

기후변화에 따른 남해권 연근해어업의 어획 및 어획수입 열적 재편 분석: MTC와 MTR을 중심으로

정필규* · 김봉태**†

*국립부경대학교 자원환경경제연구소 연구원, **국립부경대학교 해양수산경영경제학부 부교수

Changes in catch and revenue structures of coastal and offshore fisheries in the South Sea under climate change: Evidence from mean temperature of the catch (MTC) and mean temperature of their revenue (MTR)

Jung, Pil-Gyu* and Kim, Bong-Tae**†

*Researcher, Institute of Resource & Environmental Economics, Pukyong National University, Busan, Korea

**Associate Professor, Division of Marine & Fisheries Business and Economics, College of Fisheries Science, Pukyong National University, Busan, Korea

ABSTRACT

This study examines changes in the thermal composition of catch and revenue structures in the coastal and offshore fisheries of the South Sea of Korea under ongoing ocean warming. Using annual data on fisheries production and revenue from 1990 to 2025, the study applies the Mean Temperature of the Catch (MTC) and the Mean Temperature of the Revenue (MTR) to assess whether fisheries production and economic value have shifted toward warm-water species. In addition, functional groups and major species are analyzed to identify the principal contributors to these structural changes. The results indicate that both MTC and MTR increased significantly over the study period, with MTC rising by approximately 0.5°C per decade and MTR by approximately 0.3°C per decade. These findings suggest that both catch and revenue structures in the South Sea have gradually shifted toward species with higher thermal affinities. At the functional-group level, fish and cephalopods exhibited significant increasing trends, whereas crustaceans showed no statistically significant long-term changes. Species-level analysis identified warm-water species such as Spanish mackerel, yellowtail, and silver pomfret as major contributors to the observed increase in catch composition. However, changes in catch share and revenue share were not always consistent across species, indicating that shifts in production structure do not necessarily translate into equivalent changes in economic value. Overall, the findings suggest that fisheries responses associated with ocean warming extend beyond biological changes in species composition and are also linked to changes in economic value structures. These results highlight the importance of climate-adaptive fisheries management that considers not only changes in catch composition but also the economic significance of individual species and evolving market conditions.

Key words : Climate Change, Mean Temperature of the Catch, Mean Temperature of the Revenue, South Sea, Ocean Warming

†Corresponding author : bkim@pknu.ac.kr (45, Yongso-ro, Nam-gu, Busan, 48513, Korea. Tel. +82-51-629-5311) **ORCID** 정필규 0009-0001-3955-1876 김봉태 0000-0003-1511-9365

1. 서론

기후변화 심화에 따라 해양 온난화 현상이 점차 가속화될 것으로 예상된다(Cheng et al., 2019; Kim et al., 2024). 해양 온난화는 해양생태계 전반에 광범위한 변화를 초래하며, 이 중 해수온의 장기적 변화는 이러한 생태적 변화를 설명하는 주요 지표로 활용되어 왔다(Ong et al., 2025; Pinsky et al., 2013). 그러나 해수온 상승의 속도 및 강도는 지역 또는 해양생물 종의 생리적 특성 등에 따라 그 영향은 이질적으로 나타나는 것으로 보고되고 있다(Chust et al., 2023; Jung and Kim, 2025).

해양생물은 일반적으로 변화하는 수온 조건에 대응하여 종별 열적 선호도(thermal affinity)에 적합한 환경으로 이동하는 경향이 있다(Burrows et al., 2019). 이러한 반응은 주로 고위도 또는 더 깊은 수심으로의 분포 이동 형태로 나타나며(Dulvy et al., 2008; Shoji et al., 2011), 결과적으로 해역 내 군집구조의 재편으로 이어진다. 이는 주로 난류성 어종의 비중 증가와 한류성 어종의 감소 경향으로 나타나고(Givan et al., 2018), 이 과정에서 종간 상호작용과 먹이망 구조 등이 변화하며 해양생태계의 구조와 기능에 영향을 미친다(Pecl et al., 2017; Pinsky et al., 2020).

나아가 해수온 상승에 따른 군집구조의 재편은 단순한 생태학적 현상을 넘어 자원관리, 어업생산, 어업경제 전반에도 직접적인 영향을 미친다(Palacios-Abrantes et al., 2022). 실제로 Afriana (2025)에 의하면, 해수온 변화에 따른 어류의 분포 이동은 어획량 감소와 조업 비용 증가를 야기하여 어업의 불확실성을 심화시키는 것으로 나타났다. 또한 Cheung et al. (2010)은 기후변화에 따른 어종 구성의 재편이 해역별 최대 어획잠재력을 저하하여 지역별 어업 생산 및 수익 격차를 확대할 수 있음을 제시하였다.

다만 이러한 변화가 반드시 일률적인 어획량 감소로 귀결되는 것은 아니다. 일부 해역에서는 어류의 분포 이동으로 인해 기존 주요 어종의 생물량이 감소하여 어획 기회가 축소되는 반면, 다른 해역에서는 새로운 어종의 유입으로 인해 새로운 어업 기회가 창출되기도 한다(Liu et al., 2023; Ojea et al., 2020). 이처럼 해역별로 상이한 양상이 나타난다는 점에서, 어획 구성 변화를 정량적으로 평가하기 위한 지역 단위의 분석 필요성이 점차 요구되고 있다.

그동안 관련 연구들은 주로 기후변화가 총어획량의 변동이나 개별 어종의 분포 및 어획량 변화에 미치는 영향

을 중심으로 수행되어 왔다(Cho et al., 2025; Kim, 2023). 그러나 이러한 접근만으로는 기후변화에 따른 어업의 전반적 변화 양상을 충분히 파악하기 어렵기 때문에 어업생산과 경제적 성과에 대한 영향을 보다 엄밀히 평가하기 위해서는 어획 구성의 변화 양상을 함께 검토할 필요가 있다. 최근에는 종별 열적 선호도(Thermal affinities)를 기반으로 어획 구성과 경제적 가치 구성의 열적 특성을 정량화하는 어획량 평균수온(Mean temperature of the catch, MTC)과 어획수입 평균수온(Mean temperature of the revenue, MTR) 지표가 활용되고 있다. MTC는 Cheung et al. (2013)에 의해 처음 제안된 이후 지중해(Tsikliras and Stergiou, 2014), 중국 해역(Liang et al., 2018) 등 다양한 해역에서 적용되며, 해양 온난화에 따라 어획 구성이 고수온 선호 어종 중심으로 재편되고 있음을 규명한 바 있다. 또한 Espasandin et al. (2025)은 MTC와 함께 MTR을 병행 적용하여 어획 구성의 변화가 경제적 가치 구조의 변화와 반드시 일치하지 않을 수 있음을 확인하였다. 이는 어획량 변화가 반드시 수익 구성의 변화로 직접 이어지는 것은 아니며, 가격이나 비용 등의 요인에 따라 달라질 수 있다는 점에서(Sumaila et al., 2011), MTC와 MTR을 병행하여 검토할 필요가 있다.

이러한 맥락에서 어획 및 경제적 가치 구성의 변화는 우리나라에서 특히 중요한 의미가 있다. 우리나라는 동·서·남해가 서로 다른 해양환경과 어장 구조를 지니고 있어 기후변화에 대한 반응 또한 동일하게 나타나지 않는다. 또한 최근에는 해수온 상승과 함께 아열대성 어종의 출현 확대, 주요 어장의 공간적 이동, 기존 주요 어종의 생산 변동 등이 지속적으로 보고되고 있으며(NIFS, 2024), 이는 연근해어업의 생산 기반뿐 아니라 수익 구조에도 큰 영향을 미칠 가능성이 크다. 그럼에도 불구하고 국내에서는 어획 및 어획수입 구성 전반의 열적 재편 양상을 체계적으로 분석한 연구는 아직 제한적인 실정이다.

이러한 배경하에 본 연구는 국내에서 기후변화의 영향이 뚜렷하게 관측되는 대표적 해역인 남해권 연근해어업을 대상으로 어획 및 경제적 가치 구성 변화를 분석하고, 기후변화에 따른 구조적 재편 양상을 살펴보는 것을 목적으로 한다. 아울러 본 연구에서는 MTC와 MTR의 변화 자체뿐 아니라, 어떠한 생물군과 주요 어종이 이러한 변화를 주도하고 있는지를 함께 분석하고자 한다. 이는 가중평균 지표의 변화 방향을 확인하는 것에 그치지 않고, 실제 주요 기여 요인을 보다 구체적으로 해석하고 정책적 시사점을 도출하기 위함이다.

본고의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 분석자료 및 방법론을 살펴보고, 3장에서는 MTC 및 MTR 변화를 중심으로 분석 결과를 제시한다. 마지막 4장에서는 어획 및 어획수입구조 변화의 의미를 논의하며 정책적 시사점을 제시한다.

2. 분석 방법 및 자료

2.1. 분석 해역 및 자료

국내 연근해어업의 어획 및 어획수입 구성 변화 양상을 분석하기 위해 본 연구에서는 남해권 연근해어업을 분석 대상으로 설정하였다. 남해는 쓰시마 난류의 영향을 강하게 받는 대표적인 난류성 해역으로(Lee et al., 2024), 타 해역에 비해 난류성 어종의 생산 비중이 높은 구조를 가지기에 기후변화에 따른 어획 구성의 변화와 구조적 재편 양상을 분석하기에 적합한 지역으로 판단된다. 남해권의 공간적 범위로는 전남, 경남, 부산, 제주를 포함하는 해역으로 설정하였다(Fig. 1).

분석에 사용된 어획량 및 어획수입 자료는 통계청의 어업생산동향 자료를 사용하였으며, 장기적인 구성 변화 추세를 반영하면서 동시에 자료의 가용성을 고려하여 1990년부터 2025년까지를 분석 기간으로 설정하였다.

분석 대상 품목으로는 남해권 연근해어업의 주요 생산 품목 중 생산 비중이 높고 열적 특성(난류·한류)의 다양성을 반영할 수 있는 종으로 선정하였으며, 어류 20종, 두족류 5종, 갑각류 5종, 총 30종을 분석에 포함하였다. 이들 품목의 총생산량은 전체 남해권 연근해어업 생산량의 평균 약 83% 이상을 차지하는 것으로 나타나 분석 대상으로서 충분한 대표성을 가지는 것으로 판단된다(Fig. 2).

2.2. MTC 및 MTR 산출 방법

MTC와 MTR은 각각 어획량과 어획 금액을 가중치로 하여 종별 열적 선호도의 가중평균을 산출한 지표로, 어획 구성과 어획수입 구성의 열적 재편 양상을 정량적으로 보여준다(Cheung et al., 2013; Espasandin et al., 2025).

우선 MTC는 남해권의 각 연도·어종별 어획량을 기준으로 산출되며, 이를 수식으로 표현하면 식 (1)과 같다. 이때, $C_{i,t}$ 은 해당연도 t 에서 어종 i 의 어획량을, T_i 는 해당

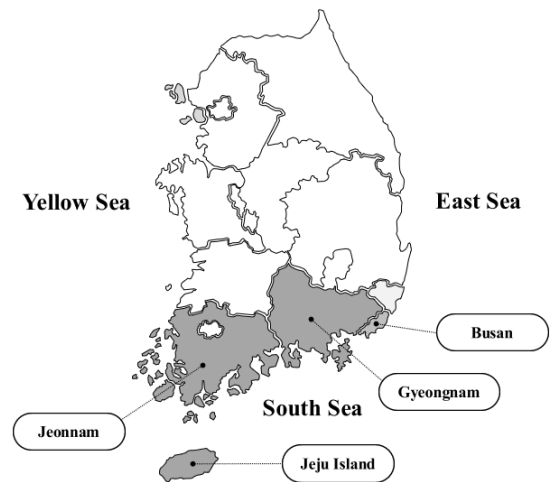


Fig. 1. Study area of the South sea region

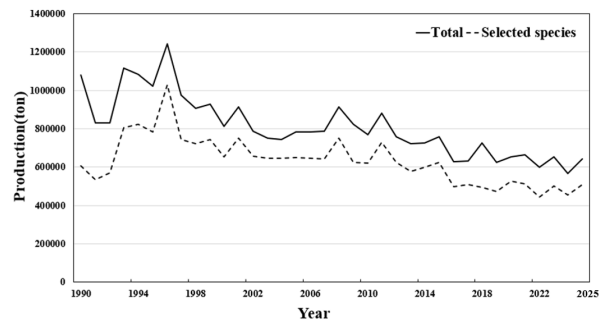


Fig. 2. Annual trends in total and selected species production, 1990 ~ 2025

어종의 열적 특성을 의미한다.

$$MTC_t = \frac{\sum_i^n C_{i,t} T_i}{\sum_i^n C_{i,t}} \quad (1)$$

MTR은 상기와 동일한 방식으로 산출하되, 어획량 대신 연도별 어획수입을 가중치로 적용한다. 이는 식 (2)와 같이 표현되며, $R_{i,t}$ 은 해당연도 어종 i 의 어획수입을 나타낸다. 여기서 어획수입은 어획량과 가격을 반영한 명목금액으로, 비용을 차감하지 않은 총생산 가치에 해당하며 어업의 경제적 가치를 대리하는 지표로 사용된다.¹⁾

1) MTR은 동일 연도 내 어획수입 비중을 가중치로 산출하는 지표이므로, 소비자물가지수(CPI) 등을 이용한 물가 보정은 결과에 영향을 미치지 않아 별도로 적용하지 않음.

Table 1. Thermal characteristics and data sources of selected species used in the analysis

Functional Group	Species (scientific name)	Preferred temperature (°C)	Thermal midpoint (°C)	References
Fish	고등어(<i>Scomber japonicus</i>)	9.3 to 27.7	20.7	Fishbase
	멸치(<i>Engraulis japonicus</i>)	8.1 to 23.3	18.4	
	참조기(<i>Larimichthys polyactis</i>)	9.4 to 24.2	16.8	
	방어(<i>Seriola quinqueradiata</i>)	17.0 to 30.0	23.5	Kim et al. (2002)
	갈치(<i>Trichiurus lepturus</i>)	10.1 to 23.2	15.2	Fishbase
	청어(<i>Clupea pallasii</i>)	0.2 to 9.7	2.8	
	대구(<i>Gadus macrocephalus</i>)	0.5 to 6.4	2.9	
	삼치(<i>Scomberomorus niphonius</i>)	13.0 to 24.5	19.2	
	강달이(<i>Platichthys stellatus</i>)	0.2 to 8.3	3.2	
	전갱이(<i>Trachurus japonicus</i>)	19.0 to 22.0	21.5	Nakamura and Hamano (2009)
	가자미류(<i>Eopsetta grigorjewi</i>)	0.4 to 16.2	8.3	Fishbase
	정어리(<i>Sardinops melanostictus</i>)	9.5 to 25.2	17.9	
	병어류(<i>Pampus argenteus</i>)	21.9 to 29.1	28.1	
	아귀류(<i>Lophiomus setigerus</i>)	9.8 to 22.5	15.0	
	봉장어(<i>Conger myriaster</i>)	0.5 to 13.5	8.8	
	꽂치(<i>Cololabis saira</i>)	4.6 to 14.8	8.0	
	참돔(<i>Pagrus major</i>)	17.4 to 24.4	21.8	
	전어(<i>Konosirus punctatus</i>)	16.1 to 23.8	20.3	
	송어류(<i>Mugil cephalus</i>)	11.3 to 27.9	23.2	
Cephalopod	살오징어(<i>Todarodes pacificus</i>)	7.7 to 23.4	18.3	Sealifebase
	문어(<i>Octopus vulgaris</i>)	10.0 to 28.9	25.8	Kim et al. (2001)
	주꾸미(<i>Amphioctopus fangsiao</i>)	11.0 to 21.0	16.0	
	꽃뚜기(<i>Loligo beka</i>)	12.9 to 21.6	17.3	NIFS
	갑오징어(<i>Sepia officinalis</i>)	15.0 to 25.0	20.0	Sealifebase
Crustacea	꽃게(<i>Portnus trituberculatus</i>)	13.8 to 29.1	21.5	
	젓새우(<i>Acetes japonicus</i>)	20.5 to 29.1	23.0	
	중하(<i>Metapenaeus joyneri</i>)	14.8 to 26.5	20.6	
	대하(<i>Fenneropenaeus chinensis</i>)	20.0 to 26.0	23.0	
	꽃새우(<i>Trachysalambria curvirostris</i>)	18.0 to 28.2	27.1	

$$MTR_t = \frac{\sum_i^n R_{i,t} T_i}{\sum_i^n R_{i,t}} \quad (2)$$

종별 열적 특성(thermal affinity)의 경우 전 세계 해양생물의 생태·분포 정보를 제공하는 FishBase 및 SealifeBase 자료를 기반으로 종별 열적 중심값(thermal midpoint)을 설정하였다(Table 1). 우선 FishBase 및 SeaLifeBase에서 평균 선호 수온(mean preferred temperature)이 제공되는 종에 대해서는 해당 값을 열적 중심값으로 활용하였다. 이 값은 종의 공간적 출현 자료와 환경 수온 정보를 기반으로 실제 출현 빈도가 높은 수온대를 반영하여 제시되는 대표 온도로, 선호 수온 범위의 최소·최대값을 단순 산술 평균한 중심값과는 구별된다. 한편, 평균 관련 정보가 제공되지 않는 일부 종에 관해서는 선행연구에서 제시된 선호 수온 범위의 중심값을 보완적으로 적용하였다. 따라서

본 연구에서의 종별 열적 중심값은 각종의 상대적인 열적 위치를 나타내는 대표 지표로 해석된다.

2.3. 어종별 Thermal Bias 및 생물군별 분석

MTC와 MTR은 가중평균 지표의 특성상 개별 어종의 생산 비중 변화가 전체 지수에 미치는 영향을 직접적으로 설명하기에는 다소 한계가 있다. 또한 동일한 남해권 내에서도 어류·두족류·갑각류 등 생물군별로 생산 구조 변화의 방향과 강도가 다르게 나타날 수 있다.

이에 본고에서는 먼저 생물군별 분석을 통해 전체 MTC와 MTR 변화가 어떠한 품목군에 의해 주도되는지를 확인하였다. 또한 어종 수준에서의 변화 방향을 보다 구체적으로 파악하기 위해 각 어종의 열적 특성과 생산 비중 및 어획수입 비중의 장기 변화를 함께 비교하였다. 생산 비중과 어획수입 비중의 변화는 연도에 따른 상대적 비중의 추세 기울기를 기준으로 평가하였으며, 각 어종의

상대적 열적 위치는 해당 어종의 열적 중심값과 전체 분석 대상 어종의 평균 간의 차이인 평균 대비 열적 편차 (thermal bias)를 활용하여 산정하였다.

$$thermal\ bias_i = T_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (3)$$

이를 통해 어종별 평균 대비 열적 편차와 생산 및 어획수입 비중 변화의 관계를 시각화함으로써 MTC와 MTR 변화가 어떠한 어종에 의해 주도되었는지를 검토하였다.

2.4. MTC·MTR의 장기 추세 및 회귀분석

본 연구에서는 MTC와 MTR의 장기적인 변화 추세와 통계적 유의성을 검정하기 위하여 연도를 설명변수로 하는 선형회귀분석을 수행하였다.

$$MTC_t = \alpha_1 + \beta_1 Year_t + \epsilon_{1t} \quad (4)$$

$$MTR_t = \alpha_2 + \beta_2 Year_t + \epsilon_{2t} \quad (5)$$

상기 식에서 추정된 계수가 양(+)이고 통계적으로 유의할 경우, 생산 또는 어획수입 구성이 고수온 선호 종 중심으로 변화하였음을 의미한다. 반대로 계수가 음(-)이고 유의할 경우에는 저수온 선호 종의 비중이 상대적으로 확대되는 방향의 변화를 나타낸다. 추정계수는 장기 변화의 해석을 용이하게 하기 위해 10년당 변화량 기준으로 환산하여 제시하였다. 아울러 장기 시계열 자료를 이용한 회귀분석에서는 잔차의 자기상관이 존재할 경우 회귀계수의 표준오차가 왜곡되어 통계적 추론의 신뢰성이 저하될 수 있으므로, 본 연구에서는 Newey-West 강건표준오차를 적용하여 추정하였다.

또한 MTC와 MTR의 변화가 해수온 변화와의 관련성을 보조적으로 확인하기 위해 표층 수온을 설명변수로 하는 별도의 회귀분석을 수행하였다. 연도와 표층 수온은 모두 장기적인 추세를 반영하는 변수이므로 동일 모형 내에서 동시에 포함할 경우 해석이 불명확해질 수 있다. 이에 본 연구에서는 시간에 따른 장기 추세 검정과 해수온과의 관계 분석을 세분하여 제시하였다. 이때 해수온 자료는 기상청 종합기후변화감시정보에서 제공하는 남해안 표층 수온 자료를 사용하였다.

$$MTC_t = \alpha_3 + \gamma_1 SST_t + \epsilon_{3t} \quad (6)$$

$$MTR_t = \alpha_4 + \gamma_2 SST_t + \epsilon_{4t} \quad (7)$$

마지막으로 주요 어종별 생산 비중 및 어획수입 비중의 장기 변화는 각각 아래 식 (8)과 식 (9)을 통해 추정하였다. 구체적으로, 각 어종(i)의 생산 및 어획수입 비중에 대한 연도별 변화를 선형회귀분석으로 추정하였으며, 해당 회귀계수의 기울기를 각 비중 변화의 지표로 사용하였다.

$$Catch\ Share_{i,t} = \alpha_i^C + \delta_i^C Year_t + \epsilon_{i,t}^C \quad (8)$$

$$Revenue\ Share_{i,t} = \alpha_i^R + \delta_i^R Year_t + \epsilon_{i,t}^R \quad (9)$$

3. 분석 결과

3.1. 남해권 전체 및 품목군별 MTC·MTR 결과

남해권 연근해어업의 MTC와 MTR 장기 추세를 분석한 결과는 Fig. 3과 같다. 분석 결과 남해권 해역의 MTC와 MTR은 전체 분석기간 동안 모두 유의한 상승 추세를 보였다. MTC는 10년당 약 0.5℃ 증가하는 것으로 나타났으며($p < 0.01$), MTR 역시 10년당 약 0.3℃ 증가하여 통계적으로 유의한 양(+)의 추세를 나타냈다($p < 0.01$). 이는 남해권의 어획 구성과 어획수입 구성이 점차 고수온 선호 어종의 비중이 커지는 방향으로 변화하고 있음을 시사한다.

이때 MTC의 증가 폭이 MTR보다 크게 나타났다는 점은 어획량 기준의 생산 구조 변화가 어획수입 구성 변화보다 상대적으로 더 뚜렷하게 나타났음을 보여준다. 이는 기후변화에 따른 종 조성 변화가 어획 구조에 직접적으로 반영되는 반면, 어획수입 구성은 가격 변동과 시장 구조

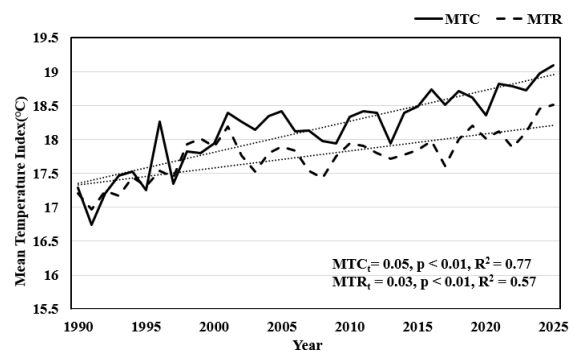


Fig. 3. Trends in MTC and MTR in the South Sea

의 영향을 함께 받기 때문에 변화폭은 상대적으로 작게 나타난 것으로 해석된다.

품목군별 MTC와 MTR의 장기 추세를 분석한 결과는 Fig. 4와 같다. 어류에서는 MTC가 10년당 약 0.5°C ($p < 0.01$), MTR은 10년당 약 0.1°C 증가하여 유의한 양(+)의 추세를 나타냈다($p < 0.01$). 두족류의 경우 세 품목군 중

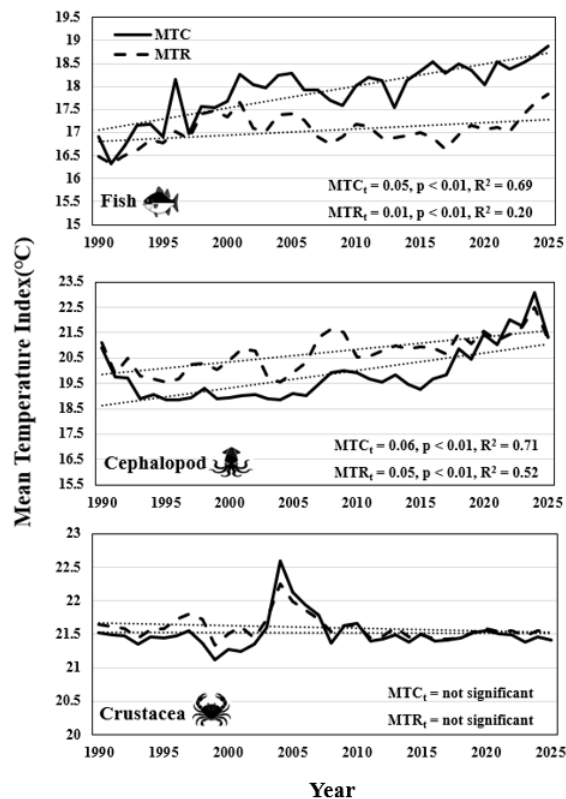


Fig. 4. Trends in MTC and MTR by functional group in the South Sea

가장 큰 증가 폭이 확인되었으며, MTC는 10년당 약 0.6°C ($p < 0.01$), MTR은 10년당 약 0.5°C ($p < 0.01$) 증가하는 것으로 나타났다. 반면 갑각류에서는 MTC와 MTR 모두 뚜렷한 증가 또는 감소 추세가 나타나지 않았으며, 통계적으로 유의한 장기 변화는 확인되지 않았다.

이러한 결과는 남해권 전체 MTC와 MTR의 상승이 모든 품목군에서 동일한 강도로 나타난 것이 아니라, 주로 어류와 두족류의 어획 구성 변화에 의해 주도되었음을 보여준다. 특히 두족류에서 가장 큰 증가 폭이 확인되었으나, 남해권 연근해어업에서 차지하는 품목군별 생산 비중²⁾을 고려하면 남해권 전체 MTC 상승은 생산 비중이 높은 어류의 변화에 의해 더욱 크게 영향을 받은 것으로 판단된다.

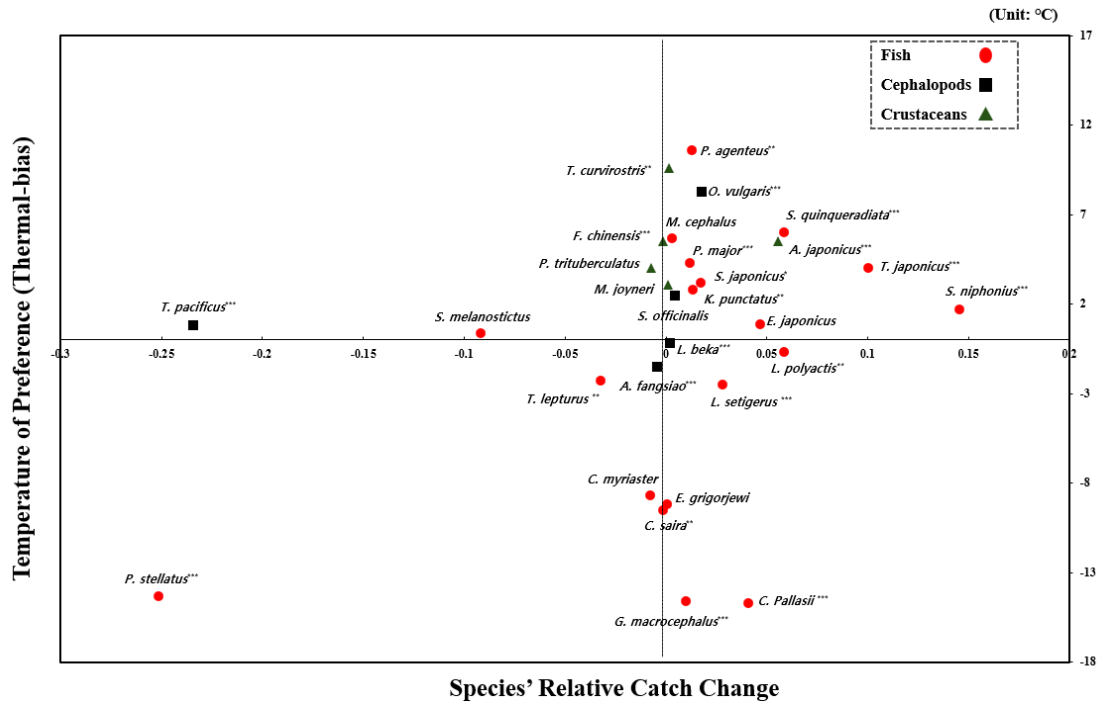
이와 함께 이러한 장기 변화가 실제 해수온 상승과 관련되는지를 확인하기 위해 표층 수온과 MTC 및 MTR의 관계를 추가적으로 분석한 결과는 Table 2와 같다. 분석 결과, 표층 수온은 어류 및 두족류의 MTC와 MTR 모두에서 양(+)의 관계를 보였으며, 이는 해수온 상승이 고수온 선호 어종 중심의 어획 및 어획수입 구조 변화와 밀접하게 관련되어 있음을 보여준다. 반면 갑각류에서는 통계적으로 유의한 관계가 나타나지 않아 생물군별로 해수온 변화에 대한 반응 양상이 상이함을 보여주었다. 또한 전반적으로 MTC의 회귀계수가 MTR보다 크게 나타났는데, 이는 해수온 상승에 따른 종 조성 변화가 어획수입 구조보다 어획 구성에 보다 민감하게 반영되고 있음을 시사한다. 특히 두족류에서는 MTC의 회귀계수가 가장 크게 나타나, 해수온 상승에 따른 고수온 선호 종 중심의 어획 구조 재편이 상대적으로 뚜렷하게 나타났음을 보여주었다.

Table 2. Regression results of SST on MTC and MTR in the South Sea

Category	Variable	Coefficient	Std. Error	t-value
All taxonomic group	MTC	0.60***	0.16	3.60
	MTR	0.40***	0.11	3.66
Fish	MTC	0.64***	0.19	3.41
	MTR	0.36***	0.11	3.35
Cephalopods	MTC	1.31***	0.40	3.28
	MTR	0.71***	0.22	3.31
Crustacea	MTC	0.09	0.07	0.33
	MTR	0.07	0.06	0.22

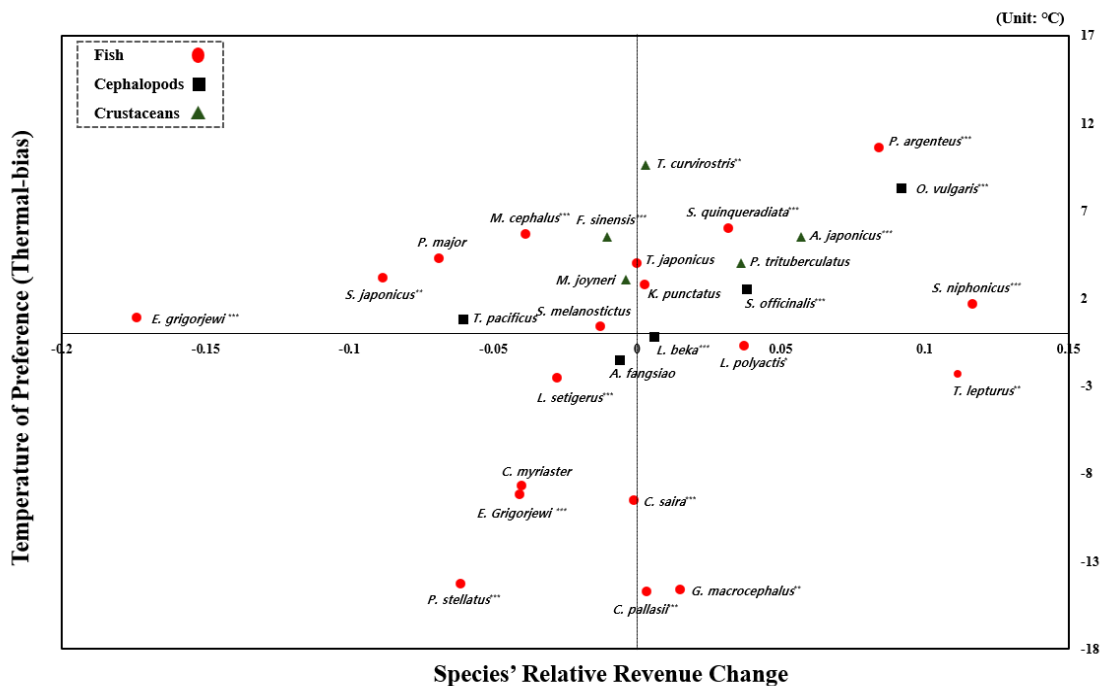
Note: *** indicates statistical significance at the 1% level.

2) 분석기간(1990~2025년) 동안 남해권 연근해어업의 생물군별 평균 생산량 비중은 어류 85.0%, 두족류 12.6%, 갑각류 2.4%임.



Note: *, **, and *** indicate statistical significance at the 10%, 5%, and 1% levels, respectively.

Fig. 5. Relationship between species' relative thermal position and relative catch change in the South Sea



Note: *, **, and *** indicate statistical significance at the 10%, 5%, and 1% levels, respectively.

Fig. 6. Relationship between species' relative thermal position and relative revenue change in the South Sea

3.2. 어종별 평균 대비 열적 편차와 어획 비중 변화

어종별 평균 대비 열적 편차와 어획 비중 변화의 관계를 분석한 결과는 Fig. 5와 같다. 이때 어획 비중 변화는 상기 식(8)을 통해 추정된 어종별 생산 비중 변화의 장기 추세(δ^p)를 의미하며, 이는 각 어종의 생산 비중이 시간에 따라 증가 또는 감소하는 방향과 정도를 의미한다. 분석 결과 평균 열적 중심값(17.52°C)보다 높은 고수온 선호 어종에서 어획 비중 증가가 뚜렷하게 나타났다. 이는 남해권의 MTC 상승이 고수온 선호 어종의 상대적 확대에 의해 주도되었음을 시사한다. 특히 삼치·방어·병어류 등은 고수온 선호 특성을 가지면서 동시에 어획 비중도 증가한 어종으로 나타나, 남해권 어획 구성의 고수온화 경향을 주도한 대표적인 어종으로 확인되었다.

반면 모든 어종이 동일한 방향으로 변화한 것은 아니다. 대표적으로 살오징어는 고수온 선호 어종임에도 불구하고 어획 비중이 유의하게 감소한 것으로 나타났다. 또한 평균보다 낮은 열적 중심값을 가지는 저수온 선호 어종 중에서도 대구와 청어 등 일부 어종은 어획 비중 증가가 확인되었으나, 꽂치, 강달리와 같은 한류성 어종에서는 유의한 어획 비중 감소를 보여 전형적인 한류성 어종 축소 양상을 보였다.

3.3. 어종별 평균 대비 열적 편차와 어획수입 비중 변화

Fig. 6은 어종별 평균 대비 열적 편차와 식 (9)을 통해 추정된 어획수입 비중의 장기 추세(δ^p) 간의 관계를 나타낸 것으로, 어획 비중 분석에서 비교적 뚜렷하게 확인되었던 고수온 선호 어종 중심의 증가가 어획수입 비중에서는 어종별로 보다 분산된 형태로 나타났다.

일례로 방어·병어류·삼치·문어 등의 경우 어획 비중과 어획수입 비중 모두에서 증가한 대표적인 어종으로 나타나, 생산량과 경제적 가치 양 측면에서 모두 남해권 어업 구조 변화에 중요한 역할을 한 것으로 확인되었다. 특히 이 중 방어는 높은 열적 중심값과 함께 어획수입 비중 증가도 뚜렷하게 나타났으며, 이는 최근 남해권에서 고수온 선호 어종인 방어의 생산 확대가 보고되고 있는 경향과도 합치한다.

반면 일부 어종에서는 어획 비중과 어획수입 비중의 변화 방향이 서로 상이하게 나타났다. 예시로 갈치는 어획 비중은 감소하였지만 어획수입 비중에서는 크게 확대되었다. 이는 생산량 비중이 축소되었음에도 경제적 비중은

오히려 증가하였음을 의미한다. 이와 반대로 아귀류는 어획 비중이 유의하게 증가하였음에도 어획수입 비중은 오히려 유의하게 감소하였다. 이는 어획 비중의 확대가 반드시 경제적 가치의 확대로 이어지는 것은 아니며, 가격 형성 구조와 시장 수요 변화가 함께 작용할 수 있음을 보여준다.

4. 결론 및 논의

최근 해양 온난화가 가속화되면서 우리나라 연근해어업의 생산 구조는 단순한 총어획량의 증감이 아니라, 어종 구성의 변화와 그에 따른 경제적 가치 구조의 재편이라는 측면에서 이해될 필요가 있다. 특히 고수온 선호 어종의 상대적 비중 확대와 기존 주요 어종의 생산 기반 약화가 동시에 나타나는 상황에서, 어획 비중 기준의 변화와 경제적 가치 기준의 변화가 반드시 동일한 방향으로 나타나는 것은 아니다. 이러한 구조적 변화는 향후 수산자원관리와 어업정책의 방향을 재검토해야 할 필요성을 제기한다. 이에 본고에서는 남해권 연근해어업을 대상으로 MTC와 MTR을 활용하여 어획 구성과 어획 수입 구조의 장기적 변화를 분석하고, 주요 품목군 및 어종별 변화를 함께 검토하였다. 이상의 연구 결과를 종합하면 다음과 같다.

첫째, 남해권의 MTC와 MTR은 모두 장기적으로 유의한 증가 추세를 보였다. MTC는 10년당 약 0.5°C, MTR은 약 0.3°C 증가하여, 남해권의 어획 구성과 어획수입 구성이 점차 고수온 선호 어종 중심으로 재편되고 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 해양 온난화가 어획 구성의 열적 재편을 유도한다는 기존 연구의 결과와도 합치한다(Espasandin et al., 2025; Tsikliras and Stergiou, 2014). 품목군별로는 어류와 두족류에서 이러한 경향이 뚜렷하게 나타났지만, 갑각류에서는 유의한 장기 변화가 확인되지 않았다. 또한 표층 수온과의 관계에서도 어류와 두족류는 유의한 양(+)의 반응을 보여 해수온 상승과의 관련성이 확인되었다. 이는 어류와 두족류가 수온 변화에 따른 분포 이동과 생산 구조 재편에 비교적 빠르게 반응하는 반면(Dahms and Killen, 2023; Doubleday et al., 2016), 갑각류는 주로 연안 저층 및 저서 환경에 서식하여 표층 수온뿐 아니라 서식처 조건과 복합적인 국지 환경 변화의 영향을 함께 받기 때문에 열적 구성 변화가 일관된 방향으로 나타나지 않았기 때문으로 해석된다(Birchenough et al., 2015; Hiddink et al., 2015).

둘째, 어종별 분석 결과 남해권의 어획 구조는 전반적

으로 고수온 선호 어종 중심으로 재편되는 경향을 보여 해양 온난화에 따른 직관적 변화와도 일치하였다. 그러나 모든 어종이 동일한 방향으로 반응한 것은 아니다. 일부 고수온 선호 어종에서는 어획 비중이 감소하였고, 청어와 같은 일부 저수온 선호 어종에서는 오히려 증가하는 경향이 확인되었다. 대표적으로 살오징어는 난류성 종임에도 불구하고 어획 비중이 유의하게 감소하였으며, 어획수입 비중에서도 감소하는 경향이 나타났는데, 이는 최근 동아시아 해역에서 보고되고 있는 살오징어 자원 감소 경향과도 관련될 가능성이 있으며, 수온 상승 외에도 회유 경로 변화, 국제적 어획 압력, 비협력적 자원관리 등이 복합적으로 작용한 결과로 해석된다(Park, 2025). 또한 청어의 경우 2021년 포획금지제장 신설 등 자원관리 강화에 따른 어획강도 감소와 자원 회복 효과가 함께 반영되었을 가능성이 있다. 이는 기후변화에 따른 어획 구조 변화가 단순한 난류성 어종 증가와 한류성 어종 감소라는 일률적인 형태로만 설명되기 어렵다는 점을 보여준다. 즉, 남해권의 어획 구조 변화는 기후 신호만으로 단순화되기 어렵고, 종별 생태 반응과 자원량 변동, 어획 노력, 시장 조건 등이 복합적으로 작용한 결과로 이해될 필요가 있다 (Brander, 2010; Ojea et al., 2020).

셋째, 어획 비중 기준의 변화와 경제적 가치 기준의 변화는 항상 일치하지 않았다. 일부 어종에서는 어획 비중이 감소하였음에도 어획수입 비중은 확대되었고, 반대로 어획 비중이 증가하였음에도 경제적 비중은 축소되거나 뚜렷한 증가가 나타나지 않았다. 예컨대 고등어의 경우 생산 비중에서는 일부 증가하였으나, 어획수입 비중은 감소한 것으로 나타났다. 이는 최근 어획되는 고등어에서 중·대형 개체 비중은 감소하고 소형 개체 비중은 증가하는 경향(KMI Fisheries Outlook Center, 2025)과 관련될 수 있으며, 동일한 생산량 수준에서도 어획물 구성 변화에 따라 경제적 가치가 달라질 수 있음을 시사한다. 즉, 어획 구성의 변화와 경제적 가치의 변화는 반드시 동일한 방향으로 나타나는 것은 아니다. 실제 수산물 시장에서는 소비 선호, 수입 구조, 저장 가능성, 대체재 존재, 유통 구조 등 다양한 요인이 동시에 작용하기 때문에, 어획 구성의 변화가 항상 동일한 방향의 경제적 가치 변화로 연결되지는 않는다(Ratnasiri et al., 2025). 이는 기후변화에 따른 어획 구조 변화가 곧바로 어업소득 구조의 변화로 이어지지 않음을 의미하며, 따라서 기후변화에 따른 영향을 평가할 때는 생산 측면뿐 아니라 경제적 가치 구조의 변화도 함께 고려할 필요가 있다.

이와 같은 결과는 기후변화 대응형 수산자원관리가 단순한 총생산량 관리에 머무르기보다, 어종별 생산 구조 변화와 경제적 중요도를 함께 고려하는 방향으로 전환될 필요가 있음을 시사한다. 남해권에서는 전체 생산량이 감소하는 가운데서도 MTC와 MTR이 상승하여, 생산 기반은 축소되는 반면 어종 구성은 고수온 선호 어종 중심으로 재편되고 있음을 확인하였다. 이는 향후 자원관리가 총어획량의 증감뿐 아니라, 어떤 어종의 비중이 축소되고 어떤 어종이 새로운 생산 및 소득 기반으로 부상하는지를 함께 고려해야 함을 의미한다. 특히 감소 어종에 대해서는 자원 회복과 지속가능성을 고려한 보전적 관리가 필요하며, 증가 어종에 대해서는 안정적인 산업적 활용과 시장 적응 전략이 함께 마련될 필요가 있다. 또한 기후변화에 따른 어업 구조 변화는 단순한 생산량 변화에 그치지 않고 지역 어업의 수익 구조와 산업 기반에도 영향을 미칠 수 있다는 점에서, 향후 수산자원관리는 생태적 변화와 경제적 영향을 통합적으로 고려하는 방향으로 추진될 필요가 있다.

본고는 국내 연근해어업을 대상으로 MTC와 MTR을 함께 적용하여 기후변화에 따른 어획 구성의 열적 재편과 경제적 가치 구조의 변화를 동시에 분석하였다는 점에서 의의가 있다. 다만 본 연구는 MTC와 MTR이라는 가중평균 지표를 활용하였기 때문에 개별 어종의 자원량 변화, 조업 노력, 가격 형성 구조와 같은 외생적 요인을 직접적으로 반영하지 못한 한계가 있다. 특히 Alajmi et al. (2023)이 지적한 바와 같이, MTC는 일부 주요 어종의 생산 변동이나 시장 수요 변화에 의해 전체 지수의 변화가 가려질 수 있다. 또한 어획수입의 변화는 생산량뿐 아니라 가격 변동과 시장 구조에 의해 동시에 결정되므로, MTR 단일지표만으로 경제적 가치 변화를 완전히 설명하기에는 제약이 존재한다.

향후 연구에서는 어종별 자원 상태와 조업 특성을 보다 구체적으로 반영하기 위해, 선단 유형, 어업 종류, 주요 위판장 또는 어항 단위의 세분화된 자료를 활용한 분석이 필요할 것으로 판단된다. 특히 보다 좁은 공간 범위와 조업 단위를 대상으로 접근할 경우, 기후변화에 따른 어획 및 어획수입 구조 변화가 조업 방식과 지역적 특성에 따라 어떻게 차별적으로 나타나는지를 보다 구체적으로 규명할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 접근은 향후 기후변화 대응형 수산자원관리 정책의 실효성을 높이고, 변화하는 어업 구조에 대응한 보다 정교한 관리 방안 마련에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Afriana W. 2025. Economic impact of climate change on pelagic fish migration: A systematic review of the literature. *Aquacult Aquarium Conserv Legislation* 19(5): 2114-2122.
- Alajmi A, Ben-Hasan A, Alrushaid T, Vahabnezhad A, Pauly D. 2023. Mean temperature of the catch index can be masked by changes in catch composition unrelated to ocean warming. *Fish Manage Ecol* 31(1): e12659. doi: 10.1111/fme.12659
- Birchenough SN, Reiss H, Degraer S, Mieszkowska N, Borja Á, Buhl-Mortensen L, Braeckman U, Craeymeersch J, Mesel ID, Kerckhof F, Kröncke I, Parra S, Rabaut M, Schröder A, Colen CV, Hoey GV, Vincx M, Wätsjen K. 2015. Climate change and marine benthos: A review of existing research and future directions in the North Atlantic. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Clim Change* 6(2): 203-223. doi: 10.1002/wcc.330
- Brander K. 2010. Impacts of climate change on fisheries. *J Mar Syst* 79(3-4): 389-402. doi: 10.1016/j.jmarsys.2008.12.015
- Burrows MT, Bates AE, Costello MJ, Edwards M, Edgar GJ, Fox CJ, Poloczanska ES. 2019. Ocean community warming responses explained by thermal affinities and temperature gradients. *Nat Clim Change* 9(12): 959-963. doi: 10.1038/s41558-019-0631-5
- Cheng LJ, Abraham J, Hausfather Z, Trenberth KE. 2019. How fast are the oceans warming? *Science* 363(6423): 128-129. doi: 10.1126/science.aav7619
- Cheung WW, Lam VW, Sarmiento JL, Kearney K, Watson R, Zeller D, Pauly D. 2010. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biol* 16(1): 24-35. doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.01995.x
- Cheung WW, Watson R, Pauly D. 2013. Signature of ocean warming in global fisheries catch. *Nature* 497(7449): 365-368. doi: 10.1038/nature12156
- Cho HS, Jung PG, Jeong MG. 2025. Effects of climate change on Korea's fisheries production: An ARDL approach. *Fishes* 10(4): 186. doi: 10.3390/fishes10040186
- Chust G, Taboada FG, Alvarez P, Ibaibarriaga L. 2023. Species acclimatization pathways: Latitudinal shifts and timing adjustments to track ocean warming. *Ecol Indic* 146: 109762. doi: 10.1016/j.ecolind.2022.109762
- Dahms C, Killen SS. 2023. Temperature change effects on marine fish range shifts: A meta-analysis of ecological and methodological predictors. *Global Change Biol* 29(16): 4459-4479. doi: 10.1111/gcb.16770
- Doubleday ZA, Prowse TA, Arkhipkin A, Pierce GJ, Semmens J, Steer M, Leporati SC, Lourenço S, Quetglas A, Sauer W, Gillanders BM. 2016. Global proliferation of cephalopods. *Curr Biol* 26(10): R406-R407. doi: 10.1016/j.cub.2016.04.002
- Dulvy NK, Rogers SI, Jennings S, Stelzenmüller V, Dye SR, Skjoldal HR. 2008. Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: A biotic indicator of warming seas. *J Appl Ecol* 45(4): 1029-1039. doi: 10.1111/j.1365-2664.2008.01488
- Espasandin L, Ramirez F, Ortega M, Villarino E, Chust G, Sbragaglia V, Coll M. 2025. Ocean warming effects on catch and revenue composition in the Northwestern Mediterranean Sea. *Global Change Biol* 31(3): e70112. doi: 10.1111/gcb.70112
- Givan O, Edelist D, Sonin O, Belmaker J. 2018. Thermal affinity as the dominant factor changing Mediterranean fish abundances. *Global Change Biol* 24(1): e80-e99. doi: 10.1111/gcb.13835
- Hiddink JG, Burrows MT, Molinos JG. 2015. Temperature tracking by North Sea benthic invertebrates in response to climate change. *Global Change Biol* 21(1): 117-129. doi: 10.1111/gcb.12726
- Jung PG, Kim BT. 2025. Analysis of climate change impacts on Manila clam production and associated economic damage cost in South Korea (in Korean with English abstract). *J Clim Change Res* 16(3-1): 377-388. doi: 10.15531/KSCCR.2025.16.3.377

- Kim BG, Chung EY, Jun JC, Kim CH. 2001. Spawning, hatching, survival and cannibalism of octopus ocellatus (in Korean with English abstract). Korean J Malacol 17(2): 85-94.
- Kim BT. 2023. Analysis of climate change damage to coastal fisheries of Korea - Using the SSP scenarios (in Korean with English abstract). Ocean Policy Res 38(1): 131-152. doi: 10.35372/kmiopr.2023.38.1.006
- Kim CS, Han IS, Lee JS, Yang JY. 2024. Establishment of a foundation for risk assessment in fisheries issues and identification of the impact of marine climate change (in Korean with English abstract). J Clim Change Res 15(5-2): 909-918. doi: 10.15531/KSCCR.2024.15.5.909
- Kim JT, Rho HG, Kim SH. 2002. Studies on the forming mechanism of the fishing ground of yellowtail, *seriola quinqueradiata*, in the adjacent sea of Jeju Island. J Korean Soc Fish Ocean Technol 38(1): 20-35.
- Korea Maritime Institute (KMI) Fisheries Outlook Center. 2025. Mackerel supply and price trends. Fisheries Outlook, October 2025.
- Lee MO, Kim JK, Kim BK. 2024. Characteristics of sea surface temperature (SST) and sea level rise (SLR) in the Korean coastal waters (in Korean with English abstract). J Korean Soc Mar Environ Energy 27(3): 167-177. doi: 10.7846/JKOSMEE.2024.27.3.167
- Liang C, Xian W, Pauly D. 2018. Impacts of ocean warming on China's fisheries catches: An application of mean temperature of the catch concept. Front Mar Sci 5: 26. doi: 10.3389/fmars.2018.00026
- Liu OR, Ward EJ, Anderson SC, Andrews KS, Barnett LAK, Brodie S, Carroll G, Fiechter J, Haltuch MA, Harvey CJ, Hazen EL, Hernvann PY, Jacox M, Kaplan IC, Matson S, Norman K, Pozo Buil M, Selden RL, Shelton A, Samhouri JF. 2023. Species redistribution creates unequal outcomes for multispecies fisheries under projected climate change. Sci Adv 9(33): eadg5468. doi: 10.1126/sciadv.adg5468
- Nakamura T, Hamano A. 2009. Seasonal differences in the vertical distribution pattern of Japanese jack mackerel, *Trachurus japonicus*: Changes according to age? ICES J Mar Sci 66(6): 1289-1295. doi: 10.1093/icesjms/fsp114
- NIFS (National Institute of Fisheries Science). 2024. Annual report for climate change trends in fisheries 2024.
- Ojea E, Lester SE, Salgueiro-Otero D. 2020. Adaptation of fishing communities to climate-driven shifts in target species. One Earth 2(6): 544-556. doi: 10.1016/j.oneear.2020.05.012
- Ong GH, Go SG, Park SK, Jung SG. 2025. Climate variability impact on major fishery species community composition in the waters of Jeju Island, Republic of Korea (1970-2023) (in Korean with English abstract). Korean J Fish Aquat Sci 58(6): 757-768.
- Palacios-Abrantes J, Frölicher TL, Reygondeau G, Sumaila UR, Tagliabue A, Wabnitz CCC, Cheung WW. 2022. Timing and magnitude of climate-driven range shifts in transboundary fish stocks challenge their management. Global Change Biol 28(7): 2312-2326. doi: 10.1111/gcb.16058
- Park DK. 2025. The effects of non-cooperative fisheries management on South Korea's squid catch (in Korean with English abstract). J Fish Mar Sci Educ 37(1): 157-165.
- Pecl GT, Araújo MB, Bell JD, Blanchard J, Bonebrake TC, Chen IC, Williams SE. 2017. Biodiversity redistribution under climate change: Impacts on ecosystems and human well-being. Science 355(6332). doi: 10.1126/science.aai9214
- Pinsky ML, Selden RL, Kitchel ZJ. 2020. Climate-driven shifts in marine species ranges: scaling from organisms to communities. Annu Rev Mar Sci 12(1): 153-179. doi: 10.1146/annurev-marine-010419-010916
- Pinsky ML, Worm B, Fogarty MJ, Sarmiento JL, Levin SA. 2013. Marine taxa track local climate velocities. Science 341(6151): 1239-1242. doi: 10.1126/science.1239352
- Ratnasiri S, Koralagama D, Harshana PVS. 2025. Impact of perishability on price asymmetric behavior of fresh

- and dried fish products: A nonlinear ARDL approach. *Mar Resour Econ* 40(3): 195-212. doi: 10.1086/735149
- Shoji J, Toshito SI, Mizuno KI, Kamimura Y, Hori M, Hirakawa K. 2011. Possible effects of global warming on fish recruitment: Shifts in spawning season and latitudinal distribution can alter growth of fish early life stages through changes in daylengths. *ICES J Mar Sci* 68(6): 1165-1169. doi: 10.1093/icesjms/fsr059
- Sumaila U, Cheung WW, Lam VW, Pauly D, Herrick S. 2011. Climate change impacts on the biophysics and economics of world fisheries. *Nature Clim Change* 1(9): 449-456. doi: 10.1038/nclimate1301
- Tsikliras AC, Stergiou KI. 2014. Mean temperature of the catch increases quickly in the Mediterranean Sea. *Mar Ecol Progr Ser* 515: 281-284. doi: 10.3354/meps11005