



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

경 제 학 석 사 학 위 논 문

기후변화가 양식 해조류 생산에
미치는 경제적 영향 분석



2023년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

자 원 환 경 경 제 학 과

윤 유 진

경 제 학 석 사 학 위 논 문

기후변화가 양식 해조류 생산에
미치는 경제적 영향 분석

지도교수 김 봉 태

이 논문을 경제학석사 학위논문으로 제출함.

2023년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

자 원 환 경 경 제 학 과

윤 유 진

윤유진의 경제학석사 학위논문을 인준함.

2023년 2월 17일



위원장	경제학박사	신용민	(인)
위원	경제학박사	박철형	(인)
위원	경제학박사	김봉태	(인)

<목 차>

I. 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 연구방법 및 구성	4
3. 선행연구	6
II. 기후변화 및 해조류 양식 현황	11
1. 우리나라의 기후변화 현황	11
2. 해조류 양식 동향 및 기후변화의 영향	16
3. SSP 시나리오	22
III. 분석모형 및 분석자료	26
1. 분석자료 및 변수 선정	26
2. 분석모형	28
IV. 실증분석	35
1. 기초통계량	35
2. 하우스만 검정	37
3. 고정효과모형 분석결과	39
4. SSP 시나리오별 생산량 예측	44
5. 경제적 영향 분석	56

V. 결론	58
1. 연구결과 요약 및 시사점	58
2. 연구의 한계 및 의의	62
참고문헌	64



<표 목차>

<표 I-1> 기후변화 관련 선행연구	7
<표 I-2> 해조류 관련 선행연구(국내)	8
<표 I-3> 해조류 관련 선행연구(국외)	9
<표 I-4> 농수산업에서의 패널모형 활용 연구	10
<표 II-1> 연평균 최고, 평균, 최저기온의 평균과 변화(1912~2020년)	13
<표 II-2> 수산물 수출 상위 5개 품목	17
<표 II-3> 농림수산물 수출 상위 5개 품목	17
<표 II-4> RCP 시나리오와 SSP 시나리오 정의	22
<표 II-5> RCP 시나리오 종류 및 의미	23
<표 II-6> SSP 시나리오 종류 및 의미	23
<표 III-1> 연구에 사용한 변수 및 출처	27
<표 IV-1> 김 분석자료의 기초통계량	35
<표 IV-2> 미역 분석자료의 기초통계량	36
<표 IV-3> 김 Hausman 검정 결과	37
<표 IV-4> 미역 Hausman 검정 결과	38
<표 IV-5> 김 분석결과	40
<표 IV-6> 미역 분석결과	43
<표 IV-7> 평균 수온과 SSP 시나리오별 수온 상승 변화	44
<표 IV-8> 평균 기온과 SSP 시나리오별 기온 상승 변화	46
<표 IV-9> 평균 강수량과 SSP 시나리오별 강수량 변화	47
<표 IV-10> 평균 염분과 SSP 시나리오별 염분 변화	48
<표 IV-11> 2050년 표층수온 시나리오별 김 생산량 예측	49

<표 IV-12> 2100년 표층수온 시나리오별 김 생산량 예측	50
<표 IV-13> 기후요소 시나리오별 김 생산량 예측	51
<표 IV-14> 2050년 표층수온 시나리오별 미역 생산량 예측	53
<표 IV-15> 2100년 표층수온 시나리오별 미역 생산량 예측	54
<표 IV-16> 기후요소 시나리오별 미역 생산량 예측	55
<표 IV-17> 사회적 잉여 분석결과	57



<그림 목차>

[그림 I -1] 연구수행 체계도	5
[그림 II-1] 우리나라 온실가스 배출현황(1990~2019년)	11
[그림 II-1] 연평균 최고, 평균, 최저기온의 변화(1912~2020년)	12
[그림 II-2] 강수 강도별 강수량 변화(1912~2020년)	13
[그림 II-3] 강수 강도별 강수일수 변화(1912~2020년)	14
[그림 II-4] 우리나라 해역의 연평균 표층수온 변동 경향	15
[그림 II-5] 해면양식업 및 해조류 생산량(1990~2021년)	16
[그림 II-6] 미역양식장 용도별 시설 비중	19
[그림 II-7] SSP 시나리오별 각 지역의 표층수온 예측값(2015~2100년) ...	25
[그림 III-1] Akino and Hayami 공급곡선과 수요곡선	33

Analysis of Economic Impacts of Climate Change on Farmed
Seaweed Production

Yu Jin Yun

Department of Resource and Environmental Economics,
The Graduate School, Pukyong National University

Abstract

Climate change is emerging as an important issue worldwide, and according to the 6th IPCC report, the global surface temperature increased by 1.09°C compared to pre-industrial levels from 2011 to 2020. As a result of the climate change vulnerability analysis of farmed fish species by the National Fisheries Research and Development Institute, seaweeds were found to be the most vulnerable. Because seaweeds are fixed on the sea surface and produced, they have limitations in artificially adjusting the environment like fish, and are vulnerable to climate change due to their low adaptability. According to the IPCC's assessment report, the climate is expected to continue to change, and damage to seaweed in particular is expected to increase. Therefore, this study aims to empirically analyze the effect of climate change on seaweed production. In addition, based on the climate change scenario, the

future impact on seaweed production was examined and the resulting economic loss was also reviewed. As a result of the analysis, water temperature, air temperature, and surface salinity were significant in the negative (-) direction for laver production, and the farming area was found to be a significant variable in the positive (+) direction. The water temperature and surface salinity of sea mustard were found to be significant variables in the negative (-) direction, and the water temperature square and rainfall were found to be significant variables in the positive (+) direction. Next, based on the analysis results, the production of laver and sea mustard was predicted using the predicted water temperature for each SSP scenario. As a result, it was found that laver decreased by 18.0~27.2% in 2050 and 20.6~61.6% in 2100, and sea mustard decreased by 24.8~37.6% in 2050 and 23.7%~34.3% in 2100. Based on the results of the production reduction analysis, the change in social benefits was estimated using the AH method. As a result, it was estimated that sea mustard would experience a decrease in social benefits of 13.8 to 15.9 billion won in 2050, and a decrease in social benefits of 9.7 to 13.7 billion won in 2100. As a result, it was estimated that laver would experience a decrease in social benefits of 33.7 to 37.6 billion won in 2050, and a decrease in social benefits of 29.2 to 77.7 billion won in 2100.

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 기후변화는 중요한 이슈로 떠오르고 있으며, IPCC의 제 6차 보고서에 따르면 산업화 이전 대비 2011~2020년 전 지구 지표면 온도는 1.09°C 상승하였다고 밝혔다. 국립수산물과학원의 정선해양조사를 통한 우리나라 해역의 최근 49년간(1968~2016년) 연평균 표층 수온의 변동 경향을 살펴보면, 약 1.23°C 상승하여 같은 기간 전 세계 표층 수온 상승(0.47°C)에 비하여 약 2.6배 내외 높은 수준을 보이고 있다.¹⁾

수온 상승뿐 아니라 최근 우리나라의 기후를 살펴보면 강수량 증가는 뚜렷하나 강수일수는 감소하고 강수 강도는 증가하는 경향이 있으며, 봄과 여름 시작일이 빨라져 여름은 길어지고 겨울은 짧아졌으며 모든 절기에서 기온이 상승하였다(기상청, 2021). 이와 같이 지구온난화로 인해 기후는 계속해서 변화하고 있으며 이상기후에 관련한 기이한 현상들은 빈번히 발생되고 있다.

한편 우리나라의 해역은 전 지구 평균과 비교하면 월등히 높은 수온 상승률과 어장면적 대비 높은 어획 강도로 인하여 취약성이 매우 높은 해역으로 알려져 있다.²⁾ 이로 인한 수온과 기온 상승 및 강수 증가 등과 같은 기후변화는 수산물에 미치는 영향 또한 높아질 것으로 예상되며, 실제 고수온 등 이상 해황 및 적조로 인해 양식수산물의 피해는 증가하고 있다(해양수산부, 2022). 기후변화로 인한 양식수산물의 대응전략을 위해 국립수산물과학원의 양식어종을 대상으로 한 기후변화 취약성 분석 결과, 김, 미

1) 환경부(2020), 한국 기후변화 평가보고서 2020

2) 기상청(2021), 우리나라 109년 기후변화분석 보고서

역과 같은 해조류가 가장 취약한 것으로 나타났다. 해조류는 해면에서 광합성을 하고 부피가 크기 때문에 양식을 하기 위해서는 넓은 수면적을 필요로 한다. 또한, 해면에 고정되어 생산되는 해조류의 특성상 어류와 같이 인위적으로 환경을 통제하기에는 한계가 많으며 적응능력 또한 낮아 기후변화에 취약한 것으로 보인다. IPCC의 평가보고서에 따르면 기후는 계속 변화할 것으로 전망하고 있으며, 특히 해조류가 입을 피해는 증가할 것으로 예상된다.

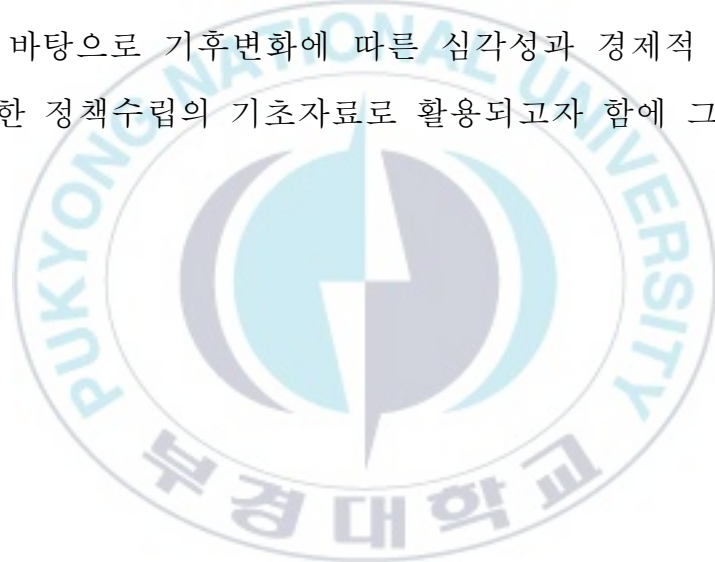
해조류는 우리의 일상에 흔히 접할 수 있는 수산물이며 비타민 B, C, E, K와 미네랄, 오메가-3 지방산과 단백질 등이 풍부하여 미국이나 유럽 등에서는 친환경적인 슈퍼푸드로 떠오르고 있다. 또한, 최근 탄소중립 시대에 발맞춰 블루카본 등 해조류의 탄소흡수에 관한 연구가 활발하게 진행되면서 신규 탄소 흡수원으로도 주목받고 있다. 해조류는 양식 중 성장 단계에서 이산화탄소를 흡수하는 것으로 나타났으며, 별도의 사료투입 또한 없기 때문에 양식 전 단계에서 온실가스를 거의 배출하지 않는 친환경적인 수산물이라 할 수 있다. 이러한 이유로 세계적으로 해조류에 대한 중요성은 높아지고 있다.

우리나라에서도 해조류는 2021년 기준 해면양식업 생산량의 76.9%를 차지할 정도로 양식수산물에 있어서 큰 비중을 차지한다. 그중 김, 미역은 각각 해면양식업 생산량의 22.8%, 24.0%를 차지하여 압도적으로 생산량이 높으며, 김의 경우 생산가치가 큰 우리나라의 주요 수출 품목이다. 또한, 미역 생산의 일부는 전복 먹이용으로 길러지기 때문에 기후변화로 인해 해조류의 생산에 타격을 입을 경우 수출 및 전복생산에 차질이 발생하는 등 연쇄적인 경제적 충격으로 이어질 수 있다.

그러나 수산물을 중심으로 기후변화에 대비한 연구는 대부분 어류에 국한되어 수행된 연구가 대부분이었으며, 특히 미역을 중심으로 한 선행연

구는 거의 수행되지 않은 것으로 조사되었다. 한편, 기후변화가 김 생산량에 미치는 영향에 관한 선행연구는 소수 존재하기는 하나, 생산량에 대한 인과성 분석과 가격예측분석을 실시하는 것에 그쳤으며, 본 연구에서 중점을 두고 살펴보고자 하는 해조류 생산에 대한 수온의 영향과 이로 인해 미치는 경제적 영향을 면밀하게 밝히지는 못하였다.

따라서 본 연구에서는 기후변화가 해조류 생산에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 실증적으로 분석하고자 한다. 더 나아가 미래의 온실가스 배출의 농도 및 사회경제의 발전 정도에 따라 달라지는 기후변화 시나리오를 바탕으로 향후 해조류 생산량에 어떠한 영향을 미치는지도 살펴보고자 한다. 분석을 바탕으로 기후변화에 따른 심각성과 경제적 손실을 살펴보고 이에 대비한 정책수립의 기초자료로 활용되고자 함에 그 목적이 있다.



2. 연구방법 및 구성

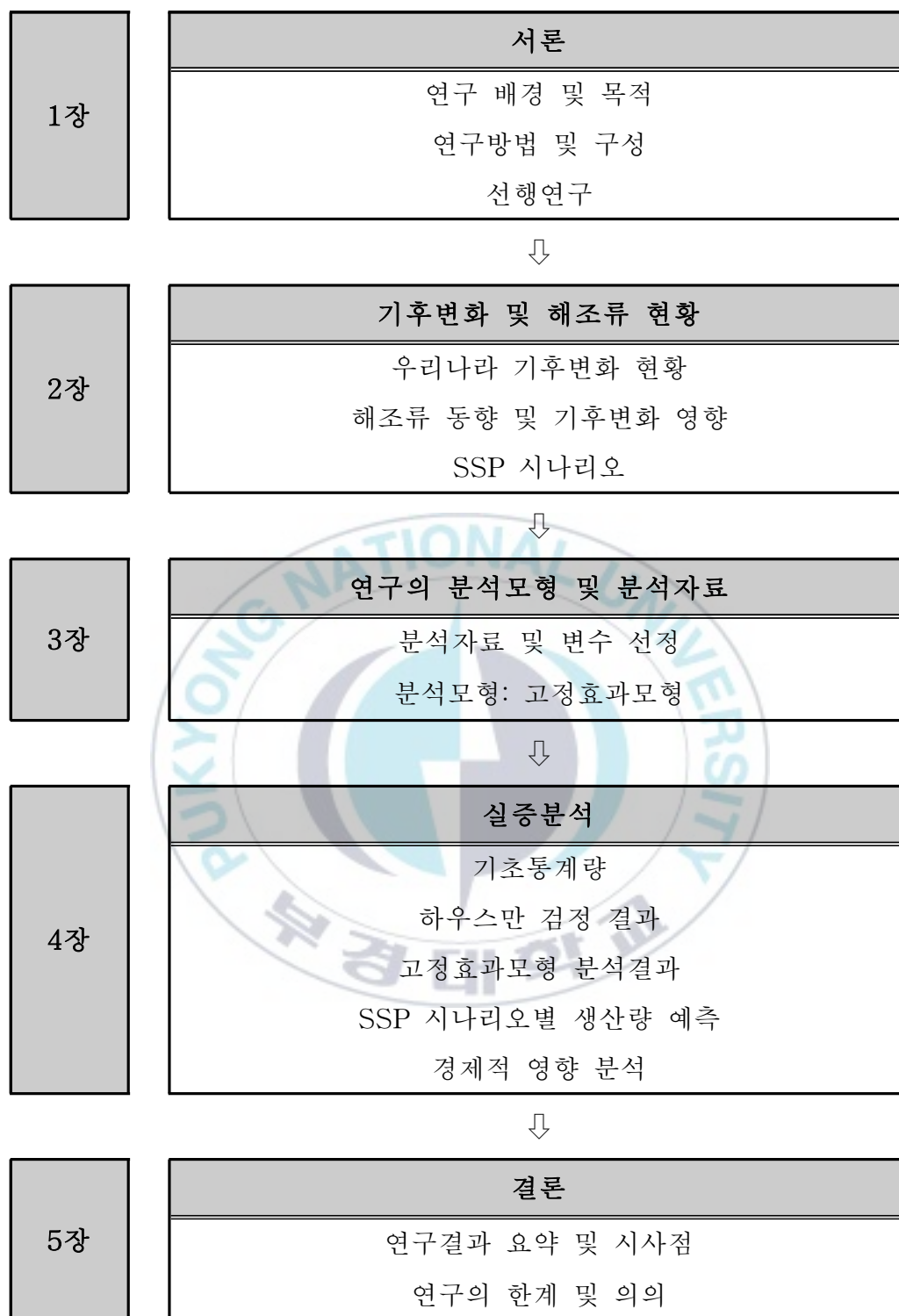
본 연구에서는 기후변화 요소가 해조류 생산량에 미치는 영향을 분석하기 위해 김과 미역 생산량을 종속변수로 표층수온, 표층염분, 강우량, 기온, 김과 미역의 양식면적을 설명변수로 하는 각각의 패널모형을 구성하였다. 구성된 패널모형을 고정효과 모형을 이용하여 분석하였으며, 분석결과를 바탕으로 2100년까지의 SSP 시나리오별 표층수온, 표층염분, 강우량, 기온의 예측값을 이용하여 김과 미역 생산량의 변화량을 추정하고 경제적 영향을 분석하였다.

본 연구의 분석과정은 다음과 같다. 제2장에서는 우리나라의 기후변화 현황과 해조류 현황에 대하여 파악한 후 기후변화에 따른 해조류의 영향을 살펴본다. 또한, SSP 시나리오의 정의에 대하여 설명하고 시나리오별 기후변화의 전망에 대하여 살펴본다.

제3장에서는 본 연구에 사용한 분석자료의 변수선정이유와 변수에 사용한 분석자료의 출처, 연구의 구성 및 방법에 대하여 설명한다. 다음으로 패널데이터의 정의에 대하여 설명하고 확률효과모형과 본 연구에 사용한 분석모형인 고정효과모형 그리고 경제적 분석방법에 대하여 설명한다.

제4장에서는 본 연구에 사용한 변수들의 기초통계량을 제시하고 고정효과모형과 확률효과모형의 선택을 위해 하우스만 검정을 실시한다. 두 번째로 고정효과모형을 이용한 패널 회귀분석결과를 제시한다. 세 번째로 분석결과를 바탕으로 SSP 시나리오에 따른 김과 미역의 생산량을 예측한 결과를 제시한다. 마지막으로 예측한 생산량을 바탕으로 경제적 편익을 분석하여 사회적 편익의 감소분을 제시한다.

제5장에서는 본 연구의 분석결과를 요약정리하고, 본 연구의 시사점과 한계점을 제시한다.



[그림 1-1] 연구수행 체계도

3. 선행연구

본 연구와 같이 기후변화와 관련된 연구는 최근까지 농업뿐만 아니라 수산업 분야에서도 다양하게 연구되고 있다. 김봉태 외(2015)는 공간패널 모형을 이용하여 기후변화 요소인 수온, 염분 등의 요인과 연안어업 생산량의 관계에 대하여 분석하였다. 연안어업이 기후변화에 특히 취약할 것으로 예상되어 분석대상으로 선택하였으며, 그 결과, 염분은 유의한 영향을 주지 않는 것으로 분석되었으며, 하층 수온은 연안어업 생산량에 양(+)의 방향으로 유의함을 확인하였다.

김봉태 외(2016)는 남해안 주요 업종에 대하여 기후변화 시나리오 분석을 실시하였는데 RCP 8.5에서의 장단기 노출 수온이 RCP 4.5에서 보다 높게 나타나 단기적인 기후변화 저감 노력이 큰 영향을 미칠 수 있음을 확인하였고, 업종별 시나리오 간 분석결과로는 표층 가까에서 조업하는 업종이 기후변화에 많이 노출된 것으로 분석하였다. 어종별로는 대구, 꽃게, 멸치, 살오징어 등이 기후변화에 많이 노출된 어종임을 확인하였다.

박영진(2020)은 리카디언 모델(Ricardian Model)을 이용하여 조피볼락과 감성돔의 양식장 가격(가치)과 기후변수, 사회경제변수, 해양요소변수와의 영향관계를 분석하였다. 분석결과, 모든 어종이 양식장 가격에 대하여 수온의 영향력이 가장 높았으며, 특히 고수온에 취약한 어종이 저수온에 취약한 어종에 비해 수온에 더욱 민감한 것으로 분석되었다. 강수량 또한 고수온 취약어종이 저수온 취약어종에 비해 영향력이 다소 높은 것으로 나타남을 확인하였다.

Ali et al.(2021)은 파키스탄의 Khyber Pakhtunkhwa(KP)지역을 대상으로 리카디언 모델을 이용하여 기후변화가 농업의 순이익에 미치는 경제적 영향을 분석하였다. 그 결과, 연간 평균기온의 상승, 강수량의 감소는 농

업의 순이익의 적자에 밀접하게 관련이 있다고 밝혔으며, 여름철 기온 상승은 헥타르당 약 29~35달러, 겨울철 기온 상승은 헥타르당 약 14~28달러의 영향을 미친다고 분석하였다.

<표 1-1> 기후변화 관련 선행연구

연도	저자	제목	분석 방법(모형)
2015	김봉태 외	공간패널모형을 이용한 연안어업 생산량과 기후변화 요소의 관계에 대한 연구	공간 패널모형
2016	김봉태 외	RCP 시나리오에 따른 남해안 어업 및 어종의 기후변화 노출 분석 : 수온 변동을 대상으로	ROMS 해양모델
2020	박영진	기후변화가 양식어류에 미치는 경제적 영향분석	리카디언 모델
2021	Ali et al.	The impact of climate change on the economic perspectives of crop farming in Pakistan: Using the ricardian model	리카디언 모델

본 연구의 분석대상인 해조류와 기후변화 영향 관련 선행연구는 다양한 분석방법으로 연구되어왔다. 먼저 김도훈(2013)은 다중회귀분석을 통해 기후 및 해양요인과 완도지역의 김 생산량 간의 직접적인 관계를 분석하였다. 수온, 대기온도, 염도, 강우량, 일조시간, 풍속 등의 요인을 기후 및 해양요인으로 선택하였으며, 이중 김 생산량에 미치는 요인은 일조시간, 기온, 강우량으로 분석되었다. 일조시간은 김 양식 생산량과 부정적인 관계가 있는 것으로 분석되었으며, 10월의 강우량, 2월의 일조시간, 4월의 기온 또한 김 양식 생산량과 부정적인 관계를 갖는 것으로 추정되었다. 하지만 10월의 온도는 김 양식량과 긍정적인 관계임을 확인하였다.

한인성 외(2013)는 부산 연안의 미역 양식생산 예측을 위하여 해양 생

산지수를 도출하였으며, 수온, 염분 등의 장기적인 변화가 해조류 양식에 많은 영향을 주고 있음을 주장하였다.

김태형(2020)은 VAR모형을 이용하여 기후변화와 김 생산량 간 인과성을 분석하고, ARIMA모형을 이용한 김 가격을 예측하였다. 연구결과, 김 생산량에 직접적인 영향을 미치는 기후요소와 해양요소는 pH와 용존산소량, 기온을 제외한 수온, 강수량, 풍속, 일조율으로 분석되었다. 수온 상승은 김 생산량에 장·단기적으로 음(-)의 영향을 강수량의 증가는 단기적으로 김 생산량에 양(+)의 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 일조율의 증가 또한 김 생산량에 양(+)의 영향이 있음을 확인하였다.

<표 1-2> 해조류 관련 선행연구(국내)

연도	저자	제목	분석 방법(모형)
2013	김도훈	기후 및 해양요인과 김 생산량과의 관계에 관한연구	다중회귀분석
2013	한인성 외	부산연안 미역(Undaria pinnatifida) 양식 생산 예측을 위한 장기 해양자료 분석	해양 생산지수도출
2020	김태형	기후변화와 김 생산량 간의 인과성 및 김 위판 가격예측모형	VAR 모형
2021	김태형 외	기후변화가 마로해의 김 양식에 미치는 영향 및 대응방안	Granger 인과검정

해조류 관련 해외 선행연구로는 Takao et al(2015)의 수온 상승에 따라 일본 전역의 해조류 분포에 미치는 영향을 예측한 논문이 존재한다. RCP 시나리오별 분석결과에 따르면 2090년의 RCP 8.5 시나리오에서 감태(*Ecklonia cava*)는 일본 북동 연안을 제외하고 사라진다고 예측되었다.

Kim et al.(2019)는 지표기반방법을 이용하여 RCP 시나리오에 따른 수온 및 염분의 변화를 기반으로 기후변화에 따른 양식어종의 취약성을 분

석하였다. 14개의 양식어종을 대상으로 분석한 결과, 김, 미역등 해조류의 취약성이 가장 높은 것으로 분석되었으며 어류, 새우, 전복류는 기후변화에 덜 취약한 것으로 분석되었다.

<표 1-3> 해조류 관련 선행연구(국외)

연도	저자	제목	분석 방법(모형)
2015	Takao et al.	Projecting the impacts of rising seawater temperatures on the distribution of seaweeds around Japan under multiple climate change scenarios	CMIP5 model
2019	Kim et al.	Assessment on the vulnerability of Korean aquaculture to climate change	Indicator-based method

본 연구에서 사용한 분석모형인 패널모형은 다양한 분야에서 활용되어 왔다. 농수산업분야에서도 패널모형을 활용한 연구는 다수 존재한다.

김봉태 외(2015)는 패널토빗모형을 이용하여 해파리 출현율과 수온관계에 대하여 분석하였다. 종속변수는 해파리 출현율로 설정하였으며 설명변수로는 수온, 기상요인, 연도별 더미변수를 포함하였다. 분석결과, 노무라 입깃해파리와 보름달물해파리, 기타 해파리 모두 표층 수온에 대해서 양의 방향으로 선형적인 관계가 있음을 확인하여 표층 수온이 상승할 경우 해파리 출현율이 증가하는 것으로 해석하였다.

하지희 외(2019)는 패널토빗모형을 사용하여 쌀 가공식품 구매에 미치는 요인을 파악하였다. 분석에는 2010~2016년까지의 자료를 활용하여 종속변수로는 쌀 가공식품의 구매금액으로 설정하였으며, 설명변수로는 인구 사회학적 특성, 밀 가공식품 구매금액, 시간더미변수를 포함하여 분석하였다. 추정결과, 구매자의 교육수준이 증가하고 연령이 감소함에 따라

쌀 가공식품의 구매가 증가함을 확인하였다.

정다은 외(2022)는 패널분석방법 중 하나인 일반화 추정방정식을 이용하여 한국의 농수산대학 졸업생의 소득과 영농규모, 영농이행에 영향을 미치는 요인에 대하여 분석하였다. 남성, 자가 영농영어자, 기혼자, 후계 농업인일수록 졸업생의 소득이 높은 것으로 나타났으며, 자가 영농영어자, 미혼자, 부모 협농의 경우 영농규모가 큰 것으로 분석되었다.

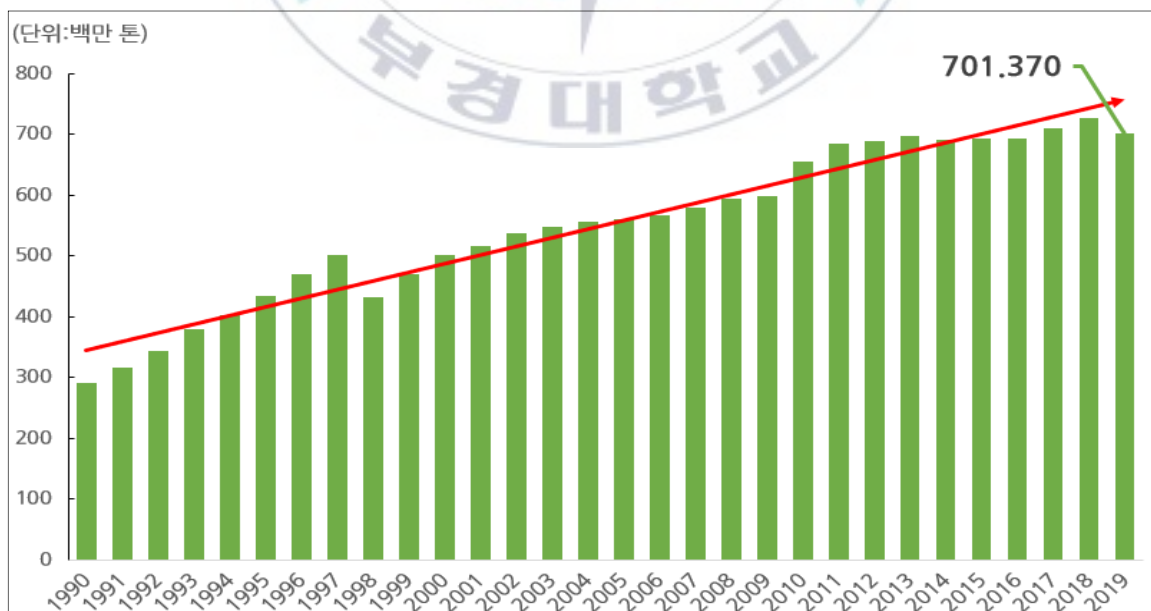
<표 1-4> 농수산업에서의 패널모형 활용 연구

연도	저자	제목	분석 방법(모형)
2015	김봉태 외	기후요소가 해파리 출현에 미치는 영향 분석	패널토빗모형
2019	하지희 외	패널토빗모형을 이용한 쌀 가공식품 구매 결정요인 분석	패널토빗모형
2022	정다은 외	패널모형을 이용한 농업계 대학 졸업생의 소득과 영농규모에 영향을 미치는 요인 분석	일반화 선형모형

Ⅱ. 기후변화 및 해조류 양식 현황

1. 우리나라의 기후변화 현황

산업혁명 이후 온실가스 배출량은 기하급수적으로 증가하였으며, 온실가스종합정보센터에 따르면 2019년 우리나라의 온실가스의 배출량은 총 7억 137톤으로 1990년 대비 140% 증가하였다. 온실가스 배출로 인한 지구 온난화로 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 이상 고수온 현상, 급격한 해수면 상승, 빙하 감소 등 다양한 기후변화를 경험하고 있다. 이에 선진국들은 2050년까지 탄소중립을 목표로 합의하였으며, 우리나라 정부 또한 각종 탄소중립 정책을 내세우는 만큼 기후변화는 우리에게 중대한 문제로 대두되고 있다. 본 절에서는 우리나라의 기후변화로 인한 기온, 강수량, 표층수온 등의 변화 현황을 파악하고 기후변화의 심각성을 살펴보고자 한다.

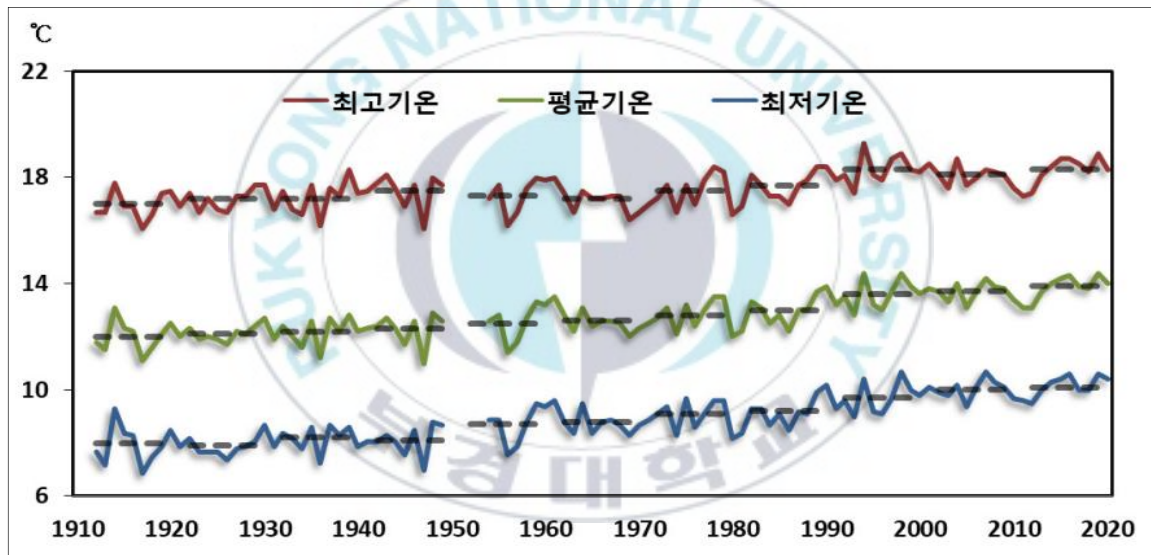


자료: 온실가스종합정보센터(2021)

[그림 II-1] 우리나라 온실가스 배출현황(1990~2019년)

가. 기온변화 현황

지구온난화로 인하여 전 지구적으로 평균기온은 상승추세이다. 기상청의 우리나라 109년 기후변화 분석보고서에 따르면 지난 109년간(1912~2020년) 우리나라 기온은 꾸준히 상승하였으며, 특히 최저기온의 상승이 뚜렷하다고 밝혔다. 연평균기온은 매 10년당 0.20°C 상승하였고, 최근 30년 연평균기온은 과거 30년에 비해 1.6°C 상승했으며, 최고기온과 최저기온은 각각 1.1°C , 1.9°C 상승한 것으로 나타났다.



자료: 기상청(2021)

[그림 II-1] 연평균 최고, 평균, 최저기온의 변화(1912~2020년)

계절별 기온변화를 살펴보았을 때 과거 30년 대비 최근 30년 계절별 기온 상승 폭은 겨울, 봄, 가을, 여름 순으로 큰 것으로 나타났으며, 겨울은 과거 대비 $+2.1^{\circ}\text{C}$ 상승하였다. 또한, 과거 대비 겨울은 약 22일가량 짧아졌으며, 여름은 20일 길어져 최근 여름은 약 4개월간 지속되는 가장 긴 계절인 것으로 나타났다.

<표 II-1> 연평균 최고, 평균, 최저기온의 평균과 변화(1912~2020년)

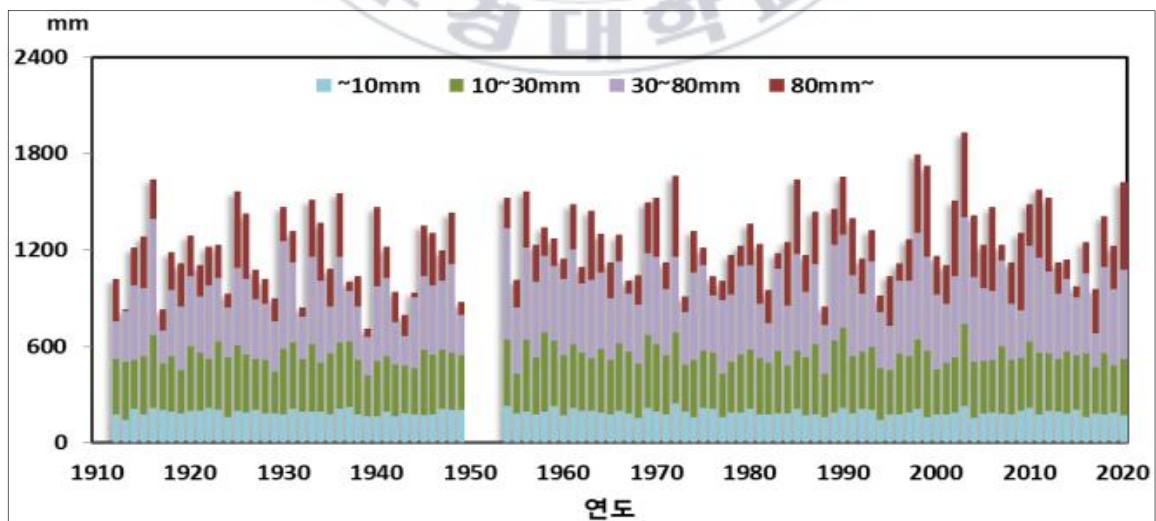
구분	장기기후변화			최근기후변화	
	평균 (109년)	변화경향 (/10년)	최근 30년 -과거 30년	최근 30년 -지난 30년	최근 10년 -최근 30년
평균기온 (°C)	12.8	+0.20	+1.6 (12.1→13.7)	+0.3 (13.4→13.7)	+0.2 (13.7→13.9)
최고기온 (°C)	17.5	+0.13	+1.1 (17.1→18.2)	+0.2 (18.0→18.2)	+0.1 (18.2→18.3)
최저기온 (°C)	8.9	+0.24	+1.9 (8.0 → 9.9)	+0.3 (9.6→ 9.9)	+0.2 (9.9→10.1)

주: 과거 30년(1912~1940), 지난 30년(1981~2010), 최근 30년(1991~2020)

자료: 기상청(2021)

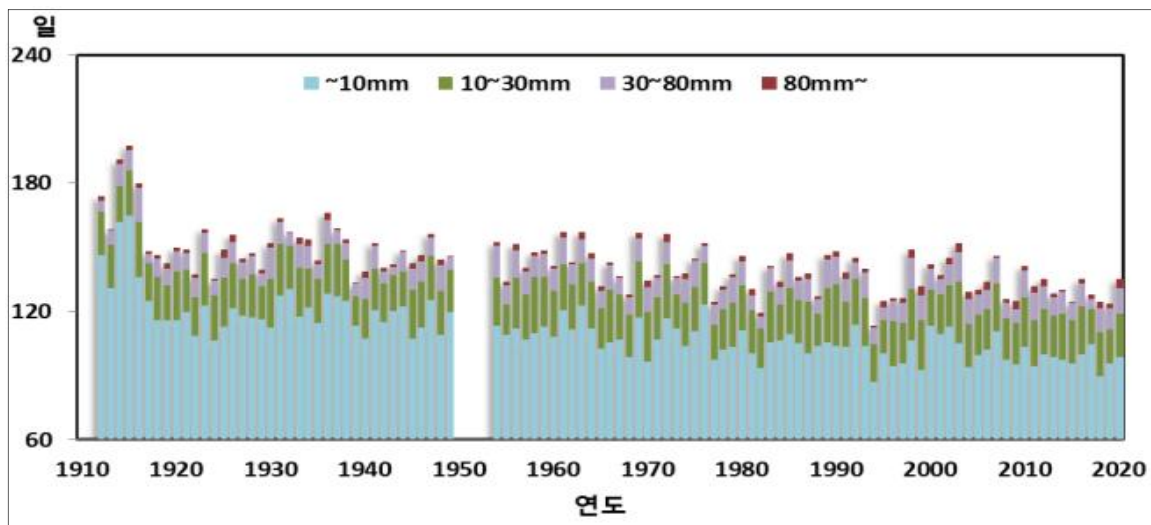
나. 강수량 변화 현황

기상청에 따르면 지난 109년간 우리나라의 강수량은 증가했으나 강수일수는 감소추세라고 밝혔다. [그림 II-2]와 [그림 II-3]은 우리나라의 1912~2020년의 강수 강도별 강수량과 강수일수의 변화를 나타낸 그림이며, 그래프를 보면 강수일수는 감소하고 강수 강도는 증가한 것을 알 수 있다.



자료: 기상청(2021)

[그림 II-2] 강수 강도별 강수량 변화(1912~2020년)



자료: 기상청(2021)

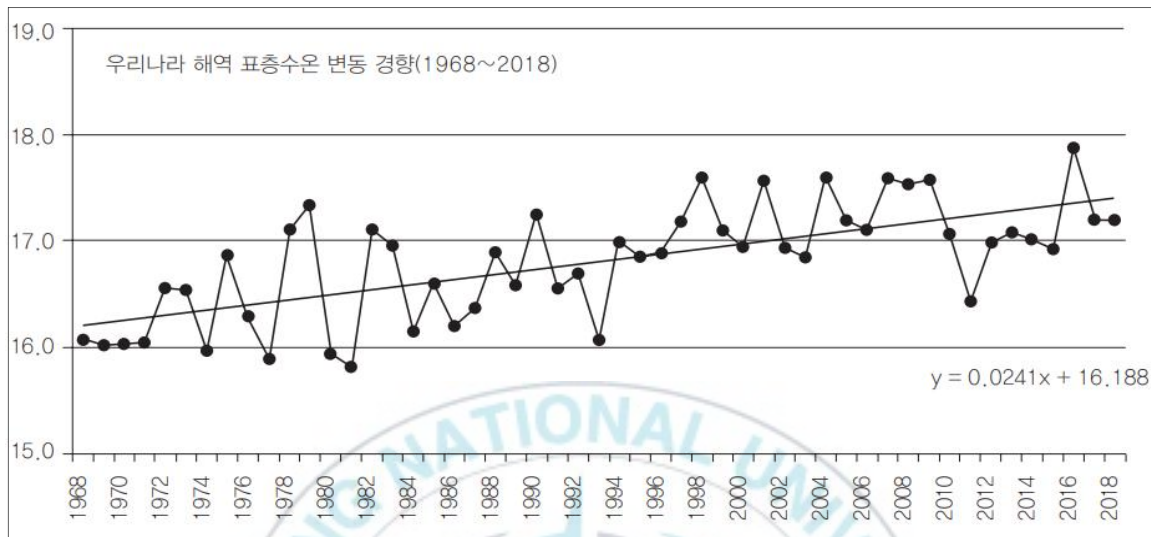
[그림 II-3] 강수 강도별 강수일수 변화(1912~2020년)

계절별 강수변화에 따르면 장기적으로는 여름에 강수량이 크게 증가하였고, 강수일수는 모든 계절에서 고르게 감소하였다고 밝혔으나, 최근 10년의 강수량은 가을과 겨울에 증가하였고 강수일수는 봄, 여름에 감소하였고 가을과 겨울에 증가한 것으로 나타났다. 강수일수는 감소하나 강수량이 증가했다는 것은 강수 강도가 높은 집중호우로 인한 피해 또한 증가했음을 의미한다.

다. 해양수산분야의 기후변화 현황

기후변화로 인해 대기의 평균기온이 상승함에 따라 해양의 온난화 속도 또한 급격해지고 있다. 해양온난화는 수온 상승, 해수면 고도상승 등의 영향으로 해양 생태계의 전반적인 변화를 가져오고 있다. 특히 온실가스 배출의 증가로 대기중 이산화탄소가 증가함에 따라 해양이 흡수하는 이산화탄소량도 증가하여 해양은 더욱 산성화되고 있으며 해양의 산성 농도 균형을 무너뜨리고 있다. 해양산성화는 식물플랑크톤과 동물플랑크톤을 감

소시키고 이는 곧 무척추동물과 해조류의 성장과 번식에 부정적인 영향을 주게 되어 수산자원의 감소를 초래하게 된다(김충재, 2018).



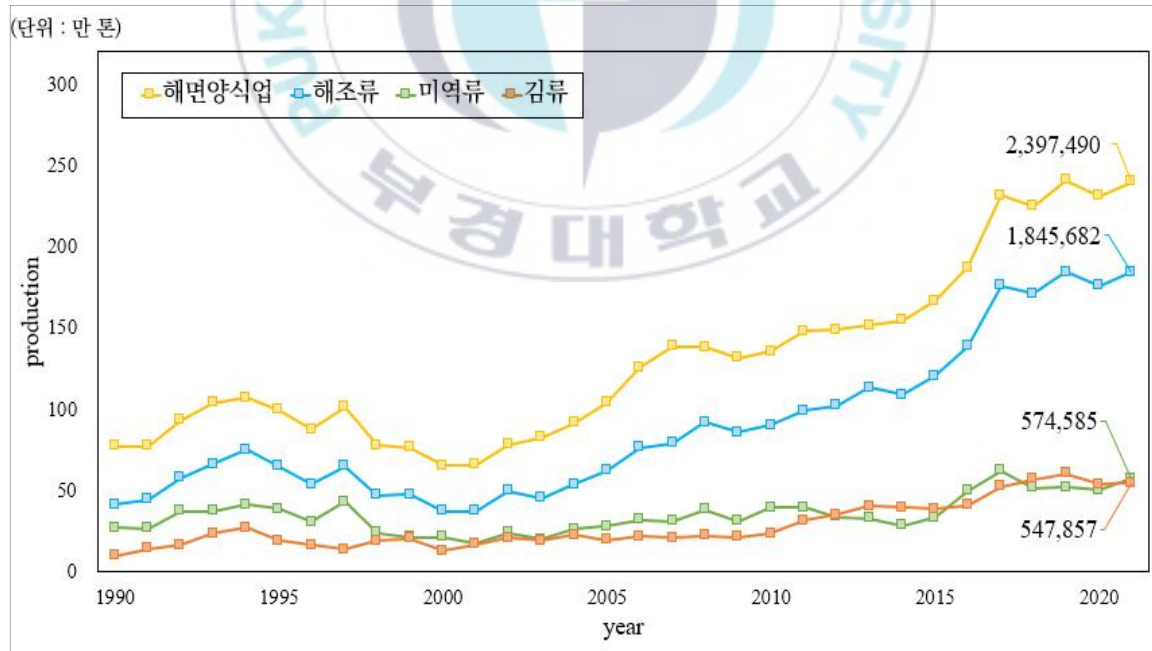
자료: 국립수산과학원(2021)

[그림 II-4] 우리나라 해역의 연평균 표층수온 변동 경향

[그림 II-4]의 그래프를 살펴보면 1968~2018년의 우리나라 해역의 표층 수온은 상승하는 추세를 알 수 있다. 51년간 우리나라 연근해 연평균 표층 수온은 1.23°C 상승하였으며, 연간 0.024°C 상승한 것으로 나타났다. 우리나라 해역의 수온 상승률은 같은 기간 전 세계 연평균 표층수온 상승률 (0.49°C/51yrs, 0.0096°C/yr)의 2.5배에 달하는 높은 수준이다(국립수산과학원, 2021).

2. 해조류 양식 동향 및 기후변화의 영향

해조류는 우리나라 해면양식 생산량의 77%의 비중을 차지할 정도로 우리나라 양식의 큰 비중을 차지하는 수산물이다. 양식기술 증대 및 시설량 증가로 인하여 2000년에 들어서면서 생산량은 매우 증가하였으며, 수출 또한 증가하고 있는 추세이다. 해조류에는 육상생물에서 발견하기 어려운 다당류, 아미노산, 비타민, 미네랄 등이 다량 함유되어있으며, 최근에는 해조류가 블루카본의 유력후보군으로 분류되어 온실가스 제거효과 등 다양한 연구가 진행되고 있다.³⁾ 또한, 해조류는 고지혈증, 항암, 항산화, 당뇨, 항혈전 완화효과 등 다양한 생리활성이 있다는 것이 알려지면서 건강기능성 식품소재로서도 많은 관심을 받고 있다(이주희·김보애, 2019).



자료: 통계청, 어업생산동향조사

[그림 II-5] 해면양식업 및 해조류 생산량(1990~2021년)

3) 국립수산물과학원(2022), 어장환경 탄소중립 적용방안과 활용성 기획연구

가. 김 양식

2021년 기준 해조류 생산량의 비중은 다시마가 36.7%, 미역이 31.1% 김이 29.6%를 차지하는 것으로 나타났으며, 이 세 가지 품종이 전체 해조류의 생산량의 97%를 차지하는 것으로 나타났다.

<표 II-2> 수산물 수출 상위 5개 품목

(단위: 천 톤, 백만 달러)

구분	2019년			2020년			2021년		
	품목	중량	금액	품목	중량	금액	품목	중량	금액
	전체	687.4	2,503.5	전체	614.2	2,304.4	전체	812.8	2,815.5
1	김	27.0	579.2	김	25.0	600.4	김	29.5	692.9
2	참치	239.0	571.6	참치	216.0	528.0	참치	177.2	579.2
3	어류제품	20.1	94.8	어류제품	22.3	103.5	명태	140.0	151.9
4	굴	11.0	76.7	굴	9.5	71.5	어류제품	22.1	106.6
5	대구	20.0	64.7	대구	19.7	56.5	대구	30.5	98.2

자료: 한국농수산물유통공사, 2021 농림수산물 수출입 동향 및 통계 재가공

<표 II-3> 농림수산물 수출 상위 5개 품목

(단위: 천 톤, 백만 달러)

구분	2019년			2020년			2021년		
	품목	중량	금액	품목	중량	금액	품목	중량	금액
	전체	4,740.2	9,529.2	전체	4,549.0	9,868.8	전체	4,881.9	11,373.7
1	연초류	60.5	929.4	연초류	68.8	1,005.2	연초류	61.7	887.3
2	김	27.0	579.2	라면	177.3	603.6	김	29.5	692.9
3	참치	239.0	571.6	김	25.0	600.4	라면	194.2	674.4
4	라면	137.3	467.0	참치	216.0	528.0	참치	177.2	579.2
5	음료	468.7	422.0	음료	437.7	410.4	음료	481.6	485.1

자료: 한국농수산물유통공사, 2021 농림수산물 수출입 동향 및 통계 재가공

2000년 이후 김의 생산량 증가와 더불어 수출량 또한 상승하였으며, 2019년 처음으로 참치를 제치고 3년 연속 수산물 수출 품목 1위를 차지해 수산물의 대표 수출 품목으로 자리 잡았다. 이는 전 세계적으로 건강식 트렌드에 따른 김의 선호 증가로 인해 주요시장인 미국, 중국뿐만 아니라 러시아에서도 조미김의 수요가 증가한 것에 기인한 것으로 보인다.

수출 금액은 2위인 참치와도 1억 달러 이상 압도적인 금액 차이를 보이며, 2021년 기준 6억 9천만 원 상당의 수출 금액은 역대 최대의 수출 금액을 달성하였다. 김은 수산뿐만 아니라 농식품을 포함한 농림수산물 수출 상위 품목에서도 라면을 제치고 2등을 차지할 정도로 무서운 상승세를 보인다.

또한, 김은 생산-가공-유통 등 산업의 모든 과정이 국내에서 이루어지기 때문에 수출에 따른 경제적 효과가 대부분 국내에 귀속되며 지역경제 발전에 크게 기여하는 특징이 있다(전의천 외, 2019).

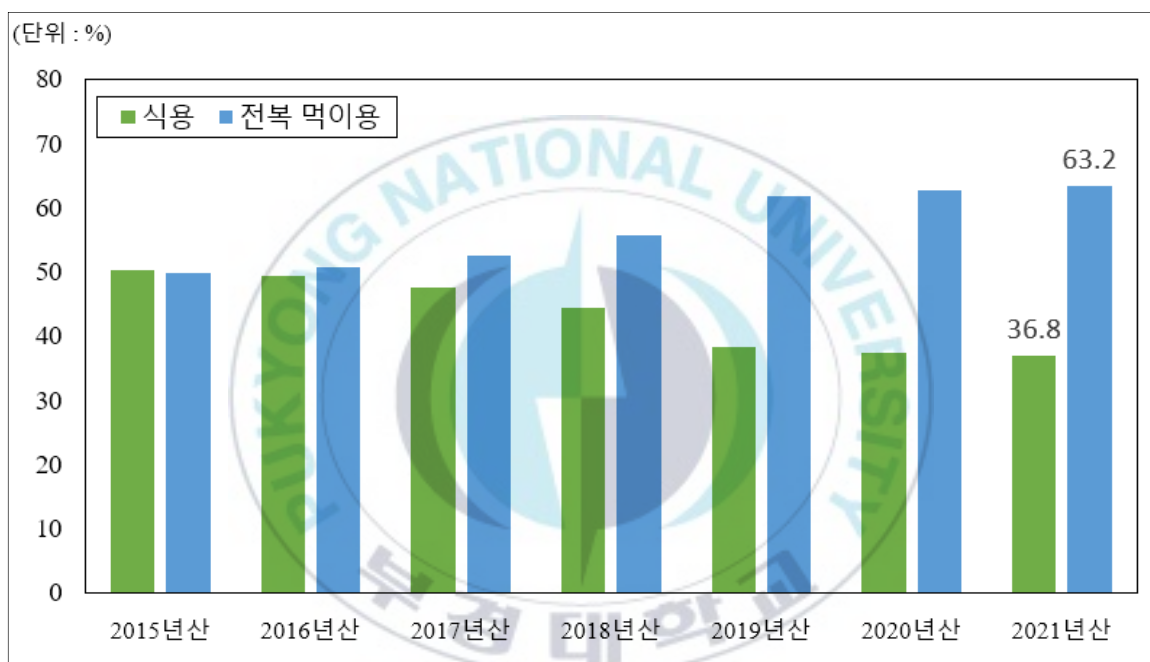
이렇듯 김은 우리나라의 수산물 수출과 경제적인 측면에서도 중요한 입지를 다지고 있으며, 앞으로의 김의 안정적인 생산과 공급은 매우 중요할 것으로 판단된다.

나. 미역 양식

미역은 산후조리 음식으로 잘 알려져 있으며, 생일날 미역국을 먹는 것은 우리나라에서 오래전부터 행해오는 풍습이다. 미역에는 미네랄, DHA, 리놀산, 섬유소, 비타민 등 40여 종의 영양소가 함유된 건강식품으로 최근에는 해조류가 건강식품으로 소비자들에게 재조명되면서 세계 각국에서 미역 수요가 지속적으로 증가하고 있다(백은영 외, 2021).

미역은 우리나라에서 해조류 중 김 다음으로 수출실적이 높은 것으로

나타났으며, 우리나라의 미역수출은 2006년 9만 톤에서 2020년 12만 톤까지 증가하였다.⁴⁾ 특히 일본 및 중국에서 미역수요가 증가하였으며, 베트남 EU, 러시아, 호주, 캐나다 등 64개국으로 수출대상국이 증가하고 있어 (백은영 외, 2021) 수출 또한 증가할 것으로 전망한다. 미역은 김과 마찬가지로 2000년 이후 생산량이 증가하고 있으며, 양식수산물 생산에 있어 큰 비중을 차지하는 우리나라 대표 양식수산물이다.



자료: 한국해양수산개발원(2022), 월간수산물관측 & 이슈 2022년 1월호 재가공

[그림 II-6] 미역양식장 용도별 시설 비중

미역은 식용뿐만 아니라 전복 먹이용으로도 생산되고 있으며, 최근 미역의 용도별 시설량 비중을 살펴보면 식용 시설의 비중은 계속 감소하는 반면 전복 먹이용 시설 비중은 증가한 것으로 나타났다. 2021년산⁵⁾ 기준 전복 먹이용의 시설 비중이 전체의 63.2%를 차지하며 매우 높은 수치로

4) 한국해양수산개발원 수산업관측센터, <https://www.foc.re.kr/>

5) 해조류는 생산 특성상, 여기에 따라 연산별로 표기함(2020년산: 2019년 10월~2020년 5월, 2021년산: 2020년 10월~2021년 5월)

증가하였다. 이는 최근 전복 양식물량이 증가함에 따라 이에 대한 수요가 증가할 것을 기대하여 미역의 시설량을 늘린 어가들이 많은 것으로 나타났다.

다. 해조류와 기후변화의 영향

김과 미역은 수중에서 양식되므로 수온의 영향을 가장 많이 받으며, 광선 또는 일조시간, 물속 용존 이산화탄소, 영양염 등에 따라 온도의 영향은 달리 나타난다. 양식장에서 김의 생육상태로 판단한 생장적온은 가을이 시작되어 수온이 22°C 전후에서 15°C까지 저하하는 기간이 발아기, 15°C 이하의 생장기, 온도가 더 내려감에 따라 최성기로 된다. 이 경우 5~8°C가 생장적온이며, 하한 온도는 4°C이다. 이후 봄까지 12~13°C가 될 때 생육이 정지하게 된다. 국립수산물과학원에 따르면 미역의 양식기간의 수온은 8.8~19.9°C의 분포를 나타낸다고 밝혔으며⁶⁾, 국립수산물과학원의 수산종자육종연구소 또한 20°C 이하가 되는 시기가 미역양식의 시작이 가능한 수온이라고 밝혔다⁷⁾.

[그림 II-5]의 김 2020년 생산량은 2019년에 비교하여 줄어든 것으로 나타났는데, 이는 많은 지역에서 잦은 수온 변동으로 김 생장에 해황이 적합하지 않아 생산량이 감소하였다고 밝혔다.⁸⁾ 미역 또한 해수온의 상승 및 해양 여건이 좋지 못하여 미역의 엽체 탈락 발생으로 인한 성장 정체 등 작황이 좋지 못해 2021년 11월의 미역 생산량은 전년도 11월과 비교하여 89.5% 감소하였다⁹⁾.

한국해양수산개발원에 의하면 2019년의 해조류의 피해 관련 뉴스 보도

6) 국립수산물과학원 남해수산연구소(2016), 넓미역 양식

7) 국립수산물과학원(2022), “수과원, 올해 김·미역 양식 시작하는 최적시기 예보”, 보도자료

8) 한국해양수산개발원(2020), 월간 수산물관측&이슈 2020년 1월호

9) 한국해양수산개발원(2021), 월간 수산물관측&이슈 2021년 12월호

건수는 12건이었으며, 2020년의 보도건수는 총 25건으로 두 배 이상 증가하였다고 밝혔다. 해조류는 9~10월 양식이 시작되며, 주로 겨울철에 수확된다. 최근 우리나라의 기후변화를 살펴보면 겨울의 기온은 +2.1°C 상승하였으며,¹⁰⁾ 겨울철에 생산되는 해조류의 특성상 기후변화가 미치는 피해가 더욱 클 것으로 판단된다.

이는 이상기후로 인한 기후변화의 영향이 김과 미역의 생산에 직접적인 영향을 주는 것으로 나타났다. Kim et al.(2019)은 우리나라의 해면양식 품종 14종을 대상으로 기후변화의 취약성을 평가하였으며, 그 결과, 김, 미역 같은 해조류가 가장 취약한 것으로 평가되었다.

또한, 앞으로 수온 및 기온 상승과 같은 기후변화는 지속될 것으로 전망하였으며, 이로 인한 김과 미역의 양식환경에 미치는 부정적인 영향 및 피해는 증가할 것으로 판단된다. 따라서 안정적이고 지속적인 해조류 생산을 위한 대책이 필요할 것이다.

10) 국립기상과학원(2021), 우리나라 109년 기후변화 분석보고서

3. SSP 시나리오

가. RCP 시나리오와 SSP 시나리오 정의

RCP 시나리오(Representative Concentration Pathways, 대표농도경로)란 IPCC 제5차 평가보고서에 사용된 시나리오로서 2100년 지구의 복사강제력을 기준으로 한 온실가스 대표농도경로 시나리오이다.¹¹⁾ 지금까지 기후변화에 대한 전망 및 예측 시나리오를 분석할 때 가장 많이 쓰여왔으나, IPCC 제6차 평가보고서에서 기존의 RCP 시나리오와 더불어 사회경제학적 요소까지 추가로 고려한 SSP 시나리오(Shared Socioeconomic Pathways, 공통사회경제경로)가 새로 발표되었다. SSP 시나리오에 사용된 첫 번째 숫자는 사회발전과 온실가스 감축 정도에 따라 구별되며, 두 번째 숫자는 RCP 시나리오와 동일하게 2100년 기준의 지구 복사강제력을 나타낸다.

<표 II-4> RCP 시나리오와 SSP 시나리오 정의

	RCP 시나리오	SSP 시나리오
출처	IPCC 제5차 평가보고서	IPCC 제6차 평가보고서
시나리오 정의	2100년 지구의 복사강제력을 기준으로 한 온실가스 시나리오	RCP 시나리오에 미래 인구수, 토지이용 등 사회경제학적 요소(인구통계, 경제발달, 복지, 생태계 요소, 자원, 제도, 기술발달, 사회적 인자)까지 고려한 시나리오

자료: 국립기상과학원(2020), 한반도 기후변화 전망보고서 2020 재가공

11) 국립기상과학원(2020), 한반도 기후변화 전망보고서 2020

<표 II-5> RCP 시나리오 종류 및 의미

종류	의미	CO2 농도 (2100년)
RCP 2.6	지금부터 즉시 온실가스 감축 수행	420ppm
RCP 4.5	온실가스 저감정책 상당히 실현	540ppm
RCP 7.0	온실가스 저감 정책 어느 정도 실현	670ppm
RCP 8.5	현재 추세대로 온실가스 배출	940ppm

자료: 국립수산과학원(2022), 수산분야 기후변화 영향 및 연구보고서

<표 II-6> SSP 시나리오 종류 및 의미

종류	의미
SSP 1-2.6	재생에너지 기술 발달로 화석연료 사용이 최소화되고 친환경적으로 지속가능한 경제성장을 이룰 것으로 가정하는 경우
SSP 2-4.5	기후변화 완화 및 사회경제 발전 정도가 중간 단계를 가정하는 경우
SSP 3-7.0	기후변화 완화 정책에 소극적이며 기술개발이 늦어 기후변화에 취약한 사회구조를 가정하는 경우
SSP 5-8.5	산업기술의 빠른 발전에 중심을 두어 화석연료 사용이 높고 도시 위주의 무분별한 개발이 확대될 것으로 가정하는 경우

자료: 국립수산과학원(2022), 수산분야 기후변화 영향 및 연구보고서

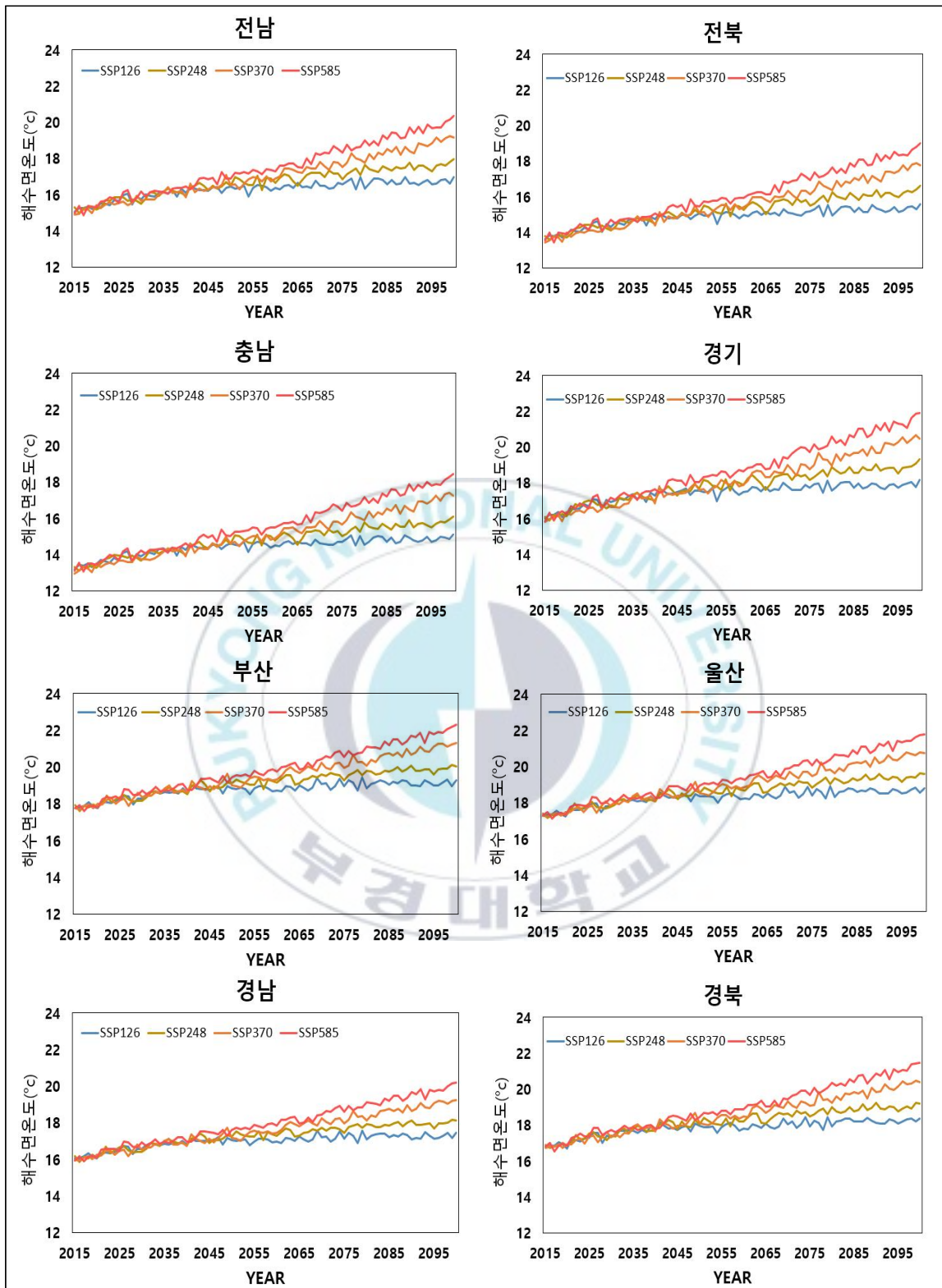
나. SSP 시나리오별 예측

국립기상과학원에서 SSP 시나리오¹²⁾별 한반도의 기온변화 전망을 예측하였다. 저탄소 시나리오(SSP 126)에서 미래후반기(2081~2100년)의 한반

도 연평균 기온은 $+2.6^{\circ}\text{C}(\pm 0.2^{\circ}\text{C})$ 상승을 전망하였으며, 고탄소 시나리오(SSP 5-8.5)의 미래후반기 연평균 기온은 $+7.0^{\circ}\text{C}(\pm 0.6^{\circ}\text{C})$ 상승할 것으로 전망하였다. 저탄소 시나리오인 SSP 126의 시나리오 전망 수치를 보아도 미래 한반도의 기온 상승은 불가피할 것으로 판단된다.

IPCC에서는 만약 전 지구의 온도가 산업화 이전 대비 1.5°C 상승할 경우 어획량은 150만 톤 감소할 것으로 예상했으며, 산호초는 70~90%까지 감소하는 것으로 전망하였다.¹³⁾ 2.0°C 상승할 경우에는 무려 어획량 300만 톤의 감소를 전망하였으며, 지구 온도의 상승은 수산자원의 감소에 엄청난 영향을 미치는 것으로 나타났다.

[그림 II-7]은 기상청의 SSP 시나리오별 예측 표층수온 값 데이터를 이용하여 우리나라 각 지역 해역의 시나리오별 미래 수온 예측값을 살펴 보았다. 기상청에서 제공하는 SSP 시나리오 자료는 K-ACE(국립기상과학원 자체 개발 모델), UKESM1(영국기상청 모델) 2종으로 과거 기후 및 미래 SSP 별로 각 모델당 3개의 앙상블 자료를 생산하였으며, 총 6개 앙상블의 평균값 자료이다. 그 수온값을 살펴본 결과, SSP 126 시나리오는 2100년까지 약 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 의 수온 상승이 발생하며, SSP 585 시나리오에서는 평균 $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ 내외로 수온이 상승하는 것으로 나타났다. 기후변화가 가장 약하게 나타나는 시나리오인 SSP 126 시나리오에서도 수온 상승은 불가피하게 진행되는 것으로 나타났으며, 무분별하게 온실가스를 배출하거나 개발을 진행할 경우 매우 높은 수준의 수온 상승을 초래하는 것으로 나타났다. 전라남도 해역은 수온의 상승추세가 타 지역과 비교하여 더욱 가파른 것으로 나타났다. 김과 미역은 전라남도에서 가장 많이 생산되는 수산물이기 때문에 수온 상승의 피해 또한 전라남도 지역이 가장 클 것으로 판단된다.



자료: 기상청 기후정보포털, 기후변화 시나리오 데이터

[그림 II-7] SSP 시나리오별 각 지역의 표층수온 예측값(2015~2100년)

Ⅲ. 분석모형 및 분석자료

1. 분석자료 및 변수 선정

본 연구에서는 기후변화 요소가 해조류 생산량에 미치는 영향을 분석하기 위해 각각 김, 미역 생산량을 종속변수로 설정하고 표층수온, 표층염분, 강우량, 기온, 김, 미역양식면적을 설명변수로 하는 2개의 패널모형을 구성하여 분석하였다. 해조류의 생산 과정에 있어서 기후 및 해양요건의 변화에 따라 수확량은 크게 달라진다. 제일 큰 영향력을 미치는 표층수온을 비롯하여 기온, 표층염분, 강우량 등의 변화에 따라 수확량이 결정되므로 이러한 기후 및 해양요소들과 해조류 생산량 간 관계에 대한 연구가 필요하다고 판단하여 변수를 설정하였다.

종속변수로 사용한 김, 미역의 생산량 자료는 통계청 ‘어업생산 동향조사’의 ‘어업별 품종별 통계’에서 입수하였다. 설명변수로 사용한 김, 미역의 양식면적 자료는 통계청의 ‘천해양식어업권통계’에서 입수하였으며, 표층수온, 표층염분, 강우량, 기온의 자료는 기상청에서 입수하였다. 특히 표층수온, 표층염분 등 기후변화 요소의 자료들은 기상청 기후정보포털의 기후변화시나리오 데이터에서 지역별 월별 자료를 추출하여 사용하였다. 이 설명변수 자료들은 1850~2014년의 과거값과 기후변화 시나리오별 2015~2100년의 미래의 예측값을 기상청에서 제공하고 있다. 따라서 기후변화 요소로 인한 해조류 생산량의 장기적인 분석 또한 가능하나, 김, 미역의 생산량과 양식면적 자료와 기후자료의 한계로 인해 본연구에서는 2001~2014년까지 기간을 한정해 분석을 진행하였다.

<표 III-1> 연구에 사용한 변수 및 출처

구분		단위	출처
종속변수	김 생산량	톤	통계청, 어업생산 동향조사
	미역 생산량	톤	통계청, 어업생산 동향조사
설명변수	표층수온	°C	기상청, 기후정보포털
	표층염분	psu	기상청, 기후정보포털
	강수량	mm	기상청, 기후정보포털
	기온	°C	기상청, 기후정보포털
	김, 미역 양식면적	ha	통계청, 천해양식어업권통계



2. 분석모형

가. 패널데이터

앞서 선정한 종속변수와 독립변수를 토대로 미역과 김 각각의 패널데이터를 구축하였다. 패널데이터는 특정 개체의 현상이나 특성을 시간순으로 기록해 놓은 시계열 데이터(times-series data)와 특정 시점에 있어서 여러 개체의 현상이나 특성을 모아놓은 횡단면 데이터(cross-sectional data)를 하나로 합쳐놓은 것이다(민인식·최필선, 2019).

패널데이터는 시계열 데이터와 횡단면 데이터와 비교하여 다양한 장점이 존재한다. 우선 횡단면자료와 시계열 자료가 결합된 형태인 패널데이터를 이용한 회귀모형에서는 패널 개체들의 관찰되지 않는 이질성(unobserved heterogeneity) 요인을 모형에 반영시킬 수 있어 모형설정의 오류(model misspecification)를 줄일 수 있다(민인식·최필선, 2019). 예를 들어 시간에 따라 변하지 않는 각 지역의 이질적 특성이 회귀분석에 영향을 미칠 수 있는데, 이런 특성을 회귀모형에서 제외한다면 누락된 변수로 인한 편의가 발생할 수 있다. 패널데이터를 활용한다면 이러한 이질성을 반영시킬 수 있어 모형설정 오류를 줄일 수 있는 장점이 있다.

또한, 시계열 자료에서 자주 발생하는 설명변수 간 다중공선성(multicollinearity)으로 인한 문제를 횡단면 측면을 추가적으로 고려하여 감소시킬 수 있다는 장점이 있다(김상구 외, 2012). 예를 들어 두 설명변수 간 선형관계가 존재하더라도 패널데이터를 구축함으로써 인해 개체 내 시간에 따른 변동이 존재하고 설명변수를 다양한 형태로 변형하여 분석하기 때문에 이들의 상관관계가 감소하게 되는 것이다.

그러나 패널데이터는 여러 단점도 존재한다. 패널데이터를 이용하기 위해서는 여러 개체에 대해 그 현상이나 특성을 시간에 흐름에 따라 조사하여야 하므로 데이터상 수집의 어려움이 존재한다. 따라서 결측치가 발생할 가능성이 크며, 국가나 지역을 패널그룹으로 설정하여 수집된 데이터의 경우 패널그룹 간 상관관계가 존재할 수 있다는 단점 또한 존재한다.

나. 고정효과 및 확률효과모형

식(1)은 패널 선형회귀모형식이며, 식(1)은 식(2)와 같이 표현할 수 있다.

$$y_{it} = \alpha + \beta x_{it} + \mu_i + e_{it} \quad (1)$$

$$y_{it} = (\alpha + \mu_i) + \beta x_{it} + e_{it} \quad (2)$$

패널모형에서는 오차항이 2개로 구성되어 있는데, 시간을 고려한 패널 분석에서 중요한 것은 시간에 따라 변화하지 않으면서 관찰되지 않는 패널개체의 이질적 특성(μ_i)을 어떻게 간주할 것인가이다. 일반적으로 이질적 특성을 추정해야 할 모수로 간주하면 고정효과모형(fixed effects model)을 적용하고, 확률변수로 간주하면 확률효과모형(random effects model)을 적용한다(민인식·최필선, 2012).

고정효과모형에서 기울기 모수인 β 는 모든 패널 개체에 대해 서로 동일하나, 상수항($\alpha + \mu_i$)은 패널 개체별로 서로 다르면서 고정되어 있다고 가정한다. 그러나 확률효과 모형에서는 패널 개체 특성에 따른 효과를 고

정된 모수로 보지않고 확률변수로 가정한다. 즉 $(\alpha + \mu_i)$ 를 확률변수로 간주한다.

위에서 언급한 두 가지 모형 가운데 어느 모형을 선택하여야 하는가는 하우스만 검정을 통해 적합한 모형을 선정한다.

다. 연구 모형

본 연구에서 사용한 패널데이터의 공간적 범위는 해조류를 주로 생산하는 광역시·도이다. 김은 전남, 부산, 충남, 경기, 전북의 총 5개 지역을 대상으로 분석하였으며, 미역은 전남, 충남, 부산, 울산, 경남, 경북으로 총 6개 지역을 대상으로 분석을 진행하였다.

겨울철에만 수확하는 해조류의 특성상 생산량이 존재하지 않거나 미미한 5월부터 10월까지의 자료를 제외하여 2001년 1월부터 2014년 12월까지 14년의 월별 데이터 자료를 분석에 사용하였다. 따라서 모든 변수가 결합된 관측치는 김은 총 420개이며 미역은 총 504개의 균형 패널데이터가 구축되었다.

김과 미역의 생산량에 미치는 요인은 다양하며 이러한 원인을 모두 변수에 포함하여 분석하는 것은 불가능하므로 통제하지 못하는 다양한 변수들을 통계적으로 반영할 수 있어야 한다. 이러한 이유로 본 연구에서는 패널모형을 사용하여 분석하였으며, 이를 선형회귀식으로 표현하면 식(3)과 같다.

$$y_{it}^* = \alpha + \beta_1 WT_{it} + \beta_2 WT_{it}^2 + \beta_3 month \times WT_{it} + \beta_4 SS_{it} + \beta_5 RF_{it} + \beta_6 TA_{it} + \beta_7 AA + \beta_8 month + \beta_9 year + \mu_i + e_{it} \quad (3)$$

WT (Water Temperature): 표층수온
 SS (Surface Salinity): 표층염분
 RF (Rainfall): 강수량
 TA (Temperature): 기온
 AA (Aquaculture Area): 양식면적
 $MONTH$: 월 단위 더미변수(1월,2월,3월,4월,11월,12월)
 $YEAR$: 연 단위 더미변수(2001 – 2014년)

위 식(3)에서 y_{it}^* 는 미역 생산량을 나타내는 종속변수이며, i 는 6개 광역시·도를, t 는 시간을 나타내는 아래첨자이다. 또한 x_{it} 는 표층수온, 표층염분, 강수량, 기온, 양식면적과 같은 설명변수를 나타낸다. 오차항은 2개로 구성되어 있는데, μ_i 는 시간에 따라 변화하지 않는 패널 개체의 특성을 나타낸다. 반면, e_{it} 는 패널 개체과 시간에 따라 변화하는 순수한 오차항이다.

또한, 김과 미역의 생산과 관련된 변수로서 관측되지 않는 월별, 연도별 특성을 고려하기 위해 월 단위(11~4월)와 연 단위(2001~2014년)의 더미변수를 추가하여 분석에 포함하였으며, 표층수온의 경우 선형적인 효과 이외에 체감 및 체증 효과를 함께 보기 위해 제곱변수를 추가하여 분석하였다.

월마다 수온은 큰 차이가 발생하며, 해당 월의 수온이 변화함에 따라 김과 미역의 생산량에 어떠한 영향을 미치는지 분석하기 위해 수온변수와 월별 더미변수를 곱한 교차항을 설명변수에 추가하여 분석하였다.

다음으로 SSP 시나리오별 수온변화에 따른 김과 미역의 생산량의 변화율을 도출하기 위한 식은 아래와 같다. 기존의 선형회귀식 식(3)에서 기후 변화 요소 변수를 제외한 모든 변수가 고정되어 있다고 가정하며, 예측된 변화값($WT_{lit}, SS_{lit}, RF_{lit}, TA_{lit}$)을 수식에 대입하여 Δy_{it} 를 도출한다.

$$\Delta y_{it} = \beta_1(WT_{1it} - WT_{0it}) + \beta_2(WT_{1it}^2 - WT_{0it}^2) + \beta_3(WT_{1it} - WT_{0it}) + \beta_4(SS_{1it} - SS_{0it}) + \beta_5(RF_{1it} - RF_{0it}) + \beta_6(TA_{1it} - TA_{0it}) \quad (4)$$

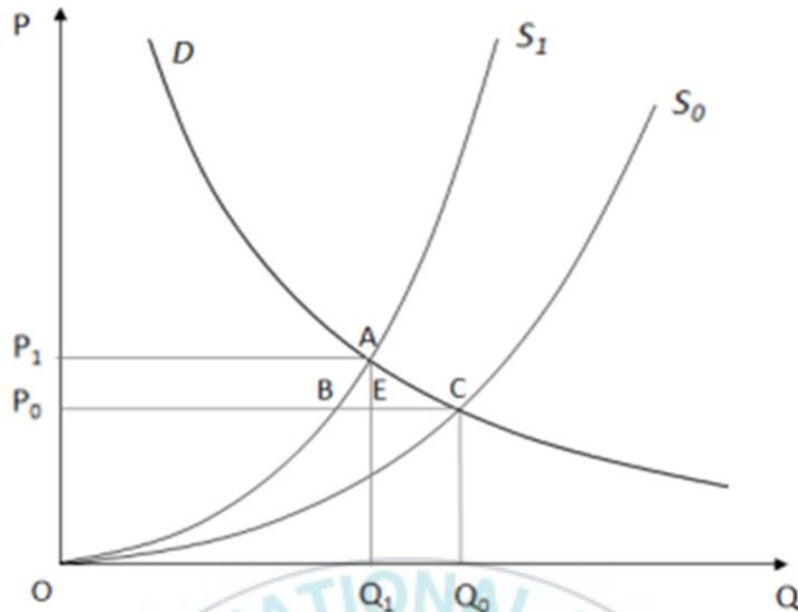
$$y_0 - y_1 = \Delta y \quad (5)$$

라. 경제적 편익 분석방법

본 연구에서 살펴보고자 하는 기후변화에 따른 경제적 영향은 생산자가 기후변화로 인해 낮은 양을 생산하게 되며 소비자는 높은 가격으로 구매함으로써 잃는 경제적 잉여의 감소분이다. 기후변화와 같은 외생적인 변화로 인해 생산량이 감소하게 되어 공급곡선을 안쪽으로 이동시킴으로써 나타나는 경제적 효과 감소 분석에 경제적 잉여법(economic surplus method) 또는 지수법(index number method)으로 알려진 방법으로 측정한다(김봉태 외, 2017). 이를 그림으로 나타내면 [그림 III-1]과 같다.

기후변화가 발생하기 전 시장균형은 C 이며, 기후변화로 인해 생산량이 감소하게 되면 공급함수는 S_1 로 이동하고 새로운 균형점은 A 가 된다. 이 때문에 생산량은 Q_0 에서 Q_1 으로 감소하게 되며 가격은 P_0 에서 P_1 으로 상승하게 된다. 따라서 소비자잉여는 P_0P_1AC 만큼 감소하게 되며, 생산자 잉여는 $P_0P_1AB - BOC$ 만큼 변화가 발생하게 된다.¹⁴⁾ 소비자잉여의 감소분과 생산자잉여의 변화분을 합하여 사회적 편익을 추정한다.

14) 소비자잉여는 항상 감소하게 되지만 생산자잉여는 판매 감소와 가격 상승이 동시에 나타나므로 증가할 수도 있다.



[그림 III-1] Akino and Hayami 공급곡선과 수요곡선

AH(Akino and Hayami)법에 따라 수요함수와 공급함수는 가격에 대한 탄성치가 일정한 비선형의 형태이고 공급함수가 기후변화로 인해 h 만큼 이동한다고 하면 식(6)과 같이 표현한다. 이때 η 와 ϵ 은 각각 수요탄성치, 공급탄성치를 나타내며, H 와 G 는 가격 이외에 수요와 공급에 영향을 미치는 변수이다.

$$Q_D = H \cdot P^{-\eta} \quad (6)$$

$$Q_{S_0} = G \cdot P^\epsilon$$

$$Q_{S_1} = (1-h)G \cdot P^\epsilon$$

공급함수는 생산함수에서 파생된 한계비용함수로 이동률 h 는 생산함수의 이동률 k 에 의존하는데 이는 식(7)와 같은 근사적인 관계가 있다.(Akino and Hayami, 1975)

$$h = (1 + \varepsilon)k \quad (7)$$

기후변화 이후의 해조류의 수산물 가격(P_1)과 소비량(Q_1), 해조류의 수요탄성치(η)와 공급탄성치(ε), 생산함수의 이동률(k)에 대한 정보가 있으면 소비자잉여(CS)와 생산자잉여(PS), 그리고 이를 합한 사회적 잉여(TS)를 각각 다음과 같이 도출할 수 있다.

$$\begin{aligned} CS &= \frac{P_1 Q_1 k (1 - \varepsilon)}{\varepsilon + \eta} \left(1 - \frac{\eta k (1 - \varepsilon)}{2(\varepsilon + \eta)} \right) \\ PS &= \frac{P_1 Q_1 k (1 - \varepsilon)}{\varepsilon + \eta} \left(\frac{\eta - 1}{\varepsilon + 1} + \frac{k(1 - \varepsilon)}{2} \left(1 + \frac{\eta}{\varepsilon + \eta} \right) \right) \\ TS &= P_1 Q_1 k \left(1 + \frac{k(1 - \varepsilon)^2}{2(\varepsilon + \eta)} \right) \end{aligned} \quad (8)$$

IV. 실증분석

1. 기초통계량

본 연구에 활용된 분석자료들의 기초통계량은 <표 IV-1>와 같다. 김 생산량의 평균은 8,151톤이며, 작황이 좋지 않을 경우 빠르면 3월 말~4월 초에 김 생산을 조기 종료하기 때문에 최솟값이 0인 경우도 존재하며, 최댓값은 84,043톤으로 나타났다. 표층수온의 평균은 10.2°C이며 계절에 따라 수온이 달라지기 때문에 최솟값과 최댓값의 편차가 큰 것으로 나타났다. 강수량은 평균 72.3mm로 나타났으며, 기온의 평균은 5.5°C인 것으로 나타났다. 김의 양식면적 또한 지역별 편차로 인해 표준편차가 큰 것으로 나타났다.

<표 IV-1> 김 분석자료의 기초통계량

Variable	N	Mean	Std.dev	Min	Max
김 생산량(톤)	420	8,151.1	14,072.7	0.0	84,043.0
표층수온(°C)	420	10.2	3.5	4.7	18.9
표층염분(psu)	420	28.4	1.9	25.8	32.6
강수량(mm)	420	72.3	33.6	16.5	216.7
기온(°C)	420	5.5	4.5	-6.8	13.9
김 양식면적(ha)	420	10,960.7	17883.3	370.0	49,988.0

미역 생산량의 평균은 9,905톤이며 전라남도에서 많은 양의 미역이 생산되고, 월별 생산량의 편차가 크기 때문에 표준편차가 크게 나타난 것으로 확인된다. 11~4월의 평균 표층수온은 11.8°C로 최솟값은 4.7°C 최댓값은 18.9°C로 나타났으며 여름인 5~10월의 기간을 분석에서 제외하였기 때문에 수온의 최댓값이 높지 않은 것으로 나타났다. 염분의 평균값은 29.9psu이며, 최솟값은 25.8psu 최댓값은 32.7psu로 나타났다. 강수량은 지역별 편차가 존재하는 것으로 확인되었으며, 가장 강수량이 많은 지역은 경남지역, 강수량이 적은 지역은 경기지역인 것으로 나타났다. 기온 또한 미역이 양식되는 지역별 해역의 평균기온을 수집하였기 때문에 영하의 값은 나타나지 않았으며, 평균은 8°C, 최솟값은 2.1°C로 나타났다. 양식면적 또한 지역별 편차가 존재하여 편차가 높게 나타난 것으로 확인된다.

<표 IV-2> 미역 분석자료의 기초통계량

Variable	N	Mean	Std.dev	Min	Max
미역 생산량(톤)	504	9,905.3	27,302.6	0.0	17,4169.0
표층수온(°C)	504	11.8	3.5	4.7	18.9
표층염분(psu)	504	29.9	2.6	25.8	32.7
강수량(mm)	504	88.1	36.9	21.7	224.5
기온(°C)	504	8.0	4.0	2.1	15.7
미역 양식면적(ha)	504	1,518.2	2,815.3	16.0	13,337.0

2. 하우스만 검정

패널분석에서 고정효과모형(fixed effect model)과 확률효과모형(random effect model) 중 어느 모형이 더 적합한가는 하우스만 검정(Hausman Test)를 통해 밝히는 것이 필요하다(Arellano & Bond, 1991; Figini & Görg, 2011).

하우스만 검정 결과, 김과 미역 생산에 대한 이질적 특성과 독립변수 간 상관관계가 없다는 영가설에 대해 1% 내에서 기각하였다. 또한, 본 연구의 패널데이터의 경우 패널개체가 모집단에서 무작위로 추출된 표본이 아닌 우리나라의 광역시·도를 대상으로 분석하였다. 따라서 이는 확률적으로 선택된 표본으로 보기 어려워 고정효과모형을 사용하는 것이 타당하다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 고정효과모형을 활용하여 분석하였다.

<표 IV-3> 김 Hausman 검정 결과

Variable	Fixed effect	Random effect
표층수온(°C)	-7440.24	-3209.13
표층염분(psu)	-7807.10	1984.66
강수량(mm)	14.27	21.97
기온(°C)	-959.84	-851.38
김 양식면적(ha)	2.77	0.77
Statistics	Ho: difference in coefficients not systematic	
	chi2(26)	247.07
	Prob > chi2	0.0000

<표 IV-4> 미역 Hausman 검정 결과

Variable	Fixed effect	Random effect
표층수온(°C)	-26596.35	48777.77
표층염분(psu)	-23672.71	-10652.04
강수량(mm)	71.64	36.88
기온(°C)	-1562.37	-1743.43
미역 양식면적(ha)	-3.44	0.82
Statistics	Ho: difference in coefficients not systematic	
	chi2(26)	144.10
	Prob > chi2	0.0000



3. 고정효과모형 분석결과

가. 김 분석결과

김 생산량에 대한 패널모형의 분석결과는 <표 IV-5>와 같다. 표층수온, 제공변수와 강수량변수를 제외한 변수들이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 수온과 김 생산량 간 체증 관계를 살펴보기 위해 수온, 제공변수를 분석에 포함하였으나 수온, 제공변수가 유의하지 않은 것으로 나타나 표층수온과 김 생산량은 선형적으로 음(-)의 관계가 있는 것으로 분석되었다.

기온, 표층염분 변수도 마찬가지로 음(-)의 방향으로 유의한 변수로 나타났다. 기온이 1℃ 상승하면 김 생산량은 959.8톤 감소하며 표층염분이 1psu 상승하면 김 생산량은 7807.1톤 감소하는 것으로 나타났다. 김 양식 면적과는 양(+)의 방향으로 유의한 것으로 나타났으며 면적이 증가할 경우 김 생산량이 증가하는 것으로 나타났다.

월별 수온이 김 생산에 미치는 영향을 분석하기 위해 수온과 월별 더미 변수를 곱한 교차항을 변수에 추가하여 분석하였다. 그 결과, 4월의 수온만이 유의한 것으로 나타났다. 김 생산은 12월부터 4월까지 지속되는데 4월에 높은 수온이 지속될 경우 작황이 부진하여 김 생산을 조기 종료하게 되며, 4월의 수온이 높을 경우 김 생산에 부정적인 영향을 끼치는 것이 반영된 결과로 풀이된다.

<표 IV-5> 김 분석결과

Variable	Coef.	z-value	Prob.
표층수온(°C)	-7440.24*	-1.73	0.084
표층수온 ² (°C)	220.64	1.07	0.285
표층염분(psu)	-7807.10***	-3.77	0.000
강수량(mm)	14.27	0.69	0.489
기온(°C)	-959.85***	-2.9	0.004
김 양식면적(ha)	2.77***	6.67	0.000
month*표층수온			
2	193.74	0.27	0.785
3	-600.56	-0.85	0.397
4	-2286.92***	-3.04	0.003
11	-3395.18	-1.50	0.135
12	-1325.56	-1.22	0.225
month			
2	-2229.26	-0.34	0.733
3	12631.4**	2.05	0.041
4	36210.49***	3.87	0.000
11	63268.71**	2.01	0.045
12	22868.3*	1.76	0.079
year			
2002	4187.47**	2.14	0.033
2003	4177.49**	2.16	0.032
2004	4922.45**	2.48	0.013
2005	2616.68	1.36	0.173
2006	3094.89	1.61	0.108
2007	2053.98	1.03	0.304
2008	2548.74	1.25	0.210
2009	1342.95	0.70	0.482
2010	2215.31	1.15	0.252
2011	4807.27**	2.50	0.013
2012	7101.39***	3.61	0.000
2013	10485.6***	5.28	0.000
2014	7377.80***	3.86	0.000
constant	243534***	3.61	0.000
Within R^2		0.353	
Between R^2		0.845	
Overall R^2		0.575	
F(29,386)		7.26***	

주: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

나. 미역 분석결과

미역 생산량에 대한 패널모형의 분석결과는 <표 IV-6>와 같다. 기온의 계수는 음(-)의 방향으로 나타났으나 유의하지 않은 변수로 나타났으며, 표층수온, 표층염분, 양식면적은 음(-)의 방향으로, 표층수온 제곱, 강수량은 양(+)의 방향으로, 유의한 변수로 나타났다.

수온의 분석결과에 대해서는 음의 값이지만 수온 제곱변수에 대해서는 양의 값으로 추정되었다. 이에 대하여 월별 임계값을 산출한 결과, 1월, 2월은 13.6°C, 3월은 17.0°C, 4월은 19.2°C, 11월은 20.7°C, 12월은 16.4°C로 분석되었으며, 적정 수온이 임계값에 도달할 때까지 미역 생산량은 감소하는 것으로 추정된다. 수온이 임계값을 초과하는 경우 생산량이 증가하는 것으로 나타났으나, 해당 월의 평균 수온이 임계값을 넘지 않기 때문에 수온이 증가할수록 감소하는 것으로 풀이된다.

강수량은 미역 생산량과 양의 값으로 유의하여 강수량이 증가할수록 미역 생산량은 증가하는 것으로 나타났다. 이는 강수량 증가로 인한 영양염 유입의 증가로 인해 미역 생산량이 증가하는 것으로 판단된다. 표층염분과 미역양식면적은 음의 관계가 나타나는 것으로 분석되었다. 이에 관한 결과의 이유는 미역양식의 면적은 일부 지역에서 감소하였으나 미역양식 시설량이 증가한 것에 기인한 것으로 판단된다.

김과 마찬가지로 월별 수온이 김 생산에 미치는 영향을 분석하기 위해 교차항 변수를 추정한 결과, 2월을 제외하고 모두 유의한 것으로 나타났다. 월별 교차항 변수 중 11월의 추정계수가 가장 크게 나타나 영향력이 상당한 것으로 나타났다. 미역 양식의 적정 시작(가이식¹⁵⁾) 시기는 수온이 20°C 이하로 내려가는 10월 중하순 시기이다.¹⁶⁾ 이때 고수온으로 인해

15) 가이식: 양식을 위하여 어린 엽체를 바다에 적응 시키는 단계

미역 양식 초기 어린씩이 탈락하거나 녹아 없어질 수 있어 미역 양식에 있어서 수온에 영향을 많이 미치는 시기라고 할 수 있다. 따라서 본 연구 결과에서 미역 양식의 초기 시기인 11월의 수온이 미역 생산량에 가장 영향을 많이 미치는 것과 일치하는 것으로 사료된다.



16) 국립수산물과학원(2022), “수과원, 올해 김·미역 양식 시작하는 최적 시기 예보”, 보도자료

<표 IV-6> 미역 분석결과

Variable	Coef.	z-value	Prob.
표층수온(°C)	-26596.35**	-2.40	0.017
표층수온 ² (°C)	977.2567**	1.97	0.049
표층염분(psu)	-23672.71***	-3.50	0.001
강수량(mm)	71.64**	2.00	0.047
기온(°C)	-1562.37	-1.57	0.117
미역 양식면적(ha)	-3.44***	-5.13	0.000
month*표층수온			
2	-923.12	-0.57	0.571
3	-6716.62***	-4.40	0.000
4	-8994.02***	-5.09	0.000
11	-14041.11**	-2.48	0.013
12	-5631.63**	-2.13	0.034
month			
2	14123.22	0.82	0.412
3	85130.40***	5.22	0.000
4	116763.80***	5.32	0.000
11	225880.80***	2.85	0.005
12	78760.40**	2.40	0.017
year			
2002	8409.68**	2.15	0.032
2003	5327.51	1.38	0.169
2004	1890.39	0.49	0.626
2005	1251.16	0.32	0.746
2006	1066.52	0.27	0.785
2007	683.82	0.17	0.866
2008	8396.25**	2.00	0.046
2009	1503.29	0.38	0.701
2010	5903.31	1.49	0.136
2011	5444.06	1.37	0.171
2012	8154.89**	2.03	0.043
2013	6865.52*	1.70	0.089
2014	2941.88	0.73	0.467
constant	894791.3***	4.16	0.000
Within R^2		0.361	
Between R^2		0.156	
Overall R^2		0.100	
F(29,386)		9.14***	

주: *** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

4. SSP 시나리오별 생산량 예측

가. SSP 시나리오별 기후변화

생산량 예측에 앞서 본 연구에 사용한 김과 미역을 생산하는 지역의 2001~2014년 월별 평균 수온, 기온, 강수량, 염분과 SSP 시나리오별 기후변화를 살펴보았다.

<표 IV-7> 평균 수온과 SSP 시나리오별 수온 상승 변화

(단위: °C)

월	평균수온	2050년			2100년		
		SSP126	SSP245	SSP585	SSP126	SSP245	SSP585
1월	9.5	10.5	11.1	11.6	11.2	12.6	14.4
2월	8.1	9.3	9.8	10.2	10.2	10.9	13.5
3월	8.3	10.2	9.8	10.4	10.6	11.2	13.7
4월	10.2	12.3	11.7	12.0	12.5	13.3	15.8
5월	13.3	15.3	15.0	15.3	15.5	16.6	19.1
6월	17.2	19.4	19.1	19.3	19.6	20.7	23.3
7월	20.5	22.6	22.8	23.2	23.2	23.8	26.3
8월	22.7	25.0	24.8	25.4	25.3	26.0	28.3
9월	21.4	23.3	23.7	24.2	24.2	24.8	27.3
10월	18.5	20.2	20.5	20.8	20.7	21.4	23.9
11월	15.2	16.8	17.2	17.4	17.2	18.8	20.9
12월	12.1	13.4	13.8	14.3	13.8	15.3	17.1
평균	14.8	16.5	16.6	17.0	17.0	18.0	20.3

자료: 기상청 기후정보포털, <http://www.climate.go.kr/>, 검색일: 2022.08.18.

2050년의 SSP 126 시나리오에서는 수온이 $1.42\sim 2.38^{\circ}\text{C}$ 가량 상승하는 것으로 나타났으며, SSP 585 시나리오에서는 $2.03\sim 2.68^{\circ}\text{C}$ 의 수온 상승이 발생하는 것으로 나타났다. 2100년의 수온은 2050년의 수온 상승과 비교하여 높은 수온 상승률이 나타나는 것을 확인할 수 있는데, 2100년의 6월 수온 상승변화에 주목해보면 585 시나리오에서는 최대 6.01°C 까지 상승하는 것으로 나타났다.

현재 22°C 이하가 되는 시기인 9월 중순에서 10월 초 김 양식이 시작되지만, 2050년에는 10월 초~10월 말, 2100년에는 10월 말~11월 초까지 김 양식 시작 시기가 늦어질 것으로 판단된다. 미역도 마찬가지로 생산시기는 짧아지고, 생산량은 감소할 것으로 판단된다.

기온변화를 살펴보면 2050년의 SSP 126 시나리오에서는 기온이 $0.81\sim 3.01^{\circ}\text{C}$ 가량 상승하는 것으로 나타났으며, SSP 585 시나리오에서는 $2.07\sim 3.99^{\circ}\text{C}$ 가량 기온이 상승하는 것으로 나타났다. 특히 여름기간의 기온 상승이 크게 나타났으며, 2100년의 기온은 크게 증가하는 것으로 예측되었다. SSP 245 시나리오에서도 최소 3.37°C 에서 최대 4.39°C 까지 기온이 상승하며, SSP 585 시나리오에서 9월의 기온은 7.5°C 까지 상승하는 것으로 나타났다.

온실가스 배출량이 가장 적고 화석연료 사용을 최소화해 환경친화적인 경제성장을 가정한 SSP 126 시나리오에서도 수온 및 기온의 상승은 불가피하게 발생하며, SSP 585 시나리오에서는 높은 상승률을 보인다.

<표 IV-8> 평균 기온과 SSP 시나리오별 기온 상승 변화

(단위: °C)

월	평균기온	2050년			2100년		
		SSP126	SSP245	SSP585	SSP126	SSP245	SSP585
1월	3.13	3.94	5.16	5.43	5.27	7.00	9.84
2월	3.66	6.04	6.29	6.51	7.20	7.12	11.06
3월	7.08	9.52	8.88	9.25	10.03	10.45	14.06
4월	11.61	14.09	12.83	13.68	14.15	15.39	17.85
5월	15.95	18.23	18.21	18.34	18.28	19.83	22.76
6월	20.47	22.97	22.78	23.12	23.14	24.40	27.37
7월	23.75	26.08	26.55	27.07	27.05	27.42	30.54
8월	25.22	28.23	28.14	29.21	28.42	29.09	32.07
9월	22.01	24.50	24.97	25.40	25.26	26.39	29.51
10월	17.09	19.31	19.93	19.96	19.33	20.80	23.97
11월	11.48	12.65	13.36	14.23	13.06	15.87	18.25
12월	6.13	7.45	8.76	8.98	8.05	10.03	12.04
평균	13.96	16.08	16.32	16.77	16.60	17.82	20.78

자료: 기상청 기후정보포털, <http://www.climate.go.kr/>, 검색일: 2022.08.18.

2050년의 강수량 변화를 살펴보면 SSP 126, 585 시나리오에서는 대체적으로 여름기간의 강수량이 감소하며, SSP 245 시나리오에서는 증가하는 것으로 나타났다. 평균 강수량의 큰 변화는 발생하지 않으나 계절별 또는 월별 편차가 발생하는 것으로 보인다.

2100년의 강수량은 전체적으로 증가하는 것으로 나타났다. 2050년의 예측값과 마찬가지로 월별의 강수량 증감폭 편차가 심화된 것으로 나타났다.

<표 IV-9> 평균 강수량과 SSP 시나리오별 강수량 변화

(단위: mm)

월	평균 강수량	2050년			2100년		
		SSP126	SSP245	SSP585	SSP126	SSP245	SSP585
1월	59.5	64.5	65.0	43.0	63.9	81.3	75.9
2월	75.8	78.3	71.7	88.2	78.8	66.9	147.2
3월	106.5	104.9	98.1	76.7	147.4	128.0	112.9
4월	135.6	127.6	114.8	110.6	117.3	173.9	187.0
5월	112.7	127.8	74.8	114.2	124.3	203.2	239.4
6월	140.1	87.0	143.5	118.6	164.2	108.9	126.2
7월	242.4	226.6	302.7	219.1	272.4	258.1	386.4
8월	222.4	189.8	208.4	115.8	230.9	184.7	295.4
9월	113.1	135.0	160.6	131.9	221.0	147.7	107.6
10월	53.2	62.2	49.5	42.3	75.0	39.8	44.3
11월	75.4	59.4	60.9	70.8	68.6	102.3	58.0
12월	79.8	78.9	96.3	68.6	64.9	97.1	76.8
평균	118.1	111.8	120.5	100.0	135.7	132.7	154.8

자료: 기상청 기후정보포털, <http://www.climate.go.kr/>, 검색일: 2022.08.18.

2050년의 염분의 변화량 수치를 살펴보면 SSP 126 시나리오에서는 0.2psu에서 0.5psu 감소하며, SSP 585 시나리오에서는 최소 0.1psu에서 0.8psu 감소하는 것으로 나타났다. 2100년의 SSP 585 시나리오에서도 1.3~2.5psu가량 변화하는 등 변화량 수치는 크지 않으나 대체적으로 감소하는 것으로 나타났다.

<표 IV-10> 평균 염분과 SSP 시나리오별 염분 변화

(단위: psu)

월	평균 염분	2050년			2100년		
		SSP126	SSP245	SSP585	SSP126	SSP245	SSP585
1월	29.8	29.5	29.6	29.6	29.1	29.2	28.4
2월	30.0	29.8	29.9	29.9	29.3	29.4	28.7
3월	30.2	29.9	30.1	30.1	29.5	29.6	28.8
4월	30.1	29.8	30.1	30.1	29.6	29.5	28.8
5월	29.9	29.5	29.9	29.7	29.4	29.1	28.4
6월	29.6	29.2	29.6	29.3	28.9	28.7	27.8
7월	29.0	28.5	28.9	28.5	28.3	28.2	26.8
8월	28.6	28.2	28.3	27.9	27.4	27.8	26.1
9월	28.6	28.3	28.1	27.8	27.2	27.7	26.3
10월	29.0	28.8	28.8	28.4	28.1	28.2	27.2
11월	29.3	29.0	29.3	28.7	28.7	28.5	27.5
12월	29.5	29.3	29.6	29.0	29.1	29.0	28.1
평균	29.5	29.2	29.4	29.1	28.7	28.7	27.7

자료: 기상청 기후정보포털, <http://www.climate.go.kr/>, 검색일: 2022.08.18.

나. SSP 시나리오별 김 생산량 예측

앞선 패널 회귀분석 결과와 SSP 시나리오별 기후변화 예측값 결과를 바탕으로 김과 미역의 생산량 변화 예측분석을 실시하였다. 먼저 수온에 대한 영향력만을 살펴보기 위해 수온의 변화값을 이용해 분석하였다.

2050년의 김 생산량 예측결과를 살펴보면, 기후변화를 가장 완화시킨 SSP 126 시나리오에서는 21%, SSP 585 시나리오에서는 29% 감소하는 것으로 분석되어 시나리오간 차이는 근소한 것으로 나타났다. 중간 단계의 시나리오인 SSP 245 시나리오에서 김은 21.6% 감소하며, 대부분의 시나리오에서 11월의 김 생산량 감소율이 높은 것으로 분석되었다.

<표 IV-11> 2050년 표층수온 시나리오별 김 생산량 예측

(단위: 톤)

월	2001~2014년 월 평균 생산량	2050년		
		SSP126	SSP245	SSP585
1월	45,635	43,254 (-5.2%)	38,893 (-14.8%)	35,092 (-23.1%)
2월	52,744	47,449 (-10.0%)	44,495 (-15.6%)	41,791 (-20.8%)
3월	62,956	51,888 (-17.6%)	55,820 (-11.3%)	51,528 (-18.2%)
4월	30,102	11,584 (-61.5%)	18,805 (-37.5%)	16,673 (-44.6%)
11월	14,932	6,351 (-57.5%)	3,709 (-75.2%)	2,213 (-85.2%)
12월	38,162	32,594 (-14.6%)	30,103 (-21.1%)	26,407 (-30.8%)
계	244,533	193,118 (-21.0%)	191,824 (-21.6%)	173,705 (-29.0%)

2100년의 김 생산량은 SSP 126 시나리오에서 30.5%, SSP 245 시나리오에서 48.7%, SSP 585 시나리오에서 76.5% 감소하는 것으로 분석되었다. 앞선 2050년의 시나리오별 생산량 감소의 편차는 다소 크지 않은 것으로 나타났으나, 2100년의 생산량은 시나리오별 편차는 매우 큰 것으로 나타났다. 이는 현재 온실가스 배출감소와 기후변화 완화정책의 효과가 짧은 미래에는 크게 차이가 나지 않으나, 시간이 흘러갈수록 생산량의 격차가 크게 벌어지는 것으로 풀이된다.

또한, 11월과 4월의 생산량 감소율이 두드러지게 큰 것으로 분석되었으며, 이는 앞선 수온 상승 변화에서 살펴보았듯이 김 생산 가능 시기가 늦어지게 되어 2100년의 11월에는 김을 생산하지 못하는 것을 반영한 결과로 판단된다.

<표 IV-12> 2100년 표층수온 시나리오별 김 생산량 예측

(단위: 톤)

월	2001~2014년 월 평균 생산량	2100년		
		SSP126	SSP245	SSP585
1월	45,635.4	37,974 (-16.8%)	26,904 (-41.0%)	12,512 (-72.6%)
2월	52,744.2	40,121 (-23.9%)	34,881 (-33.9%)	15,181 (-71.2%)
3월	62,956.4	48,717 (-22.6%)	44,087 (-30.0%)	25,327 (-59.8%)
4월	30,102.3	10,013 (-66.7%)	1,840 (-93.9%)	0 (-100.0%)
11월	14,931.8	3,404 (-77.2%)	0 (-100.0%)	0 (-100.0%)
12월	38,161.9	29,649 (-22.3%)	17,815 (-53.3%)	4,352 (-88.6%)
계	244,532.9	169,877 (-30.5%)	125,528 (-48.7%)	57,373 (-76.5%)

다음으로 기후변화의 요소가 김 생산량에 미치는 영향력을 각각 살펴보았다. 수온과 기온은 김 생산량과 부정적인 관계로 나타나 감소시키는 요인이며, 염분은 감소할수록 생산량을 증가시키는 것으로 분석되었다.

그러나 수온의 영향이 크게 미치는 것으로 나타나 전체적인 생산량은 감소하는 것으로 나타났다. SSP 시나리오의 단계가 심화할수록 생산량은 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 2050년에는 최대 27.2% 감소하며, 2100년에는 최대 61.6% 감소하는 것으로 나타났다.

<표 IV-13> 기후요소 시나리오별 김 생산량 예측

(단위: 톤)

구분	2050년			2100년		
	SSP126	SSP245	SSP585	SSP126	SSP245	SSP585
수온	-51413.4 (-21.0%)	-52707.8 (-21.6%)	-70827.3 (-29.0%)	-74654.6 (-30.5%)	-128951.8 (-48.7%)	-235174.0 (-76.5%)
염분	16262.3 (+6.7%)	4580.7 (+1.9%)	16837.9 (+6.9%)	35638.4 (+14.6%)	38409.5 (+15.7%)	94436.8 (+38.6%)
기온	-8745.2 (-3.6%)	-10801.2 (-4.4%)	-12426.6 (-5.1%)	-12426.6 (-5.1%)	-11289.6 (-4.6%)	-36837.5 (-15.1%)
생산량 영향	-43896.3 (-18.0%)	-58928.3 (-24.1%)	-66415.9 (-27.2%)	-50305.8 (-20.6%)	-110394.1 (-43.1%)	-177574.7 (-61.6%)

다. SSP 시나리오별 미역 생산량 변화 예측

김과 마찬가지로 먼저 미역 생산량에 대해 수온의 시나리오별 월별 생산량 변화를 살펴보았다. 예측결과를 보면, 2050년의 SSP 126 시나리오에서 생산량은 11.0%, SSP 245 시나리오에서는 10.0% 감소하였으며, SSP 585 시나리오에서는 15.8% 감소하는 것으로 나타났다.

특히 미역은 김과 달리 모든 시나리오에서 11월의 미역 생산량이 100% 감소하는 것으로 분석되었다. 미역은 22°C 이하가 될 때 생산을 시작하는 김과 달리 20°C 이하가 되는 시기에 미역 양식을 시작하기 때문에 김과 비교하여 생산 시기가 늦다. 현재 미역 생산도 10월의 중하순 시기 미역 양식이 시작되기 때문에 앞으로 수온이 상승할 경우 생산시기는 더 늦어질 것으로 전망되어 이와 같은 현상이 반영된 결과라고 판단된다.

한편 SSP 126 시나리오에서의 생산량 감소율은 SSP 245 시나리오에서의 감소율보다 더 높게 나타났다. 이는 [그림 II-7]의 그림에도 나타나듯이 가까운 미래일 경우 고탄소 시나리오의 수온의 값이 저탄소 시나리오의 경우보다 오히려 낮게 나타나는 경우가 존재할 수 있다. 따라서 이와 같은 현상이 반영된 결과로 풀이된다.

<표 IV-14> 2050년 표충수온 시나리오별 미역 생산량 예측

(단위: 톤)

월	2001~2014년 월 평균생산량	2050년		
		SSP126	SSP245	SSP585
1월	30,909.0	32,082.2 (+3.8%)	29,437.6 (-4.8%)	27,688.2 (-10.4%)
2월	87,047.9	86,641.0 (-0.5%)	83,310.6 (-4.3%)	80,870.0 (-7.1%)
3월	132,600.8	121,379.5 (-8.5%)	124,852.5 (-5.8%)	117,517.9 (-11.4%)
4월	25,403.2	7,628.3 (-70.0%)	14,890.8 (-41.4%)	11,088.4 (-56.4%)
11월	3,460.9	0 (-100.0%)	0 (-100.0%)	0 (-100.0%)
12월	18,977.0	17,937.9 (-5.5%)	16,018.9 (-15.6%)	14,198.5 (-25.2%)
계	298,398.9	265,668.9 (-11.0%)	268,510.3 (-10.0%)	251,362.8 (-15.8%)

2100년의 미역 생산량 변화 예측결과, SSP 126 시나리오에서는 16.6%, SSP 245 시나리오에서 24.4%, SSP 585 시나리오에서 32.2% 감소하는 것으로 분석되었다.

분석결과를 보면 김의 예측 변화율과 비교하여 전반적으로 감소율이 낮고 고탄소 시나리오인 SSP 585 시나리오에서도 감소율이 다소 높지않은 것으로 나타났다. 그러나 미역의 생산량의 4월과 11월의 감소율이 크게 나타났다는 것에 주목하여야 한다. 앞서 설명하였듯이 미역 양식을 시작하기에 적합한 적정 수온이 미역은 김과 비교하여 더 낮기 때문에 미역 양식을 더 늦게 시작하며 또 빨리 생산을 조기 종료한다. 본 분석결과와 마찬가지로 이 때문에 미역은 생산 가능시기가 더 짧아짐을 의미하는 것으로 풀이되며, 이는 미역 생산환경 및 미역의 품질에도 좋지 않은 영향을 끼칠 것으로 판단된다.

<표 IV-15> 2100년 표층수온 시나리오별 미역 생산량 예측

(단위: 톤)

월	2001~2014년 월 평균 생산량	2100년		
		SSP126	SSP245	SSP585
1월	30,909.0	29,333.9 (-5.1%)	26,059.8 (-15.7%)	27,042.3 (-12.5%)
2월	87,047.9	81,446.6 (-6.4%)	77,901.7 (-10.5%)	73,146.7 (-16.0%)
3월	132,600.8	116,182.0 (-12.4%)	110,048.0 (-17.0%)	90,028.4 (-32.1%)
4월	25,403.2	5,685.5 (-77.6%)	0 (-100.0%)	0 (-100.0%)
11월	3,460.9	0 (-100.0%)	0 (-100.0%)	0 (-100.0%)
12월	18,977.0	16,074.3 (-15.3%)	11,715.7 (-38.3%)	12,085.0 (-36.3%)
계	298,398.9	248,722 (-16.6%)	225,725 (-24.4%)	202,302 (-32.2%)

다음으로 기후변화의 요소별 미역의 생산량에 미치는 영향력을 각각 살펴본 결과, 김과 마찬가지로 수온과 기온은 미역 생산량과 부정적인 관계로 나타났으며, 염분은 감소할수록 강수량은 증가할수록 생산량을 증가시키는 것으로 분석되었다. 김과 달리 앞선 고정효과모형 분석결과에서 기온의 p값은 0.117로 10% 내에서 유의하지 않은 것으로 나타났다. 그러나 p값이 10%에서 크게 벗어나지 않은 점, 기온 또한 수온과 함께 미역 생산량에 중요한 영향력을 미치는 요소인 점 등의 이유로 함께 결과를 살펴보기 위하여 추가하여 분석하였다.

그 결과, 2050년 수온과 기온의 영향으로 미역 생산량은 각각 최소 11.0~5.2% 감소하였으며 최대 15.8~7.4% 감소시키는 것으로 나타났다. 2100년의 수온과 기온의 상승폭은 더욱 증가하여 최대 32.2~18.1% 감소하는

것으로 나타났다. 염분에 대해서는 2050년의 염분은 2001~2014년의 염분과 비교해 상승하여 미역 생산량을 감소시켰으나, 2100년에는 감소하여 미역 생산량을 증가시킨 것으로 나타났다. 강수량은 2050년의 SSP 585 시나리오의 값을 제외하고 미역 생산량을 증가시키는 것으로 나타났다.

<표 IV-16> 기후요소 시나리오별 미역 생산량 예측

(단위: 톤)

구분	2050년			2100년		
	SSP126	SSP245	SSP585	SSP126	SSP245	SSP585
수온	-35480.1 (-11.0%)	-35105.2 (-10.0%)	-53303.3 (-15.8%)	-54906.5 (-16.6%)	-86894.2 (-24.4%)	-129173.5 (-32.2%)
염분	-35327.9 (-11.1%)	-84540.1 (-24.0%)	-51985.7 (-17.3%)	-7176.4 (-2.4%)	-10900.5 (-3.7%)	68732.2 (+23.0%)
강수량	905.7 (+0.3%)	394.8 (+0.1%)	-2377.3 (-0.8%)	3778.8 (+1.3%)	9940.5 (+3.3%)	12262.2 (+4.1%)
기온	-15609.4 (-5.2%)	-18463.9 (-6.2%)	-22712.5 (-7.4%)	-22206.4 (-7.4%)	-34574.0 (-10.5%)	-60924.2 (-18.1%)
생산량 영향	-85511.8 (-24.8%)	-137714.4 (-36.0%)	-130378.7 (-37.6%)	-80510.5 (-23.7%)	-122428.2 (-34.3%)	-109103.2 (-29.1%)

5. 경제적 영향 분석

SSP 시나리오에 따라 분석한 해조류 생산량 결과를 바탕으로 AH 분석 방법을 이용하여 기후변화에 따라 감소하는 사회적 편익을 산정하였다. 분석에 사용한 해조류의 수요탄성치와 공급탄성치는 각각 -0.475, 0.258이다.¹⁷⁾ 분석결과, 2050년 김의 SSP 126 시나리오와 SSP 245 시나리오에서는 사회적 잉여가 337억 원 감소하는 것으로 추정되었다. SSP 585에서는 소비자잉여의 감소가 916억 원 감소하고 생산자잉여가 539억 원 감소하여 사회적 잉여는 총 376억 원 감소하는 것으로 나타났다. 2100년에는 SSP 126 시나리오에서 사회적 잉여는 292억 원 감소하며 SSP 245 시나리오에서는 563억 원 감소하는 것으로 분석되었다. SSP 585 시나리오에서는 소비자잉여가 3,393억 원 감소하고 생산자잉여가 2,616억 원 증가하여 총 사회적 잉여는 777억 원 감소하는 것으로 도출되었다.

미역에 대한 사회적 잉여 추정결과, 2050년의 SSP 126 시나리오에서는 138억 원, SSP 245 시나리오에서는 159억 원 감소하며, SSP 585 시나리오에서는 148억 원 감소하는 것으로 분석되었다. 2100년의 사회적 잉여 추정결과, SSP 126 시나리오에서는 97억 원, SSP 245 시나리오에서는 137억 원 감소하며, SSP 585 시나리오에서는 133억 원 감소하는 것으로 나타났다.

17) 이현동 외(2018), “수산부문 전망모형 KMI-FOSiM 구축연구(1/2) - 양식산업 전망모형 구축을 중심으로-”.

<표 IV-17> 사회적 잉여 분석결과

(단위: 백만 원)

월		2050년			2100년		
		SSP126	SSP245	SSP585	SSP126	SSP245	SSP585
김	CS	-77,013	-78,726	-91,636	-64,930	-174,942	-339,318
	PS	+43,302	+44,976	53,999	35,723	118,551	261,607
	TS	-33,710	-33,750	-37,637	-29,207	-56,390	-77,711
미역	CS	-38,564	-51,980	-46,417	-23,941	-40,977	-39,032
	PS	24,733	36,080	31,561	14,225	27,206	25,661
	TS	-13,831	-15,900	-14,856	-9,717	-13,771	-13,370

V. 결론

1. 연구결과 요약 및 시사점

본 연구에서는 기후변화가 해조류 생산량에 미치는 영향을 패널모형을 이용하여 분석하였다. 표층수온, 표층염분, 기온, 강수량, 양식면적을 설명변수로 김과 미역 생산량을 종속변수로 하는 패널데이터를 구축하였으며, 지역의 고유한 특성을 통제하기 위해 고정효과모형을 분석에 사용하였다. 회귀분석 결과를 바탕으로 SSP 시나리오를 바탕으로 시나리오별 기후변화요소의 예측값에 따라 해조류의 생산량에 어떠한 영향을 미치는지 분석하였다. 이에 더해 AH법을 이용하여 생산량 변화에 따른 사회적 잉여의 변화분을 추정하였다.

분석결과를 요약하면 다음과 같다. 김 생산량에 대한 패널모형의 분석 결과는 표층수온, 강수량변수를 제외한 변수들이 통계적으로 유의한 것으로 분석되었다. 표층수온과 김 생산량은 선형적으로 음(-)의 관계가 있는 것으로 분석되어 표층수온이 상승할수록 김 생산량은 감소하는 것으로 나타났다. 기온, 표층염분 변수도 마찬가지로 음(-)의 방향으로 유의한 변수로 나타났다. 김 양식면적과는 양(+)의 방향으로 유의한 것으로 나타났으며 면적이 증가할 경우 김 생산량이 증가하는 것으로 나타났다.

미역의 패널모형 분석결과, 기온은 유의하지 않은 변수로 나타났으며, 표층수온, 강수량은 양(+)의 방향으로, 표층수온, 표층염분은 음(-)의 방향으로 유의한 변수로 나타났다. 표층수온변수와 표층수온, 강수량의 계수의 부호가 서로 다르게 나타났으며, 미역 생산량이 일정 수온의 수준

까지 감소하다가 해당 월의 적정 임계값 수준을 초과할 경우 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 11~4월의 평균 수온은 해당 월의 임계값까지 도달하지 못하기 때문에 수온이 상승할수록 미역 생산량은 감소하는 것으로 해석된다. 강수량과 미역 생산량은 양의 방향으로 선형적인 관계가 있는 것으로 나타났으며, 이는 강수량이 증가할 경우 영양염류의 유입이 증가하기 때문에 미역 생산량 또한 증가하는 것으로 해석된다. 표층염분과 양식면적은 미역 생산량과 음의 관계가 나타나는 것으로 분석되었다.

다음으로 분석결과를 바탕으로 SSP 시나리오별 표층수온 예측값을 사용하여 김과 미역의 생산량을 예측하였다. 그 결과, 김 생산량은 2050년의 SSP 245 시나리오에서 21.6% 감소하는 것으로 분석되었으며, SSP 585 시나리오에서는 29.0% 감소하는 것으로 나타났다. 2100년에는 SSP 245 시나리오에서 48.7%, SSP 585 시나리오에서 76.5 % 감소하는 것으로 나타나 평균 생산량의 약 50% 이상 감소하는 것으로 나타났다. 고정효과분석에서 유의하게 나온 변수 염분과 기온의 예측값을 모두 더하여 분석한 결과로는 2050년 SSP 245 시나리오에서 24.1%, SSP 585 시나리오에서 27.2% 감소하는 것으로 추정되었다. 2100년의 결과로는 SSP 245 시나리오에서 43.1%, SSP 585 시나리오에서 61.6% 감소하는 것으로 분석되었다.

미역의 표층수온 시나리오별 생산량 변화 예측결과, 2050년, 2100년의 모든 시나리오에서 11월 미역의 생산량은 100% 감소하는 것으로 나타났다. 김과 마찬가지로 수온, 염분, 강수량, 기온의 예측값을 모두 포함한 결과로는 2050년에 최소 24.8~37.6% 감소하며, 2100년에는 23.7~34.3% 감소하는 것으로 추정되었다.

마지막으로 생산량 감소 분석의 결과를 바탕으로 AH법을 이용하여 사회적 편익의 변화량을 추정하였다. 그 결과, 김은 2050년에 337억~376억 원의 사회적 편익의 감소가 발생하는 것으로 추정되었고, 2100년에는 292

억~777억 원의 사회적 편익이 감소하는 것으로 추정되었다. 미역에 대한 분석결과, 2050년에는 138억~159억 원 감소하는 것으로 나타났으며, 2100년에는 97억~137억 원의 사회적 편익이 감소하는 것으로 도출되었다.

해조류는 주로 식용, 전복 먹이용, 공업용 및 의료용으로 이용될 뿐만 아니라 기능성 물질원료인 알긴산과 푸코이단의 주요 공급원으로서 산업적으로도 매우 중요하다.¹⁸⁾ 우리나라의 장기적인 수온 상승 경향에 따르면 여름철보다 겨울철 수온 상승이 두드러지게 나타나는데,¹⁹⁾ 김과 미역의 양식은 주로 9~10월에 시작하여 겨울을 중심으로 생산되며, 어류와 달리 이동성이 없고 기후변화에 취약한 해조류 특성상 기후변화는 장기적으로 김과 미역 생산량에 지속적으로 영향을 미칠 것으로 판단된다.

앞서 분석한 결과에 따르면 기후변화의 영향으로 해조류의 생산량은 감소하며, 사회적 편익은 2050년 최소 475억에서 최대 535억 원 감소하는 것으로 나타나 심각한 경제적 손실이 우려된다. 국립수산물과학원에 따르면 최근 11년간 자연재해²⁰⁾에 따른 양식생물(어패류 및 해조류) 피해 규모는 총 2,363억으로 이 중 53%는 고수온으로 인한 것으로 나타났다. 기후변화는 해조류뿐 아니라 수많은 어종에 영향을 미치고 있으며, 이로 인한 경제적 피해는 더욱 증가할 것으로 전망된다. 따라서 고수온 및 이상기후에 대비한 신품종개발, 육상양식시설 확대 등의 대책 마련이 필요하다. 현재 김의 경우 육상채묘를 실시하고 있으나, 기술 부족과 시설 매뉴얼 부재 등으로 육상채묘가 활발히 이루어지지 않고 있는 실정으로 이에 대한 지원 및 시설 확대는 반드시 필요하다고 판단된다.

게다가 최근 해조류를 이용한 바다의 탄소·흡수 고정량을 평가하는 연구들이 활발하게 진행되는 등 해조류는 블루카본의 유력 후보군으로 떠오

18) 국립수산물과학원(2018), 미역양식표준 매뉴얼 발간·배포, 보도자료

19) 국립수산물과학원(2022), 수산분야 기후변화 영향 및 연구보고서

20) 이상수온, 이상조류, 적조현상, 해파리의 대량발생, 태풍 등 자연현상으로 인하여 발생하는 수산 양식물 및 어업용시설의 피해(국립수산물과학원, 2021)

르고 있다. 친환경적인 수산물로 주목받을 뿐만 아니라 온실가스 흡수원
으로서도 중요한 가치가 있는 해조류의 안정적인 생산과 공급을 위해 노
력해야 할 것이다.



2. 연구의 한계 및 의의

본 연구에서는 다음과 같은 의의가 있다. 먼저, 미역과 김을 분석대상으로 하여 기후변화가 미치는 영향에 대한 실증분석을 수행한 것에 의의가 있다. 기존의 선행연구에서는 미역을 대상으로 생산량 예측분석은 존재하지 않았으며, 김 또한 기후변화 요소와 인과성 분석을 실시하는 것에 그쳤다. 본 연구에서는 지역별 김과 미역의 생산 패널데이터를 구축하여 기후변화 요소와 김과 미역 생산량 간의 관계를 실증적으로 분석하였다는 점에서 본 연구의 의의가 있다.

또한, 현재까지의 연구들은 RCP 시나리오를 통한 취약성 및 예측의 분석을 하였으나, 본 연구에서는 RCP 시나리오의 더 발전된 시나리오인 SSP 시나리오를 활용하였다. IPCC 6차 보고서에서 새롭게 등장한 RCP 시나리오에서 사회경제학적 요소를 추가로 고려한 SSP 시나리오를 활용하여 우리나라 해역의 지역별 수온 예측값을 도출하였다. 다음으로 그 값을 이용하여 김과 미역의 생산량을 예측하였으며, 이를 바탕으로 경제적 편익의 감소분을 도출한 것에 의의가 있다.

그러나 본 연구에는 다음과 같은 한계점이 있다. 본 연구에서는 양식면적 자료와 기후 및 해양요소 자료의 한계로 인해 2001년부터 2014년까지의 자료만으로 분석을 시도하였으며, 더 다양한 자연과학적, 사회경제학적 변수를 분석에 포함하지 못한 점에 한계가 있다.

또한, 해조류 생산량 예측에 대한 정확도가 다소 떨어질 수 있다. 본 분석에서 2001~2014년의 표층수온 및 표층염분과 생산량 간의 관계가 일정하게 유지된다는 가정 하에 2100년까지의 SSP 시나리오에 적용하여 생산량을 예측하였다. 그런데, SSP 시나리오의 수온·염분은 관측된 값의 범위를 벗어나므로 생산량과의 관계가 일정하게 유지된다는 가정은 실제와 다

를 수 있다. 2001~2014년의 기후변화 요소들의 값과 비교하여 SSP 126~585 시나리오의 값의 편차는 큰 것으로 나타나는데, 이로 인해 생산량 예측의 정확도가 떨어질 수 있다. 그러나 기후변화 연구의 성격상 이전에는 경험하지 못했던 변화를 다루기 때문에 계량경제학적 방법론으로 연구하는 경우 이러한 한계점은 불가피한 측면이 있다. 따라서 이는 자연과학적인 연구로 보완할 필요가 있다. 향후 장기적으로 해조류와 기후 및 해양 요소에 관한 정밀한 자료가 구축된다면 기후변화가 해조류 양식에 미치는 영향을 더욱 정확하게 예측할 수 있을 것이다.



참고문헌

국내문헌

기상청(2021), 우리나라 109년 기후변화 분석보고서.

김충재(2018), 기후변화가 초래한 수산업의 위기와 강원도의 대응 방향. 강원연구원, 정책메모 2018-20호. pp. 1-3.

국립기상과학원(2020), 한반도 기후변화 전망보고서 2020.

국립수산과학원 남해수산연구소(2016), 넓미역 양식.

_____ (2021), 수산분야 기후변화 평가 백서.

_____ (2022), 수산분야 기후변화 영향 및 연구보고서.

_____ (2022), 어장환경 탄소중립 적용방안과 활용성 기획연구.

김도훈(2013), “기후 및 해양요인과 김 생산량과의 관계에 관한 연구”, 수산경영론집, 44(3), 77-84.

김봉태 · 김대영(2017), “꽃게 방류사업의 경제성 분석”, Ocean and Polar Research, 39(3), 213-219.

김봉태 · 엄기혁 · 이준수 · 박혜진 · 육근형(2015), “공간패널모형을 이용한 연안어업 생산량과 기후변화 요소의 관계에 대한 연구”, 수산경영론집, 45(3), 63-72.

김봉태 · 엄기혁 · 한인성 · 박혜진(2015), “기후요소가 해파리 출현에 미치는 영향 분석”, 수산해양교육연구, 27(6), 1755-1763.

김봉태 · 이준수 · 서영상(2016), “RCP 시나리오에 따른 남해안 어업 및 어종의 기후변화 노출분석: 수온변동을 대상으로”, 수산경영론집, 47(4),

31-44.

김봉태 · 이준수 · 서영상(2018), “RCP 시나리오를 적용한 한국 연근해어업의 기후변화 취약성 평가 남해안지역을 대상으로”, *Ocean and Polar Research*, 40(1), 37-48.

김태형(2020), “기후변화와 김 생산량 간의 인과성 및 김 위판 가격예측모형”, 박사학위논문, 전남대학교.

김태형 · 신종암 · 최상덕(2021), “기후변화가 마로해의 김 양식에 미치는 영향 및 대응방안”, *수산경영론집*, 52(2), 55-67.

농림축산식품부(2021), *농림수산물 수출입동향 및 통계*.

민인식 · 최필선(2019), *STATA 패널데이터 분석(Panel Data Analysis)*, 2nd ed., 지필미디어.

민인식 · 최필선(2019), *STATA 고급 패널데이터 분석(Advanced Panel Data Analysis)*, 2nd ed., 지필미디어.

박영진(2020), “기후변화가 양식어류에 미치는 경제적 영향분석”, 박사학위논문, 건국대학교.

백은영 · 김기완 · 하혜수 · 김대영(2021), “국내산 미역의 수출 활성화 방안”, *한국도서연구* 33(3), 97-116.

이미연 · 홍종호(2016), “패널모형을 이용한 자연재해 피해의 결정요인에 관한 고찰”, *한국방재학회 논문집*, 16(4), 247-257.

이주희 · 김보애(2019), “해조류 청각(*Codium fragile*) 에탄올 추출물의 항산화에 관한 연구, *문화기술의 융합*, 5(4), 467-472.

이용호 · 엄선비 · 송지현(2021), “부모의 사회계층이 자녀의 노동시장 성과에 미치는 영향에 관한 연구 - 고정효과모형을 적용하여”, *한국사회*

복지학, 73(2), 109-131.

전의천 · 한상옥(2019), “식품의 반도체 김 수출산업의 당면과제와 제도적 개선방안”, 통상정보연구, 21(2), 301-319.

이현동 · 하현정 · 성진우 · 이기영 · 강효녕 · 김대영(2018), “수산부문 전망 모형 KMI-FOSiM 구축연구(1/2) - 양식산업 전망모형 구축을 중심으로-”.

한국해양수산개발원(2020), 월간 수산관측&이슈 2020년 1월호.

_____ (2021), 월간 수산관측&이슈 2021년 12월호.

한인성 · 서영상 · 이준수(2013), “부산연안 미역(*Undaria pinnatifida*)양식 생산 예측을 위한장기 해양자료 분석”, 한국수산과학회지, 56(6), 941-947.

해양수산부(2022), 제4차 어장관리 기본계획(2022-2026).

환경부(2020), 한국 기후변화 평가보고서 2020.

해외문헌

Akino, M. & Hayami Y.(1975), “*Efficiency and Equity in Public Research: Rice Breeding in Japan's Economic Development*”, American Journal of Agricultural Economics, 57(1), 1-10.

Ali, U., Wang, J., Ullah, A., Ishtiaque, A., Javed T., & Nurgazina, Z.(2021), *The impact of climate change on the economic perspectives of crop farming in Pakistan: Using the ricardian model*, Cleaner Production, 308, 127219.

- IPCC(2022), *Climate change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press*, 3676pp.
- Kim, B. T., Brown, C. L., & Kim, D. H.(2019), *Assessment on the vulnerability of Korean aquaculture to climate change*, *Marine Policy*, 99, 111–122.
- Takao, S., Kumagai, N. H., Yamano, H., Fujii, M., & Yamanaka, Y. (2015), “*Projecting the impacts of rising seawater temperatures on the distribution of seaweeds around Japan under multiple climate change scenarios*”, *Ecology and Evolution*, 5(1), 213–223.

인터넷

- 기상청 기후정보포털, <http://www.climate.go.kr/>, 기후변화 시나리오, 검색일: 2022.08.18.
- 국립수산물과학원(2018), <https://www.nifs.go.kr/>, “미역양식표준 매뉴얼 발간·배포”, 보도자료, 검색일: 2022.09.27.
- _____ (2022), <https://www.nifs.go.kr/>, “수과원, 올해 김·미역 양식 시작하는 최적 시기 예보”, 보도자료, 검색일: 2022.10.02.
- 데일리안, <https://www.dailian.co.kr/>, “겨울철 이상고온…김·미역·전복 등 해조류 생산에 빨간불, 20%↓”, 검색일: 2022.09.25.
- 온실가스종합정보센터, <http://www.gir.go.kr/home/main.do/>, 온실가스 통계, 검색일: 2022.08.29.

통계청, <https://kosis.kr/>, 어업생산동향조사, 검색일: 2022.07.25.

한국해양수산개발원 수산업관측센터, <https://www.foc.re.kr/>, 해조류 관측
통계, 검색일: 2022.08.26

