기본연구 2022-04

탄소중립이 해양수산업에 미치는 경제적 영향분석 연구

The Economic Impacts of Net Zero on the Ocean Economy

권장한 · 황산산 · 김기수 · 장정인

KMI 한국해양수산개발원
KOREA MARITIME INSTITUTE

저자	**권장한, 황산산, 김기수, 장정인**
내부연구진	연구책임자 권장한 한국해양수산개발원 경제전략연구본부 전문연구원 공동연구원 황산산 한국해양수산개발원 수산정책사업본부 연구원 공동연구원 김기수 한국해양수산개발원 경제전략연구본부 연구원 공동연구원 장정인 한국해양수산개발원 경제전략연구본부 연구위원

연구기간	2022. 1. 1. ~ 2022. 10. 31.

보고서 집필내역

연구책임자	권장한 연구총괄, 제1장 제1절~제2절, 제1장 제3절 일부, 제2장 제2절 일부, 제2장 제3절, 제3장 제1절 일부, 제3장 제2절~제3절, 제4장, 제5장 제1절, 제5장 제2절 일부
내부연구진	황산산 제1장 제3절 일부, 제2장 제1절 일부, 제2장 제2절 일부, 제3장 제1절 일부, 제3장 제2절 일부 김기수 제1장 제3절 일부, 제2장 제1절 일부, 제2장 제2절 일부, 제3장 제1절 일부 장정인 제5장 제1절 일부

산·학·연·정 연구자문위원	김권식 국제금융센터 부장 김재윤 한국은행 과장 박춘원 한양대학교 교수 이동주 부경대학교 교수 이주석 한국해양대학교 교수 강인순 수산경제연구원 책임연구원 구경아 한국환경연구원 연구위원

※순서는 산·학·연·정 순임

발간사

2015년 유엔기후변화협약 당사국총회의 파리협정 채택으로 교토의정서 체제를 넘어 모든 국가가 자국의 여건에 따라 참여하는 보편적인 온실가스 감축 체제가 마련되었다. 우리나라는 국제사회의 기후변화 대응에 동참하고, 파리협정 목표 실현을 위해 범정부적인 노력을 지속해왔다. 우리 정부는 산업 여건을 최대한 반영하는 탄소중립 목표를 설정하기 위해서 2030년까지 2018년 대비 온실가스 40%를 감축하는 2030 NDC (국가결정기여) 수정안을 2021년 12월에 유엔에 제출한 바 있다. 다각적인 정부의 정책적 노력과 다양한 사회적 합의과정에도 불구하고 제조업 중심의 국내 산업구조하에서 탄소중립 달성을 위해서는 보다 단계적인 준비과정이 필요하다. 또한 우리나라는 파리협정 이행 국가 중 재생에너지 사용비중도 낮은 편이기 때문에 에너지 전환을 위한 정부정책이 시급한 실정이다. 이러한 여건하에서 탄소중립을 달성하기 위해서는 목표 이행과정에서 각 산업 부문에서 발생하는 경제적인 측면의 리스크 또는 이행 비용들을 검토할 필요가 있다. 특히 해양수산업은 연안과 해양을 기반으로 한 산업이므로 기후변화에 따른 물리적 영향은 물론 다양한 경제적 영향에 노출되어 있다.

이러한 배경하에 본 연구는 탄소중립 정책에 있어 해양수산분야의 경제적 영향을 평가하는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위해 기후 리스크의 이론적 배경과 사회경제적 파급경로들을 검토하고 해양수산분야의 기후 스트레스 테스트 모형을 구축하여 분석하였다. 분석결과, 해양수산분야 중 선박 및 연료 의존도가 높은 해운업과 수산물생산업의 산업 GDP당 배출량은 국가 GDP당 배출량에 비해 높게 나타났다. 향후 해양수산부문의 탄소중립 로드맵에 따라 세부적인 추진 정책 마련 단계에서 이러한 산업적인 특성을 고려할 필요가 있다.

한편, 본 연구는 보다 설명력 있는 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형을 구축하기 위해서 NGFS 기후 시나리오를 적용하였다. 우리나라 해양수산분야의 4개 산업인 수산물생산업, 수산물 가공업, 해운업, 조선업에 대한 실물부문 영향을 산업 부가가치 측면에서 분석했고 금융부문 영향을 부도확률 측면에서 분석했다. 본 연구에서 시도한 다양한 경제영향 분석은 본 연구가 종료된 후에도 탄소중립 이행을 위한 세부 준비단계에서 시행될 향후 연구들에 기여할 수 있는 중요한 기초연구가 될 것으로 기대한다. 아울러 본 연구는 우리 원이 해양수산업을 중심으로 추진하고 있는 다양한 진단 및

분석체계 구축 과정에 기후변화와 탄소중립 모듈을 추가할 수 있는 디딤돌을 마련해 줄 것으로 예상된다.

끝으로 이 연구의 책임을 맡은 경제전망·데이터연구실의 권장한 박사와 연구진인 황산산 연구원, 김기수 연구원, 장정인 실장의 노고에 깊은 감사를 표한다. 또한 이 연구에 조언을 아끼지 않은 경제전략연구본부의 김민수 본부장을 비롯하여 이 보고서가 발간되기까지 도움을 주신 국제금융센터 김권식 부장, 한국은행 김재윤 과장, 한양대학교 박춘원 교수, 부경대학교 이동주 교수, 한국해양대학교 이주석 교수, 수산경제연구원 강인순 박사, 한국환경연구원 구경아 연구위원께 감사를 드린다.

2022년 12월
한국해양수산개발원
원장 김 종 덕

목차

정책제안 _i

요약 _iii

EXECUTIVE SUMMARY_xxiii

01 서론 _1

제1절 연구 배경 및 목적 1
1. 연구 배경 및 필요성 1
2. 연구 목적 5
제2절 연구 내용과 방법 5
1. 연구 내용 5
2. 연구 방법 9
제3절 선행연구 검토 11
1. 선행연구 결과 13
2. 본 연구의 차별성 27

02 탄소중립 정책동향_29

제1절 주요국 탄소중립 정책 추진현황 30
1. 미국 30
2. 유럽 32
3. 중국 40
제2절 우리나라 탄소중립 정책 현황 42
1. 우리나라 탄소중립 추진 배경 및 개요 42
2. 해양수산분야 탄소중립 정책 현황 51
제3절 소결 63

03 기후 스트레스 테스트의 이론적 프레임워크 _65

제1절 기후리스크 파급경로 및 사회경제적 영향 68
1. 기후리스크 파급경로 68
2. 기후리스크의 실물 및 금융 부문 영향 83

제2절 기후 스트레스 테스트 주요 특징 87
1. 기후리스크 특성 87
2. 기후 스트레스 테스트의 방법론적 차별성 89
3. 기후 스트레스 테스트 분석 절차 94

제3절 소결 및 해양수산 기후 스트레스 테스트 방안 100

04 탄소중립의 경제적 영향분석 _107

제1절 분석 데이터 및 연구 방법 107
1. 분석 데이터 107
2. 해양수산분야 데이터 특성 분석 113
3. 연구 방법 122

제2절 분석 결과 149
1. 실물 부문 영향 149
2. 금융 부문 영향 153
3. 분석 결과 종합 156

제3절 소결 159

05 결론 및 제언 _163

제1절 요약 및 결론 163
1. 연구 요약 163
2. 결론 165

제2절 연구의 기여 및 향후 과제 167

1. 연구의 기여 167
2. 연구 한계 168
3. 향후 과제 171

참고문헌 _179

부록 _191

표 목차

〈표 1-1〉 기후변화 파급경로 ····· 12
〈표 1-2〉 물리적 리스크 관련 주요 선행연구 ····· 18
〈표 1-3〉 정책 리스크 관련 주요 선행연구 ····· 21
〈표 1-4〉 기후 스트레스 테스트 관련 주요 선행연구 ····· 26
〈표 1-5〉 본 연구의 차별성 ····· 28
〈표 2-1〉 미국의 탄소중립 관련 주요 정책 및 내용 ····· 31
〈표 2-2〉 미국 탄소중립을 위한 5대 전략 방향 ····· 32
〈표 2-3〉 유럽그린딜 주요 내용 ····· 33
〈표 2-4〉 Fit for 55의 범주와 주요 정책 ····· 34
〈표 2-5〉 녹색산업혁명의 주요 10대 중점계획 ····· 36
〈표 2-6〉 에너지백서 2020 주요내용 ····· 37
〈표 2-7〉 프랑스 에너지전환법 주요 목표 ····· 38
〈표 2-8〉 에너지기후법 목표 및 주요 내용 ····· 39
〈표 2-9〉 중국 2060 탄소중립 정책 로드맵 ····· 40
〈표 2-10〉 중국 2060 탄소중립 주요 추진 방향 ····· 41
〈표 2-11〉 중국 해양수산분야 탄소중립 주요 추진 방향 ····· 41
〈표 2-12〉 2018년 대비 2050 온실가스 배출량 총괄표 ····· 45
〈표 2-13〉 해양수산분야 5대 부문별 2050 탄소중립 시나리오 ····· 47
〈표 2-14〉 해양수산분야 5대 부문 추진목표 ····· 50
〈표 2-15〉 친환경 에너지 절감장비 보급 사업 내용 ····· 51
〈표 2-16〉 친환경 에너지절감형 어선 기술개발(R&D) 사업 내용 ····· 52
〈표 2-17〉 해양수산부 어촌활력증진 지원(탄소중립형)사업 내용 ····· 53
〈표 2-18〉 친환경에너지 보급 및 용수관리 사업 내용 ····· 55
〈표 2-19〉 친환경 항만하역장비 구축 지원사업 내용 ····· 56
〈표 2-20〉 친환경 고효율 선박 확보 지원사업 내용 ····· 57
〈표 2-21〉 친환경선박 보급촉진 사업 내용 ····· 58
〈표 2-22〉 2022년 산업통상자원부 조선업·수산가공업 주요 탄소중립 지원정책 ··· 59
〈표 2-23〉 2022년 산업통상자원부 친환경선박 개발을 위한 주요 사업 및 내용 ····· 61
〈표 2-24〉 2022년 환경부 주요 탄소중립 정책 ····· 62
〈표 3-1〉 물리적 리스크 예시 ····· 71

〈표 3-2〉 주요 탄소가격제도의 위기와 기회 ····· 76
〈표 3-3〉 주요 기술리스크의 위기와 기회 ····· 80
〈표 3-4〉 우리나라 및 해양수산분야 자연재해 피해 현황 ····· 86
〈표 3-5〉 주요 기관 스트레스 테스트 모형 현황 ····· 90
〈표 3-6〉 거시경제 스트레스 테스트와 기후 스트레스 테스트 비교 ····· 94
〈표 3-7〉 주요국의 기후 스트레스 테스트 접근방식 ····· 99
〈표 4-1〉 해양수산분야 온실가스 배출량 데이터 개요 ····· 110
〈표 4-2〉 온실가스 부문 산업과 산업연관표 기본부문 연계 ····· 111
〈표 4-3〉 온실가스 부문과 산업연관표 기본부문 및 KSIC 연계 ····· 112
〈표 4-4〉 해양수산분야 온실가스 배출량 및 실질 부가가치 ····· 115
〈표 4-5〉 온실가스 및 실물 부문 기초통계량 ····· 119
〈표 4-6〉 금융 부문 기초통계량 ····· 121
〈표 4-7〉 기후 시나리오 특징 ····· 131
〈표 4-8〉 NGFS 기후 시나리오 ····· 132
〈표 4-9〉 기후 시나리오 비교(2050년 기준) ····· 135
〈표 4-10〉 주요 재무적 부도확률 모형 비교 ····· 143
〈표 4-11〉 탄소중립 시나리오별 해양수산분야 실물 부문 분석 결과 ····· 157
〈표 4-12〉 탄소중립 시나리오별 해양수산분야 금융 부문 분석 결과 ····· 158
〈표 부록 1〉 국가온실가스 인벤토리 해양수산분야 활동자료 ····· 193
〈표 부록 2〉 산업부문 온실가스 배출량 조사대상 범위 ····· 194

그림 목차

〈그림 1-1〉 우리나라 온실가스 부문별 배출량 ····· 3
〈그림 1-2〉 분석대상 및 범위 ····· 8
〈그림 1-3〉 연구 세부 내용 및 방법론 ····· 10
〈그림 2-1〉 한국의 2050 탄소중립 선언과 2050 탄소중립 시나리오 수립 과정 ····· 43
〈그림 3-1〉 기후 스트레스 테스트의 이론적 프레임워크 ····· 67
〈그림 3-2〉 온도이상과 온실가스 배출 추이 ····· 69
〈그림 3-3〉 기후변화의 원인과 결과에 따른 기후리스크 ····· 70
〈그림 3-4〉 이행리스크별 위기와 기회 ····· 83
〈그림 3-5〉 기후리스크의 실물 및 금융 부문 영향 ····· 84
〈그림 3-6〉 Climate Risk Index 순위 ····· 85
〈그림 3-7〉 스트레스 테스트 접근방식 ····· 92
〈그림 3-8〉 기후 스트레스 테스트 분석 절차 ····· 95
〈그림 3-9〉 기후 시나리오의 조건 ····· 97
〈그림 3-10〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 구축방안 ····· 104
〈그림 4-1〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형 데이터 구축과정 ····· 108
〈그림 4-2〉 해양수산분야별 GDP당 배출량 추이 ····· 117
〈그림 4-3〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형 구조 ····· 122
〈그림 4-4〉 NGFS 기후 시나리오 체계 ····· 124
〈그림 4-5〉 NGFS 시나리오별 온실가스 배출경로 ····· 127
〈그림 4-6〉 온실가스 배출가격 경로 및 탄소 포집·저장 기술 보급 ····· 128
〈그림 4-7〉 시나리오별 에너지 믹스 경로 ····· 130
〈그림 4-8〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 실물 부문 영향 분석 과정 ····· 136
〈그림 4-9〉 재무적 부도확률 모형 개요 ····· 142
〈그림 4-10〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 금융 부문 분석 과정 ····· 144
〈그림 4-11〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 분석 방법 ····· 148
〈그림 4-12〉 탄소중립 시나리오별 전체 해양수산분야 실물 부문 영향 ····· 150
〈그림 4-13〉 탄소중립 시나리오별 해양수산분야 실물 부문 영향 ····· 152
〈그림 4-14〉 탄소중립 시나리오별 전체 해양수산분야 금융 부문 영향 ····· 154
〈그림 4-15〉 탄소중립 시나리오별 해양수산분야 금융 부문 영향 ····· 155
〈그림 5-1〉 해양수산분야 기후 스트레스 테스트 고도화 방안 ····· 172
〈그림 5-2〉 해양수산 기후 시나리오 작성 방안 ····· 175

약어 목록

- AFOLU(농업, 임업 및 기타 토지 이용분야): Agriculture, Forestry, and Other Land Use
- ARDL(자기시차분포): AutoRegressive Distributed Lag
- ARPA-C(기후고등연구계획국): Advanced Research Projects Agency-Climate
- BAU: Business-As-Usual
- BM: BenchMark
- CBAM(탄소국경조정메커니즘): Carbon Border Adjustment Mechanism
- CCPI: Climate Change Performance Index
- CCS(이산화탄소 포집 및 저장): Carbon Capture and Storage
- CCU(이산화탄소 포집 및 활용): Carbon Capture Utilization
- CCUS(이산화탄소 포집 및 저장·활용): Carbon Capture, Utilization & Storage
- CDR(이산화탄소 제거): Carbon Dioxide Removal
- CGE(연산가능일반균형): Computable General Equilibrium
- CRI: Climate Risk Index
- DD(이중차분법): Difference-in-Difference
- DICE: Dynamic Integrated Climate-Economy
- DOE(미국 에너지부): United States Department of Energy
- DPF(배출가스저감장치): Diesel Particulate Filter
- DSGE(동태확률일반균형): Dynamic Stochastic General Equilibrium
- DTA(총자산 대비 부채비율): Debt-to-Asset ratio
- EIB(유럽투자은행): European Investment Bank
- ETS(온실가스 배출권거래제): Emissions Trading System
- ESG(환경경영): Environmental, Social, Governance
- FSB(금융안정위원회): Financial Stability Board
- GCRI:Global Climate Risk Index

- GF: Grand Fathering
- IAM(통합평가모형): Integrated Assessment Model
- IPCC(기후변화에 관한 정부간 협의체): Intergovernmental Panel on Climate Change
- KSIC(한국표준산업분류코드): Korean Standard Industrial Classification
- LEDS(장기저탄소발전전략): Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies
- LP(국소투영기업): Local Projections
- MDA(다중 판별 분석): Multiple Discriminant Analysis
- NGFS(녹색금융 협의체): Network for Greening the Financial System
- PAGE: Policy Analysis of the Greenhouse Effect
- PPE(에너지다년프로그램): Programmation Pluriannuelle de l'Energie
- RE100: Renewable Energy 100%
- RICE: Regional Integrated Climate-Economy model
- ROA(총자산수익률): Return On total Assets ratio
- SFC: Stock-Flow Consistent
- SNBC(저탄소 국가전략): Strategies Nationale Bas-Carbone
- SVAR(구조형 벡터자기회귀): Structural Vector Autoregressive
- TCFD(기후변화재무정보공개 전담협의체): Task Force on Climate-related Financial Disclosure

정책제안

▌분석 내용 및 방법

1. 본 연구는 해양수산분야 탄소중립 이행리스크 분석 모형인 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형을 구축하고, 탄소중립이 해양수산분야에 미치는 경제적 영향을 최초로 분석

2. 이를 위해 ① 기후리스크 고찰, ② 가용통계 검토, ③ 해양수산분야 온실가스 배출량 분석, ④ 탄소중립 이행의 실물 및 금융 부문 영향 분석을 수행

3. 분석 결과를 토대로 해양수산 기후 스트레스 테스트 고도화 방안 및 해양수산분야 탄소중립 달성을 위한 과제를 제시

▌정책제안

1. 본 연구는 기초연구로서, 해양수산분야 탄소중립 영향 분석을 위한 기본 틀을 제시하였으며, 향후 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형의 기반을 마련하기 위해서는 지속적인 연구가 필요

2. 탄소중립 달성을 위한 과제로는 해양수산분야 기후 시나리오 고도화, 제도적 기반 마련, 핵심기술 개발 및 투자확대를 제안

- (기후 시나리오 고도화) 현재 친환경 기술 보급 수준 및 향후 기술 개발 전망, 온실가스 감축 정책 효과를 반영한 해양수산분야 기후 시나리오 작성을 통해 정부, 학계, 산업계 등 이해관계자들이 공감할 수 있는 감축방안을 마련
- (제도적 기반 마련) 온실가스 의존도가 높은 어업 및 해운업에 탄소가격이 부과될 경우, 탄소가격 지출에 대한 저항이 심할 것으로 예상됨에 따라 탄소가격의 부담을 낮출 수 있는 정부의 세제 개편, 수입 재분배 등의 방안이 필요
- (핵심기술 개발 및 투자확대) 해양그린수소를 활용한 재생에너지 비중 확대 및 해양수산기업의 온실가스 저감 투자에 대한 금융 지원 활성화

요 약

탄소중립이 해양수산업에 미치는 경제적 영향분석

권장한·황산산·김기수·장정인

1. 연구 배경 및 목적

1) 연구 배경

- **2015년 파리협정을 계기로 2050 탄소중립이 국제적인 규범으로 자리 잡음**
  - 우리나라를 비롯한 미국, EU 등 주요국은 2050 탄소중립 달성계획을 마련하여 기후변화를 억제하는 데 노력을 기울이고 있음
- **기업 대상 설문조사 결과에서 기업은 탄소중립의 필요성은 인식하고 있으나 당장은 위기요인으로 작용할 것이라고 평가**
  - 저탄소경제로의 이행은 기후변화로 인한 물리적 피해는 줄일 수 있으나 이행과정에서 발생하는 기술 및 정책 변화는 실물 및 금융 시스템에 영향을 미치게 됨
- **저탄소경제로의 이행이 리스크로 작용할 수 있음을 인식하게 되자 주요국 중앙은행 및 감독기구는 초국가적 기구를 설립하여 기후리스크**

대응체계를 마련하고자 함

- **이러한 우려는 해양수산분야에도 확인할 수 있음**
  - (수산) 해양환경 변화에 따른 수산자원 종조성, 분포, 생태 등 변화
  - (항만) 자연재해로 인한 항만 피해는 물가상승과 공급망 교란을 유발
  - (해운) 국제기구의 환경규제 및 EU의 탄소국경조정제도
- **해양수산분야는 해양이라는 공간을 중심으로 성격이 다른 산업으로 구성되어 있으므로 각 산업에 영향을 주는 기후요인과 그 결과가 다르게 나타남**
- **따라서, 기후변화 현황과 그에 따른 영향, 피해 등은 분야별로 다르게 나타나므로 부문별 영향을 종합적으로 평가하는 것이 매우 중요**

2) 연구 목적

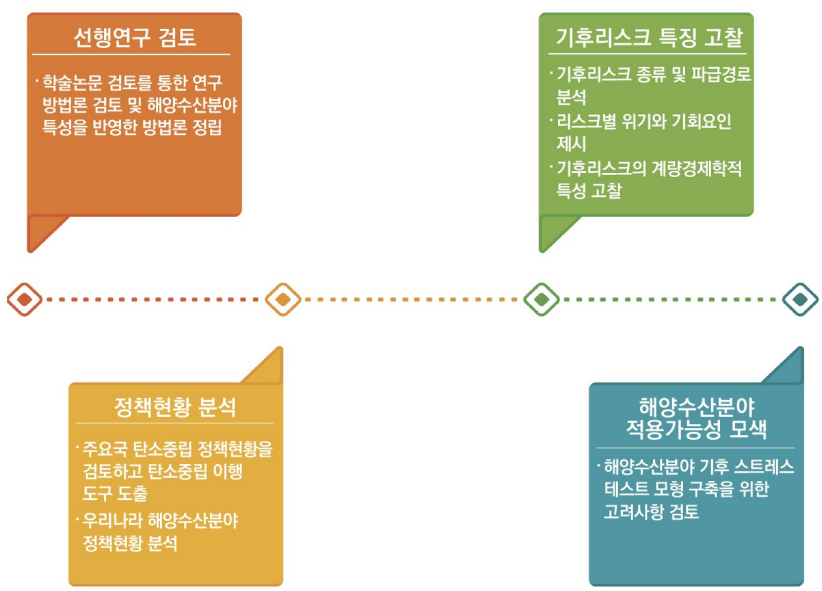
- **본 연구는 2050 탄소중립이 해양수산분야에 미치는 영향을 정량적으로 평가하는 것을 목적으로 함**
  - 이를 위해, 주요국 탄소중립 정책현황을 분석하고 기후리스크의 특성을 고찰하여 해양수산분야 탄소중립 영향 분석 방법론 정립
  - 탄소중립 이행리스크 평가모형인 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형을 구축
  - 연구 결과를 토대로 해양수산분야 탄소중립 실현을 위한 정책 수립에 기초자료를 제공하고, 기후 스트레스 테스트 연구 분야에 학술적으로 기여하고자 함

2. 연구 방법 및 특징

1) 연구 방법

- 본 연구는 기초연구로서 해양수산분야 탄소중립 영향 분석 모형 구축을 위한 이론적 배경 고찰과 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형을 통한 탄소중립 영향 실증 분석 부문으로 구성
  - 연구 결과의 객관성과 재현성(replicability) 확보를 위해 논의과정을 상세히 소개하고, 분석 결과를 바탕으로 해양수산분야 탄소중립 달성을 위한 과제를 도출
- 이론적 배경 고찰은 보고서, 학술논문 등 문헌자료를 중심으로 기후리스크의 특징을 분석하고, 탄소중립 영향 분석에 적합한 방법론을 검토

〈요약 그림 1〉 연구 방법



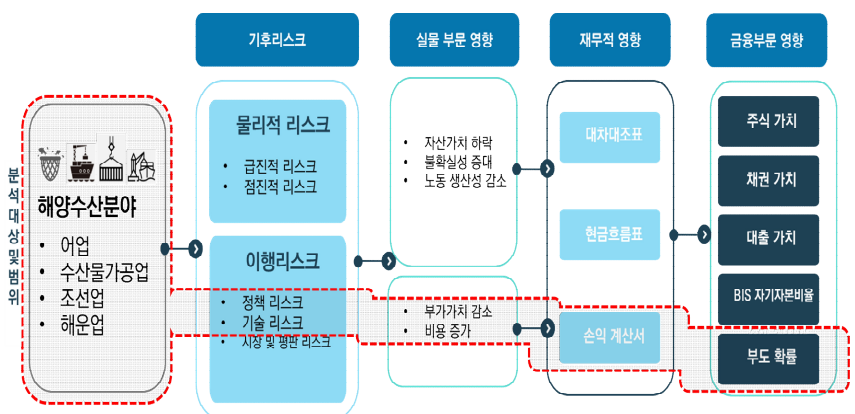
자료: 저자 작성

- (선행연구 검토) 기후리스크에 대한 학술논문을 검토하여 기후리스크 분석 방법론을 검토하고 해양수산분야 특성 및 연구 여건을 반영한 적합한 방법론을 정립
- (정책현황 분석) 주요국의 탄소중립 정책현황 분석 및 주요 정책도구 탐색. 우리나라 해양수산분야 주요 탄소중립 정책현황 분석을 통해 해양수산분야 탄소중립 달성을 위한 이행 방안 고찰
- (기후리스크 특징 고찰) 기후리스크의 종류와 파급경로를 살펴보고, 리스크별 기회와 위기요인을 제시. 모형 설계측면에서 기후리스크의 특성을 고찰
- (해양수산분야 적용가능성 모색) 앞서 논의를 바탕으로 해양수산분야 기후 스트레스 테스트 모형 구축을 위한 고려사항을 검토

▪ **이론적 배경 고찰 및 가용통계 검토를 바탕으로 해양수산 기후 스트레스 테스트 개발에 필요한 모형 구조 및 데이터를 결정하고 모형을 구축**

- (분석대상) 어업, 수산물 가공업, 조선업, 해운업
- (분석경로) 저탄소경제로의 전환에서 발생하는 이행리스크
- (분석범위) 해양수산분야 실물 및 금융 부문

〈요약 그림 2〉 분석대상 및 범위



자료: 저자 작성

- 구축된 모형을 활용하여 탄소중립이 해양수산분야에 미치는 경제적 영향을 실물 부문과 금융 부문을 중심으로 분석

2) 연구 특징

- 선행연구 검토 결과, 기후리스크 관련 연구는 자연환경 변화의 영향을 중심으로 수산업, 항만업 등 특정 분야에 국한되었으며, 탄소중립의 영향을 종합적으로 분석한 연구는 부족한 현실
  - (기후리스크 종류) 기후리스크는 급진적·점진적 자연환경 변화에 의한 물리적 리스크(physical risk)와 탄소중립 이행과정에서 발생하는 이행리스크(transition risk)로 구분
- 탄소중립의 영향을 분석한 연구는 주로 중앙은행이 수행하였으며 탄소중립 이행과정에서 발생하는 경제적 영향이 금융안정성(financial stability)에 미치는 영향을 분석
- 본 연구는 한국은행 기후 스트레스 테스트(BOK climate stress test)에 기초한 다모형(a suite of models)을 활용한 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형 구축
- 본 연구는 해양수산분야에 기후 스트레스 테스트를 최초로 적용했다는 점, 그리고 산업별 특성을 반영하여 탄소중립이 해양수산분야에 미치는 영향을 종합적으로 분석했다는 점에서 차별성을 지님

〈요약 표 1〉 본 연구의 차별성

구분	선행연구		본 연구
연구 대상	• 물리적 리스크	• 수산, 항만, 해운 등 특정분야	• 해양수산분야 포괄 • 해양수산분야 세분화를 통한 분야별 영향 분석
	• 이행리스크	• 거시 금융안정성	
연구 방법	• 물리적 리스크	• 계량경제모형	• 해양수산분야에 특화된 해양수산 기후 스트레스 테스트 구축
	• 이행리스크	• 기후 스트레스 테스트	

자료: 저자 작성

3. 연구 요약 및 결과

1) 연구 요약

(1) 정책현황 분석

▪ **우리나라를 비롯한 주요국은 탄소중립 이행방안으로 에너지 효율개선, 재생에너지 비중확대, CCS 기술 상용화를 제시**

- EU는 적극적으로 탄소가격제도를 활용할 방침

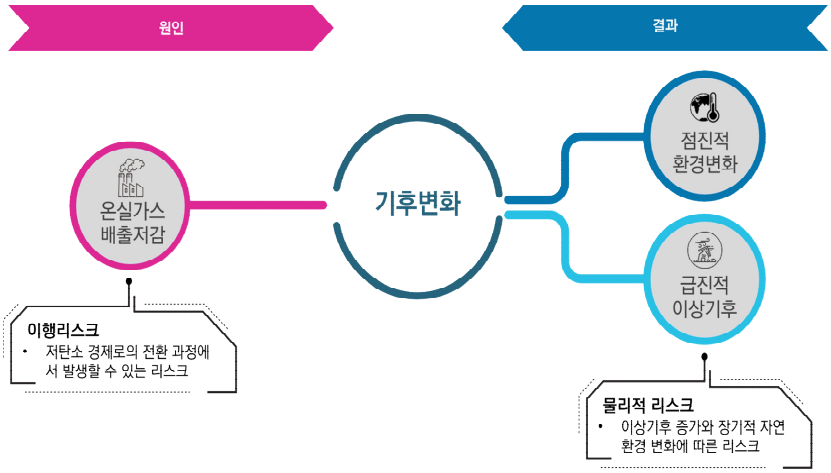
▪ **우리나라 해양수산분야 탄소중립 정책은 주로 공공투자 및 금융지원의 성격을 지님**

- (어업) 친환경 에너지 절감형 장비 보급 및 저탄소 어선 기술 개발 등
- (해운업) 친환경 고효율 선박 확보 및 친환경선박 보급 촉진 등
- (제조업) 저탄소 기술에 대한 인센티브 제공 및 친환경 설비 지원 등

(2) 기후리스크 특징 고찰

▪ **기후변화의 파급경로는 기후변화 원인(이산화탄소 배출)에 의한 이행리스크와 결과(자연환경 변화)에 의한 물리적 리스크로 구분**

〈요약 그림 3〉 기후변화의 원인과 결과에 따른 기후리스크



자료: 저자 작성

가. 물리적 리스크

- **물리적 리스크란 태풍, 해수면 상승 등의 기후변화가 인간과 자연에 초래할 수 있는 사회·경제적 취약성 때문에 발생하는 리스크**
  - (항만) 급진적 리스크에 취약한 분야로서 항만시설이 자연재해로 피해를 입을 경우, 심각한 공급망 교란을 유발할 소지가 있음
  - (수산) 점진적 환경변화의 영향을 받는 분야로서 해양환경변화는 우리나라 주변 해역에서 어획되는 어종의 변화, 어획량 및 어장의 위치변화를 유발

나. 이행리스크

- **이행리스크는 탄소중립과 밀접한 관련이 있는 기후리스크로서 정책(policy)리스크, 기술(technology) 리스크, 시장 및 평판(market and reputation) 리스크로 구분**
  - (정책리스크) 탄소중립 달성을 위한 정책 변화가 일으킬 수 있는 리스크로

시장가격 메커니즘 활용 여부에 따라 시장기반정책과 비시장기반정책으로 구분

※ 대표적인 시장기반정책으로 탄소가격제도가 있으며, 비시장기반정책으로는 직접규제 및 공공부문 투자 등이 있음

- (기술리스크) 탄소중립 대응 과정에서 경제 패러다임 변화는 기술 발전, 혁신에 긍정적인 영향을 주어 기업의 생산성이 확대될 수 있음

※ 에너지 전환 및 CCUS 기술 상용화

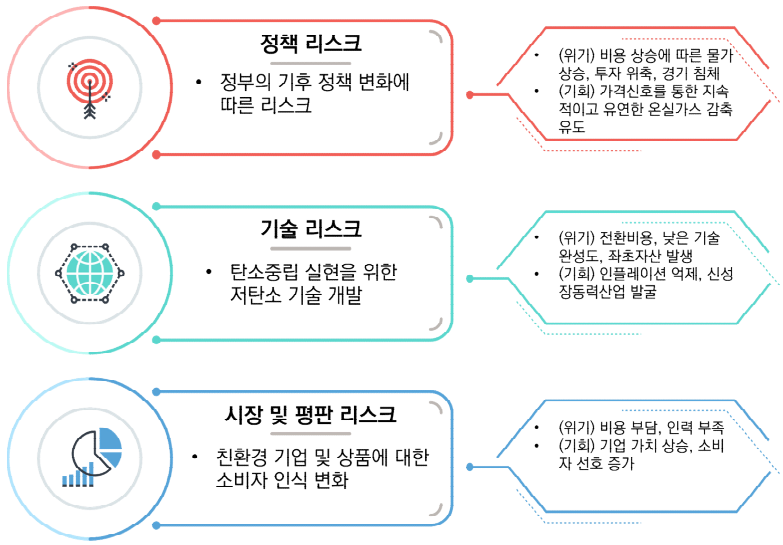
- (시장 및 평판 리스크) 탄소중립의 중요성이 강조됨에 따라 시장 수요가 친환경적인 재화 및 서비스를 선호하는 쪽으로 변할 수 있음

※ RE100, ESG 경영 등

다. 이행리스크별 위기와 기회

- **이행리스크는 위기이자 기회요인으로 작용할 수 있음**
- **(정책 리스크) 탄소가격제도는 가격신호를 통해 지속적이고 유연한 온실가스 감축을 유도한다는 장점이 있지만 탄소가격으로 인한 비용 증가는 인플레이션을 유발할 소지가 있음**
- **(기술 리스크) 저탄소 기술의 개발과 상용화를 통해 정책 리스크로 인한 인플레이션 압력을 줄일 수 있지만 기술전환 과정에서 좌초자산이 발생할 우려가 있음**
  - (해운) 선박의 긴 내구연한으로 인해 연료 유연성을 달성하지 못할 경우 좌초자산이 발생할 소지가 있음
- **(시장 및 평판 리스크) 소비자 선호 변화로 인해 기업가치 상승 등은 기회요인으로 작용할 수 있지만 대응인력 부족과 비용부담은 위기요인으로 작용할 수 있음**

〈요약 그림 4〉 이행리스크별 위기와 기회

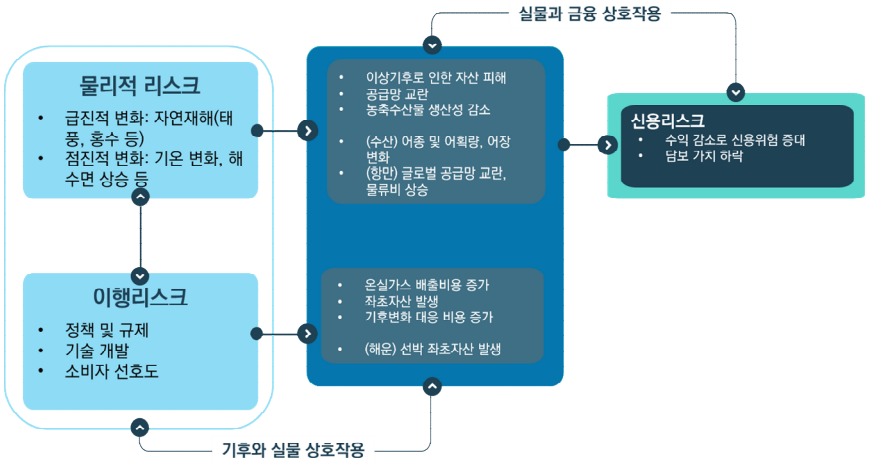


자료: 저자 작성

라. 기후리스크의 실물 및 금융 부문 영향

- 물리적 리스크로 인한 실물 부문 영향에는 자연재해와 같은 급진적 변화로 인한 시설 및 자산 피해로 인한 공급망 붕괴, 점진적 기온 상승으로 인한 농축수산물 생산성 감소 등이 있음
- 이행리스크 영향은 저탄소경제로의 이행과정에서 발생하는 온실가스 배출 비용, 좌초자산 발생 등이 있음
- 우리나라에 대한 기후리스크 평가는 물리적 리스크에 대한 노출은 낮으나 이행리스크에 대한 위험은 높은 것으로 나타남
  - 우리나라의 제조업 중심의 경제구조, 기후변화에 대한 늦은 대응 등이 주요 원인으로 지목됨

〈요약 그림 5〉 기후리스크의 실물 및 금융 부문 영향



자료: 저자 작성

(3) 해양수산분야 적용가능성 모색

가. 방법론적 고찰

- **기후변화의 불확실성, 내생성, 비선형성 등으로 인해 전통적인 계량경제모형 적용이 어려움**
  - 기후리스크 중 이행리스크는 정책 결정, 산업 대응, 기술 혁신, 소비자 반응 등이 복잡하게 얽힌 상호작용의 결과
  - 미래에 일어날 기후변화는 피해 규모나 속도의 예측이 불가능한 전례 없는 현상(unprecedented phenomenon)일 것이고, 그로 인해 영향 분석을 위한 과거의 경험이 부족
- **이러한 기후리스크 모형 설계의 대안으로 각국 중앙은행 및 감독기구는 기후 스트레스 테스트를 활용하고 있음**
  - (분석목적) 다양한 시나리오 적용을 통해 예상되는 기후 및 정책 변화의 영향을 평가하여 경제주체의 기후대응역량을 강화

- (분석기간) 탄소중립이 달성되는 향후 30~70년
- (분석방법) 가상 시나리오를 통한 시나리오 분석

나. 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형 구축방안

- **기후 스트레스 테스트 분석 절차는 ① 분석대상 설정, ② 시나리오 구성, ③ 분석모형 설계, ④ 영향 평가로 이루어짐**
  - (분석대상 설정) 연구 목적에 따라 기후리스크 분석대상을 설정하고, 분석대상의 기후리스크 노출정도를 파악하여, 분석범위를 결정
  - (시나리오 구성) 개연성과 현실 가능성이 담보된 기후 시나리오 적용
  - (분석모형 설계) 기후리스크에 노출되는 정도를 고려하여 방법론 및 데이터, 모형의 주요 가정을 선택
  - (영향 평가) 분석 결과를 이해관계자 및 학계와 공유함으로써 기후리스크에 대한 사회적 공감대를 형성하고 세부분야 연구와 논의를 촉진

〈요약 그림 6〉 기후 스트레스 테스트 분석 절차



자료: NGFS(2021), NGFS Climate Scenarios Database, p. 8, Figure 1을 바탕으로 저자 작성

▪ 분석 절차에 따라 해양수산 기후 스트레스 테스트 구축방안을 결정

〈요약 그림 7〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형 구축방안



자료: 저자 작성

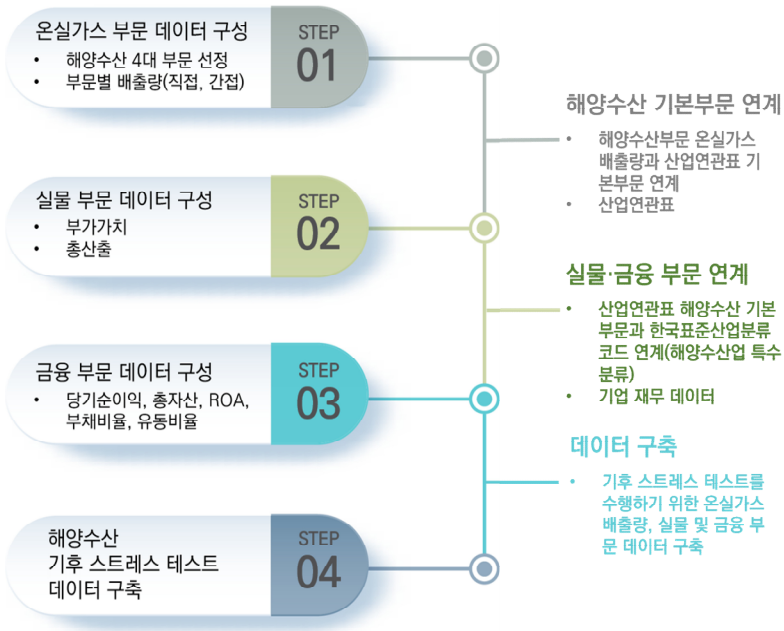
- (분석대상) 해양수산분야 4대 부문(어업, 해운업, 조선업, 수산물 가공업)
- (시나리오) 우리나라를 대상으로 한 NGFS 탄소중립 시나리오 적용
- (분석모형) 다모형 접근법을 통한 실물 및 금융 부문 영향 분석
- (영향 평가) 연구 결과에 대한 의견수렴을 통해 모형 완성도 제고

(4) 해양수산 기후 스트레스 테스트 구축

가. 데이터 수집 및 가공

▪ 해양수산 기후 스트레스 테스트의 모형 데이터는 온실가스 부문과 실물 부문 그리고 금융 부문으로 구성

〈요약 그림 8〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형 데이터 구축과정



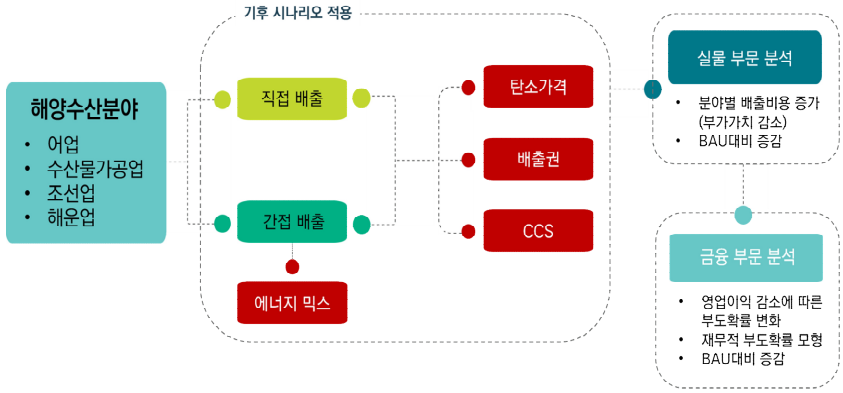
자료: 저자 작성

- (온실가스 부문) 온실가스 배출량 통계를 검토하여 분석대상을 해양수산 분야 4개 부문(어업, 수산물 가공업, 조선업, 해운업)으로 설정
- (실물 부문) 산업연관표를 활용하여 4개 부문의 실물 부문 데이터 구성
- (금융 부문) KSIC를 연계하여 해양수산분야별 기업 재무데이터 구성

나. 해양수산 기후 스트레스 테스트 구축

▪ **해양수산 기후 스트레스 테스트의 분석 과정은 ① 기후 시나리오 적용, ② 실물 부문 분석, ③ 금융 부문 분석으로 이루어짐**

〈요약 그림 9〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형 구조



자료: 저자 작성

- (기후 시나리오 적용) NGFS의 세 가지 탄소중립 시나리오 적용

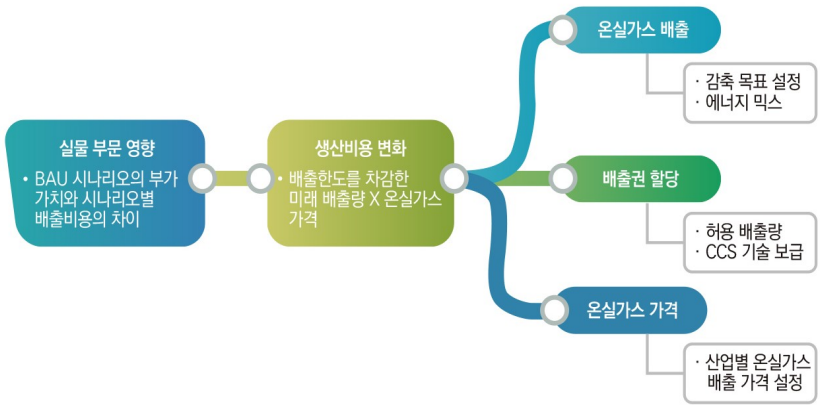
〈요약 표 2〉 NGFS 기후 시나리오 특징

시나리오	주요 가정	탄소가격 (만 원/t)	화석연료 비중(%)	CCS 비중 (%)
지연된 이행	• 2030년까지 10년간 탄소중립 정책을 이행하지 않고, 2030년부터 강력한 기후변화 정책 시행	113	2.4	121.9
산발적 탄소중립	• 산발적으로 도입된 부문별 정책으로 인해 높은 이행 비용 • 교통과 건물 부문에 대한 강력한 기후정책	(전체)211.2 (산업)136.7 (수송)410.2	1.3	204.8
2050 탄소중립	• 엄격한 기후정책과 혁신을 통한 탄소중립 이행	83	1.8	127.9

주: 탄소가격, 화석연료비중, CCS 비중은 시나리오 상 2050년 기준
자료: NGFS Scenario Explorer(검색일: 2022.6.9.)를 바탕으로 저자 작성

- (실물 부문 분석) 한국은행 기후 스트레스 테스트를 기초로 기후 변화정책의 파급경로를 정부의 온실가스 감축정책 강화, 저탄소 기술발전, 에너지 믹스로 설정하여 분석

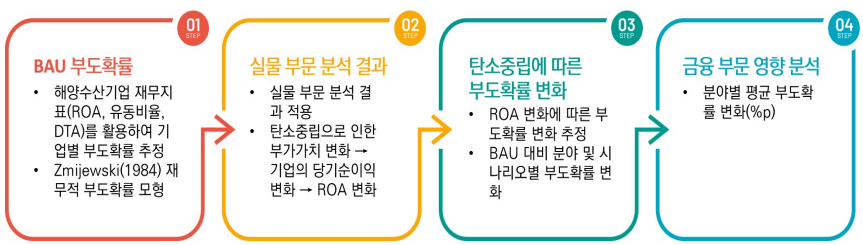
〈요약 그림 10〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 실물 부문 영향분석 과정



자료: 저자 작성

- (금융 부문 분석) 배출비용 증가로 인한 기업의 당기순이익 감소의 영향을 재무적 부도확률 모형(Zmijewski, 1984)을 활용하여 부도확률 변화 추정

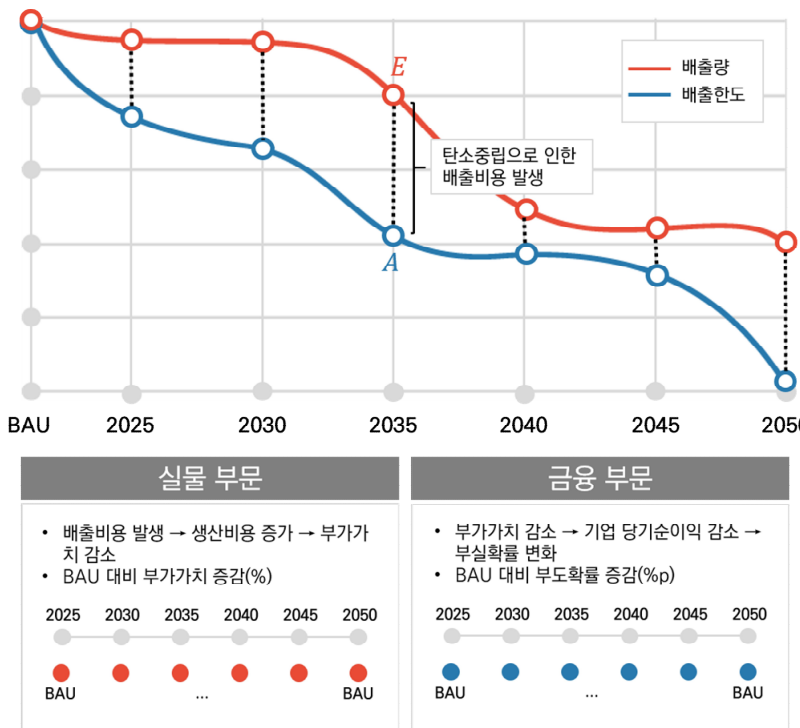
〈요약 그림 11〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 금융 부문 분석 과정



자료: 저자 작성

- **탄소중립으로 인해 경제주체가 부담하여야 할 배출비용은 배출량에서 배출한도를 제한 만큼의 초과 배출량에서 시나리오별 온실가스 배출가격을 반영하여 산출**
- 실물 및 금융 부문 영향은 BAU 상황(2016~2019년 평균) 대비 변화로 제시

〈요약 그림 12〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 분석 방법



자료: 저자 작성

2) 연구 결과

(1) 해양수산분야 온실가스 배출량 특성

- 해양수산분야 온실가스 배출량은 평균적으로 우리나라 총 배출량의 약 1.0%를 차지하는 것으로 나타남
- 어업과 해운업은 선박에 대한 의존도로 인하여 GDP당 배출량이 국가 GDP당 배출량에 비해 높은 것으로 나타났으며, 조선업과 수산물 가공업은 국가 GDP당 배출량과 비슷한 수준을 보임

〈요약 그림 13〉 해양수산분야별 GDP당 배출량 추이

단위: 톤/십억 원



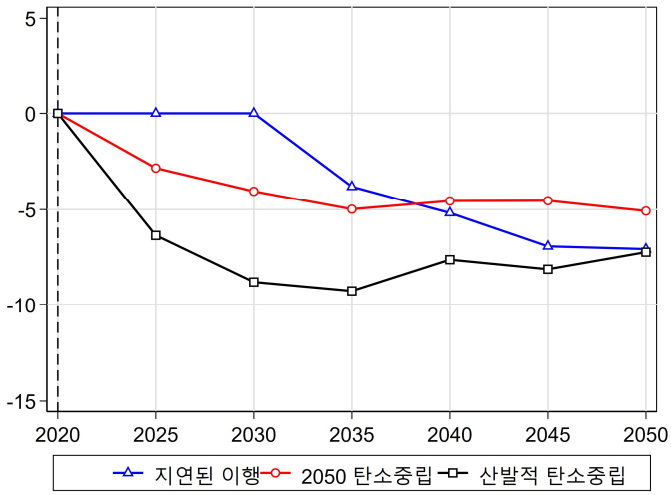
자료: 저자 작성

(2) 실물 부문 영향

- **탄소중립으로의 이행은 해양수산분야 실물 부문에 장기적으로 부정적인 영향을 끼치는 것으로 나타남**
  - 탄소중립 달성 예정 시점인 2050년을 기준으로 보면, '2050 탄소중립'에서의 부가가치 감소폭이 -5.1%로 다른 두 시나리오(지연된 이행 -7.1%, 산발적 탄소중립 -7.2%)보다 낮은 경제적 비용이 소요되는 것을 확인
- **시나리오별 결과는 탄소중립으로의 적극적이고 질서 있는 이행이 단기적으로 경제적 부담을 유발하더라도, 중장기적인 관점으로 보면 지연되고 무질서한 이행보다 명백한 경제적 이익이 있음을 시사**

〈요약 그림 14〉 탄소중립 시나리오별 전체 해양수산분야 실물 부문 영향

단위: %



자료: 저자 작성

- 저탄소경제로의 전환을 위한 온실가스 감축노력 강화는 선박이 주요 생산 활동 수단이기 때문에, 연료소모를 통한 직접 배출량 비중이 높은 해운업과 어업을 중심으로 생산 비용 상승과 부가가치 감소를 초래하는 것으로 나타남

(3) 금융 부문 영향

- 저탄소경제로의 이행에서 발생하는 배출비용 증가로 인한 순이익 감소는 기업의 부도확률에 부정적인 영향을 끼치는 것으로 나타남

〈요약 표 3〉 탄소중립 시나리오별 전체 해양수산분야 금융 부문 영향

단위: %p

시나리오	2025	2030	2035	2040	2045	2050
지연된 이행	0.0	0.0	0.3	0.5	0.7	0.8
산발적 탄소중립	0.7	1.0	1.1	0.9	1.0	0.9
2050 탄소중립	0.2	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5

주: BAU 대비 부도확률 변화
자료: 저자 작성

- 분야별 금융 부문 영향도 실물 부문과 유사한 결과를 보임

▪ **탄소중립 달성을 위해서는 대규모의 투자가 필요한 만큼, 저탄소경제로의 이행은 기업 신용에 리스크를 유발하는 것으로 나타남. 따라서 전통적인 신용위험평가 기준을 적용할 경우, 해양수산기업은 자금조달에 어려움을 겪을 것으로 예상됨**

▪ **온실가스 저감을 위한 기업의 자금 조달을 위해 녹색사업 재원을 조성하고, 온실가스 배출 저감 노력과 같은 친환경적인 투자를 하는 기업에게 금리 우대, 보증 등의 혜택을 제공하는 녹색금융을 적극적으로 활용하는 것이 중요함을 시사함**

4. 향후 과제

▪ **모형 고도화 방안으로 해양수산분야 온실가스 배출량 통계 구축, 물리적 리스크 모형화 방안, 운영 전문기관 지정 및 협력체계 구축을 제안**

- (통계 구축) 해양수산분야에 특화된 온실가스 배출량 통계를 구축하여 해양수산분야 온실가스 배출 실태조사 및 탄소저감 실적 확보
- (모형화) 이행리스크 외에도 물리적 리스크의 영향을 평가하여 탄소중립에 의한 편익을 모형화하고, 기후리스크 노출도가 다른 해양수산분야의 특성

을 반영한 분야별 기후리스크 분석 모형 구축

- (운영 전문기관 및 협력체계 구축) 탄소중립 영향은 각 산업, 경제학, 지구과학 등 다양한 분야의 복합적 지식이 요구되므로 운영 전문기관을 지정하고, 산학연정 협력체계를 구축하여 기후 스트레스 테스트 결과에 대한 검증을 수행

EXECUTIVE SUMMARY

The Economic Impacts of Net Zero on the Ocean Economy

Jang-Han Kwon · Shan-Shan Huang · Gi-Su Kim · Jeong-In Chang

1. Background and purpose

1) Background

- The Paris Agreement has served as a catalyst for the international community to adopt the goal of achieving net zero emissions by 2050.
  - South Korea and major countries such as the US and those within the EU have taken steps to address climate change by developing specific plans to reach the goal of achieving net zero emissions by 2050.
- In a survey, companies acknowledged the importance of achieving net zero emissions by 2050, but also assessed that the goal poses an immediate risk to their businesses.
  - While the transition to a low-carbon economy may reduce

physical damage resulting from climate change, it is also important to note that the transition process may have an impact on the financial system and the real economy, as technological and policy changes are necessary to achieve this transition.

- Recognizing the potential risks associated with the transition to a low-carbon economy, central banks and supervisory institutions in major countries have established international organizations to develop a response system to address the impacts of climate change.
- Such concerns are found in the ocean and fisheries sector.
  - (Fishery) Change in species composition, distribution, and ecology of fishery resources resulting from changes in the marine environment
  - (Ports) Port damage caused by natural disasters may result in inflation and supply chain disruptions
  - (Shipping) Environmental regulations by international organizations and the EU's Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM)
- As the ocean and fisheries sector consists of different kinds of industries centering on oceans, climate factors that are affected by climate change and its impacts vary by industry.
- As the current status of climate change, its resultant effects, and damages are different by sector, it is significantly important to assess sector-based impact from a comprehensive

perspective.

2) Purpose

- The purpose of this study is to quantitatively examine the impact of achieving net zero by 2050 on the ocean and fisheries sector.
  - To this end, this study employs a range of methodologies, including: analyzing the net zero policies of major countries, conducting a detailed examination of the characteristics of climate-related risks, and analyzing the impact of net zero on the ocean and fisheries sector.
  - The study also includes the development of a climate stress test model for ocean and fisheries that acts as an assessment model for net zero transition risks.
  - The results of this study may provide basic data for establishing policies to achieve net zero in the ocean and fisheries sector, intending to make an academic contribution to the research of climate stress testing.

2. Methodology and Features

1) Methodology

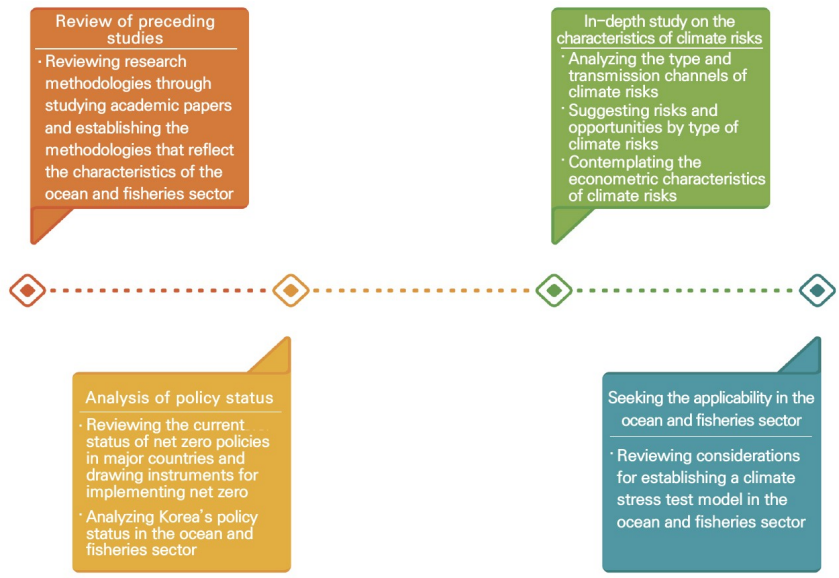
- As a fundamental research, this study is divided into two parts: an in-depth study of theoretical background for

establishing a model for analyzing the impact of net zero on the ocean and fisheries sector, and an empirical analysis on the impact of net zero through a climate stress test model in the ocean and fisheries sector.

- To ensure the objectivity and replicability of the results, this study provides a detailed discussion while outlining specific actions and tasks for achieving net zero in the ocean and fisheries sector based on the analysis conducted.

▪ An in-depth study of theoretical backgrounds was conducted mainly based on literature data including reports, and academic papers, and reviewed suitable methodologies for a net zero impact analysis.

〈Summary picture 1〉 Research methods



Source: Prepared by the authors

- (Review of preceding studies) After reviewing academic papers on climate-related risks and examining analysis methodologies, this study established a suitable methodology that reflects the characteristics and research conditions of the ocean and fisheries sector.
- (Analysis of policy status) The study analyzed the present status of net zero policies implemented by major countries and investigated policy instruments. Through the analysis of net zero policies in major countries, this study examined implementation measures to achieve net zero in the ocean and fisheries sector.
- (In-depth study on the characteristics of climate-related risks) After looking into the types of climate-related risks and transmission channels, this study suggested opportunities and risks per each type of climate-related risk. Additionally, the characteristics of climate-related risks were presented from the perspective of model design.
- (Seeking the applicability in the ocean and fisheries sector) Based on the discussions conducted earlier, considerations were reviewed for the construction of a climate stress test model in the ocean and fisheries sector.

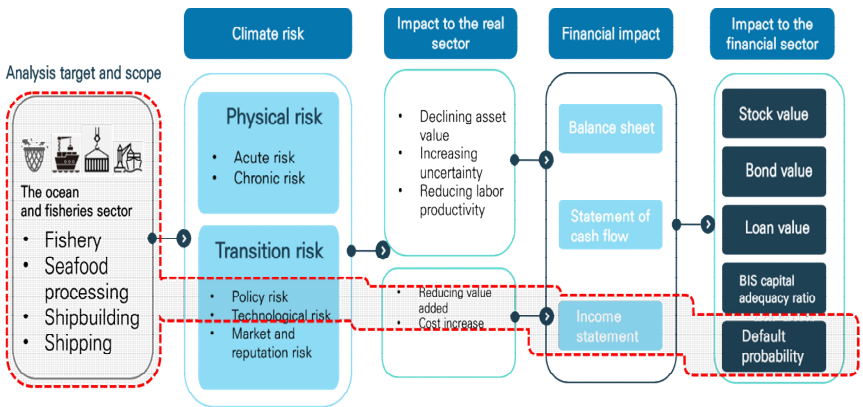
▪ Based on the in-depth study of theoretical backgrounds and the review of available statistics, this study determined the model structure and data necessary for developing a climate stress test in oceans and fisheries and then constructed the model.

- (Research target) Industries including fishery, seafood processing,

shipbuilding and shipping

- (Research process) Transition risks arising in the process of transitioning into a low carbon economy
- (Research scope) The real economy and the financial sector of the ocean and fisheries industry

〈Summary picture 2〉 Target and scope of analysis



Source: Prepared by the authors

▪ Utilizing the established model, the analysis estimated the economic impact of net zero on the ocean and fisheries sector by dividing it into the real sector and financial sector.

2) Features

▪ Previous research on climate-related risks has mostly focused on changes in the natural environment and has been limited to specific sectors such as the fisheries and port industry, resulting in a lack of comprehensive studies that

examine the full impact of achieving net zero emissions on the ocean and fisheries sector.

- (Type of climate-related risks) Climate-related risks can be divided into physical risks resulting from acute and chronic changes in natural environments and transition risks arising from the implementation process of net zero.

▪ Research on the impact of net zero was mostly conducted by the central banks, analyzing the economic impact generated in the implementation process of net zero on financial stability.

▪ This study constructed a climate stress test model in the ocean and fisheries sector utilizing a suite of models based on the BOK Climate Stress Test.

▪ This study differentiates itself from preceding studies as the first research to apply a climate stress test to the ocean and fisheries sector and comprehensively analyze the impact of net zero on the ocean and fisheries industry by reflecting industrial characteristics.

〈Summary table 1〉 Differentiations of this study

Category	Preceding studies		This study
Analysis target	• Physical risks	• Specific sectors such as fisheries, ports and shipping	• Covering the overall ocean and fisheries sector • Impact analysis per sector by fragmenting the ocean and fisheries sector
	• Transition risks	• Macroscopic financial stability	
Analysis method	• Physical risks	• Econometric models	• Constructing a climate stress test specializes in the ocean and fisheries sector
	• Transition risks	• Climate stress test	

Source: Prepared by the authors

3. Result

1) Summary

(1) Analysis of the present status of policies

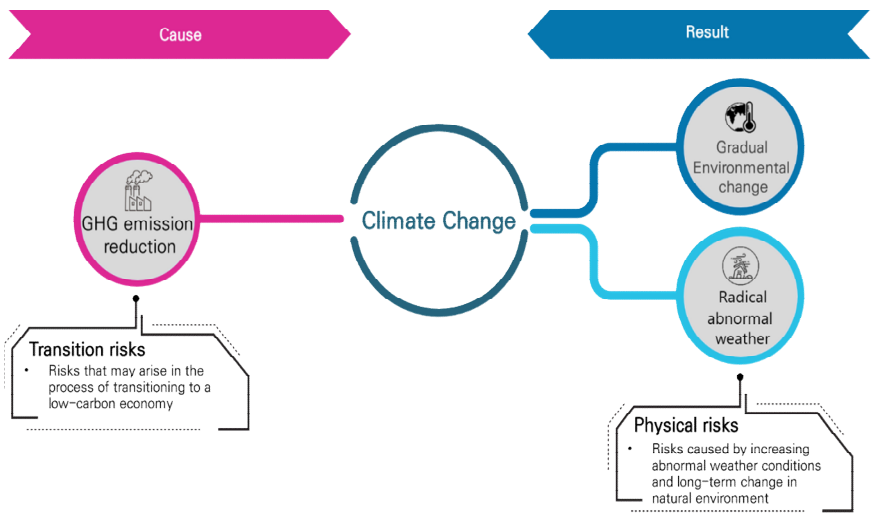
- Major countries including South Korea suggested improving the energy efficiency, expanding the ratio of renewable energy and commercializing CCS technology as main instruments for transitioning into net zero.
  - The EU plans to actively utilize the Carbon Pricing scheme.
- South Korea's net zero policy in the ocean and fisheries sector bears the features of public investment and financial support.
  - (Fishery) Providing eco-friendly energy-saving equipment and developing low-carbon technology for fishing vessels etc.

- (Shipping) Securing eco-friendly highly efficient ships and accelerating the distribution of eco-friendly ships
- (Manufacturing) Offering incentives for utilizing low-carbon technology and subsidizing the use of eco-friendly equipment

(2) In-depth study on the characteristics of climate-related risks

- The transmission channels of climate change can be divided into two; transition risks resulting from the cause of climate change (CO_2 emissions) and physical risks arising from the result of climate change (change in the natural environment).

〈Summary picture 3〉 Climate-related risks depending on the cause and result of climate change



Source: Prepared by the authors

A. Physical risks

- Physical risks refer to a risk resulting from the vulnerability that climate change such as typhoons and rising sea level may cause to human and nature.

- (Ports) Vulnerable to acute risks, ports may cause severe supply chain disruptions if port facilities are damaged by natural disasters.
- (Fishery) The fishery sector is subject to gradual environmental changes. Therefore, changes in the marine environment may cause changes in the type of fish caught in sea areas surrounding Korea, the catch and the location of fishing grounds.

B. Transition risks

- Being a climate-related risk deeply related to net zero, transition risks can be classified into three categories; policy risks, technology risks as well as market and reputation risks.

- (Policy risks) Referring to risks potentially caused by policy changes for achieving net zero, policy risks can be classified into market-based policy and non-market-based policy depending on whether a market pricing mechanism is utilized or not.

  ※ While a representative market-based policy is the Carbon Pricing scheme, non-market-based policy may include direct investment as well as investment in the public sector.

- (Technology risks) Changing an economic paradigm arising from

the process of achieving net zero can have a positive impact to technological development and innovation, ultimately leading to increasing corporate productivity

※ Energy conversion and commercialization of CCUS technology

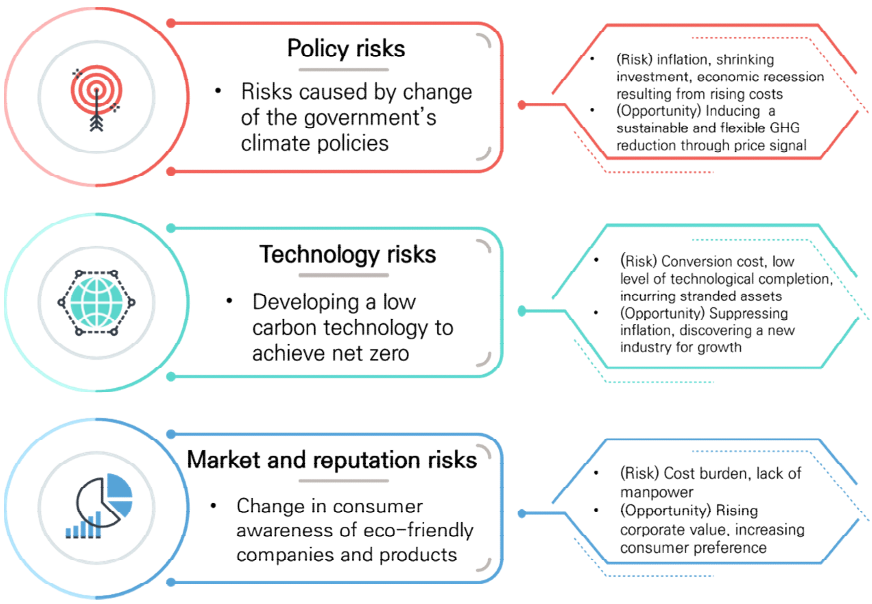
- (Market and reputation risks) With heightened importance of net zero, market demand can be shifted towards eco-friendly goods and services.

※ RE100, ESG management etc.

C. Risks and opportunities per transition risk

- Transition risks can be posed as both a risk and an opportunity.
- (Policy risks) Although a carbon pricing scheme has an advantage of inducing a sustainable and flexible reduction of GHGs through price signals, increasing costs resulting from carbon prices may lead to inflation.
- (Technology risks) While the development and commercialization of low-carbon technologies may reduce an inflationary pressure caused by policy risks, it might incur stranded assets in the process of converting technologies.
  - (Shipping) If the fuel flexibility is not achieved due to the long durability of a ship, it would incur stranded assets.
- (Market and reputation risks) Whereas the increase of corporate values resulting from changed preferences of consumers may pose an opportunity, the lack of manpower and cost burden can become potential risk factors.

〈Summary picture 4〉 Risks and opportunities per transition risk

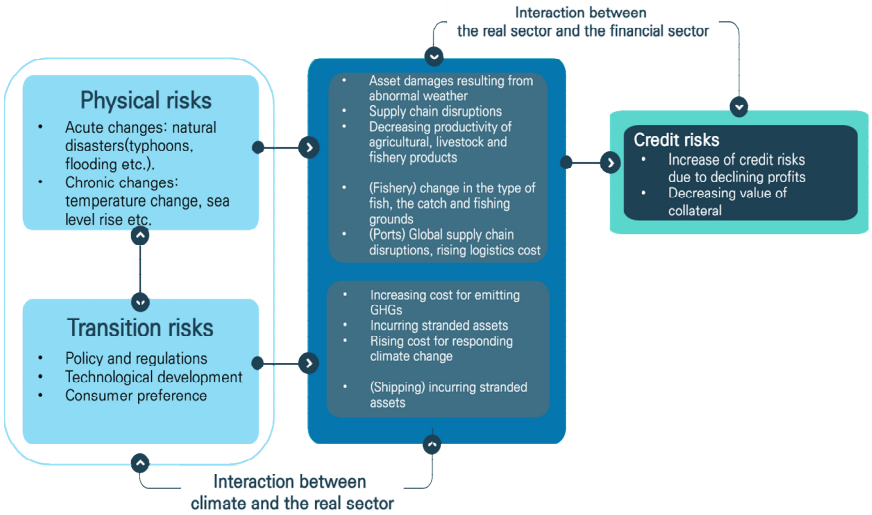


Source: Prepared by the authors

D. Impact of climate-related risks on the real sector and the financial sector

- The impact to the real sector resulting from physical risks includes supply chain disruptions caused by facility and asset damages due to acute risks such as natural disasters and declining productivity of agricultural, livestock and fishery products resulting from the gradual increase of temperature.
- The major transmission channels of transition risks are increasing costs that take place in the process of transitioning to a low-carbon economy.

〈Summary picture 5〉 Impact of climate-related risks on the real sector and the financial sector



Source: Prepared by the authors

▪ Korea's climate-related risks were assessed to show low exposure to physical risks, while representing high exposure to transition risks.

- Such assessment results are attributable to Korea's manufacturing-oriented economic structure and late response to climate change.

(3) Seeking the applicability to the ocean and fisheries sector

A. Methodological considerations

▪ It is difficult to apply traditional econometric models due

to the uncertainty, endogeneity, and nonlinearity of climate change.

- Among climate-related risks, transition risks occur as the result of complex interactions between policy decisions, industrial responses, technology innovation and consumer responses, etc.
- Climate change that will occur in the future would be an unprecedented phenomenon in which the scale or speed of damage are unpredictable, resulting in the lack of past experiences in analyzing its impact.

▪ As an alternative to such climate-related risk model design, central banks and supervisory authorities of individual countries are utilizing a climate stress test.

- (Purpose of analysis) The purpose is to apply various scenarios to assess the impact of climate and policy changes and enhance the capability of responding to climate change.
- (Period of analysis) Over the next 3 to 7 decades when net zero will be achieved
- (Method of analysis) Scenario analysis using a virtual scenario

B. How to build a climate stress test model in oceans and fisheries

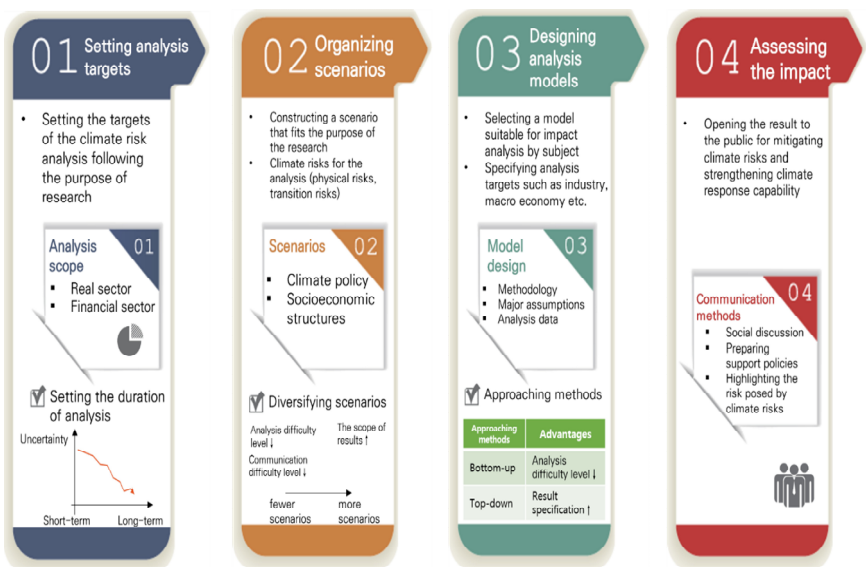
▪ The analysis procedure of the climate stress test consists of: i) setting analysis targets; ii) organizing a scenario; iii) designing an analysis model; and 4) impact assessment.

- (Setting analysis targets) The targets of the climate-related risk analysis were determined, depending on the purpose of study,

and the exposure level of analysis targets to climate-related risks was identified, to determine the scope of analysis.

- (Organizing a scenario) A climate scenario where probabilities and feasibilities were guaranteed was applied.
- (Designing an analysis model) The major assumptions of the methodology, data, and model were selected in consideration of the level of exposure to climate-related risks.
- (Impact assessment) It was to play a role in creating a social consensus for climate-related risks and facilitating research and discussions in detailed areas by sharing the analysis results with stakeholders and academia

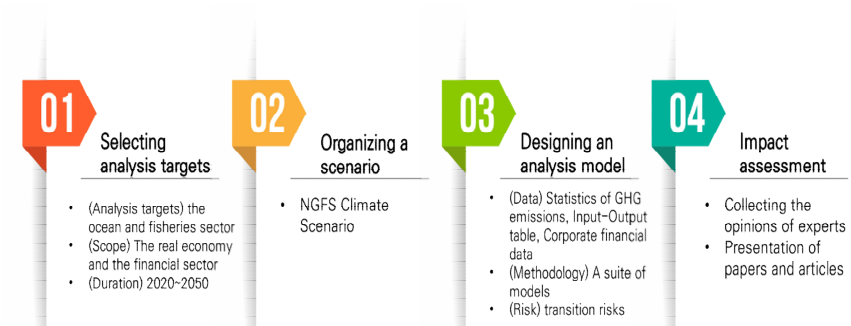
〈Summary picture 6〉 The analysis process of a climate stress test



Source: Written by authors based on NGFS Climate Scenarios Database, p. 8, Figure 1, NGFS (2021)

▪ How to build a climate stress test for the ocean and fisheries sector was determined in accordance with the analysis procedure.

〈Summary picture 7〉 How to build a climate stress test for the ocean and fisheries sector



Source: Prepared by the authors

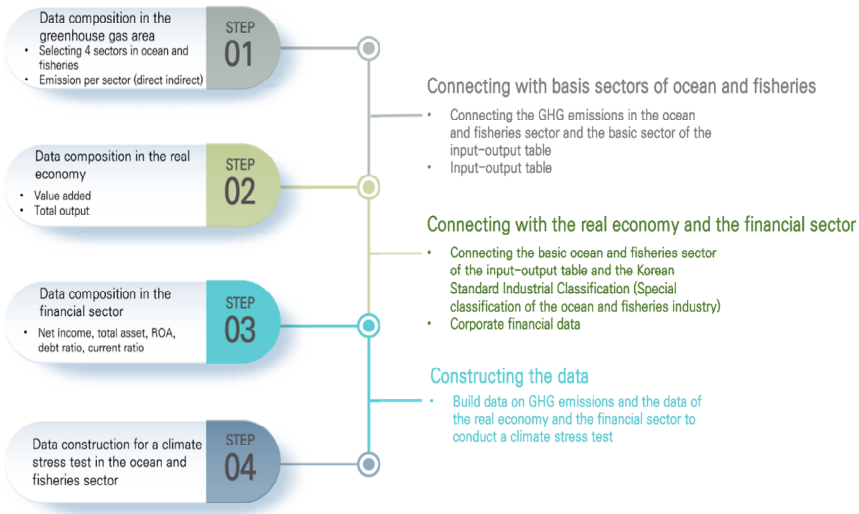
- (Target of analysis) The economic impact of net zero policies for the ocean and fisheries sector was analyzed to identify areas vulnerable to climate-related risks and prepare countermeasures for climate policies.
- (Scenario) The NGFS Net Zero scenario for Korea was applied.
- (Analysis model) Impact on the real economy and financial sectors was analyzed through a suite of models.
- (Impact assessment) The completeness of the model was improved by collecting feedback on the research results.

(4) Building a climate stress test for the ocean and fisheries sector

A. Data collection and processing

▪ The model data of the ocean climate stress test consist of data from greenhouse gas, real economy and financial sectors.

〈Summary picture 8〉 The process of building a climate stress test for the ocean and fisheries sector



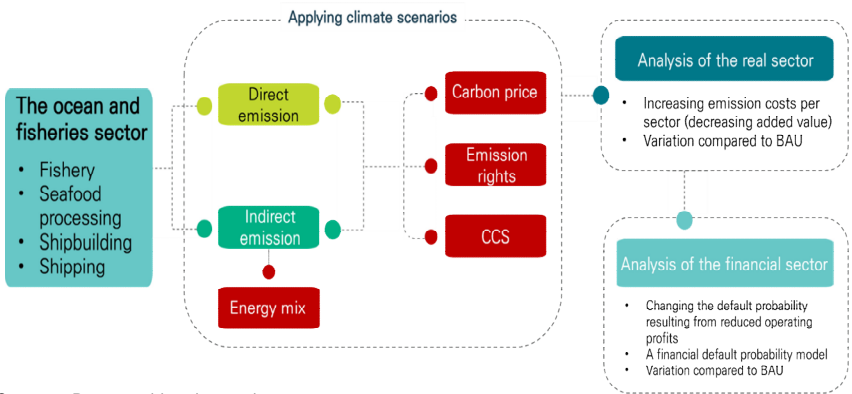
Source: Prepared by the authors

- (Greenhouse gas sector) The targets of the analysis were selected to 4 sectors (fishery, seafood processing, shipbuilding and shipping industries) by reviewing the GHG emission statistics.
- (Real economy sector) The input-output table was used to compose the data of the real economy sector in 4 areas.
- (Financial sector) The corporate financial data of each area in the ocean and fisheries sector were mapped with the KSIC.

B. Building a climate stress test for the ocean and fisheries sector

▪ The analysis procedure of the climate stress test in oceans and fisheries consists of: i) the application of climate scenarios; ii) analysis on the real economy sector; and iii) analysis on the financial sector.

〈Summary picture 9〉 The structure of a climate stress test model for the ocean and fisheries sector



Source: Prepared by the authors

- (Application of climate scenarios) Three net zero scenarios of the NGFS were applied.

〈Summary table 2〉 Characteristics of NGFS climate scenarios

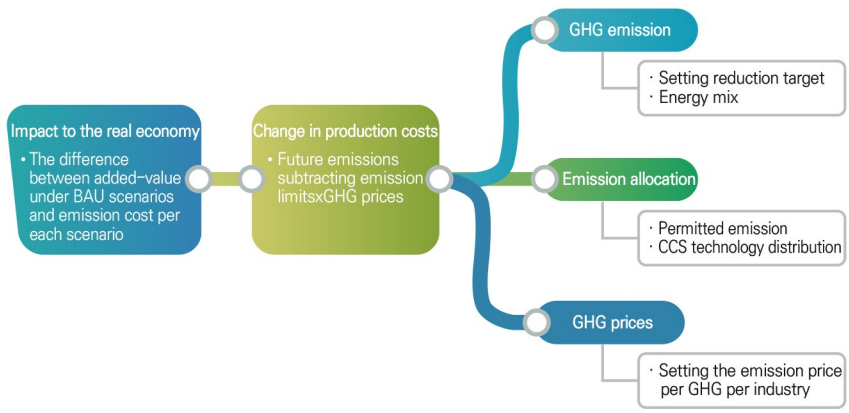
Scenario	Major assumptions	Carbon price (10,000 won/t)	Ratio of fossil fuels (%)	CCS ratio (%)
Delayed transition	• Net zero policies will not be implemented for a decade till 2030 and from 2030, intensive climate change policies will be implemented	113	2.4	121.9
Sporadic	• Policies sporadically	(Overall)211.2	1.3	204.8

Scenario	Major assumptions	Carbon price (10,000 won/t)	Ratio of fossil fuels (%)	CCS ratio (%)
net zero	introduced per sector may result in high costs. • Stringent climate policies are enforced to transportation and buildings	(Industry)136.7 (Transport)410.2		
Net zero by 2050	• The international community is transitioning to net zero through stringent climate policies and innovation	83	1.8	127.9

Note: Carbon prices, the ratio of fossil fuels and the ratio of CCS are based on the year 2050 under scenarios
Source: Prepared by the authors based on NGFS Scenario Explorer (Search date: 2022. 6.9)

- (Analysis on the real economy sector) Based on the climate stress test of the Bank of Korea, the transmission channels of climate change policies were set as the strengthening of government's GHG reduction policy, low-carbon technology development and energy mix for analysis.

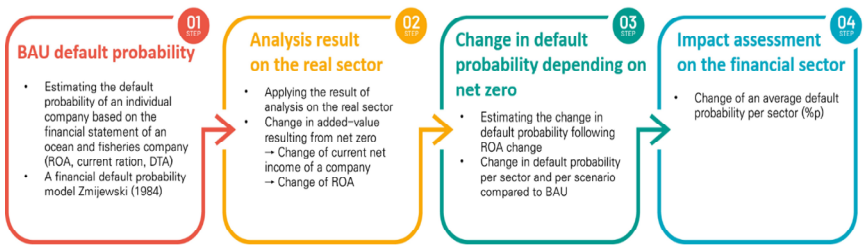
〈Summary picture 10〉 The process of impact analysis of the climate stress test for oceans and fisheries on the real economy



Source: Prepared by the authors

- (Analysis on the financial sector) Changes in default probability were estimated by using the financial default probability model (Zmijewski, 1984), to determine the impact of decreases in companies' current net incomes due to increased emission costs.

〈Summary picture 11〉 The process of impact analysis of the climate stress test for oceans and fisheries on the financial economy

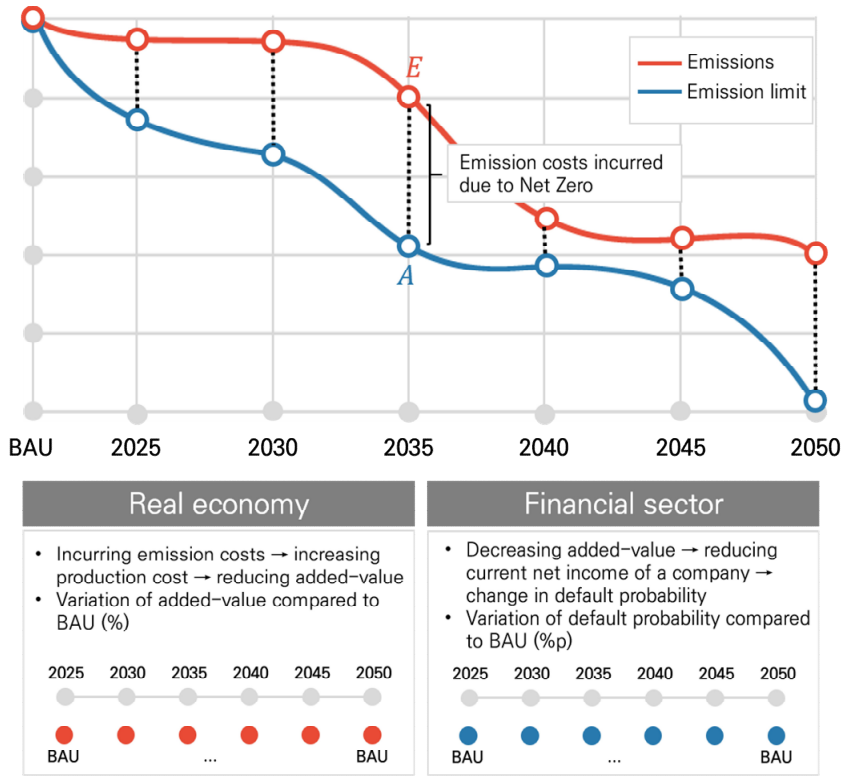


Source: Prepared by the authors

▪ Emission costs to be borne by economic agents due to net zero were calculated by reflecting GHG emission prices for each scenario in excess emissions where the emission limit is deducted from emissions.

- The impacts on the real economy and the financial sector were suggested to the change compared to BAU (average of 2016~2019)

〈Summary picture 12〉 Analysis method of a climate stress test for the ocean and fisheries sector



Source: Prepared by the authors

2) Result

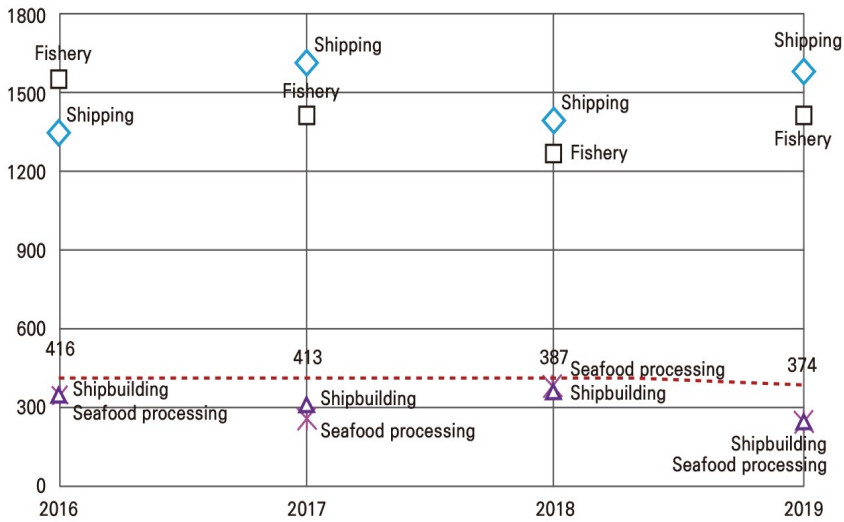
(1) Characteristics of GHG emissions in the ocean and fisheries sector

- It was found that GHG emissions in the ocean and fisheries sector accounted for an average of about 1.0% of the total emissions in Korea.

- The fishery and shipping industries showed higher emissions per GDP than emissions per national GDP due to their dependence on ships. The shipbuilding and seafood processing industries had emissions per GDP similar with emissions per national GDP.

〈Summary picture 13〉 Trends of per GDP emissions by the ocean and fisheries sector

Unit: ton/billion KRW



Note: Red dashed line represents emissions per GDP
Source: Prepared by the authors

(2) Impact on the real economy sector

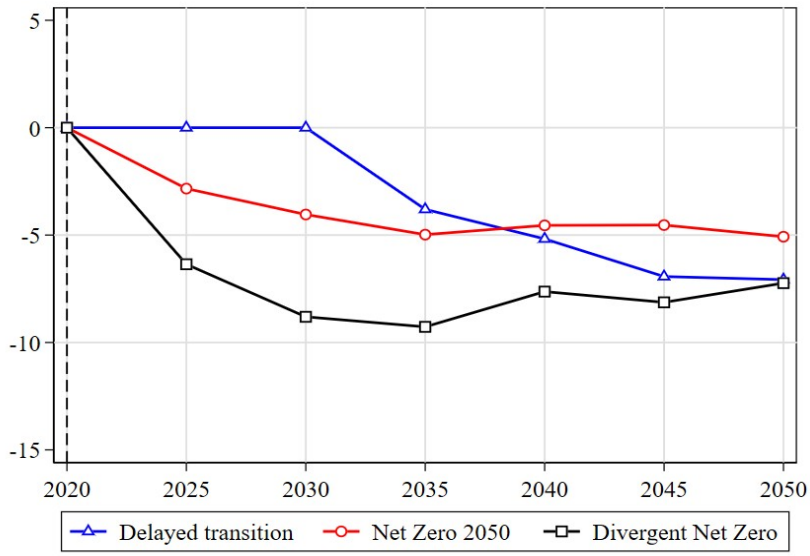
- It was found that transition to net zero would have a negative impact on the real economy of the ocean and fisheries sector in the long term.

- By the year 2050 when net zero is expected to be achieved, it was confirmed that the decrease of value added in 'Net Zero 2050' would be -5.1%, which would require lower economic costs than other two scenarios (Delayed transition -7.1%, Divergent net zero -7.2%).

▪ The results of each scenario suggested that active and orderly transition to net zero would provide clearer economic benefits than delayed and disorderly transition in the mid and long term, though it could cause economic burdens in the short term.

〈Summary picture 14〉 The impact on the real sector of the ocean and fisheries industry by net zero scenario

Unit: %



Source: Prepared by the authors

- As ships are significant means of production in shipping and fisheries industries, this study found that an increase in production costs and a decrease in value added triggered by GHG reduction efforts for transition to the low-carbon economy would happen in those industries.

(3) Impact on the financial sector

- It was found that a decrease in net profit due to increased emission costs from transition to the low-carbon economy had a negative impact on the default probability of companies.

〈Summary table 3〉 The impact on the financial sector of the ocean and fisheries industry per net zero scenario

Unit: %p

Scenario	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Delayed transition	0.0	0.0	0.3	0.5	0.7	0.8
Divergent Net Zero	0.7	1.0	1.1	0.9	1.0	0.9
Net Zero 2050	0.2	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5

Note: Change of default probability compared to BAU
Source: Prepared by the authors

  - Impact on each area in the financial sector showed similar results to that on the real economy sector.

- It was found that large-scale investments would be required for achieving net zero, while transition to the low-carbon economy would pose risks to corporate credit. If applying the traditional credit risk assessment criteria, ocean and

fisheries companies would face difficulties in financing.

- It was suggested that it would be important to secure financial resources for supporting green projects in order to raise corporate finance for GHG reduction and to actively utilize green finance which provides benefits for companies making eco-friendly investments such as GHG emission reduction efforts, including providing preferential interest rates and guarantees.

4. Future tasks

- As for plans to advance the model, this study suggested the building of the GHG emission statistics in the ocean and fisheries sector, a physical risk modelling plan, the designation of a specialized operating organization and the establishment of the cooperation system.

- (Building of statistics) It is recommended to conduct research on the actual situations of GHG emissions and secure the results of carbon reduction, by building the GHG emission statistics specific to the ocean and fisheries sector.
- (Modelling) It is recommended to model the benefits from net zero through the modelling of physical risks other than transition risks, and to build climate-related risk analysis models for each area which reflect the characteristics of the ocean and fisheries sector with the different level of exposure to

climate-related risks.

- (Establishment of the specialized operating organization and cooperation system) Since analysis on the impact of net zero requires the combined knowledge from various fields like industry, economics, earth science, etc., it is recommended that the result of the climate stress test be validated by designating a specialized operating organization and establishing the industry-university-institute-government cooperation system.

01
서론

제1절 연구 배경 및 목적

1. 연구 배경 및 필요성

국제사회는 기후변화가 인류를 위협하는 심각한 요인이 될 수 있음을 인식하고 2015년 파리협정을 통해 신기후체제의 근간을 마련하였다. 파리협정은 교토의정서 체제의 적용을 확대하여 선진국에만 부과하던 온실가스 감축 의무를 모든 국가에게 적용하는 보편적인 체제이다. 파리협정은 지구 평균기온 상승을 산업화 이전(1850~1900년) 대비 2℃보다 상당히 낮은 수준으로 유지하고, 1.5℃로 제한하는 것을 목표로 한다.[1] 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change)는 기후변화 위협에 대한 전 지구적 대응 강화를 강조하며 '지구온난화 1.5℃ 특별보고서'를 발간하였다.[2] 동 보고서는 기후변화 영향을 줄이기 위한 다양한 온실가스 감축 시나리오를 제시하였으며, 2100년까지 산업화 이전(1850~1900년) 수준 대비 상승폭을 1.5℃까지 억제하여야 함을 강조하였

1) 외교부(검색일: 2022.9.11.)
2) IPCC(2018)

다.[3] 이를 위해 2050년까지 세계 탄소 배출량이 영(0)이 되는 탄소중립(net-zero)을 달성해야 한다고 제안하였다.[4]

이와 같은 논의를 바탕으로 우리나라를 비롯한 미국, EU 등 주요국은 2050 탄소중립 달성계획을 마련하여 기후변화를 억제하는 데 노력을 기울이고 있다. 우리나라는 2020년 10월 대통령이 탄소중립을 최초로 선언하였으며, 2021년 5월 탄소중립 추진기구 2050 탄소중립위원회가 출범하였다. 탄소중립은 비단 정부뿐만 아니라 시민사회에서도 그 필요성을 인식하고 있는데, 한국에너지문화재단의 설문조사에 따르면, 응답자의 69.0%는 탄소중립에 대해 알고 있다고 응답하였으며, 응답자의 대다수(91.5%)가 탄소중립이 필요하다고 답하였다.[5] 또한 88.7%의 응답자가 탄소중립을 위해 개인적 불편함을 감수할 수 있다고 응답하였으며, 75.6%는 탄소중립 노력을 하지 않는 기업의 제품을 불매하겠다고 응답하여 국민 대부분이 탄소중립 실천의지가 강한 것을 확인할 수 있었다.[6] 기업은 탄소중립에 대해 필요성은 인식하고 있으나 당장은 위기요인으로 작용할 것으로 평가하고 있는 것으로 나타났다. 대한상공회의소의 설문조사에서는 57.3%의 응답기업이 2050 탄소중립은 어렵지만 가야 할 길로 평가하였으나 현실적으로 탄소중립 달성이 어렵다는 기업도 42.7%나 되었다.[7]

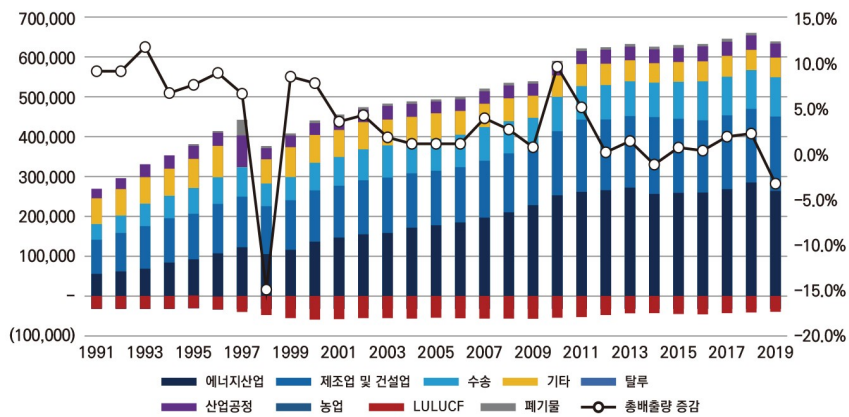
이처럼 탄소중립 달성이 쉽지 않은 이유는 제조업 중심의 산업구조와 낮은 재생에너지 비율 때문이다. 〈그림 1-1〉은 우리나라 온실가스 부문별 배출량을 보여준다. 2019년 기준 우리나라 국가온실가스 총 배출량은 701.4백만 톤CO_2eq이다. 부문별 배출량을 살펴보면 에너지산업 부문에서 266.2백만 톤(38.0%), 제조업 및 건설업에서 187.6백만 톤(26.7%), 수송에서

3) 기상청보도자료(2019.2.13.)(검색일:2022.9.11.)
4) 윤순진(2021), p. 20.
5) 한국에너지정보문화재단 보도자료(2021.11.18.)(검색일: 2022.9.11.)
6) 위의 책
7) 대한상공회의소 보도자료(2021.4.19.)(검색일: 2022.9.11.).

101.0백만 톤(14.4%)을 배출한다. 에너지 부문이 국가 배출량의 80% 이상을 차지하는 만큼 탄소중립을 위해서는 전 사회적 변화가 필요할 것이다. 또한 낮은 재생에너지 사용 비중 역시 탄소중립 달성을 어렵게 만드는 요인인데, 2020년 기준 우리나라 재생에너지는 최종 에너지 소비 중 약 5%만을 차지하여 G20 중 최하위권에 속하는 것으로 나타났다.[8] 그동안 우리 사회의 경제 및 제도가 기존 에너지체제를 위한 것이었기에 에너지 전환을 위해서는 전 사회적 합의와 정부의 지원이 필수적이라 할 수 있다.[9]

〈그림 1-1〉 우리나라 온실가스 부문별 배출량

단위: Gg CO_2eq., %



자료: 온실가스종합정보센터(검색일: 2022.7.12.)를 바탕으로 저자 작성

저탄소경제로의 이행은 사회적 변화와 더불어 막대한 자본이 소요될 것이다. 파리협정은 기후변화 방지 및 대응에 있어서 금융의 역할을 명시화하였으며 우리나라도 탄소중립기본법을 통해 기후대응기금 설치를 명문화하였다.[10] 저탄소경제로의 이행은 기후변화로 인한 이상기후는 방지할 수 있으나 저탄소경제로의 이행과정에서 나타나는 기술 및 정책변화는 실물경제

8) REN21 보도자료(2021.6.16.)(검색일:2022.9.11.)
9) 윤순진(2021), p. 31.
10) 인소영·박기영(2021), p. 173.; 윤순진(2021), p. 31.

및 금융 시스템에 영향을 준다.

탄소중립으로 인해 발생할 수 있는 리스크가 경제와 금융에 부정적인 영향을 줄 것으로 평가되자 주요 기구는 기후리스크 대응을 위한 협의체를 발족시켰다. G20 산하 금융안정위원회(FSB: Financial Stability Board)는 기업에 대한 기후변화 영향을 이해하고, 이를 의사결정에 반영하기 위해 기후변화 재무정보공개 전담협의체(TCFD: Task Force on Climate-related Financial Disclosure)를 설립하였으며, 중앙은행과 감독기구는 기후 및 환경 관련 금융 리스크 및 지속가능한 경제로의 이행 지원 등을 목적으로 녹색금융 협의체(NGFS: Network for Greening the Financial System)를 설립하기도 하였다.

해양수산분야는 기후변화로부터 직·간접적으로 영향을 받는다. 환경부(2020)에 따르면, 우리나라는 해양환경 변화로 인해 수산자원 종조성, 분포, 생태 등의 변화를 겪었으며 해수면 온도의 상승 경향이 지속되어, 어종의 공간적인 분포 변화를 초래할 것으로 내다봤다. The Economist(2020.9.12.)는 글로벌 공급망의 중심인 항만업에 자연재해가 발생할 경우, 그 피해는 물가상승과 공급망 교란으로 이어질 것이라 하였다. 해운업은 국제 환경규제, 탄소국경세 등에 노출되어 있다. 게다가 어업과 해운업은 긴 내구연한과 내연기관 효율성으로 인하여 탄소중립 달성이 가장 어려운 분야로 꼽힌다.[11] 이렇듯 해양수산분야는 해양이라는 공간을 중심으로 성격이 다른 산업으로 구성되어 있기 때문에 각 산업에 영향을 주는 기후요인과 기후변화 결과가 다르게 나타날 수 있다. 특히 기후변화 현황과 그에 따른 영향, 취약성, 피해는 부문에 따라 다르게 나타나므로 부문별 영향을 평가하는 것이 매우 중요하다.

본 연구는 2050 탄소중립이 해양수산업에 미치는 경제적 영향을 분석하

11) 해양수산부 보도자료(2022.1.17.)(검색일: 2022.5.21.); Metcalf & Stock(2020), p. 5.

였다. 이를 위해 해양수산분야별 온실가스 배출량 특성을 분석하고 해양수산분야 탄소중립 영향 평가모형인 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형을 구축하였다. 모형을 통해 탄소중립의 분야별 영향을 분석하였으며 분야별 영향을 바탕으로 해양수산분야에 대한 탄소중립 영향의 종합적인 평가를 수행하였다.

2. 연구 목적

본 연구는 2050 탄소중립이 해양수산분야에 미치는 영향을 정량적으로 추정하는 것을 목적으로 한다. 탄소중립 달성 과정에서 발생하는 이행리스크를 중심으로 평가하여 저탄소경제로의 이행에서 발생할 수 있는 산업 부가가치 규모를 측정하고, 해양수산분야 신용에 미치는 영향을 분석한다. 이를 위해 이행리스크 평가모형인 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형을 구축하고, 해양수산분야 온실가스 부문, 실물 부문, 그리고 금융 부문의 데이터를 수집·가공한다. 본 연구 결과를 토대로 해양수산분야 탄소중립 실현을 위한 정책 수립에 기초자료를 제공하고, 초기단계인 기후 스트레스 테스트 연구 발전에 학술적으로 기여하고자 한다.

제2절 연구 내용과 방법

1. 연구 내용

연구 목적 달성을 위해 본 연구는 모두 다섯 개의 장으로 구성되었다. 먼저 전반적인 기후리스크에 대한 개념을 알아보고, 해양수산분야 탄소중립

영향 분석에 적합한 모형을 탐색한 후, 분석대상 및 범위를 설정하는 과정을 서술하였다. 연구 결과의 객관성과 재현성(replicability)을 확보하기 위해 논의 과정을 상세하게 소개하려고 하였으며, 분석 결과를 바탕으로 해양수산분야 탄소중립 달성을 위한 과제를 도출하였다.

제1장 서론에서는 연구 배경과 목적, 연구 내용 및 방법을 서술하였다. 또한 기후리스크 관련 선행연구를 고찰하고, 본 연구의 차별성을 제시하였다. 선행연구 검토 결과, 해양수산분야에 대한 연구는 분야별 특성에 따라 다양하게 진행되었음을 알 수 있었다. 또한 수산, 항만 등 특정분야의 기후리스크 영향을 분석한 연구는 있었으나 해양수산분야를 종합적으로 분석한 연구는 미진하다는 것을 확인할 수 있었다. 분석 방법론 고찰을 통해 기후 스트레스 테스트가 본 연구의 목적에 부합하는 모형임을 확인할 수 있었다. 여러 가지 기후리스크 중 탄소중립으로 인한 이행리스크는 장기의 분석기간과 기후리스크의 불확실성으로 인해 전통적인 계량경제모형의 적용을 통한 예측이 어렵다. 기후 스트레스 테스트는 다양한 시나리오 적용을 통해 발생 가능한 결과를 분석하여 이행리스크에 대한 대응방안을 마련하는 방법이기에 본 연구의 목적과 부합한다고 판단하였다.

제2장에서는 탄소중립 정책 동향을 살펴보았다. 우리나라, 미국, 중국 등 주요국의 탄소중립 정책의 주요 내용을 살펴보고, 탄소중립 달성을 위한 주요 정책도구를 검토하였다. 우리나라 해양수산분야의 탄소중립 관련 정책을 검토함으로써 해양수산분야 탄소중립 달성을 위한 과제와 시사점을 도출하였다.

제3장은 기후 스트레스 테스트의 이론적 프레임워크에 대해 소개하였다. 기후변화의 사회·경제적 파급경로를 제시하고 각 파급경로별 위기와 기회요인을 살펴본 후 해양수산분야 기후 스트레스 테스트 적용을 위한 기후 스트레스 테스트의 특징에 대해 논의하였다. 마지막으로 논의결과를 바탕

으로 해양수산 기후 스트레스 테스트 구축방안을 제시하였다. 기후 스트레스 테스트 절차에 따라 분석 범위를 설정하였다.

제4장은 해양수산 기후 스트레스 테스트를 활용하여 탄소중립의 경제적 영향을 분석하였다. 가용 데이터 여건 검토를 통해 본 연구의 분석대상을 어업, 수산물 가공업, 해운업, 조선업 등 총 네 가지 해양수산분야로 설정하였다. 한국은행의 김재윤·전은경(2021)의 모형을 바탕으로 NGFS 기후 시나리오를 적용하여 탄소중립이 해양수산분야 실물 부문과 금융 부문에 미치는 영향을 분석하였으며 분석 결과를 바탕으로 해양수산분야 탄소중립을 위한 주요 시사점을 도출하였다.

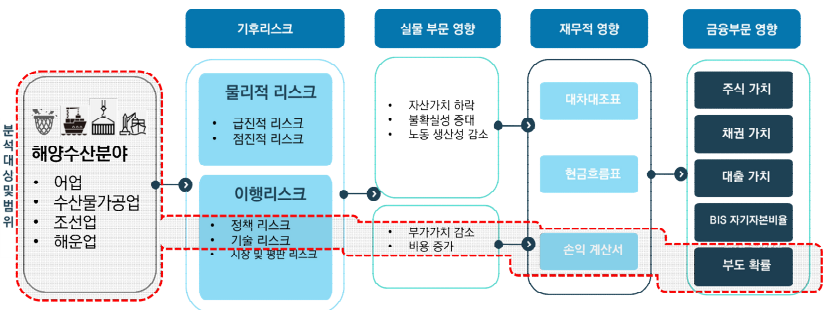
제5장 결론은 연구 결과를 요약하고, 본 연구의 한계점과 모형 고도화 방안에 대해서 논의하였다. 향후 추진계획에서는 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형을 고도화하여 탄소중립 정책 수립과 목표 달성을 위한 기후리스크 관리 방안을 제안하였다.

각 장의 논의를 바탕으로 구성한 본 연구의 분석대상 및 범위는 〈그림 1-2〉와 같다. 본 연구의 분석대상은 해양수산분야 4대 부문으로 어업, 수산물 가공업, 조선업, 해운업이다. 분석대상은 제4장의 가용통계 여건 검토를 거쳐 온실가스 배출량 데이터를 확보할 수 있는 해양수산분야로 설정하였다. 본 연구의 분석 범위는 해양수산분야의 이행리스크 영향이다. 제1장과 제3장에서 보다 상세히 살펴보겠지만 기후리스크는 크게 기후변화로 인한 점진적·급진적 자연환경 변화와 그로 인한 경제적 영향, 즉 물리적 리스크(physical risk)와 저탄소경제로의 이행과정에서 나타나는 이행리스크(transition risk)로 구분할 수 있다. 기후변화 대응 측면에서 물리적 리스크에 대한 대응 전략은 순응(adaption)이고, 이행리스크에 대한 대응은 저감(mitigation)이다. 순응은 기후변화를 받아들이고 더불어 살아가는 대응 전략이고, 저감은 기후변화를 늦추기 위한 전략이다. 본 연구의 주제인 탄

소중립 영향은 기후리스크 중 이행리스크에 속하며, 대응 전략측면에서는 저감에 대한 영향이라 할 수 있다. 따라서 본 연구가 분석하는 기후리스크는 이행리스크이다. 기후 스트레스 테스트를 주로 수행한 기관이 중앙은행이라는 점을 고려하였을 때, 선행연구는 이행리스크에 따른 실물 부문 영향이 금융안정(financial stability)에 미치는 영향을 주로 분석하였다. 그러나 본 연구는 해양수산분야를 대상으로 하므로 금융 부문 영향은 기업의 부도확률만 살펴보고 실물 부문 영향에 초점을 두어 분석하였다.

제3장의 논의를 통해 해양수산분야 이행리스크 분석을 위한 모형으로 해양수산 기후 스트레스 테스트를 선택하였다. 기후리스크의 이론적 배경과 선행 연구 고찰을 통해 다모형(a suite of models)을 활용하여 기후 스트레스 테스트 모형을 구축하였다. 제2장의 주요국 탄소중립 정책을 고찰하여 이행리스크의 주요 파급경로로 탄소가격제도, 저탄소 기술 개발 및 상용화, 에너지 믹스 등을 설정하였으며, 금융 부문은 탄소중립 정책으로 인한 배출 비용의 증가가 기업의 부도확률에 미치는 영향을 분석하였다. 기후 스트레스 테스트에서 핵심적인 역할을 하는 기후 시나리오는 제3장에서 기후 시나리오 조건을 검토하여 NGFS의 기후 시나리오를 선택하였다. 또한 기후 스트레스 테스트 분석 절차별 가용데이터 조건, 분석 목적을 고려하여 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형의 세부사항을 결정하였다.

〈그림 1-2〉 분석대상 및 범위



자료: 저자 작성

2. 연구 방법

〈그림 1-3〉은 분석대상 및 범위를 결정하기 위해 사용된 각 장의 연구 방법 및 세부내용을 보여준다. 제1장은 연구개요를 설명하는 장으로 탄소중립이 국제규범이 되기까지의 논의과정과 우리나라 이산화탄소 배출 현황을 분석하였다. 선행연구 검토를 통해 기후변화의 사회·경제적 영향에 대한 분석 사례를 고찰하였다.

제2장은 탄소중립을 선언한 주요국의 탄소중립 정책 현황을 살펴보았다. 문헌 조사를 통해 국가별 탄소중립 정책을 분석하였으며, 탄소중립 달성을 위한 주요국의 정책 동향을 알아보았다. 해양수산분야 탄소중립 정책 현황을 분석하기 위해 해양수산부, 산업통상자원부, 환경부 등 주요 정부부처 사업에서 해양수산분야를 분류하여 분석하였다. 이를 통해 제1장에서 고찰한 이론적 토대의 정책 활용 현황을 살펴보았다.

제3장은 본격적인 분석에 앞서, 기후 스트레스 테스트 구축을 위한 이론적 프레임워크를 검토하였다. 문헌조사를 통해 기후리스크의 종류와 파급경로에 대해 살펴보았으며, 모형 설계 측면에서 기후리스크의 한계점과 그것을 보완하기 위한 기후 스트레스 테스트의 특성을 분석하였다. TCFD, NGFS 등 주요기구의 권고사항을 반영하여 해양수산 기후 스트레스 테스트 구축의 세부내용을 제시하였다.

제4장은 기후 스트레스 테스트를 적용하여 해양수산분야에 대한 탄소중립 이행의 영향을 정량적으로 분석하였다. 가용통계 여건을 검토하여 온실가스 부문, 실물 부문, 그리고 금융 부문의 데이터를 수집하였으며 데이터 분석 및 기초통계량 분석을 통해 해양수산분야의 특징을 도출하였다. 기후 시나리오 적용을 위해 NGFS 시나리오, 즉 '지연된 이행', '산발적 탄소중립', '2050 탄소중립' 시나리오의 특징을 살펴보았다. NGFS의 권고에 따라 기후

스트레스 테스트 분석은 다모형을 사용하였다. 실물 부문 및 금융 부문 분석 방법에 대해 서술하였으며, 분석에 적용된 주요 가정을 제시하였다. 기후 스트레스 테스트 방법론이 데이터 문제 등으로 인해 아직 표준화된 모형이 부재하다는 점을 고려하여 모형의 객관성 확보를 위해 전문가 자문을 수행하였다.

제5장에서는 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형의 고도화 방안 및 해양수산분야 탄소중립 달성을 위한 과제를 도출하기 위해 이해관계자들의 의견을 수렴하는 과정을 거쳤다.

〈그림 1-3〉 연구 세부 내용 및 방법론



자료: 저자 작성

제3절 선행연구 검토

탄소중립은 대기 중 이산화탄소 농도 증가를 막기 위해 인간 활동에 의한 배출량을 최대한 감소시키고, 흡수량은 증대하여 영(0)의 순배출량을 달성한 상태를 의미한다.[12] 이처럼 탄소중립의 목적이 이산화탄소 배출량을 감소시켜 지속가능한 기온 수준을 유지하는 것이므로 선행연구 검토는 기후변화의 영향을 분석한 문헌을 중심으로 구성하였다.

기후변화가 인류에게 사회·경제적으로 영향을 미치는 파급경로로는 물리적 리스크와 이행리스크가 있다. 물리적 리스크는 지구온난화로 인해 지구물리학적 과정에 따라 발현된 리스크로서 태풍, 홍수 또는 폭염과 같은 이상기후의 증가와 장기적 기후패턴의 변화에 따라 발생하는 경제적 비용 및 금융손실을 의미하며, 이는 기상현상 및 광범위한 환경 변화로 인해 발생한다.[13] 물리적 리스크는 성격에 따라 급진적(acute) 리스크와 점진적(incremental) 리스크로 구분할 수 있다. 급진적 리스크는 홍수·해일과 같은 자연재해로 인한 리스크를 의미하며, 점진적 리스크는 온도·해수면 상승과 같은 장기적인 환경변화에 따른 리스크를 나타낸다.[14]

한편, 이행리스크는 탄소중립과 밀접한 관련이 있는 리스크이다. 이행리스크는 저탄소경제로의 전환에서 발생할 수 있는 실물 및 금융 부문의 영향을 의미하며, 공공정책 변화, 기술 개발, 고객 및 투자자의 선호 변화 등 지속가능한 경제로의 조정 과정에서 발생한다.[15] 이행리스크는 환경규제로 인한 정책 리스크, 저탄소 기술 개발 및 상용화에 따른 기술 리스크, 친환경에 대한 시장 인식 변화로 인한 시장 및 평판 리스크 등이 있다.[16]

12) 2050 탄소중립녹색성장위원회(검색일: 2022.9.8.)
13) 금융감독원 보도자료(2021.12.8.)(검색일: 2022.9.8.)
14) 한국은행(2021b), p. 38.
15) 금융감독원 보도자료(2021.12.8.)(검색일: 2022.9.8.)

〈표 1-1〉은 기후변화의 파급경로를 보여준다. 물리적 리스크 파급경로를 살펴보면, 급진적 리스크는 경제주체의 자산 가치를 하락시켜 자본스톡을 감소시키고, 불확실성이 증대되어 투자 및 교역에 부정적인 영향을 준다. 한편, 점진적 리스크는 식량과 에너지 물가를 상승시키며, 노동생산성 및 근로시간을 감소시킨다. 이행리스크 중 정책 리스크는 온실가스 배출 규제로 인해 기업의 생산 비용이 상승하게 되고, 이로 인해 기업의 투자 위축을 유발할 소지가 있다. 또한 기술 리스크는 저탄소 기술 기반 신산업에 대한 투자를 촉진하고 신성장동력산업을 발굴할 수 있다는 장점이 있지만 환경규제 및 저탄소 기술 상용화로 인해 화석연료 관련 자산의 가치가 하락하는 좌초자산이 발생할 소지가 있다.

〈표 1-1〉 기후변화 파급경로

기후리스크		수요		공급		
		교역	투자	생산성	자산	식량·에너지
물리적 리스크	급진적	• 가치사슬 충격	• 불확실성		• 자산가치 하락 • 물적 자본 파괴	• 물가상승 • 식량안보
	점진적			• 노동생산성 감소 • 근로시간 감소 • 농축수산물 생산량 감소		
이행 리스크	정책	• 교역조건 악화	• 생산비용 상승	• 좌초자산에 따른 생산성 하락	• 좌초자산	• 물가상승
	기술		• 저탄소 기술 투자 확대			

자료: 인소영 박기영(2021), p. 150.

16) 기후리스크에 대한 세부 내용은 제3장을 참고하기 바란다.

이러한 기후리스크 파급경로에 대한 대응방법은 크게 순응, 지구공학(geoengineering), 저감으로 구분할 수 있다.[17] 순응은 기후변화를 인정하고 함께 살아가는 것을 의미하며, 지구공학은 기후변화를 늦추기 위한 대규모 환경 측면의 개입을 의미한다. 저감은 온실가스 배출을 줄여 기후변화를 막기 위한 대응방법으로, 본 연구의 주제인 탄소중립과 밀접한 관련이 있다.

1. 선행연구 결과

1) 물리적 리스크 분석 사례

물리적 리스크는 과거의 자연재해 및 점진적 환경변화 경험을 활용하여 기후충격(weather shock)의 영향을 분석하는 연구 방법을 사용하고 있다. 이와 같은 방법은 기후리스크 대응방법 중 순응의 효과를 분석하여 기후와 경제 간의 상관관계를 분석할 수 있는 장점이 있지만, 기후변화를 늦추기 위한 저감의 영향을 분석할 수 없다는 한계가 있다.

물리적 리스크의 경제적 영향을 분석한 다양한 연구가 진행되었다. 다국가를 대상으로 한 연구는 기후변화가 국가의 소득 정도에 따라 다르게 나타나는 비선형적 현상을 발견하였다. 지난 세기 동안 급격한 온도 상승 및 이산화탄소 배출량의 증가는 선진국과 신흥국의 경제에 큰 위기로 작용함에 따라 Dell, Jones, & Olken(2012)은 기온 상승이 경제에 미치는 영향을 분석하였다. 저자는 기온 상승이 저소득 국가의 경제성장을 둔화시키며 특히, 농업 및 산업 생산을 감소시킬 뿐만 아니라 정치적 안정성에도 부정적인 영향을 미친다고 주장하였다. 동 연구는 1900년부터 2006년의 기후

17) 인소영·박기영(2021), p. 150.

데이터를 활용하였으며 다국패널회귀모형을 적용하여 기온변화와 경제성장률의 상관관계에 대해 분석하였다. 저소득 국가일수록 기온 상승이 경제에 미치는 부정적 영향이 클 것이라는 연구는 Acevedo et al.(2020)의 결과와 일치한다. Acevedo et al.(2020)은 패널회귀모형 및 국소투영기법(LP: Local Projections)을 활용하여 기온 상승이 경제 활동, 산업별 산출량, 생산성, 자본 투자, 노동 공급에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과, 고온이며 저소득 국가일수록 투자 감소, 노동생산성 저하, 농업 및 산업 생산 감소로 이어지며 큰 비용을 수반할 것으로 나타났다. 기온 상승은 국가별 발전 정도에 따라 다르게 나타났으며 오히려 이산화탄소 배출량이 적은 저소득 국가에서 큰 피해를 입을 것으로 파악되었다.

단일국가에 대한 기후충격의 영향을 분석한 연구로는 Gallic & Vermandel(2020)이 있다. 동 연구는 DSGE(Dynamic Stochastic General Equilibrium, 동태확률일반균형)모형과 SVAR(Structural VectorAutoregressive, 구조형벡터자기회귀)모형을 활용하여 기후충격이 뉴질랜드 경제에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과, 기후충격은 뉴질랜드의 농업 생산량에 부정적인 영향을 주는 것으로 나타났으며, 투자 위축과 근로시간 증가의 파급경로를 통해 경기침체를 유발하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 기후충격이 지속될 경우 추가적인 기후충격 완화를 위한 복지비용이 증가할 것임을 시사하였다.

Graff Zivin & Neidell(2014)은 기온 변화가 개인의 노동시간, 여가활동 및 건강에 미치는 영향을 분석하였다. 동 연구는 미국 내 개인 데이터를 활용하여 기온과 시간 배분 간 상관관계를 분석하였다. 분석 결과, 기온이 섭씨 29도 이상으로 증가할 때 기후에 노출이 많이 되는 산업의 종사자는 근로시간을 줄이는 것으로 나타났다. 또한 저자는 근로시간 외에도 환경요인이 여가 수요에 미치는 영향을 실증적으로 분석하였다. 연구 결과, 기온이 상승할 때, 개인은 야외 레저활동을 실내 레저활동으로 전환하는 것

을 확인할 수 있었다.

한편, 급진적 리스크의 한 종류인 홍수 피해의 경제적 파급효과를 분석한 연구는 자연재해가 자본스톡의 손실을 유발한다는 점에 주목하였다. 정기호·황성윤(2014)은 동태 연산가능일반균형(CGE: Computable General Equilibrium) 모형을 적용하여 홍수 피해로 인한 경제적 파급효과를 분석하였다. 분석 결과, 수산업과 운송업의 생산 감소가 크고, 홍수피해로 인한 자본 감소가 국가에 미치는 영향이 장기적임을 확인할 수 있었다. 네덜란드를 대상으로 한 Jonkman et al.(2008)은 홍수 피해를 예방하고 잠재적 피해의 범위를 줄이기 위해서 저지대 지역에 대한 사전적 예방조치가 필요하다고 주장하였다.

물리적 리스크 분석 사례는 기후변화에 따른 경제성장률 및 개개인의 노동시간 변화를 정량적으로 분석하였다. 특히 점진적 변화는 저소득 국가의 경제성장에 부정적인 영향을 미치는 것으로 파악되었으며 기후의 영향을 많이 받는 산업일수록 노동생산성 및 근로시간의 감소가 두드러졌다. 한편 급진적 변화는 자본피해를 유발하며, 국민경제에 미치는 영향이 장기적인 것으로 나타났다.

물리적 리스크는 해양수산분야와 밀접한 관련이 있다. 특히 수산업은 점진적 리스크에 노출되어 있는데, 관련 연구로 기후변화가 어업 및 국가에 미치는 영향을 분석한 연구(Allison et al., 2009), 수산자본 및 생산성에 대한 연구(Brander, 2010; Ha, 2022), 어업과 농업 및 인류 복지에 미치는 영향을 분석한 연구(CDCC, 2011) 등이 있다. Allison et al.(2009)은 지구 온난화로 잠재적 기후변화가 어업에 미치는 영향과 국가 경제의 취약성 간의 상관관계를 분석하였다. 동 연구는 132개 국가들을 대상으로 기후변화에 따른 어업 영향 분석을 위해 지표기반분석을 실시하였다. 분석 결과, 가장 취약하다고 판단된 국가들은 주로 최저개발국(least developed

countries)으로 국민의 식이 단백질 중 수산물에 대한 의존도가 27%였고 수산물 수출은 전 세계 13%를 차지하였다. 저자는 기후변화에 따른 정부의 대처 능력이 부족할 경우, 위와 같은 수산물 의존도가 높고 경제적으로 발달이 더딘 나라들의 경제적 취약성은 증대되고 경제의 성장률도 감소할 것이라고 주장하였다. Brander(2010)는 기후변화가 수산자본에 미치는 영향을 데이터 및 사례 분석을 통해 분석하였다. 과거 기온 변화 데이터를 활용하여 해역별 대구를 포함한 수산 어종의 성장 기간별 무게, 개체 수를 비교·분석하였으며 이들 간에 높은 상관관계가 있음을 밝혔다. 지속가능한 어업을 유지하기 위해서는 기후변화에 관한 국제적 협력 및 기온과 수산자본에 관한 중장기적인 모니터링의 중요성을 강조하였다. 단일 국가를 대상으로 기후변화와 어업 생산량에 관한 연구도 수행되었는데, Ha(2022)는 시계열데이터를 활용한 자기시차분포(ARDL: AutoRegressive Distributed Lag) 모형으로 베트남의 해수면 온도 변화가 수산 자본, 분포도, 어업 생산성에 미치는 영향을 분석하였다. 분석 결과, 장기적으로 해수면 온도와 수산물 생산량은 음의 상관관계를 지니는 것을 확인할 수 있었으며, 지속가능한 생산량을 위한 어업 활동 제한을 강조하였다. CDCC(2011)는 가이아나의 농업 및 어업, 해안을 포함한 거주지, 거주자의 건강 상태에 관해 기후변화 시나리오 분석을 실시하였다. 동 연구는 2050년까지 기후변화가 지속될 경우 수산업에서 1,500만에서 3,400만 달러의 손실이 발생할 것으로 추정하였다. 어업 분야의 기후변화 순응전략으로 맹그로브 개발 및 복원, 공공 교육 강화 등과 같은 전략을 제시하였다. 기후변화 시나리오를 통해 해양 생태계의 생물 침입, 멸종, 종 전환을 분석한 Cheung et al.(2009)은 기후변화로 인해 해수면 온도가 상승할 경우 고위도 지역의 생물 다양성에 큰 영향을 미칠 것으로 분석하였다. 특히 북극과 남반구 해역에서의 새로운 종의 침입이 두드러질 것이며 이러한 해양 생태계 교란은 고유의 생태계를 파괴할 수 있다고 언급하였다.

Becker et al.(2018)은 항만업이 급진적 리스크에 취약하다고 주장하였다. 취약성 평가(vulnerability-led assessment)를 통해 항만의 기후리스크 노출 정도를 분석한 결과, 이미 세계의 많은 항만이 기후와 관련된 위험으로부터 피해를 받고 있으며 적절한 조치가 없을 경우, 그 피해는 심각할 것이라고 언급하였다. 또한 저자는 해수면 및 온도 상승, 자연재해 증가 등의 기후변화는 항만의 리스크를 높일 뿐만 아니라 공급 사슬망 전체에 부정적인 영향을 미칠 수 있다고 주장하였다. 이러한 기후리스크에 대처하고 항만 적응력 증대를 위해 항만 당국과 정책 입안자, 산업 실무자의 협력 증대, 연구자들의 정보 접근성 강화를 통한 실용적인 연구 강화 등을 주요 해결책으로 제시하였다. Ng et al.(2013)은 항만이 기후변화 영향을 받을 경우, 세계 경제와 복지에 상당한 영향을 줄 것임을 강조하며, 호주의 4개 항만을 대상으로 기후변화에 대한 항만의 순응전략을 분석하였다. 분석 결과, 항만 관리자의 기후변화에 대한 인식은 단편적인 것으로 나타나 향후 기후변화에 대한 효율적인 대응책 마련의 중요성을 강조하였다.

〈표 1-2〉는 물리적 리스크 분석 사례의 주요 결과를 보여준다. 물리적 리스크를 분석한 연구는 기후리스크 대응방법 중 순응을 주로 분석하였다. 기후변화에 대한 조치를 취하지 않는다는 점에서 순응은 사회·경제적 비용이 상대적으로 적을 것이라 생각할 수 있지만 선행연구의 결과는 물리적 리스크로 인한 경제적 비용이 상당할 수 있고, 그 결과가 국가의 소득 수준에 따라 상이할 수 있음을 보였다. 따라서 기후변화를 늦추기 위한 저감이 중요하다고 할 수 있는데, 다음은 저감 대응에서 발생할 수 있는 이행리스크에 대한 선행연구를 살펴보도록 한다.

〈표 1-2〉 물리적 리스크 관련 주요 선행연구

분석 대상	주요 연구	방법론	주요 결과
경제 일반	• Dell, Jones, & Olken(2012) • Acvevedo et al.(2020) • Gallic & Vermandel(2020) • Graff Zivin & Neidell(2014) • 정기호·황성윤(2014) • Jonkman et al.(2008)	• 패널회귀분석 • 국소투영기법 • SVAR 모형 • DSGE 모형 • 동태CGE	• 국가 소득수준에 따른 기후변화의 비선형적 영향 • 농산물 생산량 감소 • 노동생산성 및 근로시간 감소 • 자본 손실 • 기후변화의 장기적 영향
수산	• Allison et al.(2009) • Brander(2010) • Ha(2022) • CDCC(2011) • Cheung et al.(2009)	• 지표기반분석 • 사례분석 • ARDL 모형 • 시나리오 분석	• 수산업 생산량 감소 • 해양생태계 교란
항만	• Becker et al.(2018) • Ng et al.(2013)	• 취약성 평가 • 사례분석	• 자연재해에 대한 취약성

자료: 저자 작성

2) 이행리스크 분석 사례

(1) 정책 리스크 분석 사례

기후리스크는 기후변화가 사회, 경제 및 자연환경의 복잡한 상호작용의 결과이기 때문에 분석에 한계가 있다. 이러한 불확실성은 탄소중립의 장기적 영향, 즉 이행리스크의 분석을 어렵게 하는 요인으로 작용한다. 이행리스크 관련 선행연구는 온실가스 배출을 줄이기 위한 대응방법인 저감의 경제적 영향을 분석하였다.

대표적인 이행리스크인 탄소가격제도(carbon pricing)는 정부가 경제주체의 온실가스 배출에 가격을 부과하여, 온실가스 배출을 감소시키고, 나아가 화석연료에 대한 상대가격 상승을 통해 저탄소 기술 상용화를 촉진시키고자 하는 시장기반정책이다. 탄소가격제도의 도입이 온실가스 배출량을

줄이는 데 효과적이라는 연구로 Martin et al.(2014)이 있다. 동 연구는 100% 탄소세율을 적용받는 제조업체와 20%를 적용받는 기업을 비교하였다. 분석 결과, 탄소세가 전력 사용을 감소시키는 데 효과가 있음을 확인하였다. Calel & Dechezlepretre(2016)는 EU의 온실가스 배출권거래제(ETS: Emissions Trading System)가 저탄소 기술 성장을 촉진시킨다는 것을 밝혔다.

탄소가격제도는 가격신호를 통해 온실가스 배출을 줄이는 데 효과적인 정책이지만 비용 상승에 따른 투자 감축, 일자리 감소 등 경제에 부정적인 영향을 줄 수 있다는 우려도 있다. Metcalf & Stock(2020)은 이러한 탄소가격제도의 부정적인 영향이 실증적으로 존재하는지를 유럽의 데이터를 활용하여 분석하였다. 분석 방법으로 패널회귀분석, 국소투영기법 및 SVAR 모형을 활용하였으며, GDP, 고용, 그리고 온실가스 배출량을 주요 변수로 설정하였다. 분석 결과, 탄소세는 GDP와 고용에 부정적인 영향을 주지 않는 것으로 나타났으며 온실가스 배출량은 유의하게 감소시키는 것을 확인할 수 있었다.

정부가 탄소세를 통해 얻은 추가 수입을 세제 개편, 재분배에 사용할 경우 오히려 긍정적인 영향을 줄 수 있음을 밝힌 연구도 있다. Metcalf(2019)는 이중차분법(DD: Difference-in-Difference)을 활용하여 유럽과 캐나다 브리티시컬럼비아주를 대상으로 탄소세의 영향을 분석하였다. 저자는 정부의 탄소세 수입 사용 변화는 탄소세가 GDP에 긍정적인 영향을 줄 수 있음을 밝혔다. Bernard, Kichian, & Islam(2018)과 Yamazaki(2017)도 브리티시컬럼비아주의 탄소세 영향을 분석하였다. Bernard, Kichian, & Islam(2018)은 VAR모형을 활용하여 탄소세가 GDP에 아무런 영향을 주지 못하는 것을 밝혔으며, 탄소세와 고용 간의 관계를 분석한 Yamazaki(2017)는 탄소세의 도입이 고용에 긍정적인 영향을 주는 것을 밝혀냈으며, 고탄소산업에서 저탄소산업으로의 직업 이동이 고용 증가의 주요 원인이라

고 하였다.

한편, CGE를 활용한 연구는 탄소세의 도입이 온실가스 배출량 감소에는 효과적이나 경제에 부정적인 영향을 줄 수 있음을 시사하고 있다. Goulder & Hafstead(2018)는 다른 세제의 변화가 없을 경우, 탄소세는 GDP에 부정적인 영향을 줄 것이라 주장하였으며, Goulder et al.(2019)의 연구도 비슷한 결과를 나타냈다.

한편, 해운업 관련 선행연구는 해운업이 국제해사기구(IMO: International Maritime Organization)의 환경규제 및 EU의 탄소국경조정메커니즘(CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism) 등 이행리스크에 노출되어 있음을 지적하였다. 또한 운송 부문은 내연기관 효율성을 고려할 때, 탄소중립 달성이 가장 어려운 부문이라 할 수 있다.[18] Metzger & Schinas(2019)는 IMO의 2050년까지의 온실가스 목표 감축량을 토대로 탄소중립 달성을 위한 해운업의 녹색 기술 투자전략 방안을 제시하였다. Wan et al.(2018)은 선박의 온실가스 배출량을 낮추고 평균 온도 상승을 2도 이하로 유지하기 위한 방안으로 기술 전략, 운영 전략과 더불어 시장 기반의 해결책이 동반되어야 함을 강조하였다. 온실가스 배출권거래제는 배출 감소 목표를 충족시키면서 기업의 이행 비용 또한 낮출 수 있으며, 나아가 이러한 정책의 효율적 시행을 위해 국지적 노력이 필요함을 언급하였다. Lee & Nam(2017)은 우리나라 해운업의 녹색 해운(green shipping) 달성을 위해 녹색 해운의 정의를 살펴보고, 문헌 연구를 통해 조선사, 해운기업, 항만, 정책의 종합적인 관점에서 녹색 해운 달성을 위한 전략을 제시하였다. 구체적인 대응방안으로 해운-조선 협력망 구축, 해운-조선업 정보 공유 및 공동 비용 절감, 조선사별 친환경선박의 R&D 투자 확대, 정부의 LNG 연료선 지원 확대 등으로 국내 해운업의 경쟁력을 도모하고 기후변화에

18) Metcalf & Stock(2020), p. 5.

대응할 수 있다고 언급하였다.

〈표 1-3〉은 정책리스크 주요 분석 사례를 보여준다. 정책리스크에 대한 연구는 탄소가격제도가 온실가스 배출량을 줄이고, 저탄소 기술 개발에 효과적이라는 것에는 대체로 유사한 결과를 보이지만 연구에 따라 경제적 영향에 대해서는 상반된 결과를 보이는데, 이는 탄소가격제도를 통한 정부의 수입 활용에 따른 것으로 보인다.

〈표 1-3〉 정책 리스크 관련 주요 선행연구

분석 대상	주요 연구	방법론	주요 결과
탄소 가격 제도	• Martin et al.(2014) • Calel & Dechezlepretre(2016) • Metcalf & Watson(2020) • Metcalf(2019) • Bernard et al.(2018) • Yamazaki(2017) • Goulder & Hafstead(2018) • Goulder et al.(2019)	• 패널회귀분석 • DD • 국소투영기법 • VAR • CGE	• 탄소가격제도는 온실가스 배출량 감축에 긍정적인 영향 • 연구에 따라 탄소가격제도는 경제적으로 부정적인 영향을 주거나 긍정적인 영향 • 탄소가격제도를 통한 정부의 수입 활용이 경제에 대한 부정적인 영향을 완화할 수 있을 것
해운	• Metzger & Schinas(2019) • Wan et al.(2018) • Lee & Nam(2017)	• 문헌조사 • 사례분석 • Fuzzy Real Option Valuation	• 녹색 해운 달성을 위한 정책지원, 기술 및 운영전략

자료: 저자 작성

(2) 기후 스트레스 테스트 분석 사례

저탄소경제로의 이행에 막대한 자본이 필요할 것으로 예상되고, 이행과정에서 기후리스크가 금융리스크로 전이될 우려가 커짐에 따라 각국 중앙은행 및 감독기구는 기후 위험에 대한 대비를 시작하였다. 앞서 살펴본 연

구가 과거의 경험(데이터)을 바탕으로 기후리스크의 사회·경제적 영향을 살펴보았다면, 탄소중립 이행과정에서 발생할 수 있는 경제적 영향은 2050년부터 2100년까지 장기간의 분석기간을 대상으로 하여야 한다. 따라서 기후변화의 높은 불확실성으로 인해 전통적인 계량경제학 모형의 적용에 한계가 있다.[19]

Battiston, Dafermos, & Monasterolo(2021)는 기후리스크와 금융안정성에 대한 분석 방법 연구에서 기후리스크의 주요 특성으로 불확실성, 비선형성, 내생성 지목하였다. 특히, 불확실성을 기후변화의 가장 큰 특성으로 들며 불확실성으로 인해 기후리스크 분석에 CGE, DSGE 등과 같은 전통적인 계량경제모형의 적용이 어렵다고 하였다. 저자는 기후변화 영향을 분석할 만한 충분한 데이터가 축적되지 않았다는 점과 탄소중립 이행과정에서 나타나는 경제 현상은 기후변화 정책, 산업 대응, 기술 혁신, 소비자 반응 등이 복잡하게 얽혀 발현되는 결과이며, 이러한 상호작용은 비선형적 다중 균형(multi equilibria)의 형태로 나타난다는 점도 전통적인 계량경제모형 적용이 어려운 이유로 지목하였다.

탄소의 사회적 비용, 저탄소경제 이행에 필요한 최적 정책 등 기후변화의 경제적 영향을 평가하기 위한 대표적 모형으로 통합평가모형(IAM: Integrated Assessment Model)이 있다. Wang et al.(2017)에 따르면, IAM은 기후와 경제 시스템을 통합한 모형을 통칭하는 용어로 연구자 및 연구 범위에 따라 정의가 다양하다. 동 모형은 경제성장모형에 복사 강제력 방정식, 기후변화 방정식, 기후변화로 인한 손실관계 등 지구물리학적 요소를 통합한 모형이다.[20] IAM의 대표적인 모형으로는 Nordhaus(1993)의 DICE(Dynamic Integrated Climate-Economy) 모형과 DICE 모형을 세분화시킨 Nordhaus & Yang(1996)의 RICE(Regional Integrated Climate-Economy model)

19) Battiston, Dafermos, & Monasterolo(2021), pp. 2-3.
20) 인소영·박기영(2021), p. 160.

모형 등이 있으며, 그 외에도 Hope, Anderson, & Wenman(1993)의 PAGE(Policy Analysis of the Greenhouse Effect) 모형 등이 있다. 김용건·채여라(2009)는 PAGE모형을 통해 우리나라 실정에 맞는 사회·경제적 시나리오를 설정하고 수자원, 해안 등의 경제적 영향을 분석하였으며, 안영환·김동구(2017)는 RICE모형에서 우리나라를 독립된 지역으로 식별하고, 국제적 온실가스 배출량 감소가 우리나라 GDP에 미치는 영향을 분석하였다. Pindyck(2013)는 IAM이 기후변화 관련 요인을 고려하여 모형을 구성하지만 거시경제에 대한 고려가 부족하고 모형의 구축과 추정에 어려움이 따른다고 지적한 바 있다.

이처럼 전통적인 계량경제모형은 기후리스크 분석에 적당하지 않고, IAM은 세분화된 연구대상 분석에 한계가 있다고 할 수 있다. 이에 NGFS(2020)는 기후리스크 분석을 위해 다모형(a suite of models)을 통해 기후스트레스 테스트를 수행할 것을 권고하였다. 기후 스트레스 테스트는 기후리스크의 불확실성, 비선형성 등의 특성을 고려하여 다양한 상황을 가정한 미래 가상 시나리오를 설정하고, 각 시나리오별 경제의 영향을 살피는 분석 방법이다. 따라서 발생 가능 확률이 가장 높은 상황을 예측하는 전통적인 계량경제모형과는 달리 기후 스트레스 테스트는 다양한 결과를 바탕으로 발생 가능한 상황에 대한 다수의 대응책을 살펴보고, 기후대응역량을 키우는 것을 목적으로 한다.[21] TCFD(2017b) 및 NGFS(2020)는 기후리스크의 위험성을 강조하면서 기후 스트레스 테스트 분석을 시행할 것을 권고하고 있다. NGFS(2020)에 따르면 우리나라를 비롯한 23개 중앙은행 및 감독기구는 기후 스트레스 테스트 모형을 개발 중이거나 개발을 완료하였다.

인소영·박기영(2021)이 주장하였듯이, 기후리스크 분석은 기후변화 부

21) Allen et al.(2020), p. 3.

문과 경제 부문의 상호작용을 묘사하여야 하는데, 현 단계에서는 두 부문의 상호작용을 만족스럽게 표현하는 모형이 부족하다고 볼 수 있다. 따라서 NGFS(2020)는 단일 모형보다는 다모형을 일관성 있게 사용하는 것을 권장하고 있다. 기후 스트레스 테스트의 방법론으로 사용되는 다모형 접근은 각 모형의 분석대상을 종합하여 기후리스크 영향을 분석하는 방식인데, 예를 들어, 기후변화에 대한 전반적인 시나리오는 IAM의 결과를 활용하되, 연구 목적에 맞는 세분화된 자료에 대한 분석은 일관성이 있는 모형을 조합하는 방법이다. 한국은행의 김재윤·전은경(2021)은 IAM을 활용한 NGFS 기후 시나리오를 바탕으로 비모수적 재무지표(non-parametric financial ratio) 모형 등을 활용하여 우리나라 이행리스크를 분석한 바 있다.

한국은행의 김재윤·전은경(2021)은 기후변화 대응과정에 발생하는 이행리스크가 우리나라 경제 및 금융시스템에 미치는 영향을 분석하였다. NGFS(2021)가 우리나라를 대상으로 작성한 시나리오 중 '2℃ 이하'와 '2050 탄소중립' 시나리오를 적용하여 분석하였는데, 두 시나리오 모두 2021년부터 온실가스 감축정책을 시행한다는 점은 동일하지만 '2050 탄소중립' 시나리오만이 2050년경 탄소중립을 달성하고 지구평균온도 상승폭을 1.5℃로 억제한다는 차이가 있다. 저자는 우리나라 온실가스 목표 관리제 및 배출권거래제에 등록된 기업을 대상으로 온실가스 감축정책 및 기술발전이 우리나라 경제와 금융시스템에 미치는 영향을 분석하였다. 분석결과, 이행리스크는 경제와 금융에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이는 고탄소산업일수록 큰 손실을 입는 것을 확인할 수 있어 이행리스크에 대한 선제적 대응이 필요함을 강조하였다.

유럽투자은행(EIB: European Investment Bank)은 EU의 기후은행으로서 기후 로드맵을 발표하였는데, 유럽중앙은행의 Alogoskoufis et al.(2021)은 기후 로드맵의 첫 단계로 기후 스트레스 테스트를 수행하였다.[22] 동 연구는 ① NGFS의 시나리오를 바탕으로 향후 30년간 예상되는 기후변화

및 거시경제 여건 변화를 포함하는 시나리오(climate-specific scenario)를 설정하고, ② 전 세계 수백만 개 기업의 기후 및 재무 관련정보를 은행의 대출 및 보유 담보에 매핑(mapping)하여, ③ 맞춤형 기후 모델(climate specific model)을 통해 기후리스크 요인의 파급 경로(transmission channel)를 파악하는 것으로 구성되었다. 분석 결과, 이행리스크는 기업 및 은행에게 모두 부정적인 영향을 주는 것으로 나타났으나, 시나리오 중 질서 있고 계획적인 기후변화 정책의 시행이 부정적인 영향이 가장 작은 것을 확인할 수 있었다.

이와 같은 결과는 프랑스 중앙은행의 Allen et al.(2020)과 동일하다. Allen et al.(2020)은 기후변화 정책과 이행리스크가 프랑스 경제 및 금융에 미치는 영향을 분석하기 위해 기후 스트레스 테스트를 수행하였다. 분석 결과, 탄소중립에 대한 '무질서한 이행' 시나리오에서 부정적인 영향이 가장 큰 것으로 나타나 탄소중립으로의 질서있는 이행의 중요성을 강조하였으며, 부정적인 영향은 산업 부문에 따라 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

기후 스트레스 테스트를 수행한 연구는 연구에 따라 데이터, 분석대상 및 범위, 시나리오, 모형 등에서 차이를 보이는데, 이는 아직 연구가 초기 단계에 머물러 있어 표준화된 모형이 부족하기 때문이다. 기후 스트레스 테스트에서 시나리오는 분석 결과의 개연성, 객관성 등을 결정하는 매우 중요한 역할을 한다. 선행 연구는 주로 NGFS의 기후 시나리오를 사용하여 이행리스크의 영향을 분석한 것으로 나타났다. 다수의 중앙은행 및 감독기구는 NGFS 시나리오를 적용하여 분석 결과의 현실 가능성 및 개연성을 확보하고자 하였는데, 연구에 따라 자체 시나리오를 적용한 사례도 있다.

네덜란드 중앙은행의 Vermeulen et al.(2018)은 자체 시나리오를 적용

22) 기후 로드맵이란 기후변화 및 지속 가능한 경제로의 이행이 물가안정에 미치는 영향을 고려하기 위해 기후 요소를 통화정책 프레임워크에 포함하고 이를 실행하기 위한 구체적인 로드맵을 의미한다.

하여 이행리스크의 영향을 분석하였다. 저자는 전문가 의견과 문헌조사를 통해 정부정책 충격과 기술발전 충격 시나리오 등 네 가지 시나리오를 적용하였는데, 정부정책 충격은 탄소세 가격인상이 일어나는 상황을 가정하였으며, 기술발전 충격은 재생에너지 비중 확대에 대한 시나리오를 설정하였다. 분석 결과, 전력발전업과 해운업이 정부정책 충격에 취약한 것으로 나타났으며, 금융기관의 위험관리를 위해서 이행리스크 요인을 포함해야 한다고 주장하였다.

〈표 1-4〉 기후 스트레스 테스트 관련 주요 선행연구

분석대상	주요 연구	방법론	주요 결과
한국	• 김재윤·전은경(2021)	• 기후 스트레스 테스트	• 저탄소경제로의 이행을 위한 적극적이고 질서 있는 정책의 시행의 중요성 • 이행리스크에 취약한 고탄소산업을 위한 선제적 대응 강조
유럽	• Alogoskoufis et al.(2021)		
프랑스	• Allen et al.(2020)		
노르웨이	• Grippa & Mann(2020)		
네덜란드	• Vermeulen et al.(2018)		
캐나다	• Ens & Johnston(2020)		

자료: 저자 작성

〈표 1-4〉에서 확인할 수 있듯이, 기후 스트레스 테스트 관련 주요 선행연구는 탄소중립이 경제 및 금융에 부정적인 영향을 주는 것을 밝혔다. 그러나 장기적으로 보았을 때, 적극적이고 질서 있는 이행의 부정적 영향이 가장 적은 것으로 나타났으며, 부정적인 영향을 완화하기 위한 저탄소기술 개발·상용화의 역할을 강조하였다. 주요 선행연구의 실물 부문 영향은 다음과 같다. 김재윤·전은경(2021)은 저탄소경제로의 이행으로 인해 2050년 우리나라 GDP는 기준 시나리오 대비 2.7%~7.4% 감소하는 것으로 추정하였으며, Allen et al.(2020)은 탄소중립으로 인해 2050년 프랑스 GDP가 2.0%~5.5% 감소할 것이라고 밝혔다. Ens & Johnston(2020)은 탄소중립 이행리스크에 따른 비용이 캐나다 GDP의 3.0%~20.0%에 달할 것으로 추정하였다.

2. 본 연구의 차별성

선행연구 고찰을 통해 기후변화의 사회·경제적 영향에 대해 알아보았다. 기후리스크 대응방법 중 순응의 영향을 살펴본 물리적 리스크 관련 연구는 급진적 리스크뿐만 아니라 점진적 리스크도 경제적 비용을 발생시키며 그 영향은 국가의 소득 수준과 근로 형태에 따라 상이하다고 하였다. 적극적인 행동을 통해 기후리스크를 줄이는 대응방법인 저감에 관한 관련 연구로 탄소가격제도와 기후 스트레스 테스트 관련 문헌을 검토하였다. 탄소가격제도는 온실가스 감축에 효과적이며 저탄소 기술 발전을 촉진시키는 효과가 있는 것을 확인할 수 있었다. 동 제도의 부정적인 영향인 경기 침체 및 고용 감소 유발은 연구에 따라 다른 결과를 보였다. 그러나 몇몇 연구 결과를 통해 이러한 영향은 정부가 탄소가격제도를 통해 얻은 추가 수입을 세제개편 및 재분배에 활용할 경우 상쇄할 수 있는 것으로 나타났다.

해양수산분야에 대한 연구는 분야별 특성에 따라 다양한 주제에 분포되어 있었다. 수산분야는 해수면 온도 상승과 같은 점진적 리스크와 관련된 연구가 진행되고 있었고, 항만분야는 자연재해 등과 같은 급진적 리스크에 대한 연구가 주를 이루었다. 한편, 환경규제 및 탄소국경세의 대상이 되는 해운업은 이행리스크에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있음을 확인할 수 있었다. 이렇듯, 해양수산분야는 해양이라는 공간을 중심으로 성격이 다른 산업들이 혼합되어 있기 때문에 공통된 모형을 통해 종합적으로 해양수산분야의 기후리스크를 분석한 사례는 부족하다고 할 수 있다.

본 연구는 해양수산분야에 대한 탄소중립 영향을 종합적으로 분석이 가능한 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형을 구축하여 이행리스크가 전체 해양수산분야 및 각 분야에 미치는 경제적 영향을 최초로 평가하였다는 점에서 차별성을 지닌다. 해양수산분야 온실가스 배출량 특성을 분석하여 해양수산분야 생산활동에서 온실가스 의존도를 살펴보았으며, 탄소가격제도,

저탄소 기술 발전 등 탄소중립의 주요 도구와 실물 및 금융 부문의 상호작용을 모형화하여 분석하였다는 점은 방법론적 차별성이라 할 수 있다. 선행연구에서 살펴보았듯이, 기후 스트레스 테스트 분석은 아직 초기 단계이기 때문에 가용 데이터가 부족하고, 표준화된 모형이 부재하다는 한계가 있다. 그럼에도 불구하고 본 연구는 선제적으로 분석모형을 구축하여 탄소중립의 영향을 분석하였다. 모형의 객관성을 담보하기 위해 한국은행의 김재윤·전은경(2021)의 모형과 기본적인 틀을 공유하였으며, NGFS의 기후 시나리오를 적용하여 선행연구 결과와 비교가능성을 확보하고자 하였다. 본 연구의 차별성은 〈표 1-5〉와 같다.

〈표 1-5〉 본 연구의 차별성

구분	선행연구	본 연구
연구 대상	• 국가 경제 • 산업분류 기준 중분류	• 해양수산분야 포괄 • 해양수산분야 세분화를 통한 분야별 영향 분석
연구 방법	• 기후 스트레스 테스트	• 해양수산분야에 특화된 해양수산 기후 스트레스 테스트 구축

자료: 저자 작성

본 연구는 탄소중립 영향 분석을 위해 새로운 분석 방법을 제안함으로써 실증분석 연구 발전에 학술적으로 기여할 것이다. 기후 스트레스 테스트 적용을 위한 기후 시나리오 검토와 탄소중립 이행도구와 주요 변수 간 상호작용을 반영한 모형을 구축함으로써 해양수산분야 탄소중립 달성을 위한 의사결정을 돕는 기초자료 제공을 통해 정책적으로도 기여할 수 있다.

02
탄소중립 정책동향

2050년 탄소중립 달성이 모두가 이루어야 할 국제사회의 목표로 자리잡으면서 우리나라를 비롯한 주요국은 탄소중립 달성을 위한 정책 수립에 속도를 내고 있다. 2020년 12월 기준 탄소중립을 선언한 나라는 128개국이며, G7 국가 중 이탈리아를 제외한 6개국(미국, 일본, 독일, 캐나다, 영국, 프랑스)이 탄소중립을 선언하였다.[23] 주요국은 태양광, 해상풍력 등과 같은 신재생에너지 비중 확대와 저탄소 수송, 산업공정 효율화, CCUS 등 친환경기술 보급·상용화를 활용하여 탄소중립을 달성하고자 한다.

한편, 이러한 흐름에 발맞추어 우리나라 해양수산분야에서도 탄소중립 달성을 위한 적극적인 정책과 로드맵을 수립하고 있다. 해양산업을 총괄하는 해양수산부 외에도 환경부, 산업통상자원부는 기업의 온실가스 배출 저감을 유도하기 위한 다양한 정책을 시행하고 있다.

본 장에서는 제1장에서 고찰한 탄소중립의 이론적 배경을 바탕으로 탄소중립을 선언한 주요국의 정책동향과 특징을 살펴보고자 한다. 또한 우리나라의 주요 탄소중립 시나리오 분석을 통해 탄소중립 사회 실현을 위한 계획을 살펴보았다.

23) 이구용·이민아(2021), p. 6.

제1절 주요국 탄소중립 정책 추진현황

1. 미국

미국 바이든 대통령은 취임 첫날 파리협정 재가입을 선언하고 '기후변화 대응'을 국가안보와 외교정책 분야 주요 어젠다로 설정하였다. 미국은 2035년까지 발전 분야의 탄소중립, 2050년까지 국가적 탄소중립이라는 장기목표와 함께 2030년까지 온실가스 배출을 2005년 대비 50~52%를 감축하는 목표를 세웠다.[24] 이를 위해, 2021년 1월부터 일련의 정책을 발표하여 탄소중립을 위한 R&D 투자, 금융지원, 탄소국경세, 청정에너지 사용 촉진 등을 추진할 것이라고 밝혔다.

미국 당국은 청정에너지기술분야의 연구개발을 위해 향후 10년간 350억 달러를 투자하여 기후고등연구계획국(ARPA-C: Advanced Research Projects Agency-Climate) 설립, 기후변화 관련 연구, 에너지기술실증(대규모 에너지 저장, 탄소포집 및 저장, 수소, 전기자동차 등)에 지원할 것이다. 또한, 10대 기후혁신 기술(탄소중립 건물, 1/10 비용저감한 에너지 저장시스템, 저탄소 항공기 및 선박 연료 등)을 선정하여 미국 에너지부에서 1억 달러를 투자할 계획이다.[25]

한편, 2021년 7월 미국 민주당에서 탄소국경세를 부과하기 위한 '공정한 전환 및 경쟁법(Fair Transition and Competition Act)' 법안을 발의하였다. 동 법안은 2024년을 목표로 철강, 알루미늄, 시멘트 등 탄소배출량이 많은 수입품에 우선 적용하여 이후 점차 확대할 예정이다. 이에 따른 세제는 온실가스를 줄이거나 없애는 연구개발, 실증, 기술이전, 상용화, 기술

24) United States Department of State(2021), p. 4.
25) 이민아·이구용(2021), p. 8.

수출 등에 활용하고자 한다. 또한, 청정에너지 사용 촉진을 위해 미국 정부는 2030년까지 해상풍력 발전설비 구축, 육상 청정에너지 확대 등에 노력을 집중할 예정이다. 특히 해양수산분야에서 교통부는 항구인프라개발 프로그램을 선도하고 있으며, 해상풍력 연구·개발을 위한 항만 개발에 총 300만 달러를 지원할 계획이다.

〈표 2-1〉 미국의 탄소중립 관련 주요 정책 및 내용

주요 정책	주요 내용
('21.1월) 파리기후협약 복귀	• 기후변화에 글로벌 리더쉽 회복 노력 선언
('21.1월) 국내외 기후위기 대처 행정명령	• 2050 탄소중립 목표 선언 • 기후특사 임명, 국가기후태스크포스 신설 등
('21.2월) 기후위기 대응을 위한 과학기술 혁신계획	• 탄소중립 R&D 투자 가속화를 위해 ARPA-C를 출범 • 국가기후태스크포스 내 국가기후혁신워킹그룹 신설 및 투자 등
('21.3월) 미국 일자리계획	• 2030년까지 30GW 규모의 해상풍력 프로젝트 구축 • 탄소중립 관련 350억 달러 투자
('21.5월) 기후 관련 금융위험에 대한 행정명령	• 탄소중립을 위한 자금조달에 대한 전략 개발, 기후 관련 금융위험에 대한 정책통합방안 마련 등
('21.7월) 탄소국경세 법안	• 2024년 1월 철강, 알루미늄 등 온실가스 다배출 대상품목에 탄소국경세 부과
('22.1월) 청정에너지성장조치	• 해상풍력 개발, 육상 청정에너지 확대, 국가 송전망 확충 등

자료: 이민아·이구용(2021), pp. 7-10; 정귀희·문영석(2021), pp. 1-6을 바탕으로 저자 작성

최근 바이든 정부는 '2050 탄소중립 달성을 위한 장기 전략(The Long-Term Strategy of The United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050)'을 발표하였다. 동 전략 보고서는 2050 탄소중립의 필요성을 강조하면서 탄소중립 시나리오에서 탄소흡수, 전력, 수송, 산업, 건물과 비탄소 온실가스 등 6대 부문에서 기술 혁신이 필요하며, 이를 위해 전력 탈탄소화, 최종사용부문 전기화 및 청정 연료로의 전환, 에너지 소비 절감, 메탄 및 기타 비탄소 온실가스 배출 저감, 이산화탄소 흡수 확대 등의 전략이 요구된다고 언급하였다.

〈표 2-2〉 미국 탄소중립을 위한 5대 전략 방향

구분	주요 내용
전력 탈탄소화	• 최근 청정 전력시스템으로의 전환은 태양광 및 풍력 기술 비용 하락, 연방 및 지방정책, 소비자 수요 등에 따라 가속화 추세
최종사용부문 전기화 및 청정 연료로의 전환	• 자동차에서 건물, 산업공정까지 경제의 대부분을 적정 가격에서 효율적으로 전기화 • 항공, 선박 등의 부문은 그린 수소나 지속가능한 바이오 연료 등의 청정연료를 우선적으로 활용
에너지 소비 절감	• 에너지 효율 가전제품, 건물의 효율성 개선, 지속가능한 제조 공정 등의 접근법을 통해 에너지를 절약하고 청정에너지로의 전환을 촉진
메탄 및 기타 비탄소 온실가스 배출 저감	• 국제메탄서약국과 함께 2030년까지 국제 메탄 배출을 최소 30% 저감, 대폭적인 배출 저감을 위해 R&D 우선시 예정
이산화탄소 흡수 확대	• 농업 등 2050년까지 일부 완전한 탈탄소화가 어려운 산업을 위해 공학적 전략과 더불어 토양탄소흡수 등의 전략 확대 필요

자료: United States Department of State(2021), pp. 5-6; 정귀희·문영석(2021), pp. 4-5를 바탕으로 저자 작성

2. 유럽

1) EU

유럽은 저탄소경제로의 전환을 통해 신성장동력을 확보하여 경쟁력을 제고하는 데에 관심을 증대시켰다. 이에 EU 집행위원회는 2019년 12월 유럽그린딜(European green deal)을 제시하면서 2050년까지 탄소 순배출량을 영(0)으로 설정하고 온실가스 감축 목표에 대한 구체적인 로드맵을 제시하였다.[26] 동 로드맵에는 탄소중립 달성을 위한 6대 핵심분야로 에너지 공급, 산업재편, 스마트 모빌리티 전환, 에너지 효율적인 건물 개편, 친환경 식품시스템, 생물다양성에 관한 목표가 설정되어 있다. 동 목표는 2030년까지 탄소배출 감축 목표량을 기존의 40%에서 55%로 상향 조정한 것으

26) 한국농촌경제연구원(2019), pp. 1-5.

로 목표 달성을 위해 탄소거래제도, 에너지 관련 지침 등에 관한 개정안을 마련하였다.[27]

〈표 2-3〉 유럽그린딜 주요 내용

구분	주요 내용
목표	• 2050년까지 탄소중립(Net Zero) 목표 설정
에너지	• 유럽연합 온실가스 배출량의 75% 이상을 차지하는 에너지 생산과 사용 분야 탈탄소화
건물	• 에너지 소비의 40%를 차지하는 건축물을 개조하여 에너지 사용 절감
교통	• 온실가스 배출의 25%를 차지하는 수송 분야를 더 깨끗하고 더 저렴하며 더 건강한 방법으로 개선

자료: 한국농촌경제연구원(2019), pp. 1-2를 바탕으로 저자 작성

유럽그린딜의 목표에 법적 구속력을 부여하기 위해 EU 집행위원회는 2020년 3월 유럽기후법안을 제안하고 심의를 거쳐 2021년 6월 유럽기후법을 승인시켰다. 이와 더불어 기후법에 관한 후속 정책으로 2021년 7월 2030년까지 탄소배출량을 1990년 대비 55%로 감축하기 위한 구체적인 입법안 패키지인 'Fit for 55(핏포55)'를 발표하였다.[28] 주요 내용으로는가격정책, 목표 강화, 규정, 지원수단의 네 가지 범주에 관해 총 13개의 정책 제안이 포함되어 있다.[29] 가격정책에는 항공 분야에 관한 배출권거래제 강화, 해운 및 육상운송, 건축물 분야의 배출권거래제 신설, 에너지조세지침 개정, 탄소국경조정제도의 도입 등이 포함된다. 또한 목표 강화에는 노력분담규정 개정, 토지이용, 토지이용변화 및 임업 규정 개정, 재생에너지 지침 개정, 에너지효율지침 개정이 있으며 규정 강화에 관해서는 승용차 및 승합차 탄소배출 규제 기준의 강화, 대체연료 인프라 규정 개정, 항공 및 해상 운송 연료 기준 마련이 주요 내용이다. 지원 대책으로는 사회기후기금(social climate fund) 도입으로 에너지 빈곤층을 구제하기 위한 법안이 마련되었다.

27) KOTRA(2020), p. 4.
28) 김민주·김동구(2021), pp. 3-23.
29) 산업연구원(2021), p. 9.

〈표 2-4〉 Fit for 55의 범주와 주요 정책

범주	정책	
가격정책	• 배출권거래제 강화 : 항공 • 배출권거래제 확대 : 해운, 육상 운송, 건물	• 에너지세제 개정 • 탄소국경조정메커니즘
목표강화	• 배출감축노력분담규정 • 토지이용, 토지이용 변화 및 임업 규정	• 재생에너지 지침 개정 • 에너지효율 지침 개정
규정강화	• 승용차 및 승합차 탄소배출 규제 강화 • 대체연료 인프라 신규 배치	• 지속가능한 항공연료 기준 마련 • 청정한 선박연료 기준 마련
지원수단	• 사회적 기후기금	

자료: 산업연구원(2021), p. 9를 바탕으로 저자 작성

탄소국경조정메커니즘(CBAM: Carbon Border Adjustment Mechanism) 대상 산업 범위는 현재 철강, 알루미늄, 비료, 시멘트, 전기 등의 부문이며, EU는 단계적으로 EU-ETS의 무상할당 제도를 폐지하고 CBAM을 확대할 계획이라고 밝혔다. EU-ETS는 전력 및 열 생산, 온실가스 배출집약 산업, 항공운송 부분을 대상으로 운영되고 있으며 핏포55의 개정 사항으로 항공운송 부분의 무상할당 중지, 해상운송 부문의 EU-ETS 포함이 제시되었다. 해상운송과 관련해서는 5천 톤급 이상의 대형선박에서 배출되는 온실가스가 대상이며 2026년부터 본격적으로 EU-ETS 실시가 예정되어 있다.[30]

에너지 부문이 EU 전체 온실가스 배출의 약 75%를 차지하기 때문에 효율 향상 지침, 재생에너지의 개발 및 보급 지침이 개정되었다. 2030년까지 최종에너지 소비에서 차지하는 재생에너지의 보급 비중을 최소 40%로 상향 조정하였으며 이를 위해 지속가능한 바이오연료에 관한 기준이 강화되었다. 또한 선박연료에 관해서는 지속가능한 연료 사용과 청정연료 활용의 확대를 통해 2050년까지 선박유의 80% 이상을 저탄소연료로 혼합 사용하도록 권고되었다.[31]

30) 김민주·김동구(2021), pp. 7-11.
31) 위의 책, p. 17

2) 영국

영국 정부는 2020년 11월 탈탄소 중심의 성장 및 정책으로 녹색산업혁명(Green industrial revolution) 추진을 위해 2030년까지 '주요 10대 추진 계획(the ten point plan for a green industrial revolution)'을 발표하였다. 동 계획을 추진하고자 영국 정부는 2030년까지 50억 파운드를 투자할 계획이며 민간부문까지 합하여 총 120억 파운드의 투자와 25만 개의 새로운 일자리를 창출할 계획이다. 주요 10대 계획으로 ① 해상풍력, ② 저탄소 수소개발, ③ 원자력 연구개발, ④ 수송부문 탈탄소화, ⑤ 대중교통 친환경화, ⑥ 항공 및 선박 저탄소화, ⑦ 건물 에너지효율 향상, ⑧ CCUS 투자, ⑨ 자연보호, ⑩ 녹색금융 장려 등이 포함되었다.[32]

구체적으로 항공 및 선박의 저탄소화를 달성하기 위해 해상 및 항공 운송에서 수소를 포함한 신재생에너지를 활용할 수 있는 방안을 연구할 계획이며 또한 해상풍력과 관련하여 2030년까지 총 40GW의 설비용량을 확대할 계획임을 밝혔다. 에너지 믹스의 측면에서 저탄소수소 개발 및 원자력 연구개발이 있으며 저탄소수소 개발을 위해 총 2억 4천만 파운드의 펀드를 조성하여 2030년까지 저탄소수소 생산용량을 확대하고자 한다. 산업뿐만 아니라 가정용 난방에도 수소혼합물을 연료로 사용하여 온실가스를 최대 7%까지 감축할 방침이며, 원자력부문에서 총 3억 8,500만 파운드의 펀드를 조성하여 소형·차세대 원자로 개발을 추진할 계획이다.[33]

CCUS의 경우 2030년까지 1천만 톤의 이산화탄소 포집 수용능력을 달성하고자 탄소 포집, 저장 및 활용 기술을 위한 CCUS 클러스터를 구축할 계획이다. 구체적으로 영국 정부는 산업 클러스터 단지 내에 CCUS 설비를 도입하고 이를 2020년 중반까지 2개의 설비, 2030년까지 총 4개의 설비

32) 김수린·김창훈(2020), p. 28.
33) 위의 책, pp. 28-29.

를 통해 현장에서 발생되는 온실가스 배출을 감축시킬 계획이다. 이러한 주요 추진 전략의 현실적인 실행을 위해 영국 정부는 주요 10대 추진 계획에 녹색금융을 추가함으로써 탄소중립혁신펀드 조성과 녹색채권 발행, 민간 투자를 장려할 계획을 담고 있다.

〈표 2-5〉 녹색산업혁명의 주요 10대 중점계획

구분	주요 내용
해상풍력	• 2030년까지 해상풍력설비 40GW까지 확대
저탄소 수소개발	• '탄소중립 수소펀드'를 통해 저탄소수소 생산능력 확대
원자력 연구개발	• '차세대 원자력 펀드' 조성을 통해 소형·차세대 원자로 연구개발 투자
수송부문 탈탄소화	• 내연기관차 판매금지 연도를 2030년까지로 축소
대중교통 친환경화	• 최소 4천 대 이상의 전기 버스 도입
항공 및 선박 저탄소화	• 수소 등의 지속가능한 연료 도입을 위한 연구개발 투자
건물 에너지효율 향상	• 히트펌프 설비를 통해 가정 및 공공부문의 난방 에너지효율 개선
CCUS 투자	• 2030년까지 1천만 톤의 이산화탄소 포집 능력 확보를 위해 CCUS 클러스터 구축 및 투자
자연보호	• 자연경관 복구 프로젝트 추진
녹색금융 장려	• 탄소 감축 중점 사업에 대한 민간 투자 장려

자료: 김수린·김창훈(2020), pp. 28-29를 바탕으로 저자 작성

이에 대한 구체적인 시행방안으로 영국 정부는 10대 중심계획을 발표한 한 달 뒤인 2020년 12월 '에너지백서 2020(energy white paper 2020)'을 발간하였다. 해당 백서에는 소비자, 발전, 에너지시스템, 건물, 산업에너지, 석유 및 가스 등 6개 분야 추진내용을 포함하고 있으며 10대 중점계획을 보완하고 있다.[34] 백서에서 언급된 주요 혁신투자 대상으로는 부유식 해상풍력발전, 차세대모듈원자로, 바이오에너지 개발 등이 포함되어 있으며 탄소중립을 위한 에너지 믹스 방안을 주로 담고 있다. 그중 CCUS 기술을 활용한 가스발전소 건설을 가속화하여 2030년까지 최소 한 곳 이상의

34) 에너지경제연구원(2021), p. 115.

CCUS 결합 가스발전소를 운영할 계획이다. 한편, 바이오매스의 경우 CCS와 결합된 바이오매스의 이용 및 연구개발을 통해 온실가스를 감축할 방안을 포함하고 있다.

〈표 2-6〉 에너지백서 2020 주요내용

구분	주요 내용
재생에너지	• 2030년까지 1GW 부유식 해상풍력 보급, 40GW 해상풍력설비 보급
CCUS	• CCUS 활용 가스발전소 건설 촉진으로 2030년까지 최소 한 곳 이상의 CCUS 결합 발전소 운영 계획
원자력	• 대규모 원전 대상 2020년 중반까지 Hinkley Point C 상업 가동 목표 • 소형·차세대 원자로의 경우 최대 3억 8,500만 파운드 투자 계획
넷제로 혁신투자	• 혁신기술개발 프로젝트 선정을 통해 10억 파운드 투입 계획 • 주요 대상은 부유식 해상풍력, 차세대모듈원자로, 바이오 에너지 등
바이오매스	• CCS와 결합된 바이오매스 이용 및 연구개발 장려
에너지모델링	• 탈탄소화 정책과 관련된 에너지시스템 모델링 구축

자료: 에너지경제연구원(2021), p. 115를 바탕으로 저자 작성

추가적으로 '넷제로 전략(net zero strategy: build back greener)' 보고서를 2021년 10월 발표하면서 2050년 탄소중립 달성을 위한 구체적인 투자계획을 추가로 제시하였다. 동 전략서는 앞서 기술한 10대 중점계획과 에너지백서 2020에 관한 정부의 종합적인 온실가스 감축 계획과 더불어 기업 및 소비자의 신재생에너지 기술 전환을 지원하기 위한 내용을 추가하고 있다. 또한, 영국은 금융기업 및 상장기업을 대상으로 2050년까지 탄소중립 경제로의 전환에 따른 이행계획서를 제출하는 것을 의무화시켰다. 이는 금융기관의 화석연료 관련 자금 지원을 감축시키고 산업 및 가정 부분의 신재생에너지 활용 및 펀드 조성을 촉진시키기 위한 목적이다.

3) 프랑스[35]

프랑스는 EU의 기후 및 에너지 관련 정책의 기조를 따르기 위해 2015년 8월 '녹색성장을 위한 에너지전환법'을 제정하였다.[36] 에너지전환법의 에너지정책 목표는 2030년까지 1990년 대비 온실가스 40% 감축 및 2050년까지 온실가스 75% 감축이다. 구체적인 실행계획으로 2025년까지 원자력에너지의 비중을 50% 수준으로 감축시키고 2030년까지 총 에너지 소비량의 32% 수준으로 신재생에너지를 활용하는 방안을 제시하였다.

에너지전환법의 목표 달성과 보다 구체적인 실행계획으로 저탄소 국가전략(SNBC: Strategies Nationale Bas-Carbone)과 에너지다년프로그램(PPE: Programmation Pluriannuelle de l'Energie)을 발표하였다. SNBC에서는 운송, 건물, 임업 및 농업, 산업, 에너지생산, 폐기물 등의 각 산업별 온실가스 배출 감소 목표량을 설정하였으며 총 3기로 구분하여 실행계획을 제시하였다. PPE에는 에너지 효율개선 및 수요 관리, 화석연료 소비 감축, 재생에너지 개발, 에너지 공급 안정성 제고, 차세대에너지 시스템 구축, 친환경 수송수단 개발에 관한 주요 실행방안을 제시하였다.

〈표 2-7〉 프랑스 에너지전환법 주요 목표

구분	주요 내용
온실가스 배출량	• 2030년까지 1990년 대비 40% 감축, 2050년까지 75% 감축
최종에너지 소비	• 2030년까지 2012년 대비 20% 감축, 2050년까지 50% 감축
재생에너지 비중	• 최종에너지 소비 중 2030년까지 32% 달성
원자력에너지 비중	• 2025년까지 전력생산 비중에서 50% 수준으로 축소

자료: 안상욱(2021), p. 2, 〈표2〉를 바탕으로 저자 작성

35) 안상욱(2021), pp. 11-32를 참고하여 작성하였다.
36) 안상욱(2021), p. 11.

2050년 탄소중립에 관한 법제화 추가 작업으로 프랑스 정부는 2019년 11월 에너지기후법을 제정하였으며 이후 저탄소 국가전략(SNBC)과 에너지다년프로그램(PPE)을 수정하는 작업을 거쳤다. 에너지기후법의 주요 내용으로는 기존의 온실가스 배출 목표량보다 상향된 2050년까지 탄소중립을 설정하고 75% 감축에서 약 83%로 감축하는 내용을 담고 있다. 또한 화석에너지와 관련하여 2030년까지 40%의 소비량 감축, 2022년까지 석탄화력발전소의 운행 정지, 원자력발전소의 의존 비중을 50% 감축하는 시한을 2035년까지 연기, 에너지 전환 가속화 지원 등 현실적인 탄소중립 방안과 조치들이 제시되었다.

〈표 2-8〉 에너지기후법 목표 및 주요 내용

구분	주요 내용
목표	• 2050년까지 탄소중립 목표로 2050년까지 1990년 대비 83.3% 감축
건설 및 운송 부문	• 2030년까지 화석에너지 소비를 40% 감축
화석에너지	• 2022년까지 석탄화력발전소 운행 정지
원자력발전	• 기존의 원자력발전소 의존 비중을 2030년까지 50% 감축한다는 시한을 2035년까지 연기

자료: 안상욱(2021), pp.17-19를 바탕으로 저자 작성

이와 더불어 프랑스 정부는 새로운 에너지다년프로그램을 제1기(2019-2023년)와 제2기(2024-2028년)로 나누어 진행할 예정임을 밝혔다. 또한 원자력 에너지 사용 비중과 관련하여 기존의 축소 목표를 완화한 것과 같이 2021년 5월 '수소생산방법 보고서' 발표 이후 저탄소 수소 생산에 원자력 활용의 필요성을 언급하면서 온실가스 저감 목표 수단으로 프랑스식 소형모듈원자로 개발, 기존의 원자력 발전소 설비의 수명 연장 등을 제시하였다.[37] 프랑스 대통령은 원자력 부흥 정책으로 최대 14기의 신규 원자력 발전소 건설 계획을 발표하면서 2030년 기후 목표 달성, 저탄소 에너지 발전

37) 김민주·김수린(2022), p. 9

방안으로 원전을 활용한 에너지 믹스 전략을 추진하고 있다.

3. 중국

세계 최대 탄소배출국인 중국은 2020년 9월 UN 총회에서 '2030년 이전 탄소 배출 정점, 2060년 이전 탄소중립 달성'의 목표를 처음 발표하였다. 중국 정부는 2025년까지 탄소중립 정책 기반을 조성하고, 2030년 GDP 단위당 이산화탄소 배출을 2005년 대비 65% 이상 감축, 2060년 재생에너지 소비 비중 80% 이상 등의 탄소중립 정책 로드맵을 제시하였다.

〈표 2-9〉 중국 2060 탄소중립 정책 로드맵

구분	2025년	2030년	2060년
GDP 단위당 에너지 소모 감축량	2020년 대비 13.5%	대폭 감소	-
GDP 단위당 이산화탄소 배출 감축량	2020년 대비 18%	2005년 대비 65% 이상	-
재생에너지 소비 비중	20% 내외	25% 내외	80% 이상
풍력, 태양광 발전설비량	-	12억 kW 이상	-

자료: 中华人民共和国中央人民政府, 中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳 达峰碳中和工作的意见(검색일: 2022.9.7.)을 바탕으로 저자 작성

탄소중립을 효과적으로 추진하기 위해 중국은 '1+N'의 정책 체계를 구축하였다. '1'은 중국 정부가 발표한 탄소중립의 중심 정책을 담긴 '탄소중립 달성 업무 의견(关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见)'을 의미하고 중심 정책은 다른 정책을 총괄하는 기능을 가진다. 'N'은 '2030 이전 탄소 배출 정점 행동방안(2030年前碳达峰行动方案的通知)'과 추후 공식적으로 발표될 분야별 탄소중립 정책으로, 중점 분야 및 업종별 실시방안을 제시하는 세부 정책을 의미한다.

중국 정부는 탄소중립의 효과적인 이행을 위해 산업 부문, 에너지 부문,

건설 부문, 교통·운송 부문 등 부문별 추진 방향을 제시하였다. 또한, 탄소중립 추진 지원체계 구축을 위해 과학기술, 탄소흡수, 대외협력, 법률 통계 등의 분야를 개선할 것으로 밝혔다.

〈표 2-10〉 중국 2060 탄소중립 주요 추진 방향

구분	주요 내용
산업 부문	• 농(수)산업 녹색발전 추진, 에너지·철강·비철금속·화학·건축재료·운송·건설 업종의 탄소 배출 정점 실시방안 제정, 산업구조 조정 지도목록 개정
에너지 부문	• 에너지 효율 및 총량관리, 에너지 이용 효율 개선, 화석에너지 소비 관리, 재생에너지 발전, 에너지 체제 개혁
교통운송 부문	• 운송 구조 최적화, 친환경 교통수단 보급, 저탄소 교통수단 이용 유도
건설 부문	• 도시 및 농촌 지역 건설 및 관리모델의 저탄소화 추진, 저탄소 건물 추진, 건물 에너지 믹스 개선

자료: 中华人民共和国中央人民政府, 国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知(검색일: 2022.9.7.)를 바탕으로 저자 작성

현재 중국의 분야별 탄소중립에 대한 구체적인 정책은 아직 발표되지 않았으며, 해양수산분야의 경우 친환경 양식, 저탄소·친환경 선박 이용 추진, 항만 내 육상 전력 공급시설 구축, 내항 해운업 운송망 확충 등의 방향성만 제시된 바가 있다.

〈표 2-11〉 중국 해양수산분야 탄소중립 주요 추진 방향

구분	주요 내용
수산분야	• 친환경 수산양식업 추진을 위해 농약·수의약의 사용 감소 및 산지 환경 개선 • 양식수역·갯벌의 통일 기획, 금어기 관리 제도 개선 등
조선분야	• 저탄소 운송수단 이용 추진, 노후 선박에 대해 개조, 교체 또는 퇴출 • 전기, LNG 선박의 발전 추진, 친환경 지능형 선박의 연해 및 내수면 시범 응용, 내수면 선박 표준화 추진 등
항만분야	• 항만 내 전기차 사용 추진, 항만 내 육상 전력 공급시설 구축 추진 등
해운분야	• 등급이 높은 내항 해운업 운송망 확충 가속, 대량화물과 장거리 화물의 '도로→철도', '도로→해운' 전환 운송 가속화

자료: 中华人民共和国中央人民政府, 国务院关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见(검색일: 2022.9.7.)을 바탕으로 저자 작성

제2절 우리나라 탄소중립 정책 현황

1. 우리나라 탄소중립 추진 배경 및 개요

1) 우리나라 2050 탄소중립 시나리오

(1) 2050 탄소중립 선언과 시나리오 수립 과정[38)]

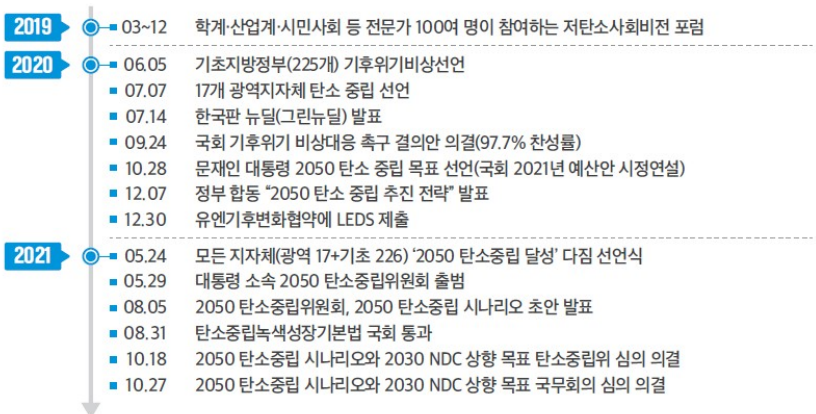
우리나라는 2020년 10월 28일 대통령의 2021년 예산안 시정연설에서 탈석탄과 재생에너지 확대를 통한 2050 탄소중립을 최초로 선언하였다. 2050 탄소중립 시나리오는 파리협정에 따라 UN에 제출하여야 하는 장기 저탄소발전전략(LEDS: Long-term low greenhouse gas Emission Development Strategies)을 수립하기 위해 온실가스종합센터가 총괄하여 2019년 초부터 각 분야의 전문가와 시민사회를 중심으로 준비해왔다. 이 논의를 바탕으로 5개의 기본 시나리오와 탄소중립을 담은 추가 시나리오 초안이 마련되었으며, 시나리오 초안은 정부, 학계, 이해관계자 및 국민의 의견을 수렴하는 기본 자료로 사용되었다.[39)]

그 사이 기후위기 대응과 탄소중립의 필요성이 지자체와 국회에서도 인식되었다. 225개 기초지방정부는 2020년 6월 5일 환경의 날을 맞이하여 기후위기비상선언을 선포하였고, 같은 해 7월 7일에는 17개 광역지자체들이 탄소중립을 선언하였다. 정부는 2020년 7월 14일 저탄소·친환경 경제로의 전환 가속화를 주요 내용으로 하는 한국판 그린뉴딜을 발표하였으며, 같은 해 9월 24일 국회는 기후위기 비상대응 촉구 결의안을 의결하였다. 대통령의 2050 탄소중립 선언은 이러한 과정을 바탕으로 이루어진 것이며, 대통령의 선언 이후 2020년 12월 7일에는 관계부처 협동으로 2050 탄소

38) 윤순진(2021)을 참고하여 작성하였다.
39) 윤순진(2021), pp. 22-23.

중립 추진 전략을 발표하였고, 같은 해 12월 10일에는 2050 탄소중립 비전을 선포하였다.

〈그림 2-1〉 한국의 2050 탄소중립 선언과 2050 탄소중립 시나리오 수립 과정



자료: 윤순진(2021), p. 24., 그림 2.

2021년 5월 29일 탄소중립 추진체제 마련을 목적으로 탄소중립 정책의 컨트롤 타워인 2050 탄소중립위원회(이하 탄중위)가 출범하였다.[40] 탄중위는 2021년 8월 세 가지의 2050 탄소중립 시나리오 초안을 발표하였으며 같은 해 8월부터 10월까지 사회 각계 및 일반국민을 대상으로 의견을 수렴하였다. 이러한 과정을 거친 뒤 2021년 10월 탄소배출 최소화를 위해 탄소중립을 달성하는 두 가지 시나리오를 정부에 제안하였다.[41]

(2) 2050 탄소중립 시나리오 주요내용[42]

우리나라의 2050 탄소중립 시나리오는 화석연료발전 전면 중단 등 배출

40) 2050 탄소중립위원회는 탄소중립녹색성장 기본법 시행에 따라 2022년 3월 2050 탄소중립녹색성장위원회로 명칭을 변경하였다.
41) 2050 탄소중립 녹색성장위원회(검색일: 2022.6.15.)
42) 2050 탄소중립위원회(2021)를 참고하여 작성하였다.

자체를 최대한 줄이는 A안과 화석연료발전이 남아있는 대신 이산화탄소 포집 및 저장·활용(CCUS: Carbon Capture, Utilization & Storage) 등 제거기술을 적극 활용하는 B안으로 구성되어있다.[43]

〈표 2-12〉는 2050 탄소중립 시나리오의 A안과 B안의 주요내용을 보여준다. A안과 B안 모두 2050년 순배출량이 영(0)이 된다는 점은 동일하나 탄소중립을 구성하는 부문별 배출량 및 흡수(제거)량에서 차이가 있다.[44] 부문별로 살펴보면, 산업, 건물, 농축수산, 그리고 폐기물의 배출량은 A안과 B안이 동일하지만 화석연료발전으로 인해 생성되는 배출량을 의미하는 전환 부문과 운송수단의 연료사용으로 인한 수송부문, 그리고 수소생산에 따른 배출량에서 차이를 보인다. 또한 CCUS 등 흡수(제거)기술의 의존도에서도 차이를 보인다.

A안의 경우, 온실가스 총 배출량은 80.4백만 톤으로 B안(117.3백만 톤)에 비해 적은 양을 가정하였다. 화석연료발전을 전면 중단하여 전력사용으로 인한 전환부문의 온실가스 배출량이 없다는 점이 특징이다. 또한 수송부문에서 전기 및 수소차 등 무공해차로의 전면적인 전환이 일어나며 수소는 그린수소만을 생산하여 배출을 최소화한다.[45] 2050년에 남아 있는 배출량은 흡수원과 CCUS 등 제거기술을 통해 최종 순배출량은 영(0)이 된다. 한편 A안보다 비교적 완화된 시나리오를 적용한 B안은 A안과 마찬가지로 화석연료발전을 중단하지만 유연성 전원용도로 LNG 발전은 일부 유지하는 것으로 가정하였다. 또한 수송부문에서의 대체연료 개발이 이루어져 내연기관차도 일부 남아있는 것을 가정하였다. 다만 흡수·제거 기술 발

43) 2050 탄소중립 시나리오는 세 가지 안으로 구성되었으나 국민 여론 수렴 과정에서 2050년에도 석탄발전을 유지하는 1안에 대한 사회적 수용성이 낮게 나타나 폐기하고 나머지 두 안을 수정하여 최종적으로 두 가지 시나리오를 제시하였다.(윤순진, 2021)

44) 2050 탄소중립위원회(2021), p. 31.

45) 그린수소란 재생에너지 전력으로 수전해하여 생산한 수소로, 재생에너지 발전 전력을 이용하기 때문에 온실가스 배출이 없다는 특징이 있다.(조민수, 2020)

전을 통해 A안보다 36.9백만 톤의 온실가스를 더 흡수·제거할 것으로 가정하였다.

〈표 2-12〉 2018년 대비 2050 온실가스 배출량 총괄표

단위: 백만 톤CO_2eq.

구분	부문	2018년	A안	B안	비고
배출량		686.3	0	0	
배출	전환	269.6	0	20.7	• A안은 화력발전 전면중단, B안은 화력발전 중 LNG 일부 잔존 가정
	산업	260.5	51.1	51.1	
	건물	52.1	6.2	6.2	
	수송	98.1	2.8	9.2	• A안은 전기·수소차 등 무공해차로의 전면적인 전환, B안은 내연기관차의 대체연료(E-fuel 등) 가정
	농축수산	24.7	15.4	15.4	
	폐기물	17.7	4.4	4.4	
	수소	-	0	9	• A안은 국내 수소 전량을 수전해 수소(그린 수소)로, B안은 부생·추출수소 일부 생산 가정
	탈루	5.6	0.5	1.3	
흡수 및 제거	흡수원	-41.3	-25.3	-25.3	
	이산화탄소 포집 및 저장·활용(CCUS)	-	-55.1	-84.6	
	직접공기포집(DAC)	-	-	-7.4	• 포집 탄소는 차량용 대체연료로 활용 가정

자료: 2050 탄소중립위원회(2021), p. 32., 〈표 3-2〉

2050 탄소중립 시나리오는 우리나라의 탄소중립 목표를 설정하고 사회적 논의를 촉진하였다는 점에서 의의가 있다. 그러나 비교적 짧은 기간 내에 탄소중립을 달성하여야 하고, 다른 선진국에 비해 에너지 다소비 제조업 비중이 월등히 높은 우리나라 경제구조를 고려한다면 막대한 규모의 탄

소중립 실현에 드는 비용, 즉 이행리스크가 발생할 것으로 예상된다. 한국경영자총협회는 '2050 탄소중립 시나리오'가 탄소중립 달성에 적극적인 참여가 요구되는 산업계의 온실가스 감축 비용에 대한 구체적인 추산결과를 공개하지 않았고, 정부의 온실가스 감축을 위한 혁신기술연구·개발 및 상용화에 대한 예산을 대폭 확대하여야 한다고 주장하였다.[46] 이러한 산업계의 목소리 외에도 저탄소경제로의 이행과정에서 직·간접적 피해를 입을 수 있는 지역이나 산업의 노동자, 농민, 중소상공인에 대한 보호 방안과 화석연료발전소의 유지와 중단에 대한 사회적 논의 역시 향후 개선해나가야 할 과제라 할 수 있다.[47]

2) 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵[48]

(1) 해양수산분야 2050 탄소중립 추진 배경 및 개요

2021년 10월 수립된 국가 2050 탄소중립 시나리오의 원활한 이행을 위해 해양수산부는 같은 해 12월 '해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵'을 수립하였다.[49] 동 로드맵은 2050 해양수산 탄소 네거티브(negative)를 비전으로 2050년 온실가스 배출목표를 탄소중립(net zero)에서 나아가 -323만 7천 톤으로 설정하였으며 이를 위해 해양·수산·해운·항만의 각 분야의 탄소중립 시나리오와 부문별 전략 및 세부 시행과제를 제시하였다. 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵은 2021년 4분기부터 시행되고 있다.

(2) 해양수산분야 2050 탄소중립 주요 내용

해양수산부는 주요 5대 부문(해운, 수산·어촌, 해양에너지, 블루카본, 항

46) 한국경영자총협회 보도자료(2021.10.27.)(검색일: 2022.6.29.)
47) 윤순진(2021), p. 31.
48) 해양수산부 보도자료(2022.1.17.)(검색일: 2022.5.21.)를 참고하여 작성하였다.
49) 해양수산부 공식 블로그(검색일: 2022.7.5.)

만)을 대상으로 2050 탄소중립 로드맵 추진목표를 제시하였으며, 이외에도 이산화탄소의 포집과 저장(CCS), 해양폐기물에 관한 다양한 온실가스 감축방안 계획을 구성하였다.

〈표 2-13〉 해양수산분야 5대 부문별 2050 탄소중립 시나리오

(단위 : 만 톤CO_2eq.)

부문	'18년 배출량	'50년 목표배출량
해운	101.9	30.7(-69.87%)
수산·어촌	304.2	11.5(-96.21%)
해양에너지	-	-229.7(순감)
블루카본	-	-136.2(순감)
합계	406.1	-323.7

주: 온실가스 해양 지중저장(CCS) 6,000만 톤 별도
자료: 해양수산부 보도자료(2022.1.17.), p. 9.(검색일:2022.5.21.)

부문별로 살펴보면, 해운 부문은 온실가스 배출량을 2018년 101만 9천 톤에서 2050년까지 30만 7천 톤까지 감축할 것을 목표로 설정하였다.[50] 이는 2018년 대비 약 69.87%를 감축하는 것으로, 친환경 관공선 건조, 민간선사 친환경 전환, 친환경선박 기술개발 등을 활용하여 온실가스 배출량 감축을 달성할 것이라고 하였다. 그러나 선박은 타 운송수단에 비해 내구연한이 길고 무탄소 기술개발 및 대형선박 적용 시 상용화에 다소 시간이 소요되기 때문에 2050년까지 화석연료 일부 사용이 전망된다는 점과 해운부문 국가 온실가스 배출량 집계에 관공선이 포함되어 있지 않는다는 점은 해운부문 탄소중립 달성의 한계점으로 지적되었다.

해양수산부는 2021년 12월 '제1차 친환경 선박 기본계획'을 바탕으로 국내 민간선박과 더불어 관공선의 저탄소·무탄소 선박으로의 친환경 개조 및 대체건조를 위해 추가적인 감축 노력을 추진할 계획이다.[51] 구체적인

50) 국제 해운의 경우, IMO 탄소규제 목표에 따른 별도 관리를 수행하므로 국내해운만 탄소중립 달성에 포함시켰다.(해양수산부 보도자료, 2022.1.17.)

정책수단으로 LNG, 혼합연료 등 저탄소 기술에서 수소 및 암모니아 등의 무탄소 기술의 단계적 전환, 기존 선박용 보급형 온실가스 저감장치 개발, 해상실증용 테스트베드 구축, 친환경 연료 벙커링 기술개발, 해양수산부 소속 관공선 포함 2050년까지 전 관공선 친환경 선박으로 대체 등이 추진될 계획이다.

어업·어촌의 경우, 2050년까지 온실가스 배출량을 11만 5천 톤까지 감축하여 2018년 대비 약 96.21%를 감축하는 것을 목표로 하였다. 어선 또한 해운과 마찬가지로 내구연한이 상대적으로 길기 때문에 2050년까지 온실가스 배출량이 일부 잔존할 것으로 전망하고 있으며, 이를 위해 친환경 어선 개발 및 교체, 고효율 수산 장비 보급, 재생에너지 활용 등을 주요 수단으로 제시하고 있다. 구체적인 정책수단으로 노후어선 기관교체 및 대체 건조 가속화, 특히 온실가스 배출량이 많은 연근해 어선의 감척 방안 마련, 히트펌프 및 인버터 등의 양식장 에너지 절감 장비 보급, 수산물 냉동·냉장 시설의 친환경 대체 냉매 사용 촉진, 스마트 양식 및 IoT 기반 가공공정 등 스마트 가공 기술 개발 촉진의 다양한 노력이 제시되었다.

해양에너지와 관련해서는 2050년에 229만 7천 톤의 목표 감축량을 설정하였다. 이를 위해 해양에너지 발전 확대, 해양그린수소 생산을 주요 수단으로 계획하고 있다. 특히 시화조력발전소를 통해 조력발전을 확대하고 조류 및 파력발전의 상용화 기술개발에 적극 투자할 계획이다. 구체적인 정책수단으로 시화 조력발전소의 증설 타당성 조사와 유력 후보지의 신설 타당성 조사로 시범단지를 구축하고 기타 해양에너지 발전의 단계적 확산 등으로 조기 상용화를 추진할 전망이다. 이와 더불어 해양 에너지·바이오 연계 수소생산 기술을 개발하고 해양미생물을 활용한 대규모 수소 생산 기술의 상용화 추진계획을 제시하였다.

51) 해양수산부 보도자료(2020.12.22.)(검색일:2022.12.26.)

블루카본의 경우, 2050년에 136만 2천 톤의 목표 흡수량을 설정하였으며 주요 수단으로 갯벌 및 연안습지 식생 복원, 바다숲 조성, 신규흡수원 발굴을 제시하였다. IPCC가 공인한 맹그로브, 잘피림, 염습지를 바탕으로 우리나라의 연안습지(식생), 잘피림의 통계 구축을 추진하고 IPCC에 신규 블루카본 채택을 위한 비식생 갯벌, 해조류, 패류, 미세조류 등 잠재적인 블루카본 후보군에 대한 연구와 논의를 진행할 예정이다. 또한 연안 무인도서를 중심으로 바다숲 조성과 천연 해조숲 보존·복원 사업을 확대하여 해양의 탄소 흡수 능력을 극대화할 방침이다. 콘크리트 구조물 중심의 해안선을 친환경 탄소 흡수 소재를 활용하여 연안지역을 재설계하는 '숨 쉬는 해안 뉴딜' 관련 사업도 본격적으로 추진할 계획이라 하였다.

항만의 경우, 2019년 기준 온실가스 배출량 30만 톤에서 2050년 영(0)의 항만 내 탄소배출을 목표로 설정하였다.[52] 이와 관련하여 친환경 하역장비로의 전환, 항만 내 재생에너지 발전, 에너지 효율화 등을 수소항만의 주요 수단으로 제시하였다. 구체적으로 항만 하역장비의 친환경 전환, 항만 구역의 태양광 발전시설 보급 및 활용, 수소복합스테이션과 LNG, 재생에너지를 활용한 수소생산 등 2040년까지 총 14곳에 수소 에너지 생태계를 갖춘 수소항만 구축을 위해 연간 1,300만 톤의 수소 공급을 계획 중에 있다. 이외에도, 해양수산부는 CCS 저장소를 확대하여 2050년에 최대 6천만 톤의 탄소 저장, 해양폐기물의 재활용 확대 및 발생량 감축방안을 적극 모색할 방침이다.

'해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵'은 주요 해양수산 부문과 CCS, 해양폐기물을 통한 온실가스 감축을 위해 해양 기후변화를 장기전망하고, 탄소배출 실태조사 및 다양한 방법론을 개발하여, 국가 온실가스의 통계 생산을 위한 노력을 강조하였다. 또한 관공선, 항만, 해양폐기물 등의 통계

52) 항만 배출량은 2019년 기준 항만운영사를 대상으로 한 해양수산부의 자체 추정량이다(해양수산부 보도자료, 2022.1.17.)

체계상 분류 및 파악이 어려운 부분을 위한 별도의 탄소배출 산정 및 효과 분석 방안을 마련할 것을 이행계획으로 제시하였다. 즉, 해양수산분야 2050 탄소중립 달성을 위해서는 해양수산분야 온실가스 배출량에 대한 기초조사, 통계생산, 제도 및 국내외 협력이 선결되어야 하며, 이를 통한 종합적이고 체계적인 이행이 필요함을 강조하였다.

〈표 2-14〉 해양수산분야 5대 부문 추진목표

단위 : 만 톤CO_2eq

부문	'18년 배출량	감축 및 흡수 수단	'50년 목표배출
국내해운	101.9	• 저탄소(LNG, 하이브리드, 혼합연료) 선박 • 무탄소(전기, 수소, 암모니아) 선박 • 에너지 효율기술 적용 및 운항효율 개선 • 저탄소·무탄소 관광선 보급	30.7
수산·어촌	304.2	• 어선어업 효율화(어선 노후기관 교체, 대체건조, 감척 등) • 저탄소·무탄소(LNG, 전기, 하이브리드) 어선 • 양식장·수산가공공장 에너지절감 장비보급 • 양식장 친환경 에너지 생산 지원(태양광, 소수력 발전설비 등) • 국가어항 친환경 에너지 생산 지원(태양광, 파력 등)	11.5
해양에너지		• 조력발전 보급 확대 • 조류·파력·복합발전 등 기술개발·상용화	-229.7
블루카본		• 연안습지 식생 복원 • 비식생습지 보호·복원 • 바다숲 조성 • 신규 블루카본 발굴(굴패각 재활용 등)	-136.2
항만*	30	• 유류사용 장비 동력 전환(전기), 수소 하역장비 상용화 • 조명탑 등 항만 시설 에너지 사용 효율화 • 유휴공간 활용 친환경 에너지 생산시설 구축	0
합계**	406.1		-323.7

주: * 항만 분야 배출량 2019년 기준 자체 추산치이므로 전체 합계에서 제외
** 2050 탄소중립 시나리오 A, B안에 모두 동일하게 반영
자료: 해양수산부 보도자료(2022.1.17.), p. 17. (검색일: 2022.5.21.)

2. 해양수산분야 탄소중립 정책 현황

1) 어업·어촌

(1) 친환경 에너지 절감장비 보급

해양수산부는 어가 연료비 절감, 생산효율 증가 및 탄소배출량 감축 등을 위해 친환경 에너지 절감형 장비 보급 사업을 추진하고 있다. 해당 사업은 2030년까지 어선어업분야 온실가스 2만 톤 배출 저감을 위해 친환경 에너지 절감형 LED등, 유류절감장치 등 친환경 장비·설비, 노후 기관 장비·설비 등의 교체를 지원하고 있다.

〈표 2-15〉 친환경 에너지 절감장비 보급 사업 내용

구분	주요 내용
개요	• 노후기관·장비·설비 대체를 통해 친환경 에너지 절감형 장비 보급
성과목표	• 2030년까지 어선어업분야 온실가스 2만 톤 감축
사업비	• ('22) 15,476백만 원 → ('23~25) 48,879백만 원
지원품목	• 친환경 에너지 절감형 LED등 • 유류비 절감을 위한 유류절감장치 등 친환경 장비·설비 • 저효율(육상기관 포함)기관, 사용연수가 오래 된 낡은 기관 및 질소산화물 등 배출기준을 초과하는 기관 • 어선의 안전·복지 등을 위한 장비·설비 등

자료: 해양수산부(2022b), pp. 1944-1947을 바탕으로 저자 작성

(2) 친환경 에너지절감형 어선 기술개발(R&D)

어선어업 부문의 탄소중립에 대응하고 저탄소·무탄소 어선으로의 전환을 위해 해양수산부는 2021년 7월부터 친환경 에너지절감형 어선 기술개발(R&D)을 추진하기 시작하였다. 기존 연근해어선은 조업 중심의 어선구조·설비로 고비용·저효율의 형태를 띠고 있는데, 이를 안전·복지 및 에너지 효율 향상 기술 등을 탑재한 새로운 표준어선(연료와 전기에너지를 조합한

하이브리드 어선)으로 구축하는 것을 추진하고 있다.[53]

〈표 2-16〉 친환경 에너지절감형 어선 기술개발(R&D) 사업 내용

구분	주요 내용
개요	• 친환경선박으로의 전환을 위해 에너지절감형 친환경 전기복합 어선 기술개발
성과목표	• 연비 30% 절감, 온실가스 배출 25% 감축
사업비	• ('21) 60억 원 → ('22) 75억 원 → ('23~25) 154억 원
대상업종	• 연안복합, 연안자망, 근해채낚기
연구내용	• 핵심기자재 개발: 조업조건·환경을 고려한 전기모터 등 핵심 기자재와 온실가스·연비 개선 등 기술을 개발하고, 개발기술 성능평가 실시 • 표준선체 설계 : 전기복합 추진체의 공간을 최적화하고, 관련 설비 기술 및 복원성 및 안전성 평가 등을 통해 새로운 표준선체를 설계 • 검증·실용화 개발 : 전기복합 추진 어선의 성능 검증 및 실용화 기술개발과 체계를 구축하여 실증을 평가하고, 보급을 위한 후속조치 추진 • LPG 선내기 추진 개발 : LPG 선내기(2톤 어선) 추진시스템 개발 및 실증

자료: 해양수산부 보도자료(2021.7.5.)(검색일: 2022.7.27.)를 바탕으로 저자 작성

동 사업은 2025년까지 총 289억의 사업비를 투입하여 어선 연비 30%, 온실가스 배출 25% 절감을 목표로 하고 있다. 이를 위해 연안복합어업, 연안자망어업과 근해채낚기어업을 대상으로 전기모터, 배터리 등 전기복합 추진 핵심기자재 기술을 개발하여 전기복합 추진체의 공간을 최적화하고, 관련 설비 기술 개발, 복원성 및 안전성 평가 등을 통해 새로운 표준선체 설계가 진행되고 있다. 한편, 해양수산부는 개발된 환경친화적 어선 보급 유도를 위해 2026년 이후 어선의 건조에 필요한 자금(이차보전 등)의 일부를 지원하는 후속조치 정책도 추진할 예정이다.

(3) 어촌활력증진 지원(탄소중립형)

해양수산분야 2050 탄소중립 실현을 위해 해양수산부는 어촌뉴딜300사

53) 하이브리드 어선은 전기복합 추진을 통한 운항 및 전기발전을 통한 조업을 하는 어선을 의미한다.

업의 일환으로 탄소중립형 어촌활력증진 지원사업을 추진하고 있다. 연안·해양 공간을 활용해 온실가스 배출 저감과 재생에너지 전환, 해양 탄소흡수 기능 강화를 위해 연안 기초지자체 2개소를 선정하여 2025년까지 탄소중립 대표 모델을 구축하는 것을 지원할 계획이다.

〈표 2-17〉 해양수산부 어촌활력증진 지원(탄소중립형)사업 내용

구분	주요 내용
개요	• 어촌·연안 공간을 활용한 탄소중립 대표 모델 구축
성과목표	• 연안 기초지자체 2개소 지원
사업비	• ('22) 2,800백만 원 → ('23) 2,800백만 원 → ('24~25) 84,000백만 원
추진방안	• 온실가스 배출 저감 : 해양수산 분야 온실가스를 주로 배출하는 선박과 연안·해양의 온실가스 배출원 관리 • 재생에너지 전환 : 연안·해양의 유휴 공간을 활용한 재생에너지 개발, 해양쓰레기 에너지전환 시설 구축 등 친환경에너지 전환 추진 • 해양 탄소 흡수 기능 강화 : 해양쓰레기 저감 및 해양수질 관리 등 해양 환경 개선을 통해 온실가스 흡수력 유지·강화

자료: 해양수산부(2022b), pp. 3024-3029; 해양수산부 보도자료(2021.2.21.)(검색일: 2022.7.27.)를 바탕으로 저자 작성

이를 위해 해양수산부는 2021년 9월부터 11월까지 기초지자체를 대상으로 '지역밀착형 탄소중립 오션뉴딜 사업' 공모를 진행하여 심사한 결과, 인천시 옹진군과 전북 고창군을 사업 대상 지역으로 선정하였다. 옹진군은 '스마트 해양 관리시스템' 구축을 위해 드론과 위성을 활용해 해양쓰레기 발생지를 파악하고 이동을 예측할 수 있는 시스템을 통해 해양쓰레기 수거·처리 계획을 수립하였다. 고창군은 구시포 연안에 전기 추진선박 및 전기차 충전소와 태양광 발전 시설을 마련하고, 노후 전력 설비를 재생에너지로 전환하는 'Keep Clean, 블루하버 구시포' 사업을 통해 청정 어항을 육성할 계획이다.[54]

54) 해양수산부 보도자료(2021.2.21.)(검색일: 2022.7.27.)

(4) 친환경에너지 보급 및 용수관리 사업

수산 양식과 가공업에 있어 해양수산부에서는 '친환경에너지 보급 및 용수관리' 사업을 실시하고 있다. 이 사업에는 친환경에너지 보급, 양식장 태양광발전설비, 양식장 용수관리, 수산가공분야 에너지 절감시설 보급, 전기추진기 보급 등의 내역사업이 포함된다.

친환경에너지 보급과 태양광 발전설비 사업은 신재생에너지 이용기술을 활용한 에너지 절감시설을 양식어가에 보급하여 에너지를 효율적으로 이용하고, 에너지 이용비용 절감 등을 통해 친환경 녹색성장을 선도하면서 어가 경영 안정을 도모하는 데 주요 목적이 있다. 이를 위해 친환경에너지 보급 사업은 2025년까지 에너지절감시설 및 신재생에너지 722천kW 설치, 태양광 발전설비 사업은 2022년에 태양광 발전설비 150천kW 설치를 지원할 계획이다.

양식장 용수관리 사업은 해안·도서지역에서 양식장용수용 지하해수의 탐사 및 시추조사를 통해 개발 가능적지 등 개발·이용을 위한 방안을 제시하는 사업으로, 2025년까지 전국에 운영 중인 200개 육상양식장, 간척지 수산양식단지를 대상으로 양식장용수 개발 및 이용방안을 제시하여 육상양식산업의 경쟁력을 제고하고자 한다.

수산가공분야 에너지절감시설 보급 사업의 경우 수산가공시설에 대한 신규 투자 및 에너지 비용 부담으로 인한 에너지 저효율·다소비의 구조적 한계를 극복하고, 국가 온실가스 감축에 기여하기 위한 목적으로 시행되고 있다. 2020년부터 시행되고 있는 동 사업은 마른김을 중심으로 에너지 절감 설비(히트펌프식 김 건조기) 보급을 지원하고 있으며, 에너지절감시설을 설치한 업체는 연평균 51%의 전기요금 절감, 평균 550톤CO_2eq(최대 689톤CO_2eq)의 온실가스 감축효과가 있는 것으로 나타났다.[55] 현재 수산가

55) 해양수산부 보도자료(2021.9.28.)(검색일: 2022.7.27.)

공분야 에너지절감시설 보급 사업은 마른김 업체만을 대상으로 하고 있으나, 향후 산업 경쟁력 강화를 위해 수혜품목을 확대하는 등 사업 확대 방안을 모색하고 있다.

마지막으로 전기추진기 보급은 온실가스 배출 저감 및 안정적 조업기반 조성을 위해 내수면 어선에 탑재되어 있는 노후기관을 전기추진기로 대체하는 사업이다.

〈표 2-18〉 친환경에너지 보급 및 용수관리 사업 내용

내역사업	주요 내용 및 성과목표
양식장 친환경에너지 보급 (해수열히트펌프/인버터)	• 가온 또는 냉각을 필요로 하는 양식 시설에 히트펌프를 보급하고 해수 취수를 필요로 하는 어류 등 양식 시설에 인버터 보급 • 2025년까지 에너지절감시설 및 신재생에너지 722천kW 설치 지원
양식장 태양광발전설비 지원	• 최소 50kW 규모 이상의 태양광발전설비 설치가 가능한 양식장을 대상으로 태양광발전설비 지원 • 2022년 태양광발전설비 150천kW 설치 지원
양식장 용수관리	• 지하해수조사를 통해 2025년까지 전체 사업지구 200지구의 육상양식장을 대상으로 양식장용수 개발 및 이용방안을 제시
수산가공분야 에너지 절감시설 보급	• 수산가공시설의 에너지 다소비 구조를 개선하기 위해 에너지 절감설비를 보급 • 2022년 43대의 설비 보급 지원
전기추진기 보급	• 내수면 어선에 탑재되어 있는 노후기관을 전기추진기로 대체 • 2030년까지 어선어업분야 2만 톤 온실가스 배출 저감

자료: 해양수산부(2022b), pp. 2027-2195 내용을 바탕으로 저자 작성

2) 해운·항만

(1) 친환경 항만하역장비 구축 지원[56]

2050년까지 항만 내 순탄소배출량을 영(0)으로 만들기 위해 해양수산부는 항만 장비의 친환경 전환, 수소항만 구축 등을 계획하고 있으며 그 중 친환

56) 해양수산부(2022a), pp. 478-493을 바탕으로 작성하였다.

경 항만하역장비 구축 지원으로 항만YT 친환경 LNG 전환사업과 항만하역장비 배출가스저감장치(DPF: Diesel Particulate Filter) 부착 사업을 추진하고 있다.

〈표 2-19〉 친환경 항만하역장비 구축 지원사업 내용

구분	주요 내용
세부사업	• 항만 YT 친환경 LNG 전환사업 • 항만하역장비 배출가스저감장치(DPF) 부착
목적	• 항만 하역장비 중 야드트랙터의 사용연료를 화석연료에서 LNG로 전환하여 친환경 항만 조성 • 항만 미세먼지 저감을 위해 야드트랙터 및 트랜스퍼크레인 장비에 배출가스 저감장치 부착
사업비	• ('22~25) 매년 2,552백만 원 • ('22) 3,375백만 원 → ('23) 2,885백만 원 → ('24~25) 1,572백만 원
성과목표	• ('22) 항만YT LNG 연료전환실적 5대 • ('22) 항만하역장비 배출가스 저감장치 부착실적 42대(YT 10, TC 32)

자료: 해양수산부(2022a), pp. 478-493을 바탕으로 저자 작성

우선, 항만YT 친환경 LNG 전환사업의 경우, 야드트랙터 등의 항만 하역장비 연료원을 기존의 화석연료에서 친환경 에너지원인 LNG로의 전환을 통해 친환경 항만 생태계를 달성하고자 한다. 해당 사업은 2022년 총 50대의 야드트랙터를 전환하려는 목표로 2025년까지 매년 25억 5,200만 원의 예산이 투입될 예정이다. 지난 항만YT의 LNG 연료전환실적을 살펴보면 2018년과 2019년에 총 200대, 2020년 54대, 2021년 56대가 LNG로 전환되었다. 이를 통해 항만 지역에서 발생하는 대기오염을 절감하고 운송수단을 보조하는 하역장비의 친환경 전환이 가속화되고 있다. 항만하역장비 배출가스저감장치(DPF) 부착 사업의 경우, 경유 야드트랙터 및 트랜스퍼크레인 장비에 배출가스저감장치를 부착하여 항만 내 발생하는 미세먼지 배출량을 감축시켜 친환경 항만 조성에 주요 목적을 두고 있다.

(2) 친환경 고효율 선박 확보 지원[57]

해운 분야의 2050년 탄소배출 목표량 달성을 위해 해양수산부는 친환경 고효율 선박 확보 지원사업을 추진 중에 있다. 이는 탄소배출량이 많고 에너지 효율성이 떨어지는 노후 선박을 보조금 지급을 통해 신조 및 대체를 유도하여 해운업과 조선업의 상생 협력을 통한 온실가스 감축 목표량을 달성하고자 한다. 최근 4년간 총 34대의 선박이 전환되었으며 2022년에는 총 2,053억 원을 투입하여 19대의 선박을 전환할 예정이다. 본 사업에서는 선령이 20년 이상의 국적선을 해체하거나, 매각 예정인 자를 대상으로 해당 선박에 대한 친환경 고효율선박 대체 및 건조 비용을 지원할 계획이다.

〈표 2-20〉 친환경 고효율 선박 확보 지원사업 내용

구분	주요 내용
개요	• 노후선박의 조기 폐선 후 신조·대체 유도를 위해 보조금을 지급하여 해운기업의 선대 효율화 및 조선 수주량 확보
성과목표	• ('22) 친환경 고효율 선박 전환 척수 19대
사업비	• ('22) 205,300백만 원
지원대상 및 용도	• 선령 20년 이상의 국적선을 해체 또는 매각 예정인 사업자 • 노후 선박을 해체 또는 매각하고 친환경 고효율 선박으로 대체 건조하는 데 드는 비용을 지원

자료: 해양수산부(2022a), pp. 521-533을 바탕으로 저자 작성

(3) 친환경선박 보급촉진[58]

친환경선박 보급 및 운영지원 사업은 국가인증 친환경 기술을 활용하여 친환경 선박을 건조하는 국내 사업자들에게 관련 보조금을 지급하고, 이를 통해 친환경 선박의 민간보급을 확산하는 것을 목표로 한다.

해당 사업은 2020년 새롭게 실행된 사업으로, 2021년 친환경인증선박의

57) 해양수산부(2022), 2022년 해양수산사업 시행지침서 1권, pp. 521-533을 바탕으로 작성하였다.
58) 해양수산부(2022a), pp. 637-642.

건조지원 국고보조금 교부율이 100%를 달성하였고 2022년에도 동일하게 100%를 목표로 설정되었다.[59] 해당 사업추진을 위해 2022년에 총 200억 원이 투입될 예정이며 2023~2025년까지 매년 총 333억 원의 투입이 계획되어 있다. 지원대상 사업자는 국가인증 신기술을 활용하여 LNG, 전기추진선 등의 친환경 선박을 신조 또는 대체 건조하는 민간이다. 선가 기준으로 차등하여 보조금을 지급하고 있으며 200억 원 이하의 선가에 대해서는 최대 30%, 200~300억 원은 최대 20%, 300억 원을 초과하는 선박에 대해서는 최대 10%의 보조금을 지급할 예정이다.

〈표 2-21〉 친환경선박 보급촉진 사업 내용

구분	주요 내용
개요	• 국가인증 친환경 기술을 활용하여 친환경선박을 신조·대체건조하는 민간사업자를 대상으로 보조금 지원
성과목표	• ('22) 친환경인증선박 건조지원 국고보조금 교부율 100%
사업비	• ('22) 20,000백만 원 → ('23~25) 매년 33,333백만 원
지원대상	• 국가인증 친환경 신기술을 활용한 친환경선박(LNG, 전기추진선 등)을 신조 또는 대체건조하는 국내 민간사업자

자료: 해양수산부(2022a), pp. 637-642 내용을 바탕으로 저자 작성

3) 해양수산 제조업

해양수산분야 중 제조업의 성격을 지닌 산업은 해양수산부뿐만 아니라 산업통상자원부, 환경부의 사업과도 밀접한 관련이 있다. 환경부와 산업통상자원부의 친환경 사업 중 해양수산 제조업과 관련이 있는 정책동향을 분석하였다.

59) 교부율은 사전에 책정된 보조금 예산과 실제 지급된 교부금액을 나눈 값이다.

(1) 산업통상자원부

산업통상자원부는 '기업과 함께하는 탄소중립'을 제도화하고, 정례적인 소통을 통해 유연한 정책을 보완 및 추진하기 위해 「탄소중립 산업 전환 특별법」제정에 박차를 가하고 있으며, 산업부문 탄소중립 기본계획 수립, 전환 촉진, 新시장 진출, 특례 등의 근거를 마련하고 있다. 또한, 최근에는 탄소중립 추진 유공 포상계획을 수립하여 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 달성 및 2050 탄소중립을 위한 공감대를 확산하고 탄소중립을 추진하고 있다.[60]

가. 제조업 탄소중립 지원정책

산업통상자원부에서 '탄소중립 혁신전환 본격화'를 2022년의 핵심 업무 추진 방향 중 하나로 제시하면서, 탄소중립으로의 에너지 혁신, 산업 대전환과 공정한 전환을 위해 無탄소발전 확대, 핵심기술 개발, 기업부담 전폭 지원 등에 관한 정책을 중점적으로 추진하고 있다.

〈표 2-22〉 2022년 산업통상자원부 조선업·수산가공업 주요 탄소중립 지원정책

지원사업명	주요 내용
배출권거래제 참여기업 온실가스 에너지 감축설비 지원	• 감축설비 도입·설치 관리, 감축실적 산정, 감축실적보고서 작성 등 사업추진 및 사후관리를 위해 필요한 컨설팅업체 비용 지원
탄소중립 신산업 전환	• 건물 에너지 절감, 빅데이터·AI기반 에너지효율화 등의 기술·산업 분야에 해당하는 기술·제품 관련 아이디어에 대해 지원
탄소중립 전환 선도프로젝트 융자지원	• 온실가스 배출을 줄이기 위한 시설 및 R&D 투자프로젝트를 계획하고 있는 기업을 대상으로 장기·저리 융자자금 지원
신재생에너지보급(건물지원)	• 태양광, 태양열, 지열, 연료전지, 기타 에너지원 건물 보조금 지원
건물에너지진단정보DB구축	• 전국에 소재한 노후 민간건축물을 대상으로 에너지진단을 실시하고 진단결과를 데이터베이스로 구축·제공

60) 산업통상자원부(2022b), p. 2.

지원사업명	주요 내용
산업단지환경개선 인프라 구축	• 산업 단지 내 IoT기반 통합관리플랫폼 구축, 산업단지특화 대기오염물질감축 현장실증 등을 지원
산단 내 클린팩토리 구축	• 전국 모든 산업단지와 제조업 밀집지역 내 중소/중견 제조업을 대상으로 청정생산 기술을 적용하여 4대 오염물질을 원천적으로 감축하는 클린팩토리 총 350개 구축 • 사업장 진단 후 효율성이 높은 공정개선·설비교체
탄소중립선도플랜트 구축지원	• 공정개선, 설비교체, 신·증설 등 지원사업자의 계획에 유형별(에너지 효율 개선, 연료/원료 전환, 순환경제) 현존 최적기술 적용을 통한 탄소중립선도플랜트 실증·구현
ESG형 산단 공동혁신 지원	• 산단대개조 지역 내 ESG 컨소시엄 구성 및 산단 거버넌스 구성 후 R&D 및 비R&D분야 적정지원 규모 내 예산지원
지역선도산업단지연계협력(R&D)	• 산단대개조 대상지역별 유망품목의 조기사업화 유도를 위한 R&D 과제 지원 • 부산에 위치하는 조선기자재산업에서 LNG 냉열을 활용한 CO_2 포집 액화시스템 및 활용 기술개발 제안 가능

자료: 산업통상자원부(2021); 산업통상자원부(검색일: 2022.9.2.)를 바탕으로 저자 작성

나. 친환경선박 개발

산업통상자원부에서 환경규제 강화, 친환경선박 패러다임 변화 등에 대응하기 위해 '환경친화적 선박의 개발 및 보급촉진에 관한 법률'을 제정하여 2020년 1월부터 시행하기 시작하였다. 동법에 의거하여 2030 한국형 친환경선박(Greenship-K) 추진전략을 위해 연도별로 환경친화적 선박 개발·보급 촉진 기본계획을 수립 및 시행하고 있다. 이를 통해 2030년까지 온실가스 70% 감축기술 개발, 친환경선박 전환율 15% 목표를 달성하고자 한다.

산업통상자원부는 환경규제 강화에 따라 LNG선 및 친환경 추진선박 수요 증가가 앞으로 지속될 것으로 예상됨에 따라, 주력 산업인 조선업의 저탄소 전환 가속화를 위해 미래 친환경선박 세계 선도 기술 확보, 新기술 확산을 위한 시험기반 구축, 한국형 실증 프로젝트(그린쉽-K) 추진과 전문인력 양성 및 활용 추진 등 총 4대 중점 과제를 선정하였다. 이를 추진하기 위해

무탄소·저탄소 선박, LNG·전기·하이브리드 선박기술 개발, LNG 벙커링 전용선박, 친환경연료 기술개발 및 실증 등의 세부사업을 지원하고 있다.

〈표 2-23〉 2022년 산업통상자원부 친환경선박 개발을 위한 주요 사업 및 내용

구분	지원사업명	주요내용
미래 친환경선박 세계 선도 기술 확보	수소·암모니아 등 무탄소 선박 기술 확보	• 수소연료선박, 무탄소연료선박, 수소추진 레저어선 및 여객선 효율향상 기술 개발을 위한 국비 지원
	혼합연료 추진 등 저탄소 선박 기술 개발	• 대체연료 및 CO_2 저감 시스템, 선박 폐열 및 잉여전기 재활용 기술, 중소형선박용 대기오염물질 저감장치를 개발 지원
	LNG·전기·하이브리드 추진기술 국산화	• LNG 화물창·연료탱크, LNG 카고펌프, 압축기, 계측기기, 재액화기 등 핵심 기자재의 국산화·상용화 • 연료 및 동력시스템의 변화에 능동적으로 대응 가능한 전기·하이브리드 동력 추진시스템 기술 개발
新기술 확산을 위한 시험기반 구축	시험 · 검사기준 마련	• 친환경선박 핵심기술개발 인증기준 및 저탄소·무탄소선박 시험평가 기술 개발
	시험 · 평가 시설 구축	• 수소추진선박 관련 시험·평가 설비 및 평가기술 개발, 친환경선박용 극저온 단열시스템 실증, 친환경선박 전환 대응 미세먼지저감 성능평가 등 지원
한국형 실증 프로젝트(그린쉽-K) 추진	그린쉽-K 시범선박 건조	• LNG 벙커링 전용선박 건조 실증, 친환경연료 기술개발 및 실증용 테스트베드 구축을 위한 설계 및 위험성 평가 등 추진
	해상실증을 통한 법·제도개선, 표준화 기반 시장진입 지원	• 해양쓰레기 수거·처리 실증선 설계·건조, 수소추진 실증선 설계·건조, 연안선박 실증기술 개발 및 보급 등
전문인력 양성 및 활용 추진		• 친환경·스마트선박 분야 전문인력, 기술역량 강화

자료: 산업통상자원부(2022a)를 바탕으로 저자 작성

(2) 환경부

환경부는 2021년 기후위기 대응을 위한 '탄소중립·녹색성장 기본법'(탄소중립기본법) 제정에 이어 2022년에 탄소중립기본법의 시행령을 제정하였다. 동 법은 중장기 온실가스 감축목표, 감축·적응시책, 정의로운 전환시책, 기후대응기금 등 탄소중립 정책 추진에 필요한 핵심사항을 규정하여 지난 2022년 7월부터 시행되었다.

환경부의 탄소중립 관련 지원정책은 크게 '환경정책 자금', '수주지원', '환경컨설팅'으로 구분되며, 기업의 온실가스 배출 저감을 위한 금융 부문, 공장 및 시설, 환경경영 및 제품 컨설팅 등의 사업을 선도하고 있다. '환경정책 자금'은 금융지원 방안으로 기업이 온실가스 배출 저감을 위한 설비를 신·증설할 때 융자 또는 대출이자를 지원해 주는 사업이다. '수주지원'은 환경분야 개선이 필요한 기업을 대상으로 친환경 설비를 지원해 주는 사업이다. '환경컨설팅'은 환경경영(ESG: Environmental, Social, Governance) 컨설팅 지원사업, 환경성적 산정 지원사업, 제품 환경성 시험분석 서비스 등이 있으며, 중소·중견기업의 기후변화역량대응 강화를 지원해 주는 것을 목적으로 한다.

〈표 2-24〉 2022년 환경부 주요 탄소중립 정책

구분	지원사업명	주요 내용
환경정책 자금	친환경설비투자(융자)	• 온실가스 배출 저감을 위한 설비 신·증설 비용을 장기·저리 융자 지원
	녹색정책금융 활성화 (대출이자 지원)	• 온실가스 발생저감을 위한 신·증설 비용의 금융기관 대출이자 우대금리
수주지원	녹색혁신 상생 협력사업	• 지역 내 환경분야 개선이 필요한 기업에 대해 혁신설비·기술을 보유한 설비공급기업의 과제를 선정하여 수요기업의 실증을 지원·관리
	스마트 생태공장 구축사업	• 스마트 생태공장 구축에 필요한 컨설팅, 설비의 설치·개선 자금 지원

구분	지원사업명	주요 내용
		• 오염물질 저감, 온실가스 저감, 에너지 절감(생산 공정외), 스마트시설(생산 공정외) 기타 친환경 설비 지원
	배출권거래제 할당대상업체 탄소중립 설비 지원	• 거래제 대상업체의 연료전환, 공정설비 교체 등 검증된 탄소중립 설비 지원
	온실가스·에너지 목표관리업체 온실가스 감축설비 지원	• 온실가스 감축에 효과가 있는 설비(부대설비 및 계측설비 포함)의 구입비, 설치 공사비, 감리비, 시운전비 지원
	소규모 사업장 방지시설 설치지원	• 여과집진시설, 가스 흡수 시설 등 방지시설의 교체비용과 사물인터넷 측정기기 부착비용 일부 지원
	중소 대기배출사업장 연료전환 지원사업	• 사업장의 중질유 사용시설을 청정연료로 전환할 수 있도록 대기배출시스템 교체 • 벙커유, 부생연료유, 정제연료유 등을 LPG, LNG, 전기로 교체
환경컨설팅	환경경영(ESG) 컨설팅 지원사업	• 중소기업의 주요 환경 이슈를 파악하고 조합·협회 단위로 맞춤형 환경 컨설팅 제공
	환경성적 산정 지원사업	• 중소·중견기업 및 사회적 기업 등 제품의 환경성적 산정 컨설팅 비용 지원
	제품 환경성 시험분석 서비스	• 중소기업 및 사회적 경제 기업 대상 시험분석 수수료 할인

자료: 환경부(2022), pp.3-127을 바탕으로 저자 작성

제3절 소결

본 장에서는 우리나라를 비롯한 주요국의 탄소중립 정책동향을 살펴보았다. 주요국은 에너지효율개선, 재생에너지 비중확대, CCUS 기술 상용화 등을 통해 탄소중립을 추진할 계획임을 밝혔으며 EU는 적극적으로 탄소가격제도를 도입할 계획임을 확인할 수 있었다. 우리나라의 탄소중립 달성

계획도 국제사회 흐름과 유사한 측면을 보였다. 우리나라 탄소중립 시나리오는 화석연료발전을 전면 중단하는 A안과 화석연료발전이 잔존하는 대신 CCUS를 적극적으로 활용하는 B안으로 구성되었다. 우리나라 탄소중립 시나리오는 탄소중립 달성을 위한 국가적 의지를 보여주었다는 점에서 의의가 있지만 구체적인 달성과정에서 비용이나 경로에 대한 고민이 부족하다는 지적이 있었다.

해양수산부, 산업통상자원부, 환경부 등 정부 부처의 친환경 관련 사업을 검토하여 해양수산분야 탄소중립 정책동향을 분석하였다. 해양수산분야 탄소중립 정책은 주로 공공투자 및 금융지원의 성격을 지니는 것으로 나타났다. 선박의 내구연한과 내연기관 효율성으로 인해 탄소중립이 쉽지 않을 것이라 예상되는 어업과 해운업에 대해 다양하고 적극적인 지원을 시행 중이거나 도입을 계획 중임을 확인할 수 있었다. 어업의 주요 탄소중립 추진 목표는 친환경 에너지 절감형 장비 보급 및 저탄소 어선 기술 개발 등임을 알 수 있었고, 해운업은 친환경 고효율 선박을 확보하고 친환경선박 보급 촉진이 주요 탄소중립 추진 방안으로 나타났다. 그 외 제조업 분야는 저탄소 기술에 대한 인센티브 제공과 친환경선박 개발에 대한 지원, 온실가스 저감 등 친환경 설비 지원이 주요 탄소중립 이행방안임을 확인할 수 있었다.

03
기후 스트레스 테스트의 이론적 프레임워크

기후변화가 인류를 위협하는 요인으로 지목받고, 기후변화를 막기 위해 전 세계적인 노력이 일어나고 있음에도, 그것을 해결하기란 쉬운 일이 아니다.[61] 기후변화가 인류를 위협하는 다른 문제와 구분되는 점은 기후변화가 전 지구적 현상이며 그 여파가 지속적이고 장기적이라는 점, 한번 변화된 기후는 원래 상태로 돌아오지 않는 비가역성, 그리고 다른 문제보다 큰 불확실성을 지닌다는 점이다.[62] 따라서 기후변화로 인한 영향, 즉 기후리스크를 평가하는 것 역시 많은 제약이 따르는데, 기후리스크는 30년에서 70년의 장기간 기후변화가 미칠 사회·경제적 영향이며, 이 영향은 전 세계적이며 경제 전반에 걸쳐 일어나고, 지역 및 산업 부문에 따라 상이하게 나타나는 등 복잡한 성격을 지닌다.[63] 게다가 현재의 기후변화는 그 규모 및 속도 면에서 현대 경제 시스템이 자리 잡은 이후 처음 겪는 일이고, 그로 인해 기후변화 대응에 관한 기록과 경험이 존재하지 않는다는 점도 기후리스크 분석이 어려운 이유이다.[64] 따라서 과거의 경험을 바탕으로 위험

61) 인소영·박기영(2021), p. 138.
62) 위의 책, p. 138.
63) NGFS(2021b), p. 7.
64) Chenet(2021), p. 400.

을 평가하는 전통적인 위험관리 방법론의 적용은 그 효과가 제한적이라는 것이 학계의 공통된 의견이다.[65]

기후 스트레스 테스트는 기후리스크 분석의 어려움을 덜어줄 방법론으로서 주목받고 있다. 기후 스트레스 테스트는 시나리오 적용을 통해 특정 상황에서의 기후변화 영향을 측정하는 방법이다.[66] 동 방법론은 다양한 상황이 가정된 가상 시나리오를 반영함으로써 기후변화로 인해 발생 가능한 여러 결과를 도출하고, 이를 바탕으로 기후변화에 따른 취약점과 강점을 분석하여, 기후변화에 적절한 대응책을 마련하는 것을 목적으로 한다. 전통적인 예측모형의 목적이 미래에 발생확률이 높은 결과를 도출하는 것이라면 스트레스 테스트는 발생 가능한 여러 상황을 검토함으로써 미래 상황에 대한 대응책 마련에 중점을 둔다는 점에서 차이가 있다.[67]

탄소중립이 전 세계적인 질서로 자리잡으면서 저탄소경제로의 이행과정에서 발생 가능한 기후리스크 평가의 필요성이 강조되고 있다.[68] 기후변화 재무정보공개 전담협의체(TCFD)는 다수의 기관이 중장기적으로 기후변화의 영향을 받을 것임을 알고 있지만 정확한 시기 및 영향의 정도는 알 수 없는 상황이기 때문에 잠재적인 기후 영향을 측정하여 적절한 대응방안을 마련하여야 한다고 하였다. 이에 기후리스크 분석을 위해 기후 시나리오 분석을 적극 활용할 것을 권고하였으며, 녹색금융 협의체(NGFS) 역시 중앙은행 및 감독기구에 의한 기후리스크 영향 평가의 중요성을 강조하였다.[69] NGFS의 권고에 따라 우리나라를 비롯한 23개 중앙은행 및 감독기구는 기후 스트레스 테스트 모형을 개발 중이거나 개발을 완료한 것으로

65) 위의 책, p. 400.
66) 이러한 특성으로 인해 기후 스트레스 테스트를 기후 시나리오 분석(climate scenario analysis)으로 부르기도 한다.
67) Allen et al.(2020), p. 3.
68) TCFD(2017b), p. 1.
69) NGFS(2021b), p. 1.

알려졌다.[70] 본 장에서는 기후 스트레스 테스트의 분석대상인 기후리스크의 종류와 파급경로를 고찰하고, 기후리스크 분석에 필요한 이론적 배경을 검토하였다. 이를 통해 해양수산 기후 스트레스 테스트 구축방안을 제시하였다. 본 장의 주요 내용은 〈그림 3-1〉과 같다.

〈그림 3-1〉 기후 스트레스 테스트의 이론적 프레임워크



자료: 저자 작성

70) NGFS(2021b), pp. 6-7.

제1절 기후리스크 파급경로 및 사회경제적 영향

1. 기후리스크 파급경로

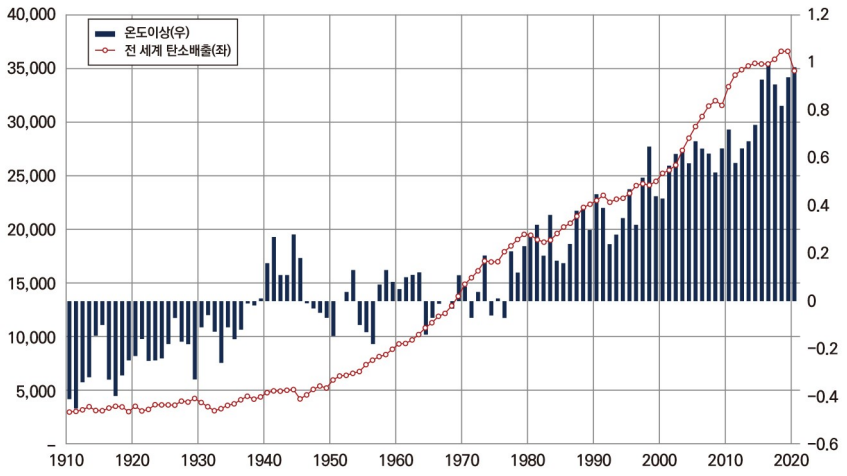
기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)에 의하면, 1950년 이후 기후변화의 속도와 규모는 전례가 없던 일이며, 이는 경제 및 인구성장에 따른 인류의 온실가스 배출량 증가가 원인이라고 하였다.[71] 〈그림 3-2〉는 온도이상(temperature anomaly)과 탄소배출의 추이를 보여준다.[72] 그림에서 확인할 수 있듯이, 온도이상은 1980년대부터 꾸준히 상승하였으며, 같은 시기에 탄소배출량 역시 폭발적으로 증가한 것을 확인할 수 있다. 특히 지역별 특징을 살펴보면, WTO 가입 이후 중국의 배출량이 폭발적으로 증가한 점이 눈에 띈다.

이렇듯 온실가스 배출량이 인류의 경제활동과 밀접한 관련이 있다는 것은 전 세계적인 경제위기가 발생하였을 때, 온실가스 배출량 역시 큰 폭으로 감소하였으며, 1~2년 시차를 두고 온도이상이 하락하는 패턴을 보이는 것으로도 확인할 수 있다. 1980년대 중남미 외채위기와 2008년 글로벌 금융위기 당시 탄소배출이 급감하였으며, 온도이상도 하락하는 모습을 보이다가 탄소배출이 원래 수준으로 돌아오자 온도이상이 상승하는 것으로 나타났다. 이러한 패턴은 2020년 전 세계 경제를 멈추게 했던 코로나19 사태에서도 확인할 수 있다.

71) IPCC(2014), pp. 2-4.
72) 온도이상은 20세기 평균 온도로부터의 차이를 의미한다.

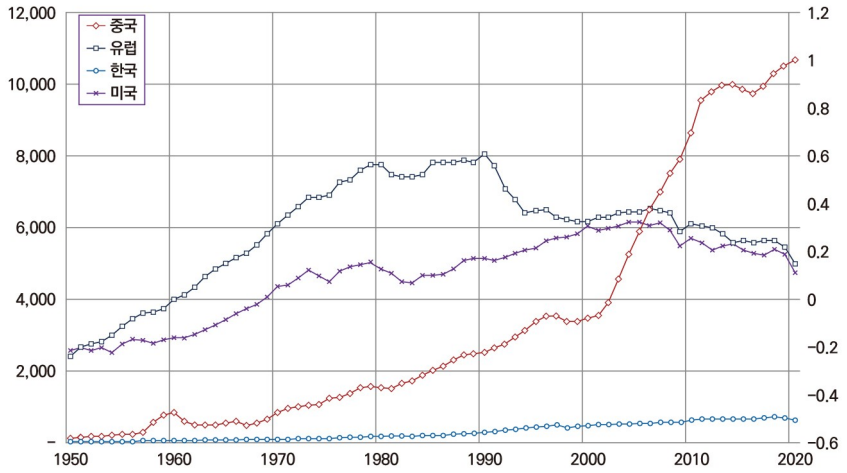
〈그림 3-2〉 온도이상과 온실가스 배출 추이

단위: 섭씨, 백만 톤



(1) 전 세계 온도이상 및 온실가스 배출

단위: 백만 톤



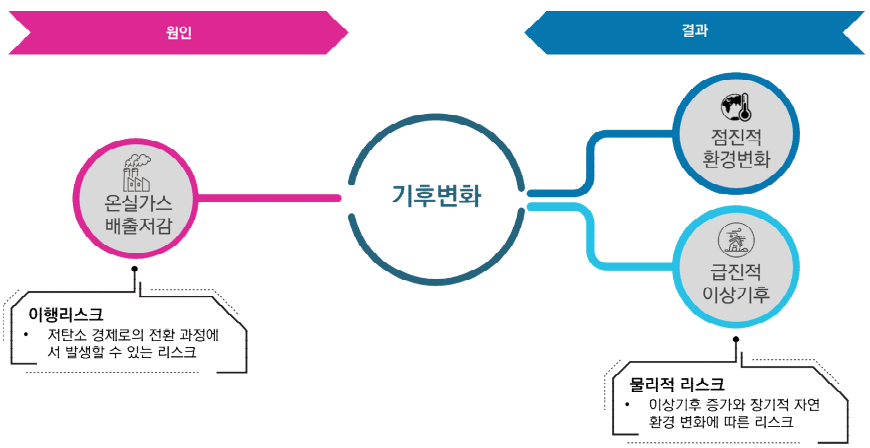
(2) 주요 지역별 온실가스 배출 추이

주: 온도이상(temperature anomaly)은 20세기 평균 온도로부터 차이를 의미
자료: NOAA(검색일:2022.9.2.); Our World in Data(검색일:2022.9.2.)를 바탕으로 저자 작성

이처럼 기후변화의 주요 원인이 인류의 활동에서 비롯된 것이므로 기후변화에 대한 대응책은 인류의 사회경제적 활동으로 발생하는 온실가스 양을 줄이는 것이다. 저탄소 경제로의 이행은 경제의 에너지 및 토지 사용에 대한 근본적인 변화를 필요로 하는데, 이행 과정에서 발생 가능한 리스크를 이행리스크(transition risks)라 한다.

한편, 기후변화의 결과는 지구물리학적 과정을 통해 발현된 지구온난화와 그 영향이라 할 수 있다. 기후변화는 점진적인 온난화와 해일, 태풍과 같은 극단적인 자연재해를 일으키고, 이러한 사건에 대한 인간의 취약성 때문에 발생하는 리스크를 물리적 리스크(physical risks)라 한다. 〈그림 3-3〉은 기후리스크의 종류를 보여준다.

〈그림 3-3〉 기후변화의 원인과 결과에 따른 기후리스크



자료: 저자 작성

1) 물리적 리스크

물리적 리스크는 홍수·해일 등과 같이 급진적(acute)인 사건을 발생시키거나 온도 및 해수면 상승과 같이 장기간에 걸쳐 점진적(incremental)으로 나타날 수 있다.[73] 〈표 3-1〉은 물리적 리스크의 예시를 보여준다.

〈표 3-1〉 물리적 리스크 예시

점진적 변화	급진적 변화
• 평균 기온 변화	• 열대성 폭풍
• 강수 패턴 변화	• 홍수
• 장기간에 걸친 수자원 여건 변화	• 혹서 및 한파
• 해수면 상승	• 가뭄
• 해안 침식	• 들불
• 해양산성화	• 폭설

자료: Ralite & Thoma(2019), p. 19. Table 2.1을 바탕으로 저자 작성

급진적 리스크, 즉 자연재해로 인한 재산피해는 가계의 소비를 감소시킨다. 자연재해에 따른 생산 시설 파괴, 보유자산 감소 및 불확실성 증대는 기업의 생산과 투자를 위축시킨다. 이러한 공급망 교란은 글로벌 산업연관도가 높을수록 크기 때문에 대외경쟁력을 약화시켜 수출 감소를 초래하게 된다.[74]

급진적 리스크에 노출된 해양수산분야로 항만업을 들 수 있다. 항만시설은 본질적으로 자연에 노출되어 있고, 그로 인해 급진적 변화에 취약성을 지닌다. 2021년 캐나다에서 일어난 기록적인 폭우는 이상기후에 따른 재해라는 진단을 받았고, 폭우로 인해 벤쿠버항으로 가는 모든 운송수단이 차단되어 기후변화발 물류난에 대한 우려를 키운 바 있다.[75] 2005년 허리케인 카트리나로 인한 항만 폐쇄는 미국 식품 가격을 3% 상승시켰다는 점으로 미루어 볼 때, 세계 물동량의 80%를 처리하는 항만시설이 자연재해로 피해를 볼 경우, 그로 인한 공급망 교란은 심각할 것으로 예상할 수 있다.[76] The Economist가 기후 위험 컨설팅 업체 Four Twenty Seven에

73) TCFD(2017), Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures, p. 6.
74) 한국은행(2021b), p. 38.
75) 조선비즈(2021.11.18.)(검색일: 2022.9.2.)
76) The Economist(2020.9.12.)(검색일: 2022.9.2.)

의뢰한 폭풍, 들불 등 여섯 가지 급진적 변화에 대한 글로벌 항만의 노출을 분석한 결과에 따르면 55%의 글로벌 항만이 적어도 하나의 위험에 노출되어 있다고 하였다. 그러나 기후변화에 대한 대응은 미비한 것으로 나타났는데, 로테르담항 등 소수의 선진국 주요 항만만이 자연재해에 대한 대비책을 준비하였고, 소득이 낮은 국가의 항만일수록 재원 조달 문제 등으로 기후 대응 역량에 문제가 있다고 하였다.[77]

한편, 해수면 상승, 가뭄 등과 같은 점진적 기후변화로 인한 물리적 리스크는 농축수산물 등의 산출량을 변화시키고 생산성을 감소시킬 수 있다. 수확량 감소에 따른 농축수산물 가격상승과 노동생산성 저하에 따른 생산비용 증가는 물가상승의 압력으로 작용할 수 있다.[78] Dell, Jones, & Olken(2012)은 점진적인 기온 상승이 근로시간과 노동생산성에 부정적인 영향은 주는 것을 밝혔으며, Acevedo et al.(2020)은 이러한 기온 상승의 부정적인 영향은 국가의 소득 수준에 따라 다르게 나타난다고 하였다.

점진적 리스크는 해양환경을 변화시키고, 수산자원의 분포, 자원량, 생태 등에 직·간접적인 영향을 끼친다. IPCC의 해양 및 빙권에 관한 특별보고서에 따르면, 해양환경 변화로 인하여 전 세계 해양은 물리적, 생지화학적, 생물학적 및 수산분야에서 큰 변화가 발생하였고, 앞으로 더욱 큰 변화가 나타날 것으로 예측하고 있다.[79] 우리나라의 경우, 해역의 표층수온 상승 경향은 전 세계 평균에 비하여 약 2.6배 높은 수준을 보이며, 해양산성화도 빠르게 진행되고 있다.[80] 이러한 해양환경 변화는 우리나라 주변 해역에서 어획되는 어종의 변화, 어획량 및 어장의 위치 변화를 유발하는 것으로 나타났다.[81]

77) 위의 자료
78) 한국은행(2021b), p. 38.
79) 환경부(2020), p.191.
80) 위의 책, p. 215.
81) 위의 책, p. 215.

2) 이행리스크

저탄소경제로의 이행은 기후변화와 관련된 정책, 법률, 기술 및 시장의 변화를 수반할 수 있다. 탄소중립 이행 과정에서 대내외 여건 변화로 인해 증대된 불확실성이 유발하는 리스크를 이행리스크라 한다.[82]TCFD(2017a)에 의하면, 이행리스크는 정책(policy) 리스크, 기술(technology) 리스크, 시장(market) 및 평판(reputation) 리스크 등으로 구분할 수 있다.

(1) 정책 리스크

정책 리스크는 탄소중립 달성을 위한 정책 변화가 일으킬 수 있는 리스크를 의미한다. 탄소중립 정책은 시장가격 메커니즘 활용 여부에 따라 시장기반 정책과 비시장기반 정책으로 구분할 수 있다.[83]

가. 시장기반 정책

대표적인 시장기반 정책인 탄소가격제도(carbon pricing)는 정부가 기업 등과 같은 배출주체에 온실가스 배출로 인한 외부성 비용을 부담시키는 규제수단이다.[84] 즉 탄소가격제도는 가격을 상승시켜 경제주체의 온실가스 감축 노력을 유도하고, 장기적으로 저탄소 기술의 상대가격 하락을 통해 저탄소 기술의 보급을 활성화하기 위한 제도라 볼 수 있다.[85]

탄소가격제도는 형태에 따라 탄소세(carbon tax), 배출권거래제(ETS: Emission Trading Scheme), 탄소국경세(carbon border tax) 등으로 구분할 수 있다. 탄소세(carbon tax)란 온실가스 배출 감축과 억제를 위해 과세물품에 이산화탄소상당량톤(tCO_2eq)을 기준으로 부과되는 세금을 말한

82) TCFD(2017a), p. 5.
83) 한국은행(2021b), p. 1.
84) 문진영 외(2017), p. 5.
85) Rifkin(2020), 안진화 역, p. 16.

다.[86] World Bank의 탄소 가격 현황판에 따르면 2022년 7월 기준 탄소세를 시행 중인 국가는 28개국이며 우리나라는 아직 도입하지 않았다.[87] 탄소세는 국가마다 차이를 보인다. 2022년 4월 기준으로 우루과이가 톤당 137.3달러로 가장 높았으며, 스웨덴(129.89달러), 스위스(129.86달러), 리히텐슈타인(129.86달러) 등이 100달러가 넘는 탄소세를 부과하고 있는 것으로 나타났다. 한편, 우크라이나(1.03달러), 일본(2.36달러), 싱가포르(3.69달러) 등은 비교적 낮은 탄소세를 보여, 국가별 탄소세 편차가 큰 것을 확인할 수 있었다.[88]

탄소세는 고탄소 제품의 생산비용을 증가시키고 이는 제품 가격상승으로 이어진다. 이에 따라 고탄소 제품의 수요가 하락하게 되며 저탄소 연료 사용 확대, 신재생에너지 기술 개발 촉진 등 저탄소경제로의 이행을 유도할 수 있다.[89] 그러나 탄소세는 기업의 부담을 증가시켜 수익 감소를 초래할 수도 있다. 전국경제인연합회에 따르면, 톤당 50달러의 탄소세가 부과될 경우 예상되는 추가부담은 전체 법인세 세수 대비 50%에 달하는 약 36조 원이 될 수 있다고 하였다.[90] 저자는 탄소세 도입의 신중한 검토를 강조하면서 과도한 탄소세의 도입은 투자 위축, 일자리 감소, 물가 상승 등 경제에 부정적인 영향을 줄 수 있다고 하였다.[91]

배출권거래제는 정부가 사업장을 대상으로 연 단위 배출한도를 할당하여 한도 내에서만 온실가스 배출을 허용하고, 배출 한도에 대한 여분(부족분)은 배출권 경매 또는 시장에서의 거래를 통해 확보하게 함으로써 국가의 온실가스 감축목표를 달성하기 위한 제도이다.[92] 이는 정부에 의해 가격이

86) 국회예산처(2021), p. 2.
87) World Bank(검색일: 2022. 7.18.)
88) 위의 자료
89) Parry(2019), p. 16.
90) 전국경제인연합회 보도자료(2021. 4. 1.)(검색일: 2022.8.30.)
91) 위의 자료
92) 온실가스종합정보센터(2021), p. 20.

정해지는 탄소세와 달리 각 사업장의 온실가스 감축 여력에 따라, 온실가스 감축 또는 배출권 매입 등이 자율적으로 결정된다는 점에서 효율적이고 비용 효과적으로 감축목표를 달성할 수 있다는 장점이 있다.[93] 2022년 7월 기준 배출권거래제를 도입한 국가 및 지역은 총 32개이며 우리나라는 2015년부터 시행 중이다.[94] 2021년 7월 기준 온실가스 목표관리 대상은 총 350개로 관장기관별로는 국토교통부 93개, 산업통상자원부 201개, 농림축산식품부 26개, 해양수산부 8개, 환경부 22개이다.[95]

배출권거래제도는 총배출량을 정부가 설정하기 때문에 감축 목표량을 정확히 알 수 있다는 장점이 있으나 시장의 수요와 공급에 의해 가격이 결정되기 때문에 변동성 및 불확실성이 크다는 단점이 있다.[96] 국내 배출권거래제 가격의 동향을 살펴보면, 2015년 개장을 시작으로 2019년 말까지 톤당 약 4만 원까지 상승한 이후 2021년 다소 하락하였으나 2022년 6월 기준으로 다시 2만 2천원 대를 기록하였다.[97] 배출권거래제 가격은 현물 시장 상황뿐만 아니라 글로벌 기후변화 대응 정책, 코로나19에 따른 경기침체, 전쟁, 화석연료의 수급현황 등 다양한 외부충격에도 영향을 받기 때문에 큰 가격 변동성을 보인다.

탄소국경세는 오염자 부담원칙에 따라 배출이 많은 국가나 기업의 수출품에 대해 배출량에 비례하는 관세를 부과하는 제도이다. EU와 미국 등 주요국은 탄소배출 규제가 느슨한 국가로의 생산기지 이전 등 탄소누출(carbon leakage) 문제 해결과 효과적인 탄소중립 목표 달성을 위해 탄소국경세 도입을 추진하고 있다. EU 집행위는 2021년 7월 공개한 'Fit for 55' 법안에서 탄소국경조정메커니즘(CBAM: Carbon Border Adjustment

93) 기후변화홍보포털(검색일: 2022. 9. 4.)
94) World Bank(접속일: 2022. 7. 18.)
95) 한국에너지공단(검색일: 2022.7.12.)
96) 딜로이트(2021), p. 6.
97) 온실가스종합정보센터(2021), p. 7.

Mechanism) 초안을 공개하면서 2023년부터 본격적으로 탄소국경세를 운영할 방침임을 밝혔다. 적용 대상은 시멘트, 전력, 비료, 철강, 알루미늄 등 총 56개 품목이며 점차 그 품목을 늘려나갈 계획이다. CBAM이 온실가스 배출 감축에 대한 준비가 다소 미비한 중국, 개발도상국 등에게 무역장벽으로 작용할 수 있다는 우려가 있다.[98] 또한 CBAM 적용 품목이 점차 확대될 것으로 전망됨에 따라 해당 산업의 부담 역시 커질 것으로 예상된다.

〈표 3-2〉 주요 탄소가격제도의 위기와 기회

제도	내용	위기와 기회	범위
탄소세	화석연료를 통해 이산화탄소를 배출한 경제주체에게 배출량만큼 세금을 부과하는 제도	• (위기) 투자 위축, 일자리 감소, 물가 상승 • (기회) 정부 수입 증가를 통한 저탄소 기술 개발 투자, 소득 재분배	국내
온실가스 배출권 거래제	정부가 할당한 배출권을 기준으로 배출 주체들이 할당량만큼 사용하고 남거나 부족한 부분에 대해서 시장가격을 통해 거래하는 제도	• (위기) 높은 변동성 • (기회) 시장기능을 통한 효율적이고 비용효과적인 온실가스 감축목표 달성	국내
탄소국경세	수입품에 생산 기업의 탄소 배출량과 비례하는 관세를 부과하는 제도	• (위기) 무역 장벽으로 인한 무역질서 저해 • (기회) 탄소국경세에 대한 준비 여부에 따라 국가와 기업의 경쟁력 우위확보	국외

자료: 저자 작성

탄소가격제도는 가격신호를 통해 지속적이고 유연하게 온실가스 배출량 감축을 유도할 수 있다는 장점이 있다. 가격신호를 통해 저탄소 기술의 민간 투자에 대한 인센티브를 제공하고 부문·배출원별 상이한 가격을 적용함으로써 유연한 규제방식을 사용할 수 있다. 또한 탄소가격제도를 통한 정

98) 위의 책, p. 10.

부의 세입을 공공부문 투자 및 재분배 수단으로 사용할 수 있다.[99]

IMF & OECD(2021)는 국가의 소득 수준에 따라 탄소 가격 하한제를 시행한다고 주장하며 선진국은 톤당 75달러를, 고소득 신흥시장은 50달러, 저소득 신흥시장은 25달러를 기본 가격으로 제시하였다.[100] 저자는 전 세계 평균 탄소 가격이 3달러 수준에 머물러 있고, 배출량의 80%는 탄소 가격에 영향을 받지 않고 있다고 지적하였다. IMF & OECD(2021)는 톤당 50달러의 탄소가격을 책정할 경우, G20 국가는 평균적으로 GDP의 1%에 달하는 수입을 얻을 수 있을 것이라고 하였다. 우리나라의 경우, 톤당 75달러로 올리면 GDP의 1.3%에 해당하는 세수가 걷힐 것으로 예상하였다.

이처럼 탄소가격제도는 온실가스 감축에 효과적인 수단으로 알려져 있지만 기업의 생산비용 증가와 수익 감소를 초래하여 투자 위축, 물가 상승 등의 부정적인 영향을 줄 수도 있기 때문에 탄소가격제도의 도입에 대한 신중한 검토가 뒷받침되어야 한다.

나. 비시장기반 정책

비시장기반 정책으로는 정부의 직접규제와 공공투자가 있다. 직접규제는 정부가 내연기관차 판매금지, 선박 연비규제, 친환경 설비 의무화 등과 같이 직접적으로 온실가스 감축을 위해 정책을 시행하는 것을 의미하며, 공공투자는 기후변화 대응 관련 대규모 공공투자를 시행하는 것이다.[101] 미국, EU를 비롯한 주요국은 2030년까지 온실가스 배출 저감을 위해 대규모 투자계획을 발표하였고, 민감 참여 촉진 정책을 추진할 것이라고 밝혔다.[102] 이러한 투자는 탄소배출저감을 위한 R&D뿐만 아니라 인프라 구축 및 지원, 배출권, 투자기금 등을 포함하는 광범위한 개념으로 미국 1,870조 원, EU

99) IMF & OECD(2021), p. 1.
100) 위의 책, p. 14.
101) 한국은행(2021c), p. 1.
102) 이구용·이민아(2021), p. 23.

1,320조 원, 일본 178조 원의 투자계획을 발표하였다.[103]

(2) 기술 리스크

탄소중립 대응 과정에서 일어나는 경제 패러다임 변화는 기술 발전, 혁신에 긍정적인 영향을 주어 기업의 생산성이 확대될 수 있다. 가령 재생에너지, 배터리 저장, 에너지 효율성, CCUS 기술의 개발과 사용은 관련 산업의 경쟁력, 생산·유통 비용 및 최종 소비자의 수요에 영향을 줄 것이다.[104] 이러한 친환경 기술산업의 발전은 탄소가격제도에 따른 리스크를 줄일 수 있는 효과적인 수단인데, 재생에너지 개발과 에너지 효율 증대 등 생산기술 혁신이 온실가스 배출규제에 따른 인플레이션 압력을 완화할 수 있기 때문이다.[105] 또한 신산업 성장을 통해 탄소중립 시대의 새로운 성장동력 산업을 발굴할 수 있다.

제2장에서 살펴보았듯이, 탄소중립을 선언한 주요국은 기술정책에서 중점기술로 신재생에너지, 에너지 효율화, CCUS 등을 공통적으로 포함한다.[106] IEA(2021)는 현재 탄소중립 정책과 탄소중립 경로 간 차이를 분석하면서 현재 수준의 탄소중립 노력으로는 목표 달성이 어려울 것이라고 하며, 탄소중립 달성을 위해서 보다 적극적인 청정 및 고효율 에너지 사용과 기술혁신이 필요하다고 하였다.[107] 청정 및 고효율 에너지 사용으로의 전환은 에너지 부문이 국내 온실가스 배출의 86.9%를 차지하고 있는 우리나라 탄소중립 달성에 있어서 핵심적이라 할 수 있다.[108] 이러한 에너지 전환은 정부 주도의 연료 믹스와 기술 개발 계획만으로는 한계가 있는데, 기술적

103) 위의 책, p. 23.
104) TCFD(2017a), p. 6.
105) 한국은행(2021b), p. 40.
106) 이구용·이민아(2021), p. 23.
107) IEA(2021), p. 3.
108) 윤순진(2021), p. 31.

으로 우월한 신재생에너지 대안이 등장하더라도 막대한 전환비용 부담과 기존 기술의 거래 관행으로 인해 기술전환의 연착륙이 어려울 수 있기 때문이다.[109] 그동안 우리 사회대부분의 법·제도·정책 및 행정체계, 인력 및 예산, 시장 구조와 운영체계, 인프라 등이 기존 에너지체제를 유지·확장하기 위한 것이었기에 에너지 전환을 위한 전 사회적인 변화가 필수적이라 할 수 있다.[110]

한편, CCUS는 에너지 전환 등과 더불어 탄소중립 실현에 중요한 역할을 담당한다.[111] CCUS 기술은 이산화탄소를 포집 및 저장하는 기술인 CCS (Carbon Capture, Storage)와 포집하여 활용하는 CCU(Carbon Capture, Utilization) 기술을 포함하고 있으며, 기존의 생산체계 변경을 최소화하면서 온실가스 감축 기능을 가능하게 하는 기술이다.[112] 청정에너지 사용으로 이산화탄소 배출을 줄일 수 있지만, 생산 공정에서 이산화탄소 배출이 불가피한 산업 부문에서는 CCUS를 활용함으로써 탄소중립을 달성할 수 있다.[113]

주요국은 에너지 및 산업 부문 탈탄소화의 주요 도구로 CCUS 기술의 중요성을 강조하고 있다. EU는 CCUS 기술 개발 관련 다양한 프로그램·펀드를 운영 중이며, CCUS 기술의 실증 및 상용화에 초점을 맞추고 있다.[114] 미국 역시 에너지부(DOE: United States Department of Energy)의 'CCUS R&D 프로그램'을 통해 관련 기술을 개발 중이며, 2020년 기준 탄소 포집비용 저감, 활용, 지중저장 기술 등의 분야에 217.8백만 달러 수준의 투자를 수행한 바 있다.[115] 우리나라는 '2010년 국가 CCS 종합추진

109) 이상엽(2021), p. 1.
110) 윤순진(2021), p. 31.
111) 한국에너지기술연구원(2021), p. 5.
112) 임준성(2022), p. 4.
113) 위의 책, p. 5.
114) EU의 CCUS R&D 전략 프로그램은 EU 7th Framework(2007), European Green Deal(2019), Innovation Fund(2021) 등이 있다(한국에너지기술연구원(2021), p. 9.)

계획' 수립 이후 지속적으로 CCU 및 CCS 관련 기술 개발 전략 및 프로그램을 도출·운영 중이며 2021년 '2050 탄소중립 실현을 위한 탄소중립 연구개발 투자전략'을 통해 유망하지만 기술 발전이 초기 단계인 탄소 포집·저장·활용 등을 10대 핵심 투자분야로 선정하였다.[116]

탄소중립 실현을 위한 세계 각국의 정책적 지원 및 투자, 민간기업의 자발적 참여 등으로 인해 글로벌 CCUS 시장은 꾸준히 성장할 전망이다. 그러나 현재 CCUS 시장은 낮은 기술완성도, 부족한 가격경쟁력 등으로 인해 초기시장 형성 단계에 있으며 CCUS 시장 확대를 위해서는 기술의 경제성 및 완성도 확보와 정부의 정책적 지원이 필수적이라 할 수 있다.[117] 에너지전환과 CCUS의 위기와 기회는 〈표 3-3〉에 수록하였다.

〈표 3-3〉 주요 기술리스크의 위기와 기회

기술	내용	위기와 기회
에너지 전환	청정 및 고효율 에너지 사용으로의 전환	• (위기) 막대한 전환비용, 전 사회적 변화 • (기회) 신재생에너지 사용을 통한 에너지 효율 개선
CCUS	생산 공정에서 이산화탄소 배출이 불가피한 산업 부문에서는 온실가스 배출 저감	• (위기) 낮은 기술완성도, 부족한 가격경쟁력, 높은 정책의존도 • (기회) 새로운 성장동력산업 발굴

자료: 저자 작성

저탄소경제로의 이행 과정에서 일어나는 기술혁신이 경제에 긍정적인 영향을 줄 수 있음에도 불구하고 기술 리스크는 좌초자산(stranded asset)을 발생시켜 이행리스크를 증대시킬 수 있다. 좌초자산이란 예상하지 못하였거나 예상보다 이른 시점에 가치가 크게 떨어지거나 감가상각되는 자산을 의미한다.[118] 화석연료에 대한 의존도가 높을수록 좌초자산의 문제가 심각

115) 한국에너지기술연구원(2021), p. 10.
116) 위의 책, p. 13.
117) 위의 책, pp. 17-18.
118) 인소영·박기영(2021), p. 149.

해지는데, GL DNV(2020)는 해운업이 연료 유연성(fuel flexibility)을 달성하지 못할 경우 탄소중립에 따른 이행리스크로 인해 좌초자산 문제에 부딪힐 우려가 있다고 하였다.

(3) 시장 및 평판 리스크[119]

탄소중립의 중요성이 강조됨에 따라 시장 수요가 친환경적인 재화 및 서비스를 선호하는 쪽으로 변할 수 있다. 이러한 공급과 수요의 변화는 기후변화 심각성이 대두될수록 시장에 더욱 큰 영향을 줄 수 있다. 시장 및 평판 리스크는 친환경을 실천하는 기업에 대한 소비자 선호가 달라짐으로써 기업의 평판에 긍정적으로 작용할 수 있음을 의미한다.

ESG는 시장 및 평판 리스크의 대표적인 사례이다. ESG란 환경(environmental), 사회(social), 지배구조(governance)의 영문 첫 글자를 조합한 단어로, 기업의 지속 가능성(sustainability)을 달성하기 위한 핵심 요소이다.[120] ESG는 지속 가능성 관점에서 기업이 환경 및 사회에 미치는 영향과 지배구조 등을 고려하는 경영 및 투자 방법으로, 기업경영에서 재무적 성과뿐만 아니라 비재무적 성과를 반영하고, 기업의 사회적 책임을 중요한 투자 요소로 판단하는 것을 의미한다.[121] 기업의 경영활동과 기업 가치에 있어서 ESG는 주요 요소로 자리 잡았는데, 최근 글로벌 기업이 공급망 관리와 협력업체 선정에서 기업의 ESG 달성 여부가 주요 판단 기준이 되었고,[122] 신용평가사 역시 ESG 요소를 기업 가치 평가에 적극적으로 반영하고 있다.[123]

119) TCFD(2017a), p. 6
120) 한국거래소(검색일: 2022.9.3.)
121) 중소벤처기업진흥공단(2021a), p. 15.
122) 이러한 움직임을 주도하는 글로벌 기업으로는 테슬라, 애플, 바스프 등이 있다.
123) 중소벤처기업진흥공단(2021a), p.19.

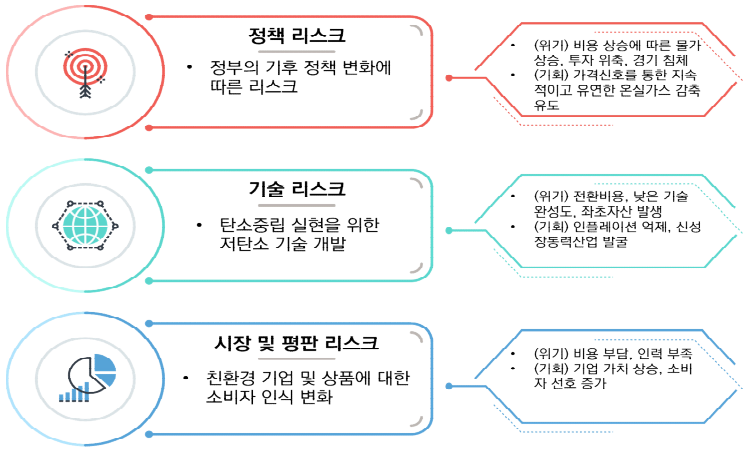
우리나라는 대기업을 중심으로 ESG를 경영 과제로 정하고, 이를 구현하기 위해 노력하고 있다.[124] 그러나 중소벤처기업은 ESG의 필요성을 인식하면서도 비용 부담과 인력 부족으로 인하여 ESG에 대한 준비는 다소 미흡한 것으로 나타났다.[125] 따라서 기업의 규모가 작을수록 기후 대응 역량의 부족으로 인해 시장 및 평판 리스크에 상대적으로 더 노출되어 있을 가능성이 높다고 할 수 있다.

(4) 이행리스크의 위기와 기회

이행리스크별 위기와 기회는 〈그림 3-4〉에 서술하였다. 정책 리스크는 정부의 기후변화 정책 변화로 인해 발생 가능한 리스크이며, 대표적인 예로는 탄소가격제도를 들 수 있다. 온실가스 배출 저감을 위해 배출량에 가격을 부과하는 탄소가격제도는 가격신호를 통해 지속적이고 유연한 온실가스 감축을 유도한다는 장점이 있지만, 탄소가격으로 인한 기업의 비용증가가 인플레이션을 유발할 가능성이 있다는 단점이 있다. 기술리스크는 탄소중립 실현을 위해 필요한 기술 관련 리스크이다. 저탄소 기술의 개발과 상용화를 통해 정책 리스크에 의한 인플레이션 압력을 낮출 수 있다는 점과 친환경산업의 확대 및 신성장동력산업 발굴은 기술 리스크의 기회라 할 수 있다. 그러나 기술 전환 과정에서 발생하는 좌초자산과 친환경 기술의 낮은 기술 완성도는 기술 리스크의 위기로 작용할 것이다. 마지막으로, 시장 및 평판리스크는 친환경 기업 및 상품에 대한 소비자 인식 변화에 따른 리스크로 기업 가치 상승, 소비자 선호 증가 등은 기회로서 작용하지만 인력부족과 비용부담은 시장 및 평판 리스크의 위기라 할 수 있다.

124) CEO&(2021.10.24.)(검색일: 2022.9.3.)
125) 중소벤처기업진흥공단(2021a), pp. 27-28.

〈그림 3-4〉 이행리스크별 위기와 기회



자료: 저자 작성

2. 기후리스크의 실물 및 금융 부문 영향

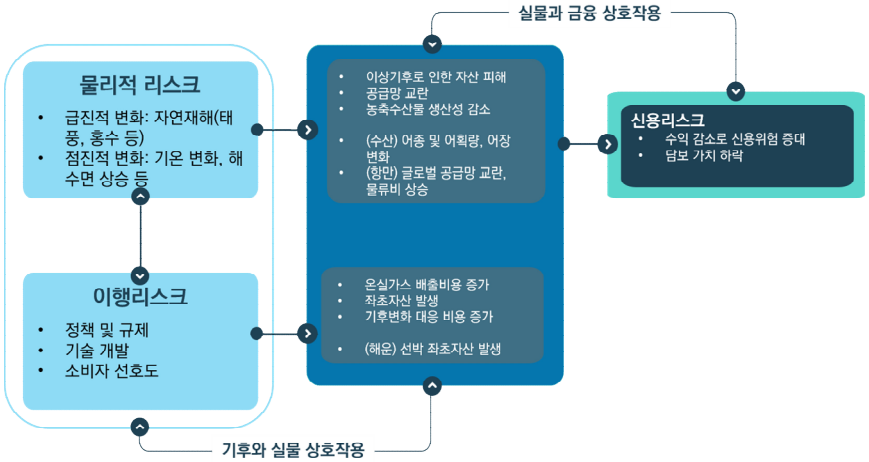
물리적 리스크와 이행리스크의 실물 및 금융 부문에 대한 파급경로는 〈그림 3-5〉와 같다. 그림에서 푸른 상자는 기후리스크의 실물 부문 영향이고, 녹색 상자는 금융 부문의 영향을 의미한다. 실물 부문 영향에서 점으로 표기한 부분은 전 산업에 미치는 영향을 의미하며 관련 영향 중 특히 해양수산분야에 영향이 클 것으로 판단되는 리스크는 괄호로 표기하였다.

물리적 리스크로 인한 실물 부문 영향은 자연재해와 같은 급진적 변화로서, 시설 및 자산 피해에 따른 공급망 붕괴, 점진적 기온 상승에 따른 농축수산물의 생산성 감소라 할 수 있다. 실물 부문 영향에서 수산분야는 점진적 변화에 취약한 것으로 나타났으며, 급진적 변화는 항만분야에 영향을 주어 글로벌 공급망 교란을 일으킬 소지가 있는 것을 확인할 수 있다.

이행리스크는 저탄소경제로의 이행과정에서 발생하는 비용이 주요 파급경로라고 할 수 있다. 탄소가격제도를 통한 배출 비용증가는 물가상승 압

력을 높일 수 있으며, 친환경 기술의 상용화로 인해 화석연료 관련 자산의 가치가 하락하는 좌초자산이 발생할 소지가 있다.

〈그림 3-5〉 기후리스크의 실물 및 금융 부문 영향



자료: 저자 작성

기후리스크의 실물 부문 영향은 금융 부문에 다양한 파급 효과를 낳는다. 기후리스크에 대한 직·간접적인 노출은 대출자의 채무상환능력 저하를 유발하여 채무불이행의 발생으로 이어질 수 있으며, 담보 자산에 대한 평가 하락도 신용리스크 증대에 영향을 줄 수 있다.[126] 예를 들어, 좌초자산이 발생하여 기업의 자산 가치가 하락할 경우, 기업의 담보 능력 감소로 인해 신용리스크가 발생할 것이며, 또한 온실가스 배출 비용으로 인해 기업의 영업이익이 감소할 경우에도 금융기관은 기업의 채무상환능력이 저하되었다고 판단하여 신용리스크가 증대될 수 있다.[127]

지금까지 기후리스크의 파급경로 및 실물·금융 부문과의 상호작용에 대

126) Bolton et al.(2020), p. 19.

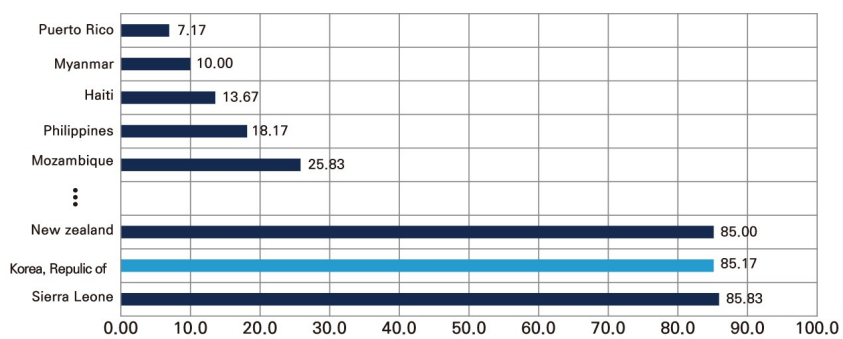
127) 이외에도 기후리스크로 인한 금융 부문 리스크로는 시장 리스크, 유동성 리스크, 운영 리스크, 보험 리스크 등이 있다. 이러한 리스크는 주로 대출자의 금융 상황 변화에 따른 금융 기관의 리스크를 나타내는데, 금융기관에 대한 기후리스크 평가는 본 연구의 범위를 벗어나기 때문에 생략하였음을 밝힌다.

해서 알아보았다. 기후리스크는 다양한 경로와 상호작용을 거쳐 사회·경제에 영향을 주는데, 우리나라는 물리적 리스크에 대한 노출은 낮으나 이행리스크에 대한 위험은 높은 편으로 평가되고 있다. 우리나라가 이행리스크에 대한 노출이 높은 것으로 평가되는 이유는 경제구조 상 제조업 비중이 높고, 기후변화에 대한 대응이 늦었다는 점 등 때문이다.[128]

각국의 기후변화 대응을 평가한 CCPI(Climate Change Performance Index)에서 우리나라는 64개국 중 60위로, 매우 낮음(very low) 등급의 이행을 수행하는 것으로 평가되었다.[129] 이는 우리나라의 높은 온실가스 배출량과 낮은 재생에너지 사용 때문이다. 한편, 우리나라의 물리적 리스크에 대한 위험은 상대적으로 낮게 나타났는데, 〈그림 3-6〉은 전 세계 국가의 2000년부터 2019년까지의 데이터를 바탕으로 급진적 기후 위험을 평가한 CRI (Climate Risk Index) 순위를 보여준다. 우리나라 CRI는 85.2로 180개국 중 91위를 차지하여 물리적 리스크 발생 위험에 비교적 안정적이라 할 수 있다.[130]

〈그림 3-6〉 Climate Risk Index 순위

단위: 지수



자료: Eckstein, Kunzel, & Schafer(2021), pp.39-44를 바탕으로 저자 작성

128) 인소영·박기영(2021), p. 157.
129) CCPI(검색일: 2022.5.8.)
130) Eckstein, Kunzel, & Schafer(2021), pp.39-44.

그럼에도 불구하고, 자연재해에 따른 우리나라의 피해는 갈수록 커지는 것으로 나타났다. 〈표 3-4〉는 우리나라 및 해양수산분야 자연재해 피해현황을 보여준다. 2018년 이후 자연재해에 따른 우리나라 전체 피해액이 지속적인 증가세를 보인다. 특히 2020년에는 1,630mm의 강수량으로 인해 자연재해 피해가 전년 대비 5배 이상 증가한 1,318,032백만 원을 기록하였다.[131] 이처럼 이상기후가 빈번해지면서 GDP 대비 자연재해 피해 비중도 2018년 0.01%에서 2020년 0.07%로 상승하였다.

2020년 해양수산분야 피해액은 76,018백만 원으로, 2018년 대비 200% 이상 증가하였다. 분야별로 살펴보면 어항이 32,176백만 원으로 전체 해양수산분야에서 가장 큰 피해를 입었고, 다음으로 항만(31,981백만 원), 수산증양식(6,121백만 원), 어망·어구(4,319백만 원) 등의 순이다. 한편, 2018년 이후 수산증양식을 제외한 나머지 해양수산분야에서 자연재해에 따른 피해액이 모두 증가한 가운데, 특히 항만의 경우 2020년 호우에 따른 자연재해 피해 건수가 전년 대비 18건 증가한 22건으로 늘어나면서 피해액이 2018년 대비 약 650% 증가하였다.[132]

〈표 3-4〉 우리나라 및 해양수산분야 자연재해 피해 현황

단위: 백만 원

구분	2018년	2019년	2020년
총피해액	120,830	215,521	1,318,032
해양수산분야	24,957	20,259	76,018
선박	300	293	1,220
항만	4,274	243	31,981
어항	11,556	4,740	32,176
해양	-	-	200
수산증양식	8,075	13,765	6,121
어망·어구	752	1217	4,319

주: 1) 태풍, 호우, 풍랑·강풍, 폭염에 따른 피해
2) 해양수산분야는 선박, 항만, 어항, 해양, 수산증양식, 어망·어구이며, 해양은 2020년 자료
자료: 행정안전부(2021) pp. 25-26을 바탕으로 저자 작성

131) 기상청(검색일: 2022.9.7.)
132) 행정안전부(2021), p.169.

제2절 기후 스트레스 테스트 주요 특징

1. 기후리스크 특성

기후변화에서 파생되는 기후리스크는 이전부터 인류와 함께 공존해 왔기에 완전히 새로운 것이라고 할 수는 없다.[133] 따라서 기존 리스크와 동일하게 관리되어야 하는데 기후변화의 독특한 특성으로 인하여 전통적인 리스크관리 방법론 적용에는 무리가 있다.[134] 이는 기후변화의 특성은 모형 설계 과정에서 기후 시나리오, 리스크 파급경로, 리스크의 환류 순환(feedback loop) 구성에 중요한 역할을 하기 때문이다.[135] 앞서 언급하였듯이, 기후변화는 전 지구적 현상이며 되돌릴 수 없고, 영향이 지속적이며 높은 불확실성을 지닌다. 이와 같은 특성을 모형 설계 관점에서 보면 기후리스크는 불확실성(uncertainty), 내생성(endogeneity), 비선형성(non-linearity) 등의 특성을 지닌다.[136]

불확실성은 기후리스크의 가장 핵심적인 요소이다.[137] 기후리스크 중 이행리스크는 정책 결정, 산업 대응, 기술 혁신, 소비자 반응 등이 복잡하게 얽힌 상호작용의 결과이며, 이 상호작용은 비선형적으로 이루어진다.[138] 비선형적이란 어떤 분야에 상대적으로 작은 규모의 변화가 다른 분야에는 심각한 영향으로 나타날 수 있음을 의미한다.[139] 탄소중립 달성을 이루려면 사회·경제 전반의 구조적 변화가 수반되어야 하는데 이러한 변화는 예측

133) Chenet(2021), p. 400.
134) 위의 책, p. 400.
135) Battiston, Dafermos, & Monasterolo(2021), pp. 2-3.
136) 위의 책, p. 1.
137) Stern(2007), p. 9.
138) Bolton et al.(2020), p. 23.
139) 위의 책, p. 27.

불가능한 과정을 거쳐 일어나기 때문에 단일 모형 또는 시나리오만으로는 적절한 의사결정을 돕기는 어렵다고 할 수 있다.[140]

장기적 기후변화의 결과는 인류의 경험을 넘어설 것이기에 기후변화 관련 의사결정은 가능한 결과의 범위에 대한 신중한 고려를 바탕으로 이루어져야 한다.[141] 현재 혹은 미래에 일어날 기후변화는 피해 규모나 속도의 예측이 불가능한 전례없는 현상(unprecedented phenomenon)일 것이고, 그로 인해 영향 분석을 위한 과거 경험 혹은 데이터가 부족한 현실이다.[142] 따라서 축적된 데이터를 바탕으로 미래의 영향을 분석하는 전통적인 모형의 적용은 그 효과가 제한적이라 할 수 있다.[143] 특히 대표적인 거시모형인 연산가능일반균형(CGE: Computable General Equilibrium) 모형과 동태확률일반균형(DSGE: Dynamic Stochastic General Equilibrium) 모형의 핵심 가정인 경제주체의 합리적 기대와 외부충격에 의한 경기변동 등은 기후변화의 경로 의존성(path dependency) 및 내생성과 상충된다. 게다가 일반균형모형은 기후 시나리오에 대한 경제주체의 이질적인 기대형성을 반영할 수 없으며, 기후리스크의 비선형성으로 인한다중 균형(multi equilibria)에 대한 분석 또한 어렵다고 할 수 있다.[144]

종합하면, 기후리스크의 불확실성과 내생성, 비선형성 등의 특징은 기후리스크 분석에 전통적인 분석 방법론 적용의 한계로 작용한다. 이러한 한계에 대한 대안으로 기후 스트레스 테스트(climate stress test)가 각광받고 있다. 기후 스트레스 테스트는 발생 가능성이 가장 높은 결과를 제안하는 대신 발생 가능한 여러 상황을 비교함으로써 기후리스크의 불확실성을 고려한 여러 결과를 비교·분석하는 것을 목적으로 한다.[145] 이를 통해 환

140) 위의 책, p. 10.
141) Allen et al(2020), p. 1.
142) Campiglio et al.(2017), p. 4.
143) Chenet(2021), p. 400.
144) Battiston, Dafermos, & Monasterolo(2021), pp. 2-3.

경과 기후리스크 관리에 대한 최적의 방안을 탐색하고 다양한 상황에서 취약점을 평가할 수 있다는 장점이 있다.[146] 한 가지 유의할 점은 기후 스트레스 테스트의 결과는 기후리스크에 대한 예측이 아니라 가상적 상황에서의 기후리스크 영향이라 할 수 있다.[147]

2. 기후 스트레스 테스트의 방법론적 차별성

기후리스크를 관리하기 위한 기후 스트레스 테스트는 방법론적으로 많은 발전을 이루었으나 데이터 및 표준화된 방법론의 부재로 연구에 따라 적용한 방법론에 차이가 있고, 편차가 큰 분석 결과를 보인다.[148] 본 관에서는 기후 스트레스 테스트의 상위 개념인 거시경제 스트레스 테스트를 소개하고, 기후 스트레스 테스트와의 차이를 분석하여 기후 스트레스 테스트의 방법론적 차별성에 대해 논의하였다. 이를 통해 동 모형의 장점 및 방법론적 한계를 제시하였다.

1) 스트레스 테스트의 정의

스트레스 테스트는 예외적이지만 발생 가능한(exceptional but plausible) 사건에 대한 잠재적인 취약성을 평가하는 리스크 관리 기법이다.[149] 아시아 외환위기, 글로벌 금융위기를 경험하면서 금융위기 발생으로 인한 금융시스템의 불안정이 막대한 사회·경제적 비용을 초래한다는 사실이 인식되면서 중앙은행 및 감독기구는 금융 안정성(financial stability)을 관리하기

145) Allen et al.(2020), pp. 1-2.
146) 강인순(2021), p.1.
147) 인소영·박기영(2021), p. 180.
148) Covas(2020), p. 1.
149) 박성화·김태일·권장한(2020), p. 85.

위한 거시경제 스트레스 테스트(macroeconomic stress test)를 도입하였다.[150] 우리나라를 비롯한 주요 국제 기구 및 중앙은행은 리스크 관리를 위한 스트레스 테스트 모형을 개발·운용하고 있다. 〈표 3-5〉는 주요 스트레스 테스트 모형 현황을 보여준다.

〈표 3-5〉 주요 기관 스트레스 테스트 모형 현황

기관	모형
IMF, 세계은행	• FSAP
한국은행	• BOKST-07
금융감독원	• STARS-I
주택금융공사	• 은행업권 스트레스 테스트 모형

자료: 박광서 외(2021), p. 75, 〈표 2-10〉

스트레스 테스트 방법으로는 민감도 분석(sensitivity analysis), 시나리오 분석(scenario analysis), 최대손실 접근법(maximum loss approach) 등이 있다. 민감도 분석은 다른 경제 여건이 같을 때 거시경제에 위험이 될 수 있는 리스크요인의 변화가 미치는 영향을 분석하는 방법이다.[151] 다양한 수준의 변화를 적용함으로써 상황별 시스템 민감도를 분석할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 민감도 분석은 한 요인만을 분석하기 때문에 리스크의 파급경로는 분석이 어렵다는 한계도 존재한다. 시나리오 분석은 극단적이지만 발생 가능성이 있는 위기상황, 즉 시나리오를 가정하여 거시경제 변화를 분석하여 민감도 분석의 한계를 보완한다.[152] 이때 시나리오는 과거 위기상황을 바탕으로 구성한 역사적(historical) 시나리오 또는 미래의 가상적 상황을 가정한 가상(hypothetical) 시나리오를 설정하여 분석한다.[153] 동 방법은 보편적인 스트레스 테스트 방법으로 사용되고 있다. 마

150) 김주철(2003), p. 2.
151) 위의 책, p. 5.
152) 위의 책, p. 5.
153) 김정기(2015), p. 7.

지막으로, 최대손실 접근법은 거시경제에 최대 피해를 줄 것으로 예상되는 리스크의 조합을 탐색하는 방법으로서 시스템의 취약성을 분석하는 데는 용이하지만 분석 결과에 대한 체계적 대응이 어렵다는 단점이 존재한다.[154]

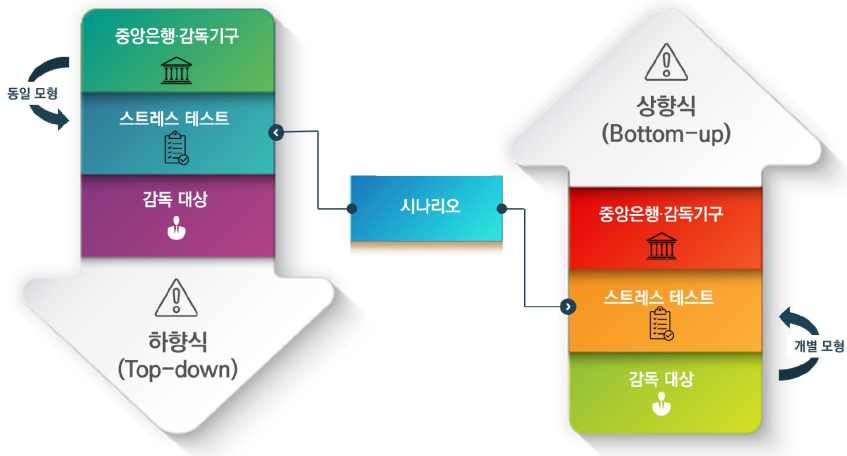
스트레스 테스트의 접근방식은 위기상황이 거시경제에 미치는 영향을 시산한 뒤, 개별 산업, 기관 순서로 분석하는 하향식(top-down) 방식과 역으로 개별 기관 영향을 시산한 후에 거시경제 영향을 분석하는 상향식(bottom-up) 방식이 있다.[155]

〈그림 3-7〉은 스트레스 테스트의 접근방식을 보여준다. 하향식은 감독대상의 참여 없이 중앙은행·감독기구가 자체 모형을 활용하여 리스크를 평가하는 것이다. 반면 상향식은 중앙은행·감독기구가 시나리오를 제시하고, 이러한 시나리오를 바탕으로 개별 주체가 리스크의 영향을 추정한 후 이를 취합하여 거시경제에 미치는 영향을 파악하는 방법이다.[156]

하향식과 상향식 접근방식은 방법에 따라 각각의 장단점이 존재하는데, 하향식은 동일한 방법론을 적용하여 분석하므로 일관성 있는 평가가 가능하며, 비교 가능성과 연계성도 높다는 장점이 있다. 그러나 감독 대상이 다양한 미시 데이터를 활용하지 못한다는 점은 단점으로 지적된다.[157] 상향식은 각 주체가 보유한 다양한 미시 데이터와 리스크 평가 기법을 사용할 수 있으나, 서로 다른 방법과 가정을 사용하게 되므로 일관성과 비교 가능성이 떨어지고 주체 간 연계성도 반영하기 어렵다는 단점이 있다.[158]

154) 김주철(2003), p. 5.
155) 인소영·박기영(2021), p. 179.
156) 금융위원회 보도자료(2021.1.28.)(검색일: 2022.9.7.)
157) 김재윤·전은경(2021), p. 21.
158) 서정호(2010), p.8.

〈그림 3-7〉 스트레스 테스트 접근방식



자료: 금융위원회 보도자료(2021.1.28.)를 바탕으로 저자 작성

2) 기후 스트레스 테스트와 거시경제 스트레스 테스트 비교

기후 스트레스 테스트는 거시경제 스트레스 테스트와 분석 데이터, 예측 시계, 분석 목적 등에서 차이를 보이며 이러한 차이는 앞서 논의한 기후리스크의 특성에 기인한다.

(1) 분석 목적

기후 스트레스 테스트와 거시경제 스트레스 테스트의 가장 큰 차이는 분석 목적이다. 거시경제 스트레스 테스트는 위기상황에 대비하여 경제의 취약점을 분석하고 그에 따른 대응방안을 마련하는 것이 목적이다. 예를 들어, 거시경제 스트레스 테스트는 글로벌 금융위기가 다시 일어난다고 가정하여 현재 상황에서 위기에 취약한 부문을 탐색하고 그에 대한 감독과 대응방안을 수립하는 것을 목적으로 한다. 한편, 기후 스트레스 테스트의 목적은 앞

으로 예상되는 기후 및 정책 변화에 대한 영향을 분석하는 것이다. 다시 말해, 기후리스크의 높은 불확실성으로 인해 리스크의 발현 형태 및 규모 예측이 불가능하므로 다양한 상황을 가정하여 기후리스크가 경제에 미치는 영향을 이해하고, 경제주체의 기후대응 역량을 향상하는 것을 목적으로 한다.[159]

(2) 분석기간

이러한 스트레스 테스트 간 분석 목적의 차이는 분석기간에도 영향을 준다. 거시경제 스트레스 테스트는 분석을 통해 거시건전성 및 금융안정성을 달성하는 것을 목적으로 한다. 따라서 시장 안정이 확보되는 1년에서 5년 사이를 분석기간으로 설정한다.[160] 반면에 기후 스트레스 테스트는 상대적으로 장기인 30년에서 70년의 분석기간을 사용하는데, 이는 탄소중립이 수십 년에 걸쳐 서서히 진행될 것이기 때문이다.[161] 따라서 단기모형으로는 기후리스크의 영향을 분석하기에 적합하지 않다고 할 수 있다. 우리나라를 대상으로 기후 스트레스 테스트를 적용한 김재윤·전은경(2021)은 2050년까지를 분석기간으로 설정하였으며, 프랑스의 탄소중립 영향을 분석한 Allen et al.(2020)도 2050년까지의 분석기간을 적용하여 분석하였다.

(3) 분석 방법

거시경제 스트레스 테스트는 위기상황에서의 취약점을 분석하는 다양한 기법을 통칭하는 용어이다.[162] 앞서 언급하였듯이, 스트레스 테스트의 주요

159) NGFS(2021a), p. 7.
160) 유럽 은행감독청(European Banking Authority), 영란은행(Bank of England)의 분석기간은 각각 3년과 5년이다.
161) Covas(2020), p. 5.
162) 박광서 외(2021), p. 74.

방법론으로는 민감도 분석, 시나리오 분석, 최대손실 접근법 등이 있는데 기후 스트레스 테스트는 분석 데이터의 한계로 인해 시나리오 분석만이 적용 가능하다. 시나리오의 형태 또한 과거 데이터 부족으로 인해 역사적 시나리오 적용이 어렵고, 가상 시나리오 적용만 가능하다는 차이가 있다.〈표 3-6〉에서 지금까지의 논의를 바탕으로 거시경제 스트레스 테스트와 기후 스트레스 테스트의 차이점을 서술하였다.

〈표 3-6〉 거시경제 스트레스 테스트와 기후 스트레스 테스트 비교

구분	거시경제	기후
분석대상	시장리스크, 신용리스크 등	기후리스크 (이행리스크)
분석 목적	위기상황에 대한 취약성 분석	기후변화 대응역량 강화
분석기간	단기(1~5년)	장기(30~70년)
분석 방법	민감도 분석, 시나리오 분석, 최대손실 접근법 등	시나리오 분석
시나리오 설정	역사적 시나리오, 가상 시나리오	가상 시나리오
활용 변수	거시경제변수	기후변수, 정책변수, 거시경제변수
리스크 파급경로	리스크 요인 → 거시경제	기후·정책환경 → 리스크 요인 → 거시경제

자료: 강인순(2021), p. 3을 바탕으로 저자 작성

3. 기후 스트레스 테스트 분석 절차

NGFS(2021c)는 기후 스트레스 테스트 분석 절차를 〈그림 3-8〉과 같이 제안하였다.[163] 기후 스트레스 테스트 분석 절차는 ① 분석대상 설정, ② 시나리오 구성, ③ 분석모형 설계, ④ 영향 평가로 이루어져 있다.

163) NGFS(2021c), p. 8.

〈그림 3-8〉 기후 스트레스 테스트 분석 절차



자료: NGFS(2021c) p. 8, Figure 1을 바탕으로 저자 작성

절차별로 살펴보면, 첫 번째 단계는 연구 목적에 따라 기후리스크 분석 대상을 설정하고, 분석대상의 기후리스크 노출정도를 파악하여, 분석범위를 결정하는 단계이다. 두 번째는 시나리오 구성이다. 기후 스트레스 테스트는 일반적인 경제적 영향 분석과 연구 목적이 다르기 때문에 시나리오의 개연성과 현실 가능성이 매우 중요하다고 할 수 있다.[164] 분석대상과 시나리오를 정한 다음에는 분석모형 설계를 수행한다. 이 단계에서는 기후리스크에 노출도를 고려하여 방법론 및 데이터, 모형의 주요 가정을 선택한다. 마지막으로 영향 평가는 분석 결과를 이해관계자 및 학계와 공유함으로써 기후리스크에 대한 사회적 공감대를 형성하고 세부분야 연구와 논의를 촉진시키는 역할을 한다.

1) 분석대상 설정

기후 스트레스 테스트의 분석대상은 연구자의 목적에 부합하며, 발생 가

164) 강인순(2021), p. 3.

능성이 높은 리스크이어야 한다. 모든 잠재적 리스크를 처음부터 분석하는 것은 쉽지 않은 일이라는 점을 고려한다면, 높은 발생 가능성을 지닌 분석 대상 설정은 관련 시나리오를 고찰하고 분석의 우선순위를 정하는 데 도움이 될 것이다. 이 과정에서 분석기간을 결정하게 되는데, 앞서 언급하였듯이 기후변화는 높은 불확실성으로 인해 단기모형을 통해서는 영향을 평가하기 어렵고, 분석기간이 장기일수록 결과의 불확실성이 낮아진다.

2) 시나리오 구성

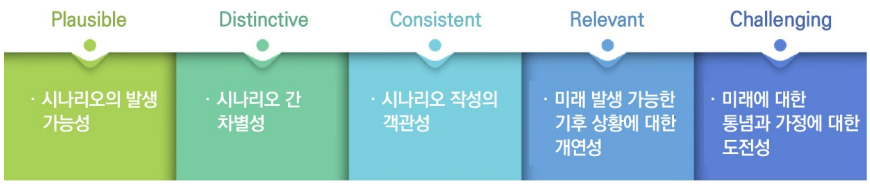
기후 스트레스 테스트 목적은 미래를 예측하는 것이 아니라 다양한 미래 상황에서의 기후리스크 영향을 이해하고 이에 따른 대응방안을 마련하는 것이다.[165] 다시 말하자면, 다양한 상황을 가정한 기후시나리오를 적용함으로써 기후리스크에 대한 노출 정도를 분석하고, 위기요인 및 기회요인 식별을 통해 기후대응 역량을 키우고자 하는 것이다. 기후 시나리오는 주어진 가정과 제약조건하에서 발생 가능성이 높은 다양한 가상 결과를 평가하기 때문에 기후리스크에 대한 이해를 높이고 기후리스크의 위험성에 대해 재고할 수 있게 한다.[166] 따라서 기후 스트레스 테스트 분석의 다변화된 시나리오 적용을 통해 다양한 결과를 도출하는 것이 기후리스크 분석에 적합하다고 할 수 있다.

스트레스 테스트는 주어진 시나리오 하에서 발생할 수 있는 손실은 측정할 수 있으나 그러한 시나리오가 발생할 확률에 대해서는 아무런 정보도 제공할 수 없다는 한계가 있다.[167] 게다가 기후 스트레스 테스트의 경우, 시나리오는 지구물리학적 결과인 기후변화와 사회경제적인 경제영향을 복

165) TCFD(2017), The Use of Scenario Analysis in Disclosure of Climate-Related Risks and Opportunities, p. 2.
166) 위의 책, p. 2.
167) 김주철(2003), pp. 7-8.

합적으로 다루기 때문에 시나리오 작성에 전문성이 요구되고, 시나리오의 개연성과 현실 설명력이 매우 중요하다고 할 수 있다.[168] TCFD(2017b)는 기후 시나리오 조건을 제시한 바 있는데, 자세한 내용은 〈그림 3-9〉와 같다.[169]

〈그림 3-9〉 기후 시나리오의 조건



자료: TCFD(2017b), p. 3을 바탕으로 저자 작성

시나리오 조건별 내용은 다음과 같다. 첫째, 시나리오 상황은 발생 가능성이 있어야 하고, 시나리오 작성과정에서 사건에 원인과 결과에 대한 신뢰할 수 있는 설명이 뒷받침되어야 한다. 둘째, 여러 시나리오를 적용할 경우, 각 시나리오는 다른 시나리오와의 차별성이 있어야 한다. 각 시나리오는 비슷한 상황에서의 차이가 아니라 구조와 메시지에서 뚜렷한 차이를 보여야 한다. 상이한 상황을 가정한 다양한 시나리오 적용을 통해 핵심 요인의 차이로 인한 결과를 얻을 수 있을 것이다. 셋째, 시나리오는 객관적이어야 한다. 기후 스트레스 테스트의 목적은 요인 간 상호작용을 분석하는 것이다. 기후 요인의 변화는 사회·경제에 미치는 영향으로 나타나기 때문에 이러한 요인 변화에 대한 논리적이고 객관적인 증거가 뒷받침되어야 한다. 넷째, 시나리오는 미래 발생 가능한 기후 관련 위험과 기회에 대한 통찰을 지녀야 한다. 마지막으로, 기후 시나리오는 도덕적이어야 한다. 기후리스크가 지닌 높은 불확실성을 생각한다면 기후 시나리오는 미래에 대한 통념과 단순한 가정에서 벗어나 경제구조를 뒤흔들 수 있는 대안으로서 작성되어야 한다.

168) 강인순(2021), p. 3.
169) TCFD(2017b), p. 3

기후 스트레스 테스트를 수행한 선행연구는 위의 조건을 고려하여 기후 시나리오를 적용하였다. 한국은행(김재윤·전은경, 2021), 유럽 중앙은행(Alogoskoufis et al., 2021), 프랑스 중앙은행(Allen et al., 2020) 등 23개 중앙은행 및 감독기구는 NGFS의 기후변화 시나리오를 활용하여 시나리오를 구성하였으며, 네덜란드 중앙은행(Vermeulen et al., 2018) 등 8개 중앙은행 및 감독기구는 자체적으로 시나리오를 개발하여 기후 스트레스 테스트를 실시한 바 있다.[170]

3) 분석모형 설계

분석모형 설계 단계에서는 기후 스트레스 테스트의 방법론과 분석 데이터 구성, 접근방식 등을 결정한다. 앞서 밝혔듯이, 기후리스크 영향에 대한 연구는 아직 초기 단계이고, 데이터 부족 등의 문제로 표준화된 모형이 부재한 실정이다.[171]

기후변화의 높은 불확실성은 전통적인 계량경제모형의 적용을 어렵게 한다. 이에 대한 대안으로 SFC(Stock-Flow Consistent) 모형, 행위자기반 모형(agent-based model) 등을 적용하여 기후변화의 비선형성, 내생성 등이 반영된 모형이 개발되고 있지만 아직 초기 단계에 머물러 있고, 연구 목적은 금융안정성에 초점을 맞추고 있다.[172]

기후 스트레스 테스트에 활용된 다른 방법으로 다모형(a suite of models) 접근이 있다. 아직까지 표준화된 모형이 부재하다는 한계에 대한 대안으로 NGFS(2020b)는 다모형 접근을 사용할 것을 권고하였다. 다모형 접근은 각 모형이 특화된 부문의 결과는 그 모형을 활용하여 추정하되, 그 외 부문의

170) 김재윤·전은경(2021), p. 21.
171) 위의 책(2021), p. 21.
172) Battiston, Dafermos, & Monasterolo(2021), p. 3.

결과는 그것에 특화된 모형을 조합하여 분석하는 방법이다. 예를 들어, IAM은 기후 시나리오 작성에는 강점을 지녔지만 세분화된 경제변수에 대한 분석은 불가능한데, 다모형 접근은 IAM의 기후 시나리오 결과를 활용하되 세부 경제변수에 대한 영향을 다른 모형을 사용하여 분석하는 방법을 말한다.

한편, 기후 스트레스 테스트의 접근방식으로는 하향식 방식과 상향식 방식이 있다. 하향식은 중앙은행 및 감독기구가 감독 대상의 참여 없이 기후리스크를 평가하는 방식으로 동일한 모형을 적용하여 리스크를 평가한다는 장점이 있으나 감독 대상의 데이터를 활용하지 못한다는 단점이 존재한다. 한편, 상향식 방식은 중앙은행 및 감독기구가 제시한 시나리오에 따라 감독 대상이 스트레스 테스트를 수행하는 방식으로 미시적으로 기후리스크를 평가할 수 있다는 장점이 있지만 감독 대상마다 자신의 리스크 평가기법을 도입하기 때문에 일관성 있는 리스크 평가가 어렵다는 단점도 존재한다.[173]

〈표 3-7〉 주요국의 기후 스트레스 테스트 접근방식

접근방식	국가
하향식 (Top-down)	• (중앙은행)한국, 네덜란드, 독일, 멕시코, 스페인, 아이슬란드, 오스트리아, 유럽연합, 콜롬비아, 핀란드 • (감독기구)몰타, 유럽연합, 콜롬비아
상향식 (Bottom-up)	• (중앙은행)남아프리카공화국, 영국, 일본, 프랑스, 필리핀, 홍콩 • (감독기구)싱가폴
중복 도입	• (중앙은행)중국, 칠레, 캐나다 • (감독기구)호주

주: 일본은 중앙은행과 감독기구의 공동 연구
자료: 김재윤·전은경(2021), p. 21., 〈표 1〉

〈표 3-7〉은 주요 국가의 기후 스트레스 테스트 접근방식을 보여준다. 표에서 확인할 수 있듯이, 한국을 비롯한 대부분의 국가는 하향식 방식을 채

173) 김재윤·전은경(2021), p. 21.

택하고 있으며, 중국, 칠레, 캐나다 및 호주만이 하향식과 상향식 접근방식을 모두 채택하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

4) 기후리스크 영향 평가

기후 스트레스 테스트의 마지막 단계는 분석 모형을 통한 기후리스크 영향 평가이다. 연구자는 분석 결과 공개를 통해 기후리스크에 대한 논의를 진행하고, 기후리스크에 대한 경각심을 키워야 한다. 기후 스트레스 테스트 분야의 연구가 아직 초기단계임을 고려한다면, 방법론, 데이터 및 분석의 한계를 공개하여 이해관계자는 물론 학술적 발전을 위한 토대를 마련해야 한다. 스페인 중앙은행은 그들의 기후 스트레스 테스트 결과를 금융안정보고서에 소개할 예정이며, 영란은행은 기후 스트레스 테스트 결과에 대해 개별 기업의 의견을 수렴할 계획이라고 밝혔다.[174] 기후리스크에 대한 평가는 지속적인 방법론 개선을 통한 완성도 제고, 기후 관련 데이터 작성 등을 통해 경제주체의 의사결정과 정부의 정책 목표 수립을 도와야 하고, 이를 통해 탄소중립 실현이라는 목표를 달성하여야 한다.

제3절 소결 및 해양수산 기후 스트레스 테스트 방안

1) 소결

본 장에서는 해양수산분야 기후 스트레스 테스트를 적용하기 위해 기후리스크의 파급경로와 기후리스크의 계량경제학적 특성, 기후 스트레스 테

174) NGFS(2021), NGFS Climate Scenarios Database, p. 34.

스트 모형 등 기후 스트레스 테스트의 이론적 프레임워크를 소개하였다.

현재 우리가 겪는 기후변화가 인류의 온실가스 배출이 주된 이유이기 때문에 기후변화를 늦추기 위한 탄소중립 정책은 전 세계적인 움직임이 되었다. 기후변화는 그 원인이 되는 온실가스 배출량을 줄여 저탄소경제로 이행하는 과정에서 발생하는 이행리스크와 기후변화의 지구물리학적 결과로서 영향을 미치는 물리적 리스크의 파급경로를 통해 인류에게 영향을 미친다. 물리적 리스크는 점진적 리스크와 급진적 리스크로 구분할 수 있다. 점진적 리스크는 기온 상승, 해수면 온도 상승과 같이 장기간에 걸쳐 느리게 나타나는 자연환경 변화를 의미하고, 해일, 태풍과 같은 자연재해는 급진적 리스크라 할 수 있다. 두 리스크 모두 인류에게 부정적인 영향을 미치며 특히 수산분야는 점진적 리스크에 크게 노출된 것을 확인할 수 있었다.

이행리스크로는 정책 리스크, 기술 리스크, 그리고 시장 및 평판 리스크가 있다. 정책 리스크는 온실가스 배출을 감축하기 위한 정부의 정책으로 발생하는 리스크로, 시장 메커니즘 활용 여부에 따라 시장기반 정책과 비시장기반 정책으로 분류할 수 있다. 시장기반 정책의 대표적인 예로 탄소가격제도를 소개하였다. 탄소가격제는 정부가 이산화탄소 배출에 가격을 부과함으로써 경제주체의 온실가스 배출량을 줄이고자 하는 정책이다. 가격신호를 이용하여 효율적으로 온실가스 배출량을 감축하고, 탄소가격제도에 의한 정부의 추가 수입을 공공부문 투자에 활용하거나 국민에게 재분배할 수 있다는 점에서 기회로 작용하지만, 기업의 생산비용 증가로 인한 수익감소, 그에 따른 투자 위축, 물가 상승은 위기요인으로 나타났다.

기술 리스크는 탄소중립 실현을 위한 저탄소 기술 개발 과정에서 발생할 수 있는 리스크이다. 주요 기술 리스크로 에너지 믹스, CCUS 기술에 대해 논의하였다. 고탄소산업인 제조업 비중이 높은 우리나라 경제구조상 에너지 전환은 높은 비용이 소요될 것이고 CCUS 기술이 아직 초기단계인 점은

기술 리스크의 위기로 나타났다. 또한 재생에너지 사용 증가에 따른 화석연료 관련 자산의 가치 하락을 의미하는 좌초자산 역시 기술 리스크의 주요 위기라 할 수 있다. 그러나 탄소가격제도를 통해 친환경 에너지 및 기술의 상대가격이 낮아진다면 정책 리스크로 인한 인플레이션을 억제할 수 있다는 점은 기회로 나타났다. 친환경 기술 시장 성장을 통해 신성장동력산업을 발굴할 수 있다는 점도 기술 리스크의 기회라 할 수 있다.

시장 및 평판 리스크는 친환경에 대한 투자자 및 소비자의 선호가 증가하면서 발생할 수 있는 리스크를 의미한다. 시장 및 평판 리스크의 예로 최근 기업을 중심으로 이루어지고 있는 ESG를 소개하였다. 시장 및 평판 리스크를 통해 기업가치가 상승하고 소비자의 선호도가 높아질 수 있다는 점은 기회로 작용할 수 있으나 ESG 달성을 위한 비용 부담과 인력 부족은 시장 및 평판 리스크의 위기로 작용할 소지가 있었고 기업의 규모가 작을수록 위기에 더 노출된 것을 확인할 수 있었다.

다음으로 탄소중립이 해양수산분야에 미치는 영향 분석에 적용할 방법론을 고찰하였다. 불확실성, 비선형성, 내생성 등으로 인해 기후리스크 분석에 전통적인 계량경제모형의 적용이 어렵다는 것을 알 수 있었다. 특히 불확실성은 이러한 어려움의 가장 큰 원인인 것을 확인할 수 있었다. 따라서 다양한 기후·정책 상황을 가정하여 발생 가능한 여러 대안을 탐색하는 기후 스트레스 테스트 모형이 기후리스크 분석에 적합할 것으로 판단하였다.

기후 스트레스 테스트의 방법론적 차별성을 고찰하기 위해 기존의 거시경제 스트레스 테스트와 비교·분석하였다. 기후 스트레스 테스트는 다양한 상황 가정을 통한 여러 결과를 산출하여 기후대응역량을 향상하는 것이 목적이라면, 거시경제 스트레스 테스트는 위기상황에 대한 경제구조의 취약성을 분석한다는 점에서 차이를 보였다. 또한 앞서 논의한 기후리스크의 특성으로 인해 기후 스트레스 테스트는 장기의 분석기간과 가상 시나리오

적용을 통한 시나리오 분석만이 가능하다는 점을 알 수 있었다.

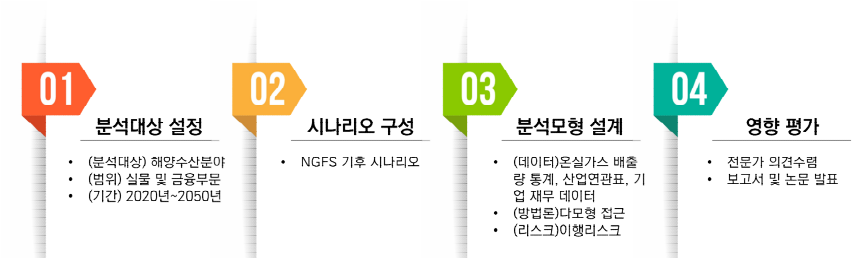
마지막으로 기후 스트레스 테스트의 분석절차와 각 단계별 세부내용을 살펴보았다. 기후 스트레스 테스트는 ① 분석대상 설정 ② 시나리오 구성 ③ 분석모형 설계 ④ 영향 평가의 과정으로 이루어진다. 분석대상 설정에서는 연구 목적과 부합하는 대상을 설정하고, 실물 및 금융 부문 등의 분석범위를 선택한다. 이때, 분석기간도 함께 고려하는데, 분석기간이 길수록 불확실성이 감소하는 것을 알 수 있었다. 다음으로 기후 스트레스 테스트에서 핵심적인 역할을 하는 기후 시나리오를 구성한다. 기후 스트레스 테스트의 목적이 다양한 미래 상황에서 도출 가능한 다수의 대응방안을 마련하는 것이므로, 기후 시나리오의 조건으로 발생 가능성과 시나리오 간 차별성, 작성과정에서의 객관성, 개연성, 도전성이 필요하다는 것을 알 수 있었다. 선행 연구의 시나리오 사례를 검토한 결과, 다수의 연구에서 NGFS 시나리오를 활용하여 기후리스크 분석을 수행한 것을 확인할 수 있었다. 분석모형 설계 단계에서는 주제별 영향분석에 적합한 모형과 데이터를 선택한다. 마지막으로 기후리스크 영향평가에서는 분석 결과를 공개하여 기후리스크에 대한 경각심을 깨우며, 학술적 발전을 위한 논의 토대를 마련하는 것이 중요하다는 점을 알 수 있었다. 또한 효율적인 탄소중립 실현을 위해 지속적인 모형의 개선과 데이터 발굴의 필요성을 강조하였다.

2) 해양수산 기후 스트레스 테스트 구축방안

본 장의 논의를 바탕으로 기후 스트레스 테스트 분석 절차에 따른 해양수산 스트레스 테스트 방안은 〈그림 3-10〉과 같다. 각 절차별 모형 구축방안은 다음과 같다. 첫 번째, 본 연구의 분석대상은 해양수산분야이다. 앞서 살펴보았듯이 해양수산분야는 기후리스크와 밀접한 관련이 있다. 수산분야는 물리적 리스크 중 점진적 리스크에 노출되어 있으며, 항만분야는 급진

적 리스크에 취약하다. 한편 해운분야는 높은 화석연료 의존도로 인해 좌초자산 발생 우려가 있으며, 어선을 생산수단으로 사용하는 어업도 비슷한 상황이라고 할 수 있다. 제조업 성격을 지닌 조선업과 수산물 가공업도 정책 리스크에 노출되어 있다. 이에 해양수산분야에 대한 탄소중립 정책의 경제적 영향을 분석하여 기후리스크에 취약한 분야를 식별하고 기후정책에 대한 대응방안을 마련하는 것이 중요하다고 할 수 있다.

〈그림 3-10〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 구축방안



자료: 저자 작성

분석 범위는 실물과 금융 부문 영향 모두 분석이 가능할 것이다. 다만, 중앙은행 및 감독기구의 기후 스트레스 테스트 대상은 기후리스크에 따른 금융안정성 변화인 반면에, 본 연구의 목적은 해양수산분야에 미치는 영향이다. 따라서 금융기관이 아닌 산업 및 기업을 중심으로 분석을 수행하여야 할 것이며 금융 부문은 기업의 신용리스크에 초점을 맞추어 분석하는 것이 적합하다. 본 연구의 목적이 2050 탄소중립의 영향을 살펴보는 것이므로 분석기간은 2050년까지로 설정한다.

다음으로 시나리오는 NGFS 기후 시나리오를 적용할 것이다. 기후 시나리오는 환경 및 경제를 종합적으로 고려하여 작성되기 때문에 작성자의 전문성이 중요하고, 개연성 및 현실 설명력, 객관성 확보가 필수적이라고 할 수 있다. NGFS는 한국의 기후정책 및 기술 발전에 대한 여섯 가지의 시나

리오를 제공하고 있다. 우리나라를 대상으로 기후 스트레스 테스트를 분석한 김재윤·전은경(2021)도 NGFS 시나리오를 적용한 바 있어, 본 연구도 동일한 시나리오의 적용을 통해 국민경제와 해양수산분야 간 비교가능성을 확보할 계획이다.

해양수산 기후 스트레스 테스트의 분석모형은 다모형 접근을 사용하는 것이 적합하다. 기후변화의 장기적이며 경로 의존적인 특성은 전통적인 계량경제 모형의 적용에 어려움을 준다. 본 연구는 다모형 접근을 적용함으로써 이러한 한계를 극복하고자 한다. 분석 데이터는 크게 세 가지 부문의 데이터가 필요할 것이다. 먼저 온실가스 배출량 통계를 검토하여 확보 가능한 해양수산분야를 식별한 뒤, 검토 결과를 바탕으로 산업연관표와 한국표준산업분류코드(KSIC: Korean Standard Industrial Classification)를 연계하여 실물 부문 데이터와 금융 부문 데이터를 구성할 것이다. 탄소중립 정책은 이행리스크와 관련되어 있으므로 본 연구의 분석 리스크 역시 이행리스크가 될 것이다. 앞서 우리나라 기후리스크 영향을 살펴보았을 때도 이행리스크에 대한 노출이 물리적 리스크에 비해 높은 것을 확인할 수 있었으며, 탄소중립 이행리스크를 분석함으로써 효과적이고 효율적인 해양수산분야 탄소중립 목표 달성에 이바지할 것이다.

본 연구의 결과를 바탕으로 정부, 산업종사자, 학계의 의견을 수렴할 것이다. 본 연구가 해양수산분야 탄소중립 이행리스크에 관한 최초의 연구라는 점을 고려한다면, 앞으로 개선해 나가야 할 부분이 많을 것이고 전문가 의견 수렴을 통해 모형의 완성도를 제고해야 할 것이다. 본 연구는 재현성(replicability) 실현을 위해 데이터의 구성과 모형의 설계에 대해 상세하게 서술하였다. 이러한 연구 결과를 보고서 및 논문으로 출간하여 해양수산분야의 탄소중립 영향 분석에 학술적으로 기여할 것이다.

04
탄소중립의 경제적 영향분석

제1절 분석 데이터 및 연구 방법

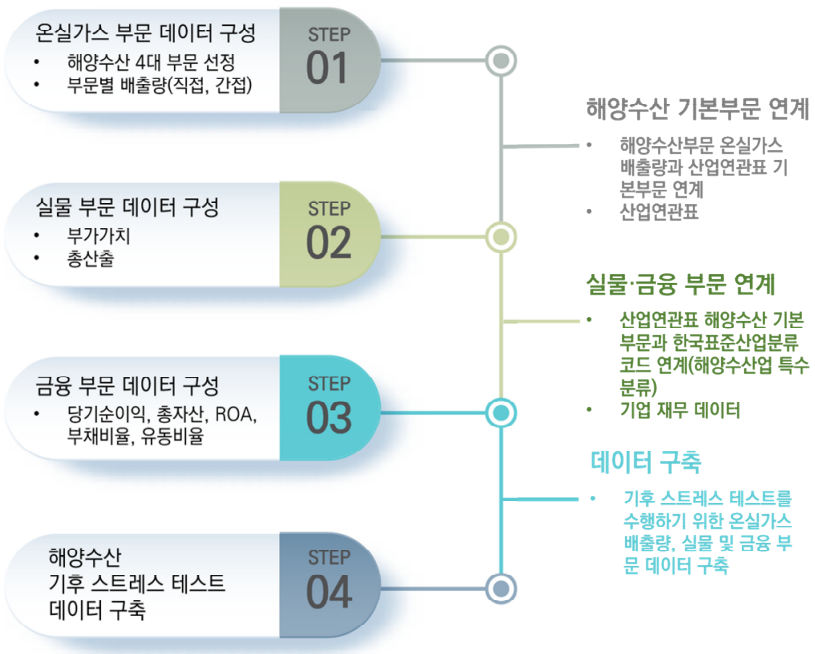
1. 분석 데이터

탄소중립이 해양수산업에 미치는 경제적 영향을 분석하기 위해서는 온실가스 배출량, 실물 및 금융 부문 등 다양한 부문의 데이터가 필요하다. 〈그림 4-1〉에서 확인할 수 있듯이 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형의 데이터는 온실가스 부문과 실물 부문 그리고 금융 부문으로 구성된다. 이 세 부문 중 온실가스 부문은 탄소중립 달성을 위한 다양한 정책 수단과 도구의 상호작용을 통해 해양수산분야의 실물 및 금융 부문에 영향을 주기 때문에 모형에서 핵심적인 역할을 수행한다.

모형의 데이터는 다음과 같은 과정을 거쳐 구성하였다. 먼저, 온실가스 종합정보센터 및 한국에너지공단 등 주요기관이 발표하는 온실가스 배출량 통계를 검토하여 확보 가능한 해양수산분야를 식별하였다. 검토 결과, 4개 부문(어업, 수산물 가공업, 조선업, 해운업)의 배출량 통계를 확보할 수 있었다. 다음으로 온실가스 배출량 통계 작성 기준과 부합하는 세부 산

업과 한국은행이 발표하는 산업연관표 기본부문을 연계하여 부가가치, 총산출 등 실물 부문 데이터를 구성하였다. 마지막으로 금융 부문은 기업의 재무 데이터로 구성하였는데, 해양수산업 특수분류 체계와 KSIC를 연계하여 해양수산분야에 포함되는 기업의 재무데이터를 수집하였다.[175] 분석기간은 2016년부터 2019년까지이며 연간자료를 활용하였다.

〈그림 4-1〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형 데이터 구축과정



자료: 저자 작성

1) 온실가스 부문 데이터

해양수산 기후 스트레스 테스트 모형에서 가장 핵심이 되는 데이터는 온실가스 배출량 데이터이다. 저탄소경제로의 전환 과정에서 발생하는 온실

175) 해양수산업 특수분류체계와 KSIC 연계는 장정인 외(2020) p. 190을 참고하였다.

가스 배출 비용은 기업의 생산비 상승 요인으로 작용하고, 산업 부가가치에 직접적인 영향을 준다. 온실가스 배출량에 따라 탄소중립으로 인한 해양수산분야의 경제적 영향이 측정되므로 온실가스 배출량은 해양수산 스트레스 테스트 모형에서 핵심적이라고 할 수 있다.

해양수산분야의 온실가스 배출량 데이터 확보를 위해 주요 기관에서 발표되는 통계를 검토하였다. 온실가스종합정보센터에서 발표하는 국가 온실가스 인벤토리와 한국에너지공단의 산업부문 온실가스 배출량을 검토하여 해양수산분야 온실가스 배출량 확보 방안을 모색하였다. 검토 결과, 어업, 수산물 가공업, 조선업, 해운업 등 총 4개 해양수산분야를 분석대상으로 설정하였다.

한편, 교토의정서에서 규제대상으로 규정한 6대 온실가스는 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF6)이다. 기후 스트레스 테스트에 사용된 시나리오가 이산화탄소 배출량을 기준으로 작성되었기 때문에 본 연구는 6대 온실가스 중 가장 큰 비중을 차지하는 이산화탄소를 중심으로 분석하였다.[176]

〈표 4-1〉은 해양수산분야 온실가스 배출량 데이터의 출처와 해당 산업을 보여준다. 해양수산분야별 데이터 출처를 살펴보면, 어업과 해운업은 국가 온실가스 인벤토리 배출량 통계를 활용하였다. 국가 온실가스 인벤토리는 어업 온실가스 배출량을 석유류 수급통계의 국내수급현황 중 어업에 기초하여 작성한다. 석유류 수급통계에서 어업은 연근해 어업, 원양어업, 달리 분류되지 않는 어업으로 분류되며 이 세 분류의 연료 소비량에 기초하여 어업의 온실가스 배출량을 작성한다.[177]

국가별 온실가스 인벤토리는 그 나라 사법권 안에 있는 영토 및 해역에

176) 환경부(검색일: 2022.8.22.)
177) 온실가스종합정보센터(2022), p. 136.

서의 온실가스 배출 및 흡수량을 기준으로 작성된다.[178] 따라서 우리나라 온실가스 배출 산정 및 감축 목표의 대상이 되는 해운업 또한 내항 해운업을 대상으로 한다. 해운업의 온실가스는 어선을 제외한 연안 여객선, 연안 화물선, 휴양용 선박, 호버크래프트 등 해운수송에 의한 배출량을 포함한다. 어업과 마찬가지로 해운의 활동자료도 석유류 수급통계를 활용하는데, 석유류 수급통계 중 국내수급현황(해운)의 자료에 기초하여 온실가스 배출량을 작성한다. 석유류 수급통계에서 해운은 내국적연안과 내륙항로 수송업, 수상운수 보조 서비스업의 연료소비량을 활동자료로 활용한다.[179]

국가 온실가스 인벤토리에서 확보가 어려운 다른 해양수산분야의 온실가스 배출량은 산업부문 온실가스 배출량 조사 통계를 사용하였다. 동 조사는 제10차 KSIC 149개 소분류를 기준으로 조사를 수행하고 있다.[180] 소분류를 기준으로 식별 가능한 해양수산업은 제조업(C)의 수산물가공및저장처리업(C102)과 선박및보트건조업(C311)이며, 운수업(H)의 경우 해운업은 외항운송업(H5011), 내항운송업(H5012), 기타 해상 운송업(H5013)이 식별 가능하다.

〈표 4-1〉 해양수산분야 온실가스 배출량 데이터 개요

해양수산분야	세부 산업	출처
어업	연근해 어업	국가 온실가스 인벤토리
	원양어업	
	달리 분류되지 않는 어업	
수산물 가공업	수산물 가공 및 저장 처리업	산업부문 온실가스 배출량 조사
조선업	선박 및 보트 건조업	
해운업	내국적연안과 내륙항로 수송업	국가 온실가스 인벤토리
	수상운송 보조서비스업	

자료: 저자 작성

178) IPCC(2006), 환경부 역, p. 4.
179) 온실가스종합정보센터(2022), p. 127.
180) 한국에너지공단(2019), p. 2.

해운업은 국가 온실가스 인벤토리 배출량과 산업부문 온실가스 배출량 조사에서 모두 확보가 가능한데, 주요 기관이 해운업 배출량을 인용할 때 사용하는 통계가 국가 온실가스 인벤토리라는 점을 반영하여 통계의 정합성을 위해 국가온실가스 인벤토리 자료를 사용하였음을 밝힌다.[181] 온실가스 부문 데이터에 관한 세부내용은 부록에 수록하였다.

2) 실물 및 금융 부문 데이터

온실가스 배출량 통계가 확보 가능한 해양수산분야를 기준으로 실물 부문 데이터를 구성하였다. 실물 부문 데이터는 한국은행의 산업연관표를 기준으로 구성하였는데, 산업연관표 기본부문과 온실가스 배출량 산업의 연계는 〈표 4-2〉와 같다.

〈표 4-2〉 온실가스 부문 산업과 산업연관표 기본부문 연계

해양수산분야	기본부문	기본부문명	온실가스 부문 산업
어업	0401	수산어획	연근해 어업
			원양어업
			달리 분류되지 않는 어업
수산물 가공업	0821	수산물 가공품	수산물 가공 및 저장 처리업
	0822	수산동물 저장품	
조선업	4101	강철제 선박	선박 및 보트 건조업
	4102	기타 선박	
	4103	선박 수리 및 부분품	
해운업	5401	연안 및 내륙수상 운송서비스	내국적연안과 내륙항로 수송업
			수상운송 보조서비스업

자료: 저자 작성

181) 해양수산부 보도자료(2022.1.17.)는 국가 온실가스 인벤토리 배출량 자료를 기준으로 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵을 발표한 바 있다.

〈표 4-2〉를 활용하여 부가가치, 총산출과 같은 실물 부문 데이터를 구성하였다. 실물 변수는 해양수산분야에 상응하는 GDP 디플레이터를 활용하여 실질화하였다. 구체적으로 어업은 농림어업의 GDP 디플레이터를 적용하였으며, 해운업은 운수업 GDP 디플레이터를, 수산물 가공업과 조선업은 제조업 GDP 디플레이터를 적용하여 실질 GDP로 환산하였다.

금융 부문 데이터는 〈표4-2〉의 기본부문 및 온실가스 부문 산업을 기준으로 그에 상응하는 KSIC 세분류에 속한 기업의 재무 데이터를 사용하였다. 해양수산분야와 KSIC 연계는 〈표 4-3〉과 같다. 기업의 재무정보는 NICE평가정보의 자료를 사용하였다.

〈표 4-3〉 온실가스 부문과 산업연관표 기본부문 및 KSIC 연계

해양수산 분야	기본 부문	기본부문명	온실가스 부문 산업	KSIC	KSIC 세분류
어업	0401	수산어획	연근해 어업	03112	연근해 어업
			원양어업	03111	원양 어업
			달리 분류되지 않는 어업	03120	내수면 어업
수산물 가공업	0821	수산물 가공품	수산물 가공 및 저장 처리업	10211	수산동물 훈제, 조리 및 유사 조제식품 제조업
				10212	수산동물 건조 및 염장품 제조업
				10213	수산동물 냉동품 제조업
				10219	기타 수산동물 가공 및 저장처리업
	0822	수산동물 저장품		10220	수산식물 가공 및 저장 처리업
조선업	4101	강철제 선박	선박 및 보트 건조업	31111	강선 건조업
	4102	기타 선박		31112	합성수지선 건조업
				31113	기타 선박 건조업
				31114	선박 구성 부분품 제조업
	4103	선박 수리 및 부분품		31120	오락 및 스포츠용 보트 건조업

해양수산 분야	기본 부문	기본부문명	온실가스 부문 산업	KSIC	KSIC 세분류
해운업	5401	연안 및 내 내륙수상 운송서비스	내국적연안과 내륙항로 수송업	50121	내항 여객 운송업
				50122	내항 화물 운송업
				50201	내륙 수상 여객 및 화물 운송업
			수상운송 보조서비스업	50130	기타 해상 운송업
				50209	기타 내륙 수상 운송업

자료: 저자 작성

2. 해양수산분야 데이터 특성 분석

1) 온실가스 배출량

온실가스 배출량은 직접 배출량과 간접 배출량으로 구분할 수 있다. 직접 배출량(Scope 1)은 배출원의 활동에 따라 배출원 경계 내에서 배출되는 온실가스 양을 의미한다.[182] 간접 배출량(Scope 2)은 배출원 활동에 필요한 전기 등을 구매함으로써 간접적으로 발전원과 같은 외부에서 배출하는 온실가스이다.[183] 본 연구의 해양수산분야를 예로 들자면, 화석연료를 사용하는 선박의 주된 생산활동 수단인 어업과 해운업은 직접 배출량의 비중이 높을 것이고, 생산 설비를 주로 사용하는 수산물 가공업 및 조선업은 간접 배출량의 비중이 높은 것으로 생각할 수 있다.

이러한 배출량에 대한 구분은 온실가스 배출량 통계의 작성 목적·범위에 따라 상이하다. 국가 온실가스 인벤토리는 우리나라 전체의 온실가스 배출량을 다루고 있고, 에너지 부문에 대한 배출량(총 간접 배출량)을 집계하기 때문에 산업의 직접 및 간접 배출량을 모두 제시할 경우 중복계산의 문제가 발생하게 된다. 따라서 국가 온실가스 인벤토리는 산업의 직접 배

182) 2050 탄소중립위원회(2021), p. 12.
183) 김승도·나승혁(2008), p. 77.

출량만을 발표하며, 전체 간접 배출량은 에너지 부문 배출량으로 제시하고 있다. 한편, 산업부문 온실가스 배출량 조사는 조사 대상의 직접 및 간접 배출량을 합산한 총배출량을 제공한다.

부문별 온실가스 배출량을 직접 배출량과 간접 배출량을 합산하여 표시할 경우, 해당 부문 활동이 직간접적으로 유발하는 온실가스 배출량 모두를 파악할 수 있어 저탄소경제로의 이행 도구에 따라 감축 이행 점검이 용이하다는 장점이 있다.[184] 정부의 탄소가격제, 배출권 할당 등은 부문의 총배출량 저감에 영향을 주고, 에너지 믹스를 통한 재생에너지 사용 증가는 전력 사용에 따른 간접 배출량에 영향을 주기 때문이다. 따라서 본 연구는 해양수산분야의 모든 활동을 통한 온실가스 배출량에 대한 탄소중립의 영향을 분석하기 위해 부문별 직접 및 간접 배출량을 합산하여 사용하였다. 직접 배출량만 제공하는 국가 온실가스 인벤토리에서 사용한 어업 및 해운업의 경우 산업연관표에서 전력발전업의 투입비중을 활용하여 간접 배출량을 추정한 후 전체 배출량을 산출하였으며, 산업부문 온실가스 배출량 조사 데이터를 사용한 해양수산분야(수산물 가공업, 조선업)는 총배출량을 사용하였다.

해양수산분야 간접배출량 추정은 김재윤·전은경(2021)의 방법에 따라 [식 4-1]과 같이 추정하였다.[185]

$$E_{j,t}^{IND} = E_{u,t}^{D} \times \frac{X_{j,t}^{u}}{\sum_{j=1}^{p} X_{j,t}^{u} + X_{fd,t}^{u}} \qquad [식\ 4\text{-}1]$$

위 식에서 $E_{j,t}^{IND}$와 $E_{u,t}^{D}$는 각각 j부문의 t시점 간접 배출량과 t시점 전력발전업의 직접 배출량이다. $X_{j,t}^{u}$는 j산업 생산을 위해 사용된 전력발전

184) 2050 탄소중립위원회(2021), p. 12.
185) 김재윤·전은경(2021), p. 31.

업의 투입물이고 $X^{u}_{fd,t}$는 최종수요에 사용된 전력발전업의 투입물을 의미한다. 즉 해양수산분야 간접 배출량은 에너지 부문의 직접 배출량에서 해양수산분야에 대한 전력발전업 투입물 비중을 반영하여 추정하였다.

〈표 4-4〉는 해양수산분야의 온실가스 배출량과 실질 GDP와 GDP당 배출량을 보여준다. 분석기간은 2016년부터 2019년까지이며 자료의 빈도는 연간이다. 해양수산분야 실질GDP는 각 분야별 GDP 디플레이터를 적용하여 실질화하였다.

〈표 4-4〉 해양수산분야 온실가스 배출량 및 실질 부가가치

단위: 천 톤 , 십억 원, 톤/십억 원

부문	항목	2016	2017	2018	2019
어업	배출량	2,877	2,755	2,528	2,837
	실질 GDP	1,977	2,031	2,110	2,118
	GDP당 배출량	1,455	1,356	1,198	1,340
수산물 가공업	배출량	599	490	727	484
	실질 GDP	1,740	1,809	1,936	1,974
	GDP당 배출량	344	271	376	245
해운업	배출량	1,401	1,334	1,015	1,210
	실질 GDP	1,108	911	792	822
	GDP당 배출량	1,265	1,464	1,281	1,471
조선업	배출량	2,395	1,972	1,842	1,734
	실질 GDP	7,097	6,548	5,337	6,571
	GDP당 배출량	337	301	345	264
해양수산분야	배출량	7,273	6,551	6,112	6,265
	실질 GDP	11,922	11,298	10,176	11,484
	GDP당 배출량	610	580	601	546
전산업	배출량	637,428	650,220	664,976	643,767
	실질 GDP	1,706,880	1,760,812	1,812,005	1,852,666
	GDP당 배출량	373	369	367	347

주: 1) 해양수산분야 이산화탄소 배출량(직접 및 간접 배출량)

2) 실질 GDP는 각 분야별 GDP 디플레이터(농림어업, 제조업, 운수업)를 통해 실질화함

자료: 온실가스종합정보센터(검색일: 2022.7.12.); 한국에너지공단(검색일: 2022.7.12.); 한국은행(검색일: 2022.7.12.)을 바탕으로 저자 작성

해양수산분야의 온실가스 배출량 추이를 살펴보면, 2016년 배출량은 약 727.3만 톤을 기록한 이후 2017년 약 655.1만 톤, 2018년 약 611.2만 톤으로 감소세가 이어지다가 2019년 배출량이 소폭 증가하여 626.5만 톤을 기록하였다. 해양수산분야 실질 GDP도 배출량과 마찬가지로 2018년까지 감소세가 이어지다가 2019년 약 11조 4,840억 원으로 반등에 성공하였다. 2019년 해양수산분야 온실가스 배출량은 전년대비 2.5% 증가하였는데, 실질 GDP는 12.9% 성장을 보여 해양수산분야 에너지 효율이 개선되었음을 확인할 수 있었다.

2019년 해양수산분야의 온실가스 배출량은 약 626.5만 톤으로 국가 배출량의 약 1.0% 수준이며, 실질 GDP는 우리나라 GDP의 약 0.6%를 차지하는 것으로 나타났다. 실질 GDP 비중에 비해 배출량의 비중이 높다는 것은 해양수산분야 생산 활동이 온실가스에 대한 의존도가 높다는 것을 의미한다. 이러한 특징은 생산활동에 따른 온실가스 배출량을 나타내는 지표인 GDP당 배출량에서도 확인할 수 있는데, 우리나라 GDP당 배출량은 분석기간 평균 약 364인데 비해 해양수산분야는 약 584로 해양수산분야의 생산 활동이 전 산업에 비해 많은 에너지를 사용하고 있는 것으로 나타났다.

국가 온실가스 배출량에서의 해양수산분야 비중이 작다는 것은 탄소중립 정책에서 해양수산분야가 소외될 소지가 있음을 의미한다. 다시 말하자면, 제조업 중심의 온실가스 배출량 저감 정책으로 화석연료 의존도가 높은 해양수산분야의 부담이 높아질 우려가 존재한다. 따라서 탄소중립으로 인한 산업구조 변화과정에서의 해양수산분야의 영향을 살펴보고 그에 대한 지원방안을 마련하는 것이 중요한 과제라 할 수 있다.

해양수산분야별 배출량을 살펴보면, 어업의 배출량이 분석기간(2016년~2019년) 중 전체 해양수산분야 배출량의 약 42.1%를 점유하여 배출량이 가장 많은 산업이었고, 이어서 조선업(30.2%), 해운업(18.9%), 수산물

가공업(8.8%) 순으로 높은 점유율을 보였다.

〈그림 4-2〉는 해양수산분야의 GDP당 배출량이다. 그림에서 붉은 점선은 우리나라 GDP당 배출량으로, 점선 위에 위치하면 온실가스 의존도가 전 산업에 비해 높은 산업으로, 아래 위치하면 의존도가 낮은 산업으로 해석할 수 있다.

〈그림 4-2〉 해양수산분야별 GDP당 배출량 추이

단위: 톤/십억 원



자료: 저자 작성

그림에서 확인할 수 있듯이 어업과 해운업의 GDP당 배출량이 분석기간 평균 각각 약 1,337과 약 1,370으로 국가 평균 GDP당 배출량(약 364)을 크게 상회하는 높은 탄소집약도를 보였으며, 이는 두 산업의 주요 생산수단이 선박이기 때문으로 해석할 수 있다. 제조업 성격을 지닌 조선업과 수산물 가공업은 각각 약 312와 약 309의 GDP당 배출량을 지닌 것으로 나타나 동 산업은 전 산업 대비 높은 에너지 효율을 지니는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 에너지 효율 개선은 2019년에 특히 돋보인다. 2019년

조선업과 수산물 가공업의 실질 GDP는 전년 대비 각각 약 23.1%, 약 1.9% 성장하였는데, 이산화탄소 배출량은 오히려 감소하여 조선업은 약 5.8%, 수산물 가공업은 약 33.5% 감소한 것으로 나타났다. 그 결과, GDP당 배출량도 큰 폭으로 개선되어 조선업은 전년 대비 약 81 감소한 264의 GDP당 배출량을 기록하였으며 수산물 가공업은 약 131 감소한 245의 GDP당 배출량을 보였다.

해양수산분야 온실가스 배출량의 특징을 요약하면 다음과 같다. 해양수산분야 온실가스 배출량은 분석기간 평균 국가 배출량의 약 1.0%를 차지하는 것으로 나타났다. 이는 해양수산분야가 온실가스 부문에서 영향력이 상대적으로 낮은 것으로 해석할 수 있기 때문에, 탄소중립이 해양수산분야에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 모형 내의 상호작용보다는 주어진 상황에서의 영향을 분석하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

해양수산분야 배출량은 2018년까지 꾸준한 감소세를 보이다가 2019년 소폭 상승하였다. 이러한 상승은 연료연소를 통한 직접 배출량이 주요 배출원인 어선과 해운업의 배출량 상승에 기인한 것으로 보인다. 한편 제조업의 성격을 지닌 조선업과 수산물 가공업의 배출량은 꾸준한 감소세를 유지하고 있으며 이는 에너지산업의 에너지 효율 증대 등으로 인한 배출량 감소에 의한 것이라 해석할 수 있다. 에너지 산업의 에너지 효율 증대는 해양수산 제조업 분야(조선업, 수산물 가공업)의 GDP당 배출량을 크게 개선시켰는데, 조선업과 수산물 가공업의 GDP당 배출량은 분석기간 평균 각각 약 312와 약 309로, 국가 GDP당 배출량(약 398)보다 낮은 수준을 보였다. 한편 어업과 해운업의 분석기간 평균 GDP당 배출량은 1,300대 수준(어업 1,337, 해운업 1,370)으로 선박을 주요 생산수단으로 활용하는 산업 특성상 온실가스 의존도가 높은 것을 확인할 수 있었다. 해양수산분야 GDP당 배출량은 분석기간 평균 약 584로 우리나라 GDP당 배출량보다 높았으며 이는 어업과 해운업에 의한 것으로 볼 수 있다.

2) 기초통계량 분석

해양수산 기후 스트레스 테스트 모형에 사용된 데이터는 온실가스 부문, 실물 부문, 그리고 금융 부문으로 구성되었다. 분석대상은 모형의 중심이 되는 온실가스 배출량 데이터 확보가 가능한 어업, 수산물 가공업, 조선업, 해운업으로 설정하였다. 실물 부문 데이터는 해양수산 4대 부문에 상응하는 산업의 부가가치와 총산출을 산업연관표를 통해 수집하였으며, 금융 부문은 산업에 속하는 KSIC를 기준으로 데이터 확보가 가능한 191개 기업의 재무 데이터를 활용하였다. 분석기간은 2016년부터 2019년까지이며, 연간 데이터를 사용하였다. 데이터의 기초통계량은 〈표 4-5〉와 같다.

〈표 4-5〉 온실가스 및 실물 부문 기초통계량

단위: 천 톤, 십억 원

부문	항목	평균	표준편차	최솟값	최댓값
해양수산분야	배출량	1,638	857	484	2,877
	실질 부가가치	2,805	2,210	792	7,097
	실질 총산출	11,973	14,261	2,269	45,346
어업	배출량	2,749	156	2,528	2,877
	실질 부가가치	2,059	67	1,977	2,118
	실질 총산출	5,021	305	4,625	5,339
수산물가공업	배출량	575	114	484	727
	실질 부가가치	1,865	109	1,740	1,974
	실질 총산출	5,328	397	4,924	5,867
조선업	배출량	1,986	290	1,734	2,395
	실질 부가가치	6,388	745	5,337	7,097
	실질 총산출	35,188	7,167	28,502	45,346
해운업	배출량	1,240	170	1,015	1,401
	실질 부가가치	908	142	792	1,108
	실질 총산출	2,354	87	2,269	2,467

주: 1) 분석기간: 2016~2019년
2) 실질 GDP는 각 분야별 GDP 디플레이터(농림어업, 제조업, 운수업)를 통해 실질화함
자료: 저자 작성

해양수산분야의 온실가스 배출량 평균은 약 164만 톤이며, 어업 약 275만 톤, 조선업 199만 톤, 해운업 약 124만 톤, 수산물 가공업 약 58만 톤 순으로 온실가스 배출량이 많은 것으로 나타났다. 실질 부가가치 평균은 조선업이 약 6조 3,880억 원으로 가장 높았으며, 해운업이 9,080억 원으로 해양수산분야 중 가장 낮은 부가가치 평균을 보였다.[186]

금융 부문은 해양수산기업의 매출, 총자산, 총부채, 유동자산, 유동부채를 활용하여 총자산수익률(ROA: Return On total Assets ratio), 총자산 대비 부채비율(DTA: Debt-to-Asset ratio), 유동비율(current ratio)을 구하였다. 〈표 4-6〉은 금융 부문의 기초통계량이다.

각 지표의 특성을 살펴보면, 먼저 ROA는 당기순이익의 총자산에 대한 비율을 의미하며, 기업의 자산 수준에 상응하여 창출한 이익의 정도를 알 수 있는 수익성 지표이다.[187] 해양수산분야 ROA 평균은 0.01로 나타났으며, 분야별로는 해운업과 수산물 가공업이 0.03으로 가장 높았으며, 어업의 경우 -0.07로 분석기간 동안 적자 상태인 것으로 나타났다.

기업의 레버리지를 측정하는 대표적인 지표인 DTA는 기업의 현재 자산 중 차입금으로 조달된 비중을 의미하며, 수치가 낮을수록 재무 안정성이 높다고 평가한다.[188] 해양수산분야의 평균 DTA는 0.63으로 타인자본에 대한 의존이 상대적으로 높은 것으로 나타났다.

마지막으로, 유동비율은 단기채무에 충당할 수 있는 유동자산의 규모를 평가하고, 이를 통해 기업의 단기지급능력을 판단하는 지표이다.[189] 유동비율이 높을수록 단기지급능력이 양호하다고 볼 수 있으나 과다한 유동자산

186) 본 연구의 해운업은 국내 해운만을 대상으로 하기 때문에 해운업의 실질 부가가치가 다소 낮게 집계된 경향이 있음을 밝힌다.
187) 한국은행(2021a), pp. 32-33.
188) FN위키, 유동비율 (검색일: 2022.8.18.)
189) 한국은행(2021a), p. 38.

보유는 자산운용의 효율성을 떨어뜨려 수익성을 저해할 수 있다. 또한 업종에 따라 사업 형태가 다르기 때문에 산업 간 비교에 한계가 있으나 일반적으로 유동비율이 1 미만이면 과도한 단기부채를 지닌 것으로 판단하고, 1.50 이상이면 충분한 유동성을 지닌 것으로 판단한다.[190] 해양수산분야의 평균 유동비율은 1.90로 충분한 유동성을 지닌 것으로 해석할 수 있다. 어업을 제외한 모든 해양수산분야의 유동비율은 1.50 이상으로 나타났으며, 어업 역시 1 이상인 1.31의 유동비율을 보여 해양수산분야의 유동성은 대체적으로 양호한 것으로 나타났다.

〈표 4-6〉 금융 부문 기초통계량

단위: 비율

부문	항목	평균	표준편차	최솟값	최댓값
해양수산분야	ROA	0.01	0.16	-1.36	2.40
	DTA	0.63	0.35	0.05	3.16
	유동비율	1.90	4.84	0.00	94.93
어업	ROA	-0.07	0.12	-0.36	0.05
	DTA	0.65	0.31	0.11	1.51
	유동비율	1.31	1.53	0.01	7.43
수산물가공업	ROA	0.03	0.15	-1.36	0.38
	DTA	0.60	0.29	0.08	2.44
	유동비율	1.63	1.52	0.08	6.86
조선업	ROA	0.01	0.18	-0.45	2.40
	DTA	0.63	0.41	0.05	3.16
	유동비율	1.84	3.78	0.00	55.50
해운업	ROA	0.03	0.08	-0.31	0.36
	DTA	0.64	0.22	0.11	1.12
	유동비율	2.44	8.44	0.02	94.93

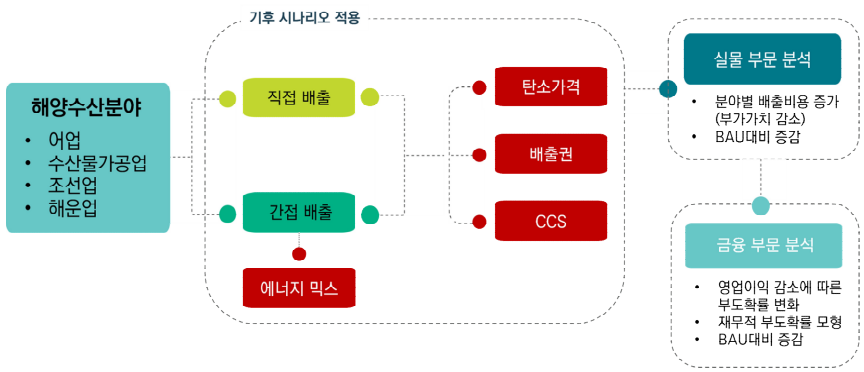
주: 1) 분석기간: 2016~2019년
2) 분석대상 기업수: 191개
자료: 저자 작성

190) FN위키, 부채비율(검색일: 2022.8.18.)

3. 연구 방법

제3장의 논의를 거쳐 탄소중립이 해양수산업에 미치는 경제적 영향을 측정하기 위한 모형으로 기후 스트레스 테스트를 적용하였다. 〈그림 4-3〉은 해양수산 기후 스트레스 테스트의 모형 구조를 보여준다. 해양수산 기후 스트레스 테스트의 분석과정은 ① 기후 시나리오 적용, ② 실물 부문 분석, ③ 금융 부문 분석으로 이루어져 있다.

〈그림 4-3〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형 구조



자료: 저자 작성

1) 기후 시나리오 적용

본 연구는 NGFS가 우리나라를 대상으로 작성한 기후 시나리오를 적용하여 시나리오를 구성하였는데, NGFS 시나리오를 채택한 이유는 다음과 같다. 첫째, 기후 시나리오는 장기간에 걸친 기후변화에 대한 정책 및 사회·경제적 대응을 분석하기 때문에 높은 불확실성을 지닌다. 따라서 기후 시나리오의 개연성 및 현실 가능성이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.[191] 시나리오 작성을 위해서는 분석기간 동안 기후변화 경로(path) 추정이 가

191) 강인순(2021), p. 3.

능한 대규모 모형이 필요한데, NGFS 시나리오는 경제학적 성장모형에 경제가 온실가스 배출에 미치는 영향, 온실가스가 대기 온도에 미치는 영향 등을 결합한 IAM을 통해 작성된다. NGFS 시나리오는 2100년까지 우리나라에 기후 상황에 대한 온실가스 감축 비용, 온실가스 배출경로, 토지 사용, 에너지 전환, 에너지 전환에 필요한 투자 등 탄소중립 달성을 위한 세부적인 내용을 제공하고 있어 탄소중립 이행으로 인한 해양수산업의 경제적 경로를 분석하고 결과의 현실 설명력이 높을 것이라고 판단하였다.

둘째, NGFS 기후 시나리오는 각국 중앙은행 및 감독기구의 기후리스크 평가를 지원하기 위해 작성된다.[192] 따라서 NGFS 시나리오는 기후리스크 대응에 있어서 환경·정책적 요인에 대한 변수와 구체적인 경로를 제시하고 있으며, 다수의 기후 스트레스 테스트 연구에서 사용되고 있다.[193] 특히 우리나라 국민경제를 대상으로 김재윤·전은경(2021)의 연구에서 NGFS 시나리오를 적용한 바 있는데, 본 연구의 목적이 국민경제보다 세부적인 해양수산업의 영향을 분석하는 것이므로 동일한 시나리오를 적용하여 분석 결과 간 비교가능성을 확보하는 것이 중요하다고 판단하였다.

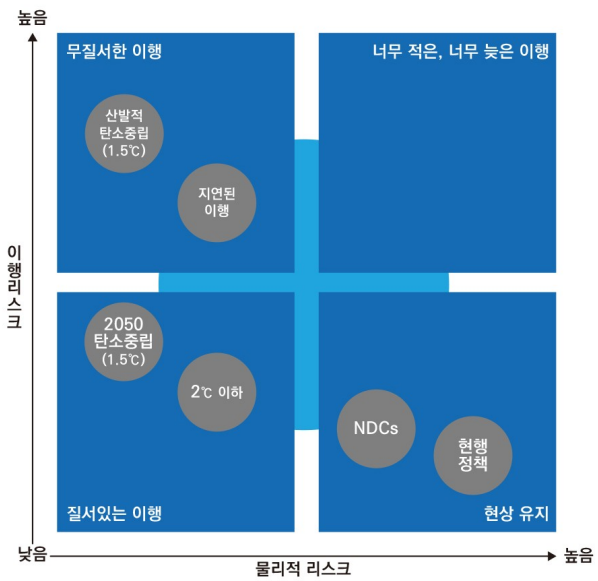
본 연구의 기후 시나리오는 NGFS의 우리나라에 관한 세 가지 탄소중립 시나리오를 적용하여 분석하였다. 한편, 우리나라 정부의 탄소중립 시나리오는 목표 설정 과정에서 비용 및 경로에 대한 구체적인 계획이 결여되어 있어 아직까지 이니셔티브 단계에 머무르고 있기 때문에 본 연구에 적용하지 못하였음을 밝힌다.[194]

192) NGFS(2021b), p. 1.
193) 김재윤·전은경(2021)에 의하면, 유럽 중앙은행, 영란은행, 프랑스 중앙은행 등 22개 중앙은행 및 감독기구가 NGFS 시나리오를 활용하여 시나리오를 구성하였다.
194) 한국에너지공단(2021), p. 1.

(1) NGFS 기후 시나리오[195]

NGFS는 장기 온도저감 목표(long-term temperature targets), 탄소중립(net-zero targets), 단기 정책(short-term policy), 종합 정책 조정(overall policy coordination) 및 기술 이용가능성(technology availability)에 따라 저탄소경제로의 이행경로를 세 가지 범주로 제시하였다. 이행경로 범주는 탄소중립 시행 방식 및 속도에 따라 질서 있는 이행(orderly transition), 무질서한 이행(disorderly transition), 현상 유지(hot house world)로 구성되어 있으며 범주별로 두 가지 세부 시나리오를 포함한 총 여섯 가지 시나리오로 구성되어있다. 〈그림 4-4〉는 NGFS 기후 시나리오 체계를 보여준다.

〈그림 4-4〉 NGFS 기후 시나리오 체계



자료: NGFS(2021c), p. 15. Figure 4; 김재윤·전은경(2021), p. 22. 〈그림 3〉을 바탕으로 저자 작성

195) NGFS(2021c)의 내용을 참고하여 작성하였다.

NGFS의 시나리오 구성요소는 온실가스 감축 비용, 온실가스 배출경로, 토지사용, 에너지 전환, 에너지 전환에 필요한 투자규모 등이며, 이를 통해 정책 및 의사결정자에게 기후변화 완화에 대한 정보를 제공한다.[196] NGFS 모형은 모두 거시경제부문, 농업 및 토지사용, 에너지부문, 기후 시스템을 포함하는 유사한 구조를 지니고 있으나 MESSAGEix-GLOBIOM과 REMIND-MAgPIE는 일반균형모형(general equilibrium model)으로 기간 간 최적화(intertemporal optimization) 알고리즘을 통해 분석한다. 한편, GCAM은 토지사용과 에너지 부문에 대한 부분균형모형(partial equilibrium model)으로 에너지 수요와 경제성장을 외생변수로 설정하여 분석한다는 특징이 있다. 세 가지 모형 중 GCAM은 우리나라 기후변화에 대한 상세한 정보를 제공하여 우리나라 이행리스크에 적용이 가능한 반면, 다른 두 모형은 우리나라에 대한 별도 분석이 불가능하다.[197] 따라서 본 연구는 NGFS 시나리오 중 GCAM 모형의 결과를 기준으로 해양수산업의 이행리스크를 분석하였다.

각 시나리오별 주요 특징은 다음과 같다. 첫째, '2050 탄소중립(Net Zero 2050)'과 '2℃ 이하(Below 2℃)'로 구성된 질서 있는 이행은 물리적 리스크와 이행리스크가 가장 낮은 시나리오이다. '2050 탄소중립'은 엄격한 기후변화 정책과 혁신을 통해 지구온난화를 1.5℃로 억제하는 시나리오로, 2050년경 미국, EU, 일본을 비롯한 주요국의 온실가스 배출량이 영(0)에 도달한다. 동 시나리오는 2020년 이후 온실가스 배출량 저감을 위해 강력한 기후변화 정책이 즉시 도입된다고 가정한다. 지구 온난화를 1.5℃로 억제할 확률은 50% 이상이며, 물리적 리스크는 상대적으로 낮지만 이행리스크는 높은 특징이 있다. '2℃ 이하'는 점진적으로 기후변화 정책을 강화여 지구온도평균 상승폭을 2℃ 이하로 제한하는 시나리오이다. 동 시나리오는

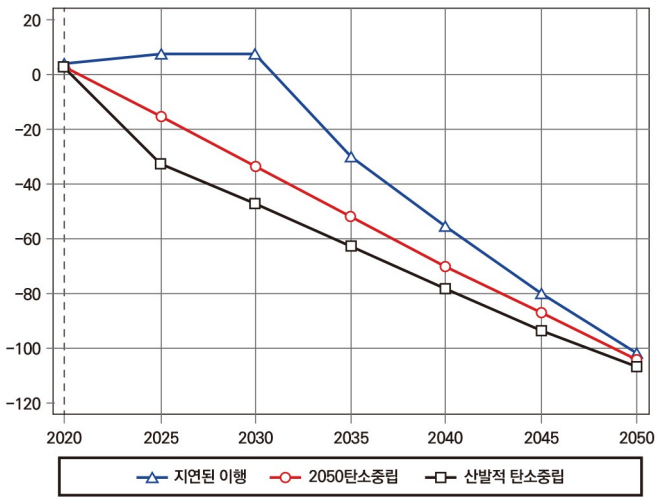
196) NGFS(2021c), p. 6.
197) 김재윤·전은경(2021) p. 27.

‘2050 탄소중립’과 마찬가지로 기후변화 정책이 즉시 도입되지만 정책 강도는 ‘2050 탄소중립’에 비해 낮고, 탄소중립은 2070년 이후에 달성되는 것으로 가정한다. 질서 있는 이행은 물리적 리스크와 이행리스크가 가장 낮은 시나리오로 온실가스 감축정책을 초기에 도입함으로써 저탄소경제로의 순조로운 이행이 가능하다.

둘째, ‘산발적 탄소중립(Divergent Net Zero)’ 및 ‘지연된 이행(Delayed Transition)’은 무질서한 이행 범주에 속한다. 먼저 ‘산발적 탄소중립’은 2050년까지 탄소중립을 달성하지만 산발적으로 도입된 부문별 정책으로 말미암아 질서 있는 이행에 비해 높은 비용이 소요된다. 그로 인해 ‘2050 탄소중립’에 비해 높은 이행리스크를 지니지만 6개 시나리오 중 가장 낮은 물리적 리스크를 지닌다. 동 시나리오는 교통과 건물 부문에 대한 기후변화 정책을 에너지 및 산업 부문에 비해 엄격하게 적용함으로써 소비자에게 높은 탄소중립 비용이 전가되는 상황을 가정한다. ‘지연된 이행’은 2020년부터 향후 10년간 화석연료 사용이 유지되고, 그로 인해 현재의 기후변화 정책이 2030년까지 이어지는 시나리오이다. 2030년 이후 정부는 온도 상승폭 제한을 위해 강력한 기후변화 정책을 시행하여 온도 상승폭을 2℃ 이하로 억제한다. 2050 탄소중립에 비해 낮은 이산화탄소 제거(CDR: Carbon Dioxide Removal) 기술의 상용화를 가정하기 때문에 2050 탄소중립에 비해 높은 탄소가격이 나타난다. 동 시나리오는 67%의 확률로 지구온난화를 2℃ 이하로 제한할 것으로 가정한다.

〈그림 4-5〉 NGFS 시나리오별 온실가스 배출경로

단위: %



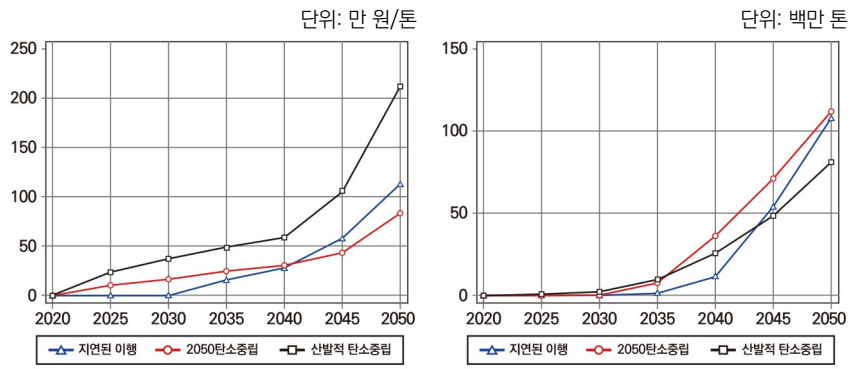
주: 6대 온실가스(CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs, SF_6) 중 순 이산화탄소 배출량 기준
자료: NGFS Scenario Explorer(검색일: 2022.6.9.)를 바탕으로 저자 작성

본 연구는 탄소중립이 해양수산업에 미치는 경제적 영향을 분석하는 것을 목적으로 한다. 따라서 NGFS 시나리오 중 2050년에 온실가스 배출량이 영(0)이 되는 시나리오인 '2050 탄소중립', '지연된 이행', '산발적 탄소중립'을 중심으로 기후 스트레스 테스트를 수행하였다. 〈그림 4-5〉는 NGFS 기후 시나리오의 2015년 대비 시점별 온실가스 배출 감소율을 보여준다. 그림에서 확인할 수 있듯이 '지연된 이행'은 2030년부터 적극적인 감축을 시행하고, '2050 탄소중립'은 계획적이고 질서 있는 감축을 보여준다. 한편 '산발적 탄소중립'은 급격한 온실가스 저감을 보여준다는 특징이 있다.

탄소중립 달성을 위한 수단은 크게 정부의 온실가스 배출 가격을 통한 산업의 온실가스 배출량 감소와 재생에너지 사용 증가, 그리고 탄소 포집·저장 기술(CCS: Carbon Capture and Storage) 보급을 통한 온실가스

흡수·제거라 할 수 있다.[198] 〈그림 4-6〉은 시나리오별 온실가스 배출 가격경로와 CCS 기술 보급으로 인한 온실가스 흡수·제거량을 나타낸다. 온실가스 배출가격은 2050년까지 탄소중립을 달성하기 위한 온실가스 한계저감비용을 의미한다. 온실가스 한계저감비용은 온실가스 한 단위를 감축하기 위해 소요되는 비용으로 NGFS는 모형을 활용하여 미래의 경제상황과 에너지 사용을 바탕으로 온실가스 배출가격을 추정하였다.[199]

〈그림 4-6〉 온실가스 배출가격 경로 및 탄소 포집·저장 기술 보급



가. 온실가스 배출가격 경로　　나. 탄소 포집·저장 기술의 보급

주: NGFS는 시나리오의 온실가스 배출가격을 톤당 2010년 평균 달러로 제시하였으며 분석을 위해 2010년 평균 환율을 적용하여 원화로 환산함
자료: NGFS Scenario Explorer(검색일: 2022.6.9.)를 바탕으로 저자 작성

온실가스 배출가격 경로를 살펴보면, '2050 탄소중립'은 온실가스 배출량 저감을 위해 2025년부터 적극적으로 온실가스 배출가격을 상승시켜 2050년 톤당 약 83만 원까지 상승하는 것으로 나타났다. 한편 2030년까지 탄소중립에 대한 적극적인 대응을 하지 않는 '지연된 이행'에서는 2030년부터 급격하게 배출가격이 상승하여 2050년 톤당 약 113만 원이 되는

198) 탄소 포집·저장 기술은 이산화탄소가 배출원에서 방출되는 것을 막고, 지하에 저장하는 기술이다.(김재윤·전은경, 2021)
199) NGFS(2021c), p. 7.

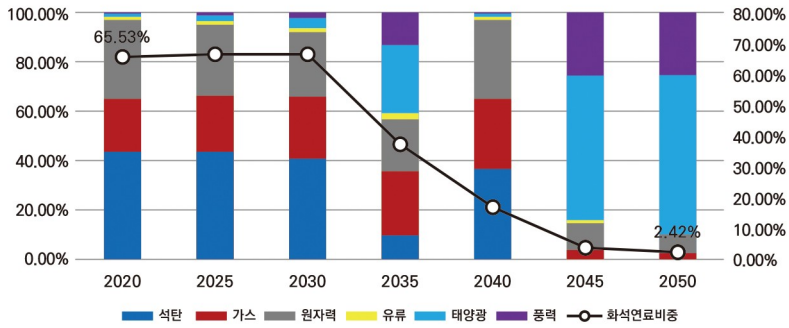
것으로 나타났다. '산발적 탄소중립'은 배출가격이 급격하게 증가하여 2050년에는 약 211만 원까지 상승하는 상황을 가정하였다. 2019년 기준 우리나라 온실가스 배출권의 평균 거래가격이 2만 8천원이라는 점을 고려한다면 탄소중립 달성을 위한 온실가스 배출가격은 상당한 수준이라 할 수 있다.

CCS 기술은 2035년에 상용화되어 온실가스 배출가격이 급격한 상승을 보이는 2040년부터 상용화된다고 가정하였다. '2050 탄소중립'이 가장 적극적인 탄소 포집·저장 기술을 활용하는 반면, '산발적 탄소중립'에서는 CCS를 통한 온실가스 흡수·제거량이 상대적으로 적었다. 2050년 기준 '2050 탄소중립'에서는 1.12억 톤, '지연된 이행'은 1.07억 톤, '산발적 탄소중립'은 8천만 톤의 이산화탄소가 제거되는 것으로 나타났다. 이러한 상용화는 온실가스 배출가격 상승으로 인해 CCS의 상대가격이 하락함에 따라 발생하는 것으로 해석할 수 있다.[200]

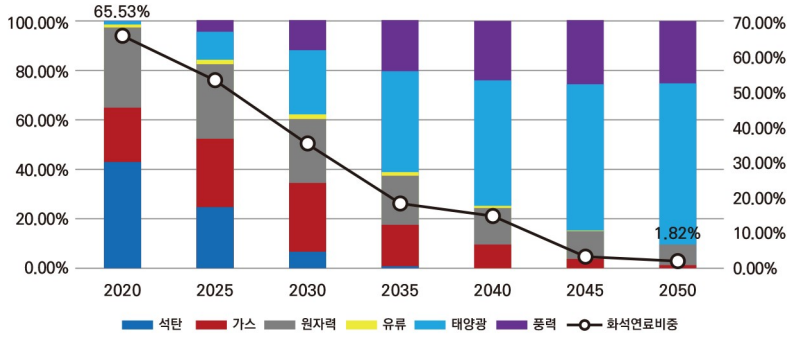
온실가스 배출 저감을 위해서는 기술발전에 따른 재생에너지 사용 역시 중요하다. 특히 화석연료 사용으로 인해 발생하는 간접 배출 부문의 온실가스는 화석연료 발전 비중을 줄이고, 재생에너지 사용 비중을 높여 배출을 저감할 수 있다. 〈그림 4-7〉은 시나리오별 전력발전의 에너지 구조를 보여준다. 탄소중립 시나리오에서 에너지 구조는 화석연료의 비중이 줄어들고 재생에너지(태양광, 풍력) 사용이 증가하는 것이 특징이다.

200) 김재윤·전은경(2021) p. 29.

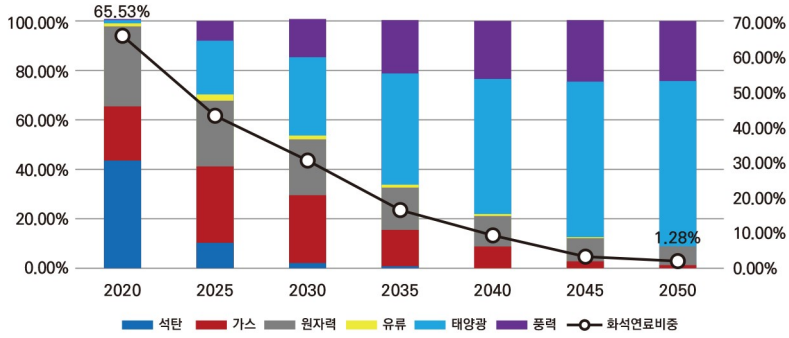
〈그림 4-7〉 시나리오별 에너지 믹스 경로



가. 지연된 이행



나. 2050 탄소중립



다. 산발적 탄소중립

자료: NGFS Scenario Explorer(검색일: 2022.6.9.)를 바탕으로 저자 작성

'지연된 이행'은 화석연료비중이 2030년 67.0%로 2020년 대비 증가하지만 2030년 이후 적극적인 기후변화 정책을 시행하여 2050년에는 화석연료비중이 2.4%로 감소한다. 재생에너지는 2050년에 태양광의 사용 비중이 64.6%, 풍력이 24.9%로 사용 비중이 증가하는 모습을 보인다. '2050 탄소중립'과 '산발적 탄소중립'의 화석연료 발전비중은 지연된 이행에 비해 비교적 완만하게 감소하는 모습을 보인다. 재생에너지 사용은 '산발적 탄소중립'이 2050년 태양광 66.5%, 풍력 24.9%로 '2050 탄소중립'(태양광 64.5%, 풍력 25.5%)에 비해 적극적으로 재생에너지를 사용하는 것으로 나타났으며, 그로 인해 화석연료 발전비중도 세 시나리오 중 가장 낮은 1.3%를 사용하는 것을 가정하였다.

〈표 4-7〉은 본 연구에 사용된 NGFS 기후 시나리오의 주요 특징을 보여준다. '지연된 이행'은 2030년부터 강력한 기후변화 정책을 시행한다. '산발적 탄소중립'은 부문별 정책이 산발적으로 도입되어 높은 이행 비용이 소요된다. 특히 교통과 건물 부문에 강력한 기후정책이 시행되어 수송부문의 탄소가격이 약 410만 원에 달하는 것이 특징이다. '2050 탄소중립'은 엄격한 기후정책과 혁신을 통해 탄소중립을 이행하여 세 시나리오 중 가장 낮은 탄소가격을 유지하는 것이 특징이다.

〈표 4-7〉 기후 시나리오 특징

시나리오	주요 가정	탄소가격 (만 원/t)	화석연료 비중(%)	CCS 비중 (%)
지연된 이행	• 2030년부터 강력한 기후변화 정책 시행	113	2.4	121.9
산발적 탄소중립	• 산발적으로 도입된 부문별 정책으로 인해 높은 이행 비용	136.7 ~410.2	1.3	204.8
2050 탄소중립	• 엄격한 기후정책과 혁신을 통한 탄소중립 이행	83	1.8	127.9

주: 탄소가격, 화석연료 비중, CCS 비중은 시나리오 상 2050년 기준
자료: 저자 작성

(2) 해양수산 기후 시나리오 적용

〈표 4-8〉은 NGFS 시나리오를 바탕으로 구성한 해양수산 기후 시나리오이다. 시나리오 분석을 위해서는 각 상황별 변화의 기준이 되는 기준 시나리오 설정이 우선되어야 한다. BAU(Business-As-Usual)상황은 이행리스크가 발생하지 않은 경우를 나타내는 시나리오로서 각 산업에 대한 온실가스 배출 규제 및 온실가스 배출권 저감을 위한 기술 변화가 현재 수준을 유지하는 것을 의미한다. 본 연구는 BAU를 데이터 수집기간(2016~2019년)의 평균으로 설정함으로써 특정 연도에 발생한 사건으로 인해 데이터가 왜곡되는 것을 방지하고자 하였다. 한편 미래의 온실가스 변화는 시나리오상 온실가스 배출 증감률을 적용하였는데, 데이터 수집 시기와 정합성을 위해 시나리오 상 2015년 대비 증감률을 적용하였음을 밝힌다.

〈표 4-8〉 NGFS 기후 시나리오

시나리오	변수	부문	2030	2040	2050
지연된 이행	배출량* (2015년 대비, %)	전체	6.7	-54.3	-86.5
		산업	4.1	-48.6	-90.8
		수송	-3.6	-28.9	-69.8
	CCS(%)	전체	0.0	3.9	121.9
	탄소가격 (만원/톤)	전체	0.0	27.7	112.6
		산업	0.0	27.7	112.6
		수송	0.0	27.7	112.6
	화석연료비중(%)	전체	67.0	17.2	2.4
산발적 탄소중립	배출량* (BAU대비, %)	전체	-46.8	-74.7	-93.9
		산업	-17.6	-68.0	-96.1
		수송	-37.1	-65.7	-90.4
	CCS(%)	전체	0.4	15.4	204.8
	탄소가격 (만원/톤)	전체	36.3	57.7	211.2
		산업	23.5	37.4	136.7
		수송	70.6	112.1	410.2
	화석연료비중(%)	전체	30.1	9.2	1.3

시나리오	변수	부문	2030	2040	2050
2050 탄소중립	배출량* (BAU대비, %)	전체	-33.4	-64.8	-86.6
		산업	-15.9	-66.1	-90.2
		수송	-12.7	-35.6	-70.5
	CCS(%)	전체	0.1	15.8	127.9
	탄소가격 (만원/톤)	전체	16.1	30.1	83.0
		산업	16.1	30.1	83.0
		수송	16.1	30.1	83.0
	화석연료비중(%)	전체	35.4	10.3	1.8

주: 1) * NGFS 시나리오의 2015년 배출량 대비 증감률
2) 6대 온실가스(CO_2, CH_4, N_2O, HFCs, PFCs, SF_6) 중 이산화탄소 배출량 기준
자료: NGFS Scenario Explorer(검색일: 2022.6.9.)를 바탕으로 저자 작성

본 연구의 분석대상인 해양수산분야는 1차 산업인 어업과 2차 산업인 수산물 가공업 및 조선업, 그리고 3차 산업인 해운업이 혼합되어 있다. 산업마다 구조가 다르기 때문에 산업에 따라 에너지 의존도에 차이가 있을 수 있고, 저탄소 기술 발전 속도도 다를 수 있다. 실제로 해양수산부는 해양수산분야의 탄소중립 로드맵을 제시하면서 어업 및 해운업 분야는 저탄소 선박 상용화 지연과 선박의 내구연한으로 인해 2050년까지 탄소중립 달성이 어려울 것으로 내다봤다.[201] 또한 정부의 주요 온실가스 배출 규제 수단인 탄소가격제도는 산업의 감축 목표에 따라 다르게 책정될 수 있다. 따라서 산업 특성을 반영한 기후 시나리오를 적용하여 탄소중립으로의 전환 비용을 측정하는 것이 타당할 것이다. 본 연구는 NGFS 기후 시나리오에서 각 해양수산분야에 상응하는 부문의 배출량과 탄소가격을 적용하여 산업 특성을 반영하고자 하였다. 구체적으로 NGFS 기후 시나리오의 에너지 부문에서 각 해양수산분야가 속하는 산업의 배출량 및 탄소가격을 적용하였다. NGFS 기후 시나리오에서 온실가스 배출 부문은 총배출량, 에너지 부문, 산업공정(industrial process), AFOLU(농업, 임업, 그리고 기타

201) 해양수산부 보도자료(2022.1.17.)(검색일: 2022.5.21.), pp. 10-11.

토지이용) 등으로 구분되며, 이 중 에너지 부문은 산업(industry), 주거 및 상업(residential and commercial), 수송(transportation) 등으로 분류할 수 있다. 해양수산분야에 따른 시나리오는 해운업의 경우, 수송 부문의 온실가스 배출량 증감율과 탄소가격을 적용하였으며, 수산물 가공업과 조선업은 산업 부문의 시나리오를 활용하여 시나리오를 구성하였다. 마지막으로 NGFS에서 어업에 상응하는 분류를 적용하기 어렵기 때문에 전체 배출량 증감률과 탄소가격을 적용하였음을 밝힌다.

〈표 4-9〉는 본 연구에서 적용한 기후 시나리오와 우리나라 주요 탄소중립 시나리오를 비교한 것이다. 동 표에서 해양수산부 로드맵은 해양수산부의 '해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵'을 의미하며, 탄중위 시나리오는 '2050 탄소중립 시나리오(B안)'을 의미한다.

해양수산부 로드맵과 NGFS 시나리오를 비교해 보면, 해양수산부 로드맵에서 2050년 어업의 감축 목표는 BAU대비 -96.2%로 NGFS 시나리오(-93.9%~-86.5%)와 유사한 감축목표를 보여준다. 해양수산부 로드맵에서 해운업의 감축 목표는 -69.9%로 '지연된 이행(-69.8%)'과 '2050 탄소중립(-70.5%)'과 비슷한 감축 목표를 보여준다. 한편, '산발적 탄소중립'에서의 해운업 감축 목표는 -90.4%로 해양수산부 로드맵과 큰 차이가 있음을 확인할 수 있다. 한편, 수산물 가공업과 조선업의 탄중위 시나리오 감축 목표와 NGFS의 시나리오를 비교해 보면, 탄중위 시나리오의 감축 목표는 -80.4%인데 반하여 NGFS 시나리오는 -96.1~-90.2로 괴리가 있음을 확인할 수 있었다.

〈표 4-9〉 기후 시나리오 비교(2050년 기준)

분야	시나리오	감축 목표 (%)	탄소가격 (만 원/t)	CCS (%)
어업	해양수산부 로드맵	-96.2	-	72.1
	지연된 이행(NGFS)	-86.5	112.6	121.9
	산발적 탄소중립(NGFS)	-93.9	211.2	204.8
	2050 탄소중립(NGFS)	-86.6	83.0	127.9
수산물 가공업	탄중위 시나리오	-80.4	-	72.1
	지연된 이행(NGFS)	-90.8	112.6	121.9
	산발적 탄소중립(NGFS)	-96.1	136.7	204.8
	2050 탄소중립(NGFS)	-90.2	83.0	127.9
조선업	탄중위 시나리오	-80.4	-	72.1
	지연된 이행(NGFS)	-90.8	112.6	121.9
	산발적 탄소중립(NGFS)	-96.1	136.7	204.8
	2050 탄소중립(NGFS)	-90.2	83.0	127.9
해운업	해양수산부 로드맵	-69.9	-	72.1
	지연된 이행(NGFS)	-69.8	112.6	121.9
	산발적 탄소중립(NGFS)	-90.4	410.2	204.8
	2050 탄소중립(NGFS)	-70.5	83.0	127.9

주: 해양수산부 로드맵은 '해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵'을 의미하며, 탄중위 시나리오는 2050 탄소중립 시나리오'를 의미
자료: 저자 작성

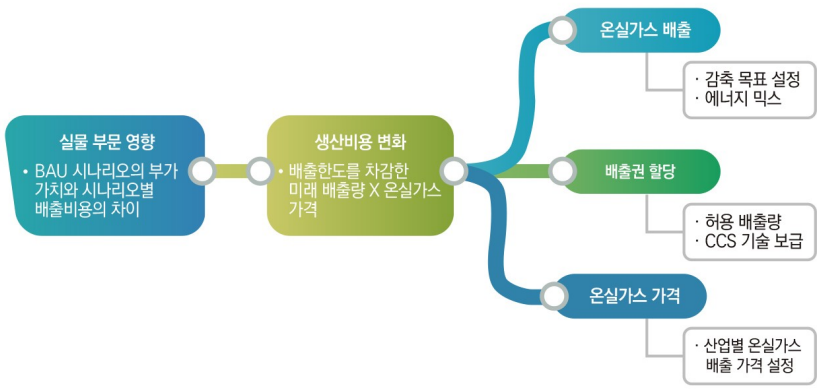
2) 실물 부문 분석 방법

기후 시나리오 적용 후 시나리오에 따른 실물 부문 영향을 분석하였다. 실물 부문 영향분석의 이론적 배경은 한국은행 기후 스트레스 테스트 모형(BOK climate stress test model)을 따랐다. 한국은행의 김재윤·전은경(2021)은 이행리스크가 우리나라 경제에 미치는 영향 분석을 위한 기후 스트레스 테스트 모형을 개발하면서 기후변화 정책의 파급경로를 정부의 온실가스 감축정책 강화, 저탄소 기술발전 등으로 설정하였는데, 본 연구

역시 이와 같은 파급경로를 설정하여 탄소중립이 해양수산분야에 미치는 영향을 분석하였다.

앞서 밝혔듯이, 해양수산 기후 스트레스 테스트의 목적은 기후변화에 대한 전망 및 예측이 아니라 주어진 가상의 기후 상황에서 해양수산분야의 영향을 살피고 해양수산분야의 강점과 취약점을 평가하는 것이다.[202] 〈그림 4-8〉은 해양수산 기후 스트레스 테스트에서 실물 부문 분석 과정을 보여준다.

〈그림 4-8〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 실물 부문 영향 분석 과정



자료: 저자 작성

실물 부문 영향은 BAU 대비 해양수산분야의 실질 부가가치 증감률로 제시하였다. 구체적으로 탄소중립에 따른 배출 비용, 즉 배출량에서 배출한도를 차감한 배출량에 온실가스 배출가격을 반영하여 추정하였다. 〈그림 4-8〉에서 회색 상자는 변수별 탄소중립 달성의 주요 도구를 나타낸다. 온실가스 배출량은 각 시점별 정부의 온실가스 감축 목표와 발전연료 비중 변화, 즉 에너지 믹스를 주요 도구로 탄소중립을 이행하고, 정부는 배출권

202) Allen et al.(2020), p. 49.

할당을 통해 산업별 허용 배출량을 설정한다. 또한 CCS 기술이 흡수하는 온실가스 배출량은 경제주체의 배출한도가 증가되는 효과를 낳는다. 마지막으로, 정부는 경제주체의 초과 배출량에 가격을 부과함으로써 온실가스 배출량 감축을 유도한다. 〈그림 4-8〉과 같이 실물 부문의 영향은 저탄소 경제로의 이행에 따른 산업의 배출 비용 변화를 부가가치 변화로 설정하였다. 구체적으로, 목표 기간인 2050년까지 해양수산분야별 허용 배출량을 초과하는 추가 배출량에 대한 배출비용을 탄소중립으로 인한 경제적 영향으로 산출하였다. 탄소중립을 달성하기 위한 주요 수단으로 탄소가격제 및 정부의 배출할당, CCS의 보급, 에너지 믹스를 설정하였다. 탄소중립으로 인한 기업의 부가가치 감소는 [식 4-2]와 같다.

$$C_{i,t} = (E_{i,t} - A_{i,t}) \times P_{i,t}^{C} \quad \text{[식 4-2]}$$

[식 4-2]에서 $C_{i,t}$는 온실가스 배출로 인한 i산업의 t시점 배출 비용이다. 기후변화 정책으로 인한 산업의 부가가치 감소분은 이산화탄소 배출로 인한 배출 비용 증가를 의미한다. 즉 t시점 배출량 $E_{i,t}$에서 정부의 배출한도 및 CCS로 인한 온실가스 감축분 $A_{i,t}$를 차감한 배출량에서 i산업의 t시점 탄소가격 P^{C}를 적용하여 시나리오별 생산비용을 추정하였다.

앞서 언급하였듯이, 배출량은 [식 4-3]과 같이 직접 배출량 E^{D}와 간접 배출량 E^{IND}로 구분할 수 있으며 분야별 t시점의 직접 및 간접 배출량은 각각 [식 4-4]와 [식 4-5]와 같이 추정하였다.

$$E_{i,t} = E_{i,t}^{D} + E_{i,t}^{IND} \quad \text{[식 4-3]}$$

$$E_{i,t}^{D} = E_{i,BAU}^{D} \times (1 + \Delta E_{i,t}^{D}) \quad \text{[식 4-4]}$$

$$E_{i,t}^{IND} = E_{u,t}^{D} \times fossil_t \times \frac{X_{i,BAU}^{u}}{\sum_{i=1}^{p} X_{i,BAU}^{u} + X_{fd,BAU}^{u}} \quad \text{[식 4-5]}$$

해양수산분야 온실가스 직접 배출량은 각 시나리오별 전망치를 적용하여 구하였다. 본 연구의 해양수산분야는 성격이 다른 제조업(수산물 가공업, 조선업), 서비스업(해운업), 농림어업(어업)으로 구성되어 있다. 따라서 일괄적인 시나리오 적용보다는 산업 성격에 맡는 배출량을 적용하여 산업의 특성을 고려하여야 할 것이다. 각 산업은 산업이 속한 범위의 전망치($\Delta E_{i,t}^{D}$)만큼 배출량을 감축한다고 가정하였는데, 해운업은 운송업의 배출량 증감률을 적용하였으며 어업은 전체 배출량 증감률을, 수산물 가공업 및 조선업은 산업 배출량 증감률을 적용하여 직접 배출량의 전망치를 시산하였다.

간접 배출량은 [식 4-5]와 같이 추정하였다. 간접 배출량은 재생에너지 보급 확대와 밀접한 관련이 있는데, 재생에너지 보급은 전력 발전에서 화석 연료 비중을 감소시키고, 그로 인해 산업의 간접 배출량이 감소하기 때문이다. [식 4-5]에서 $E_{i,t}^{IND}$는 i산업의 t시점 간접 배출량을 의미한다. 산업의 간접 배출량 $E_{i,t}^{IND}$는 재생에너지 발전 비중 확대에 따른 전력발전업의 직접 배출량 E_{u}^{D}의 감소분을 고려하여 추정하였다. 다시 말해, 재생에너지 발전 비중 증가에 따른 화석연료 발전 비중 $fossil_t$ 감소분을 각 산업에 투입요소로 사용된 전력발전업의 투입물 비중만큼 배분하여 추정하였다.[203]

기후변화 정책 및 여건 변화는 산업의 온실가스 배출량뿐만 아니라 배출허용한도에도 영향을 준다. 먼저, 정부의 배출한도를 살펴보면, 정부는 시

203) 김재윤·전은경(2021), p. 31.

나리오 상의 온실가스 감축 경로에 따라 산업의 배출한도를 줄여나간다고 가정하였다. 산업의 배출한도는 [식 4-6]과 같이 추정하였다.

$$A_{i,t}^{woccs} = E_{i,t} \times \frac{E_{i,BAU}}{out_{i,BAU}} \times \frac{E_t}{E_{BAU}} \quad \text{[식 4-6]}$$

위 식에서, $A_{i,t}^{woccs}$는 정부가 설정한 t시점 i산업에 대한 배출한도를 의미한다. $E_{i,t}$는 산업의 온실가스 배출량을 의미하고, $\frac{E_{i,BAU}}{out_{i,BAU}}$는 정부가 산업에 설정한 배출권 기준으로서 배출효율 기준 할당방식(BM: Bench Mark) 계수이다. 정부가 기업에 배출권을 할당하는 주요 기준으로 배출량 기준과 배출효율 기준이 있다. 배출량 기준(GF: Grand Fathering)은 기업의 과거 온실가스 배출량에 따라 배출권을 할당하는 방식으로, 할당량을 선정하기에는 용이하지만 할당량을 과거 배출량을 기준으로 설정하기 때문에 기업의 감축을 유도하는 데 한계가 있다.[204]

한편, 배출효율 기준 할당방식(BM: BenchMark)은 업종 단위의 생산량 대비 평균배출량을 기준점으로 활용하여 배출권을 할당하는 방식이다. 업종의 배출효율을 기준으로, 기업의 배출효율이 낮을수록 높은 배출한도를 받게 되고, 따라서 기업의 온실가스 배출량 감축을 유도하는 데 용이한 방식이라 할 수 있다.[205] 본 연구의 온실가스 부문은 데이터 확보의 어려움으로 인해 산업 단위의 분석을 수행하였으므로 산업의 배출한도를 기준으로 분석하였음을 밝힌다. 마지막으로 $\frac{E_t}{E_{BAU}}$는 산업의 배출한도가 국가 배출량을 초과하지 않도록 부여하는 조정계수로서 BAU 상황의 우리나라 국가 배출량 대비 해당 시점의 온실가스 감축목표로 설정하였다.

204) 2050 탄소중립위원회(2021), p. 12.
205) 위의 책, p. 12.

종합하자면, 정부는 BAU의 배출효율을 기준으로 배출권을 할당하고, 산업의 배출량 감축 속도에 맞추어 부문별 배출 허용량을 설정한다고 가정하여 산업에 대한 배출한도를 [식 4-6]과 같이 추정하였다.

다음으로, CCS 기술 상용화에 따른 배출한도 변화에 대해 살펴보면, CCS 기술이 발전함에 따라 CCS 기술 설비 가격이 점차 하락하게 되고, 정부의 온실가스 감축 정책에 따른 온실가스 가격 상승 등으로 인해 기업은 적극적으로 CCS 기술을 사용하게 된다. 이에 따라 CCS로 인한 온실가스 흡수량이 증가하고, 이에 비례하여 산업의 배출한도가 증가하는 효과를 얻게 된다.[206] 이를 수식으로 표현하면 [식 4-7]과 같다.

$$\Delta A_{i,t}^{ccs} = \frac{CCS_t}{E_t} \times A_{i,t}^{woccs} \qquad \text{[식 4-7]}$$

위 식에서, $\Delta A_{i,t}^{ccs}$는 CCS 보급에 의한 산업별 배출한도 증가폭을 의미한다. CCS_t, E_t, $A_{i,t}^{woccs}$는 각각 t시점에 CCS를 통해 제거된 온실가스 배출량, 온실가스 감축 목표, [식 4-6]에서 얻은 CCS보급 이전의 배출한도를 의미한다.

정부의 배출권과 CCS로 인한 배출한도 증가폭으로 인한 배출한도는 [식 4-8]과 같이 표현할 수 있다.

$$A_{i,t} = A_{i,t}^{woccs} + \Delta A_{i,t}^{ccs} \qquad \text{[식 4-8]}$$

마지막으로 실물 부문 영향의 종합 평가를 위해 BAU 시점 대비 전망 시점의 부가가치 증감률을 구하였다. 탄소중립에 따른 해양수산분야 부가가치 변화는 경제 여건이 현재 상황과 동일한 BAU 시나리오의 부가가치와 시나리오별 배출 비용 변화의 차이로 구할 수 있는데, 이를 수식으로

206) 김재윤·전은경(2021), p. 32.

표현하면 [식 4-9]와 같다.

$$\Delta VA_{i,t} = [(\frac{VA_{i,BAU} - C_{i,t}}{VA_{i,BAU}}) - 1] \times 100 \qquad \text{[식 4-9]}$$

$$where,\ \ C_{i,t} = (E_{i,t} - A_{i,t}) \times P_{i,t}^{C}$$

[식 4-9]에서 $\Delta VA_{i,t}$는 i산업의 t시점 부가가치 변화율이며, $VA_{i,BAU}$는 BAU 시나리오에서 i산업의 부가가치이다. $C_{i,t}$는 해당시점의 배출량에서 배출한도를 차감한 배출량에 온실가스 배출 가격을 반영하여 산출한 배출 비용으로 [식 4-2]를 통해 구하였다. 마지막으로, 전체 해양수산분야 실물 부문 분석 결과는 각 분야별 배출 비용을 합하여 BAU 상황의 해양수산분야 부가가치 총합 대비 증감률로 제시하였다. 이러한 가정은 배출 비용 변화가 여타 산업으로 전이되거나, 최종수요의 변화를 초래하지 않고 모두 부가가치에 반영되는 것을 의미하는데, 본 연구는 분석기간 동안 산업구조가 BAU 상황과 동일하게 유지된다고 가정하였다. 이와 같은 가정은 비현실적일 수 있으나 2050년까지 산업구조를 전망하여 모형에 반영하는 것이 오히려 분석 결과의 왜곡을 더 초래할 수 있다고 판단하였기에 이러한 가정을 사용했음을 밝힌다.

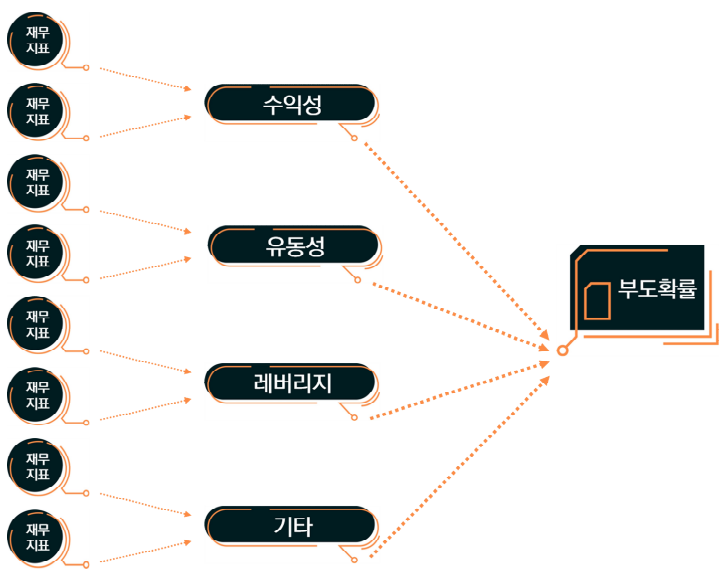
3) 금융 부문 분석 방법

이행리스크에 따른 금융 부문 영향 분석을 위해 실물 부문 분석 결과를 바탕으로 해양수산기업의 부도확률 변화를 산출하였다. 기후 스트레스 테스트를 수행한 선행 연구는 금융 부문 영향을 기후리스크에 따른 기업의 주식 가치, 채권 가치, 대출 가치 변화 등을 추정하고 이에 따른 은행의 영향을 살펴보았는데, 본 연구의 분석대상인 해양수산분야는 상장 기업 수

가 부족하고, 차주 데이터 확보의 어려움으로 인해 기업의 부도확률 변화에 초점을 맞추어 분석하였다.

〈그림 4-9〉는 재무적 부도확률 모형의 개요를 보여준다. 재무적 부도확률 모형은 기업의 수익성, 유동성, 레버리지 등의 범주에 속하는 지표와 각 지표별 가중치를 사용하여 기업의 부도확률을 추정한다.[207] 대표적인 재무적 부도확률 모형으로는 Z-Score(Altman, 1968), O-Score(Ohlson, 1980), 그리고 X-Score(Zmijewski, 1984) 등이 있는데, 본 연구는 Zmijewski(1984)의 재무적 부도확률 모형을 적용하였다. 재무적 부도확률 모형은 모형마다 사용지표 및 통계적 방법론 등에 차이가 있으나 재무지표와 지표의 가중치를 이용하여 기업의 재무 상태를 파악한다는 공통점이 있다.

〈그림 4-9〉 재무적 부도확률 모형 개요



자료: 저자 작성

207) 재무적 부도확률 모형을 통해 판별된 기업의 상태는 분석기간, 분석 데이터 등에 따라 결과에 차이를 보이므로 연구자에 따라선 부도확률을 완화하여 재무적 곤경(Financial distress)으로 부르기도 한다.(Grice & Dugan, 2003)

〈표 4-10〉은 주요 재무적 부도확률 모형의 특징을 보여준다. 먼저 통계 기법을 살펴보면, Altman(1968)은 다중 판별 분석(MDA: Multiple Discriminant Analysis)을 사용하여 판별점수, 즉 Z-Score를 산출하고, 산출된 점수의 범위를 바탕으로 기업의 재무상태를 파악한다.[208] 다중 판별 분석이 지닌 한계로 인해 Z-Score는 재무상태에 대해 건전, 주의, 부실의 판단만 할 수 있고 재무상태를 확률로 표현하기 어렵다는 단점이 있다.[209]

〈표 4-10〉 주요 재무적 부도확률 모형 비교

구분	Z-Score (Altman, 1968)	O-Score (Ohlson, 1980)	X-Score (Zmijewski, 1984)
통계 기법	다중 판별 분석(MDA)	로짓모형	프로빗모형
수익성 지표	• EBIT/총자산 • 총매출/총자산	• ROA • 순이익 증가율	ROA
유동성 지표	• 운전자본/총자산	• 운전자본/총자산 • 유동비율 • 영업활동 현금흐름/총부채 • 당기순이익 적자 더미*	유동비율
레버리지 지표	• 이익잉여금/총자산 • 자본의 시장가치/ 부채의 장부가치	• DTA • 순자산 더미**	DTA
기타 지표		• log(실질 총자산)	

주: * 당기순이익이 2년 연속 적자이면 1, 아니면 0인 변수
** 총부채가 총자산보다 많으면 1, 아니면 0인 변수
자료: 저자 작성

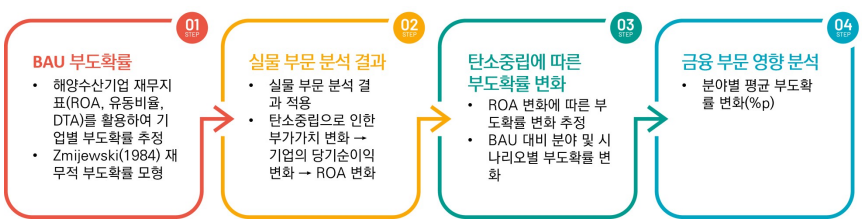
한편, Ohlson(1980)과 Zmijewski(1984)는 기업 부도확률 추정에 이항 회귀모형(binomial regression model)을 적용함으로써 다중 판별 분석이 지닌 한계를 극복하고자 하였다. 두 모형은 회귀분석을 적용을 통해

208) Altman(1968)의 판별점수(Z-score)가 1.81보다 작으면 부실, 1.81에서 2.99 사이면 주의, 2.99 보다 크면 건전으로 판단한다.
209) 박성화·김태일·권장한(2020), pp. 12-13.

다중 판별 분석이 지닌 엄격한 가정을 완화하고 기업의 재무상태에 대한 부실 및 건전 판단은 물론 재무상태를 확률로 변환하여 표현이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 두 모형 모두 구성지표 선정에 대한 이론적 근거가 부족하고, 분석기간 및 분석 데이터에 따라 모형의 설명력이 달라진다는 한계가 존재한다.[210]

모형별 구성지표를 살펴보면, 세 모형 모두 수익성, 유동성, 레버리지 범주의 지표를 사용한 것을 확인할 수 있다. 세 모형 중 X-Score가 가장 적은 지표를 사용하였고, 그에 비해 Z-Score와 O-Score는 상장사에서 얻을 수 있는 지표 또는 자료의 확보가 어려운 지표를 사용하여 기업의 부도확률을 추정하였다. 본 연구의 해양수산기업이 비교적 규모가 작고 세부적인 재무 자료 확보가 쉽지 않다는 점을 고려하여 Zmijewski(1984)의 재무적 부도확률을 통해 기업의 부도확률을 추정하였다. 또한 Zmijewski(1984)의 재무적 부도확률 모형은 김재윤·전은경(2021), Ralite & Thoma(2019) 등 기후 스트레스 테스트 분석에 적용된 바 있어 본 연구의 금융 부문 분석에도 적합한 방법이라 판단하였다.

〈그림 4-10〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 금융 부문 분석 과정



자료: 저자 작성

〈그림 4-10〉은 탄소중립이 금융 부문에 미치는 영향 분석 과정을 보여준다. 먼저, X-Score를 적용하여 기업의 BAU 부도확률을 추정한다.

210) Grice & Dugan(2003), pp. 78-80.

BAU에서 기업의 X-Score는 [식 4-10]과 같다. 동 모형에서 X-Score는 상수 및 재무지표와 각 지표 계수의 선형결합으로 구할 수 있는데, X-Score 산출에 사용되는 재무지표는 ROA, DTA 및 유동비율이다.

$$X_{i,BAU} = -4.336 - 4.513K1_{i,BAU}$$

$$+ 5.679K2_{i,BAU} - 0.004K3_{i,BAU} \quad \text{[식 4-10]}$$

$$where,\ K1_{i,BAU} = \frac{NI_{i,BAU}}{TA_{i,BAU}},\ K2_{i,BAU} = \frac{TL_{i,BAU}}{TA_{i,BAU}},\ K3_{i,t} = \frac{CA_{i,BAU}}{CL_{i,BAU}}$$

[식 4-10]의 X-Score를 정규분포 확률밀도함수(standard normal probability density function)에 적용하면 BAU에서의 부도확률 $PD_{i,BAU}$를 [식 4-11]과 같이 얻을 수 있다. [식 4-11]에서 ϕ는 정규분포 확률밀도함수를 의미한다.

$$PD_{i,BAU} = \phi(X_{i,BAU}) \quad \text{[식 4-11]}$$

다음으로, 실물 부문 분석에서 얻은 해양수산분야 부가가치 변화를 기업의 재무 데이터에 적용한다. 구체적으로 각 해양수산분야의 부가가치 감소율만큼 그 해양수산분야에 속하는 기업의 당기순이익이 영향을 받고, 이에 따라 기업의 ROA가 변화한다고 가정하였다. 본 연구의 스트레스 테스트 모형은 기후 시나리오에서 사용된 변수를 제외한 기타 경제 여건은 BAU 상황과 동일하다고 가정하였기 때문에 이행리스크로 인한 좌초자산 발생, 즉 총자산의 가치 변화는 고려하지 않았음을 밝힌다.[211]

탄소중립으로 인한 부도확률 변화는 ROA의 움직임에 의해 결정된다. 이러한 독립변수 단위 변화에 의한 종속변수의 변화를 한계효과(marginal

211) Ralite & Thoma(2019), p. 38.

effect)라 하는데, 프로빗 모형에서 한계효과는 [식 4-12]와 같다.

$$\frac{\partial Y}{\partial x_i} = \beta_i \phi(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_n x_n) \quad \text{[식 4-12]}$$

[식 4-12]의 관계를 본 연구에 적용하면 ROA 단위 변화에 따른 확률 변화는 [식 4-13]과 같다.

$$\frac{\partial PD_{i,BAU}}{\partial K1_{i,t}} = -4.513 \times \phi(X_{i,BAU}) \quad \text{[식 4-13]}$$

마지막으로, 탄소중립으로 인한 ROA 변화를 $\Delta K1$이라 하면 전망 시점 t의 부도확률 변화 $PD_{i,t}$는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta PD_{i,t} = \Delta K1_{i,t} \times -4.513 \times \phi(X_{i,BAU}) \quad \text{[식 4-14]}$$

금융 부문의 종합적인 영향은 각 분야별 기업의 평균 부도확률 변화로 제시하였다. 전체 해양수산분야의 부도확률 변화 역시 기업의 전체 부도확률 변화의 평균으로 시산하였다.

4) 분석 방법 종합

본 연구는 탄소중립이 해양수산분야에 미치는 경제적 영향을 정량적으로 분석하기 위해 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형을 개발하였다. 이를 위해, 해양수산 온실가스 통계 현황을 분석하고 데이터를 수집하였다. 분석 방법의 객관성을 확보하기 위해 모형의 기본적인 사항은 김재윤·전은경(2021)의 한국은행 기후 스트레스 테스트 모형의 구조를 차용하였다. 다만 분석 목적 및 가용 데이터 여건을 고려하여 해양수산분야의 특성에 맞게 방법론을 적용하여 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형을 구축하였다.

해양수산 기후 스트레스 테스트 분석은 ① 기후 시나리오 적용, ② 실물 부문 영향 분석, ③ 금융 부문 영향분석의 단계를 거친다. 각 단계별로 살펴보면, 기후 시나리오는 2050년까지 우리나라 기후 여건에 대한 경로와 주요 탄소중립 이행도구에 대한 세부적인 정보를 제공하는 NGFS의 세 가지 시나리오(지연된 이행, 산발적 탄소중립, 2050 탄소중립)를 기본 시나리오로 채택하였다.

구성된 시나리오를 바탕으로 해양수산분야 실물 부문 영향을 분석하였다. 실물 부문 영향은 탄소중립으로 인한 경제주체의 비용 증가로 설정하고, 기준 시점(BAU) 대비 부가가치 감소율을 산출하여 제시하였다. 구체적으로 탄소중립에 따른 비용을 시점별 경제주체의 초과 배출량에 온실가스 배출가격을 반영하여 구하였는데, 이때 주요 탄소중립 정책도구로 정부의 감축목표, 배출권 한도, 탄소가격 등을 설정하였고, 기술발전 도구로는 CCS 보급, 에너지 믹스를 활용하였다.

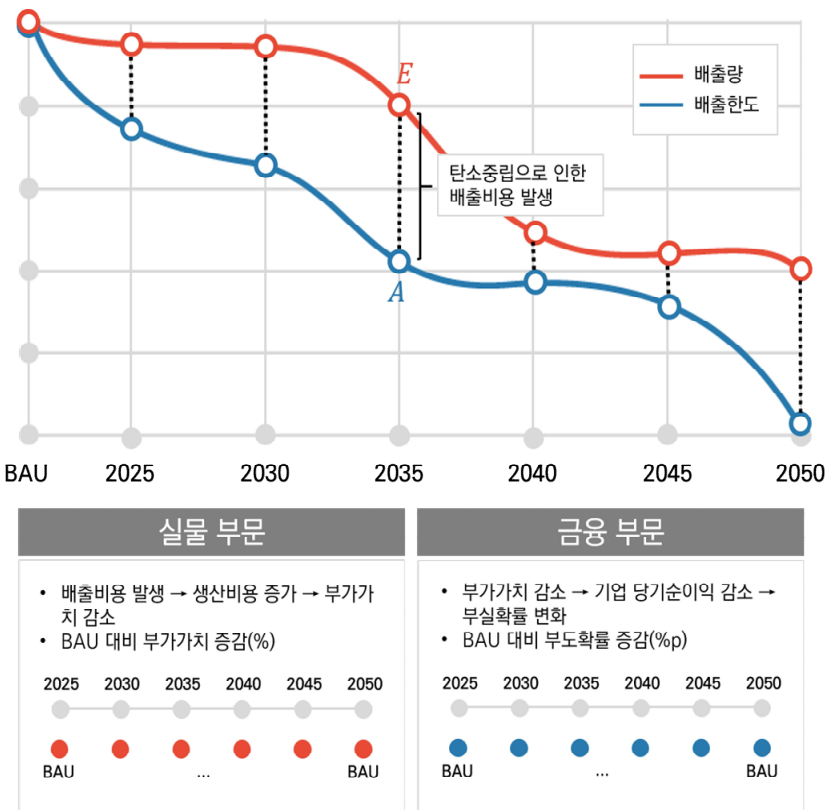
〈그림 4-11〉은 해양수산 기후 스트레스 테스트의 분석 방법을 보여준다. 그림에서 붉은 실선은 기후 시나리오 적용을 통해 추정된 해양수산분야의 온실가스 배출량 추이이며, 푸른 실선은 CCS 상용화, 배출권 한도 등을 적용하여 추정한 배출한도이다. 탄소중립으로 인해 경제주체가 부담해야 할 배출비용은 배출량에서 배출한도를 제한 만큼의 초과 배출량에 시점별 온실가스 배출가격을 반영하여 산출하였다.[212]

실물 부문 영향은 시점별로 추정된 배출 비용만큼 해양수산분야의 부가가치가 감소한다고 가정하여 분석하였다. 전체 해양수산분야 영향은 각 해양수산분야의 부가가치를 모두 합한 후, 기준 시점(BAU) 대비 증감을 제시하였다. 마지막으로 금융 부문 영향은 Zmijewski의 X-Score(1984)를

212) 예를 들어, 2035년의 배출 비용은 〈그림 4-11〉의 점 E와 점 A 만큼의 차이에 온실가스 배출가격을 곱하여 산출하였다.($C_{2035} = (E_{2035} - A_{2035}) \times P^{C}_{2035}$)

통해 기준 시점의 부도확률을 구한 후, 실물 부문에서 얻은 부가가치 변화만큼 기업의 당기순이익이 영향을 받고, 그로 인해 ROA가 변화한다고 가정하였다. ROA 변화에 따른 한계효과를 추정하여 개별 기업의 부도확률 변화를 산출하였으며, 해양수산분야별 기업의 평균 부도확률 변화를 해양수산분야의 부도확률 변화로 제시하였으며, 전체 해양수산분야는 전체 기업의 평균 부도확률 변화로 제시하였다.

〈그림 4-11〉 해양수산 기후 스트레스 테스트 분석 방법



자료: 저자 작성

제2절 분석 결과

1. 실물 부문 영향

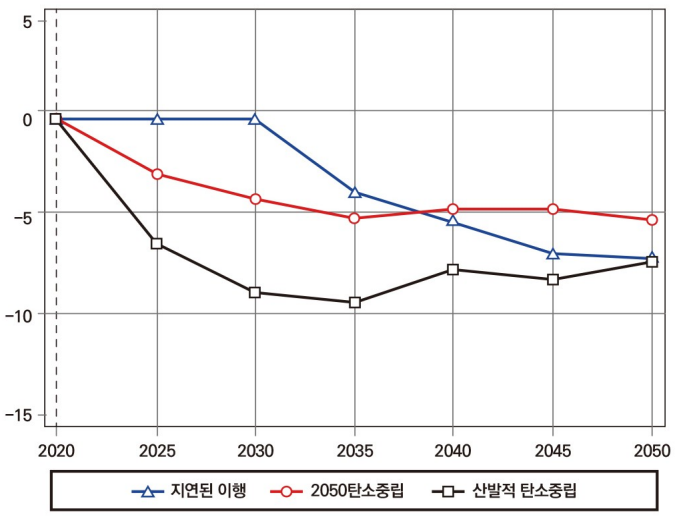
탄소중립의 이행이 해양수산 실물 부문에 미치는 경제적 영향은 〈그림 4-12〉와 같다. 탄소중립으로의 이행은 모든 시나리오에서 해양수산분야의 부가가치를 감소시키는 것으로 나타났다. 시나리오별 영향을 살펴보면, '지연된 이행'에서 해양수산분야 실질 부가가치는 평균적으로 3.3% 감소하고, '2050 탄소중립'에서 3.7%, '산발적 탄소중립'에서 6.8%의 감소를 보였다. 2030년부터 적극적인 탄소중립을 시행하는 '지연된 이행'에서 평균 부가가치가 가장 적게 감소하였으나 탄소중립 달성 시점인 2050년을 기준으로 보면 '2050 탄소중립'에서의 부가가치 감소폭이 -5.1%로 다른 두 시나리오(지연된 이행 -7.1%, 산발적 탄소중립 -7.2%)보다 낮은 경제적 비용이 소요되는 것을 확인할 수 있었다. '지연된 이행'에서 해양수산분야 부가가치는 2030년까지 큰 변화를 보이지 않지만 탄소가격이 급격하게 상승하는 2035년부터 부가가치 감소가 일어나는 것으로 나타났다. '산발적 탄소중립'은 이행리스크로 인해 해양수산분야 부가가치가 2035년까지 감소세를 보이다가 감소폭이 줄어들어 2050년에는 7.2% 감소하는 것으로 나타났다. 한편, '2050 탄소중립'의 해양수산분야 부가가치는 다른 두 시나리오에 비해 비교적 완만한 감소세를 보이며 2050년 -5.1%의 가장 낮은 감소를 기록할 것으로 나타났다.

우리나라를 대상으로 한 연구와 비교해 보면, 김재윤·전은경(2021)은 이행리스크로 인해 부가가치 대비 온실가스 배출량 기준 상위업종인 고탄소산업의 부가가치는 약 80% 하락하고, 중·저탄소산업은 2% 내외로 하락할 것이라고 하였다. 전 산업 측면에서 보면, '2050 탄소중립'에서 2050

년 기준 GDP는 7.4% 감소할 것으로 분석되었다.[213] 한편, 해양수산분야 부가가치는 5.1% 하락할 것으로 분석되어 해양수산분야는 전 산업에 비해 이행리스크로 인한 피해가 적을 것으로 예상된다.

〈그림 4-12〉 탄소중립 시나리오별 전체 해양수산분야 실물 부문 영향

단위: %



자료: 저자 작성

시나리오별 결과는 탄소중립으로의 적극적이고 질서 있는 이행이 단기적으로 경제적 부담을 유발하더라도 중장기적인 관점으로 보면 지연되고 무질서한 이행보다 명백한 경제적 이익이 있음을 시사한다. 탄소중립의 질서 있는 이행은 경제주체에게 기후변화 정책에 대해 적절하게 대응할 수 있는 시간적 여유를 주고, 장기적인 혼란을 제한할 수 있을 것이다. 또한 정부는 질서 있는 탄소중립 정책을 시행함으로써 온실가스 배출가격에서

213) 김재윤·전은경(2021)은 산업별 온실가스 배출량 통계와 투입산출표를 활용하여 부가가치 한 단위를 창출하기 위해 직간접적으로 배출하는 업종별 온실가스 배출량 지표를 산출하였다. 저자는 온실가스 배출량 지표에 따라 지표가 1 표준표차보다 높은 산업을 고탄소산업으로 분류하였으며, 1 표준표차 보다 낮을 경우 저탄소산업으로 분류하였다.

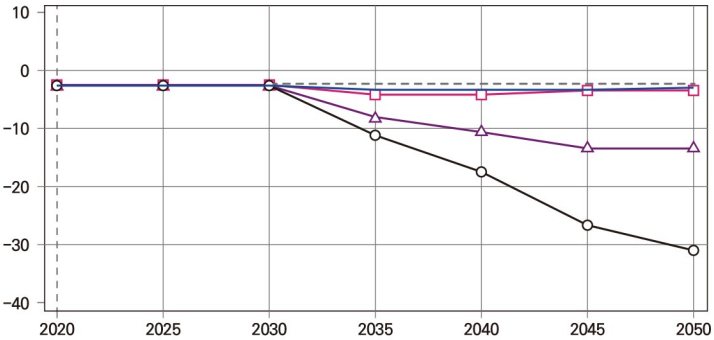
얻은 수입의 투자를 통해 효율적인 온실가스 저감기술 투자 및 상용화를 유도할 수 있을 것이다.

2050 탄소중립은 이제 모두가 지켜야 하는 국제사회의 거스를 수 없는 규범으로, 본 연구의 결과는 친환경 경제로 전환해야 할 중대하고 긴급한 필요성을 강조한다. 이러한 시사점은 NGFS 시나리오를 적용한 주요 연구의 결과와도 일맥상통하는데, 프랑스의 이행리스크를 분석한 Allen et al.(2020)과 유럽을 대상으로 한 Alogoskoufis et al.(2021)의 연구 결과도 NFGS 시나리오 중 '2050 탄소중립'이 장기적으로 가장 낮은 비용을 유발하는 것으로 나타났고, 따라서 저탄소경제로의 이행을 위한 적극적이고 질서 있는 정책의 시행이 중요함을 강조하였다. 주요국의 기후 스트레스 테스트 결과에서 탄소중립 정책의 방향이 유사하게 나타나는 만큼 탄소중립 달성을 위한 국제적 협조 역시 탄소중립 달성을 위한 중요한 과제가 될 것이다.

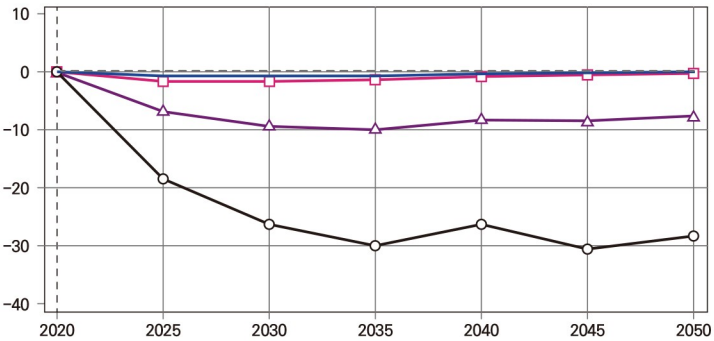
탄소중립 이행에 따른 전체 해양수산분야 실물 부문은 -7%~-5%의 영향을 받는 것으로 나타났으나 해양수산분야별 영향은 상이한 것으로 나타났다. 〈그림 4-13〉은 해양수산분야별 실물 부문 영향을 보여준다. 저탄소경제로의 전환을 위한 온실가스 감축노력 강화는 선박이 주요 생산 활동 수단이고, 그로 인해 연료소모를 통한 직접 배출량 비중이 높은 해운업과 어업을 중심으로 생산 비용 상승과 부가가치 감소를 초래하는 것으로 나타났다. 반면에 제조업 성격을 지닌 조선업과 수산물 가공업의 부가가치는 소폭 하락에 그치는 것으로 추정되었다. 탄소중립 이행으로 실물 부문 타격이 가장 큰 분야는 해운업으로 나타났고, 이어서 어업, 수산물 가공업, 조선업의 실물 부문 타격이 큰 것을 확인할 수 있었다.

〈그림 4-13〉 탄소중립 시나리오별 해양수산분야 실물 부문 영향

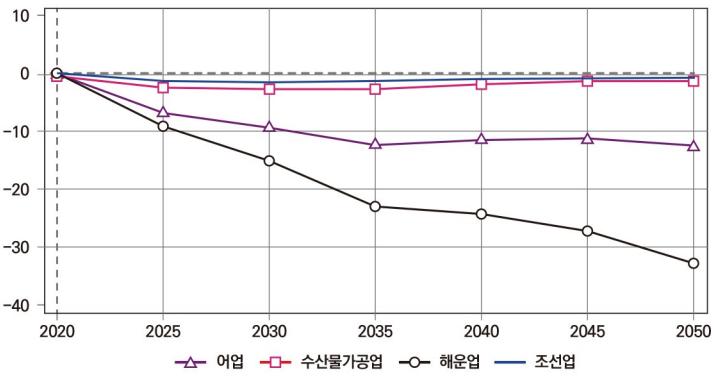
단위: %



가. 지연된 이행



나. 산발적 탄소중립



다. 2050 탄소중립

자료: 저자 작성

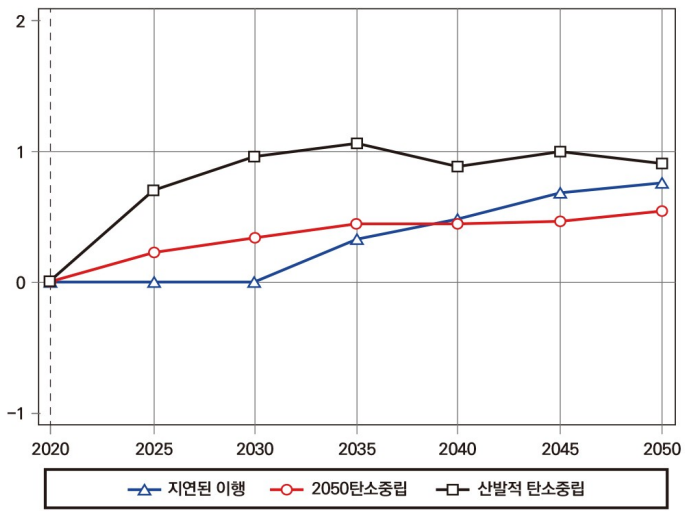
해운업의 부가가치는 연평균 17.4%(지연된 이행)~45.8%(산발적 탄소중립) 감소하여 2050년에는 32.6%(2050 탄소중립)~56.9%(지연된 이행) 감소하는 것으로 나타났으며, 어업은 연평균 8.1%(지연된 이행)~9.1%(2050 탄소중립) 감소하여 2050년에는 12.6%(2050 탄소중립)~17.4%(지연된 이행) 감소하는 것으로 나타났다. 한편, 조선업과 수산물 가공업의 부가가치는 연평균 1.0%(지연된 이행)~1.5%(산발적 탄소중립) 감소하여 2050년에는 0.7%(산발적 탄소중립)~1.2%(지연된 이행) 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 시나리오별 영향을 살펴보면, 해운업과 어업은 전체 해양수산분야 분석 결과와 마찬가지로 '2050 탄소중립'에서 2050년에는 22.6%의 가장 낮은 부가가치 감소를 보였다. 반면에 조선업과 수산물 가공업은 '산발적 탄소중립'에서 0.7%의 하락을 보여 세 시나리오 중 가장 낮은 부가가치 감소를 보였다. 한편, 해운업은 '산발적 탄소중립'에서 가장 큰 폭의 부가가치 감소가 발생하였는데, 해운업은 2050년에 부가가치가 56.9% 감소하는 것으로 나타났다.

2. 금융 부문 영향

저탄소경제로의 이행에서 발생하는 배출비용 증가로 인한 순이익 감소는 기업의 부도확률에 부정적인 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 주요 신용위험 척도인 부도확률은 연평균 0.3%p(지연된 이행)~0.8%p(산발적 탄소중립) 상승하여 2050년에는 기준 시나리오 대비 0.5%p(2050 탄소중립)~0.9%p(산발적 탄소중립) 상승하는 것으로 나타났다. 〈그림 4-14〉는 탄소중립 시나리오별 전체 해양수산분야 금융 부문 영향을 보여준다.

〈그림 4-14〉 탄소중립 시나리오별 전체 해양수산분야 금융 부문 영향

단위: %p

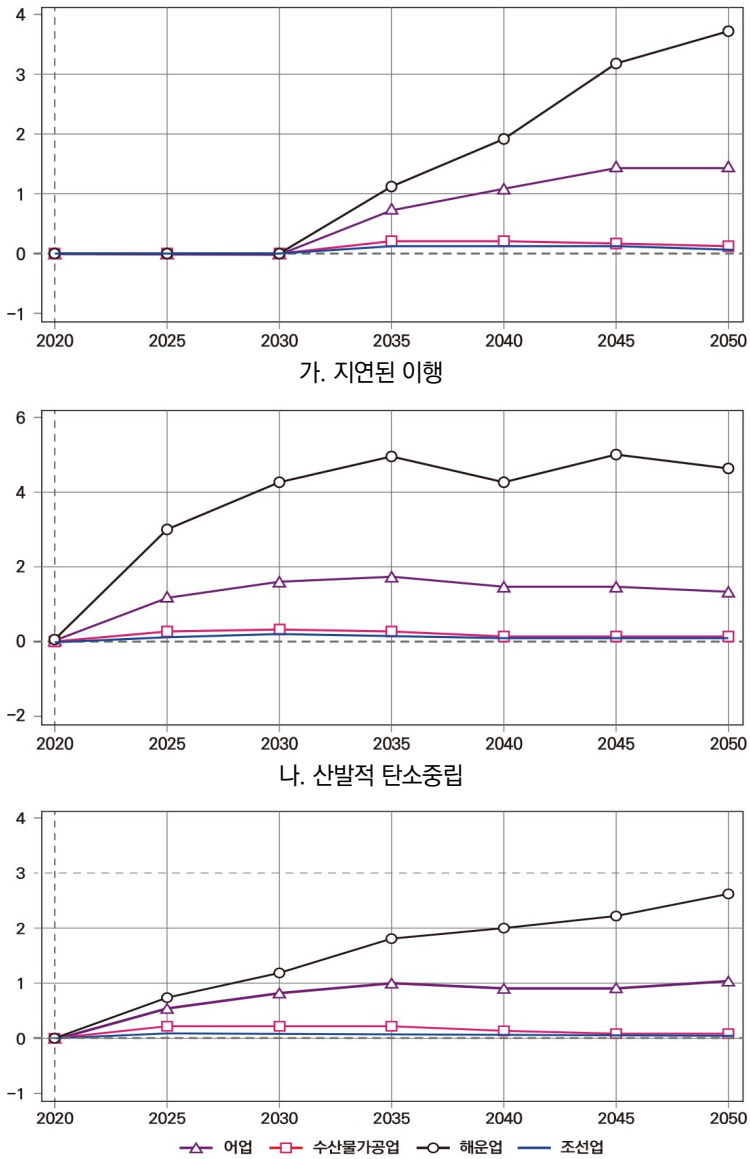


주: BAU 대비 부도확률 변화
자료: 저자 작성

〈그림 4-15〉는 해양수산분야별 금융 부문 영향을 보여준다. 해양수산분야별 금융 부문 영향은 실물 부문과 유사한 결과를 보인다. 해양수산분야별 부가가치가 가장 큰 폭으로 감소하였던 해운업의 부도확률은 연평균 1.7%p(지연된 이행)~4.4%p(산발적 탄소중립) 상승하여 2050년에는 2.7%p(2050 탄소중립)~4.6%p(산발적 탄소중립)의 상승폭을 보였다. 어업의 부도확률은 연평균 0.8%p(지연된 이행)~1.4%p(산발적 탄소중립) 상승하여 2050년에는 1.0%p(2050 탄소중립)~1.4%p(지연된 이행)의 상승폭을 보였다. 한편, 수산물 가공업 및 조선업의 부도율 상승폭은 작게 나타났다. 시나리오별 특징을 살펴보면, 모든 분야에서 '지연된 이행'의 연평균 부도확률 상승폭이 가장 작은 것으로 나타났지만 2050년에는 '2050 탄소중립'의 부도확률 상승폭이 가장 작은 것으로 추정되어 탄소중립 이행에 있어 장기적인 시각이 중요함을 알 수 있었다.

〈그림 4-15〉 탄소중립 시나리오별 해양수산분야 금융 부문 영향

단위: %p



자료: 저자 작성

3. 분석 결과 종합

〈표 4-11〉은 탄소중립 시나리오별 실물 부문 영향을 보여준다. 탄소중립은 해양수산분야 부가가치를 5.1%~7.2% 감소시키는 것으로 나타났다. 탄소중립의 필요성과 실현을 위한 노력에 대해서는 전 세계적인 공감대가 형성되었으나 탄소중립 달성을 위해 소요되는 사회적 비용으로 인하여 구체적인 실행방안에 대한 논의는 아직 준비 중인 상황이다. 본 연구는 기후 스트레스 테스트를 활용하여 정량적으로 탄소중립 이행에 따른 사회적 비용을 추정하였고, 이행리스크에 취약성을 보이는 해양수산분야를 식별하였다는 점에서 의의가 있다.

해양수산분야별로 살펴보면, 수산물 가공업과 조선업은 2050년 기준 2% 미만의 부가가치 감소가 일어날 것으로 추정되었는데, 이는 우리나라를 대상으로 기후 스트레스 테스트를 실시한 김재윤·전은경(2021)의 중·저탄소산업 부가가치 변화와도 일치하는 결과이다. 한편, 해운업과 어업은 탄소중립으로 인해 부가가치가 큰 폭으로 하락하는 것으로 나타났는데, 이는 선박을 주요 생산수단으로 활용하는 산업의 탄소중립 달성을 위해서는 정부의 역할이 중요함을 의미한다. 또한 본 연구에서 적용한 NGFS의 시나리오가 '해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵'과 유사한 감축 목표를 적용하였다는 점을 고려하였을 때, 동 결과는 어업과 해운업의 탄소중립 과정에서 발생할 수 있는 문제에 대한 객관적 인식을 제공하고, 탄소중립 실행계획의 출발점으로 삼을 수 있다. 본 연구에서 고안한 모형이 아직 초기 단계이기 때문에 연구 결과가 탄소중립으로 인한 비용적인 측면만 단편적으로 제공한다는 점을 미루어 볼 때, 향후 친환경 설비 지원, 노후선박 교체 등 탄소중립 정책성과를 반영한 데이터 구성 및 해양수산분야에 특화된 시나리오를 적용하여 분석한다면 실물 경제에 대한 부정적인 영향은 상당 폭 완화될 것으로 전망된다.

〈표 4-11〉 탄소중립 시나리오별 해양수산분야 실물 부문 분석 결과

단위: %

시나리오	분야	2025	2030	2035	2040	2045	2050
지연된 이행	해양수산	0.0	0.0	-3.8	-5.2	-6.9	-7.1
	어업	0.0	0.0	-9.2	-12.9	-17.5	-17.4
	수산물 가공업	0.0	0.0	-2.5	-2.4	-2.0	-1.6
	조선업	0.0	0.0	-1.3	-1.3	-1.3	-0.9
	해운업	0.0	0.0	-13.5	-23.8	-38.9	-45.5
산발적 탄소중립	해양수산	-6.4	-8.8	-9.3	-7.6	-8.1	-7.2
	어업	-13.7	-19.1	-20.2	-16.9	-17.7	-15.7
	수산물 가공업	-2.8	-3.5	-2.9	-1.9	-1.3	-0.9
	조선업	-1.5	-1.9	-1.6	-1.1	-0.8	-0.5
	해운업	-36.8	-52.6	-60.4	-52.5	-61.3	-56.9
2050 탄소중립	해양수산	-2.8	-4.0	-5.0	-4.5	-4.5	-5.1
	어업	-6.5	-9.6	-12.1	-11.3	-11.4	-12.6
	수산물 가공업	-2.2	-2.7	-2.4	-1.7	-1.1	-1.0
	조선업	-1.1	-1.4	-1.4	-0.9	-0.7	-0.6
	해운업	-8.9	-15.0	-22.9	-24.4	-27.3	-32.6

자료: 저자 작성

한편, 해양수산분야 구성산업의 온실가스 배출 성격의 차이로 인해 시나리오마다 탄소중립의 영향이 다르게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 전력 사용이 주요 온실가스 배출원인 수산물 가공업과 조선업은 세 시나리오 중 재생에너지 사용 비중이 높은 '산발적 탄소중립'에서 부가가치 감소가 가장 적게 발생하는 것으로 나타났다. 반면에, 화석연료 사용비중이 높은 해운업은 '산발적 탄소중립'에서의 90%에 육박하는 온실가스 감축목표와 높은 온실가스 한계저감비용으로 인하여 이행리스크에 따른 손실이 클 것으로 추정되었다.[214] 이러한 결과는 산업 구조에 따라 효율적인 탄소중립 이행

214) 본 연구에서 해운업은 내항 해운업을 의미하는데, 외항 해운업은 IMO 탄소규제 목표에 따른 별도 관리를 하므로 국가 배출량에 포함되지 않기 때문이다. 따라서 해운업 실물 부문 분석 결과는 내항 해운업 부가가치 변화임을 밝힌다.

도구가 다르고, 그 효과에 차이가 있을 수 있음을 시사한다. 따라서 공정하고 정의로운 탄소중립을 위해서는 이해당사자들과의 적극적인 소통과 정책 시행으로 인해 소외될 수 있는 산업에 대한 적극적인 지원이 필요할 것이다. 특히 선박에 대한 높은 의존도로 인해 직접 배출량이 높은 산업일수록 탄소가격에 직접적인 영향을 받게 되므로 직접 배출량 저감을 위한 친환경 장비 보급 사업 등을 적극적으로 시행할 필요가 있음을 시사한다.

금융 부문 분석 결과는 탄소중립 이행에 따른 해양수산분야의 배출비용 상승과 부가가치 감소는 어업과 해운업의 신용위험을 증대시키는 것으로 나타났다. 〈표 4-12〉는 금융 부문 분석결과를 종합한 것이다.

〈표 4-12〉 탄소중립 시나리오별 해양수산분야 금융 부문 분석 결과

단위: %p

시나리오	분야	2025	2030	2035	2040	2045	2050
지연된 이행	해양수산	0.0	0.0	0.3	0.5	0.7	0.8
	어업	0.0	0.0	0.7	1.1	1.4	1.4
	수산물 가공업	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.1
	조선업	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
	해운업	0.0	0.0	1.1	1.9	3.2	3.7
산발적 탄소중립	해양수산	0.7	1.0	1.1	0.9	1.0	0.9
	어업	1.1	1.6	1.6	1.4	1.4	1.3
	수산물 가공업	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1
	조선업	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0
	해운업	3.0	4.3	4.9	4.3	5.0	4.6
2050 탄소중립	해양수산	0.2	0.3	0.5	0.4	0.5	0.5
	어업	0.5	0.8	1.0	0.9	0.9	1.0
	수산물 가공업	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
	조선업	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	해운업	0.7	1.2	1.9	2.0	2.2	2.7

주: BAU 대비 부도확률 변화
자료: 저자 작성

탄소중립 이행리스크로 인한 실물충격은 기업의 신용위험을 증대시키는 것으로 나타났다. 다시 말하자면, 탄소중립 달성을 위해서는 대규모의 투자가 필요하며, 한편으로 저탄소경제로의 이행은 기업에 신용리스크를 유발하는 것으로 나타났다. 전통적인 신용위험평가 기준을 적용할 경우, 해양수산기업은 자금조달에 어려움을 겪을 것으로 나타났다. 따라서 본 연구의 결과는 녹색사업 재원을 마련하여 온실가스 저감을 위한 기업의 자금조달을 지원하고, 온실가스 배출 저감 노력과 같은 친환경적인 투자를 하는 기업에게 금리 우대, 보증 제공 등의 혜택을 주는 녹색금융을 적극적으로 활용하여 해양수산기업의 탄소중립 이행에 대한 유인을 제공하여야 함을 시사한다.

제3절 소결

본 장에서는 탄소중립의 경제적 영향 평가를 목적으로 2050년까지 저탄소경제로의 이행이 해양수산분야 실물 및 금융 부문에 미칠 영향을 분석하였다. 이를 위해 본 연구는 기후 시나리오 분석에 바탕을 둔 해양수산분야 기후 스트레스 테스트 모형을 개발하였다.

기후 스트레스 테스트 적용에 앞서 해양수산분야 온실가스 데이터 여건을 검토하였다. 국가온실가스인벤토리, 산업부문 온실가스 배출량 조사 등 주요기관의 온실가스 배출량 통계를 검토한 결과, 어업, 수산물 가공업, 해운업, 조선업, 총 4개 해양수산분야를 분석대상으로 설정하였다. 4개의 분석대상을 기준으로 산업연관표 기본부문과 KSIC를 연계하여 실물 부문과 금융 부문의 데이터를 구성하였다.

시나리오는 NGFS가 우리나라를 대상으로 작성한 기후 대응 시나리오를 적용하였다. 앞서 밝혔듯이, 기후 스트레스 테스트는 가상의 기후 상황에 따른 경제의 반응을 살피는 것을 목적으로 한다. 기후 시나리오는 기후 스트레스 테스트에서 핵심적인 역할을 수행하기 때문에 기후변화 시나리오의 개연성과 현실 설명력이 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 연구는 해양수산분야의 기후 대응 경로를 추적하고 이에 따른 경제적 영향을 분석하는 데 있어 NGFS 기후 시나리오가 적합하다고 판단하였다. NGFS 시나리오는 탄소중립 이행 속도와 방법에 따라 '지연된 이행', '산발적 탄소중립', '2050 탄소중립', 총 세 가지 시나리오를 적용하였다.

해양수산 기후 스트레스 테스트는 주어진 기후 시나리오 상황에서 주요 탄소중립 달성 도구가 해양수산분야 실물 및 금융 부문에 미칠 영향을 시뮬레이션하는 방식으로 수행하였다. 구체적으로 살펴보면, 기후변화 정책 도구로는 목표 감축량, 배출 허용량, 탄소가격제도 등을 설정하였으며, 기술 도구는 에너지 믹스, CCS 상용화 등을 활용하였다. 실물 부문 영향은 온실가스 저감 정책으로 인해 발생하는 해양수산분야의 배출 비용 증가로 산출하였으며, 금융 부문 영향으로는 배출 비용 증가로 인한 기업의 당기순이익 감소가 부도확률에 미치는 영향을 살펴보았다.

분석 결과, 이행리스크는 해양수산분야의 실물 및 금융 부문에 장기간에 걸쳐 부정적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 기후 시나리오 중 '2050 탄소중립'의 부정적인 영향이 가장 적게 나타나 저탄소경제로의 이행을 위한 적극적이고 질서 있는 정책의 시행이 중요함을 확인할 수 있었다. 해양수산분야별 영향을 살펴보면, 선박을 주요 생산 수단으로 활용하는 해운업과 어업의 영향이 제조업인 수산물 가공업, 조선업보다 더 큰 것으로 나타났다. 한편, 시나리오마다 부정적인 영향이 다르게 나타났는데, 재생에너지 활용 비중에 따라 간접 배출 의존도가 높은 제조업이 영향을 적게 받았으며, 탄소 가격에 따라 직접 배출 의존도가 높은 어업과 해운업의 영향이

큰 것으로 나타났다. 전체 해양수산분야에 대한 금융 부문 분석 결과도 실물 부문 분석 결과와 대동소이하였다. 이는 이행리스크로 인해 해양수산기업의 자금 조달에 어려움이 발생할 소지가 있음을 의미하고, 이를 해소하기 위한 금융지원이 필요함을 시사한다.

05
결론 및 제언

제1절 요약 및 결론

1. 연구 요약

본 연구는 해양수산분야의 탄소중립의 경제적 영향을 평가하기 위해서 기후리스크의 사회·경제적 파급경로를 살펴보고, 주요국의 탄소중립 정책 현황을 알아보았다. 모형 설계를 위한 기후리스크에 대한 이론적 배경을 검토하였으며, 논의를 바탕으로 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형을 구축하였다. 모형을 활용하여 탄소중립이 해양수산분야에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 연구 결과를 토대로 모형 고도화 방안과 해양수산분야의 탄소중립 달성을 위한 과제를 도출하였다. 각 장별 요약은 다음과 같다.

제1장은 연구 배경과 연구 필요성 및 선행연구를 검토하였다. 기후변화의 심각성이 인지되면서 탄소중립이 국제사회의 새로운 질서로 자리 잡게 된 과정을 살펴보았다. 또한 기후변화에 따른 리스크에 대해서도 알아보았다. 기후리스크는 크게 물리적 리스크와 이행리스크로 구분할 수 있으며

해양수산분야는 기후리스크에 취약하고, 분야별로 노출 정도가 다른 것으로 나타났다. 수산 및 항만분야는 물리적 리스크에 노출되어 있고 해운분야는 이행리스크에 노출되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 해양수산분야는 해양이라는 공간을 바탕으로 다양한 성격의 산업으로 구성되어 있기 때문에 산업별로 영향을 받는 기후요인과 그 결과 역시 다른 것으로 나타났다. 따라서 탄소중립의 이행과정에서 발생하는 리스크의 해양수산분야별 영향을 평가하는 것은 매우 중요한 과제임을 알 수 있었다.

이에 본 연구는 탄소중립이 해양수산분야에 미치는 영향을 경제적으로 평가하고자 기후 스트레스 테스트 모형을 구축하고, 탄소중립이 해양수산분야 실물 부문과 금융 부문에 미치는 영향을 분석하였다. 즉 탄소중립의 영향을 평가하기 위해 기후리스크 관련 이론적 배경을 고찰하고, 해양수산분야 온실가스, 실물 및 금융 부문 가용통계를 검토하였으며, 분석 방법론을 정립하였다.

기후리스크 관련 선행연구 고찰을 통해 기후리스크의 파급경로와 분석결과를 살펴보았다. 기후리스크별로 분석 데이터, 분석 방법, 분석 범위가 다른 것으로 나타난 점으로 미루어 볼 때, 기후변화 현황과 그 영향, 취약성 등은 부문에 따라 다를 수 있음을 확인할 수 있었다. 선행연구의 방법론을 고찰한 결과, 본 연구 방법론으로 다모형에 기반한 기후 스트레스 테스트 모형이 적합한 것으로 판단하였다.

제2장은 우리나라를 비롯한 주요국의 탄소중립 정책동향을 분석하였다. 정책동향 분석을 통해 에너지효율 개선, 재생에너지 확대 등이 주요국의 탄소중립 추진 방안임을 확인할 수 있었으며, 우리나라 해양수산분야 탄소중립 추진 방안으로는 친환경 설비, 친환경선박 보급이 있는 것으로 나타났다. 주요 정부의 탄소중립 달성 방안이 공공투자 확대와 금융지원에 집중되어 있는데, EU는 적극적으로 탄소가격제도를 활용할 계획인 것으로

나타났다.

제3장은 기후 스트레스 테스트 적용에 앞서 기후리스크의 파급경로와 기후리스크의 계량경제학적 특성, 기후 스트레스 테스트 등 이론적 프레임워크를 소개하였다. 물리적 리스크의 예시와 취약 부문에 대해 논의하고, 정책 리스크, 기술 리스크, 시장 및 평판 리스크 등 이행리스크 종류를 제시하고 각 리스크별 위기와 기회를 제시하였다. 다음으로 기후리스크의 계량경제학적 특성을 분석하여 기후리스크 분석에 적합한 방법론으로 기후 스트레스 테스트를 채택하였으며, 해양수산 기후 스트레스 테스트 구축을 위한 방안을 마련하였다.

제4장에서는 해양수산 온실가스 부문 데이터 여건 검토를 통해 어업, 수산물 가공업, 해운업, 조선업 등 총 4개 해양수산분야를 분석대상으로 설정하였다. 4개 분야를 기준으로 온실가스 부문, 실물 부문 및 금융 부문 데이터를 수집하여 모형을 구성하였다. 기후 시나리오는 NGFS의 세 가지 시나리오를 채택하였으며, 각 시나리오별 특징을 분석하였다. 해양수산 기후 스트레스 테스트의 방법론인 다모형 접근법의 세부 내용을 서술하였으며, 모형을 통한 실물 부문과 금융 부문의 분석 결과를 제시하였다.

제5장은 연구의 요약과 결론을 제시했으며, 제4장의 연구 결과를 바탕으로 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형 고도화 방안과 해양수산분야 탄소중립 달성을 위한 과제에 대해 논의하였다.

2. 결론

해양수산분야 온실가스 배출량은 분석기간 평균 우리나라 총 배출량의 약 1.0%를 차지하는 것으로 나타났다. 해양수산분야 중 어업과 해운업은

선박에 대한 의존도로 인하여 GDP당 배출량이 국가 GDP당 배출량에 비해 높은 것으로 나타났으며, 조선업과 수산물 가공업은 국가 GDP당 배출량과 비슷한 수준인 것을 확인할 수 있었다. 금융 부문 특성을 살펴보면, 수익성이 낮고 부채비율은 높으며, 유동성은 양호한 것으로 나타났다. 특히 어업과 조선업의 수익성이 상대적으로 낮은 것을 확인할 수 있었다.

주요 도구로 목표 감축량, 배출 허용량, 탄소가격제도를 설정하였고, 기술 도구로 에너지 믹스, CCS 상용화를 설정하여 기후 스트레스 테스트를 수행하였다. 실물 부문 영향은 온실가스 배출 비용 상승에 따른 산업의 부가가치 감소로 추정했으며, 금융 부문 영향은 부가가치 감소에 따른 기업의 부도확률 증대로 산출하였다.

해양수산 기후 스트레스 테스트 분석 결과, 이행리스크가 해양수산분야의 실물 및 금융 부문에 장기간에 걸쳐 부정적인 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있었다. 기후 시나리오 중 적극적이고 질서있는 정책 시행을 가정한 '2050 탄소중립'의 영향이 가장 작은 것으로 나타났다.

분야별 영향을 살펴보면, 탄소중립의 부정적 영향은 선박에 대한 의존도가 높은 해운업과 어업이 제조업(조선업, 수산물 가공업)보다 더 큰 것으로 나타났다. 한편, 부정적 영향은 시나리오별 가정에 따라 상이한 결과를 보였는데, 간접 배출 비중이 높은 제조업은 재생에너지 사용에 따라 영향을 받았으며, 직접 배출 비중이 높은 어업과 해운업은 탄소가격에 따라 영향을 크게 받는 모습을 보였다. 금융 부문의 결과도 실물 부문과 유사한 결과를 보였다. 이행리스크는 기업의 신용위험을 증대시키는 것으로 나타나 저탄소경제로의 이행을 위한 기업에 투자할 경우, 재무적 요인 외에 비재무적 요인도 고려하여야 한다는 시사점을 도출하였다.

제2절 연구의 기여 및 향후 과제

1. 연구의 기여

본 연구는 기후 스트레스 테스트를 통해 탄소중립으로의 이행이 해양수산분야에 미치는 영향을 정량적으로 분석하였다. 기후변화가 인류를 위협하는 요인으로 지목되고, 기후변화를 막기 위한 탄소중립의 중요성은 이미 국제규범으로 자리 잡았으나 기후변화의 불확실성, 관련 데이터의 부재 등으로 인해 아직까지 기후변화의 경제적 영향을 분석하기 위한 표준화된 평가모형이 부재한 실정이다.[215] 그럼에도 불구하고 본 연구는 가용 데이터 및 시나리오를 활용하여 기후변화 정책과 탄소중립 이행 시나리오를 해양수산분야에 적용한 정량적 모형을 제안하였다는 점에서 의의를 지닌다. 더불어 기후변화와 직·간접적으로 밀접하게 관련된 해양수산분야의 이행리스크 영향을 선도적으로 분석하였다는 점에서 의의가 있다.

사회 전반에 걸쳐 탄소중립의 필요성이 인식되고 있음에도 실현은 매우 어려울 것으로 평가되고 있다. 산업혁명 이후 우리 사회는 거의 모든 활동에서 온실가스를 배출하고 있고 사회경제 시스템은 화석연료 중심의 생산활동에 초점을 맞추어 발전해 왔기 때문에 탄소중립 실현을 위한 전 사회적 공감대를 바탕으로 한 변화가 필수적이라 할 수 있다. 정부는 정책의 명확한 방향성을 제시하고, 탄소중립 실현에 대한 추진기반을 마련하고 있다. ‘2050 탄소중립 시나리오’와 ‘해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵’은 탄소중립에 대한 정부의 의지를 보여준 사례라 할 수 있다. 그러나 현재 정부의 탄소중립 시나리오는 청사진 단계에 머물러 있고, 탄소중립 달성을 위한 구체적인 이행계획은 아직 마련되지 않은 상황이다.

215) 김재윤·전은경(2021), p. 47.

탄소중립사회의 실현은 정부뿐만 아니라 민간의 역할 역시 매우 중요하다. 정부는 민간영역에서 탄소중립을 이행하도록 마중물 역할에 충실하여야 하며, 이를 위해 기후변화영향평가, 기후대응 기금 조성, 지역주도 탄소중립 지원 등 기후위기 대응을 위한 법·제도를 마련하고 있다. 본 연구에서 제시된 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형과 분석 결과는 탄소중립 실현에 소요되는 사회적 비용 추정을 통해 해양수산분야 탄소중립 정책 수립과 목표를 설정하는 데 기초자료를 제공하였다는 기여가 있다. 이러한 증거기반 의사결정을 통해 정부는 현실적인 탄소중립 달성 방안과 유인책을 제공하고, 민간의 합의를 이끌어 내어 탄소중립을 충실히 이행할 근거를 마련하여야 할 것이다.

본 연구는 데이터와 모형을 활용하여 탄소중립이 해양수산업에 미치는 경제적 영향을 추정함으로써 막연히 저탄소경제로의 이행에 막대한 자본이 소요될 것이라는 추상적인 견해에서 벗어나 구체적인 비용을 제시하였고, 탄소중립 정책의 실효성을 확보하기 위한 논의의 토대를 마련하였다는 점에서 의의를 지닌다.

2. 연구 한계

본 연구에서 제안한 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형은 다음과 같은 한계를 지닌다. 첫째, 본 연구는 데이터 부족으로 인해 분석대상이 제한적이다. 특히 항만분야는 온실가스 부문과 경제부문에서 데이터가 식별되지 않아 분석하지 못하였다. 또한 본 연구에서 사용한 온실가스 부문 데이터는 출처가 다르기 때문에 통계 작성 방식 차이로 인한 측정 오류에서 자유롭지 못하다. 일관성 있는 통계작성방식을 적용하여 데이터 확보가 어려운 해양수산분야에 별도의 온실가스 배출량 조사 및 경제 통계 구축이 이루어

진다면 보다 종합적인 해양수산 기후 스트레스 테스트 분석이 가능할 것이다.

둘째, 본 연구는 NGFS의 기후 시나리오를 적용하여 분석하였다. 우리나라는 탄소중립 선언과 더불어 적극적으로 탄소중립 시나리오를 작성하고 있지만 현 단계 시나리오는 2050년까지의 경로와 비용이 빠져있기 때문에 분석에 활용하기 어려웠다. 향후 구체적인 시나리오가 완성된다면 우리나라 탄소중립 정책 과제 및 목표 수립에 도움이 되는 의사결정자료를 제공할 수 있을 것이다.

셋째, 본 연구는 저탄소경제로의 전환과정에서 발생하는 이행리스크의 비용적인 측면만 분석하였다. 제3장에서 살펴보았듯이, 이행리스크는 위기인 동시에 기회로 작용할 수 있다. 예를 들어, 탄소가격제도로 인한 기업의 생산비용 증가는 정부가 동 제도로 인한 초과 수입을 세제 개편과 재분배 수단으로 사용한다면 경제에 긍정적인 영향을 줄 수 있다.[216] 스위스의 경우, 정부가 난방용 연료에 부과하는 탄소세 수입의 2/3를 국민과 기업에 돌려주는 탄소배당을 시행하고 있으며, 캐나다는 탄소가격제도의 수입을 세금환급이나 국민에게 돌려주는 정책을 시행하고 있다.[217] 또한 친환경 기업에 대한 공급망 개편, 소비자 선호 증가는 기업의 온실가스 배출 저감에 따른 비용을 상쇄할 수도 있다. 이처럼 이행리스크로 인한 편익이 발생할 수 있음에도 본 연구는 가용 데이터 및 모형화 문제로 이러한 부분을 고려하지 못하였다는 한계가 있다. 향후 데이터 및 사례 분석 등을 통해 이와 같은 한계를 보완할 수 있기를 기대한다.

넷째, 가용 데이터 여건 및 모형의 구조 등으로 인해 연구 범위가 제한적이라는 점도 향후 보완하여야 할 사항이다. 탄소중립이 실물경제에 영향을 미치는 경로는 온실가스 배출에 따른 기업의 생산비용 증가가 부가가치

216) Metcalf(2019), p. 441-443.
217) 딜로이트(2021), p. 13.

감소를 유발하고, 이로 인해 투자 및 고용을 줄이게 된다. 따라서 고용 역시 탄소중립의 경제적 영향을 추정하는 데 있어 중요한 변수라 할 수 있다. 탄소중립 정책으로 말미암아 기존 에너지체제에 고용되거나 관련 업무로 생계를 영위하는 근로자의 일자리가 위협받을 수 있고, 이러한 취약계층을 위한 사회안전망을 구축하는 것 역시 공정하고 정의로운 전환의 사회적 과제 중 하나이다.[218] 탄소세의 영향을 분석한 Yamazaki(2017)는 탄소세의 도입으로 인해 기존 에너지체제의 종사자 수는 감소하지만 친환경산업으로의 노동이동이 발생하여 전체 고용은 증가하는 것을 밝혔다. 이처럼 현재 구축된 해양수산 기후 스트레스 테스트 모형에 고용에 대한 블록을 추가한다면, 탄소중립 정책으로 인한 고용의 영향과 노동 이동을 측정할 수 있을 것이다.

한편, 본 연구는 금융 부문 분석에서 기업의 부도확률을 중점적으로 분석하였다. 탄소중립 이행리스크가 금융 안정성을 위협할 수 있는 요인으로 지목되면서 주요국 중앙은행 및 감독기구는 기후 스트레스 테스트 통해 이행리스크가 금융 시스템에 미치는 영향을 분석하였다. 선행연구는 탄소중립 정책으로 인한 기업의 비용 증가가 부도확률, 주가, 채권 등에 미치는 영향을 분석한 후, 분석 결과를 바탕으로 은행의 건전성을 분석하였다. 본 연구의 목적은 탄소중립 이행리스크가 금융 안정성에 미치는 영향을 분석하는 것이 아닌 해양수산업 생산자 입장에서 이행리스크 취약성을 분석하는 것이기 때문에 기업의 부도확률 변화를 금융 부문 영향으로 분석하였다. 따라서 금융 부문의 분석 결과에 대한 해석이 제한적일 수 밖에 없다는 한계가 있다.

다섯째, 본 연구는 기후리스크 중 이행리스크를 중심으로 분석하였다. 기후리스크는 기후변화를 늦추기 위한 온실가스 감축 과정에서 발생하는

218) 윤순진(2021), p. 31.

이행리스크와 기후변화에 따른 자연환경 변화에 의한 물리적 리스크로 구분할 수 있다. 정부의 환경규제로 인해 기업의 배출 비용이 증가하더라도 물리적 리스크로 인한 손실이 감소한다면, 이행리스크의 부정적인 영향이 완화될 수 있을 것이다. 물리적 리스크를 고려한 연구로 Alogoskoufis et al.(2021)이 있다. 저자는 기업 자산의 지리적 위치에 기반하여 물리적 리스크를 추정하였다. 위성자료와 기후자료를 바탕으로 자산에 대한 물리적 리스크 노출 정도를 추정하였으며, 자연재해로 인한 물리적 자산 가치의 변화를 모형화하여 유럽을 대상으로 기후 스트레스 테스트를 수행하였다. 해양수산기업은 해양을 중심으로 생산활동을 영위하므로 자연재해에 대한 노출이 다른 산업보다 상대적으로 높다고 할 수 있다. 따라서 해양수산분야 물리적 리스크에 대한 경제적 영향을 모형화하여 분석한다면 현실 설명력이 확보된 분석 결과를 얻을 수 있을 것이다.

3. 향후 과제

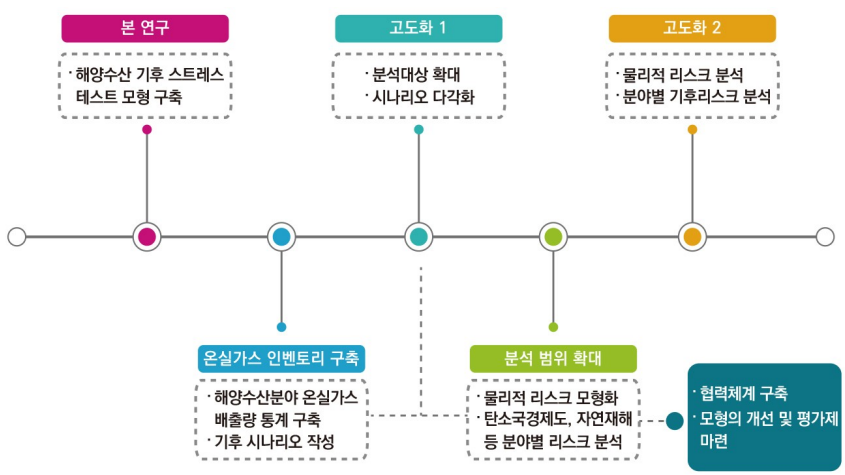
1) 해양수산 기후 스트레스 테스트 고도화 방안

그럼에도 불구하고 본 연구는 아직 초기단계인 기후 스트레스 테스트 연구를 해양수산분야에 선제적으로 적용한 최초의 연구라는 점에서 의의를 지닌다. 본 연구에서 구축한 모형과 결과를 바탕으로 도출된 해양수산분야 기후 스트레스 테스트 고도화 방안은 〈그림 5-1〉과 같다. 고도화 방안은 크게 두 가지로 요약할 수 있다. 첫째, 해양수산분야 온실가스 배출량 통계 구축이다. 본 연구는 통계 분류상의 문제로 주요 해양수산분야에 대한 온실가스 배출량 통계를 확보하지 못하였고, 출처가 다른 온실가스 배출량 통계를 사용하였기 때문에 작성방식 차이로 인한 통계 간 불일치가 존재할 우려가 있다. 따라서 해양수산분야의 탄소중립 정책 목표 달성 및 평가를

위한 해양수산분야 온실가스 인벤토리(안)를 구축할 필요가 있다. 또한 이행리스크의 기회요인을 반영한 다양한 기후 시나리오 작성을 통해 다각화된 스트레스 테스트를 적용한다면 해양수산분야 기후역량대응 강화에 도움이 될 것이다.

둘째, 물리적 리스크 모형화를 검토할 필요가 있다. 해양수산분야는 이행리스크로 인한 손실 외에도 물리적 리스크에도 노출되어 있다. 이러한 물리적 리스크를 모형 설계에 포함시킴으로써 해양수산분야의 특성이 반영된 기후 스트레스 테스트 모형을 구축할 수 있을 것이다. 또한 분야의 특성을 고려한 기후리스크 분석체계를 구축하여야 한다. 예를 들어, 점진적 리스크에 노출된 수산업은 해수면 온도상승에 따른 산업의 영향에 특화된 모형을 구축하고, 항만업은 자연재해 노출 영향 분석에 특화된 모형을, 해운업은 환경규제 및 CBAM에 따른 이행리스크에 대한 모형을 구축하여 기후 스트레스 테스트 결과와 상호보완적으로 사용한다면, 탄소중립에 대한 다각적이고 종합적인 영향 평가가 가능할 것으로 판단된다.

〈그림 5-1〉 해양수산분야 기후 스트레스 테스트 고도화 방안



자료: 저자 작성

이와 같은 기후 스트레스 테스트 모형 고도화를 위해서는 운영 전문기관 지정과 협력체계 구축이 필요할 것이다. 기후 스트레스 테스트는 각 산업, 경제학, 지구과학 등 다양한 분야의 복합적 지식이 요구되기 때문에 분석을 위한 전문기관을 지정하고 운영할 필요가 있다. 산업 현장의 목소리와 학계의 학술적인 식견, 정부의 추진력 등 협력체계 구축을 통해 해양수산분야 탄소중립 달성을 위해 힘을 모아야 할 것이다. 기후 스트레스 테스트 결과는 민감한 정보를 담을 수 있고 자칫하면 시장에 혼란을 일으킬 소지가 있으므로 데이터 수집 및 모형설계 단계부터 산학연정 전문가 협의를 통해 논의하고, 논의 결과를 정책에 반영하는 것이 바람직할 것이다.

2) 해양수산분야 탄소중립 달성을 위한 과제

본 연구의 분석 결과를 바탕으로 도출된 해양수산분야의 탄소중립 달성을 위한 시사점은 다음과 같다. 첫째, 탄소중립 목표 수립과 온실가스 저감 노력을 평가하기 위한 데이터 및 시나리오 구축이 필요하다. 해양수산분야는 해양이라는 공간적인 개념을 바탕으로 1차, 2차 및 3차 산업으로 구성되어있기 때문에 현행 통계체계상 분류가 누락된 산업이 존재하고, 통계의 부재로 인하여 온실가스 배출 현황의 효과적인 모니터링 수단이 부족하다. 따라서 해양수산분야 특성을 고려한 온실가스 배출 조사 체계를 구축하여 온실가스 저감 노력을 평가할 필요가 있다.

아울러 해양수산분야에 특화된 기후 시나리오 구축을 통해 산업의 특성을 반영하고, 정부, 학계 및 산업계 모두 공감할 수 있는 감축방안을 마련해야 한다. 구체적으로 현재 친환경 선박의 보급 수준과 향후 기술개발 전망, 온실가스 감축을 위한 정책 효과 등을 반영하여 해양수산분야에 특화된 기후 시나리오를 작성한다면 보다 현실 설명력이 향상된 분석 결과를 얻을 수 있고, 탄소중립 목표와 달성방안에 대한 사회적 공감대를 확보할

수 있을 것이다. 다만, 기후변화는 전 지구적인 현상이고, 온실가스 감축은 해양수산분야뿐만 아니라 전산업의 동시다발적인 노력이 필요하므로 기후·사회·경제 전 분야를 아우르는 산업계, 학계, 정부의 협력체계 구축이 우선되어야 할 것이다. 협력체계를 기반으로 해양수산 기후 시나리오를 작성하고, 작성된 시나리오의 현실 가능성, 개연성 등에 대한 적극적인 의견수렴이 필요하다. 이 과정을 통해 저탄소경제로의 이행과정에서 일어날 수 있는 부작용과 그에 대한 지원방안을 마련할 수 있을 것이다. 의견 수렴을 통해 기후 시나리오를 수정·보완한 다음 동 시나리오를 바탕으로 해양수산 탄소중립 영향평가를 수행하여야 한다. 모형 고도화 및 시나리오 다각화를 통해 타당한 탄소중립 영향을 평가하고, 결과를 바탕으로 달성 가능한 탄소중립 목표와 이행방안에 대해 사회적 공감대를 이끌어야 한다.

해양수산 기후 시나리오 작성은 개방형 플랫폼 구축을 통해 달성할 수 있을 것이다. 동 플랫폼을 통해 해양수산분야 탄소중립 관련 정보를 수집하고, 이해관계자들과 공유하여, 해양수산분야 탄소중립 현황에 대한 분석이 가능할 것이다. 동 플랫폼은 정보 제공뿐만 아니라 산업계, 학계, 정부의 의견수렴 기능도 수행할 수 있다. 이를 통해, 환경규제, 제도 개선방안, 정책 대상자의 의견을 파악할 수 있을 것으로 기대한다. 동 플랫폼에서 수집된 정보를 바탕으로 정책목표 도출과 정책 영향평가를 위한 종합적이고 현실성 있는 기후 시나리오 작성이 가능할 것으로 기대한다. 〈그림 5-2〉는 해양수산 기후 시나리오 작성 방안을 보여준다.

〈그림 5-2〉 해양수산 기후 시나리오 작성 방안



자료: 저자 작성

탄소중립이 국제질서로 자리잡은 만큼 탄소중립은 거스를 수 없는 국가 목표가 되었다. 따라서 데이터 조사 및 작성, 해양수산 기후 시나리오 작성, 모형 고도화를 통한 분석 결과 완성도 향상의 과정은 지속·반복적으로 수행되어야 할 것이다. 본 연구의 결과에서 확인할 수 있었듯이 단기적 이행 비용이 적더라도 장기적으로는 아닐 수 있다. 따라서 장기적인 안목을 갖고 탄소중립의 달성 가능한 목표를 제시하고, 목표 달성을 위한 정책 과제를 발굴하여야 할 것이다. 해양수산분야 중 어업과 해운업은 화석연료 사용에 대한 의존도가 높기 때문에 저탄소경제로의 이행과정에서 소외계층이 발생할 소지가 있다. 탄소중립의 필요성을 충분히 설득하고, 소외계층에 대한 지원방안을 마련하여 해양수산분야의 공정하고 정의로운 전환을 달성하여야 할 것이다.

둘째, 온실가스 저감을 위한 제도적 기반이 마련되어야 한다. 2050 탄소중립을 달성하기 위해 시나리오는 탄소가격을 2050년에 약 83만 원으로 설정하였는데, 이는 상당히 파격적이며 한편으로 탄소중립 달성이 쉽지

않은 목표임을 나타내는 방증이기도 하다.[219] 실제로 전국경제인연합회는 탄소 배출에 대한 가격이 부과될 경우, 기업의 납부액이 영업이익을 초과할 수도 있다고 우려를 표한 바 있다.[220] 또한 과도한 탄소가격이 부과될 경우, 투자 위축, 일자리 감소, 인플레이션 등 경제적으로 부정적인 영향을 초래할 수 있기 때문에 국민과 기업의 부담을 줄일 수 있는 지원정책 마련이 시급하다고 할 수 있다. 특히 부가가치당 온실가스 배출량이 높은 어업과 해운업에 탄소가격이 부과될 경우 상대적으로 화석연료에 대한 높은 의존도와 규모의 영세성으로 인해 탄소가격 부담에 대한 저항이 심할 것으로 예상된다. 이에 따라 탄소가격제도 도입의 부담을 줄여 줄 수 있는 세제 개편, 탄소가격제도 수입을 세금 환급이나 투자를 통해 재분배하는 등의 탄소가격제도를 우리보다 먼저 도입한 주요 선진국의 사례를 참고하여 이로 인한 기업의 부담을 덜어주는 지원정책이 마련되어야 한다.

셋째, 온실가스 감축을 위한 핵심기술 개발 및 투자 확대가 필요하다. 해양수산부의 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵에 따르면 어업은 어선의 긴 내구연한과 초기 단계인 저탄소 선박 기술 수준으로 인해 2050년까지 온실가스 배출량이 일부 잔존할 것이라 하였고, 해운업 역시 선박의 내구연한과 무탄소 기술의 대형선박 적용 등은 상용화 이전이므로 2050년에 영(0)의 온실가스 배출 달성은 어려울 것으로 전망하였다.[221] 해양수산부는 탄소중립 이행 수단으로 어업 분야의 친환경 어선(LNG·전기 등) 기술 개발 및 중장기 보급 등을 추진할 것이라 밝혔으며, 해운업 분야의 온실가스 저감을 위한 연료원별 선박 기술개발을 적극적으로 지원할 것이라 밝혔다. 어업과 해운업 모두 주요 생산 수단이 선박이고, 그로 인해 화석연료 의존도가 높은 만큼 해양수산부의 추진 방안은 탄소중립으로 인해 발생하는 두 분야의 배출 비용을 줄이는 데 효과적일 것으로 예상된다. 또한 산업

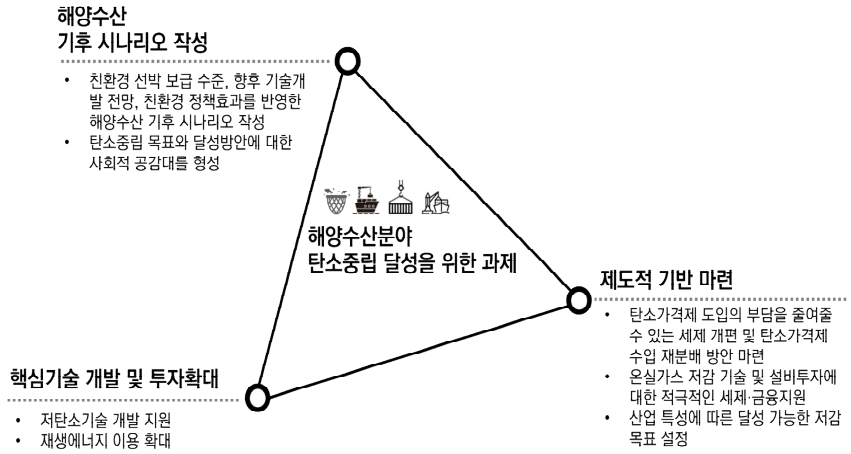
219) 2050 탄소중립 시나리오 기준
220) 전국경제인연합회 보도자료(2021.4.1.)(검색일: 2022.8.30.)
221) 해양수산부 보도자료(2022.1.17.)(검색일: 2022.5.21.), pp. 10-12.

별 화석연료 의존도를 고려한 배출 저감 목표를 설정하여 급격한 환경규제로 인한 부작용을 최소화하는 것 역시 중요한 과제라 할 수 있다. 탄소중립 달성을 위해서는 재생에너지 이용을 확대하는 것이 무엇보다 중요한데, 재생에너지는 발전량이 불규칙하고 변동성이 크기 때문에 전력망 운영에 유연성이 필요하다. 잉여 에너지의 활용과 에너지 운송 및 저장 방안으로 해양그린수소 활용을 적극적으로 추진하는 방안을 고려해야 한다. 해양그린수소는 해상풍력, 파력 등의 해양재생에너지를 기반으로 그린수소를 생산하는 기술로 탄소중립 달성을 위한 에너지 믹스 방안으로 각광받고 있다.[222]

기후 위기가 가시화됨에 따라 탄소중립은 거스를 수 없는 흐름이 되었고 해양수산분야 역시 기후대응 역량을 강화하여 이러한 흐름에 발 빠르게 대응해야 할 것이다. 정부는 해양수산기업의 온실가스 저감을 위한 투자에 적극적인 세제·금융 지원을 제공함으로써 저탄소경제로의 안정적인 추진 기반을 마련해 주어야 한다. 기업의 ESG 경영은 금융기관의 기업 신용평가에 활용되고 있으며, 글로벌 기업을 중심으로 공급망 내 ESG 경영을 요구하고 있는 현실이다. 또한 유럽의 CBAM 및 IMO 선박 환경규제 등 국제 환경규제에 대한 대응을 위해서라도 해양수산기업의 친환경 경제에 대한 인식을 제고하고 기후 대응 역량을 강화하여야 한다. 해양수산분야의 민관 협력과 사회적 노력을 바탕으로 한 저탄소경제로의 공정하고 정의로운 전환은 이행리스크에 선제적으로 대응함으로써 위기를 기회로 전환할 수 있을 것이다.

222) 이은창·이슬기·허선경(2022), p. 51.

〈그림 5-3〉 해양수산분야 탄소중립 달성을 위한 과제



자료: 저자 작성

참고문헌

국내 문헌

2050 탄소중립위원회(2021), 2050 탄소중립 시나리오, 2050 탄소중립위원회.

강인순(2021), 기후리스크와 위기상황분석, NH금융View, 2021(9), NH금융연구소, pp. 1-4.

국회예산처(2021), 탄소세 논의동향, 나보포커스, 34, 국회예산처.

김민주·김동구(2021), EU 'Fit for 55' 패키지 초안의 주요 내용, 세계 에너지시장 인사이트, 21(15), 에너지경제연구원, pp. 3-23.

김민주·김수린(2022), 영국과 프랑스의 최근 원전 재생에너지 정책 추진 현황과 과제, 세계 에너지시장 인사이트, 22(12), 에너지경제연구원, pp. 3-12.

김수린· 김창훈(2020), 인도차이나 지역 국가들의 LNG 수입 확대 동향, 세계 에너지시장 인사이트, (20)24, 에너지경제연구원, pp. 28-30.

김승도·나승혁(2008), 온실가스 배출량 산정방법, 전자공학회지, 35(11), 대한전자공학회, pp. 73-82.

김용건·채여라(2009), 우리나라 기후변화의 경제학적 분석, 환경부.

김재윤·전은경(2021), 기후변화 이행리스크와 금융안정, 조사통계월보, 75(12), 한국은행, pp. 16-52.

김정기(2015), 역위기상황분석을 통한 사전적 위기대응체제 수립방안에 대한 소고, 주택금융월보, 130, 주택금융연구원.

김주철(2003), 금융시스템의 스트레스 테스트 방안 - 신용위험을 중심으로 -, 금융경제연구, 142, 한국은행, pp. 1-36.

딜로이트(2021), 글로벌 탄소가격제도 현황, 딜로이트 인사이트, 19, 딜로이트, pp.

1- 24.

문진영 외(2017), 온실가스 감축을 위한 국제사회의 탄소가격제 도입과 경제영향 분석, 대외경제정책연구원.

박광서 외(2021), 해양수산분야 미래 리스크 발굴 및 파급효과 분석 연구, 한국해양수산개발원.

박성화·김태일·권장한(2020), 스트레스 테스트를 통한 우리나라 해운·조선기업의 안정성 분석, 한국해양수산개발원.

산업연구원(2021), EU 핏포55가 국내 탄소중립 정책에 주는 시사점, 산업연구원.

산업통상자원부(2021), 함께 극복·도약하는 산업강국, 산업통상자원부.

산업통상자원부(2022a), 2022년 한국형친환경선박(Greenship-K)개발시행계획, 산업통상자원부.

산업통상자원부(2022b), 탄소중립 추진 유공 포상계획, 산업통상자원부.

서정호(2010), 국내은행의 스트레스 테스트 활용 현황과 개선방안, 한국금융연구원.

안상욱(2021), 프랑스의 탄소중립 관련 법령과 에너지 정책 동향, 한국법제연구원.

안영환·김동구(2017), 통합평가모형을 통한 파리협정 타결에 따른 국내외 경제영향 분석, 에너지경제연구원.

에너지경제연구원(2021), 영국의 2050 탄소중립 전략 수립 동향, 에너지경제연구원.

온실가스종합정보센터(2021), 2019 배출권거래제 운영결과보고서. 환경부.

온실가스종합정보센터(2022), 2021 국가 온실가스 인벤토리 보고서, 환경부.

윤순진(2021), 한국의 2050 탄소중립 시나리오: 내용과 과제, 에너지포커스 2021년 겨울호, 에너지경제연구원, 18(4), pp.18-23.

이구용·이민아(2021), 주요국 탄소중립 기술정책 동향: G7 국가 탄소중립 기술정책 동향 분석 및 국내 정책 방향성 제언, GTC Focuse, 2(1), 녹색기술센터.

이민아·이구용(2021), 주요국 탄소중립 기술정책 동향(II), 녹색기술센터, GTC FOUCS 2021, 2(5).

이상엽(2021), 탄소중립의 요체는 에너지 전환, 미래정책FOCUS, 2021가을호(30), 경제·인문사회연구회.

이은창·이슬기·허선경(2022), 탄소중립을 위한 해양그린수소 육성전략, 월간 KIET

산업경제, 283, 산업연구원, pp. 37-52.

인소영·박기영(2021), 기후변화의 경제학, 한국경제학보, 28(1), 연세대학교 경제연구소, pp. 137-199.

임준성(2022), 국내 산업의 탄소중립 달성을 위한 CCUS 역할, 이슈분석, 797, KDB 미래전략연구소, pp. 1-20.

장정인 외(2020), 2020 해양수산업 분석 보고서: 2016~2017년 산업연관표 기준, 한국해양수산개발원.

정귀희·문영석(2021), 2050 탄소중립 달성을 위한 미국의 장기 전략, 에너지경제연구원, 세계 에너지시장 인사이트, 21(23), 에너지경제연구원.

정기호·황성윤(2014), 동태CGE모형을 이용한 홍수피해의 경제파급효과 분석, 자원·환경경제연구, 23(4), 한국자원경제학회·한국환경경제학회, pp. 689-718.

조민수(2020), 신재생에너지 중심에 있는 '그린 수소에너지(Green Hydrogen Energy)', Insight, Q.Story.

중소벤처기업진흥공단(2021a), ESG 경영 현황과 중소벤처기업 대응 과제, KOSME 글로벌 빅이슈 Report, 4, 중소벤처기업진흥공단.

중소벤처기업진흥공단(2021b), KOSME 글로벌 빅이슈 Report: ESG 경영 현황과 중소벤처기업 대응 과제, 중소벤처기업진흥공단.

한국농촌경제연구원(2019), 유럽그린딜 논의 동향과 시사점, 한국농촌경제연구원.

한국에너지공단(2019), 2019 전 부문 에너지사용 및 온실가스 배출량 통계, 한국에너지공단.

한국에너지공단(2021), 2050 탄소중립 전환 시나리오: 한국형 통합평가모형 분석, KEA 에너지 이슈 브리핑, 164, 한국에너지공단, pp. 1-5.

한국에너지기술연구원(2021), CCUS 심층 투자 분석 보고서: 탄소중립 구현을 위한 CCUS 기술 개발 여정, Quaterly Report, 2021(1), 한국에너지기술연구원.

한국은행(2021a), 2020년 기업경영분석, 한국은행.

한국은행(2021b), 기후변화와 한국은행의 대응방향, 한국은행.

한국은행(2021c), 국제사회의 탄소중립 추진 현황 및 경제적 영향, 2021(9), 한국은행, pp. 1-20.

해양수산부(2022a), 2022년 해양수산사업 시행지침서, 1, 해양수산부.

해양수산부(2022b), 2022년 해양수산사업 시행지침서b, 2, 해양수산부.

해양수산부(2022c), 2022년 해양수산사업 시행지침서, 3, 해양수산부.

행정안전부(2021), 2020 재해연보: 자연재난, 행정안전부.

환경부(2020), 한국 기후변화 평가보고서 2020, 환경부.

환경부(2022), 2022년 정부지원 환경사업 종합안내서(상권), 환경부.

IPCC(2006), 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 2006 IPCC 가이드라인, 환경부역, 환경부.

KOTRA(2020), 유럽그린딜 추진동향 및 시사점, Global Market Report, 20(024).

Rifkin, J.(2020), 글로벌 그린 뉴딜, 안진화 역, 민음사.

국외 문헌

Acevedo, S. et al.(2020), The Effects of Weather Shocks on Economic Activity: What are the Channels of Impact?, Journal of Macroeconomics, 65(June), pp. 1-21.

Allen, T. et al.(2020), Climate-related scenarios for financial stability assessment: an application to France, Bangue De France Working paper, pp. 1-65.

Allison, E. H. et al.(2009), Vulnerability of national economies to the impacts of climate change on fisheries, Fish and fisheries, 10(2), pp. 173-196.

Alogoskoufis, S. et al.(2021),?ECB economy-wide climate stress test: Methodology and results, No. 281, ECB Occasional Paper.

Altman, E.(1968), Financial ratios, discriminant analysis and the prediction of corporate bankruptcy,?The journal of finance,?23(4), pp. 589-609.

Battiston, S., Dafermos, Y., & Monasterolo, I.(2021), Climate risks and financial stability,?Journal of Financial Stability,?54, 100867.

Becker, A. et al.(2018), Implications of climate change for shipping: Ports and supply chains, Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 9(2), e508.

Bernard, J. T., Kichian, M., & Islam, M.(2018), Effects of BC's Carbon Tax on GDP,

USAEE research paper series, pp. 18-329.

Bolton, p. et al.(2020), Green Swans: central banks in the age of climate-related risks.? Banque de France Bulletin,?229(8).

Brander, K.(2010), Impacts of climate change on fisheries, Journal of Marine Systems, 79(3-4), pp. 389-402.

Calel, R., & Dechezlepretre, A.(2016), Environmental policy and directed technolog ical change: evidence from the European carbon market, Review of econom ics and statistics, ?98(1), pp. 173-191.

Campiglio, E. et al.(2017), Finance and climate change: What role for central banks and financial regulators, In?CEP-DNB workshop on "Central Banking and Green Finance", November,?pp. 28-29.

CDCC(2011), An assessment of the economic impact of climate change on the agric ulture, coastal and human settlements and health sectors in Guyana, UN ECL AC.

Chenet, H.(2021), Climate change and financial risk. In?Financial Risk Managemen t and Modeling, Springer, pp. 393-419.

Cheung, W. W. L. et al.(2009), Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios, Fish and fisheries, 10(3), pp.235-251.

Covas, F.(2020), Challenges in stress testing and climate change,?Bank Policy Instit ute Research Paper, October?9.

Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2012), Temperature shocks and economic growt h: Evidence from the last half century, American Economic Journal: Macroe conomics, 4(3), pp. 66-95.

Eckstein, D., V. Kunzel, & Schafer, L. (2021), Global climate risk index 2021, who suffers most from extreme weather events?, Weather-related loss events in 2019 and 2000?2019.

Ens, E., & Johnston, C.(2020). Scenario analysis and the economic and financial risks from climate change, No. 2020-3, Bank of Canada Staff Discussion Paper.

Gallic, E., & Vermandel, G. (2020), Weather shocks, European Economic Review, 124, 103409.

GL DNV(2020), Energy Transition Outlook 2021: Maritime Forecast to 2050, GL DNV.

Goulder, L., & Hafstead, M.(2018), Confronting the Climate Challenge, In Confronti ng the Climate Challenge, Columbia University Press.

Goulder, L. et al.(2019), Impacts of a carbon tax across US household income groups: What are the equity-efficiency trade-offs?,?Journal of Public Economics, 175, pp. 44-64.

Graff Zivin, J., & Neidell, M. (2014), Temperature and the allocation of time: Implica tions for climate change, Journal of Labor Economics, 32(1), pp. 1-26.

Grice Jr, J. S., & M. T. Dugan(2003), Re-estimations of the Zmijewski and Ohlson bankruptcy prediction models,?Advances in Accounting,?20, pp. 77-93.

Grippa, P., & Mann, S. (2020), Climate-related stress testing: Transition risks in Nor way. Available at SSRN 3758065.

HA, N.T.V.(2022), Evaluating impact of climate change to fishing productivity of Vietnam: An application of autoregressive distributed lag regression model, Global Changes and Sustainable Development in Asian Emerging Market Ec onomics, 2, pp. 671-686.

Hope, C., Anderson, J., & Wenman, P. (1993), Policy analysis of the greenhouse effect: an application of the PAGE model,?Energy Policy,?21(3), pp. 327-338.

IEA(2021), Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector, IEA.

IMF & OECD(2021), Tax Policy and Climate Change, IMF/OECD Report for the G20 finance ministers and central bank governors.

IPCC(2014), Climate Chang`e 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers, IPCC.

IPCC(2018), Global Warming of 1.5 ºC, An IPCC Special Report on the impacts of global warming of, 1(5).

Jonkman, S. N. et al.(2008), Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands?, Ecological economics,?66(1), pp. 77-90.

Lee, T., & Nam, H.(2017), A study on green shipping in major countries: In the view of shipyards, shipping companies, ports, and policies, The Asian Journal of Shipping and Logistics, 33(4), pp. 253-262.

Martin, R. et al.(2014), Industry compensation under relocation risk: A firm-level analysis of the EU emissions trading scheme, American Economic Review, 104(8), pp. 2482-2508.

Metcalf, G. E.(2019), On the economics of a carbon tax for the United States,?Brookings Papers on Economic Activity.?2019(1), pp. 405-484.

Metcalf, G. E., & Stock, J. H. (2020), The macroeconomic impact of Europe's carbon taxes. No. w27488. National Bureau of Economic Research.

Metzger, D. & Schinas, O.(2019), Fuzzy real options and shared savings: Investment appraisal for green shipping technologies, Transportation Research Part D, 77, pp. 1-10.

Ng, A. K. et al.(2013), Climate change and the adaptation strategies of ports: The Australian experiences,?Research in Transportation Business & Management,?8, pp. 186-194.

NGFS(2020), Guide to climate scenario analysis for central banks and supervisors, Network for Greening the Financial System.

NGFS(2021a), NGFS climate Scenarios for central banks and supervisors (Phase II), Network for Greening the Financial System.

NGFS(2021b), Scenarios in Action A progress report on global supervisory and central bank climate scenario exercises, Network for Greening the Financial System.

NGFS(2021c), NGFS Climate Scenarios Database, Network for Greening the Financial System.

Nordhaus, W. D. (1993). Optimal greenhouse-gas reductions and tax policy in the" DICE" model.?The American Economic Review,?83(2), 313-317.

Nordhaus, W. D., & Yang, Z. (1996), RICE: a regional dynamic general equilibrium model of optimal climate-change policy,?American Economic Review,?86 (4), pp. 741-765.

Ohlson, J. A.(1980), Financial ratios and the probabilistic prediction of bankruptcy, Journal of accounting research, pp. 109-131.

Parry, I. W.(2019). Puting a Price on Pollution: Carbon-pricing strategies could hold

the key to meeting the world s climate stabilization goals, Finance & Development 56, 004.

Pindyck, R. S.(2013), Climate change policy: What do the models tell us?, Journal of Economic Literature, 51(3), pp. 860?872.

Ralite, S., & Thoma, J. (2019), Storm ahead: a proposal for a climate stress-test scenario.Report, 2 1 Investing Initiative.

Stern, N.(2007). The economics of climate change: the Stern review. Cambridge University press.

TCFD(2017a), Recommendations of the Task Force on Climate-related Financial Disclosures, TCFD.

TCFD(2017b), The Use of Scenario Analysis in Disclosure of Climate-Related Risks and Opportunities, TCFD.

United States Department of State(2021), The Long-Term Strategy of The United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050, United States Department of State.

Vermeulen, R. et al.(2018), An energy transition risk stress test for the financial system of the Netherlands. DNB Occasional Studies 1607, Netherlands Central Bank, Research Department.

Wan, Z. et al.(2018), Decarbonizing the international shipping industry: Solutions and policy recommendations, Marine Pollution Bulletin, 126, pp. 428-435.

Wang, Z. et al.(2017), Integrated assessment models of climate change economics. Springer.

Yamazaki, A.(2017), Jobs and climate policy: Evidence from British Columbia's revenue-neutral carbon tax,?Journal of Environmental Economics and Management,?83, pp. 197-216.

Zmijewski, M. E.(1984), Methodological issues related to the estimation of financial distress prediction models, Journal of Accounting research, pp. 59-82.

인터넷 자료

2050 탄소중립녹색성장위원회, 위원회 소개, https://www.2050cnc.go.kr/base/contents/view?contentsNo=7&menuLevel=2&menuNo=1(검색일: 2022.6.15.)

2050 탄소중립녹색성장위원회, 탄소중립이란, https://www.2050cnc.go.kr/base/contents/view?contentsNo=9&menuLevel=2&menuNo=11(검색일: 2022.9.8.)

FN위키, 유동비율, http://fnwiki.org/current-ratio/(검색일: 2022.8.18.)

FN위키,부채비율, http://fnwiki.org/debt-ratio/(검색일: 2022.8.18.)

기상청, 기상자료개방포털, https://data.kma.go.kr/cmmn/main.do(검색일: 2022.9.7.)

기후변화홍보포털, 배출권거래제, https://www.gihoo.or.kr/portal/kr/biz/kyoto.do(검색일: 2022.9.4.)

온실가스종합정보센터, 국가통계, https://www.gir.go.kr/home/board/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=36&boardId=54&boardMasterId=2&boardCategoryId=(검색일: 2022.7.12.)

외교부, 기후변화협상, https://www.mofa.go.kr/www/wpge/m_20150/contents.do(검색일: 2022.9.11.)

산업통상자원부, https://www.motie.go.kr/motie/ne/announce2/bbs/bbsList.do?bbs_cd_n=6&biz_anc_yn_c=Y(검색일: 2022.9.2.)

한국거래소, ESG의 개념, https://esg.krx.co.kr/contents/01/01010100/ESG01010100.jsp(검색일: 2022.9.3.)

한국에너지공단, 국가온실가스 배출량 종합 정보 시스템, https://netis.kemco.or.kr/netis/hp/main(검색일: 2022.7.12.)

한국은행, 경제통계시스템, https://ecos.bok.or.kr/(검색일: 2022.7.12.)

해양수산부 공식 블로그, https://blog.naver.com/PostView.naver?blogId=koreamof&logNo=222596933252&categoryNo=58&parentCategoryNo=58&from=thumbnailList(검색일: 2022.7.5.)

환경부, 환경용어사전, https://www.me.go.kr/home/web/index.do?menuId=104

48(검색일: 2022.8.22.)

CCPI, Republic of Korea, https://ccpi.org/country/kor/(검색일: 2022.5.8.)

NGFS, NGFS Scenario Explorer, https://data.ene.iiasa.ac.at/ngfs/#/login?redirect=%2Fworkspaces(검색일: 2022.6.9.)

NOAA, Climate at a Glance, https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance(검색일: 2022.9.2.)

Our World in Data, CO_2 and Greenhouse Gas Emissions, https://ourworldindata.org/CO_2-and-other-greenhouse-gas-emissions(검색일: 2022.9.2.)

World Bank, Carbon Pricing Dashboard, https://carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data (접속일: 2022.7.18.)

中华人民共和国中央人民政府, 中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见, http://www.gov.cn/zhengce/2021-10/24/content_5644613.htm(검색일:2022.9.7.)

中华人民共和国中央人民政府, 国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知, http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm(검색일:2022.9.7.)

中华人民共和国中央人民政府, 国务院关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见, http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-02/22/content_5588274.htm?pc(검색일:2022.9.7.)

인터넷 기사/보도자료

금융감독원 보도자료(2021.12.8.), 기후리스크 관리 지침서(검색일: 2022.9.8.)

금융위원회 보도자료(2021.1.28.), 금융위원회는「코로나19 대응을 위한 은행 및 은행지주 자본관리 권고안을 의결하였습니다.(검색일: 2022.9.7.)

기상청 보도자료(2019.2.13.), 지구온난화 1.5℃ 특별보고서, 그것이 알고 싶다(검색일: 2022.9.11.)

대한상공회의소 보도자료(2021.4.19.), 기업들, "2050 탄소중립... 가야할 길이지만

당장은 위기요인"평가(검색일: 2022.9.11.)

전국경제인연합회 보도자료(2021.4.1.), 탄소세 도입 영향 추정(검색일: 2022. 8. 30.)

조선비즈(2021.11.18.), 밴쿠버 인근 서부 캐나다, 곳곳 홍수·산사태…물류 부담 가중될 듯, https://biz.chosun.com/international/international_general/2021/11/18/Q433BJ2LTBD3HC5S2KPDQ4WGVQ/(검색일: 2022.9.2.)

한국경영자총협회 보도자료(2021.10.27.), '2030년 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향(안)', '2050 탄소중립 시나리오(안)' 국무회의 통과 관련 경영계 코멘트(검색일: 2022.6.29.)

한국에너지정보문화재단 보도자료(2021.11.18.), 탄소중립 필요'91.5%, 재생에너지 비중확대 찬성 81.9%(검색일: 2022.9.11.)

해양수산부 보도자료(2020.12.22.), 그린뉴딜, 탄소중립을 위한 친환경선박 중장기 계획수립(검색일: 2022.12.26.)

해양수산부 보도자료(2021.2.21.), 우리 연안의 탄소중립 전환, 본격 시작된다(검색일: 2022.7.27.)

해양수산부 보도자료(2021.7.5.), 친환경 에너지절감형 어선 기술개발 시작한다(검색일: 2022.7.27)

해양수산부 보도자료(2021.9.28.), 김 가공업체, '에너지절감시설'로 전기요금 절반 줄여(검색일: 2022.7.27.)

해양수산부 보도자료(2022.1.17.), 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵(검색일: 2022 5.21)

CEO&(2021.10.24), 국내 10대 기업의 ESG 경영전략, https://www.ceopartners.co.kr/news/articleView.html?idxno=12365(검색일: 2022.9.3.)

REN21 보도자료(2021.6.16), 2021 세계 재생에너지 현황 보고서에서 발췌한 상세 자료(검색일:2022.9.11.)

The Economist(2020.9.12.), Ports are highly exposed to climate change and often ill-prepared, https://www.economist.com/finance-and-economics/2020/09/12/ports-are-highly-exposed-to-climate-change-and-often-ill-prepared(검색일: 2022.9.2.)

부 록

1. 온실가스 부문 데이터

1) 국가온실가스 인벤토리[223]

우리나라는 '저탄소 녹생성장 기본법 시행령'에 따라 '국가 온실가스종합관리체계'를 구축·운영하기 위해 2010년 온실가스종합정보센터를 설립하였다. 온실가스종합정보센터는 국가 온실가스 인벤토리 업무의 총괄기관으로서 '국가 온실가스 인벤토리 보고서'를 통해 국가 온실가스 배출량, 배출계수, 온실가스 관련 정보 및 통계를 공표하고 있다.[224] 국가 온실가스 인벤토리에서 제공하는 온실가스 배출량은 기후변화에 관한 정부간 협의체 지침(IPCC GL: Intergovernmental Panel on Climate Change Guideline)에 따라 에너지, 산업공정, 농업, 토지이용, 토지이용 변화 및 임업(LULUCF: Land Use, Land Use Change and Forestry), 폐기물 분야로 분류하여 작성한다.[225]

국가온실가스 인벤토리를 통해 온실가스 배출량 통계가 확보된 해양수산부문은 에너지 분야 수송 부문의 해운과 기타 부문의 어업이다. 해양수산부문은 해양수산부가 관장하며, 해양환경공단이 온실가스 배출량 통계를

223) 온실가스종합정보센터(2022)를 참고하여 작성하였음
224) 온실가스종합정보센터(2022), p. 1-2.
225) 위의 자료, p. 1-4.

산정한다.[226] 에너지 분야의 산정 방법은 [부록 식 1]과 같다.

$$E_j = \sum_{i=1}^{p} [(TA_{i,j} - NA_{i,j} \times FCT_{i,j}) \times 41.868 \times CF_i \times EF_i \times OF_i \times \frac{44}{12} \times 10^{-3}]$$ [부록 식 1]

i는 연료 유형이며 j는 부문을 나타낸다. E는 CO_2 배출량이다. TA는 총연료 사용량, NA는 비연료 사용량을 의미한다. FCT는 원료용으로 사용된 비에너지원 중 제품에 몰입된 탄소량을 의미하는 탄소몰입률이다. 41.868은 줄(Joule) 석유환산톤(TOE:Ton of oil Equivalent) 환산계수이다. CF는 총발열량 대비 순발열량인 전환계수이며 EF는 배출계수이다. OF는 연료용으로 소비된 에너지원 중 산화된 탄소의 비율을 나타내는 산화율이다. 44/12는 탄소기준 배출량을 이산화탄소로 전환하는 상수이다. 부문별 온실가스 배출량의 산출은 부문별 연료 사용으로 인해 발생하는 탄소량에 몰입량을 차감한 후, 산화율을 이용하여 부문별 탄소량을 시산한다. 탄소량에 전환계수를 적용하여 순발열량으로 전환한 다음, 배출계수를 이용하여 배출량을 산정하는 과정을 거친다. 탄소 배출계수는 IPCC GL에서 제시하는 기본 배출계수를 사용하되 연료의 유형 및 사용용도 등에 따라 부문에 맞는 배출계수를 적용하여 배출량을 산출한다.[227]

(1) 어업

어업의 활동자료는 석유류수급통계의 국내수급현황 어업 자료에 기초한다. 석유류수급통계의 농림어업 중 어업은 연근해어업, 원양어업, 달리 분류되지 않는 어업으로 분류되며 이 세 분류의 연료 소비량을 어업 활동자

226) 위의 자료, p. 19.
227) 위의 자료, p. 133.

료로 활용한다.

(2) 해운업

해운수송에서는 어선을 제외한 연안 여객선, 연안 화물선, 휴양용 선박, 호버크래프트, 수중익선 등 해운수송에 의한 온실가스 배출량을 포함한다. 해운의 활동자료는 어업과 마찬가지로 석유류수급통계에서 국내수급현황(해운)의 자료를 활용한다. 석유류수급통계에서 해운은 내국적 연안과 내륙항로 수송업, 내국적 외항 수송업, 외국적 수상 수송업, 수상운수 보조 서비스업으로 분류되며, 이 중에서 내국적 연안과 내륙항로 수송업, 수상운수 보조 서비스업의 연료소비량을 활동자료로 활용한다.

〈표 부록 1〉 국가온실가스 인벤토리 해양수산분야 활동자료

조사부문	활동자료
어업	연근해어업
	원양어업
	달리 분류되지 어업
해운업	연안 여객선
	연안 화물선
	휴양용 선박
	호버크래프트
	수중익선

자료: 온실가스종합정보센터(2022), p.127, p. 136을 바탕으로 저자 작성

2) 산업부문 온실가스 배출량 조사[228)]

국가 온실가스 인벤토리에서 확보가 어려운 다른 해양수산 부문의 온실가스 배출량을 확보하기 위해 한국에너지공단의 산업부문 온실가스 배출량 조사를 검토하였다. 한국에너지공단은 제10차 한국표준산업분류코드를 기

228) 한국에너지공단(2019)를 참고하여 작성하였음

준으로 광업 및 제조업, 운수업, 상업 및 공공으로 분류되는 모든 사업체와 관·자가용 자동차 및 이륜차를 대상으로 에너지 사용 및 온실가스 배출현황을 파악하고 있다. 산업부문 온실가스 배출량조사는 2005년 조사를 시작하였으며 2010년 수송부문에 대한 첫 조사를 수행하였다. 2011년부터 매년 제조업·광업에 대한 조사를 수행하고 있으며, 2019년에는 제조업·광업과 더불어 상업·공공부문과 수송부문의 조사도 수행하였다.[229] 산업부문 온실가스 배출량조사는 제10차 한국표준산업분류를 기준으로 이루어지며, 총 149개 소분류 기준으로 조사를 수행한다.

〈표 부록 2〉 산업부문 온실가스 배출량 조사대상 범위

조사부문	대상	조사대상범위	조사대상 단위
산업부문	광업 및 제조업	B(광업), C(제조업)	사업체
상업·공공	도소매/음식/숙박	• G(도매 및 소매업), I(숙박 및 음식점업)	
	통신/금융/부동산	• J(정보통신업), K(금융 및 보험업), L(부동산업), M(전문, 과학 및 기술 서비스업), N(사업시설 관리, 사업 지원 및 임대 서비스업)	
	공공/기타사회 서비스업	• E(수도, 하수 및 폐기물 처리, 원료 재생업), O(공공행정, 국방 및 사회보장 행정), P(교육 서비스업), Q(보건업 및 사회복지 서비스업), R(예술, 스포츠 및 여가관련 서비스업), S(협회 및 단체, 수리 및 기타 개인 서비스업	
수송부문	운수업	• H(운수업)	
	관·자가용	• 자동차 및 이륜차	차량

자료: 한국에너지공단(2019), 〈표 1-3〉, p. 5.

산업부문 온실가스 배출량 조사를 통해 식별할 수 있는 해양수산업은 제조업(C)의 수산물가공및저장처리업(C102)과 선박및보트건조업(C311)이며, 운수업(H)의 경우 해운업은 외항운송업(H5011), 내항운송업(H5013), 기타 해상 운송업(H5013)이다.

229) 한국에너지공단(2019), p. 2.

기본연구보고서 발간목록

2022년

01	선박투자 가치평가 및 위험관리 모형 연구	박성화
02	항만 컨테이너 반출입 예약시스템 가격결정 모형 연구	서정용
03	연안재해 대응을 위한 그린인프라 구축방안 연구	정지호
04	탄소중립이 해양수산업에 미치는 경제적 영향분석 연구	권장한
05	수산물 안전성 관리체계 개선방안 연구	조헌주
06	준해양사고 통보제도 개선방안 연구	박상원
07	MZ세대 소비트렌드를 반영한 해양관광 추진방안 연구	최일선
08	연근해 어종별 어획쿼터제도 도입방안 연구	심성현
09	행위자기반 해양공간계획 시뮬레이션 개발 연구	조성진
10	항만분야 탄소중립 관리체계 개선방안 연구	안승현
11	탄소중립 시대 양식산업 대응전략 연구 - 육상 어류양식을 중심으로 -	마창모
12	수산식품산업의 탄소중립 대응방안 연구 - 가공업을 중심으로 -	김지연
13	해양환경보건정책 도입방안 연구	박수진
14	포스트 코로나 시대의 컨테이너 해운산업 대응방안 연구 - 디지털 플랫폼을 중심으로 -	최건우
15	항만분야 공공갈등 관리방안 연구	김세원
16	글로벌 가치사슬 변화와 국제물류 분야 대응방안 연구 - 전기자동차 산업을 중심으로 -	권보배
17	항만개발제도 개선방안 연구	이수영
18	클러스터 혁신을 통한 선박관리업 발전방안 연구	허성례
19	수입수산물 예방적 관리체계 도입방안 연구 - IUU 수산물을 중심으로 -	안지은
20	양식수산물 유통 빅데이터 구축방안 연구	이기영
21	글로벌 혁신성장을 위한 신남방·신북방 정책 연구 - 신남방 지역 ICT산업 가치사슬 변화에 따른 물류 공급사슬 대응방안	최나영환

2021년

01	시민참여형 해안돌봄 정책 도입방안 연구	정지호
02	해양 플라스틱 쓰레기가 선박 운항에 미치는 영향분석 연구	김보람
03	여성어업인 노동정책 방향 연구	홍혜수
04	순환경제 시스템을 활용한 어업폐기물의 자원화 방안 연구	고동훈
05	1conomy 시대, HMR 시장 확대에 따른 수산부문 대응전략 수립 연구	마창모
06	AIS 데이터 기반 해상교통 안전 평가모델 개발 연구	황선일
07	항만 에너지 관리시스템 도입을 위한 로드맵 구축 연구 - 부산항 신항 전기에너지 소비를 중심으로 -	김근섭
08	해양분야 리빙랩 활성화 방안 연구	좌미라
09	빅데이터의 연계·활용을 통한 선박의 배출량 산정체계 고도화 방안 연구	안용성
10	해양공간계획 집행체계 고도화 방안 연구	최희정
11	수산식품산업 푸드테크 환경분석 및 적용전략 연구	이상건
12	AIS데이터기반 해상물동량 추정 연구	황수진
13	항만부문 정책의사결정 지원 빅데이터 플랫폼 구축 방안 연구	이기열
14	항만 컨테이너 물류 프로세스 디지털화 모형 연구	서정용
15	해양수산 분야 국제산업연관표 구축기반 연구	정수빈
16	해양수산 과학기술 정책평가모형 연구 - 해양수산 R&D를 중심으로 -	전형모
17	글로벌 경제위기와 해운산업 대응체계 연구	박성화
18	항만산업 경기진단체계 구축 연구 - 경기동행지수 개발을 중심으로 -	김성아
19	전국 무역항 부두 분류 체계 개선방안 연구	이수영
20	IMO 규제기반 해사산업의 글로벌 지속발전방안 연구 - 新해사산업의 육성 및 지원을 위한 법제화 연구(5차년도) -	박한선
21	수소에너지 거점 구축을 위한 항만의 대응방안 연구	신수용

수시연구보고서 발간목록

2022년

01	항만의 탄소중립 이행·관리 표준안 연구	안용성
02	매립지 소유권 분리 제도화의 이해관계 분석과 관리방안	윤성순
03	글로벌 공급망 리스크별 영향분석 및 대응방안 연구 - 에너지·곡물을 중심으로	조지성
04	대북제재 강화와 코로나 팬데믹 이후 북한 해양수산 이슈와 대응 방안	윤인주
05	남극환경보호의정서 제6부속서의 국내 이행을 위한 법제 정비방안 연구	박예나
06	해양바이오산업 활성화를 위한 해양수산생명자원 법령 정비 방안 연구	좌미라
07	우리나라 수산종자 관리체계 개선방안 연구	조헌주
08	2050 신해양강국 미래비전 수립 연구	김민수

2021년

01	해양환경산업 육성 방안 연구	한기원
02	선원의 인권 및 근로여건 향상을 위한 선원근로감독관 제도 개선 방안 연구	허성례
03	포스트 코로나 시대를 대비하는 지역 해양축제 활성화 연구	최일선
04	회복탄력성 개념을 적용한 항만 위기관리 시스템 구축 연구	김성기
05	중대재해처벌법 시행에 따른 항만에서의 대응방안 연구	최상균
06	크루즈산업 COVID-19 방역체계 구축방안 연구	황진회
07	한국형 선주사의 최적 운영방안 연구	고병욱
08	어촌형 생활서비스 전달체계 개선 연구	이호림
09	원양산업의 ESG 도입 기초 연구	윤미경
10	수상레저활동 관리체계 개선방안 연구	홍장원
11	연안지역 자연성 회복을 위한 정책 방향_간척지·담수호 중심으로	정지호
12	스마트항만 구축에 따른 탄소저감 효과 연구 - 동력전환을 중심으로 -	김가현

일반연구보고서 발간목록

2022년

01	건화물선 시장 비용분석을 통한 해운시장 위험관리지표체계 구축	류희영
02	해상운임 예측모형 고도화 연구(Ⅰ)	황수진
03	IMO 시장기반조치 도입이 국내 해운기업에 미치는 영향	김한나
04	연안지역발전지수(CoDI) 개발 연구	황재희
05	CGE 기반 국제통상환경 변화의 해양수산부문 파급효과 분석	임병호
06	글로벌 수산부문 이머징 이슈 분석 모델 개발 연구	한기욱
07	양식 수산물 중장기 수급전망모형 구축 연구 - 굴을 중심으로 -	김철현
08	Network DEA를 이용한 물류기업 경쟁력 비교 분석 연구	황선일
09	해양수산 사업체 성과 및 효율성 분석 연구	김주현
10	베이지안 방법을 이용한 양식 멍게 단수 추정방안 연구	천성훈
11	수입수산물과 국산 간의 대체관계 분석 연구 - 활·신선냉장품을 중심으로 -	박혜진
12	국내 컨테이너 해운기업의 디지털 전환 활성화 방안 연구	전서연
13	비컨테이너 항만물동량 예측모형 고도화 방안 연구(Ⅰ) - 자동차, 석탄, 고철, 시멘트를 중심으로 -	최석우
14	동중국해 해양경계획정 방안 기초 연구	박영길
15	해양수산 분야 미래 리스크 발굴 및 파급효과 분석 연구(Ⅱ)	김찬호
16	항만개발사업의 정책효과 적용방안 연구	이종필
17	국가 해양전략 기본구상 연구	정현욱
18	선박대기시간 예측모형 개발을 위한 방법론 연구	조아현
19	안전항만 구축을 위한 비용 산정 및 지원체계 마련을 위한 연구	최상균

2021년

01	해양수산 정책영향평가를 위한 기초 연구	김주현
02	해양교육의 사회·경제적 가치 평가 연구	이슬기
03	해양수산업 경기진단체계 기초연구 - 해운업을 중심으로 -	권장한
04	선박 기술진보를 고려한 탄소 배출량 추정 연구	최건우
05	서포트벡터머신(SVM) 기법을 활용한 해운시황 예측 연구	김병주
06	크루즈 여객 수요 전망 모형 구축 연구	안승현
07	디지털 공급사슬 물류정보통합 구축전략 연구(Ⅲ)	서정용
08	수출용 전복의 유통경로 분석 연구	이정필
09	인공지능기반 해상운임 예측 연구(3차년도)	황수진
10	인공신경망모형을 이용한 양식수산물 단수 전망에 관한 연구 - 김 양식을 중심으로 -	천성훈
11	해양수산분야 미래 리스크 발굴 및 파급효과 분석 연구	박광서

기본연구 2022-04

탄소중립이 해양수산업에 미치는 경제적 영향분석 연구

인 쇄 2022년 12월 29일

발 행 2022년 12월 31일

발 행 인 김 종 덕

발 행 처 한국해양수산개발원

주 소 49111 부산시 영도구 해양로 301번길 26(동삼동)

연 락 처 051-797-4800 (FAX 051-797-4810)

등 록 1984년 8월 6일 제313-1984-1호

조판·인쇄 ㈜디자인월드 (051-916-1533)

판매 및 보급: 정부간행물판매센터 Tel: 02-394-0337

정가 15,000원