

해양환경 기반 한국 연근해 어장 민감도 평가 기술 개발

주희태 · 유만호¹ · 윤상철² · 김창신 · 이민욱 · 김상일 · 박경우 · 황재동 · 오현주 · 윤석현*

국립수산과학원, ¹해랑기술정책연구소, ²초과학연구원

Development of Evaluation Method of Fisheries Sensitivity to Ocean Environments in Korea Waters

HuiTae Joo, ManHo Yoo¹, Sang Chol Yun², Chang Sin Kim, Min Uk Lee, Sangil Kim, Kyoung Woo Park, Jae-Dong Hwang, Hyun Ju Oh and Seok-Hyun Yun^{1*}

National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

¹HaeRang, Suwon 16229, Korea

²Institute for basic science, Daejeon 34126, Korea

Although scientist have been reporting recently that changes in ocean environment influence the species composition, movements, and growth of fish in Korea waters. Previous studies on fish vulnerability owing to climate changes are insufficient to explain the effect of fluctuating ocean environments on fisheries ground. In this study, we suggested a method for the assessment of fisheries sensitivity to various factors in ocean environments in Korean waters. To evaluate the fisheries sensitivity, catch data (Chub mackerel, Hairtail, Common squid, small yellow croaker) from National federation of fisheries cooperatives in Korea (1991-2017) and oceanographic data from Korea Ocean Data Center (KODC; 1960-2017) were normalized using the z-score method. Thereafter, the fisheries sensitivity was calculated using the difference between the catch data and the oceanographic data. Finally, the fisheries sensitivity was evaluated based on evaluation grade ratings. Result revealed that in the south sea, variability in catch data was obviously higher than environmental fluctuation (evaluation grade 1), indicating that catch variability in response to environmental change is most sensitive in the south sea among Korean waters in 2017. These results would be helpful for fishery management and policy for sustainable yield in Korean waters.

Keywords: Ocean environments, Catch data, Korea waters, Fisheries sensitivity, Evaluation method

서론

기후변화에 따른 해양생태계 시스템 변화는 수산업 분야에 직간접적으로 영향을 미칠 것으로 생각된다. 특히, 온난화로 인한 수온 변화는 어획 중, 어군의 이동, 어류의 성장률 등에 영향을 주며 이는 우리나라 전체 어업 생산의 변화로 이어지고 있다(Hobday et al., 2008; FAO, 2009; Lu and Lee, 2014). 실제 지난 40년간 우리나라 연근해 표층 수온은 평균 0.9°C 증가하였으며, 이는 지구 전체의 평균 상승률보다 2-3배 빠른 속도로 상승중이며, 이로 인해 국내의 해양수산분야 및 해양환경에도 많은 변화가 일어나는 것으로 보고되었다(Lee et al., 2011;

KMA, 2014).

특히, 우리나라 연근해 해역에서 한류성 어종의 어획량이 줄고 난류성 어종의 어획량이 늘어나는 등 일부 어종의 어획량 변화가 나타나고 있어 수온의 증가가 어업생산력에도 밀접한 관계가 있는 것으로 여겨진다(Kim et al., 2007; Kim et al., 2014; Eom et al., 2015). 또한 2003년부터 2012년까지 동해에서 일차생산자인 식물플랑크톤의 기초생산력의 감소가 보고되었으며 이는 잠재적 동해 수산자원의 변화에 영향을 미친 것으로 판단된다(Joo et al., 2014, 2016; Lee et al., 2017). 최근에는 어업활동에 지장을 줄 정도로 해파리가 과다하게 출현하는 등 해양생태계의 변화로 인한 어업활동의 불이익이 체감되고 있다(Lee

*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2233 Fax: +82. 51.720. 2266

E-mail address: younsh@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0508>

Korean J Fish Aquat Sci 54(4), 508-516, August 2021

Received 24 June 2021; Revised 13 July 2021; Accepted 26 July 2021

저자 직위: 주희태(연구사), 유만호(선임연구원), 윤상철(연구원), 김창신(연구사), 이민욱(연구원), 김상일(연구원), 박경우(연구원), 황재동(연구사), 오현주(연구원), 윤석현(연구사)

et al., 2011). 하지만 국내 연근해 해역에서 수산자원을 평가하고 수산자원과 해양환경과의 연관성을 파악하는 연구는 아직 부족한 실정이다.

일반적으로 알려진 기후변화로 인한 해수면 상승, 빙하 해빙, 엘니뇨(El Niño), 태풍의 세기 변화 등과 같은 해양환경의 이상 징후는 다른 기후시스템에도 많은 영향을 미친다. 이에 따른 해양생태계의 변화는 어류의 전염병 발생과 확산, 미생물과 기생충 번식증대, 집단폐사 유발 등 소비자의 건강뿐만 아니라 음식 문화와 수산물 소비패턴, 수산업의 시장경쟁력까지 영향을 줄 수 있다고 알려져 있다(Lee et al., 2011).

따라서 국가의 식량주권을 확보하고 미래의 수산자원 변동에 대비하기 위해 기후변화가 해양수산분야에 미치는 영향에 대한 과학적인 분석과 평가가 요구된다. 이를 위해 정부에서는 기후변화에 따른 취약성 평가를 실시하도록 관련 법규를 제정하였고, 이와 함께 각 부처에서는 기후변화 적응에 대한 여러 대책들을 시행하고 있다(KACCC, 2015). 그러나 온도, 광량, 염분, 용존산소, 영양염류 등의 해양환경 변화와 그에 따른 수산자원의 변화를 과학적으로 측정·예측하기 어렵기 때문에 아직까지 해양수산 부분의 기후변화 영향 및 취약성 평가 연구는 초기 단계에 있다.

더욱이 우리나라는 수산자원이 매우 다양하고 계절과 해역에 따른 고유한 특성이 나타나므로 이러한 어려움이 더욱 크다. 우리나라 근해역은 기후변화에 따른 환경변화 뿐만 아니라 주변국의 어업 경쟁 등의 영향으로 수산자원의 변동성이 크기 때문에 과학적인 연구 결과를 도출하기까지 많은 시간과 노력을 필요로 한다(Han et al., 2007). 따라서 현재로서는 과학적인 기후변화영향 평가에 기초한 해양수산 부분의 취약성 평가와 적응 대책 수립이 쉽지 않다.

현재까지 국내외에서 시행되고 있는 해양수산분야의 기후변화 관련 연구들은 어종별 어획구성과 기후변화를 연관하여 분석하거나(Lu and Lee, 2014), 또는 과거 자료를 이용하여 기후요소와 개별 어종의 생산량 변화를 비교 분석해 오고 있다(Kim et al., 2007; Cheung, 2012; Chung et al., 2013; Eom et al., 2015). 실제 연근해 어업생산량 변화는 2100년에 약 72만톤으로 2013년 어획량인 104만톤에 비해 약 31% 정도 감소할 것이라고 전망하고 있다(Eom et al., 2015). 그러나, 이러한 총 어업생산량 예측을 통해 해역 별 고유의 특성이 강한 우리나라의 어장 변화를 세부적으로 설명하기에는 어려움이 있다.

이번 연구는 정량적인 근해 어장 민감도를 결정하는 제반 요소를 종합한 민감도 지표를 개발하고 지역별 평가를 수행하여 정책적 시사점을 제시하고자 하였다. 연구 범위는 국내 수산부문으로 한정하며, 실질적인 해양환경변화에 따른 어장 민감도를 산정하기 위하여 주요 해양환경 자료의 표준화를 통한 지표 개발 및 각 어종의 표준화를 통한 어장변화 지표를 개발하여 환경에 따른 어장의 민감도를 산정하였다.

재료 및 방법

자료수집

국립수산과학원 정선해양관측자료

국립수산과학원의 정선조사는 1960년대부터 시작되었으며 물리, 화학, 생물, 지질에 따르는 다양한 해양자료들을 조사하여 축적하고 있다. 1995년부터는 동중국해도 정점을 추가하여 현재까지 우리나라 연근해 전반에 대한 조사가 시행되고 있다. 동·서·남해는 2개월마다(2월, 4월, 6월, 8월, 10월, 12월) 총 6번의 조사를 실시하고 있으며 동중국해의 경우 계절별로 2월, 5월, 8월, 11월에 총 4번의 조사를 진행하고 있다. 조사 항목으로는 수온, 염분, 용존산소, 영양염류(암모늄, 질산염, 아질산염, 규산염, 인산염), 투명도, 동물플랑크톤 현존량 등을 조사하고 있다. 이번 연구에서는 1986년부터 2017년까지 자료를 이용하였으며(동중국해의 경우 1995년부터 2017년까지 자료) 우리나라 동·서·남해와 동중국해를 각각 2개의 해역으로 구분하여 총 8개 해역에 대한 조사 자료를 수집 및 분석하였다(Fig. 1). 해역의 구분은 기본적으로 평균 수온의 분포 차이를 이용하여 구분하였다. 이외 쿠로시오 해류의 영향권인 해역과 양자강 유입수의 영향을 받는 해역 및 국내 연안수의 영향권을 기준으로 구분하였다. 자료의 분석은 표층 자료를 기반으로 하였다.

수협 어획량 자료

1999년에 구축된 수협중앙회 어선 조업정보시스템은 우리나라 연근해 및 EEZ (exclusive economic zone) 지역의 조업 정보를 저장하고 있으며, 특히 수협의 조업 정보는 위치별 조업 정보를 보유하고 있고 원하는 시점에서 실시간으로 조업 정보의 확인이 가능하다는 장점을 지니고 있다. 어선조업정보 시스템에는 일일 조업 시기, 조업 척수, 조업량(kg), 조업 방법(권현망, 복합어업, 선망, 연승, 인강망, 자망, 저인망, 채낚기, 통발, 트롤, 기타), 조업 위치(소해구)를 총 16개 어종(가자미, 갈치, 고등어, 꽃게, 대구, 멸치, 방어, 붉은대게, 붕장어, 살오징어, 삼치, 아귀, 전갱이, 전어, 참조기, 청어)에 대한 정보를 저장하고 있다. 본 연구에서는 조업 방법은 고려하지 않았으며 시기별 조업 위치의 경우 대해구로 묶고 주요 어종인 고등어(chub mackerel), 갈치(hairtail), 살오징어(common squid), 참조기(small yellow croaker) 총 4종에 대한 연구를 실시하였다.

어장 민감도 지표 개발 및 평가 방법

어장 민감도 산정 기술 개발

어장 민감도를 산정하는 기술을 개발하기 위해 주로 사용되고 있는 NOAA (FAO)의 취약성평가방법을 변형하여 적용하였다. 기존의 취약성 평가는 기후변화 등 환경변화에 따른 우리나라 근해 어장 민감도를 정량적으로 평가하기 위한 목적으로 생물·물리적인 요소와 사회·경제적 요인이 모두 고려되었다. 하지만 이러한 취약성 평가의 경우 환경 요소 외 사회·경제적 요인

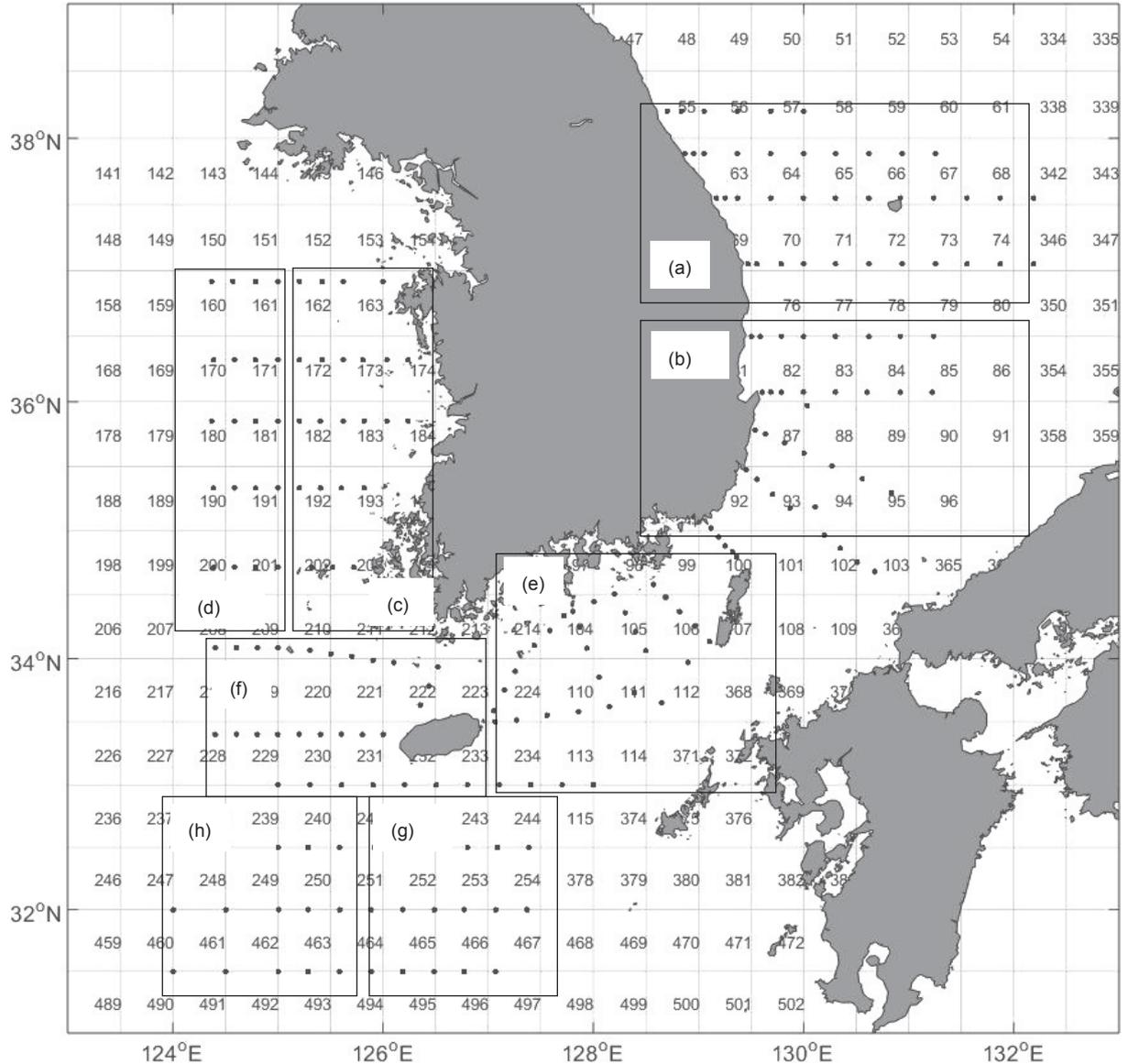


Fig. 1. The study area. The dots are KODC stations, the boxes and numbers are area of fish catch. The big boxes are 8 locations, which are dividing by ocean feature in korean waters [a, NES (Northern East Sea); b, SES (Southern East Sea); c, EWS (Eastern West Sea); d, WWS (Western West Sea); e, ESS (Eastern South Sea); f, WSS (Western South Sea); g, EECS (Eastern East China Sea); h, WECS (Western East China Sea)].

의 자료 수집과 통계적인 분석에 매우 어려움이 있다. 또한 기존 방법에서는 기후변화에 따른 실제 어장을 평가하기에는 부적합한 요인들이 대거 포함되어 있다. 이는 실제 해양환경에 따른 어장의 민감도로 보기에 어려움이 있어 본 평가에서는 이러한 자료들을 소거하고 새로운 지표개념을 산정하였다.

새로운 지표개념은 선행연구와 달리 민감도 지표를 구성하는 변수에 해양환경 자료를 주로 구성하는 것을 목표로 전문가의 논의를 통해 새롭게 지표를 산정하였으며 이는 노출요인과 변화 요인으로 구분된다. 최종적으로 이번 연구에서는 어장 민감

도 산정을 위해 이용한 자료 중 노출요인은 국립수산과학원에서 관측한 정선힬양관측자료를 이용하여 장기적인 해양의 물리, 화학, 생물학적 요인을 선정하였으며, 변화 요인은 수협이 총 16개 어종 중 주요 어종이라 판단되는 고등어, 갈치, 살오징어, 참조기로 선정하였다. 결과적으로 어장 민감도는 선정된 지표들 중 환경변수(노출요인)들의 변화율에 따른 어장의 변화(수산산업에서의 어업활동, 변화 요인)만을 고려하여 산정하였다(Fig. 2).

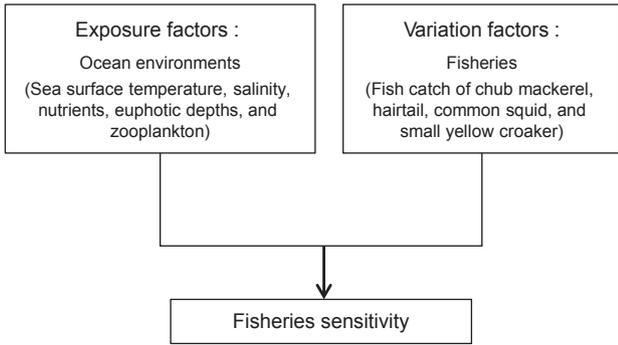


Fig. 2. The conceptual model to evaluate the fisheries sensitivity.

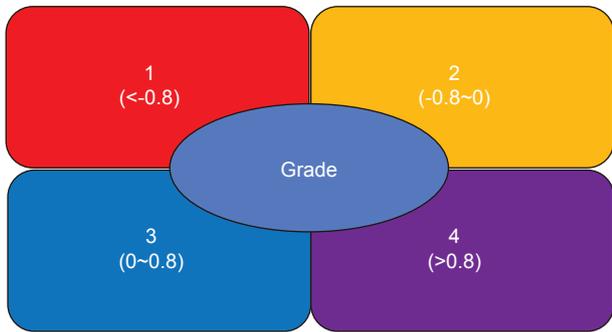


Fig. 3. The ratings of evaluation grade.

변수 표준화

노출요인과 변화 요인에 포함된 다양한 지표들을 이용해 어장 민감도를 산정하기 위해서는 측정단위가 서로 다른 여러 대리 변수를 하나의 지표로 집계할 필요성이 있으며, 이는 같은 기준을 적용하여 표준화하는 과정을 거쳐야 한다(Lee et al., 2011). 일반적으로 표준화 방법에는 Z-SCORE 또는 스케일재조정(rescaling)방법이 많이 사용되는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2011). 본 연구에서는 두 방법 중 전자인 Z-SCORE 방법을 채택하여 자료의 표준화를 진행하였다.

민감도 평가 기법

일반적으로 민감도는 환경변화에 대한 노출과 해당 해양생태계의 민감도, 해양생태계가 대응할 수 있는 적응능력을 모두 포괄하여 사용되고 있다. 어장 민감도는 해역내 대상 어종의 어획량의 변화와 해양환경과의 변화 차이를 이용하여 계산하며 이는 환경변화와 어획량 변화 중 더욱 민감한 변화를 반영할 수 있는 값을 나타낸 것이다. 어장 민감도의 평가는 우리나라 해역을 8개로(남해동부, 남해서부, 동중국해동부, 동중국해서부, 동해남부, 동해북부, 서해동부, 서해서부) 구분하여 진행하였다. 8개 해역의 구분은 1차적으로 평균 수온을 기준으로 권역별 차이가 보이는 해역들을 구분하고, 2차적으로 우리나라의 주요 어종들

의 어획위치를 기준으로 구분하였다.

측정된 어장 민감도 결과는 기존의 기후변화 취약성을 평가하는 것과는 다르기 때문에 등급제를 활용하여 평가하였으며 각 등급의 경우 Fig. 3에 나타내었다. 산정된 어장 민감도를 4분위 지수를 이용해 기준을 마련하여 총 4개의 등급을 산정하여 어장을 평가하였다(Fig. 3). 각 등급의 설명을 간략히 하면 1등급의 경우 환경에 비해 어획량의 변화가 매우 큰 경우, 2등급의 경우 환경에 비해 어획량의 변화가 조금 큰 경우, 3등급의 경우 어획량의 변화 보다 환경의 변화가 조금 큰 경우, 4등급의 경우 어획량의 변화보다 환경의 변화가 매우 큰 경우이다.

결과 및 고찰

어장 민감도 평가 기술 개발

이번 연구에서는 다년간의 자료를 수집하여 각 해역별 환경 및 어장의 변화를 파악하고 이를 기반으로 어장 민감도 평가를 진행하였다. 어장 민감도 평가를 위해 IPCC (2007) 보고서에 제시된 기후변화취약성 평가 방법을 기본으로 하여 민감도 평가 방법을 개발하였다(Lee et al., 2011).

기존의 어장 평가는 수산 부문에서 기후변화에 따른 취약성 평가가 주를 이루었다(IPCC, 2007; Lee et al., 2011). 취약성 평가의 경우 기후변화 영향에 대한 생물·물리적 측면과 사회경제적 측면이 고려되어야 하며 이는 서로간의 단위 및 범주가 다르기 때문에 통합 지표를 사용한 연구가 보편적으로 이루어지고 있다(Yoo and Kim, 2008). 주로 사용되는 기후변화 취약성 지표는 기후 노출, 민감도, 적응 능력 등으로 어업 인구, 지역 수산, 해양환경, 경제적 능력 등을 포함하며, 이는 각 지역에 대한 종합적인 취약성 평가에 적합할 수 있다. 그러나 이번 연구에서 추구하는 해양환경 및 해역에 따른 민감도 평가에는 상대적으로 부족한 것으로 판단되었다. 따라서, 이번 연구에서는 해역의 변화에 따른 어장의 변화를 파악하기 위한 적합성을 찾고 취약성 평가와의 차별성을 위해 노출요인과 민감도 평가에서 수정이 불가피 하였다.

일반적으로 민감도 평가를 위해 주요 변수인 노출요인은 기후 노출에서 정의된 기후 특성, 기후 변동, 극한 기후의 빈도와 크기 등 기후와 관련된 자극에 노출된 정도를 의미하고, 지리 및 기후 변화의 정도에 따라 달라진다고 알려져 있다(Koh and Kim, 2010). 민감도는 기후 변화와 같은 환경변화의 영향으로 어류자원과 같이 해양생태계에 직간접적으로 영향을 받는 각각의 요소를 의미한다. 이전의 경우 민감도는 사회시스템을 반영하여 사회경제적 요인까지 포함하여 민감도를 산정하였다(Koh and Kim, 2010; Lee et al., 2011). 그러나 앞서 말했듯이 일반적인 기후 노출과 달리 해양에서 발생하는 변화는 다르게 고려되어야 한다. 기존의 기후 노출은 해양의 물리적 변화인 수온, 염분, 용존산소를 기후 노출의 대표적인 변수로 사용하고 있다(Allison et al., 2009; Lee et al., 2011). 기존의 기후 노출 변수

들 또한 중요한 것은 분명하다. 그러나 해양화학, 생물학적 요인을 포함시킬 수 있다면 훨씬 더 정확한 기후 노출에 의한 변화를 파악할 수 있을 것이라 생각된다. 특히, 우리나라 주변 해역의 주된 해양환경 변화로는 표층 수온 증가, 해수면 상승, 해양 산성화, 해양 저산소화 등이 있으며, 해수의 물리적, 화학적 성질과 일차생산량의 변화가 매우 중요할 것이라고 보고된 바 있다(Ju and Kim, 2013). 이를 반영하기 위하여 국립수산과학원에서 관측한 정선해양관측자료에서 장기적인 해양의 물리적 특성 외 화학적, 생물학적 요인에 대한 자료를 확보할 수 있었으며 해양의 영양염류(질산염, 암모니아, 규산염, 인산염), 동물플랑크톤의 현존량등과 같은 자료를 추가하여 노출요인을 산정하였다. 그러나 일차생산자인 식물플랑크톤의 생물량 또는 기초생산력은 관측된 자료가 매우 적어 이 연구에서는 활용하지 못하였다. 이번 연구에서는 우리나라 연근해에서 지금까지 축적된 물리적, 화학적, 생물학적 요인을 이용하여 해양환경의 민감도를 평가하였고, 이를 기반으로 주요 어종에 대한 평가 결과를 바탕으로 어장 민감도를 평가할 수 있었다.

2017년 해역별 해양환경 및 어류 자원의 Z-SCORE 값과 4분위 구분

민감도 평가를 위해 다양한 자료의 변화에 대한 비교를 위해 Z-SCORE를 이용한 표준화 방법을 사용하였으며, 지금까지 있었던 해역별 환경변화를 보여줄 수 있는 좋은 지표로 이용할 것이라 생각된다. 우리나라 주요 해역에 대한 주요 어종(고등어, 갈치, 살오징어, 참조기)과 주요 환경요인(수온, 염분, 용존산소, 인산염, 질산염, 규산염, 투명도, Copepoda의 양)의 Z-SCORE 값을 Table 1에 제시하였다. 제시된 Z-SCORE 값은

관측 기간 동안의 평균 값과 어떠한 차이가 나는 것을 보여준 것으로 음의 값은 평균보다 낮아진 경우 양의 값은 평균보다 높아진 경우를 나타낸다. 통계적으로 Z-SCORE 값이 양수이든 음수이든 1을 넘는 경우는 변화가 매우 큰 것으로 생각한다.

2017년의 어종별 어획량의 변화를 살펴보면 고등어의 어획량은 남해 동부에서 이전에 비해 가장 높고, 서해 서부에서는 가장 낮았다. 고등어 어획량은 남해와 동해 남부를 제외한 해역에서 감소하였다. 갈치의 경우 이전에 비해 동해 남부에서 가장 높고, 서해 및 동중국해의 서부 해역에서 가장 낮았다. 갈치의 경우 동해, 서해 동부, 남해를 제외한 해역에서 어획량이 감소하였다. 살오징어의 경우 이전에 비해 서해 서부에서 가장 높고, 동해 북부에서 가장 낮았다. 오징어는 서해를 제외한 해역에서 어획량 감소가 나타났다. 참조기의 경우 이전에 비해 남해 동부에서 가장 높고 4개 어종 중 유일하게 참조기만이 전 해역에서 증가한 것으로 나타났다.

수온의 경우 이전에 비해 동해 남부에서 가장 높았고, 서해 동부에서 가장 낮았다. 염분의 경우 이전에 비해 동해 남부와 남해 동부에서 가장 높고, 서해 동부와 서부에서 가장 낮았다. 용존산소의 경우 이전에 비해 서해 동부에서 가장 높았고, 동해 남부에서 가장 낮은 값을 보였다. 인산염의 경우 이전에 비해 서해 동부에서 가장 높고, 동중국해 서부에서 낮았다. 질산염은 이전에 비해 동중국해 동부에서 가장 높고, 동해 남부에서 가장 낮았다. 규산염의 경우 이전에 비해 서해 동부와 동중국해 동부에서 가장 높았고, 동중국해 서부에서 가장 낮았다. 투명도는 이전에 비해 동중국해 동부에서 가장 높고 남해 동부에서 가장 낮았다. Copepoda는 이전에 비해 동해 북부에서 가장 높았고, 남해 동부에서 가장 낮은 값을 보였으며 전 해역에서 평균보다 높

Table 1. The normalized values of fisheries resource and environmental factors using Z-score in Korea waters of 2017

	Chub mackerel	Hairtail	Common squid	Small yellow croaker	Sea surface temperature	Salinity	Dissolved oxygen	Phosphate	Nitrate	Silicate	Euphotic depths	Copepda
Northern East Sea	-0.3	-0.1	-0.7	N/A	0.2	0.3	-0.2	-0.5	-0.8	-0.2	0.5	16.1
Southern East Sea	1.6	3.5	-0.1	N/A	0.9	0.5	-0.5	-0.6	-0.9	-0.1	0.5	14.3
Eastern West Sea	-0.3	2.1	0.9	0.6	-0.6	-0.2	0.4	0.1	-0.3	0.0	-0.3	1.4
Western West Sea	-0.9	-0.6	2.3	0.1	0.1	-0.2	0.0	-0.3	-0.5	-0.3	-0.4	1.0
Eastern South Sea	3.5	2.9	-0.5	1.0	0.2	0.5	-0.2	-0.4	-0.5	-0.1	-0.6	0.0
Western South Sea	2.4	2.2	-0.1	0.1	-0.4	-0.1	0.1	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	0.3
Eastern East China Sea	-0.3	-0.3	-0.4	0.3	0.1	0.3	-1.2	-0.8	3.1	0.0	3.8	0.4
Western East China Sea	-0.4	-0.6	-0.3	0.1	-0.1	0.1	-1.1	-0.9	2.8	-0.5	-0.4	0.4

N/A, not applicable.

은 값이 나타났다.

Z-SCORE에 근거해 보았을 때, 2017년 연근해 8개 해역에서의 환경변화는 다양하게 나타난 것으로 보인다. 특히 동해의 경우 북부와 남부에서 수온과 염분이 증가하였으며 용존산소와 영양염은 감소한 것으로 나타났다. 이는 온난화로 인해 발생하는 수온 증가로 비롯된 강한 성층화로 수층내 영양염 감소가 발생하는 것과 비슷한 경향을 보여주지만 이와 반대로 서해 동부, 남해 서부, 동중국해 서부해역에서는 수온의 감소와 함께 영양염 증가가 나타났다. 이는 기존에 연구되었던 수온 상승과 환경변화로 인해 일어나는 기초생산력 변화와 마찬가지로 생각된다(Gregg et al., 2003; Joo et al., 2016).

Z-SCORE의 값의 차이는 분명하지만 우리나라 연근해 해역 대부분에서 수온의 증가가 뚜렷하였고 이에 따라 환경변화가 일어나고 있는 것으로 나타났다. 해역별로 차이는 있지만 앞으로의 수온 증가에 따른 어장의 변화가 분명할 것으로 생각된다.

각 자료 간의 상대적인 차이를 비교할 수 있도록 자료가 정규 분포에 있다는 가정하에 4분위 지표를 작성하여 Table 2에 나타내었다. 4분위 지표의 경우 각 대리변수의 Z-SCORE 값에서 최대최소값을 이용하여 1-4의 값으로 나타내었다. 고등어는 남해 동부, 갈치는 동해 남부, 살오징어는 서해 서부, 참조기는 남해 동부, 수온은 동해남부 염분은 동해남부와 남해 동부, 용존산소는 동중국해 동부, 인산염은 동중국해 동부와 서부, 질산염은 동중국해 동부, 규산염은 남해서부와 동중국해 서부, 투명도는 동중국해 동부, Copepoda는 동해 북부에서 지표가 4로 나타났다. 2017년의 Z-SCORE 값과 4분위 지표를 확인해 보았을 때 환경인자들의 변화는 동해와 동중국해에서 크고 어류 어획량 인자의 변화는 남해와 서해에서 큰 것으로 보인다.

이러한 결과는 기존에 보고된 주요 어종들의 분포 및 어획량 변동 양상과도 일치하였다. 주요 어종들의 분포 및 어획량 변동을 살펴보면 고등어는 일반적으로 온대해역에 넓게 서식하며 우리나라 연근해와 일본, 동중국해 및 동부 태평양 연안에 분포하는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2020). 최근 2000년대 들어 1960년대에 비해 고등어 어획량이 늘어남과 동시에 난류성 소형 표층 어류의 자원이 증가하고 있으며, 이는 기후변화와 관련이 있는 것으로 여겨진다(Kim, 2003; Lee, 2018). 갈치의 경우 제주도 주변 수역과 서해남부에서 가장 많이 분포하며, 주로 동해 남부와 남해, 서해 및 동중국해를 비롯하여 남중국해 등 아열대 해역에 걸쳐 광범위하게 서식하는 것으로 알려져 있다(Yamada, 1964; Park et al., 2002). 오징어는 서해와 동해에 주로 분포하고 있으며 1980년대에는 서해에서 1990년대에는 동해에서 주로 어획이 되었다(Choi et al., 1997). 참조기는 서해 및 동중국해에 널리 분포하는 것으로 알려진 어종으로 경제적 가치가 높으나 2000년대 초반에 어획량이 감소하고 있는 것으로 보고되었다(NFRDI, 2005; Lee et al., 2013). 따라서 4개 어종의 경우 우리나라 연근해 모든 해역에서 대부분 분포하고 있지만 상대적으로 고위도에 분포하는 오징어를 제외하고는 대부분이 남해와 서해 근방에 분포하고 있어 기후변화에 따른 어류 어획량 인자의 변화가 더 크게 나타난 것으로 생각된다.

해역별 어장 민감도 지수 및 평가 결과

각 어종별 어장 민감도 지수는 Table 3에 나타내었다. 고등어의 경우 남해 동부 및 서부, 서해 서부에서 음의 값을 보였으며, 동중국해 동부 및 서부, 동해 북부와 남부, 서해 동부에서 양의 값을 보였다. 갈치는 동해 남부와 서해 동부, 남해 동부 및 서부

Table 2. The fourth quadrant of fisheries resource and environmental factors in Korean waters of 2017

	Chub mackerel	Hairtail	Common squid	Small yellow croaker	Sea surface temperature	Salinity	Dissolved oxygen	Phosphate	Nitrate	Silicate	Euphotic depths	Copepda
Northern East Sea	1	1	2	N/A	1	3	1	3	2	2	1	4
Southern East Sea	2	4	1	N/A	4	4	2	3	2	1	1	3
Eastern West Sea	1	2	2	3	3	2	2	1	1	1	1	1
Western West Sea	2	1	4	1	1	2	1	2	1	3	1	1
Eastern South Sea	4	3	1	4	1	4	1	2	1	1	1	1
Western South Sea	3	2	1	1	2	1	1	2	1	4	1	1
Eastern East China Sea	1	1	1	2	1	3	4	4	4	1	4	1
Western East China Sea	1	1	1	1	1	1	3	4	3	4	1	1

N/A, not applicable.

에서 음의 값을 보였으며, 동해 북부와 서해 서부, 동중국해 동부 및 서부에서 양의 값을 보였다. 살오징어는 서해 동부와 서부에서 음의 값을 보였으며 동해 북부와 남부, 남해 동부와 서부, 동중국해 동부와 서부에서 양의 값을 보였다. 참조기의 경우 서해 동부와 남해 동부에서 음의 값을 보였고, 서해 서부, 남해 서부, 동중국해 동부 및 서부에서 양의 값을 보였다. 각 어종별 어장 민감도 평가 결과는 Table 4에 나타내었다. 대부분의 어장에서 2-3등급으로 나타났으며 1등급은 남해동부와 서부에서 고등어, 동해 남부와 남해 동부에서 갈치, 서해 서부에서 살오징어, 서해 동부와 남해 동부에서 참조기에 대해 나타났다. 어종별 어장 민감도 평가결과 동해와 동중국해 해역에 비해 서해와 남해에서 어장 민감도가 높은 것으로 보인다.

4분위 구분표를 활용하여 환경요인과 어장의 평균 비교를 통해 산정한 어장 민감도 지수와 평가 결과를 Table 5에 나타내었다. 어장 민감도 지수는 남해 동부(-1.5)에서 가장 낮았고, 동중국해 동부(1.5)에서 가장 높은 값을 보였다. 어장 민감도 지수를

기반으로 어장 민감도 평가를 실시한 결과 2017년의 경우 남해 동부에서 어장 민감도가 1등급, 남해 서부와 서해 동부 및 서부에서 2등급, 동해 남부에서 3등급, 동해 북부와 동중국해에서 4등급의 결과를 보였다. 어장 평가에서 2등급과 4등급의 어장이 가장 많았으며, 1등급과 3등급은 남해 동부와 동해 남부에 해당하였다. 특히 남해 동부는 어장 민감도가 가장 낮은 1등급이었으며, 이는 본 연구에서 개발한 민감도 평가 기준으로 보았을 때 해양환경 변화에 따른 어장의 변화가 가장 크게 나타나는 것으로 판단된다.

결과적으로 4개 어종에 대한 어장 민감도 및 평가는 남해 어장에서 환경변화에 따른 변화가 큰 것으로 보이며, 이는 앞으로 집중적인 해양생태계 연구를 통한 해석이 필요할 것으로 판단된다. 특히 서해와 남해에서 어장 민감도가 상대적으로 낮게 평가된 이유는, 대상 어종 중 오징어를 제외한 대부분이 남해와 서해에 가장 많이 분포하기 때문인 것으로 생각된다. 실제 Z-SCORE 값에서 보이듯이 환경인자들의 변화는 해역에 따라 증가와 감소가 다르게 나타나며, 이는 우리나라 해역이 가지고 있는 다양한 해류의 특성과 각 해역별 고유의 해양환경에 영향을 받기 때문에 이를 위한 집중 연구와 해역의 세분화 작업을 통한 해석이 필요할 것으로 보인다. 기존의 취약성 평가와 어업생산량 변화 분석은 행정구역인 도를 기준으로 분석하거나 연근해 전체를 포함하고 있으며 수산물 생산해역의 환경모니터링도 우리나라 해역을 총 5개로 구분하여 진행하였다(Eom et al., 2015; Kim et al., 2016). 따라서 본 연구에서 구분한 8개 해역을 통한 어장 민감도 평가는 다양한 해양환경이 밀집한 우리나라 연근해 해역의 어장을 평가하는데 좀 더 면밀히 살필 수 있는 기회였다고 생각된다. 하지만, 본 연구에서 개발한 어장 민감도 평가 기술로 인한 평가에서 실제로 어장의 좋고 나쁨에 대한 평가로 이어지지는 못한다. 이를 위해서는 Z-SCORE에서 계산된 값을 병행 분석을 통한 해석이 필요할 것으로 생각된다.

이 연구는 해양환경을 기반으로 한 우리나라 연근해 전체 어장을 평가하기 위한 첫번째 연구로써 앞으로의 어장 민감도 평가를 통한 해역 평가에 도움을 줄 수 있을 것이라 생각된다. 이

Table 3. Fisheries sensitivity of four species in Korean waters of 2017

	Chub mackerel	Hairtail	Common squid	Small yellow croaker
Northern East Sea	1.1	1.1	0.1	N/A
Southern East Sea	0.5	-1.5	1.5	N/A
Eastern West Sea	0.5	-0.5	-0.5	-1.5
Western West Sea	-0.5	0.5	-2.5	0.5
Eastern South Sea	-2.5	-1.5	0.5	-2.5
Western South Sea	-1.4	-0.4	0.6	0.6
Eastern East China Sea	1.8	1.8	1.8	0.8
Western East China Sea	1.3	1.3	1.3	1.3

N/A, not applicable.

Table 4. The evaluation grade of four species in Korean waters of 2017

	Chub mackerel	Hairtail	Common squid	Small yellow croaker
Northern East Sea	4	4	3	N/A
Southern East Sea	3	1	4	N/A
Eastern West Sea	3	2	2	1
Western West Sea	2	3	1	3
Eastern South Sea	1	1	3	1
Western South Sea	1	2	3	3
Eastern East China Sea	3	4	4	3
Western East China Sea	3	4	4	4

N/A, not applicable.

Table 5. The fisheries sensitivity and evaluation grade in Korean waters of 2017

	Fisheries sensitivity	Evaluation grade
Northern East Sea	0.875	4
Southern East Sea	0.5	3
Eastern West Sea	-0.5	2
Western West Sea	-0.5	2
Eastern South Sea	-1.5	1
Western South Sea	-0.125	2
Eastern East China Sea	1.5	4
Western East China Sea	1.25	4

번 연구에서 사용된 평가방법은 기존의 기후변화 취약성 평가와는 달리 해양환경요인만을 노출변수로 고려하여 해역별 민감도 평가를 진행하였으며, 이는 앞으로 기후변화에 따른 어장 변화 대응을 위한 정책 마련에 기여할 수 있을 것으로 생각된다. 그러나 각 어종이 가지고 있는 고유의 생물학적 그리고 해역별 특성에 분명한 차이가 존재하기 때문에 이를 보완하기 위한 방법이 또한 필요할 것이라 생각된다. 이를 위해 노출변수에서 기초생산자인 식물플랑크톤에 대한 지표(기초생산, Chlorophyll-a 등)를 추가할 수 있다면 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이라 생각된다. 실제로, 최근 발표된 고등어 및 살오징어의 서식지 적합지수는 위성을 활용한 기초생산력 자료를 추가할 경우 약 10% 향상되는 것으로 나타났다(Lee et al., 2018; Lee et al., 2019). 그리고 기존 취약성 평가에서 활용했던 델파이 기법을 통한 가중치 부여 또는 상관관계 분석을 통한 가중치 부여를 고려하는 것도 필요할 것으로 보인다. 이번 연구에서 개발된 방법의 경우 부유성 소형 어류에 적합한 것으로 생각되며 추후 주요 상업어종 중 저어성 어류에 대한 적용을 위한 방법의 개발도 필요할 것이다. 이번 연구에서 개발된 어장 민감도 평가 방법을 기준으로 앞으로도 지속적인 자료의 수집과 기법의 보완을 통해 우리나라에 가장 적합한 어장 민감도 평가 기법 개발에 기초가 될 수 있을 것으로 생각된다.

사 사

이번 연구는 국립수산물과학원의 연근해생태계 구조변동 평가 기술 개발(R2021068)의 지원을 받아 진행되었습니다.

References

- Allison EH, Perry AL, Badjeck M, Adger WN, Brown K, Conway D, Halls AS, Pilling GM, Reynolds JD, Andrew NL and Dulvy NK. 2009. Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries. *Fish Fish* 10, 173-196. <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00310.x>.
- Cheung WL, Pinnegar J, Merino G, Jones MC and Barange M. 2012. Review of climate change impacts on marine fisheries in the UK and Ireland. *Aquat Conserv* 22, 368-388. <https://doi.org/10.1002/aqc.2248>.
- Choi KH, Hwang SD and Kim JI. 1997. Fishing conditions of common squid (*Todarodes pacificus* steenstrup) in Korea waters. *Korean J Fish Aquat Sci* 30, 513-522.
- Chung S, Kim S and Kang S. 2013. Ecological relationship between environmental factors and pacific cod catch in the southern East/Japan Sea. *Anim Cells Syst* 17, 374-382. <https://doi.org/10.1080/19768354.2013.853693>.
- Eom KH, Kim HS, Han IS and Kim DH. 2015. An analysis of changes in catch amount of offshore and coastal fisheries by climate change in Korea. *J Fish Bus Adm* 46, 31-41. <https://doi.org/10.12939/FBA.2015.46.2.031>.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2009. Climate change implications for fisheries and aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*, Roma, Italy, 530.
- Gregg WW, Conkright ME, Ginoux P, O'Reilly JE and Casey NW. 2003. Ocean primary productivity and climate: global decadal changes. *Geophys Res Lett* 15, 1809. <https://doi.org/10.1029/2003GL016889>.
- Han HJ, Ahn SE and Lee EA. 2005. Climate change impact assessment and development of adaptation strategies in Korea. Korea Environment Institute, Sejong, Korea, 1-19.
- Hobday AJ, Poloczanska ES and Matear RJ. 2008. Implications of climate change for Australian fisheries and aquaculture: a preliminary assessment. Department of Climate Change, Australian Government, Canberra, Australia, 74.
- Martin P, Osvaldo C, Jean P, Paul VDL and Clair H. Summary for policymakers, climate change2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge, U. K., 14.
- Joo H, Son S, Park JW, Kang JJ, Jeong JY, Lee CI, Kang CK and Lee SH. 2016. Long-term pattern of primary productivity in the East/Japan Sea based on ocean color data derived from MODIS-aqua. *Remote Sens-Basel* 8, 25. <https://doi.org/10.3390/rs8010025>.
- Joo H, Park JW, Son S, Noh JH, Jeong JY, Kwak JH, Saux-Picart, S, Choi JH, Kang CK and Lee SH. 2014. Long-term annual primary production in the Ulleung Basin as a biological hotspot in the East/Japan Sea. *J Geophys Res Oceans* 119, 3002-3011. <https://doi.org/10.1002/2014JC009862>.
- Ju SJ and Kim SJ. 2013. Assessment of the impact of climate change on marine ecosystem in the south sea of Korea II. *Ocean Polar Res* 35, 123-125. <https://doi.org/10.4217/OPR.2013.32.2.123>.
- KACCC (Korea Adaptation Center for Climate Change). 2015. Korea's climate change adaptation strategy. Retrieved from 2021 http://ccas.ke.re.kr/climate_change_adapt on May 10, 2021.
- Kim BT, Lee SG and Jeong MS. 2014. An analysis of fishermen's perception to climate change in Korea. *J Fish Bus Adm* 45, 71-84. <https://doi.org/10312939/FBA.2014.45.3.071>.
- Kim S, Zhang CI, Kim JY, Oh JH, Kang S and Lee JB. 2007. Climate variability and its effects on major fisheries in Korea. *Ocean Sci J* 42, 179-192. <https://doi.org/10.1007/BF03020922>.
- Kim J, Kang H, Jang H and Kwon M. 2016. The analysis of long-term changes in Environmental monitoring of sea fisheries production area. *J Korean Soc Mar Environ Energy* 11, 186-190.
- Kim SR, Kim JJ, Park HW, Kang S, Cha HK and Baek HJ. 2020. Maturity and spawning of the chub mackerel *Scomber japonicus* in the Korean waters. *Korean J Fish Aquat Sci* 53, 9-18. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2020.0009>.

- Kim S. 2003. Changes in fisheries resources in relation to variability of oceanic environments. *J Korea Soc Fish Res* 6, 11-20.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2014. Korea climate change assessment report 2014. KMA, Seoul, Korea.
- Koh J and Kim H. 2010. A study on local vulnerability assessment to climate change-the case of municipalities of gyeonggi-Do. *J Environ Policy Adm* 18, 79-105.
- Lee BD, Kim BT and Cho YS. 2011. A study on vulnerability assessment to climate change in regional fisheries of Korea. *J Fish Bus Adm* 42, 57-70.
- Lee CH. 2018. The characteristics of fluctuation on fishing condition of chub mackerel *Scomber japonicus* in 2008-2016. M.S. Thesis, Pukyong National University, Busan, Korea.
- Lee JH, Seo YI, Oh TY and Lee DW. 2013. Estimations on population ecological characteristics of small yellow croaker *Larimichthys polyactis* by the drift gillnet fishery in Korean waters. *J Korea Soc Fish Tech* 49, 440-448. <https://doi.org/10.3796/KSFT.2013.49.4.440>.
- Lee SH, Lee JH, Lee JH, Kang JJ, Lee HW, Lee D and Kang CK. 2017. Seasonal carbon uptake rates of phytoplankton in the northern East/Japan Sea. *Deep Sea Res Part II* 143, 45-53. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.04.009>.
- Lee D, Son S, Kim W, Park JM, Joo H and Lee SH. 2018. Spatio-temporal variability of the habitat suitability index for chub mackerel *Scomber japonicus* in the East/Japan sea and the south sea of south Korea. *Remote Sens* 10, 938. <https://doi.org/10.3390/rs10060938>.
- Lee D, Son S, Lee CI, Kang CK and Lee SH. 2019. Spatio-Temporal variability of the habitat suitability index for the *Todarodes pacificus* (Japanese Common Squid) around south Korea. *Remote Sens* 11, 2720. <https://doi.org/10.3390/rs11232720>.
- Lu HJ and Lee HL. 2014. Changes in the fish species composition in the coastal zones of the Kuroshio current and china coastal current during periods of climate change: Observations from the set-net fishery (1993-2011). *Fish Res* 155, 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.02.032>.
- NFRDI (National Fisheries Research Develop Institute). 2005. Ecosystem and fishing grounds of commercially important species in Korean waters. Yemunsa Publishing Co, Busan, Korea, 1-383.
- Park CS, Lee DW and Hwang K. 2002. Distribution and migration of Hairtail *Trichiurus lepturus* in Korea waters. *J Korean Soc Fish Res* 5, 1-11.
- Yamada H. 1964. On the distribution and migration of the ribbon fish *Trichiurus lepturus* line in the East China and the Yellow seas by fish-size. *Bull Seikai Reg Res Lab* 184, 135-157.
- Yoo GY and Kim IA. 2008. Development and application of a climate change vulnerability index. Korea Environment Institute, Sejong, Korea, 17.