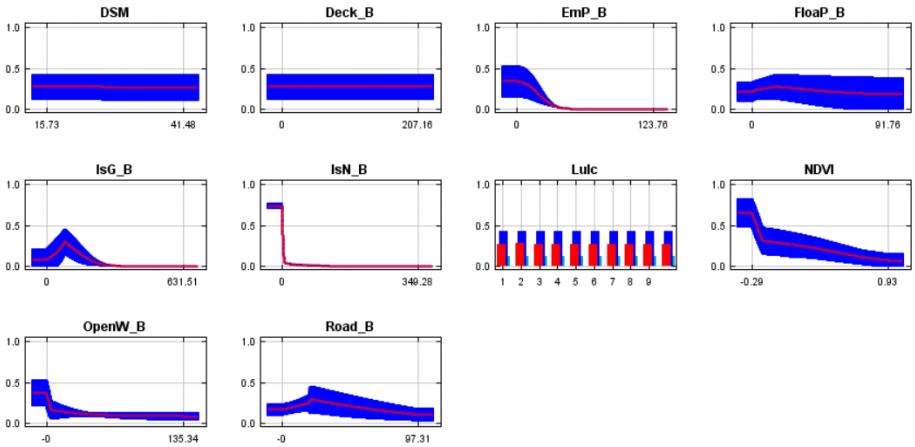
9월 리버쿠터 종 분포 모델의 각 변수별로 고려한 Response curves의 결과값

[그림 26] 9월의 리버쿠터 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값

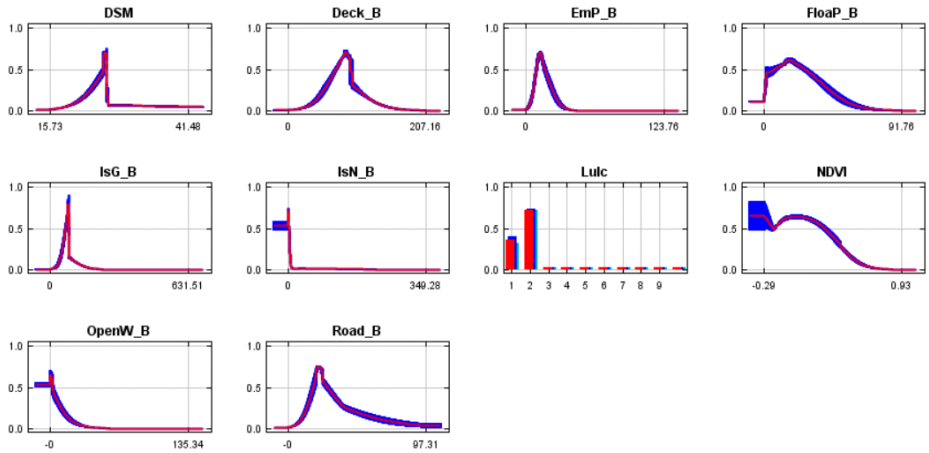
2021년 10월의 모든 변수들을 고려한 반응곡선의 경우, 0.5 이상의 값을 가지는 변수는 개방수면 내 식생이 존재하지 않는 섬으로부터의 거리, NDVI로 확인되었다.

2021년 10월 각각의 변수별로 0.5 이상 로지스틱의 값을 가지는 구간은 다음과 같다. DSM의 경우, 25~27사이의 값에서 가장 높은 영향이 나타났다. 데크로부터 거리(DECK_B)의 경우, 70~100m 사이에서 영향이 확인되었다. 정수식물대로부터 거리(EmP_B)는 15~20m 사이에서 영향을 나타냈다. 부엽·부유식물대로부터 거리(FloaP_B)는 5~30m 사이에서 0.5 이상의 영향을 보여줬다. 개방수면 내 식생이 존재하는 섬(IsG_B)은 60~100m 사이에서 높은 영향을 나타냈다. 개방수면 내 식생이 존재하지 않는 섬(IsN_B)은 0~10m 사이에서 높은 영향을 보여줬다. Lulc(비오톱 유형으로 변화된 토지피복 정보)는 식생이 없는 섬 패치에서

0.5 이상의 값을 갖는 것으로 확인되었다. NDVI의 경우, -0.4~0.1과 -0.2~0.3 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다. 개방수면(OpenW_B)의 경우, 0~10 사이에서 영향을 주는 것으로 확인되었다. 도로로부터의 거리(Road_B)는 15~30 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다.



10월 리버쿠터 종 분포 모델의 모든 변수들을 고려한 Response curves의 결과값



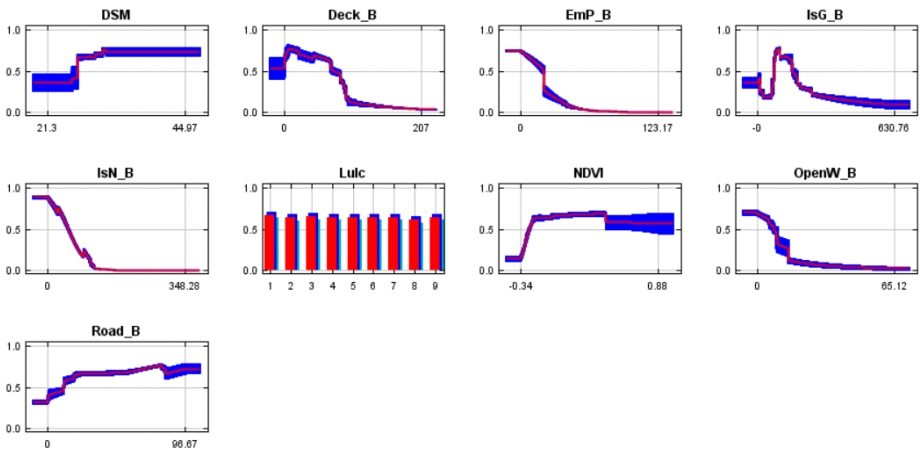
10월 리버쿠터 종 분포 모델의 각 변수별로 고려한 Response curves의 결과값

[그림 27] 10월의 리버쿠터 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값

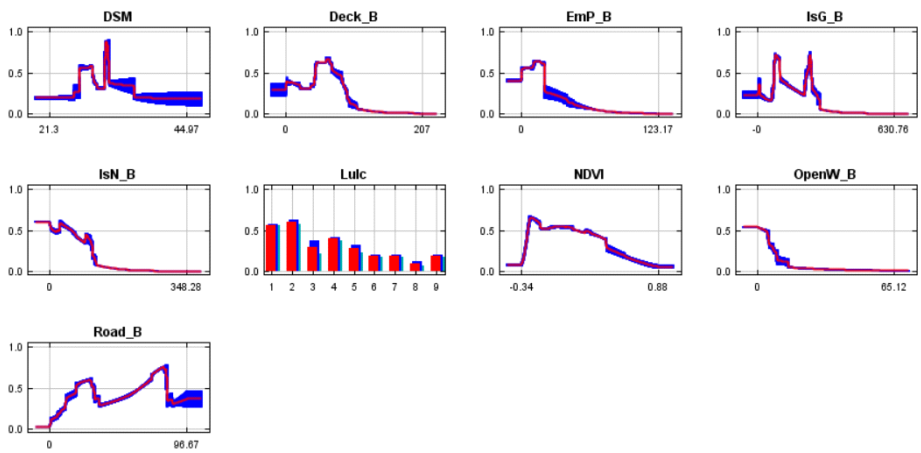
2022년 4월의 모든 변수들을 고려한 반응곡선에서 0.5 이상의 값을 가지는 변수는 모든 변수가 영향을 주는 것으로 확인되었다. 특정 값에서 영향이 높아지는 구간을 모이는 변수로는 데크로부터의 거리(Deck_B), 개방수면 내 식생이 존재하는 섬으로부터의 거리(IsG_B)로 확인되었다.

2022년 4월 각각의 변수별로 0.5 이상 로지스틱의 값을 가지는 구간은 다음과 같다. DSM의 경우, 25~27 사이와 31~32 사이 값에서 가장 높은 영향이 나타났다. 데크로부터 거리(DECK_B)의 경우, 50~80m 사이에서 영향이 확인되었다. 정수식물대로부터 거리(EmP_B)는 0~20m 사이에서 영향을 나타냈다. 개방수면 내 식생이 존재하는 섬으로부터의

거리(IsG_B)은 80~100m과 220~260m 사이에서 높은 영향을 나타냈다. 개방수면 내 식생이 존재하지 않는 섬으로부터 거리(IsN_B)은 0~50m 사이에서 높은 영향을 보여줬다. Lulc(비오톱 유형)는 개방수면과 식생이 없는 섬 패치에서 0.5 이상의 값을 갖는 것으로 확인되었다. NDVI의 경우, -0.3~0.2 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다. 개방수면(OpenW_B)의 경우, 0~5 사이에서 영향을 주는 것으로 확인되었다. 도로로부터의 거리(Road_B)는 20~30m와 65~80m 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다.



4월 리버쿠터 종 분포 모델의 모든 변수들을 고려한 Response curves의 결과값



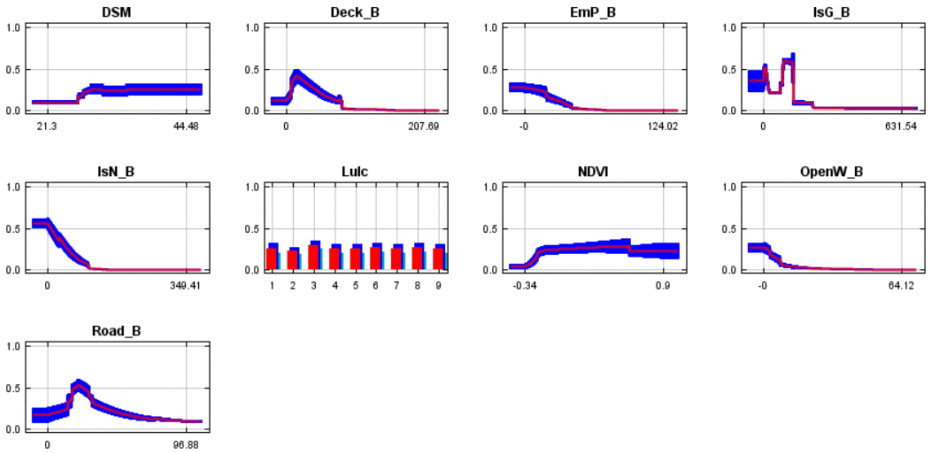
4월 리버쿠터 종 분포 모델의 각 변수별로 고려한 Response curves의 결과값

[그림 28] 4월의 리버쿠터 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값

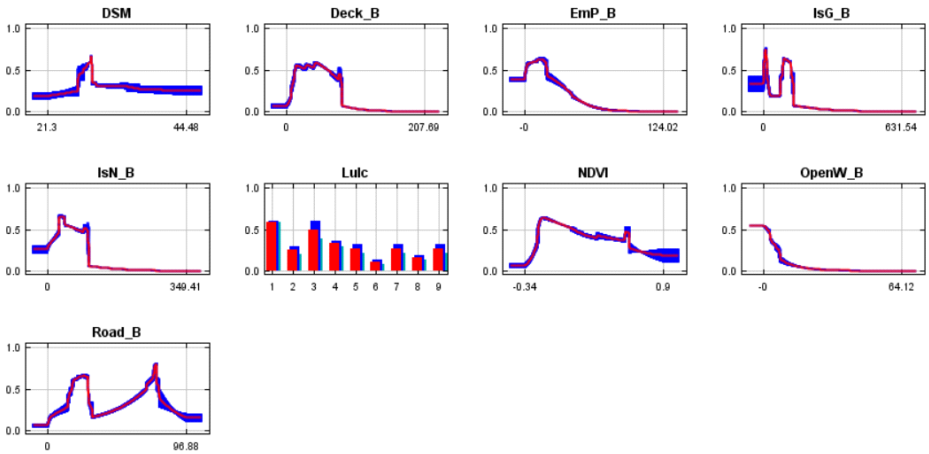
2022년 5월의 모든 변수들을 고려한 반응곡선에서 0.5 이상의 값을 가지는 변수는 개방수면 내 식생이 존재하는 섬으로부터의 거리(IsG_B), 개방수면 내 식생이 존재하지 않는

섬으로부터의 거리(IsN_B), 도로로부터의 거리(Road_B)가 영향을 주는 것으로 확인되었다. 특정 값에서 영향이 높아지는 구간을 모이는 변수로는 개방수면 내 식생이 존재하는 섬으로부터의 거리(IsG_B)와 도로로부터의 거리(Road_B)로 확인되었다.

2022년 5월 각각의 변수별로 0.5 이상 로지스틱의 값을 가지는 구간은 다음과 같다. DSM의 경우, 27~29 사이에서 가장 높은 영향이 나타났다. 데크로부터 거리(DECK_B)의 경우, 10~60m 사이에서 영향이 확인되었다. 정수식물대로부터 거리(EmP_B)는 0~20m 사이에서 영향을 나타냈다. 개방수면 내 식생이 존재하는 섬으로부터의 거리(IsG_B)은 0~30m과 90~150 사이에서 높은 영향을 나타냈다. 개방수면 내 식생이 존재하지 않는 섬으로부터의 거리(IsN_B)은 25~100m 사이에서 높은 영향을 보여줬다. Lulc(비오톱 유형)는 개방수면과 식생이 존재하는 섬 패치에서 0.5 이상의 값을 갖는 것으로 확인되었다. NDVI의 경우, -0.2~0.1 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다. 개방수면(OpenW_B)의 경우, 0~5 사이에서 영향을 주는 것으로 확인되었다. 도로로부터의 거리(Road_B)는 15~30m와 70~80m 사이에서 영향을 주는 것으로 나타났다.



5월 리버쿠터 종 분포 모델의 모든 변수들을 고려한 Response curves의 결과값



5월 리버쿠터 종 분포 모델의 각 변수별로 고려한 Response curves의 결과값

[그림 29] 5월의 리버쿠터 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값

9월의 리버쿠터 종 분포 모형의 경우, 개방수면 내 식생이 부재한 섬의 경우, 42.4의 Percent Contribution을 나타냈으며 그 다음은 정수식물대의 거리에 관한 변수가 11.6%, 개방수면 내 식생이 존재하는 섬이 11.1%를 나타냈다. 10월의 리버쿠터 종 분포 모형의 경우, 개방수면 내 식생이 부재한 섬의 경우, 52.5의 Percent contribution을 나타냈으며, 그 다음은 정수식물대의 거리에 관한 변수가 19.4%, 개방수면 내 식생이 존재하는 섬으로부터의 거리가 15.5%를 나타냈다.

[표 14] 가을철의 리버쿠터 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값

Month	Variable		Percent Contribution	Permutation Importance
9월	개방수면 내 식생이 없는 섬과의 거리	IsN_B	42.4	54.6
	정수식물대와 거리	EmP_B	11.6	13.8
	개방수면 내 식생이 있는 섬과의 거리	IsG_B	11.1	7.5
	개방수면과 거리	OpenW_B	9.9	15.5
	DSM	DSM	8.8	0.6
	도로와 거리	Road_B	7.6	3.6
	데크와 거리	Deck_B	5.9	1.4
	부엽·부유식물대와 거리	FloaP_B	1.9	1.9
	NDVI	NDVI	0.7	1.1
	토지피복 유형	Lulc	0.1	0.1
10월	개방수면 내 식생이 없는 섬과의 거리	IsN_B	52.5	44.6
	정수식물대와 거리	EmP_B	19.4	29.3
	개방수면 내 식생이 있는 섬과의 거리	IsG_B	15.5	22.8
	DSM	DSM	6.6	0
	도로와 거리	Road_B	2.3	0.6
	NDVI	NDVI	2.0	0.9
	개방수면과 거리	OpenW_B	1.1	1.1
	부엽·부유식물대와 거리	FloaP_B	0.6	0.7
	데크와 거리	Deck_B	0	0
	토지피복 유형	Lulc	0	0

4월의 리버쿠터 종 분포 모형의 경우, 개방수면 내 식생이 존재하는 섬으로부터 거리의 경우, 32의 Percent contribution을 나타냈으며 그 다음은 정수식물대로부터의 거리에 관한 변수가 21.4%, 개방수면으로부터의 거리가 15.3, 개방수면 내 식생이 존재하지 않는 섬으로부터의 거리가 13.5로 확인되었다. 5월의 리버쿠터 종 분포 모형의 경우, 개방수면 내 식생이 존재하는 섬으로부터 거리의 경우, 32.8의 Percent contribution을 나타냈으며 그 다음은 데크로부터의 거리에 관한 변수가 18.8%, 개방수면으로부터의 거리가 14.9%, 정수식물대로부터의 거리가 12.4%를 나타냈다.

[표 15] 봄철의 리버쿠터 종 분포 모델 결과 내 Response curves 결과값

Month	Variable		Percent Contribution	Permutation Importance
4월	개방수면 내 식생이 있는 섬과의 거리	IsG_B	32.0	12.7
	정수식물대와 거리	EmP_B	21.4	21.6
	개방수면과 거리	OpenW_B	15.3	12.9
	개방수면 내 식생이 없는 섬과의 거리	IsN_B	13.5	34.3
	데크와 거리	Deck_B	10.4	11.8
	도로와 거리	Road_B	3.8	5.3
	DSM	DSM	2.6	0.9
	NDVI	NDVI	0.9	0.5
	토지피복 유형	Lulc	0.1	0
5월	개방수면 내 식생이 있는 섬과의 거리	IsG_B	32.8	17.2
	데크와 거리	Deck_B	18.8	19.3
	개방수면과 거리	OpenW_B	14.9	13.1
	정수식물대와 거리	EmP_B	12.4	16.5
	개방수면 내 식생이 없는 섬과의 거리	IsN_B	9.4	26.6
	도로와 거리	Road_B	9.1	5.9
	DSM	DSM	1.8	0.5
	NDVI	NDVI	0.5	0.8
	토지피복 유형	Lulc	0.2	0.1

3절: 선호서식지 도출을 통한 외래거북류 생태 관리 계획

1. 외래 거북류의 이진법 지도(binary maps) 중첩을 통한 주요 출현 지역 도출

종 분포 모델의 결과 값에서 'Maximum training sensitivity plus specificity'가 도출된다. 멕센트 모델을 활용한 다양한 저자들은 이 해당 임계값에 대해 출현의 핵심 영역으로 도출할 수 있는 적절한 임계값으로 제시하며, 바이너리 맵을 도출하기 위한 수단으로 활용한다.

2022년 4월의 붉은귀거북류와 관련된 예측 면적의 임계값은 0.175로 이 임계값 이상의 지역에는 거북류가 출현을 한다고 판단할 수 있다.

4월 붉은귀거북류 출현 임계 지도

[그림 30] 봄철(4월) 붉은귀거북류 종 분포 모델 관련 출현 임계값 결과 지도

2022년 5월의 붉은귀거북류 종 분포 모델의 'Maximum training sensitivity plus specificity'의 단편적인 예측 면적 임계값은 0.215이었다.

5월 붉은귀거북류 출현 임계 지도

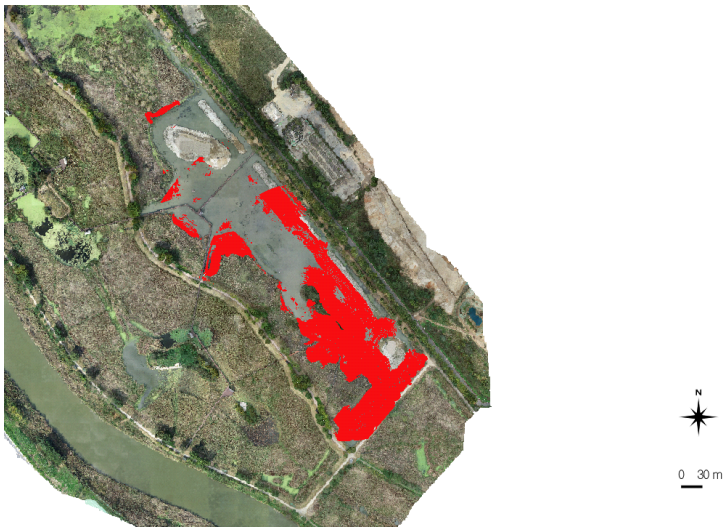
[그림 31] 봄철(5월) 붉은귀거북류 종 분포 모델 관련 출현 임계값 결과 지도

2022년 4월의 리버쿠터 종 분포 모델의 결과 값에서 ‘Maximum training sensitivity plus specificity’에 해당되는 단편적인 예측 면적의 임계값은 0.156로 이 임계값 이상의 지역에는 거북류가 출현을 한다고 판단할 수 있었다.

4월 리버쿠터 출현 임계 지도

[그림 32] 봄철(4월) 리버쿠터 종 분포 모델 관련 출현 임계값 결과 지도

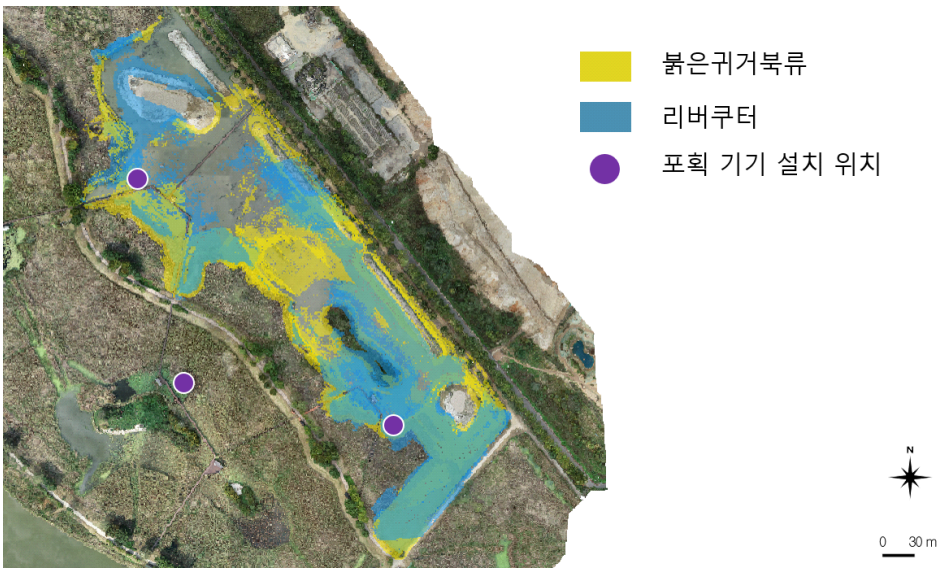
2022년 5월의 리버쿠터 종 분포 모델의 ‘Maximum trainingt sensitivity plus specificity’의 단편적인 예측 면적 임계값은 0.075이었다.



5월 리버쿠터 출현 임계 지도

[그림 33] 봄철(5월) 리버쿠터 종 분포 모델 관련 출현 임계값 결과 지도

외래거북류의 출현 임계값 자료를 기반으로 거북류를 포획할 수 있는 포획틀을 제작하여 출현에 대한 검증을 시행하였다. 남측의 거북류가 출현하지 않는 지역을 대조군으로 포획틀 또한 함께 설치하였다. 포획틀의 위치는 거북류가 중첩되는 지역을 우선순위로 하였으며, 개방수면 내 중앙이며, 사람이 접근할 수 있는 탐방데크와 연계하여 포획틀을 설치하였다.

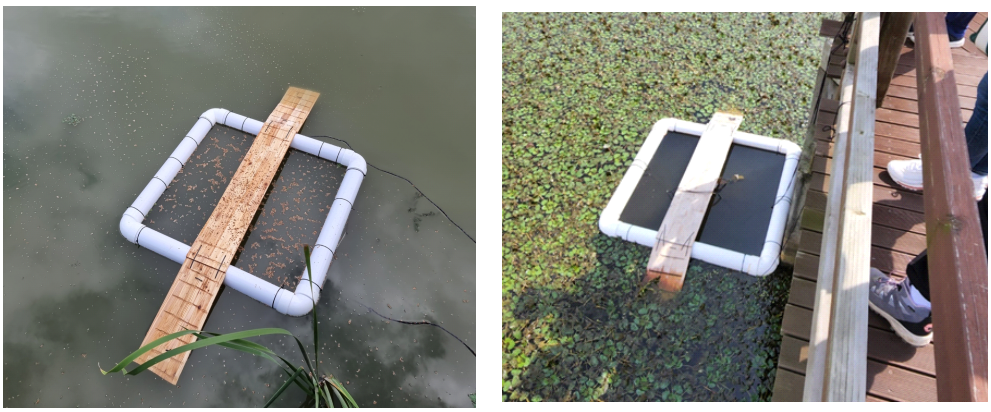


[그림 34] 외래 거북류 포획을 위한 적지 분석(임계값 결과 중첩 지도)

2. 외래 거북류 포획을 통한 주요 선호서식지 검증 결과

주요 출현 바이너리 맵을 통하여 7월 15일부터 거북류 포획틀을 설치하여 모니터링 하였다. 그 결과 거북류 출현 바이너리 맵에 중첩 부분에 해당되는 대상지 북측의 2개의 포획틀에서 리버쿠터 2개체, 붉은귀거북류 1개체가 포획되었다.

모니터링 카메라를 활용한 거북류 포획 사진



포획틀 설치 현장 사진

[그림 35] 포획틀 설치 및 성능 확인 현장 사진

제5장: 고찰 및 결론

1절: 시계열적 외래거북류 위치 특성 및 환경공간 변수 간 관계 고찰

거북류가 서식하는 습지에서 원격탐사 자료를 활용할 때, 위성자료보다 고해상도의 드론을 활용할 경우 서식지를 분석하는데 상대적으로 적합하다(Walton, Elizabeth M, 2006). 그리고 외래종 모니터링에 있어서 원격탐사 분야는 환경DNA와 시민과학과 같이 적극적으로 활용되어야 할 분야이다((Larson et al, 2020). 본 연구는 위치정보(GNSS)와 고해상도 드론 항공자료를 활용하여 외래종에 대한 분포를 예측하고, 그러한 출현에 따른 환경변수의 영향 정보를 파악했다는 점에서 차별성이 있다.

MCP 분석을 통한 붉은귀거북류와 리버쿠터의 행동권 비교로 가을철과 봄철마다 서식지 내 두 종간 행동권이 유사하다는 것을 시사한다. 또한, 대상지 내 두 종간 MCP의 위치와 면적이 유사하였는데 붉은귀거북류와 리버쿠터 두 종이 동일한 서식지 반경을 가진다는 것을 볼 수 있다. 계절별 내 월 단위로 각 종별 행동권을 비교하였을 때, 2021년 9월보다 10월에 행동권이 낮아졌고 이는 기온에 따라 활동 반경이 달라지는 거북류의 특성에 기인한 것으로 볼 수 있다.

다만, MCP는 동물의 서식하는 범위가 과도하게 평가되고, 핵심지역에 대한 분석이 어렵다는 단점을 가진다. 그리고 범위가 과도하게 설정되어 서식지 범위 내 분석 환경이 다른 서식지가 함께 분석될 수 있다(Sekercioglu et al, 2007). 이 때문에 다른 위치정보 분석을 방향에 대해 검토해볼 필요가 있다. 대표적으로 LoCoH(Local nearest neighbor Convex-Hull) 분석 기법이 있다. LoCoH는 동물의 행동권 내 핵심구역을 분석하는 방법론으로 인접하는 영역 내 연결선의 다각망을 활용한 방법이다(Sawyer, 2012). LoCoH는 인접한 포인트 자료와 다각망을 각 점으로부터 점차 증가시키고, 그 중복 빈도가 높은 곳과 망의 병합 빈도가 높은 곳을 핵심구역으로 분석한다(Getz and Wilmers., 2004; Getz et al., 2007). LoCoH는 인접한 점의 개수로 병합의 빈도를 계산하는 k-LoCoH이 있고, 다각망 관련하여 각 거리를 통해 계산한 r-LoCoH와 설정 거리 내 점 포인트로 차수를 만드는 a-LoCoH가 있다. 이러한 LoCoH 분석은 동물이 서식하지 않는 지역에 대해 제외하기에 객관적인 서식지 범위를 도출에 유용한 방법이지만 연구자의 판단에 따른 k값의 선정으로 주관적인 요소가 개입한다는 단점이 존재한다. 따라서 위치센서를 활용한 분석 시, 연구자의 판단에 따라 MCP 분석과 LoCoH 분석을 선택하여 적용할 필요가 있고, 두 방법의 차이점을 인식하고 분석하는 것이 중요하다.

토지이용과 거북류 서식에는 영향이 있는데(SC Sterrett et al, 2011), 이는 자연환경의 토지 유형이 거북류의 서식과 밀접한 관계가 있음을 시사한다. 이에 본 연구는 기존의 토지

피복 요소에서 비오톱적인 요소로 보완하여 연구에 적용하였다. 토지피복(세분류) 정보보다 비오톱적인 요소로 관계를 살펴보았을 때 추가적인 종 출현 영향을 파악할 수 있었다. 그리고 '개방수면 내 섬'과 같은 비오톱 유형에서 '식생이 존재하는 섬'과 '식생이 없는 섬'과 같이 세부적인 환경 공간요소로 나누어 계절별 공간에 따른 출현 영향을 확인하였다. 거북류가 일광욕을 하거나 포식자로부터 안전하게 휴식을 할 수 있는 개방수면 내 섬의 공간은 거북류 서식에 주요한 물리적인 환경 요소임을 확인할 수 있다. 단, '식생이 없는 섬'과 같은 유형은 생태공원 대상지 내에 식물 군락의 관리를 위해서 인위적으로 제거하거나 새롭게 구성한 토지 유형이었기 때문에 일시적인 공간이기도 하였다. 따라서 식생이 없는 섬과 같은 유형들이 대상지의 장기적인 모니터링 측면에서 지속적으로 거북류 출현에 영향을 주는 환경공간 변수인지는 지속적인 연구가 필요하다.

개방수면 내 섬 이외, 정수식물대로부터의 거리 또한 다음의 높은 영향을 미친 것으로 확인되었다. 이는 거북류가 정수식물대에서 은신을 하거나, 정수식물대가 쓰러진 지역에서 일광욕을 하는 것처럼 정수식물대의 근처 지역 또한 거북류의 주요 출현 요소임을 시사한다. 그리고 추가적인 결과에서 부엽 및 부유 식물대 또한 거북류 출현과 연관이 있었는데, 이는 붉은귀거북류의 서식에 있어서 수생식물의 피도량이 영향을 미친다는 연구(Cagle, 1950)와 동일한 결과를 나타냈다.

기존의 안산갈대습지를 대상지로 진행한 연구 중 환경적 요인과 붉은귀거북류간 영향을 살펴본 결과, 기상요인인 일장 요소만 유의한 결과를 나타냈고 다른 기상요인인 일 최고/저기온, 수온, 풍속, 습도, 강수량과 구조적 요인인 수생식물 피도량, 바위/기타 식물/인공구조물의 유무, 육지와의 최단 거리와는 통계적으로 유의미한 결과가 나타나지 않았다(장지화 2004). 하지만 본 연구에서는 구조적 공간요소인 도로(탐방데크, 비포장도로, 포장도로)가 봄철 거북류 출현에 영향을 미치는 것을 확인하였다. 다만, 도로는 하나의 변수로써는 거북류의 출현에 영향을 미치지만 모든 환경 공간적 변수 간 관계를 고려하였을 때는 거북류의 출현에 있어 큰 영향을 미치지 않았다. 결국 외래거북류는 도시생태계에서 인간으로부터 받는 교란 및 스트레스에 있어서 적응력이 높기 때문에 이러한 구조적인 요소에 큰 영향을 받지 않는 것으로 추측된다. 이외, 붉은귀거북류와 리버쿠터는 5월부터 데크에 대한 출현 영향이 커진 것을 확인할 수 있는데, 데크 주변에 초지가 있고 이러한 공간에 알을 낳는 습성이 있는 거북류의 행태적 특징이 도로와 연관되었을 것으로 사료된다.

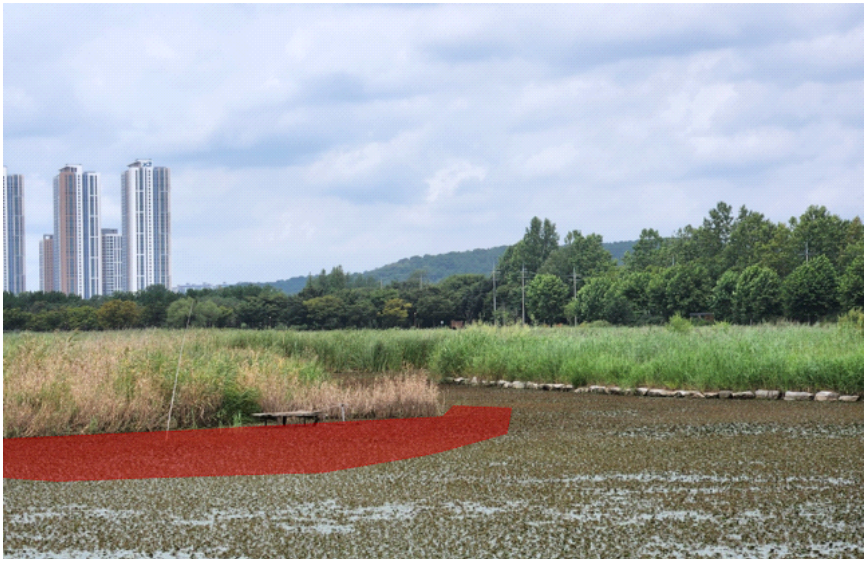
서식지 내 활동 면적 부분은 계절별로 살펴보았을 때, 붉은귀거북의 출현 영역과 리버쿠터의 출현 영역 간 차이는 있었다. 특히 10월 가을철에 붉은귀거북류와 리버쿠터는 대상지 동측의 '식생이 존재하지 않는 섬'을 두 종 모두 동일하게 선호하였지만 해당 섬 안에서의 소규모 영역에는 영역 간 차이가 있었다. 붉은귀거북은 해당 출현 섬 내에서 동서측을 주로 높게 출현했지만 리버쿠터는 동측의 섬을 중심으로 높은 출현을 하였다. 따라서 안산갈대

습지 내 서식하는 외래 거북류 두 종은 선호하는 서식지는 동일하지만 종별로 세부적인 서식영역은 나누어지는 것으로 판단된다.

2절: 외래 거북류 선호 서식지 도출을 통한 생태 관리 계획 고찰

외래거북류 중 붉은귀거북류는 토착종인 거북류에게 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Pearson et al, 2015). 이러한 생태계에서 외래생물이 부정적으로 미치는 영향(MA Duenas et al, 2021; Bellard et al, 2016)을 최소화하기 위해 침입 외래종에 관리는 필요하다. 따라서 침입 외래종에 대한 선호서식지를 파악하고 이를 통한 관리 및 방제를 적용해 볼 필요가 있다. 먼저 본 연구에서는 포획틀을 설치하여 외래 거북류에 대한 포획을 시도한 결과, 붉은귀거북류 1개체와 리버쿠터 2개체를 포획하였다. 붉은귀거북은 2021년 방출한 개체였으며, 리버쿠터는 기존에 방출하지 않은 다른 개체로 확인되었다. 포획 결과를 통해 연구기간 이전부터 리버쿠터는 안산갈대습지에 지속적으로 서식하고 있던 것으로 판단된다. 그리고 포획틀을 설치하기 위한 지역을 도출하기 위해 모델의 임계값을 활용하였다. 이를 통해 거북류의 포획 또한 성공할 수 있었다. 이는 현장에서 전문가 판단을 통한 외래생물종에 퇴치 이외 종 분포 모델링을 통한 외래생물의 관리 및 방제 계획의 가능성을 시사한다.

외래거북류의 개체수 조절에 대한 지속적인 관리가 되어야 한다. 선행 문헌에서는 1980년대부터 2000년 사이에 국내 붉은귀거북류의 개체수는 1.8~3.5배가 증가하였으며, 습지 또는 인공연못을 중심으로 관리하여 서식지 확장을 줄여나갈 필요가 있다고 언급하였다(Wi Yunju et al, 2022). 안산갈대습지의 1,037,500㎡ 대상지 내 붉은귀거북류가 94.0±11.4마리가 서식한다고 개체를 추정한바 있다(정지화, 2014). 따라서 안산갈대습지는 2000년대 초의 개체수 증가를 기준으로 붉은귀거북류와 같은 외래거북류에 대해 개체수를 2배 이상 줄여나갈 필요성이 있다. 그리고 본 연구의 결과를 통해 도출된 선호 서식지 유형을 중심으로 퇴치와 포획을 시도할 수 있다. 본 연구의 결과는 침입 외래종의 개체 퇴치의 목표에 기여할 수 있다고 판단된다. 특히, 대상지에서 두 종간 중첩되는 지점의 환경공간 특징으로는 개방수면 내 섬과 정수식물 군락(갈대, 부들)이 있다. 따라서 포획틀을 설치를 할 때, 개방수면 내 섬과 정수식물 군락과의 인접성을 고려하여 포획 및 제거 작업을 하면 효율적인 포획 방안을 이행할 수 있음을 시사한다. 구체적으로 대상지 상부 개방수면 일대에서 중심에 위치한 섬과 정수식물대 사이의 공간을 포획 거점으로 제시할 수 있다.



[그림 36] 섬과 인접한 정수식물대 구역에서 퇴치 관리 진행

이외, 정수식물대 주변은 수심이 낮은 지역이다. 따라서 습지 내 수심이 낮은 지역 또한 거북류의 주요 출현 지점으로 제시할 수 있다. 단, 대상지 현장에서는 낮은 수심으로 인해 높이가 큰 포획틀을 활용하지 못하였는데, 포획틀이 아닌 수심이 낮은곳에도 설치할 수 있는 포획망으로 현장 여건에 맞게 이용한다면 외래거북류를 효과적으로 포획할 수 있을 것이다.

[그림 37] 수심이 낮은 습지 식물대 인근 중심으로 관리

종 분포 모델링을 통하여 거북류의 출현이 도출된 지역 중 연구대상지 범위 중 남동측에 사방이 정수식물대가 존재하여 사람이 접근하기 어려운 개방수면이 존재하였다. 이러한 출현 지역은 인간이 접근하기 어려운 공간이라는 특징을 갖는다. 침입 외래종 출현을 파악

할 수 있으며, 파악된 지점을 중심으로 중점 퇴치 관리를 시도해 볼 수 있다.

[그림 38] 인간의 간섭이 어려운 정수식물대에서의 관리

이처럼 외래생물 관리에 있어서 출현 서식지 분석과 환경공간 변수들을 통한 선호서식지 도출은 앞으로도 생태계교란종과 외래생물종의 생태적 관리 계획에 필수적인 연구 방법으로 적용할 수 있으며, 퇴치 및 관리에 있어서 선행되어 생물종에 대해 이해되어야 하는 부분이다.

3절: 연구의 한계 및 향후 연구

본 연구의 한계는 위치센서 기기의 내구성으로 인한 지속적인 위치자료 확보의 제한이 있었다. 연구 검증과정에서 포획된 붉은귀거북류 1개체는 2021년에 방사된 개체였는데 포획 후 위치센서를 확인한 결과, 위치센서의 안테나가 파손되었으며 태양광 전지판에는 이물질이 덮여 기기의 전력 충전에 제한이 있었을 것으로 사료되었다. 또한, 거북류 등갑의 탈피와 등갑과 고정된 줄의 풀림으로 인해 위치센서가 개체에 올바른 위치에 유지가 되지 못하여 지속적인 데이터 송수신에 어려움이 있을 것으로 판단된다. 또한, 거북류의 겨울철 월동 특성과 육지와 습지의 이동에 따른 급격한 환경변화에 있어서 위치센서 기기의 내구성에 문제가 있었을 것으로 보인다. 이러한 점으로 인해 본 연구는 붉은귀거북류와 리버쿠터 동일한 두 종으로 위치데이터를 확보하였으나, 동일한 개체를 통하여 지속적으로 데이터를 확보하지 못하였다는 점에 한계가 있다. 이외, 환경공간변수를 제외하고 위치데이터만을 활용하여 분석한 연구가 MCP 분석이라는 점이 있다. 국내외적으로 MCP 분석의 한계를 극복하고자 Movement 기반의 위치데이터 분석을 시도하는 연구가 지속적으로

이루어지고 있다. 따라서 MCP 분석을 통한 행동권 분석 이외에 종 또는 개체의 이동특성을 고도화하여 분석할 수 있는 방안들이 요구된다.

향후 연구는 위치데이터를 활용하여 동물의 이동특성을 고도화하고 분석하는데 있다. Movement 요소적인 동물의 특성을 이해한다면 환경공간적인 변수 융합을 통한 분석 이외에 고도화된 분석을 진행할 수 있을 것이다. 그리고 드론을 활용한 정보 구축은 대상지의 고해상도 자료를 확보할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 장점을 통해 얻어지는 Lidar, 다분광과 같은 정보들을 이용하여 고도화된 환경변수 간 출현 관계를 파악한다면 외래생물의 생태적인 특성을 이해할 수 있을 것으로 판단된다.

4절: 결론

본 연구는 도시습지에 해당되는 안산갈대습지공원을 대상으로 기존 서식중인 외래거북류의 생태적 특성을 파악하였다. 기존의 큰 스케일로 진행되던 연구의 한계점를 극복하고 작은 스케일에서의 시계열적인 서식지 공간과 동물 출현 관계를 파악할 수 있었다.

위치 데이터 총 1,050개와 드론으로 취득된 가을철 자료와 봄철 자료를 융합하여 분석하였다. 드론으로 취득된 데이터는 토지피복도 세분류(2021)보다 상세하게 비오톱 유형의 자료로 재구축할 수 있었다. 각 환경변수들을 활용하기 위해 다중공선성 검토를 위한 통계분석을 진행하였으며 0.8이상의 상관관계를 갖는 변수는 나타나지 않았다. 환경 공간변수는 개방수면, 개방수면 내 섬, 정수식물대, 부엽식물대, 도로, 데크, DSM, NDVI과 같이 9개에서 10개의 공간적인 환경변수로 적용하였다.

위치데이터를 활용한 외래거북류의 행동권 분석을 위해 MCP를 분석하였다. 가을철, 봄철 거북류의 MCP 분석을 하였으며, 봄철인 4월에 붉은귀거북류가 가장 높은 MCP 면적을 차지했다. 가을철인 10월에 리버쿠터가 가장 낮은 MCP 면적을 나타냈다. 출현 정보와 환경공간 변수간 영향를 파악하기 위해 MaxENT 모델을 활용하였다. 가을철, 봄철 외래거북류의 모델 결과는 모두 0.9이상의 AUC 값을 가졌으며, 표준오차는 0.05 이내로 나타났다. 출현에 영향이 있는 변수로는 개방수면 내 식생이 있는 섬과 없는 섬, 정수식물대, 부엽·부유식물대, 개방수면들이 외래거북류 출현에 의미 있는 변수로 도출되었다.

모델 결과를 기반으로 이항 지도를 도출하여 선호서식지를 확인하였다. 거북류 출현이 예측되는 지역에 거북류 포획 트랩을 설치하였으며 총 3개체의 외래거북류를 포획하였다. 이를 통해 생태계교란종과 외래생물종에 해당되는 외래거북류의 포획을 위해서는 본 연구의 의미 있는 변수도 도출된 환경공간 변수들을 우선석으로 고려되어 관리가 이루어져야한다. 환경 생태 관리자는 해당 변수들이 인접하여 있는 곳에 거북류 포획을 시도한다면 보다 효과적인 퇴치관리의 방안으로 활용할 수 있음을 제안한다.

본 연구는 다른 생태계교란종과 외래생물의 위치 특성과 선호 서식지 파악에 있어 동일한

연구방법 과정을 적용할 수 있다. 소규모의 지역에서의 생태적 특성을 파악하기 위하여 드론을 활용하고, 위치센서 부착을 통한 종의 출현 정보 파악 과정은 국내 서식하는 생태계 교란종과 외래생물종을 이해하는데 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 해외문헌

(1) 학술지

Amaral, Silvana, Cristina Bestetti Costa, Camilo Dakleles Rennó(2007). Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) improving species distribution models: an example with the neotropical genus Coccocypselum (Rubiaceae). editor, Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, volume, 2275-2282.

Bellard, Céline, Piero Genovesi, Jonathan M. Jeschke(2016). Global patterns in threats to vertebrates by biological invasions. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 283(1823), 20152454.

Belkhiria, Jaber, Moh A. Alkhamis, Beatriz Martínez-López(2016). Application of species distribution modeling for avian influenza surveillance in the United States considering the North America migratory flyways. Scientific reports, 6(1), 1-10.

Cagle, Fred R(1950). The life history of the slider turtle, Pseudemys scripta troostii(Holbrook). Ecological Monographs 20(1): 31-54.

Miguel Clavero, Lluís Brotons, Pere Pons, Daniel Sol(2009). Prominent role of invasive species in avian biodiversity loss. Biological Conservation, 142(10), 2043-2049.

Manuel-Angel Dueñas, David J. Hemming, Amy Roberts, Hilda Diaz-Soltero(2021). The threat of invasive species to IUCN-listed critically endangered species: A systematic review. Global Ecology and Conservation, 26, e01476.

Farrell, S. L, et al(2013). Using LiDAR-derived vegetation metrics for high-resolution, species distribution models for conservation planning. Ecosphere, 4(3), 1-18.

Franklin, J(2010). Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge University Press.

Gleiss, Adrian C., Rory P. Wilson, and Emily LC Shepard(2011). Making overall dynamic body acceleration work: on the theory of acceleration as a proxy for energy expenditure. Methods in Ecology and Evolution, 2(1), 23-33.

Jaeger, Collin P and Vincent A(2012). Comparative spatial ecologies of female painted turtles (Chrysemys picta) and red-eared sliders (Trachemys scripta) at Reelfoot Lake, Tennessee. Chelonian Conservation and Biology, 11(1), 59-67.

Larson, Eric R, et al(2020). From eDNA to citizen science: emerging tools for the early detection of invasive species. Frontiers in Ecology and the Environment, 18(4), 194-202.

Nilsen, Erlend B., Simen Pedersen, John DC Linnell(2008). Can minimum convex polygon home ranges be used to draw biologically meaningful conclusions?. Ecological research, 23(3), 635-639.

Pearson, Steven H., Harold W. Avery, James R. Spotila(2015). Juvenile invasive red-eared slider turtles negatively impact the growth of native turtles: implications for global freshwater turtle populations. Biological Conservation, 186, 115-121.

Petr Pyšek, David M. Richardson, Jan Pergl, Vojtěch Jarošík, Zuzana Sixtová, Ewald Weber(2008). Geographical and taxonomic biases in invasion ecology. Trends in ecology & evolution, 23(5), 237-244.

Rhianna L. Ricketts, et al(2020). Overall dynamic body acceleration as an indicator of dominance in homing pigeons. bioRxiv.

Santoro, Anthony, et al(2020). Land use surrounding wetlands influences urban populations of a freshwater turtle. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 30(5), 1050-1060.

Thuiller, Wilfried(2003). BIOMOD-optimizing predictions of species distributions and projecting potential future shifts under global change. Global change biology, 9(10), 1353-1362.

Anett S. Trebitz, John C. Brazner, Nicholas P. Danz, Mark S. Pearson, Gregory S. Peterson, Danny K. Tanner, Debra L. Taylor, Corlis W. West, Thomas P. Hollenhorst(2009). Geographic, anthropogenic, and habitat influences on Great Lakes coastal wetland fish assemblages. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 66(8), 1328-1342.

Wi, Yunju, Gyujin Oh, Hee-Jin Kang, Ha-Cheol Sung, Seung-ju Cheon, and Hong-Sung Jin(2022). Population dynamics of the red-eared slider (Trachemys scripta elegans) with changes in the population dependent carrying capacity in Republic of Korea. Journal of Ecology and Environment, 46(1), 1-7.

(2) 사이트

UNITED NATIONS(1992). CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY, https://www.cbd.int/convention/(검색일: 2022년 11월 20일).

(3) 가이드라인

UNEP(2011). Taking Steps toward Marine and Coastal Ecosystem-Based Management, An Introductory Guide. UNEP.

(4) 졸업논문

Walton, E. M(2006). Using remote sensing and geographical information science to predict and delineate critical habitat for the bog turtle, Glyptemys muhlenbergii. The University of North Carolina at Greensboro.

2. 국내문헌

(1) 법률 및 관련 시행지침

환경부(2019). 『생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률

농림축산검역본부, 식품의약품안전처(2020). 농림축산검역본부・식품의약품안전처 공동 동물실험 및/또는 실험동물 관련 위원회(IACUC) 표준운영 가이드라인.

(2) 학술지

구교성, 권세라, 도민석, 김수환(2017). 국내 야생에서 발견되는 외래거북류의 분포 특성-강원도와 경상남도 지역을 중심으로. 생태와 환경, 50(3), 286-294.

구교성, 백혜준, 김수환, 장환진, 김대인, 성하철(2019). 국내로 유입된 외래생물 붉은귀거북 (Trachemys scripta elegans) 의 자연적인 이동 첫 보고. 생태와 환경, 52(1), 9-12.

박일국, 이경원, 정지현, 이현빈, 구교성(2019). 국내 야생에서 처음 발견된 외래종, 서부비단거북(Chrysemys picta bellii)의 관찰 사례 보고, Korean Journal of Environmental Biology 38.1 (2020): 16-20.

오홍식, 홍창의(2007). 제주도에 이입된 황소개구리 (Rana catesbeiana) 와 붉은귀거북 (Trachemys scripta elegans) 의 서식실태 및 관리방안. 한국환경생태학회지, 21(4), 311-317.

정지화, 이우신(2019), 안산갈대습지에 서식하는 붉은귀거북 (Trachemys scripta elegans) 의 활동 요인과 시기에 따른 활동 차이. 한국환경생태학회지, 33(6), 645-653.

조신일, 나수미, 안치경, 김현정, 정유정, 임양묵, 이훈복(2017). 한국산 남생이와 외래종 붉은귀거북의 서식지 이용 패턴 비교 분석. 한국환경생태학회지, 31(4), 397-408.

(3) 학술발표

구교성, 권세라, 김아정, 강하경, 서재영, 김현정, 장이권. (2020). 멸종위기종 남생이와 외래종 붉은귀거북의 대규모 로드킬 사례 보고. 한국환경생태학회 학술발표논문집, 2020(1), 78-78.

구교성, 권세라, 김아정, 강하경, 서재영, 김현정, 장이권(2020). 토종 민물거북 남생이와 외래종 붉은귀거북의 분리 포획 방안. 한국환경생태학회 학술발표논문집, 2020(1), 81-81.

서재영, 구교성, 장이권. (2021). 교란종 붉은귀거북과 토종 남생이의 실내・ 외 미소 환

경 선택. 한국양서 · 파충류학회 학술대회, 20-20.

(4) 졸업논문

정지화(2014). 안산갈대습지공원에 서식하는 붉은귀거북 (Trachemys scripta) 의 활동 요인 및 식이물 분석 (Doctoral dissertation, 서울대학교 대학원).

(5) 보고서 및 간행물

조동길(2017), 생태복원 계획 설계론 제2권 - 생태복원 과정별 기법과 실무, 개정판.

국립생태원(2014), 외래생물 정밀조사(Ⅰ)환경부, 2018, 생태계교란 생물지정현황

생물다양성협약 사무국(2020), 제5차 지구생물다양성전망

안산녹생환경지원센터(2020), 안산갈대습지의 지속가능성 연구

한국환경정책・평가연구원(2004), 생태계위해외래종의 통합 관리 방안 연구

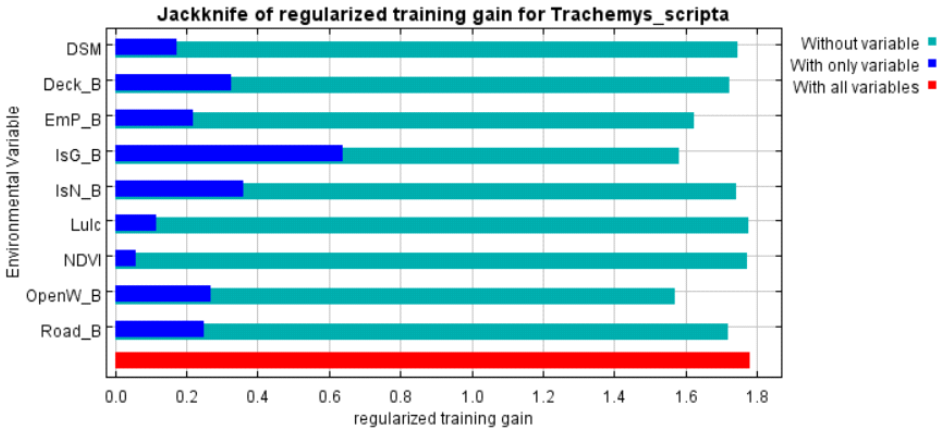
한국환경정책・평가연구원(2004), 생태・자연도활용에 있어서 동물서식지 등급 적용 방안 연구

(6) 사이트

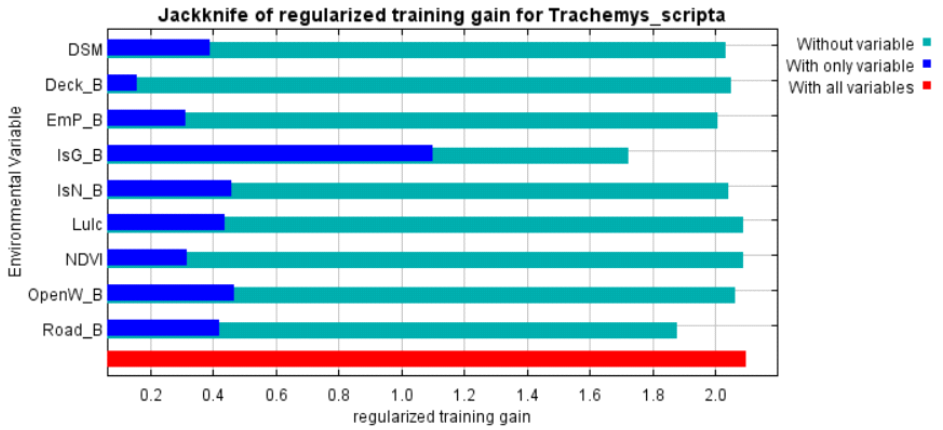
한국 외래생물 정보시스템, https://kias.nie.re.kr/home/for/for02002v.do?clsSno=20543&searchClsGbn=for (검색일: 2022년 11월 20일).

부록

1. 잭나이프 테스트 결과 - 붉은귀거북류와 리버쿠터

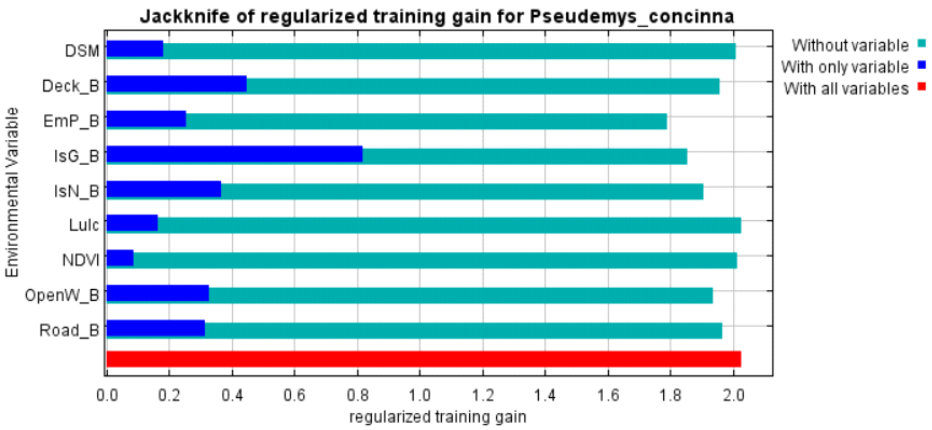


4월 붉은귀거북류 종 분포 모델 관련 잭나이프 결과값

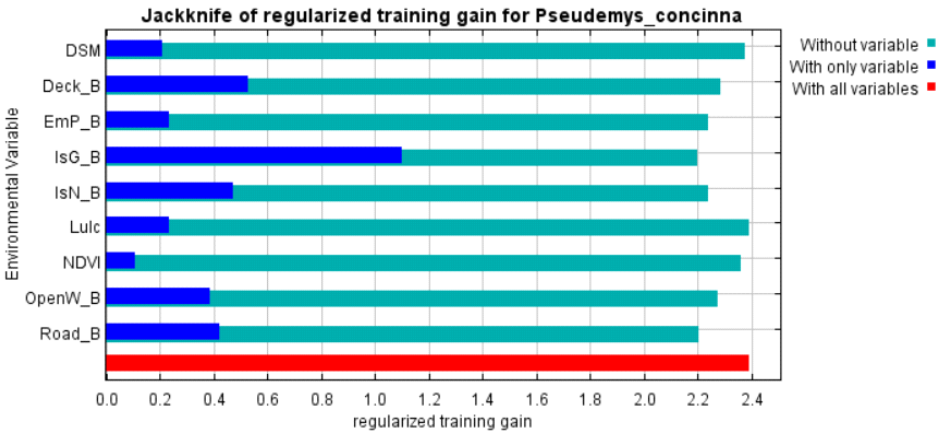


5월 붉은귀거북류 종 분포 모델 관련 잭나이프 결과값

[그림 39] 봄철 붉은귀거북류 종 분포 모델 관련 잭나이프 결과값



4월 리버쿠터 종 분포 모델 관련 잭나이프 결과값



5월 리버쿠터 종 분포 모델 관련 잭나이프 결과값

[그림 40] 봄철 리버쿠터 종 분포 모델 관련 잭나이프 결과값

Abstract

Analysis of Preferred-Habitats of Two Exotic Tortoises, *Trachemys scripta* and *Pseudemys concinna*, in an Urban Wetland

Kim YongHwan
Seoul National University
Graduate school of Environmental Studies

Due to the threat of exotic species, biodiversity is decreasing. 14% of endangered species (84 of 594) are threatened by invasive foreign species (MA Duenas et al, 2021). As such, exotic species is one of the main factors that affect biodiversity.

This study was conducted on the upper part of Ansan Reed Wetland Park, Ansan-si, Gyeonggi-do. The species were red-eared turtles and river cooter, which are turtles corresponding to foreign species.

A total of 1,050 data were acquired by location sensors. And environmental data were acquired in October 2021 and April 2022 by drone. Location data were basically analyzed by MCP for the analysis of behavior. MaxENT was used as a model for grasping the relationship between location data and environmental space variables. Using the data acquired by drones, the land cover was reconstructed into biotope type data in more detail than the class of land cover (2021). The environmental spatial variables could be applied as 9 to 10 spatial environmental variables such as open water surface, island within open water space, emergent plants zone, floating plants zone, road, deck, DSM, and NDVI.

MCP analysis of turtles in autumn and spring was conducted, and red-eared turtles had the highest MCP area in April, spring. In October, the fall season, River cooter showed the lowest MCP area. The results of the MaxEnt model of turtles in autumn and spring had an AUC value of 0.9 or more, and standard deviation was within 0.05. Variables such as islands, emergent plants, floating plants and open water space were derived as meaningful variables for the appearance of exotic turtoises. Based on the results of spring, a binary map was derived to identify the preferred habitat area for turtles. A capture trap was installed in an area where the appearance of turtles was predicted, and a total of three foreign turtles were captured to verify the model.

.....

keywords : Biodiversity, Exotic species, Biotope, Species Distribution Modeling, Location Sensor, Drone

***Student Number* : 2020-23623**