

「2023 공공데이터 활용 아이디어 경진대회」 참가 신청 제출양식

1 신청자 정보

이름	정재현	참가경로	숭실대학교 편시스템
학과(부)	산업정보시스템공학과	학번	
휴대폰		이메일	

2 아이디어 기획서

아이디어명 : 기후변화로 인한 해수면 가두리 양식의 주요 품종별 주산지 적합도 예측 및 신규 지역특화 어종 제안

■ 아이디어 제안 배경 및 필요성

삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라는 지형의 이점을 이용해 가두리식, 수조식, 축제식 등 다양한 양식 방법을 통해 양식수산업의 맥을 이어오고 있습니다. 그 중에서도 해수면 가두리 양식은 낮은 설비비용으로 비교적 많은 양의 어류를 기를 수 있는 경제적인 장점을 갖고 있으며, 바닷물을 이용하는 양식법(해상가두리, 육상수조식, 축제식) 중 가장 많은 경영체가 있습니다. 그러나 온실가스 증가로 인해 지구온난화가 시작되면서 찾아온 기후변화는 한파와 폭염으로 인한 저·고수온, 집중호우로 인한 저염 분화 등 해양환경에 변화를 주고 있습니다. 이와 같은 현상에 의해 각각의 양식생물에 적합한 수온, 염분이 적정 수준에서 점차 벗어남에 따라 수온 변화에 취약한 해수면 가두리 양식(이하 '해상 가두리')은 매년 수산 피해가 속출하고 있지만, 이에 대한 대책이 미흡한 상황이며 Fig. 1과 같이 수온 변화에 대처할 수 있는 육상수조식에 비해 경영체 수가 꾸준히 감소하고 있습니다.

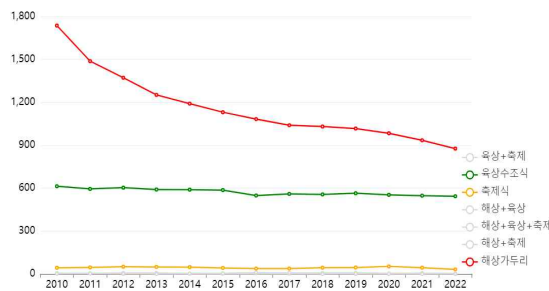


Fig. 1. 양식 방법별 경영체 추이

또한 기상청과 환경부에서 발간한 '한국 기후변화 평가보고서 2020'에 따라 현재 추세대로 온실가스가 배출되면(RCP 8.5 기후변화 시나리오), 21세기 말 폭염일수가 3.5배 증가할 것으로 예상되는 만큼, 향후 집단폐사와 같은 수산 피해의 빈도수가 증가할 것으로 전망됩니다. 특히 해상 가두리의 주요 품종들의 경우, 지역 소득의 근간으로서 이러한 피해는 어가뿐만 아니라 소비자 물가에도 영향을 미치기 때문에 주요 품종들의 주산지가 현재 대비 미래에 어떻게 변하는지 주산지 분포의 변화를 예측할 수 있다면 사전에 피해를 절감하거나 새로운 양식 산업의 전략 수립에 도움이 될 것입니다. 예측을 위해 사용하는 데이터는 '2005, 2010, 2015, 2020년 어업총조사' 결과와 R의 'sdmpredictors 패키지'에서 제공하는 'Bio-ORACLE database'의 RCP 8.5 시나리오의 환경 변수입니다. 어업총조사는 매 5년마다 어가 및 어가인구의 규모와 분포, 어업의 경영구조 및 특성 등을 파악하여 어업정책 수립평가 및 국가

경제 주요지표의 작성, 지방화시대에 요구되는 소지역 자료 생산 등에 활용되고 있습니다. Bio-ORACLE database는 해양 영역에 대한 환경 데이터를 GIS raster로 제공하여 미래 기후변화를 연구하는데 활용되고 있습니다. 대표적으로 국립수산물과학원(2022)에서 RCP 8.5 시나리오를 통하여 기후 변화에 취약한 양식어종 중 하나인 김의 양식 가능시간 및 채묘시기의 변화를 전망한 바 있습니다.

■ 아이디어 기획 핵심내용

아이디어는 어업총조사 데이터를 통해 해상 가두리의 주요 품종별로 주산지를 선정하는 다음, 주산지의 행정구역(읍면동)의 위치 정보와 sdmpredictors 패키지의 'Bio-ORACLE database'에서 제공하는 환경변수를 통해 MaxEnt (Maximum Entropy) Modeling을 수행하여 주산지의 적합도가 급격히 줄어드는 위기지역을 선정합니다. 그리고 제주연안에서 남해안으로 아열대 어종이 복상하고 있는 점을 고려하여, 국립수산물과학원의 수산분야 기후변화 영향 및 연구 보고서(2022)에 명시된 어획량이 유지되면서 식용 가능한 11개의 아열대 어종의 미래 서식지 적합성을 통해 지역별 신규 특화어종 후보군을 선정하는 것입니다. MaxEnt 모형은 다양한 공간 규모와 환경요인 변수를 기반으로 종의 지리적 분포, 서

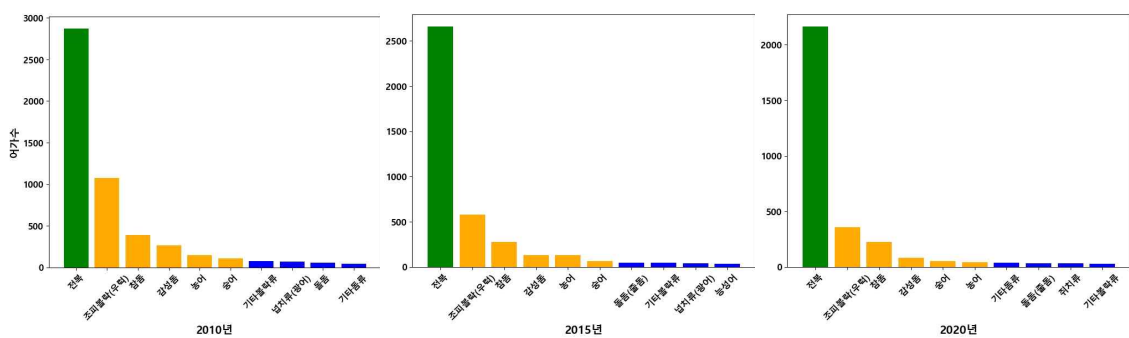


Fig. 2. 연도별 해상가두리 양식품종별 어가(漁家) 수

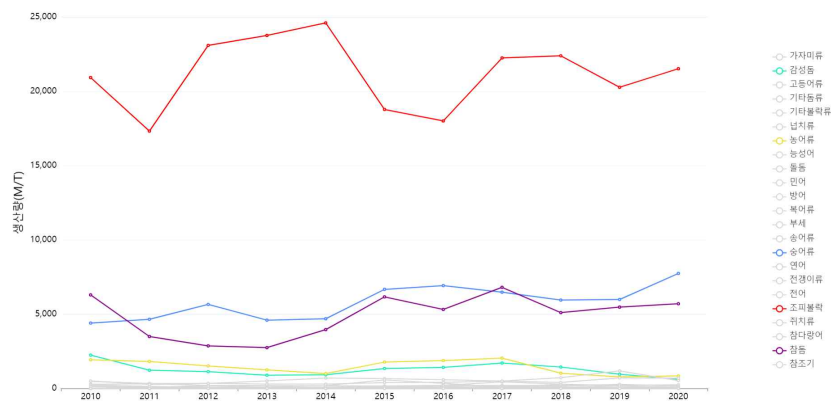


Fig. 3. 해상가두리양식 어종별 생산량(M/T)

식지 적합성 등을 예측하는 생태적 지위 모형(Ecological Niche Model) 중 하나로서, 최대 엔트로피 접근법을 바탕으로 동식물의 출현지점자료만을 가지고 분포를 예측할 수 있는 머신러닝 기법입니다. 본 연구에서는 추출한 환경 변수와 과거(2005년, 2010년, 2015년, 2020년) 주산지가 근미래와 먼 미래에도 주산지로 적합한지 해상 가두리의 주요 품종들의 양식 적합도 분포를 예측하였습니다. 먼저 Fig. 2와 Fig. 3과 같이 2010년부터 2020년까지의 해상가두리양식의 어종별 생산량(M/T)과 2010, 2015, 2020년 어업총조사 데이터에서 양식품종별 어가(漁家) 수를 기준으로 예측 대상인 주요 품종을 확인하였습니다. 어류의 경우, 생산량 순위와 양식품종별 어가의 수가 모두 상위권인 조피불락(우럭), 참돔, 감성돔, 송어류, 농어류였고 해당 어류들 보다 전복류를 양식하는 어가의 수가 많다는 점을 고려하여, 해당 6개 품종을 주요 품종으로 선정하였습니다. 해당 품종들의 주산지 선정은 어업총조사 데이터의 수치형 변수인 양식면적(ha)을 기준으로 상자 그림(box plot)을 통해 분포를 확인하여 일정 규모 이상의 양식지만 추출하였습니다. 그리고 현재 추세대로 온실가스가 배출되는 경우를 상정하여 근미래

(2040~2050)와 먼 미래(2090~2100)에 발생하는 온실가스로 인한 수온과 염도의 변화가 주산지의 적합도에 미치는 영향을 현재와 대비하여 보기 위해 기존 관련 연구인 박주연·홍진솔·김동건·윤태중·신숙(2018)의 RCP 시나리오에 따른 유령명게의 서식지 분포 예측에서 사용한 Bio-ORACLE에서 제공하는 RCP 8.5 시나리오의 연중 최대, 최소, 평균 수온과 연중 평균 염도 래스터 데이터를 환경 변수로 설정

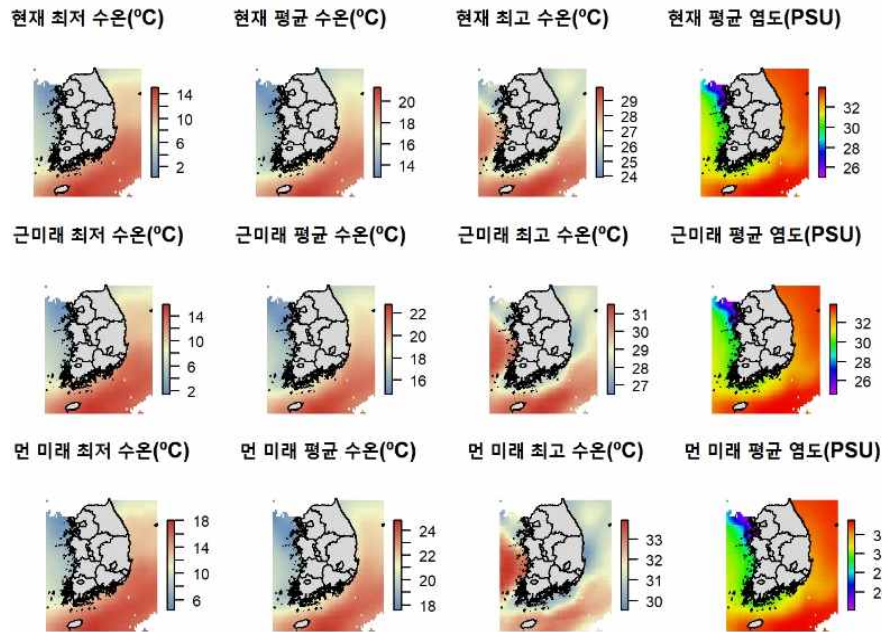


Fig. 4. RCP 8.5 시나리오 환경 변수

하였으며, Fig. 4와 같이 한반도 해역에 맞춰 추출하였습니다. 해당 연구에서는 해수표면온도부터 수심 10m까지는 수온이 유사한 것으로 보고되었다는 점과 유령명게가 주로 수심 2~6m에 서식한다는 점에 따라 환경 변수를 표층의 수온과 염도를 사용했습니다. 또한 다른 관련 연구인 국립과학수산원의 수산분야 기후백서(2019)에서 RCP 8.5 시나리오의 수온 변화를 적용하여 넙치, 참전복, 참돔, 명게의 양식장 수심을 고려하여 양식 적지를 분석하였습니다. 본 연구의 대상인 해사가두리의 주요 품종들의 양식장의 수심이 일반적으로 10m 전후인 것을 고려하여 동일한 환경 변수를 사용하였으며, MaxEnt 모형을 최적화하기 위해 "ENMEval" 패키지를 사용하여 K-Fold 교차 검증을 수행하여 하이퍼파라미터 튜닝을 진행했습니다. MaxEnt 모형이 최적인 되는 $\Delta AIC_c = 0$ 일 때의 파라미터를 구하여 예측을 진행하였고(*첨부 2) 모형의 결과를 평가하기 위해 MaxEnt 모형의 정확성과 신뢰도를 결정하는 AUC를 확인 하였으며(*첨부 3), 각 품종들의 예측 결과는 다음과 같습니다.

전복류의 경우, Fig. 5와 같이 양식지가 중위수 근처에 대부분 분포되어 있어 해당 지역들이 제외된

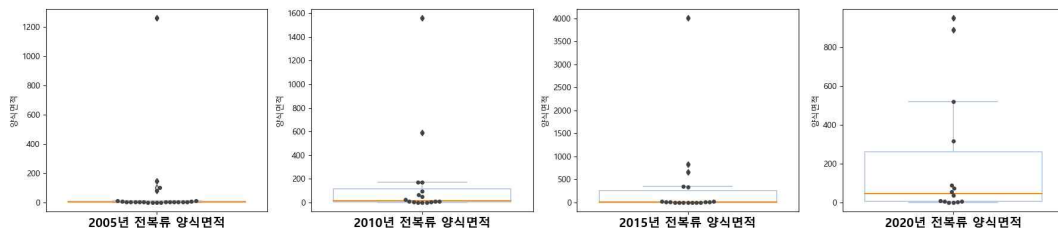


Fig. 5. 연도별 전복류 양식면적

지역을 Fig. 6과 같이 주산지로 선정하였습니다. 그리고 Fig. 6에서 선정된 주산지들의 읍면동 위치와 환경 변수를 통해 MaxEnt를 수행한 결과, 모형의 정확성과 신뢰도를 결정하는 AUC는 0.978로 나타났으며(*첨부3), 전복류 양식 적지는 완도, 해남, 진도, 신안, 고흥군 주변의 전남 남해 연안으로 나타나 Fig. 6의 주산지 해역과 일치하였습니다. 그러나 RCP 8.5 시나리오를 적용한 결과, 2040~2050년 현재의 양식 적지에서 적합도가 급격하게 줄어드는 것을 확인할 수 있습니다. 국립수산물확원의 수산분야

기후백서에 따라 전복의 서식 최고 수온은 20°C, 한계 수온은 30°C인 점을 고려했을 때, Fig. 4와 같이 전복 주산지의 근 미래와 먼 미래 수온이 해당 수온들을 넘어가므로 전복류 양식의 위기가 예상됩니다. (1에 가까울수록 적합, 0에 가까울수록 부적합)

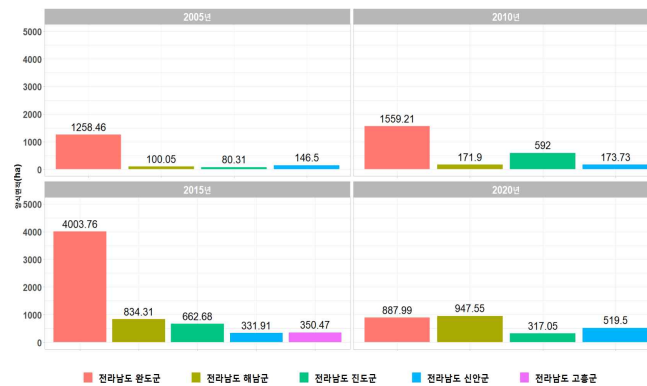


Fig. 6. 연도별 전복 주산지

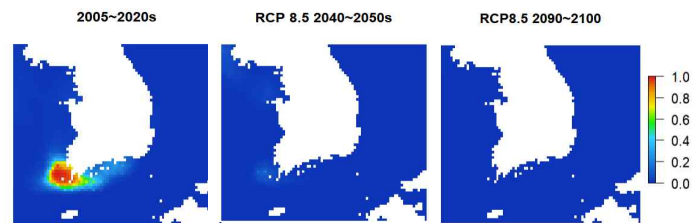


Fig. 7. 전복류 MaxEnt 모형 결과

나머지 품종들도 전복류와 동일한 방법으로 양식지의 분포(*첨부1)를 확인하여 주산지를 선정하고 MaxEnt 모델링을 수행하였습니다. 다음으로 조피볼락의 AUC는 0.965이며, 주산지는 남해안으로 나타나 Fig. 8의 주산지 해역과 일치하였습니다. 그러나 2040~2050년에 적합도가 50%이상 떨어져며 먼 미래인 2090~2100년에는 전복과 같이 적합한 해역이 사라진 것을 확인할 수 있습니다. 조피볼락의

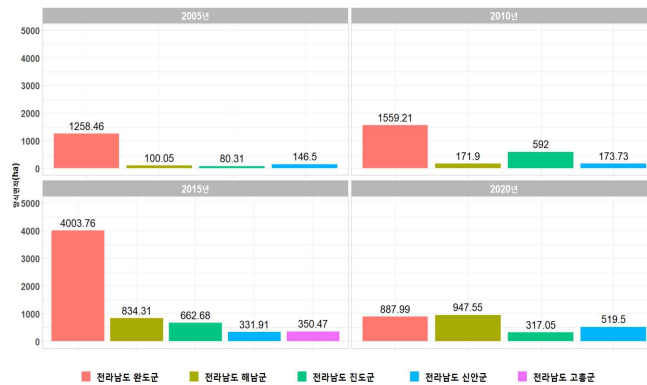


Fig. 8. 연도별 조피볼락 주산지

서식 최고 수온과 한계 수온이 26°C, 29°C인 점을 고려했을 때, 조피볼락의 주산지인 남해안의 온도가 현재 추세대로 온실가스가 배출될 경우, 2090~2100년에는 조피볼락의 한계 수온을 넘어서 적합 해역

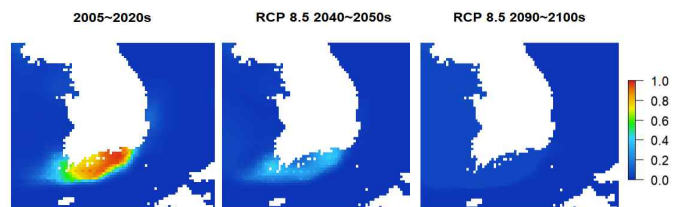


Fig. 9. 시기별 조피볼락 양식 적합도

이 사라진 것을 확인할 수 있습니다. 참돔의 경우, AUC는 0.978이며, 주산지는 Fig. 10과 같이 경남 남해 연안과 일부 전남 남해 연안으로 나타났으며, 양식 적합 해역이 점차 확장되어, 먼 미래에는 Fig.

11과 같이 서해까지 확장되는 것으로 나타났습니다. 이는 고수온 해역에 서식하는 것을 선호하는 참돔이 수온 증가에 따라, Fig. 4와 같이 먼 미래 가장 높은 수온인 서해 연안으로 양식 적지가 확대될 것으로 전망됩니다.

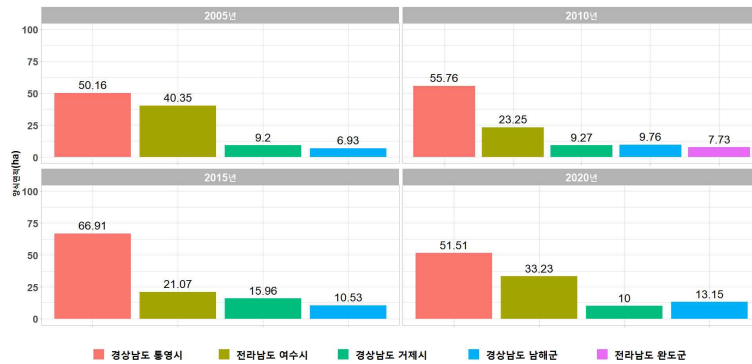


Fig. 10 연도별 참돔 주산지

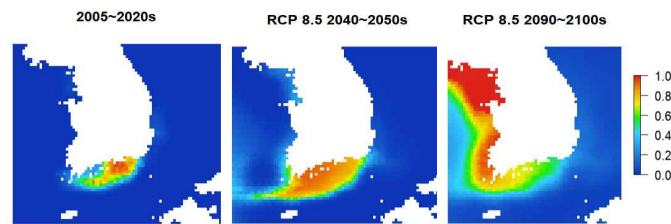


Fig. 11. 시기별 참돔 양식 적합도

참돔과 동일한 서식 최고 수온 28°C와 한계 수온 31°C을 가지며, 고수온 해역 서식을 선호하는 감성돔의 경우, AUC는 0.951이며, 양식 적지는 감성돔 주산지와 동일하게 Fig. 12와 같이 전남과 경남 연안으로 나타났으며, 시기별 양식 적지 또한 Fig. 13과 같이 참돔과 비슷한 형상으로 점차 서해안으로 확대될 것으로 전망됩니다.

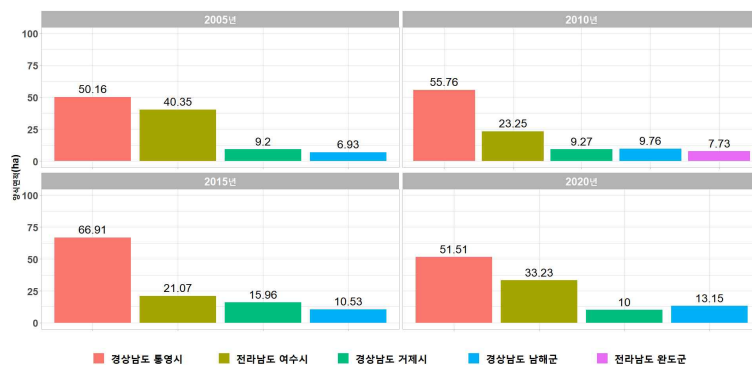


Fig. 12 연도별 감성돔 주산지

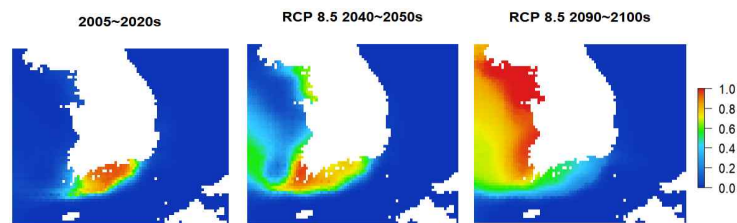


Fig. 13. 시기별 감성돔 양식 적합도

농어류의 경우, AUC는 0.949이며, Fig. 14와 같이 경남과 전남뿐만 아니라 충남과 부산 일부 연안도 주산지로 나타났으나, 경남과 전남 지역의 비중이 큰 것을 확인할 수 있습니다. 양식 적지는 Fig. 15처럼 남해안으로 나타났으며, 근 미래의 양식 적지는 전남 일부 연안으로 축소되고 먼 미래에는 서해안과 남해안에서 낮은 적합도를 보여 위기가 예상됩니다. 마지막으로 송어류의 경우, AUC는 0.968이며,

서식 최고 수온 30℃와 한계 수온 31℃을 가지며, 참돔과 감성돔처럼 고수온에 강한 어류입니다. 송어류의 양식 적합도는 충남 서해 연안 부터전남 남해 연안으로 나타났으며, 참돔 및 감성돔과 동일하게 양식 적지가 확장되어 먼 미래에는 서해안으로 확대될 것으로 전망됩니다.

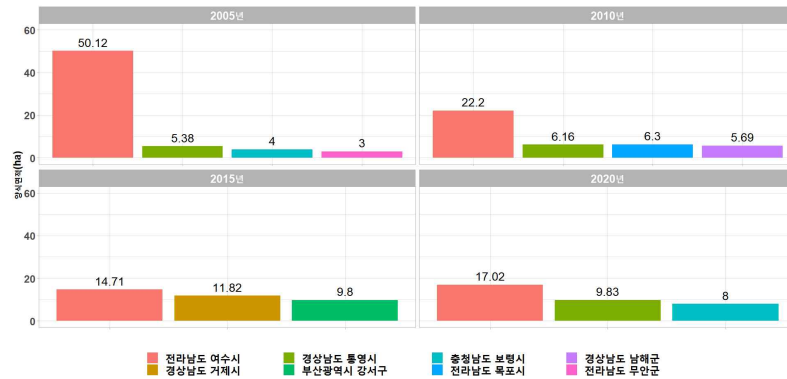


Fig. 14 연도별 농어류 주산지

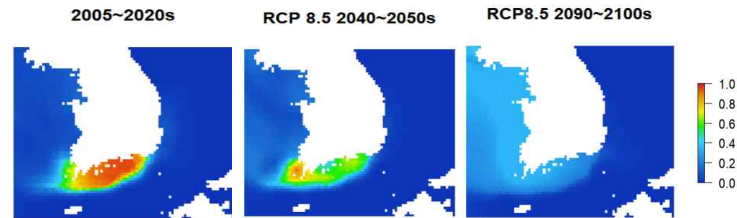


Fig. 15. 시기별 농어류 양식 적합도

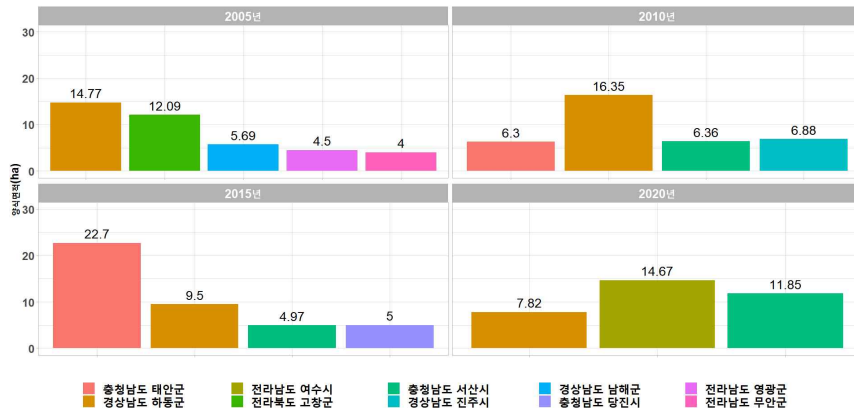


Fig. 16 연도별 송어류 주산지

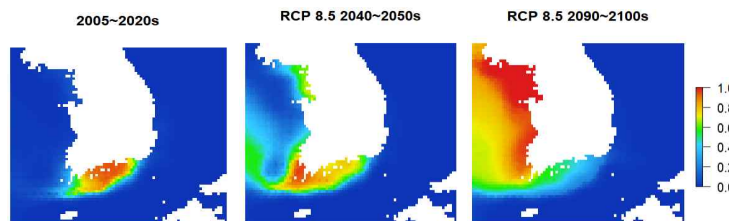


Fig. 17. 시기별 송어류 양식 적합도

결과를 종합해보면 해상 가두리 주요 품종 중에서도 비교적 고수온에 강한 참돔, 감성돔, 송어류의 경우, 양식 적지가 서해안으로 이동하며, 고수온에 취약한 전복, 조피볼락, 농어류는 양식 적지가 사라질 것으로 전망되어 전남, 경남의 남해안 양식장을 품목 변경이 시급한 위기 지역으로서, 복상하는 아열대 어종 도입이 필요한 것으로 전망됩니다. 어획량이 유지되면서 식용 가능한 11개의 아열대 어종은 호박돔, 독가시치, 황놀래기, 긴꼬리뱅에돔, 씩감펍, 벤자리, 창줄돔, 무점 황놀래기, 범돔, 금줄 측수, 두줄 측수이며, R의 "dismo 패키지"의 gbif 함수를 통해 해당 어종들의 출현 자료를 바탕으로 MaxEnt

모형을 통해 RCP 8.5 시나리오에 따라 위기 지역에서 높은 서식지 적합성을 보이는 어종을 확인하였습니다. 위기 지역에서 대체 품종의 가능성이 있는 아열대 어종은 독가시치, 썩감펍, 벤자리, 청줄돔, 무점 황놀래기, 범돔, 두줄 측수로 나타났습니다. 해당 어종들은 모두 제주도 연안에서 높은 적합성을 보이지만, 수온이 상승함에 따라 위기 지역까지 서식지가 확대되는 경향을 보입니다. 먼저, 위기 지역인 전남 및 경남 남해안 연안에서 모두 높은 서식 적합성을 보이는 어종은 범돔으로 나타났습니다. 범돔은 제주도와 남해안에서 근 미래에 적합한 서식지가 점차 확대되어 먼 미래 수온이 가장 높은 서해안과 남해안에서 높은 서식 적합성을 보이므로, 양식 어종으로 대체가 가능할 것으로 전망됩니다.

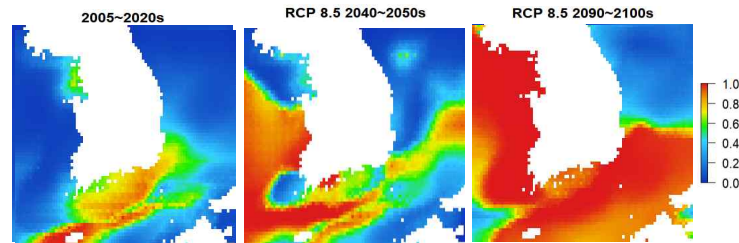


Fig. 18. 시기별 범돔 서식 적합성

다음으로, 위기 지역 중 전남 남서해안에서 높은 서식 적합성을 보이는 어종은 독가시치이며, 범돔과 동일하게 남해안과 제주도를 시작으로 적합한 서식지가 점차 확대되지만, 먼 미래에는 서해안에만 높은 서식 적합성을 보여, 전복이 주산지인 전남 신안, 진도, 해남 같은 지역에서 양식 어종으로 대체가 가능할 것으로 전망됩니다.

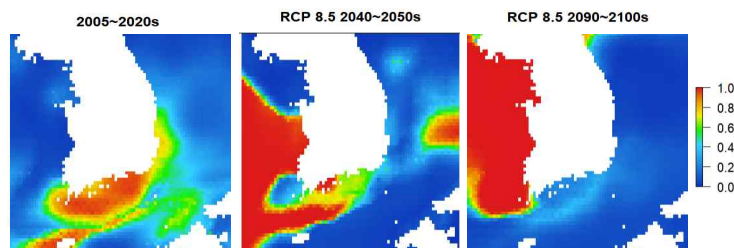


Fig. 19. 시기별 독가시치 서식 적합성

마지막으로 위기 지역 중 경남 남해안에서 높은 서식 적합성을 보이는 어종은 썩감펍, 청줄돔, 무점 황놀래기, 두줄 측수입니다. 해당 어종들은 모두 경남 남해안 쪽으로 점차 서식지가 북상하여 먼 미래에서 높은 서식 적합성을 보여, 경남 통영, 경남 거제, 경남 남해에서 우럭과 참돔, 감성돔 대신 양식 어종으로 대체가 가능할 것으로 전망됩니다.

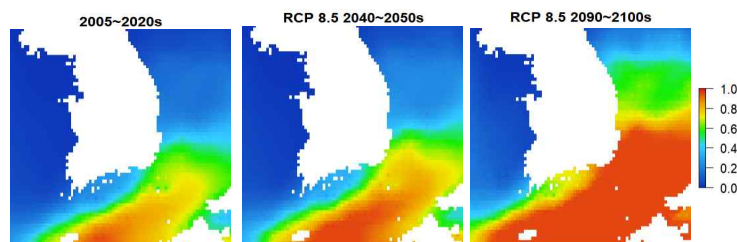


Fig. 20. 시기별 썩감펍 서식 적합성

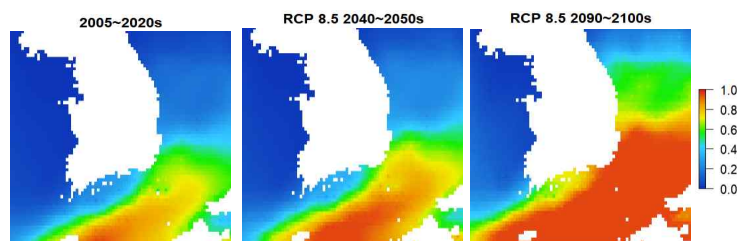


Fig. 21. 시기별 청줄돔 서식 적합성

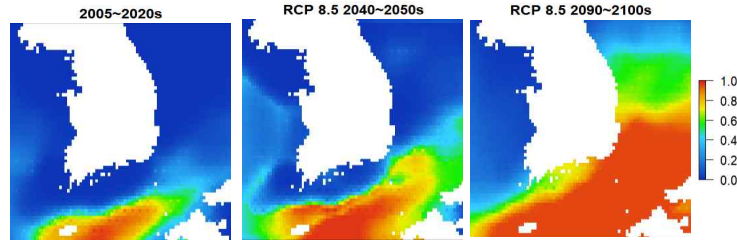


Fig. 22. 시기별 무점 황놀래기 서식 적합성

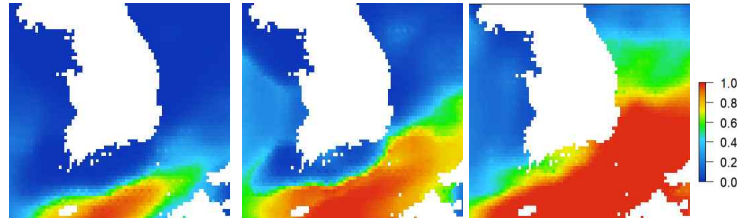


Fig. 23. 시기별 두줄 측수 서식 적합성

■ 기존 (또는 유사한) 사례와 차별성

국내의 공공데이터와 오픈소스 소프트웨어인 R에서 제공되는 패키지를 통해 무료로 제공되는 데이터를 결합하여, 지역 소득의 근간이 되어 왔지만, 기후변화에 의해 위기에 직면하고 해상 가두리의 주요 품종들과 그 품종들의 양식면적을 기준으로 주산지를 선정하여 기후변화시나리오에 따른 위기 지역을 선정하였습니다. 또한 해양환경이 지속적으로 변화됨에 따라 아열대 어종의 출현 빈도수가 점차 증가하며, 북상하고 있는 시점임을 고려하여, 대응책으로서 상품성이 있는 11개의 아열대 어종 중, 선정한 위기 지역의 대체 양식 품종이 될 수 있는 어종을 대상으로 미래의 서식지 적합성을 예측하고 분석하였다는 점에서 의미가 있다고 할 수 있습니다.

■ 기대효과 및 활용방안

전 세계적으로 발생하는 기후변화에 의해 폭염과 집중호우 기간이 늘어나면서, 대한민국 농업과 어업 산업이 위협을 받고 있습니다. 양식 산업 중 소자본으로 경영할 수 있어 가장 많은 경영체를 가진 해상 가두리 산업은 바닷물을 직접적으로 이용함에 따라, 고수온, 적조, 저염분화 등의 이상기후에 쉽게 노출되어 양식 생물들에게 부정적으로 작용하면서 매년 수산피해가 발생하고 있습니다. 그러므로 예측을 기후변화로 생산성이 감소할 지역의 어종을 새로운 지역특화 어종을 찾아서 대체할 수 있다면 새로운 어가 소득이 창출될 것입니다. 이 외에도 이와 같은 예측은 앞으로의 해양환경 변화에 따라 종 보존이 시급한 양식 생물을 발굴하는데 도움이 될 수 있습니다.

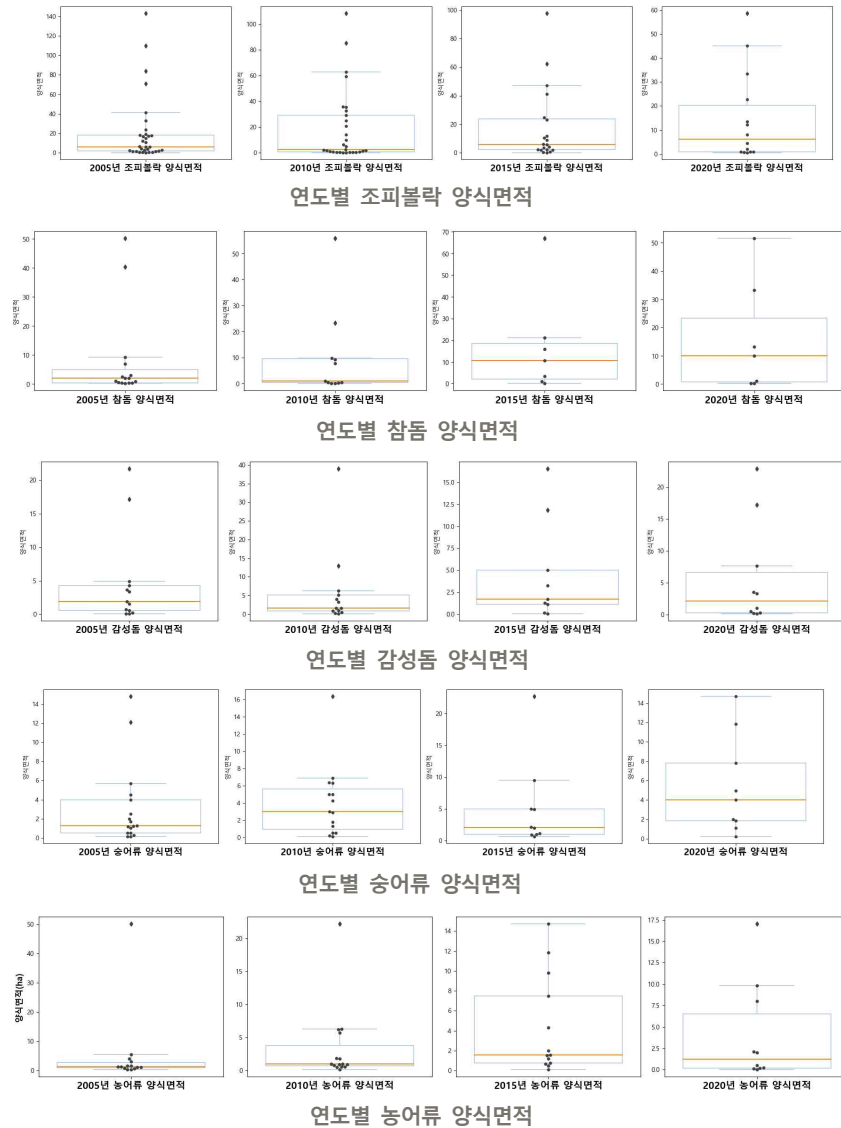
■ 활용데이터 및 참고문헌 출처 등

* 활용한 데이터 목록 및 참고문헌

1. 통계청, 2005, 2010, 2015, 2020년 농림어업총조사(2005). 통계청 MDIS, 다운로드. (20230724 받음)
2. 통계청, 「어류양식동향조사」, 2022 2/2, 2023.07.18, 양식방법에따른 경영체 현황
3. 통계청, 「어류양식동향조사」, 2022 2/2, 2023.07.18, 시도·시군구별 양식방법에 따른 사육수면적 현황
4. Jamie M.Kass (2021). ENMEval 2.0: Redesigned for customizable and reproducible modeling of species' niches and distributions. *Methods in Ecology and Evolution* 2021; 12: 1602-1608
5. 박주언, 홍진솔, 김동건, 윤태중 and 신숙. (2018). RCP 시나리오에 따른 해양교란생물 유령멍게 (*Ciona robusta*)의 서식지 분포 예측. *환경생물*, 36(4), 687-693.
6. 박주언, 이택준, 김동건 and 신숙. (2020). Prediction of potential habitats and distribution of the marine invasive sea squirt, *Herdmania momus*. *환경생물*, 38(1), 179-188.
7. 해양수산부 국립수산물과학원 (2019년 12월). 수산분야 기후변화 평가 백서
8. 해양수산부 국립수산물과학원 (2022년 9월). 수산분야 기후변화 영향 및 연구 보고서

■ [자유롭게 작성]

*첨부 1. 해상 가두리 주요 품종의 양식면적(ha)

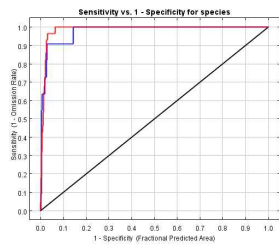


*첨부 2. MaxEnt 모델 하이퍼파라미터 튜닝 과정

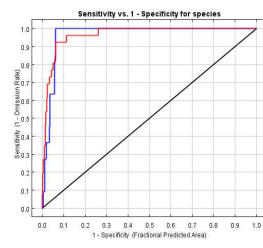
```
## 환경변수 Stack
env <- stack(bio1, bio2, bio3, bio4, bio5, bio6)

## 예측에 필요한 background point를 결정하는 과정
occur.ras <- rasterize(occ, env, 1)
presences <- which(values(occur.ras) == 1)
pres.locs <- coordinates(occur.ras)[presences,]
# density 계산
dens <- kde2d(pres.locs[,1], pres.locs[,2], n=c(nrow(occur.ras), ncol(occur.ras)),
              lims=c(extent(env)[1], extent(env)[2], extent(env)[3], extent(env)[4]))
dens.ras <- raster(dens, env)
dens.ras2 <- resample(dens.ras, env)
# biasfile 생성
writeRaster(dens.ras2, "biasfile.asc", overwrite=TRUE)
# background point 확인
length(which(!is.na(values(subset(env, 1))))))
bg <- xyFromCell(dens.ras2, sample(which(!is.na(values(subset(env, 1))))), 1000,
                  prob=values(dens.ras2)[!is.na(values(subset(env, 1))))])
# ENMeval 패키지로 하이퍼파라미터 튜닝
enmeval_results <- ENMevaluate(occ, env, method = "randomkfold", "kfolds = 10", algorithm="maxent.jar",
                              bg.coords = bg, RMvalues = seq(0.5, 4, 0.5), fc = c("L", "LQ", "H", "LQH", "LQHP", "LQHPT"))
# 튜닝 결과 확인
enmeval_results@results
```

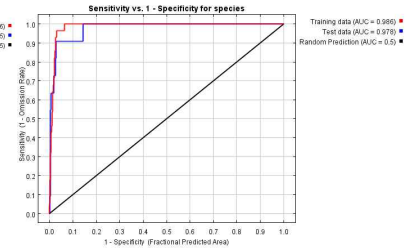
*첨부 3. AUC



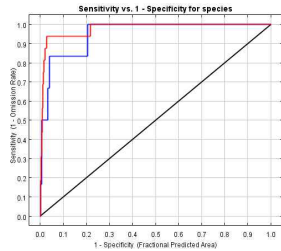
전복류



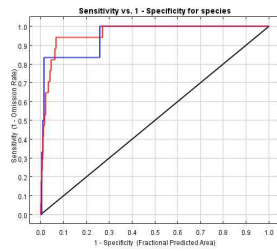
조피볼락



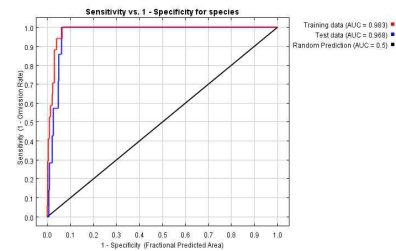
참돔



감성돔



농어류



송어류